

斜面内の杭の水平抵抗と杭前面地盤の塑性化

広島大学 フェロー会員 佐々木 康
広島大学 学生会員 呉 正林
広島大学 学生会員 ○有田 順一
広島大学 学生会員 石飛 剛

1.背景及び目的

近年、我が国では高速道路や整備新幹線等の交通網の整備、また大型送電線施設の建設に伴い、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、地盤の谷側方向の水平支持力は水平地盤と比べて小さくなる恐れがある。したがって、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算定方法が必要である。そのため、本研究では斜面勾配の変化に対する杭前面地盤の破壊メカニズムを解明することを目的とし室内模型実験を行った。本研究は終局状態と限界状態の比較を行うことにより破壊の進行過程に着目している。

2.実験概要

実験装置の概略を図 1 に示す。地盤には一定の強度を有する粘性土地盤とするため粘土の乾燥重量の 4 % に相当するセメントを混合したソイルセメントを用いた。養生日数は 2 日。杭基礎としては、塩化ビニール製のものを用いた。載荷は 1 分ごとに 1kg のおもりを載荷し、各荷重段階での杭に作用する水平荷重、杭の変位量(A～F 点)、杭前面の土圧(C～F 点)を測定する。また、載荷終了後、地盤を鉛直方向と水平方向で切り断面をカメラで撮影する(図 2 参照)。実験はシリーズ 1 と 2 からなり、シリーズ 1 では限界荷重の推定*とともに鉛直断面及び水平断面の観察を行う。次にシリーズ 2 としてシリーズ 1 で推定された限界荷重を載荷し、限界状態の断面観察を行う。実験は斜面勾配(α) 10° から 50° まで 10° ごと、計 12 回の水平載荷実験を行った。実験条件を表 1 に示す。斜面勾配の右側の数字は実験を行った結果である。

*限界荷重の推定：図 3 は本実験で得られた杭頭(B 点)の荷重 - 変位曲線である。この曲線を弾性域、弾塑性域、塑性域に分け、弾性域の接線と塑性域の接線の交点に対応する荷重を限界荷重、限界変位とする。

3.実験結果及び考察

斜面勾配の変化により 20° と 30° の間に破壊パターンの違いが見られた。図 4 に示す。勾配 10° , 20° では縦に幾つかの亀裂が生じ、非常に狭い範囲で圧縮破壊をしているのに対し、勾配 30° ～ 50° の斜

表 1 実験条件一覧

シリーズ	実験ケース	勾配 ($^{\circ}$)	限界荷重 (N)	限界変位 (mm)
1 終局状態	実験 1	10	171	10
	実験 2	20	150	11
	実験 3	30	120	7
	実験 4	30	137	9
	実験 5	40	100	9
	実験 6	50	110	9
	実験 7	50	102	11
2 極限状態	実験 8	10	163	12
	実験 9	20	150	11
	実験 10	30	117	7
	実験 11	40	108	8
	実験 12	50	120	9

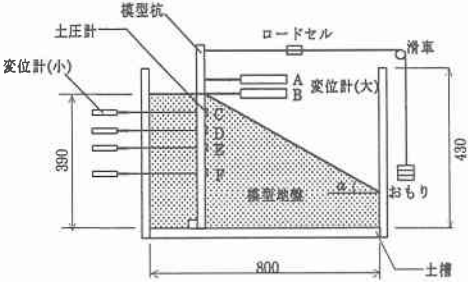


図 1 実験装置

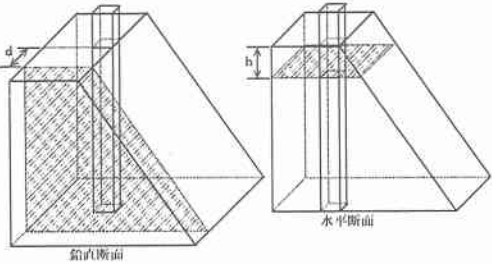


図 2 切断面

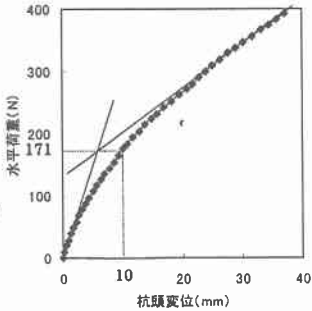


図 3 荷重 - 杭頭変位曲線

面ではすべり面が形成されすべり破壊を起こしていた。

破壊面の形状を把握するため、幾つかのパラメータを設置した。図5に示す。ここでは L_2 、 Ω と勾配の関係を示す。 L_2 は塑性化領域の斜面に沿った距離、 Ω は広がり角である。図6において、勾配 10° 、 20° の杭側面から6cm、9cmに値がないのはそこまで破壊が及んでいないためである。これによると、破壊パターンが異なっていると判断される 20° と 30° の間で2つの傾向が見られる。勾配 $30^\circ \sim 50^\circ$ のすべり破壊を起こしている勾配では勾配増加とともに L_2 は小さくなるのに対し、圧縮破壊をしている勾配 10° 、 20° ではあまり変化が見られず、すべり破壊を起こしているものと比べると非常に狭い範囲で破壊が起こっていることがわかる。図7に Ω -勾配 α 関係を示す。斜面勾配の増加とともに Ω は大きくなり、深さに対しては小さくなっていくことがわかる。

終局状態と限界状態を比較したものを図8に示す。勾配 50° については深さ40mmの土圧が降伏していたこともあり、限界状態を少し過ぎた状態と考えられる。図8からすべり破壊においても破壊の進行過程により2つのパターンが見られた。最初鉛直下方向にある程度進行した後、途中ですべり面として分岐するもの(勾配 30°)とすべり面をある程度形成した後、鉛直下方向にさらに進行するもの(勾配 50°)の2パターンである。勾配 40° に関して、図は省略するが、ほぼ分岐点まで亀裂が達していた。

4. 結論

1) 斜面勾配が大きいと地盤はすべり破壊を起こし、斜面勾配が小さいと杭前面の狭い範囲で圧縮破壊を起こす。その境界は勾配 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。

2) すべり破壊には2つの進行過程があり、最初鉛直下方向にある程度進行した後、途中ですべり面として分岐するもの(勾配 30°)とすべり面をある程度形成した後、鉛直下方向にさらに進行するもの(勾配 50°)の2つのパターンがある。その境界は勾配 $30^\circ \sim 50^\circ$ 。

3) 塑性化領域はすべり破壊では勾配が大きくなるとともに小さくなる。

4) 勾配が大きくなると広がり角は大きくなり、また深度が深くなるにつれて、広がり角は小さくなる。

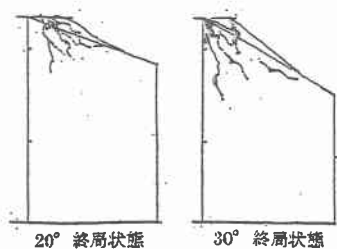


図4 杭側面より1.5cmの鉛直断面

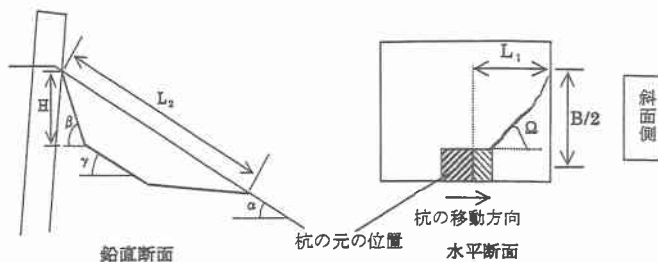


図5 断面のパラメータ

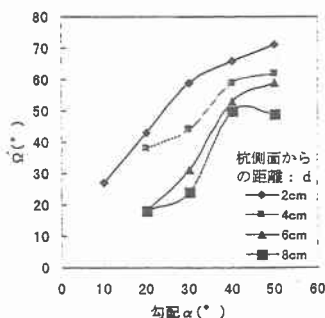


図6 L_2 - 勾配 α 関係

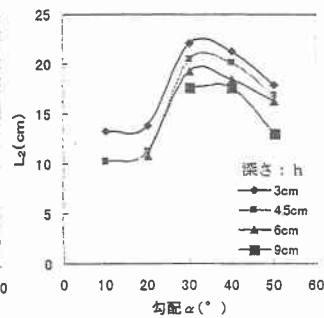


図7 Ω - 勾配 α 関係

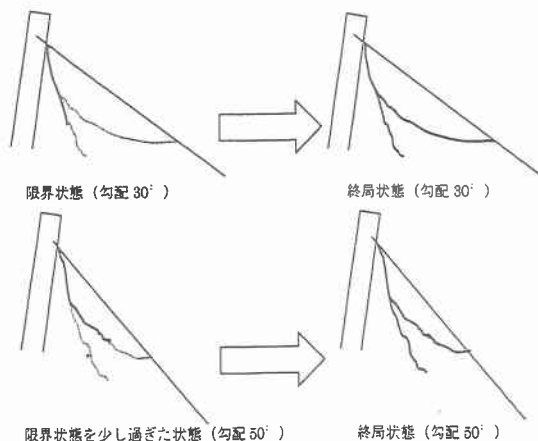


図8 限界状態と終局状態の比較