マイクロフィルム用資料

共同研究報告書

整理番号第272号

道路構造物の震災調査・復旧技術と耐震補強技術に関する共同研究報告書

－兵庫県南部地震の経験を踏まえた
道路橋の震前対策及び震災復旧に関する事例集－

平成13年3月

国土交通省土木研究所
日本道路公団
首都高速道路公団
阪神高速道路公団
(財)土木研究センター

Copyright © (2001) by P.W.R.I.

Allrights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

共同研究報告書

整理番号第272号

道路構造物の震災調査・復旧技術と耐震補強技術に関する共同研究報告書

－兵庫県南部地震の経験を踏まえた道路橋の震前対策及び震災復旧に関する事例集－

平成13年3月

国土交通省土木研究所
日本道路公団
首都高速道路公団
阪神高速道路公団
(財)土木研究センター

要旨

本報告書は、建設省土木研究所と日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、(財) 土木研究センターとの共同研究として平成10年度及び11年度に実施した「道路構造物の震災調査・復旧技術と耐震補強技術に関する研究」について、その研究成果をまとめたものである。

本共同研究では、兵庫県南部地震において甚大な被害を受けた教訓を将来の震災時の復旧活動等に生かすことを目的に、道路橋を対象に、兵庫県南部地震における震災調査技術、応急対策技術、本復旧技術とともに、震前対策としての耐震補強技術を調査・整理し、これを兵庫県南部地震の経験を踏まえた道路橋の震前対策及び震災復旧に関する事例集としてまとめたものである。

キーワード：道路橋、兵庫県南部地震、震前対策、震災復旧、耐震補強、震災調査

はじめに

本報告書は、建設省土木研究所と日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、(財)土木研究センターとの共同研究として平成10年度及び11年度に実施した「道路構造物の震災調査・復旧技術と耐震補強技術に関する研究」について、その研究成果をまとめたものである。

本共同研究では、兵庫県南部地震において甚大な被害を受けた教訓を将来の震災時の復旧活動等に生かすことを目的に、道路橋を対象に、兵庫県南部地震における震災調査技術、応急対策技術、本復旧技術とともに、震前対策としての耐震補強技術を調査・整理し、これを兵庫県南部地震の経験を踏まえた道路橋の震前対策及び震災復旧に関する事例集としてまとめたものである。

本報告書は、合計4編に区分してとりまとめている。第１編には、既設道路橋の耐震性判定法や耐震補強法などの震前に実施する対策技術について、第２編には、震災復旧の流れ、緊急調査、応急復旧及び本復旧などの道路橋の震後の迅速な復旧のための対策技術を、第３編には兵庫県南部地震に関する復旧事例や分析事例などの資料を、第４編には震災調査や復旧技術などに関する新技術に関して実施したアンケート調査結果をまとめている。

本報告書は、共同研究の成果をあくまで事例集としてとりまとめたものであり、従うべき基準等を示す資料ではないことに留意いただきたい。本研究が今後の道路の震災復旧技術の向上のために有用な資料となれば幸いである。

共同研究代表者
国土交通省土木研究所
耐震研究室長　運上　茂樹

平成10年度～11年度
「道路構造物の震災調査・復旧技術と耐震補強技術に関する研究」
共同研究担当者名簿

（所属及び肩書きは研究年度当時）

建設省土木研究所

保田　雅彦	耐震技術研究センター長
運上　茂樹	耐震技術研究センター　耐震研究室　室長
足立　幸郎	耐震技術研究センター　耐震研究室　主任研究員
長屋　和宏	耐震技術研究センター　耐震研究室　研究員

日本道路公団

竹本　恒行	技術部長（平成10年度）
山縣　敬二	技術部長（平成11年度）
小川　篤生	構造技術課　課長（平成10年度）
角谷　　務	構造技術課　課長（平成11年度）
池田　博之	構造技術課　課長代理（平成10年度）
溝江　　実	構造技術課　課長代理（平成11年度）
緒方　辰男	構造技術課

首都高速道路公団

和泉　公比古	保全施設部保全技術課　課長（平成10年度）
宮内　博良	保全施設部保全技術課　課長（平成11年度）
山田　　淳	保全施設部保全技術課　課長補佐（平成10年度）
富永　博夫	保全施設部保全技術課　課長補佐
高橋　三雅	保全施設部保全技術課班長（平成11年度）
御嶽　　譲	保全施設部保全技術課
尊鉢　丈裕	保全施設部保全技術課（平成10年度）
永田　佳文	保全施設部保全技術課（平成11年度）
山本　直之	保全施設部保全技術課

阪神高速道路公団

前川　順道	保全施設部保全技術課　課長（平成10年度）
林　　秀	保全施設部保全技術課　課長（平成11年度）
谷　　征夫	保全施設部保全技術課　調査役（平成11年度）

田坂　　広　　保全施設部保全技術課　課長補佐(平成10年度)
川村　　勝　　保全施設部保全技術課　係長(平成10年度)
加賀山　泰一　保全施設部保全技術課　係長(平成11年度)
林田　充弘　　保全施設部保全技術課(平成10年度)
奥西　史伸　　保全施設部保全技術課(平成11年度)

(財)土木研究センター

小林　茂敏　　理事(平成10年度)
佐伯　彰一　　理事(平成11年度)
鷹取　　勲　　企画部　部長
大関　敏広　　企画部　次長(平成10年度)
三木　正久　　企画部　次長(平成11年度)

目　次

第１編　震前対策 …… 1
１.はじめに …… 3
２.震前対策の流れ …… 4
　2.1 既設橋梁の耐震性判定 …… 4
　2.2 既設橋梁の耐震補強 …… 6
３.耐震性判定法と耐震補強計画 …… 7
　3.1 概要 …… 7
　3.2 既往地震の被害の特徴と示方書の変遷 …… 8
　　3.2.1 道路橋の被害特性 …… 8
　　3.2.2 示方書の変遷および適用示方書の違いによる被害形態の変化 …… 17
　3.3 耐震性判定法と耐震補強優先度 …… 34
　　3.3.1 簡易な耐震性判定法 …… 34
　　3.3.2 耐震補強優先度 …… 56
　　3.3.3 詳細な耐震性判定 …… 71
４.耐震補強 …… 81
　4.1 概要 …… 81
　　4.1.1 構造系の変更による耐震性能向上 …… 81
　　4.1.2 構造部材の耐震性能向上 …… 83
　　4.1.3 落橋防止システムの構築 …… 84
　4.2 耐震補強工法 …… 85
　　4.2.1 橋脚 …… 85
　　4.2.2 基礎 …… 89
　　4.2.3 支承 …… 91
　　4.2.4 落橋防止システム …… 92

第２編 …… 99
１.はじめに …… 101
２.震災復旧の基本的な考え方 …… 103
　2.1 概　要 …… 103
　2.2 震災復旧の流れ …… 105
　　2.2.1 震災復旧の第１段階 …… 105
　　2.2.2 震災復旧の第２段階 …… 107
　　2.2.3 震災復旧の第３段階 …… 110
　2.3 震災復旧のための震前対策 …… 112
３.緊急調査および緊急措置 …… 114
　3.1 緊急調査 …… 114
　　3.1.1 緊急調査のポイント …… 114
　　3.1.2 緊急調査項目 …… 115
　　3.1.3 緊急調査の留意点 …… 117

3.2 緊急措置 …… 119
4.応急復旧 …… 121
4.1 概　要 …… 121
4.2 応急調査 …… 122
4.2.1 基　礎 …… 122
4.2.2 橋　脚 …… 124
4.2.3 橋　台 …… 128
4.2.4 上部構造 …… 128
4.2.5 支承部 …… 129
4.2.6 落橋防止装置 …… 131
4.2.7 伸縮装置 …… 131
4.2.8 取付け盛土 …… 132
4.2.9 その他 …… 132
4.3 被災度判定 …… 133
4.3.1 概　要 …… 133
4.3.2 被災度の区分 …… 133
4.3.3 構造部分別の被災度判定法 …… 135
4.4 応急復旧工法 …… 156
4.4.1 応急復旧水準 …… 156
4.4.2 応急復旧工法 …… 157
5.本復旧 …… 166
5.1 概　要 …… 166
5.2 本復旧のための調査 …… 167
5.2.1 基　礎 …… 167
5.2.2 橋　脚 …… 167
5.2.3 橋　台 …… 168
5.2.4 上部構造 …… 168
5.2.5 支承部 …… 168
5.2.6 落橋防止装置 …… 168
5.2.7 伸縮装置 …… 169
5.3 本復旧工法の選定 …… 169
5.3.1 本復旧水準 …… 169
5.3.2 本復旧工法 …… 170

第3編　参考資料集 …… 199
1.兵庫県南部地震における被災調査・復旧に関する事例集 …… 201
2.兵庫県南部地震における被災分析に関する資料 …… 326
3.被災調査技術および非破壊調査に関する資料 …… 357
4.道路橋の耐震点検に関する資料 …… 376
5.道路橋の耐震補強法に関する資料 …… 385

第4編　道路橋の震前対策・復旧技術に関するアンケート調査結果 …… 439

第１編　震前対策

1.はじめに …… 3

2.震前対策の流れ …… 4

2.1 既設橋梁の耐震性判定 …… 4

2.2 既設橋梁の耐震補強 …… 6

3.耐震性判定法と耐震補強計画 …… 7

3.1 概要 …… 7

3.2 既往地震の被害の特徴と示方書の変遷 …… 8

3.2.1 道路橋の被害特性 …… 8

3.2.2 示方書の変遷および適用示方書の違いによる被害形態の変化 …… 17

3.3 耐震性判定法と耐震補強優先度 …… 34

3.3.1 簡易な耐震性判定法 …… 34

3.3.2 耐震補強優先度 …… 56

3.3.3 詳細な耐震性判定 …… 71

4.耐震補強 …… 81

4.1 概要 …… 81

4.1.1 構造系の変更による耐震性能向上 …… 81

4.1.2 構造部材の耐震性能向上 …… 83

4.1.3 落橋防止システムの構築 …… 84

4.2 耐震補強工法 …… 85

4.2.1 橋脚 …… 85

4.2.2 基礎 …… 89

4.2.3 支承 …… 91

4.2.4 落橋防止システム …… 92

1．はじめに

道路は、震災時における避難路、各種応急対策活動のための重要な輸送路となるため、十分な耐震性を確保するとともに、地震被害が生じた場合には早急な交通の確保が必要とされる。

しかしながら、地震による被害は、地震の規模，震源からの距離，地盤条件等の要素のからんだ複雑な現象であり、現状では、すべての橋梁について具体的な被災を予測することは難しく、その被災発生機構の解明や予測手法の確立は、今後の研究を待たなければならないものが多い。さらに現状においては被害発生に備えて全ての橋梁に完全な耐震補強を実施することは、社会的，経済的にも極めて困難である。また、地震の状況によっては耐震補強等を加えたとしても地震による被害を完全に防止し得ない場合もあることに留意する必要がある。

したがって、震前対策の基本的な考え方としては、路線の性格や予想される被害の規模、災害の発生確率などを総合的に考慮しつつ耐震補強を推進して地震による被害の軽減に努めることが重要である。

道路橋の震前対策としては、各種の構造物の耐震設計法を整備し、耐震性を考慮して構造物を整備したり、耐震性が相対的に低い既存の橋梁を抽出し、これらに対して必要な耐震補強を加えるといったハード面の対策と同時に、ある橋梁が被害を受けた場合の影響を最小限に止めるためにこれを代替する橋梁もしくは路線を整備したり、地震後の復旧を速やかに実施するための各種対策を検討したりするソフト面の対策がある。

本資料は、既設橋梁を対象に、その震前対策として耐震性判定および耐震補強についてまとめたものである。

2．震前対策の流れ

既設橋梁の耐震性判定と耐震補強の流れは、一般に図－1.2.1のように示される。まず、橋梁の点検調査を実施し、簡易な耐震性判定により補強対策が必要な橋梁の抽出を行う。さらに耐震補強の優先度を設定し詳細な耐震性判定を行い、順次、耐震補強を実施する。
以下に震前対策の流れの項目について留意点を示す。

2.1　既設橋梁の耐震性判定

2.1.1　調査・点検

竣工図書・設計計算書および現地での構造諸元調査などを行い、耐震性判定のためのデータを収集する。

竣工図書・設計計算書から構造データを得ることは重要であり、竣工図書などの調査をスムーズに実施できるように、橋梁の管理図書の整備が必要である。

2.1.2　簡易な耐震性判定

既設の橋梁を対象とする場合には、数多くの箇所の耐震性判定を簡便に行うことが必要とされる。簡易な耐震性判定法としては既往の震害経験による被害の影響要因を統計的に分析した結果に基づいて、簡便に橋梁の耐震性を判定する方法が一般に用いられる。

2.1.3　補強対策の優先度

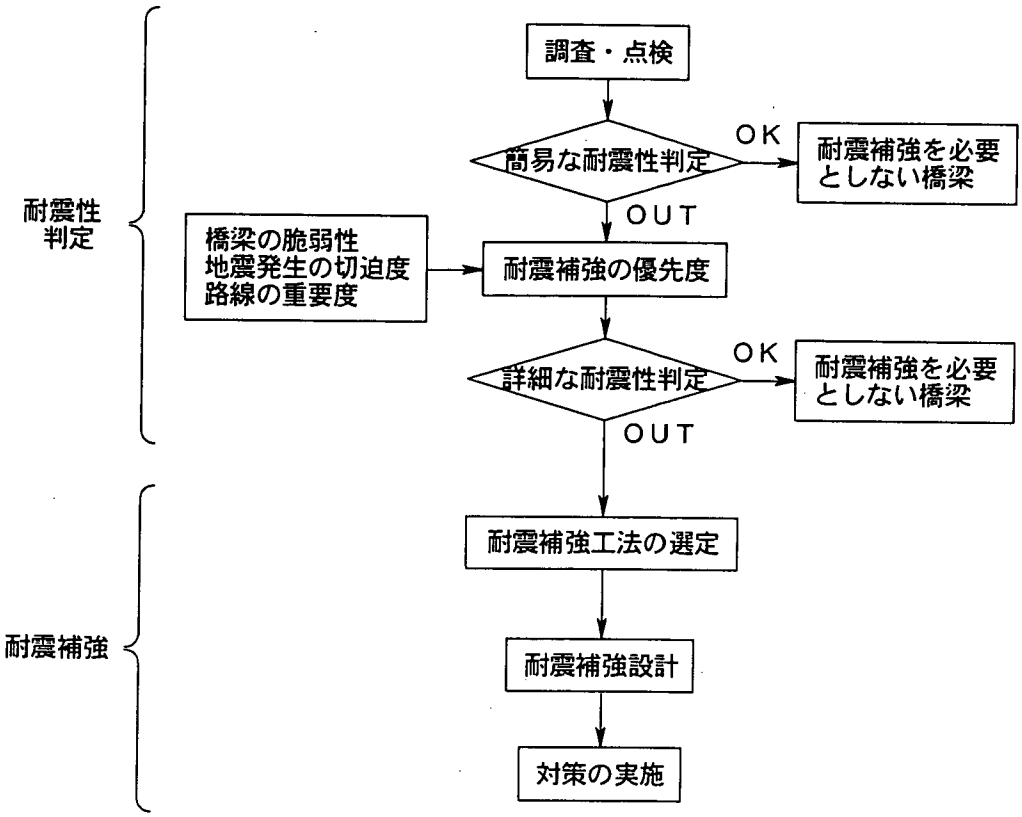
多数の橋梁の耐震補強を行っていく必要がある場合には、簡易な耐震性判定結果に基づいて耐震補強対策を必要とする橋梁を抽出するとともに、それらの橋梁に対して補強対策優先順位を設定し、優先度の高いものから補強対策を行う。優先度の設定に際しては、橋梁の耐震構造上の脆弱性以外にも地震発生の切迫度、路線の重要度などの検討が必要となる。橋梁の重要性に影響する要因としては、以下の項目が考えられる。

①地域の防災計画上の位置付け
②2次災害の可能性
③利用状況と代替性の有無
④機能回復の難易

2.1.4　詳細な耐震性判定

簡易な耐震性判定により耐震補強が必要と判定された橋梁について、耐震補強の必要性の詳細な耐震性判定として、個々の橋梁においてその構造条件や地盤条件の調査を行い、耐震計算を実施して橋梁の耐震性を判定する方法が一般に用いられる。

詳細な耐震性判定を適用する際、耐震計算に必要な構造諸元などが不明な場合には、現地での構造諸元の調査が必要になる。



図－1.2.1　既設橋梁の耐震性判定と耐震補強の流れ

2.2 既設橋梁の耐震補強

耐震性判定により対策が必要と判定された橋梁に対して耐震補強を実施する。既設橋梁の耐震補強としては上部構造、下部構造、基礎構造および落橋防止構造を含めた全体構造系として検討する必要がある。一般的には次のような耐震補強工法がある。

①構造系の変更による耐震性能向上

- 多径間連続化
- 地震時水平反力分散方式
- 免震化

②構造部材(橋脚、基礎、支承など)の耐震性能向上

- 構造部材の耐力の向上
- 構造部材の変形性能の向上

③落橋防止システムの構築

- けたかかり長の確保
- 落橋防止構造の強化
- 変位制限構造の強化
- 段差防止構造の設置

④再構築

補強により必要な橋梁全体系の耐震性能向上が達成できない場合に、必要な部材の撤去および橋梁の架け替えを行う方法がある。

3.耐震性判定法と耐震補強計画

3.1 概要

橋梁の耐震性を判定するためには、その構造特性、地震動、地形、地盤等と被害の程度の関係が基本的にどのようになっているかを把握しておくことが必要であり、同時に適用基準と被害形態の関係を十分把握しておくことが重要である。「3.2 **既往地震の被害の特徴と示方書の変遷**」では、橋梁の被害特性として、我が国に生じた地震のうち主な地震について被害特性を示し、さらに設計基準の変遷及び適用設計基準の違いによる被害形態の変化について示方書と被害形態の関係を示す。

. 橋梁の耐震性判定手法については十分確立されているとはいえないが、2.に示したように一般には簡易な耐震性判定と詳細な耐震性判定の2つの方法に大別される。

簡易な耐震性判定は、判定のために用いる項目(調査項目)の多くは竣功図書、設計計算書あるいは簡単な現地踏査程度により簡便に把握できることを主眼とし、多くの箇所の耐震性判定が実施可能なことをその特徴とする。現在は、兵庫県南部地震の被害に基づいて簡易な耐震性の判定に対して分析がまだ続けられている。これまでに建設省により行われた橋梁耐震点検の調査項目の変遷を整理するとともに既往の簡易な耐震性判定法を整理し、「3.3.1 **簡易な耐震性判定法**」に示す。

簡易な耐震性判定により耐震補強対策が必要となった橋梁に対し、必要に応じて耐震補強の優先度を設定する。耐震補強の優先度の設定に際しては、既設橋梁の耐震性および重要性を考慮して設定する必要がある。「3.3.2 **耐震補強優先度**」では、これらをふまえて設定された耐震補強優先度の設定例を示す。

詳細な耐震性判定は、比較的限られた箇所を対象として、精度の高い判定を行おうとするものである。一般には新設橋梁と同様に耐震設計計算を行うことにより耐震性を判定する。ただし、既設橋梁には構造部材の材料特性や地盤条件等を、十分に詳細な耐震性判定に反映することが重要である。構造諸元の調査方法および詳細な耐震性判定法は「3.3.3 **詳細な耐震性照査**」に示す。

3.2 既往地震の被害の特徴と示方書の変遷

3.2.1 道路橋の被害特性

我が国に生じた地震のうち、大きな被害を与えた明治24(1891)年10月の濃尾地震以後、平成7(1995)年1月の兵庫県南部地震に至る19地震について、永久橋(鋼橋、コンクリート橋)の被害を示すと表－1.3.1のようになる。これによれば、関東地震以後約5,000橋が被害を受け、このうちの70橋(平成7年の兵庫県南部地震では径間数)が落橋したことがわかる。

主な地震による道路橋の被害の特徴を示す。

(1)大正12(1923)年9月　関東大地震

下部構造自体の強度不足、周辺地盤の変状あるいは支持力不足によって引き起こされた大きな横移動、傾斜および転倒を生じ、これが契機となって上部構造が落橋(15橋(火災による9橋を含む))したりじん大な被害を受けた。

(2)昭和39(1964)年6月　新潟地震

被害を受けた橋梁は98橋あり、その内3橋が落橋した。また、周辺地盤の変状、特に飽和砂質地盤の液状化に伴う下部構造の過大な移動、変形による被害形態が多く見られた。特に昭和大橋では、周辺地盤が広範囲に液状化した結果、下部構造に大きな変形が生じ、上下部構造間に有効な落橋防止構造を欠いていたために上部構造の落橋を招いた。

(3)昭和53(1978)年6月　宮城県沖地震

鉄筋コンクリート橋脚、橋台のひび割れと破損が多く見られ、橋脚、橋台で何らかの被害を受けたものは94橋であった。千代大橋等では断面変化点や、主鉄筋段落し部において水平ひび割れや主鉄筋の座屈が見られた。また、支承およびその周辺の上下部構造の損傷が顕著に見られ、支承部被害は113橋に生じた。

(4)昭和57(1982)年　浦河沖地震

被害を受けた橋梁は6橋と少ないが、鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落し部の損傷が特徴的であり、静内橋は落橋寸前の被害を受けた。

(5)昭和58(1983)年　日本海中部地震

秋田県、青森県管理の道路橋において被害を受けたのは105橋で、その内、支承およびその周辺部の損傷(沓の破損、沓座モルタルの破損等)が69箇所、橋台取付部の被害(橋台背面の沈下、ウィング、パラペットの損傷等)が53箇所あり、高い割合を占めている。

(6)平成5(1993)年　釧路沖地震

被害を受けた橋梁は63橋あり、支承およびその周辺部の損傷が多く見られた。また、浦河沖地震においても見られたが、鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落し部の被害(6橋)を受けた。

この中で、平成7(1995)年兵庫県南部地震より前の比較的近年に発生した地震による橋梁の被害をまとめると次のような特徴を有している。

①上部構造の被災形態としては、けたの移動、主部材の局部的損傷、伸縮継手・高欄・地覆などであり、落橋に至るものは少ない。
②支承および支承部の主な被災には、モルタルひびわれ、支承破損がある。
③橋脚および橋台の主な被災には、橋脚、橋台自身の沈下・移動、段落し部を含むく体のひびわれ・損傷などである。
④被災形態は地震毎に同一ではなく、昭和39年の新潟地震では下部構造の剛体的な変位が、昭和53年の宮城県沖地震や昭和57年の浦河沖地震では支承および支承部の損傷とともに橋脚段落し部の損傷が見られた。

一方、平成7(1995)年1月の兵庫県南部地震は内陸直下型の地震であり、地表での最大加速度記録が0.8gを超える強い震動を起こした地震であった。このため、橋梁では上部構造の落下が46径間に及んでいる。これらの落橋の主な要因は次のように考えられている。①鉄筋コンクリート橋脚の段落し部の損傷が引き金となった倒壊による落下、②鋼製橋脚の局部座屈に起因する倒壊による沈下、③斜角桁橋の直角方向の支承破壊に起因する桁の回転変形による橋脚からの落下、④支承、落橋防止装置の破壊による桁の落下、⑤橋脚の過大な変位による桁の落下などである。

被害の特徴を以下に示す。なお、以下に示す被災度の区分を表－1.3.2に示す。

①橋脚・橋台

橋脚では、被災度Asの被害を受けた橋脚は83基で全体の2%、被災度Aの被害を受けた橋脚は167基で全体の5%となり、両者を合わせると250基で全体の7%となった。また、鉄筋コンクリート橋脚および鋼製橋脚ともに、塑性領域で挙動しており、鉄筋コンクリート橋脚の被災はく体の損傷(ひびわれ、鉄筋座屈・破断、せん断破壊)が主であり、鋼製橋脚も座屈などを伴う大被害を受けた。橋台の主な被災には、橋台自身の沈下・移動、く体のひびわれ・損傷などがあった。

②支承

支承も大きな被害を受け、特に金属支承では約半数(48%)が被災度C以上の損傷となっており、そのうちA以上の損傷は21%となっている。ピン、ローラー支承など支承高が高い場合はこの破損で桁が橋脚上に落下して大きな損傷を受けたり、路面に大きな段差が生じ、早期復旧に支障をきたすことがあった。一方、ゴム支承ではその90%が被害がなく、被災度BとCで残りの10%となっている。また、A以上の損傷はない。

③上部構造

上部構造の被災形態としては、けたの移動・沈下・傾斜、主部材の局部的損傷、伸縮継手・高欄・地覆な

どであるが、落橋に至ったものを除けば、支承部や落橋防止装置の取付部等の荷重が集中する箇所の損傷が多い。

④基礎

基礎の被害については、掘削、ボアホールカメラなどによる調査が行われた。調査は直接基礎17基、ケーソン基礎15基、杭基礎303基、地中連続壁基礎5基に対して行われたが、直接基礎では被害が認められなかった。ケーソン基礎では流動化によるものと思われる曲げ亀裂が見られるものが1基あったが、この1基を除くと、損傷なしか、もしくは損傷があってもごく軽微なものであった。杭基礎では流動化によるものと考えられる被災度ｂ(基礎に大きな残留水平変位がみられるものあるいは杭体に曲げ亀裂がみられるもの)のものが阪神高速5号湾岸線で17基見られた以外は被災度ｃ(杭体に小さな曲げ亀裂がみられるもの)以下であった。また地中連続壁基礎では被災度ｄ(軽微な曲げ亀裂)相当の損傷がみられた。

表－1.3.1(1)　既往地震における橋梁の被害

主な地震	年月日	震度等	被害概況	橋梁の被害数	上部構造被害	橋台の被害	橋脚の被害	支承部の被害	地盤の被害	備考
濃尾地震 (M8.0)	明治24(1891)年 10月28日	最大震度Ⅵ (岐阜、愛知) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　7,273人 負傷者　17,175人 全　壊 142,177棟 半　壊　80,324棟 焼　失　不明 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	不明						
三陸沖地震 (M8.5)	明治29(1896)年 6月15日	津波による被害 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　26,360人 負傷者　4,398人 全　壊 半　壊 (倒壊　1,844棟*) 焼　失　不明 流　失　9879棟 浸　水　3,692棟 【新編日本被害地震総覧より】	不明						
関東大地震 (M7.9)	大正12(1923)年 9月1日	最大震度Ⅵ (千葉、東京、神奈川、伊豆) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　99,331人 負傷者 103,733人 全　壊 128,266棟 半　壊 126,233棟 焼　失 447,128棟 流　失　868棟 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	1,785橋 (落橋15橋) ただし、火災によるものを含む 【道路震災対策便覧(震前対策編)より】	・落橋 ・橋台との衝突 ・桁の移動 ・斜材の損傷 【震災予防調査会報告第百号より】	・橋台の傾斜 ・水平ひび割れ ・ﾊﾞﾗﾍﾟｯﾄの損傷 【震災予防調査会報告第百号より】	・倒壊 ・橋脚の傾斜 ・水平ひびわれ 【震災予防調査会報告第百号より】	・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄの切断 【震災予防調査会報告第百号より】	・取付け道路の沈下 【震災予防調査会報告第百号より】	
北丹後地震 (M7.3)	昭和2(1927)年 3月7日	最大震度Ⅵ (京都府) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　2,925人 負傷者　7,806人 全　壊 12,584棟** 半　壊 10,886棟** 焼　失　8,287棟** 流　失　868棟 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	不明	・ｺﾝｸﾘｰﾄ桁の支点上にひび割れ 【道路の改良第9巻第4号より】	・橋台の沈下 【道路の改良第9巻第4号より】				

*全半壊社寺学校納屋等を含む。　**非住家を含む。

表－1.3.1(2)　既往地震における橋梁の被害

主な地震	年月日	震度等	被害概況	橋梁の被害数	上部構造被害	橋台の被害	橋脚の被害	支承部の被害	地盤の被害	備考
北伊豆地震 (M7.3)	昭和 5(1930)年 11 月 26 日	最大震度Ⅵ (北伊豆) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　272 人 負傷者　572 人 全　壊　2,165 棟 半　壊　5,516 棟 焼　失　75 棟 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	工事箇所 県工事 29 箇所 市町工事 49 箇所 【道路の改良第１３巻第３号より】						丹那トンネル内断層
東南海地震 (M7.9)	昭和 19(1944)年 12 月 7 日	最大震度Ⅵ (愛知県) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　1,251 人 負傷者　2,971 人 全　壊　16,455 棟 半　壊　36,590 棟 焼　失　不明 流　失　2,912 棟 浸　水　12,156 棟 【新編日本被害地震総覧より】	不明						
南海地震 (M8.0)	昭和 21(1946)年 12 月 21 日	最大震度Ⅵ (高知県) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　1,330 人 負傷者　3,842 人 全　壊　9,070 棟 半　壊　19,204 棟 焼　失　2,598 棟 流　失　1,451 棟 浸　水　28,879 棟 【新編日本被害地震総覧より】	346 橋 (落橋 1 橋) 【道路震災対策便覧(震前対策編)より】	・落橋 ・支承部ひびわれ ・桁の移動 【建設院第一技術研究所概報第 16 号南海地震調査報告より】	・橋台の沈下 ・ｳｲﾝｸﾞの損傷 ・橋台ひび割れ ・橋台の崩壊 【建設院第一技術研究所概報第 16 号南海地震調査報告より】	・橋脚の沈下、傾斜 ・橋脚折損 ・橋脚ひび割れ 【建設院第一技術研究所概報第 16 号南海地震調査報告より】	・沓座ｺﾝｸﾘｰﾄの損傷 ・沓座ﾓﾙﾀﾙの破損 ・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄ切断 【建設院第一技術研究所概報第 16 号南海地震調査報告より】	・取付け道路の沈下 【建設院第一技術研究所概報第 16 号南海地震調査報告より】	
福井地震 (M7.1)	昭和 23(1948)年 6 月 28 日	最大震度Ⅶ (福井県) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　3,769 人 負傷者　22,203 人 全　壊　36,184 棟 半　壊　11,816 棟 焼　失　3,851 棟 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	243 橋 (落橋 4 橋) 【道路震災対策便覧(震前対策編)より】	・落橋 ・橋台との衝突 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ桁のひび割れ 【建設省土木研究所報告第 78 号昭和 23 年 6 月 28 日北陸震災調査報告より】	・橋台の沈下、傾斜、滑動 ・ﾊﾟﾗﾍﾟｯﾄの破壊 ・取付け部の沈下 ・橋台水平ひび割れ 【建設省土木研究所報告第 78 号昭和 23 年 6 月 28 日北陸震災調査報告より】	・橋脚の沈下、傾斜、転倒 ・橋脚ひび割れ ・門型柱上端部の破壊 【建設省土木研究所報告第 78 号昭和 23 年 6 月 28 日北陸震災調査報告より】	・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄ損傷 ・沓の破損 ・沓座ｺﾝｸﾘｰﾄの損傷 【建設省土木研究所報告第 78 号昭和 23 年 6 月 28 日北陸震災調査報告より】	・取付け道路の沈下 【建設省土木研究所報告第 78 号昭和 23 年 6 月 28 日北陸震災調査報告より】	

表－1.3.1(3)　既往地震における橋梁の被害

主な地震	年月日	震度等	被害概況	橋梁の被害数	上部構造被害	橋台の被害	橋脚の被害	支承部の被害	地盤の被害	備考
新潟地震 (M7.5)	昭和39(1964)年 6月16日	最大震度Ⅵ (山形県) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　26人 負傷者　447人 全　壊　1,960棟 半　壊　6,640棟 焼　失　290棟 流　失　不明 浸　水　15,297棟 【新編日本被害地震総覧より】	98橋 (落橋3橋) 【道路震災対策便覧(震前対策編)より】	・落橋 ・支承部損傷(桁ﾌﾗﾝｼﾞの座屈,ｺﾝｸﾘｰﾄ桁のひび割れ) ・桁の移動 ・橋台との衝突 【土木研究所報告第125号新潟地震調査報告より】	・ﾊﾟﾗﾍﾟｯﾄ,ｳｨﾝｸﾞの損傷 ・橋台のひびわれ ・橋台天端の損傷 ・橋台の沈下、傾斜、移動 ・取付け部の沈下 【土木研究所報告第125号新潟地震調査報告より】	・橋脚の水平ひびわれ ・橋脚天端の損傷 ・橋脚の沈下，傾斜，滑動，転倒(基礎の支持力不足) ・ﾊﾞｲﾙﾍﾞﾝﾄ形式の損傷 【土木研究所報告第125号新潟地震調査報告より】	・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄの抜出し，切断 ・沓座モルタルの破損 ・沓の破損 ・沓座ｺﾝｸﾘｰﾄの被害 【土木研究所報告第125号新潟地震調査報告より】	・砂質地盤の流動化による落橋 ・取付け道路の沈下 【土木研究所報告第125号新潟地震調査報告より】	
十勝沖地震 (M7.9)	昭和43(1968)年 5月16日	最大震度Ⅵ (苫小牧) 最大加速度 235gal(八戸) 【土木研究所報告第141号1968年十勝沖地震災害調査報告より】	死　者　52人 負傷者　330人 全　壊　673棟 半　壊　3,004棟 焼　失　18棟* 流　失　不明 浸　水　529棟 【新編日本被害地震総覧より】	101橋 【道路震災対策便覧(震前対策編)より】	・桁の移動 ・橋台との衝突 ・桁の座屈 【土木研究所報告第141号1968年十勝沖地震災害調査報告より】	・ﾊﾟﾗﾍﾟｯﾄ,ｳｨﾝｸﾞの損傷 ・橋台の移動，沈下、傾斜（杭基礎） ・橋台支承部からせん断ひび割れ ・取付け部の沈下 【土木研究所報告第141号1968年十勝沖地震災害調査報告より】	・ﾊﾞｲﾙﾍﾞﾝﾄ形式の損傷(変形、ひびわれ) ・橋脚の沈下 【土木研究所報告第141号1968年十勝沖地震災害調査報告より】	・上沓の逸脱 ・沓座モルタルの破損 ・沓座ｺﾝｸﾘｰﾄの被害 【土木研究所報告第141号1968年十勝沖地震災害調査報告より】	・取付け道路の沈下 【土木研究所報告第141号1968年十勝沖地震災害調査報告より】	
伊豆大島近海地震 (M7.0)	昭和53(1978)年 1月14日	最大震度Ⅴ (神奈川) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　25人 負傷者　211人 全　壊　96棟 半　壊　616棟 焼　失　不明 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	7橋 【道路震災対策便覧(震前対策編)より】	・桁の移動 【土木研究所報告第158号1978年伊豆大島近海地震災害調査報告より】	・ﾊﾟﾗﾍﾟｯﾄの損傷 ・橋台のひびわれ ・取付け部の沈下 【土木研究所報告第158号1978年伊豆大島近海地震災害調査報告より】	・橋脚の沈下 ・橋脚ひび割れ 【土木研究所報告第158号1978年伊豆大島近海地震災害調査報告より】	・沓座ｺﾝｸﾘｰﾄの損傷 【土木研究所報告第158号1978年伊豆大島近海地震災害調査報告より】		
宮城県沖地震 (M7.4)	昭和53(1978)年 6月12日	最大震度Ⅴ (宮城県) 最大加速度 495gal 【1978年宮城県沖地震調査報告書より】	死　者　28人 負傷者　1,325人 全　壊　1,183棟 半　壊　5,574棟 焼　失　0棟 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	180橋 (落橋1橋) 【宮城県沖地震による道路橋の被害ならびに支承部の耐震性に関する調査報告書(日本道路協会)より】	・落橋（ｹﾞﾙﾊﾞｰ鋼桁吊桁） ・支承部損傷(ﾄﾗｽ部材座屈9橋，主桁ｺﾝｸﾘｰﾄひびわれ10橋) ・対傾構、横構の損傷6橋 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁のひびわれ(鉄筋不足等)1橋 【宮城県沖地震による道路橋の被害ならびに支承部の耐震性に関する調査報告書(日本道路協会)より】	・橋台前面のひびわれ（鉄筋不足） ・ﾊﾟﾗﾍﾟｯﾄ,ｳｨﾝｸﾞの損傷 橋台被害94橋(橋脚を含む) 【宮城県沖地震による道路橋の被害ならびに支承部の耐震性に関する調査報告書(日本道路協会)より】	・橋脚の水平ひびわれ（ﾗｰﾒﾝ橋脚が多い） ・ひびわれは断面急変部で多く発生 ・橋脚天端の損傷 ・橋脚の沈下 橋脚被害94橋(橋台を含む) 【宮城県沖地震による道路橋の被害ならびに支承部の耐震性に関する調査報告書(日本道路協会)より】	・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄの抜出し，切断 ・上沓の逸脱（ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞﾛｯｸの破損） ・沓座ﾓﾙﾀﾙの破損（ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄ1本での被害が多い） ・沓座ｺﾝｸﾘｰﾄの被害（支承縁端距離不足S43年以前の橋梁） ・ﾋﾟﾝ支承の損傷(応力集中) 支承部被害113橋 【宮城県沖地震による道路橋の被害ならびに支承部の耐震性に関する調査報告書(日本道路協会)より】	・砂質地盤の流動化による被害3橋（構造物の変形） 【宮城県沖地震による道路橋の被害ならびに支承部の耐震性に関する調査報告書(日本道路協会)より】	

*半壊を含む。

表－1.3.1(4)　既往地震における橋梁の被害

主な地震	年月日	震度等	被害概況	橋梁の被害数	上部構造被害	橋台の被害	橋脚の被害	支承部の被害	地盤の被害	備考
浦河沖地震 (M7.1)	昭和57(1982)年 3月21日	最大震度VI (浦河) 最大加速度 318gal (札幌 1･C 高架地盤) 【静内橋地震災害調査報告書(建設省道路局, 建設省土木研究所, 北海道開発局)より】	死　者　0人 負傷者　167人 全　壊　9棟 半　壊　16棟 焼　失　0棟 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	6橋 【静内橋地震災害調査報告書(建設省道路局, 建設省土木研究所, 北海道開発局)より】	･桁の移動 【静内橋地震災害調査報告書(建設省道路局, 建設省土木研究所, 北海道開発局)より】	･橋台背面の沈下5橋 ･ウィング亀裂1橋 【静内橋地震災害調査報告書(建設省道路局, 建設省土木研究所, 北海道開発局)より】	･鉄筋段落し部の損傷1橋 ･せん断ひびわれ ･曲げひびわれ 【静内橋地震災害調査報告書(建設省道路局, 建設省土木研究所, 北海道開発局)より】	･沓座亀裂 【静内橋地震災害調査報告書(建設省道路局, 建設省土木研究所, 北海道開発局)より】	･砂質地盤の流動化あり。それによる橋梁の被害はないが, 取付け道路の沈下あり。 【静内橋地震災害調査報告書(建設省道路局, 建設省土木研究所, 北海道開発局)より】	
日本海中部地震 (M7.7)	昭和58(1983)年 5月26日	最大震度V (秋田) 最大加速度 399gal (七峰構地盤) 【1983年日本海中部地震震害調査報告書(土木学会)より】	死　者　104人 負傷者　163人 全　壊　934棟 半　壊　2,115棟 焼　失　1棟 流　失　52棟 浸　水　1,060棟 【新編日本被害地震総覧より】	105橋 (190件) 【1983年日本海中部地震震害調査報告書(土木学会)より】	･床版,舗装,伸縮継手部の損傷28件 ･桁の移動28件 【1983年日本海中部地震震害調査報告書(土木学会)より】	･橋台背面の沈下 ･ウィング亀裂 ･桁の衝突による破損 ･ﾊﾟｲﾙﾍﾞﾝﾄ頭部の破損 【1983年日本海中部地震震害調査報告書(土木学会)より】	･橋脚の沈下 (橋台の被害と合わせて84件) 【1983年日本海中部地震震害調査報告書(土木学会)より】	･ｻｲﾄﾞﾌﾞﾛｯｸ,･沓ｾｯﾄﾎﾞﾙﾄ破損19件 ･沓座,沓座ﾓﾙﾀﾙ破損50件 【1983年日本海中部地震震害調査報告書(土木学会)より】	･砂質地盤の流動化あり。それによる橋梁の被害はないが, 取付け道路の沈下あり。 【1983年日本海中部地震震害調査報告書(土木学会)より】	
千葉県東方沖地震 (M6.7	昭和62(1987)年 12月17日	最大震度V (千葉) 最大加速度 484gal (東京ｶﾞｽ港町) 【土木技術資料 Vol.30 No.1(1998)より】	死　者　2人 負傷者　161人 全　壊　16棟 半　壊　102棟 焼　失　不明 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	64橋 【新編日本被害地震総覧より】		･道路取付け部の沈下 【土木技術資料 Vol.30 No.1(1998)より】			細粒分を多く含む低塑性な砂の液状化 【基礎工 Vol.16 No.5(1988)より】	
釧路沖地震 (M7.8)	平成5(1993)年 1月15日	最大震度VI (釧路) 最大加速度 922gal (釧路気象台) 【1993年釧路沖地震震害調査報告(土木学会)より】	死　者　2人 負傷者　967人 全　壊　53棟 半　壊　255棟 焼　失　不明 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	63橋 【1993年釧路沖地震震害調査報告(土木学会)より】	･桁損傷8橋 ･連結装置損傷1橋 ･伸縮装置損傷5橋 【1993年釧路沖地震震害調査報告(土木学会)より】	･道路取付け部の沈下14橋 ･橋台の河川側への移動, 桁との接触, ひびわれ 【1993年釧路沖地震震害調査報告(土木学会)より】	･鉄筋段落し部の損傷6橋 ･橋脚の沈下 【1993年釧路沖地震震害調査報告(土木学会)より】	･ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄの損傷13橋 ･ｽﾄｯﾊﾟｰの損傷12橋 ･沓座モルタルの破損34橋 ･沓座ｺﾝｸﾘｰﾄの被害 ･支承(ﾋﾟﾝ)の損傷 【1993年釧路沖地震震害調査報告(土木学会)より】	地盤の液状化により, 地盤が移動し, 橋台を押すとともに, 背面は陥没する。 【1993年釧路沖地震震害調査報告(土木学会)より】	

表－1.3.1(5)　既往地震における橋梁の被害

主な地震	年月日	震度等	被害概況	橋梁の被害数	上部構造被害	橋台の被害	橋脚の被害	支承部の被害	地盤の被害	備考
北海道南西沖地震 (M7.8)	平成5(1993)年 7月12日	最大震度V (北海道，青森) 最大加速度 386gal (七峰橋地盤) 【1993 年北海道南西沖地震震害調査報告(土木学会)より】	死　者　202人 負傷者　323人 全　壊　601棟 半　壊　408棟 焼　失　192棟 流　失　不明 浸　水　455棟 【新編日本被害地震総覧より】	24橋 【1993 年北海道南西沖地震震害調査報告(土木学会)より】	・桁損傷 ・連結装置損傷 ・伸縮装置損傷 【1993 年北海道南西沖地震震害調査報告(土木学会)より】	・背面盛土陥没 ・ﾊﾟﾗﾍﾟｯﾄ，ｳｨﾝｸﾞ損傷 ・橋台移動，傾斜 ・桁と橋台の接触 【1993 年北海道南西沖地震震害調査報告(土木学会)より】	・鉄筋段落し部の損傷3橋 ・地盤液状化によるケーソン基礎の傾斜 【1993 年北海道南西沖地震震害調査報告(土木学会)より】	・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄの損傷 ・ｽﾄｯﾊﾟｰの損傷 ・沓座モルタルの破損 ・支承の損傷 【1993 年北海道南西沖地震震害調査報告(土木学会)より】	地盤の液状化により，地盤が移動し，橋台を押すとともに，背面は陥没する 【1993 年北海道南西沖地震震害調査報告(土木学会)より】	
北海道東方沖地震 (M8.1)	平成6(1994)年 10月4日	最大震度VI (釧路) 最大加速度 561gal (白鳥大橋地盤) 【新編日本被害地震総覧より】	死　者　0人 負傷者　436人 全　壊　39棟 半　壊　382棟 焼　失　不明 流　失　不明 浸　水　189棟 【新編日本被害地震総覧より】	27橋 【新編日本被害地震総覧より】	・ﾎﾞｯｸｽ底板の変形 【橋梁と基礎 Vol.29 No.2(1995)より】	・背面盛土陥没 ・橋台移動，傾斜 ・桁と橋台の接触，橋台ひびわれ 【橋梁と基礎 Vol.29 No.2(1995)より】	・橋脚ひびわれ 【橋梁と基礎 Vol.29 No.2(1995)より】	・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄの抜出し，切断 ・ｽﾄｯﾊﾟｰの損傷 ・沓座モルタルの破損 【橋梁と基礎 Vol.29 No.2(1995)より】	地盤の液状化 【基礎工 Vol.23 No.2(1995) より】	
兵庫県南部地震 (M7.2)	平成7(1995)年 1月17日	最大震度VII (神戸) 最大加速度 818gal (神戸海洋気象台地盤) 【阪神・淡路大震災調査報告－地震・地震動(阪神・淡路大震災調査報告編集委員会)より】	死　者　6,308人 負傷者　41,527人 全　壊　100,282棟 半　壊　108,402棟 焼　失　7,119棟 流　失　不明 浸　水　不明 【新編日本被害地震総覧より】	橋脚：1340脚 上部構造：1932径間 (落橋46径間) 【阪神・淡路大震災調査報告－土木構造物の被害－橋梁(阪神・淡路大震災調査報告編集委員会)より】	・落橋 ・移動，傾斜 ・桁損傷（支承部，切り欠き部） ・桁連結装置損傷 【阪神・淡路大震災調査報告－土木構造物の被害－橋梁(阪神・淡路大震災調査報告編集委員会)より】	・背面盛土陥没 ・ﾊﾟﾗﾍﾟｯﾄ，ｳｨﾝｸﾞ損傷 ・橋台移動，傾斜 ・桁と橋台の接触，橋台ひびわれ 【阪神・淡路大震災調査報告－土木構造物の被害－橋梁(阪神・淡路大震災調査報告編集委員会)より】	・ＲＣ橋脚倒壊 ・ＲＣ橋脚損傷（ひびわれ，鉄筋座屈，破断） ・鋼橋脚座屈 ・橋脚の沈下，傾斜 ・杭基礎の曲げひびわれ 【阪神・淡路大震災調査報告－土木構造物の被害－橋梁(阪神・淡路大震災調査報告編集委員会)より】	・ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄ，ｾｯﾄﾎﾞﾙﾄの損傷 ・ｽﾄｯﾊﾟｰの損傷 ・沓座モルタルの破損 ・沓座ｺﾝｸﾘｰﾄの被害 ・支承の損傷 支承部被害数 2295(支承線数) 【阪神・淡路大震災調査報告－土木構造物の被害－橋梁(阪神・淡路大震災調査報告編集委員会)より】	地盤の液状化により，地盤が移動し，橋台を押すとともに，背面は陥没する 【阪神・淡路大震災調査報告－土木構造物の被害－橋梁(阪神・淡路大震災調査報告編集委員会)より】	

参考文献：宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，1996.8
道路の改良，第9巻第4号，昭和2年4月
建設院第一技術研究所，鉄道技術研究所港湾研究室：建設院第一技術研究所報第16号，南海地震調査報告，昭和23年6月
建設省土木研究所：土木研究所報告第125号，新潟地震調査報告，昭和40年1月
建設省土木研究所：土木研究所報告第158号，1978年伊豆大島近海地震災害調査報告，昭和57年3月
日本道路協会：宮城県沖地震による道路橋の被害ならびに支承部の耐震性に関する調査報告書，昭和55年3月
土木学会：1983年日本海中部地震震災調査報告書，昭和61年10月
基礎工 Vol.16 No.5(1988)
土木学会：1993年北海道南西沖地震震害調査報告 1997.2
阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告－地震・地震動，1998.3
震災予防調査会：震災予防調査会報告第百号関東大地震調査報文建築物以外の工作物篇，1926
道路の改良，第13巻第3号，昭和6年3月
建設省土木研究所：土木研究所報告第78号，昭和23年6月28日北陸震災調査報告，昭和24年3月
建設省土木研究所：土木研究所報告第141号，1968年十勝沖地震災害調査報告，昭和46年6月
土木学会東北支部：1978年宮城県沖地震調査報告書，昭和55年4月
建設省道路局，建設省土木研究所，北海道開発局：静内橋地震災害調査報告書（1982年浦河沖地震），昭和57年12月
土木技術資料 Vol.30 No.1(1998)
土木学会：1993年釧路沖地震震害調査報告，1994.12
橋梁と基礎 Vol.29 No.2(1995)
阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告－土木構造物の被害－橋梁，1996.12

表－1.3.2　被災度の区分[1), 17)]

(a)　橋　　脚

被災度	定　　義
As	倒壊したもの 損傷変形が著しく大きなもの
A	亀裂、座屈、鉄筋の破断等の損傷、または変形が大きなもの
B	鋼材の座屈や部材の変形が部分的にみられるもの 鉄筋の一部の破断やはらみだし及び部分的な被りコンクリートの剥離や亀裂がみられるもの
C	鋼材の座屈や変形が局部的かつ軽微なもの ひび割れの発生や局部的な被りコンクリートの剥離が見られるもの
D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの

(b)　上部構造

被災度	定　　義
As	落橋したもの
A	鋼桁において下フランジが破断したもの、またはウェブに相当規模の局部座屈が生じたもの コンクリート桁において大きな剥離、脱落があるもの トラス等の一次部材が破断したもの
B	鋼桁において下フランジが変形したもの、またはウェブに局部座屈が生じたもの コンクリート桁において剥離や大きなひび割れが生じたもの 鈑桁の一次部材が変形もしくは座屈したもの トラス等の一次部材が座屈もしくは変形したもの
C	鋼桁において局部的・小程度の変形・座屈が生じたもの コンクリート桁にひび割れが生じたもの 鈑桁・トラスの二次部材が変形もしくは座屈したもの
D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの

(c)　支　　承

被災度	定　　義
A	セットボルト、アンカーボルトの破断やソールプレート、ボス部の被害があるもの 沓座コンクリートが破壊したもの
B	ピンの切断、上沓ストッパの破断があるもの ローラ、アンカーボルトの抜出しがあるもの 移動制限装置が破損したもの 沓座モルタルが破壊したもの
C	上沓、下沓が変形したもの セットボルトが緩んだもの 移動制限装置に変形もしくは亀裂が生じたもの 沓座コンクリート・沓座モルタルに亀裂が生じたもの 僅かな層間剥離、層間ずれ、変形を生じたもの
D	損傷がないか、あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの

(d)　杭基礎

被災度	定　　義
a	基礎の沈下と同時に大きな残留水平変位が見られるもの
b	基礎に大きな残留水平変位が見られるもの 杭体に曲げ亀裂が見られるもの
c	杭体に小さな曲げ亀裂が見られるもの
d	杭体に損傷がないか、曲げ亀裂があっても軽微なもの

3.2.2 示方書の変遷および適用示方書の違いによる被害形態の変化

橋梁の被害形態と適用示方書には強い相関がある。これは、過去の被害経験を通して徐々に耐震設計法が整備・拡充されてきており、これに応じて被害形態も変化してきているためと考えられる。このため、既存橋梁は現在までにどのような基準により設計されているかを知っておく必要がある。

(1)道路橋の耐震技術基準

わが国の道路橋に対する技術基準としては、明治19年内務省訓令による「国県道の築造標準」が最初であるが、道路橋の設計において地震の影響を具体的に考慮するようになったのは、大正12年の関東地震による被害を契機として翌大正13年に内務省土木局が「橋台・橋脚等の耐震化の方法」として地震力に相当する水平力を設計の際に考慮するように通達した時に始まる。この後現在に至るまでの耐震基準の変遷は、**表－1.3.3～表－1.3.7**に示す通りである。

(2)昭和39年までの技術基準の耐震規定

まず大正15年の「道路構造に関する細則案第2章橋梁第26条」において初めて設計荷重として地震力の規定が盛り込まれた。ここでは、地震荷重は橋梁の所在地方における最強地震力により橋梁の各部に最大応力を生ずるものを用いることと規定されているが、具体的な数値および計算方法については示されなかった。この細則案に代わって昭和14年に出された「鋼道路橋設計示方書案」においては、設計震度の標準値として水平加速度を0.2g、鉛直加速度を0.1gとし、架橋地点の状況を考慮してこれを増減することと規定された。ただし、増減の基準が具体的に規定されていなかったため、設計震度としては、一般に水平加速度0.2g、鉛直加速度0.1gがそのまま用いられるのが実情であった。

その後に改訂された「鋼道路橋設計示方書」(昭和31年、昭和39年)においては、水平震度は地域と地盤の種類によって0.10～0.35の値をとることとし、鉛直震度は0.1を標準とすることと規定されている。
なお、地震力を考慮する場合の許容応力度の割増しは、大正15年細則案では60%、昭和14年示方書案では鋼材80%、鉄筋コンクリート構造の鉄筋およびコンクリートは60%、昭和31年示方書では鋼材80%、コンクリート及び鉄筋コンクリート50%、昭和39年示方書では鋼材70%、コンクリートおよび鉄筋コンクリート30%と規定されている。

(3)昭和46年の技術基準の耐震規定

このような一連の耐震規定の整備によって、道路橋の被害形態は質的に変化してきている。すなわち、**表－1.3.8**に示すように設計地震力を考慮していなかった時期に建設された道路橋では、関東地震、福井地震の被災例に見られるように、下部構造自体の強度不足、周辺地盤の変状あるいは支持力不足によって引き起こされた大きな横移動、傾斜、転倒を生じ、これが契機となって上部構造が落橋したりじん大な被害を受けたものが多いが、今日では、これらの被害形態は減少した。

これに対して、周辺地盤の変状、特に飽和砂質地盤の液状化に伴う下部構造の過大な移動、変形による被害形態は現在でもよくみられる。これが、顕著な形で最初に認識されたのは、昭和39年新潟地震による昭和大橋の落橋であった。

昭和大橋では、周辺地盤が広範囲に液状化した結果、下部構造に大きな変形が生じ、上下部構造間に有効な落橋防止構造を欠いていたために上部構造の落橋を招いた。このような経験から、昭和46年に「道路橋耐震設計指針」が規定され、地域、地盤条件、および橋梁の重要度に応じて設計震度を統一的に定めるとともに、高橋脚等比較的振動しやすい橋については修正震度法を適用することとされた。さらに、設計震度の規定のほかに、地震時の地盤の変状なども考慮して地震の影響を総合的に評価するとともに、上下部構造間の相対変位による落橋を防止するための構造細目などによって構造系全体としての安全性を確保しようという考えも導入された。

(4)昭和55年道路橋示方書の耐震規定

一方、宮城県沖地震では、鉄筋コンクリート橋脚の破損と同時に支承およびその周辺の上下部構造の損傷が顕著にみられるようになってきた。これは、下部構造の耐震設計法が進んできた結果、関東地震、福井地震等にみられた下部構造全体の移動、傾斜、転倒等による被害は生じなくなったが、そのかわりに橋脚、支承周辺部のうちねばりの少ない弱点部に被害が集中するようになったためと考えられる。

このような点に対処するため、昭和55年の「道路橋示方書Ⅴ耐震設計編」において変形性能の照査が加えられており、また、「道路橋示方書Ⅳ下部構造編」においては、従来のコンクリートの許容せん断応力度を引き下げるとともに、主鉄筋の段落し位置を従来よりも部材の有効高さに等しい長さだけ高くする等の規定が盛り込まれている。さらに、鉄筋コンクリート橋脚のぜい性的な破壊を避けるために、主鉄筋の降伏後も破壊することなく変形し得るような適度のじん性を持たせるように、鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形性能照査法が示された。また液状化発生の判定方法がより具体的に示され、さらに基礎構造物の耐震設計に際して液状化の影響を見込む考え方も示されている。

(5)平成2年道路橋示方書の耐震規定

その後、平成2年に「道路橋示方書Ⅴ耐震設計編」に改訂され、ここでは従来の震度法と修正震度法を統合し、橋梁の振動特性(固有周期)による震度の増幅を考慮した震度法に統一された。設計震度を設定する上で重要な固有周期の算定方法については、上部構造と下部構造の取り扱い方、基礎地盤の影響などについて詳細に示された。耐震設計上の地盤種別については4区分から3区分にするとともに、設計水平震度の地盤別補正係数が改められた。慣性力の算定方法については設計振動単位ごとに行うようにし、連続桁の慣性力分担の算定方法が示された。さらに従来の鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形性能照査方法を、地震時保有水平耐力法として具体的に設計計算に使えるように規定された。この照査に用いる震度は大正12年の関東地震により、標準値を1.0としており、変形性能が不足しがちな15m以下の橋脚が主な照査対象となった。また液状化に対する判定法では、細粒分の影響を考慮する項目が盛り込まれた。この他、従来明確な規定のなかった動的解析に用いる地震入力が規定されるとともに、動的解析モデル、動的解析による安全性の照査に関する規定が新たに設けられた。

平成5年の釧路沖地震、平成5年の北海道南西沖地震および平成6年の北海道東方沖地震などの地震では、適用示方書の古い既設橋梁を中心に桁端部の損傷、支承の損傷、橋脚段落し部の損傷、地盤の液状化、橋台の移動傾斜などの従来と同様の被害が起こった。

平成7年の兵庫県南部地震では設計で想定していた以上の地震動が観測されており、そのため被害もじん大なものになった。この地震により被災した鋼製橋脚と鉄筋コンクリート橋脚の適用示方書別の数を見てみると、調査対象橋脚は全部で3396橋脚あり、昭和46年道路橋耐震設計指針以前の基準が適用された橋脚においては、被災度がＢ以上と判定されたものは、3046橋脚中431橋脚で14%である。一方、昭和55年道路橋示方書以降の基準が適用された橋脚においては、被災度がＢと判定されたものが350橋脚中14橋脚で4%になっており、被災度がＡランク以上のものはない[1]。このように、適用した示方書が古いものほど被害は大きい。

(6)現行道路橋示方書(平成8年)の耐震規定

兵庫県南部地震の被害を踏まえ、平成8年には「道路橋示方書Ⅴ耐震設計編」が改訂された。主な改訂点は次の通りである。

地震動は、平成7年の兵庫県南部地震による地震動を考慮することとし、大規模地震動での標準震度が最大2.0に引き上げられた。同時に、これまで主に15m以下の鉄筋コンクリート単柱橋脚の設計に限定されていた大規模地震動に対する設計(地震時保有水平耐力法)が、橋脚の他、基礎、支承部、落橋防止システムなどの構造部材等に適用するように改訂された。このような大規模地震動に対して抵抗するためには変形性能が重要であり、橋脚には高いじん性が必要とされた。

鉄筋コンクリート橋脚では、帯鉄筋による拘束効果を見込んだコンクリートの応力度～ひずみ関係が導入された。また、寸法効果を考慮したせん断耐力の評価法、じん性を向上させるために帯鉄筋の径、間隔、配置方法、定着方法などについての配筋細目、および鉄筋コンクリートラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法による設計方法が新たに規定された。コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力および変形性能の算定方法、コンクリートを充填しない鋼製橋脚の耐震設計上の取扱い方が新たに規定された。さらに各種形式の基礎に対する非線形域の効果を含めた耐力、変形性能の照査方法を定め、地震時保有水平耐力法に基づく基礎の耐震設計方法が新たに規定された。その他、構造部材の非線形性を考慮した動的解析の必要性が示され、動的解析に用いる入力地震動が規定されるとともに、解析モデルおよび解析法、安全性の照査に関する規定が改められた。

液状化については、液状化判定対象土層、液状化の判定に用いる地震力、液状化強度、耐震設計上の取扱い方法を見直し、これらを液状化が生じる場合の耐震設計法として新たに規定し、橋梁に影響を与える流動化に対する耐震設計上の取り扱い方法に関する規定が新たに設けられた。また、従来具体的な規定がなかった免震設計法について、地震力の分散と高減衰化に重点を置いた免震設計法として新たに規定された。同じく、従来明確な設計方法の規定がなかった支承部について、設計地震力と各種の支承形式の設計法、および支承に取付く構造の設計方法が新たに規定された。さらに、落橋を確実に防止するために、従来の落橋防止構造の機能を明確にし、新たに落橋防止システムとして位置づけを明確にするとともに設計荷重および設計方法が規定された。

表－1.3.3(1)　道路橋耐震設計基準類の変遷

法令、示方書の名称	制定年月日 （主な地震）	耐震設計法	設計地震力	固有周期算出方法	安全性の照査方法	地盤支持力 液状化	支承部構造	落橋防止システム	備考
国県道の新設又は変損の場合の築造保存方法等標準に関するもの（内務省訓令第13号1886年）	明治19（1886）年8月5日 （明治24（1891）年10月28日 濃尾地震（M8）） （明治29（1896）年6月15日 三陸沖地震（M8.5））	規定なし							
道路構造令（内務省令第24号）	大正8（1919）年12月6日 （大正12（1923）年9月1日 関東大地震（M7.9））	規定なし							
道路構造に関する細則（案）（土木主任官会議諮問）	大正15（1926）年6月 （昭和2（1927）年3月7日 北丹後地震（M7.3）） （昭和5（1930）年11月26日 北伊豆地震（M7.3））		橋梁の所在地における最強地震力		橋梁各部の応力照査				
鋼道路橋設計示方書案（内務省土木局）	昭和14（1939）年2月 （昭和19（1944）年12月7日 東南海地震（M7.9）） （昭和21（1946）年12月21日 南海地震（M8.0））	（震度法）	標準設計震度 水平0.2 鉛直0.1 （地域に応じて増減している。最大0.4まで。）		許容応力度照査		アンカーボルトの本数 鈑桁は2本が良い		

表－1.3.3(2)　道路橋耐震設計基準類の変遷

法令、示方書の名称	制定年月日 （主な地震）	耐震設計法	設計地震力	固有周期算出方法	安全性の照査方法	地盤支持力 液状化	支承部構造	落橋防止システム	備考
	（昭和 23（1948）年 6 月 28 日 福井地震（M7.1））								
	（昭和 27（1952）年 3 月 4 日 十勝沖地震（M8.2））								
鋼道路橋設計示方書（建設省）	昭和 31（1956）年 5 月	（震度法）	水平震度 0.2～0.35 （地盤と地域をそれぞれ 3 種類に分類し、各震度を設定。） 鉛直震度 0.1		許容応力度照査		支承縁端距離を十分とること。 アンカーボルトの本数は大支間の橋で 4 本以下、小支間の橋で 2 本以下		
	（昭和 35（1960）年 5 月 23 日 南米チリ地震（M8.5））								
鋼道路橋設計示方書（建設省）	昭和 39（1964）年	（震度法）	同　上		同上（許容応力度割増し率変更）		同　上		
鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ道路橋設計示方書（建設省）	昭和 39（1964）年	（震度法）	同　上				地震力の伝達方法は次による。 ・下沓は沓底面突起の支圧抵抗で伝達する。 ・上沓はｱﾝｶｰ伝達する。		
	（昭和 39（1964）年 6 月 16 日 新潟地震（M7.5））								
	（昭和 43（1968）年 5 月 16 日 十勝沖地震（M7.3））								
道路橋耐震設計指針（日本道路協会）	昭和 46（1971）年 1 月	震度法	設計水平震度 $k_h=\nu_1\cdot\nu_2\cdot\nu_3\cdot k_0$ （0.1～0.3） k_0 ：0.2 ν_1：地域別補正係数 ν_2：地盤別補正係数 ν_3：重要度別補正係数 鉛直震度は一般に考慮しない。		許容応力度照査	次の土層は支持力を無視する。 ・流動化する砂質土層（N 値、均等係数、粒径加積曲線 D_{20} で判定） ・軟弱な土層	地震力の伝達方法は次による。 ・下沓は沓底面突起の支圧抵抗あるいはアンカーボルトで伝達する。 ・上沓はアンカーで伝達する。 鉛直震度 0.1 を考慮する。 アンカーボルトの本数は大支間の橋で 6 本以下、小支間の橋で 2 本以下	次のような落橋防止構造を設ける。 ・可動支承部では移動制限装置を設ける（設計震度 1.5 倍）。 ・けた端部では下部構造頂部縁端と支承縁端の距離 S は次式による。 支間 100 以下 S=20+0.5L 支間 100 以上 S=30+0.4L ・同一下部工での 2 連のけたは連結する。	
	（昭和 49（1974）年 5 月 9 日 伊豆半島沖地震（M6.9））								
	（昭和 50（1975）年 4 月 21 日 大分県中部地震（M6.4））	（修正震度法 地盤面上 25m を超える橋）	設計水平震度 $k_{hm}=\beta\cdot k_h$ （0.05～0.38） β：固有周期による補正係数(0.5～1.25) 鉛直震度は一般に考慮しない。	直接基礎、くい基礎 ・基礎固定での簡易式による。 ケーソン基礎 ・基礎の剛性考慮した簡易式による。	許容応力度照査				
	（昭和 53（1978）年 6 月 12 日 宮城県沖地震（M7.4））								

表－1.3.3(3)　道路橋耐震設計基準類の変遷

法令、示方書の名称	制定年月日 （主な地震）	耐震設計法	設計地震力	固有周期算出方法 （解析モデル）	安全性の照査方法	地盤支持力 液状化	支承部構造	落橋防止システム	備考
道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 （日本道路協会）	昭和 55（1980）年 5 月	震度法	設計水平震度 $k_h=\nu_1\cdot\nu_2\cdot\nu_3\cdot k_{h0}$ （0.1～0.26） ν_1：T_Gでの地盤補正係数 ν_3：重要度別補正係数の上限 1.25 を 1.1 に変更 鉛直震度は一般に考慮しない。		許容応力度照査	次の土層は支持力を低減する。 ・流動化する砂質土層では土質定数（E,k）を低減する。 （F_Lによる判定 設計震度 0.15） ・軟弱な土層では支持力を無視する。	・地震力は原則としてアンカーボルトで伝達する。 ・アンカーボルトの施工は無収縮モルタル使用を原則とする。 ・鋼製支承の材質を鋳鉄から鋳鋼に変える。 ・鉛直震度 0.1 を考慮する。	次のような落橋防止構造を設ける。 ・可動支承部では移動制限装置を設ける。（設計震度 1.5 倍） ・けた端部から下部構造頂部縁端までの距離 SE は次式による。 支間 100 以下 $S_E=70+0.5L$ 支間 100 以上 $S_E=80+0.4L$ ・落橋防止装置を設ける（けた連結、突起など 設計震度 2 倍）	
		修正震度法 （耐震地盤面から下部構造天端まで 15m を超える橋	設計水平震度 $k_{hm}=\beta\cdot k_h$ （0.05～0.33） 鉛直震度は一般に考慮しない。	基礎の剛性を考慮した簡易式による。（基礎バネは下部構造編による）					
	（昭和 57（1982）年 3 月 21 日 浦河沖地震（M7.1）	動的解析 （大規模かつ地震時の挙動が複雑な橋梁	応答スペクトル法 過去の強震記録波形の平均応答スペクトル 時刻歴応答法 過去の強震記録波形から 3 種類（遠距離大規模地震、近距離小規模地震、両者の中間地震）程度想定する。	線形モデル（基礎バネは下部構造編による）					
	（昭和 58（1983）年 5 月 26 日 日本海中部地震 （M7.1）								
	（昭和 62（1987）年 12 月 17 日 千葉県東方沖地震 （M6.7）	地震時変形性能照査 （高さが低く、固有周期が比較的短いＲＣ橋脚）	設計水平震度 $k_{hd}=\nu_1\cdot\nu_2\cdot\nu_3\cdot\nu_4\cdot k_{h0}$ k_{h0}：0.2 ν_4：構造特性別補正係数 （1.3 以上）	照査例 静的非線形解析 （Mφモデル）	照査例 許容じん性率から決まる許容震度と設計震度で判定				
道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 （日本道路協会）	平成 2（1990）年 2 月	震度法 （従来の震度法と修正震度法を統一	設計水平震度 $k_h=c_z\cdot c_G\cdot c_I\cdot c_T\cdot k_{h0}$ （0.1～0.33） k_{h0}：0.2 c_z：地域別補正係数 c_G：地盤別補正係数 c_I：重要度別補正係数 c_T：固有周期別補正係数 鉛直震度は一般に考慮しない。 地震時には温度変化の影響を考慮しなくて良い	基礎の剛性を考慮した簡易式による。（基礎バネは地盤 V_sから算出する）	許容応力度	次の土層は支持力を低減する。 ・流動化する砂質土層では土質定数（E,k）を低減する。 （F_Lによる判定で細粒分の影響を考慮） ・軟弱な土層では支持力を無視する。	固定支承部は上部工慣性力に対して安全なものとする。 鉛直震度 0.1 を考慮する。	同上 ただし、落橋防止装置は上記水平力の他に、1 R_d の鉛直力の場合も考慮する。	
	（平成 5（1993）年 1 月 15 日 釧路沖地震（M7.8）								
	（平成 5（1993）年 7 月 12 日 北海道南西沖地震 （M7.8）								

表－1.3.3(4)　道路橋耐震設計基準類の変遷

法令、示方書の名称	制定年月日 （主な地震）	耐震設計法	設計地震力	固有周期算出方法 （解析モデル）	安全性の照査方法	地盤支持力 液状化	支承部構造	落橋防止システム	備考
	平成6（1994）年 12月28日 北海道東方沖地震 （M7.5）	地震時保有水平耐力照査	設計水平震度 $k_{hc}=c_z \cdot c_I \cdot c_R \cdot k_{hc0}$ （0.3～1.0） k_{hc0}：1.0 c_R：振動特性別補正係数	1質点系モデル（橋脚曲げ剛性は降伏時剛性）	保有水平耐力≧等価重量×等価震度				
	平成7（1995）年 1月17日 兵庫県南部地震 （M7.2）	動的解析 地震時の挙動が複雑な橋梁	加速度応答スペクトル $S=c_z \cdot c_I \cdot c_D \cdot S_0$ S_0：～300gal c_D：減衰定数別補正係数	原則として線形応答スペクトル法による。	許容応力度照査				
道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 （日本道路協会）	平成8（1996）年 12月	震度法 供用期間中に発生する確立が高い地震動に対する設計	設計水平震度 $k_h=c_z \cdot k_{h0}$ （0.1～0.3） k_{h0}：地盤と固有周期による基準震度 c_z：地域別補正係数	基礎の剛性を考慮した簡易式による。（基礎バネは地盤 Vs から算出する。ただし、液状化の影響は考慮しない。）	健全性を損なわない。（許容応力度以下）	次の土層は支持力を低減する。 ・流動化する砂質土層では土質定数（E,k）を低減する。（F_Lによる判定で礫質の影響を考慮） ・軟弱な土層では支持力を無視する。 流動化がある場合には流動力を考慮した設計を行う。	支承の分類 ﾀｲﾌﾟA ・落橋防止システムと共同で慣性力に抵抗する構造） ・支承部の設計震度は震度法と同一 ・上下方向の地震力考慮（鉛直震度=水平震度×0.5） ﾀｲﾌﾟB ・支承部単独で慣性力に抵抗する構造 ・支承部の設計震度は地震時保有水平耐力法での等価震度と同一 ・上下方向の地震力考慮（鉛直震度=水平震度×0.5～0.67）	落橋防止システム ﾀｲﾌﾟA支承の場合 ・けたかかり長の確保 $S_E=ur+ug$ ・橋軸方向 落橋防止構造（設計荷重 $1.5R_d$）と変位制限構造(設計荷重 $3\ k_h\ R_d$) ・橋軸直角方向 変位制限構造(設計荷重 $3\ k_h\ R_d$) ﾀｲﾌﾟB支承の場合 ・けたかかり長の確保 $S_E=ur+ug$ ・橋軸方向 落橋防止構造（設計荷重 $1.5R_d$ ・橋軸直角方向 （変位制限構造）	
		動的解析法 供用期間中に発生する確立が高い地震動に対する設計で地震時の挙動が複雑な場合	次の加速度応答スペクトルに近似した加速度波形 $S=c_z \cdot c_D \cdot S_0$ S_0：～300gal	弾性域での解析					
		地震時保有水平耐力法 供用期間中に発生する確立は低いが大きい地震動に対する設計	設計水平震度 $k_{hc}=c_z \cdot k_{hc0}$ （ﾀｲﾌﾟⅠ 0.3～1.0） （ﾀｲﾌﾟⅡ 0.6～2.0）	1質点系モデル（橋脚曲げ剛性は降伏時剛性）	標準的な橋梁では致命的な被害を防止する。 特に重要度が標準以上の橋梁では限定された損傷にとどめる。				
		動的解析法 供用期間中に発生する確立は低いが大きな地震動に対する設計で地震時の挙動が複雑な場合	次の加速度応答スペクトルに近似した加速度波形 ﾀｲﾌﾟⅠ $S_I=c_z \cdot c_D \cdot S_{I0}$ S_{I0}：～1000gal ﾀｲﾌﾟⅡ $S_{II}=c_z \cdot c_D \cdot S_{II0}$ S_{II0}：～2000gal	解析法の種類 ・非線形動的解析 ・等価線形動的解析 ・線形解析と地震時保有水平耐力法との組み合わせ					
		免震設計 震度法と地震時保有水平耐力法で設計し、動的解析で照査	震度法は通常と同じ 保耐法は免震装置の減衰性能考慮する	同上	同上	土質定数を零にする土層がある場合は免震設計を採用できない。	免震支承（タイプB支承）	同上	

表－1.3.4(1)　設計地震力の変遷

標準示方書等 ＼ 主な項目		道路構造に関する細則(案) 大正１５年６月	鋼道路橋設計示方書案 内務省土木局 昭和１４年２月	鋼道路橋示方書 社団法人　日本道路協会 昭和３１年５月	道路橋耐震設計指針 社団法人　日本道路協会 昭和４６年１月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 昭和５５年５月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成２年２月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成８年１２月
設計地震力	震度法	橋梁の所在地における最強地震力	標準設計震度 水平0.2 鉛直0.1	水平震度（0.2～0.35） 軟弱地盤：しばしば大地震が起った地域 0.35～0.30 軟弱地盤：大地震が起ったことのある地域 0.30～0.20 軟弱地盤：その他の地域 0.20 やや良好な地盤：しばしば大地震が起った地域 0.30～0.20 やや良好な地盤：大地震が起ったことのある地域 0.20～0.15 やや良好な地盤：その他の地域 0.15 良好な地盤：しばしば大地震が起った地域 0.20～0.15 良好な地盤：大地震が起ったことのある地域 0.15～0.10 良好な地盤：その他の地域 0.10 鉛直震度0.1	設計水平震度（0.1～0.3） $k_h=\nu_1\cdot\nu_2\cdot\nu_3\cdot k_0$ k_0：0.2 ν_1：地域別補正係数(0.7～1.0) ν_2：地盤別補正係数 1種：0.9　2種：1.0 3種：1.1　4種：1.2 ν_3：重要度別補正係数 1級：1.0　2級：0.8 特別な場合：1.25まで 鉛直震度は一般に考慮しない	設計水平震度（0.1～0.26） $k_h=\nu_1\cdot\nu_2\cdot\nu_3\cdot k_0$ k_0：0.2 ν_1：地域別補正係数(0.7～1.0) ν_2：T_cでの地盤別補正係数 1種：0.9　2種：1.0 3種：1.1　4種：1.2 ν_3：重要度別補正係数 1級：1.0　2級：0.8 特に重要：1.1まで 鉛直震度は一般に考慮しない	設計水平震度（0.1～0.33） $k_h=c_z\cdot c_G\cdot c_I\cdot c_T\cdot k_{h0}$ k_{h0}：0.2 c_z：地域別補正係数(0.7～1.0) c_G：地盤別補正係数 Ⅰ種：0.8　Ⅱ種：1.0 Ⅲ種：1.2 c_I：重要度別補正係数 1級：1.0　2級：0.8 特に重要：1.1まで c_T：固有周期別補正係数 (～1.25) 鉛直震度は一般に考慮しない 地震時には温度変化の影響を考慮しなくて良い	・供用期間中に発生する確率が高い地震動に対する設計 設計水平震度（0.1～0.3） $k_h=c_z\cdot k_{h0}$ k_{h0}：地盤と固有周期による基準震度（～0.3） c_z：地域別補正係数(0.7～1.0)
	修正震度法	－	－	－	耐震地盤面から下部構造天端まで25mを超える橋 設計水平震度（0.05～0.38） $k_{hm}=\beta\cdot k_h$ β：固有周期による補正係数 (0.5～1.25) 鉛直震度は一般に考慮しない	耐震地盤面から下部構造天端まで15mを超える橋 設計水平震度（0.05～0.33） $k_{hm}=\beta\cdot k_h$ β：固有周期による補正係数 (0.5～1.25) 鉛直震度は一般に考慮しない	・震度法と統一	・震度法と統一
	動的解析	－	－	－	－	次の場合について、安全性の照査に用いる。 ・動的特性が震度法もしくは修正震度法で想定した状態とは著しく違う場合 ・新しい形式の橋 ・架橋地点が軟弱地盤の場合 ・橋の終局状態の照査 1)応答スペクトル法 過去の強震記録から算出した応答スペクトルもしくは複数の応答スペクトルを平均して算出した平均応答スペクトルを用いる 2)時刻歴応答解析法 過去の強震記録波形から３種類（遠距離大規模地震、近距離小規模地震、両者の中間地震）程度想定する	地震時の挙動が複雑な橋梁の安全性の照査に用いる。 ・地震時の挙動が震度法で想定した状態とは著しく違う場合 ・新しい形式の橋 ・架橋地点が軟弱地盤の場合 1)応答スペクトル法 加速度応答スペクトル $S=c_z\cdot c_I\cdot c_0\cdot S_0$ S_0：標準加速度応答スペクトル（～300gal） c_z：地域別補正係数(0.7～1.0) c_I：重要度別補正係数 1級：1.0　2級：0.8 特に重要：1.1まで c_0：減衰定数別補正係数 $c_0=1.5/(40h_i+1)+0.5$ h_i：モード減衰定数 2)時刻歴応答解析法 地震動は応答スペクトル法に用いる加速度応答スペクトルに近い特性を有する強震記録を選定する	1)応答スペクトル法 ・供用期間中に発生する確率が高い地震動に対する設計で地震時の挙動が複雑な場合 次の加速度応答スペクトルに近似した加速度波形 $S=c_z\cdot c_0\cdot S_0$ S_0：標準加速度応答スペクトル（～300gal） c_z：地域別補正係数(0.7～1.0) c_0：減衰定数別補正係数 $c_0=1.5/(40h_i+1)+0.5$ h_i：モード減衰定数 ・供用期間中に発生する確立は低いが大きな地震動に対する設計で地震時の挙動が複雑な場合 次の加速度応答スペクトルに近似した加速度波形 ﾀｲﾌﾟⅠ $S_I=c_z\cdot c_0\cdot S_{I0}$ ﾀｲﾌﾟⅡ $S_{II}=c_z\cdot c_0\cdot S_{II0}$ S_{I0}：ﾀｲﾌﾟⅠの 標準加速度応答ｽﾍﾟｸﾄﾙ（～1000gal） S_{II0}：ﾀｲﾌﾟⅡの 標準加速度応答ｽﾍﾟｸﾄﾙ（～2000gal） c_z：地域別補正係数(0.7～1.0) c_0：減衰定数別補正係数 $c_0=1.5/(40h_i+1)+0.5$ h_i：モード減衰定数 2)時刻歴応答解析法 地震動は応答スペクトル法に用いる加速度応答スペクトルに近い特性を有する強震記録を用いる

表－1.3.4(2)　設計地震力の変遷

主な項目 ＼ 標準示方書等	道路構造に関する細則(案) 大正１５年６月	鋼道路橋設計示方書案 内務省土木局 昭和１４年２月	鋼道路橋示方書 社団法人　日本道路協会 昭和３１年５月	道路橋耐震設計指針 社団法人　日本道路協会 昭和４６年１月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 昭和５５年５月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成２年２月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成８年１２月
地震時保有水平耐力法	－	－	－	－	・地震時変形性能照査 （高さが低く、固有周期が比較的短いＲＣ橋脚、橋台） 設計水平震度(0.07～0.43) $k_{hd}=\nu_1\cdot\nu_2\cdot\nu_3\cdot\nu_4\cdot k_0$ または $k_{hd}=\beta\cdot\nu_1\cdot\nu_2\cdot\nu_3\cdot\nu_4\cdot k_0$ k_0：0.2 ν_1：地域別補正係数(0.7～1.0) ν_2：TG での地盤別補正係数 1種：0.9　2種：1.0 3種：1.1　4種：1.2 ν_3：重要度別補正係数 1級：1.0　2級：0.8 特に重要：1.1まで ν_4：構造特性別補正係数 (1.3以上) β：固有周期による補正係数 (0.5～1.25)	・地震時保有水平耐力法の照査 設計水平震度（0.3～1.0） $k_{hc}=c_z\cdot c_I\cdot c_g\cdot k_{hc0}$ k_{hc0}：1.0 c_I：地域別補正係数(0.7～1.0) c_I：重要度別補正係数 1級：1.0　2級：0.8 特に重要：1.1まで c_g：振動特性別補正係数 (～1.0)	・地震時保有水平耐力法の照査 供用期間中に発生する確率は低いが大きい地震動に対する設計 設計水平震度 (ﾀｲﾌﾟⅠ　0.3～1.0) (ﾀｲﾌﾟⅡ　0.6～2.0) $k_{hc}=c_I\cdot k_{hc0}$ k_{hc0}：設計水平震度の標準値 (ﾀｲﾌﾟⅠ　～1.0) (ﾀｲﾌﾟⅡ　～2.0) c_I：地域別補正係数(0.7～1.0)
免震設計	－	－	－	－	－	－	・震度法と地震時保有水平耐力法で設計し、動的解析で照査 1)震度法 上記の震度法と同じ 2)地震時保有水平耐力法 $k_{hca}=c_E\cdot k_{hc}$ k_{hc}：地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度 c_E：減衰定数ｈに基づく補正係数（0.7～1.0）

表－1.3.5　鉄筋コンクリート構造細目の変遷

	コンクリートの許容応力度 σck=240kgf/cm²の場合		鉄筋の許容応力度	許容応力度の割増し		せん断応力度の照査	柱の軸方向鉄筋		柱の帯鉄筋		鉄筋の継ぎ手	
	曲げ圧縮応力度	許容せん断応力度 コンクリートのみで負担	鉄筋の種類 許容引張応力度	主荷重＋地震の影響	主荷重＋地震の影響＋温度変化＋乾燥収縮	照査応力照査式	最小鉄筋径 鉄筋量 A_s	段落し部の定着（引張側で定着する場合）	最小鉄筋径 配置間隔	補強及び定着	継手位置 継手長さ	継手部の補強
コンクリート標準示方書（社）土木学会 昭和６年９月	$\sigma_{28}/3$ 65 kgf/cm² 以下	4.5 kgf/cm²	1200 kgf/cm²	1.5	規定なし	最大せん断応力度 $\tau=S/bjd$	最小鉄筋径：12mm 0.008A"≦A_s≦0.03A" (A":所要コンクリート断面積)	規定なし	最小鉄筋径：6mm 配置間隔は柱の最小幅以下，軸方向鉄筋径の12倍以下	規定なし	継手位置は相互にずらして一断面に集めてはならない 鉄筋径の30倍以上	規定なし
コンクリート標準示方書（社）土木学会 昭和１５年３月	$\sigma_{28}/3$ 70 kgf/cm² 以下	4.5 kgf/cm²	SS41 1200 kgf/cm²	1.5	規定なし	最大せん断応力度 $\tau=S/bjd$	最小鉄筋径：12mm 0.008A"≦A_s≦0.04A" (A":所要コンクリート断面積)	規定なし	最小鉄筋径：6mm 配置間隔は柱の最小幅以下。軸方向鉄筋径の12倍以下	はりその他と交わる部分に十分な量を配置	継手位置は相互にずらして一断面に集めてはならない 鉄筋径の30倍以上	規定なし
コンクリート標準示方書（鉄筋コンクリート標準示方書）（社）土木学会 昭和３１年１１月	$\sigma_{28}/3$ 80 kgf/cm²	7 kgf/cm² (はり)	SS49，S50，SSD49 1600 kgf/cm²	1.5	1.5以上としてはならない	最大せん断応力度 $\tau=S/bjd$	最小鉄筋径：12mm 0.008A"≦A_s≦0.06A" (A":所要コンクリート断面積)ただし４本以上	計算上曲げ応力をうけなくなった点を越え鉄筋径の12倍以上でスパンの1/20以上延ばして圧縮部に定着する	最小鉄筋径：6mm 配置間隔は柱の最小横寸法以下。軸方向鉄筋径の12倍以下。帯鉄筋径の48倍以下	はりその他と交わる部分に十分な量を配置	継手位置は相互にずらして一断面に集めてはならない $l=\phi\sigma_{sa}/4\tau_{oa}$ σ_{sa}：鉄筋許容引張応力度 τ_{oa}：コンクリート許容付着応力度	規定なし
鉄筋コンクリート道路橋設計示方書 （社）日本道路協会 昭和３９年６月 道路橋下部構造設計指針 調査及び設計一般篇 （社）日本道路協会 昭和４１年１１月	$\sigma_{28}/3$ 80 kgf/cm²	7 kgf/cm² (はり)	SSD49 1800 kgf/cm²	1.5	1.65	－	－	－	－	－	－	－
コンクリート標準示方書（鉄筋コンクリート標準示方書）（社）土木学会 昭和42年5月／昭和49年9月	$\sigma_{ck}/3$ 80 kgf/cm²	7 kgf/cm² (はり)	SD30 1800 kgf/cm²	1.5	1.65	最大せん断応力度 $\tau=S/bjd$	最小鉄筋径：12mm 0.008A"≦A_s≦0.06A" (A":所要コンクリート断面積)ただし４本以上	計算上曲げ応力をうける必要のなくなった点を越えてコンクリート中に十分延ばす	最小鉄筋径：6mm 配置間隔は柱の最小横寸法以下。軸方向鉄筋径の12倍以下。帯鉄筋径の48倍以下	はりその他と交わる部分に特に十分配置 断面の大きな部材には中間帯鉄筋を配置するのがよい	継手位置は相互にずらして一断面に集めてはならない 重ね継手長 l_a 以上かつ鉄筋径の20倍以上 $l_a=\phi\sigma_{sa}/4\tau_{oa}$ σ_{sa}：鉄筋許容引張応力度 τ_{oa}：コンクリート許容付着応力度	規定なし
道路橋示方書・同解説 Ⅳ 下部構造編 （社）日本道路協会 昭和５５年５月	80 kgf/cm²	3.9 kgf/cm²	SD30 1800 kgf/cm²	1.5	1.65	平均せん断応力度 $\tau=S/bd$	最小鉄筋径：13mm 0.0015A(0.008A') ≦ A_s ≦ 0.06A (A':柱必要断面積) (A:柱全断面積)	計算上不要な位置から有効高分を延ばしさらに鉄筋径の20倍以上延ばす．または鉄筋引張応力度が許容応力度の1/2以下になる断面まで延ばすか，かつ重ね継手長 la 以上．	最小鉄筋径：13mm 配置間隔は軸方向鉄筋径の12倍以下．30cm以下．断面最小寸法の1/2以下	接合部や軸方向鉄筋量が２倍あるいは1/2程度に増減する位置では必要量の２倍程度を断面の短辺の範囲に配置する 断面の大きな部材には中間帯鉄筋を配置するのがよい 軸方向鉄筋を取囲みフックをつけて柱の内部に定着する	継手位置は相互にずらして一断面に集めてはならない 重ね継手長 l_a 以上かつ鉄筋径の20倍以上 $l_a=\phi\sigma_{sa}/4\tau_{oa}$ σ_{sa}：鉄筋許容引張応力度 τ_{oa}：コンクリート許容付着応力度	継く鉄筋一本の断面積の1/3以上の断面積を持つ横方向鉄筋量を配置
道路橋示方書・同解説 Ⅳ 下部構造編 （社）日本道路協会 平成２年２月	80 kgf/cm²	3.9 kgf/cm²	SD30A，SD30B 1800 kgf/cm²	1.5 (じん性の配慮あり 1.7)	照査の必要なし	平均せん断応力度 $\tau=S/bd$	最小鉄筋径：13mm（２段配置以下が望ましい） 0.0015A(0.008A') ≦ A_s ≦ 0.06A (A':柱必要断面積) (A:柱全断面積)	計算上不要な位置から有効高分を延ばしさらに鉄筋径の20倍以上延ばす．または鉄筋引張応力度が許容応力度の1/2以下になる断面まで延ばすか，かつ重ね継手長 la 以上．	最小鉄筋径：13mm 配置間隔は軸方向鉄筋径の12倍以下 30cm以下 断面最小寸法の1/2以下	接合部や軸方向鉄筋量が２倍あるいは1/2程度に増減する位置ではさらに十分な量を断面の短辺の範囲に配置する．断面の大きな部材には中間帯鉄筋を配置するのがよい 軸方向鉄筋を取囲みフックをつけて柱の内部に定着する	継手位置は相互にずらして一断面に集めてはならない 重ね継手長 l_a 以上かつ鉄筋径の20倍以上 $l_a=\phi\sigma_{sa}/4\tau_{oa}$ σ_{sa}：鉄筋許容引張応力度 τ_{oa}：コンクリート許容付着応力度	継く鉄筋一本の断面積の1/3以上の断面積を持つ横方向鉄筋量を配置．なおD35以上の場合継手部にはD16を15cm間隔またはこれと同等以上を配置
道路橋示方書・同解説 下部構造編 耐震設計編 （社）日本道路協会 平成５年１２月	80 kgf/cm²	タイプⅠ：3.5×0.6 $C_e\times C_{ni}$ タイプⅡ：3.5×0.3 $C_e\times C_{ni}$	SD295A，SD295B 1800 kgf/cm²	1.5	照査の必要なし	平均せん断応力度 $\tau=S/bd$	最小鉄筋径：16mm（２段配置以下が望ましい） 最小量：ひびわれM＜降伏M 0.008A'(A':柱必要断面積) 最大量：引張鉄筋 0.02A_c (A_c:有効断面積) 0.06A(A:柱全断面積)	原則として段落しはしない	最小鉄筋径：13mm 配置間隔は15cm以下	原則として中間帯鉄筋を配置する 軸方向鉄筋を取囲みフックをつけて柱の内部に定着する	継手位置は相互にずらして一断面に集めてはならない 塑性ヒンジ長の４倍区間内に継手は設けない 重ね継手長 l_a $l_a=\phi\sigma_{sa}/4\tau_{oa}$ σ_{sa}：鉄筋許容引張応力度 τ_{oa}：コンクリート許容付着応力度	継く鉄筋一本の断面積の1/3以上の断面積を持つ横方向鉄筋量を配置．なおD35以上の場合継手部にはD16を15cm間隔またはこれと同等以上を配置

表－1.3.6(1)　液状化する地盤がある場合の耐震設計の変遷

主な項目 ＼ 標準示方書等		道路橋耐震設計指針・同解説 社団法人　日本道路協会 昭和４７年４月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 昭和５５年５月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成２年２月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成８年１２月
液状化・流動化する土層の影響	取り扱い	液状化する土層は耐震設計上支持力を無視する	液状化する土層は耐震設計上土質係数を低減[※1]させる	同　左	液状化する土層は耐震設計上土質係数を低減[※1]させる 液状化に伴い橋に影響を与える流動化が生ずる可能性がある場合にはその影響を考慮[※2]する
	液状化により低減させる土質指数の種類	（土層の支持力を無視する）	地盤の変形係数 横方向地盤反力係数	同　左	地盤反力係数 地盤反力度の上限値 最大周面摩擦力度
液状化の判定を行う必要がある土層		現地盤面から深さ10mより浅いところにある飽和砂質土層	地下水位面が現地盤面から10m以内にある沖積層で、かつ現地盤面から20m以内の範囲における平均粒径D_{50}が0.02mm以上2.0mm以下である飽和砂質土層	同　左	以下の３つの条件全てに該当する原則として沖積層の飽和砂質土層 ①地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層 ②細粒分含有率ＦＣが35%以下の土層、またはＦＣが35%を越えても塑性指数I_pが15以下の土層 ③平均粒径D_{50}が10mm以下で、かつ10%粒径D_{10}が1mm以下である土層 ・礫質土も考慮する ・低いＮ値、または続成作用を喪失した洪積土層についても液状化の判定を行うのがよい
液状化の判定		Ｎ値が10以下、均等係数が6以下でかつD_{20}が0.04～0.5mmで液状化する土層とする	$F_L \leqq 1.0$で液状化する土層とする ここで、 $F_L = R / L$ F_L：流動化に対する抵抗率 R：動的せん断強度比 L：地震時せん断応力比	同　左	同　左
F_Lを求めるために必要な地盤定数		－	・Ｎ値 ・平均粒径D_{50}(mm) ・全上載圧σ_v(kgf/cm2) ・有効上載圧σ'_v(kgf/cm2)	・Ｎ値 ・平均粒径D_{50}(mm) ・細粉分含有率ＦＣ(%) ；粒径75μm以下の土粒子の通過質量百分率 ・全上載圧σ_v(kgf/cm2) ・有効上載圧σ'_v(kgf/cm2)	同　左
土質定数の低減係数[※1]　D_E		－	F_Lの範囲 / 現地盤面からの深度 x (m) / 土質定数に乗じる係数 D_E $F_L \leqq 0.6$：$0 \leqq x \leqq 10$ → 0；$10 < x \leqq 20$ → 1／3 $0.6 < F_L \leqq 0.8$：$0 \leqq x \leqq 10$ → 1／3；$10 < x \leqq 20$ → 2／3 $0.8 < F_L \leqq 1.0$：$0 \leqq x \leqq 10$ → 2／3；$10 < x \leqq 20$ → 1	同　左	F_Lの範囲 / 現地盤面からの深度 x (m) / 土質定数に乗じる係数 D_E（R≦0.3 / 0.3<R） $F_L \leqq 0.6$：$0 \leqq x \leqq 10$ → 0, 1／6；$10 < x \leqq 20$ → 1／3, 1／3 $0.6 < F_L \leqq 0.8$：$0 \leqq x \leqq 10$ → 1／3, 2／3；$10 < x \leqq 20$ → 2／3, 2／3 $0.8 < F_L \leqq 1.0$：$0 \leqq x \leqq 10$ → 2／3, 1；$10 < x \leqq 20$ → 1, 1 （Rは動的せん断応力比） 震度法による基礎の設計においては、１ランク高いF_Lの範囲に対応するD_Eを用いる（最大値１）

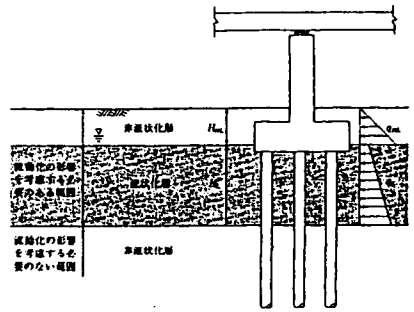
表－1.3.6(2)　液状化する地盤がある場合の耐震設計の変遷

主な項目 ＼ 標準示方書等	道路橋耐震設計指針・同解説 社団法人　日本道路協会 昭和４７年４月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 昭和５５年５月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成２年２月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成８年１２月
流動化の判定	－	－	－	次の条件をいずれも満たしている場合は、橋梁に影響を与える流動化が生じる可能性がある ①臨海部において、背後地盤と前面の水底との高低差が5m 以上ある護岸によって形成された水際線から100m 以内の範囲にある地盤 ②液状化と判定される層厚5m 以上の砂質土層があり、かつ当該土層が水際線から水平方向に連続的に存在する地盤
動的せん断強度比　R	－	$R=R_1+R_2$ ここで、 R_1：N値と有効上載圧σ'_vの関数で表される R の第１項 R_2：平均粒径D_{50}の関数で表されるRの第２項 $R_1=\sqrt{0.0882\{N/(\sigma'v+0.7)\}}$ $R_2=\begin{cases}0.19 & (0.02\leqq D_{50}\leqq 0.05)\\ 0.225\cdot\log 10\,(0.35/D_{50}) & (0.05<D_{50}\leqq 0.6)\\ -0.05 & (0.6<D_{50}\leqq 2.0)\end{cases}$	$R=R_1+R_2+R_3$ ここで、 R_1：N値と有効上載圧σ'_vの関数で表されるRの第１項 R_2：平均粒径D_{50}の関数で表されるRの第２項 R_3：FCの関数で表されるRの第３項 $R_1=\begin{cases}\sqrt{0.0882\{N/(\sigma'v+0.7)\}} & \\ 0.19 & (0.02\leqq D_{50}\leqq 0.05)\end{cases}$ $R_2=\begin{cases}0.225\cdot\log 10\,(0.35/D_{50}) & (0.05<D_{50}\leqq 0.6)\\ -0.05 & (0.6<D_{50}\leqq 2.0)\end{cases}$ $R_3=\begin{cases}0.0 & (0\%\leqq FC\leqq 40\%)\\ 0.004FC-0.16 & (40\%<FC\leqq 100\%)\end{cases}$	$R=c_w\times R_L$ ここで、 C_w：地震動特性による補正係数 タイプⅠ　$c_w=1.0$ タイプⅡ　$c_w=\begin{cases}1.0 & (R_L\leqq 0.1)\\ 3.3R_L+0.67 & (0.1<R_L\leqq 0.4)\\ 2.0 & (0.4<R_L)\end{cases}$ R_L：繰り返し三軸強度比 $R_L=\begin{cases}0.0882\sqrt{(N_a/1.7)} & (N_a<14)\\ 0.0882\sqrt{(N_a/1.7)}+1.6\times10^{-6}\times(N_a-14)^{4.5} & (14\leqq N_a)\end{cases}$ Ｎａ：粒度の影響を考慮した補正Ｎ値 砂質土の場合 $N_a=c_1\cdot N_1+c_2$ $N_1=1.7\cdot N/(\sigma'_v+0.7)$ $c_1=\begin{cases}1 & (0\%\leqq FC<10\%)\\ (FC+40)/50 & (10\%\leqq FC<60\%)\\ FC/20-1 & (60\%\leqq FC)\end{cases}$ $c_2=\begin{cases}0 & (0\%\leqq FC<10\%)\\ (FC-10)/18 & (10\%\leqq FC)\end{cases}$ 礫質土の場合 $N_a=\{1-0.36\log_{10}(D_{50}/2)\}\times N_1$ Ｎ：標準貫入試験から得られるＮ値 N_1：有効上載圧1kgf/cm²相当に換算したＮ値 c_1、c_2：細粒分含有率によるＮ値の補正係数

表－1.3.6(3)　液状化する地盤がある場合の耐震設計の変遷

主な項目 ＼ 標準示方書等	道路橋耐震設計指針・同解説 社団法人　日本道路協会 昭和４７年４月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 昭和５５年５月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成２年２月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成８年１２月
地盤時せん断応力比　L	－	$L=\gamma_d \cdot k_s \cdot (\sigma_v / \sigma'_v)$ ここで、 γ_d：地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数 $\gamma_d=1.0-0.015x$ x：地表面からの深さ(m) k_s：流動化の判定に用いる地表面での水平震度 $k_s=\nu_1 \cdot \nu_2 \cdot \nu_3 \cdot k_{s0}$ ν_1：地域別補正係数 ν_2：地盤別補正係数 ν_3：重要度別補正係数 k_{s0}：流動化の判定に用いる標準設計水平震度(＝0.15) σ_v：全上載圧(kgf/cm2) $\sigma_v=\{\gamma_{t1}h_w+\gamma_{t2}(x-h_w)\}/10$ σ'_v：有効上載圧(kgf/cm2) $\sigma'_v=\{\gamma_{t1}h_w+\gamma'_{t2}(x-h_w)\}/10$ γ_{t1}：地下水位面より浅い位置での土の単位重量(t/m³) γ_{t2}：地下水位面より深い位置での土の単位重量(t/m³) γ'_{t2}：地下水位面より深い位置での土の有効単位重量(t/m³) h_w：地表面から地下水位面までの深さ(m)	同　左 ただし、 $k_s=c_z \cdot c_G \cdot c_I \cdot k_{s0}$ c_z：地域別補正係数 c_G：地盤別補正係数 c_I：重要度別補正係数 k_{s0}：流動化の判定に用いる標準設計水平震度（＝0.15）	$L=\gamma_d \cdot k_{hc} \cdot (\sigma_v / \sigma'_v)$ ここで、 k_{hc}：地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度
流動化の影響※2	－	－	－	・基礎に流動化の影響を水平力として与えて耐震性を検討 基礎天端における水平変位が、基礎の降伏変位の２倍を下回るようにする ・けたかかり長にも流動化の影響を考慮する また、これらは以下の３ケースのうち最も影響の大きいものを設計に用いる ①液状化が生じると考えたケース ②液状化だけが生じると考えたケース ③液状化も流動化も生じないと考えたケース

表－1.3.6(4)　液状化する地盤がある場合の耐震設計の変遷

主な項目 ＼ 標準示方書等	道路橋耐震設計指針・同解説 社団法人　日本道路協会 昭和４７年４月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 昭和５５年５月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成２年２月	道路橋示方書・同解説 Ⅴ　耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成８年１２月
流動力　q_{NL}，q_L	－	－	－	 図-解 7.3.2　流動力の算定モデル例 $q_{NL}=c_s c_{NL} K_p \gamma_{NL} x \quad (0 \leq x \leq H_{NL})$ $q_L=c_s c_L \{\gamma_{NL} H_{NL}+\gamma_L (x-H_{NL})\} \quad (H_{NL}<x \leq H_L)$ q_{NL}：非液状化層中にある構造部材に作用する深さ x (m) の位置の単位面積当たりの流動力(tf/m²) q_L：液状化層中にある構造部材に作用する深さ x (m) の位置の単位面積当たりの流動力(tf/m²) P_L：液状化指数　$P_L=\int_0^{20}(1-F_L)(10-0.5x)dx$ c_L：液状化層中の流動力の補正係数（＝ 0.3） K_p：受動土圧係数（常時） γ_{NL}：非液状化層の平均単位体積重量(tf/m³) γ_L：液状化層の平均単位体積重量(tf/m³) H_{NL}：非液状化層厚(m) H_L：液状化層厚(m) F_L：液状化に対する抵抗率　$F_L \geq 1$の場合は$F_L=1$ 表-解 7.3.1　水際線からの距離による補正係数 c_s 水際線からの距離 s (m) ／ 補正係数 c_s $s \leq 50$ ／ 1.0 $50<s \leq 100$ ／ 0.5 $100<s$ ／ 0 表-解 7.3.2　非液状化層中の流動力の補正係数 c_{NL} 液状化指数 P_L ／ 補正係数 c_{NL} $P_L \leq 5$ ／ 0 $5<P_L \leq 20$ ／ $(0.2P_L-1)/3$ $20<P_L$ ／ 1

表－1.3.7(1)　落橋防止システムの変遷

標準示方書等 ＼ 主な項目	道路橋耐震設計指針 社団法人　日本道路協会 昭和４６年１月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 昭和５５年５月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成２年２月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成８年１２月
落橋防止システム	次のような落橋防止構造を設ける。 ・可動支承部では移動制限装置を設ける（設計震度1.5倍）。 上記移動制限装置の他，次に示すもののうちいずれかを併用するのがよい。 ①けた端部では下部構造頂部縁端と支承縁端の距離 S(cm)は次式に示す値以上とするのがよい。 支間100m 以下：S=20+0.5L 支間100m 以上：S=30+0.4L L：支間長(m) 特に重要な橋で４種地盤のところではSは35cm 以上とするのがよい。 ②同一下部構造での２連のけたは連結する。 ・けた端部のかけ違い長さは60cm 以上とするのがよい。 ４種地盤においては70cm 以上とするのがよい。	次のような落橋防止構造を設ける。 ・可動支承部では移動制限装置を設ける。（設計震度1.5倍） 上記移動制限装置の他，次に示すもののうちいずれかを併用しなければならない。 ・けた端部から下部構造頂部縁端までの距離 SE(cm)およびけた端部のかけ違い長さは次式による。 支間100m 以下：SE=70+0.5L 支間100m 以上：SE=80+0.4L L；支間長(m) ・次に示す落橋防止装置を設ける。（設計震度２倍以上） ①けたと下部構造を連結する構造 ②けたまたは下部構造に突起を設ける構造 ③２連のけたを相互に連結する構造	同左 ただし，落橋防止装置の設計には左記設計水平震度による水平力の他に，１ R_d の鉛直力も考慮して検討を行う。	落橋防止システム 落橋防止システムは，けたかかり長，落橋防止構造，変位制限構造および段差防止構造からなる。 １．けたかかり長 S_E(cm) $S_E = u_R + u_G \geqq S_{EM}$ $S_{EM} = 70 + 0.5l$ $u_G = 100 \varepsilon_G \cdot L$ u_R：地震時保有水平耐力法に用いる等価水平震度に相当する慣性力を作用させた場合にけたかかり長を算出する位置において生じる上部構造と下部構造天端間の相対変位(cm)。地震時の挙動が複雑で動的解析を行う橋では，動的解析により求められる最大相対変位を用いる。 u_G：地震時の地盤ひずみによって生じる地盤の相対変位(cm) S_{EM}：けたかかり長の最小値(cm)。 斜角の小さい斜橋では下式の値が上回る場合は下式とする。 $S_{E\theta} = 50 L_\theta (\sin\theta - \sin(\theta - \alpha_E))$ $S_{E\theta}$：斜橋に用いるけたかかり長(cm) L_θ：上部構造一連の長さ(m) θ：斜角(度) α_E：限界脱落回転角(度)で，一般に5度としてよい。 曲線橋では下式の値が上回る場合は下式とする。 $S_{E\phi} = \delta_E \cdot \sin\theta / \cos(\phi/2) + 30$ $\delta_E = 0.5\phi + 70$ $S_{E\phi}$：曲線橋に用いるけたかかり長(cm) δ_E：上部工層の曲線外側方向への移動量(cm) ϕ：曲線橋の連続する一連の上部構造のけた両端部がなす交角(度) ε_G：地震時の地盤ひずみで，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ種地盤では，それぞれ，0.0025，0.00375，0.005とする。 L；けたかかり長に影響を及ぼす下部構造間の距離(m) l：支間長(m) ２．落橋防止構造 ①上部構造と下部構造を連結する構造 ②上部構造および下部構造に突起を設ける構造 ③２連の上部構造を相互に連結する構造 落橋防止構造の耐力は，次式の落橋防止構造の設計地震力 H_F(tf)を下回ってはならない。 $H_F = 1.5 R_d$ $S_F = c_F S_E$ R_d：死荷重反力(tf) S_F：落橋防止構造の設計最大移動量(cm) S_E：けたかかり長(cm) c_F：落橋防止構造の設計変位係数(0.75)

表－1.3.7(2)　落橋防止システムの変遷

標準示方書等 ＼ 主な項目	道路橋耐震設計指針 社団法人　日本道路協会 昭和４６年１月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 昭和５５年５月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成２年２月	道路橋示方書・同解説 耐震設計編 社団法人　日本道路協会 平成８年１２月
落橋防止システム				3．変位制限構造 ①上部構造と下部構造を連結する構造 ②上部構造および下部構造に突起を設ける構造 変位制限構造の設計地震力は，次式を下回ってはならない。 $H_s = 3 k_h R_d$ H_s：変位制限構造の設計地震力(tf) k_h：震度法に用いる設計水平震度 R_d：死荷重反力(tf) 4．段差防止構造 路面に発生する段差を防止するために，予備のゴム支承を設けたり，コンクリート構造による台座を設ける。 5．ジョイントプロテクター タイプＢ支承において，震度法による設計水平震度に相当する程度の地震力の作用により伸縮装置が損傷を受けることを防止するために必要に応じて橋軸方向および橋軸直角方向にジョイントプロテクターを設けるのが望ましい。 【端支点，かけ違い部】 1）ﾀｲﾌﾟA支承(落橋防止ｼｽﾃﾑと補完し合って等価水平震度に相当する慣性力に抵抗する場合に用いる支承)の場合 ・橋軸方向 けたかかり長 S_E(cm)の確保 落橋防止構造を設ける 変位制限構造を設ける ・橋軸直角方向 変位制限構造を設ける 2）ﾀｲﾌﾟB支承(支承部単独で等価水平震度に相当する慣性力に抵抗する場合に用いる支承)の場合 ・橋軸方向 けたかかり長 S_E(cm)の確保 落橋防止構造を設ける 必要に応じジョイントプロテクターを設ける ・橋軸直角方向 斜角の小さい斜橋や曲線橋については変位制限構造を設ける 必要に応じジョイントプロテクターを設ける 【連続げた中間支点】 1）ﾀｲﾌﾟA支承の場合 ・橋軸方向 変位制限構造を設ける ・橋軸直角方向 変位制限構造を設ける 2）ﾀｲﾌﾟB支承の場合 ・橋軸直角方向 下部構造の頂部幅が狭い橋，1支承線上の支承数が少ない橋および流動化により橋軸直角方向に橋脚の移動が生じる可能性のある橋については変位制限構造を設ける

表－1.3.8　耐震設計関連の規定の変遷と道路橋の被害形態の変化

西　暦	主　要　な　地　震	主要な被害原因および被害形態の変化	耐　震　設　計　法
1920			
	1923　関東地震（M7.9）	橋脚、橋台の移動、傾斜、転倒に伴う下部工の被害	1926　耐震設計の導入。 （大正15年道路構造に関する細則（案））
1930			
			1939　設計震度の標準化。 （昭和14年鋼道路橋設計示方書（案））
1940			
	1946　南海地震（M8.1）		
	1948　福井地震（M7.3）	固定支承における橋座の欠け落ち	
1950			
	1952　十勝沖地震（M8.1）	液状化による被害	
1960			1956　地域、地盤条件に応じた設計震度の算定。 （昭和31年鋼道路橋設計示方書）
	1964　新潟地震（M7.5）		
1970		橋脚の破損、支承の破損	1971　地域、地盤、重要度、構造特性に応じた設計震度の算定。液状化判定法の導入。 （昭和46年道路橋耐震設計指針）
	1978　宮城県沖地震（M7.4）		
1980			1980　液状化に対する設計の考え方の導入。主鉄筋段落し部の設計法。（昭和55年道路橋示方書）
	1982　浦河沖地震（M7.1）		
	1983　日本海中部地震（M7.7）		
1990			1990　RC橋脚の地震時保有水平耐力法及び線形動的解析による照査の導入。（平成２年道路橋示方書）
	1993　釧路沖地震（M7.8）		
	1993　北海道南西沖地震（M7.8）		
	1995　兵庫県南部地震（M7.2）	設計で想定していた以上の地震動のため甚大な被害	1996　橋梁の全ての要素に地震時保有水平耐力法を導入。非線形動的解析の導入。（平成８年道路橋示方書）

3.3 耐震性判定法と耐震補強優先度

橋梁の耐震性判定は、一般に、既往地震の被害分析結果等をもとに耐震性を評価する簡易な耐震性判定を行い，この判定結果をもとに橋梁の耐震補強優先度の設定および、補強の必要性を判定するための詳細な耐震性判定を行う流れとなる。

3.3.1 簡易な耐震性判定法

既設橋梁の耐震点検は多数の橋梁を対象とすることが特徴である。個々の橋梁の耐震性判定は現行基準[1)]に従って解析的に行うことも可能であるが、判定対象橋梁が多い場合には多大な労力と時間を要する。このために、複雑な計算式など使わずに、既往の被害分析などから抽出した地盤種別、構造条件など各種のパラメータで既設橋梁の被災度を予測し、簡易に橋梁の耐震性を判定する方法が検討されている。

以下に、建設省の道路耐震点検、日本道路協会の道路橋震災対策便覧および大阪市の判定方法を示す。

(1) 建設省橋梁耐震点検の変遷

建設省により行われた橋梁耐震点検は、既往地震による橋梁被害の分析から抽出した、地盤、構造物など各種パラメータで構造要素毎の耐震性(補強の必要性)を簡易に判定している。

最も最近行われた道路橋の耐震点検の前に、道路橋の耐震点検は5回行われているが、地震の経験とともに、耐震点検で考慮するパラメータが増えている。5回行われた耐震点検の特徴および主な耐震性判定項目を表－1.3.9に示すとともに、以下に耐震点検項目の変遷を示す。

昭和46年の耐震点検は、1971年1月のロスアンゼルス地震が契機となったもので、変状が大きいものやパイルベント橋脚の縁端距離が短いものが耐震補強の対象とされた。

昭和51年の耐震点検も基本的には昭和46年のものと同様であるが、対象道路を拡大するとともに、落橋防止構造が点検対象に追加された。また、レンガ・無筋コンクリート橋脚や木橋は耐震性が劣る下部構造形式として位置づけられている。

昭和54年の耐震点検は1978年1月の伊豆大島近海地震、1978年6月の宮城県沖地震が契機となったもので、変状、落橋防止構造の他に液状化についても点検することになった。新たに石造り橋脚、パイルベント橋脚、独立ケーソン上ラーメン橋脚、無筋コンクリート橋脚が耐震性の劣る下部構造形式として位置づけられた。

昭和61年の耐震点検は1982年3月の浦河沖地震、1983年5月の日本海中部沖地震、1984年9月の長野県西部地震などの地震が契機となったもので、昭和55年より前の道路橋示方書適用橋梁が対象となった。ここではRC橋脚の耐震性が新たに点検項目として追加された。また液状化判定、RC橋脚の耐力判定、杭基礎の耐力判定などに計算が取り入れられた。

平成3年の耐震点検は、昭和55年の道路橋示方書適用橋梁までが対象であり、平成2年の道路橋示方書に準拠して実施された。昭和55年の示方書適用橋梁は下部構造、支承部、けた等の変状調査についてのみ実施する。

表－1.3.9　主な点検項目の変遷（建設省の既設道路橋耐震点検）

耐震点検法	点検法の特徴	適用示方書	変状の有無	落橋防止構造					橋脚										基礎					備考
				上部工種※1	S・Sε	連結装置	移動制限装置	鋼製支承・支承高	形式※2	RC橋脚	鋼製橋脚	橋脚高	地盤種別	断面形状	せん断支間比	基部応力	段落し部	耐震補強レベル	液状化・軟弱地盤	流動化	躯体応力	支持力	対策の履歴	
昭和46年(1971)耐震点検(建設省)	主に昭和31年以前の橋梁で、変状とパイルベント橋脚の縁端距離に着目した点検。	～S31	○		○																			ロスアンゼルス地震（1971年1月）が契機となる。
昭和51年(1976)耐震点検(建設省)	主に昭和31年以前の橋梁で、変状と縁端距離、落橋防止装置に着目した点検。	～S31	○	○	○	○			○															昭和51年の防災点検に併せて震災対策の一層の推進を図る。
昭和54年(1979)耐震点検(建設省)	主に昭和31年以前の橋梁で、落橋防止構造と、地盤の液状化に着目した点検。	～S31	○	○	○	○	○		○										○			○		伊豆大島近海地震（1978年1月）、宮城県沖地震（1978年6月）が契機となる。
昭和61年(1986)耐震点検(建設省)	液状化判定、橋脚の強度判定、杭基礎も支持力判定などに計算を採用。 RC橋脚の段落し部の耐震性判定を追加。	～S46	○	○	○	○	○		○	○			○	○	○	○	○		○			○		浦河沖地震（1982年3月）日本海中部地震（1983年5月）、長野県西部地震（1984年9月）などの地震が契機となる。
平成3年(1991)耐震点検(建設省)	対象道路に東海地震地策強化地域及び南関東地域が含まれる。	～S55	○		○	○	○		○	○			○	○	○	○	○		○		○	○		橋梁の耐震性の一層の向上。 この他　上部工形式、上部工材料、基礎工法等の項目有り
平成8年(1996)道路防災総点検(建設省)	橋長15m以上の全ての橋梁を対象とし、主にRC橋脚、鋼製橋脚、落橋防止構造、支承構造、液状化・流動化などから判定。	～H2		○	○			○		○	○						○	○	○	○			○	兵庫県南部地震（1995年1月）が契機となる。

※1　直橋、斜橋、曲線橋の区別

※2　耐震性が劣る形式としてパイルベント、独立した基礎上ラーメン、無筋ラーメン、レンガ石造り

(2) 建設省による第6回道路防災総点検

1995年1月の兵庫県南部地震が契機となって、平成8年に第6回道路防災総点検が実施された。この耐震点検は、実施時点で兵庫県南部地震規模レベルの地震動に対して設計された橋梁がないため 橋長15m以上の全ての橋梁が耐震補強の対象となり、各橋梁のデータベースを構築するとともに各橋梁の耐震性評価を行うための基礎資料とすることを目的としている。今回の耐震点検は主に、RC橋脚、鋼製橋脚、落橋防止構造、支承構造、液状化・流動化などが判定項目となっている。既往地震の被害分析結果などから、RC橋脚については主鉄筋の段落しと適用基準、鋼製橋脚では適用基準、落橋防止構造では上部構造の線形と適用基準、支承構造では支承の種類と高さ、液状化・流動化では適用基準と水際線からの距離が、各判定項目で評価の要因となっている。

この第6回道路防災総点検のデータにもとづいて、次のような耐震性の区分(耐震性カテゴリー)が検討されている[6]。

図－1.3.1～図－1.3.5にRC橋脚、鋼製橋脚、落橋防止構造、支承構造、液状化・流動化の耐震性カテゴリー判定フローを示す。

基本的に、各項目の耐震性カテゴリーはａ，ｂ，ｃ，ｄ，ｅの5種類に区分され、その相対関係はおおまかに以下のようになっている。

表－1.3.10　耐震性カテゴリーの相対関係

耐震性カテゴリー区分				
a	b	c	d	e
適用基準				
旧 →				新
耐震性				
低い →				高い

耐震性カテゴリーｅの判定は、平成8年道路橋示方書あるいは復旧仕様レベルに位置づけている。

1) RC橋脚構造物の耐震性カテゴリー判定フロー

適用基準が復旧仕様あるいは平成8年道路橋示方書の場合は、耐震性カテゴリーｅと判定される。先の基準を適用していない場合には、RC橋梁構造物を単柱，壁式，ラーメン，橋台，その他に分類し、単柱、壁式、ラーメンに対して適用基準と段落しの有無から耐震性カテゴリーａ～ｄを判定する。壁式とラーメンは特性が類似(橋軸直角方向の剛性が大きく、橋軸方向の剛性は単式の剛性レベルに近い)していることから共通分類になっている。橋台は耐震性カテゴリーｅに判定する。

2) 鋼製橋脚構造物の耐震性カテゴリー判定フロー

この判定フローは、基本的に、RC橋脚構造物と同じになる。ただし、鋼製橋脚は、段落し部がないため、耐震性をｂ～eの4段階で評価する。

3)落橋防止構造の耐震性カテゴリー判定フロー

斜橋か曲線橋で、斜角が60度以下あるいは、最小半径が100m以下かつ交角30度以上の線形の場合には、耐震性カテゴリーａになる。それ以外の橋は、適用基準で、落橋防止構造の耐震性を判定する。ただし、昭和46年以前の道路橋示方書が適用されている場合には、径間数(2径間以上か否か)で判定区分が異なる。

4)支承構造の耐震性カテゴリー判定フロー

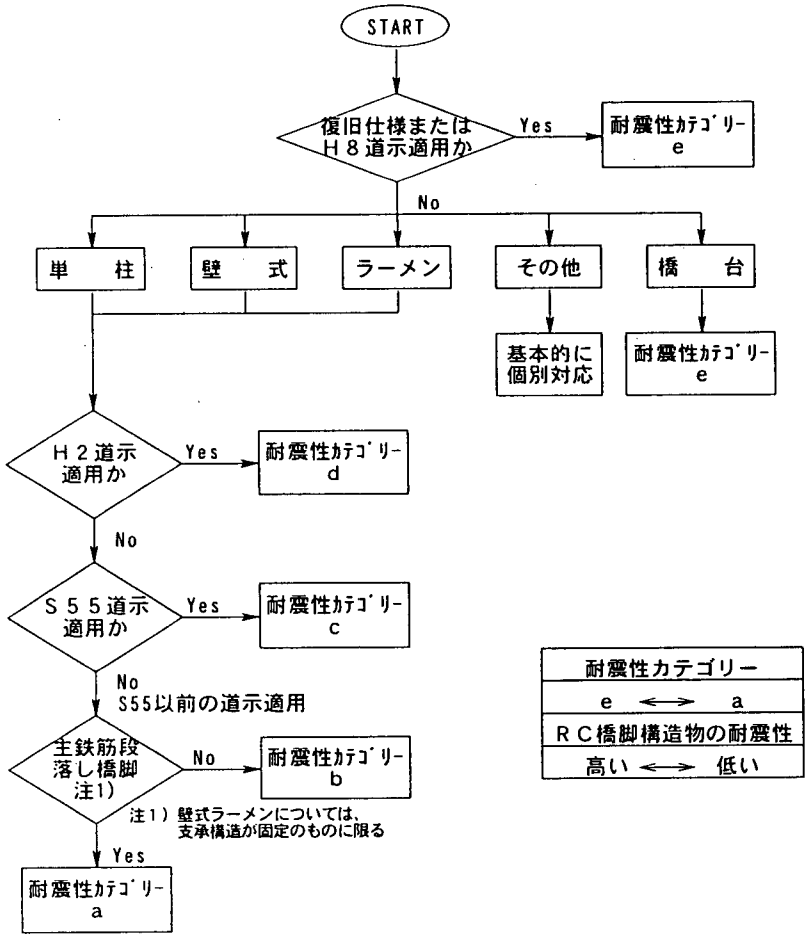
復旧仕様または平成8年道路橋示方書を適用した支承構造は耐震性カテゴリーｅと判定する。復旧仕様または平成8年道示を適用していないゴム支承(ゴムパッド，分散ゴム支承，免震ゴム支承)は耐震性カテゴリーdとなる。復旧仕様または平成8年道示を適用していない鋼製支承は支承高(15cm)でカテゴリーをｃとdに区分する。

5)液状化・流動化に対する耐震性判定フロー

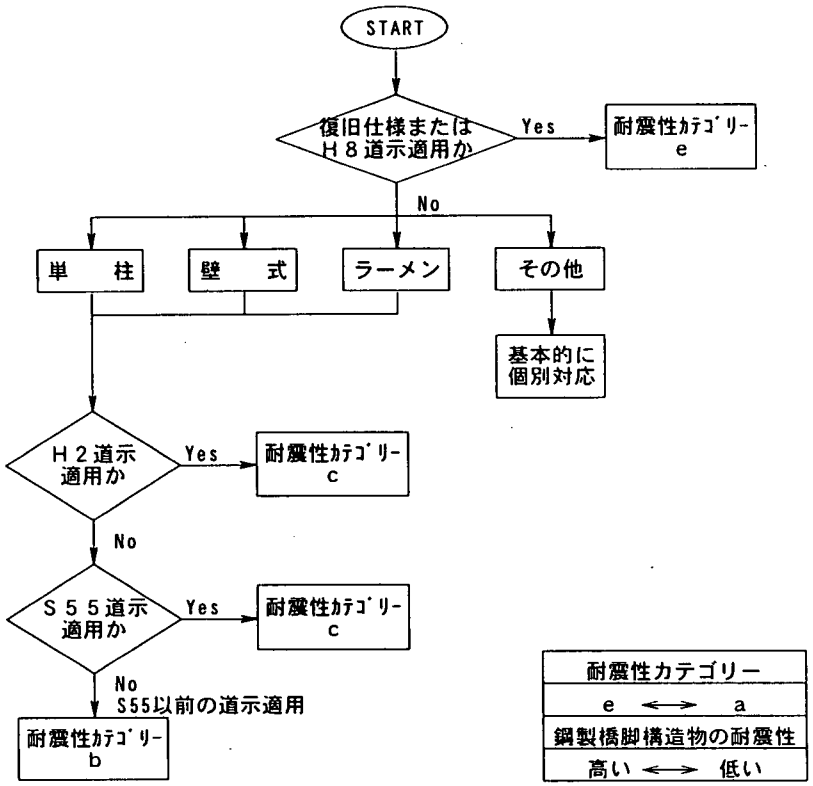
液状化・流動化の発生の可能性を過去における液状化記録または表－1.3.11に示す微地形分類から判断する。表－1.3.11は、液状化が発生する可能性のある箇所を微地形分類にしたがって、液状化の可能性の高い箇所，場合によっては液状化の可能性がある箇所，液状化の可能性の低い箇所に分類している。
液状化の可能性の低い箇所は耐震性カテゴリーｅと判定する。それ以外の箇所で、復旧仕様または平成8年道示が適用されている場合、耐震性カテゴリーをｅと判定する。復旧仕様または平成8年道示が適用されていない場合、液状化する可能性が高い箇所と可能性のある箇所に区分し、それぞれ、水際からの距離(100m以内か否か)と適用基準(昭和46年以前か否か)で液状化・流動化に対する耐震性カテゴリーを判定する。

表－1.3.11　液状化の可能性区分[2)]

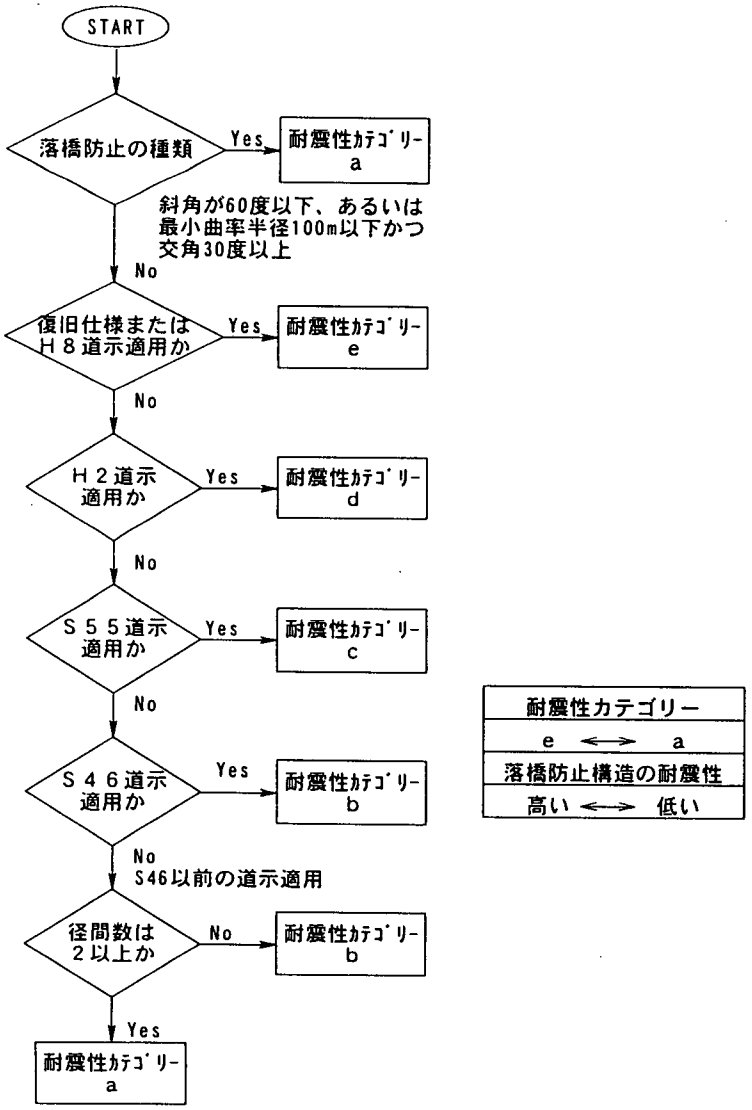
微地形分類	液状化の可能性
埋立地、干拓地、現・旧河道、砂丘および砂州間の低地、砂丘と低地の境界部、後背 湿地上の盛土地	可能性が高い
勾配0.5%以下の扇状地、砂泥質の谷底平野、後背湿地(氾濫平野)、デルタ、砂州	場合によっては可能性あり
上記1、2以外の沖積低地、台地、丘陵、山地	可能性が低い



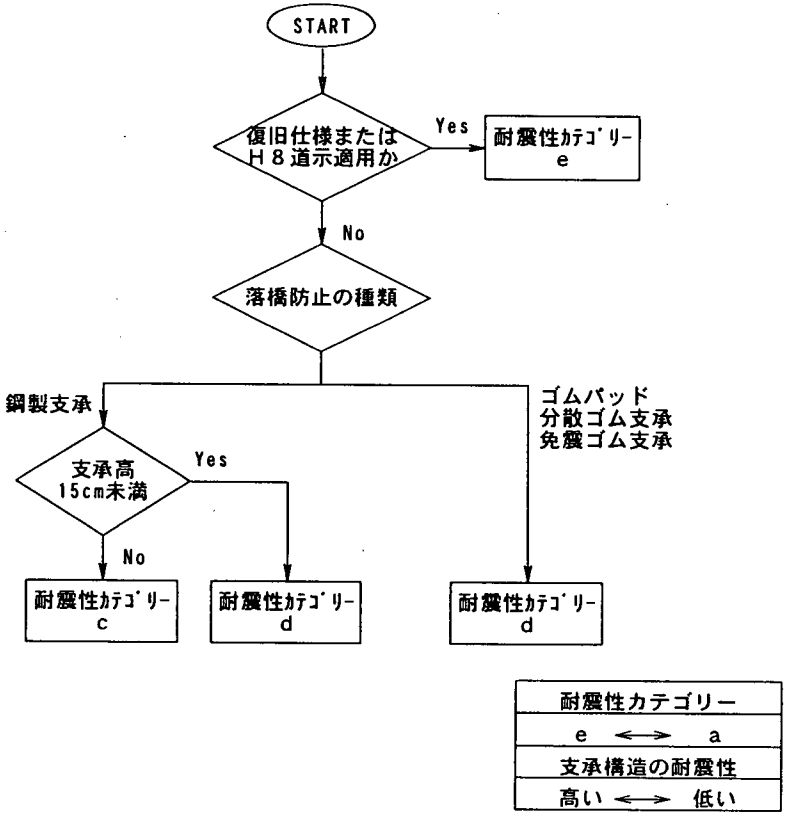
図－1.3.1　RC橋脚構造物の耐震性カテゴリー判定フロー[6]



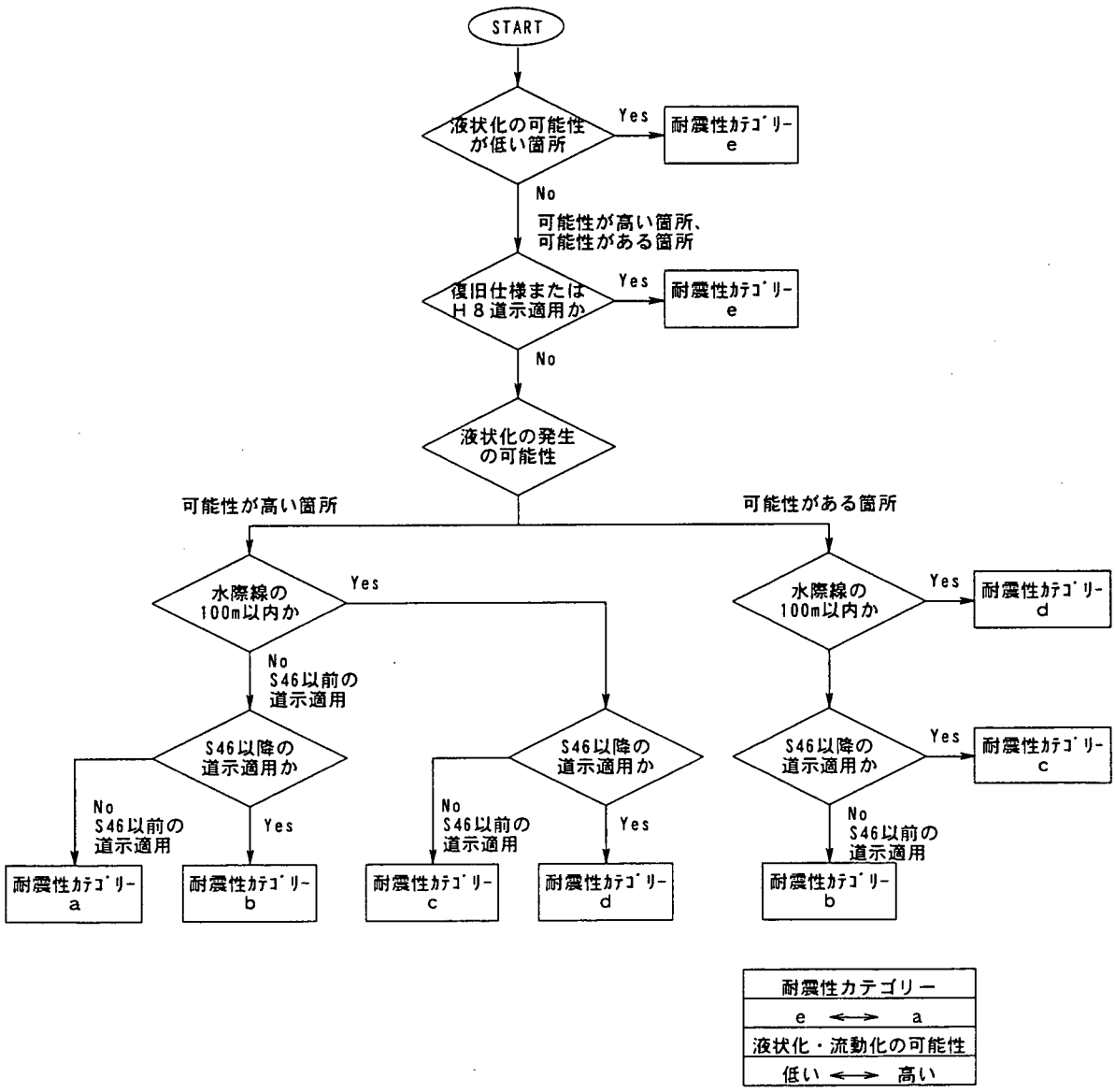
図－1.3.2　鋼製橋脚構造物の耐震性カテゴリー判定フロー[6]



図－1.3.3　落橋防止構造の耐震性カテゴリー判定フロー[6)]



図－1.3.4　支承構造の耐震性カテゴリー判定フロー[6)]



図－1.3.5　液状化・流動化の耐震性カテゴリー判定フロー[6)]

(3)(社)日本道路協会道路橋震災対策便覧[3), 5)]

昭和63年2月の道路橋震災対策便覧では、既往地震での橋梁被害分析をもとにして、橋梁全体構造の耐震性を判定している。この便覧は1923年関東地震から1983年日本海中部地震の間に被災した橋梁のデータをもとに作られたものであり、兵庫県南部地震の被害が含まれていないことに注意する必要がある。兵庫県南部地震後に、各機関で様々な角度から地震被害の分析が行われており、その結果は付属資料に示す。

この道路橋震災対策便覧の耐震性判定法は、上下部工各要素の変形性に関する評価点と強度に関する評価点から耐震性をランク付けするものであり、ある要素の耐震性が低くても、他の要素の耐震性が良ければ橋梁全体としての耐震性は確保されるとする考え方である。ただし、**図－1.3.6**の橋梁耐震調査フローに示すように、致命的な影響を与える項目(構造材料が木、石、レンガなどの場合、下部工が単列パイルベントで液状化の恐れがある場合など)については、無条件に耐震性が最も悪いランクにすることとして、構造要素毎の耐震性判定法も取り入れている。

表－1.3.12にランク付けのための評価点を算出する橋梁耐震調査表を示すとともに，**表－1.3.13**に耐震性ランク付け基準を示す。変形に関する評価点Xと強度に関する評価点Yのうち、いずれか大きいほうの評価点で耐震性ランクを設定する。耐震性ランクは、*A*, *B*, *C*の3段階に分けられ、この順番で耐震性能が高い評価になる。

1)橋梁耐震調査表の作成および耐震性の評価方法[3)]

橋梁の調査を**図－1.3.6**に示すフロー図に従い、以下の要件を満たす場合に橋梁耐震調査票(**表－1.3.12**)を作成し、変形に関する評価点Xおよび強度に関する評価点Yにより耐震性調査結果の評価を行う。

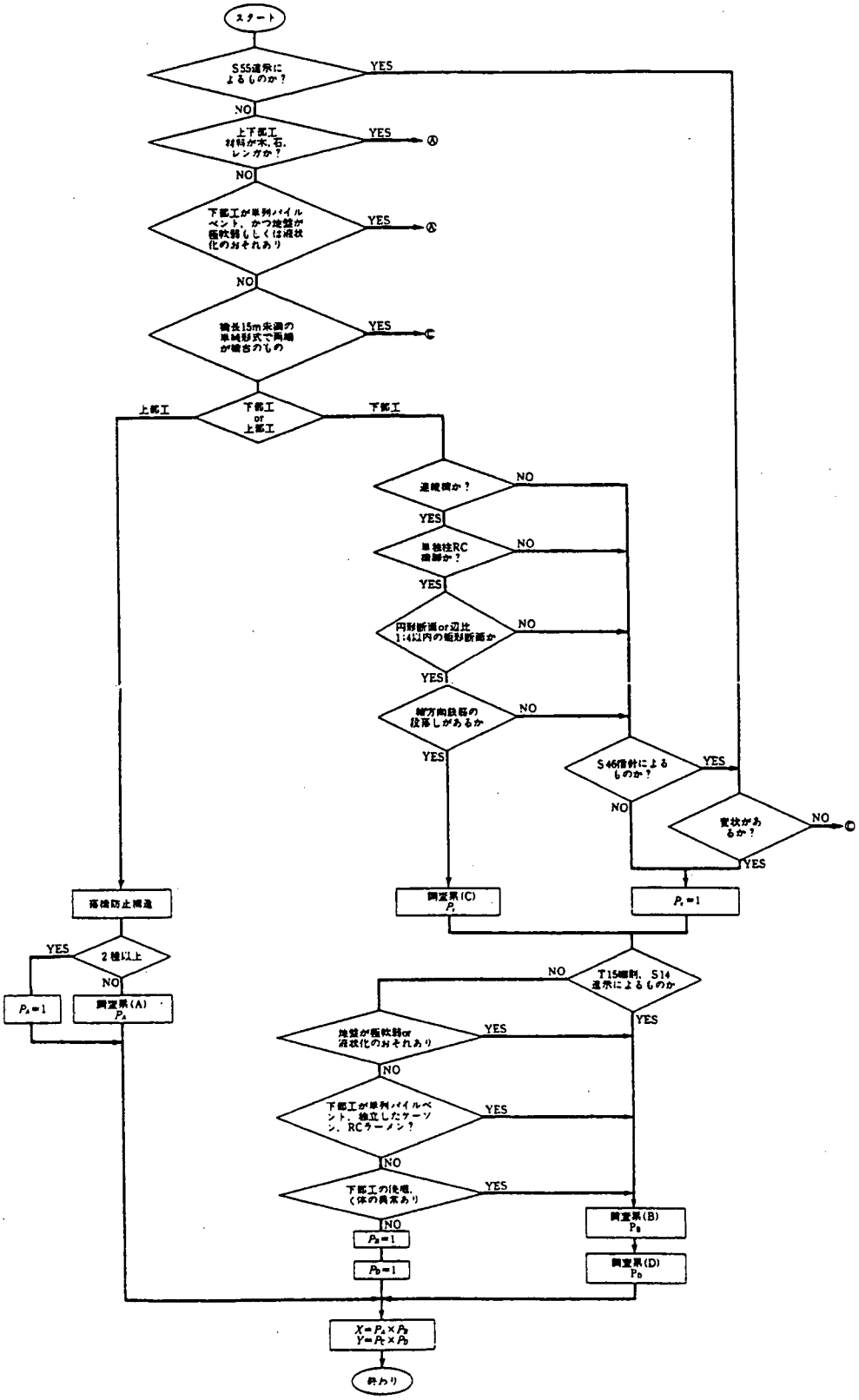
① 落橋防止構造がないかもしくは1種類のみの場合→調査表(A)作成

② 主鉄筋段落しのある円形もしくは辺比1：4以内の矩形断面を有する単独柱RC橋脚を有する連続橋の場合→調査票(C)作成

③ 大正15年「道路構造に関する細則(案)」もしくは昭和14年「鋼道路設計示方書(案)」による場合、地盤が極軟弱あるいは液状化の影響のある場合、下部工が単列パイルベンド、独立ケーソン、RCラーメンである場合、あるいは下部工の洗掘、く体の異常のある場合→調査票(B)および(D)作成

ただし、昭和55年道路橋示方書によるもの、上下部工材料が木・石・レンガによるもの、下部工が単列パイルベントかつ地盤が極軟弱もしくは液状化のおそれのあるもの、および橋長15m未満の単純形式で両端が橋台のものについては、無条件に該当するランクに位置付けるようになっている。

調査票の各点検項目の記入は、各項目ごとに以下の解説に従うものである。



図－1.3.6　橋梁耐震調査フロー図[3]

表－1.3.12　橋梁耐震調査票[3)]

調査機関名				調査年月	昭和　年　月	整理番号	
道路種別		路線名		交通量		橋名	
所在地DID以外	DID（内・外）	バス路線	は い・いいえ	橋長		幅員	

点検項目							
橋梁の点検	(A)上部工	① 適用示方書	4.0 大正15年細則・昭和14年道示	2.0 昭和31年道示・昭和39年道示	1.0 昭和46年道示・昭和55年道示		
		② 上部構造形式	3.0 ゲルバーげた・2径間以上の単純支持	1.5 1径間単純支持(15m以上)，2連以上の連続げた	1.0 上路・中路アーチ・ラーメン，1連の連続げた，斜張橋，吊橋		
		③ 平面線形	1.2 斜橋・曲線橋	1.0 直線			
		④ 上部構造材料	1.2 RC・PC	1.0 鋼			
		⑤ 縦断勾配	1.2 6％以上	1.0 6％未満			
		⑥ 落橋防止構造	2.0 なし	1.0 1種類			
		P_A=①×②×③×④×⑤×⑥	P_A=				
	(B)下部工、の変形	⑦ 下部構造形式	2.0 単列パイルベント	1.0 その他			
		⑧ 橋脚高さ	2.0 10m以上	1.5 5m以上10m未満	1.0 5m未満		
		⑨ 地盤	5.0 4種地盤のうち極軟弱な地盤	2.5 4種	2.0 3種	1.2 2種	1.0 1種
		⑩ 液状化の影響	2.0 あり	1.0 なし			
		⑪ 支持地盤	1.2 不均一	1.0 均一			
		⑫ 洗掘	1.5 あり	1.0 なし			
		P_B=⑦×⑧×⑨×⑩×⑪×⑫	P_B=				
	(C)主鉄筋段落し部の強度	⑬ せん断スパン比（h/D）	2.0 $1<h/D<4$	1.0 $h/D\geq 4$	0.5 $h/D\leq 1$		
		⑭ 段落し部の曲げ引張ひびわれ	2.0 生ずる	1.0 生ずる可能性あり	0.5 生じない		
		⑮ 段落し部の降伏強度に対する安全率 ⑮¹ S_{f_a}	3.0 1以下	2.0 1.1～1.5	0.5 1.5以上		
		⑮ 段落し部の降伏強度に対する安全率 ⑮² S_{m_a}	3.0 1.1以下	2.0 1.1～1.3	1.0 1.3～1.5	0.5 1.5以上	
		⑯ せん断応力度の大きさ	3.0 45以上	2.0 30～45	1.0 15～30	0.5 15以下	（単位：tf/m²）
		P_C=⑬×⑭×⑮¹×⑮²×⑯	P_C=			（ただし，P_C<1.0の時は，P_C=1）	
	(D)下部工の強度・変状	⑰ 固定支承および支承周辺の異常	5.0 重大な欠陥あり	2.0 軽微なもの	1.0 なし		
		⑱ く体の異常	5.0 重大な欠陥あり	2.0 軽微なもの	1.0 なし		
		⑲ 下部構造材料	2.0 大正15年細則，昭和14年道示による無筋コンクリート（重力式橋台を除く）	1.0 RC・PC・鋼，昭和31年道示以後の道示による無筋コンクリート・無筋の重力式橋台			
		⑳ 基礎工法	2.0 木ぐい・レンガ積ケーソン，石積ケーソン・箱枠工法・不明	1.5 既成RCぐい・ペデスタルぐい・2脚ケーソン	1.0 昭和46年指針以後製造のもの・場所打ちぐい・PCぐい・鋼ぐい・直接基礎・一般ケーソン		
		㉑ 下部構造形式	1.5 RCラーメン	1.0 その他			
		㉒ 基礎の異常	2.0 あり	1.0 なし			
		P_D=⑰×⑱×⑲×⑳×㉑×㉒	P_D=				
評価点			$X=P_A\times P_B$=	$Y=P_C\times P_D$=			
備考							

表－1.3.13　耐震調査結果の評価[3)]

ランク	評価点		
	X	Y	
		$P_e=1.0$	$P_e\neq1.0$
A	60以上	10以上	100以上
B	20以上60未満	5以上10未満	50以上100未満
C	20未満	5未満	50未満

注）X，Yの評価点により得られるランクのうち，いずれか高い方（A＞B＞Cの順）を該当橋梁のランクとする。

2)調査票(A)上部工

①　適用示方書

当該橋の設計において準拠した示方書を選択するものであり、古い示方書によるものほど相対的に地震に対する安全性が低いと判断され評価点が高く設定されている。

適用示方書が不明な場合は当該橋梁の完成年次から、推定により、下記のように適用示方書を推定する。

昭和31年度以前に完成の橋　→　大正15年道路構造に関する細則(案)
大和14年鋼道路橋設計示方書(案)

昭和32年度から昭和46年度までに完成の橋
→　昭和31年鋼道路橋設計示方書
昭和39年鋼道路橋設計示方書

昭和47年度から昭和55年度までに完成の橋
→　昭和46年道路橋耐震設計指針

昭和56年以後に完成の橋　→　昭和55年道路橋示方書

②　上部構造形式

既往地震による被害事例によれば、ゲルバーげたおよび2径間以上の単純支持橋の大被害が多く、次いで、15m以上の1径間単純支持橋および2連以上の連続げたの被害が多いことから、この順に評価点が設定されている。

ただし、ゲルバーげたはゲルバー形式のけたをいい、ゲルバートラスは除くものとし、2径間以上の単純支持には、たとえば1径間の単純支持＋1連の連続げたの場合も含む。また、下路式アーチのうち、ランガー橋、ローゼ橋、タイドアーチ橋で単純支持されているものは単純支持に分類する。

③　平面線形

斜橋・曲線橋の地震時挙動が直橋に比較し複雑となると判断され、相対的に高い評価点が設定されている。なお、斜橋は斜角αが60度以下のものをいい、曲線橋は曲線半径が100m以下のものをいう。また、床版部が曲線であってもそれを支持するけたやトラスが直線のものは直橋に分類する。

④　上部構造材料

古い時代に築造されたRC・PC造の橋梁は設計基準が整備されていなかったこと、また材料の不確実さから相対的に高い評価点が設定されている。なお、これは主げたの構造材料で分類する。

⑤縦断勾配

縦断勾配の大きいものは地震時挙動が複雑となると判断され、縦断勾配の大きいものほど高い評価点が設定されている。なお、勾配の値については6%以上と6%未満で分類する。

⑥落橋防止構造

落橋防止構造は、可動支承の移動制限装置、けた端から下部構造頂部端までのけたの長さ、および、落橋防止装置のことで、「昭和55年道路橋示方書Ⅴ耐震設計編5.2落橋防止構造」に規定するものをいう。

3)調査票(B)下部工の変形

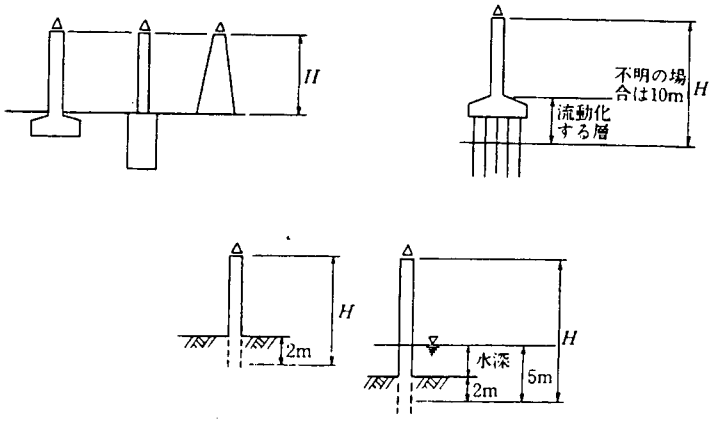
⑦　下部構造形式

下部工のく体が主として単列の鋼管、コンクリートぐい等で構成される単列パイルベント橋脚は、特に地盤条件の悪いところでは剛性および支持力が不足し変形しやすいこと、また既往地震による大被害を受けた事例のあることから評価点が高く設定されている。

なお、跨線橋等に使用されている橋脚の天端がヒンジになっているものは、単列パルベントと同等に扱う。

⑧橋脚高さ

橋脚高さの高いものほどその応答倍率が大きくなること、および昭和46年「道路橋耐震設計指針」以前の示方書では橋梁の応答を考慮した震度の割増しがなされていないこと等から、橋脚高さの高いものほど評価点が高く設定されている。なお、橋脚高さは**図－1.3.7**に示すように以下の距離をとる。



図－1.3.7　橋脚高さの推定法

ⅰ)橋脚の高さは沓底面からフーチングあるいはケーソン頂版上面までの距離をとるものとする。ただし、直接基礎のうちフーチングのないものについては、く体底面までの距離をとる。

ⅱ)液状化する地盤の深さのうち、フーチングあるいはケーソン頂版上面以下の深さは、橋脚高さに加算する。また、砂地盤で液状化する深さが不明の時は、10mを加算する。

ⅲ)く体の高さが不明な場合、陸上部に設置された橋脚については、(地表面以上の高さ+2)m、水中に設置された橋脚については、水深の明らかな場合は、(水面以上の高さ+水深+2)mとし、水深の不明の場合は、(水面以上の高さ+5)mをもってく体部の高さとしてよい。

⑨ 地盤の分類

地盤の分類は、「地盤の特性値T_Gによって分類し、一般に地盤条件の悪い方が被害が大きくなることにより評価点が設定されている。また、4種地盤に分類された地盤のうち、以下のような場合は極軟弱地盤とする。

・泥炭層、ピート層のような土層が総厚1m以上ある地盤

・架橋地点付近の道路や堤防に著しい沈下が認められる場合

なお、地盤種別の判定にあたっては入手できる資料の有無により、次の優先順位に従って判定する。

ⅰ)現場のボーリング資料がある場合はそれによる。

ⅱ)ⅰ)が無い場合、地盤がほぼ同一と考えられる範囲内の近接した工事箇所のボーリング資料が入手できれば、それによる。

ⅲ)ボーリング資料の全く無い場合は、以下のようにする。

・地盤が岩盤 →1種

・〃 洪積地または沖積地砂礫地盤 →2種

・〃 沖積地(砂および砂礫地盤を除く)あるいは埋立地 →3種

・〃 ローム、シラス、砂地盤など →4種

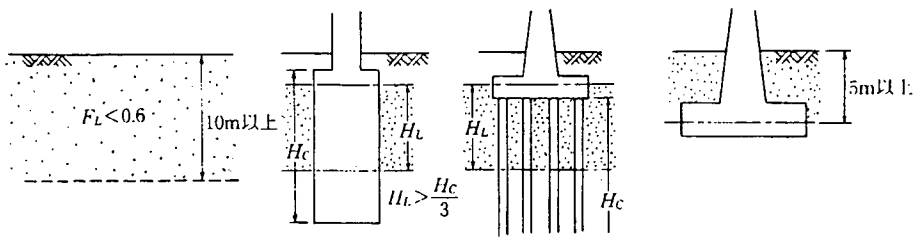
ⅳ)地盤の判定ができない場合は、以下のようにする。

・直接基礎であるもの 2種

・くい基礎、ケーソン基礎 4種

⑩ 液状化の影響

液状化抵抗係数FLを深さごとに求め、FLの値が0.6以下となる砂質土層の層厚ＨＬをもとに基礎の根入れ深さとの関係で図－1.3.8に示すように以下のように液状化の影響を判定する。



図－1.3.8 液状化の影響の推定方法

直接基礎：H_L＞5mの場合には、液状化の影響ありと判断する。

ケーソン基礎およびくい基礎

：H_L＞1／3×(ケーソン長、もしくはくい長)の場合には、液状化の影響ありと判断する。ただし、ケーソン長、もしくはくい長が不明の場合で、H_L＞10mの場合には、液状化の影響ありと判定する。

また、手持資料が無い場合には、次の優先順位に従って判定する。

i)地盤が、ほぼ同一と考えられる範囲内の近接した工事箇所のボーリング資料が入手できる場合はそれによる。

ii)過去の調査あるいは別の機関の調査で、液状化すると判定された地点は、液状化の影響ありとする(ただし1種・2種地盤は除く)。

iii)地下水位の高い沖積層で、ほとんど礫を含まない砂層は液状化の影響ありとする。

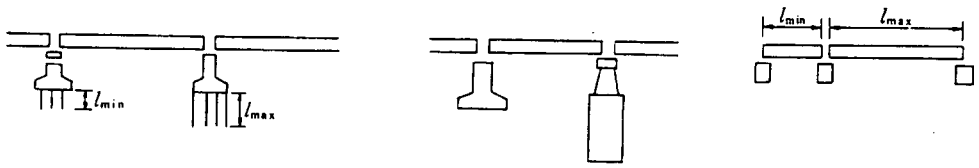
⑪ 支持地盤

既往地震の被害事例によれば、地盤条件の変化部での被害が見られることから、地盤条件の異なるものに高い評価点が設定されている。同一橋梁の下部工で、その支持地盤の土質が異なる場合には不均一とし、なお、地質調査等の手持資料が無い場合には、**図－1.3.9**に示すとおり次の優先順位に従って判定する。

i)基礎工に用いられているくいやケーソンの長さ・高さがけたの両側で著しく(おおむねL_{max}/L_{min}≧2.0)異なる場合は不均一とみなす。

ii)けたの両側の下部工に異なる基礎工法が用いられている場合は不均一とみなす。

iii)着目地点の相隣る支間長が極端に(おおむねL_{max}/L_{min}≧2.0)異なっている場合は不均一とみなす。



図－1.3.9　支持地盤の不均一性の推定方法

⑫ 洗掘

洗掘の進んでいるものほど、地震力のような水平力に対する支持力が不足する。なお、洗掘の有無の判断は、洗掘の深さが基礎の根入れの1/2または2m以上の場合に洗掘ありと判断する。

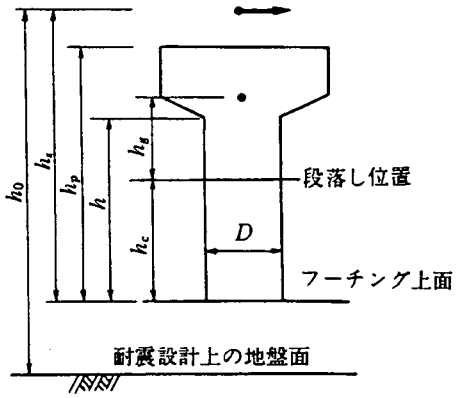
4)調査票(C)主鉄筋段落し部の強度

昭和53年宮城県沖地震、昭和57年浦河沖地震による主鉄筋段落し部でのせん断破壊の大被害の経験から、

以下の4項目による強度判定方法が含まれている。

⑬　せん断スパン比(h/D)

帯鉄筋の配置にもよるが、一般にせん断スパン比が3程度以下の場合にせん断破壊となることから段落し位置を考慮して、1<h/D<4の評価点が高く設定されている。なお、図－1.3.10に示すようにｈはフーチング上部からの梁の下端までの距離であり、Ｄは円形断面では直径(変断面の場合は中間部分)、矩形断面では橋軸方向幅をとる。



図－1.3.10　RC橋脚

⑭　段落し部の曲げ引張りひびわれ

次式により算出した曲げ引張応力度の値により、ひびわれ発生の有無を判定する。

$$\sigma_t = M_c/W - \sigma_v \qquad (4.6.1)$$

ここで、

σ_t：全断面有効とした場合のコンクリートに生じる最大引張応力度(tf/m^2)

M_c：段落し部の曲げモーメントで次式で求める。

$$M_c = (k_h/2) \cdot \{(W_{SL} + W_{SR})(h_s - h_c) + 2W_p' \cdot h_g\} \qquad (4.6.2)$$

h_s：フーチング上面から上部構造の重心位置までの高さ(m)

h_c：フーチング上面から段落し位置までの高さ(m)

h_g：段落し点から段落し上の橋脚く体重心点までの高さ(m)

W_{SL}, W_{SR}：当該橋脚の左側および右側スパンの上部構造の死荷重(tf)

W_p：フーチング上面から上の橋脚く体の重量(tf)

W_p'：段落し点から上の橋脚く体の重量(tf)

k_h：段落し部の照査に用いる設計水平震度で次式により求める。

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \nu 1 \cdot \nu 2 \cdot \nu 3 \cdot k0 \qquad (4.6.3)$$

ここで、

k0：標準設計水平震度

ν1：地域別補正係数

$\nu 2$：地盤別補正係数

$\nu 3$：重要度別補正係数

α　：増幅係数(耐震計算上の地盤面から下部構造天端位置までの高さh0が、15m以下の場合には、1.0、15mを越える場合には、1.25とする。ただし、当該橋脚系の横軸直角方向の固有周期T_pが0.5秒未満もしくは2.0秒をこえること($T_p<0.5$sec、もしくは$T_p>2.0$sec)を確認した場合は、1.0としてよい)。

$$T_p=2.01\sqrt{\delta}$$

$$\delta=\delta_p+\delta 0+\delta 0\cdot h0 \qquad (4.6.4)$$

ここに、

δ　：道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に規定する耐震設計上の地盤面より上にある橋脚の重量の80%と、それが支持している上部構造部分の全重量($W_{SL}/2+W_{SR}/2$)を水平方向に作用させた場合の上部構造重心位置における変位(m)

δ_p：橋脚く体の曲げ変形(m)

$\delta 0$：基礎の水平変位(m)

$\theta 0$：基礎の回転角(rad)

h0：耐震設計上の地盤面から上部構造重心位置までの高さ(m)

β：可動沓を有する橋脚に配分される橋軸直角方向水平地震力の増加率で、1.2とする。

W：断面係数で次式により求める。

$$\left.\begin{aligned} W&=bD^2/6 \text{(矩形断面)}\\ W&=\pi D^3/32 \text{(円形断面)}\end{aligned}\right\} \qquad (4.6.5)$$

σv：段落し位置における常時の荷重による軸方向応力度で、次式により求める。

$$\sigma_v=(W_{SL}+W_{SR}+2W_p')/(2A) \qquad (4.6.6)$$

ここで、

A：く体断面積

$$\left.\begin{aligned} A&=bD && \text{(矩形断面)}\\ A&=\pi(D/2)^2 && \text{(円形断面)}\end{aligned}\right\} \qquad (4.6.7)$$

σtの値によって、段落し部の曲げ引張ひびわれ発生の有無を以下のように判定する。

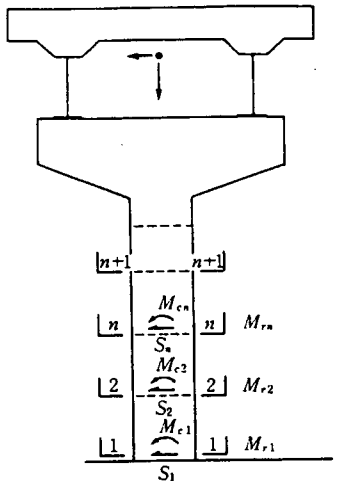
・　$\sigma_t \geqq 200$　(tf/m²)のとき生ずる

・$100<\sigma_t<200$　(tf/m²)のとき生ずる可能性あり

・$100 \geqq \sigma t$　(tf/m²)のとき生じない

⑮　段落し部の降伏強度に対する安全率

段落し部の降伏強度は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編によるコンクリートの応力～ひずみ関係を用いることとし、鉄筋の降伏強度σ_yは、SR24で2,400(kgf/cm²)、SD30で3,000(kgf/cm²)、SD35で3,500(kgf/cm²)の値を用いてよい。コンクリートの許容応力度は無視して、段落し後残っている鉄筋の応力度が前述の値に達する時を降伏時のモーメントとして以下の安全率を算出する(図－1.3.11参照)。



図－1.3.11　主鉄筋段落し部の照査断面

i）安全率（S_{fn}）の計算は次のように行う。

$$S_{fn}=M_{rn}/M_{cn} \qquad (4.6.8)$$

ここに、

M_{rn}：n断面での鉄筋引張応力度の最大値がσ_vとなる時のモーメント（tf･m）

M_{cn}：⑭で求めた地震時に段落し点に生ずるモーメント（tf･m）

固定沓を有する橋脚は、$S_{fn}\geqq 1.5$であるとして計算を省略してよい。

ii）基部の安全率S_{f1}に対する各段落し断面の安全率の比S_{mn}を求める。

$$S_{mn}=S_{fn}/S_{f1} \qquad (4.6.9)$$

⑯　せん断応力度の大きさ

段落し部に生ずるせん断応力度を次式で算出する。

$$\tau_n=S_n/A_n \qquad (4.6.10)$$

ただし、

τ_n：せん断応力度（tf/m^2）

S_n：水平荷重（tf）

$$S_n=k_h\cdot(W_{SR}+W_{SL}+2W_p')/2 \qquad (4.6.11)$$

A_n：橋脚く体断面積（Dは、⑭参照）

$$\left.\begin{aligned} A_n&=D2 \quad (\text{正方形断面})\\ A_n&=\pi(D/2)2 \quad (\text{円形断面}) \end{aligned}\right\} \qquad (4.6.12)$$

橋脚断面が変化しない場合は、基部（n=1）で求める。

なお、以上の計算において配筋図が無い場合には次のように推定する。鉄筋は以下の条件を満足するように入れられ、段落しは、フーチング上面から（hp/2＋0.6）mの点で行われ鉄筋量が基部の1/2にされていると仮定する。なお、（hp/2＋0.6）がhよりも大きい場合は、段落しは行われていないと判断する。

・基部に作用する鉛直荷重

$$V=(W_{SL}+W_{SR})/2+W_p(tf) \qquad (4.6.13)$$

・基部に作用するモーメント

$$M=0.2\times\gamma\times(W_{SL}+W_{SR}+2W_p)/2\times h_p(tf\cdot m) \qquad (4.6.14)$$

ここで、

$\gamma=1.0$：連続げたの端部以外の橋脚

$\gamma=0.9$：連続げた端部で連続げた以外のけたに続いている橋脚

$\gamma=0.8$：連続げた端部で連続げたに続いている橋脚

使用鉄筋の地震時許容応力度：$\sigma sa=2{,}100(kgf/cm^2)$（丸鋼）

5)調査票(D)下部工の強度・変状

⑰ 固定支承および支承周辺の変状

重大な欠陥とは、固定支承の損傷、アンカーボルトの抜け出し、沓座の破損および支承部の異常な変位のあるものをいい、軽微なものとは、固定支承の腐食およびアンカーボルトの腐食の著しいもの等をいう。なお、ゲルバー形式の橋梁の場合、かけ違い部についての異常、破損の有無をこの項目でチェックする。

⑱ く体の異常

重大な欠陥とは、クラックの連続しているもの、過去の地震により生じたクラックのあるものをいい、軽微なものは鉄筋の露出、コンクリートの剥離、パイルベントにおける鋼ぐいの腐食等をいう。

⑲ 下部構造材料

下部工のく体に使用されている構造材料を示し、大正15年細則および昭和14年道示による古い時代に築造された無筋コンクリートの評価点を相対的に高くしている。

⑳ 基礎工法

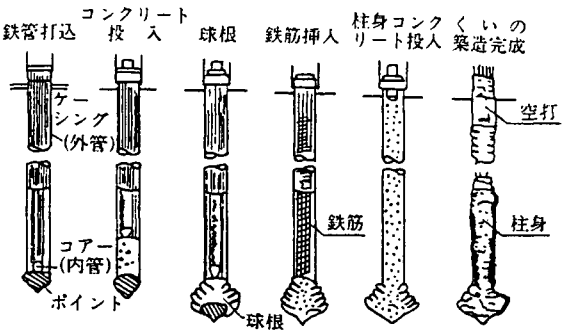
昭和46年指針以前に建設されたものについて該当する工法で分類する。ここで、箱枠工法、ペデルタルぐいおよび2脚ケーソンとは以下のような工法である。

ⅰ）箱枠工法：　直接基礎等で洗掘を防ぐために、根入れを深くする目的で、面積のあまり大きくない水中掘削を施工するとき、木製あるいは鉄筋コンクリート製の箱型の枠組みを作り、掘下げるに従って枠を沈下させ、または縦板の打ち込みを増し、または側板を継ぎ足しているような工法(戦前に施工例が多い)により施工された基礎工の場合これに分類する。

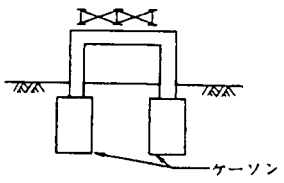
ⅱ）ペデスタルぐい：図－1.3.12に示すように貫入後コンクリートを打設する場所打ちぐいの一種で、内外二重の鋼管の末端にコンクリート性または木製の沓をはめて所定の位置まで打ち込み、このあと外管中にコンクリートを投入し、内管でコンクリートに打撃を加えながら外管を引き抜いてくいを作成する工法で、戦前に施工された場所打ちぐいの多くはこの工法である。

ⅲ）二脚ケーソン：　一基の下部工が複数のケーソンで支持されており、かつ連結材の剛性が低いもの(図－1.3.13参照)をいう。

なお、基礎工法を不明とするものは、戦前に施工されたような古い橋等で不明の場合である。



図－1.3.12　ペデスタルぐいの施工法の一例



図－1.3.13　2脚ケーソンの一例

㉑　下部構造形式

RCラーメンの強度不足による被害が見られることから、RCラーメンとその他を分類する。

㉒　基礎の異常

基礎の沈下、移動、および傾斜等の変位がある場合を異常ありとし、なお、地中部のため直接確認できない場合は、上部工の変位状況から基礎の異常を判断してもよい。

(4)大阪市の橋梁の耐震性判定法[15)]

大阪市では、すべての既設橋梁について耐震性の評価を実施している。**表－1.3.14**に耐震性調査法と評価点を示す。橋梁の耐震性評価項目を重み付けして区分した橋梁評価点票を用いて、(A)地盤外力評価点ＰＡ、(B)上部工評価点ＰＢ、(C)下部工評価点PCを算定し、ＰＡ、ＰＢ、PCの積で橋梁の耐震性をランク1～5にランク付けする。評価点のランク分けは**表－1.3.15**に示す通りで、ランクが高くなるほど耐震性が悪い。ただし、橋長15m以下で両端に橋台がある橋は兵庫県南部地震で被害がほとんど無かったことから、無条件に耐震性が高いとする。さらに、上部工および下部工の材料が木、石、レンガのものは耐震性が最も低いとする。

橋梁の耐震性評価項目は以下のように選定している。

①適用設計基準

橋の老朽と基準レベルが低いことから、古い橋ほど耐震性が劣るとし、4つに区分。

表－1.3.14　耐震性の調査表[15)]

評価項目			評価点および分類								備考
(A)地盤外力	①	適用示方書	6.0	大正15年細則 昭和14年道示	1.5	昭和31年道示 昭和39年道示	1.5	昭和46年指針 昭和47年道示	1.0	昭和55年道示 平成2年道示	
	②	地盤種別	2.0	4種	1.5	3種	1.2	2種	1.0	1種	
	③	液状化の可能性	2.0	大	1.5	中	1.2	小	1.0	極めて小さい	
		評価点PA	=①×②×③			(min	1.0	max	24.0)		
(B)上部工	④	上部構造形式	3.0	ゲルバー桁	1.5	1径間の単純支持 (支間15m以上)	1.0	その他			
	⑤	平面線形	1.5	斜橋・曲線橋	1.0	直線橋					
	⑥	上部構造材料	1.2	RC・PC	1.0	鋼					
	⑦	縦断勾配	1.2	6%以上	1.0	6%未満					
	⑧	落橋防止構造	2.0	無し	1.0	有り					復旧仕様
	⑨	桁長	1.5	35m以上	1.0	35m未満					
	⑩	桁かかり長	2.0	A/S≦1	1.0	A/S＞1					
		評価点PB	=④×⑤×⑥×⑦×⑧×⑨×⑩			(min	1.0	max	38.9)		
(C)下部工	⑪	下部構造形式	2.0	T型、L型、単柱	1.0	その他	1.0	その他			
	⑫	下部構造材料	2.0	パイルベント 無筋ｺﾝｸﾘｰﾄ (重力式橋台除)	1.0	その他					
	⑬	下部工高	1.5	10m以上	1.2	5m以上10m未満	1.0	5m未満			
	⑭	基礎工形式	2.0	木杭	1.5	既製RC杭	1.0	その他			
	⑮	構造系のﾊﾞﾗﾝｽ	3.0	不均一	1.0	均一					
	⑯	震災点検結果	2.0	落橋対策必要	1.0	その他					
	⑰	陸上部高架橋	3.0	陸上部高架橋	1.0	その他					
		評価点PC	=⑪×⑫×⑬×⑭×⑮×⑯×⑰			(min	1.0	max	216.0)		
評価点 (X)			=PA×PB×PC			(min	1.0	max	201554)		

（備考）　1．両端橋台の桁長 15m 未満の橋梁は無条件にランク 1（最良）とする。

2．上部工、下部工の材料が、木・石・レンガであるものは無条件にランク 5（最悪）とする。

3．ランクは、備考 2 →備考 1 →評価点の順に判定する。

表－1.3.15　ランク表[15)]

ランク	評価点	耐震性
5	120≦×	悪い
4	60≦×＜120	↕
3	30≦×＜ 60	
2	15≦×＜ 30	
1	1≦×＜ 15	良い

表－1.3.16　適用設計基準[15)]

建設年代	適用設計基準発行年
～昭和31年	昭和1年　昭和14年
昭和32年～昭和47年	昭和31年　昭和39年
昭和48年～昭和55年	昭和46年　昭和47年
昭和56年～	昭和55年　平成2年

②地盤種別

地盤が軟弱なほど地震動の振幅特性が大きいことから、支持地盤が深いほど軟弱で被災の可能性が大きいとして4つに区分。

表－1.3.17　地盤種別[15)]

1種地盤	岩盤
2種地盤	支持層深度　0～10m
3種地盤	支持層深度　10～25m
4種地盤	支持層深度　25m

③液状化

大阪市で判定した液状化危険度図(1996.3)に基づき4つに区分[18)]。

④上部工形式

一般的な知見から耐震性はゲルバー桁を最も悪いとし、次いで単純桁が連なった形式が悪いとして区分。

⑤平面線形

斜橋と曲線橋は地震時挙動が複雑になることから、設計では予測しえない損傷や落橋の恐れがあることから他の橋と区分。

⑥上部工材

桁重量が鋼桁に比べて重いRC桁、PC桁がやや耐震性が悪いとしている。

⑦縦断線形

平面線形と同じ理由により、縦断線形6%以上の橋を区分。

⑧落橋防止装置

桁連結装置など有無により区分。

⑨桁長

桁長が大きいほど相対的に地震被害が大きくなると考え、桁長35m以上と未満で区分。

⑩桁かかり長

1980年の設計基準で規定されている桁かかり長さ確保されているか否かで区分。

⑪下部工形式

兵庫県南部地震で被害の大きかった単柱式を区分。

⑫下部工材料

無筋コンクリートおよびパイルベントを区分。

⑬下部工の高さ

橋脚が高いほど応答変位が大きくなること。また、昭和46年以前の設計基準では応答を考慮した設計荷重の割増が行われていないことから橋脚が高いほど耐震性が悪いとし、3つに区分。

⑭基礎工形式

木杭、既製RC杭の順に耐震性に乏しいとし、3つに区分。

⑮構造系のバランス

同一橋梁で支持地盤高さ、基礎形式、隣接桁長、橋脚高さなどの不均一さがあるものについて耐震性が低いとしている。

⑯耐震点検結果

過去に耐震点検がなされていた橋の結果、対策が必要とされているもので未対策のものを区分。

⑰連続高架橋

兵庫県南部地震で特に被害の大きかった連続高架橋を耐震性に問題があるとして区分。

3.3.2 耐震補強優先度

簡易な耐震性判定で耐震性能が低いと判断された橋梁に対して耐震補強を検討することになる。しかし、同時にこれらの橋梁の耐震補強を実施することは困難であるため、一般に耐震補強対策の優先順位を設定し、順番に補強を検討している。

橋梁の耐震補強優先度は、地震発生の切迫度，橋梁の耐震性(構造特性)，橋梁および路線の重要性を考える必要がある。

橋梁および路線の重要性を構成する要因として、次の事項[11]を考慮する。

・地域の防災計画上の位置付け
　橋が地震後の避難路や救助・救援・医療・消火活動および避難者へ緊急物資の供給等の輸送を確保するために必要とされる度合い。

・2次災害の可能性
　復断面、跨線橋や跨道橋など、橋が被害を受けたとき、それが他の構造物・施設に影響を及ぼす度合い。

・利用状況と代替性の有無
　利用交通量や橋が交通機能を失ったとき直ちに他の代替構造物・施設によってそれまでの機能を維持できるような代替性の有無

・機能回復の難易
　橋が被害を受けたのちに、その機能回復に要する時間と費用の大きさ。

以下に、設定例として、建設省の平成8年道路防災総点検データにもとづいた補強対策優先度の評価に用いられる指標[6],大阪府の補強対策報告書の評価方法[8]，大阪市の評価方法[15]および米国の評価方法[14),16)]を示す。

(1) 建設省の平成8年度道路防災総点検データにもとづいた補強対策優先度の評価に用いられる指標[6]

この補強対策優先度評価方法は、簡易な耐震性判定による橋梁の耐震性カテゴリー区分と路線の重要度から優先度を設定する。路線の重要度から決まる橋梁の補強対策優先度は、**表－1.3.18**に示すように矢印の方向で高くなる。

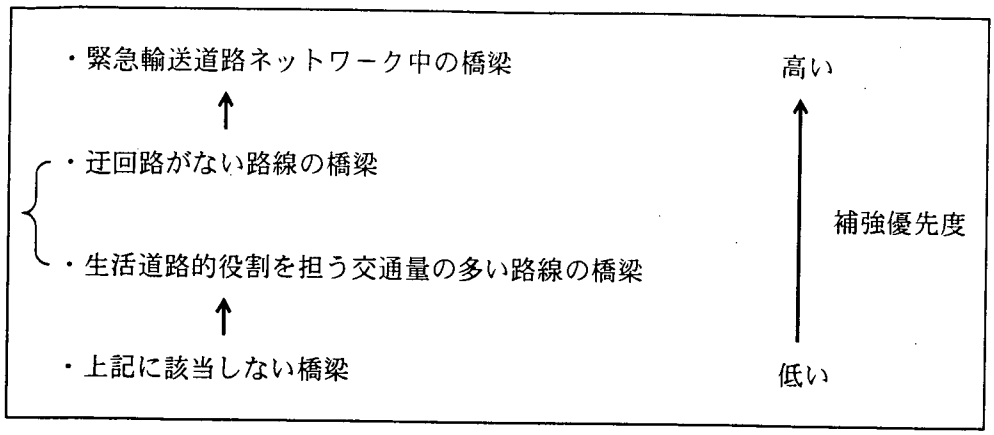
路線の重要度は、「緊急輸送道路ネットワーク計画」、「迂回路」、「交通量」などを条件に判断し、路線内の橋梁の補強対策優先度を次のように考えている。

・緊急輸送路は、その計画策定の目的により、震災時に最も重要な道路となるため、この路線内橋梁の補強対策は最も優先的に実施する。

・被災による集落の孤立化を優先的に解消するために、迂回路の有無を目安として、迂回路のない路線内橋梁を優先的に実施する。

・生活道路的役割を担う路線線を優先的に実施する。

表－1.3.18　耐震対策優先度相対比較



(2)大阪府の耐震補強優先度[8]

大阪府では、道路橋補強の優先度として、地域防災上および、橋梁の耐震性能上からの優先度を考えている。

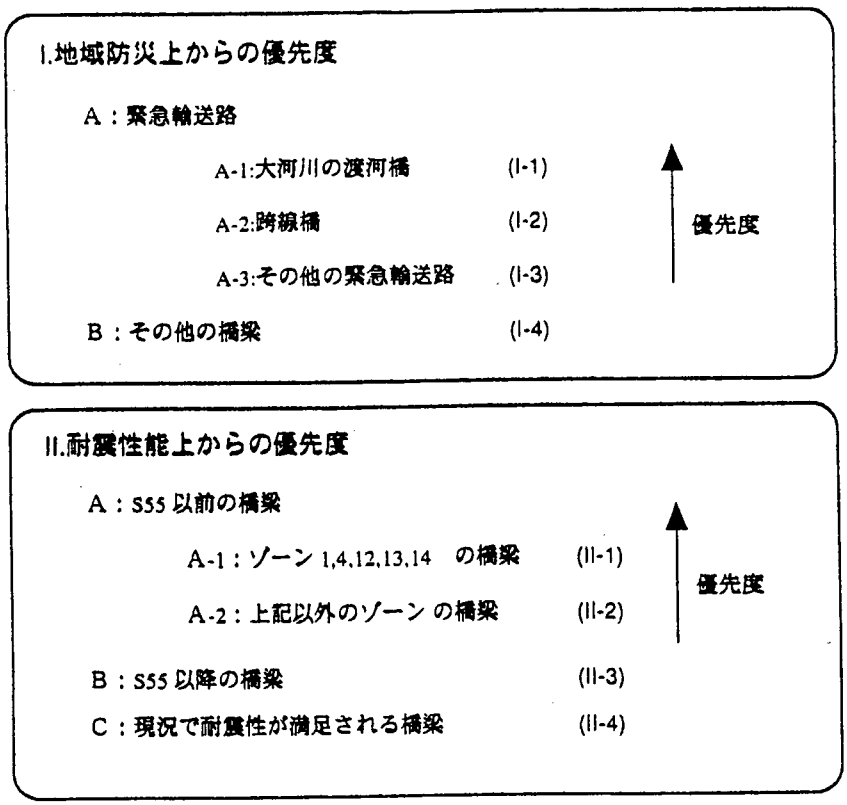
地域防災上からの優先度の順位、橋梁の耐震性能上からの優先度の順位、およびその詳細な区分を**表－1.3.19**のようにしている。矢印の向きが優先度の高くなる順番を示している。

・地域防災上からの優先度は緊急輸送路の橋梁とその他の橋梁に分類される。さらに、緊急輸送路の橋梁は大河川の渡河橋、跨線橋、その他の緊急輸送路に分類されいてる。
緊急輸送路における大河川の渡河橋の優先度が高い。

・耐震性能上からの優先度は昭和55年以前に設計された橋梁、昭和55年以降の橋梁、および現況で耐震性が満足されている橋梁に分類される。さらに、昭和55年以前の橋梁は断層に近い橋梁とそれ以外の橋梁に分類されている。
活断層による地震動の影響が大きくなる地域内にある昭和55年以前の橋梁は優先度が高い。

表－1.3.19のランク区分詳細説明中の1, 4, 12, 13, 14ゾーンは、大阪府内地域に対して数ｋｍおきの地点で、上町断層、有馬・高槻断層、生駒断層、中央構造線による地震動を推定した結果、地震動が大きくなった地域である。4,13,14ゾーンは上町断層の影響による地震動が支配的になっている。1ゾーンは有馬・高槻断層の影響であり、12ゾーンは生駒断層の影響である。

表－1.3.19　補強の優先度[8]



各ランク区分の詳細を以下に示す。

1）地域防災上からの優先度

Ⅰ-1　代替ルートのない橋梁であり、交通不能となると被災後の復旧活動に重大な支障をもたらす。

Ⅰ-2　路下が鉄道であることから、落橋すると人命にかかわる被害となる。また、鉄道交通も遮断することになる。落橋させないことが重要である。

Ⅰ-3　緊急交通路であり、被災後の復旧活動に支障をもたらす。

Ⅰ-4　緊急交通路ではないが、落橋させない。

2）耐震性能上からの優先度

Ⅱ-1　昭和55年以前の橋梁はせん断破壊先行となる橋脚が多く、ひとたび耐力を越える地震力を受けると、大きな損傷を受ける可能性が高い。また、なかでも断層に近い1, 4, 12, 13, 14ゾーンについては、大きな地震力を受けるため、補強の優先度がとくに高い。

Ⅱ-2　地震力は比較的小さいが、現況橋脚は耐震性を満足していない。またせん断破壊先行となるため、損傷は大きいと考えられる。

Ⅱ-3　昭和55年以降の橋脚は、曲げ破壊先行となるものが多く、ある程度ねばりをもった損傷形態となる。しかし、現況橋梁は耐震性を満足していないため、補強は必要である。

Ⅱ-4　現況で耐震性は満足されるため補強は不要である。

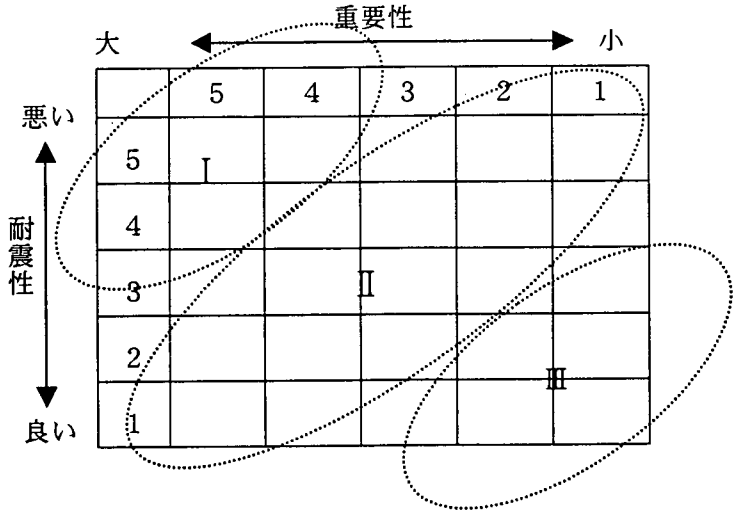
(3)大阪市の耐震補強優先度[15)]

各橋梁の耐震性の評価結果と重要度にもとづいて、耐震対策の優先度を検討している。

図－1.3.14に示すように耐震性と重要度のランクをそれぞれ縦軸と横軸に現したマトリックスを作成し、橋梁の耐震対策の優先度を評価する。

図－1.3.14に、大阪市の補強優先度評価マトリックスを示す。マトリックスでは重要度が高く耐震性が劣る左上に上げられた橋梁の対策が急がれ、右下については順番が後になる。大阪市では、補強対策優先度をⅠ、Ⅱ、Ⅲの3段階に順位付けしている。

橋梁の重要度は、**表－1.3.20**に示す9個の重要度評価項目のその重み付けポイントで評価している。重要度ランクは、震災直後からおおよそ2日程度を想定した評価点(ケース1)とその後のおおよそ1ヶ月間を想定した評価点(ケース2)の合計点で決める。**表－1.3.21**に評価点によるランク分けを示す。



図－1.3.14　補強優先度評価マトリックス

表－1.3.20　重要度の評価点 [15)]

	??路	緊急輸送路	主要幹線道路	跨線橋	主要道路を跨ぐ跨道橋	迂回路確保困難	応急復旧が困難	拠点（市道2級以上）				人口密度	主要ライフライン	合計
								市役所・府所・府庁	消防署	病院	区役所			
ケース1（地震直後）	5	2	1	旅客(主要)3 旅客(ローカル)2 貨物　1	2	－	1	2	2	2	－	－	－	2.0
ケース2（応急復旧時）	－	5	3	旅客(主要)3 旅客(ローカル)2 貨物　1	2	2	1	1	－	－	1	－	3種類以上 2 1種類以上 1 該当なし 0	2.0
総合評価 ケース1 ＋ ケース2	5	7	4	5	4	2	2	3	2	2	1	－	2	4.0

表－1.3.21　ランク表 [15)]

ランク	評価点	重要度
5	２０～４０	大
4	１６～１９	↕
3	１２～１５	↕
2	４～１１	↕
1	０～　３	小

(4)米国の耐震性判定および補強優先度[14),16)]

設計図書，保守点検記録などから得られる橋梁の調査データ［①橋梁の特徴(建設年度，耐震補強補修の履歴、構造特性)，②上部構造形式，③支承構造，④橋脚構造，⑤橋台構造］を基に、橋の耐震性カテゴリー区分と、構造的な脆弱性および想定地震災害度から橋の耐震等級付けを行い、橋の耐震性を評価する。次に、耐震等級に重要度(社会的，経済的要因)、ネットワーク代替機能性、残存使用期間を考慮して、橋の補強優先度を決定する。

図－1.3.15に橋の補強優先度プロセスを示す。

1)橋の耐震性カテゴリー(Seismic Performance Category)

橋の耐震性カテゴリーは、AASHTO仕様書が対象とする地域に指定している加速度係数(A)と構造物の重要(Ⅰ)の組み合わせで、**表－1.3.22**に示すようにA，B，C，Dに区分される。

表－1.3.22　耐震性種別[14)]

	重要度等級	
加速度係数	非常に重要	標準的
A≦0.09	B	A
0.09＜A≦0.19	C	B
0.19＜A≦0.29	C	C
0.29＜A	D	C

耐震性種別の内容は以下の通り。

A；耐震補強を特別行う必要がないと考えられる橋

B；支承、継ぎ手拘束装置、沓座の脆弱性に対する補強が必要となる橋

C、D；包括的な補強計画をたてることが必要な橋

加速度係数Aおよび構造物の重要度は次のようである。

構造物の重要度は、地震後も機能し続けることができる、あるいは地震後すぐ使用し続けられるルートを通る橋(非常に重要な橋)とその他の橋(標準的な橋)との二つに区分している。非常に重要な橋は、具体的に、以下の条件を一つ以上満足するのである。

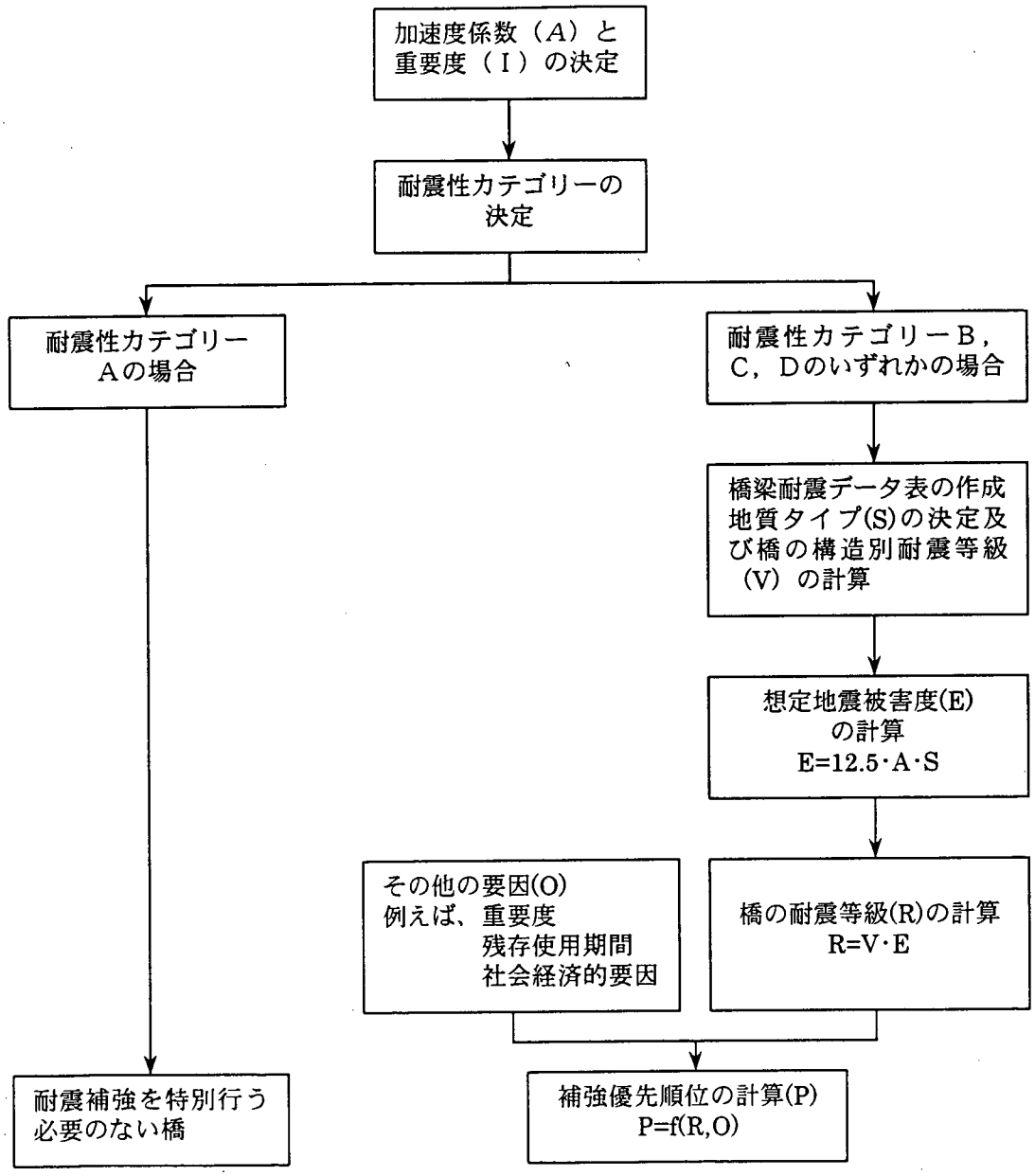
①病院などの地域の緊急施設へのアクセスを確保する橋。電力、水道などのライフインを通す橋

②崩壊してしまうとじん大な経済的影響を及ぼす橋

③地域緊急計画により緊急路に指定された橋

④安全保障・防衛道路網において欠かすことのできない連絡路の役割を果たす橋

加速度係数Aは、検討対象橋梁が建設されている地盤の予想最大水平地盤加速度値［A x　g(重力加速度)］を示す。



図－1.3.15　米国の耐震性判定および補強優先度プロセス[14)]
（事前評価プロセス）

2) 橋の耐震等級(Bridge Rank)

耐震性カテゴリーB，C，Dに指定されたすべての橋に対して、構造的な脆弱性および想定地震災害度にもとづいた耐震等級付けを行い、耐震性を評価する。

橋の耐震等級(R)は構造別耐震等級(V)と立地条件による想定地震災害度(E)の積で決まる。V，Eの各等級は0～10の範囲の値をとり、Rは0～100の値をとる。

$$R = V \times E$$

R値が大きければ、橋梁を補強する必要性も大きくなる。

図2.3.16に構造別耐震等級(V)計算のための手順を示す。

①構造別耐震等級V(Structural Vulnerability Rating)

構造別耐震等級Vは、継ぎ手部，支承，沓座の構造から決まる耐震等級V1と橋脚，橋台，地盤の液状化の条件により決まる耐震等級V2の最大値で設定される。

$$V = (V1 : V2)_{max}$$

i)継ぎ手部，支承，沓座から決まる耐震等級V1

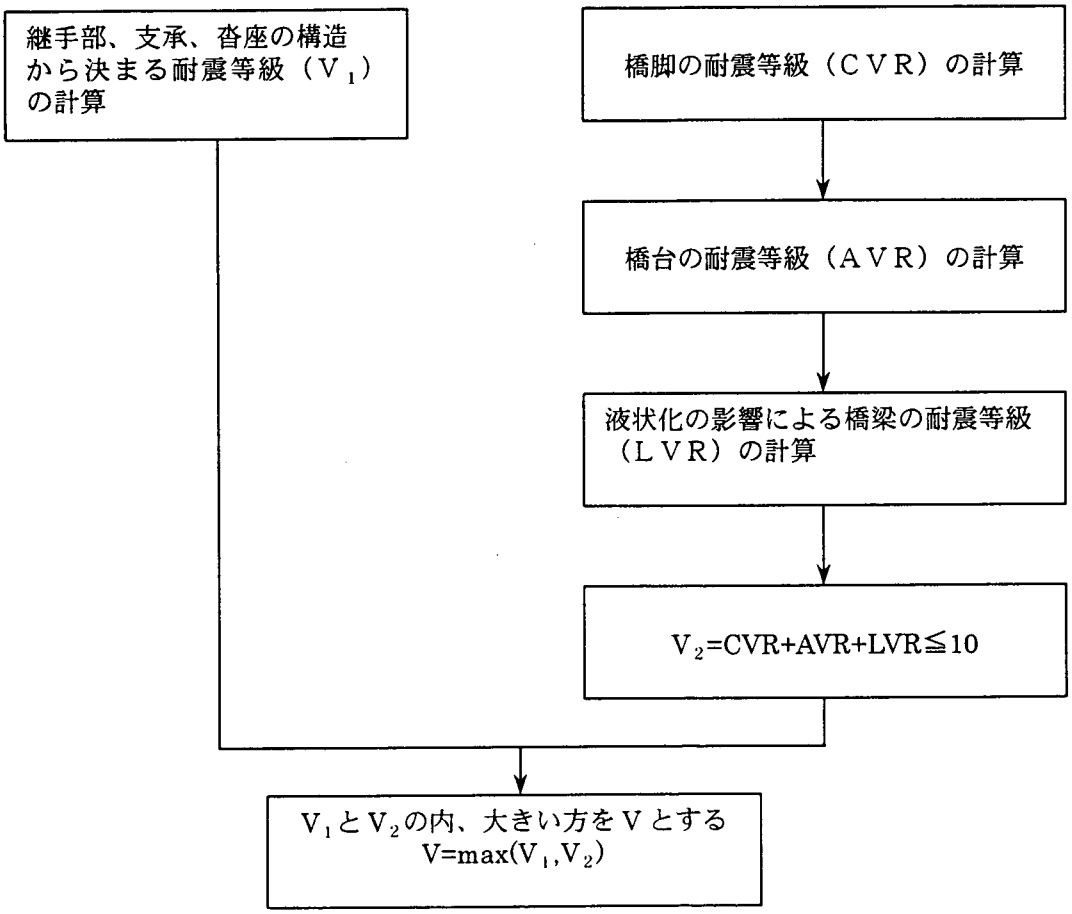
図2.3.17に示す手順にて、継ぎ手部，支承，沓座の耐震等級を算出する。

ｽﾃｯﾌﾟ1；対象橋梁がAASHTO仕様書に従って十分な支承設計を行っているかどうかの判定。

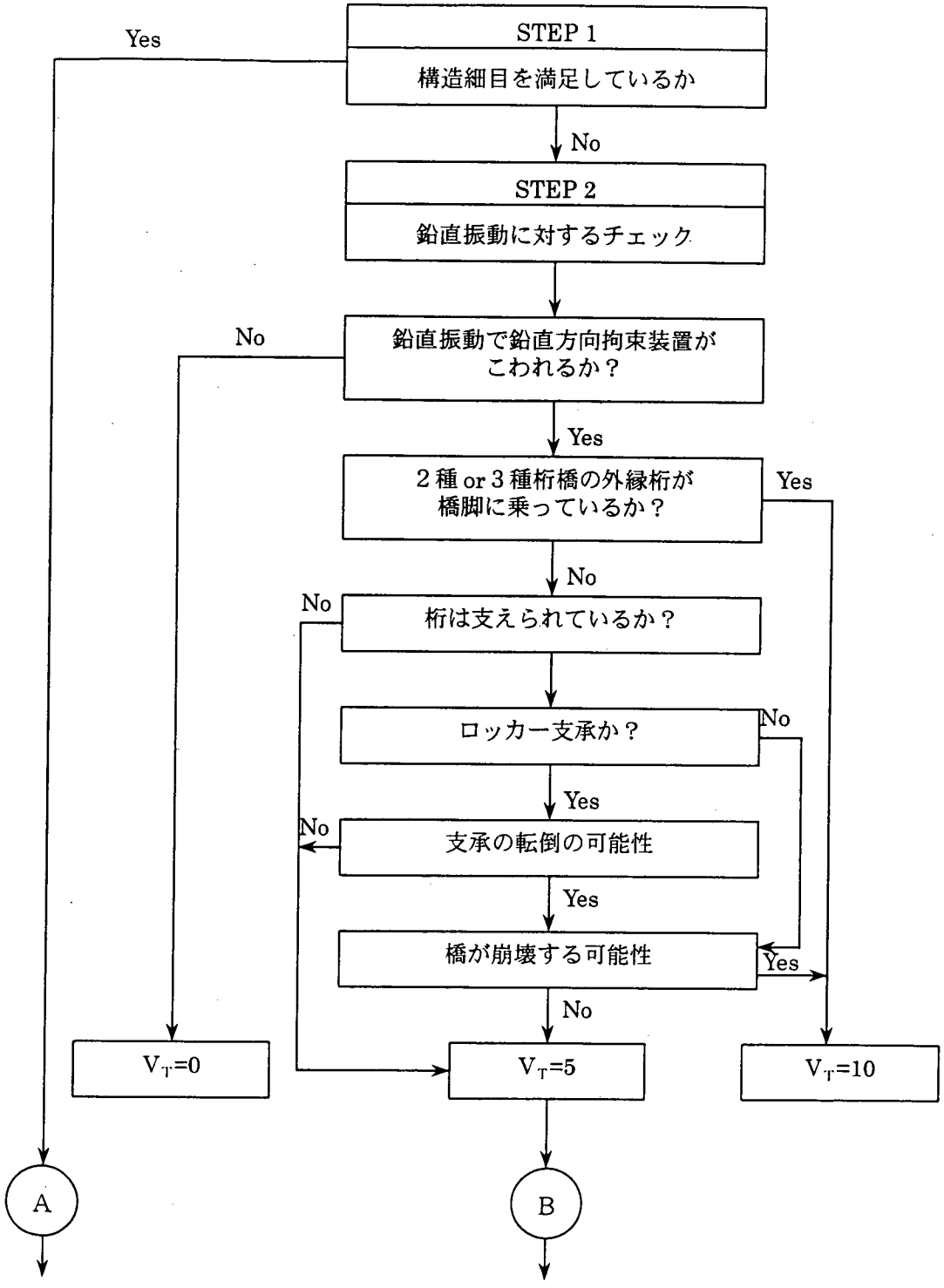
ｽﾃｯﾌﾟ2；橋軸直角方向地震挙動による橋の脆弱性または橋が使用不可能になる可能性について判定(VT)。

ｽﾃｯﾌﾟ3；橋軸方向地震挙動による崩壊または通行可能に陥る耐震性について判定(VL)。

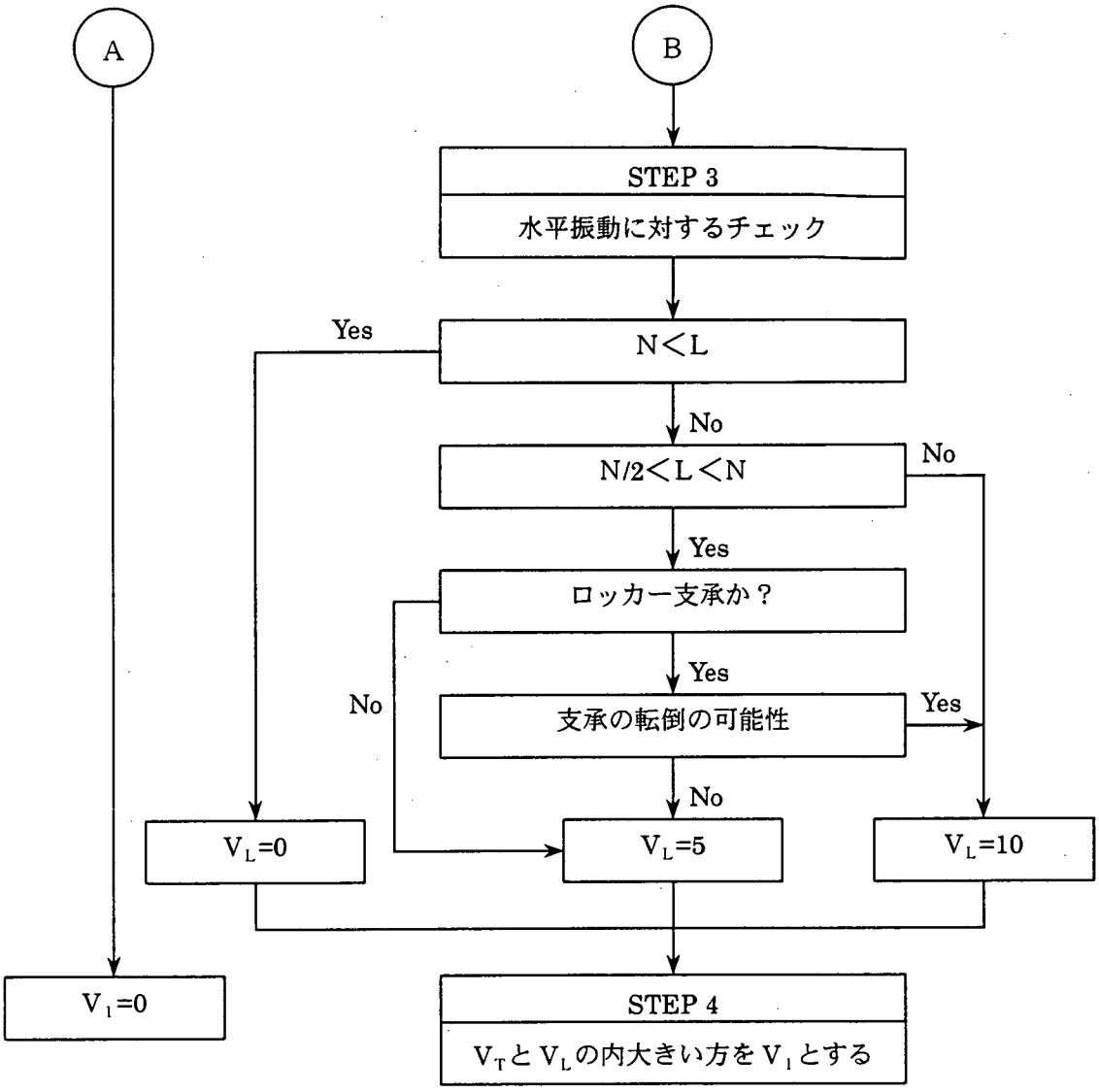
ｽﾃｯﾌﾟ4；橋軸直角方向地震挙動による耐震性等級VTと橋軸方向地震挙動による耐震性等級VLの最大値をV1とする。 $V1 = (VL : VT)_{max}$



図－1.3.16　橋の構造別耐震等級（Ｖ）計算フロー[14)]



図－1.3.17(1)　継手部、支承、沓座から決まる構造別耐震性等級（V_1）計算フロー[14)]



L=沓座に直角な方向で測った寸法（軸方向縁端長）
N=AASHTO（I－A）で規定される必要軸方向縁端長

図－1.3.17(2)　継手部、支承、沓座から決まる構造別耐震性等級（V_I）計算フロー[14)]

ii）橋脚，橋台，地盤の液状化の条件により決まる耐震等級Ｖ2

橋脚，橋台，地盤の液状化により決まる耐震等級Ｖ2は、橋脚の耐震等級ＣＶＲ，橋台の耐震等級ＡＶＲおよび，液状化の影響による橋の耐震等級ＬＶＲの和で決まる。

$$V2=CVR+AVR+LVR\leqq 10$$

・橋脚の耐震等級ＣＶＲ

ｽﾃｯﾌﾟ1；耐震性カテゴリーＢに指定された橋に、橋脚の耐震等級ＣＲＶ値0を設定。

ｽﾃｯﾌﾟ2；支承の破壊により、上部構造が下部構造に及ぼす影響を絶つことのできる構造であれば、ＣＶＲ＝0と設定。

ｽﾃｯﾌﾟ3；橋脚とフーチングにAASHTO仕様書で規定した横拘束鉄筋が配置されている場合、ＣＶＲ＝0と設定。

ｽﾃｯﾌﾟ4；ｽﾃｯﾌﾟ1～3のいずれにも相当しない場合、せん断破壊による橋脚の耐震性，継手部での曲げ破壊による耐震性，基礎の構造による橋脚の耐震性について照査し、ＣＶＲ値を設定する。

$$CVR=(CVR4a:CVR4b:CVR4c)max$$

ｽﾃｯﾌﾟ4a；せん断破壊による橋脚の耐震性

$$CVR4a=Q-R$$

ただし、

$$Q=13-6\cdot[Lc/(Ps\cdot F\cdot bmax)]$$

{ｻﾝﾌｪﾙﾅﾝﾄﾞ地震に見舞われた橋の柱せん断破壊例からの経験式}

Ｌｃ；有効脚長さ
Ｐｓ；柱の主鉄筋比(%)
Ｆ　；形状係数
　上下端が固定の多柱式橋脚(bent)：2
　一端が固定の多柱式橋脚　　：1
　上下端が固定の一本柱橋脚を備えた箱桁上部構造：1．5
　上下端が固定の単柱橋脚を備えた箱桁以外の上部構造：1．25
ｂmax；柱の最大横寸法
Ｒ　；表－1.3.23に示す補正係数

表－1.3.23　Ｒ値[14]

補正係数	R
加速度係数, A＜0.4	3
斜角 ≦ 20°	2
連続桁橋、両端桁橋の単純桁橋、せん断スパン比4以下の橋脚	1
40等級(あるいは、それ以下)の鉄筋	1

ｽﾃｯﾌﾟ4b；継手部での曲げ破壊による橋脚の耐震性

90m以上の上部構造を支える単柱橋脚、あるいは脚の軸方向筋が推定塑性ヒンジ箇所にて継がれている伸縮継目を持つ単柱橋脚に対し、次のＣＶＲ4b値を用いる。

Ａ＜0.4の場合、ＣＶＲ4b＝7

A≧0.4の場合、ＣＶＲ4b＝10

ｽﾃｯﾌﾟ4c；基礎の構造による脚の耐震性

加速度係数が0.4以上になると推定されている地域の橋梁を対象にする。

引き抜きに対し補強していない杭フーチング、あるいは拘束が十分行われていない杭基礎上に支えられている単柱橋脚に対し、次のＣＶＲ4ｃ値を用いる。

0.4≦Ａ≦0.5　の場合、ＣＶＲ4ｃ＝5

0.5＜Ａ　　の場合　ＣＶＲ4ｃ＝10

橋台の耐震等級ＡＶＲ

橋台の耐震等級は橋を一時的に通行不能とする被害にもとづいて定める。

ｽﾃｯﾌﾟ1；橋が耐震性カテゴリーＢに指定されている場合、ＡＶＲを0と設定。

ｽﾃｯﾌﾟ2；橋台部の盛土沈下量を予測し、沈下量が150mmよりも大きいと予測される場合、ＡＶＲ＝5とする。それ以外、ＡＶＲ＝0と設定。

表－1.3.24　盛土沈下予測[14]

加速度係数範囲	沈下予測量
0.19＜Ａ≦0.29	盛土高さの1%
0.29＜Ａ≦0.39	盛土高さの2%
0.39＜Ａ	盛土高さの3%

ｽﾃｯﾌﾟ3；耐震性カテゴリーＤに指定されている橋で、ｶﾝﾁﾚﾊﾞｰ土留め橋台を持ち、斜角が40度を越え、沓座部と基礎底面との距離が3mを越えるものは、ＡＶＲ＝5とする。これらの条件に合わない場合，ＡＶＲ＝0と設定。

液状化の影響による橋の耐震等級ＬＶＲ

液状化による安定性喪失が深刻な要因であり、基礎地盤の耐震性等級は以下の項目にもとづいている。

ｽﾃｯﾌﾟ1；基礎地盤の液状化への程度を求める。

表－1.3.25　液状化の可能性[14]

液状化の可能性	地盤種別
高い(high)	・杭に側方作用力またはﾌｰﾁﾝｸﾞに支持力を与えている基礎地盤が、平均的に飽和して柔らかい砂、飽和したｼﾙﾄ砂、または非塑性砂を含む場合 ・均一な土壌が橋台の下にあり、るいは連続層として存在している場合
中程度(moderate)	・基礎地盤が、圧密砂など平均的に密度が中程度の土壌である場合
低い(low)	・基礎地盤が、平均的に稠密な砂である場合

ｽﾃｯﾌﾟ2；軟弱な土質条件が存在する場所での液状化関連被害の想定発生率を求める。

表－1.3.26　液状化関連被害の程度[14]

	加速度係数 A				
地盤が液状化する可能性	0.09≦A	0.09＜A≦0.19	0.19＜A≦0.29	0.29＜A≦0.39	A＜0.39
低い	低い	低い	低い	低い	低い
中程度	低い	低い	中程度	大きい(major)	甚大
高い	低い	中程度	高い	甚大(severe)	甚大

ｽﾃｯﾌﾟ3；液状化によるじん大な(severe)被害をうけやすい橋は、耐震等級LVR=10斜角が20°未満の単純支間橋または堅個な箱形ｶﾙﾊﾞｰﾄの場合、LVR=5

ｽﾃｯﾌﾟ4；液状化による大きな(major)被害をうけやすい橋はLVR=10に設定。なお、橋梁の構造形式によってLVR=5～9に設定される。

ｽﾃｯﾌﾟ5；中程度の液状化被害をうけやすい橋は、LVR=5とする。

ｽﾃｯﾌﾟ6；液状化による被害が少ないと考えられる橋は、LVR=5とする。

②想定地震被害度(E)

地盤の増幅効果を考慮した補正係数により修正した地盤の最大加速度から想定地震被害度(E)を算出している。

E＝12．5・A・S≦10

ここに、A：加速度係数

S；表－1.3.27に示す、補正係数

表－1.3.27　補正係数S[14]

地盤タイプ	地域補正係数
Ⅰ	1．0
Ⅱ	1．2
Ⅲ	1．5
Ⅳ	2．0

Eの数値は、0.625～10.0の間となる。

表－1.3.28　土質特性[14)]

地盤タイプ	土質特性
Ⅰ	岩盤もしくは結晶状の岩からなる、あるいは硬い土砂からなる土質特性タイプ。土層の厚みが60m未満で、岩盤上にある土質が砂、砂利、硬い粘性土から構成される安定した堆積土
Ⅱ	土層の厚みが60mを越え、岩盤上にある硬く凝固した、または凝固性はないが暑く堆積した特性を持つ砂、砂利、硬い年度など安定した堆積土
Ⅲ	硬さが中程度までの粘土と砂から構成されるタイプの土。粘土層の厚さが9m以上。
Ⅳ	厚さが12m以上の軟らかい粘土またはシルト

3) 補強優先順位の決定(Calculate Priority Index)

耐震等級の高い順に並べた補強順を、重要性、ネットワーク代替機能性、残存使用期間を考慮して修正し、橋の補強優先順位を決定する。

補強優先度指標Ｐは次のように現せる。

Ｐ＝ｆ(耐震等級Ｒ、重要性、ネットワーク代替機能性、残存使用期間)

3.3.3 詳細な耐震性判定

簡易な耐震性判定法により耐震性が低いと判断された場合、この橋梁の詳細な耐震性照査を行い、補強の必要性について判定する。詳細な耐震性判定を実施するにあたって、設計・竣工図書等の構造データが不明確な場合などには、必要に応じて対象橋梁の現場測定や試験等の構造諸元調査を行う。

(1) 構造諸元の調査

既設橋梁の耐震性評価にあたっては、実寸法、実強度など実際に即した状態での評価が望ましい。そのためには、設計・竣工図書だけではなく、現地調査も必要となる場合もある。

1) 耐震性照査に必要な構造諸元

耐震性照査で通常必要とされる諸元は次の通りである。

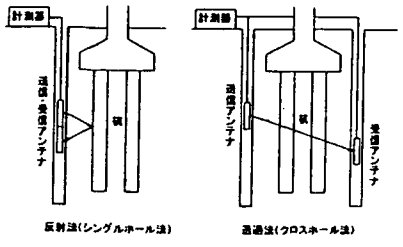
①上部構造の重量
②下部構造の材料、寸法、および断面諸値
③支承の形式、材料、および寸法
④落橋防止構造の種類、材料、および寸法
⑤地盤条件(地盤柱状図、N値分布図)
⑥既設耐震補強工の種類、材料、および寸法
⑦補修および補強履歴
⑧変状程度

2) 構造諸元の調査方法[9),10),12)]

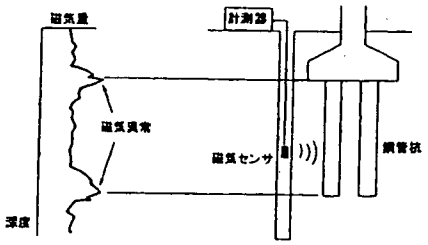
表－1.3.29に調査目的に応じた諸元調査方法、理論、適用範囲を示すとともに、以下に主な調査方法を示す。

①基礎形状調査

掘削による橋脚の埋め込み長さや基礎形状の調査は掘削土量が多くなるなど容易ではない。フーチングの位置および形状調査法としては簡単な鉄筋棒の突き込みによる探査方法がある。2m程度の土被りであれば、鉄筋棒の貫入でフーチング形状は確認できる。また、杭基礎やケーソンの長さを調査する方法としてはボアホールレーダ調査法、鋼管杭基礎については磁気探査法がある。ボアホールレーダ調査法と磁気探査法を図－1.3.18、図－1.3.19示す。



図－1.3.18 ボアホールレーダ調査



図－1.3.19 磁気探査

②材料強度と物性の調査

使用材料のコンクリート強度についてはその種類がわかれば、規格値より推定できるが、一般に実際の強

度は規格値以上のものが多く、耐力を過小評価する可能性が高い。橋脚のせん断破壊を防ぐためには、曲げ耐力をせん断耐力以下に抑えなければならないが、この場合には曲げ耐力の過小評価は設計上危険側になるので注意が必要である。実材料の強度検査方法にはシュミットハンマー法やサンプル採取検査などがある。ただ、サンプル採取検査は構造体を痛めないような注意が必要である。

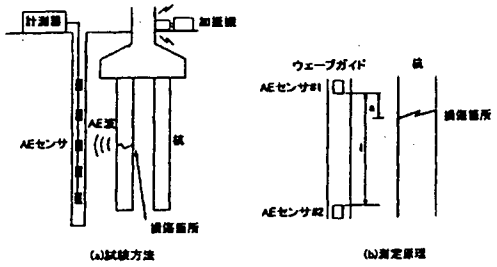
③鉄筋探査

鉄筋位置などの断面諸値が不明な場合には、電磁波反射(RCレーダー)、電磁誘導、放射線などを利用した非破壊検査あるいは局部的なはつり検査が必要となる。ただこれらの検査も計測可能な範囲は表面から20～30cm程度であり、これらの計測だけでは限界がある。この場合には設計当時の示方書に基づいた逆設計値、類似橋梁の断面などが有効な資料となる。

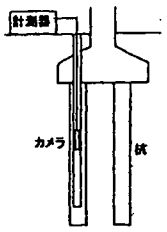
④地中部基礎の変状調査

地中部の基礎の変状調査には、掘削による観察、内視鏡による基礎内部の観察、超音波あるいはＡＥ(アコースティック・エミッション)法などによる基礎本体調査の方法がある。兵庫県南部地震のときには、ボアホールカメラ(内視鏡類)を利用した杭基礎の調査が行われている。

ＡＥ法とボアホールカメラ調査法を図－1.3.20、図－1.3.21に示す。



図－1.3.20　ＡＥ法



図－1.3.21　ボアホールカメラ調査

⑤地上部構造部材の変状調査

地上部の変状調査は目視観察が基本となる。鉄筋コンクリート橋脚ではひびわれ、剥離、鉄筋露出、遊離石灰などに注意する必要がある。特にコンクリートの水平打ち継ぎ目の遊離石灰などは注意が必要である。また鋼製橋脚での主な調査項目は腐食、亀裂、破断、変形などである。

表－1.3.29　既設橋梁の諸元調査方法

調査目的	主な適用箇所	調　査　法	調査方法・理論	適　用　範　囲	備　考
外形寸法調査	橋脚躯体	スケールによる測定	直接目視により、寸法を測定する	人が接近できる構造物に限られる	・高所作業車、足場等が必要
基礎形状調査	橋脚基礎	鋼棒突き込み	鋼棒を地盤上から突き込み、基礎と接触させて基礎形状を調査する	・鋼棒が突き込める硬さの地盤に適用 ・埋め込み深さは2m程度まで	
材料強度と物性の調査	橋脚躯体	サンプル採取	コンクリートのサンプルを採取して、試験によって圧縮強度を調査する		・構造体を痛めないような注意が必要
	橋脚躯体	反発硬度法[1] （シュミットハンマ法）	ハンマを用いてコンクリート表面に打撃を与え、表面のくぼみの直径やはね返り高さを測定してコンクリートの強度を推定する	・反発硬度はコンクリートの外的、内的条件によって影響を受けるため、精度良くコンクリート強度を推定するのは困難である	・使用するハンマによって強度推定式が異なる
鉄筋探査	橋脚躯体	電磁波法（ＲＣレーダー）[1]	対象構造物に電磁波を発射して、電気的性質（誘電率，導電率）の異なる境界で反射する反射波を計測して、反射物体の深度を求める	・鉄筋のかぶり及びﾋﾟｯﾁが計測可能。鉄筋径の計測は精度が悪い。 ・複鉄筋の計測は精度が悪い。	
	橋脚躯体	超音波法[1] （パルス反射法）	コンクリート表面から持続時間の極めて短い超音波パルスを内部に送り、鉄筋などによって反射されてくるエコーを検出して、パルス送信からエコー受信までの時間差から鉄筋位置を推定する	・鉄筋のかぶり厚の計測が可能（かぶり10cm程度まで）。 ・複鉄筋の計測は不可能。	
	橋脚躯体	電磁誘導法[1]	コイルに電流を流して交流磁場を作り、磁性体があれば起電流が流れてコイルの電圧が変化する	・かぶりが１０cm 程度までは、精度良く測定できる。ただし、鉄筋ﾋﾟｯﾁが 10cm 程度になるとその精度が落ちる。 ・複鉄筋に計測は不可能。	・コイルを内蔵したスキャナーをコンクリート表面に密着させて走査する
	橋脚躯体	掘削による方法	ハンマードリルで掘削を行い、コアカッターによる削孔位置に鉄筋が存在しないことを確認する	掘削したポイントの付近にある鉄筋のかぶり厚の確認。	・電磁波法等と併用する
	橋脚躯体	放射線法[1]	対象範囲にＸ線またはガンマ線を用いてＸ線フィルムまたはイメージングプレートで放射線透過写真を撮影して調査する	・コンクリート内部の状況が直接観察でき、鉄筋位置、かぶりを計測できる ・適用可能な部材厚は普通コンクリートで600mm 以下である	・放射線による法規制が伴う
	橋脚躯体	かぶりコンクリートのはつり	かぶりコンクリートをはつって、鉄筋を直接目視する	鉄筋かぶり、鉄筋径が実測できる	・構造体を痛めないような注意が必要。 ・電磁波法と併用する。
基礎変状調査	橋脚基部 直接基礎 杭頭部	掘削による観察法	橋脚基部、直接基礎など外部から直接見えにくい箇所について、地盤を掘削して変状を直接観察する	・損傷位置、損傷程度を直接調査できる。 ・土被りが深い箇所や地下水位が高い箇所では困難である	
基礎内部ひび割れ，断面欠損調査	基礎 （杭，ケーソン）	超音速法[1]	超音波法を用いてコンクリート内の音速を測定し、コンクリート内部に欠陥が存在すると縦波伝搬速度が見かけ上小さくなることを利用して損傷を調査する	・鉄筋や骨材が混入していると測定精度が悪い。	
	基礎 （杭，ケーソン）	微破壊試験法 （内視鏡による観察）	ボアホールカメラ、またはファイバースコープカメラにより内部状況を間接的に観察する	・杭長全体に対して調査が可能である ・ひび割れ位置、ひび割れ幅を調査できる	
	杭基礎等	非破壊試験法[2] （ＡＥ法）	対象構造物に載荷し、欠陥個所より発生するＡＥを計測して、その位置および事象数から損傷位置を推定する	損傷の有無、および損傷位置を調査できる	・導波棒の設置が必要
	杭基礎等	非破壊試験法[3] （ＳＩＴ法，反射特性法）	衝撃弾性波を加えて、その反射波の乱れを解析することにより内部欠陥個所（ひび割れ、断面欠損）を推定する	損傷位置を推定することは可能であるが、複数の亀裂があると開口幅（損傷程度）を評価できない。また、密集した複数の亀裂は個別に判別できない	・フーチングの露出が必要

1）(社) 日本非破壊検査協会，コンクリート構造物の非破壊試験法，養賢堂，1994 年 12 月

2）塩谷智基，境野典夫，ＡＥ法による杭診断技術に関する基礎的研究と実構造物適用事例，耐震補強・耐震技術・耐震診断技術に関するシンポジウム，1997 年 7 月

3）例えば　仲田慶正，前荘厚，安田扶律，今田和夫，非破壊試験の橋脚基礎損傷調査への適用事例，耐震補強・耐震技術・耐震診断技術に関するシンポジウム，1997 年 7 月

(2)詳細な耐震性判定方法

橋梁の詳細な耐震性判定方法は、一般に現行道路橋示方書[1]に従う。現行道路橋示方書では「地震時保有水平耐力法」と「動的解析法」があり、これらは、共に橋脚の非線形域の変形性能や動的耐力を想定して照査する方法である。ただし、地震時保有水平耐力法は地震時の動的な挙動を静的な挙動に換算するのに対して、動的解析法は橋梁の動力学的挙動を直接的に数値解析によって追跡する違いがある。一般に、地震時の挙動が複雑で地震時保有水平耐力法の適用性が限定される場合などに動的解析による照査が行われる。

ここでは、地震時保有水平耐力法による耐震性照査と動的解析による耐震性照査を紹介するとともに、地震時保有水平耐力法による耐震性照査レベルに近い大阪府のRC橋脚の耐震診断法[7]について示す。

①地震時保有水平耐力法による耐震性照査

地震時保有水平耐力法は、構造物の非線形域の変形性能や動的耐力などを考慮して、地震による荷重を静的に作用させて照査する耐震性照査法である。なお、既設橋脚の準用示方書により構造細目等に違いがあるため、計算上注意する必要がある。鉄筋コンクリート橋脚では、帯鉄筋および中間帯鉄筋の定着、中間帯鉄筋の断面内配置間隔、段落しが行われている軸方向鉄筋の定着、軸方向鉄筋が2段配筋の場合、および中空断面の場合などについては現行の示方書の規定を考慮して評価する。

②動的解析による耐震性照査

地震時保有水平耐力法は、動的な地震力を静的な地震力に置き換えて行う耐震設計法であるが、地震時の挙動が複雑な橋では、静的解析によって地震時の橋の挙動を十分に表すことができない場合がある。このような橋梁は、動的解析により橋脚耐力の照査を行う。動的解析の場合も、既設橋梁の準用示方書による構造細目等の違いに注意する必要がある。

道路橋示方書によれば、動的解析法には、非線形時刻歴応答解析(非線形動的解析)、等価線形化法を用いた線形動的解析、線形解析と地震時保有水平耐力法を組み合わせた方法とが示されている。

③大阪府のRC橋脚の耐震診断法[8]

橋梁施設耐震点検は、既設橋脚の保有する耐力および変形性能を把握し、大阪府想定標準地震動に応じた設計用標準所要降伏震度スペクトルを用いて耐震性を判定するとともに、必要な補強について検討を行うこととしているが、既存の設計法を用いて個々に設計的検討を行うことは実用的でないとして、RC橋脚の耐震診断法をこの委員会報告書に示している。

図－1.3.22にRC橋脚の診断フローを示す。この耐震診断法は、簡便でかつ安全側に評価できるような耐震診断式(固有周期算定式、曲げ耐力・降伏耐力算定式、せん断耐力算定式，破壊モード判定式、じん性率算定式で橋脚の固有周期と降伏耐力を算出するとともに、曲げせん断耐力比から決まる破壊モードより橋脚の設計じん性率を設定し、橋脚の等価固有周期，降伏耐力，設計じん性率と所要降伏震度スペクトルから耐震性評価を行う。所要降伏震度スペクトルを用いた耐震性判定のイメージを図－1.3.23に示す。

所要降伏震度スペクトルは1自由度系構造物の等価固有周期T-降伏震度k hy-応答塑性率μの関係を図化したものであり、現況橋脚の状況(降伏震度k hy0、等価固有周期、塑性率)から現況橋脚が耐震性を保持する

のに必要な所要降伏震度ｋhyXが求められる。

現況橋脚の降伏震度ｋhy0と所要降伏震度ｋhyXから、現況橋脚の耐震安全性を以下のように評価できる。

ｋhy0 ≧ ｋhyX の場合、現況橋脚は耐震安全性を満足する。

ｋhy0 ＜ ｋhyX の場合、現況橋脚は耐震安全性を満足しない。

以下に耐震診断式ｉ～viiを示す。この耐震性診断式は、大阪府検討委員会おいて、パラメータ解析ならびに理論式の展開を行って、できるだけ簡便でかつ安全側に評価できるよう誘導したものある。

ｉ）橋脚の固有周期算定式[8]

橋脚の固有周期は式 (5.1.3)、式 (5.1.4) により算出するものとする。

$$T_{y1} = 1.4\,T_e \quad \cdots\cdots (5.1.3)$$

$$T_{y2} = c_F\,T_{y1} \quad \cdots\cdots (5.1.4)$$

ここに、

T_e ： 弾性固有周期 (sec)

T_{y1} ： 降伏時固有周期 (sec)

T_{y2} ： 基礎の影響を考慮した降伏時固有周期 (sec)

c_F ： 基礎の影響を考慮した降伏時固有周期を算出するための補正係数で、下表による。

基礎区分	補正係数 c_F
直接基礎	1.0
その他の基礎形式	1.2

（使用にあたっての留意点）

所要降伏震度スペクトルを適用する際の固有周期は上記に示す T_{y2} を用いるが、固有周期評価時の推定誤差を考慮し、$T_{y2} \pm 0.1$ sec の範囲の最大スペクトル値を採用する。

ii)曲げ耐力算定式[8)]

橋脚の曲げ耐力は、断面形状に応じて式 (5.1.5)～式 (5.1.7) または式 (5.1.8) により算出するものとする。

矩形断面

$$\frac{M_u}{bd^2} = k\,(pf_{sy})^{\alpha}\left(1+\frac{f'_c-240}{1000}\cdot\frac{0.333}{b/h}\right)+\frac{\sigma_n}{2}\left(1-\frac{pf_{sy}}{250}\right) \quad \cdots\cdots (5.1.5)$$

$$k = 0.52\left(1+\frac{0.063}{b/h}\right) \quad \cdots\cdots (5.1.6)$$

$$\alpha = 1-\frac{0.03}{b/h} \quad \cdots\cdots (5.1.7)$$

円形断面

$$\frac{M_u}{D^3} = 0.47\,(pf_{sy})^{0.905}\left(\frac{f'_c}{240}\right)^{0.15}+0.34\,\sigma_n\left(1-\frac{pf_{sy}}{170}\right) \quad \cdots\cdots (5.1.8)$$

ここに、

M_u : 橋脚の曲げ耐力 (kgf cm)
p : 全軸方向鉄筋の橋脚断面積に対する比
f_{sy} : 軸方向鉄筋の降伏強度 (kgf/cm^2)
f'_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm^2)
σ_n : 平均軸圧縮応力度 (kgf/cm^2)
b : 断面幅 (cm)
d : 断面の有効高さ (cm)
b/h : 断面幅と断面高さの比
D : 橋脚断面の直径 (cm)

(使用にあたっての留意点)
コンクリートの圧縮強度には、コンクリートの呼び強度を 0.85 倍したものを用いる。鉄筋の降伏強度には規格降伏強度を 1.2 倍したものを用いる。

iii)降伏曲げモーメント算定式[8)]

橋脚の曲げ降伏耐力は、曲げ耐力算定式 (5.1.5)、式 (5.1.8) により得られた値に 0.8 を乗ずることにより算出するものとする。
(使用にあたっての留意点)
コンクリートの強度には、呼び強度を 0.65 倍して用いる。鉄筋の降伏強度には、規格降伏強度をそのまま用いる。

iv）せん断耐力算定式[8]

せん断耐力はコンクリート標準示方書に準じて、式 (5.1.9)、式 (5.1.11) により計算するものとする。

1) コンクリートが負担するせん断耐力は、式 (5.1.9) により算出するものとする。

$$\tau_{cd} = \beta_d \beta_p \beta_n f'_{vcd} / \gamma_b \quad \cdots\cdots (5.1.9)$$

平均軸圧縮応力度 σ_n の影響 β_n は、式 (5.1.10) により算定してよい。

$$\beta_n = 3.3 \left(\frac{\sigma_n}{5}\right) / (p f_{sy} + 10) + 1 \quad \cdots\cdots (5.1.10)$$

2) せん断補強筋が負担するせん断耐力は、式 (5.1.11) により算出するものとする。

$$\tau_{sd} = 0.87\, p_s f_{wyd} / \gamma_b \quad \cdots\cdots (5.1.11)$$

（使用にあたっての留意点）
記号の意味はコンクリート標準示方書に準じる。
コンクリートの圧縮強度には、コンクリートの呼び強度を 0.77 倍したものを用いる。鉄筋の降伏強度には規格降伏強度をそのまま用いる。設計せん断耐力の値には、コンクリート負担分の計算結果を 0.77 倍 ($\gamma_b = 1.3$)、鉄筋負担分の計算結果を 0.87 倍 ($\gamma_b = 1.15$) して用いる。

v）破壊モード判定式[8]

橋脚の破壊モードは、断面形状に応じて式 (5.1.12) または式 (5.1.13) により判定するものとする。式 (5.1.12) または式 (5.1.13) を満足する場合、曲げ破壊先行型と判定するものとする。

矩形断面

$$\left(\frac{M_u}{bd^2}\right) \Big/ \left\{(\tau_{cd} + \tau_{sd})\left(\frac{a}{d}\right)\right\} < 1 \quad \cdots\cdots (5.1.12)$$

円形断面

$$\left(\frac{M_u}{D^3}\right) \Big/ \left\{\sqrt{\frac{2}{\pi}}\left(\frac{d_0}{D}\right)^2 (\tau_{cd} + \tau_{sd})\left(\frac{a}{d_0}\right)\right\} < 1 \quad \cdots\cdots (5.1.13)$$

（使用にあたっての留意点）
M_uの計算結果は 1.05 倍したものを用いる。なお、a/d, a/d_0 はせん断スパン比である。

vi) じん性算定式[8]

橋脚のじん性率は、破壊モードに応じて以下により算出するものとする。

1) 曲げ破壊先行型と判定された場合のじん性率は式 (5.1.14) により算定するものとする。

$$\mu_d = \{\mu_0 + (1-\mu_0)(\sigma_0/\sigma_b)\}/\gamma_b \quad \cdots\cdots (5.1.14)$$

ここに、

μ_d : 橋脚のじん性率

σ_0 : 軸圧縮応力度 (kgf/cm^2) (σ_n と同じ)

σ_b : 釣合い破壊時の軸圧縮応力度 (kgf/cm^2)

γ_b : 1.5

式 (5.1.14) における軸力の影響は、式 (5.1.15) により算定してよい。

$$\sigma_0/\sigma_b = \sigma_n/100 \quad \cdots\cdots (5.1.15)$$

式 (5.1.14) の μ_0 は、断面形状に応じて式 (5.1.16) または式 (5.1.18) により算定するものとする。ただし、鋼板巻立て補強を施した場合は式 (5.1.17) または式 (5.1.19) により算定するものとする。

矩形断面

$$\mu_0 = 12\left(\frac{a}{d}\right)(0.5\,\tau_{cd} + \tau_{sd}) \Big/ \left(\frac{M_u}{bd^2}\right) - 3 \quad \cdots\cdots (5.1.16)$$

ただし、鋼板巻立て補強を施した場合は、

$$\mu_0 = 12\left(\frac{a}{d}\right)(0.5\,\tau_{cd} + 0.2\,\tau_{sd}) \Big/ \left(\frac{M_u}{bd^2}\right) + 4 \quad \cdots\cdots (5.1.17)$$

円形断面

$$\mu_0 = 12\sqrt{\frac{2}{\pi}}\left(\frac{d_0}{D}\right)^2\left(\frac{a}{d_0}\right)(0.5\,\tau_{cd} + \tau_{sd}) \Big/ \left(\frac{M_u}{D^3}\right) - 3 \quad \cdots\cdots (5.1.18)$$

ただし、鋼板巻立て補強を施した場合は、

$$\mu_0 = 12\sqrt{\frac{2}{\pi}}\left(\frac{d_0}{D}\right)^2\left(\frac{a}{d_0}\right)(0.5\,\tau_{cd} + 0.2\,\tau_{sd}) \Big/ \left(\frac{M_u}{D^3}\right) + 4 \quad \cdots\cdots (5.1.19)$$

記号の意味は破壊モード判定式に準じる。

2) せん断破壊先行型と判定された場合のじん性率は 1.0 とする。

(使用にあたっての留意点)

すべて破壊モードの判定の際に用いる値と同じ値を用いる。とくにじん性率算定用の部材係数 γ_b には 1.5 を用いる。

vii) 所要降伏震度スペクトルの適用と耐震性評価[8]

府下の各ゾーンごとに規定した所要降伏震度スペクトルにより、以下のようにして耐震性を評価するものとする。

1) 橋脚の目標 (許容) 塑性率 μ_T は式 (5.1.20) により算出するものとする。

$$\mu_T = \mu_d - \beta\,(\mu_d - 1) \quad \cdots\cdots (5.1.20)$$

ここに、

μ_T : 橋脚の目標塑性率

μ_d : 橋脚のじん性率

β : 橋脚の残存変形性能で、耐震強化の目標水準に応じて設定する

2) 橋脚に対しては、破壊形態に応じて式 (5.1.21) または式 (5.1.22) を満足するように耐震設計するものとする。

曲げ破壊先行型

$$k_{hy} \geq k_{hy\text{-}req} \quad \cdots\cdots (5.1.21)$$

せん断破壊先行型

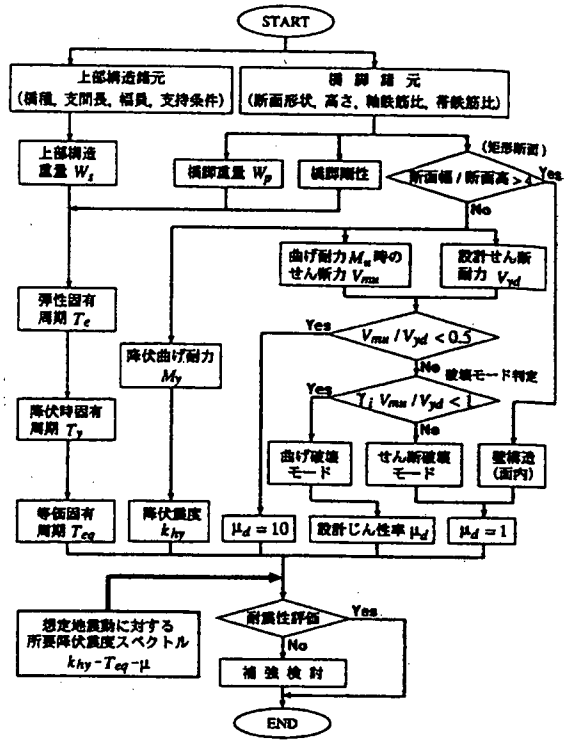
$$k_{hs} \geq k_{hy\text{-}req} \quad \cdots\cdots (5.1.22)$$

ここに、

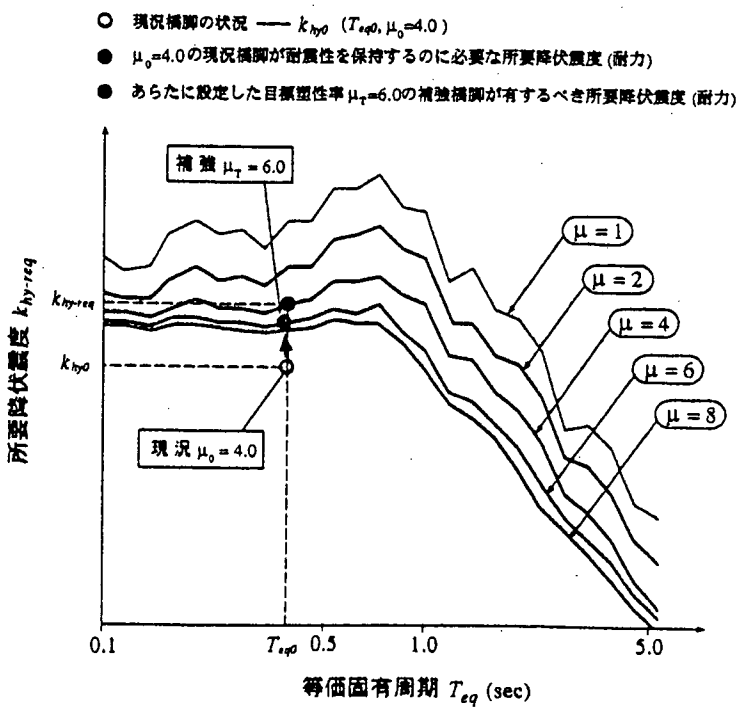
k_{hy} : 曲げ降伏耐力の震度換算値

k_{hs} : せん断耐力の震度換算値

$k_{hy\text{-}req}$: 所要降伏震度スペクトルから求まる、橋脚の固有周期 T_{eq} と目標塑性率 μ_T に相当する所要降伏震度



図－1.3.22　大阪府で提案しているRC橋脚の耐震診断フロー[8)]



図－1.3.23　大阪府で提案している所要降伏震度スペクトルを用いた耐震判定[8)]

参考文献

1) 阪神・淡路大震災調査報告書編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告－土木構造物の被害－橋梁、1996.12

2) 道路保全センター：平成8年度道路防災総点検要領［地震］

3) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震前対策編)、昭和63年2月

4) 土木研究所資料：釧路沖地震及び北海道南西沖地震によるRC橋脚主鉄筋段落し部の被害とその解析 土木研究所資料第3283号、平成6年6月

5) 川島、運上：既設道路橋の耐震性判定法、土木技術資料30-8、1998

6) 日本道路協会：道路震災対策便覧、平成12年4月

7) 建設省道路局：平成3年度震災点検要領(案)、平成3年5月

8) 大阪府土木部：大阪府土木構造物耐震対策検討委員会報告書、平成9年3月

9) 日本非破壊検査協会：コンクリート構造物の非破壊試験法、1994.12

10) 安田：非破壊試験の橋脚基礎損傷調査への適用事例、第3回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジュウム講演論文集 平成11年7月

11) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅴ耐震設計編、平成8年

12) 下部構造小委員会基礎補強WG：既設道路橋基礎の補強に関する参考資料

13) 日本道路協会：橋梁の耐震設計に関する資料、平成9年1月

14) 高速道路技術センター：米国運輸省連邦道路管理局 道路橋耐震補強マニュアル、1995.5：翻訳版、1995年12月

15) 丸山：大阪市の橋梁耐震対策、大阪市建設局業務論文報告集、1999.3

16) 米国：道路橋耐震補強マニュアル (FHWA－4D－94－052)、1995.5

17) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書、平成7年12月

18) 大阪市：大阪市地域防災計画震災編、1998.3

4.耐震補強

4.1 概要

既設橋梁の個々の部材を現行基準に合致するような補強を行うのみでなく、橋梁全体系として耐震性の高い構造や大地震でも十分な機能を確保できる構造にすることが、最も合理的な補強対策になると考えられる。したがって、補強対策が必要と判定された橋梁の耐震補強は上部構造、下部構造、基礎構造および落橋防止構造を含めた橋梁全体構造系として検討することが重要である。

一般に図－1.4.1に示すような補強工法がある。

橋梁全体構造系で耐震性能が確保できない場合の対策としては、再構築を行うことも考えられる。再構築には、上部構造の掛け替え，橋脚の再構築，橋梁全体構造の再構築がある。

以下に各耐震補強方法の考え方を示す。

4.1.1 構造系の変更による耐震性能向上

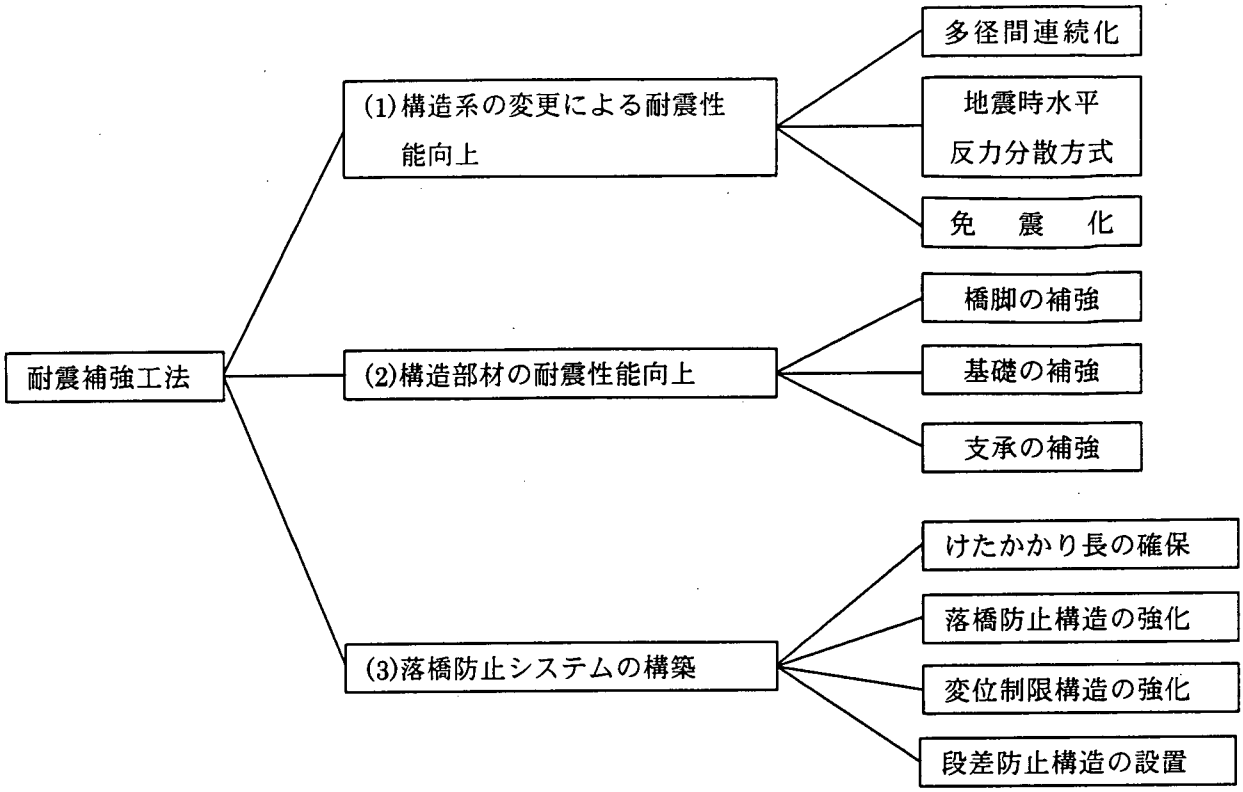
構造系の変更の目的は、ある部材の損傷が橋梁全体の致命的な破壊に至らない場合、一部の部材補強にのみ着目せず、橋梁全体として耐震性を確保することである。ここで云う耐震性の確保は、地震時慣性力を低減することや全体系の変位を抑制することである。

(1) 多径間連続化と地震時水平反力分散方式の採用

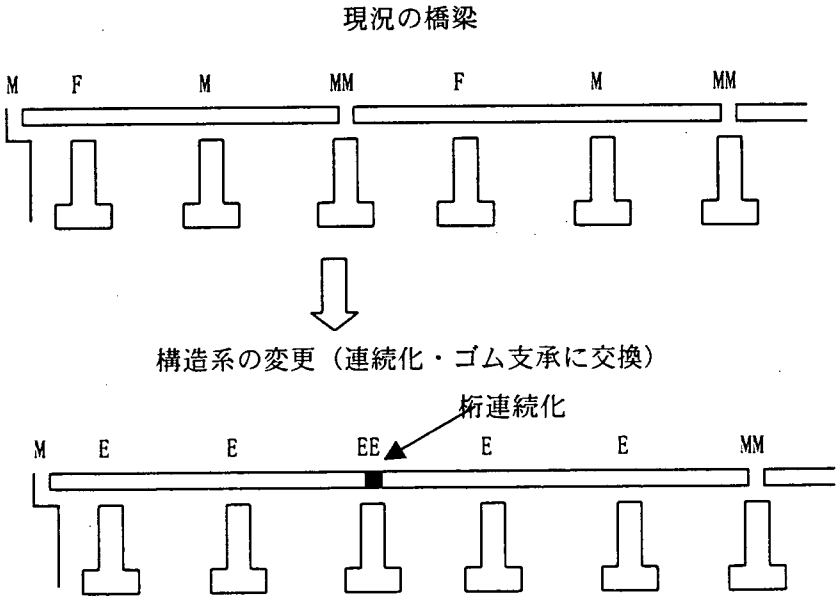
図－1.4.2に例を示す。桁の連続化と支承構造の変更により、桁の落下を防止するとともに、上部構造の慣性力を各橋脚に分散させ橋脚の耐震性を向上させるものである。

(2) 免震化

橋梁の免震化により、橋梁の周期を長周期化し、橋梁に入力する地震エネルギーを低減させ、橋梁の耐震性を向上させる方法である。ただし、免震化する方法は地盤条件や現状橋梁の周期特性によって適用が制限される。



図－1.4.1　耐震補強工法



E；ゴム支承　M；可動支承

図－1.4.2　構造系の変更による耐震性能向上

4.1.2 構造部材の耐震性能向上

構造部材の耐震補強の目的は、橋を構成する主要な部材の耐力あるいは変形性能を向上させることにより、橋全体系の耐震性を確保することである。ただし、構造部材の耐震補強は、他部材の耐力とのバランスに注意し、橋全体の安全性に配慮して進める必要がある。

(1) 橋脚

橋脚の耐震補強としては、じん性補強、せん断補強、曲げ耐力補強、段落し部補強などがある。橋脚躯体の耐力を向上せると、橋脚躯体から基礎構造物へ伝達される地震力も大きくなり、基礎を含めた補強が必要となる場合もある。そのため、基本的にはできるだけ橋脚のじん性を向上させ、耐力が過度に上がらないように配慮することが必要である。

しかし、橋脚躯体の耐力が不足する場合において橋脚のじん性の向上だけに期待すると、地震後の橋脚に大きな残留変位が生じることもあるため、基礎が支持できる範囲内で所用の橋脚躯体耐力の向上を図り、じん性と耐力の向上をバランスさせる補強法が重要である。

1) 鉄筋コンクリート橋脚

鉄筋コンクリート橋脚の補強は、耐震照査結果に基づき、不足している耐震性能を向上させることであり、せん断補強、じん性補強、曲げ耐力補強、段落し補強などがある。これらの補強設計上の留意点は次の通りである。

①せん断破壊先行型は避け、曲げ破壊先行型にする。

②耐力を過度に増加させるのではなくて、じん性補強を基本とする。

③段落し部での曲げ・せん断破壊を防ぐ

2) 鋼製橋脚

鋼製橋脚の補強は、主としてじん性補強、曲げ耐力の補強である。これらの補強設計上の留意点は次の通りである。

①耐力を過度に増加させるのではなくて、じん性補強を基本とする。

②耐力を増大する場合はアンカー部の耐力以下に抑える。

(2) 基礎

基礎の補強が必要となるのは一般に次の場合である。

①基礎の耐力および変形性能が著しく小さい場合。

②液状化によって地盤が緩んだ場合

③液状化による流動化の影響が大きい場合。

基礎の補強にあたっては、その基本的な考え方により次の方法に大別される。

①基礎の耐力を増加させる方法

既設基礎に新たな構造部材を付加し基礎の耐力を増加する方法と基礎周辺地盤の強度を増加す

ることにより基礎の耐力を増加させる方法がある。

②基礎周辺地盤の液状化による強度低下を防止する方法

地盤改良により地盤の動的せん断強度自体を増加させる方法と、地盤中の透水層を設け間隙水圧の増加を抑制する方法がある。その他、地盤中に矢板や地中連続壁を設置し、地震時の地盤のせん断力あるいはせん断ひずみを減少させる方法がある。

ただし、既設基礎に新たな構造部材を付加するなどの基礎本体補強工事は一般に規模が大きくなり、施工も難しい。さらに工費も高くなるので、このような場合には一般に橋梁全体系で耐震性の向上を図り、既設基礎への影響をできるだけ少なくする工法が選定されている。

(3) 支承

現行道路橋示方書は耐震性能により支承を　支承部単独で等価水平震度に相当する慣性力に抵抗する場合に用いる支承(タイプB)と落橋防止システムと補完し合って等価水平震度に相当する慣性力に抵抗する場合に用いる支承(タイプA)に分類している。

既設橋梁のほとんどは、現行示方書のタイプAに属するものであり、支承の耐震補強としては、支承自体の耐力を増す方法(支承の交換)や変位制限構造を設置しこれと併用する方法などがある。

4.1.3 落橋防止システムの構築

落橋防止の基本は、地震時の上・下部構造間の作用力に支承が確実に耐えるようにすることである。しかし、現状では地震力を含め、構造計算の精度などの不確定性の条件があるため、現行道路橋示方書では変位制限装置および落橋防止構造の設置、けたかかり長の確保などを求めており、これらの各構造がお互いに補完しあって、全体として落橋を防止するシステムとして設計することになる。システムの基本的な考え方は、まず支承本体が地震力に耐えることであり、これを越える地震力に対しては落橋防止構造で変形を防ぎ、これをも越える変形に対しても落橋しないように十分なけたかかり長を確保するというものである。

すなわち、落橋防止システムの構築は、桁かかり長、落橋防止構造、変位制限構造、および段差防止構造からなる落橋防止システムにより落橋を防止することを目的とする。

現行道路橋示方書[9]の解説に示されている次のような橋梁については特に落橋防止システムの配慮が必要である。

①変状を起こす可能性がある地盤に下部構造がある橋

②下部構造の形式、地盤条件などが著しく異なる橋

③隣接する上部構造の形式や規模が著しく異なる橋

④橋脚が非常に高い橋

⑤斜橋および曲線橋

⑥下部構造の頂部幅が狭い橋

⑦1支承線上の支承数が少ない橋

4.2 耐震補強工法

橋脚、基礎、支承、落橋防止システムに関する主な耐震補強工法を示す。

(1) 橋脚

1) 鉄筋コンクリート橋脚

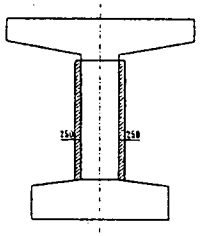
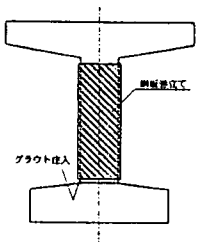
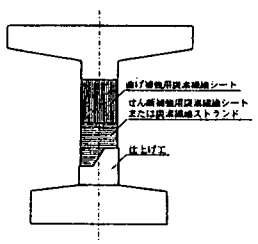
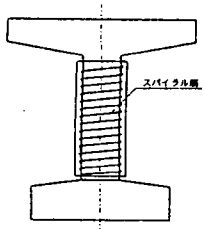
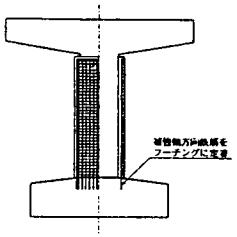
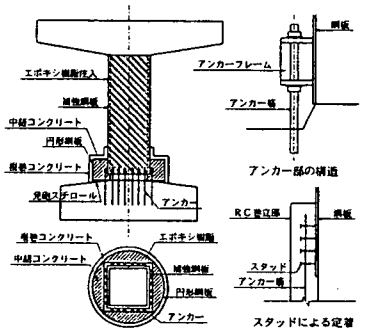
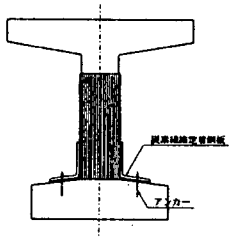
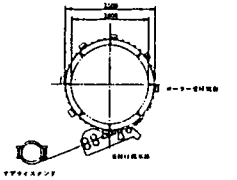
鉄筋コンクリート橋脚で一般的に行われている耐震補強は、鉄筋コンクリート巻立て工法、鋼板巻立て工法、連続繊維巻立て工法などである。さらに必要増強量が大きい場合や壁式橋脚では鉄筋コンクリート巻立て工法と鋼板巻立て工法の併用工法もある。

表－1.4.1には補強目的別に耐震補強工法を示す。また、**表－1.4.2**には代表的な耐震補強工法の施工性、耐久性等[2),3),10)]を示す。

表－1.4.1　補強目的別の耐震補強工法[1)]

耐震補強の目的		補強設計の考え方	耐震補強工法	留意点
耐力の向上	曲げ耐力	・橋脚の軸方向に巻立て、一体化を図ることにより断面の曲げ耐力を向上 基部 ΔPu＝Wh－Pu ΔPu；不足曲げ耐力 Wh；等価慣性力 Pu；曲げ耐力	鉄筋コンクリート巻立て工法 (軸方向鉄筋により曲げ耐力が向上) 鋼板巻立て工法 (軸方向に寄与する鋼板により曲げ耐力が向上) 炭素繊維等新素材による巻立て工法 (軸方向に寄与する新素材の力学特性・厚さにより曲げ耐力が向上)	・橋脚基部の曲げ耐力を向上させるためにはフーチングに定着が必要 ・耐力を過度に大きくし過ぎると基礎への影響が大きくなる
	せん断耐力	・橋脚の横方向に巻立て、一体化を図ることによりせん断耐力を向上 ΔS＝Sx－S。 ΔS；不足せん断力 Sx；作用せん断力 S。；せん断耐力	鉄筋コンクリート巻立て工法 (横方向鉄筋によりせん断耐力が向上) 鋼板巻立て工法 (横方向に寄与する鋼板によりせん断耐力が向上) 炭素繊維等新素材による巻立て工法 (横方向に寄与する新素材の力学特性・厚さによりせん断耐力が向上)	
じん性の向上		・橋脚の横方向に巻立ててコアコンクリートを拘束することによりじん性を向上 横拘束筋の体積比 (拘束効果のパラメ-タ) $\rho = 4Ah/(s \cdot d)$	・せん断耐力の向上と同様の巻立て工法	・矩形断面では、巻立てのみではなく、巻立て材が外方向に膨らむのを拘束するための配慮が必要
耐力とじん性の両者の向上		・上記2種類の工法を兼備えた工法	曲げ耐力制御式巻立て工法 (フーチングにアンカーする鉄筋量等を変化させて曲げ耐力をコントロール)	

表 1.4.2　鉄筋コンクリート橋脚の主な補強工法の比較

		鉄筋コンクリート（ＲＣ）巻立て工法	鋼板巻立て工法	連続繊維巻立て工法	スパイラル筋を用いたＲＣ巻立て工法
概念図	基部（じん性　補強）				
	基部（じん性＋曲げ　補強）				
					通常のＲＣ巻立て工法と同様に補強軸方向鉄筋をフーチングにアンカー定着する。
施工性		・一般工法であり、工法上の問題はない。 ・既設コンクリートのチッピング必要。	・現場溶接あるいは高力ボルト継手が必要。 ・現場に合わせた鋼板の加工が必要。 ・橋脚躯体と鋼板の間に、無収縮モルタルを注入。断面増加に制約のある場合はエポキシ樹脂を使用。	・材料が軽量であり、人力運搬可能。 ・複雑な断面形状でも対応可能。 ・施工時の温度、湿度に影響される。 ・繊維ｼｰﾄをﾌｰﾁﾝｸﾞに確実に定着する必要がある。	・帯鉄筋のフックおよびフレアー溶接箇所が大幅に減少し、配筋作業の効率化が図れる。 ・円形断面橋脚に限定される。
耐久性		・材料、配合、締め固めなど施工管理が重要。 ・特別な防護対策の必要はない。	・鋼板表面の防錆処理必要。 ・地中部は防錆用のコンクリートによる根巻きが必要。	・繊維表面の劣化防止対策必要。 ・車両、流石などによる異常外力に対する防護工必要。	・通常のＲＣ巻立て工法と同じ
維持・管理性		・通常の目視点検で十分。	・鋼板内部のコンクリートの点検は困難となる。	・繊維内部のコンクリートの点検は困難となる。	・通常の目視点検で十分。

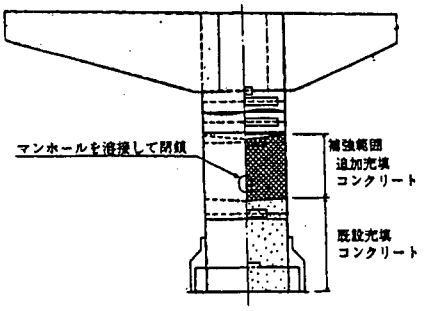
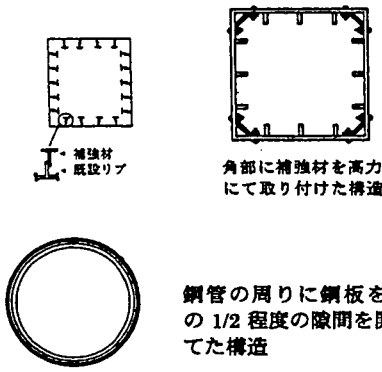
2) 鋼製橋脚

鋼製橋脚で一般的に行われている補強対策はコンクリート充填工法と断面補強工法である。各工法には表－1.4.3、表－1.4.4のような特徴があり、対象橋脚の条件に応じて選択することになる。

表－1.4.3　補強目的別の耐震補強工法

耐震補強の目的	補強設計の考え方	耐震補強工法	留意点
耐力の向上	座屈を防ぎ、部材の曲げ耐力を向上	・コンクリート充填 (中詰コンクリートにより曲げ耐力が向上) ・断面補強 (縦リブ補強、角補強によりぜい性破壊を防ぐ)	・アンカー耐力が小さい場合は適用が難しい ・充填コンクリートによる重量増の影響
じん性の向上	座屈を防止することにより、じん性を向上	コンクリート充填 (中詰コンクリートによりじん性が向上) 断面補強 (横リブ、縦リブ、鋼板によりじん性が向上)	

表－1.4.4　鋼製橋脚の主な補強方法の比較

項目	コンクリート充填工法	断面補強工法[12]
概念図		
施工性	・橋脚内部での主な作業はコンクリート充填であり、施工は比較的容易である。 ・水抜きパイプ設置、既設ダイヤフラムの空気孔加工なども必要となる。	・橋脚内部で溶接、加工、高力ボルト締結、塗装などの作業が必要となる。 ・このため、橋脚内の換気、照明設備が必要となる。 ・詳細な補強部材の製作は橋脚内部を調査後となる。 ・既設鋼材の加工が必要となるので、健全性を損なわないよう注意が必要。
耐久性	・内部の水処理を適切に行えば、問題は少ない。	・補強部の塗装が必要である。 ・現場溶接の品質管理が重要である。
維持・管理性	・日常的な維持管理は必要ない。	・通常の鋼製橋脚と同様の維持管理は必要。

(2) 基礎

橋梁の耐震補強の現状は、橋梁全体系で耐震性の向上を図り、既設基礎への影響をできるだけ少なくし、基礎の耐震補強を行わずに耐震性の向上を図る。ここでは、液状化・流動化の影響が大きいと予測される場合の対策について述べる。

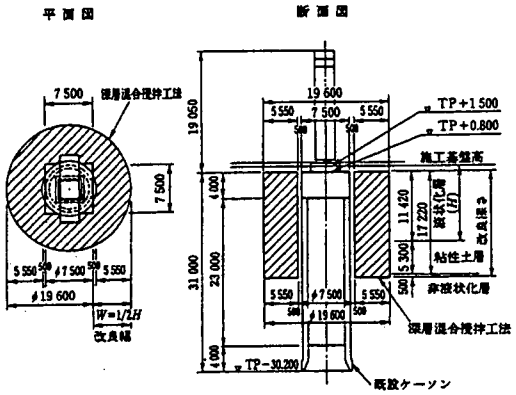
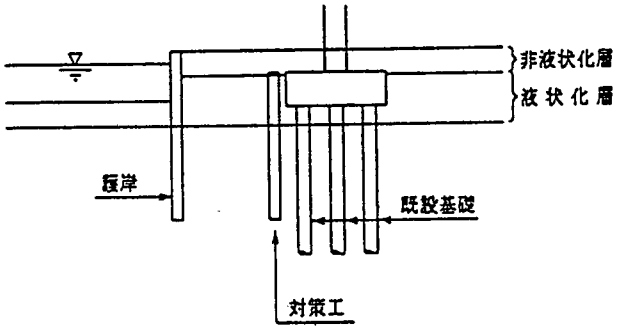
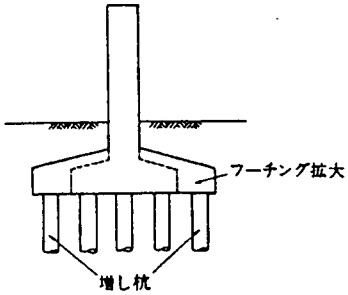
液状化地盤での液状化・流動化対策としては表－1.4.5に示すような様々方法があるので、対象橋梁の条件に応じた適切な対策を選定することになる。

表－1.4.5　地盤の液状化・流動化対策法の比較

補強方法	対策の特徴	耐震性	施工性	工法例
液状化を発生させない方法	土の性質改良や間隙水圧に関する条件を改良する地盤改良工法、間隙水圧消散工法。あるいは、基礎周辺に剛性の大きい地中壁を作り、せん断変形を抑制するせん断変形抑止工法などがある。	・地盤液状化対策としては実績もあり、耐震性に優れている。	・施工範囲が広くなる。 ・基礎には手を加えない。	・ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法 ・深層混合処理工法 ・ドレーン工法 ・連続地中壁工法
基礎に及ぼす流動量を減少させる方法	基礎近傍に設置した地中壁などの構造体で背後地盤の流動量を減少させる。	・剛性、根入れを確実に行えば効果は十分ある。 ・流動化の方向には注意が必要。	・基礎には手を加えずに、基礎近傍の工事で済む。	・連続地中壁工法 ・鋼管矢板工法 ・部分的な地盤改良
基礎耐力を向上させる方法	流動圧に耐えるように基礎耐力を増強する。	・液状化対策も兼ねることができる。	・上部構造に影響を与えないように施工する必要がある	・増し杭工法 ・基礎根固め工法 （地盤改良）
橋梁全体系	地盤が流動化しても上部構造が落下しないようにする。	・基礎の変形が橋梁全体系の安定性に影響を与えないようにしなければならない。	・落橋防止システムの規模が大きくなる。	・落橋防止ｼｽﾃﾑの拡充

ここに、地盤流動化対策例[2]として、深層混合処理工法による地盤改良（液状化を発生させない方法），基礎近傍に地中壁などの構造体を設置（基礎に及ぼす流動量を減少させる方法），増し杭（基礎耐力を向上させる方法）を表－1.4.6に示す。

表－1.4.6　地盤流動化対策工法の概念

		備　考
液状化を発生させない方法 （深層混合処理工法による地盤改良）		
基礎に及ぼす流動量を減少させる方法 （基礎近傍に地中壁などの構造体を設置）		
基礎耐力を向上させる方法 （増し杭）		

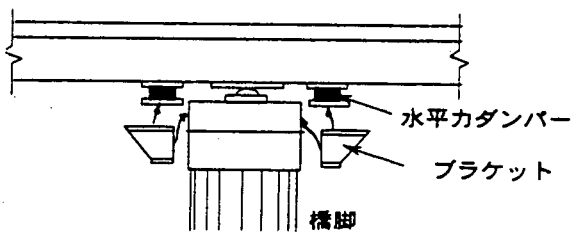
(3)支承

支承の補強としては、大きな耐力のタイプBの支承に交換する方法、現状の支承を鉛直荷重のみを支持する支承にし、水平荷重を支持する支承を別に設置する方法などがある。これらの各方法について機能性、施工性、および設計・施工上の留意点について比較すると表－1.4.7のようになる。それぞれ特徴があるので、各橋梁の立地・構造条件に応じて、経済性、耐久性なども考慮して総合的に選択することになる。

表－1.4.7　既設支承(タイプA)の耐震補強方法の比較

方　法	機能性	施工性	設計・施工上の留意点
タイプBの支承に交換	・大規模地震に対する耐力が明確である。 ・変位制限装置は通常、必要ない。 ・中規模地震に対するジョイントプロテクターが必要。	・上・下部構造間の狭所での支承の交換工事となる。 ・交通解放下での作業ではジャッキアップが必要。	・支承の寸法が既設ののより大きくなる。 ・既設アンカーボルトの補が必要。
水平荷重を支持する支承の追加設置	同　上	・下部構造の側面も利用できるので、施工空間は上段の方法より広がる。 ・交通解放下での作業でもジャッキアップの必要はない。	・支承取り付け用の台座アンカーボルトの新設。上・下部構造の支承取りけ箇所の補強が必要。

免震化構造にするに際して、水平荷重を支持する支承の追加設置方法が採用される場合がある。
ここでは、この補強例[4]を下図に示す。



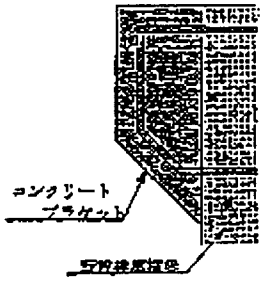
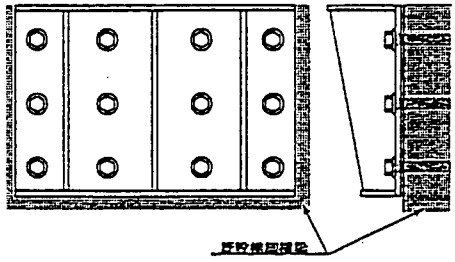
図－1.4.3　水平荷重を支持する支承の追加設置
(免震化構造への変更)

(4) 落橋防止システム

1) けたかかり長(SE)

大規模地震では予想外の力により支承、変位制限構造、落橋防止構造などが破壊することもあり得る。この場合でもけたかかり長が十分確保されていれば、上部構造の落下の危険性は少なくなる。既設のけたかかり長で現行の示方書の規定より短いものについては補強が必要となる。昭和55年以降の道路橋示方書で設計あるいは補強された橋梁では概ね現行の示方書を満足しているが、前述した特別な配慮が必要な橋梁については再検討が必要と思われる。けたかかり長の補強方法としては、①上部構造の連続化による方法、②上部構造端部を延長する方法、③下部構造頂部縁端を拡幅する方法などがある。①、②の方法は適用範囲が限定され、通常は③の方法が行われる。この構造としては鉄筋コンクリート製と鋼製の2種類がある。機能的には特に差異はないので、施工性、経済性、耐久性などから橋梁の条件に応じて選択することになる。

表－1.4.8　下部構造頂部縁端を拡幅する場合の例(概略)[7]

	鉄筋コンクリート製	鋼　製
概略図		

2) 落橋防止構造

落橋防止構造は、落橋防止システムのうち、桁端部に設けるもので、上下部構造間に予期しない大きな相対変位が生じた場合にこれが桁かかり長に達しないようにするための構造である。

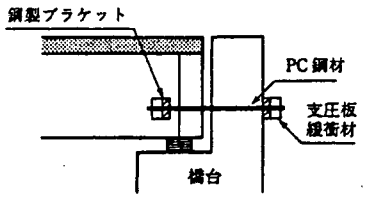
補強対策としては、既設の落橋防止装置の強化による方法、落橋防止構造の設置による方法がある。これらの各方法について機能性、施工性、および設計・施工上の留意点について比較すると**表－1.4.9**のようになる。それぞれ特徴があるので、既設落橋防止装置の設置状態、経済性、耐久性なども考慮して総合的に選択することになる。

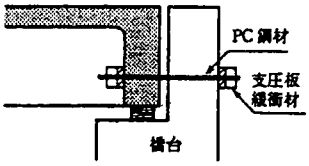
表－1.4.10 に、落橋防止構造の設置例[2),8)]を示す。

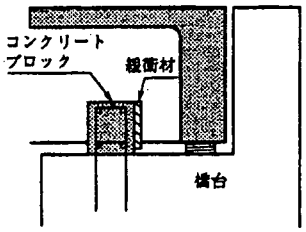
表－1.4.9　落橋防止構造の補強方法の比較

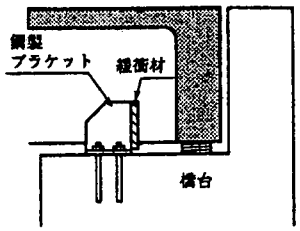
方　法	機能性	施工性	設計計・施工上の留意点
既設落橋防止装置の補強	・既設落橋防止装置の補強が十分であれば、新設並みの機能は確保できる。 ・不足分を別に追加設置する場合は、複数の装置で抵抗することになり、安全性は高まるが、全体としての実耐力には不明な点がある。	・上・下部構造間の狭所での作業となる。 ・交通解放下でも作業は可能。	・補強方法としては、既装置を補強する方法と既 の不足分を追加設置する 法がある。 ・上・下部構造の設置箇所 補強が必要。
落橋防止構造の設置	・求められる機能(耐力)を満足する設計ができる。	・既設落橋防止装置を利用しない場合は撤去工事が必要。 ・上・下部構造間の狭所での作業となる。 ・交通解放下でも作業が可能。	・既設落橋防止装置を変制限構造として利用できる。 ・設置個所が限定されるの、取り付け方法に工夫がる。 ・上・下部構造の設置箇所補強が必要。

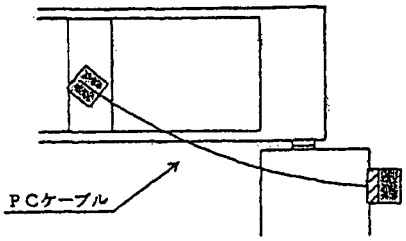
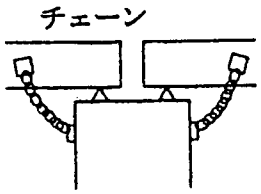
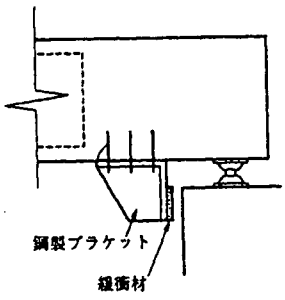
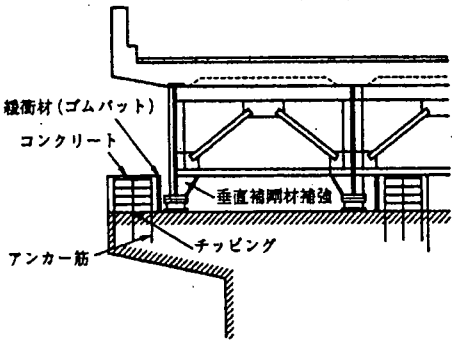
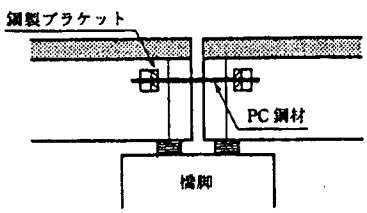
表－1.4.10　落橋防止構造の設置例

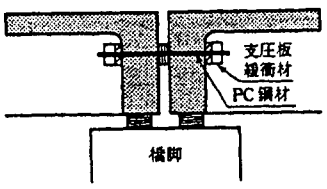
<table>
<tr><td colspan="2">上部構造および下部構造に突起を設ける構造の例</td></tr>
<tr><td> 

(a) 鋼上部構造の場合</td><td> 

(b) コンクリート上部構造の場合</td></tr>
<tr><td colspan="2">上部構造と下部構造を連結する構造例</td></tr>
<tr><td> 

(a) コンクリートブロックを用いる落橋防止構造</td><td> 

(b) 鋼製ブラケットを用いる落橋防止構造</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>桁にブラケットを設ける例</td><td>橋軸直角方向に落橋防止を設ける例</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">2連の上部構造を相互に連結する構造例</td></tr>
<tr><td> 

(a) 鋼上部構造の場合</td><td> 

(b) コンクリート上部構造の場合</td></tr>
</table>

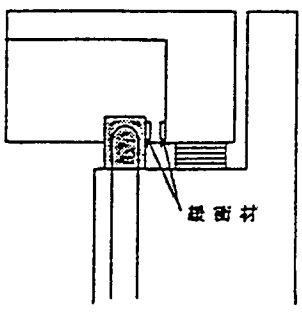
3)変位制限構造

変位制限構造は、支承と補完しあって地震時の慣性力に抵抗することを目的とし、支承が損傷しても上下構造間に大きな相対変位が生じるのを防止するための構造であり、下記の設置方法がある。[5),6),7)]

表－1.4.11　変位制限構造の設置方法の比較

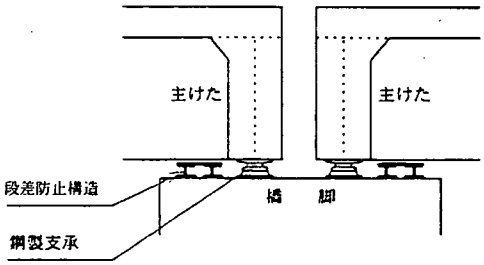
方　法	機能性	施工性	設計・施工上の留意点
上・下部構造間連結材の設置	・複雑な地震力に対して既設支承と変位制限装置の複数の装置で抵抗するので、安全性は高まる。 ・大規模地震時おける既設支承との協力機構が明快ではなく、従って合計耐力も明確ではない。	・主な作業は連結材の定着部の設置だけである。 ・上・下部構造の定着箇所の選択範囲が広い。 ・交通解放下でも作業が可能。	・連結材定着用のアンカーが上・下部構造で必要。 ・上・下部構造の定着材取りけ箇所の補強が必要。 ・連結材の設置角度、剛性に注意が必要。 ・既設の落橋防止装置を利用することも可能。
上・下部構造間突起の設置	同　上	・上・下部構造に突起を設置する必要がある ・下部構造の側面も利用できるので、施工空間は広い。 ・交通解放下でのも作業は可能。	・突起承取り付け用の台座アンカー筋の新設。 ・上・下部構造の突起定着箇の補強が必要。 ・既設の落橋防止装置を利用することも可能

表－1.4.12　変位制限構造例

	上・下部構造間　突起の設置
概略図	

4)段差防止構造

支承高が高い鋼製支承を用いている場合は、支承の破壊で上部構造が落下し、上・下部構造の損傷、路面の段差などで緊急車両の通行の障害になる恐れがある。従って、重要度が高い橋梁では段差防止構造を設置することが望ましい。 段差防止構造としては、コンクリートブロック、ゴムプレート、鋼製架台があるが、維持管理上の障害となりやすいため維持管理用のジャッキ受け台等と兼用できるようにし、橋脚天端の煩雑さを避けるのがよい。



図－1.4.4 段差防止構造[6)]

参考文献

1) 運上：道路橋の耐震診断・耐震補強、基礎工 Vol.24 No.4 1999.4

2) 日本コンクリート協会：コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例

3) 宮本：スパイラル筋によるRC橋脚の耐震補強工法について、基礎工 Vol.24 No.4 1999.4

4) 武田：既設橋梁に適した免震化工法、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集1995.1

5) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、平成8年

6) 日本道路公団：設計要領第2集

7) 首都高速道路：第Ⅱ編 既設橋の支承・落橋防止システム設計要領(案)、首都高速道路公団保全施設部保線技術課

8) 東京都：既設橋梁落橋防止システム強化橋梁(案)、東京都建設局道路管理部 平成10年3月

9) 下部構造小委員会基礎補強WG：既設道路橋基礎の補強に関する参考資料

10) CRS研究会土木部：CRS工法 炭素繊維による構造物の補修・補強工法 設計・施工マニュアル(第2版)、平成11年4月

11) 古谷：繊維シートによるRC部材の補強における定着方法に関する研究、第3回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジュウム講演論文集平成11年7月

12) 日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料、平成9年8月

第２編　震災復旧

1.はじめに …… 101
2.震災復旧の基本的な考え方 …… 103
　2.1 概　要 …… 103
　2.2 震災復旧の流れ …… 105
　　2.2.1 震災復旧の第１段階 …… 105
　　2.2.2 震災復旧の第２段階 …… 107
　　2.2.3 震災復旧の第３段階 …… 110
　2.3 震災復旧のための震前対策 …… 112
3.緊急調査および緊急措置 …… 114
　3.1 緊急調査 …… 114
　　3.1.1 緊急調査のポイント …… 114
　　3.1.2 緊急調査項目 …… 115
　　3.1.3 緊急調査の留意点 …… 117
　3.2 緊急措置 …… 119
4.応急復旧 …… 121
　4.1 概　要 …… 121
　4.2 応急調査 …… 122
　　4.2.1 基　礎 …… 122
　　4.2.2 橋　脚 …… 124
　　4.2.3 橋　台 …… 128
　　4.2.4 上部構造 …… 128
　　4.2.5 支承部 …… 129
　　4.2.6 落橋防止装置 …… 131
　　4.2.7 伸縮装置 …… 131
　　4.2.8 取付け盛土 …… 132
　　4.2.9 その他 …… 132
　4.3 被災度判定 …… 133
　　4.3.1 概　要 …… 133
　　4.3.2 被災度の区分 …… 133
　　4.3.3 構造部分別の被災度判定法 …… 135
　4.4 応急復旧工法 …… 156
　　4.4.1 応急復旧水準 …… 156
　　4.4.2 応急復旧工法 …… 157
5.本復旧 …… 166
　5.1 概　要 …… 166
　5.2 本復旧のための調査 …… 167
　　5.2.1 基　礎 …… 167
　　5.2.2 橋　脚 …… 167
　　5.2.3 橋　台 …… 168
　　5.2.4 上部構造 …… 168
　　5.2.5 支承部 …… 168
　　5.2.6 落橋防止装置 …… 168
　　5.2.7 伸縮装置 …… 169
　5.3 本復旧工法の選定 …… 169
　　5.3.1 本復旧水準 …… 169
　　5.3.2 本復旧工法 …… 170

1．はじめに

建設省総合技術開発プロジェクトの一環として、「震災構造物の復旧技術の開発」が昭和56年度より5カ年計画で実施され、「土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)，昭和62年3月1)」および「道路震災対策便覧(震災復旧編)，昭和63年2月2)」としてその研究成果がとりまとめられた。これらの資料は、比較的近年に発生した被害地震である新潟地震(昭和39年M=7.5)、十勝沖地震(昭和43年M=7.9)、伊豆大島近海地震(昭和53年M=7.0)、宮城県沖地震(昭和53年M=7.4)、浦河沖地震(昭和57年M=7.1)、日本海中部地震(昭和58年M=7.7)、長野県西部地震(昭和59年M=6.8)の7地震による被災および復旧経験を参考に、道路管理者が震災復旧を実施する際の手引きとして作られたものであり、道路構造物(切土のり面・斜面、盛土、橋梁、トンネル)の被災調査、被災度判定および復旧工法等に関する技術的な手法と同時に、震災復旧の考え方、復旧体制、情報連絡、広報、関連機関との協議などソフト面における対応方針等についても記述されている。

本編は、これらの資料をベースとして、これまでにない甚大な橋梁構造物の被害をもたらした兵庫県南部地震での教訓や知見をとりまとめ、震災復旧の進め方、主として橋梁構造物に対する被災調査、被災度判定および復旧工法等についてとりまとめたものである。

本編は、5章から構成され、本編全体の概要および用語の定義を「第1章　はじめに」に、震災復旧の進め方、震災復旧に必要な震前対策を「第2章　震災復旧の基本的な考え方」に、震災直後の対応に関しては「第3章　緊急調査および緊急措置」に、橋梁構造物における応急調査およびそれに基づく被災度判定、応急復旧工法については「第4章　応急復旧」に、本復旧に対する考え方、本復旧のための調査および本復旧工法については「第5章　本復旧」に記述した。なお、本編の適用に際しては、「第3編　兵庫県南部地震の事例集」が参考となる。

なお、震災復旧に関連して本編で用いている主要な用語の定義を以下に示す。

1)震災復旧の第1段階

地震発生後の数時間からほぼ1日程度の期間であり、主要な道路構造物の被害状況の概要の把握および二次災害の防止を第1目的とした通行止め等の緊急措置を行う段階。

2)震災復旧の第2段階

全体的な被災状況を把握し、必要に応じて仮受け等緊急工事や応急復旧を行うとともに本復旧方針を決定する段階。

3)震災復旧の第3段階

震後の混乱が収まり、本復旧のために必要な調査を行うとともに、本復旧を行う段階。

4)緊急調査

地震発生後、速やかに重要な箇所を中心に道路構造物の被害の概要を把握するとともに、大きな二次災害につながる可能性のある被害を発見するために行う調査。

5)緊急措置

緊急調査の結果、大きな二次災害につながる危険性があると認められる被害に対して緊急に行う措置。震

災復旧の第1段階に実施する「通行止め等の規制措置」および主として震災復旧の第2段階に実施する仮受け等の緊急工事を言う。応急的な輸送機能を確保する目的で実施する応急復旧工事と区別する。

6)応急調査

緊急調査に引き続き行うより詳細な調査であり、応急復旧工法および本復旧方針の決定のために行う。二次災害防止のための緊急工事や暫定交通解放のための応急復旧工事により、被災状況や現場状況が変化するため、この段階における調査がその後の本復旧工法の選定に対しても重要な判定材料となる。

7)被災度

被災した橋梁構造物の被災度は、「耐荷力に関する被災度」「走行性に関する被災度」「復旧性(傾斜などの残留変形)に関する被災度」の3種類があり、それぞれの被災度をもとに総合的な判定を行い、復旧工法等を決定する。

8)応急復旧

応急的に輸送機能を確保するために行う応急復旧工事、および暫定交通解放。

9)本復旧のための調査

本復旧の実施に必要な情報を得るための詳細な調査であり、地震による被害の再発を防止するために行う被災機構の解明や構造物の耐震性を高めるために行う調査も含む。

10)本復旧

道路の本来の機能を回復するために行う本復旧工事、および全面交通解放。

11)一次災害

本震による地震動、津波により直接的に生じる被害および本震とほとんど同時に発生した火事、爆発、その他の異常現象により生じる被害のうち、社会通念上災害と見なされるものをいう。

12)二次災害

一次災害発生後に、一次災害による道路機能の低下に伴って新たに生じる影響、または一次災害の拡大に伴って新たに生じる影響のうち、社会通念上災害と見なされるもの(例:道路被害の拡大に伴う交通事故等)をいう。

13)余震

本震に引き続いて起こる一群の地震のうち本震に比較的近接して発生する地震で、本震の発生後、震災復旧が行われる程度の期間内に発生する地震。

14) 緊急輸送道路

緊急輸送を確保するために必要な道路。

2．震災復旧の基本的な考え方

2.1 概　要

地震により道路の機能が支障をきたすことは、被災地域における復旧・復興活動を妨げるほか、被災地域内外の生活、経済活動に与える影響が大きい。したがって、道路の震災復旧にあたっては、道路の被災状況を迅速かつ的確に把握し、危機管理計画にもとづき、関係機関との連携を図り、速やかに行う必要がある。震災復旧は図－2.2.1に示すように大きく3段階からなり、各々の概要は以下の通りである。

・震災復旧の第1段階

震災直後における道路管理者の体制構築、概略的な被災状況の把握を行い、通行規制、被害拡大防止措置(二次災害の防止)等の緊急措置を実施する段階。

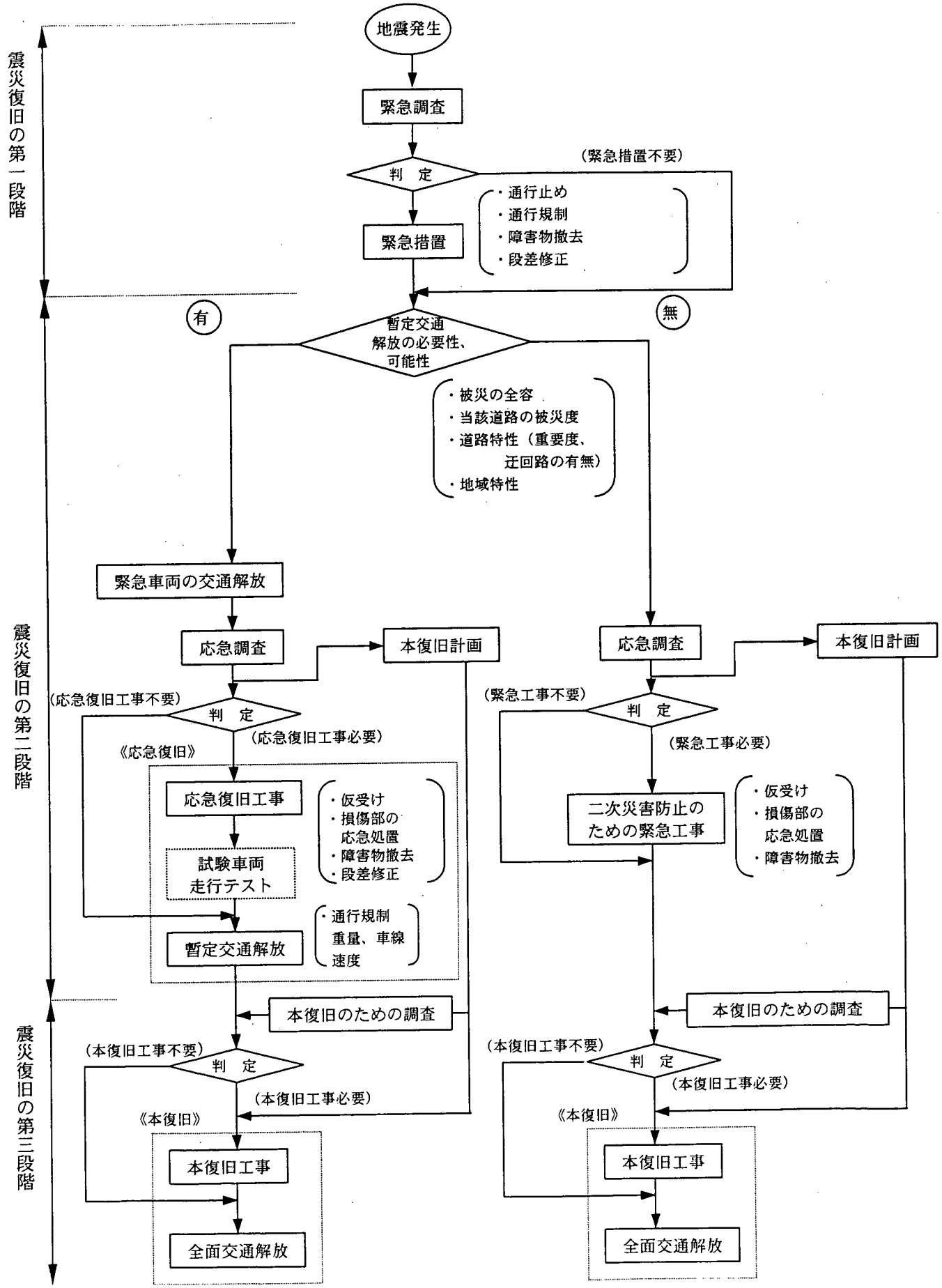
なお、落橋等の危険性が非常に高いと判断される橋梁構造物に対する仮受け等緊急的な対策も必要となる。

・震災復旧の第2段階

道路構造物全体の被災状況を包括的に調査し、損傷の進行状態を踏まえた二次災害防止対策や、道路交通確保の緊急性に基づく橋梁構造物の応急復旧を実施し、あわせて路線の重要性・構造物の被災度および復旧性の難易度に基づく復旧計画素案を立案する段階。

・震災復旧の第3段階

橋梁構造物の被災状況の詳細調査結果に基づく本復旧工法の策定、地域復興計画を踏まえた道路施設としての機能確保上必要な耐震性水準に基づく橋梁構造物の本復旧工事を実施する段階。



図－2.2.1　震災復旧の流れ

2.2 震災復旧の流れ

図－2.2.1は、兵庫県南部地震において被災した道路の震災復旧を参考に一般的な“震災復旧の流れ”を示したものであり、各段階における震災復旧の「震災復旧の流れ」および「考慮すべき項目」は以下の通りである。

2.2.1 震災復旧の第1段階

(1)震災復旧の流れ

この段階では、全体的な被害の概要および重大な被害の有無を把握するため緊急調査を実施する。既往地震による被害調査状況をみると、まず、車・徒歩等(場合によりヘリコプターも利用)により2～3人程度のパーティーに分かれて所管施設の概略の被害状況を調査するのが通例である。この段階では、十分な職員の動員ができなかったり、携行機材等も十分でなかったりするが、とにかく所管施設の被害状況を一巡して見てくることに重点が置かれている。被害が著しい場合には、車の通行が不能となり、徒歩で調査をしなければならなかったり、場合によっては立ち入り調査ができなくて未調査区間が残ったりすることもある。このような緊急調査結果が一応判明するのは、従来の例では地震発生後12～24時間たった段階であり、この段階で被害情報の整理・分析が行われる。この結果は、翌日以後の調査を実施するにあたっての方針、体制、重点地区等の判断に大きな役割を持つ。

緊急調査の段階で、重大な被害が見つかり、大きな二次災害につながる危険性が認められる場合には、状況に応じて適切な緊急措置を講じる。ただし、一般にこの段階で速やかに十分な緊急処置等を実施することは不可能であることから、対応措置としては、工事を伴わない施設管理上の措置が中心となる。すなわち、落橋の危険性を含む大被害、障害物や路面段差等による二次災害あるいは通行不能状態に対する危険を回避するための通行止めや通行規制が主なものである。ただし、この時点では、十分な安全性が確認できなくても物理的に通行可能であれば、緊急車両を通さざるを得ない状況も起こりうるので、橋梁部については路面だけでなく、路面下における下部構造や支承部(特に桁かかり)の被災状況を確認し、二次災害の危険性が高ければ通行止め等の緊急措置を講ずるとともに、桁受け等緊急工事の実施を急がなければならない。

(2)考慮すべき項目

震災復旧の第1段階においては、迅速に施設被害の概要を把握するとともに、大きな二次災害につながる可能性のある被害に対して緊急措置を行うものであり、ともかく、管理施設の被災状況等について大勢を的確に判断し、措置することに重点がおかれる。このため、個々の緊急調査および緊急措置には、震災復旧の第2段階および第3段階のように、復旧優先度に関する選択の余地が少なく、このため、評価項目としては、二次災害発生の可能性および影響に対する考慮が大部分を占めているといっても過言ではないが、緊急調査および緊急措置を実施するに際して、原則として考慮すべき事項は次のとおりである。

①本震の特性、余震、津波、気象条件等

②被災地域の特性

・大都市域、地方都市域

・山地部、平野部、海岸部

③二次災害発生の可能性

・当該施設被害の大規模な進展の可能性

・当該施設被害が周辺の住民または所管外施設に与えている影響の大きさと影響の進展の可能性

④所管外施設との関連

・所管外施設が橋梁構造物に与えている影響の大きさと影響の進展の可能性

以上の項目のうち、震災復旧の第1段階においては二次災害発生の可能性に対する考慮が重要であり、特に、人命の損失につながる可能性のある被害の発見と適切な措置を講じることが重要である。ただし、どの程度の二次災害の可能性までを震災復旧の第1段階で対応すべきかは、震災の規模および範囲により変化することに留意しなければならない。

一次災害発生後には、一次災害に起因して各種の二次的な影響(二次的影響)が予想される。道路施設における二次的影響の形態を分類すると表－2.2.1に示すようになり、一次災害の拡大がある場合とない場合に応じて、5タイプに分けられる。このうち、二次災害として考慮しなければならないのは、タイプA、タイプB、タイプDの3種類である。タイプCおよびタイプEについては交通機能障害に伴う影響である。

なお、道路構造物自体の被害の進展(タイプA)には余震、降雨時による被害の進展以外に沿道施設の被害の拡大により発生するものもあることに注意しなければならない。

表－2.2.1　一次災害に伴う二次的影響の分類[2)]

一次災害に伴う二次的影響のタイプ		被　害　内　容	備考考
一次災害の拡大がある場合	タイプ　A 道路構造物に新たに発生する被害(他施設の被害の進展に伴って道路構造物に生じる被害も含む)	①橋梁の被害進展→落橋	二次災害の危険性有り
	タイプ　B タイプAに伴って新たに生じる災害	①上記①→進行車両の落下、橋梁下の道路、鉄道等の被害	二次災害の危険性有り
	タイプ　C タイプAに伴って新たに生じる影響(ただし、上記タイプBを除く)	①通行規制、う回→渋滞の発生 ②道路交通容量の低下→生活、生産活動等への波及 ③緊急車両(救急車、消防車等)の通行不能→人命、財産への影響	
一次災害の拡大がない場合	タイプ　D 一次災害に伴う道路の機能低下によって新たに引き起こされる災害	①落橋、路体の欠壊→交通事故②橋梁上の障害物→交通事故 ③伸縮継手部、橋台取付部の段差→交通事故	二次災害の危険性有り
	タイプ　E 一次災害に伴う道路の機能低下によって新たに生じる影響 (ただし、タイプDを除く)	①通行規制、う回→渋滞の発生 ②道路交通容量の低下→生活、生産活動等への波及 ③緊急車両(救急車、消防車等)の通行不能→人命、財産への影響	影響の形態タイプCと同じ

2.2.2 震災復旧の第2段階

(1)震災復旧の流れ

既往の地震における復旧状況をみると、緊急調査、および、必要に応じて緊急措置が行われた後に、一般に、もう少し詳細な被害調査が行われるとともに、緊急輸送の確保、大規模な二次災害の防止等を目的とした応急復旧工事や緊急工事が行われている。

応急調査は、全体的な被害状況を把握するとともに、応急復旧や二次災害防止のための緊急工事の実施および本復旧計画の立案のために必要な情報を得ることを目的に行うものである。この際、全体から細部へ、また、概要から詳細にわたる調査へと、逐次調査の重点を移していくことが重要である。なお、応急調査段階になって、緊急調査では見落とされていた重大な被災が発見されたりすることもあるが、この場合には直ちに通行止め等の緊急措置を行うとともに、二次災害防止のための緊急処置を行うこととなる。

被災調査の観点としては、以下の項目が重要である。

①緊急調査で見落とされたり、あるいは、調査不能であった区間に重大な被害がないかを調査する(特に初期の段階)

②橋梁構造物の被災程度を安全性、供用性、復旧性の観点から調査し、より詳細な被災データを収集する。

③応急的な交通確保の方法

④本復旧に至るまでの間に、大規模な当該施設の被害の進展があるか否か

⑤一次災害または上記③の当該施設の被害に伴う交通機能障害が被害地域に大きな影響を与える可能性があるか否か

⑥本復旧はどのような方法で実施すべきか

なお、これらのうち、①②については基本的に緊急調査と同じであるが、緊急調査段階では、ざっと重大な被害の有無を確認してくる程度のことしかできないのに対して、被災調査では、一般にある程度繰り返して調査することが可能となる点が異なっている。③④および⑤についてはいずれも、応急復旧や二次災害防止のための緊急工事の必要性の判定およびその工法を決定するための調査である。また、⑥については本復旧計画を立案するための調査であり、一般に②および⑥の調査結果に基づき災害査定用資料が作成される。

ただし、早期に緊急車両や一般車両に対する暫定交通解放(応急復旧)が必要あるいは可能かどうかの判断は、当該道路の被災度だけでなく被害の全容、道路の重要度、地域特性等総合的な判断を要する。暫定交通解放が必要かつ可能であると判断された場合が**図－2.2.1**の左側の流れであり、暫定交通解放が必要ないかあるいは困難と判断された場合が右側の流れである。

兵庫県南部地震における具体的な事例を示すと以下の通りである。

①神戸市東部の埋立地とを結ぶ連絡橋[3),4)]は、救急活動や震災後の生活に欠かせない唯一の路線であるため、応急復旧工事により早期に暫定交通解放された。このように、う回路のない重要な生活道路を構成する橋梁が被害を受けた場合、早期の暫定交通解放を必要とするため、応急復旧工事を実施することになる。

②阪神高速3号神戸線[5),6)]は国道上の自動車専用高架道路であり、全面通行止めとし平面道路(国道43号お

よび2号)の交通解放を優先しながら、当該施設の被災度だけでなく他施設の復旧状況を考慮し、順次ランプ間の解放を実施していった。したがって、一部で二次災害防止のために緊急工事(被災橋脚の撤去や仮受け等)は実施しているが、暫定交通解放のための応急復旧工事ではない。このように、3号神戸線の他、国道2号、国道43号等の平面道路や海岸部埋立地を結ぶ5号湾岸線が東西方向に走る阪神間の地域的な特性にも考慮した効率的な復旧がなされたと言える。

③中国縦貫自動車道[7]は、宝塚付近を中心に大被害を受けた高速自動車専用道路であるが、被災地への物資輸送路および東西物流の幹線道路として早期の復旧が求められた。そこで、支保工による仮受けの緊急工事により緊急車両を通し、さらに、他の東西幹線道路も激しい被害を受けていたこともあって、一般車両を通すため下部構造の補強等応急復旧工事を実施した後暫定交通解放を行った。すなわち、2段階に分けて応急復旧を実施した後、本復旧に至った例である。これも単に当該橋梁の被災度だけでなく、他の路線の被災状況や地域的な特性が復旧に影響を与えた例である。

(2)考慮すべき項目

1)評価項目

震災復旧の第2段階における復旧の方針を定めるに際して、考慮すべき基本事項は次のとおりである。

①被災状況および程度

②一次災害に伴う二次的影響(二次災害を含む)の程度

③一次災害に伴う二次的影響(二次災害を含む)の生じる可能性

④応急復旧に対する制約条件

表－2.2.2は上記4項目に属する主要な評価項目をまとめて示したものである。

2)二次災害防止のための緊急工事と応急復旧の考え方

二次災害防止のための緊急工事の優先度の決定に際しては、当該施設の一次災害に伴う二次災害を含む二次的影響の程度と、そのような影響の生じる可能性(確率)の2つを基本として、**表－2.2.3**を基準に優先度を定めるのがよい。

さらに応急復旧に対しては、この他に被災状況および程度、応急復旧に対する制約条件等を加味して、総合的に優先度を定めていかなければならない。

上記の優先度の設定をより具体的に示すと以下のようになる。

①被災地域(もしくは避難施設)への救援、緊急物資輸送路としての機能を有する道路について、安全確保を十分配慮したうえで、最低限1路線を確保することを最優先とする。

②①に引続き、緊急路線の需要と路線の被災度(もしくは復旧の難易度)の大小を的確に判断するとともに、う回路・代替路の有効利用を考慮し、所要の路線の確保を優先する。

表－2.2.2　震災復旧の第2段階における評価項目[2)]

分　類	評　価　項　目
被災状況および程度	・所轄外を含む道路施設の被害 ・地域の被害の状況 ・道路構造物の耐力低下の程度 ・被災部分の安定性 ・道路の機能低下に伴う影響の程度
一次災害に伴う二次的影響の生じる可能性	・余震、降雨など ・人為的要因(重車両の通行、交通量など)
一次災害に伴う二次的影響の生じる程度	・交通規制の影響を受ける地域の範囲、人口 ・交通規制の影響を受ける交通、物流の種類または量 ・二次的影響に伴う道路機能低下の影響
応急復旧開始までの制約条件	・救急活動、復旧責任の区分などの社会的制約条件 ・被災箇所へのアプローチの条件 ・復旧資機材の状況 ・他機関等との調整
応急復旧完了までの制約条件	・梅雨期など二次災害促進要因の発生 ・観光シーズン、地域の行事などによる社会的な条件 ・緊急措置による代替機能確保可能期間

表－2.2.3　一次災害に伴う二次災害影響の程度およびそれが生じる可能性から見た応急復旧[2)]

		二次的影響の程度	
		小	大
二次的影響の生じる確率	低	優先度　3	優先度　2
	高	優先度　2	優先度　1

3)応急復旧の進め方および復旧水準

応急復旧の進め方は、以下の項目を総合的に判断して決定するものとする。

①う回路・代替路の有無 —— 当該箇所の被害に伴う通行止めの社会的な影響の大きさ

②被害の進行が考えられる場合 —— 被害拡大の可能性および周辺地域または道路機能に与える影響程度また、応急復旧は、被害の程度、緊急度に応じて一般に次の2段階の交通確保水準がある。

①第1段階(緊急輸送路として2車線を確保するための必要最小限の復旧)

第2段階まで耐えるように、入手しやすい資機材および労力を主体とした復旧工事であり緊急輸送車両等を通行させるためのもの

②第2段階(本復旧までの間において一般交通に資するための応急復旧)

復旧第2ステップとして、緊急輸送車両および徐々に出始める一般車両を通行させるために仮舗装を行う等ある程度走行性、大量性を確保するためのもの

なお、施設の耐荷力は、本復旧完了までに予想される余震等の外力に対して災害時に許容される安全率を確保できるレベルで行うものとする。

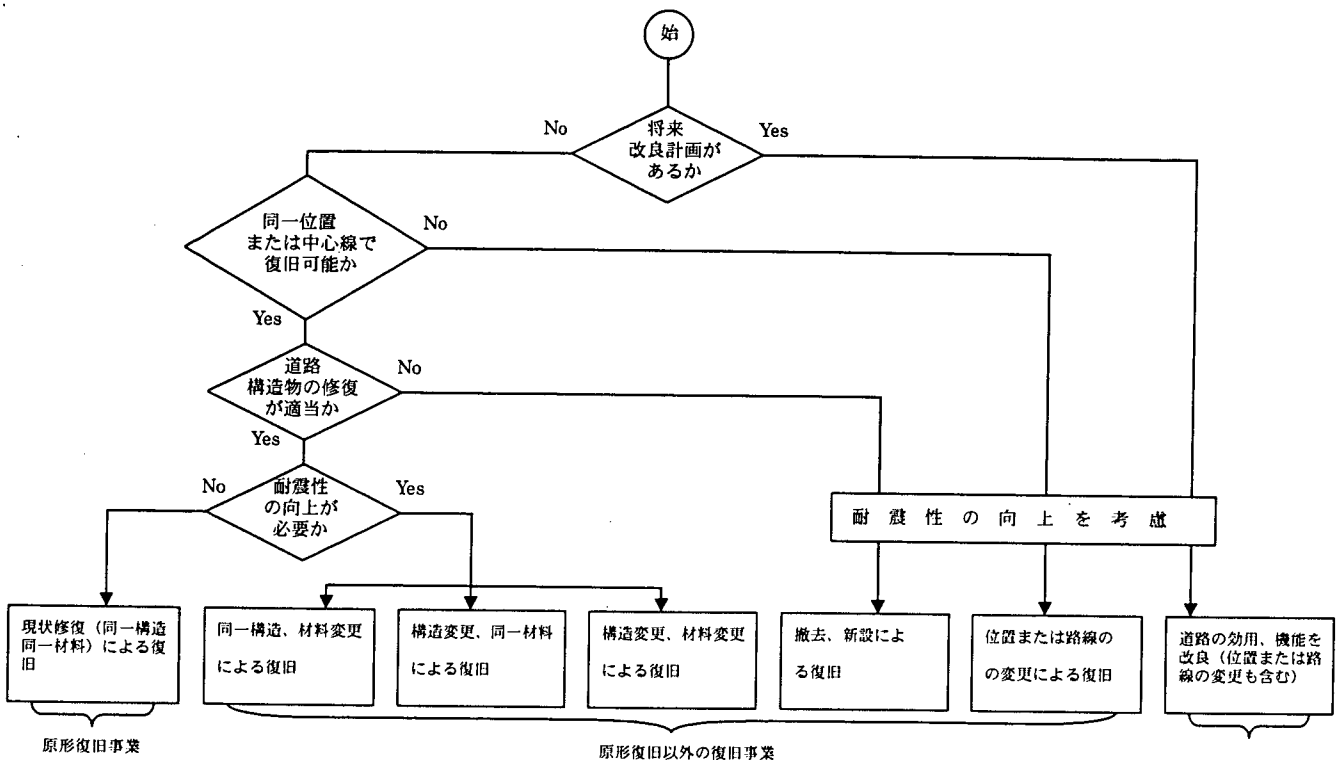
2.2.3 震災復旧の第3段階

(1)震災復旧の流れ

この段階は、応急復旧により緊急輸送機能が確保されるとともに、一般交通も一応確保されて、一般には震後の混乱も収まり、本格的な生活、産業活動が再開される時期であり、本復旧を実施するために必要な調査を行うとともに本復旧を行う段階である。

(2)考慮すべき項目

震災復旧の第3段階になると、一般に震後の混乱も収まり、また、応急復旧により短期的な施設の機能も一応満足されているため、本復旧における施設の機能(効用)および施設の耐震性の水準をどのように定めるかに判断のポイントが移ってくる。本復旧を実施するにあたっては、所轄外施設を含んだ地域全体の将来計画、復旧・復興計画との整合性を考慮しておく必要がある。本復旧水準の一般的な考え方は図－2.2.2に示すフローのとおりである。



図－2.2.2　本復旧水準の考え方 [2)]

2.3 震災復旧のための震前対策

本資料の「震前対策編」では、主として地震による被害を軽減するための震前対策について記述している。ここでは、地震が発生した後の震災復旧過程において必要と考えられる震前対策(震前に準備しておくことが望ましいこと)について示す。地震発生直後からの様々な対策行動を迅速かつ円滑に実施するためには、マニュアル等を作成するのみでは不十分であり、実際に地震が発生したときに職員として適切な行動が執れるよう、普段からの訓練等を通じ、執るべき行動の流れ等について身につけておく必要がある。また、地震災害は風水害と異なり、被害が広範かつ人的なものにまで及び、震災を経験することは極めて稀なため、復旧活動に対する心構えや技術を維持することが難しい災害である。

したがって、各道路管理者においては、防災訓練等を通じ、職員が執るべき行動について普段から周知徹底を図っておくとともに、訓練等によって見い出された課題等については実践マニュアルを改良する等して、実効性の保持に努める必要がある。

兵庫県南部地震での初期活動や復旧活動の過程を踏まえ、望ましい震前対策の基本について示す。

a) 組織内体制

大地震が発生した場合、災害対策本部が設置されるが、実際の復旧活動は各部内における従来組織を基本としたチームで行動するのがよいと考えられる。ただし、職員自身が被災者であるため、十分な人員を確保できない場合の応援、新組織の設置が柔軟に実施できるように事前対策しておくことが望ましい。

b) 参集

兵庫県南部地震当日は、兵庫県および神戸市における関係職員の参集は半数以下であったとされている。したがって、できるだけ多くの人員を確保できるよう、情報収集、連絡体制、交通手段等についての事前対策を講じるとともに、限られた人数の参集可能な職員が効率的に行動できるよう、参集場所についても取り決めておくことが望ましい。

c) 関係機関との協力体制

兵庫県南部地震では、警察との連絡、マスコミへの広報、住民からの情報連絡等はかなり密に行われていたが、復旧活動に対する他機関からの応援協力は必ずしも十分ではなかった面も見受けられる。これは、混乱状態にある受け入れ側に対して、適切な応援部隊を送り込むことが難しいことも一因と思われる。被災の大きさや各機関の事情によってさまざまな応援の仕方があると考えられるが、少なくとも近隣機関相互においては事前の方策を起てておくことが望ましい。

d) 通信手段

兵庫県南部地震では、電話、ファックス、防災無線が電源切れや故障のため思うように機能しなかったことが、少なからず復旧活動の支障となっている。通信機器の耐震化とともに、近距離であればバイクや自転車も確実な通信手段となりうる。

e) 資機材の調達

被災規模が大きい場合には、資機材の不足による復旧作業に支障が生じる。路面修復用の材料等、最低限必要な資機材の備蓄、災害時の調達協力体制の構築が望ましい。兵庫県南部地震では、調達で

きても交通渋滞で復旧に支障が生じており、緊急輸送ルートの確保が重要である。

f)資料整備と活用

神戸市では、設計図書をマイクロフィルムとして管理していたが、市庁舎の損壊で取り出せない状況が生じた。設計図書等の資料保管施設の耐震化、2元管理、さらには即座に取り出せる検索システムの構築等の対策が望ましい。しかしながら、これらの資料を活用するためにはペーパー化することが必要であり、ペーパー化のための機器確保、ペーパー化した資料の管理も重要である。

g)その他

被災の確率の高い古い橋梁ほど、設計図書が残っていないものも多いと思われる。このような場合は、橋梁構造の情報を得るため建設当時の技術担当者を把握しておくことも重要となる。また、橋梁全体の被災状況から車両の通行の可否を判断したり、復旧工法(特に補強か撤去・再構築かの判断)を判断できる技術者(防災エキスパート)の派遣・養成が、今後ますます必要である。

3．緊急調査および緊急措置

3.1　緊急調査

3.1.1　緊急調査のポイント

緊急調査では、できる限り短時間に重要箇所を中心に道路構造物の被害の概要を把握するとともに、大きな二次災害につながる危険性があると認められる箇所を判定することが必要である。基本的に以下の事項を緊急調査段階で把握することが重要である。

(1)道路が通れるかどうか

震後の道路交通機能は、被害調査結果にもとづき、**表－2.3.1**に示すように大きく5段階に分けることができる。このうち、緊急調査段階では大被害を中心とした被害の発見に全力を傾けるものとする。

表－2.3.1　被災状況と交通機能の分類(緊急調査段階)[2)]

被災度	被災状況の概要	通行機能(走行性)
被害なし(D)	目視調査により、特に被害が認められない場合	通行可(c)
被害軽微(D)	橋梁下部構造に軽微な損傷が認められるが、道路本線の交通には特に支障がない場合	通行可(c)
小被害(C)	橋梁下部構造に軽微な損傷、道路本線に小さな段差が認められるが、通常の交通は可能な場合	注意走行表示(b)
中被害(B)	橋梁下部構造における損傷、道路本線に大きな段差が認められ、通常の交通が困難な場合	通行規制(b)
大被害(As,A)	落橋あるいは落橋の危険性のある損傷が認められ、通行ができない場合	通行止め(a)

(2)橋梁構造物の被害状況の概要把握

通常、橋梁構造物の被害は震後の復旧において長時間を要する。したがって、橋梁被害については、緊急調査段階では大被害の発見を中心に、可能であれば余震等の被害の進展、拡大の可能性を含めて、被害状況の概要を把握しておくのがよい。橋梁構造物の被害は、路面状態だけでなく路面下における落橋につながる被災状況が発見された場合には、通行止め等の緊急措置を講じなければならない。



写真－2.3.1　流動化が原因で落橋寸前の被災例[8)]

兵庫県南部地震では、写真－2.3.1に示すように、護岸直近の橋脚が地盤の流動化により水路側に移動・傾斜したことにより、けたかかり長が極端に減少し、落橋の危険性が認められる状況が出現した。

(3)大きな二次災害の危険の把握

二次災害の危険性に関する調査の観点は以下のとおりである。

①当該施設被害の大規模な進展の可能性が明らかにあるか否か。

②一次災害または上記①に伴う当該施設の被害が周辺の住民または資産あるいは所管外施設に大きな影響を与えているか、もしくはその可能性が明らかにあるか。

③所管外施設の被害が、道路に大きな影響を与えているか、もしくはその可能性が明らかにあるか。

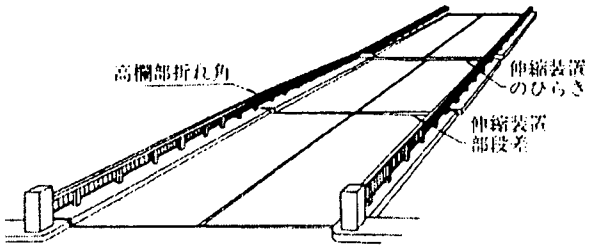
3.1.2　緊急調査項目

上記(1)に示した緊急調査のポイントに留意したうえで、一般的には表－2.3.2および図－2.3.1、図－2.3.2に示す項目を中心として緊急調査を行うのがよい。特に、路面下で発見し難い下部構造の損壊や傾斜、あるいは支承損壊に伴う桁移動による残留桁かかり長は、直接落橋に関わる重要な調査項目である。ただし、これは、短時間に重大な施設被害の概要を把握するために必要な最小限の項目を示したものであり、被災の規模、地域特性等により適宜取捨追加することが必要である。

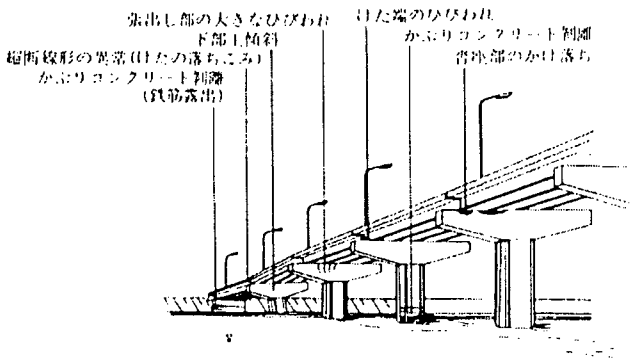
兵庫県南部地震では、阪神高速3号神戸線の国道43号上への倒壊を初め、その他被災地内のいたる所で発生した倒壊ビルや倒壊家屋により道路障害が生じている。さらに沿道火災、道路占用施設の倒壊や道路上の放置車両等も道路機能に対する緊急措置を判断する大きな要因となる。

表－2.3.2　緊急調査の主要な項目[2)]

対象施設			調査ポイント
橋梁構造物本体	全体		落橋
	橋面		高欄、地覆のずれまたは折れ角、蛇行
			縦断線形の折れ角
			伸縮部のひらき、盛り上がり、段差
	橋梁側面	上部構造	不連続な(折れ)たわみ、支承の損壊、けたかかり状況
		下部構造	沈下、傾斜、大きなひびわれ、コンクリート剥離、鉄筋座屈
橋梁構造物本体以外	沿道施設		道路上への建築物の大きな倒壊 道路施設の被害が重大な影響を与えていないか
	占用施設		道路機能に大きな影響を与えていないか
	その他		大規模な浸水、津波の有無 大規模な火災の有無 車両滞留状況



図－2.3.1　橋面点検で調査すべき項目[2)]



図－2.3.2　橋梁側面からの点検で調査すべき項目[2)]

3.1.3 緊急調査の留意点

緊急調査を実施するうえで、個別に留意しておくことが必要な項目を示すと以下のようになる。

1) 緊急調査は通常の調査に比べて非常に時間を要する。例えば、1978年の宮城県沖地震の例では17時30分に緊急調査をスタートしてから、最後のパーティーが帰着したのは翌日の午前3時近くであり、9時間を要している。同様に、1983年日本海中部地震の場合には12時05分から20時00分まで8時間を要している。

兵庫県南部地震においてはこれまで経験しなかった甚大な橋梁被害が発生し、各道路管理機関で調査に要した時間は異なっていたと思われるが、阪神高速3号神戸線および5号湾岸線、名神高速の西宮付近、中国自動車道の宝塚付近等の落橋等重大な被害に関しては、地震当日に被害概要がかなり把握されていたと報告されている[9]。これは、地震発生が早朝であったため夜明けから調査が実施できたこと、落橋被害は発見が容易であること、重大な橋梁被害が阪神間の都市部に集中していたため、テレビ・ラジオ、関係各機関や住民からの情報も比較的多く入手できたこと等の理由が考えられる。しかしながら、全体の被災箇所が多かったため、落橋は免れたものの二次災害発生の危険性が高い被災橋梁すべてについては、地震当日には十分把握できていなかったと思われ、全体の被災状況の把握ため翌日以降も引き続き調査が実施されている。

緊急調査に時間を要する理由は、一般に以下のとおりである。

①人手不足：職員が被災者であるとともに、被災地内の交通・通信手段が麻痺状態で、地震直後には調査に当たる人員が不足する。

②交通混雑：震災直後には、通常とは全く異なった交通需要が生じ、非常に混雑する場合が多いため調査に支障をきたす。

③交通不能箇所のう回

④緊急措置の実施

⑤情報連絡：情報連絡がスムーズにいかず、このために、結局パトロールカーまで引き返したり時間を要した事例が多い。

⑥パトロールカーの通行不能

⑦余震の影響

⑧夜間の調査

⑨雨中、雪中での調査

緊急調査のやり方は、震災規模、特徴、地域特性等によって変化するが、以上の項目から、以下のような点に特に留意し、迅速かつ効率的な調査を心がけることが重要である。

①小さな被害およびその対応に目をうばわれない。

②結果としてどの程度の範囲まで被害があったかという点は、緊急調査が全部終わらないとわからない。したがって、まず、全体把握に全力を尽くす。

③可能であれば、調査範囲を分割して、分担調査をする。

④基本的には、往路は調査区間をとにかく見てまわることに全力を尽くし、往路は必要に応じて緊急措

置を行う。

⑤地震直後ではテレビやラジオの情報が先行する場合も多いので、被災の全容や大被害の情報についてはこれらの情報収集が役立つ。

⑥調査の報告、情報のやりとりには携帯電話の活用が有効である。

⑦道路パトロールカーは地震規模がある程度以上になると交通混雑、路面段差、崩土等のため使用できない場合が多い。この場合には、バイク、自転車の利用が有効である。ただし、最後は徒歩にならざるを得ない。

⑧広域的な被害調査には、ヘリコプターによる上空からの調査も有効である。特に大規模被害等により、調査不能区間が多数存在するような場合には上空からの調査が極めて有効である。

2) 必要な調査連絡体制を組織し、調査員は事前に準備した資料、道具を携帯するとともに、地震や被災情報にも注意して迅速な調査が実施できるようにしなければならない。指揮者は調査結果を参考に、緊急措置の手当て・応援や、今後の復旧計画に対する技術的な判断を行う。また、調査担当者は、可能な緊急措置は調査と並行して講ずるものとする。

3) 緊急調査の結果は、わかった範囲から逐次災害対策本部へ報告することが重要である。緊急調査に出発したパーティーがなかなか本部へ連絡できなかった理由としては以下のものが挙げられる。

①被災調査結果の対応に手がいっぱいであった。

②次々と被害が見つかり、先に進むことに全力投球した。

③連絡手段がなかった。

④障害物撤去等緊急措置で手いっぱいであった。

⑤連絡相手が不在であった。

いずれにしても、このような状況になると、緊急調査を終えて調査パーティーが帰着するまで、事務所では被災の全体把握ができないこととなり、震後対策を立案することができない。このため、緊急調査段階での調査のポイントは全体把握であることに留意し、事務所等本部へ随時情報連絡することが非常に重要である。したがって、緊急調査は、緊急調査を指揮・調整する者と、実際に調査に当たる複数のパーティーから構成され、あらかじめ定めた定時または定点毎に指揮者へ調査結果を報告しながら調査を進めるのが望ましい。

3.2 緊急措置

緊急調査により、大きな二次災害につながる危険性があると認められる場合においては、交通の危険または周辺地域への被害の拡大を防止するため、区間を定めて道路通行規制、危険範囲の設定などの緊急措置をとる必要がある。緊急調査により橋梁構造物、沿道施設、占用施設に**表－2.3.2**に示した被害が発見された場合には**図－2.3.3**の流れに従って、緊急措置を講じるのがよい。

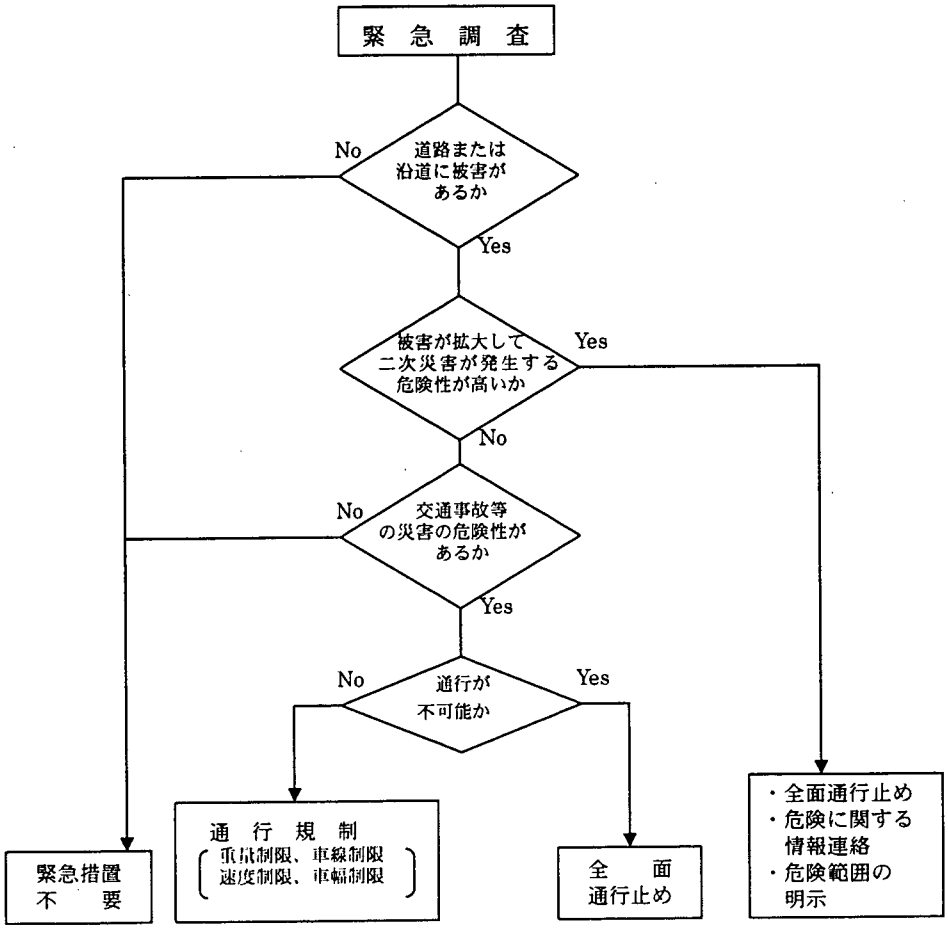
緊急措置は限られた時間の中で被害状況を把握しつつ行わなければならないため、常に時間との戦いになる。この際に、被害程度が**表－2.3.1**に示した大被害に相当し、明らかに通行止めにした方がよい場合には、一般に判断に困らないが、**表－2.3.1**に示した中被害が発見された場合には、どの程度まで第1段階で対応すべきかの判断は、許される時間および対応のきめ細かさの二者択一となり、判断に迷う場合が多い。これは、震災の規模、程度(広域か、局所的か)、地域特性によって変化するため、一概に言えないが、一応、以下の点が通行規制等の措置の判断材料となろう。

1)道路利用者にわかりにくいが、極めて重大な被害

例えば、橋脚の大被害、支承天端の大被害(**図－2.3.1**、**図－2.3.2**参照)

2)被害が進行、進展する可能性が高い場合

なお、具体的な緊急措置は、全面通行止めの他、道路交通の制限措置(車線規制、速度・重量制限等)のためのバリケードやコーンの設置、あるいは迂回路の表示等に加え、二次災害防止を目的とした道路上の障害物撤去、道路上方の被災占有物の保護工、橋梁の仮受けや損傷部の応急処置等緊急性を要する工事も含まれる。ただし、これらの工事は「震災復旧の第1段階(震災後1日程度)」に実施することは時間的に困難であることから、「震災復旧の第2段階」である二次災害防止のための緊急工事に含まれる。ただし、落橋等重大な二次災害の危険性が極めて高い状況においては、最優先での緊急工事が必要となる。



図－2.3.3　道路施設における緊急措置の流れ [2)]

4.応急復旧

4.1 概　要

緊急調査段階では、できるだけ短時間に道路および沿道施設全体の被害の概要を把握することを目的としているため、道路橋に対しては落橋もしくは落橋に至るような重大な損傷がないかを調査し、これらが発見された場合には、バリケード、ロープ等で通行禁止等の規制措置を講じるだけで、時間的制約から詳細な調査、判定および工事を行うことができない場合が多い。

これに対して、応急調査段階では、緊急調査により異常が発見された道路橋を中心として、落橋の可能性のある橋、被害の著しい進行が認められる橋の発見を基本とし、被災状況によって単に一回だけの調査ではなく、必要に応じて複数回の調査を行うことが必要となり、また専門知識を有する技術者による判断も重要となる。応急調査結果は、二次災害防止のための緊急工事や本復旧に至るまでの間の暫定交通機能を確保するための応急的な復旧工事を行う必要があるか否かを検討し、合わせて本復旧の参考にするものである。したがって、基本的には本復旧に至るまでのある程度短時間の機能、耐力といったことが工事の要・不要を判断する基準となる。応急調査の結果、必要と認められた場合には、橋の機能の応急的回復および重大な損傷の進行防止をはかるため、応急復旧工事および二次災害防止のための緊急工事を行うのがよい。

4.2 応急調査

調査は二次災害防止のための緊急工事と同時並行的に実施せざるを得ない場合も多いので、工事に支障がないよう調査箇所、調査方法、調査の優先順位等を十分検討するのが望ましい。

応急調査においても、緊急調査で被害が発見された箇所を中心に落橋の可能性のある橋、著しい被害の進行の認められる橋の目視による発見を基本として、被害状況(全体的な被害を含む)を把握することが優先される。したがって、落橋につながる可能性のある被害を重点的に調査するという観点から、以下の箇所に関する調査を先行的に行うのがよい。

① 橋脚の破壊の有無
② 支承部(支承および沓座コンクリート)の破壊の有無
③ 上部構造の一次部材の破断の有無

図－2.4.1は、既往地震による道路橋の典型的な被災箇所を示したものであり、図中に示されている項目に対して被災調査を行うのがよい。この際、破壊が活荷重、余震等によって進行する可能性があるか否かに十分注意しなければならない。また、足場の確保が困難な箇所等の調査に際しては、橋梁点検車、船舶、はしご等を用意するのがよい。

橋梁応急調査の具体的な方法は、外観調査に基づく損傷位置、損傷範囲、損傷状況の計測結果等を含めたスケッチやメモ、および写真撮影が主となる(基礎や柱基部など地中部については、大規模な調査となり多くの時間を要するため、限られた下部構造のみ実施される場合が多い)。写真撮影に当たっては、重大な被害発生毎に全景写真と部分写真を基本とし、全景写真は被災の全容を把握し得るように、部分写真は被災状況の詳細が判定できるようアングルを変え(橋脚なら4面から撮影)、さらに概略寸法が判定できるポール等を入れた撮影が望ましい。

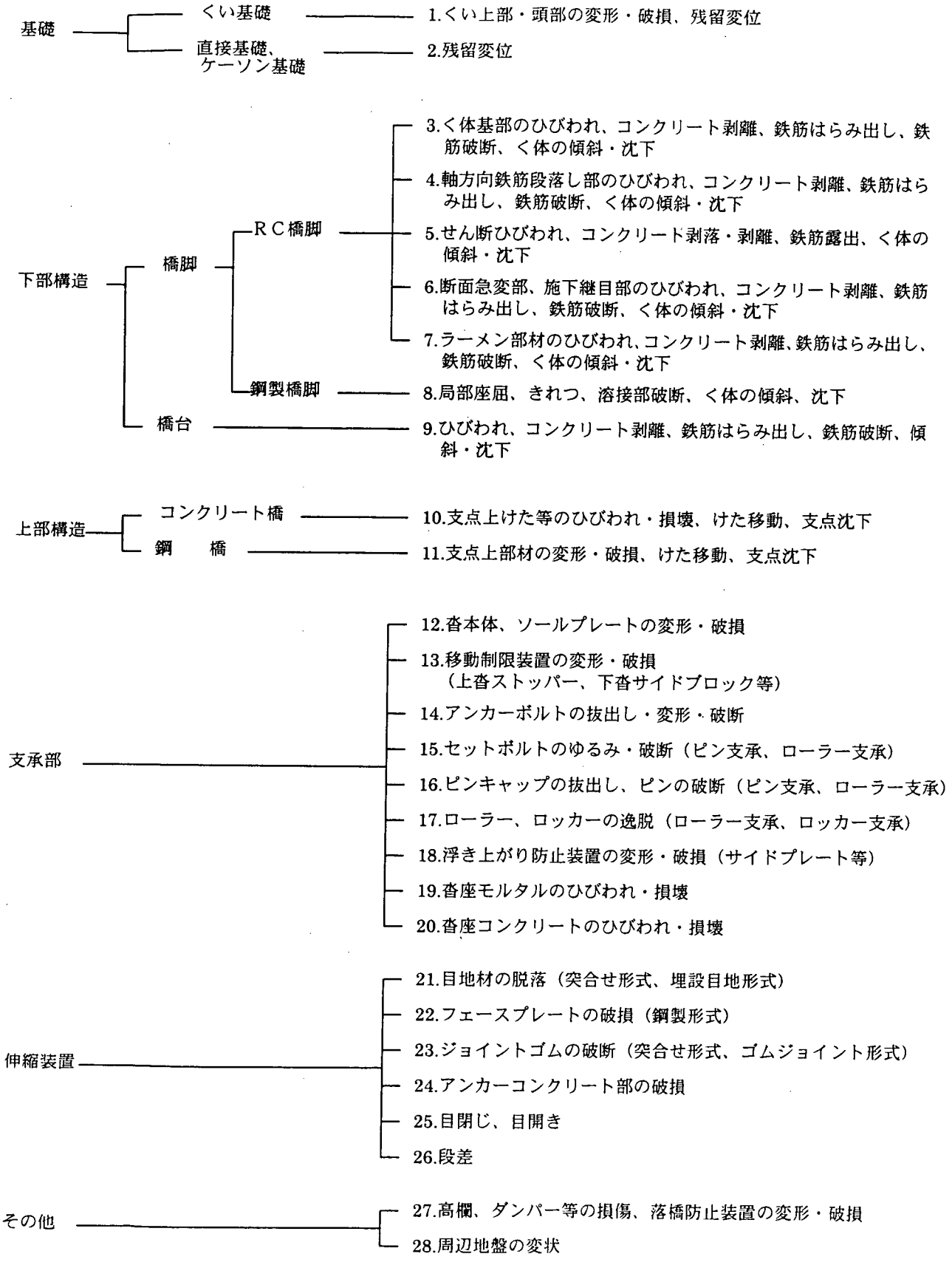
以下、各構造部位別の調査について示す。

4.2.1 基　礎

明らかに目視によりわかる程度の残留変位、傾斜がないかを調査する。また、周辺地盤の大きな洗掘、広範囲な液状化によるきれつ、軟弱地盤のすべり等が生じている場合には、これらについて調査しておくのがよい。

応急調査時に、地中部に関する調査もできるだけ実施することが望ましいが、通常、外観調査などに比べて調査時間と費用を要するため、調査の必要性を十分検討した上で調査対象を選定するのがよい。一般的には、外観調査で地上部の被害が甚大な橋梁、特に橋脚・橋台に顕著な傾斜が認められる場合、あるいは周辺地盤の変状(液状化、流動化、沈下等)が著しい場合などを調査対象とする。

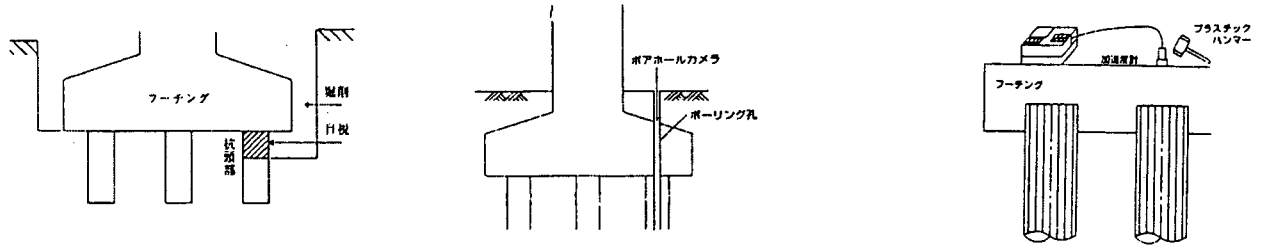
周辺地盤を含む基礎構造物の調査の概要を表－2.4.1に示す。基礎構造物の代表的な調査方法としては、図－2.4.2に示すように、試掘による直接目視による調査と、兵庫県南部地震の被災調査で多く適用されたボアホールカメラやITによるひびわれ調査等がある。



図－2.4.1　道路橋の典型的な地震被害(被災調査を行うべき項目)[2]

表－2.4.1　基礎構造などの調査の方法[10]

対象	調査項目	調査手法	調　査　の　概　要
基礎構造物	被災度	直接目視	杭頭部を掘削により露出させ、被災状況を直接目視により観察する。構造物の安全性、地下水などの施工上の問題から調査は杭頭部に限られる。
		間接目視	フーチング上面から杭体に向けコアボーリングを行い、杭孔内の状況をボアホールカメラにより観察する。杭長全体にわたる調査が可能。ボーリングに時間を要する。
		非破壊	弾性波による調査。杭頭（フーチング上面）を打撃することにより衝撃波を起こし、反射波の乱れを解析し、杭の被災状況について推定を行う。（ITによる損傷調査）
	耐荷力	載荷試験	水平載荷試験および鉛直載荷実験を実施し、それぞれの杭の残存水平抵抗力および鉛直支持力を確認する。
周辺地盤など	地盤変状	目　　視	橋脚周辺の地盤変状、アスファルト路面のひび割れなどを目視で調査する。
	橋脚の移動量	各種測量	GPS測量、写真測量などにより、橋脚の水平移動量を調査し、この残留変位から基礎の被災状況を間接的に推定する。
	地質	ボーリング	標準貫入試験、孔内水平載荷試験、室内土質試験、PS検層
		サンプリング	テストピットを掘削し、埋め立て材料の確認および室内試験で静的、動的特性を調べる。



(A)直接目視調査　　(B)間接目視調査　　(C)非破壊調査

図－2.4.2　代表的な調査法の概念図[10]

なお、基礎の損傷調査法については、近年発達が著しく多くの調査法が提案されており、「橋梁基礎の形状および損傷調査マニュアル(案)(平成11年12月)、建設省土木研究所」等を参考にして、最近の技術を用いた調査を行うのがよい。

4.2.2　橋　脚

本復旧において、補強による再利用が可能か、撤去・再構築が必要かの判断は、以下に示す外観上の損傷状況だけでなく、残留傾斜量や沈下量によっても異なるため、これら残留変形が目視できる場合には傾斜計

等による定量的な計測調査を実施するとともに、変形の進行の有無を監視し、復旧の判定資料とするのがよい。

(1)RC橋脚

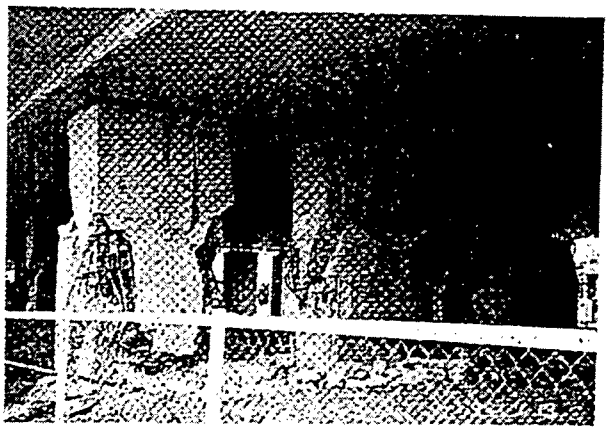
RC橋脚の場合には、損傷の位置が損傷程度とともに重要となるため、損傷が橋脚基部で生じているか、橋脚の中間の高さ(主鉄筋の段落とし位置)で生じているかを調査する必要がある。また、帯鉄筋の配置にもよるが、橋脚高さhと幅dの比h/dがおおむね3程度以上であるか、以下であるかも損傷の形態(一般にh/dが3程度以上の場合には曲げ破壊、h/dが3程度以下の場合はせん断破壊となる)を知るうえで重要であるので、橋軸方向および橋軸直角方向の両者に対して調査する必要がある。RC橋脚の損傷は、曲げ破壊およびせん断破壊の場合にそれぞれ一般に以下のように進行する。

・曲げ破壊の場合 ①コンクリートのひびわれ(水平ひびわれ)
(写真－2.4.1参照) ②かぶりコンクリートの剥離
③軸鉄筋の座屈(鉄筋のはらみ出し)
④軸鉄筋の破断、コアコンクリートわれ・破壊

・せん断の場合 ①コンクリートのひびわれ(水平ひびわれ、斜めひびわれ)
(写真－2.4.2参照) ②コンクリートのひびわれの拡大
③かぶりコンクリートの剥離、剥落
④鉄筋の露出
⑤帯鉄筋の破断、コアコンクリートわれ・破壊



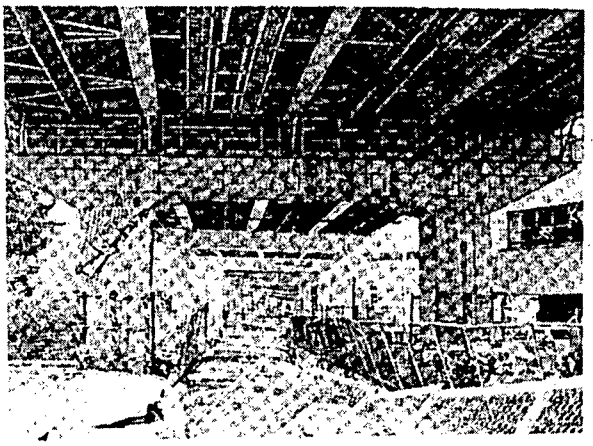
写真－2.4.1 RC橋脚の曲げ破壊例[1)]



写真－2.4.2 RC橋脚のせん断破壊例[1)]

したがって、損傷の程度を把握するためには、上記のいずれの段階に相当するかを調査することが重要である。また、破損が活荷重、余震等により進行するか否かを把握するためには、損傷箇所にモルタルを付けておくことが有効である。この場合には、 破損個所の全面にモルタルを付けなくても主要な数箇所にひびわれおよび剥離の長手 方向に長さ10cm程度のモルタルを付けておくだけでもよい。このように付けたモルタルに新たにひびわれが生じた場合は、破損が進行していると判断できる。

なお、以上は単柱式RC橋脚について示したものであるが、ラーメン式橋脚の場合にも、これに準じて被災調査を行うことができるが、ラーメン橋脚面内方向の特徴として、柱上下端および梁両端の曲げおよびせん断損傷が考えられるので、このような点にも注意して調査するのがよい(**写真－2.4.3**参照)。
また、RC橋脚においては、せん断耐力の向上および曲げ耐力あるいはじん性の向上を目的に、鋼板巻立て補強が実施されている。このような補強後の橋脚が被災した場合、鋼板の座屈や亀裂、叩き点検による浮きを調査するのがよい。



写真－2.4.3　RCラーメン橋脚の被災例[10]

(2) 鋼製橋脚

鋼製橋脚の破損は一般に以下の順に進行する。

①塗装のはがれ

②鋼板の座屈　　1) リブ(縦リブもしくは横リブ)間の鋼板が波打つようにふくらむかもしくはへこむ。

2) 鋼板が全体として(リブも含んで)面外の変形をする。

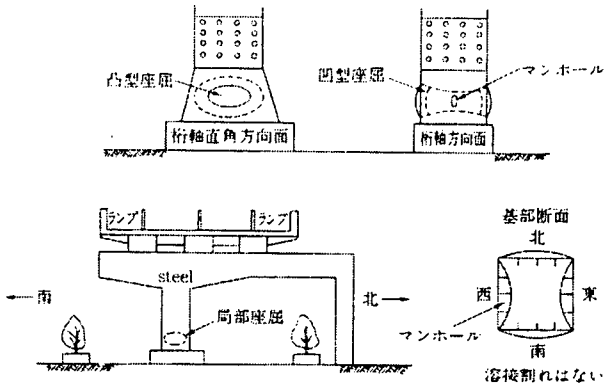
破壊形態が、1)の形態となるか2)の形態となるかは、リブの剛性によって異なるが、いずれも局部座屈が生じている証拠である。なお、変形が小さい場合には、鋼板の初期不整合、溶接時の残留変形との区別に留意しなければならない。

③溶接部の局所的変形・破断

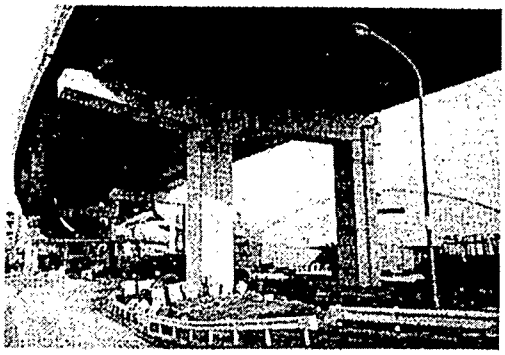
④ラーメン橋脚隅角部の亀裂

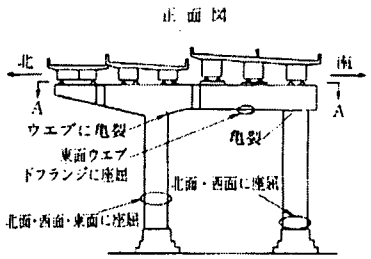
したがって、被災度を判定する上では、上記のような変形状況が重要となるため、いずれの段階に相当するかを調査することが必要である。なお、兵庫県南部地震では、中詰めコンクリートの境界付近、板厚変化位置、マンホール付近等剛性急変部、ラーメン橋脚の隅角部や中間梁に損傷が認められており、これらを中心に調査するのがよい。**写真－2.4.4**および**写真－2.4.5**に、兵庫県南部地震により生じた鋼製橋脚の損傷事例を示す。



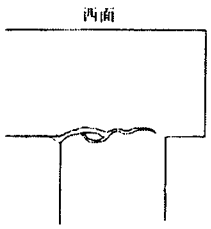


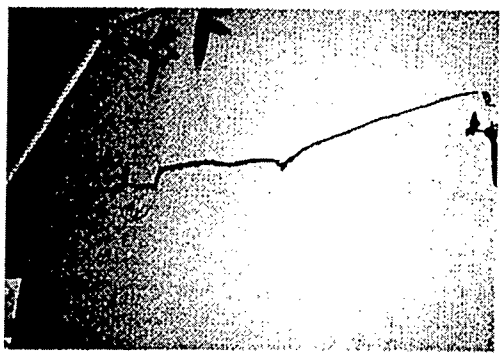
写真－2.4.4　橋脚基部マンホール付近の局部座屈[11]

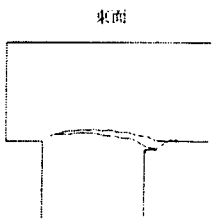


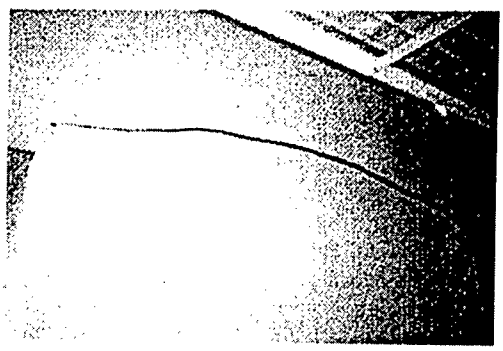


南側隅角部









写真－2.4.5　ラーメン橋脚隅角部の亀裂[11]

4.2.3 橋台

橋台の被害調査項目はRC橋脚に準ずることができるが、この際に、橋台本体に損傷が生じているのか、パラペットおよびウィングに損傷が生じているのかを区別して調査することが必要である。一般には、後者の損傷は応急段階の橋梁の耐荷力および走行性に与える影響は小さい。**写真－2.4.6**に、兵庫県南部地震でのパラペットの被災例を示す。



写真－2.4.6　橋台の被災例

4.2.4 上部構造

(1)コンクリート橋

上部構造の被害は、支点周辺(特に、固定支点)に生じる場合が多いので、この付近を中心として調査するのがよい。調査すべき項目としては、コンクリートのひびわれ・剥離、橋軸方向の鉄筋もしくはPC鋼棒の破断があげられる。

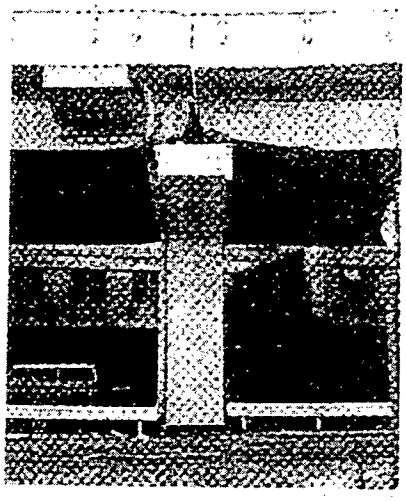
(2)鋼橋

支点周辺(特に、固定支点)に破損が生じやすい点は、コンクリート橋と同様である(**写真－2.4.7**参照)。

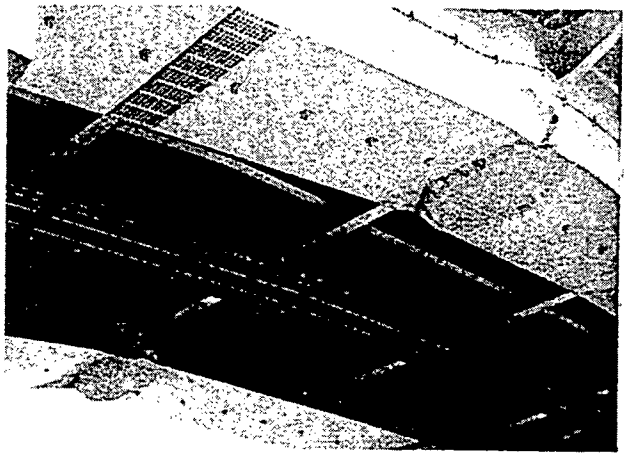
調査すべき項目は以下のとおりである。

① 耐荷力に直接影響する一次部材の座屈・変形・破断

② 耐荷力に直接影響しない二次部材の座屈・変形・破断



写真－2.4.7　けた端部の損傷[10)]



写真－2.4.8　けたの座屈状況[12)]

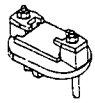
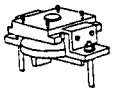
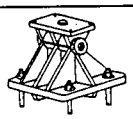
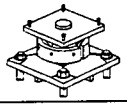
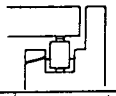
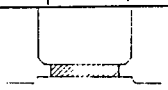
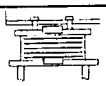
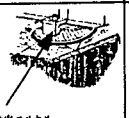
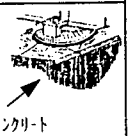
ここで、一次部材とは、Iげた橋の場合には、上下フランジおよびウェブ、また、トラス橋の場合には、上下弦材および斜材をいう。二次部材とは、一次部材以外の部材で、横構、対傾構等をいう。
なお、連続げた形式では支点付近だけでなく、支承や下部構造の損傷に伴い、上部構造の支間部にも座屈等の損傷を受ける場合がある。**写真－2.4.8**に、兵庫県南部地震におけるけたの座屈状況を示す。

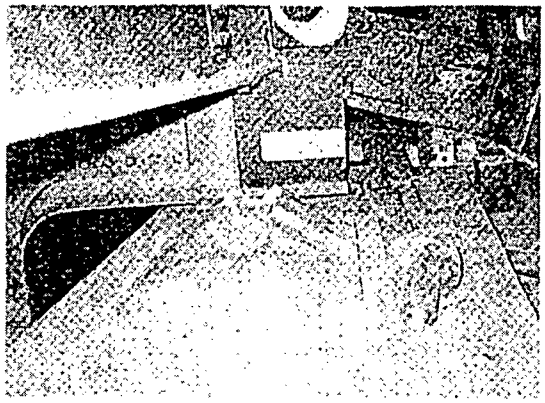
4.2.5　支承部

支承には各種の形式があり、これに応じて被災箇所も異なる。したがって、**表－2.4.2**にもとづいて、被災調査箇所を調査するのがよい。このうち、セットボルトの破断(特に、ボス部材も同時に破壊しているような場合)、サイドブロックの破断、ピンの破断、アンカーボルトの破断、沓座コンクリートの破壊はいずれも支承として横抵抗を失わしめる損傷であり、余震等により落橋につながる可能性があるため、十分調査することが重要である。

なお、このような支承部の著しい損傷は、上部構造の移動もしくは下部構造の傾斜、横移動などに関連している場合があるため、これらについても調査しておく必要がある。さらに、地震時には上下部構造間に大きな相対応答変位が発生していたと考えられるため、けたかかりの余裕しろについても調査しなければならない。また、ダンパーの損傷は、各橋脚および橋台に対する地震時水平力に影響を与えるので、このような点に留意して調査するのがよい。**写真－2.4.9**に、兵庫県南部地震でのピン支承の被災例を示す。

表－2.4.2　支承部の損傷[2)]

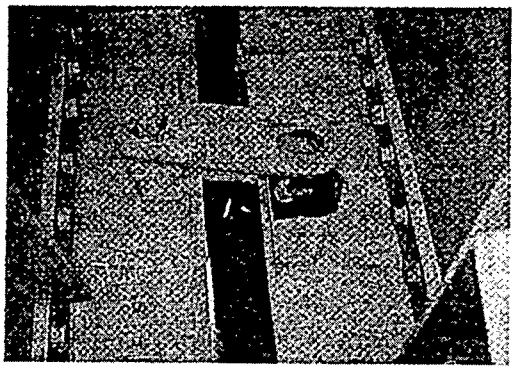
支承構造種類および沓座部		構造図	名称	プレートソール	ボルトセット		ローラー	ピン	ピンナット	上沓	ストッパー	ブロックサイド		ボルトアンカー			プレートサイド		本体ゴム支承	沓の移動	モルタル沓座		リートコンク沓座	
			損傷状況	変形	破断	ゆるみ	抜け出し	切断	脱落	破断	ひびわれ	破断	変形	破断	変形	抜け上り	破壊	変形	破断		破壊	ひびわれ	破壊	ひびわれ
支承	線支承			○ 上沓と一体	—	—	—	—	—	●	○	●	○	●	○	○	○	○	—	—				
	支承板支承			○	●	○	—	—	—	●	○	●	○	●	○	○	—	—	—	—				
	ピン支承			○	●	○	—	●	●	—	—	—	—	●	○	○	—	—	—	—				
	ピボット支承			○	●	○	—	—	—	●	—	—	—	●	○	○	—	—	—	—				
	ローラー支承			○	●	○	●	○	●	●	—	●	○	●	—	○	—	—	—	—				
	ロッカー支承			○	●	○	○	—	—	—	—	●	○	●	○	○	—	—	—	—				
	ゴム支承			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●	○	○	—	—	●	●				
	分散支承・免震支承			○	●	○	—	—	—	—	—	●	○	●	○	○	—	—	●	●				
沓座	沓座モルタル	 沓座モルタル		注) ●被災調査で着目すべき損傷 ○本復旧調査で着目すべき損傷																	○	○	—	—
	沓座コンクリート	 沓座コンクリート																			—	—	●	○



写真－2.4.9　ピン支承の被災例[10]

4.2.6　落橋防止装置

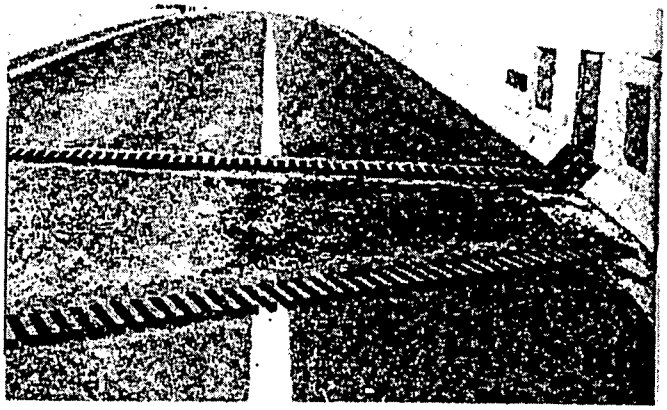
落橋防止装置は、隣接する上部構造間あるいは上下部構造間に相対変位が発生した場合に機能し、落橋を防止する装置である。したがって、支承部やけた端部の損傷と合わせて落橋の危険性に留意して調査するのがよい。**写真－2.4.10**に、兵庫県南部地震での落橋防止装置の被災例を示す。



写真－2.4.10　落橋防止装置の被災例[10]

4.2.7　伸縮装置

走行性に対する観点から伸縮装置の段差、目閉じ、目開き量を調査するのがよい。**写真－2.4.11**に、兵庫県南部地震でのけた端部における伸縮装置等の被災状況を示す。



写真－2.4.11　けた端部における伸縮装置等の被災状況[12]

4.2.8 取付け盛土

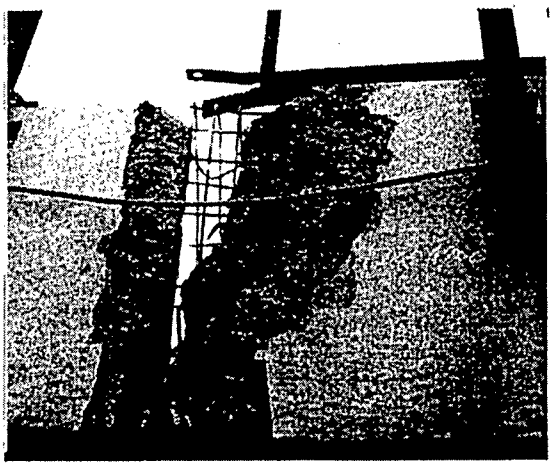
走行性に対する観点から取付け盛土の沈下量を調査するのがよい。**写真－2.4.12**に、兵庫県南部地震による橋台背面の沈下状況を示す。



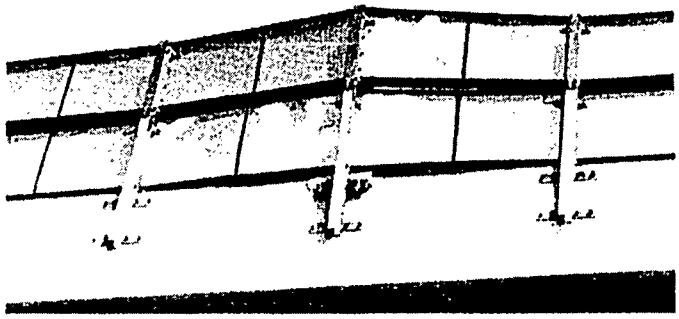
写真－2.4.12　橋台背面の沈下状況[11]

4.2.9 その他

支承部の損傷や隣接けたどうしの衝突等により、伸縮装置をはじめ、路面上のガードレール、自動車用防護柵、遮音壁等の線状道路施設においても、特にけた端部で損傷を受けやすい。自動車用防護柵の損傷は、歩行者の安全確保の面からも調査するのがよい。**写真－2.4.13**、**写真－2.4.14**に、兵庫県南部地震におけるコンクリート自動車用防護柵の被災例および遮音壁の変形状況を示す。



写真－2.4.13　コンクリート自動車用防護柵の被災例[12]



写真－2.4.14　遮音壁の変形状況[12]

4.3 被災度判定

4.3.1 概要

応急調査を実施し、各構造部位の被災度判定を行う最大の目的は、各構造部位に対する「応急復旧方法の決定」「本復旧計画および本復旧方法の決定」のための判断基準として用いることにある。ただし、復旧方法の選定に際しては、当該橋梁の被災度が大きな要因ではあるが、ここに示した当該橋梁の被災度判定方法による判定結果と、その他の要因を加えた総合的な判断により決定するのがよい。

被災度判定については、各部位(上部構造、支承、橋脚、基礎)ごとの標準的な判定方法を示しているので、これを参考に応急調査で得られる情報をもとにしたできるだけ客観的な判定を行うことが望ましい。

4.3.2 被災度の区分

「4-2応急調査」の結果にもとづき、被災度を判定し、必要に応じた応急復旧工事および本復旧工事を行うのがよい。応急復旧段階では、本復旧に至るまでのある程度短期間の耐荷力に関する被災度および走行の安全性に関する被災度を、本復旧段階では長期的な橋の機能を基本とした耐荷力に関する被災度および復旧性に関する被災度をもとに判定する必要がある。耐荷力に関する被災度を5ランクに、走行性に関する被災度を3ランクに、復旧性に関する被災度を2ランクにそれぞれ分類する。

① 耐荷力に関する被災度

As: 落　橋・・・　落橋あるいは倒壊・半倒壊した場合

A: 大被害・・・　耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある場合

B: 中被害・・・　耐荷力の低下に影響のある損傷であるが、余震、活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合

C: 小被害・・・　短期間には耐荷力の低下に影響のない場合

D: 被害無し・・・耐荷力に関しては特に異常が認められない場合

② 走行性に関する被災度

a :通行不可・・・　走行できない場合

b :通行注意・・・　異常は認められるが、走行できる場合

c :被害無し・・・　走行性に対して特に異常が認められない場合

③ 復旧性に関する被災度

①の耐荷力に関する被災度の如何に拘わらず、地盤の流動化、基礎あるいは橋脚の損傷が原因で下部構造に移動、傾斜、沈下等の残留変形が生じる場合がある。このような残留変形の大きさは、本復旧における工法を選定する場合に重要となる。すなわち、道路の平面・縦断線形、あるいは支承高や支承位置の調整が可能な残留変形か否かによっては、下部構造の本復旧工法も変わってくる。

被災度α： 残留変形大・・・・　残留変形が大きく、下部構造の撤去・再構築も含めた本復旧の検討が望ましい。例えば橋脚の残留傾斜としては1/100(rad)程度が目安となる。

被災度β： 残留変形小・・・・　補修・補強による本復旧が可能な残留変位に収まっている。

ここで、短期的な耐荷力とは、本復旧に至るまでの期間における耐荷力を指すものであり、その期間の長さは全体的な被災度に応じて異なる。一般に十分な調査のできない段階では、AとB、およびBとCの判定の区分をつけにくい場合もあると考えられるが、当面二次災害防止のための緊急工事をしなくても使用できるか否かがBとCの判定区分に、また、放置することにより落橋の可能性があるか否かがAとBの判定区分にそれぞれ該当している。

被災調査の結果は、**表－2.4.3**に示すような被災調査点検記録票に記載するのが便利である。

表－2.4.3　被災調査点検記録票の例[2]

<table>
<tr><td colspan="2">ふりがな</td><td>橋梁位置</td><td></td><td>管理事務所</td><td></td><td>点検者名</td><td></td><td>点検日時</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">橋　名</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">点検箇所</td><td colspan="3">変状の概況</td><td colspan="2">被　災　度</td><td colspan="3">備　　考</td></tr>
<tr><td rowspan="6">耐荷力に関する調査</td><td>①基礎</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">A,B,C,D</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>②橋脚</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">As,A,B,C,D</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>③橋台</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">A,B,C,D</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>④上部構造</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">As,A,B,C,D</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>⑤支承部</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">A,B,C,D</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="4">⑥耐荷力に関する判定結果
(①～⑤のうち最も被災度の大きいもの)</td><td colspan="2">As,A,B,C,D</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">走行性に関する調査</td><td>⑦伸縮装置</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">a , b , c</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>⑧取付盛土</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">a , b , c</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>⑨高欄</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">a , b , c</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="4">⑩走行性に関する判定結果
(⑦～⑨のうち最も被災度の大きいもの)</td><td colspan="2">a , b , c</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="6">復旧性に関する調査</td><td colspan="2">α、β</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3">総　合　判　定
(⑥－⑩)</td><td colspan="5">As , A , B-a , C-a , D-a
:全面通行止め
B-b , B-c , C-b , D-b
:通行規制
C-c , D-c
:二次災害防止のための緊急工事不要</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

4.3.3 構造部分別の被災度判定法

耐荷力に関する被災度の判定は、既往地震による被災の特徴や模型実験結果に加え、兵庫県南部地震における実際の被災度判定事例を参考に以下のように行うのがよい。

(1) 基礎

基礎部分の被害は、一般に掘削しないと発見できない場合が多い。しかしながら、既往の地震被害では、基礎の大被害が生じた場合には、その影響で橋脚、上部構造等に大きな変状が生じる場合が多いことから、以下に示す橋脚、上部構造等に大きな変状が生じていない場合には、応急復旧の判定段階では、C：小被害、もしくはD：被害無しと判定してもよい。ただし、周辺地盤に洗掘、広範囲な液状化によるきれつ、軟弱地盤のすべり等が生じている場合には、基礎の残留変位、傾斜に着目し、明らかな異常がある場合には試掘やボアーホールカメラ等による被災確認を行い、被災度を判定するのが望ましい。基礎の損傷が原因で上部構造に残留傾斜等大きな変状が生じている場合には、A:大被害と判定してよい。

兵庫県南部地震における阪神高速3号神戸線の杭基礎は、**表－2.4.5**および**表－2.4.6**に示すひびわれ幅の大きさ別の点数と累積ひびわれ点数により、**表－2.4.4**の被災度で判定している。

表－2.4.4 杭基礎の被災度の区分[10)]

被災度	定　　義
a	基礎の沈下と同時に大きな残留水平変位が見られるもの
b	基礎に大きな残留水平変位が見られるもの杭体に曲げきれつが見られるもの
c	杭体に小さな曲げきれつが見られるもの
d	杭体に損傷がないか、曲げきれつがあっても軽微なもの

表－2.4.5 ひび割れ幅の点数評価[10)]

被災度	評価点	評価基準
0～0.5mm未満	0点	鉄筋降伏以前の残留ひび割れ
0.5～1.4mm	1点	鉄筋降伏棚範囲のひび割れ
1.5～2.9mm	2点	鉄筋のひずみ硬化域に入ったひび割れ
3.0mm以上	3点	ひずみ硬化域に入った大きなひび割れ

表－2.4.6 杭体被災度の評価表[10)]

損傷度数	9点以上	5～8点	1～4点
被災度	b	c	d

(2) 橋脚

橋脚の地震による被災の種類および程度は、材料および構造特性によって異なるため、橋脚の材料および構造特性を考慮して被災判定を行う必要がある。

1) 鉄筋コンクリート橋脚

単柱の鉄筋コンクリート橋脚の被災度の判定は、被害の発生している部所に応じて、表－2.4.7～表－2.4.9によるものとする。表－2.4.7～表－2.4.9は、それぞれ、橋脚基部に曲げ破壊が生じた場合、軸方向鉄筋の段落とし部で破壊が生じた場合、およびせん断破壊した場合に対する被災度を外観から簡単に判定できるよう既往の鉄筋コンクリート橋脚の被災の特徴および室内における模型実験結果からとりまとめたものである。これらの判定表を用いるに際しては、以下の点に注意する必要がある。

①同じような破損状況に見えても被害の発生部所によって被災度が異なるため、どこでコンクリートのひびわれ、剥離等が生じているかに注意する必要がある。一般に橋脚の高さと幅の比が3程度以上あり、橋脚の基部に破損が生じている場合には、表－2.4.7を、また、橋脚の中間部材(主鉄筋の段落とし位置)で破損が生じている場合には、表－2.4.8を適用すればよい。これに対して、橋脚の高さと幅の比が3程度以下の背の低い橋脚で、斜めひびわれがく体天端から下端にかけて発生しているような場合は表－2.4.9を適用すればよい。

②主鉄筋比が小さい場合には、一般にコンクリートの破壊が小さく見える(表－2.4.7中の軸方向鉄筋比小の場合を参照)。

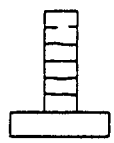
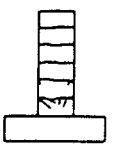
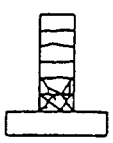
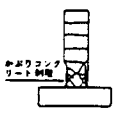
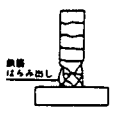
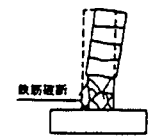
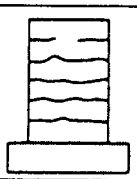
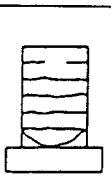
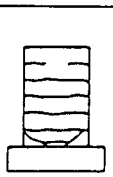
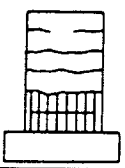
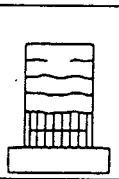
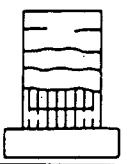
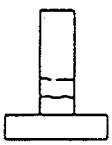
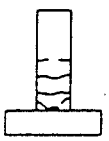
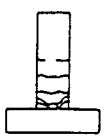
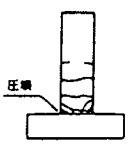
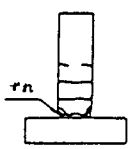
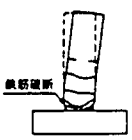
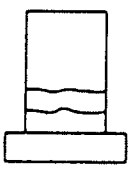
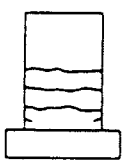
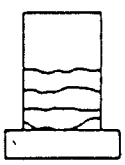
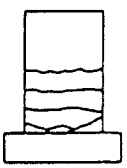
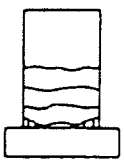
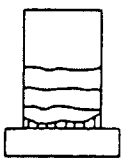
③古い時代に造られた橋脚では、帯鉄筋が主鉄筋の内側に入っているものがありこのような橋脚では表－2.4.7～表－2.4.9に示したものよりも、もろい破壊をする可能性がある。

④断面急変部の損傷、施工継ぎ目部の損傷、ラーメン部材の損傷等上記以外の種類の損傷に対する被災判定は、橋脚の構造特性、上記の基本的な損傷に対する被災判定などを考慮して行うのがよい。

兵庫県南部地震では、一時にこれまでにない多くの橋脚がさまざまな段階の損傷を受けたため、被災した各機関では表－2.4.7～表－2.4.9の判定表をもとに独自の被災度判定により復旧を行っている。独自の被災度判定の例として、表－2.4.10に阪神高速道路における各被災度に対応する被災橋脚の写真を参考に示す。

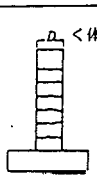
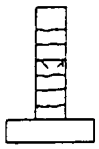
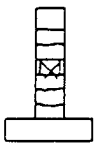
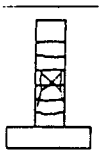
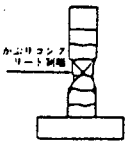
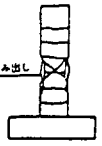
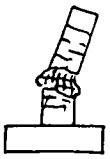
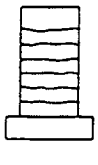
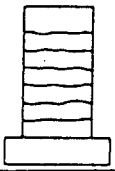
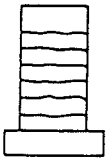
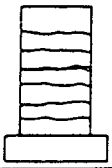
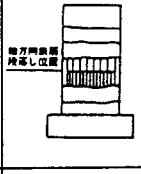
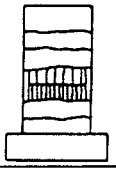
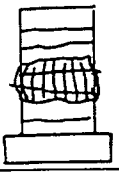
なお、鋼板巻立てにより補強された橋脚においては、ＲＣ橋脚表面が目視できない。さらに、曲げ損傷が先行すると考えられる柱基部は地中部にあり、しかも根巻きコンクリートで隠れていることから、被災度の判定は非常に難しいが、表－2.4.11に参考として被災度判定表を示す。外観上根巻きコンクリートのひび割れ程度で、残留変位等の大きな変状がなければ、応急復旧の判定段階では、C:小被害もしくはD:被害無しと判定してよい。根巻きコンクリートが割れ(かつ落)、鋼板の座屈が認められる場合には土中部の詳細調査を実施することが望ましい。

表－2.4.7　RC 橋脚基部に損傷が生じている場合の被災度判定表 [2)]

観測される損傷			①水平ひびわれのみ	②斜めひびわれ(貫通せず)	③斜めひびわれ貫通	④かぶりコンクリート剥離	⑤鉄筋はらみ出し	⑥軸方向鉄筋破断および躯体傾斜
損傷状況	通常の場合 P≧0.5%	側面図						
		正面図						
	軸方向鉄筋比小の場合 P＜0.5%	側面図						
		正面図						
被災度			C:小被害	C:小被害	C:小被害	B:中被害	B:中被害	A:大被害
残留強度			Pu (1.1Py～1.3py)	Pu (1.1Py～1.3py)	1.1Py	1.0Py	Py 以下	Py 以下
残留変形性能 $\frac{\delta u-\delta}{\delta u-\delta y}\times 100(\%)$			70%	50%	30%	10%	0%	0%

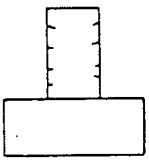
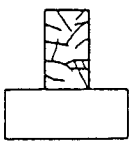
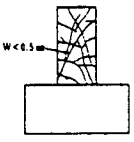
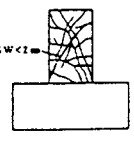
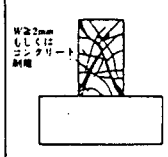
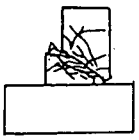
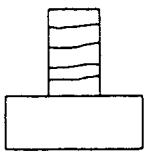
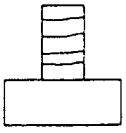
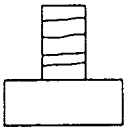
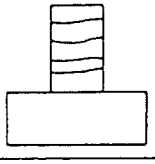
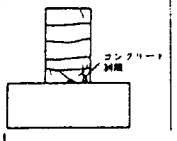
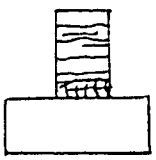
Py:降伏耐力　Pu:終局耐力　δy:降伏変位　δu:終局変位　δ:最大履歴変位

表－2.4.8　RC 橋脚軸方向鉄筋段落し部に損傷が生じている場合の被災度判定表 [2)]

観測される損傷		①水平ひびわれのみ	②斜めひびわれ (D/2 以下)	③斜めひびわれ (D/2 以上)	④斜めひびわれ貫通 (鉛直ひびわれ進展)	⑤かぶりコンクリート剥離	⑥鉄筋はらみ出し	⑦鉄筋破断 コアコンクリート砕石状
損傷状況	側面図							
	正面図							
被災度		C:小被害	C:小被害	C:小被害	B:中被害	B:中被害	A:大被害	As:半倒壊
残留強度		Pu (1.05Py ～ 1.1py)	Pu (1.05Py～1.1py)	1.0Py	1.0Py	Py 以下	Py 以下	
残留変形性能 $\frac{\delta u-\delta}{\delta u-\delta y}\times 100(\%)$		100%	70%	40%	10%	0%	0%	

Py:降伏耐力　Pu:終局耐力　δy:降伏変位　δu:終局変位　δ:最大履歴変位

表－2.4.9　RC 橋脚のせん断による損傷が生じている場合の被災度判定表 [2)]

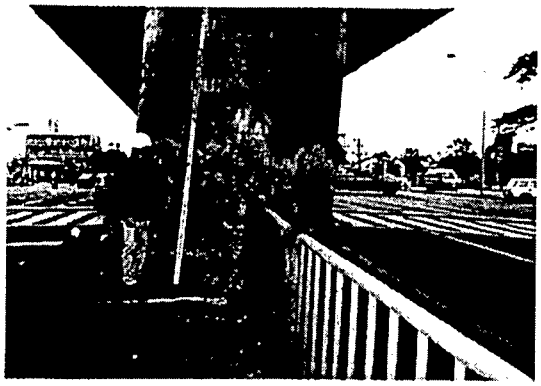
観測される損傷		①水平ひびわれのみ	②斜めひびわれ (貫通せず)	③斜めひびわれ貫通 (ひびわれ幅 W<0.5mm)	④斜めひびわれ幅 0.5mm≦W<2mm	⑤斜めひびわれ幅 W≧2mm コンクリート剥落・剥離	⑥せん断面でのずれ・沈下
損傷状況	側面図						
	正面図						
被災度		C:小被害	B:中被害	B:中被害	B:中被害	A:大被害	As:半倒壊
残留強度		Pu	Pu	Pu	Py 程度	Py 以下	
残留変形性能 $\frac{\delta u-\delta}{\delta u-\delta y}\times 100(\%)$		100%	100%	50～100%	0～50%	0%	

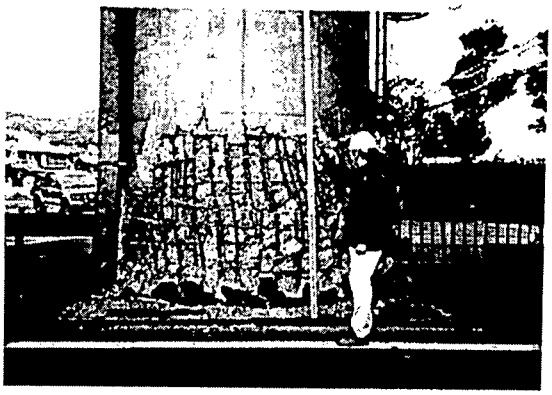
Py:降伏耐力　Pu:終局耐力　δy:降伏変位　δu:終局変位　δ:最大履歴変位

表－2.4.10(a)　RC 橋脚の被災度判定例(その１)

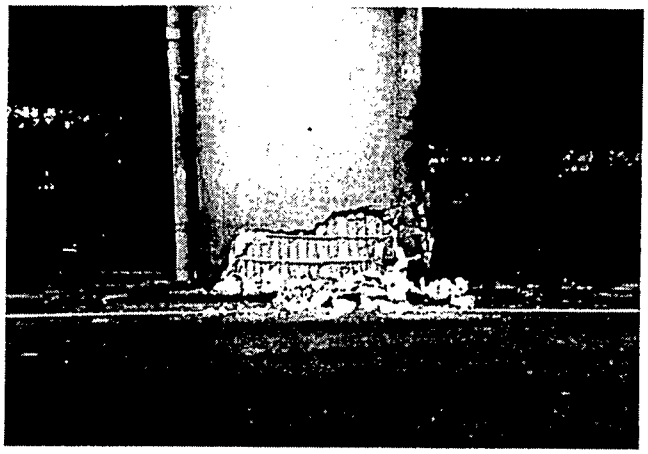
RC橋脚（単柱）の被災度判定例（曲げ）

ランクA

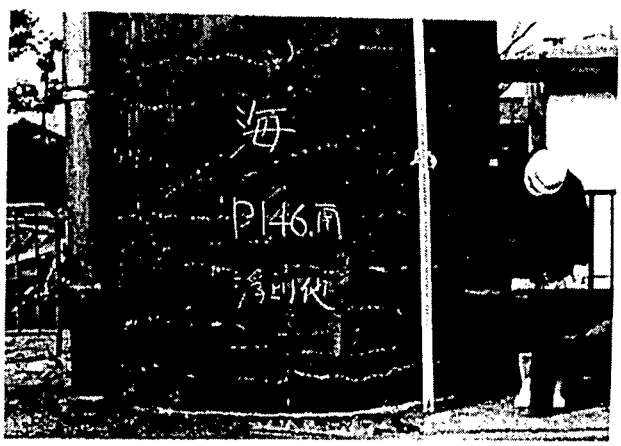




ランクB



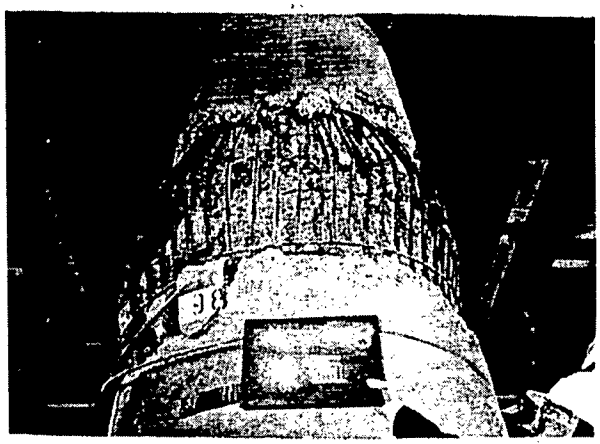
ランクC



表－2.4.10(b)　RC 橋脚の被災度判定例(その２)

RC橋脚（単柱）の被災度判定例（段落し部）

ランクA





ランクB

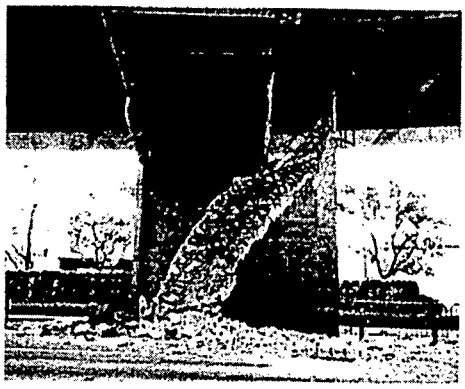
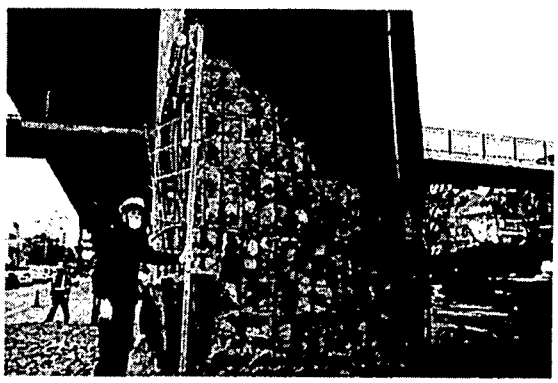
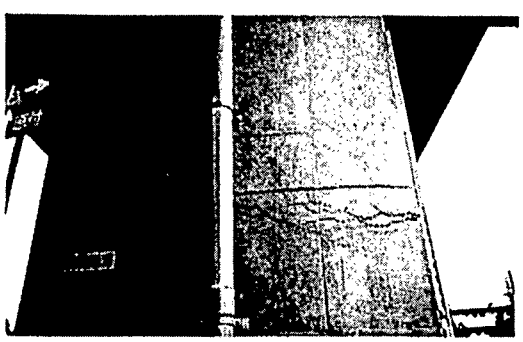
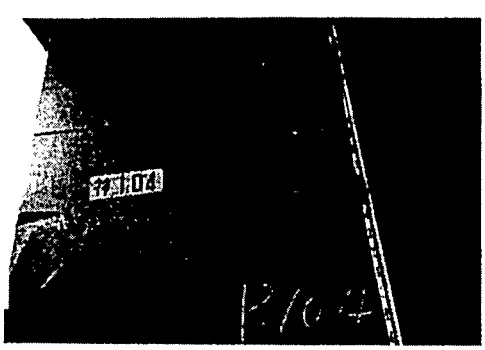




ランクC



表－2.4.10(c)　RC 橋脚の被災度判定例(その 3)

RC橋脚（単柱）の被災度判定例（せん断）	ランクAs	
	ランクA	
	ランクB	
	ランクC	 

表－2.4.10(d)　RC 橋脚の被災度判定例(その４)

RC橋脚（ラーメン）の被災度判定例

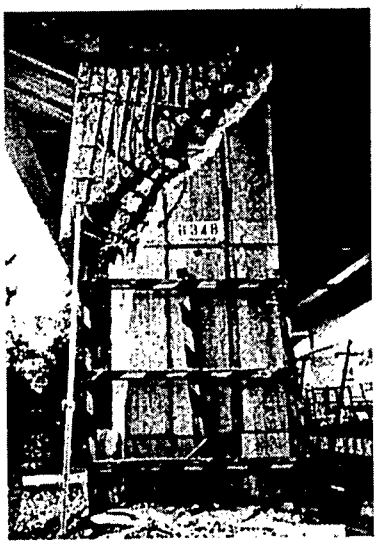
ランクAs





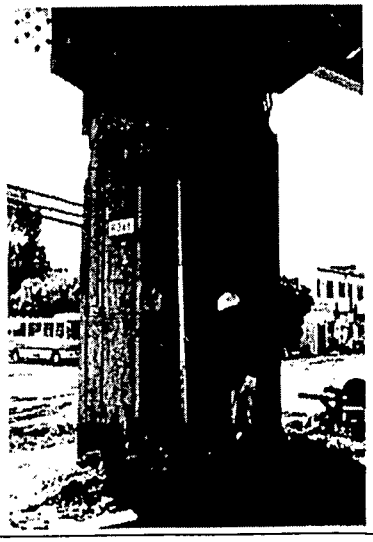
ランクA



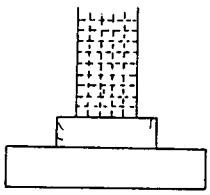
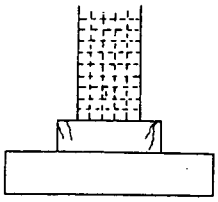
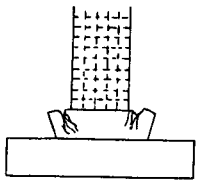
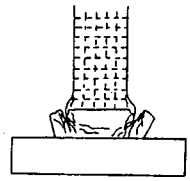
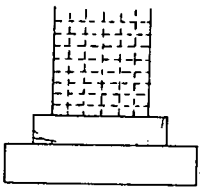
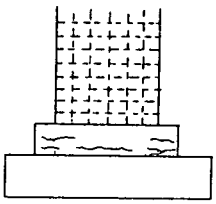
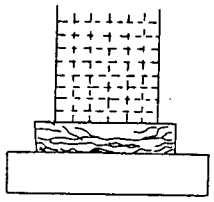
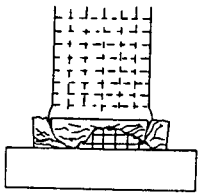


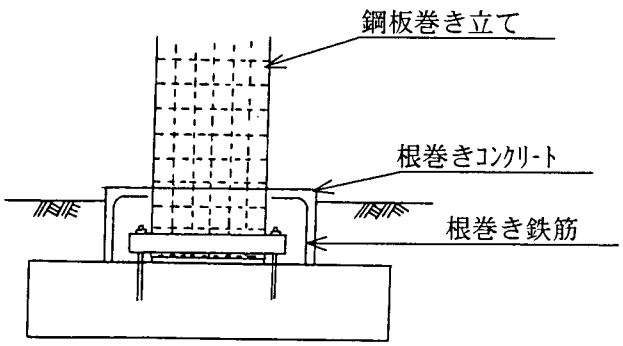
ランクB





表－2.4.11　鋼板巻き立て補強の被災度判定表

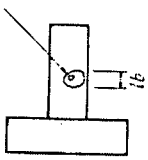
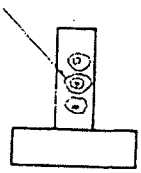
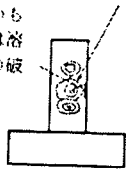
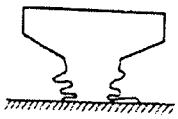
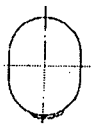
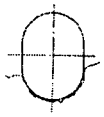
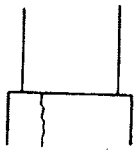
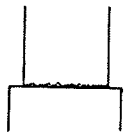
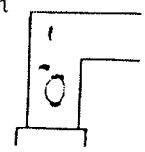
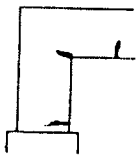
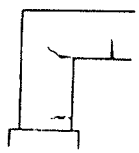
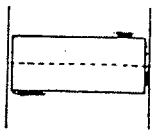
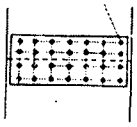
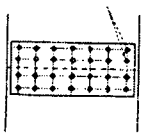
観測される損傷		D:軽被害 根巻きｺﾝｸﾘｰﾄ小ひびわれ	C:小被害 根巻きｺﾝｸﾘｰﾄひびわれ	B:中被害 根巻きｺﾝｸﾘｰﾄ剥離	A:大被害 鋼板座屈
曲げ耐力制御式鋼板巻立て補強	側面図				
	正面図				



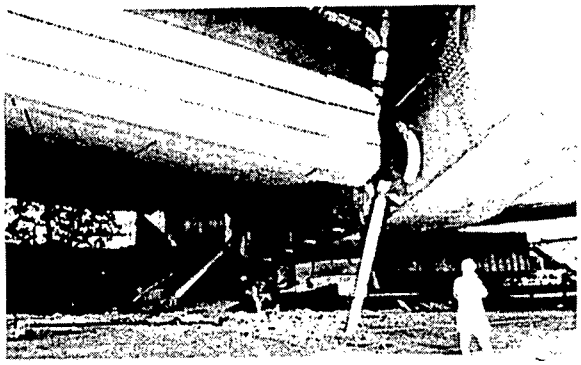
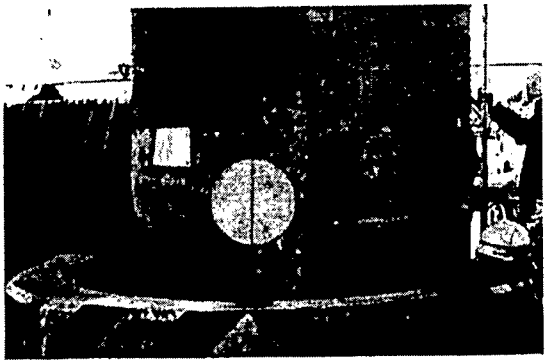
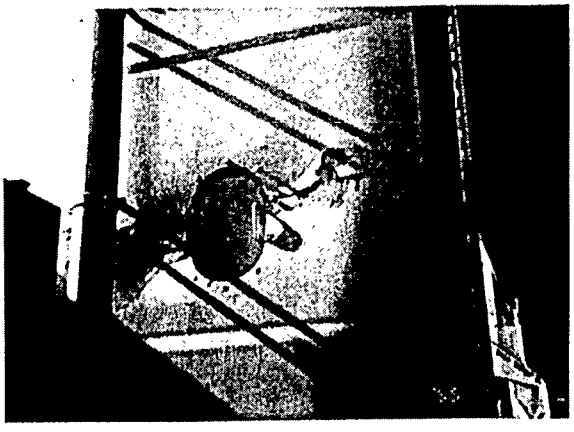
2) 鋼製橋脚

兵庫県南部地震では、はじめて鋼製橋脚に多数の被害が生じ、鋼製橋脚を対象とした被災度の判定基準が作られ、これをもとに検討された被災度判定表および被災度判定例をそれぞれ表－2.4.12、表－2.4.13に示す。

表－2.4.12　鋼製橋脚の被災度判定表 [10)]

	C	B	A	As	備　考
座屈	へこみもしくは ふくらみ df≦0.01lb 	へこみもしくは ふくらみ 0.01lb≦df＜0.03lb 	へこみもしくは ふくらみ 0.03lb≦df きれつもしくは溶接部の破断 	完全圧壊 	道路震災対策便覧(震災復旧編)による。 ただし、次の場合は1ﾗﾝｸｱｯﾌﾟ a) 4面(円周の場合は全周程度)が座屈している場合 b) 部分的に曲率の小さい屈曲部がある場合。 c) 角溶接部に変形をともなう場合 d) lb :横リブ間隔 df :ふくらみ(くぼみ)量
きれつ	 1/4周以上のきれつ	 1/4周以上のきれつ（周辺にきれつの進展の危険なし）	マンホール溶接部きれつ  (周辺にきれつの進展の可能性のあるもの)	――	
	根巻きコンクリートのきれつ 		根巻き部鋼板隅肉溶接部 	――	
	主要部位以外の塗膜のはがれ 	主要部位の塗膜のはがれ 	他主要部位のきれつ 	――	
HTB部	添接板周りの塗膜のはがれ  ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄ部 A:破断 B:変形 C:ゆるみ	ボルト欠損  (1溶接部当たり1割程度以下)	ボルト欠損  (1溶接部当たり1割程度以上)		

表－2.4.13　鋼製橋脚の被災度判定例

ランクAs	 
ランクA	 
ランクB	
ランクC	

(3) 橋台

橋台の被災度判定は橋脚に準ずるものとする。ただし、パラペットおよびウィングのひびわれ等の損傷は、C：小被害と判定する。

(4) 上部構造

上部構造の地震による被災の種類および程度は、材料および構造特性によって異なるため、上部構造の材料および構造特性を考慮して**表－2.4.14**を基本として被災度判定を行うのがよい。

1) コンクリート橋

RC橋およびPC橋の地震時の被害は、主に支承付近に発生している。これは地震時の水平力が支承部に集中する結果、水平反力が大きい場合は、上部構造あるいは支承のどちらか弱い方が被害を受けるためである。したがって、支承が強固な場合は、上部構造にひびわれが発生するが、2mm程度のひびわれの被害の場合は、C:小被害と判定してよい。コンクリート部が大きく1cm程度のひびわれもしくは剥離している場合には、水平反力に対する抵抗が期待できなくなるので、B:中被害と判定するのがよい。また、支承部だけでなく、橋軸方向の鉄筋（ＰＣけたの場合には、ＰＣ鋼棒）が相当数破断しているような場合には、A:大被害と判定するのがよい。

コンクリート橋の被災度判定を**表－2.4.15**に参考として示す。

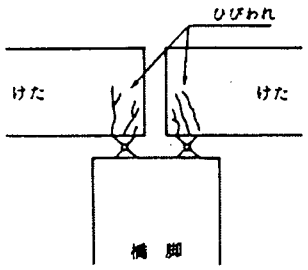
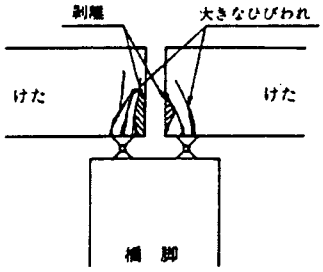
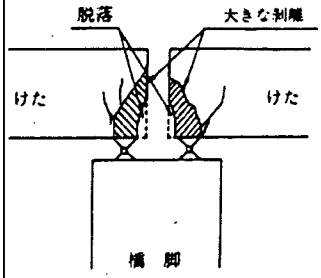
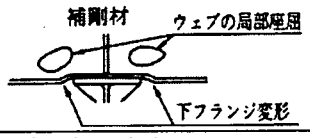
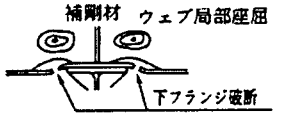
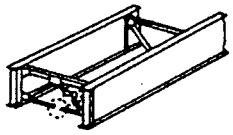
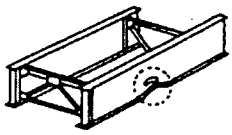
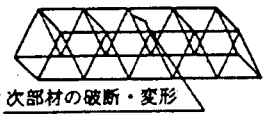
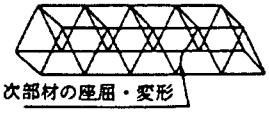
2) 鋼橋

トラスの上下弦材、斜材等の一次部材の破断が生じている場合には、A:大被害と判定する。このような場合には、上部構造全体として明らかに異常な変形が見られる場合が多い。一次部材に座屈、変形等が生じその進行が認められない場合には、B:中被害と判定するのがよい。また、橋の耐荷力に直接影響の少ない対傾構、横構等の二次部材の破断、変形等は、C:小被害と判定する。ただし、二次部材であっても相当数の破断がある場合には、状況に応じてB:中被害もしくはA:大被害と判定するのがよい。鋼橋の被災度判定表および被災度判定例をそれぞれ**表－2.4.16**、**表－2.4.17**に示す。

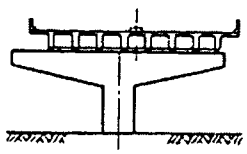
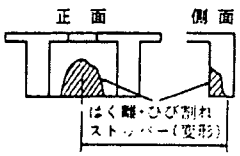
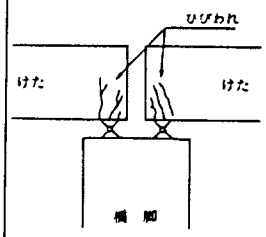
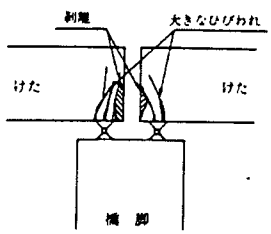
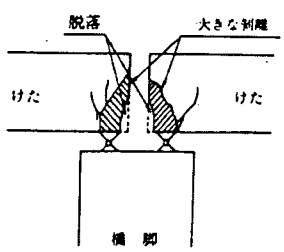
3) その他

上部構造全体の耐震性を最終的に確認するためには、荷重車による載荷試験を行うことも有効である。

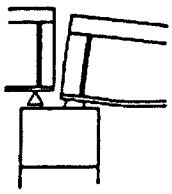
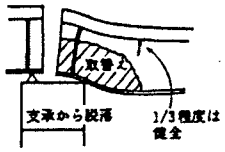
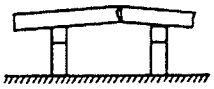
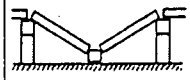
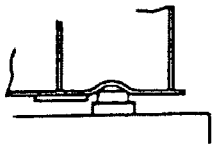
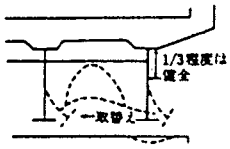
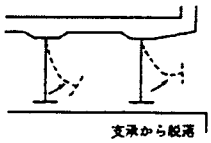
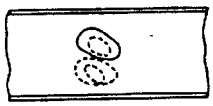
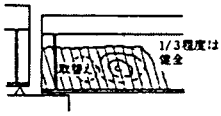
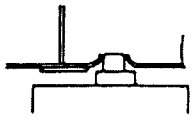
表－2.4.14　上部構造の被災度判定表[2)]

		C：軽微な被害もしくは被害なし	B：小被害	A：中被害
コンクリート橋				
鋼橋	支承周辺			
	鈑げた	2次部材の破断、変形 	1次部材の変形、座屈 	
	トラス			

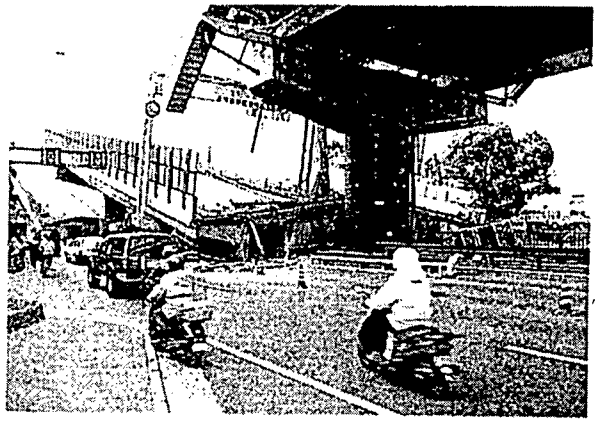
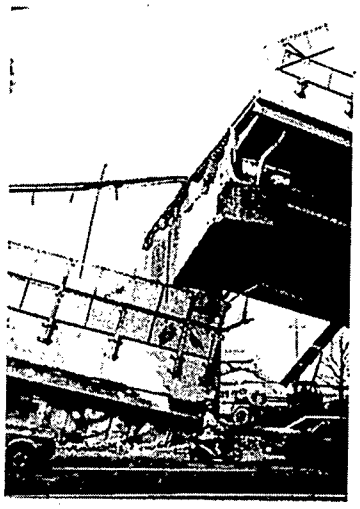
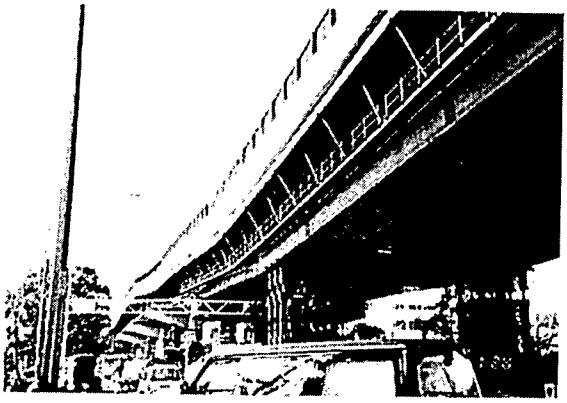
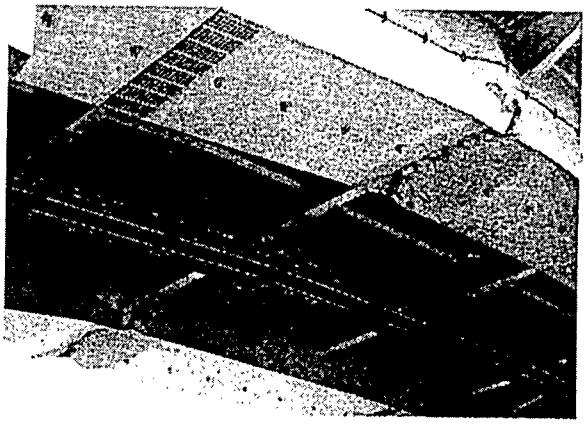
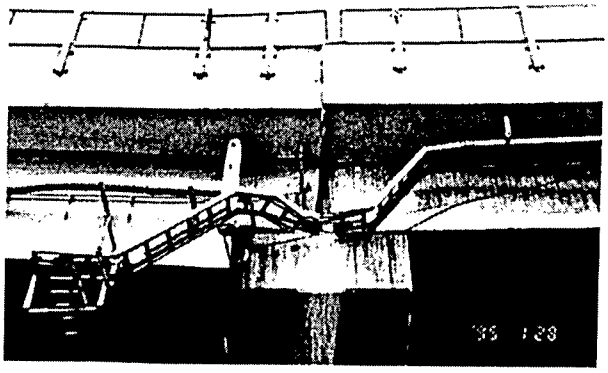
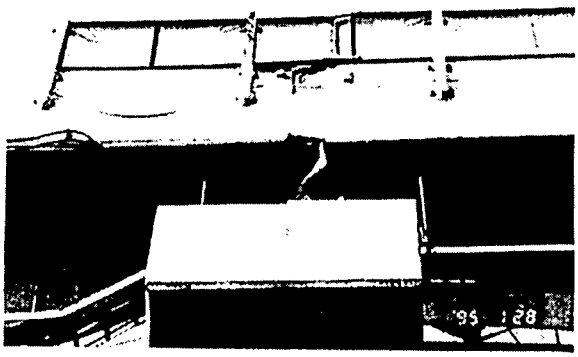
表－2.4.15　コンクリート橋の被災度判定表[10)]

	D	C	B	A
一次部材損傷	損傷が軽微なもの	主げたに損傷がみられるものの、短期的には問題のないもの	支承部からはずれ、所定の位置から大きくずれている場合 	
2次部材損傷	・中程度の損傷を受けている場合	・著しい損傷を受け、取替えや補修・補強を必要とする場合 ・横桁・ストッパーなどの損傷 		
支点部				

表－2.4.16　鋼橋の被災度判定表[10)]

	D	C	B	A	As
主げたの変形	塗膜の剥離程度の変形 軽微な座屈 局所的なきれつ H.Tボルトの損傷	小程度の変形 	過大な変形(1) 	桁の折れ曲り(平面,鉛直面) 	落橋 
支点部		局所的な変形 	過大な変形(2)  支承から脱落	RC床版まで変形している桁  支承から脱落	
主げた腹板の座屈		小程度の座屈 	過大な座屈変形(きれつ多し)  支承から脱落		
その他		塗膜の剥離程度の変形 軽微な座屈 局所的なきれつ H.Tボルトの損傷	支承,突起などの本体への貫入 	構造系変化(隣接部の落橋,撤去など)による構造不安定	

表－2.4.17　上部構造の被災度判定例

ランクAs落橋		
ランクA（けたの座屈、曲がり）		
ランクB～C（けた端部の座屈、損傷）	 鋼げたとコンクリートげた	 コンクリートげたとコンクリートげた

(5) 支承部

支承部の各部の被災状況に応じ、**表－2.4.18**のように判定する。ここで、セットボルトの破断やソールプレート・ボス部の被災、アンカーボルトの破断、沓座コンクリートの著しい破壊の場合には、余震に対して支承としての拘束効果が全く失われた状態となっており、A:大被害と判定する。

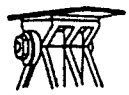
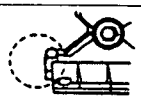
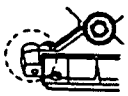
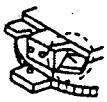
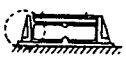
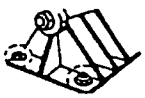
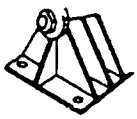
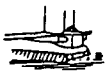
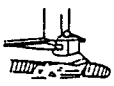
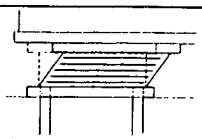
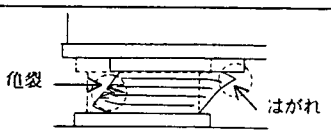
なお、けた移動が生じ、けた端から下部構造頂部縁端までのけたの長さもしくはけたのかけ違いの長さが不足している場合には、落橋防止装置の有無、および支承付近の上下部構造の損傷状況等を考慮して、落橋の可能性がある場合には、A:大被害と判定する。ただし、単に可動沓の遊間が無くなっている程度の場合には、C:小被害と判定してよい。

(6) 走行性に関する被災度

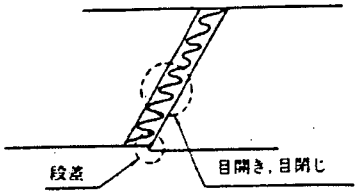
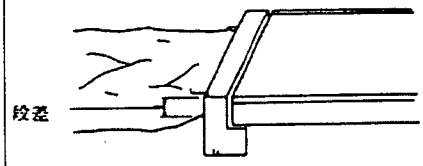
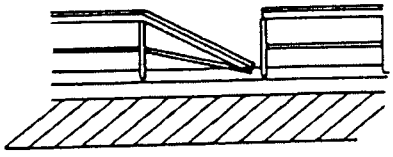
伸縮装置の損傷、目開きもしくは段差がある場合には、**表－2.4.19**にもとづき走行性を検討し、走行性を損なうような場合には、その程度に応じてa:通行不可、あるいはb:通行注意と判定する。

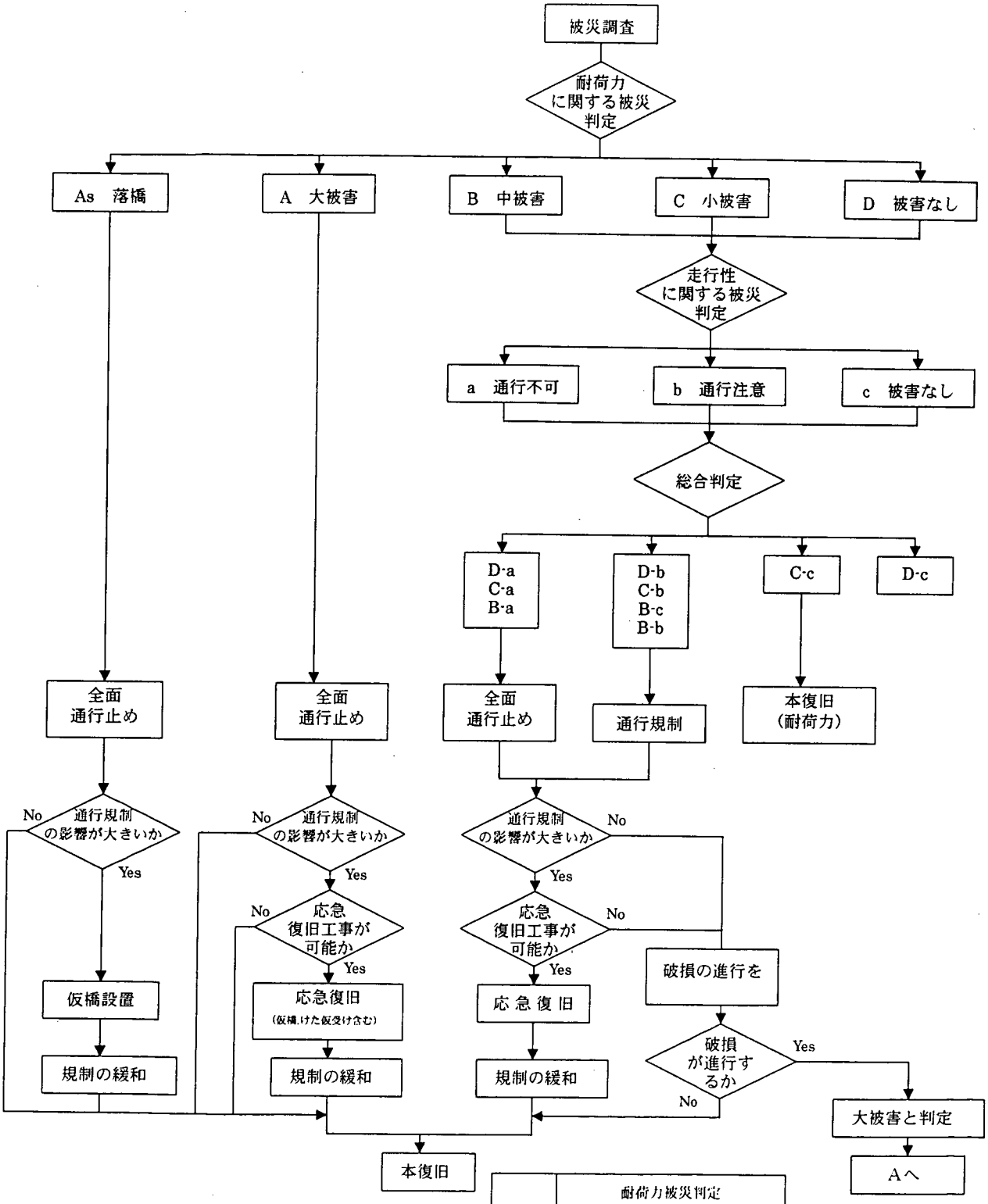
応急復旧を対象にした被災判定法は、「耐荷力および走行性に関する被災度判定」に基づいて**表－2.4.3**に示した記録票に記入し、耐荷力に関する5項目の調査結果(①基礎、②橋脚、③橋台、④上部構造、⑤支承部)の最も被災度の大きいもの、および走行性に関する3項目の調査結果(⑦伸縮装置、⑧取付盛土、⑨高欄)の最も被害度の大きいものの両者により**図－2.4.3**に従って総合判定を行うのがよい。ただし、**図－2.4.3**はあくまでも標準的な応急時の被災判定法を示したものであり、被害の状況に応じて総合的に判断して行うことが重要である。

表－2.4.18　支承部の被災度判定表[2)]

	C：小被害	B：中被害	A：大被害
上沓・下沓の鋳物部	 上沓の変形　下沓の変形・破断	上沓のわれ	
セットボルト	セットボルトの緩み 	セットボルトの破断 	 セットﾎﾞﾙﾄの破断やｿｰﾙﾌﾟﾚｰﾄ、ボス部の被害
ローラー	 ローラーの抜け出し	 ローラーの抜け出し	
ピンおよびピンキャップ	ピンキャップの抜け出し 	 ピンの切断	
上沓ストッパー	上沓ストッパーのきれつ 	上沓ストッパーの破断 	
サイドブロック	  サイドブロックの変形　下沓ストッパーきれつ	  ｻｲﾄﾞﾌﾞﾛｯｸ止めﾎﾞﾙﾄの破断　上沓ｽﾄｯﾊﾟｰの破断	
アンカーボルト	 アンカーボルトの抜け出し(1cm 以下)	 アンカーボルトの抜け出し(1cm 以上)	アンカーボルトの破断 
沓座モルタルおよび沓座コンクリート	  沓座モルタルのきれつ　沓座コンクリートのきれつ	  沓座モルタルの破壊　沓座コンクリートの破壊	 沓座コンクリート破壊
ゴム支承	 ゴム支承本体の移動	 ゴム支承本体の亀裂・はがれ	

表－2.4.19　走行性の被災度判定表 [2)]

	被　害	判　定
伸縮継手		伸縮継手の遊間量、段差量に着目し、通行車輌の走行性を考慮して a：通行止め　あるいは　b：通行注意 と判定する
取付盛土		取付盛土の沈下量に着目し、通行車輌の走行性を考慮して a：通行止め　あるいは　b：通行注意 と判定する
高　欄		歩行者の安全性を考慮して a：通行止め　あるいは　b：通行注意 と判定する



		耐荷力被災判定		
		B	C	D
走行性被災判定	a	全面通行止め	全面通行止め	全面通行止め
	b	通行規制	通行規制	通行規制
	c	通行規制	必要なし	必要なし

図—2.4.3 応急復旧のための判定手順[4]

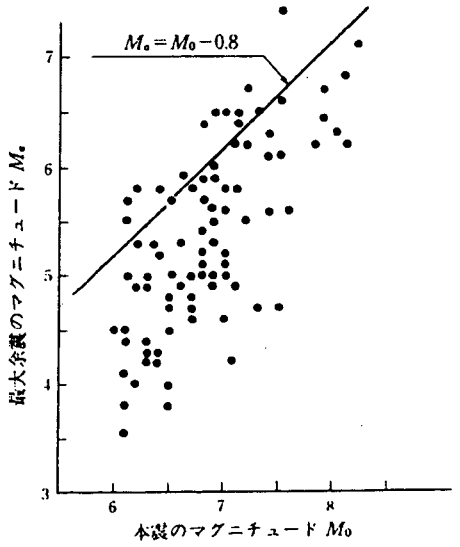
4.4 応急復旧工法

4.4.1 応急復旧水準

被災度が高い状況の橋梁において、二次災害防止のための緊急工事や応急復旧工事を実施する場合、既設橋梁は耐力が低下もしくは失っているため、応急復旧後の活荷重や余震に対する安全性の照査が必要となる。したがって、被災した橋梁の残留耐荷力を適切に評価し、かつ本復旧までの期間における交通荷重、余震に対する地震荷重を考慮した構造計算を実施し、合理的に復旧工事の規模を決定することが望ましい。

兵庫県南部地震ではこのような安全性の照査が十分実施されていなかったケースもあるが、例えば被災橋脚に替わる仮受け支保工については重大な二次災害を招くことのないよう、少なくとも橋脚が支持していた上部工死荷重に対する地耐力照査を行い、試験車両による走行テストを行った上で供用するなど慎重な対応が望ましい。

震災復旧において、最も重要な影響を与えるのは最大余震である。既往地震について、本震のマグニチュードM0および気象庁震度階と最大余震のマグニチュードMaおよび震度階が、どのような関係にあるかを示したものが表－2.4.20である。また、1926年～1981年の間でわが国に被災をもたらした125回のM≧6.0の浅発地震の調査結果によれば、本震と最大余震のマグニチュードの関係は、図－2.4.4のようである。したがって、近似的にM0－Maは0.8程度と見ておけばよい。



図－2.4.4 本震と最大余震のマグニチュードの関係[13)]

復旧設計で問題となるのは、最大余震のマグニチュードや震度階ではなく、設計震度に関わる地震動の最大加速度である。余震の発生位置と本震の発生位置が同じで、上述の本震と最大余震のマグニチュード差(0.8)より、距離減衰式をもとに推定すると、最大余震の地震動強度は本震の60%を見込んでおけばよい。ただし、最大余震の発生は、多くの地震において本震後数時間から1ヶ月程度の間であり、本震発生後24時間以内に発生する場合もかなり多く、気象庁発表の余震情報を参考にするのがよい。

表－2.4.20　本震と余震の関係[14]

地震名	本震		余震		M0-Ma	Ta-T0
	発生年月日時分　T0	M0	発生月日時分　Ta	Ma		
新潟地震	昭和39年6月16日 13時01分	7.5(5)	6月16日16時15分	5.9(3)	1.6	3時間
十勝沖地震	昭和43年5月16日 9時48分	7.9(5)	5月16日19時39分	7.5(5)	0.4	10時間
伊豆大島近海地震	昭和53年1月14日 12時24分	7.0(5)	1月15日7時32分	5.8(4)	1.2	19時間
宮城県沖地震	昭和53年6月12日 17時14分	7.4(5)	6月14日20時34分	6.3(4)	1.1	2.1日
日本海中部地震	昭和58年5月26日 12時00分	7.7(5)	6月21日15時25分	7.1(4)	0.6	27.1日
長野県西部地震	昭和59年9月14日 8時48分	6.8(4)	9月15日7時14分	6.2(3)	0.6	22時間
北海道南西沖地震	平成5年7月12日 22時17分	7.8(5)	8月8日4時42分	6.3(4)	1.5	26.3日
北海道東方沖地震	平成6年10月4日 22時22分	8.1(6)	10月9日16時56分	7.0(4)	0.9	4.8日
三陸はるか沖地震	平成6年12月28日 21時19分	7.5(6)	翌年1月7日7時37分	7.2(5)	0.3	9.4日
兵庫県南部地震	平成7年1月17日 5時46分	7.2(7)	1月17日7時38分	5.4(4)	1.8	2時間
鹿児島県薩摩地方地震	平成9年3月26日 17時31分	6.5(5強)	4月3日4時33分	5.6 (5強)	0.9	7.5日

4.4.2　応急復旧工法

応急復旧としては、耐荷力に関する被災がある場合には、表－2.4.21に従い、損傷の進行防止のための応急復旧工事を、また、走行性に関する被災がある場合には、表－2.4.22に従い、走行性確保のための応急復旧工事を行うのがよい。

表－2.4.21　損傷の進行防止のための応急復旧工事の目安[2)]

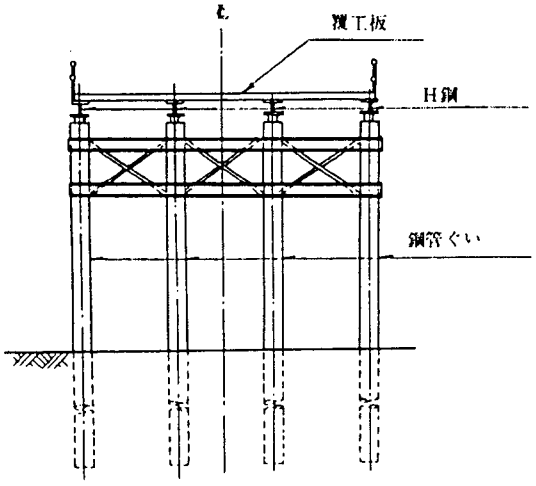
被災度	緊急措置	損傷の進行防止のための応急復旧工事
As	全面通行止め	必要に応じて仮橋設置
A	全面通行止め	必要に応じて落橋防止対策実施
B	通行規制	必要に応じて実施
C	走行注意表示	必要なし
D	必要なし	必要なし

表－2.4.22　走行性確保のための応急復旧工事の目安[2)]

被災度	緊急措置	走行性確保のための応急復旧工事
a	全面通行止め	必要に応じて実施
b	通行規制	必要に応じて実施
c	必要なし	必要なし

(1)仮橋による応急機能の回復

落橋した場合には、全面通行止めの影響を考慮し、必要に応じて仮橋設置による応急復旧を行う必要がある。仮橋による応急機能の回復の例として1978年宮城県沖地震による錦桜橋の例がある。この場合、図－2.4.5に示すように下部構造には鋼管が用いられ、上部構造ではH型鋼に覆工板が架設された。

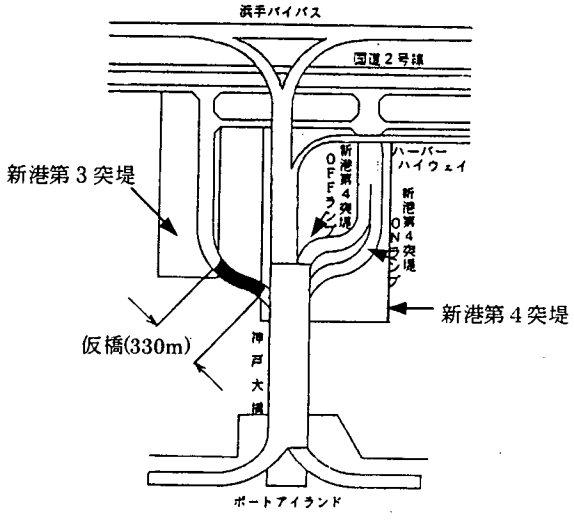


図－2.4.5　錦桜橋の仮橋[2)]

また、兵庫県南部地震において、ポートアイランドと神戸市街地を結ぶ唯一のアクセス道路である神戸大橋、および市街地側新港第4突堤内の取り付け道路が大きな被災を受けた。震災後、市街地とポートアイランドとのアクセスは、市街地側新港第4突堤ONランプ～神戸大橋下路の2車線を使った対面交通で急場をしのいだが、交通渋滞を緩和するため、新港第3突堤～第4突堤先端部(神戸大橋北詰)の本線下路へつなぐ仮橋ルートが設けられた。表－2.4.23、図－2.4.6に仮橋の概要を示す。

表－2.4.23　代替道路(仮橋)の概要[15]

上部工形式	トラス橋
基礎･橋脚形式	1橋脚につき鋼管杭9本をブレース材により一体化
延長	550m（仮橋部330m）
幅員	12m（車道部2車線、歩道3m）
工期	平成7年5月8日～7月31日



図－2.4.6　新港第3突堤～第4突堤先端部仮橋[15]

(2)損傷の進行防止のための応急復旧工法

「耐荷力に関する被災度判定」において、A：大被害およびB：中被害と判定された場合には、必要に応じて以下の工法から適切なものを選定して損傷の進行防止のための応急復旧工事を行うのがよい。なお、暫定交通解放を伴わない二次災害防止のための緊急工事についても、応急復旧工法に準じればよい。

1)樹脂注入

コンクリート部材のひびわれに対して樹脂を注入して損傷の進行防止を図るものである。

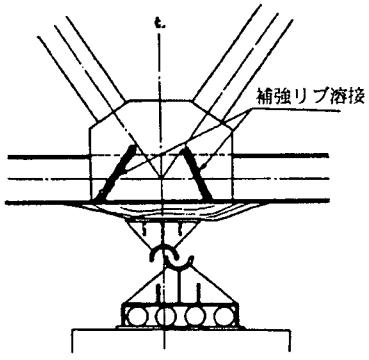
2)変形修正、補強材添接、代替部材設置

鋼部材の損傷もしくは変形がある場合に、変形の修正、補強材添接、もしくは代替部材の設置を行って、損傷の進行を防止するとともに、耐荷力の回復等を行うものである(図－2.4.7～図－2.4.9参照)。溶接施工による場合、溶接結果は作業環境に大きく左右されるので、あらかじめ継手形状、溶接姿勢、溶接棒、溶接条件、現場の作業環境などを考慮しておく必要がある。特に、リベット構造に用いられてきたSS400材は、炭素(C)含有量が高かったり、硫黄(S)や燐(P)の偏在も顕著なことが多いので溶接には注意を要する。また、溶接性を考慮したSM400材であっても、板厚が厚くなると、継手の拘束や熱影響部材の冷却速度が大となり、硬化、脆化あるいはわれを起こすことがあるので、この場合には低水素系の溶接棒を用いたり、余熱をするなどの対策が必要である。さらに、現場溶接では、特に次の点に注意しなければならない。

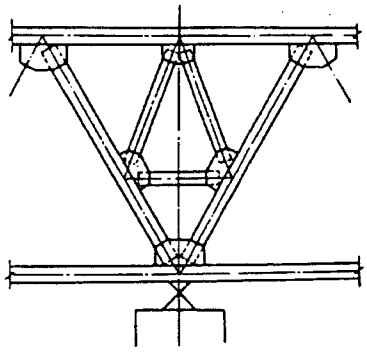
①交通による振動が、溶接作業に影響を与えないようにする。この振動が激しい場合には、溶接を控えるか、または交通規制を行うとよい。

②溶接作業が安全かつ安定した状態で行えるような足場を確保する。

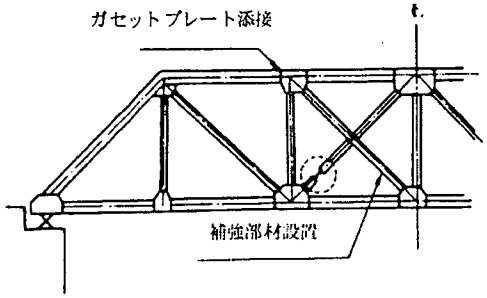
③溶接継手は、拘束が大きくなることが多いので、溶接われ防止上、十分な余熱の実施、耐われ性の優れた溶接棒の使用、溶接順序の工夫などを考慮する。



図－2.4.7　補強材添接(例1:当て板添接)[2]



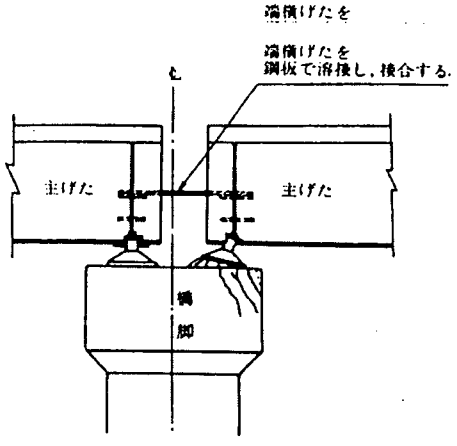
図－2.4.8　代替部材設置[2]



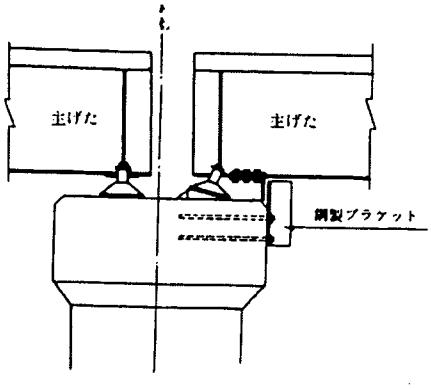
図－2.4.9　補強材添接(例2:補強部材設置)[2]

3)簡易な落橋防止対策

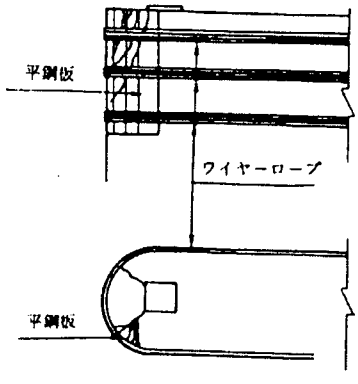
けた移動が生じたり、支承もしくは沓座コンクリートに損傷が生じて、落橋の危険性がある場合に、落橋防止装置等を設置して落橋の危険性を回避するものである(図－2.4.10～図－2.4.12参照)。



図－2.4.10　簡易な落橋防止装置(例1:けた連結装置の設置)[2]



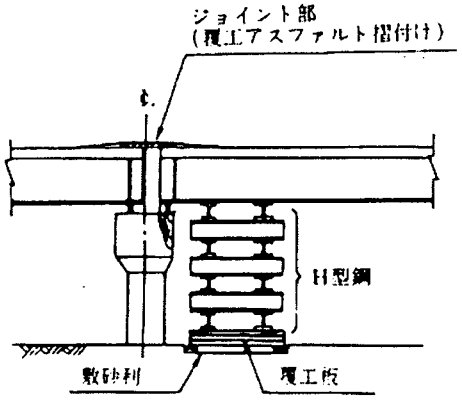
図－2.4.11　簡易な落橋防止対策(例2:移動制限装置の設置)[2]



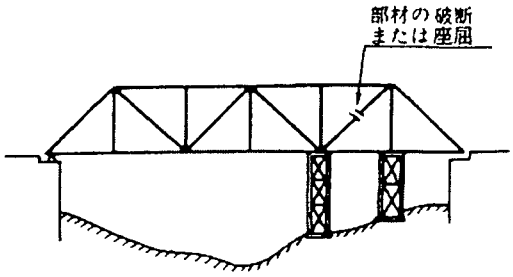
図－2.4.12　簡易な落橋防止対策(例3:沓座コンクリートの応急的緊張)[2]

4)けた仮受け

下部構造に耐荷力の低下につながる損傷もしくは残留変位がある場合、上部構造に耐荷力の低下につながるような損傷、けた移動もしくは支点沈下がある場合、支承もしくは沓座コンクリートに余震等により落橋につながるような損傷がある場合に、支保工、ジャッキ等により上部工を支持するものである(図－2.4.13および図－2.4.14参照)。



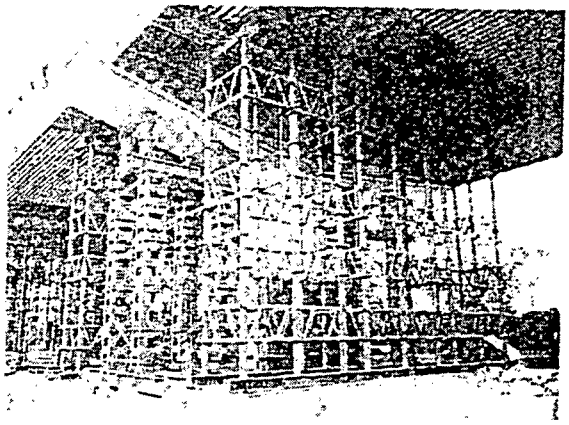
図－2.4.13　けた仮受け(例1)[2]



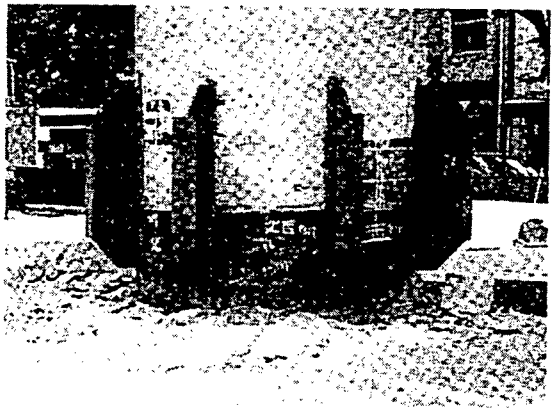
図－2.4.14　けた仮受け(例2)[2]

5)損傷部の応急処置

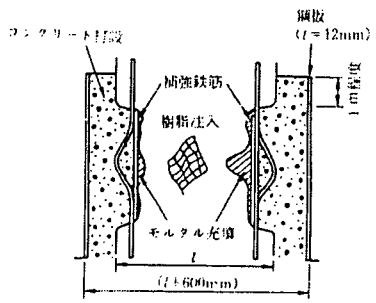
兵庫県南部地震で路線全体にわたって甚大な被害を受けた阪神高速3号神戸線は、高架下を国道43号線が平行して走っていることもあり、被災度の高い橋脚においては、「けた仮受け」に加え、T形橋脚の「梁仮受け」(写真－2.4.15)や橋脚損傷部の応急処置が実施された(写真－2.4.16および図－2.4.15参照)。



写真－2.4.15　けた仮受けおよび梁仮受け[10)]



写真－2.4.16　鋼製橋脚座屈部の応急処置[10)]



図－2.4.15　RC橋脚損傷部の応急処置[10)]

(3)通行車両、歩行者の安全性確保のための応急復旧工法

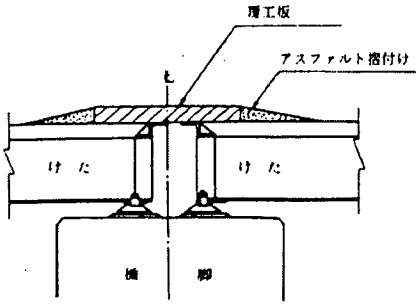
「走行性に関する被災度判定」において、a：通行不可およびb：通行注意と判定された場合で、路面段差、伸縮継手の目開き・破損、高欄の抜けだし・変形等の生じた場合には、必要に応じて以下の工法から適切なものを選定して通行車両、歩行者の安全性確保のための応急復旧を行うのがよい。

1)橋面覆工

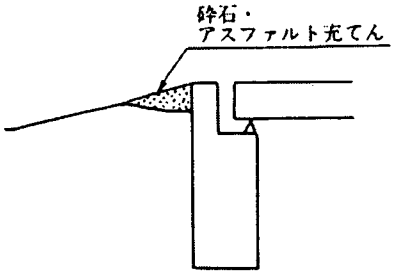
路面段差、伸縮装置の過大な目開きもしくは破損がある場合に、覆工板設置、アスファルトすり付け、鋼板溶接(鋼製伸縮装置)等により路面修復を行って通行車両の安全性を確保するのがよい(図－2.4.16参照)。

2)段差修正

支承の破損(ローラー抜けだし等)により、路面段差が生じた場合は、ジャッキ等によりけた仮受けを行って段差修正を行い、走行性を確保する。取付け盛土が沈下した場合には、アスファルト、砕石充てんにより復旧を行うのがよい(図－2.4.17参照)。



図－2.4.16　橋面覆工[2)]



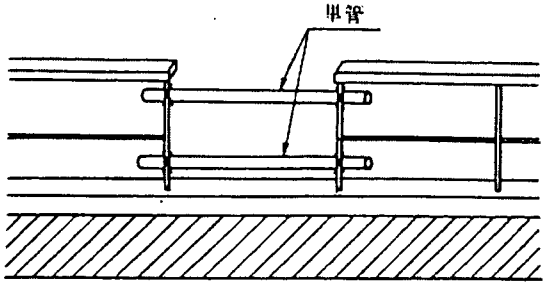
図－2.4.17　段差修正[2)]

3)単管パイプによる高欄修復

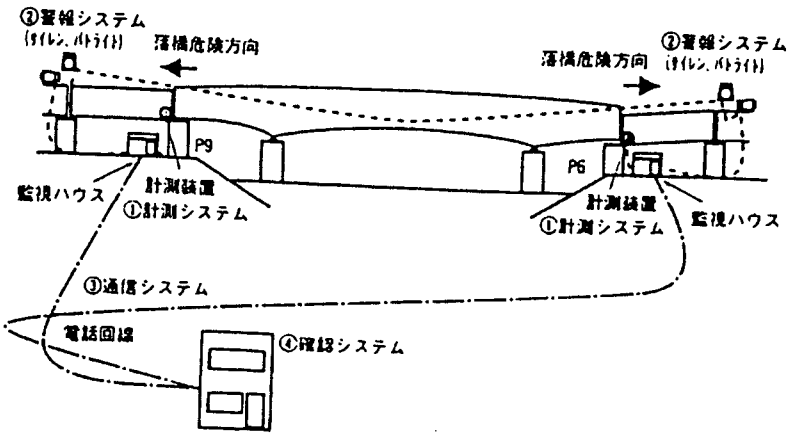
高欄の抜けだしがある場合に、単管パイプ等を設置して高欄を修復するのがよい(図－2.4.18参照)。

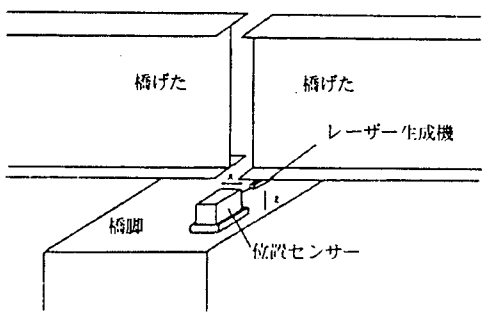
4)安全性監視システム[16)]

兵庫県南部地震では、阪神高速3号神戸線に比べて比較的被害の小さかった5号湾岸線およびその側道を利用した緊急輸送路を早期に確保する必要が生じた。流動化により下部構造が大きく水路側へ移動し、落橋の危険性が大きい状況にあったため、仮受け工事とともに図－2.4.19に示すけたと下部構造の相対変位をレーザーで監視し、異常の発生を直ちにドライバーおよび道路管理者に伝達するシステムを導入することで暫定交通解放が図られた。



図－2.4.18　高欄修復





図－2.4.19　けた変位自動監視システム

5．本復旧

5.1 概　要

本復旧では、被害状況を詳細に調査し、必要に応じて長期的な橋の機能および耐荷力を確保することを目的としている。本復旧のための調査のポイントおよび本復旧工法は、基本的には応急復旧の場合と同じであるが、応急復旧時には橋の機能の応急的な保持および著しい損傷の進行防止を図るという点に重点があるのに対し、本復旧時には、長期的な橋の機能および耐荷力を確保することが重要となる。したがって、震災を受けた橋梁の本復旧に当たっては、被災原因を十分検討し、改善の必要性が認められる場合は上部構造の連続化、軽量化、免震化等構造形式の変更、あるいは落橋防止システムの整備を含め、当該橋梁の地震時要求性能を満たす本復旧工法を選定しなければならない。

5.2 本復旧のための調査

本復旧に関しても、「4－2　応急調査」に示した調査および「4－3被災度判定」結果を基本に図－2.2.2に示した本復旧水準の考え方にもとづいて選定するのがよい。特に「本復旧のための調査」としては、本復旧工事に伴い必要となる詳細な調査である。

5.2.1 基礎

①基礎の残留移動が生じている可能性がある場合には、橋脚および橋台の天端位置における水準測量を行い、残留移動量を明確にする。基礎の残留移動に伴う橋脚および橋台の移動量は、上部構造に生じる不静定力を解析する際に基本となるばかりでなく、基礎の移動原因を解明するために重要な資料となる。

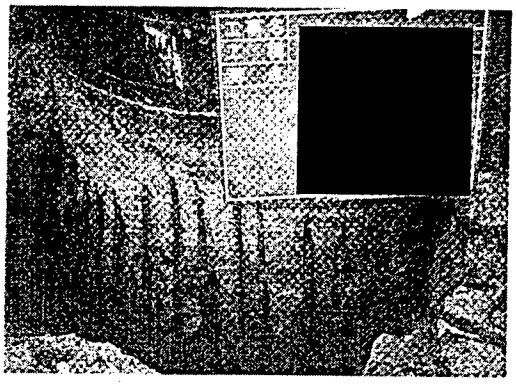
②基礎の残留移動が著しい場合には周辺地盤を掘削した上で、被災原因を検討するとともに、必要ならば復旧工法の再検討を行うのがよい。

③液状化等で周辺地盤に著しい変状が認められる場合は、新たなボーリング調査を実施し、復旧工事に反映させるのがよい。

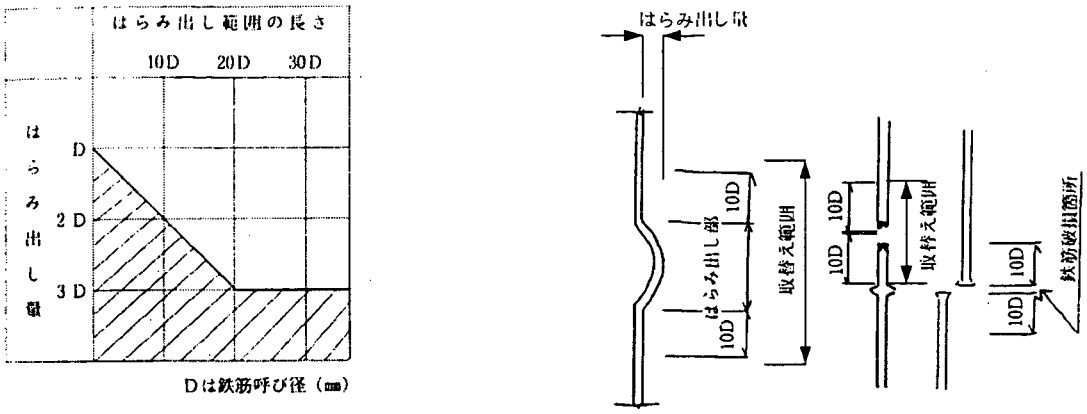
④基礎周辺に洗掘がないか、本復旧工事の施工範囲に埋設物等の障害物がないかを調査する。

5.2.2 橋脚

本復旧工事に伴い、土中の柱基部や基礎天端に新たな損傷が発見された場合は、「4－3被災度判定」により、被災度を見直し、復旧工事に反映する必要がある(**写真－2.5.1**参照)。また、残留傾斜が認められる場合は、縦断線形や支承高の調整、あるいは支承位置の変更等橋梁としての機能上の問題が生じること等も考慮して復旧工事を実施しなければならない。残留傾斜が著しい場合には、撤去・再構築による復旧が必要となるので、残留傾斜角や橋脚天端の水平および鉛直変位の計測を実施し、これをもとに判断するのがよい。兵庫県南部地震における3号神戸線RC橋脚では、残留傾斜角1.0度以上の橋脚を撤去・再構築により復旧した。RC橋脚の補修・補強による復旧では、損傷部における鉄筋のはらみ出し部の長さおよびはらみ出し量を計測し、図－2.5.1に示す方法で鉄筋の取り替え判定を行うとともに、取り替え範囲を決めた実例がある。



写真－2.5.1　地中部における柱基部の被災[10]



(a)鉄筋取替え判定基準　　(b)鉄筋取替え範囲

図－2.5.1　損傷した鉄筋の取替え例[10)]

5.2.3　橋台

橋台のパラペットと上部構造が接触していないか、橋台とパラペットの衝突により、パラペット基部にクラック、損傷が生じていないか、ウィングの損傷がないかを調査し、本復旧工事に反映するのがよい。橋脚と同様、残留傾斜や土中部の損傷が認められた橋台については、これらを考慮した復旧方法の見直しを行い、復旧工法へ反映するのがよい。

5.2.4　上部構造

損傷の多くは支承部やけた端で発生するが、鋼げたの場合であればRC床版の撤去を伴うか桁の切断撤去を伴うか、加熱矯正による原形復旧が可能か等を判断するため、局部座屈の範囲や程度を詳細に調査する必要がある。また、基礎および橋脚、橋台に残留移動が生じている場合には、これによる影響を調査するのがよい。

5.2.5　支承部

支承取替えにより復旧する場合は、既設アンカーボルトの再利用が可能か、ジャッキの設置位置や必要なけた補強、支承縁端距離の確認等の観点から詳細に調査するのがよい。また、損傷が軽微で支承を再利用する場合にも、上部構造もしくは下部構造の移動により、支承の移動制限装置に余裕があるか、沓座モルタルが剥離して下沓が遊んでいないか、ダンパー支承を使用している場合には、ダンパーの機能は正常かを調査するのがよい。

5.2.6　落橋防止装置

落橋防止装置を取替えあるいは新しく設置する場合は、主げた配置や端横げた構造、橋台パラペットや下部構造天端の状況を調査し、適切な落橋防止装置を選定設置するのがよい。既設落橋防止装置の損傷が軽微で再利用する場合にも、落橋防止装置の遊間は適切か、また、落橋防止装置の取付け部に損傷がないか調査

するのがよい。また、落橋防止装置が、有効にフェールセーフ機能を果たしていたかどうかについても調査するのがよい。

5.2.7 伸縮装置

伸縮装置は隣接する構造物間の境界に設けられた構造部位であり、相対的な動きに対して最も変状が現れ易い箇所である。したがって、支承や下部構造に損傷が認められなくても伸縮装置の遊間は適切か、また、目地材の脱落、フェースプレート、ジョイントゴム、アンカーコンクリートの損傷がないかを調査するのがよい。

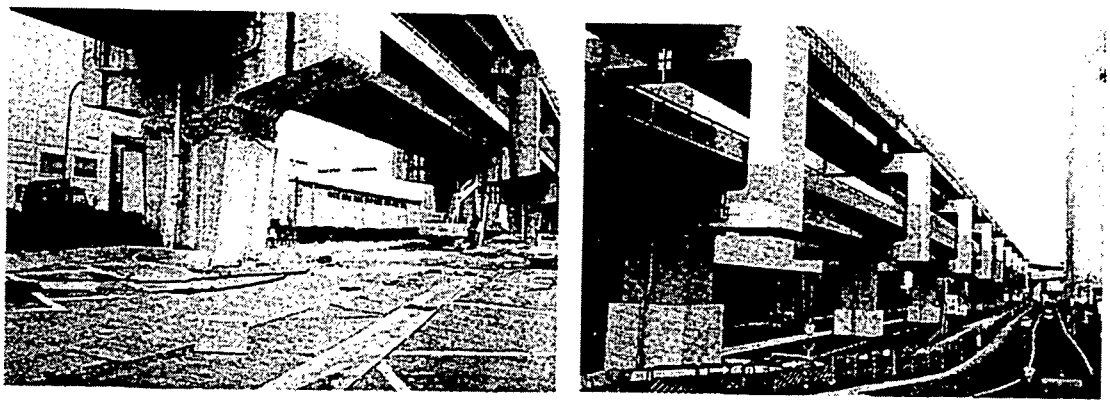
5.3 本復旧工法の選定

「5－2 本復旧のための調査」にもとづいて工期、工費、施工性、資機材の確保条件、景観を総合的に考慮して、適切な工法を選定するのがよい。ただし、当該橋梁の被災状況のみならず、周辺地域の対策状況により大きく変化するものであるので、これらを総合的に考慮して適正な工法を選定することが重要である。また、本復旧において構造変更もしくは耐力改善を図る場合には、このことが全体の構造系にどのような影響を与えるかを検討しておくことが必要である。

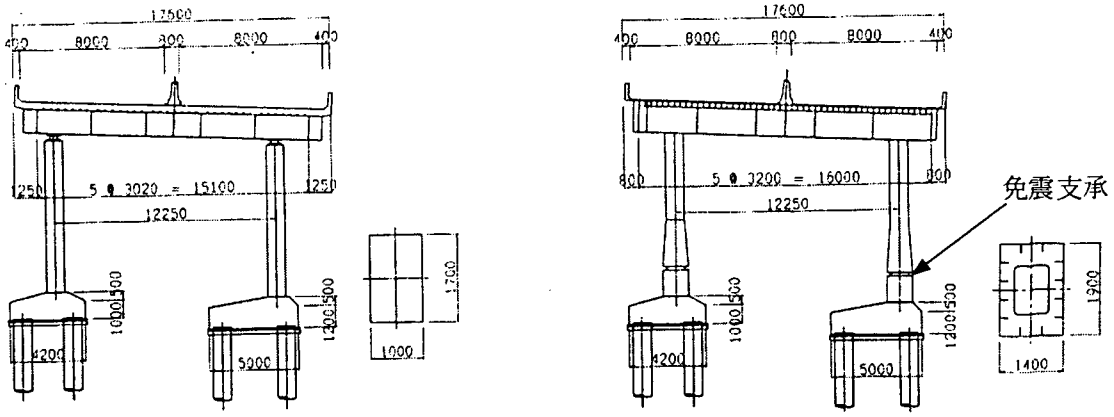
5.3.1 本復旧水準

基本的な本復旧工法の考え方は、**図－2.2.2**に示すように本復旧不要の他に、原形復旧、耐力改善、構造変更に区分することができる。ここで、原形復旧とは、もとの構造、材料を用いて同一の機能を有するように復旧することをいう。これに対して、構造変更は、耐震性の向上を図るために構造を変化させて行うことを、また、耐力改善は、構造を変化させないが、耐力を向上させて復旧することをいう。

写真－2.5.2は、ダブルデッキ構造を支持するRCラケット形橋脚が被災したため、鋼製ラケット形橋脚で復旧した例であり、**図－2.5.2**は、被災した高架橋を、橋脚基部に免震支承を配した19径間連続立体ラーメン橋で復旧した例である。また、当該地震以前にも同じ箇所で被災した履歴があり、損傷が蓄積される可能性がある場合には耐力改善を図るのがよい。

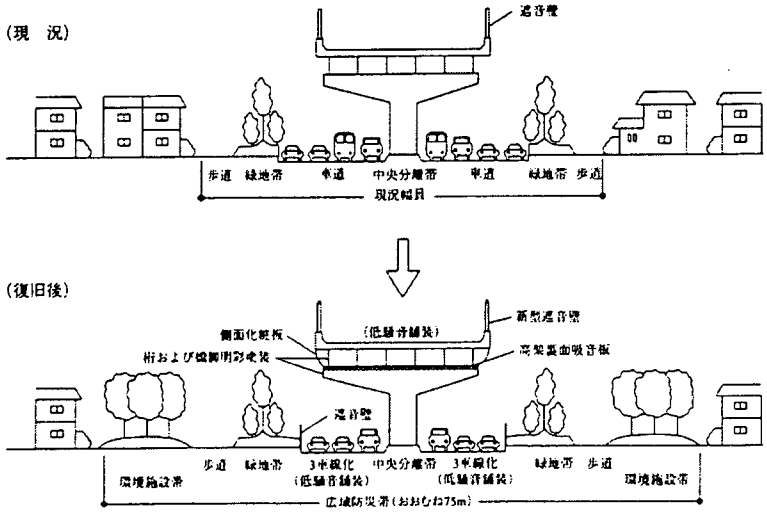


写真－2.5.2 構造変更による復旧例[17]



図－2.5.2　構造変更による復旧例[10)]

兵庫県南部地震では、上部構造はそのまま再利用し、被災度の大きい橋脚のみ撤去・再構築しなければならない状況など、制限された空間で安全かつ短時間での施工が要求される場合が多く出現した。これらについては兵庫県南部地震の施工事例を参考に、現地状況や被災状況に応じた施工法(撤去工法、補強工法、再構築工法等)を工夫採用するのがよい。さらに、地域や路線の被害程度あるいは当該地域の将来計画等によっては、耐震安全性以外に道路機能の向上、公害対策、景観等、当該橋梁の付加価値を高めるような復旧も視野に入れた計画が必要となる場合もあり、図－2.5.3にその例を示す。



図－2.5.3　交通機能の改良・向上計画の例[10)]

5.3.2　本復旧工法

(1)基礎

被災した基礎構造物の復旧は、被災した基礎を撤去して新しく新設する場合と、損傷した基礎の耐震性の向上を図る場合が考えられる。一般的に直接基礎を除けば基礎の撤去工事は容易でないため、橋梁下部構造位置の移動により橋脚等の新設や上部構造への影響が伴うことなどから、補強により復旧される場合が多い。被災判定にもとづいて以下の工法から適切なものを選定して本復旧を行うのがよい。

1)くい、フーチングの増設

新設の杭ならびにフーチング部による地震時荷重の分担を図り、基礎の支持力および全体の杭耐力の増加によって耐震性向上を図る方法

2)地中連続壁、地中連続梁の設置

地中連続壁または地中連続梁による荷重の分担を図り、基礎の支持力を高めることによって耐震性向上を図る方法

3)鋼矢板締切り工

基礎周面の地盤支持力または強度を高めることによって耐震性向上を図る工法

4)地盤改良工

基礎周面の地盤支持力または強度を高めることによって耐震性向上を図る工法、あるいは液状化防止および液状化抵抗を高める液状化対策工法

5)アースアンカー工

アースアンカーによる荷重の分担を図り、基礎の支持力を高めることによって耐震性向上を図る工法

6)根固め工

洗掘によって基礎の支持力が不足している場合に対して、根固め工により地盤支持力を高めることによって耐震性向上を図る工法

7)取替え

被災した基礎を撤去し、耐震安全性を満足する基礎を新設する方法

以上が基礎構造物の一般的な復旧工法であるが、さらにここでは兵庫県南部地震で採用された5号湾岸線杭基礎構造物の復旧工法の考え方について紹介する。5号湾岸線は、著しい液状化や流動化が認められた埋立地間を結ぶ路線である。各埋立地間あるいは同じ埋立地内でも護岸からの距離によって基礎の被災度にばらつきがあり、以下の工法を適宜使い分けている。

① 増杭工法

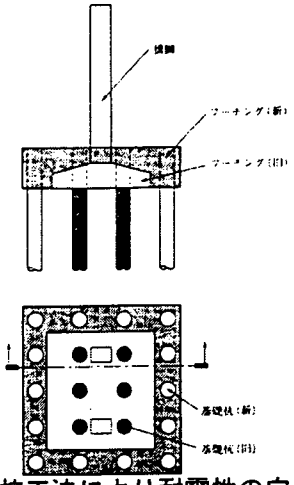
既設基礎の周囲に杭を新設し、フーチングを拡大して既設基礎と一体化することにより、基礎の全体剛性および耐力を高める工法である。埋立地の水際線に近く液状化に伴う流動化の影響を大きく受けた基礎に採用された(図－2.5.4参照)。

② 地盤改良工法

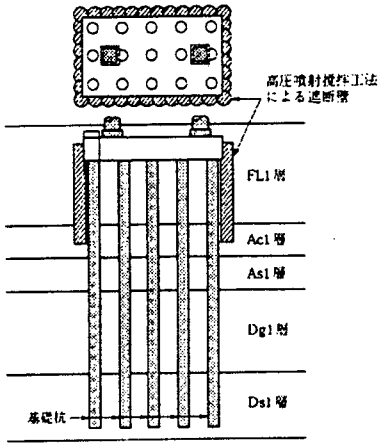
圧搾空気および超高圧水を地盤中に回転させながら噴出させて地盤を切削し、同時に硬化材を充填し円柱状の固結体を造成する工法であり、液状化層を貫通する深さまでフーチング外周を囲む形の遮断壁を設置した(図－2.5.5参照)。

③ クラック注入工法

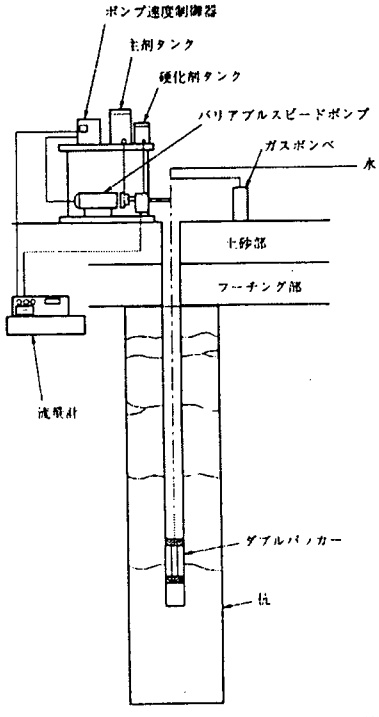
既設杭の中心付近をフーチング上方から穿孔し、杭のひびわれ部に充填材を注入する工法であり、杭の損傷程度が軽微で既設基礎構造の地震時耐力が満足されているものに採用された(図－2.5.6参照)。



図－2.5.4　増杭工法により耐震性の向上を図った例[18)]



図－2.5.5　周辺地盤の液状化の影響を避けるための地盤改良例[18)]



図－2.5.6　クラック注入工法[18)]

(2) RC橋脚

損傷状況とその被災度に応じ表－2.5.1に従って本復旧工法を選定するのがよい。ただし、他の工法の実施にあたっては実験例などを含めて、十分検討した上で採用するのがよい。

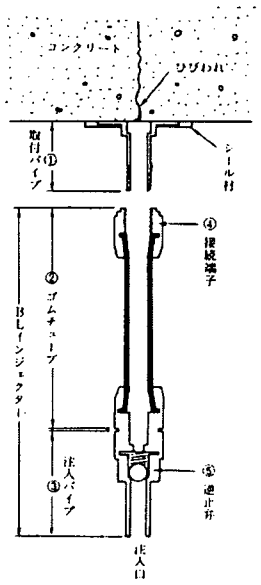
表－2.5.1　RC橋脚の復旧工法[2]

被災の程度損傷状況		D,C：小規模		B：中被害	A：大被害	As:半倒壊
基部の損傷	表-2.4.7に示される損傷	①②③	④	⑤	⑥	⑥の傾斜大
	復旧工法	・樹脂注入	・RC巻立て ・鋼板巻立て	・RC巻立て ・鋼板巻立て	・RC巻立て ・鋼板巻立て ・撤去・再構築	・撤去・再構築
軸方向鉄筋段落し部の損傷	表-2.4.8に示される損傷	①②	③　④	⑤	⑥	⑦
	復旧工法	・樹脂注入	・RC巻立て ・袖壁増設* ・鋼板巻立て ・帯鋼板接着* ・連続繊維巻立て	・RC巻立て ・鋼板巻立て	・RC巻立て ・鋼板巻立て ・撤去・再構築	・撤去・再構築
せん断による損傷	表-2.4.9に示される損傷	①②	③	④	⑤	⑥
	復旧工法	・樹脂注入	・RC巻立て ・鋼板巻立て ・袖壁増設* ・帯鋼板接着* ・鉄筋アンカー* ・ストレス導入 ・連続繊維巻立て	・RC巻立て ・鋼板巻立て ・耐震壁増設 ラーメンの場合で他の工法と組合わせる	・RC巻立て ・鋼板巻立て ・耐震壁増設 ラーメンの場合での工法と組合わせ ・撤去・再構築	・撤去・再構築

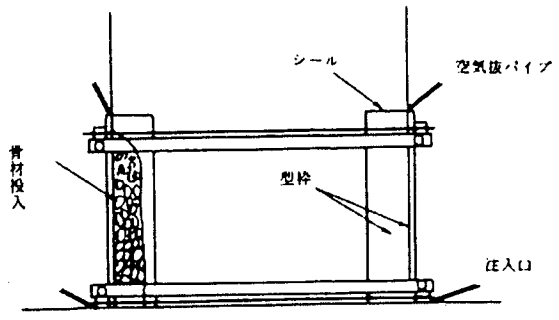
注）　*の工法は実施例がなく、実施するにあたり検討を要する。

1)樹脂注入、断面補修(樹脂パテ、モルタル、コンクリート補修)

被災程度が軽く、耐力の低下がごく小さい場合で、ひびわれもしくはコンクリートの剥離がある場合に、ひびわれに対しては樹脂注入、コンクリートの剥離に対しては樹脂パテ、モルタル、コンクリートによる断面補修を行って耐荷力を回復するものである。従来、ひびわれに対する樹脂注入は充てん性への信頼性が低く、鉄筋の防錆など耐久性の向上に主眼がおかれた。最近では、注入工法も進歩し、低粘度の樹脂を長時間にわたって注入できる注入工法(**図－2.5.7**参照)も開発されており、充てん性への信頼が高くなっているので、樹脂注入により力学的性状の回復効果が期待できる。効果については実験的に確認されている。コンクリートの圧壊、剥離などにより部分的に断面欠損を生じた場合、接着強度が高く、強度発現の早い無機質のバインダーが入った樹脂を使用して補修するのが望ましい。橋脚のように大きな断面は、一般に断面欠損量も大きいため、補修後の剛性などの低下を小さくするためにはヤング係数の大きい材料を使用することが好ましい。そのためには、粗骨材も入った樹脂(レジンコンクリート)を用いるのがよい。断面が小さい場合には、型枠を組み、あらかじめ骨材を入れておき樹脂を注入して固めるプレパックド工法(**図－2.5.8**参照)などを検討するとよい。



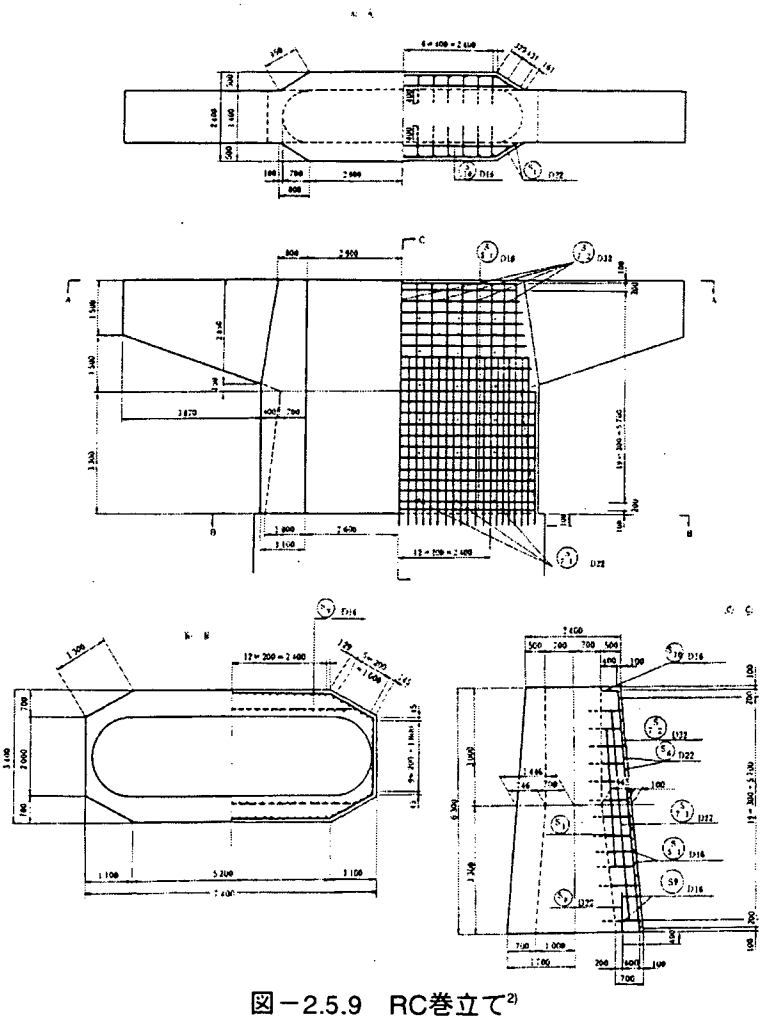
図－2.5.7　注入器の一例[2)]



図－2.5.8　プレパックド工法[2)]

2)RC巻立て

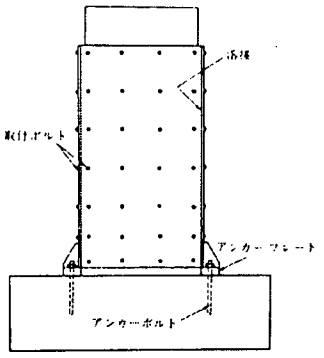
被災度が比較的重く、耐荷力の低下が顕著な場合もしくはぜい性的な破壊をした場合に、RC巻立てを行って耐荷力を回復するものである(図－2.5.9参照)。RC巻立ては、震災を受けた橋脚の補修には最も実績のある方法であり、一般には補強も兼ねて行われている。実験結果でも新旧コンクリートは一体化して働いていることが確かめられており、耐荷力の向上には有効な補強方法である。RC巻立てにより曲げ耐荷力向上のための補強効果を得るには、鉄筋を十分フーチングに定着し、打継面の表面処理を十分に行うとともに、さし筋を設けるなど一体化を図るのがよい。



図－2.5.9　RC巻立て[2)]

3)鋼板巻立て

鋼板巻立てを行って、せん断耐荷力および曲げ耐荷力を回復するものである(図－2.5.10参照)。鋼板巻立てによる復旧は、断面を大きくすることが困難な場合に有利であるが、曲げ耐荷力を大きくする目的で実施する場合にはフーチングへのアンカーが必要となる。兵庫県南部地震では、RC巻立て工法と併用し、せん断補強効果およびコンクリートの横拘束改善を期待した復旧も行われた。



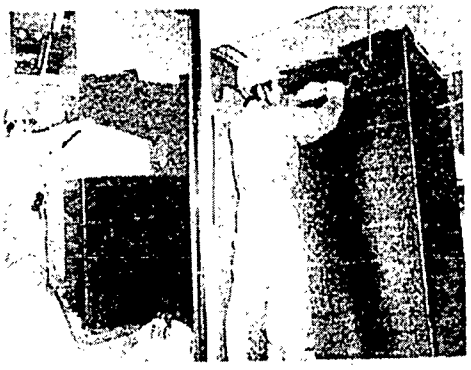
図－2.5.10　鋼板巻立て[2)]

4)続繊維巻立て

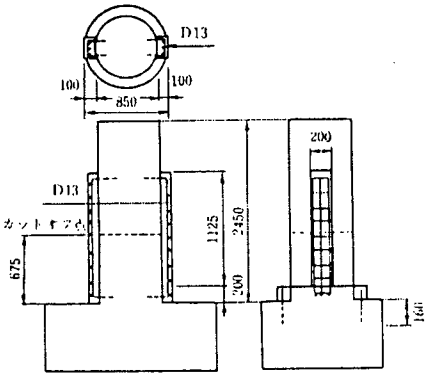
特徴としては、大きな引っ張り強度が期待でき補強による重量増がほとんどなく、軽量であるため施工性に優れている点である。したがって、建築限界や施工空間等の制約条件が厳しい箇所で採用される。一方、問題点としては、曲げ耐力向上を期待した場合の基部定着方法、劣化や外力に対する防護法などが挙げられる(**写真－2.5.3**参照)。

5)袖壁増設

軸方向鉄筋段落とし部の損傷もしくはせん断による損傷が生じた場合に、袖壁を増設して耐荷力を回復するものである(**図－2.5.11**参照)。壁式橋脚が地震動を受けて被災した方向に袖壁を増設することにより耐荷力の向上を図ることが期待できる。しかし、閉合した帯鉄筋を配筋することが困難であり、じん性に対する効果はほとんど期待できない。



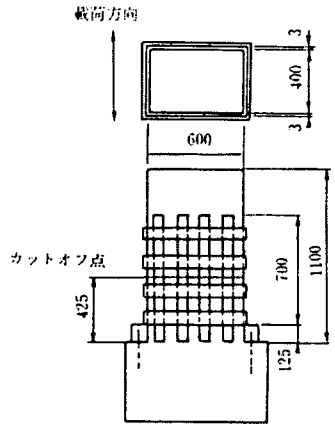
写真－2.5.3　施工状況[18)]



図－2.5.11　袖壁増設[2)]

6) 帯鋼板接着

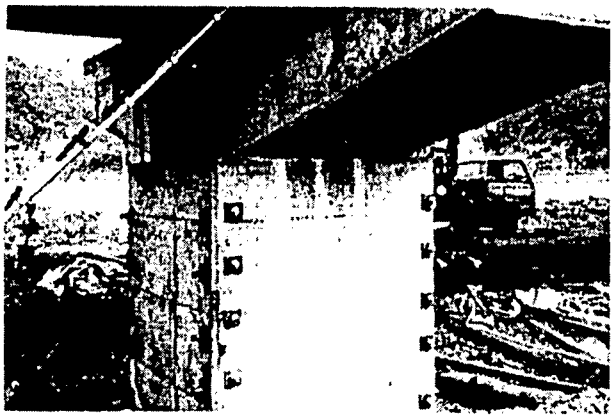
軸方向鉄筋段落とし部の損傷もしくはせん断による損傷が生じた場合に、帯鋼板接着を行って耐荷力を回復するものである(図－2.5.12参照)。軸方向鉄筋段落とし部に対して、主鉄筋とそれに直角な方向に帯鋼板を接着することにより、せん断耐荷力、曲げ耐荷力およびコンクリートの横拘束効果の向上が期待できると考えられる。



図－2.5.12　帯鋼板接着[2]

7) ストレス導入

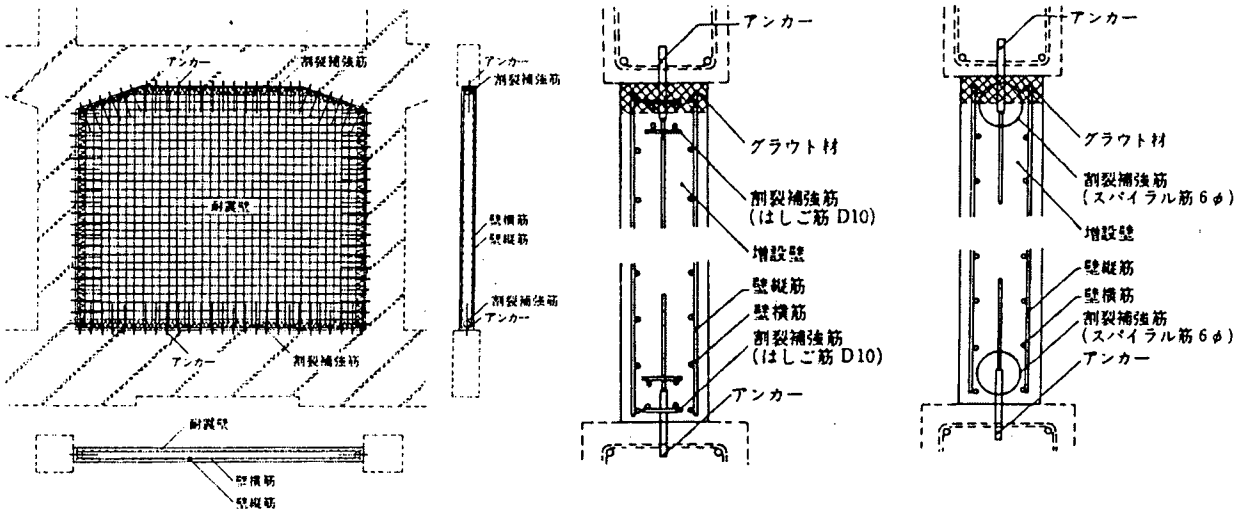
大きなひびわれが生じた場合に、ストレスの導入を行って耐荷力を回復するものである(写真－2.5.4参照)。従来、乾燥収縮や偏心荷重によるクリープなどにより大きなひびわれを生じた場合、ひびわれの閉合、抑制のためによく使われている方法である。震災を受けて生じた大きなひびわれや残留変位を生じた場合に、それを抑制するためにストレスを導入するものである。コンクリート巻立てと併用すれば補強効果も期待できる。せん断ひびわれに対しても、ストレスを導入して締め付け、耐荷力の回復を図ることができる。



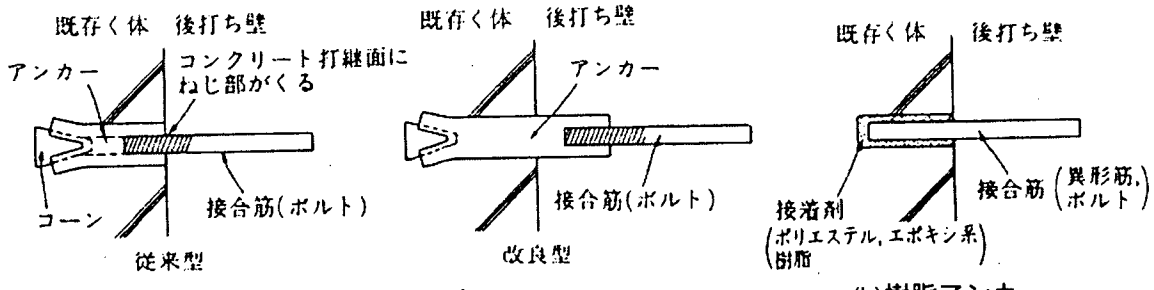
写真－2.5.4　ストレス導入[2]

8) 耐震壁増設

ラーメン橋脚の面内方向に損傷を生じた場合に、損傷部材の補強をした上で耐震壁を増設して耐荷力を回復するものである(図－2.5.13参照)。ラーメン橋脚が面内方向(通常、橋軸直角方向)の地震動により損傷を受けた場合、その橋脚の空間内に壁を増設するものである。建築に実験例が多く、耐荷力の向上が大きいことが報告されている。また、施工にあたって、既設部材への鉄筋の定着には樹脂アンカーまたは改良型メカニカルアンカーがよいと報告されている(図－2.5.14参照)。



図－2.5.13　耐震壁増設[2)]

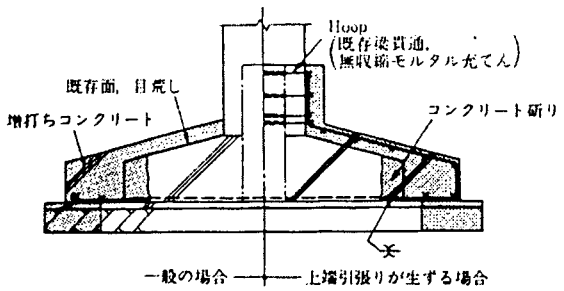


(a)メカニカルアンカー　　(b)樹脂アンカー

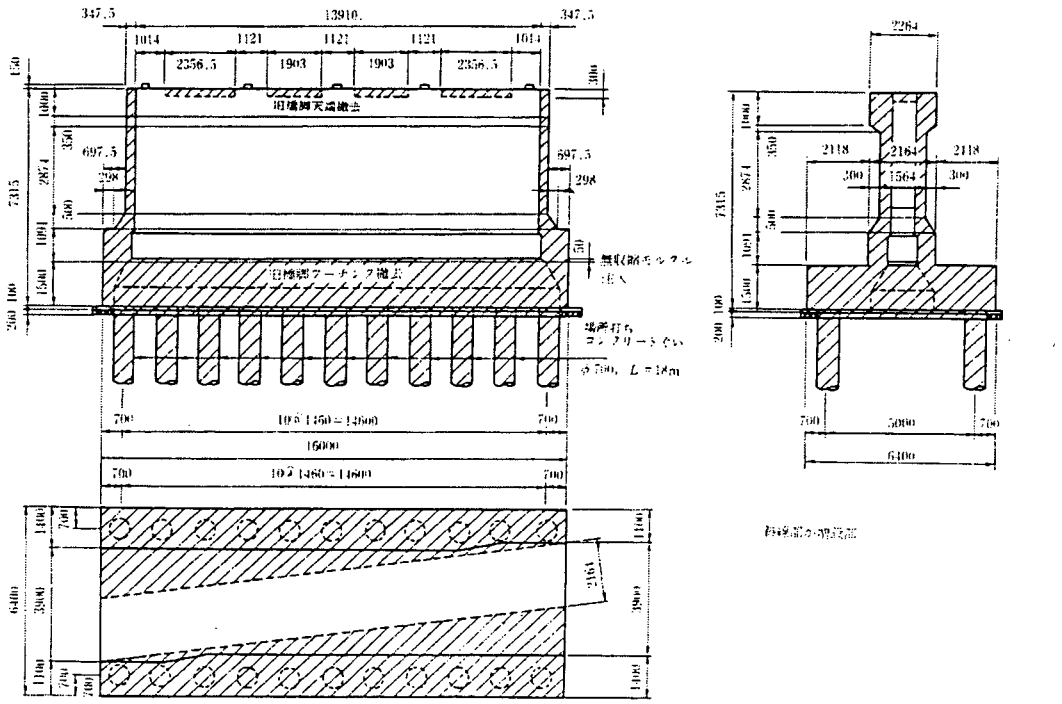
図－2.5.14　埋込み式アンカー接合法の代表例

9) 撤去・再構築

損傷が著しく、復旧が困難な場合に橋脚を取り替えるものである。ここで、橋脚の復旧のためにフーチングに鉄筋を定着することなどによりフーチングの強度が不足している場合には、フーチングも増厚しなければならない(図－2.5.15参照)。また、復旧により橋脚重量が増加する場合は、基礎に対する荷重増加の影響を検討し、必要に応じて基礎の耐震性向上も図る必要がある(図－2.5.16参照)



図－2.5.15　フーチング拡幅・増厚による耐震性向上を図る方法[2)]



図－2.5.16　鉄筋コンクリート巻立て、フーチング拡大、杭増設により耐震性向上を図る方法[2)]
(橋脚く体の耐力、基礎の支持力が不足している場合)

(3) 兵庫県南部地震におけるRC橋脚の本復旧工法事例

兵庫県南部地震で採用された具体的なRC橋脚の復旧工法についてここに紹介する。

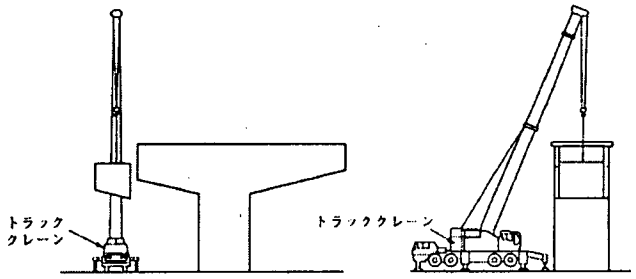
阪神高速3号神戸線では、倒壊もしくはそれに近い大被害(被災度As,A)を受けた橋脚は基部から撤去し、新たに橋脚を再構築する工法が採用され、中被害程度以下(被災度B,C,D)の橋脚は所定の耐震性を確保するよう、既設橋脚を利用したRC巻立てと鋼板巻立てを併用した補強工法が採用された。以下にその概要を示す。

1) 撤去工法

上部構造を存置したままでの橋脚撤去が求められた箇所もあり、被災状況や施工条件により次のような撤去工法が採用された。

①大型クレーンを用いた工法

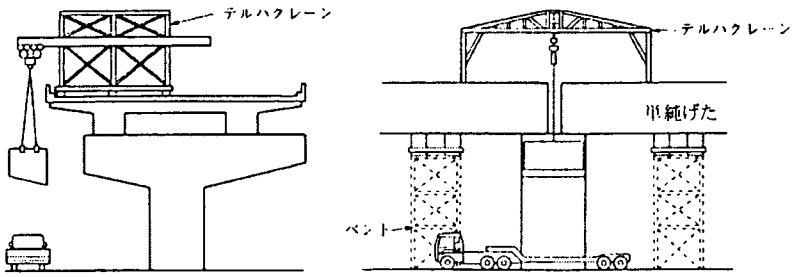
RC橋脚を運搬可能なブロック(20tf程度)に切断し、大型のトラッククレーンやクローラクレーンにより撤去する最も一般的な工法である。すでに上部構造が撤去された状況で採用できる(図－2.5.17参照)。



図－2.5.17　大型クレーンを用いた工法[18)]

②テルハクレーンを用いた工法

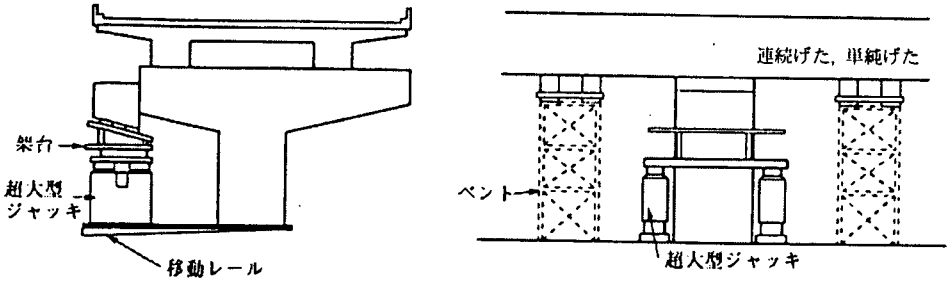
けた上に組み立てられたテルハクレーンから、伸縮継手を撤去したけた間の間隙部を通り橋軸直角方向に移動可能な吊りチェーンにより、撤去ブロックの吊り降ろしを行う工法である。この工法は製作組立が比較的簡易であり、けた存置でけた下の制約条件が厳しい場合に適している。けた遊間を利用するため両側単純桁を支持する橋脚等に採用できる(図－2.5.18参照)。



図－2.5.18　テルハクレーンを用いた工法[18)]

③超大型ジャッキを用いた工法

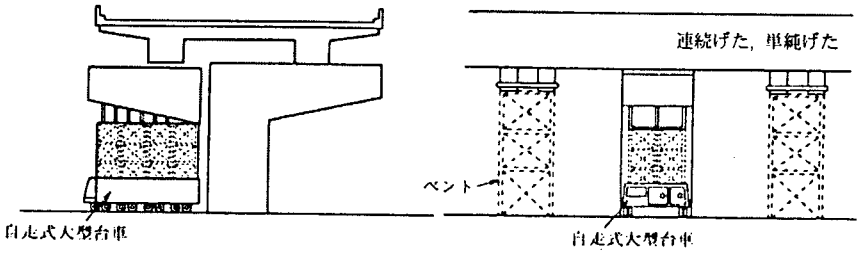
超大型ジャッキは、一般にプラント等の超重量大型物を工場内において吊り上げ降ろしする装置である。梁下にこのジャッキを設置し、撤去ブロックを支持形式でジャッキダウンし取り降ろす工法である。柱撤去に際しては、吊り治具を工夫することにより吊り形式の撤去方法が採用されている。なお、ジャッキの下にはレールが敷設されており、自走形式により積み降ろし可能な位置への移動が行われる。けた存置でかつ連続げたの中間橋脚の撤去に適した工法である(図－2.5.19参照)。



図－2.5.19　超大型ジャッキを用いた工法[18)]

④自走式大型台車を用いた工法

自走式大型台車も超大型ジャッキ同様、プラント等超重量大型物の運搬装置である。橋脚撤去に用いる場合は、梁下にベント架台を組んだ自走式大型台車を進入させ、この車輪の上下移動機構を利用し、大撤去ブロックの支持、搬出が行える。搬出時の重心が高く不安定となることから、適当なカウンターウェイトなどにより重心を下げることや、撤去ブロックとベント架台を十分に固定することなどが重要となる。けた存置でかつ連続げたの中間橋脚の撤去に適した工法である(図－2.5.20参照)。



図－2.5.20　自走式大型台車を用いた工法[18)]

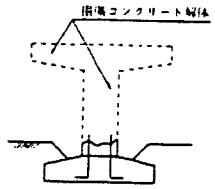
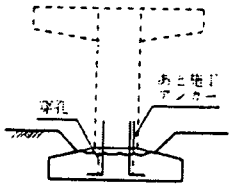
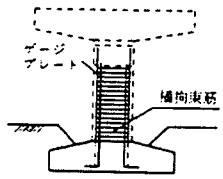
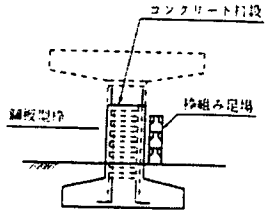
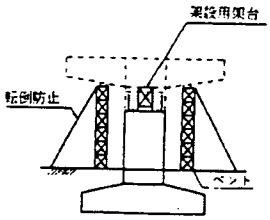
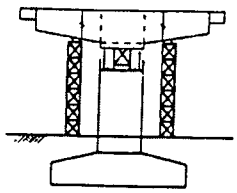
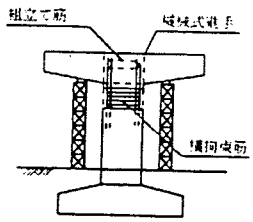
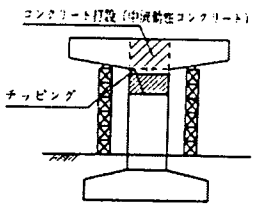
2)再構築工法

橋脚再構築は、撤去された橋脚基部において既設の主鉄筋を継ぎ足すとともに、既設橋脚の外側にフーチングへの後施工アンカーおよび新設主鉄筋を設置しRC巻立てにより曲げ耐力の向上を図った。さらに、新設主鉄筋にはこれを囲む帯鉄筋を密に配し、せん断耐力の向上とコンクリートの横拘束効果を期待するとともに、鋼製梁の採用による軽量化および工期の短縮を図っている(図－2.5.21参照)。

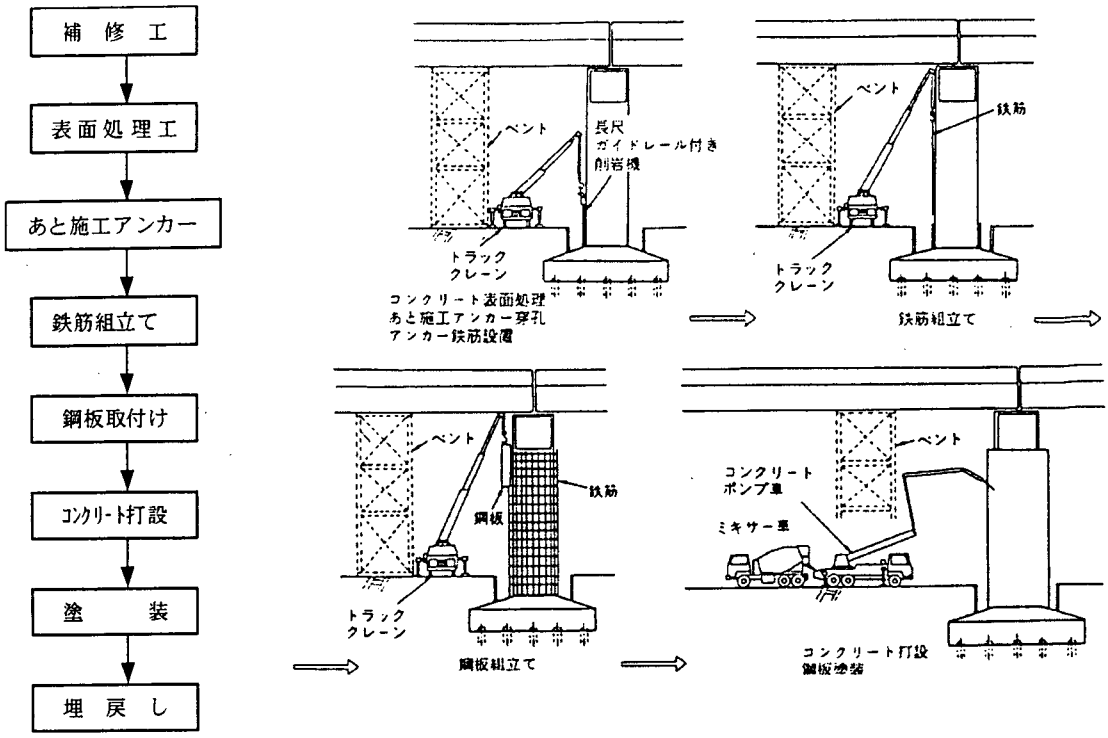
3)(RC＋鋼板)巻立て工法

撤去を伴わないため、撤去・再構築に比べて大幅に工費が少なくて済み、工期も短縮される。再構築と同様、既設橋脚の外側にフーチングへの後施工アンカーを行った主鉄筋を立ち上げRC巻立てによる耐震性向上を図る工法である。この時既設橋脚内の帯鉄筋や中間帯鉄筋が十分でないため、巻き立てたRCをさらに鋼板で巻立てせん断耐力および横拘束の向上を図っている。立地上の制約等から鋼板巻立てのみ実施した橋脚もあり、この場合には鋼板に主鉄筋と帯鉄筋の両機能を持たせるため、鋼板下端を後施工アンカーでフーチングに定着させている(**図－2.5.22**参照)。

被災した既設RC橋脚が、地震によりどの程の状況まで被災したのかを判定し、被災した橋脚の材料特性を**表－2.5.2**のように考えるとよい。**表－2.5.2**は、兵庫県南部地震における阪神高速3号神戸線RC橋脚の耐震性向上を目的とした復旧設計に採用されたものであるが、浮きコンクリートの撤去、ひびわれ注入、座屈鉄筋の取り替え等の修復を前提としている。したがって、被災度がAランク以上の橋脚等で修復ができないと判断される場合は、損傷部下方より撤去し、新しい材料により復旧することが望ましい。

<table>
<tr>
<td>step1
損傷梁･柱部のコンクリート解体
 
・基部付近の主鉄筋は再利用するため、コンクリート解体時に損傷を与えないこと</td>
<td>step2
増し厚部主鉄筋のための穿孔、あと施工アンカー設置
 
・既設鉄筋の傾き修正</td>
<td>step3
柱部主鉄筋、横拘束筋の配筋
 
・主鉄筋の立ち上げは、ｹﾞｰｼﾞﾌﾟﾚｰﾄを利用し、所定の精度となるように管理する</td>
<td>step4
柱部型枠取付け、コンクリート打設、養生
  </td>
</tr>
<tr>
<td>step5
鋼製梁架設用架台、ベント設置（鋼製梁地組み、高力ボルト本締め、現場溶接）
  </td>
<td>step6
鋼製梁架設、調整
  </td>
<td>step7
損傷梁・柱部のｺﾝｸﾘｰﾄ解体
 
・主鉄筋は機械継手とし、構造上の弱点とならないように千鳥にずらす</td>
<td>step8（２次コンクリート）
隅角部基部型枠工、コンクリート打設、養生
 
・膨張性混和剤を添加した中流動性ｺﾝｸﾘｰﾄを使用し、充填効果を高める
・鉄筋貫通孔などを利用し、ｺﾝｸﾘｰﾄの充填度合を確認する</td>
</tr>
</table>

図－2.5.21　RC 橋脚再構築の施工手順 [10)]



図－2.5.22　RC橋脚の耐震性を向上させて補強する工法手順[10)]

表－2.5.2　被災橋脚の材料特性[10)]

被災度			B	C	D
応力度照査	鉄筋のヤング係数		2/3Es	2/3Es	Es
	コンクリート	圧縮応力度の許容値	0.8σca	σca	σca
		せん断応力度の許容値	0.7τa1	τa1	τa1
地震時保有水平耐力照査	降伏時	鉄筋のヤング係数	2/3Es	2/3Es	Es
		コンクリートの圧縮強度	σck	σck	σck
	終局時	鉄筋のヤング係数	Es	Es	Es
		コンクリートの圧縮強度	σck	σck	σck
		コンクリートの分担せん断応力度	0.7τc	τc	τc

ここで、 Es ：旧部材の鉄筋のヤング係数(2.0×10^5N/mm^2)
σck：旧部材のコンクリートの設計基準強度
τa1：旧部材のコンクリートの許容せん断応力度
τc ：旧部材のコンクリートが負担できるせん断応力度

(4)鋼製橋脚

復旧工法を大別すると基本的に次の2つになる。

1)中詰めをして補剛する方法

コンクリートの中詰めがこれに相当する。中詰めが可能であり、また、鋼製橋脚に破断が生じないような場合には、鋼製橋脚が中詰めコンクリートを拘束すると同時に中詰めコンクリートが鋼製橋脚の変形・局部座屈の進行を防止する役目を持つことから、両者の共同作用により耐荷力およびねばりの向上が期待できる。ただし、橋脚の重量が大きく増加する場合には、基礎に対する荷重増加の影響を検討し、必要な場合には基礎の補強も考慮する必要がある。

2)外側から補剛する方法

基本的には添え木をして補剛する方法で、補剛材に何を用いるかによってさらに次のように分けられる。

①補剛材(鋼板)添接

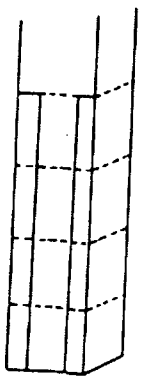
補剛材添接の場合に、図－2.5.23～図－2.5.25のように各種の方法が考えられるが、いずれの場合にも、鋼製橋脚の変形に合わせて補剛材を製作する必要がある。また、この場合には、溶接に伴う熱応力により悪影響を及ぼさないように配慮することが重要である。特に、けた仮受け等をしないで軸力が入ったまま補修する場合には、この点に十分注意する必要がある。兵庫県南部地震においては、被災度の大きい鋼製橋脚に対して二次災害防止を目的とした緊急工事としても採用されている。

②RC巻立て

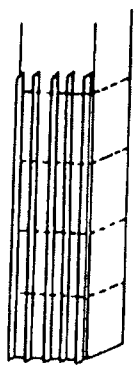
RC巻立てを行う場合には、どのようにして鋼製橋脚と巻立てたコンクリートとの共同作用を生じさせるかがポイントとなる。このためには、スタッドを打つ等の対策を検討しておくのがよい。ただし、橋脚重量が大幅に増加した場合の基礎に対する配慮は、中詰めコンクリート工法の場合と同じである。

③ ①と②を併用する方法

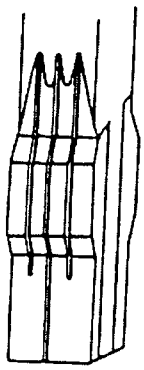
鋼板コンクリート巻立てがこれに相当する。



図－2.5.23　補剛材添接(例1)[2)]

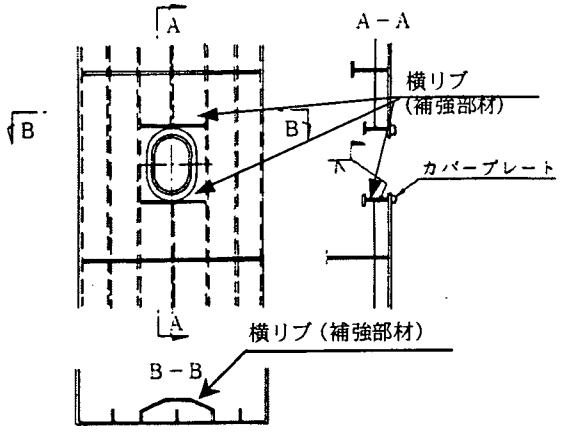


図－2.5.24　補剛材添接(例2)[2)]

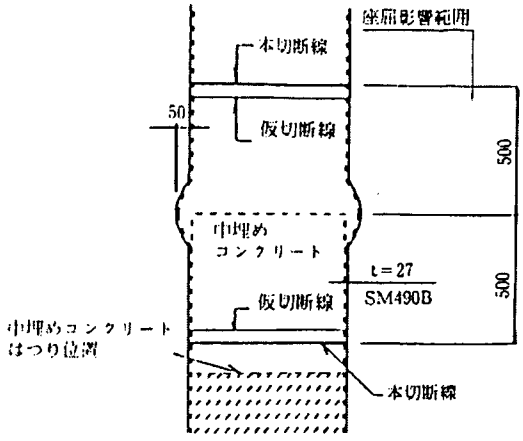


図－2.5.25　補剛材添接(例3)[2)]

兵庫県南部地震では初めて多数の鋼製橋脚が被害を受けたが、RC橋脚に比べるとその被災度は大きくなかったため、座屈損傷部を加熱矯正などにより補修し、補修部やマンホール部等の弱点箇所をリブ補強するとともに、鋼単独断面が座屈しない高さまで中詰コンクリートを充填する方法が採用された(図－2.5.26参照)。また、中詰めコンクリート天端付近で円周方向に局部座屈が発生したため、中詰めコンクリートを一部はつり取り、座屈影響範囲を切断撤去して新たに取替えて復旧した例もある(図－2.5.27参照)。



図－2.5.26　マンホール部の補強法[10]



図－2.5.27　損傷状況と取替え範囲[10]

(5)橋台

1)躯体

「(2)RC橋脚」に準じて本復旧を行うのがよい。躯体の被害についてはRC橋脚に準じて本復旧を行えばよいが、橋台には土圧が作用しているので必要に応じて矢板による土留め等を行うのがよい。

2)パラペット、取り付け盛土

被災判定にもとづいて「(2)RC橋脚」に準ずる他、以下の工法から適切なものを選定して本復旧を行うのがよい。

①パラペット打替え

②踏掛版設置

主げたと橋台の相対変位によりパラペットとけた端部の遊間が不足した場合、パラペットの打替えにより復旧を行ってもよいが、主けたの切断により遊間を確保してもよい。取り付け盛土が沈下した場合、踏掛版を設置するのは、再度被害を防止するために有効である。

(6)上部構造

「5－2　本復旧のための調査」にもとづき、被災箇所に応じて以下の工法から適切なものを選定して本復旧を行うのがよい。

1)　コンクリート橋の損傷は基本的に「(2)RC橋脚」に準拠して復旧するのがよい。工法の特徴は「(2)RC

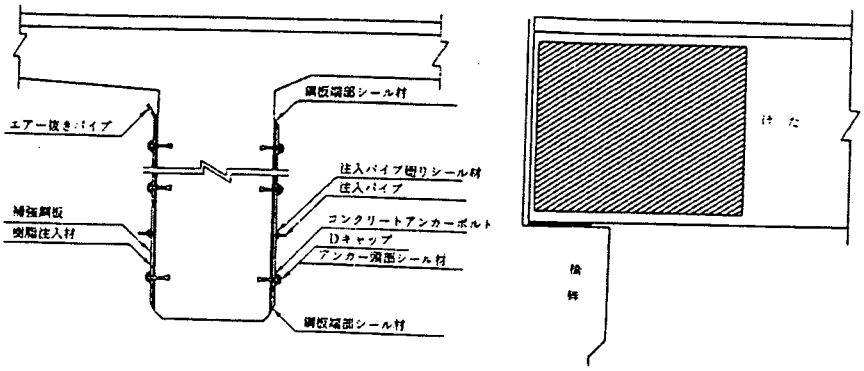
橋脚」に示したとおりである。既往の地震では支承直上のけた端部に損傷が生じた場合が多いが、これに対する補修例をあげると以下のようになる。

① 樹脂モルタル補修、樹脂注入

支承上のけた端部に小さなひびわれに沿ってVカット(幅1cm、深さ1cm程度)し、カット面を十分清掃した後、セメントペースト、モルタルで充てんするものである。強度を必要とする場合には、低粘度エポキシ樹脂、パテ状エポキシ樹脂、樹脂モルタルなどを用いる。

② 鋼板接着工法

図－2.5.28に示すように、鋼板をアンカーボルトとエポキシ樹脂系の接着剤で張り付けるもので、鋼板接着の方法によって、圧着工法と注入圧着工法がある。



図－2.5.28　コンクリートげたの鋼板接着工法[2)]

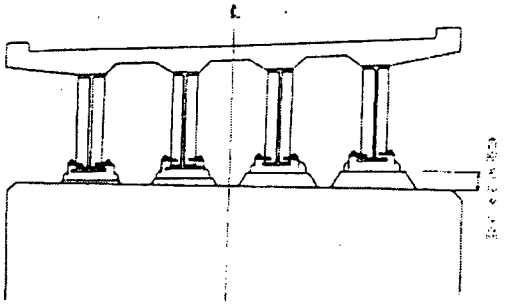
2) 鋼橋の地震被害としては、一般に、橋全体のねじり変形、部材の破断・変形、部材のきれつ、リベット・ボルトの切断の4つがある。

① 橋全体のねじり変形

地震時の下部構造変形に伴い上部構造がねじれ変形し、変形が元に戻らず残留変形した状態になると、橋台位置で沓が浮き上がった状態になる。このような状態で放置すると通行に支障をきたすことになるので、本復旧工法としては、以下の工法が考えられる。

i)上部構造の変形は修正せず、支承位置の浮き上がりに対しては、沓座モルタルの高さを調整して対処する(**図－2.5.29**参照)。

ii)対傾構、横構を撤去し、橋のねじり変形を修正し、再度、対傾構、横構を取り付ける。あるいは、橋の架け替えを行う。



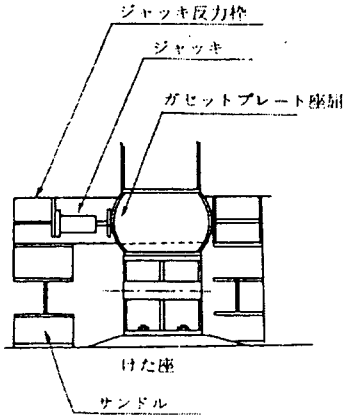
図－2.5.29　沓座モルタル高さによる調整[2)]

② 部材の破断

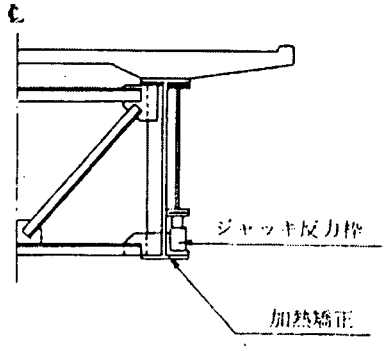
部材の破断は、部材の重要度に応じて対処方法が異なる。トラスの上下弦材のような一次部材では、部材の破断は落橋につながるおそれがあるので、本復旧としては、部材交換が可能であれば交換し、不可能な場合は架替えを行うのがよい。対傾構、横構等二次部材は、設計計算上考慮していないが、その部材がなくても問題がない場合と分配横げたのように水平分担の役割を果たしている部材もある。したがって、破損部材の役割を勘案して対処方法を決定する必要がある。

③ 部材の変形

部材の変形は、棒部材の座屈・変形、トラスの下弦材の座屈・変形に分けられる。棒部材の場合は、部材交換をしている事例が多いが、板部材の場合は、取替え不可能な場合が多く、ガスバーナーにより加熱し、ジャッキ反力を利用して変形を矯正するか、もしくは、必要があれば添接板を取り付けるのがよい(図－2.5.30および図－2.5.31参照)。



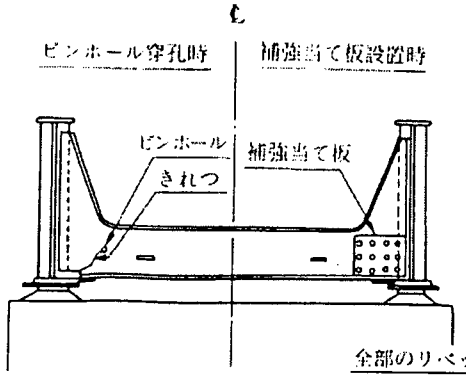
図－2.5.30　加熱矯正[2)]



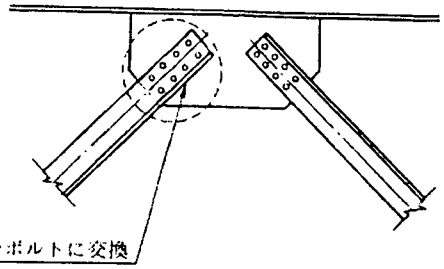
図－2.5.31　ジャッキによる変形修正[2)]

④ きれつ

地震被害として鋼橋の部材がきれつを生じた事例は少ない。また、きれつを発見しても交通荷重により疲労きれつを生じている場合が多く、地震による被災か否か判別しにくいところもある。きれつ程度の被災の場合は、本復旧として、きれつの進展を防ぐためきれつ先端にストップホールをあけ添接板をボルト接合する方法が行われる(図－2.5.32参照)



図－2.5.32　補強当て板[2)]



図－2.5.33　ボルト接合[2)]

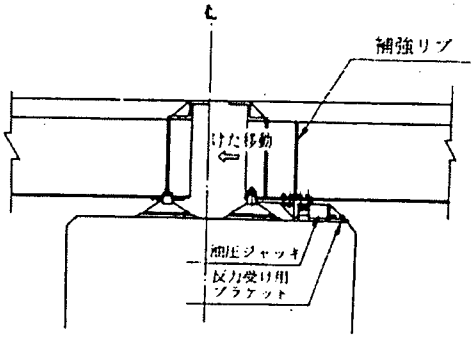
⑤ リベット・ボルトの切断

リベットが切断した場合、新規ボルトで接合するのがよい。ただし、一本のリベットが破断した場合でも一枚の添接板あるいはガゼットに接合しているすべてのリベットをボルトに交換するのがよい。これは、異種の接合方法のものを同一箇所で混用するのを避けるためである(図－2.5.33参照)。

3) 主げたの移動に対する本復旧工法としては、一般に次の2種類の方法がある。

① 主げたを原位置に移動修正する方法

主げたをジャッキ、レバーブロックなどにより元の位置に戻し、沓破損部の補修あるいは取り替えを行い、ジョイント部の補修を行う(図－2.5.34参照)。

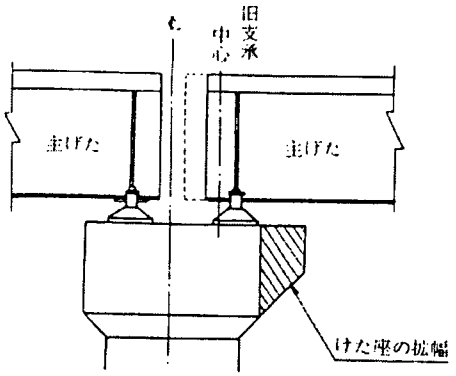


図－2.5.34　けた位置修正[2)]

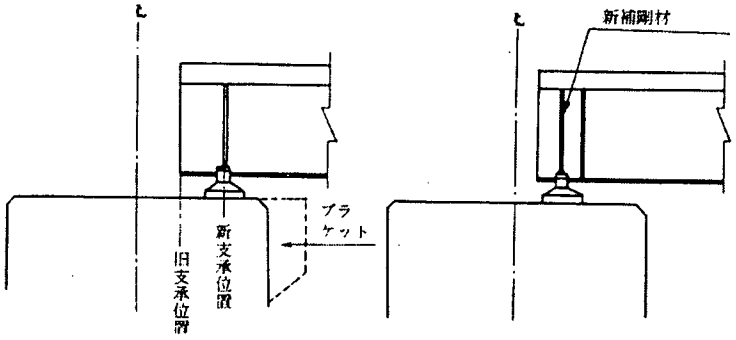
② 主げたを原位置に移動修正しない場合

i)沓位置の変更

けたの仮受けを行い、旧沓を撤去し、必要に応じて上部構造に補剛材等を添接補強した後、新しい沓の据付けを行うものである(図－2.5.35および図－2.5.36参照)。



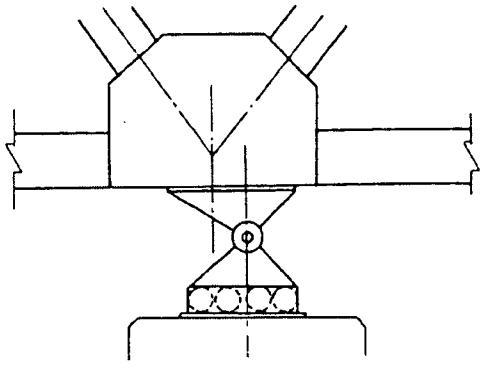
図－2.5.35　沓位置の変更によりけた移動しないで復旧する方法(例1：橋座拡幅)[2]



図－2.5.36　沓位置の変更によりけた移動しないで復旧する方法(例2)[2]

ii)沓形状の変更

トラス橋のピン・ローラー支承の場合、上下部構造の相対移動によりトラスの格点と沓中心がずれる場合がある。このような場合、沓の取替え、沓位置の変更等は比較的大規模な工事が必要となるが、移動量が上沓の形状変更で対処できる範囲であれば図－2.5.37に示すような対策工法が可能である。なお、けたを移動修正しないで対処できる場合には、けた移動しないで復旧される場合が多い。



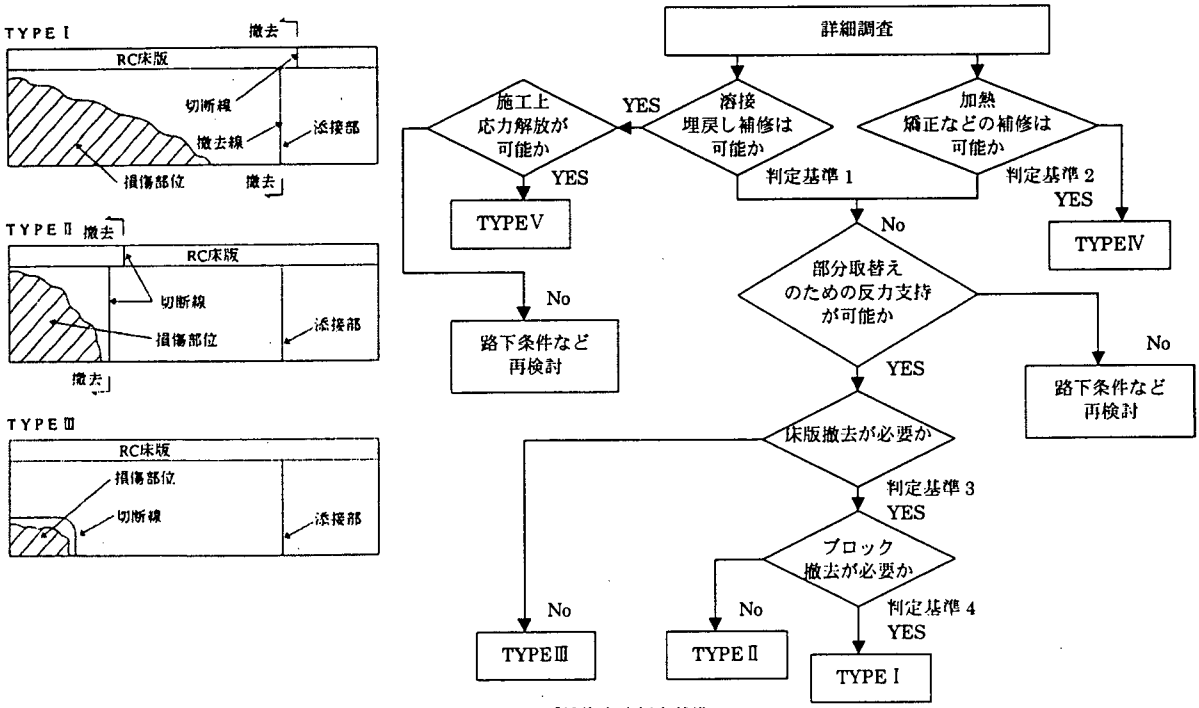
図－2.5.37　上沓の形状変更によりけた移動しないで復旧する方法[2]

4) 支点沈下に対する本復旧工法としては、支点沈下の原因が支承の破損である場合には、旧支承を撤去し、新しい支承を据え付ける。また、下部構造の沈下、傾斜による場合には、別途、これらの長期的な安定性を検討した上で、支承高さを変更することが考えられる。この際に、沓座モルタルをむやみに厚くすると、再び地震被害を受けやすくなるので、5cm程度以上となる場合には、鉄筋コンクリート台座を新設するのがよい。

5) 兵庫県南部地震で採用された鋼げたの本復旧工法を紹介する。阪神高速3号神戸線では、単純形式の落橋げたや落橋は免れたが橋脚の損壊等に伴い激しく座屈した連続げた等は、撤去され軽量化のため鋼床版により再構築された。その他多くの鋼げたにおいては、けた端部や支承部の損傷が多く認められ、損傷範囲や損傷程度に応じて**図－2.5.38**に示すフローに従ったタイプ分けを行い、**表－2.5.3**の補修方法を選定している。

表－2.5.3　鋼げたの補修方法

TYPE	補　修　方　法
TYPE Ⅰ	床版の撤去をともないブロック単位で損傷部の撤去を行い、新しいブロックを高力ボルトで接合した後、床版打設を行う方法
TYPE Ⅱ	床版の撤去を行い、損傷部位を切断・除去し、新しい部材を高力ボルトまたは、現場溶接で接合した後、床版打設を行う方法
TYPE Ⅲ	損傷部位を切断・除去し、新しい部材を高力ボルトまたは、現場溶接で接合する方法（床版撤去なし）
TYPE Ⅳ	損傷部位の切断・除去を行わず、加熱矯正などを行う方法
TYPE Ⅴ	損傷部位の切断・除去を行わず、溶接埋戻しを行う方法



「補修方法判定基準」
判定基準 1<割れ損傷部の部分取替えの有無>
　変形を伴わない割れ損傷部位は、溶接による埋戻しを原則とする。
判定基準 2<変形部の部分取替えの有無>
　変形部の最小内側半径 rmin≧15t(t:板厚)の場合、加熱の矯正に補修を原則とする。
判定基準 3<床版撤去の有無>
　損傷が床版付近に及ぼす、かつ施工上可能な場合は、できる限り床版の撤去を行わないことを原則とする。
判定基準 4<ブロック取替えの有無>
　鋼げた本体の切断範囲がブロック長の半分以上となる場合は、ブロック取替えを原則とする。

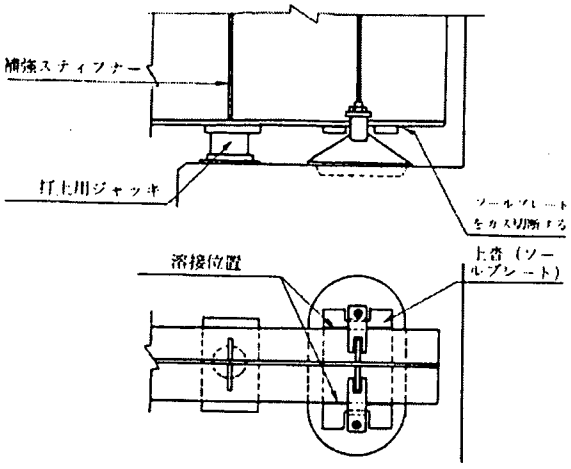
図－2.5.38　鋼げたの補修方法 [10)]

(7) 支承部

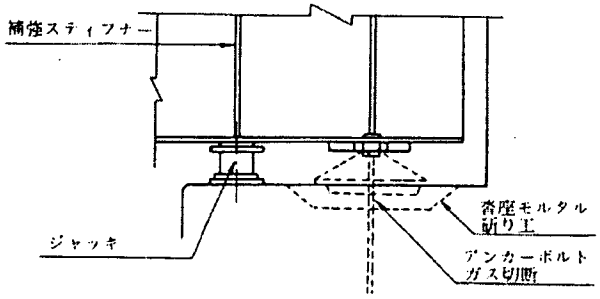
1) 支承の被害は、被災箇所に応じて、以下のように本復旧するのがよい。

① 沓本体、ソールプレートの変形、破損に対する復旧

沓本体、ソールプレートに変形・破損がある場合には、一般に沓およびソールプレート全体の取替えによって復旧する(図－2.5.39および図－2.5.40参照)。



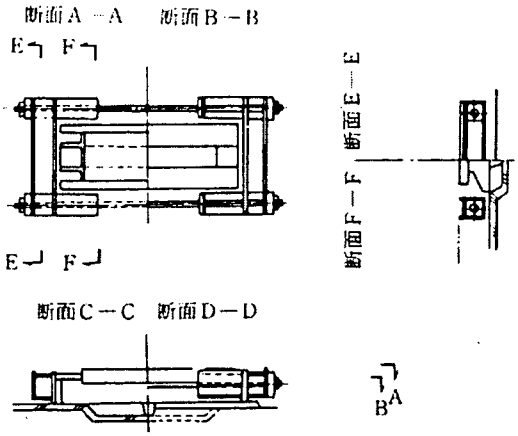
図－2.5.39　上沓部の取替え[2)]



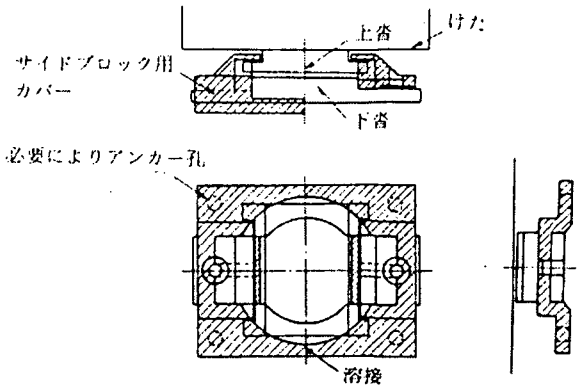
図－2.5.40　下沓部の取替え[2)]

② 移動制限装置の変形・破損に対する復旧

上沓ストッパー、下沓サイドブロック、アンカー鉄筋(ゴム支承)等の移動制限装置に変形もしくは破損がある場合、取替えるかもしくは移動制限代替装置の設置によって復旧する。アンカー鉄筋について埋め込み部分を残してガス切断し、ボルトを溶接して修復してもよい。鋼橋の場合は橋台あるいは橋脚上に作業スペースとしての空間があり、部材補強も比較的施工しやすいので沓破損部材の取替えは容易である。一方、コンクリート橋の場合は、けた下空間が狭くジャッキスペースがないのでけたの持ち上げにジャッキ等を使用することも可能ではあるが、一般に上沓部材の取替えは困難である。このため移動制限代替装置、たとえば補強枠設置工法等の設置で復旧される場合が多い(図－2.5.41および図－2.5.42参照)。



図－2.5.41　補強枠設置工法(例1)[2]



図－2.5.42　補強枠設置工法(例2)[2]

③ アンカーボルトの抜け出し・変形・破断に対する復旧

アンカーボルトの抜け出し、変形、もしくは破断がある場合、取替えもしくはガス切断・ボルト溶接によって復旧するのがよい。

④ セットボルトのゆるみ・破断に対する復旧(ピン支承、ローラー支承)

セットボルトのゆるみもしくは破断がある場合、取替えによって復旧するのがよい。軽微なゆるみに対してはワッシャー挿入・締直しによって修復してもよい。

⑤ ピンキャップの抜け出し、ピンの破損に対する復旧(ピン支承、ローラー支承)

ピンキャップの抜け出しもしくはピンの破損がある場合、取替えによって復旧するのがよい。ピンを工場製作する場合にはピンの径は若干小さめにしたほうがセットした際にピンの機能を果たすためによい。

⑥ ローラー、ロッカーの逸脱に対する復旧(ローラー支承、ロッカー支承)

ローラー、ロッカーの逸脱がある場合、ローラー部、ロッカー部の取替えもしくは沓の取替えによって復旧するのがよい。

⑦ 浮き上がり防止装置の変形・破損に対する復旧

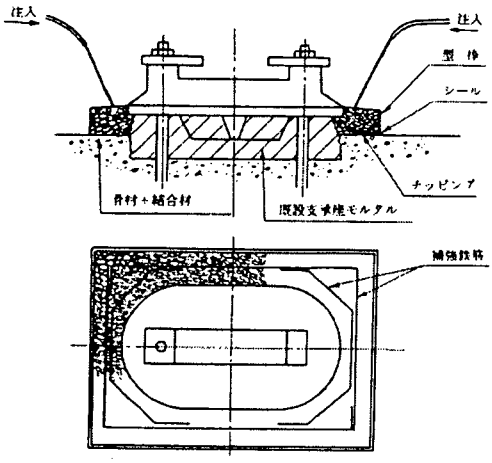
サイドブレート等の浮き上がり防止装置に変形もしくは破損がある場合、取替えによって復旧するのがよい。なお、損傷が著しい場合、修復が困難な場合等では支承全体の取替えによって復旧することも考えられる。

⑧ ゴム支承の変形・破損に対する復旧

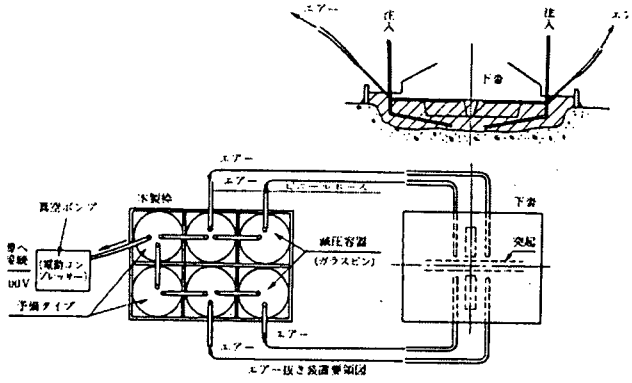
今後、反力分散支承、免震支承等ゴム系の支承の採用が増加するものと考えられる。ゴム系の支承に関する大きな被害は報告されていないが、支承本体が亀裂等の損傷を受けたり、大きな残留変形が生じたりした場合は、ジャッキアップにより取替えあるいは修正し復旧するのがよい。

2) 沓座モルタル

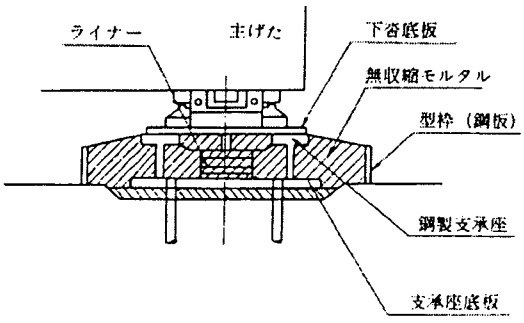
沓座モルタルは、沓据付け時の高さ調整、および沓防護のために施工されるものである。沓座モルタルのひびわれ程度であれば、本復旧としては樹脂を注入し、ひびわれの進展を防ぐ措置をとればよい。沓座モルタルの損傷は、アンカーボルトの水平耐力の低下につながり、次の地震の際の被害の誘因となる。したがって、沓座モルタルが損壊した場合は、沓座モルタル全面打替えを行うのがよい。全面打替えは、沓を撤去し、既存モルタルをはつり取り、沓の取付けを行った後に無収縮モルタルを打設する。沓撤去の際にアンカーボルトの付着切れがない場合は、既設のアンカーボルトを利用してもよい(図－2.5.43～図－2.5.46参照)。



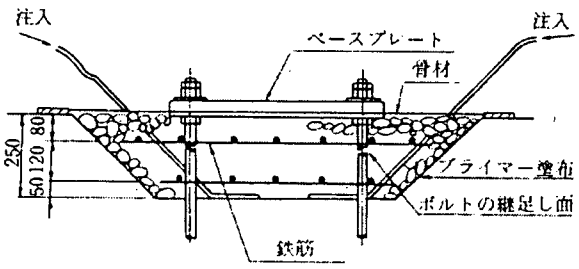
図－2.5.43　沓座モルタル打替え(例1)[2)]



図－2.5.44　沓座モルタル打替え(例2)[2)]



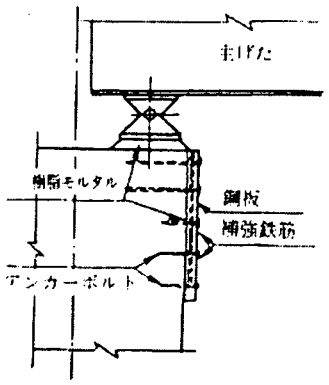
図－2.5.45　沓座モルタル打替え(例3)[2)]



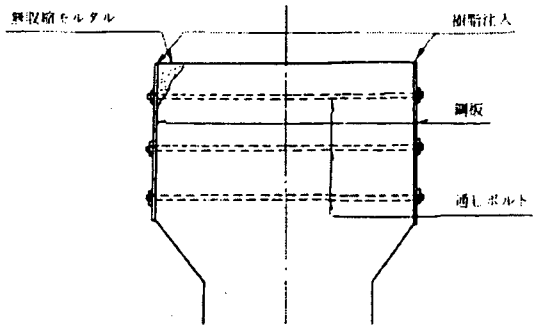
図－2.5.46　沓座モルタル打替え(例4)[2)]

3) 沓座コンクリート

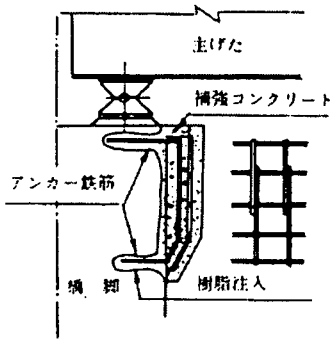
沓座コンクリートのひびわれの対処方法は、樹脂注入が一般的である。被害が大きい場合には、下部構造全体を巻立て補強する。部分的な場合には、鋼板接着工法を用いて欠損部材にモルタルを充てんする方法が取られている場合が多い(図－2.5.47および図－2.5.48参照)。なお、けたかかりの長さSEが不十分な場合には、橋座拡幅によりSEの確保を図ることが必要である(図－2.5.49および図－2.5.50参照)。



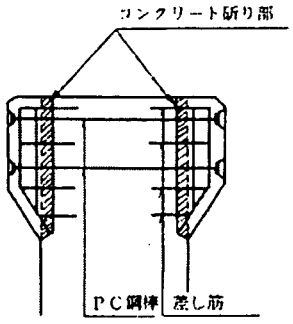
図－2.5.47　鋼板接着工法(例1)[2]



図－2.5.48　鋼板接着工法(例2)[2]



図－2.5.49　沓座拡幅工法
(例1：補強コンクリート沓座拡幅工法)[2]



図－2.5.50　沓座拡幅工法
(例2：PC鋼棒沓座拡幅工法)[2]

(8) 落橋防止装置

落橋防止装置が損傷している場合は、支承、上部構造のけた端部や支点部、伸縮装置等も損傷していると考えられる。落橋防止装置がフェールセーフ機能として所定の強度を有していたかどうかの照査を行うとともに、損傷した他の部位の復旧工法によっては取替えを含めた復旧を検討するのがよい。

(9) 伸縮装置

1) 目地材の脱落に対する復旧(突き合わせ形式、埋設目地形式)

目地材の脱落がある場合、目地材を補充して伸縮装置の機能を回復するのがよい。

2) フェースプレートの破損に対する復旧(鋼製形式)

フェースプレートの破損がある場合、破損部プレートの溶接もしくはジョイント取替えによって伸縮装置の機能を回復するのがよい。

3) ジョイントゴムの破断に対する復旧(突き合わせ形式、ゴムジョイント形式)

ジョイントゴムの破断がある場合、破断部ゴムの取替えもしくはジョイント取替えにより伸縮装置の機能を回復するのがよい。

4) アンカーコンクリート部の破損に対する復旧

アンカーコンクリート部の破損がある場合、破損部コンクリートのはつり、打直し、もしくはアンカー部の再施工によって伸縮装置の機能を回復するのがよい。

5) 目閉じ、目開きに対する復旧

目閉じもしくは目開きがある場合、けた移動修正もしくはジョイント取替えによって伸縮装置の機能を回復するのがよい。なお、目閉じ、目開きもしくは段差の原因となった主げた移動、下部構造の損傷・残留変位、支承部の損傷等についても検討し、それらについても復旧を行うのがよい。

6) 段差に対する復旧

段差がある場合、支承部の修復、支承高の変更もしくはジョイント取替えによって伸縮装置の機能を回復するのがよい。なお、伸縮継手部の被害は上部構造どうしの相対移動や支承の被害の結果として生じている場合が大部分である。したがって、主因を復旧すれば継手部の被害も復旧される場合が多い。

(10)その他

ダンパー等にその機能を失うような損傷などが生じた場合、減衰機構のとらせ方により復旧方法が異なるが、被災状況に応じて当該箇所の取替えもしくはダンパー本体の取替えを行うのが一般的である。

参考文献

1) 建設省：土木構造物の震災復旧マニュアル(案)、昭和62年3月

2) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編)、昭和63年2月

3) 田中稔：神戸市における道路被災・復旧状況、道路　Vol.652、1995.6

4) 田中稔：神戸市の復旧・復興状況、道路　Vol.661、1996.3

5) 石塚幹剛：阪神高速道路の被災状況と復旧に向けての取り組み、道路　Vol.652、1995.6

6) 石塚幹剛：阪神高速道路の復旧と防災体制の整備状況、道路　Vol.661、1996.3

7) 水嶋忠雄：JH・高速自動車道等の被災状況と応急復旧等、道路　Vol.652、1995.6

8) 兵庫県：阪神・淡路大震災誌―土木施設の地震被害記録―、平成9年1月

9) 日本道路公団：兵庫県南部地震における高速道路橋の復旧

10) 阪神高速道路公団：大震災を乗り越えて―震災復旧工事誌―、平成9年9月

11) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告―土木構造物の被害「橋梁」―、1996.12

12) 阪神高速道路公団：震災から復旧まで［写真集］、平成9年1月

13) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震前対策編)、昭和63年2月

14) 科学技術庁：大震災のあと、余震はどうなるか

15) 神戸市：阪神淡路大震災復興誌(仮名)

16) 兵庫県西宮土木事務所：まち再生へ―被災地の土木現場から―、平成8年3月

17) 建設コンサルタント協会：阪神・淡路大震災―被災から復旧まで―、平成9年10月

18) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例、1998.8

第３編　参考資料集

1.兵庫県南部地震における被災調査・復旧に関する事例集 …… 201
2.兵庫県南部地震における被災分析に関する資料 …… 326
3.被災調査技術および非破壊調査に関する資料 …… 357
4.道路橋の耐震点検に関する資料 …… 376
5.道路橋の耐震補強法に関する資料 …… 385

1.兵庫県南部地震における被災調査・復旧に関する事例集

兵庫県南部地震における橋梁構造物の被害は甚大であったが、一方、被災した各機関では、橋梁構造物の各損傷部位に対する被災調査および被災度判定が行われ、被災度判定結果をもとに、各橋梁構造物の特性や現地状況などを総合的に考慮し、多種多様な応急復旧ならびに本復旧が実施されたものと考えられる。これらの事例を収集整理し、事例集としてここに取りまとめた。

「**表－3.1.1　兵庫県南部地震の事例一覧表**」には次の項目を記載した。

①分類

各種事例を以下に示すキーワードで分類した。

- 緊急処置・被災調査法・被災判定法・安全性監視・安全性確認試験
- 応急処置・応急復旧工法・本復旧工法
- その他

②対象部位

各「分類」ごとに、以下に示す「対象部位」を記載した。

- 橋梁全体・上部構造・支承・RC橋脚・鋼製橋脚・橋台・基礎・橋梁取付部
- 地盤
- その他(橋梁以外の構造物の場合)

③路線名・橋梁名・工法・調査法名

路線名、橋梁名・工区名などを示し、およその場所が判るようにした。また、固有の工法名や調査法名があれば記載した。

④概要

事例の概要を記載した。

⑤参考文献

事例に関する参考文献を記載した。

表－3.1.1の備考欄の○印に付いては、各事例ごとにさらに詳しい内容をとりまとめた。

表－3.1.1(a)　兵庫県南部地震の事例一覧表

No.	分　類	対 象 部 位	路線名・橋梁名・工法名・調査法	概　要	参 考 文 献	備　考
1	被害状況	鉄道ｺﾝｸﾘｰﾄ橋		鉄道コンクリート橋の被害状況を損傷パターンに分けて調査	渡辺、佐藤、西村、"兵庫県南部地震による鉄道橋の被害"　基礎工1995.10	
2	被害状況	RC橋脚、鋼桁、鋼製橋脚		RC橋脚、鋼桁、鋼製橋脚の被害状況	関、"阪神高速道路の高架構造物及び橋脚の被害"　基礎工1995.10	
3	被害状況	橋梁全体	市道神戸明石線、西代跨線橋 被害調査	ＲＣ橋脚柱部の曲げ破壊、鋼桁部の座屈、支承部の破壊などの被害が生じた。	阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月	
4	被害状況	橋梁全体	市道深江浜町1号線 深江大橋 被害調査	地震により新旧接続部縦梁、横桁のひび割れ、沓の破損とそれに伴う横桁の損傷、橋台壁のせん断破壊が生じた。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月	
5	被害状況	橋梁全体	市道魚崎浜1号線 魚崎大橋 被害調査	桁の移動、傾きによる支承の損傷、橋台のせん断破壊、取付護岸の側方流動、橋台背面地盤の沈下等の被害が生じた。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月	
6	緊急処置	上部構造 （緊急撤去）	阪神高速道路 湊川地区 桁 緊急撤去	落橋した2橋のほか、損傷の著しい3橋が建設省により緊急撤去された。床版・高欄は架設ベントにより鋼桁を仮受けし、ワイヤーソー、静的破砕機で撤去した。鋼製箱桁は大型クレーン及びベントで支持した状態でガス切断し搬出した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
7	緊急処置	上部構造 （舗装）	中国自動車道 宝塚高架橋 路面・段差補修	固定橋脚でせん断破壊、斜めひび割れが発生。可動橋脚でﾛｰﾗｰが脱落し、曲げ破壊、曲げひび割れが発生し大きく傾いている。 緊急車両の通行確保を目的とし、初期の路面補修を行った。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 水口、"日本道路公団の高架構造物及び橋脚の被害" 基礎工1995.10	○
8	緊急処置	支承	中国自動車道 名神高速道路	阪神･淡路大震災では、支承に大きな被害が生じ、特に鋼製支承の1本ローラ、ベアリングプレートの損傷度が大きかった。 復旧には、支持機能を失った支承に隣接して木材や鋼材を設置し、緊急に損傷の進展を防止した。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神･淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月	○
9	緊急処置	ＲＣ橋脚	中国自動車道 宝塚高架橋 支保工による仮受け	せん断破壊によって耐荷力が期待できないと判断した橋脚、及び大きく傾いた橋脚では、支保工を両側に組んで仮受けし、沈下した上部工をジャッキによって持ち上げた。また、ジョイント部の上部工の段差は緊急の路面補修を施して、緊急車両を支保工による仮受けの状態で通行させた。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神･淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月 水口、"日本道路公団の高架構造物及び橋脚の被害" 基礎工1995.10	○
10	緊急処置	ＲＣ橋脚	名神高速道路 大西高架橋 支保工による仮受け	固定橋脚でせん断破壊、可動橋脚で曲げひび割れが発生し、上部構造が最大40cm近く沈下した。 せん断破壊により耐荷力が期待できないと判断した固定橋脚は、支保工を両側に組んで仮受けを行った。また、緊急復旧時の車両通行に際しては、速度制限、重量制限、車間距離制限等の交通規制を実施した。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神･淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月	○
11	緊急処置	ＲＣ橋脚	名神高速道路 守部高架橋 支保工による仮受け	固定橋脚でせん断破壊、可動橋脚で曲げひび割れが発生し、上部構造が最大70cm程度沈下した。 せん断破壊により耐荷力が期待できないと判断した固定橋脚は、支保工を両側に組んで仮受けを行った。上部工の沈下量が大きかった上り線は、緊急車両を通行させず、桁の仮受け後すぐに災害の大きかった橋脚を撤去、再構築する応急復旧に移行した。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 水口、"日本道路公団の高架構造物及び橋脚の被害" 基礎工1995.10	○
12	緊急処置	ＲＣ橋脚	名神高速道路 神崎高架橋 支保工による仮受け	固定橋脚にアンカーボルト先端からせん断破壊が発生した。沓座コンクリート前面がせん断破壊し、支承が損傷しているものもあった。 壁式ラーメン橋台の固定側柱頭部に損傷が集中しているため、仮支柱を設置して上部工を支え、健全な可動側橋台に仮固定を設けて水平力に対応することにより緊急復旧を行った。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神･淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月	○
13	緊急処置	ＲＣ橋脚	名神高速道路 瓦木西高架橋 落橋防止装置の強化	被災した橋梁の2次災害を防止するとともに、下り線の緊急車両の通行を可能にすることを目的に緊急処置が施された。 落橋を免れた下り線の落橋防止装置を強化し、緊急車両を通行させた。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神･淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月 水口、"日本道路公団の高架構造物及び橋脚の被害" 基礎工1995.10	○
14	被災調査法	ラーメン橋脚	衝撃振動試験	復旧までに実施した山陽新幹線構造物の健全度判定作業。	西村、"衝撃振動試験による山陽新幹線構造物の健全度判定"　基礎工1996.9 西村、"衝撃振動試験－基礎構造物の健全度検査法－" 1999.8	

表－3.1.1(b)　兵庫県南部地震の事例一覧表

No.	分　類	対 象 部 位	路線名・橋梁名・工法名・調査法	概　要	参 考 文 献	備　考
15	被災調査法	基礎	衝撃打撃法調査	神戸線において震災直後から復旧工事に至るまでに実施した杭基礎を中心にした基礎構造物の調査の概要とその結果について	林、丸井、"阪神高速道路3号神戸線基礎構造物の健全度の判定"　基礎工1996.9 丸井、幸左、"阪神高速道路3号神戸線杭基礎の健全度評価"　橋梁と基礎1998.1	
16	被災調査法	基礎	阪神高速道路3号神戸線 阪神高速道路5号湾岸線 ﾎﾞｱﾎｰﾙｶﾒﾗ調査、衝撃打撃法調査	阪神高速道路3号、5号線の基礎構造物調査事例	南荘、足立"阪神高速道路における基礎構造物の損傷調査"　橋梁と基礎1996.8 岩崎、江川、"阪神高速道路5号湾岸線の橋脚基礎の復旧"　基礎工1996.9 南荘、安田、"埋立て地盤における道路橋基礎構造物の被災分析"　橋梁と基礎1999.8	
17	被災調査法	基礎		杭の健全調査方法(目視観察、パイルインテグリティ試験、ボアホールカメラによる測定、ＡＥ(破壊に伴う微少振動音)を利用した判定など)について	阿部、"杭の健全性の評価"　基礎工1996.11	
18	安全性監視	上部構造	県道芦屋－鳴尾浜線 桁変位自動監視システム	上部構造が約1m変位し、桁かかり長を350mmのみ残す被害を受けた。緊急物資輸送ルートであったため、仮ベントを設け路面段差を無くす等の応急処置を施し、24時間連続監視自動システムを導入し、暫定供用した。	横河ブリッジ技報NO.26、平成9年1月 日経ｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ1-26、平成8年1月	○
19	安全性確認試験	基礎（杭）	阪神高速道路公団3号神戸線芦屋入路 スタナミック試験	杭の支持力を確認するため、杭頭に乗せた反力マスを特殊な推進剤の燃焼ガス圧力により打ち上げ、その慣性反力を杭頭に載荷し、杭頭の荷重・変位・速度・加速を時系列に測り、沈下曲線を描いた結果により杭の支持力を算出する。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月 日経ｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ1-26、平成8年1月	○
20	応急処置	上部構造	阪神高速道路 二次災害防止策	橋脚損傷部補強、桁受けベント、梁受けベントの3点セットにより、二次災害防止対策を実施した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
21	応急処置	上部構造 （舗装）	中国自動車道 宝塚高架橋 路面・段差補修	復旧計画において全6段階の交通切り替えを行い、これに応じ路面を復旧した。対面通行を行うために、中央分離帯に開口部を設けたり、伸縮装置の応急復旧を行った。第5段階では、振動・騒音対策のため、伸縮装置のﾀﾞﾐｰ化、段差部の舗装すり付け長の延長などの処置を講じた。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」、平成10年3月 水口、"日本道路公団の高架構造物及び橋脚の被害"　基礎工1995.10	○
22	応急処置	上部構造 （桁）	名神高速道路 大西高架橋 補修・補強	床版ｺﾝｸﾘｰﾄが圧縮破壊に達していないため、ｼﾞｬｯｷｱｯﾌﾟにて被災前の支点状態に復旧した後、クラックに樹脂注入、床版上面増し厚、床版下面鋼板接着による補修、補強を行った。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神・淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月	○
23	応急処置	上部構造 （桁）	名神高速道路 守部高架橋 撤去・再構築	上部工再利用が難しい箇所は、撤去・再構築を行い、可能な箇所は部分的に撤去再構築した。撤去方法は、上部工をジャッキダウンし床版を小割した上で行った。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」、平成10年3月 水口、"日本道路公団の高架構造物及び橋脚の被害"　基礎工1995.10	○
24	応急処置	上部構造 （桁）	名神高速道路 武庫川橋 一部取替え・補修・補強	可動支承が破損、桁端部が沓座に落下し橋脚打ち継目部で水平方向にｸﾗｯｸが貫通した。 桁はｼﾞｬｯｷｱｯﾌﾟし、変形した部分を切断・取替えを行い、支承をＢＰ支承に交換した。桁再利用に際し、部材の歪みを矯正、補強を行った。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」、平成10年3月	○
25	応急処置	上部構造 （桁）	名神高速道路 西宮ＩＣ橋 桁位置修正	橋軸直角方向にずれた桁をｼﾞｬｯｷｱｯﾌﾟした後、滑り架台に反力を盛り換え所定の位置に桁を横移動させた。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神・淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月 岡米夫、中薗明広、「名神・中国道における被災橋梁の復旧事例」、橋梁と基礎1996.8.p69	○
26	応急処置	ＲＣ橋脚	名神高速道路 大西高架橋 撤去・再構築	せん断破壊によって耐荷力が期待できないと判断した橋脚は、支保工を両側に組み込んで仮受けを行った後、躯体を撤去、再構築を行った。緊急車両は下り線を通行し、上り線は応急復旧が完了するまで通行止めとした。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」、平成10年3月 日経ｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ編、「土木が遭遇した阪神大震災 被害現場が教える地震防災へのヒント」、1995.7.17	○
27	応急処置	ＲＣ橋脚	名神高速道路 武庫川橋 樹脂補修・鋼板巻立て	橋脚に発生した水平ｸﾗｯｸの応急復旧は、樹脂を注入した後鋼板を巻き立てて補強した。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神・淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月	○
28	応急処置	ＲＣ橋脚	中国自動車道 宝塚高架橋 傾き修正・ＲＣ巻立て	大きく傾いた橋脚はジャッキによって傾きを修正し、鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄで巻きたてて補強した。橋脚の倒れ修正は、ジャッキを水平にセットし、上部工に反力を取らせて橋脚天端に水平力を与えて行った。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神・淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月 水口、"日本道路公団の高架構造物及び橋脚の被害"　基礎工1995.10	○

表－3.1.1(c)　兵庫県南部地震の事例一覧表

No.	分　類	対 象 部 位	路線名・橋梁名・工法名・調査法	概　要	参 考 文 献	備　考
29	応急処置	ＲＣ橋脚	中国自動車道 名神高速道路 樹脂注入による補修	橋脚のひび割れ進展を防止するため、クラックに樹脂を注入し補修を行った。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神･淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月	○
30	復旧概要	橋梁全体	阪神高速道路3号神戸線 阪神高速道路5号湾岸線	阪神高速道路3号神戸線と5号湾岸線の復旧概要。	中島、足立、"都市高速道路の被災状況と復旧概要"　橋梁と基礎1996.8	
31	復旧概要	橋梁全体	川名神、中国道 瓦木西高架橋など	落橋した瓦木西高架橋などの復旧概要。	小川、水口、"名神･中国道における主な被災状況と復旧の概要"　橋梁と基礎1996.8	
32	本復旧工法	橋梁全体	川名神、中国道 構造系変更、上部工の架け替え、橋脚の再構築	支承を反力分散沓に取り替えることによる構造系変更、上部工の架け替え、橋脚の再構築などによる復旧。	岡、中薗、"名神･中国道における被災橋梁の復旧事例"　橋梁と基礎1996.8	
33	本復旧工法	上部構造 （撤去）	阪神高速道路公団 鋼桁 撤去	コンクリートカッターを用いたＲＣ床版のブロック化による撤去を行い、ガス切断による鋼桁部の撤去を行った。床版は、鋼桁を避けた位置でブロック化し、輸送を考慮して部材重量10tfとなるようした。。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
34	本復旧工法	上部構造	阪神高速道路公団 鋼桁 補修補強	部分的な取り替えにより補修可能と判断された鋼桁は、ベントで仮受けした後、損傷部位をブロックで切断除去し新部材に取り替えた。さらに損傷が軽微で切断撤去を行わず、加熱矯正や溶接で修復し、既設桁を再利用した場合もある。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
35	本復旧工法	上部構造	阪神高速道路 明治地区 鋼桁補修･補強･再構築	損傷桁の撤去は、床版部はワイヤーソーで、桁部はガスで切断してトラッククレーンにて搬出した。再構築は、既設橋の構造が鋼単純合成1桁であったものを3径間連続鋼床版1桁に構造変更した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
36	本復旧工法	上部構造	阪神高速道路 鷹取地区 鋼桁 損傷桁取替え･鋼床版化	損傷した2ブロックのみ撤去・取り替えを行った。施工はベントを設置し、ジャッキで調整し主桁を無応力状態にして行った。復旧工法は、JR架線との余裕を確保するため、1.5mジャッキアップし移動防護工を設置し昼間施工とした。JR上空の中央径間は、側径間上に80tfクローラークレーンを設置し行った。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
37	本復旧工法	上部構造	阪神高速道路 摩耶西地区 桁位置修正、端横桁打ち替え、落防設置、橋脚梁部拡幅、支承･ｱﾝｶｰﾊﾞｰ取替え	橋梁全体が大きく橋軸直角方向に移動沈下する損傷を受けた。復旧内容は、桁位置の修正のほか、端横桁の打ち替え、落橋防止装置の設置、橋脚梁部の拡幅、支承・アンカーバーの取り替えである。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
38	本復旧工法	上部構造 （架設）	阪神高速道路 摩耶西地区 鋼桁架設	狭さく部でのＰＣ桁架設工法である、吊り込み式横取り工法、扛上式横取り工法を採用し上部工を架設した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
39	本復旧工法	支承	中国自動車道 名神高速道路 支承の被災状況、復旧工法	固定支承より可動支承の損傷が大きかった。 復旧方法は、損傷の大きかったものについてゴム支承に交換した。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神･淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月	○
40	本復旧工法	支承	名神高速道路 神崎高架橋 支承取替え	固定橋脚にアンカーボルト先端から上部のせん断破壊が発生した。沓座コンクリート前面がせん断破壊し、支承が損傷しているものもあった。 破損した固定支承を交換するとともに、橋台前面にＲＣ造のアゴを設け桁かかり長を延長した。	日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神･淡路大震災 被害･復旧報告書」、平成10年3月 日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神･淡路大震災災害復旧報告書」、平成9年2月	○
41	本復旧工法	支承	阪神高速道路 守口線 支承取替え	地震により破壊した支承を、撤去・再構築した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
42	本復旧工法	支承	阪神高速道路 西宮港大橋 支承取替え	アーチ橋の固定橋脚側のピボット支承及びソールプレートが破壊する被害を受けた。復旧は、1,200tfジャッキ6台によりジャッキアップし、新設の支承と取り替えた。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月 石崎、澤登、"5号湾岸線における長大橋梁部の復旧工事"　阪神･淡路大震災に関する学術講演論文集1996.1	○
43	本復旧工法	上部構造 支承	阪神高速道路 六甲アイランド大橋 桁位置修正	アーチ橋可動支承のストッパーが破損し、橋体が支承より脱落し橋軸直角方向に約3m移動した。復旧は、健全である固定支承に橋体を預け、フローチングクレーン2隻の相吊りにて正規の位置に移動した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月 米倉、"阪神高速5号湾岸線六甲アイランド大橋の復旧事例"　橋梁と基礎1996.8 石崎、澤登、"5号湾岸線における長大橋梁部の復旧工事"　阪神･淡路大震災に関する学術講演論文集1996.1	○

表－3.1.1(d)　兵庫県南部地震の事例一覧表

No.	分　類	対 象 部 位	路線名・橋梁名・工法名・調査法	概　要	参 考 文 献	備　考
44	本復旧工法	上部構造 支承	阪神高速道路 東神戸大橋 支承取替え 等	長大斜張橋の端橋脚上ベンデル支承が損傷し、隣接桁支承の損傷と相俟って掛け違い部で約50ｃｍの段差が生じた。鋼製ラーメン橋脚は、Ｘ字状のせん断座屈、フランジの曲げ座屈が発生した。復旧は、支承、耐震連結装置を新設し設置した。橋脚せん断座屈部は、梁内部にトラス部材を設置し補強した後腹版を撤去、再構築した。曲げ座屈部は、補強部材を設置した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月 石崎、"阪神高速5号湾岸線東神戸大橋の被災と復旧" 橋梁と基礎1996.8 石崎、澤登、"5号湾岸線における長大橋梁部の復旧工事"　阪神･淡路大震災に関する学術講演論文集1996.1	○
45	本復旧工法	上部構造 支承 ＲＣ橋脚	阪神高速道路 新夙川橋 支承取替え、橋座拡幅	地盤の流動化により、橋脚が0.7～1.0m水平移動したため、鋼桁が支承より脱落した。復旧は、支承を現況位置とし、取付位置を変更した。桁かかり長が不足する個所は、鋼製ブラケットにより拡幅した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月	○
46	本復旧工法	RC橋脚	阪神高速道路 守口線 ＲＣ梁再構築、鋼板補強	支承載荷位置よりせん断破壊した橋脚梁を撤去し、ＲＣによる再構築及び鋼板接着補強により復旧した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
47	本復旧工法	RC橋脚	阪神高速道路 桁存置での撤去工法	桁を存置したまま橋脚を撤去しなければならない橋脚に対し、トラッククレーンによる方法、パワージャッキによる方法により復旧作業を行った。		○
48	本復旧工法	RC橋脚	阪神高速道路 補修･補強	損傷・残留変位が小さい橋脚については、既設橋脚の外側に後施工アンカーを設置した鋼板及びコンクリート巻立て工法により補強を行った。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
49	本復旧工法	RC橋脚	阪神高速道路 橋脚傾斜ｼﾞｬｯｷｱｯﾌﾟ修正	前例の無い橋脚のジャッキによる傾斜修正を、撤去予定橋脚にて試験施工を行い、ジャッキアップ推力の設定、ジャッキアップ時の挙動把握を行った。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月 吉川、金治、"塑性ヒンジを生じて傾斜したＴ形RC橋脚の傾斜復旧技術"　土木学会論文集 No.609/Ⅳ-41,1998,12	○
50	本復旧工法	RC橋脚	阪神高速道路 鷹取地区 撤去･再構築	ＲＣ1径間ラーメン橋脚が橋軸方向にせん断破壊し、上部工が約1.2m沈下するとともに可動脚付近主桁が大きく座屈した。桁下を通るJR山陽本線の復旧を考慮し、桁を現況高さまでジャッキアップした。橋脚は杭に異常はなかったが、躯体は撤去、再構築した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
51	本復旧工法	鋼製橋脚	阪神高速道路 建石地区 撤去･再構築	鋼製Ｔ型単柱とその梁端部を支えるＲＣ柱がヒンジ結合されている特殊門型橋脚において、単柱の基部において面外座屈、角溶接部のわれが生じ圧壊、横張りが座屈した。復旧は、既設を撤去し、鋼製2径間ラーメン橋脚に構造変更し再構築した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
52-1	本復旧工法	橋梁全体	阪神高速道路 深江地区 撤去再構築	ピルツ構造区間の橋脚が北側に17基倒壊した。復旧は、基礎工を再利用し、上下部工を分離した一般的な構造に変更し再構築した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
52-2				橋脚再構築方法についての概要説明	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
53	本復旧工法	橋梁全体	阪神高速道路 弁天地区 構造変更、再構築	複数のＲＣ単柱式橋脚がせん断破壊し、これにより3橋が落橋、5連の桁に座屈等の被害を受けた。復旧は、既設杭基礎を再利用し、橋脚基部に免震支承を配置した19径間連続立体ラーメン橋に構造変更し再構築した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月 林、北川、"阪神高速3号神戸線弁天工区の復旧事例" 橋梁と基礎1996.8 林、丸居、"阪神高速3号神戸線の復旧工事"　阪神･淡路大震災に関する学術講演論文集1996.1	○
54	本復旧工法	RC橋脚	阪神高速道路 鋼製梁を用いた再構築	損傷の大きな橋脚については躯体を撤去し、主鉄筋を継ぎ足すとともに既設橋脚の外側に後施工アンカーを設置しＲＣ巻立て工法により再構築を行った。梁は鋼製を使用し軽量化・工期の短縮を図った。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
55	本復旧工法	RCラーメン橋	山陽新幹線 ラーメン高架橋 撤去･再構築･補修･補強	ラーメン高架橋の柱部がせん断破壊し主鉄筋が大きく座屈した。復旧は、損傷の大きいものは撤去、再構築し、鋼板を巻き立てた。損傷の小さいものはコンクリートを打ち足し、鋼板を巻き立てた。亀裂にはエポキシ樹脂を注入した。	地震に強い土木、土木が遭遇した阪神大震災　；共に日経ｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ編	○
56	本復旧工法	RCラーメン橋	山陽新幹線 第1野間高架橋 ジャッキアップ･再構築	柱部がせん断破壊し、橋軸直角方向へ倒壊した。 落下したｽﾗﾌﾞを再利用とし、当初の位置まで扛上し、基礎を調査した後破壊した柱を新設した。	JR西日本大阪建設工事事務所、"兵庫県南部地震～損傷構造物復旧マニュアル（新幹線編）"、平成7年2月10日 運輸省鉄道局、"よみがえる鉄道～阪神･淡路大震災鉄道復興の記録"、1996.5 鉄道総合研究所、"鉄道総建報告 別冊第4号"、1996.4	○

表－3.1.1(e)　兵庫県南部地震の事例一覧表

No.	分　類	対 象 部 位	路線名・橋梁名・工法名・調査法	概　要	参 考 文 献	備　考
57	本復旧工法	鋼製橋脚	阪神高速道路 補修･補強	鋼製橋脚は、その損傷度に応じ復旧を行った。縦リブの塑性変形を伴う損傷に対しては、損傷部位を輪切り状に切断・除去し新部材を溶接で接合した。リブ間パネルの変形は、加熱矯正、プレス矯正、新部材への取り替え等にて修復し、縦リブ、鋼板等で補強した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
58	本復旧工法	鋼製橋脚	阪神高速道路 明治地区 撤去･再構築･補修･補強	円形断面鋼製柱橋脚の中詰めコンクリート天端付近、板厚変化位置で座屈する被害が多く見られた。復旧は、損傷の大きい橋脚を再構築、小さい橋脚を補修・補強し行った。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
59	本復旧工法	鋼製橋脚	阪神高速道路 撤去･再構築	桁撤去後、1ブロック当たり20tf以下となるようガス切断し、大型トラッククレーンを用い撤去した。桁が存置される場合は、ベントにより桁受けし、ガス切断、撤去、搬出した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月	○
60	本復旧工法	基礎（杭）	市道灘浜住吉川線 高羽大橋 再構築	地盤の液状化により水平および鉛直に変位した。ＰＣ杭は2mm以上のひび割れ、コンクリートの脱落、ＰＣ鋼線・鉄筋の露出が見られた。ＰＣ杭の補修が不可能であるため、再構築を行った。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月	○
61	本復旧工法	基礎（杭）	阪神高速道路 補修･補強	基礎工はその損傷度に応じ、増し杭工法、地盤改良工法、杭頭注入工法の復旧工法を採用した。	阪神高速道路公団、「震災を乗り越えて－震災復旧工事誌－」、平成9年9月 岩崎、江川、"阪神高速道路5号湾岸線の橋脚基礎の復旧"　基礎工1996.9 松井、"土木構造物基礎の復旧･補強と今後への課題、提言"　基礎工1996.10	○
62	本復旧工法	基礎（杭、ケーソン）	市道御影浜町2号線 御影大橋 補修･補強	上部工桁端、支承、アンカーボルト付近の横桁が損傷した。基礎工の水平移動、沈下、ひび割れが発生した。復旧は、基礎工の撤去が不可能であるため、ケーソン基礎は大口径ボーリングによるうち抜きを行い杭基礎を構築した。杭基礎は増し杭により補強した。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月	○
63	本復旧工法	基礎（杭） 地盤（改良）	神戸新交通ポートアイランド線 増杭、地盤改良	主な損傷は、橋脚の傾斜と場所打ち杭のクラックであった。復旧は、場所打ち杭による増し杭補強工法を基本とするが、周辺状況によりこれが不可能な場合は、コラムジェットにより地盤改良し直接基礎とした。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月 白川、小林、"阪神･淡路大震災における神戸新交通ポートアイランド線の復旧について"　阪神･淡路大震災に関する学術講演論文集	○
64	本復旧工法	基礎（ケーソン）　地盤（改良）	市道魚崎浜町6号線 東魚崎大橋 増杭、鋼管矢板基礎、地盤改良	中央径間ケーソン基礎が変位したため、橋台竪壁、パラペットのせん断破壊が生じた。復旧は、上部構造を連続化し、橋台、橋脚はすべて再構築した。橋脚ケーソン基礎の外周に鋼管井筒を構築し、井筒外周の地盤を深層混合処理工法により改良した。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月 山崎、"神戸市における道路橋基礎の被害と復旧"　基礎工1996.9	○
65	本復旧工法	基礎（ケーソン）　地盤（改良）	神戸ハーバーウエイ 神戸大橋 地盤改良	上下部工部材の損傷はほとんど無かったが、ケーソン基礎が水平移動及び沈下した。液状化した地盤では、ケーソン基礎の安定が確保されないため、グラベルドレーン工法を主体に地盤改良を行った。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月	○
66	本復旧工法	基礎（構造変更 直接→杭）	神戸新交通ポートアイランド線 新港第四突堤内 撤去、再構築	各部材に重大な損傷はなかったが、支持層である捨て石層が移動したため、橋梁全体が西に最大3.8°傾斜した。復旧は、既設直接基礎を撤去しＮ値50以上の砂礫層を支持層とする杭基礎を再構築した。	総合土木研究所、基礎工、Vol.24、NO9、平成8年9月 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、阪神・淡路大震災調査報告、平成8年12月	○
67	本復旧工法	基礎（構造変更 杭→直接）	神戸ハーバーウエイ 増杭、地盤改良	陸上部の被害はほとんど無かったが、多くの杭基礎にはひび割れ等の被害があった。復旧は、増し杭を基本とし、周辺状況によりこれが不可能な場合はコラムジェットによる地盤改良により直接基礎へと構造変更した。	地震に強い土木、土木が遭遇した阪神大震災　；共に日経ｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ編 岡下、小畠、"ハーバーハイウェイ基礎の増杭"　橋梁と基礎1996.8	○
68	本復旧工法	その他 （地下駅舎）	神戸高速鉄道 撤去、再構築	駅舎ボックスの中間柱が座屈破壊し、地表が100×30mの範囲で3m陥没した。復旧は、ボックス下床版を残し撤去し、再構築した。中柱は、鋼管にコンクリートを充填した構造とした。	地震に強い土木；日経ｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ編	○

緊急処置	上部構造(緊急撤去)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	湊川地区		

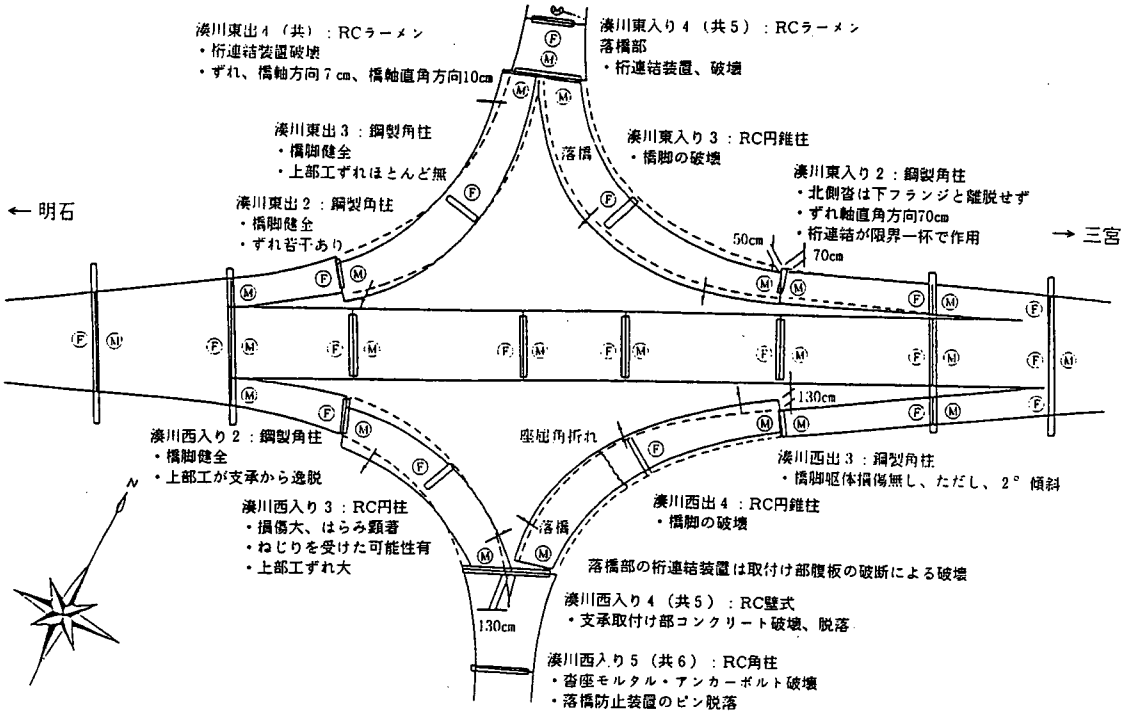
被災度		
	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

1．被災状況

（概要）

湊川ランプは、フルセットのランプであり、４本の出入路とも、曲線部が２径間連続曲線鋼箱桁で、単純鋼Ｉ桁や、単純ＲＣ中空床版桁が隣接している。

地震により、東入りランプおよび西出ランプ部の２径間連続曲線鋼箱桁が落下した。これらの２橋とも、中間支点のＲＣ円錐柱橋脚の段落とし部で破壊していた。



湊川ランプ被害状況図



河川上に落下した橋桁（湊川西出G4）



RC円錐柱の被災

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　ー震災復旧工事誌ー」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法		
						平日交通量	休日交通量	DID区間
						台/12h	台/12h	

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（桁の緊急撤去）

落下した２橋のほか、損傷の著しい西行き入路の２径間連続曲線箱桁橋を含めた３橋が建設省により緊急撤去された。

落橋した桁はいずれも曲線桁（曲線半径Ｒ=45m）で、さらに国道２号に近接、２級河川湊川内への落橋、その上、西行き入路は河川沿いの生活道路（市道）に接して建設されているといった厳しい施工条件下にあった。このような施工条件の中で、無事撤去を完了した。

床版および高欄は、架設ベントにより鋼桁を仮受けし、騒音、振動を極力控える工法として選定したワイヤーソー、静的破砕機で撤去した。鋼製箱桁は大型クレーンおよびベントで支持した状態でガス切断し搬出した。

参考文献　；

緊急処置	上部構造（舗装）	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		中国自動車道	宝塚高架橋	ＲＣ中空床版	柱橋脚（３柱角），

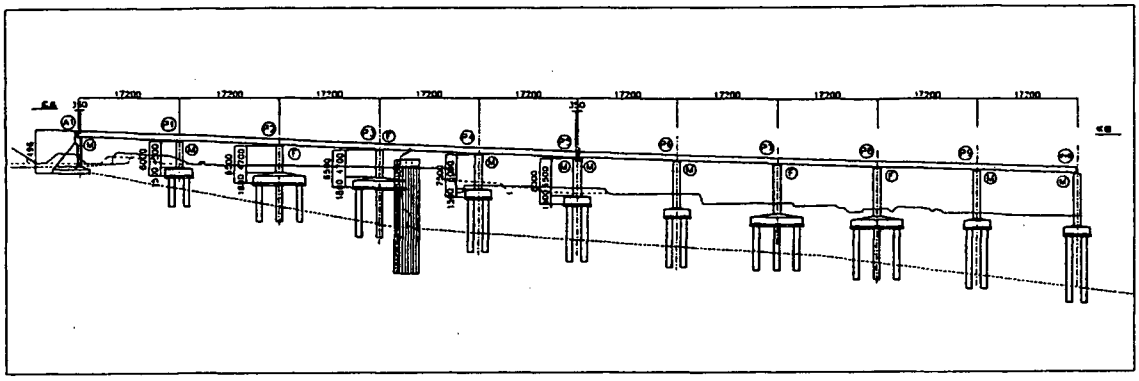
被災度		
	上部構造	A
	橋脚	大（A）
	基礎	軽微な亀裂
	支承	A

１．被災状況

（概要）

宝塚高架橋は、２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚ではメナーゼヒンジ、可動橋脚では１本ローラー支承を採用している。

下り線の被災状況は、固定橋脚でせん断破壊あるいは斜めひび割れが発生し、殆どの可動橋脚でローラーが脱落してストッパーと桁下面が接触して固定状態となり、曲げ破壊あるいは曲げひび割れが生じて大きく傾いている。上部工の沈下量は、で最大９ｃｍ程度であった。これは、上部工の沈下量に着目した被災度判定において「A」ランクである。舗装面には、縦横クラック、伸縮装置部の段差、橋台部の段差が生じている。



橋梁一般図

上部工の変形に着目した被災度判定表

被災度	定　　義
Ａｓ	・落橋
A	・ＲＣ橋において５ｃｍ以上の沈下が生じた連 ・直角方向に大きく変位した連
B	・ＲＣ橋において５ｃｍ未満の沈下が生じた連 ・Ｍｅ橋において過大な変形が生じた連
C	・沈下等の変形が生じたと想定される連（支承が逸脱）

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法事例 平日交通量	休日交通量	DID区間
杭基礎	ローラー支承			道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	路面段差補修
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

⑦

2．復旧工法

（目的）

緊急車両の通行確保を目的とし、路面の損傷状況に応じて初期段階の復旧を行う。

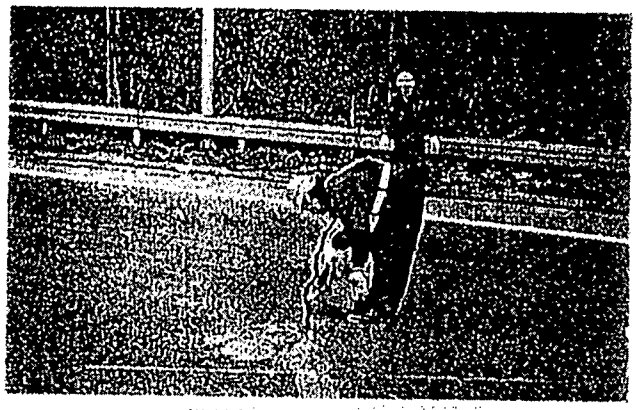
（概要）

路面損傷状況（縦横クラック、伸縮装置部の段差、橋台部の段差）に応じて、下表のような路面補修を行い、緊急車両を通行させた。

初期の路面補修

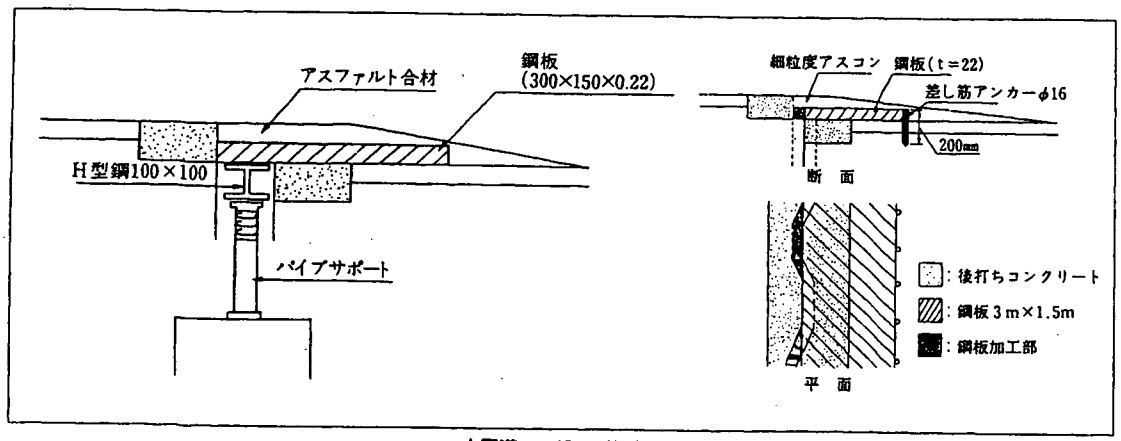
損傷の種類	初期段階の路面復旧
縦横クラック	ゴムアスファルト系のシール材を充填。大きなクラックはモルタルを注入。
伸縮装置部の段差（下り線）	アスファルト合材と鋼板（t=22mm）を使用し、1/30ですり付け。
橋台部の段差	すり付け端部の切削を行った上、アスファルト合材により1/500ですり付け。

（縦横クラックの補修）



横断クラック（モルタル詰め）

（伸縮装置部の段差の補修）



中国道：ステージにおける工法

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

緊急処置	支　承	路線名 名神高速道路 中国自動車道	橋梁名 ――	上部構造形式	下部構造形式

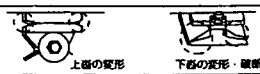
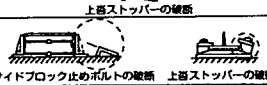
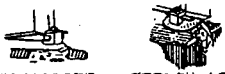
被災度	上部構造 橋　脚 基　礎 支　承	

1．被災状況

（概要）

兵庫県南部地震では、日本道路公団の被害の大きい高速道路（名神高速道路、中国自動車道）の全支承のうち、取替を必要とする損傷ランク「A」（大被害）が２９%、一部取替を必要とする損傷ランク「B」（中被害）１２%あり、「A」「B」ランクの損傷は、合計で支承全体の４０%以上となった。また、鋼製支承、特に１本ローラ、ベアリングプレートの損傷度が大かった。大きな損傷を受けた支承には、２次災害防止のための緊急復旧が必要となった。

支承部の被災判定表

	C：小被害	B：中被害	A：大被害
上沓・下沓の鋳物部	 上沓の変形　下沓の変形・破断		
セットボルト	 セットボルトの曲み	 セットボルトの破断	 セットボルトの破断やソールプレート、ボス部の被害
ローラー	 ローラーの抜け出し	 ローラーの抜け出し	
ピンおよびピンキャップ	 ピンキャップの抜出し	 ピンの切断	
上沓ストッパー	 上沓ストッパーのきれつ	 上沓ストッパーの破断	
サイドブロック	 サイドブロックの変形　下沓ストッパーのきれつ	 サイドブロック止めボルトの破断　上沓ストッパーの破断	
アンカーボルト	 1cm以下 アンカーボルトの抜出し	 1cm以上 アンカーボルトの抜け出し（1cm以上）	 アンカーボルトの破断
沓座モルタルおよび沓座コンクリート	 沓座モルタルのきれつ　沓座コンクリートのきれつ	 沓座モルタルの破壊　沓座コンクリートの破壊	 沓座コンクリートの破壊

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

復旧工法	部材による支保
通行規制	
工　期	
工　費	

8

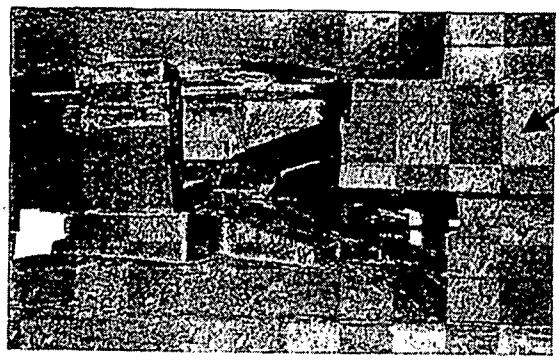
2．復旧工法

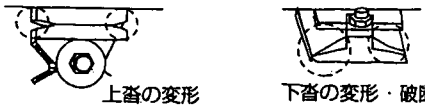
（目的）

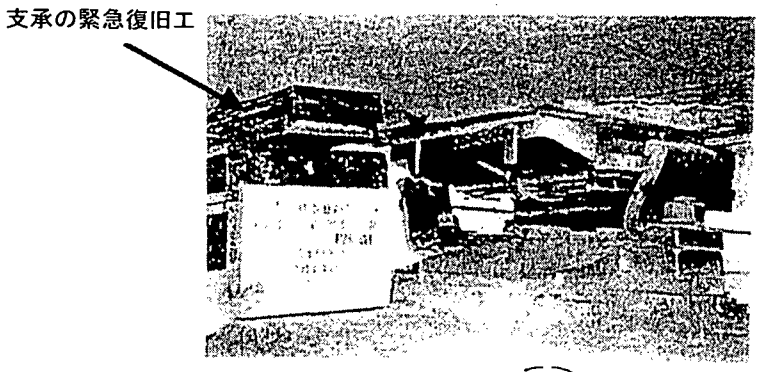
被害の大きい支承を支保し、２次災害を防ぐ。

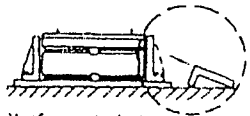
（概要）

支持機能を失った支承に隣接して木材や鋼材を設置し、緊急に損傷の進展を防止した。









サイドブロック止めボルトの破断

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

緊急処置	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		中国自動車道	宝塚高架橋	ＲＣ中空床版	柱橋脚（３柱角）

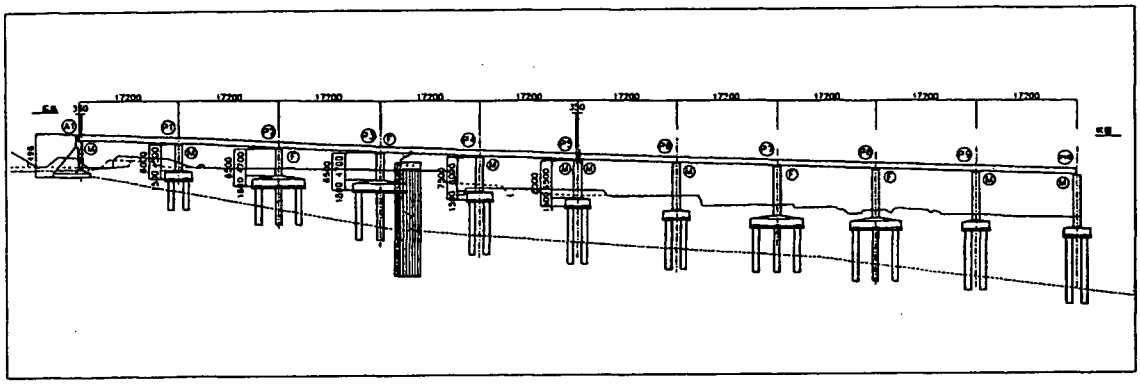
被災度		
	上部構造	A
	橋　脚	大（A）
	基　礎	軽微な亀裂
	支　承	A

1．被災状況

（概要）

宝塚高架橋は、２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚ではメナーゼヒンジ、可動橋脚では１本ローラー支承を採用している。

下り線の被災状況は、固定橋脚でせん断破壊あるいは斜めひび割れが発生し、殆どの可動橋脚でローラーが脱落してストッパーと桁下面が接触して固定状態となり、曲げ破壊あるいは曲げひび割れが生じて大きく傾いている。上部工の沈下量は、で最大９ｃｍ程度であった。これは、上部工の沈下量に着目した被災度判定において「A」ランクである。



橋梁一般図

上部工の変形に着目した被災度判定表

被災度	定　　義
Ａｓ	・落橋
A	・ＲＣ橋において５ｃｍ以上の沈下が生じた連 ・直角方向に大きく変位した連
B	・ＲＣ橋において５ｃｍ未満の沈下が生じた連 ・Ｍｅ橋において過大な変形が生じた連
C	・沈下等の変形が生じたと想定される連（支承が逸脱）

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法事例 平日交通量	休日交通量	DID区間
杭基礎	ローラー支承			道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	支保工による仮受け
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

(9)

2．復旧工法

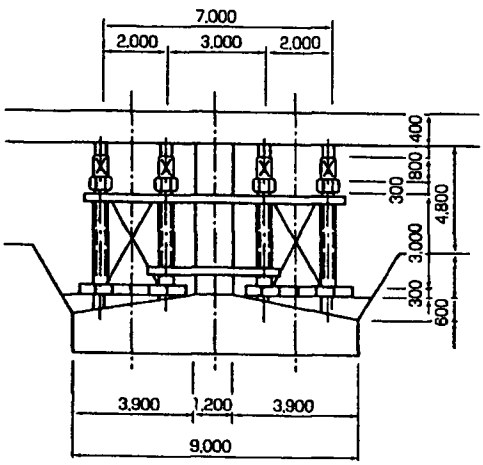
（目的）

下り線において、上部工の被災度は「A」ランクであるが、約１週間で緊急車両の通行を可能にする。

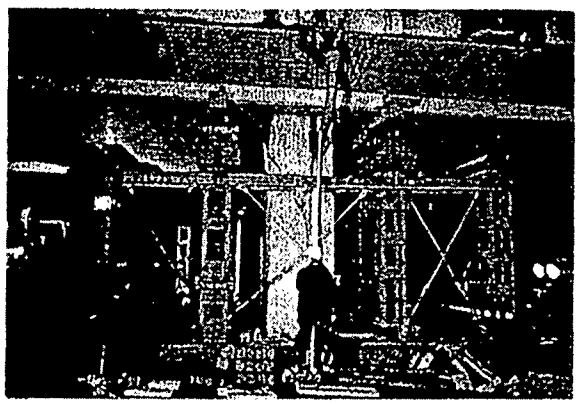
（概要）

せん断破壊によって耐荷力が期待できないと判断した橋脚、および大きく傾いた橋脚では、支保工を両側に組んで仮受けし、沈下した上部工をジャッキによって持ち上げた。また、ジョイント部の上部工の段差は緊急の路面補修を施して、緊急車両を支保工による仮受けの状態で通行させている。

支保工図



状況写真



参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

緊急処置	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	大西高架橋	RC中空床版	RC壁式橋脚,

被災度		
	上部構造	A
	橋脚	大（A）
	基礎	被害なし
	支承	A

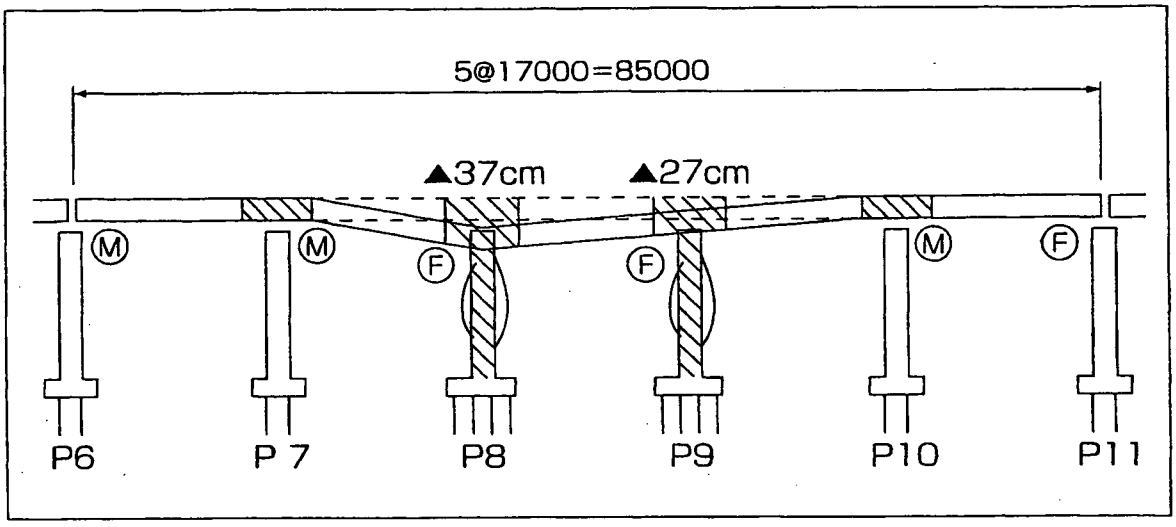
1．被災状況

（概要）

大西高架橋の橋梁形式は、２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚はメナーゼヒンジ、可動橋脚は橋軸方向にストッパーのないベアリングプレート支承が用いられている。

上り線では地震の揺れにより固定橋脚のせん断破壊や稼働橋脚の曲げひび割れが発生し、図のように上部工で最大４０ｃｍ近く沈下した。

特に固定橋脚となっている中間の２脚の損傷が大きく、写真のように橋軸方向鉄筋の段落し部のせん断破壊や、橋脚基部の曲げひび割れなどの損傷が発生した。また、橋脚頭部がせん断破壊しているものも見られた。



大西高架橋損傷状況

①被災状況



参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

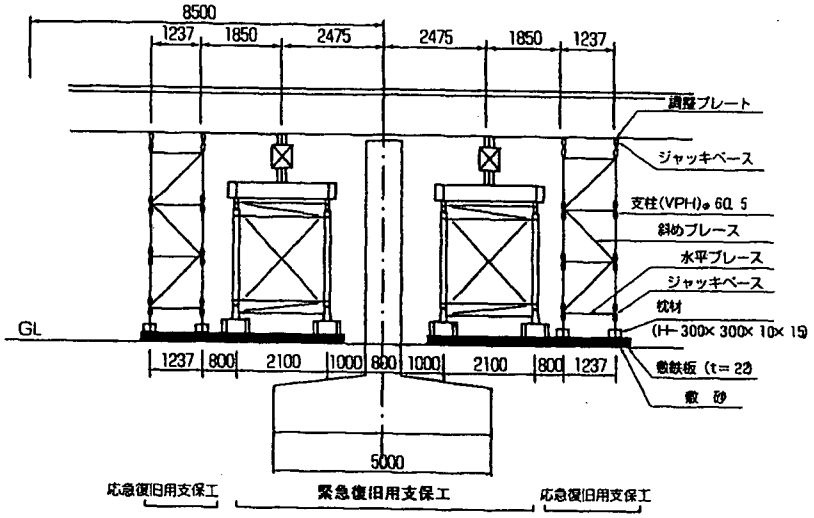
	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法事例 平日交通量	休日交通量	DID区間
杭基礎	ＢＰ支承			道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	支保工による仮受け
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

２．復旧工法

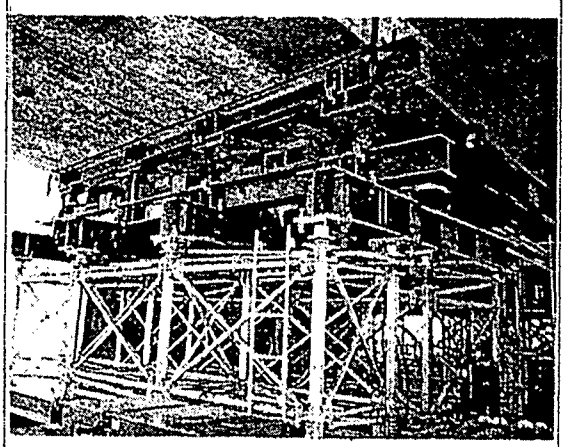
（目的）
被災した橋梁の２次災害を防止する。

（概要）
上り線でせん断破壊により耐荷力が期待できないと判断した固定橋脚では、支保工を両側に組んで仮受けを行った。また、緊急復旧時の車両通行に際しては、速度制限、重量制限、車間距離制限等の交通規制を実施した。鋼製支保工の設計水平深度は　ｋｈ＝0.2 を基本とする



支保工図

状況写真



参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

緊急処置	RC橋脚	路線名 名神高速道路	橋梁名 守部高架橋	上部構造形式 RC中空床版	下部構造形式 RC壁式橋脚

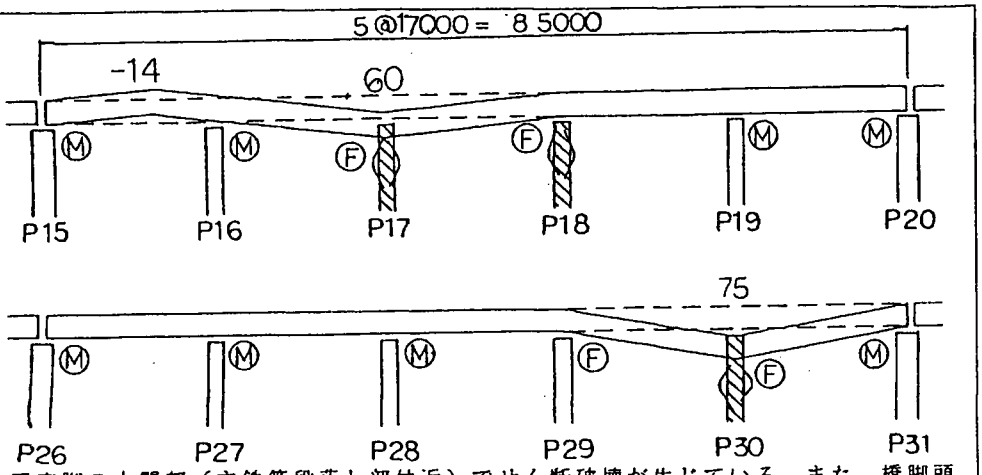
被災度	上部構造	A
	橋脚	大（A）
	基礎	損傷なし
	支承	A

1．被災状況

（概要）

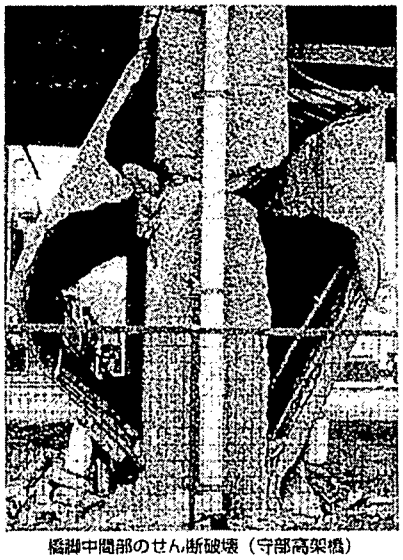
守部高架橋は、名神高速道路の尼崎ＩＣ以西の標準的な橋梁形式である２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚はメナーゼヒンジ、可動橋脚は橋軸方向にストッパーのないベアリングプレートが支承に用いられている。

上り線の被災状況は、固定橋脚のせん断破壊、及び可動橋脚の曲げひび割れが発生し、上部工が最大７０ｃｍ程度沈下している。



・固定脚の中間部（主鉄筋段落し部付近）でせん断破壊が生じている。また、橋脚頭部がせん断破壊しているものもある。
・可動橋脚の損傷は軽微である。（沓はＢＰ沓）
・固定橋脚の破壊により上部工が変状しており、大きい箇所では75㎝のさがりとなっている。また、橋面の変状は区間によって発生程度が異なっており、上り線の変状が多い。

損傷状況



橋脚中間部のせん断破壊（守部高架橋）

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
土木学会ほか　「阪神・淡路大震災調査報告　土木構造物の被害・橋梁」，1996年12月10日

復旧工法事例								
杭基礎	支承形式 BPA	設計示方書	施工年	交差状況 道路上	迂回路	平日交通量 台/12h	休日交通量 台/12h	DID区間

(11)

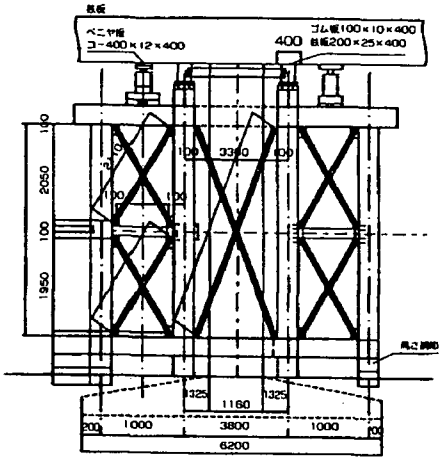
復旧工法	支保工による仮受け
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

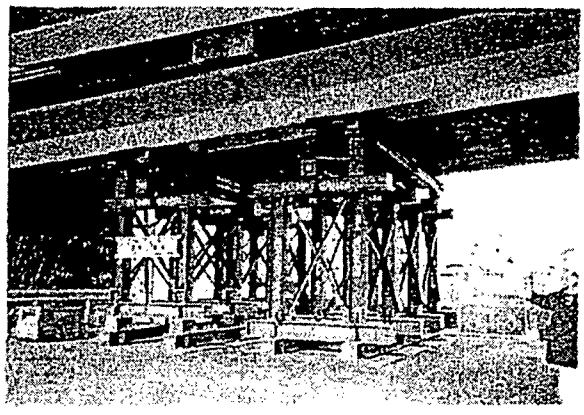
2．復旧工法

（目的）
被災した橋梁の２次災害を防止する。

（概要）
せん断破壊により耐荷力が期待できないと判断した固定橋脚では、支保工を両側に組んで仮受けを行った。上部工の沈下量が大きかった上り線は、緊急車両を通行させず、緊急復旧後すぐに被害の大きかった橋脚を撤去、再構築する応急復旧に移行した。

支保工図





状況写真

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

緊急処置	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	神崎高架橋	RC中空床版	RC壁式ﾗｰﾒﾝ橋台，ﾛｯｷﾝｸﾞ橋脚，

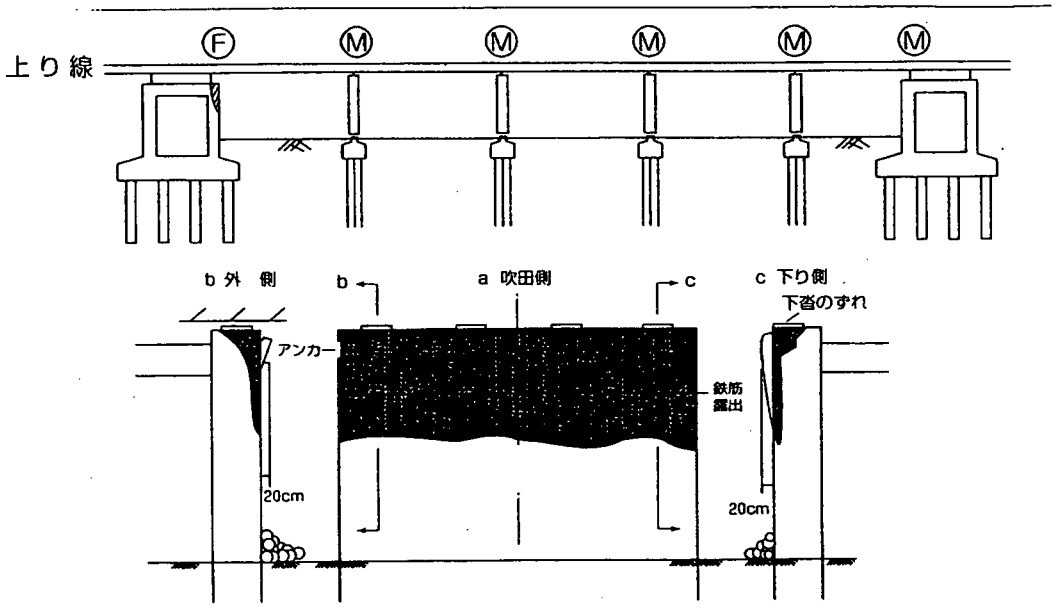
被災度	上部構造	C
	橋脚	大（A）
	基礎	
	支承	A

1．被災状況

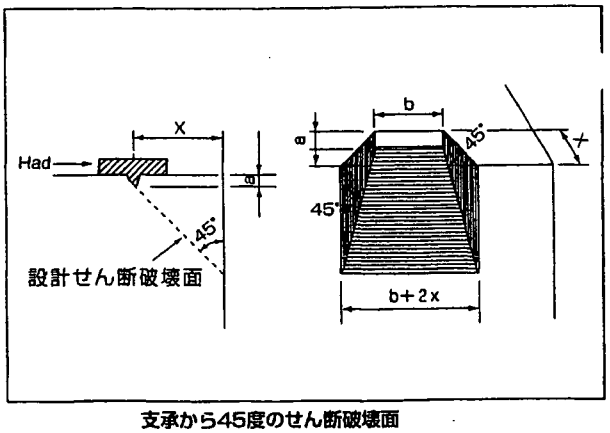
（概要）

神崎高架橋は名神高速道路の尼崎ＩＣ以東の標準的な橋梁形式であるＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚が橋軸方向にラーメン形式、直角方向が壁式、中間橋脚は上下端にメナーゼヒンジを有するロッカー形式の移動橋脚となっている。

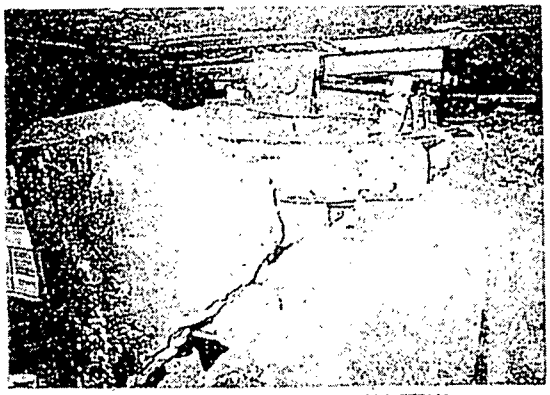
神崎高架橋では、固定橋脚にアンカーボルトから上部のせん断破壊が発生した。沓座コンクリート全面がせん断破壊し、支承が損傷しているものもある。これらは、橋脚のせん断耐力不足が原因であると考えられる。



神崎高架橋損傷状況



支承から45度のせん断破壊面



沓座コンクリートのせん断破壊
（神崎高架橋）

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法事例 平日交通量	休日交通量	DID区間
杭基礎	BPA , LB			道路上		台/12h	台/12h	

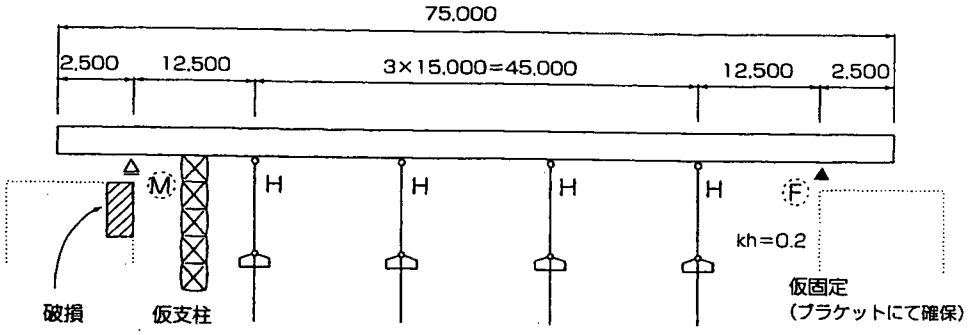
12

復旧工法	支保工による仮受け
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

2．復旧工法

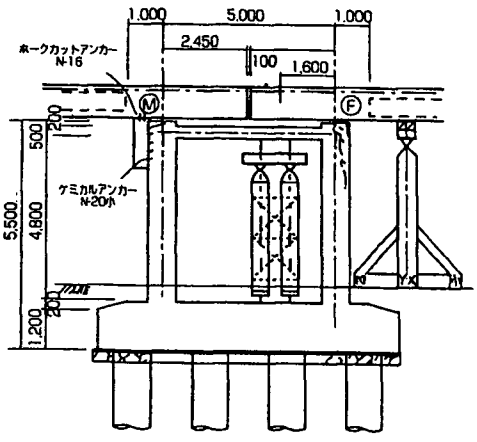
（目的）
被災した橋梁の２次災害を防止する。

（概要）
壁式ラーメン橋台の固定側柱頭部に損傷が集中しているため、損傷を受けた固定側に仮支柱を設置して上部工を支え、健全な可動側橋台に仮固定を設けて水平力に対応することにより緊急復旧した。仮固定用のアンカーの計算は、名神高速道路の水平震度ｋｈ = 0.2を確保した。

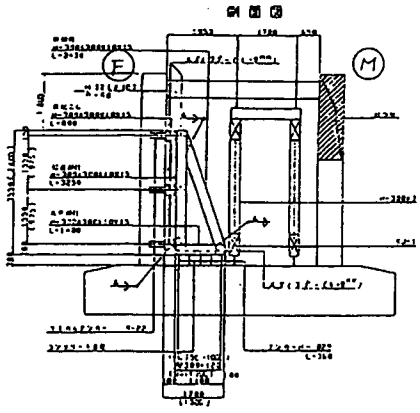


緊急復旧時

仮支柱設置状況（神崎高架橋）



支保工建て込み



仮　固　定

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

緊急処置	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	瓦木西高架橋	RC中空床版	RC壁式、ロッキング橋脚

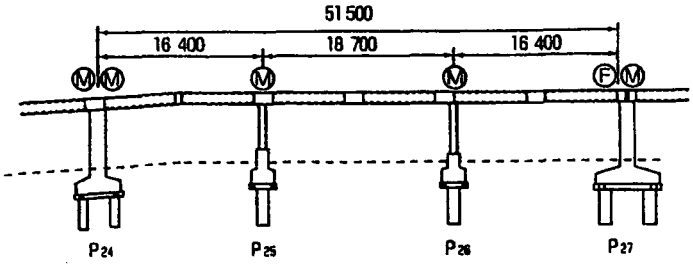
被災度		
	上部構造	C
	橋脚	中（B）
	基礎	損傷なし
	支承	A

1．被災状況

（概要）

瓦木西高架橋は上部構造がＲＣ連続中空床版、下部構造が壁式ＲＣ橋脚である。Ｐ２４～Ｐ２７径間は県道との交差のため５２°の斜角を有している。また、Ｐ２５、Ｐ２６橋脚は３本の円柱で構成されたロッキング橋脚である。支持条件はＰ２７固定橋脚の１脚固定でメナーゼヒンジ構造となっている。また、可動橋脚はＢＰ支承を用いている。

Ｐ２４～Ｐ２７径間下り線の被害状況は、上部工が被災度「C」ランクである。また、橋脚はＰ２４でせん断による損傷で中被害（Ｂ）であった。



瓦木西高架橋一般図

上部工の変形に着目した被災度判定表

被災度	定　　義
As	・落橋
A	・ＲＣ橋において５ｃｍ以上の沈下が生じた連 ・直角方向に大きく変位した連
B	・ＲＣ橋において５ｃｍ未満の沈下が生じた連 ・Ｍｅ橋において過大な変形が生じた連
C	・沈下等の変形が生じたと想定される連（支承が逸脱）

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法事例 平日交通量	休日交通量	DID区間
杭基礎	BPA , RPV			道路上		台/12h	台/12h	

13

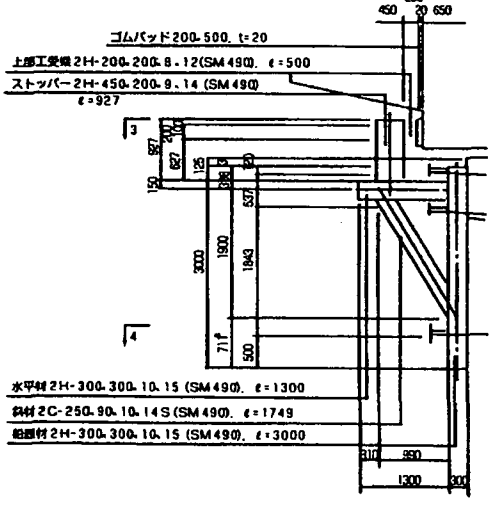
復旧工法	落橋防止装置の強化
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

2．復旧工法

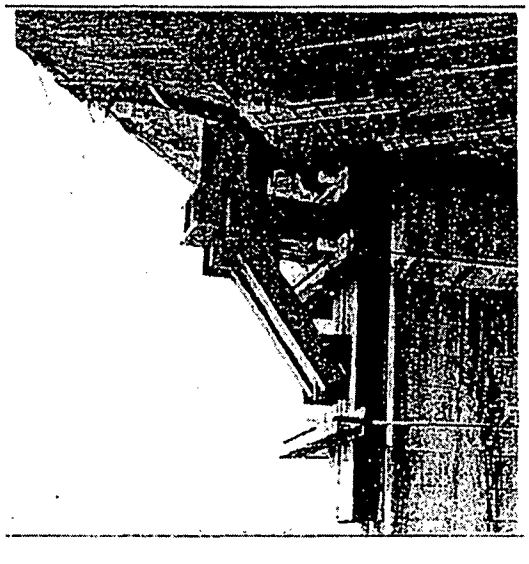
（目的）
被災した橋梁の２次災害を防止するとともに、下り線の緊急車両の通行を可能にする。

（概要）
上り線Ｐ２４～Ｐ２７間が落橋したため、残った下り線の落橋防止装置を強化した。また、緊急車両は下り線を走行した。

落橋防止装置の強化



状況写真



参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

安全性監視	上部構造	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		県道芦屋-鳴尾浜線	夙川橋		

被災度	
上部構造	
橋脚	
基礎	
支承	

桁変位自動監視システム

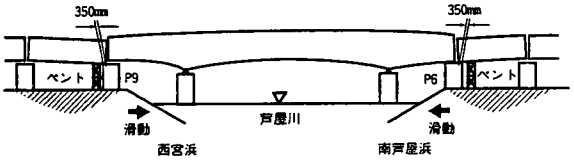
（被災状況）

阪神高速道路５号湾岸線の側道部。西宮浜と芦屋浜との間にかかる夙川橋（長さ675m、幅約11m）は、地震の影響で両川岸の橋脚（P9、P6）が川の中央に向かって互いに約１m滑動した。そのため左右の橋脚の上の桁が沓からはずれ、両側径間は桁かかり長が僅か350mm程度を残すだけとなるような被害を受けた。

本来ならば、直ちに通行止めされ、復旧工事が行われるべきであるが、周辺の道路が寸断されており、緊急物資の輸送ルートとして確保せざるを得ない状況であった。そのため、仮ベントを設け、路面の段差をなくす等の応急処置を施し、残された僅かな桁かかり長を、低価格で24時間連続して監視できる自動監視システムを導入することにより、暫定供用されることとなった。



写真－１　被災した夙川橋



図－１　現場の被災状況

（システム内容）

本システムは、現場の計測装置を事務所から遠隔操作し、その結果を事務所で確認するものである。このシステムは以下のサブシステムで構成される。

①計測システム
②警報システム
③通信システム
④確認システム

(1)計測システム

変位計測装置は、レーザースポットの重心位置を位置センサーで読み取る方式である。位置センサーの計測範囲は50mm×50mmで、計測誤差は0.02mmである。

位置センサーは橋脚に固定し、レーザー生成機は橋桁に取り付け、桁と橋脚の相対変位（橋軸方向の変位と鉛直変位）が計測できるようにした。

今回は、P6とP9の橋脚部にそれぞれ設置した。

(2)警報システム

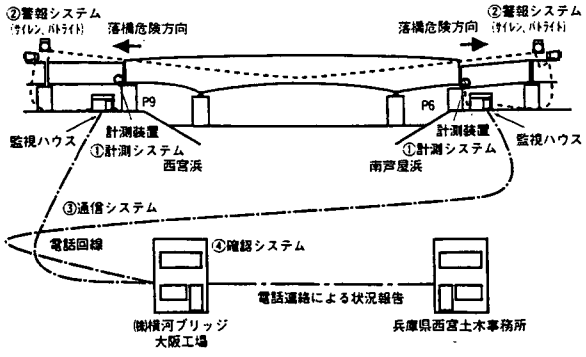
計測システムによって得られたデータを直ちに分析し、異常であるか否かを判断する。もし異常が発生した場合は、本橋の入り口に設置されたパトライトとサイレンを作動させ、通行止めを行う。パトライトとサイレンは、上下線の２カ所の入り口に設置し、これらが同時に作用するようにした。

(3)通信システム

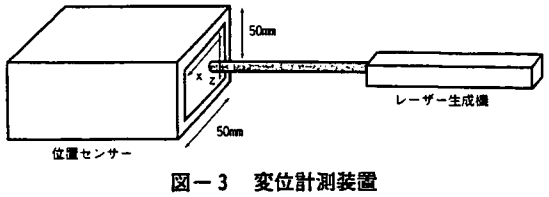
このシステムは、事務所と現場のﾊﾟｿｺﾝを電話回線で結び、計測装置の制御とその計測データの転送、さらに警報装置の制御を行うものである。

(4)確認システム

本システムでは事務所において、転送されたデータを直ちに確認し、異常の有無を判断するものであり、異常が確認された場合にはビープ音でその状態を知らせる仕組みになっている。



図－２　システムの概要



図－３　変位計測装置

参考文献　：　横河ブリッジ技報 No.26，平成９年１月
日経コンストラクション1-26，平成８年１月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法		
						平日交通量	休日交通量	DID区間
						台/12h	台/12h	

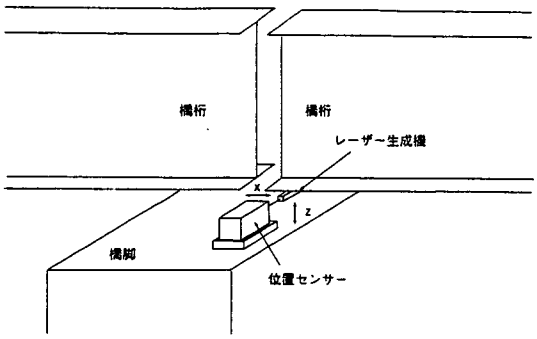
復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

18

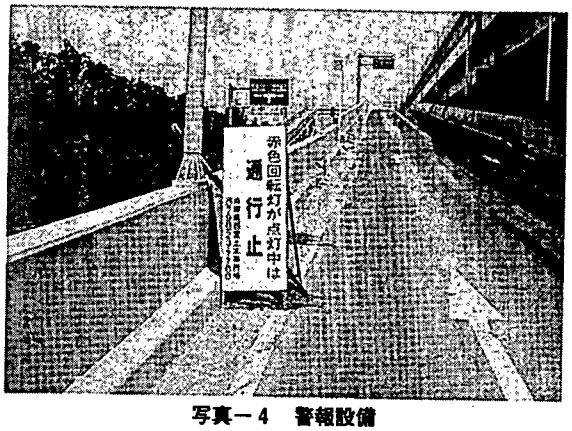
（危険度とその対応策）

今回の監視では、危険度を次の３クラスに定義した。

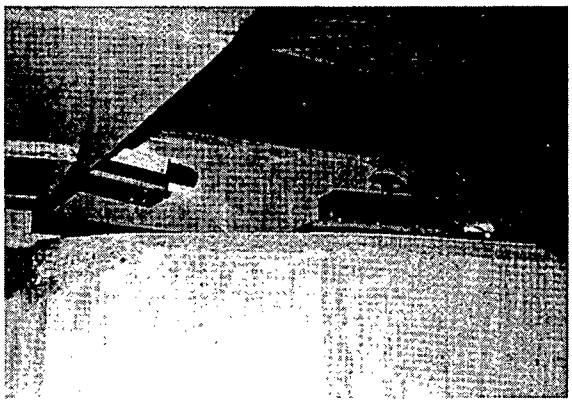
①クラス０：異常がないので計測を続ける段階
②クラス１：危険状態になる恐れがあるので現場点検を必要とする段階
③クラス２：危険状態になったので、通行止めを行うと同時に現場の対応にあたる段階



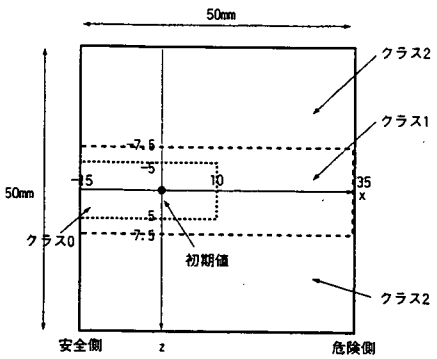
図－４　計測装置の取り付け方法



写真－４　警報設備



写真－２　計測装置の設置状況



図－６　位置センサーの計測範囲と危険度の関係
（Ｐ６側の例）

表－１　危険度とその対応策

	内容	現場警報装置による警告方法	事務所での警告方法	担当者の行動
クラス0	異常なし			
クラス1	少し危険		ビープ音,少し危険の画面表示（30秒間）	西宮土木職員及び横河ブリッジ社員が現場へ出動
クラス2	危　険	パトライト＋サイレン（継続）	ビープ音,異常事態発生の画面表示（継続）	西宮土木職員及び横河ブリッジ社員が現場へ出動

参考文献　；

安全性確認試験

調査対象部位	場所打ち杭	調査方法の名称	スタナミック試験
調 査 目 的	杭の支持力確認		

(概　　要)

・杭の鉛直支持力を確認するものである。

・杭頭に載せた反力マスを特殊な推進剤の燃焼ガス圧力により打ち上げ、その慣性反力を杭頭に載荷し、杭頭の荷重・変位・速度・加速度を時系列に測り、沈下曲線を描いた結果、杭の支持力を計算する。

(特　　徴)

・反力杭が必要ないため、試験を行うための場所をあまりとらない。

・静的載荷試験と動的載荷試験の中間的な特徴を持ち、動的載荷試験に比べ載荷時間が長く、静的試験に比べ再加速度が大きい。

・段取り・試験時間が短く、現場の拘束時間が短い。

(使用器機)

・ピストン、消音装置、反力マス、レーザー変位形、燃焼ガス

(適用事例)

・阪神高速道路公団３号神戸線芦屋入路

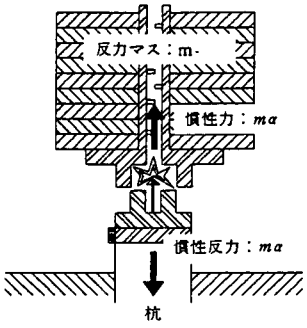


図-2　スタナミック試験載荷原理

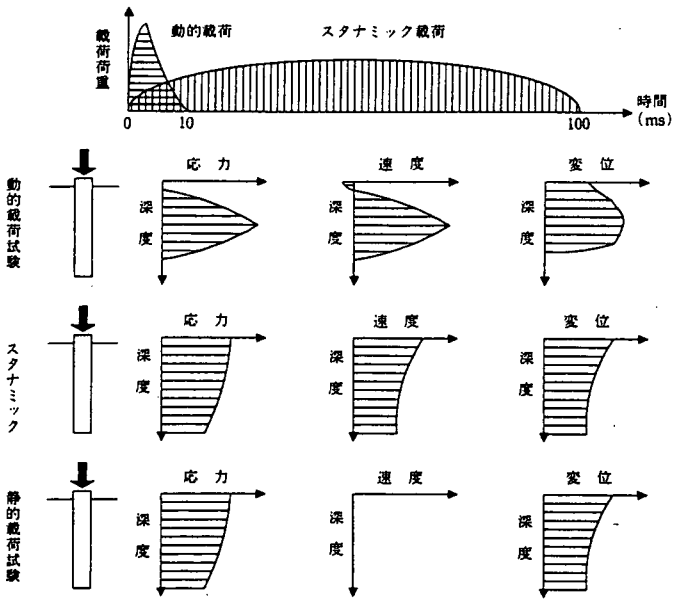


図-3　載荷試験時の杭挙動の比較

参考文献	総合土木研究所，基礎工，Vol.24，NO9，平成８年９月 日経コンストラクション 1-26，平成８年１月

適　　用　　事　　例

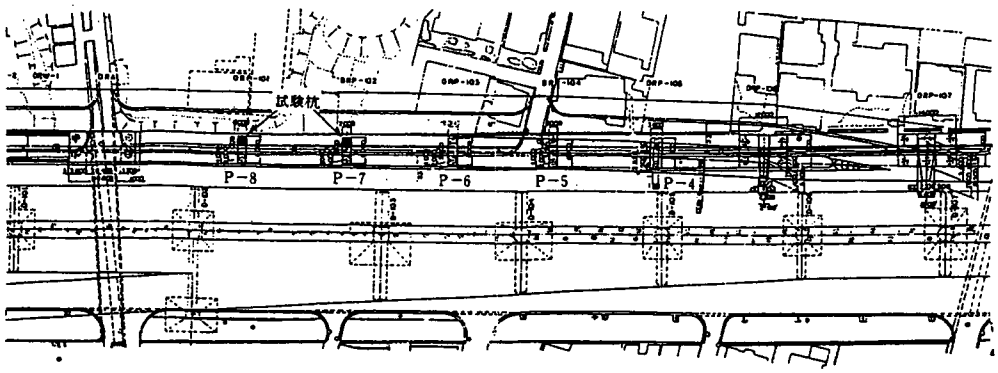


図-1　阪神高速芦屋入路平面

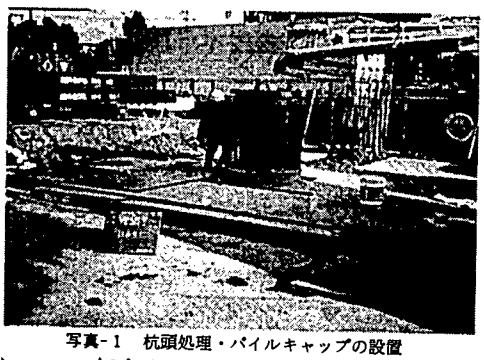


写真-1　杭頭処理・パイルキャップの設置

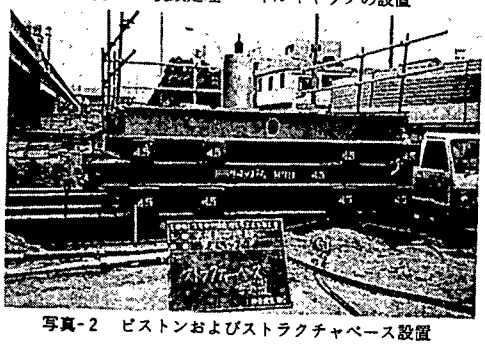


写真-2　ピストンおよびストラクチャベース設置

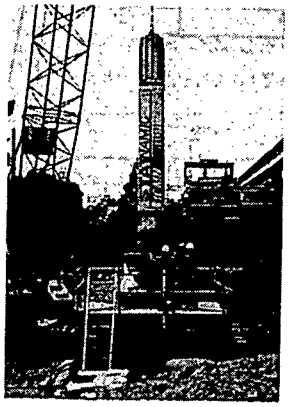


写真-3　サイレンサーの設置

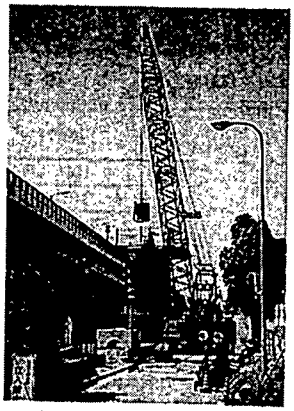


写真-4　グラベルシェルの設置・砂利投入



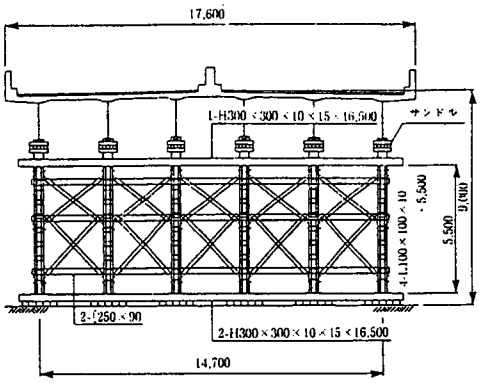
写真-5　載荷試験

連絡先	

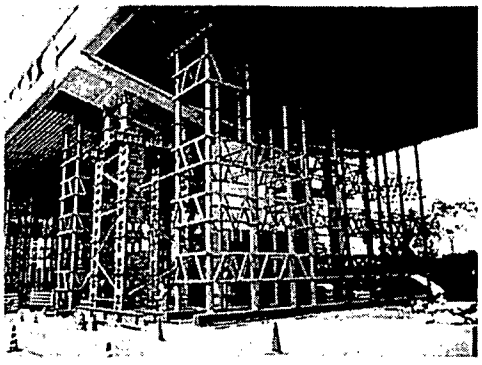
応急処置	上部構造二次災害防止対策	路線名
		阪神高速道路

（概要）

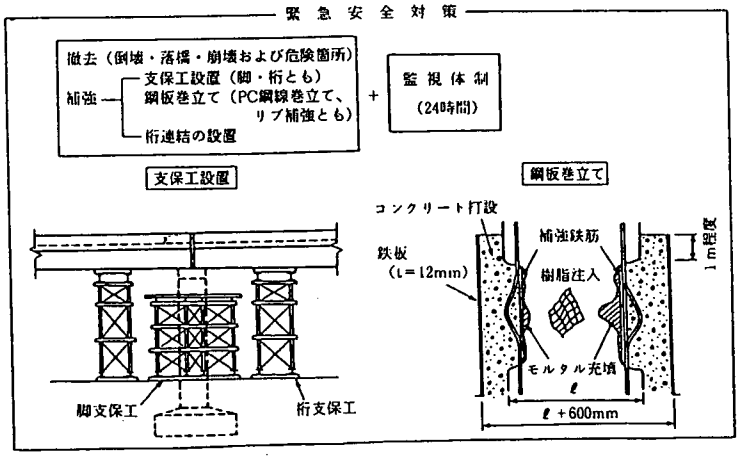
損傷の著しい構造物に対しては、緊急ベントおよび緊急橋脚補強が実施されたが、As、Aランクと判定されたがすぐに撤去できない橋脚を中心に、橋脚損傷部の補強に加え、桁受けベント、梁受けベントの３点セットによる二次災害防止対策を実施している。その後、対象を広げ Bランクの橋脚についても３点セットによる対策が実施されることになった。



桁受けベントの構造



脚梁受けベントの例



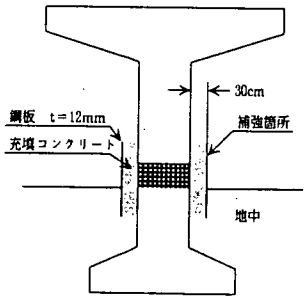
国道上の緊急安全対策

参考文献　：　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

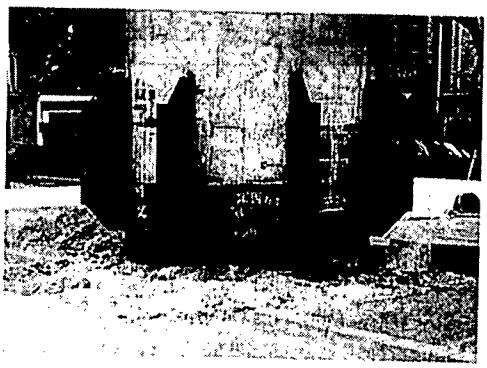
二次災害防止対策

項　目	実施数	備　考
桁受けベント	218箇所 (69)	
脚梁受けベント	253箇所 (23)	
RC橋脚補強	246基 (13)	鋼板巻立て、コンクリート巻立て、PC鋼線巻立て含む
鋼製橋脚補強	19基	

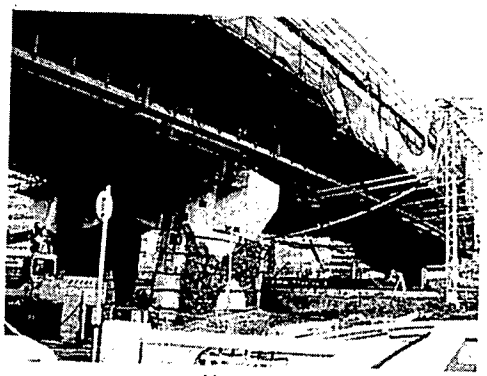
※（　）内は内書きで建設省施工分を示す。



RC橋脚応急補強構造



補強リブによる座屈部の応急対策



神P688橋脚の被災状況



神P688橋脚における緊急対策

応急処置	上部構造(舗装)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		中国自動車道	宝塚高架橋	RC中空床版	柱橋脚（3柱角），

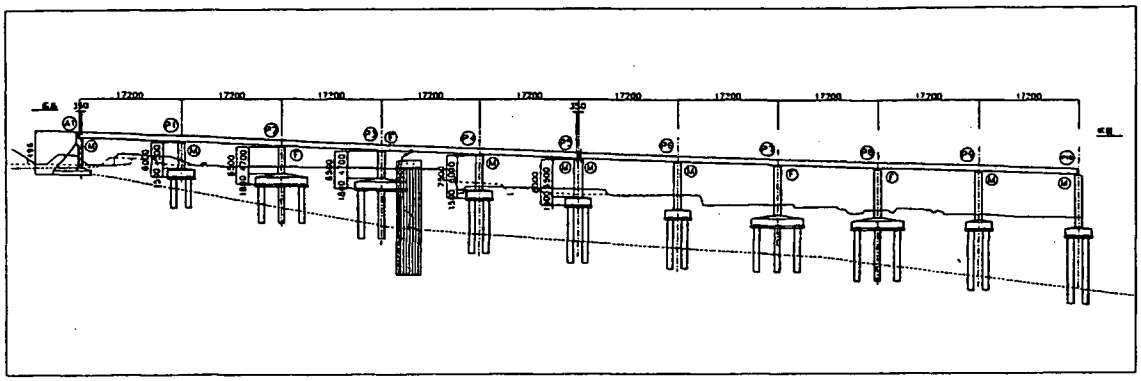
被災度		
	上部構造	A
	橋脚	大（A）
	基礎	軽微な亀裂
	支承	A

1．被災状況

（概要）

宝塚高架橋は、２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚ではメナーゼヒンジ、可動橋脚では１本ローラー支承を採用している。

下り線の被災状況は、固定橋脚でせん断破壊あるいは斜めひび割れが発生し、殆どの可動橋脚でローラーが脱落してストッパーと桁下面が接触して固定状態となり、曲げ破壊あるいは曲げひび割れが生じて大きく傾いている。上部工の沈下量は、で最大９ｃｍ程度であった。これは、上部工の沈下量に着目した被災度判定において「A」ランクである。舗装面には、縦横クラック、伸縮装置部の段差、橋台部の段差が生じている。



橋梁一般図

上部工の変形に着目した被災度判定表

被災度	定　　義
As	・落橋
A	・ＲＣ橋において５ｃｍ以上の沈下が生じた連 ・直角方向に大きく変位した連
B	・ＲＣ橋において５ｃｍ未満の沈下が生じた連 ・Ｍｅ橋において過大な変形が生じた連
C	・沈下等の変形が生じたと想定される連（支承が逸脱）

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法事例 平日交通量	休日交通量	DID区間
杭基礎	ローラー支承			道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	路面段差補修
通行規制	緊急車両のみ通行許可
工　期	
工　費	

2．復旧工法

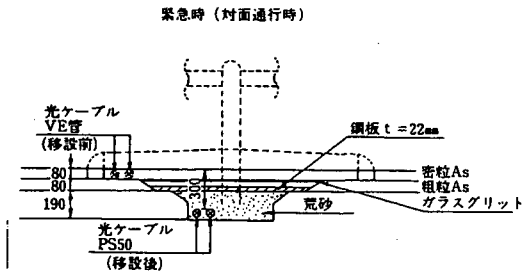
（目的）
一般車両の通行を目的とし、車両走行路面の補修を行う。

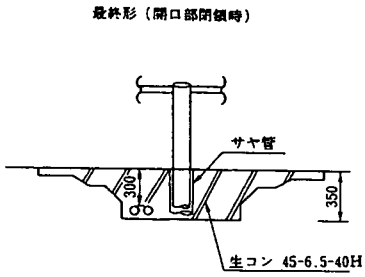
（概要）
宝塚高架橋の復旧計画では段階的に交通切り替えを行うため、この切り替えに応じて路面を復旧した。この復旧段階は６段階あり、第１段階は緊急復旧、第２段階以降は応急復旧に分類される。応急復旧では、対面通行を行うために、中央分離帯に開口部を設けたり、伸縮装置の応急復旧を行った。第５段階では、通行車両の実勢速度の上昇による周辺住民の振動および騒音の苦情に対応するため、振動の発生源である伸縮装置のダミー化、段差部の舗装すりつけ長の延長、地表面付近の振動の伝播を遮断するなどの措置を講じた。

中国自動車道の復旧計画

段階	復旧期間	上り線	下り線	供用の対象車両
1	1月23日～1月27日	橋梁復旧工事	（片側1車線確保） ①間欠交通規制 ②速度規制：20km/hr ③重量規制：20t	緊急物資輸送車
2	1月27日～2月1日		（対面2車線確保） ①間欠交通規制 ②速度規制：20km/hr ③重量規制：20t ④車間距離：20m	一般車両
3	2月1日～2月9日			
4	2月9日～2月12日	（対面2車線確保） ①間欠交通規制 ②速度規制：20km/hr･40km/hr ③重量規制：20t	橋梁復旧工事	
5	2月12日～7月21日	（分離4車線確保） ①速度規制：20km/hr･40km/hr ②重量規制：20t		
6	7月21日～	（6車線確保）		

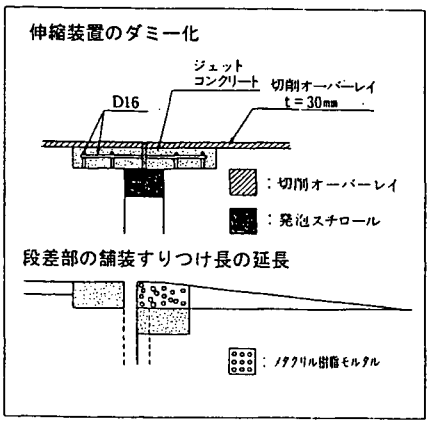
（対面通行のための中央分離帯の開口部）第２段階
対面通行を行うために、左図のように中央分離帯に開口部を２カ所設けて中央分離帯の段差修正を行った。また、対面通行から分離通行に移行した後に、右図のように開口部を閉鎖した。





（伸縮装置のダミー化）
（段差部の舗装すりつけ長の延長）
伸縮装置および段差部の段差を補修することで、交通振動の防振対策を行った。

第２段階～第５段階



中国道：ステージ２～５における工法

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

応急処置	上部構造(桁)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	大西高架橋	ＲＣ中空床版	ＲＣ壁式橋脚,

被災度		
	上部構造	A
	橋脚	大（A）
	基礎	被害なし
	支承	A

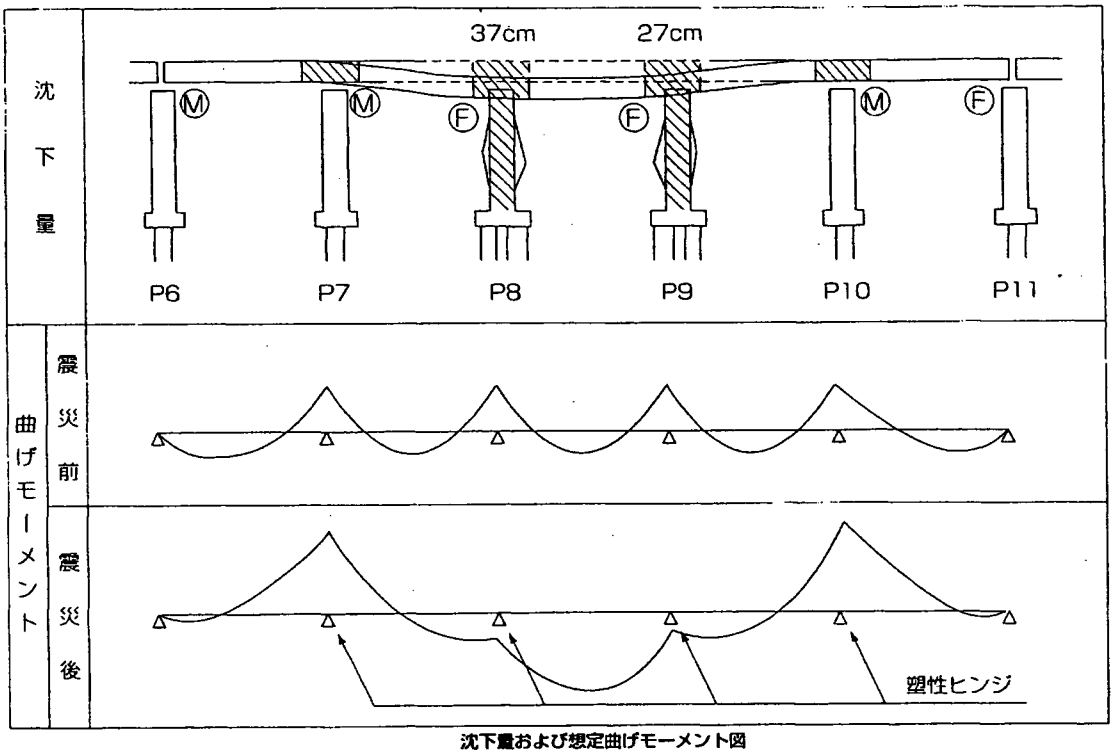
1．被災状況

（概要）

大西高架橋の橋梁形式は、２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚はメナーゼヒンジ、可動橋脚は橋軸方向にストッパーのないベアリングプレート支承が用いられている。

上り線では、地震の揺れにより固定橋脚のせん断破壊や稼働橋脚の曲げひび割れが発生し、図のように上部工で最大４０ｃｍ近く沈下した。

床版の引張鉄筋が降伏点に達しているものの、コンクリート部分は圧縮破壊までには至っておらず、桁に塑性ヒンジが形成されていると考えられる。



沈下量および想定曲げモーメント図

参考文献　：　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法事例 平日交通量 台/12h	休日交通量 台/12h	DID区間
杭基礎	ＢＰ支承			道路上				

復旧工法	補修・補強
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（目的）

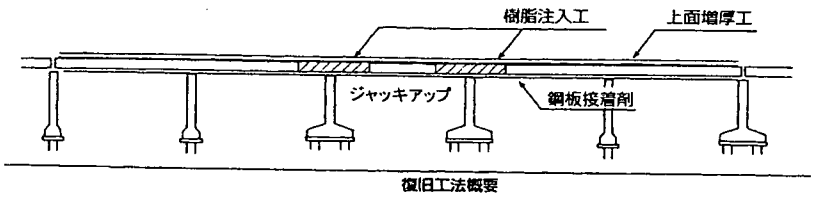
塑性ヒンジが形成された上部工に補修、補強を行い、一般車両の通行を可能にする。

（概要）

床版のコンクリートが圧縮破壊に達していないので、床版の支点沈下をジャッキアップして被災前の支点状態に復旧した後、クラック部分への樹脂注入、床版上面増厚および床版下面への鋼板接着による補修、補強を行えば十分な耐力の確保が可能であると判断した。また、下部工復旧後に常時微振動測定等の測定を実施し、床版の健全度を把握している。

（樹脂注入による補修）

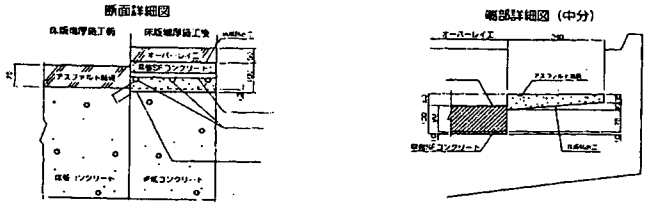
損傷が著しく、上部工のジャッキアップを行った径間ではひび割れ部分に樹脂注入による補修を行った。



復旧工法概要

（床版上面増厚）

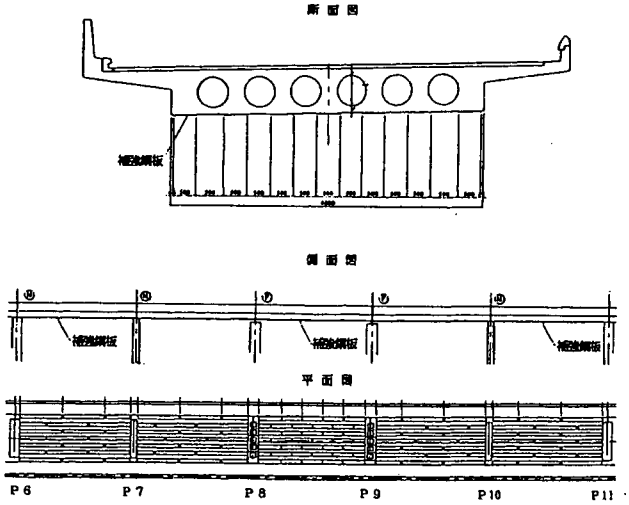
Ｐ７、Ｐ１０付近の床版の上側鉄筋は降伏に達しているため、上面増厚工により床版上面補強を行った。上面増厚工の設計にあたっては、施工段階別に各荷重条件の断面力を求め、合成応力度の照査を行い増厚部の必要鉄筋量を算出した。



床版増厚工詳細図

（下面鋼板接着工）

Ｐ８～Ｐ９径間下側の鉄筋が降伏に達しているため、鋼板接着工による床版下面補強を行った。設計にあたっては、床版上面増厚工時と同様に合成応力度の照査を行い必要な鋼板量を算出した。



鋼板接着概要図

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部、「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

応急処置	上部構造(桁)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	守部高架橋	ＲＣ中空床版	ＲＣ壁式橋脚

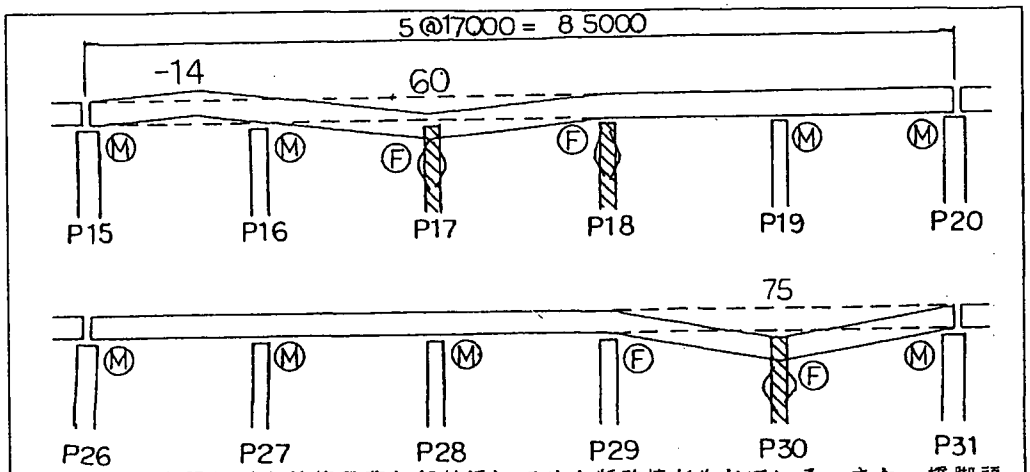
被災度		
	上部構造	A
	橋脚	大（A）
	基礎	損傷なし
	支承	A

1．被災状況

（概要）

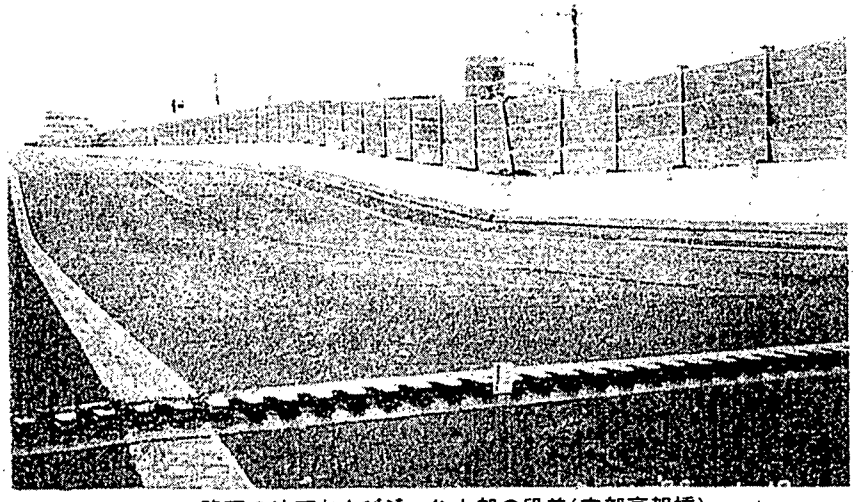
守部高架橋は、名神高速道路の尼崎ＩＣ以西の標準的な橋梁形式である２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚はメナーゼヒンジ、可動橋脚は橋軸方向にストッパーのないベアリングプレートが支承に用いられている。

上り線の被災状況は、固定橋脚のせん断破壊、及び可動橋脚の曲げひび割れが発生し、上部工が最大７０ｃｍ程度沈下している。



・固定脚の中間部（主鉄筋段落し部付近）でせん断破壊が生じている。また、橋脚頭部がせん断破壊しているものもある。
・可動橋脚の損傷は軽微である。（沓はＢＰ沓）
・固定橋脚の破壊により上部工が変状しており、大きい箇所では75㎝のさがりとなっている。また、橋面の変状は区間によって発生程度が異なっており、上り線の変状が多い。

損傷状況



路面の沈下およびジョイント部の段差(守部高架橋)

参考文献 ： 日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災 被害・復旧報告書」，平成１０年３月

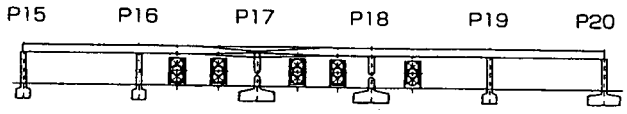
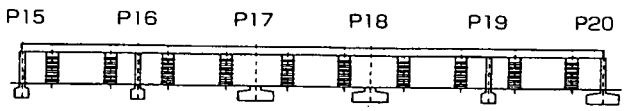
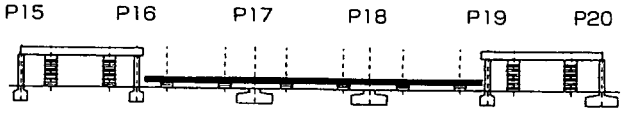
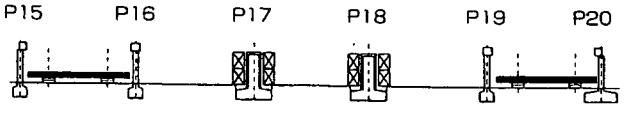
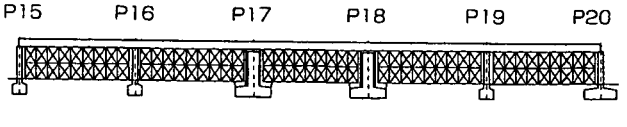
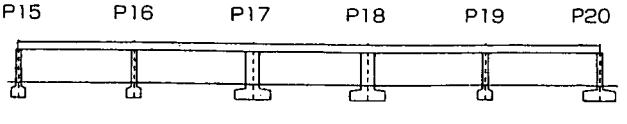
	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	平日交通量	休日交通量	DID区間
						復旧工法事例		
杭基礎	BPA			道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	撤去・再築
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（目的）
被災した上部工を再構築し、一般車両を通行させる。

（概要）
Ｐ１５～Ｐ２０間、Ｐ２８～Ｐ３１間の上り線は、沈下量が大きく、上部工の調査の結果から損傷が広範囲にわたることが確認されたため、上部工の再利用は難しいと判断した。このため、Ｐ１５～Ｐ２０間については全てを撤去・再構築、Ｐ２６～Ｐ３１間については部分的に撤去・再構築することとした。撤去にあたっては、近接した被災家屋への影響を考え、上部工をジャッキダウンし床版を小割りした上で撤去・搬出する方法を採用した。

区　分		施工ステップ図
5径間連続復旧	① 被災状況	
	② 下部直し はつり	
	③ ジャッキ ダウン	
	④ 橋脚復旧	
	⑤ スラブ 鉄筋組 型枠組	
	⑥ 完　成	

施工ステップ (P15~P20)

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局、「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

応急処置	上部構造(桁)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	武庫川橋	3径間連続鋼桁	小判形RC橋脚

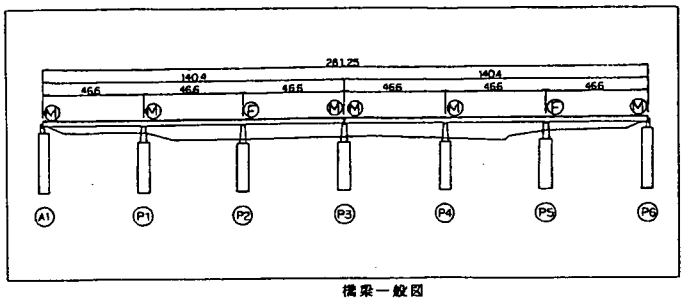
被災度		
	上部構造	B
	橋脚	中(B)
	基礎	
	支承	A

1．被災状況

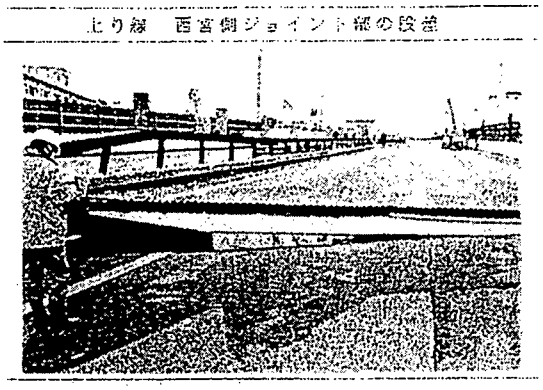
（概要）

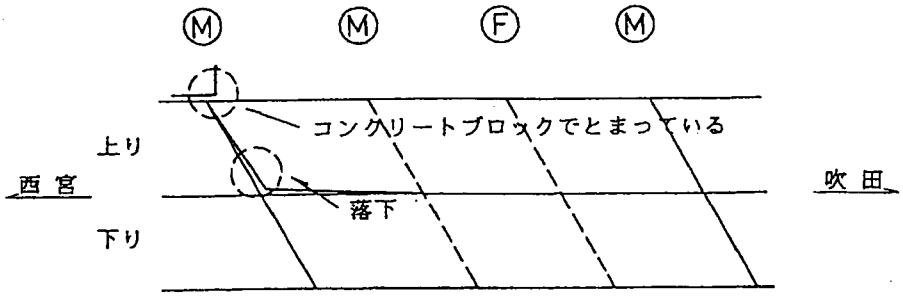
武庫川橋は、武庫川をわたる橋長２８１ｍで６６°の斜角を有する鋼３径間連続鋼桁橋である。支承条件は中間１橋脚固定となっており、固定橋脚にはピン支承、可動橋脚にはローラー支承が用いられている。

地震によって上り側のローラー支承（西宮側の桁端側）が破損したため、桁端部が沓座に落下し、橋脚の打ち継ぎ目部で水平方向にクラックが貫通する被害が生じた。



橋梁一般図





・落橋防止装置のアンカーボルトが破断している。
・図のように路肩側の主桁の移動がコンクリートブロックで止まり、中分側の主桁が支承からはずれて落下している。
・主桁端部の腹板等が損傷している。また、横溝・対傾構はねじりによると思われる変形が見られる。
・可動橋脚では、水平方向にひび割れが生じている。（ケーソンは健全）
・固定橋脚のケーソンが損傷を受けている。（脚はほぼ健全）

損傷状況

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

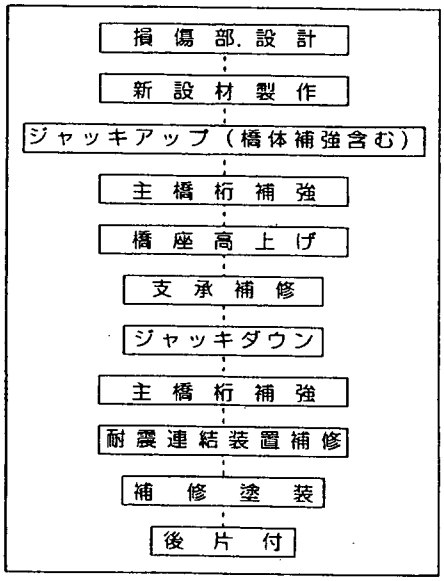
復旧工法事例								
支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	平日交通量	休日交通量	DID区間	
ケーソン基礎 PN，PNR			河川上		台/12h	台/12h		

復旧工法	一部取替え・補修・補強
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（目的）
一部鋼主桁に被害のある上部工を復旧し、一般車両の通行を可能にする。

（概要）
上部工の復旧フローチャートを下に示す。復旧は、河川管理用道路を迂回した上で、落橋した桁をジャッキによって持ち上げ、落下によって変形した桁を切断し新しい部材に取り替え、支承をＢＰ支承に取り替えた。桁の補修、補強の概要を表にまとめた。新部材に取り替えていない箇所では、桁の各部材の歪みを矯正、補強を行っている。



桁及び付属物の復旧手順

主桁及びその他部材の補修方法・補修箇所

補修名	補修箇所	補修部材	備　考
新設材入れ替え	上り線－A1－G1，G2，G3	主桁及び横桁の一部	新旧の取合はボルト接合
	上り線－A1～P2	横溝（１９本）	新旧の取合はボルト接合
歪み矯正	上り線－P1～G2	横桁	補強剤はボルト接合
部分補強	上り線－A2－G1，G2，G3	主桁ウェブ	補強剤はボルト接合
	上り線－A2	主桁垂直補剛材	溶接接合
歪み矯正	上り線－A2－G1，G2，G3	主桁端部上フランジ	
	上り線－A2－G1，G2	主桁ウェブ	

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

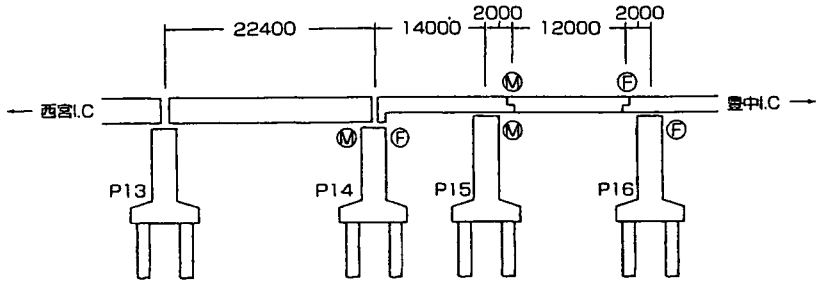
応急処置	上部構造(桁)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	西宮ＩＣ高架橋	ＰＣｹﾞﾙﾊﾞｰ，ＲＣ中空	柱橋脚，杭基礎

被災度		
	上部構造	C
	橋脚	中（B）
	基礎	
	支承	A

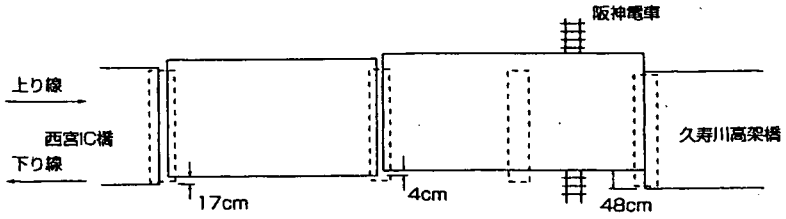
1．被災状況

（概要）

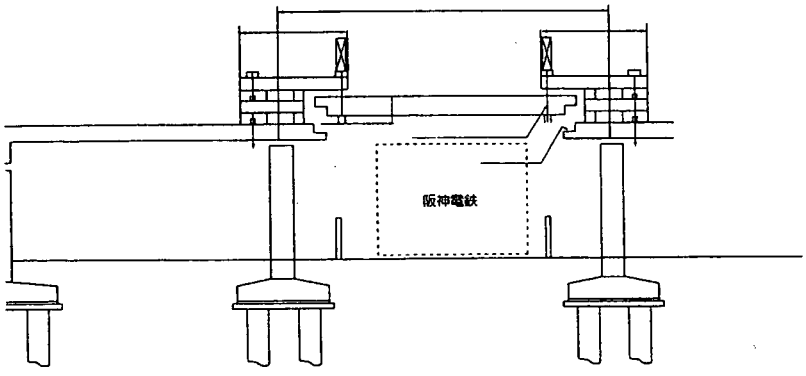
西宮ＩＣ橋は、単純張出し式ＲＣ床版とＲＣ４径間連続ラーメン橋の間に、ＰＣ桁がゲルバー形式で接続する構造となっている。このゲルバー桁が直角方向に約５０ｃｍ横移動している。これは、橋軸直角方向の地震力により、支承のストッパーが破断したためである。また、ゲルバー桁の移動に伴い、西宮側の受け桁にも移動が生じ、それを支持する橋脚の天端に損傷が発生した。ゲルバー桁のアンカーボルトと支承の健全度を確認するため、上部工をリフトアップして詳細な調査を行ったところ、国道４３号を横架する区間の中間支点に採用されているロッキングカラムの頭部で４ｃｍ程度の変位が確認された。



西宮IC高架橋一般図



西宮IC高架橋損傷状況



ゲルバー桁のジャッキアップ

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

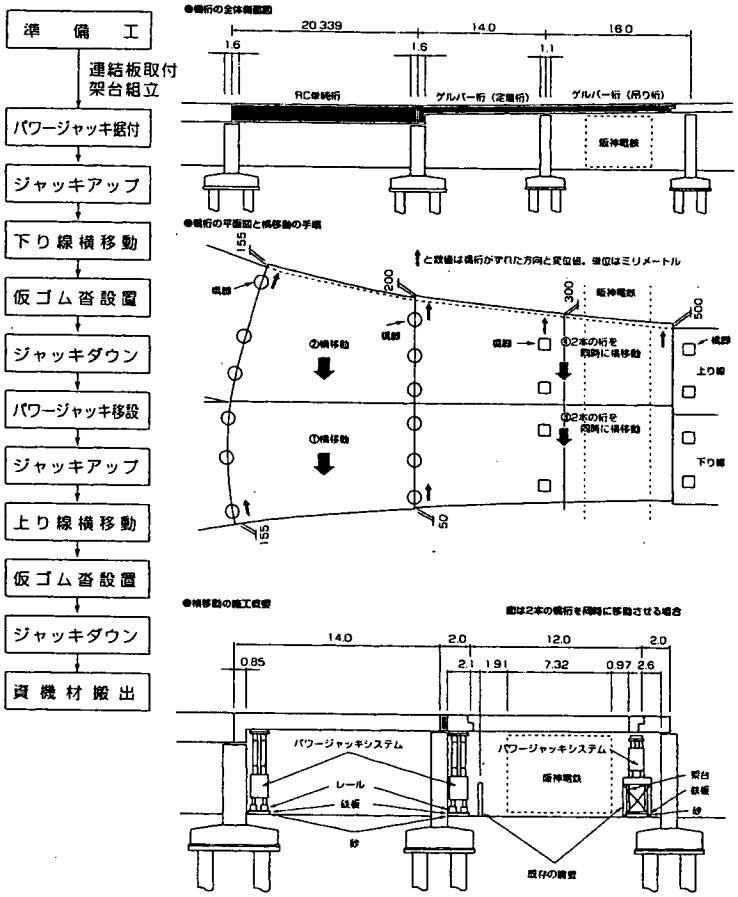
復旧工法事例						
支承形式	設計示方書　施工年	交差状況	迂回路	平日交通量	休日交通量	DID区間
BPA，PV		道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	桁位置修正
通行規制	片側対面規制
工　期	
工　費	

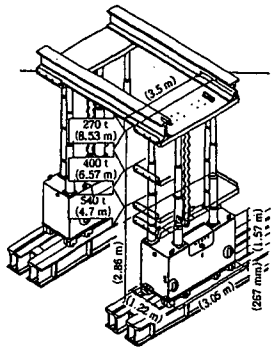
2．復旧工法

（目的）
橋軸直角方向にずれた桁を修正し、上下線の通行を可能にする。

（概要）
ゲルバー桁を含む３径間の単純桁は、横移動・回転していたため、各橋脚に反力架台を設置しパワージャッキにより桁をジャッキアップした後、滑り架台に反力を盛り換えて所定の位置に桁を横移動させた。横移動は片側対面規制により上下線を交互に実施した。



（パワージャッキシステム）
横移動に用いた装置は、工場棟で重量物の移動・設置に用いられるシステムで、ジャッキ１台で約３００ｔｆの重量物を載せ、ジャッキアップした状態であらかじめ敷設されたレール上を自走できるものである。



参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月
岡米男、中薗明広，「名神・中国道における被災橋梁の復旧時例」，橋梁と基礎１９９６年８月，ｐ６９

応急処置	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	大西高架橋	ＲＣ中空床版	ＲＣ壁式橋脚,

被災度		
	上部構造	A
	橋　脚	大（A）
	基　礎	被害なし
	支　承	A

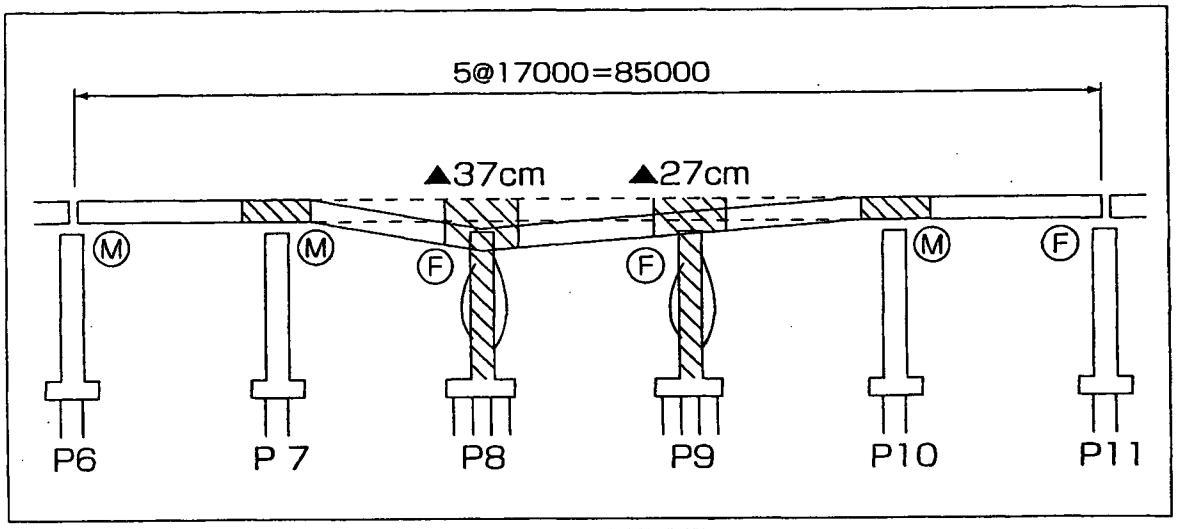
1．被災状況

（概要）

大西高架橋の橋梁形式は、２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚はメナーゼヒンジ、可動橋脚は橋軸方向にストッパーのないベアリングプレート支承が用いられている。

上り線は地震の揺れにより固定橋脚のせん断破壊や稼働橋脚の曲げひび割れが発生し、図のように上部工で最大４０ｃｍ近く沈下した。

特に固定橋脚となっている中間の２脚の損傷が大きく、写真のように橋軸方向鉄筋の段落し部のせん断破壊や、橋脚基部の曲げひび割れなどの損傷が発生した。また、橋脚頭部がせん断破壊しているものも見られた。



大西高架橋損傷状況

①被災状況



参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月

						復旧工法		A－1
	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	平日交通量	休日交通量	DID区間
杭基礎	ＢＰ支承			道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	撤去・再築
通行規制	通行止め
工　期	
工　費	

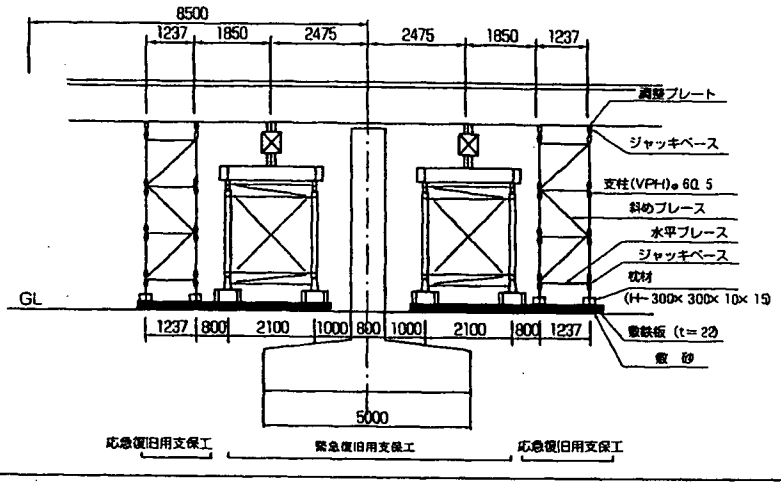
2．復旧工法

（目的）

一般車輌に上下線4車線通行で供用する。

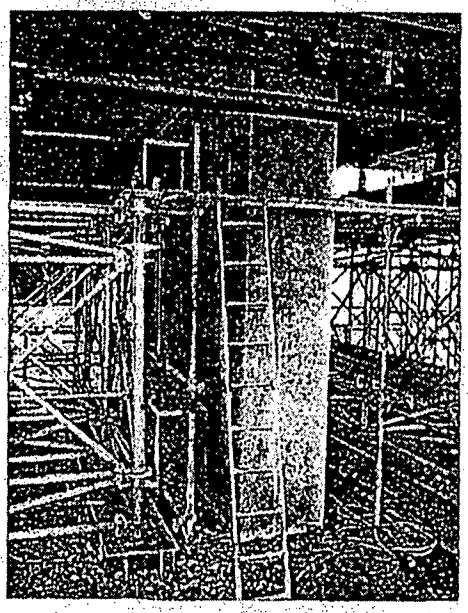
（概要）

上り線でせん断破壊により耐荷力が期待できないと判断した固定橋脚では、図のように支保工を両側に組み込んで仮受けを行った後、橋脚躯体は撤去、再構築を行った。橋脚付近にある支保工は緊急復旧用、その外側にあるのが橋脚の再構築時に設けた応急復旧用の支保工である。橋脚の再構築では「兵庫県南部地震により被害を受けた道路橋の復旧に係る仕様（復旧仕様）」に基づいた設計を行った。緊急車両は下り線を通行し、上り線は応急復旧が完了するまで車両は通行していない。



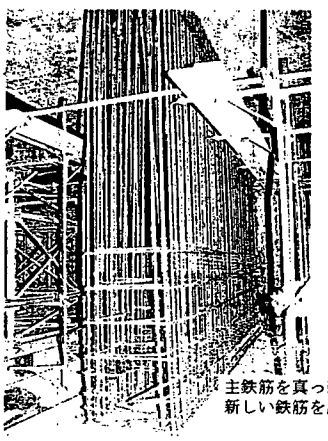
支保工図

④完　成



（既設主鉄筋を利用して新しい鉄筋との圧着により上方まで主鉄筋を伸ばす）

既設橋脚の断面では主鉄筋の段落しをしていた。応急復旧工事では、曲がった主鉄筋をストレーナーで真っ直ぐに伸ばし、新たな鉄筋を圧着して上方まで伸ばして段落しのない断面とした。更に帯鉄筋を巻いてからコンクリートを打設した。



主鉄筋を真っ直ぐにしてから新しい鉄筋を圧着する

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日経コンストラクション編「土木が遭遇した阪神大震災　被害現場が教える地震防災へのヒント」，1995年7月17日

応急処置	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	武庫川橋	３径間連続鋼桁	小判形ＲＣ橋脚 ，

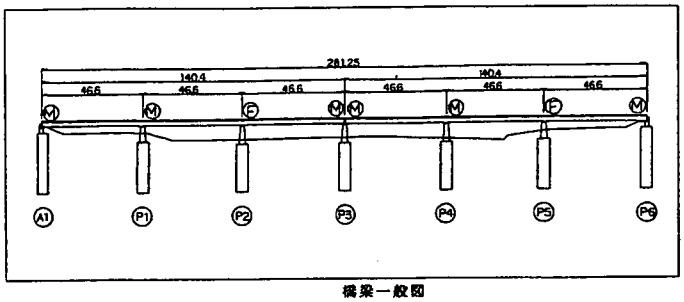
被災度		
	上部構造	B
	橋　脚	中（B）
	基　礎	ひび割れ
	支　承	A

1．被災状況

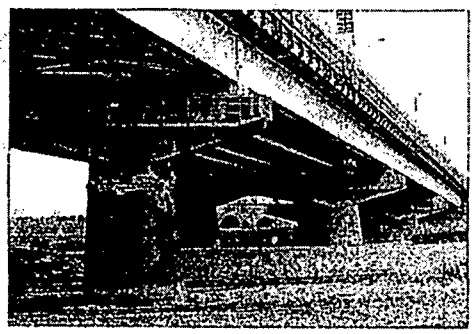
（概要）

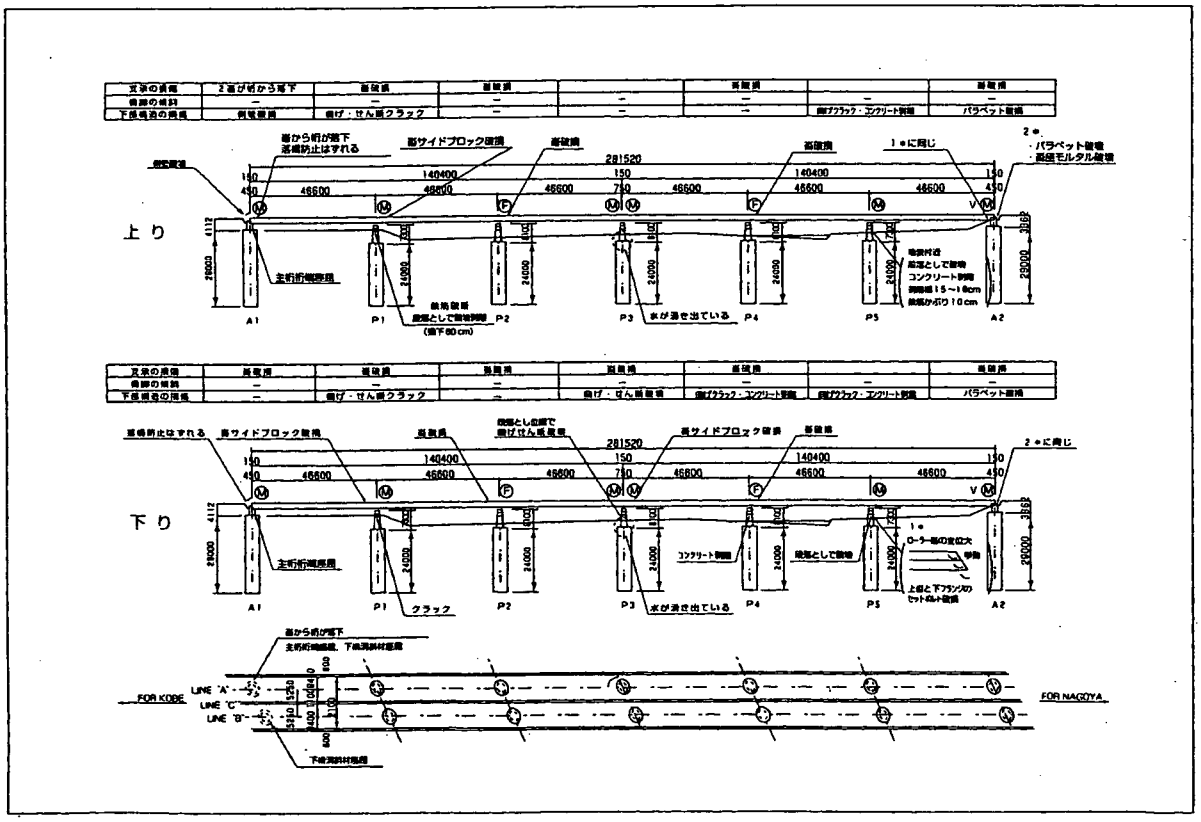
武庫川橋は、武庫川をわたる橋長２８１ｍで６６°の斜角を有する鋼３径間連続鋼桁橋である。支承条件は中間１橋脚固定となっており、固定橋脚にはピン支承、可動橋脚にはローラー支承が用いられている。

地震によって上り側のローラー支承（西宮側の桁端側）が破損したため、桁端部が沓座に落下し、橋脚の打ち継ぎ目部で水平方向にクラックが貫通する被害が生じた。



橋梁一般図


掛け違い橋脚のクラック（武庫川橋）



損傷状況

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法		
						平日交通量	休日交通量	DID区間
ケーソン基礎	PN , PNR			河川上		台/12h	台/12h	

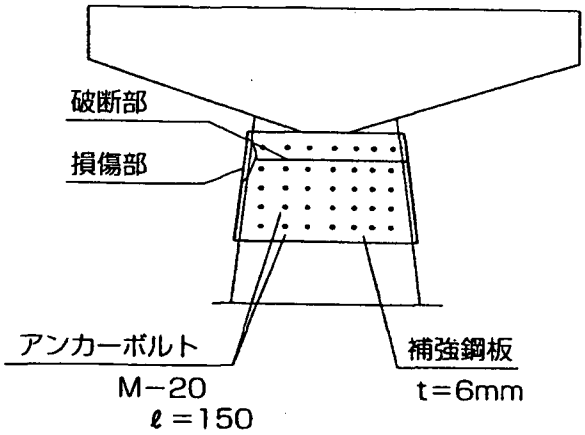
27

復旧工法	鋼板巻立て
通行規制	緊急車両のみ通行許可
工　期	
工　費	

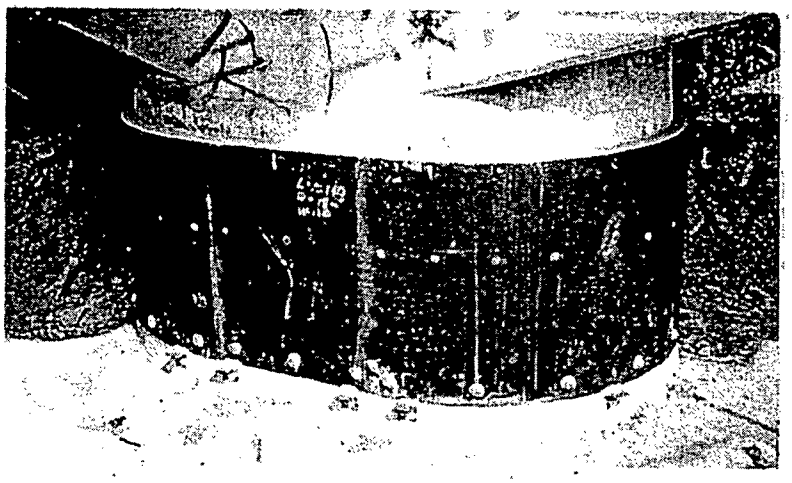
2．復旧工法

（目的）
緊急復旧後２～３ヶ月間で、下り線を対面通行で一般車両に供用する。

（概要）
橋脚に発生した水平クラックの応急復旧は、樹脂を注入した上で鋼板を巻いて補強した。



鋼板巻立て補強概要図



鋼板巻立て状況

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局，大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

応急処置	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		中国自動車道	宝塚高架橋	RC中空床版	柱橋脚（3柱角），

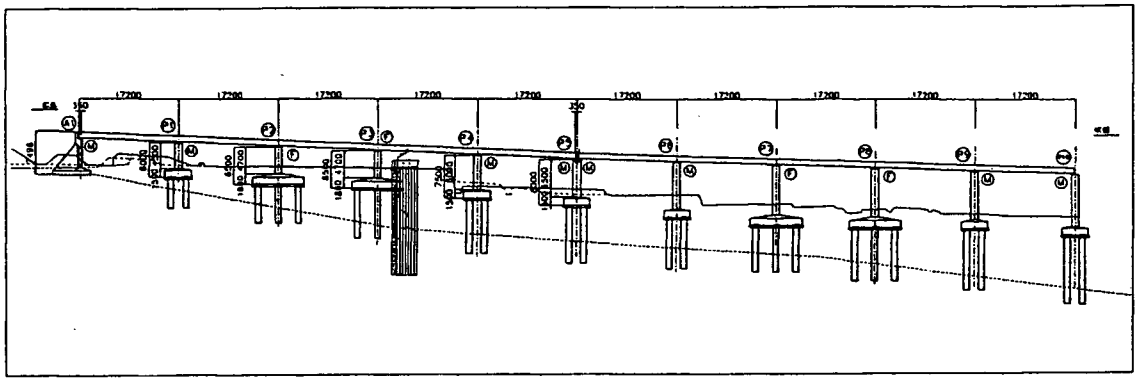
被災度		
	上部構造	A
	橋脚	小（C）
	基礎	軽微な亀裂
	支承	A

1．被災状況

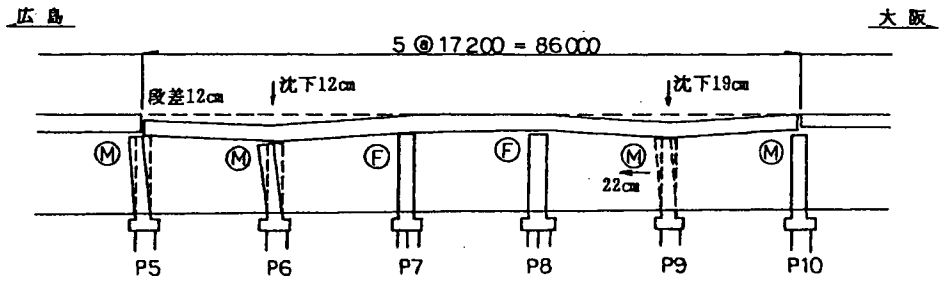
（概要）

宝塚高架橋は、２橋脚固定のＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚ではメナーゼヒンジ、可動橋脚では１本ローラー支承を採用している。

被災状況は、固定橋脚でせん断破壊あるいは斜めひび割れが発生し、殆どの可動橋脚でローラーが脱落してストッパーと桁下面が接触して固定状態となり、曲げ破壊あるいは曲げひび割れが生じて大きく傾いている。上部工の沈下量は、最大で２０ｃｍ程度であった。



橋梁一般図



・広島側の１，２連目での損傷が激しい。
・１連目の固定橋脚（Ｐ２，Ｐ３）でせん断破壊が発生している。
・２連目の固定橋脚（Ｐ７，Ｐ８）でせん断・曲げひび割れが生じ、吹田側へ傾斜している。
・ローラー支承のローラーが脱落している。これにより可動脚が大きく変形している。

損傷状況

参考文献 ； 日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間
杭基礎	ローラー支承			道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	傾き修正・ＲＣ巻立て
通行規制	一般車両対面通行
工　期	
工　費	

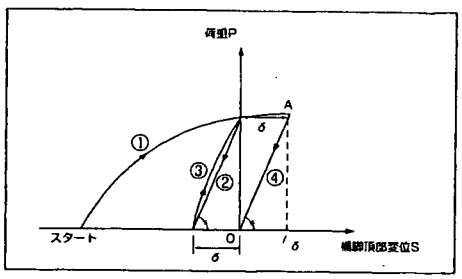
２．復旧工法

（目的）
緊急復旧により対面２車線の一般車両の通行が可能であったが、応急復旧工事が完了した区間から順次上下線４車線で供用する。

（概要）
大きく傾いた橋脚はジャッキによって傾きを修正し、鉄筋コンクリートで巻き立てて補強した。

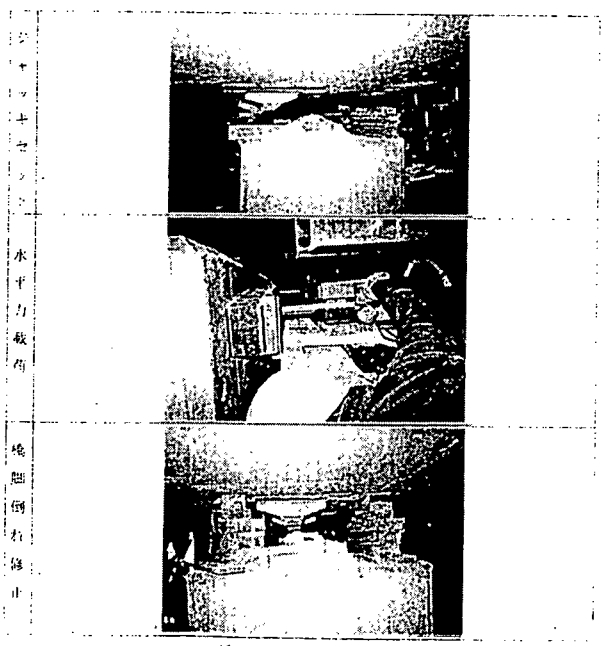
（橋脚の倒れ修正）
橋脚の倒れ修正は、ジャッキを水平にセットし、上部工に反力をとらせて、橋脚天端に水平力を与えて行った。

引き起こし時載荷要領
①橋脚頂部変位０まで載荷
②荷重０まで除荷
③Ａ点まで載荷；除荷後の残留変形δだけ
　橋脚頂部変位０を越えて反対側に載荷する。
④荷重０まで除荷；残留変位が０になっている
　ことを確認する

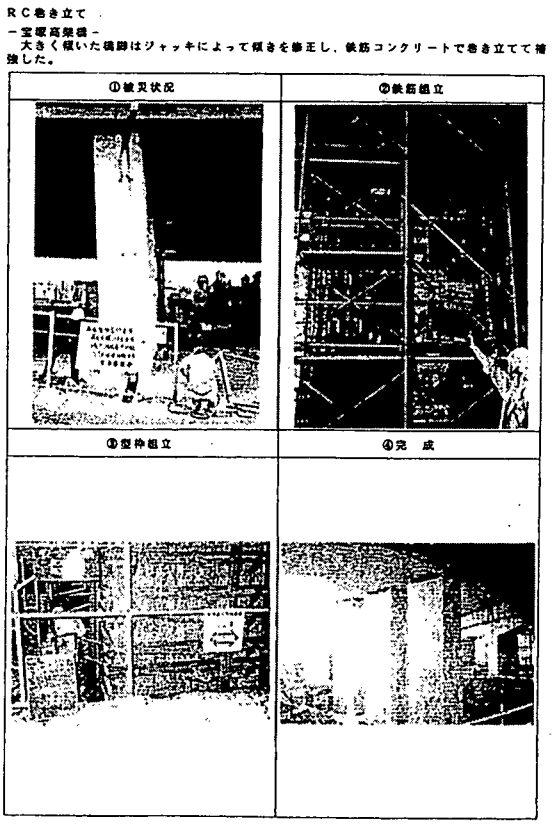


載荷重－橋脚頭部変位相関図

（鉄筋コンクリート巻立て）
橋脚の倒れ修正の後に、復旧仕様に基づいた鉄筋コンクリート巻立て補強を行った。



橋脚の倒れ修正状況



参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

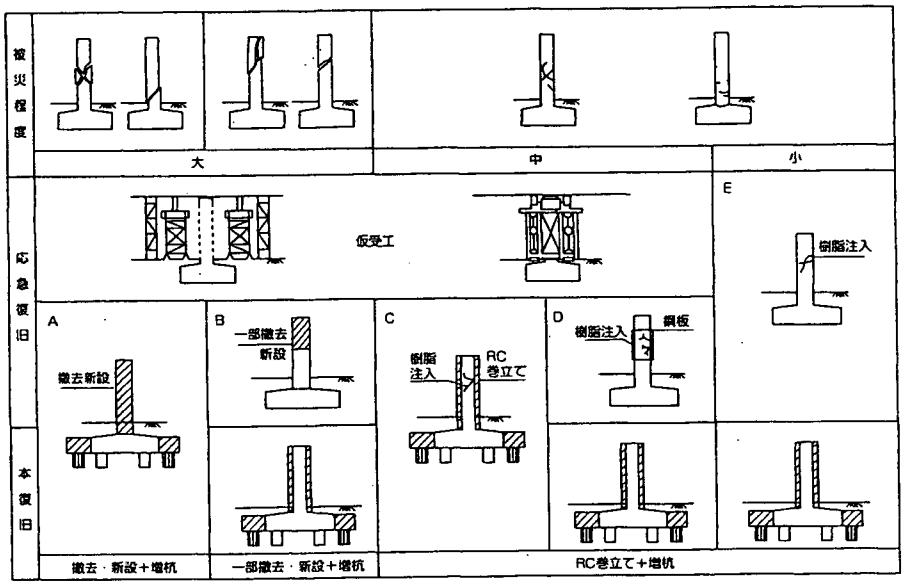
応急処置	RC橋脚	路線名 名神高速道路 中国自動車道	橋梁名 ――	上部構造形式	下部構造形式

被災度	上部構造 橋脚 基礎 支承	

1．被災状況

（概要）

下図は日本道路公団の橋脚の被災程度と復旧の対策パターン図である。兵庫県南部地震では、名神高速道路、中国自動車道において樹脂注入による補修を行った橋脚（小被害）基数が復旧橋脚全体の６６％に及んだ。また、鋼板巻立て、ＲＣ巻立てによる復旧時にも、同様にひび割れ部に樹脂注入を行っている。



緊急復旧：損傷した橋脚の損傷の進行を防止し、緊急車両の通行を可能にするための、緊急的な復旧。（ベントによる支保など）
応急復旧：緊急復旧の後、一般車両の通行を可能にするための、本復旧までの間の応急的な復旧。

下部工の被災程度と復旧対策のパターン

参考文献　：　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法事例 平日交通量 台/12h	休日交通量 台/12h	DID区間

復旧工法	樹脂注入による補修
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（目的）
橋脚のひび割れの進展を防止する。

（概要）
クラックの発生した橋脚には、樹脂を注入し補修を行った。下図の樹脂注入の施工例は宝塚高架橋のものである。

樹脂注入

－宝塚高架橋－
橋脚に発生したクラックには樹脂を注入し補修した。

①被災状況



②樹脂注入



③樹脂注入完成

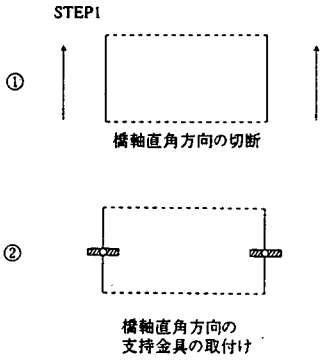


参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

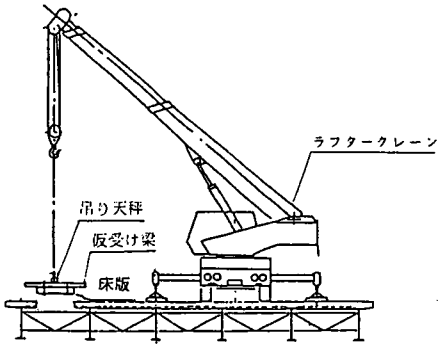
本復旧工法	上部構造（撤去）	路線名 阪神高速道路

（概要）

まずコンクリートカッターを用いたＲＣ床版のブロック化による撤去を行い、引き続きガス切断による鋼桁部の撤去が行われた。床版は鋼桁を避けた位置でブロック化し、輸送を考慮して１０tfとなるようにした。



床版撤去要領

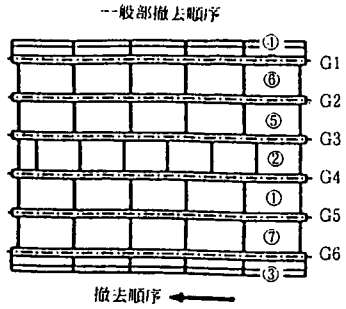


床版撤去要領（橋上）

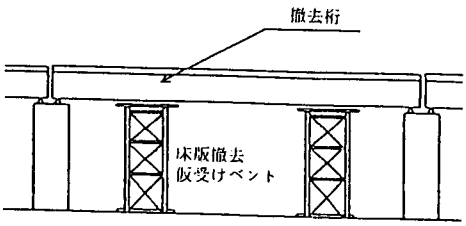


床版パネル吊込み

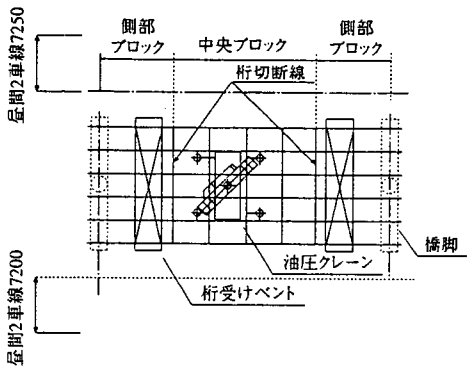
参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月



（注）①～⑦は、床版の撤去順序を示す。



床版撤去順序および仮受けベントの例



鋼桁撤去要領（小ブロック撤去工法）

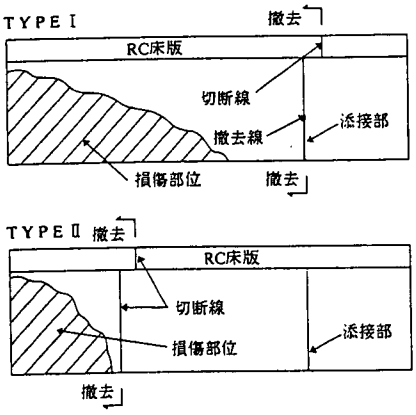
本復旧工法	上部構造	路線名 阪神高速道路

（概要）

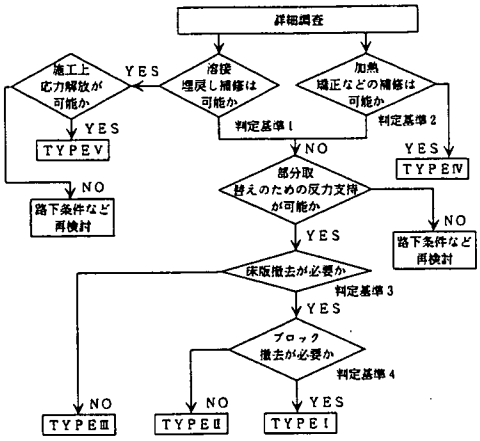
大規模な座屈、変形あるいは亀裂が認められた鋼桁は、撤去・再構築としたが、部分的な取り替えにより補修可能と判断されたものについては、ベントで仮受けした後、損傷部位をブロックで切断除去し新部材に取り替えた（ＴＹＰＥⅠ～Ⅱ）。また、座屈、変形、亀裂が局部的なもの、あるいは程度の軽いものについては、損傷部を部分的に切り取り新部材に取り替える方法（ＴＹＰＥⅢ）が採用された。さらに損傷が軽微で切断撤去を行わず、加熱矯正や溶接で修復（ＴＹＰＥⅣ、Ⅴ）し、既設桁を再利用したものもある。以上、補修方法のタイプ、補修方法ならびにその選定手順を示す。

鋼桁の補修方法

ＴＹＰＥ	補　修　方　法
ＴＹＰＥⅠ	床版の撤去をともない、ブロック単位で損傷部の撤去を行い、新しいブロックを、高力ボルトで接合した後、床版打設を行う方法。
ＴＹＰＥⅡ	床版の撤去を行い、損傷部位を切断・除去し、新しい部材を高力ボルトまたは、現場溶接で接合した後、床版打設を行う方法。
ＴＹＰＥⅢ	損傷部位を切断・除去し、新しい部材を高力ボルトまたは、現場溶接で接合する方法。（床版撤去なし）
ＴＹＰＥⅣ	損傷部位の切断・除去を行わず、加熱矯正などを行う方法。
ＴＹＰＥⅤ	損傷部位の切断・除去を行わず、溶接埋戻しを行う方法。



鋼桁の補修方法



〔補修方法判定基準〕

判定基準１＜割れ損傷部の部分取替えの有無＞

変形を伴わない割れ損傷部位は、溶接による埋戻しを原則とする。

判定基準２＜変形部の部分取替えの有無＞

変形部の最小内側半径 r min≧15t（t：板厚）の場合は、加熱矯正による補修を原則とする。

判定基準３＜床版撤去の有無＞

損傷が床版付近に及ばず、かつ施工上可能な場合は、できる限り床版の撤去を行わないことを原則とする。

判定基準４＜ブロック取替えの有無＞

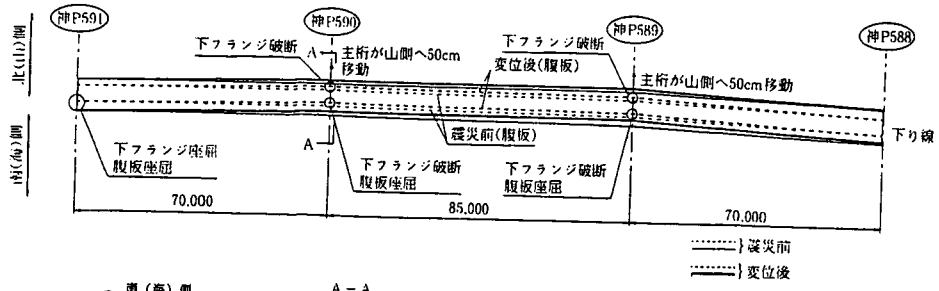
鋼桁本体の切断範囲がブロック長の半分以上となる場合は、ブロック取替えを原則とする。

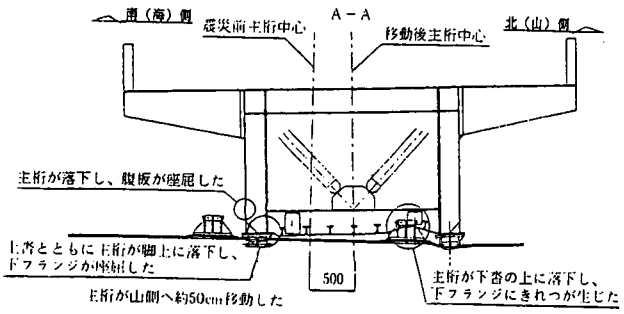
補修方法の選定手順

鋼桁補修数量

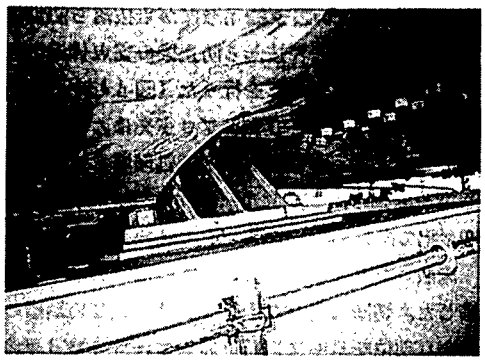
桁　補　修（箇所）			端横桁補強工（連）
ＴＹＰＥⅠ	ＴＹＰＥⅡ	ＴＹＰＥⅢ	
25	489	849	
合　計		1,363	374

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

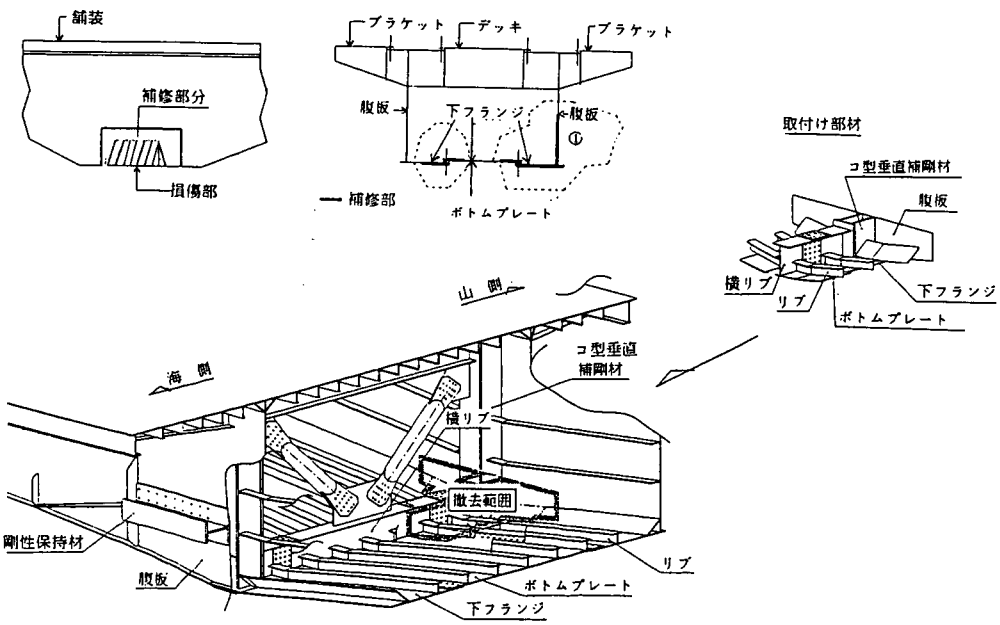




損傷状況（神P590橋脚上）



鋼製橋脚天端の損傷（神P-589）



補修方法

本復旧工法	上部構造	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	明治地区		鋼単柱、杭基礎

被災度		
	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

（鋼桁再構築工事）

損傷桁の撤去は、床版部はワイヤーソーで、桁部はガスで切断してトラッククレーンで吊り上げて行った。

再構築にあたっては、既設橋の構造が鋼単純合成Ｉ桁であったものを３径間連続鋼床版Ｉ桁に構造変更した。

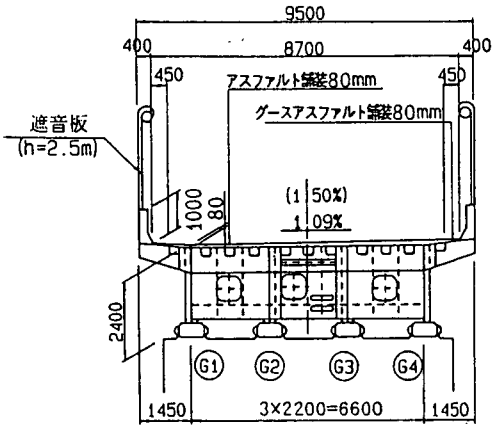


図-5.8.7　再構築桁の標準断面図

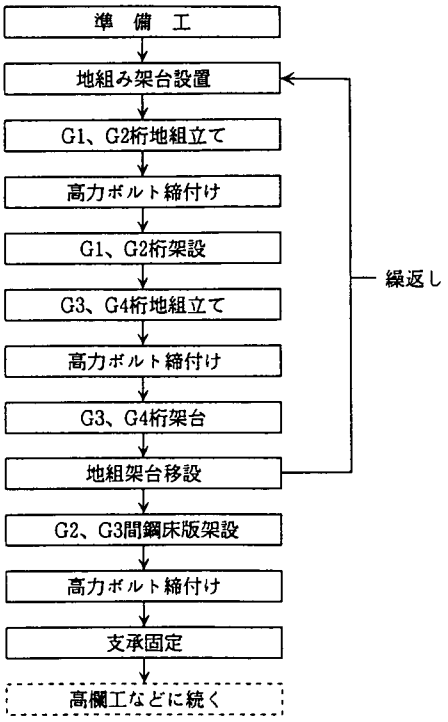


図-5.8.8　再構築桁架設手順

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

（鋼桁補修・補強工事）

3径間連続鋼床版箱桁の中間支点部は大きな損傷を受けたので、損傷部を撤去し新規部材の取り付けを行った。

上部構造支持ベントは中央径間の支間中央部に設置すれば作業上有利になるが、作業場所が東尻池交差点および兵庫運河部であり設置が困難である。そこで、作業ヤード内の設置可能な範囲で、できるだけ有利な箇所にベントを設置した。

中間支点部には断面力が作用しているので、損傷部の切断撤去による断面欠損を補うための補強が必要になるが、有効な補強材が設置できないので、支点部のジャッキアップにより応力解放を行った。

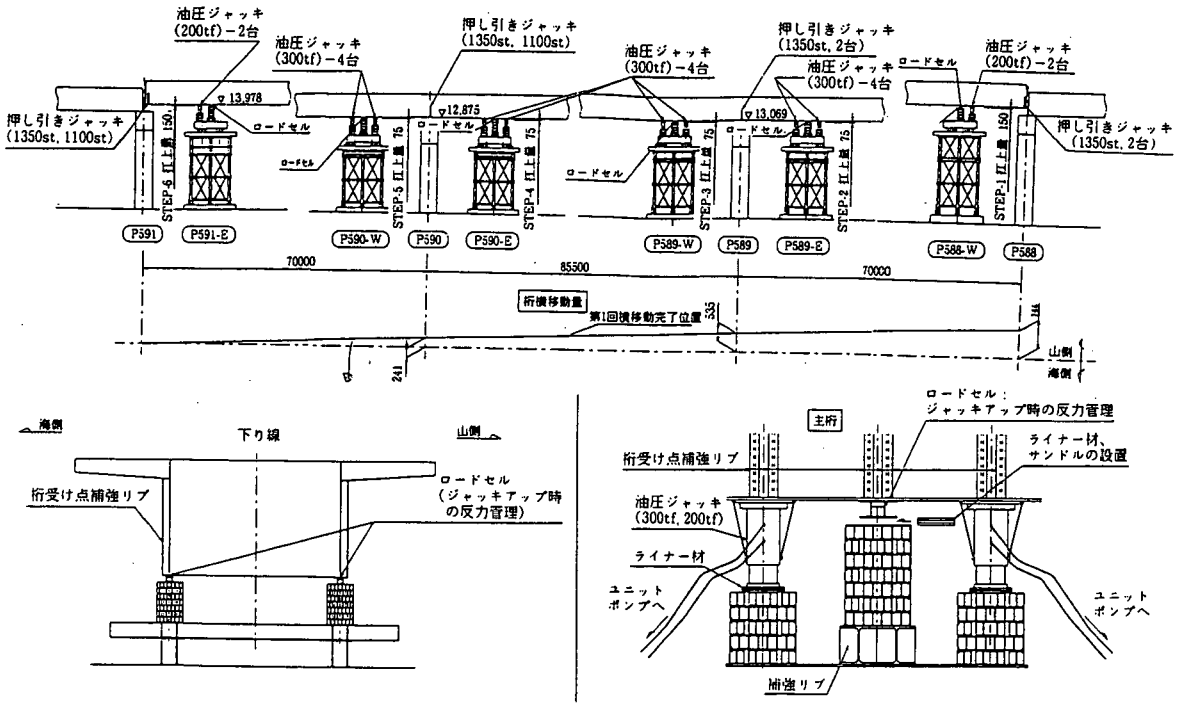


図-5.8.9　中間支点部の応力解放

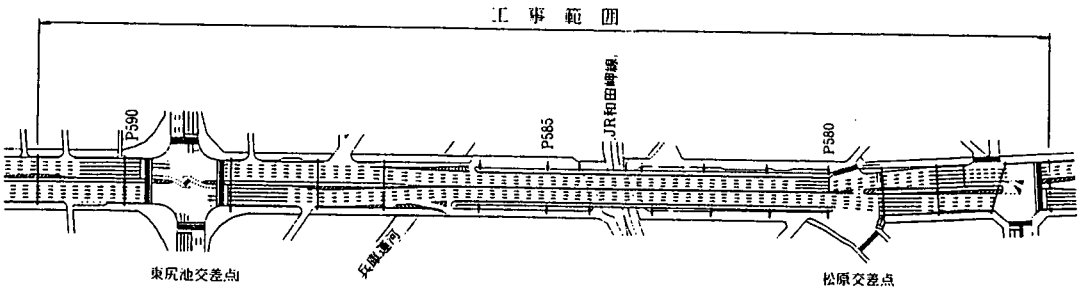


図-5.8.4　路下状況

参考文献　；

本復旧工法	上部構造	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	鷹取地区	RC床版非合成箱桁	RCﾗｰﾒﾝ橋脚、杭基礎

被災度		
	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

上部工事

鷹取地区での上部工事の主なものとしては、損傷桁の取り替えと床版の鋼床版化であり、以下の手順に従って施工した。

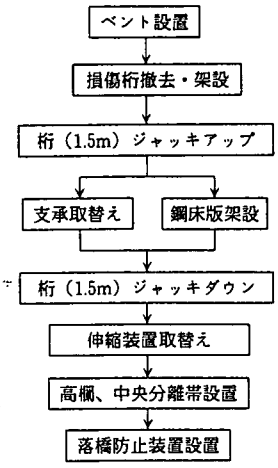


図-5.9.5　上部構造復旧手順

（損傷桁の撤去・取替え）

損傷桁の撤去・取替えは、損傷した２ブロックのみとした。施工は、応急復旧工事でＲＣ床版は撤去されているが、主桁を無応力状態に近づけて行うものとし、ベントを設置し、ジャッキで調整しながらトラッククレーンを使って施工した。なお、主桁が鉄道上に位置するため、夜間き電停止時間帯に施工した。

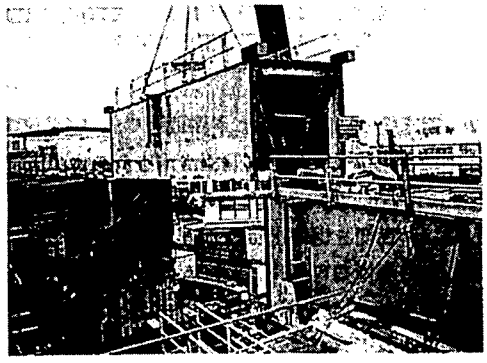


写真-5.9.7　損傷桁の撤去

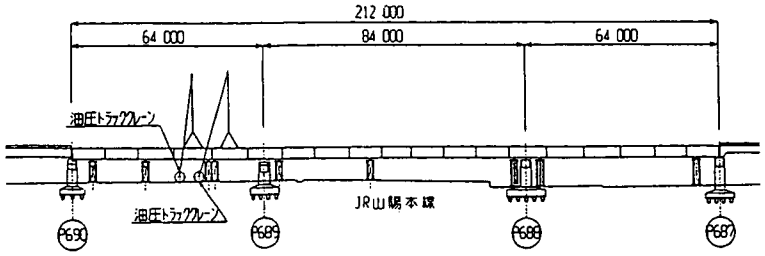


図-5.9.6　損傷桁の撤去・架設

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（鋼床版の設置）

ＪＲ上の鋼床版の設置は、夜間き電停止時間帯に行うには作業時間がきわめて短く、工期短縮のため、山陽本線上の主桁に移動防護工を設置して昼間に行った。現状の主桁下フランジからＪＲ架線までは、60cmの空間しかなく防護工が設置できないため、各橋脚の直近にベントを設置し、上部構造全体を1.5mジャッキアップした。

鋼床版のうち、両側径間部は地上から160tf吊りトラッククレーンを使用して架設したが、中央径間部は鉄道敷でトラッククレーンの進入が不可能なために、先行架設した側径間部の鋼床版上に80tf吊りクローラークレーンと運搬用トラックを上載し、施工した。



写真-5.9.8　再構築桁の架設

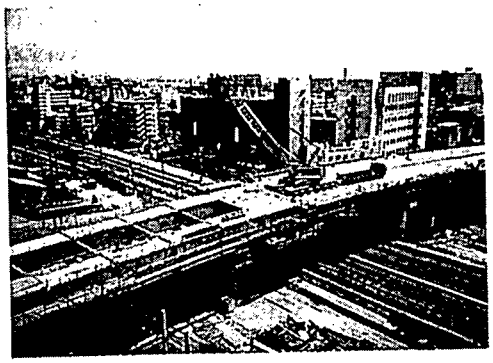


写真-5.9.9　JR上の鋼床版架設

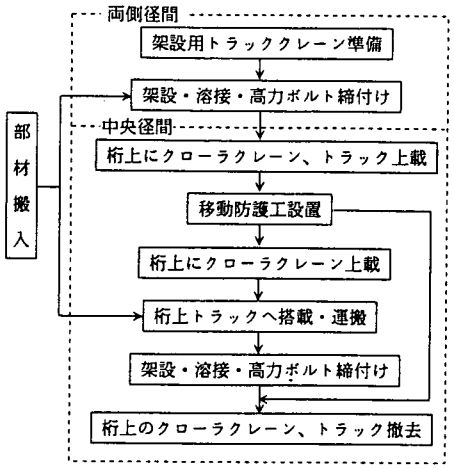
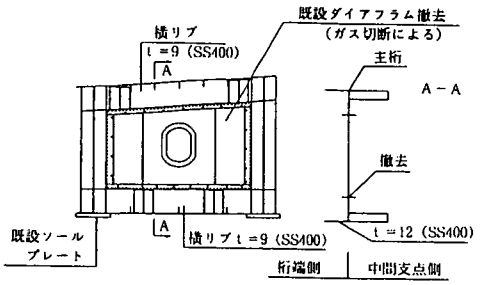
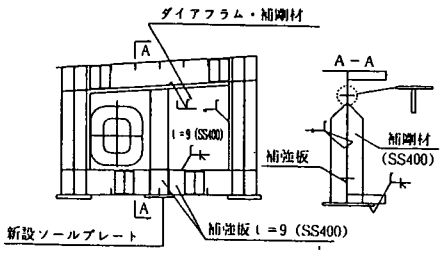


図-5.9.7　鋼床版架設要領



(a)　改造前



(b)　改造後

図-5.9.8　端支点ダイアフラムの改造

（支承取替え）

当地区でも支承の損傷が大きかったので取り替えることにした。

また、支承配置の検討を行った結果、端支点の支承配置を１箱桁２支承から１箱桁１支承に構造変更することにし、端支点上ダイヤフラムの改造・補強を現地で行った。

既設支承の撤去は、ジャッキアップ時に沓座部のコンクリートを取り壊して行った。アンカーボルトはすべて新設とした。

参考文献　；

本復旧工法	上部構造	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	摩耶西地区		

被災度	
上部構造	
橋脚	
基礎	
支承	

1．被災状況

（概要）

阪神高速道路３号神戸線の摩耶西地区は、PC桁橋の区間であり、主桁本体に大きな損傷は見当たらなかったが、橋桁全体が大きく横（橋軸直角方向）移動、沈下していた。

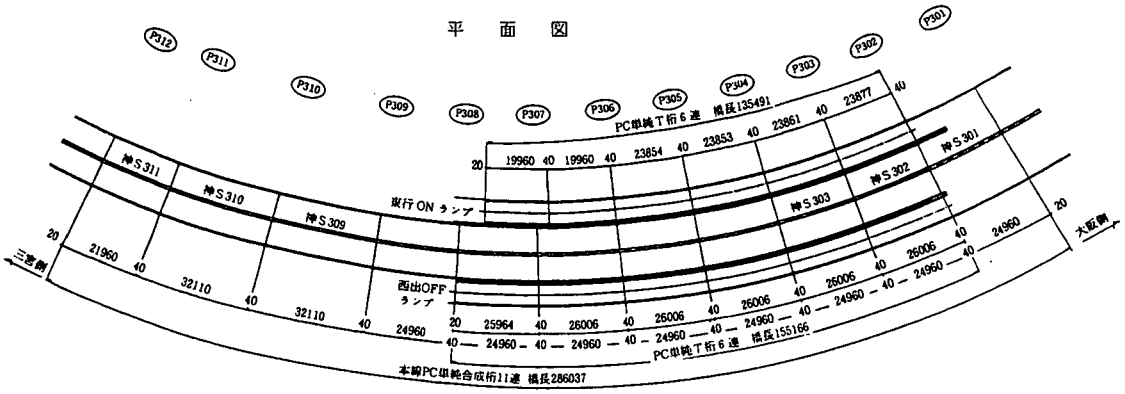


表-5.4.1　桁横移動量と沈下量

	位置	全幅 (m)	主桁本数	桁反力 (tf)	移動量 (mm)	沈下量 (mm)
本線	神S-301	32,343 32,930	12	54.0 〃	513 609	213～182 157～144
	S-302	17,600 〃	6	58.7 〃	609 336	150～101 112～ 42
	S-303	17,600 〃	6	〃 〃	336 129	112～ 42 193～ 14
	S-304	17,600 〃	6	〃 〃	129 0	193～ 14 4～ 21
	S-310	17,641 17,601	6	85.2 〃	0 71	0 116～ 96
	S-311	17,601 〃	6	52.5 〃	71 174	116～ 96 147～187
ランプ	東入S-1	7,500	3	52.5 〃	643 577	157～175 138～142
	〃 S-2	〃	3	〃 〃	577 286	138～142 76～ 39
	〃 S-3	〃	3	〃 〃	286 0	76～ 39 0
	西出S-1	7,500	3	57.0 〃	545 327	101～144 79～186
	〃 S-2	〃	3	〃 〃	327 0	79～186 53～133
	〃 S-3	〃	3	〃 〃	0 182	53～133 14～112
	S-4	〃	3	〃 〃	182 120	14～112 0～ 73
	S-5	〃	3	〃 〃	120 0	0～ 73 0

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　ー震災復旧工事誌ー」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（概要）

本地区の復旧工事としては、桁位置の修正の他、端横桁の打替え、落橋防止装置の設置、橋脚梁部の拡幅、支承あるいはアンカーバーの取替えが主な内容である。

橋桁全体の扛上・扛下と横移動、さらに横断勾配の補正を同時に実施可能で、作業工期の大幅短縮が可能となる工法について比較検討し、次の３工法を選定した。

①リフターシステム
②吊込み式横取り工法
③扛上式横取り工法

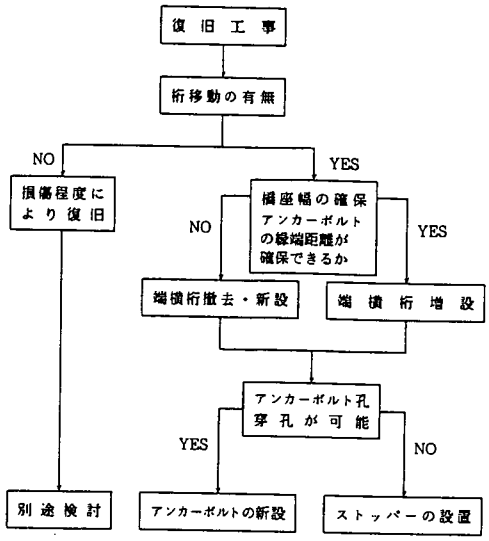


図-5.4.3　落橋防止装置の検討手順

（リフターシステム）

この工法に用いる機材は、リフターと呼ばれる主桁扛上機とリフターを支持するリフターベントそして仮支持ベントより構成される。リフターベントおよび仮支持ベントは50kgf/mレールの上に載っており、ゲビンデスターブにより横移動が可能な構造となっている。

この工法は、主桁扛上機材がシステム化されており、組立・主桁扛上・横移動・解体という作業工程の大幅な短縮が可能で、安全面にも優れている。また大荷重にも対応が可能であることから、橋桁重量が大きい起点側の神S301～神S304径間に適用することとした。

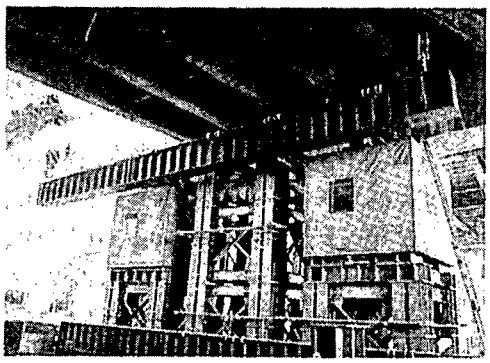


写真-5.4.1　リフターシステム

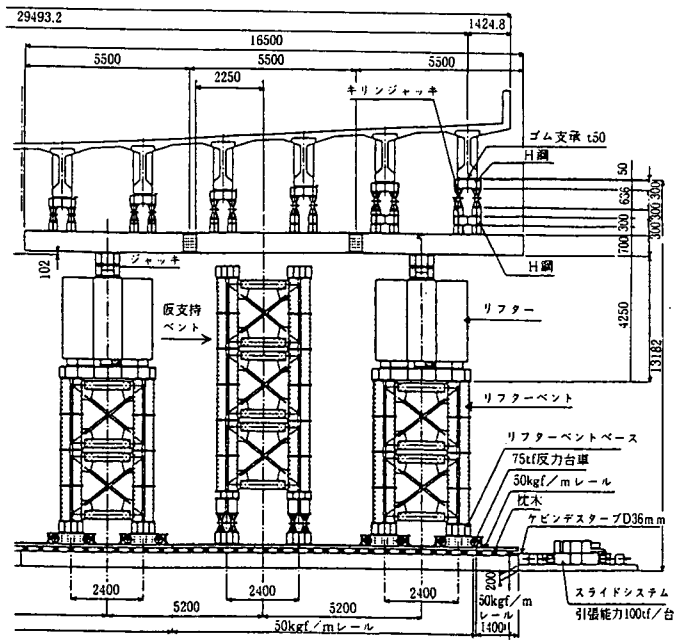


図-5.4.4　リフターシステム

参考文献　；

本復旧工法	上部構造(架設)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	摩耶西地区		

被災度		
	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

(吊込み式横取り工法)

本工法は、両側の隣接径間に敷設したレール上を走行できるPC桁横取り装置で桁を吊り上げて横移動させる工法である。

大部分が橋面上での作業であるので安全性は高いが、吊上げ荷重は大きくなく、連続した径間を同時施工できない欠点がある。

路下空間の使用が困難な神S310および神S311の径間に適用することとした。

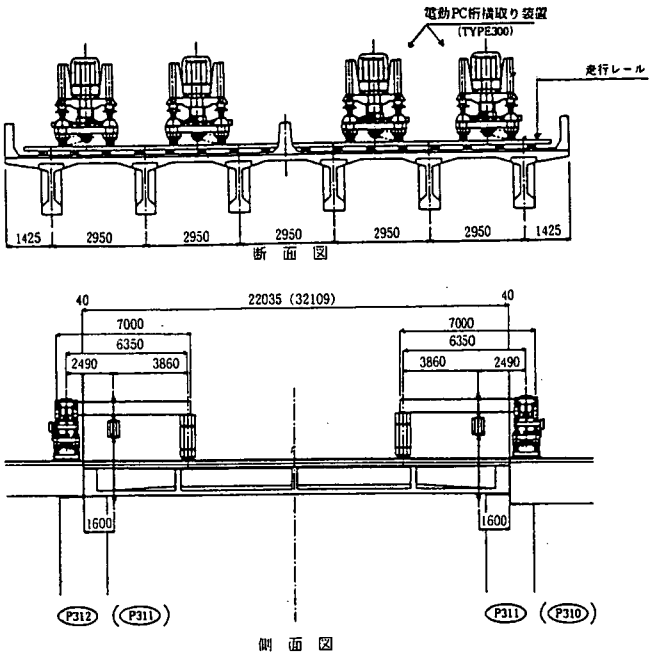


図-5.4.5 吊込み式横取り装置

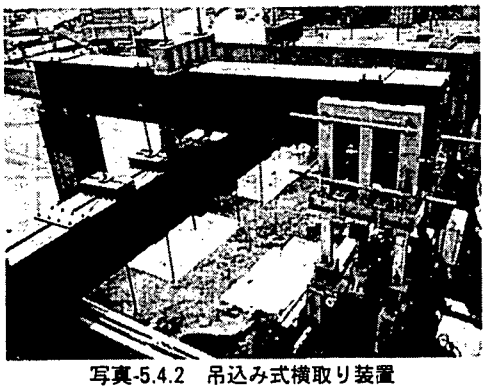


写真-5.4.2 吊込み式横取り装置

参考文献 ; 阪神高速道路公団, 「大震災を乗り越えて 一震災復旧工事誌一」, 平成9年9月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法		
						平日交通量	休日交通量	DID区間
						台/12h	台/12h	

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

38

（扛上式横取り工法）

本工法は、中間の高さまでベントを建ち上げ、その上にレールを敷設すること、大型のリフターの代わりにPC桁横取り装置を用いることを除いて、原理的にはリフターシステムと同じである。この工法はリフターシステムに比べ、設備は簡単であるが大きな荷重を支持できないので、橋桁荷重が比較的大きくないランプ部に適用することとした。

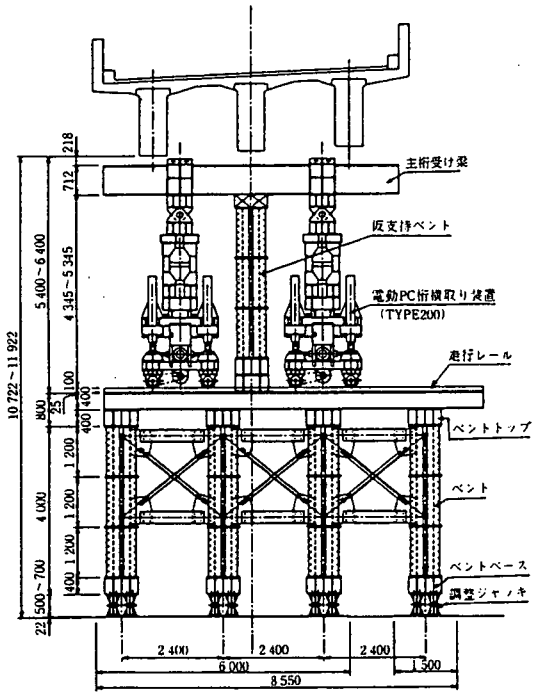


図-5.4.6　扛上式横取り装置

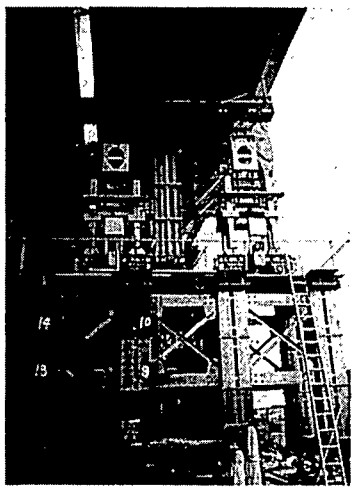


写真-5.4.3　扛上式横取り装置

参考文献　；

本復旧工法	支　承	路線名 名神高速道路 中国自動車道	橋梁名 ———	上部構造形式	下部構造形式

被災度	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

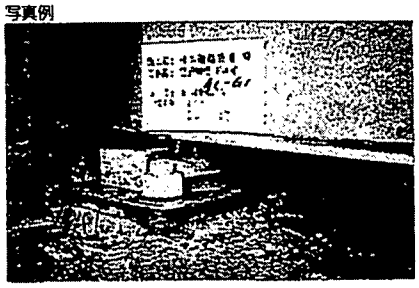
1．被災状況

（概要）

支承の固定・可動条件別に損傷状況を見ると橋脚の損傷の傾向ほど顕著ではないが、橋脚とは逆の傾向が現れており、固定支承に比べ可動支承で損傷ランクA、Bが多くなっている。また、支承の材料別の被災を比較すると、鋼製支承、特に1本ローラー支承、ベアリングプレート支承も損傷度が大きくなっている。写真は、鋼製支承の被災度ランク「A」の支承の被災例写真である。

支承の被災ランクと写真例（鋼製支承1）

被災ランク：A
被災状況：大被害（交換）
写真例

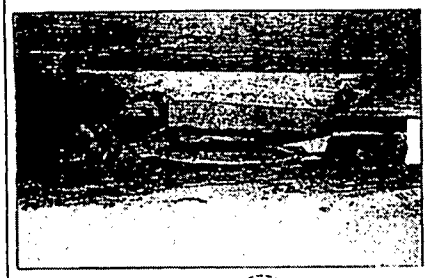


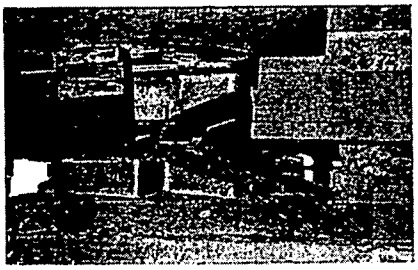
セットボルトの破断，上沓脱落





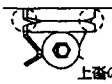
ローラーの抜け出し







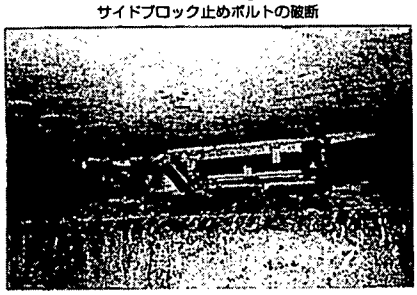
サイドブロック止めボルトの破断

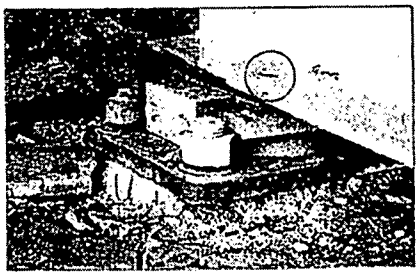


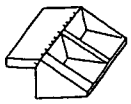
上沓の変形



下沓の変形・破断







サイドブロックの破断



沓座コンクリートの破壊

A、B、Cは（社）日本支承協会による被災ランクを示す。

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成10年3月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成9年2月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	休日交通量 台/12h	DID区間

復旧工法	鋼製支承の取替
通行規制	
工　期	
工　費	

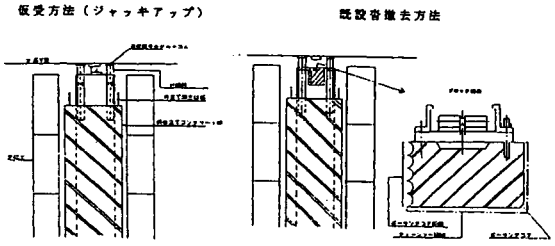
2．復旧工法

（目的）
被害の大きい鋼製支承をゴム支承に交換する。

（概要）
１本ローラー支承は全てゴム支承に取り替える。また、鋼製ＢＰ支承およびピボット支承は、損傷度合いの大きかったものについてはゴム支承に取り替える。

（ＲＣ床版の場合）

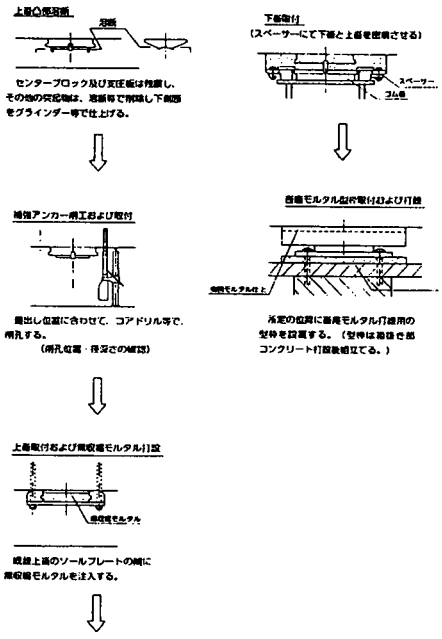
主桁仮受け
桁を仮受けする方法は概ね次の４つの工法がある。
（ａ）ブラケット支保工
（ｂ）ベント支保工
（ｃ）既設橋脚埋め込み仮受け材使用
　　橋脚のＲＣ巻立て部分に埋め込む（右図）
（ｄ）既設橋座にジャッキアップを設置する方法
　　橋座面にジャッキアップ装置を設置できる場合



既設橋脚埋め込み仮受け材使用

新支承据え付け
ＲＣ床版の支承取替えでは、上沓のセンターブロック及び支圧板を残留させる。据え付け手順は右図の通りである。

サイドブロック式の場合



移動制限装置を別途設置する場合
橋座面でのジャッキ据え付けスペース及び支承取替時の撤去・挿入スペースの関係で橋脚形式により支承取替の施工時期が３通りとなった。
（ａ）角形３柱式架違橋脚
　移動制限装置取付→ＲＣ巻立て→支承取替
・既設柱のみではジャッキ据付スペースが確保できないため
（ｂ）円形２（３）柱式中間橋脚
　支承取替→移動制限装置取付→ＲＣ巻立て
・移動制限装置を選考すると支承の取替スペースが確保できず、また円形のためジャッキ据付スペースは確保できたため
（ｃ）単柱Ｔ型・ラーメン式・壁橋台
　ＲＣ巻立て→支承取替→移動制限装置取付
・橋座面が梁式または壁式のため、ジャッキスペースに余裕があり、また梁部及び壁部分には巻立てコンクリートの施工をしないため、柱巻立て完了後に施工した。

（鋼桁の場合）
鋼桁の支承取替え工では、ＲＣ橋脚の場合と異なり、上沓はソールプレートから撤去して支承を全て取り替えた。

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

本復旧工法	支　承	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		名神高速道路	神崎高架橋	ＲＣ中空床版	RC壁式ﾗｰﾒﾝ橋台, ﾛｯｷﾝｸﾞ橋脚,

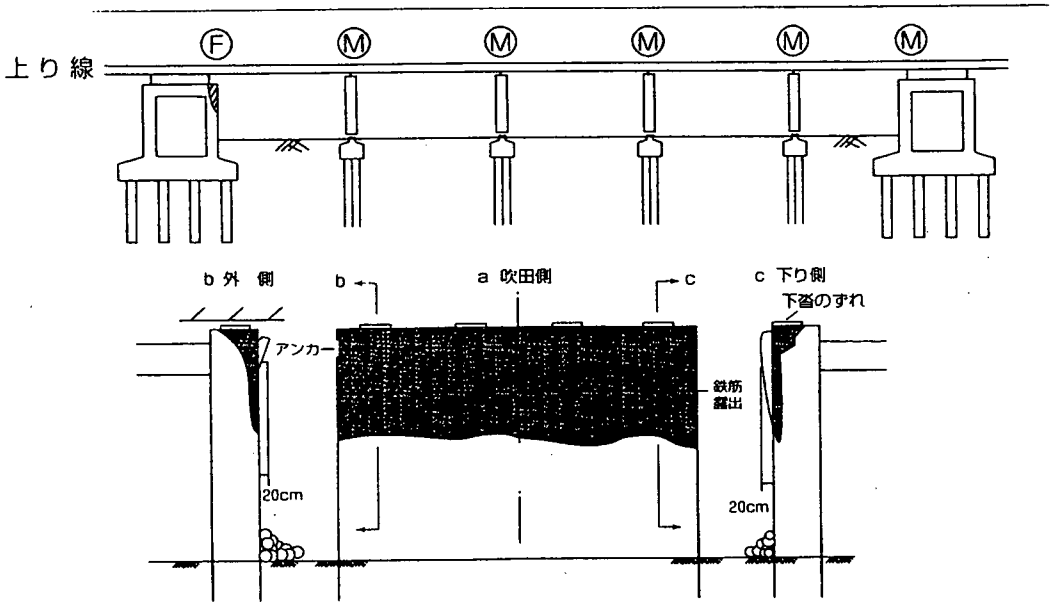
被災度		
	上部構造	C
	橋脚	大（A）
	基礎	
	支承	A

1．被災状況

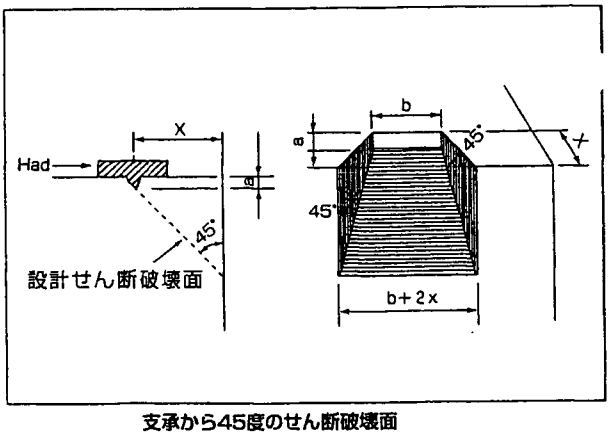
（概要）

神崎高架橋は名神高速道路の尼崎ＩＣ以東の標準的な橋梁形式であるＲＣ５径間連続中空床版であり、固定橋脚が橋軸方向にラーメン形式、直角方向が壁式、中間橋脚は上下端にメナーゼヒンジを有するロッカー形式の移動橋脚となっている。

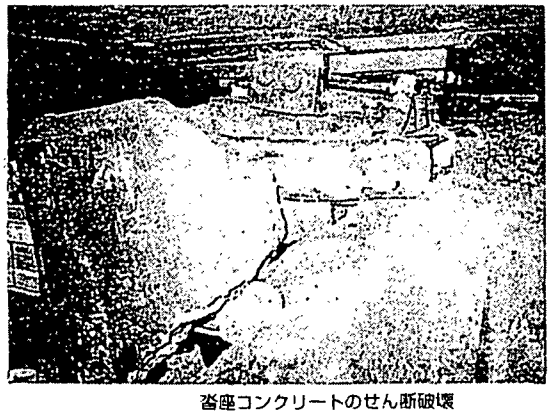
神崎高架橋では、固定橋脚にアンカーボルトから上部のせん断破壊が発生した。沓座コンクリート全面がせん断破壊し、支承が損傷しているものがある。固定支承の損傷は、沓座コンクリートにせん断耐力以上の橋軸方向水平力が作用したため、沓座コンクリートがせん断破壊し、これによりＢＰ支承も損傷したと考えられる。また、沓座回りの補強鉄筋が不十分であったことも一連の損傷が生じた原因であると考えられる。



神崎高架橋損傷状況



支承から45度のせん断破壊面



沓座コンクリートのせん断破壊
（神崎高架橋）

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	休日交通量	DID区間
杭基礎	BPA , LB			道路上		台/12h	台/12h	

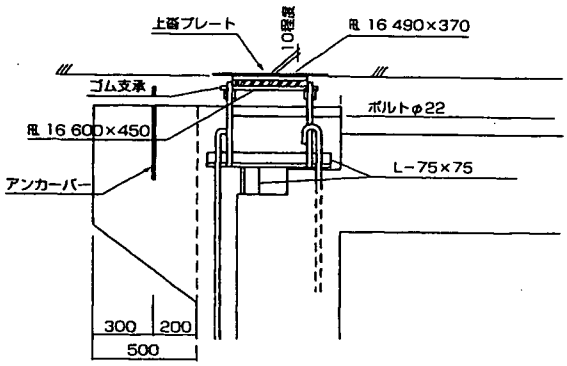
復旧工法	撤去・再築
通行規制	緊急車両のみ通行許可
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（目的）
緊急復旧後２～３ヶ月間で、下り線を対面通行で一般車両に供用する。

（概要）
固定支承部の支承取替工の施工手順を以下に示す。

Ⅰ．既設の上沓プレートにＰＬ－１６mmを溶接
Ⅱ．橋台主筋にＬ－７５×７５を設置し、寸切ボルトφ２２を溶接
Ⅲ．ゴム支承受け用のＰＬ－１６mmの四隅にボルト孔を設け、寸切ボルトに取り付（ナットによりプレートの調整を行う）。
Ⅳ．プレートの上にゴム支承を乗せ、取付位置を確認した後、溶接材によりプレートとゴム支承を固定し、床版より１０mm程度下でゴム支承をセット



あご出し部の鉄筋は、ラーメン主筋に合わせてD29ctc750とした。

支承部補強方法

参考文献　；　日本道路公団大阪建設局、大阪管理局，「阪神・淡路大震災　被害・復旧報告書」，平成１０年３月
日本道路公団橋梁復旧対策本部，「阪神・淡路大震災　災害復旧報告書」，平成９年２月

本復旧工法	支　承	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	守口線		

被災度	
上部構造	
橋　脚	
基　礎	
支　承	

（支承取替え）

本復旧は、以下の手順より行った。
①扛上工に先立ち、反力導入型（滑り機能付き）支承の設置
②反力導入（扛上）
③沓座はつり
④既設支承本体の撤去
⑤ｿｰﾙﾌﾟﾚｰﾄの取付け、支承の取込み、支承ｱﾝｶｰﾌﾟﾚｰﾄの溶接、溶接による新設支承の設置
⑥機能照査の実施（復旧完了）

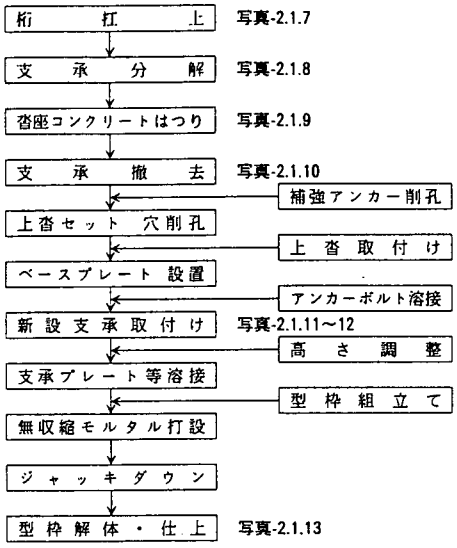


図-2.1.7　施工手順

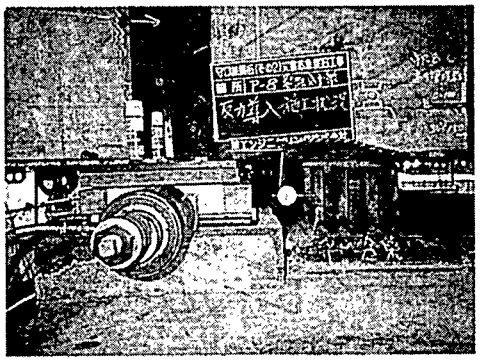


写真-2.1.7　反力導入型支承（滑り機能付き）の設置

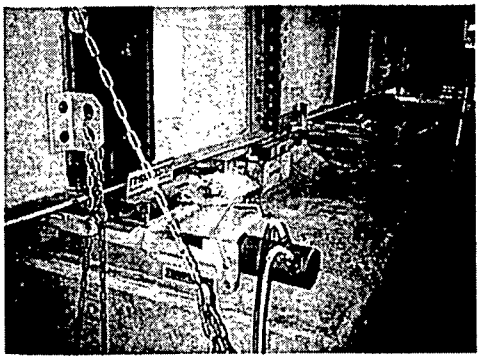


写真-2.1.8　主桁の扛上

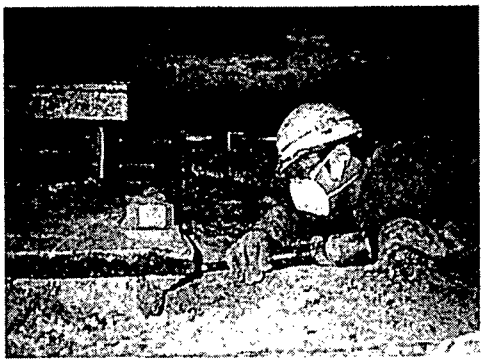


写真-2.1.9　沓座のはつり

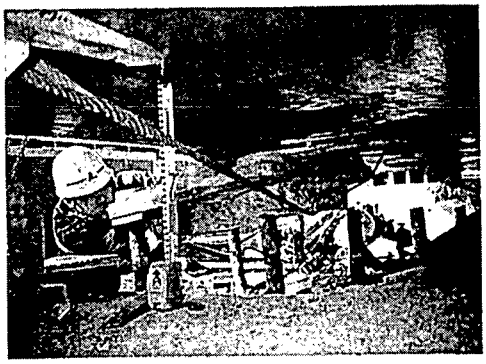


写真-2.1.10　既設支承の撤去（吊出し）

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　ー震災復旧工事誌ー」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

41

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

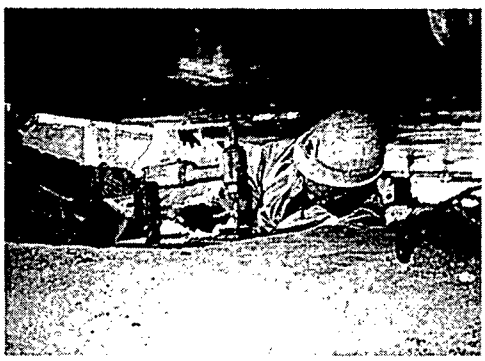


写真-2.1.11　新設支承の取付け
（ソールプレート用削孔）

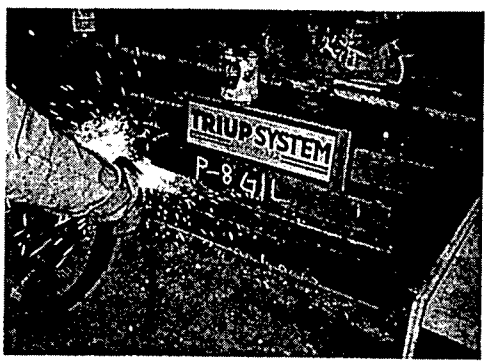
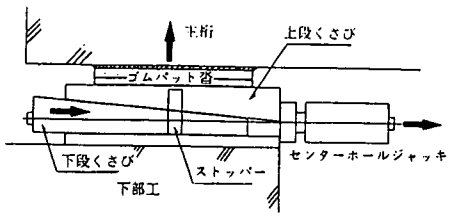


写真-2.1.12　新設支承下沓の溶接



写真-2.1.13　支承復旧完了



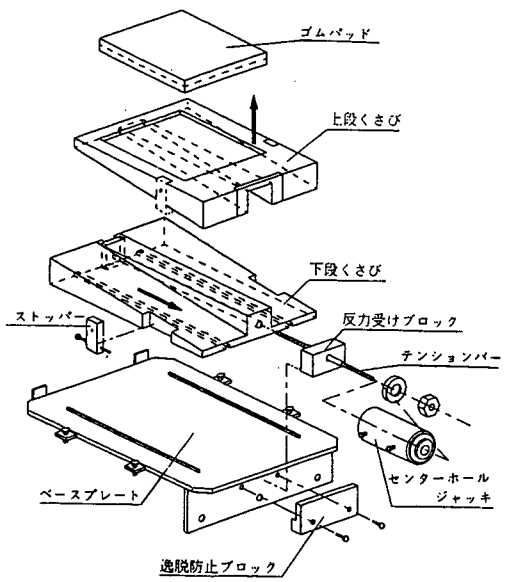


図-2.1.8　反力導入型支承（滑り機能付き）
の構造

参考文献　；

本復旧工法	支　承	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	西宮港大橋		

被災度		
	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

1．被災状況

（概要）

阪神高速道路５号湾岸線の甲子園浜と西宮浜を結ぶ西宮港大橋は、支間長252m、総幅員50mのﾆｰﾙｾﾝﾛｰｾﾞ橋である。
橋脚P100(西宮浜)上にあるアーチ橋の２つの固定沓のうち、１つ(山側)の上沓が脆性破壊のために半分に割れた。
上沓と下沓の間の金属面には焼き付けられた形跡がある。またｿｰﾙﾌﾟﾚｰﾄにも割れが生じた。
ｹｰﾌﾞﾙｿｹｯﾄ部を桁に取り付ける部分のｼﾑﾌﾟﾚｰﾄが抜け落ち、１本のｹｰﾌﾞﾙの張力が抜ける被害があった。
また、固定沓をおく大阪側の隣接桁が落下した。

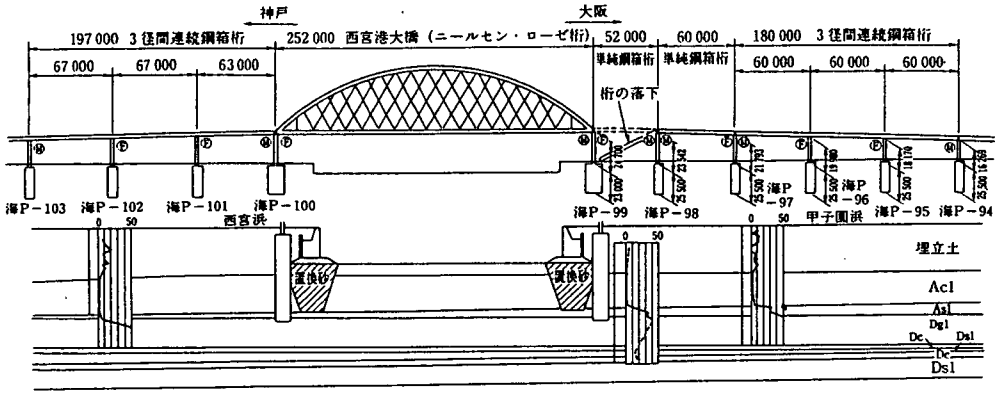


図 1.4.4　西宮港大橋及び隣接する桁の概要[1)]

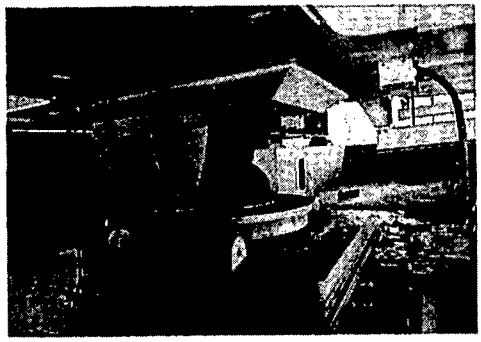


写真 1.4.8　壊れた沓



写真 1.4.9　焼き付いた跡



写真 1.4.10　ソールプレートの割れ

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月
阪神・淡路大震災調査報告編集委員会，阪神・淡路大震災調査報告，平成８年１２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

42

2．復旧工法

本橋の損傷した支承は、大型の1,200tfジャッキ６台を使用して、桁をｼﾞｬｯｷｱｯﾌﾟした後、新規に製作した支承を所定の位置に設置して取り替えた。ｹｰﾌﾞﾙ張力は、ｾﾝﾀｰﾎｰﾙｼﾞｬｯｷを使用して導入張力を確認しながらｹｰﾌﾞﾙを引っ張り、所定の厚みのｼﾑﾌﾟﾚｰﾄを挿入し取りはずした。落下した隣接桁は、RC床版部をﾜｲﾔｰｿｰ等を用いて切断撤去した。その後、横桁などを撤去して、１箱桁ずつ(約200tf)大型ﾌﾛｰﾁﾝｸﾞｸﾚｰﾝ(3,600tf吊り)で一括撤去した。

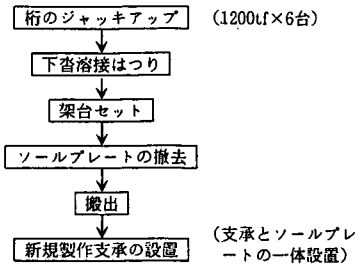


図-1.2.12　海P100固定支承の取替え手順

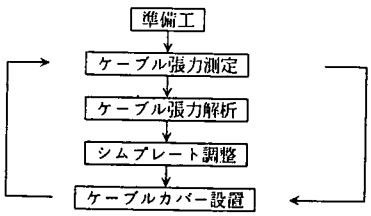


図-1.2.13　ケーブル張力調整の手順

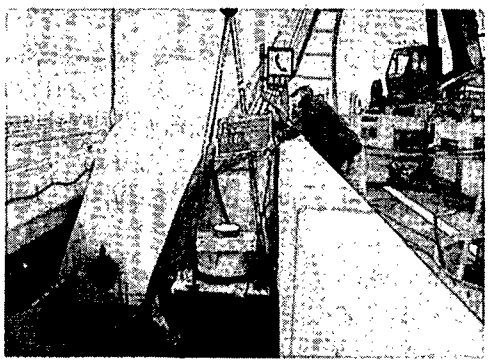


写真-1.2.24　支承の搬入状況



写真-1.2.25　ケーブル引込み治具の取付け

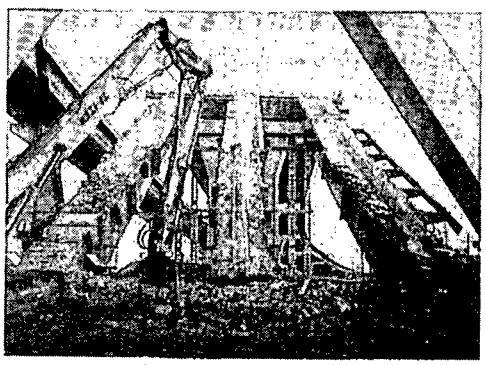


写真-1.2.26　RC床版の撤去

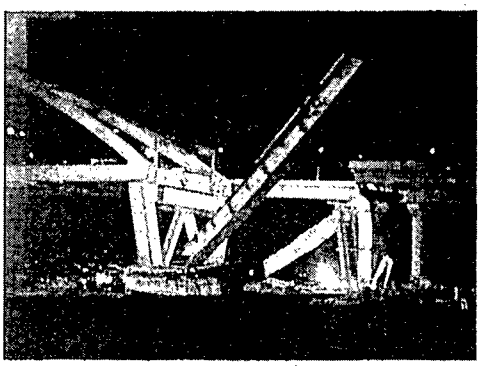


写真-1.2.27　落下した桁の撤去

参考文献　；

本復旧工法	上部構造、支承	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	六甲ｱｲﾗﾝﾄﾞ大橋		

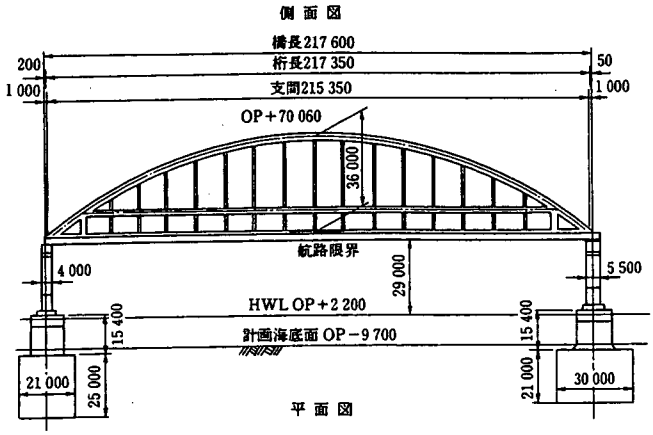
被災度	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

1．被災状況

（概要）

阪神高速道路５号湾岸線の魚崎浜と六甲ｱｲﾗﾝﾄﾞをﾀﾞﾌﾞﾙﾃﾞｯｷ構造で結ぶのが六甲ｱｲﾗﾝﾄﾞ大橋であり、スパン215mの鋼ｱｰﾁﾀﾞﾌﾞﾙﾃﾞｯｷ橋である。

六甲ｱｲﾗﾝﾄﾞ側の海P214鋼製橋脚で可動支承の水平ストッパーが破損したため、橋体が支承より脱落し、橋軸直角方向に約３ｍ移動した。そのため東側主構は橋脚からはみ出し、西側主構はｼﾞｬｯｷｱｯﾌﾟ架台の上に乗り上げた。



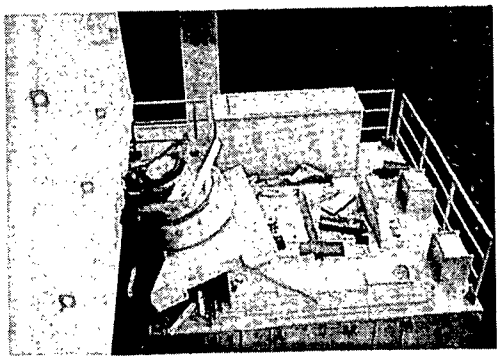


写真 1.4.2　アーチ主構のピボット沓からの脱落

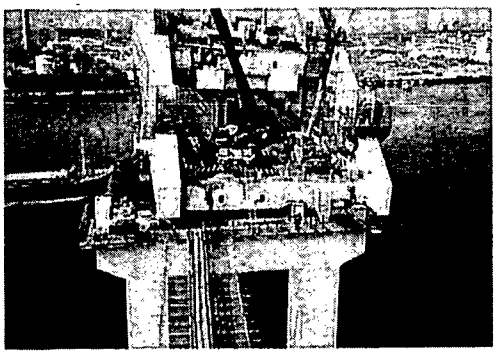


写真 1.4.3　P214 橋脚における橋体の横ずれ（六甲アイランド側から）

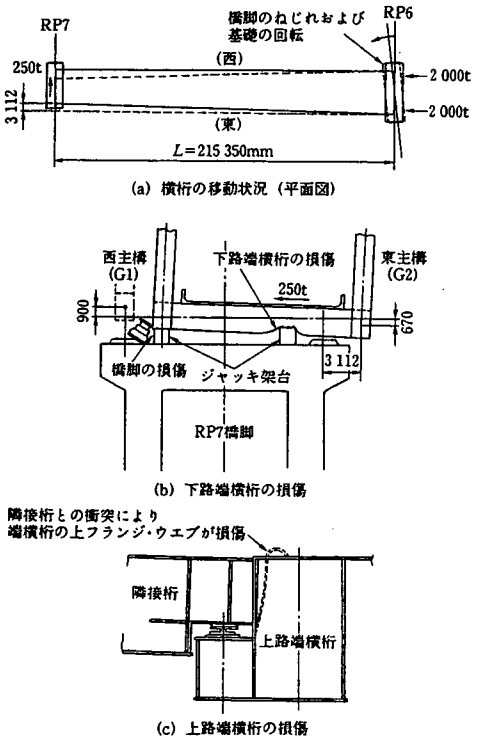


図 1.4.2　橋体移動の状況[1)]

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月
阪神・淡路大震災調査報告編集委員会，阪神・淡路大震災調査報告，平成８年１２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

まず、海P214側のｱﾌﾟﾛｰﾁ桁を撤去後、ﾌﾛｰﾁﾝｸﾞｸﾚｰﾝ２隻による橋体の吊り上げ、正規の位置への移動を行い、損傷部材を補修することとした。海P213橋脚側の固定支承は健全であることなどから、海P213橋脚側の支承に橋体をあずけた状態で、ﾌﾛｰﾁﾝｸﾞｸﾚｰﾝ２隻の相吊りで吊り上げ移動することとした。

海P213橋脚のねじれ変形量をもとに同橋脚に作用している力を算出すると、支承位置で約2,000tfの偶力が作用していることとなり、橋体を元に戻そうとする力が内在していると推定された。このことから、ﾌﾛｰﾁﾝｸﾞｸﾚｰﾝにより吊り上げると橋体は元の位置に戻ろうとする事が予想され、この復元力を制御するためにワイヤクランプを設置し、橋体を固定することとした。

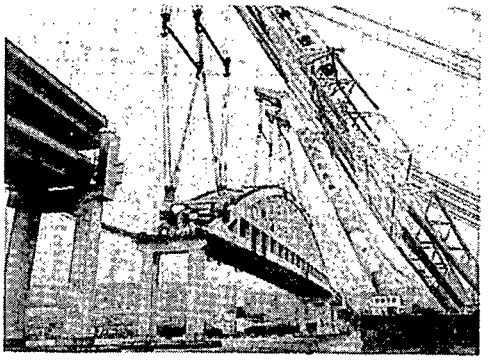


写真-1.2.57　フローチングクレーンによる吊上げ状況

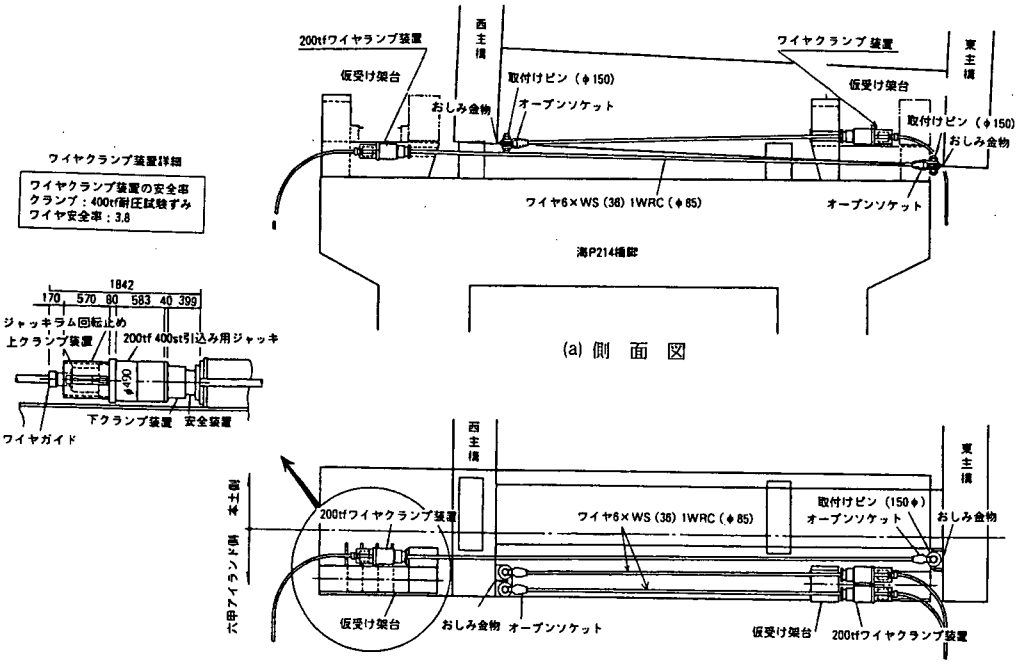


図-1.2.19　ワイヤクランプの装置

参考文献　；

本復旧工法	上部構造、支承	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	東神戸大橋		

被災度		
	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

1．被災状況

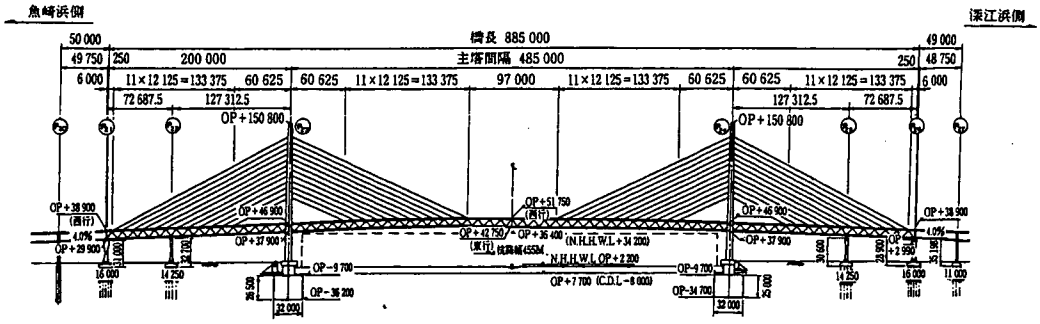
（概要）

阪神高速道路５号湾岸線の深江浜と魚崎浜との間の東神戸水路を跨ぐ東神戸大橋は、橋長885mの２層構造３径間鋼トラス桁（鋼床版）の長大斜張橋である。

魚崎浜側の端橋脚海P187上のウィンド沓のセットボルトが破断したため、横方向の拘束を失い、ペンデル支承のアイバーの変形と同時にピンが脱落し、側径間端部においてアップリフトによる主桁の浮き上がり(約40cm)と隣接桁の上沓が脱落した。その結果、橋面上に約50cmの段差が生じた。また、ウィンド沓がはずれたために、橋軸方向の減衰付加装置であるベーンダンパーと桁とをつなぐセットボルトにも同様に過大な力が作用し、破断した。隣接桁と脚の耐震連結板も溶接部のところで２方向の力で引きちぎられ破断した。

海P187橋脚の２層ﾗｰﾒﾝ橋脚には下段水平梁の腹板にＸ字形状のせん断座屈が生じ、さらに橋脚基部のフランジ板厚変化点に曲げ座屈が発生していた。同じような水平梁の腹板のせん断座屈は海P182、海P186に橋脚にも見られた。

側 面 図



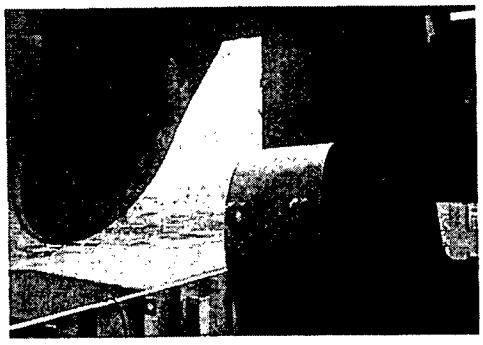


写真 1.5.4　魚崎浜側端橋脚 P187 上のペンデル支承を挟むアイプレートの損傷状況

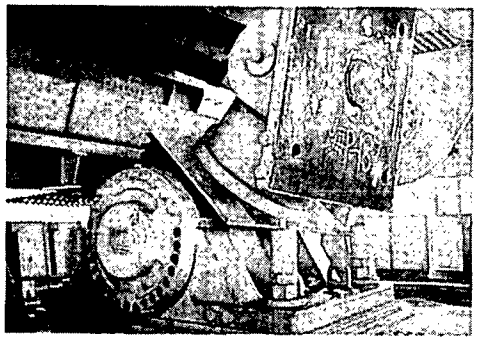


写真 1.5.5　魚崎浜側端橋脚 P187 上のベーンダンパーの損傷状況

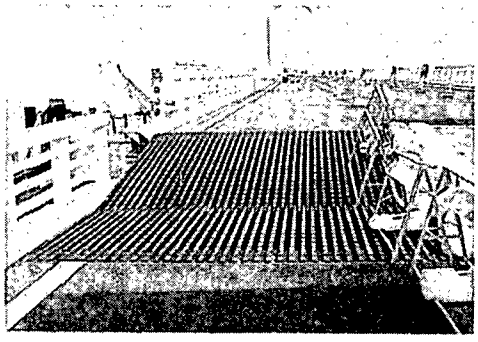


写真 1.5.6　魚崎浜側径間端部の持ち上がり

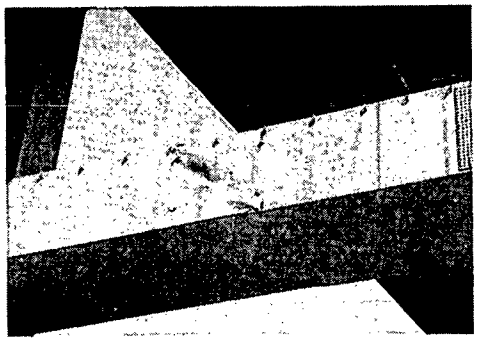


写真 1.5.7　魚崎浜側端橋脚 P187 に生じた下段水平梁のせん断座屈

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　ー震災復旧工事誌ー」，平成９年９月
阪神・淡路大震災調査報告編集委員会，阪神・淡路大震災調査報告，平成８年１２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

海P187橋脚上のウィンド支承、ペンデル支承、ダンパー支承は、撤去後、新規に製作するか修復するかして所定の位置に取り付けた。また、海P187橋脚と東神戸大橋隣接桁との間に設置されていた耐震連結装置も取付け架台を含めて、新しく製作した部材で復旧した。

海P187橋脚基部の座屈部分の補修は、新規に取り付けた補強部材ですべての作用応力を受け持たせるように設計を行った。また、下段水平梁のせん断座屈が発生している箇所は、加熱処理のみで修正できないことから、梁内に設けたトラス補強部材で作用力を受け持たせることとし、損傷した腹板を切断撤去し、新規に製作した腹板に取り替えた。

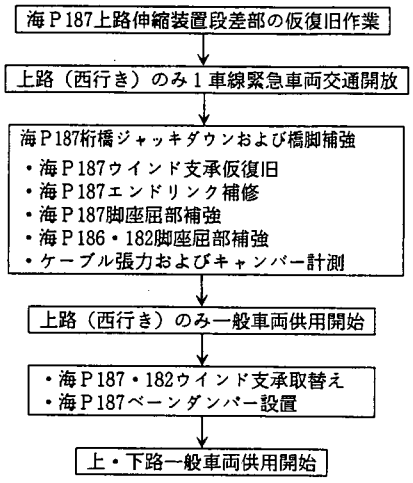
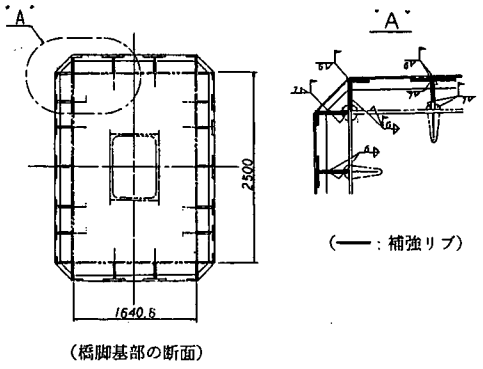


図-1.2.14　東神戸大橋の復旧手順



（橋脚基部の断面）

図-1.2.16　海P187橋脚柱部の補強

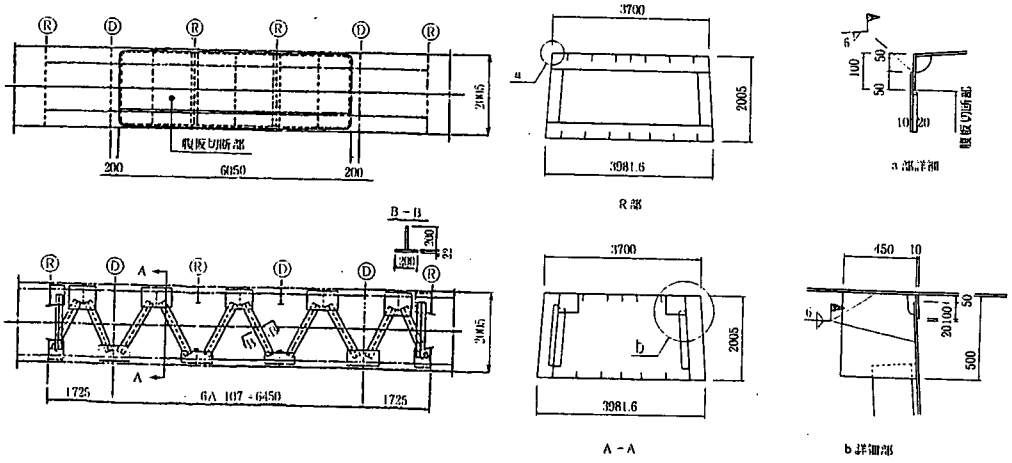


図-1.2.17　トラス補強部材（海P187橋脚）

参考文献　；

本復旧工法	上部構造、支承、RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	新夙川橋		

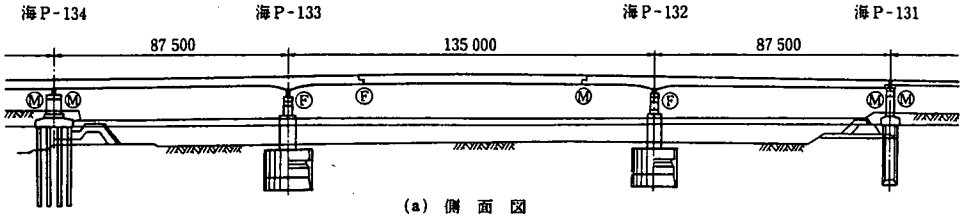
被災度	
上部構造	
橋脚	
基礎	
支承	

1．被災状況

（概要）

阪神高速道路５号湾岸線の西宮浜と芦屋浜との間の夙川航路を跨ぐ新夙川橋は、平成２年の「道路橋示方書」により設計された、３径間鋼床版ゲルバー箱桁橋で、橋長は310mである。

周辺の埋め立て地では液状化が生じており、護岸は海側へ大きく移動すると共に、沈下が生じていた。陸上部にある橋脚周辺の地盤の移動により、水路に向かって海P131が0.7m、海P134橋脚が1.0m移動した。このため両橋脚上の鋼桁が支承より脱落し、海P131橋脚においては、橋脚梁部と主桁腹板切欠き部が衝突し、桁端部に損傷が生じるとともに、隣接桁の桁かかり長が極端に不足した。



(a) 側 面 図

	海P-134	海P-133	H2	H1	海P-132	海P-131
支 承	全 損	セットボルトの伸び	セットボルトの伸び	セットボルトの伸び	セットボルトの伸び	全 損
路面段差	50cm	—	—	—	—	30cm
桁 端	橋脚との接触によるフランジの変形	—	—	—	—	橋脚との接触によるフランジの変形
桁連結装置	—	—	変 形	—	—	ちぎれ
橋 脚	—	—	—	—	—	—

(b) 損 傷 状 況

図 1.2.2.10 新夙川橋の損傷状況（単位：mm）



写真 1.2.2.10 新夙川橋の護岸付近の地表面のひび割れ

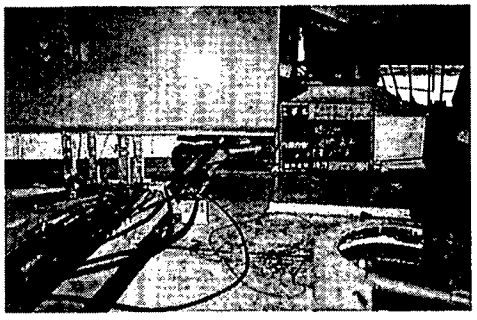


写真 1.2.2.11 新夙川橋の支承の損傷

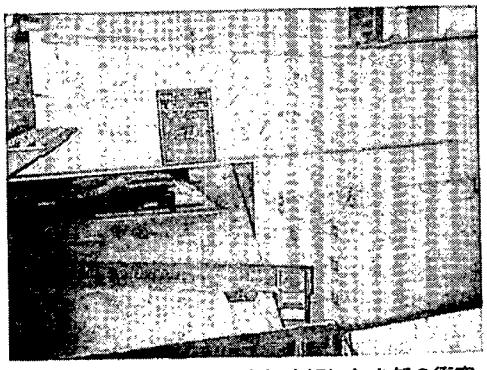


写真1.2.30 橋脚梁部と主桁腹板切欠き部の衝突（海P131橋脚）

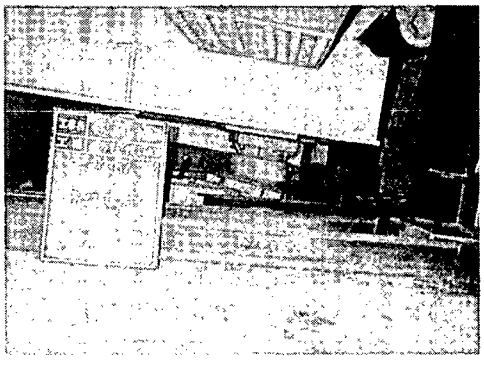


写真1.2.29 支承の破損と桁の脱落（海P131橋脚）

参考文献 ； 阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて －震災復旧工事誌－」，平成９年９月
阪神・淡路大震災調査報告編集委員会，阪神・淡路大震災調査報告，平成８年１２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

45

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

橋脚上の支承位置は現状の位置（地盤流動による橋脚が側方移動した後の位置）とし、桁側の支承取り付け位置を変更することとした。海P134橋脚のついては、桁かかり長を確保するため、鋼製橋脚梁部に溶接でブラケットを取り付け、梁幅を拡げた。

海P131橋脚上では、橋脚梁部と主桁腹板切欠き部が衝突し、部材間の隙間はほとんどない状態であった。そこで、遊間を確保するために干渉する部分の桁の切断撤去を行い、切欠き部には箱桁内に補強ﾀﾞｲﾔﾌﾗﾑを設けることとした。また海P134橋脚上においても、現状位置に新規ﾀﾞｲﾔﾌﾗﾑを設けることとした。

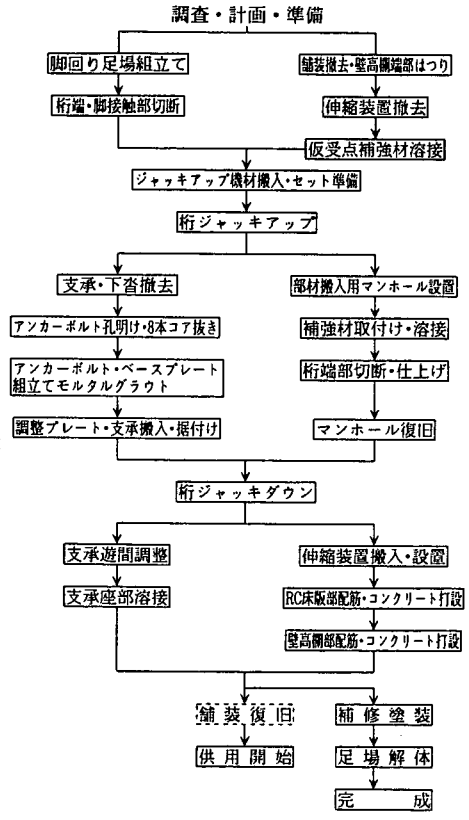


図-1.2.13　海P131、P134橋脚上での補修手順

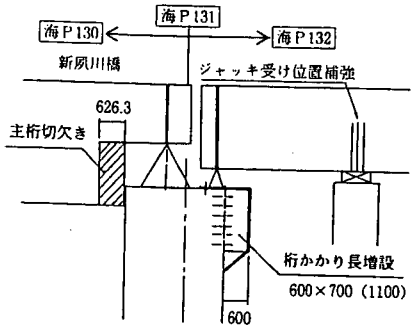




写真1.2.32　主桁腹板切欠き部の復旧
（海P131橋脚）

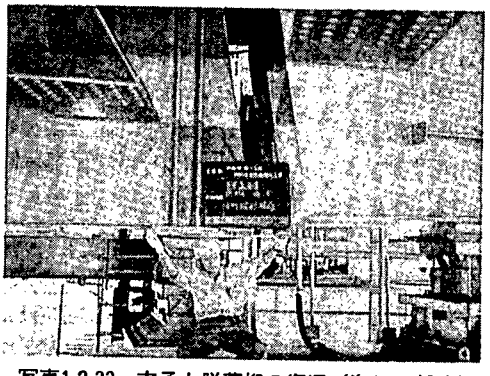


写真1.2.33　支承と脱落桁の復旧（海P134橋脚）

参考文献　；

本復旧工法	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	守口線		

被災度	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

1．被災状況

（概要）

阪神高速道路12号守口線では、1号環状線と分合流する付近でRC橋脚や支承などの大きな被害を受けた。

守Ｐ８橋脚の梁のせん断破壊、鋼桁下フランジの座屈、支承の損傷、桁間の段差が生じるなどの被害がみられた。

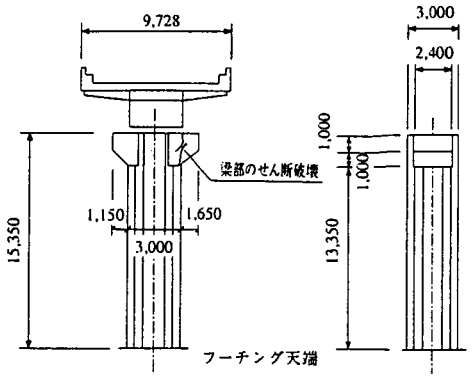


図-2.1.3　守Ｐ８橋脚の損傷状況

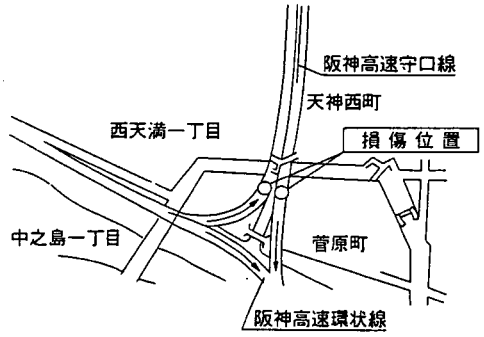


図-2.1.1　位置図

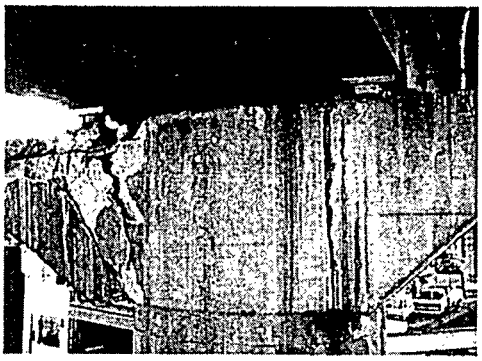


写真-2.1.1　守Ｐ８橋脚の損傷状況

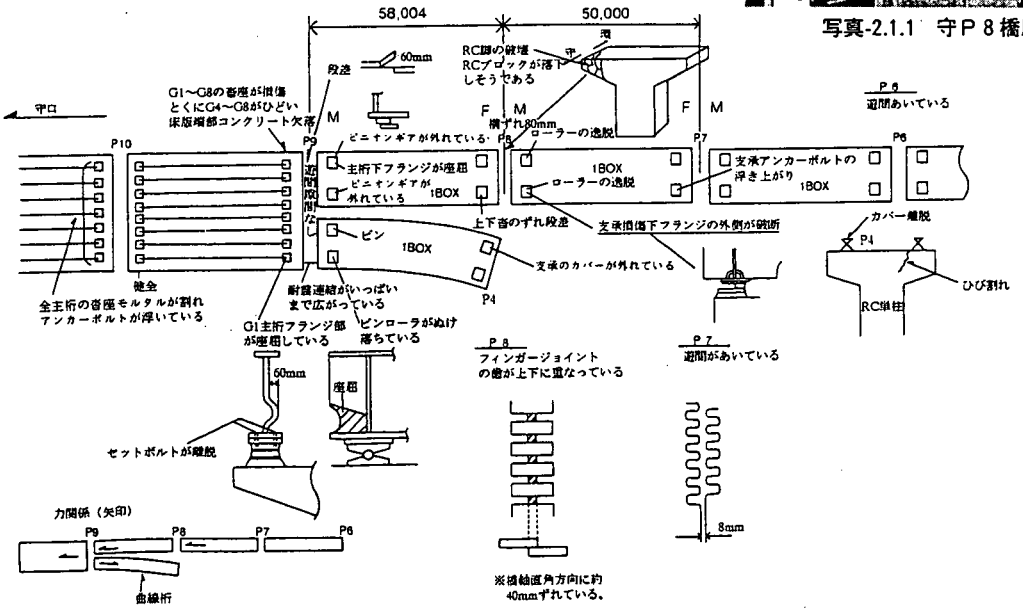


図-2.1.2　被災状況

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

46

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（梁の再構築）

復旧に当たって、比較検討を行った結果、工期・施工性を考慮し、梁損傷部の再構築および鋼板接着補強により復旧することとした。復旧内容を以下に示す。

①再構築の範囲は、上部構造の仮受け状況と梁の損傷状況から柱中心より右側50cmとする。
②既設鉄筋と新設鉄筋はガス圧接とする。継手位置は１箇所に集中するが、鋼板で補強する。
③新設鉄筋は既設鉄筋のピッチに合わせ、鉄筋量の不足分は鋼板を鉄筋換算する。
④鋼板厚は6mmとする。
⑤工程を優先するため、鋼板は健全な左側梁部と同時に施工することとし、再構築後、樹脂ｱﾝｶｰで定着する。

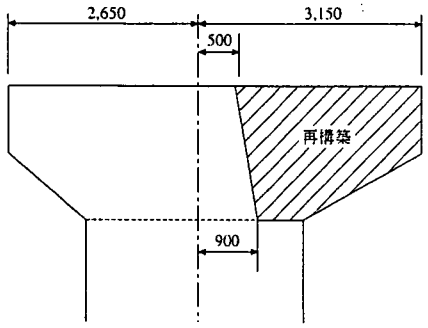


図-2.1.4　梁再構築の範囲

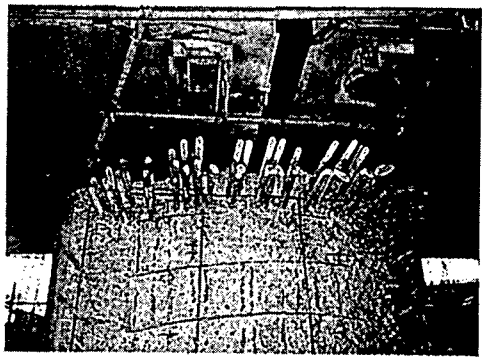


写真-2.1.3　梁コンクリートのはつり

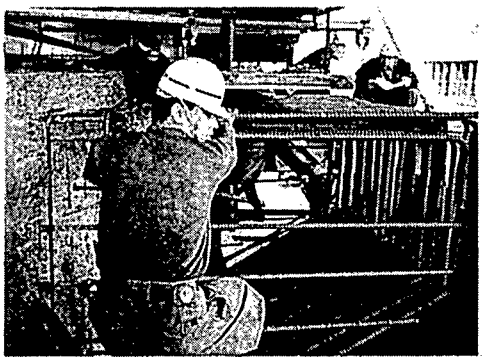


写真-2.1.4　鉄筋の組立て

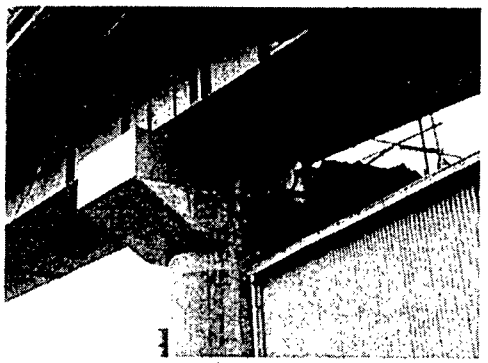


写真-2.1.5　復旧完了

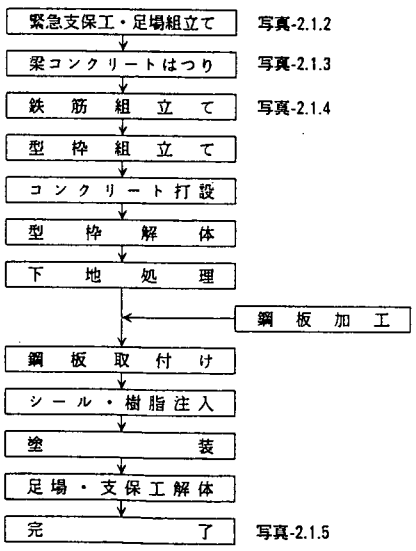


図-2.1.5　施工手順

参考文献　；

本復旧工法	RC橋脚　桁存置での撤去工法	路線名
		阪神高速道路

（概要）

ピルツ区間等倒壊した橋脚以外の撤去を対象とし、特に桁を存置したままで撤去しなければならない橋脚が１３９基あり、しかも橋脚の前後にはベントが設置された狭隘な空間での作業であるため、各種工法が採用された。

表-3.2.1　桁存置での撤去工法別橋脚数

テルハクレーン	62基
トラッククレーン	30
パワージャッキ	26
大型自走式台車工法	7
その他	14
合計	139

1)　トラッククレーンによる方法

上部構造の桁が撤去されている場所や、桁がある場合でも桁端を一部撤去するなどしてクレーンの設置空間と作業空間が確保できる場合は、大型クレーンを使ってコンクリートブロックを取り降ろした。梁はワイヤーソーでコンクリートを切断する間、切断ブロックをクレーンなどで吊り下げておくか、ベントで受けておくかのいずれかが必要であったが、受け替えなどの段取り替えなどを考慮して、クレーンで直接吊り下げておく方式で施工した。

2)　テルハクレーンによる方法

橋脚上の桁が連続していない箇所では、橋面上にセットしたテルハクレーンで切断した橋脚のブロックを吊り降ろす工法が考案された（図-3.2.7）。

テルハクレーンではチェーンブロックを桁と桁の隙間（桁遊間）に通し、撤去ブロックと連結し垂直に降ろすことができる。また、橋軸直角方向に自由に移動させることができるので、柱部分の撤去も搬出用トレーラーへの積込みも問題はなかった。クレーンの操作は作業の効率性から電動のものが多かったが、一部手動で行った工区もあった。

桁端部は桁受けベントの設置により張出し梁になっており、死荷重状態でも床版のひび割れが懸念された。そのうえテルハクレーンの反力は直接上部構造に伝わるため、床版にひび割れが生じないよう支点位置に配慮して構造を決定し、橋桁上にセットした（写真-3.2.2）。

作業は平行する道路を走る車両の安全に配慮して、夜間に１車線通行規制して梁先端部のブロックを撤去し、残りのブロックの撤去は占用帯の中で昼夜間連続して作業を行った。同工法の採用により、工期を短縮できたばかりでなく、低騒音施工により住民への影響も最小限に押さえることができた。

この工法は桁を存置したままで撤去する橋脚139基のうち約半数の橋脚で採用された。

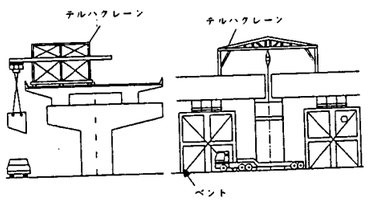


図-3.2.7　テルハクレーン概念図



写真-3.2.2　テルハクレーン設置状況

3)　パワージャッキ（パワーリフト）による方法

パワージャッキは通常、工場などで製作した工作機械などの重量物の搬出やプラントの据付けなどに使われている。今回使用したジャッキは１台あたり270tfまであげることが可能で安全性に優れている。

施工手順としては最初に柱部を切断して梁部分をそのまま降ろす方法と梁部分を順次切断して降ろす方法の２通りある。

梁全体を一括で降ろす方法は梁全体が占用帯の中に納まる場合に採用された。この方法ではまず柱の両サイドに橋軸方向にレールを敷きパワージャッキを梁の下に設置する。柱部をワイヤーソーで切断してパワージャッキで数センチ持ち上げ、橋脚と桁受けベントの間の仮受け架台まで移動させる。仮受け架台に切断した橋脚を盛り替えパワージャッキを撤去する（写真-3.2.3）その後梁部を小さいブロックに切断して搬出した。

逆に、梁全体が占用帯に納まらない場合には梁部分を順次切断して撤去した。この場合は橋軸直角方向にレールを敷き、切断した20tf程度のブロックを占用帯の外側に移動させて搬出した。柱部分の撤去では切断するブロックの上面に撤去用の梁を取り付け、それをパワージャッキで受けて取り降ろした（図-3.2.8）。１ブロックあたりほぼ１日を要したため、橋脚１基全体の撤去に３～４週間程度の時間を要した。

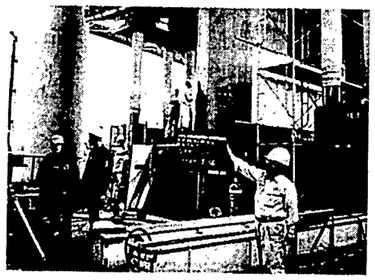


写真-3.2.3　切断のための仮受け状況

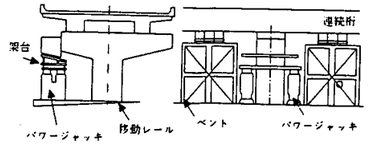


図-3.2.8　パワージャッキ概念図

この工法は26箇所で採用されたが、橋脚撤去工事開始当初は既存のシステムを利用できることや施工の安全性、工期短縮の面から多くの工区で採用の希望があった。しかしながら、ジャッキシステムの台数に限りがあり、早期復旧区間（摩耶～京橋）や連続桁の中間支点上など限定された箇所での採用となった。

4)　大型自走式台車による方法

この工法は現地作業を少なくするために、超重量物運搬車両（マックスキャリア、あるいは、トランスポーター）を利用して切断した橋脚を大ブロックで一括撤去する工法である。車輪の油圧サスペンションがストローク600mmのジャッキとしての機能を果たすことを利用して空頭の無い位置にある重量物の一括撤去作業を実現し、360度ステアリング性能によりあらゆる走行軌跡が描ける機能で狭い場所への進入退出を可能にした。

自走台車（ユニットキャリア）と台車（ユニットドーリー）の連結により、重量物の大きさや重さ（最大2,720tf）に合わせて自在に編成できるが、今回の工事では最大の場合で340tf積載可能な編成とした。

施工手順を図-3.2.9に示す。施工上留意した点は移動時の安定性の確保と撤去ブロックの固定である。台車（約70tf）にベント架台（高さ10m、50tf）を載せ、その上に切断したブロック（約120tf）を固定する構造になる。

このままではトップヘビーな状態となりバランスが悪いので、カウンターウェイト（約100tf）を台車上に載せ、それからベント架台を設置した。これによって重心位置を2.5m～3m下げることができ、全体の安定を保つことができた。また、切断する梁の形状（梁下）は全てテーパー（約10°）がついており、切断時や移動時の滑落防止が必要であった。その対策としては切断する梁下に取り付けたコーナーピースと架台にセットしたキリンジャッキを調節して固定した。ジャッキは１ブロックあたり６台設置し、梁高の高いほうへの滑落を防止したが、安全性を高めるためアングル材でもブロックと架台を結合した。固定作業はキャリアを所定の位置にセットしてからワイヤーソーで橋脚を切断するまでの間（４～５時間）に施工したが、実際の作業時間は１時間程度で完了できた（写真-3.2.4）。

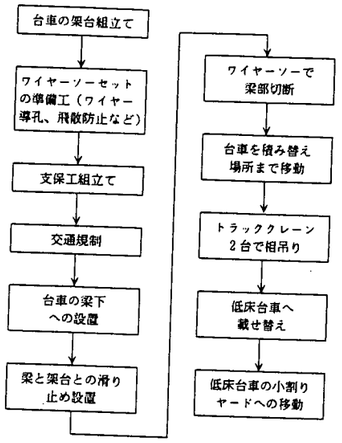


図-3.2.9　大型自走式台車による施工手順

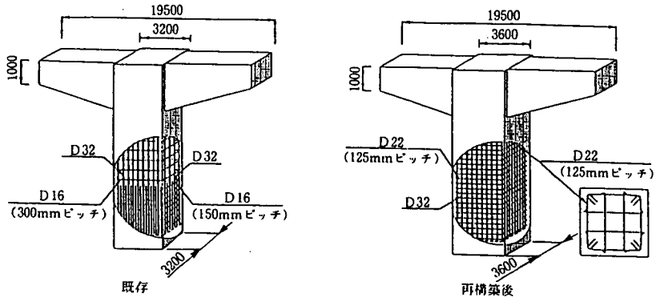
この工法で７基の橋脚が撤去されたが、いずれも橋脚全体で１～２週間のサイクルタイムで予定どおり施工できた。当初は交通規制や交通安全、移動の間の障害物（交通標識、照明柱）などいろいろな点で心配されたがほとんど問題なく工事が進んだ。今後の課題としては、車両の使用価格が高いため、より効率的な運用を図る必要があると考えられる。

参考文献　；

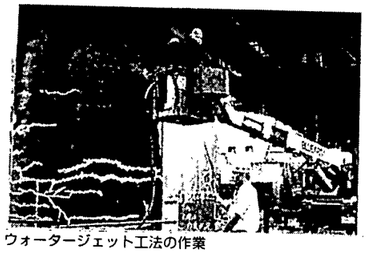
本復旧工法	RC橋脚　　補修・補強	路線名
		阪神高速道路

（概要）

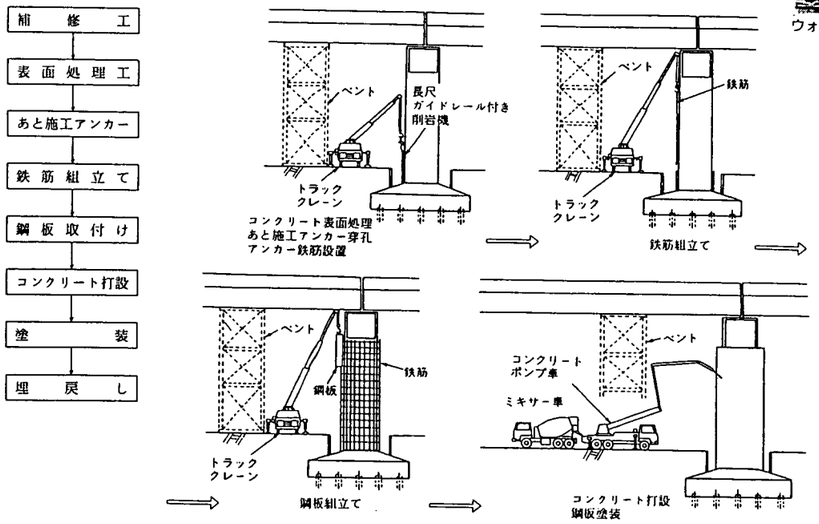
損傷度が Bランク以下で残留傾斜が大きくない橋脚は、補修・補強による復旧が可能と判断し、平成２年道示と復旧仕様に基づいた設計を行っている。既設橋脚の外側にあと施工アンカーを設置したＲＣ巻立て（標準t=300㎜）、および鋼板巻立てにより復旧した。これは設計震度のアップ（kh=0.2→0.25）に対する曲げ耐力の向上と、帯鉄筋とみなした鋼板によるせん断耐力の向上および横拘束効果を期待した設計である。鋼板はフーチングにアンカーしない構造を基本としているが、立地上の制約等により鋼板巻き立てのみの補強を行っている場合は、鋼板に主鉄筋と帯鉄筋の両機能を持たせるため、あと施工アンカーでフーチングに定着している。



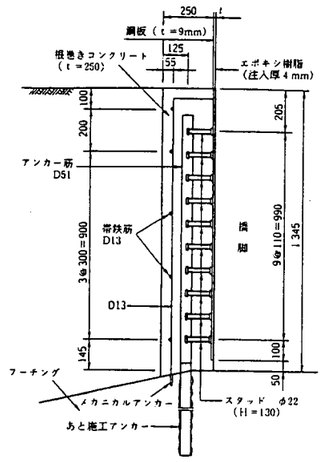
RC橋脚再構築による形状変化



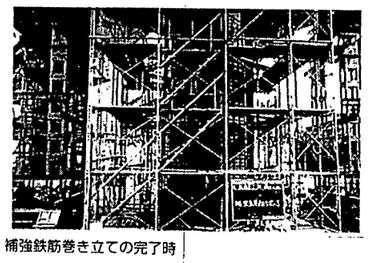
ウォータージェット工法の作業



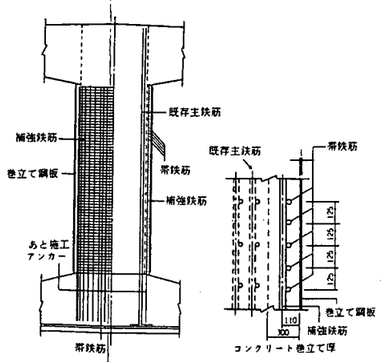
RC橋脚の補強手順



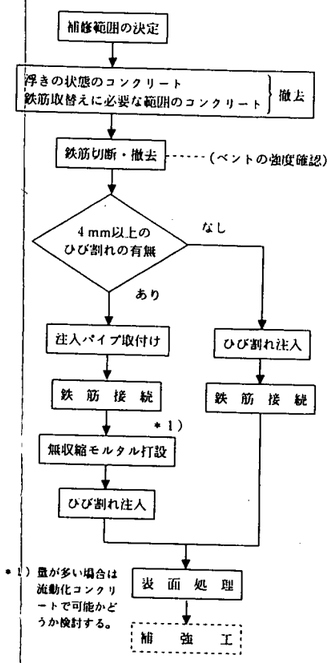
鋼板定着部の構造



補強鉄筋巻き立ての完了時



RC橋脚の補強要領

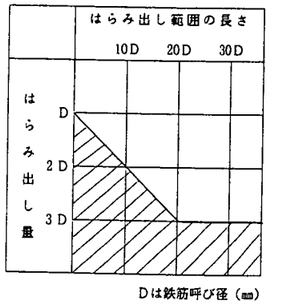


(a) 鉄筋取替えのない場合

*1）量が多い場合は流動化コンクリートで可能かどうか検討する。

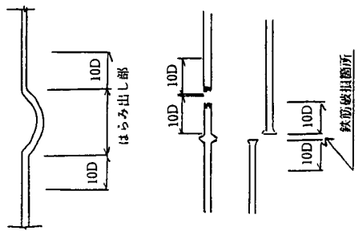
(b) 鉄筋取替えのある場合

脚柱の補修作業フロー

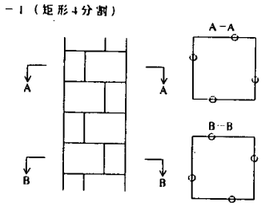


Dは鉄筋呼び径（㎜）

鉄筋取替え判定基準



鉄筋取替え範囲



※○印は鉛直方向溶接継手位置

補強橋脚の鋼板配置

参考文献　：　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　ー震災復旧工事誌ー」，平成９年９月

傾斜修正

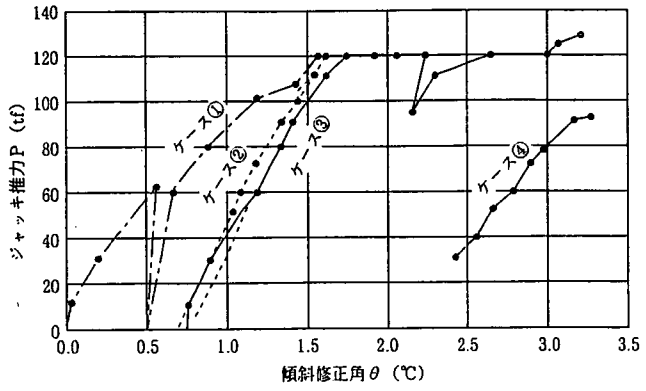
ジャッキアップによる橋脚の傾斜修正は前例がないことから、撤去予定の橋脚（神P387）を使用して傾斜修正の試験施工を実施した。試験施工の目的は、①ジャッキアップ推力の設定、②ジャッキアップ時の挙動把握にあった。

傾斜修正は傾斜下側の梁重心をジャッキで押し上げる方法を採用したが、ジャッキアップ作業を容易にするため、また、健全な部位に損傷を与えないために、損傷部の剛性を弱め試験を行った。

（本施工）

橋軸直角方向に傾斜していた神P297橋脚は、フーチング上面から２～４ｍの範囲の全面においてコンクリートのはく離、はく落が生じ、しかも鉄筋継手が重ね継手であり、鉄筋同士の連続性がない状態にあった。そのため、低荷重（推力）でジャッキアップが可能と判断し、試験施工結果を踏まえジャッキアップ工法により傾斜修正を実施した。修正目標は橋軸方向、橋軸直角方向ともに1/500ラジアンとした。さらに、傾斜修正にともなうコンクリートのひび割れ幅の管理値を0.5㎜とし、引張り鉄筋の発生応力管理値を常時の許容応力度1800kgf/cm²とした。

その結果、損傷部の剛性低下化、つまりコンクリートはつりおよび鉄筋切断を行うことなく、上記管理値に収まる傾斜修正を完了した。



	断面状況
ケース① 全周かぶりコンクリートはく落	傾斜方向 → 引張側 / 圧縮側
ケース②	かぶりコンクリート撤去断面
ケース③	圧縮（圧壊）側１段目鉄筋切断断面
ケース④	圧縮（圧壊）側２段目鉄筋切断断面

現状（震災直後）断面

図-5.5.11　試験施工対象橋脚（神P387）のジャッキ推力と傾斜修正角の関係

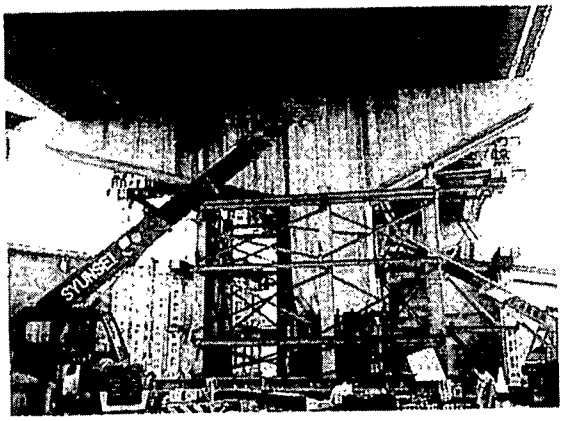


写真-5.5.1　損傷状況（神P297橋脚）

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　ー震災復旧工事誌ー」，平成９年９月

						復旧工法		
	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	平日交通量	休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	撤去・再構築
工　期	
工　費	

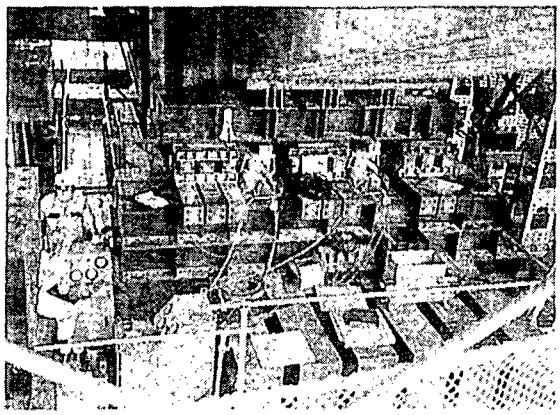


写真-5.5.2　梁ジャッキアップ

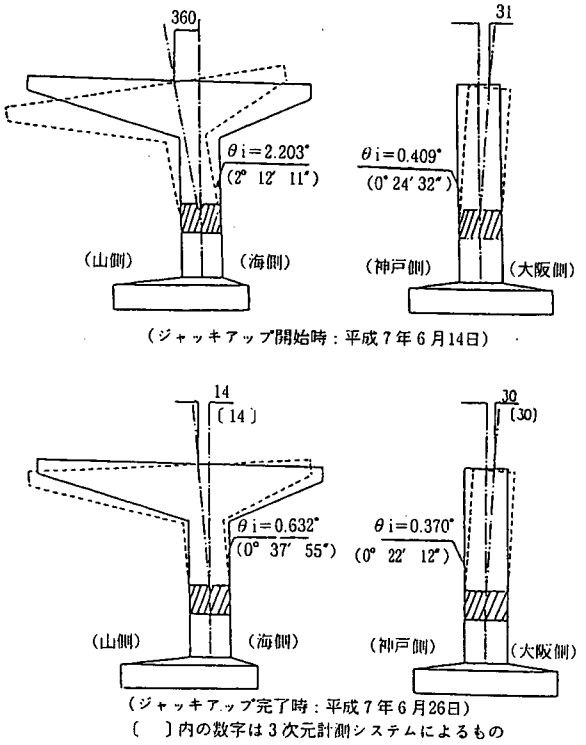


図-5.5.13　傾斜修正前後の状況（神P297橋脚）

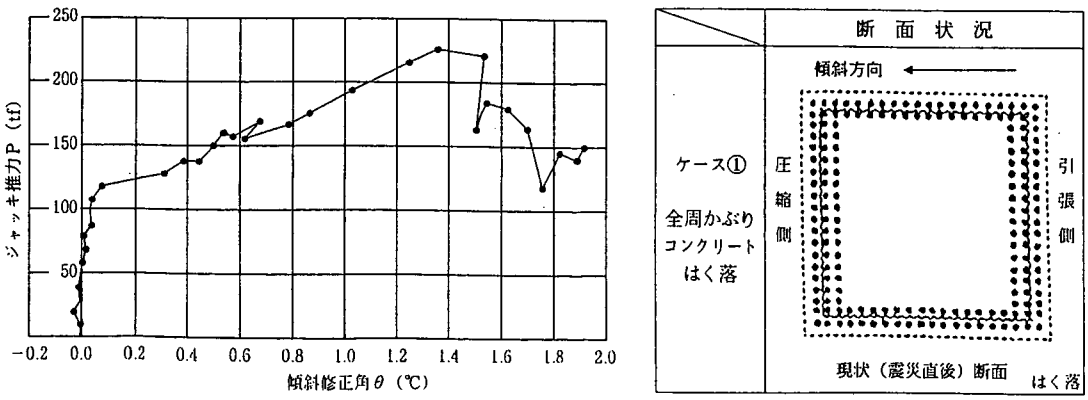


図-5.5.12　復旧対象橋脚（神P297）のジャッキ推力と傾斜修正角の関係

参考文献　；

本復旧工法	RC橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	鷹取地区	RC床版非合成箱桁	RCﾗｰﾒﾝ橋脚、杭基礎

被災度		
	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

1．被災状況

（概要）

鷹取地区は、３号神戸線の西端付近に位置し、ＪＲ山陽本線を跨ぐ３径間連続非合成箱桁の区間である。
今回の地震により連続桁の固定橋脚にあたるRC１径間ﾗｰﾒﾝの神P688橋脚が橋軸方向にせん断破壊し、これに伴って桁が約1.2m沈下するとともに、明石側側径間の中間可動脚付近の主桁が大きく座屈した。

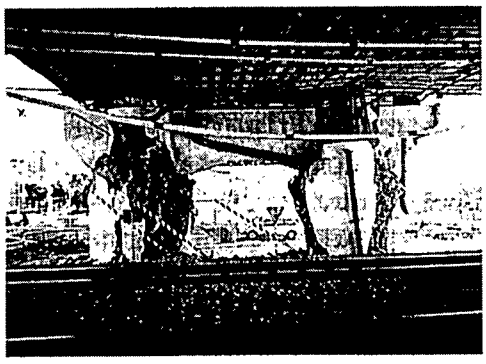


写真-5.9.1　神P688橋脚の崩壊状況

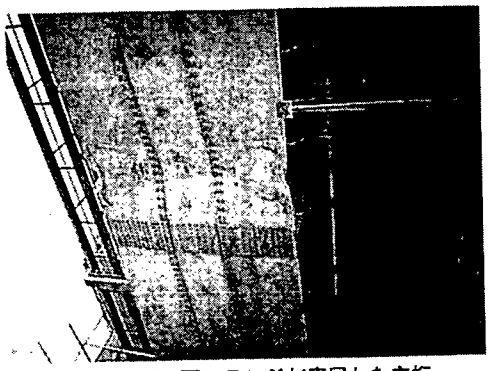


写真-5.9.2　下フランジが座屈した主桁

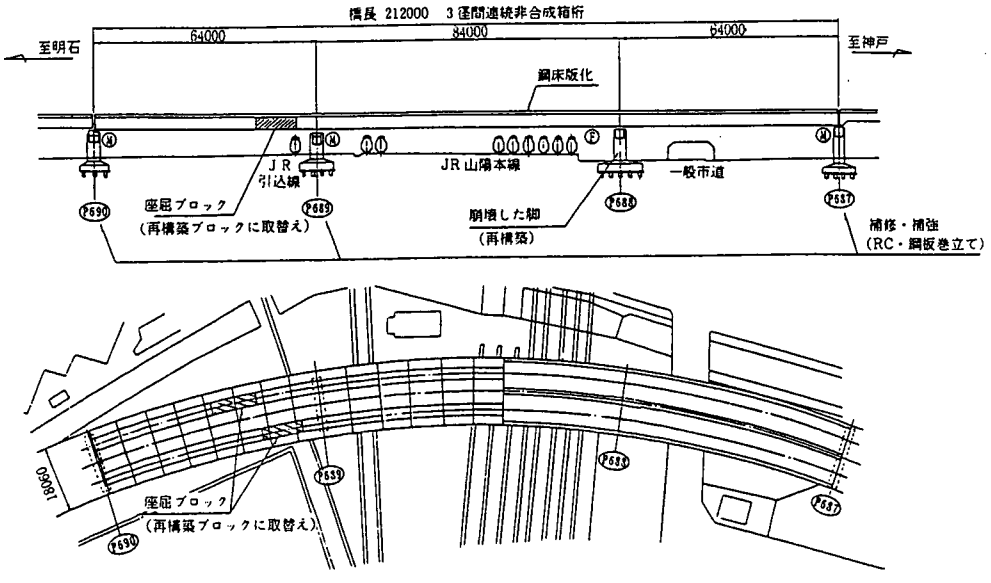


図-5.9.1　被災状況および復旧概要

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

(50)

復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（概要）

橋脚崩壊による上部構造の沈下が、桁下を通るJR山陽本線に支障となるため、鉄道の運行回復を優先し、神戸線の復旧工事に先立って、桁を震災前の高さまでジャッキアップすることにした。

桁のジャッキアップは、崩壊した橋脚の（神P688）の橋軸方向の両側にベントを設置し桁を支持するとともに、ベント上に装備したジャッキで、主桁を震災前の高さまで扛上した。ベント設備はフーチング上に設置し、併せて主桁の腹板にジャッキアップ用補剛材を取り付けた。その後、余震などの保全措置として、暫定の落橋防止装置を残存するすべての橋脚に設置した。

高欄および床版についても本復旧で鋼床版化するので撤去した。高欄はワイヤーソーおよびコンクリートカッターで切断し、橋面上に配置したトラッククレーンで切断ブロックを撤去した。ＲＣ床版は、コンクリートカッターで１ｍ×６ｍ程度に切断し、ＰＣ鋼棒とビームを利用してジャッキで持ち上げるジャッキビーム工法で切断ブロックを桁から引きはがし、橋面上に配置したトラッククレーンで撤去した。

崩壊した神P688橋脚は調査の結果、異常が見られなかったフーチング・杭は再利用し、柱・梁部を撤去再構築した。

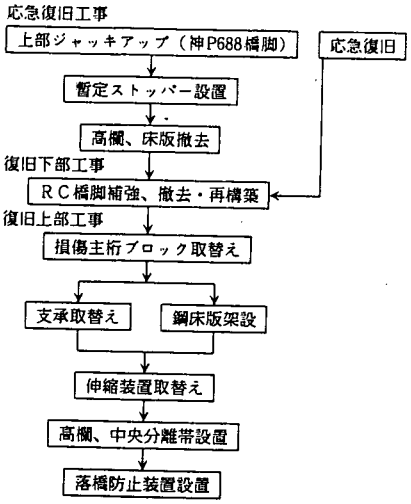


図-5.9.2　復旧手順

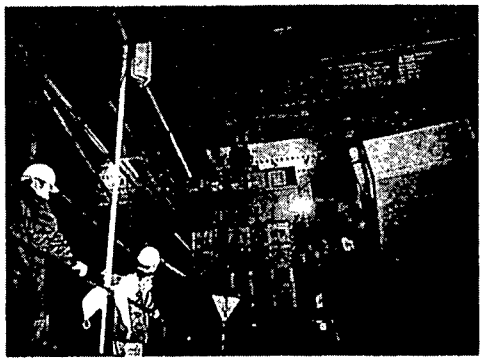


写真-5.9.3　桁の応急ジャッキアップ

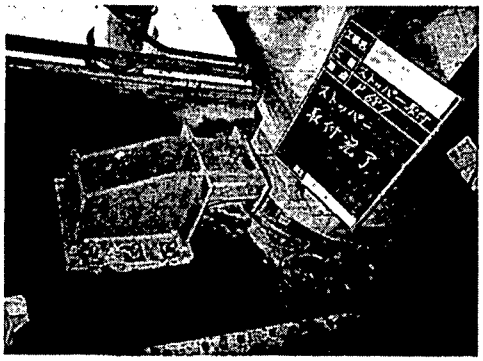


写真-5.9.4　暫定落橋防止装置

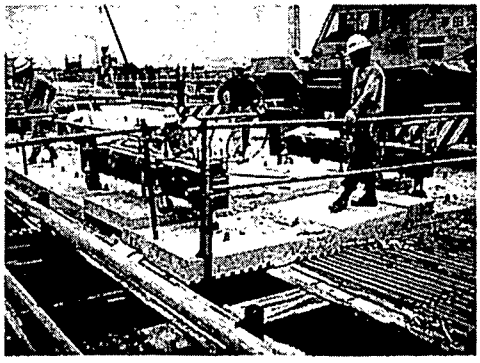


写真-5.9.5　ジャッキビーム工法による床版の撤去

参考文献　；

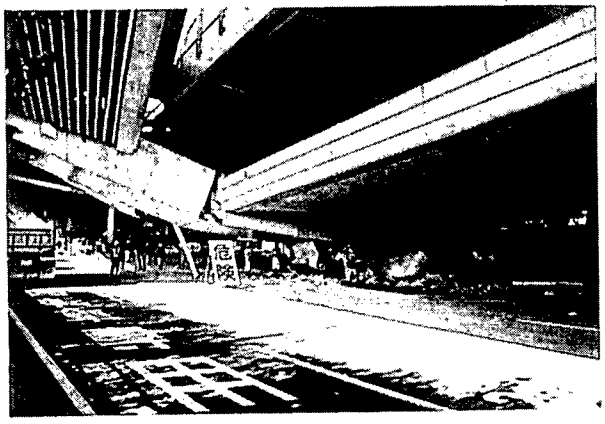
本復旧工法	鋼製橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	建石地区	ＲＣ床版合成鈑桁	特殊門型橋脚，杭基礎

被災度		
	上部構造	Ａｓ
	橋　脚	Ａｓ
	基　礎	被害なし
	支　承	Ａｓ

1．被災状況

（概要）

建石地区では、鋼製橋脚に大きな被害がみられた。
特に被害の大きかった神P55は、鋼製Ｔ型単柱とその梁端部を支えるＲＣ柱がヒンジで結合されている特殊門型橋脚であり、鋼製Ｔ型単柱の脚柱基部において面板の座屈、角溶接部のわれが生じ圧壊した。そのため、この橋脚に支持されていた本線桁２連、ランプ桁３連が中埋めコンクリート上面位置まで沈下し、桁を支持する横梁が座屈した。



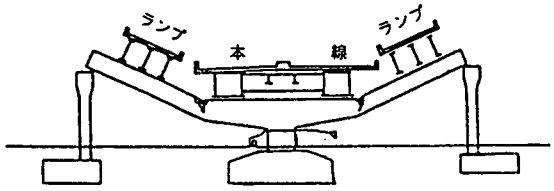
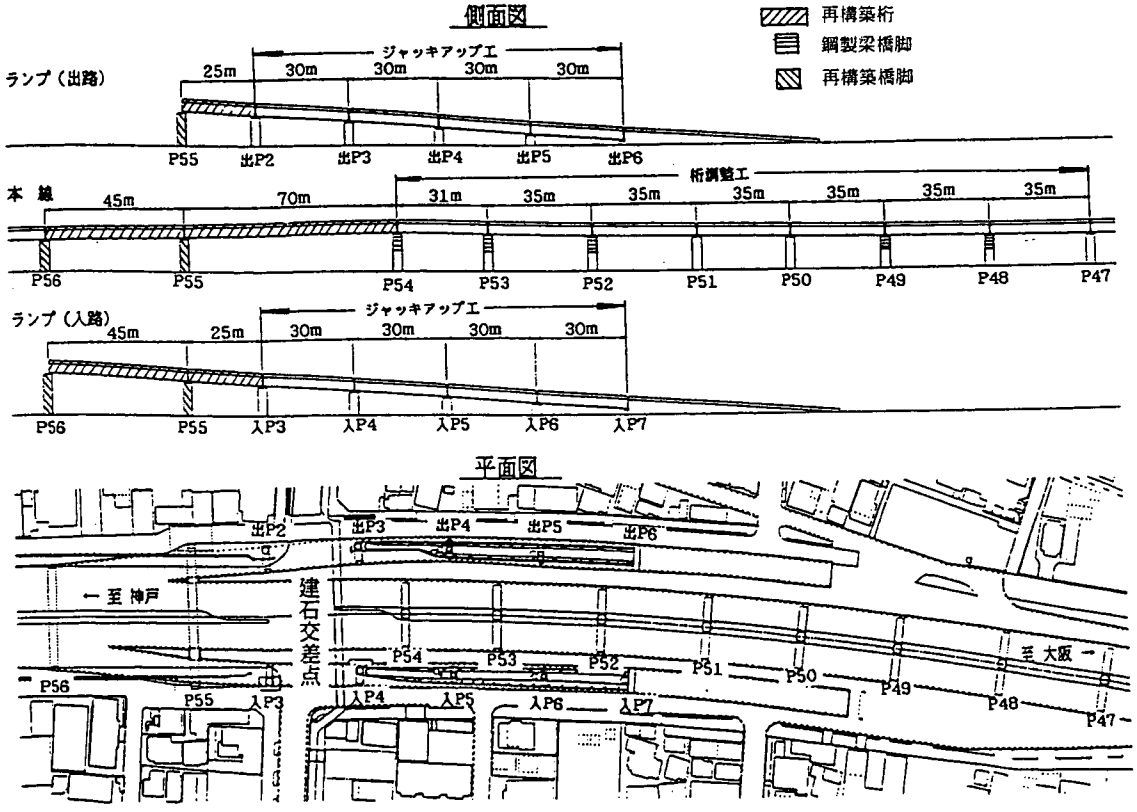


図-5.1.2　被災状況概念図（神P55橋脚）



建石地区施工区間

参考文献　：　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

51

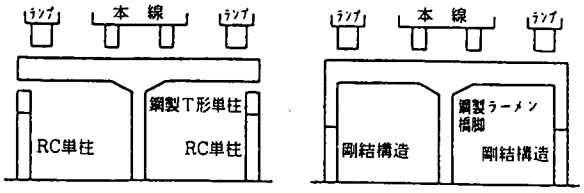
復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（概要）

落下した神P54～神P56間の本線桁とランプ桁および圧壊した神P55橋脚は地震直後に撤去した。

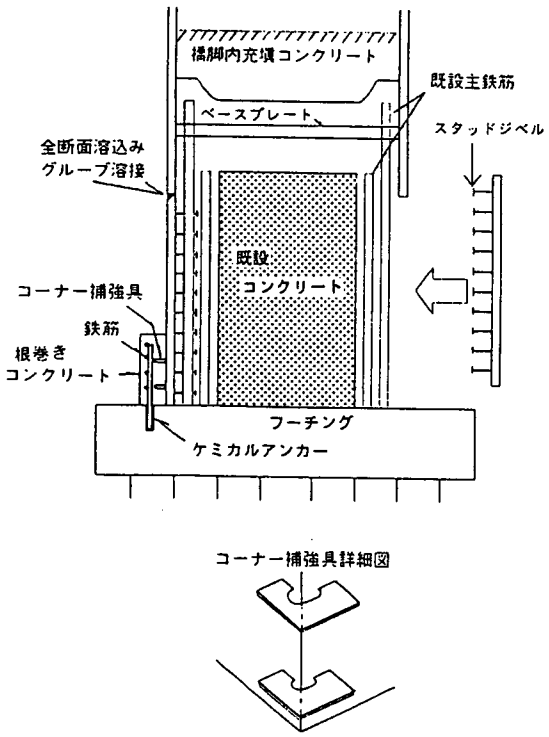
神P55橋脚は、再構築に先立ち実施した調査の結果、アンカーボルトおよび基礎構造物は健全であることが確認できたので、ベース部より上を再構築することにし、その構造については、中央の柱の地震による座屈損傷が荷重の集中により進展したという落橋のメカニズムを考慮し、すべての柱を鋼製とした２径間ﾗｰﾒﾝ橋脚に変更した。



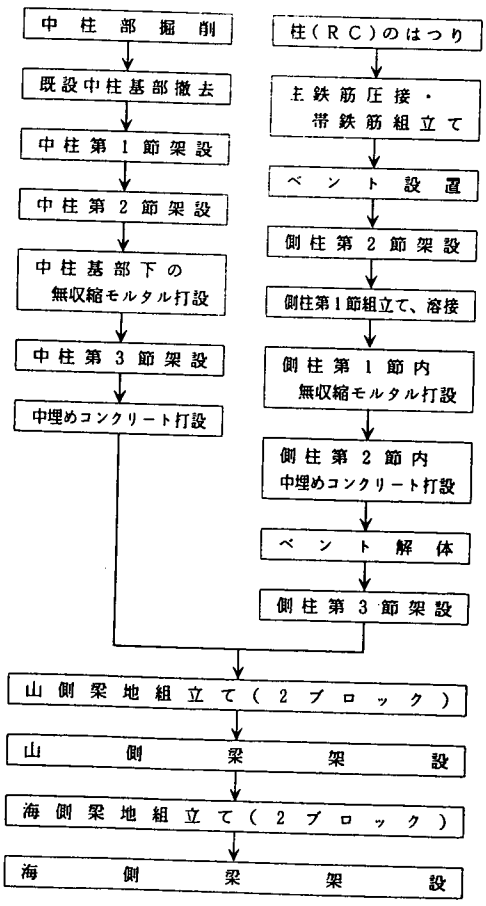
(a) 震災前　　(b) 震災後

新旧構造比較

中柱についてはアンカーボルト、ナットは再利用し、柱基部より再構築した。左右両側の柱については旧ＲＣ単柱部分を鋼製ラーメン形式にするため、２本のＲＣ単柱を地上約１ｍの部分で切断し、コンクリートを主鉄筋部まではつり取り、これに鋼製側柱部を被せる構造とした。鋼製側柱部内側にはスタッドジベルをＲＣ柱の第１主鉄筋に絡ませるように設置することとした。



側柱基部一体化イメージ



神P55橋脚の施工手順

参考文献　；

本復旧工法	橋梁全体	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	深江地区	ピルツ構造	ＲＣ単柱、杭基礎

被災度		
	上部構造	Ａｓ
	橋　脚	Ａｓ
	基　礎	ひびわれ
	支　承	Ａｓ

1．被災状況

（概要）

深江地区では、ピルツ構造区間の神P126～神P142までの17基が北側に倒壊した。



被災直後（ピルツ橋の倒壊）

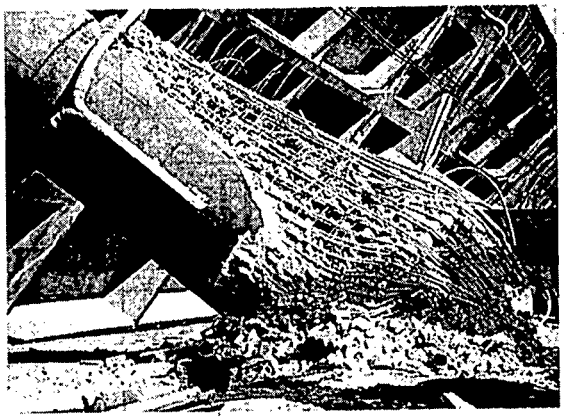


写真-5.2.1　被災状況

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

						復旧工法		
	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	平日交通量	休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

52-1

復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

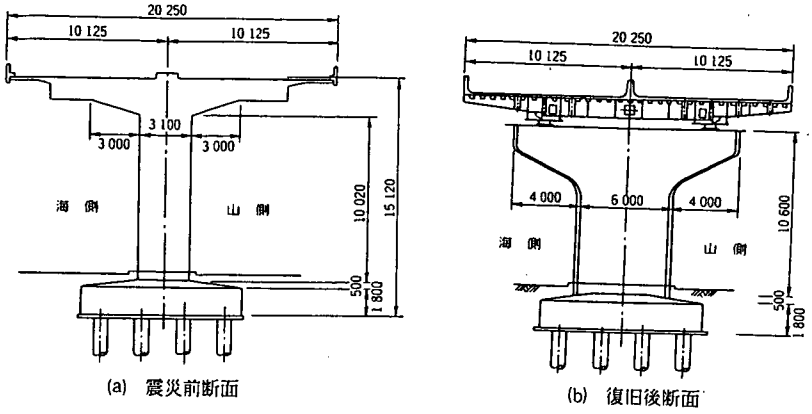
2．復旧工法

（概要）

神P126から神P142までの17基の橋脚は倒壊直後に建設省により地上部分の撤去が行われた。神P125、神P143橋脚は倒壊を免れたが残留変位が大きく残ったため撤去・再構築した。

震災前には上部構造と橋脚が一体のピルツ構造であったものを一般的な上部構造と下部構造を分離した構造とし、上部構造は９径間連続鋼床版２箱桁２連とし、支承は地震力の低減を図るために免震支承を採用することとした。また、橋脚は橋軸直角方向の幅を拡げた小判型ＲＣ橋脚とした。

基礎構造物については、ボアホールカメラによる調査、杭頭を掘り出しての直接目視調査および載荷試験などにより健全度を確認した結果、損傷は軽微であり、再利用が可能であると判断した。



(a)　震災前断面　　(b)　復旧後断面

新旧構造比較

（橋脚撤去工）

両端の神P125、神P143橋脚の撤去については、応急復旧工事で設置した桁受けベントおよび梁受けベント材は耐荷力が不足するので撤去し、その後、切断時の梁仮受けベントを組み上げワイヤーソーで１ブロックの大きさが20tf以下になるように切断した。切断作業は交通規制が可能となる夜間に梁端部から行い、150tfクレーンにて吊り降ろした。

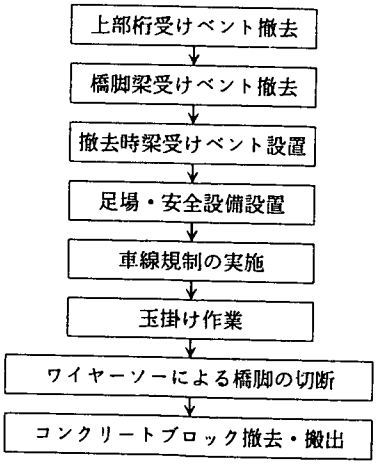


図-5.2.4　橋脚撤去工の施工手順

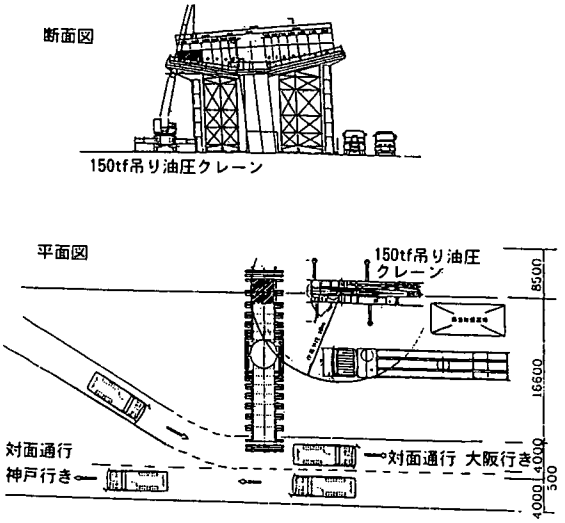


図-5.2.5　梁切断時の交通規制要領

参考文献　；

本復旧工法	橋梁全体	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	深江地区	ピルツ構造	RC単柱、杭基礎

被災度		
	上部構造	As
	橋脚	As
	基礎	ひびわれ
	支承	As

橋脚再構築工事

橋脚の再構築は、基礎杭の調査、杭補修、フーチング上部はつり、あと施工アンカーおよび橋脚躯体構築の手順で行った。

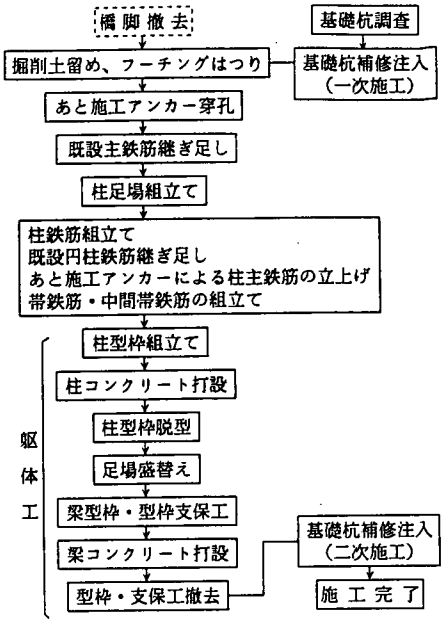


図-5.2.6　橋脚再構築の施工手順

（基礎杭調査工）

調査は、１橋脚少なくとも１本の杭についてフーチング上より杭中心をめがけて杭長の2/3程度の深さまで穿孔し、孔内にボアホールカメラを挿入し、杭内面のひび割れ状況をビデオ撮影により調査した。

最終的に17基の橋脚の25本の杭について調査した。その結果、20本の杭に0.1mm以上のひび割れが見られた。

（杭補修注入工）

杭調査結果に基づき、ひび割れ幅0.1mm以上のひび割れについて最下端ひび割れから1.0m下方まで、全橋脚、全杭について注入を行った。

注入剤には超微粒子セメントミルクを用いた。

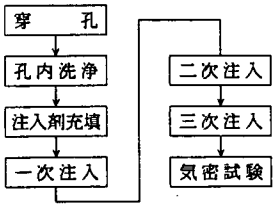


図-5.2.7　注入施工手順

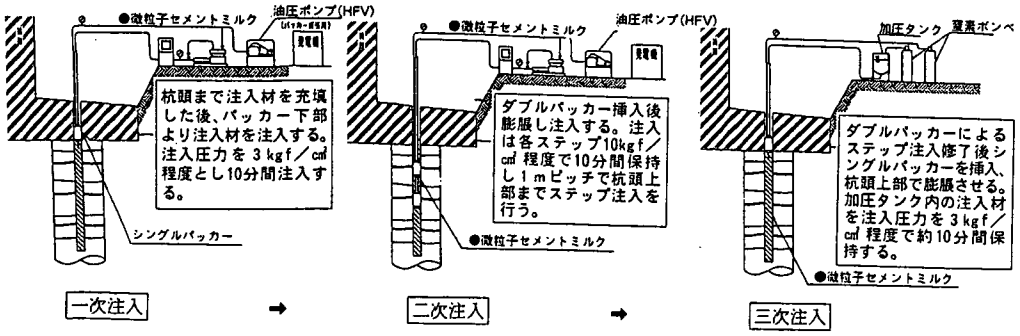


図-5.2.8　注入施工要領

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

52-2

（フーチング上部はつり工）

フーチング上部のコンクリートは30～50cmはつりとった。これは、既設主鉄筋の継手は相互にずらして配置する必要があるが、既設主鉄筋がフーチング天端で切断されていること、および鉄筋残置部の変形が著しかったことによる。

（あと施工アンカー工）

直径3.1m～3.3mの既設円柱が橋軸直角方向に6mの小判型になるため新設柱主鉄筋はあと施工アンカーによった。

アンカー1本当たりの穿孔深度（穿孔径φ36）は平均1.7mとなり、穿孔には移動が比較的容易な削岩機を用いた。充填材にはエポキシ系樹脂を採用した。

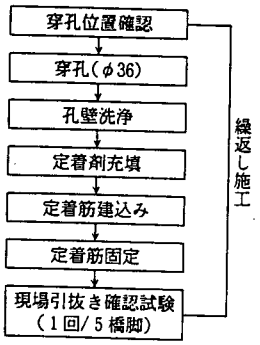


図-5.2.10　あと施工アンカー施工手順

（躯体工）

既設主鉄筋は機械式継手で継ぎ足し橋脚上部まで立ち上げた。既設鉄筋の不良部（著しい変形部）は除去し、また、隣合う継手が千鳥配置となるよう間隔を極力確保して施工した。機械式継ぎ手には、天候によって作業が比較的影響されない冷間圧着継手式を採用した。

新設柱主鉄筋はあと施工アンカーでフーチングに定着したが、橋脚基部での継手を避け柱上部まで立ち上げ、梁内部で継いだ。柱帯鉄筋および中間帯鉄筋はピッチを125mmとし中間帯鉄筋の重ね継手長は基本的に全ラップとした。

コンクリート打設は、一般的な柱部と梁部との2リフト打設とした。柱・梁部とも鉄筋量が非常に多く、狭い鉄筋間隔をぬってコンクリート打設を行わなければならず作業性は著しく低下した。

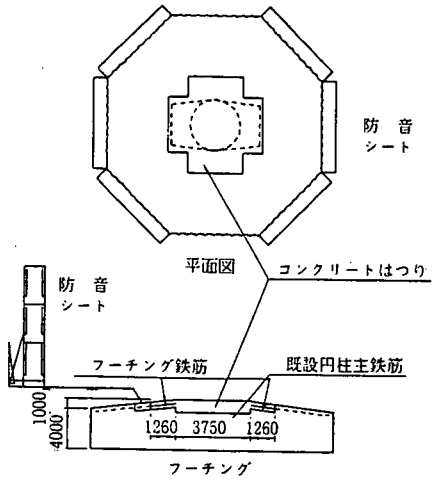


図-5.2.9　フーチングはつり範囲

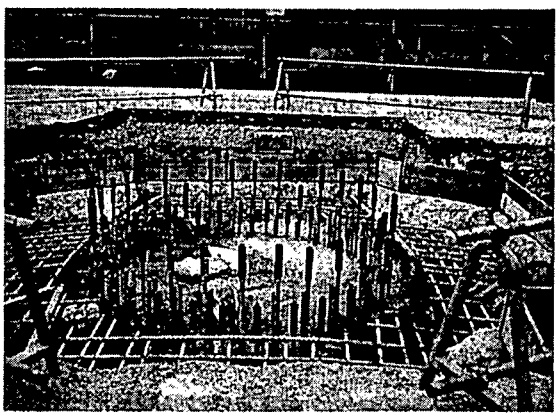


写真-5.2.8　機械式継手の施工（その1）



写真-5.2.7　主鉄筋の立ち上げ

参考文献　；

本復旧工法	橋梁全体	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	弁天地区	ＲＣ床版非合成鈑桁	ＲＣ単柱、杭基礎

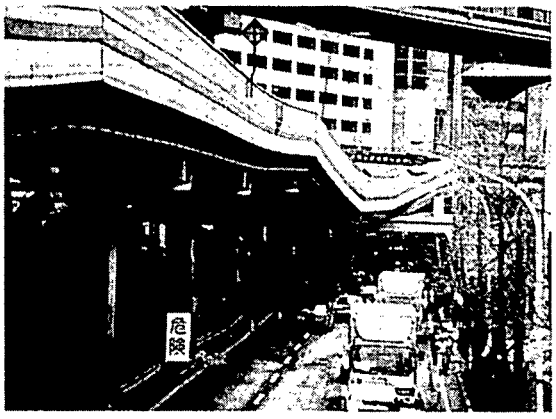
被災度	
上部構造	
橋　脚	
基　礎	
支　承	

1．被災状況

（概要）

弁天地区の下部構造はＲＣ単柱橋脚で、路下の国道２号の幅員構成および建築限界などから、中央分離帯と歩道に１本ずつ設置されていた。上部構造はＲＣ床版３径間連続桁６連、同単純桁２連で、剛な横桁を介して２本のＲＣ単柱で支持されていた。

地震により複数のＲＣ単柱橋脚がせん断破壊し、これにより３連が落橋、５連の桁に座屈等の大被害を受けた。また、単柱橋脚と上部構造との連結箇所での支承の損傷が著しかった。



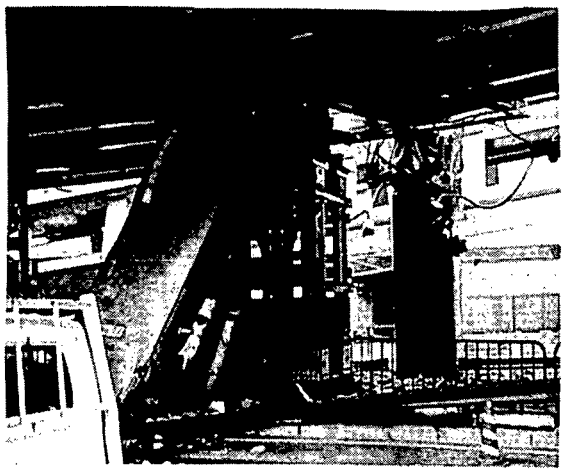


写真-5.7.1　弁天地区の損傷状況
（神P472～神P478）

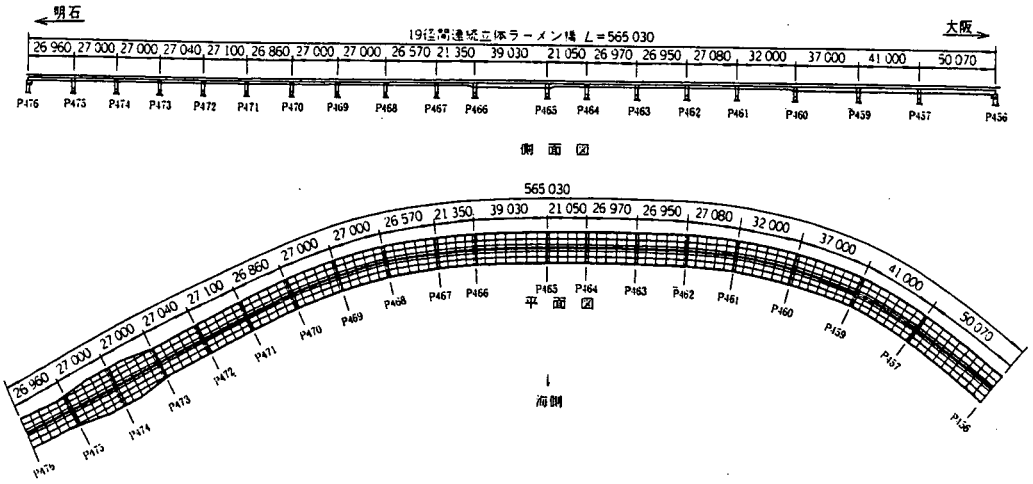


図-5.7.4　弁天地区の一般図

参考文献　：　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

						復旧工法		
	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	平日交通量	休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

53

復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

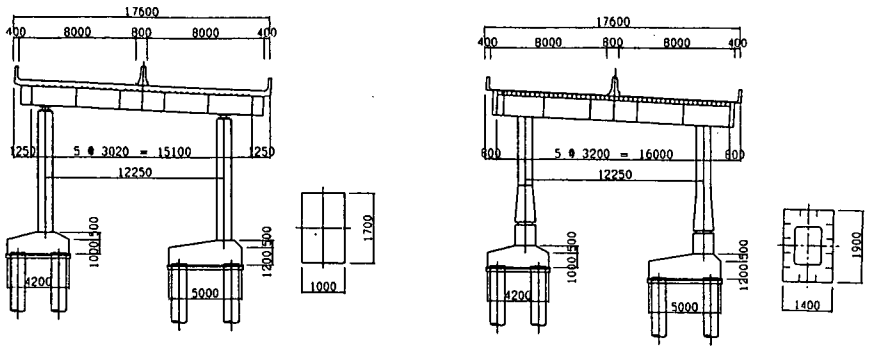
2．復旧工法

（概要）

当地区は、国道２号線上を占用していることから、一般交通確保のため、地震直後にフーチング以下を残して上・下部構造は全面的に撤去した。

復旧に当たっては、既存の杭基礎を最大限に再利用して工期短縮を図ることにし、脚柱基部に免震支承を配置した19径間連続立体ラーメン橋を採用した。

また、平成２年道示に基づいて杭の支持力を算定すると不足する基礎があり、それらについては増し杭工法で補強することにした。



(a) 復旧前　　(b) 復旧後

図-5.7.2　構造形式の新旧比較図

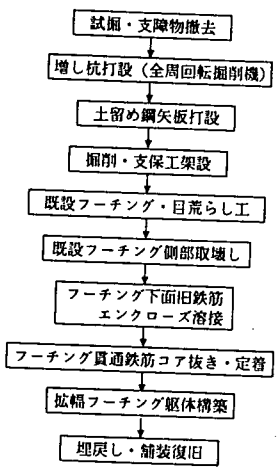


図-5.7.15　増し杭補強の施工手順

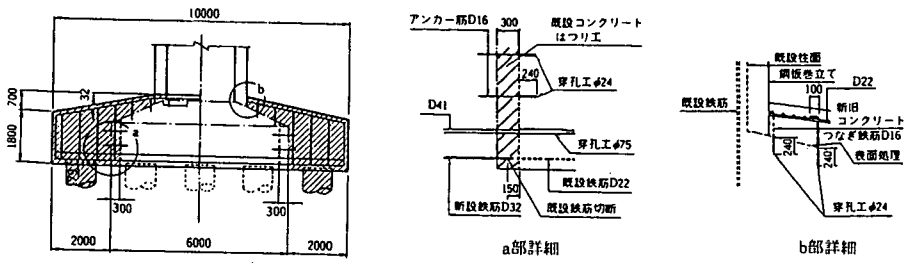


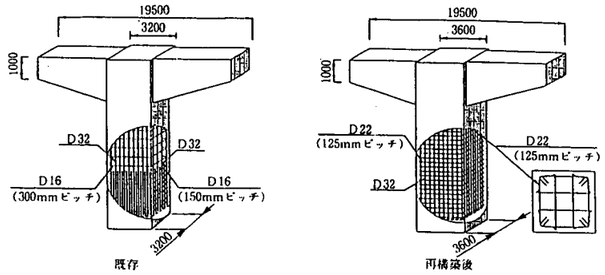
図-5.7.16　増し杭補強フーチング構造

参考文献　；

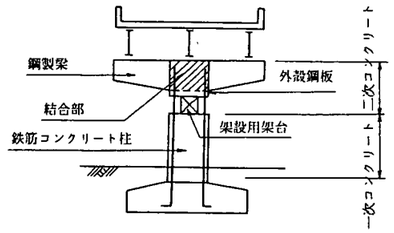
本復旧工法	RC橋脚　再構築	路線名
		阪神高速道路

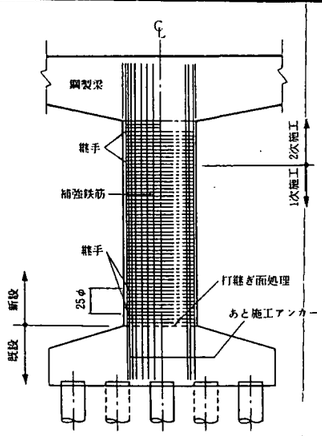
（概要）

損傷度が最も激しいAs、Aランク橋脚、および Bランク以下であっても残留傾斜が大きい橋脚は、撤去・再構築が必要と判断し、既設の主鉄筋を継ぎ足すとともに、既設橋脚の外側にあと施工アンカーを設置しＲＣ巻立て（標準 t=200mm）により復旧した。これは、設計震度のアップ（kh=0.2→0.25）に対する曲げ耐力の向上を図ったものである。さらに、既設および新設主鉄筋を囲む帯鉄筋量を多くし、せん断耐力の向上およびコンクリートの横拘束効果を期待するとともに、鋼製梁の採用による軽量化ならびに工期の短縮を図っている。

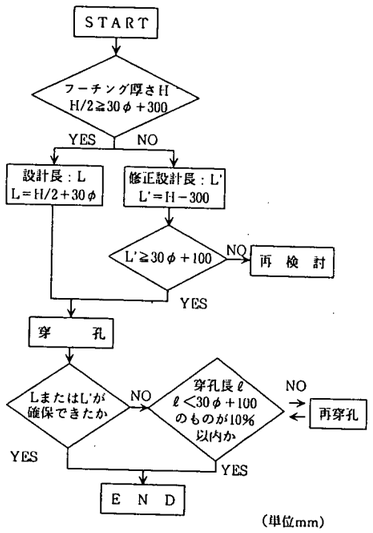


RC橋脚再構築による形状変化





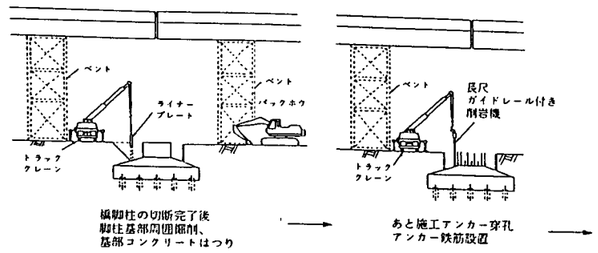
RC柱-鋼製梁複合橋脚の構造



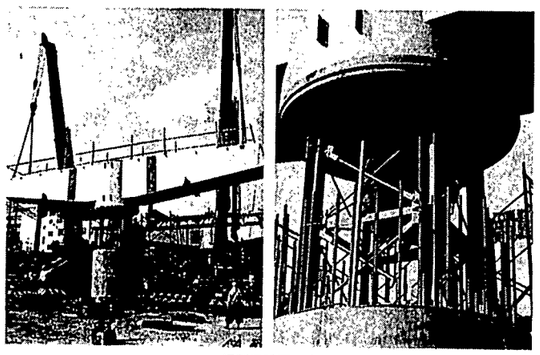
（単位mm）

あと施工アンカーの施工精度の管理

帯鉄筋		中間帯鉄筋		せん断補強鉄筋
4分割フック式（A－1タイプ）	3分割フック式（A－2タイプ）	鋭角フック分割式（A－3タイプ）	鋭角フック全ラップ式（A－4タイプ）	コの字形分割式（A－5タイプ）



複合橋脚の再構築施工手順

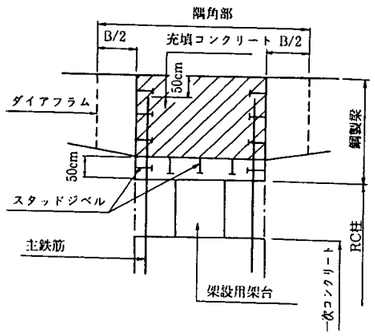


帯鉄筋の組立

鋼製梁設置工事

指定鉄筋継手タイプ

継手種類		部位	採用理由
再構築	機械式継手	あと施工アンカーと補強主鉄筋との接続	あと施工アンカーの充填材は有機系であり加熱を避ける必要がある。
		鋼製梁中の鉄筋継手	梁中での溶接を避けるため。
補強	エンクローズ溶接	既存鉄筋の補修	現場施工条件により、他の継手手法では、施工不可能。
	機械式継手	あと施工アンカーと補強主鉄筋との接続	あと施工アンカーの充填材は有機系であり加熱を避ける必要がある。
	フレア溶接	帯鉄筋のラップ部	主鉄筋にフック式接続が不可能であるため。



参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

本復旧工法	RCラーメン橋	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		山陽新幹線			

被災度	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

1．被災状況

山陽新幹線は、新大阪－姫路間でラーメン構造を基本とする高架橋や橋台橋脚が損傷を受けた。
標準的な高架橋の柱断面の大きさは0.8×0.8mである。コンクリートがせん断破壊し、断面に20本は位置されていたD32（SD30）の主鉄筋が大きく座屈した。

●落橋した山陽新幹線の概略構造

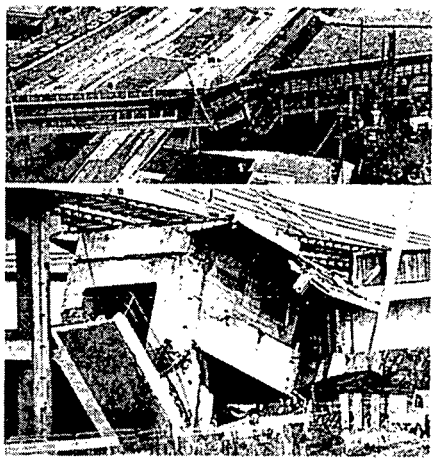
橋名	概略構造
下食満（尼崎市）	V（高架橋） S(単版桁)
第一野間（伊丹市）	V
時友（尼崎市）	V
阪水（西宮市）	V S V
甲東園（西宮市）	V S P（橋脚） C（PC桁） P
阪急今津線（西宮市）	A（橋台） C A
神呪（西宮市）	S V
伊川（神戸市西区）	C A S V



ラーメン高架橋の時友高架橋。上層部の柱が破壊した



ラーメン橋台が倒壊したために、阪急電鉄・今津線の上に単純 PC 桁が落下した



PC 桁、ラーメン橋台、単版桁が倒壊した伊川谷駅



単版桁高架橋ではラーメン橋台と単版桁が落ちた

参考文献　：　地震に強い土木
土木が遭遇した阪神大震災　共に日経コンストラクション編

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間

55

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

工事対象となる柱や橋脚は全708本であり、損傷の度合いによって３通りの方法で復旧工事を行った。

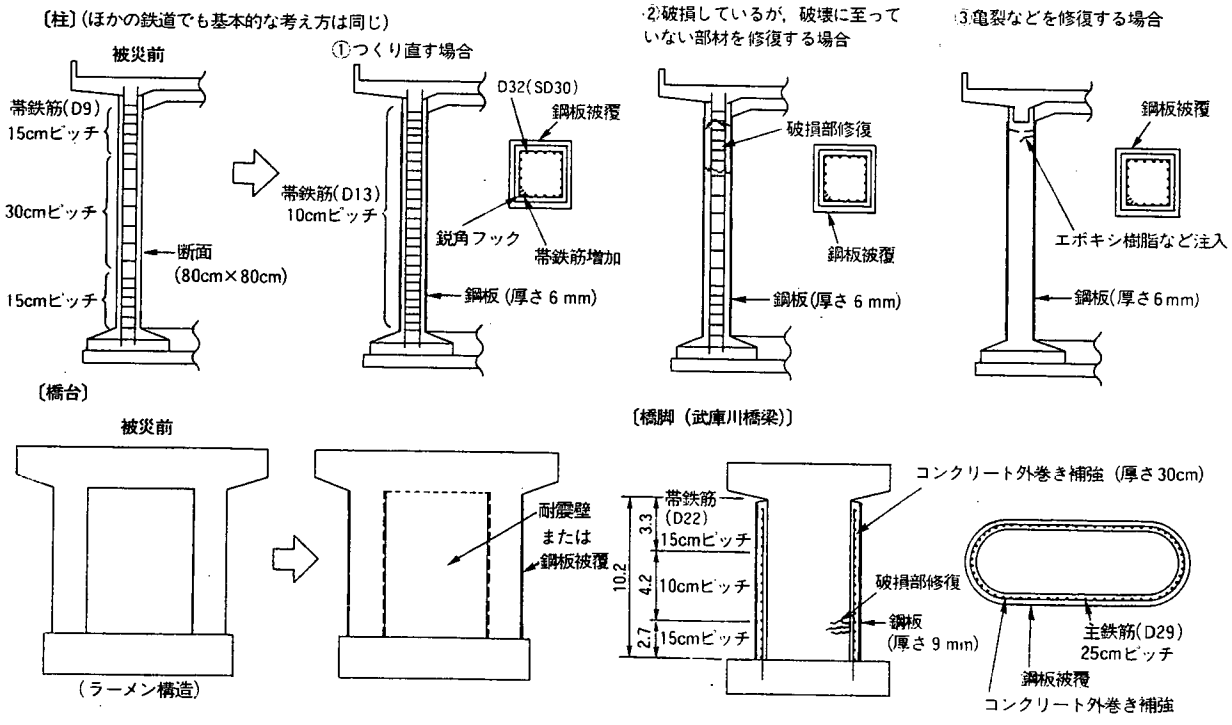
①破壊の程度が激しかった柱100本は撤去、再構築する。高架橋柱は、既設より帯鉄筋を増加し鋼板を巻きたてた。橋台柱は、帯鉄筋を増加させるとともに、壁で強化するか、鋼板を巻きたてた。

②破損しているが、破壊に至っていない柱337本は、破損部分にコンクリートを打ち直して鋼板を巻きたてた。

③亀裂を修復する柱247本では、亀裂にエポキシ樹脂などを注入し、鋼板を巻きたてた。

上部工は落橋したが、それ自体は損傷が少なかったため、クレーンやジャッキで引き上げ、再利用した。

●山陽新幹線の復旧計画



参考文献　：

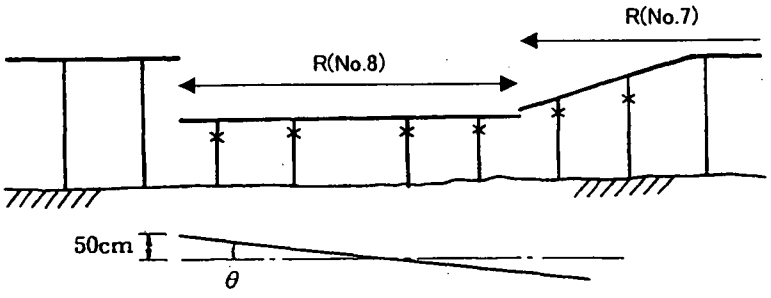
本復旧工法	RCラーメン橋	線名	橋梁名	構造形式
		山陽新幹線	第１野間高架橋	１層３径間張出し式ﾗｰﾒﾝ高架橋,

被災度	被災ﾀｲﾌﾟ	Ⅲ
	被災ﾊﾟﾀｰﾝ	Ⅰ
	支承	

１．被災状況

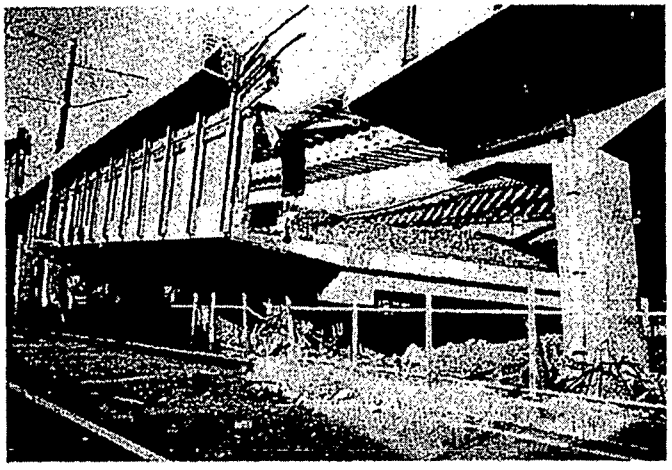
（概要）

崩壊した第１野間高架橋は１層３径間で高さは８ｍである。No.8ラーメン高架橋は柱部がせん断破壊し、橋軸直角方向へ倒壊した。また、床版は４ｍ落下し、路線方向に最大で１．５ｍのずれが生じた。



線路方向ねじれ大きい

第一野間高架橋（527k700m）



山陽新幹線第1野間高架橋

参考文献　；　鉄道総合技術研究所，「鉄道総研報告書」特別第４号，1996年4月
運輸省鉄道局，「よみがえる鉄路～阪神淡路大震災鉄道復興の記録」，1996年5月

支承	設計年	施工年	交差条件	復旧工法	
直接基礎					

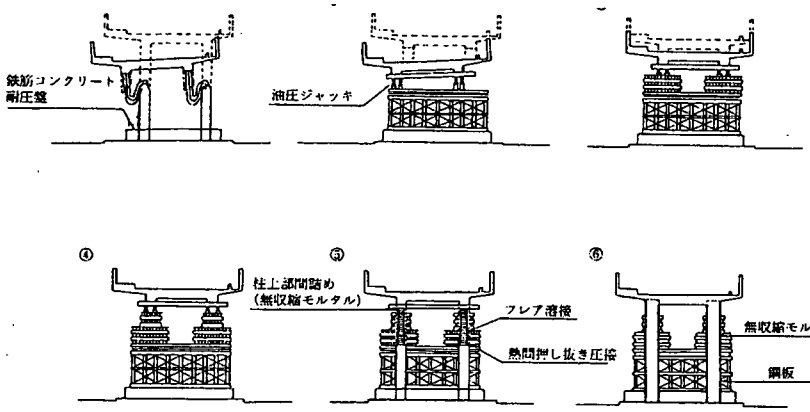
復旧工法	ジャッキアップ・再築
通行規制	不通
工期	
工費	

2．復旧工法

（目的）
震災後、約3ヶ月で不通区間を開通する。

（概要）
ラーメン高架橋の柱が破壊して床スラブ等が落下した被害パターンⅠの復旧工法の概要は以下の通りである。
①落下した高架橋の床スラブ等を再使用することとし、床スラブ等を当初のＦＬ位置まで扛上する。
②高架橋の基礎について調査する。
③破壊した柱を新設する（新設設計基準に基づいて靱性設計）

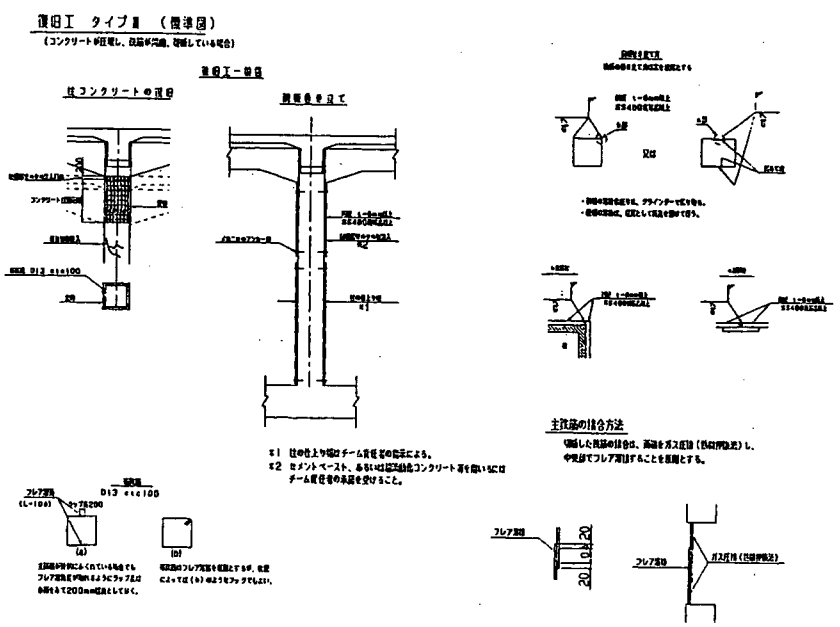
（ジャッキアップ工法）
落下したラーメン高架橋の復旧はジャッキアップ工法を採用した。ラーメン（No.7）は２００ｔジャッキを８台、ラーメン（No.8）は２００ｔジャッキを１２台使用した。ラーメン（No.7）は上床版、縦梁が路線方向に折れ曲がっていたため、屈折部を回転軸として落下量の大きい方の上床版を扛上した。ジャッキアップ時に上床版が線路方向に変位することを抑えるために、屈折部にはＰＣ鋼棒による連結工を施工した。ジャッキアップ工法の施工手順は下図の通りである。上床版の据付の相対変位は水平、鉛直方向とも±２０mm以内を管理値とした。



復旧タイプ(1)　ジャッキアップ工法施工手順

（復旧工タイプⅢ標準図）
柱部材の破壊部分を新設する場合の復旧（復旧工タイプⅢ）は、以下のように行う。

①破壊部分の除去
②ひび割れに特殊樹脂等を注入
③帯鉄筋の装着（設計当時に比して鉄筋量を増加させる）
④柱周囲全体に鋼板の巻き立て。
⑤コンクリート打設後無収縮モルタル又はセメントペーストを注入。



参考文献　；　鉄道総合技術研究所，「鉄道総研報告書」特別第４号，1996年4月
運輸省鉄道局，「よみがえる鉄路～阪神淡路大震災鉄道復興の記録」，1996年5月
ＪＲ西日本，「兵庫県南部地震 損傷構造物復旧マニュアル（新幹線編）」，平成7年2月10日

本復旧工法	鋼製橋脚　　補修・補強	路線名
		阪神高速道路

（概要）

倒壊した橋脚等一部を除き、補修・補強により復旧を行っている。まず、補修については、損傷程度により以下の３タイプに区分した。

また、じん性向上のための補強は、復旧仕様に従い、橋脚内にコンクリートを充填することを原則とし、充填高さは充填コンクリート直上の鋼単独断面部が座屈しないように定めた。実際は計算上の高さの直上に位置するダイヤフラムまで充填している。アンカー部については、充填コンクリートを考慮した柱基部の終局耐力以上確保することとした。

① タイプⅠ

縦リブの塑性変形をともなう損傷に対しては、損傷部位を輪切り状に切断・除去し、新しい部材を現場溶接で接合する（図-3.3.1）。

② タイプⅡ

リブ間の板パネルに許容値以上の変形のあるもので、加熱矯正やプレス矯正により修復する、あるいは、損傷部を部分的に切り取り、新規製作部材と取り替える。なお、加熱矯正などにより補修した箇所は、縦リブまたは鋼板で補強する（図-3.3.2）。

③ タイプⅢ

軽微な座屈、高力ボルトの損傷、局部的な溶接割れ、および塗装のはがれなどの損傷に対するもので、溶接割れ、および高力ボルトなどの損傷部、および沓座部の補修、塗装などの仕上げを行う。

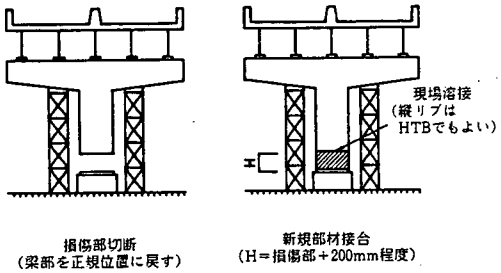
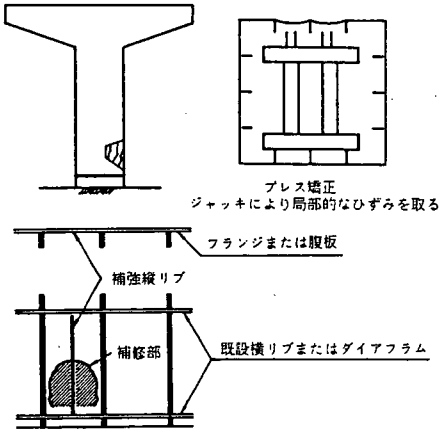
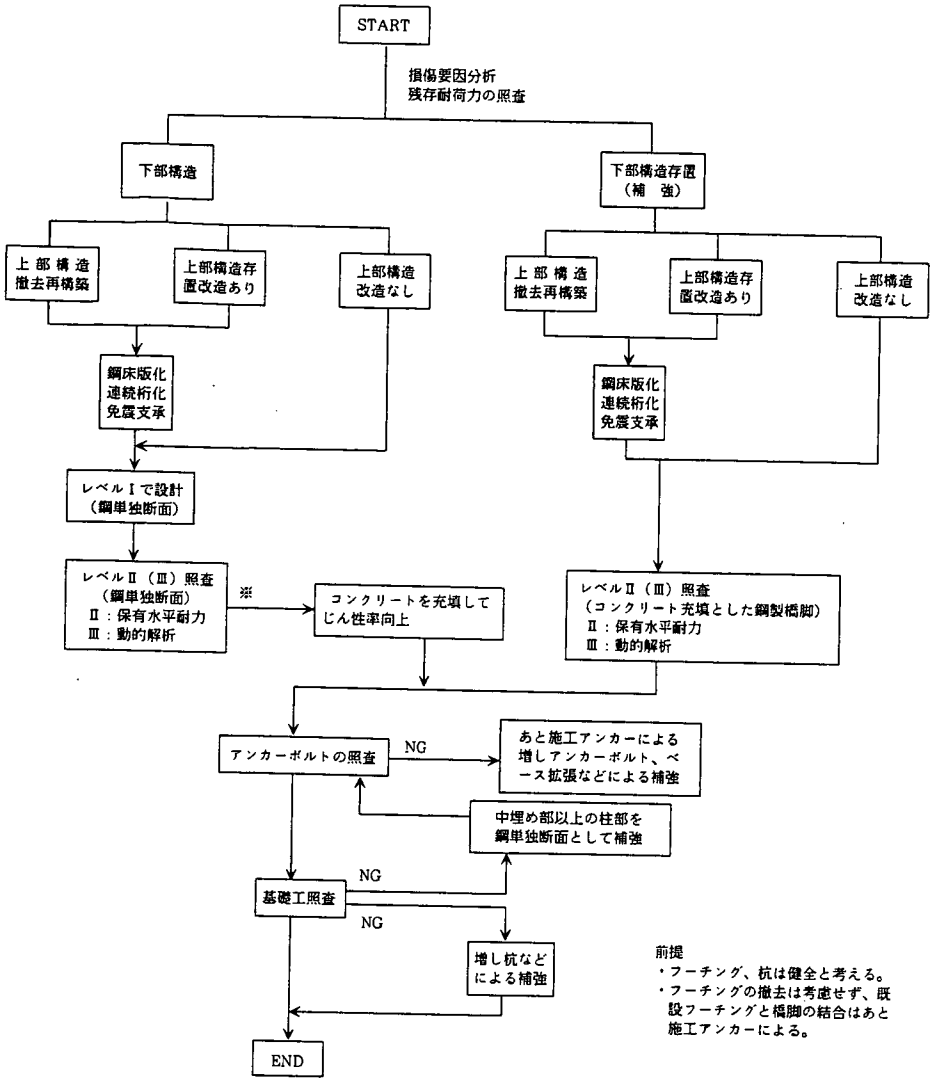


図-3.3.1　タイプⅠ補修法



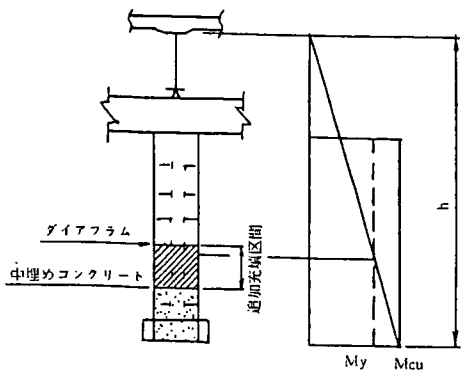
タイプⅡ補修法

参考文献　：　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

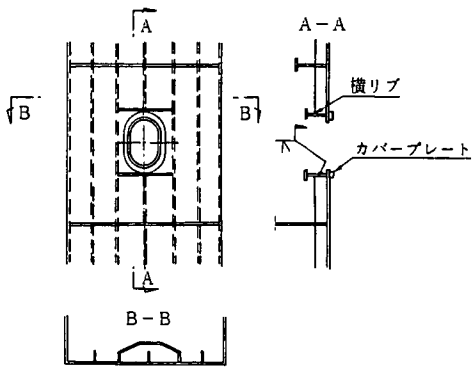


※照査の結果がOKの場合でも所定の高さまでコンクリートを充填する。

鋼製橋脚復旧に関する設計フロー（フーチング、杭が健全な場合）



コンクリート充填による補強



マンホール部の補強法

本復旧工法	鋼製橋脚	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路	明治地区		鋼単柱、杭基礎

被災度		
	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

1．被災状況

（概要）

明治地区は、上下線分離構造の区間であり、下を並行する国道２号とともにＪＲ和田岬線をパスするため、下部構造は全て柱高の高い鋼製橋脚が採用されている。

被災状況を見ると、円形断面の鋼製単柱橋脚に被害が集中しており、中埋めコンクリート天端付近や板厚変化位置で座屈していた。また、３径間連続鋼床版箱桁橋では支承が破損し、桁が橋脚の梁上に落下したために、桁下フランジおよび橋脚の梁フランジ部が大きく損傷していた。

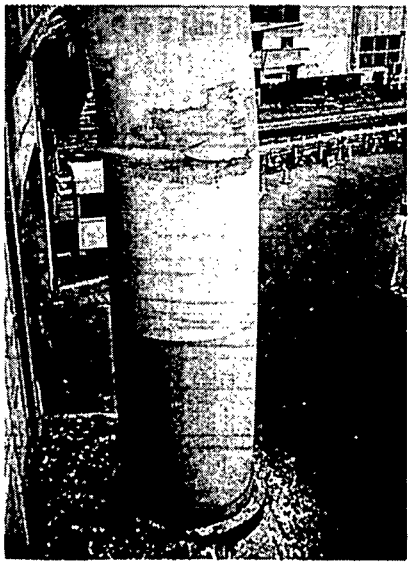


写真-5.8.1　鋼製橋脚の座屈
（神P584橋脚下り）

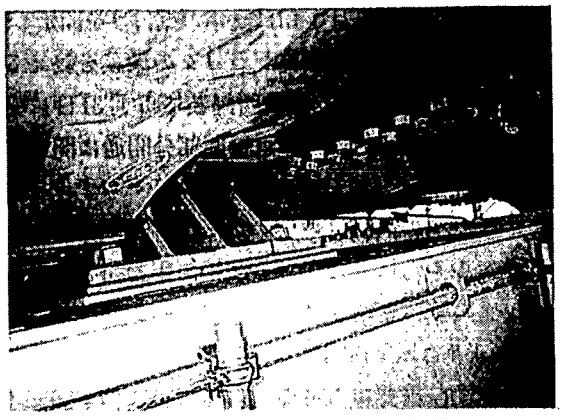


写真-5.8.2　鋼製橋脚天端の損傷
（神P589橋脚）

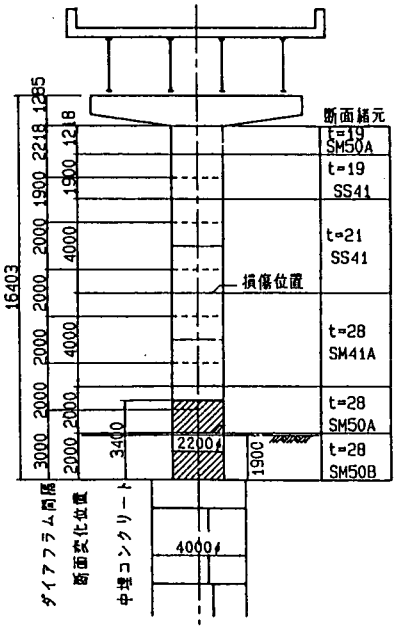


図-2.1.11　橋脚一般図（神P584下）

参考文献　：　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

58

復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

（概要）

上部構造では撤去する鋼単純合成Ｉ桁12連を３径間連続鋼床版Ｉ桁４連に変更して再構築した。下部構造では損傷の大きな単柱橋脚７基を再構築、比較的損傷の軽微な他の橋脚は部材取替えや加熱矯正などによる補修の後、中埋めコンクリートを充填して補強した。

鋼製脚の再構築は、調査の結果、既設アンカーボルトに損傷がなかったので、再利用することとし、柱径は既設と同じとした。鋼管の板厚アップとともに、内側に縦リブを配置することにより柱が座屈しない剛度を確保できる断面とした。また、基部についても地震時保有水平耐力照査を行い、耐力が不足する場合には増しアンカーボルトを行っている。

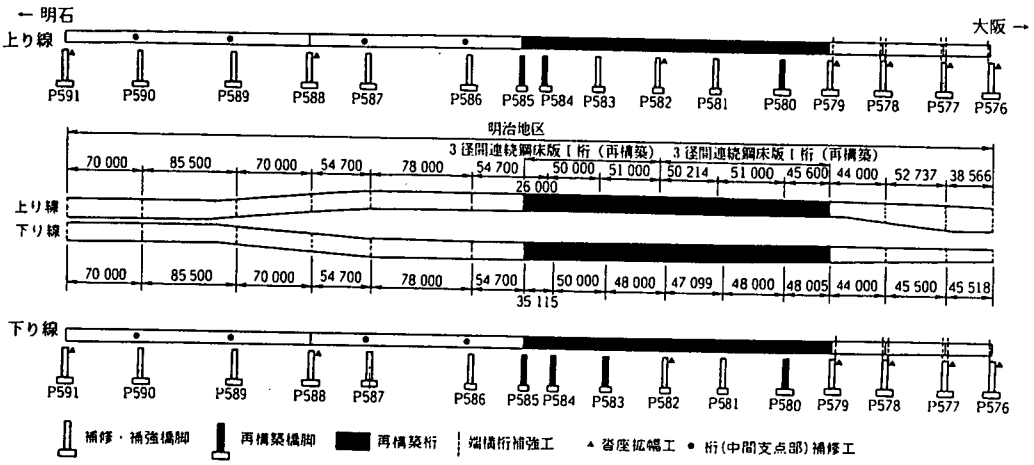


図-5.8.1　復旧概要

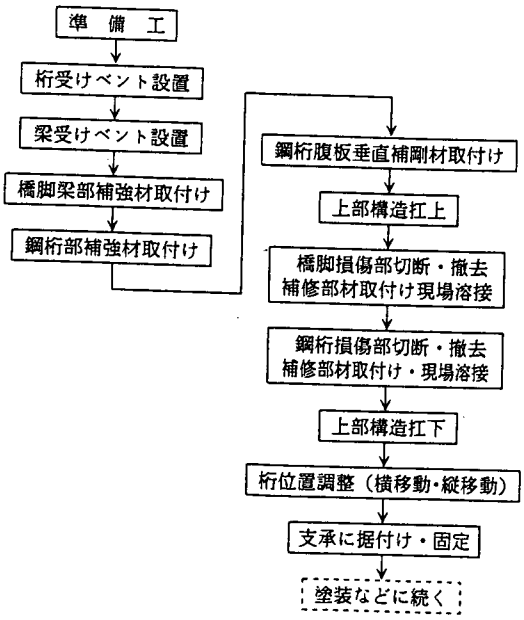


図-5.8.5　補修工事施工手順

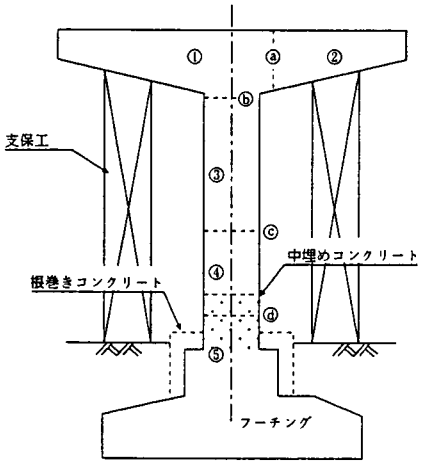
参考文献　；

本復旧工法	鋼製橋脚　撤去・再構築	路線名
		阪神高速道路

（概要）

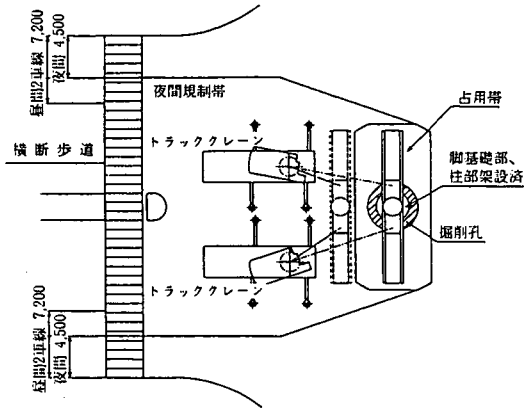
（直上の桁が撤去される場合）
桁撤去後、１ブロック当たり２０tf以下になるようガス切断して大型トラッククレーンを用いて撤去した。架設は、通常の鋼製橋脚架設と同様、トラッククレーンベント工法を採用している。

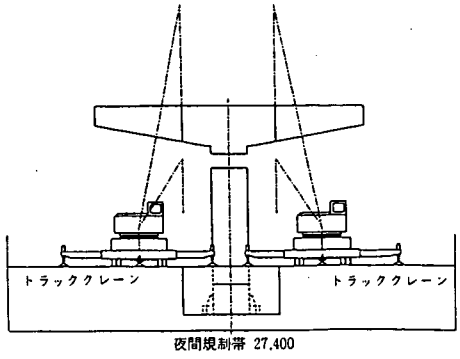
（桁が存置される場合：神Ｐ６０９の例）
まず、既設桁を桁受けベントによりジャッキアップする。次に、梁部は梁受けベントにより梁部を受けながら柱頭部で梁と柱をガス切断し、トラッククレーン２台の相吊りで吊り降ろした後、小割り切断、搬出撤去した。柱部の撤去は、横取りベント設備を道路直角方向に設け、柱をガス切断した後、順次吊り上げ横移動しトラックにより搬出した。架設については、柱部は横取り設備で吊り下げ、横移動、架設を行い、梁部は地上部の横移動設備により順次取り込み、組み立てた後撤去時と同様トラッククレーン２台の相吊りで架設した。



1．ⓑ位置でガス切断し地上に仮置き
2．仮置き後ⓐ位置でガス切断し①、②それぞれトレーラーにて搬出
3．支保工解体
4．ⓒ位置でガス切断し、③をトレーラーにて搬出
5．基部掘削後、根巻きコンクリートをはつり、撤去
6．ⓓ位置で幅20cmで鋼板切断し中埋めコンクリート部を露出させ、コンクリート部をワイヤーソーにより切断
7．⑤をジャッキアップしてフーチングより縁切り
8．④、⑤を大型クレーンにより撤去し、トレーラーにてそれぞれ搬出

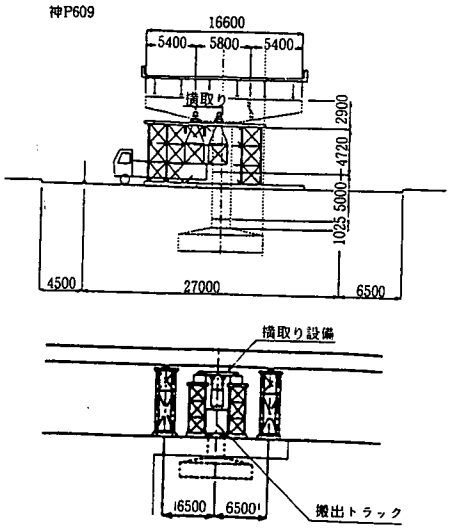
鋼製橋脚の撤去要領



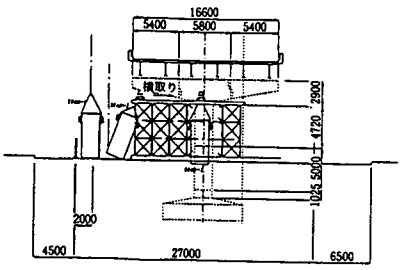


鋼製橋脚の架設要領

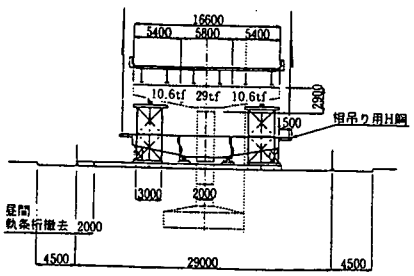
参考文献　：　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月



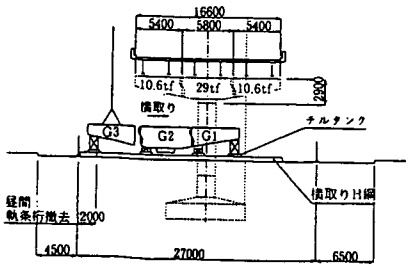
横取り設備による柱部の撤去



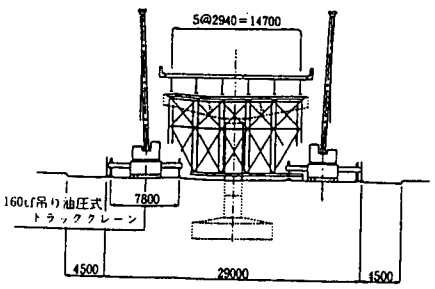
横取り設備による柱部の架設



架設用治具の取付け（梁部）



横取り設備による梁の取込み



トラッククレーン相吊りによる梁の架設

本復旧工法	基礎(杭)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		市道灘浜住吉川線	高羽大橋		

被災度	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

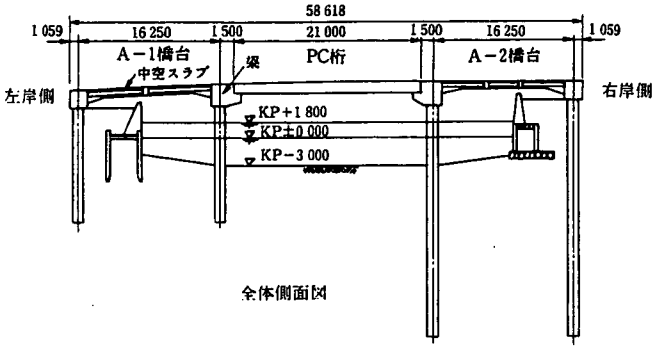
1．被災状況

（概要）

高羽大橋は、神戸市東灘区御影塚町と同区灘浜東町（東部第１工区）を結ぶ橋長 58.6m、幅員 15.15mの単径間ＰＣプレテンションＴ桁橋である。両岸の２基の橋台は、２列に打設したＰＣ杭と杭頭を列ごとに剛結した横梁、および２本の横梁間のＲＣ床版から構成されるラーメン構造となっている。

地震によって生じた水平変位は、すべて左岸側方向であり、A-3橋台では平均 40cmであった。また、橋台とＰＣ桁間あるいは橋台間のジョイント部では 10～30 mm程度の鉛直相対変位が生じた。これらのジョイントでは、設計当初の遊間 45mmがほとんど確保されておらず、ゴム製のカバーの盛り上がり、あるいは遊間への陥没が生じた。

各杭の損傷状況は、杭の左岸側面に 2mm以上のひび割れが、右岸側面にコンクリートの脱落、ＰＣ鋼線および主鉄筋の露出傾向が確認された。



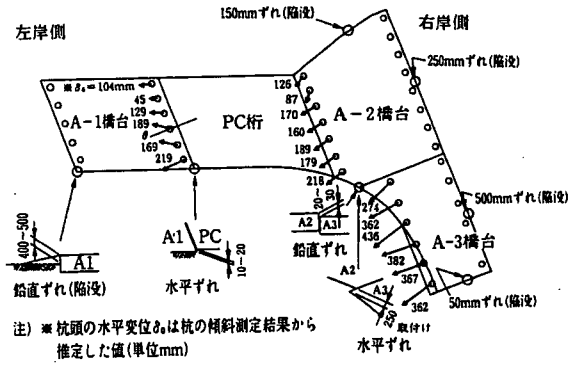
全体側面図

表 1.2.7.3　各杭の損傷状況

Table 1.2.7.3　Damage on piles

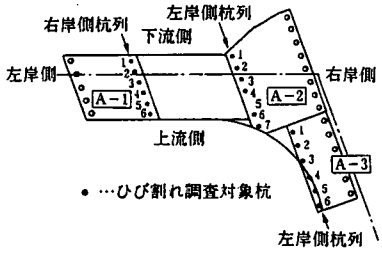
部位	杭列	観察面	下流（東側）からの杭番号 1	2	3	4	5	6	7	8
A－1橋台	左岸側	左岸側	－－	－－	－－	－－	－－	－－	－－	－－
		右岸側	A	A	A	B	AA	－－	－－	－－
	右岸側	左岸側	B	B	B	B	B	B	－－	－－
		右岸側	A	A	A	A	A	A	－－	－－
A－2橋台	左岸側	左岸側	B	B	B	B	B	B	B	－－
		右岸側	A	A	A	A	A	A	AA	－－
	右岸側	左岸側	OK	OK	OK	OK	OK	OK	C	C
		右岸側	－－	－－	－－	－－	－－	－－	－－	－－
A－3橋台	左岸側	左岸側	B	B	B	B	B	B	－－	－－
		右岸側	A	A	A	A	A	A	－－	－－
	右岸側	左岸側	B	OK	OK	OK	OK	OK		
		右岸側	－－	－－	－－	－－	－－	－－	－－	－－

注意）記号説明：AA・・・コンクリート脱落，主鉄筋露出
A　・・・コンクリート脱落，ＰＣ鋼線露出
B　・・・大きなひび割れ（2mm以上），はく離
C　・・・ひび割れ（2mm以上）
OK　・・・損傷なし

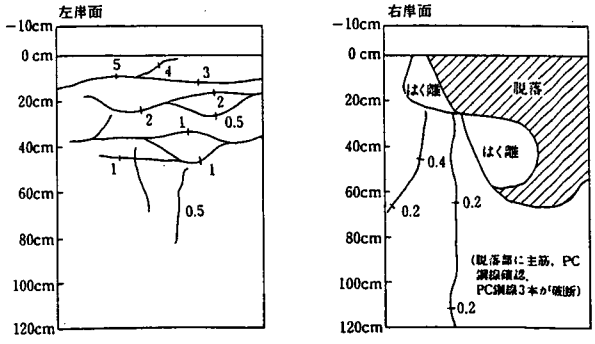


注）＊杭頭の水平変位δ_0は杭の傾斜測定結果から推定した値(単位mm)

図 1.2.7.7　変状調査結果



対象部位	A１橋台，　(A2)橋台，　取付け部
杭列	㊀岸側，　右岸側
下流側から(No.)	1.　2.　3.　4.　5.　6.　⑦　8



参考文献　；　阪神・淡路大震災調査報告編集委員会，阪神・淡路大震災調査報告，平成８年１２月
総合土木研究所，基礎工 Vol.24,NO9，平成８年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間
						台/12h	台/12h	

60

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

原型復旧が基本であることから、まず現況再利用について検討を行ったが、以下の理由により不可能であるとの結論が得られた。

①ＰＣ杭の杭頭変位量および損傷状況から、地中部にもかなりの損傷が予想される。
②ＰＣ杭と横梁との再剛結が必要となるが、杭頭損傷により有効プレストレスが減少し不可能である。
③ＰＣ杭の再利用が不可能であるため、一体構造のＲＣ床版についても同様である。

そこで、橋種選定を次の条件で行った。

①運河使用者の協議による航路幅を確保する。
②運河内橋脚のフーチングが、平面的に既設杭に当たらないようにする。
③運河内橋脚と橋台のフーチング天端は、河床高さ以深とする。（旧橋と同じ）
④桁下高さは現況を下回らないものとする。

検討の結果、左岸側は２径間ＰＣ中空床版橋、拡幅を有する右岸側は単径間ＲＣ床版橋を採用した。

基礎杭については、工事箇所がﾊｰﾊﾞｰﾊｲｳｪｲの高架下であることから、桁下空間が少なくても施工可能な場所打ち杭を採用した。

参考文献　；

本復旧工法	基礎(杭)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		阪神高速道路			杭基礎

被災度	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

基礎工

基礎工の本復旧工事は、被災度に応じて、増し杭基礎工、地盤改良工、および杭頭注入工の３工種を実施した。増し杭基礎工では、特に水際線に近い橋脚については、杭径φ3.0mとし、その他はφ2.0mの場所打ちコンクリート杭とした。各工種の工法概要を以下に示す。

①増し杭基礎工
既設基礎の周囲に杭を新設し、フーチングを拡大して既設基礎と一体化することにより、基礎の全体剛性を高める補強工法である。

②地盤改良工（CJG工法）
圧さく空気および超高圧水を地盤中に回転させながら噴出させて地盤を切削し、そのスライムを地表に排出させるとともに、硬化材も同時に充填し、円柱状の固結体を造成する工法である。

③杭頭注入工
既設杭の中心付近をボーリング穿孔し、杭のひび割れ部に充填材を注入する工法である。

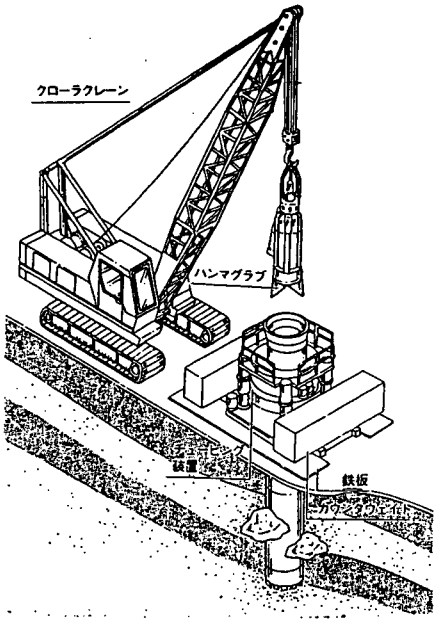


図-1.4.4　全回転掘削機での施工概要図

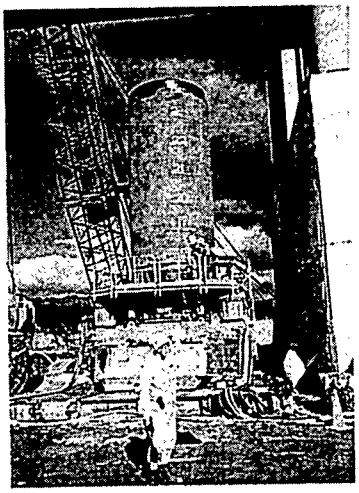


写真-1.4.1　掘削状況

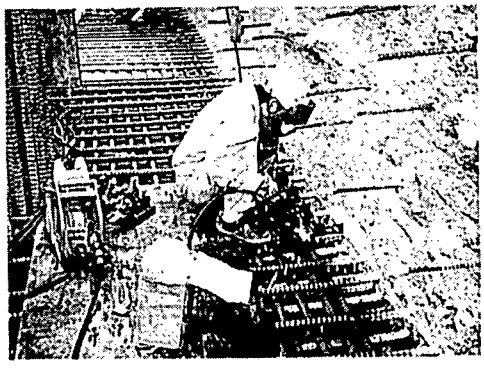


写真-1.4.4　フーチング下側鉄筋の接合

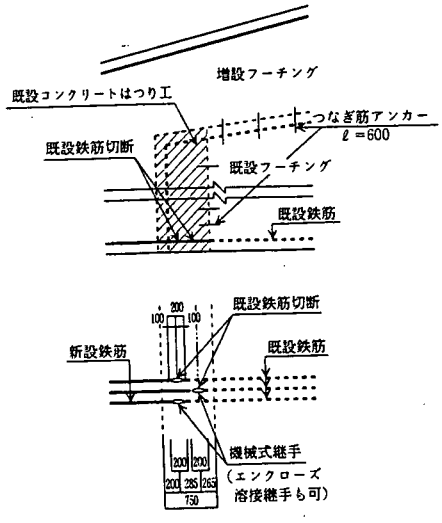


図-1.4.9　フーチング下側鉄筋の接合

参考文献　；　阪神高速道路公団，「大震災を乗り越えて　－震災復旧工事誌－」，平成９年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	撤去・再構築
通行規制	
工　期	
工　費	

61

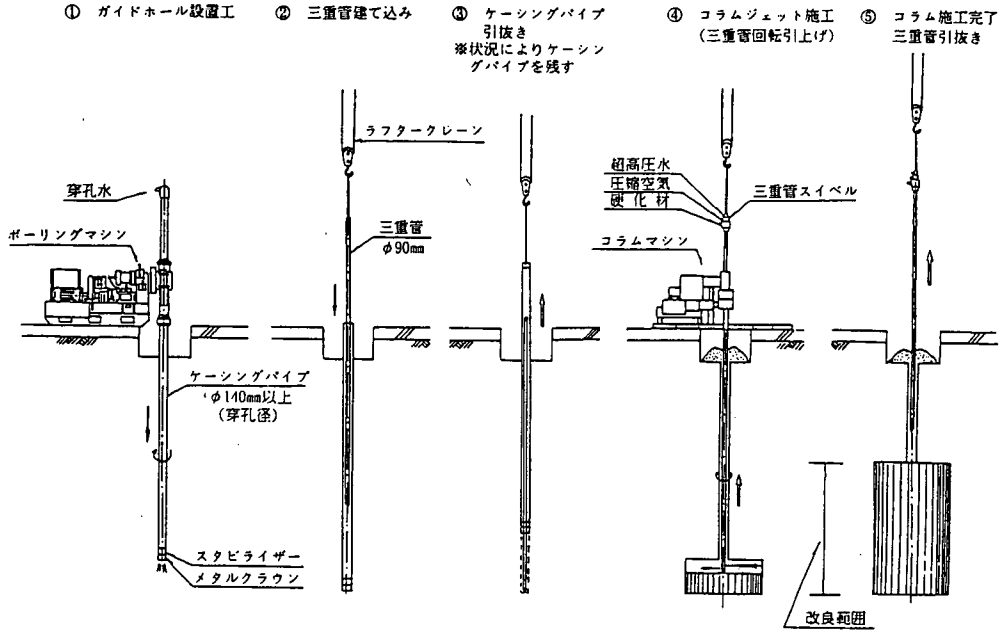


図-1.4.19　地盤改良工（CJG）施工手順図

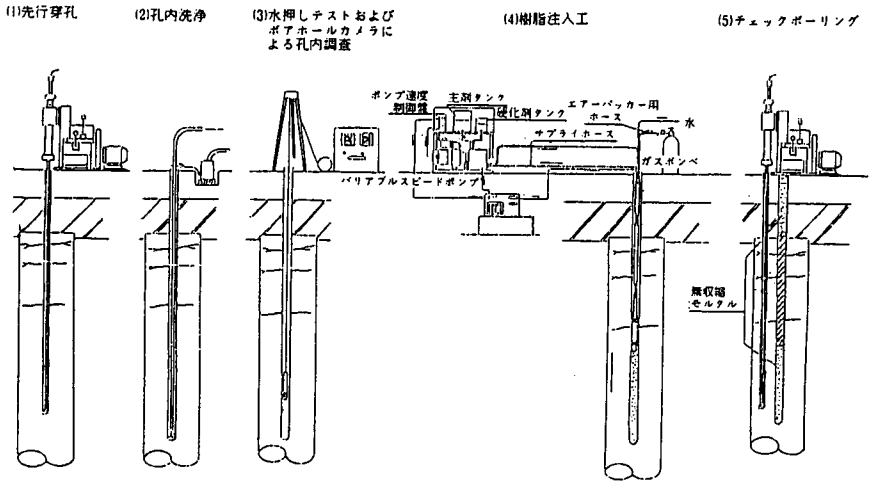


図-1.4.21　杭頭注入工の施工手順

参考文献　；

本復旧工法	基礎(杭、ケーソン)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		市道御影浜町２号線	御影大橋		

被災度		
	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

1．被災状況

（概要）

御影大橋は、神戸市東灘区御影本町と同区住吉浜町（東部第２工区）を連絡する橋長31.8m、幅員31.05mの単径間ポストテンション方式ＰＣ単純Ｔ桁橋で、東側橋、西側橋の２連より構成されている。下部工は、東側橋がケーソン基礎による重力式橋台、西側橋が場所打ち杭(φ1,200）による逆Ｔ式ＲＣ橋台となっている。

上部工においては、パラペットとの接触衝撃により、桁端部にクラックが発生した。パラペットも局所的に変形し、沓座付近の付根部で主鉄筋が露出した。沓のずれや、アンカーボルト天端付近での端横桁の破損も見られた。

下部工では、橋台が運河中央側へ移動、東側橋では打継ぎ目で側圧による水平移動があった。また、東側橋は西側橋から見て相対的に沈下しており、橋面で70～90mmの段差が見られた。

基礎杭およびケーソン基礎は、コアボーリングによる採取コア状況、ボアホールカメラにより被災状況を確認した。その結果、ケーソン基礎、杭基礎ともにひびわれが観測された。

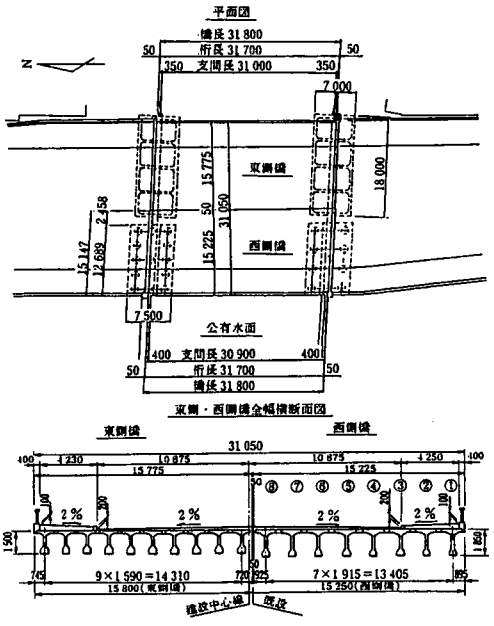


図-8　御影大橋現況図

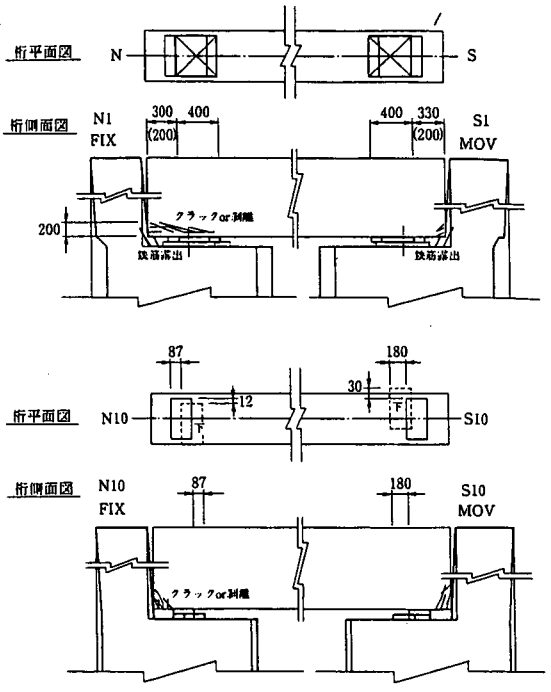
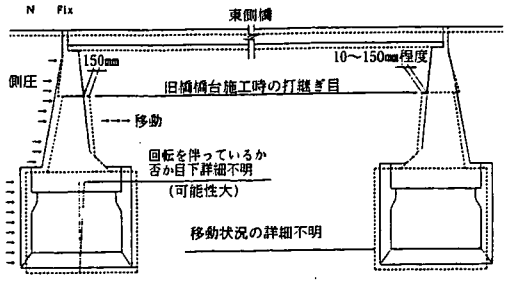
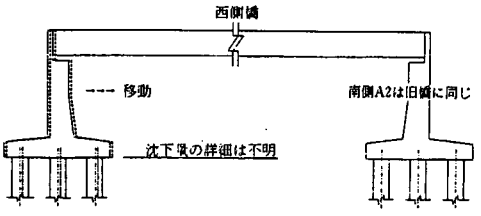


図-9　桁・パラペット・沓の被災状況





参考文献　；　阪神・淡路大震災調査報告編集委員会，阪神・淡路大震災調査報告，平成８年１２月
総合土木研究所，基礎工 Vol.24,NO9，平成８年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間
						台/12h	台/12h	

62

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

既設ケーソン、杭基礎ともに再構築が必要であるが、ともに撤去が不可能であるため、ケーソン部おいては大口径ボーリングによる打抜きをすることとし、杭基礎部においては、既設杭をはずした位置での新規のベノト杭を打設し、フーチング幅を広げて橋台を構築することとした。

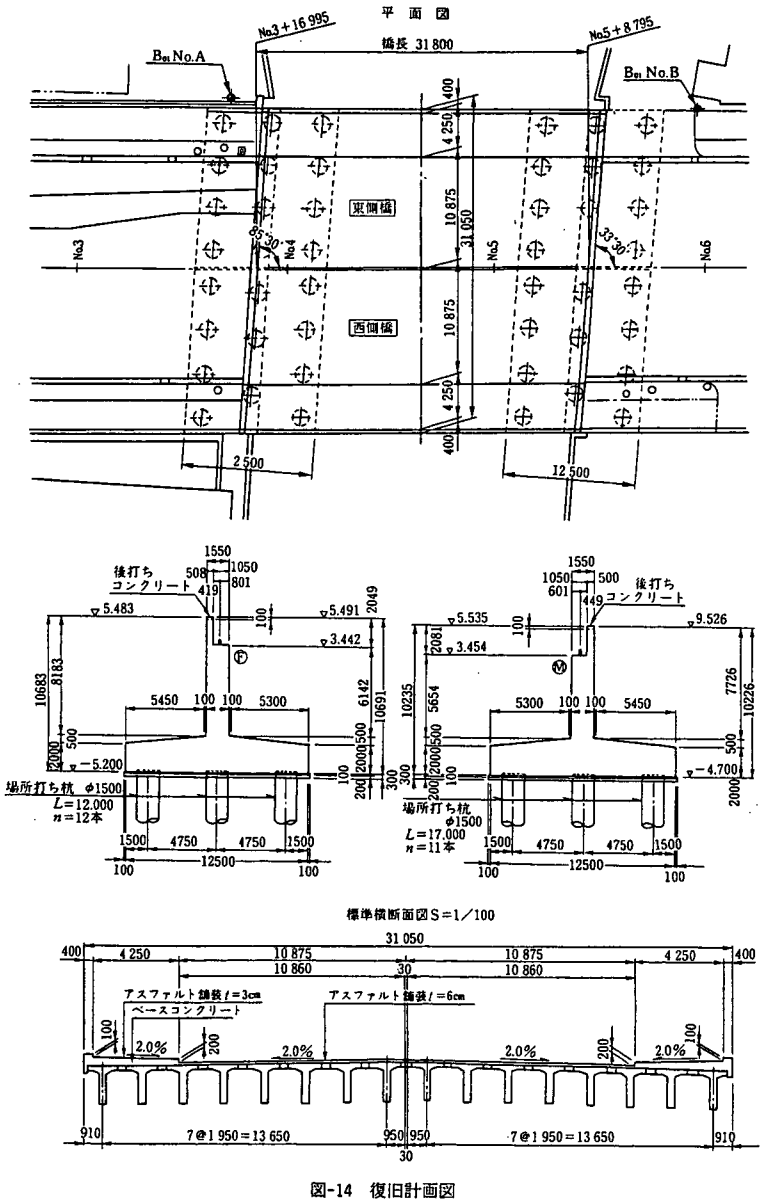


図-14　復旧計画図

参考文献　；

本復旧工法	基礎(杭) 地盤(改良)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		神戸新交通ポートアイランド線			

被災度		
	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

1．被災状況

（概要）

橋脚基礎の主な損傷は、橋脚の傾斜と場所打ち杭のクラックであった。場所打ち杭は、ボアホールカメラ等による調査により、杭頭部および中間部付近にクラックが確認されている。

2．復旧工法

復旧工法としては、場所打ち杭による増杭補強工法を基本に検討を行うが、基礎周辺の状況により増杭が困難な場所においては、基礎ﾌｰﾁﾝｸﾞ下面の地盤をコラムジェット改良により地盤強化を行って、直接基礎としての安定が可能となる検討を行った。

（増杭補強工法）

増杭の配置については、橋軸方向に行うことを基本とした。

既設杭の取り扱いについては、調査を行った既設杭芯部分で観測されたクラックによって、杭周囲部の損傷の程度を判断することは困難であり、また、鉄筋の応力状態の判定も難しいことから、クラック（ヘアークラックは除く）が認められる杭については、安全を考慮して、水平抵抗・引き抜き抵抗は有しないものとした。また、震災後の調査で、橋脚全体として沈下・傾斜などの変動は見られず、死荷重状態に対して基礎全体としては鉛直支持している状況であることから、死荷重分は軸力として考慮できるものとした。

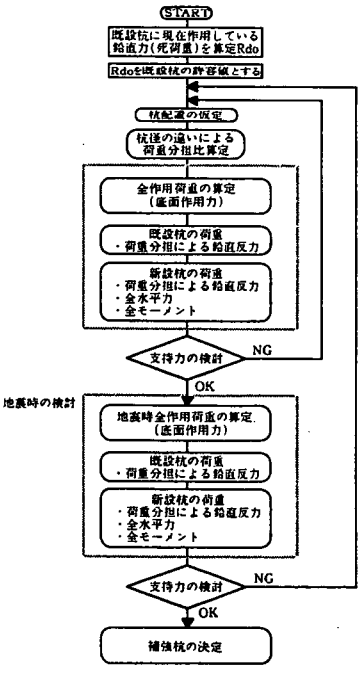


図-3　増杭設計フロー

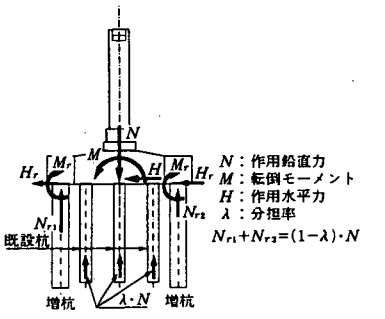


図-4　検討モデル

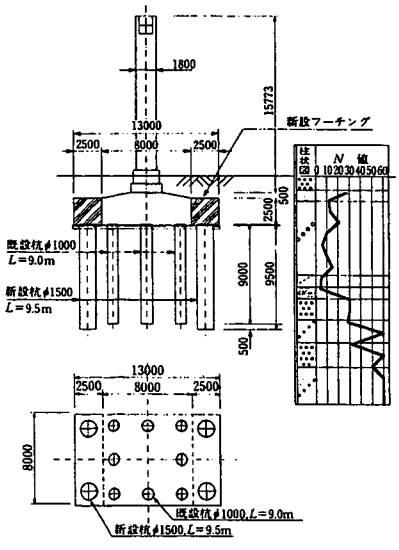


図-5　増杭補強構造図

参考文献　；　総合土木研究所，基礎工 Vol.24,NO9，平成８年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間
						台/12h	台/12h	

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

63

(ﾌｰﾁﾝｸﾞの設計)

杭反力により、既設ﾌｰﾁﾝｸﾞの引張り鉄筋の応力が許容応力を越える場合には、プレストレスによる軸方向力を導入することで、補強を行った。

フーチング一体化のために、打継ぎ面においては、既設主鉄筋をはつりだして（30cm程度）、新設鉄筋とエンクローズ溶接で継いだ。打ち継ぎ面の設計としては、橋軸方向への曲げモーメントと、その橋軸直角方向へのねじりモーメントに対して断面検討を行った。

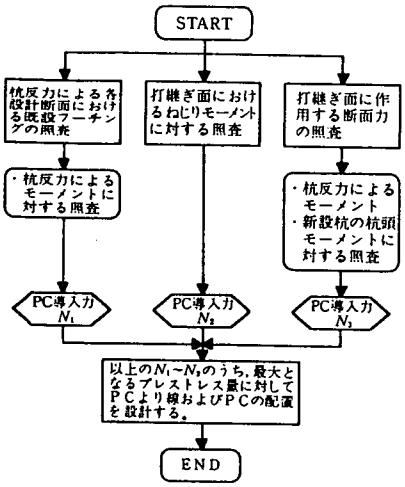


図-6　フーチング補強設計フロー

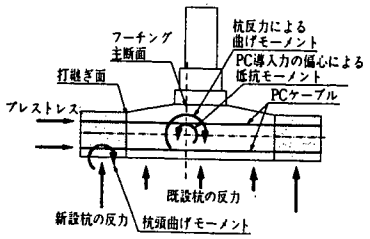


図-7　フーチング検討モデル

(ｺﾗﾑｼﾞｪｯﾄ地盤強化法)

ﾌｰﾁﾝｸﾞ下面のｺﾗﾑｼﾞｪｯﾄ改良は、既設ﾌｰﾁﾝｸﾞにｶﾞｲﾄﾞﾎｰﾙをｺｱ抜き（φ200mm）して施工を行うため、既設ﾌｰﾁﾝｸﾞの鉄筋の欠損量が極力少なくなるような配置を考慮した。改良後、ｺﾗﾑｼﾞｪｯﾄ改良地盤の強度確認とﾌｰﾁﾝｸﾞ下面との密着性の確認を行った。

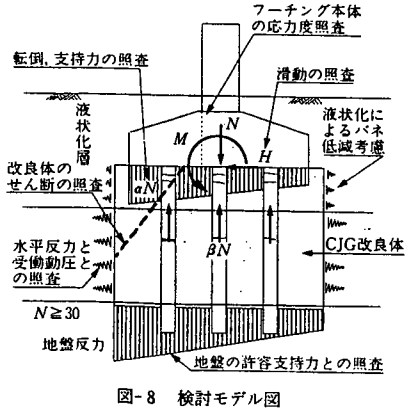


図-8　検討モデル図

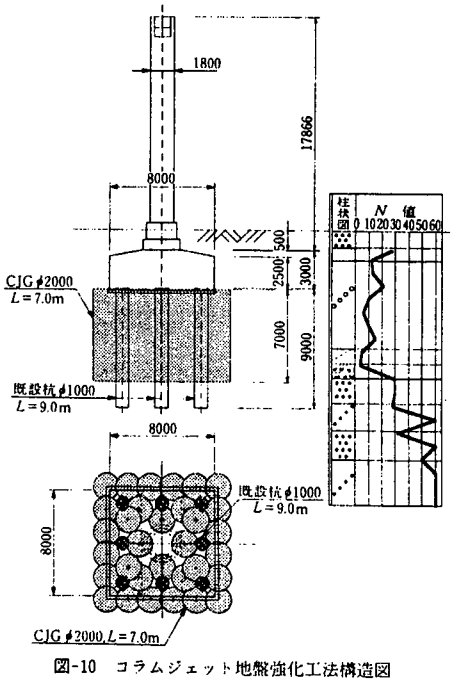


図-10　コラムジェット地盤強化工法構造図

参考文献　；

本復旧工法	基礎(ケーソン) 地盤(改良)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		市道魚崎浜町６号線	東魚崎大橋		ＲＣ単柱橋脚

被災度		
	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

（被災状況）

東魚崎大橋は、運河にかかる橋長64.8m、幅員15.0mのPC3径間単純プレテンション方式T桁橋であり、1972年に架設された。下部工形式は、橋台がH杭で支持された逆T式であり、橋脚は柱高6.30mの張り出し式で、ケーソン基礎である。

本橋の被害は主に下部構造に発生した。A1橋台は、北側（背面側）へ約１度傾斜し、竪壁前面にクラックが生じた。運河内の橋脚では南側へ約２度傾斜し、潜水調査の結果、柱下端部にてｺﾝｸﾘｰﾄがはく離し、鉄筋が露出していることが確認された。A2橋台では、桁の移動によりパラペットがせん断破壊され、また、竪壁部でもせん断破壊が広範囲に生じた。

上部工では、横桁の一部でｺﾝｸﾘｰﾄがはく離する損傷が生じたが、主桁には大きな損傷は生じなかった。

本橋周辺では、取り付け護岸が側方流動により大きく水平変位しており、橋台背面地盤も約１m沈下し、橋面で段差ができる被害が生じた。

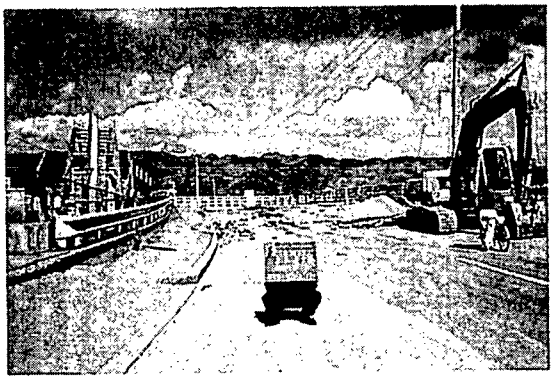


写真 1.2.7.25　橋面（南側より）



写真 1.2.7.26　橋台背面陥没状況

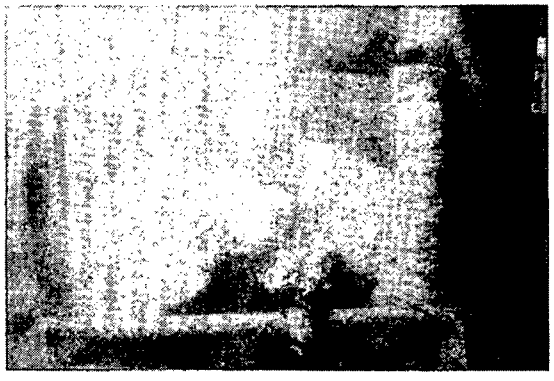


写真 1.2.7.28　橋脚下端部圧接部破断状況



写真 1.2.7.32　A1 橋台せん断破壊状況

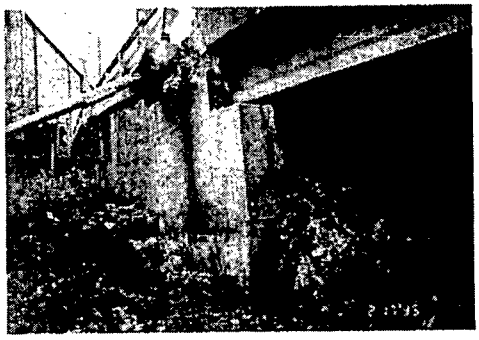


写真-3　A2橋台側面部

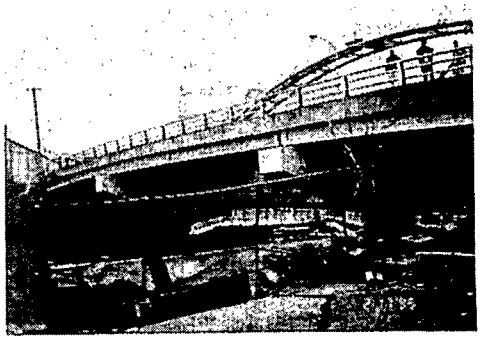


写真-4　取付け護岸部

参考文献　；　総合土木研究所，基礎工 Vol.24,NO9，平成８年９月
阪神・淡路大震災調査報告編集委員会，阪神・淡路大震災調査報告，平成８年１２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法		
						平日交通量	休日交通量	DID区間
				道路上		台/12h	台/12h	

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

上部工は、平面・縦断線形の変更は不可能であり、震災前と同様にPC3径間ﾌﾟﾚﾃﾝｼｮﾝ方式T桁橋とし、耐震性・走行性を向上させるため、単純桁から連結桁とした。

橋台・橋脚はすべて再構築し、復旧仕様に基づく設計を行った。

橋台の基礎は、同杭種（H杭）による増杭で補強した。橋脚の基礎であるケーソン基礎は、ケーソン周囲に鋼管矢板（φ600，26本）を打設し、外形φ7,634mm，基礎長L＝17.00mの鋼管矢板井筒形式を採用した。また、液状化対策として鋼管矢板基礎の周囲を深層混合処理にて地盤改良を行った。

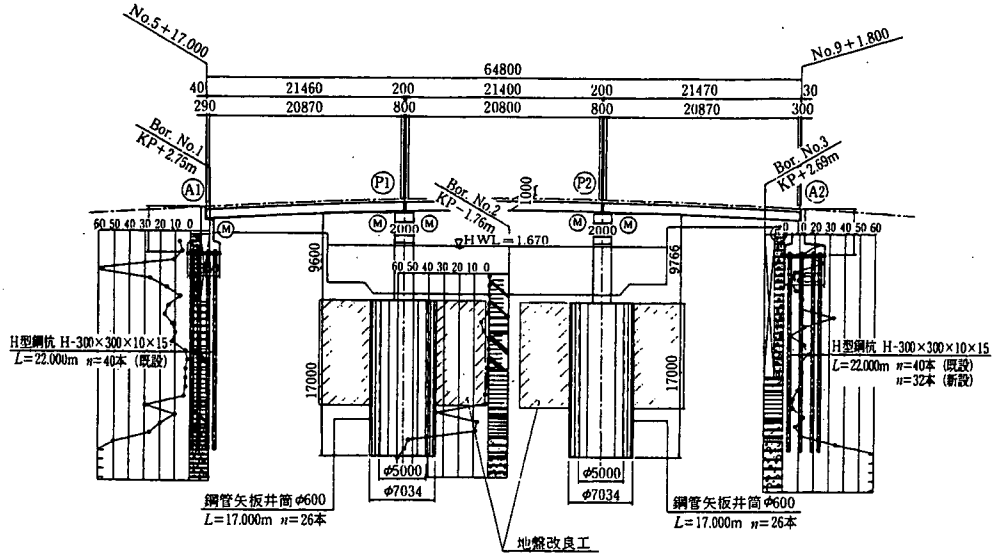


図-3　東魚崎大橋復旧側面図

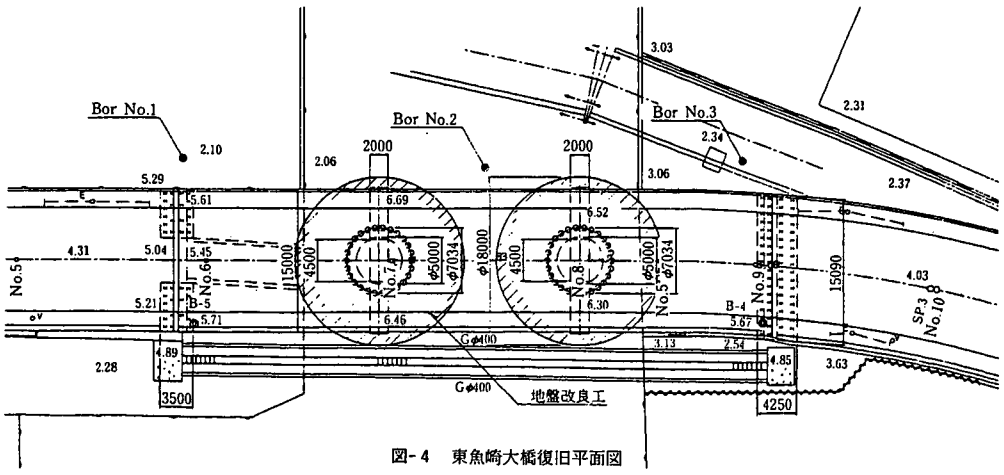


図-4　東魚崎大橋復旧平面図

参考文献　；

本復旧工法	基礎(ケーソン) 地盤(改良)	路線名 ハーバーハイウェイ	橋梁名 神戸大橋	上部構造形式	下部構造形式

被災度	
上部構造	
橋脚	
基礎	
支承	

1．被災状況

（概要）

神戸大橋は新港第四突堤とﾎﾟｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞを結ぶ中央径間217m、側径間51m、橋長319mの橋であり、橋梁基礎はP1～P4の4基から構成されている。P1およびP4が鋼管杭基礎であり、P2、P3が護岸兼用のケーソン基礎となっている。

神戸大橋の上部工については、軸方向変形量は3cm以下であり、被害は比較的軽微であった。

ケーソン基礎については、傾斜測定及びケーソン外壁部のボアホールカメラによる損傷調査を行った。傾斜については供用に差し支えのないものであり、ケーソン本体については躯体にクラックは認められず、健全であることがわかった。ただし両ケーソン基礎の海側への変位により、P2可動沓が80cm弱スライドした。

なお、ケーソン周辺の地盤では液状化が発生し、護岸の海側へのはらみ出しによりケーソン基礎周囲が数十cm沈下した。

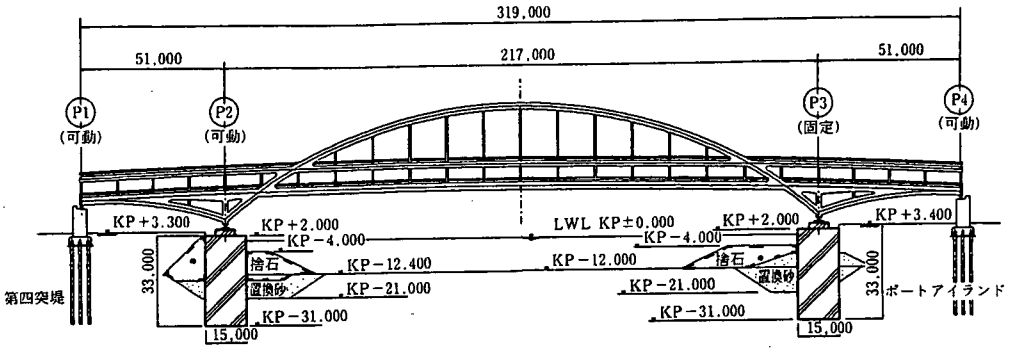


図-2　神戸大橋構造図

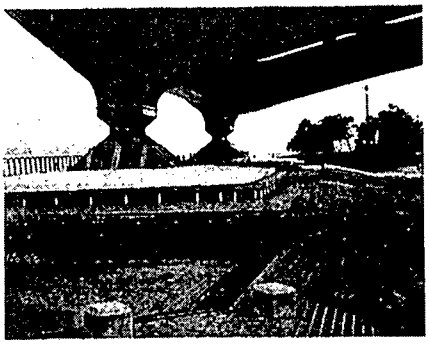


写真-1　神戸大橋ケーソン基礎周辺の被害状況

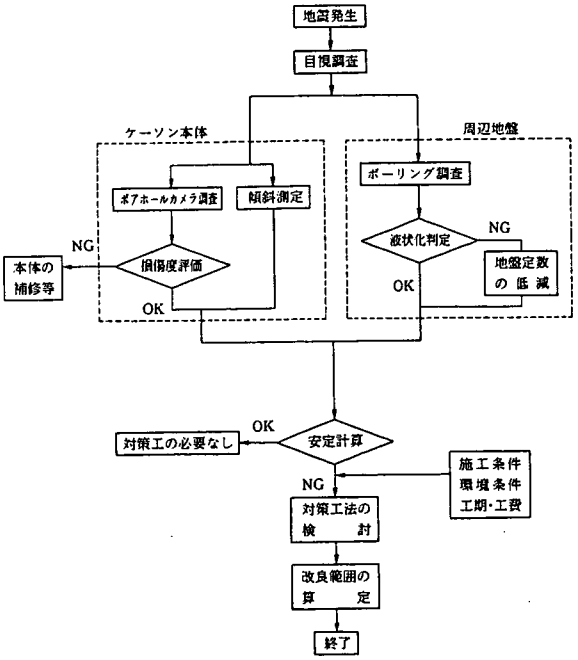


図-3　神戸大橋・ポートピア大橋復旧設計フロー

参考文献　：　総合土木研究所，基礎工 Vol.24,NO9，平成８年９月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量 台/12h	復旧工法 休日交通量 台/12h	DID区間

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

周辺地盤の液状化の影響を考慮に入れたケーソン基礎の安定計算を行った結果、基礎の変位が許容値を超えるため、液状化対策を実施することとした。

液状化対策工法としては、

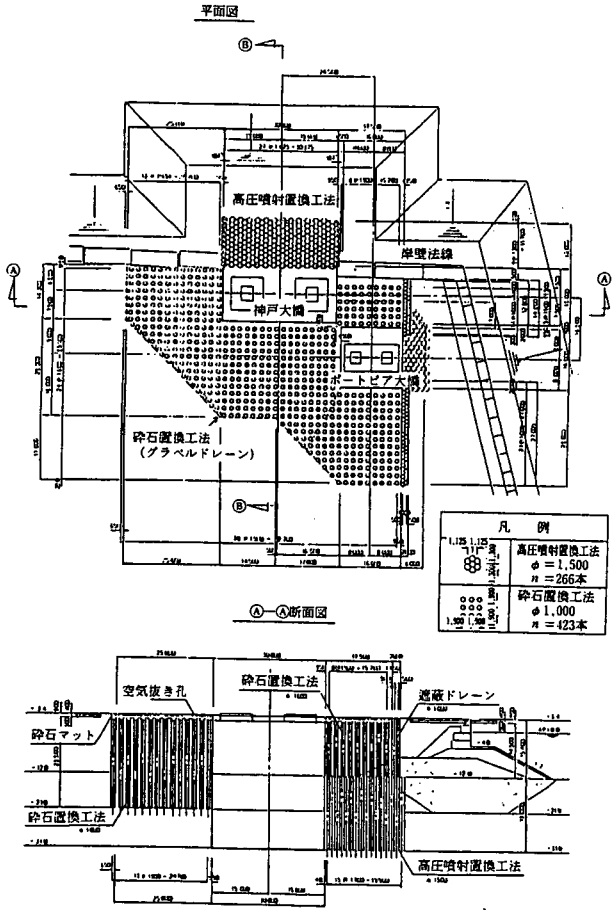
①締固め工法（SCP等）

②地下水位低下工法（ﾃﾞｨｰﾌﾟｳｪﾙ等）

③地盤固化工法（CJG工法等）

④間隙水圧消散工法（ｸﾞﾗﾍﾞﾙﾄﾞﾚｰﾝ工法等）

等があるが、上部工桁下空間での施工性、広域の施工での経済性からｸﾞﾗﾍﾞﾙﾄﾞﾚｰﾝ工法を主体とした地盤改良を行った。神戸大橋基礎は護岸兼用であり、隣接するポートピア大橋基礎も護岸近傍に位置しており、基礎の海側前面の液状化対策工には護岸捨石層を貫通して施工する必要がある。したがって、基礎海側前面に対しては地盤固化工法を用い、高強度・高信頼性の地盤改良を行うことにより地震時のケーソン基礎の変位に抑制を図ることとした。



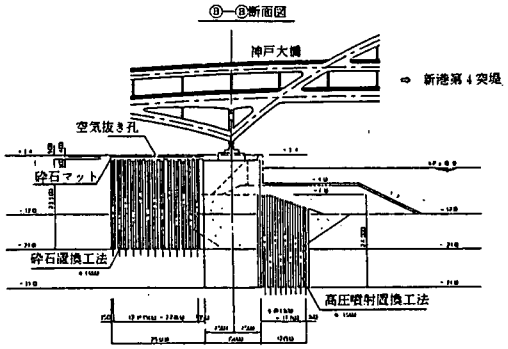


図-5　地盤改良平面図・断面図（ポートアイランド側）

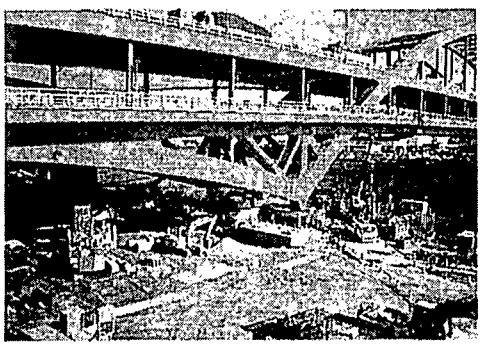


写真-2　地盤改良工事状況全景



写真-4　砕石置換工施工状況（神戸大橋桁下）

参考文献　；

本復旧工法	基礎(構造変更 直接→杭)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		神戸新交通ﾎﾟｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ線	新港第四突堤内		

被災度		
	上部構造	
	橋　脚	
	基　礎	
	支　承	

1．被災状況

（概要）

新港第四突堤部は、旧捨石護岸が現在の地表面下４～５ｍの位置以深に８～１０ｍの厚さで存在する。このため、既設各橋脚は捨石層と基礎底面との間に地盤改良が行われ、この捨石層を基礎地盤とした直接基礎であった。

今回の地震によって、橋脚柱及び上部工の被害は軽微であったものの、橋脚全体は西側へ最大3.8° 傾斜した。これは、堅固な支持地盤と考えられた捨石層が、今回の地震によって移動・沈下したためと考えられる。

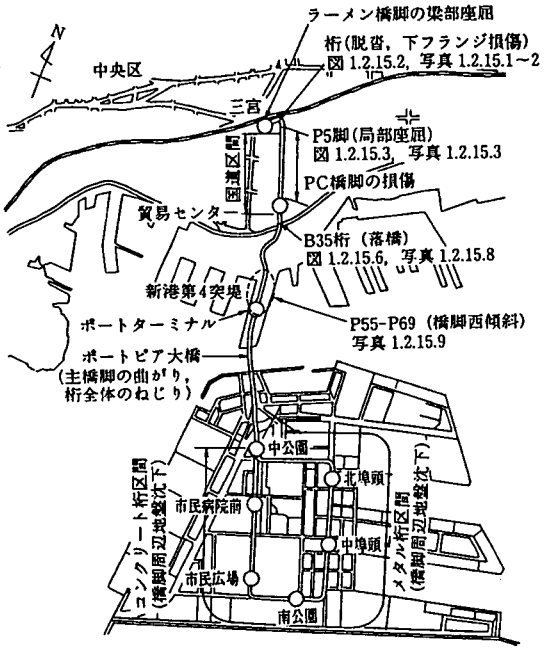


図 1.2.15.1　神戸新交通ポートアイランド線の被災マップ

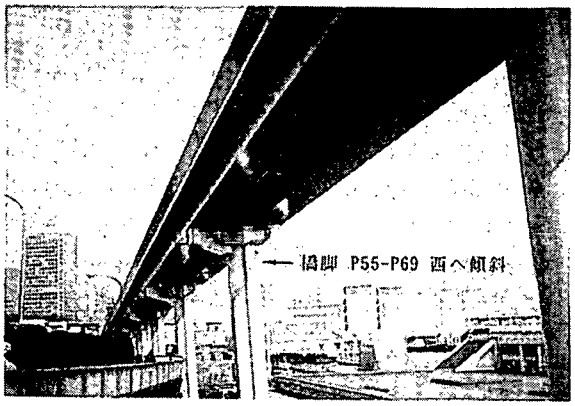


写真 1.2.15.9　新港第４突堤内橋脚の傾斜

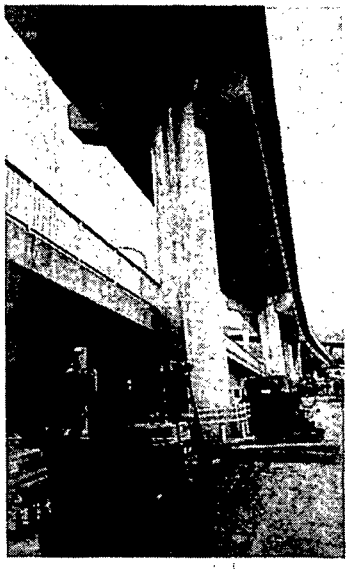


写真-１

参考文献　；　総合土木研究所，基礎工 Vol.24,NO9，平成８年９月
阪神・淡路大震災調査報告編集委員会，阪神・淡路大震災調査報告，平成８年１２月

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法		
						平日交通量	休日交通量	DID区間
						台/12h	台/12h	

66

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

2．復旧工法

復旧に当っては、捨石層を支持層として信頼できないため、現基礎を撤去の後、捨て石層上面より15m程度深いN＞50の砂礫層を支持層とする杭基礎とした。また、上部工については、沓の新設が必要であったが、桁および鋼製橋脚は損傷が軽微であり再使用が可能であったため、海上からﾌﾛｰﾃｨﾝｸﾞｸﾚｰﾝにより仮撤去し、工場で補修した後最設置した。

基礎の設計、施工にて留意した点は以下の点である。

①捨石護岸上の盛土部（４～５ｍ）が液状化対象層となるため、突出した杭として設計を行った。

②杭の支持地盤は、GL-20m付近のＮ＞50の砂礫層とし、杭の施工は捨石層を抜いての施工となるため、オールケーシング形式の全旋回掘削機を用いることにした。

③ﾎﾞｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ線の橋脚が神戸大橋オンランプに近接しており、神戸大橋はﾎﾞｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞへの唯一の陸路アクセス線であることから、ﾎﾞｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞ線基礎の施工に先立ち、オンランプ橋脚基礎下部の地盤に薬液注入を施す防護工事を行った。

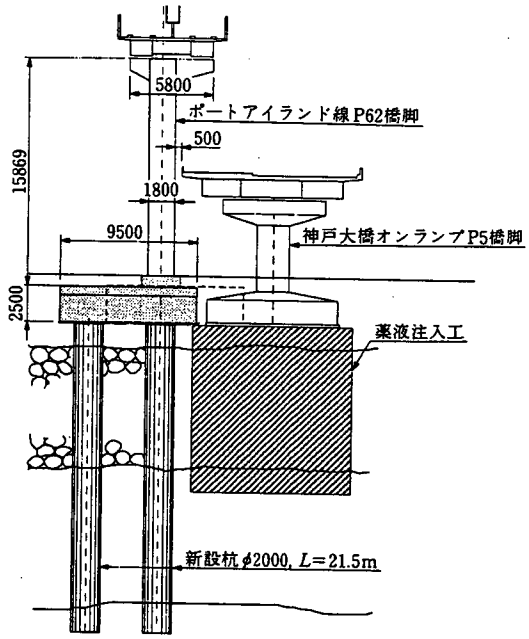


図-２　新設基礎形状図

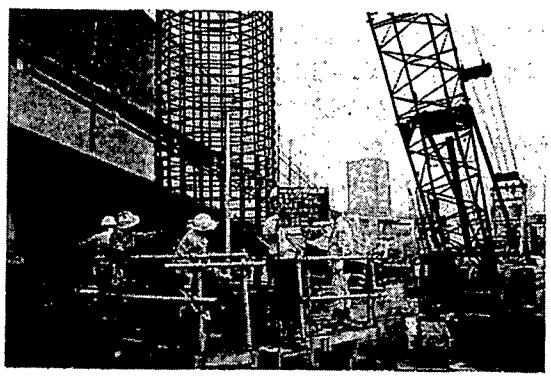


写真-２

参考文献　；

本復旧工法	基礎(構造変更 杭→直接)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		神戸ハーバーハイウェイ			

被災度	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

1．被災状況

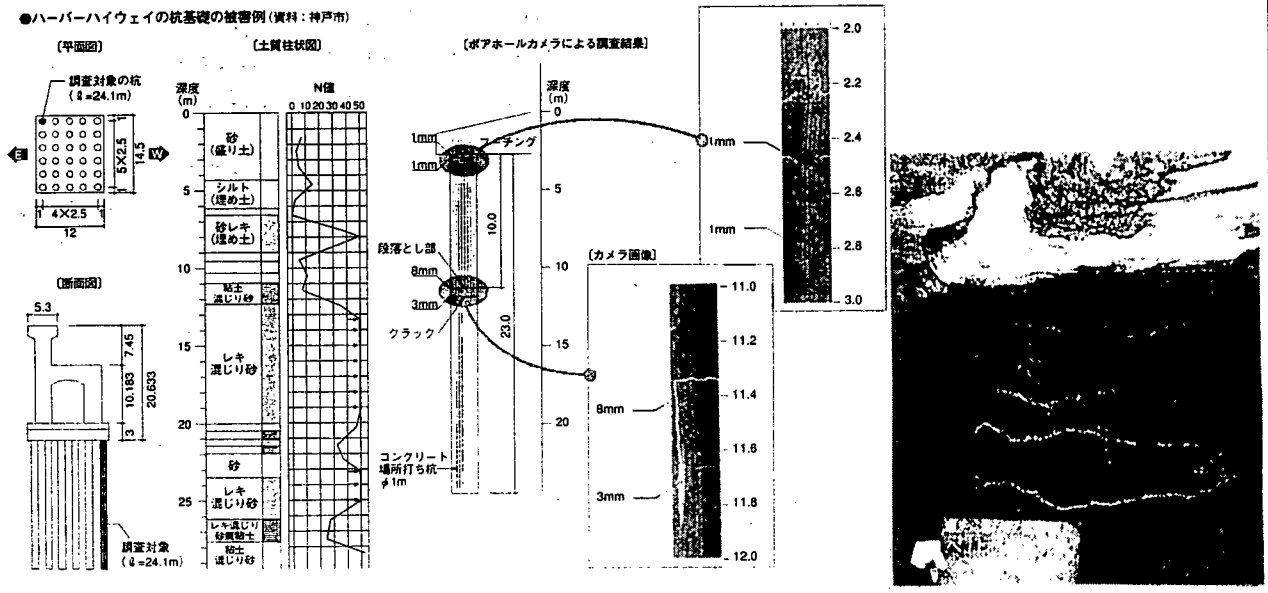
ポートアイランドから六甲アイランドまでの湾岸部10.5kmを結ぶ神戸港港湾道路「ハーバーハイウェイ」は、上下線が２層に分離した高架橋である。

基礎工は288基ある橋脚のうち、場所打ち杭が160基を占め、その多くが震災により損傷を受けた。

ボアホールテレビシステムなどによる調査の結果、液状化などによって大半の場所打ち杭の杭とフーチングの接合部付近にひび割れが入っており、杭体の曲げ体力が著しく低下していることが確認された。

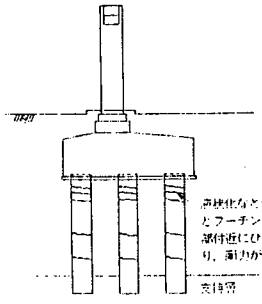
一方、橋脚、上部構造の陸上部は比較的被害が少なかった。

●ハーバーハイウェイの杭基礎の被害例(資料：神戸市)



●橋脚基礎の被害状況

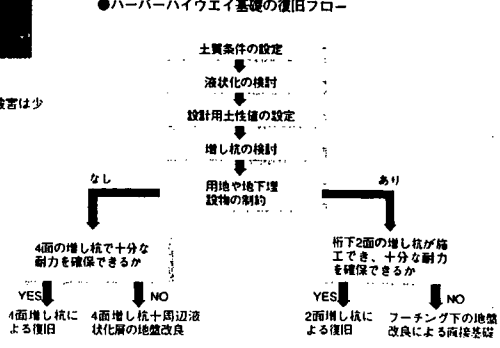
〔被災直後の状態〕





ハーバーハイウェイの杭基礎の大部分にひび割れが入った。橋脚や橋桁の被害は少ない。地上部分の構造を残したままで、杭を補修することになった

●ハーバーハイウエイ基礎の復旧フロー



参考文献　；　日経コンストラクション1-2, 平成8年1月

地震に強い土木:;日経コンストラクション編

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	復旧工法 DID区間

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

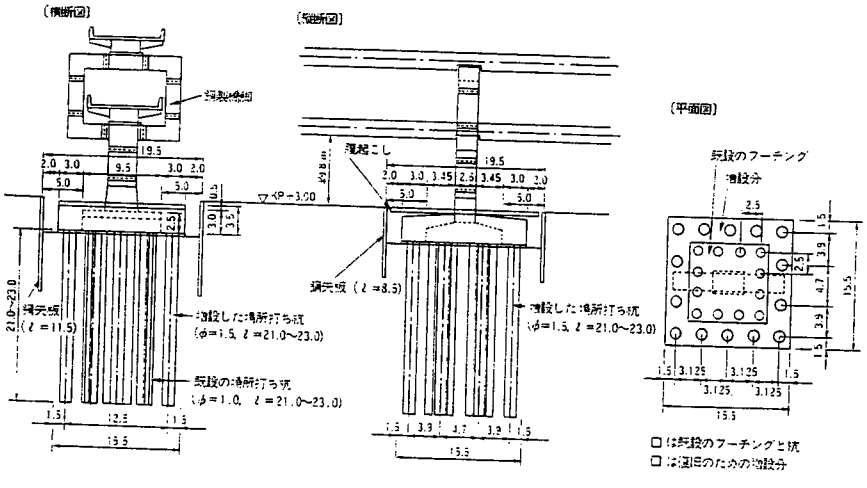
2．復旧工法

杭基礎に比べ陸上部は被害が少なかったため、橋脚及び上部構造をそのまま残した状態で基礎を補修する方針とした。
復旧工法は増し杭を基本とし、用地的な問題や地下埋設物の制約から打設不可能な場合は、フーチング下をCJG（コラムジェットグラウト）工法により地盤改良し、直接基礎形式へと変更した。

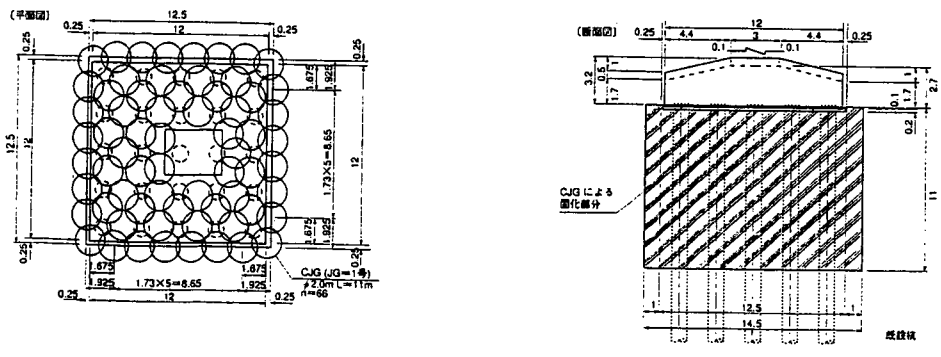
(補修内容)
対象基礎　151基
　　内、増し杭工法　　75基
　　CJG固化工法　　76基

増し杭は桁下空間が低いため、低空頭対応場所打ち杭工法を採用した。
固化工法は、設計は既設杭を考慮･無視の2ケースについて行い、施工はチェックボーリングによりフーチングとの密着性、固化体の仕上がりを確認しながら行った。

●増し杭による復旧の標準図



●CJGによる復旧の標準図



参考文献　；

本復旧工法	その他(地下駅舎)	路線名	橋梁名	上部構造形式	下部構造形式
		神戸高速鉄道			

被災度		
	上部構造	
	橋脚	
	基礎	
	支承	

1．被災状況

神戸高速鉄道、大開駅は、新開地、高速長田のほぼ中間に位置し、地上には国道28号線が走る地下駅舎である。

構造は、駅舎部がスパン17～26m、トンネル部がスパン9.0mのボックス形式であり、スパン中央にRCの中間柱を有していた。震災により駅舎部の35本の中間柱がせん断破壊し、120mに渡り崩壊した。

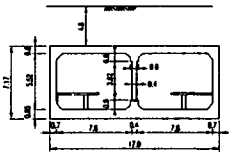
これにより直上を走る国道28号線は長さ100m、幅30mの範囲で最大3mほど陥没した。又、高速長田駅に向かう530mの範囲でトンネルの中柱220本が損壊した。



3.5 m ピッチで入っていた幅 40 cm、高さ 1 m の中柱が折れみ、せん断破壊したために、上床版が沈下した。この影響で駅舎の上を走る国道 28 号が最大 120 m、幅 30 m にわたって最大 3 m 陥没した＝神戸市兵庫区



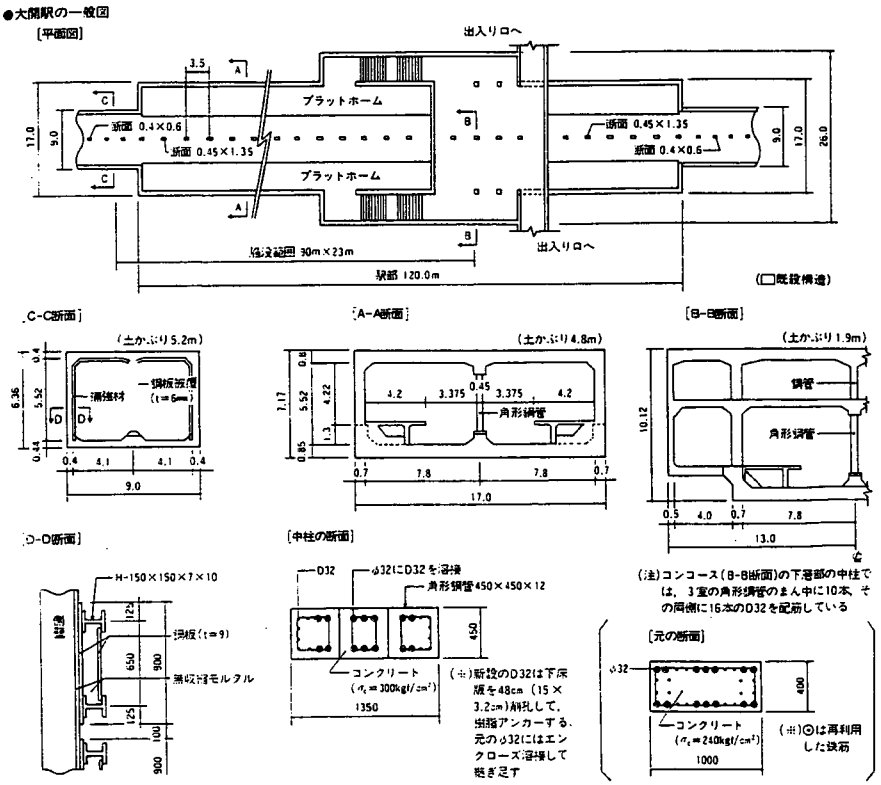
●神戸高速鉄道・大開駅の断面図





駅の東端にあるコンコース階も天井が陥没するなどの被害が出た

●大開駅の一般図



参考文献　：　地震に強い土木:;日経コンストラクション編

	支承形式	設計示方書	施工年	交差状況	迂回路	復旧工法 平日交通量	復旧工法 休日交通量	DID区間

68

復旧工法	
通行規制	
工　期	
工　費	

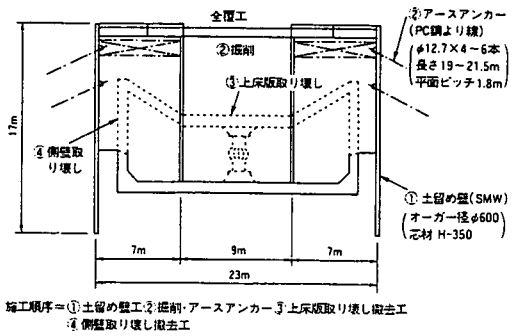
2．復旧工法

(1) 大開駅

中間柱が完全に崩壊した駅舎部は、ボックス下床版及びレールを除きすべて撤去し、再構築した。中柱は、被災前の幅0.4m、奥行き1.0m、中心間隔3.5mのRC造であったのに対し、再構築する躯体は0.45×0.45m、t=12mmの角型鋼管を3つ並べ溶接で接合し、内部にコンクリートを詰めた構造とした。

側壁および上床版の寸法は元断面と変更無いが、鉄筋は側壁でφ22→D25、上床版でφ19、φ25→D25とした。また、側壁と下床版の隅角部には鉄筋を入れコンクリートを打ち足した。

●大開駅の復旧計画



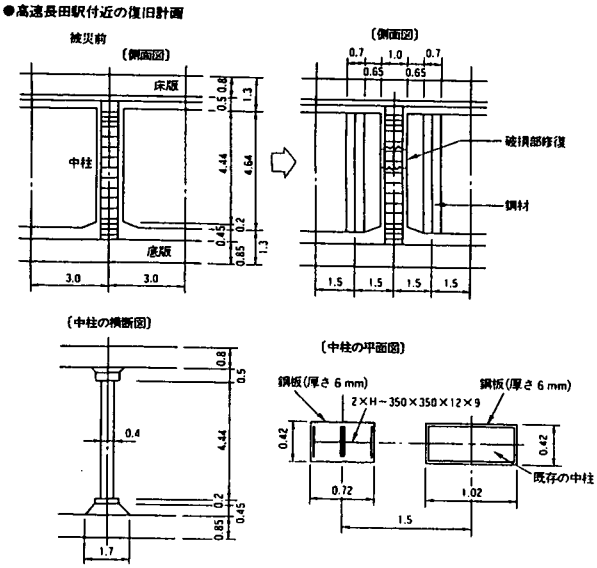
施工順序＝①土留め壁工→②掘削・アースアンカー→③上床版取り壊し撤去工
→④側壁取り壊し撤去工

(2) トンネル部

大開駅前後の一般部は崩壊に至らなかったものの、海側の側壁がせり出したり、0.4×0.6mの断面を持つ中柱に亀裂が入ったりした。

そのため、海側の側壁を作り直した上で、両側の側壁と上床版の内面にはH形鋼と鋼板で作った補強材を巻いた。さらに、中柱には厚さ6mmの鋼板を被覆した。

●高速長田駅付近の復旧計画



参考文献　：

2.兵庫県南部地震における被災分析に関する資料

兵庫県南部地震による橋梁構造物等の被害分析に関する研究が各機関で行われている。これらの研究発表文献の中から、被害分析事例を**表－3.2.1「兵庫県南部地震における被害分析に関する資料一覧表」**に示す。

表－3.2.1は、対象部位の項目に被害データの種類，分析方法の項目に分析方法や分析目的等について，概要の項目に分析内容や分析結果を示すとともに，調査文献を示している。備考欄に○印の付いた資料については、2.1, 2.2で分析データ等を詳しく整理している。

2.1 被災分析結果の事例

兵庫県南部地震による橋梁構造物の被害については、各機関で様々な角度から分析が行われており、検討対象部位別に、各機関の研究成果を分析方法，分析データ，分析内容，分析結果概要について整理し、この結果を**表－3.2.2**に示す。**表－3.2.2**以降には、整理番号順に、分析結果データの詳細を示す。

これらの分析結果は、各機関でそれぞれの目的をもって研究された結果であり、研究目的や分析手法が統一されたものでない。そのため、これらの研究成果は同一レベルでなく、整理結果を一般の橋梁に全て適用できるものでない。

これらの研究成果を橋梁の耐震性判定項目として考慮する場合には、分析データの種類・内容，分析方法，分析目的について十分検討し、分析結果の適用範囲あるいは適用性に注意しなければならない。

表－3.2.1(a)　兵庫県南部地震における被災分析に関する資料一覧表

No.	資料分類	対象部位	分析方法	概　　要	文　　献	備考
1	地震被害の分析	土木構造物全般	被害調査	土木構造物の被害調査報告　他	阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、"阪神・淡路大震災調査報告　土木構造物の被害　橋梁"	○
2	地震被害の分析	RC 橋脚	被災度判定	阪神高速道路 3 号線の RC 橋脚を例に、震災直後の被災度判定と復旧工事における詳細データを基にした被災度判定を行い、支承の調査結果やせん断－曲げ耐力比と併せて、損傷橋脚の分析お行う。	前川、田坂、林田、"地震により損傷した RC 橋脚の被災調査と定量的評価"、耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジュウム講演論文集, 1997.7	○
3	地震被害の分析	RC 橋脚	損傷度の定量的評価	地震により被災した阪神高速道路3号線RC橋脚の損傷度を定量的に評価するために、外観調査、コンクリート損傷調査、鉄筋損傷度調査などの結果や地震時保有水平耐力照査、せん断耐力解析などの手法を用いて検討	林、丸居、幸左、安田、中田、"RC 橋脚損傷度の評価解析"、第 2 回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1997.1	○
4	地震被害の分析	橋脚一般	橋梁耐震診断法 損傷確率ﾏﾄﾘｯｸｽによる補強の優先順位付け	既存橋梁の耐震性能を比較的簡便な手法で評価する橋梁耐震診断法を構築する。 ・橋梁全体系の耐震性を確保を念頭においた耐震診断プロセスの提案。 ・地震動強度と被災度をｸﾛｽ集計して算出した「損傷確率ﾏﾄﾘｯｸｽ」による耐震補強の優先順位付け手法の提案	高田、森川、松本、花川、"GIS データベースに基づいた橋梁耐震診断法の構築と損傷マトリックスの評価"、構造工学論文集,Vol.44A,1988.3	○
5	地震被害の分析	橋脚一般	地盤特性と橋脚被害の関係	地震時における地盤特性の橋梁被害への影響の検討。	船越、森川、高田、花川、"橋梁の地震時被災度に対する地盤特性の影響と損傷確率マトリックスの評価"、土木学会第 53 回年次学術講演会、1998.10	○
6	地震被害の分析	橋脚一般	ニューラルネットワークによる被災予測システムの作成	過去の主要な 12 個の地震による道路橋の被害調査を行い、それらの調査結果とニューラルネットワークを用いて、道路橋の地震被害予測システムを構築。	古川、沢田、平尾、成行、"道路橋の地震被害調査と被害予測への応用"、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集、1997.7	○
7	地震被害の分析	RC 橋脚	地震動と被害確率の統計解析	地震時損傷度曲線を兵庫県南部地震の被災情報を用い統計的に評価し、被災度別の損傷度曲線を提案。	中村、長沼、静間、篠塚、"統計解析による道路橋脚の地震時損傷確率に関する研究"、第 10 回日本地震工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｭｳﾑ、1998	○
8	地震被害の分析	橋脚一般	地震動と被害確率の統計解析	兵庫県南部地震による JH が管理する高速道路の被害データを基に、高速道路構造物と地震動強度指標の関係を調べ、橋梁・高架に対する被害推定式の提案。	山崎、大西、田山、高野、"高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案"、第 10 回日本地震工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｭｳﾑ、1998	○
9	地震被害の分析	鉄道構造物	災害予測・復旧支援システム	各種構造物の損傷度曲線の提案	富田、山下、中村、"　" HERAS（ﾍﾗｽ）"の災害発生予測法"、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集、1997.7	○
10	地震被害の分析	RC 橋脚	地震被害度算定手法	地震動および構造特性と被害の検討。 地震動から構造物の被害を推定する地震被害算定指標の構築。	鈴木、井林、藤原、尾坂、"RC 橋脚の地震被害と地震動および構造特性との関連性"、構造工学論文集、vol.44A、1998.3	○
11	地震被害の分析	ＲＣ橋脚	RC 橋脚被害に着目した地震動特性値評価手法	RC 橋脚の被害と地震動特性地との関連について検討している。地震動特性値としては、最大加速度、SI 値、加速度応答値、速度応答値に着目。試設計を行うとともに、その動的解析を実施し、応答値と地震動特性地おの関係について整理。	金子、田村、"RC 橋脚被害に着目した地震動特性値評価手法の研究" 第 24 回地震工学研究発表講演論文集、1997.7	○
12	地震被害の分析	ＲＣ橋脚	耐震診断法	ﾊﾟﾗﾒﾄﾘｯｸ解析により、終局曲げ耐力，降伏曲げ耐力，せん断耐力の簡易な算定式を作成するとともに、簡易な破壊ﾓｰﾄﾞ判定法、じん性率算定法と所要降伏ｽﾍﾟｸﾄﾙを組み合わせた耐震性評価法の一連の流れを示す。	家村、友田、友永、村山、"RC 橋脚を有する橋梁の簡便な耐震診断法の紹介"、第 10 回日本地震工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｭｳﾑ、1998	○
13	地震被害の分析	ＲＣ橋脚	破壊形態の分類	東名高速道路（東京－三ヶ日）の固定橋脚のせん断スパン比と上部工負担重量との関係を基に、RC 橋脚の耐震性に関する特性分析を行う。　設計ｼﾞﾝ性率を考慮することによって、負担重量／固有周期の値で、RC 橋脚の破壊形態が分類できる。	緒田、西、坂口、大塚、"既設 RC 橋脚の耐震性に関する特性解析"、第 2 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｭｳﾑ、1998.12	○
14	地震被害の分析	RC 橋脚	地盤～基礎の相互作用を考慮した非線形動的解析	単柱の RC 橋脚の橋軸直角方向の被害に着目し、地盤～基礎の相互作用を考慮した非線形動的解析により橋脚の被災度の差をもたらした幾つかの要因を定量的に分析。	孫、林、幸左、後藤、"非線形動的解析による RC 単柱橋脚の被災要因分析"、構造工学論文集,vol.44A,1998.3	○

表－3.2.1(b)　兵庫県南部地震における被災分析に関する資料一覧表

No.	資料分類	対象部位	分析方法	概要	文献	備考
15	地震被害の分析	RC 橋脚	調査データの統計解析	1路線の高速道路高架橋の RC 橋脚に注目して被害調査を行い、橋脚の損傷程度と構造形式、せん断スパン比等との関係を統計解析するとともに、損傷・破壊ﾒｶﾆｽﾞﾑの基礎的な要因を調査。	松本、香川、豊福、"震害を受けた RC 橋脚の損傷分析と特徴"、コンクリート工学論文集,vol.18、No.2, 1996	○
16	地震被害の分析	鋼製橋脚	評価式	耐震性能の評価式を示す。	宇佐美、前野、織田、"鋼製橋脚の耐震診断法とその力学的背景"、第2回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジュウム講演論文集, 1998.7	○
17	地震被害の分析	RC 橋脚	適用示方書別に試設計した断面での解析	PC 4 径間連続箱桁橋の試設計を適用示方書別に実施し、その耐震性を解析により評価する。 総和 39 年鋼道路橋設計示方書、昭和 55 年道路橋示方書、平成 2 年道路橋示方書、平成 7 年復旧仕様	境、川島、武村、"耐震技術基準の変遷に伴う RC 橋脚の耐震性向上度の検討"、ｺﾝｸﾘｰﾄ系構造物の耐震技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｭｳﾑ講演論文集、1977.1	○
18	地震被害の分析	支承、伸縮継手、桁間連結装置	被害調査結果の整理	支承被害の整理結果	北田、加藤、"阪神・淡路大震災における支障・伸縮継手桁間連結装置の被害と今後の設計のあり方阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集　1996.1	・
19	地震被害の分析	支承、落橋防止装置	被害調査	支承、落橋防止構造の被害	神田、"道路橋における支承および落橋防止構造の被災の総括"　橋梁と基礎 1996.8	
20	地震被害の分析		被害調査	兵庫県南部地震鉄道被害調査報告	"鉄道総研報告　兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書"鉄道総合技術論文誌　1996.4	
21	地震被害の分析	鋼製橋脚	評価式	耐震性能の評価式を示す。	宇佐美、前野、織田、"鋼製橋脚の耐震診断法とその力学的背景"、第2回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジュウム講演論文集, 1998.7	

表－3.2.2(a)　兵庫県南部地震被害の各種要因分析

No	概要					引用文献名	
	対象	分析方法	分析内容	分析対象データ	分析結果概要	著者名	文献名
1	橋脚一般	特定要因による被害分析	適用示方書と被害の関係	兵庫県南部地震での被害分析	・橋脚の被害率には適用示方書による違いがある。	阪神・淡路大震災調査報告編集委員会	阪神・淡路大震災調査報告　土木構造物の被害　橋梁
2	RC橋脚	同　上	適用示方書と耐力、じん性の関係	適用示方書別に試設計した断面での解析	・S39 橋脚はせん断先行型となる。 ・S55、H2、H7 橋脚は曲げ先行型となる。 ・じん性率はS55、H2、H7 橋脚の順に大きくなる。	堺惇一、川島一彦 武村浩志	耐震技術基準の変遷に伴うRC橋脚の耐震性向上度の検討、コンクリート系構造物の耐震技術に関するシンポジウム論文報告集、1977,4
3	同　上	同　上	せん断耐力指標、せん断・曲げ耐力比と損傷度の相関	兵庫県南部地震での被害分析(阪神高速道路３号神戸線のRC橋脚)	・せん断曲げ耐力比と損傷形態には相関がある。 ・せん断耐力指標 400gal 以上の橋脚は被害が小さい。 ・支承被災度と橋脚被災度には相関がみられた。	前川順道、田坂広 林田充弘	地震により損傷したRC橋脚の被災調査と定量的評価、耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム論文報告集、平成９年７月
4	同　上	同　上	せん断余裕度係数と損傷度、せん断・曲げ耐力比と損傷パターンの相関	兵庫県南部地震での被害分析(阪神高速道路３号神戸線のRC橋脚)	・曲げせん断耐力比と損傷パターンには相関がある。 ・損傷程度とせん断余裕度には相関がある。	林秀侃、丸居保 幸左賢二、安田扶律 中田恒和	RC橋脚損傷度の評価解析、第２回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1997 年１月
5	橋脚一般	各種要因による被害の統計分析	適用示方書、材料、上部工形式、橋脚形式、断面形状、段落し、せん断スパン比,地形、震度階（ｱﾝｹｰﾄ震度）などと損傷度の関係	兵庫県南部地震での被害分析(阪神高速道路３,５号線、中国自動車道、名神高速道路の橋脚)	・適用示方書、材料、形式などによる橋脚一般の耐震一次診断 ・RC単柱については断面形状、段落し、せん段曲げスパン比、上部工などで損傷モードを推定可能。各損傷モードの震度階毎の被害確率を地形別に算出可能。	高田至郎、森川英典 松本正人、花川和彦	GIS データベースに基づいた橋梁耐震診断法の構築と損傷マトリックスの評価、構造工学論文集、Vol.44A、1988 年３月
6	RC橋脚	特定要因による被害分析	地盤特性と橋脚被害の関係	同　上	・地形分類をTGの変化でさらに分類した。 ・上記損傷モードの被害確率をTGの変化量の大小で算出。	船越寿明、森川英典 高田至郎、花川和彦	橋梁の地震時被災度に対する地盤特性の影響と損傷確率マトリックスの評価、土木学会第５３回年次学術講演会、平成 10 年 10 月
7	橋脚一般	ニューラルネットワークによる被害予測システムの構築	適用示方書、橋脚形式、スパン、地盤種、地震規模、断層距離などと被害の関係	兵庫県南部地震を含め、被害の大きい既往の 12 地震での被害データ	・既往の被害データを学習データとして、ニューラルネットワークを用いて、被害予測システムを構築している。	古川幸信、沢田勉、 平尾潔、成行義文	道路橋の地震被害調査と被害予測への応用、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集、1997 年７月
8	RC橋脚	地震動と被害確率の統計解析	地震動（地表面最大加速度、応答スペクトル）と被災度の関係	兵庫県南部地震での被害分析(阪神高速道路３号神戸線のRC橋脚)	・被災度別の損傷度曲線の提案。 ・支承被害と橋脚被害の関係は弱い。	中村孝明、長沼敏彦 静間俊郎、篠塚正宣	統計解析による道路橋脚の地震時損傷確率に関する研究、第 10 回日本地震工学シンポジウム、1998 年
9	橋脚一般	同　上	地震動（地表面最大加速度、最大速度）と被災度の関係	兵庫県南部地震での被害分析(中国自動車道、近畿自動車道名神高速道路、第二神明道路)	・被災度別の損傷度曲線の提案。	山崎文雄、大西惇一 田山聡、高野辰雄	高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案、第 10 回日本地震工学シンポジウム、1998 年
10	鉄道構造物	同　上	地震動（地表面最大実行加速度）、K値と被災度の関係	関東地震から千葉県東方沖地震までの６地震での被害データ	・各種構造物の損傷度曲線の提案。 ・K値により、予測構造物の特性を考慮している。 ・地震観測データともリンクしており、地震時にリアルタイム災害予測にも使える。	富田健司、山下彰彦 中村豊	"HERAS（ﾍﾗｽ）"の災害発生予測手法、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集、1997 年７月
11	RC橋脚	地震動および構造特性と被害の相関	地震動（SI 値）とせん断耐力比、損傷指標（塑性率、DI）等との関係	兵庫県南部地震を含め、既往の 20 地震波による単柱弾塑性解析データ	・損傷指標とSI（0.1～1.5 秒の積分）には相関有り。 ・構造物特性としてはせん断耐力比が損傷指標と相関が良い。 ・SI 値とせん断耐力比での被害推定式を提案	鈴木基行、井林康 藤原稔、尾坂芳雄	RC橋脚の地震被害と地震動および構造特性との関連性、構造工学論文集、vol.44A、1998 年３月

表－3.2.2(b)　兵庫県南部地震被害の各種要因分析

No	概要					引用文献名	
	対象	分析方法	分析内容	分析対象データ	分析結果概要	著者名	文献名
12	RC橋脚	地震動特性値と構造物応答値の相関	地震動（SI値、加速度応答値、速度応答値など）と構造物応答特性（塑性率）の関係	兵庫県南部地震を含め、既往の13地震波によるRC単柱弾塑性解析データ	・SI値と塑性率には良い相関がある。 ・長周期を考慮した加速度応答値、速度応答値も塑性率と良い相関がある。	金子正洋、田村敬一	RC橋脚被害に着目した地震動特性値評価手法の研究、第24回地震工学研究発表会講演論文集、1997年7月
13	RC橋脚	パラメトリックスタディによる耐震診断法の検討	上部工重量、橋脚諸元（断面形状、高さ、鉄筋）による非線形応答スペクトルを用いた耐震性評価	矩形断面と円形断面のRC断面で、軸鉄筋比、鉄筋降伏強度、コンクリート強度などをパラメータとした。	・パラメトリック解析により耐力、じん性率、等価固有周期の簡易式を導入。 ・想定標準地震波による非線形応答スペクトルを作成し、これを用いて所要の耐震性があるか判定する。	家村浩和、友田研也 友永則雄、 村山八洲雄	RC橋脚を有する橋梁の簡便な耐震診断法の紹介、第10回日本地震工学シンポジウム、1998年
14	RC橋脚	各種要因によるじん性率の統計分析	せん断スパン比、単位面積当たりの負担重量、固有周期とじん性率の関係	東名高速道路の固定橋脚	・せん断スパン比と単位面積当たりの負担重量／固有周期は一定の関係がある。 ・せん断スパン比とじん性率には相関があるので、地震時の破壊形態がせん断スパン比から想定できる。	緒方辰男、西浩嗣 坂口幸路、大塚篤生 亀井与志	既設RC橋脚の耐震性に関する特性分析、第2回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム論文集、1998年12月
15	RC橋脚	非線形応答解析によるRC単柱の被災要因分析	杭頭ひびわれ、主鉄筋段落し、基部埋め戻し、支承破断、桁の偏心と橋脚応答値（塑性率、残留変位など）の関係	RC単柱モデル橋脚	・杭頭ひびわれにより、基礎の水平ばねが低減し、橋脚は長周期化する。 ・主鉄筋段落し位置を低くすると、ここで降伏する。 ・基部埋め戻しにより基部の断面力は減るが、埋め戻し表面付近のせん断力が増大する。 ・支承破断により橋脚へのせん断力が若干減少した。 ・桁偏心により、残留変位が増加する。	孫利民、林秀侃 幸左賢二、後藤洋三 大内一	非線形地震応答解析によるRC単柱橋脚の被災要因分析、構造工学論文集、vol.44A、1998年3月
16	RC橋脚	各種要因による被害分析	断面形状、損傷モード、せん断スパン比、基礎構造	兵庫県南部地震での被害分析（道路橋RC橋脚）	・せん断破壊モードは大被害が多い。 ・せん断スパン比1ではせん断損傷であり、2では曲げ損傷である。 ・杭基礎では柱基部、直接基礎では柱中間部に損傷が多い。	松本典人、香川尚史 豊福俊英、真島光保	震害を受けたRC橋脚の損傷分析と特徴、コンクリート工学論文集、vol.18、No2、1996
17	鋼製橋脚	実験データのパラメトリックスタディ	フランジ部材の幅厚比、細長比、軸力比による耐力、じん性の簡易式の設定	模型試験体の実験データ	・コンクリートを充填しない橋脚の耐震性能は簡易式で評価できる。 ・コンクリートを充填した橋脚の耐震性のは静的な非線形解析結果を用いる。 ・二次診断は動的解析による。	宇佐見勉、前野裕文 織田博孝	鋼製橋脚の耐震診断法とその力学的背景、第2回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム講演論文集、平成10年7月
18	基礎	基礎形式による被害分析	基礎形式と被害の関係	兵庫県南部地震での被害分析	・全体的に基礎の被害率は小さい。	阪神・淡路大震災調査報告編集委員会	阪神・淡路大震災調査報告　土木構造物の被害　橋梁
19	支承	支承パラメータによる被害分析	支承材料、支承形式と被害の関係	同上	・金属沓は被害が大きい。 ・固定支承ではピン支承、ピボット支承、BP支承の被害が多い。可動支承ではローラ支承、BP支承の被害が多い。	同上	同上
20	支承	同上	鋼橋の支承被害の支承形式、反力の関係	同上	・ピン、ローラ沓の損傷程度が大きく、次に線支承、BP沓の順である。 ・BP沓は反力が大きいほど被害も大きい。	同上	大震災に学ぶ－阪神・淡路大震災調査研究員壊報告書－、第1巻、（社）土木学会関西支部、平成10年6月

対　象	概　　要	引用文献番号
橋　脚	適用示方書と被害の関係	1

1）　適用示方書と被害の関係

表 1.1.6　橋脚の準拠基準別損傷度（橋脚数）

Table 1.1.6　Damage levels of piers and design specifications refered to in design

構　造	準拠基準年次	橋脚の被災度					合計
		As	A	B	C	D	
鋼製橋脚	昭和 39 年以前	4 (4 %)	11 (10 %)	9 (8 %)	72 (67 %)	12 (11 %)	108 (100 %)
	昭和 46 年	0 (0 %)	0 (0 %)	14 (13 %)	45 (43 %)	45 (43 %)	104 (100 %)
	昭和 55 年	0 (0 %)	0 (0 %)	11 (9 %)	19 (15 %)	97 (76 %)	127 (100 %)
	平成 2 年	0 (0 %)	0 (0 %)	2 (13 %)	2 (13 %)	12 (75 %)	16 (100 %)
	小　計	4 (1 %)	11 (3 %)	36 (10 %)	138 (39 %)	166 (47 %)	355 (100 %)
鉄筋コンクリート橋脚	昭和 39 年以前	78 (3 %)	155 (6 %)	143 (5 %)	672 (25 %)	1 600 (60 %)	2 648 (100 %)
	昭和 46 年	1 (1 %)	1 (1 %)	15 (8 %)	63 (34 %)	106 (57 %)	186 (100 %)
	昭和 55 年	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (1 %)	22 (13 %)	144 (86 %)	167 (100 %)
	平成 2 年	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	40 (100 %)	40 (100 %)
	小　計	79 (3 %)	156 (5 %)	159 (5 %)	757 (25 %)	1 890 (62 %)	3 041 (100 %)
合　計	昭和 39 年以前	82 (3 %)	166 (6 %)	152 (6 %)	744 (27 %)	1 612 (58 %)	2 756 (100 %)
	昭和 46 年	1 (0 %)	1 (0 %)	29 (10 %)	108 (37 %)	153 (53 %)	290 (100 %)
	昭和 55 年	0 (0 %)	0 (0 %)	12 (4 %)	41 (14 %)	241 (82 %)	294 (100 %)
	平成 2 年	0 (0 %)	0 (0 %)	2 (4 %)	2 (4 %)	52 (93 %)	56 (100 %)
	小　計	83 (2 %)	167 (5 %)	195 (6 %)	895 (26 %)	2 056 (61 %)	3 396 (100 %)

2）上部構造の種別と橋脚被災度の関係

表 1.1.13　上部構造の種別と橋脚の被災度の関係

Table 1.1.13　Damage levels in piers depending on type of superstructure

橋脚の支持する上部構造の種別	橋脚の被災度					合計
	As	A	B	C	D	
コンクリート桁	19 (15 %)	4 (3 %)	12 (10 %)	12 (10 %)	79 (63 %)	126 (100 %)
コンクリート桁と鋼桁	0 (0 %)	2 (8 %)	2 (8 %)	4 (17 %)	16 (67 %)	24 (100 %)
鋼　桁	48 (5 %)	80 (8 %)	100 (10 %)	321 (34 %)	407 (43 %)	956 (100 %)
合　計	67 (6 %)	86 (8 %)	114 (10 %)	337 (30 %)	502 (45 %)	1 106 (100 %)

a）上部構造の種別と橋脚の被災度の関係

上部構造を鋼桁とコンクリート桁に分類し，その上部構造を支えている橋脚の被災度を整理すると表 1.1.13 のようになる．鋼桁を支える橋脚は 956 基であり，このうち被災度がA以上と判定された橋脚は 128 基で全体の 13 %に当たる．これに対して，コンクリート桁を支える橋脚は 126 基であり，被災度がA以上と判定された橋脚は 23 基で全体の 18 %に当たり，両者の割合はほぼ等しい．こうした点から見ると，上部構造の種別によって橋脚の被災度が異なる傾向は見られない．

対　象	概　　要	引用文献番号
橋　脚	適用示方書別に試設計した橋脚の耐震性評価	2

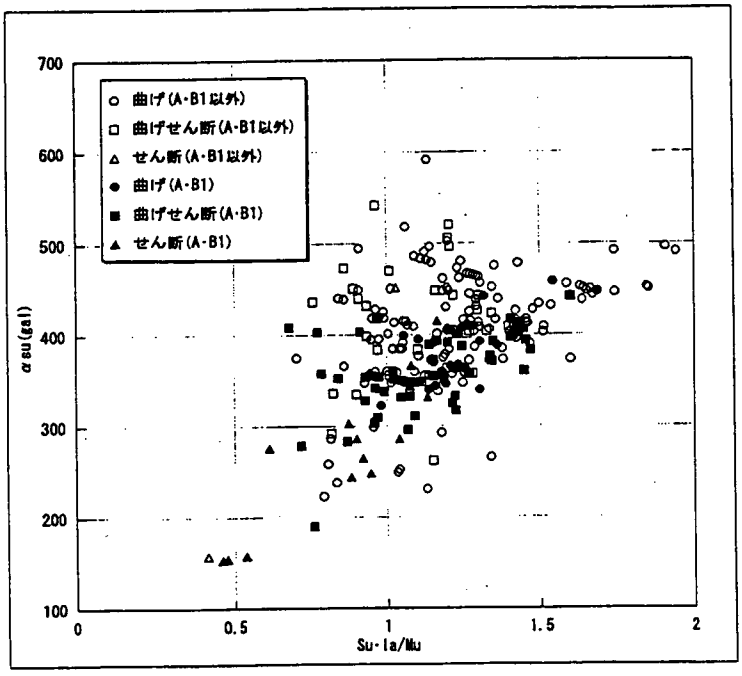
4種類の示方書にしたがってＲＣ橋脚の試設計を実施

- 昭和３９年鋼道路橋設計示方書
- 昭和５５年道路橋示方書
- 平成２年道路橋示方書
- 平成７年兵庫県南部地震で被災した道路橋復旧に係わる仕様

表２　平成７年復旧仕様に規定された地震時保有水平耐力法による解析対象橋脚の評価

	S39 橋脚		S55 橋脚		H2 橋脚		H7 橋脚	
	橋軸	直角	橋軸	直角	橋軸	直角	橋軸	直角
曲げ耐力（kN）	8595	7997	12897	12064	13730	12848	13769	12897
せん断耐力（kN）	6478	6919	15827	15259	16974	18728	23422	23255
先行する破壊形態	せん断	せん断	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ
地震時保有水平耐力（kN）	6478	6919	12083	11103	12818	11780	12828	11789
許容じん性率	1.00	1.00	2.97	3.15	3.86	4.01	5.17	5.33
終局じん性率	-----	-----	3.95	4.22	5.29	5.51	7.26	7.49
等価水平震度	1.50	1.50	0.61	0.64	0.52	0.56	0.44	0.48
慣性力（kN）	41777	32075	16003	12552	13642	11074	11544	9486
安全性の照査結果	×	×	×	×	×	○	○	○

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	せん断耐力指標、せん断曲げ耐力比と損傷形態	3

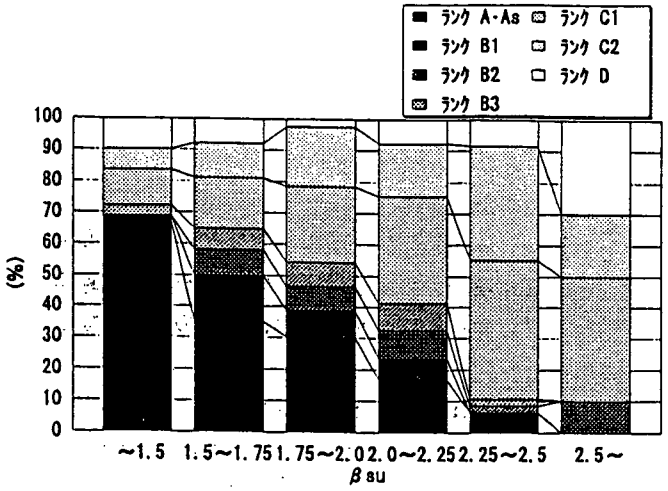


図－5　橋脚耐力と損傷の傾向

既設橋脚のせん断・曲げ耐力比と、詳細調査判定による損傷ランクの関係を考察するため、横軸にせん断曲げ耐力比（Su・la／Mu）を、縦軸にせん断耐力指標（α su）をとって、損傷形態別にグラフにプロットしたものを図－５に示す。ここでは、曲げ耐力が確実に発揮された橋脚について評価する必要があることから、鉄筋の段落しを有する橋脚データを除き、損傷した橋脚の278基について検討を行っている。また耐力には基本的に橋軸直角方向の値を用いることとしたが、せん断破壊に多くみられたように、損傷方向が明らかに橋軸方向と考えられる橋脚の耐力等については、橋軸方向の計算値を用いて傾向を検討した。

図－４よりせん断耐力指標（α su）＞400galの領域で損傷度の高いＢ１以上の損傷が極端に少なくなっていることがうかがわれる。また、曲げせん断損傷の橋脚は（Su・la／Mu）＝１の両側に大きくばらつくが、曲げ損傷の橋脚は（Su・la／Mu）＞１の領域に、せん断損傷の橋脚は（Su・la／Mu）＜１に分布する傾向がみられ、せん断曲げ耐力比＝約1.2を境にせん断損傷の橋脚はみられなくなる結果となった。

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	せん断余裕度係数（せん断耐力／設計加速度）、せん断曲げ耐力比と損傷形態	4



図－７：せん断余裕係数分布図

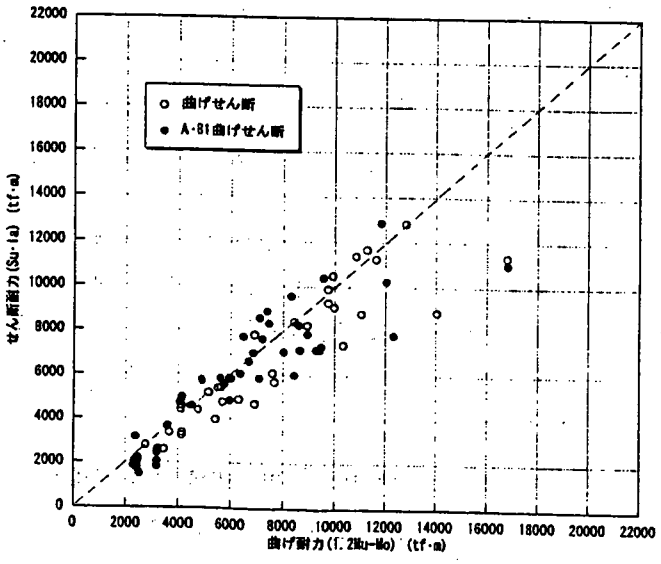
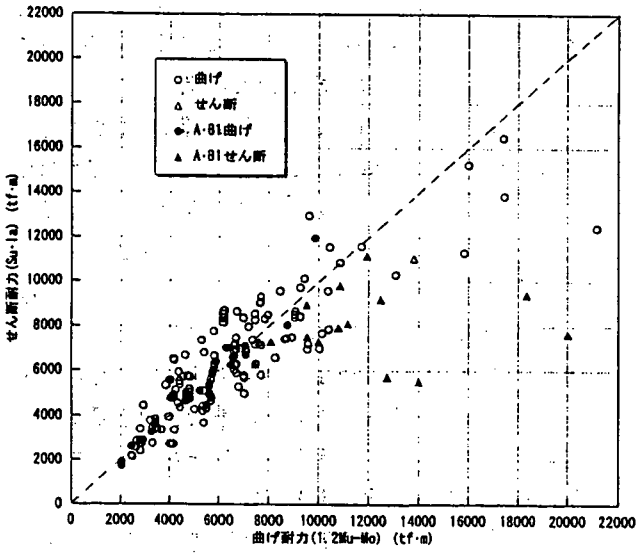


図-15：せん断耐力と曲げ耐力（曲げ・せん断タイプ）



図－14：せん断耐力と曲げ耐力（曲げおよびせん断タイプ）

対　象	概　　要	引用文献番号
橋脚一般	橋脚の耐震診断法	5

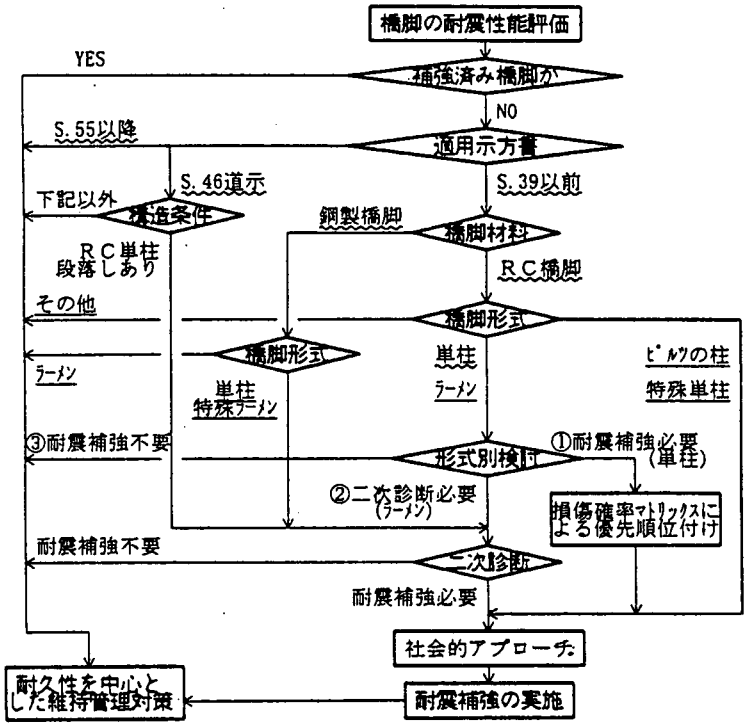
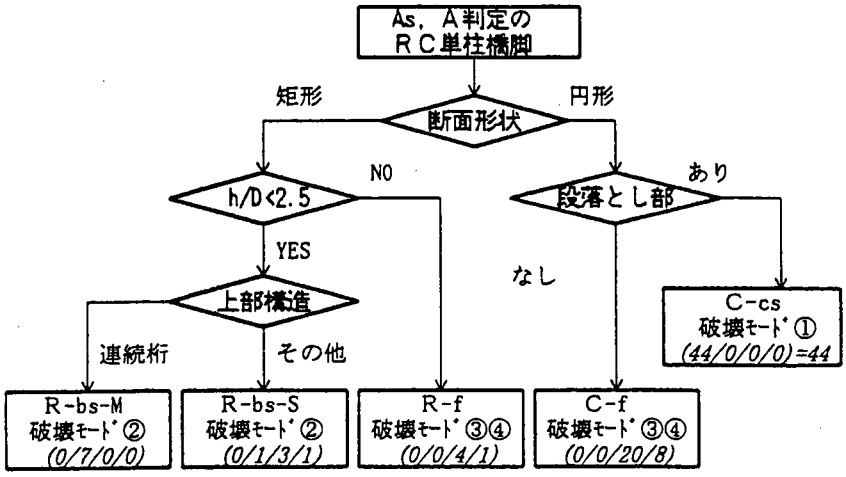


図-4 支配的要因を用いた橋脚の耐震診断フロー



※C-：丸単柱，R-：角単柱，
cs：段落とし部破壊（破壊モード①）（cutoff-point, shear）
bs：下部せん断破壊（破壊モード②）（bottom range, shear）
f：曲げ先行型破壊（破壊モード③または④）（flexial）
※()内は，実際に破壊モード(①/②/③/④)に至った橋脚数

図-5 RC単柱橋脚のグループ化と実際の破壊モード

表-9 C-cs 損傷確率ﾏﾄﾘｯｸｽ（河成平野）

橋脚被災度	気象庁震度階			
	5⁺	6⁻	6⁺	7
As	—	33%	29%	44%
A	—	33%	25%	33%
B	—	0%	14%	0%
C	—	0%	21%	11%
D	—	33%	11%	11%

表-10 C-cs 損傷確率ﾏﾄﾘｯｸｽ（河成平野以外）

橋脚被災度	気象庁震度階			
	5⁺	6⁻	6⁺	7
As	0%	0%	0%	29%
A	0%	14%	67%	18%
B	0%	14%	11%	18%
C	0%	57%	22%	35%
D	100%	14%	0%	0%

表-11 C-f，R-f 損傷確率ﾏﾄﾘｯｸｽ

橋脚被災度	気象庁震度階			
	5⁺	6⁻	6⁺	7
As	0%	2%	1%	0%
A	0%	13%	7%	23%
B	100%	26%	15%	18%
C	0%	26%	37%	18%
D	0%	33%	39%	41%

表-12 R-bs 損傷確率表（震度階6⁻以上）

橋脚被災度	連続桁		単純桁	
	固定沓	可動沓	交差点	その他
As	75%	14%	0%	0%
A	25%	29%	31%	7%
B	0%	29%	31%	21%
C	0%	29%	23%	43%
D	0%	0%	15%	29%

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	地盤特性を考慮した橋脚損傷確率	6

1）橋脚被害を地形分類でみると、A以上の被害は微高地が多い。

表-1　地形分類と橋脚被災度の関係

橋脚被災度	微高地		低地		沿岸低地		沿岸砂州	
AS	2	4%	0	0%	3	2%	0	0%
A	12	24%	2	2%	9	7%	5	10%
B	9	18%	20	22%	16	13%	6	12%
C	8	16%	23	25%	43	34%	17	34%
D	20	39%	46	51%	54	43%	22	44%
総計	51	100%	91	100%	125	100%	50	100%

2）TG の変化量も微高地が大きい。

表-2　地形分類と TG 値変化量

地形分類	微高地	低地	沿岸低地	沿岸砂州
TG値変化量平均値	0.076	0.026	0.046	0.027
TG値変化量標準偏差	0.093	0.024	0.042	0.025

3）微高地について TG の変化量でさらに分類する。TG の平均値を基準にして、これより大きい場合を TG 変化量大とし、小さい場合を TG 変化量小として分類して、損傷確率を算定した。

表-7　地盤特性による DPMs（TG 値変化量小）

橋脚被災度	気象庁震度階			
	5+	6-	6+	7
AS	0%	0%	0%	1%
A	0%	0%	9%	5%
B	0%	57%	20%	15%
C	0%	29%	41%	30%
D	100%	14%	30%	49%

表-8　地盤特性による DPMs（TG 値変化量大）

橋脚被災度	気象庁震度階			
	5+	6-	6+	7
AS	—	0%	0%	0%
A	—	0%	11%	46%
B	—	0%	33%	8%
C	—	100%	22%	38%
D	—	0%	33%	8%

対　象	概　　要	引用文献番号
橋脚一般	各種パラメータと予測損傷度	7

As(5)：落橋・倒壊…落橋・倒壊した場合．(取り替え)
A(4)：大被害……耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており，落橋等致命的な被害の可能性がある場合．(取り替え)
B(3)：中被害……耐荷力の低下に影響のある損傷であるが，余震，活荷重等による被害の進行がなければ，当面の利用が可能な場合．(補強)
C(2)：小被害……短期間には耐荷力の低下に影響のない場合．(補修)
D(1)：被害なし……耐荷力に関して特に異常が認められない場合．

TABLE2(a) CODE TABLE OF SPECIFICATION

適用示方書	
1	大正15年道路構造に関する細則案
2	昭和14年鋼道路橋設計示方書案
3	昭和31年鋼道路橋設計示方書
4	昭和39年鋼道路橋設計示方書
5	昭和46年道路橋耐震設計指針
6	昭和55年道路橋示方書
7	平成２年道路橋示方書

TABLE2(c) CODE TABLE OF PIER TYPE

橋脚形式	
1	弱い形式*
2	柱式
3	張出式
4	ラーメン式
5	壁式
6	橋脚なし
7	強い形式**

* 細い部材からなる骨組形式
** 鋼板巻立て等により補強された橋脚

TABLE2(b) CODE TABLE OF SOIL TYPE

地盤種別	
1	１種地盤
2	２種地盤
3	３種地盤

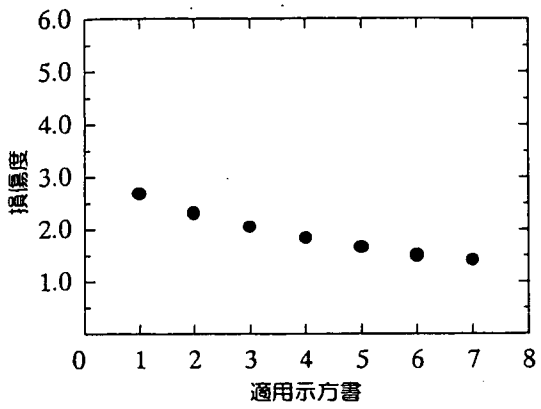


Fig.6 Relationship between specification and damage degree

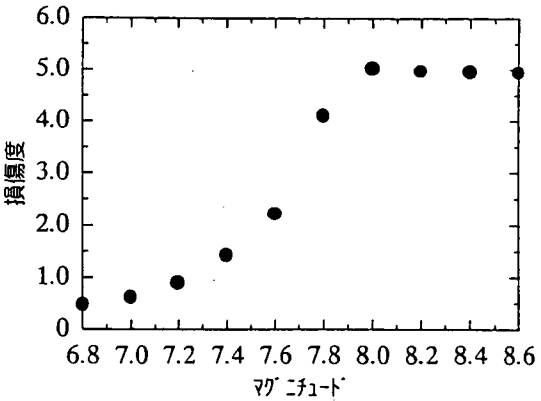


Fig.11 Relationship between magnitude and damage degree

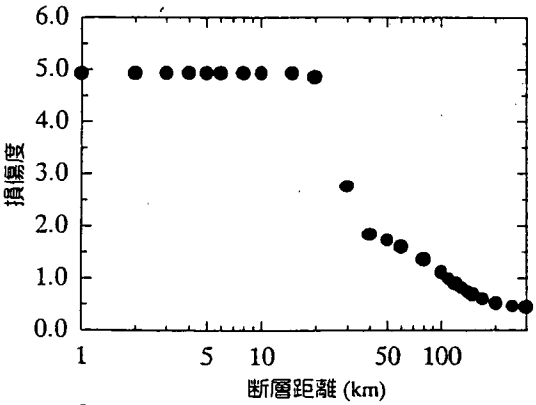


Fig.13 Relationship between fault distance and damage degree

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	地震時損傷度曲線	8

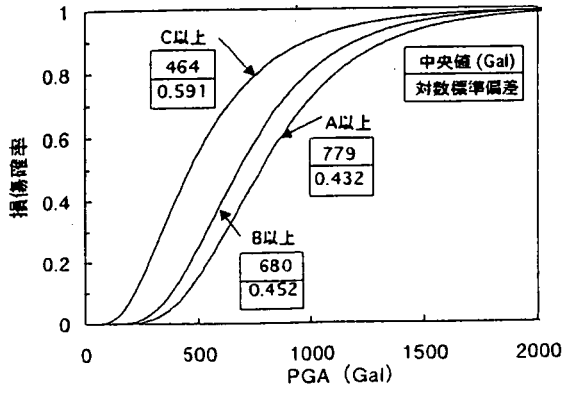


図-5　被災度別のF.C.

Fig. 5 Fragility curves for each damage state

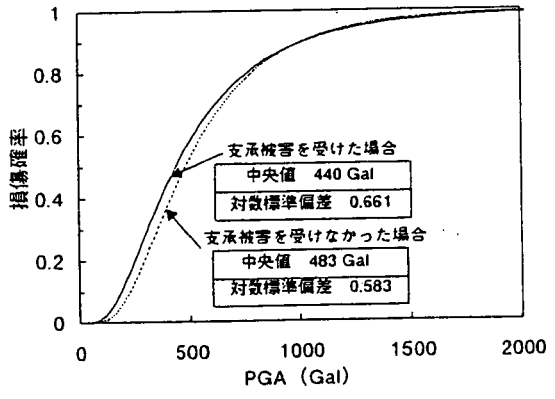
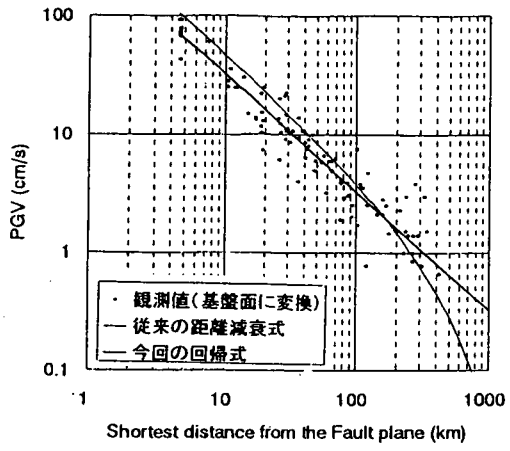


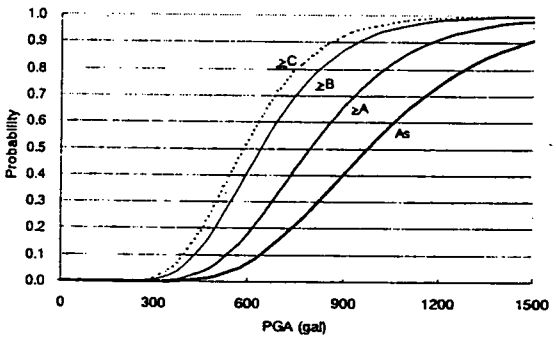
図-7　支承被害の有無による被災度C以上のF.C.の比較

Fig.7 Fragility curves by bearing damage occured on damage state C

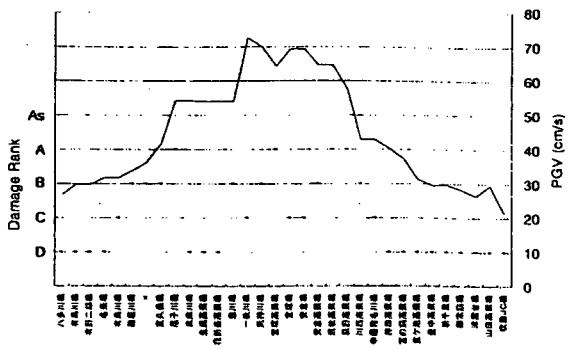
対　象	概　　要	引用文献番号
橋脚、高架橋	地震動による損傷度確率曲線	9



兵庫県南部地震の基盤面最大速度の距離減衰式

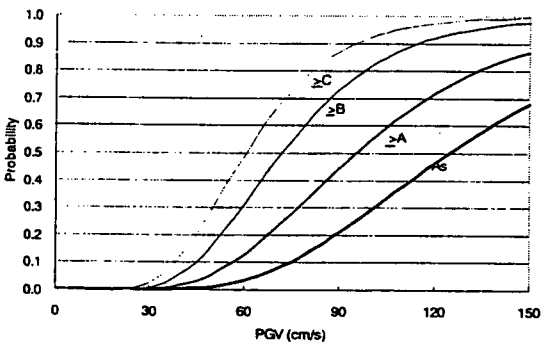


各被災ランク以上の発生確率分布（最大加速度）
Fragility curves of bridge structures for PGA

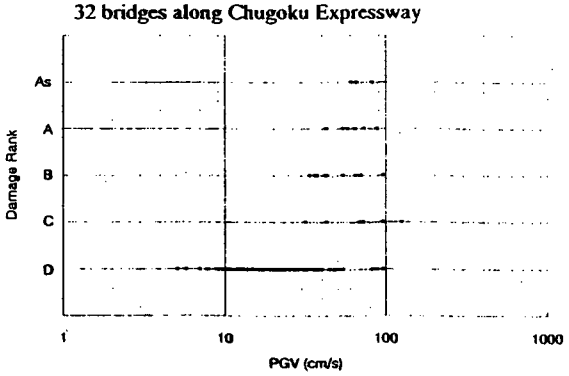


中国道（神戸 JCT～吹田 JCT 間 32 橋）における被災ランクと最大速度推定値

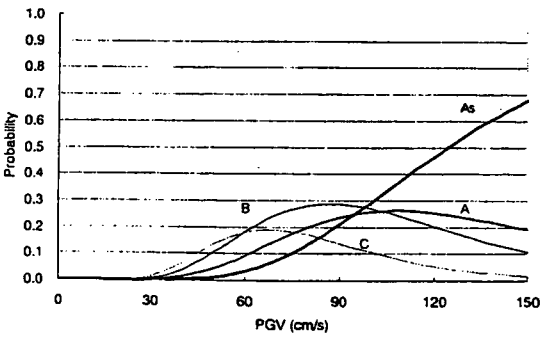
Fig. 7 Relation between damage rank and estimated PGV for 32 bridges along Chugoku Expressway



各被災ランク以上の発生確率分布（最大速度）
Fragility curves of bridge structures for PGV



橋梁・高架の被災ランクと最大速度推定値との関係
（兵庫県南部地震，日本道路公団の 216 橋）



各被災ランクの発生確率分布（最大速度）
Probability of each damage rank for PGV

対　象	概　　要	引用文献番号
鉄道構造物	地震時被害予測システム	１０

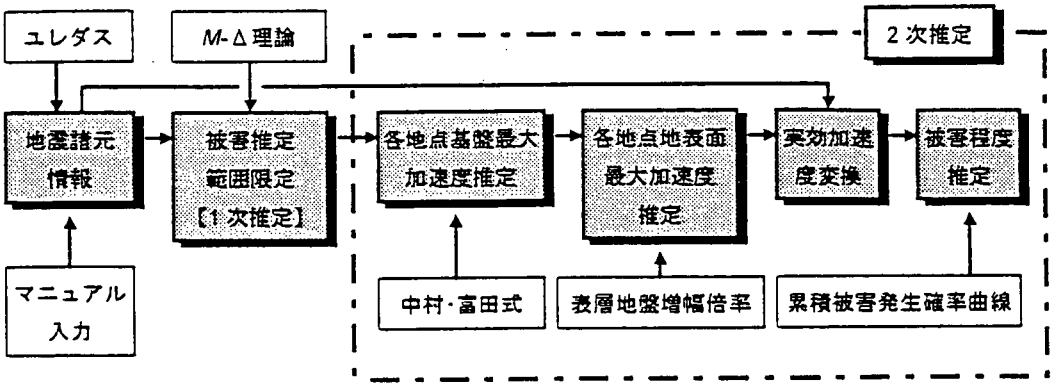


図-1　第１世代ヘラスの災害発生予測手法の概要

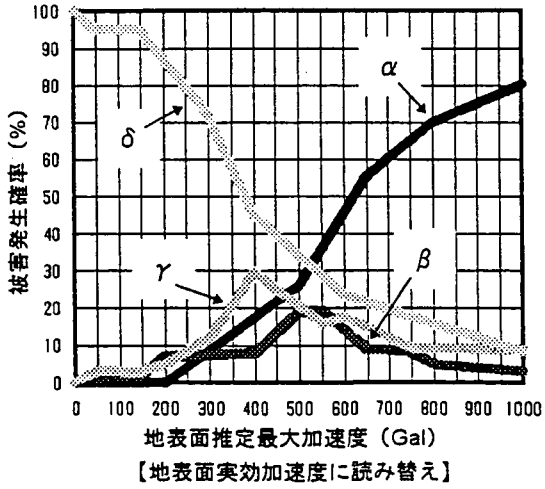
表-1　被害程度の評価基準（一部）

被害程度	評価基準
■高架橋・橋梁【橋台・橋脚・沓等】	
α	倒壊，桁落下，柱切断等
β	桁衝突，大亀裂，大剥落等
γ	小亀裂，小剥落等
δ	微小被害（記載のみを含む）
■土構造物【盛土等】	
α	50cm 以上沈下，大流失等
β	20cm 以上沈下，小流失等
γ	20cm 未満沈下，亀裂等
δ	微小被害（記載のみを含む）

表-2　最大加速度から実効加速度への変換係数

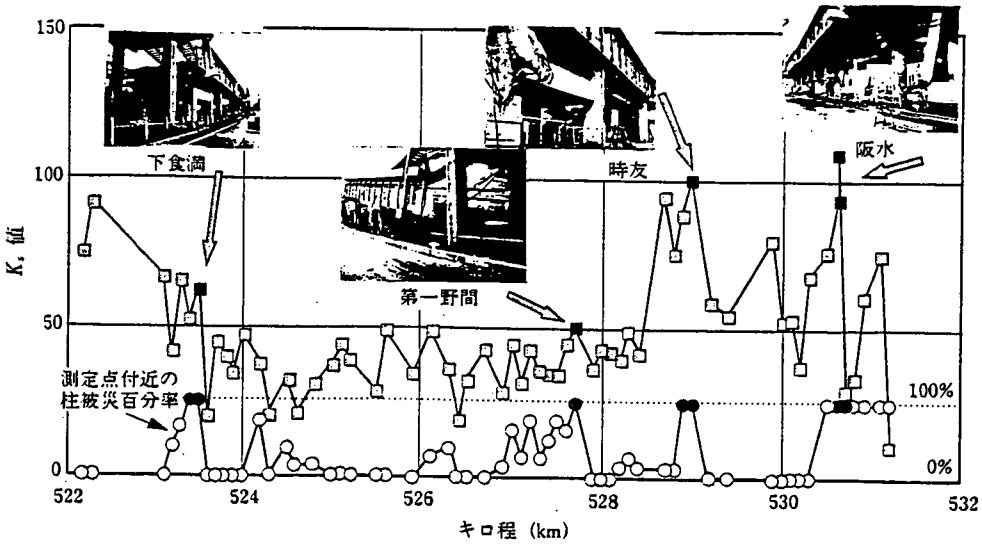
マグニチュード M	実効加速度変換係数
5.0～6.1	0.1
6.2，6.3	0.2
$6.4+0.1i$	$0.3+0.1i$
7.0，7.1	0.9
7.2～8.0	1.0
8.1～8.8	1.1

注）i は 0 から 5 までの整数



(c)　$\alpha+\beta+\gamma+\delta=100\%$調整後の確率曲線

図-2　高架橋・橋梁の被害発生確率曲線



図—45　高架橋の Ks 値と被害（山陽新幹線）

$$Ks=(7500/\pi^2)\times(Asg/F^2)\times(b\,h_i/(h_1^3+h_2^3))$$

ここに，Asg は表層地盤と高架橋を合わせた増幅倍率，F は高架橋本体の固有振動数（Hz）であり，b は柱の振動方向の幅（m），h_i は i 層の柱の高さ（m）を表す．

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	地震動特性値と橋脚損傷度	１１

地震動の特性値

$$SI_{15}=\int_{0.1}^{1.5} S_v dt$$

ここに，S_v:速度スペクトル

構造物の特性値

$$\lambda=\frac{V_y\cdot a}{M_u}$$

ここに，λ　:せん断耐力比
V_y :部材のせん断耐力
a　:せん断スパン
M_u:部材の曲げ耐力

損傷指標

$$\mu=\frac{\delta_M}{\delta_y}$$

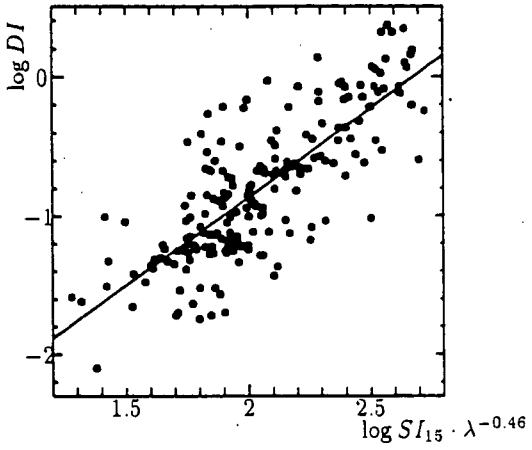
$$DI=\frac{\delta_M}{\delta_u}+\frac{\beta}{Q_y\delta_u}\int dE$$

$$\beta=(-0.447+0.073\frac{a}{d}+0.24n_0+0.314p_t)\cdot 0.7^{p_w}$$

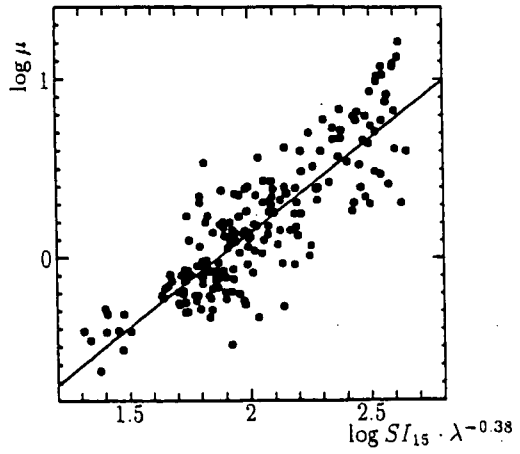
ここに，δ_M :最大応答変形
δ_y :降伏変形
δ_u :単調載荷時の終局変形
Q_y :降伏耐力（計算値）
dE :消費エネルギーの増分
a/d:せん断スパン比
n_0 :軸力比
p_t :主鉄筋比（%）
p_w :拘束筋比

$$\log\mu=1.07\log(SI_{15}\cdot\lambda^{-0.38})-1.99$$
$$r=0.852$$
$$\log DI=1.27\log(SI_{15}\cdot\lambda^{-0.46})-3.41$$
$$r=0.788$$

ここに，r:相関係数

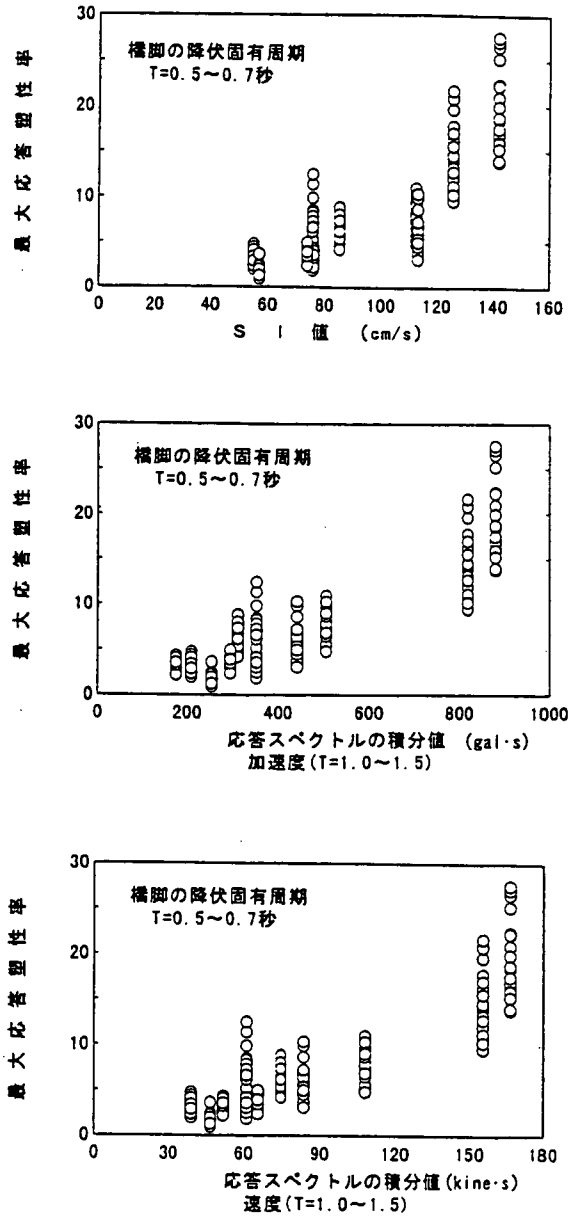


図−3　SI_{15}，λ と DI の関係



図−2　SI_{15}，λ と μ の関係

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	地震動特性値と橋脚損傷度	１２



図－６　地震動特性値とμの関係

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	橋脚の耐震診断法	１３

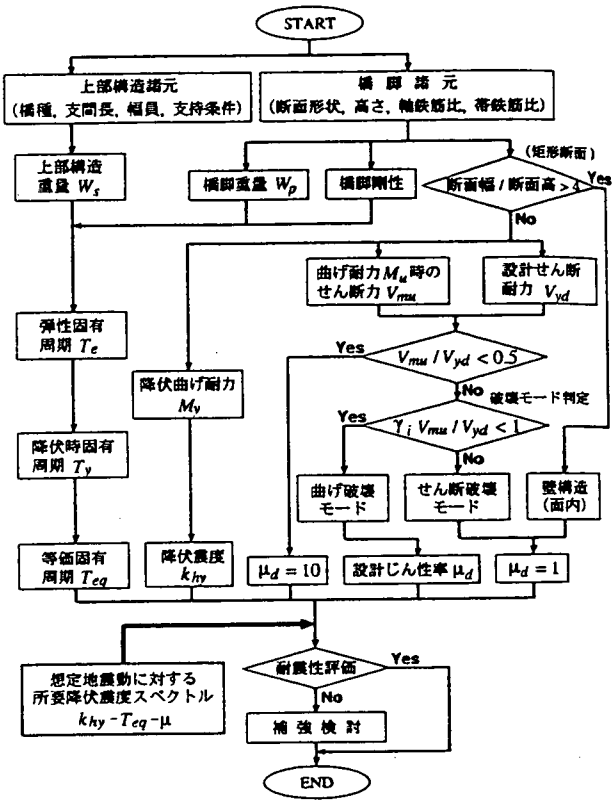


図-2　RC 橋脚の耐震診断フロー

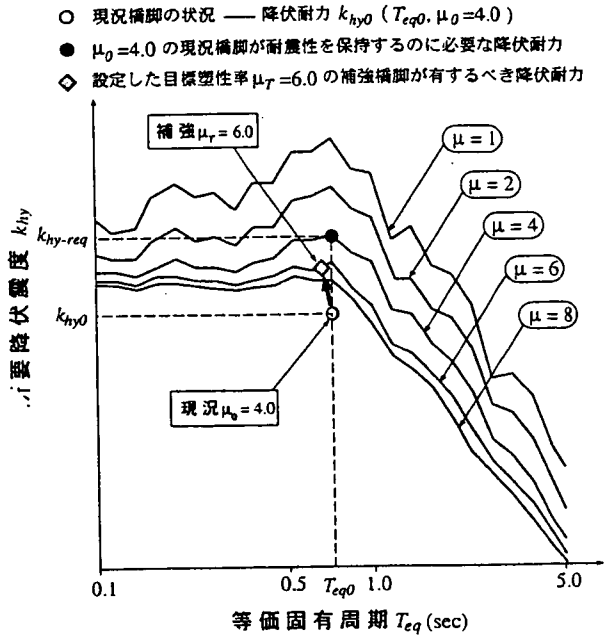


図-5　所要降伏震度スペクトルの耐震性評価への適用

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	せん断スパン比とじん性率、破壊形態	１４

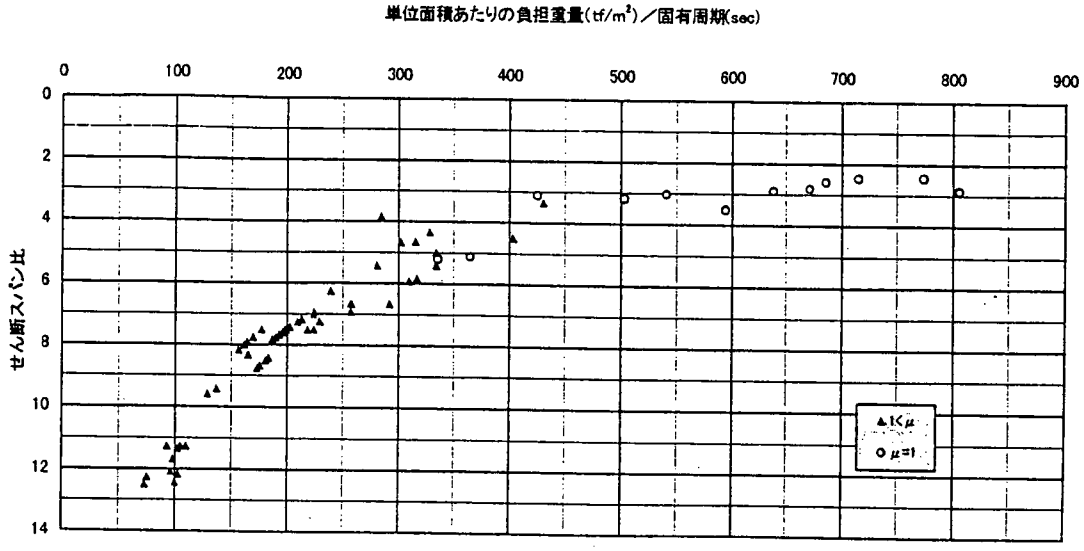


図-5　設計じん性率を考慮した橋脚のせん断スパン比と単位面積当たりの負担重量／固有周期の関係

表-3　ＲＣ橋脚の分類

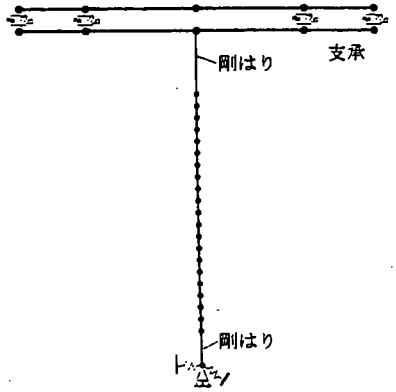
	負担重量(tf/m²)／固有周期(s)	ＲＣ橋脚の破壊形態
領域Ａ	～300	曲げ破壊先行型と推定される。
領域Ｂ	300～400	曲げ破壊型からせん断破壊型への遷移域と推定される。
領域Ｃ	400～	せん断破壊先行型と推定される。

対　象	概　　要	引用文献番号
ＲＣ橋脚	各種パラメータと橋脚応答値	１５

表―２　動的解析結果の最大値

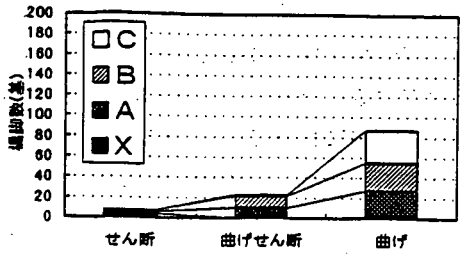
ｹｰｽNo.	1	2	3	4	5	6
影響要因 / 評価尺度	基本ｹｰｽ	杭頭ひび割れ	主筋段落とし	基部埋め戻し	支承破断	桁偏心(山側)
基部せん断力 (tf)	925	889	917	1180 (1050*)	899	951
基部ﾓｰﾒﾝﾄ (tf-m)	11800	11800	11800	11600 (11700*)	11800	11900
基部曲率 (1/m)	4.23×10^{-3}	5.00×10^{-3}	3.57×10^{-3}	2.48×10^{-3}	3.26×10^{-3}	8.00×10^{-3}
基部曲率塑性率	2.82	3.33	2.38	1.65	2.17	5.33
段落とし部せん断力 (tf)	899	889	903	900	858	905
段落とし部ﾓｰﾒﾝﾄ (tf-m)	9110	8780	10100	8730	8880	9930
段落とし部曲率 (1/m)	1.09×10^{-3}	1.02×10^{-3}	3.20×10^{-3}	1.01×10^{-3}	1.04×10^{-3}	1.29×10^{-3}
段落とし部曲率塑性率	-	-	2.46	-	-	-
橋脚頂部変位 (cm)	25.7	30.2	25.7	22.8	24.3	31.7
橋脚頂部速度 (kine)	169	170	166	155	166	157
橋脚頂部加速度 (gal)	646	637	640	680	699	642
脚頂部残留変位 (cm)	1.7	2.7	1.7	1.5	1.5	10.5
支承部せん断力/1ﾓﾃﾞﾙ (tf)	159.8	158.3	156.9	164.3	88.0	154.6
脚頂部～桁相対変位 (cm)	0	0	0	0	2.6	0
ﾌｰﾁﾝｸﾞ水平変位(cm)	0.8	7.4	0.8	0.8	0.8	0.8
水平地盤ﾊﾞﾈ力 (tf)	1378	1118	1388	1115	1344	1471
回転地盤ﾊﾞﾈﾓｰﾒﾝﾄ (tf-m)	14343	14586	14138	11715	13939	14790

*地表高さ断面の値

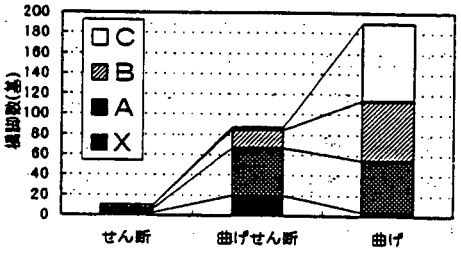


図―11　動的解析用質点系モデル

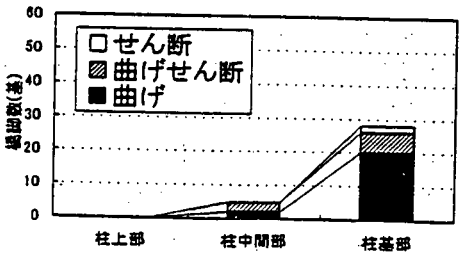
対　象	概　　要	引用文献番号
支　承	ＲＣ橋脚の被害分析	１６



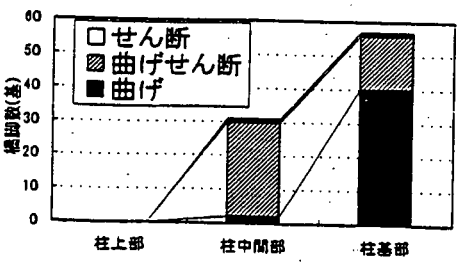
図－３　角単柱橋脚の損傷モード別の損傷度分布



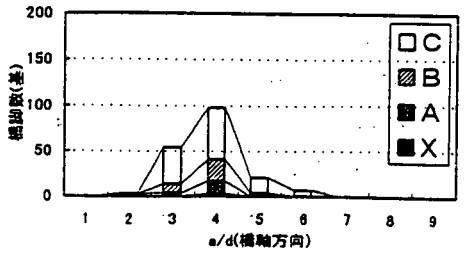
図－４　丸単柱橋脚の損傷モード別の損傷度分布



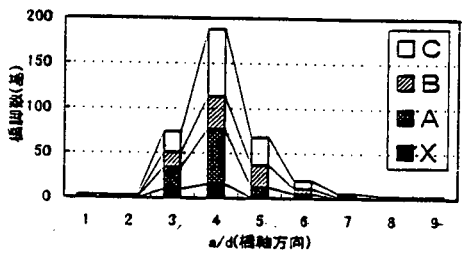
図－５　角単柱橋脚の損傷位置別の損傷モード分布(損傷度Ａ)



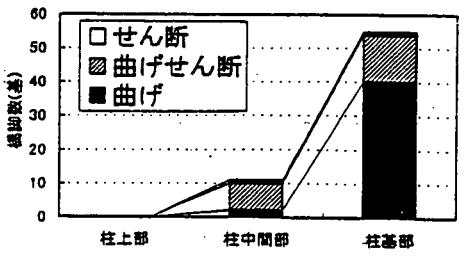
図－６　丸単柱橋脚の損傷位置別の損傷モード分布(損傷度Ａ)



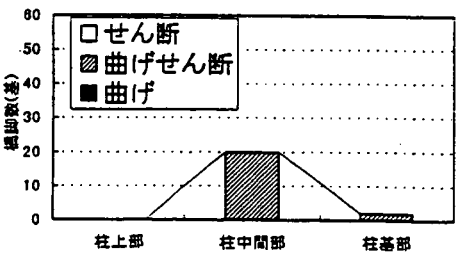
図－７　角単柱橋脚のａ/ｄ別の損傷度分布



図－８　丸単柱橋脚のａ/ｄ別の損傷度分布



図－１６　杭基礎丸単柱橋脚の損傷位置別の損傷モード分布(損傷度Ａ)



図－１７　直接基礎丸単柱橋脚の位置別の損傷モード分布(損傷度Ａ)

対　象	概　　要	引用文献番号
鋼製橋脚	鋼製橋脚の耐震診断法	１７

コンクリートを充填しない橋脚の変形性能の実験式

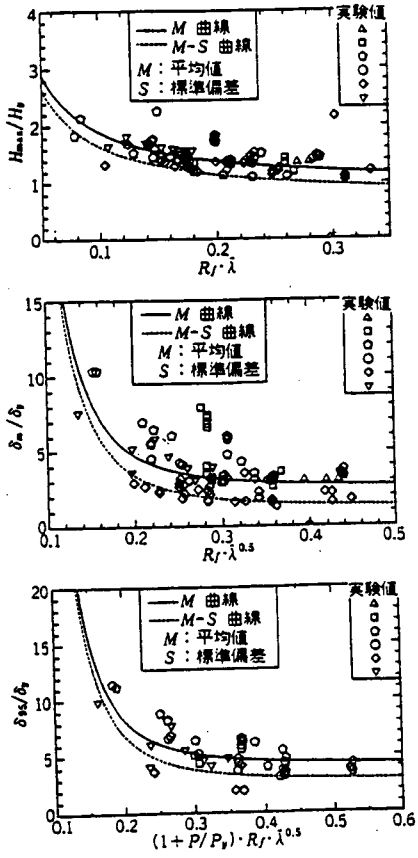
支配的パラメータ　①フランジ板の幅厚比　Ｒｆ

②細長比　λ

$$\bar{\lambda}=\frac{2h}{r}\cdot\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$$

ここで，h=柱の高さ，ｒ＝断面２次半径，σ_y＝鋼材の降伏応力，Ｅ＝鋼材のヤング係数である．

③軸力比　Ｐ／Ｐｙ



$$\frac{H_{max}}{H_y}=0.101\left(R_f\cdot\bar{\lambda}\right)^{-1.0}+0.880 \qquad (S=0.242)$$

$$\frac{\delta_m}{\delta_y}=0.00759\left(R_f\sqrt{\bar{\lambda}}\right)^{-3.5}+2.59 \qquad (S=1.32)$$

$$\frac{\delta_{95}}{\delta_y}=0.0147\left\{\left(1+\frac{P}{P_y}\right)R_f\sqrt{\bar{\lambda}}\right\}^{-3.5}+4.20 \qquad (S=1.40)$$

図－２補剛断面柱の強度と変形能

上式の適用範囲は以下のようである．

$$0.3\le R_f\le 0.7,\quad 0.25\le\bar{\lambda}\le 0.5,\quad 0.0\le P/P_y\le 0.3,\quad \gamma/\gamma^*\ge 3.0$$

対　象	概　　要	引用文献番号
基　礎	基礎形式と地震被害	18

表 1.1.11　調査を行った基礎

Table 1.1.11　Number of foundations investigated

（橋脚基数）

路線名	区　分	基礎形式				計
		直接基礎	ケーソン基礎	杭基礎	地中連続壁基礎	
阪神高速道路3号神戸線	調査対象区間全橋脚	133（12％）	44（4％）	929（84％）	0（0％）	1 106（100％）
	調査実施橋脚	12	2	109	0	123
阪神高速道路5号湾岸線	調査対象区間全橋脚	0（0％）	52（15％）	280（81％）	13（4％）	345（100％）
	調査実施橋脚	0	8	153	5	166
一般国道2号浜手バイパス	調査対象区間全橋脚	0（0％）	15（21％）	57（79％）	0（0％）	72（100％）
	調査実施橋脚	0	5	20	0	25
名神高速道路及び中国自動車道	調査対象区間全橋脚	152（22％）	0（0％）	532（78％）	0（0％）	684（100％）
	調査実施橋脚	5	0	21	0	26

表 1.1.12　杭基礎の被災度

Table 1.1.12　Damage levels in foundations

（橋脚基数）

路線名	被災度				
	a	b	c	d	計
阪神高速道路3号神戸線	0（0％）	0（0％）	17（16％）	92（84％）	109（100％）
阪神高速道路5号湾岸線	0（0％）	17（11％）	57（37％）	79（52％）	153（100％）
一般国道2号浜手バイパス	0（0％）	0（0％）	10（50％）	10（50％）	20（100％）
名神高速道路中国自動車道	0（0％）	0（0％）	0（0％）	21（100％）	21（100％）

表-2.3.6　橋脚の被災度と杭基礎の被災度の関係（阪神高速道路5号湾岸線）

（橋脚数）

橋脚被災度	杭基礎被災度				
	a	b	c	d	計
As	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0
B	0	0	3	2	5
C	0	4	12	4	20
D	0	13	42	73	128
計	0	17	57	79	153

表-2.3.5　橋脚の被災度と杭基礎の被災度の関係（阪神高速道路3号神戸線）

（橋脚数）

橋脚被災度	杭基礎被災度				
	a	b	c	d	計
As	0	0	2	21	23
A	0	0	0	8	8
B	0	0	0	13	13
C	0	0	4	16	20
D	0	0	11	34	45
計	0	0	17	92	109

対　象	概　　要	引用文献番号
支　承	支承構造と地震被害	19

表 1.1.9　支承材料と被災度の関係（支承線数）

Table 1.1.9　Comparison of damage levels of bearings in terms of materials (Number of bearing lines)

沓形式	被　　災　　度				計
	A	B	C	D	
金属沓	986 (21 %)	603 (13 %)	681 (14 %)	2 503 (52 %)	4 773 (100 %)
ゴム沓	0 (0 %)	6 (2 %)	19 (8 %)	219 (90 %)	244 (100 %)
合　計	986 (20 %)	609 (12 %)	700 (14 %)	2 722 (54 %)	5 017 (100 %)

表 1.1.10　金属支承の被災度（支承線数）

Table 1.1.10　Comparison of damage levels of steel bearings in terms of types

（a）固定支沓

沓形式	被　　災　　度				計
	A	B	C	D	
BP	133 (13 %)	146 (14 %)	126 (12 %)	634 (61 %)	1 039 (100 %)
ピン	86 (34 %)	28 (11 %)	23 (9 %)	116 (46 %)	253 (100 %)
ピボット	12 (12 %)	9 (9 %)	45 (44 %)	36 (35 %)	102 (100 %)
線	32 (9 %)	17 (5 %)	55 (15 %)	269 (72 %)	373 (100 %)
合　計	263 (15 %)	200 (11 %)	249 (14 %)	1 055 (60 %)	1 767 (100 %)

（b）可動支沓

沓形式	被災度				計
	A	B	C	D	
BP	479 (26 %)	239 (13 %)	224 (12 %)	909 (49 %)	1 851 (100 %)
ローラー	238 (30 %)	141 (18 %)	152 (19 %)	257 (33 %)	788 (100 %)
線	6 (2 %)	23 (6 %)	56 (15 %)	282 (77 %)	367 (100 %)
合　計	723 (24 %)	403 (13 %)	432 (14 %)	1 448 (48 %)	3 006 (100 %)

対　象	概　　要	引用文献番号
支　承	支承構造と地震被害	２０

支承形式別の損傷程度を図-2.31 に示す。図によれば、ピンおよびピンローラ沓の損傷程度が大きく、続いて線支承、ＢＰ沓の順である。ピンおよびピンローラ沓では、上沓と下沓が分離し桁（特に箱桁）に食いこんでいるものが多数あった。このため、上部構造全体としては、損傷が少ないにも関わらず上部構造損傷がひどくなる場合があった。このような差は支承の構造形式に依存しており、地震時のように過大な荷重（変形）が作用する場合に有利な支承構造を示唆している。

また、固定沓、可動沓の損傷程度についてであるが、その損傷程度には有意な差はなく支承条件に依存していなかった。これは、地盤動の南北方向（橋軸直角方向）であることによる可能性も高いが、今後、支承損傷の要因分析を行う場合や支承を検討する上で留意するべきと思われる。

次に、ＢＰ沓の設計反力による損傷程度の状況を図-2.32 に示す。単純Ｉ桁においては、上部構造反力と上部構造の損傷程度とには相関が少なかったが、ＢＰ沓では、反力が大きい程その損傷程度がひどくなっており強い相関関係がある。

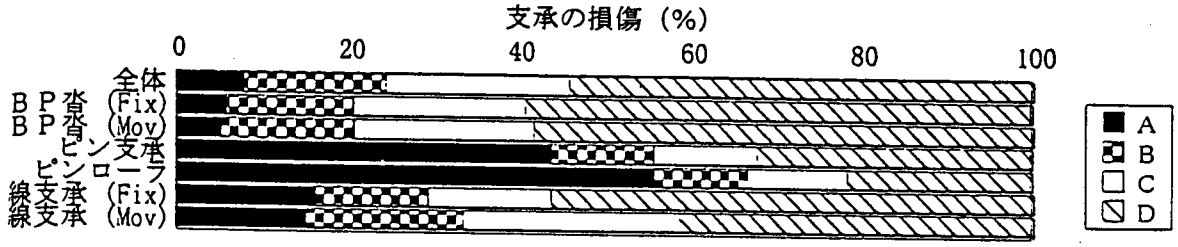


図-2.31　支承形式別の損傷程度

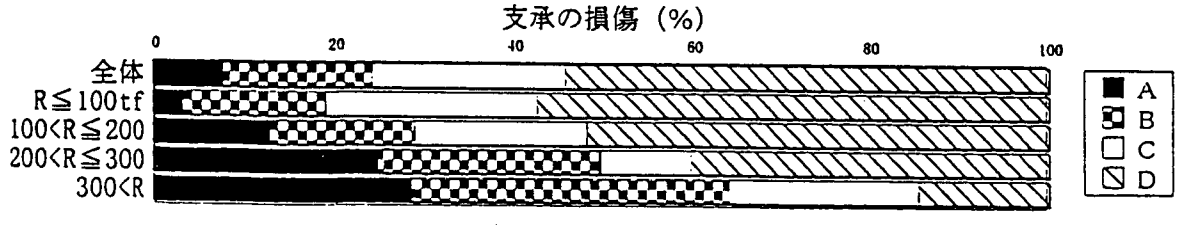


図-2.32　BP沓の反力別損傷程度

2.2 既往の被災分析事例の整理

前述したように被災分析事例の整理結果が一般の橋梁に全て適用できるものでないが、参考データとして、これらの研究成果から云える耐震性判定項目を常識の範囲で整理する。
この整理結果を適用する場合には、分析対象橋梁の特性を調査し、適用できる範囲について注意する必要である。

① 適用示方書

橋脚の被害率を適用示方書で比較すると次のようになる。鉄筋コンクリート橋脚では昭和55年前後で大きな差がある。これはこの年の示方書で許容せん断応力度が小さくなり、結果的にせん断耐力が増加したこと、および主鉄筋の段落とし部の配筋方法が変わり、この部分の曲げ耐力が増加したことなどのためと思われる(No.1,2文献※1)。鋼製橋脚については昭和55年に許容応力度の割り増しが1.7から1.5に引き下げられらた程度であり、耐震性には大きな差がない。(No.1文献の表1.1.6参考)

鉄筋コンクリート橋脚	昭和39年以前>昭和46年≫昭和55年>平成2年
鋼製橋脚	昭和39年以前≒昭和46年≒昭和55年≒平成2年

②上部工平面線形

③上部工の構造形式(No.1文献の表1.1.13参考)

上部工の構造形式による橋脚の被災度の差異は明確でない。

④支承部

支承の被害率(被災度B以上)を支承種類で比較すると次のようになる(No.19　文献の表1.1.10参考)。

固定支承	ピン支承>ＢＰ支承>ピボット支承>線支承>ゴム支承
可動支承	ローラー支承>ＢＰ支承>線支承>ゴム支承

またNo.20文献によると、鋼橋でのＢＰ支承は反力が大きいほど被害率も高くなる。

⑤鉄筋コンクリート橋脚

鉄筋コンクリート橋脚では、橋脚の破壊モードによって被災度に特徴があるので、この破壊モードを知ることが重要である(No.3, 4, 5, 11, 13, 16文献)。せん断破壊モードは落橋などの甚大な被害となりやすく、一方曲げせん断破壊モードは落橋などに至る被害は少ないが、大被害になりやすい。また曲げ破壊モードは前2者に比べ被害が軽く済む。実際の被害は地震規模や橋脚の保有水平耐力が大きな要因となるが、破壊モードから被災度を比較すると以上のような傾向がある。耐震性の1次診断としては参考になると思われる。

そこでこれらの各破壊モードの簡易な見分け方を、既往検討資料から整理すると次のようになる。

せん断破壊モード	せん断スパン比2.5～4(No.5,14文献)
曲げせん断破壊モード	せん断スパン比4～6(No.14文献)

	主鉄筋の段落し有り(No.5文献)
曲げ破壊モード	せん断スパン比6以上(No.14文献)

また、より詳細な方法としては、せん断曲げ耐力比を用いる方法があるが、この場合は断面の配筋図が必要となる。これらの耐力を求める簡易式がNo.13文献で提案されているが、土木学会式を基本としており、道路橋示方書で考慮している帯鉄筋による拘束効果は考慮されていない。

No.4文献ではせん断曲げ耐力比と損傷形態の関係から以下のような考察をしている。

せん断破壊モード	せん断曲げ耐力比1以下
曲げせん断破壊モード	せん断曲げ耐力比1付近
曲げ破壊モード	せん断曲げ耐力比≫1

No.5文献では、せん断破壊が生じやすい橋脚を橋梁の立地条件、構造的条件などから分析しており、これによると連続桁の橋脚や交差点位置でスパンが広がった単純桁の橋脚はせん断破壊になりやすいタイプだとしている。また、検討対象橋脚の中で河成平野の橋脚は背が高く主鉄筋の段落しがある構造の多いことから、河成平野の橋脚は地盤が軟らかいので曲げせん断破壊になりやすいタイプだとしている。このような診断方法は1次診断としてわかりやすく、詳細なデータも必要としないので有効な方法と思われる。

さらに、せん断耐力が震度換算で0.4以上ある橋脚は破壊モードによらず、大被害は少なくなっているという分析もある(No.3文献図-15, No.4文献図-5)。

この他のパラメータとして表中No.6文献では地形を考慮している。それによると、最も被害率が高い地形は地盤の変化点(微高地；人工天井川や砂州)であり、このなかで被害が大きいのは、隣接橋脚の地盤の特性値ＴGとの差が0.1より大きい場合としている。

以上のことを整理すると耐震性判定で重要なパラメータとしては次のようになる。

・せん断耐力が換算震度で0.4以上かどうか。
・橋脚の破壊モードはなにか。
・地　形(地盤の特性値)

この他、損傷の誘因としてコンクリートの打ち継ぎ目、鉄筋のガス圧接継ぎ手等が指摘されている。

⑥鋼製橋脚

No.17文献によると、コンクリートを充填しない鋼製橋脚の耐震性は次のようなパラメータから判定できる。同文献ではこれらのパラメータによる最大耐力とじん性の実験式を提案している。

・フランジ板の幅厚比　Rf(小さい程耐力、じん性が大きい)
・細長比　λ(小さい程耐力、じん性が大きい)
・軸力比　P/Py(小さい程じん性が大きい)

⑦橋脚基礎

全体的には基礎の被害は小さいが、主に液状化地盤の側方流動によると考えられている曲げ亀裂がくい基

礎などにみられた。これらの被害程度は、剛性の大きい基礎ほど小さい(No.18文献)。

⑧落橋防止システム

※1；文章中の文献番号(NO.)は表－3.2.2の引用文献NO.に対応する。

3.被災調査技術および非破壊調査に関する資料

被災度判定は、外観による方法，周辺状況観察法，掘削による観察法、非破壊試験法(コンクリート部，鋼部材)、微破壊試験法、固有振動測定法、載荷試験法等により構造物の被災状況を調査し、その調査結果と標準化された被災度パターンとの比較により被災度評価する方法等がある。被災度判定法の概要，長所，短所，主な適用箇所などを**表－3.3.1**の各種被災度判定手法の比較表に示す。

被災度判定のための具体的な構造物等の調査方法とその適用事例を**表－3.3.2「橋梁構造物の被災調査技術に関する資料一覧表」**に示す。この表中には　調査箇所、調査方法、調査内容を示すとともに調査文献を記述した。なお、備考欄に○印の付いた資料については、その事例で採用している調査方法を詳しく整理している。

表－3.3.1　各種被災度判定手法の比較表

被災度判定方法	概　　要	長　　所	短　　所	主な適用箇所	摘要例
外観による方法	交番載荷実験結果を基に橋脚の残留損傷状態（ひびわれパターンなど）から残留耐力を推定するものである。	・特殊な計測器を必要としないので、実用性に優れる。 ・類似の構造が連続している場合は迅速な判定ができる。 ・主にひびわれ状況から判定するので、感覚的にもわかりやすい。 ・全体的な１次調査としては有効	・基礎、根入れ部分など見えない箇所については掘削が必要となる。 ・パターン化されているが、実際に適用する場合には個人差が出やすい。 ・パターン化されており、適用範囲が限定される。 ・表面が鋼板や炭素繊維シートなどで補強されている場合には新たな指標が必要となる。	・橋脚躯体 ・上部工 ・支承部	道路震災対策便覧
周辺状況観察法	基礎など外部から直接見えにくい箇所について、基礎周辺の地盤の変状や橋脚の移動量などを基に被災度を推定するものである。	・調査対象物を痛めることなく内部の見えにくい箇所（基礎など）の変状の推定に使える。 ・１次調査としては有効。	・橋脚の移動量などは全体的な測量が必要となる。	・橋脚基部 ・橋脚基礎	
掘削による観察法	橋脚基部、直接基礎など外部から直接見えにくい箇所について、地盤を掘削して変状を直接観察するものである。	・被災状況が直接見える。	・土被りが深い箇所や地下水が高い箇所では困難。 ・時間、費用とも嵩む。	・橋脚基部 ・直接基礎 ・杭頭部	
非破壊試験法（コンクリート部材）	衝撃弾性波により内部欠陥箇所（ひびわれ、断面欠損）を推定する。	・調査対象物を痛めることなく内部の見えにくい箇所（基礎など）の検査が可能 ・１次調査としては有効 ・杭長の調査も可能	・結果から直接健全度を評価することはできない。 ・試験機、分析ソフト等が必要 ・経験が必要 ・杭の場合はフーチング上面を露出させる必要がある。 ・ノイズの影響有り	・杭本体	・ＳＩＴ法 ・反射特性法 ・ＡＥ法
非破壊試験法（鋼部材）	鋼材の微細な亀裂の有無を判定する。	・微細な亀裂でも検出できる。 ・表面から検査できる。	・塗膜上からの検査はできない。 ・内部の亀裂は検出できない。	・偶角部の亀裂	・磁粉探傷試験法
微破壊試験法	ボアホールカメラにより内部状況を観察するものである。	・見えにくい箇所（基礎など）の被害状況がわかる。 ・詳細調査として有効	・結果から直接健全度を評価することはできない。 ・調査対象物のボーリングが必要 ・ひびわれ幅が過大評価されやすい。	・杭本体	兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会
固有振動数測定法	重錘や砂袋等などで打撃したときの自由振動測定あるいは常時微動測定から固有振動を求め、健全時の固有振動との比較で健全性を判断するものである。	・計測は比較的容易であり、測定機材も小規模である。 ・部材および基礎の判定が可能である。	・測定機器、分析ソフトが必要 ・健全時の基準値が必要 ・詳細な被災度の判定は困難	・橋脚 ・ラーメン高架橋	・衝撃振動試験（鉄道総研） ・常時微動測定（鉄道総研）
載荷試験法	実車での走行試験や載荷試験器（ジャッキ、急速載荷試験器等）で、たわみ、応力（ひずみ）を計測し、残存耐力を評価する。	・実荷重で判定するため、耐荷力の判定精度は高い。 ・実車での試験は容易である。	・多くの計測器材が必要であり準備に手間がかかる。 ・計測の専門家が必要。 ・全体を評価するためには多くの計測点が必要。 ・橋脚の判定では水平荷重用の特別な載荷装置が必要。	・橋梁の耐荷力 ・杭の鉛直および水平耐力	

表－3.3.2　被災調査技術および非破壊調査に関する資料一覧表

No.	資料分類	調査箇所	調査方法	調査内容	文献	
1	非破壊試験調査	ｺﾝｸﾘｰﾄ構造物	非破壊試験	コンクリート構造物の非破壊試験方法	日本非破壊試験協会、"コンクリート構造物の非破壊試験方法"、養賢堂、1994.12	○
2	載荷試験調査	基礎	スタナミック試験（鉛直載荷試験）	杭基礎を再利用するに際して、被災した杭の健全度を確認するために、杭体の損傷度調査と支持力確認のため鉛直載荷試験を実施。杭反力が不用で、従来の静的載荷試験と比較して簡便に実施できる急速載荷試験（ｽﾀﾅﾐｯｸ試験）を採用。	西村、溝淵、"被災した場所打ち杭の急速載荷試験による健全度の判定（阪神公団３号芦屋入路）"　基礎工 1996.9	
3	被災調査	橋梁一般	地震被害調査	鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落し部の被害、液状化による被害、落橋防止装置の被害、橋台および支承の被害	川島、星隈、"北海道南西沖地震による道路橋の被害とその特性"　橋梁と基礎 1994.3	
4	被災調査	橋梁一般	地震被害調査	支承および支承部の被害、橋脚被害、橋台に被害 釧路沖地震で被災した主鉄筋段落し部を復旧した橋脚には再被害が発生せず、補強方法の有効性が実証された。	川島、高木、"1994 年北海道東方沖地震による道路橋の被害とその特性"　橋梁と基礎 1995.2	
5	被災調査	橋梁一般	地震被害調査	八戸市の地震被害はこれまでの地震に比べて大きな被害となっている。	長谷川、"1994 年三陸はるか沖地震による橋梁の被害"　橋梁と基礎 1995.7	
6	試験調査	鉄道橋	被害調査	鉄道コンクリート橋の被害状況を損傷パタンーに分けて調査	渡辺，佐藤、西村、"兵庫県南部地震による鉄道橋の被害"　基礎工 1995.10	
7	被災調査	基礎	ﾎﾞｱﾎｰﾙｶﾒﾗ調査、ｲﾝﾃｨｸﾞﾘﾃｨ試験、ＡＥ法、衝撃振動試験	阪神高速道路湾岸線において実施した実大現場試験の結果と各手法の適用性について	市村、秋田、"基礎構造の損傷調査"　橋梁と基礎 1999.8	
8	被災調査	橋梁	解析結果と被災状況の対比による検討	動的解析を行い、その結果を支承・橋脚等の被災状況と対比させ、東神戸大橋の地震挙動および被災メカニズムについて調査	石崎、北沢、"東神戸大橋の兵庫県南部地震による損傷についての解析検討"　橋梁と基礎 1998.2	
9	被災調査	基礎杭	ＡＥ法	ＡＥ（ｱｺｰｽﾃｯｸｴﾐｯｼｮﾝ）診断手法の基礎的事項の検討結果および測定事例	塩谷、境野、"AE 法による杭診断技術に関する基礎的研究と実構造物適用事例"　耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1997.7	○
10	被災調査	基礎杭	ＡＥ法	ＡＥ調査法の検証	森、塩谷、"地震で被災したコンクリート杭のＡＥ破損調査法"第 23 回地震工学研究発表会、1995	○
11	非破壊調査	基礎杭	衝撃弾性波を用いた非破壊検査（SIT）、ボアホールカメラ	SIT の適用性をボアホールカメラ調査による検証および、基礎杭損傷状況治調査事例	仲田、南荘、"非破壊検査の橋脚基礎損傷調査への適用事例"、耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1997.7	○
12	損傷度調査	鉄道ラーメン橋脚	衝撃振動試験	復旧までに実施した山陽新幹線構造物の健全度判定作 業橋脚の固有振動数から橋脚、杭の剛性を確認し、補修が必要か否かを判断する。	西村、"衝撃振動試験による山陽新幹線構造物の健全度判定"　基礎工　1996.9 日経コンストラクション 1-26、平成８年１月	○
13	損傷調査	基礎		既設基礎の調査における留意事項を示す。	下部構造小委員会基礎補強ＷＧ、"既設橋道路橋基礎の補強に関する参考資料"、平成１２年？	
14	被災度調査	RC 橋脚		地震により損傷した橋脚の被災度を判定する。	岩崎、萩原、"地震による鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ橋脚の被災度判定法"、土木技術資料 27-2，1985	
15	非破壊調査	コンクリート杭	ｺﾝｸﾘｰﾄ杭のひび割れ位置および杭長探査	ｺﾝｸﾘｰﾄ内を伝わる弾性波がひび割れ等の不連続面で反射することを利用した探査方法 高周波数領域での反射特性を利用した方法	孫、塩月、"ｺﾝｸﾘｰﾄ構造物非破壊探査ｼｽﾃﾑの開発"、耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ　1997.7	○
16	非破壊調査	橋脚	常時微動測定	着目する振動モードを把握できる箇所で常時微動測定を行い、この結果を分析して健全度を判定する。　被災により損傷した橋脚の健全度の判定	井上、富田、"被災橋脚の常時微動測定結果"、第 24 回地震工学研究発表回講演概要、1997.7	○
17	非破壊調査	ＲＣ構造物	放射線法	放射線透過写真による鉄筋の配筋位置・かぶり・鉄筋径の調査	中竹、"コンクリートの非破壊検査方法（原理と手法）"　コンクリート工学 Vol.27,No.3,1989.3	○
18	損傷調査	構造物、地盤	ＰＩＣシステム	地盤および構造物の固有周期ならびに増幅倍率曲線を地表面の常時微動から算出する	日経コンストラクション 6-23、平成７年６月	○
19	非破壊調査	ＲＣ構造物	電磁波レーダー	コンクリート構造物のＰＣ鋼材、鉄筋の位置調査	日経コンストラクション 1-26、平成８年１月	○

調査対象部位	コンクリート杭	調査方法の名称	コンクリート構造物非破壊探査システム
調 査 目 的	コンクリート杭のひび割れ位置および杭長の探査		

(概　　要)

・コンクリート内を伝わる弾性波がひび割れ等の不連続面で反射することを利用した探査方法であるが、高周波数領域での反射特性をを利用して精度を高めた方法である。

・杭端で打撃したときに生じる波動を振動センサーで捉え、これを波動伝播理論により構成された分析ソフトで反射波を分離し、反射波の伝播時間で反射位置を検出するものである。現地では波動調査だけであり、調査結果の分析は室内で行う。

(特　　徴)

・フーチング上からの探査が可能である。

・杭位置がわからない場合でも、この探査器により杭の平面的な位置関係にの探査ができる。

・探査位置が可能な最小ひび割れ幅は 0.3mm である。

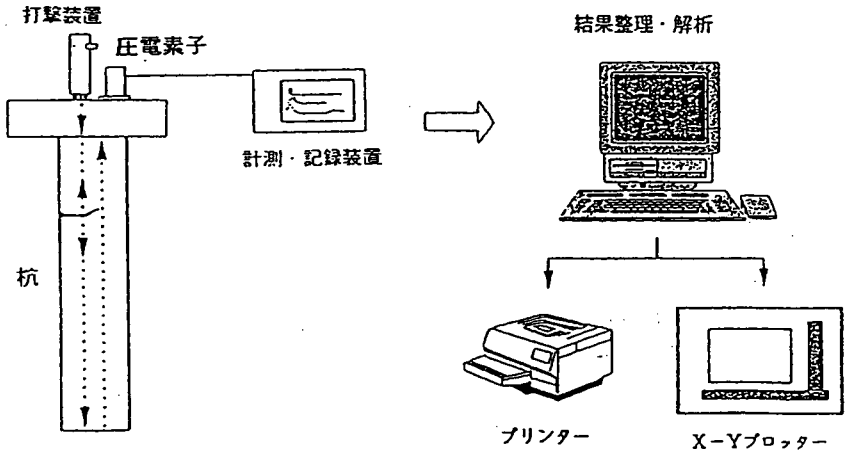
(使用器機)

・打撃装置、振動センサー、増幅器、波形記録器

(適用事例)

・地震被害調査（高架橋杭基礎、ケーソン基礎）

・施工管理（断面欠損位置探査、杭長検査）



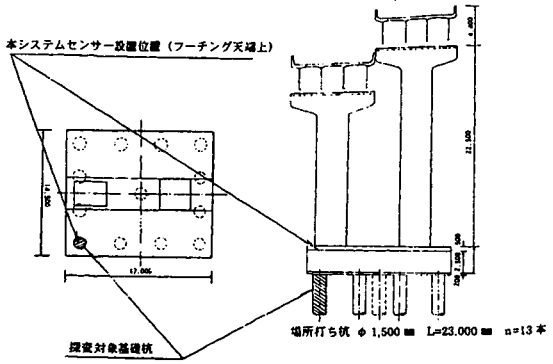
本探査システムの構成

参考文献	孫健生、塩月隆久、永井哲夫、池尻建：コンクリート構造物非破壊探査システムの開発、耐震補強・補修技術・耐震診断技術に関するシンポジウム講演論文集、H9.7 塩月隆久、孫健生：地震被害を受けたコンクリート構造物への非破壊探査の適用事例、耐震補強・補修技術・耐震診断技術に関するシンポジウム講演論文集、H9.7

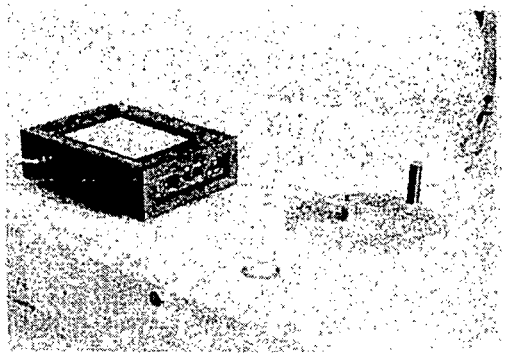
適　　用　　事　　例

（探査概要）

探査対象；地震被害を受けた高速道路高架基礎杭の損傷度探査
探査深度；２６ｍ
介在構造物；フーチング厚さ３ｍ
探査方法；打撃方法（ハンマー打撃），受振装置（電圧センサー），増幅装置（プリアンプ＋メインアンプ）
記録装置（オシロスコープ），センサー位置（フーチング表面）
センサー取付方法（センサーホルダー使用）
比較した他の探査データ；ボアホールカメラ

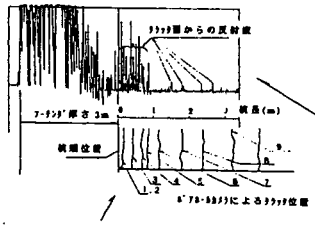


探査対象の基礎構造の概要

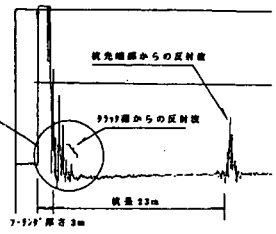


杭頭部の探査風景

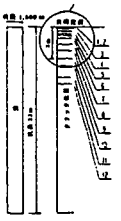
本探査法による杭損傷度の探査結果（杭頭部分）と
ボアホールカメラによる損傷度調査結果との比較



本探査法による杭先端部（杭長）の探査結果



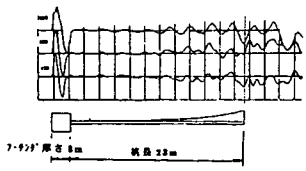
ボアホールカメラ調査結果によるクラック位置



ボアホールカメラ調査結果

NO	クラック幅 (mm)	杭頭からの深度 (m)
1	1.0	0.065
2	2.0	0.125
3	1.0	0.365
4	1.0	0.625
5	0.5	0.825
6	1.0	1.125
7	1.0	1.695
8	1.0	2.295
9	1.0	3.095
10	2.0	3.875
11	0.5	5.075
12	0.5	5.725

従来の衝撃弾性波法による杭診断（ＩＴ）結果



フーチング上からの本システムによる探査結果(エンベロープ波形)と従来法の探査結果
及びボアホールカメラの調査結果の比較

調査対象部位	コンクリート杭	調査方法の名称	衝撃打撃法（ＳＩＴ法、ＩＴ法）
調 査 目 的	杭のひびわれ探査		

(概　　要)
・コンクリート杭の内部を伝播する弾性波がひびわれ、断面欠損部などで反射することを利用して、杭の内部損傷位置を探査するものである。
・杭頭あるいはフーチング上をハンマーで打撃して杭体内部に弾性波を伝播させる。杭頭あるいはフーチング上の加速度計で反射波を捉え記録する。この反射波をパソコンで分析して、杭内部の損傷位置を検出するものである。

(特　　徴)
・簡便なシステムであり、迅速な探査が可能。
・フーチング上からでも検査は可能であるが、精度は落ちる。
・反射波の分析は波形をそのまま利用する方法と周波数分析を利用する方法の２種類ある。
・ひびわれが多数存在する場合は位置、個数の検出が困難。
・ひびわれ幅の検出は困難。

(使用器機)
・打撃ハンマー、加速度計、増幅器、記録器、パソコン

(適用事例)
・地震被害調査（兵庫県南部地震、道路橋杭基礎被災調査）
・施工管理（断面欠損、杭長検査）

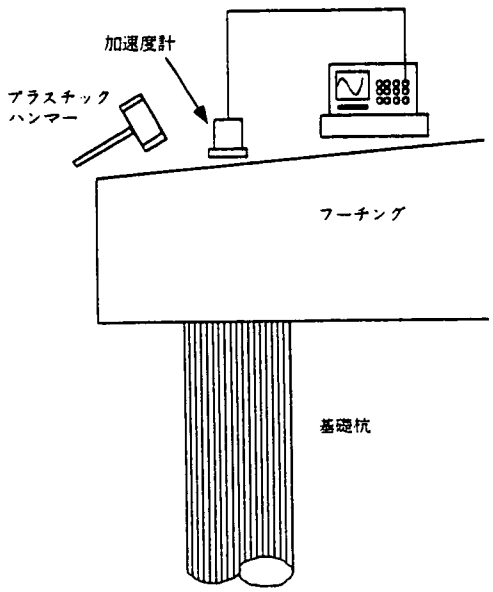


図-2　非破壊試験法

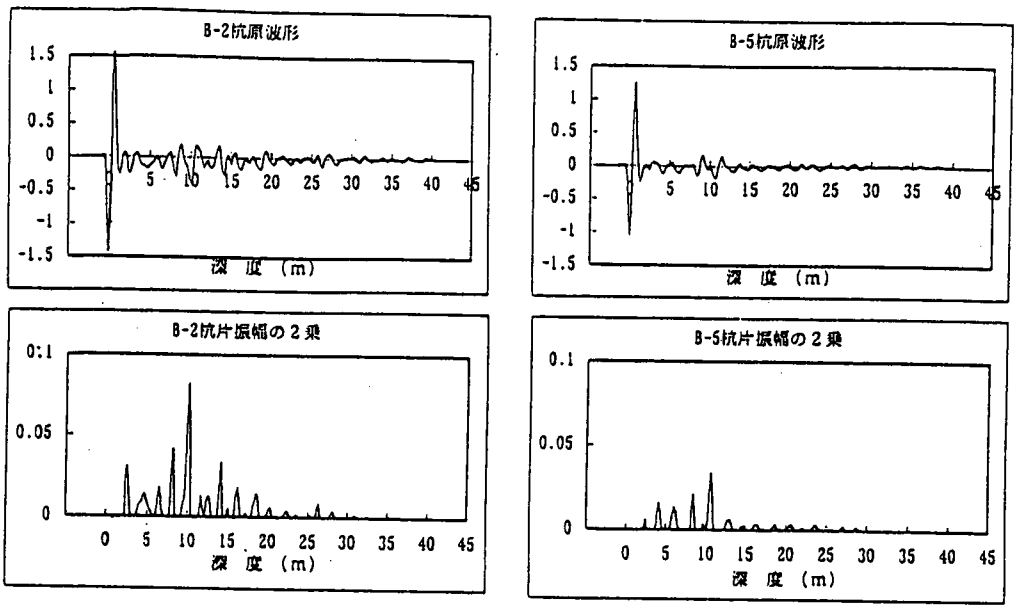
本システムの構成

参考文献	仲田慶正、南荘敦、安田扶律、今田和夫：非破壊試験の橋脚基礎損傷調査への摘用事例、耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム、H9.7 南荘敦、森田悠紀雄、枚本正信：非破壊検査手法を用いた杭基礎の損傷度調査、第２３回地震工学研究発表会講演概要、H7.7 南荘敦、足立幸郎：阪神高速道路における基礎構造物の損傷調査、橋梁と基礎、1996.8

適　　用　　事　　例

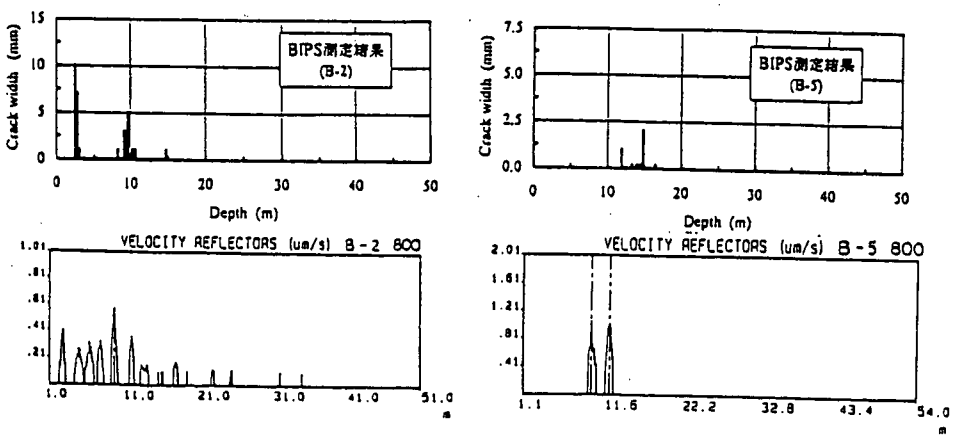
（検査概要）

検査対象；地盤の液状化で地震被害を受けた橋梁の杭基礎（φ1200、L2900）
分析方法；反射波の分析は次の２種類で行った。
　　システムＡ：周波数分析を利用する
　　システムＢ：波形を利用する
比　　較；ボアホールカメラ（ＢＩＰＳ）による結果との比較によると、両者はほぼ一致している。



図－５　波形解析例（システムＢ）

図－６は原波形に対して、高速フーリエ変換により周波数特性を把握し、その特性より亀裂の存在する位置を計算した結果と、BIPSによる調査結果を対比したものである。いずれも比較的よい一致を見ており、杭の健全度判定に有効であると考えられる。



図－６　周波数解析例（システムＡ）

調査対象部位	コンクリート杭	調査方法の名称	ＡＥ破損調査法
調 査 目 的	杭のひびわれ探査		

（概　　要）

・コンクリート杭の内部で損傷がある場合、そこから発生するＡＥを検出して、損傷部の位置を探査するものである。
AE センサーは杭近傍のボーリング内に挿入された導波棒に設置され、地盤を伝わるＡＥを捉えるものである。
・杭に変動荷重を与えてＡＥを誘発し、杭近傍に挿入した導波棒に設置された検出器によりＡＥを検出する。

（特　　徴）

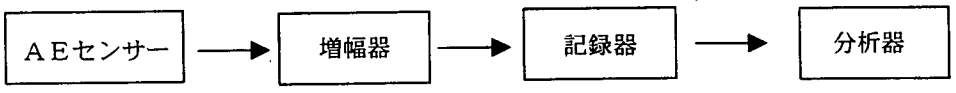
・杭に直接接近する必要がない。
・比較的簡便なシステムである。
・導波棒を挿入するためのボーリングが必要である。
・ＡＥを誘発するための変動荷重が必要である。

（使用器機）

・導波棒、ＡＥセンサー、増幅器、記録器、パソコン

（適用事例）

・地震被害調査（兵庫県南部地震、建物基礎礎被災調査）



本システムの構成

参考文献	塩谷智基、境野典夫：ＡＥ法による杭診断技術に関する基礎的研究と実構造物摘用事例、耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム、H9.7 森伸一郎、塩谷智基、宇良成泰、藤井清司：地震で被災したコンクリート杭のＡＥ破損調査法、第２３回地震工学研究発表会講演概要、H7.7

（検査概要）

検査対象；地震被害を受けた高層建築物の杭基礎（φ1100、L10,500）
検査方法；ＡＥ法
比　　較；ＡＥ法とＩＴ法（衝撃弾性波法）の結果はほぼ一致している。

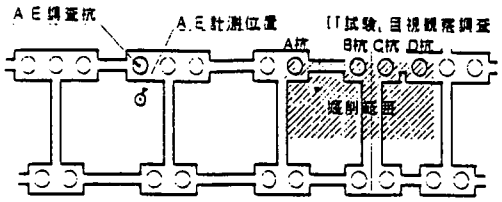


Fig. 9 調査位置平面図

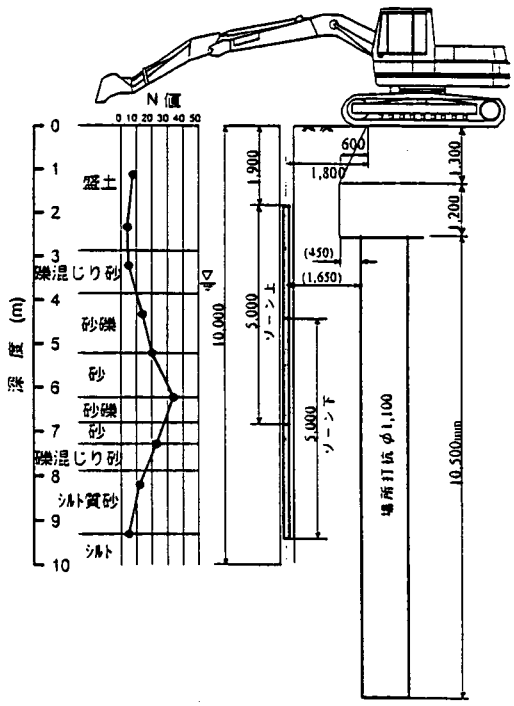


Fig. 10 地盤柱状図と計測位置断面詳細図

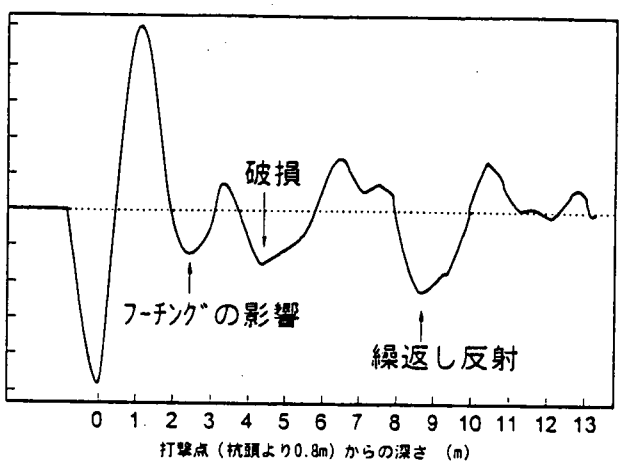


Fig. 11 C 杭の反射波形

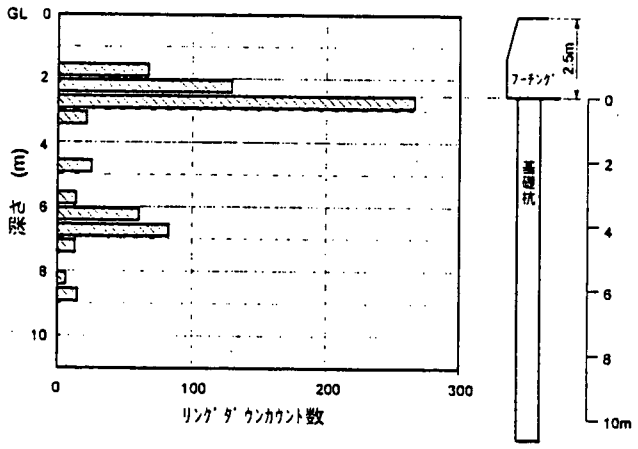


Fig. 12 AE 計測結果

調査対象部位	高架橋、橋脚	調査方法の名称	衝撃振動試験
調 査 目 的	地震被害を受けた高架橋、橋脚の健全度判定		

(概　　要)

・地震により損傷した橋脚、高架橋の健全度を判定するものである。

・試験は 30kg 程度の重錘で高架橋あるいは橋脚に衝撃を与えて行うもので、そのときの構造物の応答加速度波形から固有振動数を分析して、基準固有振動数と比較して健全度を判定するものである。

(特　　徴)

・非破壊試験で構造物躯体と基礎の健全度を判定できる。

・固有振動数の変化で健全度の判定を行っている。

・衝撃位置を変えることで、様々な振動モードでの判定が可能である。

・詳細な被災度の判定は困難。

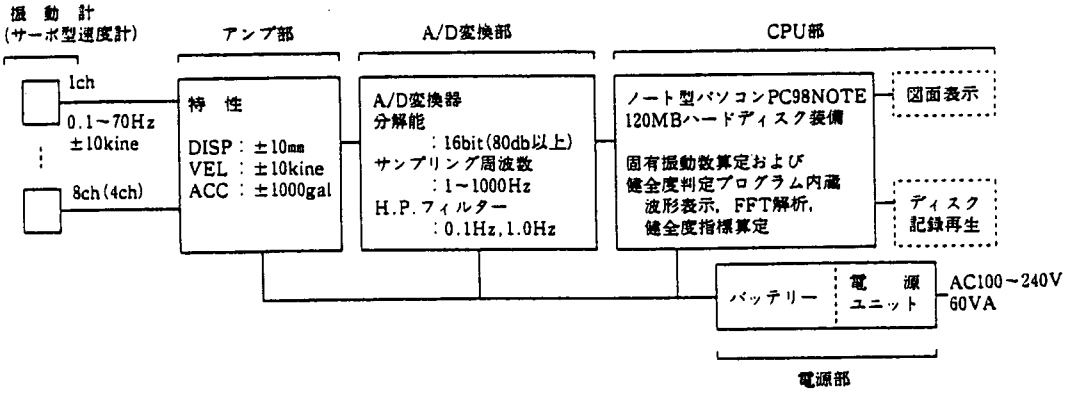
(使用器機)

・重錘、加速度計、増幅器、記録器、分析器、パソコン

(適用事例)

・山陽新幹線高架橋（兵庫県南部地震被害調査）

・鉄道関係の高架橋、橋梁（健全度調査）



本システムの構成

参考文献	西村昭彦、羽矢洋：衝撃振動試験による山陽新幹線構造物の健全度判定，基礎工、1996.9 日経コンストラクション１－２６，1996 下村勝、棚村史郎、西村昭彦：既設橋脚の健全度調査と補強対策、第２３回地震工学研究発表会講演概要、H7.7

適　　用　　事　　例

（試験概要）

試験対象；地震被害を受けた山陽新幹線のラーメン高架橋

試験方法；衝撃振動試験

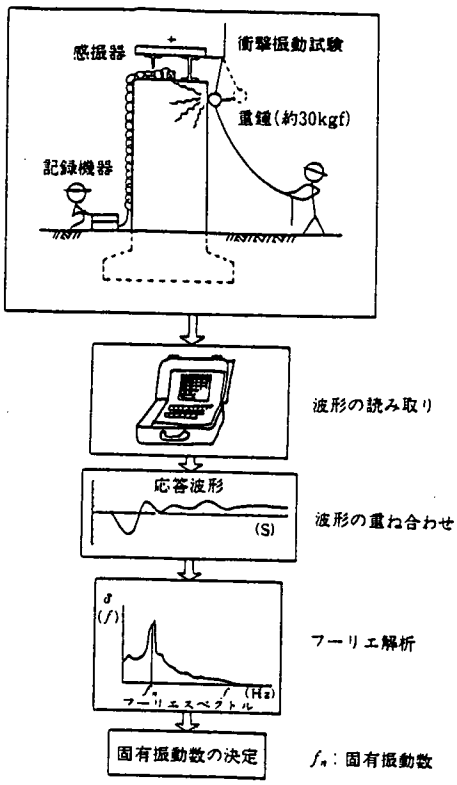
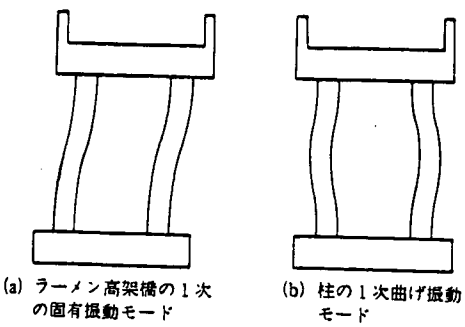


図-2　衝撃振動試験による固有振動数の決定

表-3　橋脚の健全度判定基準

健全度指標	判定ランク		処　　置
0.70以下	A	(A1)	異常時外力に対して危険な変状がある。他の調査結果を参照し，補修，補強を考慮する。
0.85以下		(A2)	固有振動数の低下など進行性の把握を行う。
0.86以上	B		現状では問題は少ない。



(a) ラーメン高架橋の1次の固有振動モード　(b) 柱の1次曲げ振動モード

図-4　ラーメン高架橋の1次の固有振動モードおよび柱の1次曲げ振動モード

表-10　ラーメン高架橋の全体1次モードの固有振動数に関する判定基準

健全度指標	判定ランク	処　　置
0.70以下	A	柱部材の詳細調査を行う。
0.71以上	B	現状では問題は少ない。

表-11　ラーメン高架橋柱部材の曲げ1次モードの固有振動数に関する判定基準

健全度指標	判定ランク	処　　置
0.67以下	A	解析による検討を行う。
0.68以上	B	柱部材については問題は少ない。

調査対象部位	高架橋、橋脚	調査方法の名称	常時微動測定
調 査 目 的	既設橋梁の健全度判定		

(概　　要)

・災害により損傷した橋脚の健全度を判定するものである。
・着目する振動モードを把握できる箇所で常時微動測定を行い、この結果を分析して健全度を判定するものである。
・健全度の判定は、測定値を着目する振動モードに分解して行う。

(特　　徴)

・非破壊試験で構造物躯体と基礎の健全度を判定できる。
・常時微動測定であり、非常に簡便な検査方法である。
・着目する部位の卓越振動数、振動モードなどから判定する。
・判定は基本的には基準値との比較で行う。

(使用器機)

・加速度計、増幅器、記録器、分析器、パソコン

(適用事例)

・水害で被害を受けた橋脚の健全度調査
・ＰＣ橋梁の振動特性検査
・ラーメン高架橋の地震動特性とヤング係数の推定



本システムの構成

参考文献

井上英司、富田健司：被災橋脚の常時微動測定結果, 第２４回地震工学研究発表会講演概要、1997.7
青木弓子、中村豊：常時微動を用いたＰＣ橋梁の振動特性、第２３回地震工学研究発表会講演概要、H7.7
立花三祐、中村豊：常時微動を用いた橋脚健全度について、第２３回地震工学研究発表会講演概要、H7.7

適　　用　　事　　例

（測定概要）

測定対象；水害を受けた鉄道橋梁の橋脚

測定方法；常時微動測定

橋脚天端での鉛直、水平の３成分測定

分析方法；橋脚のロッキング振動に着目して健全度を判定する。

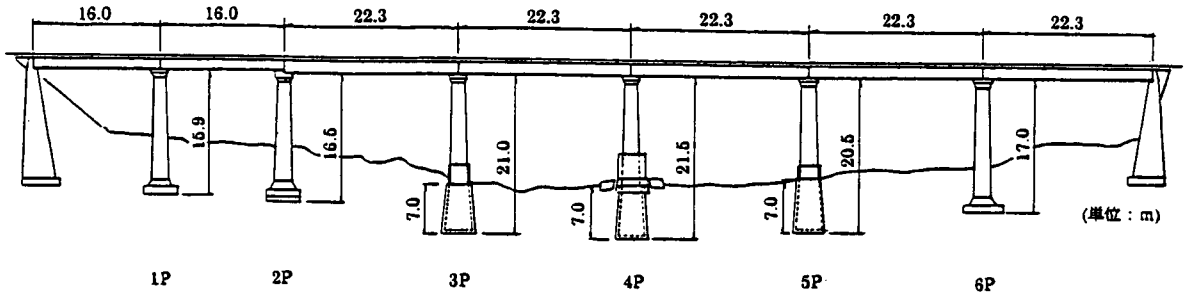


図2　A橋梁全体図

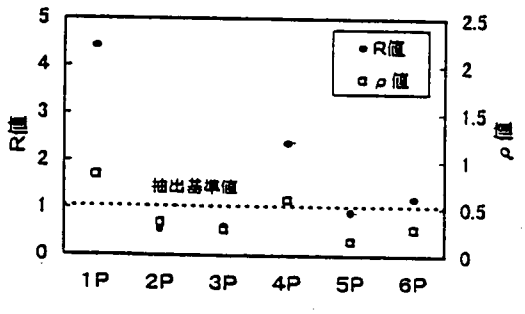


図3　ρ値及びR値

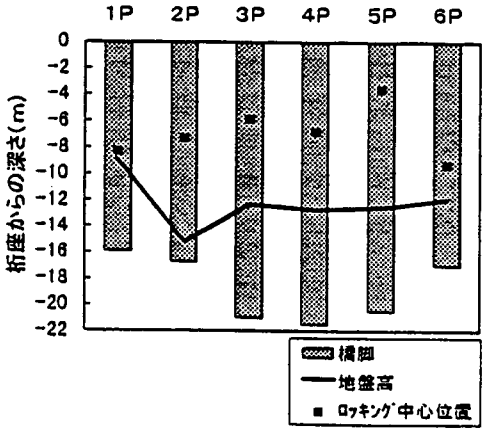


図4　ロッキング中心位置

調査対象部位	地盤全般	調査方法の名称	ＰＩＣシステム
調 査 目 的	地盤および構造物の固有周期ならびに増幅倍率曲線を地表面の常時微動から短時間に算出するシステム		

（概要）

構造物の耐震性を考えるとき重要な固有周期および増幅倍率曲線を地表面の常時微動を観測することにより短時間で算出が可能なシステムである。

（特徴）

従来の方法はボーリング調査結果をもとに地盤の各層を弾性体としてモデル化し解析的に固有周期を求めていた。このため、１ヶ所当たりに大きな費用、労力時間を費やしていた。

一方、本システムは地表面の常時微動を観測し、それを基に固有周期、増幅倍率曲線を短時間で算出でき、固有周期分布を細かく調べることが可能である。

（使用機器）

計測器、速度センサー

（使用事例）

・ＪＲ各社の沿線構造物、地盤（間隔 100m で延長 2000km）
・住宅地、港湾などの調査

（システム概念）

常時微動は、地中付近の基盤面付近では上下動成分・水平動成分の振幅はほぼ等しいが、地表近くでは水平動成分は地層条件により振幅が大きく変化する。この性質を利用し、基盤面での水平動の振幅を推定し、地表での水平動振幅と比較することにより地盤の固有周期および増幅倍率を算出する。



架橋上での測定作業

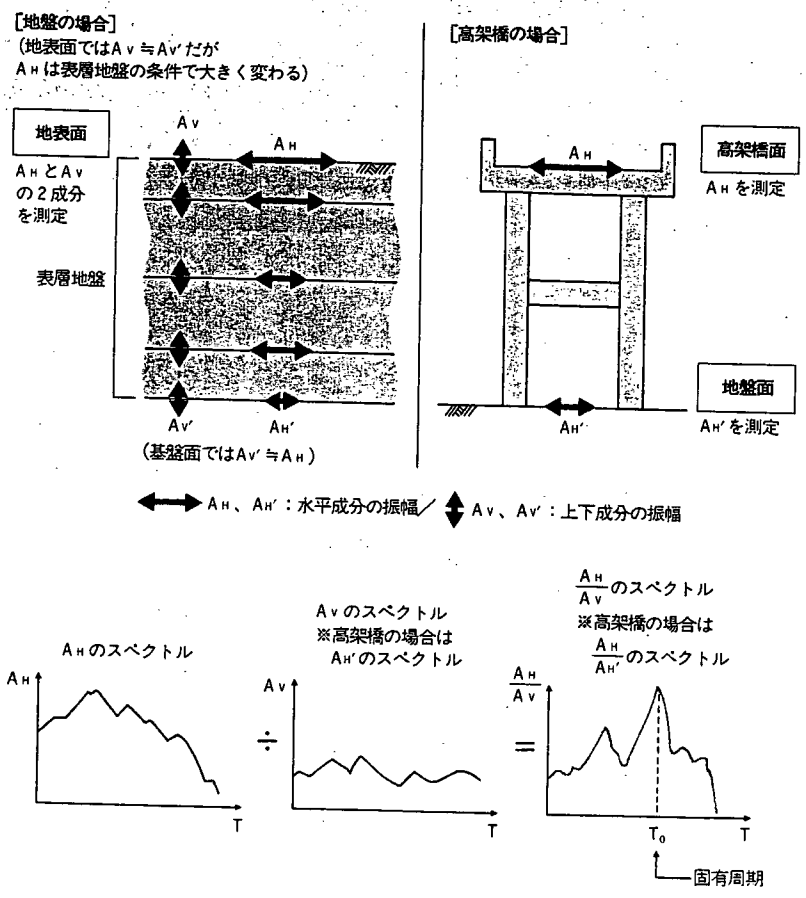


アタッシュケースに収められた現行の「PIC 91 型」（この項の写真：JR 総研）

参考文献	日経コンストラクション 6-23, 平成７年６月

適　　用　　事　　例

●PICシステムによる固有周期測定の概念図



調査対象部位	コンクリート部材	調査方法の名称	放 射 線 法
調 査 目 的	放射線透過写真による鉄筋の配筋位置・かぶり・鉄筋径の調査		

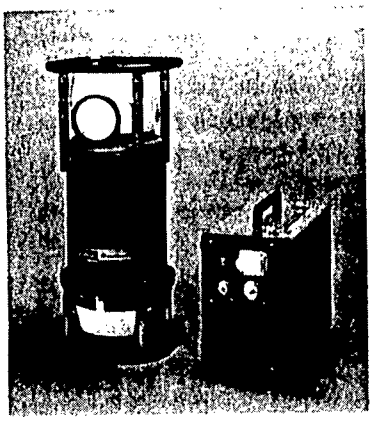
(概　要)

・放射線は物質を透過する性質および放射線がフィルムなどの感光材料に当たった時に感光させる性質を持っている。
・感光材料に到達する放射線の強さは材質に影響され、鉄鋼材料は放射線を透過しにくいため鉄筋は白く写る。
・対象物に対して放射線透過写真を立体撮影し、鉄筋位置、かぶりを測定する。
・放射線はX線またはガンマ線を用いる
・X線フィルムまたはイメージングプレートによって放射線透過写真を撮影する

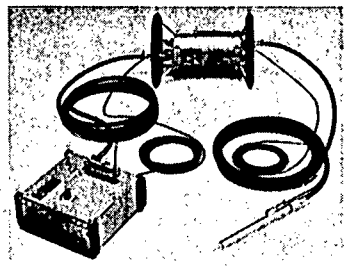
(特　徴)

・コンクリート内部の状況が放射線透過写真により直接確認できる。
・測定可能な厚さは普通コンクリートで600mm以下
・立体撮影によって鉄筋の位置とかぶりも測定可能
・放射線を扱うので、規制や資格について法令等で定められている。

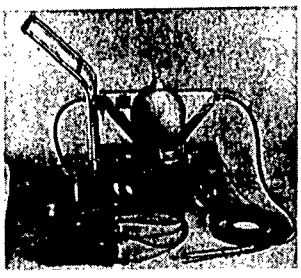
(使用器機)



X線装置



^{192}Ir線源容器



^{60}Co線源容器

ガンマ線発生器

・X線フィルムは、金属箔増感紙用のフィルムと、蛍光増感紙用のフィルムとがある
・イメージングプレート（ＩＰ）を用いるとフィルムと蛍光増感紙の組み合わせより１０～１００倍高感度である。

(適用事例)

参考文献

(社) 日本非破壊検査協会：コンクリート構造物の非破壊試験法、養賢堂、1994年12月21日

竹中克己：コンクリートの非破壊検査方法（原理と手法）－寸法，厚さ－、コンクリート工学 Vol.27 No.3、1989年3月

適　　用　　事　　例

（試験概要）

試験内容；放射線透過試験による鉄筋かぶりおよび鉄筋径の測定

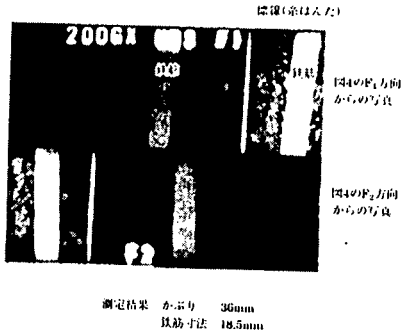
試験対象；・コンクリート版厚　200mm の鉄筋コンクリート供試体

・糸はんだを標線とした

試験方法；対象物をＸ線により放射線透過写真を立体撮影した

試験目的　かぶりと鉄筋の寸法測定

1. 構造物名	試験体	コンクリート版厚	200 mm
2. 撮影配置	立体撮影		
3. 線源の種類	X 線	線源寸法	2 × 2 mm
4. 線源からコンクリート表面までの距離			781 mm
5. 線源移動距離			476 mm
6. フィルム又は IP 並びに増感紙		*100 + SM*-308	
7. 撮出条件		300 kV, 5 mA, 9.9 min	
8. 散乱線低減方法		集束グリッド（16：1，密度 40 本/cm）	
9. RC 像質計識別度			%



測定結果　かぶり　36mm
鉄筋寸法　18.5mm

撮影条件と放射線透過写真

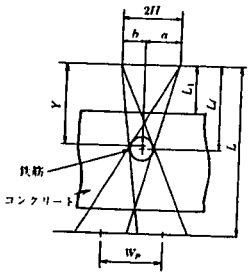


図 3.19　鉄筋位置の計算図

鉄筋位置の計算

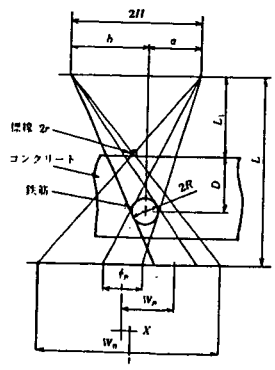


図 3.20　実際の配置での計算図

鉄筋径の計算

調査対象部位	橋脚躯体	調査方法の名称	ＲＣレーダー
調 査 目 的	鉄筋位置とかぶりの測定		

(概　　要)

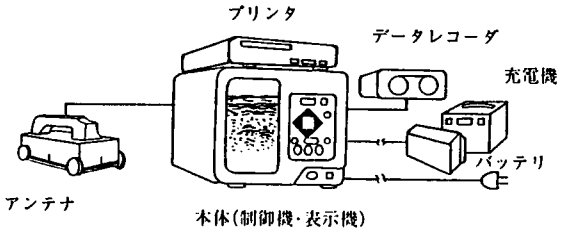
・電磁波をアンテナからコンクリート内部に向けて放射し、鉄筋等の電気的性質の異なる物質との境界面で反ささされた電磁波を受信して、その時間差から反射物体までの距離を測る

(特　　徴)

・鉄筋の位置が図示される
・同一箇所に繰り返し適用できる

(使用器機)

・ＲＣレーダー，　コントローラ・モニタ，　アンテナ，　プリンタ，　データレコーダ



装置の構成

(適用事例)

・探査例

参考文献

(社) 日本非破壊試験協会：コンクリート構造物の非破壊試験方法，1994.12

日経コンストラクション 1-26，平成８年 11 月

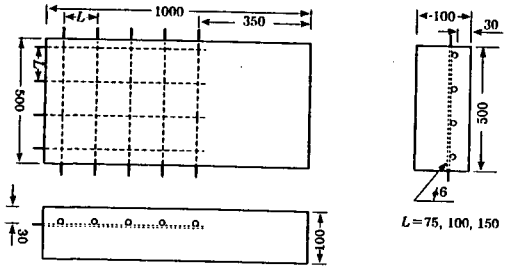
適　用　事　例

（試験概要）

試験内容；ＲＣレーダーによる配筋の検出

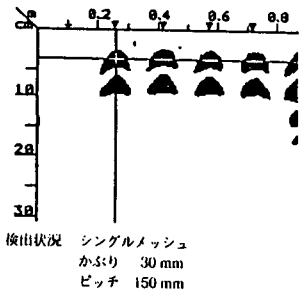
試験対象；・かぶり厚さが 30mm の試験体を用いる
・版厚が 100mm なので厚い方から測定すると、かぶり 70mm の場合の検出結果となる
・配筋ピッチは 150mm と 75mm のものを用意する

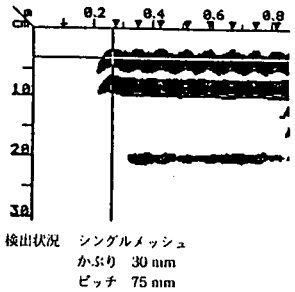
試験方法；アンテナを試験体の長手方向に走行させて測定データをとる

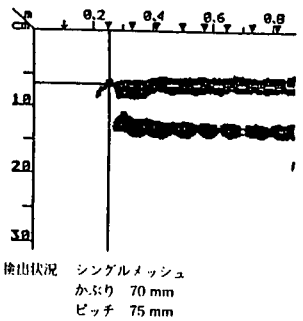


試　験　体

試験結果；・検出記録から、かぶり厚さが 30mm で配筋ピッチが 150mm では鉄筋は完全に分解表示される
・かぶり厚さが 30mm、配筋ピッチが 75mm では連続した表示ではあるが、配筋本数を読みとれる程度の凹凸がある
・かぶり厚さが 70mm、配筋ピッチが 75mm では鉄筋の識別ができなくなった







検　出　状　況

（ＲＣレーダーの実橋に対する適用例写真）



4.道路橋の耐震点検に関する資料

道路橋に対する耐震点検の事例を**表－3.4.1「道路橋の耐震点検に関する資料一覧表」**に示す。表中には、点検対象部位，点検法や点検結果の評価法，点検の概要および調査文献を記述している。
これらの事例の内、全国規模で実施されている建設省の耐震点検に関する資料および日本道路協会の耐震点検に関する資料を4.1,4.2で示す。

4.1 建設省の耐震点検に関する資料

建設省の耐震点検はこれまでに6回実施されている。主な耐震点検事項の概要を**表－3.4.2**に示すとともに、昭和54年，昭和61年，平成3年に実施した点検フローあるいは耐震点検調査票等を図表に示す。

図－3.4.1　昭和54年道路橋耐震点検フロー

図－3.4.2　昭和61年道路橋耐震点検フロー

図－3.4.3　平成3年道路橋耐震点検フロー

表－3.4.3　昭和54年道路橋耐震調査票

表－3.4.4　平成3年橋梁震災点検票

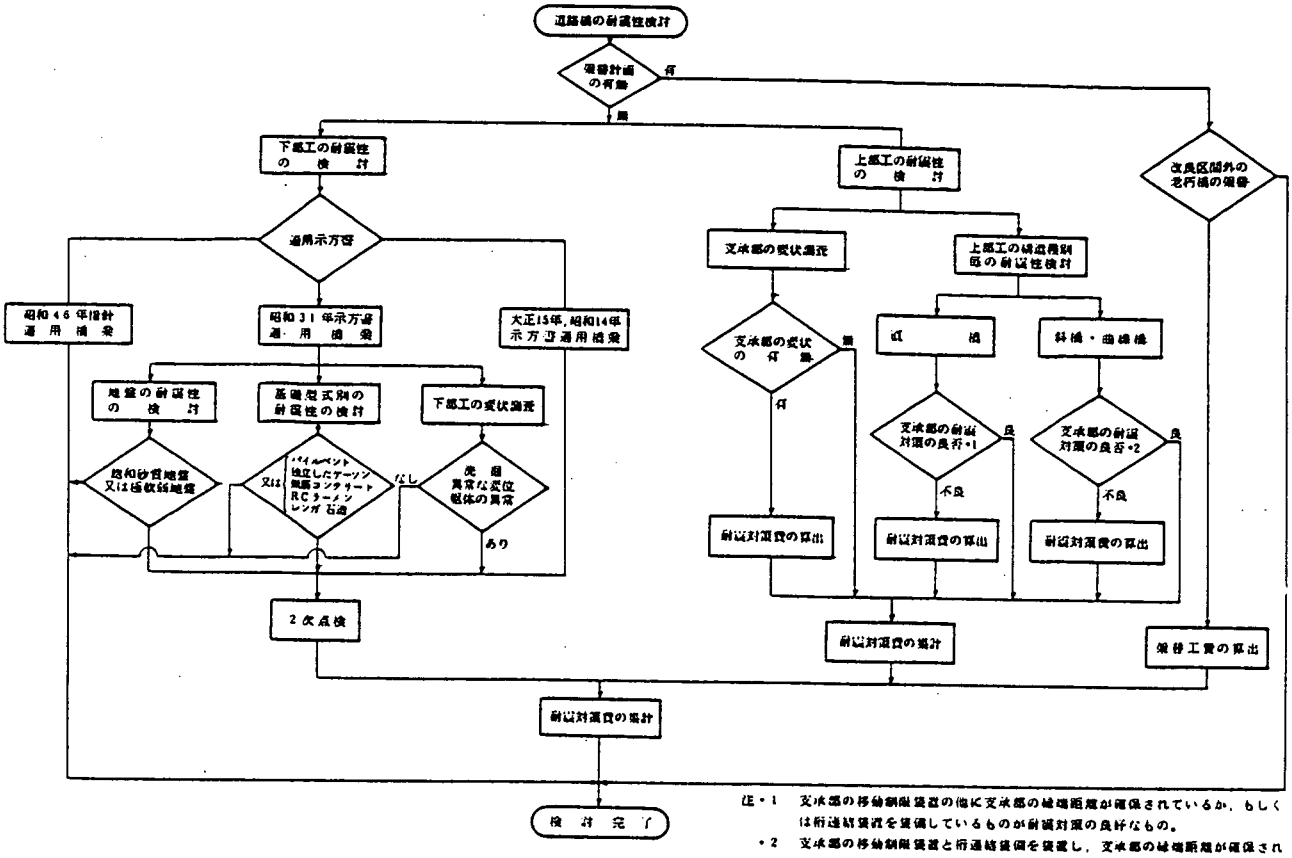
平成8年の第6回道路防災総点検では、点検実施時点で兵庫県南部地震規模レベルの地震動に対して設計された橋梁がないため、橋長15m以上の全ての橋梁が補強対象となり、耐震性の評価は主に適用示方書で決まるようになる。平成8年道路防災総点検データに基づいた耐震性判定フローは「第１編震前対策」に記載している。

表－3.4.1　道路橋の耐震点検に関する資料一覧表

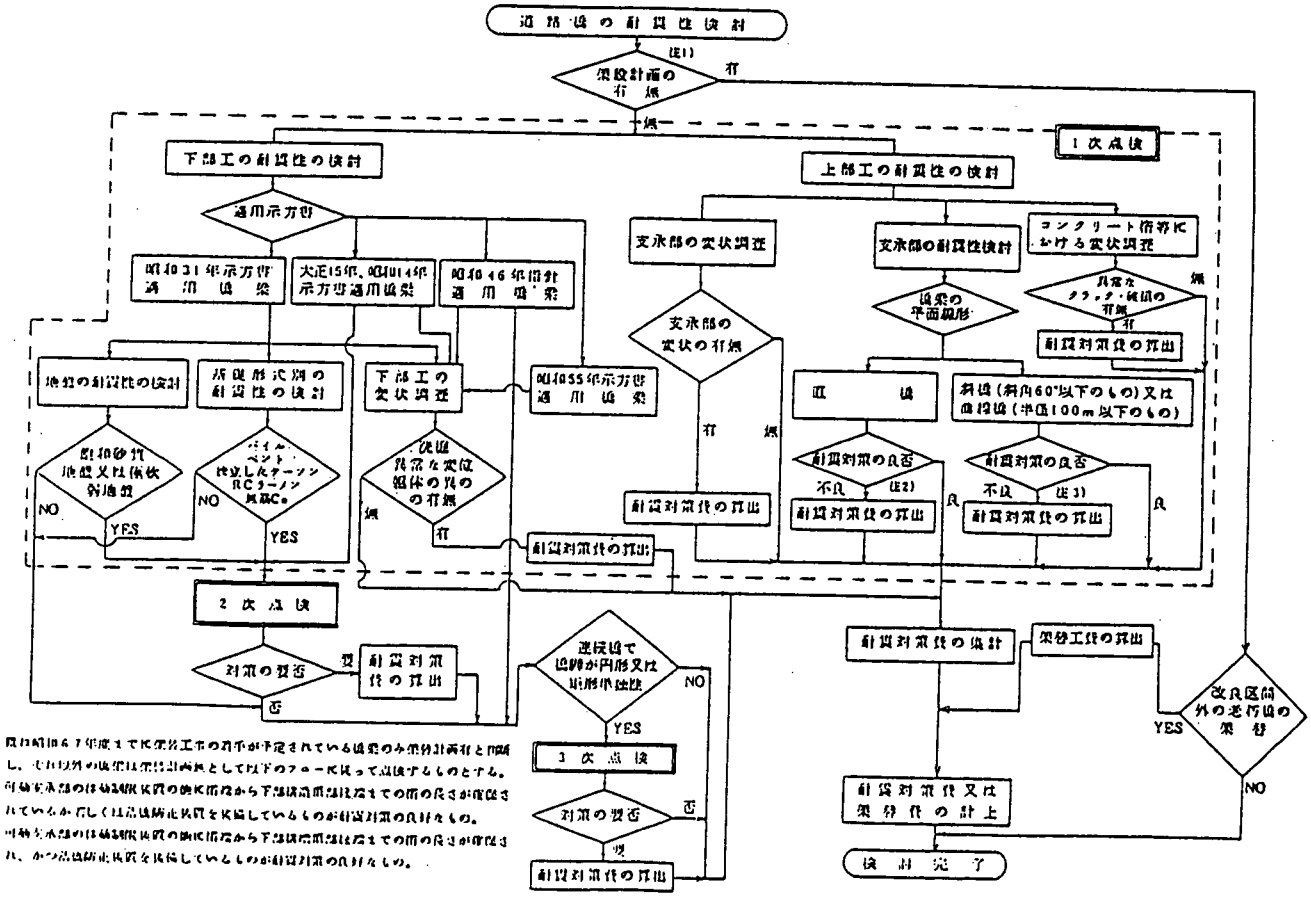
No.	資料分類	点検対象	点検法 or 評価法	点検概要	文献	備考
1	耐震点検法	既設道路橋	耐震性判定法	昭和６１年日本道路協会の耐震調査法の適用性について検討	川島、運上、“既設道路橋の耐震性判定法”　土木技術資料 30-8(1988)	○
2	耐震点検法	橋梁一般	道路協会の耐震点検法	昭和 60 年度版橋梁耐震点検票、橋梁耐震点検フロー	日本道路協会、“道路の震災対策に関する調査報告”、昭和６１年３月	○
3	耐震点検法	橋梁一般	道路協会の耐震点検法	橋梁耐震調査フロー、橋梁耐震調査票	日本道路協会、“道路震災対策便覧”昭和６３年２月	
4	耐震点検法	橋梁一般	建設相の耐震点検法	平成３年度震災点検要領	建設省道路局、“平成３年度　震災点検要領（案）H3.5”	○
5	耐震点検法	橋梁一般	建設相の耐震点検法	平成８年度道路防災総点検要領［地震］	道路保全センター、“平成８年度道路防災総点検要領［地震］”、	
6	耐震点検法	橋梁一般	道路協会の耐震性評価手法	Ｈ８道路防災総点検［地震］点検結果の補強対策優先度判定手法	道路保全センター、“Ｈ８道路防災総点検［地震］　点検施設の耐震性評価手法（案）”、	
7	耐震点検法	RC 橋脚、鋼製橋脚、支承等	耐震性カテゴリー判定フロー	平成 8 年の建設省道路防災総点検データにもとづいた耐震性の区分方法および補強対策優先度評価に用いる指標を示している。	日本道路協会、“道路震災対策便覧”、平成 12 年５月	
8	耐震点検法	橋脚	段落し部の照査	主鉄筋段落し部に対する耐震判定法の概要	“釧路沖地震及び北海道南西沖地震による RC 橋脚主鉄筋段落し部の被害とその解析　平成６年６月” 土木研究所資料第 3283 号	
9	耐震点検法	橋梁	耐震性評価 耐震性の調査表 補強優先度評価マトリックス	橋梁の耐震性評価項目を重み付けして区分した橋梁評価点票を用いて、地震外力評価点，上部工評価点，下部工評価点を算定し、橋梁の耐震性をランク付けする方法を検討している。	丸山、“大阪市の橋梁耐震対策”、大阪市建設局業務論文報告集、1999.3	
10	耐震点検法	橋脚	ＲＣ橋脚の耐震診断法 所要降伏震度スペクトル	既設橋脚の保有する耐力および変形性能を把握し、大阪府想定標準地震動に応じた設計用標準所要降伏震度スペクトルを用いて耐震性を判定するものとして、RC 橋脚の耐震診断法を提案。	大阪府土木部、“大阪府土木構造物耐震対策検討委員会報告書、平成 11 年７月	
11	耐震点検法	橋脚一般	橋梁耐震診断法 損傷確率ﾏﾄﾘｯｸｽによる補強の優先順位付け	既存橋梁の耐震性能を比較的簡便な手法で評価する橋梁耐震診断法を構築する。 ・橋梁全体系の耐震性を確保を念頭においた耐震診断プロセスの提案。 ・地震動強度と被災度をｸﾛｽ集計して算出した「損傷確率ﾏﾄﾘｯｸｽ」による耐震補強の優先順位付け手法の提案	高田、森川、松本、花川、“GIS データベースに基づいた橋梁耐震診断法の構築と損傷マトリックスの評価”、構造工学論文集,Vol.44A,1988.3	
12	耐震点検法	建築，道路，鉄道構造物	耐震診断	・耐震診断と耐震補強　・被災度判定と復旧　・既設道路構造物の補強　・被災道路構造物の復旧　・補強・復旧の事例　・耐震補強の研究と補強構造物の性状	“コンクリート構造物の耐震復旧・耐震補強技術と事例”　日本コンクリート工学協会　1998.8	
13	耐震点検法	道路網	ＧＩＳデータの活用	橋梁の耐震安全性を含めて道路網の耐震性を評価するシステムを開発し、道路網に対する震前対策の優先度を提案	永松、大塚、松田、“緊急輸送道路網における耐震安全性評価手法の開発”、第 10 回日本地震工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ 1998	
14	耐震点検法	構成橋脚	弾塑性応答スペクトルによる評価	個々の橋脚について非線形動的応答解析を行うことなしに弾塑性応答スペクトルを用いた設計チャートから非線形応答を求める推定法の提案	長沼、堀江、佐々木、“応答スペクトルを用いた構成橋脚の簡易照査法”、第一回保耐ｼﾝﾎﾟｼﾞｭｳﾑ講演論文集、1998.1	

表－3.4.2　耐震点検事項の概要

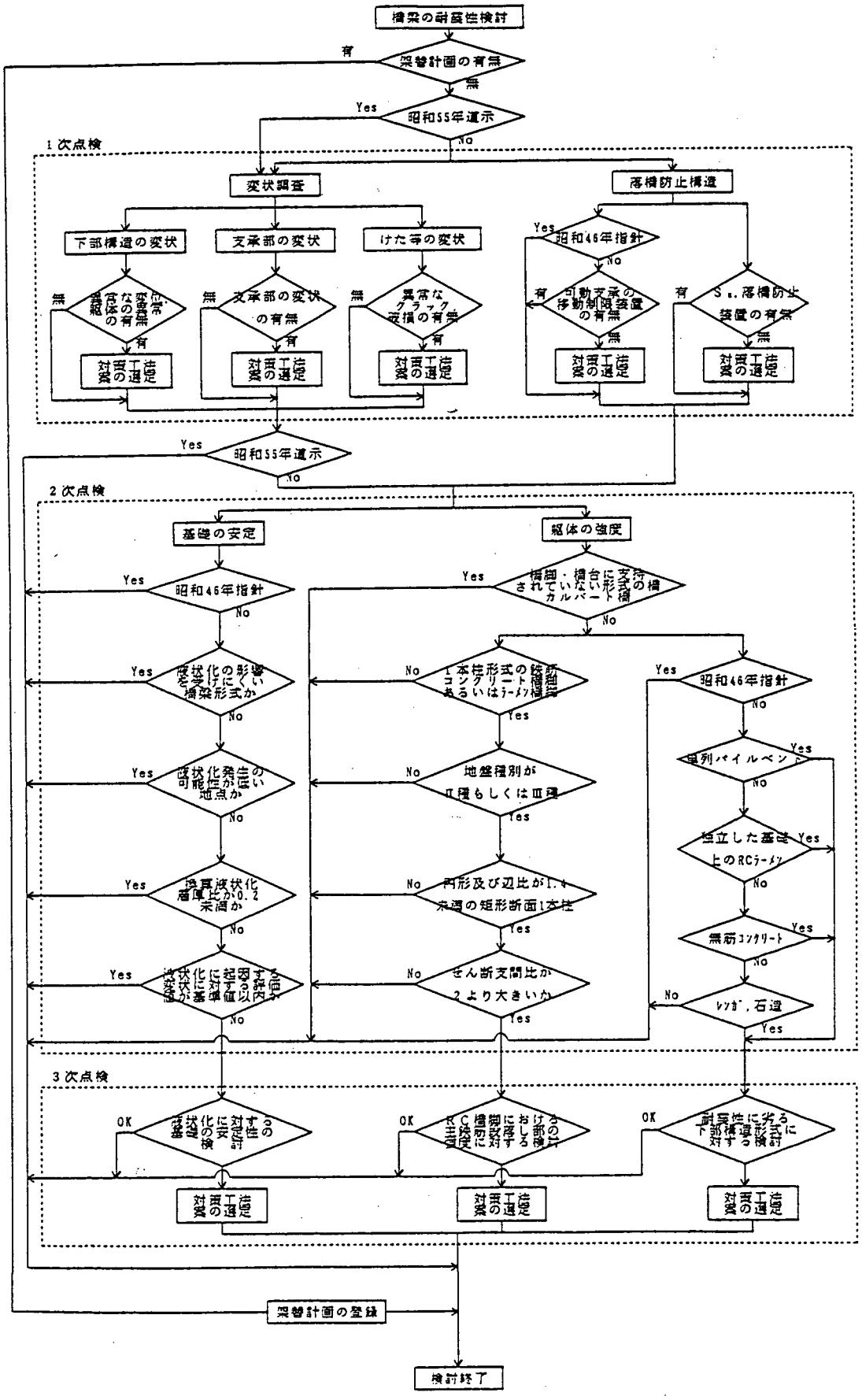
点検年次	対象橋梁及び点検事項の概要	
昭和46年	橋長5m以上 立体交差含む	・全橋梁の破損、亀裂、傾斜、滑動、沈下、洗掘等 ・パイルベント橋脚の縁端距離(S)
昭和51年	橋長15m以上 立体交差を含む	・下部構造の変状・破損、コンクリート桁または床板の亀裂、橋脚 ・橋台の傾斜、滑動、沈下、洗掘、支承部の変状 ・縁端距離(S)及び落橋防止装置
昭和54年	橋長15m以上 立体交差を含む	・支承部の変状、落橋防止装置(移動制限、S_E、桁連結) ・飽和砂質地盤の液状化 ・土の支持力 ・橋脚躯体の強度 ・基礎杭の支持力 ・ﾊﾟｲﾙﾍﾞﾝﾄ、独立したｹｰｿﾝ等震災を受けやすい構造 ・下部構造の変状(洗掘、基礎の変位、躯体の異常)
昭和61年	橋長15m以上 立体交差を含む	・支承部の変状、落橋防止構造(移動制限、S_E、落橋防止) ・コンクリート桁の変状 ・下部構造の変状 ・飽和砂質地盤の液状化 ・橋脚躯体の強度 ・基礎杭の支持力 ・ﾊﾟｲﾙﾍﾞﾝﾄ、独立したｹｰｿﾝ等震災を受けやすい構造 ・主鉄筋段落し部の定着長
平成　3年	橋長15m以上 立体交差を含む	・下部構造の変状 ・支承部の変状 ・桁等の変状 ・移動制限装置 ・落橋防止構造 ・液状化 ・RC橋脚主鉄筋段落し ・耐震性に劣る下部構造形式 (ﾊﾟｲﾙﾍﾞﾝﾄ、独立した基礎に支持されたRCﾗｰﾒﾝ構造等)
平成8年	橋長15m以上の 全ての橋梁	・橋脚［鋼製，RC、合成構造］ (補強・照査レベル、RC橋脚主鉄筋段落し、鋼製橋脚の板厚変化) ・落橋防止構造(SE、落橋防止構造の種類) ・支承部高(鋼製支承の場合) ・液状化・流動化 ・適用示方書 ・上部構造、下部構造形式



図－3.4.1　昭和54年道路橋耐震点検フロー(建設省)



図－3.4.2　昭和61年道路橋耐震点検フロー(建設省)



図－3.4.3　平成3年道路橋耐震点検フロー(建設省)

表－3.4.3　昭和54年道路橋耐震調査法

点検箇所			点検項目		工費
一次点検	上部工	支承部の変状	支承の損傷（あり・なし），アンカーボルトの抜出し（あり・なし），沓座の破損（あり・なし），異常な変位（あり・なし）		
		支承部の耐震装置	直橋	移動制限装置（あり・なし），沓座の縁端距離（十木＋分），桁連結装置（あり・なし）	
			斜橋曲線橋	移動制限装置（あり・なし），沓座の縁端距離（十木＋分），桁連結装置（あり・なし）	
	下部工	地盤の耐震性	飽和砂質地盤（はい・いいえ），極軟弱地盤（はい・いいえ）		
		基礎の型式	パイルベント基礎（はい・いいえ），独立したケーソン基礎（はい・いいえ），無筋コンクリートRCラーメン躯体（はい・いいえ），レンガ造躯体（はい・いいえ），石造躯体（はい・いいえ）		
		下部工の変状	洗掘（あり・なし），基礎の変位（あり・なし），躯体の異常（あり・なし）		
	合計				

二次点検	点検箇所		安全度の判定		工費
	地盤	飽和砂質土の層厚	良い（層厚が1.0m以下），中間（層厚が1.0～10.0m），悪い（層厚が10.0m以上）		
		土の支持力	良い（A領域）	中間（B領域）　悪い（C領域）	
	下部工	橋脚躯体の強度	良い（A領域）	中間（B領域）　悪い（C領域）	
		基礎杭の支持力	支持杭	良い（安全率2以上），中間（安全率1.5～2），悪い（安全率1.5以下）	
			摩擦杭	良い（安全率3以上），中間（安全率2～3），悪い（安全率2以下）	
		基礎の型式別の耐震性	パイルベント，独立したケーソン，RCラーメン，無筋コンクリート，レンガ造，石造		
		下部工の変状	洗掘，基礎の変位，躯体の異常		
	合計				

一次点検の特記事項		耐震対策工費の合計
二次点検の特記事項		

表－3.4.4　平成3年道路橋耐震調査法

様式－1

調査機関名			調査年月	平成　年　月	整理番号		
事業区分		道路種別		路線名		交通量及び幅員	台/12h m
橋名		所在地（町名） DID内外）	DID(内・外)	架橋位置		橋長	m
上部構造支持形式				上部構造の材料と形式		橋台・橋脚の型式	橋台： 橋脚：
基礎形式		完成年月		適用示方書		路線指定	
主回路		橋面高		架替計画		架替工費	百万円

点検箇所		点検項目			対策工法案	概算事業費（百万円）
1次点検	下部構造の変状	基礎の異常な変位(有，無)、躯体の異常(有，無)				
	支承部の変状	支承本体の損傷(有，無)、ｱﾝｶｰﾎﾞﾙﾄの抜け出し，損傷(有，無) 沓座コンクリートの損傷(有，無)、上下部構造間の異常な変位(有，無)				
	けた等の変状	クラック，損傷等(変状等の位置：　　，損傷程度：　　)				
	落橋防止構造	可動支承における移動制限装置	（有，無）			
		けた端から下部構造頂部縁端までのけたの長さ S_E，または落橋防止装置	直橋	S_E，または，落橋防止装置（有，無）		
			斜橋 直線橋	S_E，かつ，落橋防止装置(有，無)		

点検箇所		点検項目		現在までに対策済みか	対策工法案	概算事業費（百万円）
2次点検	液状化に対する基礎の安定性	液状化による影響の可能性（有，無）		（済，未）	――	――
	耐震性に劣る下部構造形式に関する検討	単列パイルベント		（済，未）		
		独立した基礎に支持されたＲＣラーメン構造		（済，未）		
		無筋コンクリート(重力式橋台は除く)		（済，未）		
		レンガ・石造		（済，未）		
	鉄筋コンクリート橋脚における主鉄筋段落し部の強度	地盤種別	（Ⅰ種，Ⅱ種もしくはⅢ種）	（済，未）	――	――
		せん断支間比h/D	（h/D≦2，h/D＞2）			
		構造条件	（円形もしくは辺比1.4未満の矩形断面を有する1本柱橋脚あるいはラーメン橋脚，その他）			

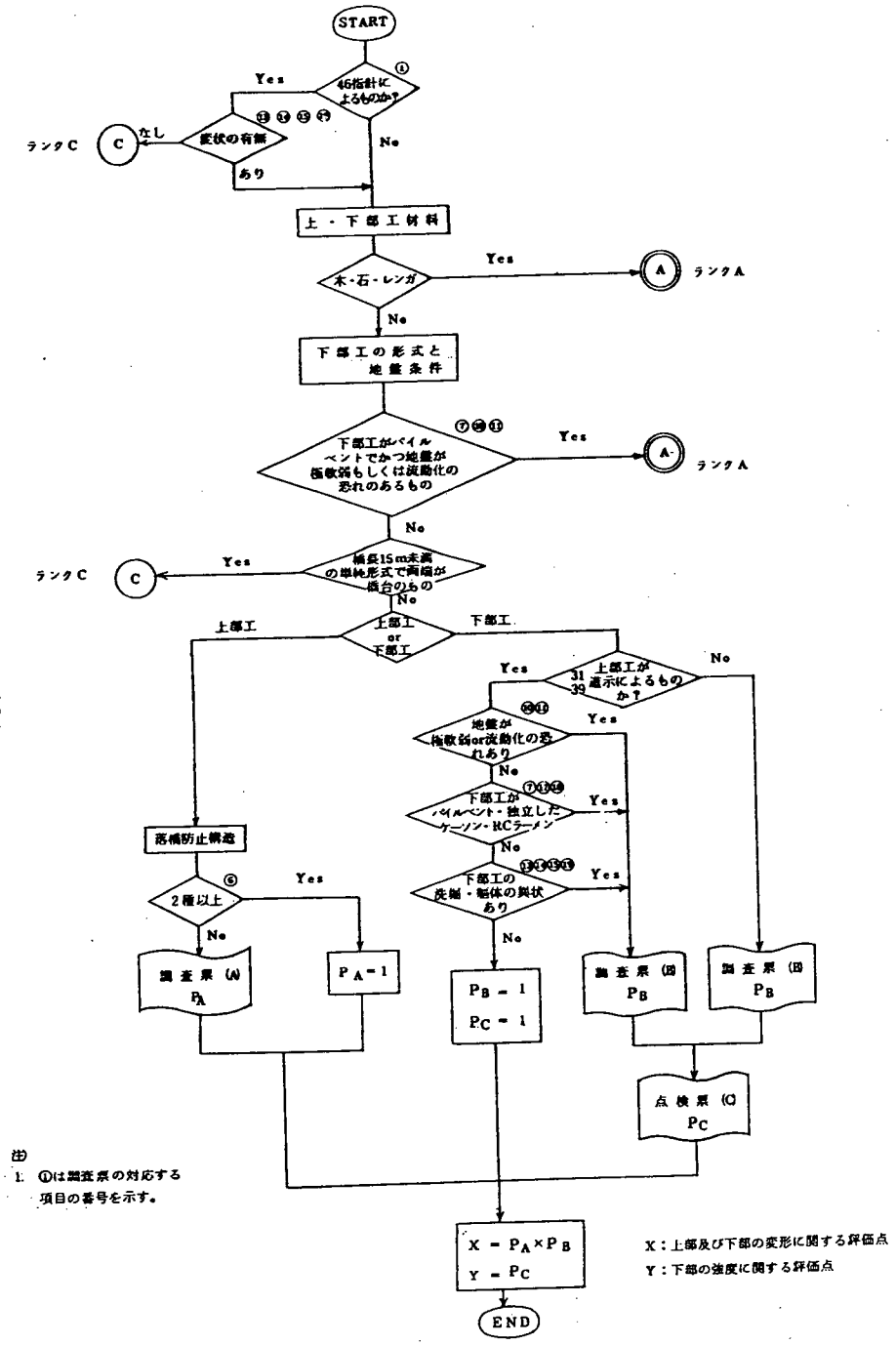
点検箇所		点検項目		対策の必要性の有無	対策工法案	概算事業費（百万円）
3次点検	液状化に対する基礎の安定性	杭体応力度	（　以上，　未満）	（有，無）		
		鉛直支持力	（　以上，　未満）			
	耐震性に劣る下部構造形式に関する検討	パイルベント	杭の応力度　（良，不良）	（有，無）		
		独立した基礎に支持されたＲＣラーメン構造	ＲＣラーメン部材の応力度　（良，不良）	（有，無）		
	鉄筋コンクリート橋脚における主鉄筋段落し部の強度	基部と段落し部の安全率の比	（1.1以上，1.2未満）	（有，無）		
		主鉄筋段落し部の降伏強度に対する安全率	（1.2以上，1.2未満）			
		平均せん断応力度	（許容応力度以上，許容応力度未満） （許容応力度　tf/m²）			

特記事項欄		
対策事業費	1次点検	
	2次点検	
	3次点検	
	合計	（百万円）
架替計画	改良区間（内，外）	
	完成予定年度	
	架替工費	（百万円）

4.2 日本道路協会の耐震点検に関する資料

日本道路協会の耐震性判定手法は、昭和54年の橋梁耐震調査要領と昭和61年の橋梁耐震調査法がある。昭和61年の橋梁耐震調査法は、昭和63年の道路震災便覧に示された方法で、「第1編震前対策」に記載している。平成12年版の震災便覧には、4.1に示した平成8年道路防災総点検データに基づいた耐震性判定フローが示されている。

昭和54年の橋梁耐震調査要領に示された橋梁耐震調査フローを図－3.4.4に、橋梁耐震調査票を図－3.4.5に示す。



(注)
1. ①は調査票の対応する項目の番号を示す。

図－3.4.4　橋梁耐震調査フロー(日本道路協会)

図－3.4.5　橋梁耐震調査表(日本道路協会)

調査機関名				調査年月	昭和　年　月	整理番号	
道路種別		路線名		交通量(52情勢調査)		橋名	
所在地 DID内外	DID(内・外)	バス路線	はい・いいえ	橋長		幅員	

点検項目								
橋梁の点検	(A)上部工	① 適用示方書	2.0	大正15年細則 昭和14年道示	1.5	昭和31年道示 昭和39年道示	1.0	昭和46年道示
		② 上部構造形式	3.0	ゲルバー桁 2径間以上の単純支持	1.5	1径間単純支持（15m以上） 2連以上の連続桁	1.0	上路・中路アーチ・ラーメン 1連の連続桁，斜張橋，吊橋
		③ 平面線形	1.2	斜橋・曲線橋	1.0	直橋		
		④ 上部構造材料	1.2	RC・PC	1.0	鋼		
		⑤ 縦断勾配	1.2	6%以上	1.0	6%未満		
		⑥ 落橋防止構造	2.0	なし	1.0	1種類		
		P_A＝①×②×③×④×⑤×⑥	P_A＝					
	(B)下部工の変形	⑦ 下部構造形式	2.0	パイルベント	1.0	その他		
		⑧ 橋脚高さ	2.0	10m以上	1.5	5m以上10m未満	1.0	5m未満
		⑨ 地盤	2.5	4種	2.0	3種	1.5	2種 1.0 1種
		⑩ 流動化の恐れ	2.0	あり	1.0	なし		
		⑪ 極軟弱地盤	2.0	4種地盤のうち極軟弱な地盤			1.0	その他
		⑫ 支持地盤	1.2	不均一	1.0	均一		
		⑬ 洗堀	1.5	あり	1.0	なし		
		P_B＝⑦×⑧×⑨×⑩×⑪×⑫×⑬	P_B＝					
	(C)下部工の強度・変状	⑭固定支承及び支承周辺の変状	5.0	重大な欠陥あり	2.0	軽微なもの	1.0	なし
		⑮ 躯体の異常	5.0	重大な欠陥あり	2.0	軽微なもの	1.0	なし
		⑯ 下部構造材料	2.0	大正15年細則，昭和14年道示による無筋コンクリート（重力式橋台を除く）	1.0	RC・PC・鋼		昭和31年道示以後の道示による無筋コンクリート・無筋の重力式橋台
		⑰ 基礎工法	2.0	木杭・レンガ積ケーソン，石積ケーソン，箱枠工法，不明	1.5	既製RC杭 ベデスタル杭・2脚ケーソン	1.0	昭和46年指針以後製造のもの・場所打杭 PC杭・鋼杭・直接基礎・一般ケーソン
		⑱ 下部構造形式	1.5	RCラーメン	1.0	その他		
		⑲ 基礎の異常	2.0	あり	1.0	なし		
		⑳ 流動化の恐れ	2.0	あり	1.0	なし		
		㉑ 極軟弱地盤	2.0	4種地盤のうち極軟弱な地盤			1.0	その他
		P_C＝⑭×⑮×⑯×⑰×⑱×⑲×⑳×㉑	P_C＝					
	評価点		$X＝P_A×P_B$＝			$Y＝P_C$＝		

5 .道路橋の耐震補強法に関する資料

道路橋の耐震補強事例等を**表－3.5.1「道路橋の耐震補強法に関する資料一覧表」**に示す。表中には、補強対象部位，補強技術・工法名，補強事例の概要および調査資料名を記述している。なお、備考欄に○印の付いた資料については、その事例で採用している耐震補強法を5.1, 5.2で詳しく示している。

5.1 既設橋の耐震補強法

以下に示す耐震補強の主な適用事例を詳しく整理する。

- 鉄筋コンクリート橋脚の補強
- 鋼製橋脚の補強
- 落橋防止構造の設置
- 支承構造の変更
- 基礎杭の補強
- 地盤の液状化対策

表－3.5.1(a)　道路橋の耐震補強法に関する資料一覧表

No.	資料分類	補強対象部位	技術・工法名	補強概要	文献	備考
1	既設橋梁の補強	橋台，橋脚	橋台基礎，橋脚基礎および橋脚の補強工法	道路橋の耐震性に影響を及ぼす要因と橋台および橋脚に対する地震補強法について実施例を紹介している。	川島，運上，“道路橋の橋台および橋脚の耐震補強” 基礎工 1992.2	
2	既設橋梁の補強	橋脚，基礎	耐震壁，増杭など	東海地震に備えた耐震補強対策実施例 ラーメン式橋脚の柱間に壁を設た補強。橋台基礎を増杭による補強。	倉沢，石井，“東名高速道路の橋梁下部工耐震補強” 1992.2	
3	既設橋梁の補強	RC 橋脚	鋼板巻立て工	単柱ＲＣ橋脚の鋼鈑巻立て補強，補強計算法	一桝，内藤，“鉄筋コンクリート橋脚の鋼鈑巻立てによる耐震補強” 基礎工 1992.2	
4	既設橋梁の補強	橋脚，橋台	鋼板巻立て工、ストラット	ラーメン橋脚の鋼板巻立て補強，補強計算法	石橋，古谷，“新幹線の橋脚・橋台の耐震補強” 基礎工 1992.2	
5	既設橋梁の補強	RC 橋脚	曲げ耐力制御式補強工法	鋼鈑巻立て補強とＲＣ巻立て補強を併用し、ＲＣ橋脚の曲げ耐力とじん性を向上させる。	小田切，“震災に備えた首都高速道路ＲＣ橋脚の耐震診断と補強工法” 基礎工 1996.9	○
6	既設橋梁の補強	橋梁	耐震補強の基本的な考え方	耐震診断、耐震補強の基本的な考え方、各構造部材別の耐震補強法、橋全体としての耐震補強　について	運上，“道路橋の耐震診断・耐震補強” 基礎工 1999.4	
7	既設橋梁の補強	高架橋，橋脚	部材増厚，補強部材被覆等	耐震診断、各種耐震補強工法の概要（部材増厚，補強部材被覆，補強剤挿入，部材増設，併用工法）などについて	佐藤，“鉄道構造物の耐震診断・耐震補強” 基礎工 1999.4	
8	既設橋梁の補強	RC 橋脚	炭素繊維巻立工法	高さ６５ｍのRC 橋脚に対する炭素繊維巻立て補強実施例	西，長田，“炭素繊維巻立工法のいる高橋脚の耐震補強－東名高速道路・酒匂川橋－” 基礎工 1999.4	○
9	既設橋梁の補強	RC 橋脚	ｱﾗﾐﾄﾞ繊維ｼｰﾄを用いた補強	高架下の施設が商店街を形成する店舗であるため、店舗を壊さずに影響を最小限度とする方法として、ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｱﾗﾐﾄﾞ繊維ｼｰﾄを用いた補強事例	井野，山川，“部分ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｱﾗﾐﾄﾞ繊維ｼｰﾄを用いたＲＣ橋脚の耐震補強” 基礎工 1999.4	○
10	既設橋梁の補強	RC 橋脚	スパイラル筋巻立て	ＲＣ橋脚の耐震補強工法として、従来の帯鉄筋の代わりにスパイラル筋を用いた場合の施工例	宮本，“スパイラル筋によるＲＣ橋脚の耐震補強工法について” 基礎工 1999.4	○
11	既設橋梁の補強	鋼製橋脚	コンクリート充填工法、補剛材による補強	既設鋼製橋脚の耐震補強工法の基本的な考え方、箱形および円形鋼製橋脚の補強構造について	森，“鋼製橋脚の補強” 基礎工 1999.4	
12	地盤の流動化対策	地盤，基礎	鋼管矢板壁	高速湾岸線曙運河付近における既設橋脚に対して実施された鋼管矢板壁による地盤流動化対策（対策工の設計、施工）例。	木下，原，“曙運河付近の地盤流動対策設計・施工” 基礎工 1999.4	
13	既設橋梁の補強	RC 橋脚	コンクリート巻立て工法 モルタル吹付け工法	モルタル吹き付け工法；既設部材に帯鉄筋やスパイラル鉄筋などを配置し、モルタルを吹き付け一体化することにより、耐震性の向上を図る。RC 巻立て補強工法に比べて部材断面の増加を少なくできる。	木村，金澤“吹付けモルタル工法－RC 高架橋橋脚補強”、基礎工、1999.4	○
14	既設橋梁の補強	RC 橋脚	炭素繊維張付け工法（CFR 工法）	CFR 工法で段落し部補強した橋脚模型による補強効果確認実験	前田，“新素材（炭素繊維）による耐震補強” 橋梁と基礎 1994.8	
15	既設橋梁の補強	RC 橋脚	RC 巻立て工法、鋼板巻立て工法、併用工法	首都高速道路において既設 RC 橋脚を補強する場合について、その考え方や方法を紹介している。耐震性能照査法、補強設計法	宇佐美，“既設 RC 橋脚の耐震補強” 橋梁と基礎 1994.8	
16	既設橋梁の補強	RC 橋脚	曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法	鉄筋コンクリート橋脚に鋼板を巻き立て、鋼板と一体となったアンカー筋をフーチングに定着させるものであり、鋼板の板厚、アンカー筋の径、本数などを調整して必要な補強効果を得る。	川島，星隈，大塚，“鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強法とその設計”、橋梁と基礎、1996.1	○
17	既設橋梁の補強	RC 橋脚	曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法	既設橋脚と鋼板との隙間の充填材にエポキシ樹脂、無収縮モルタルのいずれを用いても補強効果に大きな差がない。	大塚，星隈，“曲げ耐力制御式鋼鈑巻き立て工法における充填材の影響” 1996.8	
18	既設橋梁の補強	RC 橋脚	鋼板巻立て工法	ラーメン橋脚の補強工事事例	宮村，植木，“鋼鈑巻立て工法による RC 橋脚の耐震補強工事例” 橋梁と基礎 1996.8	
19	既設橋梁の補強	鋼製橋脚	コンクリート充填工法	コンクリートを充填したことによる橋脚基部の耐力アップに対する影響	中井，北田，“鋼製橋脚にコンクリートを充填することに関する諸問題” 橋梁と基礎 1996.10	
20	既設橋梁の補強	上部工	ブロック型ゴム被覆チェーン落橋防止装置	棒状のゴム被覆チェーンは長尺で施工性が劣るため、U型形状に折り曲げることでコンパクト化を図り、桁遊間部のスペースで取り付け可能としたブロック型ゴム被覆チェーン落橋防止装置を開発。補強効果を数値実験で確認。	関，宇野，西岡，“緩衝性のある落橋防止装置－ブロック型ゴム被覆チェーン式落橋防止装置―”、橋梁と基礎、1997.1	○
21	既設橋梁の補強	RC 橋脚	鋼板巻立て工法	既設ＲＣ２方向ラーメン橋脚（３径間連続ラーメンＴ桁橋）の鋼版巻立て補強工事における耐震設計計算例	田坂，浦田，“鋼板巻立て工法によるＲＣ２方向ﾗｰﾒﾝ橋脚の耐震補強設計例” 橋梁と基礎 1997.5	

表－3.5.1(b)　道路橋の耐震補強法に関する資料一覧表

No.	資料分類	補強対象部位	技術・工法名	補強概要	文献	備考
22	既設橋梁の補強A	RC橋脚（段落し部）	RC巻立て工法に準じた吹付けモルタル工法	橋脚段落し部の補強に吹付けモルタル工法を採用した例 工法の概要　今後の適用性	本木、井ヶ瀬、“吹付けモルタル工法による道路橋段落とし部の耐震補強”　橋梁と基礎 1999.4	
23	既設橋梁の補強	高架橋	落橋防止システム	共用下の既設橋梁における落橋防止システムの適用に関する基本的な考え方および施工事例　緩衝チェーン、緩衝ピン、鋼製箱形防止壁	伊藤、石川、“供用下の高架橋における落橋防止システムの設計・施工”　橋梁と基礎 1999.4	
24	橋梁の補強	鋼製橋脚	コンクリート充填工法、リブ増設工法、隙間あけ鋼板巻立て工法	鋼製橋脚の補強設計法と縦リブ補強の施工事例	山崎、半野、“首都高速道路における既設鋼製橋脚の耐震補強（上）、（下）”　橋梁と基礎 1999.6,7	
25	既設橋梁の補強	橋脚	リブ増設、コンクリート充填など	鋼製橋脚およびＲＣ橋脚の耐震補強工法の概念	今村、“首都高速道路の既設橋脚に耐震補強”　橋梁と基礎 1999.8	
26	橋梁の補強	鋼製橋脚	じん性の向上	コンクリート充填のように柱の耐荷力や剛性を著しく増加させることなく、鋼製橋脚のじん性を高めることのできる工法を、矩形断面、円形断面について提示している。	西川、山本、“既設鋼製橋脚の耐震性能改善方法に関する実験的研究”構造工学論文集　Vol.42A　1996.3	
27	既設橋梁の補強	鋼製橋脚	鋼製断面補強	鋼製橋脚の耐荷力を上昇させず、じん性のみを向上させるような補強方法を矩形断面、円形断面で提案し、実験により補強効果を確認。 矩形断面；４角をアングルで補強 円形断面；隙間あけ鋼鈑巻立て補強工法	西川、山本、“既設橋脚の耐震補強に関する実験”阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集　1996.1	○
28	既設橋梁の補強	支承部	免震化工法	従来の既設橋梁免震構造化工事の問題点を解消し、橋桁の小さい変位量で免震化による地震力の低減が発揮され、交通規制が少なく、短時間で施工可能な免震化工法	竹田、長谷川、“既設橋梁に適した免震化工法”　阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集　1996.1	○
29	既設橋梁の補強	RC橋脚	中間帯鉄筋の配置 鋼より線巻き付け工法 高強度鉄筋のRC巻立て工法	RC巻立てを対象とした、かぶりコンクリートを除去しない合理的で施工性の良い３工法を開発　・壁式橋脚を対象にしたｽﾘｯﾄを用いて中間帯鉄筋を配置する工法　・円柱橋脚を対象にしたPC鋼より線巻き付け工法　・高強度鉄筋を用いたRC巻立て工法	古市、天野、“既存ＲＣ橋脚の新しい耐震補強工法”　阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集　1996.1	
30	既設橋梁の補強	RC橋脚	鋼板巻立て補強	河川部分における既設河川護岸の崩壊を防止するための山留工（コルゲートパイプ圧入工法）を行い、橋脚の補強を実施。	永池、長田、“河川内における高速道路橋脚の耐震補強”第２回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1998.7	
31	橋梁の補強	建築，道路，鉄道構造物	各種耐震補強工法事例	・耐震診断と耐震補強　・被災度判定と復旧　・既設道路構造物の補強　・被災道路構造物の復旧　・補強・復旧の事例　・耐震補強の研究と補強構造物の性状	“コンクリート構造物の耐震復旧・耐震補強技術と事例”日本コンクリート工学協会　1998.8	○
32	橋梁の補強	橋梁	各種耐震補強工法事例	・兵庫県南部地震の被害と教訓 ・震災構造物の復旧　・既存構造物の補強　・補強の実施ＥＩ	“兵庫県南部地震に関する耐震技術特別研究委員会報告書”日本コンクリート工学協会　1997.4	
33	既設橋梁の補強	RC橋脚	プレキャストパネルを用いた補強	耐震補強用プレキャストパネルを補強する既設柱の外周に設置し、継手鋼材によって閉合した後、パネルと既設柱との空隙を低収縮モルタルによって充填する工法。現場溶接の排除、施工の合理化、メンテナンスフリーの実現を目指しプレキャストパネルによる補強工法	鈴木、渡辺、“プレキャストパネルによるＲＣ橋脚の耐震補強工法”　耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1997.7	○
34	既設橋梁の補強	橋脚	免震化（免震沓の設置）	橋脚が護岸に接近しており、巻立て工法による耐震補強が困難なために、免震化によって耐震性を向上。	森山、佐藤、“既存PC単純Ｔ桁橋における新しい免震化工事の設計と施工―北陸自動車道・金沢高架橋十人川橋―”耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1997.7	
35	既設橋梁の補強	橋脚、上部工	落橋防止装置（ゴム緩衝ピン）	ゴム緩衝ピンを用いためがね型の落橋防止連結装置	石川、園田、“ゴム緩衝ピンを用いた落橋防止装置の耐震補強効果について”　耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1997.7	
36	既設橋梁の補強	RC ラーメン橋脚	帯状鋼材の巻立て工法	RCラーメン橋脚梁部のせん断補強 支承や落橋防止構造などのために、全面を補強部材で巻き付ける工法の採用が困難な場合を想定して、施工性を考慮した帯状鋼材を使用し、あらかじめ籠状に成型した補強部材を用いた工法。	長屋、運上、“帯状鋼材の巻立てによるRCラーメン橋脚梁部のせん断補強法に関する実験的研究”第３回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1999.7	○

表－3.5.1(c)　道路橋の耐震補強法に関する資料一覧表

No.	資料分類	補強対象部位	技術・工法名	概　　要	文　　献	備考
37	既設橋梁の補強	ＲＣ橋脚	薄層モルタル工法	既設橋脚に必要量の補強鉄筋を設置し、特殊なモルタルを吹き付けることにより一体化する。河積阻害率などで断面が大きく増やせない場所などに適用	木村、山下、“薄層モルタルを用いた道路橋の耐震補強工法”　第３回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1999.7	
38	既設橋梁の補強	ＲＣ橋脚	繊維補強（基部耐力のｱｯﾌﾟ）	繊維シートを補強材として使用する場合の角部への定着方法の提案	古谷、皆川、“繊維シートによるRC部材の補強における定着方法に関する研究”　第３回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1999.7	
39	橋梁の補強	鋼製橋脚	ぜい性的な破壊モードを防ぐ構造細目	道路橋示方書に取り込まれた鋼製橋脚の耐震設計に関する基本的な考え方と方法について	西川、村越、“道路橋示方書における鋼製橋脚の耐震設計について”　鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集　1997.5	○
40	既設橋梁の補強	鋼製橋脚	コンクリート充填補強 鋼製断面補強	首都高速道路公団における鋼橋脚の補強方法の概略 矩形断面の補強　横リブ増設工法、縦リブフランジ補強、縦リブ増設、コンクリート充填補強 円形断面の補強　縦リブ増設工法、隙間あけ鋼鈑巻立て補強工法、ｺﾝｸﾘｰﾄ充填	小坂、半野、“既設鋼製橋脚の耐震補強に関する一手法”鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集　1997.5	○
41	既設橋梁の補強	橋脚	ＲＣプレキャストパネル工法	ＲＣ既設柱の周囲をプレキャストパネルで囲み、パネルと既設柱との間に低収縮モルタルを充填する工法	橋梁新聞　H9.5.12 日径ｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ 6-27, 1997.6	
42	既設橋梁の補強	RC 橋脚	ＰＰモルタル補強	RC 橋脚の後施工鉄筋を併用する PP モルタル巻立てによる耐震	橋梁新聞　H9.8.21	
43	既設橋梁の補強	RC 橋脚	モルタル吹付け工法	既存柱を帯鉄筋で補強し、表面仕上げが可能な吹付けモルタルで一体化する。	橋梁新聞　H9.8.21	
44	既設橋梁の補強	RC 橋脚	ＯＳＲ工法	RC 橋脚のせん断補強及びじん性の向上を目的としている。 帯鉄筋としてフープ状の PC 鋼材と特殊定着具を用いて、巻立てコンクリートにプレストレルを導入する。	廣瀬、石澤、吉岡、“RC 橋脚耐震補強のための PC 巻立て工法、土木学会構造工学論文集、Vol.43A,1997	○
45	既設橋梁の補強	RC 橋脚	アラミド補強	店舗隣接橋脚　アラミド繊維のプレキャスト板を使用	橋梁新聞 H10.3.21	
46	既設橋梁の補強	基礎	鋼製ケーソンを用いた仮締切工法	鋼管矢板を海底に打ち込む方法にかわる方法	橋梁新聞 H10.10.21	
47	既設橋梁の補強	ＰＣ桁	アウトケーブル補強	アラミド繊維によるアウトケーブル補強	橋梁新聞 H10.10.21	
48	既設橋梁の補強	壁式 RC 橋脚	ＮＳＪ工法	予め工場で異形平鋼の圧延継手を鋼板の四方に取り付けた NSJ パネルの継手を現場で縦横に重ね合わせ、ボルトで固定する現場溶接ゼロの鋼板巻立て工法	橋梁新聞 H11.3.21	
49	既設橋梁の補強	ＲＣ橋脚	ＲＢ工法	鋼鈑巻立て工法に代わる補強工法（高架下に店舗がある場合などに採用） RC 橋脚の四隅に支持材を取り付け、補強鉄筋で固定する。（せん断補強）	橋梁新聞 H11.7.1	
50	既設橋梁の補強	RC 橋脚	トレカラミネート工法	炭素繊維強化プラスチック（CFRP）板をエポキシ樹脂で既設構造物の表面の張り付け補修・補強を行う工法、炭素繊維巻立て工法の現場での樹脂による硬化	日経ｺﾝｽﾄﾗｸｼｮﾝ 2-13, 1997.2	
51	既設橋梁の補強	基礎	割増工法、地盤改良	低空頭下での増杭基礎と用地制約下での直接基礎の補強施工。 この直接基礎は、被災杭基礎フーチングの直下を高圧噴射置換工法により地盤改良して、杭基礎を改良地盤上の直接基礎として扱えるように補強したもの。	岡下、“神戸港ハーバーハイウｪｲ橋脚基礎耐震補強における狭隘施工”　基礎工 1998.8	
52	既設橋梁の補強	基礎	フーチング増厚、増杭	基礎の復旧工法と施工上の問題点を整理。 低空間での高架下における増杭施工、静的破砕材による橋脚基部の取壊し、ベースプレート拡幅による基部補強	石川、“震災復旧橋梁における基礎の復旧―国道２号浜手バイパスと国道 43 号岩屋高架橋―“　基礎工 1996.9	
53	既設橋梁の補強	橋梁	ﾎﾞｱﾎｰﾙｶﾒﾗによる基礎杭調査、上床版厚、支承変更、増杭	ＲＣ５径間連続中空床版橋の復旧設計と基礎杭の補強設計・施工 桁下空間のない、同時期に多数の杭施工が重複する補強	多久和、“名神高速道路・中国自動車道の復旧設計と橋脚基礎の健全度判定および補強”　基礎工 1996.9	
54	既設橋梁の補強	基礎	基礎の補強工法	橋梁と基礎の被害，基礎の復旧工法，地盤の液状化	塩井、“橋梁構造物基礎の復旧・補強と今後への課題、提言”　基礎工 1996.9	

表－3.5.1(d)　道路橋の耐震補強法に関する資料一覧表

No.	資料分類	補強対象部位	技術・工法名	補強概要	文献	備考
55	既設橋梁の補強	基礎	深層混合処理による地盤改良	鋼管矢板井筒基礎の周囲を深層処理にて地盤改良する液状化対策工事例、基礎の再構築事例、、	山崎、"神戸市における道路橋基礎の被害と復旧"　基礎工 1996.9	
56	既設橋梁の補強	基礎杭	増杭工法、高圧噴射撹拌工法による改良等	既設の杭基礎の周辺に増杭を行い、既存ﾌｰﾁﾝｸﾞと一体化した新設ﾌｰﾁﾝｸﾞを設置する方法例、高圧噴射撹拌工法により地盤改良し、群杭と地盤を直接基礎として一体化する方法例、等	松井、"土木構造物基礎の復旧・補強と今後への課題、提言"　基礎工 1996.10	○
57	既設橋梁の補強	基礎	増し杭工法	増し杭工法の設計概要および増し杭工法の施工	岡下、小島、"ハーバーハイウエイ基礎の増し杭"　橋梁と基礎 1996.8	
58	既設橋梁の補強	橋脚	ＲＣ橋脚の補修・補強構造	ＲＣ橋脚の復旧工事を行うに際して行った、各種の補強方法の効果に関する実験的検討と再構築・補強橋脚の実物大試験体を用いた鉄筋やコンクリート打設などの施工性についての確認実験　の結果について	林、幸左、"阪神高速道路３号神戸線のＲＣ橋脚復旧設計"　1997.2	
59	既設橋梁の補強		落橋防止装置 緩衝チェーン、緩衝ピン	ゴム等を使用した衝撃緩衝材として開発した緩衝チェーンおよび緩衝ピンの実験的研究と施工事例の報告	浮島、生駒、"ゴム製緩衝材を用いた落橋防止装置の実験的研究及び落橋防止システムの施工事例"第２回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ講演論文集　1998.7	
60	既設橋梁の補強	桁	桁横移動工法（リフターシステム，吊込式横取装置による工法、打上式横鳥装置による工法）	震災により、橋桁全体が大きく横移動し、沈下したPC桁橋に対して行った桁位置修正工事報告	吉川、林、"震災により横移動した高架橋の桁移動"プレストレストコンクリート　Vol.39,No.1,1997,1	
61	既設橋梁の補強	基礎	増杭工法、地盤改良	増杭による基礎補強、増杭が困難な場所は地盤改良によって基礎の安定を図る。	白川、小林、"阪神・淡路大震災における神戸新交通ポートアイランド線の復旧について"　阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集　1996.1	
62	液状化対策	地盤	置換工法	液状化の危険性のある地盤自体を液状化の発生しにくい材料に置き換えてしまう工法 掘削置換工法（全掘削置換）、掘削置換工法（部分掘削工法）、押出し置換工法（強制置換工法）	"地震に強い土木"、日経コンストラクション編	○
63	液状化対策	地盤	締め堅め工法	液状化しやすい緩い砂地盤を衝撃、振動を加えることにより締め固め、地盤の強度を増加し液状化する工法 ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法，ﾛｯﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ工法，ﾊﾞｲﾌﾞﾛﾌﾛｰﾃｰｼｮﾝ工法等	"地震に強い土木"、日経コンストラクション編	○
64	液状化対策	地盤	固化工法	地盤の固結による液状化対策には、深層混合処理工法、注入固化工法などがあるが、実績が多い工法は、セメント系深層混合処理工法である。 最近の主な固化工法を示す。	"地震に強い土木"、日経コンストラクション編	○
65	液状化対策	地盤	ドレーン工法	排水性の高いドレーン材を液状化地盤に造成し、地震時に発生する過剰間隙水圧を抑制、消散させる工法。 主なドレーン工法とその概要および最近の主な新工法を示す。	"地震に強い土木"、日経コンストラクション編	○
66	液状化対策	地盤	液状か対策工法の原理	液状化対策工法の変遷および対策工法の原理の整理	佐々木、"液状化対策技術の変遷"　1995.10	
67	液状化対策	地盤	スーパーライムパイル（ＳＬＰ）工法	地盤中にパイル状に打設した硬焼生石灰の水和膨張反応を利用して、緩い砂地盤を静的に締固める液状化対策工法。浄水タンクでの実施例。	光成、伊勢本、"スーパーライムパイル工法の実施例"基礎工 1995.10	
68		地盤	スパイラルドレーン工法	原理的には非排水工法あるいは過剰間隙水圧消散工法の一つとして位置づけられ、振動・締固め工法が適用しにくい既設構造物近傍でも施工可能であることを大きな特徴としている。港湾や護岸への実施例。	島、石倉、"スパイラルドレーン工法の設計・施工例"　基礎工 1995.10	
69		地盤	排水機能付き鋼材による液状化対策工法	地震時に鋼材周辺地盤の過剰間隙水圧の上昇を抑え、かつ、早期に逸散させるため地盤強度が保持され，地盤の抵抗をより期待できる工法。	才村、飯田、"排水機能付き鋼材による液状化対策工法"基礎工 1995.10	
70	D		落橋防止構造、鋼版巻立て補強	米国カルフォルニア州における既設道路橋の耐震補強の経緯と基本的な考え方の紹介 落橋防止構造（桁間連結装置）例、橋脚の耐震補強方法の検討（RC巻立，ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽｽﾄﾗﾝﾄﾞ巻立、鋼鈑巻立の中では鋼鈑巻立が最適としている。）	川島、岩崎、"米国における既設道路橋の耐震補強プログラム"　橋梁と基礎 1990.3	

表－3.5.1(e)　道路橋の耐震補強法に関する資料一覧表

No.	資料分類	補強対象部位	技術・工法名	補強概要	文献	備考
71	橋梁の補強		免震化	日本における免震橋の建設状況および免震設計技術の開発状況（高減衰積層ゴム）	大塚、運上、“免震設計技術の開発と免震橋梁の建設” 橋梁と基礎 1996.8	
72	橋梁の補強		桁連続化、免震化	桁の連続化に伴う免震支承の使用、その設計・施工概要	久保田、“免震支承を用いた鋼Ｉ桁の連続化” 橋梁と基礎 1996.8	
73	橋梁の補強		免震技術	鉛押出しダンパー、低降伏点鋼曲げダンパー等、開発された免震デバイスの報告	大塚、運上、“高減衰材料を用いた長大橋の免震技術の開発に関する共同研究” 1996.8	
74	橋梁の補強	橋脚	鋼鈑巻立て工法	補強鋼版の効果など、解析により被災状況を明確に再現	佐藤、前川、足立、“３号神戸線築山地区における構造物被災と入力地震動” 橋梁と基礎 1997.3	
75	橋梁の補強		連続繊維補強材	橋梁における連続繊維補強材の施工実績一覧表 連続繊維補強材に関する国内の論文・文献一覧表 連続繊維補強材に関する海外の論文・文献一覧表	“連続繊維補強材に関する資料集” 1997.8	
76	橋梁の補強	橋脚	コンクリート充填	設計実務に際しての問題点について検討 最適充填高さの初期値はどの程度か？ 最適充填高さのときの変形性能はどの程度か？ 鋼製橋脚の耐震性能に影響を与えるパラメータの敏感度は？	宇佐美、“コンクリート部分充填鋼製橋脚の耐震性能” 橋梁と基礎 1997.9	
77	橋梁の補強		免震	静岡県内の第二東名高速道路に用いる免震支承の考え方、免震支承の標準化について	猪熊、大橋、“第二東名高速道路の免震支承の標準化に関する検討” 198.12	
78	既設橋梁の補強	RC 橋脚	鋼板巻立て工法（基部の曲げ耐力アップ）	鋼板をフーチングにアンカー筋で定着し、橋脚柱の曲げ耐力を増加させて変位を制御するように補強設計された橋脚に対しする補強効果確認実験	前川、田坂、“曲げ耐力補強橋脚に対する鋼板剥離の影響の実験” 橋梁と基礎 1998.10	
79	橋梁の補強	上部工	落橋防止構造 ベルダンパー	小型・軽量で大きな衝撃エネルギー吸収能力を有する緩衝材ベルダンポーを用いた落橋防止装置。ベルダンパーは、通常のゴム性緩衝材やオイルダンパーなどよりも優れたエネルギー吸収特性を有する。	窪田、菅野、上東、“緩衝効果を有する落橋防止装置の衝突実験及び効果の検証”、土木学会第 52 回年次学術講演会Ｉ-B208,1996.9	○

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強工法	プレキャストパネルを用いた補強工法	設計法	あり
補強の目的	せん断耐力およびじん性の向上を図る。				

(概　要)

一般にコ字型に成型された耐震補強用プレキャストパネルを補強する既設柱の外周に設置し、継手鋼材によって閉合した後、パネルと既設橋脚との空隙を低収縮モルタルによって充填することによって施工される。パネルはあらかじめ適切な寸法で工場にて製造されたプレキャスト製品であり、パネル内には補強仕様に応じて所要の帯鉄筋を内包することができる。

この工法は、鉄道総合技術研究所、「既存鉄道コンクリート　高架橋柱等の耐震補強設計・施工指針－RC プレキャスト型枠工法編－」平成８年１２月にまとめられている。

(特　徴)

・既設橋脚の周囲を耐久性に優れたプレキャストパネルで囲むため、塗装、保護工などが不要でメンテナンスフリーが実現できる。
・基本的にプレキャストパネルを積み重ねて、既設柱とパネルとの空隙を充填するだけの工法であり、工種が少なく急速施工が可能。

(使用材料)

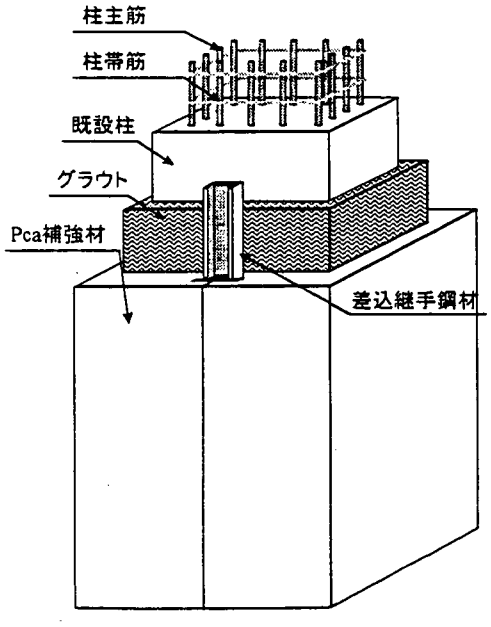
補強用プレキャストパパネル、グラウト用モルタル材、継手鋼材

(留 意 点)

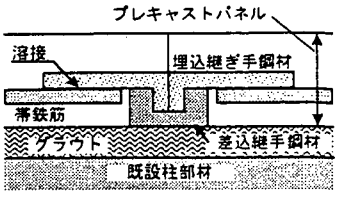
・施工精度の確保
・耐久性保持（施工後の雨水などの浸入による鋼材の腐食を防ぐため、プレキャストパネル同士の水平目地および鉛直目地は、コーチング材などによる止水処理を施す必要ある。）

(適用部材)

ＲＣ橋脚



工法概要

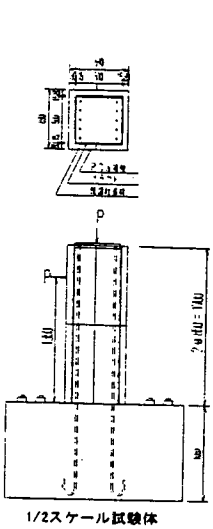


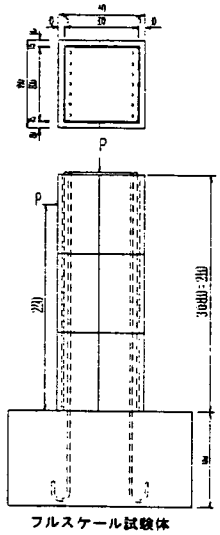
継ぎ手の構造

参考文献	鈴木、中島、三島、渡辺、“プレキャストパネルによるＲＣ橋脚の耐震補強工法”、耐震補強・補修技術、耐震診断に関するシンポジュウム講演論文集、１９９７．７

補 強 効 果 （実験例）

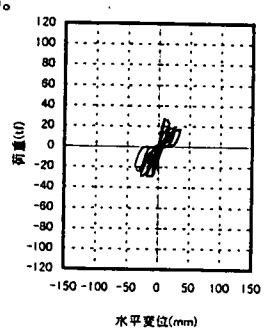
（実験供試体）





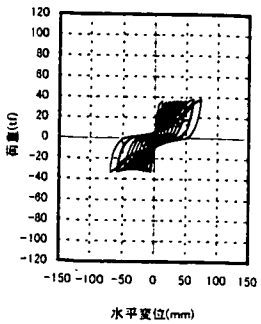
（実験結果）

- 無補強の試験体が2 δy への加力途中でせん断破壊したのに対し、補強試験体は10 δy 以上の変形性能を有することが確認された。
- 閉合型プレキャストパネルは、既設柱部材に対する拘束度合が強く、剥離しにくいため、既設柱部材との一体性が高い。



No. 5

無補強



No. 6

補 強

（施工）

標準的な施工フローを示す。

(1) 使用材料の搬入および保管
- 耐震補強用プレキャストパネル
- グラウト用モルタル材料
- その他

↓

(2) 準備工
- 既存設備の移設、撤去
- 既設柱コンクリートの清掃
- 足場等の仮設

↓

(3) 耐震補強用プレキャストパネル組立工
- 設置面のレベル出し、敷きモルタル
- 耐震補強用プレキャストパネルの吊込み
- 継手の接合
- 積み重ね用治具取り付け
- 止水用ゴムまたはモルタル等敷設
- 2段目以降の耐震補強用プレキャストパネルの吊込み

以下、所定高さまで繰り返し

↓

(4) グラウト工
- グラウト用設備の設置(ポンプ、ホース等)
- グラウト用モルタル練り混ぜ
- グラウト用モルタルの品質試験
- グラウト注入
- 注入確認
- 清掃、片付け

↓

(5) 表面仕上げ工
- 目地コーキング
- 清掃

↓

(6) 既存設備復旧工
- 既存設備の復旧
- 仮設材の撤去

↓

終 了

参考文献

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強工法	曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法	設計法	有り
補強の目的	段落し部の補強とともに、橋脚の曲げ耐力およびじん性の向上を図る。				

(概　要)

・鉄筋コンクリート橋脚に鋼板を巻き立て、鋼板と一体となったアンカー筋をフーチングに定着させるものであり、鋼板の板厚、アンカー筋の径、本数などを調整して必要な補強効果を得る。

(特　徴)

・アンカー筋の径、本数によりフーチングに作用する地震力を調整できる。

・断面増加量が少ない。

(使用材料)

・鋼材（鋼板、形鋼、アンカー筋）、充填材（無収縮モルタルあるいはエポキシ樹脂）

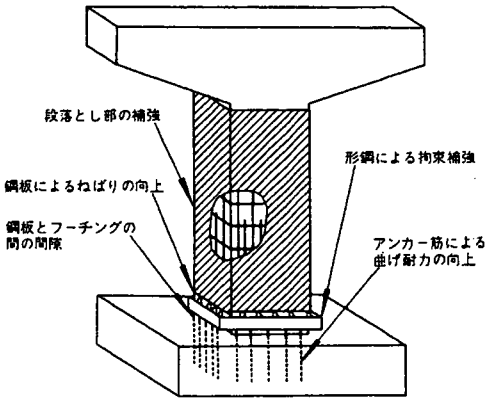
(留 意 点)

・橋脚大変形時に鋼板がフーチング上面接触しないように、鋼板とフーチングとの間に隙間を設けている。

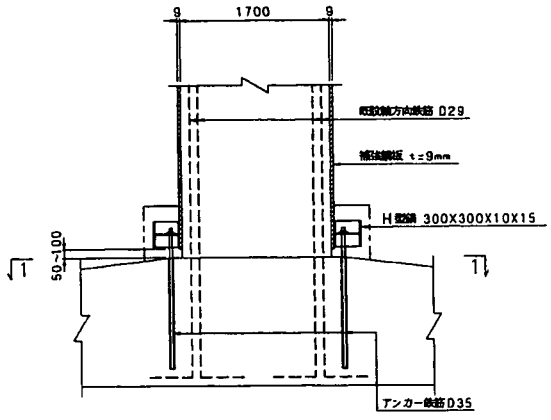
・矩形橋脚では橋脚基部での鋼板のはらみ出しを防止するため、形鋼で補鋼する必要がある。

(適用部材)

・円形橋脚、矩形橋脚



補強工法概念図



補　強　事　例

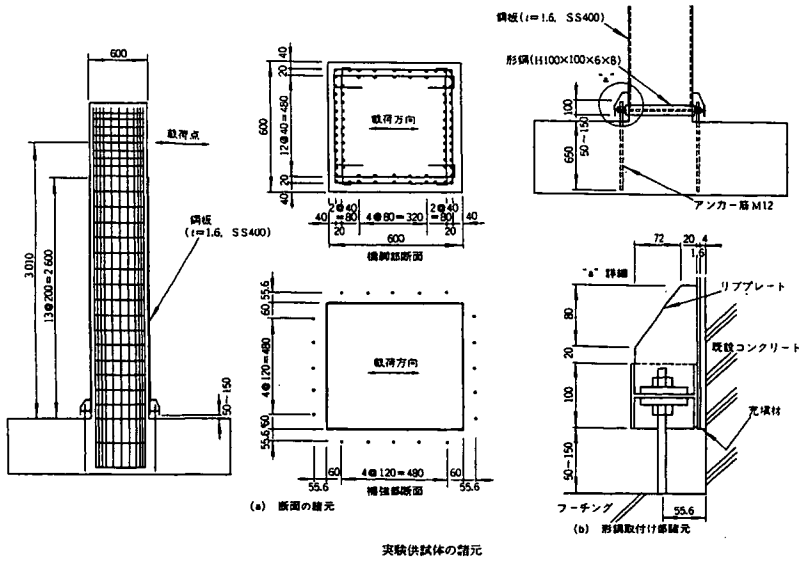
参考文献

川島一彦、星隅順一、大塚久哲、長屋和宏、中野政則：鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強法とその設計、橋梁と基礎、Vol.30、No.1、1996.1

日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料、H9.8

補 強 効 果 （実 験 例）

（実験供試体）



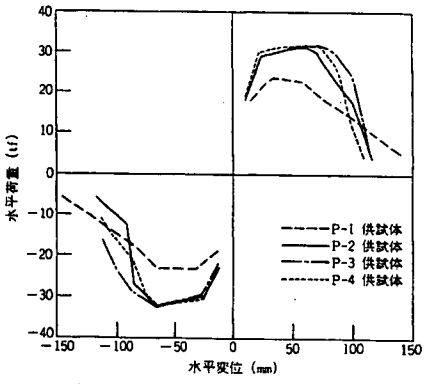
実験供試体の諸元

（実験結果）

- 曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により、橋脚の耐力の増加割合をコントロールしつつじん性を向上できた。また、エネルギー吸収性能や減衰性能も向上した。
- 鋼板下端とフーチング上面に設ける間隔長が 5cm, 10cm, 15cm の場合を比較すると、最大耐力はいずれも等しいが、じん性は間隔長が小さい方が大きくなった。

表　　耐力および変形性能

供　試　体		P－1	P－2	P－3	P－4
鋼板下端とフーチング上面の間隔長		無補強	10cm	5cm	15cm
耐力	降伏耐力 Py(tf)	18.8	21.3	20.2	21.5
	最大耐力 Pu(tf)	23.1	31.8	31.7	31.9
	Pu／Py	1.2	1.5	1.6	1.5
変形能	降伏変位 δy(mm)	16.0	12.7	12.7	12.7
	終局変位 δu(mm)	87.0	96.5	110.9	96.0
	じん性率 δu／δy	5.4	7.6	8.7	7.6



補強効果が履歴曲線の包絡線に及ぼす影響

参考文献　川島一彦、星隅順一、大塚久哲、長屋和宏、中野政則：鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強法とその設計、橋梁と基礎、Vol. 30、No. 1、1996. 1

補強対象部位	RC ラーメン橋脚梁部	補強工法	帯状鋼材の巻立て工法	設計法	あり
補強の目的	せん断耐力の向上お図る。				

(概　要)

あらかじめL型鋼材と帯状鋼材を溶接した籠状の補強部材を施工現場に搬入し、RC 橋脚梁部下面より補強部材籠をはめ込み梁上部でボルトとナットを用いて結合する工法を想定し、帯状鋼材を使用し、あらかじめ籠状に成型した補強部材を用いた補強工法提案している。

(特　徴)

・ラーメン橋脚梁部のように、支承や落橋防止装置などが取り付けられ部材全面をせん断補強部材で巻き付けることができない部材に適用できる。

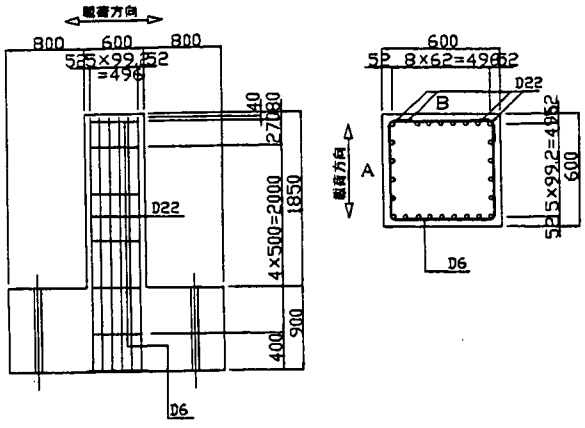
(使用材料)

L型鋼材、帯状鋼材など

(適用部材)

RCラーメン橋脚梁部

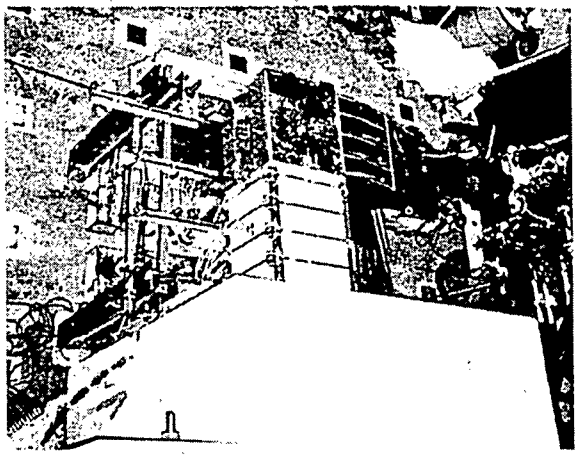
(実験試験体)



無補強供試体

Case	断面図	側面図	t×b (mm)	a (mm)
1		鋼板 600 鋼板 1500		
6		補強鋼材 600	9×22	200
7			9×16	200
8			12×32	400

補強概要



載荷実験状況

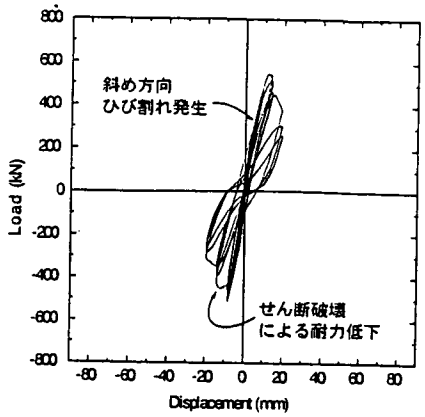
参考文献	長屋、運上、足立、加賀山、富永、“帯状鋼材の巻立てによる RC ラーメン橋脚梁部のせん断補強法に関する実験的研究”、第３回耐震補強・補修技術、耐震診断に関するシンポジュウム講演論文集、１９９９．７

補 強 効 果 （実験例）

（実験結果）

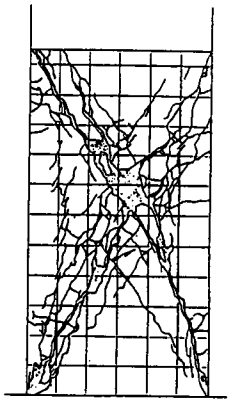
・帯状鋼材で補強した模型試験体では、帯鉄筋の降伏後も帯状鋼材が大きく降伏ひずみを越えることなく補強鋼材が有効の作用しており、補強効果を確認。

・無補強試験体は、1.5δy 載荷時に、加力点から梁端部にかけてX字状のせん断クラックが発生し、進展し、脆性的なせん断破壊にいたる。一方、帯状鋼材で補強した模型試験体は、３δy 載荷時にX字状のクラックが発生する。その後載荷の進行とともにひびわれが進行し、5δy で水平耐力が大きく低下する。　帯鋼材での補強が、脆性的なせん断破壊性状を変えるせん補強効果を確認した。



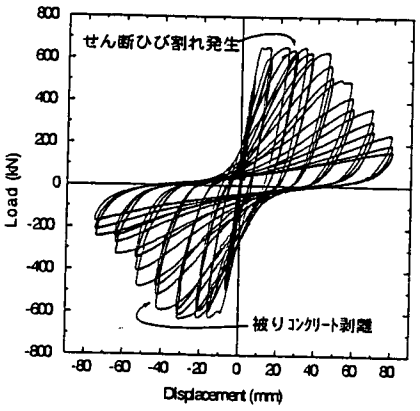
a) Case0模型供試体

無補強



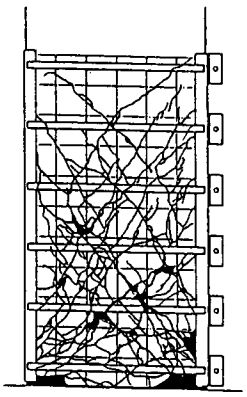
a) Case0模型供試体

無補強



c) Case6模型供試体

補 強



c) Case6模型供試体

補 強

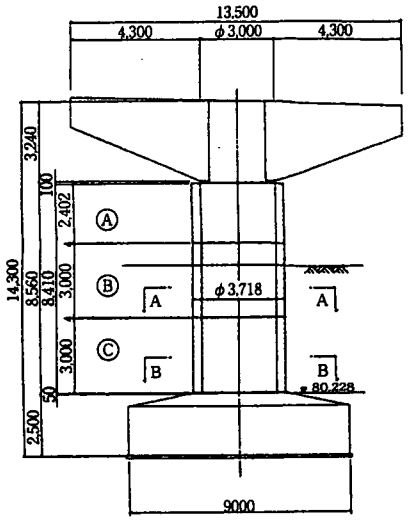
参考文献

補強対象部位		補強工法	スパイラル筋によるＲＣ橋脚補強		
補強の目的	じん性向上および耐力向上				

1．現況

（橋脚の概要）

せん断耐力が不足しているＲＣ橋脚。
脚柱高さ８．０m～９．０m
柱径　　３．０m



図－　　補強対象橋梁

2．補強工法

ＲＣ巻立工法およびＲＣ・鋼板巻立併用工法の場合、補強部分の帯鉄筋は一般的にフレアー溶接により一体化され取付けられている。しかし、帯鉄筋が増え施工が煩雑であること、品質管理に注意が必要となることなどの問題がある。

円柱に限定されること、および柱径に制限があるなど制約があるが、スパイラル筋を橋脚全体に巻付ける工法を採用した。この方法は、帯鉄筋のフックおよびフレアー溶接箇所が大幅に減少し、配筋作業の効率化を図るとともに、品質管理が簡単になる。

補強帯鉄筋の代わりにスパイラル筋を用いたＲＣ巻立て補強工法である。

（補強の概要）

従来の補強帯鉄筋の代わりにスイラク筋を用いたＲＣ巻立補強の試験施工
補強範囲　　：柱部全面
ＲＣ巻立て厚：３cm
スパイラル筋：ＳＤ295Ａ　Ｄ１６　１５０mm
補強軸方向筋；ＳＤ345　　Ｄ３８

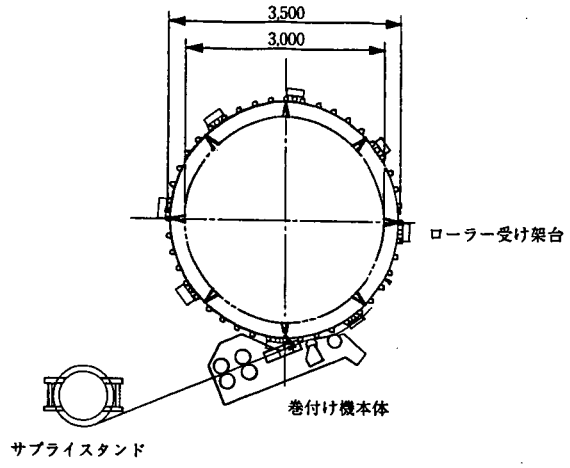
・スパイラル筋巻付けのための使用装置

スパイラル筋巻付けのための装置は、直径1.5m程度のコイル状に予備成形したスパイラル筋を、その曲率を矯正しながら橋脚の周囲にいったｎ巻取るもので、スパイラル筋を送り出すサプライスタンド、成形ローラー、巻付け機などで構成される。図－　　に巻付け装置配置を示す。

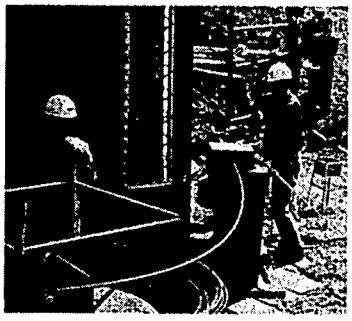
異なる径のスパイラル筋に対応できるようにするためには、装置の改良が必要である。

・写真－　　にスパイラル筋の巻付け過程を示す。

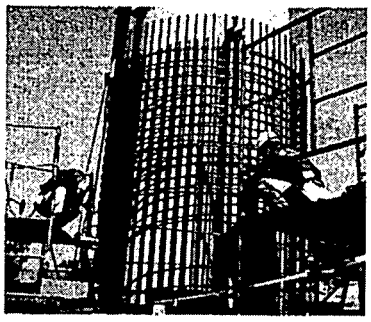
参考文献	“スパイラル筋によるＲＣ橋脚の耐震補強工法について”　基礎工　１９９９．４　Vol.27、No.4 宮本



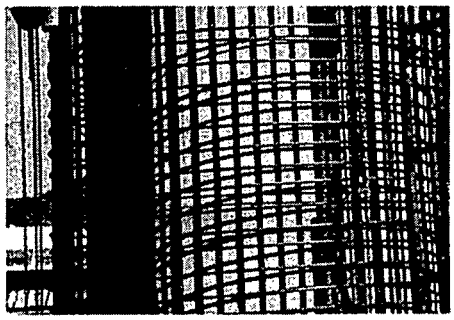
図－　　スパイラル筋巻付け装置配置



写真－　巻付け状況（ローラー受け架台に送り出し中）



写真－　1次固定状況（クリップで所定のピッチに固定していく）



写真－　巻付け完了

写真－　　スパイラル筋巻付け過程

参考文献

補強対象部位	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ橋脚	補強技術名	ＯＳＲ工法	マニュアル	有 (無)
補強の目的	PC鋼材巻立てによるRC橋脚耐震補強工法				

(概要)

- 道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震編に基づいてRC橋脚の耐震補強を行う。
- 橋脚のせん断補強及び靭性の向上を目的としている。
- 帯鉄筋としてフープ状のＰＣ鋼材と特殊定着具を用い、巻立てコンクリートにプレストレスを導入する。

(特徴)

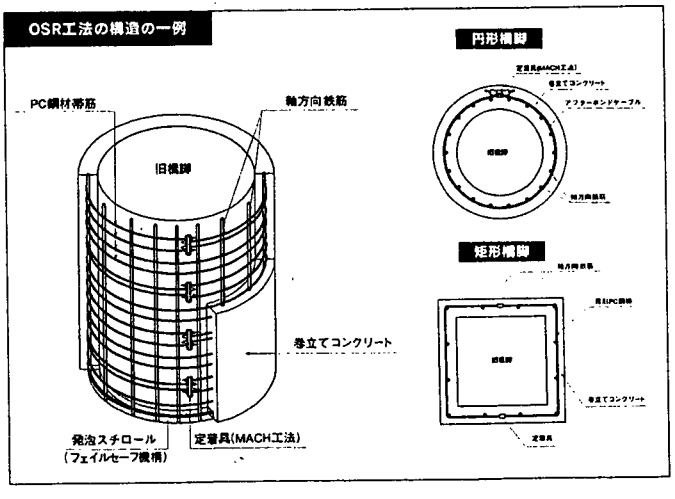
- フープ状緊張材定着装置（ＭＡＣＨＩ工法：神鋼鋼線(株)が開発）を用いているため、帯鉄筋のようにフックやフレア溶接の必要が無く、信頼性の高い定着が可能であり、構造物が破壊に至るまで確実に帯鉄筋（横方向拘束）として機能する。
- ＭＡＣＨ工法で巻立てコンクリートにプレストレスを導入するため、新旧コンクリートは確実に一体化される。
- プレストレスの導入により、コンクリートのせん断ひび割れ幅の制御、かぶりコンクリートの剥落防止を行うことができる。
- 乾燥収縮ひび割れの防止を行うことができる高流動コンクリートを用いているので、高さのある巻立てコンクリートを打ち込む場合、確実にコンクリートを充填することができる。
- 橋脚基部にフェイルセーフ機構（安全機構）を設けることにより、計画的に橋脚基部で破壊が生じ、フーチングの破壊を防止することができる。このことは、復旧時に簡単な工事で可能である。

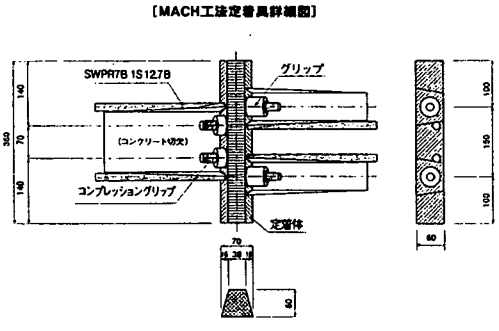
(使用材料･使用器材)

- 鋼材（ＰＣ鋼材、鉄筋）
- ＭＡＳＨ工法定着具
- 高流動コンクリート　　等

(留意点) 巻立てコンクリートの打ち込みを確実に行う。

(適用部材) ＲＣ橋脚 柱部材など





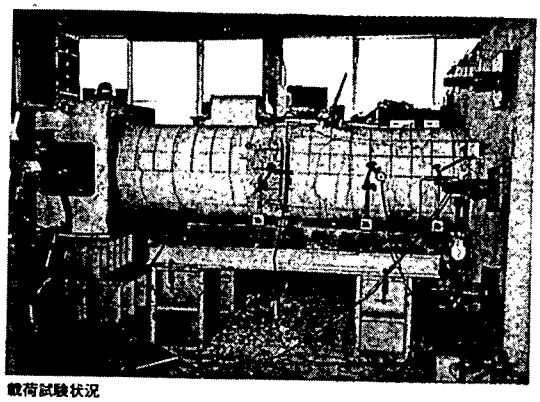
(特許の有無) 無し

参考文献(効果確認)	廣瀬、石澤、吉岡、狩野：ＲＣ橋脚耐震補強のためのＰＣ巻立て工法、土木学会構造工学論文集 Vol. 43App1285～1294, 1997

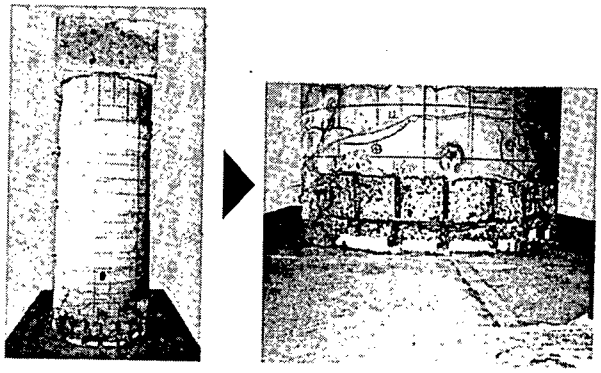
補 強 効 果 （ 実 験 事 例、 適 用 事 例 ）

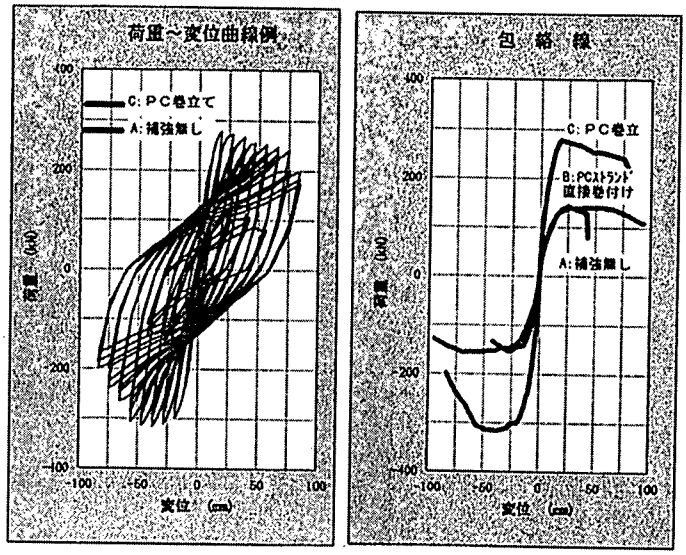
（ＯＳＲ工法の耐震補強効果）コンクリート増厚、ＰＣストランド帯鉄筋工法（ＭＡＣＨ工法）を用いた場合

・フェイルセーフ機構による効果
　フーチングに損傷を与えず、また、橋脚部の損傷範囲も、橋脚基部の狭い範囲に限定されている。
・ＭＡＣＨこうほうによる補強効果
かぶりコンクリートの剥落、鉄筋の座屈、破壊後も形状を保持し、工法の信頼性が確認できる。



載荷試験状況





（適用事例）

1．片倉高架橋：山口県道路公社
2．山家３号橋：福岡県道路公社
3．四つ目川橋：ＪＨ名古屋管理局
4．明治村１号橋：愛知県
5．音谷橋：徳島県相生土木事務所
6．弥勒寺橋：神奈川県藤沢土木事務所

等

参考文献（適用事例）	「ＯＳＲ工法の設計･施工」、構造物の診断と補修に関する第 10 回技術･研究発表会論文集、1998.11 日本構造物診断技術協会、倉成裕之、中橋一壽

補強対象部位		補強工法	コンクリート巻立て or モルタル吹付け工法		
補強の目的	脚躯体のじん性向上				

1．コンクリート巻立て工法

既設部材に鉄筋を配置し、コンクリートを打ち足し、断面を増加させて増強を図る工法。

比較的大断面の橋脚等の補強を行う場合に適用される。鉄筋の代わりにＰＣ鋼線等を用いることも可能。

●ＰＣより線巻き付け（効果確認試験結果）

部材の変形性能を向上させる方法で、特に円柱橋脚を対象にした工法である。

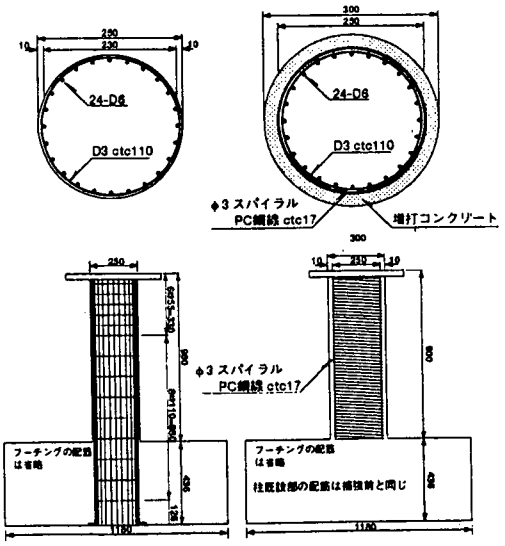
円柱橋脚については、帯鉄筋にあたるフープ筋がしっかり定着されており、その配置間隔が密であれば十分な粘りのある構造となることから、施工性を考えて、ＰＣより線を直接柱表面に巻き付け、その上を防腐のためにコンクリートで被覆する方法を検討する。

この工法では、従来柱鉄筋に直接巻き付けることで効果があるとされていた拘束鋼材を目嵐しのみを施したコンクリート表面に巻き付けるもので、コンクリートの増し厚が少なくてすみ、補強による重量増を避けられる。

効果確認試験により、補強効果が確認されている。ここでは、効果確認試験の結果を示す。

（1）効果確認試験結果

補強前および補強後の円柱橋脚供試体を下図に示す。

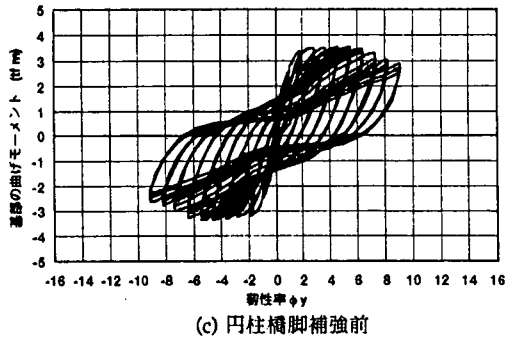


(c) 円柱橋脚補強前　(d) 円柱橋脚補強後

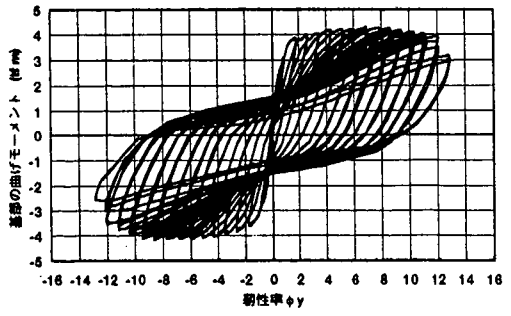
補強前橋脚は主鉄筋の座屈にともない破壊範囲が広くなるが、補強後橋脚の破壊範囲は非常に狭い範囲に限定される。

変形性能は、補強前のじん性率が９であったものが、補強により１３となり十分な補強効果が確認されている。

荷重と変位の履歴図を示す。



(c) 円柱橋脚補強前



(d) 円柱橋脚補強後

参考文献	阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集　１９９６．１ 市川　；既存ＲＣ橋脚の新しい耐震補強工法

2．モルタル吹き付け工法

既設部材に帯鉄筋やスパイラル鉄筋などを配置し、モルタルを吹き付け一体化することにより、耐震性の向上を図る工法である。一般に、ＲＣ巻立て補強工法に比べ部材断面の増加を少なくできるため、ラーメン高架橋柱等にも適用しやすい。ＰＣ鋼線を用いることも可能。

●帯鉄筋巻き付けによる補強

山陽新幹線岡山駅付近の高架橋柱の補強に吹付けモルタルによる補強工法が採用されている。

高架下を店舗に利用している箇所は、重機使用に制限を受けるとともに、高架下建物の撤去範囲を少なくする必要があるため、鋼板巻立て補強工法などでの施工が困難となっている。この問題を解決するための工法として、吹き付けモルタル工法を採用した。

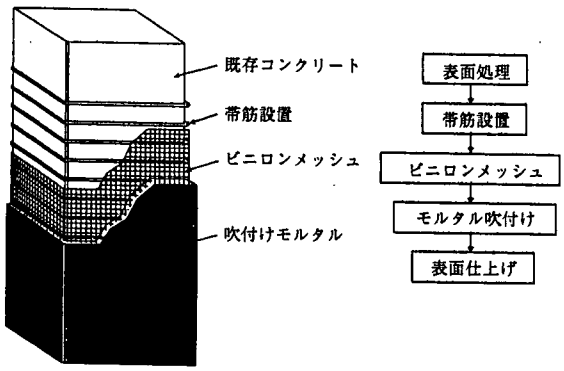
帯鉄筋巻き付けによる補強は、補強帯鉄筋を水平方向に必要な本数配置し、これにモルタルを吹き付けて補強帯鉄筋を固着させると同時に帯鉄筋の腐食を防止するものである。

①補強鉄筋に継手にフックを用いず、機械継手またはフレアー溶接継手とすることから、補強帯鉄筋の拘束効果が向上する。

②吹付けモルタルで補強帯鉄筋を保護するため、腐食・火災・衝突など科学的・物理的耐久性に富む。

（1）補強概念図

帯鉄筋巻き付けによる補強工法の概念図を以下に示す。



吹付けモルタルによる補強工法の概念図

参考文献

“吹付けモルタル工法－ＲＣ高架橋橋脚補強”　基礎工　１９９９．４　Vol.27、No.4

コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例、日本コンクリート工学協会

補強対象部位	鋼製橋脚	補強工法	縦リブ増設工法など	設計法	
補強の目的	変形性能の向上				

(概　要)

首都高速道路公団の鋼製橋脚の補強方法.

補強方法は、塑性ヒンジは発生する断面（制御断面）の位置に応じて、コンクリート充填補強と鋼製断面部補強の２方法に分かれる。

目的；変形性能の向上

矩形断面の補強構造：

①横リブ増設工法

既設ダイヤグラムもいくは既設横リブ間に新たに横リブを設置する補強

②縦リブフランジ補強

既設縦リブにフランジを取り付ける補強

③縦リブ増設工法

既設縦リブ間に縦リブを追加する補強

④コンクリート充填補強

円形断面の補強構造

①縦リブ増設工法

橋脚内部に縦リブを増設する補強

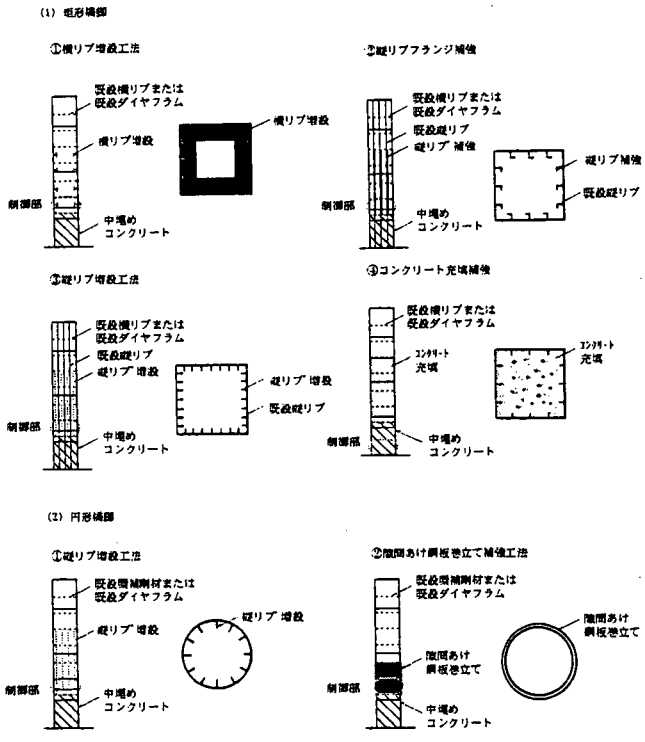
③隙間あけ鋼板巻立て補強工法

橋脚本体の周囲に母材板厚の 1/2 程度の隙間をあけて鋼板を巻き立てる補強

③コンクリート充填補強

(適用部材)

鋼製橋脚

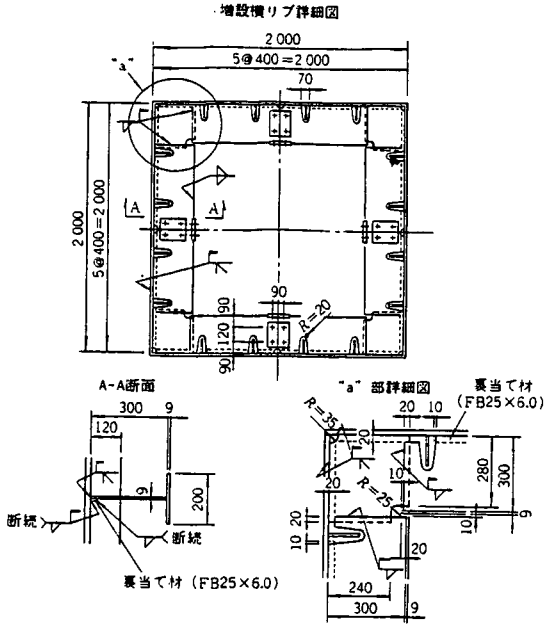


各補強工法

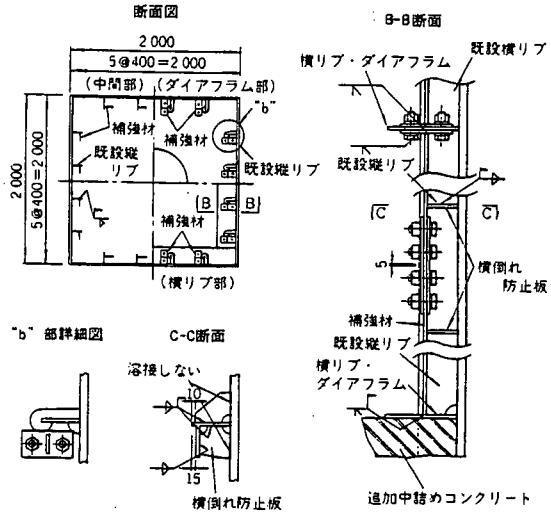
参考文献	小坂、半野、田島、“既設鋼製橋脚の耐震補強に関する一手法”、鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計の関する論文集、1997.5

補 強 効 果 （実験例）

（矩形橋脚の補強構造例）

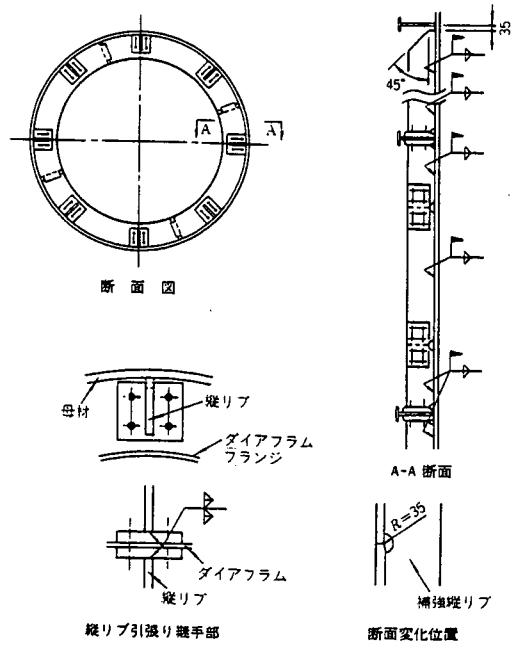


横リブ補強の構造例



縦リブ補強の構造例

（円形橋脚の補強構造例）



円形橋脚の補強構造例

参 考 文 献 山崎、田島、半野、船本、“首都高速道路における既設鋼製橋脚の耐震補強（上）、（下）”、橋梁と基礎、１９９９，６，７

補強対象部位	鋼製橋脚	補強工法	矩形断面、円形断面の補強	設計法	
補強の目的	じん性の向上を図る。				

(概　要)

鋼製橋脚の耐荷力を上昇させず、じん性のみを向上させるような補強方法を矩形断面、円形断面について提案し、実験により補強効果を確認。

矩形断面；①縦リブ追加補強
②断面外側の４角をアングルで補強（溶接）
③断面外側の４角をアングルで補強（高力ボルト）

円形断面：橋脚本体の周囲に母材板厚の 1/2 程度の隙間をあけて鋼板を巻き立てる補強

(特　徴)

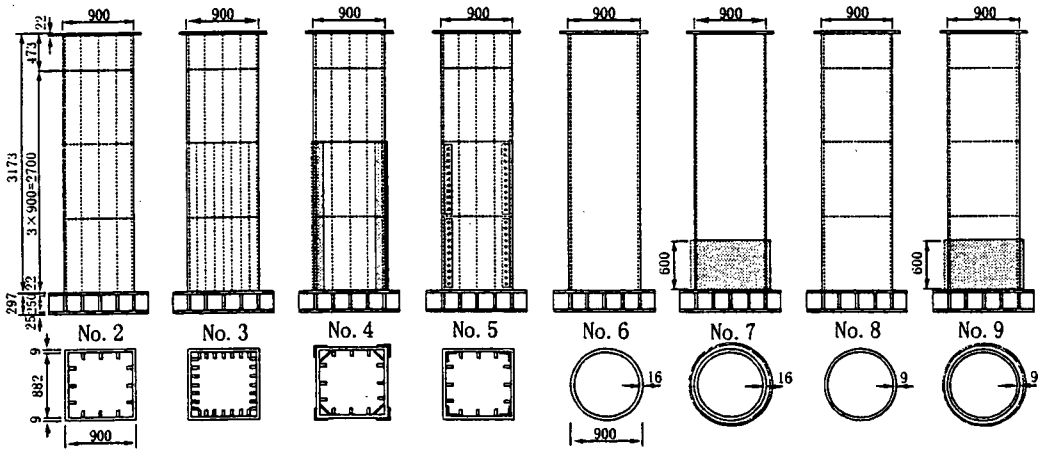
・矩形断面補強②③；補剛板の局部座屈後も、４角部が構成する４本柱と座屈した補剛板がブレーシングとして働く安定な構造へと移行することにより、じん性の向上を図る。

・円形断面補強　　：母体に局部座屈が発生し変形が一定値を越えると外側の鋼板の拘束効果が発揮され、座屈変形を制御するとともに、変形領域拡大によりじん性が向上。

(実験供試体)

表－1　供試体の諸元

供試体	A (cm²)	I (cm⁴)	Rf	γ / γ*	σ y' (kgf/cm²)
No.2	378.4	480,480	0.51	0.91	3,864
No.3	455.2	566,520	0.26	0.37	3,755
No.4	481.6	652,808	0.51	0.91	3,779
No.5	485.4	661,327	0.51	0.91	3,770
供試体	A (cm²)	I (cm⁴)	R / t		σ y' (kgf/cm²)
No.6	444.3	434,189	28.1		3,514
No.7	444.3	434,189	28.1		3,548
No.8	251.9	250,023	50.0		2,961
No.9	251.9	250,023	50.0		2,849



供試体の概略

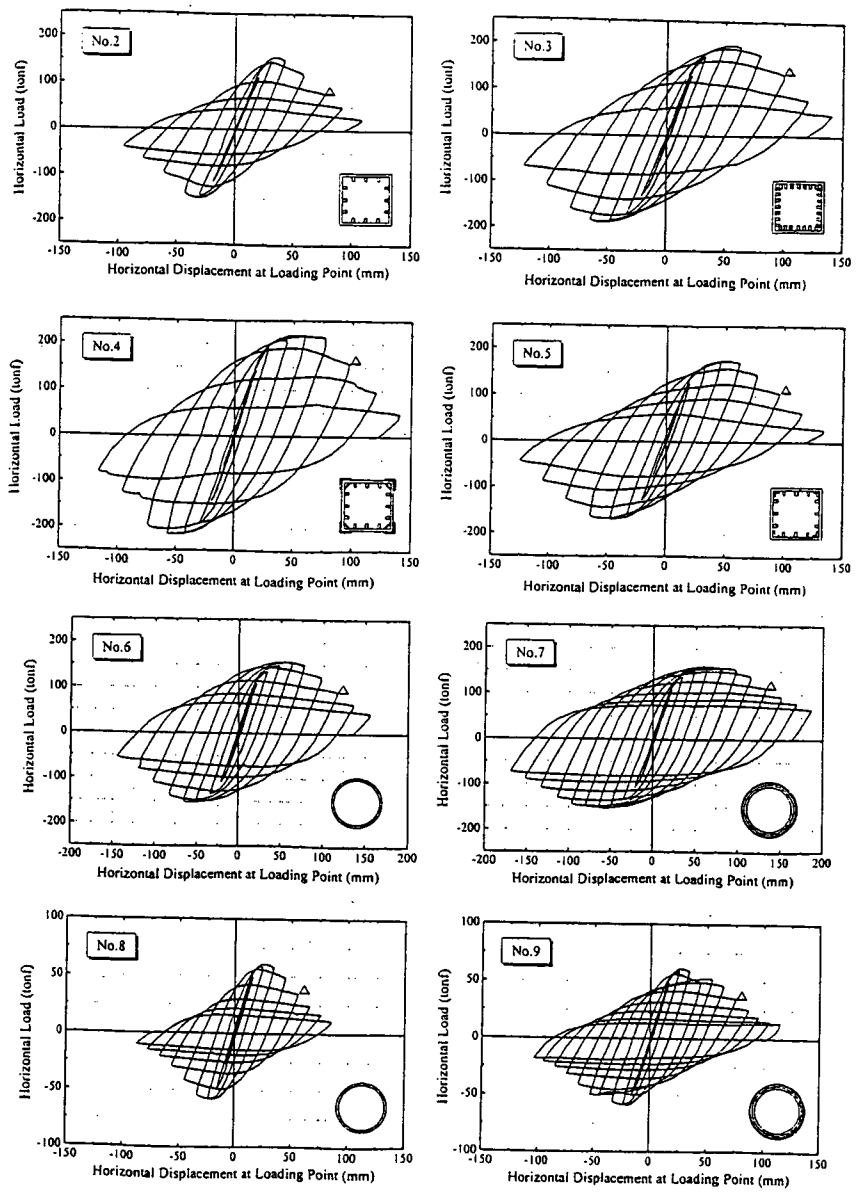
参考文献	西川、山本、上仙、安浪、名取、“鋼製橋脚の耐震補強に関する実験”、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、１９９６．１

補 強 効 果 （実験例）

（実験結果）

矩形断面補強；補強供試体の最大耐荷力は、補強方法によってばらつき、無補強供試体の 1,1 倍～1.3 倍程度いなる。角補強の方法は、溶接により補強部材を取り付けると、断面定数の増加に応じて剛性および耐荷力が増加すること、これに対して高力ボルトにより補強部材を取り付けた場合には、大変形時に接合部の滑りを生じるため、剛性および耐荷力の上昇は抑えられるとともに、じん性の向上が図れることを確認。

円形断面補強；鋼製および最大耐荷力は無補強供試体と同様。補強供試体の変形が伸び、じん性の向上が見られる。隙間をあけ巻立てた鋼板の拘束効果により、局部座屈発生後の変形を制御し、変形領域を広げることで、剛性および耐荷力を上昇させることなくじん性を向上させ得ることを確認。



水平荷重－水平変位関係の履歴曲線

参考文献

補強対象部位	支承部	補強技術名	既設橋梁に適した免震化工法	マニュアル	(有) 無
補強の目的	小型、軽量、高衝撃吸収材を用いた、落橋防止装置緩衝材				

(概要)

- 従来の既設橋梁免震構造化工事の問題点を解消し、橋桁の小さい変位量で免震化による地震力の低減が発揮され、交通規制が少なく、短時間で施工可能な免震化工法である。
- 本工法は、すべり支承若しくはｺﾞﾑすべり支承（既設）と高減衰復元デバイス（水平力ダンパー）から構成される。
- すべり支承は、橋桁重量を支持しながら免震化に伴う変位に対応できるよう既存支承を改造する。
- 水平力ダンパーは、免震支承として実績のある高減衰ゴムや鉛プラグ入り積層ゴムを用いる。
- すべり支承の摩擦減衰と水平力ダンパーの履歴減衰の２つの減衰付加により小さな変位で大きな減衰を得ることができる。
- 道路橋示方書（H8.12）、道路橋の免震設計法マニュアル(案)に準拠

(特徴)

- 変位が小さく、免震効果も十分発揮できる。
- 実績のある材料・装置の組み合わせである。
- 地震時変位が小さいため、隣接桁同士の衝突、伸縮装置の破壊の可能性が小さい。
- 水平力ダンパーに鉛直力が作用しないため、積層数が小さい。
- 支承全体を取り替える必要が無く、橋座のはつり工事がほとんど不要である。
- 比較的施工が容易で施工期間が短く、交通規制が最小限で済む。
- 支承取り替え工法に比べ経済的である。
- 従来免震橋より必要遊間が小さいため、伸縮装置のコストが小さい。

(使用材料･使用器材)

- 水平力ダンパー、ブラケット、樹脂アンカー　等

(留意点)

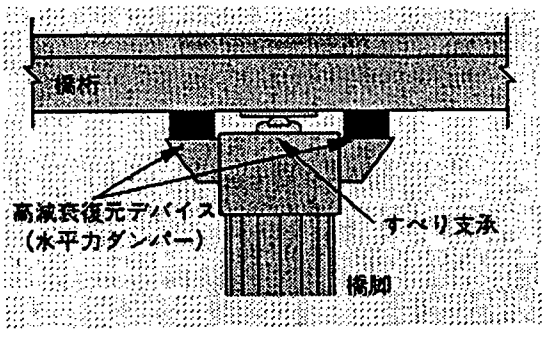
- 既設すべり支承は、可動沓すべり面が健全であると判断される場合は既設支承をそのまま使用する。
- 固定沓は下沓立ち上がり部に切り込みなどをつけ、地震時に移動拘束装置が破断され可動沓となるようする。
- すべり面に異常が見られた場合、すべり板の鋼管もしくはすべり板および上沓の交換を行う。

(適用部材)

- 既設橋梁支承（ＢＰ沓、ローラー沓、ゴムすべり沓）

(特許の有無)

- 特願平 7-192913「既存支承を利用した橋梁の免震化工法」、鹿島建設(株)、オイレス工業（株）、(株)ブリヂストン



工法概要図

参考文献(効果確認)	竹田、長谷川、“既設橋梁に適した免震化工法”、阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集、１９９６．１

補 強 効 果 （ 実 験 事 例、 適 用 事 例 ）

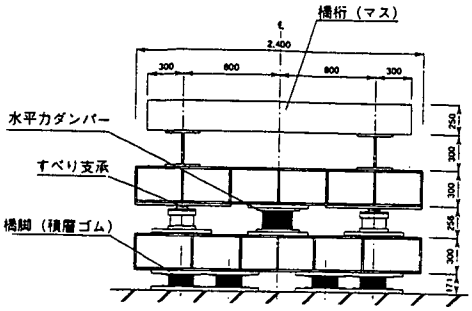
（性能確認概要－実験結果等）

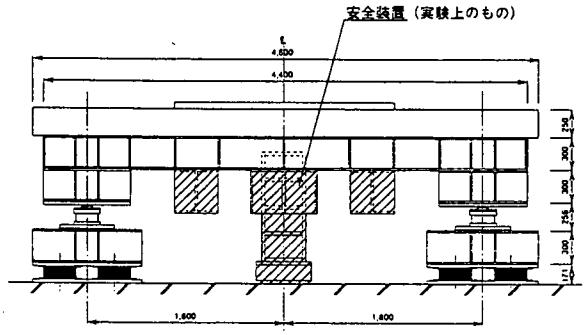
「実地震波を用いた振動台実験」

以下に示す一般的な高架道路橋をモデル化し本工法の免震特性を把握し、有効性を把握した。

また、非線形時刻歴応答解析を行い、実験結果と比較し、実験の妥当性を確認した。

・振動台実験試験体





・実験結果（応答低減効果）

表　　マスの加速度の最大値

単位：Gal

入力波形	非免震	免震（3層構造）	
	加速度	加速度	低減率 注2)
道路橋示方書　Ⅰ種地盤　震度法レベル	267.6	166.6	0.38
道路橋示方書　Ⅱ種地盤　震度法レベル	384.8	183.3	0.52
道路橋示方書　Ⅲ種地盤　震度法レベル	358.3	207.0	0.42
鉄路気象台地震波　Ｌ１レベル	466.2	200.0	0.57
鉄路気象台地震波　Ｌ２レベル	1396.0	367.8	0.74
鉄路気象台地震波　原波形	2900 注1)	531.9	0.82
神戸海洋気象台地震波　Ｌ１レベル	393.3	183.6	0.53
神戸海洋気象台地震波　Ｌ２レベル	1262.1	474.9	0.62
神戸海洋気象台地震波　最大加速度700Gal	1870 注1)	1026.4	0.45

注１）減衰定数を5%，固有周期を0.4秒として加速度応答スペクトルから推定した値

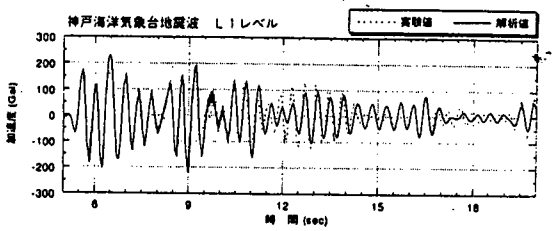
注２）低減率＝１－免震時の応答／非免震時の応答

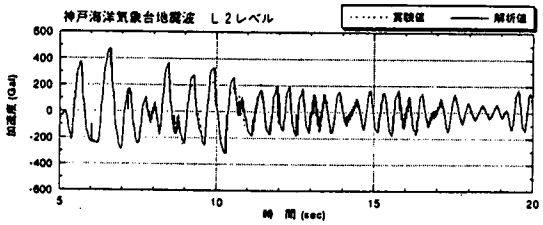
表　　橋脚の変形の最大値

単位：mm

入力波形	非免震	免震（3層構造）	
	変形	変形	低減率
道路橋示方書　Ⅰ種地盤　震度法レベル	10.2	6.3	0.38
道路橋示方書　Ⅱ種地盤　震度法レベル	15.0	6.7	0.55
道路橋示方書　Ⅲ種地盤　震度法レベル	13.3	8.1	0.39
鉄路気象台地震波　Ｌ１レベル	19.0	6.9	0.64
鉄路気象台地震波　Ｌ２レベル	63.4	12.5	0.80
神戸海洋気象台地震波　Ｌ１レベル	15.9	6.5	0.59
神戸海洋気象台地震波　Ｌ２レベル	57.3	16.2	0.72

・実験値と解析値の比較





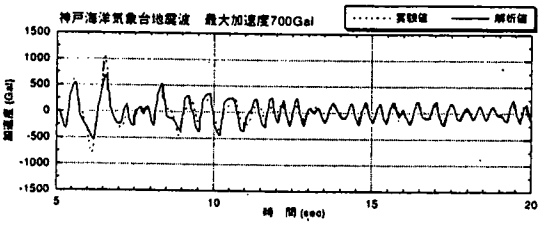


図　　マスの応答加速度の実験値と解析値の比較（神戸海洋気象台地震波入力）

（適用事例） 北陸自動車道十人川橋梁、名神高速円名寺高架橋、塔の森高架橋、大蔵寺高架橋：以上ＪＨ
５号池袋戦耐震補強：首都高速道路公団　など

参考文献（適用事例）

補強対象部位	橋梁上部工	補強技術名	ペルダンパー	マニュアル	(有)・無
補強の目的	小型、軽量、高衝撃吸収材を用いた、落橋防止装置緩衝材				

(概要)

- 小型･軽量で大きな衝撃エネルギー吸収能力を有する緩衝材ペルダンパーを用いた、落橋防止装置である。
- ペルダンパーは、ゴムの 10 倍以上の剛性を有する熱可塑性ポリエステルエラストマー「ペルプレン」の特性と、衝撃エネルギー吸収に最も適した形状の組み合わせにより、通常のゴム製緩衝材やオイルダンパーなどよりも優れたエネルギー吸収特性を有する。
- 形状は、蜂の巣状（ハニカム型）と筒状（セル型）の 2 種類があり、橋梁の規模、取り付けスペースに応じ使い分けができる。

(特徴)

- 高剛性の材料を衝撃吸収率の大きな形状にして用いるため、緩衝材の小型・軽量化が可能となった。
- 緩衝材の小型化により、落橋防止装置等の小型化にも寄与する。
- 優れた耐久性を有しており、雨水、海水、直射日光、排ガス等に長時間曝された後も機能低下はなく、メンテナンスフリーである。
- 素材は、熱可塑性ポリエステルエラストマー単品を使用しており、廃棄後の燃焼時に有害な物質が発生しない。

(使用材料･使用器材)

- ペルダンパー、アンカーボルト、ナット・ワッシャー（緩衝材のみ）

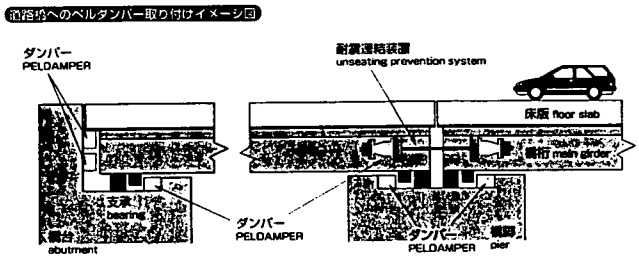
(留意点)

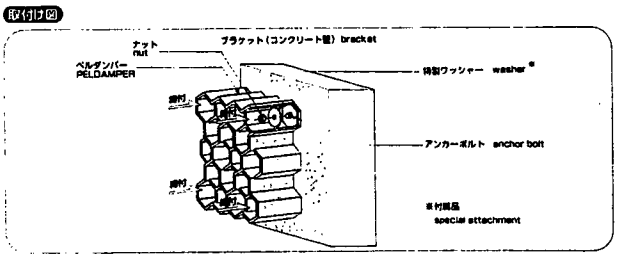
- ダンパーに傷などをつけると所定の性能が発揮されない場合がある。
- 現場等に仮置きする場合、ナイロンスリング等を使用し、ダンパーに直接食い込まないようにする。
- 保管する場合や設置する個所で、ガソリン等の溶剤付近は避ける。

(適用部材)

・ブラケット式落橋防止装置の緩衝部材、ＰＣ鋼材連結式落橋防止装置の緩衝部材 等

(特許の有無) 申請中





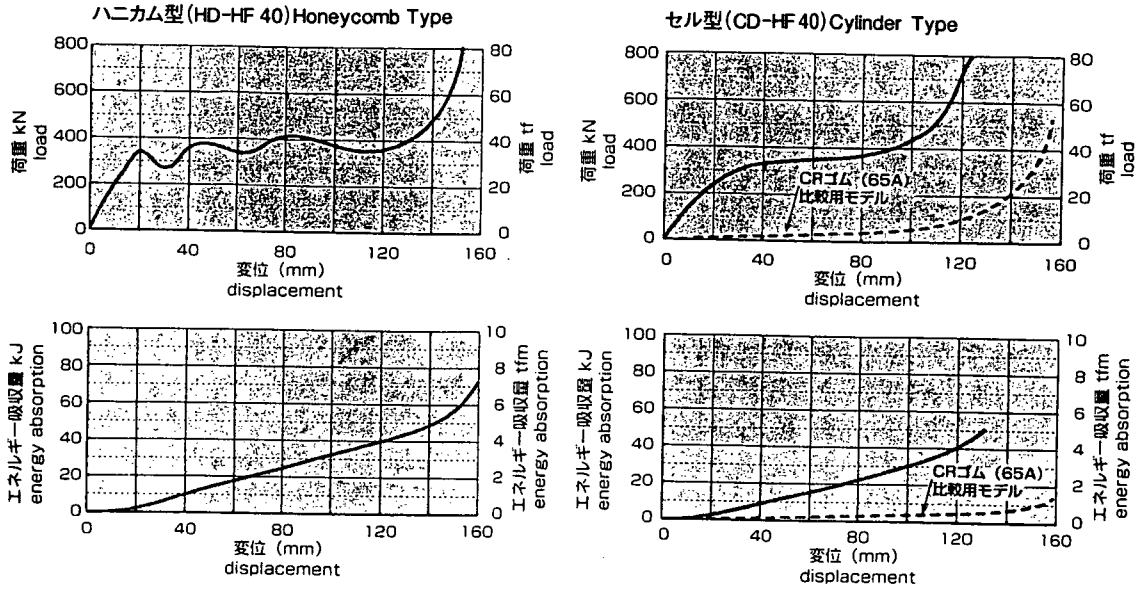
参考文献(効果確認)	窪田、菅野、上東、石田：緩衝効果を有する落橋防止装置の衝突実験及び効果の検証、土木学会第５２回年次学術講習会（平成９年９月） Ⅰ―Ｂ２０９ 他

補 強 効 果 （ 実 験 事 例、 適 用 事 例 ）

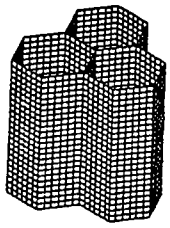
（性能確認概要ー実験結果等）

「ベルダンパーの衝撃エネルギー吸収特性実験」

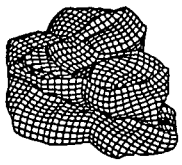
２３℃における静的圧縮試験結果の圧縮により生じる荷重とエネルギー吸収量



「ＦＥＭによる圧縮変形挙動解析」

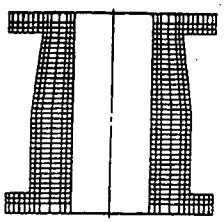


要素分割図

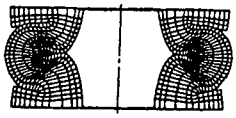


変形状態図（圧縮率 50 %）

図　ハニカム型緩衝材の変形状態図(Type-A)



要素分割図



変形状態図（圧縮率 50 %）

図　セル型緩衝材の変形状態図(Type-D)

（適用事例）

- 松葉高架橋：ＪＨ大阪管理局
- 上長窪橋：ＪＨ東京第一管理局
- 中西高架橋：ＪＨ名古屋管理局

他多数

参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	鋼製上部工	補強工法	緩衝性のある落橋防止装置の設置	設計法	
補強の目的	上部工の落下防止				

(概　要)

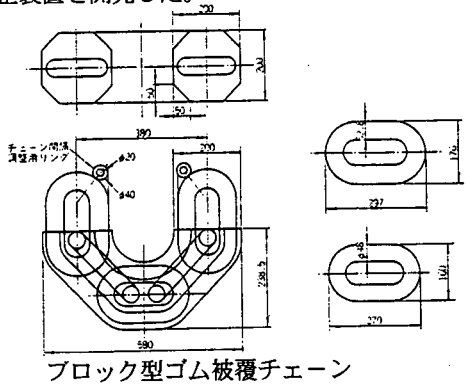
「落橋防止装置は、橋脚からの橋桁の落下を防止できる強度を有し、衝撃的に作用する力を吸収できる構造にしなければならない。」との方針に基づき、ブロック型ゴム被覆チェーンを利用した緩衝性の大きい落橋防止装置を開発。

鋼製チェーンをゴムの中で弛緩させチェ-ンリンク間にもゴムを充満させた構造で、チェーンに引張力が作用するとチェーンリンク間のゴムには圧縮力として作用し、全体として伸びの変形が発生する機構になる。これが衝撃力の吸収効果を生む。

棒状のゴム被覆チェーンは長尺で施工性が劣るため、U形形状に折り曲げることでコンパクト化を図り、桁遊間部のスペースで取り付け可能としたブロック型ゴム被覆チェーン落橋防止装置を開発した。



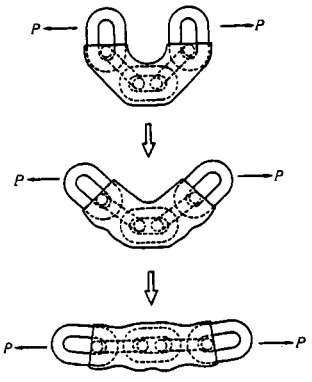
棒状ゴム被覆チェーン



ブロック型ゴム被覆チェーン

(特　徴)

・ブロック型は左図のように引張り力を受けると、棒状に変形していくため、全体の伸び変形が大きい。また、その過程で曲げられるため徐々に引張り抵抗が発生し、さらにブロックが棒状に近づくにつれてチェーン交差部のゴムの圧縮ばねが抵抗し始めるため、引張り抵抗が大きく増大する。したがって、地震時においてはブロック型には変形に応じた上部工慣性力が作用しているため、支承が破損すれば支承に作用していた上部工慣性力がブロック型に移行しやすく、衝撃の発生が小さくなる。



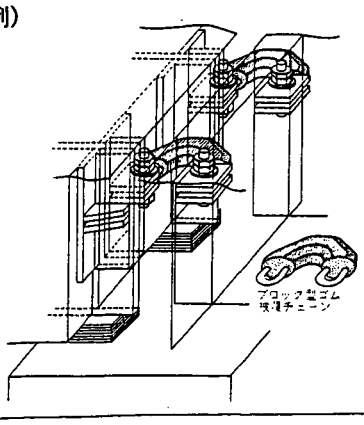
(使用材料)

チェーン；としては強度の大きい第３種の SCB690
ゴム　　；天然ゴム系

(適用部材)

鋼製上部工

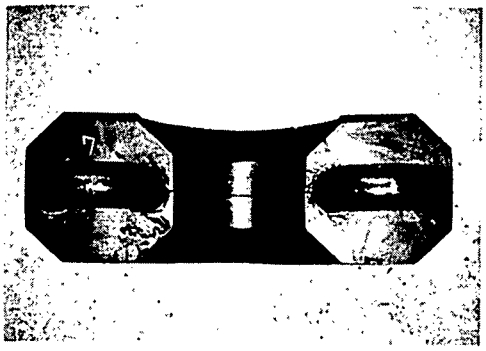
(桁への取り付け例)



参考文献	関、宇野、西岡、小塚、潤田、“緩衝性のある落橋防止装置―ブロック型ゴム被覆チェーン式落橋防止装置―”、」橋梁と基基礎、１９９７．１

補 強 効 果 （実 験 例）

（実験供試体）

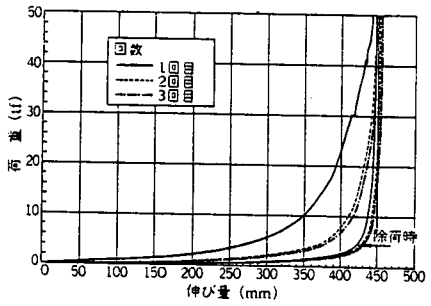




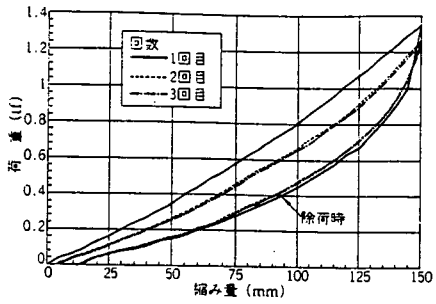
（性能確認）

ブロック型ゴム被覆チェーンの静的引張り試験により得られた荷重－伸び変形特性を用いて振動方程式による時刻歴応答解析を行った。

落橋防止装置にブロック型ゴム被覆チェーンを採用した場合に、地震力により発生する落橋防止装置作用力は下図のようになる。この作用力は地震チェーンのみの落橋防止装置を採用した場合の１／３程度となり、ゴム被覆による緩衝性の効果は十分得られることを確認している。



静的引張り試験の結果
（荷重と伸び量の関係）



時刻歴応答荷重

（試験施工）

支間 20mの鋼単純合成桁を３径間＋３径間＋１１径間連結した（ジョイントレス化橋梁の連続する区間）阪神高速道路境界線に対して試験施工を行っている。

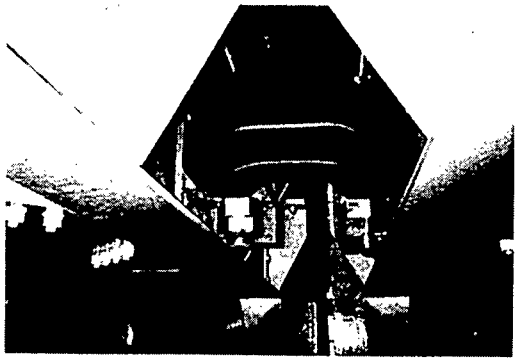


写真-4　境線における取付け

参 考 文 献

補強対象部位	杭基礎	補強工法	杭基礎の補強方法	設計法	
補強の目的	杭基礎の耐力向上を図る				

(概　要)

兵庫県南部地震における損傷杭の補強方法は次のいずれかによって行われている。

①増杭工法による補強（場合により地盤改良を併用）
②高圧噴射撹拌工法による直接基礎としての補強
③周辺地盤の液状化の影響を避けるための地盤改良による補強
④クラックへの樹脂あるいは超微粒子セメントミルクの注入による補修

(補強方法および特徴)

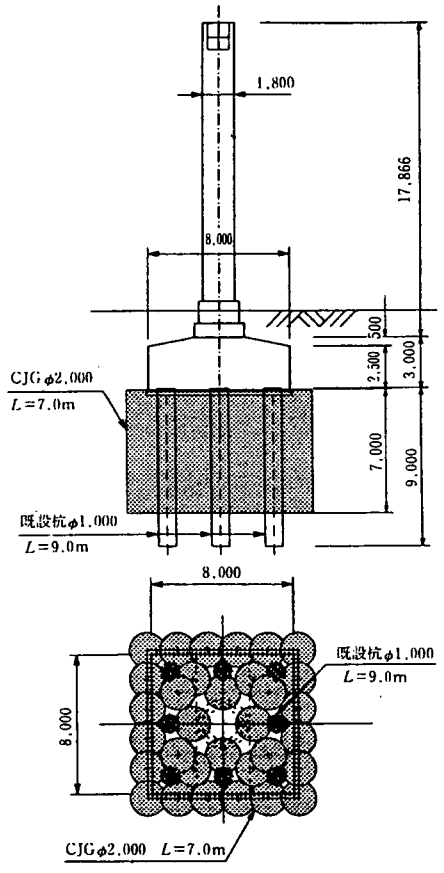
① 増杭工法
既存の杭基礎の周辺に増杭を行い、既存フーチングと一体化した新設フーチングを設置する方法

② 高圧噴射撹拌工法による直接基礎としての補強
既存の杭基礎の周辺地盤を高圧噴射撹拌工法により地盤改良し、群杭と周辺地盤を直接基礎として一体化する方法。

①、②の方法は、基本的には杭の損傷度が大きく、そのままでは地震力に対する水平抵抗力が十分出ない場合に適用。

③ 周辺地盤の液状化の影響を避けるための地盤改良による補強
阪神高速道路で実施された事例は、液状化層（埋立層）と群杭との間に高速噴射撹拌工法による遮断壁を設置する方法。
この工法は、埋立層が液状化し、地震力に対する水平抵抗力が十分でない場合に適用。

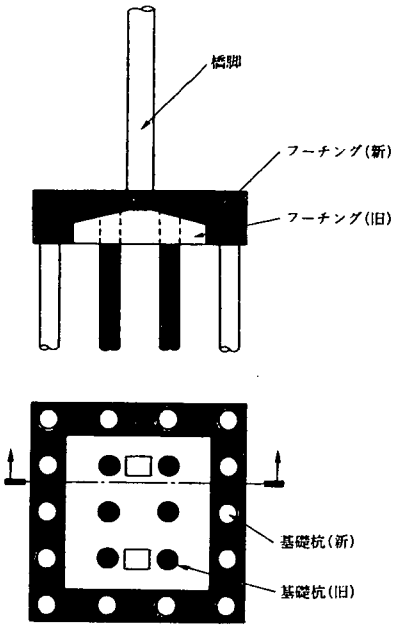
④ クラックへの樹脂あるいは超微粒子セメントミルクの注入による補修
杭中心のボアホールからダブルパッカーを用いてクラックに樹脂等を注入する方法。
杭の損傷度は小さく十分な耐荷力をもつが、クラックを通して海水等により鉄筋が腐食する恐れがある場合に適用。



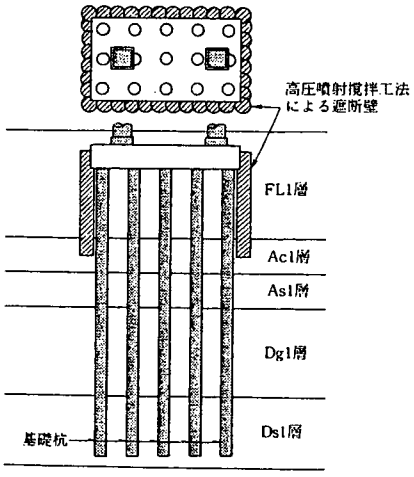
高圧噴射撹拌工法による直接基礎としての一体化例
①

参考文献	松井、“土木構造物基礎の復旧・補強と今後への課題，提言”、基礎工、１９９６．１０ 久保、山本、上沢、“高圧噴射撹拌工法”、基礎工、１９９６．７

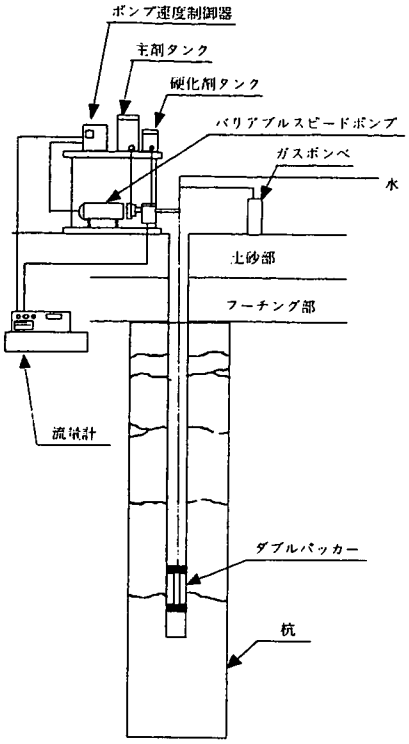
補 強 効 果 （実験例）



増杭工法の模式図
①



液状化層遮断のための地盤改良例
③

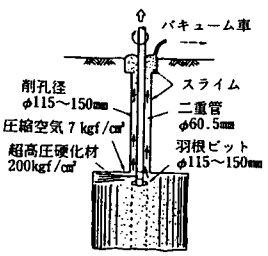
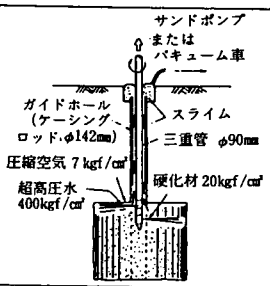
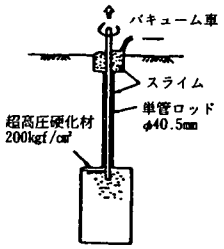


樹脂等の注入による補修方法
④

(高圧噴射注入工法)

高圧噴射注入工法は、用いる高圧噴流体の種類によって、JSG 工法，コラムジェットグラウト工法および CCP 工法がある。この工法は、高圧噴流により地盤を破壊し、強制的に硬化材と地盤とを置換、または混合撹拌することにより、地盤内に円柱形の固結体を形成することから、注入工法と異なり、玉石混じり、礫を含まない土層では地盤に影響されず確実に、また、セメント等を使用できることから高強度に地盤改良ができる。

高圧噴射注入工法

工　法	JSG 工 法	コラムジェットグラウト工法	CCP 工 法
切削方法	超高圧硬化材液と空気	超高圧水と空気	超高圧硬化材液
使用ロッド	二重管ロッド	三重管ロッド	単管ロッド
工法概要	空気を伴った超高圧硬化材液を地盤中に回転して噴射させて，地盤を切削すると同時に，円柱状の固結体を造成する。	空気を伴った超高圧水を地盤中に回転して噴射させて地盤を切削し，そのスライムを地表に排出させることによって地中に人為的に空間をつくり，その中に硬化材を同時充填させ円柱状の固結体を造成する。	超高圧硬化材液を地盤中に回転して噴射させて，地盤を切削すると同時に，円柱状の固結体を造成する。
概略図			
諸　元	切削圧力 200kgf/㎠ 硬化材噴射吐出量 60ℓ/min	切削圧力 400kgf/㎠ 水噴射吐出量 70ℓ/min 硬化材吐出量 140～180ℓ/min	切削圧力 200kgf/㎠ 硬化材噴射吐出量 25ℓ/min

参考文献

対策内容	液状化防止対策	対策工法の名称	置換工法
対策目的	液状化の可能性がある土自体を粒度の良い土に置き換え、液状化を防止する。		

(概要)

置換工法とは、液状化の危険性のある地盤自体を液状化の発生しにくい材料に置き換えてしまう工法である。この工法は、地盤改良工法のうちで最も簡単な方法であり、施工上の問題もあまりなく、効果が確実に期待できるが、軟弱な粘性土層があまり厚いと経済的でなくなるため、一般に表層がごく軟弱で層厚が 3m 程度までの場合に採用されることが多い。

置換材料は砕石等の良質土が考えられるが、現場発生土にセメントなどの改良材を加えて埋め戻す前混合処理工法など、掘削土を改良して埋め戻す工法も増え始めている。

以下に主な置換工法と、最近の新工法についてまとめる。

○主な置換工法とその概要

・工法の種類	・工法の概要
掘削置換工法（全掘削置換）	軟弱層が比較的浅い場合（一般に 3m 以下）に全面的に掘削し、良質な砂や礫で置き換える工法。
掘削置換工法（部分掘削置換）	軟弱層が厚い場合、載荷重による地中鉛直応力が、地盤支持力より小さくなる深さ位まで地表付近を部分的に良質土に置き換える工法。
押出し置換工法（強制置換工法）	盛土載荷重などにより、軟弱地盤の支持力以上の荷重を載荷させ、軟弱土を強制的に押出して良質な砂質土と置き換える工法。

参考文献	地震に強い土木:;日経コンストラクション編

適用事例等

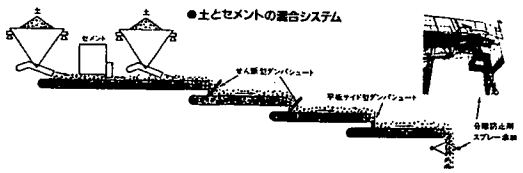
○最近の主な新工法とその概要

・事前混合処理工法

（開発者）運輸省港湾技術研究所、大林組、五洋建設、東亜建設工業、東洋建設、日本国土開発

（施工単価）5 千円/m3 程度[材料を除く]

（特徴）土に少量のセメントと分離防止剤を事前に添加、混合して改良した後、運搬投入して安定した地盤を造成する工法。土砂とセメントをベルトコンベヤーで運搬しながら混合、分離防止剤を加える。





事前混合処理工法で背後地盤の土砂を改良する六甲アイランドのコンテナバース

・大容量型デイコンシステム

（開発者）東洋建設　（施工単価）3～4 千円/m3[固化処理費]

（特徴）掘削工事、浚渫工事等から発生する含水率の高い土砂に固化材などの改良材を混合し、連続的に固化改良する工法である。300m3/h の大容量処理能力と高い攪拌能力を持つ。

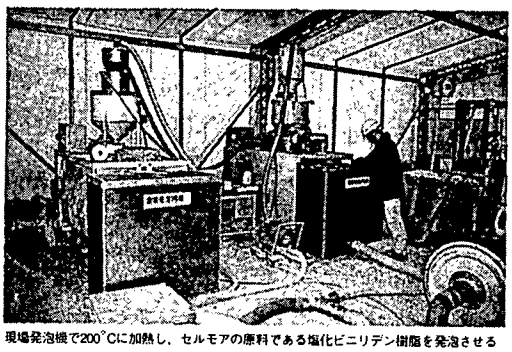


六甲アイランドの岸壁復旧工事で稼働するデイコンシステム

・セルモア（軽量材）

（開発者）旭化成工業　（施工単価）1000～1500 万円[現場発泡機]

（特徴）発泡ビーズを使った現場発泡工法。軽量材の一つである発泡ビーズを車載型の簡易な装置で現場発泡するもの。



現場発泡機で200℃に加熱し、セルモアの原料である塩化ビニリデン樹脂を発泡させる

対策内容	液状化防止対策	対策工法の名称	締め固め工法
対策目的	液状化地盤を締め固め、土の密度を上げることにより地盤の強度を増加し液状化を防止する。		

(概要)

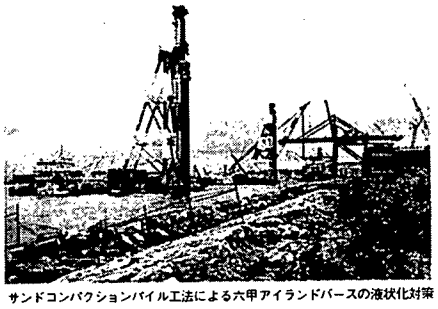
液状化しやすい緩い砂地盤を衝撃、振動を加えることにより締め固め、地盤の強度を増加し液状化を防止する工法である。この工法は、液状化対策としての施工実績が豊富で他の工法に比べ工費も安価である。締め固めの方法としては、砂杭を振動させながら地盤柱に圧入する方法（サンドコンパクションパイル工法）や、ロッドをバイブロハンマーで振動を与えながら打ち込む方法（ロッドコンパクション工法)、10～30t の重りを地盤に落下させる方法（重錘落下締め固め工法）等動的工法が一般的である。

最近の技術開発の方向は、騒音･振動を減らして締め固めを行う流れがあり、静的な締め固め工法がこの典型である。

以下に主な締め固め工法と、最近の新工法についてまとめる。

○主な締め固め工法とその概要

・工法の種類	・工法の概要
ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮｳﾊﾟｲﾙ工法	砂を振動させながら地盤中に圧入して砂杭を形成することによって、周辺地盤を締め固める。
ﾛｯﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝ工法	特殊な振動体を先端についてたロッドを、バイブロハンマーで振動を与えながら打ち込み、地盤を締め固める。
ﾊﾞｲﾌﾞﾛﾌﾛｰﾃｰｼｮﾝ工法	バイブレーターを内蔵した鋼管を、先端ノズルから水を噴出させながら地中に貫入させ、管を振動させながら徐々に引き上げる。振動によって鋼管の周囲にできた隙間に砂利、砂などを流し込む。
重錘落下締め固め工法	10～30t の重りを地盤に落下させ、その際の衝撃や振動によって地盤を締め固める。
ﾊﾞｲﾌﾞﾛﾀﾝﾊﾟｰ工法	強力な振動機とタンパーの組み合わせによって地表地盤を締め固める。
転圧工法	まき出し層毎に転圧することにより、相対密度を上昇させる。事例は極めて少ない。



サンドコンパクションパイル工法による六甲アイランドバースの液状化対策

参考文献	地震に強い土木:;日経コンストラクション編

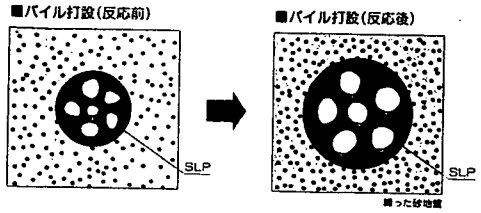
適用事例等

○最近の主な新工法とその概要

・スパーライムパイル工法

（開発者）戸田建設、小野田ケミコ　（施工単価）8千円/m3程度

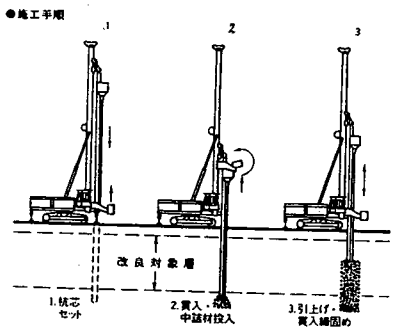
（特徴）特殊石灰の吸水、膨張反応を利用して軟弱な砂地盤を静的に締め固める工法。回転圧入方式であるため、施工時の騒音や振動が少なく、環境条件の厳しい市街地での施工に適している。



・ディープ・バイブロ工法

（開発者）ハザマ、日本海工、青山機工（施工単価）1.5～2千円/m3[直工]

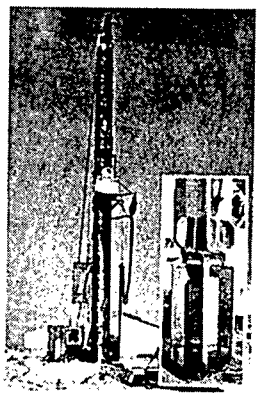
（特徴）ロッド先端に取り付けた大容量バイブレーターにより地盤や供給材を水平方向に締め固め、地盤を改良する。低振動、低騒音、地盤変状が少ない、狭小場所での施工可能、ドライ施工などが特徴。



・S・V・S（ソイル・バイブロ・スタビライジング）工法

（開発者）日本海工　（施工単価）2千円/m[材料別]

（特徴）振動締め固め工法の一種で、上端にバイブロハンマー、下端にバイブロフロットを装備することにより、砂質地盤を確実に締め固めることができる。



対策内容	液状化防止対策	対策工法の名称	固化工法
対策目的	セメントや薬液などを用い地盤を固化することにより、地盤の強度を増加し液状化を防止する。		

(概要)

地盤の固結による液状化対策には、深層混合処理工法、注入固化工法などがあるが、実績が多い工法は、実績が多い工法はセメント系深層混合処理工法（CDM 工法、DJM 工法）である。

セメント系固化材を軟弱地盤に注入・攪拌混合し、科学的に固化するこれらの方法は、セメント量の設定により強度を自在にコントロールでき、強度を得やすく、又短時間で所要強度が発現する長所がある。ただ、一般的な工法で改良工 1m^3 当たり 8,000 円程度の費用がかかり、締め固め工法などに比べると割高である。

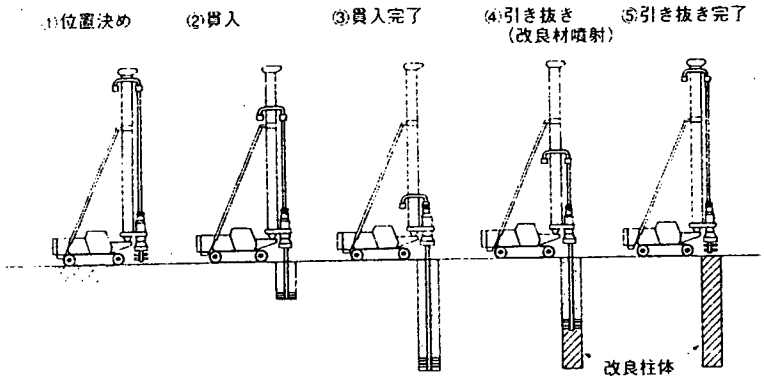
このためコストダウンを目的とした新工法の開発が進んでいる。

以下に主な固化工法と、最近の新工法についてまとめる。

○主な固化工法とその概要

・工法の種類	・工法の概要
生石灰パイル工法	生石灰もしくは添加材を加えた生石灰系材料を、地盤に杭状に打設し、生石灰が清石灰となる過程で周囲の地盤から給水し、体積が膨張することを利用して地盤を強化する工法。上載土がなくとも圧密が促進され、短期間に効果を発揮できる利点がある。
深層混合処理工法	深層の軟弱な粘性土や砂質土に対してセメントスラリーや粉体状などの固化材を混入、攪拌しポゾラン反応などの固化作用により強度を増加する。
薬液注入工法	ボーリング孔から地盤中にセメントミルク、ベントナイト、各種化学薬液を注入し、地盤の止水性を高めたり、地盤の強度増加を図る工法。

●深層混合処理工法の施工手順

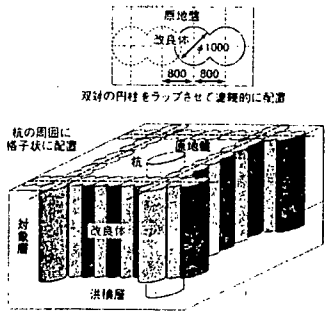


参考文献	地震に強い土木:;日経コンストラクション編

適用事例等

○最近の主な新工法とその概要

●格子状地盤改良工法の概要



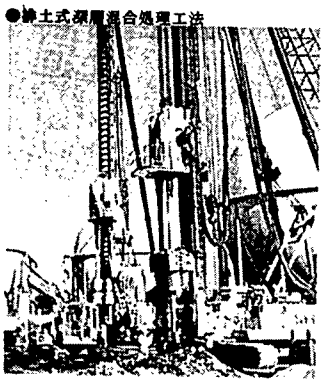
・格子状地盤改良工法
（開発者）建設省土木研究所、竹中工務店、竹中土木、大林組、不動建設
（施工単価）11 千円/m3
（特徴）セメントスラリー系固化材を使った深層混合処理工法によって格子状の改良地盤を造成し、格子内の未改良地盤の液状化を抑止する。杭基礎、直接基礎、地中壁連壁基礎、盛り土の盛土に対し有効。

・矩形深層混合処理工法
（開発者）清水建設　（施工単価）8~9 千円/m3
（特徴）垂直攪拌装置を従来の深層混合処理機に取り付け、これを回転させることにより長方形の改良体を作る。形状が長方形のため隙間なく改良でき水平力の伝達が確かである。垂直攪拌により縦方向の土の対流が加わり、改良体の品質が向上する。1 本当たりの改良体の体積が増加するので、改良効率が向上する。


矩形深層混合処理工法による改良体

・排土式深層混合処理工法
（開発者）清水建設　（施工単価）9~13 千円/m3
（特徴）従来の深層混合処理工法の攪拌混合羽根の上部にアースオーガースクリューを取り付け、セメントスラリーの注入量に見合う地山土量を排出することにより、周辺地盤や構造物に影響を従来の 1/3～1/9 程度に緩和できる。

●排土式深層混合処理工法



・CMM 工法
（開発者）土筆工業　（施工単価）φ600mm、L=1m 当たり 6 千円程度
（特徴）セメント系固化工法の懸案事項だった粉じん対策と狭小地対策を解決した工法。特殊ミキシングプラントにより粉じんの飛散を完全に遮断し、軽量改良機により狭小地や地盤の悪いところの作業が可能。

・ニューパワーブレンダー工法
（開発者）加藤建設　（施工単価）2.9 千円/m3
（特徴）バックホータイプのベース車両にトレンチャー式攪拌機を装備した「パワーブレンダー」で、2～6m までの浅層改良を行う。粉体の改良材を連続供給しながら攪拌混合することにより高品質改良が可能。

・RAS コラム工法
（開発者）ライト工業　（施工単価）12～15 千円/m3
（特徴）スラリー状固化材を使用した大口径（1.4～2.0m）機械攪拌深層混合処理工法。正逆回転攪拌機構により均質な混合攪拌が特徴であり、広範囲の土質に適応できる。

・シラクソルーＵＦ
（開発者）ライト工業
（特徴）超微粒子特殊スラグ系注入材に硬化促進剤を反応させ水和結晶を生成させる。目的により任意の配合設計が可能。セメント固化物と同等の恒久性を持ち、浸透性に優れ、海水中でも使用可能である。

対策内容	液状化防止対策	対策工法の名称	ドレーン工法
対策目的	ドレーン材により液状化地盤の排水性を良くし、地震時に間隙水圧が有効応力に達する前に水圧を抜き液状化を防止する。		

(概要)

排水性の高いドレーン材を液状化地盤に造成し、地震時に発生する過剰間隙水圧を抑制、消散させる工法である。

ドレーンの種類としては、ケーシングを圧入、あるいは回転貫入させ、砕石や人工材の柱を形成する「柱状ドレーン工法」を中心に、構造物の周囲を礫や砕石で巻きたてる「周辺巻きたて工法」、杭や矢板の周囲に排水部材を取り付けた「排水機能付き鋼材」などがある。

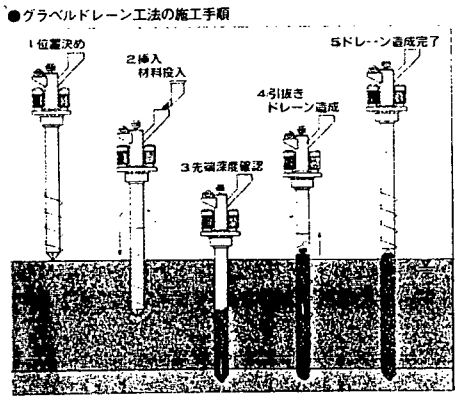
ドレーン工法の最大の特徴は、低騒音、低振動での施工が可能な点であり、都市部の制約が厳しい場所で威力を発揮する。また、耐震補強のため既設構造物直近の締め固め等の載荷が難しい場所の施工例も多い。

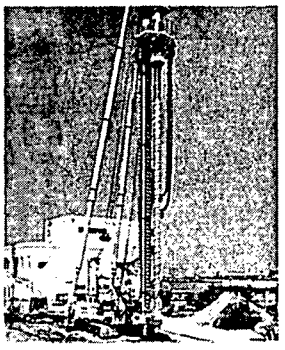
最近では、従来工法を改良し、工費の低減、効果の向上の試みが活発化している。

以下に主なドレーン工法と、最近の新工法についてまとめる。

○主なドレーン工法とその概要

・工法の種類	・工法の概要
ｸﾞﾗﾍﾞﾙﾄﾞﾚｰﾝ工法	柱状ドレーン工法の一種。ケーシングオーガーを回転貫入させた後、砕石を地中に排出させながらケーシングを引き上げ、地中に砕石パイルを形成する。
人工材料のﾄﾞﾚｰﾝ工法	柱状ドレーン工法の一種。ケーシングを圧入あるいは回転貫入させ、孔内に人工材料のドレーン材を充填する。
周辺巻きたてﾄﾞﾚｰﾝ工法	地中構造物の周辺埋め戻しに礫や砕石などを使い、構造物直下の地震時の過剰間隙水圧の上昇を抑制、浮き上がりを防止する。
排水機能付き鋼材	杭や矢板の周囲に排水機能を持った部材を取り付け、地震時に発生する間隙水圧の上昇を抑制する。




グラベルドレーン工法の施工機械

参考文献	地震に強い土木:;日経コンストラクション編

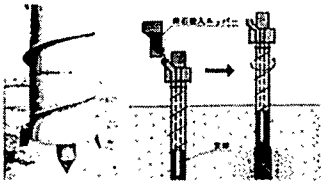
適用事例等

○最近の主な新工法とその概要

・耐震グラベルコンパクション工法
（開発者）東亜建設工業　（施工単価）6.5 千円/m 程度
（特徴）グラベルドレーン工法にバイブロハンマーによる振動締め固め効果を加えたもの。締め固め効果と排水効果を併せ持ち、両方の相乗効果によって効率的な地盤改良を行う。

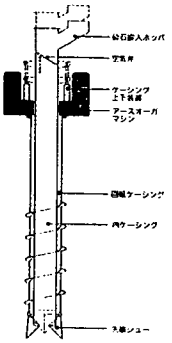
・締め固め砕石ドレーン工法
（開発者）鴻池組、NKK　（施工単価）6 千円/m 程度[作孔延長 1 万 m 以上]
（特徴）通常のグラベルドレーン工法に、ケーシング内に配備した突き棒による周辺地盤の締め固め効果を加えた工法。低振動、低騒音であり、周辺を締め固めることによる強度増加、従来工法に比べてドレーン間隔を広くでき、工期短縮、工費節減がはかれる。

●締め固め砕石ドレーン工法

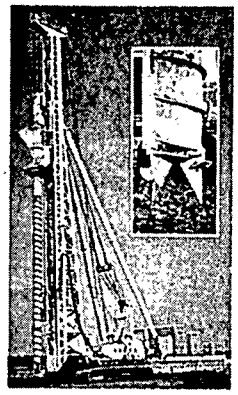


・S・G・D（スクリューグラベルドレーン）工法
（開発者）日本海工　（施工単価）4 千円/m 程度[材料別]
（特徴）グラベルドレーン工法の一種で、ケーシングパイプ内に内部スクリューを装備することで締め固まった連続した砕石杭を造成できる。低騒音、低振動の無公害工法。

●二重管ケーシング押し出し式グラベルドレーン工法



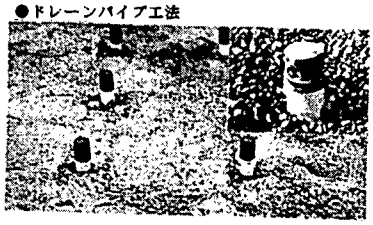
●S・G・D工法



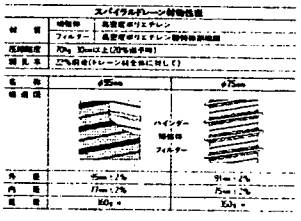
・二重管ケーシング押し出し式グラベルドレーン工法
（開発者）東洋建設、大恵工業　（施工単価）5～6.5 千円/m
（特徴）グラベルドレーン工法の一種。掘進用ケーシングの内側に砕石の排水を行うケーシングを設けた二重管ケーシング方式により、砂地盤中に砕石柱を形成し、地震時の過剰間隙水圧を抑制する。低振動、低騒音工法。

・ドレーンパイプ工法
（開発者）大成建設　（施工単価）2.2 千円/m 程度[直工]
（特徴）直径 10cm ほどのポリエチレン製穴明き耐圧パイプを、砂地盤に 100～150cm 間隔で埋め込む工法。地震時は、このパイプを通じて排水し過剰間隙水圧の上昇を抑制する。

●ドレーンパイプ工法



・スパイラルドレーン工法
（開発者）東亜建設工業　（施工単価）2.2 千円/m 程度
（特徴）柱状ドレーン工法の一種。砂地盤中にポリエチレン製の円筒形ドレーンであるスパイラルドレーンを打設し、地震時過剰間隙水圧を抑制する。低振動、低騒音な工法である。



・グリッドドレーン工法
（開発者）五洋建設　（施工単価）2.2 千円/m 程度[直工]
（特徴）合成樹脂製のグリッド状のドレーンを所定の間隔で打設することにより、過剰間隙水圧の上昇を抑制する。低振動、低騒音な工法である。

5.2 既設橋の基本的な耐震補強工法

特に基本的な耐震補強工法の特徴，適用事例を詳しく整理する。

1) 鉄筋コンクリート橋脚の鉄筋コンクリート巻立て補強工法

2) 鉄筋コンクリート橋脚(壁式橋脚)の鉄筋コンクリート巻立て補強工法(中間貫通鋼材使用)

3) 鉄筋コンクリート橋脚の鋼板巻立て補強工法

4) 鉄筋コンクリート橋脚の炭素繊維巻立て補強工法

5) 落橋防止構造の設置

6) 構造系の変更

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強工法	ＲＣ巻き立て		
補強の目的	じん性補強				

(

1．現況

（橋梁の概要）

上部構造が６径間連続ホロースラブで、下部構造は脚高が６ｍ、断面形状が 1.4m x 2.0m の二柱式橋脚である。
橋脚の破壊性状は曲げ破壊先行型であるが、地震時保有水平耐力が不足している。

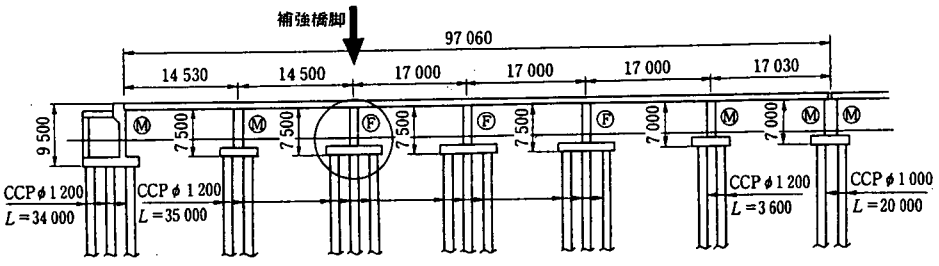


図　　橋梁の一般図

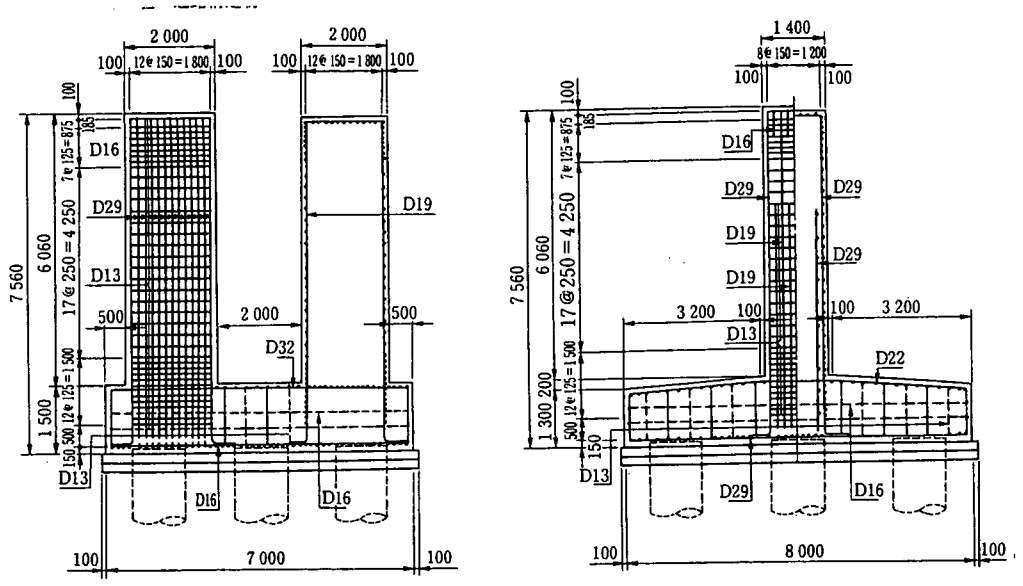


図　　橋脚一般図

参考文献	西　、矢島、長田：炭素繊維巻立工法による高橋脚の耐震補強―東名高速道路・酒匂川橋－、基礎工　vol。２ NO.４　１９９９．４　，

2．補強工法

（補強の概要）

ＲＣ巻き立て補強により、橋脚のじん性を向上させる。
補強範囲　　；橋脚基部から天端より 20cm 下がり位置までの範囲
巻き立て厚　：２５ｃｍ
補強帯鉄筋　：Ｄ１６ctc１５０
補強軸方向鉄筋：Ｄ２２ctc１５０

（補強施工）
施工手順を右図に示す。
・橋脚の表面処理はショットブラスト等を用いた。
・補強鉄筋の重ね継ぎ手部は、鉄筋同士を結合するフレア溶接を採用している。
・コンクリートの充填性の改良および乾燥収縮によるひび割れ防止のために流動化材および膨張剤をコンクリートに添加している。

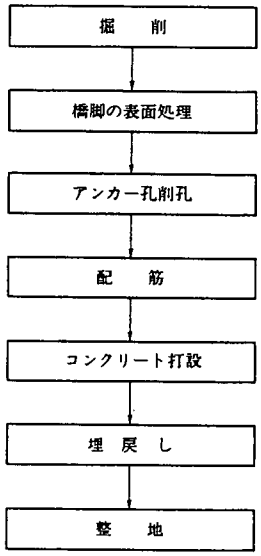


図　　施工手順図

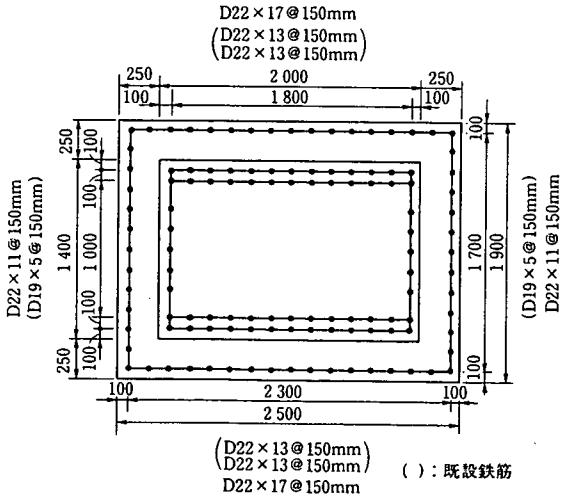


図　　補強断面

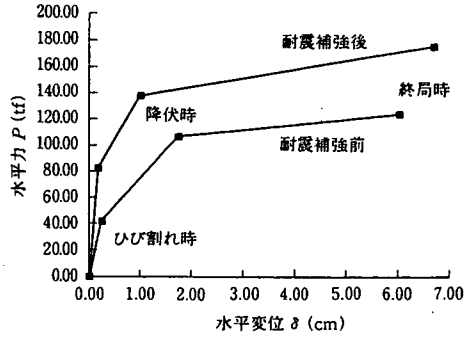


図　　橋脚の耐震性能

参考文献

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強工法	ＲＣ巻立て工法（中間貫通鋼材使用）		
補強の目的	曲げ耐力の向上				

(

1．現況

（橋脚の概要）

上部構造が鋼単純箱桁で、下部構造は脚高が２０m程度の壁式橋脚である。
橋脚は、じん性および躯曲げ耐力が不足し、段落とし部における破壊が先行する性状となっている。

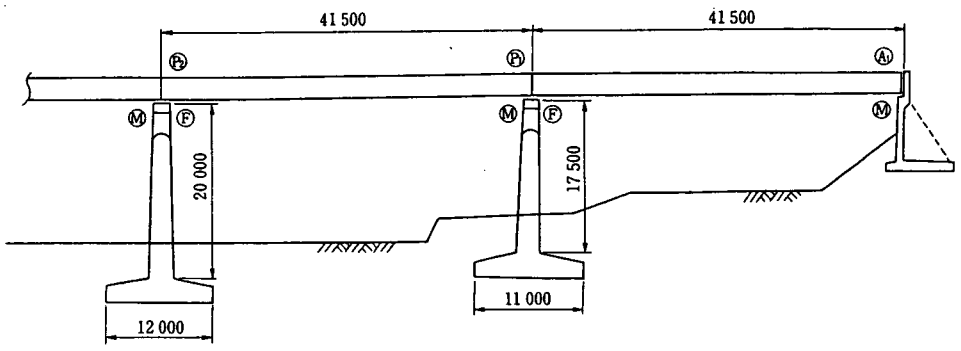


図　　橋梁の一般図

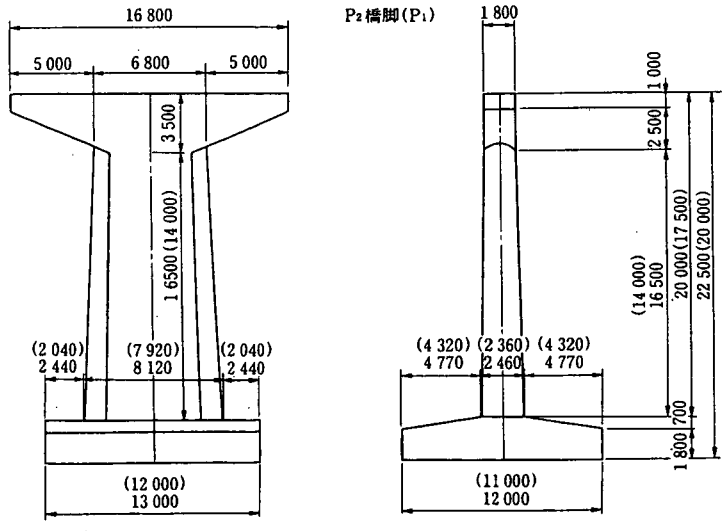


図　　橋脚の一般図

耐震性照査結果

項目			補強前	補強後
P～δ	ひび割れ時	P_c (tf)	150.44	214.10
		δ_c (cm)	1.660	1.269
	降伏時	P_y (tf)	308.71	402.609
		δ_y (cm)	9.967	8.459
	終局時	P_u (tf)	372.19	502.657
		δ_u (cm)	40.864	77.917
せん断耐力		P_s (tf)	483.898	1097.322
破壊形態の照査		P_s/P_u	1.30	2.18
許容塑性率		μ	3.425	6.474
等価固有周期		T_{eq} (s)	1.156	0.899
等価水平震度		K_{he}	0.420	0.410
等価重量		W (tf)	1045.998	1121.773
地震時慣性力		P_e (tf)	439.32	459.93
地震時保有水平耐力		P_a (tf)	338.35	460.31
耐力比		P_a/P_e	0.770	1.02
判　定			OUT	OK

参考文献	コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例、日本コンクリート工学協会

2．補強工法

（補強の概要）

Ｐ１橋脚

ＲＣ巻立て補強と基部へのアンカーにより、じん性および躯体曲げ耐力お向上させる。

補強範囲　　；橋脚基部から梁下までの範囲

巻立て厚　　；２５ｃｍ

ただし、ＰＣ鋼棒配置区間は巻立て厚を３５cm とする。

補強軸方向鉄筋　；Ｄ２２ctc１５０

３００ピッチでフーチングへアンカー定着

補強帯鉄筋　　；Ｄ２２ctc１００

補強中間貫通鋼材　；ＰＣφ３２　高さ方向に３００ピッチ

中間貫通鋼材配置範囲；橋脚基部より基部から 3.3m の高さ位置までの範囲

（当該範囲は実権により決定している。）

補強後の照査結果は表　　のようになる。

（補強施工）

・既設橋脚の削孔にあたっては、既設の鉄筋を切断しないよう、事前にＲＣレーダーやドリル等により鉄筋位置を確認してる。

・ＰＣ鋼棒配置区間は、鋼棒の腐食を考慮して、コンクリート巻き立て厚を 35cm としている。

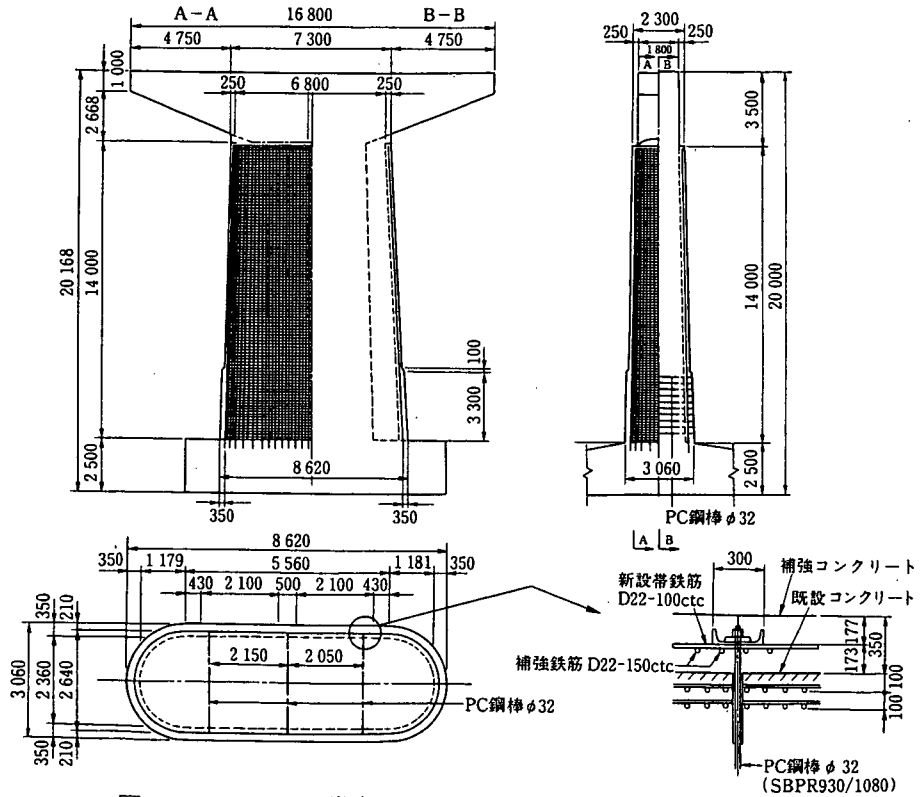


図　　ＲＣ巻立て補強図（中間貫通鋼材を使用）

参考文献

補強対象部位		補強工法	鋼板巻立て工法		
補強の目的	耐力の向上				

1．現況

（橋脚の概要）

都市高速道路における矩形断面ＲＣ橋脚。
柱断面寸法が２．７ｍｘ２．５ｍ、柱部高さが９．８ｍの矩形ＲＣ橋脚で、上部構造は鋼単純板桁橋である。
地震時保有水平耐力法による照査で耐力不足と判定されている。

橋脚の構造諸元

地盤種別	上部構造形式	支承条件	橋脚柱高さ (m)	柱断面寸法 (m)		橋脚強度 σ_{ck} (kgf/cm²)	鉄筋材質	主鉄筋量 (cm²)		帯鉄筋	上部工死荷重反力 (tf)
				橋軸	直角			橋軸	直角		
3種	鋼Ｉ桁橋	MF	9.8	2.7	2.5	300	SD 30	349.5	542.5	2-D 16	422.9

補強計算結果

計算時点	方　向	破壊形態	許容塑性率 (μ)	地震時保有耐力 (tf)	等価水平力 (tf)	判定
補強前	橋軸方向	せん断破壊	1.0	382.3	1 241.5	OUT
	直角方向	曲げ破壊	2.0	245.3	538.0	OUT
補強後	橋軸方向	曲げ破壊	7.7	452.0	244.0	OK
	直角方向	曲げ破壊	5.0	313.2	312.8	OK

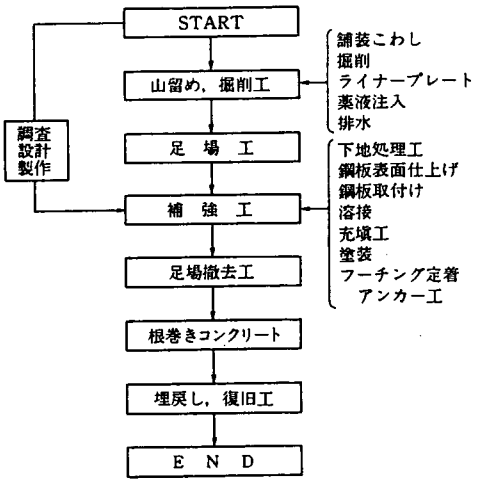
2．補強工法

（補強の概要）

鋼板巻立ておよび鋼板をフーチングに定着させるためのアンカーにより、橋脚の耐力を向上させる。
補強範囲　：柱部全面
鋼板厚　　：１２mm
アンカー筋：１面あたり９本
（円形鋼板とスタッドジベルおよびアンカー筋の組み合わせにより、鋼板をフーチングに定着する。　ＲＣ橋脚の標準補強図［右図］参照）

（補強の手順）

・補強鋼板と既設コンクリート柱の間にエポキシ樹脂を注入
・補強鋼板のエポキシ樹脂接着面の浮き錆防止をする防錆処理が必要
・エポキシ樹脂注入は空気が残らないように注意



参考文献

コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例、日本コンクリート工学協会
小田切　；震災に備えた首都高速道路ＲＣ橋脚の耐震診断と補強工法、基礎工、Vol.24，No.９、1996.9

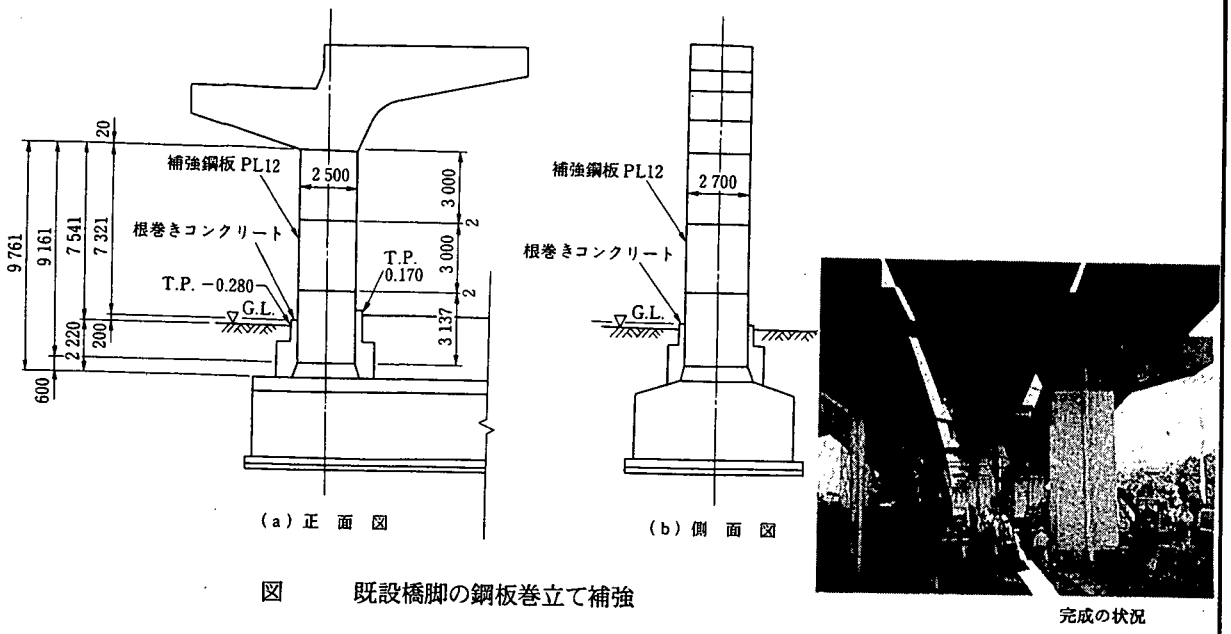
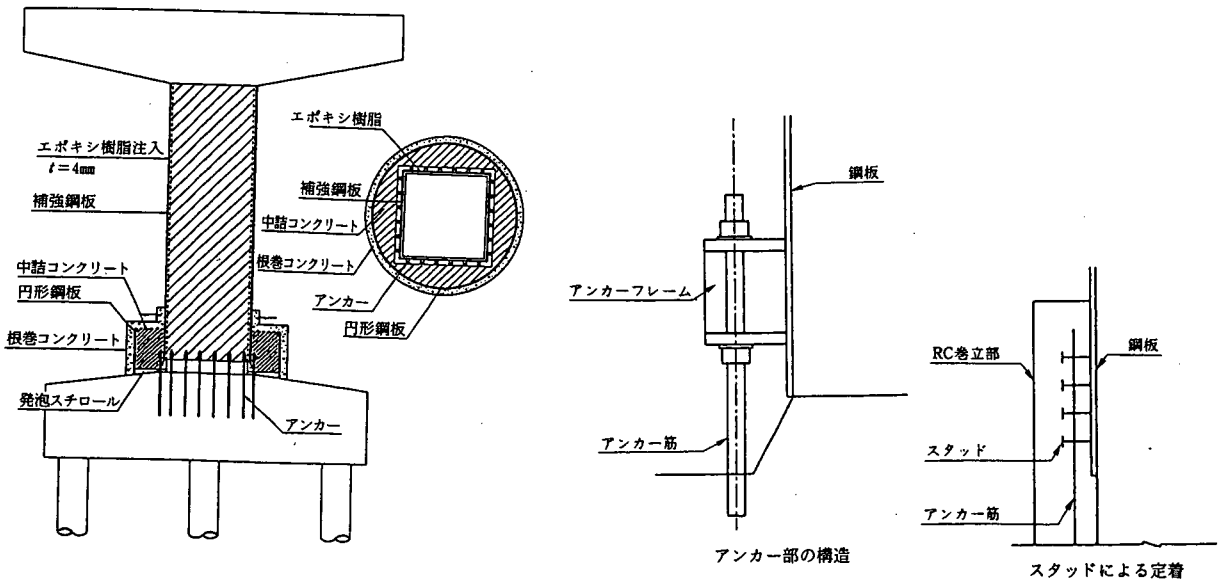


図　　既設橋脚の鋼板巻立て補強



円形鋼板を用いる場合は、フーチングに定着するアンカーをスタッドを用いて補強鋼板に接合する。
円形鋼板を用いない場合は、定着用ベース部材を用いて補強鋼板に接合する。

図　　矩形断面ＲＣ橋脚の標準補強図

参考文献

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強工法	炭素繊維巻き立て補強		
補強の目的	橋脚躯体の耐力向上				

(

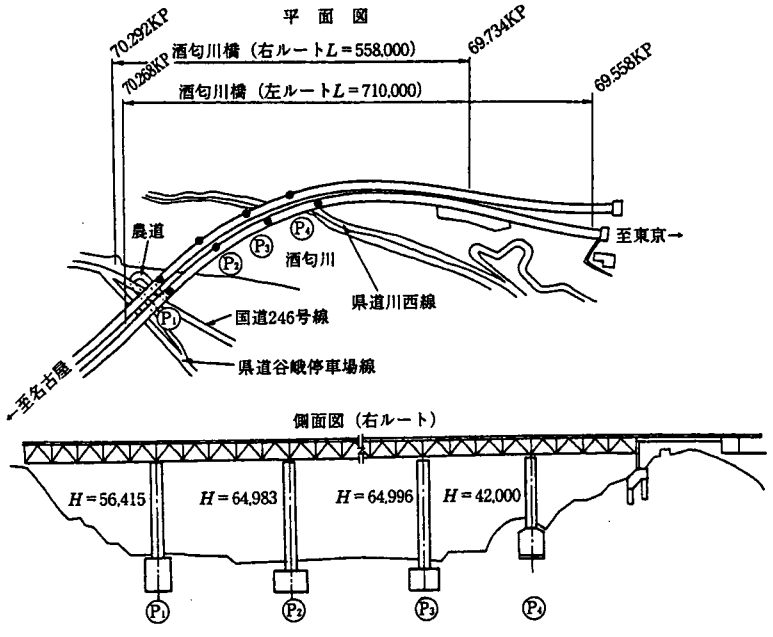
1．現況

(橋梁の概要)

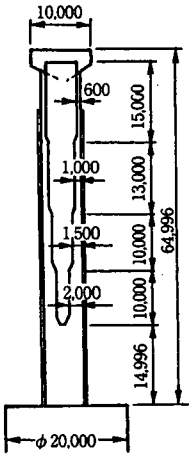
酒匂川橋は、上部構造が２～３径間連続トラスで橋脚高約４０m～６５mであり、下部構造が径７mで複数の段落としを有する単柱円形中空断面橋脚である。

中空部を充実と仮定した断面での保有水平耐力の照査結果は、曲げ破壊先攻型の破壊形態で、保有水平耐力法の照査を満足している。しかし、段落とし部の照査結果は、基部の曲げ耐力＞段落とし部の曲げ耐力　となり、段落とし部の破壊が先行する。

中空断面であり、せん断耐力は当然ながら不足している。



図－２　平面・側面図



図－３　橋脚断面図

参考文献	西　、矢島、長田：炭素繊維巻立工法による高橋脚の耐震補強―東名高速道路・酒匂川橋―、基礎工　vol。２ NO.４　１９９９．４　，

2．補強工法

（補強の概要）

炭素繊維巻き立て補強により、段落とし部のせん断耐力　　および曲げ耐力を向上させる。

非線形時刻歴応答解析より、せん断補強量は１～３層程度，曲げ補強量は最大１０層程度となる。Ｐ３橋脚の補強断面図を以下に示した。

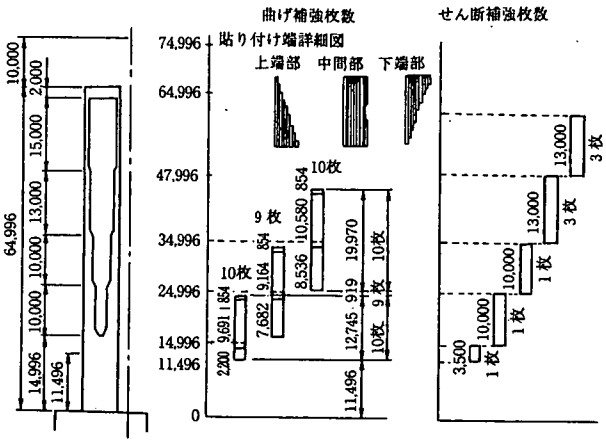


図-4　橋脚補強断面図（右ルートＰ３橋脚）

（補強の手順）

補強の施工手順および補強概要を図に示した。

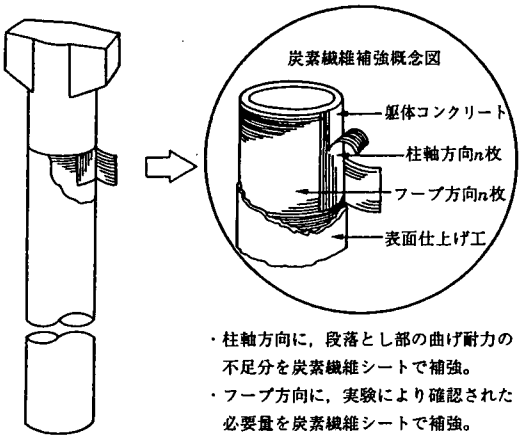


図-6　補強概要図

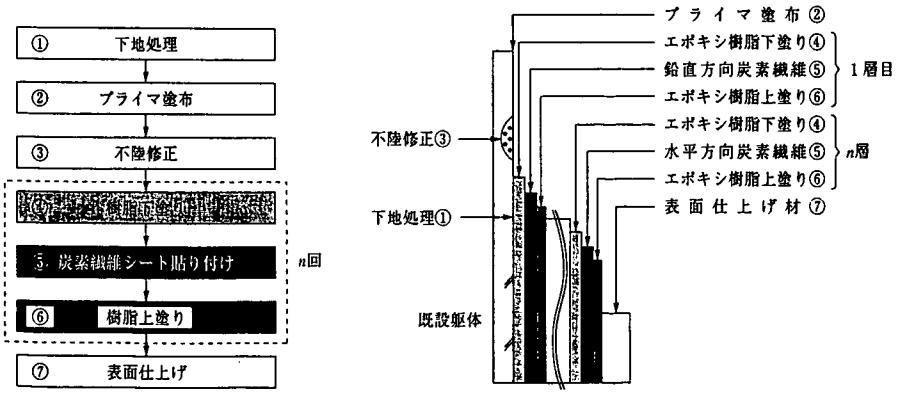


図-5　施工手順

参考文献

補強対象部位		補強工法	落橋防止装置の設置		
補強の目的	上部構造の落下防止				

(

A．橋脚にプレキャストブロックの設置例

（補強の概要）

上部工がＲＣ中空床版橋でそれを支持する下部工がＲＣ独立２本に落橋防止装置を設置。
設置位置はかけちがい支承部である。
上部工側に鋼製ブラケット、下部工側にプレキャストブロックを、それぞれアンカーボルトで固定。
上部工側と下部工側の突起の衝突による衝撃を防ぐために緩衝材を設ける。
プレキャストブロックのアンカーボルト；Ｄ５１－４本、Ｄ３８－８本
鋼製ブロックのアンカーボルト　　；Ｄ５１－５本

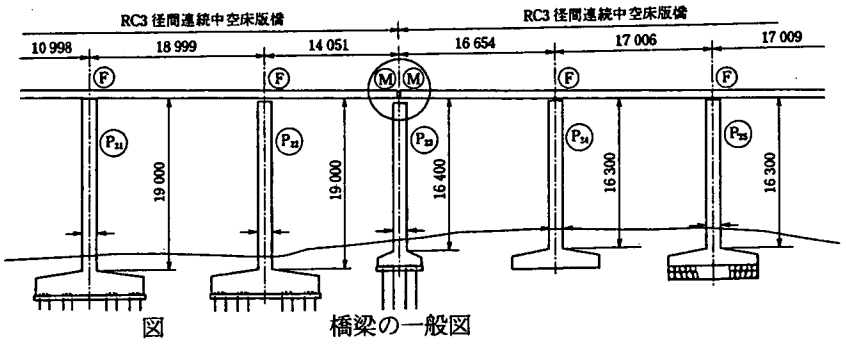


図　　橋梁の一般図

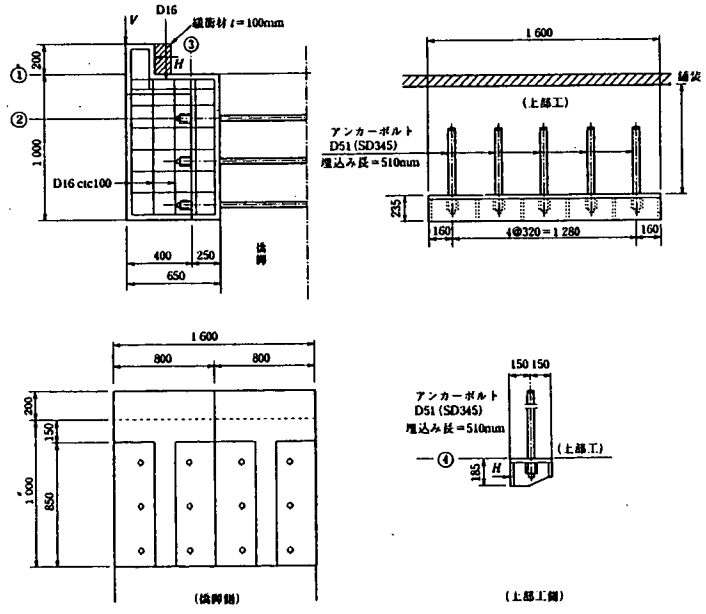


図　　落橋防止装置の構造図

参考文献	コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例、日本コンクリート工学協会

B．橋台部に鋼製の落橋防止装置の設置

（補強の概要）

ＲＣ中空床版橋の逆Ｔ式橋台部に落橋防止装置を設置。
橋台部、上部工部とも鋼製ブラケットをアンカーにより取り付ける。
　橋台側のブラケットのアンカー　；Ｄ３８－４本、Ｄ２９－８本
　上部工側のブラケットのアンカー；Ｄ５１―３本
衝突による衝撃力の影響を防ぐために緩衝材を設ける。

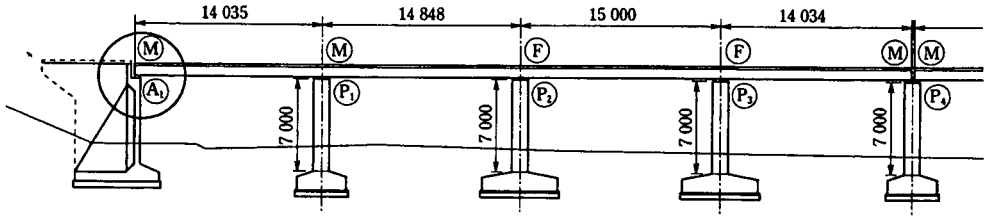


図　　橋梁一般図

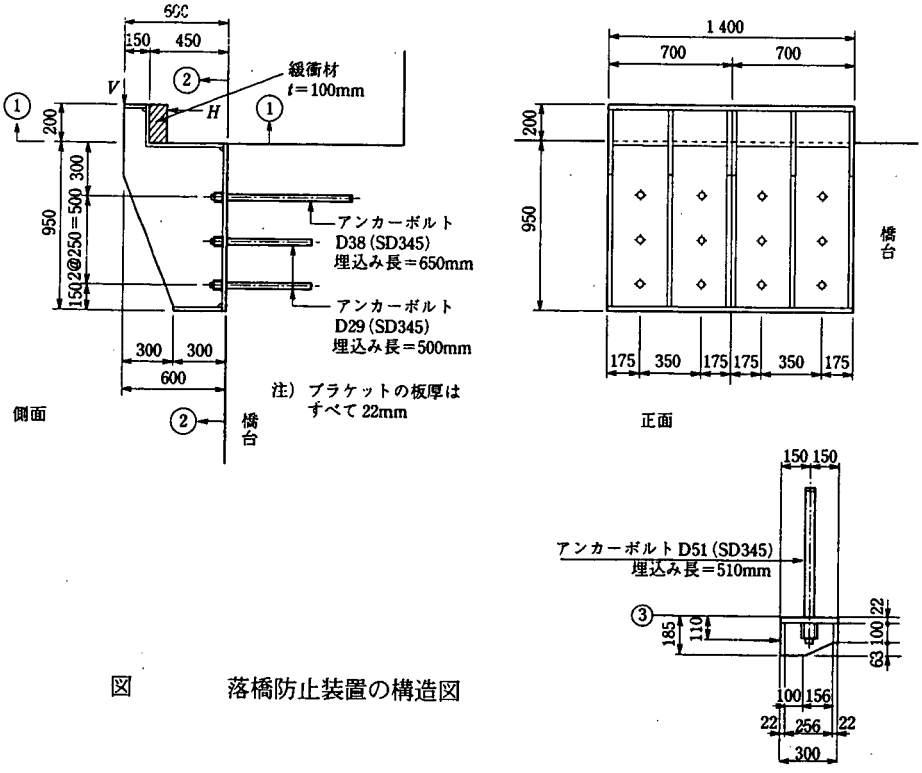


図　　落橋防止装置の構造図

参考文献

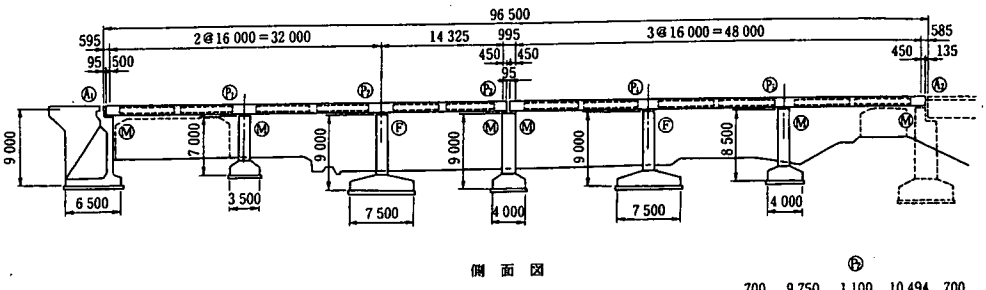
補強対象部位	全体系	補強工法	構造系の変更（反力分散構造の採用）		
補強の目的	上部構造慣性力を分散させ、全体系の耐震性能を向上させる				

（

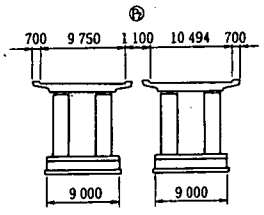
1．現況

（橋梁の概要）

上部工形式はＲＣ３径間連続中空床版２連、橋台形式は控え壁式橋台、橋脚形式は二柱式橋脚、基礎形式はすべて直接基礎である。２連とも支承形式は１点固定であり、Ｐ２，Ｐ４が固定橋脚となっている。



側 面 図



断 面 図

図　　橋梁の一般図

2．補強方法の考え

（補強の概要）

Ｐ１，Ｐ２，Ｐ４，Ｐ５橋脚のBP支承を積層ゴム支承に取り替えることにより、上部構造慣性力を各橋脚に分散させ、全体系で地震に耐えられるような補強を実施する。

（補強設計の考え）

現況稼働橋脚Ｐ１，Ｐ５の補強設計が成立するような分担率を決める。（積層ゴム支承の性能も決定する。）

↓

分担する上部構造慣性力に耐えられるように橋脚の補強設計を行う。

↓

支承を変更するための検討

参考文献	コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例、日本コンクリート工学協会

3．補強工法

（補強の概要）

Ｐ１，Ｐ２，Ｐ４，Ｐ５橋脚のＢＰ支承を積層ゴム支承に取り替えるとともに、Ｐ１，Ｐ２Ｐ、Ｐ４，Ｐ５橋脚に対してＲＣ巻立て補強を行い、橋梁の耐震性を向上させる。

・支障の変更

Ｐ１，Ｐ２，Ｐ４，Ｐ５橋脚のＢＰ支承を積層ゴム支承に取り替え。

・橋脚のＲＣ巻き立て補強

Ｐ１，Ｐ２，Ｐ４，Ｐ５橋脚をＲＣ巻き立て補強工法で補強。

補強範囲：　橋脚基部から天端までの範囲

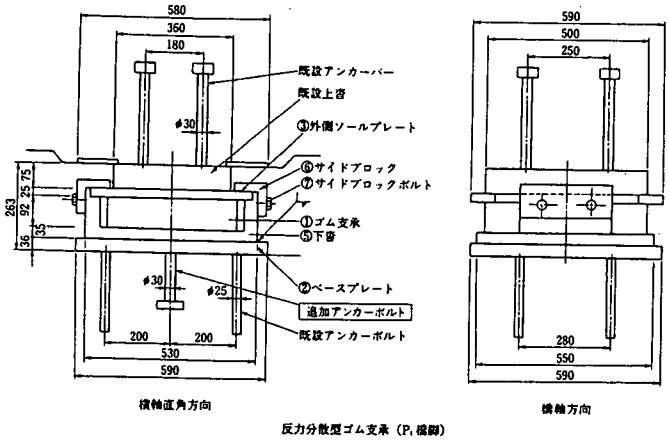
巻立て厚：２５ｃｍ

補強軸方向鉄筋および補強帯鉄筋の配置は下表の通り。補強軸方向鉄筋はフーチングにアンカー定着させる。

表 3.1.14　各橋脚補強結果一覧（上り線）

橋脚番号	脚高（m）	現況				補強結果			
		柱断面（m）	主鉄筋*	帯鉄筋	段落し	補強厚（cm）	主鉄筋	アンカーピッチ	帯鉄筋
P_1	7.00	1.80×1.20	D25× 9本	D13ctc100	無	25	D22ctc250	500	D16ctc150
P_2	9.00	1.80×1.20	D29×17本	D13ctc125	有	25	D38ctc125	250	D25ctc100
P_4	9.00	1.80×1.20	D29×17本	D13ctc125	無	25	D38ctc125	250	D25ctc100
P_5	8.50	1.80×1.20	D25×13本	D13ctc125	有	25	D25ctc300	300	D22ctc150

*：現況主鉄筋は配筋ピッチが不規則なため本数で表示した.



反力分散型ゴム支承（P₁橋脚）

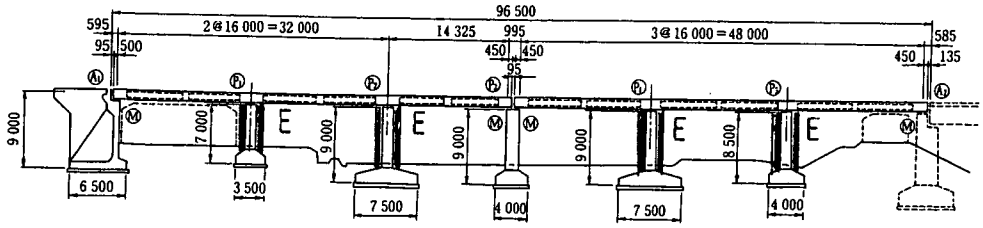


図　　構造系を変更した橋梁

参考文献

第４編　道路橋の震前対策・復旧技術に関するアンケート調査結果

既設橋梁の耐震補強技術、被災構造物の調査点検技術、被災構造物の復旧技術に関連してアンケート調査結果を示したものである。アンケート様式及びアンケート結果を以下に示す。

なお、以下に示す調査結果は、耐震補強及び震災復旧に関する各種技術を選定する上で参考となる資料を作成することを目的として調査を行った結果を整理分類してまとめたものであるが、ここに示した各技術それぞれの有効性を本共同研究の中で検証していないことに留意いただきたい。このため、それぞれの技術を実際に採用される際には、必要に応じて適用性や設計法について検討の上参考にしていただきたい。

各　位

平成１１年3月１５日

共同研究代表担当者
建設省土木研究所耐震技術研究センター
耐震研究室　足立　幸郎
共同研究事務局
財団法人土木研究センター　鷹取　勲

耐震補強工法等のデータベース作成のための
アンケート調査について

拝啓、時下ますますご清祥の段、お慶び申し上げます。平素は格別のお引き立てをいただき、厚く御礼申し上げます。

標記については、平成１０年度より建設省土木研究所・日本道路公団・首都高速道路公団・阪神高速道路公団と土木研究センターで実施している共同研究「道路構造物の震災調査・復旧技術と耐震補強技術に関する検討」において民間企業で保有している下記技術について別紙**アンケート調査表**でアンケート調査を行ないたいと思います。

つきましては、アンケート結果をもとに、耐震補強工法等のデータベースを作成して耐震補強工法等の技術に活用することを検討しておりますので、大変お忙しいことと存じますがご協力お願い申し上げます。

敬具

記

１．技術名

- 既設橋梁の耐震補強工法
- 被災構造物の調査点検技術
- 被災構造物の復旧工法

２．送付先　財団法人土木研究センター　企画部　鷹取、三木
東京都台東区台東１－６－４　タカラビル３F
TEL：03-3835-3609

３．送付期間　平成１１年３月３１日（水）

４．記入方法　別紙アンケート調査表に記入後、送付先に郵送して下さい。（記入例参照）
また、希望者には E-MAIL でアンケート調査表のフォーマットを送信いたします。下記のアドレスに会社名、担当者名、電話番号を送ってください。折り返しフォーマットを送付いたします。アンケート記入のうえ、返信して下さい。
アドレス：kikaku@pwrc.or.jp

５．提出書類　アンケート調査表（図等は調査表に貼付して下さい。原紙を同封して下さい）

６．問い合わせ先

財団法人土木研究センター	企画部	三木	03-3835-3609
建設省土木研究所耐震技術研究センター	耐震研究室	足立	0298-64-2211

以　上

既設橋梁の耐震補強技術

補強対象部位		補強技術名		マニュアル	有・無

補強の目的

（概　要）

（特　徴）

（使用材料・使用機材）

（留 意 点）

（適用部材）

（特許の有無）

参考文献（効果確認）

補強効果（実験例、適用事例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

（適用事例）

開発者

参考文献（適用事例）

被災構造物の調査点検技術

調査対象部位		調査技術名		マニュアル	有・無
調査の目的					

(概　要)

(特　徴)

(使用機器)

(留 意 点)

(適用部材)

(特許の有無)

参考文献(効果確認)	

調 査 原 理 と 事 例 (実 験 事 例、 適 用 事 例)

(調査原理)

(実験事例)

(適用事例)

開 発 者	
参考文献(適用事例)	

復旧対象部位		復旧技術名		マニュアル	有・無

復旧の目的

(概　要)

(特　徴)

(使用材料・使用機材)

(留 意 点)

(適用部材)

(特許の有無)

参考文献(効果確認)	

復　旧　事　例

(復旧事例)

開発者	

参考文献(適用事例)	

表－4.1.1(a) 既設橋梁の耐震補強技術

No.	資料分類	対象部位	技術・工法名	概　要	アンケート回答者
1	震前対策工法	上部構造(コンクリート)	ヒンジ構造を有するPC連続桁のラーメン化による耐震補強	軟弱地盤に架橋されたヒンジ構造を有するPC3径間連続箱桁橋の構造を、主桁ヒンジ部の連続化と外ケーブル配置による補強に合わせて、主桁・橋脚の剛結化により3径間連続ラーメン構造とすることで、主桁断面力の改善と全体構造系としての耐震性能向上を図った。	三井共同建設コンサルタント
2	震前対策工法	支承	HSB(機能分離型支承装置)	常時に求められる機能と地震時に求められる機能とを分離し、バランス良く組みあわせて支承部を構成する工法。取り替え不能な支承をタイプB支承に変換することで耐震性の向上を図る工法	大林組
3	震前対策工法	制震装置	パワフルTMD	TMDをベースに制震効果を大きく高めた大地震に適用可能な橋梁用制震装置を用いて、地震時の橋桁の振動及び橋脚に作用する地震力を低減する工法	熊谷組
4	震前対策工法	制震装置	液体を用いた制震装置による制震工法	吊り橋及び斜張橋の主塔の頂部付近に液体を用いた制震装置(TLD)を設置することにより主塔の減衰効果の向上を図る工法	西松建設
5	震前対策工法	免震装置	リングダンパーを用いた免震装置	積層ゴムと鋼製のリングダンパーを組み合わせて用い橋桁を免震支持することにより、地震エネルギーを吸収し、橋脚の損傷を低減させる工法	土研・西松建設
6	震前対策工法	免震装置	高減衰材料による免震工法	低降伏点鋼を用いたダンパーを設置した高減衰化工法	パシフィックコンサルタント
7	震前対策工法	免震装置	粘弾性ダンパーによる免震工法	ダンパーにより地震時応答を低減する工法	パシフィックコンサルタント
8	震前対策工法	落橋防止システム	落橋防止構造用緩衝チェーン	緩衝効果を発揮する橋梁上部工の落橋防止構造用緩衝チェーン	ショーボンド建設、シバタ工業、昭和機械商事
9	震前対策工法	下部工補強工事の仮設	GAP(ガップ)工法　鋼矢板、鋼管矢板、H鋼矢板締切り工法	空頭制約条件下における土留め及び締切り工法	技研製作所
10	震前対策工法	下部工補強工事の仮設	水中橋脚補強用仮締切り工法	水中橋脚の補強に当たって、仮締切り工として貯水槽に使用しているコルゲートを採用する工法	鴻池組
11	震前対策工法	RC橋脚	曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法(接合部)	スタッド接合により補強鋼板はスタッドを介してコンクリートと一体化し定着用のアンカー筋はアンカー筋の付着力によりコンクリートと一体化することによってアンカー筋の断面力を鋼板に伝達する	首都高速道路公団 松尾橋梁
12	震前対策工法	RC橋脚	かみ合わせ継手による鋼板巻立て工法(無溶接型)	道路・鉄道などのRC橋脚にかみ合わせ継手＋鋼板を巻いて補強する工法	JR東日本 清水建設
13	震前対策工法	RC橋脚、RC構造物	GFRPによる既存鉄筋コンクリート柱の耐震補強工法	既存鉄筋コンクリート柱の周方向に、ガラス繊維を主とした複合繊維織物にエポキシ樹脂を含浸して巻き付けることで柱の曲げ変形能力を高めるとともに、せん断耐力を高めてせん断破壊を防止し、靭性能力を向上させる工法。	TYFO工法研究会
14	震前対策工法	RC橋脚、RC構造物	FRPシート補強技術(MARS工法)	FRPシートを鉄筋コンクリート橋脚に巻き立てることにより、せん断力、靭性の向上を図る工法	西松建設
15	震前対策工法	RC橋脚	FRP吹付け耐震補強方法 SCRP巻立て耐震補強工法	コンクリート表面にガラス繊維を合成樹脂として吹付けることによってGFRP補強体を形成し、部材のせん断破壊を防止する工法。また圧縮破壊を防止するためスチロールクロスを巻き付け、SCRP(スチロールクロス強化プラスチック)補強体を形成し、部材の靭性を向上させる工法。	鉄建建設
16	震前対策工法	RC橋脚	アラミドシート曲げ補強工法	アラミド繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚に巻きたてることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工法	住友建設
17	震前対策工法	RC橋脚	アラミド繊維シート巻立て工法(FITS工法)	アラミド繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚に巻きたてることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工法	三井建設
18	震前対策工法	RC橋脚	アラミド繊維シート巻立て耐震補強工法	アラミド繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚に巻き立てることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工法	鹿島建設
19	震前対策工法	RC橋脚	アラミドプレキャスト板落とし込み工法	施工空間の無い箇所において連続繊維補強プレキャスト板を用いて巻立て補強することによって橋脚靭性向上補強を図る工法	大本組
20	震前対策工法	RC橋脚	炭素繊維シート巻立て工法	炭素繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚に巻き立てることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工	日鉄コンポジット
21	震前対策工法	RC橋脚	炭素繊維シート巻立て工法	炭素繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚に巻き立てることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工	オーデックス
22	震前対策工法	RC橋脚	炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補強	炭素繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚に巻き立てることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工法	松尾建設

表－4.1.1(b) 既設橋梁の耐震補強技術

No.	資料分類	対象部位	技術・工法名	概　要	アンケート回答者
23	震前対策工法	RC橋脚、床版、梁など	炭素繊維シート接着工法	炭素繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚等に巻き立てることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工法	鴻池組
24	震前対策工法	RC橋脚、RC構造物	炭素繊維による耐震補強工法(CRS工法)	炭素繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚等に巻き立てることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工法	大林組
25	震前対策工法	RC橋脚、トンネル	炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修補強[CCA工法]	既存コンクリート構造物(建築物、鉄道・道路・橋梁などの橋脚)に高強度炭素繊維シートを接着剤で貼りつけ一体化し、増強または修復による耐久性の向上を図る工法	清水建設
26	震前対策工法	RC橋脚	MMA樹脂を用いた炭素繊維シート補強	速硬化性を有するMMR樹脂を用いて炭素繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚に巻き立てることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工法。	青木建設
27	震前対策工法	RC建築物 梁、柱	鉄筋コンクリート構造物の炭素繊維シートによる補修技術(アサノCF21工法)	既設鉄筋コンクリート構造部分の補修を行うとともに、炭素繊維シートを鉄筋コンクリート橋脚に巻き立てることにより、せん断耐力、靭性の向上を図る工法	太平洋セメント
28	震前対策工法	RC橋脚	スパイラル筋巻立て耐震補強工法	あらかじめフープ状に加工した高強度スパイラル筋を既設鉄筋コンクリート橋脚に巻立てモルタルを吹付ける工法。曲げ、靭性及びせん断耐力の向上を図る。	奥村組
29	震前対策工法	RC橋脚	PCコンファイド工法	鉄筋コンクリート橋脚にPC鋼材を巻き付けることにより耐力及び靭性を向上させる工法。	ピー・エス
30	震前対策工法	地下構造物RC柱	炭素繊維シートと鋼板の併用補強工	せん断補強面に炭素繊維シート、直交する面に鋼板を用いて鉄筋コンクリート柱を補強する工法	佐藤工業
31	震前対策工法	RC橋脚(壁式)	壁式橋脚の複合耐震補強法	既設コンクリート橋脚に炭素繊維シートを巻立て、さらに鋼板及びPC鋼棒によって靭性の向上を図る工法	不動建設
32	震前対策工法	RC橋脚(壁式)	壁式RC橋脚耐震補強工法(AWS工法)	壁厚方向にアラミドFRPロッドによりプレストレスを与えることにより、軸方向鉄筋のはらみ出しを防止し、内部コンクリートの拘束効果を高めて靭性の改善、せん断耐力の向上を図る工法	住友建設
33	震前対策工法	RC橋脚(壁式)	SSRS工法(曲面上鋼板セグメント縫い付け補強)	曲面上の鋼板(鋼製セグメント)をPC鋼棒により壁式橋脚に縫い付け、さらに鋼製セグメント内にコンクリートを打設する工法。補強目的によって、セグメント内に軸方向鉄筋を設置する。壁式橋脚の靭性、曲げ、せん断、及び段落し部曲げ補強	大林組
34	震前対策工法	RC橋脚(ラーメン高架橋)	OHDAS高架橋(オーダス)逆V型ブレースダンパー設置工法	ラーメン高架橋の架構面内に、逆V字型のブレースを配置し、その頂部にダンパーを設けた工法。高剛性化・高減衰化により門型・ラーメン高架橋の耐震性能の向上を図る工法	大林組 鉄道総合技術研究所
35	震前対策工法	RC橋脚(ラーメン高架橋)	弾塑性ダンパーによる耐震補強工法	RCラーメン高架橋にブレースと弾塑性ダンパーで補強するものであり、ブレースの剛性、弾塑性ダンパーの耐力を調整することにより必要な補強効果を得る工法	西松建設
36	震前対策工法	RC橋脚(連結梁耐震補強)	連結梁による橋脚の耐震補強工法	橋脚と橋台とを梁で連結することにより橋脚基部及び基礎の地震力の負担を軽減し、橋梁全体としての耐震性を向上させた工法。床掘り工事ができない橋脚の耐震性を向上させる。	荒谷建設コンサルタント
37	震前対策工法	RC橋脚	スタッドを用いたアンカー筋定着工法	フーチングに埋め込んだ補強鉄筋と柱を鋼板巻立て補強した場合の鋼板との継手としてスタッドを用いる工法	パシフィックコンサルタント
38	震前対策工法	RC橋脚	既設橋脚の基部リング拘束耐震補強工法	鋼板巻立てを行った橋脚基部に拘束リングと膨張コンクリートを用いて補強した工法。膨張コンクリートによって発生する膨張圧とリングによる拘束で補強部分を一体化するとともに橋脚の耐力及び靭性の増加を図る工法	太平洋セメント
39	震前対策工法	鋼製橋脚	脚内縦リブ増設工法	縦リブ増設により補剛材に挟まれる補剛板の靭性の向上とともに、橋脚の曲げ耐力向上を図る工法	首都高速道路公団 住友重機械工業
40	震前対策工法	鋼製橋脚	脚内縦リブ増設工法	既設縦リブに補強フランジを増設することにより補剛板の靭性の向上を図る工法	首都高速道路公団 住友重機械工業
41	震前対策工法	鋼製橋脚	脚内横リブ増設工法	横リブを増設し、補剛板の横リブ間隔を短くすることにより、補剛板全体の靭性向上を図る工法	首都高速道路公団 住友重機械工業
42	震前対策工法	基礎(側方流動対策)	STYFAL(隣接フーチング結合工法)液状化による側方流動対策工法	側方流動の影響の大きな基礎と影響の小さな基礎を結び、基礎に作用する流動力を分散し、橋梁全体系で流動力に抵抗させる、液状化による側方流動対策工法	飛島建設
43	震前対策工法	基礎(地盤改良)	コラムシステム(アプローチ)工法 地盤改良コラムによる構造物支持工法	地盤改良コラムで構造物を支持することにより軟弱地盤上で生じ易い橋梁と盛土の接点部の段差を緩和抑制する工法	東京舗装工業
44	震前対策工法	基礎(杭補強)	高強度繊維製袋補強杭	炭素繊維あるいはアラミド繊維といった高強度繊維を袋状にし、その内部にモルタルなどを打込んで高強度繊維を補強材として用いる場所打ち杭工法	鹿島建設
45	震前対策工法	基礎(杭補強)	STマイクロパイル工法 STRONG-TUBFIX MICROPILES	杭基礎の補強(圧縮・引張耐力の増強、水平耐力の増強)と高圧噴射攪拌地盤改良併用による液状化発生の抑制(固化壁で囲う)・基礎地盤強度の増加を図る工法	東洋建設

表－4.1.1(c) 既設橋梁の耐震補強技術

No.	資料分類	対象部位	技術・工法名	概　要	アンケート回答者
46	震前対策工法	基礎 (抗補強)	高耐力マイクロパイル工法	基礎周辺に高耐力マイクロパイルを増し杭することにより、基礎構造物の地震時保有水平耐力を増加させる工法	フジタ
47	震前対策工法	基礎 (地中連壁基礎)	耐震補強連壁工法	フーチングにスカート状に設置した地中連続壁を結合させ複合基礎構造とすることによって、基礎の剛性を向上させる工法。軟弱地盤での基礎杭耐震補強に有効	福田組
48	震前対策工法	RC橋脚 (補強材料)	鋼板巻立て補強などに用いる補修・補強用コンクリート	鉄筋コンクリート橋脚の鋼板巻立て補強などの充填材。高流動、高充填性、無沈下性、低収縮性、早強性コンクリート	鹿島建設

補強対象部位	ＲＣ橋脚・ＰＣ箱桁	補強技術名	ヒンジ構造を有するＰＣ連続桁のラーメン化による耐震補強	マニュアル	有・無
補強の目的	主桁・橋脚の剛結化により耐震性能の向上を図る。				

（概　要）

・軟弱地盤に架橋されたヒンジ構造を有するＰＣ３径間連続箱桁橋の構造を、主桁ヒンジ部の連続化と外ケーブル配置による補強に併せて、主桁・橋脚の剛結化により３径間連続ラーメン構造とすることで、主桁断面力の改善と全体構造系として耐震性の向上を図った。

（特　徴）

・ヒンジ部の連続化は箱桁内部に外ケーブルとＰＣ鋼棒を配置しプレストレスの導入によりヒンジ部の一体化を図った。

・主桁・橋脚の剛結化は桁内部から下床版・橋脚を削孔してゲビンデ鋼棒の設置しプレストレスの導入により剛結化を図った。鋼棒定着体は引き抜き試験結果から無収縮モルタルが充填材として最も適切と判断し採用した。

・５つの構造系で弾塑性動的解析の比較検討結果からラーメン構造化は橋脚下端の回転角φが著しく小さくなり橋脚の耐力が保障された。さらに主桁柱頭部の曲げモーメントを軽減できることで耐震効果が顕著であった。

・この結果、橋脚の補強は鉄筋の段落とし部において、炭素繊維による補強のみに留めることができ、経済性、施工性の観点から本補強方法が最適であった。

・現橋構造は、耐震性の観点から、橋脚補強、支承補強、主桁柱頭部補強等、様々な補強対策が必要となり、近接する鉄道営業線の施工性からも現実的でなかった。

（使用材料）

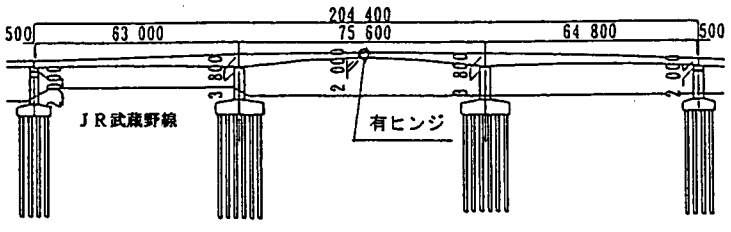
・ＰＣ外ケーブル、ＰＣ鋼棒、ＰＣゲビンデ鋼棒、充填材（無収縮モルタル）、炭素繊維

（留意点）

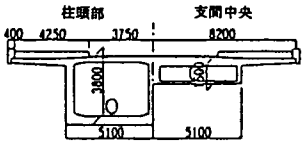
・適用示方は復旧仕様に基づくため、道路橋示方書（平成８年１２月）で検証する必要がある。

（適用部材）

・ＰＣ箱桁を有する連続桁構造。橋脚高が低い直接基礎は温度変化等の関係から注意を要する。



側面図



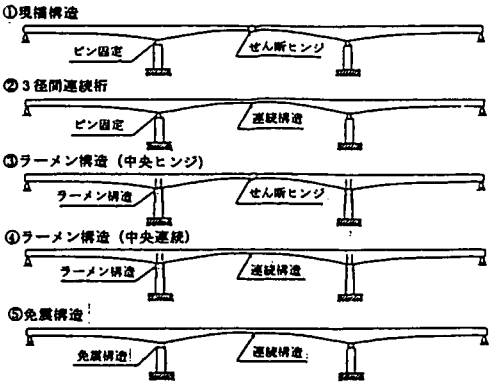
断面図

橋梁一般図

参考文献(効果確認)	「道路橋の復旧に係る仕様」（日本道路協会）「道路橋示方書」（日本道路協会） 「東神戸大橋Ⅲ種地盤の東西方向の地震波」

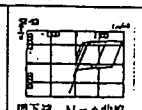
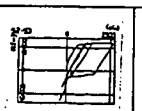
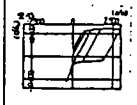
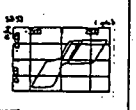
補 強 効 果 （実験例、適 用 事 例）

（動的解析結果）



耐震補強の比較検討構造系

弾塑性動的解析の結果一覧表

①現橋構造 (②3径間連続)	 脚下端 M－φ曲線 柱頭部上縁圧縮歪みが3500μを超え圧壊	〈最大加速度〉 桁下端 -430gal 脚天端 -411gal 〈最大変位〉 桁下端 -99mm 脚天端 -92mm 〈最大せん断力〉 脚天端 -1707tf	④ラーメン構造 中央連続	 脚下端 M－φ曲線	〈最大加速度〉 桁下端 568gal 脚天端 551gal 〈最大変位〉 桁下端 -51mm 脚天端 -45mm 〈最大せん断力〉 脚天端 -2311tf
③ラーメン構造 中央ヒンジ	 脚下端 M－φ曲線	〈最大加速度〉 桁下端 -656gal 脚天端 -647gal 〈最大変位〉 桁下端 -51mm 脚天端 -45mm 〈最大せん断力〉 脚天端 -1877tf	⑤免震構造	 脚下端 M－φ曲線	〈最大加速度〉 桁下端 -659gal 脚天端 -815gal 〈最大変位〉 桁下端 310mm 脚天端 - 66mm 〈最大せん断力〉 脚天端 2317tf

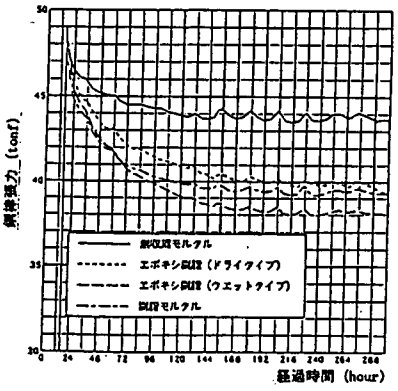
（ＰＣ鋼材引き抜き試験）

引抜き実験結果による予測付着定着長

張力 tf-付着長 mm	70tf-1,920mm	50tf-1,920mm	50tf-1,120mm
無収縮モルタル	550mm (17φ)	550mm (17φ)	550mm (17φ)
エポキシ樹脂(ドライタイプ)	700mm (22φ)	650mm (20φ)	650mm (20φ)
エポキシ樹脂(ウェットタイプ)	550mm (17φ)	550mm (17φ)	650mm (20φ)
樹脂モルタル	700mm (22φ)	650mm (20φ)	600mm (19φ)

実験では充填材として①無収縮モルタル②エポキシ樹脂（ドライタイプ）③エポキシ樹脂（ウェットタイプ）樹脂モルタルの４種類について張力と付着長の３パターンより各タイプの試験体について総ネジ鋼棒のひずみ分布を深さ 100mm ピッチで計測した。また、樹脂系接着剤のクリープ変形による導入張力の減少が懸念されたため１週間の経時変化も計測した。この結果、付着定着長は各ケースとも 18φ～22φ程度で定着し、経時変化は張力・ひずみとも１週間程度で安定した。

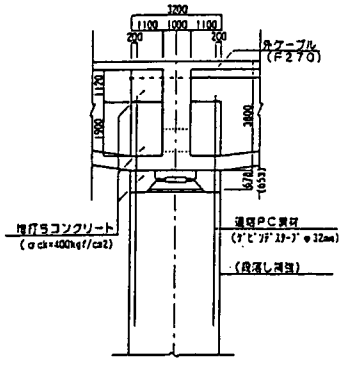
実験結果により、鋼棒張力の低下率が最も少ない無収縮モルタルが最も効果的であった。



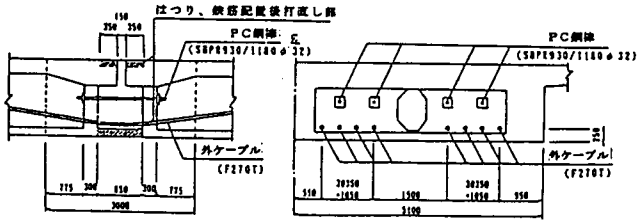
（付着長 1120mm）

鋼棒張力経時変化

（柱頭部剛結化、ヒンジ部一体化）



柱頭部鋼結構造



ゲレンク部構造

開発者	
参考文献 (適用事例)	コンクリート道路橋施工便覧（日本道路協会）

補強対象部位	脇壁部工	補強技術名	ＨＳＢ（機能分離型支承装置）	マニュアル	有・無
補強の目的	取り替え不能な支承をタイプＢ支承に交換する事で耐震性を増す				

（概　　要）道路橋示方書（平成８年１２月）の改訂を受け、橋梁全体の耐震性および支承本体の耐震性の向上の観点からゴム支承の採用が望ましいとされるようになりました。しかし、既存橋脚では必ずしもゴム支承の設置空間が充分確保されているとは限らず、大幅な道路縦断の変更も不可能な場合が多く、従来のゴム支承（免震・分散）では背が高く、大反力用になると広い設置面積も必要となります。また、既存橋梁の免震化では、桁遊間の制約や、橋脚補強のみが先行しているなど設計条件の制約もあり、従来のゴム支承（免震・分散）を利用しにくい場合があります。一つの部材に、平常時に求められる機能も大地震時に求められる機能もすべてを要求する事は限界があるとも考えられます。そこで、大地震時に期待する機能と、平常時に機能する装置をバランス良く組み合わせて一つの装置を構成する事ができればと言う考えのもとにＨＳＢ（機能分離端支承装置）を完成させました。

（特　　徴）

本装置は桁下のクリアランスのない箇所に設置されているメタル支承・ゴムパッドの交換用支承として考案されたものです。

さらに機能を分離したことで、

①桁遊間の少ない桁をノージョイント化した際に発生する地震時慣性力による応答変位を制限する事ができる。

②水平力を受け持つバッファを上部工の任意の場所に取り付けることが出来る。

（使用材料・使用機材）

①荷重支持板、②ゴムバッファ、③取り付け金物

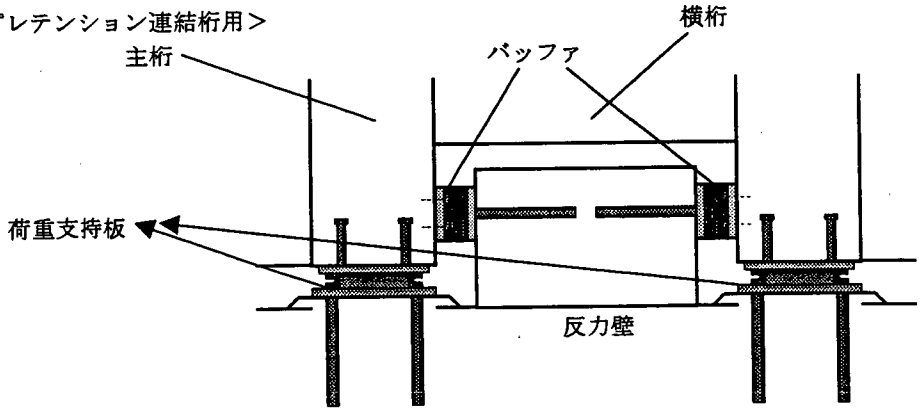
（留 意 点）

・仮設中の仮固定治具の検討が必要。

（適用部材）

・プレテンション連結桁橋
・ポストテンション連結桁橋
・中空床版桁橋
・鋼鈑桁橋

＜プレテンション連結桁用＞



（特許の有無）

・出願中

参考文献（効果確認）	機能分離型すべり支承による鋼橋の耐震補強設計法「第２回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集」１９９８年１１月土木学会鋼構造委員会鋼構造物の耐震検討小委員会

(2)

補強効果（実験例、適用事例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

1．２００万回圧縮疲労試験（面圧１２５～２５０ｋｇ／ｃｍ２の圧縮バネの変動確認試験）
2．２万回せん断疲労試験（スライド面の摩耗確認）
3．正弦波加振試験（装置の面圧依存性と載荷速度依存性を調べるため）
4．ハイブリッド試験（地震応答解析）

（阪神高速道路公団委託　　立命館大学　伊津野助教授監修による実験）

（適用事例）

工事名	事業種類	地建名	事務所名	施工時期
沖田橋補強0054工事	一般工事	九州地方建設局	延岡工事事務所	1998/10/1
工事名	事業種類	施主	事務所名	施工時期
支承取り替えおよび落橋防止装置改良工事（9－3－東）	一般工事	阪神高速道路公団	大阪第一建設局	1998/10/1
支承取り替えおよび落橋防止装置改良工事（9－2－東）	一般工事	阪神高速道路公団	大阪第一建設局	1999/2/1
支承取り替えおよび落橋防止装置改良工事（9－7－環池）	一般工事	阪神高速道路公団	大阪管理部	1999/2/1

開発者	株式会社ビー・ビー・エム、阪神高速道路公団、立命館大学
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	パワフル TMD	マニュアル	有
補強の目的	地震時の橋桁の振動および橋脚に作用する地震力を低減する。				

(概　要)
・パワフル TMD は，TMD（Tuned Mass Damper）をベースにてこの原理を利用して，制震効果を大きく高めた大地震に適用可能な橋梁用制震装置である。本装置は，橋台や橋脚に反力をとったてこを用いて，橋桁に設置した TMD 部を在来型 TMD の数倍の振幅で強制的に振動させることで大きな制震効果を得ることができる。また，外部エネルギーを必要としないパッシブタイプなので，ライフラインが閉ざされても作動に影響はない。

(特　徴)
・地震時の橋桁振動を 3 ～ 6 割低減。
・衝撃波タイプの地震動に有効。
・免震橋のような大規模な伸縮装置・落橋防止構造が不要。
・橋桁内や下面に設置できるコンパクトサイズ。
・省メンテナンスを実現。

(使用材料)
・制震装置

(留 意 点)
・機械的な構造なので、防塵対策が必要である。

(適用箇所)
・橋桁内・橋桁下面

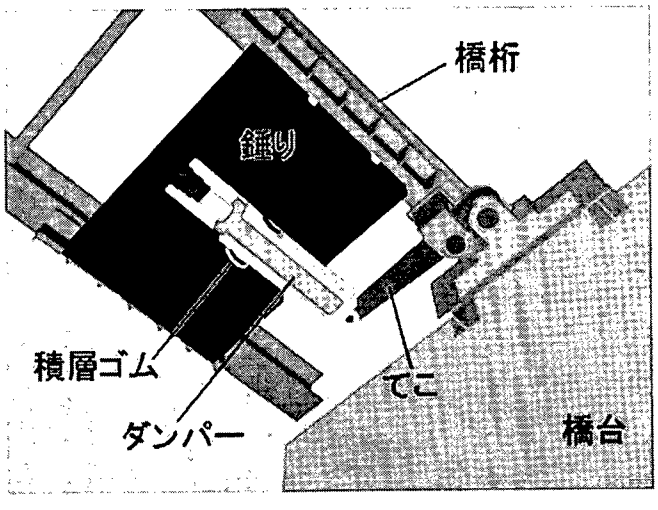


図1　装置設置イメージ

(特許の有無)
・出願中（出願番号：特願平 10-31249，発明等の名称：橋桁の振動減衰装置）

参考文献(効果確認)	金子誉，勝川藤太，吉谷進治，鈴木猛康：パワフル TMD の模型振動台実験，第２３回地震工学研究発表会，pp525-528，1995.7.

補 強 効 果 （実験例、適 用 事 例）

（振動台実験）

・パワフル TMD の制震効果を検証するため，実大橋梁の重さ１／１３００の模型を用いて模型振動台実験を実施した。写真１は実験状況である。図２は，神戸海洋気象台（NS）記録を加振波とした場合の振動台とコンクリート版の相対変位を，無制震とパワフル TMD 設置の２ケースについて示したものである。本制震装置を設置したケースは無制震のケースと比較して構造物の応答変位を５０％まで低減でき，また地震動の初期段階から制震効果が得られることが確認された。

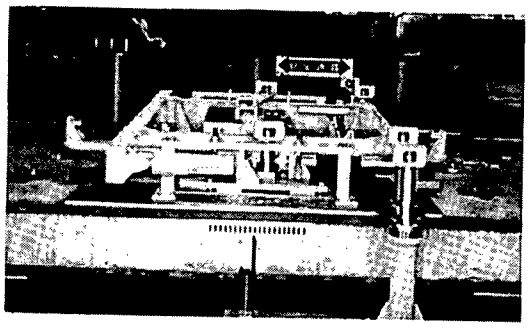


写真１　実験状況

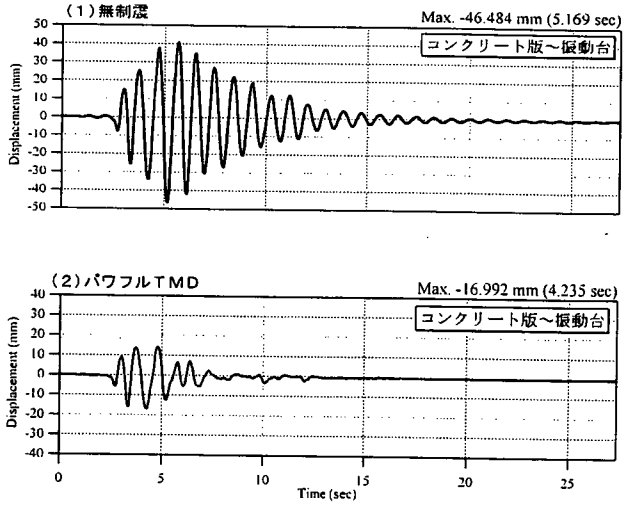


図２　応答変位（神戸海洋気象台　１５０gal）

（設 計 例）

・これまでに既設橋梁の耐震補強工法として，数件の試設計を実施している。図３は，そのうちの２橋梁における，非線形地震応答解析による橋脚頂部の水平変位を示したものである。いずれの橋梁においても，パワフル TMD は大きな制震効果を発揮している。

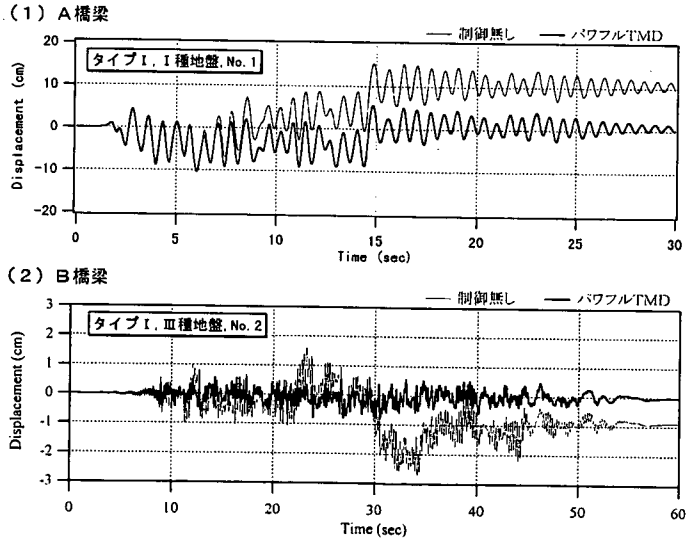


図３　橋脚頂部水平変位

開 発 者	建設省土木研究所，（財）土木研究センター，（株）熊谷組
参考文献（適用事例）	榎木，香川，金子，勝川，鈴木，伊澤，利根川：制震装置適用による実既設橋梁の耐震補強に関する検討，第１０回日本地震工学シンポジウム，pp.2889-2894，1998.11. 勝川，金子，鈴木：既設河川横断橋に対する耐震補強を目的とした制震装置の適用，第５３回年次学術講演会Ⅰ－Ｂ，pp.288-289,1998.10.

補強対象部位	吊橋および斜張橋主塔	補強技術名	液体を用いた制震装置による制震工法	マニュアル	有・無
補強の目的	制震装置を付加することによる主塔の減衰効果の向上を図る。				

（概　　要）

吊橋ならびに斜張橋の主塔の頂部付近に、液体を用いた制震装置TLD（Tuned Liquid Damper）を設置するものであり、これにより、主塔の減衰効果が向上し、地震時の主塔の応答量を低減させることができる。

（特　　徴）

・内容物が液体であり、その液体は一般の水道水を使用していること。
・機械式の制震装置と比べて、設置が容易であり、基本的にメンテナンスフリーであること。
・強震時のほか、強風時にもその制震効果を発揮すること。
・内容物が水であるため、災害時の非常用用水としての転用も可能であること。

（使用材料・使用機材）

・内容物の液体は、一般の水道水を使用。
・容器は、アクリル樹脂等を使用。
・容器内側の消波材は、ポリプロピレンを使用。

（留 意 点）

・設置前に主塔の振動特性を調査・検討する必要があること。
・主塔の頂部付近に、制震装置（容器）を設置するためのスペースが必要であること。

（適用部材）

・吊橋ならびに斜張橋の主塔

（特許の有無）

特許出願中

参考文献（効果確認）	佐々木淳，塩崎洋一，長谷部廣行，武内義夫：消波材を用いたTLD（Tuned Liquid Damper）の実験的研究，日本建築学会技術報告集　第1号，pp.167-171，1995年2月.

4

補　強　効　果（実験例、適用事例）

（補強効果確認概要—実験結果等）

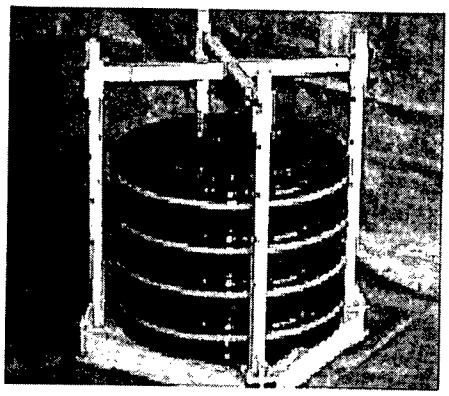
○TLDの緒元

TLDの容器は、図－１に示すような、円筒形の容器であり、容器内の壁面の網状の骨格体（消波材）が設置されている。

容器の直径は、主塔の固有周期によって変化するが、一般には0.5～3m程度の直径の容器が用いられる。

容器の内容は物液体であり、一般に水道水が用いられている場合が多い。

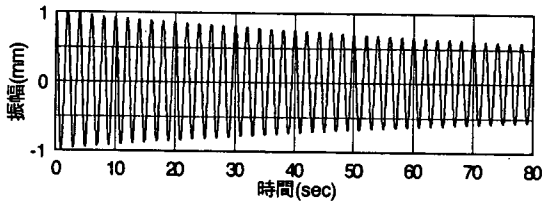
設置する際には、図－１にあるように、容器を重ね合わせることにより、省スペース化を図る。



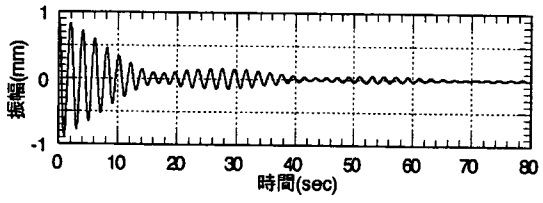
図－１　TLDの容器形状

○実験結果の一例

図－２に、TLDを設置した場合と、設置していない場合の比較の図を示す。TLDを設置することによって、減衰効果が向上しており、初期の減衰定数で見ると、設置していない場合の３～４倍以上減衰定数が大きくなる。



(a) TLDを設置していない場合



(b) TLDを設置した場合

図－２　TLDの有無による自由振動波形の違い

開発者	佐々木　淳、塩崎　洋一、長谷部　廣行（西松建設　技術研究所　研究部　構造研究課）
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	橋脚	補強技術名	免震装置	マニュアル	有・無
補強の目的	橋桁を免震支持することにより、地震エネルギーを吸収し、橋脚の損傷を低減させる。				

(概　要)

・道路橋の耐震性能を向上させるために免震装置として西松建設が開発したリングダンパーを適用する。
・建設省土木研究所との官民連携共同研究の中で、西松建設委の保有技術を生かして開発したものである。
・免震装置は橋の支承部に、積層ゴムと鋼製のリングダンパーを組み合わせて用いる。
・経済性にも優れた設計を実現できるように免震効果を積極的に取り入れた設計に基づいている。

(特　徴)

・免震装置にリングダンパーを用いて水平方向の地震力の一部を負担させる構造である。
・リングダンパーの径やダンパーの幅を調節して、設計変形性能を調節し、経済的に優れた設計を実現する。
・建築構造物における免震技術の実績を生かして、免震装置の復元力特性を十分に引き出している。
・鋼製のリングダンパーは昭和58年に特許登録済みであるが、現在は権利期間を過ぎたため、現在は自由に利用することができる。

(使用材料・使用機材)

・積層ゴム：橋梁の上部構造を柔らかく支持し、長周期化をはかる。
・鋼製リングダンパー：ステンレス鋼材(SUS304)を用いる。
　長方形断面のステンレス帯鋼を半円形に曲げたものを２つ溶接し、両端にはダンパー固定用のピンを設ける。このリングダンパーにより、地震時の振動エネルギーを吸収する。

(留 意 点)

・支承部脇にダンパー設置のため、60 ～ 80cm のスペースが必要となる。

(適用部材)

・橋脚

(特許の有無)

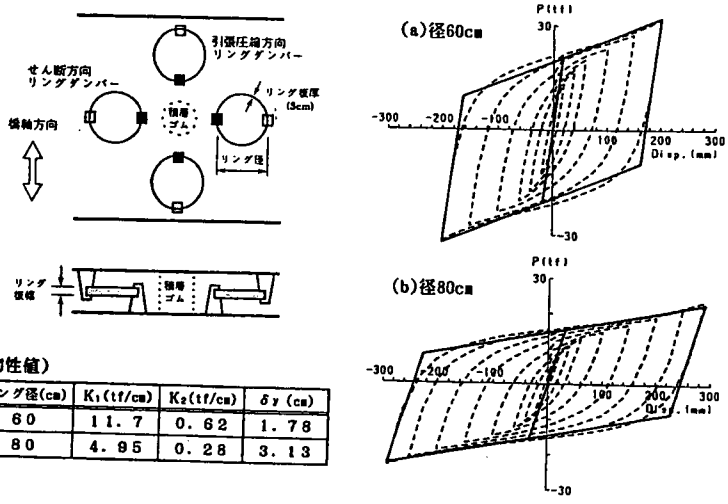
・有り(登録番号：1137771、昭和58.2.28)

参考文献 (効果確認)	・共同研究報告書第60号「道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究報告書(その３)」、建設省土木研究所、平成４年10月 ・神谷宏、他「橋梁用鋼製ダンパー支承の特性」、土木学会第46回年次学術講演会、1991.9

補 強 効 果 （実 験 例、適 用 事 例）

（補強効果確認概要－実験果等）

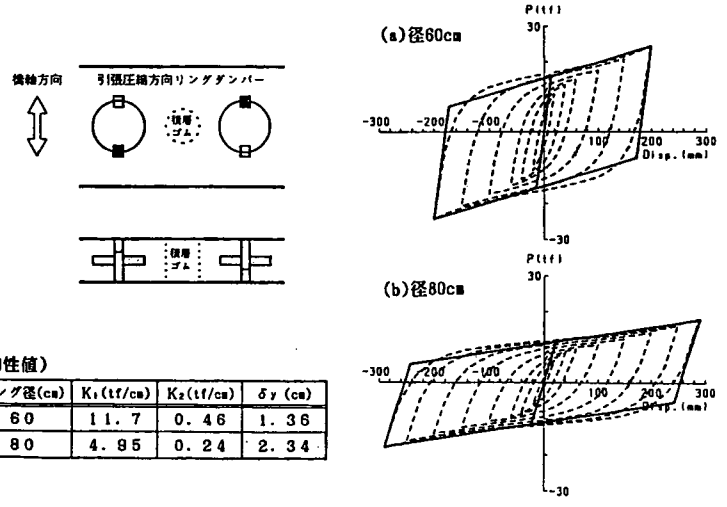
・図１はリングダンパーを４個１組で用いた場合、図２は２個１組で用いた場合の配置と履歴曲線を示す。図中の波線は実験で得られた履歴曲線を、実践はバイリニアにモデル化した場合の理論曲線である。いずれも、実験で得られた結果は理論と良く一致している。



（物性値）

リング径(cm)	K_1(tf/cm)	K_2(tf/cm)	δy (cm)
60	11.7	0.62	1.78
80	4.95	0.28	3.13

図１ リングダンパーの配置と復元力特性（４個１組）



（物性値）

リング径(cm)	K_1(tf/cm)	K_2(tf/cm)	δy (cm)
60	11.7	0.46	1.36
80	4.95	0.24	2.34

図２ リングダンパーの配置と復元力特性（２個１組）

開 発 者	
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	鋼橋脚	補強技術名	高減衰材料による免震	マニュアル	㊀・無
補強の目的					

(概　要)

橋梁や建築物の構造部材や構造支持部に、高減衰材料適用し地震時の振動エネルギーを吸収し構造物の変位や断面力を制御する。

(特　徴)

下図に示すようにM(モーメント)－θ(回転角)の履歴減衰によりエネルギーを吸収する。荷重分担は鉛直力、せん断力をﾋﾟﾝ構造で、曲げに対しては、低降伏点鋼材 LYP235 で抗する。

(使用材料・使用機材)

低降伏点鋼材 LYP235

(留 意 点)

常時には活荷重に対して支持機構を有する様に設計をおこなう必要がある。

(適用部材)

主に大きな曲げﾓｰﾒﾝﾄが発生する、不静定構造物の柱基部が望ましい。

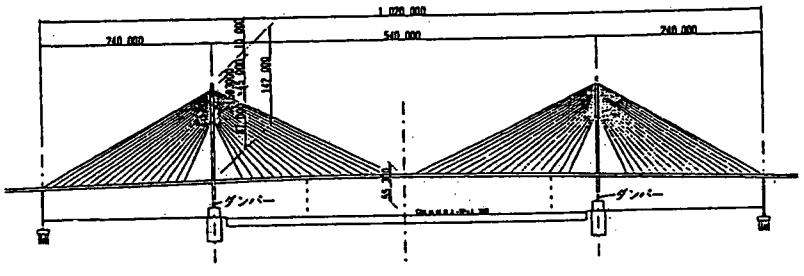


図　斜張橋塔基部へのダンパーの設置例

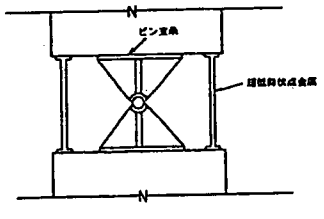


図　ダンパー構造

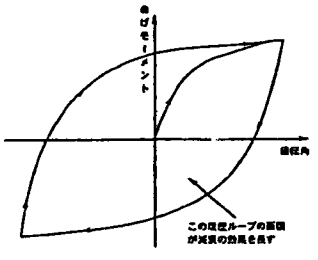


図　履歴減衰特性

(特許の有無)

特許出願中

参考文献(効果確認)	

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

下図のようなボックス構造を有する単純梁にアクチュエーターによる載荷をおこない、低降伏点部材に曲げを発生させた。その結果下記のような履歴形状と減衰定数を確認できた。

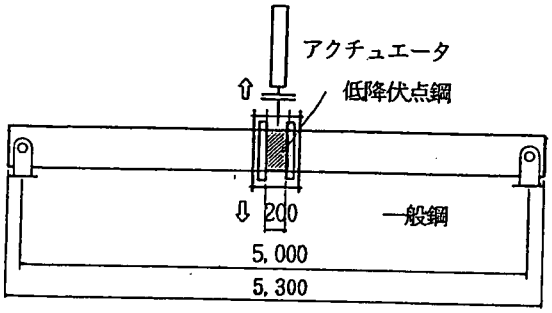


図-　繰り返し曲げ試験の概要

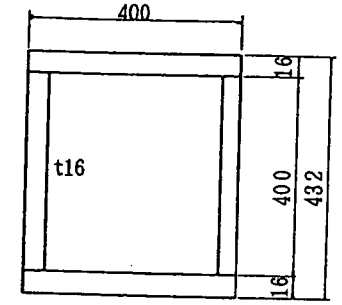


図-　低降伏点鋼断面

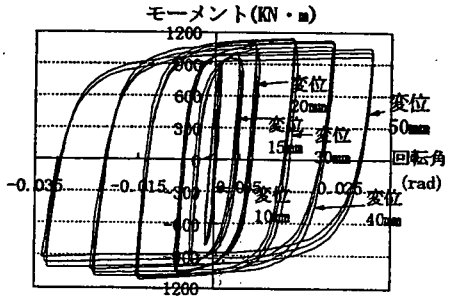


図　ヒステリシス

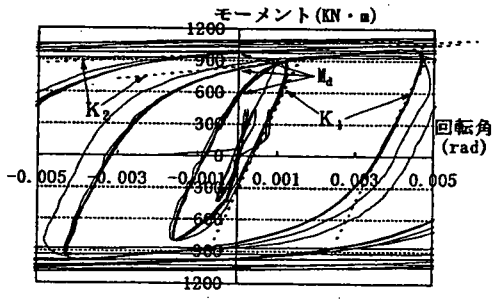


図　ヒステリシス（図-3 の拡大）

（適用事例）

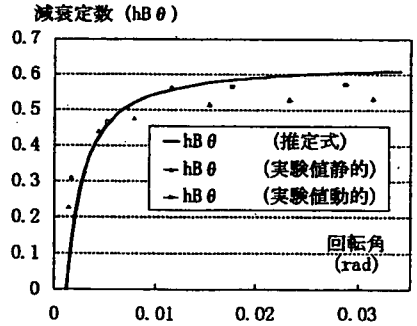


図　等価減衰定数の比較

開 発 者	林 亜紀夫
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	鋼橋脚	補強技術名	粘弾性ダンパーによる免震	マニュアル	有・無
補強の目的	ダンパーにより地震時応答を低減し許容耐力(変位、曲率)内に収める				

(概　要)

ビルに隣接する道路橋の耐震性能を平成 8 年度の道路橋示方書により照査した結果、耐震性能が不足していることが判明した。ここではビルと道路橋の固有周期が異なることに着目し、両者の間に粘弾性のダンパーを設け地震時の応答低減を試みた。

(特　徴)

ゴム系の免震支承と比べ小さい変位でも大きな減衰性能が得られる。

(使用材料・使用機材)

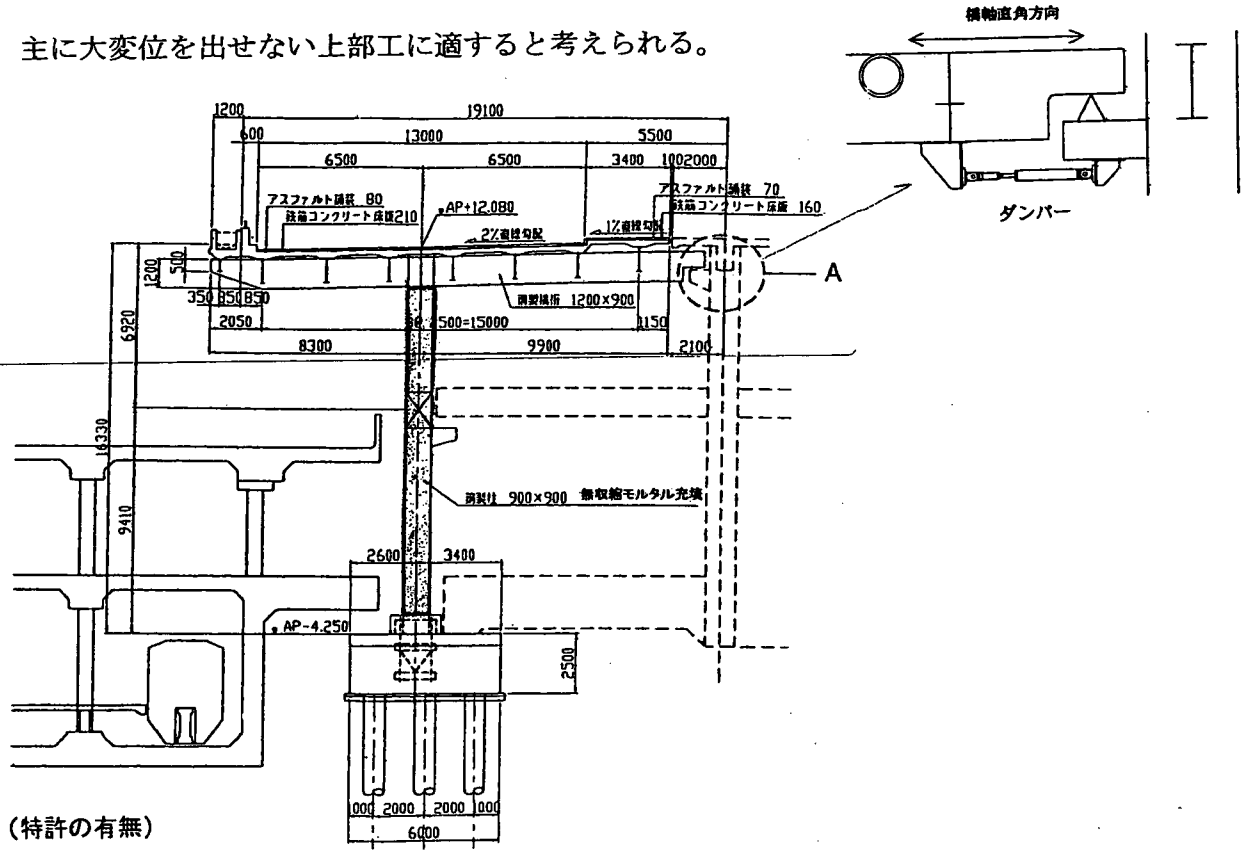
鉛系のﾀﾞﾝﾊﾟｰ

(留 意 点)

ダンパーの容量を調整し最適な値を見出す必要がある。

(適用部材)

主に大変位を出せない上部工に適すると考えられる。



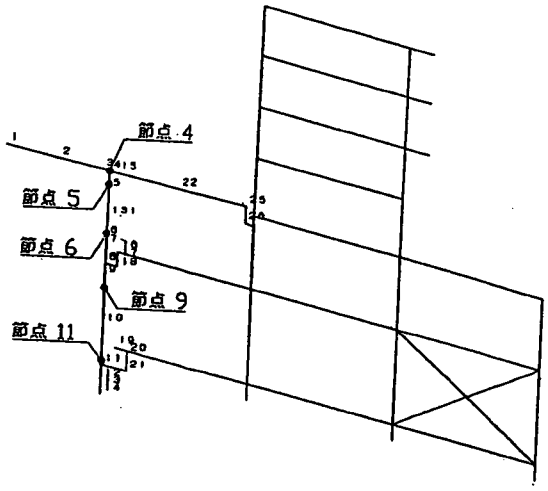
(特許の有無)

参考文献(効果確認)	

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

非線型動的解析(TYPE Ⅰ、TYPE Ⅱ)により、その効果を検証した。この結果上部工の変位(節点 4)は、ダンパーを設けない場合 17ｃｍ発生していたが、ダンパー設置後は 4.97ｃｍ(TYPE Ⅱ)となった。また鋼橋脚の発生局率は許容局率以内に収まっている。



（適用事例）

部位	節点番号	断面力変位等	L2(直接積分法)			
			TYPE1		TYPE2	
			Ⅰ-Ⅲ-1	Ⅰ-Ⅲ-2	Ⅱ-Ⅲ-1	Ⅱ-Ⅲ-2
上部工	4	等価設計震度	0.77		1.13	
		応答加速度α(gal)	755.25		1109.53	
		応答変位(cm)	7.71		9.59	
		支承部変位(cm)	2.97		4.97	
		支承部許容変位(cm)	5			
		判定	OK		OK	
下部工	5	降伏モーメントM_y(tf·m)	696.2			
		最大モーメントM_{max}(tf·m)	396.11		639.87	
		降伏曲率φy	0.003663			
		最大曲率ϕ_{max}	0.002084		0.00337	
		許容曲率φa	0.03170		0.05974	
		判定	OK		OK	
	6	降伏モーメントM_y(tf·m)	696.2			
		最大モーメントM_{max}(tf·m)	217.69		337.65	
		降伏曲率φy	0.003663			
		最大曲率ϕ_{max}	0.001145		0.00178	
		許容曲率φa	0.03170		0.05974	
		判定	OK		OK	
	9	降伏モーメントM_y(tf·m)	619.4			
		最大モーメントM_{max}(tf·m)	453.5		620.28	
		降伏曲率φy	0.003533			
		最大曲率ϕ_{max}	0.002587		0.003878	
		許容曲率φa	0.0313		0.0591	
		判定	OK		OK	
	11	降伏モーメントM_y(tf·m)	740.4			
		最大モーメントM_{max}(tf·m)	203.08		303.33	
		降伏曲率φy	0.003574			
		最大曲率ϕ_{max}	0.00098		0.001464	
		許容曲率φa	0.0329		0.0622	
		判定	OK		OK	

開 発 者	
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	橋梁上部工	補強技術名	落橋防止構造用緩衝チェーン	マニュアル	(有)・無
補強の目的	橋梁上部工の落橋防止				

(概　要)

緩衝効果を発揮するショックレスチェーンを上部材として、設計移動量を確保する協力チェーン及びシャックルで構成されるチェーン式落橋防止装置。

(特　徴)

(1)ショックレスチェーンの使用により、衝撃緩和が可能です。
(2)超過応力に対して、伸びて緩衝緩和しますが、チェーンが切れにくくなっています。
(3)上部工、下部工に取り付ける定着用ブラケットの形状をコンパクト、軽量にできます。
(4)地震時慣性力の作用方向に対して自由度があります。
(5)構造が簡素であり、取付が容易です。また、溶融亜鉛メッキが施してあるため錆に強く、維持管理も容易です。
(6)既設橋梁の落橋防止工に最適です。

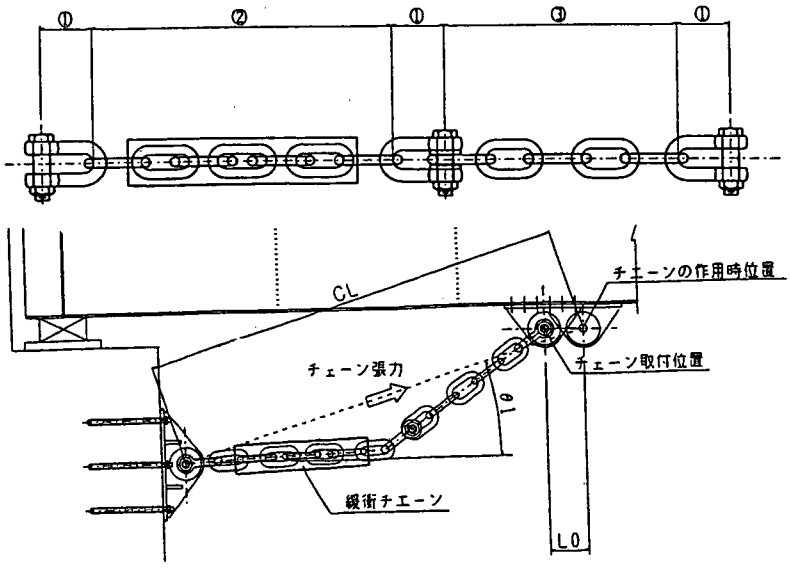
(使用材料・使用機材)

ショックレスチェーン:SCM420H、 強力チェーン:SCM420H、 SCM430
強力シャックル:SCM435、 緩衝ゴム:クロロプレーンゴム

(留意点)

本落橋防止装置は2種類の落橋防止装置を設置するとした場合、突起等の落橋装置が効果を発揮した時点以降に作用し、且つ最大でも桁かかり長(SE)以内で有効に作用するものとする。
単独で使用する場合は、沓の移動量を阻害しない範囲で有効に作用するものとする。
この場合でも緩衝チェーンが必要水平力に達する位置を把握しておく必要がある。伸びの余裕長が小さくなると緩衝機能が低下する恐れがある。

(適用部材)



①強力シャックル
②ショックレスチェーン
①強力シャックル
③強力チェーン
①強力シャックル

(特許の有無)　特許あり。

参考文献(効果確認)	JSSC特集「阪神高速道路の復旧」(緩衝チェーン型落橋防止装置)、NO. 24. 1997

補 強 効 果 （ 実験例、適用事例 ）

（補強効果確認概要－実験結果等）

重錘落下による衝撃実験の実験装置を図1に示す。測定項目は重錘を落下させたときの発生荷重（ロードセル①②）とした。衝突エネルギー量は重錘の振り上げ角度で変化させ、角度は 40、45、55、65度 の4種類とした。また、現場状況を考慮して供試体の状態をセミ緊張状態と弛緩状態の2種類とした。

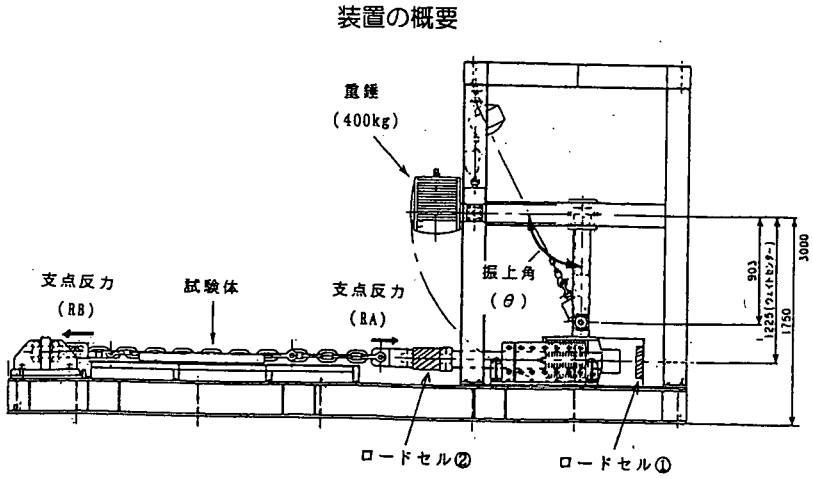


図1　実験装置

図2及び図3に実験結果を示す。これらの結果から以下のようなことが確認できた。

- 緩衝チェーンの最大発生荷重は各衝突エネルギー下において従来チェーンの40%程度に低下する。
- 発生荷重の設置条件（弛緩状態）による差は少ない。
- 緩衝チェーンと従来チェーンの衝撃波形を比較すると、緩衝チェーンの波形の方が荷重ピーク値が小さく、作業時間が長くなっている。

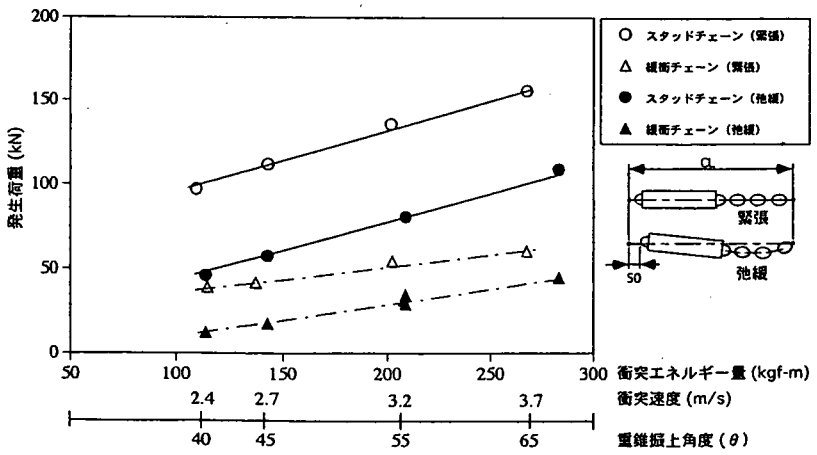


図2　衝突エネルギー量と発生荷重

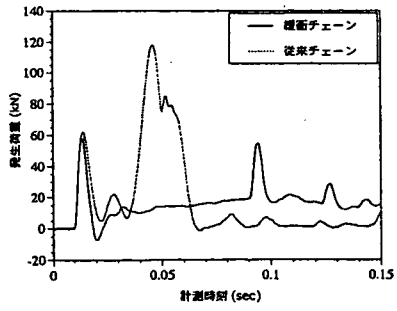


図3　衝撃波形

開発者	ショーボンド建設（株）、シバタ工業（株）、昭和機械商事（株）
参考文献 （適用事例）	JSSC特集「阪神高速道路の復旧」（緩衝チェーン型落橋防止装置）、NO. 24. 1997 日本道路協会：道路橋示方書（耐震編） P. 199～P. 226

補強対象部位	橋梁下部工	補強技術名	ＧＡＰ(ｶﾞｯﾌﾟ) 工法	マニュアル	有・無
補強の目的	老朽化による蘇生及び被災時の破壊防止				

（概　　要）

・この工法は橋梁の役割を重視し専門に開発したものです。現場に合わせた機械・装置を開発し、システム化したことで、桁下の高さや潮の干満など現場ごとに異なる施工条件をすべてクリアしています。従って、既存の交通に全く支障を与えることなく工事を進めることができます。また数々の困難な施工条件を克服した実績は、すでに 10 年を越え、150 橋以上に及んでいます。

（特　　徴）

・環境保護性…静荷重圧入方式のため騒音・振動などの公害を発生しない。また工事による影響範囲は施工システムのスペースしか及ばない。
・安全確実性…施工システムはしっかりした既存の杭を掴む機構のため、転倒の心配がまったくない。また操作はラジコンで、安全な場所から施工可能。
・急速性……．システム化した機械・装置の合理的な協調作業により大幅に工期が短縮。また複数のシステムを導入する事で、飛躍的な工期短縮が可能。
・経済性……．仮桟橋の設置などの架設工事を必要としないので、大幅な工費の削減が可能。また既存の交通に支障を与えない経済波及効果は計り知れない。
・芸術性……．システム化された施工のため運用は非常にスムーズ。また施工後もしくは構造体に化粧材を施すことで、景観に調和した文化的な橋梁が完成。

（使用材料・使用機材）

・使用材料は、鋼矢板、鋼管矢板、H 鋼矢板等。
・使用機械は、施工条件に最適な機種を選択できる。またコーナー施工、カーブ施工可能。

（留 意 点）

・土質条件としては、礫質土、砂質土、シルト、粘性土、有機質土であり硬質地盤においては、ウォータジェット等による補助工法を併用する。
・作業条件によって、機種・施工条件が異なります。

（適用部材）

・橋台及び橋脚

（特許の有無）

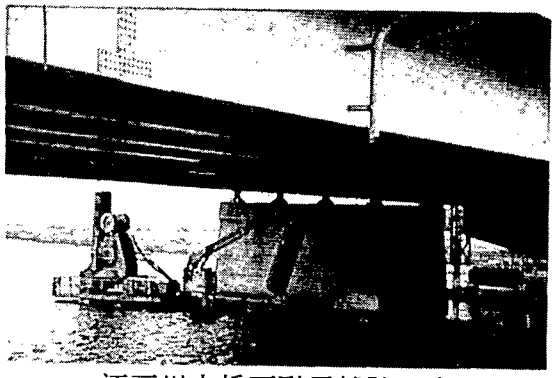
有（番号:一切制約はしておりません。）

参考文献（効果確認）	施工実績

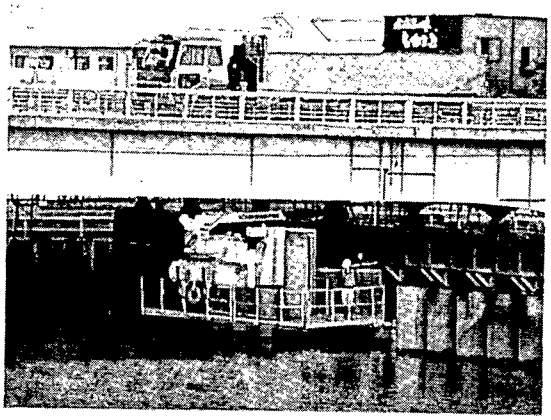
補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

（補強効果確認概要）

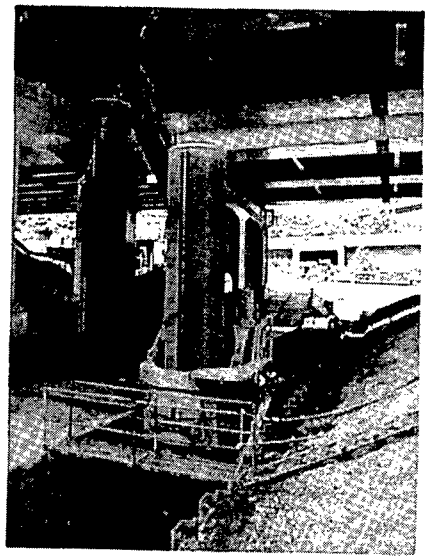
多くの施工実績によりその効果が得られています。



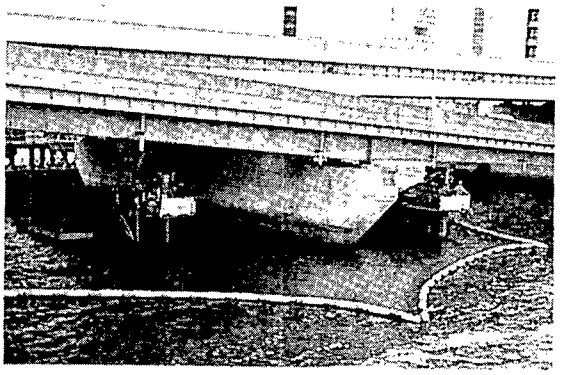
江戸川大橋西耐震補強工事
（東京都）



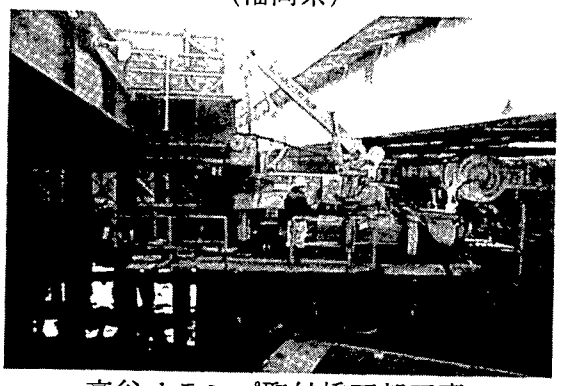
一之江橋東下部工補強工事
（東京都）



地盤流動対策工事
（東京都）



第 107 工区高架橋下部工新築工事
（福岡県）



高谷ｄランプ取付橋下部工事
（千葉県）

開発者	株式会社 技研製作所　TEL(03)5460－6111　FAX(03)5460－6117 〒140－0002　東京都品川区東品川２丁目３番１２号 シーフォートスクエアセンタービル１７階 工法事業部工法推進課　安岡 博之　E－mail:suishintok@pop21.odn.ne.jp
参考文献（適用事例）	当社施工実績 ＧＡＰ工法カタログ

補強対象部位	水中にある鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	水中橋脚補強用仮締切工法	マニュアル	有・無
補強の目的	水中橋脚の補強に当たって、仮締め切り工としてコルゲートを採用				

（概　　要）

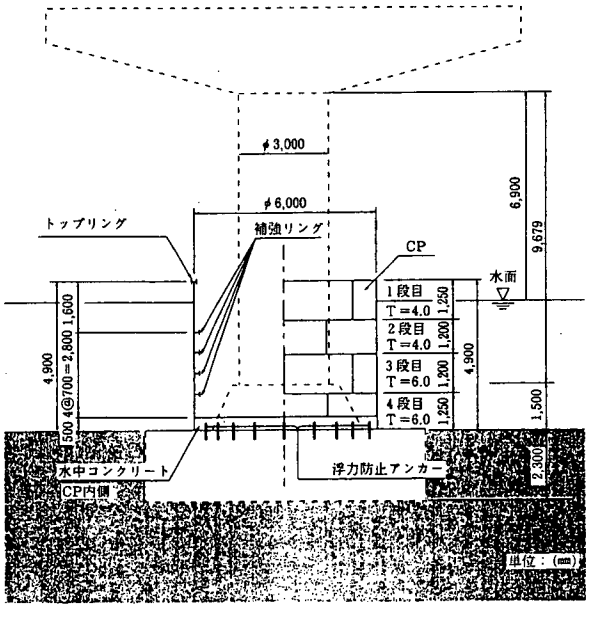
・通年施工による出水期対策として河積阻害率の低減、護岸構造物の撤去などを最小限にし、工期短縮を図る目的で貯水槽に使用しているコルゲートを河川内仮締め切り工として採用。

（特　　徴）

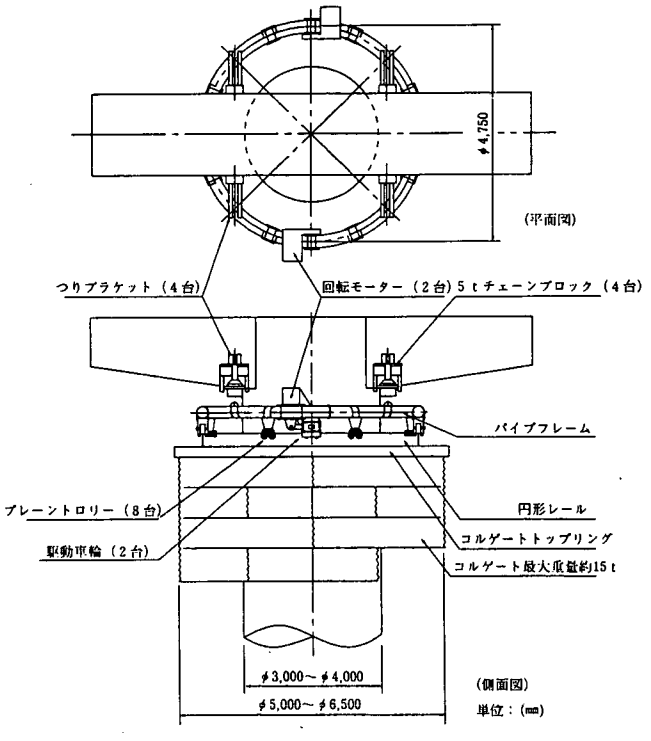
・本来貯水槽として製品化されているコルゲートパイプを使用。
・浮力対策として、コルゲート内に水中コンクリートを打設して差し筋アンカーの付着強度と引張強度で対抗。
・コルゲートの組立に「電動チェーンブロックに懸垂された回転可能な吊り治具」を考案。

（使用材料）

・コルゲートパイプ（φ5000mm～φ6500mm、高さ4900mm～5500mm、重量 Max15ton）
・水中コンクリート
・差し筋アンカー
・補強リング



コルゲートパイプ標準構造図



コルゲートパイプ組立装置全体図

（特許の有無）

・「仮締切り工法と締切り部材の組立・沈設装置」特許平9-181700号

参考文献（効果確認）	

適　用　事　例

（適用事例）

「コルゲートパイプ組立装置の特徴」

①橋脚梁部に設置した４台の電動チェーンブロックで懸垂され、上下方向および円周方向にコルゲートパイプを移動させながら１隻の台船上でコルゲートパイプを確実かつ安全に組立と沈設ができる装置。

②本体は、上段のパイプフレームと下段の円形レールの２段で、プレーントロリーによりレールを吊り下げる構造。

③コルゲートパイプを組み立てる過程においてパイプフレームにはコルゲートパイプの偏荷重が約１トン作用するが、十分な捻れ剛性を有しているため、コルゲートパイプは変形することなく組立られる。

④円形レールは360度回転可能で、回転駆動装置をパイプフレーム上に２台配置し、レールを回転させる。確実な駆動力と制動力を得るため、レールの上フランジをプレーントロリーローラーとウレタンゴムを溶着した駆動車輪で挟み込み接触圧を発生させる。

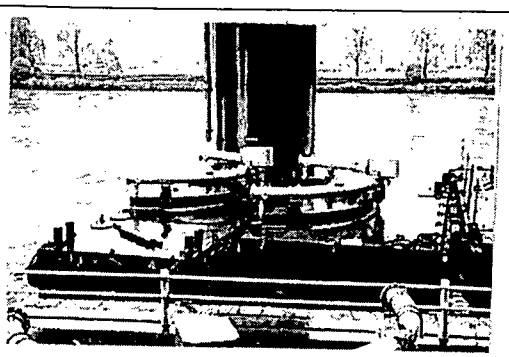
⑤駆動車輪ユニットはパイプフレームにピンで固定され、円形レールの製缶誤差を吸収できる遊動可能な構造とし、スムーズな回転を得ることができる。

⑥装置全体は、円周方向に２分割構造であり、分割した状態でも水平が保たれるバランスを有している。そのため、懸垂した状態での組立、解体作業が容易となり、橋脚間での移動が安全に行える。

⑦運転操作は有線式釦スイッチとしている。これは高速道路近辺では強力な有害電波による無線の誤動作が予想されるための対策である。そして４台の電動チェーンブロックは同調運転と単独運転の選択ができ、コルゲートパイプ組立作業時は通常同調運転で行い、レベル調整が必要な場合単独運転に切替える。

⑧コルゲートパイプの固定は、円形レールに吊り下げた金具でトップリング補強部材を挟む構造とし、コルゲートパイプの直径に関係なく固定が可能。

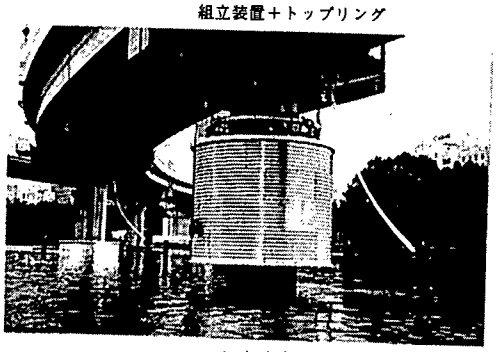
⑨安全装置関係は、過巻き・過負荷防止装置を備えると共に、万一の場合の各種インターロックを電気的制御により行っている。



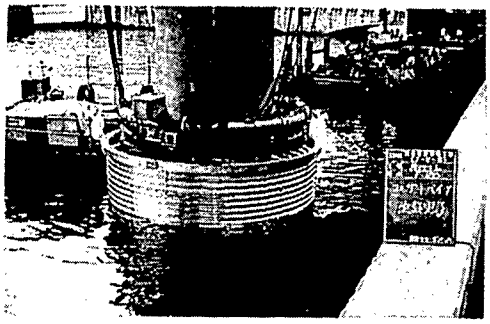
CP組立装置分割状況



組立装置＋トップリング



CP組立完了状況



CP沈設完了状況

開発者	（株）鴻池組
参考文献（適用事例）	西川博之、坂東健司：水中橋脚補強用仮締切工法の施工＝コルゲートパイプ組立装置の開発と水中仮締切工法の施工＝、建設機械、399、Vol. 34、No. 5、1998. 5

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法（接合部）	マニュアル	有・無
補強の目的	定着用のアンカー筋と補強鋼板をコンクリートを介して接合する。				

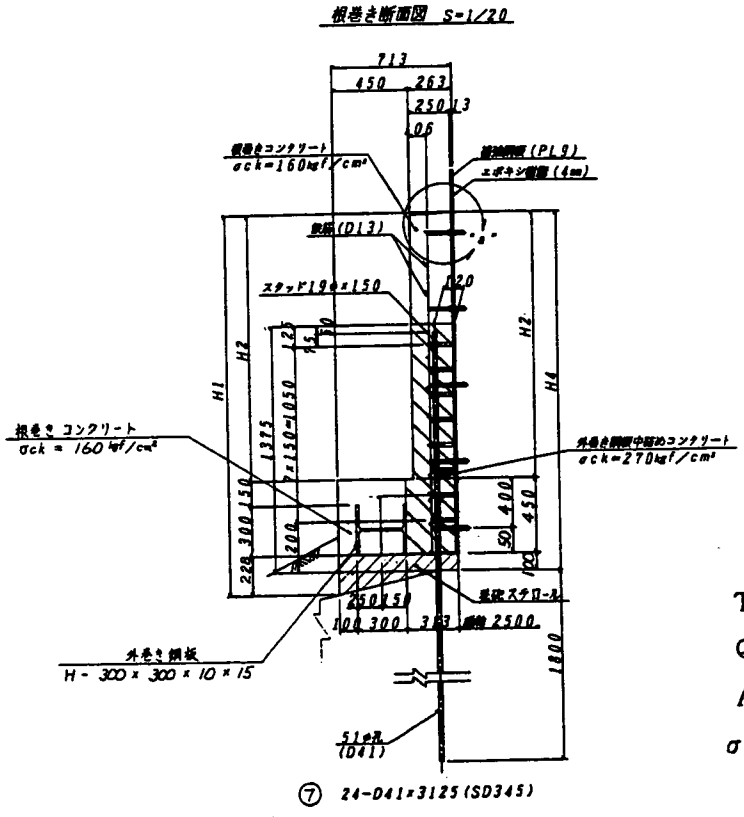
（概　　要）
・スタッド接合により、補強鋼板はスタッドを介してコンクリート部と一体化し、定着用のアンカー筋はアンカー筋の付着力によりコンクリート部と一体化することで、アンカー筋の断面力を鋼板に伝達する。

（特　　徴）
・既設フーチングの鉄筋を避けて設置した、定着用アンカー位置のバラツキに対応した施工ができる。

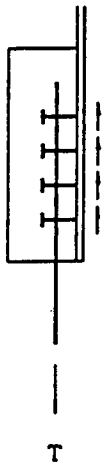
（使用材料・使用機材）
・鋼材（スタッド）

（留 意 点）
・設計に際しては、スタッドのせん断耐力は、アンカー筋の降伏耐力以上とする。

（適用部材）
・　　円形橋脚、矩形橋脚



スタッド接合の設計



$$\Sigma Q \geq \Sigma T$$

$$Q \quad T = As \cdot \sigma sy$$

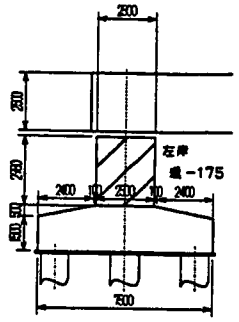
T：補強鉄筋一本当りの降伏耐力(kgf)
Q：スタッド一本当りのせん断耐力(kgf)
As:補強鉄筋の断面積（cm²）
σsy: 補強鉄筋の降伏強度(kgf/ cm²)

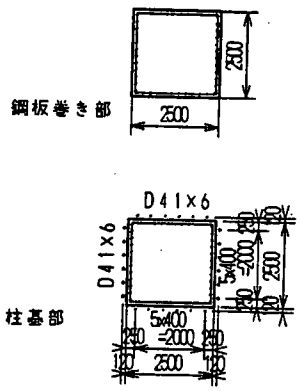
（特許の有無）

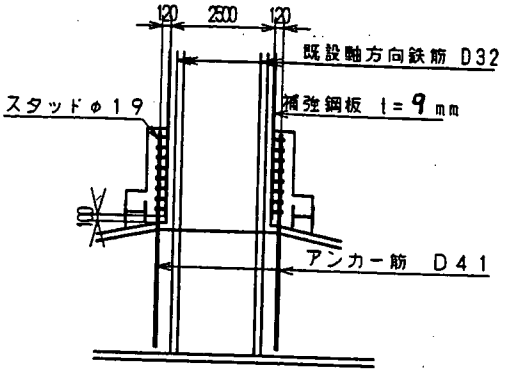
参考文献（効果確認）	首都高速道路公団　保全施設部：既設ＲＣ橋脚の耐震性向上設計要領（案）H7.11

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

（適用事例）







定着部の構造

照査方向（段落とし部高さ）	基部 鉄筋量	段落とし部 鉄筋量	基部 帯鉄筋量	段落とし部 帯鉄筋量	A	T
橋軸方向 (hc=1.650m)	12-D32 11-D16	12-D32	D16 ctc 250	D16 ctc 250	62 500	0.305
直角方向 (hc= m)	12-D32		D16 ctc 250		62 500	0.306

補強工法（該当に○）		板厚	充填方法	ｱﾝｶｰ筋
じん性向上補強		9mm	エポキシ樹脂	D41 橋軸方向 6本 橋直方向 6本
耐荷向上補強				
曲げ耐力制御式補強	○			

補 強 前

地震時保有水平耐力の照査	照査方向	δy	δu	Py	Pu	Ps	μ	Pa	W	khc	Pa≧khc·W
	橋軸方向(+)	0.51	4.00	275	346	351	5.61	323	1265	0.46	out
	直角方向(+)	0.93	6.95	216	264	351	5.33	248	549	0.47	out

補 強 後

δy	δu	Py	Pu	Ps	μ	Pa	W	khc	Pa≧khc·W
0.70	10.85	412	550	1297	8.00	504	1265	0.37	ok
1.38	18.94	320	420	1297	8.00	387	549	0.38	ok

A：段落とし部柱断面積(cm²)
T：固有周期(s)
Py[δy]：降伏水平耐力(tf)[降伏変位(cm)]
Pu[δu]：終局水平耐力(tf)[終局変位(cm)]
Ps：せん断耐力(tf)
Pa：地震時保有耐力(tf)
W：等価重量(tf)
μ：許容塑性率
khc：等価水平震度

開発者	
参考文献（適用事例）	首都高速道路公団　保全施設部：既設ＲＣ橋脚の耐震性向上設計要領（案）H7.11

補強対象部位	鉄道・道路橋のRC橋脚	補強技術の名称	かみ合わせ継手による鋼板巻立て工法（無溶接型）
補強目的	鉄道及び道路橋のＲＣ橋脚にかみ合わせ継手+鋼板巻立てにより補強する工法である。		

（概　要）

- 本工法は、高架橋などのＲＣ柱に鋼板を巻立てて補修・補強を行う工法のうち、継手部をノコ歯状のかみ合わせ継手を採用した耐震補強工法である。
- 継手部が機械式継手であるため、現場での溶接が不要であり、施工時に天候の影響を受けない。
- 溶接を不要としたことで、工期短縮とコストダウンが可能になる。

（特　徴）

- 阪神・淡路大震災級の地震荷重に対応可能である。
- 柱部のせん断耐力及びじん性を向上できる。
- かみ合わせ継手により、現場溶接が不要である。
- 鋼板の組み立て足場が不要である。
- 工期短縮、コストダウンが可能である。

（使用材料・使用機材）

- 鋼板：ＳＳ４００
- 柱断面幅の最大寸法に対応する鋼板厚　700 を越え 1,000 以下　t=6mm　1,000 を越え 1,500 以下　t=9mm　1,500 を越え 2,000 以下　t=12mm　2,000 以上　t=14mm
- 継手鋼材：SM400A、SM490A
- 継手加工：切削・圧延加工
- 継手部溶接：工場溶接
- 継手部組立て：ボルト M-12 F10T 相当

（留意点）

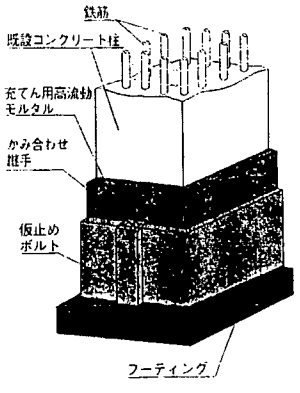
- 河川、湾岸部の橋脚補強
  ① 水中施工時の鋼板取付方法　② 水中モルタルの施工法・配合

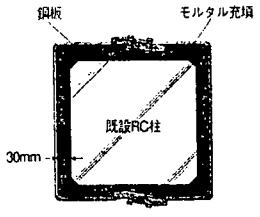
（適用部材）

- 鉄道構造物、道路橋構造物などＲＣ橋脚、高架橋橋脚

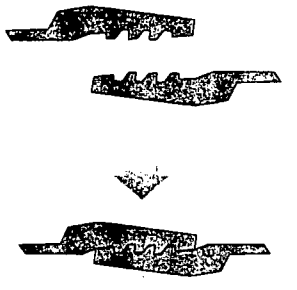
（特許の有無）

- 出願中 特開平 9-41565 号





断面図



かみ合わせ継ぎ手部

参考文献	鎌田則夫他、機械式継手を用いた鋼板巻立て耐震補強と充填モルタルの開発、ｺﾝｸﾘｰﾄ系構造物の耐震技術に関するｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ論文報告書、1997.4 小原和宏、機械式継手及び新開発ﾓﾙﾀﾙを使用したRC柱の耐震補強工、日本鉄道施設協会誌、1996.11 濱田政則、地震防災製に優れた国土の建設を目指して－進む既存社会基盤の耐震補強－、土木学会誌、VOL.82, JUNE, 1997

補強効果（実験例、適用事例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

（1） 継手部選定事前実験

機械式継手部の強度が従来の溶接継手部の強度より劣らないことを確認するために、従来の溶接継手と機械式継手とで、継手部の引張試験を行い同等の試験結果を得ている。

（2） 東北新幹線耐震補強工法継手部基礎実験

東北新幹線耐震補強工事に本継手工法が採用されるにあたり、事前実験結果を踏まえて、さらに基礎実験を行った。以下にその目的を示す。

① 継手強度が母材強度以上であること
② 終局時に鋼板のはらみ出した際、継手部が周方向に変形しても外れないこと。
③ 終局時に鉛直方向のはらみ出し量の違いが生じても継手部が健全であること。

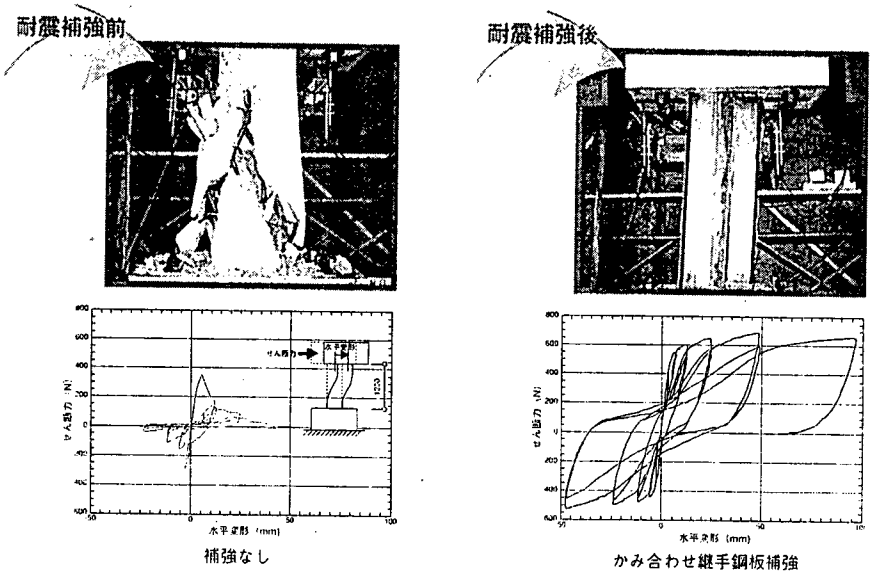
以上３点を確認するために、継手部の引張試験、継手部の周方向曲げ試験、継手部の鉛直方向曲げ試験を行い、問題が無いことを確認した。

（3） 交番載荷試験

鋼板補強工法、炭素繊維シート補強工法では、各々の補強材量をせん断補強筋に換算し、じん性率を向上させるよう設計している。

しかし、じん性率の算定には、鉄道構造物に採用されている実験結果を基にした算定法と日本道路協会で採用されている理論解を基にした算定法の２通りの手法があるが、これまで補強工法の実験、実績が少なく、いずれの方法がより適切な算定方法であるかは明確ではない。

ここでは、鋼板及び炭素繊維シートのじん性補強・せん断補強の効果を定量的に把握し、補強工法の設計方法を確立するための一助とした。



補強なし　　かみ合わせ継手鋼板補強

（適用事例）

・多摩都市モノレール支柱耐震補強工事　東京都建設局
・千石橋改修工事（その１）　東京都江東区
・橋梁橋脚耐震補強工事（御楯橋）　東京都港区
・東北新幹線大宮・小山間第１野牛高架橋ほか４個所橋脚補強その他工事　東日本旅客鉄道(株)
・新城高架橋橋脚補強工　東日本旅客鉄道(株)
・県単橋梁流山橋修繕工事（１期、２期）　千葉県東葛土木

連絡先	東日本旅客鉄道株式会社、清水建設株式会社

補強対象部位	鉄筋コンクリート柱	補強技術名	GFRPによる既存鉄筋コンクリート柱の耐震補強工法	マニュアル	有・無
補強の目的	既存鉄筋コンクリート柱の靭性能力向上				

(概　要)

既存鉄筋コンクリート柱の周方向に、ガラス繊維を主とした複合繊維織物にエポキシ樹脂を含浸して巻き付けることで柱の曲げ変形能力を高めるとともに、せん断耐力を高めてせん断破壊を防止し、靭性能力を向上させる工法である。

(特　徴)

・作業性が良い。(軽量、特殊作業不要、複層連続巻き付けが可能)
・熱膨張率がコンクリートと同等である。
・電気絶縁性が高い。
・耐熱性が高く、不燃性である。
・耐アルカリ性および耐紫外線に優れており、耐久性が高い。
・CFRP(カーボン繊維)に比べて経済的である。
・透明であり、色材を自由に選べる。

(使用材料・使用機材)

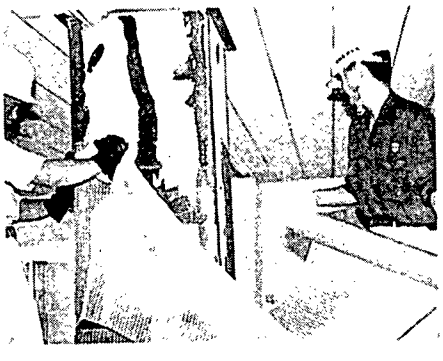
複合繊維織物(主補強方向にEガラス繊維、直交方向にEガラス繊維＋アラミド繊維)、エポキシ系含浸樹脂

(留 意 点)

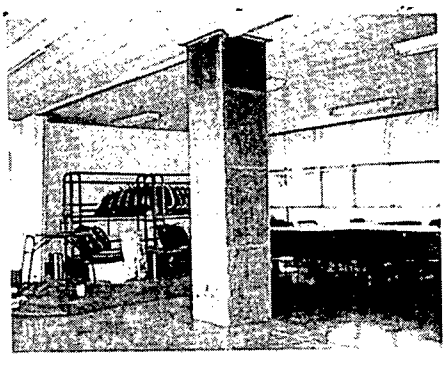
エポキシ系含浸樹脂は温度により可使時間が異なるため、作業時間及び気温を考慮してエポキシ系含浸樹脂の種類や養生方法を決める。

(適用部材)

・全周に巻き付け可能な鉄筋コンクリートの角柱及び円柱
・軸力比が 0.4 以下
・せん断スパン比が 1.0 以上
・コンクリートの圧縮強度が 135kgf/cm^2 以上 360kgf/cm^2 以下
・柱主筋は異形棒鋼及び丸鋼



GFRP の巻き付け



GFRP の巻き付け完了

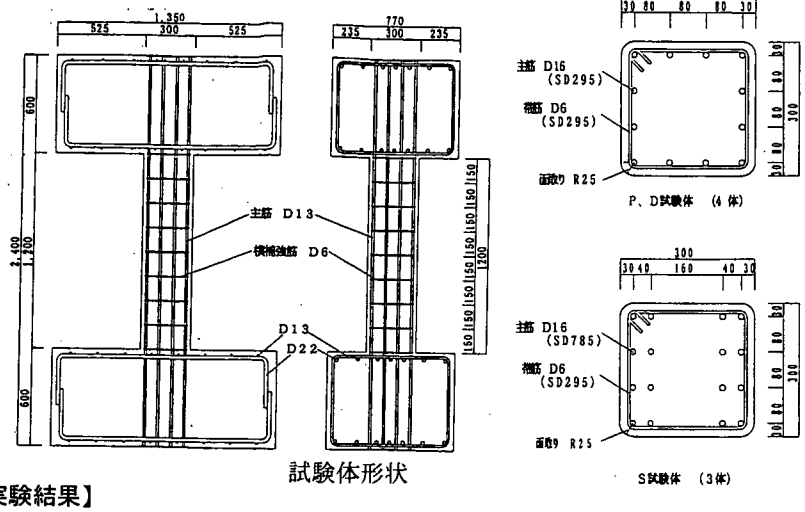
(特許の有無)

参考文献(効果確認)	M. J. N. Priestley, F. Seible, G. M. Calvi, SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES, 1996, John Wiley & Sons, Inc. 日本建築学会:「鉄筋コンクリート構造物の靭性保証型耐震設計指針(案)・同解説」 1997 年

補 強 効 果（実 験 例、適 用 事 例）

（補強効果確認概要）

【試験体】



試験体形状

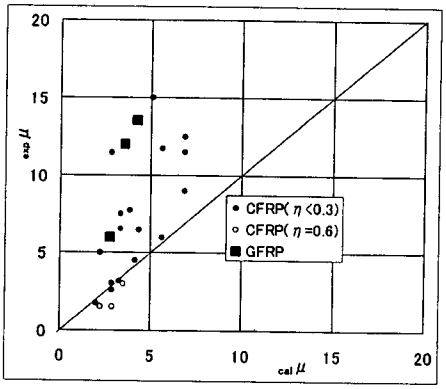
試験体の配筋および補強

名称	主筋	帯筋	GFRP
P	12-D12	2-D6	なし
D-05			0.5 巻き
D-10			1 巻き
D-15			1.5 巻き
S-05	16-D16		0.5 巻き
S-10			1 巻き
S-15			1.5 巻き

【実験結果】

❶曲げ変形能力の評価

Priestley らの提案するヒンジゾーンの圧縮軸歪と巻き付け補強量との関係を用いた評価方法により、曲げ変形能力（最大塑性率 μ）を評価できることを確認した。



曲げ変形能力の実験値と計算値の比較

❷せん断耐力の評価

「鉄筋コンクリート構造物の靭性保証型耐震設計指針（案）・同解説」に示されたせん断耐力式のせん断有効断面積の算定方法を修正した式により評価できることを確認した。

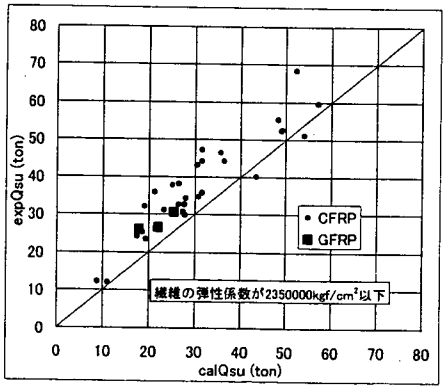
・曲げ降伏以前のせん断耐力

GFRP は設計引張強度の 20%がせん断補強として有効であるとして評価できることを確認した。

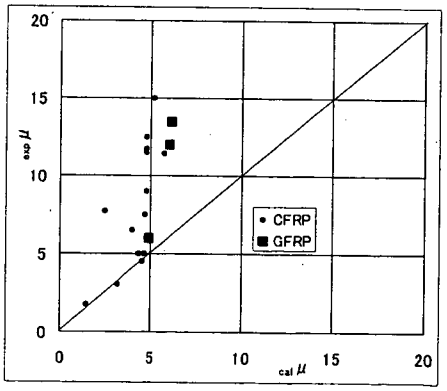
・曲げ降伏以降のせん断耐力

GFRP は設計引張強度の 100%がせん断補強として有効であるとして評価できることを確認した。

既存鉄筋コンクリート柱は、上記した評価法により、GFRP を用いてせん断破壊を防止し、曲げ変形能力に優れた柱として耐震補強することが可能である。



曲げ降伏以前のせん断耐力について
（せん断耐力の実験値と計算値の比較）



曲げ降伏以降のせん断耐力について
（限界塑性率の実験値と計算値の比較）

開発者	TYFO工法研究会（鹿島建設、熊谷組、佐藤工業、清水建設、ショーボンド建設、昭和エンジニアリング、大成建設、戸田建設、西松建設、間組、フジタ、前田建設工業、昭和高分子）
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	柱、梁、スラブ	補強技術名	ＦＲＰシート補強技術（ＭＡＲＳ工法）	マニュアル	(有)・無
補強の目的	部材の耐力上昇や変形性能の改善などを図る。				

（概　要）

・地震の被害を受けた構造物や老朽劣化した構造物を継続使用するため、高強度で軽量かつ耐食性に優れた炭素やアラミド繊維シート（ＦＲＰシート）を用いて補強する工法です。
既存コンクリート構造物のコンクリート表面にＦＲＰシートを接着樹脂を用いて貼付け・巻き付けることにより構造部材の耐力上昇や変形性能を改善することができます。

（特　徴）

（１）高強度で軽量かつ耐食性に優れたＦＲＰシートを使用しているため、補強後の重量増加や形状の変化がほとんどありません。
（２）ＦＲＰシートをコンクリート表面に貼付・巻き付けることにより補強効果が得られるため、従来の鋼鈑補強などに比べ施工が簡単です。
（３）炭素、アラミド繊維の２種類のＦＲＰシートを用いるため、用途・適用部位に応じて使い分けができます。
（４）腐食しない材料のため、塩害などの腐食環境下にも適しています。

（使用材料・使用機材）

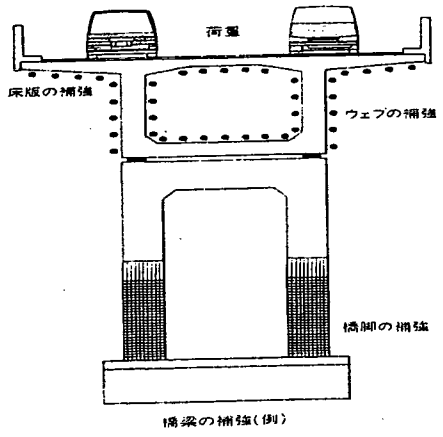
・ＦＲＰシート（繊維強化プラスチックシート）

（留 意 点）

・本工法では、火災により接着樹脂が劣化した場合、ＦＲＰシートを巻き直すことを前提条件とするが、ＦＲＰシートの表面保護、延焼防止の観点から仕上げを行う。

（適用部材）

・円形橋脚、矩形橋脚、梁、スラブ



土木構造物の補強例

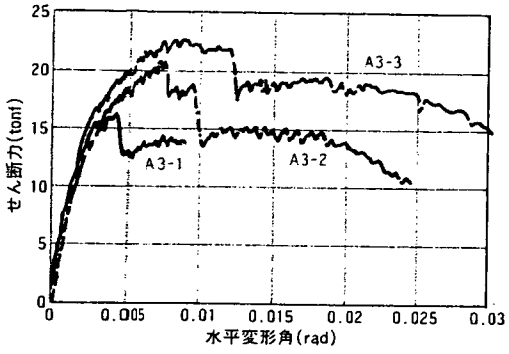
（特許の有無）

・西松建設は現時点では無し

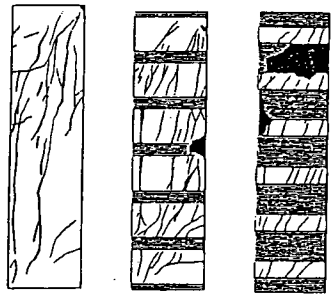
参考文献（効果確認）	

補 強 効 果 （ 実 験 例、 適 用 事 例 ）

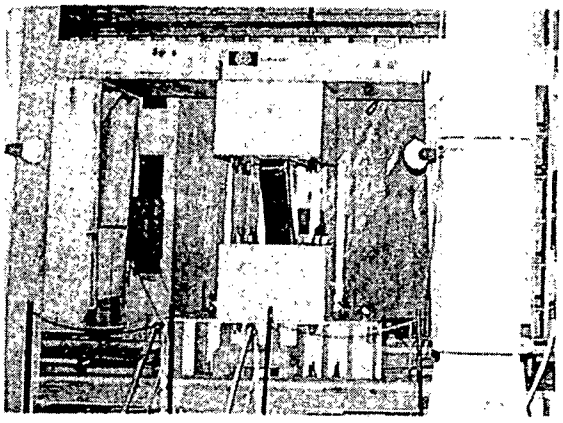
（補強効果確認概要－実験果等）

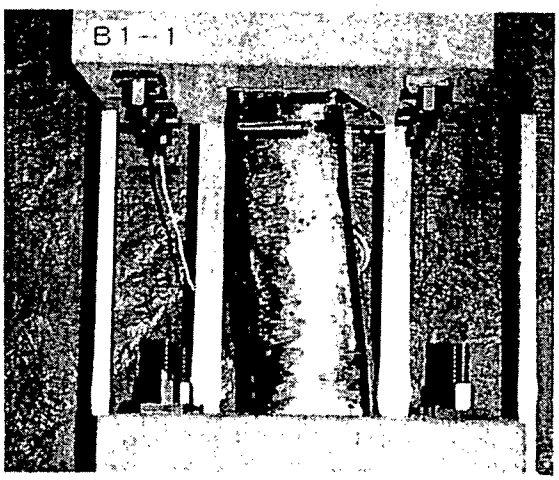


せん断力－水平変形角関係



最終ひびわれ状況





炭素繊維シート柱補強実験状況

（適用事例）

・西松建設は土木構造物の適用例は現時点では無し

開 発 者	ＭＡＲＳ研究会（西松建設他１１社）
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	RC橋脚	補強技術名	アラミドシート曲げ補強工法	マニュアル	有・(無)
補強の目的	耐震補強（橋脚基部の曲げ耐力の向上）				

（概　要）

アラミドシート曲げ補強工法は、ＲＣ橋脚の耐震補強工法であり、地震力によりアラミドシートに生じる引張力を、特殊な方法でフーチングに定着したアンカー鉄筋に伝達させることにより、橋脚基部の曲げ耐力の向上を図る工法である。

（特　徴）

・本工法は、曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法に比べて鋼板の溶接作業やアンカー筋の押さえ金物が不要で作業性がよく、短時間が施工できる。

・コンクリートの巻き立て部は軽量のアラミドシートを用いるため、補強による重量増加はわずかである。

（使用材料・使用機材）

・アラミドシート　　・アンカー鉄筋

・コンクリート

（留 意 点）

・アラミドシートを貼り付ける際に、エポキシ樹脂を使用するため、火気に注意する必要がある。

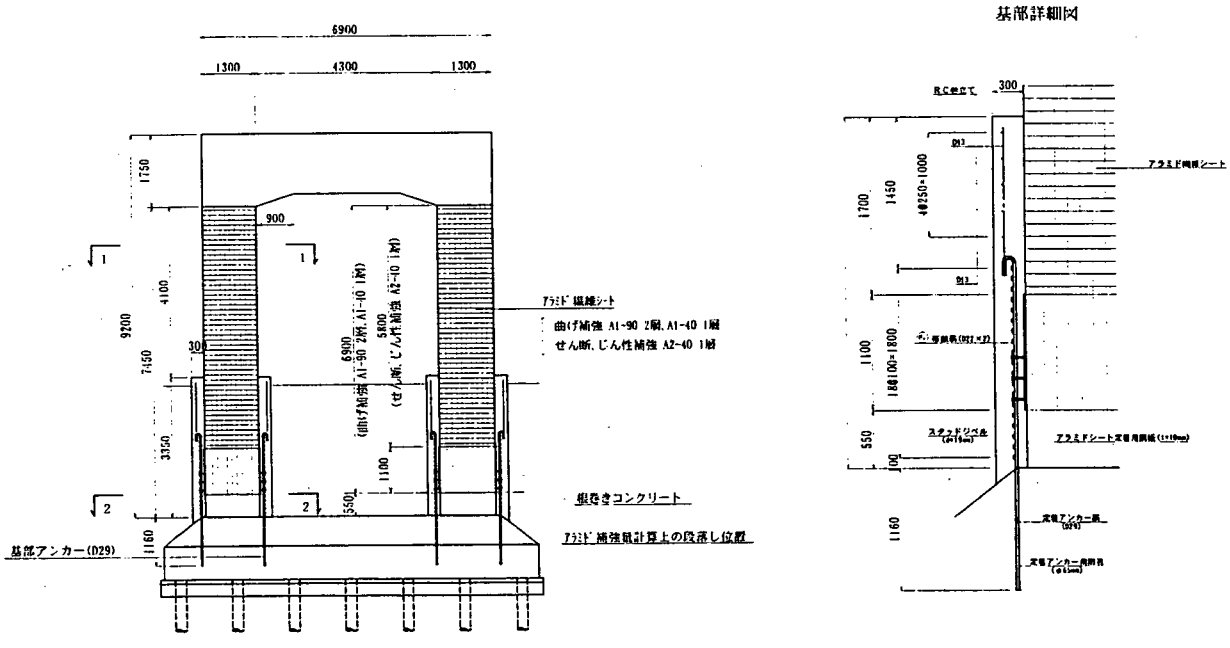
（適用部材）

・橋脚

・ラーメン高架柱、梁

（特許の有無）

・出願準備中　　「プレストレスを利用した繊維シートの定着方法」



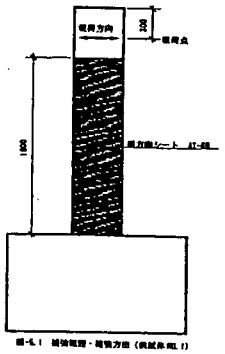
アラミドシート曲げ補強工法　概要図

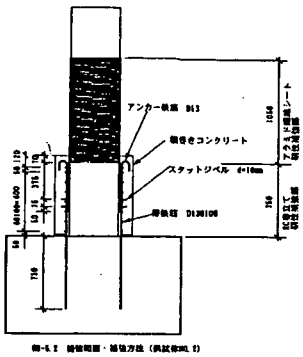
参考文献(効果確認)	「アラミド繊維シートによるＲＣ橋脚の曲げ補強」 土木学会　第54回年次学術講演会　投稿中

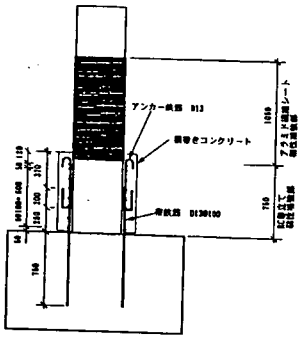
補 強 効 果 （実験例、適用事例）

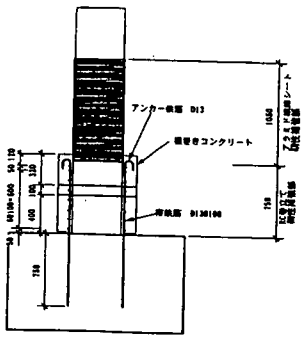
（補強効果確認概要－実験結果等）

アラミドシート曲げ補強は、載荷試験を行い、補強効果を確認した。









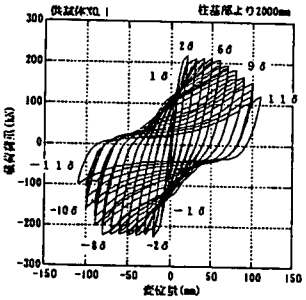


図-9.1 履歴曲線（供試体 NO. 1）

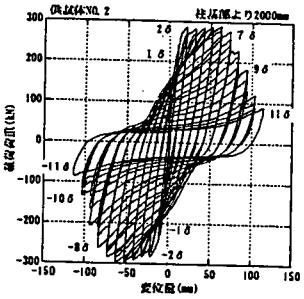


図-9.2 履歴曲線（供試体 NO. 2）

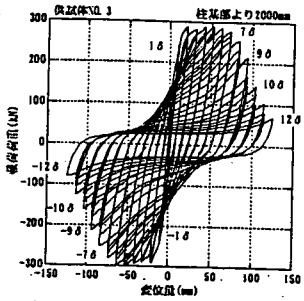


図-9.3 履歴曲線（供試体 NO. 3）

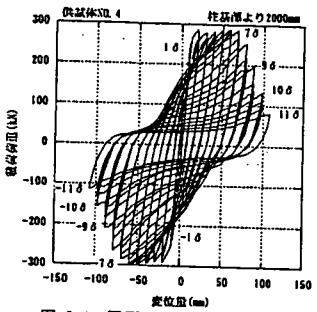


図-9.4 履歴曲線（供試体 NO. 4）

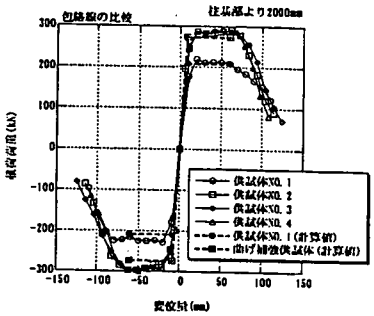


図-9.16 包絡線の比較

（実験結果）

曲げ耐力制御式アラミドシート曲げ補強工法により、橋脚の耐力の向上とじん性の向上が確認できた。

（適用事例）

発注者：静岡市

工事名称：平成１０年度橋第１号栗原跨線橋橋梁耐震補強工事

適用箇所：ラーメン橋脚　１基（１．１m×１．３m×９．２m）

開 発 者	住友建設株式会社
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	アラミド繊維シート巻き立て工法（FITS 工法）	マニュアル	(有)・無
補強の目的	RC 橋脚段落し部の曲げ補強、せん断補強と橋脚基部の靭性補強				

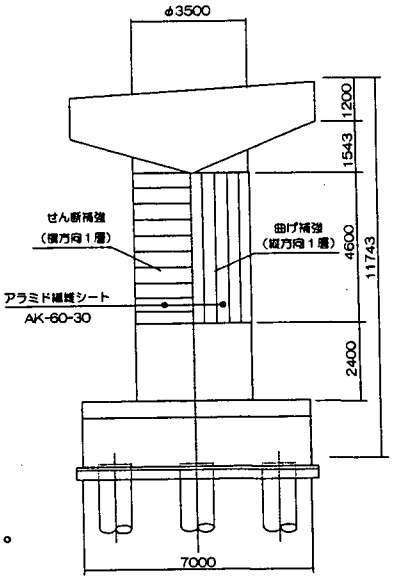
（概　　要）
鉄筋コンクリート橋脚の段落し部や基部にアラミド繊維シートを貼り付けたり、巻き付ける工法であり、アラミド繊維シートの補強量（シートの目付量、枚数）を調整して所要の補強効果を得る。

（特　　徴）
断面増加量が少ない。補強による剛性の増加が少なく、基礎や他橋脚に与える影響が少ない。軽量なため重機が不要で、狭い空間でも施工が可能である。鋼板補強のように予め厳格に寸法を計る必要が無く、全体工期が短い。また、腐食の心配が無い。

（使用材料）
プライマー、含侵樹脂（エポキシ樹脂）、アラミド繊維シート

（留 意 点）
橋脚の大きさによる補強効果の違い（寸法効果）は不明である。（最大で断面幅 1m 程度の実験実績）
偏平な断面では、せん断補強効果、靭性補強効果が低下する。（1:2 程度以上）
段落し部を曲げ補強する場合、シートが付着破壊（剥離破壊）する可能性が有り、付着補強のためにも巻付け補強の併用が必要。（巻付け補強は、せん断および靭性補強を兼ねることは可能）
エポキシ樹脂は紫外線で劣化し、また、高温で軟化するため、屋外で火災の懸念される所では、モルタルなどによる被覆（仕上げ工）が必要。

（適用部材）
円形、矩形橋脚、その他梁部材および床版などの面部材の曲げ補強や押し抜きせん断補強

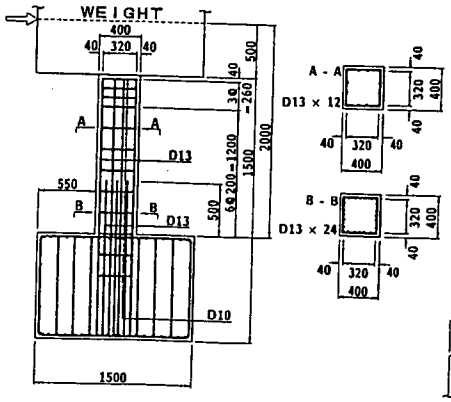


（特許の有無）
一般的な補強方法は特許なし。部分プレキャスト工法は特許申請中。

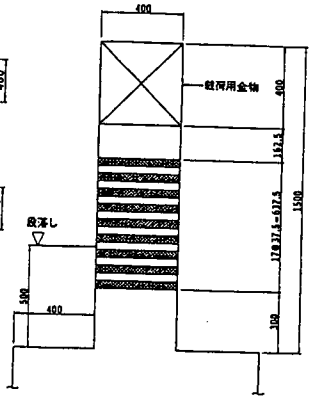
参考文献（効果確認）	三上浩、佐藤昌志、谷本俊充、松岡健一：アラミドテープを巻き付けた RC 橋脚模型の靭性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.2、1996 日本コンクリート工学協会

補　強　効　果（実　験　例、適　用　事　例）

（実験供試体）



図－１　試験体寸法及び配筋図　(mm)



図－２　補強状況図　(mm)

表－１　試験体の一覧

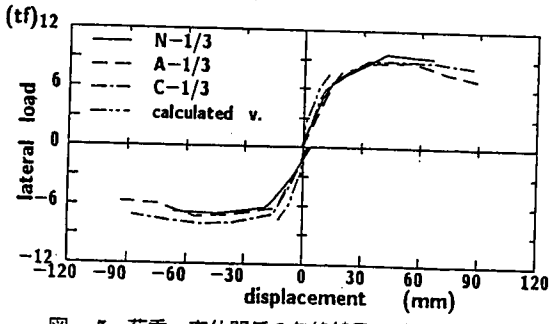
試験体の名称	補強材料	段落し
N-0	無補強	無し
N-1/3		h=H×1/3=50 cm
A-1/3	アラミド繊維	h=H×1/3=50 cm
C-1/3	炭素繊維	h=H×1/3=50 cm

（実験結果）

・段落しによって靭性能は大きく低下する。
・アラミドや炭素テープを段落し部に巻き付けることで段落しを有する矩形橋脚の変形性能や靭性能を改善できる。
・炭素テープは隅角部で破断しやすく、留意する必要がある。

表－３　実験結果

試験体の名称	変位 (mm)		耐力 (tf)						終局塑性率
	δ_y	δ_u	P_y			P_u			
			正	負	平均	正	負	平均	δ_u/δ_y
N-0	24.2	96.8	8.2	6.8	7.5	11.0	8.5	9.8	4.0
N-1/3	21.9	65.7	8.0	6.0	7.0	9.2	7.0	8.1	3.0
A-1/3	18.5	90.0	8.9	6.2	7.6	8.8	7.2	8.0	4.9
C-1/3	17.4	90.0	7.5	7.0	7.3	9.0	8.0	8.5	5.2



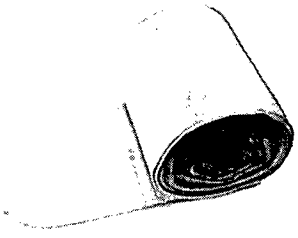
図－７　荷重－変位関係の包絡線及び計算値

開　発　者	三井建設株式会社
参考文献（適用事例）	山川智久、植木博、小林茂、井野勝彦：部分プレキャストアラミド繊維シートを用いたRC橋脚補強の構造検討、連続繊維補強コンクリートに関するシンポジウム論文集、1998.5 日本コンクリート工学協会

補強対象部位	橋脚	補強技術名	アラミド繊維シート耐震補強工法	マニュアル	(有)・無
補強の目的	アラミド繊維シートによる橋脚のせん断耐力、じん性の向上				

(概　要)

アラミド繊維は、しなやかで耐久性があり、軽量・高強度で施工が容易なため、各種繊維補教材として幅広く用いられている。 それらをシート状にしたものを接着剤によりコンクリート構造物の表面に貼り付ける耐震補強工法は、せん断耐力、じん性の向上に有効である。様々な実験等を行い、アラミド繊維シートによる構造物の耐震補強工法を確立し、これにより、橋脚などの耐震補強への利用が可能となった。



アラミド繊維シート

(特　徴)

本工法は、以下のような特徴を有する。

① 軽量かつ高強度で施工が簡便。
② 破断ひずみが大きいため繊維が破断しにくい。
③ 耐衝撃性が高く、地震波などの衝撃に強い。
④ 電気絶縁性があり、通電トラブルがない。
⑤ 柔軟性に優れているため、隅角部のR化、不陸調整用のパテ仕上げが省力化できる。
⑥ 樹脂含浸性が良いため、目付量（単位面積当たりの繊維量）の大きなものが施工できる。

(使用材料・使用機材)

プライマー・接着剤（エポキシ系）
アラミド繊維シート
耐候性塗料

アラミド繊維シートの機械的性質

繊維目付量 g/m²	厚さ mm	弾性係数 kgf/cm²	引張強度 kgf/cm²
280	0.193	1.2×10⁶	21,000
415	0.286	1.2×10⁶	21,000
235	0.169	0.8×10⁶	24,000
350	0.252	0.8×10⁶	24,000

(留 意 点)

・シート貼り付け後は、耐候性塗料などによる仕上げが最低限必要となる。

(適用部材)

・ 大型重機が使用できない。
・ 作業スペースがせまい。
・ 腐食環境下にある構造物。
・ 通電の可能性のある場所や構造物。

(特許の有無)

無し

参考文献(効果確認)	増川、秋山、斎藤：炭素繊維とアラミド繊維シートによる既存RC橋脚の耐震補強 （新素材のコンクリート構造物への利用シンポジウム論文報告集 1996.11）

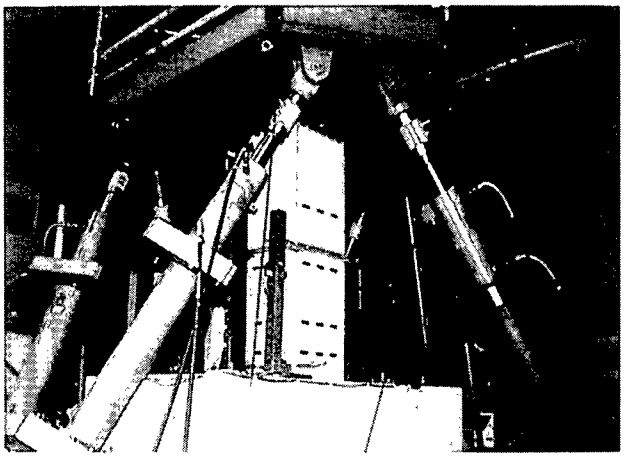
補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

（補強効果確認概要ー実験結果等）

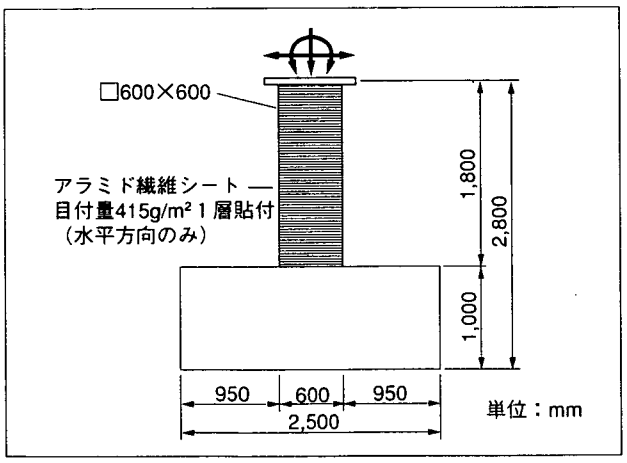
補強効果確認実験

アラミド繊維シートによるせん断やじん性に対する補強効果を確認するために、補強量などを変化させて様々な実験を行った。

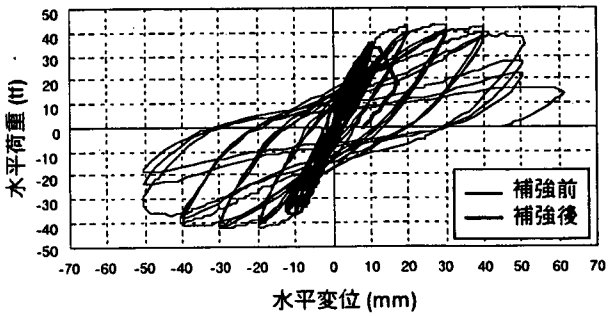
その結果、アラミド繊維シートは、効果的にせん断補強やじん性補強ができ、特にアラミド繊維自体が伸び性能に優れているため、じん性の向上には非常に有効であることが確認された。



補強試験体の加力実験状況



試験体の概要



補強試験体の加力実験結果

（適用事例）

京成電鉄　京成青砥液駅付近高架橋耐震補強工事　(97/11/01～98/03/31)

開 発 者	鹿　島
参 考 文 献 (適用事例)	同　左

補強対象部位	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ橋脚	補強技術名	ｱﾗﾐﾄﾞﾌﾟﾚｷｬｽﾄ板落し込み工法	ﾏﾆｭｱﾙ	有・[無]
補強の目的	施工空間のない箇所において連続繊維巻き立てによる橋脚じん性向上補強を図る。				

（概　　要）

鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強において、施工空間のない場合に、あらかじめ工場製作したアラミドプレキャスト整形板を隙間から落とし込み、所定の位置に固定した後隙間にエポキシ樹脂を充填して橋脚に貼り付ける工法である。施工空間のある箇所は通常の連続繊維巻立て工法により施工し、橋脚のじん性向上を図る。

（特徴）

本工法は橋脚と既設構造物の隙間が１５㎜～３０㎜の箇所で従来工法では施工できない場合に適用する。工場製作したアラミドプレキャスト整形板は隙間から落とし込み設置し、下段より順次リベット止めして接続する。両側の未含浸シートはスライドレールに通して整形板と連動して落とし込む。整形板を樹脂注入により橋脚に固定後、両側部は通常の連続繊維巻立てを行う。

（使用材料・使用機材）

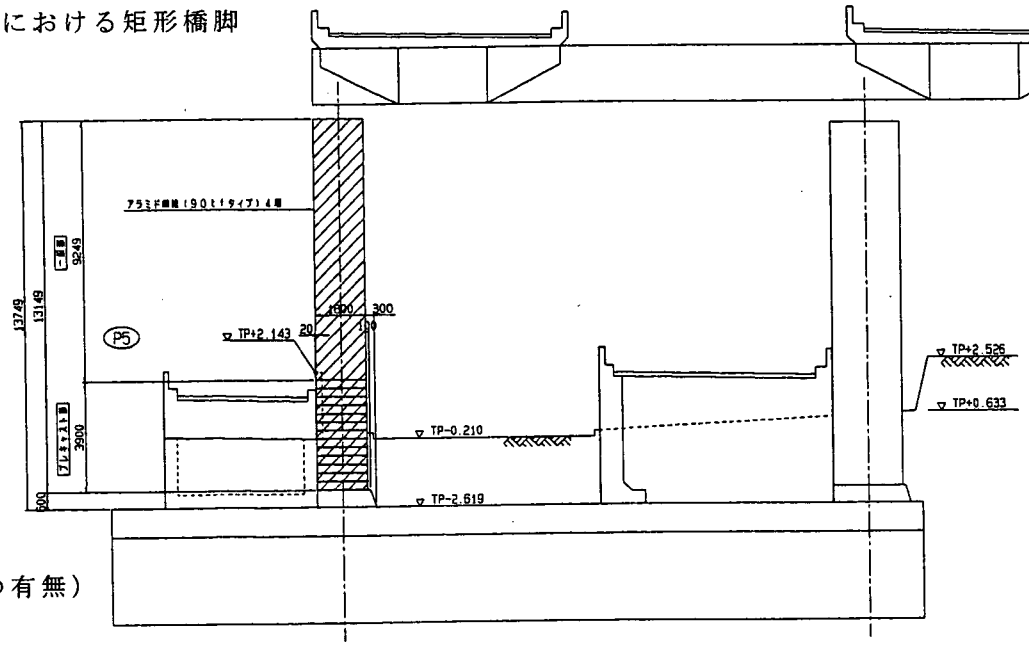
①橋脚補強剤----アラミド繊維、含浸用エポキシ樹脂
②設置補助部材----鋼製刃口、ハット型ジョイナー、リベット、スライドレール（単管パイプ）

（留意点）

補強対象橋脚と既設構造物は変形性状・振動特性が異なるため縁切りを行う必要がある。

（適用部材）

道路橋における矩形橋脚



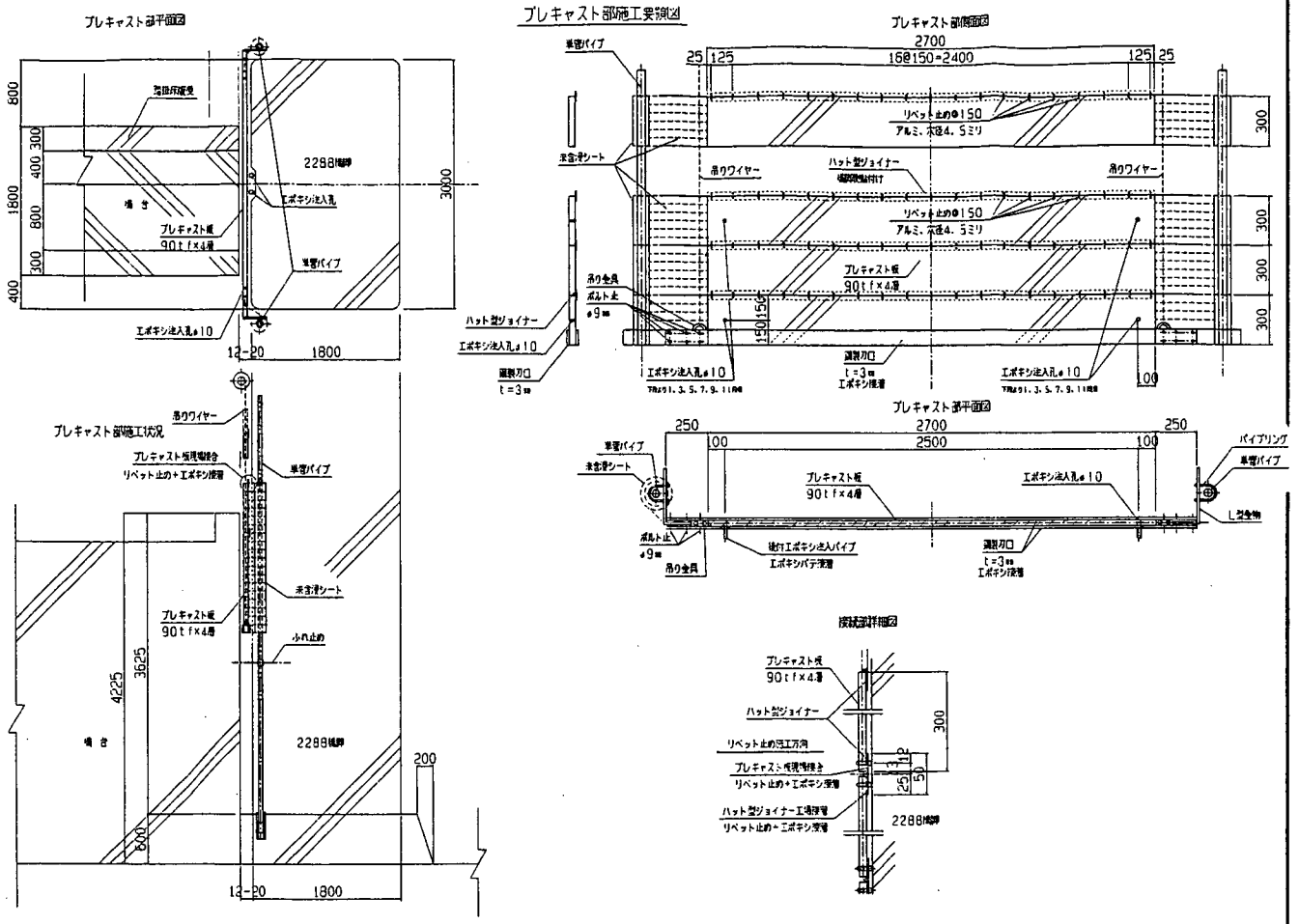
（特許の有無）

なし。

参考文献（効果確認）	

補　強　効　果（施工例、適用事例）

（施工例－アラミドプレキャスト整形板製作・施工図面）



（適用事例）

首都高速中央環状線『環－２２８８橋脚』、『環－２２９０橋脚』のじん性向上補強において採用され施工された。両橋脚とも隣接橋台と接していたため、ワイヤーソーで橋脚・橋台の境界面に１５㎜～２０㎜の隙間をあけ、プレキャスト整形板を上部より落とし込み設置した。

開　発　者	大本組本社土木部設計課（津川惣太）
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	炭素繊維シート巻立て工法	マニュアル	㊀・無
補強の目的	段落し部の補強とともに、橋脚のせん断耐力およびじん性の向上を図る。				

(概　　要)

・鉄筋コンクリート橋脚に炭素繊維シートに接着剤を含浸指せながら巻立てる工法である。
・段落し部の補強では、柱軸方向に炭素繊維シートを接着しする。
・せん断補強、橋脚基部のじん性補強では炭素繊維シートを柱の周方向に巻きたてる。
・炭素繊維シートの目付、巻立て層数を調節して必要な補強効果を得る。

(特　　徴)

・軽量で、柔軟な材料を使用し、重機が不要であり施工性に優れる。
・断面増加がほとんどなく、重量もほとんど増加しない。
・腐食の恐れがなく、耐環境性に優れる。

(使用材料・使用機材)

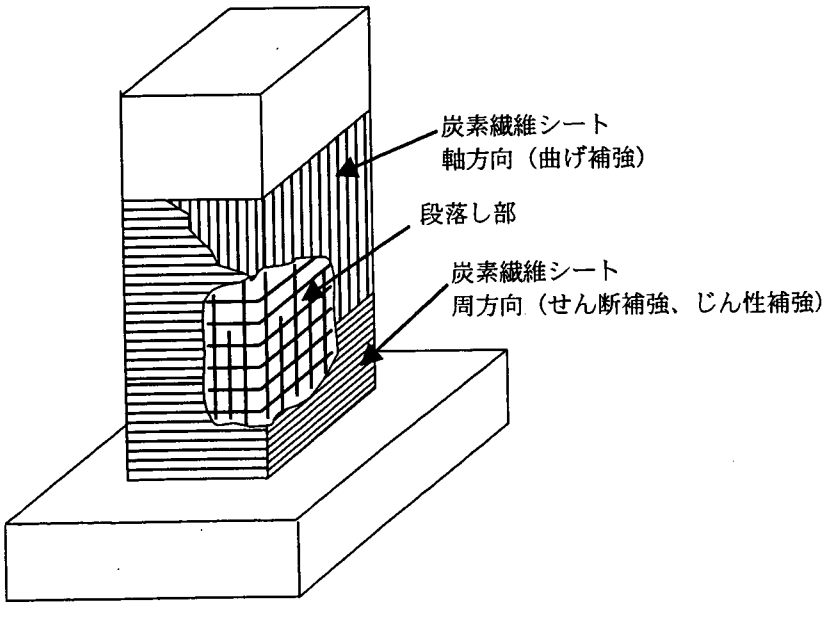
・炭素繊維シート、不陸調整剤・プライマー・含浸接着剤（エポキシ樹脂またはMMA樹脂）
　仕上材（ポリマーセメントモルタルなど）

(留 意 点)

・炭素繊維シートは一方向に強度・弾性率を発現するので、必要な方向に必要な量を正しく巻きたてる。
・周方向に巻き立てる場合、隅角部で強度低下しないように面取りをする（r　50mm程度）
・十分な重ね継手長（20cm程度）を確保する。
・矩形断面の橋脚でじん性補強を目的とする場合、はらみ出しの影響を十分検討する。

(適用部材)

・円形橋脚・矩形橋脚



(特許の有無)

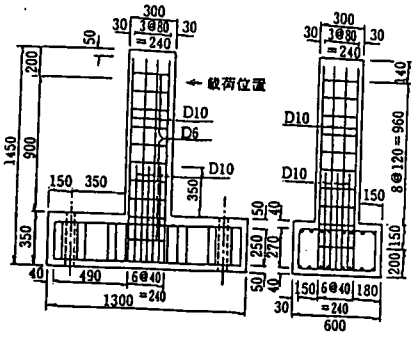
参考文献(効果確認)	宇治公隆：シート状連続炭素繊維による既設鉄筋コンクリート構造物の耐震補強、大成建設技術研究所報、VoL.26、1993 長田光司、大野晋也・山口隆裕・池田尚治：炭素繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強、コンクリート工学年次論文報告書　Vol.18、No2 、1996

補 強 効 果 （実験例、適用事例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

実験供試体

(1)段落し部の補強実験

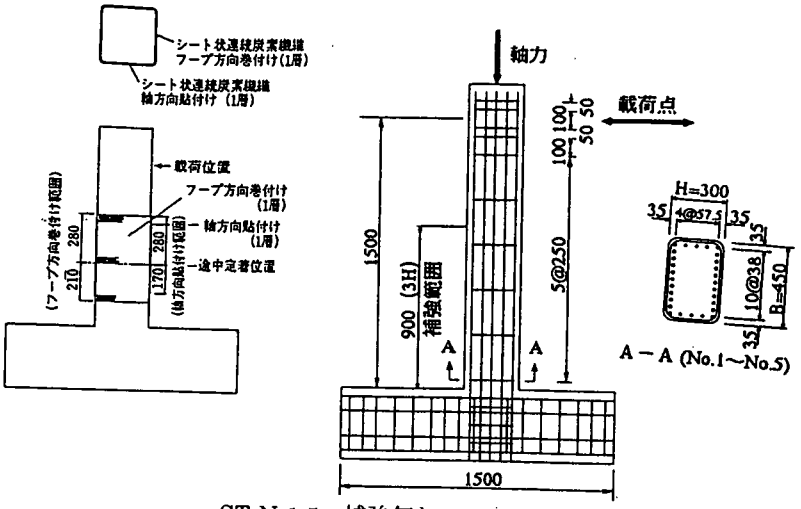


No.1　定着余長なし　補強無し

No.3　定着余長なし

炭素繊維シート周方向、軸方向各１層

(2)じん性補強実験



ST-N-1.5　補強無し

ST-CF-1.5　炭素繊維シート周方向１層補強

ST-2CF-1.5　炭素繊維シート周方向２層補強

実験結果

(1)段落し部の補強実験

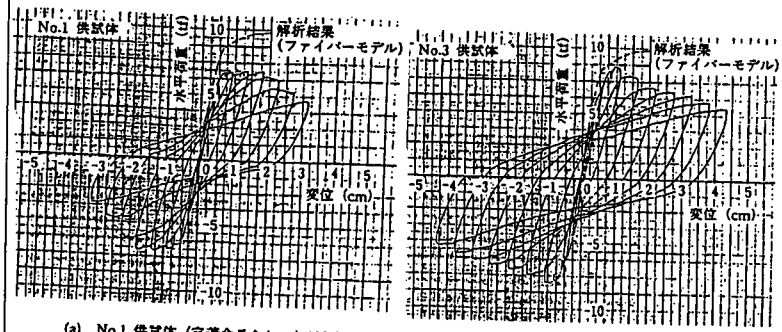
・55 年以前の基準で設計製作した供試体は、段落し部で脆性破壊した。

・炭素繊維シートで段落し部を補強した供試体は、段落し部で破壊せず、補強範囲の下端部でのじん性のある曲げ破壊となった。

(2)橋脚基部のじん性補強実験

・無補強供試体は、４δy 載荷中に橋脚基部から斜めひび割れが発生し主鉄筋の座屈やかぶりコンクリートのはく離を伴って耐力が低下した。

・炭素繊維シート１層補強した供試体は、６δy 載荷中に基部のはらみ出し、炭素繊維シートの一部が破断した。炭素繊維シート２層補強した供試体は、７δy 載荷まで基部のはらみ出し、炭素繊維シートの破断は生ぜず耐力も低下しなかった。



(a) No.1 供試体（定着余長なし、無補強）　(b) No.3 供試体（定着余長なし、補強）

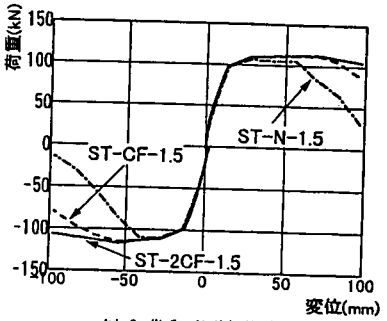


図-2 荷重-変形包絡線

開発者	
参考文献 (適用事例)	小山康寛、西浩嗣、長田光司：炭素繊維シートを用いた橋脚の耐震補強工事、土木施工 37 巻 5 号、1996

補強対象部位	RC橋脚	補強技術名	炭素繊維巻立て	マニュアル	(有)・無
補強の目的	段落し部の補強とともに、RC橋脚の曲げ耐力の向上を図る。				

(概　要)
・RC橋脚の部材表面に、鉛直方向に炭素繊維シートを貼り付けることにより、主鉄筋を増設することと同等の性能を有し、曲げ耐力を向上させる。部材表面に水平方向に炭素繊維シートを貼り付け、もしくは炭素繊維ストランドを巻き付けることにより、帯鉄筋を増設することと同等の性能を有し、せん断力を向上させるものである。
・施工手順
　鉄筋コンクリート補修・下地処理→プライマー工→不陸調整工→炭素繊維巻立て工(※)→仕上げ工
　※ 炭素繊維巻立て工
　　墨出し→含浸接着樹脂調合・塗布(下塗り)→炭素繊維シート貼り付け→含浸接着樹脂調合・塗布(上塗り)→養生
　　(所要枚数を繰り返す)

(特　徴)
・貼り付け枚数により耐力を調整する。
・断面増加量が少ない。

(使用材料・使用機材)
・炭素繊維シート　・含浸接着樹脂　・下地処理剤　・不陸整正、断面補修剤　・表面仕上げ剤

(留 意 点)
・コンクリートと炭素繊維シートとを、十分密着させる。
・コンクリートとシートの間に空気が入ったら、カッターナイフ等で繊維方向に空気道をつくり空気を除去し、再度樹脂を塗布する。
・含浸接着樹脂は気温が低下すると硬化反応が遅延する傾向があるので、気温5℃以上の条件下で施工するものとする。
・シートの重ね継ぎ手位置が同一箇所に並べない。

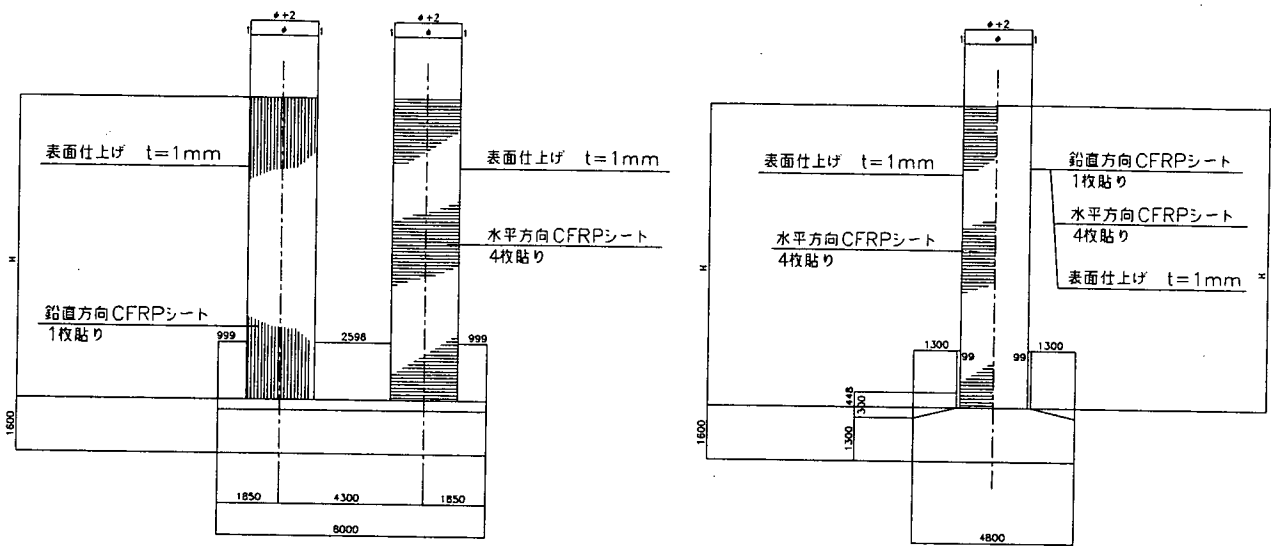
(適用部材)
・円形橋脚の脚柱

参考文献 (効果確認)	

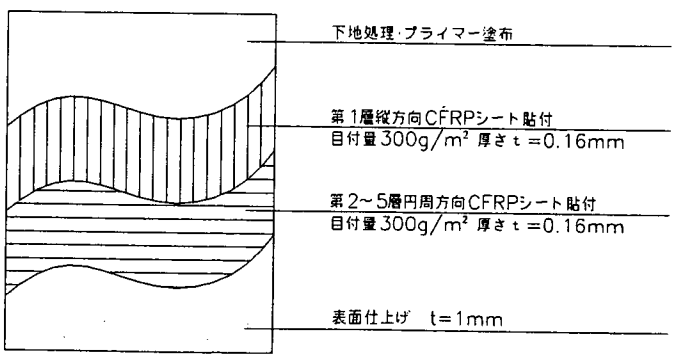
補強効果(実験例、適用事例)

(適用事例)

炭素繊維補強詳細図



CFRPシート貼付順序図



開発者	
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補強	マニュアル	有・(無)
補強の目的	段落し部の補強とともに、橋脚の曲げ耐力およびじん性の向上を図る。				

（概　要）

炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補強

（断面修復＋下地処理＋炭素３層張り＋フッ素樹脂塗装）

炭素繊維を一方向に配向し、エポキシ樹脂を含侵させたシート状のコンクリート補強材。

（特　徴）

1.軽量（比重が鉄の 1/5）

2.高弾性（鉄筋の応力負担を軽減）

3.高強度（鉄の 10 倍。30 タイプ１ｍ幅 ― 一層は鉄筋 D16―７本分に相当）

4.高耐久性（耐塩害等の腐食環境に最適）

5.経済性（メンテナンスフリー。施工簡単）

6.その他（疲労に強く、付着も問題なし。炭素繊維の直径は５～10 ミクロン）

（使用材料）

炭素繊維シート（リペラーク） ――― CF 断面積 1.67 ㎡

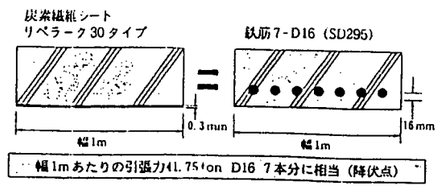
（適用部材）

・橋脚の曲げ、せん断補強

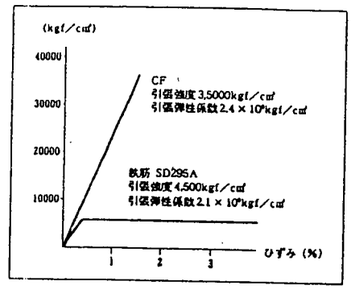
・桁のせん断補強

・床版の曲げ補強

鉄筋との比較



幅1mあたりの引張力41.75tonD16 7本分に相当（降伏点）



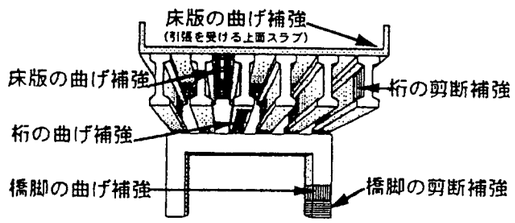


劣化コンクリートの斫り除去



無収縮モルタルによる断面修復

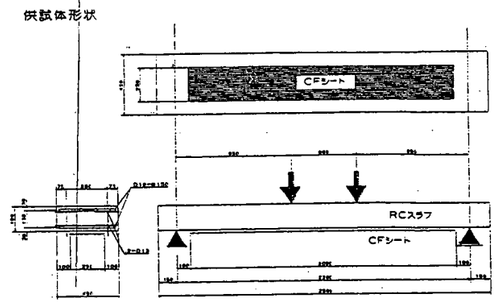
リペラークによる道路橋各部位の補強例



補　強　効　果（実験例、適用事例）

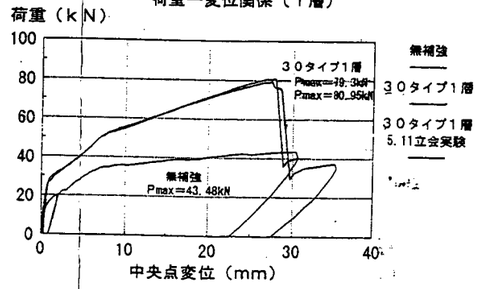
（補強効果確認概要）

供試体形状



スラブ曲げ試験

荷重一変位関係（１層）



（適用事例）



ＣＦ（炭素繊維）シート張（３層目）

参考文献（効果確認）		開発者	
		参考確認（適用事例）	

補強対象部位	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ橋脚、床版、梁等	補強技術名	炭素繊維ｼｰﾄ接着工法	マニュアル	有・無
補強の目的	橋脚、床版、梁の曲げ耐力およびじん性の向上を図る。				

（概　　要）
・橋脚、床版、梁等のコンクリート表面に炭素繊維シートをエポキシ樹脂で接着させて補強を行うもので、炭素繊維シートの接着方向、炭素繊維シートの目付量（種類）、接着枚数などを調整して必要な補強効果を得る。

（特　　徴）
・炭素繊維シートを接着するだけなので、重機・火気が必要なく狭小場所でも施工が容易。
・鉄筋組立や溶接を行う専門の作業員が不要。
・躯体重量や断面増加がほとんどない。

（使用材料）
・炭素繊維シート

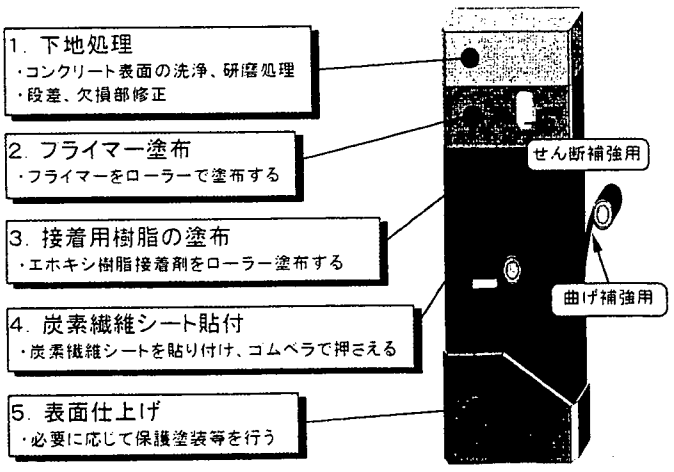
	繊維目付 (g/m2)	設計厚さ (mm)	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (GPa)	シート幅 (cm)	シート長さ (m)
高強度タイプ	200	0.111	3,430	230	25/50	50
	300	0.167				
	400	0.222				
高弾性タイプ	300	0.165	2,940	372		
	300	0.144	2,450	490		

・プライマー、下地調整材、接着剤

（留 意 点）
・コンクリート表面の鋭角的な突起、段差、隅角部をなめらかに処理する。
・エポキシ系樹脂等の汚染、吸入による災害の防止。
・炭素繊維シートによる電気災害の防止。

（適用部材）
・道路、高架橋の橋脚、橋梁
・桟橋の梁、床版
・プラントのコンクリート構造物
・コンクリート煙突
・トンネル

（適用事例）
・Ｋ本線ラーメン高架橋橋脚
・Ｈ寺本堂ＲＣ柱
・Ｈ寺木製柱



（特許の有無）
・無

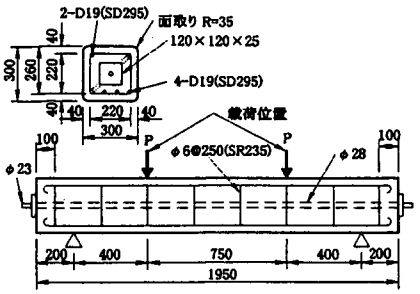
参考文献（効果確認）	・藤原祐一郎、小野紘一、嶋村貞夫、松村誠：炭素繊維シートを用いた耐震補強、「耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集、平成 9年 7月 ・（財）鉄道総合技術研究所：炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針、H8.7

補 強 効 果（実 験 例、適 用 事 例）

（実験供試体）

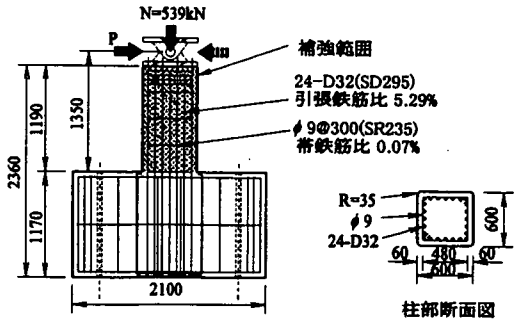
梁モデル

◆せん断試験



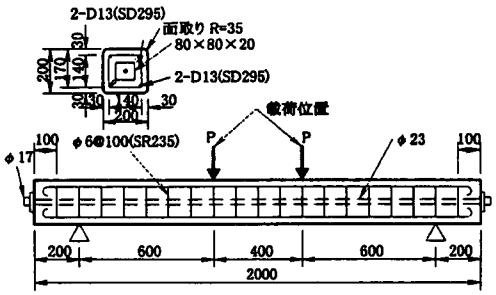
供試体諸元（a/d=1.5）

柱モデル

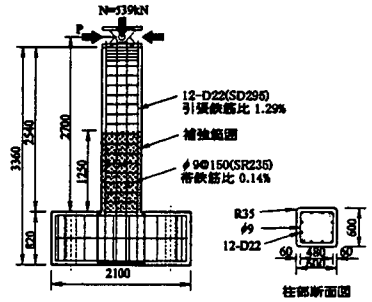


供試体諸元（a/d=2.5）

◆じん性試験



供試体諸元（a/d=3.5）

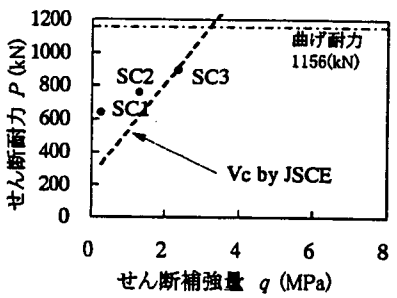


供試体諸元（a/d=5.0）

（実験結果）

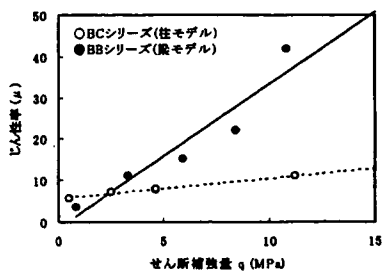
◆せん断試験

- せん断破壊の範囲では、炭素繊維シートを帯筋方向に貼付けることにより、せん断耐力は無補強時にくらべ１．4倍程度増加しており、補強効果が認められる。
- 累加方式のせん断耐力式は、せん断補強量が２．０ＭＰａ程度まででは炭素繊維シートを帯鉄筋と同様と考えても安全側の評価を与える。



◆じん性試験

- 炭素繊維シートを柱基部から２Ｄ（Ｄ；柱幅）区間の帯鉄筋方向に貼付けることにより、じん性補強効果が認められた。
- じん性率は炭素繊維シートの補強量が増加するに従って増加し、その程度は梁モデルでは無補強時の11倍、柱モデルでは2倍程度であった。
- 部材の初期じん性能の違いが、炭素繊維シートによる補強効果に影響する可能性がある。



開 発 者	
参 考 文 献（適用事例）	藤原祐一郎、小野紘一、嶋村貞夫、松村誠：炭素繊維シートを用いた耐震補強、「耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集、平成 9年 7月

補強対象部位	鉄筋コンクリート構造物	補強技術名	炭素繊維による耐震補強(CRS)工法	マニュアル	(有)・無
補強の目的	鉄筋コンクリートの靭性、曲げ、およびせん断補強				

(概要)

柱状の鉄筋コンクリート構造に高い引張強度を有する炭素繊維を利用し、曲げ補強とせん断補強を行う工法である。図－１に示すように、曲げ耐力に対しては、軸方向に貼り付けた炭素繊維(シート状およびストランド状)によって強度を確保する。また、せん断耐力に対しては、軸に対し直角方向に貼り付けた炭素繊維(シート状およびストランド状)で強度と靭性を向上させて補強することを基本とする。

(特徴)

・炭素繊維は、比重が約1.6と鉄の1/5で軽量であり、補強による重量の増加はほとんどない。

・炭素繊維は、引張強度は3,000N/mm^{2}以上と鋼材の約10倍であり、引張強度に富む。

・炭素繊維は、腐食、劣化に対して安定であり、疲労に対する性能も鋼材以上で耐久性に富む。

・炭素繊維を貼るという簡単な作業であり、熟練を必要としない。

(使用材料)

・炭素繊維（炭素を主成分とした繊維状の結晶体、シート状およびストランド状）

・プライマー（コンクリート表面の補強と接着性を向上させる樹脂）

・接着樹脂（炭素繊維をコンクリート表面に接着させるための接着材）

(留意点)

・本工法は、種々の材料を使用し複合化することにより所要の強度を発揮するため、全施工工程における品質管理および使用材料の品質管理が重要となる。

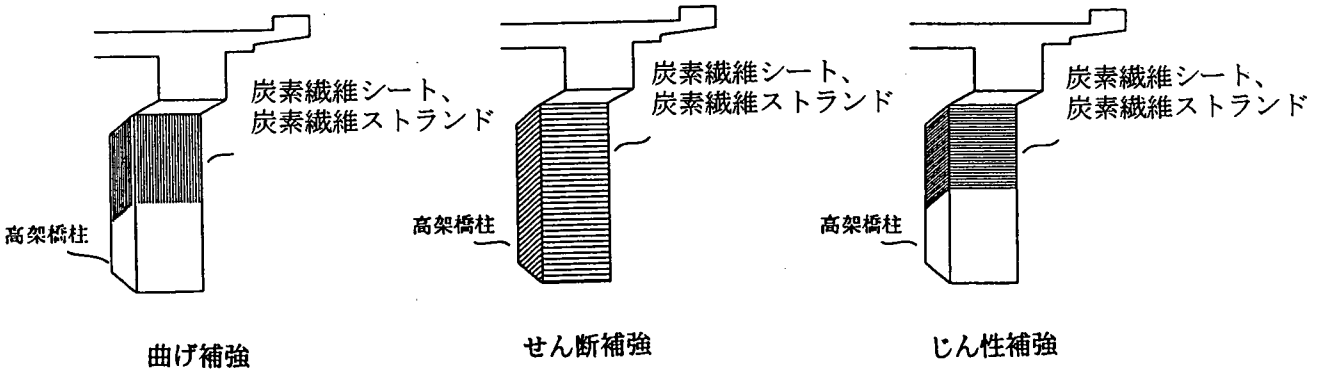
・炭素繊維シートを用いて補強する場合は、既設のコンクリートの下地処理を行う。

・使用する樹脂は、施工時の環境温度に適用したもの使用する。

(適用部材)

橋脚、建築構造物の柱、煙突といった塔状の鉄筋コンクリート構造物に適用可能である。

(特許の有無)　有



図－１　補強概要

参考文献	ＣＲＳ工法　設計･施工マニュアル　平成10年６月　ＣＲＳ研究会

補強効果　（実験例、適用事例）

（補強効果）

ある実橋脚の１／３のモデル（図－２）による炭素繊維の耐震補強効果確認実験結果（図－３、図－４）および破壊状況の写真の一例を示す。

実験より以下のことが言えた。

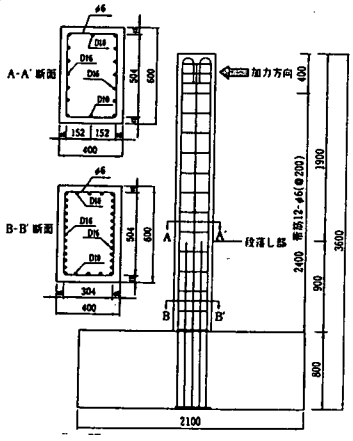
（１）段落し部での曲げ耐力の増大が見られた。

（２）段落し部でのせん断耐力の増大が見られた。

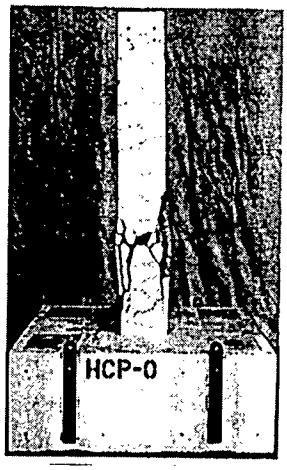
（３）靭性の向上が見られた。

（４）コンクリートの剥落が減少した。

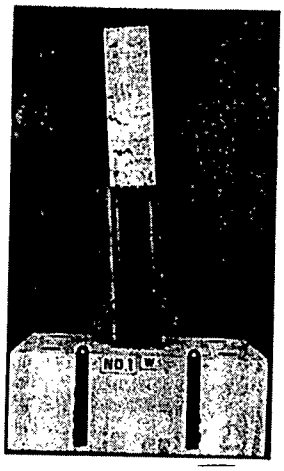
（５）破壊位置が段落し部から基部へ移行した。



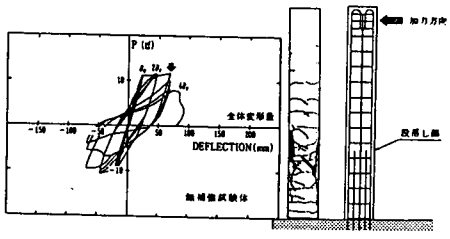
図－２　試験体形状



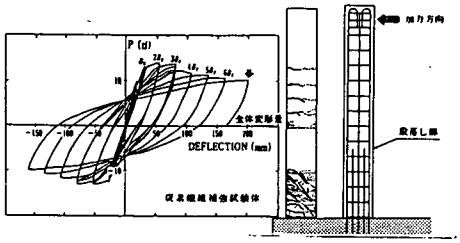
破壊状況（補強なし）



破壊状況（補強あり）



図－３　荷重～変位関係ひび割れ状況（補強なし）



図－４　荷重～変位関係ひび割れ状況（補強あり）

（施工事例）

・東北自動車道　和賀川橋脚

・京葉道路　本町高架橋

・四国化成工業(株)丸亀工場　煙突　他

開発者	(株)大林組
参考文献（適用事例）	小鼻　克朗、木村　耕三、緒方　紀夫　「炭素繊維による構造物補強の現状橋梁」VOL, 29　1993/6

調査対象部位	鉄道・道路橋等の橋脚、トンネル、建築物の梁、柱	調査方法の名称	炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修補強（ＣＣＡ工法）	ﾏﾆｭｱﾙ ・(有)・ 無
調 査 目 的	既存コンクリート構造物（鉄道・道路橋等の橋脚、建築物）に高強度炭素繊維シートを接着剤で貼りつけ一体化し、増強または修復による耐久性の向上を図る工法である。			

（概　要）

・ コンクリート劣化面に炭素繊維シートを常温硬化型樹脂等により接着し、補修・補強を図る工法である。炭素繊維は高強度（引張り強度が鉄の 10 倍）、軽量（鉄の 1/4）、加えて高耐久性・高耐食性を備えた材料である。

・ ボックスカルバート・橋脚等の様々なコンクリート構造物に適用が可能である。

（特　徴）

・高強度、高弾性　　鋼板補強と同等の効果
・軽量　　鉄の重量の 1/4
・耐久性が大きい　　水、塩分、酸、アルカリに強い
・ 形状へ自由に貼付け可能
・ 作業がスピーディー
・ 取り扱いが容易

（使用材料・使用機材）

・ 炭素繊維シート、プライマー、接着用樹脂、仕上げ塗装

（留意点）

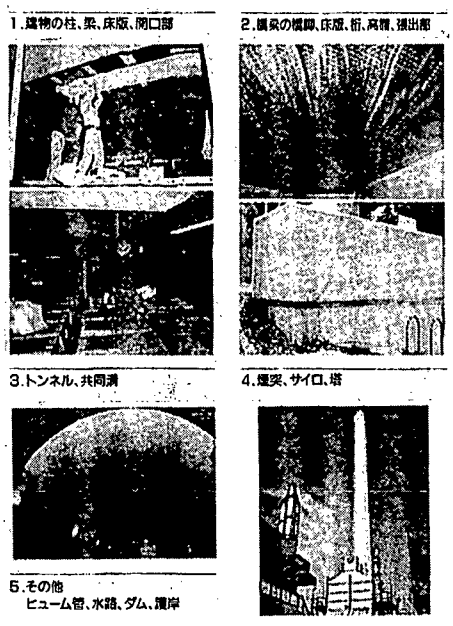
・ 施工面の下地処理は念入りにすること
・ 接着時には、湿気や水分を除去すること
・ 気温は 5℃以上、雨天・結露のある場合には施工しないものとする
・ 樹脂を繊維間に十分含浸させること

（適用部材）

・ 建築物、鉄道・道路橋、トンネル等のコンクリート構造物

（特許の有無）

・ 特許出願中

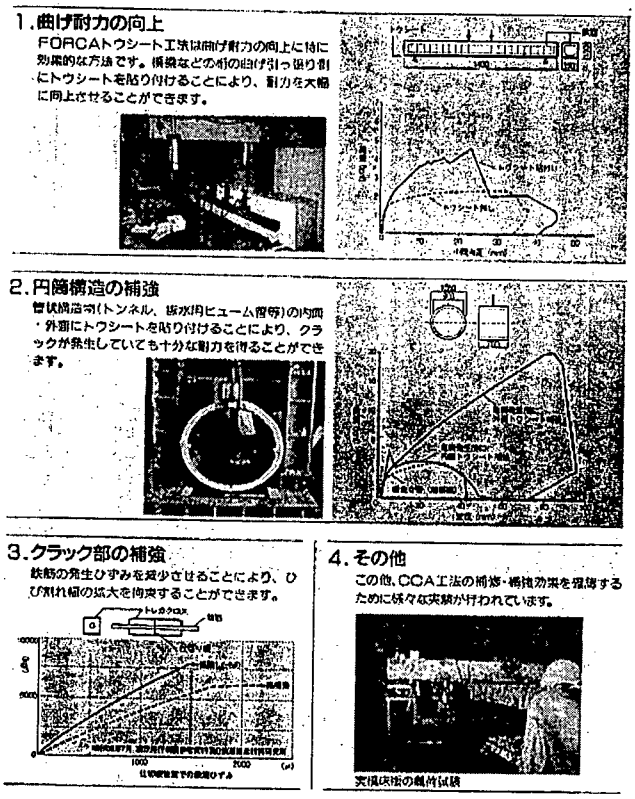


参考文献	鉄道 RC 高架橋の新しい耐震補強工法、松本信之、ｺﾝｸﾘｰﾄ工学、vol. 35, No. 10, 1997. 10 炭素繊維ｼｰﾄによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計施工指針、(財)鉄道総合技術研究所平成 8 年 7 月 地震防災性に優れた国土の建設を目指して－進む既存社会基盤の耐震補強－、濱田政則、土木学会誌、vol. 82, june, 1997 炭素繊維ｼｰﾄ補強 RC 梁の曲げ補強研究、小松憲一、土木学会第 49 回年次学術講演会、平成 6 年 9 月　他

適　　用　　事　　例

(補強効果確認概要ー実験結果等) (柱:試験材料の炭素繊維ｼｰﾄは (東燃(株)) 製造のﾄｳｼｰﾄを使用)

- 曲げ載荷実験 (ﾄｳｼｰﾄ補強した鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ梁の曲げ強度)
- ひび割れ補修効果模擬評価試験
- 鉄道車両用材料燃焼試験
- 建研式接着試験
- 湿潤ｺﾝｸﾘｰﾄ面用ﾌﾟﾗｲﾏｰの接着性評価
- ﾄｳｼｰﾄのｸﾘｰﾌﾟ試験
- 高温加熱後の炭素繊維ｼｰﾄの強度ついて
- ﾄｳｼｰﾄの一時加熱耐熱性評価
- 耐火被覆によるﾄｳｼｰﾄの耐火性向上
- ﾄｳｼｰﾄの不燃性
- 最小曲率半径試験
- ﾌｰﾌﾟ方向補強によるｺﾝｸﾘｰﾄ柱の圧縮試験
- ﾄｳｼｰﾄとｺﾝｸﾘｰﾄの水平せん断試験
- ﾄｳｼｰﾄの促進暴露試験



(適用事例)

圧延工場煙突基礎補修工事	豊平製鋼
銀河ﾄﾝﾈﾙ (小函ﾄﾝﾈﾙ補強工事)	北海道開発局
県単災害防止工事 (行合ﾄﾝﾈﾙ改修工事)	千葉県大原土木事務所
ｸﾞﾘｰﾝﾋﾙﾊﾟｰｸ名取住宅地造成工事	山崎建設(株)

連絡先	清水建設株式会社、株式会社東燃

補強対象部位	コンクリート構造物	補強技術名	MMA 樹脂を用いた炭素繊維シート補強	マニュアル	有 (無)
補強の目的	橋脚の曲げ耐力，せん断耐力，じん性能の向上を図る．				

(概　要)

MMA(メタクリル系)樹脂を含浸接着剤として炭素繊維シートを構造物に貼り付けるといった簡易的な作業のみで，構造物の耐荷性･耐震性の向上を図ることができる．また，MMA 樹脂が従来のエポキシ系樹脂と比較して速硬化性を有していることもあり，炭素繊維シートの施工性と併せて工期短縮，工費低減を図ることができる．

(特　徴)

・炭素繊維シート：軽量，高強度，高弾性，高耐久性，樹脂含浸性に優れる，シート状であるため構造物の形状を選ばない．
・MMA 樹脂：速硬化性(完全硬化 60 分)，低温硬化性(0℃)，耐候性に優れる．
・特殊な重機，工具を必要としない．

(使用材料・使用機材)

・含浸接着剤(MMA 樹脂)，炭素繊維シート，不陸調整材(パテ材)．

(留 意 点)

．十分な接着力を発揮させるための既設コンクリート表層の劣化部の除去．
．炭素繊維シートの浮きを防止するための不陸調整．

(適用部材)

・橋脚，桁および床版
・トンネル覆工
・建築物の柱，梁，壁および床
・電柱，煙突

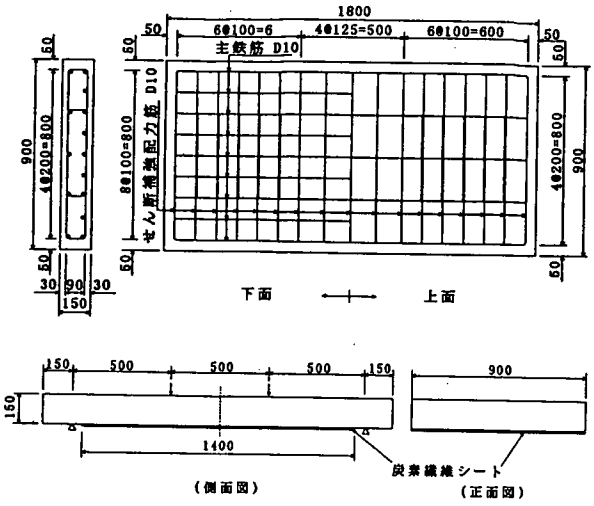
(特許の有無)

・無し

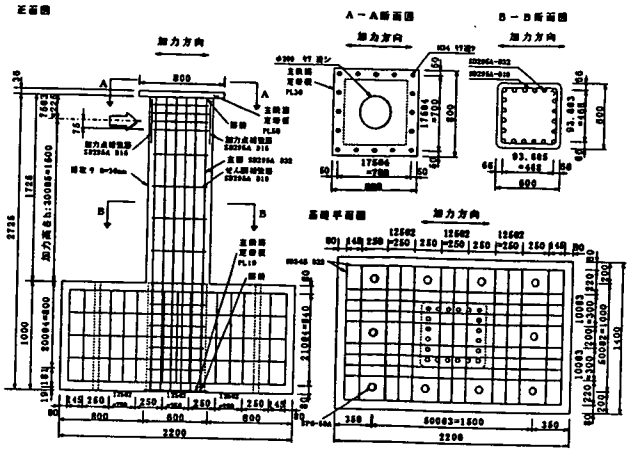
参考文献(効果確認)	・林，青木，牛島：MMA 樹脂を用いた炭素繊維シートの材料特性，施工性の検討，コンクリート工学年次論文報告集　Vol19，No.1，1997　pp1249-1254 ・舟川，牛島，浅井，下野：MMA 樹脂を用いて炭素繊維シート補強を行った床版の曲げ補強効果に関する実験的検討，1997 年度日本建築学会大会学術講演梗概集　pp423-424 ・舟川，下野，浅井，牛島：MMA 樹脂を用いた炭素繊維シート補強による柱部材の耐震補強効果，コンクリート工学年次論文報告集　Vol20，No.1，1998　pp1177-1182

補 強 効 果 （実験例、適用事例）

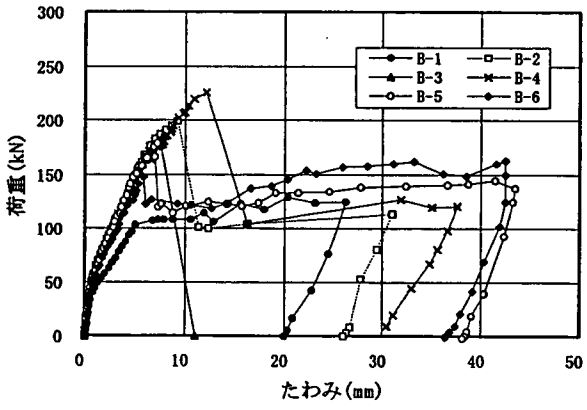
・床版曲げ補強実験
(実験供試体)



・柱のじん性実験

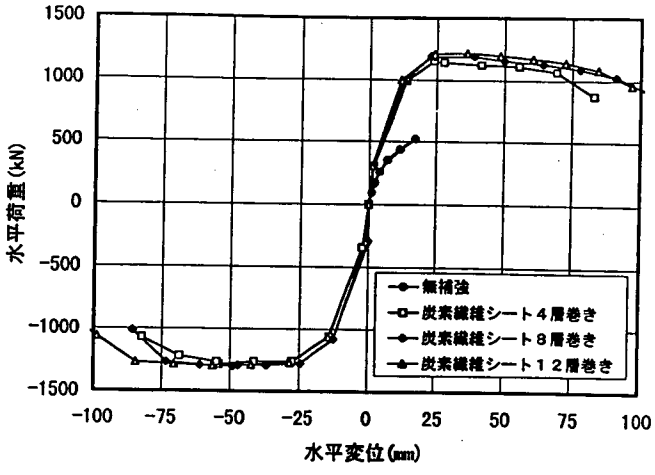


(実験結果)



図－ 荷重とたわみの関係

試験体 No.	補強ケース
B－1	無補強
B－2	エポキシ仕様
B－3	MMA仕様
B－4	溝切り表面処理
B－5	端部あと施工アンカー(鉄板)
B－6	端部あと施工アンカー(シート)



開 発 者	
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	鉄筋コンクリート建築物の梁・柱	復旧技術名	鉄筋コンクリート構造物の炭素繊維シートによる補修技術（アサノＣＦ２１工法）	マニュアル	有・無
補強の目的	鉄筋コンクリート造建築物の劣化箇所を補修後、耐力性能を回復させる技術				

（概　要）

本技術は、鉄筋の腐食によって耐力が低下した鉄筋コンクリート構造物の柱、桁および床版等の部材で、鉄筋の腐食によって生じたコンクリートのひび割れ、浮きおよび断面欠損等が生じた箇所ならびに塩化物イオン、炭酸ガス等の有害物質の侵入によってコンクリート中の内部鉄筋の腐食が予想される箇所等において、鉄筋の防錆、断面欠損の修復および内部鉄筋の防錆処理を施した後、炭素繊維シートを貼り付けることにより、構造物の劣化の進行を抑止し、さらに耐力性能を竣工レベルまたはそれ以上に回復させる技術である。

（特　徴）

本技術の特徴は次の通りである。

①腐食した内部鉄筋の腐食進行を抑止する。

②鉄筋の腐食によって耐力が低下した部材において、必要以上にコンクリートをはつり取ることなく、さらに新たな添え筋を設けることなく耐力性能を回復させる。

③コンクリート中に侵入した塩化物イオン等の有害物質によって腐食した鉄筋の腐食進行を抑止することができる。

④塩化物、炭酸ガス等の有害物の侵入を防止する。

（使用材料・使用機材）

①浸透性防錆剤、防錆モルタル、断面修復材、ひび割れ注入材

②炭素繊維シート、エポキシ樹脂プライマー、エポキシ樹脂レジン

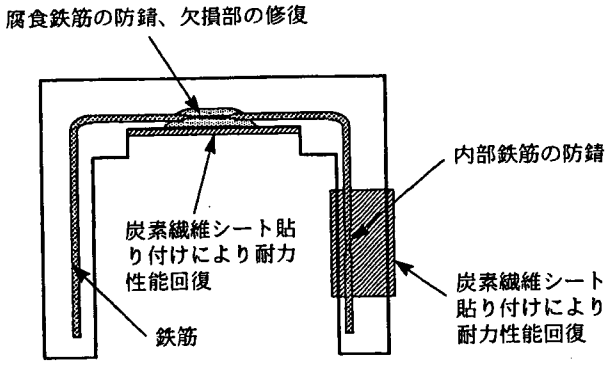
（留意点）

・予め劣化状況を詳細に調査し、原因を推定の上、本技術を適用する。

（適用部材）

・鉄筋の腐食によって断面欠損を生じている柱、梁、桁および床版等の部材

・外観上異常は認められないが、内部鉄筋が腐食している柱、梁、桁および床版等の部材



（特許の有無）

・特開昭61-102968　鉄筋コンクリート構造物の補修方法

・特開昭62-　3083　コンクリート構造物の補修方法

参考文献（効果確認）	
	日本建築センター、建築保全センター：建築物等の保全技術・技術審査証明(第9803号)報告書、鉄筋コンクリート造建築物の炭素繊維シートによる補修技術「ＣＦ２１工法」、1998.7 日本建築センター：建築施工技術・技術審査証明(第9502号)報告書、鉄筋コンクリート防錆工法「ＡＲ防錆工法」、1995.3 建築研究振興協会：鉄筋が腐食した劣化構造物の炭素繊維シートによる補修・補強技術の研究、1996.11

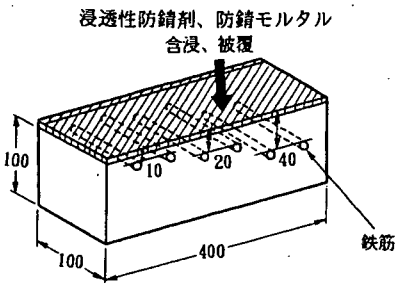
補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

Ⅰ．コンクリート内部鉄筋の防錆効果

（実験方法）

JIS A 6205(鉄筋コンクリート用防錆剤 附属書2 コンクリート中の鉄筋の腐食試験方法)に準拠して、本工法の防錆性能を確認した。

（実験用試験体）



（実験結果）

・浸透性防錆剤及び防錆モルタルを塗布することにより、防錆性能は大幅に向上している。特に、腐食の発生しやすいかぶりが浅い位置の鉄筋に対する防錆効果が、顕著に現れている

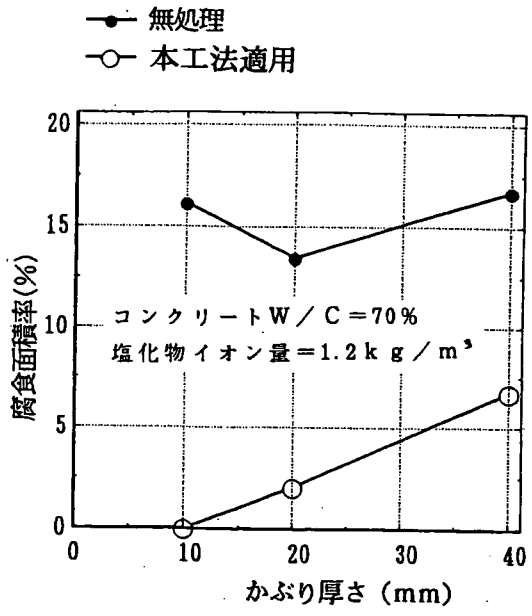


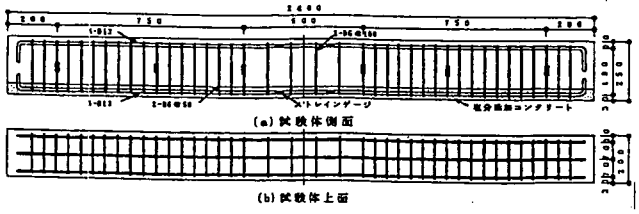
図 本工法適用による腐食面積率

Ⅱ．鉄筋が腐食したＲＣ梁の補強効果

（実験方法）

引張鉄筋を４水準(鉄筋腐食率 0,2～4,10,20%)に腐食させたＲＣ梁試験体を本工法で適用し、曲げ載荷試験を実施した。

（実験用試験体）



（実験結果）

・鉄筋腐食により4～11%低下していた荷重は、本工法を適用することにより健全試験体の約1.5倍まで増加した。このことから、引張鉄筋の腐食により劣化したＲＣ梁に本工法を適用することにより、劣化前と同等またはそれ以上に耐力性能を回復させることができるといえる。

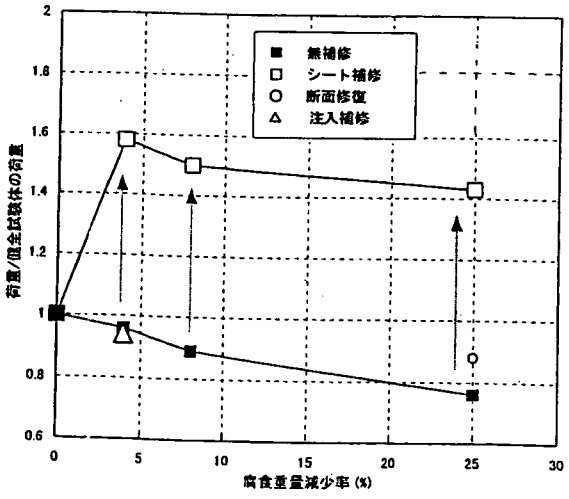


図 腐食減量率と荷重／健全試験体の荷重の関係

開発者	太平洋セメント(株)〔共同開発者：三菱化学(株)〕
参考文献 (適用事例)	日本建築センター、建築保全センター：建築物等の保全技術・技術審査証明(第9803号)報告書、鉄筋コンクリート造建築物の炭素繊維シートによる補修技術「ＣＦ２１工法」、1998.7

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	スパイラル筋巻立耐震補強工法	マニュアル	㊒・無
補強の目的	既設鉄筋コンクリート柱の曲げじん性およびせん断耐力の向上を図る。				

（概　要）

耐震補強の必要な帯鉄筋量が少ない既設ＲＣ柱の標準補強工法に鋼板巻立工法が採用されているが、これに替わる安価で施工性の良い補強工法としてスパイラル筋巻立工法を開発した。本工法は、あらかじめフープ状に加工した高強度スパイラル筋を人力で曲げとひねりを加えながら既設柱に挿入し、モルタルを吹付ける工法です。これにより、柱の曲げじん性およびせん断耐力を大幅に向上させます。なお、設計および施工法については、（財）鉄道総合技術研究所の指導のもとに、本工法の設計・施工指針をとりまとめ、発行した。

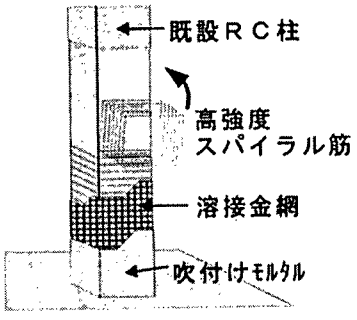


図１　スパイラル筋巻立補強工法



写真１　スパイラル筋の装着



写真２　モルタルの吹付け

（特　徴）

- 既設ＲＣ柱をスパイラル鉄筋柱とすることで鋼板巻立工法と同等の補強効果が得られる。
- 鋼板巻立工法の鋼板接続部の溶接作業、ＲＣ巻立工法のフープ筋の継ぎ手作業が不要となり、品質管理が容易。
- 高強度スパイラル鉄筋の採用により、柱挿入時の塑性変形による形崩れを解消した。また、普通鉄筋に比べ所要の鉄筋量が減少するため、運搬、移動、組立に重機を必要とせず、狭隘な場所での施工も可能。
- モルタルの吹付け工法の採用で型枠の組立や解体が不要、工期が短縮される。
- 補強後もＲＣ構造となるため、補強効果を既存の設計手法により評価できるほか、耐久性、耐火性に優れ、特別な維持管理を必要としない。
- 施工条件によっては、鋼板巻立工法や炭素繊維巻立工法に比べ、20～30%程度安価になる。

（使用材料・使用機材）

- 鋼材（高強度鉄筋、アンカー筋、溶接金網）、吹付けモルタル（膨張材および微粒子混和材を用いたセメント系モルタル）、接着増強剤、膜養生剤
- モルタルポンプ、モルタルミキサ、アジテータ、コンプレッサー、吹付けノズル

（留 意 点）

- 鉄筋コンクリート柱の曲げじん性およびせん断耐力の向上を目指した補強工法であり、曲げ耐力を向上させるには別途検討が必要。
- 既往の研究結果より一辺の長さが長くなると拘束効果が低下することや高強度鉄筋の加工機械の制約から本工法の適用断面は、一辺の長さが 1500㎜ 以下とする。

（適用部材）

鉄筋コンクリート造の矩形および円形断面橋脚

（特許の有無）

- 発明の名称「既設柱の耐震補強構造および既設柱の耐震補強方法」特願平 10-233175
- 発明の名称「既設柱の耐震補強構造および既設柱の耐震補強方法」特願平 10-233178

参考文献（効果確認）	廣中哲也、白石文雄、高橋一成、中村敏晴：「スパイラル筋巻き立てによる高架橋脚の耐震補強」、第 41 回日本学術会議材料研究連合講演会概要前刷集、1997.9

補 強 効 果 （実験例、適用事例）

（効果確認実験概要）

ＲＣラーメン高架橋脚を想定し、地震時の変動軸力を考慮した水平交番載荷実験を行い、補強効果を確認した。補強柱は既設柱の試験体に、高強度スパイラル筋を巻きつけ、モルタルを吹付けたものであり、スパイラル筋の量・軸応力度をパラメータに６試験体とした。

（実験結果）

・スパイラル筋巻立により補強した試験体は、スパイラル筋量に依存するが、鋼板巻立により補強した試験体と同等の変形性能および補強効果を有することを確認した。

・スパイラル筋巻立により補強した試験体のじん性率は、ＲＣ標準式により比較的精度良く評価することができ、高圧縮および引張軸力下の軸力に対する補正は、土木学会式でおおむね評価することが可能であった。

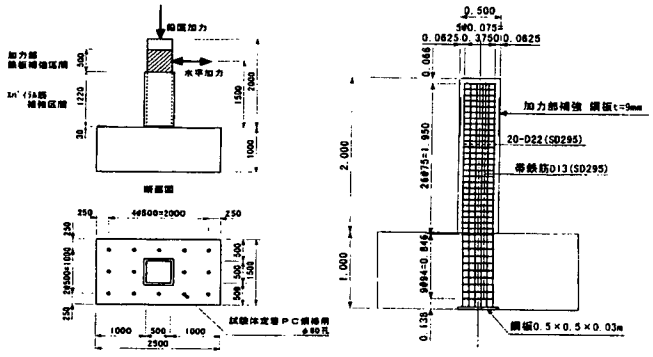


図２　試験体形状寸法

表１　実験結果一覧

試験体名	Ｎ１	Ｎ２	PL１	CF１	SP１	SP２	SP３	SP４	SP５	SP６
補強方法	補強無	帯鉄筋増加	鋼板巻立	炭素繊維巻立	スパイラル筋巻立					
軸応力度 (kgf/cm²)	0						圧縮載荷 +40	圧縮載荷 +10	引張載荷 -20	
降伏荷重(tf)	29.2	30.7	31.0	29.5	32.6	30.9	42.1	33.5	34.5	25.9
降伏変位(mm)	9.2	8.9	8.5	9.1	8.2	7.9	9.3	7.8	8.6	7.2
最大荷重(tf)	36.0	38.0	38.0	38.9	40.0	39.0	49.4	41.7	42.6	34.3
終局変位(mm)	23	75	90	120	75	90	70	72	78	105

降伏荷重：主鉄筋のひずみが降伏ひずみに達した時点の水平荷重
降伏変位：降伏荷重時の変位
終局変位：荷重－変位曲線の包絡線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位

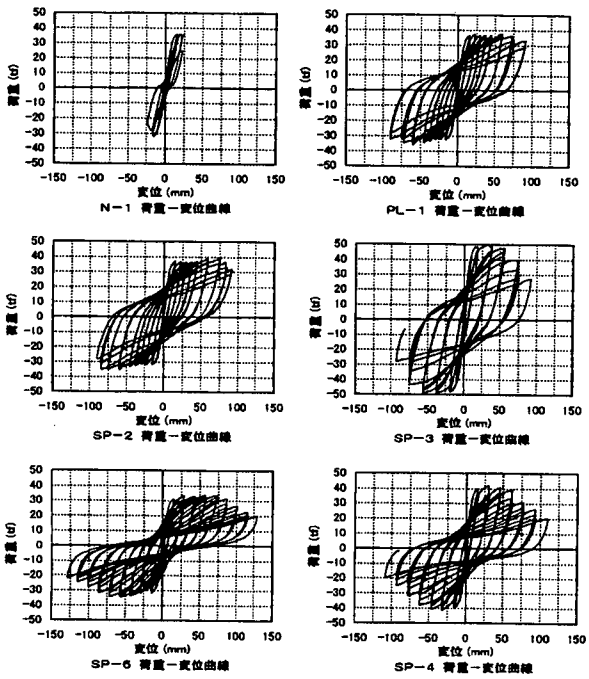


図３　荷重-変位曲線

（適用事例）

・本工法の最初の適用工事として、京阪電鉄の高架橋補強工事に採用された。
　工事名称：京阪本線守口第８高架橋耐震補強工事
　発注者　：京阪電気鉄道㈱
　工事場所：守口市橋波
　工　　期：平成９年２月～３月
　工事内容：柱本数８本　□90×90cm，□90×100cm　h=4.5～6.6m
　　ｽﾊﾟｲﾗﾙ筋 φ12.9mm@39mm　φ10.7mm@50mm
　　ﾓﾙﾀﾙ吹付厚　t=55mm

・Ｈ１１年３月現在、１０件以上の現場で６００本余りの鉄道ＲＣラーメン高架橋脚に適用した。

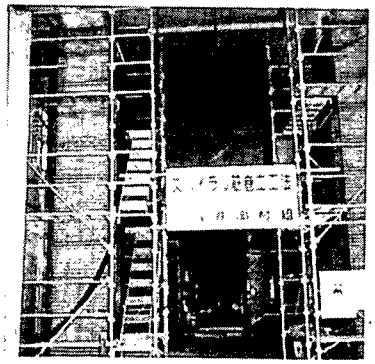


写真３　適用事例

開発者	㈱奥村組
参考文献（適用事例）	高橋一成、白石文雄、廣中哲也、中村敏晴、渡辺忠朋：「スパイラル筋巻立による高架橋脚の耐震補強工法の開発」、土木学会第１回耐震補強・補修技術および耐震診断技術に関するシンポジウム、1997.7

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	ＰＣコンファインド工法	マニュアル	有
補強の目的	コンファインド（横拘束）効果およびじん性の増加を図る。				

（概　要）

・本工法は、鉄筋コンクリート橋脚にＰＣ鋼材を巻き付けることにより耐力およびじん性を増加させて、ねばり強い構造とするためのものである。施工方式として、スパイラル方式、フープ方式およびワイヤラップ方式の３方式があり、前２者は補強部に軸方向鉄筋の配置および基部定着が可能であり、プレキャストパネルを用いてＰＣ鋼材を配置しプレストレスを導入することにより、耐力およびじん性の向上を図ることができる。後者のワイヤラップ方式は、既設橋脚にＰＣ鋼線を直巻きしながらプレストレスを導入することにより、主にじん性の向上を図ることができる方式である。

（特　徴）

・横拘束筋として高い降伏点強度をもつＰＣ鋼材を用いることにより、少ない鋼材料でじん性を大幅に改善することができる。
・プレストレス力により新旧コンクリートの一体性が増し、耐久性が向上する。
・工場製品のプレキャストパネルを使用することで、省力化、工期短縮および景観上の配慮を図ることができる。
・アルカリ骨材反応(ASR)による損傷橋脚では、プレストレスによりひびわれが拘束され ASR によるひびわれの進行を抑制することができる。
・四角形、円形、矩形、小判形など様々な橋脚の形状に対応が可能である。

（使用材料・使用機材）

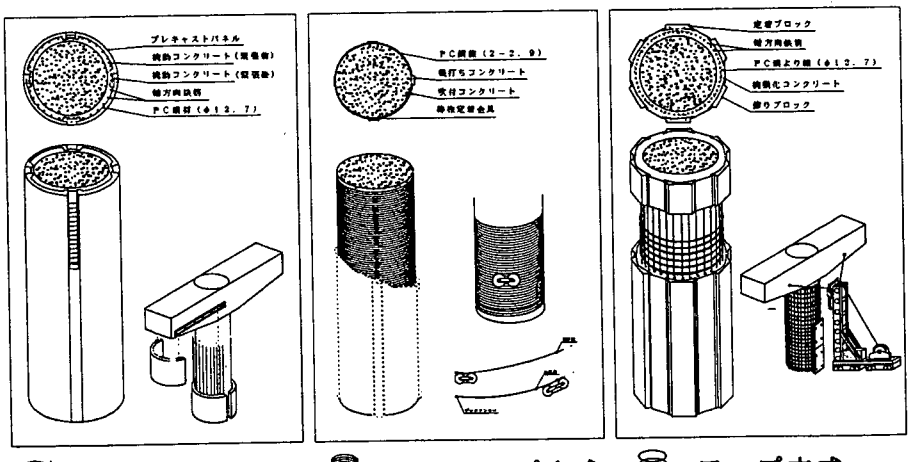
・鋼材（ＰＣ鋼材、鉄筋）
・プレキャストパネル（コンクリート）、場所打ちコンクリート（流動化コンクリート、膨張コンクリート）

（留 意 点）

・

（適用部材）

・橋脚（四角形、円形、矩形、小判形）
・建築柱



スパイラル方式　ワイヤラップ方式　フープ方式

（特許の有無）４件

1．第 2731368 号、角形柱状構造物の補強方法
2．第 2682974 号、円柱状構造物の補強方法
3．第 2667136 号、柱状構造物の構築方法、補強方法及びその装置
4．第 2667134 号、柱状構造物の補強方法

参考文献（効果確認）	張 建東・鈴木義晃・森 拓也・久保欣也・川島一彦：ＰＣ鋼材を帯鉄筋に用いた円柱橋脚の交番載荷試験、第１回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集(1998 年１月)

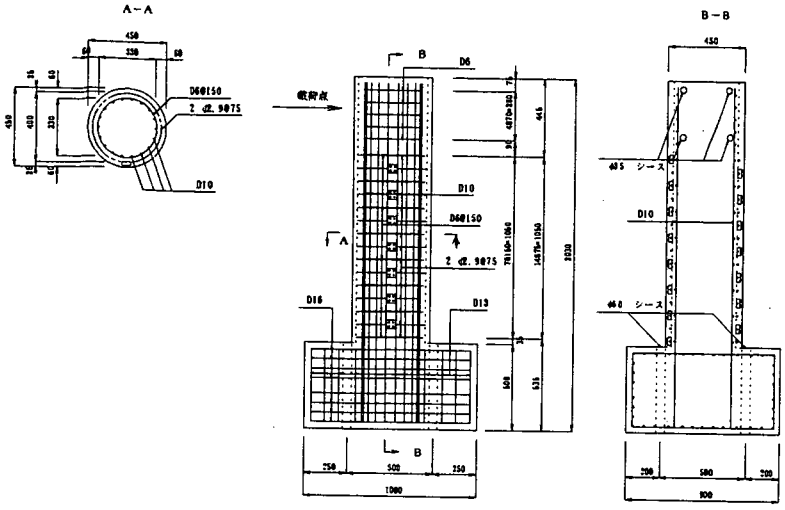
補 強 効 果 （実験例、適用事例）

29

（補強効果確認概要－実験結果等）

「ＰＣ鋼材を帯鉄筋に用いた円柱橋脚の交番載荷実験」

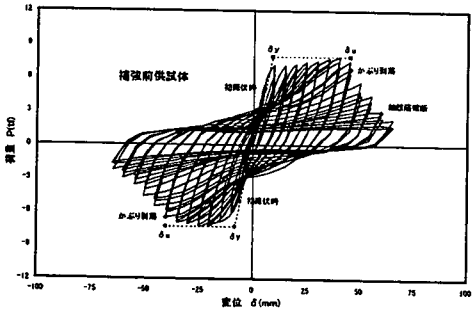
実験供試体

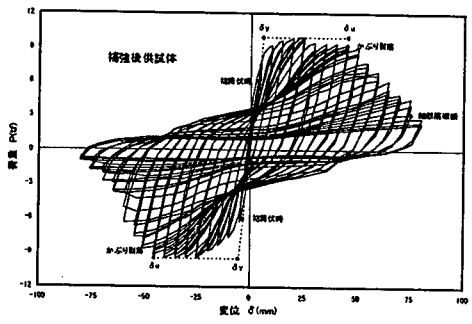


実験結果

① 補強前とＰＣコンファインド補強後の水平荷重－変位履歴曲線を比較すると、補強後は補強前に比べ最大荷重およびじん性率はそれぞれ28%、58%増加しており、本工法の耐震性能の改善が確認された。

② ＲＣ巻立て補強(ＲＣ)とＰＣコンファインド補強（ＰＣ）供試体では、ＰＣ供試体はＲＣ供試体の約 1/4 と鋼材補強量でほぼ同様の補強効果が得られた。





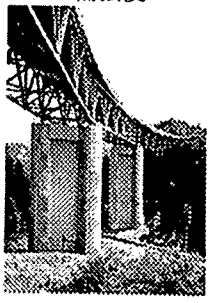
（適用事例）

1．豊川橋（右写真）：石川道路公社
2．23号一ツ木高架橋：建設省名古屋国道事務所
3．熊木川橋：石川県道路公社
4．平山高架橋：九州地方建設局八代工事事務所
5．日奈久高架橋：九州地方建設局八代工事事務所
など

補強前



補強後



開 発 者	（株）ピー・エス
参考文献 (適用事例)	奥田由法・松本一昭・小村辰彦・湊　俊彦：ASR 損傷橋脚の補強設計と施工、コンクリート工学テクニカルレポート、Vol.36、No.9、pp.22～27、1998.9

補強対象部位	地下構造物 RC 柱	補強技術名	炭素繊維シートと鋼板の併用補強工法	マニュアル	有 (無)
補強の目的					

(概　要)

地下鉄等の地下構造物の補強は時間的、空間的に制約を受けるため、従来の工法では施工上、課題が残されています。そこでより容易に施工できる工法が必要となっています。本工法は、せん断補強面には炭素繊維シート、それに直交する面（はらみ出しが生じる面）には鋼板を用いて RC 柱を補強する方法です。この工法は地下鉄の中柱など地震時に変形する方向が特定される場合に有効です。

(特　徴)

鋼板補強工法、炭素繊維シート補強工法と比較して

①2 枚の鋼板と炭素繊維を接着することにより接合するので溶接、ボルト接合等を必要としない。

②炭素繊維シート巻き立て時に必要な柱コーナー部の面取り等の下地処理を必要としない。

(使用材料・使用機材)

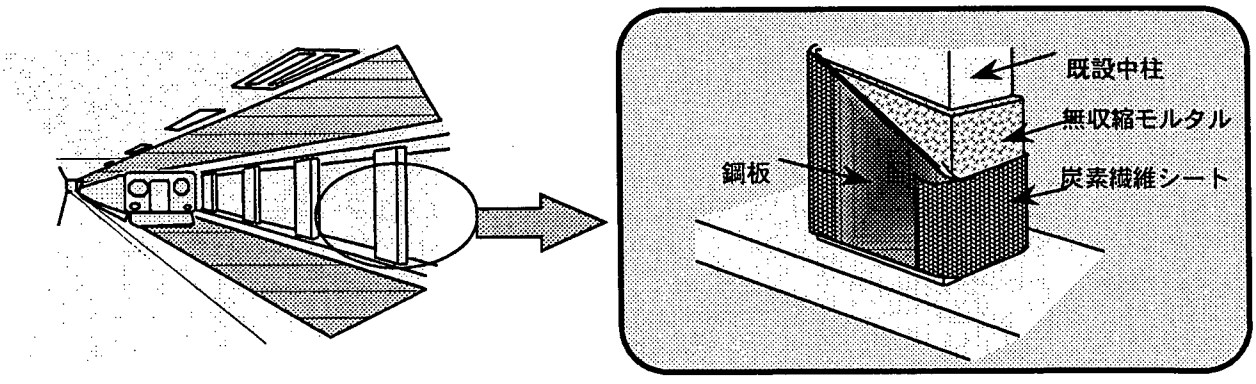
① 鋼板
② 炭素繊維シート
③ 接着剤
④ 充填材（無収縮モルタル）

(留 意 点)

① 鋼板巻き立てと同様に、代返経時に鋼板が上下部フーチングに接触しないように、鋼板とフーチング間に隙間を空ける。

② せん断破壊が懸念される方向には、炭素繊維、それに直交する方向（はらみだしが生じる面）には鋼板を巻き立てる。このため、地震時に変形する方向が特定されやすい地下鉄などで有効である。

(概念図)



(特許の有無)
特許申請中

参考文献(効果確認)	

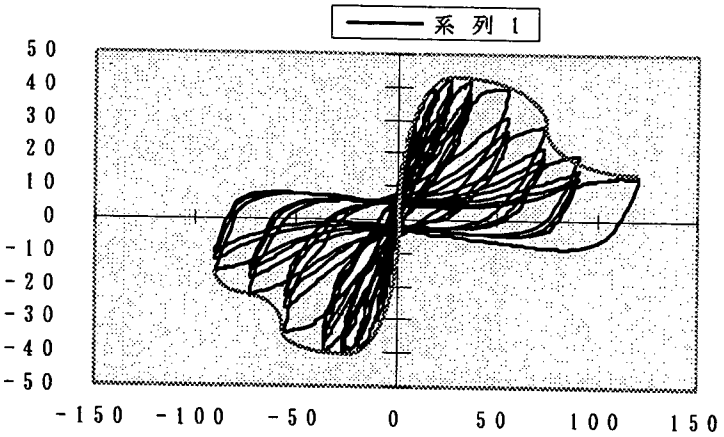
補 強 効 果 （実験例、適用事例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

（試験体仕様）
・実験は地下鉄における既設柱柱の 1/2 縮小ﾓﾃﾞﾙで実施。
・作用外力が設計圧縮強度比で 0.49f'cd と高い軸力。

項目			仕様
断面形状			300×600
軸力			9.63N/mm2
ｺﾝｸﾘｰﾄ強度			23.52N/mm2
主鉄筋	配置		D22×16(SD345)
	主鉄筋比		3.44%
帯筋	配置		D10ctc180(SD345)
	帯鉄筋比		0.13%
補強材	鋼板	材質	SS400, t=3.2mm, σy=297.8N/mm2
		継手	水平継手：非溶接 鉛直継手：炭素繊維ｼｰﾄにて接着
	炭素繊維ｼｰﾄ		3×目付量200g/m2
充填材			無収縮モルタル, fck:52.3N/mm2, 厚さ20mm

(試験結果)
・水平変位 36mm（変形角 1/50）の加力段階まで安定した履歴性能を示した。
・水平変位 55mm(変形角 1/33)の加力時に水平耐力が低下した。
・中柱に損傷は見られたが、鋼板・炭素繊維には損傷はみられなかった。



開発者	佐藤工業株式会社
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	壁式橋脚の複合耐震補強法	マニュアル	有・(無)
補強の目的	段落し部の補強とともに、橋脚のじん性向上を図る				

(概　要)

- 既設鉄筋コンクリート橋脚に炭素繊維シートを巻き立て、段落しを補強し、基部で破壊させる。さらに、鋼板およびＰＣ鋼棒を巻き、じん性の向上を得る。

(特　徴)

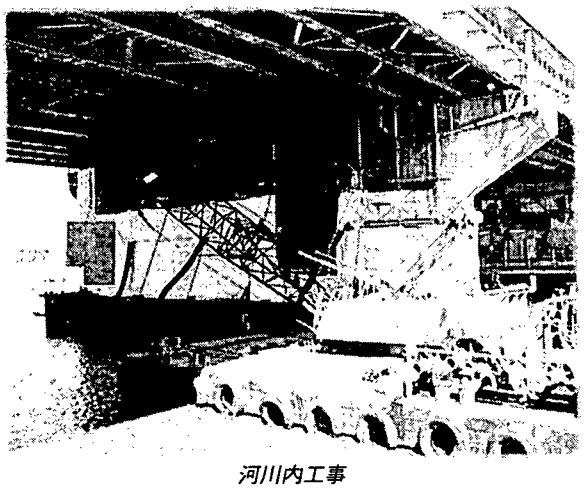
- 橋脚の外付法を大きくすることなく、段落し補強とじん性向上が図れる。
- 広幅の橋脚に対して、既設躯体への影響を最小限にして補強施工が可能である。
- 工期短縮が可能である。

(使用材料・使用機材)

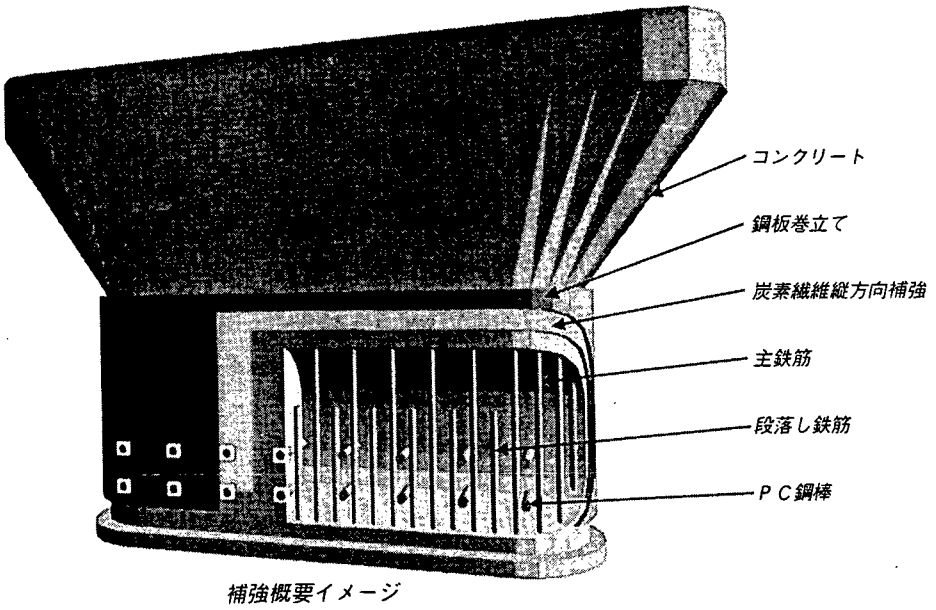
- 炭素繊維シート、鋼材（鋼板、ＰＣ鋼棒）、充填材（無収縮モルタルおよびエポキシ樹脂）

(適用部材)

- 壁式橋脚



河川内工事

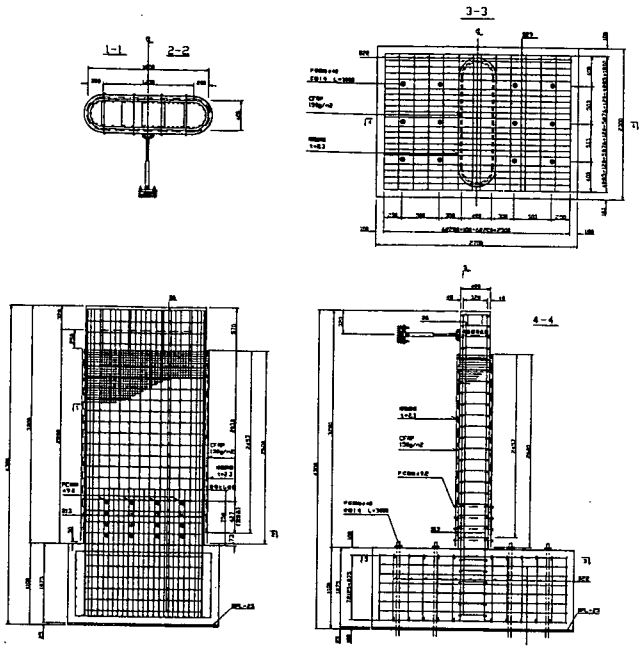


補強概要イメージ

参考文献(効果確認)	門田　誠治、久保田　強、苗村　康造、Gan Buntara S.：壁式橋脚の複合耐震補強確認実験、土木学会第53回年次学術講演会、第Ⅴ部、1188-1189、1998.10

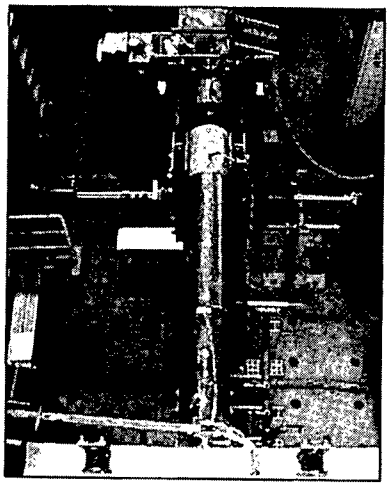
補 強 効 果 （実験例、適用事例）

（補強効果確認概要ー実験結果等）



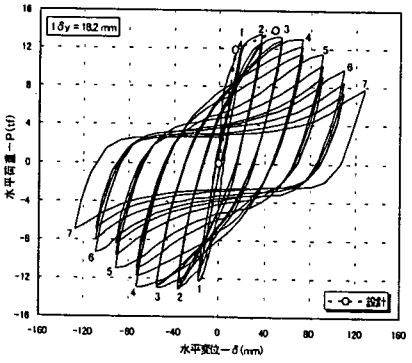
実験供試体の諸元

載荷実験状況

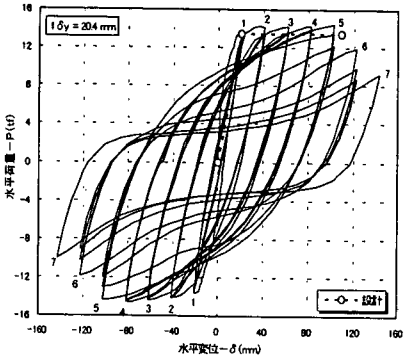


（実験結果）

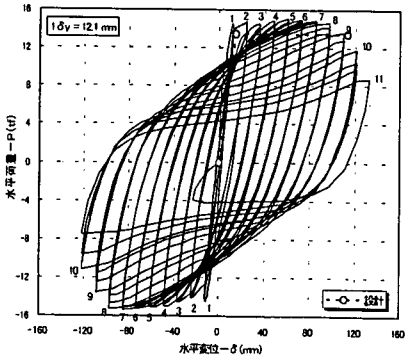
- 模型橋脚の正負交番繰り返し載荷実験により壁式橋脚の複合耐震補強として、炭素繊維シートによる段落し補強効果ならびに基部付近への定着性が確認され、鋼板およびＰＣ鋼棒による補強にてじん性が増大することも確認された。



モデル１
（無補強）



モデル２
（炭素繊維シート補強）



モデル３
（複合補強）

（適用事例）

- 首都高速道路公団、（改負）橋脚耐震性向上工事（3-20）埼玉、埼玉県三郷市

開 発 者	
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	壁式ＲＣ橋脚	補強技術名	壁式ＲＣ橋脚耐震補強工法（ＡＷＳ工法）	マニュアル	(有)・無
補強の目的	耐震性の向上（軸方向鉄筋のはらみ出し防止、じん性の改善、せん断耐力の向上）				

（概　　要）

ＡＷＳ工法は、壁式橋脚用の耐震補強工法であり、壁厚方向にアラミドＦＲＰロッドによりプレストレスを与えることにより、軸方向鉄筋のはらみ出しを防止し、内部コンクリートの拘束効果を高めて、じん性の改善及びせん断耐力の向上を図る工法である。

（特　　徴）

・ＡＷＳ工法は、ＰＣ鋼棒などによる補強工法に比べて削孔箇所が少なくてすみ、既設橋脚に与えるダメージを小さくすることができる。
・本工法は、アラミドＦＲＰロッドを緊張材として用いることから、錆などに対する高い耐久性を持っている。
・アラミドＦＲＰロッドの付着強度が高いため、根巻きコンクリート部に付着定着が可能で、定着具が不要である。
・アラミドＦＲＰロッドが低弾性率であるため、与えたプレストレスが部材の収縮などで大きく損失することがない。

（使用材料・使用機材）

・アラミドＦＲＰロッド　・ハンドミキサー　・緊張ジャッキ、ポンプ
・無収縮モルタル　・注入ポンプ　・緊張架台、ナット、プレート

（留 意 点）

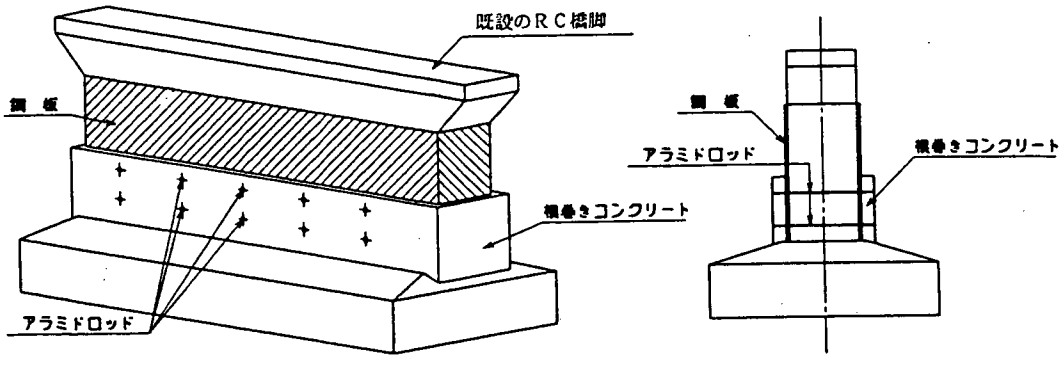
・削孔時に既設橋脚を傷つけないよう十分な探査が必要
・アラミドＦＲＰロッドを付着定着するため、充填モルタルの品質管理、充填状況の管理を慎重に行う

（適用部材）

・断面の辺長比（Ｂ／Ｄ）が３以上の壁式橋脚の耐震補強に適用
・フーチングのせん断補強に適用

（特許の有無）

出願中　　共同出願者：日本道路公団、住友建設株式会社



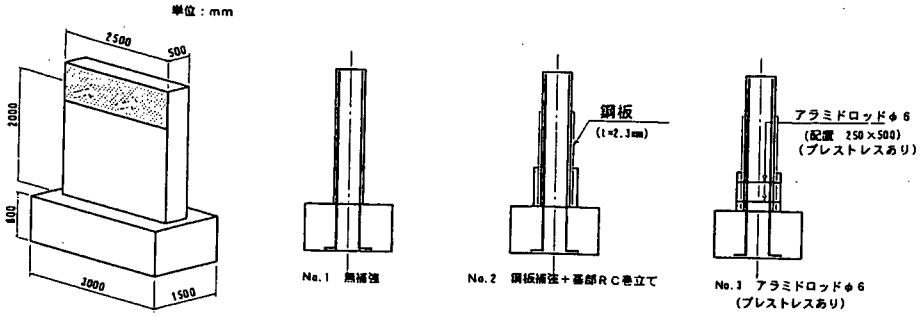
ＡＷＳ工法の概要図

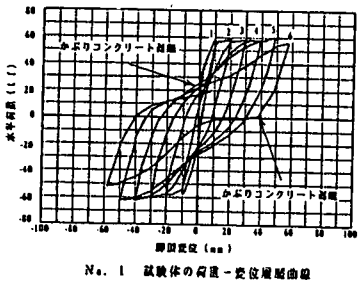
参考文献(効果確認)	「壁式ＲＣ橋脚の耐震補強工法に関する実験的研究」 土木学会年次講演会　１９９６

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

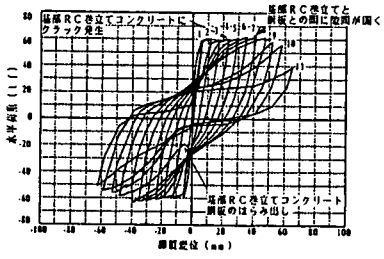
1／3縮尺模型による載荷試験により、補強効果を確認した。





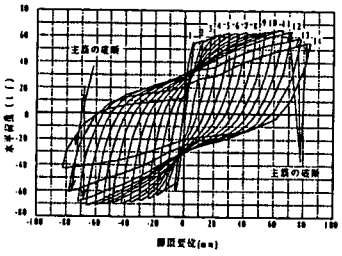
No. 1 試験体の荷重－変位履歴曲線

No.1 無補強
主筋の座屈、かぶりコンクリートの剥離による破壊



No. 2 試験体の荷重－変位履歴曲線

No.2 鋼板巻き立て
主筋の座屈、かぶりコンクリートの剥離による破壊



No. 3 試験体の荷重－変位履歴曲線

No.3 ＡＷＳ工法
主筋の破断により破壊、根巻きコンクリートは無損傷

（実験結果）

ＡＷＳ工法により、鉄筋の座屈を防止し、じん性の向上を確認できた。

（適用事例）

発注者：日本道路公団　東京第一建設局
工事名称：京葉道路（改築）船橋中（その２）工事
適用箇所：壁式橋脚（厚さ１．２m、幅１０m、高さ６m：標準部）２９基に適用

発注者：日本道路公団　厚木工事事務所
工事名称：相模川橋（右岸）耐震補強工事
適用箇所：壁式橋脚（厚さ２．０～２．５m、幅７．５～１７m、高さ６～１３m：標準部）１０基に適用

開 発 者	日本道路公団、住友建設株式会社
参考文献 (適用事例)	「プレストレスを導入した壁式橋脚耐震補強工法の設計・施工要領（案）」日本道路公団 「壁式ＲＣ橋脚耐震補強工法（ＡＷＳ工法）の開発と実用化」 土木学会　耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム

補強対象部位	RC 壁式橋脚	補強技術名	SSRS 工法	マニュアル	㊒・無
補強の目的	RC 壁式橋脚の靭性、曲げ、せん断、および段落とし部曲げ補強				

（概　　要）

・曲面状の鋼板（鋼製セグメント）をＰＣ鋼棒によって壁式橋脚に縫いつけ，さらに鋼製セグメント内にコンクリートを打設するもの。補強目的によって、セグメント内に軸方向鉄筋を挿入する。

（特　　徴）

(1)セグメントのフープテンションを用い、効率的な拘束を行うため、鋼板巻立て工法に比し、中間貫通 PC 鋼棒の本数が少ない。

(2)鋼製セグメントが型枠の代替となるため型枠は不要である。

(3)溶接等が不要であり、小さなユニットに分割可能であるため、早期施工が可能である。

(4)目的に応じて基部曲げ補強･せん断補強・じん性補強・段落とし部曲げ補強が可能である。

（使用材料・使用機材）

・鋼製セグメント（鋼板をプレス加工したもの。）

・ＰＣ鋼棒（ボルトで締結、プレストレスは導入しない。）

・コンクリート（普通コンクリートで強度は不要。）

・アンカー筋（曲げ補強を行う場合。）

・削孔機械（橋脚によって使いやすいもの）

（留 意 点）

・側方向への座屈防止や中間貫通鋼材用削孔数の低減への配慮から適切な巻立て工法を選定する。

・中間貫通鋼材は、既存鉄筋を損傷しないように、留意して配置する。

・セグメントが圧縮応力を負担するなど、予測していない耐力の増加によって、損傷個所が基礎へ移ったり、せん断破壊することを防ぐためにセグメントとフーチングの間に隙間を設ける。

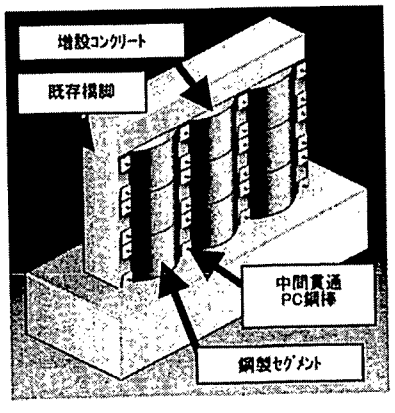
・曲げ補強をする際は、新旧コンクリートの一体化を図るよう留意する。

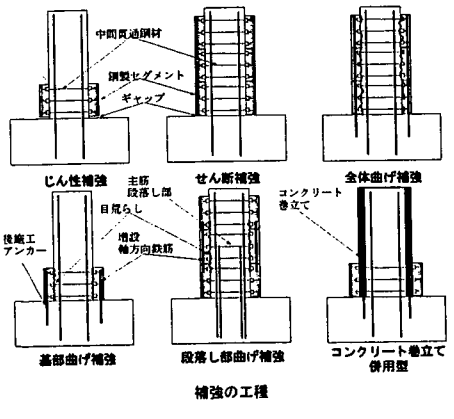
・セグメントが引張応力を負担すると予測していない耐力の増加によって、損傷個所が基礎へ移ったり破壊形態が変化したりする危険性があるため、セグメントは鉛直方向に適当な長さで分割する。

（適用部材）

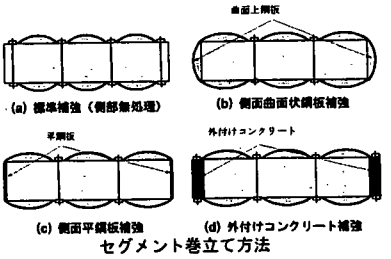
・おもに、壁式橋脚において、その特徴が生かされるが、大断面橋脚や、小判型橋脚にも適用可能である。

（特許の有無）有





補強の工種



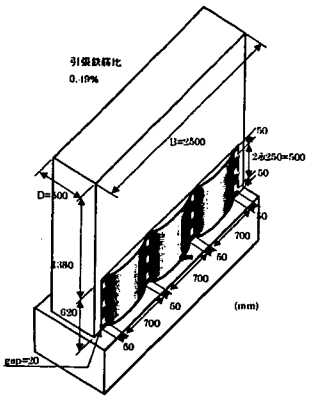
セグメント巻立て方法

参考文献（効果確認）	武田篤史、田中浩一、大内一：曲面状鋼製セグメントにより耐震補強された壁式橋脚の曲げ靭性試験、コンクリート工学年次論文報告集、第 20 巻、1998. 2) 大内一・田中浩一：曲面状鋼製セグメントによる壁式橋脚の耐震補強実験，土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集，第 5 部，pp.1068～1069，1996.9.

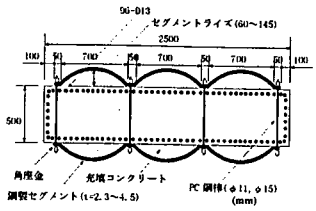
補 強 効 果 （実験例、適 用 事 例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

(実験供試体)



試験体形状寸法



試験体の配筋

試験体名	横拘束筋量 p_w^{gross} (p_w^{eq}) (%)	鋼板厚 t (mm)	鋼板ライズ R (mm)
R06T2P4	0.141 (0.44)	2.3	60
R10T2P4			100
R14T2P4			140
R10T3P4		3.2	100
R10T5P4		4.5	
R10T3P2	0.076 (0.24)	3.2	

※ 等価横拘束筋量p_w^{eq}はC種PC鋼棒を通常鉄筋に強度換算した値
$p_w^{eq}=(11000/3500)\times p_w^{gross}$で定義する

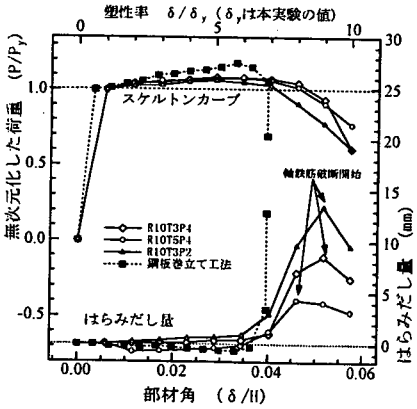
(実験結果)

以下の知見が得られた

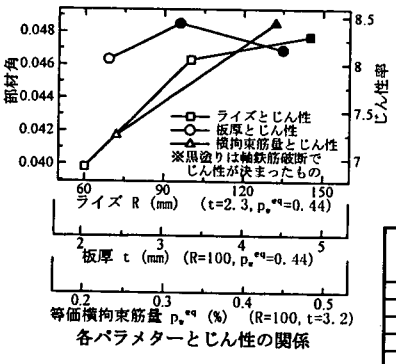
(1) 本工法により，壁式橋脚のじん性能を大きく向上させることができる。

(2) 実橋において板厚 6mm に相当する試験体は，標準的に用いられる鋼板巻立て工法と比して，じん性，エネルギー吸収とも優れた性能を示す。

(3) じん性能の改善には，セグメントのライズ，横拘束筋量が支配的である。



鋼板巻立て工法との比較



各パラメーターとじん性の関係

試験体	降伏荷重 P_y (kN)	降伏変位 δ_y (mm)	終局変位 δ_u (mm)	靭性率 $\mu=\delta_u/\delta_y$	終局時部材角 $R_u=\delta_u/H$
R06T2P4	646.8	11.5	79.60	6.92	0.0398
R10T2P4	634.1	11.5	92.60	8.05	0.0463
R14T2P4	646.8	11.5	95.40	8.30	0.0477
R10T3P4	647.8	11.5	97.00	8.43	0.048
R10T5P4	639.9	11.5	93.80	8.16	0.0469
R10T3P2	655.6	11.5	83.40	7.25	0.0417

開 発 者	株式会社大林組 連絡先：技術研究所土木第 4 研究室（tel 0424-95-0910）
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	鉄筋コンクリート高架橋	補強技術名	OHDAS高架橋 (オーダス)	マニュアル	有・(無)
補強の目的	門型・ラーメン高架橋の耐震性能の向上				

(概　要)

ラーメン高架橋の架構面内に、逆V型のブレースを配置し、その頂部にダンパーを設けた構造である。

ブレースの脚部はフーチングに、またダンパーははりにそれぞれあと施工アンカーで剛結されている。

中、小規模の地震では高剛性化によりゆれにくくなり、大規模地震ではダンパーが塑性変形し減衰機能を発揮してエネルギーを吸収する。

(特　徴)

1　高剛性化により地震時の変位振幅が抑制されゆれにくくなる。
2　ダンパーの履歴吸収エネルギーにより耐震性能が向上する。
3　地震時の損傷がダンパーに集中するため、この部分の取り替えによる復旧が容易である。
　その際、ブレースを反力材として利用し、鉄筋コンクリート架構の残留変形を容易に補正できる。

(使用材料・使用機材)

鋼製ダンパー（曲げ降伏型、せん断降伏型など）を代表とする履歴減衰型ダンパー。
場合により低降伏点鋼材を使用。
あと施工アンカー（樹脂系、モルタル系）。
充填材（無収縮モルタルまたはエポキシ樹脂）。

(留 意 点)

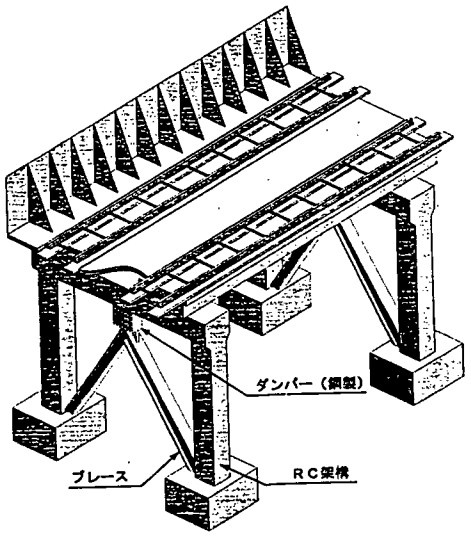
あと施工アンカーの削孔時に主筋を切断しないよう留意する。

(適用部材)

鉄筋コンクリート架構（門型橋脚・ラーメン橋脚）

(特許の有無)

出願中（一部共同研究相手先と共願）



構造の概要

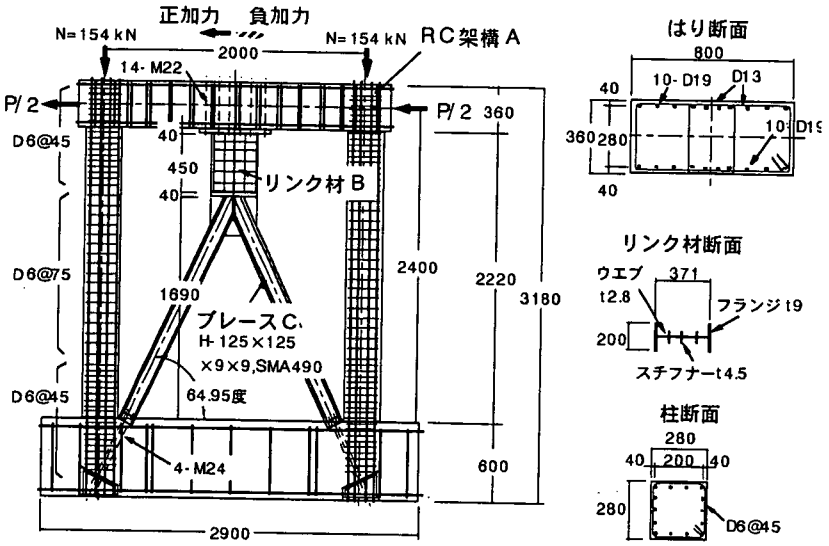
参考文献 (効果確認)	岡野素之、松本信之、在田浩之、曽我部正道、大内一「鋼製ブレースダンパーを用いた鉄道ＲＣ高架橋脚の水平交番載荷試験」土木学会第５３回年次学術講演会概要集 1998. 9

補 強 効 果 （実験例、適用事例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

実験試験体

以下の鉄道高架橋の１／2.5 モデル試験体において正負交番載荷試験を実施した。

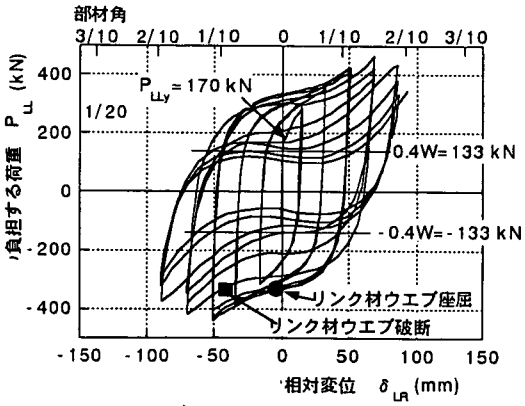


試験体の形状・寸法と配筋

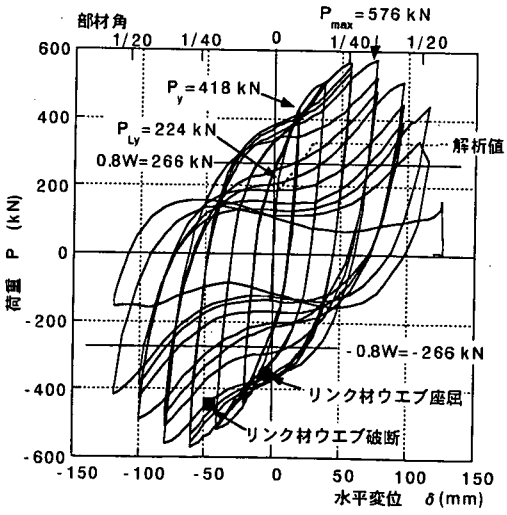
実験結果

以下の知見が得られた

・ブレースによる高剛性化が実証された。
・ダンパーによる大きなエネルギー吸収が確認された。
・剛性・強度とも既往の方法で安全側に評価できる。
・鋼製ダンパーの取り替えにより耐震性能は復旧する。



ダンパーの履歴



全体架構の履歴

（適用事例）

なし

開発者	株式会社大林組　連絡先：技術研究所土木第４研究室　岡野素之（tel0424－95－0996） ただし、本構造の開発は、財団法人鉄道総合技術研究所（担当：構造システム）と株式会社大林組の共同研究により実施された。
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	ＲＣラーメン高架橋	補強技術名	弾塑性ダンパーによる耐震補強工法	マニュアル	有・無
補強の目的	弾塑性ダンパーによる地震力減衰効果の向上を図る。				

（概　　要）

ＲＣラーメン高架橋柱にブレースと弾塑性ダンパーで補強するものであり、ブレースの剛性、弾塑性ダンパーの耐力を調整することにより、必要な補強効果を得る。

（特　　徴）

ブレースの剛性、弾塑性ダンパーの耐力により、地震力を減衰または低減する。

（使用材料・使用機材）

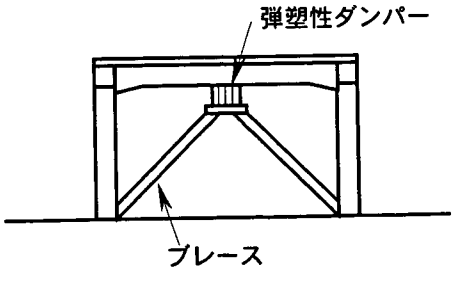
鋼材（ブレース、弾塑性ダンパー）

（留　意　点）

所定の性能を発揮させるには、ブレースおよび高架橋梁の間に設置する弾塑性ダンパーが、強固に固定されなければならない。

（適用部材）

ＲＣラーメン高架橋



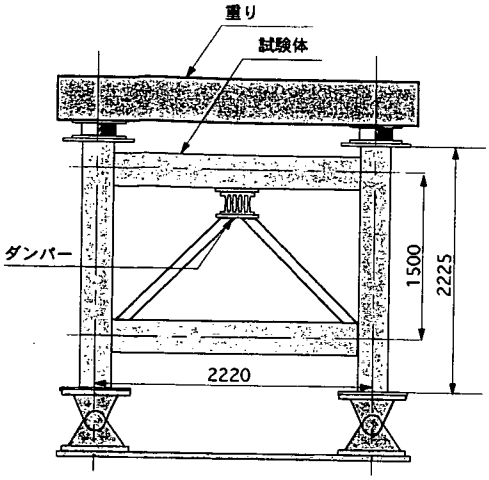
（特許の有無）

参考文献（効果確認）	

補　強　効　果（実験例、適用事例）

（補強効果確認概要ー実験結果等）

試験体

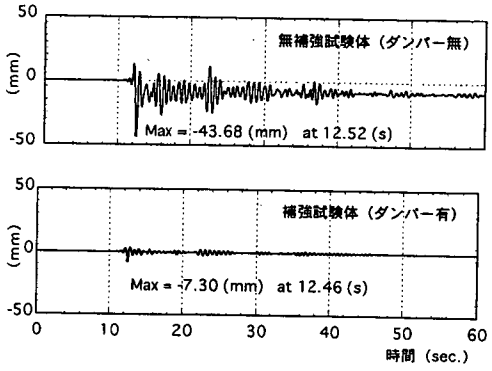


実験結果

実験は補強した試験体と無補強の試験体を振動台により加力を行い、その比較により耐震補強効果を評価した。

図は、地震波入力したときの梁の応答変位であるが、耐震補強をした場合43.7mmから7.3mmの約1/6に低減されている。加振後の試験体破壊性状は、無補強試験体の場合、曲げひび割れが発生し、柱の主筋が降伏しているのに対し、補強試験体は、初期曲げひび割れ程度で止まっていた。

以上のことから、弾塑性ダンパーによって耐震性能が向上することを確認した。



開発者	
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ橋脚	補強技術名	連結梁による橋脚の耐震補強工法	マニュアル	有・(無)
補強の目的	床掘り工事が出来ない橋脚の耐震性を向上させることを目的とする。				

（概要）

近接施工等で橋脚基部の掘削工事が出来なっかたため，橋脚と橋台を梁で連結することにより橋脚基部及び基礎の地震力の負担を軽減し，橋梁全体としての耐震性を向上させた。

（特徴）

工事がほとんど地上で施工できること。

（使用材料）

鋼材；形鋼，鋼板，アンカー筋

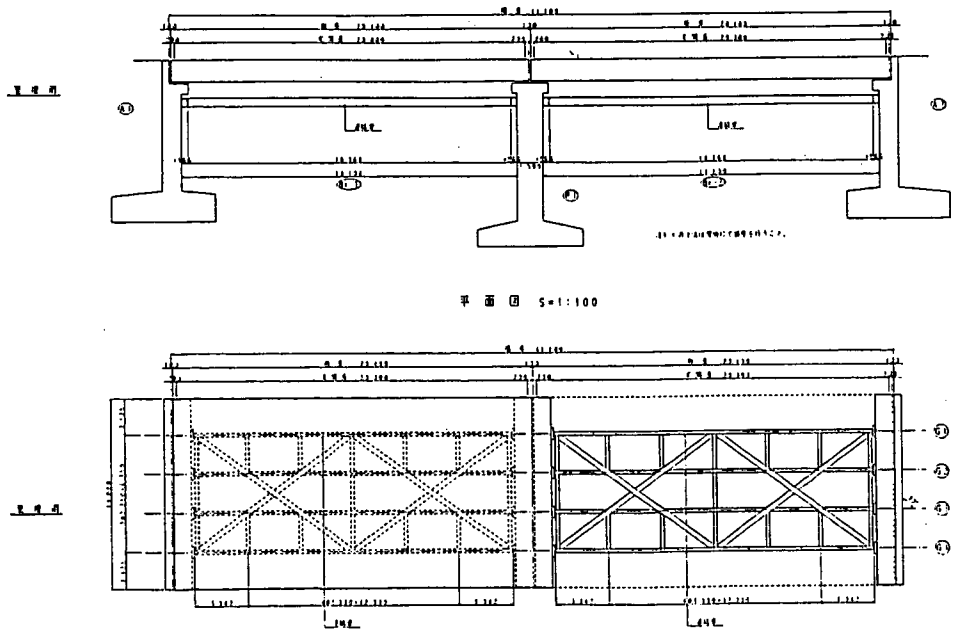
（留意点）

温度応力に抵抗しない様に　連結梁の両端に移動可能な空隙を設けること。

（適用部材）

全ての型式の橋脚に適用が可能である。

神奈川橋耐震補強一般図



参考文献（効果確認）	道路橋示方書

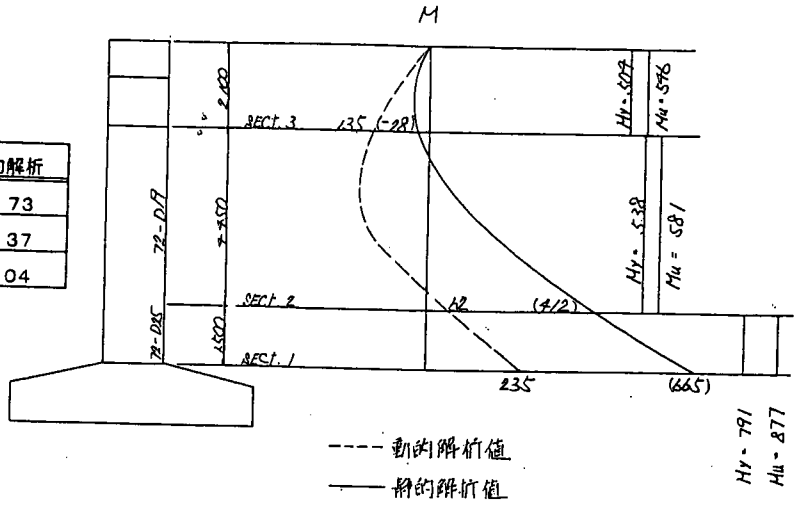
補強効果（実験例，適用事例）

（計算結果）

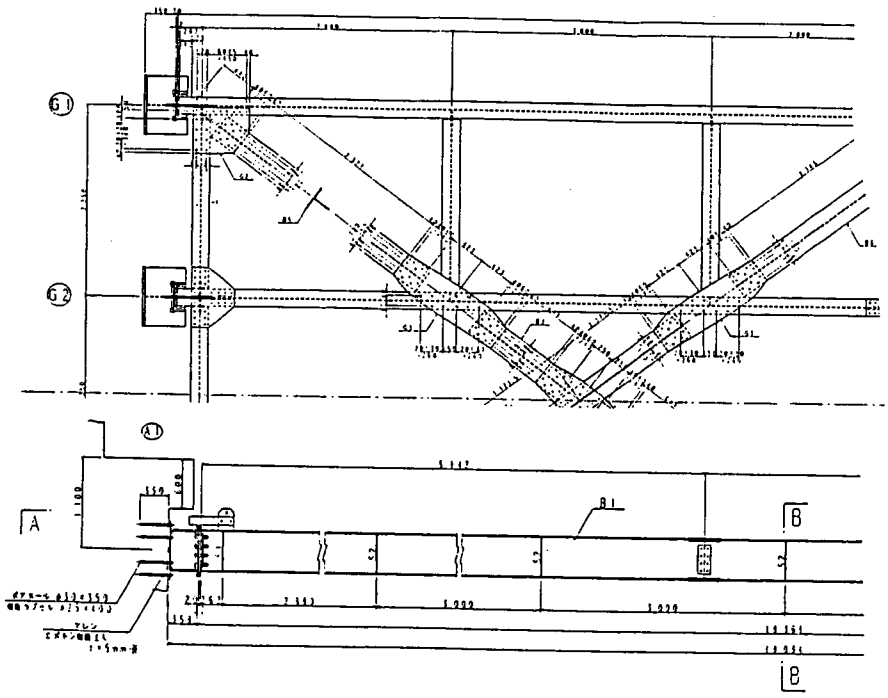
・Kh=1.7 地域最大値
・橋台は変位しないものとした。
・１種地盤，直接基礎

安　全　率(Mu/M)

	静的解析	動的解析
SECT. 1	1. 23	3. 73
SECT. 2	1. 41	9. 37
SECT. 3	19. 50	4. 04



（適用事例）



開発者	（株）荒谷建設コンサルタント
参考文献（効果確認）	道路橋示方書

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	スタッドを用いた継ぎ手方法	マニュアル	有・無
補強の目的	既設の柱の曲げ補強を図る。				

（概　　要）

フーチングに埋め込んだ補強鉄筋と柱を鋼板巻立て補強した場合の鋼板との継ぎ手としてスタッドを用いた場合の補強効果の確認を行うことで、施工性を考慮した既設橋脚の曲げ補強方法を検討する。

（特　　徴）

橋脚を鋼板巻立て工法で補強して曲げ耐力を向上させるためにはフーチングに埋め込んだ補強鉄筋と鋼板を接合する必要がある。その方法として鋼板に取り付けたブラケットと補強鉄筋をボルト等で接合するのが最も確実な方法である。しかし、フーチングに埋込む補強鉄筋は、フーチングの鉄筋等が支障となり、所定の位置に設置することが実際には困難な場合が多い。

これに対し、鋼板に取り付けたスタッド用いた場合、現場で取り付け可能な位置に取り付けた補強鉄筋と鋼板を接合することが容易となる。

（使用材料・使用機材）

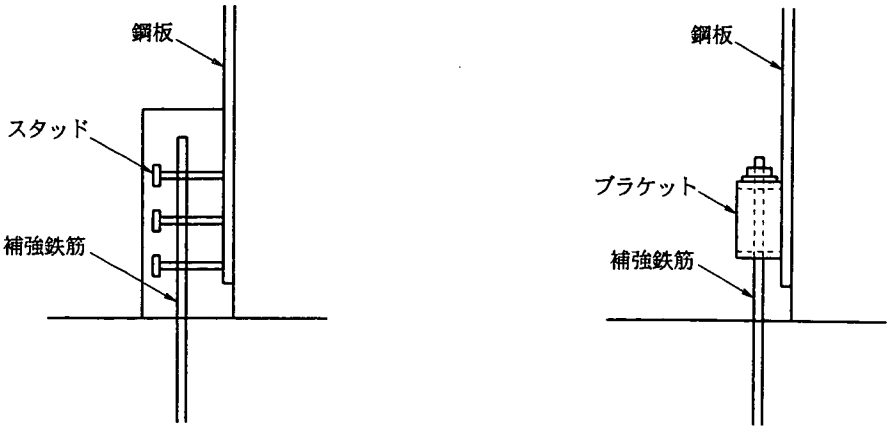
鋼材（鋼板、異形鉄筋、スタッド）　コンクリート　充填材（エポキシ樹脂）

（留 意 点）

スタッド周辺を巻立てるコンクリートを十分拘束できるように帯鉄筋を配置する必要がある。

（適用部材）

円形橋脚、矩形橋脚



スタッド案　　ブラケット案

補強鉄筋と鋼板の接合方法

（特許の有無）

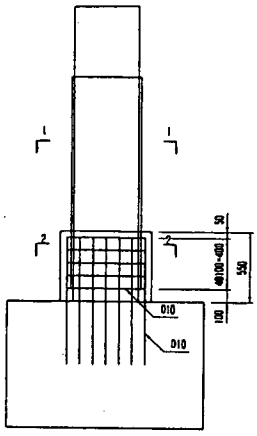
参考文献（効果確認）	山本、半野、藤本：鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強にスタッドを用いた継手方法に関する検討、第 49 回土木学会年次学術講演会、平成 6 年 9 月

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

（補強効果確認概要－実験結果等）

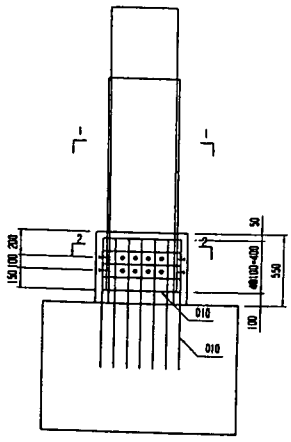
（実験供試体）

No. 4



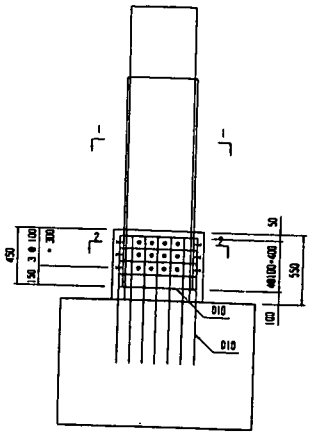
スタッド無し

No. 5



スタッド有り（２列）

No. 6

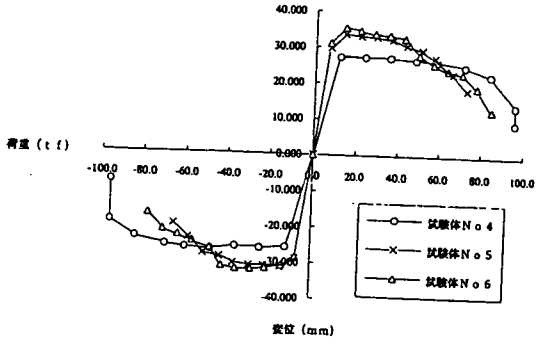


スタッド有り（３列）

（実験結果）

・スタッドを用いない供試体に比較して曲げ耐力及び変形性能の向上が確認できた。

荷重～変位の包絡曲線



開 発 者	
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	鉄筋コンクリート橋脚	補強技術名	既設橋脚の基部リング拘束耐震補強工法	マニュアル	㊒・無
補強の目的	RC橋脚の合理的な耐震補強を目的とし橋脚の耐力と靭性の改善を図る				

（概 要）

・本工法は、鋼板巻き立てを行った橋脚基部に拘束リングと膨張コンクリートを用いて補強した工法であり、膨張コンクリートによって発生する膨張圧とリングによる拘束で補強部分を一体化するとともに橋脚の耐力および靭性の増加が期待できる。

（特 徴）

・鋼板巻き立てを行った橋脚基部に拘束リングを据え、リング内に膨張コンクリートを充填することを特徴とする工法である。

・膨張コンクリートによって発生する膨張圧とリングの拘束によって橋脚と一体化することで、橋脚基部断面の有効高さが大きくなり橋脚の耐力が増加するとともに基部断面の拘束により靭性が増加する。

・比較的構造が単純でアンカーやアンカーフレームを用いることがないため、既設フーチングに損傷を与えずコスト低減が図れる。

（使用材料）

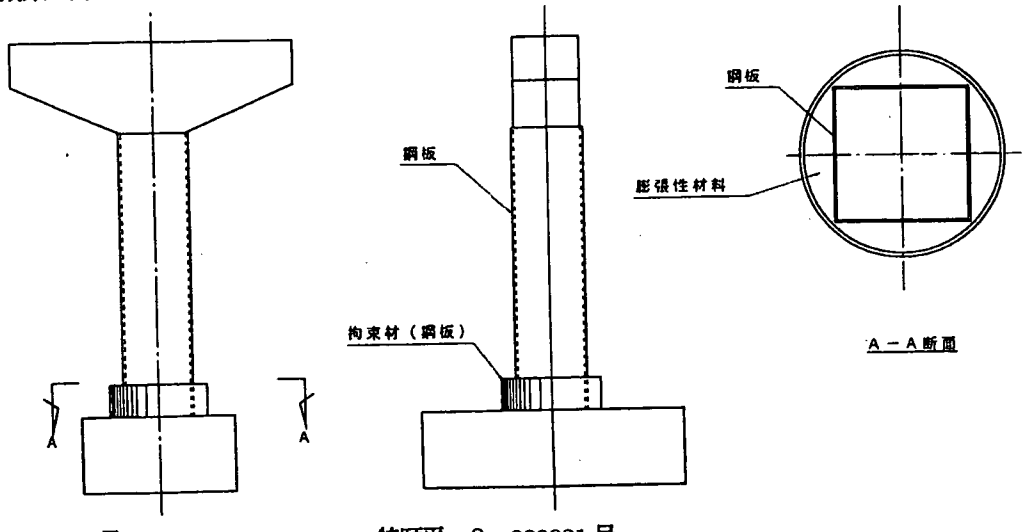
・拘束リング（鋼板、CFRPが有効）、膨張コンクリート（高性能膨張材使用）

（留 意 点）

・拘束による補強効果は拘束リングの高さおよび経の変化または拘束リングの剛性および高性能膨張材の添加量で制御可能である。

（適用部材）

・RC橋脚



（特許の有無）

特願平　7－211737号
名称　既設の基礎構造物補強工法
出願日　平成7年8月21日
発明者　内藤静男、天野玲子、鷹尾武

特願平　8－289831号
名称　RC柱状構造物の柱脚部の補強構造
出願日　平成8年10月31日
発明者　新保弘、秋山暉、内藤静男

参考文献（効果確認）

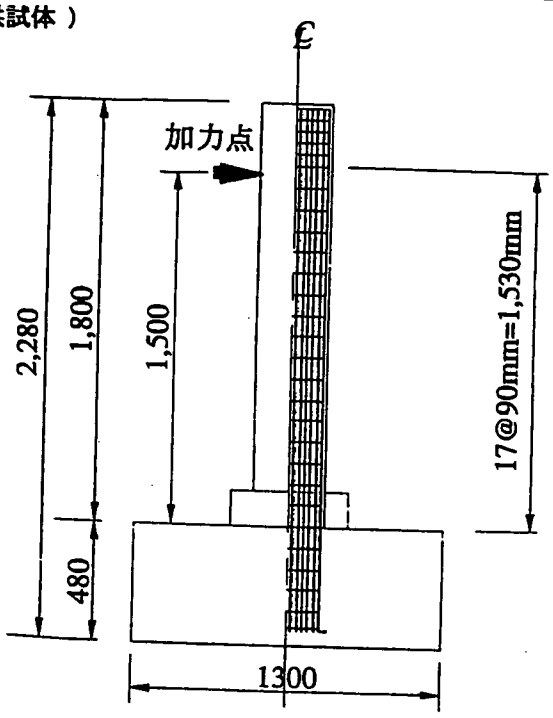
天野玲子、内藤静男、竹田哲夫、秋山暉、新保弘：基部をリング拘束した鋼板巻き立て柱試験体の交番載荷実験、土木学会第51回年次学術講演会、1048-1049、1996.9

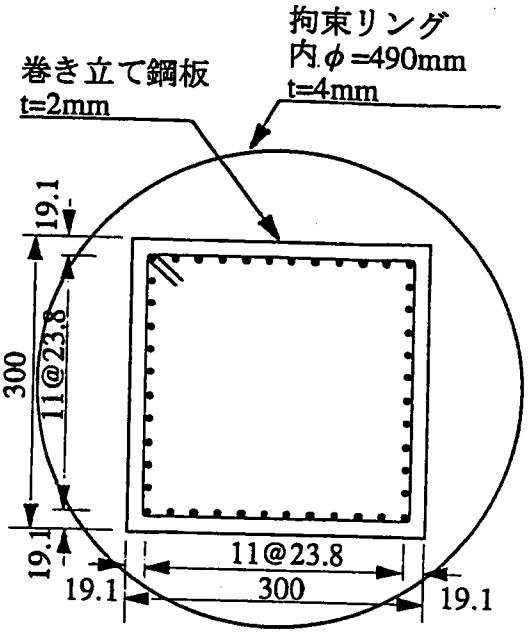
新保弘、山田一夫、浅井肇、岩田雅靖、米倉亜州夫：CFRPリングと膨張コンクリートを用いた既設RC橋脚の耐震補強工法、JCI北海道支部 新素材のコンクリート構造物への利用シンポジウム、213-218、1996.11

天野玲子、山田一夫、新保弘、米倉亜州夫：既設RC橋脚の基部リング拘束耐震補強工法、土木学会 第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、317-322、1997.1

補強効果(実験例、適用事例)

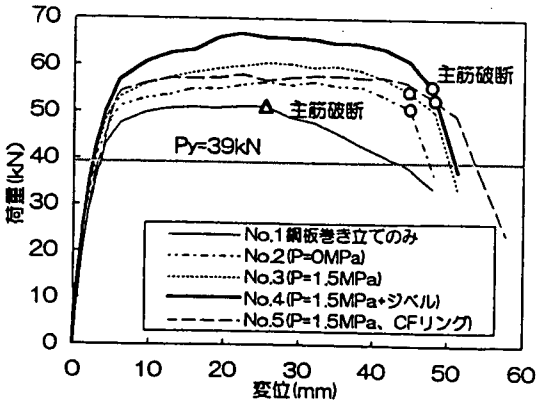
(実験供試体)





柱筋　D6　44本　柱鉄筋比　1.51%
帯筋　D3　帯鉄筋比　0.057%
帯筋ピッチ90mm

試験体	補強方法	膨張圧	ジベル
No.1	鋼板巻き立てのみ	—	—
No.2	鋼板巻き立て＋鋼製リング	0MPa	なし
No.3	鋼板巻き立て＋鋼製リング	1.5MPa	なし
No.4	鋼板巻き立て＋鋼製リング	1.5MPa	あり
No.5	鋼板巻き立て＋ＣＦリング	1.5MPa	なし



(実験結果)

・拘束リングおよび膨張コンクリートによって補強を行うことで最大耐力は10～30%増加するとともに破壊モードが柱筋座屈型から柱筋破断型へ変化し、橋脚の剛性が増加した。また、拘束リングおよび膨張コンクリートによる補強した場合の終局変位は無い場合と比較して同等以上の結果が得られた。

開発者	高性能複合材料研究会（SUPCOM）（代表：広島大学教授 米倉亜州夫、鹿島建設(株)、太平洋セメント(株)、三菱レイヨン(株)、極東工業(株)）
参考文献（効果確認）	山根隆志、新保弘、山田一夫、米倉亜州夫：基部リング拘束工法によるコンクリート橋脚の耐震補強、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム、プレストレストコンクリート技術協会、1997.10

補強対象部位	鋼　　橋　　脚	補強技術名	脚内縦リブ補強工法	マニュアル	有・無
補強の目的	補強断面全体のじん性の向上を図る。				

（概　　要）
- 鋼橋脚の矩形断面に適用される。
- 既設縦リブに補強フランジを増設するものであり、そのフランジのサイズを調整することにより必要なじん性が得られる。

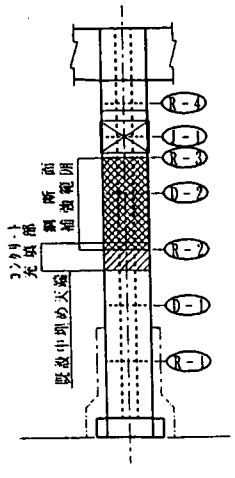
（特　　徴）
- 補強面全体のじん性（パラメータR_F）の向上が期待できる。
- R_Fの改善により補剛板の局部座屈強度が改善される場合には、その分の耐力の向上は期待できる。
- R_Fの改善以外は補強前の断面により耐力評価を行うため、直接的な耐力向上は期待できない。

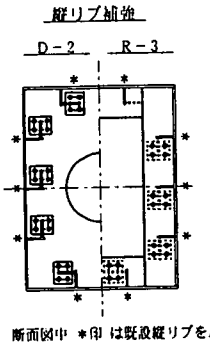
（使用材料）
- 鋼板、高力ボルト

（留 意 点）
- 増設フランジのサイズは既設縦リブと同サイズまでを原則とする。
- 橋軸、橋直方向の計４面とも同時に補強することを原則とする。
- 増設フランジの設置により縦リブがＬ形断面（偏心）となるため、横倒れ座屈防止に横倒れ防止板を設置する。
- 既設橋脚内での作業となるため、搬入、取付可能な部材長、部材重量とする必要がある。
- 中埋めコンクリート充填補強工法と併用可能である。

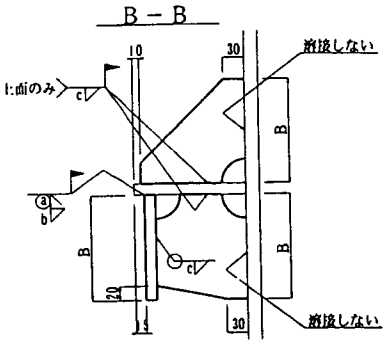
（適用部材）
- 鋼製矩形橋脚

矩形橋脚

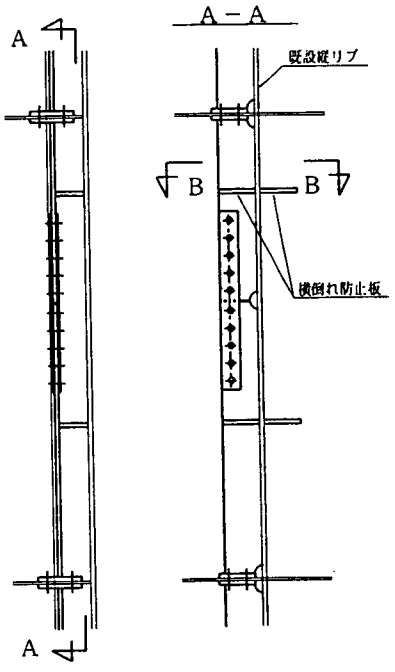




注）断面図中 ＊印 は既設縦リブを示す。



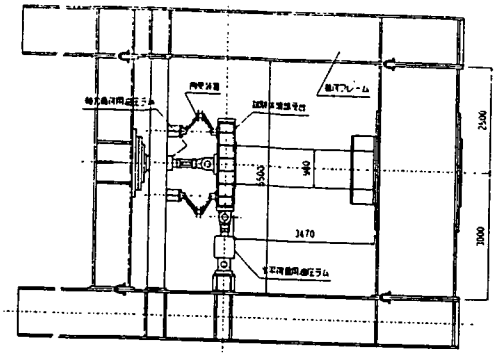
補強状況（例）



（特許の有無）

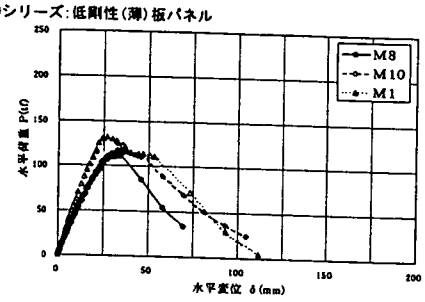
参考文献（効果確認）	

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

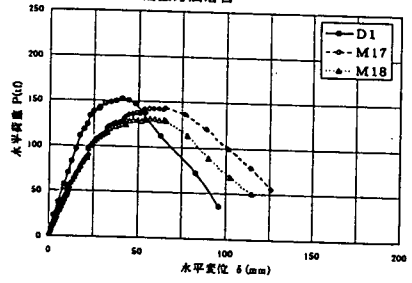


実験装置(1)　　(単位:mm)

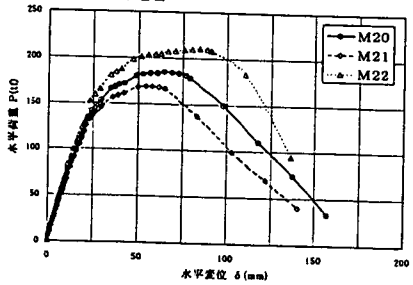
①シリーズ:低剛性(薄)板パネル



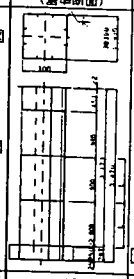
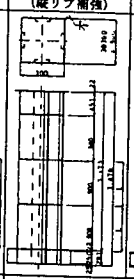
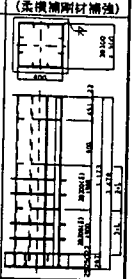
②シリーズ:縦横寸法比/補強方法着目

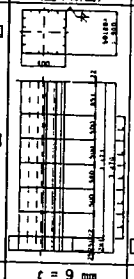
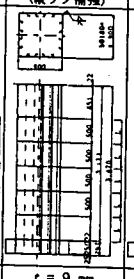
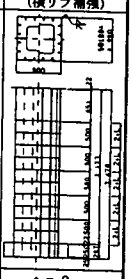


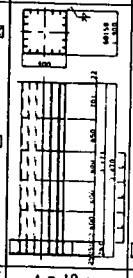
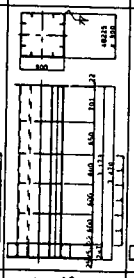
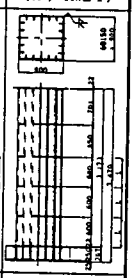
③シリーズ:幅厚比比率着目



P－δ骨格曲線

	供試体	M8 (基準断面)	M10 (縦リブ補強)	M1 (柔横補剛材補強)
①低剛性板パネルに対する補剛性に着目	形状図 断面図			
	形状図 側面図			
	構成部材 外殻板	t = 10 mm	t = 10 mm	t = 10 mm
	構成部材 縦リブ1面あたり	2-Rib Pl 65×6	2-Rib Pl 65×6 +Flg Pl 65×12	2-Rib Pl 65×6
	構成部材 降伏点	σy = 3586 kgf/cm²	σy = 3632 kgf/cm²	σy = 3456 kgf/cm²
	パラメータ α=a/b	1.00	1.00	(1.00:柔横補剛)
	パラメータ RR	0.65	0.66	0.64
	パラメータ RF	0.85	0.38	(0.47)
	パラメータ γ1/γ*	0.55	3.25	(0.55)

	供試体	D1 (鋼材倶楽部) (基準断面)	M17 (縦リブ補強)	M18 (横リブ補強)
②高剛性補剛板における縦横寸法比および補強方法に着目	形状図 断面図			
	形状図 側面図			
	構成部材 外殻板	t = 9 mm	t = 9 mm	t = 9 mm
	構成部材 縦リブ1面あたり	4-Rib Pl 60×6	4-Rib Pl 60×6 +Flg Pl 41×9	4-Rib Pl 60×6
	構成部材 降伏点	σy = 3790 kgf/cm²	σy = 3204 kgf/cm²	σy = 3613 kgf/cm²
	パラメータ α=a/b	0.56	0.56	0.28
	パラメータ RR	0.45	0.41	0.44
	パラメータ RF	0.45	0.24	0.22
	パラメータ γ1/γ*	1.01	3.04	4.35

	供試体	M20 (RF/RR=1)	M21 (RF/RR≦1)	M22 (RF/RR≦1)
③板パネルと補剛板の幅厚比比率に着目	形状図 断面図			
	形状図 側面図			
	構成部材 外殻板	t = 10 mm	t = 10 mm	t = 10 mm
	構成部材 縦リブ1面あたり	5-Rib Pl 74×8	3-Rib Pl 80×9	5-Rib Pl 91×10
	構成部材 降伏点	σy = 3613 kgf/cm²	σy = 3613 kgf/cm²	σy = 3613 kgf/cm²
	パラメータ α=a/b	0.67	0.67	0.67
	パラメータ RR	0.33	0.49	0.33
	パラメータ RF	0.34	0.34	0.24
	パラメータ γ1/γ*	0.91	2.12	1.83

開発者	
参考文献 (適用事例)	田嶋 仁志、半野久光、池田茂、奥守;矩形鋼製橋脚の変形性能に関する載荷実験 構造工学論文集 Vol.44A (1998年3月)

補強対象部位	鋼　　橋　　脚	補強技術名	脚内縦リブ増設工法	マニュアル	有・無
補強の目的	縦リブに挟まれる補剛板のじん性の向上とともに、橋脚の曲げ耐力向上を図る。				

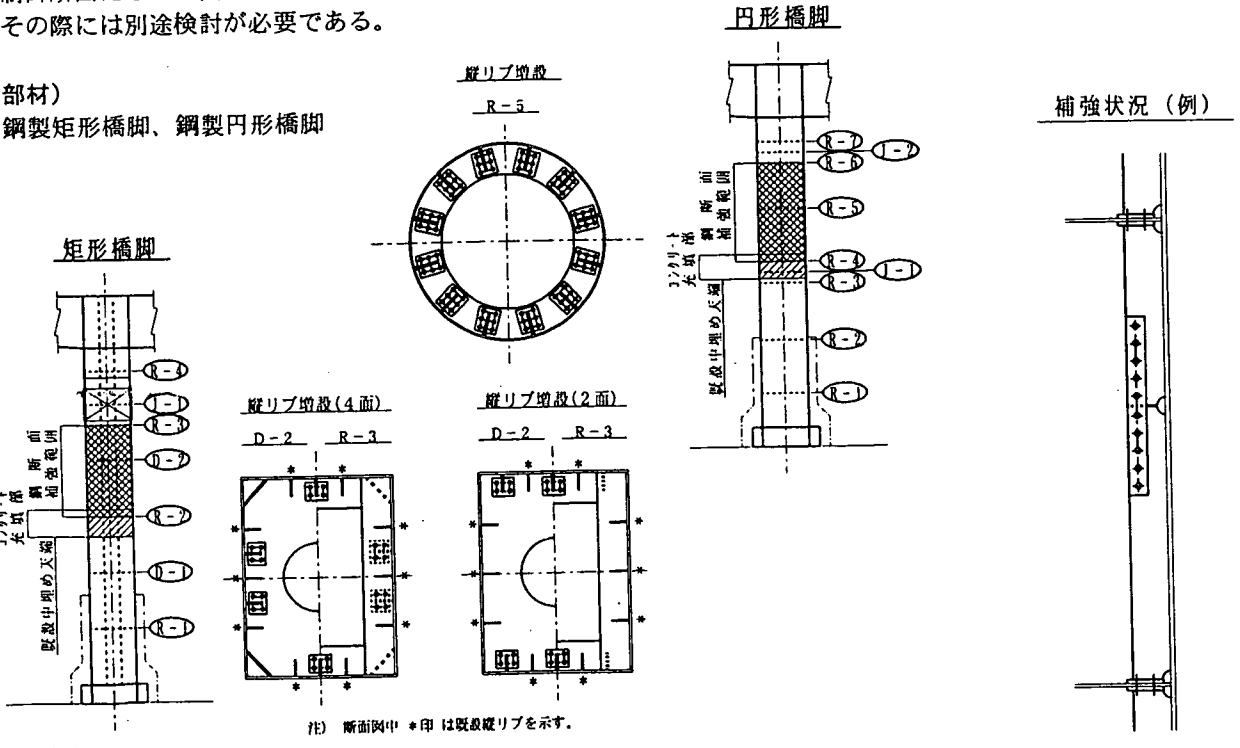
（概　　要）
- 鋼橋脚の矩形断面、円形断面ともに適用される。
- 矩形断面の場合、既設縦リブ間にさらに縦リブを増設するものである。
- 既設縦リブの無い円形断面の場合、増設縦リブのサイズと設置本数を調整することにより必要な耐力とじん性が得られる。

（特　　徴）
- 縦リブに挟まれる補剛板のじん性（パラメータR_R）の向上のみならず、その増設面全体のじん性（パラメータR_F，R_T）の向上を期待できる。
- 縦リブ増設後の断面にて耐力評価が可能であるため、耐力向上が期待できる。

（使用材料）
- 鋼板、高力ボルト

（留 意 点）
- 矩形断面の場合の増設縦リブは、既設と同サイズの縦リブを用いるのを基本とする。
- 矩形断面の場合、橋軸または橋直方向の必要とされる面のみ増設する。
- 既設橋脚内での作業となるため、搬入、取付可能な部材長、部材重量とする必要がある。
- 中埋めコンクリート充填補強工法、横リブ増設工法と併用可能である。
- 制御断面にこの工法を用いると橋脚全体の耐力を上げることになり、アンカー部の耐力を超えることもあり得る。その際には別途検討が必要である。

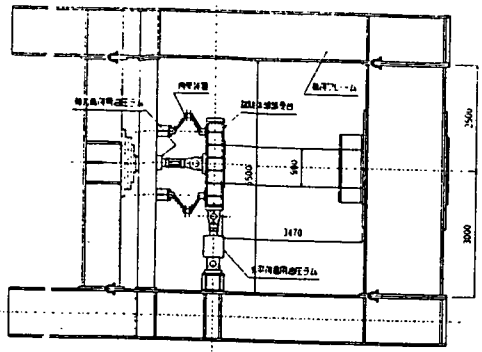
（適用部材）
- 鋼製矩形橋脚、鋼製円形橋脚



（特許の有無）

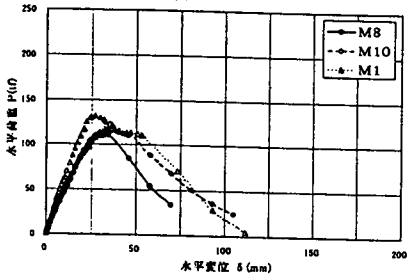
参考文献（効果確認）	

補 強 効 果 （実験例、適 用 事 例）

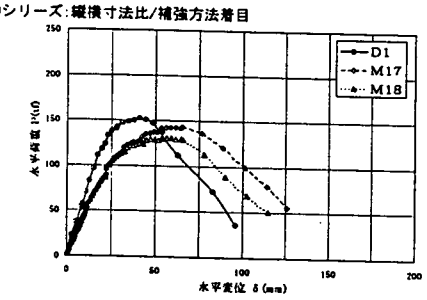


実験装置(1)　（単位:mm）

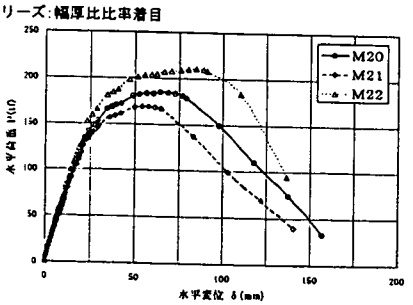
①シリーズ:低剛性(薄)板パネル



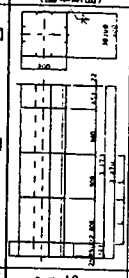
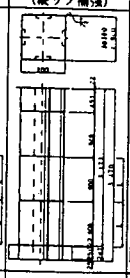
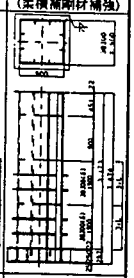
②シリーズ:縦横寸法比/補強方法着目

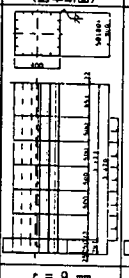
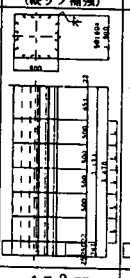
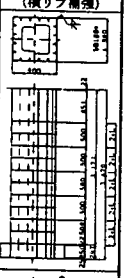


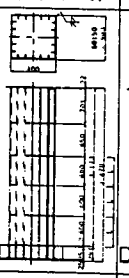
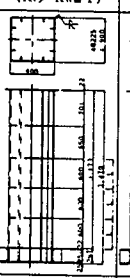
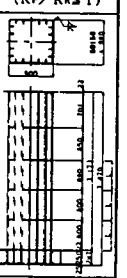
③シリーズ:幅厚比比率着目



P－δ骨格曲線

	供試体	M8（基準断面）	M10（縦リブ補強）	M1（柔横補剛材補強）
①低剛性板パネルに対する補剛性に着目	形状図 断面図			
	形状図 側面図			
	構成部材 外殻板	t = 10 mm	t = 10 mm	t = 10 mm
	構成部材 縦リブ1面あたり	2-Rib Pl 65×6	2-Rib Pl 65×6 ＋Flg Pl 65×12	2-Rib Pl 65×6
	構成部材 降伏点	σy = 3586 kgf/cm²	σy = 3632 kgf/cm²	σy = 3456 kgf/cm²
	パラメータ α=a/b	1.00	1.00	(1.00:柔横補剛)
	パラメータ RR	0.65	0.66	0.64
	パラメータ RF	0.85	0.38	(0.47)
	パラメータ γ1/γ*	0.55	3.25	(0.55)

	供試体	D1（鋼材倶楽部）（基準断面）	M17（縦リブ補強）	M18（横リブ補強）
②高剛性補剛板における縦横寸法比および補強方法に着目	形状図 断面図			
	形状図 側面図			
	構成部材 外殻板	t = 9 mm	t = 9 mm	t = 9 mm
	構成部材 縦リブ1面あたり	4-Rib Pl 60×6	4-Rib Pl 60×6 ＋Flg Pl 41×9	4-Rib Pl 60×6
	構成部材 降伏点	σy = 3790 kgf/cm²	σy = 3204 kgf/cm²	σy = 3613 kgf/cm²
	パラメータ α=a/b	0.56	0.56	0.28
	パラメータ RR	0.45	0.41	0.44
	パラメータ RF	0.45	0.24	0.22
	パラメータ γ1/γ*	1.01	3.04	4.35

	供試体	M20（RF／RR＝1）	M21（RF／RR≦1）	M22（RF／RR≦1）
③板パネルと補剛板の幅厚比比率に着目	形状図 断面図			
	形状図 側面図			
	構成部材 外殻板	t = 10 mm	t = 10 mm	t = 10 mm
	構成部材 縦リブ1面あたり	5-Rib Pl 74×8	3-Rib Pl 80×9	5-Rib Pl 91×10
	構成部材 降伏点	σy = 3613 kgf/cm²	σy = 3613 kgf/cm²	σy = 3613 kgf/cm²
	パラメータ α=a/b	0.67	0.67	0.67
	パラメータ RR	0.33	0.49	0.33
	パラメータ RF	0.34	0.34	0.24
	パラメータ γ1/γ*	0.91	2.12	1.83

開発者	
参考文献(適用事例)	田嶋 仁志、半野久光、池田茂、奥守;矩形鋼製橋脚の変形性能に関する載荷実験 構造工学論文集 Vol.44A（1998年3月）

補強対象部位	鋼　　橋　　脚	補強技術名	脚内横リブ増設工法	マニュアル	有・無
補強の目的	増設する横リブを挟む上下の補剛板全体のじん性向上を図る。				

（概　　要）
- 鋼橋脚の矩形断面に適用される。
- 補剛板の横リブ間距離を短くすることにより、補剛板全体のじん性の向上が図れる。

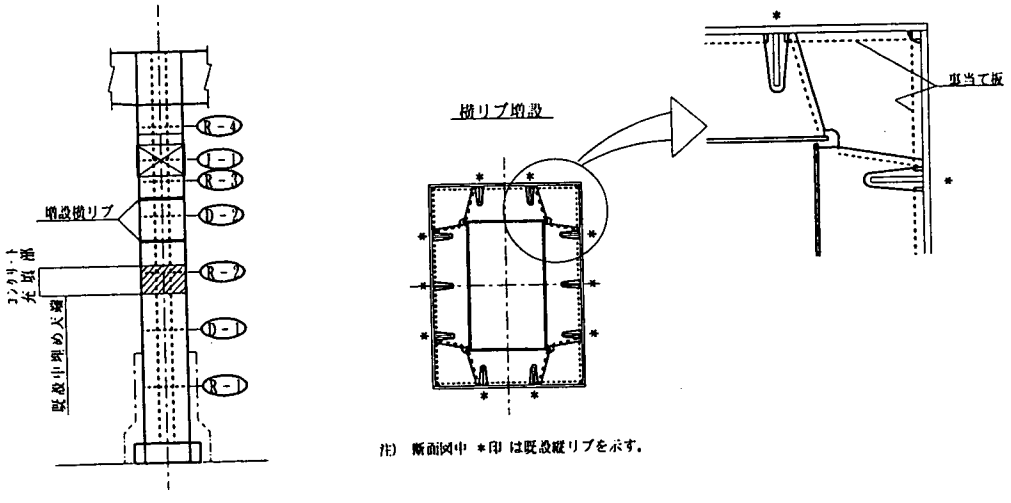
（特　　徴）
- 橋軸、橋直とも同時に補剛板全体のじん性（パラメータR_p）の向上が期待できる。

（使用材料）
- 鋼板、高力ボルト

（留 意 点）
- 既設橋脚内での作業となるため、搬入、取付可能な部材長、部材重量とする必要がある。
- 中埋めコンクリート充填補強工法、縦リブ増設工法と併用可能である。

（適用部材）
- 鋼製矩形橋脚

矩形橋脚

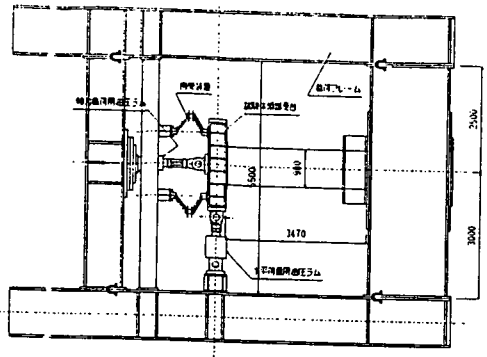


注）断面図中 ＊印 は既設縦リブを示す。

（特許の有無）

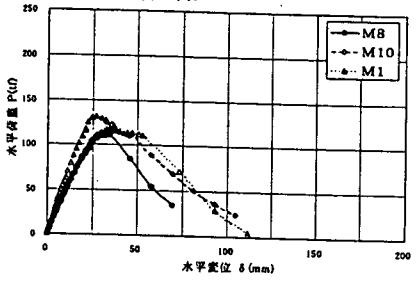
参考文献(効果確認)	

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

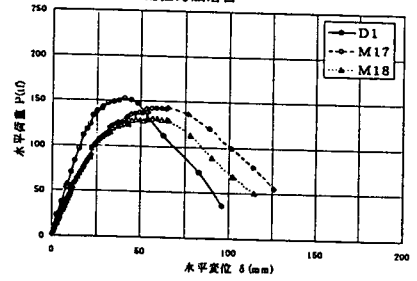


実験装置(1)　（単位:mm）

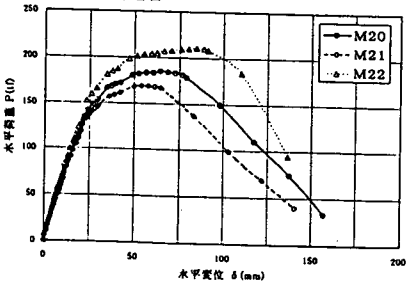
①シリーズ:低剛性(薄)板パネル



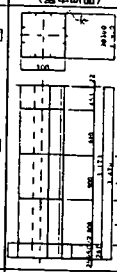
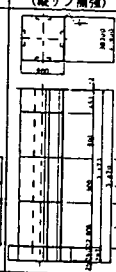
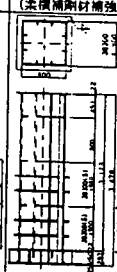
②シリーズ:縦横寸法比/補強方法着目

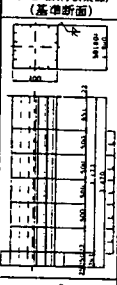
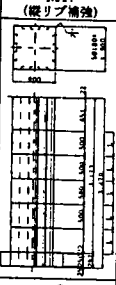
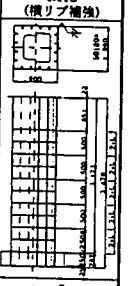


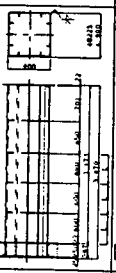
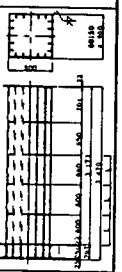
③シリーズ:幅厚比比率着目



P－δ骨格曲線

	供試体		M8（基準断面）	M10（縦リブ補強）	M1（柔横補剛材補強）
①低剛性板パネルに対する補剛性に着目	形状図	断面図			
		側面図			
	構成部材	外殻板	t = 10 mm	t = 10 mm	t = 10 mm
		縦リブ 1面あたり	2-Rib Pl 65×6	2-Rib Pl 65×6 ＋Flg Pl 65×12	2-Rib Pl 65×6
		降伏点	σ_y = 3586 kgf/cm²	σ_y = 3632 kgf/cm²	σ_y = 3456 kgf/cm²
	パラメータ	$\alpha = a/b$	1.00	1.00	(1.00:柔横補剛)
		R_R	0.65	0.66	0.64
		R_F	0.85	0.38	(0.47)
		γ_1/γ^*	0.55	3.25	(0.55)

	供試体		D1（鋼材保存部）（基準断面）	M17（縦リブ補強）	M18（横リブ補強）
②高剛性補剛板における縦横寸法比および補強方法に着目	形状図	断面図			
		側面図			
	構成部材	外殻板	t = 9 mm	t = 9 mm	t = 9 mm
		縦リブ 1面あたり	4-Rib Pl 60×6	4-Rib Pl 60×6 ＋Flg Pl 41×9	4-Rib Pl 60×6
		降伏点	σ_y = 3790 kgf/cm²	σ_y = 3204 kgf/cm²	σ_y = 3613 kgf/cm²
	パラメータ	$\alpha = a/b$	0.56	0.56	0.28
		R_R	0.45	0.41	0.44
		R_F	0.45	0.24	0.22
		γ_1/γ^*	1.01	3.04	4.35

	供試体		M20（RF／RR＝1）	M21（RF／RR≦1）	M22（RF／RR≦1）
③板パネルと補剛板の幅厚比比率に着目	形状図	断面図			
		側面図			
	構成部材	外殻板	t = 10 mm	t = 10 mm	t = 10 mm
		縦リブ 1面あたり	5-Rib Pl 74×8	3-Rib Pl 80×9	5-Rib Pl 91×10
		降伏点	σ_y = 3613 kgf/cm²	σ_y = 3613 kgf/cm²	σ_y = 3613 kgf/cm²
	パラメータ	$\alpha = a/b$	0.67	0.67	0.67
		R_R	0.33	0.49	0.33
		R_F	0.34	0.34	0.24
		γ_1/γ^*	0.91	2.12	1.83

開発者	
参考文献 (適用事例)	田嶋 仁志、半野久光、池田茂、奥守;矩形鋼製橋脚の変形性能に関する載荷実験 構造工学論文集 Vol.44A (1998年3月)

補強対象部位	橋梁基礎	補強技術名	STYFAL(隣接フーチング工法) 液状化による側方流動対策工法	マニュアル	有 (無)
補強の目的	橋梁基礎の地盤の液状化による側方流動対策				

(概　要)

護岸付近の基礎は地震で液状化した地盤の側方流動により大きな側方土圧を受け，大きな変位を生じる．一方，護岸から離れた基礎は側方流動の影響が小さいため，大きな水平抵抗が期待できる．このことに着目し，側方流動の影響の大きな基礎と影響の小さな基礎を結び，基礎に作用する力を分散し，その水平抵抗を最大限活かすこと，つまり構造物系全体の水平抵抗を合理的に活用することで，基礎間の相対的な変位を抑制し，落橋や構造物の大変形を抑制するのが隣接フーチング連結工法「STYFAL(スタイファル)工法」である．護岸直角方向に延びる橋梁や構造物の側方流動対策に大きな効果を発揮します．

(特　徴)

1.側方流動の影響が大きな基礎と小さな基礎を結び，構造物系全体の水平抵抗力を最大限有効に活用する合理的な工法であり，液状化の影響が少ない地盤の基礎から延びたPCケーブルが，液状化した地盤の基礎を強固に支える．
2.構造が簡単で，設計，施工，維持管理が容易．
3.とくに既設構造物の側方流動対策として有効．
4.PCケーブルは矢板式護岸，二重締切など，海洋工事で数多く用いられ，信頼性，耐久性も抜群．
5.PCケーブル断面は強度でなく剛性で決定されるので，安全率が大きく不測の荷重に対しても安全．
6.PCケーブルの配置により荷重の変化に容易に対応できるので，構造物の規模に関わらず適用できる．とくに護岸直角方向に延びる構造物に最適．
7.工期，工費とも他の側方流動対策工法より有利．
8.橋梁以外のさまざまな構造物にも適用できる．

(使用材料・使用機材)

・工場製作の被服PCケーブル，PCケーブル定着部コンクリート

(適用条件)

・主に橋軸方向の側方流動荷重が作用する場合に適用できる．
・曲線橋の場合，10程度の橋軸の偏角まで対応できる．
・連結するフーチング間に障害物がある場合，別途対応策が必要．

(留 意 点)

・液状化による側方流動は，護岸から離れるほど地盤の移動量が小さくなるので，条件にもよるが護岸から2基～5基程度の連結で効果が発揮できる．
・橋梁の長さに関係なく適用できる．この工法は荷重を伝達するPCケーブルの延びがポイントであり，橋梁基礎間長さとの関係が重要となる．液状化した地盤では，PCケーブルの剛性に比べ地盤の剛性が相対的に小さくなり，PCケーブルはより水平変位を低減する働きをするため，橋梁基礎間長さが長くても有効に働く．
・PCケーブルは工場で防錆加工を施したものを使用する．矢板式護岸や二重締切など，海洋工事では多くの実績があり，高耐久でメンテナンスフリーである．PCケーブルには荷重伝達材としての剛性を求めており，破断に対しては10以上の安全率を見込める．
・緊張管理は，施工時の水平力を小さくするために，また竣工後のリラクゼーション量を抑制するために，初期緊張力を小さくする必要がある．その上でたわみを生じさせないことが重要で，さまざまな立地状況に応じて，5m程度ごとにスペーサを地面に打ち込むなどで対応できる．
・ケーブルの維持管理は，基本的には不要．地震後の効果を把握する場合や厳密な維持管理が必要な場合には荷重計の設置などで対応する．施工後，時間経過とともにケーブルのゆるみ等が生じることも考えられるが，締め直しで対応でき，維持管理は非常に容易である．

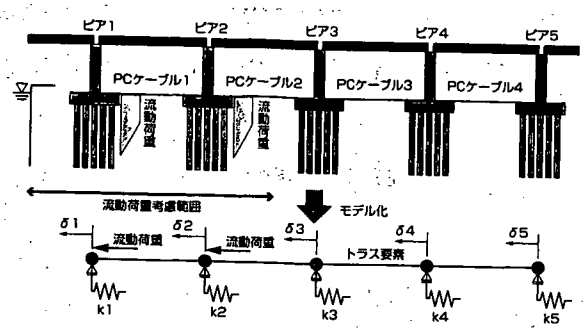
参考文献(効果確認)	アーバンインフラテクノロジー推進会議第9回技術研究発表会論文集，pp.175-182，1998.2

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

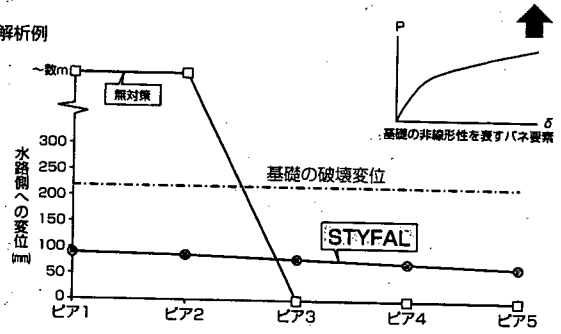
（補強効果確認概要－実験結果等）

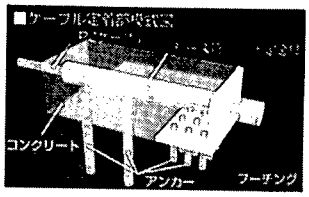
・２地点のモデルに対して解析的検討を実施し効果を確認.

■モデル化



■解析例

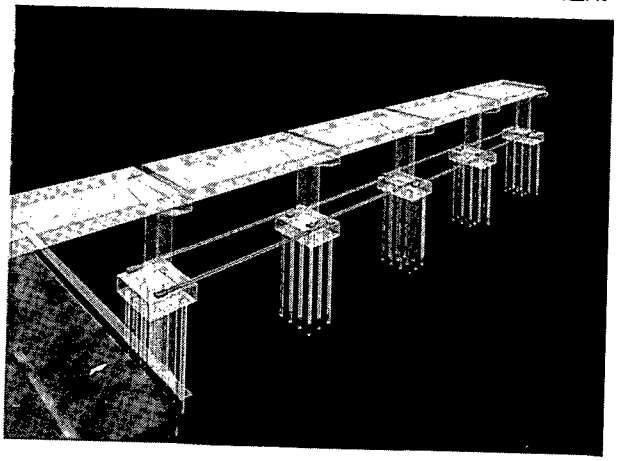


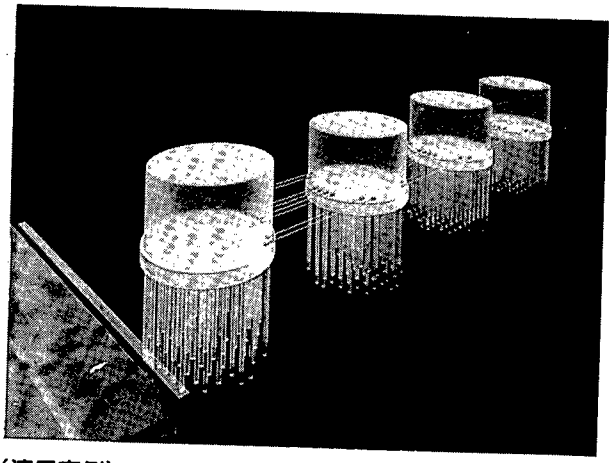


PCケーブル定着部の概要

（適用部材）

・護岸近傍の橋梁基礎，ただし他の構造物の基礎にも適用可能.





（特許の有無）

・特許申請中

（適用事例）

・実構造物への適用はない

開 発 者	飛島建設（株）
参考文献 (適用事例)	

補強対象部位	橋脚（RC・M）・(基礎)等	補強技術名	コラムシステム(ｱﾌﾟﾛｰﾁ)工法	マニュアル	(有)・無
補強の目的	地盤改良コラムで構造物を支持する				

（概　要）

《コラムアプローチ工法の概要》

軟弱地盤上に造られた低盛土道路は、横断構造物や橋梁と盛土との接点で段差が生じます。この段差は走行の快適性を損なうとともに振動や騒音の発生源になるばかりでなく、多大な補修費用を要します。コラムアプローチ工法はこのような道路に生じる段差を緩和抑制するために、日本有数の軟弱地盤である佐賀で佐賀大学三浦教授の御指導のもと研究開発した工法で、平成８年度地盤工学会九州支部技術賞を受賞しました。

《コラムシステムの概要》

コラムシステム工法は、ボックスカルバート等の新設改修工事において、アプローチコラムに加えて管渠の基礎、ならびに仮設土留めに地盤改良コラムを用いる工法です。道路の段差緩和抑制効果と管渠本体施工の安全性・施工性・工期短縮を可能とするために開発された工法です。

（特　徴）

《コラムアプローチ工法の特徴》

・現位置を利用したスラブ（浅層改良）とコラム（深層改良）で構成され、コラムは定着型ではなく浮基礎型「フローティングタイプ」です。
・構造物付近のコラムを長く、構造物から離れるにしたがい短くなるように階段状に打設して、粘土層に生じる沈下量が盛土から構造物に近づくに連れ、次第に小さくなるようにした工法です。
・施工機械は現場環境に即した小型・高性能な機械を用いており、コラムは共廻り防止翼、スラブは特殊混合装置を装着した機械を用いることで高品質の改良体が造成されます。

《コラムシステム工法の特徴》

・小型機械による基礎コラム・土留めコラム・アプローチコラムが同一施工機械で施工可能であり、施工性・安全性に優れる。
・管渠基礎に既製杭（ＰＨＣ杭）等を用いるよりも安価でコスト縮減が可能です。
・仮設土留めの切梁が不要で安全性に優れ工期短縮ができ、施工性が向上します。
・鋼矢板を使用しないので矢板引抜きによる周辺地盤の沈下などの影響が生じない。
・低騒音・無振動工法です。

（使用材料・使用機材）

《施工機械》

・ＤＨＪ－１０もしくはＮＢ７０（地盤改良コラム形成機械）
・ＢＭ０７（スラブ混合機械）
・プラント１式（スラリー混合）
・転圧用ローラ

《使用材料》

・セメント系固化材

（留　意　点）

（適用部材）

（特許の有無）

出願中

（適用事例）

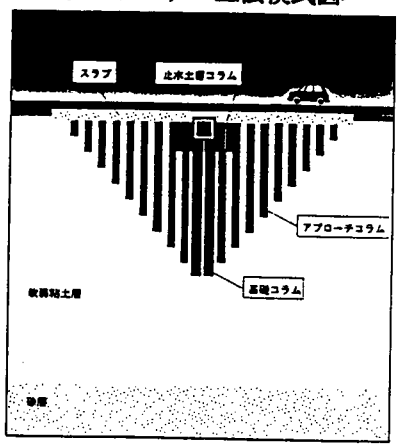
平成　６年度	佐賀外環状線（相応津諸富）実験	コラムアプローチ工法
平成８・９年度	佐賀～空港線道路改良工事	コラムアプローチ工法
平成　９年度	佐賀国道４４４号交差点改良工事	コラムシステム工法
平成１０年度	佐賀川副線１～５号ＢＯＸ工事	コラムシステム工法
平成１０年度	武雄国道４９８局部改良工事	コラムアプローチ工法

参考文献（効果確認）

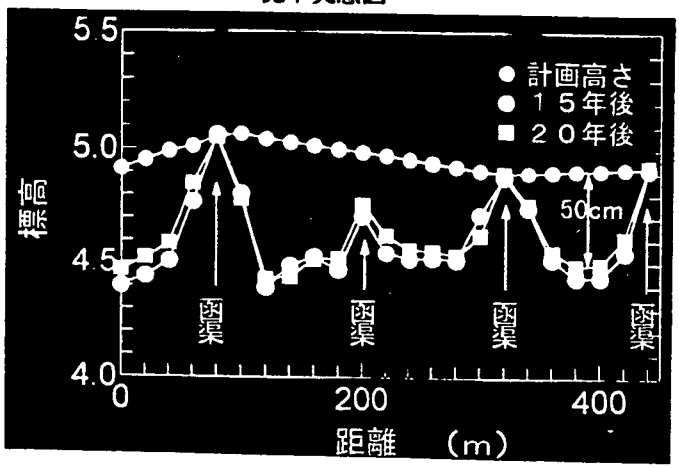
1）浜武章・三浦哲彦・藤川和之・中村安宏；コラムアプローチ工法による段差抑制効果の実態調査結果　土木学会西部支部研究発表会 1998.3
2）元永優一・藤川和之・三浦哲彦・高倉篤；特殊土に対する固化材の配合試験 土木学会西部支部研究発表会 1998.3
3）藤川和之・三浦哲彦・別府五男；低盛土道路の実態調査と交通荷重による圧密沈下の予測　地盤工学会論文報告集 1996.12

(補強効果確認概要－実験結果等)

<コラムシステム工法模式図>

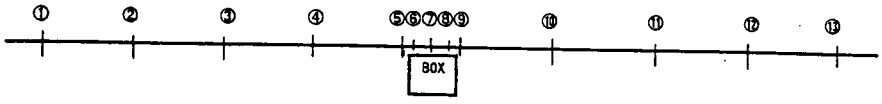


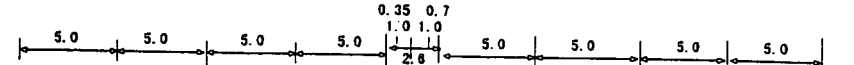
<沈下実態図>



<追跡調査結果（供用開始後４ヶ月）>

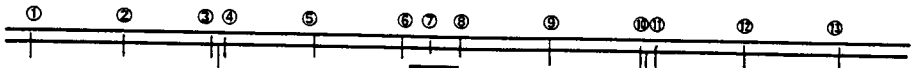
工法無採用地点

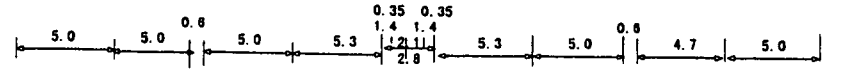




測定ヶ所	日時	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
第1回目	97' 3/ 3	2.558	2.593	2.640	2.680	2.738	2.758	2.753	2.753	2.703	2.638	2.585	2.575	2.593
第2回目	96' 7/16	2.543	2.580	2.633	2.670	2.708	2.755	2.753	2.753	2.693	2.623	2.573	2.558	2.578
2－1		-0.015	-0.013	-0.007	-0.010	-0.030	-0.003	0.000	0.000	-0.010	-0.015	-0.012	-0.017	-0.015
合計沈下量		-0.015	-0.013	-0.007	-0.010	-0.030	-0.003	0.000	0.000	-0.010	-0.015	-0.012	-0.017	-0.015
段差量 mm						-27.0				-10.0				

工法採用地点





測定ヶ所	日時	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
第1回目	97' 3/ 3	2.532	2.522	2.527	2.527	2.522	2.517	2.522	2.517	2.504	2.494	2.494	2.504	2.497
第2回目	96' 7/16	2.527	2.519	2.524	2.524	2.517	2.517	2.519	2.514	2.502	2.489	2.489	2.502	2.492
2－1		-0.005	-0.003	-0.003	-0.003	-0.005	0.000	-0.003	-0.003	-0.002	-0.005	-0.005	-0.002	-0.005
合計沈下量		-0.005	-0.003	-0.003	-0.003	-0.005	0.000	-0.003	-0.003	-0.002	-0.005	-0.005	-0.002	-0.005
段差量 mm							0.0		0.0					

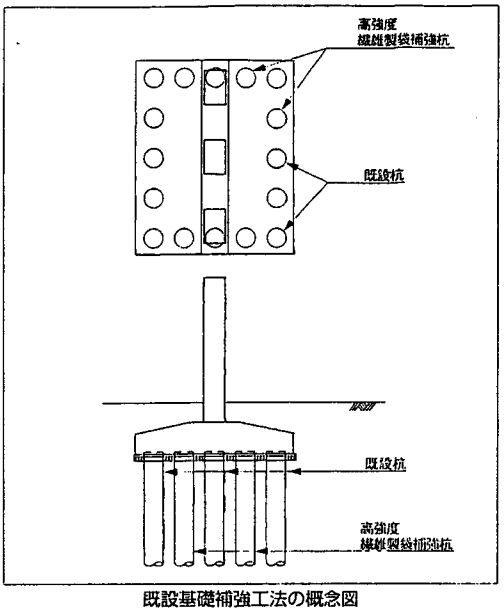
開発者	東京鋪装工業株式会社 株式会社ダイヤコンサルタント 株式会社テノックス 三菱マテリアル株式会社
参考文献 (適用事例)	1） 三浦哲彦・原清：軟弱地盤上の道路路盤工法に関する現場試験 低平地研究会 1996.3 2） 荒牧軍治・古賀勝喜・今村敬：道路構造工法の相違による地盤振動について 低平地研究会 1998.3

補強対象部位	既設構造物基礎	補強技術名	高強度繊維製袋補強杭	マニュアル	有・(無)
補強の目的	既設構造物基礎の耐震性を向上させる増杭打設工法				

（概　　要）

本工法は、炭素繊維あるいはアラミド繊維といった高強度繊維、いわゆるスーパー繊維製のシートを袋状にして、その中にモルタルなどを打込んで高強度繊維を補強材として用いる場所打ち杭工法である。

本工法は、通常の条件下に限らず、既設の直接基礎あるいは杭基礎のフーチング直下にも杭を造成できる。そのため、新規に用地を確保できない場合でも基礎を補強することが可能となる。

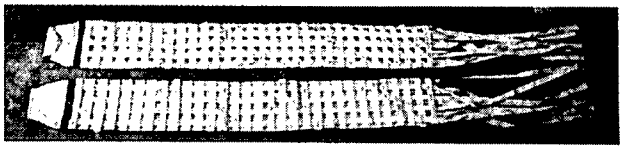


既設基礎補強工法の概念図

（特　　徴）

① 基礎の直下に杭を造成できるので、用地の制約がある場合でも適用できる。
② 既設フーチングを削孔するが、削孔径は約 20 cm 程度であり、既設構造物の損傷は微少である。
③ 高圧噴射置換工法で地盤を削孔するため、任意径（1m 程度以下を想定）の杭を造成できる。
④ 高強度繊維製袋を補強材として用いるため、鉄筋などの補強材は、不要となる。
⑤ 高強度繊維製袋の中にモルタルなどを充填するため、安定液中でも充填材の品質のばらつき及び強度低下はない。

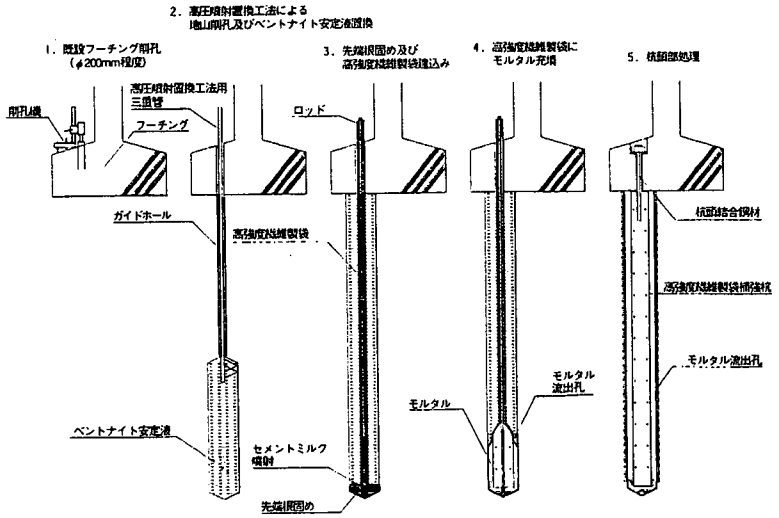
高強度繊維製袋全景



（使用材料・使用機材）

・高強度繊維製袋（炭素繊維あるいはアラミド繊維）
・モルタル
・杭頭結合鋼材

施 工 手 順



（留 意 点）

特になし。

（適用部材）

・既設橋脚杭基礎フーチング

（特許の有無）

出願中

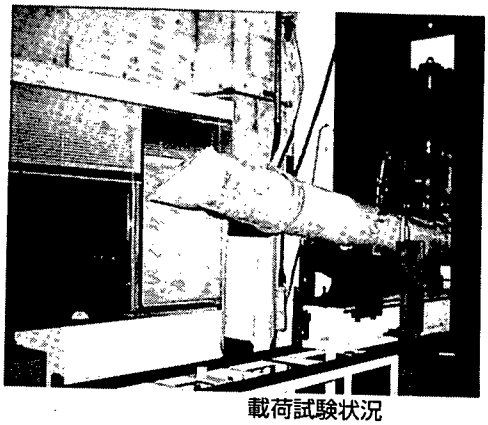
参考文献（効果確認）	吉川、山中、秋山、平：高強度繊維製袋を補強材として用いた場所打ち杭工法（第 33 回地盤工学研究発表会）

補　強　効　果　（実験例、適　用　事　例）

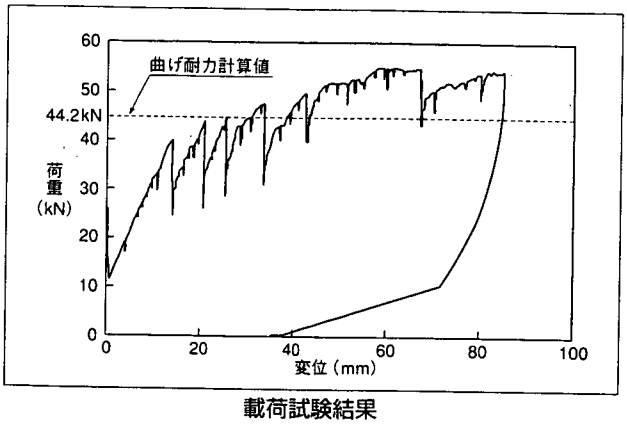
（補強効果確認概要－実験結果等）

高強度繊維製袋補強杭載荷試験

高強度繊維製袋補強杭の耐力及び変形性能を確認するために、袋の強度などを変化させて種々の実験を行った。その結果、耐力はRC理論を適用して求めた曲げ耐力を満足するとともに、破壊にいたるまで大きな変形性能を期待できることを確認した。



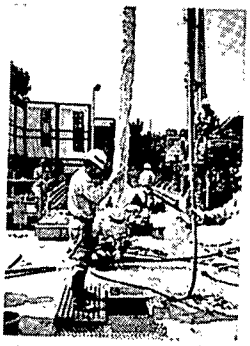
載荷試験状況



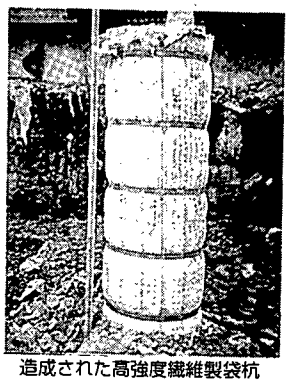
載荷試験結果

現場施工実験

高強度繊維製袋補強杭の施工性及び施工精度を確認するために、現場施工実験を行った。その結果、造成された杭の出来形は計画どうりであることを確認した。



高強度繊維製袋の建込み状況



造成された高強度繊維製袋杭

（適用事例）

今のところ工事実績無し

開発者	鹿　島
参考文献（適用事例）	吉川、山中、秋山、平他：繊維製袋補強杭の造成実験 （第53回土木学会年次学術講演会）

補強対象部位	橋脚(RC•M)•基礎等	補強技術名	ＳＴマイクロパイル工法 STRONG-TUBFIX MICROPILES	マニュアル	有・無
補強の目的	杭基礎の補強（圧縮・引張耐力の増強、水平耐力の増強）と高圧噴射攪拌地盤改良併用による液状化発生の抑制（固化壁で囲う）・基礎地盤強度の増加				

（概　　要）
- ＳＴマイクロパイル工法は、セメントグラウト材を加圧注入して、付着性能の改善された高強度鋼管と合成させるもので、ﾀｲﾌﾟⅠ（小口径合成鋼管杭ﾀｲﾌﾟ）とﾀｲﾌﾟⅡ（高圧噴射式地盤改良との併用ﾀｲﾌﾟ）の２つの工法を、同一機械設備で施工可能な工法である。
  ①地盤条件・施工条件に応じて、全面定着方式（FULLY BONDED）の鋼管型マイクロパイル工法、
  ②高圧噴射式地盤改良工法（ＧＴＭ工法；W/C=60～100％のｾﾒﾝﾄﾐﾙｸを超高圧で噴射可能）杭としての利用も可能な高強度の改良体を造成出来る。地盤改良従来工法より排泥を低減し、施工性・経済性に優れている。
  ③上記の２工法の併用工法。地盤改良体を有効径とする大きな鉛直および水平支持力を発揮する。高強度の小口径鋼管杭（φ216.3mm, φ165.2mm, φ114.3mmの選定が可能）と高圧噴射式地盤改良が一体となった、施工性と経済性を確保した基礎工法。改良体の造成径はφ800～φ1800mm程度（地盤条件による）ただし、杭としての利用も可能な高強度（qu=10N/mm^{2}程度：砂質地盤）の造成径はφ800mm程度。
  ④直接基礎と地盤改良工法、摩擦杭を併用した複合基礎としての施工も可能である。

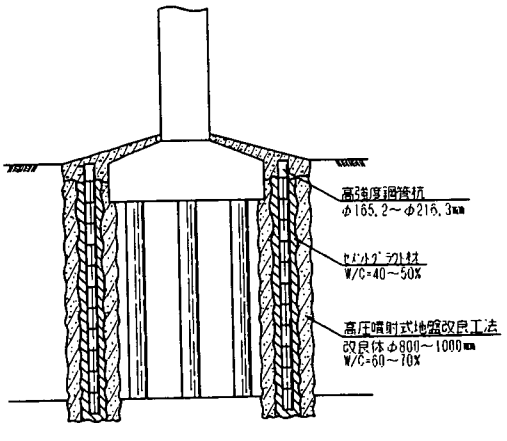
（特　　徴）
- 機動性の良いコンパクトな施工機械設備で、狭隘な場所でも施工できる
- 削孔性能に優れ、転石・玉石・砂礫地盤でも施工可能である
- 振動や騒音を最小限に抑えることができる
- ﾏｲｸﾛﾊﾟｲﾙ専用機械を導入しており、施工条件に応じて　1.5m～6.0m/本の鋼管杭を一度に削孔・挿入可能。
- セメントグラウト材と付着性能の改善（節加工付き）された高強度鋼管の合成により、大きな支持力を発揮する。注入パッカー装置を用いたﾍﾞｰｽｸﾞﾗｳﾁﾝｸﾞとｽｷﾝｸﾞﾗｳﾁﾝｸﾞ方式の加圧注入（圧力1～2MPa程度）により、地盤の支持力はベースおよびスキン部のセメントグラウトで受け持ち、杭体応力は主として鋼管が負担する合理的な支持力機構である。地盤改良体と鋼管の一体化も同様の施工手順で実施する。

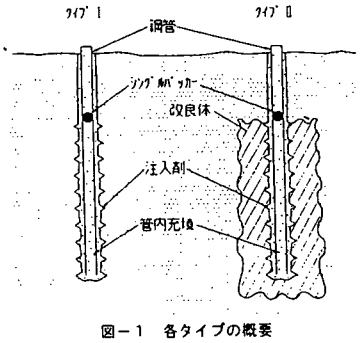
（使用材料・使用機材）
- 鋼材（高強度鋼管φ216.3mm、φ165.2mm、φ114.3mm）付着性能を向上させる目的でビート溶接による節加工付き。セメントグラウト材の限定加圧注入のための注入弁付きの鋼管を使用する。
- 充填材：ｾﾒﾝﾄﾐﾙｸ(w/c=40～50%）、高圧噴射式地盤改良用ｾﾒﾝﾄﾐﾙｸ（w/c=60～100%）、高性能混和剤を使用

（留 意 点）
- マイクロパイルは小口径杭であり、群杭方式での施工に際しては、周辺地盤を乱さない削孔方式を選定する必要がある。削孔時の孔壁防護のために、泥水（ﾍﾞﾝﾄﾅｲﾄ等）を使用すると付着性能が大幅に低減するため、基本的には使用できない。
- マイクロパイルの削孔については、補強鋼管の接続部（ﾈｼﾞ部の拡径）の挿入に際して地盤を乱すことがあるため、土砂地山などでは、原則として全面定着方式（FULLU BONDED ）の施工を行う。
  また、地盤状況等に応じて杭頭部（１ｍ～５ｍ程度）は自由長（摩擦を評価しない）とする必要がある。

（適用部材）
- 　橋脚基礎

（特許の有無）
- マイクロパイル関連特許　有り





図－１　各タイプの概要

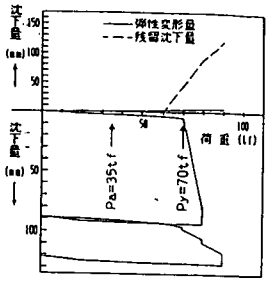
参考文献（効果確認）	1998年7月：第３３回地盤工学研究発表会「小口径杭を用いた護岸構造物の液状化時変形抑止に関する研究」、99年第３４回投稿中「埋立地におけるﾏｲｸﾛﾊﾟｲﾙの鉛直載荷試験結果」別添資料

補 強 効 果 （ 実 験 例、 適 用 事 例 ）

（補強効果確認概要－実験結果等）

（載荷試験）

・鋼管型マイクロパイル（TUBFIX)の適用性を確認するため、①山岳トンネル坑口部の軟岩地山、②都市部の未固結砂層と泥岩の互層、③山岳部の粘性土地山、④埋立地（N値=10～20程度）の計４回の載荷試験を実施している。　φ114.3mm、定着長４m程度のマイクロパイルで８０～１００tf程度極限支持力を確認している。　　また、高圧噴射式地盤改良併用のＳＴﾏｲｸﾛﾊﾟｲﾙ（Ⅱ）については、N=10～20程度の砂礫地盤において、定着長６m、有効径800mmの改良体で、140tf以上（反力装置の関係で極限荷重を確認できていない）の支持力を確認している。この際の、杭頭沈下量は9mm程度。



図－２　鉛直載荷試験結果

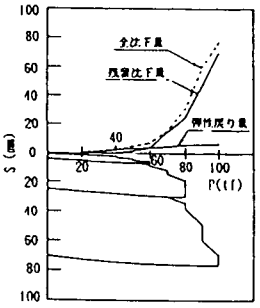
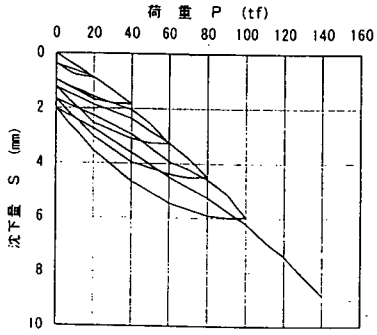


図３　荷重ー沈下量曲線



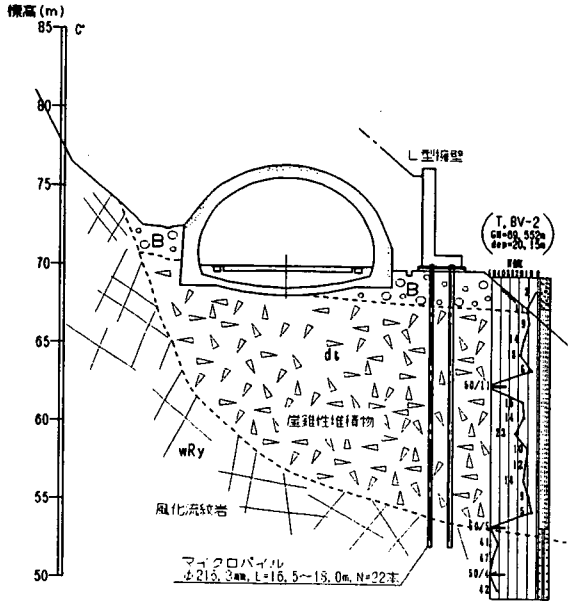
図－４　荷重－沈下量曲線（No. Ⅱ-1）

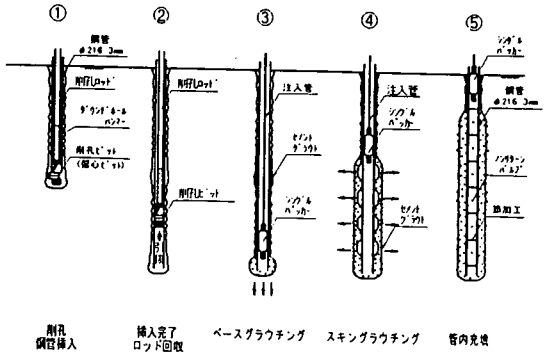
（適用事例）

1）　ＳＴマイクロパイル工法（ﾀｲﾌﾟⅠ）小口径合成鋼管杭ﾀｲﾌﾟの施工事例の抜粋

(1)　Ｌ型擁壁基礎に適用したマイクロパイルの施工例。
φ216.3mm、長さ16～18m(3m/本の継杭）、N=22本、節加工・注入弁付きの小口径合成鋼管杭
山岳トンネル坑口部斜面を対象とした落石防護工事において、Ｌ型擁壁の基礎に採用された。

(2)　スノーシエッド基礎の補強に採用
φ165.2mm、長さ10.5m～16.5m（1.5m/本の継杭)、N=38本、ネジ継手方式





開 発 者	東洋建設㈱とＮＩＪ研究会の共同開発 （NIJ研究会は、施工業者・ﾒｰｶｰを主体とした工法研究。施工および材料分野を担当する）
参考文献 （適用事例）	平成6年6月：第29回土質工学研究発表会「側壁の支持力不足対策としてのマイクロパイルの設計」・「ﾏｲｸﾛﾊﾟｲﾙによる側壁の沈下抑制効果」他

補強対象部位	橋脚（RC・M）・基礎等	補強技術名	高耐力マイクロパイル工法	マニュアル	(有)・無
補強の目的	基礎周辺に増し杭する事により、基礎構造物の地震時水平保有耐力を増加させる。				

（概　　要）

・鋼管を用いたマイクロパイルを既設フーチング周辺に増し杭する事によって、基礎構造物の地震時水平保有体力を増加させる。定着層の長さを調整する事により、地震時の引抜き力に対して抵抗ができる。また斜杭を有効的に使って横力に対する抵抗が出来る。

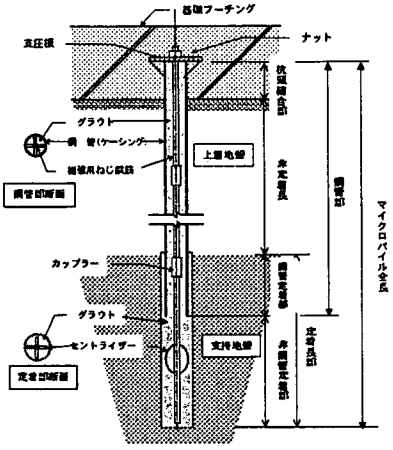
（特　　徴）

設計面の特長

・細径で高耐力のためフーチング面積が小さくてすむ
・押込み、引抜きの両方の荷重を支持できる
・横力に対して斜杭を有効に使える

施工面の特長

・ボーリングマシーンによる削孔のため騒音・振動が少ない
・細径なので地中障害物、既設構造物の影響が少ない
・施工機械が小さいため、空頭3.5mで施工可能
・細径なので掘削土量が少ない



（使用材料）

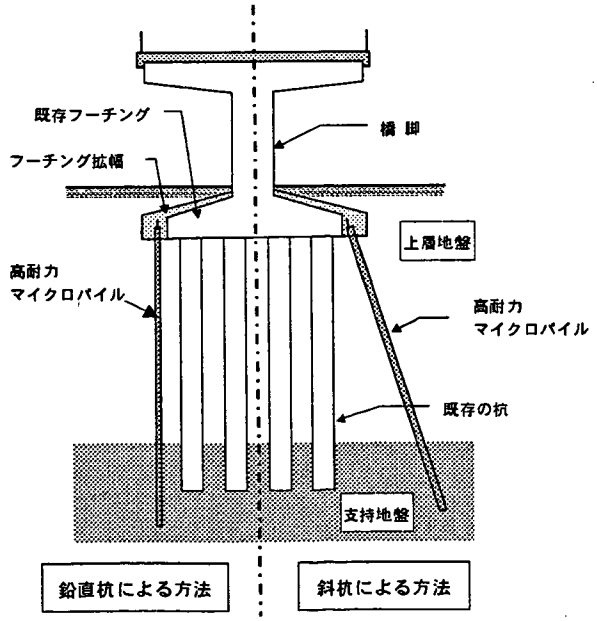
・継目無し油井鋼管
・ネジ節異形棒鋼
・グラウト

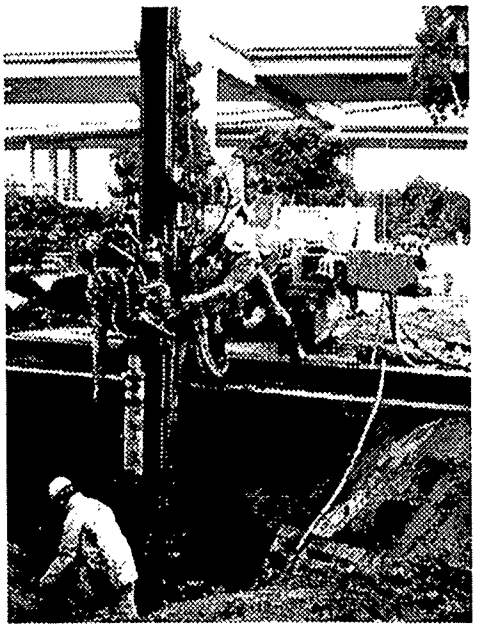
（留 意 点）

・

（適用部材）

・





（特許の有無）

・有り

参考文献（効果確認）	岸下崇裕、斉藤悦郎、山根隆志、大谷義則、三浦房紀：高耐力マイクロパイルによる既設構造物基礎の耐震補強、第10回日本地震工学シンポジウム、1998.11

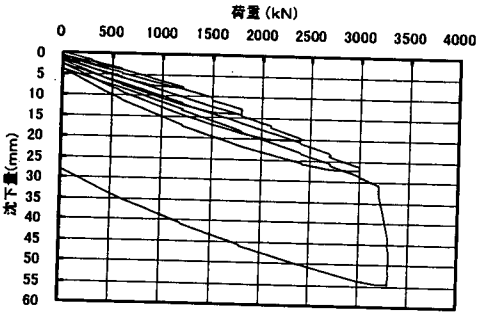
補強効果（実験例、適用事例）

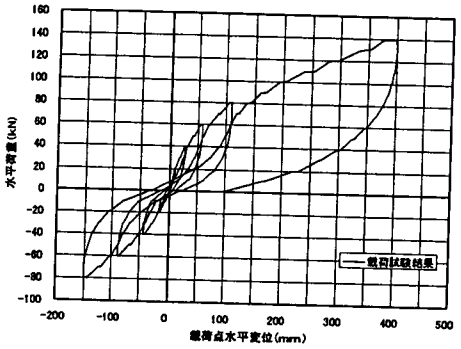
（補強効果確認概要－実験効果等）

鉛直載荷試験、鉛直交番載荷試験および水平交番載荷試験を実施した。以下に示す実験結果が得られた

①qu=2 N/mm² 程度の土丹層に打設した定着長６m の高耐力マイクロパイルの鉛直押込み極限支持力は 3300 kN であった。

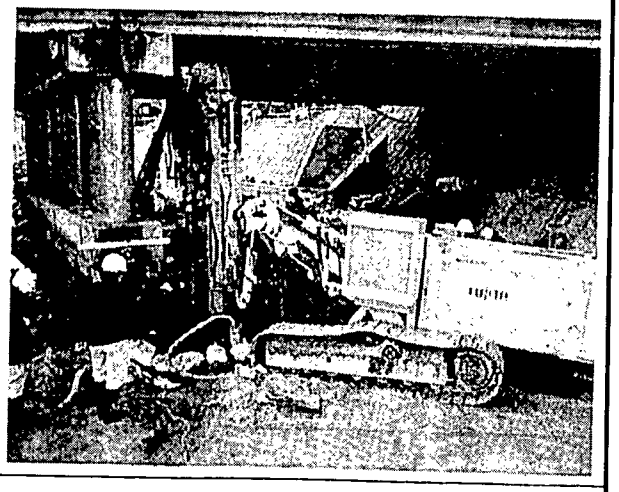
②一軸圧縮強さ q_u=0.044N/mm²、変形係数 E_{50}=2.04N/mm² のシルト質腐植土層に打設した高耐力マイクロパイル（使用鋼管：外径 φ=178mm，肉厚 t=12.7mm，降伏点強度 f_{sy}=703N/mm²）の水平交番載荷試験を行い、最大荷重 140ｋN で載荷点変位 375mm を確認した。





（実験例、適用事例）

１．工事名　　国道９号差海橋補強工事
２．路線名　　一般国道９号
３．発注者　　建設省中国地方建設局松江国道工事事務所
４．工事個所　島根県簸川郡湖陵町差海地内
５．工事内容　橋脚（パイルベント方式）１基　P1
　　高耐力マイクロパイル工法による耐震補強
６．工　　期　自）平成１１年９月３０日
　　至）平成１２年３月３１日



開　発　者	
参考文献（適用事例）	

補強対象部位	基礎杭	補強技術名	耐震補強連壁工法	マニュアル	有 (無)
補強の目的	ﾌｰﾁﾝｸﾞに結合した地中連続壁によって基礎の剛性の増加を図る。				

(概　要)

本工法は、杭及び地中連続壁による複合基礎形式で軟弱地盤(液状化地盤)での基礎杭耐震補強に最適である。構造は、基礎杭とﾌｰﾁﾝｸﾞに接合された地中連続壁とから構成されるｽｶｰﾄ状の基礎形式である。

(特　徴)

- 基礎の剛性の増加を図る事ができる。
- 壁面での周辺地盤の抵抗を考慮でき、地中連続壁で閉合された立体壁の形状効果により変形、断面力を抑制することができる。
- ﾌｰﾁﾝｸﾞ専有面積が「増し杭工法」に比較して少なくすることができる。
- 地盤構成的には、液状化層、非液状化層、支持層の３層によって構成されている軟弱地盤(液状化地盤)が使用最適地盤である。

(使用材料・使用機材)

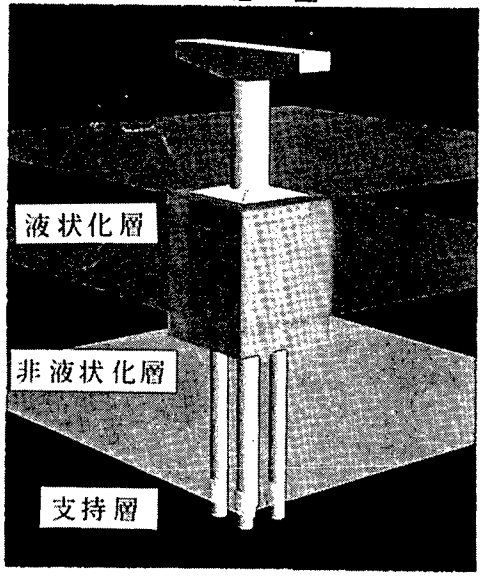
地中連続壁(鉄筋コンクリート等)、結合部材(鉄筋コンクリート、ｱﾝｶｰ)

(留 意 点)

- 液状化層10ｍ以下で支持層が深い場合が有利である。
- 連壁底部において圧密が現在進行形の場合は適用が難しい。

(適用部材)

概　念　図



(特許の有無)

特許出願(特願平9-197603号)

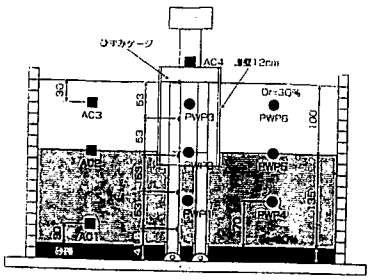
参考文献(効果確認)	・地盤工学会第32回地盤工学研究発表会(1997.7) ・土木学会第24回地震工学研究発表会(1997.7)

補 強 効 果 （実験例、 適 用 事 例）

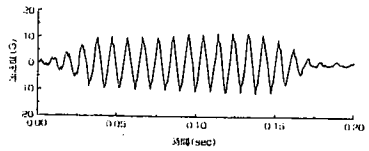
（補強効果確認概要－実験結果等）

検証実験

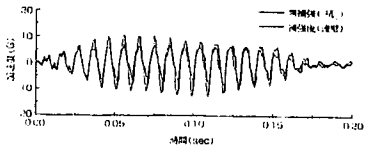
遠心力載荷装置を用いた耐震補強連壁工法による補強対策法の検証実験を下記のように実施した。この実証実験は、縮尺模型及びセン断土槽装置を作製し遠心力載荷試験機を用いて「基礎杭の曲げﾓｰﾒﾝﾄの低減効果の確認」するために行った。



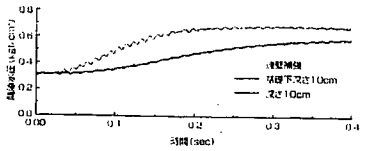
■入力加速度波形



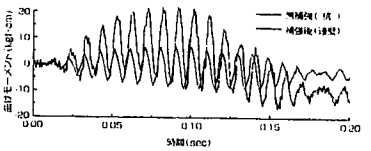
■構造物基礎応答加速度



■深さ10cm応答間隙水圧



■深さ16cm部応答曲げモーメント



（適用事例）

特になし

開 発 者	（株）福田組
参考文献 (適用事例)	特になし

補強対象部位	橋脚	補強技術名	補修・補強用コンクリート	マニュアル	(有)・無
補強の目的	橋脚の鋼板巻き立て補強などの充填材				

(概　要)

高度成長期にコンクリート構造物が大量に造られるようになってから、30～50年が経過しており、補修・補強を必要とするものが増えてきている。また、阪神大震災以後は、耐震補強の見直しと早急なる補修工事が実施されてきた。

これらを背景に、本技術は補修・補強工事に適した高性能コンクリートに関するものである。

(特　徴)

本技術は、補修・補強用コンクリートに望まれる以下の性能を有する。

① 高流動・高充填性：補強材を複雑に配置した箇所に打込むケースが多い。
② 無沈下性：旧コンクリートに対して逆打ちになるケースも多い。
③ 低収縮性：旧コンクリートとの収縮差によるひび割れ発生を避ける必要がある。
④ 早強性：構造物の供用を早めるために、必要に応じて早強性が望まれる。

(使用材料)

・早強ポルトランドセメント（早強性確保）
・高性能ＡＥ減水剤、特殊増粘剤（高流動・高充填性確保）
・特殊表面処理アルミニウム（無沈下性確保）
・カルシウムサルフォアルミネート系膨張材（低収縮性確保）

(留 意 点)

・配合例を示す。

G_{max} (mm)	スランプフロー (cm)	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg m³) 水	セメント	膨張材	石 粉	細骨材	粗骨材	アルミニウム粉末	高性能ＡＥ減水剤	特殊増粘剤
20	65	50	49.7	165	295	35	237	779	795	0.057	9.1	0.165

（注１）結合材…セメント＋膨張材　（注２）セメント…早強ポルトランドセメント

・一般のレディミクストコンクリート工場で製造可能。

(適用部材)

・震災を受けた橋脚の耐震補強
・塩害を受けた護岸、岸壁、桟橋の補修

(特許の有無)

無し

参考文献(効果確認)	岡田、大友、柳井他：補強工事に適した高流動コンクリートの開発と適用例 (第51回土木学会年次講演会論文)

補 強 効 果 （ 実 験 例、 適 用 事 例 ）

（補強効果確認概要－実験結果等）

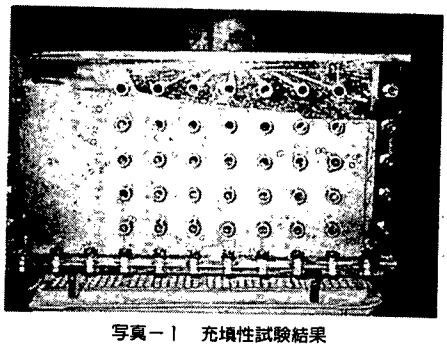
各種性能確認実験結果

① 高流動性・高充填性
写真－1のように、高い流動性と充填性を確認した。

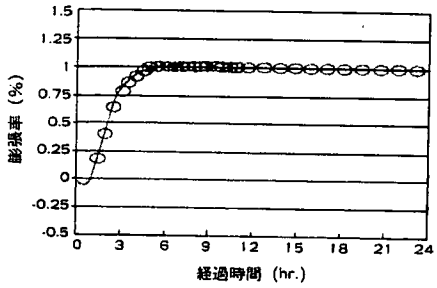
② 無沈下性
図－2に示すように、まだ固まらない状態において1.0%程度の膨張性があることにより、無沈下性を確認した。

③ 低収縮性
図－3に示すように、乾燥による収縮率は普通コンクリートの半分程度であることにより、低収縮性を確認した。

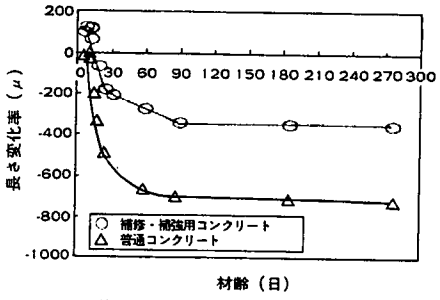
④ 早強性
材齢7日で30～40N/mm²の早強強度を確保が可能。



写真－1　充填性試験結果

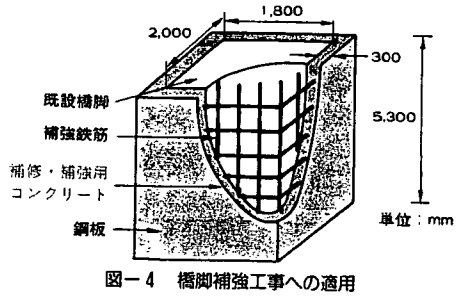


図－2　初期膨張率試験結果



図－3　長さ変化率試験結果

（適用事例）
・東京、埼玉　橋脚鋼板巻き立て(モルタル)　1996.10～1997.10
・東京　柱脚鋼管注入(モルタル)　1997.7～1997.10
・山口　PCタンク増厚補強(コンクリート)　1998.9　　他
＜打設量合計　コンクリート(4件)　703 m³、モルタル(2件) 173 m³＞



図－4　橋脚補強工事への適用

開発者	鹿　島
参考文献(適用事例)	同　左

表－4.1.2 被災構造物の調査点検技術

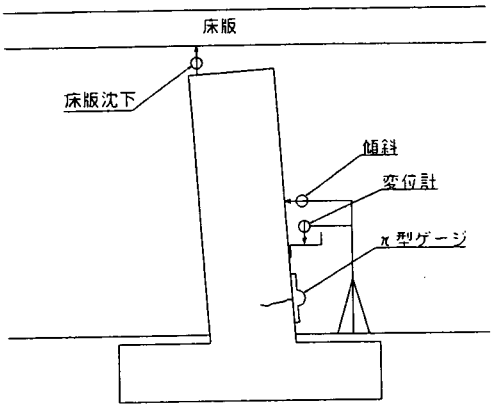
No.	資料分類	対象部位	技術・工法名	概　要	アンケート回答者
1	安全性監視	橋梁	点検監視(自動計測)技術	交通解放後の安全性を確認するため、橋脚の沈下、傾斜、ひび割れ幅の変化、床版の沈下、支保工の傾斜、沈下などを自動計測する技術	オーデックス
2	被災調査法	基礎構造物	BIP(孔壁展開画像装置)を装備したﾎﾞｱﾎｰﾙ調査による杭基礎の損傷度調査	高架橋等の杭基礎損傷度(ｸﾗｯｸなどの位置及び状況)をﾎﾞｱﾎｰﾙｶﾒﾗを用いて直接的に観察調査を行う技術	中央復建コンサルタンツ
3	被災調査法	基礎構造物	ﾎﾞｱﾎｰﾙﾚｰﾀﾞｰによる基礎構造調査技術	電磁場が電気的性質の異なる物質の境界で反射する性質を利用し、反射波の映像を解析することによって地中基礎の形状を調査する技術	土研・日本工営
4	被災調査法	ﾌｰﾁﾝｸﾞ、ｺﾝｸﾘｰﾄ杭	孔内画像観察記録システム(ボアホールカメラ)	対象躯体に観測孔をボーリングして専用プローブで孔内の状況を観察し、躯体内部の亀裂状況(深度、開口度、方向)を調査する技術	応用地質
5	被災調査法	ﾌｰﾁﾝｸﾞ、ｺﾝｸﾘｰﾄ杭	AE(破壊に伴う微少振動音)法によるｺﾝｸﾘｰﾄ杭破損診断ｼｽﾃﾑ	AE(破壊に伴う微少振動音)を利用して目に見えない地中の基礎杭の破壊状況を非破壊的に診断する技術	飛島建設
6	被災調査法	地盤	AEロッドによる地盤変状検知システム	調査対象物に埋設若しくは取り付けられた、変状に伴う変形を受けた場合に特定の卓越周波数を有したAE(破壊に伴う微少振動音)を発生するAEロッドにより、間接的に計測対象物の変状を評価・判定する技術	日本工営

調査対象部位	橋梁	調査技術名	点検監視(自動計測)	マニュアル	有・無
調査の目的	交通開放後の安全性を確認するため。				

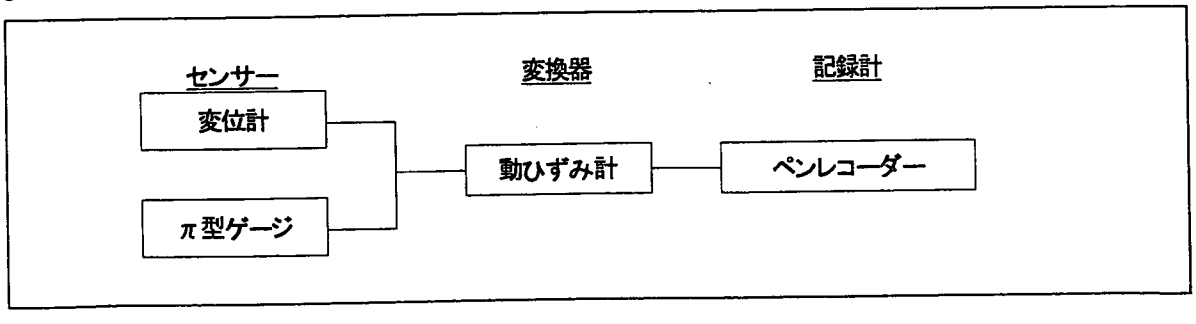
(概　要)
・橋脚の沈下、傾斜、ひび割れ幅の変化、床版の沈下についてアナログによる自動電気計測を実施する。
・支保工の傾斜、沈下、部材の鉛直方向ひずみについてデジタルによる自動電気計測を実施する。

(適用部材)
・被災橋梁、支保工

(調査事例)
・橋脚(アナログ)
　○センサー設置要領



○計測システム

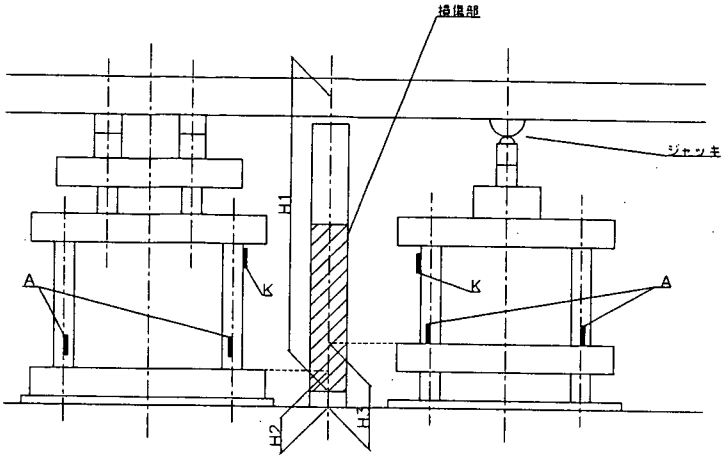


参考文献 (効果確認)	

調査原理と事例

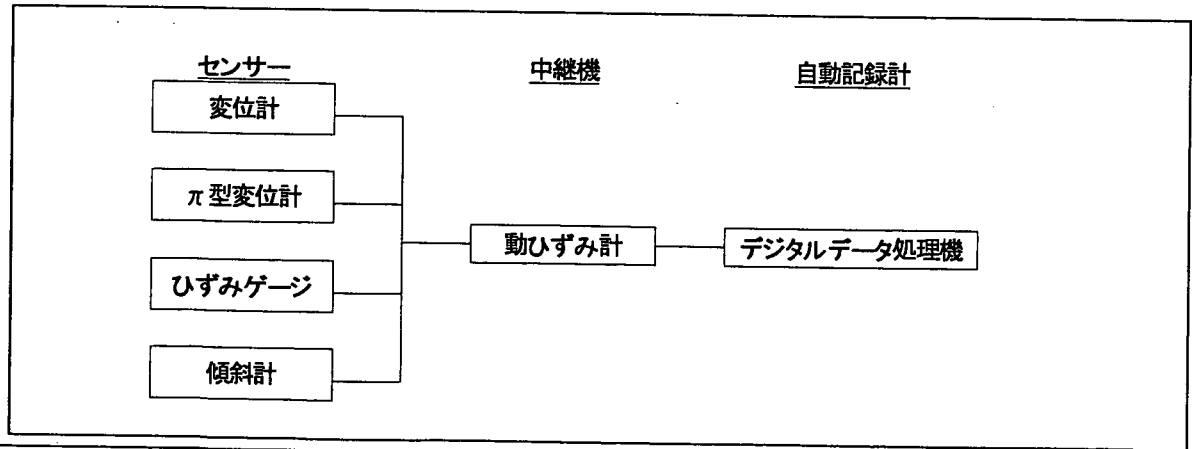
・支保工(デジタル)

○センサー設置要領



A:柱部材の鉛直方向ひずみ測点
H1:上部工の沈下変位計測点
H2:支保工の沈下変位計測点
H3:支保工の沈下変位計測点
K:支保工の傾斜

○計測システム



開発者	
参考文献 (適用事例)	

調査対象部位	橋脚・基礎等	調査技術名	BIP（孔壁展開画像装置）を装備したボアーホール調査による杭基礎の損傷度調査	マニュアル	有・無
調査の目的	高架橋等の杭基礎損傷度（クラック等の位置および状況）を直接的に観察する調査。				

（概　　要）

φ 66～116mm で削孔した杭体内のボーリング孔にテレビカメラ、方位等を内蔵したゾンデを下降し、孔壁の状況をビデオ撮影する。撮影された孔壁全周画像を、平面的に展開したビデオ画面または写真で観察することができる。

（特　　徴）

・円錐型反射鏡を用いて孔壁全周画像を平面的な展開画像に変換できる。
・孔壁全周画像をデジタル化し磁器テープ上に取り込むことができる。
・画像情報がデジタル情報に変換されるため、パソコン上での処理が可能である。
・杭体の損傷状況をテレビ画面または写真で直接目視観察できる。

（使用材料・使用機材）

・現場システム（ゾンデ、深度カウンターを備えたウインチ、画像展開装置、ゾンデコントローラー）
・解析システム（16 ビットパソコン、磁器テープドライブ、70MB ハードディスク、専用ソフト）

（留 意 点）

・本調査は非破壊試験やコアーボーリング等により、杭の損傷が著しいと推定される場合や、特に重要な橋脚に行うと経済的である。
・ボーリング作業中に生じた孔壁の傷をクラックと間違う場合があるので、採取コアーも参考に損傷度を評価することが望まれる。
・孔内は清水状態に保つ必要がある。孔内水が濁っていると観察時にクラックを見逃す場合がある。

（適用部材）

・地震被害調査（高架橋杭基礎、ケーソン基礎の健全度・損傷度調査）。
・亀裂・断層破砕部などの岩盤内不連続面位置の特定（ダムサイト・トンネル事前調査）

現場システム
・計測可能深度　：　0 ～200m
・計測可能孔径　：　66 ～116mm
・測 定 深 度　：　0 ～1.5cm/sec　(0～54m/h)
・ゾ ン デ　：　外径 60mm，全長約 1.7m，重量約 5kg
・ケーブル　：　外径 14mm，全長 110m，重量約 25kg，抗張力 250kg

解析システム
・ＭＰＵ　：　Motorola　MC68000ﾁｯﾌﾟ　10Mhzｸﾛｯｸ
・グラフィックス：　65536ｶﾗｰ　512x512ﾄﾞｯﾄ
・表示モード　：　孔壁 20cm，40cm，80cm，100cm間を展開表示
・撮影可能フィルム　：　35mmカラーネガフィルム及びインスタントカラーフィルム
・解析データーファイル　：　5インチ 2HDフロッピーディスクにMS-DOS互換テキストファイルとして記録

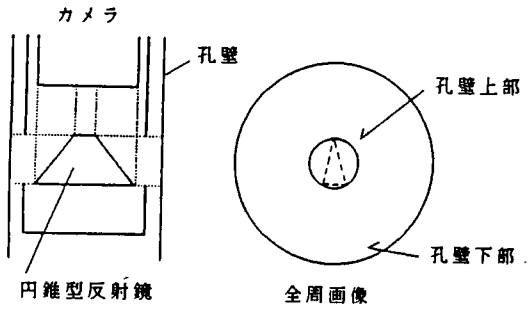
（特許の有無）

参考文献（効果確認）	全地連「技術フォーラム'95」講演集　杭基礎の損傷度調査の手法について

補 強 効 果 （実験例、適 用 事 例）

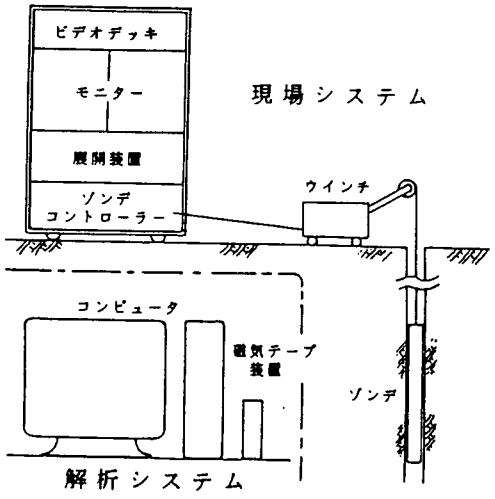
(2)

(調査原理)

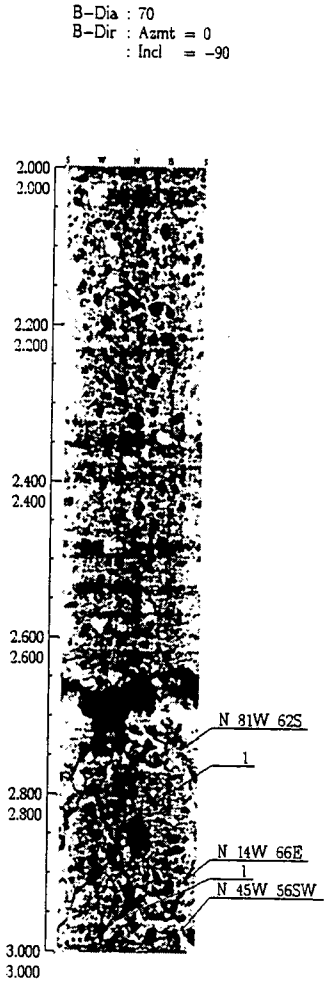


（A）円錐型反射鏡　　（B）全周画像

図－1　ＢＩＰシステム孔壁撮影法



図－2　ＢＩＰシステム計測機器



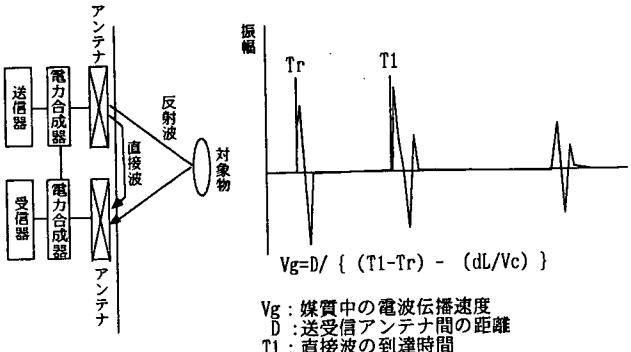
開 発 者	
参考文献 (適用事例)	

調査対象部位	橋梁などの基礎構造	調査技術名	ボアホールレーダによる基礎構造調査	マニュアル	無
調査の目的	地震で被災した橋梁の基礎構造の調査				

（概要）　古い橋梁の多くは図面がなく、基礎の形状が不明となっている。これらの基礎構造が不明であることは地震によって被災した橋梁の補強を検討する際に大きな障害となる。ボアホールレーダ法は、これらの基礎構造を調査する技術であり、基礎の形式、根入れ深さ、杭の配置などを調査するために適している。

（特徴）　送受信周波数を高くすることで分解能を高めるとともに、指向性を持たせた基礎構造調査用のボアホールアンテナを開発した。

（使用機器）レーダ計測装置本体およびボアホールレーダ



Vg：媒質中の電波伝播速度
D ：送受信アンテナ間の距離
T1：直接波の到達時間
Tr：基準波の到達時間
dL：直接波と基準波用のケーブル長の差
Vc：ケーブル中の電波伝播速度

装置本体	波形：	単パルス法
	パルス発振周波数：	1MHz
	パルス出力：	20Vp-p
	計測レンジ：	15, 30, 60, 90nsec
	計測間隔：	1cm 間隔
	パルス平均回数：	32 回（SN 比改善）
ボアホールレーダ アンテナ	レーダ送受信周波数：	600MHz
	アンテナ指向性：	±45°
	レーダアンテナ径：	φ55mm
	レーダアンテナ長：	722mm
	アンテナケーブル長：	最長 20m
	防水機能：	有

（留意点）　レーダ法は調査結果を地中の擬似断面として表示することが可能である。このことから、レーダ法は杭長のみならず杭の形式および杭の配置等を総合的に調査することができるという点で他の調査法にはない特長を有している。しかし、一方で、レーダ法は、調査可能深度が地盤条件に依存するという欠点もある。

（特許の有無 とくになし

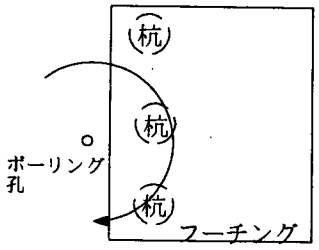
参考文献（効果確認）	地盤工学会平成11年度年次講演会発表予定 土木学会平成11年度年次講演会発表予定

被災構造物の調査点検技術	

3

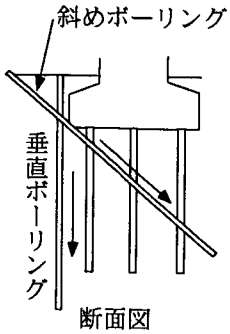
調査原理と事例（実験事例・適用事例）

（調査原理） レーダ法は、レーダ装置の送信アンテナによって送信された電磁波が電気的特性の異なる物質の境界で反射する性質を利用したものであり、その反射波の影像を解析することによって調査を行う。
以下にレーダ法の利点を示す。
① センサを対象に密着させることなく、対象物内部の構造や変状を把握できる
② レーダ計測結果を擬似断面として表示・判断できる
レーダ法の調査方法としては、下図に示すような根入れ深さ、杭の位置の把握に有効である。



平面図

① 回転スキャニングによる杭の方向とボーリング孔からの離れ距離の調査



断面図

②垂直ボーリングを用いた根入れ調査
③斜めボーリングを用いた杭本数および杭間隔調査

（実験事例） 平成8年度から3ヶ年にわたり建設省土木研究所との共同研究において、鋼管杭・PHC杭・現場打ちコンクリート杭の配置・根入れ深さ調査への適用性を確認した。

（適用事例） 地震により被災した橋梁基礎調査についてはいまだ実績はない。

開発者	建設省土木研究所基礎研究室・日本工営株式会社
参考文献（適用事例）	

調査対象部位	フーチング、コンクリート杭	調査技術名	孔内画像観察記録ｼｽﾃﾑ（ﾎﾞｱﾎｰﾙｶﾒﾗ）	マニュアル	有
調査の目的	対象躯体内の亀裂状況（深度、開口度、方向）の観察				

（概　　要）

対象躯体に観測孔を穿孔（ボーリング）して専用プローブで孔内の状況を観察、記録する。孔壁（360度）を直視することによりボーリングコアのみでは判断しかねる躯体内部の亀裂を目視、撮影することができる。データはMOに収録し室内解析ｼｽﾃﾑによって亀裂の開口幅、方向を解析することができる。

（特　　徴）

・測定方向：鉛直以外では専用ﾛｯﾄﾞを用いることにより、360度全方向の測定が可能である。
・画像の分解能力：TVﾓﾆﾀｰ上で0.15mm。
・適用孔：孔径Φ56～180mm。水中測定可能。
・解析ソフト：亀裂開口量、面要素の走向傾斜、3次元画像表示、ｽﾃﾚｵﾈｯﾄ解析

（使用機器）

孔壁展開画像観察・解析ｼｽﾃﾑ
・ｺﾝﾄﾛｰﾙﾕﾆｯﾄ
・深度測定ｼｰﾌﾞ
・ｳｨﾝﾁ
・専用ﾌﾟﾛｰﾌﾞ
・ﾊﾟｿｺﾝ、解析用ｿﾌﾄ

（留 意 点）

・測定孔穿孔後は孔内洗浄が必要。
・磁気方位ｾﾝｻｰ内蔵であるが躯体内鉄筋の影響を受ける。
・ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ掘削後、孔壁が自立すること。

（適用部材）

ｺﾝｸﾘｰﾄ、岩盤、井戸

（特許の有無）

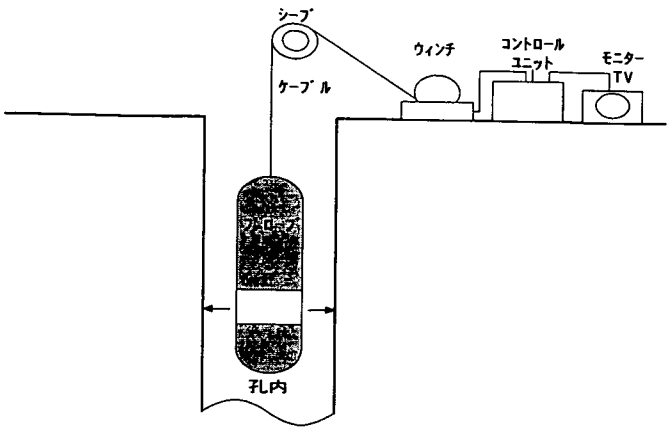
参考文献(効果確認)	

4

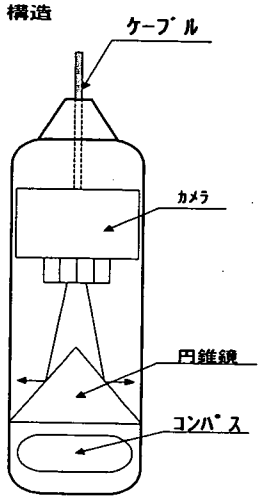
調 査 原 理 と 事 例 （ 実 験 事 例、 適 用 事 例 ）

（調査原理）ﾌﾟﾛｰﾌﾞ内のｶﾒﾗが円錐鏡を介して孔壁を捉え、測定本体部に電送されｺﾝﾄﾛｰﾙﾕﾆｯﾄにて展開図に変換後10cm単位でMOに収録される。展開図はTVﾓﾆﾀｰでも観察でき、現場で孔内壁を目視できる。

測定概要



ﾌﾟﾛｰﾌﾞ構造

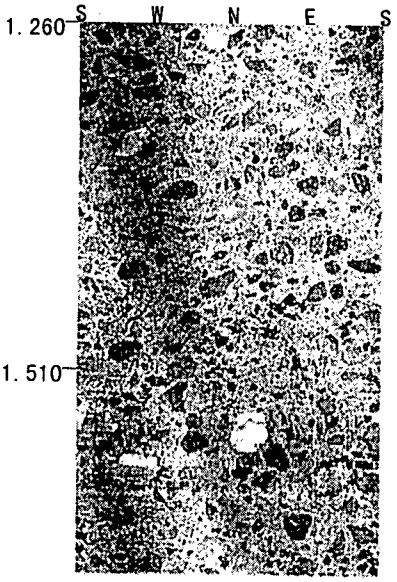


（適用事例）

概要：平成7年1月に発生した兵庫県南部地震において高速道路高架橋が甚大な被害を被り、復旧においてフーチングおよび基礎杭の被害状況を調査する必要性が生じた。基礎杭の調査では杭頭部からの打撃により探査する非破壊探査ｼｽﾃﾑと併用して、被害状況すなわち杭内の亀裂を目視できる当調査方法を採用して被害規模の大きさによって対策・補強工法を検討するための基礎資料とした。

対象：高速道路における高架橋基礎部
- 阪神高速道路湾岸線および神戸線
- 名神高速道路
- 国道２号浜手ﾊﾞｲﾊﾟｽ

【写真例】



開 発 者	
参 考 文 献 (適用事例)	

調査対象部位	杭，フーチング	調査技術名	AE法によるｺﾝｸﾘｰﾄ杭破損診断システム	マニュアル	(有) 無
調査の目的	杭，フーチング等の健全性の評価				

(概　要)

破壊に伴う微小振動音：AE を利用して目に見えない地中の基礎杭の破損状況を非破壊に診断するシステムである．これにより，地震等により被災した既製杭や場所ち打杭等のｺﾝｸﾘｰﾄ杭を対象に効率的な健全性評価及び耐震診断が可能となる．

(特　徴)

- 複数の破損個所を同じ精度で測定が可能
- 杭全長にわたる調査が可能で、対象深度が深い．
- 大きな外力が期待できない場合，杭自身へのセンサー設置が必要
- 大きな外力が期待できる場合，計測対象杭近傍へのボーリングにより調整可能．
- プレストレスを有するコンクリート杭の健全性も評価可能
- 重要構造物基礎の長期的損傷診断に適用可能

(使用機器)

・ＡＥ測定機器（センサー，測定機器一式），ＡＥを発生させる荷重源．

(留 意 点)

・ＡＥを発生させる荷重源が必要．

(適用部材)

- 道路･鉄道等の橋梁基礎及び建築基礎
- 既往調査法の適用が困難な場合に有効
- センサーを杭中に設置することで，他手法では困難とされるプレストレスコンクリート杭の健全性評価に威力を発揮

(特許の有無)

特許第２８２０６３４号
名　　称：杭の破損調査法
特許権者：東京都千代田区三番町２番地　飛島建設株式会社
発 明 者：森　伸一郎，塩谷智基

参考文献(効果確認)

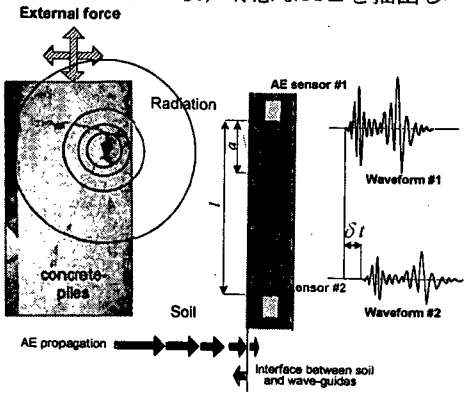
1)森 伸一郎･宇良成泰･塩谷智基･藤井清司：ＡＥを利用したコンクリート杭の破損調査法，土質工学会，第 30 回土質工学会研究発表会，pp.1581-1582，1995.7，2)森 伸一郎･塩谷智基：地震で被災したコンクリート杭に対するＡＥ法による破損度調査法の開発，土木学会，土木学会論文集，No.605/I-45，pp.61-77，1998.10，3)塩谷智基･境野典夫･石橋晃睦･藤原鉄朗･市村靖：損傷した既製ＲＣ杭より放射するＡＥ特性，土木学会，構造工学技術シリーズNo.5 構造物の診断に関するシンポジウム論文集，pp.113-120，1998.7，

調 査 原 理 と 事 例 （ 実 験 事 例、 適 用 事 例 ）

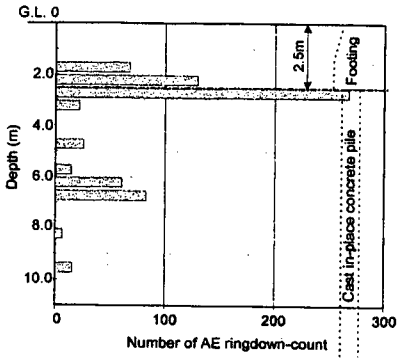
（調査手法の概要）

計測手順

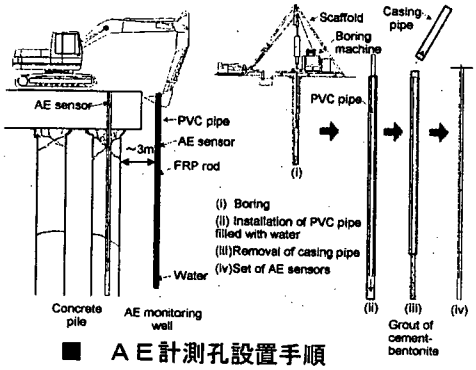
1.杭自身や近傍地盤への計測孔用のﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ削孔，地盤に設置する計測孔は孔壁保護ｹｰｼﾝｸﾞ設置後に孔内清水充填．
2.ＡＥセンサーの孔壁への圧着（孔内），ＡＥセンサー付導波棒を計測孔内に吊下げ挿入（孔外）．
3.上載荷重のない場合は，重機等により杭に繰返し荷重を与え破損部からのＡＥ発生を促す．
4.収録装置によるＡＥ計測の実施．
5.導波棒深度を変えながら杭全長の計測を行う．
6.収録データのノイズ除去後，有意なＡＥを抽出しパラメータ分析により発生位置を推定する．



■ ＡＥ検出概念図



■ ＡＥ収録例（AE 集中箇所が推定損傷域）



■ ＡＥ計測孔設置手順

■ 杭損傷調査法の比較

手法名	AE法	超音波法	衝撃弾性波法	コアボーリング &CCD カメラ	掘削
概要	杭自身やその近傍に導波棒を設置，外力を与えてAEを検出する	杭頭より超音波を入力，反射波を測定する．	杭頭にハンマー等で弾性波を励起，反射波を測定する．	杭自身にボーリング，コア観察するとともに，孔内をCCDカメラで観察する．	杭周辺地盤を掘削，目視により損傷状況を観察する．
非破壊検査が可能	○	○	○	×	○
対象深度	任意（削孔長，センサ数に依存）	数m	数十m	削孔可能深度まで	地下水位まで
複数の破損に対応	○	×	△	○	○
破損部特定が容易	○	△	△	○	○
破損部推定精度	△	△	△	○	○
調査に伴う作業	削孔（地盤/杭），センサ設置，外力	杭頭露出，超音波発振	杭と平置出，弾性波励起	杭自身への削孔，コア観察，CCDカメラ挿入	杭周辺地盤の掘削(必要であれば矢板，ポンプ)
特徴	杭軸力の変動が計測の条件，杭自身への削孔なしで，深度被容が検討可能．杭自身へのセンサ設置を付加することで詳細検討が可能	超音波の出力能力により，調査可能深度が異なる．複数の損傷には対応できない．	杭頭露出が計測の前提，複数の損傷には対応していない．杭長把握，杭全体の健全性評価には有効	杭自身への削孔が調査前提，深度被容の場合，それ以深への削孔が困難．調査結果の信頼性高い．	杭周辺地盤の掘削が調査前提，地下水位が高い場合，調査深度が浅い．大規模な掘削により調査コストが高い．

（実験事例）

・建設省土木研究所共同研究「橋梁基礎構造の調査法の開発」，「ﾓﾃﾞﾙ地盤に設置した損傷 RC 杭による実験」

（適用事例）

・住宅都市整備公団：阪神地区４件
・阪神高速道路公団：神戸市灘区１件
・民間：北海道，芦屋市 計２件
・建設省土木研究所共同研究「橋梁基礎構造の調査法の開発」

開 発 者	飛島建設（株）
参考文献（適用事例）	1)森 伸一郎･塩谷智基：地震で被災したコンクリート杭に対するＡＥ法による破損度調査法の開発，土木学会，土木学会論文集，No. 605/I-45，pp.61-77，1998.10，2)塩谷智基･境野典夫：ＡＥ法による杭診断技術に関する基礎的研究と実構造物適用事例，土木学会，耐震補強・補修技術及び耐震診断技術に関するシンポジウム講演論文集，pp.203-210，1997.7．

調査対象部位	構造物一般	調査技術名	AEロッドによる地盤変状検知システム	マニュアル	(有)・無
調査の目的	調査対象は、変状の発生の可能性が高い構造物一般で、調査目的は、調査対象物の変状を検出することである				

(概要)

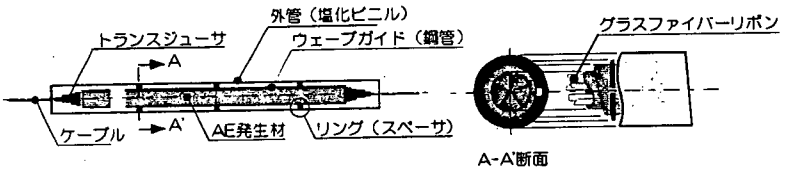
調査対象物に埋設、もしくは取り付けられたAEロッド（センサー）は、調査対象物の変状に伴う変形を受けた場合、特定の卓越周波数を有したAEを発生する。このAEにより、間接的に計測対象物の変状を評価・判定するシステムである。

(特徴)

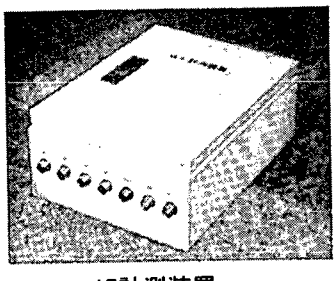
・調査対象　：調査対象物（構造物一般）の変状の連続計測・監視
・調査の特徴：①AEロッドの発するAEは、固有の卓越周波数を持つAEであること、またAEの発生数とAEロッドの変形量との間には線形関係があることから、安定した計測が可能
②調査対象物の変状の規模、位置をAEロッドの設置方向に連続して自動計測可能
③AEロッドの初期化機能により、過去の変形に伴って発生したAEをリセット可能
・コスト　：コスト低減の為、AEロッドの材料は全て市販品で構成し、また装置は最小限の機能を搭載

(使用機器)

①AEロッド…3～200m（1本の長さは必要長さにより調整可能、任意の方向に設置可能）
②AE計測装置…1台（AEロッド2本まで取り付け可能）
③トランスジューサ…2個（AEロッド1本当たり）



AEロッドの構造


AE計測装置

(留意点)

AEロッドの埋設、取り付けの際は、AEロッドに曲げ、せん断変形が作用するように設置すること

(適用部材)

AEロッドに曲げ、せん断変形が作用するように設置可能な構造物一般

(特許の有無)

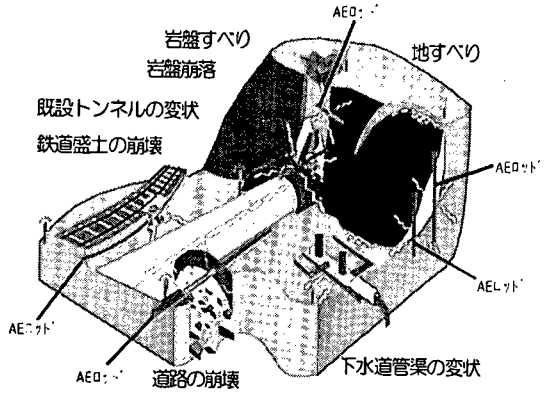
「AE波の計測方法およびAE計測ロッド」特願平8-209391号、平成8年7月
「AE波の計測装置」特願平6-224124号、平成6年8月

参考文献（効果確認）	高柳他：AE間接法による地山の変状計測監視 地盤工学会 北海道支部 技術報告集 第37号 平成9年2月 pp.47～54

調査原理と事例（実験事例・適用事例）

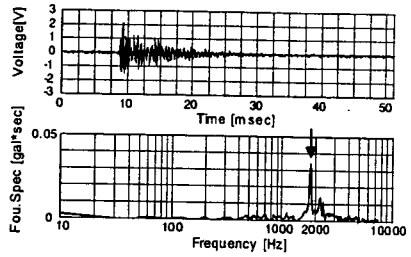
（調査原理）

①変状が予想される調査対象物にAEロッドを設置する



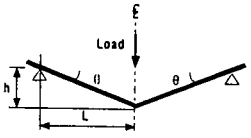
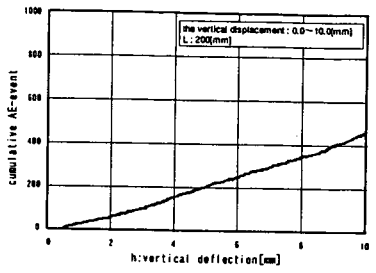
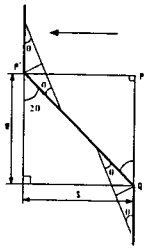
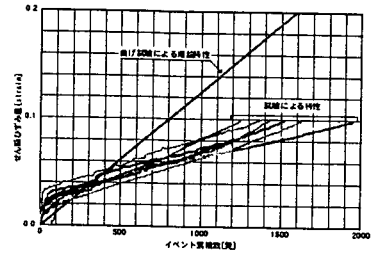
調査対象箇所（例）

②調査対象物の変状に伴い、AEロッドが変形を受ける。AEロッドは変形を受けると、固有の卓越周波数を有したAE波形を発生する



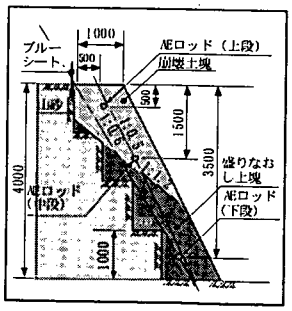
AEロッドのAE波形（上）とAE波形の周数分析結果（下）

③AEの発生数とAEロッドの変形量との間の線形関係から、AEロッドの変形量、調査対象物の変状を評価・判定する

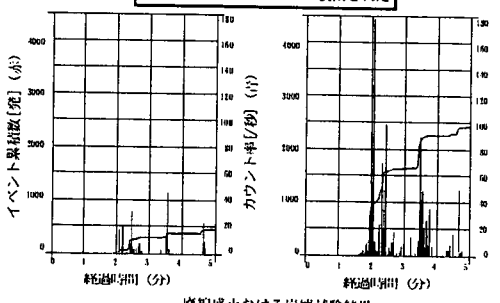
変形図	AEの発生特性
● 曲げ変形 	
● せん断変形 	

（実験事例）

鉄道盛土崩壊検知試験

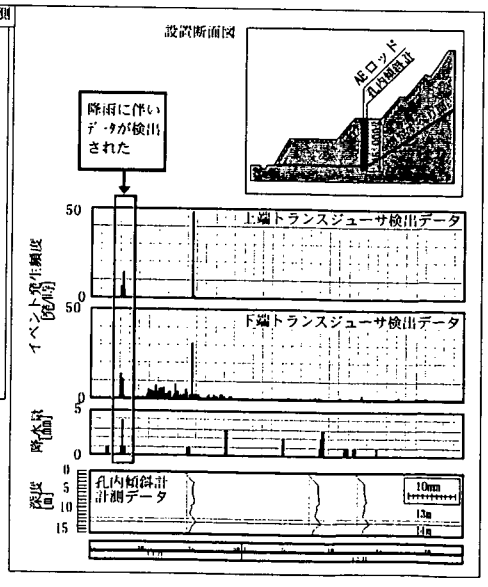


盛土崩壊における崩壊断面



廃線盛土おける崩壊試験結果
（左：上段ロッド、右：中段ロッド）

岩盤すべり計測



（適用事例）

①鉄道盛土の崩壊検知…３件
②地すべりの計測…３件
③岩盤斜面の計測…４件
④空港高盛土の計測…１件

開　発　者	日本工営株式会社
参考文献（適用事例）	①根岸他：「層雲峡溶結凝灰岩における長柱岩体のトップリング機構-寒冷地における岩盤斜面の崩壊に関する研究（第２報）-」応用地質第35巻１号 1994年 ②佐々木他：「AEロッドによる岩盤斜面の計測監視の一事例」土木学会第53回年次学術講演会講演概要集3-A pp.494～495 1998年10月

表－4.1.3 被災構造物の復旧技術

No.	資料分類	対象部位	技術・工法名	概　要	アンケート回答者
1	本復旧工法	橋梁全体	柱下端支承立体ラーメン化工法	基礎工への負担をかけずに上部工を再構築し、連続化することを目的とする。(阪神高速道路公団 弁天地区 復旧事例)	パシフィックコンサルタンツ
2	本復旧工法	鋼桁	大型クレーンによる吊降ろし工法	CGアニメーションによるクレーン配置シミュレーション、吊荷重自動管理システムなどを駆使した鋼桁撤去工法	鴻池組
3	本復旧工法	RC橋脚	鉄筋コンクリート橋脚ー鋼製梁の複合構造による橋脚の復旧工法	既設鉄筋コンクリート橋脚の再構築工法として、柱部を鉄筋コンクリート構造、梁部を鋼構造とした複合構造として再構築する工法。工期の圧縮を可能とする工法。	阪神高速道路公団、住友重機械工業
4	本復旧工法	RC橋脚	ブロック搬出工法	ブロック割した橋脚を上部工形式及び施工ヤード条件によって3方式で搬出する工法 ・テルハクレーン工法 ・スーパーリフター工法 ・大型クレーン工法	鴻池組
5	本復旧工法	RC橋脚 (新旧継目部逆打ち部)	膨張性高流動コンクリートを用いた新旧コンクリートの逆打ち継目部の一体化工法	膨張性高流動コンクリートを用い、継目部のブリーディングおよび沈下防止を行うことにより新旧コンクリートの逆打ち継目部の一体化を図る工法	大林組
6	本復旧工法	鋼製橋脚	コンクリート巻立て内面鋼板補強工法	座屈変形を生じた鋼製橋脚柱に対しコンクリート巻立て補強を行うことにより強度確保と外観の修復を行い、さらに内面からの補強を行う工法	住重・東海建設工事JV
7	本復旧工法	突堤	プレキャスト化による工期短縮工法	桟橋構造物の前面部をプレキャスト構造として一括架設し、急速施工・省力化・安全性を図る工法	鴻池組

復旧対象部位	橋梁全体	復旧技術名	柱下端支承立体ラーメン化工法	マニュアル	有・無
復旧の目的	基礎工へ負担をかけずに上部工を再構築し、連続化することを目的とする。				

（概　　要）
- 基礎の作用荷重を低減するために、柱下端に支承を設置する。
- 柱の上端は、上部工と剛結し、立体ラーメン構造とする。
- 支承に免震支承を用いることで、多径間連続構造とする。

（特　　徴）
- 下部工天端が低いので、フーチング下端でのモーメントが小さくなり、増し杭の必要がほとんど無い。
- 多径間連続化が可能となり、不静定次数の増加による耐震性能が向上する。
- 支承が地盤付近にあるため、メンテナンスが容易である。

（使用材料・使用機材）
-

（留 意 点）
- 支承に回転変位が生じるため、１支承の部分的な浮上りが過度に出ないようにすること。
- 支承が地盤付近にあるので、支承保護工、落橋防止装置などの設置をすること。

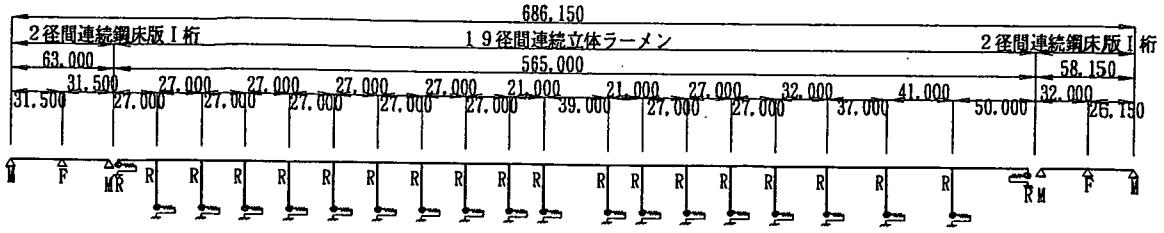
（適用部材）

（特許の有無）

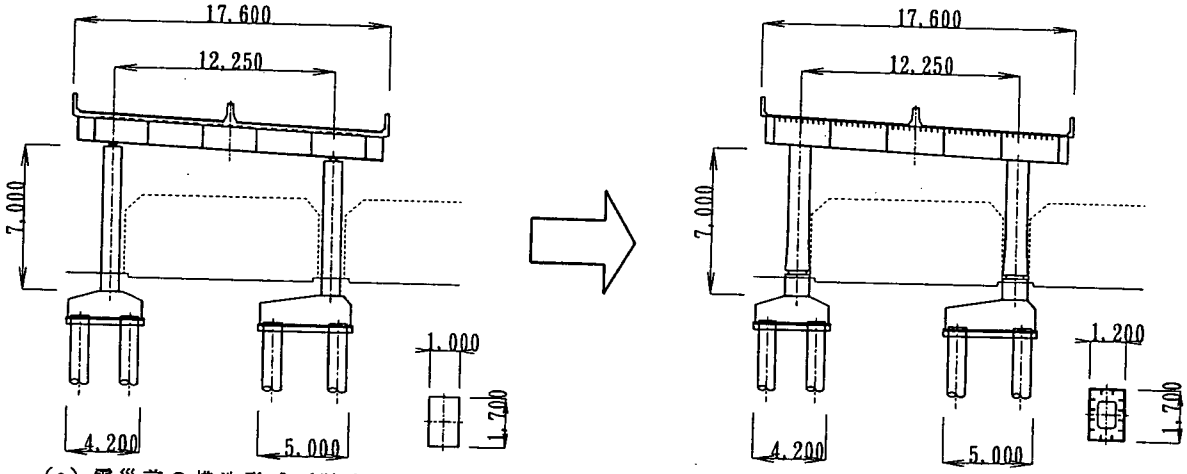
参考文献（効果確認）	

復　旧　事　例

（復旧事例）



径間割りおよび支承モデル図



（a）震災前の構造形式（独立２柱構造）　　（b）復旧後の構造形式（立体ﾗｰﾒﾝ構造）

開発者	
参考文献 (適用事例)	森川英典：阪神高速道路復旧での新たな試み、土木学会誌、１９９６年９月 林秀侃、川北司郎：阪神高速３号神戸線弁天工区の復旧事例、橋梁と基礎、１９９６年８月

復旧対象部位	鋼桁	復旧技術名	大型クレーンによる吊り降ろし工法	マニュアル	有・無
復旧の目的	ＣＧアニメーションによるクレーン配置シミュレーション、吊り荷重自動管理システム等を駆使した鋼桁撤去				

（概　　要）

・大型クレーンを用いた吊り降ろし工法で、安全対策、落下防止対策、跳ね上がり防止対策、偏荷重防止対策等の最新技術を駆使した鋼橋撤去工事。

（特　　徴）

・復旧対象

鋼構は、鋼単純合成板桁（Ｐ８～Ｐ９、Ｐ１２～Ｐ１３間）と鋼３径間連続非合成箱桁（Ｐ９～Ｐ１２間）で構成され、１径間あたりの重量は約400ｔ、径間長は最大で45mであった。

・本撤去工事では、下記に示す厳しい現場および施工条件であったため、大型クレーン吊り降ろし工法を採用。

①撤去対象上部工は、阪神高速道路３号線と新交通（ポートライナー）の上方にあり、同構造物も被災した所であるため、仮受け構台（ベント）の設置ができない。

②ポートライナー運行再開までの短期間で撤去する必要がある。

③一般国道２号（現国道）は、生活道路・復旧道路として使用しているために、通行止めはできない。

④大型クレーンの据え付け場所としてＪＲの駐車場の一部が借地可能である。

（使用材料・使用機材）

・360t吊りクレーン（メインブーム＝40m、許容吊荷重＝32.5t、地上高＝25.0m）――３台

（留意点）

・施工上の課題

①平面的、空間的に狭小なスペースでの重機の旋回作業等の安全対策――事前のＣＧアニメシミュレーション

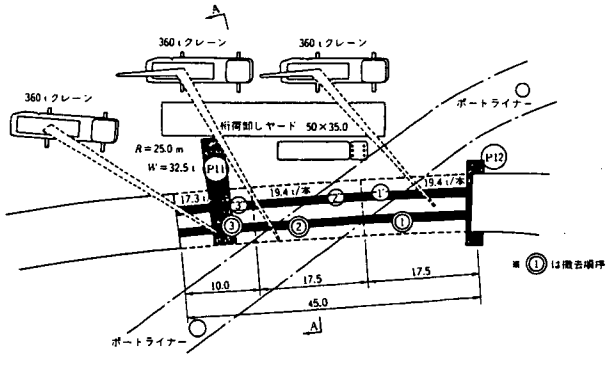
②コンクリート床版の撤去作業における落下防止対策――落下防止治具

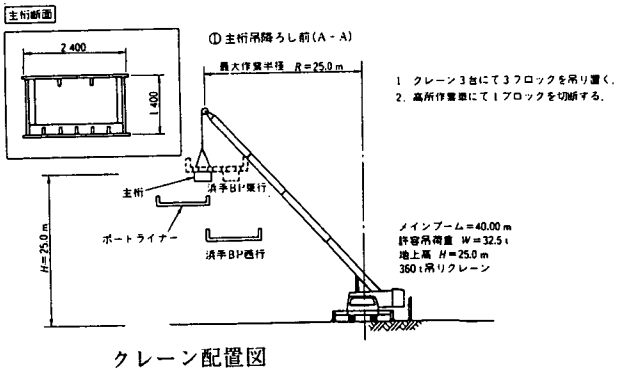
③鋼桁の切断作業における跳ね上がり防止対策――自動荷重管理システム

④クレーン２台の相吊りによる偏荷重防止対策――チェーンブロック

（適用部材）

・上部工





クレーン配置図

（特許の有無）

・無

参考文献（効果確認）	

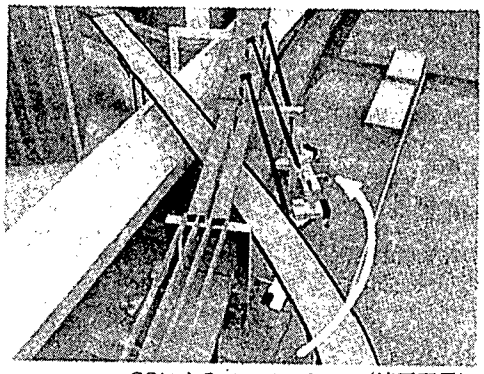
（復旧事例）

①安全対策

ＣＧアニメシミュレーション

現場条件を３次元的にモデリングし、仮想空間の中に３台のクレーンを疑似的に配置し、さらに稼働させることで重機の作業が可能かどうかを上空から視覚的に把握。

仮想空間内で実際に配置実験を行うことにより、迅速かつ安全な判断が可能。

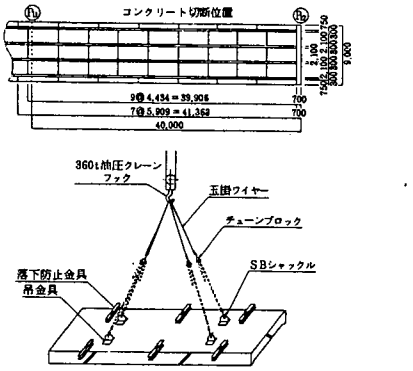


CGによるアニメーション(適正配置)

②落下防止対策

落下防止治具

コンクリート床版の切断には、振動・騒音の少ないワイヤーソーおよびコンクリートカッターを使用。切断ブロックが落下しないよう落下防止治具の設置と、玉掛け作業を安全にするため、床版に貫通孔を穿孔して特殊治具を製作使用。



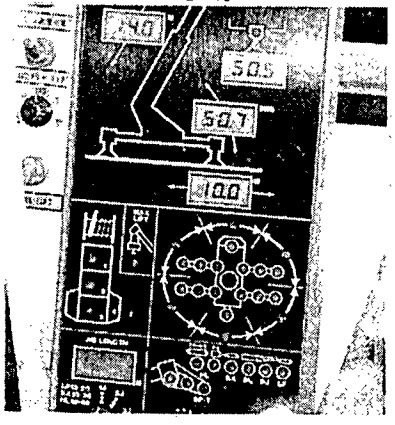
床版ブロック分割と吊上げ要領図

③跳ね上がり防止対策

自動荷重管理システム

事前の撤去ピースの重量を綿密に計算し、クレーンの吊り荷重計の値を計算値と同一になるように制御。

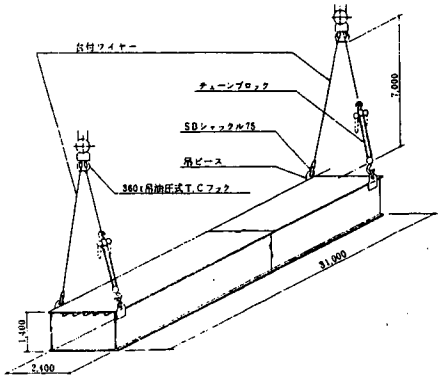
実測の結果、クレーンの吊荷重と計算値の誤差は5%以内で納めることができた。



④偏荷重防止対策

チェーンブロック

鋼桁には縦断勾配があるため、１本の同じ長さの玉掛けワイヤでは各々に力のかかり具合が違ってくるため、４本のうち２本の部分にはチェーンブロックを接続してバランスを取った。



桁吊り上げ図

（結　果）

・本作業は、工事開始が平成７年の６月初旬でポートライナー運行再開までの約１ヶ月半で撤去完了という厳しい工期で作業が夜間作業となり、震度３レベルの余震が断続的に続く中での神経をすり減らす作業であったが、無事終了した。

開発者	
参考文献（適用事例）	浪内敬二、小林一郎、中上朝雄、福地良彦：阪神大震災後の高架道路復旧工事へのＣＧアニメーションの適用 土木学会関西支部講演概要集、pp. 60～61、1996

復旧対象部位	橋脚（RC,PC）	復旧技術名	RC柱－鋼製梁の複合構造による復旧	マニュアル	㊒・無
復旧の目的	既設鉄筋コンクリート橋脚を柱部をRC・梁部を鋼構造の複合構造として再構築する。				

（概　要）

1. 上部構造をベントにより支持し、ジャッキアップした後、既設下部構造を撤去する。
2. RC柱を施工（1次施工）の後、鋼製梁を仮支架台上で横取り組立しH.T.B締めを行う。
3. RC柱の2次施工を行う。

（特　徴）

・復旧対象　　脚No. P314, P316, P317, P318, P328, P329, P330, P340, P342, P343

・復旧の特徴　上部構造があるため、RC柱の施工が1次と2次に分かれるが、
2次施工の配筋は1次施工の配筋と鋼製梁になるべく干渉しないで行われ、
その接続は継手（圧接）により行なわれた

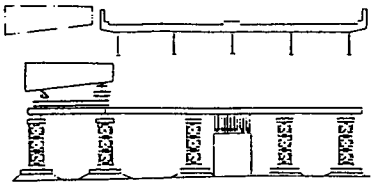
（使用材料・使用機材）

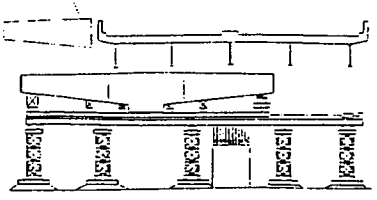
・使用材料……　鋼製梁　SM490YA
配筋　SD345

（留意点）

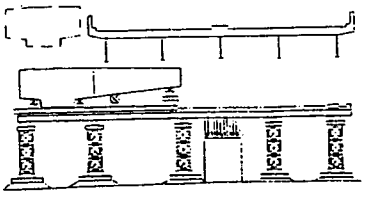
――― 鋼製梁架設手順

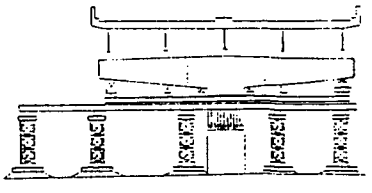
台車設置　BLOCK1架設　横移動　　台車設置　BLOCK3架設





台車設置　BLOCK2架設　横移動　　横移動　位置調整





（適用部材）

―――

（特許の有㊒）

参考文献（効果確認）	RC柱－鋼製梁複合橋脚の設計・施工要領(案)　H7年7月　阪神高速道路公団

3

復　旧　事　例

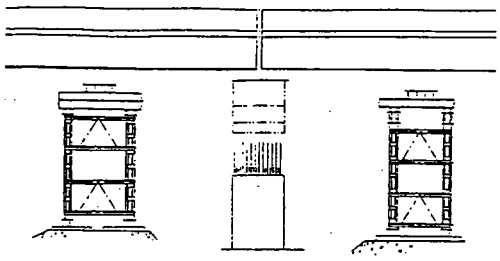
（復旧事例）

鋼製梁工

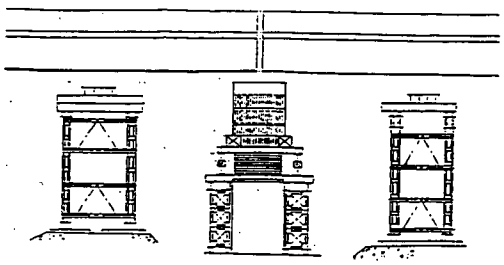
全体施工手順

START
↓
ベント組立
↓
ジャッキアップ
↓
既設橋脚撤去
↓
柱一次施工
↓
横取設備組立
↓
鋼製梁架設
↓
鋼製梁横取
↓
梁位置調整
↓
HTB締付
↓
柱二次施工
↓
支承工
↓
ジャッキダウン
↓
ベント解体
↓
塗装工
↓
END

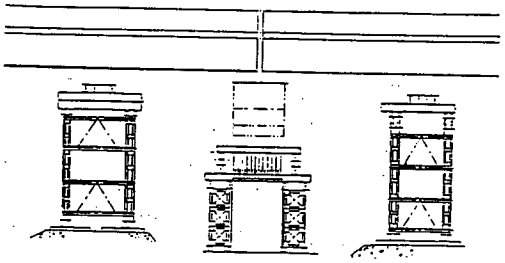
柱一次施工



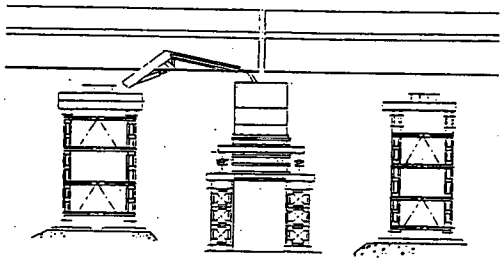
柱二次施工（配筋）



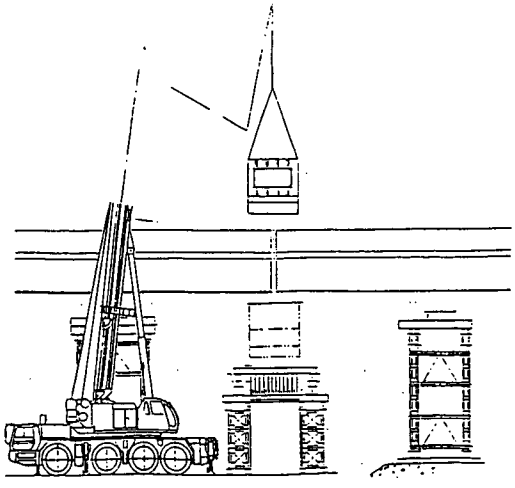
横取設備組立



柱二次施工（打設）



鋼製梁架設



開発者	
参考文献 (適用事例)	

復旧対象部位	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ橋脚	復旧技術名	ブロック搬出工法	マニュアル	有・無
復旧の目的	ブロック割した橋脚を上部工形式および施工ヤード条件によって３方式で搬出				

（概　　要）

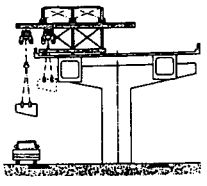
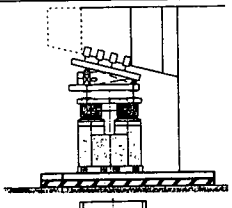
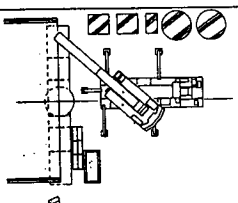
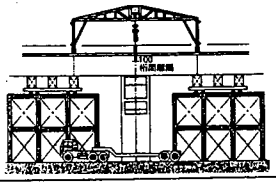
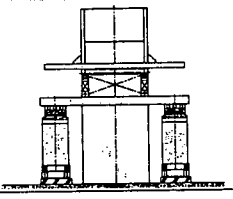
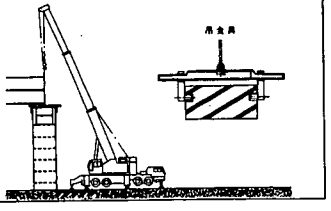
・被災した撤去対象となった橋脚の両側は国道43号線が供用中であり、また一部の上部工をジャッキアップして存置した状態で橋脚のみ撤去しなければならないという厳しい施工条件。
・時間の経過と共に沿道住民にも落ち着きが戻り、極力、無振動、無騒音による工法が求められた。
・そのため、橋脚の撤去工法はワイヤーソーによりブロック状に切断して搬出することとした。
・搬出方法は、上部工形式および施工ヤード条件により、テルハクレーン方式、スーパーリフター方式および大型クレーン方式を採用した。

（特　　徴）

・復旧対象
　阪神高速３号神戸線　橋脚23基
・上部工形式および施工ヤード条件により、３方式のブロック搬出工法を採用。
　①上部工（単純桁形式）を存置した状態で撤去――――――――――テルハクレーン方式
　②上部工（３径間連続鋼床版箱桁形式）を存置した状態で撤去――スーパーリフター方式
　③上部工がなくクレーン配置に問題がない――――――――――――大型クレーン方式

（使用材料・使用機材）

・テルハクレーン
・スーパーリフター（特殊油圧昇降装置）
・160t吊りクレーン

テルハクレーン方式	スーパーリフター方式	大型クレーン方式
断面図 	断面図 	断面図 
側面図 	側面図 	側面図 

（留意点）

・施工上の課題
　震災により桁そのものが損傷、偏心しており、テルハクレーン稼働時に使用する桁遊間の直線性が確保できない。
・対策
　従来のテルハクレーンは、走行レールに沿った一次元的な動きとなるため、テルハビーム自体と吊り治具を工夫しレール直角方向にも二次元的に稼働できるようにした。

（適用部材）

・橋脚

（特許の有無）

・無

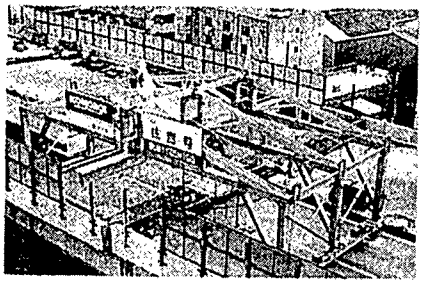
参考文献（効果確認）	

復　旧　事　例

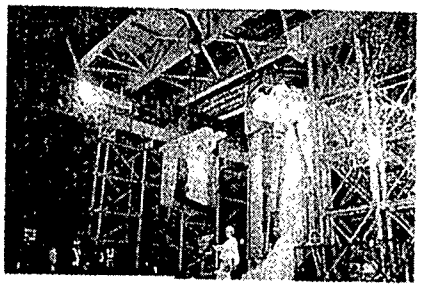
（復旧事例）

①テルハクレーン方式

存置された上部工を逆に利用する方式で、上部工に走行式のテルハクレーンを設置し、10cmの遊間に吊り下げ用のチェーンを通し、橋脚の切断ブロックを搬出する。



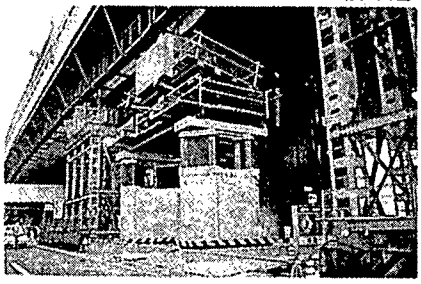
テルハクレーン設置状況



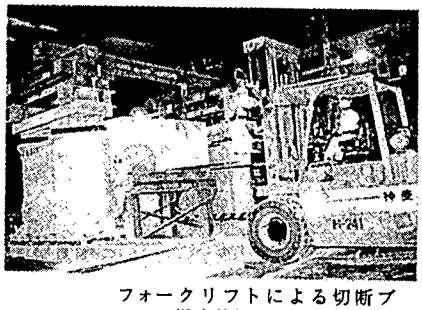
橋脚梁部撤去状況

②スーパーリフター方式

橋脚梁部を切断前にスーパーリフターと呼ばれる特殊油圧装置を用いてジャッキアップして仮受けし、切断した後、通行止めが可能な夜間、国道43号線上に搬出用レールを敷設し、切断ブロックを支保工ごと占用外に移動させ、160tクレーンにて積み込み搬出。



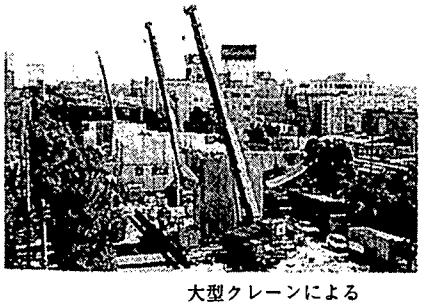
特殊油圧昇降装置による橋脚梁部の仮受け状況



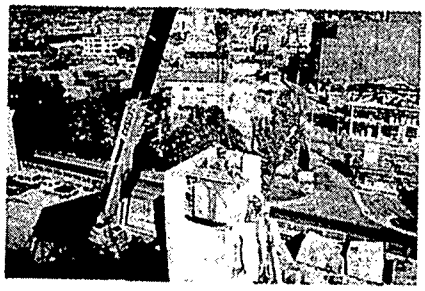
フォークリフトによる切断ブロック搬出状況

③大型クレーン方式

160t吊りクレーンの作業半径と吊り上げ能力および運搬作業における特殊許可条件より橋脚を40tブロックに切断して荷降ろしを行い、地上部で20tブロックに小割りした後搬出。



大型クレーンによる橋脚梁部撤去状況



大型クレーン橋脚柱部撤去状況

開発者	
参考文献（適用事例）	

復旧対象部位	柱、壁およびｽﾗﾌﾞ等の逆打ち部	復旧技術名	膨張性高流動ｺﾝｸﾘｰﾄ工法	マニュアル	(有)・無
復旧の目的	逆打ち部の新旧コンクリートの一体化				

(概要)

逆打ちコンクリートでは、打継目の下側に打設される新コンクリートの沈下やブリーディングの発生により打継目が一体化しないため、従来は充填工法や注入工法により、打継目の一体化を行う。本工法は、直接工法に用いるコンクリートのブリーディングの発生防止および沈下防止をすることにより、新旧のコンクリートの一体性を確保し、省力化と工期短縮を図る工法である。使用するコンクリートは膨張性、材料分離抵抗性とともに、優れた充填性を有する。

(特徴)

・分離低減剤、膨張剤、および流動化剤を併用し、コンクリートのブリージングによるレイタンスの発生を抑えるとともにコンクリートに効果的な初期膨張性を付与し、新旧コンクリートの優れた一体性を確保できる。

・優れた粘性、分離抵抗性を有するため、小さな隙間まで充填できる。

・分離低減材の添加は、プラント、現場のいずれにおいても可能である。

(留意点)

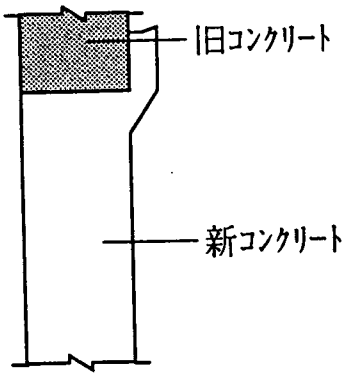
・膨張材は、所要の膨張量が得られるようにコンクリート打設温度および打設所要時間を考慮し、その種類や使用量を試験練りによって確認する。

(使用材料)

コンクリート＋流動化剤＋分離低減剤＋膨張剤

(適用部材)

橋梁下部工、高架橋床版補修、地下構造物



図－1　直接工法

(特許の有無)　有

参考文献	

5

復旧事例

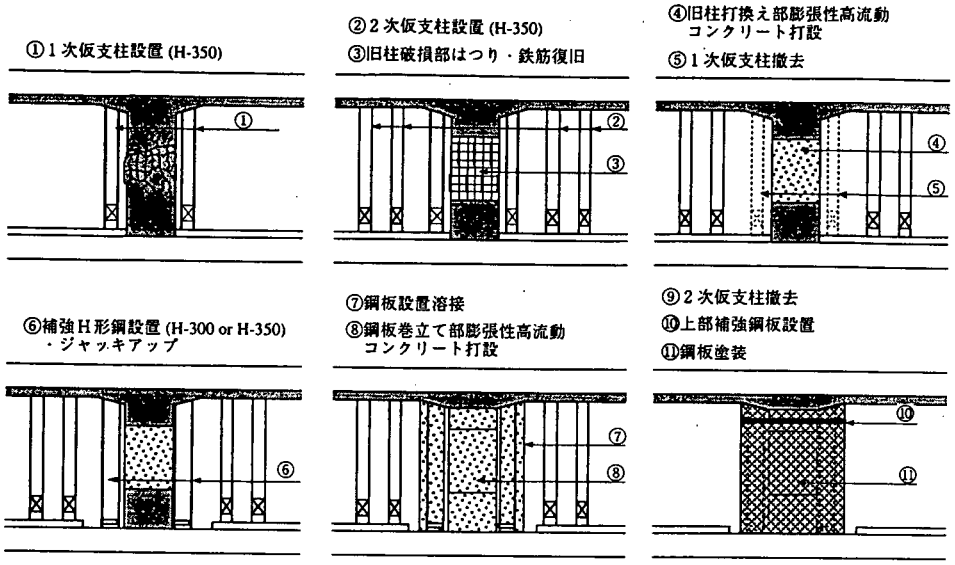
（適用事例）

阪神・淡路大震災において、被害を受けた地下構造物の柱の復旧工事に適用した。

（施工方法）

施工順序は図－２に示す。

旧柱にH型鋼および鋼板を配置し、一体化を図るため内部にコンクリートを充填する構造とした。この時旧柱とH型鋼および鋼板との間隔が50mmとなり充填性が課題となるため、膨張性コンクリートが必要であった。また、逆打ち工法であるため高所から落下させても材料分離の少ない材料が必要であった。そこで、充填コンクリートに膨張性高流動コンクリートを用いた。



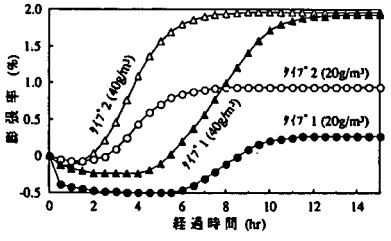
図－2　施工順序

（施工結果）

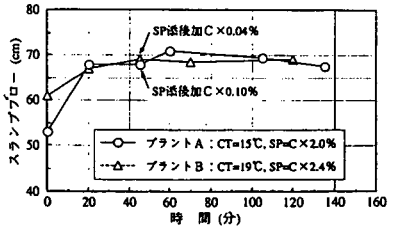
①　0.5～2.0%の膨張率を設定し、一体化を確保できた。

②　２時間後でも65cm以上の高い流動性を保った。

③　Oロート流化時間は12秒～20秒と安定しており材料分離抵抗性があった。



膨張率と経時変化



スランプフローの経時変化

（施工事例）

各種逆打ちコンクリートの施工（実績多数）

開発者	(株)大林組
参考文献（適用事例）	若松　岳、十川　茂幸、相原　功、横溝　文行、原田　暁「阪神大震災における被災土木構造物の補修工事への高性能コンクリートの適用」大林組技術研究報告書　特別号１９９６

復旧対象部位	鋼製橋脚	復旧技術名	コンクリート巻立て内面鋼板補強工法	マニュアル	有・(無)
復旧の目的	鋼製橋脚柱の暫定強度確保と補強を兼ね備えた復旧工法				

(概　要)

- 地震により脚柱面の補剛パネルに若干の座屈変形を生じ、耐荷性能の減少した角形鋼製橋脚柱に対して、外面から鉄筋コンクリートを巻き立てることにより、余震などに対する暫定的な強度を確保すると同時に損傷した外観を修復して周辺住民に安心感を与え、その上で内面補強を行う。
- 内面補強は、損傷部の縦リブを切除し、損傷箇所の上下に座屈変形の孕み出し量以上の厚みの板をかませた上で、短冊状にしてマンホールからの搬入を可能にした補強部材および縦リブ取り替え部材を溶接により取り付ける。

(特　徴)

- 角形鋼製橋脚柱で、フランジまたはウェブ面のパネルに座屈が生じているが、柱芯の大きな傾斜変形を生じていない場合に適用する。
- 損傷部分の部材を切除しないため、梁や上部工の仮支持が不要である。
- 橋脚柱に鉄筋コンクリートを巻き立て、内面の補強完了までの補強とする。
- 巻き立てた鉄筋コンクリートが損傷した脚柱外観を隠すため、周辺住民に対して安心感を与える。
- 巻き立てた鉄筋コンクリートが内面の作業により発生する騒音に対して、防音機能を有する。

(使用材料・使用機材)

- 鉄筋コンクリート（外面巻き立て用）
- 鋼　板　　（内面補強用）
- 発動発電機　　（照明、換気用）
- ガス切断用資機材（アセチレン、酸素、コンプレッサ等）
- 溶接用資機材　　（溶接棒、電源等）
- エアグラインダ　（切断面、溶接余盛成型用）
- 換気扇、ダクト

(留 意 点)

- 杭やフーチングなどの基礎およびアンカーフレームが健全であることが必要である。
- 損傷したパネルの耐荷力が特定できないため、補強断面のみで元設計断面以上の断面性能（断面力、断面２次モーメント、耐荷力）を有する必要がある。
- 巻き立て鉄筋コンクリートと脚柱周りの建築限界との干渉に留意する。

(適用部材)

- 地震によって被災した道路橋、歩道橋、鉄道橋、モノレールなどの新交通システム等の角形鋼製橋脚柱に適用する。

(特許の有無)

なし

参考文献(効果確認)	

復　旧　事　例

（復旧事例）

阪神高速３号神戸線復旧第１工区

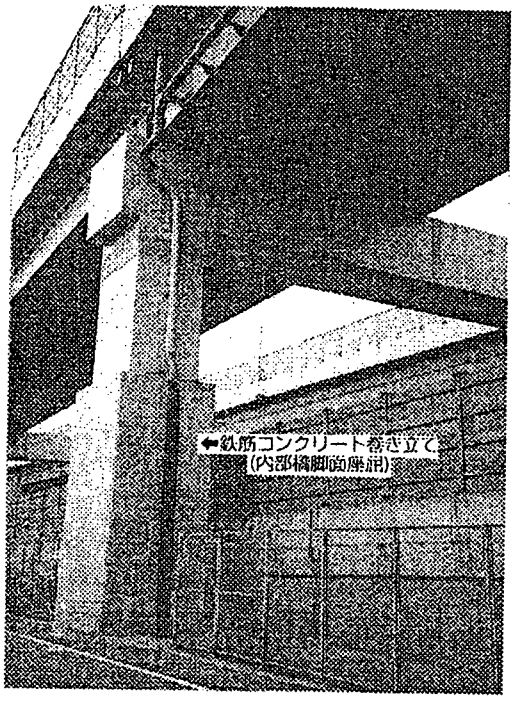
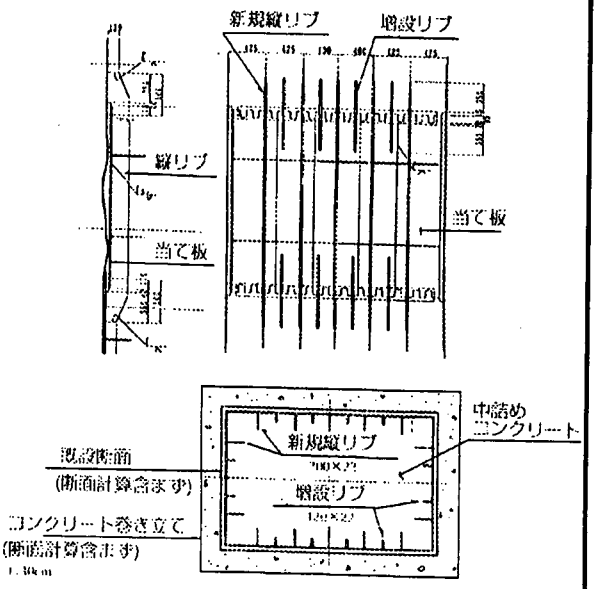


写真　座屈した特殊門形ラーメン橋脚柱



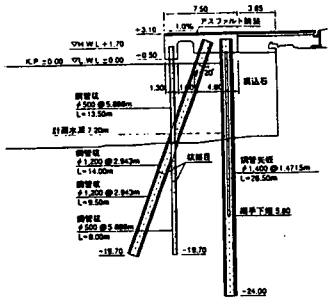
図．鋼製橋脚柱内面バイパス断面

開発者	阪神高速３号神戸線復旧第１工区　住重・東海建設工事共同企業体
参考文献 (適用事例)	住友重機械技報、第 45 巻 134 号、1997 年 8 月、pp.51～54

復旧対象部位	突堤	復旧技術名	プレキャスト化による工期短縮工法	マニュアル	有・無
復旧の目的	桟橋構造物の前面部をプレキャスト構造として一括架設し、急速施工・省力化・安全性の向上を図った				

（概　　要）

・兵庫第一突堤東端から西側にかけての1,064m区間の物揚場と岸壁の復旧工事。
・岸壁はケーソン構造であり、被災はケーソンの沈下、海側への滑り出し、そのためエプロン部の沈下、破壊および背面の倉庫群の傾き、倒壊が見られた。
・ケーソンの耐震性向上の方法について検討したが、ケーソン背面を軽量水砕スラグに置換する土圧低減対策等は、背面倉庫群への影響のため採用できず、斜杭・前出桟橋形式とした。
・使用可能な岸壁不足、一部区間の早期供用、潮の干満、荒天時の揚圧力による支保工への影響を考慮し、桟橋構造物の前面部をプレキャスト構造とし、陸上部で製作して一括架設した。

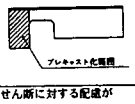
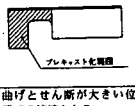
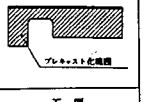


－7.2m岸壁復旧図

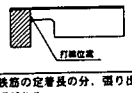
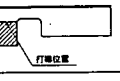
（特　　徴）

・復旧対象
　計画水深 -7.2m岸壁で全長630m区間の復旧（他に、-2.7m、-3.6m岸壁）
・急速施工による工期短縮、省力化施工および安全性の向上面からプレキャスト部材の採用。
・プレキャストの範囲設定とそれ以外の上部工との接続部の設計
　第１案および水平打継方式を採用

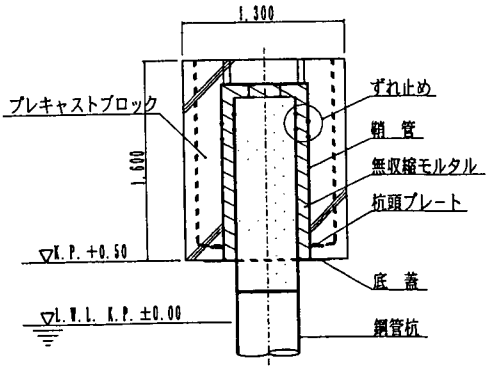
プレキャスト化範囲比較表

案	第１案	第２案	第３案
接続位置	前面	中央部	－
略図			
上部工との一体性	せん断に対する配慮が必要	曲げとせん断が大きい位置での接続となる	不　要
杭頭処理	比較的簡単	比較的簡単	斜杭の杭頭処理が複雑で困難
施工性	・場所打ち部の支保工が必要。 ・架設直後の波浪に対し、配慮が必要。	・場所打ち部の支保工が必要。 ・架設後の偏心荷重、波浪に対し、配慮が必要。	・大型クレーンが必要。 ・大規模なヤードが必要。 ・杭位置のズレに対応困難。 ・吊枠の製作が必要。
工　期	・工期短縮がある程度期待できる。	・工期短縮効果中位。	・工期短縮大。

打継方式比較表

方　式	垂直打継方式	水平打継方式
接続位置		
鉄筋の定着	主鉄筋の定着長の分、張り出す必要がある。	問題が少ない。
上部工の一体性	接続位置がせん断力の作用位置であり、望ましくない。	問題が少ない。

・プレキャスト部材と杭の接合
　荷重伝達は、杭外周部と鞘管内部に設置したずれ止めによって伝える。水平荷重は充填モルタルで伝達。そのため、鞘管内部のモルタルは床版以上の強度を有し、かつ無収縮のモルタルを用いた。また、鉄筋の定着は鞘管にあらかじめ溶接したプレートを溶接することで対応。



杭頭接合部標準断面図

（留意点）

・施工上の課題
　プレキャスト部材設置後から場所打ちＲＣ床版と一体化するまで、単杭に載っただけの形のため、波浪等による揺れが懸念。
・対策
　プレキャストブロックにあらかじめ金物を埋めておき、その金物と斜杭の上部に金物を溶接して取り付けて固定。

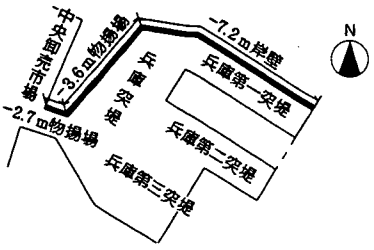
（特許の有無）

・無

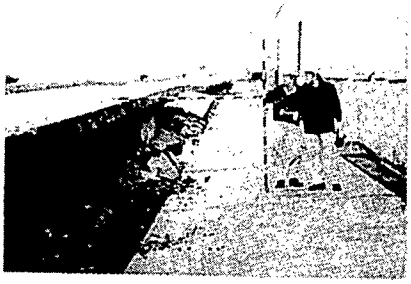
参考文献（効果確認）	

復　旧　事　例

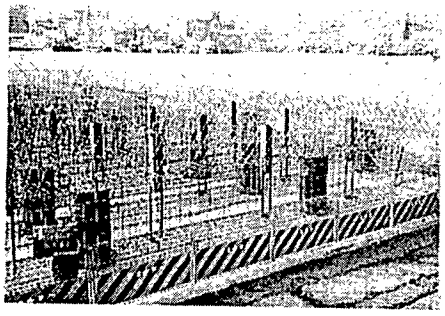
（復旧事例）



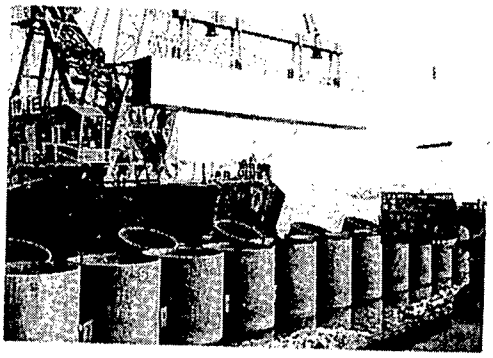
位置図



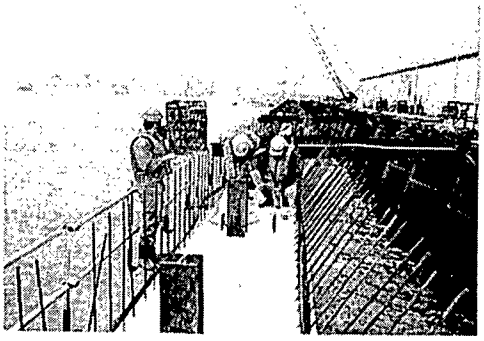
-7.2m岸壁被害状況



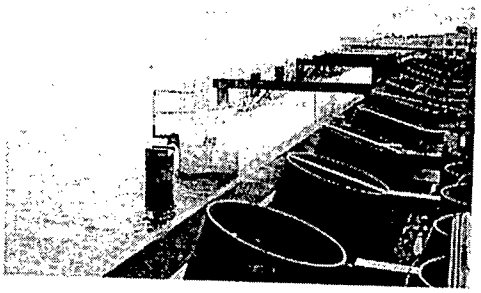
プレキャスト部材製作状況



据え付け状況



無収縮モルタル充填状況



保護材配置状況

（結　果）

・本工事は、以上のような工夫により、平成8年6月1日の供用開始が実現できた。このように桟橋構造物のプレキャスト化は、急速施工による工期短縮、省力化施工及び安全性の向上面から必要性は増加するものと思われる。

開発者	
参考文献（適用事例）	