

III-B 196 粘土地盤における二次元泥水溝壁の安定性評価に対する弾塑性FEMの適用

日建設計中瀬土質研究所 正 ○ 石井 武司、斎藤 邦夫
東日本旅客鉄道（株） 正 増田 達、桑原 清
群馬大学工学部 正 鵜飼 恵三、于 玉貞

1. はじめに 連続地中壁工法において泥水掘削溝壁の安定性は重要な課題であるが、その評価手法はいまだ十分に確立しているとは言えない。そこでこの種の安定問題に対して斜面の安定性評価で有効性が認められているせん断強度低減法に基づく弾塑性FEMの適用を試みている。既に、砂地盤に築造された泥水溝壁に対する遠心模型実験結果と比較してその適用が妥当であることを確かめた¹⁾。本研究では、粘土地盤への適用を検討するため、この手法で二次元泥水溝壁の遠心模型実験結果²⁾を解析し、さらに、簡単な力のつりあい条件から導かれる解析解(以下ではこの算定を簡易安定計算という)との比較も行った。

2. 解析モデル 遠心模型実験

では飽和した粘土地盤中に実物換算で深さ15mの溝壁模型を作成した。解析では溝壁の対称性より、図-1のように1/2モデルを採用した。地盤材料は弾完全塑性体として、破壊規準にMohr-Coulomb式、塑性ポテンシャルにDrucker-Prager式を適用した。解析に使用した地盤と泥水(安定液)の物性値を表-1に示す。

表-1 解析に使用した地盤と泥水の物性値		
材 料	物 性	設定値
模型地盤	単位体積重量: γ_s	17.7 kN/m ³
	ヤング係数: E	19,600 kN/m ²
	ポアソン比: ν	0.495
	非排水せん断強度: c_u	36.8 kN/m ²
	せん断抵抗角: ϕ	0°
泥水	せん断抵抗角: ψ	0°
	単位体積重量: γ_w	10.3 kN/m ³

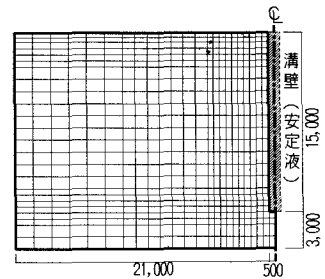


図-1 模型の外形寸法(実物換算)とそのFEMメッシュ (単位 mm)

3. 力のつり合いによる簡易安定計算 遠心模型実験により、粘土地盤($c=c_u, \phi=0$)に発生するすべり面はほぼ直線とみなせた²⁾。そこで、図-2のようにすべり土塊に作用する力(W, F_c, P_w)のつりあいからすべり面の角度 θ 、安全率 F 、地下水面(地表面)と泥水位の差 ΔH を算定する。

$$W = \frac{1}{2} \cdot \gamma_s \cdot H^2 \cdot \frac{1}{\tan \theta} \cdots (1) \quad F_c = \frac{c_u}{F} \cdot \frac{H}{\sin \theta} \cdots (2) \quad P_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H_w^2 \cdots (3)$$

すべり面における力のつり合いから安全率 F は次式のようになる。

$$F = \frac{4 \cdot c_u}{H} \cdot \frac{1}{\gamma_s - \gamma_w (1 - \Delta H / H)^2} \cdot \frac{1}{\sin 2\theta} \cdots (4)$$

安全率 F は $\theta=\pi/4$ で最小となり、このときの最小安全率 F_s および水位差 ΔH は次のようになる。

$$F_s = \frac{4 \cdot c_u}{H} \cdot \frac{1}{\gamma_s - \gamma_w (1 - \Delta H / H)^2} \cdots (5)$$

$$\Delta H = H \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - \frac{4 \cdot c_u}{\gamma_w \cdot H}} \right) \cdots (6)$$

4. 溝壁の安定性(安全率) せん断強度低減法は極限平衡法のようにすべり土塊の安全率を算定する手法である。このため、まず泥水位と安全率の関係を求め、これから溝壁の破壊点(せん断強度低減法の定義から安全率 S_f が1.0の時点)を推定した。その結果は図-3のように泥水位は $\Delta H=1.6$ m

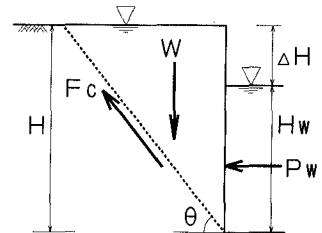


図-2 力のつりあいの模式図

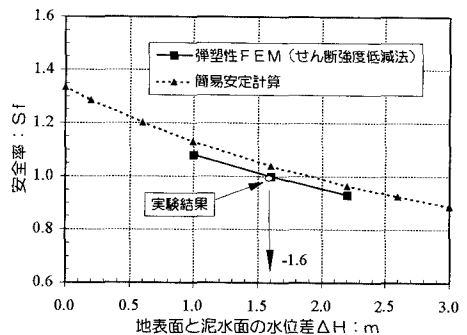


図-3 水位差 ΔH と安全率 S_f の関係

となった。一方、実験では地盤表面の変形と泥水位の関係が線形から非線形に移行する点を破壊と定義した場合の水位差 ΔH は解析結果と同じ $\Delta H=1.6\text{m}$ を得ている²⁾。これに対して簡易安定計算では $\Delta H=1.9\text{m}$ で、FEM解析および実験結果よりやや若干大きな値となった。しかし、FEMと簡易安定計算から得られた安全率と泥水位の関係は良く類似していることは明らかである。

次に安定性に寄与する要因の一つとしてせん断強度に着目し、FEMと簡易安定計算で安全率との関係を求めた。その結果を図-4に示す。検討対象の溝壁では、地盤のせん断強度に 5kPa の変化を与えると安全率は約 0.15 も変化することが認められる。泥水位よりも安定性に与える影響が大きいことがわかる。

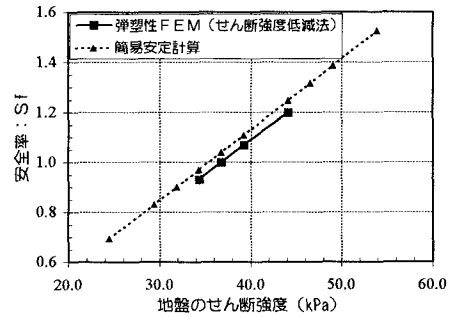


図-4 地盤のせん断強度 c_u と安全率 S_f の関係

5. 破壊形状 解析で安全率が 1.0 、すなわち溝壁が破壊する直前における要素の破壊分布と遠心模型実験で得られた破壊時の地盤内変位ベクトル ($\Delta H=1.6\text{m}$) を図-5に示す。要素の破壊分布をみると、その領域は溝壁底部の隅角部から地表面へ約 45° の角度で線状に延びており、これが破壊面となることがわかる。

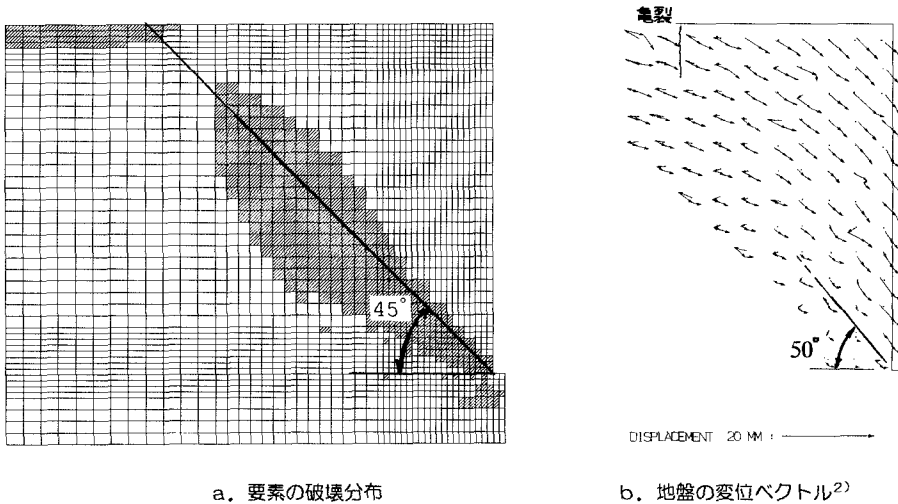


図-5 数値解析で得られた要素の破壊分布と実験で得られた地盤の変位ベクトルとの比較

5. まとめ 粘土地盤における泥水掘削溝壁の安定性評価手法として、せん断強度低減法を用いた弾塑性 FEM の適用性を遠心模型実験および簡易安定計算法で検証した。その結果、本解析手法は溝壁全体の破壊時点や破壊形状に関して実験結果を良く説明し、かつ、簡易安定計算法の結果とも良く対応することが認められた。さらに、粘土地盤における溝壁の安定性は地盤のせん断強度が大きく影響し、安定液の水位に関しては比較的小さいこともわかった。今後は、設計における簡易安定計算法の確立に向けて、溝壁の三次元形状や地盤の物性など幅広い条件に関して検討を加えてたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 石井ら (1996) : せん断強度低減法を用いた弾塑性 FEM による泥水掘削溝壁の安定性評価、第 31 回地盤工学研究発表会概要集
- 2) 片桐ら (1996) : 粘土地盤における二次元泥水溝壁の泥水降下時の挙動、第 51 回土木学会学術講演会概要集 (投稿中)