

斜面上に打設した杭の水平抵抗

広島大学 正会員 佐々木康

広島大学 学生員 吳 正林

広島大学 学生員 ○福岡寛記

1. 序論

近年、我が国では高速道路や整備新幹線などの交通網の整備、また大型送電施設の建設などに伴い、地形・地質条件の厳しい傾斜地盤上に土木構造物を建設する機会が増加してきた。現在、傾斜地盤に設ける基礎としては深礎杭が多く用いられている。傾斜地盤上に設けられた杭の場合、良質な支持層に根入れされていれば鉛直支持力は特に問題となることはない。しかし、地盤の傾斜方向の水平支持力は水平地盤に比べて著しく小さくなる恐れがある。従って、傾斜地盤上に設置された杭基礎に水平荷重が作用する場合の水平支持力の合理的な算定方法が必要である。そのため、本研究では勾配の変化、杭の形状に着目して模型実験により、地盤の水平抵抗、地盤の破壊メカニズムについて解明することを目的とする。

2. 実験概要

実験に用いた模型杭は塩化ビニール製で断面形状の異なる2種類のものを、地盤にはソイルセメントを用いた。ソイルセメントは粘土にセメントを混入し、養生させたもので一定の強度特性が得られる。ソイルセメントの強度は、セメントの混合率（粘土乾燥重量に対するセメント重量）や養生日数等によって異なる。その力学特性を図-1に示す。これにより混合率や養生日数が増加すれば強度は大きくなることが分かる。実験に使用したソイルセメントは混合率4%、養生日数2日と1日である。粘土は山口ならびに広島で採取した2種類のものを用いた。模型杭は一辺25mmの四角杭（ $EI=1.325 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{cm}^2$ ）と直径25mmの円筒杭（ $EI=3.380 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{cm}^2$ ）である。地盤は斜面勾配 α を0度から10度ごとに50度まで6段階に変え、9回の水平載荷実験を行った。実験条件を表-1に、実験装置の概略を図-2に示す。実験は1分ごとに1kgfの重りを載荷し、各荷重段階において、杭に作用する水平荷重、杭の変位量（6点：A～F）、杭前面の土圧（5点）を測定した。また載荷終了後、地盤を切断し、断面の写真を撮り、観察した。地盤内の変位計（C～F点）を用いた計測は実験4以降行っている。実験では実験1と2より断面形状の違いによる比較、実験3～9より勾配の変化による水平支持力特性を検討する。

3. 実験結果及び考察

実験から得られたデータより荷重-変位曲線、土圧分布図、杭の変位曲線などが得られる。これらを用いて水平支持力特性、斜面の破壊状況について検討した。

1) 水平支持力特性について 水平支持力特性は地

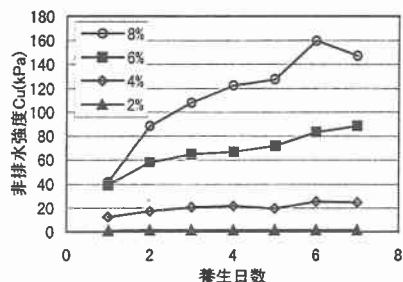


図-1 Cuと養生日数の関係

表-1 水平載荷実験条件一覧

実験ケース	使用粘土	使用杭形	勾配(度)	Cu (kPa)
実験1	山口	四角	50	9.70
実験2	山口	円筒	50	9.50
実験3	広島	四角	40	16.25
実験4	広島	四角	30	19.20
実験5	広島	四角	50	20.40
実験6	広島	四角	20	11.20
実験7	広島	四角	10	7.63
実験8	広島	四角	0	8.50
実験9	広島	四角	30	7.52

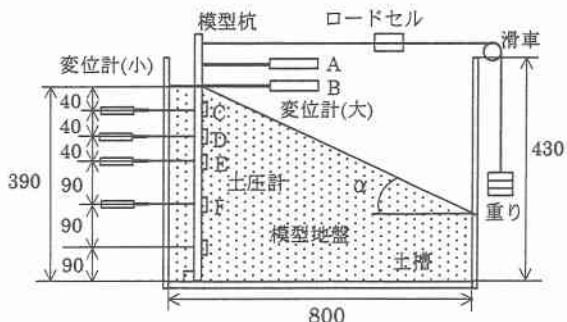


図-2 実験装置概略図

盤強度の影響が大きい。そこで水平荷重 P を地盤の C_u で除し、無次元化して比較を行う。支持力特性の 1 つである極限支持力 P_u は荷重-杭頭 (B 点) 変位曲線より推定した。推定方法は荷重-杭頭変位曲線を弾性、弾塑性、塑性領域に区別し、弾性領域と塑性領域の近似接線の交点を極限水平支持力とする (図-3)。この方法には領域区別や接線の決定に人為的作業が必要であり誤差が生じる可能性があるが、簡単で作業効率がよい。推定した極限水平支持力を無次元化後、勾配との関係及び、勾配を関数とした一次近似を図-4 に示す。多少、ばらつきはあるものの勾配が大きくなると極限支持力は減少し、直線で表現できる。断面形状で比較すると、円筒杭に比べ四角杭の支持力が大きいことが分かる。杭前面の土圧分布 (例: 実験 6) を図-5 に示す。荷重を載荷し、杭の変位を大きくすると土圧は大きくなり、地表面から最大値までの土圧は三角形分布に近い。荷重の増加に伴い土圧分布の頂点は下方に移動する。荷重を増加し、ある荷重段階になると土圧が増加しなくなり、やがて減少するところもある。地表面から 4 cm の深さの C 点では土圧が最大値に達した後、減少する。これは地盤が塑性化したことを示している。

2) 破壊メカニズムについて 本実験において破壊状況は 2 つに分けられる。1 つは実験 1～6 で生じているすべり破壊である (図-6)。この破壊は勾配が急な斜面に見られる。すべり面の範囲 (B, L_1, L_2, H)、広がり角 (θ_1, θ_2) を表-2 に示す。勾配が緩やかになるほどすべり面の方向が上向き、すべり範囲が小さくなる傾向にある。もう 1 つは実験 7～9 に見られる破壊である。この破壊は杭に沿って引張り破壊し、杭前面の土塊が圧縮破壊している状態で、勾配が緩やかな斜面で生じている。

4. 結論

1) 杭が水平荷重を受けると杭の変位量が大きくなり、地盤は塑性化する。水平荷重を増加させ、杭頭変位を大きくするにつれ、塑性化領域は下方に広がる。

2) 杭前面の地盤の破壊には 2 つのパターンがある。斜面勾配が小さい場合には、杭前面の狭い範囲で圧縮破壊する。斜面の勾配が大きいとすべり破壊し、その境界は斜面勾配で 20～30 度の間である。

3) 杭の水平支持力は斜面勾配に大きく影響される。水平支持力は斜面勾配が急になるにつれて低下する。本実験の結果においては直線の変化に近い。また、杭の断面形状によって支持力特性は変化する。同じ杭幅であれば円筒形断面に比べ、四角形断面の支持力が大きい。

4) 極限状態において、地表面から最大値までの受働土圧分布は三角形分布であり、最大分布状態には達していない。

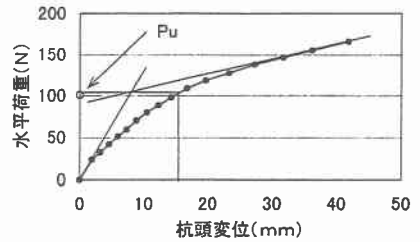


図-3 荷重-杭頭変位曲線

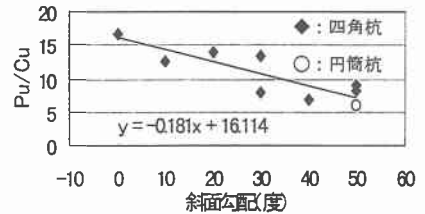


図-4 極限支持力と勾配

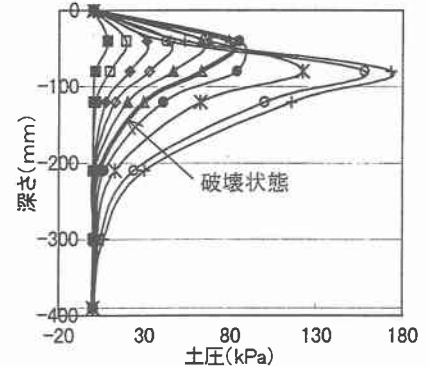


図-5 土圧分布

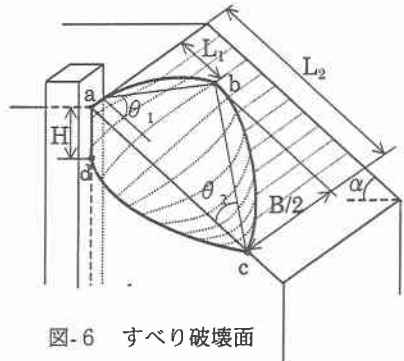


図-6 すべり破壊面

表-2 すべり破壊の範囲

実験 ケース	B (cm)	L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	H (cm)	θ_1 (度)	θ_2 (度)
実験 1	31.0	13.0	26.0	8.0	50	50
実験 2	26.0	2.3	24.5	4.2	80	30
実験 3	26.5	8.8	18.8	8.0	56	52
実験 4	26.0	6.8	17.0	8.0	62	51
実験 5	30.2	8.0	31.0	8.0	62	33
実験 6	22.0	2.7	15.4	3.5	76	40