

免震支承の力学的特性が免震支承—RC 橋脚系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

現行の道路橋示方書¹⁾では、免震橋梁の地震時安全性照査において、免震支承に確実にエネルギー吸収を図らせるために、原則としてRC橋脚の塑性化を許容していない。一方、RC橋脚に副次的な塑性化を許容する場合もあるものの、免震支承が2次剛性を有する一方でRC橋脚は2次剛性を有しないことから、設計で想定するよりも大きな地震動の作用下では、RC橋脚の塑性化が想定以上に進展する可能性があり、塑性化を許容する一方で塑性化の程度を制御することは困難である。庄司ら²⁾は、免震支承とRC橋脚がともに塑性化する場合の挙動に関する実験的検討を行い、免震支承が大変位を生じた際には、RC橋脚の塑性化が免震支承の塑性化よりも卓越することを示している。

このような背景を踏まえ、激震動下における免震支承—RC橋脚系の地震時挙動を解明するとともに、入力地震動の不確定性下において想定以上の激震動が作用しても免震支承の破断やRC橋脚の終局状態への到達を回避できる、リダンダンシーに配慮した設計体系を構築する必要がある。そこで、本研究では免震支承—RC橋脚系の動的解析を行い、入力地震動の大きさや免震支承の降伏耐力および剛性が、免震支承—RC橋脚系の地震応答に及ぼす影響を検討する。

2. 免震支承—RC 橋脚系の動的解析モデルと解析条件

(1) 解析対象橋脚とモデル化

本解析では、免震橋梁の採用が適しているI種地盤上における多径間連続桁橋を対象橋梁とし、そのRC橋脚の橋軸方向を解析対象とした。対象橋脚の諸元を表-1に示す。RC橋脚の履歴復元力特性としては武田型モデルを用いた。なお、RC橋脚1基に対して免震支承は5基設置されている。

表-1 対象橋脚の諸元

降伏荷重(kN)	3326
降伏変位(mm)	30.6
終局変位(mm)	246.0
免震橋梁における 許容塑性率(耐震性能2)	3.35

(2) 免震支承のモデル化

免震支承の履歴復元力特性は、道路橋支保便覧³⁾に従って、せん断弾性係数比は $G_1 : G_2 = 1 : 0.11$ とする一方で、3次勾配を $G_1 : G_3 = 1 : 0.80$ としてハードニングの影響も考慮した。ハードニングが生じ始めるせん断ひずみは200%とし、除荷剛性は G_1 に等しいものとした。図-1に免震支承の履歴復元力特性モデルを示す。支承剛性 K_i と降伏耐力 Q_y は、許容ひずみ γ に対応するせん断弾性係数 $G_i(\gamma)$ 、降伏応力度 $\tau_y(\gamma)$ 、支承ゴムの面積 A_e およびゴム層厚 t_e を用いて次式で表される。

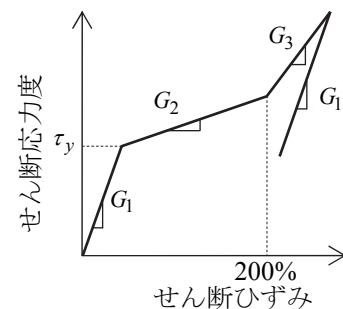


図-1 免震支承の履歴復元力特性モデル

$$Q_y = \tau_y(\gamma) A_e \quad (1) \quad K_i = G_i(\gamma) \frac{A_e}{\sum t_e}, i=1,2,3 \quad (2)$$

本検討では、ゴム材料の特性である $G_i(\gamma)$ と $\tau_y(\gamma)$ を一定とし、支承の寸法を表す A_e と t_e を変化させることで、降伏耐力と剛性のいずれか一方を変化させた。その上で動的解析を行い、免震支承の力学的特性がRC橋脚と免震支承の最大応答に及ぼす影響に関して検討を行った。

(3) 入力地震動および動的解析モデル

入力地震動には、1995年の兵庫県南部地震におけるJMA神戸海洋気象台記録NS成分を用いた。弾性加速度応答スペクトルを図-2に示す。地震動の卓越周期

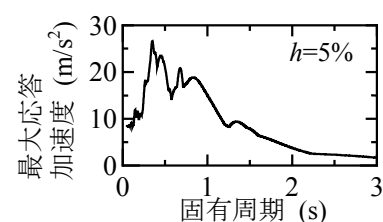


図-2 弾性加速度応答スペクトル

キーワード：地震時損傷配分、免震支承、ハードニング、RC 橋脚、動的解析

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

帯は0.3~1.0秒程度で、I種地盤における観測記録としては比較的長周期においても卓越している。このオリジナル記録の振幅を100%, 125%, 150%と変化させた地震動を免震支承—RC橋脚系に作用させた。動的解析に際しては、Newmarkの β 法($\beta=1/4$)を用い、時間刻みは0.0005秒とした。また、減衰定数に関しては、RC橋脚は2%とし、免震支承については履歴減衰が卓越するため、数値計算上の安定を図ることを目的として0.1%とした。

3. 解析結果

(1) 免震支承の降伏耐力が橋梁の応答に及ぼす影響

免震支承全基分の1次剛性を89.6MN/mに固定して、降伏耐力を変化させた場合について、RC橋脚と免震支承の最大応答を図-3に示す。免震支承の降伏耐力が小さいほどRC橋脚の塑性率は増大している。これは、免震支承のせん断ひずみの増加に伴って、免震支承が受け持つ荷重がハードニングにより急激に増大し、RC橋脚に伝達される荷重が増加するためである。また、先に塑性化させるべき免震支承の降伏耐力を増加させることは、橋脚の塑性化進展を助長し得ることから、地震動振幅の増大に伴うRC橋脚の応答値の変動幅はどの降伏耐力でも大きな変化はなく、支承の降伏耐力の増加のみによって、想定以上の地震動に対する応答の制御は困難である。

(2) 免震支承の剛性が橋梁の応答に及ぼす影響

免震支承全基分の降伏耐力を692.6kNに固定して、1次剛性を変化させた場合について、RC橋脚と免震支承の最大応答を図-4に示す。免震支承における剛性の増加に伴ってRC橋脚の応答は増大している。これは、免震支承の剛性の増加に伴って、免震支承—RC橋脚系の等価固有周期が短くなり、地震動の卓越周期帯により近付いたためであり、地震動の卓越周期帯と構造系の等価固有周期の関係が明瞭に応答に反映されている。さらに、地震動振幅が増大した場合において、支承の剛性が小さいほど橋脚の応答値の変動は抑えられており、免震支承—RC橋脚系がリダンダンシーの機能を有するように応答が制御できることが確認される。

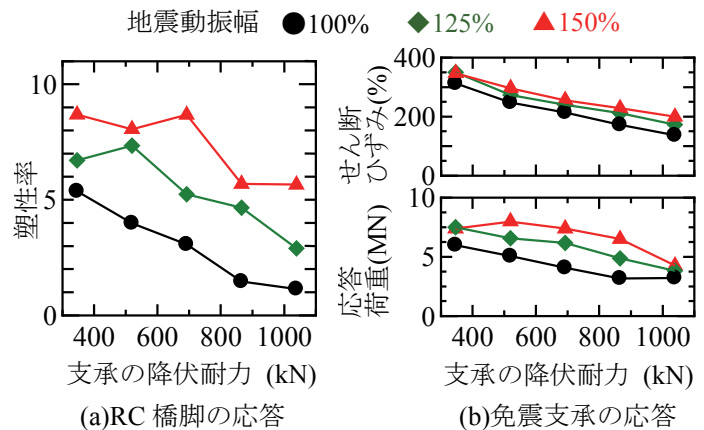


図-3 免震支承の降伏耐力が応答に及ぼす影響

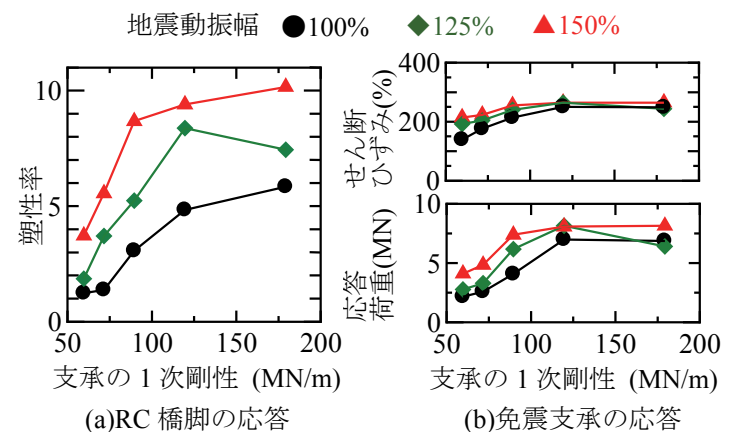


図-4 免震支承の剛性が応答に及ぼす影響

4. まとめ

入力地震動の不確実性存在下において、免震支承の破断やRC橋脚の意図しない程の塑性化進展を回避できる設計体系の構築に向けた基礎的研究として、免震支承の力学的特性が免震支承—RC橋脚系の地震応答に及ぼす影響を検討した。その結果、免震支承の降伏耐力を大きくし、剛性を小さくすることで、免震支承におけるハードニングの抑制を図り、免震支承およびRC橋脚の応答変位を低減できることを示した。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2012。
- 2) 庄司学，川島一彦，斎藤淳：免震支承とRC橋脚がともに塑性化する場合の免震橋の耐震性に関する実験的検討，土木学会論文集，No. 682/I-56，pp. 81-100，2001。
- 3) 社団法人 日本道路協会：道路橋支承便覧，2004。