

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8

土木研究所資料第 4014 号

土木研究所資料

道路橋橋台およびその基礎の 地震被災事例

平成 18 年 5 月

独立行政法人土木研究所
構造物研究グループ基礎チーム

Copyright © (2006) by P.W.R.I.

All rights 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 Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事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、独立行政法人土木研究所理事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。

道路橋橋台およびその基礎の地震被災事例

構造物研究グループ グループ長 福井 次郎
構造物研究グループ（基礎） 上席研究員 中谷 昌一
主任研究員 白戸 真大

要 旨

本資料は道路橋の橋台及びその基礎の地震被災事例をまとめたものである。全 176 事例が収集された。まず、いくつかの代表的な被災形態が示される。そして、被災形態に応じて、被災に至るまでのメカニズムを推測した。次に、被災を引き起こす要因について分析を行った。その結果、地盤の液状化が最も重要な因子であることが分かった。

キーワード：橋台，地震，被災事例，レベル 2 地震動

目 次

1. はじめに	1
2. 橋台の被災事例調査結果の概要	2
2.1 対象調査地震と調査方法	2
2.2 橋台の代表的な地震被災例	2
3. 道路橋橋台の被災要因分析	4
3.1 橋台被災ランクの定義	4
3.2 橋台構造条件と被災ランクの関係	4
3.3 地盤条件と被災ランクの関係	5
4. まとめと今後の課題	7
参考文献	8

1. はじめに

兵庫県南部地震以降，大地震に対する構造物の耐震性能の評価に関する研究が精力的に進められている。橋台についても，大規模地震動が作用した場合に橋台背面に作用する土圧の評価方法等の研究が進められている。しかし，橋台やその基礎の地震時における挙動は，構造上の特徴から，慣性力に加えて背面土圧が作用し，橋台と地盤との相互作用の影響を受け複雑な挙動を呈する。加えてこれらは立地条件により変化することなどからの理由から橋台やその基礎の耐震性能の評価が難しいものとなっている。

本資料は，道路橋の橋台およびその基礎の耐震設計に関する研究の基礎資料として，既往の地震において生じた被災事例の収集，整理およびそれらの分析の結果を紹介するものである。

2. 橋台の被災事例調査結果の概要

2.1 対象調査地震と調査方法

対象とした被災事例は、図-1 に示す新潟地震 (1964)¹⁾、十勝沖地震 (1968)^{2), 3)}、日本海中部地震 (1983)⁴⁾、釧路沖地震 (1993)⁵⁾、兵庫県南部地震 (1995)^{6)~8)}、鳥取西部地震 (2000)⁹⁾ の計 6 つの地震で生じたものである。前者の 4 地震の地震動は、平成 14 年道路橋示方書 V 編¹⁰⁾ に示されるレベル 2 地震動のうちのタイプ I に、後者については同じくタイプ II の地震動に相当する。なお上記以外の地震で、例えば宮城県沖地震 (1978)、北海道南西沖地震 (1993) においても橋台の軽微な被災事例は見られた。しかし、橋脚の被害に比べて橋台の被災事例の絶対数が少ないこともあり、以後の分析に必要な情報は得られなかった。

被災事例分析は、被災調査報告書等の文献に記載された内容に基づいて行った。兵庫県南部地震については関係自治体から提供された調査資料も参考にしている。その結果、上記の 6 地震において橋台に何らかの被災が報告された橋梁は表-1 に示すように 176 橋であった。このうちの 3 橋については、石積み橋台やレンガ造のように現在では用いられない構造形式であったため、被災の内容は確認したものの、後節の分析の対象からは除外している。被災の分析において着目したパラメータは、橋台の地震時の挙動に影響を与えるものと考えられる竣工年度、立地条件、支承条件、橋台高さ、基礎形式および地盤条件の計 6 項目とした。対象橋梁 176 橋のうち、これらの項目が調査文献等から判明している橋数を、項目別および地震動のタイプ別に図-2 に示す。調査を行った橋梁は延べ 176 橋であるが、パラメータに応じて調査できた橋数にばらつきがあり、たとえば地盤条件が判明した橋梁数は全 176 橋のうち 62 橋であった。古い橋梁では竣工時等の記録が残されていないものも多く、定量的な分析を難しいものとしている。

2.2 橋台の代表的な地震被災例

橋台の被災形態は多様であるが、支承モルタルの損傷、支承本体の損傷など沓座周りの被害が多いのが特徴である。躯体や基礎に比して相対的に剛性の小さな支承に被災が多いのは必然の結果であるが、従来言われていたように、ヒューズの役割を支承が担って何からのエネルギーの逸散があったため他の部位が損傷しなかったためとも考えられる。可動沓については、沓のストッパーが破損し、写真-1 のように上部工とパラペットが接触した被災ケースが多く見られた。一方、固定沓については、写真-2 のようにアンカー部が破損した被災の形態が目立った。また、橋台本体の損傷は軽微に留まっても、写真-3 に示すような取付背面路面や橋台前趾土砂の沈下が生じた事例なども見られた。これらは、地盤の液状化に起因する被災の典型であり、写真-3 で示した被災例においても地盤の液状化が報告されている。

続いて、被災の甚大であった橋台の例を挙げる。兵庫県南部地震で被災した御影大橋西側橋¹¹⁾は、橋長 31.8 m の PC 単純ポステン橋である。フーチング下面以深に液状化層が存在し、図-3 に示すように地盤の水平抵抗が減少して橋台の水平移動が生じたものと考えられる。

東魚崎大橋¹¹⁾は、運河に架かる橋長 64.8 m、PC3 径間単純プレテンション方式 T 桁橋である。この橋

台も兵庫県南部地震により被災した。沓座モルタルが破損し、写真-4 に示すように、橋台自体も前面へ大きく移動するとともに、躯体は背面側に傾斜し、前面に大きなひび割れが生じた。また、橋台背面地盤も沈下していた。道路橋示方書¹⁰⁾によれば、地盤は、液状化が生じると判定される。橋台が前面へ移動することに対して桁がストラットの役割を果たし、壁前面側に大きな引張りが生じたこと、ウイング部が外側へと広がったことなどによって壁およびウイングとの接合部に段階的に破壊が生じたと推測される。

液状化にともなう地盤の流動による典型的な被災事例を写真-5 に示す。この橋梁は、兵庫県南部地震で被災した宮川大橋⁹⁾である。橋長 49.4 m の単純非合成鋼桁橋であり、橋台の背面にはボックスカルバートが接続された構造であった。橋台背面からの直接的な土圧の作用は無い構造形式にもかかわらず、支承は逸脱し、桁との接触に伴いパラペットの基部が破断するほど橋台は前方へ大きく水平移動している。地盤はフーチング下面から液状化層が 12 m 程度続く緩い砂質土層であった。

同様な被災形態と見られる事例を図-4 に示す。これは鳥取県西部地震で被災を受けた夢みなと橋¹²⁾である。桁のストラットにより躯体上部の水平変位が拘束され、橋台底面がすくわれるように移動している。周辺の取付け護岸は一樣に前面にはらみ出し、護岸の水平変位量は最大で 1 m 以上にも達した。このケースにおいても地震時に液状化したと考えられる層はフーチング以深で 19 m 程度存在した。

1968 年十勝沖地震で被災した明野一号橋³⁾の被災事例を図-5 に示す。橋台の下部が前方へ押し出され、上部は後方に傾いており、支承部付近を中心に背面方向に回転したような状態になっていた。調査報告書では、地震により橋台背面土が液状化し、その過程で内部摩擦角が減少したため、土圧が著しく増大して橋台が移動したことによる被災であると予測している。

以上に示した一連の被災事例から典型的な被災形態を表-2 に整理した。まず、御影大橋西側橋¹¹⁾および東魚崎大橋¹¹⁾の被災に代表されるような、橋台が水平に移動するものを被災形態 (a) のように想定した。これは基礎を支持する地盤の液状化が発生したことにより基礎の水平支持力が低下し、背面から前面へ向かう橋台自身の慣性力と地震時土圧、流動力の作用で橋台が前面に移動したと考えられるケースである。

一方、被災形態 (b) は、地盤流動が主たる原因となる場合、被災形態 (c) は地盤せん断抵抗の減少により橋台背面盛土部のヒービング的なすべり破壊により橋台が傾斜するものである。橋台背面に箱式構造物を有するため橋台背面に大きな土圧は作用しない宮川大橋⁹⁾や、橋台高さが非常に低い夢みなと橋¹²⁾、明野一号橋の被災が被災形態 (b) や (c) に該当すると考えられる。橋台背面に大きな沈下が生じること、足元がすくわれるように橋台が傾斜しているのが特徴である。大きな被災が生じた橋台では、まず桁がストラットとなって橋台の変位が拘束され、さらに橋台の前面側に引張り力が作用したと考えられることが共通している。

しかし、兵庫県南部地震以降に設計された道路橋においては弾性支承を用いた反力分散設計が広く行われており、橋台パラペットと桁端に大きな遊間が必要とされている。このような橋梁では桁がストラットのような状態になることは従来よりも期待できないものと考えられる。

3. 道路橋橋台の被災要因分析

3.1 橋台被災ランクの定義

橋台の被災程度は、天端位置での変位量や沈下量といった実測値を用いて表されることが最も望ましいが、変位量等が測定されている事例は限られている。そこで今回の検討では、表-3 に示すように、被災の程度を被災ランクと呼ぶ指標で表すこととした。被災ランクは震後に橋の供用が可能か否かに着目した4段階で設定され、数字が大きいランクが被災の程度が甚大であるように分類された。この指標は、土木構造物復旧マニュアル(案)¹³⁾に示された橋梁の被災判定方法や道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編¹⁰⁾で規定される橋梁の耐震性能を参考に設定したものである。

被災ランクは、文献調査で得られた損傷報告から判断して定めることとした。したがって、実際の被災後の供用、修復状況とは多少異なる可能性があることに注意されたい。

被災ランクの具体的な判定方法は以下のとおりである。被災の殆どない橋台もしくは前節の写真-1、2のように被災状況が伸縮装置の遊間の減少や支承の破損にとどまり、「車両通行可能」と考えられるレベルをランク1、橋台自体の過度の移動はないが、写真-3上のように背面取付道路等の若干の沈下が生じた場合をランク2とした。写真-3下のような通行が一時不可能となるような過大な背面地盤の沈下、橋台の水平移動を伴う被災をランク3とし、さらに変位が進み写真-4の東魚崎大橋のような躯体の破壊を伴う移動が見られた場合をランク4とした。各被災ランクに対応する橋梁数を表-4に示す。

3.2 橋台構造条件と被災ランクの関係

前項で定義した被災ランクと調査橋台の構造条件に関するパラメータの相関性を整理した。竣工年度毎の被災橋台基数と被災ランクの関係を図-6に、基礎形式・杭種別と被災ランクとの関係を図-7にそれぞれ示す。被災を受けていない橋梁も含めた母集団に対する割合で評価しても傾向が変わらないと仮定すれば、昭和47年以前に竣工した橋台の被災が多い。昭和47年以前の基礎の耐震設計では、地盤の液状化発生の影響を考慮していなかったのが原因の一つであると考えられる。基礎形式別では、RCやPC杭を採用した橋台が被災ランク3以上の基数と被災橋台数に占める割合がともに大きい。しかし、昭和47年以前と以後では杭種別の使用実績が異なると考えられること、地盤条件によっても使用される杭種の実績が異なると考えられることから、後述の図-14においてさらに分析を行う。

なお、直接基礎での大きな被災事例は、ケーソン上に設置された直接基礎¹¹⁾、斜面上の小規模橋台で斜面滑りにより安定が損なわれたものであった。

次に、支承条件が被災ランクに及ぼす影響を調べる。図-8に示すように支承条件の違いによる被災ランクにも差異は見られない。これは地震力と橋梁（もしくは幹線道路）との方向性の影響もあると考えられるため、将来、さらに検討が必要である。しかし、2.2にて既に述べたように、被災の形態の特徴としては、可動沓側は上部工の過大な移動によりストッパーが破損してバラベットと衝突した被災が多く、一方、固定沓側は上部工の慣性力により支承のアンカー部で破損するケースが多かった。

次に、橋台高さ毎に被災基数を整理したものを図-9に示す。大きな慣性力が作用したであろう高橋

台で大きな被災が生じていない点が特徴的である。一般に地盤条件が悪い場合には作用荷重を小さくするために橋台高さを低く抑え、地盤条件が良い場合は高さが高い橋台を許容することが多い。すなわち、高さが高い橋台に大きな被災が少なかった理由は比較的良好な地盤条件のところに立地されていたためと推測される。

3.3 地盤条件と被災ランクの関係

地盤の液状化の可能性に関する地盤条件を表す指標として、換算液状化層厚を用いることにした。換算液状化層厚 H_E は、平成 3 年の震災点検において用いられた点検項目の 1 つで、以下のように表される。

$$H_E = H_1^* + H_2^* \quad (1)$$

ここに、 H_E が換算液状化層厚(m)、 H_1^* が深度 10 m までの層の換算液状化層厚(m)、 H_2^* が深度 10～20 m までの層の換算液状化層厚(m)である。深度は、フーチング下面位置を起点としている。 H_1^* 、 H_2^* は、次式で算出する。

$$H_1^* = 1.5H_{FL1} + 1.0H_{FL2} + 0.5H_{FL3} \quad (2)$$

$$H_2^* = 1.0H_{FL1} + 0.5H_{FL2} \quad (3)$$

ここに、 H_{FL1} は液状化に対する抵抗率 F_L が 0.6 以下となる土層の層厚の合計(m)、 H_{FL2} は F_L が $0.6 < F_L \leq 0.8$ となる土層の層厚の合計(m)、 H_{FL3} は F_L が $F_L > 0.8$ となる土層の層厚の合計(m)のように定める。なお、 F_L の計算は平成 14 年改訂の道路橋示方書 V 耐震設計編の規定による。

図-10 は、全 176 橋のうち地盤条件の判る 62 橋に対して換算液状化層厚と被災ランクとの関係を地震別に示したものである。被災ランクは、地震によらず換算液状化層厚 H_E に比例した傾向を呈している。

しかし、兵庫県南部地震で被災した御影大橋西側橋(ランク 4: $H_E = 6.8$ m)や中州橋(ランク 3: $H_E = 2.2$ m)、十勝沖地震で被災した明野一号橋(ランク 4: $H_E = 3.1$ m)は、この傾向を超える被災を受けている。この理由は次のように考えられる。御影大橋西側橋は、杭頭部から 4.6 m 程度の範囲で液状化層($F_L = 0.45$)が存在する。換算液状化層厚は、液状化の程度 F_L と液状化層の深度を重みとして評価するものではあるが、同橋では液状化の程度が激しかった砂層が杭頭付近にのみ集中していたため、上式で設定した重み係数以上に橋台基礎の安定に与えた影響が大きかったものと考えられる。一方、明野一号橋は、フーチング下面以深の液状化層は薄い(3.5 m 程度)が、橋台背面土(砂層)が液状化し土圧が過大になり滑動したと当時の調査でも報告されている。したがって、換算液状化層厚で考慮できない要因が主たる被災要因であったためと考えられる。また、中州橋では、GL-5 m 以深から液状化層($F_L = 0.90$)が 4.4 m 程度の厚さで堆積し、その下位におよそ 11 m の厚さで N 値 2 程度の軟弱な粘性土層が堆積する地盤の構成となっていたため、換算液状化層厚が比較的小さくても液状化の発生により軟弱粘性土層が荷重負担する状態になり、橋台の変位が増大して被災が大きくなったものと考えられる。よって、被災程度と換算液状化層厚は一般に良い相関があると結論づけられる。

次に、 N 値が 1～3 程度の軟弱地盤に立地する橋台に対して粘性土層と被災ランクに着目して整理を行った。フーチング下面から深度 20 m までの間において軟弱な粘性土層厚が占める割合の大きな地盤上の橋台を抽出し、粘性土層厚と被災ランクの関係を整理した結果を図-11 に示す。被災ランクとの関係は明確ではない。この図中の被災ランク 3 を示した中州橋の地盤は上述したように N 値が 2 の軟弱な粘性土が主体であるが、液状化層の存在により、被災の程度が増大したものと考えられる。したがって、単に軟弱層が厚いというだけでは地震による大きな被災が生じるとは言えず、それに加えて液状化層の存在が大きな被災を引き起こす原因であると考えられる。

図-12 に、橋台の支承条件（固定、可動）の違いが換算液状化層厚と被災ランクの关系到及ぼす影響を調べた結果を示す。限られたデータではあるが、可動支承では換算液状化層厚の増加に伴って被災の程度が増大する傾向にあるのに対し、固定支承の橋台では、相関が得られないようである。

さらに、図-13 は、換算液状化層厚と被災ランクの関係を橋台高さ別に整理したものである。同じ換算液状化層厚であれば橋台高さが高いほど被災の程度も大きくなり、また、橋台高さと同じであれば換算液状化層厚が大きいほど被災の程度も大きくなる傾向が明らかになった。

図-14 に、被災基数の多かった昭和 47 年以前に竣工した橋梁に関して換算液状化層厚と被災ランクの関係を杭種別に整理したものを示す。RC や PC 杭以外の基礎形式のデータは少ないが、杭種の違いよりも、液状化の程度の違いが被災ランクの違いに対して影響を与えたことがわかる。

4. まとめと今後の課題

本資料では、既往の震災で橋台にも被災事例が数多くあったことを明らかにした。またその被災状況から橋台の代表的な被災形態を示した。次に、被災程度と地盤条件との間には定性的な相関性があり、特に、地盤の液状化の発生が橋台の耐震性に大きく影響することを明らかにした。しかし、今回の調査では、被災程度の定量的な評価には至っていない。これは、現存する情報において 1) 橋梁位置の地盤条件を特定することが困難であること、2) 橋台の構造諸元の情報が乏しいこと、そして 3) 震後の被災状況調査で移動量の実測結果が少なかったことなどが挙げられる。また、無被災事例と被災事例の両者を比較・分析し、何が被災をもたらす要因であるのかを検討するのがさらに望ましいと考えられる。

今後、合理的な耐震設計手法を整備するためには、構造物の被災の震後調査をさらに充実させ、上記に示した情報についても記録され、それを基に被災発生メカニズムが解明されることが期待される。

謝辞：本研究は、平成 11 年度、12 年度に（社）日本道路協会橋梁委員会下部構造小委員会に設置された橋台の耐震設計法 SWG での検討の一部をまとめたものである。有益な助言をいただいた SWG で活動された委員各位、また、貴重な調査資料を提供していただいた関係自治体に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会新潟震災調査委員会編：昭和 39 年 新潟地震災害調査報告，1996.
- 2) 十勝地震調査委員会：1968 年十勝沖地震調査報告書，1969.
- 3) 建設省土木研究所：1968 年十勝沖地震災害調査報告，土木研究所報告，第 141 号，1971.
- 4) 土木学会：1983 年日本海中部地震震害調査報告書，1986.
- 5) 建設省土木研究所：平成 5 年（1993 年）釧路沖地震災害調査報告，第 193 号，土木研究所報告，1994.
- 6) 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 第 1 章橋梁，土木学会ほか，1996.
- 7) 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 第 4 章基礎構造物，土木学会ほか，1998.
- 8) (社) 全国防災協会：7-2 宮川大橋橋梁被害採択事例集，pp. 265-299，平成 7 年発生災害事例集，1995.
- 9) (社) 建設コンサルタンツ協会 中国支部：鳥取県西部地震被災調査報告書，2000.
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，丸善，2002.
- 11) 山崎聡一：神戸市における橋梁基礎の被害と復旧，基礎工，pp. 52-60, Vol. 24, No. 8, 1996.
- 12) 建設省土木研究所：平成 12 年（2000 年）鳥取西部地震緊急調査報告書，土木研究所資料，第 3769 号，2000.
- 13) 建設省監修：土木構造物の震災復旧技術マニュアル（案），財団法人土木研究センター，1986.

表-1 調査橋梁数

調査地震	発生年月日	マグニチュード	調査橋梁数	備考
新潟地震	1964.6	7.5	11	タイプⅠ地震動
十勝沖地震	1968.5	7.9	17	〃
日本海中部地震	1983.5	7.7	26	〃
釧路沖地震	1993.1	7.8	14	〃
兵庫県南部地震	1995.1	7.2	101	タイプⅡ地震動
鳥取西部地震	2000.10	7.3	7	〃
集 計			176	

表-2 被災した橋台とその被災メカニズム

被災形態	慣性力と地盤液状化に起因した 被災形態(a)	地盤流動による被災	
	被災形態(a)	被災形態(b)	被災形態(c)
想定した被災のメカニズム	橋の移動 橋台の水平移動 主働+地盤 流動 液状化による水平支持力の喪失	橋の移動 支点を中心とした回転 支持地盤の液状化 流動	流動 支持地盤の液状化によるせん断抵抗力の低減
主な被災事例	御影大橋西側橋, 東魚崎大橋	夢みなと橋, 宮川大橋, 明野一号橋	

表-3 被災程度と被災ランクの対応表

橋台の損傷状況	軽微	中～大規模		甚大
供用性	交通規制なし	重量制限 速度制限	一時交通止(仮受等による応急復旧)	通行止
修復性	ひび割れ程度の軽微な修復	容易に恒久復旧を行うことが可能	大がかりな恒久復旧が必要	撤去・再構築
橋台の損傷内容	・伸縮遊間の減少 ・パラベットのひび割れ	・橋台背面盛土の軽微な沈下	・橋台の水平移動・傾斜 ・橋台背面盛土の過大な沈下	・過大な橋台の水平移動・傾斜 ・躯体の破壊
耐震性能	耐震性能1	耐震性能2		耐震性能3
被災ランク	1	2	3	4

表-4 主な被災の特徴

被災項目	全地震合計	被災程度
(0) 橋台に被災は生じていない	29 /176橋	被災ランク1相当
(1) 伸縮装置遊間の減少	28 /176橋	
(2) 支承モルタルの損傷	33 /176橋	
(3) 支承本体の損傷	24 /176橋	
(4) ストッパー、アンカーバーの損傷	17 /176橋	
(5) パラベットのひび割れ	16 /176橋	
(6) 橋台背面盛土の沈下(数日の復旧工事で供用可能レベル)	21 /176橋	被災ランク2相当
(7) 橋台本体の軽微な移動・沈下(重量制限等で供用できる程度)	23 /176橋	
(8) 橋台周辺地盤(前面護岸等)の沈下・水平変位	11 /176橋	
(8) 橋台躯体の軽微なひび・欠損	27 /176橋	
(9) 橋台本体の水平変位・傾斜(～50cm)	5 /176橋	被災ランク3相当
(10) 橋台の移動を伴う橋台背面盛土の沈下	6 /176橋	
(11) パラベットの破壊(鉄筋露出)	4 /176橋	
(12) 躯体の損傷(躯体の大きなひび割れ)、パイルベント杭の損傷	12 /176橋	
(13) 躯体の破壊(躯体のせん断破壊)	4 /176橋	被災ランク4相当
(14) 橋台本体の過大な移動・傾斜(50cm以上)	8 /176橋	
(15) 落橋	2 /176橋	

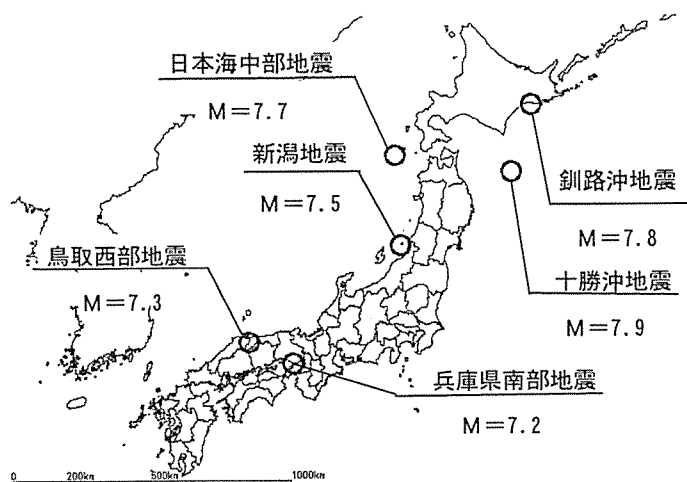


図-1 調査の対象とした地震

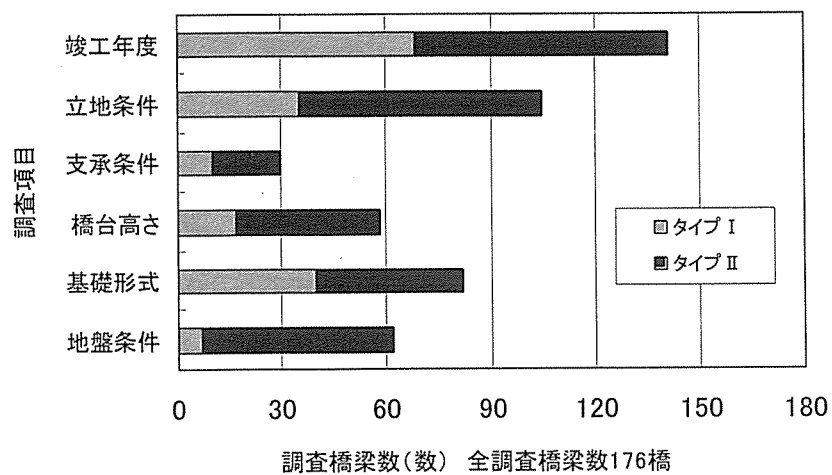


図-2 被災分析の対象とした橋台の調査項目

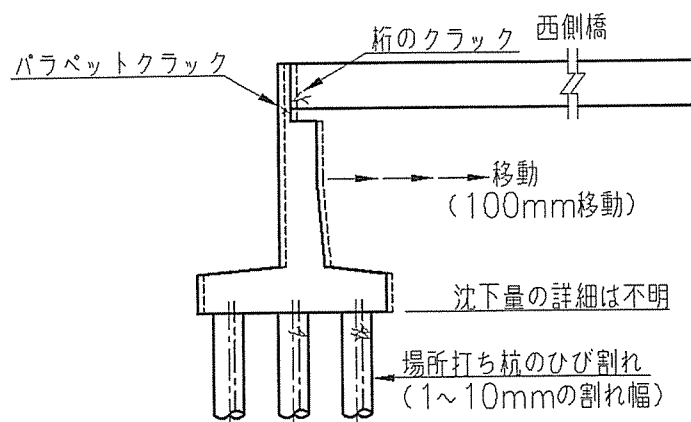


図-3 御影大橋西側橋の被災状況 ¹¹⁾

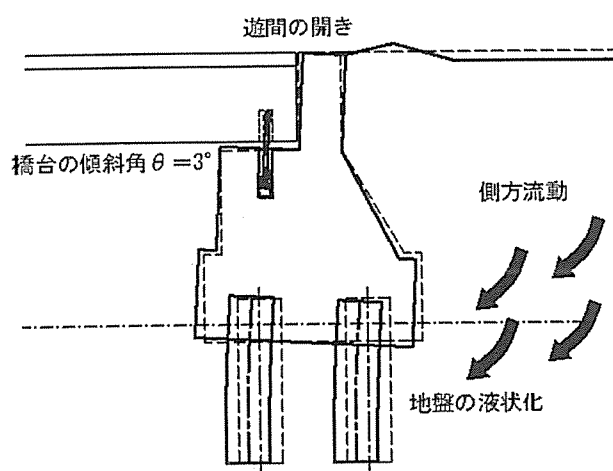


図-4 夢みなと橋の被災状況 ¹²⁾

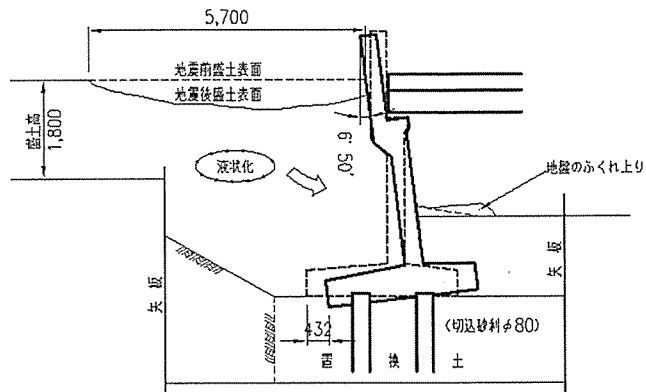


図-5 明野一号橋の被災状況³⁾

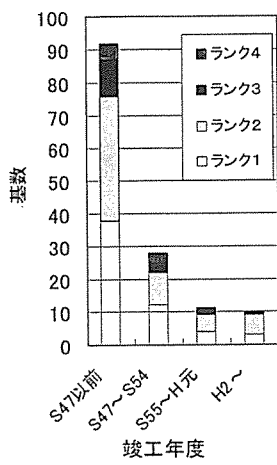


図-6 竣工年度と被災橋台基数の関係

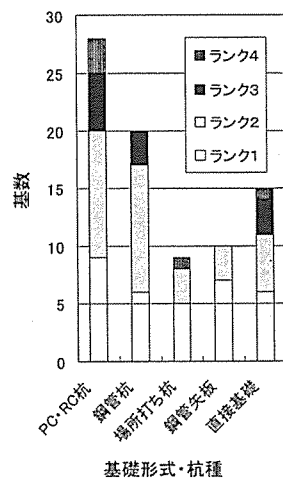


図-7 基礎形式と被災橋台基数の関係

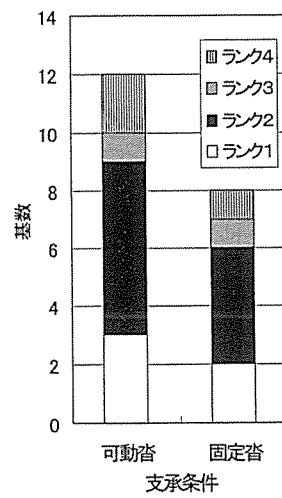


図-8 支承条件と被災橋台基数の関係

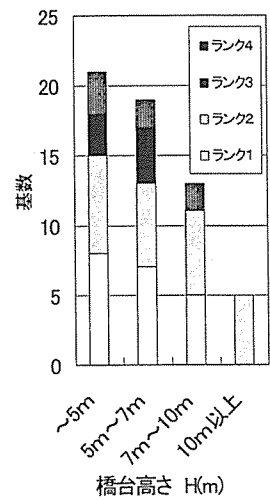


図-9 橋台高さと被災橋台基数の関係

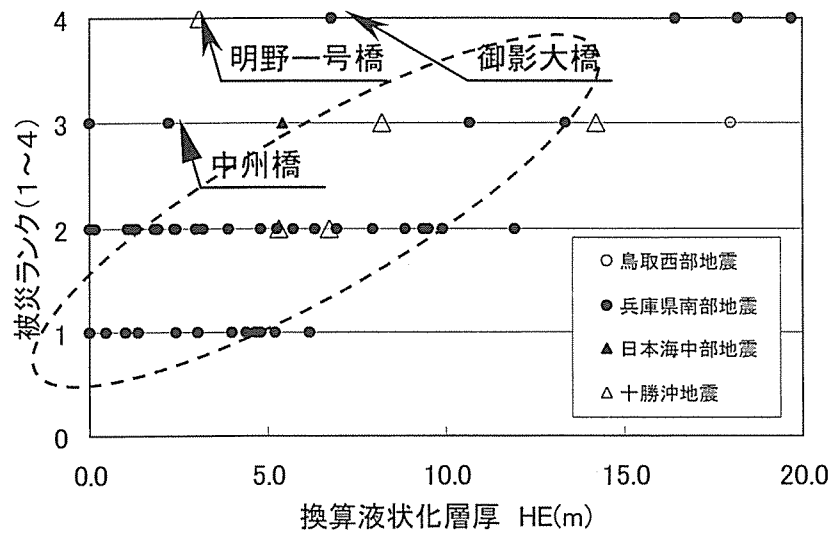


図-10 換算液状化層厚と被災ランクの相関

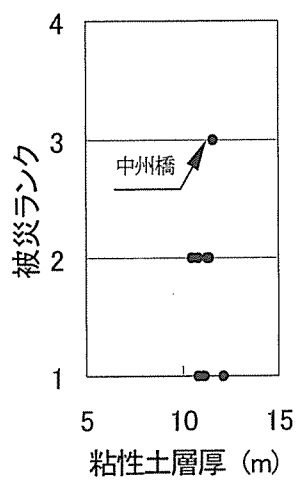


図-11 粘性土層厚と被災ランクの関係

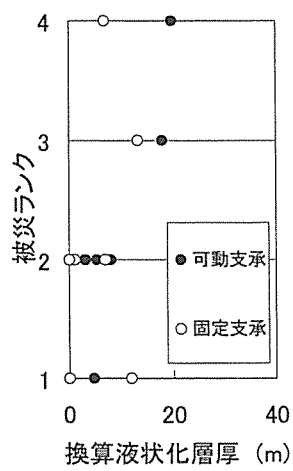


図-12 換算液状化層厚および支承条件と被災ランクの関係

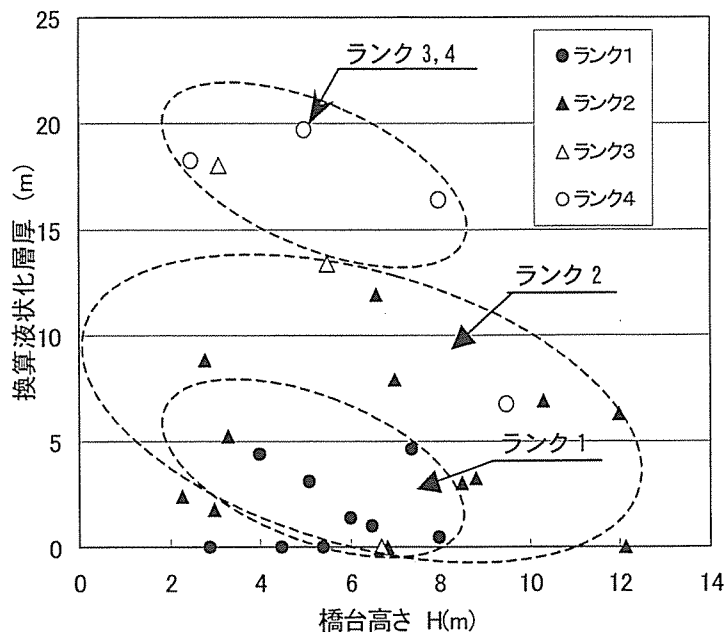


図-13 橋台高さおよび換算液状化層厚と被災ランクの関係

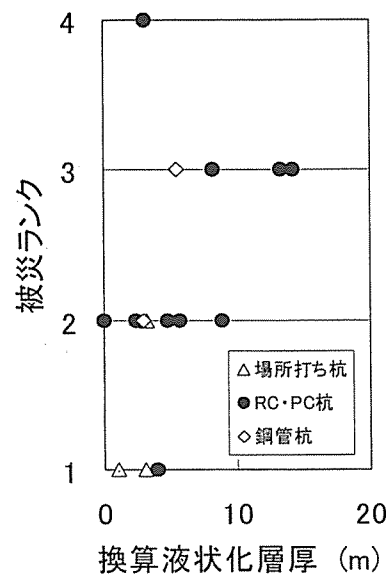


図-14 換算液状化層厚と被災ランクの関係
(S47 以前 基礎形式別)

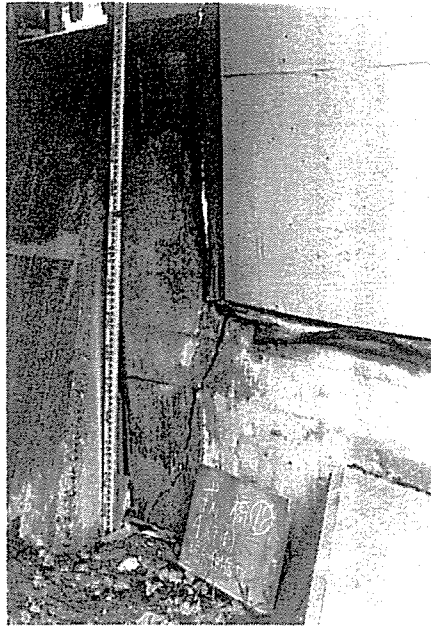


写真-1 可動沓の損傷（兵庫県；戒橋；兵庫県南部地震）

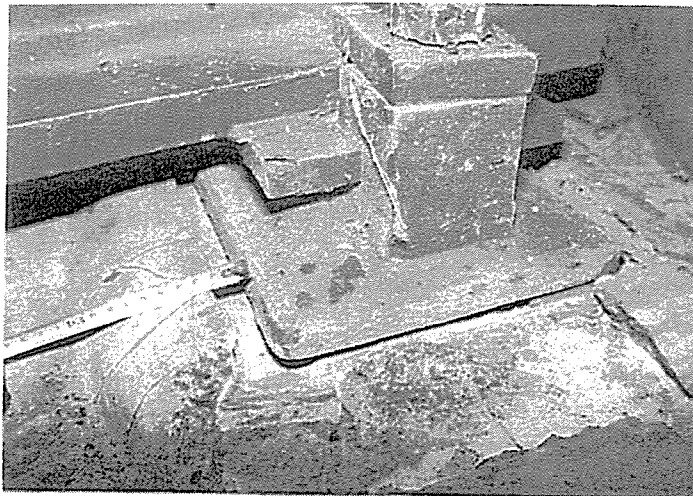


写真-2 固定沓の破損（北海道；光橋；釧路沖地震）⁵⁾



(兵庫県；末広橋；兵庫県南部地震)



(北海道；鶴厚内橋；釧路沖地震)⁵⁾

写真-3 取付道路の沈下事例

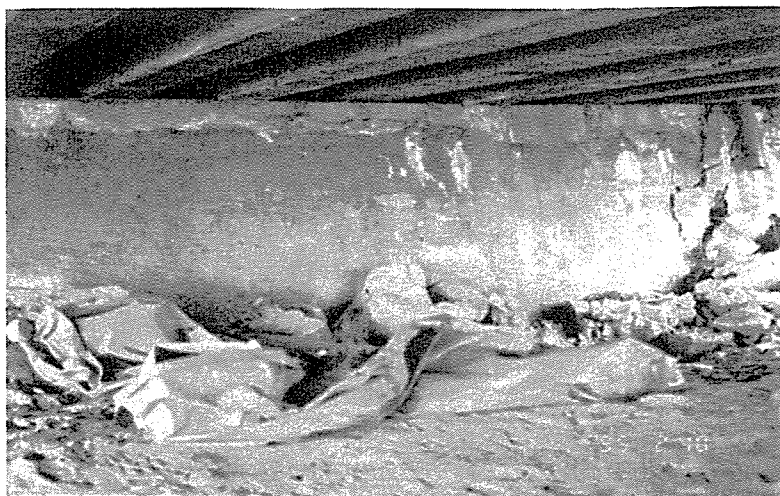


写真-4 東魚崎大橋の被災状況¹¹⁾ (兵庫県南部地震)

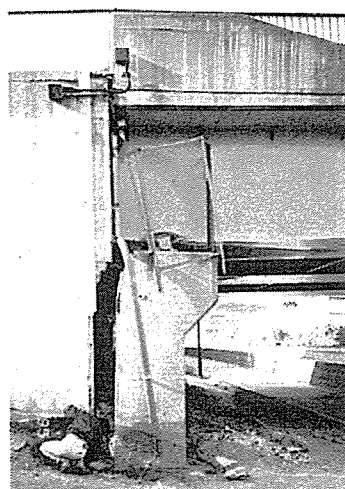
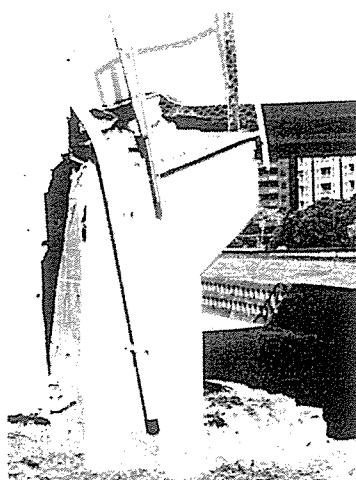


写真-5 宮川大橋の被災状況⁸⁾ (兵庫県南部地震)