

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

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⁾において危機耐性に関する考えが盛り込まれたように、免震橋梁においても、設計地震動を超過する強度の地震動に対して、免震支承におけるゴム部材の破断や 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するような設計が重要である。ここで、設計地震動を超過する強度の地震動に対する構造物の地震時安全性評価手法として、入力地震動の強度を漸増させた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に適用することは、免震支承におけるゴム部材の破断や 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な手段である。

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、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、降伏耐力比が構造系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

解析対象橋梁として、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 種地盤上における複数の免震橋梁を用いた。免震支承には鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB: Lead Rubber Bearing)を用いた。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。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するために、橋脚 A および橋脚 B それぞれに対して、等価剛性がほぼ等しく降伏荷重の異なる支承 QH, QL を 5 基ずつ取り付け計 4 ケースの構造系を用いた。表-1 および表-2 に対象橋梁における RC 橋脚および免震支承の諸元を示し、表-3 に各構造系の降伏耐力比 R_Q を示す。表-3 において、降伏耐力比 R_Q は RC 橋脚に対する免震支承の降伏荷重の比であり、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。

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	
降伏荷重	2846.5kN	3363.4kN
降伏変位	0.0546mm	0.0580mm
終局変位 (靱性率)	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
降伏荷重	1253.4kN	990.4kN
1 次剛性 K_1	38.2MN	42.3MN
等価剛性 K_{EQ}	10.1MN	10.9MN
破断ひずみ	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

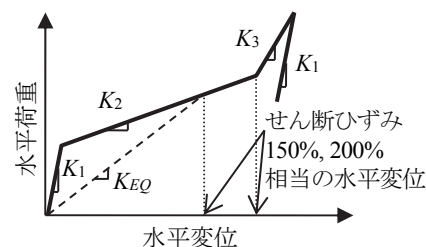


図-1 免震支承の復元力特性^{4), 5)}

用いた。表-1 および表-2 に対象橋梁における RC 橋脚および免震支承の諸元を示し、表-3 に各構造系の降伏耐力比 R_Q を示す。表-3 において、降伏耐力比 R_Q は RC 橋脚に対する免震支承の降伏荷重の比であり、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

動的解析は免震支承と RC 橋脚からなる 2 質点 2 自由度系の非線形モデルを用い、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 Takeda 型モデルを用いた。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⁾の研究より $K_{EQ}:K_3=1:2.59$ とした。減衰に関しては Rayleigh 減衰を仮定し、各部材の減衰定数は免震支承で 0%、RC 橋脚で 2%とした。

(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、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 に示す免震支承の破断ひずみおよび RC 橋脚の靱性率を用いて次式で定義する。

キーワード 免震支承, RC 橋脚, 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

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

ここに、 S_B : 免震支承の余裕度、 S_C : RC 橋脚の余裕度、 γ_B : 免震支承の最大せん断ひずみ、 γ_{BU} : 免震支承の破断ひずみ、 μ_C : RC 橋脚の応答塑性率、 μ_{CU} : RC 橋脚の靱性率である。ここで、足立⁶⁾の研究において、統計量の平均値として LRB の平均破断ひずみが 330%程度であることから、免震支承の破断ひずみを 330%とした。

(4) 入力地震動

入力地震動として道路橋示方書³⁾に記載されている I 種地盤上におけるレベル 2 地震動の標準波 6 波形を用いた。これらの標準波について、加速度振幅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因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

地震動強度と免震支承および 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。標準波である振幅倍率 1.0 において、いずれの部材においても過大な余裕度を有しているが、これは設計上の許容値に対して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伴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ける余裕度が上昇している。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、同一の RC 橋脚を有する構造系の場合、振幅倍率について、橋脚 A では 1.7、橋脚 B では 1.4 を超過する領域において、降伏耐力比の増加に伴って RC 橋脚の余裕度は上昇する。なお、構造系 B-QL($R_Q=0.294$)における RC 橋脚の余裕度は構造系 A-QH($R_Q=0.440$)における RC 橋脚の余裕度と比較して大きく、RC 橋脚の降伏荷重が 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伴う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、振幅倍率が 1.45 を超過する領域において、更なる振幅倍率の増大に伴って同一の RC 橋脚の余裕度は降伏耐力比の増加に因って上昇する。

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) 設計地震動を超過する強度の地震動に対して、降伏耐力比の増加に伴って免震支承の応答が低減される結果、免震支承の終局限界状態に対する余裕度は上昇する。
- 2) 1)の結果、RC 橋脚へ伝達される荷重が低減することから、同一の RC 橋脚の場合、更なる振幅倍率の増大に伴って RC 橋脚の終局限界状態に対する余裕度は降伏耐力比の増加に因って上昇する傾向にある。

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。ここに記して関係各位に謝意を表します。

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, No. 31, 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。

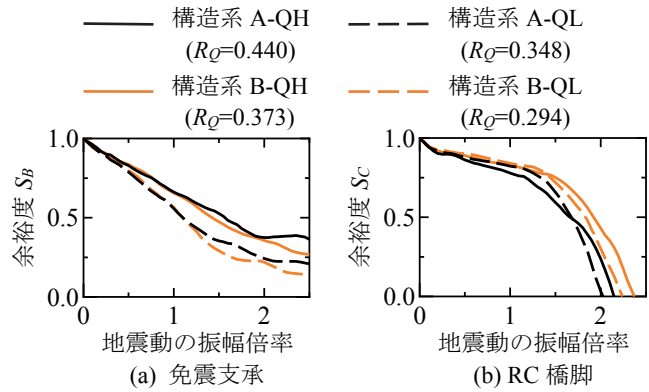


図-2 地震動強度と余裕度の関係(タイプ I 地震動)

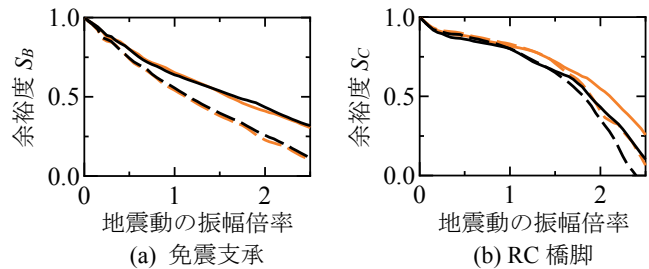


図-3 地震動強度と余裕度の関係(タイプ II 地震動)