

G I Sを用いた兵庫県南部地震における橋梁の被災要因分析と耐震診断のシステム化

神戸大学 松本正人*

神戸大学 森川英典**

神戸大学 高田至郎***

神戸大学 花川和彦*

著者らは、兵庫県南部地震により被災した高架橋梁の属性、並びに被災資料をデータベース化し、さらに地理情報システム(G I S)に橋脚位置を入力して、構造、地盤条件に加え、地震動強度も考慮して総合的に被災要因に関する統計分析を行ってきた。また、被災度に大きな影響を与える要因を特定するために、数量化理論Ⅱ類を用いて、定量的に被災要因についての評価を行った。本稿では、これらの統計分析の結果を報告するとともに、これらの結果に基づいて、既存橋梁の耐震性能を比較的簡便な手法で評価する手順を述べる。さらに、耐震性診断のシステム化を行うにあたって、将来必ず問題になってくると思われる橋梁部材の経年劣化の要因を診断項目に加え、下部工のみならず橋梁全体系を評価できる橋梁維持管理システムの確立を提案する。

1. はじめに

兵庫県南部地震によって多くの橋梁構造物が甚大な被害を被ったことを受け、耐震設計基準の見直しに関する議論が活発に行われている一方、旧基準に準拠して架設された構造物に対する耐震診断・耐震補強の必要性がクローズアップされてきている。著者らは、兵庫県南部地震により被災した橋梁構造物のデータをG I Sデータベース化した。本稿はこれを用いた橋梁の被災要因分析、さらには橋梁耐震診断のシステム化の概念について述べる。

2. G I Sを用いた橋梁の被災データベースの構築

(1) G I Sを用いたデータベース

著者らは、兵庫県南部地震により被災した高架橋梁の地図上での位置を、コンピュータマップ上に入力し、G I S (Geographical Information Systems : 地理情報システム)の手法を利用して、地質図・地形分類図・地震動強度の分布などの様々なデータと橋梁のデータをオーバーラップさせることにより、
キーワード：兵庫県南部地震、G I Sデータベース、橋梁耐震診断

* 神戸大学大学院, 078-803-1040

** 神戸大学工学部, 078-803-1040

*** 神戸大学工学部, 078-803-1031

橋梁の被災要因を様々な角度から分析することを可能にした。なお、G I Sへの入力には1/2,500のカラーASTERである国土基本図を用いた。

また、位置データ以外の橋梁の属性データについては、データベースソフト「Microsoft Access 2.0」を用いて構築し、G I Sシステムの中で位置データと有機的に結合され、地盤条件・構造条件について任意に組み合わせて分析することができる。

(2) データベースの項目

データベースの項目は、表-1に示す69項目である。これらは、次の①～③の3種類に大別される。

- ① 橋梁が被災した場合の社会的影響度の大きさに関するデータ（「1. 橋梁名」～「9. 橋梁横断要因」）
- ② 被災の度合を含む橋梁の構造的な条件に関するデータ（「10. 隣接橋梁」～「52. 基礎工法」）
- ③ 橋梁部材の劣化、維持管理に関するデータ（「53. 架設地区」～「69. 補修経歴」）

本研究の目的は、既存橋梁の耐震診断を合理的かつ効率的に行うためのシステムを構築することである。そのため、データベースの項目は、既往の文献、兵庫県南部地震における橋梁構造物の被災要因などをもとに、そのまま耐震診断の項目として利用できるように抽出した。①の社会的影響度に関するデー

タは、構造的な面からの耐震診断の結果をうけて、耐震補強の優先順位を決定するために必要な情報であり、社会的影響度の大きい橋梁ほど対策の優先順位が高くならなければならない。また、②の構造条件についてのデータは、構造的な面での被災要因の特定を行うものである。さらに、③の橋梁部材の劣化・維持管理に関するデータは、将来の橋梁部材の劣化、現在はあまり問題視されていない耐震補強後の橋梁の維持管理を念頭に置いたものである。

(3) データの管理手法

前述したように、橋梁の属性に関する種々の情報は、GISと有機的にリンクされたリレーショナルデータベースソフト「Microsoft Access 2.0」を用

いて管理されている。高架橋梁は、上部構造、下部構造、これらを連結する支承部といった各構成部材からなる構造システムであり、たとえば、路線の分岐点の箇所などに見られるように、1本の橋脚が複数の桁を支持するといった複雑な構造系をなしている場合もある。そこで、このような各部材の結びつきをできるだけ現実にあった形で管理するため、属性データテーブルを橋梁の各部材ごとに別々に作成し、図-1に示すように各部材の結びつきを「Microsoft Access 2.0」の中でリレーションシップを形成することによって表現することにした。これにより、支承条件や上部構造の種別などと橋脚の被災度などといった任意の組み合わせ検索が可能となった。

表-1 橋梁データベースの項目

1. 橋梁名	19. 伸縮装置被災度	37. 移動制御装置	55. 海岸地区か
2. 橋梁種別	20. 桁間連結装置被害	38. 桁かかり長	56. 橋脚ひびわれ幅
3. 鉄道橋・道路橋別	21. 基礎被災度	39. 桁端の長さ S_E	57. アルカリ骨材反応
4. 道路種別	22. 基礎被害状況	40. 橋脚形式	58. 遊離石灰
5. 架設年次	23. 隣接桁材料	41. 橋脚材料	59. 橋脚コンクリートかぶり
6. 交差構造物	24. 適用示方書	42. 橋脚断面形状	60. 橋脚コンクリートの剥離
7. 現交通量	25. 上部工形状	43. 橋脚断面辺比	61. 橋脚鉄筋の腐食
8. 迂回路条件	26. 桁構造	44. 橋脚断面寸法(D)	62. 河川による洗掘
9. 橋梁横断要因	27. 上部工材料	45. 橋脚高さ	63. 不等沈下
10. 隣接橋梁	28. 床版種別	46. せん断ス ^ポ ッ比(h/D)	64. 下部工沈下・滑動
11. 上部工被災度	29. 伸縮装置形状	47. 主鉄筋段落とし部	65. 沓座コンクリートの損傷
12. 上部工被害状況	30. 橋長	48. 軸方向鉄筋継手	66. アンカーボルト
13. 支承被災度	31. 径間数	49. 帯筋の端部処理	67. 桁間連結装置変状
14. 支承被害状況	32. 縦断勾配	50. 基礎形式	68. 固定支承の変状
15. 倒壊方向	33. 平面線形	51. 基礎材料	69. 補修経歴
16. 橋脚被災度	34. 桁間連結装置	52. 基礎工法	
17. 橋脚被害状況	35. 支承形式	53. 架設地区	
18. 橋脚破壊モード	36. 支承条件	54. 寒冷地区か	

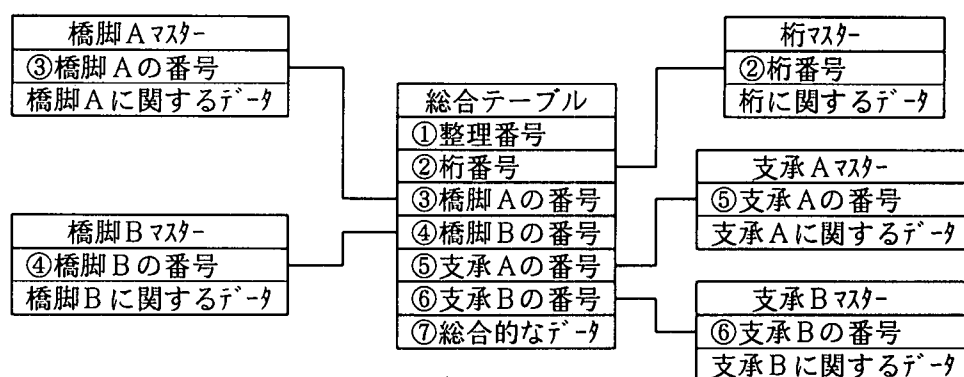


図-1 リレーションシップの概念図

3. 橋梁耐震診断システムの概念

(1) 本研究での耐震診断の位置付け

既存コンクリート構造物の耐震診断については、土木学会においても活発に議論されており、いくつかの文献にその成果が報告されている¹⁾。表-2は、土木学会における耐震診断の考え方と、本研究での耐震診断とを比較したものである。まず、本研究の特徴は、既往の耐震診断が地震被害を受けていない既存の構造物の耐震補強の要否を決定することを目的としているのに対し、本研究ではさらに地震被害を受けた構造物、耐震補強を施した構造物の将来の材料劣化をも考慮した総合的な維持管理対策を鑑み、

データベースの設計段階からこれらの要因を組み込まれている点である。図-2に、本研究での耐震診断の概念図を示す。文献1では、土木構造物の耐震診断は、簡便な手法で補強の要否や詳細検討の必要性を照査する一次診断と、設計図書などをもとに解析的検討を行う二次診断の二段階で行うとしているが、本研究はこの中でもとくに一次診断に着目したものであり、データベースを用いた様々な統計分析結果をもとに、土木学会ではまだ具体化されていない一次診断のプロセスを確立し、ある程度の精度をもった簡易診断法の提案を目指す。

表-2 耐震診断の考え方と本研究の位置づけ

項目	土木学会での考え方	本研究での耐震診断
適用範囲	●地震被害を受けていない既設のコンクリート構造物。	●左記の構造物+耐震補強後の維持管理。 ●道路橋に適用する。
一次診断	●準拠基準、構造形式、地盤条件に基づき、短期間で行うことのできる概略的な方法によって補強すべきか補強が必要でないか、二次診断を行うべきかを定める。 ●とくに下記の4項目に着目して行う。 ・建設年代 ・準拠示方書 ・概略な構造特性（橋脚形式、破壊モード） ・地盤条件	●基本方針は土木学会の考え方に従う。 ●データ分析により具体的に診断プロセスを構築していく。 ●二次診断を必要とする構造物を特定するとともに、一次診断である程度の精度をもって危険度分析を行う。 ●左記の4項目を基本とする支配的要因によってグループ化を行い、さらに詳細な分析によって精度の高い診断を目指す。
二次診断	●設計図書、地盤条件、材料特性などの調査を行い、最新の技術を活用して、想定地震動に対して、耐震性能を判定する。	●一次診断によって詳細な検討が必要とされた構造物に対し、詳細な構造計算を行う。
優先順位決定	●構造物の重要度に影響を与える諸要因、建設後の環境変化や材料、地盤強度の経年劣化などを考慮する。	●基本的には土木学会の考え方に従う。GISを用いて視覚的に診断結果を示し、道路橋ネットワークとしての診断を目指す。

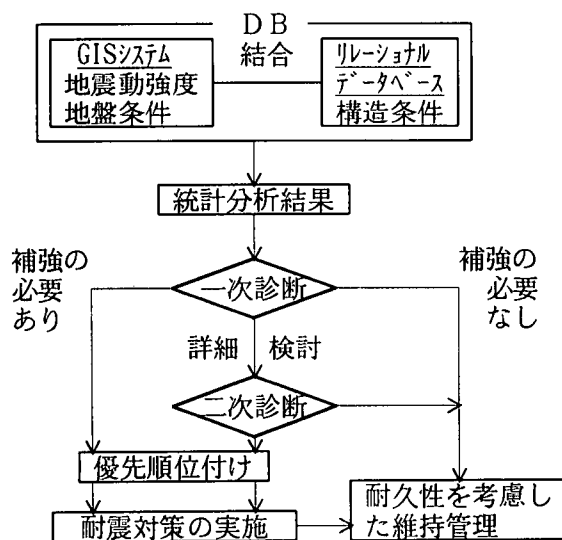


図-2 本研究の耐震診断の概念図

(2) 耐震診断のコンセプト

a) 耐震診断で考慮する地震動強度

本研究での耐震診断は、兵庫県南部地震における被災データに関する統計分析を根拠とするものであるから、診断結果は、「兵庫県南部地震レベルの地震動に対して、大被害を受ける橋梁を比較的簡便な手法によって特定する」というコンセプトで行われたものになる。これは、文献1中の定義に従えば、レベル2地震動に対応した一次診断と位置付けることができる。

しかし、道路橋の耐震設計基準が整う以前に架設された橋梁の中には、耐用年数内に数回発生する大きさの地震動（レベル1地震動）に対しても十分な耐震性能を有しないものも存在することが考えられる。

これらの橋梁に対する耐震診断のプロセスは、本データ分析からは構築することはできないが、建設省などから提案されている既往の耐震診断法²⁾がほぼこれに対応することから、レベル1地震動に対する診断はこれらに準じて行うこととする。

図-2に示すように、一次診断によってさらに詳細な検討が必要とされた橋梁に対しては、二次診断により解析的な検討を行わなければならない。ところが、橋梁が有する構造条件、地盤条件は多種多様であり、これらの詳細な設計図書を参照して対象橋梁をモデル化し、構造解析を行うことは、非常に手間と時間を要するため、効率的であるとはいえない。そこで、一次診断の段階である程度の精度をもって耐震性能を評価し、耐震補強が必要と診断された橋梁に対しては、さらに定量的な指標で表された危険度を示し、社会的影響度も考慮して優先順位を決定する情報を提供することで、なるべく二次診断を行う必要のある橋梁を少なくするべきであると考えられる。

また、逆に、一次診断において補強を必要としないと判定を下したものについては、たとえ二次診断を行ったとしてもその判定がくつがえらないように十分な安全性を見ておく必要がある。

b)耐震診断の目標

橋梁構造物の耐震診断は、①構造的な耐震性能、②入力地震動の強度、③耐久性の問題の3点に留意する必要がある。

まず、①構造的な耐震性能を評価するにあたっては、橋梁が被災した場合の社会的影響、復旧に要する日数・費用などを考え、少なくとも次のA～Cの3種類の損傷形態を確実に避けるように、耐震補強を行うべきであると考えられる。

A. 落橋：上部構造の落下は、人命に多大な影響を与える可能性があり、絶対に避けなければならない。

B. 基礎の大きな損傷：基礎杭に大きな損傷を受けると、損傷状態の把握、復旧が非常に困難である。

C. 橋脚の崩壊：橋脚を再構築するためには、上部構造を撤去または仮支持する必要がある、復旧に長期間を有する。

次に、②の入力地震動については、前節で述べた想定地震動レベルに加えて、断層からの距離や地盤

条件といった要因から、地域的な地震動増幅特性も考慮する必要がある。

最後に、③の耐久性の問題については、日本の道路交通網が比較的最近に整備されたこともあり、現時点ではとくに問題視されていないように思われる。しかし、橋梁部材の強度劣化に対する維持管理、地震被害を受けて耐震補強が施された橋脚に対する事後診断といった将来の対策を考えた場合に、現段階からこのような項目に対してデータベースを整備しておくことが必要である。また、現在、全国各地で橋脚に鋼板あるいはRCを巻き立てるという工法で耐震補強が行われているが、その際に内部のコンクリートの強度をあらかじめ調べておくことが将来の維持管理に非常に有益であると考えられる。

4. 兵庫県南部地震における橋梁の被災要因分析

本節では、上記のコンセプトに従った耐震診断のプロセスを構築することを目的とした被災要因分析の結果を述べる。

(1)落橋のメカニズムと支承ヒューズ論について

多くの橋梁は、上部構造の荷重を支承部を介して下部構造に伝える構造になっている。この支承部分をあたかも家電製品のヒューズのごとく、地震時に破壊させることによって下部構造の被害を最小限にとどめようというのが、「支承ヒューズ論」である。

このような考え方には賛否両論があり、今後の設計にどう組み入れていくか、明確な結論は得られていない。本稿では、被災のデータ分析から一考察を加える。

上部構造が落橋した径間について、その原因を調べてみたところ、ほとんどが橋脚の崩壊に起因していることが判明した(30径間中25径間)が、中には橋脚に損傷がなかったにもかかわらず、支承が破壊したことによって落橋に至った径間が存在することが判った³⁾。また、損傷方向、支承条件別に支承の被害と橋脚の被害の相関を調査したが、支承を故意に破壊させることによって橋脚を守るという考え方を肯定するほどの顕著な相関性は得られなかった。

以上のことから、安易に「支承ヒューズ論」を肯定すべきではなく、橋梁全体系の耐震性を確実に向上させるためには、すべての部材を強靱に作る方が

安全であるということが出来る。ただし、免震支承を用いるなどして安全に上部構造の慣性力を低減させる方法は、今後積極的に取り入れていくべきであろう。

(2)橋脚の耐震診断プロセスの構築

a) 支配的要因の特定

橋脚は、耐震設計上最も重要な部材の一つであり、どのような橋脚が被害を受けやすいかを簡便に照査することは、一次耐震診断の中でも最も重要なプロセスである。

そこでまず、数量化理論Ⅱ類を用いて、定量的に橋脚の被災度に対して支配的な要因を特定し、これらの要因について橋脚をグループ化することによって、影響の大きい要因を順次階層的に排除し、より詳細な被災要因分析を行っていくことにした。表-3に、分析結果の一例として橋脚の構造条件を指標とした数量化の結果を示す。これによれば、橋脚形式、適用示方書、橋脚材料・断面形状が橋脚の被災度に大きく影響したことが判る。ゆえに、まずこれらの要因の影響を排除するようにグループ化を行い、ある程度条件を統一してその他の要因についての分析を行うことは、非常に効果的であるといえる。

表-3 橋脚の構造条件に関する数量化の結果

アイテム	カテゴリー	例数	Cat. Score	範囲
橋脚材料 断面形状	鋼製, 円形	33	-0.77	1.25
	鋼製, 矩形	102	-0.40	
	Co製, 円形	211	0.48	
	Co, 正方形	139	0.01	
	Co, 長方形	146	-0.25	
適用 示方書	S. 39道示	436	0.43	1.39
	S. 46道示	195	-0.96	
橋脚形式	単柱式橋脚	334	0.17	1.94
	特殊単柱	74	0.16	
	ラーメン橋脚	129	-0.18	
	ピラーの柱	17	1.10	
	その他	77	-0.84	
橋脚高さ	9m未満	177	-0.24	0.35
	9m~13m	273	0.11	
	13m以上	181	0.06	
外的基準 (被災度)	As	70	1.07	1.71
	A	96	0.81	
	B	97	0.68	
	C	180	-0.64	
	D	188	-0.55	

b) 破壊モードについての分析

橋脚の破壊モードは、コンクリート橋脚の耐震性能を大きく左右する要因である。著者らは、兵庫県南部地震における被災橋梁の損傷状況を調査し、大被害を受けた橋脚について、その破壊モードを4種類（下部曲げ/下部せん断/下部曲げせん断/中間部曲げせん断破壊）に分類した。

表-4は、As, A, Bのいずれかの被災を受けたコンクリート製単柱橋脚について、破壊モード別に橋脚の被災度を示したものである。ただし、破壊モードは、被災後の橋脚の写真をもとに独自に判定した結果を用いている。As判定を受けた橋脚は、調査できたもので29基存在したが、そのうち18基(62%)までが、「中間部(段落とし部)」で損傷を受けており、まず段落としが施されている橋脚を重点的に補強すべきであるといえる。

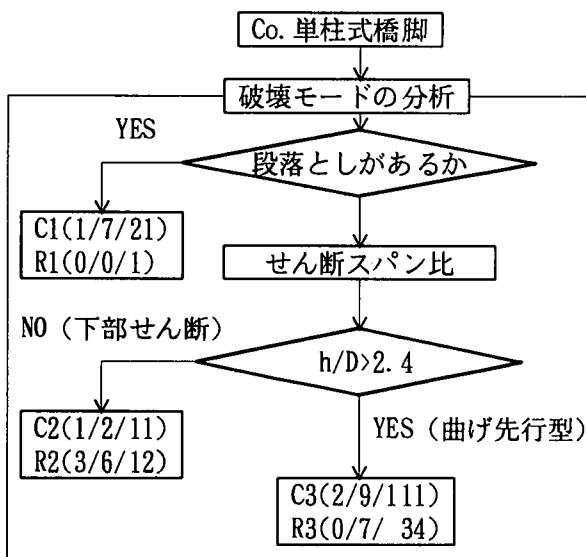
次に、中間部以外で損傷を受けているものに着目すると、破壊モードが「下部せん断」であったものは、数は少ないものの、As判定に至った割合が最も高く(15基中5基)、脆性的な破壊であるといえるのに対し、曲げ先行型で破壊した残りの2つのグループは、Asに至る可能性が低いということが出来る。また、「下部せん断」で破壊する橋脚を特定するために、段落としが施されていない橋脚について各モードごとにせん断スパン比(h/D)を調査したところ、「下部せん断」のグループは、せん断スパン比の値が非常に小さく、最大でも(h/D=2.33)であった。以上の結果より、段落としの有無とせん断スパン比の値で、簡便に中間部曲げせん断破壊または下部せん断破壊を起こす可能性の高い橋脚を特定することができ、これらをグループ化することが被災要因を分析する上で非常に有益であることが判る。次節c)において、実際にコンクリート単柱橋脚を破壊モードにおいて分類した結果を示す。

表-4 破壊モードと橋脚被害の関係

破壊モード	As	A	B	計
中間部	18(32%)	28(50%)	10(18%)	56
下部せん断	5(33%)	3(20%)	7(47%)	15
下部曲げせん断	1(5%)	10(50%)	9(45%)	20
下部曲げ	5(7%)	25(36%)	40(57%)	70
計	29(18%)	66(41%)	66(41%)	161

c) 橋脚のグループ化

上記a), b)の結果より, 橋脚の耐震性に大きな影響を与える要因は, 適用示方書, 橋脚形式, 橋脚材料・断面形状, 破壊モードであることが判った. 本稿では, 最もデータ数の多かったコンクリート製単柱橋脚について, 上記要因によるグループ化, さらにグループ内での被災要因分析を行った結果を報告する. 図-3は, 予想される破壊モードを基準に, 丸単柱(Circular)と角単柱(Rectangular)をそれぞれ3グループずつ, 合計6グループに分類するフロー図である. グループC1, R1は, 段落とし部を有するので, 中間部で損傷すると予想され, グループC2, R2は, せん断スパン比の値が極端に小さいので, 下部せん断破壊に至ると予想される. 前節の分析において, 下部せん断破壊に至った橋脚せん断スパン比の最大値が2.33であったことを受け, 若干安全側に判定されるよう, せん断スパン比が2.4以下の橋脚をこのグループに分類した. 残ったグループC3, R3は下部での曲げ先行型破壊が予想されるが, 曲げ破壊で留まるか, さらに曲げせん断破壊に進展するかを区別する要因は現時点では特定できていないので, これらをまとめてグループ3に分類している. 各グループごとに被災度を()内に示しているが, グループC1, R2でとくに被災度が高くなっていることが判る.



※C:丸単柱, R:角単柱

()内は, (As/A/その他)の被害を受けた橋脚数

図-3 コンクリート単柱橋脚のグループ化フロー図

次に, この中でもとくに, 脆性的な下部せん断破壊が予想されるグループR2 (矩形断面を有し, せん断スパン比の小さい橋脚) について, さらに詳細に分析した結果を示す. まず, このグループの中で大被害を受けた橋脚に共通していえることは, これらがすべて地形分類でいう「後背低地」, または「沿岸低地」に位置しているということである (※地形分類については, 次節(3)で別途分析結果を述べる). また, 構造的な観点からいうと, 一般にこのように矩形断面で背の低い橋脚は, 連続桁を支える部分や交差点部のように, 比較的死荷重が大きくなる部分に用いられて場合が多い. 実際に, 純粋なせん断破壊で崩壊 (As) に至った3基の橋脚は, すべて連続桁の下に位置していた. さらに, 連続桁の支承条件と損傷方向に注目してみると, 固定支承では橋軸方向, 可動支承では橋軸直角方向に損傷していることが判った. とくに固定支承の場合は損傷方向に敏感で, 橋軸方向に損傷しているものはすべてが大被害を受けているのに対し, 橋軸直角方向に損傷しているものは大被害をいずれも免れていた. また, 可動支承の場合は, 逆に橋軸直角方向に損傷しているものだけが被害を受けていた.

また, 単純桁の下に位置する橋脚については, A判定を受けた橋脚が3基だけ存在したが, これらはすべて「後背低地」に位置し, 曲げモードで破壊していた. 上部構造の種別が連続桁か単純桁で, 破壊モードが下部せん断から下部曲げに変化する理由として, 当時の設計ではせん断強度に十分な余裕を持たせることの必要性がそれほど認識されていなかったにもかかわらず, 地震時に作用する慣性力が大きくなる連続桁を支えるために橋脚の曲げ強度を大きくした結果, 相対的にせん断強度が低くなったことが考えられる.

以上より, グループR2に対する橋脚の耐震診断フローを図-4にまとめる. 図中で, R2-2にあたるものは, 単純桁の下に位置し, 曲げ型で破壊する橋脚である. また, R2-3とR2-4は, それぞれ連続桁の下に位置し, せん断型で破壊する橋脚であり, 被災の度合は地震動の方向と関連して, 損傷した方向によって決定されることが判った.

今後, 他のグループについてもさらに詳細に分析を行い, すべてのグループについて橋脚の耐震性を

簡便に判定できる手法を考案していく方針である。また、現在危険度の評価は定性的であるが、何らかの指標を用いて定量的に耐震性能を評価できれば、耐震補強を行うべき橋脚に対する優先順位付けにも役立てられると考える。

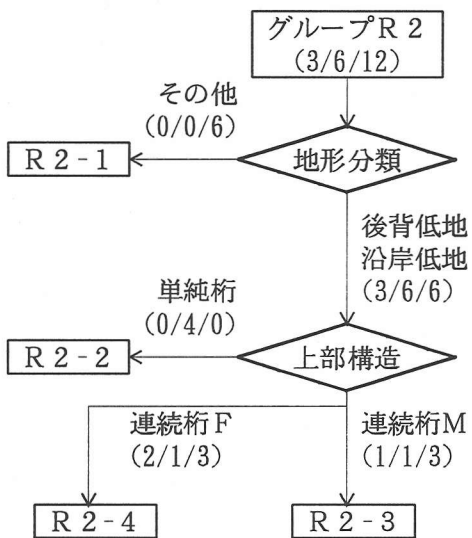


図-4 グループR2の危険度分析フロー

(3)地盤条件・地震動強度と橋脚の被災特性

一般に、構造物の地震被害の程度は、地盤の条件や地震動強さの影響を受ける。本節では、地盤条件の指標として「地形分類」、地震動強度の指標として、平成7年度に阪神地域（神戸市、明石市、西宮市、尼崎市および宝塚市）と淡路島において実施したアンケート調査により算出された「アンケート震度」を用いた⁵⁾。

図-5は、地形分類と橋脚被害の関係を示したものである。これによれば、地形分類でいう後背低地、沿岸低地に大被害を受けた橋脚が多く存在していることが判る。とくに後背低地では被害が顕著であり、As判定を受けた橋脚24基中、20基までもが後背低地に立地している。後背低地とは、上流から粘土を含んだ土砂が自然堤防の背後の低地に流入堆積して形成されたもので、粘性土を多く含み地下水位が地表近くにあるため、極めて軟弱な地盤であると考えられている⁴⁾。全体の傾向として、被害の少なかった地形分類はおもに硬い砂や礫により構成される微高地であるのに対し、後背低地も含めて被害の大きかった地形分類ではおもに細粒物（シルト、粘土）に

より構成される低地であり、地盤が緩く地下水位が高いことから、地震動の増幅を伴って被害が大きくなったと考えられる。

次に、アンケート震度と橋脚被害の関係について言及する。なお、震度算出の手法は太田・後藤らによって提案されているもの⁶⁾によった。アンケート震度は小字界（町丁目）ごとに求められ、GIS上でベクター化されているため、各橋脚について個々に震度を算出することができる。表-5に、アンケート震度と橋脚の被災度の関係を示す。ただし、サンプルは昭和39年示方書に準拠したコンクリート製単柱橋脚に限定した。橋脚の被害が顕著になるのは、アンケート震度が6.4以上になった場合であり、これは気象庁震度階に換算すると震度7程度に相当する。ところが、これよりアンケート震度の値が小さいところでA判定以上の被害を受けた橋脚（表-5中の網掛けの部分）が少数ながら存在することが判る。これらの橋脚を、前節図-3に示したフローに従って分類したところ、As判定の橋脚3基はそれぞれグループC1（段落としあり、丸単柱）、R2（せん断スパン比小、角単柱）、C2（せん断スパン比小、丸単柱）に属しており、A判定の橋脚11基中、4基がグループC1、2基がグループR2、2基がグループC2にそれぞれ属していることが判った。以上のことより、昭和39年示方書に準拠したコンクリート製単柱橋脚については、中間部曲げせん断または下部せん断型で破壊する橋脚の場合は、気象庁震度階でいう震度6⁺程度から大被害を受ける可能性があるのに対し、下部の曲げ先行型で破壊する場合は、気象庁震度階でいう震度7程度以上になるまでは破壊はほとんど起こらず、これを越えると急激に大被害を受ける可能性が高くなる事が分かる。

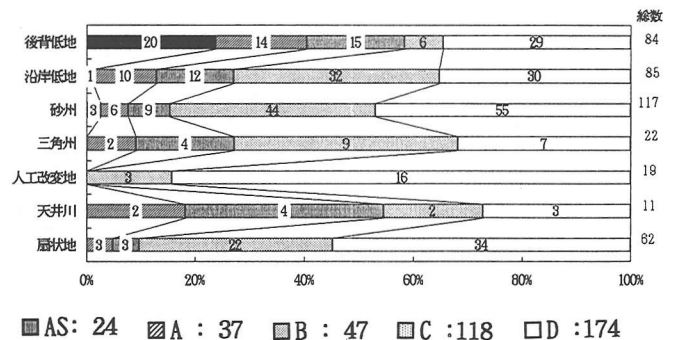


図-5 地形分類と橋脚被害の関係

表-5 アンケート震度と橋脚被害の関係

アンケート震度	As	A	B	C, D	計
5.4未満	0(0%)	0(0%)	0(0%)	16(100%)	16
5.4～5.6	0(0%)	0(0%)	1(33%)	2(66%)	3
5.6～5.8	1(3%)	1(3%)	0(0%)	31(94%)	33
5.8～6.0	1(2%)	1(2%)	10(16%)	50(80%)	62
6.0～6.2	1(2%)	7(16%)	5(11%)	31(70%)	44
6.2～6.4	0(0%)	2(6%)	2(6%)	27(87%)	31
6.4以上	5(45%)	2(18%)	1(9%)	3(27%)	11
計	8(4%)	13(6%)	19(10%)	160(80%)	200

5. おわりに

本稿では、兵庫県南部地震によって被災した橋梁構造物に関するGISデータベースを用いた被災要因を分析の結果から、橋梁の耐震診断を簡便な手法で行う手順を述べた。以下に、その成果をまとめる。

- ①兵庫県南部地震により被災した橋梁構造物に関するGISデータベースを構築し、リレーショナルデータベースソフト「Microsoft Access 2.0」を用いたデータ管理手法を提案した。
- ②橋梁の耐震診断をシステム化するにあたって、その基本的概念を示し、本研究の位置づけを示した。
- ③将来の維持管理を見越して、部材の経年劣化や既往地震で受けた損傷状況を把握するために、現段階から材料試験を行うなどしてデータを蓄積しておく必要があることを提案した。
- ④橋脚の被災を避けるために故意に支承を破壊させ

る「支承ヒューズ論」に対して、データ分析の結果を根拠に否定的意見を述べた。

⑤橋脚の耐震性評価を行うにあたって、多変量分析、破壊モードに関する分析の結果から得られた要因に基づいて橋脚をグループ化した。

⑥地盤条件、地震動強度と橋脚被害の相関性について言及した。コンクリート単柱式橋脚においては、気象庁震度階という震度階7を越えると急激に被災度が大きくなることが判った。

【参考文献】

- 1)町田篤彦：耐震診断・補強の基本的考え方，土木学会平成8年度全国大会研究討論会8資料（既設RC構造物の耐震診断・耐震補強，平成8.9.17
- 2)たとえば，日本道路協会：道路震災対策便覧（震前対策編），昭和63.2
- 3)兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書，pp.3-50～3-61，平成7.12
- 4)守谷喜久夫：地震と地盤災害，鹿島出版会，昭和59.4.10
- 5)高田至郎・嘉嶋崇志ら，兵庫県南部地震におけるアンケート震度分布とその特性，平成8年関西支部年次学術講演会，PP.1-2-1～1-2-2，平成8.5.15
- 6)太田裕，後藤典俊，大橋ひとみ：アンケートによる地震時の震度の推定，北海道大学工学部研究報告，92号，昭和53.7.10

A STATISTICAL STUDY ON DAMAGE FACTORS OF BRIDGE STRUCTURES DURING THE HYOGO-KEN NANBU EARTHQUAKE BASED ON GIS AND ITS SYSTEMIZATION

Masato MATSUMOTO, Hidenori MORIKAWA, Shiro TAKADA, Kazuhiko HANAKAWA

A lot of bridge structures have been heavily damaged during the Hyogo-Ken Nanbu Earthquake. We have developed a database of damage to bridge structures using GIS and examined damage factors through a statistical analysis. This paper describes a basic concept of the seismic diagnosis system based on those results, especially for bridge columns. In addition, a seismic diagnosis taking account of maintenance strategy to deterioration of aged bridges, including retrofitted elements is proposed.