

I — 8

地震動の位相特性が免震支承を有する RC 橋脚の地震応答に及ぼす影響

東北大学 正会員 ○秋山 充良

東北大学 学生員 丸山 大輔

東北大学 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

構造信頼性に関する一般原則(ISO2394)¹⁾に基づく設計規準の整合化が国際的に検討されており、今後、これに準拠する確率論的な概念を導入した限界状態設計法へ移行するものと思われる。筆者らは、こうした背景のもと、RC 構造物を対象に、信頼性の概念を導入した耐震設計法の検討を行ってきた。しかし、信頼性理論を耐震設計に適用する場合、動的解析などから得られる応答値の統計量が設計結果に与える感度は極めて大きいにも関わらず、通常これらは、数波の強震記録から評価されており、地震動が有する不確定性の大きさが十分に反映されているとは言えない。特に、同一の弾性応答スペクトルを有する地震動でも、位相特性により、弾塑性動的解析結果は大きく異なるため、応答スペクトルの設定の他に、用いる位相特性もこのような応答値の統計量評価に関し重要なパラメータとなる。そこで、本研究では、RC 構造物の応答値の統計量に関する基礎的資料を得るため、応答スペクトルが確定的に与えられた条件のもと、位相特性が異なる模擬地震動を用いた RC 橋脚の地震応答解析を行う。

2. 解析概要

模擬地震動を用いたシミュレーションは、免震支承を有する RC 橋脚を対象に行う。なお、全ての解析モデルで基礎の影響は考慮せず、橋脚下端を固定とした。免震橋梁は、2 質点系にモデル化し、免震支承の塑性化の程度や免震橋梁の固有周期が RC 橋脚の応答値の大きさやばらつきに与える影響も評価した。基本とした免震橋梁は、飯山²⁾が免震橋梁の固有周期と免震効果の関係を検討した際に用いた免震支承(鉛プラグ入り積層ゴム支承)および RC 橋脚の諸元を基にモデル化した。そして、免震支承に対し、降伏強度のみを 0.2 倍～2.0 倍まで 0.2 倍刻みで変化させた 10 種の 2 質点系モデルを作成した。

動的解析を行う際には、RC 橋脚の荷重－変位関係を完全弾塑性型の骨格曲線でモデル化し、履歴復元力特性には、Takeda モデルを用いた。免震支承は、パイリニアモデルによりモデル化した。また、減衰力は Rayleigh 減衰によりモデル化し、各減衰定数は免震支承および RC 橋脚ともに 2%を仮定した。

3. 模擬地震動

位相特性のばらつきが RC 橋脚の弾塑性応答に与える影響を考察するため、佐藤らの手法³⁾に従った模擬地震動を作成した。佐藤らは、既往の強震記録から、フーリエ位相の角振動数軸上での傾きである群遅延時間の平均値と標準偏差をマグニチュードと震央距離の関数として回帰分析を行っている。また、正規分布に従う乱数から定めた群遅延時間により位相をモデル化し、設計スペクトルに準拠した地震波形の合成例も示している。

そこで、本研究では、想定したマグニチュード M と震央距離 Δ に対し、異なる正規乱数の組合せを与えることで得られる模擬地震動の集合が、平均的に、実地震動の位相特性のばらつきを反映していると考え、表 1 の (M, Δ) の組合せから、それぞれ 2000 波の模擬地震動の集合(Gr1～Gr3)を作成した。そして、位相特性のばらつきによる応答値の変動量に着目するため、海洋型のレベル 2 地震動を対象とした鉄道構造物の耐震設計に用いる加速度応答スペクトル(スペクトル I)⁴⁾を満足するように各地震動を振幅調節した。

4. 解析結果

表 1 の各地震動の集合毎に、前記した降伏強度が異なる 10 種の免震橋梁に対して動的解析を行い、免震

表 1 模擬地震動作成時のパラメータ

M と Δ	地震波の集合の名称
$(M, \Delta) = (80, 50)$	Gr1
$(M, \Delta) = (80, 100)$	Gr2
$(M, \Delta) = (80, 300)$	Gr3

支承に生じた最大応答変位および RC 橋脚の応答塑性率の平均値、変動係数を計算した。結果を図-1～図-4 に示す。

図中に示される免震橋梁の固有周期は、各地震動の集合毎に得られる免震支承および RC 橋脚の最大応答変位の平均値の 0.7 倍に相当する割線剛性として定義した等価剛性により算定している。また、固定支承に置き換えた橋梁(以下、非免震橋梁)の固有周期は、0.7 秒程度である。

免震支承の降伏強度が小さくなり、免震橋梁の固有周期が長くなると、地震動の作用が免震支承に集中し、結果として、図-1 に示されるように、免震支承の最大応答変位の平均値は、固有周期に対し、いずれの地震動の集合でも線形的に大きくなった。一方、図-3 に示されるように、免震橋梁の固有周期が大きくなり、免震効果が発揮されると、RC 橋脚の応答塑性率の平均値は急速に減少し、非免震橋梁の固有周期の約 2 倍を超える固有周期になると、いずれの地震動の集合でも、ほぼ弾性挙動を示すようになる。この場合、RC 橋脚の応答を小さく抑え、位相特性のばらつきによる応答の変動が見られなくなり、図-4 に示されるように、その変動係数も小さくなっていく。このように、RC 橋脚の耐震安全性を評価する場合、橋脚に許容する非線形応答の大きさにより、地震時に見込まなければならない応答値のばらつきが決まると言え、前記した信頼性の概念を導入した耐震設計法の中では、これらの影響を安全係数等に反映させていく必要がある。

なお、本研究で提示した限られた解析モデルからの結果ではあるが、飯山ら²⁾の報告と同じく、非免震橋梁の 2 倍にまで長周期化を図れば、位相特性のばらつきによる RC 橋脚の応答の変動を考慮しても、十分な免震効果が確保されている。この結果は、設定した応答スペクトル形状、特に、スペクトル下降域に入る固有周期と非免震橋梁の固有周期の関係に依存すると考えられる。今後、模擬地震動作成時のパラメータ (M, Δ) に対応する応答スペクトルを用いた解析を行う中で、検討していきたい。

5. まとめ

限られた解析モデルからの結果ではあるが、RC 橋脚に許容する非線形応答の大きさにより、地震時に見込まなければならない応答のばらつきが異なること、位相特性の影響を考慮しても、免震橋梁の固有周期を非免震橋梁の約 2 倍程度にすることで、確実な免震効果を確保できること、などが示された。

参考文献

- 1) ISO: International Standard ISO/DIN 2394, General Principles on Reliability for Structures, 1998.
- 2) 飯山かほり, 川島一彦, 庄司学: 免震効果を得るために必要な橋梁の長周期化に関する一検討, 構造工学論文集, Vol. 44A, pp. 701-709, 1998.
- 3) 佐藤忠信, 室野剛隆, 西村昭彦: 観測波に基づく地震動の位相スペクトルのモデル化, 土木学会論文集, No. 640/I-50, pp. 119-130, 2001.
- 4) 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, 1999.

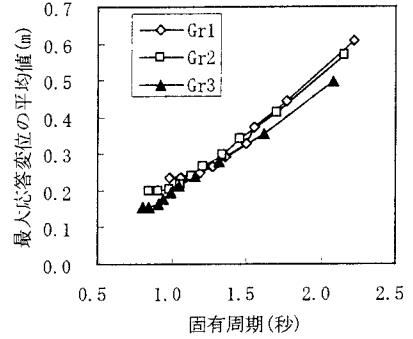


図-1 支承の最大応答変位の平均値

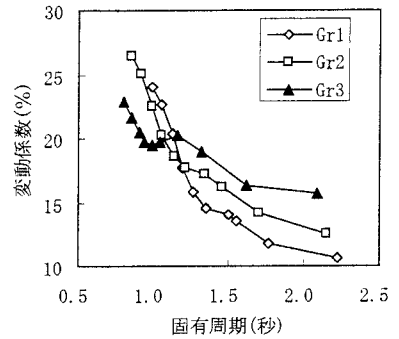


図-2 支承の最大応答変位の変動係数

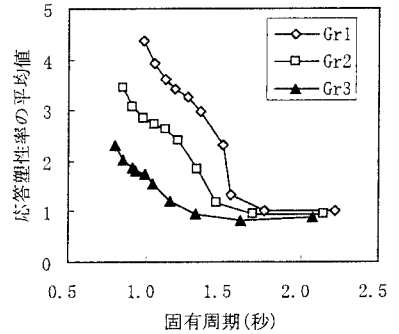


図-3 橋脚の応答塑性率の平均値

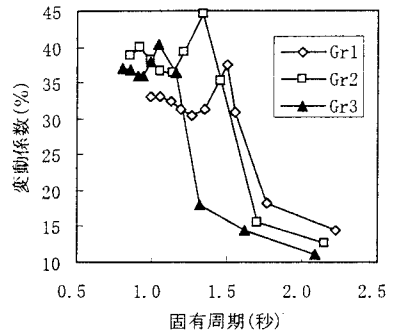


図-4 橋脚の応答塑性率の変動係数