

# フーチング縁端部水平押し抜きせん断の解析的検討

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 佐々木 達生

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

縁端距離を縮小した場合、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る。この破壊は、杭からの水平力により図-1 (b) ~ (d) に示すような破壊面となり破壊面内の鉄筋が全て降伏する。これに対し、土木研究所ではフーチング縁端部を縮小した組杭 (図-1 (a) に示すように、フーチング接合部に軸力、曲げモーメント、水平力が作用する状態) の正負交番荷重実験を実施した。その結果、フーチング部では水平押し抜きせん断損傷を確認したものの、杭の破壊が支配的となった。そこで、本研究では、土木研究所が行った実験を基に FEM 解析を実施し、杭に曲げ圧縮破壊が発生しない場合、水平押し抜きせん断破壊が発生するのか検討を行った。

## 2. 実験概要及び解析概要

図-2 に供試体荷重状況を示す。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荷重を行っている。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、フーチングの一側面を一方向固定とした。荷重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向荷重を行った。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 に実験と解析の荷重位置における荷重-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は変位 21mm、荷重 592kN、Case1 は変位 19mm、荷重 611kN、Case2 は変位 19mm、荷重 628kN となり概ね一致した。実験では 1.6 $\delta_y$  になると荷重はピークを迎え、B 杭の圧縮縁かぶりコンクリートが剥離したためその後荷重は低下し、4 $\delta_y$  には降伏荷重まで低下した。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

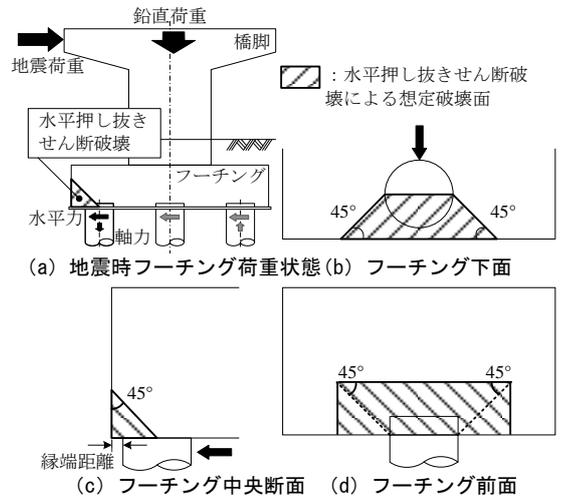


図-1 水平押し抜きせん断照査

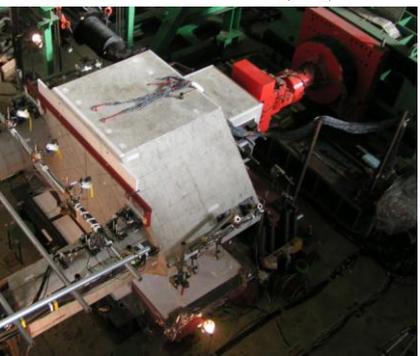
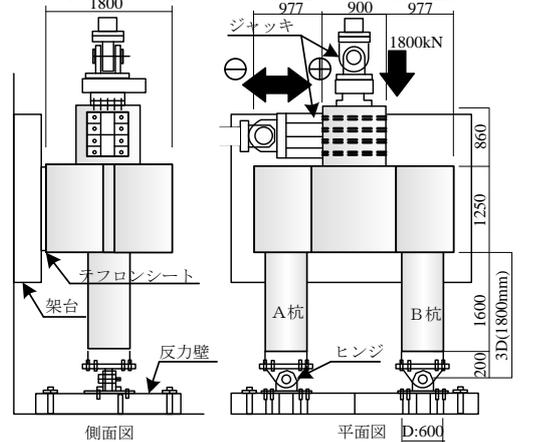


図-2 供試体荷重状況

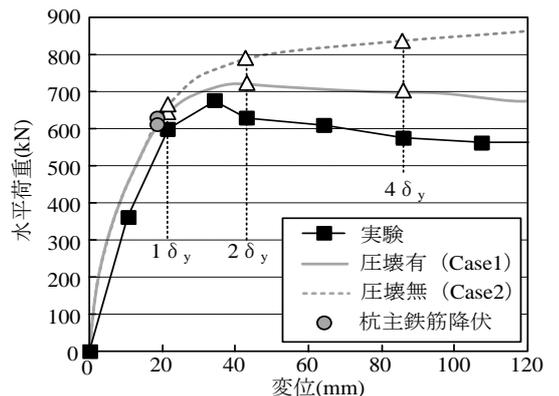


図-3 荷重-変位関係

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。

#### 4. 水平押し抜きせん断挙動の確認

A杭側フーチング損傷状況について検討する。図-4(i)にCase1, 2の主引張りひずみ進展状況、(ii)に4 $\delta_y$ 時の解析結果により推定したCase1, 2の抵抗面と45°破壊面を示す。図に示す抵抗面は2730 $\mu$ を超える主引張ひずみが発生した節点を連結し設定した。図-4(i)より、Case1, 2ともに、変位の進展に伴い、主引張ひずみが大きくなっており、Case1とCase2のひずみ発生範囲を比較すると、Case2の方がやや大きい、ほぼ同程度となった。また、図-4(ii)より、抵抗面はフーチング下面の杭側方からフーチング上面に向かって形成しているが、フーチング表面まで達しておらず、水平押し抜きせん断破壊には至っていないが、Case1, 2双方の推定抵抗面と45°破壊面はほぼ一致する。

図-5に抵抗面に跨る鉄筋のひずみ進展量を示す。図に示すひずみは、フーチング下面鉄筋6本の平均値である。図からわかるように、フーチング下面鉄筋(A-A断面)は、変位が進展するに伴い、Case1, 2ともにひずみ量が増加していることがわかる。

図-6に杭頭に作用する水平応力、軸応力を示す。初期状態では、Case1, 2ともに押し込み軸応力 3.2N/mm<sup>2</sup>のみが作用している(図(a))。1 $\delta_y$ の引抜き軸応力はCase1, 2でそれぞれ-1.3N/mm<sup>2</sup>, -1.7N/mm<sup>2</sup>、水平応力はCase1, 2ともに4.3N/mm<sup>2</sup>(図(b))となり、4 $\delta_y$ の引抜き軸応力はCase1, 2でそれぞれ-1.2N/mm<sup>2</sup>, -2.2N/mm<sup>2</sup>、水平応力はCase1, 2でそれぞれ4.7N/mm<sup>2</sup>, 4.6N/mm<sup>2</sup>(図(c))となり、引抜き軸応力はさらに差が生じた。

以上の結果より、水平応力はCase1, 2で同様の挙動を示したが、引抜き軸応力は、Case2では変位の進展に伴い、増加し続けており、Case1と異なる挙動を示した。したがって、Case2では杭体で引抜き軸力が大きくなるため、図-4(i)に示すようにフーチングと杭の接合部やフーチング内部の主引張りひずみが大きくなったと考えられる。また、変位が進展すると、Case2はA杭の軸引張損傷が発生すると考えられる。ただし、杭主鉄筋の応力低下を考慮していないため、杭の破壊には至らなかったと考えられる。

以上の結果より、Case1, 2ともに推定抵抗面は45°破壊面に類似しており、かつフーチング下面鉄筋が抵抗していることから、フーチング部では、従来の水平押し抜きせん断損傷が発生したと考えられるが、破壊に至らなかった。しかし、急激に引抜き軸力が増加しない場合、水平押し抜きせん断破壊が発生する可能性があるため、検討が必要である。

#### 5. まとめ

- (1) Case1では、実験と同様に、B杭で曲げ圧縮破壊、フーチング部で水平押し抜きせん断損傷が発生した。
- (2) Case2では、杭体で引抜き軸力が大きくなるため、杭体の損傷が支配的となり、フーチング縁端部では水平押し抜きせん断損傷を確認したが、終局には至らなかった。

