

信頼性指標を用いた免震橋梁の地震応答評価に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院 学生員 前野琢也
鹿児島大学大学院 正会員 木村至伸

1. はじめに

構造物が供用期間において受ける外力や、設計時に考慮される構造物の材料特性は一般的に不確定性を有しており、これらの不確定性が構造物の耐震性能評価に及ぼす影響を明確にしておくことは重要なことである。また、兵庫県南部地震以後、構造物の固有周期を長周期化し地震時における慣性力の低減、減衰性能を高めることを目的とした積層ゴム支承などの免震装置を導入した免震構造が多く採用されている。そこで本研究では、免震橋梁を対象として、入力地震動の最大加速度、免震橋梁の部材が有する不確定性を考慮してモンテカルロシミュレーション(以下MCS)を行い、各種の最大応答量に及ぼす影響について信頼性指標を用いて検討を行った。

2. 解析概要

本研究で用いた解析モデルを図-1に示す。この解析モデルは、要素数62、節点数63を有し、全長330.6mの7径間から成る免震橋梁である。また、橋脚3および橋脚6においては遊間を0.3m設けている。免震支承は積層ゴム支承とし、Bi-Linear型復元力特性モデルを用いて表した。免震支承については、設計水平震度および目標変位に対する力の釣り合いにより等価剛性を算出し、降伏変位、剛性比からバネ剛性を決定した。免震支承の特性値を表-1に示す。また、その他の部材は全て鋼材とし線形要素として解析を行った。時刻歴応答解析における数値積分法は、時間刻みを0.005秒としたNewmarkのβ法とし、入力地震動は兵庫県南部地震においてJR鷹取駅構内周辺地盤上で観測された南北方向波を用いて解析を行った。また、本研究で対象とした不確定要因は、入力地震動の最大

加速度、構造物の単位体積重量である。これらの不確定量を入力加速度200~800gal、単位体積重量100~450kN/m³の範囲で設定し、変動係数10%の正規分布¹⁾によるMCSを用いて解析を行った。試行回数は300回とし、これらの結果を用いて式(1)に示す信頼性指標を算出し、不確定量の影響について検討を行った。地震応答に対する許容値は、橋桁の変位は遊間距離を考慮した0.3m、橋脚基部の曲げ応力は140MPaとした。

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

ここで、 \bar{R} は許容値、 \bar{S} は応答の平均値、 σ_S^2 、 σ_R^2 は応答の分散である。

3. 解析結果と考察

橋脚1について、図-2に橋桁、橋脚天端の時刻歴変位応答、図-3に免震支承履歴特性を、図-4に全橋脚基部の最大曲げ応答を示す。変位応答では免震支承を導入した場合、橋桁の変位は大きくなり、橋脚天端の変位は小さくなる。これは、免震支承を導入することで地震力が橋桁の変位として現れ、橋脚に対する地震力を低減させるためである。このことは図の履歴ループからも確認でき、免震支承で地震エネルギーの吸収が行われていることがわかる。また、橋脚基部については最大約70%程度的大幅な応力低減が認められた。

次に、不確定量によって免震橋梁構造物の地震応答がどのような影響を受けるかMCS結果から算出した信頼性指標を用いて検討した。図-5に最大入力加速度、単位体積重量それぞれの(上)橋桁、(下)橋脚基部の信頼性を示す。

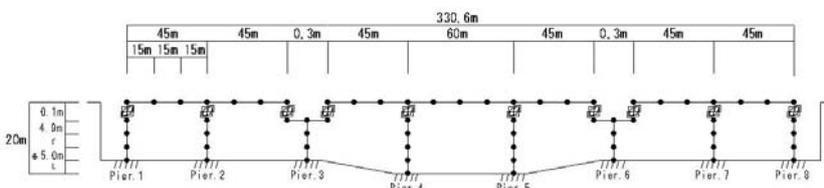


図-1 解析モデル

表-1 免震支承の特性値

減衰定数	0.02
降伏変位(m)	0.02
剛性比	0.1
設計震度	0.2g
バネ剛性 K (kN/m)	16784

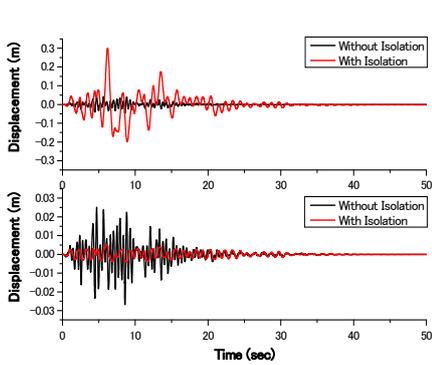


図-2 時刻歴応答変位(上=桁, 下=天端)

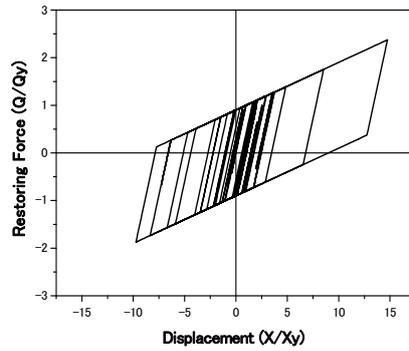


図-3 免震支承履歴特性

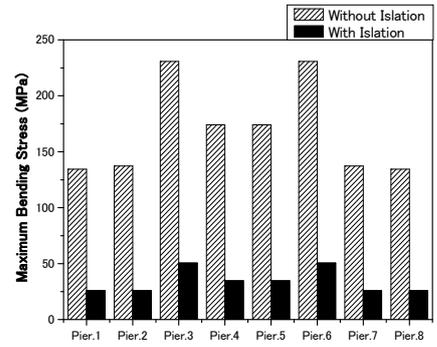


図-4 最大曲げ応答(全橋脚)

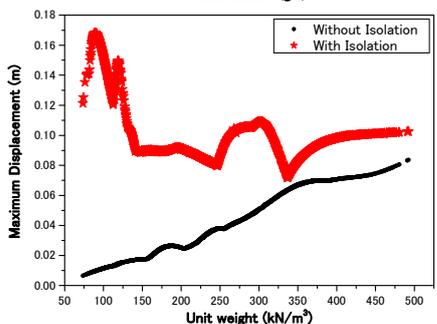
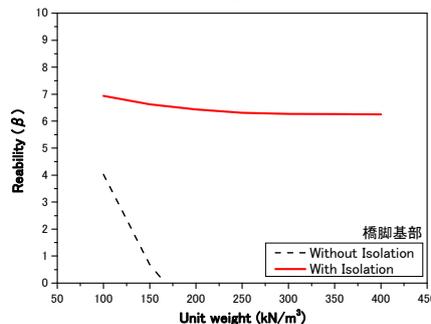
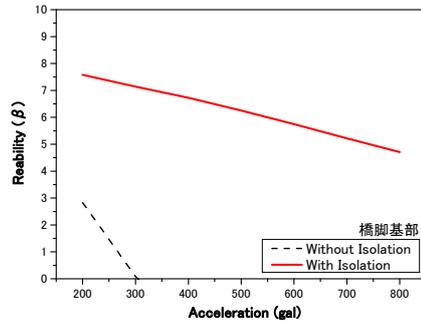
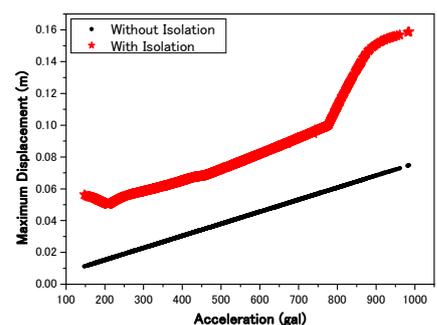
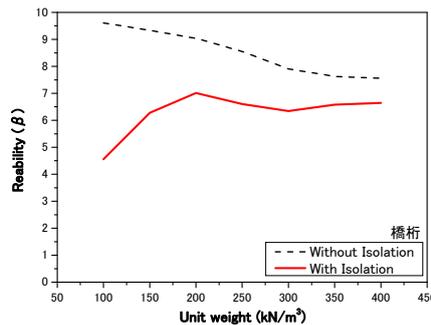
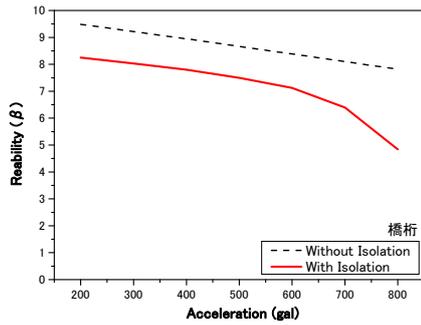


図-5 橋脚3の信頼性評価(左:最大入力加速度・右:単位体積重量)

図-6 橋桁間の最大変位応答分布

橋脚基部において最大入力加速度の場合、非免震時では300galまでしか信頼性を得られていないが、免震支承導入時においては200~800gal全てにおいて高い信頼性を得られており、また、最大入力加速度上昇に伴う信頼性の減少率も低くなっている。この傾向は単位体積重量においても確認できた。これは、免震装置による曲げ応答の低減、応答分布のばらつきによるものと考えられる。次に、それぞれの不確定要因に対する信頼性を比較してみると、最大入力加速度の桁間変位においては、不確定量の増加に伴い信頼性は低下しているが、単位体積重量では不確定量の増加に対して、信頼性の値が変動的であることが分かった。図-6にそれぞれの不確定要因に対する最大変位応答を示す。この図から単位体積重量の不確定性が、免震橋梁の応答に及ぼす影響が大きいことが分かる。これは、この不確定要因が構造物の固有周期等の特性値に密

接に関係しており、構造物の振動特性に大きく影響する。そのため不確定量に対する応答量にばらつきが生じ、結果、信頼性の値が変動的になったと考えられる。

4. まとめ

信頼性指標を用いた地震応答評価については、免震支承導入により橋脚基部における信頼性は大きく向上し、橋桁間の変位についても信頼性を確認できた。しかし、橋桁間の変位については不確定量の増加に対して信頼性は変動的な推移を示した。よって免震橋梁構造物の地震応答を評価するには、不確定量の特性を把握することが重要であり、より耐震性能の高い免震橋梁構造物を設計するためには、外力および構造物の材料特性についての不確定性を考慮することが必要である。

<参考文献>

- 1) 松田泰治、高森麻有美、大塚久哲：免震橋梁の橋脚基部の副次的非線形性に関する確率論的考察、構造工学論文集 Vol.51A, pp.669-676、2005.3