

## 杭とフーチングの縁端距離に関する解析的検討

九州工業大学 学生会員 宮脇 祐太  
 独立行政法人土木研究所 正会員 白戸 真大

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 野々村佳哲

### 1. はじめに

図-1 に示す様に、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研究が行われている。縁端距離を縮小させることにより、特に懸念される破壊形態が水平押し抜きせん断破壊である。そこで本研究では、首都高速道路が行った縁端距離に関する実験を参考に、フーチング縁端部における水平押し抜きせん断破壊の耐力について検討を行なった。また、二次元弾塑性 FEM 解析を用いて実験で生じた押し抜きせん断破壊の破壊メカニズムについて検討を行なった。

### 2. 実験概要及び実験結果

図-2に実験供試体形状を示す。荷重方法は、杭基部に水平力を、杭頭部に軸力を載荷している。表-1に実験供試体一覧を示す。実験パラメータは、杭径、縁端距離、フーチング下面鉄筋比、杭軸力であり全16ケース行なわれた。今回はその中で水平力のみを載荷させた13ケースについて検討を行なった。

図-3にH-2供試体の終局時におけるひび割れ状況を示す。ここでH-2は実験基準ケースであり、実構造物において縁端距離25cmを想定し、水平力のみを載荷したケースである。(a) 上面図から、水平力の載荷に伴い、杭中心部から発生したひび割れがフーチング端部に達することで、三角形に押し抜きせん断破壊が発生した。(b) フーチング中央断面図より、杭中央から発生したひび割れがフーチング下面にまで達していることがわかる。

図-4に無筋供試体であるH-5供試体のひび割れ図を示す。H-2供試体と比較すると、ひび割れは杭中心部よりやや後方から発生し、フーチング側面からより深い位置で押し抜かれており、H-2より大きな破壊面が見られた。このことから、フーチング内の鉄筋がひび割れの抑制に寄与していると考えられる。

次に、各供試体のせん断耐力の評価を行なった。コンクリートと鉄筋の各せん断負担力を考慮して、水平押し抜きせん断耐力を式(1)により算出した。

$$\tau_h = \tau_c A_c + nA_s \tau_{xy} \quad (1)$$

図-5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比を示す。図より、(計算値)/(実験値)は、平均で1.05となり式(1)によって実験の最大耐力を精度良く評価可能であることがわかる。また、式(1)で算出された最大荷重の内、コンクリート負担分が占める割合は、全供試体を通して平均で54%程度であり、コンクリート及び

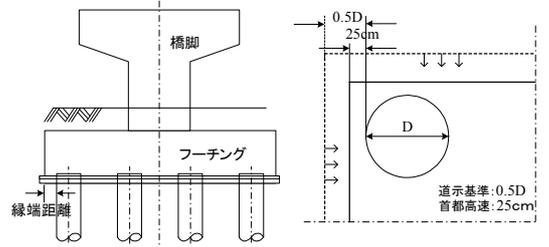


図-1 杭とフーチングの縁端距離

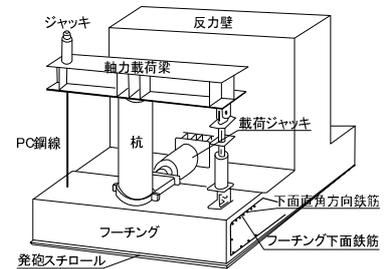


図-2 実験供試体形状

表-1 実験供試体一覧

ケース 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)	軸力 (tf)
H-1	375	25	D13	1000	なし
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-12	750	125	D19	1000	
H-13	375	62.5	D13	500	
NH-1	375	62.5	D13	500	-10
NH-2	375	62.5	D13	500	45
NH-3	375	62.5	D13	500	90

※○: H-2 を基準とした着目パラメータ

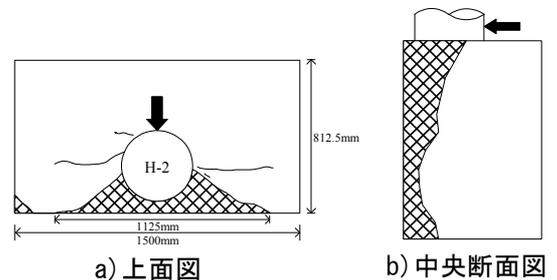


図-3 ひび割れ図 (H-2)

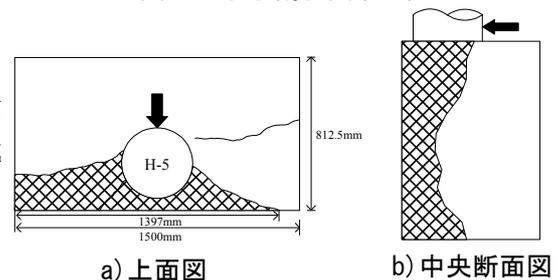


図-4 ひび割れ図 (H-5)

鉄筋ともに押し抜きせん断に対して大きく抵抗するものと考えられる。

### 3. FEM 解析

解析対象とした実験供試体は、実験の基準ケースのH-2供試体である。

図-6に解析モデル形状を示す。実験と同様に杭基部に水平力を変位制御で水平載荷している。コンクリートのひび割れモデルには固定ひび割れモデルを用い、鉄筋にはコンクリートと完全付着型の埋め込み鉄筋要素を用いている。実験供試体H-2と解析結果の荷重-変位関係を図-7に示す。図より、実験では変位1.13mm時、解析では変位1.42mm時に下面鉄筋が降伏し、実験値との対応は良い。また、解析結果では実験結果と同様に変位4mm付近から荷重の停滞がみられた。

### 4. 押し抜きせん断破壊に関する考察

解析上のひずみおよび応力分布に着目した結果、以下の3つの破壊パターンが生じると推定される。

- a) 下面鉄筋降伏による引張破壊
- b) 引張力による押し抜きせん断破壊(I)
- c) せん断力による押し抜きせん断破壊(II)

a)は、鉄筋のひずみ分布より、まず杭との結合部付近で下面鉄筋が降伏に至り、その後もひずみ進展が著しいことから推定した破壊パターンである。b)について、図-8に図-7中のA、B点における最大主ひずみ図を示す。図より杭基部の隅角部にひずみが集中しており、ひずみが押し抜きせん断方向に進展する傾向が見られ、最大主ひずみの増加が見られることから、この領域では引張力によりせん断ひび割れが進展していくと考えられる。c)については、せん断応力分布より、図-8で見られたせん断ひび割れ面より右の領域で、大きなせん断応力の分布がみられた。よって、この領域では、圧縮によるせん断力によって、ひび割れが発生することが考えられる。以上より3つの破壊パターンの破壊面が推定される。次に、各破壊パターン別の耐力を、図-9に示す耐力算出法を用いて、図-7中のB点におけるコンクリート負担分および鉄筋負担分のせん断力を算出した。算出結果は引張破壊の場合で442.3 kN、押し抜きせん断破壊 I の場合で314.9 kN、押し抜きせん断破壊 II の場合で711.4 kNであった。

以上のように本解析モデルにおいては、3つの破壊パターンがみられたが、終局状態を支配するのはa)の引張破壊もしくはb)の押し抜きせん断破壊 I であり、実験で生じた破壊形態と類似していることがわかる。

### 5. まとめ

- 1) 首都高実験を元に、フーチング端部における水平押し抜きせん断耐力算定式を提案し、コンクリート負担分と鉄筋負担分の算出を行った。その結果、実験結果の最大荷重を比較的精度良く評価可能であることが確認された。
- 2) FEM 解析によって実験を評価した結果、杭の水平変位に伴う引張力によりフーチングが破壊すると考えられる。

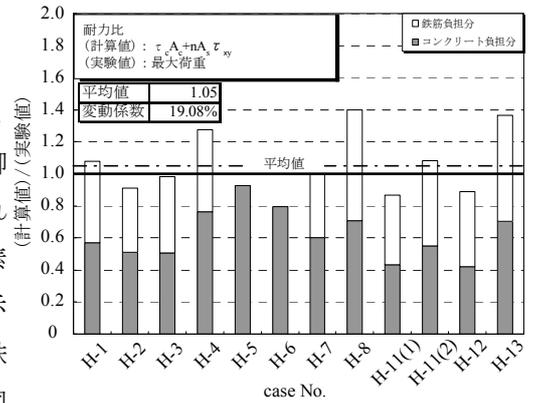


図-5 各供試体の耐力比

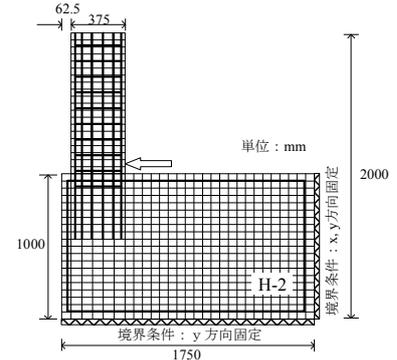


図-6 解析モデル形状

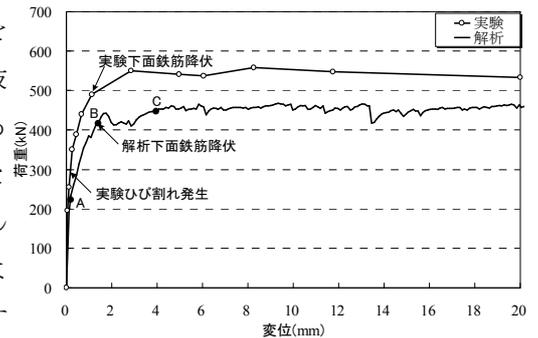
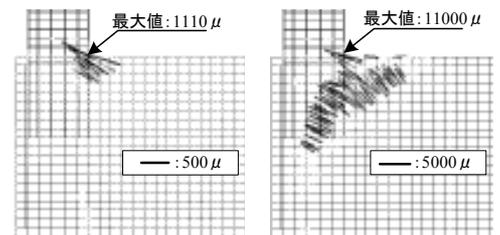


図-7 解析の水平載荷位置荷重-変位関係



(a) A点 (b) B点  
図-8 最大主ひずみ分布(A, B点)

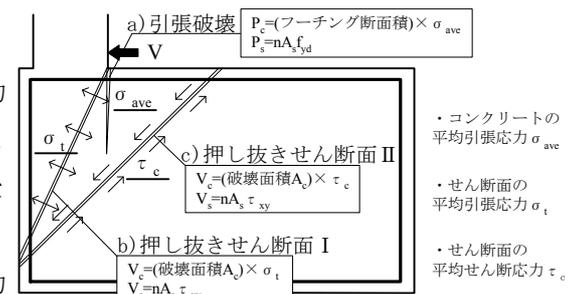


図-9 各破壊の耐力算出法