

耐震補強された道路橋 RC 橋脚の被災度予測

STRUCK LEVEL FORECAST OF RC PIER IN ROAD BRIDGE AFTER IT EARTHQUAKE-PROOF REINFORCES

森崎 啓*, 奥田篤史**, 保田敬一***, 伊藤則夫†, 白木 渡††, 堂垣正博†††

Hiroshi MORISAKI, Atsushi OKUDA, Keiichi YASUDA, Norio ITO,
Wataru SHIRAKI and Masahiro DOGAKI

* 工修 パシフィックコンサルタンツ(株) 大阪支社 交通技術部 (〒541-0052 大阪市中央区安土町 2-3-13)

** 学士(工) 元関西大学工学部土木工学科学生 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

*** 博(工) (株)ニュージェック 東京本社 技術開発 G (〒135-0007 東京都江東区新大橋 1-12-13)

† 博(工) (有)シー・エー・イー (〒680-8064 鳥取市国府町分上 2-210)

†† 工博 香川大学教授 工学部信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 高松市林町 2217-20)

††† 工博 関西大学教授 工学部都市環境工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

After the earthquake in 1995, an earthquake-proof design is reviewed. And it takes measures in preparation for the earthquake that will occur in the future.

We estimated high risk highway bridge piers between Osaka and Kobe from structural property of Hanshin Expressway and the situation of damage in Great Hanshin-Awaji Earthquake. Then we carried out the analysis about earthquake risk for predicting damage of Nankaido earthquake and some right-under earthquakes that they expect.

Key Words: quantification theory, earthquake-proof reinforces, GIS

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、過去の例からは予想できないほどの被害が発生し、死傷者は数万人におよんだ。世界的にもまれに見る近代的大都市直撃の災害となり、道路や建物も崩壊し、さまざまな方面で大きな被害を受けることとなった1)。

橋梁の倒壊は、橋梁そのものの復旧に長時間を要するのみだけでなく、その地域社会全体に致命的な損害を与える恐れがある。災害時の救援活動、復旧作業の際に、物資輸送の生命線となる道路橋の倒壊は、その地域住民の日常生活の回復に重大な支障を及ぼすことになり、また、鉄道橋の倒壊は、その本来の目的である人、物の大量輸送施設としての機能を麻痺させる要因となる。実際に兵庫県南部地震時には、高速道路の倒壊により一般道路が遮断され、負傷者の搬送や救援物資の輸送などが遅れるという2次災害にも発展した。その結果、高速道路の耐震性が疑われることとなり、震災後、高速道路を含めたあらゆる構造物において耐震設計が見直され、今後発生するだろうと予測されている東海・南海地震に備えて対策が行われている。

耐震補強は、社会安全性の観点からだけではなく、構造躯体をより長く使用できるようになるという点で、環境面からも有利なことが示されており、積極的に導入さ

れることが望ましい。このような背景を受けて、平成7年12月25日に耐震改修促進法が施行された。また、いくつかの自治体では耐震補強の補助制度などを用意している。しかしながら、その対策は遅々として進んでいないのが現状である。

保田等は、都市地震における2次的災害の軽減を目的に、都市の主たるライフラインである高速道路網を支える高架橋橋脚を対象に、GISを活用した阪神高速の道路橋橋脚の地震被害の予測を行った2)。まず、阪神高速道路の神戸線および湾岸線の橋脚に関するデータベースをGIS上で構築した。構築したデータベースをもとに、SOMで橋脚の被災度と構造特性との関連性を評価し、数理化理論Ⅰ類による予測被災度の算出、地震損傷の高い橋脚および交通量からみた被災度の高い時間帯を明らかにした。しかし、文献2)で対象としてのは、兵庫県南部地震以前のものであり、これらについては既に耐震補強対策が行われていることから、今後発生する地震について考えるなら補強された橋脚を対象にした被災度予測を行う必要がある。

本研究では、GISを活用して、阪神高速道路の耐震補強後のRC橋脚を対象とした中央構造線、有馬高槻構造線、上町断層系の活断層による直下型地震および南海道地震時の補強前、補強後の被災度を予測する。具体的には、

RC橋脚を対象とし、これらの橋脚が4mm厚の鋼板で補強されているものとして補強後の被災度を数量化理論Ⅰ類を用いて求め、補強前の状態で予測される被災度と比較することを試みる。

2. RC橋脚の耐震補強

2.1 耐震構造

耐震構造は、地震力に対して構造体で耐える工法という意味であるが、力で抵抗するだけのものではない。実際には、建物は耐力以上の地震力が作用しても、簡単には壊れない。これは地震力が静的に作用するのではなく、建物が振動して動的に作用するためであり、耐力以上の力が作用しても、構造体が大きな変形能力や靱性を保有していれば、変形しながら力を逃がすことができる3)。しかし、兵庫県南部地震ではその耐力をはるかに超える力が作用し、大きな被害が発生したため、構造物の耐震安全性をあらためて認識させられることとなった。

2.2 耐震診断および耐震補強

兵庫県南部地震では、1981年以前に建てられた建設物に大破や倒壊といった大きな被害が集中した。これは、古い耐震規定で設計された建設物では、地震に対する強度や靱性が不足していたことが主な原因である。1981年以降の新耐震設計法で設計された建設物では、小規模の被害はあったものの、崩壊や倒壊などの大被害に至ったものは少なかった。旧規定で設計された建設物に大きな被害が集中したことから、耐震改修の必要性が強く認識され、耐震改修促進法が制定された。この法律は不特定多数の人が利用する公共性の高い建設物からまず診断・改修を促進し、一般の建設物にも広めていこうとするものである。

既存の建設物の耐震性能は、建設物の建設年代や竣工後の使用状況などによって異なるので、建物個々について耐震診断をし、耐震安全性を確認する必要がある。

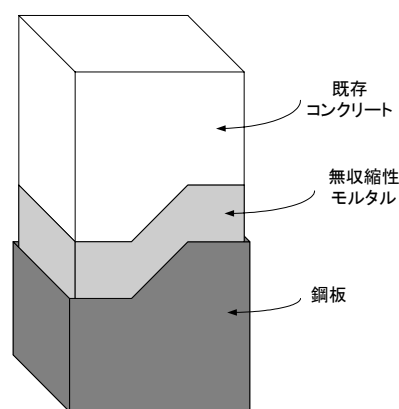


図-1 鋼板巻き立て工法

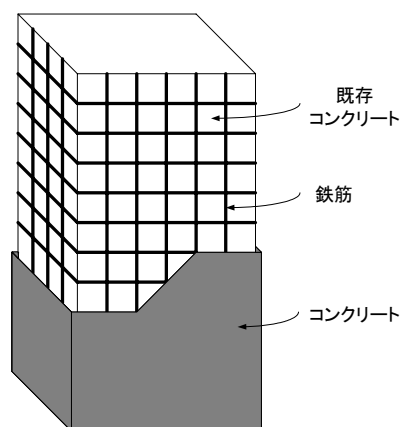


図-2 RC巻き立て工法

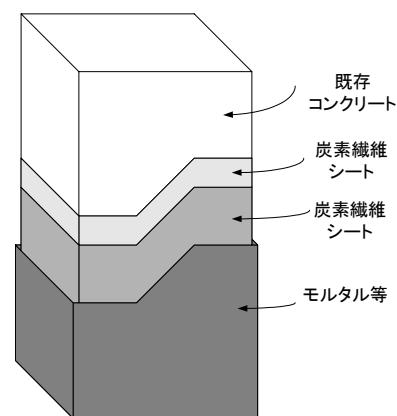


図-3 炭素繊維巻き立て工法

2.3 耐震設計の歴史

わが国は古来、地震による災害を受けてきたにもかかわらず、特に耐震に向けての工夫がなされていなかったため、明治に至るまでの間は耐震技術がほとんどなかったといえる。

1891年に起きた濃尾地震は、内陸に震央をもつ大地震であり、大きな被害を受けた。これをうけて、耐震構造への本格的な調査・研究が始まった。これが日本の近代構造物の耐震化への幕開けとなった。1906年に起きたサンフランシスコ地震では、佐野利器博士らの調査の結果、ラーメン式鉄骨造と鉄筋コンクリート造は被害が少なく、耐震的に優れていることが発見されたため、以後日本でもこれらの構造が多く用いられるようになった。

1923年の関東大震災では、鉄筋コンクリート造の被害は概して少なかったが、欧米直輸入の工法による建設物は大きな被害を受けた。これにより、日本独自の耐震構造の必要性が叫ばれた。この地震の被害については、さまざまな調査が行われ、学術的または技術的に貴重な資料として利用されるとともに、耐震設計法規の制定を促すこととなった4)。

そして、1995年の兵庫県南部地震では、1981年以前に建てられた土木構造物を含めた建設物に大破や倒壊といった大きな被害が集中した。旧規定で設計された建設物に大きな被害が集中したことから、耐震改修の必要性が強く認識されることとなった。高速道路を含めたあらゆる構造物において耐震設計が見直され、東海・南海地震に備えて対策が行われている。

2.4 耐震補強工法

耐震補強の方法には、鋼板巻き立て工法やRC巻き立て工法、炭素繊維工法などがある。以下に、それらの方法の概要を簡単に示す5)。

(1) 鋼板巻き立て工法

既存の柱の仕上げを落とした後に、鋼板で柱を覆い、鋼板を接続して、柱との隙間にモルタルを充填する方法

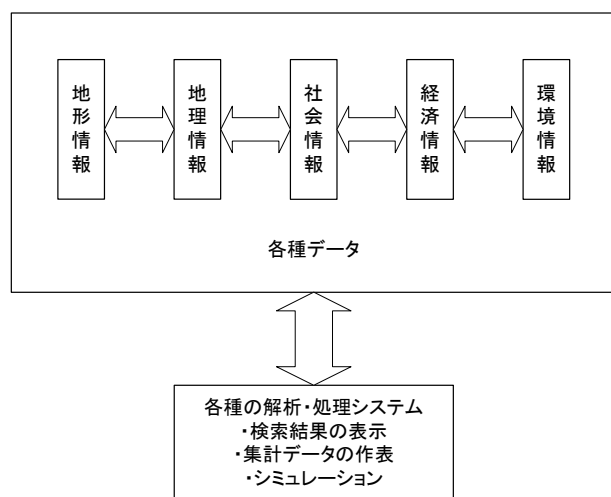


図-4 GISの概要

表-1 従来の作業とGIS上での作業の比較

従来の作業	GISでの作業
情報を利用するときに多くの時間と労力が必要	さまざまな情報を総合的に処理できる。検索結果が瞬時に視覚的に捉えることが可能
紙の劣化	半永久的に当初の状態を維持
膨大な用紙の量	コンピュータによりコンパクトに収納
図面を広げるための広いスペース	パソコン1台分のスペース

である。この方法は、効果的に柱の靱性を高めることができるが、補強後は、鋼板内部のRC柱の損傷や劣化を目視で確認できなくなるという問題がある。鋼板巻立て工法の概要を図-1に示す。

(2) RC巻立て工法

RC巻立て工法とは、既設のRC橋脚の外周にコンクリートを打設する工法である。橋脚の断面を大きくすることによって、橋脚の耐震性を向上させることができる。RC巻立て工法の概要を図-2に示す。

(3) 炭素繊維工法

コンクリート構造物の表面に炭素繊維シートを常温硬化樹脂を用いて接着させる工法であり、鋼板補強と同等の効果を得られる補強工法である。施工のための大掛かりな機械が不要であり、鋼板巻立て工法やRC巻立て工法に比べ、短期間で施工できる。また、軽量性や、耐食性に優れているという利点がある。炭素繊維工法の概要を図-3に示す。

3. GIS

3.1 GISの概要

防災に関する研究では地震の情報のみならず、人口、交通量、医療施設等の社会および環境に関するデータ、地盤や構造物等の工学的なデータなど多くの情報が必要になる。このような大量の情報を効率よく利用するためには地理情報システム(Geographic Information System : GIS)が有効であるといわれている。

現在では、画像処理技術が発達し、地図などの図形情報のデジタル化が可能になった。また、文字や数値といった情報を付け加えることも可能である。GISはこれらのデータを管理し、検索、加工など様々な処理をすることができる。GISを用いることで地形情報や地理情報、社会情報、経済情報、環境情報などの多くのデータから

必要なものを検索し、解析するなどして、利用目的に応じて必要なデータを瞬時に発見、集計、加工することが可能である6)。GISの基本的概念を図-4に示す。

3.2 GISの利点

従来の作業では紙を用いており、必要になったときには紙が劣化していたり、資料の所在がわからないなど情報を利用したいときに膨大な時間と労力を要し、紙を広げるための広いスペースが必要である等の問題点があった。一方、GISでは様々なデータをコンピュータ上で処理できるため、あらゆる情報を付加することができ、瞬時に視覚的に情報を表示することができ、なおかつ半永久的に当初の状態が維持できる。また、GISを用いれば画面上で直ちにシミュレーションを行うことも可能である。以上のようにGISには複雑な作業も効率的に行うことができるという利点がある。表-1に従来の作業とGISでの作業の比較を示す。

4. データベースの作成

4.1 兵庫県南部地震による阪神高速道路の被害

表-2に、阪神高速道路神戸線および湾岸線における橋脚の被災度の集計結果を示した。ここに、被災度は、基本的に構造部材の残留耐力や変形性能に基づいて分類されており、「道路震災対策便覧・震災復旧編」に準じて、表-3に示すように、AsからDランクに分類されている。

なお、本研究で使用したデータは、阪神高速道路公団より提供いただいたものである。

4.2 阪神高速道路RC橋脚のデータベース化

本研究では阪神高速道路神戸線および湾岸線のRC橋脚を対象とする。RC橋脚は神戸線で805橋脚、湾岸線で

表－2 阪神高速道路の被災度

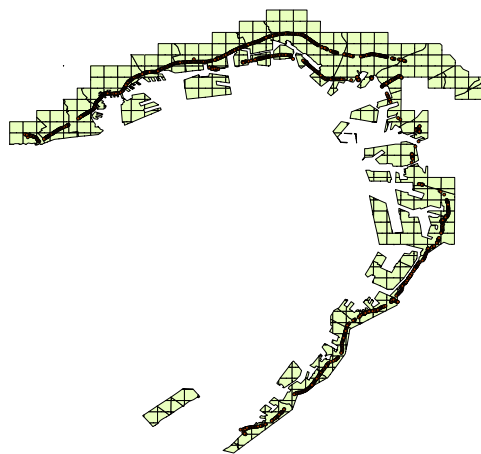
	被災度						
路線名	橋脚材質	As	A	B	C	D	計
3号神戸線	鋼製	3(2%)	8(5%)	12(7%)	112(69%)	28(17%)	163(100%)
	RC	64(7%)	78(8%)	102(11%)	225(24%)	474(50%)	943(100%)
5号湾岸線	鋼製	0(0%)	0(0%)	13(9%)	21(15%)	109(76%)	143(100%)
	RC	0(0%)	0(0%)	1(0%)	22(11%)	179(89%)	202(100%)
計	鋼製	3(1%)	8(3%)	25(8%)	133(43%)	137(45%)	306(100%)
	RC	64(6%)	78(7%)	103(9%)	247(22%)	653(57%)	1145(100%)

表－3 被災度の区分

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見られるもの 鉄筋の一部の破断やはみだしおよび部分的な 被りコンクリートの剥離や亀裂が見られるもの
C	鋼材の座屈や部材の変形が部分的かつ軽微な もの ひび割れの発生や局所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，あっても耐荷力に影響のない 極めて軽微なもの

表－4 データベース内の属性データ

管理情報	管理番号，路線・ランプ等，名称 橋脚竣工年度，杭基礎工年度
位置情報	路線，経度・緯度
下部工	下部工構造型式，橋脚材種，橋脚 橋台形状，橋脚全体高さ，柱部材 種，柱部断面形状，柱直径・橋直 幅，柱橋軸幅，補強前および補強 後の曲げ剛性EI，梁部材種，梁 幅，梁長
基礎工	基礎数，基礎区分，基礎工法，基 礎連続構造等，基礎平面形状，基 礎直径・橋直幅，基礎橋軸幅，基 礎材種，杭材種，杭本数，杭径， 杭長



図－5 GIS 上での表示

1138橋脚存在する．阪神高速道路神戸線および湾岸線のRC橋脚について，GIS上にデータベースを作成した2)．このデータベースには，さまざまな属性データを付加することができ，他の研究にも活用することができる．

このデータベースには表－4のような軸性データが含まれている．GIS上にデータベース化した橋脚の位置を

図－5に示す．橋脚は図－5の太線に沿って分布している．

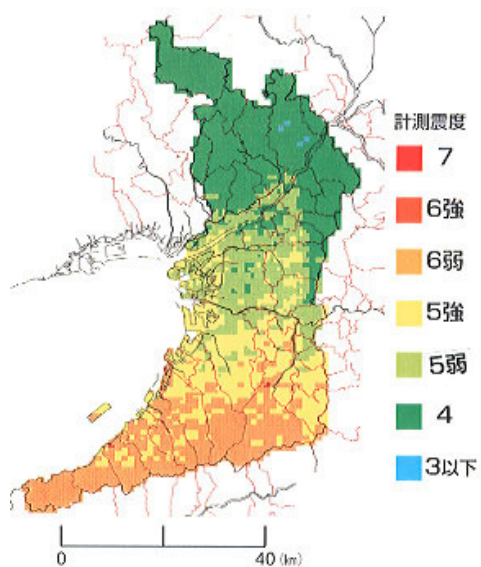
4.3 予想震度分布

本研究では，中央構造線，有馬高槻構造線，上町断層系の活断層による直下型地震および南海道地震を対象とする．それらの予想震度分布図と解析モデルを図－6～13に示す．なお，予想震度分布は大阪府および兵庫県のホームページを，予想震度の解析モデルは保田らの論文を参照した2)．

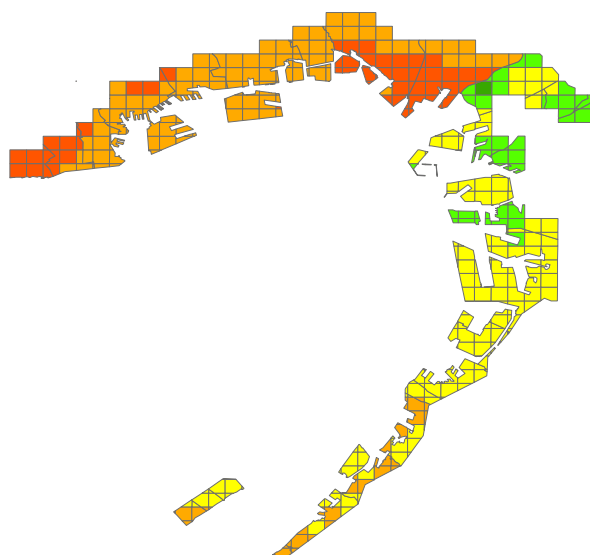
5. 数量化理論Ⅰ類による解析と予測被災度

5.1 数量化理論Ⅰ類の概要

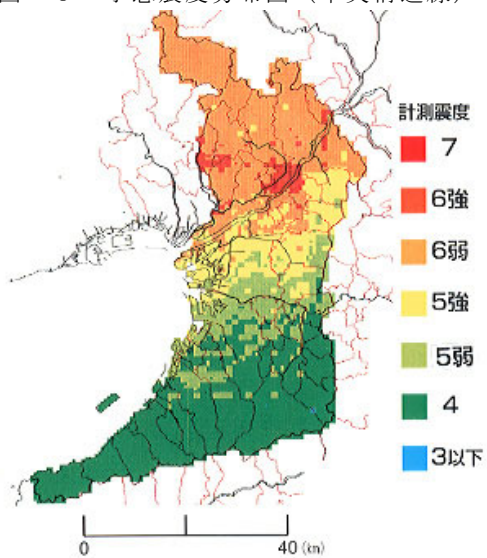
数量化理論とは量的データを扱う重回帰分析に対応した質的データを分析するための多変量解析の手法である．質的データでは通常，そのままでは分析することができない．そこで質的データを目的に合わせ数値に置き換えて数量化することによって多変量解析を可能とする8)．



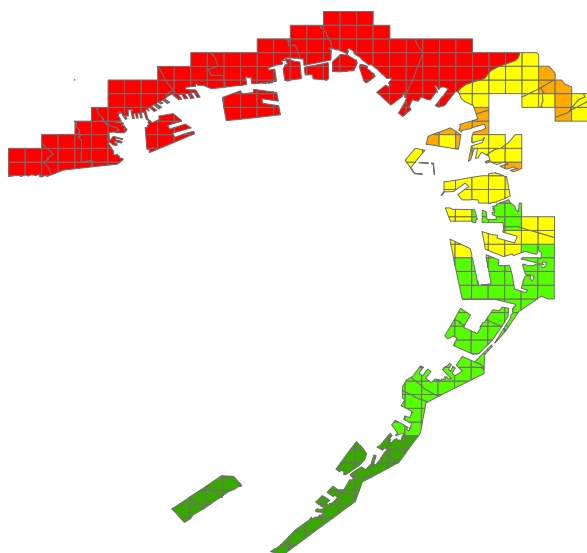
図－6 予想震度分布図（中央構造線）



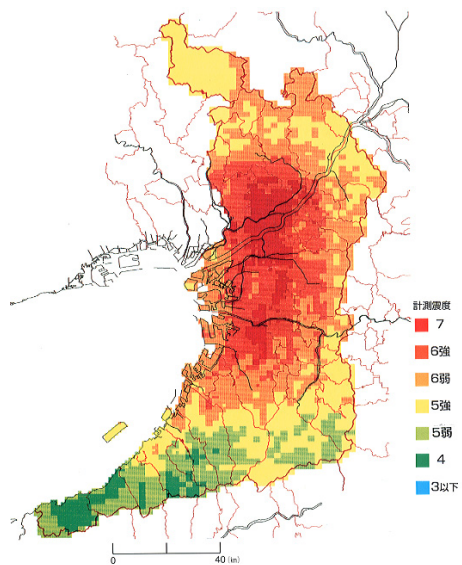
図－7 解析モデル（中央構造線）



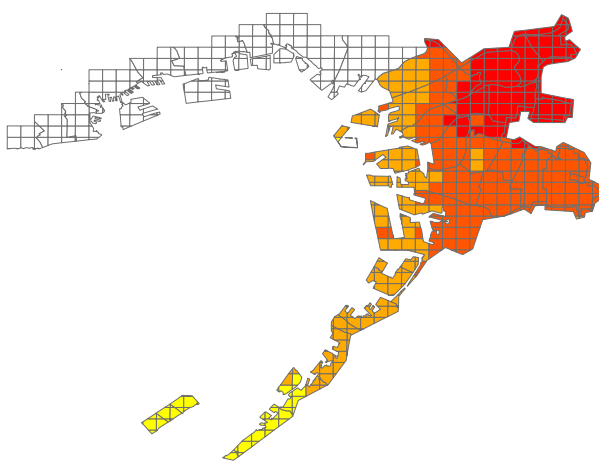
図－8 予想震度分布図（有馬高槻構造線）



図－9 解析モデル（有馬高槻構造線）



図－10 予想震度分布図（上町断層系）



図－11 解析モデル（上町断層系）

表－5 数量化理論Ⅰ類に用いるアイテム・カテゴリー

アイテム	カテゴリー				
1. 橋脚材種	①複合構造	②鋼構造	③PC 構造	④RC 構造	⑤SRC 構造
2. 橋脚橋台形状	①単柱など	②ラーメン脚	③ピルツ橋の柱		
3. 柱部断面形状	①楕円形	②円形	③矩形		
4. 基礎竣工年度	①～1961 年	②1962～1968 年	③1969～1977 年	④1978 年～	
5. 基礎区分	①直接基礎	②杭基礎	③井筒基礎	④その他	
6. 基礎連続構造等	①なし	②独立フーチング	③連続・連結基礎		
7. 杭長	①0m ⑥40.1m～	②0.1～10m	③10.1～20m	④20.1～30m	⑤30.1～40m
8. 推定震度*	①震度 5	②震度 6	③震度 7		
9. 曲げ剛性**	①～25GNm ² ⑥121～178GNm ²	②26～42GNm ² ⑦179～205GNm ²	③43～60GNm ² ⑧206～500GNm ²	④61～83GNm ² ⑨501GNm ² ～	⑤84～120GNm ²

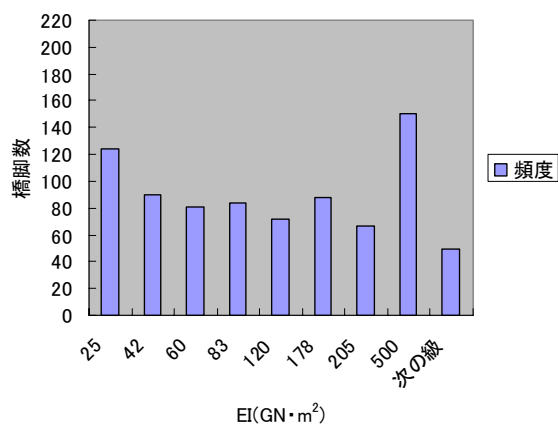
*：推定震度は兵庫県南部地震時のものである。

本研究では被災度を予測するために必要な構造特性は質的データであるため、それを適切な数値に置き換えて数量化し、多変量解析を行う。

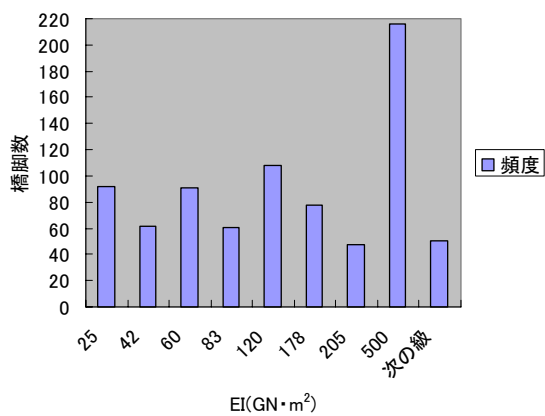
数量化理論Ⅰ類にはアイテムやカテゴリーが存在する。アイテムとは質問事項であり、カテゴリーはその回答である。本研究では、アイテムを構造特性上の項目、カテゴリーをそれらの項目別の構造特性とした。

耐震補強前後の被災度を比較するためには、まず、耐震補強の効果をどのような方法で反映するかを考える必要がある。対象地域の橋脚について表－4に列举した内

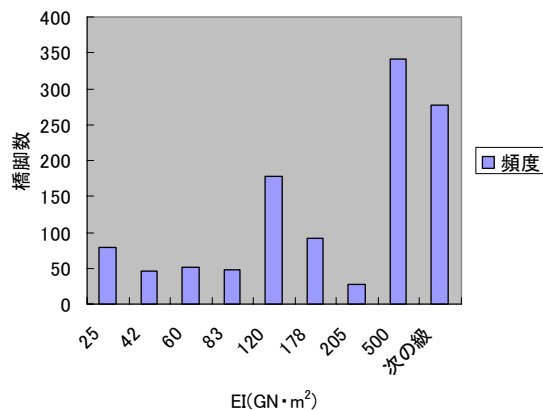
容についてはわかっているが橋脚1基ごとに詳細な荷重条件や配筋状態がわかっているわけではない。また、耐震補強が急速に進められたのは事実であるが個別にどのような対策が講じられたかも知ることはできない。そこで本研究では、多くの橋脚で実施された4mm厚の鋼板巻きたてがすべての橋脚に対して実施されたものと仮定した。そして、橋脚の耐力と柱部の曲げ剛性EIに相関関係があると考え、補強効果を補強前後の曲げ剛性の違いで表すこととした。なお、コンクリートのヤング係数は30kN/m²とし、鉄筋を考慮しない総断面を用いた。また、



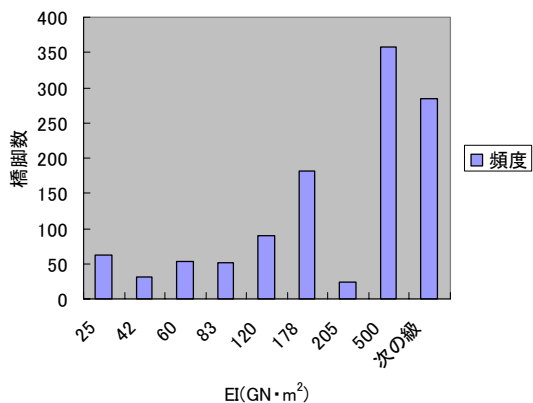
図－1 4 EI ヒストグラム (神戸線－補強前)



図－1 5 EI ヒストグラム (神戸線－補強後)



図－1 6 EI ヒストグラム (湾岸線－補強前)



図－1 7 EI ヒストグラム (湾岸線－補強後)

表-6 各カテゴリ・各被災度の橋脚数（神戸線）

		被災度				
		As	A	B	C	D
～25GN・m ²	補強前	6	8	3	13	94
	補強後	6	7	0	13	66
26～42GN・m ²	補強前	2	7	9	26	46
	補強後	1	1	5	10	45
43～60GN・m ²	補強前	6	8	4	26	37
	補強後	1	7	10	29	44
61～83GN・m ²	補強前	7	10	10	27	30
	補強後	6	9	1	17	28
84～120GN・m ²	補強前	5	8	9	21	29
	補強後	11	16	11	34	36
121～178GN・m ²	補強前	18	9	3	31	27
	補強後	3	9	10	26	30
179～205GN・m ²	補強前	4	7	10	16	30
	補強後	16	1	1	15	14
206～500GN・m ²	補強前	4	16	13	38	79
	補強後	8	23	23	54	108
501GN・m ² ～	補強前	2	2	9	29	7
	補強後	2	2	9	29	8

表-7 各カテゴリ・各被災度の橋脚数（湾岸線）

		被災度				
		As	A	B	C	D
～25GN・m ²	補強前	0	0	0	29	49
	補強後	0	0	0	17	46
26～42GN・m ²	補強前	0	0	0	12	34
	補強後	0	0	0	12	20
43～60GN・m ²	補強前	0	0	0	24	28
	補強後	0	0	0	22	32
61～83GN・m ²	補強前	0	0	0	17	30
	補強後	0	0	0	17	35
84～120GN・m ²	補強前	0	0	0	75	103
	補強後	0	0	0	58	32
121～178GN・m ²	補強前	0	0	0	12	79
	補強後	0	0	0	32	149
179～205GN・m ²	補強前	0	0	0	23	5
	補強後	0	0	0	14	10
206～500GN・m ²	補強前	0	0	0	169	172
	補強後	0	0	0	182	175
501GN・m ² ～	補強前	0	0	0	226	51
	補強後	0	0	0	233	52

鋼板のヤング係数は200kN/m²とした。

本研究で用いるその他のアイテム・カテゴリは保田等の論文2)を参照して表-5のように定めた。

5.2 曲げ剛性のカテゴリ

数量化理論Ⅰ類による解析をするにあたり、曲げ剛性EIのカテゴリ分けをする必要がある。そのため、EIに関してヒストグラム図-14～17を作成した。ヒストグラムを参照し、補強前と補強後で橋脚のカテゴリの変動が多くなるように各カテゴリの値を決定した。カテゴリの変動が多ければ、予測被災度の変動も多くなると考えられるためである。神戸線および湾岸線の補強前後のヒストグラム（図-14～17）およびカテゴリと被災度の関係を示した表-6、7からもわかるように、補強前後を比べると各カテゴリに属する橋脚数、被災度ともに多く変化している。表-5に示した曲げ剛

性のカテゴリはこのようにして決定したものである。

5.3 数量化理論Ⅰ類による解析結果

ここでは、予測被災度を算出するため、数量化理論Ⅰ類による解析を行う。解析結果を表-8に示す。表中の偏相関係数は、この値が大きいほどそのアイテムが被災度への影響が大きいと考えられる。その中でも、カテゴリースコアの値が大きいカテゴリが被災度への影響が大きいといえる。重相関係数は予測精度を表し、値が±1.00に近いほど精度が高くなる。スコアは各カテゴリが被災度に対してどの程度影響を及ぼすかを示す。レンジは各アイテムのスコアの最大値と最小値の差で、この値が大きいほど被災度に対するカテゴリの影響がある。なお、重相関係数Rは0.5341、決定係数R²は0.2852、観測値の平均は3.9925となった。

表-8 数量化理論Ⅰ類の解析結果

アイテム	カテゴリ	偏相関係数	レンジ	カテゴリースコア	アイテム	カテゴリ	偏相関係数	レンジ	カテゴリースコア
1 橋脚材種	①複合構造	0.049	7.290	-0.6443	6 基礎連続構造等	①なし	0.173	3.305	3.1448
	②鋼構造			-7.2570		②独立フーチング			-0.1600
	③PC構造			0.0326		③連続・連結基礎			0.3261
	④RC構造			-0.0682		④0m			3.1996
	⑤SRC構造			-7.2570		⑤0.1～10m			-0.3788
2 橋脚橋台形状	①単柱など	0.363	3.165	0.0294	7 杭長	③10.1～20m	0.148	3.687	-0.4878
	②ラーメン脚			0.2742		④20.1～30m			-0.2620
	③ビルツ橋の柱			-2.8904		⑤30.1～40m			-0.3414
	④楕円形			0.1641		⑥40.1m～			0.2108
	⑤円形			-0.0841		⑦推定震度			0.2069
3 柱部断面形状	③矩形	0.066	0.248	0.0898	8 (兵庫県南部地震時)	②震度6	0.154	0.484	-0.0081
	①～1961年			0.3509		③震度7			-0.2773
	②1962～1968年			-0.0762		①～25GN・m ²			-0.0706
	③1969～1977年			0.2953		②26～42GN・m ²			0.3217
	④1978年～			0.1073		③43～60GN・m ²			0.0730
4 基礎竣工年度	①直接基礎	0.177	7.502	-3.7607	9 曲げ剛性	④61～83GN・m ²	0.178	0.811	0.0218
	②杭基礎			0.6258		⑤84～120GN・m ²			-0.0731
	③井筒基礎			-6.8763		⑥121～178GN・m ²			0.2563
	④その他			-6.0297		⑦179～205GN・m ²			-0.3233
						⑧206～500GN・m ²			0.0089
5 基礎区分						⑨501GN・m ² ～			-0.4890

表－9 予測被災度の変化

		As→A	A→B	B→C	C→D	合計
中央構造線	神戸線	0	0	86	12	98
	湾岸線	0	0	0	53	53
有馬高槻構造線	神戸線	0	12	141	5	158
	湾岸線	0	0	0	47	47
上町断層系	神戸線	0	0	0	0	0
	湾岸線	0	0	0	40	40
南海道地震	神戸線	0	0	6	49	55
	湾岸線	0	0	0	24	24

5.4 予測被災度の算出

数量化理論Ⅰ類による解析結果から、予測被災度を算出する。それぞれの橋脚の予測被災度は、表－9を参照し、次のように求められる。

$$X_i = \sum aS_j + T \quad (1)$$

ここに、 X_i ：各橋脚の予測被災度、 a ：その橋脚がカテゴリーに該当する場合 $a=1$ 、そうでないとき $a=0$ 、 S_j ：カテゴリースコア、 T ：観測値の平均である。

式(1)より予測被災度を求めた結果、補強を行うことで補強前比べて被災度が低減すると予測されたものは、中央構造線で発生する地震では、神戸線で98橋脚、湾岸線で53橋脚あった。また、有馬高槻構造線で発生する地震では、神戸線で158橋脚、湾岸線で47橋脚あった。上町断層系では、湾岸線で40橋脚に被災度の改善がみられた。なお、神戸線については予想震度のデータがないため比較ができなかった。南海道地震では、神戸線で55橋脚、湾岸線で24橋脚が改善された。それらをまとめたものを表－9に示す。

5.5 GISによる解析結果の表示

予想地震ごとに数量化理論Ⅰ類の解析結果を用い、導いた予測被災度をGIS上に表示させた。例として、中央構造線および有馬高槻構造線に関して、全体図と多く予測被災度が改善した魚崎付近の拡大図を表示した。それらを図－18～23に示す。なお、橋脚の構造特性データが得られなかった橋脚が一部存在するため、それらの予測被災度は「エラー」という表記で示されている。

5.6 数量化理論Ⅰ類による解析結果の考察

表－9および図－18～23を参照し、数量化理論Ⅰ類での解析結果から求められた補強前および補強後の予測被災度を考察する。

(1) 中央構造線における解析結果の考察

表－9からわかるように、神戸線では予測被災度がBからCに改善した橋脚が多かった。兵庫県の予想震度が比較的高く、神戸線の橋脚は予測被災度が高いものが多かったためと考えられる。

(2) 有馬高槻構造線における解析結果の考察

表－8を参照すると、他の震源による地震に比べて予測被災度が改善した橋脚の数が最も多かった。神戸線に関しては、兵庫県の予想震度が他の地区の予想地震に比べて大きく、予測被災度の高い橋脚が多かった。そのため、予測被災度がAからBに改善したものもあった。

(3) 上町断層系における解析結果の考察

上町断層系では、兵庫県の予想震度のデータが得られなかったため、神戸線の予測被災度は算出されていない。今後はこれらのデータを入手し、解析を行う必要がある。

(4) 南海道地震における解析結果の考察

GIS上に表示させた図から考察すると、兵庫県、大阪府とともにもととも予想震度が低く、そのため、補強前であっても予測被災度が高い橋脚は少ない。そのため、他の予想地震に比べて被災度の改善した橋脚が少なかったと考えられる。

(5) 統括

全体的にみると、湾岸線に比べ、神戸線のほうが予測被災度の改善された橋脚が多く存在した。これは湾岸線神戸線に比べてずっと後で施工されており、設計基準の変化などから橋脚の曲げ剛性の値が大きく、補強前においても予測被災度が低かったためであると考えられる。兵庫県南部地震では、神戸線の被災度が高かったが、4mmの鉄板を補強することで被災度が改善されている。

しかし、どの予想地震をみても予測被災度AsやAから改善した橋脚は少なかった。従って、これらの予測被災度が高い橋脚では、本研究で仮定した補強方法では不十分であると考えられる。これらの橋脚に関しては被災度が高く予測される原因を分析し、別の有効な対策法を検討する必要がある。

6. おわりに

兵庫県南部地震後、高速道路を含めたあらゆる構造物において耐震設計が見直され、今後発生するだろうと予測されている東海・南海地震に備えて対策が行われている。本研究では、将来地震が発生したときに受ける被害を軽減させるために、耐震補強後の道路橋RC橋脚の被災

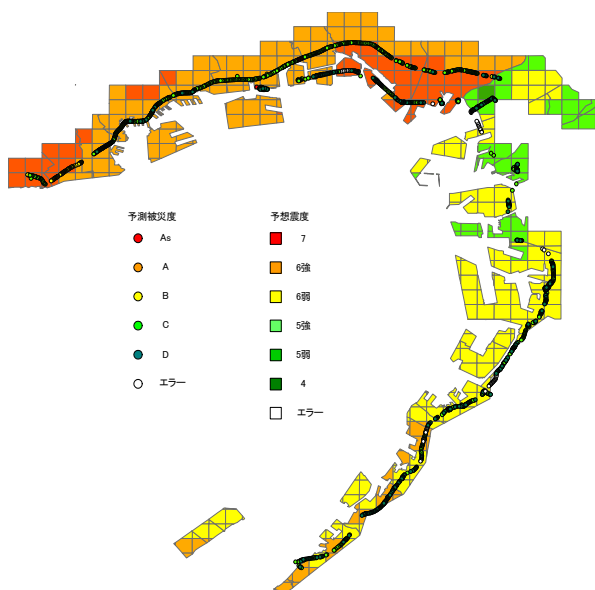


図-18 中央構造線（全体図）

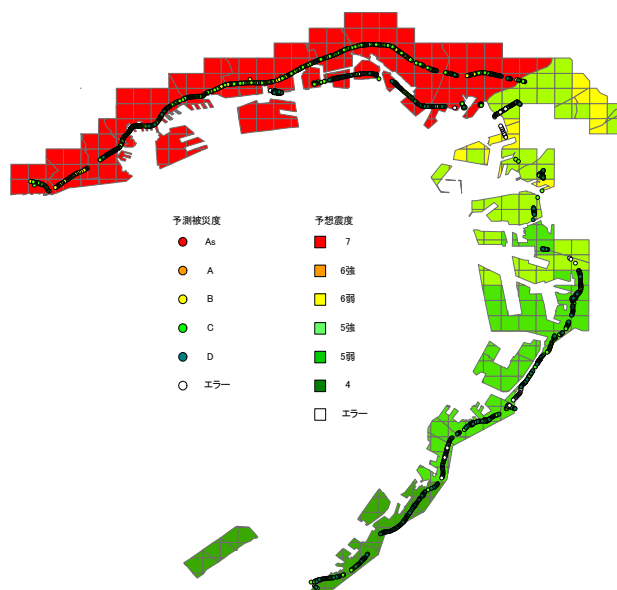


図-19 有馬高槻構造線（全体図）



図-20 中央構造線拡大図（補強前）

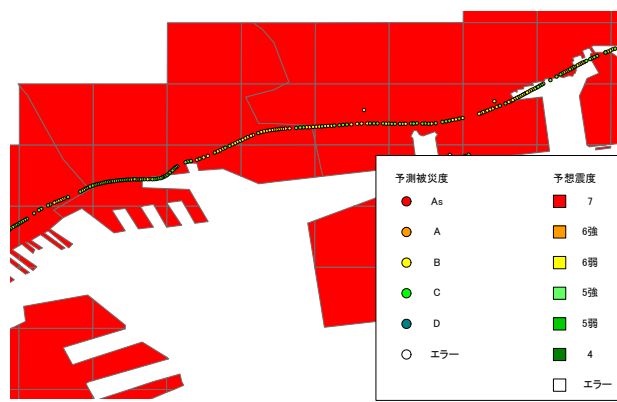


図-21 有馬高槻構造線拡大図（補強前）

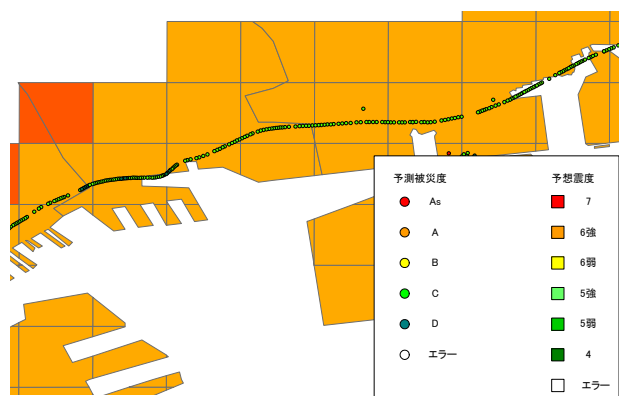


図-22 中央構造線拡大図（補強後）

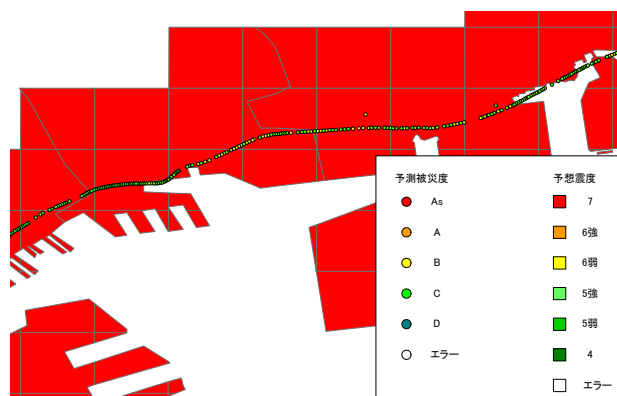


図-23 有馬高槻構造線拡大図（補強後）

度予測を行った。

本研究で検討した内容は以下のとおりである。

- 1) 阪神高速道路神戸線および湾岸線の橋脚の中から柱部材がRC構造のものを抜き出し、それらに4mmの鉄板で補強したと仮定し、補強前および補強後の橋脚柱の曲げ剛性の変化で補強効果を表わした。
- 2) 阪神高速道路の橋脚の構造特性データと曲げ剛性の値を参照し、神戸線および湾岸線の橋脚に関するデータベースをGIS上に構築した。このデータベースには、さまざまな属性データを付加でき、本研究以外にも活用することができる。
- 3) 数量化理論Ⅰ類による解析によって、中央構造線、有馬高槻構造線、上町断層系の活断層による直下型地震および南海道地震時の阪神高速道路神戸線と湾岸線のRC橋脚の補強前および補強後の予測被災度を算出した。
- 4) 算出された予測被災度を補強前、補強後に区別してGIS上に表示させた。

なお、今後の課題を列举すれば、以下のとおりである。

- 1) 本研究では鉄筋を考慮しないコンクリートおよび鋼板の総断面による曲げ剛性で補強の効果を表した。これについては他にさらに有効なものがないかどうか考える必要がある
- 3) 本研究では、被災度の高いランクの橋脚では補強の効果が見られなかった。これらの橋脚では、本研究の補強方法では不十分であると考えられ被災度が高く予測される原因を調べ有効な補強方法を考える必

要がある。

- 4) 本研究で用いたデータ以外に地盤データなどの多方面からのデータをGIS上で管理することで、より信頼性の高い解析が行えるものと思われる。
- 5) 本研究で構築したデータベースに交通量や人口密度、道路橋周辺の土地利用状況などのデータを加えれば地震リスク解析などにも有効と考えられ、将来発生する地震の対策立案に有効と思われる。

参考文献

- 1) 毎日新聞社：阪神大震災-毎日新聞は何を伝えたか-，1995-3.
- 2) 保田敬一，辻本栄一，白木 渡，伊藤則夫，堂垣正博：GISを活用した高速道路橋脚の地震被害解析，構造工学論文集，土木学会，Vol.51A，pp.341-350，2005-3.
- 3) 清水建設免制震研究会：耐震・免震・制震のわかる本，彰国社，1994-4.
- 4) 久田俊彦：地震と建築，鹿島出版会，1982-4.
- 5) 間組ホームページ
： <http://www.hazama.co.jp/specialrepo/0212-2.htm>
- 6) 町田聡：GIS地理情報システム入門&マスター，山海堂出版，2002-4.
- 7) 小松定夫：構造解析学演習Ⅰ，丸善，1984-3.
- 8) 杉山和雄・井上勝雄：EXCELによる調査分析入門，海文堂，1996-2.