

埋立載荷時における SCP 改良地盤の安定性に関する解析的検討

港湾空港技術研究所 正会員 ○高橋 英紀

同 上 フェロー会員 北詰 昌樹

1. 目的

サンドコンパクションパイル工法（以下、SCP 工法）で改良された護岸の背後に埋め立てを行う場合、現行設計法においては円弧滑り計算を用いて地盤の安定性を評価している。円弧滑り計算では、SCP 改良部分や周辺地盤において滑り面を仮定して滑動モーメントと抵抗モーメントの釣り合いから安全率を算定する。これに対して、著者らが実施した SCP 改良地盤の埋立載荷実験によると、SCP 改良地盤においては滑り面は発生せずに砂杭が屈曲して地盤が破壊する現象が見られた¹⁾。そこで本研究では、砂杭において曲げ破壊が生じることを仮定した極限平衡解析を実施し、模型実験結果および円弧滑り計算結果と比較検討した。

2. 遠心模型実験と円弧滑り計算

図-1 に示す模型地盤に対して遠心場で埋立載荷実験を実施した。正規圧密地盤上に模型ケーソンを設置した後に急速に埋め立てた。詳細な実験手順は文献¹⁾を参照されたい。埋立載荷中のケーソン下部の改良地盤の水平変位を図-2 に示している。図に示すように、埋立圧力が大きくなるのにしたがって地盤上部が海側へ水平に変位し、ある深度で屈曲していることがわかる。埋立圧力が大きいほど、屈曲する深度は深くなっている。次に、埋立圧力と図-1 の位置 A での水平変位量の関係を図-3 に示す。片対数グラフ上において圧力～変位関係での前半と後半の直線部分の交点を地盤の破壊点と定義すると、破壊埋立圧力は 47 kN/m^2 である。この埋立圧力での改良地盤の水平変位量は実物スケールで 35 cm （ケーソン幅の 7%）であった。

円弧滑り計算に用いた地盤定数を表-1 に示す。また、最小安全率となる円弧滑り面を図-4（図中の S1）に示している。図に示すように、最小安全率となる滑り面はマウンド内を通過している。しかしながら、遠心

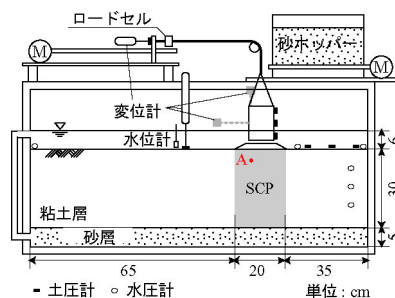


図-1 遠心実験模型地盤

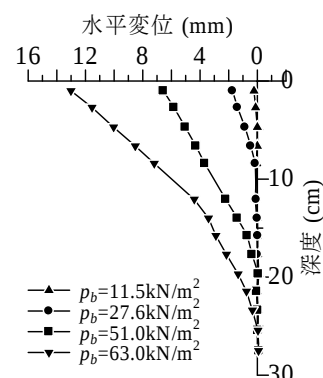


図-2 改良地盤の水平変位

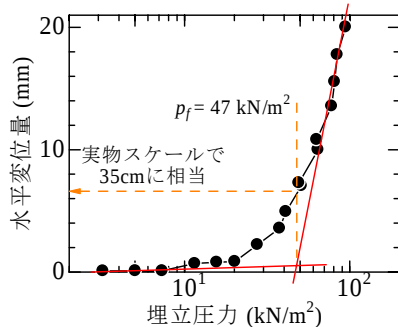


図-3 圧力～変位関係

表-1 土質定数

	単位体積重量	せん断強度
ケーソン	4.7 kN/m^2	—
マウンド	9.5 kN/m^2	$\phi = 33 \text{ 度}$
埋立土（水面下）	9.5 kN/m^2	$\phi = 33 \text{ 度}$
埋立土（水面上）	17.0 kN/m^2	$\phi = 33 \text{ 度}$
粘土層	7.0 kN/m^2	$k = 2.1 \text{ kN/m}^2/\text{m}$
砂杭	9.5 kN/m^2	$\phi = 42 \text{ 度}$

※粘土層強度欄は深さ方向の強度増加勾配

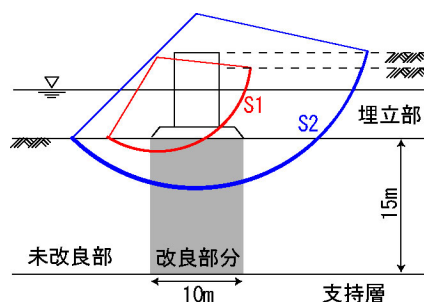


図-4 最小円弧滑り面

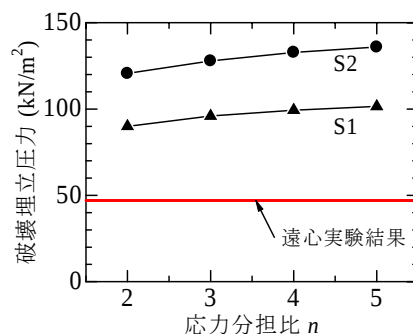


図-5 円弧滑り計算結果

キーワード 遠心模型実験, SCP, 岸壁, 埋立載荷

連絡先

〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1（独法）港湾空港技術研究所 地盤改良研究室 TEL 046-844-5055

模型実験によるとマウンドでは滑り破壊は生じなかった．そこで，マウンドのせん断強度を極端に大きくした計算を行うと，最小安全率となる滑り面は図中の S2 となる．滑り面 S1 と S2 において安全率が 1.0 となる場合の埋立圧力を破壊埋立圧力と定義して，これを応力分担比に対してプロットすると図-5 のようになる．図には遠心模型実験結果も併せて示している．図から，S1 と S2 のいずれの滑り面を仮定しても，円弧滑り計算によって得られた破壊埋立圧力は遠心模型実験でのものに比べてかなり大きいことがわかる．これは，遠心模型実験と円弧滑り計算での破壊モードが異なるためと考えられる．

3. 極限平衡解析における定式化

遠心模型実験では改良地盤が屈曲して地盤が破壊していた．これは，図-6 に示すように砂杭間の粘土層は一様に単純せん断し，砂杭はある深度で曲げ破壊していると推測される．そこで，砂杭が曲げ破壊することを想定して以下のように破壊埋立圧力を求めた．岸壁背後を埋め立てた場合，砂杭に働く外力は図-7 のようにモデル化できる．釣り合い式を解くと，深さ d で砂杭に働く曲げモーメントは以下ようになる．

$$M = -4r^2 \left(c_{u0} d + kd^2/2 \right) + (d + h_e) p_{hb} - ka^2 (1 - a_s) d^2/2 + a(p_b - 4c_{u0}) d^2/2N - 2akd^3/3N \quad (1)$$

埋立圧力を大きくすることによって深さ d で砂杭が破壊する場合，砂杭の圧縮側と引張側の応力状態は図-8 のようになる．この極限状態での曲げモーメントは以下ようになる．

$$M_{\max} = \frac{2}{3} (r^2 - r_d^2) \sqrt{r^2 - r_d^2} (\sigma_{f2} - \sigma_{f1}) \quad (2)$$

(σ_{f1} , σ_{f2} : 引張側と圧縮側でのせん断破壊時の鉛直応力)
式(1)での曲げモーメントが式(2)の破壊条件に達した場合，砂杭が曲げ破壊を生じる．その時の埋立圧力を破壊埋立圧力とした．

4. 極限平衡解析結果

極限平衡解析に用いた土質定数は円弧滑り計算に用いたものと同じである（表-1 参照）．埋立圧力を 30 と 41 kN/m² とした場合の深度方向の曲げモーメント分布は図-9 のようになる．図に示すように埋立圧力を 41 kN/m² とすると，4 m 付近の深度で砂杭が極限状態に達して破壊している．図-10 には，埋立圧力と応力分担比の関係を示している．図には，遠心模型実験と円弧滑り計算結果も併せて示している．図から，極限平衡解析による破壊埋立圧力は，円弧滑り計算での値に比べて遠心模型実験結果に近い値となっていることが確認できる．

5. まとめ

本研究では，遠心模型実験で観察された改良地盤の曲げ破壊をモデル化し，極限平衡解析を実施した．その結果，遠心模型実験による破壊埋立圧力を精度よく算定できることがわかった．

参考文献

1) Takahashi, H., Nakamura, T. and Kitazume, M.: Effect of SCP improvement depth on stability under backfill loading, Proc. of GeoShanghai International Conference, 2006. (Submitted)

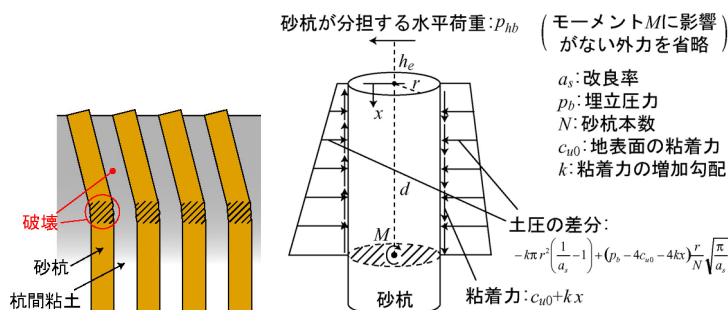


図-6 曲げ破壊

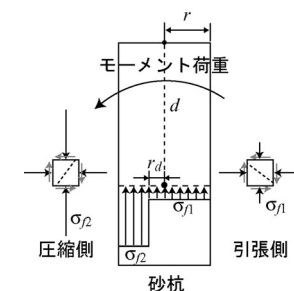


図-8 破壊時の砂杭

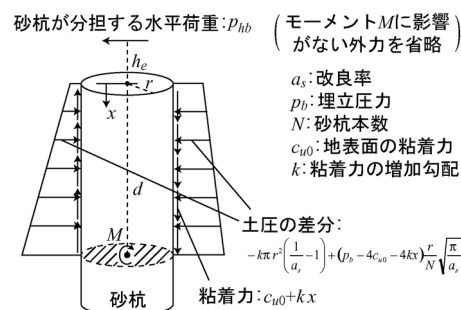


図-7 砂杭に働く外力図

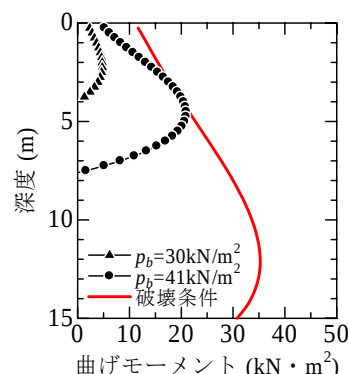


図-9 極限状態のモーメント分布

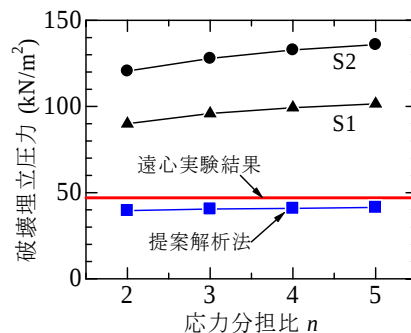


図-10 極限平衡解析結果