

周辺地盤の影響を考慮した群杭基礎の地震応答解析法に関する一考察

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 工藤 浩史
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 小林 竜太
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、群杭基礎—周辺地盤系を対象として、実務設計で一般に用いられる集約バネモデルの精度を高めた骨組要素モデルの適用性について、別途実施した三次元有限要素解析(固体要素モデル)と比較する形で検討を行った。

2. 解析対象の概要

解析対象は、一般国道 336 号十勝河口橋の P-7 橋脚である。本橋脚は、全長 30.0m、直径 1,219.2mm、板厚 19.0mm(杭頭から 12.5m 下方位置で、板厚が $t=14.0\text{mm}$ に変化)の鋼管杭基礎が、計 38 本配置された群杭基礎橋脚である。

3. 解析モデルの概要

本解析では、基礎—地盤系の地震応答特性に着目していることから、橋脚躯体はモデル化せずフーチング上面までをモデル化の対象とした。図-1には、骨組要素モデルの一例として、橋軸方向地震波入力時の解析モデルを示している。解析モデルは、基礎構造系と周辺地盤系から構成されており、基礎構造は梁要素、周辺地盤は質点とせん断バネを用いてモデル化し、それを相互作用バネで連結させた一体解析モデルとした。ここで、周辺地盤は、フーチング幅の 5 倍の領域における質量およびせん断剛性を考慮し、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させた。

図-2には、固体要素モデルの一例を示している。モデル化の範囲は対称性を考慮した 1/2 モデルとした。使用した有限要素は、フーチングおよび周辺地盤には 8 節点固体要素、鋼管杭には 4 節点シェル要素であり、周辺地盤と鋼管杭の要素間は完全付着を仮定した。なお、境界条件は、いずれの解析モデル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境界は、鉛直方向変位成分のみを拘束した。また、フーチング天端には、上部構造の分担質量と橋脚躯体の質量に相当する質量を付加している。

4. 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ともに直接積分法による線形時刻歴応答解析とした。数値積分は、骨組要素

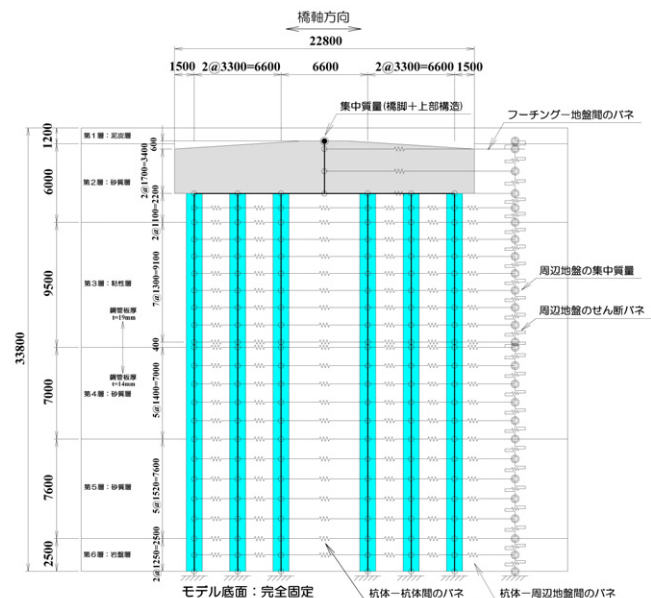


図-1 骨組要素モデルの一例【橋軸方向モデル】

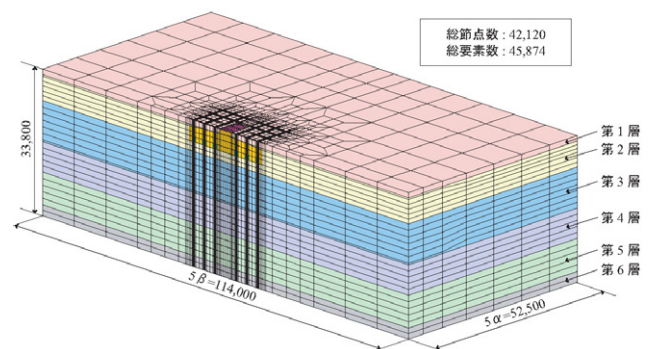
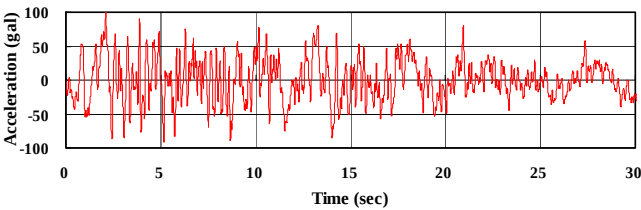


図-2 固体要素モデルの一例【橋軸方向モデル】

モデルには陰解法に基づく Newmark β 法を適用し、積分時間間隔は 1/100 秒と設定した。一方、固体要素モデルには陽解法を適用し、積分間隔は Courant 条件を満足するように決定した。粘性減衰は、骨組要素モデルには 1 次および 2 次の固有振動数に対して $\eta=5\%$ となるような Rayleigh 型減衰とし、固体要素モデルには 1 次固有振動数に対して $\eta=5\%$ となるような質量比例型減衰を採用した。図-3には、入力地震波形(加速度波形)を示している。本解析では、2003 年十勝沖地震本震で観測された基盤面波形(十勝河口橋: A-2 橋台基盤面 GL-50m、橋軸方向成分)を用いて、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ている。

キーワード：基礎—地盤系モデル、群杭基礎、地震応答解析、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



図－3 入力地震波形【2003年十勝沖地震：本震】

表－1 固有値解析結果【最低次固有振動数】の比較

方 向	骨組要素解析 A (Hz)	固体要素解析 B (Hz)	比 率 (A/B)
橋軸方向	1.224	1.250	0.98
直角方向	1.284	1.260	1.02

5. 解析結果および考察

5.1 固有値解析結果

表－1には、各解析モデルの固有値解析結果を最低次固有振動数に着目して示している。表より、橋軸方向、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ものと判断される。

5.2 地震応答解析結果

本論文では、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報告を行うこととする。

(a) フーチング天端における各種応答波形の比較

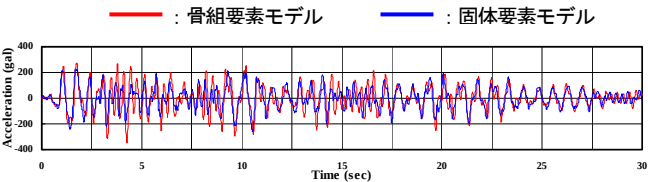
表－2には、フーチング天端における絶対最大応答値を骨組要素モデルと固体要素モデルで比較して示している。また、図－4には、フーチング天端における各種応答波形を各解析モデルで比較して示している。表および図より、応答相対加速度に着目すると、最大応答加速度は骨組要素モデルが固体要素モデルと比較して1.3倍程度大きく評価されている。また、応答波形に関しても、周期特性は概ね一致しているものの、全体的には骨組要素モデルが大きく評価される傾向にあることが分かる。これは、骨組要素モデルでは3Hz近傍におけるフーリエスペクトルの振幅が固体要素モデルと比較して大きく評価されていることに起因するものと考えられる。一方、応答相対速度および応答相対変位に関しては、最大応答値および応答波形性状ともに両者は精度良く一致していることが分かる。

(b) 鋼管杭の軸方向応力度波形に関する比較

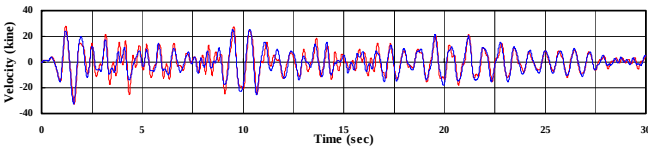
図－5には、最外縁鋼管杭の杭頭部における軸方向応力度波形を骨組要素モデルと固体要素モデルで比較して示している。ここで、骨組要素モデルの発生応力度は、要素端部の節点応力度を平均化して評価している。図より、発生応力度は骨組要素モデルが若干大きく評価されているものの、応答波形性状は両者で良く一致していることが分かる。

表－2 フーチング天端の最大応答値の比較【橋軸方向】

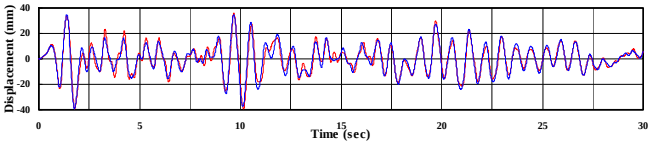
着目項目		骨組要素モデル	固体要素モデル
最大加速度	発生時刻 (sec)	4.26	10.54
	応 答 値 (gal)	347.02	258.43
最大速度	発生時刻 (sec)	1.62	1.59
	応 答 値 (kine)	32.87	32.45
最大変位	発生時刻 (sec)	10.16	1.77
	応 答 値 (mm)	39.36	39.10



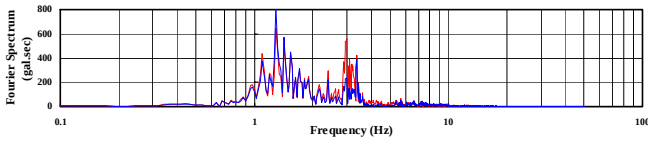
(a) フーチング天端の応答加速度波形



(b) フーチング天端の応答速度波形

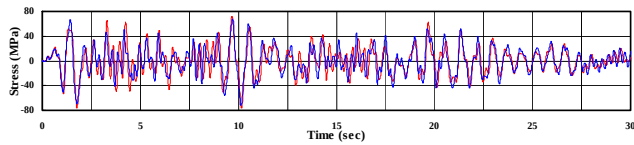


(c) フーチング天端の応答変位波形



(d) 応答加速度波形に関するフーリエスペクトル

図－4 フーチング天端の応答波形に関する比較【橋軸方向】



図－5 鋼管杭の軸方向応力度波形に関する比較【橋軸方向】

6. 結論

本研究では、群杭基礎一周辺地盤系を対象として、実務設計で一般的に用いられている集約バネモデルの精度を高めた骨組要素モデルの適用性について検討を実施した。

検討の結果、基礎構造を梁要素、周辺地盤を多質点系せん断バネで表現し、それを相互作用バネで連結させたモデルを構築することで、三次元有限要素解析の線形地震応答を比較的精度良く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.