

I-B 102 被災データに基づいた橋梁耐震診断システムの開発

神戸大学大学院 学生員 松本正人 神戸大学工学部 正員 高田至郎
神戸大学工学部 正員 森川英典 神戸大学大学院 学生員 花川和彦

1. はじめに

1995年1月17日午前5時46分に発生した兵庫県南部地震により、高架橋をはじめとする道路・鉄道施設は甚大な被害を受けた。今回の震災による橋梁の被災メカニズムについての考察が各研究機関で盛んに行われており¹⁾、これらの結果から得られる新たな知見により、橋梁の耐震性に関する基準が再び見直されることになるものと思われる。本研究では、兵庫県南部地震により被災した高架橋梁の橋脚位置と被災度のデータをGISに入力し、地盤条件なども考慮した被災要因についての分析を行ってきた²⁾。本稿は、これらのデータについて定量的に分析した結果をもとに、既存橋梁に対する耐震安全性に関する点検・診断、ならびに耐震性に問題のある橋梁の補強という一連の検討を、構造物の重要度による優先順位付けを行って効率的に行うための耐震補強プログラムの策定を目的とするものである。

2. 本研究での耐震診断システムの特徴

従来の橋梁の耐震診断法³⁾では、チェック項目として上部構造の条件や地盤条件、基礎構造、橋脚の構造条件などを考慮しており、おもに橋脚の耐震性能、液状化による下部構造の変位、落橋防止構造などを中心に点検している。本研究での耐震診断システムは、既往の震災経験や兵庫県南部地震の被災データの定性的な分析結果より、地震時における橋梁の被災に影響を与える要因を各部材ごとに整理してツリー構造化し、これを用いて橋梁の耐震性能を評価するものであり、詳細な構造計算を必要としない1次診断と位置づけることができる。これに加えて橋梁が被災した場合の避難、復旧活動に与える社会的な影響を加味し、旧基準で設計された相当数にのぼる補強対象橋梁間に優先順位を付けて効果的に補強を行えるシステムの確立を目指す。図1に本研究での耐震診断システムのイメージ図を示す。耐震性を評価した後、橋梁の位置データをGISに入力し、診断結果を視覚的に表現することも効果的である。

3. 兵庫県南部地震における被災データの定量的分析

次に、兵庫県南部地震の被災データを定量的に評価する。なお、分析に際しては、兵庫県南部地震により被災した高架橋のデータについて、数量化理論Ⅱ類を適用した。本稿では、一例として橋脚被害についての分析結果を報告する。図2は、橋脚の耐震性を評価するためのツリー図を示したものである。本研究では、橋脚の被災度に影響を与える要因として、図2の中間層の部分の4項目を考えており、表1～表4は、それぞれ「橋脚破壊モード」、「下部構造支持条件」、「橋脚構造条件」、「上部工死荷重条件」に着目した橋脚の被災要因の分析結果を示したものである。橋脚の破壊モード（曲げ破壊orせん断破壊）は、橋脚の靱性に大きく影響する要因であり、被災の度合いにも直接的に影響を及ぼすと考えられる。文献3では、せん断スパン比(h/D)が2に満たないものは相対的に耐震性が高いとしているが、今回の分析では、(h/D)<2のものは2～4のものに比べて大きな被害を受けた。これらの橋脚は基部でせん断または曲げせん断破壊をしており、相対的に被害が大きくなったものと思われる。また、(h/D)が4以

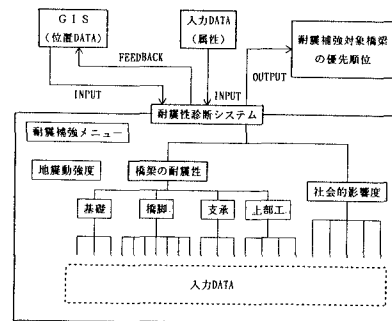


図1 本研究での耐震診断システムのイメージ図

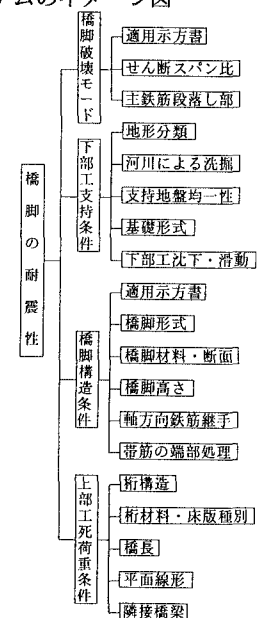


図2 橋脚の耐震性を判定するツリー図

上の橋脚は、主鉄筋段落とし部がある橋脚が多く、破壊モードが段落とし位置に発生した曲げびびわれを起点とした曲げせん断破壊を伴ったことが被害を大きくしたと考えられる。次に、下部構造支持条件に着目すると、地形分類でいう「後背低地」に位置する橋脚、支持地盤（地質区分）が隣接する橋脚との間で異なっている橋脚が大きな被害を受けたことが判る。さらに、橋脚構造条件についていえば、橋脚形式ごとに橋脚の被災度に差があること、脚長の長い橋脚ほど大きな被害を受けることが判り、これらの結果は既往の耐震診断とほぼ同じような傾向を示している。さらに、上部工死荷重条件について見れば、ゲルバー・連続桁、橋長の長い桁など、相対的に死荷重が大きくなる上部構造を支える橋脚に被害が大きくなることが判る。ただし、これらは今回調査した約1,100基についての結果であり、データが追加されればさらに分析結果と実際の被災度の一致度もあがるものと思われる。

表1 橋脚破壊モード

アイテム	カテゴリ	例数	Cat. Score	範囲
適用 示方書 せん断 スパン比	S. 39	853	-0.33	2.08
	S. 46	159	1.75	
	2未満	64	-0.24	2.18
	2~4	639	-0.12	
主鉄筋 段落し部 外的基準 (被災度)	4以上	143	-0.88	
	不明	166	1.30	
	あり なし	250 762	-0.92 0.30	1.22
外的基準 (被災度)	A	67	-0.92	1.21
	A	86	-0.64	
	B	91	-0.35	
	C	258	0.00	
	D	510	0.29	

表2 下部構造支持条件

アイテム	カテゴリ	例数	Cat. Score	範囲
支持地盤 均一性	均一	368	-0.07	0.89
	不均一	31	0.82	
基礎形式	直接基礎	7	-0.12	0.38
	ケーソン基礎	0	-0.12	
	既成杭	25	-0.35	
	場所打ち杭	367	0.03	
	井筒基礎	0	-0.12	
	その他	84	1.85	2.69
地形分類	後背低地	11	-0.09	
	天井川	117	-0.53	
	砂州	19	-0.54	
	人工改変地	85	-0.34	
	沿岸低地	22	-0.09	
	三角州	61	-0.84	
	その他	24	1.49	1.91
	A	37	0.50	
外的基準 (被災度)	B	47	0.39	
	C	118	-0.42	
	D	173	-0.13	

表3 橋脚構造条件

アイテム	カテゴリ	例数	Cat. Score	範囲
橋脚材料 断面形状	鋼製、円形	33	0.02	0.73
	鋼製、矩形	128	0.40	
	Co製、円形	522	-0.10	
	Co、正方形	342	0.14	
	Co、長方形	138	-0.33	
	その他	937	-0.12	0.62
適用 示方書	S. 39道示	226	0.50	
	S. 46道示	758	0.14	7.49
橋脚形式	単柱式橋脚	74	-1.10	
	特殊単柱	245	0.17	
	ラーメン橋脚	17	-6.82	
	その他の柱	69	0.67	
	その他	345	0.36	0.53
橋脚高さ	9m未満	561	-0.14	
	9m~13m	257	-0.17	
	13m以上	69	-2.05	2.40
外的基準 (被災度)	A	96	-0.24	
	B	103	-0.08	
	C	363	0.25	
	D	532	0.15	

表4 上部工死荷重条件

アイテム	カテゴリ	例数	Cat. Score	範囲
桁・床版 種別	鋼桁鋼床版	25	0.60	2.89
	鋼桁軽量Co	58	-0.05	
	鋼桁RC床版	921	-0.01	
	トラス、鋼桁	23	-2.25	
	その他Co桁	90	0.30	
	不明	33	0.64	
桁構造、 支保条件	連続桁F桁	110	-0.23	4.67
	単純桁F桁	829	0.14	
	クランプド桁	22	-4.53	
平面線形	可動支のみ	189	0.03	
	直線橋	768	-0.04	1.16
	曲線橋	198	-0.02	
	斜橋	143	0.44	
橋長	不明	41	-0.72	
	25m未満	126	0.30	0.35
	25m~45m	816	-0.03	
外的基準 (被災度)	45m以上	208	-0.05	
	A	70	-1.72	1.88
	A	96	0.02	
	B	103	-0.11	
	C	357	0.13	
	D	524	0.16	

4. 被災要因の分析

以上の分析結果をもとに、各橋脚の被災要因についての考察を述べる。As判定（倒壊・落橋）を受けた橋脚24基中、下部構造支持条件に問題があったと考えられるものが20基(83%)あり、この中で構造的には問題がなく、地盤条件のみが原因で被災度が大きくなったと思われるものが6基存在した。また、逆に地盤条件に問題がないものでAs判定を受けたものは、3基しかなく、それらはすべて破壊モードに起因していると考えられる。これらのことより、橋脚形式など構造的な要因のみが耐震性能を左右するのではなく、橋脚の靱性の有無、地盤条件などの他の条件との重ね合わせで被害が大きくなる。ただし、比較的被害が軽微であった橋脚の中にも、上記の分析結果を適用して、被災度が大きくなると予測される橋脚も少数ながら存在することから、これらの要因から直ちに大被害を受ける橋脚を特定することは困難であるが、相対的に大被害を受ける可能性の高い橋梁をある程度推定することは可能である。

5. まとめ

本稿は、兵庫県南部地震における高架橋の被災データについての定量的な分析結果を用いた橋梁の耐震性診断システムを開発する過程を述べ、同時に一例として橋脚被害についての分析結果を紹介した。今後は、橋梁が被災した場合の避難、復旧活動に与える影響も考慮し、膨大な数の補強対象橋梁間に優先順位をつけるための耐震補強プログラムの具体的策定に着手する予定である。また、現段階ではあまり問題視されていない橋梁の老朽化にともなう強度劣化についても、早期に点検を行って対策を検討していくことが望ましいと思われる。

参考文献

- 例えば、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，H. 7. 12
- 花川和彦：兵庫県南部地震における橋梁構造物の被災要因に関するGIS解析，神戸大学卒業論文，H. 8. 2
- 日本道路協会：道路震災対策便覧（震前対策編），S. 63. 2