

有限要素法による橋梁基礎構造の動的応答特性評価

(株)北電総合設計 正会員 ○吉澤 佳展 (独)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 (独)寒地土木研究所 正会員 岡田 慎哉
 室蘭工業大学 正会員 小室 雅人

1. はじめに

現在、道路橋示方書における橋梁基礎構造の耐震設計では、慣性力を水平震度に置換した静的解析に基づいて耐震性能照査が行われており、動的応答については考慮されていない。また、近年、実務設計において一般的に実施されている橋梁の地震応答解析では、その簡便さから地盤-基礎系の影響を単純化した集約バネとしてモデル化する場合が多い。しかしながら、構造物の地震時応答は基礎構造や周辺地盤の影響を大きく受けることから、実挙動を精度よく予測するためには地盤-基礎系における動的な相互作用効果を考慮した連成解析が必要となる。

このような観点から、著者らはこれまでより合理的な解析手法として、集約バネモデルの精度を高めた骨組要素モデルによる解析手法に関する検討を行ってきた。本研究では、その適切なモデル化手法に関する検討や妥当性の検証に資するための基礎データの収集を目的として、3種の異なる基礎形式(新石狩大橋 P-1 橋脚, 石狩河口橋 P-3 橋脚, 十勝河口橋 P-7 橋脚の各基礎部)を対象に、周辺地盤を考慮した三次元有限要素法による地震応答解析を実施した。なお、本論文では、紙面上の都合により、十勝河口橋 P-7 橋脚基礎部の橋軸方向に関する応答特性に限定して報告を行うこととする。

2. 検討対象の概要

十勝河口橋 P-7 橋脚の基礎構造には、全長 30.0 m, 外径 1,219.2 mm, 板厚 19.0 mm (杭頭から 12.5 m 下方位置で、板厚を $t=14.0$ mm に段落し)の鋼管杭基礎が計 38 本配置されている。なお、これら鋼管杭基礎は、橋軸方向幅 22.8 m, 橋軸直角方向幅 21.0 m, 高さ 4.0 m の矩形型フーチング内に埋込み定着(定着長 1.2 m)された群杭基礎の形式となっている。

3. 解析モデルの概要

本研究では、基礎-地盤系の動的応答特性評価を目的としていることより、橋脚躯体形状はモデル化せず、フーチング天端までをモデル化した。なお、上部工および橋

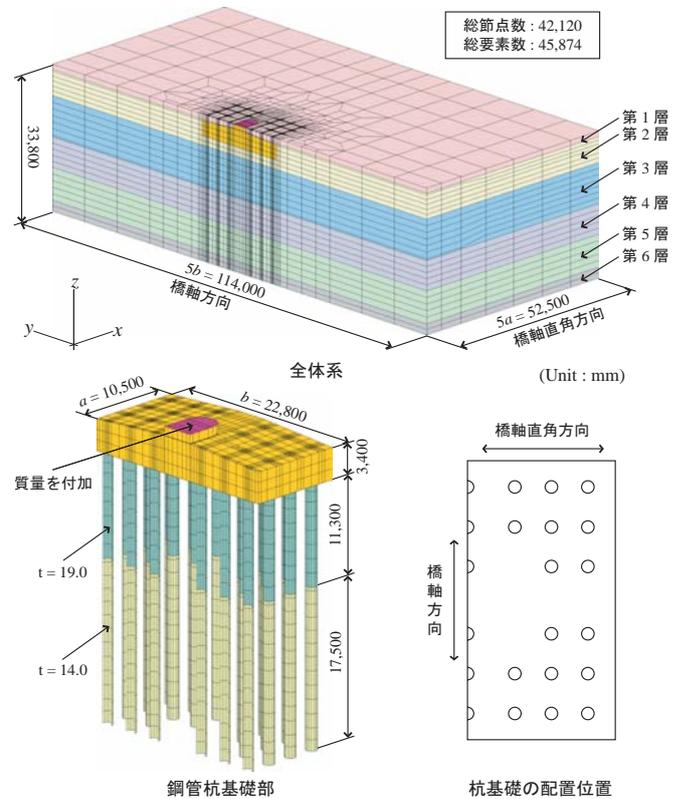


図-1 解析モデル【橋軸方向地震波入力時】

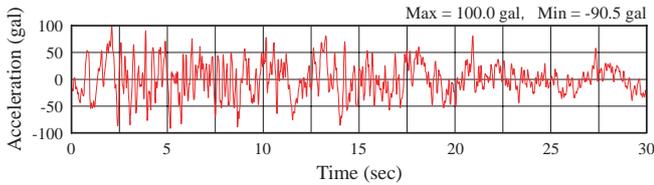
表-1 構造部材の材料物性値

| 項目 | 弾性係数 E (GPa) | ポアソン比 ν | 単位体積質量 ρ ($\times 10^3$ kg/m 3) |
|-------|-------------------|----------------|--|
| 鋼管杭 | 200.0 | 0.30 | 7.86 |
| フーチング | 30.0 | 0.20 | 2.50 |

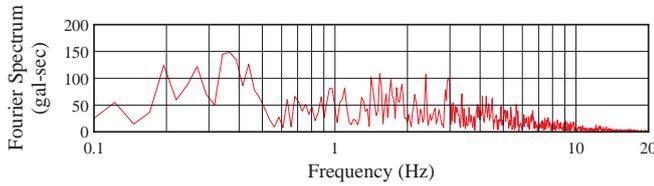
脚躯体については質量のみ考慮している。図-1には、橋軸方向地震波入力時の解析モデルを示している。周辺地盤のモデル化範囲は、鋼管杭の影響を考慮して、橋軸方向あるいは橋軸直角方向のフーチング幅に対して5倍に設定し、対称性を考慮した1/2モデルとした。モデル化には、フーチングおよび周辺地盤には8節点固体要素を、鋼管杭には4節点シェル要素を用いており、周辺地盤と鋼管杭間はいずれも完全付着を仮定した。表-1には、構造部材の材料物性値を示している。なお、周辺地盤

キーワード：骨組要素, 有限要素, 基礎-地盤系モデル, 地震応答解析

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227



(a) 入力加速度波形



(b) 入力加速度波形のフーリエスペクトル

図-2 入力加速度波形とそのフーリエスペクトル

の物性値については、本橋脚近傍で実施された既往の地質調査結果に基づいて設定した。また、フーチング天端には、基礎が負担する上部工分担自重 ($W_u = 51,180 \text{ kN}$) および橋脚躯体自重 ($W_k = 11,638 \text{ kN}$) に相当する質量をシェル要素を用いて付加している。

境界条件は、モデル底面を完全固定、対称切断面は無反射境界とし、その他の周辺地盤の側面は鉛直方向変位成分を拘束した。

4. 数値解析の概要

4.1 地震応答解析法

地震応答解析は、入力加速度波形を全要素に対して物体力として与えることにより行った。また、減衰は質量比例型減衰とし、系の最低次固有振動数 ($f_1 = 1.25 \text{ Hz}$) に対して $h = 5.0\%$ を設定した。なお、本解析には三次元構造解析用汎用プログラムである ABAQUS を用い、陽解法に基づく直接積分法による線形時刻歴応答解析を実施した。

4.2 入力加速度波形

本解析では、2003年に発生した十勝沖地震本震時に十勝河口橋の基盤で観測された基盤面波形の橋軸方向成分を基とし、これを最大加速度 100.0 gal に振幅調整して用いることとした。なお、解析には観測記録波形の初期微動 P 波区間を除いた主要動 S 波区間の 30 秒間を用いることとした。図-2には、本解析に用いた入力加速度波形とそのフーリエスペクトルを示している。図より、入力加速度波形は $0.2 \text{ Hz} \sim 0.4 \text{ Hz}$ の周波数帯が卓越していることが分かる。

5. 解析結果および考察

図-3には、橋軸方向の地震波入力に対する波形データの一例として、フーチング天端節点に関する応答加速度波形をその最大/最小応答値と併せて示している。図より、加速度の最大/最小応答値に着目すると、天端位置に

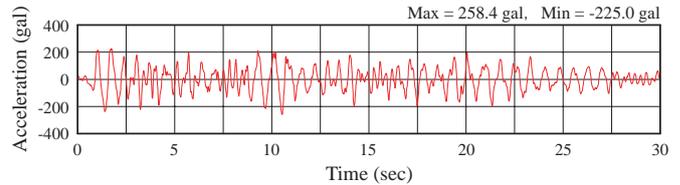


図-3 フーチング天端における応答加速度波形

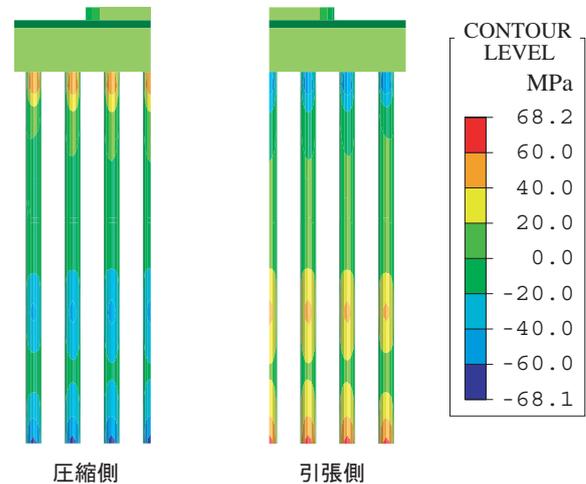


図-4 杭基礎の軸方向応力度分布(最大変位応答時)

おける加速度応答倍率は 2.6 倍程度であることが分かる。

図-4には、フーチング天端位置での絶対最大応答変位時点における杭基礎の軸方向応力度分布を示している。ここで、図には変位方向に対して圧縮側と引張側の視点から見た基礎の原型図に応力度分布をプロットして示している。図より、軸方向応力度の分布性状に着目すると、本基礎部では、フーチング直下に応力集中が見られる。これは、十勝河口橋周辺地盤の浅い層に軟弱土層が存在することの他、鉛直支持力のみに着目しているため、杭間が連結されていないことにより、曲げ作用に対して単杭として抵抗する構造になっていることに起因しているものと推察される。また、杭の先端部および地盤剛性の急激な変化点である深度 -23.7 m の第 4 層-第 5 層境界においても応力集中が見られる。

以上より、地震時における基礎の健全度を評価する上で重要となる杭体の応力集中箇所を特定することができた。なお、他の基礎部に関しても同様な結果が得られている。

6. まとめ

三次元有限要素法を用いた地震応答解析結果により、今回検討対象とした 3 橋脚の動的応答特性に関する基礎データを取得することができた。

今後は、橋脚躯体や上部構造を含めた解析モデルに関しても同様な解析を行い、橋梁全体系を対象とした耐震評価に関する検討も行う予定である。