

学位論文題名

開削工事における土砂崩壊による 労働災害の防止に関する研究

学位論文内容の要旨

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三人以上の死傷者を出すに至る重大災害が多く含まれる。日本における土砂崩壊による労働災害の発生件数は、長期的に減少傾向にあるものの、現在においても死亡者は年間30～40名に及ぶ。土砂崩壊による労働災害は、大別すると、①溝掘削工事、②建築物の基礎等のための開削工事、③斜面の掘削工事、④トンネル工事、⑤土石流、等において発生している現状である。

本論文の目的は、まず土砂崩壊による労働災害全体の発生状況について概説し、次に上記の①溝掘削工事及び②建築物の基礎等の開削工事について災害事例の検証結果に基づき、発生メカニズムを明らかにするとともに土砂崩壊による労働災害防止対策について考察することにある。

溝掘削を含む掘削工事においては、掘削が進行する過程で予期せぬ土留めの変形や地盤の変形・沈下などが生じることが多い。これらが更に進行した場合にはトラブル、事故、最悪な場合には人身事故が絡む労働災害に至る。こうした労働災害、事故の事例の背景には、仮設構造物として施工される土留めは作業効率や経済性が求められるために、一般に本体構造物よりも低い安全率のもとで設計・施工が行なわれることが多いことが挙げられる。さらには、設計時における地盤条件の入力値の誤差や、施工過程における作業手順、プレロードなどの応力負荷、土留めの変形の影響など、多様な要因が影響していると考えられる。

一方、他の構造物と同様に土留めの設計も許容応力度設計から、より合理的で経済的な設計法として限界状態設計が行われるようになるに当たって、土留めの破壊・土砂の崩壊という終局状態に至るメカニズムを的確に予測するとともに、終局状態に至るまでの土圧分布をより正確に推定することの重要性が増してきている。すなわち限界状態設計法に基づき設計が行われる場合は、終局状態に至るメカニズムやそれまでの壁面土圧の変化の予測を誤るとそれが事故に繋がりがかねない危険性を孕んでいるといえる。

しかしながら、①溝掘削工事における土砂崩壊災害については、その災害規模が小さいことなどから、ほとんど報道もされず、従って限られた人にしか知られず、研究の対象とされて来なかったのが現状であった。②建築物の基礎等のための開削工事における土砂崩壊災害についても、一旦発生すると規模が大きいため報道はされるが、崩壊現象が研究の対象とされることはほとんどなかった。このような災害を防止するためには、災害の調査・分析とそれに基づいた対策の確立が欠かせない。

このような背景において、土留め掘削工事中の崩壊災害を未然に防ぐためには、崩壊前兆現象、崩壊に至るまでの挙動、掘削に伴う土圧の再配分等についての体系化された知見を得ることが非常に重要な研究課題と考えられる。

そのため、本論では、①溝掘削工事のような自立地山における土砂崩壊災害について調査・分析し、溝掘削工事のような鉛直な法面を有する自立地山の崩壊現象とともに建設機械の荷重による溝掘削部の崩壊現象について検討した。その結果、すべり面がほぼ直線となり、くさび形状で崩壊する斜面内破壊が溝崩壊災害を引き起こす可能性が高いことなどを指摘できた。さらに建設機械の荷重の影響について、定荷重の接地圧が地盤の強度より小さい場合、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を指摘し、この崩壊現象について解析法を示した。

次に、災害発生当時、新聞等で大きく取り上げられた開削工事における土砂崩壊災害の2事例について検証し、当該災害と深く関わる次の3つの崩壊現象について、それらの発生メカニズムを解明するとともに対策について検討した。

①切梁の設置及び根入れが不十分な場合の崩壊

②一段式アンカーによる土留めの崩壊

③控え矢板およびタイロッドを有する土留めの崩壊

これらの災害に共通しているのが、変形が止まらず加速度的に進行しているということであった。変形の途中で「変形が止まる」と災害にはならず、「変形が加速度的に進む」と災害につながる可能性が高いと考えられた。変形が加速度的に進むか否か、すなわち、掘削時における土砂崩壊災害を防止するためには、土留め壁の変形状態と土圧の発生の関連性を理解しておくことが重要であると考えられた。

上記のことを踏まえて、本論では、土留め壁の変形を高精度に制御することができる遠心場可動土留め装置を開発し、従前の研究では行われていなかった遠心場において土留め壁を高精度で強制的に変形させた実験研究を行った。その結果、変形モードによって土圧分布が大きく異なるにもかかわらず、土圧の合力が一定になることから、結局のところ土圧の「再配分」問題であることなどを明らかにした。すなわち、土留めの変形状態によっては、土圧合力が一カ所に集中することがあり、災害時に切りばりが次々に座屈していく現象は、まさに土留め壁の変形に伴い土圧の集中現象が次々と位置を変えて発生していると考えられる。

最後に、上記で検討した結果を踏まえて、掘削工事を安全に遂行するためには、地盤の内部は完全には掌握し切れていないブラックボックスであるということに鑑み、地盤調査や施工中の情報化施工により計測した事項のみが明らかになっているということを十分に認識した施工が不可欠であることを指摘した。開削工事の安全化を達成するには、機械分野で採用されている「安全技術」の概念を採用し、土留め支保工の安全化、工法の多重化やフェールセーフ化を推進させる必要があると考える。

学位論文審査の要旨

主査	教授	三田地利之
副査	教授	三浦清一
副査	教授	藤井義明
副査	助教授	田中洋行

学位論文題名

開削工事における土砂崩壊による 労働災害の防止に関する研究

わが国における土砂崩壊による労働災害の発生件数は、長期的に減少傾向にあるものの、現時点で年間 30～40 名に及ぶ死亡者が発生している。

溝掘削を含む開削工事においては、掘削が進行する過程で予期せぬ土留めの変形や地盤の変形・沈下などが生じることが多い。これらがさらに進行すると、最悪の場合、人身事故が絡む労働災害に至る。仮設構造物として施工される土留めは作業効率や経済性の要求から、多くの場合、本体構造物よりも低い安全率のもとで設計・施工されることが、こうした労働災害の背景にある。これに加えて、設計時における地盤条件の評価、施工過程における作業手順、プレロードなどの応力負荷、土留めの変形など、多様な要因が影響していると考えられる。

一方、他の構造物と同様に土留めの設計も許容応力度設計から限界状態設計に移行するに当たって、終局状態に至るまでの土圧分布をより正確に推定することの重要性が増してきている。すなわち限界状態設計法に基づいて設計する場合、終局状態に至るまでの壁面土圧の変化の予測を誤るとそれが事故に繋がりがねない危険性を孕んでいるからである。

このような背景において、土留め掘削工事中の崩壊災害を未然に防ぐためには、崩壊の前兆現象、崩壊に至るまでの挙動、掘削に伴う土圧の再配分等についての体系化された知見を得ることがきわめて重要と考えられる。しかしながら、小規模な溝掘削工事はもちろん、建築物の基礎等のための開削工事における土砂崩壊についても、崩壊の前兆段階から崩壊に至るまでの大変形挙動が研究の対象とされることはほとんどなかった。

以上のような状況の下で、本論文は小規模な溝掘削工事を含む開削工事における土砂崩壊による労働災害に焦点をあて、災害発生メカニズムを明らかにするとともに労働災害防止対策について考察したもので、8 章からなる。

第1章では、研究の背景、既往の研究の問題点を示し、本研究の目的を明らかにした。

第2章ではわが国および海外の土砂崩壊災害の発生状況の概要を示すとともに、各国における労働災害防止関連の法律・規則・ガイドライン等について簡単にまとめた。

第3章では、小規模な溝掘削工事における土砂崩壊災害の実態把握のための調査・分析結果を示した。

第4章では、鉛直な法面を有する自立地山の崩壊現象とともに建設機械の荷重による溝掘削部の崩壊現象について遠心模型実験によって検討した。その結果、すべり面が直線に近いくさび形状で崩壊する斜面内破壊が、溝掘削工事における土砂崩壊災害を引き起こす可能性が高いことなどを指摘した。さらに建設機械の荷重の影響について、定荷重の接地圧が地盤の強度より小さい場合、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を指摘し、上界値計算による解析法を提案した。

第5章では、災害発生当時大きく報道された開削工事における土砂崩壊災害の2事例について検証し、第6章では、前章で紹介した災害と深く関わる3つの崩壊現象、すなわち①切りばりの設置及び根入れが不十分な場合の崩壊、②一段式アンカーによる土留めの崩壊、③控え矢板およびタイロッドを有する土留めの崩壊、の発生メカニズムを遠心模型実験によって解明し、掘削時における土砂崩壊災害を防止するためには、土留め壁の変形状態と土圧の発生の関連性を理解しておくことの重要性を指摘した。

前章の結果を踏まえて、第7章では土留め壁の変形を細かく制御することができる遠心場可動土留め装置を開発し、従前の研究では行われていなかった遠心場において土留め壁を高精度で強制的に変形させた実験を行った。その結果、変形モードによって土圧分布が大きく異なるにもかかわらず、土圧の合力が一定になることから、結局のところ土圧の「再配分」問題に帰着するとしている。すなわち、土留めの変形状態によっては、土圧合力が一カ所に集中することがあり、災害時に切りばりが次々に座屈していく現象は、まさに土留め壁の変形に伴い土圧の集中現象が次々と位置を変えて発生していることの証左であることを明らかにした。

第8章は本研究の結論であり、得られた知見を要約した上で、今後の展望と課題を述べている。すなわち、地盤の内部は完全には掌握し切れていないブラックボックスであり、地盤調査や情報化施工により計測した事項のみが明らかになっているということを十分に認識した施工が、掘削工事を安全に遂行するために不可欠であることを指摘した。さらに、開削工事の安全化を達成するには、機械工学分野で採用されている「安全技術」の概念を採用し、土留め支保工の安全化、工法の多重化やフェールセーフ化を推進させる必要があることを指摘した。

これを要するに著者は、従来ほとんど研究の対象とされることのなかった小規模な溝掘削工事を含む開削工事における土砂崩壊の発生メカニズムを、広範で詳細な遠心模型実験によって解明するとともに、労働災害防止対策に関わる貴重な知見を得ており、地盤工学ならびに安全工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。