

免震支承の経年劣化が免震橋梁の地震時損傷配分に及ぼす影響に関する基礎的研究

東北大学 学生会員 ○津村 拓都 東北大学 学生会員 小野寺 周
 東北大学 正会員 松崎 裕 東北大学 フェロー会員 鈴木 基行

1. はじめに

設計地震動を超過する極大地震動の作用下で生じ得る万一の終局的な損傷を修復のしやすい特定の部材へと誘導することは、危機耐性を高める観点からも重要である。健全な免震支承-RC 橋脚系のキャパシティデザインとして、免震支承へと万一の終局的な損傷を誘導することは、免震支承と RC 橋脚の終局耐力の関係から困難である²⁾。上に、復旧期間を長期化させないためにも免震支承の破断は防ぐ必要がある。一方で、免震支承のハードニング開始点における水平耐力を RC 橋脚の終局耐力よりも高めることで、RC 橋脚のみへと万一の終局的な損傷を誘導できることが示されている²⁾。ここで、近年、免震支承の経年劣化が顕在化してきており³⁾、免震支承の経年劣化に伴う性能低下は免震支承-RC 橋脚間の地震時損傷配分に有意な影響を及ぼし得ると考えられる。本研究では、ライフタイムにわたり免震支承-RC 橋脚系の地震時安全性を確保できるキャパシティデザインの実現に向けた基礎的研究として、免震支承の経年劣化を想定した免震支承-RC 橋脚間の終局的な損傷の配分について検討を行う。

2. 解析条件

(1) 免震支承-RC 橋脚間における耐力格差の指標

万一の終局的な損傷を特定の部材へと誘導するための免震支承-RC 橋脚間における耐力格差の指標として、次式で定義される著者ら⁴⁾が提案した耐力比 R_{QH} を用いる。

$$R_{QH} = Q_{BH} / Q_{CY} \quad (1)$$

ここに、 Q_{BH} ：免震支承のハードニング開始点における水平耐力、 Q_{CY} ：RC 橋脚の降伏耐力である。

(2) 解析対象とした構造系

免震設計の照査^{5),6)}を満足する I 種地盤上の耐力比の異なる免震橋梁の振動単位を解析対象構造系とした。各構造系は RC 橋脚 1 基に、免震支承(LRB)が 5 基設置されている。免震支承が健全な場合における各構造系の力学的諸元を表-1 に示す。

表-1 免震支承が健全な場合の対象構造系の力学的諸元

構造系		A	B
上部構造	質量 (ton)	650	
免震支承	切片荷重 Q_d (MN)	0.737	1.18
	降伏耐力 Q_{BY} (MN)	0.870	1.40
	降伏剛性 K_1 (MN/m)	57.7	66.5
	ハードニング開始点における水平耐力 Q_{BH} (MN)	2.33	5.05
	等価剛性 K_{BEQ} (MN/m)	14.3	14.4
RC 橋脚	質量 (ton)	342	
	降伏耐力 Q_{CY} (MN)	4.29	
	降伏剛性 (MN/m)	148	
	降伏変位 (mm)	29.0	
	終局変位 (mm)	129	
等価固有周期 T_{EQ} (s)		1.73	1.73
耐力比 R_{QH} (-)		0.54	1.18

(3) 解析モデルと入力地震動群

上部構造、免震支承および RC 橋脚から成る 2 質点 2 自由度系モデルを用い、Newmark β 法($\beta=1/4$)により時刻歴応答解析を行った。免震支承について、骨格曲線はせん断ひずみ 200%⁷⁾でハードニングが生じ始めるとしたトリリニア型モデル(i 次剛性を K_i と表記する)とし、除荷剛性は K_1 とした。表-1 に示した等価剛性を含めた各剛性の比は $K_1:K_2=1:0.15$ ⁶⁾、 $K_{BEQ}:K_3=1:2.59$ ⁷⁾である。RC 橋脚には完全弾塑性型の骨格曲線を有する Takeda 型モデルを用いた。減衰は、各要素の減衰定数を免震支承は 0%、RC 橋脚は 2%とし、Rayleigh 減衰により評価した。入力地震動群としては、国内 15 地点で観測された 30 成分の強震記録の位相特性は変化させず、振幅特性を調整して用いた。

(4) 免震支承の経年劣化に伴う性能低下の反映

林ら³⁾の研究に基づき、LRB の経年劣化に伴う性能低下として、表-1 に示す健全時と比較して等価剛性 K_{BEQ} を 118%、切片荷重 Q_d を 52%に変化させ、破断ひずみの平均値を健全時の 335%⁷⁾から 274%まで低下させて検討を行う。

(5) 免震支承-RC 橋脚系に介在する各種不確定要因とそれを反映させたフラジリティ評価

各部材の限界状態について、免震支承は破断ひずみ、RC 橋脚は耐震性能³⁾に相当する水平変位により評価する。

キーワード 免震支承, RC 橋脚, キャパシティデザイン, 損傷配分, 経年劣化, フラジリティ評価

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL : 022-795-7449 FAX : 022-795-7448

免震支承—RC 橋脚系に介在する不確定性として、足立・運上⁷⁾の研究に基づく材料および力学的諸元、星隈ら⁸⁾の研究に基づく RC 橋脚の耐震性能³⁾に相当する水平変位の算定に関する各種不確定性を考慮する。その上で、限界状態に先行して到達した部材を損傷部材として、試行回数を 30,000 回としたモンテカルロシミュレーションを実施することにより、損傷確率を評価する。なお、表-1 に示す健全時における特性値ベースの耐力比 R_{QH} に対して、特性値とのずれを考慮した平均値ベースの耐力比 R_{QH}^* を用いて、以降では評価を行う。

3. 静的評価に基づく免震支承の経年劣化が免震支承—RC 橋脚間の損傷配分に及ぼす影響に関する検討

健全な場合および経年劣化した場合の免震支承と RC 橋脚について、平均値ベースの水平荷重—水平変位関係を図-1 に示す。図-1 より、免震支承に経年劣化が生じた場合、破断ひずみの低下により破断時の水平耐力が低下する。ただし、耐力比 R_{QH}^* が 1.07 の構造系 B では、経年劣化が生じた場合であっても、免震支承の破断時における水平耐力は RC 橋脚の終局耐力よりも十分に大きい。RC 橋脚の慣性力や減衰、不確定性の影響を考慮する必要があるが、健全時と同様に²⁾、RC 橋脚へと万一の終局的な損傷を誘導できる可能性が図-1(b)から確認される。

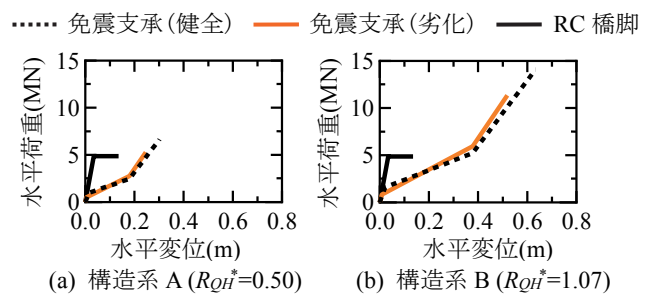


図-1 免震支承および RC 橋脚に関する平均値ベースの水平荷重—水平変位関係

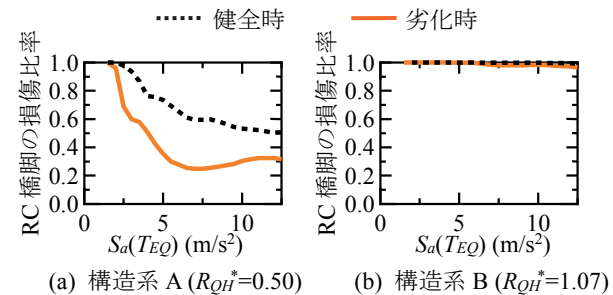


図-2 免震支承の経年劣化に伴う RC 橋脚の損傷比率の変化

4. フラジリティ評価に基づく免震支承の経年劣化が免震支承—RC 橋脚間の損傷配分に及ぼす影響に関する検討

健全時に終局的な損傷が誘導可能な部材である RC 橋脚に着目し、構造系の損傷確率に対する RC 橋脚の損傷比率の比率(以下、損傷比率と呼ぶ)を評価する。図-2 に各構造系における地震動強度と RC 橋脚の損傷比率との関係を示す。地震動強度は、構造系の等価固有周期 T_{EQ} に対応した弾性応答加速度 $S_d(T_{EQ})$ により評価している。図-2 より、健全時の耐力比 R_{QH}^* が 0.50 である構造系 A では、免震支承の健全時・劣化時ともに、地震動強度によって RC 橋脚の損傷比率が大きく異なっており、特定の部材へと終局的な損傷を誘導できていない。一方で、健全時の耐力比 R_{QH}^* が 1.07 である構造系 B では、免震支承に経年劣化が生じた場合であっても、RC 橋脚の損傷比率は地震動強度に関わらずに 1 に近く、常に万一の終局的な損傷を RC 橋脚へと誘導可能であることが示されている。

5. まとめ

本研究では、免震支承の経年劣化を踏まえて、免震支承—RC 橋脚間の終局的な損傷の配分に関して、種々の不確定性を考慮したフラジリティ評価に基づく検討を行った。その結果、免震支承のハードニング開始点における水平耐力を RC 橋脚の終局耐力よりも高めることで、免震支承に本研究で想定した程度の経年劣化が生じた場合であっても、健全時と同様に復旧期間が長期化する免震支承の破断を防いだ上で、設計地震動を超過する極大地震動に対する万一の終局的な損傷を RC 橋脚へと誘導できることが示された。

謝辞：本研究は、科学研究費基盤研究(C)(課題番号：26420452、研究代表者：松崎裕)により実施しました。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善出版，2012。
- 2) 小野寺周ほか：極大地震動に対する免震支承—RC 橋脚系のキャパシティデザインに関する研究，土木学会論文集 A1，印刷中。
- 3) 林訓裕ほか：経年劣化した鉛プラグ入り積層ゴム支承の残存性能に関する実験的検証，土木学会論文集 A1，Vol. 70，No. 4，pp. I_1032-I_1042，2014。
- 4) 小野寺周ほか：不確定性を考慮した免震支承—RC 橋脚系の損傷モード評価，JCOSSAR2015 論文集，pp. 371-377，2015。
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善出版，2012。
- 6) 日本道路協会：道路橋支承便覧，丸善出版，2004。
- 7) 足立幸郎，運上茂樹：免震支承のハードニング特性に着目した免震支承と橋脚に塑性化が生じる免震橋梁の地震応答特性に関する研究，構造工学論文集，Vol. 47A，pp. 905-916，2001。
- 8) 星隈順一ほか：鉄筋コンクリート橋脚の地震時限界状態の評価手法に関する研究，土木研究所資料，第 4262 号，2013。