

## 1. 序 論

豊澤康男\*

### 1. Introduction

by Yasuo TOYOSAWA\*

**Abstract;** Accidents due to slope failure frequently occur at excavation sites. About 20 workers die annually in accidents attributed to slope failure or rock fall during slope-cutting work in Japan.

The accident associated with earth failures (e.g. trench failures and slope failures) is one of the major accidents in construction work. These accidents occasionally involve serious accident in which more than 3 workers are injured. The numbers of accident in construction work have been gradually decreasing, yet they still account about 500 accidents in every year. Among them, failures and slope failures are major causes of accidents that account for about 3-6% of accidents in construction work.

According to the investigation of fatal accidents caused by earth failures, almost 40% of these accidents occurred during slope excavation work. So, this report focused on prevention of the slope failure accidents.

Main objectives of this research project are to understand the situation of accident in slope excavation works, to understand of failure mechanism of the slope and to establish the effective countermeasures for preventing slope failure accidents.

For this purpose, a series of researches has been carried out as follows:

- 1) Analysis of labor accidents caused by slope failure during slope-cutting work
- 2) Stability of trench excavation under construction machinery load
- 3) Experimental analysis on shallow failure of slope in consideration of relationship between ground permeability and precipitation intensity
- 4) Stability of shotcreted slope during the maintenance
- 5) Physical modeling of slope failure during slope cutting work
- 6) Application of Tilt-sensor in the slope excavation field for the measurement of slope movement just before the collapse
- 7) Development of the Short Pipe Strain transducer (SPS) and experimental analysis on its applicability for safety monitoring in slope work
- 8) Development of monitoring and alarm system for slope failure using laser beam and optical sensor

**Keywords;** Slope failure, Labor accident, Excavation, Slope-cutting work, Construction work

---

\* 建設安全研究グループ Construction Safety Research Group

## 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災害は、①溝掘削時の溝崩壊、②斜面の切り取り工事中の土砂崩壊による災害がほとんどを占めている現状である。

溝掘削工事の土砂崩壊防止については、当研究所で、特別研究「溝掘削工事における土砂崩壊災害の防止に関する特別研究」を実施し、平成7年(1995年)に報告書を公表しているところである。建設業界等においてもその重要性が認識され、建設業労働災害防止協会において「土止め先行工法に関する指針」、「土止め先行工法に関するガイドライン」<sup>1)</sup>がまとめられた。(「土止め先行工法」とは、溝内での作業に先行して土止め支保工を設置する工法であり、土止めが設置されていない危険な状態で労働者が溝の内部で作業することがないという工法である。)平成15年には厚生労働省において、関係団体に対し、「土止め先行工法に関するガイドライン」の周知徹底等を図るよう要請する旨の通達が発出され、国土交通省や都道府県などの地方公共団体などの協力のもと本工法の普及促進が図られているところである。

発注者や施工者の協力のもと、当該土止め先行工法が普及することで、溝掘削時の土砂崩壊による災害が大きく減少することが期待されている。

一方、溝工事の対策が進められているのに対して、斜面の切り取り工事については対策が必ずしも十分ではない現状であった。

その背景としては、地盤を扱う工事の不確定性(①自然(地盤)を対象としているための不確定性、②地盤定数などのパラメータが有している不確定性など)とともに建設工事の特殊性(日々作業環境が変化することなど)が挙げられる。

さらに、斜面の切り取り工事の場合、①斜面法尻を掘削したことに起因する土砂崩壊メカニズムが十分には解明されていないこと、②切り取り斜面の安定性評価手法が明確には確立されていないこと、③長大斜面では土圧の算定が難しく、想定するすべり面の取り方によっては土圧が過大となり、土止め工設置費用が膨大となるおそれがあること、④計測施工の有効性が必ずしも一般的に認識されておらず、また計測機器も一般的に高価であること、⑤何を(変位、傾斜角度、ひずみ、間隙圧の変化など)どこで(法肩、のり面内など)どの程度の精度で計測すればいいのか、必ずしも明確でなかったこと、また、⑥計測器から得られた地盤変位、傾斜の変化から崩壊を予測する判定基準が明確でないこと、⑦掘削する地山の地質等の条件をどのような方法でどの程度の精度で調査すべきかが明確でなかったこと、⑧地盤調査によって得

られた情報の精度の評価方法が明確でなかったこと、⑨地山の内部にある流れ盤、粘土層、水みちなどの弱点が通常の調査では十分には把握できないこと、⑩溝崩壊のように崩壊する範囲が限定されず、観測箇所が広範囲になりがちであること、⑪仮設の土止め工の開発が十分ではなかったことなど、多くの点が指摘できる。

溝掘削工事の場合は、「土止め先行工法に関するガイドライン」に示されているような土止めを設置する工法で対処すればよいのに対して、斜面の切り取り工事は、前述した背景・問題点等に加えて、対象とする地形や地盤条件によって対策が一律ではないことなども加わって、効果的な労働災害防止対策をとることが難しいと考えられがちであった。

このような諸々の状況から、斜面の切り取り工事は「ある程度は危険でもしょうがない。」というあきらめにも似た認識が一部の関係者にあったように思われる。

実際の工事の事例として、林道工事中の状況をPhoto 1に示す。この写真の作業は、擁壁を作るために斜面を切土して、さらに斜面下部を掘削してそこにコンクリート擁壁のための型枠を製作しているところである。まさに命がけの作業といえる。

こうした斜面の切り取り時における災害の原因としては、上述したように施工時における斜面崩壊の危険性に対する認識が不十分であること、計測施工(計測に基づき危険性を予測しながら工事を進めること)が実施されていないことなど安全な施工法が採用されていないことが挙げられる。これらの背景には、中小規模工事に対応した労働災害防止技術の開発の立ち後れや、経費に余裕のない中小規模工事においても利用可能な情報化技術を援用した安全で信頼性の高い施工法に関する知見が十分整備されていないことがある。

こうした災害を減少させるためには、未解明な部分が多く残されている地盤崩壊メカニズム及び改修・補修など施工法の相違に起因する崩壊メカニズムの解明を行うと同時に、廉価な計測技術によって計測し、的確な判断



Photo 1 Overview of the construction site.  
林道工事中の状況

基準によって崩壊の可能性を予知するなど、経費に余裕のない中小規模工事においても利用可能な計測施工に関する技術開発が不可欠である。

本研究では、中小規模掘削工事の安全化に資するため、土砂崩壊災害を防止する包括的な対策を確立するため一連の総合的な研究を実施した。

なお、第10次労働災害防止計画（平成15年度から5ヶ年計画）において「切土等の作業における斜面崩壊に対する効果的な対策を検討する。」とされており、本プロジェクト研究はそれに対応している。

## 2. 研究の概要

本プロジェクト研究で実施した研究テーマおよびその研究成果の概要を以下に述べる。

### 2.1 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

土砂崩壊による労働災害の死亡者は、毎年15～20名前後で推移している。そのうち約半数が道路建設工事等における斜面の切り取り工事などにおける斜面崩壊によるものである。このような切土掘削工事現場における斜面崩壊による労働災害を防止するためには、過去に発生した同種の災害の実態把握が不可欠である。そこで本研究は、斜面崩壊による労働災害の実態把握および防止対策確立に関する基礎データを得ることを目的として、斜面崩壊による死亡災害・重大災害（一度に3人以上が被災する災害）の事例調査・分析を行った。その結果、約8割が地方公共団体発注の中小規模工事でのものが多く、その約7割は擁壁工施工時によるものであった。また、崩壊した地山の分析結果から、労働災害となる斜面崩壊は60度以上75度未満の勾配にて多く発生しており、崩壊土量は50m<sup>3</sup>未満が6割を占めており、小規模崩壊での被災が多いことなどが判明した。

### 2.2 建設機械荷重作用下における掘削溝法面の安定性に関する研究

建設機械を用いた掘削作業中に、法肩が崩壊したために建設機械が転倒し、運転者や周囲の作業員が挟まれたり、下敷きになって被災する災害が多発している。

本研究では、建設機械を二つの帯状定荷重としてモデル化し、遠心場においてこの定荷重が掘削溝の直近の地盤に作用した場合の掘削実験を行った。

その結果、定荷重の接地圧が地盤の強度に近い場合、斜面上の支持力問題として既往の研究結果に基づき解析が可能であり、定荷重の接地圧が地盤の強度より小さい場合は地盤重量と併せて定荷重の接地圧に起因する崩壊現象となることなどがわかった。

本論では建設機械の載荷荷重の大きさと作用位置、地盤形状（斜面角度、掘削深さなど）、地盤強度特性などの相対的な条件に基づき建設機械が掘削箇所付近の場合の土砂崩壊に対する安全性が定量的に求められることを示した。これにより地盤強度に対応して、建設機械の重量制限、溝や斜面法肩からの接近距離などを求めることが出来る。

### 2.3 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

本研究では豪雨による斜面の表層崩壊に着目し、その発生条件を遠心場降雨実験により調査した。降雨強度( $r_p$ ) 30mm/hrと降雨量( $R_p$ ) 300mmを実大豪雨の標準条件に設定し、50g場における実験を行った。本実験では水と粘性が水の50倍であるシリコンオイルの2種類を用いて降雨を再現し、粘性の違いが遠心場再現に与える影響についても考察を加えた。模型の降雨強度と降雨量の条件はダルシー則を仮定した相似則に基づいて決定した。さらに、雨滴の粒径は1/50となる微小なミストで再現し、過大な衝撃力が地盤に作用しないよう工夫した。透水性が異なる模型地盤を豊浦砂とシリカ100の2種類で作成した。 $r_p$ に対する飽和透水係数( $k_{sp}$ )の比を降雨浸透指標( $I_r$ )と定義し、 $I_r$ の違いが崩壊に与える影響を調査した。その結果、 $I_r=1.78$ では斜面表層に飽和層が形成され、崩壊する現象が確認された。一方、 $I_r=50$ では、地盤に浸透した降雨が速やかに消散するため、表層に飽和度の増加が見られず、変形も小さいことがわかった。以上より、 $I_r$ の値の減少に伴って降雨中における斜面表層の不安定性は増加することが明らかになった。

### 2.4 法面保護工の維持補修時における斜面安定性に関する検討

高度経済成長期に風化・浸食・落石防止の為に斜面に多く施工されたモルタルやコンクリート吹付け工は施工後40年以上経ち、老朽化による維持補修工が必要な箇所が多く存在している。その際、既設法面の撤去が起因となり斜面崩壊が発生し、作業中の労働者が被災する事故が報告されている。そこで、本研究は法面保護工の維持補修工事中に発生した労働災害事例を詳細に調査・分析し災害原因について把握する。そして、それらの状況等から法面保護工の維持補修工事中の斜面崩壊メカニズムについて遠心模型実験と数値解析による検討を行った。その結果、老朽化モルタルの撤去作業を斜面下部から行う場合では大規模崩壊が、斜面上部から行う場合ではモルタル面の剥落が発生するように崩壊メカニズムが異なることが確認された。

## 2.5 切土掘削工事中における斜面崩壊メカニズムに関する検討

道路拡張工事や急傾斜地対策工事では、重力式擁壁などの対策工を設置して最終的な安定性を向上させることが多い。しかし、これらの施工中には、法面勾配を従前より一時的に急勾配とする切土掘削作業や、床付けに伴う法尻部の掘削作業など、法面全体が不安定化する作業が行われており、労働災害となるケースが多く報告されている。斜面崩壊による労働災害を減少するためには、斜面工事中に設置可能な簡易で廉価な計測・崩壊警報システムや安全な対策工法の普及が必要となる。計測・崩壊警報システムを適用する場合には、第一に斜面の切取り工事での斜面崩壊の崩壊パターンを把握すること必要となる。そこで本研究は、高さ5mの試験盛土を築造し、切取り工事中の斜面崩壊を再現する実物大実験を行った。また、実物大実験をモデル化した遠心模型実験を行い、その再現性と各種パラメーターの違いによる影響を確認し、切土掘削工事中における斜面崩壊メカニズムの把握を行った。

## 2.6 高精度傾斜計による斜面崩壊の事前予測・崩壊システムの開発

道路拡張工事や急傾斜地対策工事における重力壁などの設置工事中は、法面が急勾配となり、さらに法尻を掘削する施工が行われているため、斜面が崩壊し労働災害となる場合が多い。開削工事では土留めを設置することがほぼ常識である。斜面掘削時にも土留めの設置、計測による監視などの措置が必要である。特に斜面が長大である場合などでは、土留めの設置とともに計測施工（計測に基づき危険性を予測しながら工事を進めること）を取入れて安全な施工法とすることが必要であろう。そのためには、地盤の変位等を計測し的確な判断基準によって崩壊の可能性を予知することや、現在の計測器よりも廉価で経費に余裕のない中小規模工事にて利用可能な計測施工に関する技術開発が不可欠である。そこで、低コストで高精度を有する動態観測システムとして半導体型加速度センサーを利用した高精度傾斜計を斜面崩壊の動態観測・崩壊予知に適用するシステム開発およびその適用可能性について室内模型実験および実物大実験により検討を行った。その結果、労働災害が発生しやすい突発的で急激な小規模崩壊についても精度良い計測が可能で、崩壊直前の前兆現象を捉えることが出来ることを確認した。

## 2.7 斜面工事中における簡易な安全監視のためのスクリー貫入型表層ひずみ計の開発とその適用性に関する実験的研究

本研究では土砂崩壊による労働者の被災防止を目的に、簡易な斜面崩壊の検知装置を開発した。この装置は「スクリー貫入型表層ひずみ計」(SPS)であり、全長1m、直径15mm、質量500g程度の小型で軽量の計測装置である。下端に備わるスクリーが本体を地中に貫入させるため、容易な設置が可能である。SPSの検知性能を現場実大実験と遠心模型実験で調査した。これらの実験では斜面を法先から段階的に切土して、崩壊が再現された。法肩近傍の斜面に設置したSPSは切土にともなう明確な応答を示した。この応答は同時に計測した天端沈下量と比較して同等以上の感度を示すことがわかった。従って、SPSは簡易に斜面の不安定化を検知することが可能であるとともに、既往の計測装置に比べて劣らない性能を有するがわかった。SPSは斜面が「止まっている」のか「動いている」のか、あるいは「その動きが速くなっている」のかを検出することが可能であり、斜面工事中における新たな安全監視の方法を提案するものである。

## 2.8 レーザー光と光センサーによる斜面崩壊の事前予測・崩壊システムの開発

建設工事中の斜面崩壊による労働災害は、請負金額・工期・作業人数がいずれも小さな中小規模工事での被災がほとんどを占めている。これらの背景には、中小規模工事に対応した労働災害防止技術の開発の立ち遅れや、経費に余裕のない中小規模工事においても利用可能な簡易で廉価な対策工・警報装置が十分に整備されていないことが考えられる。本研究は、現状の計測器よりも廉価で経費に余裕のない中小規模工事にも利用可能な計測施工に関するシステムの開発を目的として、レーザーと光センサーを利用した変位計測システムの開発および試作を行った。本報告では、システムの概要と光センサーの性能確認試験結果、重力場模型実験による斜面崩壊実験や強制変位実験での計測事例を通して、土砂崩壊検知システムを試作し、その適用性について検討を行った。

## 2.9 切土掘削工事現場における斜面崩壊による労働災害の防止対策について

第10次労働災害防止計画（平成15年度から5ヶ年計画）において「切土等の作業における斜面崩壊に対する効果的な対策を検討する。」とされており、本プロジェクトの一連の研究は、それに呼応するものである。

斜面崩壊による労働災害を防止するには、計画の段階から設計・施工まで全体を通して包括的な見直しを行い、計画から施工までの全工程を通して安全な状態にしておくことが必要である。そのためには、①切取り斜面下で

行う各種作業の必要性の見直し②施工途上の斜面安定性の検討, ③安全な施工方法の開発・普及及び④計測施工方法の開発・普及などが不可欠である。本報告では, 掘削勾配に関する各種基準を示すととも本プロジェクトの一連の研究の成果に基づき切土掘削工事における施工上の問題点と対策の方法等について述べた。

以上, 本特別研究で実施した9研究テーマについて, その概要を述べた。

(平成 20年 1月 24 日受理)

### 参考文献

- 1) 社団法人建設業労働災害防止協会：土止め先行工法に関するガイドラインとその解説, 2002.