

橋脚非線形の影響を考慮した免震橋梁構造物の地震応答評価

鹿児島大学大学院 学生会員 鹿倉 良寿
 鹿児島大学工学部 正会員 河野 健二
 鹿児島大学工学部 正会員 木村 至伸

1. はじめに

日本は世界でも有数の地震多発国であり、1995年の兵庫県南部地震で見られたように、従来の耐震設計法で設計された構造物にも多大な被害が生じた。それまでの構造物の強度を増加させる手法では不経済な断面となる為、耐震設計法の1つの方法として制震や免震等の手法が検討され、多くの研究、開発が行われている。しかし、構造物の弾性域を超える強振動を受ける場合も想定されるので、免震装置での地震力の吸収にも限界があるため、橋脚の非線形性を許容することで免震装置にかかる負担を軽減することも可能だと考える。また、免震構造物を対象とした既往の研究では一般に地震応答解析において同時同位相入力としての扱いが多く見られる。構造物が長大化するにつれて同時同位相入力による構造物の地震応答解析ばかりでなく、免震構造物の各入力点間における地震波の伝播特性が免震構造物の応答性状に及ぼす影響を評価することが必要となる。本研究ではこの問題について多径間連続免震橋梁を2次元はり要素でモデル化し、上部構造物の変位を制御しながら、橋脚においては固有周期の異なる不等橋脚とした場合を考え、さらに橋脚の非線形化⁽¹⁾を許容した構造物の応答量に及ぼす入力位相差の影響を評価した。

2. 解析モデル及び解析方法

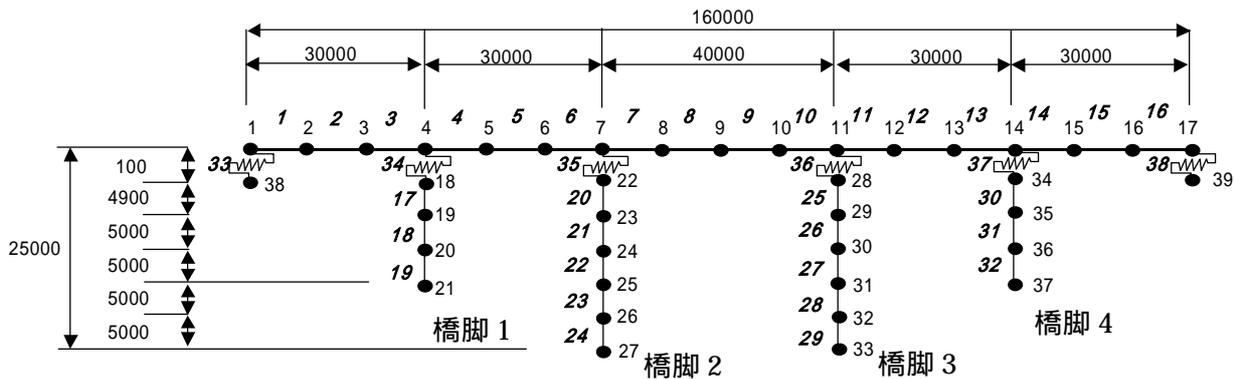


図-1 解析モデル

本研究で用いた解析モデルを図-1に示す。節点数39、要素数38の全長160mの不等橋脚で橋脚1,4の長さを15m、橋脚2,3の長さを25mの基礎固定した5径間連続免震橋梁構造物を用いた。構造物の部材は全て鋼材を用い、橋脚断面は円形中空断面とし橋桁はI型断面を考慮し設計計算した断面積、断面2次モーメントを用いてモデル化した。また、橋桁と橋脚天端の間に免震支承として鉛入り積層ゴムを導入した。免震支承及び橋脚については非線形性を考慮した。表-1に部材の各断面形状を示す。

解析方法としては、時間刻みを0.005秒としてNewmarkの法による時刻歴応答解析を行った。また、 $\gamma = 0.25$ として平均加速度法を用いた。

本研究で使用した入力地震動を表-2に示す。解析では最大入力加速度を300galで加速度振幅を基準化したものを用いて比較し、さらに最大入力加速度を100gal刻みで基準化した加速度を入力して比較した。

表-3に示すように目標設計変位を8、16、24(cm)とした場合の固有周期を

表-1 断面形状

| | 外径 (m) | 内径 (m) | 断面積 (m ²) | 断面2次 M(m ⁴) |
|----------------|--------|--------|-----------------------|-------------------------|
| 桁 (I型断面) | | | 0.3120 | 0.2670 |
| 橋脚1・4 (円形中空断面) | 1.5 | 1.46 | 0.0930 | 0.0255 |
| 橋脚2・3 (円形中空断面) | 2.5 | 2.46 | 0.1558 | 0.1198 |

表-2 入力地震動

| 地震名 | 観測点 | 最大加速度 (gal) | 地盤種 |
|---------|---------------------------|-------------|-----|
| 兵庫県南部地震 | 神戸海洋気象台地盤上 (Kobe-NS) | (-)812 | 種 |
| | JR西日本鷹取駅構内周辺地盤上 (Taka-NS) | 687 | 種 |
| | ポートアイランド内地盤上 (Port-NS) | (-)557 | 種 |

表-3 固有周期

| 目標変位 | 固有周期 T(1)(sec) |
|------|----------------|
| 非免震時 | 0.49 |
| 8cm | 1.23 |
| 16cm | 1.77 |
| 24cm | 2.18 |

用いた。また、同時同位相入力時と位相差を考慮した場合にどのような違いがあるかについて検討した。

3. 解析結果及び考察

図-2は最大入力加速度を600galで基準化したときの橋脚天端における時刻歴応答変位を示す。橋脚天端における免震効果は、周期が長くなり非免震時よりも応答が小さくなることである。図より、非免震時よりも免震導入時に応答が小さくなり、周期が長くなっていることが分り、免震効果を確認することができる。

図-3は最大入力加速度を600galで基準化した時の橋脚1の履歴曲線を示す。図よりレベル2地震動程度の地震が発生した時、橋脚部においてエネルギーを吸収していることが分り、免震部で吸収しきれないエネルギーを橋脚部で補うことができることが分かる。

図-4は同時同位相入力と入力位相差を考慮した時の橋桁における時刻歴応答変位を示す。図より、入力位相差を考慮することで桁の応答変位は減少されていることが分かる。

図-5は最大入力加速度を800galで基準化した時の免震導入時と非免震時の各橋脚基部における最大曲げ応力の分布を同時入力と多点入力と比較したものを示す。同時入力、多点入力ともに非免震時よりも応答が低減しており、免震作用による応答低減効果を確認できる。また、位相差の影響により各橋脚に及ぶ曲げ応力に相違が見られることが分かる。

4. まとめ

本研究では、橋脚の非線形化を許容する場合の免震橋梁構造物の地震応答量に及ぼす影響について検討した。さらに、構造物が長大化するにつれて問題となる各入力点間における地震波の伝播特性が構造物の地震時応答量に及ぼす影響について検討した。レベル2地震動程度の大規模地震が起こった時、橋脚部での非線形応答を許容することにより、免震支承だけでなく橋脚部でのエネルギー吸収により曲げ応力、変位において応答を低減することが可能である。橋脚基部における部分的な非線形を許容することが構造物の崩壊を避けて可能となれば、経済的な断面にすることも可能ではないかと思われる。また、入力位相差を考慮した場合において橋桁の応答変位は抑えられる傾向にある。

今後においては免震装置と橋脚を含めた橋梁の性能評価法について検討を加えることが必要だと考える。

【参考文献】

(1) Kimura et al.: Nonlinear seismic response effects on base isolated bridge structure. The 10th EASEC, Thailand, 2006.

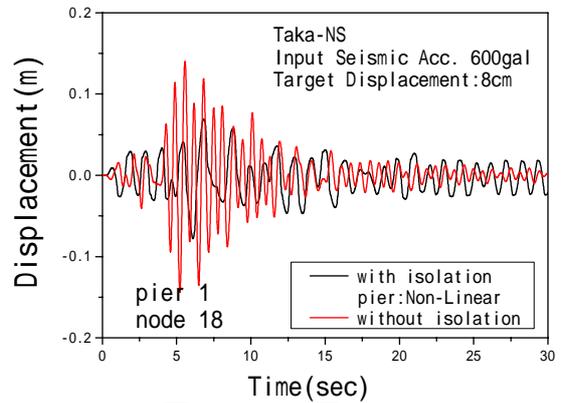


図-2 時刻歴応答変位

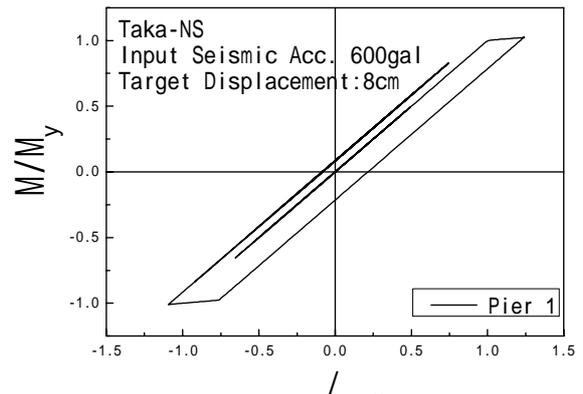


図-3 橋脚の履歴曲線

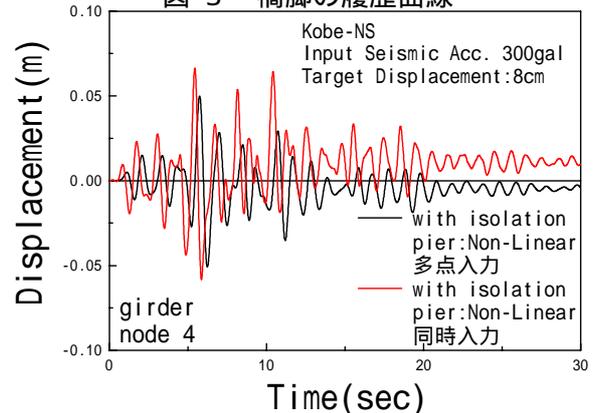


図-4 時刻歴応答変位

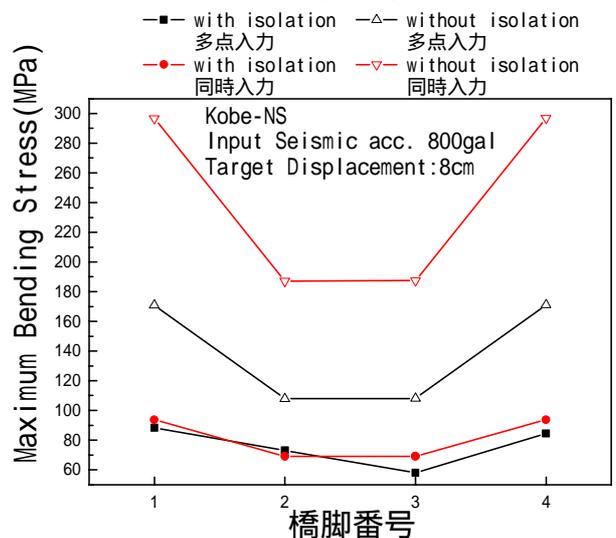


図-5 最大曲げ応力による比較