

免震支承—RC 橋脚間の降伏耐力比が免震橋梁の地震応答に及ぼす影響

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

平成 24 年の鉄道構造物等設計標準¹⁾において構造物の危機耐性に関する考えが導入されたように、免震橋梁においても、地震動の不確定性を踏まえて設計地震動を超過する強度の地震動が作用した場合であっても、免震支承の破断や RC 橋脚における塑性化進展の卓越等の致命的な損傷を回避できる設計体系の構築が重要である。ここで、地震動強度の不確定性を考慮した構造物の地震時安全性評価手法の一つとして、入力地震動の強度を漸増させて動的解析を繰り返し行う漸増動的解析²⁾が用いられている。漸増動的解析を免震橋梁の地震時安全性評価に適用することは、免震支承の破断や RC 橋脚における塑性化進展の卓越等の地震時発生イベントを検討する上で有効である。

以上の背景を踏まえ、本研究では、設計地震動を超過する強度の地震動に対する免震橋梁の地震時安全性評価に関する基礎的検討を行う。具体的には、RC 橋脚に対する免震支承の降伏耐力の比である降伏耐力比が異なる複数の免震支承—RC 橋脚系に対して漸増動的解析を行い、降伏耐力比が免震支承および RC 橋脚の終局限界状態に対する余裕度に及ぼす影響について検討する。

2. 解析条件

(1) 解析対象橋梁

平成 24 年の道路橋示方書³⁾および平成 16 年の道路橋支承便覧⁴⁾に従って免震設計された I 種地盤上における鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB: Lead Rubber Bearing)を 5 基設置した複数の免震橋梁を解析対象とした。RC 橋脚および免震支承の諸元を表-1 および表-2 に示す。なお、上部構造の質量は道路橋の耐震設計に関する資料⁵⁾と同じ 604.0ton とした。

降伏耐力比が構造系の地震応答に及ぼす影響を検討するために、表-1 に示す橋脚 A および橋脚 B それぞれに対して、表-2 に示す等価剛性がほぼ等しく降伏耐力の異なる支承 QH, QL を設置した計 4 ケースの構造系を対象とした。免震支承—RC 橋脚間の降伏耐力比 R_Q を次式で定義する。

$$R_Q = Q_B / Q_C \quad (1)$$

ここに、 Q_B : 免震支承の降伏耐力、 Q_C : RC 橋脚の降伏耐力である。表-3 に各構造系の降伏耐力比 R_Q を示す。表-3 において、構造系の名称は RC 橋脚と免震支承の名称を組み合わせたものである。

(2) 動的解析モデル

時刻歴応答解析は免震支承と RC 橋脚から成る 2 質点 2 自由度系モデルを用い、Newmark β 法($\beta=1/4$)により行った。履歴復元力特性について、免震支承は図-1 に示すハードニングを考慮したトリリニアモデル、RC 橋脚は骨格曲線をバイリニアとした Takeda 型モデルを用いた。免震支承における各剛性の比は道路橋支承便覧⁴⁾に従って $K_1:K_2=1:0.15$ とし、足立⁶⁾の研究に基づいて $K_{EQ}:K_3=1:2.59$ とした。減衰に関して、各要素の減衰定数として免震支承は 0%、RC 橋脚は 2% とし、Rayleigh 減衰を仮定した。

(3) 免震支承—RC 橋脚系の終局限界状態に対する余裕度の算定方法

免震支承—RC 橋脚系の終局限界状態に対する余裕度について、各部材

表-1 RC 橋脚の諸元

RC 橋脚の名称	橋脚 A	橋脚 B
躯体質量	354.4ton	
降伏耐力 Q_C	2846.5kN	3363.4kN
降伏変位	0.0546mm	0.0580mm
終局変位 (靱性率 μ_{CU})	0.319mm (5.84)	0.331mm (5.71)

表-2 免震支承の諸元

免震支承の名称	支承 QH	支承 QL
降伏耐力 Q_B	1253.4kN	990.4kN
1 次剛性 K_1	38.2MN/m	42.3MN/m
等価剛性 K_{EQ}	10.1MN/m	10.9MN/m
破断ひずみ γ_{BU}	330% ⁶⁾	

表-3 各構造系の降伏耐力比

構造系の名称	降伏耐力比 R_Q
A-QH	0.440
A-QL	0.348
B-QH	0.373
B-QL	0.294

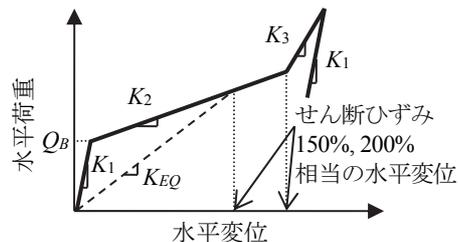


図-1 免震支承の復元力特性

キーワード 免震支承, RC 橋脚, 降伏耐力比, 地震時損傷配分, 漸増動的解析

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

の水平変位に関する終局限界状態に着目し、表-1 および表-2 に示す RC 橋脚の靱性率 μ_{CU} および免震支承の破断ひずみ γ_{BU} を用いて次式で定義する。

$$S_B = 1 - \gamma_B / \gamma_{BU} \quad (2) \quad S_C = 1 - \mu_C / \mu_{CU} \quad (3)$$

ここに、 S_B : 免震支承の余裕度、 γ_B : 免震支承の最大せん断ひずみ、 S_C : RC 橋脚の余裕度、 μ_C : RC 橋脚の応答塑性率である。なお、破断ひずみ γ_{BU} は足立⁶⁾の研究に基づいて 330% とした。

(4) 入力地震動

道路橋示方書³⁾の I 種地盤上におけるレベル 2 地震動について、タイプ I およびタイプ II それぞれの標準波 3 波形を入力地震動とした。これらの標準波に基づいて、位相特性は変化させず、加速度の振幅倍率を調整することで漸増動的解析を行った。なお、本検討では地震動による応答のばらつきを踏まえて、タイプ I 地震動およびタイプ II 地震動それぞれ 3 波に対する応答の平均値を用いて余裕度を算定する。

3. 免震支承-RC 橋脚間の降伏耐力比が免震支承-RC 橋脚系の余裕度に及ぼす影響

標準波に対する振幅倍率と免震支承および RC 橋脚の終局限界状態に対する 3 波平均の余裕度との関係を図-2 および図-3 に示す。標準波に対応する振幅倍率 1.0 において、いずれの部材においても相応の余裕度を有しているが、これは設計上の許容値ではなく終局限界状態に対する余裕度を評価しているためである。タイプ I 地震動に対する免震支承の余裕度について、図-2(a)より、振幅倍率が 1.1 を超過する領域では、降伏耐力比の増加によって免震支承の応答が低減するため、同一の振幅倍率においてより大きな余裕度を有する。その結果、RC 橋脚へ伝達される荷重が低減するため、図-2(b)に示すように、振幅倍率について、構造系 A では 1.7、構造系 B では 1.4 を超過する領域において、同一の RC 橋脚の場合、降伏耐力比が大きい構造系の RC 橋脚がより大きな余裕度を有する。なお、RC 橋脚の余裕度は構造系 B-QL ($R_Q=0.294$) では構造系 A-QH ($R_Q=0.440$) と比較して大きく、RC 橋脚の降伏耐力が RC 橋脚の余裕度に及ぼす影響は大きい。タイプ II 地震動に対しても、図-3 に示すように、降伏耐力比の増加による余裕度の変化は小さいものの、タイプ I 地震動と同様の傾向が見られる。特に、同一の RC 橋脚を有する場合、振幅倍率が 1.45 を超過する領域において、降伏耐力比の大きい構造系における RC 橋脚がより大きな余裕度を有する。

4. まとめ

本研究では免震支承-RC 橋脚間の降伏耐力比が地震応答に及ぼす影響を検討した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 設計地震動を一定以上超過する強度の地震動に対して、降伏耐力比の増加によって免震支承の応答が低減される結果、同一の振幅倍率における免震支承の終局限界状態に対する余裕度は大きくなる。
- 2) 1)の結果、RC 橋脚へ伝達される荷重が低減するため、同一の RC 橋脚を有する場合、降伏耐力比の大きい構造系における RC 橋脚の方が終局限界状態に対してより大きな余裕度を有する。

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。

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) Vamvatsikos, D. and Cornell, C. A.: Incremental dynamic analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, No. 3, pp. 491-514, 2002.
- 3) 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。
- 4) 日本道路協会：道路橋支承便覧，丸善出版，2004。
- 5) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，丸善，1997。
- 6) 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。

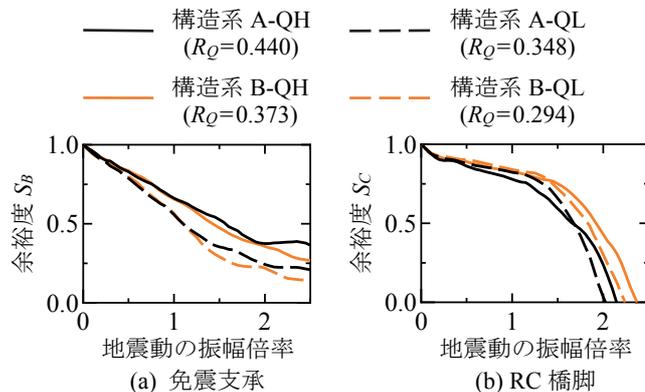


図-2 地震動強度と余裕度の関係(タイプ I 地震動)

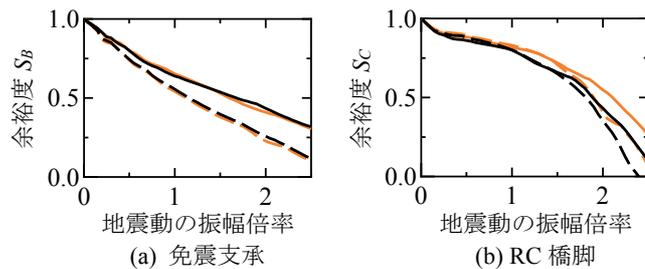


図-3 地震動強度と余裕度の関係(タイプ II 地震動)