

社会動態と地盤災害

くさ か べ おきむ
日下部 治*

はじめに

大石・川島¹⁾が「脆弱な国土を誰が守る」と題した論文を中央公論に発表したのは10年前であった。先進諸国との比較の上で日本の国土が脆弱であるという指摘である。脆弱な国土のなかに社会基盤を整備・維持するには、高い技術水準や相対的に高価な整備・維持コストが必要となるのは当然の帰結である。全地連の名著「日本の地形・地質—安全な国土のマネジメントのために²⁾」は、青函トンネルとユーロトンネル、日本の新幹線とフランスのTGVの事例を用いて、同一の社会的サービスを構築するための社会基盤建設は、国土の地質・地形や地震・気象条件などの自然条件によって大きく異なることを示した。これらを読めば、しばしば社会基盤整備に批判的な新聞報道や政治家の発言にみられる「日本の社会基盤整備コストは欧米比較で高すぎる」との無批判な国際比較がいかに非科学的で偏狭な主張であるかが理解できる。

我が国土が脆弱であるとの認識は正しい。しかし社会基盤整備と国土の脆弱性の関係をそのまま災害が国土の脆弱性からのみに起因していると結論づけることには慎重である必要がある。災害脆弱性は国土の脆弱性のみには起因したものではなく、国土利用状況や人口構造・社会構造・労働形態などの社会経済的な変化すべてを包含した意味での社会動態と密接に関連している。地盤災害も自然要因と社会経済的・人的要因とが複合して発生すると認識するのが適切である。従って地盤災害の意味は対象とする国、地域によって異なってくるという強い地域性がある。

本稿では、自然災害としての地盤災害と、労働災害としての地盤災害の2点から我が国における

社会動態と地盤災害の関係を見てみたい。

自然災害としての地盤災害

自然災害としての地盤災害は、重力起因の災害形態である斜面崩壊、地すべり、土石流、落石、地球内部のエネルギー放出起因の災害形態である火山災害、液状化等の地震災害が当てはまる。それに加えて地盤内応力変動・地下水変動にともなう地盤沈下なども含めて良いかもしれない。

2007年日本学術会議は「地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築」と題する対外報告³⁾を出した(委員長濱田政則早稲田大学教授)。そこでは、地球の温暖化や都市化による自然外力の増大要因と、過密化と過疎化、少子高齢化、ネットワーク社会等による災害脆弱性の増大要因を論じ、社会基盤施設や防災施設そのものの老朽化問題も指摘している。中でも国土構造、社会構造との関連から災害脆弱性を捉え、自然災害軽減に向けての国土構造と社会構造のあり方を提言しているのが一つの特徴である⁴⁾。

自然災害に対する脆弱性は、人間社会がどのように国土構造を構築し、土地を利用し、居住形態を選定・形成するかという、いわば人間圏のあり方、人間圏の拡大と強く関連している。いまや人間圏は地球上陸地の30%に及んでいるとも言われる。

人間社会の居住形態は、国や地域の自然環境、人口構成、土地利用形態そして産業構造等の社会動態によって大きく支配される。松谷・藤正⁵⁾は、軟弱な沖積平野に位置する海岸地域への過度の人口集中は、戦後政策的に選択された産業構造の当然の帰結として次のように述べている。

「戦後の日本は、鉄鋼、非鉄金属、化学等の素材産業を基盤とし、その上に重電、重機械等の大規模な製造業を要する産業構造をとった。そのよう

* 東京工業大学大学院理工学研究科教授

な産業構造においては、関連する諸産業が集中して立地すること、つまりは工業地帯を形成することが生産の効率性を高める。一方、素材産業はその原料のほとんど全てを輸入に依存せざるを得ない。産業が特定の地域に集中し、かつその地域が大規模な港湾を持つ特定の海岸地域となったことは当然の成り行きであった。(中略)それらの産業は大量生産を基軸としてことから多くの労働力を必要とし、その労働力の主として農村地域に求めたことが、それらの特定の海岸地域への人口集中を全国的規模で展開させることになった。」

その結果、現在では全人口の約80%が都市域に居住し、今後50年程度は人口減少下においても都市人口が増大するとの見方さえある。都市部への人口集中により地方では過疎化が進行した。2007年に国土交通省から発表された調査結果⁹⁾によれば、全国6万2273集落のうち、消滅が予想される集落は全体の4.2%にもものほり、2643集落が消滅するとされている。

このような人口配置のアンバランスという社会動態の地盤災害への影響は、災害ポテンシャルの高い地域への居住地拡大による地盤災害発生の可能性増大、中山間地域での森林・耕地の荒廃とそれに伴う土石流等地盤災害の発生可能性の増大である。沖積平野への人口集中は、液状化による地盤災害に加えて、高潮や津波といった水災害への危険性を高め、昭和30年代後半以降に始まった居住地の郊外丘陵地へのスプロールの拡大は、急傾斜地斜面崩壊による地盤災害の危険性を増大させ、谷部を埋め立てた造成盛土は地震時の潜在的な地盤災害の危険地域を生み出した。

自然災害としての地盤災害を軽減するには、地盤災害の脆弱な地域の特定を行い、災害脆弱性の高い地域に位置する居住地から撤退し、より安全な地域への政策的な居住の移転促進が効率的ではあろうが、住み慣れた土地への愛着という居住者感情に加えて公共の福祉に反しない限り居住・移転の自由が憲法で保障された日本の社会においては、ことはそう単純ではない。

より積極的に地盤災害を防止・軽減するには、それなりの財政基盤が要求される。開発経済学で用いられる人口ボーナスという概念は、出生率の低下にともなう生産年齢人口の人口比率の上昇が、労働投入量の増加と国内貯蓄率の上昇をもたらす、経済成長を促進するという考え方である⁷⁾が、人口ボーナスの効果は人口構造の高齢化とともに薄れる。社会保障費への配分が増加し、社会基盤投資への配分比率が低下するからである。我

が国は2006年から人口減少期に入り、地盤災害の防災力強化策の実現可能性に関して、技術的に可能な防災力レベルが財政レベルによって制約される時代になったと認識する必要がある。

安心・安全社会の構築が強く叫ばれる現代である。地球環境変化にともなう潜在的な地盤災害の危険性増大に対する地域住民の認識を如何に高めていくか、安心・安全への将来投資の必要性に対してどのように合意形成を進めていくか、制約された財政状況のなかで、いかに地盤災害対応への財政投資優先度を高めていくかが大きな課題である。

労働災害としての地盤災害

地盤災害は自然起因ばかりでなく建設行為によっても発生し、地盤に関わる建設行為による地盤の崩壊によって工事従事者が死傷する、労働災害をという形態で地盤災害が発生する。

地盤災害起因による労働災害による死亡者は、1990年代は毎年40名から80名で推移していた。近年の公共工事市場の縮小からか、2007年には20件にまで減少しているが、さらに地盤災害起因の労働災害は減少しようというのが労働安全分野の人々の認識である。地盤災害起因の労働災害は、溝掘削工事、切土斜面掘削工事、トンネル工事、土石流等によって発生し、死亡災害は、溝掘削工事と切土掘削工事において大半が発生している。そこでは地盤の崩壊という力学的現象の調査・解析・予測技術の不完全さに加えて、工事の発注形態、工事規模、施工形態、工事従事者の技術力や年齢構成などの社会的・人的要因が死亡災害の原因となっており、地盤災害起因の労働災害の防止に向けた社会動態と地盤災害の視点が重要である。

最近筆者らは過去の事故調査事例を調べる機会を得た⁸⁾。そこで以下のような点が明らかになった。

- (1) 崩壊の前兆現象への適切な対応がなされていない。
- (2) 高齢な工事従事者が被災する例が多い。
- (3) 小規模工事で土砂災害が多発している。
- (4) 十分な科学的知見を得る調査が不足している。
- (5) 専門的な技術的知見が生かされていない。
- (6) 工期が短期間で雪解け時期に集中している。
- (7) 施工時における安全な人的配置という視

点が欠如している。

それらの事象は相互に関連している。隣接する工区で崩壊が発生している、小石がバラバラ落ちるなどの斜面崩壊の前兆現象があっても、様子見だけで設計のり勾配や当初施工方法を再検討せずに工事を続行してしまう例など、専門的な技術的知見が活かされていない。通常大規模工事では、工期が比較的長く工費も多額なので、詳細な地盤調査が行われ、過去の施工経験の蓄積に基づき設計検討が行われ、施工管理体制も整備され、工事従事者に対する教育・研修機会も多い。それに比べ小規模工事では、少額の工費、短期間の工期という制約のもと、十分な地盤調査も行われず、工事従事者への教育・研修機会も少ない。過疎地域である中山間地域での工事では、高齢な工事従事者が多い。

大規模工事では、斜面崩壊発生は皆無ではないものの死亡事故を含む労働災害は発生していないといわれ、死亡事故は小規模工事に集中している。このことは発注額によって工事の安全管理レベルが異なることを意味し、地盤災害起因の労働災害には発注者・施工者の技術力を含む社会経済的な要因が大きく影響していることを示唆している。特に、会計年度に縛られた無理な工期の設定、融雪期に集中した工事発注、出来高管理のための危険な写真撮影義務など、社会システムで死亡事故回避が可能である部分が多くあることは、地盤災害起因の労働災害を社会動態との関連で改めて見

直す必要性を意味している。

おわりに

社会動態と地盤災害を詳細に論じるには、地質・地盤に直接関連する技術分野の研究ばかりでなく社会経済的側面を包含した総合的な地盤リスクマネジメント研究の必要性が痛感され、現在進行中の「地質リスク」「地盤リスク」に関する全地連や地盤工学会で研究活動の成果が期待される。

参考文献

- 1) 大石久和・川島一彦 (1998)：脆弱国土を誰が守る，中央公論，6月号，pp. 148-165.
- 2) 全国地質調査業協会連合会編 (2001)：日本の地形・地質—安全な国土のマネジメントのために，鹿島出版会.
- 3) 日本学術会議 (2007)：地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築.
- 4) 日下部治 (2007)：国土構造・土地利用と災害脆弱性，学術の動向，日本学術会議，pp. 31-35, 11.
- 5) 松谷昭彦・藤正巖 (2002)：人口減少下社会の設計—幸福な未来への経済学，中公新書.
- 6) 国土交通省 (2007)：国土形成計画策定のための集落の状況に関する現況把握調査最終報告.
- 7) 大泉啓一郎 (2007)：老いてゆくアジア，中公新書.
- 8) 豊澤康男，伊藤和也，日下部治，竹村次朗，高橋章浩，井澤淳 (2009)：斜面掘削工事中の土砂崩壊による労働災害の特徴とその対策について，第44回地盤工学研究発表会.

斜面掘削工事中の土砂崩壊による労働災害の崩壊形態・崩壊原因の傾向

○伊藤和也 (独)労働安全衛生総合研究所)
 高橋章浩 (東京工業大学工学部)
 日下部治 (東京工業大学工学部)

豊澤康男 ((独)労働安全衛生総合研究所)
 竹村次郎 (東京工業大学工学部)

1. はじめに

一般的に土砂崩壊発生の誘因は豪雨や地震のような自然現象と建設工事等の人為的なものの2種類に分けることができる。後者の誘因により、建設工事に従事する労働者が被災する労働災害が毎年繰り返し発生している。図-1に建設業に関する労働災害の年度別推移を示す。土砂崩壊による労働災害の死亡者は、1990年代に毎年40~80名前後で推移していたが、近年の公共工事市場の縮小などにより2007年には20件まで減少してきた。そのうち約半数が道路建設工事等における斜面の切り取り工事などにおける斜面崩壊によるものである。こうした災害の有効な防止対策を樹立するために、災害事例を調査し、斜面掘削工事中の土砂崩壊による労働災害の崩壊形態・崩壊原因の傾向について分析を行った。

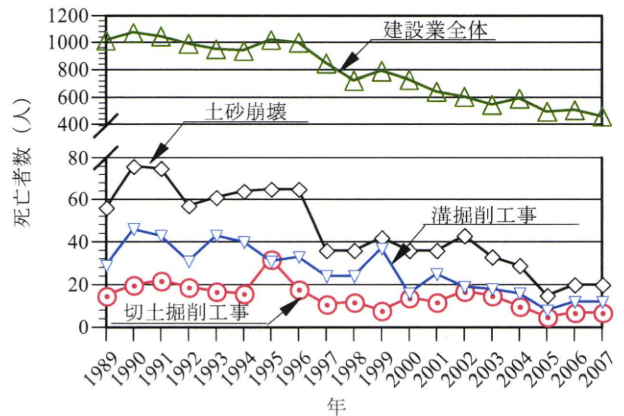


図-1 労働災害の年度別推移¹⁾

2. 対象および崩壊形態・崩壊原因の分類方法

本研究では、斜面掘削工事中の土砂崩壊による死亡災害事例について調べた既往の調査・分析結果²⁾をもとに、地盤工学に携わる技術者から見た崩壊形態・崩壊原因の類型化作業を行うためのデータベースシート(以下、DB)を作成した。DBの詳細について以下に示す。

(1) 崩壊形態

奥園が示した崩壊形態分類図(図-2)³⁾を参考に、規模別分類と地質別分類に分けて記載することとした。

I. 規模別分類

a. 落石, 浸食, 表面剥落

(特に不安定要因は持たないが急勾配な法面)

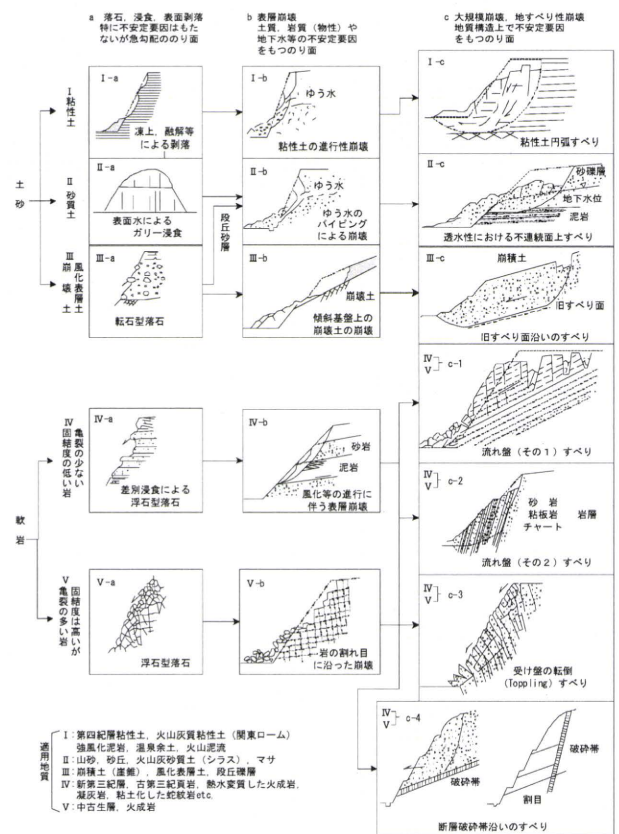


図-2 崩壊形態分類図(奥園原図)³⁾

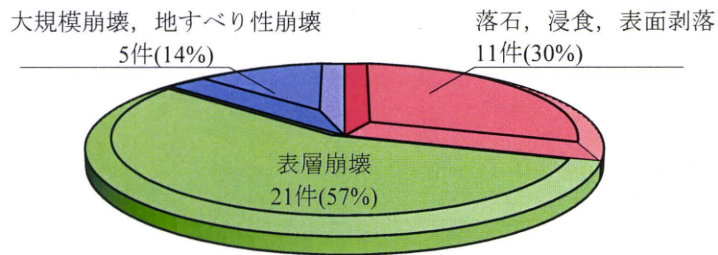


図-4 崩壊形態・規模別分類

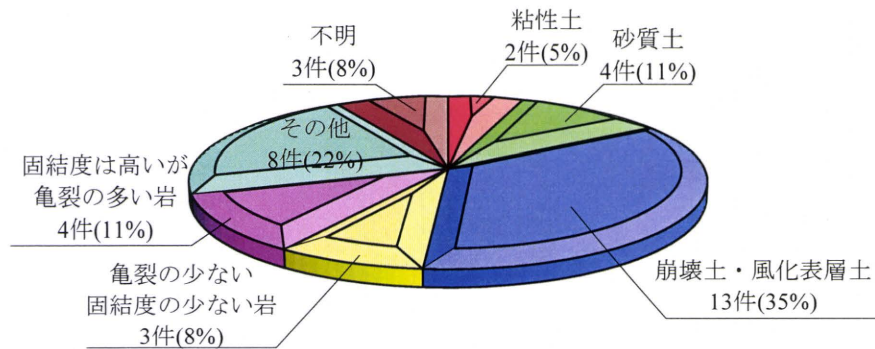


図-5 崩壊形態・地質別分類

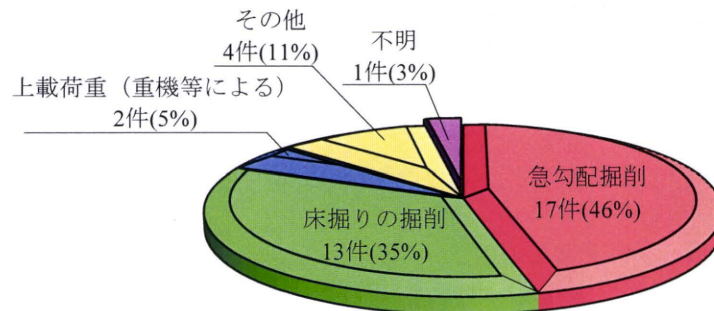


図-6 崩壊原因・施工上

51件中、詳細を確認することが出来た37件について実施した。以下に、斜面掘削工事中における土砂崩壊による労働災害の崩壊形態および崩壊原因の傾向を示す。

(1) 崩壊形態の傾向

規模別に分類した結果を図-4に示す。表層崩壊が21件あり、全体の60%弱を占めている。また表層崩壊と落石、浸食、表層剥落による災害を含めると87%となり、小規模な崩壊によって被災していることが多いことが分かる。既往の調査・分析結果²⁾でも労働災害となる崩壊規模は崩壊土量が50m³未満の崩壊が全体の6割を占めていることが分かっており、これらとも合致する。

地質別に分類した結果を図-5に示す。崩壊土・

風化表層土がもっとも多く13件、その後に砂質土と固結度は高いが亀裂の多い岩が4件となっている。崩壊土・風化表層土に該当する災害事例の多くは、斜面下部に岩盤などの基盤層があり、その上部に堆積しているこれらの地質が崩壊している。この場合には、事前に簡易的に何らかの地盤調査を行っていれば未然に防げた可能性が高い。

(2) 崩壊原因の傾向

施工上による崩壊原因について分類した結果を図-6に示す。急勾配掘削が17件で全体の46%、床掘り掘削が13件で35%を占めており、これらの原因により崩壊していることが分かる。

自然現象による崩壊原因について分類した結果を図-7に示す。降雨・雪、地下水・湧水といった

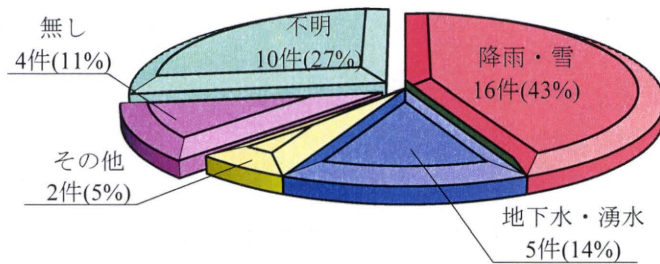


図-7 崩壊原因・自然

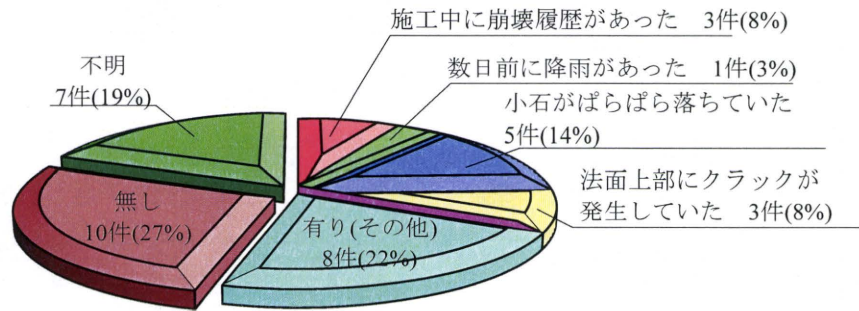


図-8 予見可能性の有無

水に関連する原因によって崩壊した事例が全体の約6割となっており、水が崩壊に何らかの影響を与えていることが分かる。

(3) 予見可能性の有無について

地盤工学の専門家から見た場合の予見可能性について分類した結果を図-8に示す。不明や無しも多いが、同じ箇所を施工中に崩壊履歴があった事例や崩壊前に小石がパラパラと落ちるといった崩壊の前兆現象が報告された事例が22%存在しており、事前に何らかの処置をすれば、防げた可能性が高い。

4. 結論

斜面掘削工事中の土砂崩壊による死亡災害事例について、地盤工学に携わる技術者から見た崩壊形態・崩壊原因の傾向について分析を行った。その結果、崩壊形態として規模別には表層崩壊や落石のような小規模崩壊、地質別としては基盤層に堆積した崩壊土・風化表層土によって多くが被災していることが分かった。また、崩壊原因として降雨・雪、地下水・湧水など水が崩壊に影響を及ぼしている傾向が見られた。

今後、調査件数を増やすことにより、①施工法

の問題、②発注形態の問題、③施工中の人員配置の問題（写真撮影や測量など）といった斜面掘削工事の土砂崩壊による死亡災害の問題点が統計量として得られるものと考えている。

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) 例えば、建設業災害防止協会：平成19年度版建設業安全衛生年鑑，建設業災害防止協会，216p，2007.
- 2) 伊藤和也，豊澤康男，Tamrakar S. B.，堀井宣幸：建設工事中の斜面崩壊による労働災害の調査・分析，日本地すべり学会誌，Vol. 41, No. 6，pp. 17-26，2005.
- 3) 奥園誠之：小規模崩壊は物性（土質）に，大規模崩壊は地質構造に支配される，これだけは知っておきたい斜面防災100のポイント，鹿島出版会，pp. 7-9，1986.

建設現場における降雨による斜面崩壊に関する遠心模型実験

斜面安定, 降雨, 遠心模型実験

東京工業大学大学院 国際会員 井澤 淳
University of Dundee Fraser Bransby

1. はじめに

伊藤ら¹⁾による1989年から2002年までの統計調査によると、毎年15~20人ほどの作業員が切土作業中の斜面崩壊および落石で亡くなっており、14年間の総死者数は131人にのぼる。切土工事の労働安全を目的として、表1に示す労働安全衛生規則第356条・第357条において工事中の切土勾配および高さの基準が定められている。表2は1989年から2002年まで切土工事中に発生した死亡事故現場の斜面高さと勾配をまとめたものである。灰色でハッチした部分は労働安全衛生規則を満たしていないために事故が発生した現場であり、適切に工事が進められていれば避けられた可能性がある。逆に労働安全衛生規則を満たしていたにもかかわらず発生した事故は41件(不明事例を除く)にのぼっており、その原因究明が急務である。一方で、多くの切土斜面崩壊が降雨から3日以内に発生していることも統計調査から分かっている。本研究では、遠心模型実験から、切土斜面の安定性に及ぼす降雨の影響、特に降雨後の挙動を評価した。

2. 実験概要

本研究では表2に示された事故区分のうち、労働安全衛生規則を満たしていたにもかかわらず15件もの事故が発生している斜面角度60°~75°、斜面高さ2m~5mの断面に着目した。この切土形状を労働安全衛生規則第356条・第357条と照らし合わせると、「その他の地山における75°斜面」または「砂からなる地山の5m未満の斜面」に相当すると考えられ、これらの地質特性、形状を有する切土斜面の安定性について詳細に検討する必要がある。そこで、斜面勾配60°、高さ5mの砂質土斜面の安定性に及ぼす降雨の影響を、遠心模型実験装置を用いて評価した。図1に模型地盤概要図を示す。試料は英国スコットランドのダンディ近郊にあるScottish Crop Research Institute内の実験フィールドから採取したBullionfield Soilを使用した。Bullionfield soilは砂分71%、シルト分19%、粘土分10%で構成されており、液性限界LL=33%、塑性限界PL=25%、IP=8、最適含水比17.7%(最大乾燥密度1.67g/cm³)である。本実験では最適含水比で試料を調整し、乾燥密度1.40g/cm³(締固め度84%)となるよう矩形ランマーを用いて動的に締め固めて模型地盤を作成した。実験はUniversity of Dundee所有の遠心模型実験装置および気候変動シミュレータ²⁾を用いて行った。遠心加速度20Gに到達後、切土のクリープ変形が概ね収束するまで10分間放置したあと、降雨実験

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	掘削面の勾配
岩盤または堅い粘土からなる地山	5m未満	90°
	5m以上	75°
	その他の地山	90°
その他の地山	2m未満	90°
	2m以上 5m未満	75°
	5m以上	60°
砂からなる地山	掘削面の勾配 35°以下	
	又は 掘削面の高さ 5m未満	
発破等で崩壊しやすい状態になっている地山	掘削面の勾配 45°以下	
	又は 掘削面の高さ 2m未満	

表2 死亡事故現場における崩壊斜面高さと勾配の区分

高さ	勾配 ~60°	~75°	~90°	90°	不明	計
-2m	-	1	1	2	-	4
2m-5m	1	15	8	1	-	25
5m-10m	8	12	3	3	1	27
10m-30m	10	16	5	1	1	33
30m-50m	2	1	-	-	1	4
50m-30m	1	3	-	-	-	4
不明	8	12	4	1	9	34
計	30	60	21	8	12	131

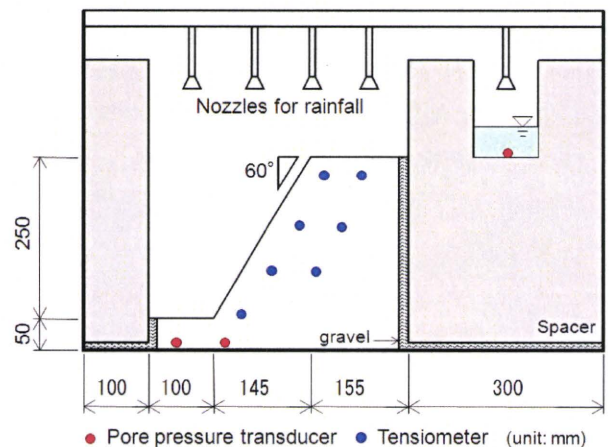


図1 模型地盤概念図



図2 実験終了後の模型地盤

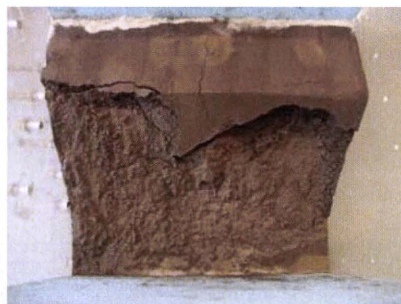


図3 実験終了後の含水比分布

を開始した。降雨を2分間（実物換算で20時間）シミュレートした後、7分間（実物換算で46.7時間）の放置を1イベントとし、6イベント行った。実験中の模型の画像をデジタルカメラで撮影し、PIV (Particle Image Velocimetry)手法を用いて、模型の変形を求めた。PIV解析にはオープンソースのPyPIVを用いた。

3. 実験結果

図2に実験終了後の模型地盤の様子を示した。降雨により切土斜面表層部が大きく崩壊していることが分かる。ただし、前背面の亚克力板との摩擦はグリースを塗布することにより軽減させたが、完全な平面ひずみ状態は模擬できていなかったため模型前面にそのような大崩壊は見られず、崩壊発生時を正確に推定することは出来なかった。図3に実験終了後（6回の降雨イベント終了後）に計測した切土模型内の含水比分布を示す。切土上部から下部にかけて徐々に含水比は増加しており、実験中に雨水の浸透が底部にまで達していたことが分かる。崩壊土砂の含水比も30%を超えておらず、地盤が液性限界に達する前に斜面崩壊が発生していたと考えられる。

実験では6回の降雨をシミュレートしたが、ここでは最初の3回の降雨実験における切土斜面の挙動について述べる。図4にノズルに作用する水圧と総降雨量の時刻歴を示す。各降雨イベントの降雨速度は6.97mm/hr., 7.5mm/hr, 6.142mm/hrと若干の誤差はあるものの、概ね7.0mm/hr程度の降水速度を模擬している。これは気象庁の降雨レベルでは弱い雨の部類に該当しており、日常よくある降雨であると考えられる。また、総雨量はそれぞれ92.66mm, 150.5mm, 122.84mmである。上述の通り、模型の平面ひずみ条件を完全に満たすことが出来なかったため、デジタルカメラで撮影した画像から求めた変形は、模型内の変形とは異なることを注意する必要がある。ただし地盤の変形が比較的小さい最初の3回の降雨イベントでは、その影響もそれほど大きくないと考えられる。PIV解析から求めた実験開始から降雨2回目直後まで変位ベクトル図、および実験開始から降雨3回目直前までの変位ベクトル図（変位は5倍表示）を図5に示す。天端付近はほぼ鉛直に沈下し、斜面表層が水平変位を伴いながら沈下していることが分かる。また2回目の降雨以降、3回目の降雨直前までに大きな変形が生じている。図6に法肩から75mm地点の天端沈下および法尻から100mmの高さでの水平変位の時刻歴を示す。この変位も全てPIVによる画像解析から求めている。水平変位は2回目の降雨終了前の90時間経過した付近から比較的大きな変位を生じ始め、それに少し遅れて天端沈下が急激に増加している。したがって、降雨により切土斜面の表層部が斜め下方にまず変形し、それに伴い天端付近の沈下が卓越する変形モードであると考えられる。また、砂から切土斜面は降雨からある程度の時間をおいて変形が卓越する傾向にあり、降雨終了後も斜面の崩壊に留意する必要がある。

4. まとめ

本研究では労働安全衛生規則第356条・第357条に示された砂からなる切土の限界形状（斜面勾配60°、高さ5m）と同一形状の遠心模型を作成し、降雨による変形挙動を観察した。実験ではPIVによる画像解析を行い、詳細な変形観察を行った。その結果、砂から切土斜面は降雨からある程度の時間をおいて変形が卓越する傾向にあり、切土工事中は降雨終了後の斜面の変形に注意し、崩壊に留意する必要があることを示した。また、切土斜面の変形は斜面近傍の変形が先行し、それに伴って天端の沈下が急激に進行することを明らかにした。したがって、崩壊の予知には斜面の水平変位を計測することが有効であると考えられる。

謝辞：本稿は労働安全衛生総合研究推進事業日本人研究者派遣事業により University of Dundeeにて行った研究成果の一部である。

参考文献：1) 伊藤ら, 切土掘削工事現場における斜面崩壊による労働災害の調査・分析, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, No. 35, pp. 7-18, 2007. 2)Hudacsek et al., Centrifuge modelling of climatic effects on clay embankments, Proc. of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability 162, ES2, pp. 91-100, 2009

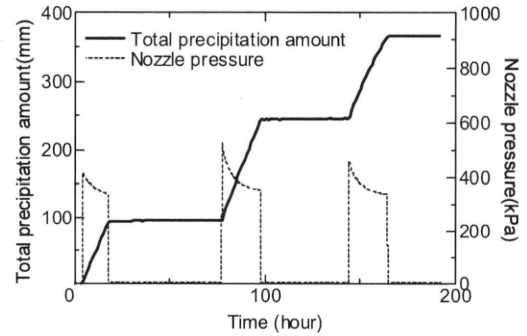
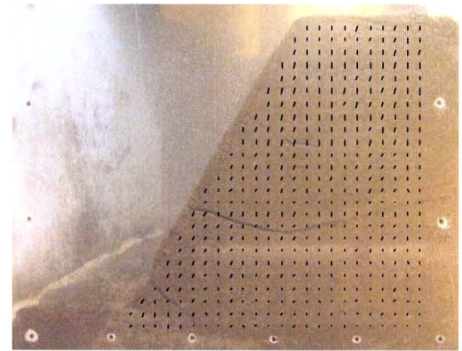
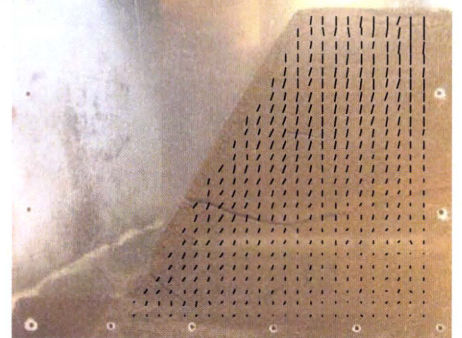


図4 ノズル圧力と総雨量の時刻歴



(a) 2回目降雨直後 (at 97hours)



(b) 3回目降雨直前 (at 144hours)

図5 変位ベクトル図

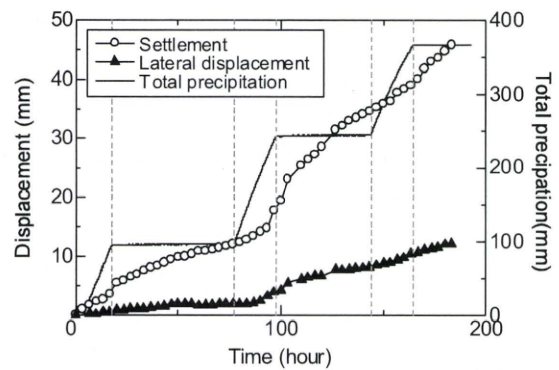


図6 鉛直および水平変位時刻歴

斜面崩壊による労働災害の崩壊形態・原因の傾向および対策について

(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 井澤淳, 正 高橋章浩, 正 竹村次朗, 正 日下部治

表-1 崩壊原因の分類分け

施工上	自然原因
・急勾配掘削	・降雨・雪
・床掘りの掘削	・地震
・上載荷重(重機等による)	・地下水・湧水
・その他	・その他

1. はじめに

土砂崩壊による労働災害の死亡者は、1990年代に毎年40～80名前後で推移していたが、近年の公共工事市場の縮小などにより2007年には20名まで減少している¹⁾。そのうち約半数が道路建設工事等における斜面の切取り工事などにおける斜面崩壊によるものであり、斜面崩壊が土砂崩壊による労働災害に占める割合は増加傾向にある。本研究では、地盤工学に携わる技術者から見た崩壊形態・崩壊原因の類型化を行い、その傾向を把握するためのデータベースの構築を試みている。既報²⁾では、3年間の災害事例について調査・分析を実施したが、具体的な問題点を統計量として示すためには調査件数が少ないことが危惧された。そこで、本報では計5年間の災害について調査分析を実施し、斜面崩壊による労働災害の崩壊形態や原因の傾向を示し、その対策について述べる。

2. 調査対象および崩壊形態・崩壊原因の分類方法

本研究では、斜面崩壊による労働災害事例について調べた既往の調査・分析結果³⁾をもとに、地盤工学に携わる技術者から見た崩壊形態・崩壊原因の類型化作業を行った。詳細について以下に示す。

(1) 崩壊形態

奥園が示した崩壊形態分類図⁴⁾を参考に、規模別分類と地質別分類に分けて記載することとした。

規模別分類

- ・落石、浸食、表面剥落
- ・表層崩壊
- ・大規模崩壊、地すべり性崩壊

地質別分類

- ・粘性土
- ・砂質土
- ・崩壊土・風化表層土
- ・亀裂の少ない固結度の少ない岩
- ・固結度は高いが亀裂の多い岩

(2) 崩壊原因

施工上によるものと自然原因に分けて表-1のように記載した。他に、予見可能性の有無(専門家から見た場合の崩壊の前兆の有無)、退避可能性の有無(現状として退避は可能であったか)、災害回避可能性の有無(何らかの改善処置により災害を免れることができたか)なども検討した。

3. 崩壊形態・崩壊原因の傾向について

本報では、上述のような分類分けを1989年～1993年の5年間に発生した死亡災害事例88件中、詳細を確認することができた62件について実施した。以下に、斜面崩壊による労働災害の崩壊形態および崩壊原因の傾向を示す。

(1) 崩壊形態の傾向

規模別に分類した結果を図-1に示す。表層崩壊が34件あり、全体の60%弱を占めている。また表層崩壊と落石、浸食、表層剥落による災害を含めると85%となり、小規模な崩壊によって被災していることが多いことが分かる。既往の調査・分析結果でも労働災害となる崩壊規模は崩壊土量が50m³未満の崩壊が全体の6割を占めていることが分かっており³⁾、これらとも合致する。

地質別に分類した結果を図-2に示す。崩壊土・風化表層土がもっとも多く28件、その後に固結度は高いが亀裂の多い岩が8件となっている。崩壊土・風化表層土に該当する災害事例の多くは、斜面下部に岩盤などの基盤層があり、その上部に堆積しているこれらの地質が崩壊している。この場合には、事前に簡易的に何らかの地盤調査を行っていれば未然に防げた可能性が高い。

(2) 崩壊原因の傾向

施工上による崩壊原因について分類した結果を図-3に示す。急勾配掘削が27件で全体の44%、床掘り掘削が19件で31%を占めており、これらの原因により崩壊していることが分かる。

自然現象による崩壊原因について分類した結果を図-4に示す。降雨・雪、地下水・湧水といった水に関連する原因によって崩壊した事例が全体の約6割となっており、水が崩壊に何らかの影響を与えていることが分かる。

(3) 予見可能性の有無について

地盤工学の専門家から見た場合の予見可能性について分類した結果を図-5に示す。不明や無しも多いが、

Key Words: 斜面崩壊, 労働災害, 調査・分析

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

同じ箇所を施工中に崩壊履歴があった事例や崩壊前に小石がパラパラと落ちるといった崩壊の前兆現象が報告された事例が26%存在しており、事前に何らかの処置をすれば、防げた可能性が高い。斜面崩壊などから

作業員の命を守るためには、崩壊前兆現象の理解や、崩壊発生時の対応などを、日ごろから勉強しておくことが必要であろう。

4. 斜面崩壊による労働災害の防止対策について

既往の研究および斜面崩壊による労働災害の調査・分析結果から、当該災害を減少するためには、労働災害の件数が多い、以下のような崩壊形態・工事を中心として具体的な対策を講ずる必要がある。すなわち、
・工事について：主に中小規模の事業所が行う小規模な重力式擁壁やもたれ式擁壁築造の際の斜面切り取り掘削作業

・崩壊形態について：崩積土・風化表層土の表層崩壊を中心とした小規模崩壊

また、斜面切り取り掘削を伴う工事は、工程やパターンが多様にありハードだけに頼った対策では費用対効果を考えると難しい場合が多い。そのため、計画・設計・施工の各段階において適正で有効なリスクアセスメントを実施することが不可欠であろう。

5. 結論

斜面崩壊による労働災害事例について、地盤工学に携わる技術者から見た崩壊形態・崩壊原因の傾向について分析を行った。その結果、崩壊形態として規模別には表層崩壊や落石のような小規模崩壊、地質別としては基盤層に堆積した崩壊土・風化表層土によって多くが被災していることが分かった。また、崩壊原因として降雨・雪、地下水・湧水など水が崩壊に影響を及ぼしている傾向が見られた。既往の調査研究と本報の結果から、中小規模の斜面切り取り掘削を伴う工事においても、計画・設計・施工の各段階において適正で有効なリスクアセスメントを実施することが必要である。

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) 例えば、建設業災害防止協会：平成19年度版建設業安全衛生年鑑，建設業災害防止協会，216p，2007。
- 2) 伊藤和也，豊澤康男，Tamrakar S. B.，堀井宣幸：建設工事中の斜面崩壊による労働災害の調査・分析，日本地すべり学会誌，Vol. 41, No. 6, pp. 17-26, 2005。
- 3) 伊藤和也，豊澤康男，井澤淳，高橋章浩，竹村次朗，日下部治：斜面掘削工事中の土砂崩壊による労働災害の崩壊形態・崩壊原因の傾向について，第44回地盤工学研究発表会，pp.797-798, 2009。
- 4) 奥園誠之：小規模崩壊は物性（土質）に，大規模崩壊は地質構造に支配される，これだけは知っておきたい斜面防災100のポイント，鹿島出版会，pp. 7-9, 1986。

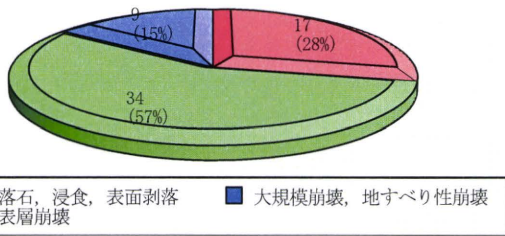


図-1 崩壊形態・規模別分類

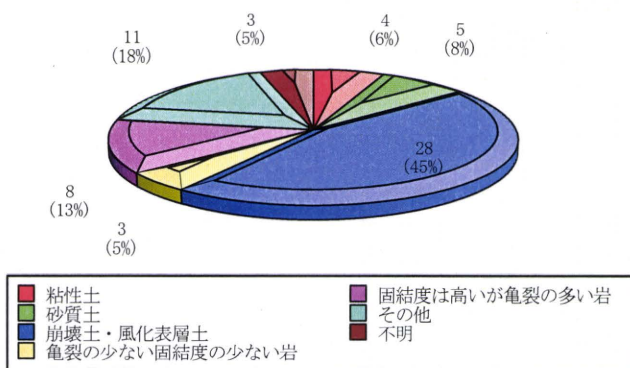


図-2 崩壊形態・地質別分類

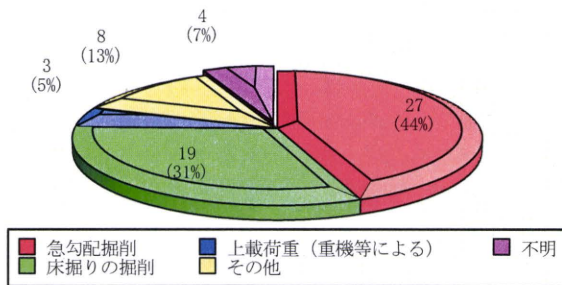


図-3 崩壊原因・施工上

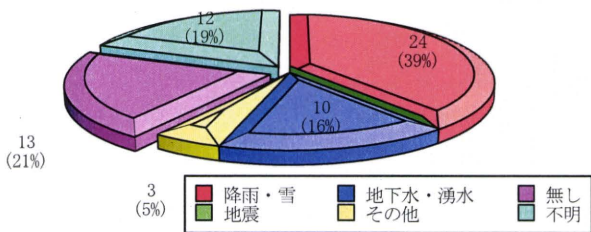


図-4 崩壊原因・自然原因

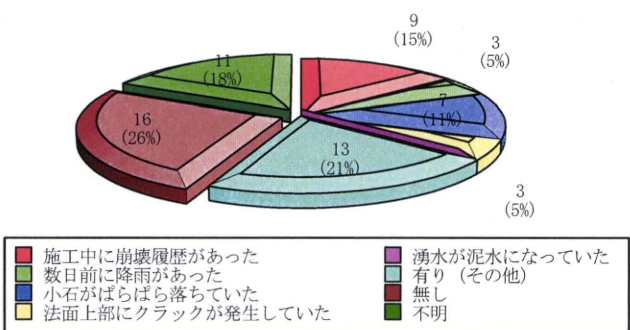


図-5 予見可能性の有無

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-†

伊藤和也*1 豊澤康男*2 前 郁夫*3
高橋章浩*4 竹村次朗*4 日下部治*4

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。本報では、国内の各機関で用いられる掘削面の勾配と高さに関する規制・設計基準について調査を行い、特に、掘削面の勾配と高さの基準である労働安全衛生規則第356条・357条について、制定された歴史的背景の調査を行い、また理論的背景についても幾つかの数値解析手法により考察を行った。

キーワード：労働安全衛生規則第356条・357条、掘削勾配、掘削高さ、剛塑性有限要素解析、労働安全

1 はじめに

社会基盤の対象となるほとんどの建造物は、地盤の上に構築されていることから、全ての建設工事には掘削工事が多かれ少なかれ生じる。一般に掘削工事は、トンネル・坑道などの掘削とそれ以外の地盤の掘削とに分けられ、後者は「明かり掘削」と呼ばれている。明かり掘削はダム基礎掘削、道路建設のための山の切取り、ビル建築のための根切り、水道管の敷設のための布掘りなどその種類は多種多様であり、工事規模や立地条件も様々である。このような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り、その防止対策の重要性は、古くから認識されていた。前¹⁾は土砂崩壊による労働災害について1954（昭和29）年～1958（昭和33）年に発生した重大災害64件について分析を実施し、(1)土質調査、土質試験の実施、(2)安全な切取り高さ、切取り勾配、(3)すかし掘りの禁止、ベンチカット工法の採用、(4)土止め工を施すこと、(5)看視人をおくこと、(6)気象条件を充分考慮することを特に強調している。その後、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、掘削面の高さ及び勾配の基準等が新たに定められた²⁾。これが、現在まで当時のまま引き継がれている掘削面の勾配の基準、すなわち労働安全衛生規則第356条及び357条である。

本報では、(1)掘削工事において国内の各機関で用いられている掘削勾配と高さに関する規制・設計基準について例示し、(2)掘削法面の勾配と高さの基準である労働安全衛生規則第356条・357条について、制定された歴史

的背景の調査を行い、また理論的背景についても幾つかの数値解析手法により考察を行った。

2 国内の各機関で用いられる規制・設計基準における掘削面の勾配と高さに関する調査

切土斜面の場合、計画・設計上重要なことは、掘削法面の勾配の決定である。地形や土質に応じ、また掘削後の法面対策工の有無なども勘案し、完成後の崩壊および施工中の崩壊に対して安全な勾配を設定しなければならない。国内の各機関で用いられている主要な規制および設計基準を表1に示す。ここでは、仮設・本設の対応状況について示しているが、仮設について検討されているものの全てにおいて「労働安全衛生規則第356条の規定を満足しなければならない」との記載がなされている。すなわち、施工中の法面勾配については、事実上、労働安全衛生規則が最低限遵守すべき基準となっている。

労働安全衛生規則以外の現行の各種規則および設計基準は、主として完成断面における中・大規模な崩壊を防止するためのものであり、施工中の断面については考慮されてない。施工中に発生する労働災害は、小規模な崩壊が多いが、これらを想定した設計基準となっていないと言える。また、多くの設計基準では、地山条件が主として物性（硬岩、軟岩、砂質土等）のみによって決定されており、崩壊に大きな影響を与える地質構造（例えば、流れ盤、受け盤）や地下水の条件等が十分には考慮されていない。これらの諸問題は、1980年代から既に指摘されている³⁾が、現在でも同様な傾向が見られる。

3 労働安全衛生規則第356条・357条について

1) 労働安全衛生規則の歴史的背景

労働安全衛生規則は、1947（昭和22）年9月の労働基準法制定に伴い、同年10月に制定された。その後、技術の進歩に伴う労働災害の多様化など労働安全衛生に関する事項について労働基準法では充分な対応が難しくなり、1972（昭和47）年6月に労働安全衛生法が制定されたことに伴い、労働安全衛生規則も労働安全衛生法

† 原稿受付 2010年05月25日

† 原稿受理 2010年08月16日

*1 (独) 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ。

*2 (独) 労働安全衛生総合研究所 研究企画調整部。

*3 元 労働省産業安全研究所 所長

*4 東京工業大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6

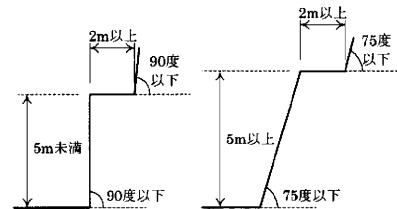
労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ 伊藤和也†

E-mail: k-ito@s.jniosh.go.jp

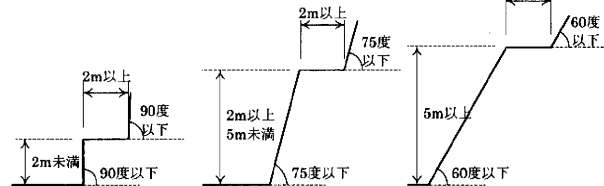
表 1 国内における掘削勾配に関する主な基準

区分	基準等	所管・発行	内容・特徴	対応	
				仮設	本設
労働安全	労働安全衛生規則	厚生労働省	第 356 条・357 条に掘削作業において掘削地盤の種類・掘削高さに応じた勾配を規定	○	—
造成	都市計画法施行令	国土交通省	第 28 条に開発行為によって発生した崖、切土面の処理について規定		
	都市計画法施行規則		第 23 条に切土面に擁壁で覆わなくても良い範囲（地盤の種類、高さ）を規定		
	宅地造成法等規制法施行令		第 4 条、5 条、13 条に切土面に擁壁で覆わなくても良い範囲およびその排水処理等について規定		
	宅地造成マニュアル		開発行為によって生じた崖、切土に擁壁を設置しなくても良い範囲について記述		○
道路	道路土工のり面工・斜面安定工指針	日本道路協会	道路構造物の斜面関係基準として最も広く用いられている		○
	道路土工擁壁指針		擁壁背面の地山掘削時における留意点が示されている	○	
	設計要領 第一集 土工・舗装・排水・造園	日本道路公団			○
鉄道	鉄道建造物等設計標準・同解説 土構造物	鉄道総合技術研究所	平成 19 年の改訂で他に先駆けて性能照査型設計に移行した		○
河川	河川砂防技術基準（案）・同解説	日本河川協会	堤防・護岸の裏のり勾配に関する規定がある	○	○
農林	土地改良事業計画設計基準・計画「農道」	農林水産省	人力掘削、機械掘削で異なる標準切土勾配としている	○	○
	林道基準	林野庁	他の基準に比べて基準切土勾配が急である		○

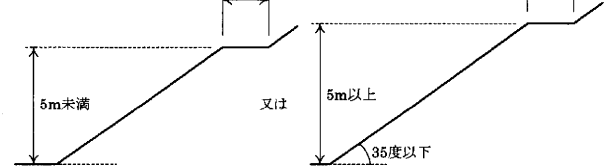
労働安全衛生規則 第356条
岩盤または堅い粘土からなる地山



その他の地山



労働安全衛生規則 第357条
砂からなる地山



発破により崩壊しやすい状態の地山

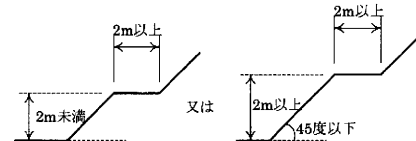


図 1 労働安全衛生規則第 356 条・第 357 条

に基づく規則として 1972（昭和 47）年 9 月に制定された。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第 356 条、第 357 条は、労働基準法に基づく規則であった 1965（昭和 40）年 4 月 1 日に施行されたものであり、施行当時は第 163 条の 8、第 163 条の 9 に定められていた。労働安全衛生規則第 356 条、357 条の勾配と

高さについてまとめたものを図 1 および表 2 にそれぞれ示す。

2) 掘削面の勾配と高さの基準の歴史的背景

掘削面の勾配と高さの基準の歴史的背景、特にどのように勾配と高さを決定したかについて、当時を知る複数の関係者から聞き取り調査を行った。これらの決定根拠としては大きく 2 つの理由があるようである。1 点目は、

表2 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	

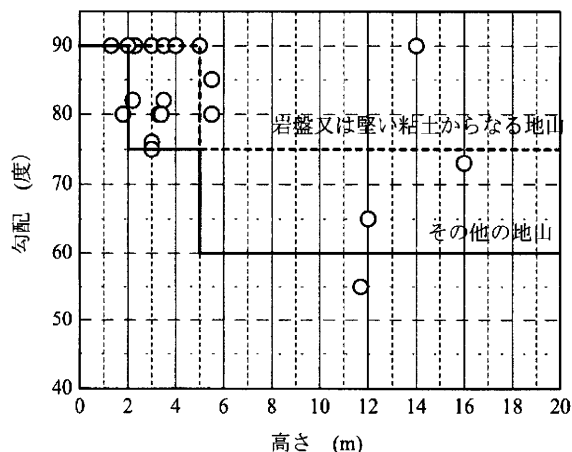


図3 災害事例における掘削面の勾配と高さの関係と労働安全衛生規則第356条の比較

表3 粘土の切取限界高さ (安全率各1.5) 4)に加筆修正

粘土の種類		単位体積重量 γ t/m ³ [kN/m ³]	粘着力 c tf/m ² [kN/m ²]	内部摩擦角 ϕ 度	限界高さ m						
					切取勾配 度						
					90	85	75	70	65	60	
翻訳本 5)での表記	原本 6)での表記										
著しく柔軟な粘土	Very soft clay	1.28 [12.54]	0.976 [9.56]	2	2.11	2.30	2.53	3.05	3.76	3.75	
普通の粘土	Medium clay	1.44 [14.11]	4.88 [47.82]	6	9.66	10.6	11.7	14.3	15.8	17.8	
堅硬な粘土	Stiff clay	1.60 [15.68]	7.32 [71.74]	8	13.3	14.7	16.1	19.8	22.0	24.7	
良好な砂質粘土	Good sand clays	1.76 [17.25]	4.88 [47.82]	34	11.4	13.1	15.1	20.8	25.0	30.6	
沈泥質粘土	Silty clays	1.60 [15.68]	0.976 [9.56]	14	1.91	2.11	2.35	2.93	3.28	3.75	

※原本は重力単位系であったので、SI単位系を[]内に付記した

1959 (昭和34)年労働基準局長通達 (昭和34年5月15日 基発第367号)により高さ2m以上の法面下作業について、緻密な岩盤及び堅硬な粘土を除いて75度を超えない勾配の基準とするように指導を行っていたことである。2点目は、過去の災害事例の掘削面の勾配と高さについて調査したことである。具体的には、1959 (昭和34)年5月発行の安全資料「土砂崩壊災害の防止」(図2) 4)内に記載されている1954 (昭和29)年~1958 (昭和33)に発生した土砂崩壊による重大災害64件 (死傷者数283名, うち死亡者数132名) および岩石崩壊落下による重大災害23件 (死傷者数123名, うち死亡者数50名) から掘削面の勾配と高さが記載された24件の災害事例の掘削面の勾配と高さの分布を参考にして決定している。図3は文献4)から筆者らが抽出した24件の災害事例の分布に労働安全衛生規則第356条での基準を併記したものである。以上の2つの理由より掘削面の勾配と高さは総合的に決定されたものと考えられる。最低限度遵守すべき基準として現在まで変更されずにいることか

らも、制定に携わった当時の技術者の見識の高さが伺える。

3) 掘削面の勾配と高さの基準の理論的背景

上述のように掘削面の勾配と高さの基準は、基本的には制定前に存在した通達と災害事例データから決定されたが、同時に理論的な検討もなされていた。安全資料「土砂崩壊災害の防止」には、直線すべり法にて粘土の切取限界高さを計算した結果が示されている(表3)。ここで、注目されるのは、使用した土質パラメータをHogentglerの書籍5),6)より引用している点である。すなわち、この数値解析は、米国の土のパラメータを用いて行われていたことになる。これは、当時、土質試験方法が簡単でなかったこと、土質試験はほとんど行われておらず過去の経験に基づく「勘」に頼ることが多かったことなどから、日本の土質材料に関する適当なパラメータが揃っていなかったものと想像される。また、当時の土質力学の書籍「土質力学」7) (1951 (昭和26)年発行)では、「12章 法面の安定」にてTaylorの安定図表等が示されている。

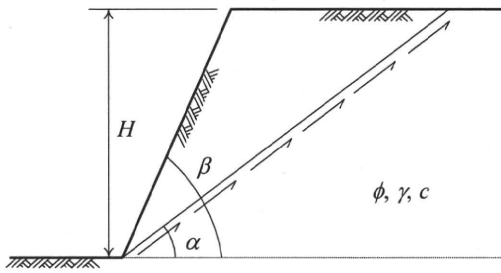


図4 直線すべり法

これらの検討は全て円弧すべり法によるものであったが、災害による崩壊形状では円弧すべりは極僅かであり、そのほとんどが直線すべりであったことから安全資料では直線すべり法による計算を採用している。

現在でも土質力学（地盤工学）の教科書として定着している Terzaghi & Peck による「Soil Mechanics in Engineering Practice (1948 (昭和 23) 年発行)」が「土質力学 基礎編・応用編」として翻訳・出版されたのが 1955 (昭和 30) 年である。当時の土質力学はまだ未成熟な時代であったが、労働安全衛生規則第 356 条および第 357 条は当時の最先端の知見と実情を取り入れて制定されたと言えよう。

4 数値解析による検討

労働安全衛生規則第 356 条および第 357 条の検討にも利用された「直線すべり法」に加えて、「剛塑性有限要素法」を用いて Chen らの安定係数やすべり線形状などについて比較・検討を行った。

1) 解析手法の概要

(1) 直線すべり法

斜面の安定性を求める解析法に極限解析法がある。破壊が発生するときのすべり面と位置を決め、極限平衡状態におけるすべり線に沿う土塊の滑動力（すべり面に作用するせん断力）と土塊の持つ抵抗力（摩擦および粘着力）との釣り合いを計算する方法である。その中で、すべり線を直線と仮定し計算を行うものを直線すべり法という（図 4）。

直線すべり法では、傾斜角 β で斜面を掘削しているとき、その限界高さ H_c は、

$$H_c = \frac{4c}{\gamma} \cdot \frac{\sin \beta \cdot \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \quad (1)$$

と表される。ここで、 c : 粘着力、 ϕ : 内部摩擦角、 γ : 単位体積重量である。

また、 $\frac{H_c \cdot \gamma}{c}$ は安定係数と呼ばれ、

$$\frac{H_c \cdot \gamma}{c} = 4 \times \frac{\sin \beta \cdot \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \quad (2)$$

で表される。なお、直線すべり法で算出されるすべり線の傾斜角度 α は、

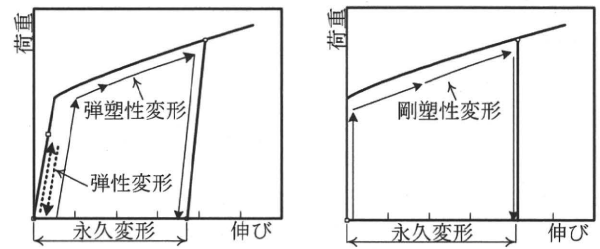


図5 荷重と伸びの関係

表4 材料の物性値

		直線 すべり法	剛塑性 FEM
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, 5, 10, 15, 20, 25, 30	○	○
ダイレイタンスー角 ψ (度)	ϕ	-	○

$$\alpha = \frac{\beta + \phi}{2} \quad (3)$$

である。

(2) 剛塑性有限要素法

一般に材料は、加えた荷重を除去すると変形が復元する弾性と、荷重がある値（降伏点）を超えると変形が急激に増大し、荷重を除去しても変形が残留する塑性を持っている。1つの材料で弾性・塑性の両方の性質を考慮する場合を弾塑性体、弾性変形を無視して剛体と考える場合を剛塑性体という（図 5）⁸⁾。剛塑性有限要素法は、地盤を剛塑性体と仮定し、上界定理を用いた極限解析を有限要素法によって計算する方法である⁹⁾。弾完全塑性体の物体に力を加えると、降伏するまでは弾性変形、それ以上の力が加わると応力一定のまま塑性変形が進行する極限状態となる。この極限状態は、載荷履歴に関係なく最終的な荷重形態のみで決定され、解析結果として荷重係数 μ を得る。剛塑性有限要素法では、極限状態のみに着目した解析を行うため、極限状態では意味を持たない材料定数や初期応力に関する情報は不要であり、地盤が破壊を起こす瞬間の諸量を求めることができる。ただし、破壊が生じるまでの変化量を求めることはできない。

解析によって得られた荷重係数 μ から以下の式で安定係数 N を算出する。

$$N = \mu \times \frac{H \cdot \gamma}{c} \quad (4)$$

剛塑性有限要素法は金属の塑性加工の分野で開発されてきた。その中で、田村らは地盤工学分野の安定問題に

剛塑性有限要素法を適用し、その定式化と数値解析結果を報告している¹⁰⁻¹²⁾。これらの定式化に至る詳細は Tamura ら¹⁰⁾の論文に譲る。本解析では、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、その大きさにより崩壊が現実にかかるかを判定する“重力加速度増加手法”を用いた。

これら2つの数値解析に使用した物性値を表4に示す。剛塑性有限要素法では、粘着力 c 、単位体積重量 γ 、内部摩擦角 ϕ を使用し、ダイレイタンス角 ψ については、関連流れ則($\psi = \phi$)として解析を行った。

(3) Chen らの安定係数¹³⁾

Chen らは図6のように上表面も傾斜したような複合斜面で下側斜面の勾配を β (度)、上側斜面の勾配を α (度)とした斜面の限界高さについて極限解析を行っている。Drucker and Prager が鉛直切り取り($\alpha=0$ 度、 $\beta=90$ 度)について、直線すべり線を仮定して解析を試みている¹⁴⁾が、Chen らは対数螺旋すべり線がより合理的だとし、対数螺旋すべり線を用いて詳細な解析を行い、内部摩擦角と勾配に関する安定係数の一覧表を示した¹⁵⁾。ここで、安定係数 N は

$$N = H_c \cdot \frac{\gamma}{c} \quad (5)$$

で表される。

2) 解析結果

(1) Chen らの安定係数の比較

図7に2種類の数値解析結果とChen らの安定係数を示す。なお、凡例の数字は内部摩擦角である。以下にそれぞれの解析手法による特徴を示す。

・直線すべり法(図7(a))

勾配が90度ではChen らの安定係数と近い値を示しているが、その他の勾配では直線すべりの安定係数が大幅に上回っている。緩勾配のケースほどその差は広がる。

・剛塑性有限要素法(図7(b))

Chen らの安定係数に近い値、傾向を示した。若干剛塑性有限要素法の安定係数が大きな値を示しているが、これは、剛塑性有限要素法の収束判定による誤差の影響だと考えられる。

(2) すべり線の比較

剛塑性有限要素法より得られた速度場ベクトル図の一覧を表5に示す。この表には、直線すべり法にて得られるすべり線勾配も灰色点線で一緒に図示した。内部摩擦角が小さい、すなわち粘性土地盤のケースでは、崩壊形状が円弧状となっており、直線すべり法によるすべり線勾配とは全く異なる。しかし、内部摩擦角が大きい、すなわち砂質土地盤では、崩壊形状が表層部分に集中し、直線すべり法によるすべり線と合致する。また、勾配の違いで見ると、急勾配ほどすべり線形状は内部摩擦角が小さい場合でも直線となる傾向が見られた。直線すべり

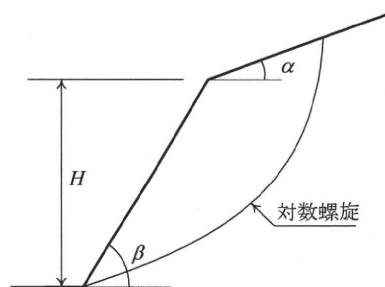
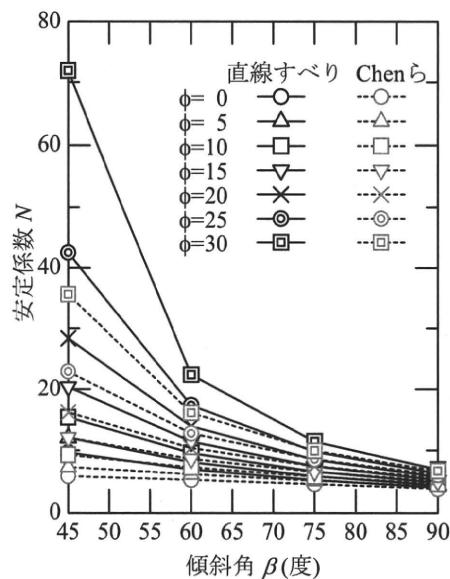
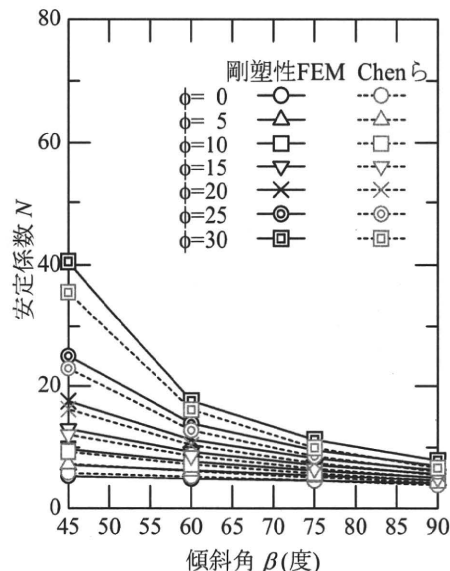


図6 Chen らによる対数螺旋による安定係数^{13),15)}



(a) 直線すべり

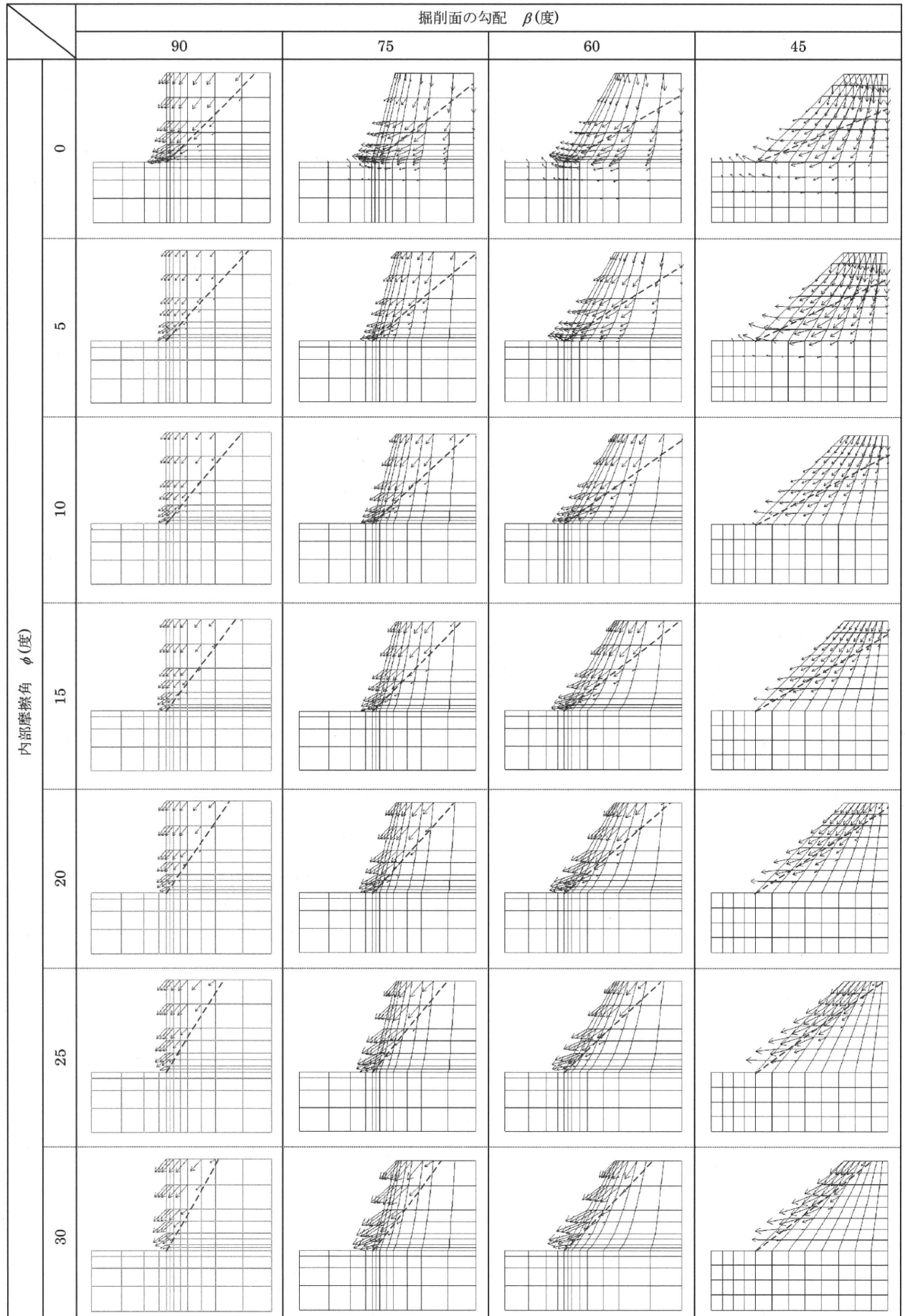


(b) 剛塑性 FEM

図7 Chen らの安定係数との比較

法では、このようなすべり線の違いが安定係数にも大きな影響を与えたものと想像される。しかし、急勾配掘削において簡易的に安定係数を求める場合には、直線すべり法でも大きな差とはならないとも言える。

表5 剛塑性 FEM での崩壊時の速度場ベクトルと直線すべり法でのすべり線



5 まとめ

本報では、(1)切土掘削工事において国内の各機関で用いられている掘削勾配に関する規制・設計基準について提示し、(2)仮設時に最低限遵守すべき基準である労働安全衛生規則について、制定された歴史的背景の調査および理論的背景について検討を行った。以下に得られた知見を示す。

1. 仮設について検討されているものの全てにおいて「労働安全衛生規則第356条の規定を満足しなければならない」との記載がなされている。すなわち、施工中の法面勾配については、事実上、労働安全衛生規則が最低限遵守すべき基準となっている。
2. 労働安全衛生規則第356条および第357条の掘削面の勾配と高さの基準は、制定前に存在した通達と災害事例データから決定された。しかし、それ以外にも直線すべり法による数値解析なども行って理論的な検討もされていた。当時の土質力学はまだ未成熟な時代であったが、当時の最先端の知見を取り入れて制定されたと言える。
3. Chenらによる対数螺旋による極限解析の結果と直線すべり法および剛塑性有限要素法の結果を比較したところ、剛塑性有限要素法から得られた安定係数はChenらの安定係数と一致する傾向を示した。
4. 直線すべり法による結果は急勾配掘削の場合には、剛塑性有限要素法の崩壊形状とも良い整合を示していることから、急勾配掘削において簡易的に安定係数を求める場合には、直線すべり法でも大きな差とはならないといえる。

実際の現場では、掘削面に傾斜の異なる箇所があるため勾配が算定できない場合がある。これらについて、簡易的な一覧表などを提供出来るように検討を進めていきたい。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、加来利一氏（前 労働省安全衛生部長）から掘削面の勾配と高さの制定について貴重な情報を提供して頂くとともに有益なご助言を戴きました。ここに深謝の意を表します。また、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, 研究代表者：日下部治）の補助を得て実施したものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- 1) 前郁夫. 土砂崩壊による労働災害について. 土と基礎. 1962; 4, 4: 34-37.
- 2) 労働省労働基準局編. 改正労働安全衛生規則の解説. 建設業労働災害防止協会. 1965: 179.
- 3) (社)土質工学会. 掘削工事の安全技術に関する調査研究委員会 (労働省委託). 掘削工事の安全技術に関する調査研究報告書. 1986: 141.
- 4) 労働省労働基準局安全課. 安全資料 (B-5)「土砂崩壊災害の防止」. 1959: 130-136.
- 5) ホゲントグラール (宇都宮寿夫訳). 土の工学的性質. コロナ社. 1944: 135.
- 6) Hogentogler. C. A.: Engineering properties of soil. McGraw-Hill Book Company Inc., NY and London. 1937: 220.
- 7) 最上武雄. 第12章 法面の安定. 土質力学. 岩波全書 148. 1951: 166-172.
- 8) 日本塑性加工学会. 非線形有限要素法—線形弾性解析から塑性加工解析まで—. コロナ社. 1994: 36-37.
- 9) 小高猛司. 地盤工学における剛塑性有限要素法 (その1). 講座「有限要素法の基礎と地盤工学への応用」. 土と基礎. 2001; 49, 11: 33-38.
- 10) Tamura, T., Kobayashi, S. and Sumi, T. Rigid-plastic finite element method for frictional materials, Soil and Foundations. 1987; 27, 3: 1-12.
- 11) Tamura, T., Kobayashi, S. and Sumi, T. Limit analysis of soil structure by rigid plastic finite element method. Soils and Foundations. 1984; 24, 1: 34-42.
- 12) 田村武. 剛塑性有限要素法の基礎と適用. 地盤力学数値解析—“限界状態”の予測手法を中心として—. (社)土質工学会関西支部. 1986: 50-79.
- 13) Chen, W. F., Giger, M. W., and Fang, H. Y. On the limit analysis of stability of slopes, Soil and foundations. 1969; 9, 4: 23-32.
- 14) Drucker, D. C. and Prager, W. Soil mechanics and plastic analysis or limit design. Quarterly of Applied Mathematics. 1952; 10, 157-165.
- 15) 中瀬明男, 中ノ堂裕文, 日下部治. 斜面および盛土のための安定図表. 技報堂出版. 1981: 32-33.

Safety Evaluation of Open Cut Excavation Work –The Historical and Theoretical Backgrounds of Enacting Standards for the Gradient of Excavation Surfaces–

by

Kazuya ITOH^{*1}, Yasuo TOYOSAWA^{*2}, Ikuo MAE^{*3},
Akihiro TAKAHASHI^{*4}, Jiro TAKEMURA^{*4}, and Osamu KUSAKABE^{*4}

Most labor accidents during open cut excavation work are caused by slope failure, and the importance of countermeasures has long been recognized. Standards for the gradient of excavation surfaces were established in 1965 following an amendment by the Ordinance on Industrial Safety and Health, Japan. This paper introduces the regulations and design standards for the gradient of excavation surfaces for each institution. The historical background of enactment is investigated and some numerical analyses are carried out regarding the standard for the gradient of excavation surfaces, which is covered by Articles 356 and 357. **Key Words:** ordinance on Industrial Safety and Health Articles 356 and 357, gradient of excavation, height of excavation, rigid plastic finite element analysis, occupational safety

*1 Construction Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health

*2 Department of Research Planning and Coordination, National Institute of Occupational Safety and Health

*3 Former National Institute of Industrial Safety, Ministry of Labour

*4 Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology

斜面崩壊による労働災害の現状と防止対策について

独立行政法人労働安全衛生総合研究所 伊藤 和也

1. はじめに

土砂崩壊による労働災害は、主に斜面掘削や溝掘削などの掘削工事において発生しており、年間約20～30件の死亡災害が発生している。これらの土砂崩壊による労働災害は、(1)溝掘削時の溝崩壊、(2)斜面の切取り工事中の斜面崩壊による労働災害がほとんどを占めている現状である。溝掘削工事については「土止め先行工法」などの普及により、土砂崩壊による災害が減少する等、一定の効果が表れている。しかし、土砂崩壊のなかでも斜面崩壊による労働災害は目立った減少が見られない状況であり、斜面崩壊による労働災害の防止措置の強化を図る必要があった。

このため独立行政法人労働安全衛生総合研究所では、平成21年3月から「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」を開催し、有効な斜面崩壊による労働災害防止対策の強化を図るため、斜面崩壊による労働災害の防止措置の現状、斜面崩壊防止工法の普及状況及び問題点等を調査し、実態の分析と同種災害防止対策に関する所要の検討を行い、平成22年4月に「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」報告書を公開した¹⁾。本報では、この報告書の内容の中でも、特に①斜面崩壊による労働災害の現状と②調査研究会にて検討された防止対策の内容について紹介し、今後の展望について述べたいと思う。

2. 斜面崩壊による労働災害の現状

2.1. 斜面崩壊による労働災害の調査・分析

本節では、斜面崩壊による労働災害事例の調査分析から、その特徴や問題点を示す。なお、本節の詳細については、文献^{2)～3)}に詳しく記載されている。本調査は、建設業における死亡災害事例および重大災害事例から、道路工事・土地造成等により斜面を切取る切土掘削工事中に発生した斜面崩壊を、1989(昭和64/平成元)年から2002(平成14)年の14年間について調べたものである。本報では、該当した180件の中から、詳細について把握することができた死亡災害129件、重大災害20件(うち18件は死亡災害と重複)の計131件について調査・分析を行った。

2.2. 発注機関別による災害発生状況

図-1は発注機関別による災害発生件数を示したものである。なお、同図には、工事種類別についても併せて表示している。まず、工事種別について見ると、道路工事中における災害が全体の7割近くを占めており道路工事中の事故による災害が多いことが分かる。また、発注機関別について見ると、調査対象とした工事の性格上、国や都道府県・市町村が発注した、いわゆる公共工事が災害件数の大部分を占めていることが分かる。特に、地方公共団体(都道府県、市町村)が発注した工事による災害が、全体の約8割を占めており、災害が多く発生している。なお、公共工事のみに限定すると、約9割が地方公共団体の発注であり、国が発注した工事は1割にも満たなかった。公共工事の着工について、国土交通省は公共工事着工統計調査(1999(平成11)年度終了)⁴⁾としてまとめている。図-2に1989年から1999年までの公共工事着工の年度別推移を示す。機関別で見ると、地方公共団体が発注した工事額は全体の70～75%を占めている。災害件数を工事額と関連づけて比較すれば、地方発注の工事は災害が多い。しかしながら、国発注工事の1件当たりの工事額と地方発注のそれでは、国発注工事