

2次元 FEM 地震応答解析による免震橋の地震時実挙動の推定精度

大日本コンサルタント(株) ○正会員 吉岡 勉 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 岡田 慎哉
 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 石川 博之 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 佐藤 京
 大日本コンサルタント(株) 正会員 原田 政彦

1. はじめに

著者らは、動的照査法による免震橋の耐震設計を、より精度良く行うための手法を明示することを目的に、1994年北海道東方沖地震において強震記録データが得られている温根沼大橋を対象として、地震応答解析上のモデル化方法について



写真-1 温根沼大橋の現況写真

検討してきた^{1),2)}。その中で、地盤のひずみ増に伴う剛性低下の特性を想定して、杭基礎に対する周辺地盤の水平抵抗を設計値より小さくした2次元骨組モデルによる地震応答解析で一応の精度が得られることを確認した。今回、地盤の非線形特性および地盤と構造物との動的相互作用を適切に評価する目的で、周辺地盤を含めた全体系の2次元 FEM モデルによる検討を行ったので報告する。

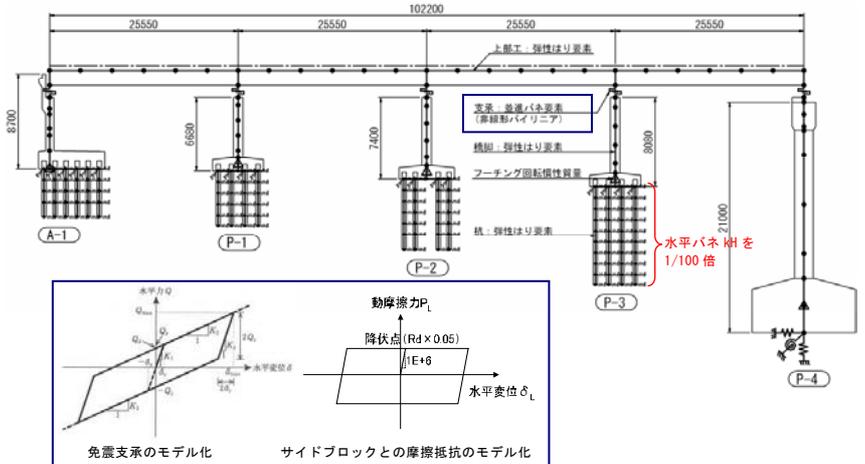


図-1 2次元骨組モデル²⁾

2. 温根沼大橋の概要

温根沼大橋は、主径間部のニールセンローゼ橋と側径間部の4径間連続鋼鈹桁橋で構成され、側径間部には免震支承 LRB が採用されている(写真-1)。免震支承の作動方向は橋軸方向のみとされ、橋軸直角方向は片側 2mm のクリアランスでサイドブロックにより拘束されている。P3 橋脚位置における上部構造、橋脚頂部、地盤-1.5m および地盤-17m の4点には地震計が設置されており、免震支承採用区間のみが竣工した状態で北海道東方沖地震が発生し、強震記録が得られている。

3. 解析モデルと解析方法

本検討の比較対象とする2次元骨組みモデル²⁾を図-1に示す。上部構造および橋脚は弾性はり要素で、免震支承はバイリニア型の非線形バネ要素でモデル化し、支承部にはさらに免震支承とサイドブロックとの衝突による摩擦抵抗を模擬した非線形バネを並置している。杭基礎～地盤系は、杭自体を弾性はり要素でモデル化し、分割節点に周辺地盤の水平抵抗を設計値(N値からの推定)の1/100倍とした線形バネを与えている。入力地震波は地盤-1.5mで記録された橋軸方向の加速度波形とし、動的解析における減衰は Rayleigh 減衰を用いている。

このような骨組モデルを基にして本検討では、周辺地盤の抵抗をバネに置換するのではなく、地盤自体を平面

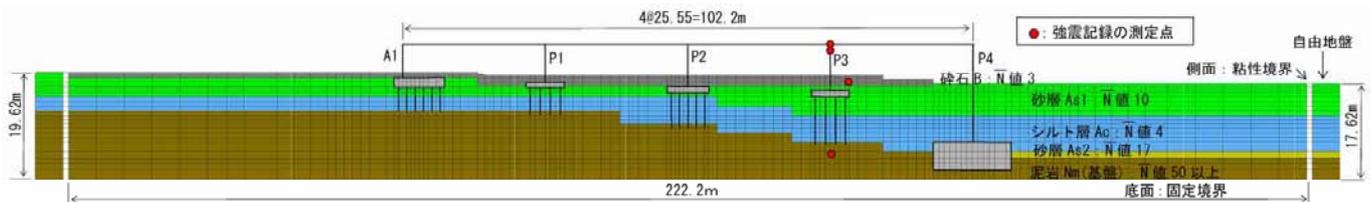


図-2 2次元 FEM モデル

キーワード 1994年北海道東方沖地震, 強震記録, 地震応答解析, 2次元 FEM, 免震支承
 連絡先: 〒343-0851 埼玉県越谷市七左町 5-1 大日本コンサルタント(株)構造事業部 TEL 048-988-8113 FAX 048-988-8134

ひずみ要素でモデル化した2次元FEMモデルを作成した(図-2)。地盤のひずみ依存特性としては、当該土層の室内繰返し三軸試験が行われていなかったため、文献3)に示される剛性低下曲線 $G/G_0-\gamma$ 、減衰増加曲線 $h-\gamma$ を準用し、修正R-Oモデルで表した。地盤要素の奥行きは明確な基準がない中、ここではフォーチング幅の2倍の50mとした。また、地盤の逸散減衰の効果を適切に表すためモデル化範囲は橋長の2倍とし、さらに自由地盤との側方境界を粘性とした。入力地震波は地盤-17mの基盤面で記録された加速度波形を用いた。

4. 解析結果と強震記録との比較

骨組動的解析およびFEM動的解析から得られたP3橋脚位置の応答波形を強震記録と比較したものを図-3に示す。なお、波形の比較が明瞭となるよう最大値が発生する30~40秒間のみを図示している。上部構造および橋脚天端の加速度スペクトルの比較を見ると、骨組解析では1~2Hz帯の低周波数成分が実測より大きく、4Hz以上の高周波数成分が小さくなる傾向が見られ、実振動特性を完全には捉えられていない。また、変位波形の比較では、骨組解析による波形形状は実測値と大略は合っているものの、ピーク値が実測値に比べてやや大きい。

一方、FEM解析では、地盤-1.5m位置の加速度スペクトルが実測と良く一致していることから、基盤面からの振動の増幅特性および杭基礎との動的相互作用の影響を精度良く模擬できているといえる。上部構造および橋脚天端では、2~3Hz帯が実測よりやや大きいほかは高周波数領域まで良く合っていることから、橋梁内の振動の伝達特性も精度良く模擬できている。また、変位波形もFEM解析値は実測値と良く一致している。

5. おわりに

周辺地盤を含めた全体系の2次元FEM地震応答解析によって橋梁各部の実測値と良い一致を示したことから、免震橋の地震時実挙動を精度良く推定するためには、基礎~地盤系の初期剛性のみをS-Rバネで置換するという従来からの慣用的な方法ではなく、地盤の非線形特性および動的相互作用を考慮したモデル化が必要といえる。しかし、今回のようなFEMモデルでは計算負荷が大きく(本検討では地震波50秒間で解析時間2日)、耐震設計におけるトライアル計算で用いることは時期早々であるため、今後は、地盤の非線形特性および動的相互作用を簡易に表すことができるペンゼンモデルのようなモデル化で、同様な検討を行う予定である。

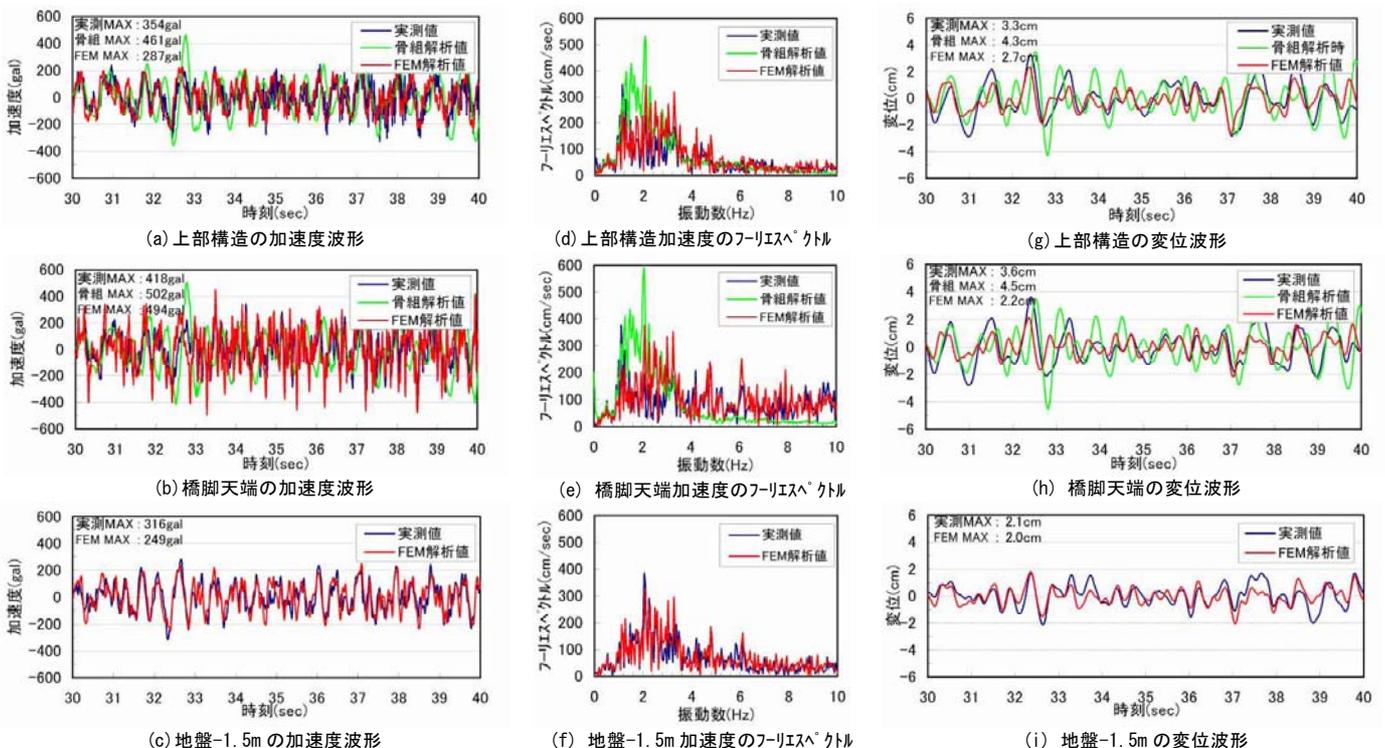


図-3 解析結果と強震記録との応答波形および応答履歴の比較 (P3橋脚)

【参考文献】

- 1) 吉岡, 岡田, 西, 佐藤, 原田: 強震記録を用いた免震橋の地震応答解析モデルに関する検討(その1), 土木学会第61回年次学術講演会, 2006.9
- 2) 田崎, 岡田, 石川, 佐藤, 吉岡: 強震記録を用いた免震橋の地震応答解析モデルに関する検討(その2), 土木学会第61回年次学術講演会, 2006.9
- 3) 荒川直士, 常田賢一: 地盤の地震時応答特性の数値解析法, 土木研究所資料, 第1778号, 1981.