

I - B 87

損傷連関マトリックスによる橋梁構造系の信頼性評価と耐震診断法の構築

東日本旅客鉄道（株） 正 員 花川和彦 神戸大学工学部 正 員 森川英典
 神戸大学工学部 フェロー 高田至郎

1. はじめに：兵庫県南部地震以後，橋梁の耐震設計および耐震診断に関して個々の部位毎ではなく，部材間の関連性を考慮した橋梁構造系としての耐震性能の評価手法の確立が求められている．本稿では，この橋梁構造系としての損傷連関を支配しているものは支承であるとの判断より，兵庫県南部地震における実被害データに基づいた損傷連関メカニズムの推定を行い，支承の評価より始まる橋梁構造系の信頼性評価に基づく耐震診断法を提案する．なお，本稿では単純桁を支持する RC 単柱橋脚を分析対象とする．

2. 既往の耐震診断：本研究に関わる既往の研究[1]においては，兵庫県南部地震における被災橋梁の統計分析より，既存橋梁に対する概略的な一次耐震診断法の枠組みを整理してきた．その中でもとくに橋脚に着目し，RC 単柱橋脚については，予想される破壊モードを簡便な手法でグループ化し，このグループ毎に，表-1 で示す地震動強度と橋脚の被災度をクロス集計して求めた「損傷確率マトリックス」を用いた耐震性能評価を提案した．ここで地震動強度のパラメータとしては「アンケート震度」[2]を用いている．アンケート震度と橋脚損傷にはある程度の相関性があることが確認されているものの[1]，アンケート震度の不確定性，橋脚損傷との相関性，定量的に分析を行うためのデータ数量の不足等の種々の問題により，評価の結果はかなりのばらつきを有している．この既往の橋脚の耐震性能評価においては，部材間の損傷の関連性を評価できておらず，他部材の不確実な要素が診断の信頼性を低下させていることが予想される．

表-1 橋脚の損傷確率マトリックス

橋脚損傷度	震度階		
	6-	6+	7
AS	2%	1%	0%
A	14%	6%	18%
B	26%	15%	18%
C	26%	40%	18%
D	33%	39%	47%
総計	100%	100%	100%

3. 支承と橋脚の損傷の関連性：橋梁構造系としての損傷メカニズムを議論する場合には，橋脚の損傷方向より，支承の橋脚に対する機能を考慮しなければならない．この支承の機能別に支承部から橋脚への損傷の関連性を検討する．図-1 に支承の破壊形態の概念図を示す．支承の損傷後の挙動としては極端な状態として「食い込み」，「滑り」の2つが挙げられる．一般に構造解析の分野では，鉄とコンクリート間の摩擦力は支承の耐力とほぼ同等かそれ以下であるとの判断から，支承破壊後の挙動を摩擦型の復元力パイリニアモデルと仮定することが多い．このような状態が滑りである．一方，図-1 で示したような完全な食い込みの状態になる可能性は低く，ある程度の摩擦力を伝達するのみであると考えられる．したがって固定機能支承がある程度

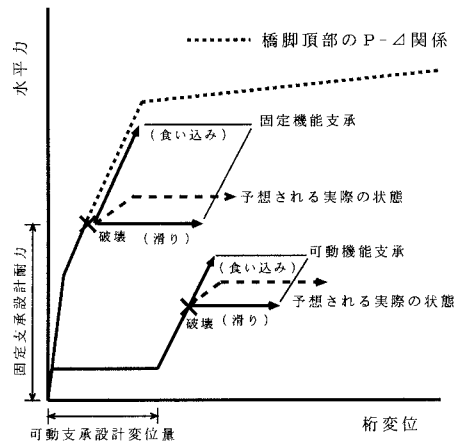


図-1 支承の破壊形態の概念図

る程度の損傷を受けると，上部工からの橋脚への慣性力が確実に伝わらなくなるために橋脚の損傷は低減されると考えられる．可動機能支承については移動制限に衝突するかどうか大きな問題であり，このような状態になると橋脚に設計外の慣性力が伝達され，橋脚が損傷する可能性がある．またさらに移動制限を越えて損傷した場合でも，正常時以上の摩擦力が働き，橋脚の損傷を拡大する要因となる．

4. 橋梁構造系の信頼性評価に基づく耐震診断法：図-1 から分かるように，支承部の損傷状態がどのような慣性力を伝達しうるのかに関わり，橋梁構造系の耐震性能を支配しているといえる．このような考え方

キーワード：橋梁構造系，橋梁耐震診断，支承の損傷，損傷連関マトリックス

連絡先：〒657-0013 神戸市灘区六甲台町 1-1, 078-803-1040

ら図-2 に橋梁構造系の信頼性評価に基づく耐震診断フローを示す。耐震診断の第一段階では、まず支承および橋脚の現況診断により、耐力分布の相対的な位置関係を調べることが必要である。次にこの支承の地震動レベルに応じた損傷確率を条件付きとして、損傷連関マトリックスにより、橋脚および上部工の損傷確率が決定されることになる。ここで損傷連関マトリックスとは、条件付き確率の考え方をとにしたもので、本研究では部材間の損傷連関を表すマトリックスとして表現されること

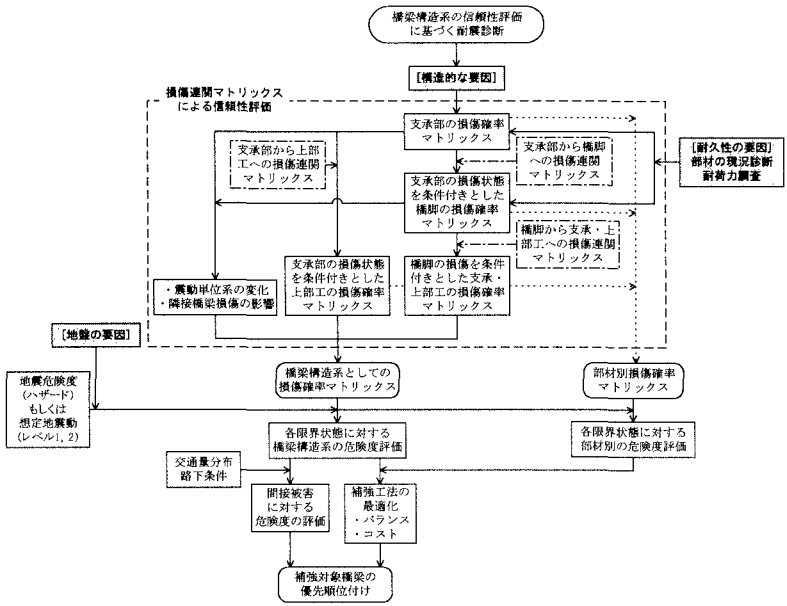


図-2 橋梁構造系の信頼性評価に基づく耐震診断フロー

ことから、とくに「損傷連関マトリックス」と定義する。また、本研究では実被害データの検証により、先述したような設計外の慣性力による甚大な橋脚被害と判断された以外の橋梁については、支承部が健全な状態であったために橋脚に甚大な損傷を発生し、それが支承および上部工の損傷に影響を与えたと考え、支承部から橋脚への損傷連関を考慮するときには、支承部の損傷度を D として考える。またこれについては特別なメカニズムと考え、支承および上部工への損傷連関は評価を別に行うことにする。

ここで、図-2 に基づく評価の事例として、損傷連関マトリックスは地震動レベル毎に算出されるものであるが、各レベルにおける支承損傷度が D という条件付きの損傷確率マトリックスを算出することにより、支承の不確定性を排除した橋脚の信頼性評価を行う。表-2 に支承損傷度が D の時の橋脚の損傷確率マトリックスを示す。レベル毎の損傷確率に矛盾はあるが、この損傷確率マトリックスが、支承の不確定性を排除した橋脚の真の強度を表しているといえる。例えば、震度 7 になれば橋脚の半数が A 被害となり、無被害で済む橋脚はないということになる。このように考えることで支承の影響を排除した橋脚の強度、つまり部材の信頼性評価が行えることになる。また、表-1 に示した損傷確率マトリックスによる評価では、支承の損傷つまり不確定性が考慮されておらず、橋脚の本来の耐震性を評価したことになることが分かる。したがってこのように部材間の損傷連関、各部材本来の耐震性能を考慮して初めて、橋梁構造系としての最適な補強工法の選定に繋がるものと考えられる。

表-2 橋脚の損傷確率マトリックス(支承 D)

橋脚損傷度	震度階		
	6-	6+	7
AS	5%	2%	0%
A	30%	16%	50%
B	30%	20%	17%
C	25%	43%	33%
D	10%	18%	0%
総計	100%	100%	100%

5. まとめ: 橋梁構造系としての損傷連関を支配しているものは支承であるとの判断より、支承の評価より始まる橋梁構造系の信頼性評価に基づく耐震診断法を提案した。実被害データを用いた評価事例として、既往の橋脚のみの損傷確率マトリックスと比較し、損傷連関マトリックスにより支承の不確定性を考慮しなければ、橋脚の信頼性ならびに橋梁構造系としての信頼性評価に繋がらないことを示した。

[参考文献][1]松本正人ら: GIS データベースに基づいた橋梁耐震診断法の構築と損傷確率マトリックスの評価, 土木学会第 52 回年次学術講演会, pp.492-493, 1997.9

[2]高田至郎, 嘉嶋崇志: 兵庫県南部地震に関するアンケート調査, -集計結果報告書-, 1996.11