

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

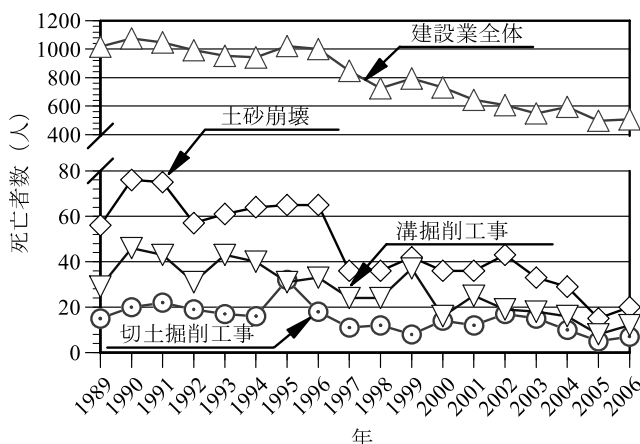
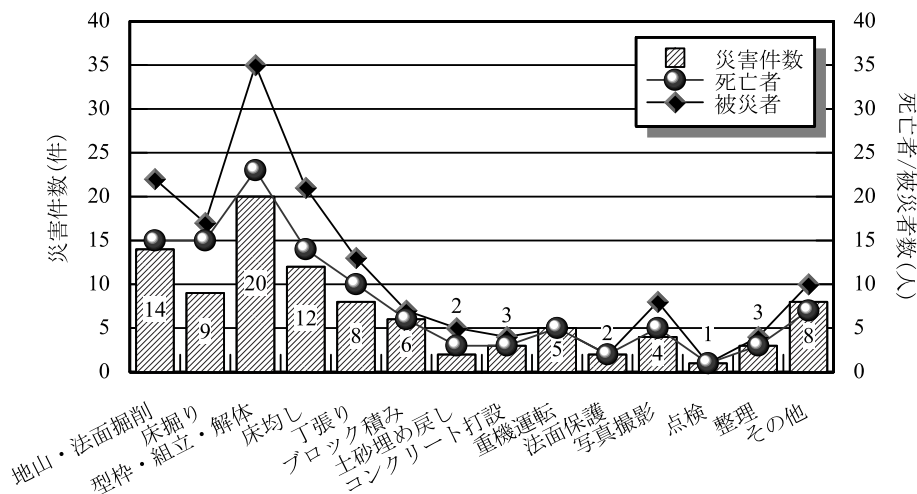


図-1 労働災害の年度別推移



図一 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

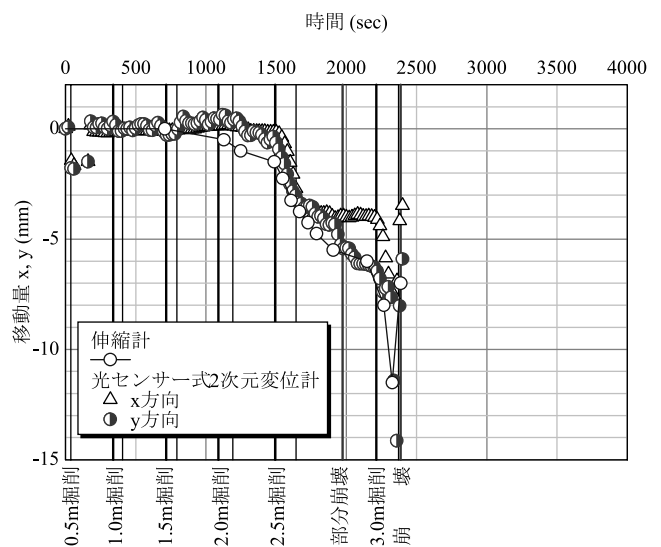


(a) 1回目崩壊



(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

労働災害事例の再現のために利用した実験結果について示す。

(1) 遠心模型実験とは？

遠心模型実験装置の概形は、写真-4のようなものである。回転する主桁（ビーム）の端部にプラットフォームと呼ばれる“ぶらんこ”があり、そこにあらかじめ作製した模型地盤を搭載する。その状態からビームを高速（毎分20回転から150回転）で回転させると、地球の重力加速度と遠心加速度の合計加速度の方向にプラットフォームが振り上がる（図-4）。しかし、重力は遠心力よりも十分に小さいため、合計加速度はほぼ水平方向に働いて、模型地盤の鉛直下向きに加速度が作用する仕組みとなっている。地盤を構成する土の変形・破壊特性は、一般的に拘束圧によって著しく変化する。したがって、模型の土要素に実物の土要素と同じ変形・強度を発揮させるためには拘束圧を実物と同じにすることが必要となる。遠心模型実験手法は、遠心力を重力と見立てて縮尺模型に働く重力をあたかも現場と同じにすることができる実験手法であり、海上空港埋め立ての圧密沈下挙動、斜面崩壊問題、掘削工事・トンネル工事の変形問題のような静的問題か



写真-4 遠心模型実験装置
(独労働安全衛生総合研究所所有)

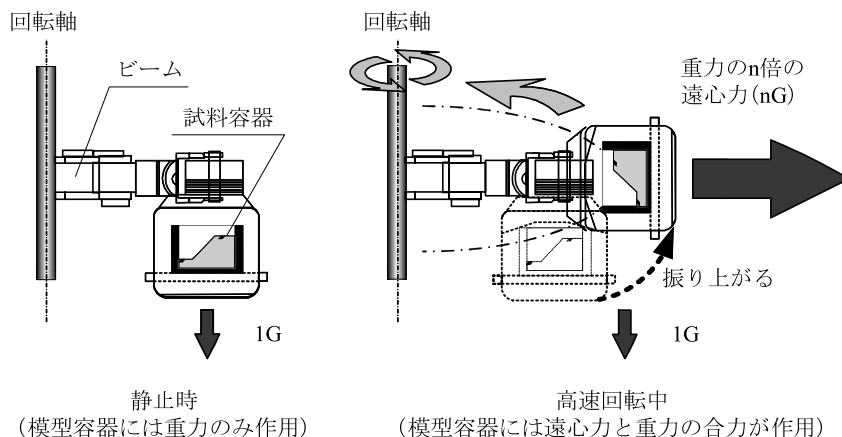


図-4 遠心模型実験の回転の様子

ら、地中構造物・杭基礎構造物の地震時安定問題のような動的問題に至るまで、地盤を扱う研究では様々な分野において取り入れられ、破壊や変形メカニズムの解明のために利用されている⁵⁾。

(2) 取り上げる労働災害事例について

幾何学的形状から最も不安定になる重力式擁壁などの施工中の安全性を確保するための手段として、

- ①勾配を緩くする
- ②別工法への変更（逆巻き工法、ロックボルト、アンカー等）
- ③崩壊を抑止できる土留め等の対策

が考えられる。全てにコストの問題があり、その他①では近接地への影響、②や③では発注先の理解が必要など、安全性を確保するためには幾つかの検討すべき事案がある。労働災害事例の中には、単管、コンパネ、敷鉄板など現場にある材料を使用した簡易的な土留めにより対処しようとしていたが、実際に斜面が崩壊した場合には、崩壊を抑止できずに被災してしまった事例が散見された。図-5はそのような災害事例の崩壊状況のイメージを示したものである。この災害は、ブロック積み擁壁築造の施工中に発生したものである。斜面勾配65度、高さ約4mの法面下部に擁壁の基礎を設置するためにドラグショベルにて深さ約1.4m、幅約1.4m掘削し、法面下部を長さ3mの単管およびコンパネで簡易的に土留めした内部で作業を行っていたところ、上部法面が幅約4m、高さ約4m、奥行き約0.8mの規模で崩壊し、2名の作業員が生き埋めとなり死亡したものである。このような災害事例について遠心模型実験を行い、災害状況の再現および土留めの剛性が崩壊に与えた影響を確認した。

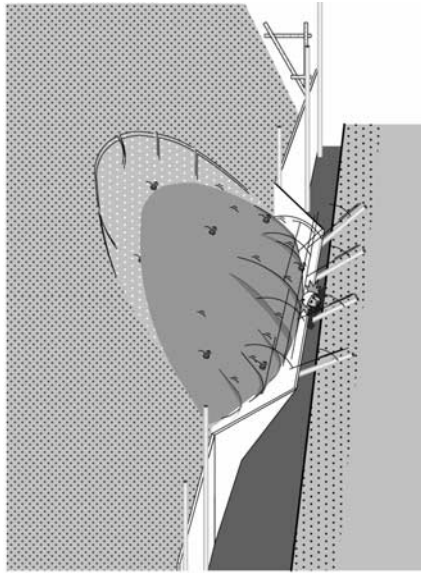


図-5 労働災害事例のイメージ図

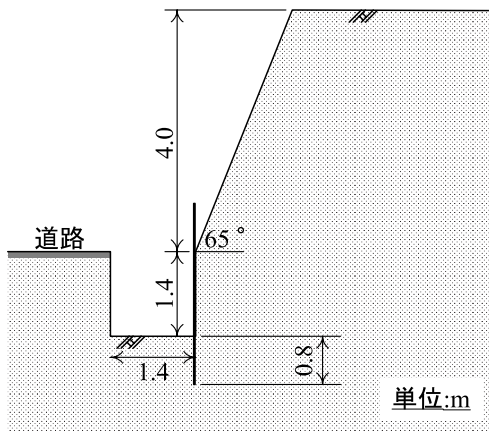


図-6 労働災害事例の断面図

(3) 遠心模型実験による再現実験

(a) 実験概要

上記の労働災害事例を図-6のような断面図と仮定し、縮尺 1/25 で図-7のようなモデル化を行い、遠心加速度 25 G 場にて実験を行った。実験は、遠心場掘削装置を用いて掘削領域(図-7)を段階的に掘削することで不安定化させた。実験ケースは、土留めの種類を、(a) 単管パイプとコンパネにより作成することを想定した簡易土留め壁(以下、簡易土留め壁、写真-5(a))と、(b) 規格品である鋼矢板(写真-5(b))とした2ケースである。なお、実験に用いたモデル単管パイプとモデル鋼矢板は、曲げ剛性 EI が実際と等価となるφ2 mm のアルミ棒と波板状に加工した厚さ 0.3 mm のアルミ板である。また、コンパネは磁気カードにてモデル化した。

(b) 実験結果および考察

簡易土留め壁の崩壊挙動を写真-6に時間(掘削)

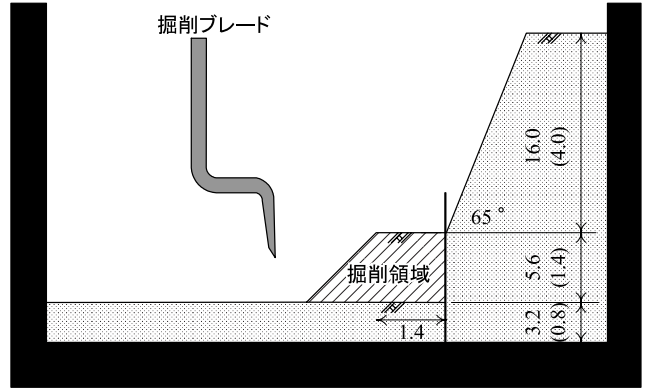
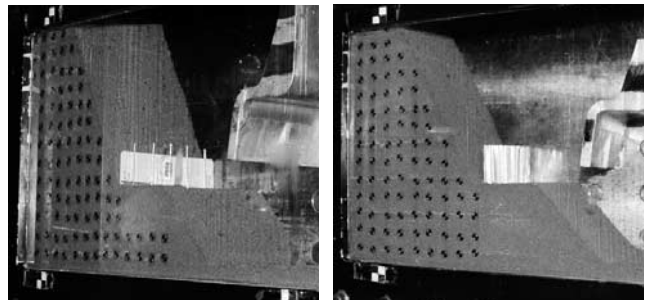


図-7 実験概略図



(a) 簡易土留め壁

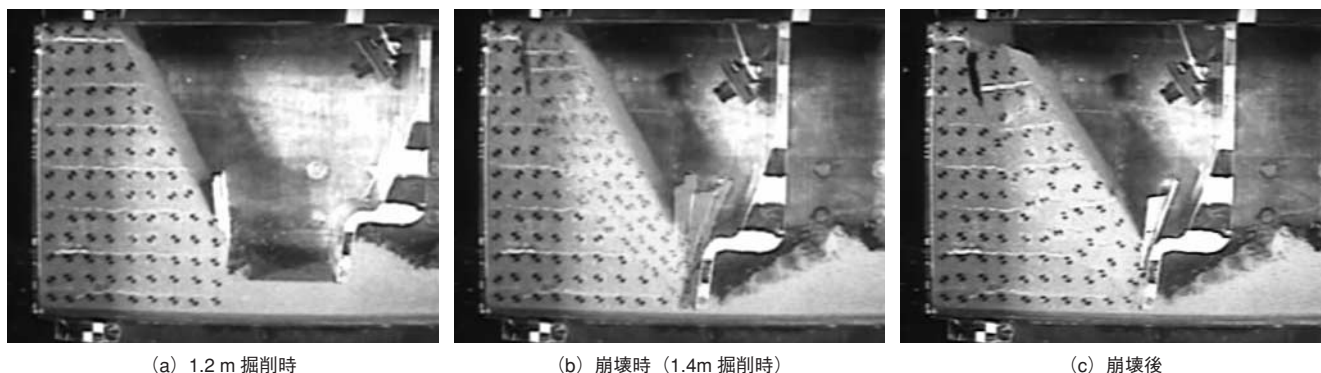
(b) 鋼矢板

写真-5 実験ケース

経過として示す。崩壊は、30コマ/秒のビデオカメラで挙動を把握できないような急激な崩壊となった。簡易土留め壁を用いた場合の崩壊形状は、土留め壁が前方に倒れており、作業員が溝内にて作業することを考えると危険となる。また、簡易土留め壁は、斜面崩壊により単管パイプも変形しており、仮に塑性変形を考慮したとしても土砂崩壊に耐えられるだけの強度は有していないことが分かる。

鋼矢板を用いた場合の掘削過程を写真-7に示す。鋼矢板では変形が全く見られずに掘削を行うことができた(写真-7(a))。そこで、鋼矢板を用いたケースでは、一定時間経過後、遠心加速度を増加させることで斜面を崩壊させ、その際の崩壊形状を確認することとした。写真-7(b)~(c)は崩壊時の経時変化を示したものである。崩壊時の遠心加速度は約 36 G であり、斜面高さは約 5.8 m に相当する。斜面が崩壊しても鋼矢板により抑止されており、作業員の被災は免れる可能性が高い。

このように剛性が高い土留めを用いれば崩壊は免れ、万が一崩壊しても被災を軽減することができる。しかし、土留めは仮設構造物であり、本設構造物と同等とすることは本末転倒であろう。最適な設計・施工を行うためには崩壊時に発生する土圧を正確に算定することが今後の検討課題だろう。

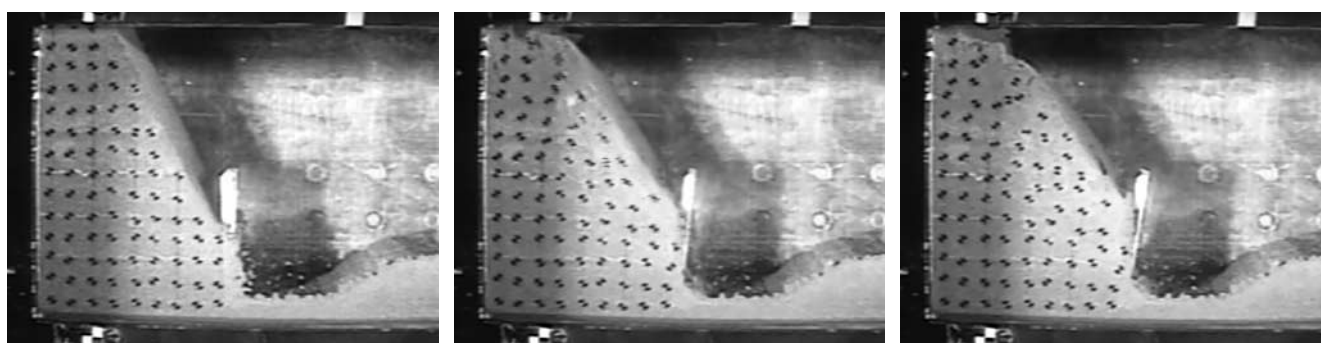


(a) 1.2 m 掘削時

(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から、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がたい。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⁹⁾。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。

JICMA

《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、JNOSH-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)
独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)
独労働安全衛生総合研究所
建設安全研究グループ
部長

