泥水掘削溝壁の隅角部安定性に関する検討

中央大学　学生会員　○田沼　憲一
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

山留工事に様々な種類があるが，信頼性の高い工法の一つに地中連続壁工法がある．通常では連壁はその構築に先立ち地中に泥水を用いて所定形状の掘削溝を設ける．しかしながら，現実の掘削溝工事では，泥推移高さを以って一律的に管理する手法が用いられている．泥水掘削溝壁の安定性評価方法はいくつか提案されているが，対象は直線状の溝壁に限られている．そこで本研究では，溝壁の割り付け上必然的に発生する隅角部に着目し，隅角部形状が安定性に与える影響を数値解析ならびに模型実験により検討することを試みた．

２．溝形状に関する数値実験

２．１　数値計算手法

数値計算にはせん断強度低減有限要素法（SSR-FEM）を用いた．これは系全体の安全率を算定するために弾塑性 FEM にせん断強度低減法を組み込んでいる．そして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を求めることができ，すでに実務[1)]においても使用されている．この手法は既往の研究[2)]により有用性が検討されている．そこで，従来の極限平衡法では取扱いが困難な隅角部に三次元の SSR-FEM を適応した．

２．２　解析対象とモデル化

隅角部の形状は図-1 に示すように，Ｌ字型，Ｔ字型，コ字型，十字型に分けられる．本研究ではＬ字型，Ｔ字型，十字型に対応した形状を対象とした．実務において地中連続溝壁を施工する場合は，隅角部に隣接する直線部を掘削してコンクリートの壁を作り，これを先行壁という．その後に隅角部を掘削する．

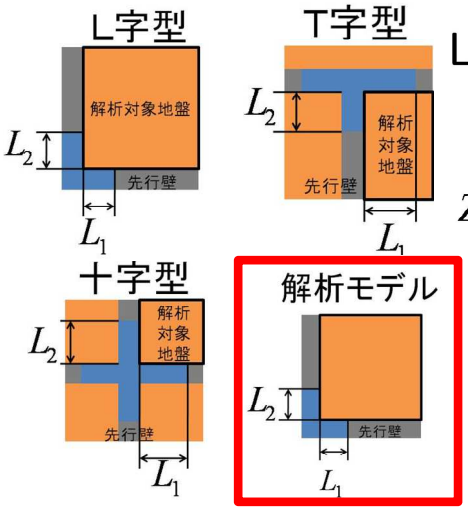

図-1　隅角部形状の再現方法

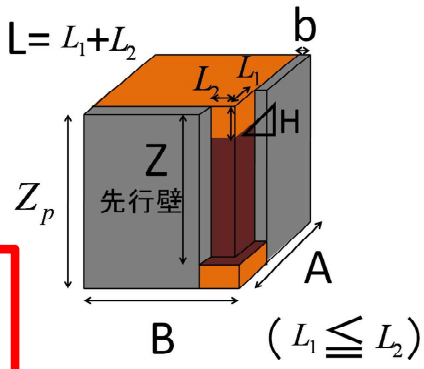

図-2　解析モデル

表-1　モデル寸法

A[m]	15
B[m]	15
Zp[m]	22
Z[m]	20
b[m]	1

隅角部の安定性に影響を与える要因には，溝形状や地盤条件，周辺環境等がある．ここでは隅角部を構成している溝の辺の長さに着目した．解析モデルは隅角部に隣接する先行壁も含めた．これらの解析範囲を図-2 のようにし，またメッシュは図-3 のように溝壁付近は密にし、Z 方向には 1m ごとにメッシュを設定した．モデル寸法を表-1 のように与えた．解析に用いた地盤および安定液の条件や先行壁の条件を表-2 に示す．これらの各項目は以下のとおりである．解析領域は，A:解析モデルの横範囲[m]，B:解析モデルの縦範囲[m]，Zp:解析モデルの垂直方向範囲[m]，b:掘削溝幅[m]である．溝壁は，L:隅角部の総延長掘削長[m]，L_1:隅角部の短辺掘削長[m]，L_2:隅角部の長辺掘削長[m]，Z:掘削深さ[m]とする．最後に安定液については⊿H:地下水と安定液の水位差とする．

キーワード　泥水掘削溝，隅角，SSR-FEM，安全率

連絡先　〒112-8551　東京都文京区春日 1-13-27　中央大学地盤環境研究室　ＴＥＬ03-3817-1812 E-mail：d36324@educ.kc.chuo-u.ac.jp

２．３　実験ケース

既往の研究[2)]を参考に条件を設定し，まず短辺掘削長 L_1 を固定し次に長辺掘削長 L_2 を変化させ様々な溝形状を設定する．次に水位差⊿H を下げ安定性への影響を確認する．表-3 に条件である溝寸法を示す．

２．４　実験結果

数値実験の結果を Fs に与える影響として以下に示す．形状を設定し，水位差⊿H を変化させた時の Fs と長辺掘削長 L_2 の関係を図-4 に示す．⊿H による関係性の変化は認められなかったため今回は⊿H=1.0m のケースのみ示した． L_2=0m の直線部から L_2=3m にかけて掘削長が安定性への影響が強く，L_2=3m 以降の影響は緩やかになっている．また短辺掘削長 L_1=1m から L_1=2m の安定性への影響はあまり認められないが，L_1=2m から L_1=3m，L_1=4m の影響は大きいものとなっている．次に L_1 を固定した時の⊿H と L_2 の関係を図-5 示した．このケースでも L_1 による関係性の変化が見られなかったため L_1=3m のケースのみ示した．全ての溝形状において⊿H と Fs は線形な関係であると認められる．⊿H=2.0m と⊿H=0.5m の Fs を比較すると約半分程度となっている．また長辺掘削長 L_2=0m の直線部から L_2=3m にかけて安定性への影響が大きく，L_2=3m 以降の影響は緩やかになっている．図-6 は総掘削長 L と，L_1 と L_2 の比による安定性の変化を示した．L_1/L_2 が 0 に近いほど直線部と似た形となり，1 に近いほど線対称な形状となる．L=4m から L=5m までは L_1/L_2 が 1 に近いほど安定している．L=6m では L_1/L_2 が 0 か 1 に近いほど安定している．L=7m 以上では L_2 が 6m 以上になると安定性が低下することが認められる．しかし Fs, L,そして L_1, L_2 の影響を受ける様であり，Fs と L の一貫した関係は明確には認められなかった．

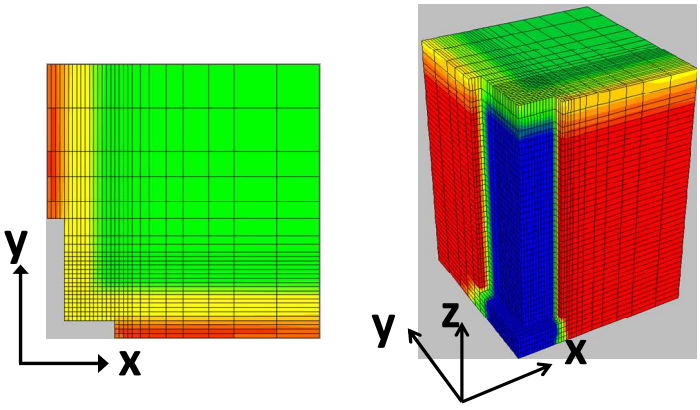

図-3　解析に用いたメッシュ図

表-2　地盤及び安定液、先行壁の条件

地盤及び安定液の条件		
材料	物性	設定値
砂地盤	単位体積重量:γ_s	18.0kn/m^3
	ヤング係数:E_{50}	67,500kN/m^2
	ポアソン比:ν'	0.333
	せん断抵抗角:ϕ	35°
安定液	単位体積重量:γ_m	10.30kN/m^3

先行壁の条件		
材料	物性	設定値
先行壁	単位体積重量:γ_s	24.0kN/m^3
	ヤング係数:E_{50}	2,000,000kN/m^2
	ポアソン比:ν'	0.333
	せん断抵抗角:ϕ	35°
	粘着力:c	10,000kN/m^3

表-3　解析条件の溝寸法

短辺掘削長:L_1	1,2,3,4[m]
長辺掘削長:L_2	0,1,2…9[m]
水位差:⊿H	2.0,1.5,1.0,0.5[m]

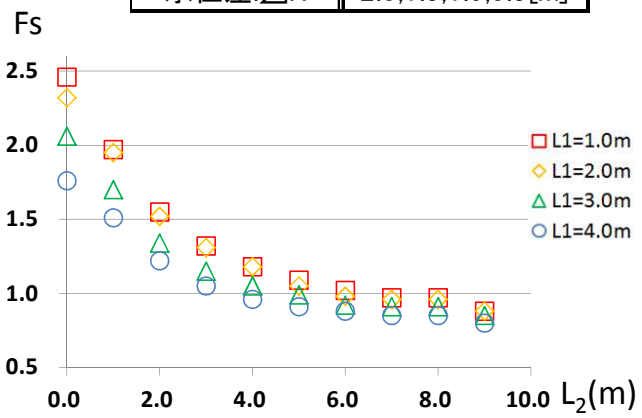

図-4 ⊿H=1.0mにおけるL_2とFsの関係

３．重力場における小型模型実験

３．１　実験試料の特性

模型実験の地盤材料にはクロマイトサンド(酸化クロム鉄 CrO_2 を 46.5%以上含有するもの)を用いる．クロマイトサンドの土粒子密度 ρ_s=4.500(g/cm^3)は豊浦砂の土粒子密度 ρ_s=2.643(g/cm^3)の 1.7 倍のため大きな自重効果が期待できる．そのため，相似則により実際よりも深い深度を持った模型実験を想定することが可能である．

３．２　実験方法

模型実験の概要を図-7 に示す．模型地盤の作製手順は，まず泥膜を模した掘削溝と同寸のビニールシートを土槽内に設置し地盤を作成する．この時，模型地盤表面部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，空中落下法によりクロマイトサンドを土槽内に堆積させ模型地盤を作成した．その後地盤を乱さないように微小な水頭差を保ちながら底面から水を浸透させ地盤内を飽和させた．そして安定液を毎秒 10mm 安定液が低下する流量にて排出させ地盤を崩壊させた．地盤の崩壊挙動を把握するために図-7 の様に設置した水圧計，変位計で掘削溝内の安定液水位，地盤内水位，地表面沈下量を測定した．

３．３　実験ケース

模型実験を行うにあたり，溝形状，地盤の相対密度，安定液比重の３つをパラメータとし，本模型実験では溝形状を L 字型とした．掘削長及び溝長さ比については数値実験の結果を参考に，掘削総延長 L=540mm，L_1/L_2=1.0，0.5 の計 2 ケースとする．概要は図-8 に示す．

３．４　事前解析概要

模型実験を行うにあたり事前に数値実験を行った．解析モデルは数値実験と同様のものを使用する．計算条件は表-4，5 に示し，解析に用いたメッシュ図は図-9 に示す．

図-10 は事前解析から得られた安全率 Fs を，安定液水位と地盤内水位の水位差⊿H ごとに表したものである．掘削長が短いほど安定性が高いことが認められる．また安定性の低下率は似た様な傾向が見られる．崩壊地点は⊿H=270mm 付近で発生すると思われる．

３．６　模型実験結果

今後模型実験を行い，事前解析の結果と比較し隅角部の崩壊形状について確認し，発表当日に実験の結果や考察等を発表する．

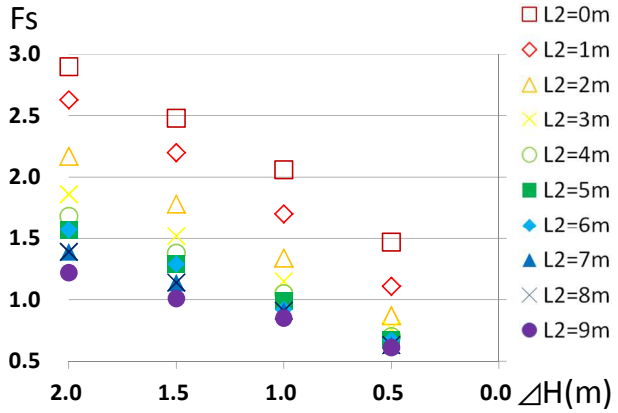

図-5 L_1=3.0mにおける⊿HとFsの関係

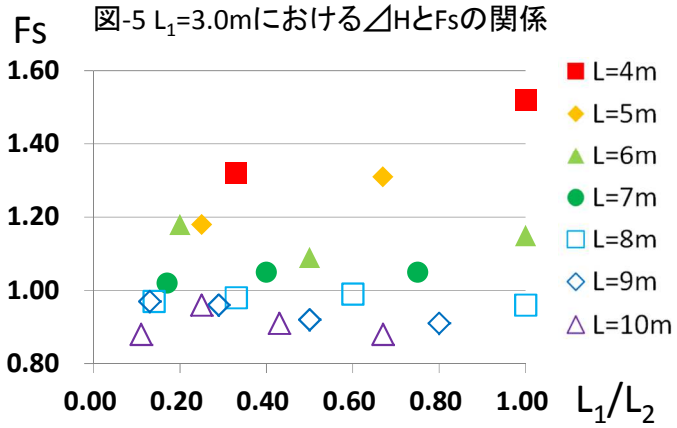

図-6 LとL1/L2によるFsの関係

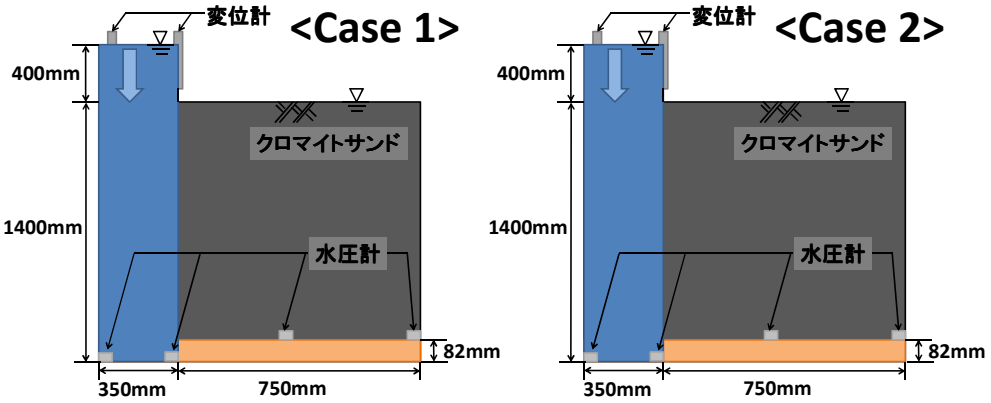

図-7 重力場における小型模型実験概要

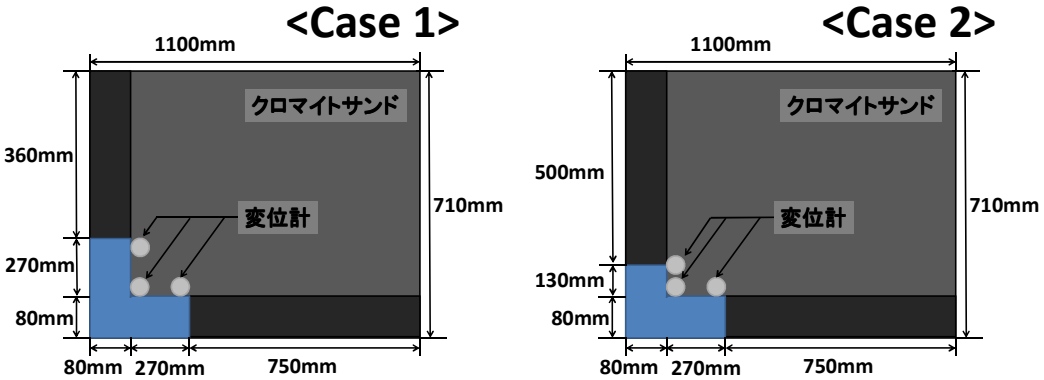

図-8 模型実験ケース

４．まとめ

SSR-FEM 解析結果の比較により隅角部の安定性に向け，以下の知見を得た．

1)短辺掘削長 L_1 は 3m から長くなると安定性への影響が強くなる．

2)長辺掘削長 L_2 は 3m より短くなると安定性への影響が強くなる．

3)溝形状に依らず水位差⊿H が小さくなるにつれて線形的に安全率 Fs が低下していき，⊿H=0.5m 時の Fs は⊿H=2.0m 時の約半分程度となっている．

4)総延長掘削長 L による溝形状と Fs の関係は，L_1 と L_2 が関係している様で一貫した関係性は見られなかった．

４．今後の課題

直線部の安定計算を行い，隅角部の総掘削長 L と直線部の掘削長 L を比較し隅角部と直線部の関係性を明らかにし，地盤条件や施工環境による安全性への影響を確認する．

【参考文献】

1）東日本旅客鉄道株式会社：地下連続壁の溝壁安定の設計施工の手引き(2003)

2)本田敦久:泥水掘削溝隅角部の安定性に関する研究,第50回地盤工学シンポジウム 平成17年度論文集(2005

表-4　モデル寸法

A[m]	1.3
B[m]	0.9
Zp[m]	1.4
Z[m]	1.4
b[m]	0.8

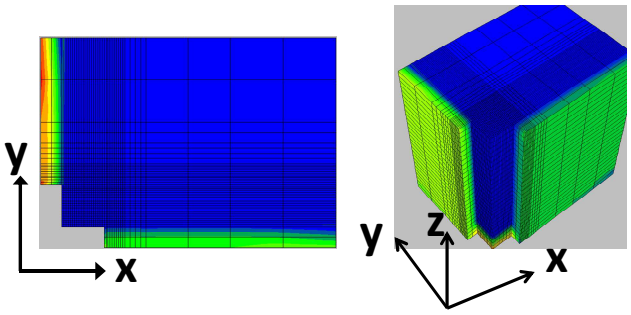

図-9　解析に用いたメッシュ図

表-5　解析条件

地盤及び安定液の条件		
材料	物性	設定値
砂地盤	単位体積重量:γ_s	30.0kn/m^3
	ヤング係数:E_{50}	67,500kN/m^2
	ポアソン比:ν'	0.333
	せん断抵抗角:ϕ	32.1°
安定液	単位体積重量:γ_m	12.26kN/m^3

先行壁の条件		
材料	物性	設定値
先行壁	単位体積重量:γ_s	24.0kN/m^3
	ヤング係数:E_{50}	2,000,000kN/m^2
	ポアソン比:ν'	0.333
	せん断抵抗角:ϕ	35°
	粘着力:c	10,000kN/m^3

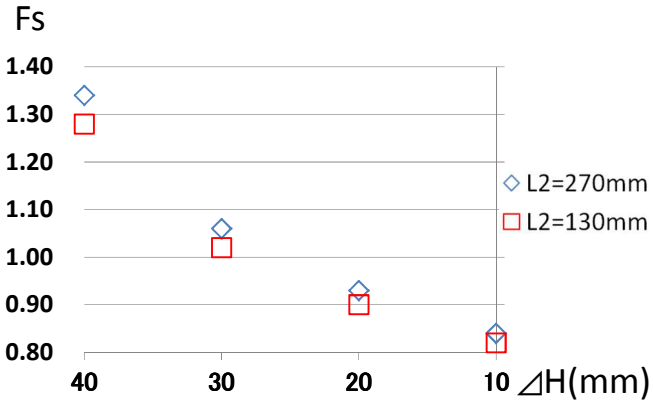

図-10　水位差⊿Hによる安全率の変化