斜面の安定性に関する水平面（小段）の影響

(独)労働安全衛生総合研究所　○正　伊藤和也，正　豊澤康男
東京工業大学　正　高橋章浩，正　竹村次朗
茨城工業高等専門学校　フェロー　日下部治

1. はじめに

掘削工事における労働災害の大部分は，土砂崩壊による災害である．その防止対策の重要性は古くから認識されており，1965（昭和 40）年の労働安全衛生規則の一部を改正する省令において，掘削面の勾配と高さの基準等が定められ，現在に至るまで引き継がれている（表-1）[1]。この明り掘削作業における掘削面の勾配と高さの基準である労働安全衛生規則（以下，安衛則）第 356 条および第 357 条では，掘削面について奥行きが 2m 以上の水平な段があるときは，当該段より区切られるそれぞれの掘削面をいうと定義されている。すなわち，2m 以上の小段を設けることで下方や上方の斜面を分離して評価できることから，安衛則では小段が斜面安定に寄与することを期待しているものと思われる。しかし，小段の幅が斜面の安定性にどの程度寄与するのかについては知見がほとんど蓄積されていない。そこで，小段の幅，斜面の勾配と高さ，土質パラメータを変化させた剛塑性有限要素法による数値解析を行い，崩壊形状や安定性について検証を行った。

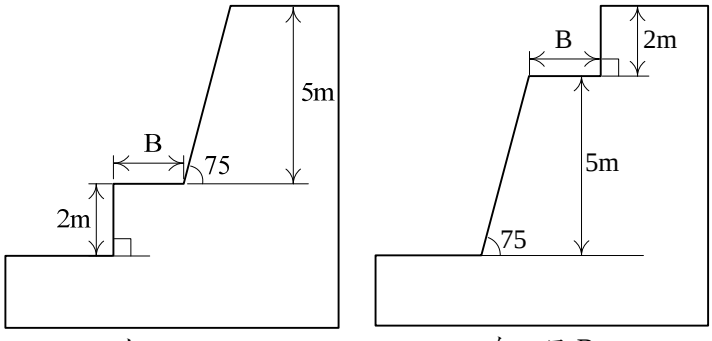
表-1　労働安全衛生規則　第 356 条・第 357 条

	地山の種類	掘削面の高さ（単位 m）	掘削面の勾配（単位 度）
356	岩盤又は堅い粘土からなる地山	5 未満	90
		5 以上	75
	その他の地山	2 未満	90
		2 以上 5 未満	75
		5 以上	60
357	砂からなる地山	勾配 35 度以下又は掘削面の高さ 5m 未満	
	発破等の後の地山	勾配 45 度以下又は掘削面の高さ 2m 未満	

2. 小段幅が斜面の安定性に与える影響に関する剛塑性 FEM

(1) 解析概要

本報では剛塑性有限要素法を用いてすべり線形状などについて比較・検討を行った．剛塑性有限要素法は Tamura et. al[2]の開発したプログラムを利用し，外力として自重を 0 から少しずつ増加させて崩壊時の重力加速度を求める“重力加速度増加手法”を用いた。解析した斜面勾配と高さの幾何学的形状を図-1 に示す。今回検討した斜面形状は，上段が 5m・75 度，下段が 2m・90 度のケース A と上段が 2m・90 度，下段が 5m・75 度のケース B であり，両ケースとも小段幅 0，1，2，3m の 4 種類について検討した。解析に使用した材料物性値等を表-2 に示す。単位体積重量，粘着力は固定とし，内部摩擦角を 0～40 度まで 5 段階に変化させ，幾何学的形状と材料物性値を含めた全 40 ケースの解析を実施した。



ケース A　　ケース B

図-1　解析した斜面勾配と高さの幾何学形状

表-2　材料物性値・小段幅

単位体積重量γ（kN/m^3）	15.7
粘着力 c（kN/m^2）	10.0
内部摩擦角ϕ（度）	0，10，20，30，40
ダイレイタンシー角ψ(度)	ϕ
小段の幅 B(m)	0，1，2，3

(2) 解析結果

剛塑性有限要素法より得られた相当塑性ひずみ速度分布の一覧を表-3～4 に示す．ケース A の幾何学形状の場合，上段もしくは下段のみす

Key Words: 斜面崩壊，労働災害，剛塑性有限要素解析
連絡先 : (独)労働安全衛生総合研究所　建設安全研究グループ　〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6　TEL&FAX 042-494-6214

表-3　相当塑性ひずみ速度分布（ケース A）

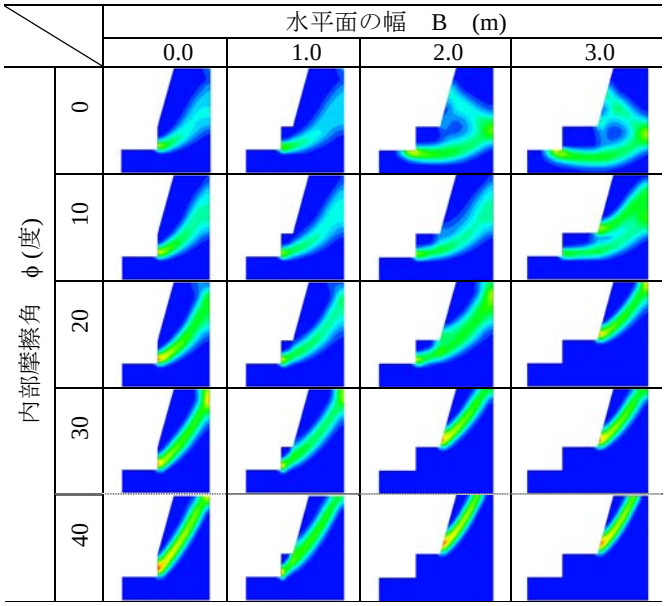
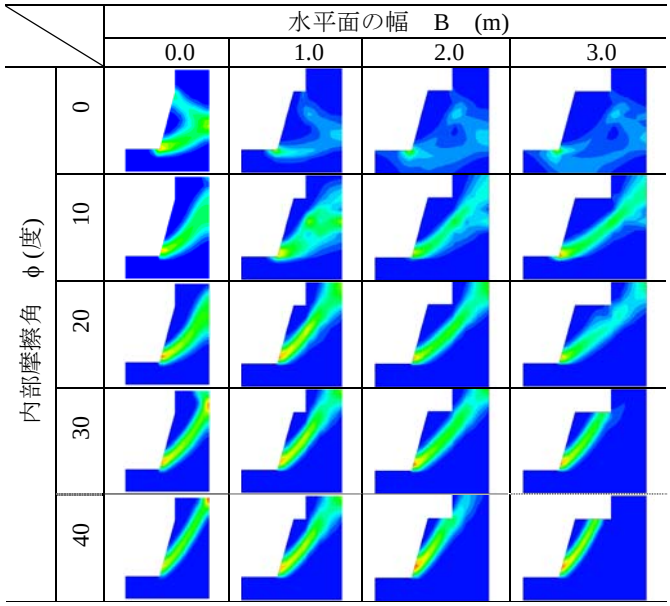
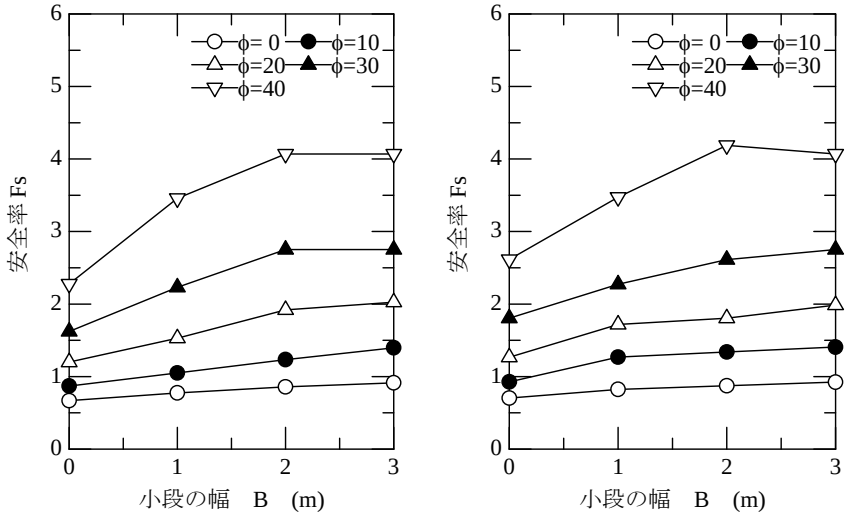


表-4　相当塑性ひずみ速度分布（ケース B）



べり線が発生するのは，小段幅が 2m では内部摩擦角が 30 度から，小段幅が 3m では内部摩擦角が 20 度からで，全てのケースで上段にすべり線が発生した。ケース B の幾何学形状の場合，上段もしくは下段のみ相当塑性ひずみ速度が卓越するのは，小段幅が 3m で内部摩擦角 30 度からで，下段にすべり線が発生したのみであり，それ以外のケースでは，斜面全体にすべり線が発生した。全てのケースの安全率（荷重係数）と小段幅の関係を図-2 に示す。ケース A については，内部摩擦角が 30 度以上では小段幅が 2m と 3m の安全率が同じとなっている。これは，表-3 のように小段から上段の斜面にすべり線が発生していることに起因する。一方，ケース B については，小段より下段の斜面にすべり線が発生していることから，内部摩擦角の違いによるすべり線の影響範囲と小段上部の土塊の上載荷重による相互作用により安全率が若干変動するようである。



(a)　ケース A　　(b)　ケース B

図-2　小段幅による斜面安定性のちがい

3. まとめ

内部摩擦角が 30 度以上の砂質土地盤の場合，斜面勾配や高さによっては崩壊領域が全体となる場合も見られるが，2m 以上の小段を設けることにより崩壊領域を分断できる傾向を確認した。一方，1m 幅の小段では全てのケースで崩壊領域が全領域となり，水平面が崩壊領域を分断する効果は無かった。今後，他の勾配と高さについても検討を行う必要がある。

【謝辞】本研究は，厚生労働省科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業　課題番号H20-労働-一般-001，代表研究者：日下部治）の補助を受けた．ここに記して謝意を表する．

【参考文献】1)伊藤ら：明かり掘削における掘削面の高さと勾配の安全性評価-掘削面の勾配と高さの基準制定に至る歴史的背景-，労働安全衛生研究，Vol. 3, No.2，pp. 103-110，2010．2) Tamura, T. et. al: Limit analysis of soil structure by rigid plastic finite element method, Soils and Foundations, Vol. 24, No. 1, pp.34-42, 1984.