

# 場所打ち杭縁端部の水平押し抜きせん断耐力に関する検討

九州工業大学 学生会員 井上 敦雄  
九州工業大学 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、縁端距離を縮小させることが行われる場合がある。図-1に示す様に、一般的な橋梁において縁端距離を道示規定値（杭径の 0.5 倍）から首都高基準（25cm）へと縮小させることができれば、1 フーチングあたり 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、本研究では首都高速道路の行った多数の実験を基に、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し、コンクリートと鉄筋の各せん断負担力を考慮した水平押し抜きせん断耐力を評価した。

## 2. 実験概要及び実験結果

表-1 に実験供試体一覧を示す。水平押し抜きせん断耐力への影響が大きいと考えられる、杭径、縁端距離、フーチング下面鉄筋比をパラメータとし、供試体の縮尺は 1/4 である。H-5, 6 供試体は、コンクリートのせん断負担力を確認することを目的としフーチング内には全く鉄筋を配置していない無筋供試体である。また、H-9, 10 供試体は、杭をフーチングの隅角部に設置したケースであり、H-10 ケースでは水平力の載荷方向をフーチング鉄筋軸方向に対し 45°方向としている。なお、この実験ではフーチングと杭を上下逆にした状態で載荷を行っているため、フーチングの下面鉄筋とは、供試体上面の鉄筋に対応している。載荷方法は図-2 に示すように、反力壁と杭の間にジャッキをセットし、杭基部に水平力を与える。

図-3 に H-2 供試体の破壊形状図を示す。破壊面については、フーチング下面（供試体では上面）では杭中心付近から発生したひび割れがほぼ 45°方向に伸びた後フーチング端部に達することで三角形上に押し抜きせん断破壊が発生した。また、杭中央の断面図を見ると、ひび割れは杭中心よりやや後方から鉛直方向に対して約 30°方向に伸びた後、杭主鉄筋に沿って伸び、杭主鉄筋が途切れる付近から後方へ伸展し、フーチング上面（供試体では下面）に達する破面形状を示した。フーチング内に鉄筋の無いケース（H-5, 6）もほぼ同様の破壊形状であったが、鉄筋のあるケースに比べ大きな破壊面が見られ、ひび割れ発生とほぼ同時にフーチング前面までひび割れが伸展する脆性的な破壊であった。

図-4 に本実験の基準ケースである H-2 供試体の荷重と各鉄筋ひずみの関係を示す。なお、図中のひび割れ発生荷重とは目視により最初にひび割れが確認されたときの荷重である。水平力載荷に伴い、まず

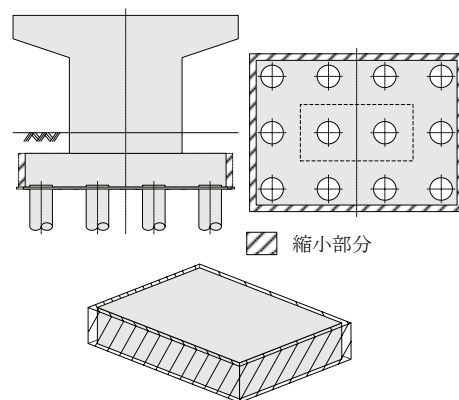


図-1 縁端距離の縮小

表-1 実験供試体一覧

| Case No. | 杭径 (mm) | 縁端距離 (mm) | フーチングの下面鉄筋 | フーチング厚 (mm) |
|----------|---------|-----------|------------|-------------|
| H-1      | 375     | 25 ○      | D13        | 1000        |
| H-2      | 375     | 62.5      | D13        | 1000        |
| H-3      | 375     | 62.5      | D16 ○      | 1000        |
| H-4      | 375     | 125 ○     | D13        | 1000        |
| H-5      | 375     | 62.5      | 無筋 ○       | 1000        |
| H-6      | 375     | 62.5      | 無筋 ○       | 1000        |
| H-7      | 300 ○   | 62.5      | D13        | 1000        |
| H-8      | 500 ○   | 62.5      | D13        | 1000        |
| H-9      | 375     | 62.5      | D13        | 1000        |
| H-10     | 375     | 62.5      | D13        | 1000        |
| H-11     | 375     | 62.5      | D13        | 1000        |

※○: H-2 を基準とした場合の着目パラメータ

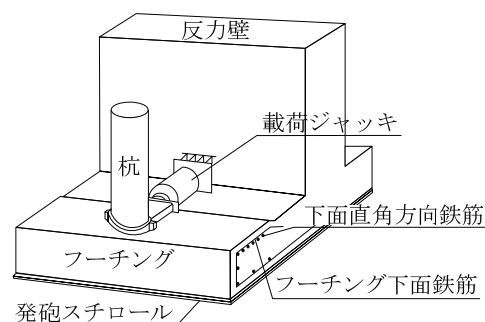


図-2 供試体載荷状況

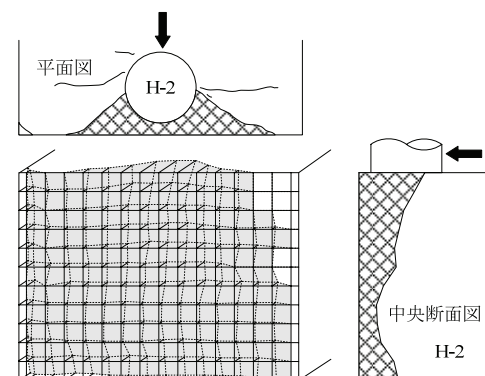


図-3 破壊状況図 (H-2)

杭主鉄筋の引張ひずみが大きくなるが、ひび割れ発生荷重まではフーチング内の鉄筋にはほとんどひずみが生じていない。荷重がひび割れ発生荷重に達した付近から下面鉄筋の引張ひずみが顕著となる。そして、ほぼ下面鉄筋が降伏に達する荷重段階になって初めて他の鉄筋に引張ひずみが生じ、荷重の増加に伴い、ひずみが急激に増加し降伏に至るという傾向がみられる。このような傾向は縁端距離、杭径、下面鉄筋量が異なる他のケースでも同様であった。

以上より、杭に水平力を作用させた場合、フーチング内の鉄筋の抵抗機構としては、水平力の作用方向に配置された鉄筋（ここでは下面鉄筋）が水平力を大きく負担すると考えられる。またフーチング内の鉄筋に引張ひずみが発生するひび割れ発生荷重は、無筋のケース（H-5, 6）の最大荷重とほぼ同等であることから、水平押し抜きせん断に対する杭縁端部の抵抗メカニズムとしては、図-5 に示す様に、ひび割れ発生荷重付近まではほとんどコンクリートのみで抵抗するが、ひび割れ発生以降はコンクリートの抵抗が減り鉄筋が抵抗すると考えられる。

### 3. 杭縁端の水平耐力式と破壊面の評価

実験結果より縁端部の水平押し抜きせん断に対して、フーチングコンクリートと鉄筋両方が抵抗していると考えられることから、コンクリートと鉄筋の各負担せん断力を考慮し、式(1)を水平押し抜きせん断耐力評価式とする。

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

コンクリートの平均せん断応力度  $\tau_c$  はひび割れ発生荷重までをコンクリートの抵抗分と考え、実験より得られたコンクリートの破壊面積とひび割れ発生荷重から逆算し  $0.35\text{N/mm}^2$  とした。

フーチングコンクリートの破壊面積  $A_c$  について、実験では全ての供試体で三角形上の破壊面が確認されており、ここでは図-3 のように実際に見られた破壊面の平均として、図-6 に示す様に上面図では杭中心より  $45^\circ$ 、断面方向には杭中心より  $20^\circ$  とした破壊面を使用する。

図-7 に式(1)によって算出される水平押し抜きせん断耐力と実験の最大荷重の耐力比を示す。図より、(計算値)/(実験値) は平均で 0.81、変動係数 9.46% となり、鉄筋の抵抗分として下面鉄筋しか考慮していないため 8 割程度の精度ではあるが、コンクリートの想定破壊面と式(1)を用いることで実験の最大耐力を評価可能であることが分かる。

### 4. まとめ

- (1) フーチング縁端部の水平押し抜きせん断に対して、コンクリートと鉄筋が共に抵抗しており、各耐力はコンクリートについては破壊面積、鉄筋については破壊面内の鉄筋の総断面積によって評価できることを確認した。
- (2) 水平押し抜きせん断に対する抵抗メカニズムはひび割れ発生まではフーチングコンクリートが抵抗し、ひび割れ発生以降は鉄筋が抵抗を始める。

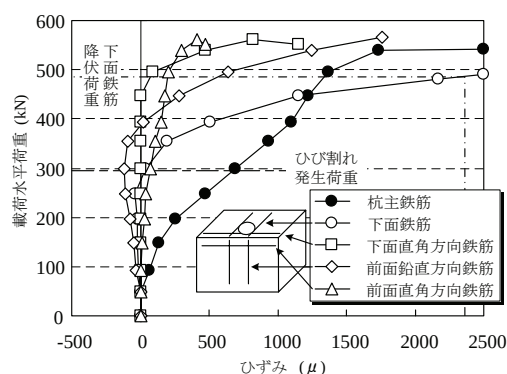


図-4 荷重－鉄筋ひずみ関係

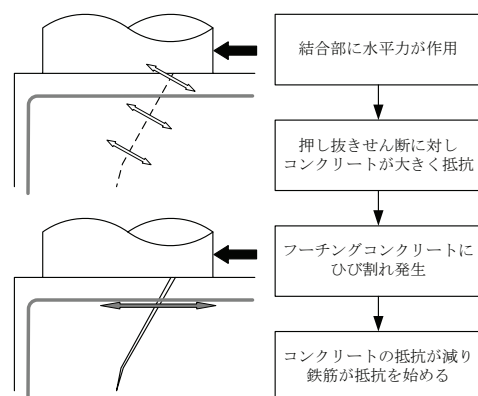


図-5 抵抗メカニズム

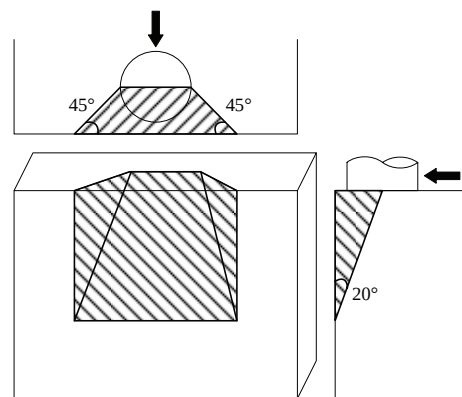


図-6 想定破壊面

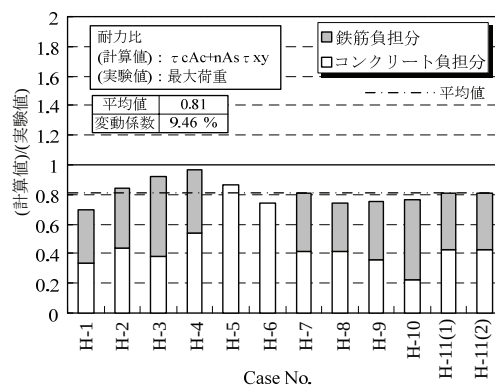


図-7 計算値と実験値の耐力比