

201032001B

厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

土砂崩壊防止のための対策工に関する研究

(H20-労働-一般-001)

平成 20～22 年度 総合研究報告書

研究代表者 日下部 治

平成 23 年 3 月

目次

頁

第 1 章	はじめに	1
1.1	はじめに	1
1.2	研究体制	3
第 2 章	斜面崩壊による労働災害事例の調査・分析	5
2.1	はじめに	5
2.2	斜面掘削工事における施工上の問題と対策について	6
2.3	調査対象および崩壊形態・崩壊原因の分類方法について	9
2.4	崩壊形態・崩壊原因の傾向について	16
2.5	まとめ	18
2.6	第 2 章の参考文献	18
第 3 章	明かり掘削における掘削面の高さと勾配の安全性評価	19
3.1	はじめに	19
3.2	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	19
3.3	労働安全衛生規則第 356 条・357 条について	22
3.4	数値解析による検討	27
3.5	まとめ	32
3.6	謝辞	32
3.7	第 3 章の参考文献	32
第 4 章	斜面の安定性に関する水平面（小段）の影響	35
4.1	はじめに	35
4.2	国内の各機関で用いられる規制・設計基準における小段の幅と高さに関する調査	35
4.3	小段幅が斜面の安定性に与える影響に関する剛塑性有限要素解析	37
4.4	まとめ	44
4.5	第 4 章の参考文献	44
第 5 章	擁壁のより安全な施工方法に関する調査・検討	45
5.1	はじめに	45
5.2	床掘りについて	45
5.3	斜面掘削を伴う構造物構築時の安全な施工方法	50

5.4	擁壁工事での残存型枠の利用による施工方法に関する調査・検討	60
5.5	まとめ	70
5.6	参考文献	70
第6章	斜面上付加荷重による斜面安定の影響	73
6.1	はじめに	73
6.2	安定計算による影響評価	73
6.3	遠心模型実験による妥当性検討	85
6.4	実験結果	91
6.5	まとめ	101
6.6	謝辞	101
6.7	参考文献	101
第7章	砂からなる切土斜面の安定性に及ぼす降雨の影響	103
7.1	はじめに	103
7.2	遠心模型実験	104
7.3	実験結果および考察	108
7.4	まとめ	111
7.5	謝辞	111
7.6	参考文献	111
第8章	降雨による斜面崩壊の前兆現象に関する研究	113
8.1	はじめに	113
8.2	実験概要	113
8.3	実験結果および考察	115
8.4	まとめ	121
8.5	謝辞	121
8.6	参考文献	121
第9章	まとめ	123
9.1	はじめに	123
9.2	第2章の要約	123
9.3	第3章の要約	123
9.4	第4章の要約	124
9.5	第5章の要約	124
9.6	第6章の要約	125
9.7	第7章の要約	125
9.8	第8章の要約	126

9.9 健康危険情報	126
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	126
研究成果の刊行に関する一覧	127
研究成果の刊行物・別刷り	129

第1章 はじめに

本報告書は、厚生労働科学研究費補助金による「土砂崩壊防止のための対策工に関する研究」の平成20年度～平成22年度の研究成果を取りまとめたものである。

1.1 はじめに

土砂崩壊災害は、第10次災害防止計画で重点的に取り組んだことにより死亡者数は減少したが、さらに土砂崩壊災害数は減少しうるとするのが労働安全分野の認識である。土砂災害による労働災害は、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という統計分析も存在する。写真-1.1は、切土斜面直下における擁壁工の施工状況の一例であり、図-1.1は、写真-1.1のような切土掘削を行って擁壁工を構築する時の斜面崩壊危険度を施工手順に沿って時系列として模式的に描いたものである。擁壁設計実務では完成型において安定が検討されるが、危険度が最大になると想定される床付け・床均し時における安定の検討は通常行われない。そのような斜面崩壊の防止対策工がなされないままに人力作業が行われているのが実態である。このような机上の設計実務と現実の施工過程における人命危険度との認識の乖離は、土砂崩壊災害による死亡者数のさらなる減少を妨げている大きな要因となっている。



写真-1.1 切土斜面直下における擁壁工の施工状況の一例

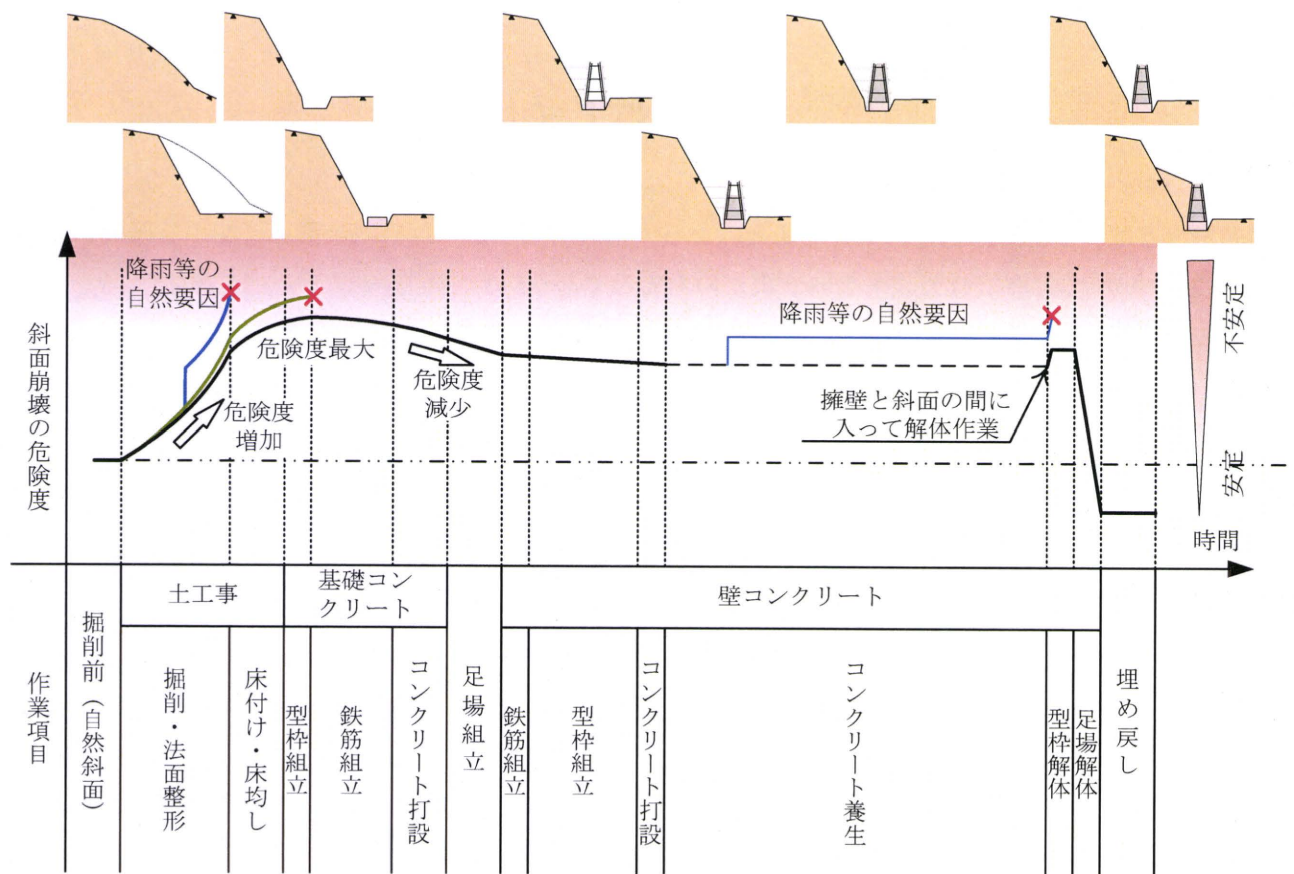


図-1.1 擁壁工を構築時の斜面崩壊危険度の時系列模式図

災害は社会動態と密接に関連し、土砂災害も自然要因と社会的・人的要因とが複合して発生すると認識するのが正しい。地域特性としての地質構造・気象環境に加えて降雨そして地震などの自然要因によって、溝掘削、切土掘削、トンネル掘削などの地盤内応力解放にともない原地盤の不安定性がさらに増大し土砂災害を引き起こす。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事象の調査・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いる側面もあり、土砂崩壊災害の防止に向けて社会動態と災害の視点も重要である。

本研究計画では、取り組む研究項目を以下の3点に設定している。

- (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。

本総合研究報告書では、平成20年度～平成22年度まで実施した研究成果を以下の各章で記述した。

第2章 「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、

第3章 「明かり掘削における掘削面の高さや勾配の安全性評価」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、掘削面の高さや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い、

- 第3章 「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成果を述べ、
- 第4章 「擁壁に残存型枠を利用する施工方法に関する検討」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”施工方法の一つとして検討された残存型枠を利用した施工方法について、一般型枠との比較検討を行った結果を紹介し、
- 第5章 「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・検討した成果とその中でも残存型枠を利用した施工方法について一般型枠との比較検討を行った結果を紹介し、
- 第6章 「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紹介し、
- 第7章 「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分析結果を紹介し、
- 第8章 「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記述し、
- 第9章 「まとめ」では各章の要約を述べた。

1.2 研究体制

本研究は、平成20年度より3年間で実施が計画され、各年度に以下の研究者が携わっている。

平成20年度

研究代表者	日下部治	(東京工業大学大学院 理工学研究科 教授)
研究分担者	竹村次朗	(東京工業大学大学院 理工学研究科 准教授)
同上	高橋章浩	(東京工業大学大学院 理工学研究科 准教授)
同上	井澤 淳	(東京工業大学大学院 理工学研究科 助教)
同上	豊澤康男	((独)労働安全衛生総合研究所 建設安全研究G 部長)
同上	伊藤和也	((独)労働安全衛生総合研究所 建設安全研究G 研究員)

平成21年度

研究代表者	日下部治	(東京工業大学大学院 理工学研究科 教授)
研究分担者	竹村次朗	(東京工業大学大学院 理工学研究科 准教授)
同上	高橋章浩	(東京工業大学大学院 理工学研究科 准教授)

同 上	井澤 淳	(東京工業大学大学院 理工学研究科 助教)
同 上	豊澤康男	((独) 労働安全衛生総合研究所 研究企画調整部 部長)
同 上	玉手 聡	((独) 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究 G 上席研究員)
同 上	伊藤和也	((独) 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究 G 研究員)

平成 22 年度

研究代表者	日下部治	(東京工業大学大学院 理工学研究科 教授)
研究分担者	竹村次朗	(東京工業大学大学院 理工学研究科 准教授)
同 上	高橋章浩	(東京工業大学大学院 理工学研究科 准教授)
同 上	竹山智英	(東京工業大学大学院 理工学研究科 助教)
同 上	豊澤康男	((独) 労働安全衛生総合研究所 研究企画調整部 部長)
同 上	伊藤和也	((独) 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究 G 研究員)

第2章 斜面崩壊による労働災害事例の調査・分析

2.1 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て発生している。図-2.1 に建設業に関する労働災害の年度別推移を示す¹⁾。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名まで減少してきた(2008年は21名。ただし、岩手・宮城内陸地震による4名の死亡災害が含まれている)。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、土砂崩壊に占める割合は増加傾向にある。

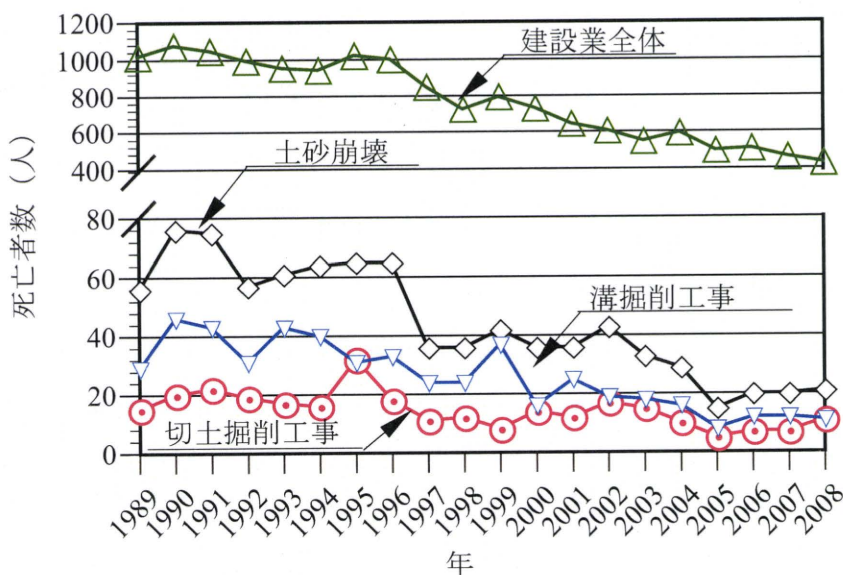


図-2.1 労働災害の年度別推移¹⁾

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-2.2参照)。

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ケースが多いことが明らかになった²⁾。

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。

これらの調査結果を踏まえ、はじめに施工前・施工中の具体的な問題点を抽出し考察を行った。次に、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た。

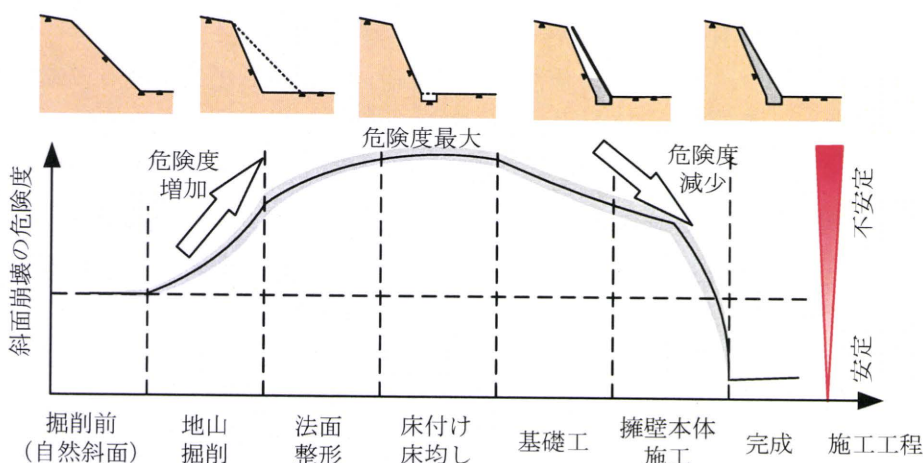


図-2.2 擁壁工施工途上の危険度変化の概念図

2.2 斜面掘削工事における施工上の問題と対策について

2.2.1 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云える。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。

2.2.2 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。

2.2.3 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、布団管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-2.3 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。

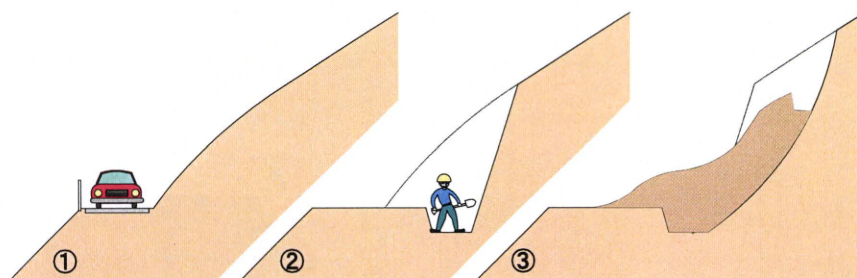


図-2.3 床掘り・床均し中の災害

2. 型枠の組立・解体

写真-2.1～2.2 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って行う作業は、斜面崩壊が発生した際に逃げるできない最も危険な作業のひとつといえる（図-2.4 参照）。排水の確保など解決しなければならない問題もあるが、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。

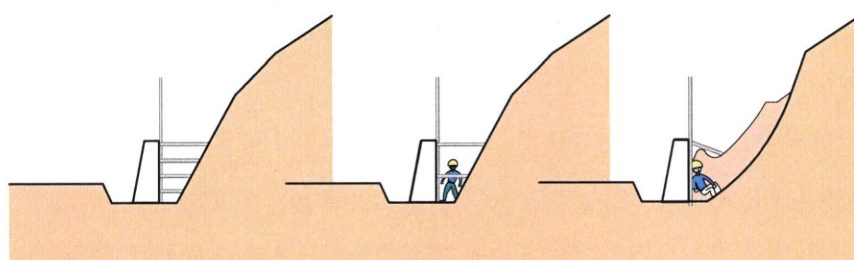


図-2.4 型枠の解体中の災害



写真-2.1 型枠解体中の災害事例



写真-2.2 型枠施工中の災害事例

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
ての写真撮影・寸法計測時での災害も多い。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。

2.2.4 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。

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。

2.3 調査対象および崩壊形態・崩壊原因の分類方法について

伊藤らの災害事例調査²⁾は、建設工事中の斜面崩壊による労働災害の傾向を明らかにしているが、地盤工学的な検討がされていない。自然地山を対象とする斜面掘削工事では、崩壊形態についての規模別・地質別分類や施工上ならびに自然原因による崩壊原因を明確にすることによって、事前調査により崩壊の因子を排除することができる。そこで本節では、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を作成した。このようなデータベースの作成により、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）といった各種問題が統計量として得られるものと考えた。データベースシートの記載項目別の詳細について以下に示す。

2.3.1 崩壊形態

奥園が示した崩壊形態分類図³⁾（図-2.5）を参考にして、規模別分類と地質別分類に分けて記載することとした。

1. 規模別分類

- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 不明
- ・ その他

2. 地質別分類

- ・ 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）
- ・ 砂質土（山砂，砂丘，火山灰砂質土（シラス），マサ）
- ・ 崩壊土・風化表層土（崩積土（崖錐），風化表層土，段丘礫層）
- ・ 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）
- ・ 固結度は高いが亀裂の多い岩（中古生層，火成岩）
- ・ 不明
- ・ その他

2.3.2 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。

1. 施工上

- ・ 急勾配掘削
- ・ 床掘りの掘削
- ・ 上載荷重（重機等による）
- ・ その他
- ・ 不明
- ・ 無し

2. 自然原因

- ・ 降雨・雪
- ・ 地震
- ・ 地下水・湧水
- ・ その他
- ・ 不明
- ・ 無し

2.3.3 予見可能性の有無

専門家から見た場合の予見可能性について言及する

- ・ 有り（施工中に崩壊履歴があった）
- ・ 有り（数日前に降雨があった）
- ・ 有り（小石がばらばら落ちていた）
- ・ 有り（法面上部にクラックが発生していた）
- ・ 有り（湧水が泥水になっていた）
- ・ 有り（その他）
- ・ 無し
- ・ 不明

2.3.4 退避可能性の有無

現状として退避は可能であったかを記載

- ・ 有り
- ・ 無し
- ・ 不明

2.3.5 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るか否か？

- ・ 有り（施工法の変更）
- ・ 有り（避難経路の確立）
- ・ 有り（その他）
- ・ 無し
- ・ 不明

2.3.6 被災者と崩壊の距離

崩壊末端から被災者までの直線距離にて明記する（図-2.6 参照）

2.3.7 責任の所在

災害が発生した責任はどこが負うべきか（複数回答）

- ・ 発注者
- ・ 元請け
- ・ 施工者
- ・ 作業員
- ・ 発注者・元請け・施工者
- ・ 発注者・元請け
- ・ 発注者・施工者
- ・ 元請け・施工者
- ・ 施工者・作業員
- ・ 発注者・作業員
- ・ その他

このような、災害事例について図-2.7 に示すようなデータベースシートを作り、分類分けをしてデータの蓄積を行った。なお、このデータベースシートはエクセルの VBA 機能を利用して作成した。

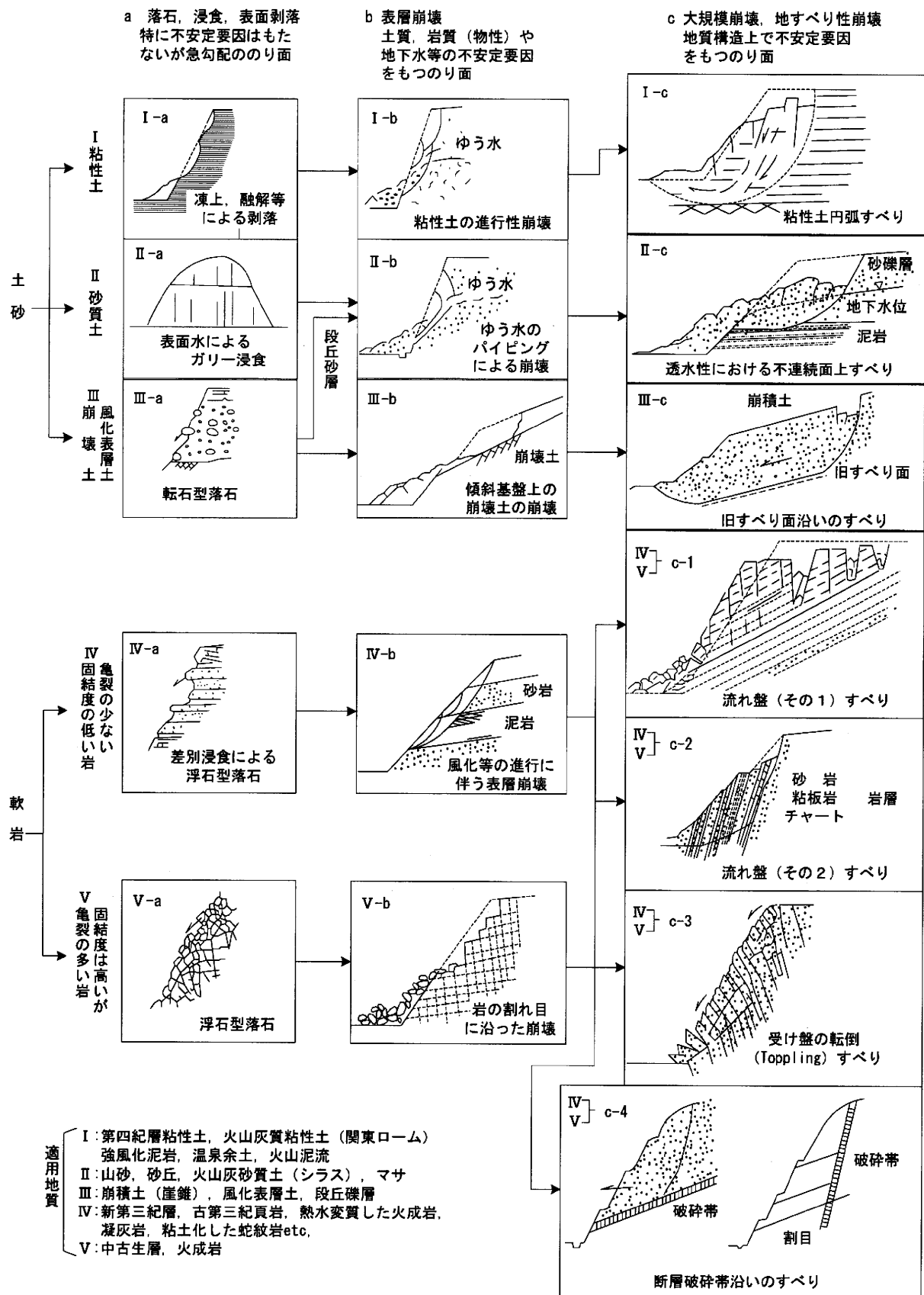


図-2.5 崩壊形態分類図 (奥園原図)³⁾

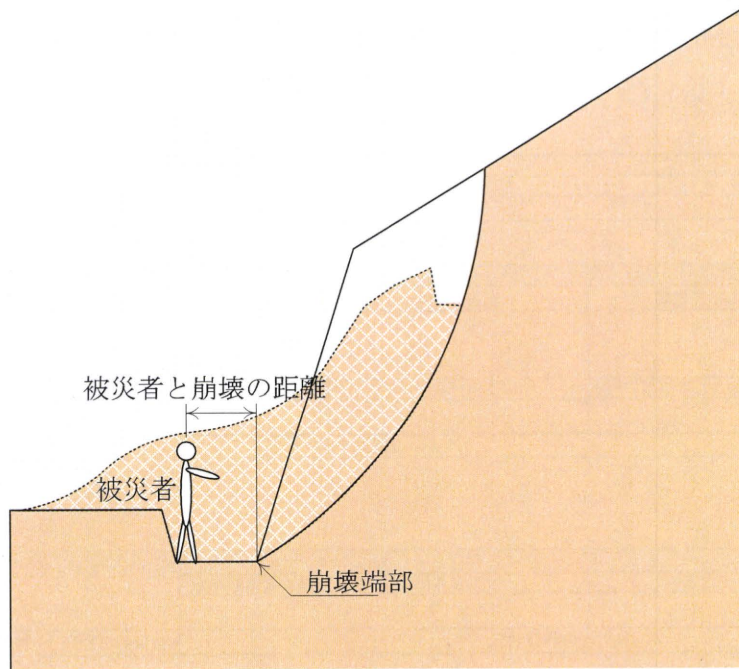


図-2.6 被災者と崩壊の距離についての概念図

建設工事中の斜面崩壊による労働災害に関する災害調査データベースシート

No.	122			東京工業大学・労働安全衛生総合研究所		
年	月	日	時			
災害発生場所						
工事関係に関する情報						
工事の名前	工事の種類	発注者分類	発注者			
工期 ヶ月	請負金額 (工事規模)千円	下請け回数	下請け請負金額	就労者数	工事完了日	
工事の内容						
被災者に関する情報						
被災者数	死亡者数	被災者年齢	被災者経験年数			
被災者の作業状況				被災者の職種	被災者の作業	死亡原因
地盤に関する情報						
地山or盛土	施工箇所の地形	施工箇所の地質	N値			
法面の勾配(計画)	法面の高さ(計画)m	法面の延長(計画)m	崩壊の前兆の有無	上記前兆の状況		
法面の勾配(実際)	法面の高さ(実際)m	法面の延長(実際)m		崩壊の幾何学的形状	崩壊土量m ³	
	崩壊した法面の高さm	崩壊した法面の延長幅m	崩壊した法面の奥行きm			
地盤工学的に見た専門家としての見解						
規模別分類		崩壊形態		崩壊原因		
		地質的分類		施工上原因	自然原因	
予見可能性の有無 (専門家から見た場合)	退避可能性の有無 (現状として退避は可能であったか)	(何らかの改善処置による)災害回避可能性の有無		被災者と崩壊の距離(m)	責任の所在	
特記事項(上部の下段は自由記載可能)						

掘削工法	法面切始めから崩壊までの経過日数				
降雨の状況	24時間前からの降雨量	前日までの積算降雨量(mm)	降雨履歴データ有無		
地下水/湧水の有無 無 ²	すべり面となりうる粘土層等の有無 無 ²	施工箇所/付近の地すべり等の履歴 無 ²			
周囲の建造物等の有無	周囲の建造物等の崩壊への影響の有無	植生の有無	植生の崩壊への影響の有無		
作業主任者の有無 有 ¹ 無 ²	地山の点検の有無 有 ¹	地山点検の状況	法面の補強/養生の有無	補強/養生の状況	
発破/振動等の影響の有無 有 ¹	発破/振動等の状況	その他特筆すべき事項			
図面					

図-2.7 データベースシート (案)

2.4 崩壊形態・崩壊原因の傾向について

本章では、前節までの分類分けについて、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、斜面掘削工事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。

2.4.1 崩壊形態の傾向

1. 規模別分類

規模別に分類した結果を図-2.8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、これらとも合致する。

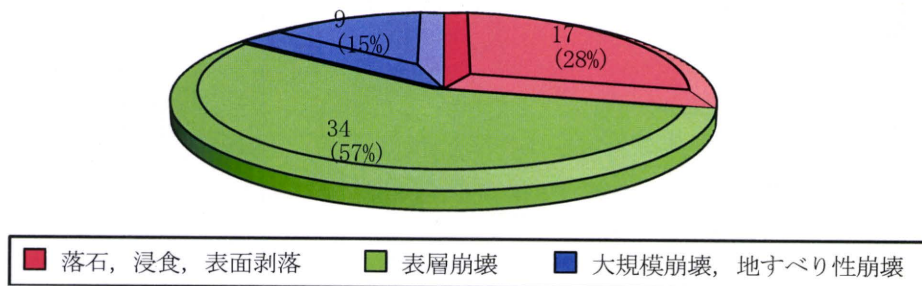


図-2.8 崩壊形態・規模別分類

2. 地質別分類

地質別に分類した結果を図-2.9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。

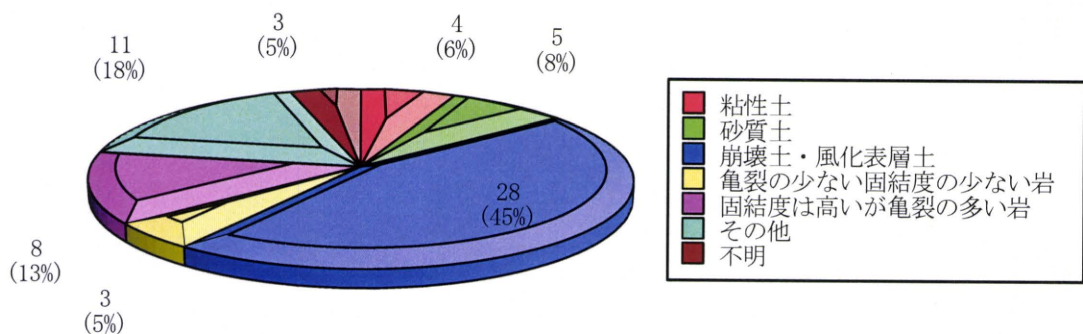


図-2.9 崩壊形態・地質別分類