

不確定量の影響を受ける免震橋梁構造物の耐震性能評価に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院 学生会員 内藤 浩一
 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

1995年の兵庫県南部地震を契機に土木構造物に対する耐震設計法の一つとして免震等の手法が検討されている。免震設計の基本概念としては支承部のみに主たる非線形性が生じるように設計できればよいとなっているが、地震強度によっては免震装置での地震力の低減にも限界がある為、橋脚の副次的非線形性を許容する事で橋梁全体に対する耐震性能の確保を図る事も可能となる。また、構造物は一般的に材料や施工精度の変動性等、数多くの不確定要因を含んでいるため、これらについての検討も重要となる。そこで本研究では、多径間連続免震橋梁を解析モデルとし、橋脚の非線形性を考慮した上での耐震性能について検討した。さらには構造特性の不確定性が免震橋梁構造物に及ぼす影響、また免震装置における初期剛性の算出方法についての検討を加えた。

2. 解析モデル及び解析方法

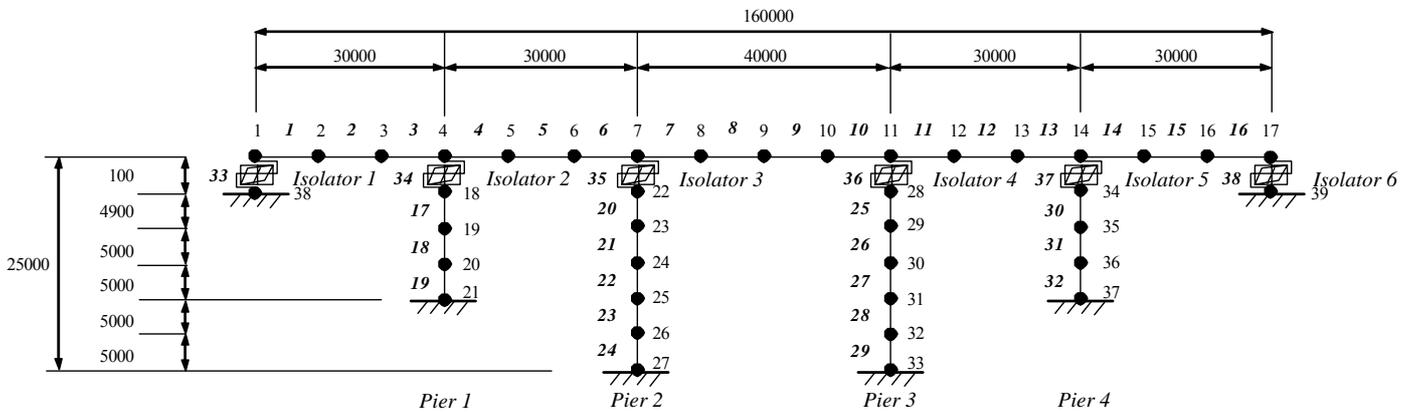


Fig.1 解析モデル

本研究で用いた解析モデルを Fig.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 の高さを 15m、橋脚 2,3 の高さを 25m とし、その基礎を固定した 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を用いてモデル化した。Table1 に部材の各断面形状を示す。本研究では、以上のように設定した解析モデルに対して時間刻みを 0.005 秒とした場合の Newmark の β 法 ($\beta=0.25$) を用いて、非線形地震応答解析を行なった。また、橋脚の副次的非線形性の影響を検討するために橋脚の復元力特性についてはバイリニア型の M - 関係を用いて考慮した。また、橋桁と橋脚天端の間に免震支承を導入した。また、一般的に構造物の剛性や強度特性等は不確定性を有するため、これらが地震応答量にどの程度影響するかについて MCS 法を用いて検討した。その結果から得られる最大応答量の平均値 \bar{S} とその標準偏差 σ_S 、また強度特性の平均値 \bar{R} とその標準偏差 σ_R を与えると、信頼性指標を用いて免震橋の耐震性能を表すことができる。すなわち、信頼性指標 は次式で表される。

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad \dots (1)$$

Table1 断面形状

	外径 (m)	内径 (m)	断面積 (m ²)
Girder (I 型断面)			0.3120
Pier 1,4 (円形中空断面)	1.50	1.46	0.0930
Pier 2,3 (円形中空断面)	2.50	2.46	0.1558

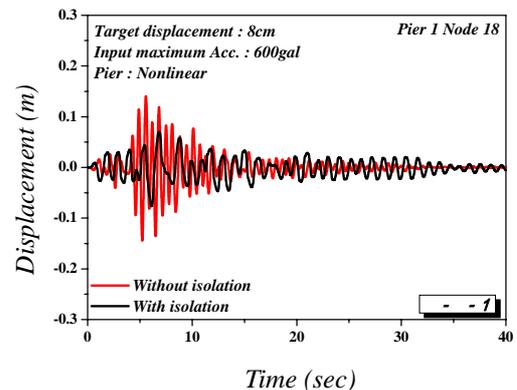


Fig.2 時刻歴応答変位

3. 解析結果及び考察

Fig.2 に目標変位 8cm 時の橋脚天端における時刻歴応答変位を示す。地震波はタイプ のレベル で最大加速度は 600gal である。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の応答が小さく、また周期も長くなっていることから免震効果を確認することが出来る。

Fig.3 および Fig.4 に免震支承及び橋脚 1 における復元力特性を示す。これらの図より、免震支承においてエネルギー吸収が認められ構造物に免震支承を導入した効果を確認することができる。しかしながら、橋脚基部においてもエネルギー吸収が認められレベル 2 地震動のような大地震が作用した場合には免震部で吸収しきれないエネルギーを橋脚部で補っていることが確認できる。

次に、構造特性 (EI) に対する不確定性の影響を変動係数 10% として信頼性について検討を行う。Fig.5 は橋脚 1 基部における応力に対する信頼性指標を示したものである。図中には比較のため、免震支承を導入していない場合の信頼性指標の値を示している。免震支承を導入することにより、信頼性の向上が認められる。一方、免震導入時に構造特性の不確定性を考慮した信頼性指標の値は、若干低下するものの、信頼性指標 3 (破壊確率:0.00135) 以上を満足しているため安全であると考えられる。

Fig.6 は免震支承の最適な初期剛性値について免震支承の変形性能と橋脚基部の応力から検討を加えたものである。免震支承の変形性能に関しては、せん断ひずみ 250%を、橋脚基部に関しては降伏強度 230MPa 及び安全率を考慮した降伏強度 140MPa を基準とした。図より、免震支承の初期剛性の増加に伴い、免震支承の応答塑性率は減少し、橋脚基部の応力は増加していることが分かる。これより、両者が交わる時の初期剛性が本解析モデルに対する適切な初期剛性の値ではないかと考える。

4. まとめ

本研究では、免震橋梁構造物を対象に橋脚の副次的非線形性、構造特性等の不確定性の影響について検討し、さらには免震支承の初期剛性の設定法について検討を加えた。その結果、免震構造は構造特性の不確定性を考慮した場合によっても高い信頼性を有している。さらに、免震支承の初期剛性においては免震支承と橋脚基部の応答から適切な設計値を導くことが可能である。

【参考文献】

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

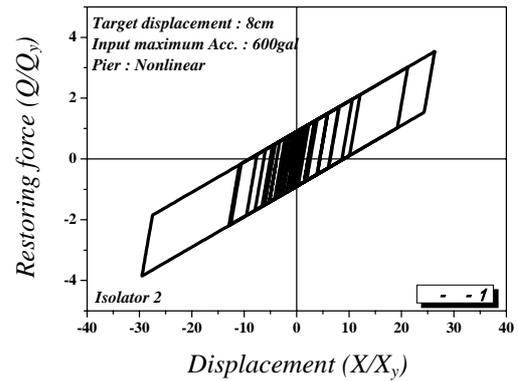


Fig.3 復元力特性

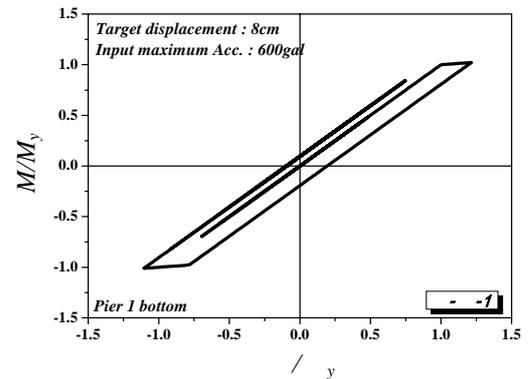


Fig.4 橋脚基部の履歴曲線

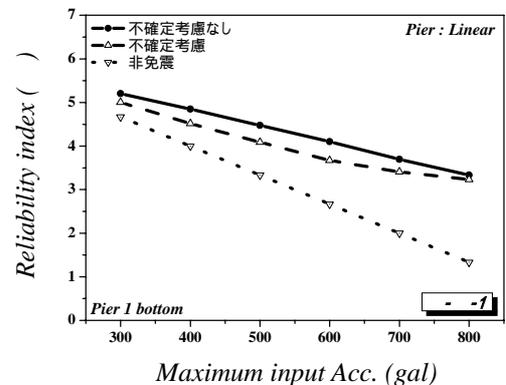


Fig.5 信頼性指標の変化

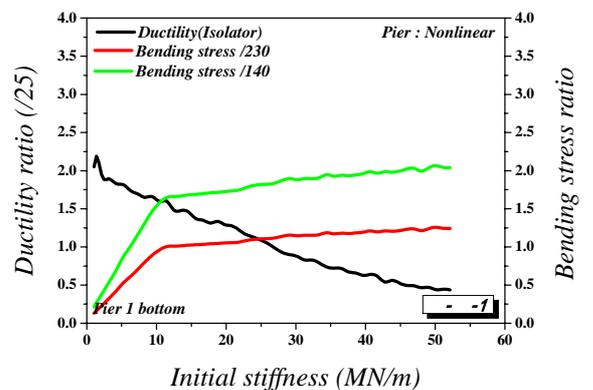


Fig.6 支承の検討