# SSR - FEM を用いた泥水掘削円形孔壁の安定性評価

中央大学	学生会員	○木幡義一
中央大学	正会員	金澤伸一
中央大学	正会員	石井武司
中央大学	正会員	齋藤邦夫

## 1. はじめに

- 7

既往の研究から, 泥水掘削溝壁の溝形状や施工 条件は安定性に大きな影響を与える<sup>3)</sup>.それは泥水 で掘削する場所打ち杭の施工においても同様であ る.そこで本研究では, 系全体の安全率を算定で きるせん断強度低減法有限要素法(以下, SSR - FEM と略す)を用いて, 円形孔壁が安全率に与える影響 を調べ, 様々な条件における泥水掘削円形孔壁の 安定性を検討した.

### 2. 数值実験概要

#### 2.1 数值計算手法

SSR - FEM解析は従来のFEM解析の欠点であった, 予め崩壊面・すべり線をFEMメッシュ内に仮定す るというプロセスを必要とせず,地盤内部の弱点 箇所・崩壊箇所と系全体の安全率を算定すること ができる.その有効性は既往の模型実験と数値実 験との対応から確認されている<sup>3)</sup>.

#### 2.2 数値実験の条件設定

孔形状,施工条件および地盤条件を表-1のように設定した.これらの条件は,実際の場所打ち 杭施工を参考にした<sup>5)</sup>.ただし,孔径については 比較のため事例よりも大きいものも含めた.地下 水位は地表面と一致させた.安定液水位は地表面 表-1 円形孔壁数値実験の設定条件

	項目	条件
孔形状	孔径 D(m)	1,2,3,4,5
	孔深さ Z(m)	5,10,15,20
施工条件	安定液の単位体積重量 $\gamma_{ m m}^{ m (kN/m^3)}$	10.3
	安定液の水位差⊿H(m)	0.0,0.5,1.0,1.5,2.0
地盤条件	粘着力 c(kN/m <sup>2</sup> )	0
	内部摩擦角 Φ <sup>′</sup> (°)	30
	ポアソン比v	0.3
	飽和単位体積重量γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	18
	ヤング係数E(kPa)	37500



から 0.0m, 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m の 5 つとした.内部摩擦角 φ'を 30°,粘着力 c を 0kN/m<sup>2</sup>とした.孔の 孔径 D(m)を 1m, 2m, 3m, 4m, 5m の 5 つとした.また孔深さ Z(m)は,施工事例より崩壊しやすい軟弱層の 厚さを参考にして, 5m, 10m, 15m, 20m の 4 つに設定した.

### 2.3 円形孔壁のモデル化

円形孔壁のモデルを図-1に示す. 孔形状の対称性を考慮し、1/4モデルとした. x軸とy軸方向の領域は、側 面境界に発生するすべり線に影響を与えないように、2×Dとした. また、Z軸方向の大きさは孔深さに合わせ た. メッシュ分割は、x軸、y軸方向に徐々に間隔を広げながら20分割し、z軸方向は等間隔に40分割とした. また、実地盤での掘削においては、地盤の崩壊を防ぐために口元管が設置されている. 口元管の深さは比較の ため1.0mに一致させた. それを考慮するために、それらに該当する上端部の要素に大きなせん断強度を与える ことで表現した. また、境界条件は図 - 1の解析モデルにおいて、下面はx軸とy軸とz軸方向すべてにおいて固 定し、左側面はx軸方向のみ固定し、右側には圧力の差分を載荷した. 正面はy軸方向のみ、奥の面はx軸とy

キーワード 泥水掘削溝 円形孔壁 せん断強度低減法有限要素法(SSR-FEM) 連絡先 〒122-8551 東京都文京区春日 2-1-12 中央大学理工学部土木工学科 地盤環境研究室 TEL 03-3817-1812 軸を固定した.

### 3. 実験結果

#### 3.1 孔径と安全率の関係

図-2 は水位差 ΔH を 1.0m に固定した場合の, 孔径 D(m) と安全率 Fs の関係を孔深さごとに示したものである. Fs は D が大きくなるに従って低下することが分かる. 孔径が 大きくなるにつれて, 孔深さの影響が少なくなっているこ とが分かる. 孔径が平がり, 2 次元状態に近づくと, x 軸 領域が広がり, 溝深さの影響が薄れることと関係があるか と見える.

## 3.2 水位差と安全率の関係

図-3 は孔径 D=3.0(m)に固定し, 孔深さの4パターンご とにおける水位差 ΔH と安全率 Fs の関係を孔深さごとに 示したものである. ΔH が低下するにつれて Fs の減少傾 向が大きくなっているのがわかる.また,水位差の低下に つれて,孔深さの影響が少なくなっていることがわかる. このことから,孔深さが深くなっても発生するすべり面が 同じであることが言える.また,SSR-FEMにおける崩壊点 を Fs=1.00 と定義すると,崩壊点が水位差 0.5m~0.0m 間 であることが確認出来た.





図-3 水位差と安全率の関係

### 3.3 **孔壁の崩壊形状**

円形孔壁のひずみ分布図を図-4 に示す. 孔径 D(m)を 3.0m, 孔深さ Z(m)を 10m に固定し, 水位差 ΔH0.5m から Fs=1.00 の崩壊点水位までのひずみ分布を示した. せん断ひずみが大きい要素は色が濃く表示されている. これにより, 色の濃い領域ですべり面が形成されていると判断できる. ΔH=0.5m のときに孔壁下部から 発生したすべり面が, 水位を 0.1m 刻みで下げていくごとに地表面へ向かって伸びていくのが分かる.

## 4. 小型模型実験

4.1 地盤材料

本研究に用いる地盤材料 にはクロマイトサンドを用 いる.このクロマイトサン ドは酸化クロム鉄(CrO<sub>2</sub>)を 46.5%以上含む材料である. 土粒子密度は豊浦砂と比べ 約1.7倍の p<sub>s</sub>=4.531g/cm<sup>3</sup>で あることから,深さ1mで も大きな自重効果を発揮で きる.



#### 4.2 実験方法

小型模型実験の概要を図-5 に示す. 模型地盤の作製手順は次の通りである. 泥膜を摸したゴムメンブレン を土槽の中央に設置し地盤を作製する. その際に, 模型土槽地表面部での崩壊を防ぐために掘削孔と地盤の間 に口元管を設け地盤の溝側への変位を抑制する. クロマイトサンドはホッパーを使って土槽内に落下させる空 中落下法を用いる. 地盤の崩壊挙動を把握するため, 図1のように水圧計, 変位計を設置する. これにより,

• 7

図-4 水位低下によるひずみ分布の変化

掘削孔内の安定液水位,地盤内水位,地表面沈下量を観測する.孔 壁側面の水平変位量を計測するために,レーザー変位計を使用する. 変位計の位置は図-5 のように上下に移動できるようにする. 模型 地盤作成後,一定の水頭差を保ちながら底面から水を浸透させ,地 盤を飽和させる. その後,安定液を一定量で排出させて地盤を崩壊 させる. この実験方法は,従来の模型実験を参考にしたものである <sup>3)</sup>.

### 5. 模型実験の事前解析

#### 5.1 数值計算手法

事前解析においても、2.1と同様に SSR-FEM を用いる.

### 5.2 事前解析の解析モデルと条件

模型実験の解析モデルも、数値実験と同様のモデルを使用する. 今回は実験で使用する地盤の相対密度を想定するため、5つを使用 した.解析に用いた地盤および安定液の物性を表-2に示す.物性 値は過去の論文等から算出した<sup>4</sup>.

### 5.3 事前解析結果

水位差と孔内水平変位の関係を図-6 に示す. 孔内水平変位とは, Fs=1.00時の孔壁面に表れる最大の変位量のことである.図-6 では 崩壊点に近づくに連れて変位量は増加しているのが分かる.水位差 と地表面沈下量の関係を図-7 に示す. 崩壊点に近づくにつれ, 沈 下量が増加しているのがわかる.この傾向は過去行われた模型実験 の傾向から見ても,円形形状模型実験との対応関係が期待できる結

相対密度Dr(%)

40

50

60

70

80

安定液密度  $\gamma_{\rm m}(k\overline{N/m^3})$ 



1225

図-5 模型実験概要

ダイレイタンシー角

<u>ψ</u>(° )

2.37

4.70

7.30

9.56

14.34

ポアソン比

0.3

果と言える <sup>3)</sup> . 相対密
度別のすべり面形状
を図-8 にそれぞれ示
す. すべり面は, 孔壁
中央部から発生して
いることが見受けら
れる.また,この結果
から孔内変位の測定
位置を選定すること
ができる.

## 5.4 実験条件の検討

解析結果から、模型実験における最適な条件を検 討した.図-8から、崩壊形状を把握しやすい条件 はDr=40%~50%である.孔内水平変位量も、レーザ 一変位計測定範囲内のため、Dr=40%~50%の相対密 度になるように狙って実験を行いたいと思う.この とき、ひずみ分布図から変位計で測定する箇所も図 -8を参考にして行なっていく.実験については、 現在鋭意準備を行なっている最中である.その結果 と事前解析との比較、対応については、本研究発表



表-2 事前解析条件

ヤング係数

E(kPa)

1300

1600

1800

2000

3700

10.3

内部摩擦角

30.0

31.0

32.1

33.0

35.0

φ′(°)

当日には紹介したい.

#### 6. まとめ

本研究より,以下の知見を得た.

- 孔径の増大によって安全率は減少する.また,杭径の増大に伴い孔深さの影響は少なくなる.
- ② 安全率の減少傾向は水位の低下に伴い著しくなる.
- ③ すべり面は孔壁側面の中央部から発生する. また,水位を下げていくと共に地表面に向 かって発達していく.
- ④ 水平変位量は崩壊点までとても小さい値となる.そのため、模型実験で計測するためには 精度のよいレーザー変

位計を用いる必要があ る.

今後の予定として,今回得 られた事前解析の結果をも とに模型実験を行うことと する.また,実検で得られた データをもとに事後解析を

行い,各々を比較していく必要がある.

# 参考文献

- 1) 木幡義一:スラリートレンチの溝形状に関する数値実験,第8回地盤工学会関東支部発表会(2011)
- 2) 太田正彦:「せん断強度低減法」を用いた場所打ち杭の孔壁崩壊に関する解析的検討,第7回地盤工学会関 東支部発表会(2010)
- 3) 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)
- 4) 齋藤正幸:クロマイトサンドを用いた泥水掘削溝模型実験の有効性,第36回土木学会関東支部技術研究発 表(2008)
- 5) 日本基礎建設協会:場所打ちコンクリート杭の施工と管理(2005)



#### 図-7 水位差と地表面沈下量の関係



図-8 相対密度別のひずみ分布の比較