

土木研究所資料

橋梁の耐震性判定法に関する研究

——(その1)外観からの調査を基本とした耐震性判定法——

Assesment of Seismic Safety of Existing Bridges

——Part 1. Assesment of Seismic Safety of Existing Bridges
from the outside view. ——

昭和62年1月

建設省土木研究所
地震防災部耐震研究室

Copyright © 1987 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 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承認を得ずしてこれを行ってはならない。

橋梁の耐震性判定法に関する研究

——(その1)外観からの調査を基本とした耐震性判定法——

耐震研究室 室 長 川 島 一 彦

研究員 運 上 茂 樹

吾 田 洋 一

要 旨

1923年の関東地震以後現在までに約3000橋の道路橋が地震により何らかの被害を受けており、このうち15橋が落橋という事態に至っている。被害地震を経験した永久橋の全数に比べれば、落橋もしくは架替の必要が生じた永久橋の橋数はわずかであるが、一般に橋梁の被害は、避難路あるいは緊急物資輸送のための輸送路としての道路の機能を喪失せしめると共に、復旧に多大な労力と日数を要し、地域社会、地域経済に与える影響が大きい。

既設橋梁の耐震性を考える場合、既往の地震による被害等を調査分析し、これをもとに橋梁の被害を予測することは重要な課題である。本報告は、既往の耐震性判定法を調査するとともに、既往地震による被害橋の因子分析、及び財団法人日本道路協会から提案されている耐震性判定法の適用性を検討した結果をとりまとめたものである。

キーワード：耐震性判定法，因子分析，道路橋，橋梁

目 次

1. 概 要	1
2. 既往の耐震性判定法	4
3. 耐震性に影響を与える因子の抽出	28
4. 日本道路協会（昭和61年）の耐震調査法の適用性の検討	42
5. 結 論	44
参 考 文 献	45
付 属 資 料	47

1. 概 要

既設橋梁の耐震性を考える場合、既往の地震による被害等を調査分析し、これをもとに橋梁の被害を予測し、何らかの対策を講じていくことは重要な課題である。

1923年の関東地震以後、現在までに約3,000橋の道路橋が地震により何らかの被害を受けており、このうち15橋が落橋という事態に至っている²⁾(表1.1参照)。被害地震を経験した永久橋の全数に比べれば、落橋もしくは架替の必要の生じた永久橋の橋数はわずかであるが、一般に橋梁の被害は、避難路あるいは緊急物資輸送のための輸送路としての道路の機能を喪失せしめると共に、復旧に多大な労力と日数を要し、地域社会、地域経済に与える影響は大きく、事前の震災対策が強く望まれている。

表 1.1 道路橋(鋼橋、コンクリート橋)にかなりの被害を与えた14地震とその被害の概要²⁾

地震発生年月日	地 震 名	M ^{*1}	被 害 橋 数	落 橋 数
1923. 9. 1	関 東	7.9	1,785 ^{*2}	15 ^{*3}
1946. 12. 21	南 海	8.1	346	1
1948. 6. 28	福 井	7.3	243	4
1949. 12. 26	今 市	6.4	1	0
1952. 3. 4	十 勝 沖	8.1	128	0
1962. 4. 30	宮 城 県 北	6.5	187	0
1964. 6. 16	新 潟	7.5	98	3
1968. 2. 21	え び の	6.1	10	0
1968. 5. 16	十 勝 沖	7.9	101	0
1978. 1. 14	伊豆大島近海	7.0	7	0
1978. 6. 12	宮 城 県 沖	7.4	95	1
1982. 3. 21	浦 河 沖	7.1	5	0
1983. 5. 26	日 本 海 中 部	7.7	176	0
1984. 9. 14	長 野 県 西 部	6.8	14	0
合 計			3,191	24

*1 M(マグニチュード)は、理科年表または気象庁によった。

*2 火災による被害橋(約400橋)を含む。

*3 火災による落橋(9橋)を含む。

既往の地震による被害を調査してみると、その被害の有無及び程度は、地震の規模、震央距離等の地震条件、地盤条件、及び橋の構造条件等に支配されると考えられる。また、地震による橋梁の被害を契機として耐震設計法が進歩・拡充され、そのため全体としては被害が減少する傾向にあるが、同時に従来目立たなかった被害形態が新しく現われてくるというように、耐震設計法の変遷に伴う被害形態の質的な変化を生じてきていることが指摘されている²⁾(表1.2参照)。

本報告は、地震に対する橋梁構造物の耐震性を複雑な計算をすることなしに、外観等から簡便

表 1.2 耐震設計関連の規定の変遷と道路橋の被害形態の変化²⁾

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	耐 震 点 検
1920	1923 関東地震 (M 7.9)	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 (M 8.1) 1948 福井地震 (M 7.3)			
1950	1952 十勝沖地震 (M 8.1)	固定支承における橋座の欠け落ち	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)	
1960	1964 新潟地震 (M 7.5)	液状化による被害		
1970	1978 宮城県沖地震 (M 7.4)	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)	1971 耐震点検 (S 46)
1980	1982 浦河沖地震 (M 7.1) 1983 日本海中部地震 (M 7.7)		1980 液状化に対する設計の考え方の導入。鉄筋段落とし部の設計法。(昭和55年道路橋示方書)	1976 耐震点検 (S 51) 1979 耐震点検 (S 54) 1986 耐震点検 (S 61)
1990				

に把握することのできる耐震性判定法の開発を目的として、既往の耐震性判定法の調査を行なうとともに、過去の地震により被害を受けた橋梁について被害の因子分析を行なった。また、既往の橋梁の耐震性判定法の中で最も多岐にわたる調査項目を含み、比較的簡易な計算で耐震性を判定できる昭和 61 年日本道路協会の手法を用いて、昭和 53 年宮城県沖地震他により被害を受けた橋梁を解析し、その適用性及び今後の問題点を検討した結果をとりまとめたものである。

2. 既往の耐震性判定法

現在までに提案あるいは実用されている主要な耐震性判定法を示すと表 2.1 のようになる。これらの手法は、いずれも多数の橋の耐震性判定を目的としており、このため、地震に対する危険性の程度を複雑な計算をすることなく、外観等から簡易な評価項目で把握しようとするものである。また、このため、あるものはまず簡便な方法で 1 次調査を行った後、耐震性が相対的に劣ると判断された橋梁についてのみ、より詳細な 2 次調査を行なうようにしている手法もある。

表 2.1 主要な道路橋耐震判定法

No	名 称	年 月	作 成 機 関
1	東京都防災会議・橋梁耐震検討委員会	昭和 51 年 3 月	東 京 都
2	耐震点検調査票（案）	昭和 51 年 5 月	建 設 省 土 木 研 究 所
3	所管施設の地震に対する安全性に関する点検	昭和 51 年 7 月	建設省都市局・道路局
4	昭和 54 年道路橋耐震点検調査法	昭和 54 年 2 月	建設省都市局・道路局
5	橋梁耐震調査要領	昭和 54 年 9 月	日 本 道 路 協 会
6	橋梁耐震性調査法（デルファイ法）	昭和 60 年 7 月	地震予知総合研究振興会
7	橋梁耐震性調査法	昭和 61 年 3 月	日 本 道 路 協 会
8	昭和 61 年道路橋耐震点検調査法	昭和 61 年 3 月	建設省都市局・道路局

表 2.2 は、表 2.1 のうち、主要な 6 種類の耐震性判定法で考慮されている調査項目を比較したものである。これによれば、いずれの手法も上部構造形式，上部工支持条件，地盤条件，下部工の変状等を基本的な調査項目とし，これに上下部構造の構造特性及び強度特性を加味して判断基準としている。したがって，これらの手法間で調査項目に本質的な違いがある訳ではなく，基本的な判断根拠には共通のものが多い。ただし，最終的な耐震性の評価手法には，大きく分けて次の 3 種類の手法がある。

- Ⅰ) 他の項目がいかに耐震性に優れていても，ある項目が不十分な場合には，全体の耐震性が低いと判定する方法
- Ⅱ) 全項目の総合で耐震性を評価する方法
- Ⅲ) Ⅰ) と Ⅱ) を併用する方法

ここで，Ⅰ) の方法は，いずれかの項目が要求レベル以下であれば，ただちに耐震性が低いと判定する訳であり，極めて明解でわかりやすい方法といえることができる。しかしながら，ある項

表 2.2 (1) 主要な耐震点検法の点検項目の比較

大項目	小項目	1. 東京都	2. 建設省土木研究所	4. 建設省都市局・道路局 (昭和54年)	8. 建設省都市局・道路局 (昭和61年)	5. 日本道路協会 (昭和54年)	7. 日本道路協会 (昭和61年)
上部構造	上部構造形式	○アーチ・ラーメン ○連続橋 ○単純・ゲルバー	○外的不特定 ○外的特定	記	記	○ゲルバー桁・2径間以上の単純支持 ○1径間単純支持 (15m以上)・2径間以上の連続打 ○上流、中流アーチ・ラーメン、1径間の連続桁・斜張橋・吊橋	○ゲルバー桁・2径間以上の単純支持 ○1径間単純支持 (15m以上)・2径間以上の連続打 ○上流、中流アーチ・ラーメン、1径間の連続桁・斜張橋・吊橋
	上部構造支持条件	支 承	○支承の腐蝕 ○落橋防止構造なし ○移動制限装置、支承縁端距離の確保、隣接桁間連結のうちいずれか1つ ○移動制限装置、支承縁端距離の確保、或いは隣接桁間連結を併用	支 承 部 の 変 状 ○支承の損傷の有無 ○アンカーボルトの抜け出しの有無 ○各座の破損の有無 ○異常な変位の有無	支 承 部 の 変 状 ○支承の損傷の有無 ○アンカーボルトの抜け出しの有無 ○各座の破損の有無 ○異常な変位の有無	支 承 部 の 変 状 ○重大な欠陥あり ○軽微なもの ○なし	支 承 部 の 変 状 ○重大な欠陥あり ○軽微なもの ○なし
		天 橋	○広い (A/S $\geq$ 1) ○狭い (A/S<1)	○移動制限装置の有無 ○各座の縁端距離が十分か不十分か ○桁連結装置の有無 (注) 直橋、斜橋、曲線橋に区分	○移動制限装置の有無 ○桁端から下部構造頂部縁端までの桁の長さ ○落橋防止装置の有無 (注) 直橋、斜橋、曲線橋に区分	○なし ○1種類 ○2種類以上	○なし ○1種類 ○2種類以上
		端 幅	ゲルバーのかき違い 注) A: 実距離 S: 縁端距離 D: A/60 (1~3種地盤) A/70 (4種地盤)				
		上部構造材料	—	記	記	○RC・PC ○鋼	○RC・PC ○鋼
	平面線形	—	斜角 ○60°以下 ○60°~90°	—	—	○斜橋・曲線橋 ○直橋	○斜橋・曲線橋 ○直橋
	縦断勾配	—	—	—	—	○6%以上 ○6%未満	○6%以上 ○6%未満
	径間数	○1 ○2以上 注) 連続桁は1径間 ゲルバーは吊りスパン、アンカーアームスパンの和	○11以上 ○4~10 ○2~3 ○1	記	記	—	—
	コンクリート桁等の異常	—	—	—	○クラック損傷の有無 ○変状位置、損傷程度	—	—
下部構造	地盤条件	地盤種別	○悪い ○やや悪い ○普通 ○良い	○飽和砂質土 ○極軟弱地盤 ○その他	○飽和砂質土 ○極軟弱地盤	地盤種別 ○1種地盤 ○2種地盤 ○3種地盤 ○4種地盤 液の動液化れ ○あり ○なし	地盤種別 ○1種地盤 ○2種地盤 ○3種地盤 ○4種地盤のうち極軟弱地盤 液の動液化れ ○あり ○なし
		液状化のおそれ	○無 ○おそれあり ○有	飽和砂質土の厚さ ○良い (層厚1m以下) ○中間 (層厚1~10m) ○悪い (層厚10m以上) 土の支持力 ○良い (A領域) ○中間 (B領域) ○悪い (C領域)	○飽和砂質土の液状化による影響の有無 注) 下部構造の根入れ深さと液状化層厚との関係により判定	極地軟弱地盤 ○4種地盤のうち極軟弱な地盤 ○その他 均一性 ○不均一 ○均一	支持地盤 ○不均一 ○均一
	下部構造条件	構造形式	○パイルベント ○支持基礎 ○その他	○パイルベント ○独立ケーソン ○RCラーメン ○無筋コンクリート ○レンガ造 ○石造	○パイルベント ○独立ケーソン ○RCラーメン ○無筋コンクリート ○レンガ造 ○石造	構形 ○パイルベント ○RCラーメン ○その他 構造式 ○大正15年昭和14年告示による無筋コンクリート (重力式橋台を除く) ○RC・PC・鋼・昭和31年告示以後の告示による無筋コンクリート、無筋重力式橋台	構形 ○パイルベント ○RCラーメン ○その他 構造式 ○大正15年昭和14年告示による無筋コンクリート (重力式橋台を除く) ○RC・PC・鋼・昭和31年告示以後の告示による無筋コンクリート、無筋重力式橋台
		材料					

表 2.2 (2) 主要な耐震点検法の点検項目の比較

大項目	小項目	1. 東京都	2. 建設省土木研究所	4. 建設省都市局・道路局 (昭和54年)	8. 建設省都市局・道路局 (昭和61年)	5. 日本道路協会 (昭和54年)	7. 日本道路協会 (昭和61年)
下部構造部	下部構造条件	構 造 材 料 ○レンガ、無筋コンクリート ○その他	構 造 材 料 ○レンガ ○無筋コンクリート ○鉄筋コンクリート・鋼			基 礎 工 法 ○木杭・レンガ積ケースン、石積ケースン、組替工法、不明 ○既製RC杭、ベダスタル杭、2脚ケースン ○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、一般ケースン	基 礎 工 法 ○木杭、レンガ積ケースン、石積ケースン、組替工法、不明 ○既製RC杭、ベダスタル杭、2脚ケースン ○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、一般ケースン
	下部構造の高さ	橋の台・橋脚の地表面高 ○5m以下 ○5～10m ○10m以上	下部工躯体部の高さ ○20m以上 ○18～20m ○16～18m ○14～16m ○12～14m ○10～12m ○7～10m ○5～7 ○5m以下	—	—	橋脚高さ ○10m以上 ○5m以上10m未満 ○5m未満	橋脚高さ ○10m以上 ○5m以上10m未満 ○5m未満
	橋脚躯体強度	—	—	○良い (A領域) ○中間 (B領域) ○悪い (C領域)	○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)	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)	摩擦杭 ○良い (安全率3以上) ○中間 (安全率1.5～3) ○悪い (安全率1.5以下)		
	下部工の変状	—	洗 刷 ○有 ○不明 ○無	○洗刷の有無 ○基礎の変位の有無 ○躯体の異常の有無	○洗刷の有無 ○基礎の変位の有無 ○躯体の異常の有無	洗 刷 ○有 ○無 躯体の異常 ○重大な欠陥あり ○軽微なもの ○なし 基礎の変状 ○有 ○無	洗 刷 ○有 ○無 躯体の異常 ○重大な欠陥あり ○軽微なもの ○なし 基礎の変状 ○有 ○無
	主鉄筋段落し部の強度	—	—	—	○せん断スパン比 ○地盤種別 ○主鉄筋段落し部の降伏強度に対する安全率 ○せん断応力度	—	○せん断スパン比 ○段落し部の曲げ引張りひわれ ○段落し部の降伏強度に対する安全率 ○せん断応力度
その他の条件	適用示方書	—	○大正15年道則細則又は昭和14年道示 ○昭和31年道示 ○昭和46年指針	記	記	○大正15年細則・昭和14年道示 ○昭和31年道示・昭和39年道示 ○昭和46年道示・昭和55年道示	○大正15年細則・昭和14年道示 ○昭和31年道示・昭和39年道示 ○昭和46年道示・昭和53年道示
	地域区分	—	○A地域 ○B地域 ○C地域	—	—	—	—
	交通量	—	○10,000台/日以上 ○5,000～10,000台/日 ○5,000台/日未満	記	記	—	—
	震度階	○震度5 ○震度5.5 ○震度6 ○震度6.5 ○震度7	—	—	—	—	—

備考 1) 以上の調査項目の他に、調査機関名、調査年月日、路線名、所在地、架橋位置、橋名等が記入される。
2) 建設省都市局・道路局の方法における「記」の意味は、点検項目には含まれないが、同時に調査されることを示す。

目の耐震性が満たされなくても、他の項目の耐震性が良好であれば、全体の耐震性が確保されるのではないかというのがⅡ)の考え方である。ただし、Ⅱ)の方法では、全項目を全て加味するために、ある致命的な項目があっても、他の項目により緩和されてしまうという欠点を有している。このため、Ⅰ)とⅡ)の方法を併用したのがⅢ)の方法である。

表 2.1 に示した調査法の中では、No 3, 4, 8 がⅠ)の代表例、No 1, 2 がⅡ)の代表例、No 5, 7 がⅢ)の代表例と、それぞれ、言うことができる。

以下に各手法の概要を点検フロー、点検票とともに示す。

1) 東京都防災会議・橋梁耐震検討委員会(久保・片山の方法)³⁾

この方法は、過去の橋梁震害の実例をもとに、橋梁が受けた震害の度合と、これに強く影響を与えたと思われる要素の関係を、数量化理論を用いて定量的に評価し、各要素を分類した項目ごとに求めた評価値の相乗値によって対象橋梁の耐震性を判定するものである。数量化理論による評価値を工学的判断をもって修正し、さらに落橋防止構造、連続桁などの項目を追加して、作成されたのが表 2.3 である。該当する評価点の積による総合得点により相対的な危険度を把握するものである。

2) 耐震点検調査票(案)

この方法は、昭和 46 年道路橋耐震設計指針以前の基準に従った橋梁を対象として、表 2.4 に示す調査票に従い、地域区分、交通量の重要度、及び適用示方書、構造形式等の構造条件の得点の加算合計点により表 2.5 を用いて判定するものである。

3) 昭和 51 年道路橋耐震調査法

この方法は、昭和 51 年耐震点検に用いられたものであり、表 2.6 に従い、特に構造物の変状、異常に着目して耐震性を判定する方法である。

4) 昭和 54 年道路橋耐震調査法⁴⁾

耐震点検は、図 2.1 のフローに従い、必要に応じて表 2.7 の耐震点検調査票を用いて行なうものである。下部工の耐震点検は 1 次点検と 2 次点検から成っており、1 次点検で大まかにふるい分けて、2 次点検でより詳細な耐震性の判定を行ない、対策の必要性の有無を判定するものとなっている。

5) 昭和 54 年日本道路協会橋梁耐震調査法¹⁾

過去の道路橋被災例を検討した結果、落橋等の致命的な被害原因は、上部工と下部工の相対的変位が大きくなったというような橋の変形に起因するものと、橋脚・橋台の破壊といった下部工の強度不足に起因するものとに分けられることから、変形に関する評価点と、強度に関する評価点に分けて総合点により耐震性を判定するものである。点検は、図 2.2 のフローに従い、必要に応じて表 2.8 の調査票を作成し、評価点 X, Y を用いて表 2.9 により 3 ランクに分類するものである。

6) 地震予知総合研究振興会方式³⁾

地震予知総合研究振興会では、デルファイ法により専門家の知識経験を基本にした橋梁の耐

震性評価手法を開発している。デルファイ法とは、もともとは技術や経済の予測に用いられてきた手法の1つである。ここでは、当該分野の専門家が自己の知識・経験に基づいて直観的に予測する手法が応用されており、表 2.10 及び表 2.11 に示すアンケート票を基本に図 2.3 に示すフロー図に従い、耐震性を判断している。

7) 昭和 61 年日本道路協会橋梁耐震性調査法²⁾

この方法は、昭和 54 年日本道路協会方式の特徴をそのまま取り入れるとともに近年の地震被害の特性を踏まえて調査項目に以下の追加、改良を加えて作成されたものである。

- a) 鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋段落し位置における定着長不足によるせん断破壊は、落橋等致命的な被害につながる可能性があるため、これに対する調査項目が新たに加えられている。
- b) 液状化の影響を液状化する土層の総厚のみで判定するのではなく、これと下部構造物の根入れ深さとの関係で判定するようにしている。

点検は、図 2.4 に示すフロー図に従い、必要な場合は表 2.12 に示す橋梁耐震調査票を作成するものであり、点検結果は、表 2.13 によって 3 ランクに分類される。

8) 昭和 61 年道路橋耐震調査法

耐震点検は、図 2.5 に示すフローに従い、必要に応じて表 2.14 の耐震点検票を用いて行なうものである。下部工の耐震点検は、1 次点検、2 次点検及び 3 次点検から成っており、1 次点検で大まかにふるい分けた上で、2 次点検及び 3 次点検（主鉄筋段落し部の強度に関する判定方法）でより詳細な耐震性の判定を行なうものとされている。

9) 鉄道橋耐震性判定法^{3), 6)}

道路橋とは多少性格を異にするが、民営鉄道施設地震防災研究会で作成された橋梁の耐震性判定法の概要を以下に示す。この手法の特徴は、橋梁の重要度と目視検査に重点をおき、最も危険と思われる橋梁からその安全度を照査していくことにある。耐震性評価のための項目は、橋梁の重要度、目視検査、想定加速度、径間、高さ、地盤条件、橋台・橋脚の材質及び基礎種別である。耐震性判定は、図 2.6 に示すフローに従い行なうこととされている。ここで、転倒、滑動、破壊の検討及び落橋判定は、表 2.15 に示す第 2 次調査により基礎の変状、欠陥、地盤条件、支持力に対する調査等の後に行なうものとされている。

表 2.3 久保・片山の方法における評価項目と評価値
(東京都防災会議・橋梁耐震検討委員会)

要素	項目	評価値	備考
地盤	1 種	0.5	地盤種別は「道路橋耐震設計指針」4.3(2)の区分による。
	2 種	1.0	
	3 種	1.5	
	4 種	1.8	
液状化	無	1.0	「道路橋耐震設計指針」3.7による。
	おそれあり	1.5	
	有	2.0	
桁構造	アーチ・ラーメン	1.0	
	連続桁	2.0	
	単純・ゲルバー	3.0	
支承	落下防止あり	0.6	ゲルバーに添接があれば落下防止ありとする。 M・Mは同一橋脚上の2つの可動支承の意味。
	普通	1.0	
	M ・ M	1.15	
橋台・橋脚の材料	$\leq 5 \text{ m}$	1.0	高さは橋台・橋脚の地表面高の最大値。
	$5 \sim 10 \text{ m}$	補間値	
	$\geq 10 \text{ m}$	1.7	
径間数	$= 1$	1.0	連続桁は1連が1径間。ゲルバーは吊りスパン、アンカーアームスパンの和。
	≥ 2	1.75	
天端幅	広い ($A/S \geq 1$)	0.8	A=実距離, S=「道耐震」5.2.2の値。 A=実距離, D=A/60(地盤1~3種), D=A/70(地盤4種)。
	狭い ($A/S < 1$)	1.2	
	ゲルバーのかけ 違い	$D \geq 1$	
		$D < 1$	
震度階	5	1.0	
	5.5	1.3	
	6	1.7	
	6.5	2.5	
	7	3.7	
基礎工	パイルベント以外	1.0	摩擦杭など明らかに弱体なものは1.4とする。
	パイルベント	1.4	
橋台・橋脚の材料	レンガ・無筋コンクリート	1.4	
	上記以外	1.0	

表 2.4 耐震点検調査票(案)(昭和51年5月建設省土木研究所)

耐震点検調査表 - 1 (橋 梁)				整 理 番 号	
① 地 建 名 都道府県名		② 調査担当 事務所名		③ 調 査 担当者名	
④ 橋 名		⑤ 路 線 名			
⑥ 地 名	県 郡 市 町 村				
⑦ 地 域 区 分	1 A地域 2 B地域 3 C地域				
⑧ 交 通 量	1 10,000台/日以上 2 5,000台/日～10,000台/日 3 5,000台/日未満				
⑨ 適用示方書	1 大正15年道構細則又は昭和14年鋼道示 2 昭和31年鋼道示 3 昭和46年道路橋耐震設計指針				
⑩ 地 盤	2.4 悪い 2.7 やや悪い 3.0 普通 3.3 良い				
⑪ 下 部 工	2.4 浮き基礎 3.0 支持基礎		⑫ 洗掘の有無	2.1 有 2.7 不明 3.0 無	
⑬ 上部工の構造形式	1.6 外的静定 2.0 外的不静定				
⑭ 上部工の支持条件	2.4 支承の逸脱 2.8 落橋防止構造なし 3.2 移動制限装置、支承縁端距離の確保隣接けた間連結のうちのいずれか1つ 4.0 移動制限装置と支承縁端距離の確保或いは隣接けた間連結を併用 4.8 移動制限装置、支承縁端距離の確保隣接けた間連結のすべてを併用				
⑮ 下部工躬体部の高さ (単位 m)	0.7 $20 \leq H$ 0.75 $18 \leq H < 20$ 0.8 $16 \leq H < 18$ 0.85 $14 \leq H < 16$ 0.9 $12 \leq H < 14$ 0.95 $10 \leq H < 12$ 1.0 $7 \leq H < 10$ 1.05 $5 \leq H < 7$ 1.1 $H < 5$				
⑯ 下 部 工 の 材 料	1.4 レンガ 1.6 無筋コンクリート 2.0 鉄筋コンクリート, 鋼				
⑰ 橋梁基礎部周辺の 自然斜面の傾斜	0.8 傾 斜 1.0 平 担				
⑱ 連 数	0.8 11以上 0.9 4～10連 1.0 2～3連 1.2 1連				
⑲ 斜 角	0.8 60°以下 1.0 60°～90°				
⑳ ⑦ + ⑧					
㉑ ⑨ + ⑩ + ⑪ + ⑫ + ⑬ + ⑭ + ⑮ + ⑯ + ⑰ + ⑱ + ⑲					
㉒ ㉑ + ㉑					

表 2.5 耐震点検判定基準案（昭和51年5月建設省土木研究所）

ラ ン ク	点 数	備 考
A	26 点以上	耐震上の問題は少ない
B	23 点以上 26 点未満	必要に応じて2次点検を行なう
C	23 点未満	必ず2次点検を行なう

表 2.6 昭和51年道路橋耐震調査法

チ ェ ッ ク 事 項 (I)	危 険 度		
	A	B	C
1. 橋脚レンガか無筋コンクリートである。			
2. 下部工コンクリートの肌落ち等が著しい。			
3. 橋台、橋脚周辺が、かなり洗掘を受けている。			
4. 支承が逸脱している。			
5. 縁端距離がS46耐震指針第5章第2節の規定を満してないか。落橋防止装置無。			
6. 支承部コンクリートが老朽し亀裂等が多い。			
7. アンカーボルトの腐蝕が著しい。			
8. 橋脚、橋台の傾斜、滑動、沈下がある。			
9. コンクリート桁又は床版に著しい亀裂がある。			
10. 鋼桁の母材に著しい変化がある。			
11. 木橋である。			
チ ェ ッ ク 事 項 (II)			
12. 昭和31年鋼道示、または47年道示によらないもの。			
※地域区分：「道路橋耐震設計指針」4.3標準設計水平震度の補正係数の地域区分に基き記入する。（トンネル、横断歩道橋も同じ） ※落橋防止装置とは「道路橋耐震設計指針」5.2落橋防止構造に規定するものをいう。（横断歩道橋も同じ） ※危険度ABCは下記により該当する区分に○印をつける。 危険度ABCの区分（トンネル、横断歩道橋も同じ） A：特に緊急に対策を講じる必要がある。（変状が非常に著しい） B：緊急に対策を講じる必要がある。（変状が著しい） C：対策を講じる必要がある。（変状がある） ※①⑤⑪⑫及び地域区分については、該当する場合○印をつける。			

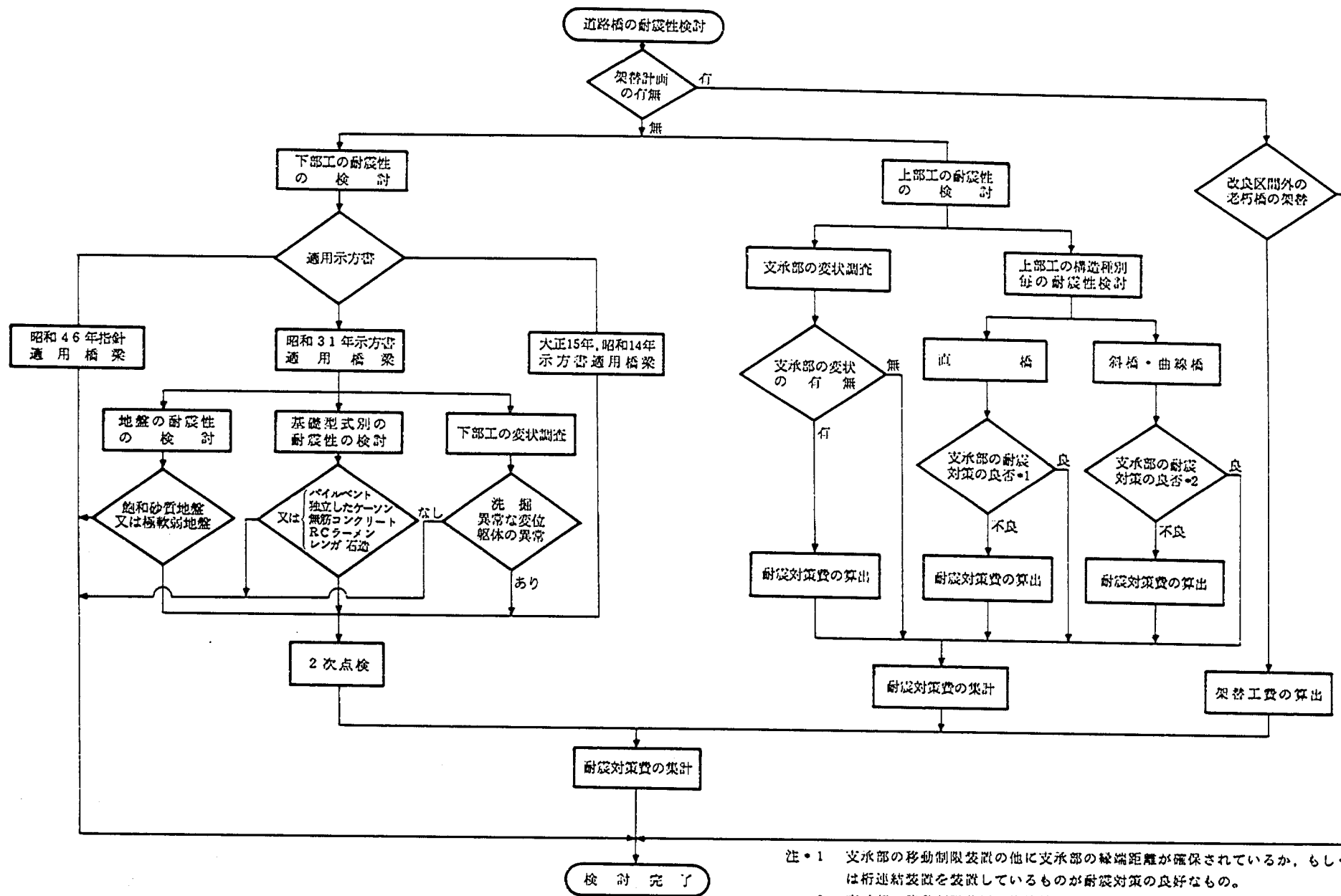


図 2.1 昭和 54 年道路橋耐震点検フロー

表 2.7 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), アンカーボルトの抜出し(あり), 沓座の破損(あり), 異常な変位(あり)			
		支 承 部 の 耐 震 装 置	直 橋	移動制限装置(あり), 沓座の縁端距離(十分), 桁連結装置(あり)		
			斜 橋 曲線橋	移動制限装置(あり), 沓座の縁端距離(十分), 桁連結装置(あり)		
	下 部 工	地盤の耐震性	飽和砂質地盤(はい), 極軟弱地盤(はい)			
		基礎の型式	パイルベント(はい), 独立した基礎(はい), 無筋コンクリート(はい), レンガ(はい), 石造(はい) 基礎(はい), ケーソン基礎(はい), RCラーメン躯体(はい), 造躯体(はい), 躯体(はい)			
		下部工の変状	洗掘(あり), 基礎の変位(あり), 躯体の異常(あり)			
	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						

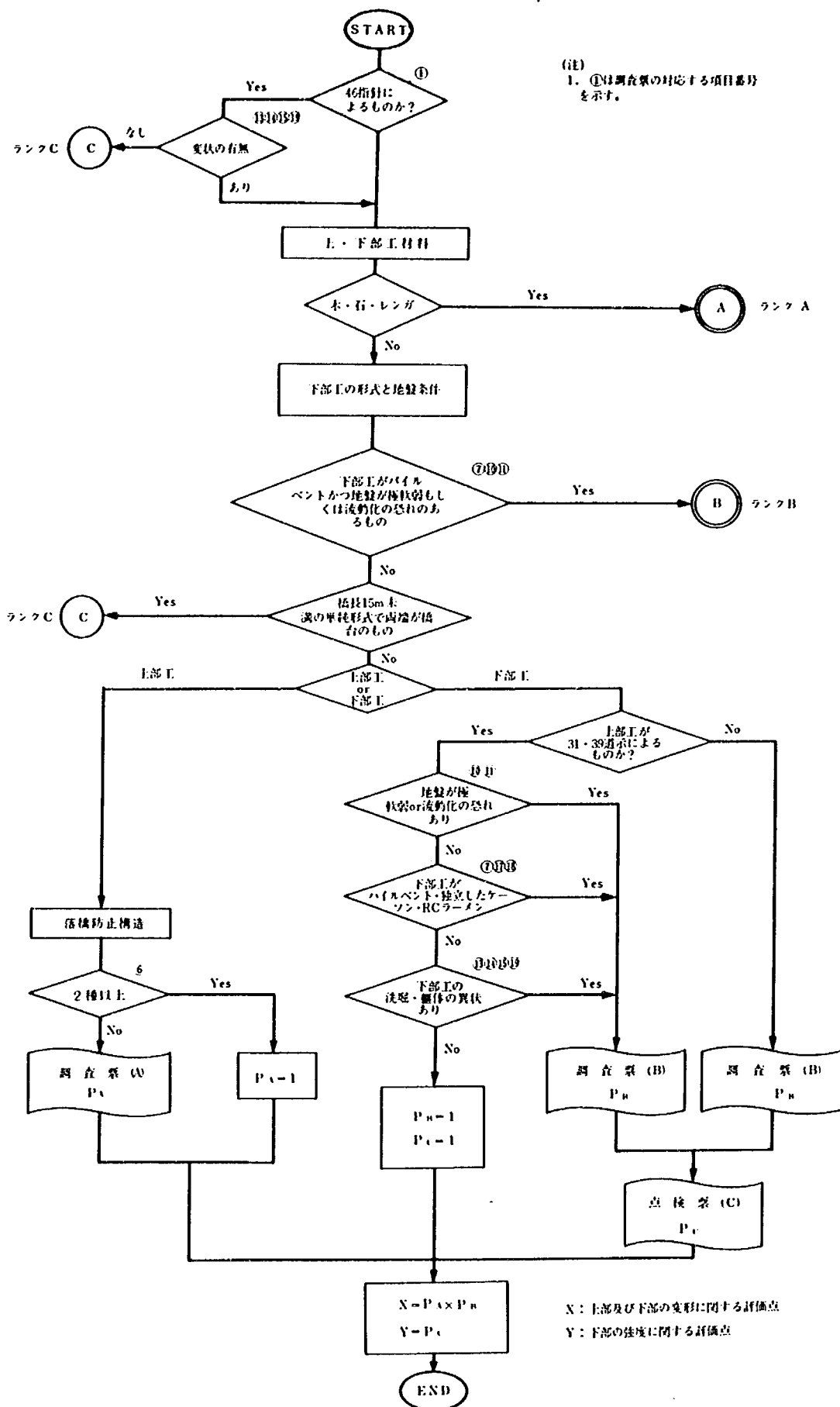


図 2.2 橋りょう耐震調査フロー (昭和 54 年 日本道路協会)

表 2.8 橋りょう耐震調査票(昭和54年日本道路協会)

橋 名		整理番号		路 線 名		
道路種別		橋 長		幅 員		
点 検 項 目						
橋 り ょう の 点 検	上 部 工 部	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		
		$P_A = ① \times ② \times ③ \times ④ \times ⑤ \times ⑥$	$P_A =$			
	(B) 下 部 工 部	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 掘	1.5 あ り	1.0 な し		
	$P_B = ⑦ \times ⑧ \times ⑨ \times ⑩ \times ⑪ \times ⑫ \times ⑬$	$P_B =$				
	(C) 下 部 工 部 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軀体の異常	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 ペデスタル杭・ 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		
		$P_C = ⑭ \times ⑮ \times ⑯ \times ⑰ \times ⑱ \times ⑲ \times ㉑$	$P_C =$			
評 価 点		$X = P_A \times P_B =$	$Y = P_C =$			

表 2.9 耐震調査結果の評価（昭和54年日本道路協会）

ラ ン ク	評 価 点	
	X	Y
A	60 以上	10 以上
B	40 以上 60 未満	5 以上 10 未満
C	40 未満	5 未満

表 2.10 地震予知総合研究振興会（デルファイ法）によるアンケート票 (1)

橋りょうの耐震性診断のための予備アンケート

診断のための情報・資料の準備

既存橋りょうの耐震性を診断する上で、着目すべき構造要素を以下に列記してあります。それぞれの構造要素について、一般的に予想される被害形態および被害の有無を判定するために必要な情報・資料についてお答え下さい。（現地視察および本アンケート実施の当日には、可能な情報・資料について閲覧して頂きます。）

1. 地 盤

予想される被害形態：

必要な情報資料：

2. 基 礎

予想される被害形態：

必要な情報資料：

3. 橋脚および橋台構造

予想される被害形態：

必要な情報資料：

4. 支承と桁構造

予想される被害形態：

必要な情報資料：

5. 桁 構 造

予想される被害形態：

必要な情報資料：

○以上のほかに、耐震性を診断するために必要な情報資料がありましたらご記入下さい。

表 2.11 (1) 地震予知総合研究振興会（デルファイ法）によるアンケート票 (2)

橋りょうの耐震診断アンケート

各橋りょうの耐震性を診断して頂くための前提条件は下記の通りです。

- (1) 想定する地震動は川崎市全域において気象庁震度階Ⅵとします。
- (2) 耐震性の診断は、想定する地震時に住民の避難行動あるいは緊急車両の通行などの応急活動に重大な支障があるか否かを主要な判断基準として行って下さい。

I. 地盤および構造各部分の耐震健全度の評価

現地視察および閲覧していただいた資料から地盤および構造各部分の耐震健全度を採点して下さい。また、採点の根拠などについてコメントを、お書き下さい。

ここで、耐震健全度は5、4、3、2、1の5段階とし、健全度の高いものほど高い点数とします。

参 考

- 耐震健全度 5：極めて高い信頼性を有している。
 “ 4：比較的高い信頼性を有している。
 “ 3：2、4の中間とみられる。
 “ 2：耐震性に悪い影響を与える。
 “ 1：耐震性に極めて悪い影響を与える。

評価の点数を○で囲って下さい。

II. 総合耐震性の評価

上記Iでの部分的耐震健全度を考慮し、当該橋りょうの総合的耐震性を10～1の点数でご記入下さい。ここで、耐震性の高いものほど高い点数とします。

参 考

- 総合耐震性 10～7：想定する地震動に対しては、落橋や使用不能となる破損を生じない。
 3～1：想定する地震動に対しては、落橋や使用不能のおそれがあり、耐震対策が必要と判断される。

昭和59年8月21日

財団法人 地震予知総合研究振興会

I. 地盤および構造各部分の耐震健全度 () 橋

- (1) 想定する地震動は川崎市全域において気象庁震度階Ⅵとします。
- (2) 耐震性の診断は、想定する地震時に住民の避難行動あるいは緊急車両の通行などの応急活動に重大な支障があるか否かを主要な判断基準として行って下さい。

耐震健全度の採点基準：5：極めて高い信頼性を有している。

4：比較的高い信頼性を有している。

3：2、4の中間とみられる。

2：耐震性に悪い影響を与える。

1：耐震性に極めて悪い影響を与える。

評価の点数を○で囲って下さい。

I-1 地 盤

耐震健全度 5, 4, 3, 2, 1

判定の根拠などに関するコメント：

I-2 基礎構造

耐震健全度 5, 4, 3, 2, 1

判定の根拠などに関するコメント：

表 2.11 (2) 地震予知総合研究振興会（デルファイ法）によるアンケート票(2)

I-3 橋脚および橋台構造	耐震健全度 5, 4, 3, 2, 1 判定の根拠などに関するコメント：
I-4 支承と桁座構造	耐震健全度 5, 4, 3, 2, 1 判定の根拠などに関するコメント：
I-5 桁構造	耐震健全度 5, 4, 3, 2, 1 判定の根拠などに関するコメント：
ご氏名 _____	

II. 総合的耐震性の評価 () _____ 橋 部分的耐震健全度を考慮し、当該橋梁の総合的耐震性を10～1の点数で記入して下さい。 (1) 想定する地震動は川崎市全域において気象庁震度階でVIとします。 (2) 耐震性の診断は、想定する地震時に住民の避難行動あるいは緊急車両の通行などの応急活動に重大な支障があるか否かを主要な判断基準として行って下さい。 判定基準：10～7：想定する地震動にたいしては、落橋や使用不能となる破損を生じない。 3～1：想定する地震動にたいしては、落橋や使用不能のおそれがあり、耐震補強対策が必要と判断される。 評価の点数を○で囲って下さい。	II. 総合的耐震性 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 判定の根拠などに関するコメント： 補強対策などに関するコメント：
ご氏名 _____	

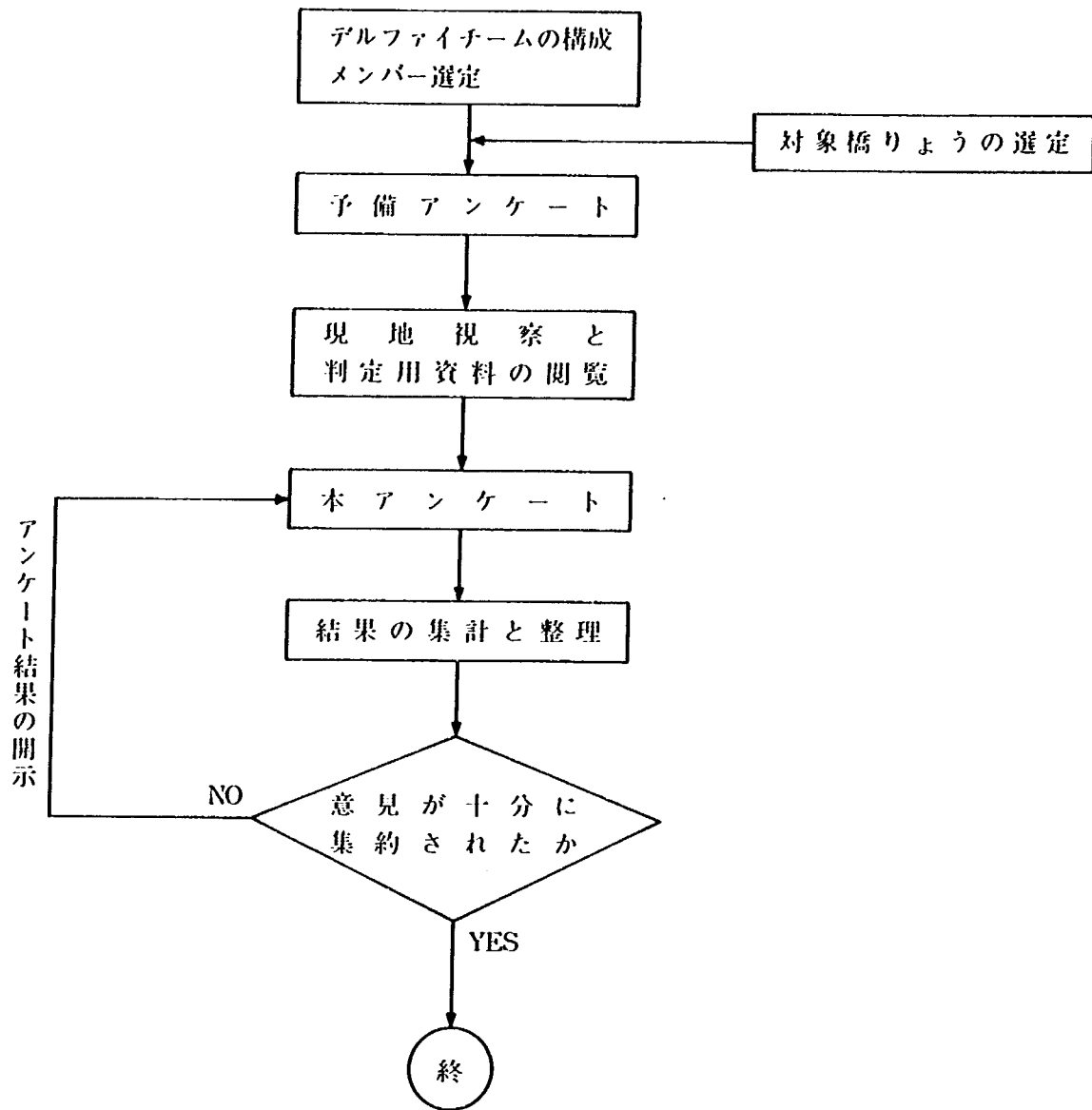


図 2.3 地震予知総合研究振興会による耐震性評価の流れ（デルファイ法）

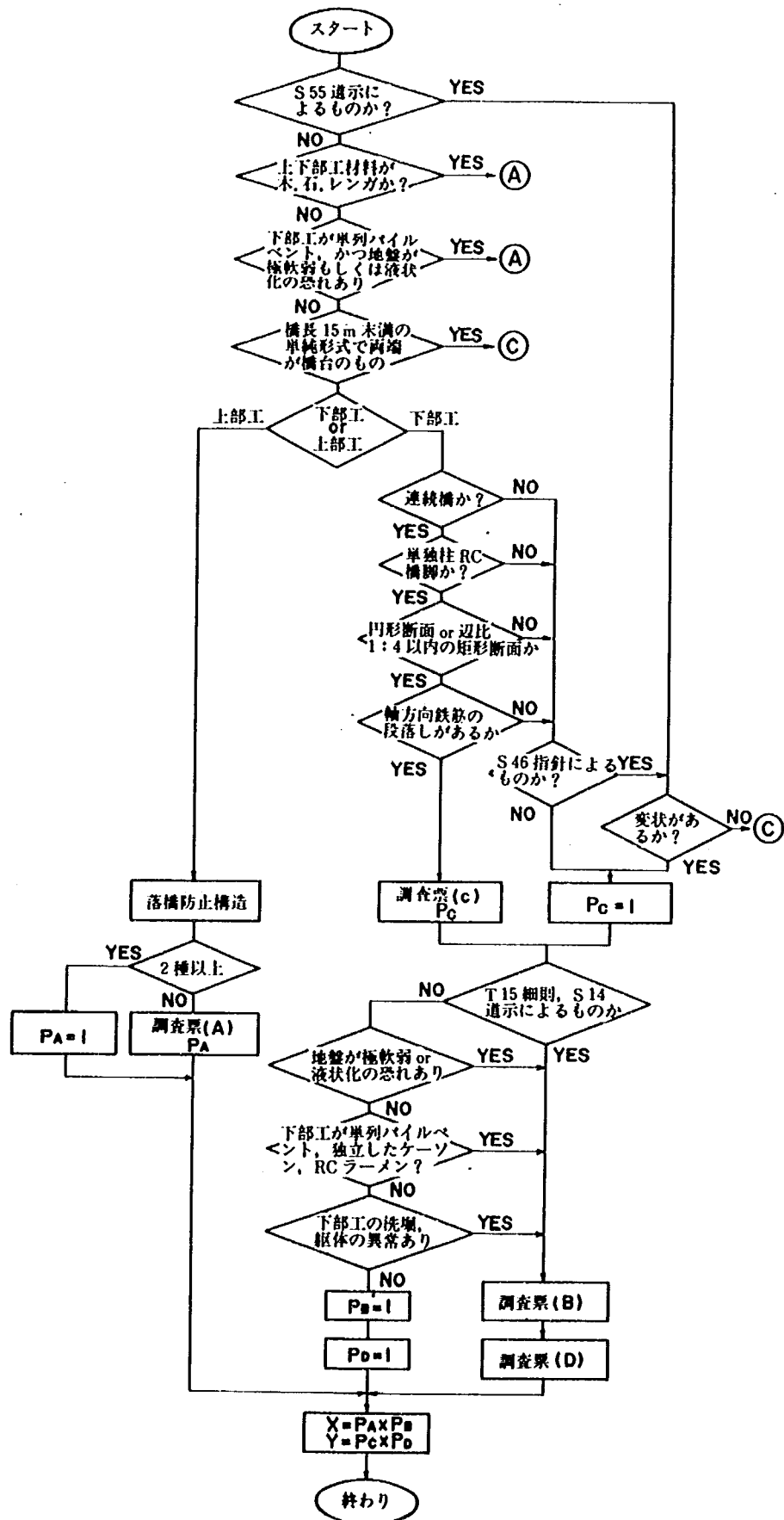


図 2.4 橋梁耐震調査フロー図（昭和 61 年日本道路協会）

表 2.12 橋梁耐震調査票 (昭和 61 年日本道路協会)

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		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	上部工	(A) 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	ゲルバー桁・2径間以上の単純支持	1.5	1径間単純支持(15m以上)・2径間以上の連続桁	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						
		$P_A = ① \times ② \times ③ \times ④ \times ⑤ \times ⑥$	$P_A =$									
	下部工の変形	(B) ⑦下部構造形式	2.0	単列バイルベント	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						
		$P_B = ⑦ \times ⑧ \times ⑨ \times ⑩ \times ⑪ \times ⑫$	$P_B =$									
	主鉄筋段落し部の強度	(C) 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りひびわれ	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	⑮ ¹ S_{fn}	3.0	1以下	2.0	1.1 ~ 1.5	0.5	1.5以上			
		⑮ ² S_{mn}	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: t/m^2)		
		$P_C = ⑬ \times ⑭ \times ⑮^1 \times ⑮^2 \times ⑯$	$P_C =$						(ただし, $P_C < 1.0$ の時は, $P_C = 1$)			
下部工の強度・変状		(D) 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					
	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	木杭・レンガ積ケソン・石積ケソン・箱枠工法・不明	1.5	既成RC杭・ベデスタル杭・2脚ケソン	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・一般ケソン					
	㉑下部構造形式	1.0	RCラーメン	1.0	その他							
	㉒基礎の異常	2.0	あり	1.0	なし							
	$P_D = ⑰ \times ⑱ \times ⑲ \times ㉑ \times ㉒$	$P_D =$										
評価点		$X = P_A \times P_B =$		$Y = P_C \times P_D =$								
備考												

表 2.13 耐震調査結果の評価（昭和 61 年日本道路協会）

ラ ン ク	評 価 点		
	X	Y	
		$P_c = 1.0$	$P_c \neq 1.0$
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。

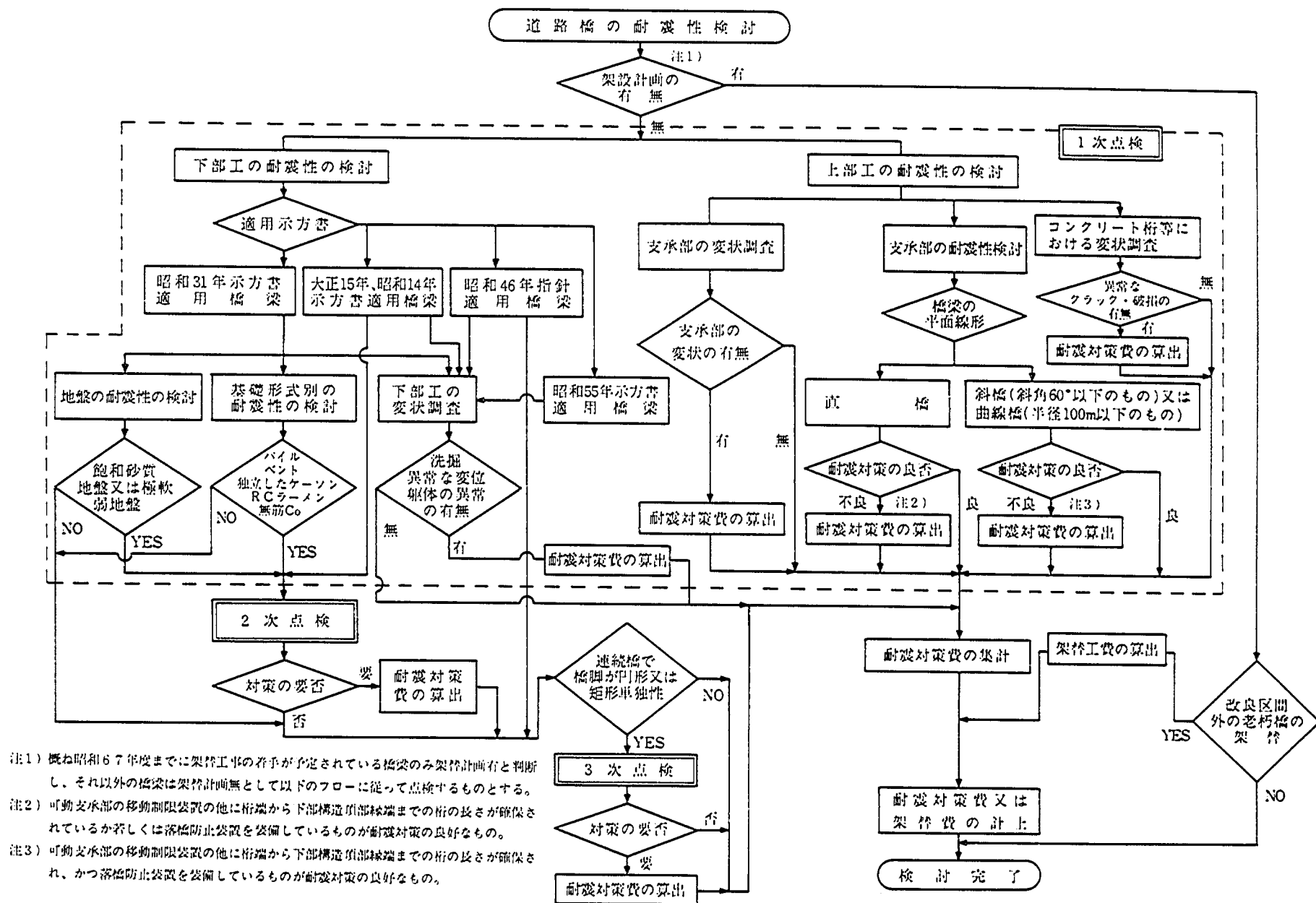


図 2.5 昭和 61 年道路橋耐震点検フロー

表 2.14 昭和 61 年道路橋耐震点検票

点 検 箇 所		点 検 項 目		対 策 費	
一 次 点 検	上 部 構 造	支 承 部 の 変 状	支承の損傷(あり), アンカーボルト(あり), 沓座の破損(あり), 異常な変位(あり) (なし), トの抜出し(なし), (なし), (なし)		
		落 橋 防 止 構 造	直 橋	移動制限(あり), 桁端から下部構造頂部(十分), 落橋防止(あり) 装置(なし), 縁端までの桁の長さ(不十分), 装置(なし)	
			斜 橋 曲線橋	移動制限(あり), 桁端から下部構造頂部(十分), 落橋防止(あり) 装置(なし), 縁端までの桁の長さ(不十分), 装置(なし)	
	下 部 構 造	コンクリート桁 等 の 変 状	クラック, 損傷等(変状等の位置: , 損傷程度:)		
		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)		
		基礎及び橋台・ 橋脚の耐震性	パイル(はい), 独立した(はい), 鉄筋コ(はい), RCラ(はい), 石造(はい) ベント(いいえ), ケーソン(いいえ), ンクリ(いいえ), ーメン(いいえ), レンガ(いいえ) 基 礎 基 礎 ト 軀 体 軀 体 軀 体		
		下部構造の変状	洗 掘(あり), 基礎の変位(あり), 軀体の異常(あり) (なし), (なし), (なし)		
橋脚の断面形状	鉄筋コンクリ(は い), 断面形状 { 円形, 矩形で短辺と長辺の比 (1.4 未満, } ート単独柱 (いいえ), (1.4 以上), 小判形				
調 査 項 目		安 全 度 の 判 定		対 策 費	
二 次 点 検	地 盤	飽和砂質地盤の 液 状 化 に よ る 影 響	F_L の値が 0.6 以下の砂質層の総厚 (H_L): ($H_L = \quad \cdot \quad m$) 液状化による基礎工への影響有 { 直接基礎: $H_L > 5m$ (はい, いいえ) ケーソン基礎及び杭基礎: $H_L > 1/3 \times (\text{ケーソン長もしくは杭長})$ (はい, いいえ) 杭長等が不明の場合: $H_L > 10m$ (はい, いいえ) その他資料により液状化の影響有り判断 (はい, いいえ)		
		橋脚軀体の強度	良い (A 領域) 中間 (B 領域) 悪い (C 領域)		
	下 部 構 造	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 未満) 摩擦杭 良い (安全率 3 以上), 中間 (安全率 1.5~3), 悪い (安全率 1.5 未満)		
		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		
	三 次 点 検	下 部 構 造	鉄筋コンクリート橋脚における 主鉄筋段落し部の強度	せん断スパン比 (h/D) ($h/D \leq 2$, $6 \leq h/D$, $2 < \frac{h}{D} < 6$) 地盤種別 (1 種, 2 種, 3 種, 4 種) “ 主鉄筋段落し部の降伏強度に対する安全度 (1.2 以上, 1.2 未満) せん断応力度 ($36 t/m^2$ 未満, $36 t/m^2$ 以上)	
特 記 事 項				対策事業費計	
				上部構造	
				下部構造	
			合 計		

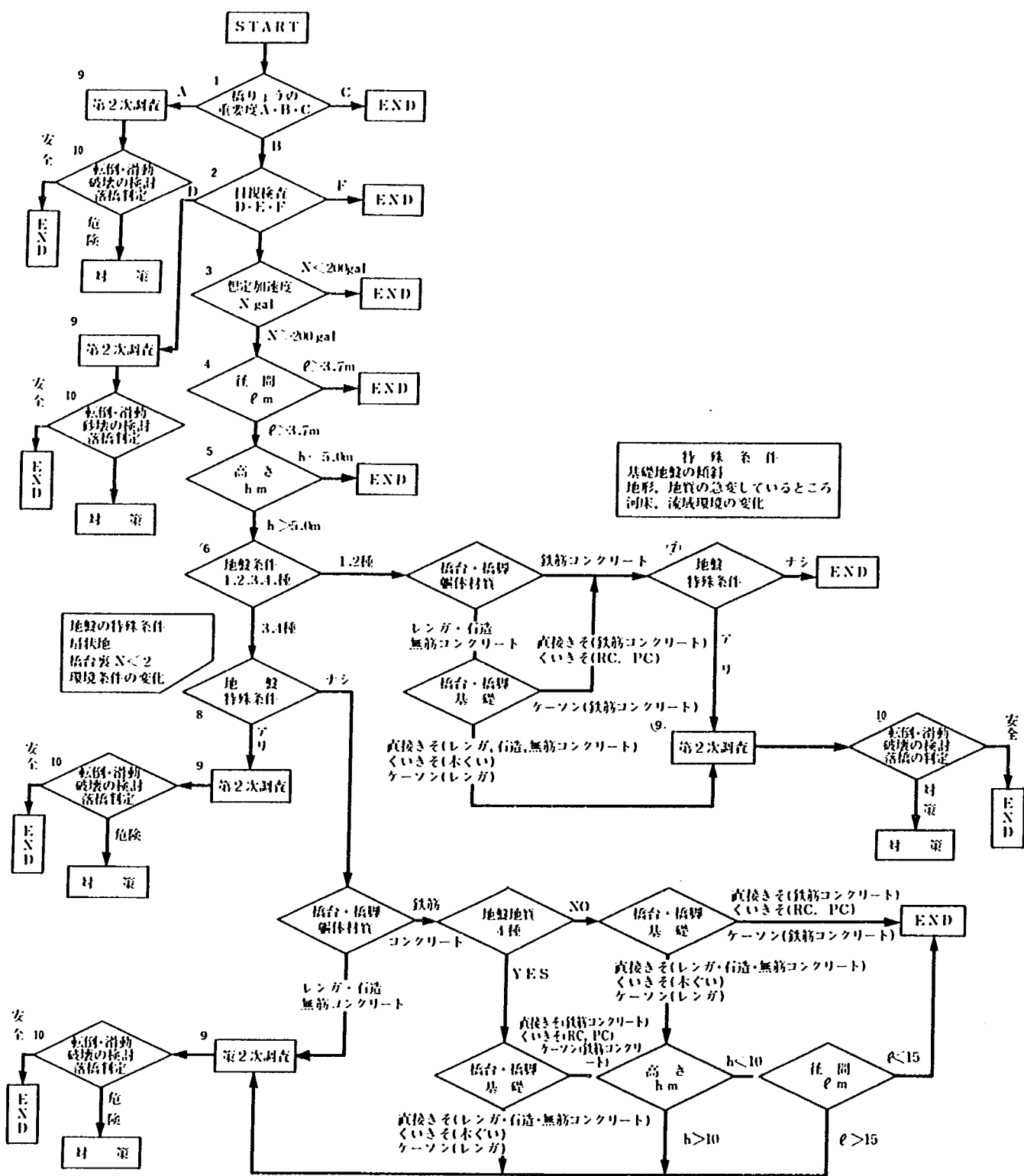


図 2.6 鉄道橋耐震性判定フロー

表 2.15 鉄道橋の耐震性判定における第2次調査の調査内容

調 査 内 容		
(イ) 基礎の変状に関するデータの収集		
(ロ) 基礎の変状に関する外的条件に対する調査	(a) 圧密沈下の有無の調査	圧密沈下に関するデータの調査 (圧密調査, 土質試験データ, 間隙水圧)
		試験データによる圧密沈下量の算定
		圧密沈下の判定
		圧密沈下による基礎の変位, 応力の測定
		杭基礎のフーチング下面に生ずる空げき測定
		構造物の変位の測定
		環境変化
	(b) 斜面変位の影響の調査	斜面の変位に関するデータ調査
		地盤データによる斜面安定の算定
		斜面の変位測定
		構造物変位測定
	(c) 地震の影響を検討するためのおもな調査	環境状態および環境の変位
		構造物の変位測定
		構造物のひびわれ測定
	(d) 河床の低下および洗掘の調査	外的条件の変化に関する調査
		根入の深さ
		流水阻害率
		河床低下の有無
		過去の洗掘の有無
(ハ) 基礎の変状を発見するための構造物に対する調査		
(ニ) 構造物に対する調査対象		桁位置の変位測定
		橋台, 橋脚の傾斜測定
		橋台背面の盛土の沈下測定
		R C 部材のひびわれの観測
		振動性状
		動的沈下量
		ひびわれ
		基礎の実体
(ホ) 基礎の実体に対する調査	支 持 力 に 対 し て	
	強 度 に 対 し て	
		基礎の設置位置, または配置
		形状, 寸法, 根入深さ
		断 面
		材 質
		損傷箇所, または欠陥箇所
(ヘ) 地盤条件に対する調査		地盤調査
		土質試験
(ト) 支持力に対する調査		載荷試験
		土と基礎のデータによる計算
		静的変位量の測定
静的残留変位量の測定による極限支持力の推定		

3. 耐震性に影響を与える因子の抽出

橋梁の被害を予測するためには、橋梁の構造特性及び強度特性と被害の程度との関係が基本的などのようなになっているかを検討する必要がある。このため、ここでは、宮城県沖地震等で被害を受けた橋梁を対象として数量化理論第Ⅰ類により被害に影響を与えた要因の分析を行なった。

3.1 数量化解析

(1) 解析対象橋

数量化解析の対象としたのは、昭和53年6月12日の宮城県沖地震（M7.4）で被害を受けた宮城県内の一般国道、主要地方道及び県道に架かる橋梁95橋⁹⁾及び被害を受けなかった橋梁19橋を基本とし、宮城県沖地震により大被害を受けた橋数が相対的に少ないことから、さらにこれに大正12年9月1日関東地震（M7.9）、昭和23年6月28日の福井地震（M7.3）、昭和39年6月16日の新潟地震（M7.5）¹⁾により落橋あるいは、架替の必要の生じた橋10橋を加えた124橋である。解析に含めた関東地震、福井地震、新潟地震による被害橋を表3.1に示す。

解析に際しては、橋梁の被害形態を表3.2に示すように上部構造、下部構造、支承及び付帯施設の被害に分類し、被害の程度を主に落橋という事態に対する危険性に着目して、表3.3に示すように落橋から無被害の6段階に設定した。本解析橋をこのように分類すると、各被害度に該当する橋数は被害度5（落橋）は10橋、被害度4（落橋寸前）は8橋、被害度3（耐荷力の減少に影響のある損傷）は20橋、被害度2（耐荷力の減少に影響のない損傷）は55橋、被害度1（軽微な被害）は12橋、被害度0（被害なし）は19橋となる。

(2) 数量化解析

数量化理論第Ⅰ類は、目的変数（外的基準）は数量であるが、説明変数（アイテム・カテゴリー）は定性的なデータで与えられる場合の解析に用いることができる。本検討では、目的変数を被害度とし、説明変数は、表3.4に示すように橋の構造条件、適用示方書、地盤条件、地震動加速度等の15アイテムとし、各アイテムはそれぞれ数個のカテゴリーから構成するものとした。解析対象橋124橋のアイテム・カテゴリーデータを巻末付属資料に示す。

被害の有無に対して最も基本的な要因と考えられる地震動強度は、断層中心からの距離を用いて、土木研究所で開発された地震動加速度の距離減衰式により求めた。計算方法の詳細は巻末付属資料に示す。

目的変数の回帰式は次式で与えた。

$$y_i = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{M_j} \delta_i(jk) \cdot X_{jk} \quad (1)$$

ここで、

y_i ：第*i*番目の橋の被害度の予測値

N : 全アイテム数

M_j : j 番目のアイテム中のカテゴリー数

$\delta_i(jk) \begin{cases} 1 : \text{第 } i \text{ 番目の橋が } j \text{ 番目のアイテムの } k \text{ 番目のカテゴリーに該当する場合} \\ 0 : \text{それ以外の場合} \end{cases}$

X_{jk} : j 番目のアイテムの k 番目のカテゴリーのカテゴリー・スコア

式(1)は、目的変数の予測値を各アイテムのカテゴリー・スコアの和で与えている。このため、式(1)と比較するために各アイテムのカテゴリー・スコアの積で予測を推定した場合も検討することとし、次式による解析も行なった。

$$\log y_i = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{M_j} \delta_i(jk) \cdot \log X_{jk} \quad (2)$$

この場合には、目的変数の予測式は次式のようにになる。

$$y_i = \prod_{j=1}^N \prod_{k=1}^{M_j} X_{jk}^{\delta_i(jk)} \quad (3)$$

表 3.1 解析に含めた既往地震により落橋あるいは架替の必要の生じた橋

橋 名	上部構造型式	下部構造型式	地 質 状 況	震 度	状 況 及 び 原 因	支 承 部
地 震 名 : 関 東 地 震 発生時期 : 1923年9月1日 規 模 : M7.9						
豊田橋	ボーストリング型鋼構橋 橋長48.5 m 3連	橋台: 橋脚は相州堅石, 所々煉瓦積, コンクリート中埋	軟弱地盤	6	橋台の下部は押し出され上部は傾斜し, 亀裂が生じていた。橋脚は何れも流心に向い傾斜している。支承は橋脚より滑り出した。	支承の滑り出し
酒匂橋	RCT形桁 橋長360 m 33連	橋脚: RC基礎橋脚内部にコンクリート・橋台: コンクリート単塊工	軟弱地盤	6	全橋が落橋した。激烈な震動に依って強大な水平力を発生し, 同時に桁支端の移動を起し橋柱に著大な偏心荷重が作用した。これによって柱に座折を生じ, 水平連結の座折を起し桁の墜落となり, 更に橋脚の徹底的破壊を起した。	
馬入橋	RCT桁 橋長615.6 m 57連	橋脚: RC基礎井筒工 橋台: コンクリート		6	架設中であつたが震動が激烈な為, 水平連結桁の端で座折し据付又は沈置した井筒は何れも傾斜, 浮上り移動し河床に散乱した。	
早川橋	RC桁 橋長81 m 6連	橋台: 玉石コンクリート 橋脚: 外側相州堅石積		6	本橋は地震主要動を平行に受け, 橋台橋脚等に強大な水平力を作用し, 橋桁は全部多少移動し, 又座折して橋台と橋脚との間に墜落した。	
地 震 名 : 福 井 地 震 発生時期 : 1948年6月28日 規 模 : M7.3						
坂垣橋	RCT桁橋(13径間単純橋) 橋長156 m	橋脚: RCラーメン型 橋台: 重力式コンクリート造		5ないし6	橋脚は傾斜し上部構造の大半は河中に転落し然らざるものもクロスビームなきため構造が弱く主桁は上梁を踏み外し曲げにより床版部分で破壊している。	
中角橋	鋼板桁橋, 単純14連 橋長257 m	橋脚: RC井筒 杭基礎 橋台: 重力式RC杭基礎		5ないし6	14連中11連が落橋, この内8橋は可動端が落橋しているが他の3橋については3橋脚の転倒により桁全体が落橋している。上部構造は, 下が砂で軟かであつた為と主桁構造部が強固であつた為に主桁には大きな被害は無かつた。しかも上部構造の被害は全て下部構造の破壊に基づくもので直接地震力によるものが無かつた。	可動端が落下
地 震 名 : 新 潟 地 震 発生時期 : 1964年6月16日 規 模 : M7.5						
昭和大橋	活荷重合成鋼単純桁, 支間27.04 m, 10連, 両端径間非合成鋼単純桁橋, 支間13.1 m, 2連, 橋長303.9 m	杭式橋脚: 鋼管 609 mm 9本 (25 m) 杭式橋台: 鋼管 609 mm 9本 (22 m)	沖積層, 脚部により異なるが下部から上部へ細砂層, 中砂層, 粗砂層に分かれている。	5	G ₁ ~ G ₈ 桁は右岸側(移動側)落下, G ₉ 桁全体水平落下, G ₇ 桁左岸側(移動側)落下, 左岸橋台より大きな水平力が働いたことや, たわみやすい鋼杭管橋脚であつたことが落橋の原因。P ₂ ~ P ₇ は変位や変形。P ₅ ~ P ₆ は座屈したのは上層砂層の流動により地盤の抵抗層が下つたため多くの固定端はモルタルが破砕10 mm前後浮上がり1アンカーボルトも抜け出し各の突起が切れたものもある。	固定可動共に移動や浮上りの被害多し
東跨線橋	活荷重合成鋼単純桁, 支間26.6 m, 1連, PC単純桁橋, 支間13.5 m, 15連, 橋長224.5 m	RCラーメン橋脚, RC版式橋脚木杭基礎	含水飽和状態の暗青灰色中砂	5	合成桁の可動端が各より抜け出し落下した。鋼桁本体は固定端のソールプレートの突起のせん断以外異状はない。PC桁の橋脚にそつて40 cm前後の沈下, 落橋原因の可動端橋脚は沈下2.5 cm, 残留傾斜頂部15 cmであつた。	固定可動端, モルタルははくりし鋼製フィルターも突出した。
松浜橋	単純支持ワーレントラス, 支間65 m, 14連(10, 11連目は架設中), 橋長921.3 m	版式橋脚, 井筒小判形橋脚版式橋脚, 木杭基礎(左岸)井筒基礎(右岸)橋台	細礫を含む暗青かっ色または暗灰色の砂	5	地震発生時, まだ工事中で左岸より11連目のトラスは, 上弦材が取り付けられていない状態であつたため地震による支保工の倒塌にともない可動端側がはずれて落橋した。下部構造の地震時の変位により, 支承のアンカーボルトの損傷, 及びモルタルの破壊を生じた。伸縮継手に被害が目立った。	支承位置のずれ, 落橋した固定端のアンカーボルトが引き抜かれた。
八千代橋	活荷重合成鋼単純桁 単純10連, 橋長275 m, PC単純桁橋(側径間)4連	橋台: RC杭基礎φ300 mm (10 m) 橋脚: RC杭基礎φ300 mm (12 m) RC先端開放杭φ600 mm (18 m)	暗青灰色の砂	5	上部工の被害は, 桁の変状はほとんどなく, 桁の移動や衝突で支承部が損傷を受けた程度である。取付盛土部分の擁壁は全面的に沈下し, 1.1 m ~ 1 mに達している。橋脚の傾斜は各座高で最大400 mmに達し, 橋脚が折損しているものがある。	支承位置のずれ, ソールプレートの逸脱

表 3.2 橋梁の被害形態の分類

	被害形態
上部構造	① 落 橋 ② 部材（弦材，腹板）の座屈，切断，変形 ③ コンクリート主桁のクラック，亀裂 ④ コンクリート床版のクラック，亀裂 ⑤ 連結材のゆるみ，欠落，破壊
下部構造	① 橋台，橋脚躯体，パラペットのクラック，剝離 ② 天端コンクリートのクラック，剝離 ③ 下部工の傾斜，移動，沈下等の変形
支承周辺	① 支承本体の破損 ② 上部工とのセットボルトのゆるみ，欠落 ③ ソールプレートの変状 ④ アンカーボルトの抜け出し，ゆるみ，破断 ⑤ 支承の移動量不足 ⑥ 沓座コンクリートのクラック，剝離 ⑦ 沓サイドブロックの切断 ⑧ 固定沓ピンの抜け出し，破断
橋梁付帯施設	① 舗装の亀裂，盛上がり等の変状 ② 高欄・地覆の変状 ③ 伸縮部の変状 ④ 護岸の亀裂，沈下 ⑤ 取付け道路の変状

表 3.3 被害度の分類

被害度	被害例
5 落 橋	ゲルバー桁，単純桁等上部構造の落橋
4 落 橋 寸 前	○ 下部構造の大きな変形（傾斜，沈下，移動等） ○ RC構造物の広範囲にわたるコンクリートの剝離，鉄筋の破断 ○ 沓座コンクリートの剝離，支承の逸脱
3 耐荷力の減少に 影響のある損傷	○ 鋼構造物の1次部材の座屈 ○ 支承沓の破損，ローラーの抜出し，支承沓座の破損 ○ RC構造物の1mm程度の亀裂
2 耐荷力の減少に 影響のない損傷	○ 鋼構造物の2次部材の変形 ○ RC構造物のヘヤークラック程度の亀裂 ○ 取付護岸の沈下及び亀裂
1 軽 微 な 被 害	永久構造物として問題のない程度
0 被 害 な し	特に変状，異常が認められない。

表 3. 4 説明変数 (アイテム・カテゴリー)

アイテム	被害度	地震動加速度 (gal)					適 用 示 方 書			上部構造形式		平面 線 形	上部 構造 材 料	縦断 勾 配	落 橋 防 止 構 造		下 部 構 造 形 式		橋 高	脚 さ	地 盤 条 件					支持 地 盤	液 状 の 影 響	洗 掘	下 部 構 造 材 料	基 礎 工 法									
		200	300	400	500	大正	昭和	昭和	2 ゲル 径間 1以上 の単 純支持	1 2 径間 以上 の単 純支持	1 2 径間 以上 の単 純支持				曲 線 橋 ・ 斜 橋	R C ・ P C	6 % 以 上	6 % 未 満			な し	1 種	2 種 以 上	R C ラ ー メ ン ト	そ の 他					10 m 以 上	5 m 以 上 10 m 未 満	5 m 未 満	4 種 ・ 極 軟 弱	4 種	3 種	2 種	1 種	不 均 一	均 一
カ テ ゴ リ ー	5・4・3・2・1・0	200 未 満	200 以 上	300 以 上	400 以 上	500 以 上	大正 15	昭和 31	昭和 46	昭和 55	昭和 14	直 橋	R C ・ P C	6 % 以 上	6 % 未 満	な し	1 種	2 種 以 上	R C ラ ー メ ン ト	そ の 他	10 m 以 上	5 m 以 上 10 m 未 満	5 m 未 満	4 種 ・ 極 軟 弱	4 種	3 種	2 種	1 種	不 均 一	均 一	有	無	有	無	大正 15 ・ 昭和 14 道示 による無 筋コンク リート	既製RC杭・ 箱枠工法・ 木杭・レン ガ・石積 ケーソン	RC・PPC・ 鋼・昭和 31道示 以後の無 筋コンク リート	昭 和 46 指 針 以 後 の 場 所 打 杭	P C 杭 ・ 鋼 杭 ・ 直 接 基 礎 ・ 一 般 ケー ソン

3.2 解析結果

124 橋の検討対象橋を表 3.4 に示したアイテム・カテゴリーごとに集計した結果が表 3.5 である。この結果によると、全体としては、地震動加速度の大きいもの、適用示方書の古いもの、落橋防止構造のないもの、地盤条件の軟弱なもの、液状化の影響のあるもの、及び基礎工法が木杭の場合ほど、落橋あるいは落橋寸前の橋が多く、これらが落橋に大きく影響を与えることを示している。

数量化理論第 I 類による解析結果は、表 3.6～表 3.8 に示す通りである。ここで、表 3.6 及び表 3.7 は、式(1)による回帰式を用い、それぞれ被害橋 105 橋だけを対象とした場合（ケース 1）と、これに無被害橋 19 橋を含めた場合（ケース 2）を示しており、また、表 3.8 は式(2)による回帰式を用いて被害橋 105 橋だけを対象とした場合（ケース 3）の結果を示している。ただし、式(2)を用いた場合には、目的変数として被害度 0 が入るとうまく解析できないため、ここでは式(2)を用いて無被害橋を含めた場合の解析は行っていない。これより以下の事項が指摘される。

- 1) 各ケースとも地震動加速度を考慮した場合、あるいは考慮しない場合においても、重相関係数は 0.77 程度以上あり、いずれもある程度の精度を有しているといえることができる。
- 2) 地震動加速度を考慮した場合には、考慮しない場合よりも重相関係数で各ケースともに 0.03 程度大きくなり、推定精度がわずかではあるが高くなる。
- 3) 無被害橋 19 橋を加えた場合には、被害橋のみによる場合よりも重相関係数で 0.06 程度減少し、各アイテムの偏相関係数も減少する。
- 4) 予測式を各アイテムの積とした場合には、予測式を和とした場合よりも重相関係数で 0.05 程度減少する。
- 5) 各説明変数のノーマライズド・スコアは、2, 3 の例を除けば、全体として予想される通りの結果となっており、その概要を示すと表 3.8 の通りとなる。
- 6) 適用示方書、落橋防止構造、及び地盤条件については、偏相関係数がケース 1, 3 で 0.4 程度、ケース 2 で 0.3 程度あり、かつレンジ値も大きいことから、適用示方書の古いものほど、落橋防止構造のないものほど、また地盤条件が軟質であるものほど、それぞれ、被害度は高くなると見ることができる。
- 7) 偏相関係数は必ずしも大きくないが、液状化の影響のあるもの、洗掘のあるもの、下部構造の古いもの、及び基礎工法が木杭のものは、レンジ値が大きく、被害度を高くする有力な原因と考えることができる。
- 8) 地震動加速度は、偏相関係数も大きく、レンジ値も最も大きいことから、当然ながら、被害度の大小に直結していることを示している。なお、地震動加速度が 400 gal 以上となると被害度が急増することが注目される。

数量化理論第 I 類による被害度と実際の被害度との関係を示した結果が図 3.1～図 3.3 である。これによれば、各ケースともに予測被害度は、実被害度の低い方で大きめの値を与え

る傾向があるが全体としては予測被害度と実被害度は比較的良好に対応しているといえる。

表 3.5 橋梁調査項目と既往の地震による被害度の関係

(A) 上部工

アイテム カテゴリー 被害度	地震動加速度					適用示方書				上部構造形式				平面線形		上部構造材料		縦断勾配		落橋防止構造		
	200 未満	200 以上 300 未満	300 以上 400 未満	400 以上 500 未満	500 以上	大昭和 正和 15 14 年 年 細道 財示	昭和 和和 31 39 年 年 通示	昭和 和和 46 55 年 年 通示	昭和 和和 55 55 年 年 通示	ゲル バ 1 1 桁 桁 以上 の 単 独 支 持	1 2 桁 桁 以上 の 単 独 支 持	1 2 桁 桁 以上 の 単 独 支 持	1 2 桁 桁 以上 の 単 独 支 持	曲 線 橋 ・ 斜 橋	直 橋	R C ・ P C	鋼 材	6 % 以 上	6 % 未 満	な し	1 種	2 種 以 上
5 落 (10橋)			4 (40)	2 (20)	4 (40)	7 (70)	3 (30)			10 (100)					10 (100)	6 (60)	4 (40)	1 (10)	9 (90)	10 (100)		
4 落 橋 寸 前 (8橋)		1 (13)	6 (75)	1 (13)		5 (63)	3 (38)			8 (100)					8 (100)	1 (13)	7 (88)	1 (13)	87 (88)	6 (75)	2 (25)	
3 耐荷力の減少に 影響のある損傷 (20橋)	1 (5)	8 (40)	10 (50)	1 (5)		6 (30)	11 (55)	3 (15)	17 (85)	2 (10)	1 (5)				20 (100)	7 (35)	13 (65)		20 (100)	8 (40)	11 (55)	1 (5)
2 耐荷力の減少に 影響のない損傷 (55橋)		36 (65)	18 (33)	1 (2)		6 (11)	41 (75)	8 (15)	40 (73)	11 (20)	4 (7)	4 (7)		51 (93)	22 (40)	33 (60)	1 (2)	54 (98)	20 (36)	28 (51)	7 (13)	
1 軽微な被害 (12橋)		5 (42)	5 (42)	2 (17)			6 (50)	6 (50)	7 (68)	3 (23)	2 (17)	1 (8)		11 (92)	5 (42)	7 (54)		12 (100)	1 (8)	6 (50)	5 (42)	
0 被害なし (19橋)	1 (5)	13 (68)	5 (26)			1 (5)	17 (89)	1 (3)	12 (63)	5 (26)	2 (11)	3 (16)		16 (84)	7 (37)	12 (63)		19 (100)	1 (5)	16 (84)	2 (11)	
集計	Σ 4~5 (18橋)	1 (6)	10 (56)	3 (17)	4 (22)	12 (67)	6 (33)		18 (100)					18 (100)	7 (39)	11 (61)	2 (11)	16 (89)	16 (89)	2 (11)		
	Σ 3 (20橋)	1 (5)	8 (40)	10 (50)	1 (5)	6 (30)	11 (55)	3 (15)	17 (85)	2 (10)	1 (5)			20 (100)	7 (35)	13 (65)		20 (100)	8 (40)	11 (55)	1 (5)	
	Σ 0~2 (86橋)	1 (1)	54 (63)	28 (33)	3 (3)	17 (8)	64 (74)	15 (17)	59 (69)	19 (22)	8 (9)	8 (9)		78 (91)	34 (40)	52 (60)	1 (1)	85 (99)	22 (21)	50 (38)	14 (16)	

(B) 下部工・地盤

アイテム カテゴリー 被害度	下部構造形式			橋脚高さ			地盤種別					支持地盤		液状化の影響		洗掘		下部構造材料		基礎工法			
	パ イ ル ベ ン ト	R C の 他	ソ ノ 他	10 m 以 上	5 m 以 上 10 m 未 満	5 m 未 満	4 種 ・ 極 軟 弱	4 種	3 種	2 種	1 種	不 均	均	有	無	有	無	大 正 15 年 昭 和 14 年 道 示 に よ る 無 筋 コン クリ ート	示 以 後 の 無 筋 コン クリ ート	木 杭 ・ 鋼 管 杭 ・ 石 工 ・ 不 明	積 込 工 法 ・ ベ ン ト 工 法 ・ 石 工 ・ 不 明	昭和 46 年 指 針 以 後 の 鋼 管 杭 ・ 石 工 ・ 不 明	抗 ・ 直 接 基礎 ・ 鋼 管 杭 ・ 石 工 ・ 不 明
5 落 (10橋)	3 (30)	4 (40)	3 (30)	3 (30)	5 (30)	2 (20)		7 (70)	3 (30)				10 (100)	6 (60)	4 (40)		10 (100)	2 (20)	8 (80)	4 (40)	2 (20)	4 (40)	
4 落 橋 寸 前 (8橋)		4 (50)	4 (50)	2 (25)	6 (75)		2 (25)	4 (50)	1 (13)		1 (13)	1 (13)	7 (88)	2 (25)	6 (73)		8 (100)		8 (100)	1 (13)	2 (25)	5 (63)	
3 耐荷力の減少に 影響のある損傷 (20橋)	2 (10)	8 (40)	10 (50)	8 (40)	7 (35)	5 (25)	1 (5)	11 (35)	6 (30)	1 (5)	1 (5)	4 (20)	16 (80)	2 (10)	18 (90)	1 (5)	19 (90)	1 (5)	19 (95)	1 (5)	4 (20)	15 (95)	
2 耐荷力の減少に 影響のない損傷 (55橋)	5 (9)	9 (16)	41 (75)	12 (22)	29 (53)	14 (25)		2 (4)	33 (60)	8 (15)	12 (22)	1 (2)	54 (98)	4 (7)	51 (98)		55 (100)		55 (100)	1 (2)	9 (16)	45 (82)	
1 軽微な被害 (12橋)		1 (8)	11 (92)	5 (42)	3 (25)	4 (33)			8 (67)	1 (8)	3 (23)	1 (8)	11 (92)		12 (100)		12 (100)		12 (100)	1 (8)	1 (8)	10 (83)	
0 被害なし (19橋)	1 (5)	1 (5)	17 (89)	4 (21)	7 (37)	8 (42)	1 (5)	5 (26)	3 (16)	1 (5)	9 (47)		19 (100)		19 (100)		19 (100)		9 (100)		2 (11)	17 (89)	
集計	Σ 4~5 (18橋)	3 (17)	8 (44)	7 (39)	5 (28)	11 (61)	2 (11)	11 (61)	4 (22)		1 (6)	1 (6)	17 (94)	8 (44)	10 (36)		18 (100)	2 (11)	16 (89)	5 (28)	4 (22)	9 (50)	
	Σ 3 (20橋)	2 (10)	8 (40)	10 (50)	8 (33)	7 (35)	1 (5)	11 (35)	6 (30)	1 (5)	1 (5)	4 (20)	16 (80)	2 (10)	18 (90)	1 (5)	19 (90)	1 (5)	19 (95)	1 (5)	4 (20)	15 (75)	
	Σ 0~2 (86橋)	6 (7)	11 (13)	69 (80)	21 (24)	39 (45)	1 (1)	7 (8)	44 (51)	10 (12)	24 (28)	2 (2)	84 (98)	4 (5)	82 (95)		86 (100)		86 (100)	2 (2)	12 (14)	72 (411)	

表 3.6 数量化理論第 I 類による解析結果 (被害橋 105 橋のみの場合)

アイテム	カテゴリー	地震動加速度を考慮しない場合				地震動加速度を考慮した場合			
		ノーマライズドスコア	レンジ	偏相関係数	重相関係数	ノーマライズドスコア	レンジ	偏相関係数	重相関係数
適用示方書	大正 15 年細則・昭和 14 年道示	0.667	0.902	0.481	0.837	0.5366	0.725	0.424	0.870
	昭和 31 年道示・昭和 39 年道示	-0.235				-0.1882			
	昭和 46 年道示・（昭和 55 年道示）	-0.055				-0.0489			
上部構造形式	ゲルバー桁・2 径間以上の単純支持	0.055	0.276	0.161		0.0553	0.313	0.188	
	1 径間単純支持・2 径間以上の連続桁	-0.221				-0.2574			
	上路・中路アーチラーメン・連続桁等（斜張橋・吊橋）	-0.145				-0.0593			
平面線形	曲線橋・斜橋	-0.207	0.217	0.074		-0.1675	0.176	0.066	
	直橋	0.010				0.0084			
上部構造材料	R C ・ P C	-0.090	0.150	0.107		-0.0709	0.118	0.095	
	鋼	0.060				0.0473			
縦断勾配	6 % 以上	0.283	0.292	0.072		0.5279	0.543	0.147	
	6 % 未満	-0.008				-0.0155			
落橋防止構造	なし	0.155	0.661	0.293		0.1529	0.621	0.301	
	1 種	-0.009				-0.0168			
	2 種以上	-0.506				-0.4684			
下部構造形式	単列バイルベント	0.261	0.303	0.129		0.2685	0.332	0.161	
	R C ラーメン	0.011				0.0652			
	その他の	-0.042				-0.0635			
橋脚高さ	10 m 以上	0.030	0.060	0.043		0.0350	0.188	0.130	
	5 m 以上 10 m 未満	-0.029				-0.0766			
	5 m 未満	0.022				0.1113			
地盤条件	4 種・極軟弱	1.298	1.678	0.506		1.2868	1.554	0.556	
	4 種	0.612				0.6501			
	3 種	-0.240				-0.2667			
	2 種	-0.380				-0.1978			
	1 種	-0.150				-0.2284			
液状化の影響	有	0.607	0.701	0.316		0.4649	0.564	0.268	
	無	-0.093				-0.0715			
支持地盤	不均	-0.081	0.087	0.031		-0.0912	0.098	0.040	
	均	0.006				0.0065			
洗掘	有	1.155	1.167	0.182		0.4191	0.423	0.073	
	無	-0.011				-0.0040			
下部構造材料	大正 15 年細則・昭和 14 年道示による無筋コンクリート	1.067	1.098	0.262		0.6027	0.620	0.161	
	R C, P C, 鋼, 昭和 31 年道示以後の無筋コンクリート	-0.031				-0.0177			
基礎工法	木杭（レンガ積・石積ケーソン, 箱枠工法）, 不明	0.630	1.027	0.329		0.3877	0.647	0.234	
	既製 R C 杭（ペダスタル杭, 2 脚ケーソン）	-0.398				-0.2596			
	昭和 46 年指針以後のもの, 場所打杭, P C 杭, 鋼杭, 直接基礎	0.027				0.0199			
加速度推定値	200 gal 未満	—	—	—		1.0690	1.338	0.446	
	200 以上 300 未満	—				-0.2688			
	300 以上 400 未満	—				0.1232			
	400 以上 500 未満	—				0.5769			
	500 以上	—				0.7592			

注) () は, 今回の解析対象橋 (124 橋) には該当のなかったことを示す。

表 3.7 数量化理論第 I 類による解析結果（無被害橋 19 橋を含めた 124 橋の場合）

アイテム	カテゴリー	地震動加速度を考慮しない場合				地震動加速度を考慮した場合			
		ノーマライズドスコア	レシ	偏相関係数	重相関係数	ノーマライズドスコア	レシ	偏相関係数	重相関係数
適用示方書	大正 15 年細則・昭和 14 年道示	0.691	0.980	0.399		0.517	0.740	0.319	
	昭和 31 年道示・昭和 39 年道示	-0.289				-0.223			
	昭和 46 年道示・（昭和 55 年道示）	0.343				0.284			
上部構造形式	ゲルバー桁・2 径間以上の単純支持	0.077	0.487	0.155		0.081	0.390	0.161	
	1 径間単純支持・2 連以上の連続桁	-0.171				-0.232			
	上路・中路アーチラーメン・連続桁等（斜張橋・吊橋）	-0.409				-0.308			
平面線形	曲線橋・斜橋	-0.441	0.472	0.127		-0.396	0.424	0.122	
	直橋	0.030				0.027			
上部構造材料	R C ・ P C	-0.143	0.236	0.124		-0.141	0.233	0.131	
	鋼	0.093				0.092			
縦断勾配	6 % 以上	0.720	0.738	0.119		0.919	0.941	0.161	
	6 % 未満	-0.018				-0.023			
落橋防止構造	なし	0.445	1.107	0.341		0.459	1.106	0.358	
	1 種	-0.167				-0.181			
	2 種以上	-0.662				-0.647			
下部構造形式	単列バイルベント	0.315	0.416	0.149		0.292	0.411	0.178	
	R C ラーメン	0.195				0.259			
	その他の	-0.102				-0.119			
橋脚高さ	10 m 以上	0.169	0.341	0.135		0.172	0.284	0.125	
	5 m 以上 10 m 未満	-0.001				-0.038			
	5 m 未満	-0.172				-0.112			
地盤条件	4 種・極軟弱	0.635	1.019	0.235	0.774	0.523	0.983	0.273	0.801
	4 種	0.187				0.224			
	3 種	0.051				0.040			
	2 種	-0.065				0.112			
	1 種	-0.384				-0.461			
液状化の影響	有	0.844	0.952	0.282		0.724	0.816	0.255	
	無	-0.107				-0.092			
支持地盤	不均一	0.420	0.446	0.105		0.307	0.420	0.104	
	均一	-0.025				-0.024			
洗掘	有	1.457	1.469	0.150		0.312	0.315	0.033	
	無	-0.012				-0.003			
下部構造材料	大正 15 年細則・昭和 14 年道示による無筋コンクリート	1.401	1.435	0.225		0.995	1.020	0.167	
	RC, PC, 鋼, 昭和 31 年道示以後の無筋コンクリート	-0.035				-0.025			
基礎工法	木杭（レンガ積・石積ケーソン, 箱枠工法）, 不明	0.675	1.051	0.229		0.383	0.697	0.171	
	既製 RC 杭（ペDESTAL 杭, 2 脚ケーソン）	-0.376				-0.314			
	昭和 46 年指針以後のもの, 場所打杭, PC 杭, 鋼杭, 直接基礎	0.022				0.034			
加速度推定値	200 gal 未満	—	—	—		0.169	1.219	0.343	
	200 以上 300 未満	—				-0.283			
	300 以上 400 未満	—				0.176			
	400 以上 500 未満	—				0.936			
	500 以上	—				0.616			

注）（ ）は、今回の解析対象橋（124 橋）には該当のなかったことを示す。

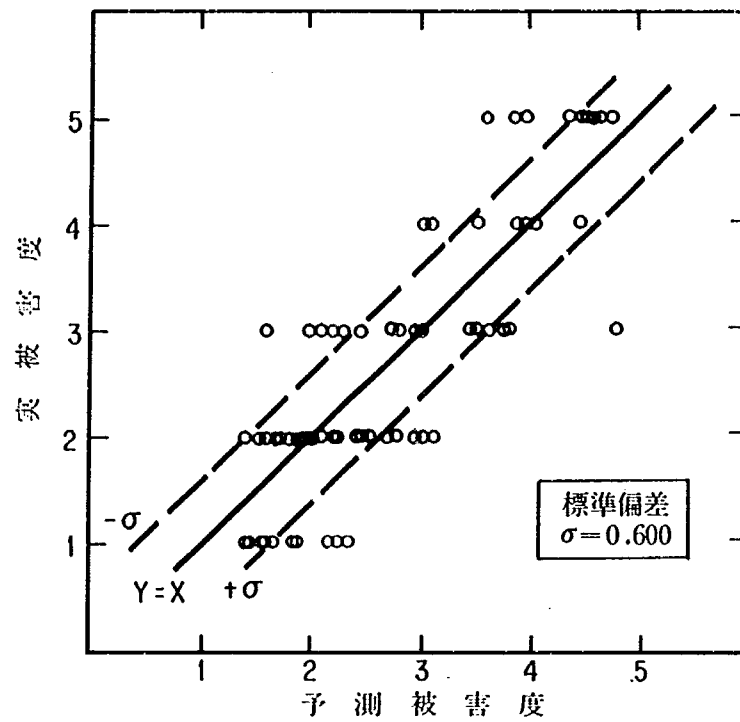
表 3.8 数量化理論第 I 類（各アイテムの積による場合）による解析結果（被害橋 105 橋のみの場合）

アイ テ ム	カ テ ゴ リ	地震動加速度を考慮しない場合				地震動加速度を考慮した場合			
		ノーマライズドスコア	レ ン ジ	偏相関係数	重相関係数	ノーマライズドスコア	レ ン ジ	偏相関係数	重相関係数
適用示方書	大正 15 年細則・昭和 14 年道示	1.276	1.375	0.404	0.790	1.249	1.339	0.381	0.807
	昭和 31 年道示・昭和 39 年道示	0.928	1.0			0.933	1.0		
	昭和 46 年道示・（昭和 55 年道示）	0.939	1.012			0.947	1.015		
上部構造形式	ゲルバー桁・2 径間以上の単純支持	1.025	1.148	0.161		1.023	1.117	0.149	
	1 径間単純支持・2 連以上の連続桁	0.925	1.036			0.927	1.012		
	上路・中路アーチャーメン・連続桁等（斜張橋・吊橋）	0.893	1.0			0.916	1.0		
平面線形	曲線橋・斜橋	0.913	1.0	0.073		0.922	1.0	0.069	
	直橋	1.005	1.101			1.004	1.089		
上部構造材料	R C ・ P C	0.965	1.0	0.097		0.974	1.0	0.075	
	鋼	1.024	1.061			1.017	1.044		
縦断勾配	6 % 以上	1.169	1.175	0.093		1.213	1.220	0.119	
	6 % 未満	0.995	1.0			0.994	1.0		
落橋防止構造	なし	1.065	1.352	0.305		1.062	1.334	0.303	
	1 種	1.006	1.277			1.006	1.264		
	2 種以上	0.788	1.0			0.796	1.0		
下部構造形式	単列バイルベント	1.155	1.179	0.160		1.160	1.195	0.177	
	R C ラーメン	0.998	1.018			1.022	1.053		
	その他の	0.980	1.0			0.971	1.0		
橋脚高さ	10 m 以上	1.005	1.009	0.011		1.011	1.027	0.055	
	5 m 以上 10 m 未満	0.999	1.003			0.984	1.0		
	5 m 未満	0.996	1.0			1.019	1.036		
地盤条件	4 種・極軟弱	1.610	1.795	0.457		1.608	1.791	0.480	
	4 種	1.277	1.424			1.281	1.427		
	3 種	0.908	1.012			0.898	1.0		
	2 種	0.897	1.0			0.945	1.052		
	1 種	0.926	1.032			0.925	1.030		
液状化の影響	有	1.181	1.211	0.206		1.165	1.192	0.196	
	無	0.975	1.0			0.977	1.0		
支持地盤	不均一	1.022	1.024	0.019		1.006	1.006	0.005	
	均一	0.998	1.0			1.000	1.0		
洗掘	有	1.541	1.547	0.157		1.378	1.382	0.121	
	無	0.996	1.0			0.997	1.0		
下部構造材料	大正 15 年細則・昭和 14 年道示による無筋コンクリート	1.349	1.361	0.167		1.249	1.257	0.128	
	R C, P C, 鋼, 昭和 31 年道示以後の無筋コンクリート	0.991	1.0			0.994	1.0		
基礎工法	木杭（レンガ杭・石杭ケーソン, 箱枠工法）, 不明	1.120	1.295	0.225		1.065	1.186	0.167	
	既製 R C 杭（ベデスタル杭, 2 脚ケーソン）	0.865	1.0			0.898	1.0		
	昭和 46 年指針以後のもの, 場所打杭, P C 杭, 鋼杭, 直接基礎	1.022	1.162			1.018	1.131		
加速度推定値	200 gal 未満	—	—	—		1.585	1.704	0.283	
	200 以上 300 未満	—				0.930	1.0		
	300 以上 400 未満	—				1.049	1.128		
	400 以上 500 未満	—				1.091	1.173		
	500 以上	—				1.130	1.215		

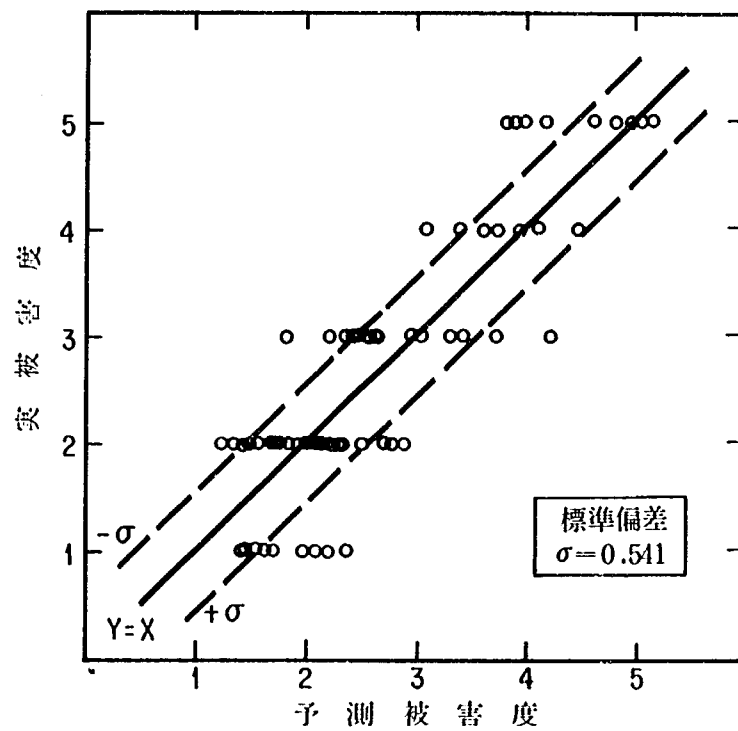
注）（ ）は、今回の解析対象橋（124 橋）には該当のなかったことを示す。

表 3.9 数量化理論第Ⅰ類により求めた各要因が被害度に及ぼす相対的な程度

ア イ テ ム	被害度に及ぼす相対的な程度
① 適用示方書	大正 15 年細則・昭和 14 年道示によるものは、相対的に被害度が高くなる。ただし、昭和 31 年道示・昭和 39 年道示によるものと、昭和 46 年道示・昭和 55 年道示によるものは、予想とは順序が逆転している。
② 上部構造形成	ゲルバー桁及び 2 径間以上の単純支持は、相対的に被害度が高くなる。一方、上路・中路アーチ、ラーメン、連続桁橋等は相対的に被害度が低くなる。
③ 平面線形	曲線橋・斜橋は、直橋よりむしろ被害度が低くなる。
④ 上部構造材料	RC・PC と鋼との間には大差はないが、やや RC・PC の方が相対的に被害度は低くなる。
⑤ 縦断勾配	勾配のある方が、勾配のない場合に比較して被害度は高くなる。
⑥ 落橋防止構造	落橋防止がないと相対的に被害度は高くなる。一方、落橋防止があれば相対的に被害度は低くなるが、落橋防止が 1 種類よりも 2 種類ある方が、より被害度は低くなる。
⑦ 下部構造形式	単列パイルベント及び RC ラーメンは、相対的に被害度は高くなる。
⑧ 橋脚高さ	橋脚高さの高い方が相対的に被害度は高くなる。
⑨ 地盤条件	地盤が軟弱なほど、相対的に被害度は高くなる。
⑩ 液状化の影響	液状化の生じた場合の方が、相対的に被害度は高くなる。
⑪ 支持地盤	不均一な場合の方が、相対的に被害度は高くなる。
⑫ 洗掘	洗掘のある場合の方が、相対的に被害度は高くなる。
⑬ 下部構造材料	大正 15 年細則・昭和 14 年道示による無筋コンクリートの方が、相対的に被害度は高くなる。
⑭ 基礎工法	木杭及び基礎工法不明のものは、相対的に被害度は高くなる。
⑮ 地震動加速度	地震動加速度が大きいほど、相対的に被害度は高くなる。特に、地震動加速度が 400 gal 以上になると相対的に被害度は高くなる。

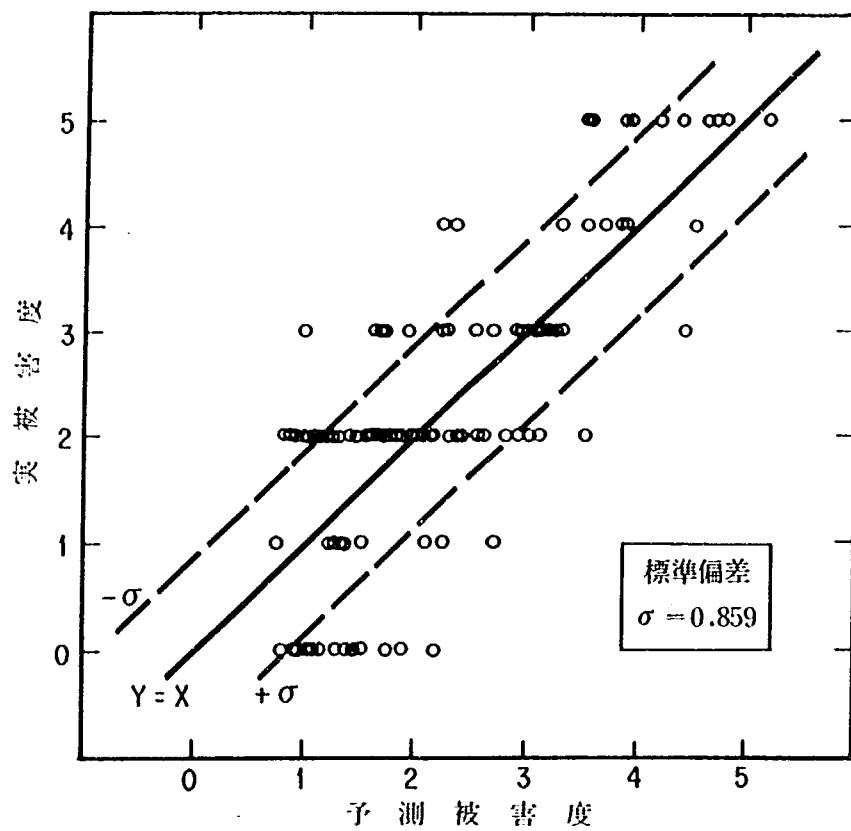


(a) 地震動加速度を考慮しない場合

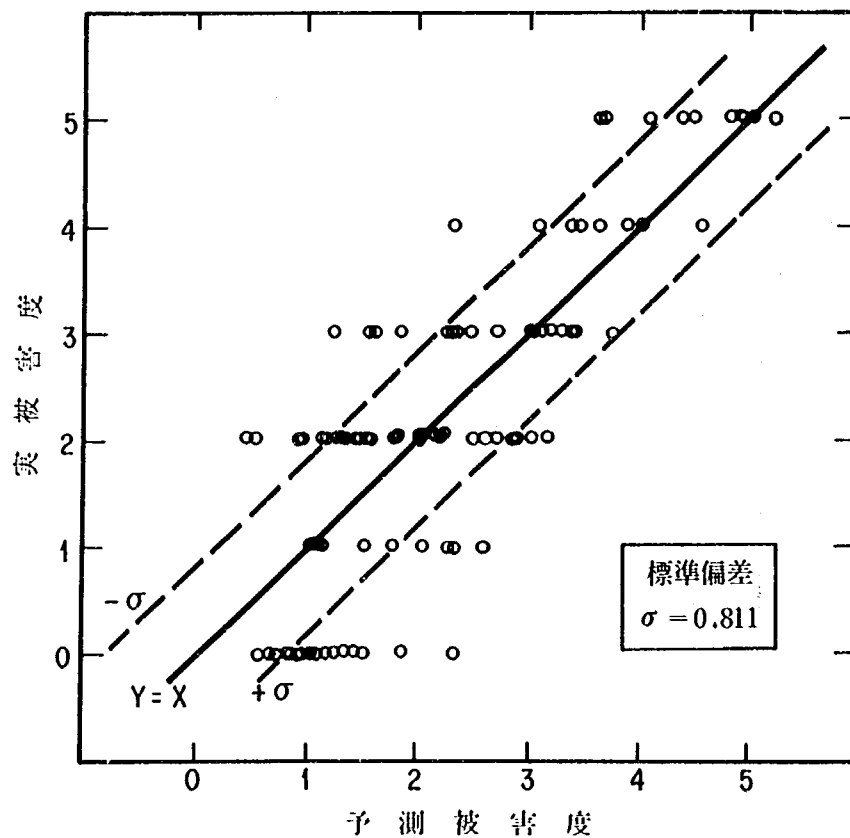


(b) 地震動加速度を考慮した場合

図 3.1 数量化理論第 I 類による予測被害度と実被害度の関係
(被害橋 105 橋のみの場合)

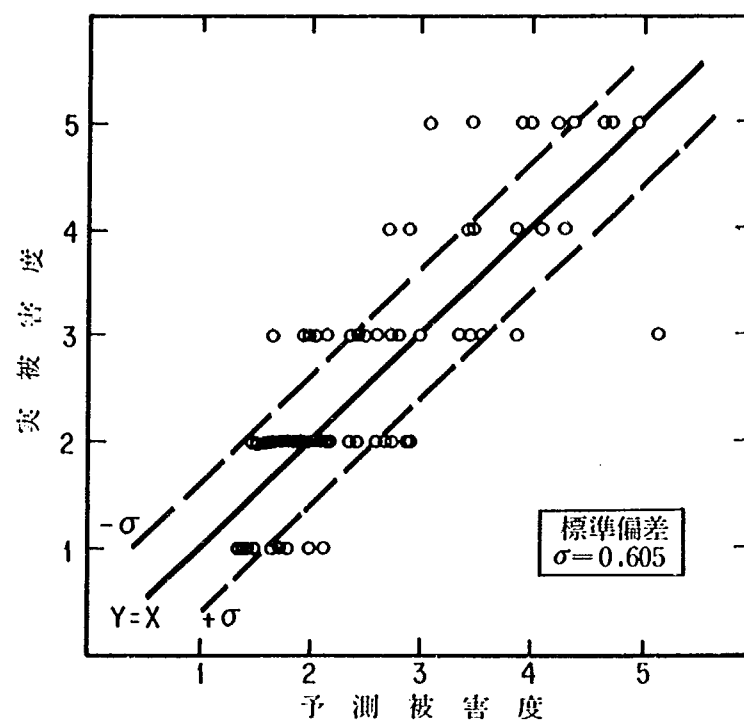


(a) 地震動加速度を考慮しない場合

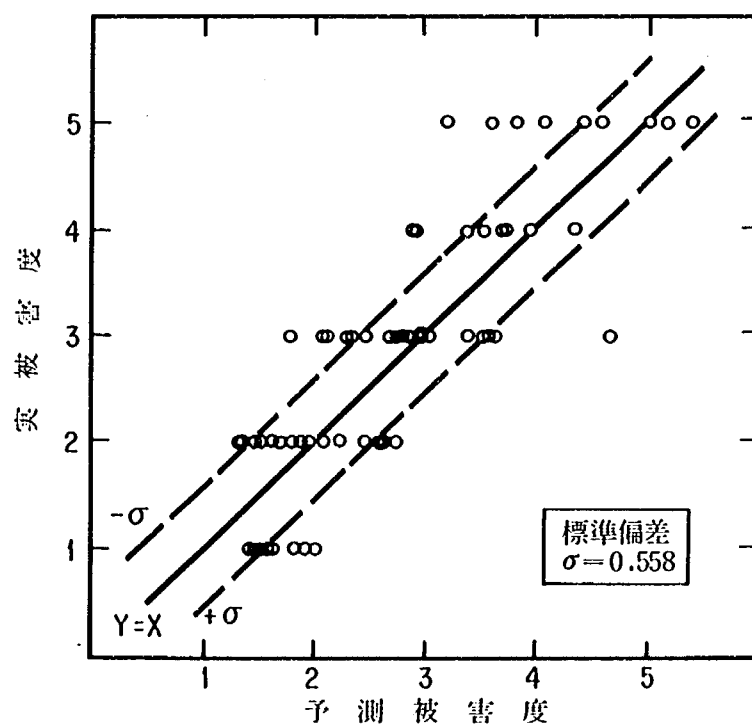


(b) 地震動加速度を考慮した場合

図 3.2 数量化理論第 I 類による予測被害度と実被害度の関係
(無被害橋 19 橋を含めた 124 橋の場合)



(a) 地震動加速度を考慮しない場合



(b) 地震動加速度を考慮した場合

図 3.3 数量化理論第 I 類 (各アイテムの積による場合) による予測被害度と実被害度の関係 (被害橋 105 橋のみの場合)

4. 日本道路協会（昭和 61 年）の耐震調査法の適用性の検討

(1) 検討方針及び耐震調査法の概要

既往の耐震調査法の代表として、表 2.1 の中で最も多岐の調査項目を含む日本道路協会（昭和 61 年 3 月）の方法を用いて、これを第 3 章で数量化解析に用いた昭和 53 年宮城県沖地震等で被害を受けた橋 124 橋に適用し、耐震調査法で予測される被害度と宮城県沖地震等による実被害度との対応を比較検討することとした。

日本道路協会の耐震調査法は、第 2 章で示したように、図 2.4 に示すフローに従い、表 2.12 に示す調査票を併用して、変形に関する評価点 X、及び強度に関する評価点 Y により、表 2.13 に基づいて耐震性を次の 3 ランクに判定するものである。

- A：道路施設の被災の程度または確率が高いと予想される範囲
- B：道路施設の被災の程度または確率がやや高いと予想される範囲
- C：道路施設について局部的に被災するが被災の程度または確率がやや低いと予想される範囲

(2) 耐震調査法の適用性

上述の 124 橋の検討対象橋に対して図 2.4 及び表 2.12 に従い、評価点 X を算出した。ただし、ここでは表 2.12 の中で評価点 Y に及ぼす影響の大きい⑦固定支承及び支承周辺の異常、⑧躯体の異常、⑨基礎の異常の項目については、正確な情報が得られないため、評価点 Y の算出は行っていない。また、上述した耐震性のランク A、B、C と表 3.2 に示した被害度 0～5 の関係については、落橋という事態に着目して、落橋もしくは落橋寸前の橋（被害度 4、5）を A ランク、耐荷力の減少の橋（被害度 3）を B ランク、無被害もしくは被害が軽微な橋（被害度 0～2）を C ランクとすることとした。

以上のようにして、評価点 X による判定結果を示したのが表 4.1(a)である。ここで、実被害と耐震性判定の結果の一致度を表わすために次の 3 つのパラメータを導入する。すなわち、今仮に、A ランクに着目すると、

適中率 P_C ：実被害が A ランクであった橋が、耐震判定でも A ランクと判定される率

非適中率 P_{NC} ：実被害が A ランクであった橋が、耐震判定では B ランクもしくは C ランクと判定される率（ $P_{NC} = 1 - P_C$ ）

混入率 P_M ：実被害は A ランクではなかった橋が、耐震判定では A ランクと判定される率
以上の定義は、他の B ランク、C ランクに対しても同様である。

このように適中率 P_C 、非適中率 P_{NC} 、混入率 P_M を定義すると、たとえば A ランクの適中率 P_C は、 $15/18 = 83\%$ となり、非適中率 P_{NC} は、 $3/18 + 0/18 = 17\%$ 、混入率 P_M は、 $(6 + 5)/(20 + 86) = 10\%$ となる。

このようにして、適中率 P_C 、非適中率 P_{NC} 、混入率 P_M を求めた結果が表 4.1(b)である。これによれば、A ランク及び C ランクの適中率は、いずれも 80% 以上あり、かなり高いことがわかる。これに対して、B ランクの適中率は 30% と低い。このことは、明らかに耐震性が低

い橋、及び明らかに耐震性が高い橋に対しては、それぞれかなりの確率で耐震性の判定ができるが、両者の中間に位置する橋については耐震性の判定が十分できないことを示している。極言すると、ランクが3通りであれば、全く任意に被害度を決めても平均的には33%の適中率は確保できることになる訳である。このような言わば一般の橋に対する耐震性の判定法の開発が今後の重要な検討課題と考えられる。

なお、ランク A, B, C を通した全体の適中率を求めると

$$(15 + 6 + 70) / (18 + 20 + 86) = 91 / 124 = 73 \%$$

となる。すなわち、今回対象とした124橋のうち、91橋については3段階に分けた被害度を正しく判定できたことになり、この数値自体は、本耐震性判定法の精度がかなり実用性を有していることを示している。ただし、前述したように今回解析対象とした124橋は、宮城県沖地震で何らかの被害を受けた橋95橋を基本に、これに無被害橋19橋、関東地震、福井地震、新潟地震で大被害を受けた橋10橋を加えたものである。したがって、全体として被害を受けた橋の比率が高い訳であり、耐震調査のように無被害橋の割合がもっと高いであろう一般の多数の橋に対して耐震性判定を行った場合に73%の確率で本耐震性判定が適用できるかどうかに関しては、今後検討の余地を残している。

表 4.1 実被害度と耐震性判定による被害度の一致度

(a) 実被害ランクと耐震性判定による被害度が一致する橋及び一致しない橋〔橋数〕

耐震性判定 による被害 ランク 実被害ランク	A	B	C	計
A	15	3	0	18
B	6	6	8	20
C	5	11	70	86
計	26	20	78	124

(b) 適中率 P_C 、非適中率 P_{NC} 、混入率 P_M 〔%〕

被害ランク	適中率 P_C	非適中率 P_{NC}	混入率 P_M
A ランク	83	17	10
B ランク	30	70	13
C ランク	81	19	21
全 体	73	27	—

5. 結 論

本資料では、既往の耐震性調査法を整理するとともに、既往地震により被害を受けた橋梁の被害の程度に影響を与える因子の数量化理論第Ⅰ類による解析、及び既往の耐震調査法の中から最も代表的な調査法として、日本道路協会による耐震性調査法を抽出し、その適用性の検討を行なった。

以上の検討結果から明らかになった事項及び今後の検討課題は、以下の通りである。

- 1) 道路橋の被害形態は、耐震設計法の進歩に伴ない、下部構造の移動、傾斜、転倒による上部構造の落橋という被害形態から、橋脚躯体の被害、支承部の被害へと変化してきている。したがって、耐震性調査法の検討に際しては、こうした被害形態の変化を正しく見込む必要がある。
- 2) 既往の耐震性調査法を整理検討すると、判定の基準としている項目は、いずれの手法も基本的には同じであり大差はない。しかしながら、判定結果の評価方法には、ある一項目でも耐震性を満たさないものがあれば、全体の耐震性がないと評価する方法と、全項目の総合で耐震性を評価する方法がある。いずれも一短一長があり、今後検討する必要がある。
- 3) 数量化理論第Ⅰ類により、被害橋のみを対象とした場合、無被害橋も加えた場合、予測式を各アイテムの和あるいは積とした場合について地震動加速度の考慮も含めて検討を行なったが、各ケースとも重相関係数で0.8程度以上あり、ある程度の精度を有している。
- 4) 各説明変数のノーマライズド・スコアは、2、3の例を除けば全体として予想される通りの結果となっており、その概要を示すと表3.9の通りとなる。
- 5) 地震動加速度、適用示方書、落橋防止構造及び地盤条件については偏相関係数及びレンジ値が相対的に高く、それぞれ被害度を高くする要因と見ることができる。
- 6) 日本道路協会（昭和61年）の耐震性判定法により、昭和53年宮城県沖地震等により被害を受けた124橋を判定すると、全体の適中率は73％となる。ただし、明らかに耐震性に優れた橋及び明らかに耐震性の低い橋に対する判定精度はいずれも80％を越えるが、両者の中間に位置する一般の橋に対する適中率は30％に過ぎない。判定基準を少し動かすところの橋に対する判定結果が大きく変わる可能性があり、これについて今後検討していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 道路震災対策委員会：道路の震災対策に関する調査報告（Ⅱ），一道路構築物の被災予測に関する研究一，（社）日本道路協会，昭和 54 年 9 月。
- 2) 道路震災対策委員会：道路の震災対策に関する調査報告，一道路構築物の耐震調査及び震災対策工法に関する研究一，（社）日本道路協会，昭和 61 年 3 月。
- 3) 地震予知総合研究振興会：橋梁の耐震性評価手法に関する研究，昭和 60 年 7 月。
- 4) 耐震補強研究小委員会：既存コンクリート構造物の耐震補強一実施及び研究の現状と問題点一，パネルディスカッション資料集，（社）日本コンクリート工学協会，昭和 58 年 1 月 26 日。
- 5) 鉄道地震対策の研究委員会：鉄道地震対策の研究報告書，（社）日本鉄道施設協会，昭和 61 年 3 月。
- 6) 鉄道施設地震防災研究会：地震による被害の軽減及び早期復旧に関する指導指針作成調査報告書，運輸省鉄道監督局民営鉄道部土木電気課，昭和 59 年 3 月。
- 7) 岩崎敏男，川島一彦，高木義和：1978 年宮城県沖地震による地域別地震動強度の分布に関する調査報告，土木研究所資料第 1512 号，昭和 54 年 6 月。
- 8) 川島一彦，相沢興，高橋和之：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式，土木研究所報告第 166 号，昭和 60 年 9 月。
- 9) 宮城県土木部道路建設課：1978 年 6 月宮城県沖地震による橋梁震害調査報告書，昭和 53 年 10 月。
- 10) 土木学会：大正 12 年関東大地震震害調査報告，昭和 59 年 9 月。
- 11) 金森博雄，安藤雅孝：関東大地震の断層モデル，東京大学地震研究所関東大地震 50 周年論文集，昭和 48 年 9 月。
- 12) 建設省土木研究所：新潟地震調査報告，土木研究所報告第 125 号，昭和 40 年 6 月。
- 13) 建設省土木研究所：1978 年宮城県沖地震災害調査報告，土木研究所報告第 159 号，昭和 58 年 3 月。
- 14) 気象庁：昭和 39 年 6 月 16 日新潟地震調査報告，気象庁技術報告第 43 号，昭和 40 年 5 月。
- 15) 福井市：福井烈震誌，昭和 53 年 3 月。

付 属 資 料 I

サンプル橋のアイテム・カテゴリーデータ

本検討で解析に用いたサンプル橋 124 橋のアイテム・カテゴリーデータを以下に示す。

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILLINOIS 60607-7099

No	橋名	被 害 度	アイテム		適用書		上部構造形式		平面線形		上部構造材料		縦断勾配		落橋防止構造		下部構造形式		橋高		脚さ		地盤条件					液状化の影響		洗掘		下部材料		基礎工法					支持地盤		加速度 推定値
			大正15・昭和14	昭和31・昭和39	昭和46・昭和55	ゲルベール橋・純径間持	12径連上純の支続橋	上ラ路・斜張橋・吊橋	桁橋・斜張橋・吊橋	曲線橋	直線橋	R・C・P・C	鋼	6%以上	6%未満	なし	1種以上	2種以上	R・C・P・C	その他	10m以上	5m以上10m未満	5m未満	4種・極軟弱	4種	3種	2種	1種	有	無	有	無	大正15・昭和14告示による無筋コンクリート	R・C・P・C・鋼・昭和31告示以後の無筋コンクリート	木杭・レンガ・箱枠工法	石積・コンクリート・石					

No	橋名	被 害 度	アイテム		大正15・昭和14	昭和31	昭和46	適用		上部構造形式				平面線形	上部構造材料	縦断勾配	落橋防止構造	防	橋	下	部	式	橋高	脚	地盤条件							液状化影響	洗掘	下部材料	基礎工法			支持地盤	加速度推定値																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
			カテゴリー	被害度				昭	和	ゲル上	12径連	上ラ路	桁・斜張橋												曲線橋	直橋	R	C	P	C	6%				6%	な	1			2	R	C	10m以上	5m以上	5m未満	4種・極軟弱	4	3	2	1	有	無	有	無	大正15・昭和14	昭和31	昭和46	R・C・鋼	木杭・石積	不	既製RC杭	昭和の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼	杭の鋼

No	橋名	被害度	アイテム		適用方		上部構造形式					平面線形		上部構造材料		縦断勾配		落止橋		防橋構造		下部構造形式		橋高		脚さ		地盤条件							液状化の影響		洗掘		下部材料		基礎工法					支持地盤		加速度推定値
			カテゴリー	大正15・昭和14	昭和31	昭和46	ゲル上の単・純・2径間持	12径連間以上純の支統・桁	上ラ・斜張橋・吊橋	桁・斜張橋・吊橋	曲線橋・斜橋	直線橋	R・C・P・C	鋼	6%	6%	なし	1種	2種	パイラル・ベント	R・C・ラ・メン	その他	10m以上	5m以上10m未満	5m未満	4種・極軟弱	4種	3種	2種	1種	有	無	有	無	大正15・昭和14道示による無筋コンクリート	R・C・P・C・鋼・昭和31道示以後の無筋コンクリート	石杭・レンガ・箱枠工法	不既製R・C・杭・ベデルタルン	杭の・46指針以後の杭・基礎のC・ン	杭の・鋼杭・打直・基礎のC・ン	不均	均						
81	水守橋	2		1		1				1		1		1	1						1	1							1		1		1						1		1	372						
82	歌津大橋	2			1	1				1	1			1		1					1	1						1			1		1						1		1	397						
83	湯渡戸橋	2	1			1				1		1		1				1			1	1							1		1		1		1					1		1	209					
84	細測1号橋	2		1				1		1	1			1		1				1		1							1			1		1						1		1	232					
85	細測2号橋	2		1				1		1	1			1	1					1		1							1			1		1						1		1	231					
86	松川橋	2		1		1				1		1		1	1					1		1				1					1		1		1					1		1	209					
87	高倉川橋	2		1		1				1	1			1	1				1		1								1		1		1		1				1		1	256						
88	元堰場橋	2		1		1				1		1		1	1					1		1						1			1		1		1		1				1		1	223				
89	北向橋	2		1		1				1	1			1	1					1		1						1			1		1		1				1		1	213						
90	三月田橋	2		1		1				1	1			1	1					1		1							1			1		1				1		1	224							
91	北白川橋	2	1			1				1		1		1		1	1			1		1					1				1		1		1				1		1	213						
92	船岡大橋	2		1		1				1		1		1		1	1			1		1					1				1		1		1				1		1	229						
93	熊野橋	2		1			1			1		1		1	1			1		1		1			1				1			1		1		1			1		1	219						
94	車橋	1		1		1				1		1		1	1					1		1				1					1		1		1				1		1	277						
95	大澤橋	1		1		1				1	1			1	1					1	1						1				1		1		1		1			1		1	245					
96	井土新橋	1			1	1				1	1			1				1		1		1			1			1				1		1				1		1	279							
97	辻堂橋	1			1			1		1		1		1				1		1		1				1					1		1		1				1		1	381						
98	新北上大橋	1			1		1			1		1		1				1		1	1								1			1		1				1		1	412							
99	三ツ口橋	1		1		1				1	1			1				1		1		1				1					1		1		1				1		1	315						
100	化粧坂橋	1		1		1			1		1			1		1				1		1				1					1		1		1				1		1	303						

No	橋名	アイテム カテゴリー	適用 通示方			上部構造形式			平面 線形	上部構 造材料	縦断 勾配	落橋 防止	橋脚 構造	下部構 造形式	橋脚 高さ	脚さ	地盤条件							液状化 の影響		洗掘	下部構 造材料	基礎工法			支持 地盤	加速度								
			大正 15 ・ 昭和 14	昭和 31 ・ 昭和 39	昭和 46 ・ 昭和 55	ゲル パ の 単 径 支持	12 径 間 以 上 の 支 持 ・ 桁	上 ラ 路 ・ 中 路 一 連 の 支 持 ・ 吊 橋	曲 線 橋 ・ 斜 橋	直 線 橋	R C ・ P C	鋼	6 % 以 上	6 % 未 満	な し	1 種	2 種	パ イ ラ ー ベ ン ト	R C ラ ー メ ン 他	10 m 以 上	5 m 以 上 10 m 未 満	5 m 未 満	4 種 ・ 極 軟 弱	4 種	3 種	2 種	1 種	有	無	有	無	大正 15 ・ 昭和 14 道示 に	以後 の 無 筋 コン クリ ート	石 杭 ・ レン ガ ・ 箱 枠 工 法	不 既 製 R C ・ 杭 ・ ベ ー ル ・ ソ ン グ	既 製 R C ・ 杭 ・ ベ ー ル ・ ソ ン グ	杭 の 46 指 針 以 後 の 打 杭 ・ 基礎 の P C	杭 の 一般 の 直 接 ・ 基礎 の P C	不均	均
101	念仏壇橋	1			1		1		1		1		1		1			1		1			1		1		1		1		1				1		1		313	
102	千貫橋	1			1	1		1		1		1		1		1			1			1		1		1		1		1					1		1		311	
103	新滝浜橋	1			1		1	1		1		1			1	1								1		1		1		1		1				1		1		413
104	燕沢跨線橋	1		1		1			1		1	1			1		1					1				1		1		1		1				1		1		279
105	有壁跨線橋	1		1				1		1		1		1		1								1		1		1		1		1			1	1			266	
106	石越跨線橋	0		1		1			1	1		1	1			1	1							1		1		1		1		1				1		1		295
107	丸森新橋	0		1		1			1		1		1			1				1		1				1		1		1		1				1		1		217
108	赤坂跨線橋	0	1				1		1	1		1			1		1							1		1		1		1		1				1		1		338
109	追分橋	0		1			1		1		1		1			1								1		1		1		1		1				1		1		336
110	釜辰大橋	0		1				1		1		1		1		1								1		1		1		1		1				1		1		223
111	涌谷大橋	0		1		1			1		1		1		1		1			1		1				1		1		1		1				1		1		322
112	草木大橋	0		1		1			1		1		1		1		1							1		1		1		1		1				1		1		234
113	瀬峰橋	0		1		1			1	1		1		1		1								1		1		1		1		1				1		1		291
114	轟橋	0		1			1		1		1		1		1		1				1				1		1		1		1					1		1		249
115	山田橋	0		1			1		1	1		1		1		1					1				1		1		1		1					1		1		251
116	赤井ノ目橋	0		1			1		1		1		1		1		1							1		1		1		1		1				1		1		257
117	東根橋	0		1		1			1		1		1		1		1			1		1				1		1		1		1				1		1		232
118	佐太夫橋	0		1		1			1		1		1		1		1			1		1				1		1		1		1				1		1		350
119	竜雲寺橋	0		1		1			1		1		1		1		1							1		1		1		1		1				1		1		254
120	不動橋	0		1		1			1	1		1		1		1										1		1		1		1				1		1		346

アイテム			適用方		上部構造形式				平面線形		上部構造材料		縦断勾配		落橋防止構造		下部構造形式		橋高		脚さ		地盤条件					液状化の影響		洗掘		下部材料		基礎工法				支持地盤		加速度					
No	橋名	被害度	カテゴリー				ゲル上の単純支間持	12径連以上純支間持・桁	上路上・斜張橋・吊橋	桁・斜張橋・斜橋	曲線橋・斜橋	直橋	R・C・P・C	鋼	6%以上	6%未満	なし	1種	2種	パイラルベン	R・C・ラ・メン	その他	10m以上	5m以上10m未満	5m未満	4種・極軟弱	4種	3種	2種	1種	有	無	有	無	大正15・昭和14道示による無筋コンクリート	R・C・P・C・鋼・昭和31道示以後の無筋コンクリート	石積・レンガ・箱枠工法	不既型R・C・脚・ペデルタル	杭・2脚・ベテ	昭和46指針以後の杭・打込式	杭・鋼・打込式	一般・鋼・打込式	不均	均	加速度推定値
121	蟹沢橋	0		1		1				1		1		1		1				1	1							1	1		1		1					1	1	1	201				
122	神滝橋	0		1				1		1		1		1		1				1	1								1	1		1		1					1	1	1	204			
123	追分橋	0		1		1				1		1		1		1				1	1								1	1		1		1					1	1	1	200			
124	軍沢橋	0			1	1				1	1			1			1			1		1								1	1		1						1	1	1	186			

付 属 資 料 Ⅱ

地震動加速度の算定

卷之五

卷之五

2. 地震動加速度の算定

本検討では、被害の有無に対して最も基本的な要因と考えられるサンプル橋各橋の地震動加速度の推定値を含めて数量化解析を行なった。地震動加速度は、断層中心からの距離を用いて、土木研究所で開発された地震動加速度の距離減衰式^{7), 8)}により求めた。

1978年宮城県沖地震の場合には、この地震による距離減衰が付図2.1に示すような特性を有していることから、太平洋岸の記録を回帰した次式により地震動最大加速度を推定した。

$$a_{\max} = r \times \bar{a}_{\max} \quad (1)$$

ここで、

$$\bar{a}_{\max} = 562 \times 10^{-0.00453d} \quad (2)$$

ここに、

$\bar{a}_{\max}$: 付図2.1に示す距離減衰の回帰より求めた地震動加速度
(短周期末補正)(gal)

r : SMAC型強震計による短周期補正を加えることによる最大加速度の
平均的な補正係数で、ここでは $r = 1.3$ とした。⁷⁾

$a_{\max}$: SMAC型強震計による短周期成分補正を加えた地震動加速度(gal)

d : 断層中心から当該橋までの距離(km)

また、1923年関東地震、1948年福井地震、1964年新潟地震による被害橋については、回帰式まわりの 1σ のばらつきを考慮して次式を用いた。⁸⁾

$$a_{\max} = 1.6 \times \bar{a}_{\max} \quad (3)$$

ここで、

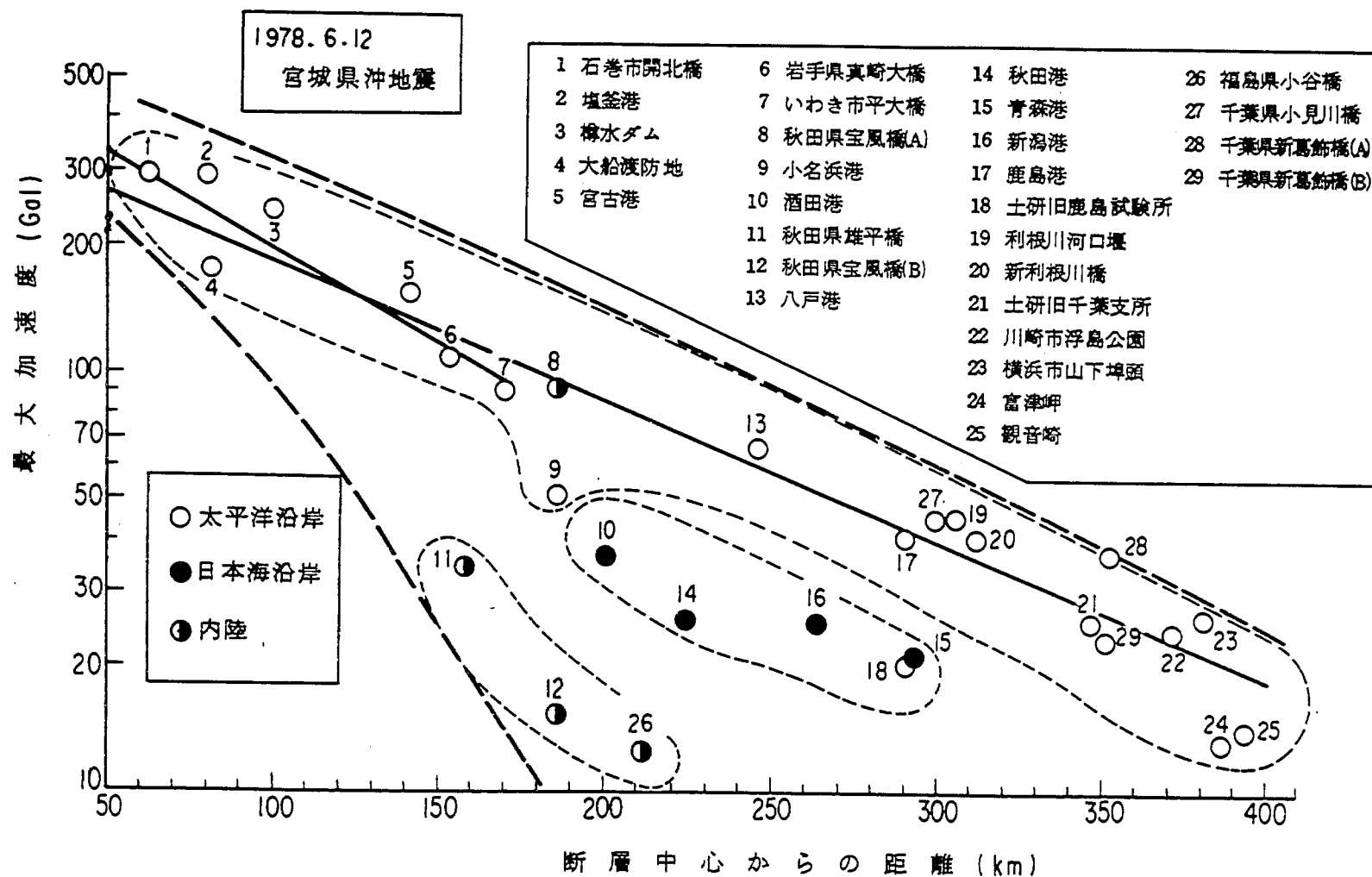
$$\bar{a}_{\max} = 232.5 \times 10^{0.313M} \times (d + 30)^{-1.218} \quad (4)$$

関東地震、福井地震、新潟地震及び宮城県沖地震の断層モデル、震央分布図、及び被害橋位置図を付表2.1及び付図2.2～付図2.8に示す。断層中心からの距離及び地震動加速度算定値を付表2.2に示す。付表2.2における区分は地震動加速度の値により次のように分類した区分値を示している。

区分	{	1 : 200 gal 未満
		2 : 200 gal 以上 300 gal 未満
		3 : 300 gal 以上 400 gal 未満
		4 : 400 gal 以上 500 gal 未満
		5 : 500 gal 以上

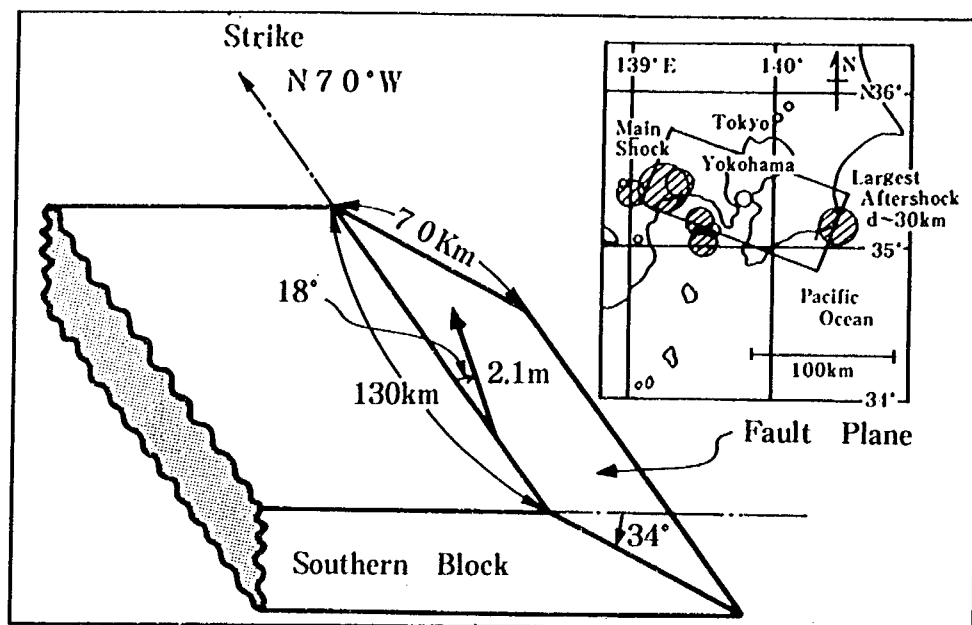
付表 2.1 地震動加速度の算出に用いた各地震の断層中心

地 震 名	発 生 年 月 日	M	断 層 中 心
関 東	1923. 9. 1	7.9	東経 139 度 46 分 北緯 35 度 20 分
福 井	1948. 6. 28	7.3	東経 136 度 15 分 北緯 36 度 8 分
新 潟	1964. 6. 16	7.5	東経 139 度 15 分 北緯 38 度 30 分
宮 城 県 沖	1978. 6. 12	7.4	東経 142 度 北緯 38 度 20 分

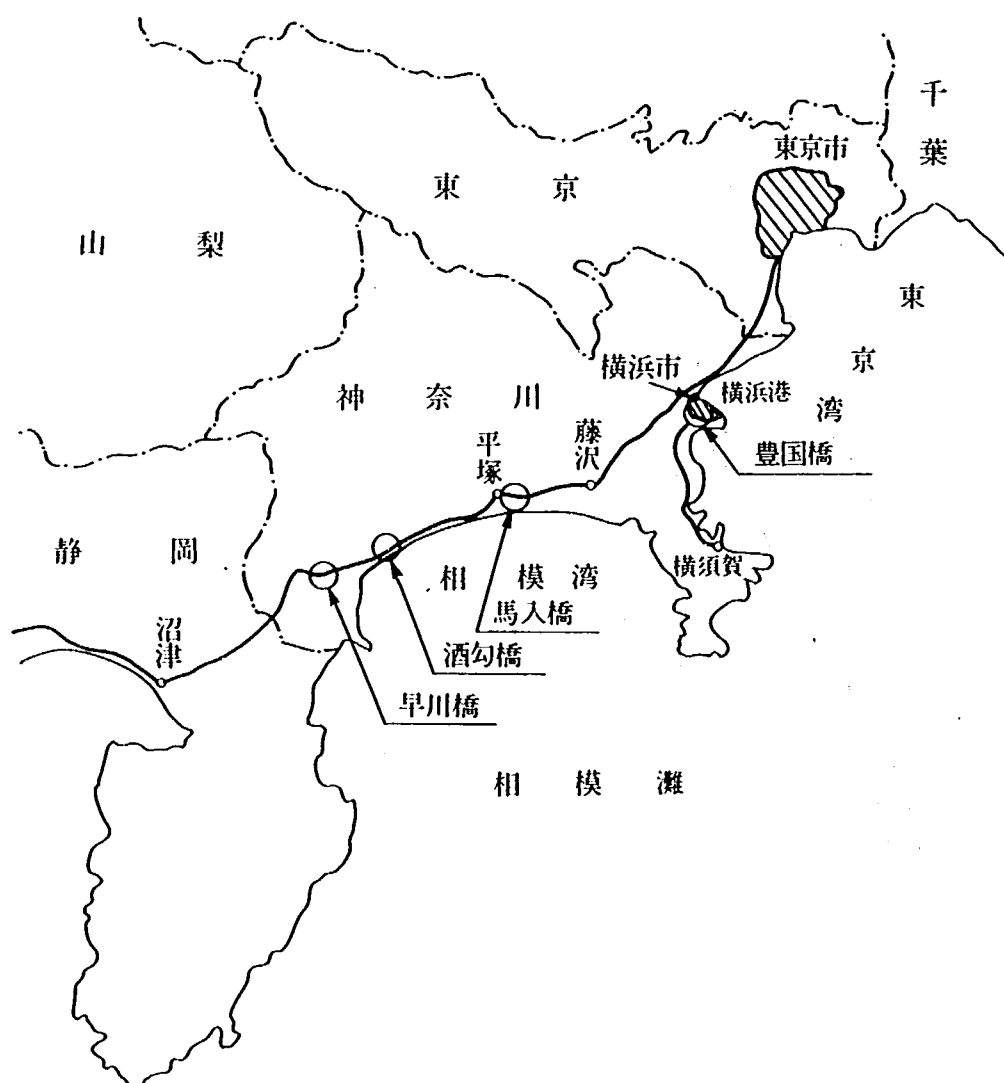


付図 2. 1 地域別に分類した最大加速度 A_{max} ～断層中心からの距離 L の関係 ⁷⁾

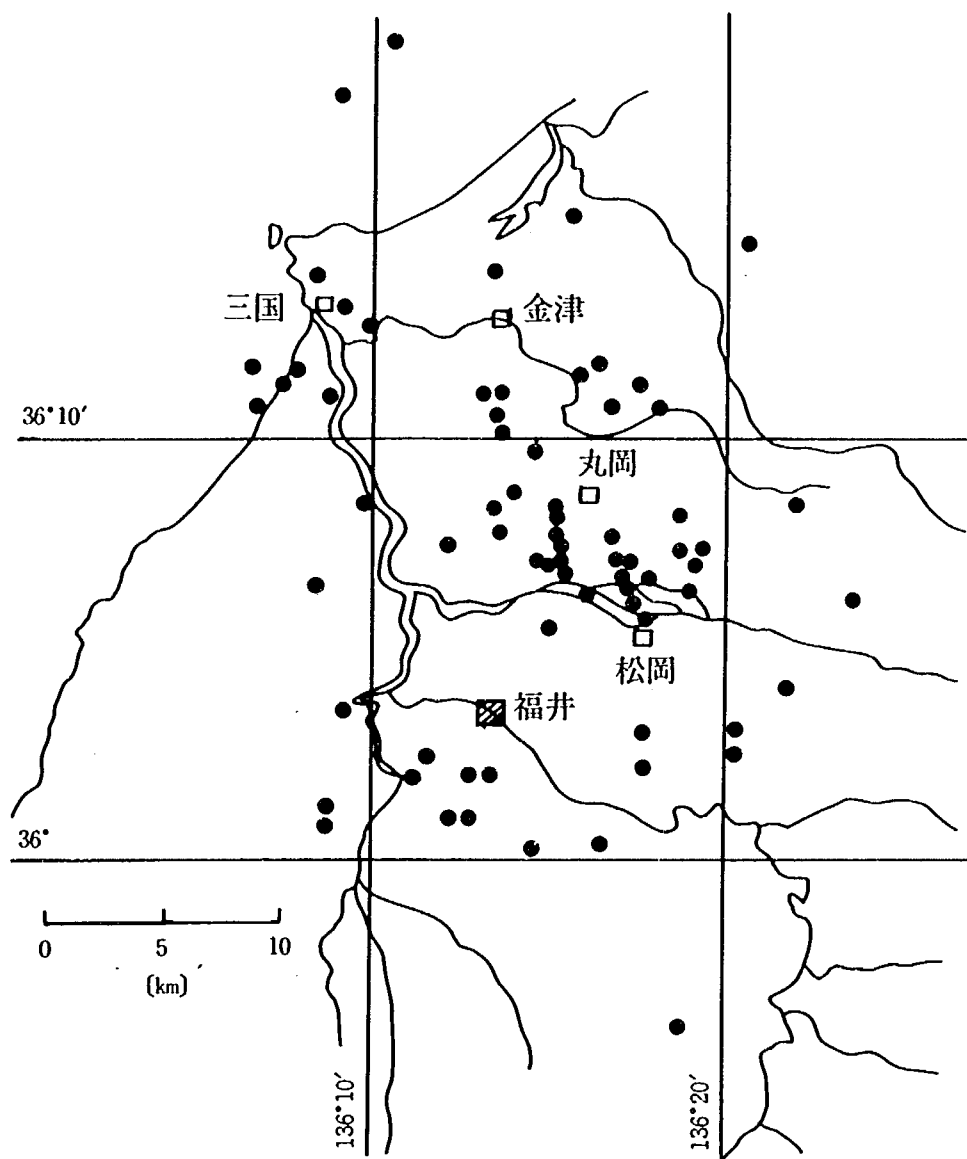
(1978 年 6 月宮城県沖地震)



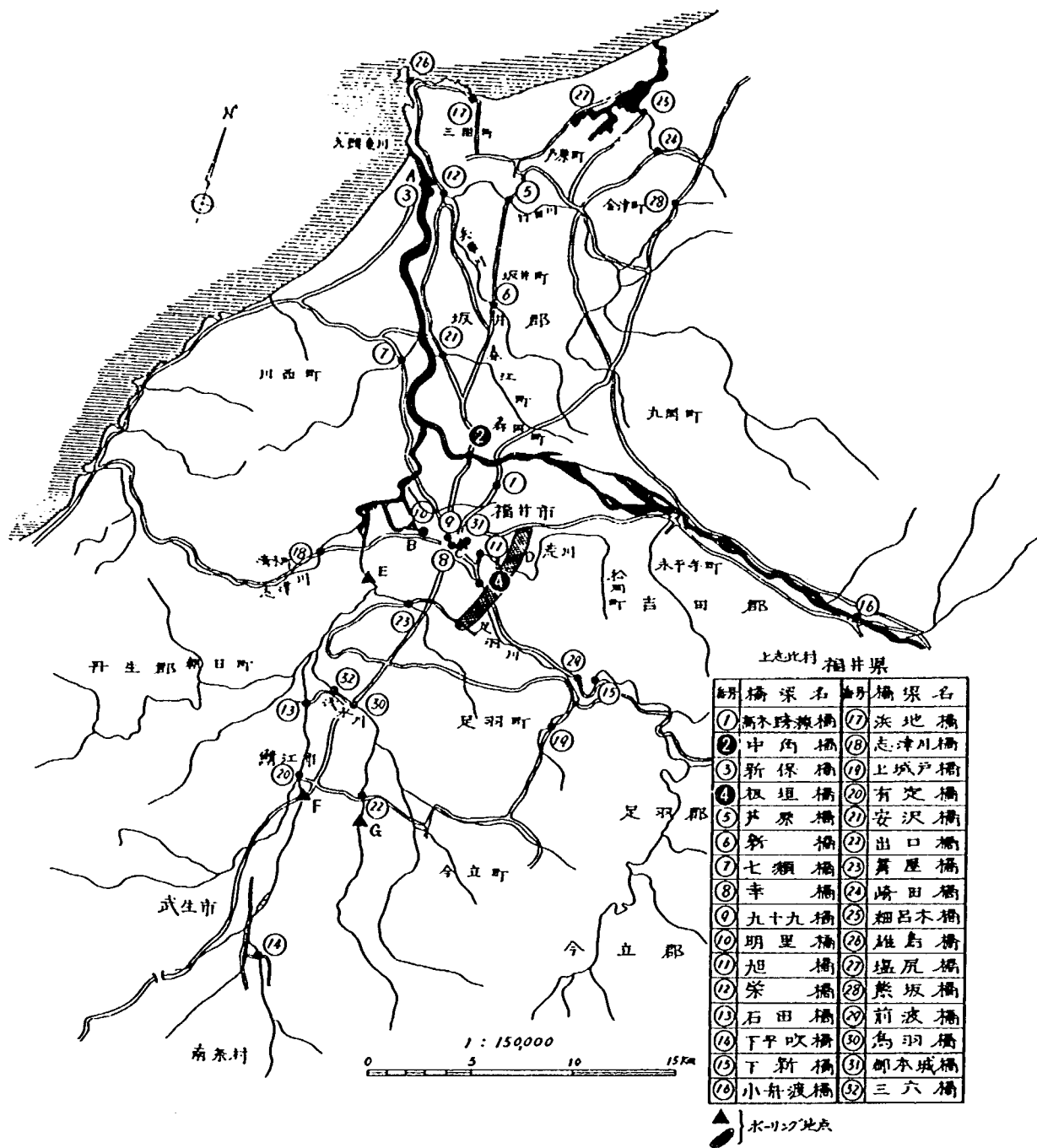
付図 2.2 関東大地震の断層モデル¹¹⁾



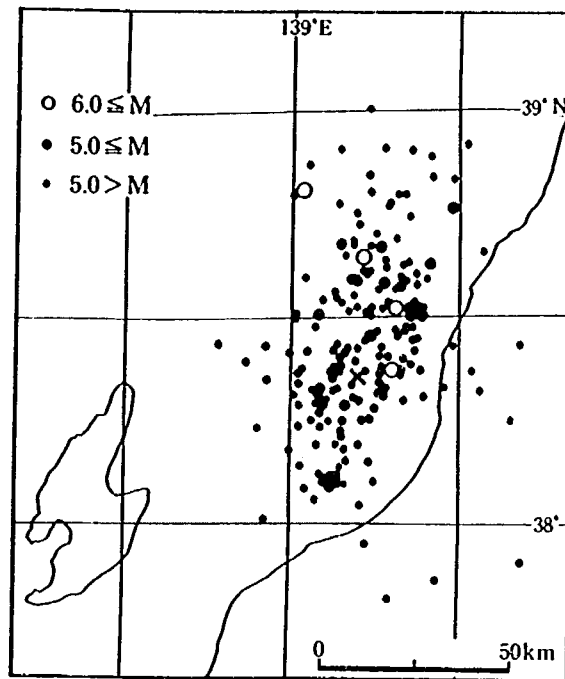
付図 2.3 関東地震による被害橋の位置¹⁰⁾



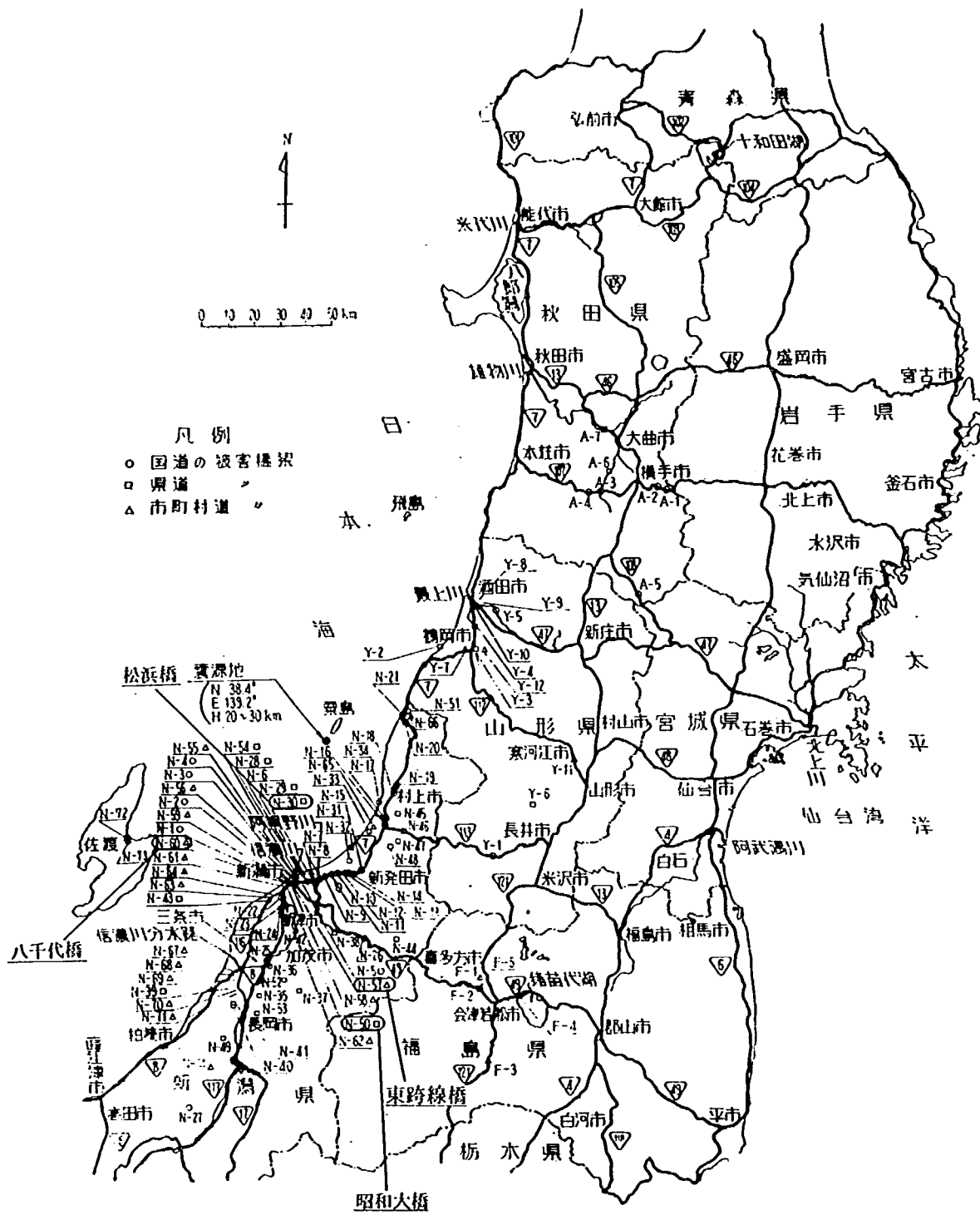
付図 2. 4 福井地震の震央分布 ¹⁵⁾



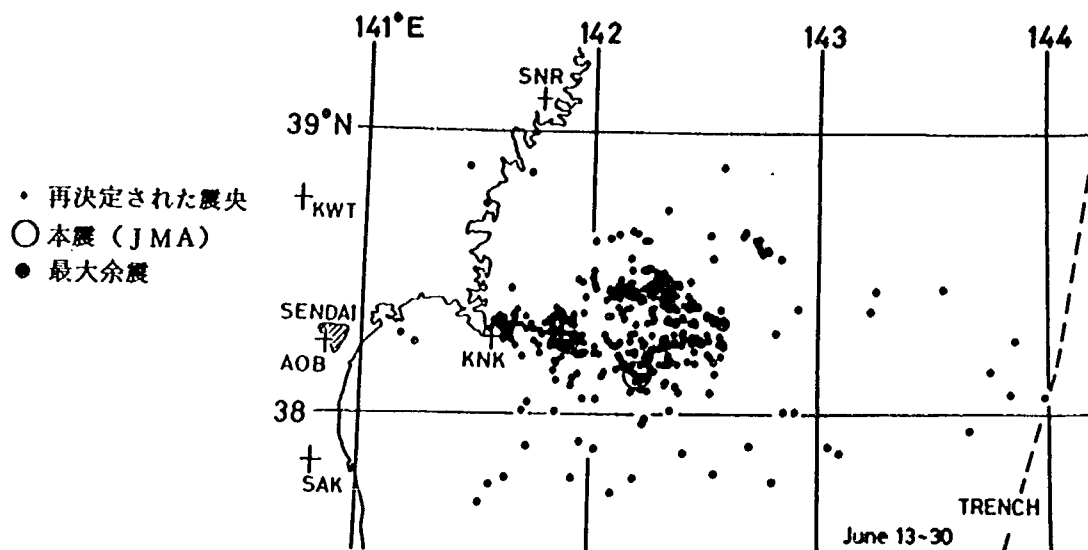
付図 2. 5 福井地震による被害橋の位置¹⁵⁾



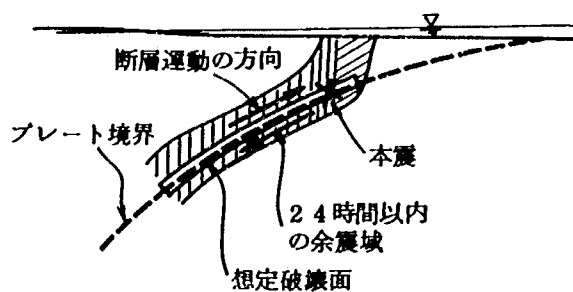
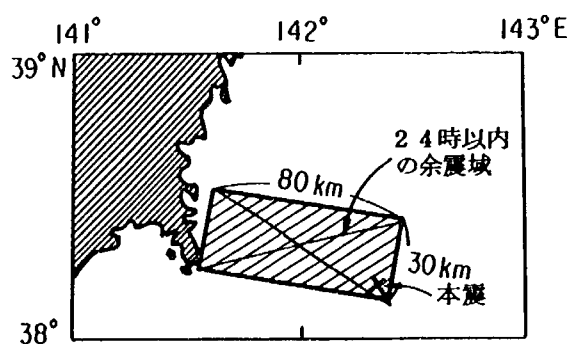
付図 2. 6 新潟地震の震央分布図¹⁴⁾



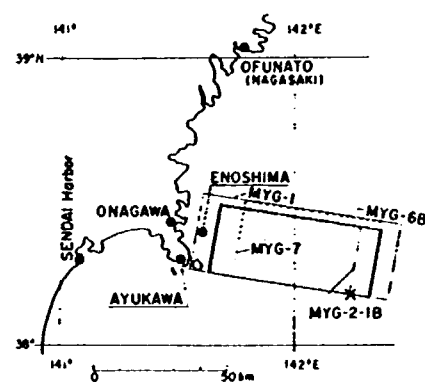
付図 2.7 新潟地震による被害橋の位置¹²⁾



(a) 余震分布 (増田らによる)

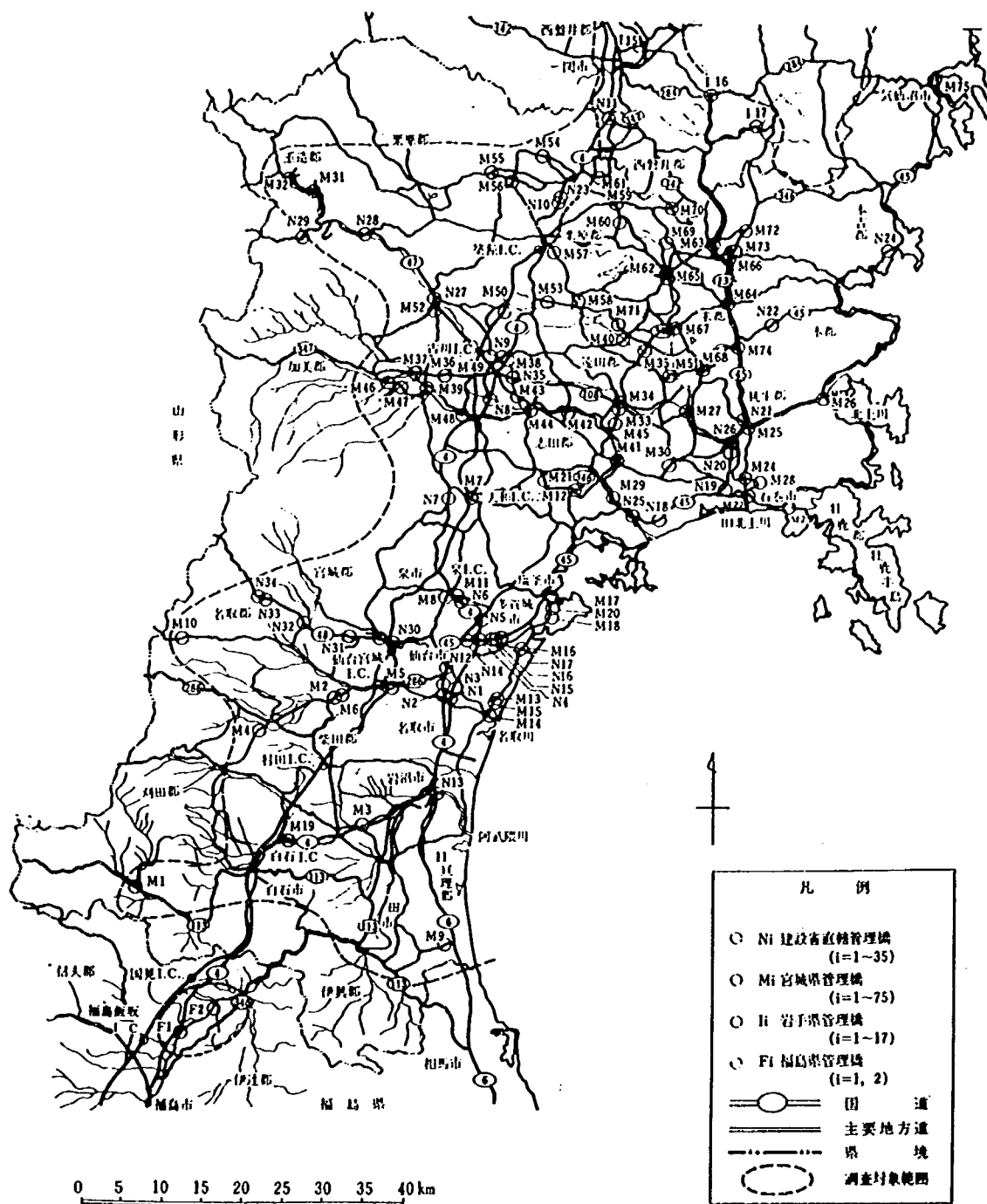


(b) 1978年宮城県沖地震の断層モデル
の一例 (瀬野らによる)



(c) 断層モデル (相田による)

付図 2.8 宮城県沖地震断層モデル⁷⁾



付図 2.9 宮城県沖地震橋梁被害分布 (宮城県)¹³⁾

付表 2.2 サンプル橋の地震動加速度の算定値

No	橋 名	被害度	距 離 (km)	地震動加速度	区 分
1	錦 桜 橋	5	76.4	329.3	3
2	昭 和 大 橋	5	60.0	345.0	3
3	板 垣 橋	5	9.89	804.6	5
4	中 角 橋	5	4.79	950.5	5
5	馬 入 橋	5	43.0	593.9	5
6	東 跨 線 橋	5	57.5	357.0	3
7	松 浜 橋	5	55.0	369.8	3
8	酒 匂 橋	5	62.5	445.1	4
9	豊 国 橋	5	18.3	982.2	5
10	早 川 橋	5	62.5	445.1	4
11	萬 石 橋	4	54.8	412.5	4
12	江 合 川 橋	4	93.4	275.8	2
13	木 間 塚 橋	4	78.4	322.5	3
14	山 吉 田 橋	4	76.2	330.0	3
15	米 谷 大 橋	4	74.0	337.6	3
16	豊 里 大 橋	4	70.0	352.0	3
17	小 野 橋	4	74.2	336.9	3
18	八 千 代 橋	4	57.5	357.0	3
19	七 北 田 橋	3	96.8	266.2	2
20	品 井 沼 橋	3	81.4	312.6	3
21	閉 上 大 橋	3	93.2	276.4	2
22	貞 山 橋	3	83.4	306.1	3
23	田 町 橋	3	78.0	323.8	3
24	高 川 橋	3	100.2	256.9	2
25	志 田 橋	3	88.6	289.9	2
26	高 倉 橋	3	96.8	266.2	2
27	登 米 大 橋	3	71.0	348.4	3
28	柳 津 橋	3	67.2	362.5	3
29	西 内 海 橋	3	60.2	389.9	3
30	神 取 橋	3	70.0	352.0	3
31	青 木 橋	3	70.6	349.8	3
32	荒 雄 川 橋	3	127.2	193.8	1

No	橋 名	被害度	距 離 (km)	地震動加速度	区 分
33	野 田 橋	3	84.0	304.2	3
34	阿 武 隈 大 橋	3	101.6	253.2	2
35	梅 田 川 橋	3	92.8	277.5	2
36	新 江 合 橋	3	94.2	273.5	2
37	新 飯 野 川 橋	3	63.0	378.7	3
38	内 川 橋	3	140.2	169.3	1
39	八 乙 女 橋	2	97.0	265.6	2
40	浪 板 橋	2	73.2	340.5	3
41	名 取 2 号 橋	2	104.2	246.4	2
42	杵 塚 橋	2	109.0	234.4	2
43	落 合 橋	2	94.2	273.5	2
44	磐 司 の 橋	2	82.0	310.6	3
45	新 鎧 川 橋	2	102.8	250.0	2
46	井 土 橋	2	91.8	280.4	2
47	高 砂 大 橋	2	89.2	288.1	2
48	中 の 島 橋	2	83.6	305.5	3
49	大 代 大 橋	2	83.4	306.1	3
50	下 鶴 田 橋	2	84.8	301.7	3
51	開 北 橋	2	60.8	387.5	3
52	大 和 田 橋	2	57.2	402.3	4
53	西 福 田 橋	2	76.6	328.6	3
54	寒 風 沢 橋	2	120.4	208.1	2
55	五 十 鈴 橋	2	77.4	325.9	3
56	田 川 橋	2	104.0	246.9	2
57	鳴 瀬 橋	2	102.2	251.6	2
58	敷 玉 橋	2	106.8	239.8	2
59	三 軒 橋	2	73.6	339.1	3
60	長 谷 川 橋	2	106.6	240.3	2
61	保 野 川 橋	2	105.0	243.9	2
62	桜 の 目 橋	2	95.6	269.5	2
63	伊 勢 堂 跨 線 橋	2	97.0	265.6	2
64	藤 屋 敷 跨 道 橋	2	96.2	267.9	2
65	長 泥 橋	2	73.6	339.1	3

№	橋 名	被害度	距 離 (km)	地震動加速度	区 分
66	大 寺 橋	2	91.4	281.6	2
67	杉 橋	2	100.8	255.3	2
68	島 廻 橋	2	102.2	251.6	2
69	花 山 沢 橋	2	111.6	228.1	2
70	若 柳 大 橋	2	89.4	287.5	2
71	峰 界 橋	2	88.0	291.8	2
72	夏 川 橋	2	91.4	281.6	2
73	道 場 橋	2	93.2	276.4	2
74	錦 橋	2	79.2	319.8	3
75	佐 沼 大 橋	2	79.8	317.8	3
76	桜 岡 橋	2	75.4	332.7	3
77	今 道 橋	2	81.6	311.9	3
78	吉 田 橋	2	74.4	336.2	3
79	大 関 橋	2	74.0	337.6	3
80	福田橋(下り)	2	94.6	272.4	2
81	水 守 橋	2	64.8	371.7	3
82	歌 津 大 橋	2	58.6	396.5	3
83	湯 渡 戸 橋	2	119.8	209.4	2
84	細 淵 1 号 橋	2	110.0	231.9	2
85	細 淵 2 号 橋	2	110.6	230.5	2
86	松 川 橋	2	119.8	209.4	2
87	高 倉 川 橋	2	100.4	256.4	2
88	元 堰 場 橋	2	113.6	223.4	2
89	北 向 橋	2	118.2	212.9	2
90	三 月 田 橋	2	113.4	223.9	2
91	北 白 川 橋	2	118.0	213.4	2
92	船 岡 大 橋	2	111.2	229.1	2
93	熊 野 橋	2	115.6	218.8	2
94	車 橋	1	93.0	276.9	2
95	大 澤 橋	1	104.8	244.9	2
96	井 土 新 橋	1	92.4	278.7	2
97	辻 堂 橋	1	62.4	381.1	3
98	新 北 上 大 橋	1	55.0	411.7	4

№	橋 名	被害度	距 離 (km)	地震動加速度	区 分
99	三 ツ 口 橋	1	80.6	315.2	3
100	化 粧 坂 橋	1	84.4	302.9	3
101	念 仏 壇 橋	1	81.4	312.6	3
102	千 貫 橋	1	81.8	311.3	3
103	新 滝 浜 橋	1	54.8	412.5	4
104	燕 沢 跨 線 橋	1	92.4	278.7	2
105	有 壁 跨 線 橋	1	96.8	266.2	2
106	石 越 跨 線 橋	0	86.8	295.4	2
107	丸 森 新 橋	0	116.4	217.0	2
108	赤 坂 跨 線 橋	0	73.8	338.3	3
109	追 分 橋	0	74.4	336.2	3
110	釜 戻 大 橋	0	113.6	223.4	2
111	涌 谷 大 橋	0	78.6	321.8	3
112	草 木 大 橋	0	109.2	233.9	2
113	瀬 蜂 橋	0	88.4	290.6	2
114	轟 橋	0	103.2	249.0	2
115	山 田 橋	0	102.4	251.1	2
116	赤 井 ノ 目 橋	0	100.0	257.4	2
117	東 根 橋	0	109.8	232.4	2
118	佐 太 夫 橋	0	70.6	349.8	3
119	竜 雲 寺 橋	0	101.4	253.7	2
120	不 動 橋	0	71.8	345.5	3
121	蟹 沢 橋	0	123.6	201.3	2
122	神 滝 橋	0	122.4	203.8	2
123	追 分 橋	0	124.2	200.0	2
124	軍 沢 橋	0	131.2	185.9	1

橋梁の耐震性判定法に関する研究

－（その１）外観からの調査を基本とした耐震性判定法－

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2423号
昭和62年1月(1987)
川島一彦，運上茂樹
吾田洋一

キーワード：耐震性判定法，因子分析，道路橋，橋梁

要旨 1923年の関東地震以後現在までに約3000橋の道路橋が地震により何らかの被害を受けており，このうち15橋が落橋という事態に至っている。被害地震を経験した永久橋の全数に比べれば，落橋もしくは架替の必要の生じた永久橋の橋数はわずかであるが，一般に橋梁の被害は，避難路あるいは緊急物資輸送のための輸送路としての道路の機能を喪失せしめると共に，復旧に多大な労力と日数を要し，地域社会，地域経済に与える影響が大きい。既設橋梁の耐震性を考える場合，既往の地震による被害等を調査分析し，これをもとに橋梁の被害を予測することは重要な課題である。本報告は，既往の耐震性判定法を調査するとともに，既往地震による被害橋の因子分析，及び財団法人道路協会から提案されている耐震性判定法の適用性を検討した結果をとりまとめたものである。



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

305-□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所
耐震研究室 御中

No. 011

No. 011

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2423号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印