

III-400 壁状に改良された複合地盤からなる斜面の部分載荷による破壊挙動について

大林組技術研究所 小日向 隆 西林 清茂 細谷 芳巳

1. まえがき 深層混合処理工法で造成された高強度の改良体と未改良の軟弱地盤から形成される複合地盤の挙動については十分把握されていないのが現状である。特に杭状改良地盤の設計については、三次元的取扱いの難しさから経験的に面積分担による平均強度が用いられているにすぎない。

そこで、杭状に改良された複合地盤の斜面破壊挙動を把握するための前段階として、ここでは二次元問題として扱い易い壁状改良モデル（斜面の法線方向に平行な壁体）を設定して、斜面破壊実験ならびにその解析を行い、複合地盤としての特性や、解析手法の適用性について検討を行なった。

2. 斜面破壊実験および解析概要 実験装置は、横2 m、高さ1.5 m、奥行1 mの鋼製土槽および載荷装置から成っており、土槽の前面は地盤の挙動を観察できるようにアクリル板としている。図-1に模型地盤および測定計器の設置位置を示す。地盤は、 $p=1.3\text{Kg}/\text{cm}^2$ で予圧密した粘土地盤を幅4 cmの壁状に掘削し（改良率20%）、セメント混合土を流し込んで作成した。載荷時の改良強度と粘土の強度比は約7倍である。載荷は法肩部分に幅80 cmで部分載荷し、荷重を $p=0.2, 0.4, 0.6, 0.7\text{Kg}/\text{cm}^2$ として各15分づつ段階的に行なった。

解析は、FEM 弾塑性解析とし、入力定数は模型地盤から採取した試料の強度試験結果などから表-1のように定めた。

3. 破壊荷重 載荷重 $p=0.6\text{Kg}/\text{cm}^2$ で15分経過してもクリープ的な沈下が継続し、 $p=0.7\text{Kg}/\text{cm}^2$ とした瞬間に大きな変位を伴って破壊に至った。この時の最大地盤反力は $p=0.675\text{Kg}/\text{cm}^2$ であった。

図-2は、解析における載荷重の増加に伴う塑性領域の広がり示したものである。 $p=0.2, 0.4\text{Kg}/\text{cm}^2$ では塑性領域は載荷板端部にわずかに見られるのみであるが、 $p=0.6\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以上では、載荷板下全面に広がっている。この様に塑性領域が載荷板下全面に広がった状態あるいは、法肩付近から法尻付近まで貫いた状態を地盤の破壊と判断すると、破壊荷重として $p=0.6\text{Kg}/\text{cm}^2$ が得られる。

先の実験結果において、 $p=0.6\text{Kg}/\text{cm}^2$ では載荷板のクリープ的な沈下が続いたことから、すでにこの時点で破壊していると考えたと実験結果と解析結果はよく対応する。

4. 地盤の変形 図-3は $p=0.675\text{Kg}/\text{cm}^2$ としたときの解析による変形状況と変位ベクトルを、写真-1は模型地盤の破壊状況を示したものである。両者の状況は比較的良く似ており、載荷板下の地盤が圧縮され両側に押し出されるとともに、法尻方向に大きく押し出されていることがわかる。また、解析ではわかりにくい、載荷板直下の改良体のせん

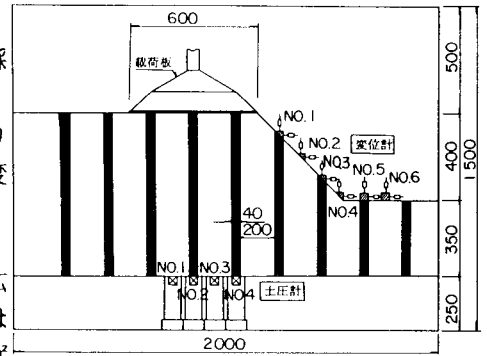


図-1 模型地盤および計器設置位置

表-1 入力土質定数

	単位体積重量 γ_t (kg/cm^3)	粘 着 C (kg/cm^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	ヤング率 E (kg/cm^2)	ポアソン比 ν	ヒズミ硬化 パラメータ H' (kg/cm^2)	引張り限界 T (kg/cm^2)
粘 土	1.59×10^{-3}	0.036	0	1.00	0.45	2.22	0.072
セメント混合土	1.34×10^{-3}	0.863	0	287.7	0.40	0	0.1725

H' : 塑性ヒズミの硬化の程度を表すパラメータ

$H' = \frac{E_0 \cdot E_1}{E_0 - E_1}$ E_0 : 初期のヤング率, E_1 : 降伏後のヤング率

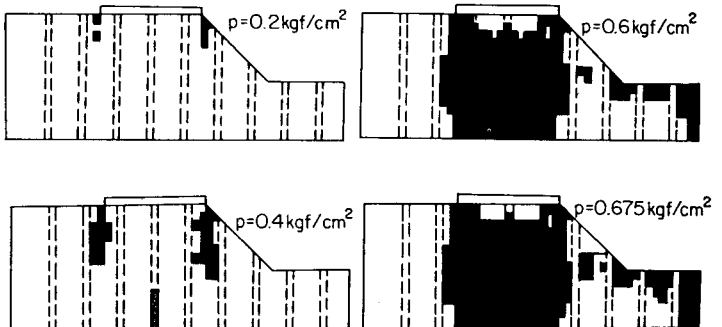


図-2 塑性領域の分布

断破壊、斜面側改良体の曲げ破壊などが、実験でははっきりとわかる。

図-4は、法尻付近の改良体と粘土部分の水平、鉛直変位を示したものである。実験結果から、載荷重が小さい場合にはいずれも変位量は小さいが、 $p=0.6\text{kgf/cm}^2$ 以上で急激に大きくなり破壊に至っていることがわかる。一方解析結果では、変位の方向は実験結果と良い対応を示しているが絶対量は小さく、 $p=0.675\text{kgf/cm}^2$ での増加も小さい。今回の解析手法は、破壊までを考えた大変形の解析には適用の限界があるためと考える。

5. 地盤の応力 図-5は、載荷板下の改良体および粘土地盤の土圧と、その比（応力分担比）について実験値と解析値を示したものである。載荷重の増加に伴い粘土地盤の土圧はほぼ直線的に増加している。また改良体の土圧は、実験値に比べ解析値が大きいが、その増加傾向は似通っており、 $p=0.6\text{kgf/cm}^2$ では増加割合が小さくなっていることがわかる。これを応力分担比で見ると、実験値と解析値では、絶対値、傾向とも多少の違いが見られるものの、 $p=0.6\text{kgf/cm}^2$ では改良体の破壊により応力分担能力が低下し、粘土地盤の土圧の増加につながっていることが両者からわかる。なお、解析値に比べて実験値の土圧が小さいのは、改良壁体の精度および土圧計と改良壁体の接触精度が影響しているものと考えられる。

図-6は、解析から得られた応力分担比の深度分布を示したものである。改良体が破壊しない小さな荷重状態では、応力分担比は深さによって異なり深さ中央で最大となっている。ところが、載荷重が大きくなり改良体が破壊を始めると、深さによる差は小さくなり、一定値に収れんする傾向が見られる。実験ではこの様に深さ方向の任意の位置での応力を取り出すことは困難であり、解析が有効に利用できる。

6. まとめ 壁状改良モデルの斜面破壊実験および解析により以下のことがわかった。

- ①弾塑性解析による塑性領域の分布状態から判断した破壊荷重は実験結果と良く対応した。
- ②FEM 弾塑性解析結果は、破壊に至らない様な小さな変形に対しては、実験結果との対応は良いが、破壊状態を考えた大変形の解析に適用するには限界がある。
- ③応力、応力分担比に関して、解析結果は実験値と良く対応した。さらに、実験では得にくい任意の位置での応力状態を検討するのに解析は有用である。

また、今回の解析手法によってある程度壁状改良地盤の挙動の把握が可能になったことがわかった。さらにこの方法を杭状改良地盤に適用して複合地盤としての特性の検討を進める予定である。

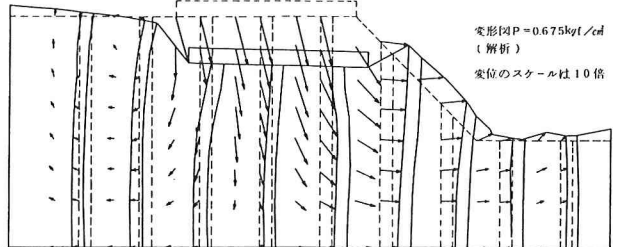


図-3 変形状況と変位ベクトル

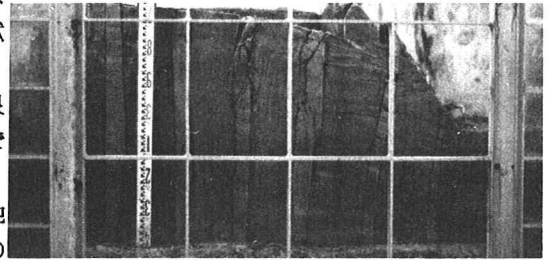


写真-1 破壊状況

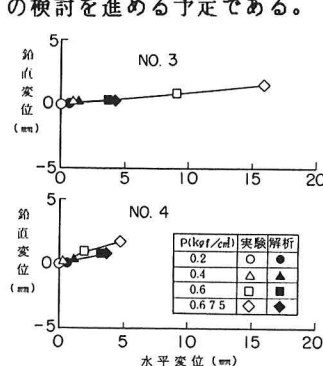


図-4 地盤の水平・鉛直変位

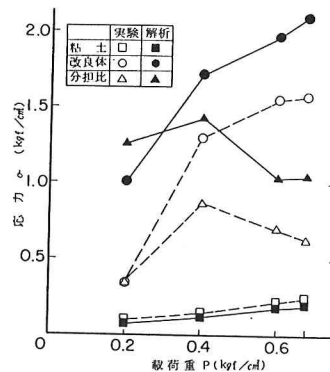


図-5 土圧および応力分担比

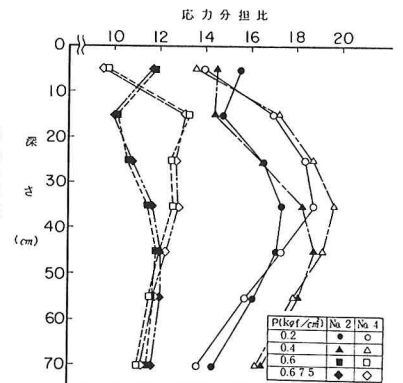


図-6 応力分担比の深度分布