

免震支承における損傷比率と対応した 免震支承－RC 橋脚間の耐力比指標に関する基礎的検討

東北大学 学生会員 ○津村 拓都 東北大学 学生会員 久保 陽平 東北大学 正会員 松崎 裕

1. はじめに

免震橋において、地震時に免震支承が破断すると、長期の復旧期間が必要となる他、落橋にも進展し得る。こうした免震支承の破断を生じさせない設計を実現するためには、設計時に免震支承－RC 橋脚間の耐力比を適切に制御する必要がある。一方で、免震支承の破断あるいは RC 橋脚の終局変位への到達等の強非線形領域における地震時挙動は複雑であり、単に各部材の耐力だけでなく、免震支承－RC 橋脚間の位相差¹⁾とそれに伴う相互作用を踏まえた評価が必要である。本研究では、免震橋の構造諸元に関わらず、地震動による構造系としての終局的損傷が免震支承の破断によって決定される比率と対応した免震支承－RC 橋脚間の耐力比指標を提案し、危機耐性を考慮した設計へと結び付けるための基礎的検討を行う。

2. 免震支承－RC 橋脚間の耐力比指標

免震支承－RC 橋脚間の終局的損傷の配分比率は、RC 橋脚の終局耐力 Q_{CU} に対する免震支承の破断耐力 Q_{BR} の比で決定される²⁾。一方で、地震時の免震支承－RC 橋脚間の相互作用について、1) 免震支承と RC 橋脚の位相差の影響により、RC 橋脚の慣性力の影響が加わるため、構造諸元に関わらず、免震支承における損傷比率を同一とするためには、RC 橋脚の質量 M_C が大きい程、より大きな Q_{BR}/Q_{CU} が必要な点、2) 免震支承における支配的な荷重作用は上部構造の質量 M_U に伴う慣性力である一方で、1) で述べた RC 橋脚の慣性力の影響が反映されるため、上部構造の質量 M_U に対する RC 橋脚の質量 M_C の比 M_C/M_U が重要である点を考慮すべきである。そこで、式(1)に示されるように、質量比 M_C/M_U の影響を補正した耐力比指標 γ_{BCM} を提案する。

また、比較対象として、 Q_{BR}/Q_{CU} ²⁾、そして、水平震度の比に基づいた免震支承－RC 橋脚間の降伏耐力比³⁾を参考に、終局耐力に着目した水平震度の比に基づく式(2)の耐力比指標 γ_U を用いる。

$$\gamma_{BCM} = a \left(\frac{M_C}{M_U} \right)^{-b} \frac{Q_{BR}}{Q_{CU}} \quad (1) \qquad \gamma_U = \frac{M_U + M_C/2}{M_U} \cdot \frac{Q_{BR}}{Q_{CU}} \quad (2)$$

ここに、 a および b は正のパラメータであり、 b の値を定めた上で、 $M_C/M_U=0.50$ において $\gamma_{BCM}=Q_{BR}/Q_{CU}$ となるように a の値を定める。

3. 解析対象橋梁と解析条件

解析対象とした 15 橋の免震橋は、いずれも I 種地盤上に架設されており、対象とする橋脚が支持する上部構造の質量は 600ton、橋脚 1 基当たりの支承数は 5 基で共通である。異なる橋脚高を有する A, B, C の 3 基の RC 橋脚に対して、それぞれ異なる 5 ケースの耐力比を有する免震橋となるように免震支承の諸元を変化させ、構造系として道路橋示方書⁴⁾の設計地震動に対する照査を満足させている。解析対象橋梁の諸元の例を表-1 に示す。なお、対象橋梁のモデル化の方法、考慮する不確定要因、入力地震動は、文献 2) と同様であり、2 質点 2 自由度系モデルを用いて不確定性を考慮した動的解析を行い、免震支承に破断が生じるか、RC 橋脚の応答変位が終局変位を超過するかを評価する。

表-1 解析対象橋梁の諸元の例

構造系		A1	A2	B2	C3
免震 支承	断面寸法(mm)	□700	□660	□600	□600
	ゴム層厚(mm)	190	170	140	140
	鉛プラグの径(mm)	80	80	80	80
	1 次形状係数	9.2	9.7	10.7	10.7
	2 次形状係数	3.7	3.9	4.3	4.3
RC 橋脚	断面寸法(mm)	4500 ×2200	4500 ×2200	4750 ×2200	4750 ×2400
	橋脚高(mm)	8000	8000	10000	12000
	質量(ton)	274	274	335	422
	Q_{BR}/Q_{CU}	3.31	2.95	2.93	3.05
等価固有周期 T_{EQ}		1.65	1.65	1.74	1.85

キーワード 免震橋, 免震支承, 破断, 耐力比, 危機耐性

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

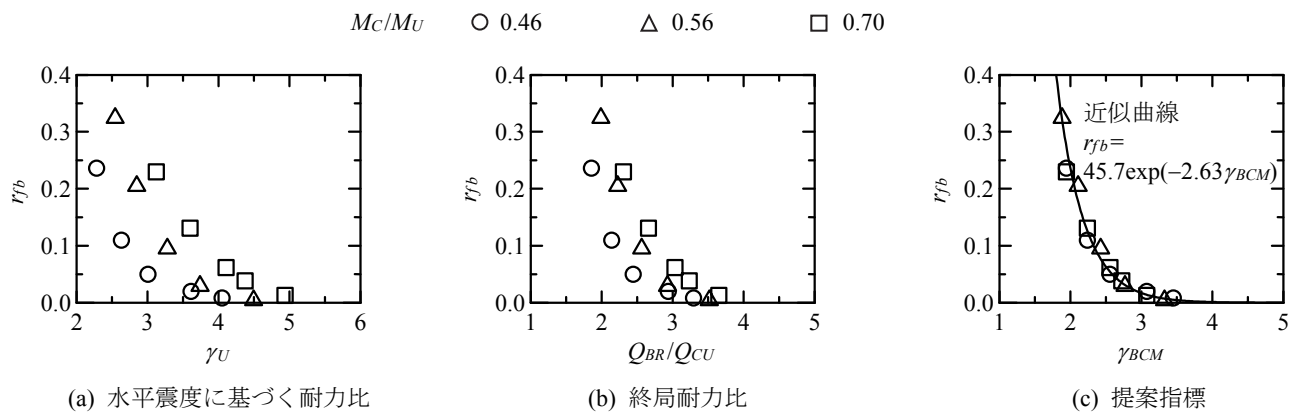


図-1 免震支承における損傷比率 r_{fb} と免震支承-RC 橋脚間における各種耐力比指標の関係

4. 免震支承における損傷比率と各種耐力比指標の関係

解析対象とした免震橋の等価固有周期 T_{EQ} において、道路橋示方書⁴⁾におけるレベル2地震動タイプIIの標準加速度応答の2倍程度に対応する弾性応答加速度 10m/s^2 に着目し、免震支承における損傷比率 r_{fb} と各種耐力比指標の関係を整理したものを図-1に示す。提案指標の算定に必要な b については 0.1 刻みで変化させた上で、 $b=0.5$ が最も整合する結果を与えることを確認している。

図-1において、水平震度に基づく耐力比指標を用いると、同一の損傷比率でも耐力比は大きく異なっている。これは、水平震度の比には、式(2)のように上部構造およびRC橋脚の質量の影響が考慮されているものの、上部構造とRC橋脚の応答加速度が等しいことを前提として導かれている点に起因している。すなわち、式(2)は、地震動強度が小さく、応答の非線形性が強くない場合には相応に成立するが、強非線形領域の応答評価には不適切である。次に、終局耐力比 Q_{BR}/Q_{CU} は、水平震度に基づく耐力比指標に比べると、やや相違の程度は改善しているものの、依然として、同一の損傷比率となる耐力比の設定に用いるには課題がある。一方で、提案指標では、免震支承における損傷比率と提案指標が良好に対応し、所要の損傷比率に対応した免震支承-RC橋脚間の終局耐力比について、損傷比率から提案指標を介して精緻に算定できることが確認される。

5. まとめ

本研究では、設計地震動の強度を超過する地震動に対する免震支承-RC橋脚間の地震時損傷配分について、免震支承において損傷する比率を構造諸元に関わらずに制御可能な新しい耐力比指標を提案した。提案指標は、上部構造の質量に対するRC橋脚の質量の比に基づく補正を行っており、異なる構造諸元であっても、免震支承において損傷する比率に対応した免震支承-RC橋脚間の終局耐力比を容易かつ精緻に算定することができる。今後、より広範な諸元で検討を加え、設計地震動だけでなく、設計地震動の強度を超過する地震動に対しても、損傷モードおよび安全性を制御し、危機耐性を高められる設計式および設計法の構築を行っていく予定である。

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。

また、本研究において用いた強震記録は、国土交通省国土技術政策総合研究所，気象庁，防災科学技術研究所(K-NET，KiK-net)，震災予防協会および米国太平洋地震工学研究センター(PEER)より提供して頂きました。

参考文献

- 1) 足立幸郎：激震動下における免震橋梁構造の信頼性評価と限界状態設計法に関する研究，京都大学博士論文，2002。
- 2) 松崎裕，小野寺周，津村拓都，鈴木基行：免震支承の経年劣化が免震支承-RC橋脚系の地震時損傷モードに及ぼす影響に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol. 63A，pp. 397-410，2017。
- 3) 熊木幸，金治英貞，矢部正明：耐震補強された免震支承-橋脚系の非線形相互作用と等価線形化法の適用性に関する検討，構造工学論文集，Vol. 46A，pp. 887-898，2000。
- 4) 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。