

## 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 ○木下 和香

九州工業大学

正会員 幸左 賢二

大日本コンサルタント(株)

正会員 清水 英樹

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、縁端距離を縮小する場合がある。図-1 に示す様に、一般的な橋梁において縁端距離を道路橋示方書の規定値（杭径の 0.5 倍）から首都高基準（25cm）へ縮小させることができれば、1 フーチング当たり 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、フーチング縁端部における水平押し抜きせん断破壊について検討すると共に、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 に供試体載荷状況を示す。本実験では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。本実験ではコンクリートの実強度は杭体が  $42.0\text{N/mm}^2$ 、フーチングが  $23.7\text{N/mm}^2$  であった。杭先端の固定条件はヒンジ固定とし、供試体を横にした状態で載荷している。載荷は橋脚部に鉛直方向の軸力 1800kN をか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 に供試体の最終破壊状況図を示す。B 杭側で、杭が圧縮縁でコンクリートの圧壊、剥落に伴い、主鉄筋の座屈、破断が発生した。フーチングでは杭結合部で発生したひび割れが側面、上面へと進展しており、隅角部でかぶりコンクリートの剥落が見られた。

## 3. 解析概要及び解析結果

図-4 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、鉛直方向に 1800kN 相当の等分布荷重を載荷したうえで、水平方向強制変位の一方向載荷としている。以下の解析では B 杭側で杭の破壊形態、A 杭側でフーチングの水平押し抜きせん断に注目している。収束計算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%としている。コンクリートは 8 節点ブロック要素、ひび割れは固定多方向モデル、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。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  $\beta$  を乗じることにより低減させている。鉄筋は、埋め込み鉄筋要素を用い、コンクリートと

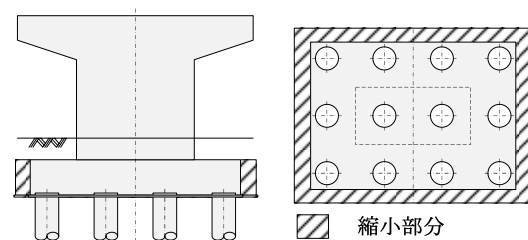


図-1 縁端距離の縮小

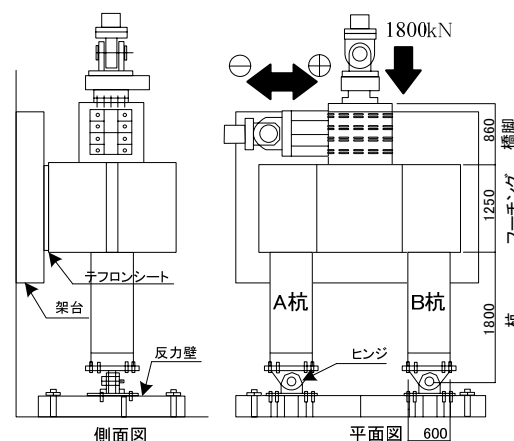


図-2 供試体載荷状況

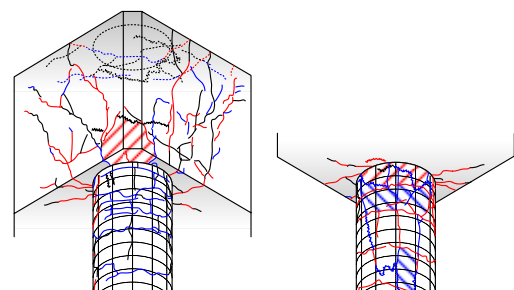


図-3 最終破壊状況図(10δy)

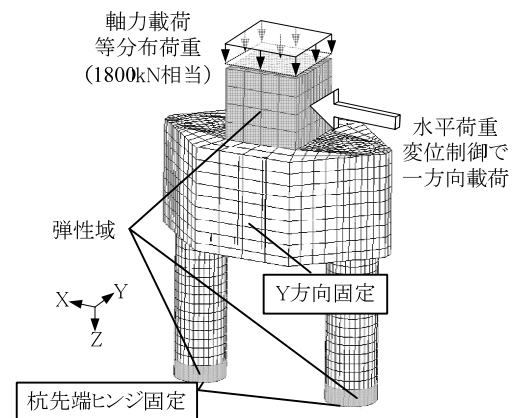


図-4 解析モデル

キーワード フーチング、場所打ち杭、縁端距離、水平押し抜きせん断耐力

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

は完全付着、応力ひずみ関係は鉄筋降伏後 1/100 弾性係数とする bi-linear モデルとした。また、各材料定数は実験と同様である。

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載荷の包絡線を用いている。図より、解析の降伏変位は 13mm と実験の 21mm に比べて小さく、降伏荷重は解析で 585kN、実験で 592kN と大きな差は見られなかった。解析は降伏後も荷重が増加し続ける結果となり、実験は 2δy 以降 550kN 程度で一定となった。

解析結果として図-6 に B 杭の杭中央断面の軸方向ひずみ分布を示す。ひずみは杭基部において、各要素の 8 つの積分点の平均値を用いた。曲げ圧縮を受ける側から 27mm で最大 -11600μ のひずみを確認した。終局ひずみを超えた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。したがって解析結果からも杭の曲げ圧縮破壊が主要な破壊形態であると考えられる。

#### 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。

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

抵抗面は図-7 に示すように平面方向では中心より 45°、鉛直方向では 20° とした。抵抗面積  $A_c$  は 779342mm<sup>2</sup> で、コンクリートの平均せん断応力度  $\tau_c$  をフーチングコンクリート強度 23.77 N/mm<sup>2</sup> より 0.34 N/mm<sup>2</sup> 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  $n A_s \tau_{xy}$  は 245kN となり、せん断耐力  $P_h$  は 510kN となった。

また、同図に解析 1δy, 5δy における A 杭側フーチング内部の圧縮ひずみ分布を示す。ひずみの発生範囲の境界をコンクリートの抵抗面とすると、中央断面における境界線は、1δy 時は 1109mm, 5δy 時は 1394mm となった。よって、圧縮ひずみの範囲、つまりコンクリート抵抗面は荷重増加に伴い大きくなると考えられる。しかし、発生ひずみが -200~-1500μ 程度なのでひび割れは発生するが、コンクリートの圧壊には達しないと考えられる。

図-8 に解析、実験双方の水平押し抜き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。下面鉄筋には D22 を使用しており、降伏ひずみは 1963μ である。解析では両端のひずみが進展しており、5δy 時に両端の鉄筋のみ降伏した。実験では全体的にひずみが進展しており、5δy 時に半数の鉄筋が降伏した。したがって実験、解析双方でフーチング下面鉄筋ひずみも変位増加とともにひずみが進展し、水平力に抵抗していると言える。

#### 5. まとめ

- (1) 最大荷重時には押し込み杭基部の内側でコンクリートの圧壊が確認され、実験、解析双方で主要な破壊となったと考えられる。
- (2) 今回の実験、解析双方でコンクリートのひび割れ、鉄筋の降伏により水平押し抜きせん断タイプの損傷を確認したが、杭の圧壊が先行したため、水平押し抜きせん断の終局には至らなかった。

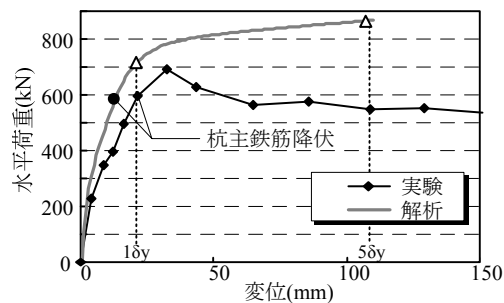


図-5 荷重-変位関係

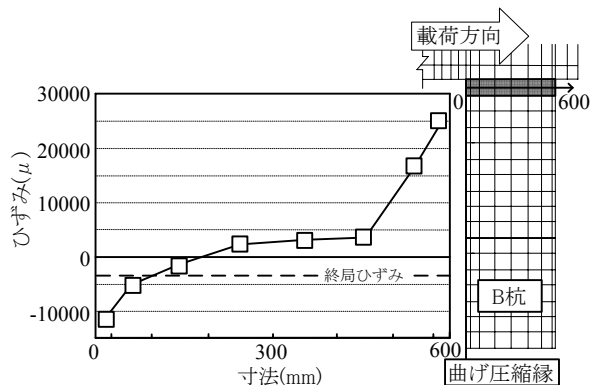


図-6 軸方向ひずみ分布

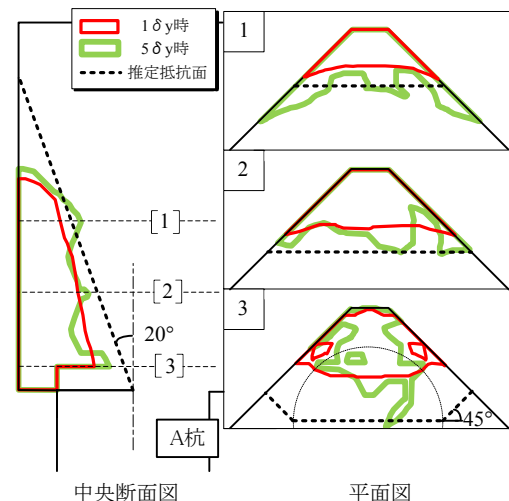


図-7 ひずみの発生範囲(-200~-1500μ)

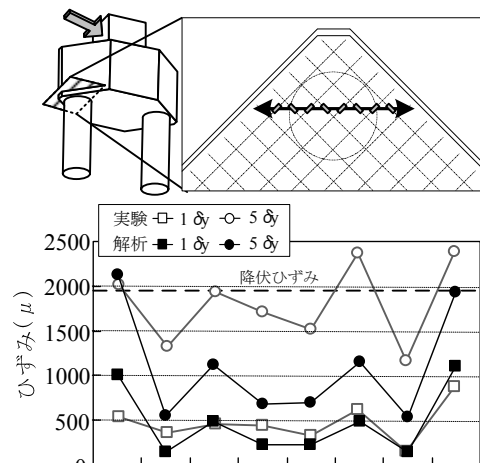


図-8 フーチング鉄筋ひずみ分布