

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 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。レベル2地震時のフーチング縁端部では図-1(a)に示すように、杭からの水平力、軸力、曲げモーメントが作用しており、縁端距離を縮小した場合、水平方向の押し抜きせん断破壊が懸念される。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。そこで、本研究では土木研究所の行った実験を基に、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。

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の場所打ち杭基礎（2×2 本群杭）の橋脚から杭体まで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方向の軸力 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^2 、フーチングで 23.7N/mm^2 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、フーチングの一侧面を Y 方向固定とした。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上で、水平載荷を変位制御の一方向のみとしている。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、ひび割れは固定多方向モデルとした。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。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-3 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。杭主鉄筋降伏時の実験結果は変位 21mm、荷重 592kN となり、解析結果は変位 19mm、荷重 611kN 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その後 $2\delta_y$ までに 50kN 程度低下し、以降 550kN 程度で一定になった。一方、解析では、 $1.8\delta_y$ 時に B 杭側圧縮縁コンクリートが圧壊レベルのひずみに達し、かつ圧縮鉄筋も座屈したため、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。以降、実験、解析が比較的一致している変位状態に着目し、実験の降伏変位を基準に解析と実験を比較する。

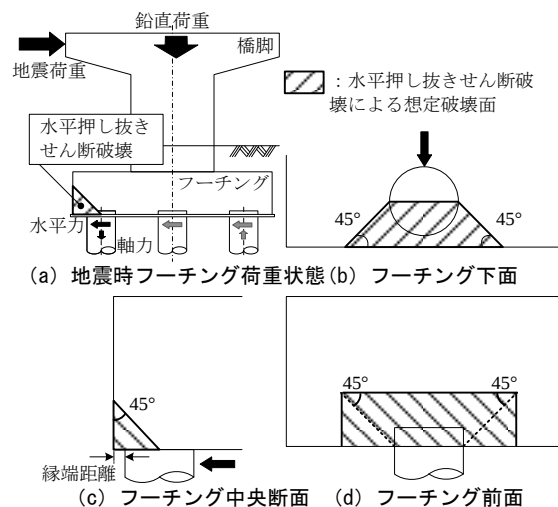


図-1 水平押し抜きせん断照査

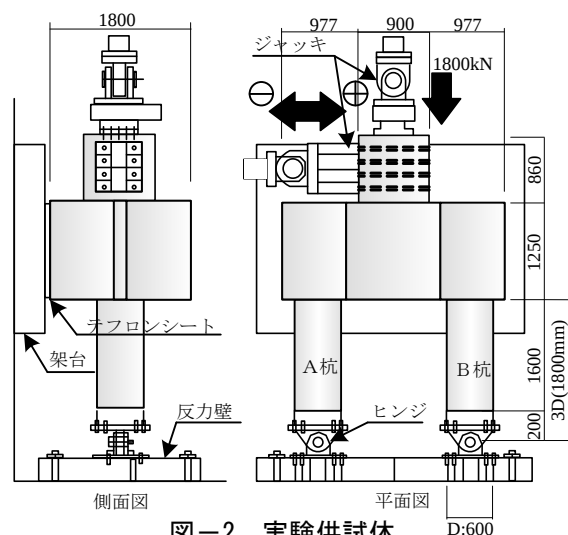


図-2 実験供試体

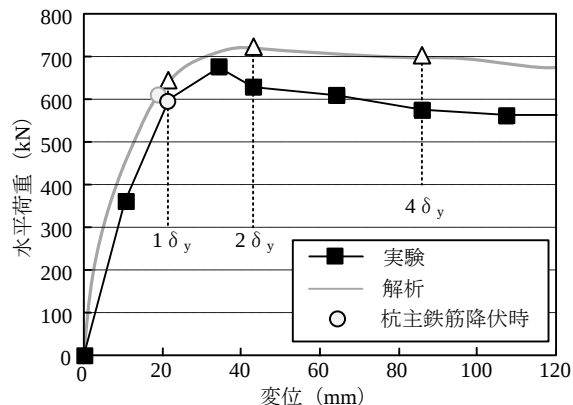


図-3 荷重－変位関係

図-4 に実験の A 杭側フーチングの損傷進展状況を示す。ひび割れは、 $2\delta_y$ までは杭後方に向かって進展しているが、 $3\sim 10\delta_y$ では隅角部近傍で進展した。また、図-4 (b) からわかるように、負荷荷に比べ外向きに水平力が作用する正載荷時に多数のひび割れが発生している。フーチング下面鉄筋は、 $2\sim 10\delta_y$ 間では均一にひずみが進展した。

図-5 に想定破壊面とひび割れ幅が大きい $3\delta_y$ 以降の正載荷時に発生したひび割れ、フーチング下面における初期ひび割れ発生直後から $10\delta_y$ 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、B-B'断面より想定破壊面内 A-A'断面のひずみが大きな値を示しており過半数の鉄筋が降伏ひずみ 1927μ を超えた。フーチング側面 (C-C'断面) では想定破壊面近傍で最大 1000μ を超えるひずみが発生した。以上の結果より、フーチングでは、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. 水平押し抜きせん断挙動の確認

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。水平押し抜きせん断抵抗力は、コンクリート抵抗力 (ひび割れ発生荷重) とフーチング下面鉄筋抵抗力の和と仮定した。実験、解析共に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。作用力と抵抗力を比較すると、実験、解析共に、 $2\delta_y$ までは作用力と抵抗力は一致しているが、抵抗力は $2\delta_y$ 以降も増加しており、やや差異が生じる傾向となった。 $2\delta_y$ 以降作用力に比べ抵抗力が大きいのは、変位の進展に伴うコンクリート抵抗力の低下を十分には評価できていないためであると考えられる。

ここで、 $2\delta_y$ 、 $4\delta_y$ の水平押し抜きせん断の損傷エリアを図-7 に示す。図-7 に示す損傷エリアは 1200μ 以上のせん断ひずみ発生範囲である。図に示すように A-A'、B-B'断面では損傷エリアは $2\sim 4\delta_y$ 間で鉛直方向に拡大している。また、損傷進展過程より、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、杭からの水平作用力の増加とともに、損傷面が形成されることを確認した。

5. まとめ

- (1) 実験結果より、想定破壊面周辺でひび割れ、鉄筋の進展を確認しており、想定した破壊形状と同様の水平押し抜きせん断損傷が発生したと考えられる。
- (2) 解析結果より、水平作用に対し、想定破壊面内下面鉄筋の抵抗力の増加とコンクリートせん断ひずみの進展を確認した。したがって、水平変位の増加とともに水平押し抜きせん断損傷が進展すると考えられる。

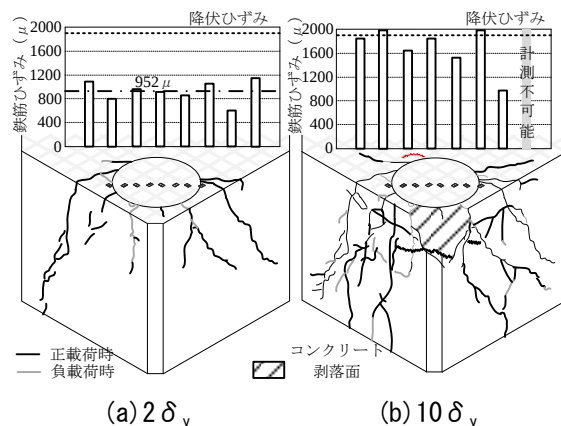


図-4 A 杭側フーチング損傷進展状況

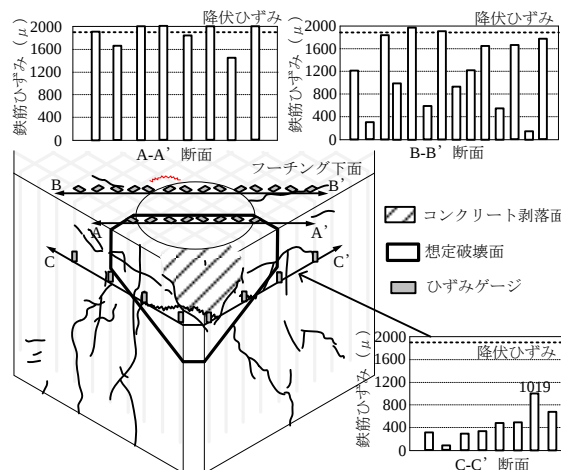


図-5 A 杭側実験最終損傷状況図

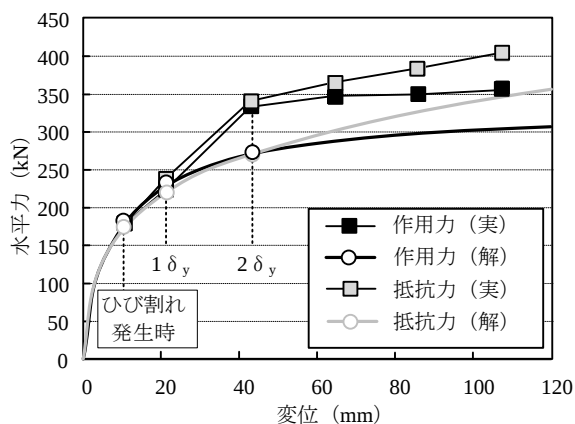


図-6 A 杭側水平力と抵抗力

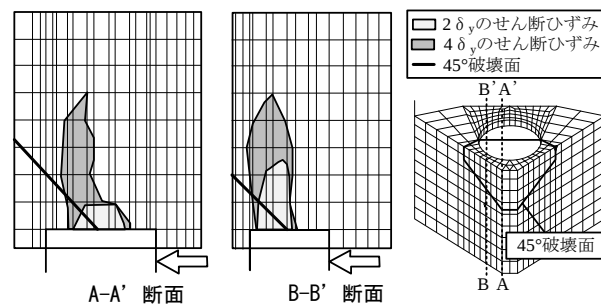


図-7 せん断ひずみ進展状況