

遠心模型実験による斜面崩壊に対する杭補強効果

北海道大学大学院	学生会員	○足利 翔
北海道大学大学院	正会員	田中 洋行
北海道大学大学院	学生会員	金子 広明

1. 研究背景

日本における地滑りによる斜面災害は大変深刻であり、土木構造物に多大な被害をもたらしている。地滑りの対策工法は、抑制工(地下水・地表水排水工・排土工など)と抑止工(杭工・シャフト工・アンカー工など)に大別される。抑止工として現在アンカーが広く用いられている。一方、杭による地すべりの抑止メカニズムについては不明な点が多く、このため杭による防止工があまり用いられていない原因となっている。そこで、本研究では、自重の影響を考慮できる遠心模型実験装置を用いて、杭による補強を行い、その効果を調べ検討する。

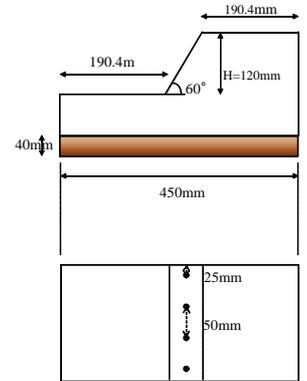


図-1 模型の寸法

2. 試験方法

2.1 模型斜面

試料には笠岡粘土 ($\rho_s=2.67\text{g/cm}^3$, $w_L=58\%$, $w_p=32\%$) を用いた。初期含水比を 80%とし、最終圧密応力 50kPa で予圧を行った。圧密終了後、図-1 に示すように斜面の傾斜角 60°, 斜面高さ $H_p=12\text{cm}$ の模型地盤を作成した。斜面崩壊の際に杭が移動するのを防ぐため、土槽下部に豊浦標準砂を 4cm 程度突き固め、杭下端を固定させた。すべりに対して十分な剛性を有すると考えられる直径 9.8mm, 肉厚 0.5mm の中空ステンレス棒を杭として用いた。すなわち、本実験では杭間の粘土がすり抜ける条件で斜面が崩壊することを想定している。実際の施工では、杭下端が回転しないように十分な深さまで支持層に設置されるが、今回の実験では、砂層の厚さが充分に取れなかったため、杭の上端を固定し実験を行った。

2.2 試験手順

斜面地盤を形成する際に切り出した部分を用いて、一軸圧縮試験の供試体を作成した。その試験から得た一軸圧縮強度 q_u により、非排水せん断強度 c_u を求めた。作成した模型地盤を遠心模型実験装置にセットし、破壊するまで加速度 G を増加した。モニターにより斜面に破壊が確認できたところで実験を終了し、この時の加速度を破壊遠心加速度 $n_f(G)$ とした。

2.3 試験条件

実験ケースを表-1 に示す。本実験では以下の条件で実験を行った。

- ・杭がない無補強の実験。(表-1①)
- ・3本と4本の杭を斜面の中心に設置。設置方向は鉛直と斜面に対して垂直の2通り。(表-1②～⑤)
- ・さらに、杭4本の場合には、斜面の中心だけでなく、法肩・法尻にも鉛直に設置。(表-1⑥・⑦)

3. 結果の整理方法

圧密圧力は各ケースとも 50kPa と一定にしたが、模型地盤の c_u はケースごとに異なった。このため、杭を設置していない時の破壊加速度 n_p を、一軸圧縮試験より得た非排水せん断強度 c_u と単位体積重量 γ_t から、Taylor の図表を用いて次の 2 式により求めた。

$$H_c = N_s \frac{c_u}{\gamma_t} \quad n_p = \frac{H_c}{H_p} \quad \dots(1)$$

キーワード：斜面安定、遠心模型実験装置、杭

所在地：北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学工学部

ここに、 N_s はTalorの図表から求めた安定係数である。また杭による補強斜面の安全率を分割法によって計算した。ただし、安全率の検討は、杭を設置した場合においても杭を設置していない場合の最小安全率を示す円弧すべり面に対して行った。

$$F_s = \frac{\text{滑りに抵抗する力のモーメント(地盤+杭)}}{\text{滑りを起こそうとする力のモーメント}} \quad \dots(2)$$

また、杭による滑りに対する抵抗力はRandolph¹⁾のT-bar試験を参考にして、係数 a を10とした。

実験から1/n模型斜面が n_f で破壊した時、実斜面の安全率 F_f は、以下の式で求められる。

$$F_f = \frac{n_f}{n} \quad \dots(3)$$

模型斜面においては $n=1$ であるので、式(3)により(2)の F_s は破壊加速度 n_s として扱うことが出来る。各実験における破壊加速度 n_p , n_s , n_f を表-1に示す。

4. 試験結果と考察

杭の条件ごとに整理した実験結果を表1に示す。

表1 実験結果

4.1 杭の間隔による影響

②の条件下では分割法によって算出した破壊加速度 n_s と実験値 n_f が等しい値となった。一方、③の場合には、計算による値ほど補強の効果がみられなかった。これは、杭の本数を減らすと杭間隔が広くなり、杭による補強効果が及ばない部分が広がったためと考えられる。このことは、④と⑤の結果を比較しても同様の結果が得られている。

	本数	杭の補強方向	杭の補強位置	無補強 n_p	計算値 n_s	実験値 n_f
①		補強無し		40.92	40.92	43
②	4	鉛直	斜面中心	45.39	65.02	65
③	3	鉛直	斜面中心	50.06	66.37	60
④	4	斜面	斜面中心	48.72	69.58	60
⑤	3	斜面	斜面中心	49.29	65.19	55
⑥	4	鉛直	法肩	46.86	76.38	62
⑦	4	鉛直	法尻	48.47	48.47	50

4.2 杭の設置方向の影響

杭の本数が等しく、設置方向が異なる②と④、③と⑤の結果を比較すると、斜面に垂直の補強よりも鉛直の補強の方が n_f の値が大きく、補強による効果が大きいことがわかった。

4.3 杭の補強位置の影響(法肩)

法肩に杭を設置した⑥の条件では、杭の斜面側で小さい滑りが発生した後に、その後方に大きいすべり面が発生した。 n_f は②と比較すると少し小さな値となった。これは、杭が斜面中央に設置した場合と比べて、法肩付近に設置すると、杭による抵抗力の鉛直成分が大きくなる分だけ水平成分が小さくなったためと考えられる。

4.4 杭の補強位置の影響(法尻)

⑦の条件では、最小安全率を示す“すべり面”は杭を横切らないので、杭の効果がないことになる。したがって、分割法の計算値においても、無補強時の値と同じになる。実験値でもこれが裏付けられた結果を得ている。

5. 結論

全体として、今回提案した計算方法では、実験結果をかなり過小評価する。特に、斜面に対して垂直に設置した場合、および杭の間隔が広い場合は、計算値と実測値との差が大きくなる。この最大の原因は、今回の解析では“すべり面”を杭が無い場合と同じと仮定しているが、杭を設置することによって、最小の安全率を示す“すべり面”が杭が無い場合と異なるため、計算によって得られた安全率は最小値でないためと考えられる。

参考文献

1) Randolph, M. F.: Characterization of soft sediments for offshore applications, Proc. of ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, pp209-232, 2004.