

縁端部を縮小した組杭の正負交番载荷実験の評価

九州工業大学 学生会員 木下 和香
 大日本コンサルタント(株) 正会員 清水 英樹

九州工業大学 正会員 幸左 賢二
 独立行政法人土木研究所 正会員 白戸 真大

1. はじめに

近年、フーチング寸法の縮小や土留め、掘削量の低減を目的として、フーチングの縁端距離を縮小して施工される場合がある。図-1 に示す様に、一般的な橋梁において縁端距離を道示規定値（杭径の 0.5 倍）から首都高基準（25cm）へと縮小させることができれば、1 フーチングあたり 10~20%程度コンクリートの体積を削減することができる。しかし縁端距離を縮小させることで水平方向の押し抜きせん断破壊の発生が懸念される。そこで、本研究では土木研究所の行った実験を基に、フーチング縁端部の終局時の荷重状態を検討するとともに FEM 解析による数値シミュレーションを実施した。

2. 実験概要及び解析概要

図-2 に供試体载荷状況を示す。供試体は実際の道路橋橋脚の場所打ち杭基礎（2x2 本群杭）の橋脚から杭体までを模擬したものである。本実験ではコンクリート強度を杭体で 42.0N/mm²、フーチングで 23.7N/mm²としている。固定は杭先端をヒンジ固定とし、供試体を横に寝かせた状態で载荷を行っている。载荷は橋脚部に鉛直方向の軸力 1800kN を掛けた上で水平方向に変位制御の正負交番载荷を行っている。

図-3 に解析モデル形状を示す。モデル形状、配筋は実験と同様としている。拘束条件は杭先端を全方向固定、フーチングの一面を Y 方向固定としている。载荷条件は橋脚部に鉛直方向に 1800kN 相当の等分布荷重を载荷したうえで、水平力を変位制御の一方向载荷としている。材料モデルはコンクリートで 8 節点ブロック要素を使用し、圧縮側構成則は Drucker-Prager の条件、引張側には最大主応力基準を用い、ひび割れは固定多方向モデルを使用している。鉄筋には埋め込み鉄筋要素を用い、コンクリートとは完全付着としている。せん断伝達係数は Rots モデルを用いた。

3. 実験および解析結果

図-4 に 2δ_y 時での供試体のひび割れ状況図を示す。杭体では斜線部分に示すように押し込み杭（B杭）の圧縮縁でコンクリートの圧壊、剥落が発生した。フーチングでは太線で示すように引抜き杭（A杭）の結合部で 1δ_y 時に発生したひび割れが側面、さらに上面へと進展したことから、水平押し抜きせん断のひび割れが確認された。

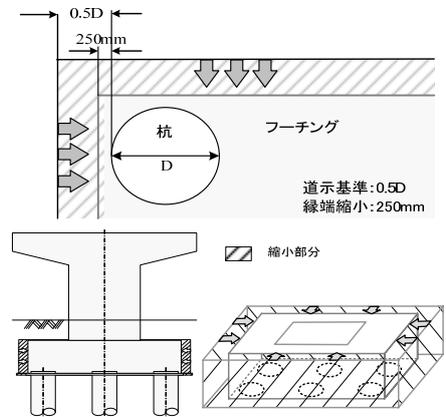


図-1 縁端距離の縮小

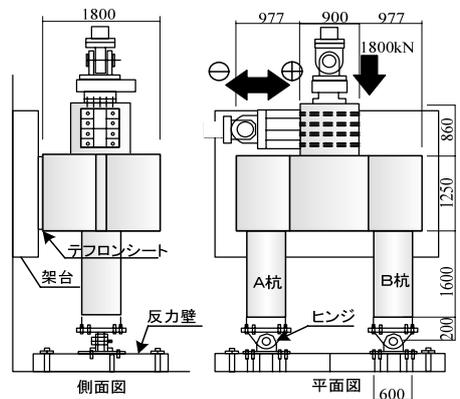


図-2 供試体载荷状況

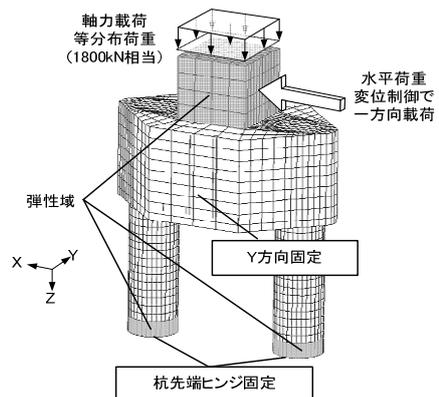


図-3 解析モデル

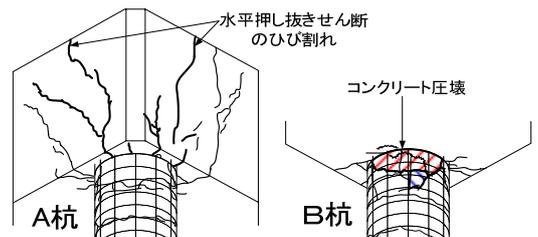


図-4 ひび割れ状況図

キーワード 場所打ち杭, 押し抜きせん断, FEM解析, 杭縁端距離

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 建設社会工学科 TEL 093-884-3123

図-5 に実験と解析の荷重-変位関係を示す。実験結果には正方向荷重の包絡線を用いている。杭主鉄筋降伏時の実験結果 (図中□) は変位 21mm, 荷重 592kN となり, 解析結果 (図中○) は変位 13mm, 荷重 585kN となり概ね一致した。しかし, 主鉄筋降伏 ($1\delta_y$) 以降, 実験では $1.6\delta_y$ 時に押し込み杭の圧縮縁コンクリートの表面が圧壊したため, 荷重のピークを迎え, その後 550kN で一定になった。解析のコンクリートの応力-ひずみモデルでは, 最大応力以降も応力一定としているため, この圧壊現象を再現できず $1\delta_y$ 以降の荷重傾向に差異が生じたと考えられる。

杭とフーチングの損傷状況について, 杭に作用する軸力及び水平力に着目し検討を行った。図-6 に杭に作用する軸力を示す。水平押し抜きせん断が懸念される A 杭において, 軸力は実験と解析で概ね一致しており, 同様に評価できると考えられる。 $1\delta_y$ 以降圧縮軸力が一定となったのは, 杭主鉄筋が降伏したため, 水平荷重が増加せず, 変位が進展したためであると考えられる。実験は高軸力下で行われており, 水平押し抜きせん断が懸念される A 杭では 20mm 以降引抜き軸力が作用するようになる。

図-7 に杭に作用する水平力を示す。引抜き杭である A 杭では, 実験, 解析とも $1\delta_y$ 時では 200kN, $2\delta_y$ 時で 300kN 程度の水平力が作用している。また, B 杭において, $1\delta_y$ 時で水平力は実験 363kN, 解析 487kN となり, $2\delta_y$ 時では実験 373kN, 解析 545kN と実験と解析で大きな差異が生じている。これは実験における圧壊を解析では再現できず, その分, 水平作用力が解析の B 杭で大きくなったためと考えられる。また, A 杭と B 杭で水平力に差が生じるのは, 実験結果, 解析結果双方で A 杭に引張軸力, B 杭に圧縮軸力が作用しており, 各杭の剛性が異なるためと考えられる。

図-8 に実験時のフーチングに作用する力の模式図を示す。ここでは変位 0mm, 21mm($1\delta_y$), 41mm($2\delta_y$)の引抜き杭での水平力および軸力を示している。変位 0mm の初期状態では 3.2N/mm^2 の押し込み軸力のみが作用している。変位 21mm 時には軸力は引抜き軸力 0.1N/mm^2 となり, このときの水平力は 223kN であった。変位 41mm 時は 1N/mm^2 程度の引抜き軸力となり, 水平力は 317kN であった。よって押し抜きせん断破壊が懸念される引抜き側杭では引張軸力は 1N/mm^2 程度あることから, 作用水平力が耐力を支配すると思われる。

4. まとめ

フーチング縁端部の終局時の荷重状態を検討した結果, 以下の知見が得られた。

- (1) 実験結果より押し込み杭の圧縮縁でコンクリート圧壊, フーチングで水平押し抜きせん断ひび割れが確認された。
- (2) 押し抜きせん断が懸念される引抜き杭では $2\delta_y$ 時で引抜き軸力が 1N/mm^2 程度作用し, 水平力は 317kN となった。
- (3) 今回の杭基礎構造では, 縁端部押し抜きせん断照査において杭の軸応力は小さいため作用水平力が破壊を支配すると思われる。

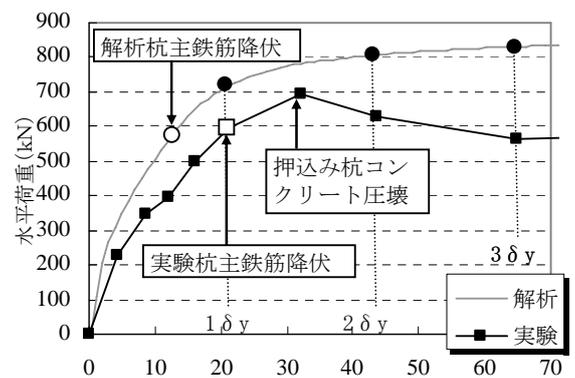


図-5 荷重変位関係

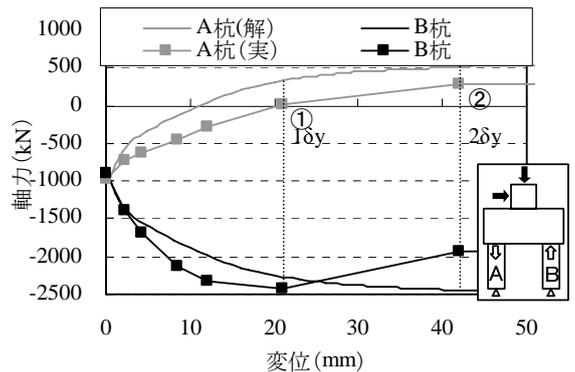


図-6 杭に作用する軸力

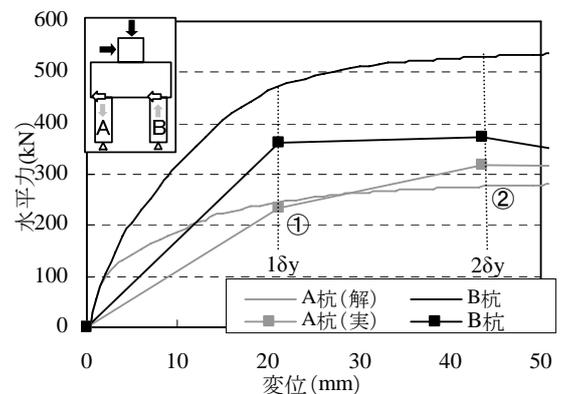


図-7 杭に作用する水平力

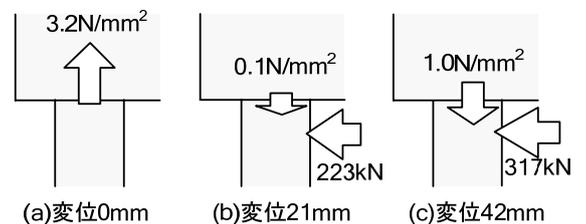


図-8 フーチングに作用する力