

I - B 188 橋梁構造系の部材間の損傷連関解析に基づく信頼性評価手法

神戸大学大学院 ○学生員 船越寿明
神戸大学工学部 フェロー 高田至郎

神戸大学工学部 正 員 森川英典
神戸大学工学部 学生員 井上佳子

1.はじめに 著者らは兵庫県南部地震以後、主要高速道路橋の被災データベースを作成し、橋梁の被災要因分析に基づいて損傷確率の評価を行ってきた。本稿では、一般の道路橋の中から危険度の高いせん断破壊型の橋梁グループ（単純桁河川橋、T型RC単柱橋脚、段落とし有り、せん断スパン比<2.5）について橋軸直角方向に対する橋梁構造系を考慮した信頼性評価を解析的に試みた。

2.支承の損傷を考慮した動的解析による損傷連関の評価

橋梁構造系を考えた場合、支承は上・下部構造の接点に設けられ、地震時には慣性力を伝達する構造部材である。よって、地震時に橋脚に作用する慣性力は支承の損傷状態によって大きく左右されと考えられる。そこで動的解析により支承の各損傷状態での橋脚に作用する慣性力を評価することとした。まず支承の破壊モードとして「靱性的な破壊」と「脆性的な破壊」を考え、さらに脆性的な破壊後の挙動として「滑り」、上部工との「食い込み」の2つの状態を想定した。図-1にその概念図を、

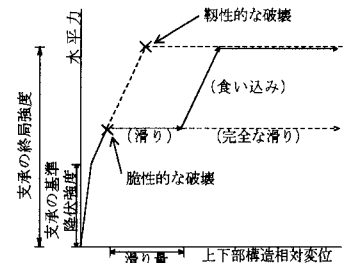


図-1 支承の損傷後挙動の概念図

図-2に解析に用いた支承の損傷モデルを示す。動的解析に用いた地震波は神戸海洋気象台でとられた強震記録を正弦波に変換したものとした。ここで慣性力の増減については、「慣性力増減率=(支承が損傷した場合の橋脚の最大水平力)/(支承が健全な場合の橋脚の最大水平力)」と定義した。支承の各パラメーター(耐力、滑り量など)について確率分布を仮定し、図-3(a)のモデルにより支承が損傷した場合における橋脚の慣性力増減率を、図-3(b)のモデルを用いて同じ桁を支持する2つの支承のうち片方が損傷した場合におけるもう一方の支承の慣性力増減率を、モンテカルロシミュレーションにより確率変数として求めた。道路橋示方書に基づく慣性力算定値にこの増減率を乗じた確率モデルと、別途種々の不確実性を考慮して評価されたせん断耐力の確率モデル²⁾とを用い

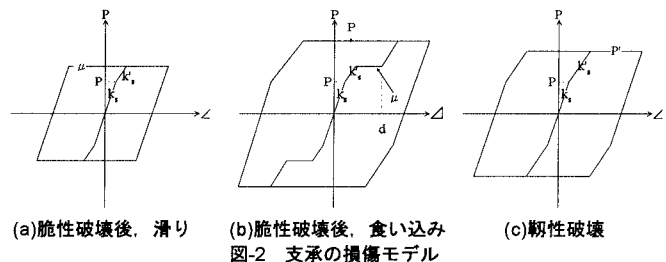


図-2 支承の損傷モデル

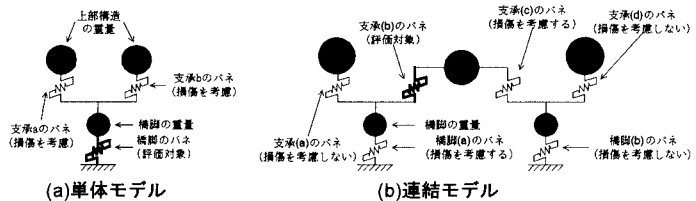


図-3 橋梁構造系を考慮した動的解析モデル

たモンテカルロシミュレーションにより、「支承の損傷状態を条件とした震度7の橋脚の損傷確率マトリックス」および「橋脚の損傷状態と上部桁他端の支承の損傷状態を条件とした支承の損傷確率マトリックス」を構築した。これらの条件付き損傷確率マトリックスを以下では損傷連関マトリックスと称する。表-1に動的解析に用いた各パラメーターを示す。ただし、これらのパラメータのうち感度解析により有意であると判定された4つを確率変数として取り扱った。表-2に損傷連関マトリックスの評価結果を示す。

表-3に橋脚および支承被災度の定義を示す。支承が損傷時に脆性および靱性のどちらの損傷モードにな
キーワード：橋梁構造系、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、078-803-6027

るかについては、現段階では両者同確率と仮定した。さらに脆性破壊後の滑り、食い込みについても同様に同確率と仮定して損傷連関マトリックスに集計した。

表-1 動的解析に用いた各種パラメーター

	橋脚重量 (kN)	上部工重量 (kN)	橋脚バネ定数 (kN/m)	支承バネ定数 (kN/m)	支承降伏耐力P (kN)	支承終局耐力P' (kN)	摩擦係数 μ	滑り量 (m)
平均値(標準偏差)	1350	700	42594	100000	161(35)	322(35)	0.35(0.1)	0.075(0.04)

表-2 損傷連関マトリックス

(a) 橋脚の損傷連関マトリックス
(震度7)

橋脚被災度	支被被災度(支被a, bの順に被災度を示す)	AA	AB	AD	BB	BD	DD
AS	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
A	0.63%	1.79%	1.40%	3.66%	3.66%	9.60%	
B	2.15%	4.32%	3.66%	6.74%	6.74%	29.20%	
C	97.22%	93.90%	94.94%	89.60%	89.60%	61.20%	
D	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

(b) 支承の損傷連関マトリックス
(震度7)

支 承 (b) 被災度	橋脚(a)被災度			
	AS,A	B,C,D		
	支 承(c)被災度			
	A,B,D	A	B	D
A	100.00%	49.98%	42.74%	42.76%
B	0.00%	50.00%	49.13%	49.13%
D	0.00%	0.02%	8.13%	8.12%

表-3 被災度の定義

橋脚被災度	定義
AS	落橋
A	大被害
B	中被害
C	小被害
D	無被害

支承被災度	定義
A	脆性的な破壊
B	靱性的な破壊
D	無被害

3. 橋梁構造系の信頼性評価手法および実橋梁の評価結果 本研究における橋梁構造系の信頼性評価とは、各部材間の損傷連関評価を連鎖させていくことで考慮していくものである。その基本的な考え方について以下に簡条書きで示す。

- 最終的な損傷状態が同じであっても損傷の経路によって、損傷確率が大きく変化する。
- 各部材の損傷確率は、その部材と隣接する他の部材との相互作用によって決定される。

以下に、上述の概念に基づく信頼性評価手法を述べていく。まず、橋梁構造系の最終的な損傷状態を仮定する。次にその損傷状態に至る各部材の損傷経路を仮定する。これら最終的な損傷状態および損傷経路の仮定については、考え得るすべての損傷経路を網羅する必要がある。このように最終的な損傷状態およびそれに至る損傷経路が仮定されると、次にその損傷確率 P の演算を行う。式(1)にその算定式を示す。

$$P = \prod_{x=1}^n \frac{DP_{S(x)}}{n \times 100} \quad DP_{S(x)} = DCM(s(x), D_{S(x)-1, x}, D_{S(x)+1, x}) \quad (1)$$

P : 仮定された損傷経路で最終状態に至る確率

x : 橋梁構造系の損傷段階

n : 全部材数

DP_a : 部材 a の損傷確率

$s(x)$: 損傷段階 x において損傷する部材

$D_{a,b}$: 損傷段階 b における部材 a の損傷状態

$DCM(a, b, c)$: 隣接部材の損傷状態が b, c の場合における被災度 a となる確率

この式により、仮定された損傷経路を経て、仮定された最終的な損傷状態に至る確率を算定することができる。よって、考え得るすべての損傷状態およびその損傷経路について P を算定し、その集計を行うことで想定震度における橋梁構造系を考慮した各部材の損傷確率マトリックスを算出することができる。最後に2.において算出した2つの損傷連関マトリックスを用いて、実橋梁の橋梁構造系を考慮した信頼性評価結果を示す。表-4に図-4の3つのモデルについてマトリックス計算を行った橋脚の損傷確率の算定結果を示す。この結果より3ケースともほぼ同程度の損傷確率であることがわかる。ここで支承の損傷連関マトリックスに着目すると隣接部材の影響をあまり受けておらず、支承に隣接する部材の損傷が橋梁構造系に伝達されないことが原因と考えられる。また橋脚単体による損傷確率と比べると、橋梁構造系を考慮した損傷確率は大きく異なり、橋梁構造系による信頼性評価の必要性を示唆する結果といえる。

4. まとめ 本稿では損傷連関マトリックスを用いた部材間の損傷連関評価による橋梁構造系の信頼性評価手法について提案した。しかし今回は支承の状態については理想的な仮定を設けており、支承の脆性破壊における不確定要因などについて検討することが今後の課題となる。

- (参考文献) 1)花川和彦: 被災データに基づく橋梁構造系の損傷連関メカニズムの評価と耐震診断法の構築, 第10回日本地震工学シンポジウム
2)井上佳子: 既存RC橋脚における地震時せん断損傷の確率的評価と耐震診断への適用, 平成11年関西支部年次学術講演会

表-4 橋脚2の損傷確率(震度7)

橋脚被災度	CASE1	CASE2	CASE3	橋脚単体による評価
AS	0.000%	0.000%	0.000%	0.00%
A	4.993%	4.994%	4.993%	9.60%
B	13.756%	13.757%	13.756%	29.20%
C	81.257%	81.266%	81.262%	61.20%
D	0.000%	0.000%	0.000%	0.00%

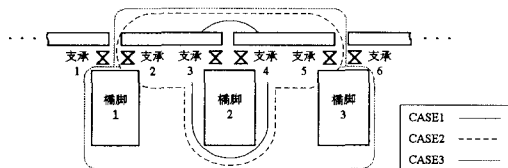


図-4 信頼性評価モデル