

論文 支承と入力地震動の不確定性を考慮した RC 橋脚を有する橋梁構造系の耐震信頼性解析

小林 雅人*1・森川 英典*2

要旨: 著者らが従来の研究において考案した損傷確率マトリックスを用いた RC 橋脚を有する既設橋梁構造系の信頼性評価手法において, 本研究では, 支承 (支承と落橋防止装置を指す) の靱性破壊と脆性破壊を考慮した支承条件 (各支承損傷確率や支承強度) や地盤条件のばらつきによる地震動レベルの不確定性を考慮した橋梁構造系の時刻歴応答解析により耐震信頼性評価を行うことで, より詳細な耐震診断を行い, 同手法の適用範囲の拡大, 信頼性の向上について検討した。

キーワード: 損傷確率マトリックス, 支承, 入力地震動, 橋梁構造系, 耐震信頼性解析

1. はじめに

著者らは既往の研究¹⁾において, 兵庫県南部地震のデータにより統計的に判断された被災メカニズムに基づき, 兵庫県南部地震のデータにより評価できない構造形式の橋梁に対して, 支承の損傷を発端事象とし, 系統的に各部材の損傷連関を考慮し, 橋梁構造系としての信頼性を解析的に評価する損傷連関解析による信頼性評価手法を検討した。しかし, 台湾集集地震²⁾における断層近傍の橋梁被害や十勝沖地震での支承被害も踏まえ, 橋梁構造系の信頼性評価を行うにあたり, 支承の靱性破壊と脆性破壊という損傷形態の違いと支承の劣化を考慮した支承条件 (各支承損傷確率や支承強度) や地盤条件のばらつきによる入力地震動 (地震動レベル, 断層を想定した橋脚間の位相差および地震動レベル差) の不確定性の評価を行うことが, より詳細な耐震診断につながると考えられる。そこで本研究は, 各不確定要因による影響を橋梁構造系において評価し, 橋梁構造系の信頼性評価手法の適用範囲の拡大また, 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

ない場合および各パターンを比較し, 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与える影響を評価した。

2.1 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示す。これは橋脚 B とそれに付随する支承 B2 と C1 からなる構造系を評価するためのもので, 隣接橋脚までの影響を考慮している。図-2 には支承の損傷モデルを示す。解析モデルでは評価対象が段落としを有するせん断破壊型の橋脚であるため, 2 つの質点および線形バネとし, 支承については図-2 に示す非線形バネを考慮した。図-2 中の P , P' , μ , W , k はそれぞれ支承の降伏耐力, 終局耐力, 脆性破壊時の耐力, 摩擦力,

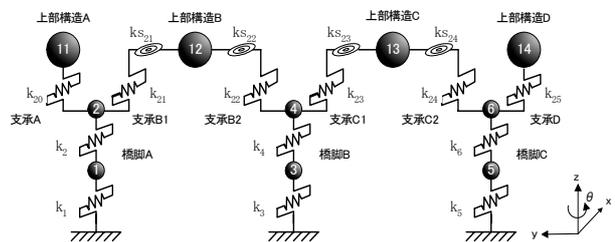


図-1 橋梁構造系の動的解析モデル (橋軸直角方向)

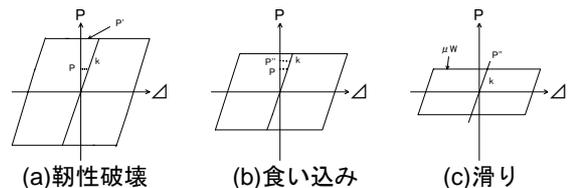


図-2 支承の損傷モデル

*1 神戸大学大学院 自然科学研究科建設学専攻 (正会員)

*2 神戸大学 工学部建設学科 助教授 工博 (正会員)

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支承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，支承の損傷形態として「靱性的な破壊」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（図-3）。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，脆性破壊後の挙動を摩擦型の復元力モデルと仮定し，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り，この水平伝達力を摩擦力と仮定し，滑りモデルの特殊なケースとした。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様乱数によりばらつきを与えた。

2.2 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）を道路橋示方書的设计スペクトルに対応するように振幅調整したものの（図-4，図-5）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地震応答解

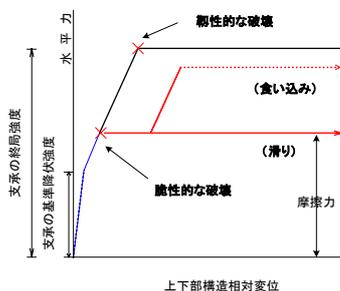


図-3 支承の損傷後挙動の概念図

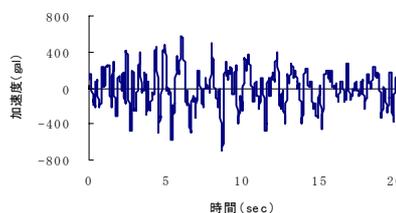


図-4 振幅調整後の地震波

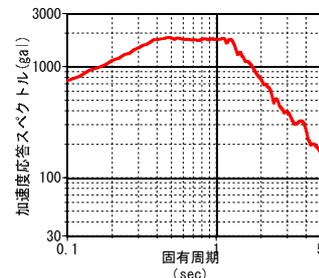


図-5 加速度応答スペクトル

析を行った。

また，表-1 に解析パラメータを，表-2 には評価対象橋梁の構造細目を示す。

橋脚のコンクリート強度については，コンクリート強度と変動係数に関わる推定式³⁾を参考に標準偏差を設定し，対数正規分布とした。鉄筋についても分布形状を対数正規分布と考え，平均値に対して 5%の標準偏差を見込んだ。また，初期条件は表-1 の解析パラメータにより行うが，各不確定性を考慮する場合は，4 章に示す支承，入力地震動の不確定性の検討を行ったうえで，それぞれの不確定要因を考慮した橋梁構造系の耐震信頼性評価を行う。

3. 信頼性評価における被災度判定基準の定義

橋梁構造系で被災度を判定する場合，各部材の被災度の組み合わせを考慮する必要があり，まず橋梁の構成部材から橋脚および支承の個々の被災度判定基準について定義した。

橋脚については，表-3 に被災度判定基準を示すが，これは阪神・淡路大地震調査報告⁴⁾の被災度判定ランクを参考に定義した。

支承については，表-4 のように，2.1 で述べた支承の損傷形態に基づいて被災度を判定する。

次に橋脚および支承の被災度判定基準より，橋梁構造系の被災度を定義する。表-5 の道路橋対策便覧（震災復旧編）による被災度ランクを参考に，

表-1 解析パラメータ

	橋脚A, B, C			
	段落とし部		基部	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
重量 (kN)	748		411	
バネ定数 (kN/m ²)	2.57 × 10 ⁶	確定値	2.63 × 10 ⁶	確定値
減衰係数	5%		5%	
コンクリート強度 (N/mm ²)	20.6	4.8	20.6	4.8
鉄筋強度 (N/mm ²)	490.0	24.5	490.0	24.5

支承	脆性強度*	0.72	0.32
	終局強度*	0.92	0.04
上部構造	脆性破壊確率	37.2%	2.0%
	食い込み確率	28.4%	1.0%
	重量 (kN)	1352	—
橋脚幅	支間長 (m)	33.6	—
	幅員 (m)	6.0	—

*震度係数換算値

表-2 橋梁の構造細目

地盤種別	II 種地盤	
構造形式	上部工	5径間，鋼製単純桁
	下部工	RC, T型，小判型断面
	基礎工	オープンケーソン基礎
橋梁寸法	橋長	171.2m
	支間長	33.6m
	橋脚高さ	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-6には橋梁構造系の被災度判定基準を示す。

4. 各不確定性の評価

4.1 支承条件の不確定性

著者らの研究¹⁾では、支承の各損傷形態の発生確率(脆性破壊発生確率, 食い込み発生確率)は、兵庫県南部地震による支承の被災度と宮城県沖地震における支承の被害状況別件数⁵⁾という別々のデータの組み合わせから算出されていて、また支承の被災データの数も少なく、この特定の地震で得られた確率を、地盤条件や構造条件などの異なる橋梁に適用することは信頼性に欠けると考えられる。また、支承の劣化といったことも考慮しなければならず、支承の不確定性が橋梁構造系の耐震信頼性評価に影響を及ぼすと考えられる。そこで、これらの不確定性を考慮して解析を行うにあたり、支承パラメータを表-7のように変えて橋脚の損傷確率に及ぼす影響を評価した。

位相差なしで表-7に示すように脆性破壊発生確率の平均値は基準値の37.2%から2割減少させたものと2割増加させたものに変えて、支承強度

は図-1の解析モデルの支承(A~D)の脆性強度と終局強度をそれぞれ1割減少させたものと2割減少させたもので解析を行った。表-8に各ケースにおける支承被災度別の橋脚被災度の確率を示す。表中の横に示す支承被災度は左から支承B2, C1の被災度を、縦の橋脚被災度は橋脚Bの被災度を表す。

CASE1-2, CASE1-3の橋脚の被災度をそれぞれ支承損傷確率が基準値であるCASE1-1と比較すると、脆性破壊発生確率を2割減少させたケース(CASE1-2)では全体的に見て、基準値の場合よりも橋脚の被災度が大きくなっており、支承BB判定のときに最も変化しており、橋脚の被災度AS判定(崩壊)が約3%増加し、A判定(大被害)が約3%減少している。脆性破壊発生確率を2割増加させたケース(CASE1-3)では、全体的に見て橋脚の被災度は低減しており、2割減のケースとは逆に支承BB判定のときの橋脚被災度AS判定が約3%減少し、A判定が約3%増加している。

CASE1-4, CASE1-5の橋脚の被災度をそれぞれ支承強度基準値のケース(CASE1-1)と比較すると、

表-3 橋脚の被災度判定基準

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(Vc+Vs)を上回る
A	大被害	慣性力が安全係数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(Vc)を上回る
C	小被害	慣性力が安全係数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	慣性力が安全係数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 支承の被災度判定基準

被災度	被害状況	判定基準
A	大被害	脆性的な破壊に致っている
B	中被害	終局耐力に達し、靱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 道路橋対策便覧による被災度ランク

被災度	橋梁構造系についての定義
AS	崩壊、倒壊またはそれに類するもの
A	耐力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある
B	耐力の低下に影響のある損傷であるが、余震、活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合
C	短期間には耐力の低下に影響のない場合
D	耐力に関して特に異常が認められない場合

表-6 橋梁構造系の被災度定義

		支承の被災度	
		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

表-7 解析ケース(支承条件)

	脆性破壊発生確率	支承強度
CASE1-1	基準値	基準値
CASE1-2	2割減	基準値
CASE1-3	2割増	基準値
CASE1-4	基準値	1割減
CASE1-5	基準値	2割減

表-8 各ケースの解析結果

(c) CASE1-3

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	76.0%	7.4%	7.7%	0.0%
	A	24.0%	92.6%	92.3%	34.4%
	B	0.0%	0.0%	0.0%	30.6%
	C	0.0%	0.0%	0.0%	35.0%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

(a) CASE1-1(基準値)

		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%

(b) CASE1-2

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	81.8%	9.6%	9.7%	0.0%
	A	18.2%	90.4%	90.3%	34.2%
	B	0.0%	0.0%	0.0%	31.1%
	C	0.0%	0.0%	0.0%	34.7%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

(d) CASE1-4

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	63.5%	4.9%	5.3%	0.0%
	A	36.5%	94.9%	94.5%	34.1%
	B	0.0%	0.1%	0.2%	29.2%
	C	0.0%	0.0%	0.0%	36.7%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

(e) CASE1-5

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	42.4%	2.3%	2.5%	0.0%
	A	57.6%	96.8%	96.8%	34.3%
	B	0.0%	0.9%	0.7%	28.2%
	C	0.0%	0.0%	0.0%	37.5%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

支承強度 1 割減のケース (CASE1-4) では、支承被災度 BB 判定のときに最も橋脚の被災度が低減しており、その変化量は約 15%であり、次いで AB, BA 判定のときに約 4%低減している。また、支承強度 2 割減のケース (CASE1-5) では、橋脚の被災度は大幅に低減しているが、その中でも特に支承の被災度が BB 判定のときには約 35%も橋脚の被災度が低減しており、次いで AB, BA 判定のときには約 6%低減している。このことから支承の強度が下がれば上部工から伝達される慣性力の割合が小さくなったために、橋脚の被災度に大幅な影響が出たと考えられる。

以上より、脆性破壊発生確率の増減、支承強度の減少により橋脚被災度に有意な差が見られることから、橋梁構造系の耐震信頼性を評価する上で支承損傷確率および支承強度の不確定性の影響を考慮しなければならない。

4.2 入力地震動の不確定性

特殊な診断項目ではあるが、経済的な理由または地理的条件により断層をまたいで橋梁を建設しなければならない場合も考えられ、その場合断層を横切る橋梁構造系の耐震信頼性評価が重要になってくる。このことを背景に、既往の研究²⁾では断層変位の影響が支配的な場合を考え、静的解析で橋脚の耐震診断を行い、過度に安全側の判断となった。実際は断層の影響を考えるには静的要因と動的要因の両方を考えなければならず、静的変位が支配的な場合とそうでない場合が考えられる。本研究では、静的要因が支配的でなく、動的要因が支配的な場合を想定しているが、断層を境界として位相差が生じ、地震動レベルに差が生じてく

る。さらに、橋脚間に断層がない場合でも全橋脚に伝達される地震動レベルの変動を考慮しなければならない。そこで、ここでは、入力地震動の不確定性 (隣接橋脚間における位相差, 地震動レベルおよび地震動レベル差) を評価する。表-9, 10 のように地震動レベルおよび位相差を変えて橋脚の損傷確率に及ぼす影響を評価した。

地震動レベルについては位相差なしで、全橋脚に入力する地震動レベルを図-4 に示したものを極値最大値として基準 (1.0) にとり、0.9 倍と 0.8 倍に変化させた。位相差については橋脚 A と橋脚 B の間に断層がある場合を想定して、橋脚 A と橋脚 B,C の間に 1.0 秒, 1.5 秒の位相差を設定して解析を行った。表-11 には各ケースにおける支承被災度別の橋脚被災度の確率を示す。

地震動レベルが基準のケース (CASE1-1) と 0.9 倍, 0.8 倍のケースを比較すると、基準のケースから 0.9 倍のケース (CASE2-1) では、全体的に橋脚の被災度は低減しており、特に支承が BB 被害のときに橋脚の被災度 AS 判定が約 30%も低減している。また、基準のケースから 0.8 倍のケース (CASE2-2) では、支承が BB 被害のときに橋脚の被災度 AS 判定が 50%以上も低減している。

位相差なしのケース (CASE1-1) と位相差 1.0 秒のケース (CASE2-3) の比較では、特に支承 AA 被害のとき橋脚の被災度 A 判定が約 26%も低減しており、位相差なしのケースと位相差 1.5 秒のケース (CASE2-4) の比較では、位相差なしのケースから約 30~80%低下と大幅に減少している。

以上より地震動レベルおよび位相差を考慮すると橋脚の被災度が大幅に低減し、これらの不確定

表-9 解析ケース (地震動レベル)

	地震動レベル (橋脚A-橋脚B,C)	位相差
CASE1-1	1.0-1.0	なし
CASE2-1	0.9-0.9	
CASE2-2	0.8-0.8	

表-10 解析ケース (位相差)

	位相差(橋脚A-橋脚B,C)
CASE1-1	なし
CASE2-3	1.0秒
CASE2-4	1.5秒

表-11 各ケースの解析結果

(c) CASE2-2

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	25.2%	0.1%	0.1%	0.0%
	A	74.8%	92.5%	92.2%	11.3%
	B	0.0%	7.3%	7.4%	34.6%
	C	0.0%	0.1%	0.3%	54.1%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

(a) CASE1-1

		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%

(b) CASE2-1

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	51.9%	1.9%	2.0%	0.0%
	A	48.1%	97.4%	97.3%	18.0%
	B	0.0%	0.7%	0.6%	37.9%
	C	0.0%	0.0%	0.0%	44.1%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

(d) CASE2-3

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	66.1%	2.1%	5.5%	0.0%
	A	33.9%	93.0%	94.2%	8.4%
	B	0.0%	4.7%	0.4%	30.4%
	C	0.0%	0.2%	0.0%	60.2%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%

(e) CASE2-4

		支承B2, C1の被災度			
		BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	A	86.8%	10.8%	62.2%	0.2%
	B	11.0%	48.5%	35.0%	10.1%
	C	1.1%	40.7%	2.8%	88.5%
	D	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%

性が橋脚に及ぼす影響は非常に大きいといえ、橋梁構造系の耐震信頼性評価を行う上で特に考慮すべき要因である。

5. 支承条件および入力地震動の不確定性を考慮した橋梁構造系の耐震信頼性評価

上記で検討した支承の不確定性（支承損傷発生確率、支承強度）と入力地震動の不確定性（位相差、地震動レベルおよび地震動レベル差）を考慮して橋梁構造系の耐震信頼性評価を行う。解析パターンは不確定性を考慮しない場合も含め、表-12、13 に示すように不確定性を考慮する場合では断層がない場合と断層がある場合の3つを設定した。

支承損傷確率については、平均値は基準値の値でそれぞれ10%または20%の変動係数を与え、支承強度については、支承の劣化を考慮して平均値を基準値から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基準値の0.9倍とし、基準値を上限とした5%の変動係数を与えた。断層がある場合は、位相差を平均値1.5秒、変動係数10%と設定し、地震動レベル差につ

いては、橋脚Aの地震動レベルを0.9倍に設定した。ただし、断層域での地震動特性は、まだ十分に把握されていないため、今後更なる研究が必要である。例えば、一之瀬らの研究⁶⁾によると、静的要因が支配的な場合にはあるが、台湾集集地震における断層直上の地震動レベルは周囲よりも2割程度低減している。

表-14、15には不確定性を考慮しないケース(CASE1-1)と不確定性を考慮した各ケースの支承被災度別の橋脚および橋梁構造系の損傷確率を示す。

断層なしの場合において、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(CASE3-1, 2)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(CASE3-2)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(CASE3-2)と変動させたケース(CASE3-3)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

表-12 解析ケース（断層なし）

	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
CASE3-1	1割減	6.7%	初期値	10%	1.0-1.0	0%
CASE3-2	2割減	15.1%	初期値	20%	0.9-0.9	5%
CASE3-3						

表-13 解析ケース

	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
断層なし	2割減	15.1%	初期値	20%	0.9-0.9	5%
断層あり	支承強度		支承損傷確率		位相差	
	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数
	1割減	6.7%	初期値	10%	1.5秒	10%
					地震動レベル差 (橋脚Aの地震動レベル)	
					平均値	変動係数
					0.9倍	5%

表-14 解析結果

		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%	

(a) CASE1-1 (基準値)

		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%	

(b) CASE3-1

		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%	

(c) CASE3-2

		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%	

(d) CASE3-3 (断層なし)

		支承B2, C1の被災度				
		CA	BB	BA	AB	AA
橋脚被災度	AS	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	A	0.0%	87.0%	6.5%	77.1%	2.6%
	B	0.0%	12.2%	52.8%	21.6%	29.0%
	C	100.0%	0.8%	40.8%	1.2%	68.4%
D	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	

(e) CASE3-4 (断層あり)

表-15 橋梁構造系の損傷確率

(a) 基準値		(b) CASE3-1		(c) CASE3-2		(d) CASE3-3		(e) CASE3-4	
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		橋梁構造系の損傷確率	
AS	55.9%	AS	51.0%	AS	43.6%	AS	31.6%	AS	20.2%
A	38.4%	A	43.2%	A	50.0%	A	56.1%	A	51.1%
B	2.7%	B	2.6%	B	3.1%	B	7.9%	B	16.5%
C	3.0%	C	3.2%	C	3.3%	C	4.5%	C	12.3%
D	0.0%	D	0.0%	D	0.0%	D	0.0%	D	0.0%

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。

また、断層の有無の比較において、橋脚の損傷確率の断層なしのケース (CASE3-3) から断層ありのケース (CASE3-4) では、支承 BA 被害のときの橋脚被災度 A 判定が約 80%も低減している。橋梁構造系の損傷確率では、不確定性を考慮しないケース (CASE1-1) と断層なしのケース (CASE3-3) を比較すると、橋梁構造系の被災度 AS 判定が約 25%低減しており、断層なしのケースと断層ありのケース (CASE3-4) の比較では、AS 判定が約 10%低減している。

以上より断層がない場合と断層がある場合を想定して橋梁構造系の耐震信頼性評価を行ったが、どちらのケースも不確定性を考慮しないケースより橋脚および橋梁構造系の被災度が大幅に低減することがわかった。

6. まとめ

以下に本研究で得られた知見をまとめる。

(1) 支承損傷確率の不確定性および支承の劣化による支承強度の不確定性が橋脚の損傷確率に及ぼす影響を評価した。その結果、どちらの場合も橋脚の損傷確率に有意な差が見られ、特に支承強度に関しては大幅な影響が出ており、橋梁構造系の耐震信頼性評価を行う上で支承損傷確率および支承強度の不確定性を考慮する必要性が示された。しかし、今回は橋軸直角方向についてのみの解析であるということと、本来の支承の役割などを勘案すると、橋梁の被災度を低減させるためには支承の強度を低くすればいいということは一概には言えない。

(2) 位相差の不確定性と地震動レベルおよび地震動レベルの差の不確定性が橋脚の損傷確率に及ぼ

す影響について評価した。その結果、どの場合も橋脚の被災度に大きな差が見られ、特に位相差の不確定性については大幅に影響が出ており、橋梁構造系の耐震信頼性評価を行う上で位相差、地震動レベルおよび地震動レベルの差の不確定性を考慮する必要性が示された。

(3) 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では全ての支承被災度において低減することがわかった。

(4) また、支承と入力地震動の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。

(5) 断層の有無による比較において、動的な要因が支配的な場合、断層がある場合の動的要因の影響は橋脚および橋梁構造系の被災度を大幅に低減させる方向に働くことがわかった。

参考文献

- 1) 船越寿明, 森川英典, 高田至郎: 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.
- 2) 高田至郎 (研究代表者): 要注意活断層近傍施設の耐震安全性評価法とその対策工法に関する研究, 科学研究費報告書, 2002. 3.
- 3) 森川英典, 小林秀恵, 小林大輔: 非破壊試験に基づく既存 RC 橋脚の強度分布推定とせん断耐荷性能の評価, 建設工学研究所論文報告集第 41 号, 1999. 11.
- 4) 土木学会: 阪神・淡路大震災調査報告, 橋梁, 1996. 12.
- 5) 日本道路協会: 道路橋支承便覧, 1991. 7.
- 6) 高田至郎, 尾崎竜三, 一之瀬恵美, 施邦築: 地表断層変位露頭近傍の家屋・人的被害と地震動強度～台湾車籠埔断層の場合～, 建設工学研究所論文報告集第 43-B 号, 2001. 11.