

組杭を有する縁端部を縮小したフーチング損傷状況の評価

九州工業大学院  
独立行政法人土木研究所

学生会員 ○木下 和香  
正会員 白戸 真大

九州工業大学  
大日本コンサルタント(株)

正会員 幸左 賢二  
正会員 清水 英樹

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。縁端距離を縮小した場合、図-1 (a) に示すように、レベル2地震時のフーチング縁端部では杭からの作用力により、水平方向の押し抜きせん断破壊が懸念されている。この水平押し抜きせん断破壊は、杭からの水平力により図-1 (b) ~ (d) に示すような破壊形式が推測される。しかし、フーチング部損傷状況に関する研究が少なく、レベル2地震時において縁端距離を縮小した場合のフーチング結合部の設計方法が確立していない。そこで、本研究では土木研究所の行ったフーチング縁端部を縮小した組杭の正負交番載荷実験を基に、FEM 解析を実施し、フーチング縁端部の損傷状況を検討した。また、今回の実験では杭の圧壊が発生しており、フーチング部の損傷が終局に至っていない。したがって、フーチング部損傷が危険側となるように杭の圧壊の有無をパラメータとした解析を実施した。

2. 実験概要及び解析概要

図-2 に供試体載荷状況を示す。供試体は実際の道路橋橋脚場所打ち杭基礎 (2x2 本群杭) を模擬したものである。杭先端をヒンジ固定とし、実験は橋脚部に鉛直軸力 1800kN を作用させ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。なお、本供試体のコンクリート強度は杭体で 42.0N/mm<sup>2</sup>、フーチングで 23.7N/mm<sup>2</sup>であった。FEM 解析では、モデル形状、配筋は実験と同様とし、拘束条件は杭先端を全方向固定、フーチングの一面を一方固定とした。載荷条件は橋脚部に鉛直方向に 1800kN の等分布荷重を載荷した上で、水平方向に変位制御の一方載荷を行った。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、ひび割れは固定多方向モデルとした。鉄筋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。なお、圧壊有ケース (Case1) では、中村氏の座屈モデルを用い、圧壊無ケース (Case2) では、コンクリートの圧壊、鉄筋の座屈による応力低下は考慮していない。

3. 実験および解析結果

図-3 に実験と解析の載荷位置における荷重-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。杭主鉄筋降伏時の実験結果は変位 21mm、荷重 592kN、Case1 は変位 19mm、荷重 611kN、Case2 は変位 19mm、荷

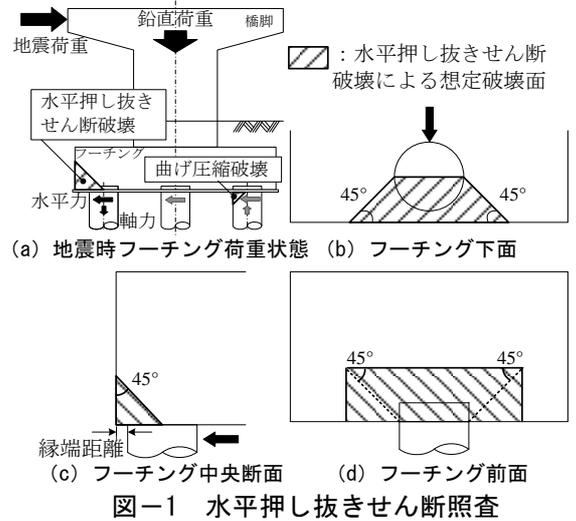


図-1 水平押し抜きせん断照査

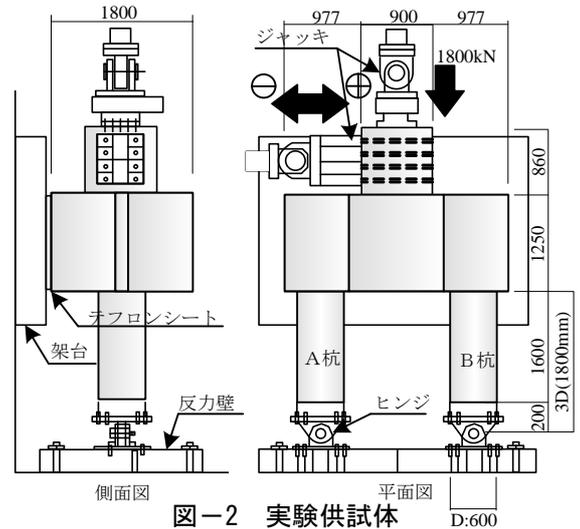


図-2 実験供試体

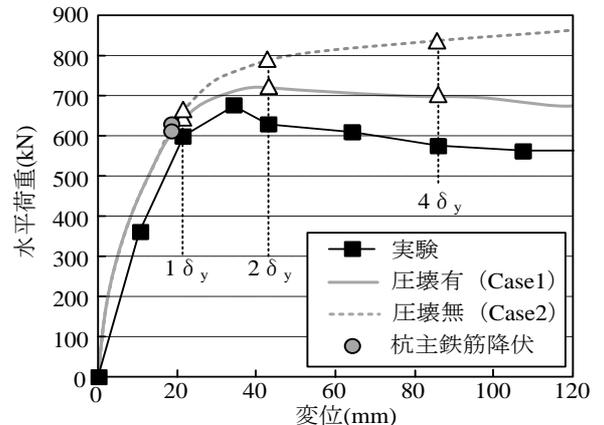


図-3 荷重-変位関係

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

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

重 628kN となり概ね一致した. 実験では杭主鉄筋降伏後も変位が進展し, 1.6 $\delta_y$  時では B 杭の圧縮縁コンクリートの表面が圧壊したため, 荷重はピークを迎え, 以降 550kN 程度で一定になった. また, Case1 では 1.8 $\delta_y$  時に荷重ピークを迎え, 変位の進展とともに荷重が微減し, 実験とほぼ同様の傾向となった. 一方 Case2 では, 変位の進展とともに荷重が増加しており, 異なる傾向を示した.

図-4 に 3 $\delta_y$  以降の正載荷時に発生した幅が大きいひび割れ, フーチング下面における初期ひび割れ発生時から 10 $\delta_y$  までの鉄筋ひずみ増分を示す. 図に示すように, 想定破壊面近傍で幅が大きいひび割れが発生しており, 水平押し抜きせん断による破壊面形成途中であると考えられる. また, フーチング下面鉄筋では, 過半数の鉄筋が降伏ひずみ 1927 $\mu$  を超え, 側面鉄筋は想定破壊面近傍で最大 1019 $\mu$  のひずみが発生した. よって, フーチングでは, 水平押し抜きせん断による損傷を確認した.

図-5 に想定破壊面と Case1 のせん断ひずみ分布, フーチング下面鉄筋ひずみ分布を示す. 図に示すように, 想定破壊面近傍でせん断ひずみが進展している. また, フーチング下面鉄筋では, 平均ひずみが 2 $\delta_y$  で 602 $\mu$ , 4 $\delta_y$  で 902 $\mu$  となり, 鉄筋ひずみの進展が確認された. 以上の結果より, 実験結果と同様に, 水平押し抜きせん断による損傷が発生したと考えられる.

4. フーチング破壊形式に杭の圧壊が及ぼす影響の検討

図-6 に A 杭側フーチングにおける実験, 解析の杭からの作用水平力と水平押し抜きせん断抵抗力を示す. 作用力は杭先端ヒンジ部の水平反力である. 鉄筋抵抗力はフーチング下面鉄筋ひずみより算出した. 図からわかるように, 杭の圧壊の有無により, 载荷位置における水平力 (=A 杭水平力+B 杭水平力) が異なる場合でも, 水平押し抜きせん断破壊が発生する A 杭側の水平力は Case1, 2 で一致する結果となった. また, 抵抗力に着目すると, 双方, ひび割れ発生後, 変位の進展とともに, フーチング下面鉄筋ひずみが進展することにより, 抵抗力は増加した.

Case1, 2 の水平押し抜きせん断の損傷エリアとして, せん断ひずみ分布を図-7 に示す. 図からわかるように, Case1 と 2 の損傷エリアはほぼ一致しており, ともに想定破壊面よりやや鉛直方向に破壊面が形成すると推測される.

以上の結果より, 杭の圧壊に因らず, 杭からの水平作用力の値は一致しており, 変位の増加とともに, フーチング部では同程度の水平押し抜きせん断の損傷が進展すると考えられる.

5. まとめ

- (1) 実験により, フーチング縁端距離を縮小すると, 想定した破壊形状の水平押し抜きせん断モードが生じることを確認した.
- (2) 解析結果より, 実験と同様に, フーチング部では想定破壊面近傍でコンクリートの損傷, 鉄筋抵抗力の増加を確認したことから, 杭の圧壊の発生の有無に因らず, 水平押し抜きせん断損傷が進展することが明らかとなった.

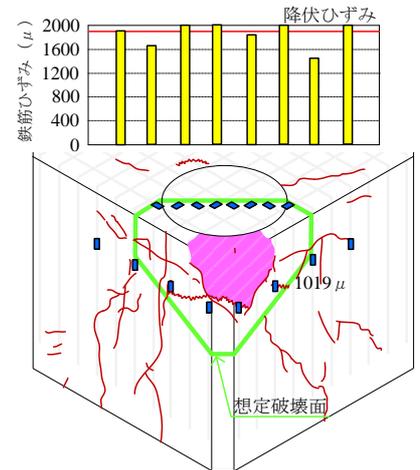


図-4 A 杭側実験最終損傷状況

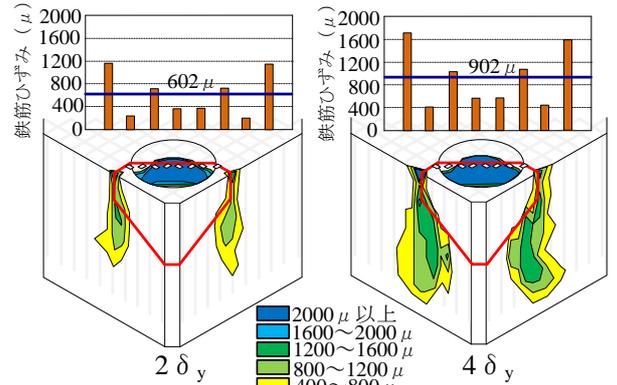


図-5 せん断ひずみ進展状況

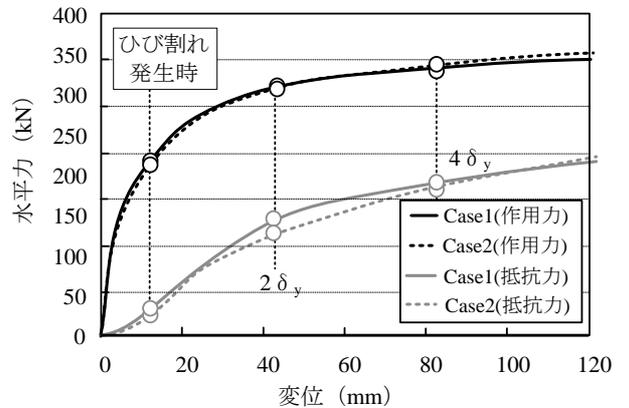


図-6 作用力と鉄筋抵抗力

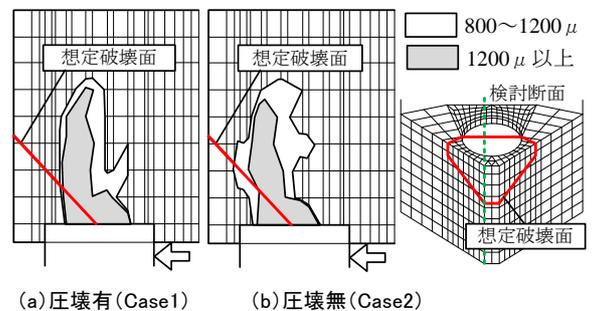


図-7 せん断ひずみ分布の比較 (4 $\delta_y$ )