

泥水掘削溝壁の泥水位低下による地盤の降伏条件について

中央大学 学生会員 ○水戸 良平  
 中央大学 正会員 金澤 伸一  
 中央大学研究機構 正会員 石井 武司  
 中央大学 正会員 齋藤 邦夫

1. はじめに

地中連続壁を構築する場合、掘削溝に泥水を満たしながら周辺地盤の崩壊を抑制する泥水掘削工法が用いられる。しかしながら、同工法の実務に対する適用は経験則が先行し、安定性評価に関する合理的な検討が取り残された状態にある。

そこで本研究では、泥水掘削溝壁の模型実験より得た水位差(泥水位-地盤内水位)の変化特性から降伏点を定義し、これと SSR-FEM より算出した安全率  $F_s$  ならびに崩壊時水位差と対比させ、泥水位差の低下に伴う溝壁の力学的挙動を考察した。

2. 模型実験

2.1 模型地盤材料

模型地盤の材料には土粒子密度が  $\rho_s = 4.531\text{g/cm}^3$  であるクロマイトサンド(酸化クロム鉄  $\text{CrO}_2$  を 46.5%以上含むもの)を使用した。これは豊浦砂の土粒子密度  $\rho_s = 2.643\text{g/cm}^3$  と比べ1.7倍であることから大きな自重効果が期待できる。

2.2 実験方法

模型実験概要を図1に示す。模型地盤の作成手順は、まず泥膜を模した掘削溝と同寸のビニール袋を土槽内に設置し地盤を作成する。また、模型地盤表面部での崩壊を防ぐために掘削溝と地盤の間にガイドウォールを設け地盤の溝側への変位を抑制した。地盤の崩壊挙動を把握するため、図1に設置した水圧計、変位計で掘削溝内の泥水位、地盤内水位、地表面沈下量を観測した。地盤の崩壊形状については観測窓に取り付けた  $50\text{mm} \times 50\text{mm}$  のゴムメンブレンに十字線を書き込み、変位ベクトル観測用マーカーとして使用した。そして、メンブレンにはグリースを塗布してガラス面に貼り付け、模型地盤との摩擦を極力軽減するようにした。模型地盤作成後、地盤を乱さないように少ない水頭差を保ちながら底面から水を浸透させて、地盤を飽和させた。その後、泥水を  $10\text{mm/min}$  の排出速度で排出させて地盤を崩壊させた。なお、結果を比較するために、各実験において溝壁ならびに計器の観測位置は全て統一した。

3. 数値解析

3.1 せん断強度低減有限要素法 (SSR-FEM)

数値解析にはせん断強度低減有限要素法 (以下 SSR-FEM と称す) を用いた。この手法は弾塑性 FEM にせん断強度低減法を組み込み、すべり面を仮定することなく、すべり面と系全体の安全率が算定できる評価手法である。

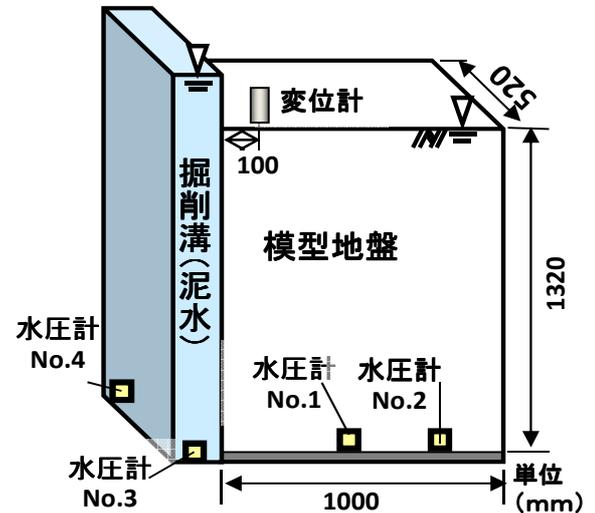


図1 実験システム概要

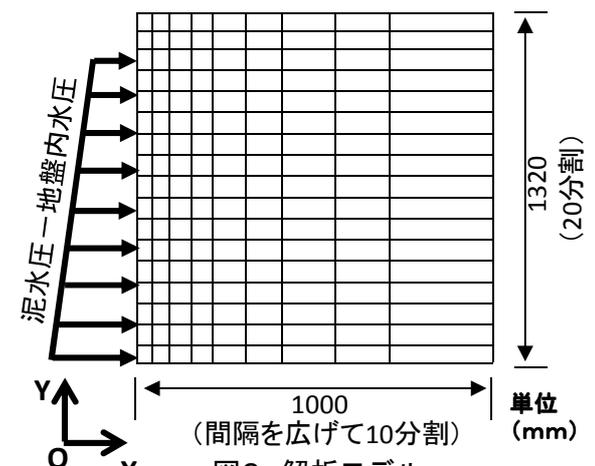


図2 解析モデル

表1 解析条件①

|    | 物性                                | 設定値   |
|----|-----------------------------------|-------|
| 泥水 | 単位体積重量: $\gamma_m(\text{kN/m}^3)$ | 10.68 |
|    | 粘着力: $c(\text{kN/m}^2)$           | 0     |
| 地盤 | ポアソン比: $\nu$                      | 0.299 |

表2 解析条件②

| 相対密度: $D_r(\%)$ | 飽和単位体積重量: $\gamma_{sat}(\text{kN/m}^3)$ | 弾性係数: $E(\text{kN/m}^2)$ | 内部摩擦角: $\phi(^{\circ})$ |
|-----------------|---|--------------------------|-------------------------|
| 62              | 31.2                                    | 1800                     | 32.5                    |
| 70              | 31.5                                    | 2000                     | 33.2                    |
| 72              | 31.6                                    | 2000                     | 33.5                    |
| 78              | 31.8                                    | 3700                     | 34.3                    |
| 81              | 32.0                                    | 3700                     | 34.5                    |

3. 2 解析モデルと地盤の物性

図 2 は本研究の模型地盤を模した解析モデルである。解析領域は、X 軸方向に地盤崩壊に影響がない程度の値として掘削長さの 2 倍、Y 方向は掘削長さ、Z 軸方向は掘削深さとした。メッシュ分割は、X 軸方向は溝壁近傍から少しずつ間隔を広げて 10 分割、Y 軸方向に 10 分割とした。解析に用いた地盤ならびに安定液の物性は表 1 および表 2 に示す。

4. 降伏点と崩壊点の定義

模型実験結果より得られた泥水位や、地表面沈下量の評価をするにあたり、地盤の動き始める点を降伏点とし、次のように定義をした。

降伏点：一定速度で排出させた泥水の水位変化は一定ではなくなる。この時を降伏点とする。

崩壊点：泥水の排出量増加に伴い、地盤のはらみだし量が泥水排出量と一致し、その後泥水位は上昇する。その境目を崩壊点とする。

図 3 に示すように実験から得られた水位差の経過時間変化に対して、直線から外れる点を降伏点として求めた。そして、図 3 において水位差が最も低い点を崩壊点として求めた。

5. 実験結果

6 つの実験データをより、図 3 と同じように経過時間ごとの水位差関係で整理し、降伏点および崩壊点を求めた。そのときの相対密度ごとの結果を図 4 に示す。同図には SSR-FEM で求めた安全率 1.0 時の水位差も併せて示した。

降伏点の水位差の傾向は認められなかった。相対密度 60~80% 程度の間では降伏点の水位差に対する影響は少ないと推察する。SSR-FEM から求めた安全率 1.0 時の水位差を見ても、解析値にほとんど差がないことから同様のことが言えると考えている。次に崩壊点に着目してみると相対密度に関わらず、水位差 200 mm 程度で崩壊点を迎えていることが確認できる。

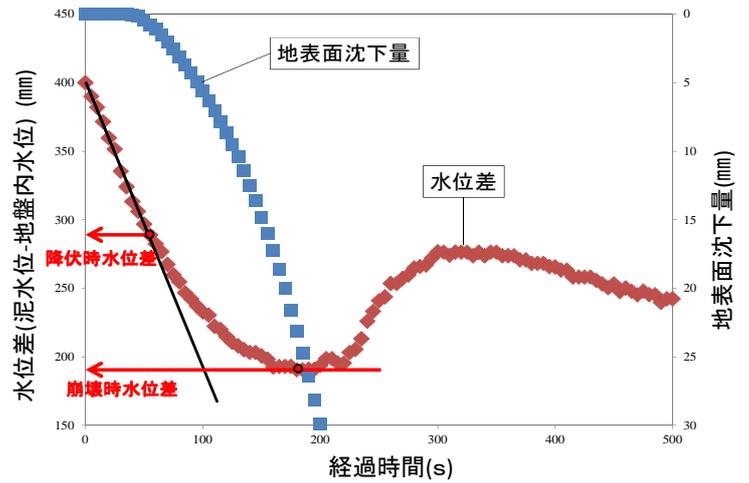


図3 経過時間ごとの水位差と沈下量の関係

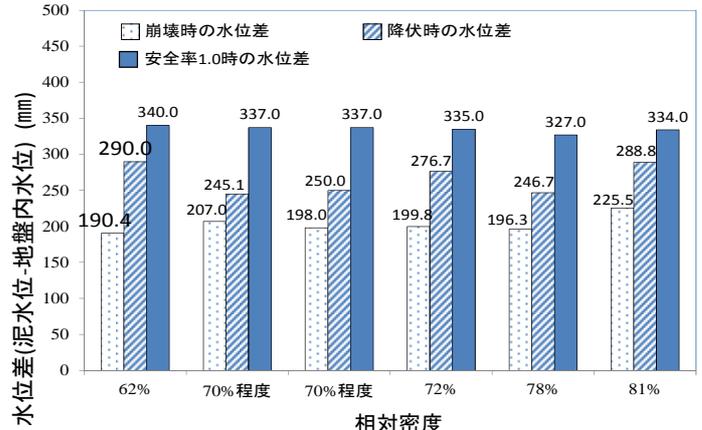


図4 降伏点と崩壊点および安全率1.0時の水位差

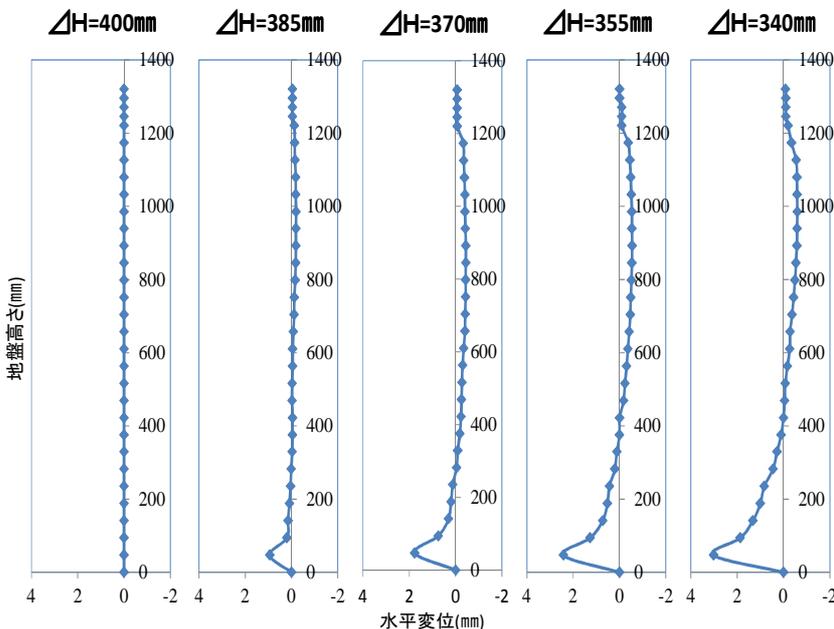


図5 水位差ごとの溝壁面の水平変位

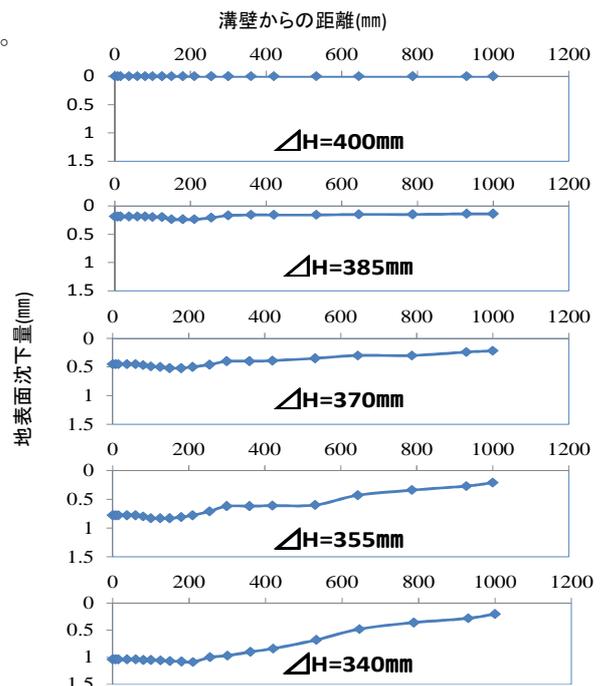


図6 水位差ごとの地表面沈下量

### 6. 数値解析結果

水位差ごとの溝壁面の水平変位を図 5、また、地表面の沈下を図 6 に示した。水平変位は地盤の底部で顕著に発生し、泥水位低下に伴って徐々に外側へと広がっていく。一方地盤上部では、溝壁面とは逆方向に向かって水平変位が広がっていく。地盤高さ 400 mm 付近でその広がり収まる。地表面沈下の挙動としては、溝壁からの距離が 200 mm の周辺地盤において地表面沈下量は最大となった。距離が遠くなるにしたがって泥水位低下の影響が減少していることも図 6 から確認できる。

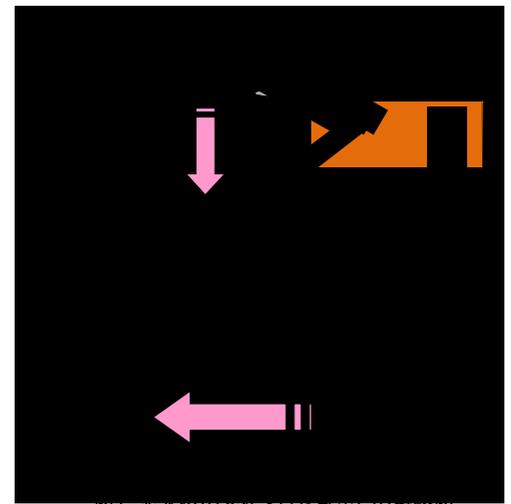


図7 泥水位の変化とはらみ出しの概略図

数値解析と図 3 の模型実験の結果を比較するために、図 5 の水平変

位から外側にはらみ出してしまう地盤の体積を求めた。はらみ出しによって泥水位は押し上げられる(図 7)。10 mm/min の排出速度で泥水を引き抜いているので、その関係から数値解析上における泥水位の経時変化を算出した。はらみ出した体積の求め方として、図 5 で求めた水平変位を微小区間で分割し、それらの面積を足し合わせることで合計はらみ出し量を算出した。その模式図を図 8 に示す。そして、求めたはらみ出し量が妥当であるかを評価するため、図 6 における地表面沈下量でも同様の計算を行った。二つの結果を対比させたものが図 9 である。はらみ出し量と地表面沈下量の差は、 $20\text{mm}^3 \sim 50\text{mm}^3$  となった。対応関係から見ても両者は概ね一致していると考えている。

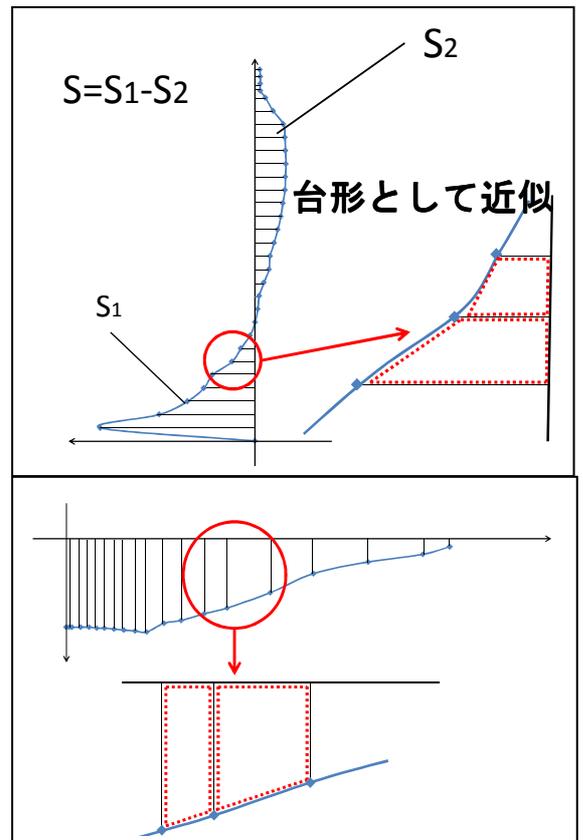


図8 水平変位量と沈下量計算の模式図

以上のことから算出したはらみ出し量と SSR-FEM 上での経過時間の関係を模型実験結果と比較したものを図 10 に示す。SSR-FEM では経過時間に対して線形的に泥水位が低下している。模型実験結果に比べても急な勾配となっている。また、SSR-FEM 上で安全率 1.0 を示す  $\Delta H=340\text{mm}$  において経過時間は約 180 秒の差がある。このことから模型地盤において、解析値よりも早い段階で多くの地盤はらみ出ししているのではないかと推測できる。また、図 3 の結果を踏まえて、SSR-FEM では模型実験に比べて降伏点を高い水位差を設定するといえる。

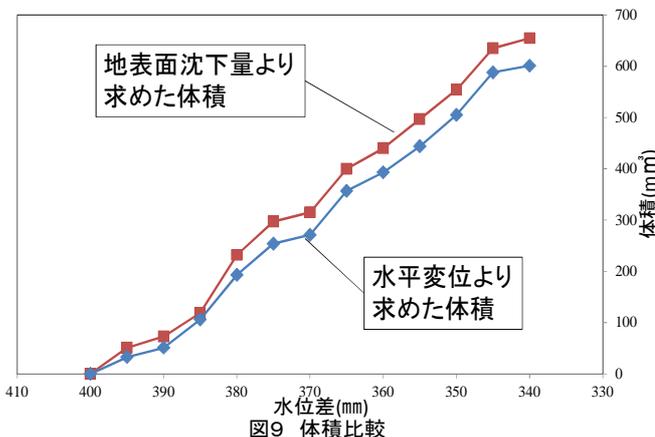


図9 体積比較

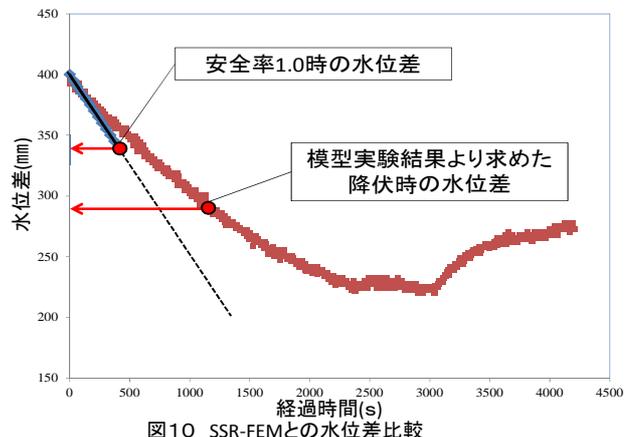


図10 SSR-FEMとの水位差比較

次に、図 11 において SSR-FEM によって導いた各水位差でのせん断ひずみ増分図である。水位差が低下するごとに地盤のせん断ひずみは増加している。特に  $\Delta H=360\text{mm}$  以下からせん断ひずみの増加は大きいと見受けられる。

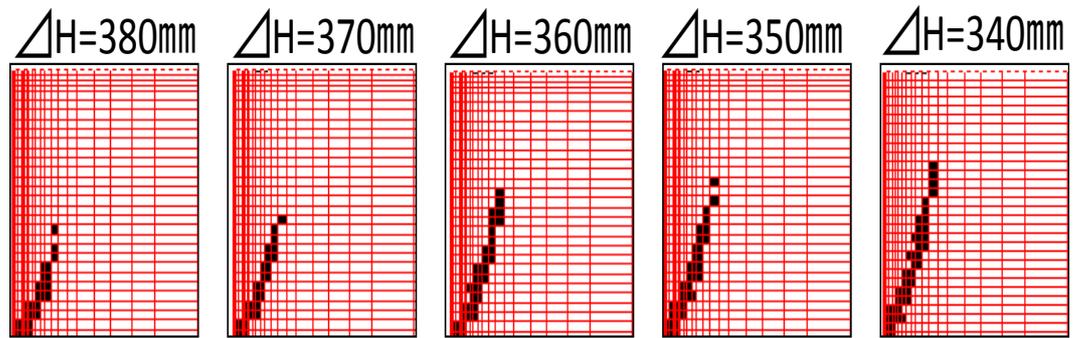


図11 せん断ひずみ増分図

### 6. まとめ

- 1) 今回の実験では、相対密度に関わらず崩壊点は 200 mm程度で現れる傾向がある。
- 2) SSR-FEM で表せる水位差の経時変化は直線的になり、降伏点を高めの水位差に設定する。

#### 参考文献

- 1) 齋藤正幸：砂地盤における 3次元泥水掘削溝の崩壊挙動 第 43 回地盤工学会研究発表会 (2008)
- 2) 岡田亮平：SSR-FEM を用いた泥水掘削溝の安定性基準について 第 7 回地盤工学会関東支部発表会 (2010)