

8.4 まとめ

地震により斜面に生じたクラックや変形が、その後の降雨による斜面崩壊に与える影響を検討した結果、以下のことがわかった：

- (1) 観察された斜面崩壊モードは、実際の斜面崩壊の現象に類似しており、遠心力場での降雨による斜面崩壊の再現は可能であった。
- (2) 今回の検討範囲では、多少のクラックの存在によって、斜面内に雨水は浸透しやすくなるということとはなかった。
- (3) 斜面の大崩壊には、法先の間隙水圧が大きく関与しており、ある限界値に達したときに斜面が崩壊した。斜面上方からの浸透が顕著ではない場合は、斜面中腹における間隙水圧の変化は斜面崩壊検知のための良い指標とはならない。
- (4) 今回の検討範囲では、地震動は斜面の多少の変形を生じさせたものの、斜面を安定化させる方向に作用したため、斜面の1次崩壊で大崩壊が発生する結果となった。
- (5) 斜面の変位速度と斜面の安定性を左右する法先付近の間隙水圧は、必ずしも直接関係していなかった。斜面速度は、計測が比較的容易であり実務的に良く用いられているが、降雨前の斜面の状態によっては斜面の安定性を過小評価する可能性もあり、変位速度のみでの斜面崩壊検知は難しい。斜面崩壊に直接関係する間隙水圧の変化とあわせて判断するのが望ましい。

8.5 謝辞

本章の成果は、東京工業大学工学部土木工学科高橋研究室 泉奈王子さん（現 東京工業大学大学院理工学研究科修士課程1年）の卒業研究の一部である。ここに記して感謝いたします。

8.6 参考文献

- 1) 地盤工学会 新潟県中越地震災害調査委員会: 平成16年(2004年)新潟県中越地震災害調査委員会報告書, 2007.
- 2) Nakajima, S., Enomoto, T. & Sasaki, T.: Centrifuge model tests and deformation analyses on seismic behaviors of embankments in mountainous areas, *Joint Conf. Prog. 7th Int'l Conf. Urban Earthquake Eng. & 5th Int'l Conf. Earthquake Eng., Tokyo, Japan*, 357-365, 2010.
- 3) 沖村孝, 鳥居宣之, 谷本育水: 加振が斜面の降雨浸透過程に与える影響に関する一考察, 神戸大学都市安全研究センター 研究報告, No.10, 1-15, 2006.
- 4) 玉手聡, 伊藤直幸, 遠藤明: 地盤の透水性と降雨強度の関係に着目した斜面の表層崩壊に関する実験的考察, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, No.35, 33-58, 2007.
- 5) (財)高速道路調査会: 地すべり危険地における動態観測施工に関する研究(その3)報告書, p.138, 1988.

第9章 まとめ

9.1 はじめに

本研究は、工事中の土砂崩壊災害を防止するため、中小規模の斜面切取り掘削工事に特化した対策工の基本概念および最適設計手法を提案し、安全に掘削工事を行える工法の開発または高度化を図ることを目的として平成20年度より3カ年計画で開始した。本研究では、以下の3項目について研究を行ってきた。

- ① 災害事例および土砂崩壊防止対策に関する設計手法の調査
- ② 土砂崩壊防止のための対策工の各種要因の影響評価
- ③ 土砂崩壊防止のための対策工に関する最適設計手法の提案

本章では、本総合研究報告書のまとめとして、各章で得られた知見を要約する。

9.2 第2章の要約

「斜面崩壊による労働災害事例の調査・分析」では、災害事例収集の努力を行い、系統的な災害事例情報のデータベース化と災害事例の類型化を試みた結果を記述した。主な結果を下記に示す。

- 1) 斜面掘削工事の安全化を図るには、①施工途上の斜面安定性の検討、②安全な施工方法の開発・普及、③計測施工方法の開発・普及および④切取り斜面下で行う各種作業の必要性の見直しなどによる計画・設計から施工に至るまでの適切な安全対策が必要である
- 2) 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、
 - ① 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。
 - ② 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。
 - ③ 施工箇所崩壊履歴があつたり小石がパラパラ落ちるなど、崩壊前に何らかの前兆現象がある場合が半分以上あつた。すなわち、半数以上の災害については、専門的な知識をもった技術者の的確な対応により災害を未然に防げた可能性がある。

9.3 第3章の要約

「明かり掘削における掘削面の高さ勾配の安全性評価」では、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、掘削面の高さ勾配の基準である労働安全衛生規則第356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的手法により考察を行った。主な結果を下記に示す。

- 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 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。

9.4 第 4 章の要約

「斜面の安定性に関する水平面の影響」では、小段や犬走りと呼ばれる掘削面に設置される水平な段が斜面の安定性や崩壊形状に与える影響について、小段の幅を変化させた剛塑性有限要素解析により検討した。主な結果を下記に示す。

- 1) 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にて記載されている小段の幅と設置する高さの間隔は、各機関の目的に応じて決められていることから各基準で様々ではあるが、概ね法高 5~10m 毎に 1~2m の小段を設けられている。また、小段に斜面の安定性に寄与する効果を期待する基準もある。
- 2) 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、崩壊形状や安定性の検証を行ったところ、内部摩擦角が 30 度以上の砂質土地盤の場合、2m 以上の小段を設けることにより崩壊領域を分断することができる傾向が確認された。しかし、砂質土地盤でも斜面の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、分断する効果は無かった。

9.5 第 5 章の要約

「擁壁のより安全な施工方法に関する調査・検討」では、土止め擁壁施工時の床掘りや急勾配掘削を行った斜面近傍で行う作業をなるべく軽減するような“より安全な”施工方法について調査・検討した。その結果、以下のような対策方法が考えられる。

- 1) 切土勾配を緩くする。
- 2) 床掘り斜面を安定化させるために、地山補強や土留め杭を併用する。
- 3) 床掘り斜面から離れたところで型枠を組立て、床掘り斜面付近の作業時間を少なくする。
- 4) 床掘り斜面を長期間開放しないように、コンクリート打設後型枠を撤去せずに、構造物の裏側を埋め戻す。

- 5) 床掘り作業を無くすように構造物基礎の支持層定着は、杭基礎や置換えコンクリートを併用する。
- 6) 床掘りがない土留め杭（鋼管杭，PC 杭等）で築造する。

また、本章では上記の検討結果の中で残存型枠について詳細な検討を行い、一般型枠と残存型枠の概算材工費を比較した。その結果、

- 1) 残存型枠は型枠の撤去がないため、コンクリート打設（打設高 1.0m～1.2m程度）後すぐに、裏込め土を埋め戻すことができるため、斜面崩壊の危険を低減できる。
- 2) 残存型枠は型枠の撤去がないことから型枠の設置やコンクリートの打設の検査、管理写真の撮影がすぐに行える。
- 3) 一般型枠と残存型枠の型枠 1m²当たりの概算材工費を比較したところ、残存型枠工のほうが安価な結果となった。これは算出した土木工事積算基準が異なることも影響している可能性があるが、それを鑑みてもコスト的には一般型枠と同程度と考えられる。

9.6 第6章の要約

「斜面上付加荷重による斜面安定の影響」では、斜面崩壊の一因として斜面上に重機や資材を置く斜面上付加荷重による影響について、すべり安定計算と遠心模型実験を行い、付加荷重による斜面安全率の低減を簡便に示す図表を作成した結果を示した。主な結果を下記に示す。

- 1) 遠心模型実験において、斜面上に設置した付加荷重直下の破壊は、直下に図縁面が発生した後、進行性破壊が発生することで斜面全体に及ぶ。
- 2) 斜面上へ付加荷重を作用させることで、斜面安全率が低下することが遠心模型実験から観察された。
- 3) 付加荷重の位置が斜面安定性に明らかに影響を与えることが分かった。
- 4) 付加荷重設置位置に伴う、安全率の低減表がわかる図表を作成し、提案した。

9.7 第7章の要約

「砂からなる切土斜面の安定性に及ぼす降雨の影響」では、死亡事故現場が多い斜面高さ勾配を対象に遠心場における降雨実験を行い切土斜面変形と崩壊に関する時系列把握を行った中間的な分析結果を示した。主な結果を下記に示す。

- 1) 砂から切土斜面は降雨からある程度の時間に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。
- 2) 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が明らかとなった。したがって、崩壊の予知には斜面の水平変位を計測する必要があると考えられる。

9.8 第8章の要約

「降雨による斜面崩壊の前兆現象に関する研究」では、斜面崩壊の誘因として降雨と地震に着目し、地震等により生じたクラックや変形が、その後の降雨による斜面崩壊に与える影響を遠心模型実験により検討した結果を示した。主な結果を下記に示す。

- 1) 観察された斜面崩壊モードは、実際の斜面崩壊の現象に類似しており、遠心力場での降雨による斜面崩壊の再現は可能であった。
- 2) 今回の検討範囲では、多少のクラックの存在によって、斜面内に雨水が浸透しやすくなることは無かった。
- 3) 斜面の大崩壊には、斜面の大崩壊には、法先の間隙水圧が大きく関与しており、ある限界値に達したときに斜面が崩壊した。斜面上方からの浸透が顕著ではない場合は、斜面中腹における間隙水圧の変化は斜面崩壊検知のための良い指標とはならない。
- 4) 今回の検討範囲では、地震動は斜面の多少の変形を生じさせたものの、斜面を安定化させる方向に作用したため、斜面の1次崩壊で大崩壊が発生する結果となった。
- 5) 斜面の変位速度と斜面の安定性を左右する法先付近の間隙水圧は、必ずしも直接関係していなかった。斜面速度は、計測が比較的容易であり実務的に良く用いられているが、降雨前の斜面の状態によっては斜面の安定性を過小評価する可能性もあり、変位速度のみでの斜面崩壊検知は難しい。斜面崩壊に直接関係する間隙水圧の変化とあわせて判断するのが望ましい。

9.9 健康危険情報

健康に危険を及ぼすような情報は無し。

9.10 研究成果による特許権等の知的財産権の出願・登録状況

特に無し。

研究成果の刊行に関する一覧

平成 20~22 年度に発表した研究成果を以下に示す。

発表者氏名	論文タイトル	発表誌	巻号	ページ	年
伊藤和也 豊澤康男	斜面崩壊による労働災害の調査分析と対策	(社) 日本建設機械化協会 「建設の施工企画」	No. 701	77-82	2008
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	(社) 地盤工学会 地盤工学研究発表会	Vol. 44	797- 798	2009
豊澤康男 伊藤和也 日下部治 竹村次朗 高橋章浩 井澤 淳	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	(社) 地盤工学会 地盤工学研究発表会	Vol. 44	799- 800	2009
Toyosawa, Y. Itoh, K. Kusakabe, O. Takemura, J. Takahashi, A. Izawa, J.	Preventive strategy for labor accidents caused by slope failure s	Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety, APSS2009	-	139-142	2009
日下部治	社会動態と地盤災害	地質と調査	2009 年 第 2 号	2-4	2009
伊藤和也 豊澤康男 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	安全工学 シンポジウム 2010	—	462-465	2010
井澤 淳 F. Bransby	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	(社) 地盤工学会 地盤工学研究発表会 発表講演集	Vol.45 No.2	1735- 1736	2010

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	(社) 土木学会 年次学術講演会講演概要集	Vol.65 III-035	69-70	2010
伊藤和也 豊澤康男 前 郁夫 高橋章浩 竹村次朗 日下部治	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	103-110	2010
伊藤和也	斜面崩壊による労働災害の現状と防止対策について	NPO 法人日本緑化工協会 「緑化工技術」	第 31 集	61-82	2011
S. J. Harris R. P. Orense K. Itoh	Rainfall-induced slope failure in Northland Allochthon formation	the 5th Asia-Pacific conference on unsaturated soils			
伊藤和也 豊澤康男 前郁夫 高橋章浩 竹村次朗 日下部治	明かり掘削における掘削面の勾配と高さの基準制定に至る歴史的背景	(公社) 地盤工学会 地盤工学研究発表会 発表講演集			

研究成果の刊行物・別刷り

斜面崩壊による労働災害の調査分析と対策

伊藤和也・豊澤康男

土砂崩壊による労働災害は毎年繰り返し発生し、それらの中には一時に3人以上の死傷者を出す重大災害が多く含まれる。建設工事中の斜面崩壊は、崩壊が小規模であり、崩壊発生の前兆現象が明確に現れず、一瞬のうちに土塊が滑動することが多い。そのため、作業員が避難する十分な時間的余裕がなく被災に至る場合が多い。本報告では、切土掘削工事における斜面崩壊による労働災害について、最近14年間の労働災害事例の調査・分析結果から、労働災害の傾向を示した。これらの調査・分析結果を踏まえて実施した実物大斜面崩壊実験および遠心模型実験の結果について紹介する。

キーワード：労働災害，斜面崩壊，実物大実験，遠心模型実験

1. はじめに

土砂崩壊による労働災害は毎年繰り返し発生し、それらの中には一時に3人以上の死傷者を出す重大災害が多く含まれる。土砂崩壊による労働災害は、①溝掘削工事、②切土掘削工事、③トンネル工事、④土石流などで発生し、死亡災害の大半は①溝掘削工事と②切土掘削工事が占めている。図-1は建設業全体および土砂崩壊に関係した労働災害による死亡者の年度別推移を示したものである¹⁾。建設業全体としては、1980年代まで1000人前後で横ばいだったものが1996年から減少傾向となり、2005年には初めて500人以下となった。土砂崩壊を詳細に見ると、溝掘削工事中の土砂崩壊による死亡者数は、1980年代までは50人前後だったものが近年では半数程度に激減している。これは、厚生労働省や国土交通省が推進している「土

止め先行工法」など安全対策の普及が要因として考えられている。一方、切土掘削工事中の斜面崩壊による死亡者数は、20人前後で相変わらず横ばいとなっている。そこで本報では、切土掘削工事における斜面崩壊による労働災害について取り上げる。

はじめに最近14年間の労働災害事例の調査・分析結果から、労働災害の傾向を明らかにする。これらの調査・分析結果を踏まえて実施した実物大斜面崩壊実験および遠心模型実験の結果について紹介する。

2. 斜面崩壊による労働災害事例の調査・分析結果から分かる施工上の諸問題

本報告では、1989年～2002年までの14年間に発生した死亡災害および重大災害の計180件の災害から、詳細について把握することができた131件について調査・分析を行った。そのうち工事種別としては、擁壁工に関係した労働災害が95件と全体の7割を占めていた。ここでは擁壁工の施工上の問題点を主に挙げることにした。図-2は擁壁工に関係する工事において被災した作業員が災害発生時に従事していた作業を分類したものである²⁾。各種作業について、災害件数および死亡者・被災者数から以下のことが言える。

(1) 地山・法面掘削，床掘り

擁壁工に関係する工事では、地山・法面掘削(14件)や床掘り(9件)のように擁壁を施工するために行う掘削作業中に多くの災害が発生している。擁壁工

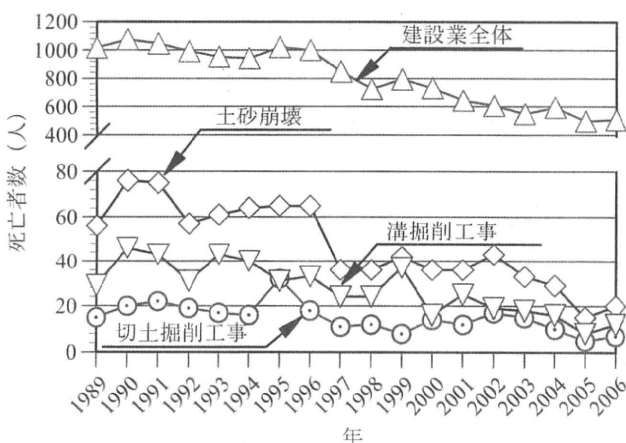
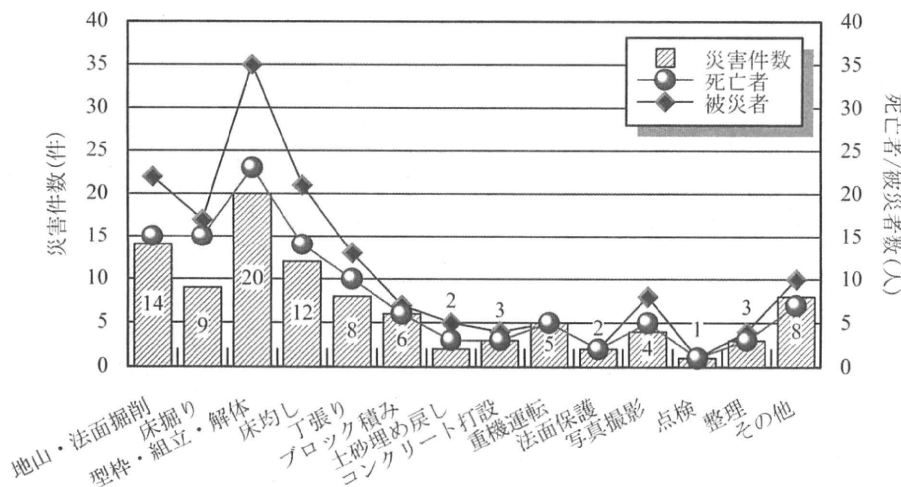


図-1 労働災害の年度別推移



図一2 災害発生時に被災者が行っていた作業

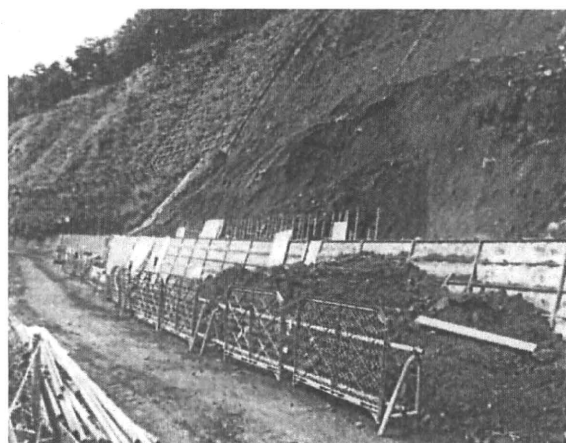
では、完成後には安定勾配であっても、擁壁を設置する施工過程では急勾配となる掘削作業が多く、短期間とはいえ過酷な条件下となる。また、擁壁基礎設置のために必要な床掘り作業は、本来滑動に抵抗する箇所を取り去ることであり、斜面の安定性を急激に低下させる。機械による掘削により構造上必要な精度で仕上げて危険な箇所に作業員が立ち入らないような施工方法とするか、崩壊を防止するための対策工を行ってから立ち入るなどの見直しが必要であろう。

(2) 床均し、型枠の組立・解体、丁張り、ブロック積み

擁壁工には急勾配に掘削した斜面近傍で行う作業が多く存在する。そのような作業中の被災が掘削作業中の被災よりも多い（型枠の組み立て・解体（20件）や床均し（12件）、丁張り（8件）、ブロック積み（6件））。写真一1は型枠の解体中に発生した労働災害事例の写真である。重力式擁壁を築造する際の型枠の組立・解体作業は、擁壁と地山の間の狭い場所で行うため、斜面崩壊が発生した際に逃げ場がない状態となる。これら掘削後の急勾配な斜面近傍にて行う作業は、擁壁工の施工的な欠点とも言え、最も危険な作業の一つと言える。排水の確保など解決しなければならない問題もあるが、斜面側の型枠を取り外さずにそのまま本設として流用することや、型枠を取り外す際に擁壁と地山の狭い箇所に作業員が入らなくてもよい手段を講じる必要がある。

(3) 写真撮影・寸法計測など

発注者に提出する施工管理資料のため、床均しが終わった現場、つまり、幾何学的形状としては最も危険な状態で、斜面下に入り写真撮影や寸法計測などを行



写真一1 型枠の解体中に斜面が崩壊した労働災害事例

っている際に被災する例が後を絶たない。少々の精度は犠牲にしても、安全な場所からの写真撮影や寸法計測で足るものとすべきであろう。

現在の日本において、開削工事では土留めをすることが常識となっている。小規模な開削工事である溝掘削工事についても、厚生労働省の通達（平成15年通達）等によって普及・定着が図られている³⁾。しかしながら、斜面の切土掘削工事では開削工事と同じように土砂崩壊の危険があるにもかかわらず、土砂崩壊対策をせずに工事が行われる場合が多々ある。

次章以降では、擁壁を施工するために行う掘削作業での斜面崩壊挙動を把握するために実施した実物大斜面崩壊実験と、簡易な土留め工を設置したものの崩壊を抑止することができなかった災害事例を対象とした遠心模型実験について示す。

3. 法尻部を掘削した実物大斜面崩壊実験

擁壁工施工中の斜面崩壊挙動を確認するために、実

物大規模の試験盛土にて切り取り工事中の斜面崩壊を再現する実験を実施した。

(1) 施工概要

大型宅地造成地域内において、高さ5m、斜面角度50°に切り取った地山を本体構造とし、腹付盛土形式で、高さ5m、斜面角度45°の試験盛土を作製した(写真-2)⁴⁾。使用した試料は、現地発生土である関東ロームと成田砂である。斜面の切り取りは、バックホーを用いて行った。掘削方法は、1回の切り取り高さが約0.5m毎とし、1回の掘削終了後、約5分間放置し、崩壊するまで掘削を行った。なお、掘削幅は2.5mとした。斜面の変形挙動は、幾つかの計測器を用いて実施しているが、ここでは、天端に設置した伸縮計と光センサー式2次元変位計の結果について示す。

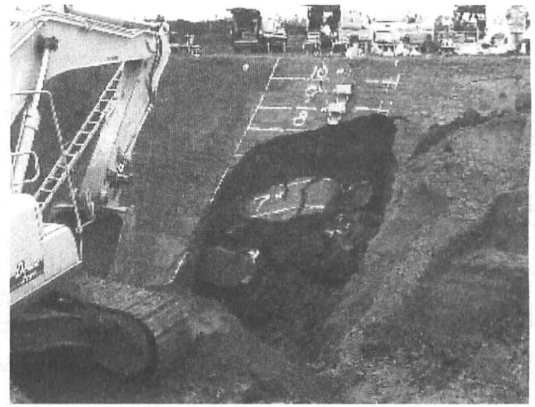
(2) 実験結果の一例

誌面の都合上、成田砂にて実施した結果について示す。斜面の崩壊状況を写真-3に、伸縮計と光センサー式2次元変位計の変位計測結果を図-3に示す。切り取り高さ2.5m掘削中に全ての計測器が変動し、放置期間時間中に法面内から部分的な崩壊に至った(写真-3(a))。このとき、変位計は掘削中に約3.0mmの変形が生じ、放置時間中にさらに1.0mm～2.0mm変形した。掘削をさらに切り取り高さ3.0mまで行ったところ、掘削終了直後に天端を含めた大規模な崩壊が発生した(写真-3(b))。

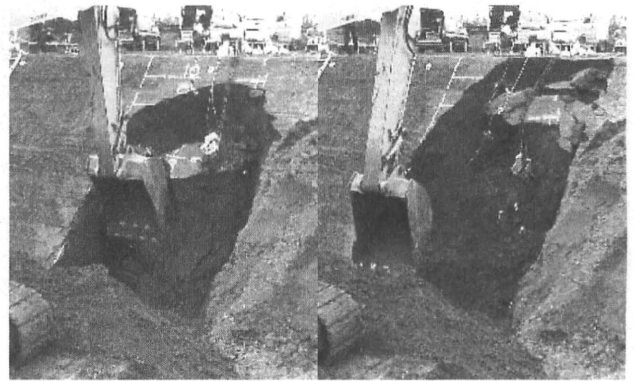
擁壁工施工中の斜面崩壊挙動を確認するために実施した実物大斜面崩壊実験から、法尻部の掘削により掘削面下部に応力が集中することで、局所破壊が起き、その破壊が上方向に進展していく“進行性破壊”となるような傾向が観察された。



写真-2 実物大規模実験に使用した試験盛土



(a) 1回目崩壊



(b) 2回目崩壊（連続的に法肩まで崩壊）

写真-3 斜面の崩壊状況

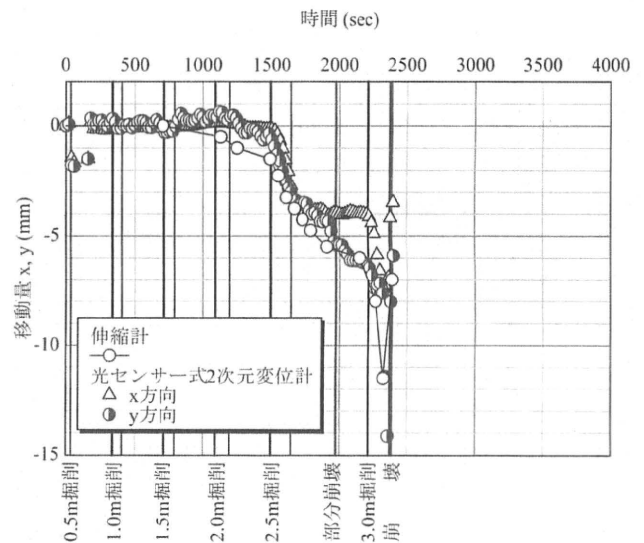
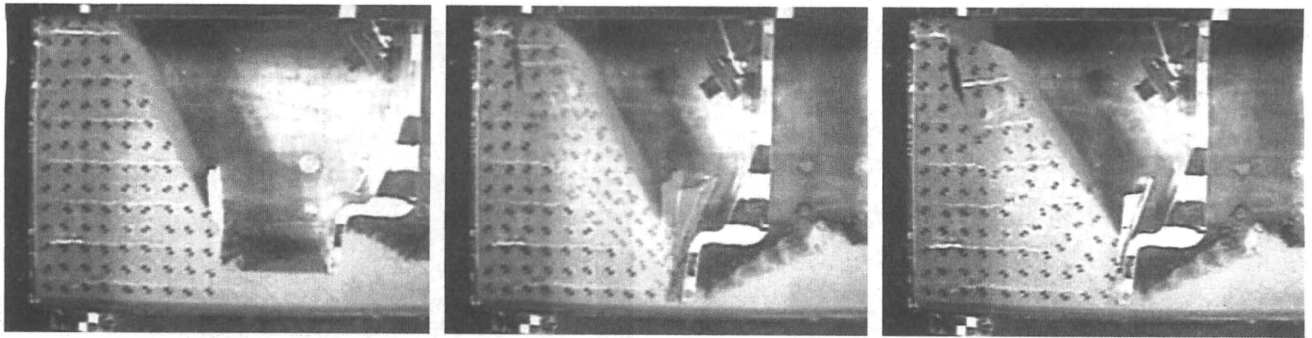


図-3 実物大斜面崩壊実験での天端の変位の時刻歴

4. 遠心模型実験による労働災害事例の再現

斜面崩壊に限らず実物大規模で行う実験は、コスト・時間・手間・安全性の制約のために容易ではない。地盤工学分野では、これらの制約を解消する一手法として、遠心模型実験手法が開発・発展してきた。ここでは、遠心模型実験手法について説明し、それを

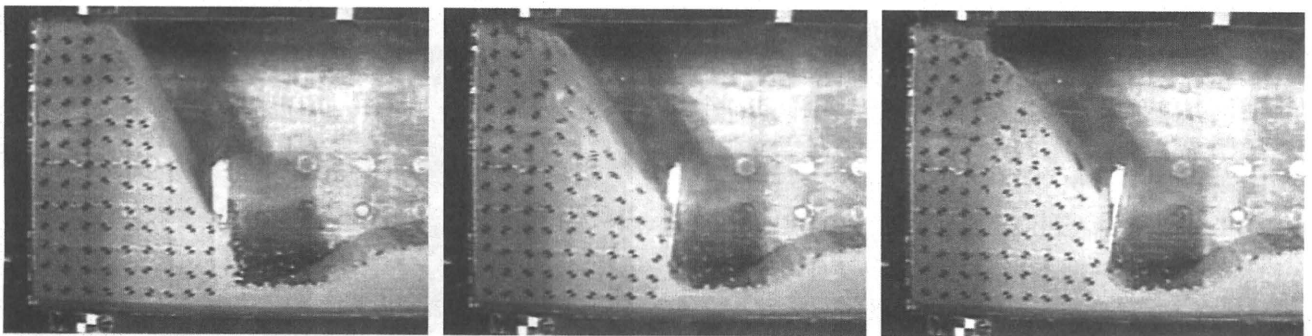


(a) 1.2 m 掘削時

(b) 崩壊時 (1.4m 掘削時)

(c) 崩壊後

写真-6 簡易土留め壁での崩壊挙動



(a) 25 G・1.4 m 掘削 (安定)

(b) 崩壊中 (36 G 付近)

(c) 崩壊後

写真-7 鋼矢板での崩壊挙動

5. おわりに

本報では、切土掘削工事における斜面崩壊による労働災害について、最近14年間の労働災害事例の調査・分析結果から、その傾向を示した。さらに、斜面崩壊現象とその対策手法について、実物大実験と遠心模型実験の結果を紹介した。

斜面の安定問題は、対象とする地盤の性質が複雑なこと、地盤の種類が千差万別であること、多くの因子が土の挙動を支配しているなど、学術的にも十分究明がされているとは言い難い。その中でも、蓄積された知見や過去の貴重な経験、特に労働災害という尊い犠牲から教訓を引き出し、現場に還元して災害防止の一助とすることが必要である。

世界で最も労働災害が少ない国はイギリスである。イギリスでは、土止め先行工法と類似の工法が1983年に出版された実用的なガイドライン「Trenching Practice」に記載されている⁶⁾。言い換えれば、溝掘削工事に関してはイギリスよりも約20年遅れていたことになる。斜面工事中の対策に関しては、未だに結論が得られておらず、我が国が先陣となり現場で適用可能なガイドラインなどの対策を打ち出すことが望まれる。

なお、本報告の作成の一部には、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) の補助を受けたことを付記する。

JCMA

《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41 [6], pp. 17-26 (2005)
- 3) 厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課建設安全対策室監修：土止め先行工法に関する指針とその解説、建設業労働災害防止協会、202p (2004)
- 4) 伊藤和也・豊澤康男・Tamrakar S. B・Timpong S・堀井宣幸：切土掘削工事における斜面崩壊メカニズムに関する検討、労働安全衛生総合研究所特別研究報告、JNIOHS-SRR-No. 35 (2007), pp. 73-90 (2008)
- 5) 例えば、高田直俊・日下部治：講座「遠心模型実験」3. 原理、土と基礎、35 [12], pp. 89-94 (1987)
- 6) Irvine D. J., and Smith R. J. H.: Trenching Practice, CIRIA, 62p (1983)

【筆者紹介】

伊藤 和也 (いとう かずや)
 徳労働安全衛生総合研究所
 建設安全研究グループ
 研究員



豊澤 康男 (とよさわ やすお)
 徳労働安全衛生総合研究所
 建設安全研究グループ
 部長



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

(独)労働安全衛生総合研究所 ○国際 伊藤和也, 国際 豊澤康男
東京工業大学 国際 井澤淳, 国際 高橋章浩, 国際 竹村次朗, 国際 日下部治

Keywords: 斜面崩壊, 労働災害, 傾向

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に建設業に關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。

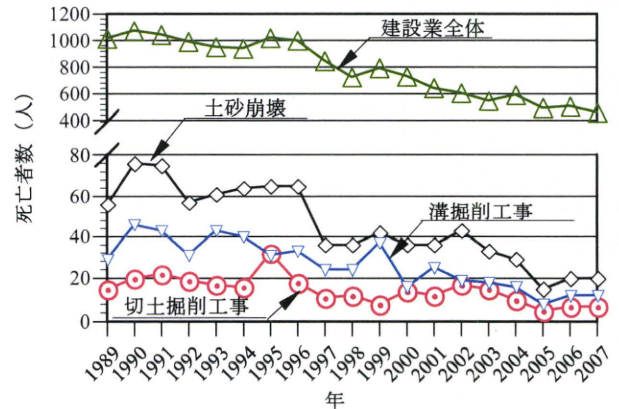


図-1 労働災害の年度別推移¹⁾

2. 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(図-2)。DBの詳細について以下に示す。

図-2 データベースシート

(1) 崩壊形態

奥園が示した崩壊形態分類図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。

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)
- b. 表層崩壊 (土質, 岩質(物性)や地下水位等の不安定要因を持つ法面)
- c. 大規模崩壊, 地すべり性崩壊 (地質構造上で不安定要因をもつ法面)

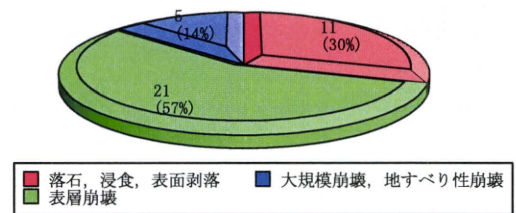


図-3 崩壊形態・規模別分類

地質別分類

- I. 粘性土(第四紀層粘性土, 火山灰質粘性土(関東ローム), 強風化泥岩, 温泉余土, 火山泥流)
- II. 砂質土(山砂, 砂丘, 火山灰砂質土(シラス), マサ)
- III. 崩壊土・風化表層土(崩積土(崖錐), 風化表層土, 段丘礫層)
- IV. 亀裂の少ない固結度の少ない岩(新第三紀層, 古第三紀層, 熱水変質した火成岩, 凝灰岩, 粘土化した蛇紋岩など)
- V. 固結度は高いが亀裂の多い岩(中生層, 火成岩)

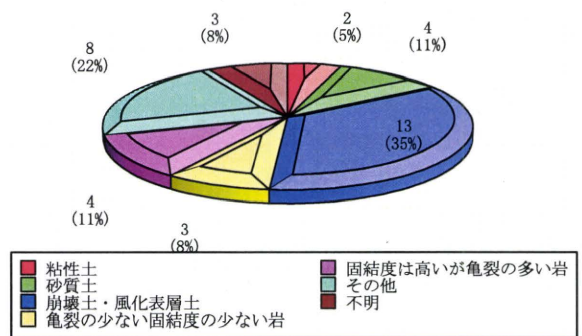


図-4 崩壊形態・地質別分類

(2) 崩壊原因

施工上によるものと自然原因に分けて記載することとした。

Analysis of labor accidents caused by slope failure during slope cutting work
K. Itoh, and Y. Toyosawa (National Institute of Occupational Safety and Health, Japan)
J. Izawa, A. Takahashi, J. Takemura, and O. Kusakabe (Tokyo Institute of Technology)

施工上

- 急勾配掘削
- 床掘りの掘削
- 上載荷重（重機等による）

自然原因

- 降雨・雪
- 地震
- 地下水・湧水

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、DB に記載することとした。

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・1992 年～1993 年の 3 年間に発生した死亡災害事例 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-3 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-4 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-5 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-6 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-7 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バラバ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

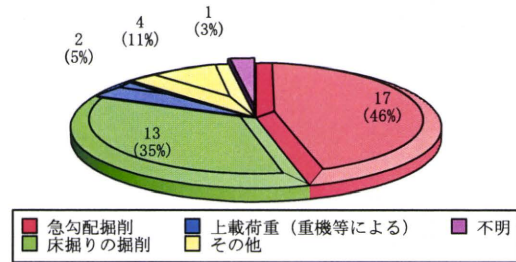


図-5 崩壊原因・施工上

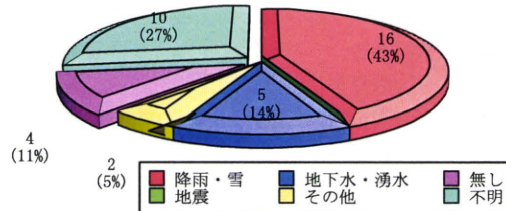


図-6 崩壊原因・自然

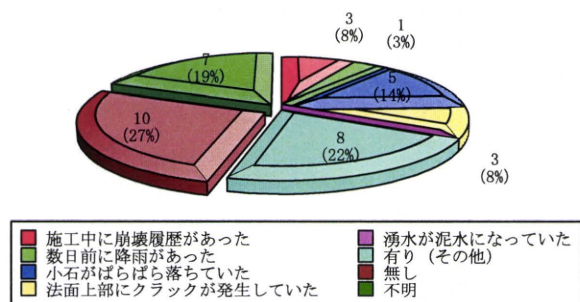


図-7 予見可能性の有無

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中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。

参考文献

- 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。
- 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。
- 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。

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

(独)労働安全衛生総合研究所 ○国際 豊澤康男, 国際 伊藤和也
東京工業大学 国際 日下部治, 国際 竹村次朗, 国際 高橋章浩, 国際 井澤淳

Keywords: 施工管理, 斜面, 掘削

1. はじめに

掘削工事における土砂崩壊災害によって年間約 20-30 人前後が死亡している。このうち約半数近くが斜面関連の工事中に発生している災害である。これらの工事では、斜面は最終的には安定な構造となるものの、その施工過程において不安定な状態で作業が行われていることがある(例えば写真-1)。このような労働災害は、計画・設計・施工の各段階において適切な対策を講ずることにより解決するものと考えられる。本報では斜面掘削工事における問題を指摘するとともに対策について考察する。

2. 災害発生状況

斜面を安定化する対策工としては、大別すると①擁壁工、②法面保護工がある。斜面崩壊による死亡災害の約7割は擁壁工の施工中のものが占めている現状であった。地山の掘削を始めてから切土斜面の崩壊危険性は徐々に増加していき、床付け・床均し、基礎作業時が最も危険性が高く、擁壁本体の施工まで危険性の高い状況が続くことになる(図-1参照)。

災害発生時に被災者が行っていた作業について 121 件の死亡災害等を分析したところ、擁壁工では、擁壁築造に関連する型枠の組立・解体(20 件)や床均し(11 件)、丁張り(8 件)、ブロック積み(6 件)のように、地山・斜面掘削には直接関係しないが、切取った斜面の近くで行う作業中において被災する機会が多いことが明らかになった²⁾。擁壁工には図-2(1)のような「床掘り・床均し中の災害」および図-2(2)のような「型枠の組立・解体作業中の災害」が典型的な災害である。

災害原因等について分析すると、主に次の諸点が指摘できることがわかった。①崩壊の前兆現象への適切な対応がなされていない、②十分な科学的知見を得る調査が不足している、③専門的な技術的知見が生かされていない、④小規模工事で土砂災害が多発している、⑤高齢な工事従事者が被災する例が多い、⑥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。

3. 斜面掘削工事における施工上の問題と対策

土砂災害を労働災害の視点から見ると、地盤の崩壊という力学的現象の解析・予測技術の不完全さに加えて、工事の発注形態、工事の規模、施工形態、工事従事者の技術力や年齢などの社会的・人的要因が死亡災害の原因となっている場合も見られ、土砂崩壊災害の防止に向けて社会動態と災害との総合的な視点が必須である。

ここでは、施工前、施工中の具体的な問題点に絞って考察する。

3.1 施工途上の斜面安定性の検討

完成後の安定計算はされているが、施工時の安定計算は



写真-1 斜面下での擁壁工の施工状況

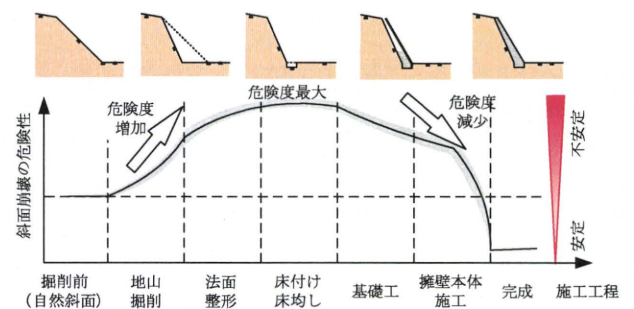
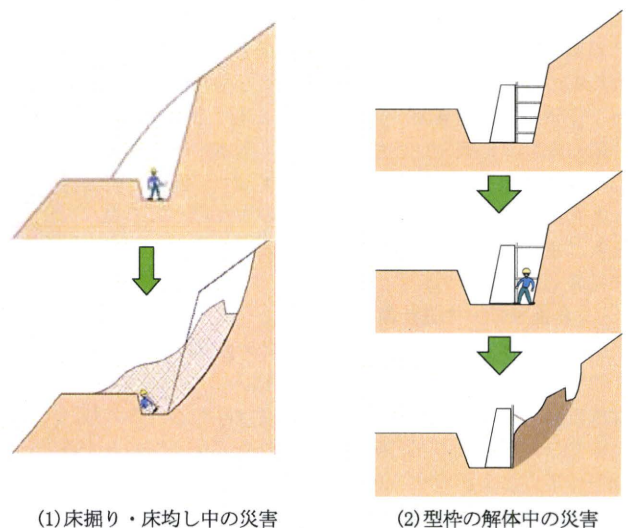


図-1 擁壁工施工途上の危険性変化の概念図



(1) 床掘り・床均し中の災害

(2) 型枠の解体中の災害

図-2 擁壁工における典型的な災害

されていないことが多いなど、施工過程の安全が軽視されがちである。ボーリング等による科学的な事前調査に基づく斜面の安全性の検討が不足していると言える。①小規模な崩壊が起きた、②小石がパラパラと落ちた、③災害現場の近くで同じような崩壊が起こったなどの崩壊の前兆現象があったにもかかわらず対策を講ぜずに作業を続けて、土砂崩壊で死亡災害となったという事例も多い。このような場合は、崩壊の可能性のあることを考慮して設計・施工法等の見直しを図る必要がある。崩壊の前兆現象への適切な対応がなされていないことが窺える。

3.2 安全な施工方法の開発・普及

開削工事では土留めをすることがほぼ常識となっており、多くの土留めの種類から条件に応じて適する土留めが採用されている。しかしながら、斜面掘削工事では、必ずしも専門的な技術的知見が生かされていないと云える。崩壊の危険性がある場合は、地形・地盤状況等に応じて①斜面の勾配を緩くする、②アースアンカーの設置、③土留めの設置などの防護策を選定し、掘削から完成までを通して安全な状態とする必要がある。

3.3 切り取り斜面下で行う各種作業の見直し

施工時における安全な人的配置という視点も欠如していると考えられる。いわゆる「機械掘り」においても、作業者が斜面下の危険箇所へ近づくことがある。例えば、床掘り箇所での床均し、写真撮影、計測、砂利等の敷詰め、布団籠内に石を詰める作業、型枠の組立・解体作業などがある。崩壊の危険性のある斜面下でのこのような作業の必要性を見直し、作業者が危険にさらされる斜面下での作業を行わずともすむような施工法を採用することが望ましい。

(1) 床掘り・床均し

図-2 (1) に示すような床掘り・床均し作業に関しても人が斜面下に入って寸分たがわず仕上げる必要性があるのか疑問のあるところである。①床掘りの必要がない擁壁の形式・構造とする、②バック・ホウなどで構造上必要な精度で仕上げてもいいとする、などの対策を考える必要があると思われる。

(2) 型枠の組立・解体

写真-2 および 3 は型枠の解体・組立て中に発生した災害現場の写真である。切り取った斜面と型枠の間に入る作業は、斜面崩壊が発生した際に逃げるのができない最も危険な作業のひとつといえる。排水の確保など解決しなければならぬ問題もあるが、裏側(斜面側)の型枠などを埋め殺す(取り外さないでそのまま埋めてしまう)ことにより、人が入らなくてもいいようにするなど、工法の見直しが必要と考える。

(3) 写真撮影・寸法計測など

発注者に提出する施工管理資料のため、床均しが終わった現場(一番危険な状態)で、斜面下に入った写真撮影・寸法計測時の災害も多い。少々精度は落ちるものの離れた安全な場所からの写真撮影や寸法計測で足るものとするなど作業方法を再考する必要があると思われる。

(4) 布団籠の設置など

布団籠による土留めの設置に当たっては、作業者が布団籠の内側に入って、一個ずつ石をきれいに並べていくという作業を行っている。不安定だからこそ布団籠を設置するような斜面の下で、法尻に布団籠を置き人がその中に入って石を並べるという作業は見直すべきものと云える。



写真-2 型枠解体中の災害事例



写真-3 型枠施工中の災害事例

3.4 計測施工の普及

安全な工法で施工することがまず必要であるが、長大斜面などでは上記施工法の効果が不明確な場合もある。安全を担保するには目視点検による状況把握とともに、データに基づく定量的な判断が必要である。崩壊前の変位・角度変化は微小であることから、高精度な伸縮計・傾斜計などの計測値の変化の絶対量と変化の度合いから地山の状況を判断する情報化施工(計測に基づき危険性を予測しながら工事を進めること)を実施すべきものとする。

4. まとめ

斜面掘削工事の安全化を図るには、①施工途上の斜面安定性の検討、②安全な施工方法の開発・普及、③計測施工方法の開発・普及および④切り取り斜面下で行う各種作業の必要性の見直しなどによる計画・設計から施工に至るまでの適切な安全対策が必要である。

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。

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.

Preventive Strategy for Labor Accidents Caused by Slope Failures

Yasuo TOYOSAWA*, Kazuya ITOH**, Osamu KUSAKABE***, Jiro TKAKEMURA****,
Akihiro TAKAHASHI***** and Jun IZAWA*****

*Department of Research Planning and Coordination, National Institute of Occupational Safety and Health, 1-4-6, Umezono, Kiyose, Tokyo, Japan, toyosawa@s.jniosh.go.jp;

** Construction Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, 1-4-6, Umezono, Kiyose, Tokyo, Japan, k-ito@s.jniosh.go.jp

Department of Civil and Environmental Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan kusakabe@cv.titech.ac.jp, *Ditto, jtakemur@cv.titech.ac.jp, *****Ditto, takihiro@cv.titech.ac.jp,
*****Ditto, jizawa@cv.titech.ac.jp

Abstract: Slope failures have caused a number of fatalities and economic loss throughout time in Japan. It is necessary to provide specific and effective risk assessment concerning the site investigation and evaluation for stability of slope under construction, safe construction procedures, slope monitoring and review of the necessity of operations on the excavated slopes in the construction sites. This paper presents effective risk assessment procedure and some safe construction procedures to prevent the labor accidents caused by slope excavation.

Keywords: Labour Accident, Slope Excavation, Slope Failure, Risk Assessment

INTRODUCTION

Slope failures have caused a number of fatalities and economic loss throughout time in Japan. There are two main causes of the slope failure: 1) natural phenomena such as heavy rainfall or earthquakes, and 2) human-induced slope failure. Most of the human-induced slope failure occurred due to destabilization of slope when the lower part of a natural slope is removed or a part of the slope is steepened during construction works as shown Figure 1, especially during the slope excavation. In general, no clear signals appear before slope failure and in many cases slope failure occurs rapidly [Okuzono 1986], the workers have insufficient time to escape from the construction sites immediately and hence, the labour accidents generally take place.

A total of 865 fatal accident cases occurred during the excavation for road construction, land formation and etc. including trench failure were recorded in the construction safety and health yearbook [The Japan Construction Safety and Health Association] during the period of 1989 to 2007. The number of slope failure accidents fluctuated between 13 and 20 cases per year during the period of 1989 to 1995; however, this number has decreased from 1996 onwards and it was about 7 to 10 cases per year. The possible reasons for the decrease in the number of labour accidents

were development of laws relating to safety measures on construction sites and impacts of economy and employment conditions[1-3]. In order to establish effective measures to prevent the labour accidents caused by slope failure during the slope excavation, this paper proposes some strategies for preventing these accidents.

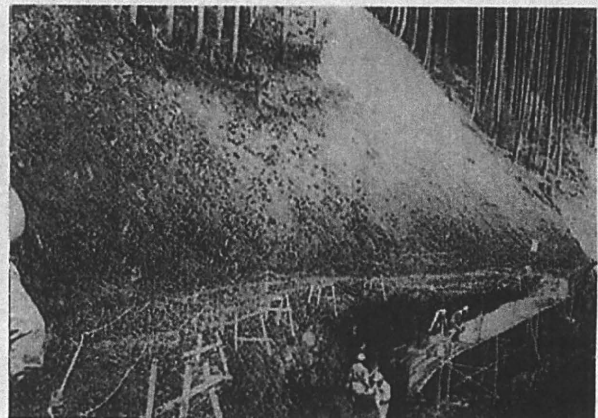


Fig. 1 Overview of the construction site

CHARACTERISTICS OF LABOUR ACCIDENTS BY SLOPE FAILURES

SCALE AND TYPE OF CONSTRUCTION WORK

Figure 2 shows the number of labour accidents classified by the project cost. The possibility of accident is lower in the construction work with a higher amount of project cost. It was found that about 30% of accidents involving the construction work with the project cost less than 20 million yen. By considering the number of accidents related to the construction period, about 60% of the accidents occurred in the construction project with construction periods of less than 6 months. Figure 3 shows the number of workers present at the time of accident; 84% of the accidents occurred in construction project with less than 8 workers on the construction site. Because the number of workers can be related to the size of the contractor, therefore, the possibility of accident is higher with the small contractor. This is probably due to the fact that the small contractors may not have operation chief and/or worker with appropriate knowledge concerning safety and health management and they may not have sufficient budgets to provide adequate safety equipment. Based on these findings, it can be concluded that the labour accidents are likely to occur in the small construction project with small project cost and relatively short construction period conducted by the small contractor.

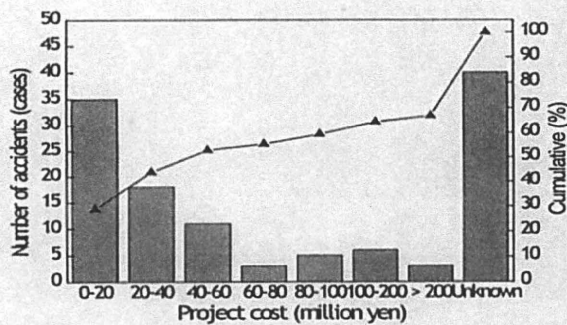


Fig. 2 Project cost

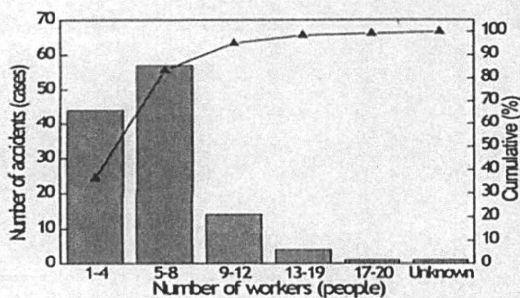
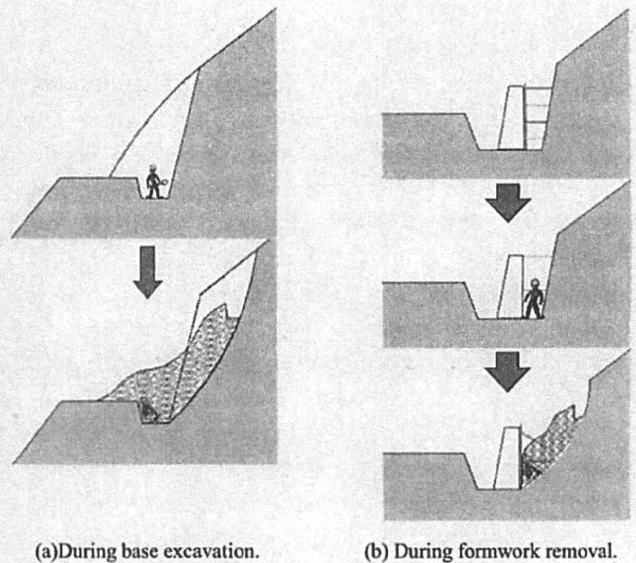


Fig. 3 Number of workers present at the accident

There are two general construction methods for stabilizing slope: retaining wall and slope protection methods. Based on the investigation conducted in this paper, it was found that about 73% of the labour accidents occurred during works involving slope stabilization by the retaining wall method. In contrast, the number of accidents that occurred during works using the slope protection method was smaller (about 12%). This is probably due to the fact that the retaining wall construction generally includes the excavation of steep and unstable slope (Figure 4 (a) and Figure 5 show), and it also requires construction works to be done in a narrow space between the retaining wall and the excavated ground such as assembling/dismantling of formworks (Figure 4 (b) and Figure 6 show), smoothing of base and etc. Therefore, workers do not have sufficient time to escape from such narrow space when slope failure occurred. The accident often occurred during the assembling/dismantling of formworks, ground/slope excavation, smoothing of base, excavation of the base and during erection of concrete block masonry. Figure 7 shows the relationship between slope failure risk and construction process of retaining wall construction works.



(a) During base excavation.

(b) During formwork removal.

Fig. 4 Typical accident during retaining construction work

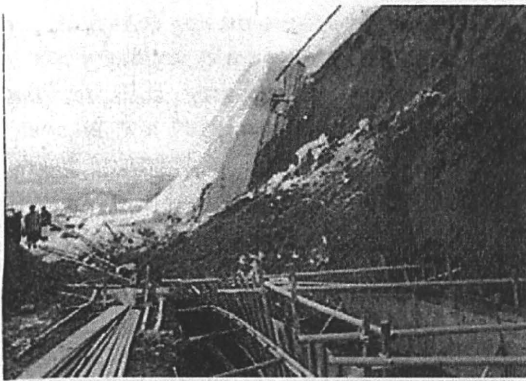


Fig. 5 Accident site at concrete frame construction work



Fig. 6 Accident site at frame dismantling work

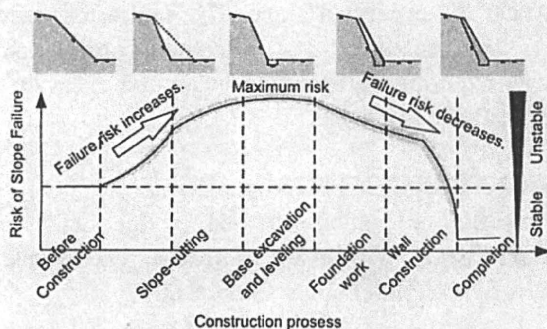


Fig. 7 Time history of slope failure risk due to retaining wall construction works

PREVENTIVE STRATEGIES

Risk assessment was stipulated in the Article 28-2 of ISHL (Industrial Safety and Health Law) in 2006. To implement the risk assessment for preventing labour accidents due to slope failure, it is necessary to understand the hazards both in terms of quantitatively and qualitatively. In particular, the ground condition has a high degree of uncertainty, it is important to take a comprehensive approach. The safety should be considered as part of planning from commencement

of a project. The first and foremost priority would be design and construction procedures. The appropriate design should be based on good site investigation and justified evaluation for slope stability.

In addition, even if safe construction procedures are conducted, a slope monitoring system may be adopted to compensate the remained chance of slope failure. It is necessary to provide more specific and effective risk assessment in combination with the site investigation and evaluation of slope stability during the construction, safe construction procedures, slope monitoring, review of the necessity of operations on the excavated slopes in construction sites, etc.

MANAGEMENT SYSTEM AND RISK ASSESSMENT

Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems (Ministry of Labour Notification No. 53) have been released in 1999 and JCSHA (The Japan Construction Safety and Health Association) promotes COHSMS (Promotion of Construction Occupational Health and Safety Management Systems) which address the health and safety management systems required of the construction industry. These show the fundamental policies for the safety and health management.

For practical practice, risk assessment was stipulated in the Article 28-2 of ISHL (Industrial Safety and Health Law). The Article 28-2 of ISHL state that "The employer shall endeavor to take necessary measures to prevent danger or health impairment to workers." The risk assessment consists essentially of three steps, 1) identification of hazards, 2) assessing hazards risk and 3) controlling the risk of injury and harm. To implement the risk assessment for preventing labour accidents due to slope failure, it is necessary to understand the hazards both in terms of quantitatively and qualitatively. In particular, the ground condition has a high degree of uncertainty, it is important to take a comprehensive approach. The safety should be considered as part of planning from commencement of a project. The first and foremost priority would be design and construction procedures. The appropriate design should be based on good site investigation and justified evaluation for slope stability. In addition, even if safe construction procedures are conducted, a slope monitoring system may be adopted to compensate the remained chance of slope failure.

It is necessary to provide more specific and effective risk assessment in combination with the site investigation and evaluation of slope stability during the construction, safe construction procedures, slope monitoring, review of the necessity of operations on the excavated slopes in construction sites, etc.

SITE INVESTIGATION AND EVALUATION SLOPE STABILITY UNDER CONSTRUCTION

In the Article 355 of OISH, "Survey on Work Sites, etc." stipulates that "the employer shall survey the ground of the work site and its surroundings, when there is the possibility of danger to workers during the excavation work". Although it depends on ground conditions and etc., construction works that involve the excavation of 2 m or more from the excavation surface are generally referred to the construction works with the possibility of danger to workers. Among the 121 cases investigated, soil strength was known for only 17 cases (14%). This indicated that most of the slope excavations were carried out without site investigations [5]. Because most of the labour accidents occurred during the construction so it is necessary to evaluate the stability of slope and risk of slope failure not only after the completion of construction but also under the construction. Because of the uncertainty of the slope condition, "Reliability design" should be adopted.

SAFE CONSTRUCTION PROCEDURES

It is a fundamental requirement to employ a construction method that can ensure safety throughout excavation of slopes from the start to the completion of excavation in the same way as is done in underground excavation. One effective construction method to prevent the possibility of slope failure is the "top-down slope stabilization method"; ground excavation and protection of the excavated slope are alternately carried out in steps to stabilize the excavated slope from top to down. However, this method is generally very expensive, so the authors recommend some simpler and cheaper methods depending on the soil profile, etc. with short reinforcing steel bar and iron net, mortar sprayed finish, and installing sheet piles, etc. would be effective to prevent the slope failure.

SLOPE MONITORING

The construction should be conducted by assuring safety of the slope throughout the construction process based on the slope monitoring data such as ground deformations obtained from displacement sensors, high precision tilt-sensors and etc. Fail-safe measures must be included in measuring and warning systems.

REVIEW OF THE NECESSITY OF OPERATIONS ON EXCAVATED SLOPE

Although most of the slope excavations are excavated by the excavators, the workers may have to enter dangerous areas near the excavated slope to perform works such as leveling, taking photograph, measuring, laying gravel on excavated ground, filling stones in

gabions, and assembling/disassembling formworks. If the works mentioned above are really necessary below the excavated slopes which may collapse, the contractor must review this necessity and alternate construction methods requiring no operation below the excavated slope should be employed.

CONCLUSIONS

- 1) Site investigation and evaluation slope stability under construction: It is necessary to evaluate the stability of slope and risk of slope failure not only after the completion of construction but also under the construction.
- 2) Safe construction procedures: It is a fundamental requirement to employ a construction method that can ensure safety throughout excavation of slopes from the start to the completion of excavation. We recommend some simpler and cheaper methods to prevent the slope failure.
- 3) Slope monitoring: The construction should be conducted by assuring safety of the slope throughout the construction process based on the slope monitoring data such as ground deformations obtained from displacement sensors.
- 4) Review of the necessity of operations: Although most of the slope excavations are excavated by the excavators, the workers may have to enter dangerous areas near the excavated slope. The contractor must review this necessity and alternate construction methods requiring no operation below the excavated slope should be employed.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research is partially funded by the Sciences Research Grants of Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan. (H20 Labour General 001).

REFERENCES

- [1] Japan Construction Safety and Health Association. (1989-2009). Construction industrial labour accident reports. Construction Safety and Health Yearbooks.
- [2] Japan International Center for Occupational Safety and Health (2009). Statistic of Industrial Accidents on Construction Industry.
- [3] S. Okuzono, "100 points for prevention of slope failure", Kajima Institute Publishing Co. Ltd., p.6, 1986. (in Japanese)
- [4] Y. Toyosawa K. Itoh and S. Timpong, "Case histories of labor accidents caused by slope failures and prevention strategies", Asia Pacific Symposium on Safety 2007, pp.83-86, 2007.