

Ⅲ - B175

粘土地盤中の泥水掘削溝壁の安定性評価に対するLEMの適用

群馬大学 正会員 于 玉貞 鶴飼恵三
J R 東日本 正会員 増田 達 相沢文也
日建設計 正会員 石井武司 斎藤邦夫

1. まえがき

泥水掘削溝壁の安定性を評価するための新しい手法を開発することを目的として、粘土地盤を対象にした遠心模型実験(2次元、3次元)が行われた。本報告ではこのような掘削壁の安定性を極限平衡法により解析した結果を提示する。遠心実験結果については別の報告¹⁾を参照されたい。

2. 遠心実験結果にもとづく解析モデルとLEMによる2、3次元解析法

図1に解析用のモデルを示す。溝壁の深さは実スケールに直すと15mである。溝の平面長さは6m(3次元)である。2次元の実験も行われた。実験の手順は、遠心载荷中に安定液を徐々に低下させ、溝壁を崩壊に至らせるものである。

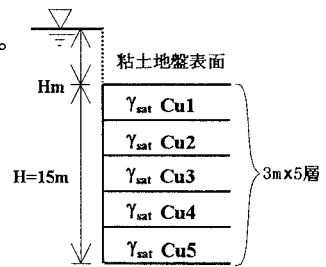
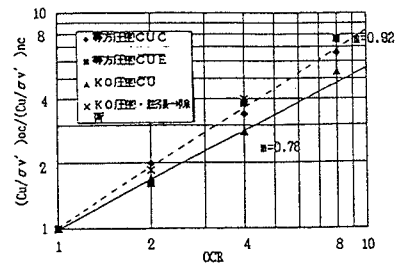


図1. 粘土地盤と泥水掘削溝の諸元

解析は、極限平衡法を用いた。2次元モデルの解析は簡易 Janbu 法を用いた。円弧すべりを仮定した。3次元モデルの解析は筆者らが提案している3次元簡易 Janbu 法²⁾を用いた。これは円筒の両端に楕円体のキャップを有する3次元すべり面を仮定している。実験結果より3次元すべり面は曲面形状であることがわかっている。

3. 粘土の土質定数(特に、強度定数)

実験に用いた粘土は川崎粘土である。遠心実験での粘土地盤はその作成過程から考えて、過圧密状態にある。また泥水位を下げて、地盤を急速に破壊させる実験を行っているので、地盤は非排水側圧除荷の状態で変形し破壊に至る。このような条件下での強度定数を推定するために、次のような4種類の実験が正規及び過圧密状態の粘土に対して実施された。a. b. 等方圧密CUC、CUE試験、c. d. K0圧密CUC、CUE試験。遠心実験中の粘土地盤の状態を最も良く再現しているのは、K0圧密CUE試験である。図2に非排水強度比とOCRの関係を対数グラフ上に示す。両者はほぼ直線関係にある。この図より、すべての強度試験結果の下限値に近い次式を、粘土地盤の強度予測式として用いた。

図2. $(Cu/\sigma'_v)_{oc} / (Cu/\sigma'_v)_{nc}$ と OCR との関係

実施された。a. b. 等方圧密CUC、CUE試験、c. d. K0圧密CUC、CUE試験。遠心実験中の粘土地盤の状態を最も良く再現しているのは、K0圧密CUE試験である。図2に非排水強度比とOCRの関係を対数グラフ上に示す。両者はほぼ直線関係にある。この図より、すべての強度試験結果の下限値に近い次式を、粘土地盤の強度予測式として用いた。

$$(Cu/\sigma'_v)_{oc} / (Cu/\sigma'_v)_{nc} = (OCR)^{0.76} \quad (1)$$

なお正規圧密状態での非排水強度 Cu は上述の強度試験結果より、 $Cu = 0.46 * \sigma'_v$ から決定されるものとした。式(1)より予測される模型粘土地盤内のOCRと Cu の分布を図3に示す。なお図3には遠心载荷実験後の地盤から採取された粘土の一軸圧縮試験結果も示した。平均的な Cuv (鉛直切り出し) は、OCRから決めた Cu の平均値より4%程度小さいのみであり両者の値はほぼ一致することがわかった。

OCR Cu(式(1)) Cuv (一軸圧縮)

OCR	Cu(式(1))	Cuv (一軸圧縮)
4.17	1.63tf/m ²	2.0tf/m ²
1.81	2.60	2.63
1.50	3.76	3.40
1.43	5.07	4.70
1.48	6.70	6.25

図3. 粘土地盤のOCRと非排水強度

4. 遠心実験結果(2次元)のLEM解析

(1) 実験結果: 実験中に、泥水位、地盤内水位および地盤表面の沈下量が計測された。これらの実験データ

キーワード 泥水, 掘削, 粘土, 極限解析, 安定解析

連絡先 〒376 群馬県桐生市天神町一丁目 TEL0277-30-1620 群馬大学 鶴飼恵三

タより、溝壁変形の降伏時の数値を次のように決定した。降伏時：掘削深さ $H = 15.0\text{m}$ 、地盤内水位 $H_w = 0\text{m}$ 、泥水位 $H_m = -0.8\text{m}$ 。粘土の飽和単位重量 $\gamma_{\text{sat}} = 1.8\text{tf/m}^3$ 、泥水単位重量 $\gamma_m = 1.05\text{tf/m}^3$ 、である。実験終了後の観察では、すべり面下端は溝壁底面を通り、約 50 度の勾配をもつ直線形状であった。地表面にはテンションクラックが見られ、その下端がすべり面上端になっていた。

(2) 2次元LEM解析（円弧すべり面を仮定）掘削底面を通る無数の円弧すべり面を仮定し、最小強度安全率を計算した。計算式は、簡易 Janbu 法から導いた。降伏時 $F_s = 1.22$ と計算され、直線すべり面を仮定した場合とほぼ同じ結果が得られた。すべり面はほぼ 45 度勾配の直線である。実験結果もほぼ同じである。実験では斜面上部にテンションクラックが生じて破壊しているの、その深さを $2C_u / \gamma t$ と仮定し、その高さ分の粘土を上載荷重と考えて、 F_s を計算したところ、1.20 となり 2% ほど低下した。

以上の結果より、強度安全率を 1.3 にとっておけば、溝壁の安定は十分保たれると判断される。

5. 遠心実験結果（3次元）のLEM解析

(1) 実験結果：溝壁の長さを $L = 6\text{m}$ として、3次元溝壁安定実験が行われた。実験方法などは2次元の場合と同じである。実験データより、溝壁変形時の数値が次のように決定された。降伏時： $H = 15.0\text{m}$ 、 $H_w = 0\text{m}$ 、 $H_m = -1.4\text{m}$ 、である。なお、この時の2次元安全率（直線すべり面を仮定）は 1.12 であり、値が大きすぎる。これは粘土の強度が大きく評価されていることを意味している。実験終了後の観察では、溝から 1.8m の位置にクラックが入り、小さな浅いすべり領域が溝壁上部付近に生じているのみで、溝壁下端を通るようなすべりは見られなかった。

(2) 3次元LEM解析（曲面すべり面を仮定）：両端に楕円体のキャップを持つ円筒すべり面（図. 4）を仮定した後、無数のすべり面に対して3次元簡易 Janbu 法により最小の安全率を計算した²⁾。最も危険なすべり面は掘削底面を通らないと予測されるので、すべり面下端の位置を地盤面から 15、12、9、7.5、6、4.5、3m に変えて最小安全率を計算したところ、表.1 のような結果が得られた。最も危険なすべり面はすべり面下端の深さ 4.5~6m の間で得られることがわかる。つまり強度が深さと共に増加するこの粘土地盤では、掘削底面を通るすべりは起こらず、地表面付近を通る浅いすべりが生じる。これは実験事実と一致する。安全率が 1.73 と大きすぎるのは、実験で見られたテンションクラックを考慮していないためと思われる。このためテンションクラックを考慮した3次元計算を行った。亀裂深さを $2C_u / \gamma t$

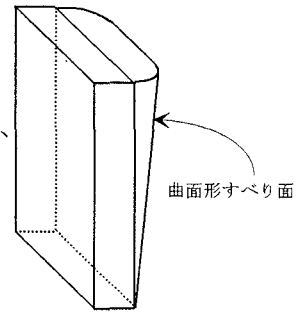


図. 4 三次元すべり面形状

$= 1.8\text{m}$ と仮定した。そして、上載荷重が $1.8 \times 1.8 = 3.24\text{tf/m}^2$ である、深さ 13.2m

の掘削溝を考え、泥水位 13.6m のときの

安全率を計算した。すべり面下端の深さを 13.2、10.2、7.2、4.2、1.2 の5ケースについて計算した結果を表.2 に示す。表.2 より最も浅いすべりのとき F_s は 1.05 であり、実験結果をよく説明している。

6. あとがき

粘土地盤中の泥水掘削溝の安定性に関する遠心実験結果を2、3次元簡易 Janbu 法により解析し、良い結果を得た。粘土地盤の場合、 C_u を式(1)から求め、テンションクラックを考慮した上で安定解析法として簡易 Janbu 法を用いると、強度安全率が 1.0—1.2 のとき溝壁の安定が得られることがわかった。

（参考文献）1）片桐他：表層が過圧密な粘土地盤中の泥水掘削溝の崩壊挙動、第 32 回地盤工学研究発表会、1997。2）于他：泥水掘削溝の安定性評価に対する LEM の適用、第 32 回地盤工学研究発表会、1997。

表 1 すべり面下端の深さと3次元安全率の関係（亀裂を考慮しない）

すべり面深さ (m)	15	12	9	7.5	6	4.5	3
F_s	2.33	2.08	1.87	1.80	1.73	1.75	1.82

表 2 すべり面下端の深さと3次元安全率の関係（亀裂を考慮する）

すべり面深さ (m)	13.2	10.2	7.2	4.2	1.2
F_s	2.13	1.84	1.57	1.32	1.05