

FEM 解析を用いた場所打ち杭の正負交番載荷実験の評価

九州工業大学 学生会員 瀬良 洋夢
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、縁端距離を縮小が行われる場合がある。図-1 に示す様に、一般的な道路橋において縁端距離を道路協示方書の規定値（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が実施した実験を基に、フーチング縁端部における水平押し抜きせん断破壊について検討するとともに、FEM 解析による数値シミュレーションを実施した。

2. 実験概要及び実験結果

図-2 に実験供試体を示す。縁端距離は道路橋示方書規定で 300mm となるところを 75mm に縮小している。供試体ではコンクリート圧縮強度は杭体で 42.0N/mm^2 、フーチングで 23.7N/mm^2 であり、杭よりもフーチングの破壊を先行させる狙いから鉄筋量は設計において杭体では多めの部類、フーチングでは少なめの部類になるよう設定している。固定条件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架台とフーチングの間にテフロンシートを入れ摩擦を低減している。載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載荷を行っている。図-3 に供試体の最終ひび割れ状況図を示す。杭体では押し込み杭の圧縮縁でコンクリートの圧壊、剥落が確認されることから杭の曲げ圧縮の発生が考えられる。フーチングでは杭結合部から側面、上面へとひび割れが一周する形となり、隅各部でかぶりコンクリートの剥落が見られ水平押し抜きせん断の傾向が見られる。

3. 解析概要及び解析結果

図-4 に解析モデルを示す。モデル形状、配筋は実験と同様としている。拘束条件は杭先端の 1 点を全方向固定、フーチングの一側面を Y 方向固定としている。載荷条件は橋脚部に鉛直方向 1800kN 相当の等分布荷重を載荷した状態で、水平荷重を変位制御の一方向載荷としている。材料モデルはコンクリートを 8 節点ブロック要素とし、ひび割れは固定多方向モデルを使用し、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た。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。鉄筋の応力ひずみ関係は降伏後 1/100 弾性係数とする bi-linear モデルとした。せん断伝達係数は、各荷重ステップの最大主ひずみに直交する方向のせん断剛性係数をせん断伝達係数 β に乗じることにより低減させている。また、

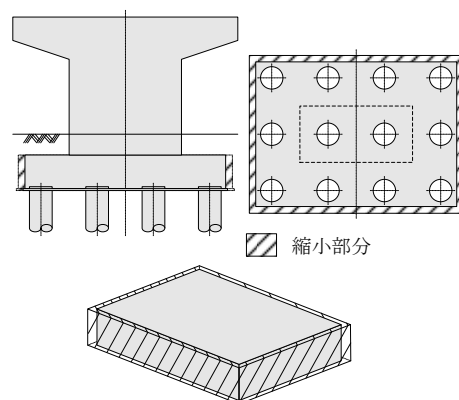


図-1 縁端距離の縮小

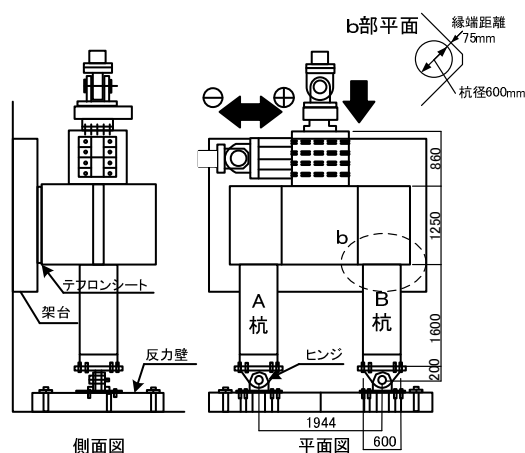


図-2 供試体載荷状況

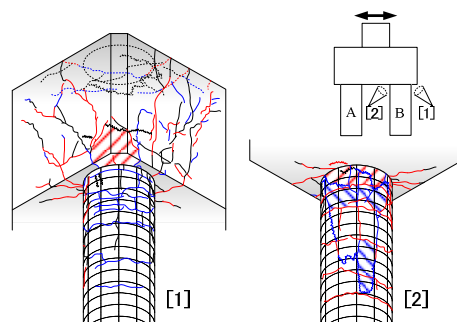


図-3 最終ひび割れ状況図[B 杭]

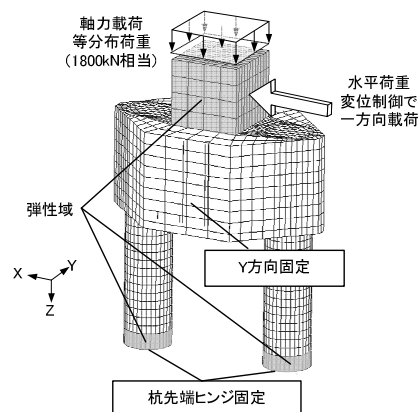


図-4 解析モデル

各材料定数は供試体と同様としている．なお非線形解析の収束方法は線形剛性法を用い，ひずみエネルギー基準で判定誤差 0.1% とした．

図-5 に荷重変位関係を示す．降伏変位は実験の 21mm に対して解析では 13mm と小さくなった．降伏後，実験は $1.6\delta_y$ で最大荷重 692kN を迎えた後，550kN 程度で一定となり，解析では荷重が増加し続けた．

図-6 に杭中央断面における最小主ひずみコンター図を示す．押し込み側となる B 杭では，曲げ圧縮を受ける側の基部から 400mm の範囲で -2000μ ，200mm の範囲では -6000μ を超えるひずみが確認され，この部分にコンクリートの圧壊が発生すると考えられる．よって，実験での押し込み側杭の曲げ圧縮破壊を再現できていると考えられる．

4. 水平押し抜きせん断に関する検討

縁端距離を縮小することにより，フーチングの水平押し抜きせん断が懸念される．そこで式 (1) を用いてせん断耐力を照査した．

$$P_h = \tau_c A_c + nA_s \tau_{xy} \quad (1)$$

抵抗面積 A_c は首都高速道路が行った実験の平均的なひび割れ破壊面より平面方向では中心線より 45° ，鉛直方向では 20° の抵抗面とした．対象構造の抵抗面積は 779342mm^2 であり， τ_c を 0.34 N/mm^2 とするとコンクリートの抵抗分 $\tau_c A_c$ は 265kN ，鉄筋の抵抗分 $nA_s \tau_{xy}$ は 245kN ，耐力 P_h は 510kN となった．図-5 の荷重変位関係より，実験の最大荷重は 692kN であり，片方の杭に半分の水平力が作用したとすると 346kN であり，照査式の耐力までは至っていないと考えられる．

図-7 に解析 $5\delta_y$ のフーチング内部の最小主ひずみ分布を示す．図では各断面で $-300\sim-1500\mu$ のひずみが発生した範囲を並べて示している．解析において図中の斜線部分のように形成される面積を算出したところ 482750mm^2 となり，照査式の抵抗面積の 779342mm^2 と比較すると 62% と小さくなった．また，ひずみ分布は想定破壊面に囲まれる部分の形状とほぼ同形状であるがスケールは 2 割程度小さく，コンクリート圧壊レベルのひずみは発生していない．よって解析では水平押し抜きせん断破壊の発生前の傾向は追えていると考えられる．図-8 に引抜き杭側のフーチング下面鉄筋ひずみを示す．計測位置は図中の杭中央を通る断面とした．解析では断面両端のひずみが進展し， $5\delta_y$ 時では降伏しているが杭直上でのひずみの発生量は少ない．実験では全体的にひずみが進展しているが $5\delta_y$ 時に降伏したものは半数であった．実験，解析両方でフーチング下面鉄筋ひずみは変位増加とともに進展し，水平力に抵抗していると言えるが鉄筋は半数以上が降伏せず，押し抜きせん断に対する抵抗分には余裕があると考えられる．

5. まとめ

- (1) 解析でコンクリート圧壊レベルのひずみが杭基部で発生したことから実験の破壊形態である杭の曲げ圧縮破壊を解析で再現できた．
- (2) 水平押し抜きせん断を発生しやすくするため縁端距離を 75mm に縮小した隅各部を対象とし，杭体を高強度にしたが解析，実験共に水平押し抜き破壊はおこらなかった．よって特殊な構造物を除いて縁端距離を 25cm に縮小しても水平押し抜きせん断となる可能性は低く，本実験より安全側になる構造物は多いと推定される．

【解析】杭主鉄筋降伏 【実験】杭主鉄筋降伏

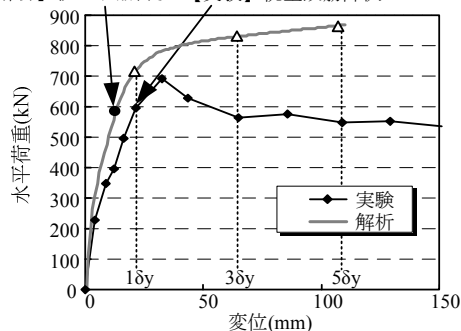


図-5 荷重変位関係

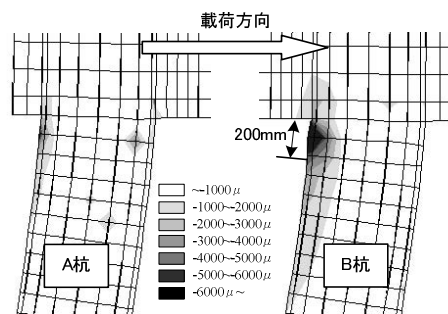


図-6 杭断面最小主ひずみ分布

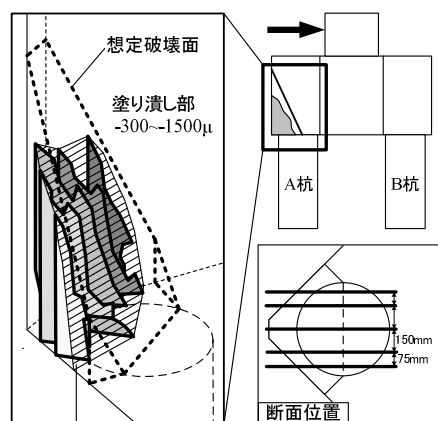


図-7 フーチング内最小主ひずみ

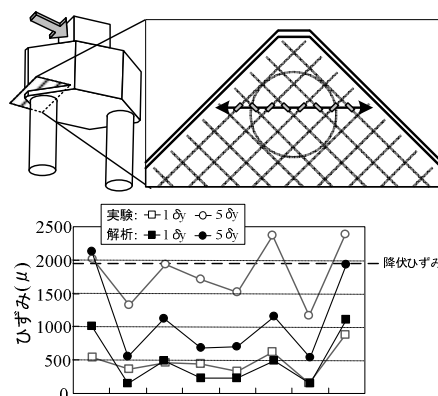


図-8 フーチング鉄筋ひずみ分布