

杭とフーチングの縁端距離の縮小化に関する実験

(株) 荒谷建設コンサルタント 正会員 ○中村 祐二
 (独) 土木研究所 CAESAR 白戸 真大
 (独) 土木研究所 CAESAR 中谷 昌一

1. はじめに

杭とフーチング結合部の荷重状態は水平力、曲げモーメント、押し込み引抜き力が複雑に作用する。一方で、結合部の強度を評価する方法は必ずしも確立しておらず、構造細目的に諸元が決められている。そこで、フーチングへの杭の埋込み長を最小限とした 2 本組杭模型による正負交番の水平載荷実験を行い破壊形態を調べた。併せて、材料の高強度化および杭外周とフーチング縁端までの距離（以下縁端距離という）の縮小化についても検討した。

2. 実験方法

実験供試体の概要を図-1 に示す。供試体の諸元は、実際の道路橋橋脚の 2×2 列杭基礎に対して、5/12 スケールで模したものである。柱頭部に死荷重に相当する一定の鉛直力を載荷した上で、縁端部のせん断抵抗領域が最も小さくなるように、橋軸または橋軸直角方向から 45 度ずれた向きで柱頭部にて水平交番載荷を行っている。したがって、杭中心間隔は $2.75D$ (D は杭径) である。杭下端はヒンジで固定している。フーチングの鉄筋比について、既往の設計事例を収集し、平均的な鉄筋量になる $D22@125$ と設定した。杭とフーチングの結合方法は、道路橋示方書に示される杭頭結合 B 方法であり、杭の軸方向鉄筋を介した結合である。昨今の材料の高強度化が期待される一方、杭の軸方向鉄筋を高強度化した場合、定着部の引抜け破壊が懸念されることから、杭の軸方向鉄筋として SD490 を用いた模型での載荷試験を行った。鉄筋量は D25 を 10 本配置した。杭の軸方向鉄筋のフーチングへの定着長は、フーチング下側鉄筋位置から鉄筋径 ϕ の 10 倍の余裕長を与えた後、コンクリートとの付着から決まる定着長 L_0 を確保し、フーチング厚さを設定した。なお、コンクリートの付着から決まる定着長 L_0 の算出に用いる鉄筋の許容応力度は、鉄筋の公称降伏強度 490 N/mm^2 を 1.7 で除した値である 285 N/mm^2 とした。また、一般よりも強度の大きい鉄筋を杭の軸方向鉄筋に用いたことから、フーチングコンクリートの設計基準強度も一般的である 24 N/mm^2 ではなく、 30 N/mm^2 (試験時 29.7 N/mm^2) とした。杭体は 35 N/mm^2 (試験時 36.5 N/mm^2) とした。フーチングの縁端距離は、首都高速道路(株)および NEXCO で規定されている 250 mm を想定する。

水平交番載荷は、載荷において両杭ともに杭体の最外縁の軸方向鉄筋のひずみが材料強度試験により求めた降伏ひずみを超えている状態になった時の載荷位置変位を $1d_f (= 23.0 \text{ mm})$ として設定とした。柱頭部に与えた鉛直力に対する杭一本あたりの軸力は 600 kN である。道路橋の杭基礎の設計事例をいくつか調べたところ、標準的な軸応力度は RC 杭でコンクリート強度の 7%~10% であるが、本実験で与えた軸力は 8.5% でありほぼ一致している。正負交番載荷の繰返し回数はレベル 2 タイプ II (内陸直下型) の地震動を模擬した載荷パターンで実施した。

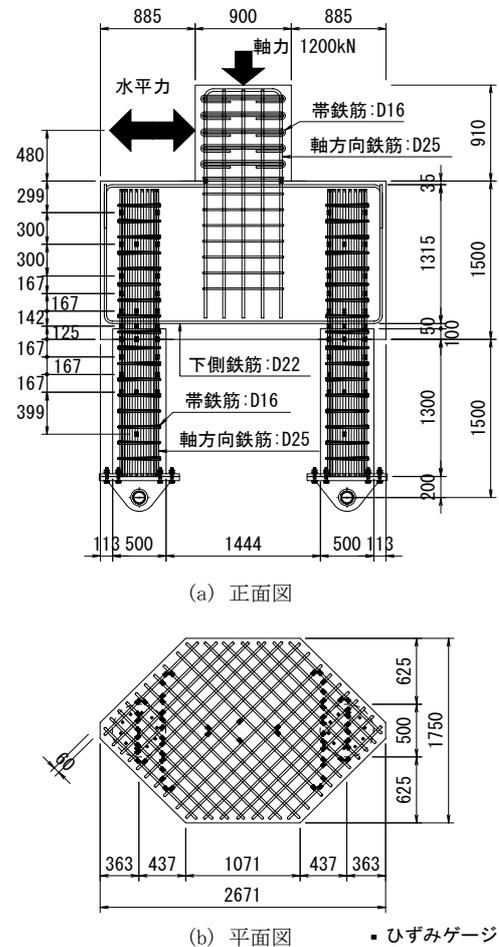


図 1 実験供試体

3. 実験結果

載荷位置における水平荷重 P_H と水平変位 d_H を図-2 に示す。載荷荷重は、 $1d_y$ にて押込み側の杭のかぶりコンクリート表面が圧壊し、杭体としての終局状態を迎えた後も増加を続け、 $2d_y$ で最大荷重に達した後、緩やかに荷重が低下しはじめ、 $5d_y$ 以降で $1d_y$ の降伏荷重を下回った。

杭体に着目すると、最大荷重に達する $2d_y$ においては圧縮縁のかぶりコンクリートが剥落し杭の軸方向鉄筋が露出した。これを境に、前述のように荷重低下がはじまった。その後、荷重ステップの進行に伴い圧壊部の損傷が拡大し、 $5d_y$ で杭の軸方向鉄筋が座屈、 $8d_y$ で杭の軸方向鉄筋が破断した。

フーチングのひび割れ状況を図-3 に示す。フーチングの損傷は、杭体が降伏するまでの荷重レベルである $0.75d_y$ で既にフーチング底面の縁端距離が短い部分にひび割れが発生し側面にまで進展していた(①)。 $1d_y$ においては、フーチング底面にて杭の内側からフーチング縁端側に向かって、杭の水平押抜きせん断によるものと考えられるひび割れが発生するとともにフーチング側面へひび割れも進展していた(②)。最大荷重に達する $2d_y$ においては、フーチング下面のひび割れの状態は $1d_y$ の時と比べて大差ないが、側面のひび割れはフーチング厚さの半分くらいにまで進展した(③)。その後、 $5d_y$ で縁端部のかぶりコンクリートが剥落し(④)フーチング下側鉄筋が露出した。しかし、フーチング下面隅角部のかぶりコンクリートが剥落した後も、フーチングの下側鉄筋に囲まれたコンクリートは健全であった。また、フーチング上面にはひび割れ等の損傷は見られなかった。

フーチング下面のひび割れが発生した $0.75d_y$ あたりから、杭の直上を通るフーチングの下側鉄筋のひずみの値が増加しはじめた。これは、コンクリートが水平押抜きせん断に抵抗しなくなり、フーチングの下側水平鉄筋が水平方向の押抜きせん断に抵抗しはじめたと考えられる。その後、ひずみの値は増加するものの最終ステップにおいても鉄筋は降伏しなかった。

フーチング下面側隅角部の破壊状況に着目すると、フーチングの破壊は従来考えられていた図-4 の①のようなせん断破壊ではなく、②のような杭の引抜けに伴うかぶりコンクリートの剥落であると考えられる。

なお、フーチング内での杭の軸方向鉄筋の付着切れの範囲は余裕長 10ϕ を超えなかった。

4. まとめ

杭頭結合方法 B で軸方向鉄筋に SD490 を用いた 2 本組杭の模型の正負交番水平載荷実験により以下のことが確認できた。

- ・ 本実験で得られた破壊形態は、フーチング下面側隅角部かぶりコンクリートの剥落と杭体自体の破壊であった。
- ・ 標準的なフーチングの下側鉄筋量であれば杭からの水平押抜きせん断に寄与し、縁端距離の縮小は可能と考えられる。

参考文献

1) 池内武文, 甘利憲一, 松村廣: 場所打ち杭とフーチングの縁端距離に関する実験土木学会年次学術講演会 Vol. 43, pp. 532-533, 1988. 2) 小笠原政文, 石塚喬康, 吉田靖: 場所打ち杭とフーチングの縁端距離に関する実験(その2), 土木学会年次学術講演会 Vol. 44, pp. 392-393, 1989. 3) 野々村佳哲, 白戸真大, 中谷昌一: 杭とフーチングの縁端距離の縮小化に関する実験, 日本道路会議, Vol.27, 2007.

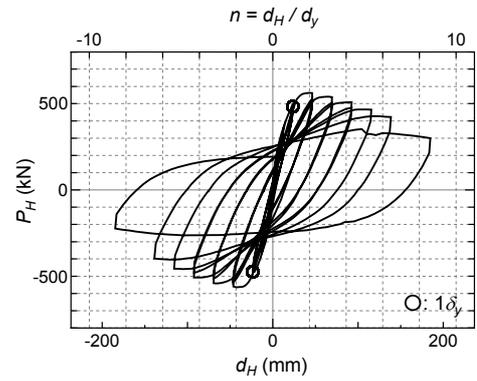


図-2 荷重-変位関係

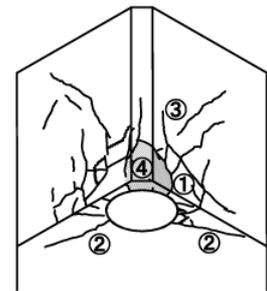


図-3 フーチングのひび割れ

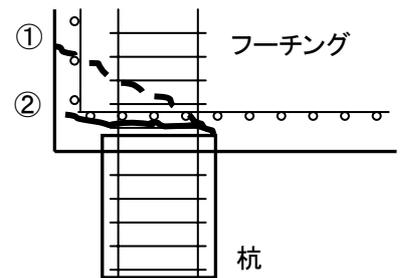


図-4 フーチング損傷状況