

神戸大学工学部 学生員 ○井上 佳子  
 神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎

神戸大学工学部 正会員 森川 英典  
 神戸大学大学院 学生員 船越 寿明

1. はじめに 著者らは、これまでに兵庫県南部地震における被災橋梁のデータベースから被災要因分析を行い、特に顕著な被害を受けた RC 単柱橋脚に対し、被災要因によるグループ毎に損傷確率マトリックスを構築した。またこれを一次診断に適用することにより簡便に耐震診断を行う手法とした。本研究ではこの手法を一般道路橋に拡張することを目的とし、橋脚のグループ化、橋脚が有する不確定性を考慮した静的解析による損傷確率マトリックスの算定、これを用いた被災度の評価および一次診断への適用というプロセスを構築した。本稿では危険度の高いせん断破壊型の橋脚グループを一例として取り上げ、このプロセスによる地震時におけるせん断損傷の評価を行った。

2. **せん断損傷の確率的評価手法** 一般道路橋に対する損傷確率評価は図-1 のフローに従って行った。

(1) **対象橋脚グループ** 図-1 に示すように一般道路橋の橋脚に対して準拠示方書、構造・地盤条件でグループ化を行う。今回対象としたグループは昭和 39 年鋼道路橋設計示方書、T 型 RC 単柱橋脚、せん断スパン比 2.5 以下（橋軸直角方向）のせん断破壊型橋脚である。このグループ内で選定した代表的橋脚に対し、慣性力・せん断耐力に不確定性を考慮して確率分布を推定した。

(2) **慣性力の確率分布推定** 慣性力の算出は道路橋示方書<sup>1)</sup>に準拠して行い、また表-1 に示すように想定地震動強度に対応させる。慣性力の確率分布の推定は、水平震度における地盤の不確定性と等価重量における材料密度の不確定性を考慮することにより行った。まず水平震度の確率分布推定について、タイプ II 地震動・II 種地盤を例に挙げ、図-2 に示す水平震度の確率分布推定概念図により説明する。この図にプロットされているのは既存データから算定した水平震度の値であり、下方から 2 番目の値を  $\mu - 3\sigma$  とし、その固有周期における設計水平震度を最大特性値とする。これより正規分布、極値分布における平均値、標準偏差、極値分布の形状パラメータを算出し確率密度関数を推定した。またこの変動係数を用いて確率密度関数を全固有周期で推定し、今回の対象橋脚の固有周期 0.17 に対する確率密度関数を推定した。等価重量については対数正規分布と考え、変動係数を約 10%程度とし確率密度関数を推定した。

表-2 に対象橋脚の水平震度および等価重量に関するパラメータの算定値を示す。

(3) **不確定性を考慮したせん断耐力** 橋脚のせん断耐力はコンクリート標準示方書<sup>2)</sup>の式をもとに算定した。ただしこの式の適用範囲はせん断スパン比が 2.5 以上の橋脚であり、せん断スパン比が 2.5 以下である今回の対象橋脚につ

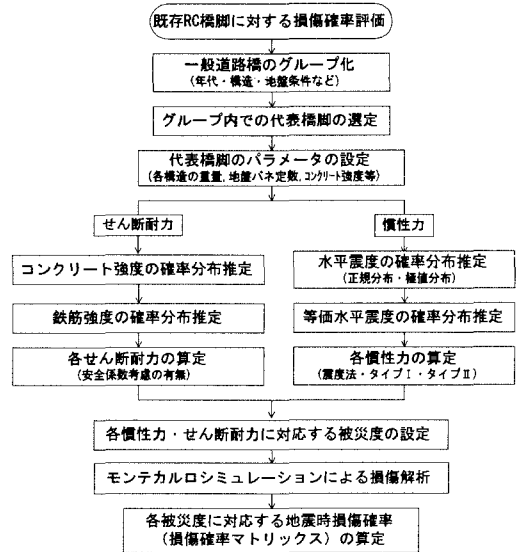


図-1 既存 RC 橋脚に対する損傷確率評価フロー

表-1 設計水平震度と気象庁震度階の対応付け

設計水平震度に 用いる算定法	震度法		地震時保有水平耐力法	
	—	—	タイプ I 地震動	タイプ II 地震動
対応する 気象庁震度階	震度5	震度6	震度6	震度7

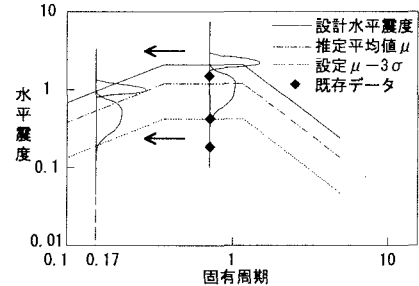


図-2 水平震度の確率分布推定概念図

表-2 対象橋脚のパラメータの平均値と標準偏差

	水平震度			等価重量	
	震度5	震度6	震度7	橋脚基部	段落とし部
平均値	0.12	0.44	0.62	2793kN	2319kN
標準偏差	0.02	0.08	0.08	279kN	232kN
特性最大値	0.24	0.84	1.00	—	—
	コンクリート強度			鉄筋強度(SD490)	
平均値	20.6N/mm <sup>2</sup>			490N/mm <sup>2</sup>	
標準偏差	4.74N/mm <sup>2</sup>			24.5N/mm <sup>2</sup>	

いてはその適用性が問題となる。そこで解析によりせん断スパン比の違いによるせん断耐力の変動率を推定<sup>3)</sup>し、補正係数を1.3とした。せん断耐力の安全係数は終局限界状態の部材係数1.3、コンクリートの材料係数1.3を用いた。せん断耐力の確率分布推定については、まずその変動による影響が大きいコンクリート強度について、コンクリート強度と変動係数の関係式<sup>3)</sup>を用いて、設定する平均コンクリート強度に対する変動係数を算定し、分布形状を対数正規分布と考へて確率密度関数を推定した。また軸方向鉄筋・せん断補強筋の強度については、対数正規分布と考へて変動係数を約5%程度として確率分布を推定した。表-2に対象橋脚のコンクリート強度および鉄筋に関するパラメータの算定値を示す。ただしコンクリート強度は材料試験より非常に高い結果が出たため、ここでは一般的な設計基準強度を設定した。

(4) 被災度の対応付け 橋脚の被災度はAS：落橋，A：大被害，B：中被害，C：小被害，D：無被害とした。損傷確率は慣性力・せん断耐力に対して推定した確率分布を用いて算定するが、損傷確率マトリックスとして算定するには、これを被災度へ対応付ける必要がある。そこで被災度の判定を、せん断補強筋の負担分( $V_s$ )を含めたせん断耐力( $V_c+V_s$ )が慣性力の極値分布を下回る場合をA判定以上、せん断補強筋の負担分を除いたせん断耐力( $V_c$ )が慣性力の極値分布を下回る場合をC判定以上とした。これらのうち正規分布を用いた慣性力と、実橋脚に対し安全係数を考慮しないせん断耐力との比較照査によるものを、各々さらに被災度の大きいAS、B判定とした。

(5) 損傷確率マトリックスの算定と評価 以上に述べたそれぞれの被災度に対応する確率分布を用いて、モンテカルロシミュレーションによる損傷解析から対象橋脚の損傷確率マトリックスを算定した。表-3に対象橋脚の慣性力・せん断耐力の平均値を、表-4に橋脚基部における損傷確率マトリックス(以下DPMと記す)を示す。また図-3に兵庫県南部地震の高速道路橋における橋脚基部せん断破壊の実被害データとの比較を示す。表-4によるとA判定以上は震度7で約10%、B判定以上は約40%という損傷確率であり、また震度6、7において無被害はほぼ0%となった。

図-3における比較ではB判定以上は高速道路橋の方が確率が高い。これは橋脚形式・地盤など条件の違いによるものと考えられる。しかし今回の対象橋脚ではSD490という高強度の鉄筋が用いられており、 $V_c$ に含まれる軸方向鉄筋の負担分と $V_s$ が比較的大きくなった影響も考えられるため、コンクリート強度とともに鉄筋グレードを数パターン変更したDPMを評価した。例としてコンクリート強度0.8倍のDPMを表-5に、鉄筋グレードSD390のDPMを表-6に示す。表-4の基準DPMに対し表-5ではB判定以上においてコンクリート強度低下の影響が見られ、表-6ではA判定以上で非常に鉄筋強度の影響が大きいことが判る。この結果よりDPMを地震時の損傷評価として同橋脚グループ内の一般橋脚に適用し被災度を判定するには、コンクリート強度、鉄筋グレード別のDPMの選定に十分な注意が必要であると言える。

3. おわりに 本稿では一般橋脚に対し損傷確率マトリックスを構築することにより、対象としたモデルの属する橋脚グループに対して簡便に地震時の損傷評価を行う手法を示した。実橋脚のコンクリート強度や鉄筋のグレードを推定できれば、よりの確かな診断を行うことが可能である。

表-3 慣性力とせん断耐力の平均値

水平震度の条件	慣性力の平均値(kN)		
	震度5	震度6	震度7
正規分布	345	1221	1730
極値分布	664	2348	2788
安全係数の条件	せん断耐力の平均値(kN)		
	$V_c$	$V_s$	$V_c+V_s$
考慮しない	1632	1694	3326
考慮する	965	1303	2268

表-4 対象橋脚の基部におけるDPM

橋脚被災度	気象庁震度階		
	震度5	震度6	震度7
AS	0%	0%	0%
A	0%	0.6%	9.6%
B	0%	7.9%	29.2%
C	0%	91.3%	61.2%
D	100%	0.2%	0%

表-5 コンクリート強度0.8倍のDPM

橋脚被災度	気象庁震度階		
	震度5	震度6	震度7
AS	0%	0%	0%
A	0%	1.2%	16.1%
B	0%	15.3%	42.1%
C	0%	83.4%	41.8%
D	100%	0%	0%

表-6 鉄筋グレードSD390のDPM

橋脚被災度	気象庁震度階		
	震度5	震度6	震度7
AS	0%	0%	0%
A	0%	12.6%	60.2%
B	0%	8.0%	29.2%
C	0%	79.4%	10.7%
D	100%	0.0%	0%

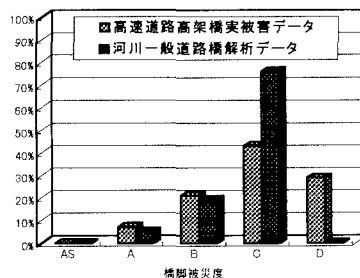


図-3 実被害データとの比較

【参考文献】1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1996.2.

2) 土木学会コンクリート委員会：コンクリート標準示方書・耐震設計編，1996.7.

3) 小林大輔ら：既存RC橋脚のコンクリート強度分布推定とせん断耐荷性能の評価，土木学会関西支部年次学術講演会，1999.5.