

隅角部泥水掘削溝の安定性に及ぼす溝長さ比と地盤剛性の影響

中央大学 学生会員 ○長谷 祐暉

中央大学 学生会員 山本 竜也

中央大学研究開発機構 国際会員 石井 武司

中央大学 国際会員 齋藤 邦夫

1. はじめに

土留め壁や止水壁に用いられる連続地中壁は、直線部と隅角部によって構成される。これまでの泥水掘削溝壁の安定問題は、主として直線部を対象とする場合がほとんどである。しかし隅角部は直線部に比べて不安定であると指摘されているにもかかわらず、直線部に比べて十分な研究がなされていない。また現実の地盤は、表層に強度を持つ過圧密層や、深くなるにつれて地盤剛性が大きくなる正規圧密層などがある。この地盤剛性が安定性に及ぼす影響は、従来の極限平衡法では評価できない。そこで隅角部形状や地盤剛性を評価できる三次元弾塑性有限要素法を用いた数値実験を行った。

隅角部には L 字型や T 字型など様々な形状が存在するが L 字型が基本形状と考えられる。しかし L 字型は図 1 に示すように溝を挟んで内角部と外角部に区分できることから挙動を同時に取り扱うことを試みる。また、溝長さ比の違いが安定性に及ぼす影響を検討する。さらに従来の検討では一様な地盤を対象にしていたが、ここでは拘束圧を考慮した場合のヤング係数が安定性に及ぼす影響も加えて検討する。

2. 数値実験

2.1 数値実験

溝壁の安定性とすべり面形状を把握するために、せん断強度低減法を三次元弾塑性有限要素法に組み込んだせん断強度低減 FEM (SSR-FEM) を用いて数値実験を行った。この手法はすべり面形状を仮定することなく系全体の最小安全率を算定することができる点に特徴を持つ。¹⁾

2.2 計算条件

本研究では、図 1 に示すように隅角部を内角部と外角部に区分し、それぞれについて安定性を検討することを考えた。このため、溝長さ比に対して図 2 のように定義した。すなわち内角部で直交する溝長さ $L1$ 、 $L2$ を基準にとりこれに対応する外角部溝長さ $L1'$ 、 $L2'$ を

$$L1'=L1+b, L2'=L2+b(\text{ここで、} b \text{ は溝幅})$$

とした。また、一般的には $L1 \neq L2$ であり、両辺の比を $0 \leq L2/L1 \leq 1$ とすることで形状を表すこととした。つまり $L2/L1=0$ は直線部、 $L2/L1=1$ は等辺状の隅角部である。実施工における隅角部は後行エレメントとして構築されることが一般的であるため、本研究においても先行 RC 壁を隅角部泥水掘削溝の端部に設定した。

本論文で用いる図の計算パラメータを表 2 の No. を用いて表す。総掘削長 L を 4 桁目、溝長さ比 $L2/L1$ を 3 桁目、水位差 ΔH を 2 桁目、ヤング係数 E を 1 桁目とする。例えば、433①のケース番号は、1 桁目が“①”であることから 67.5MN/m^2 、2 桁目の“3”は水位差 $\Delta H=2.0\text{m}$ 、3 桁目の“3”は $L2/L1=0.50$ 、さらに 4 桁目の“4”は掘削長 $L=15\text{m}$ を表している。

キーワード 泥水掘削溝壁 せん断強度低減 FEM 溝壁形状 数値実験 拘束圧依存

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 TEL. 03-3817-1715 E-mail: nagatani20121123@gmail.com

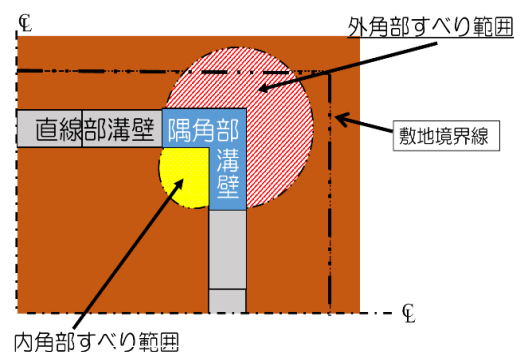


図 1 隅角部平面

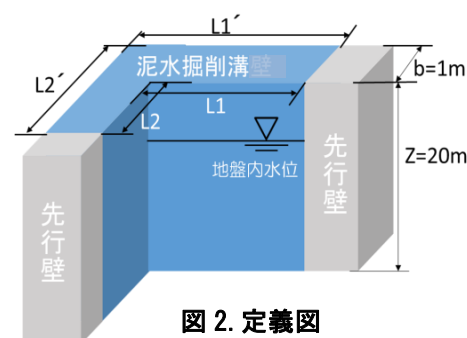


図 2. 定義図

表 1. 泥水溝の基本条件

掘削深さZ(m)	20.0
掘削幅b(m)	1.0

表 2. 計算パラメータ

No.	総掘削長L(m)	No.	溝長さ比L2/L1	No.	水位差Δ H(m)	No.	ヤング係数E
1	6	1	0.00	1	1.0	①	ヤング係数が一様で67.5MN/m ²
2	9	2	0.25	2	1.5	②	ヤング係数の平均値が67.5MN/m ²
3	12	3	0.50	3	2.0	③	ヤング係数の下限値が67.5MN/m ²
4	15	4	0.75				
		5	1.00				

表 3. 物性値

材料	物性	数値
砂地盤	単位体積重量 γ_{sat} (kN/m ³)	18.0
	ヤング係数E(MN/m ²)	67.5
	せん断抵抗角 ϕ (°)	35.0
	ポアソン比 ν	0.333
先行RC壁	単位体積重量 γ_{sat} (kN/m ³)	24.0
	ヤング係数E(MN/m ²)	2000.0
	粘着力c(MN/m ²)	10.0
	ポアソン比 ν	0.333
安定液	単位体積重量 γ_m (kN/m ³)	10.3

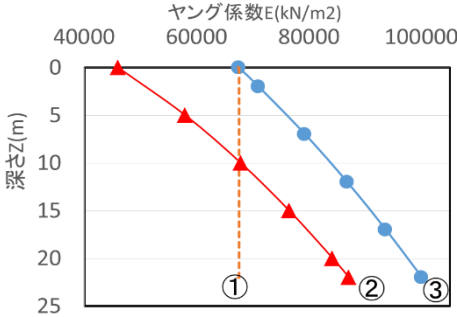


図 3. 深さとヤング係数の関係

3. 結果

3.1 内角部の安定性

図 4 に水位差 2m、ヤング係数①における溝長さ比に対する内角部安全率の関係を示す。総掘削長に関わらず、溝長さ比の上昇にともない安全率は減少する。特に溝長さ比 0.00～0.50 の範囲における安全率の減少量が多い。拘束圧が内角部安全率に及ぼす影響を調べるために図 4 の L=15m に対してヤング係数②と③で計算した。その結果を図 5 に示す。拘束圧による安全率の差異は認められない。図 6 に内角部平面図のすべり線を示す。同図は拘束圧に関わらず、一方の掘削溝端部から他方をつなぐ円弧形的のすべり形状をしていることが分かる。同図によれば溝長さ比が小さくなるにつれてすべり線が長くなる。すべり線が長くなればせん断抵抗の及ぶ範囲が大きくなるため溝長さ比の減少にともない安全率が上昇する。

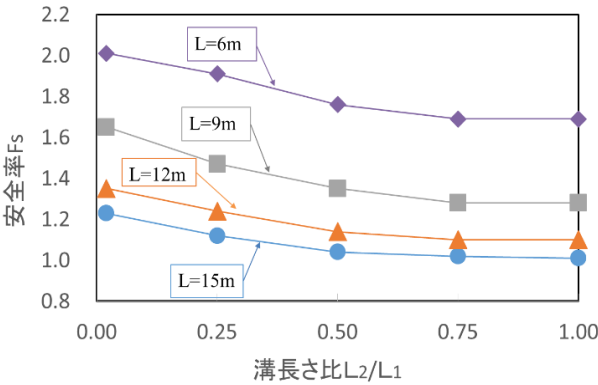


図 4. 内角部における溝長さ比と安全率の関係

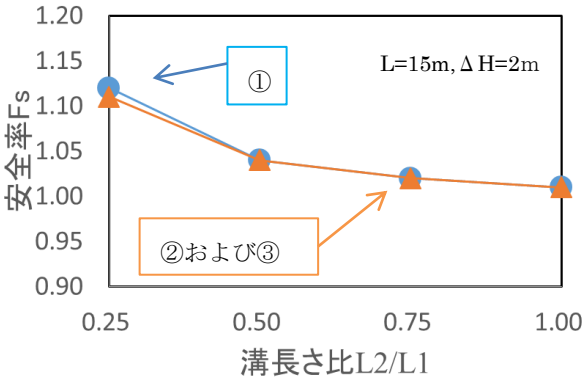


図 5. 拘束圧が内角部安全率に及ぼす影響

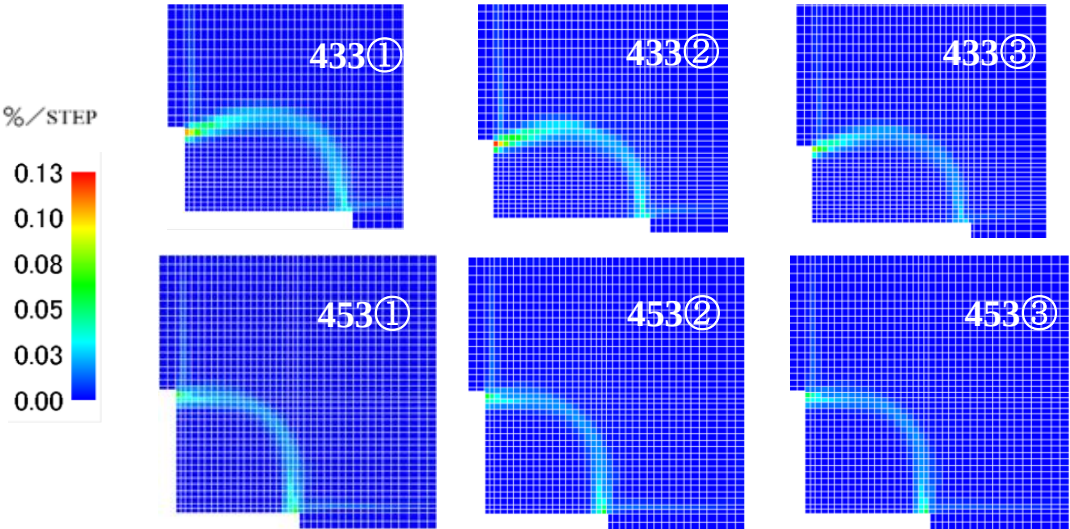


図 6. 拘束圧を考慮した場合の内角部せん断ひずみ増分図

3.2 内角部安全率と崩壊形状の関係

次に、内角部におけるすべり土塊の平面形状は三角形に近似することができると考えた。図9に示すように平面図の崩壊形状を三角形とした際の面積と安全率との関係を検討した。 αL を長辺掘削長、 $(1-\alpha)L$ を短辺掘削長とした。この時の崩壊面積 S を求めると

$$S = L^2/2(\alpha - \alpha^2) \quad (1)$$

となる。式(1)より $(\alpha - \alpha^2)$ は溝長さ比の関数である。

$(\alpha - \alpha^2)$ を変数とした次のような式を用いて、内角部の安全率と崩壊面積の相関性を検討した。

$$Fs = -\beta(\alpha - \alpha^2) + c \quad (2)$$

ここで、 β は係数、 c は溝長さ比 0.00 の際の安全率である。式(2)に総掘削長 $L=6\text{ m}$ 、 $\Delta H=2.0\text{ m}$ に対応する値である、 $\beta=1.45$ 、 $c=2.05$ を代入する。

$$Fs = -\beta(\alpha - \alpha^2) + 2.01 \quad (3)$$

式(3)を用いて崩壊面積と内角部の関係性を図10に表した。式(3)は内角部に類似した安全率の推移が見られた。崩壊面積の増加にともない安全率が減少することが分かる。同様に総掘削長 $L=15\text{ m}$ 、 $\Delta H=2\text{ m}$ についても

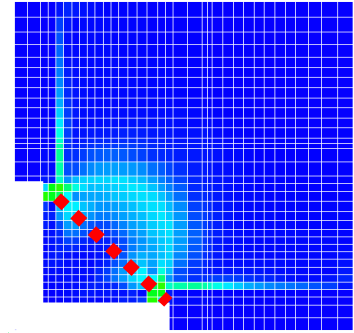


図8 溝長さ比による内角部と外角部の安定性

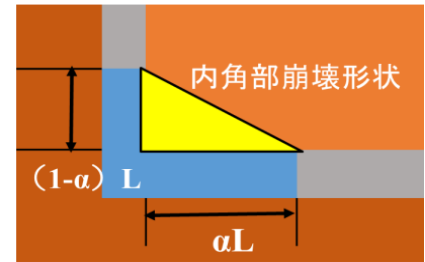


図9 近似すべり線

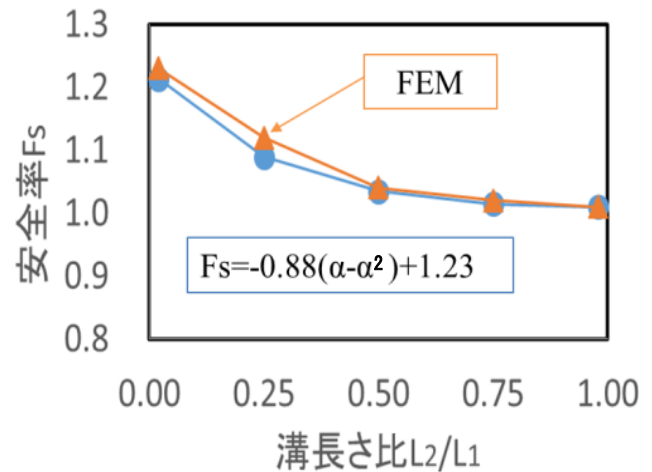
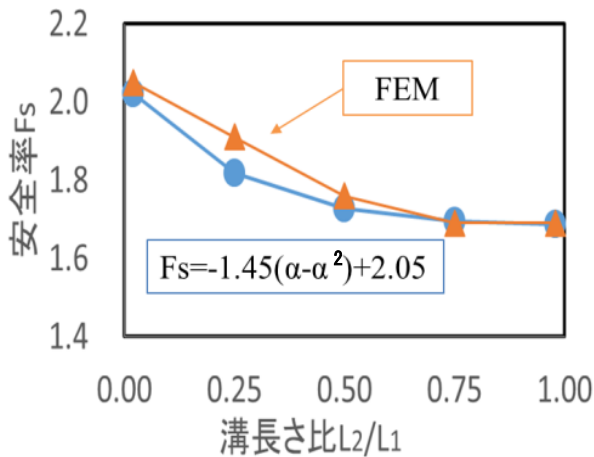


図10. 近似崩壊形状による式と安全率の関係

検討した。

図11に総掘削長と β の関係を示す。同図の β のグラフを線形近似すると

$$\beta = -0.066L + 1.88 \quad (4)$$

と表すことが出来る。(4)式を用いることで簡易的に溝形状が及ぼす内角部安全率を算定することが出来る。

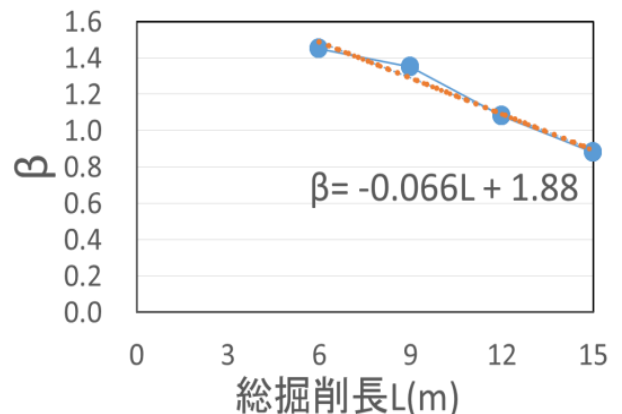


図11. 総掘削長と β の関係

3.3 外角部の安定性

外角部の安全率と溝長さ比の関係を図 12 に、拘束圧が外角部安全率に及ぼす影響を図 13 に、外角部平面図のすべり線を図 14 にそれぞれ示す。溝長さ比が小さくなるほど安全率が減少する。拘束圧が外角部安全率に及ぼす影響は見られない。また拘束圧に関わらず溝長さ比が小さくなるほどすべり線は長辺に集中し、最終的にすべり影響範囲は長辺にのみ現れることが分かる。溝長さ比 0.00～0.50 の範囲は長辺にすべり線が現れているため安全率は概ね線形に増加し、溝長さ比 0.75～1.00 の範囲は長辺のみでなく短辺にもすべり線が現れ安全率は収束傾向にある。

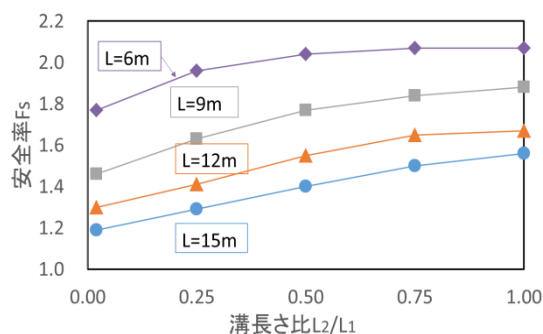


図 12. 外角部における溝長さ比と安全率の関係

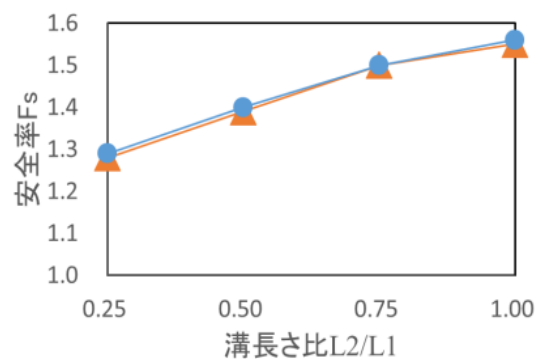


図 13. 拘束圧が外角部安全率に及ぼす影響

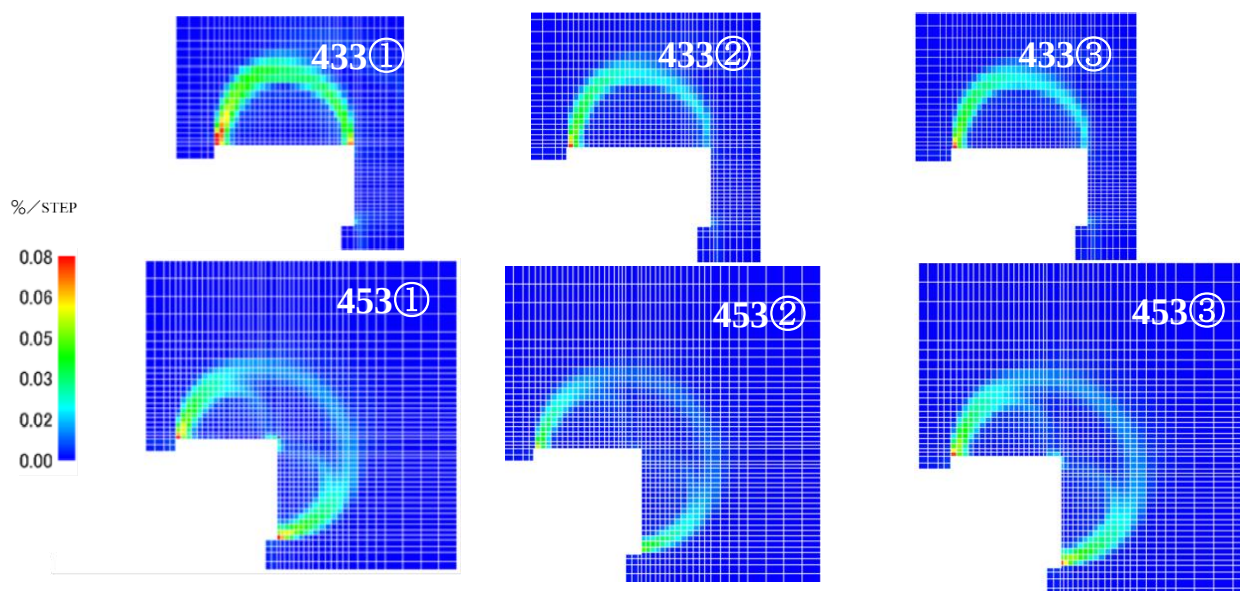


図 14. 拘束圧を考慮した場合の内角部せん断ひずみ増分図

3. まとめ

本研究では、地中連続壁の施工時における隅角部の溝壁安定性に着目し、数値実験により溝形状による安定性を比較し検討を行った。得られた結果は以下の通りである。

- 隅角部溝壁の内角部は総掘削長、拘束圧にかかわらず溝長さ比の増加に伴い安全率は減少する。
- 隅角部溝壁の内角部崩壊形状を三角形と仮定すると崩壊面積が減少するにしたがって安全率が増加する。
また式 (3) を用いると内角部安全率に近似することが出来る。
- 隅角部溝壁の外角部は総掘削長、拘束圧にかかわらず溝長さ比の増加に伴い安全率は減少する。

参考文献

- 本田 敦久：泥水掘削隅角部の安定性に関する研究, 中央大学修士論文, 2004.