

群杭基礎を有する橋脚—基礎—地盤系の動的応答に関する一考察

株式会社ドーコン 正会員 ○千賀 規宏
株式会社ドーコン 正会員 小林 竜太
土木研究所寒地土木研究所 正会員 岡田 慎哉

株式会社ドーコン 正会員 工藤 浩史
土木研究所寒地土木研究所 正会員 西 弘明
室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光

1. はじめに

本研究では、橋脚—基礎—地盤系モデルにおける骨組要素モデルの適用性を検証することを目的として、一般的な群杭基礎を有する橋脚を対象とした基礎的な検討を実施した。ここで、適用性の検討は別途実施した三次元有限要素解析結果（以下、固体要素モデル）と比較する形で行った。

2. 解析モデルの概要

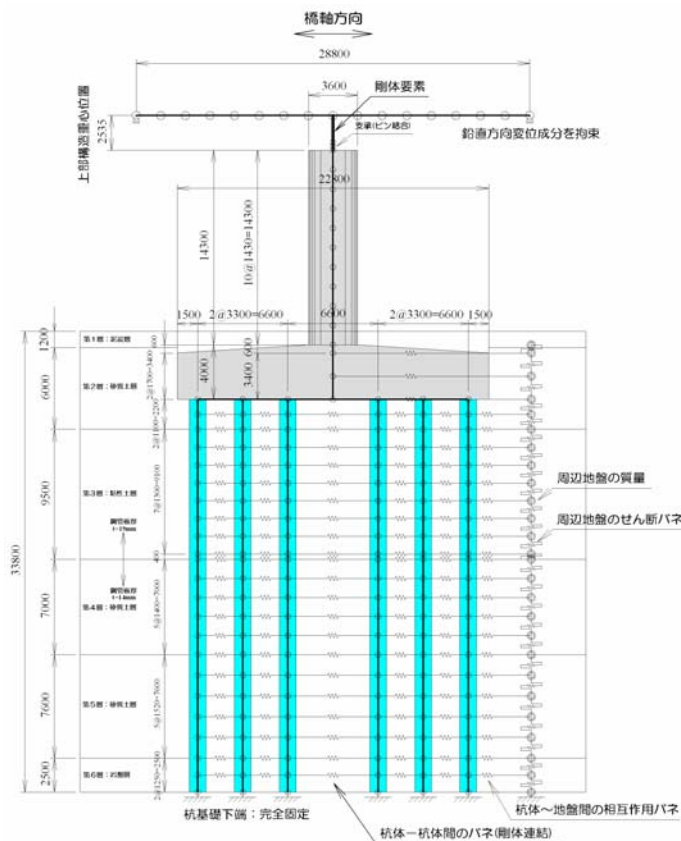
図－1には骨組要素モデルを示している。本解析では、橋脚、フーチングおよび杭体（鋼管杭）を梁要素でモデル化し、質点とせん断バネで表現した周辺地盤を相互作用バネにより各杭体と連結させた一体解析モデルを構築した。但し、隣接する杭体間に関してはいずれも剛体連結することとした。ここで、相互作用バネの剛性は道路橋示方書Ⅳ【下部構造編】に基づいて水平方向地盤反力係数 k_h により算定した。周辺地盤はフーチング幅の5倍の領域を考慮し、各土層が地震波入力方向に対して一体となって挙動するように同一深度における質点はいずれも剛体連結している。

図－2には固体要素モデルを示している。モデル化の範囲は対称性を考慮した1/2モデルとした。適用した有限要素は、橋脚、フーチングおよび周辺地盤には8節点固体要素を、杭体には4節点シェル要素を用いて、周辺地盤と杭体およびフーチングの要素間はいずれも完全付着を仮定した。

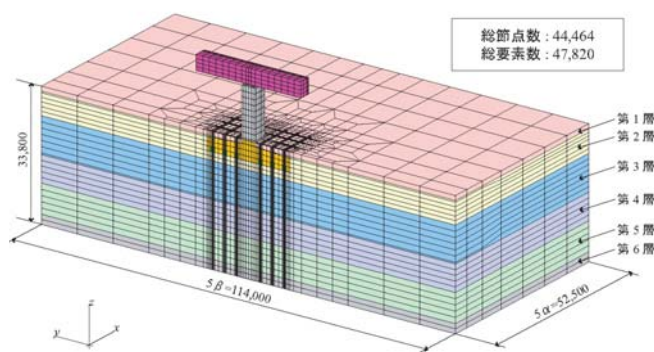
境界条件は、いずれの解析モデルに関してもモデル底面を完全固定とし、固体要素モデルにおける周辺地盤の側面は鉛直方向変位成分を拘束している。また、上部工を模擬した要素ではいずれの解析モデルも両端部節点の鉛直方向変位成分を拘束し、固定支承は支承高さの1/2の高さにおいて回転を許容するため当該節点位置をピン結合とした。

3. 地震応答解析法および入力地震動

地震応答解析は、いずれの解析モデルも線形時刻歴応答解析とした。骨組要素モデルにはNewmark β 法による直接積分法、固体要素モデルには20次モードまで考慮したモーダルアナリシス法を適用し、時間刻みはいずれも1/100秒と設定した。粘性減衰は、骨組要素モデルは1次および2次



図－1 骨組要素モデル【橋軸方向モデル】



図－2 固体要素モデル【橋軸方向モデル】

の固有振動数に対して $\eta=5\%$ を与えた Rayleigh 型減衰とし、固体要素モデルは1次固有振動数に対して $\eta=5\%$ を与えた質量比例型減衰とした。応答解析に用いた入力地震波形は、北海道内で観測された周波数特性の異なる3つの基盤面加速度波形（表－1，継続時間：30秒）とし、これを最大加速度 100gal に振幅調整して解析モデルの下端に入力した。

キーワード：地震応答解析，橋脚—基礎—地盤系モデル，群杭基礎，骨組要素モデル，固体要素モデル

連絡先：〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号，株式会社ドーコン【構造部】，TEL：011-801-1540

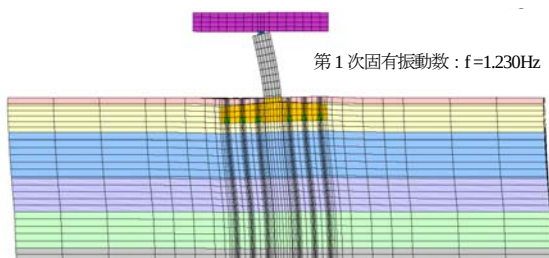
表－１ 地震応答解析に用いた入力地震動

地震名	地震タイプ	観測最大加速度
2003 年十勝沖地震	プレート境界地震	158.5gal
1993 年釧路沖地震	プレート内地震	262.1gal
2004 年留萌の地震	内陸直下型地震	36.8gal

※解析ではいずれも最大加速度を 100gal に振幅調整して入力

表－２ 各解析モデルにおける第 1 次固有振動数の比較

方 向	骨組要素モデル A (Hz)	固体要素モデル B (Hz)	比 率 (A / B)
橋軸方向	1.220	1.230	1.02
直角方向	1.240	1.260	1.02



図－３ 第 1 次固有振動モード分布【固体要素モデル】

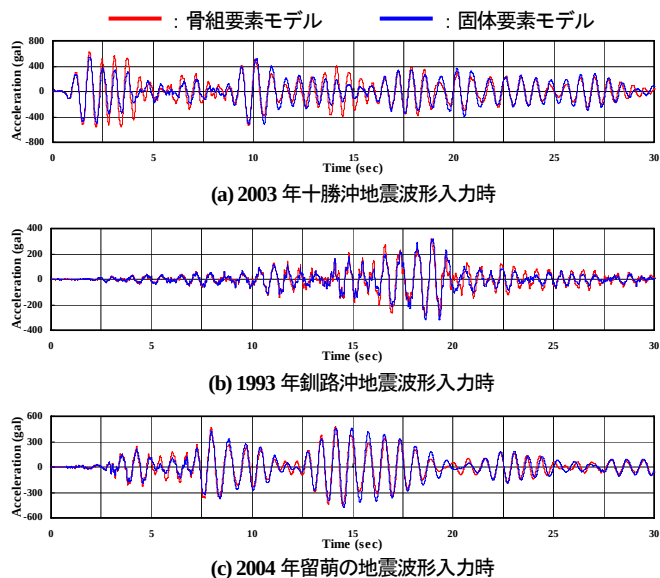
4. 解析結果および考察

4.1 固有振動解析結果

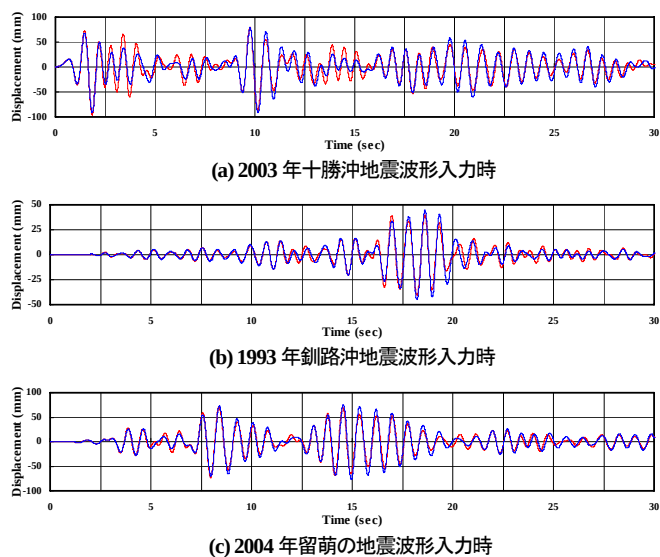
表－２には各解析モデルにおける固有振動解析結果を、第 1 次固有振動数に限定して示している。これより、橋軸方向および橋軸直角方向ともに、解析モデルによる差（比率）は 2.0% 程度と小さく、両者は良く一致していることが分かる。図－３には固体要素モデルにおける第 1 次固有振動モード分布を示すが、橋脚躯体の曲げ振動と周辺地盤のせん断振動が連成した固有振動モードが確認できる。

4.2 地震応答解析結果

本報では、紙面上の都合により、橋軸方向地震波入力時に関する応答解析結果に限定して示すものとする。図－４および図－５には、橋脚天端位置における応答相対加速度波形、応答相対変位波形をそれぞれ骨組要素モデルと固体要素モデルで比較して示している。図より、応答加速度波形に着目すると、2003 年十勝沖地震波入力時における時刻 3sec および 14sec 付近において両者に差異が見受けられ、最大応答加速度は骨組要素モデルの方が 1.2 倍程度大きく評価されている。しかしながら、周期特性は良好に一致しており、かつ、その他の入力地震波形に対しては精度良く一致していることが確認される。一方、応答変位波形に関しても、応答加速度波形と同様な傾向にあり、2003 年十勝沖地震波入力時において一部で差異が見受けられるが、最大応答変位量はほぼ一致しており、その他の入力地震波形に対しても両者は精度良く一致していることが確認できる。



図－４ 橋脚天端の応答加速度波形に関する比較【橋軸方向】



図－５ 橋脚天端の応答変位波形に関する比較【橋軸方向】

なお、橋脚躯体および基礎（杭体）の発生応力度に関しても各解析モデルで概ね一致することを確認している。

5. 結 論

本研究では、橋脚－基礎－地盤系モデルにおける骨組要素モデルの適用性を検証することを目的として、群杭基礎を有する橋脚を対象とした基礎的な解析的検討を実施した。

検討の結果、橋脚および基礎構造を梁要素、周辺地盤を質点とせん断バネで表現し、基礎構造と周辺地盤を相互作用バネによって連結させた一体解析モデルを構築することで、三次元有限要素モデルにおける線形地震時応答を概ね再現可能であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ【下部構造編】
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ【耐震設計編】
- 3) 土木学会：橋の動的耐震設計，2003.3.