

神戸大学工学部 学生員 ○小林 雅人
神戸大学工学部 正会員 森川 英典

1. はじめに：本研究では、著者らが確立した RC 橋脚を有する橋梁構造系の信頼性評価手法¹⁾において、支承条件（各支承損傷確率や支承強度）や入力地震動（地震動レベル）の不確定性の評価を行うことで、より詳細な耐震診断を行い、橋梁構造系の信頼性評価手法の適用範囲の拡大、信頼性の向上を目的とした。

2. 解析概要：本解析では、支承と入力地震動の不確定性を考慮して解析を数パターン行い、不確定性を考慮しない場合およびそれぞれのパターンを比較し、支承および入力地震動の不確定性が橋脚および橋梁構造系の損傷確率にどの程度影響するかを評価した。

(1) 解析モデル

図-1 に本研究における橋梁構造系の動的解析モデルを、図-2 には慣性力伝達システムの損傷モデルを示す。図-2 中の P , P' , P'' , μ , W , k はそれぞれ慣性力伝達システムの降伏耐力、終局耐力、脆性破壊時の耐力、摩擦力、上部工重量、せん断バネ定数を表している。地震時に橋脚に作用する慣性力は慣性力伝達システムの損傷形態により大きく左右されるが、支承よりも耐力の大きい落橋防止装置の方が橋脚に大きな水平力を伝達することから解析では落橋防止装置の耐力を考慮する。また、慣性力伝達システム（支承と落橋防止装置）の損傷形態として「脆性的な破壊」と「脆性的な破壊」（支承と落橋防止装置の高圧ボルトの脆性破壊）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。滑りとは、支承が上部構造と摩擦力でのみ水平力を伝達する状態であり、食い込みとは、支承が上部構造を貫通し、摩擦力以上のある程度の慣性力を伝達する損傷形態である。ここで、脆性破壊強度は降伏強度と終局強度の間で、食い込み強度は脆性破壊強度と終局強度の間で一樣乱数によりばらつきを与えた。

(2) 解析条件

入力地震動は兵庫県南部地震（JR 鷹取駅構内）で観測された地震動（震度 7）を道路橋示方書の設計スペクトルに対応するように振幅調整したもの（図-3）を、橋梁構造系の動的解析モデルに橋軸直角方向に入力し、試行回数 5000 回のモンテカルロシミュレーションにより解析を行った。また、表-1 には解析パラメータと橋梁の構造細目を示す。コンクリート強度は $20.6(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、鉄筋強度は $490.0(\text{N}/\text{mm}^2)$ で、初期条件は表-1 の解析パラメータにより、不確定性を考慮する場合は表-2 の不確定性の設定により解析を行ったが、支承損傷確率（脆性破壊発生確率、食い込み発生確率）については、平均値は初期値のままでそれぞれ 10% または 20% の変動

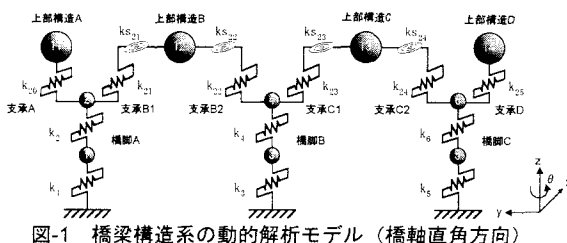


図-1 橋梁構造系の動的解析モデル（橋軸直角方向）

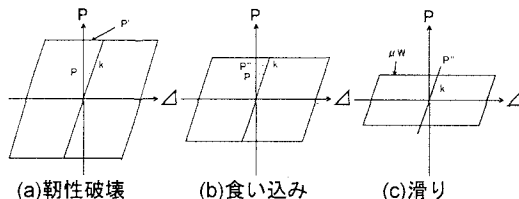


図-2 慣性力伝達システムの損傷モデル

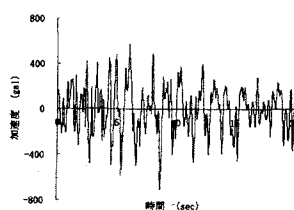


図-3 振幅調整後の地震波

表-1 解析パラメータおよび橋梁の構造細目

	平均値標準偏差			地盤種別	II 種地盤
	脆性強度	0.72	0.32	上部工	4径間、鋼製単純桁
支承	終局強度	0.92	0.04	下部工	RC、T型、小判型断面
	脆性破壊確率	37.2%	2.0%	基礎工	オープンケーソン基礎
	食い込み確率	28.4%	1.0%	橋長	171.2m
	重量 (kN)	1352	---	支間長	33.6m
上部構造	支間長 (m)	33.6	---	橋梁寸法	橋脚高さ
	幅員 (m)	6.0	---		8.5m
				橋脚幅	1.3m (橋軸方向)
					4.0m (橋軸直角方向)
				せん断スパン比	5.38 (橋軸方向)
					1.88 (橋軸直角方向)

表-2 不確定性の設定

	支承強度		支承損傷確率		地震動レベル	
	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数
CASE-2	1割減	6.7%	初期値	10%	1.0-1.0	0%
CASE-3	2割減	15.1%		20%	0.9-0.9	5%
CASE-4						

係数を与え、支承強度については、支承の劣化を考慮して平均値を初期値から1割または2割低減させ、それぞれの変動係数は初期値を上限とした6.7%または15.1%として解析を行った。また、地震動レベルについては、考慮しないかまたは平均値を初期値（図-3）の0.9倍とし、初期値を上限とした5%の変動係数を与えた。

3. 解析結果：表-3～5にはそれぞれ橋脚、支承、橋梁構造系の損傷度判定基準を示す。また、図-4には各ケースにおける試行回数毎の橋脚に働く最大水平力の平均値と変動係数を、表-6, 7には不確定性を考慮しないケース（初期条件）と不確定性を考慮したそれぞれのケースの支承被災度別の橋脚の損傷確率、橋梁構造系の損傷確率を示す。不確定性を考慮しないケースと不確定性を考慮するケースを比較すると、橋脚に働く最大水平力の平均値は約100kN～500kN低減している。地震動レベルを変動させない2ケースでは支承強度2割減、支承損傷確率の変動係数20%の方が最大水平力が約150kN低減しているのに対し、また地震動レベルを変動させないケースより変動させたケースの方が約260kN低減している。まず、橋脚としての損傷確率は、地震動レベルが変動しない2つのケースを比較すると、支承強度2割減、支承損傷確率の変動係数20%にしたケースの方が支承BB被害のときの橋脚被災度AS判定が約25%低減しており、地震動レベルを変動させないケースと変動させたケースでは、変動させたケースの方が支承BB被害のときの橋脚被災度AS判定が約32%低減している。一方、橋梁構造系としての損傷確率は、各ケースともAS判定が約5～24%低減しており、特に地震動レベルを変動させたケースとさせないケースの比較では、レベルを変動させたケースの方が12%低減している。

この結果より、支承および入力地震動の不確定性は橋脚および橋梁構造系の被災度を低減させる方向に働くことが分かるが、その中でも特に地震動レベルの不確定性による影響が大きく、これらの不確定要因を考慮すると橋脚および橋梁構造系の被災度は大幅に低減することがわかった。

4. まとめ：本稿では、支承と入力地震動の不確定性を考慮し、橋梁構造系の耐震信頼性評価を行った。その結果、橋脚被災度については支承の不確定性を考慮すると支承BB被害のときのみ低減しているのに対し、地震動レベルの不確定性を考慮した場合には全ての支承被害において低減することがわかった。また不確定性を考慮すると橋梁構造系の被災度が大きく低減し、特に入力地震動の不確定性の影響が非常に大きいことがわかった。

【参考文献】

1) 船越, 森川, 高田: RC 橋脚を有する橋梁構造系の耐震信頼性解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.1087-1092, 2001.6.

表-3 橋脚の損傷度判定基準

被災度	被害状況	判定基準
AS	崩壊	慣性力がコンクリート・鉄筋のせん断耐力(V_c+V_s)を上回る
A	大被害	慣性力が安全率を考慮したコンクリート・鉄筋のせん断耐力を(V_c+V_s)を上回る
B	中被害	慣性力がコンクリートのせん断耐力(V_c)を上回る
C	小被害	慣性力が安全率を考慮したコンクリートのせん断耐力(V_c)を上回る
D	無被害	慣性力が安全率を考慮したコンクリートのせん断耐力(V_c)を下回る

表-4 支承の損傷度判定基準

被災度	被害状況	判定基準
A	大被害	脆性的な破壊に致している
B	中被害	終局耐力に達し、脆性的な破壊により残留変位が生じている
C	小被害	降伏耐力に達している
D	無被害	無被害

表-5 橋梁構造系の損傷度判定基準

		慣性力伝達システムの被災度	
		A	B, C, D
橋脚の被災度	AS	AS	AS
	A	AS	A
	B	A	B
	C	A	C
	D	A	D

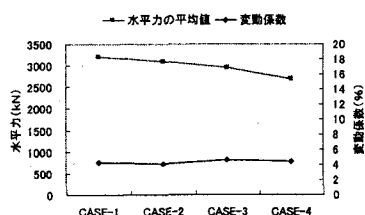


図-4 各ケースにおける試行回数毎の橋脚に働く最大水平力の平均値と変動係数

表-6 支承被災度別の橋脚の損傷確率

CASE-1 (初期条件)

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	78.9%	8.7%	8.8%	0.0%
	A	21.1%	91.3%	91.2%	34.2%
	B	0.0%	0.0%	0.0%	30.7%
	C	0.0%	0.0%	0.0%	35.0%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

CASE-2

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	63.3%	5.1%	5.6%	0.0%
	A	36.7%	94.7%	94.3%	34.1%
	B	0.0%	0.2%	0.2%	29.2%
	C	0.0%	0.0%	0.0%	36.8%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

CASE-3

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	38.2%	2.7%	2.5%	0.0%
	A	61.8%	94.9%	95.3%	34.1%
	B	0.0%	2.3%	2.0%	28.7%
	C	0.0%	0.1%	0.1%	37.2%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

CASE-4

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	6.5%	0.2%	0.2%	0.0%
	A	93.3%	82.6%	81.7%	17.9%
	B	0.2%	15.9%	16.9%	34.5%
	C	0.0%	1.3%	1.2%	47.6%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

表-7 橋梁構造系の損傷確率

CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4
橋梁構造系の損傷確率	橋梁構造系の損傷確率	橋梁構造系の損傷確率	橋梁構造系の損傷確率
AS 55.9%	AS 51.0%	AS 43.6%	AS 31.6%
A 38.4%	A 43.2%	A 50.0%	A 56.1%
B 2.7%	B 2.6%	B 3.1%	B 7.9%
C 3.0%	C 3.2%	C 3.3%	C 4.5%
D 0.0%	D 0.0%	D 0.0%	D 0.0%