

特集 「自然災害にそなえる」

土砂災害の予測と対策に関する技術

鳥井原 誠 山本 彰

Prediction and Development of Slope Disaster

Makoto Toriihara Akira Yamamoto

Abstract

Japan has suffered from natural disasters for hundreds year. Statistics show that landslide disasters are particularly prevalent. Therefore, the Japanese government, universities and institutes have studied methods for predicting landslide disasters, and developed countermeasures to them. Obayashi has wrestled not only with those problems but also with operational safety during construction, for example, of roads, railways and, earth fills, to protect national properties. This paper describes trends of recent landslide disasters and Obayashi's prediction methods and countermeasures. Obayashi has a remote landslide measuring system, a Distinct Element Method for debris flow or rock fall or landslide, as a prediction technique. Furthermore, as countermeasures, Obayashi use the "Earth nailing method", the "Hi-spec nailing method", and the "D&S anchor" to reduce deformation, and the "Pin-up method" to reinforce masonry retaining walls.

概 要

自然災害大国でもあるわが国は、大昔から様々な種類の災害を繰返し受けてきたが、その頻度からいうと土砂災害が最も多いということができよう。そのため、土砂災害の予測と対策には、国を挙げて様々な研究・開発が行われてきている。当社においても、災害防止という国民のニーズに応えることと、道路、鉄道、宅地造成などの様々な建設工事を安全に進めるために、この分野の研究・開発を精力的に進めてきた経緯がある。この報文は、このような土砂災害の現状と、当社における土砂災害の予測と対策に係わる主な研究事例をまとめたものである。予測・評価技術としては、遠隔地地滑り自動計測システム、DEM（個別要素法）解析の土石流、落石、岩盤崩落への適用、対策技術としては、地山補強土工法（アースネイリング工法、ハイスペックネイリング工法）、変位吸収型アンカー工法（D&Sアンカー工法）、石積壁の耐震補強工法（ピンナップ工法）について紹介している。

1. はじめに

わが国は、国土の約70%を山地・丘陵地が占めているため、必然的に斜面が多く存在する。しかも、地質的にも脆弱な地層が多く、梅雨や台風による大雨によって、毎年数多くの土砂災害が発生し、人的被害や家屋の倒壊・流出、道路・鉄道の寸断といった多額の経済的損失を被っている。

土砂災害の原因は、大雨や地震といった自然的要因から、開発行為による人的要因まで様々なものがあるが、圧倒的に多いのは大雨に起因するものである。ところが、この大雨が最近の気候変動の影響からか、以前に比べて発生頻度が増加する傾向にある。たとえば、1977年から1996年の20年間に、時間雨量100mm/h以上の発生回数は平均2.3回/年であったが、最近10年間では平均5.1回/年となっている。それにともない、国土交通省砂防部の調査によると、土砂災害の発生件数も平均776件/年から平均1,161件/年と大幅に増加している¹⁾。ただし、この中には鉄道や道路での土砂災害がすべて入っているわけではないので、実際の災害件数はこの数字よりもかなり多くなる。

このような土砂災害が起こる可能性のある危険箇所は、国土交通省の調査によると全国で52万箇所にも上るとされており、日本中どこで土砂災害が起こってもおかしくな

いといつて良いほどである。しかしながら、公的機関も手をこまねいているわけではなく、危険箇所の中でも特に警戒すべき区域が、都道府県知事によって全国約46,000箇所の土砂災害警戒区域として指定され、様々な対策が進められているのが現状である。それにしても、危険箇所全体に占める指定区域の割合は未だ少ない状況にあり、公共投資縮小の昨今ではあるが、今後とも国民の安全確保という命題に向かって粛々と土砂災害対策を進めていかなければならない。

このようにことを背景として、土砂災害の予測と対策については、わが国の土木工学の中でも非常に大きな柱として従来から様々な研究が行われてきている。当社のような建設会社では、すでに存在する斜面だけではなく、切盛土工事で発生する人工的な斜面（以下、法面と呼ぶ）の安定に係わる施工管理も重要な課題である。

この論文は、以上のようなことを踏まえて、当社でこれまで取り組んできた土砂災害の予測と対策に関する研究成果の一部をまとめたものである。

2. 土砂災害の分類

土砂災害とは、斜面の強度が不足してその一部が崩壊す

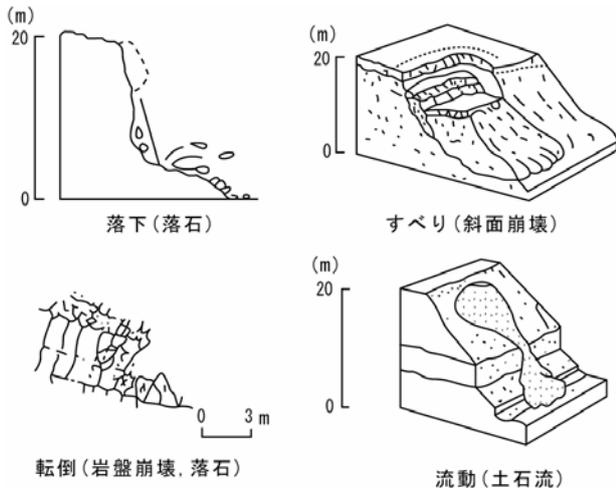


Fig. 1 移動様式による土砂災害の分類²⁾

Slope disasters assorted by failure mechanism

る現象の総称であるが、運動形態によってFig.1に示す4つのパターンに分類することができる²⁾。

落下とは、地塊の一部が斜面から分離して落下する現象であり、一般的には落石と呼ばれるものである。これは、きれつの発達した脆弱岩盤斜面でよく起こる変状である。この現象の危険度評価については、様々な調査である程度明確にすることは可能であるが、現象が突発的であるため、発生時刻の予測までは非常に難しいのが現状である。

すべりは、斜面内部に発生したせん断応力が地塊のせん断強度を上回り、ある特定の滑り面上で滑動を起こす現象である。一般的には、地滑りあるいは斜面崩壊と呼ばれる。地滑りと斜面崩壊の区別は必ずしも明確でない場合もあるが、簡単に言うと、移動が緩速で滑り地塊の形状がほとんど変わらずに発生区域内に残存するものを地滑りと呼び、移動が急速で滑り地塊が発生区域外に攪乱堆積するものを斜面崩壊と呼ぶ。この現象は、事前の調査・試験・計測あるいは解析によって滑り面を特定できる場合もあり、しかも、落石や岩盤崩壊に比べると移動が比較的緩慢なため、危険度評価だけでなく発生時刻の予測もある程度は可能である。

転倒は、落下と同様にきれつの発達した脆弱岩盤斜面でよく発生するが、地塊の一部が前面に向かって転倒する現象であり、一般的にはトップリングと呼ばれるものである。移動地塊が単独であれば落石となるが、規模が大きな変状は岩盤崩壊と呼ばれる。この現象も、落石と同様に危険度評価は可能であるが、発生時刻の予測は困難である。

流動は、斜面部の地塊が大量の水とともに下方に流動する現象であり、一般的には土石流と呼ばれるものである。この現象は大量の水の供給が引き金となるため、特に渓流部において問題となる土砂災害である。発生予測のためには、斜面の構成だけでなく、降雨量との相関性に注目することが重要である。

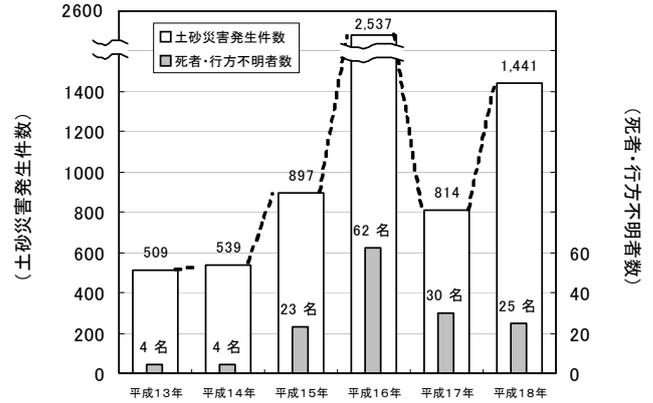


Fig. 2 最近の土砂災害(国土交通省砂防部調査)¹⁾
Late statistics of slope disasters

Table 1 土砂災害警戒区域の指定状況¹⁾

The number of slope disaster districts

	土石流	急傾斜	地滑り	合計
土砂災害警戒区域	18,485	27,361	189	46,035
土砂災害特別警戒区域	6,950	11,571	0	18,521

3. 土砂災害の発生状況

国土交通省砂防部がまとめた最近の土砂災害の発生件数と死者・行方不明者数をFig.2¹⁾に示す。昨年度(平成18年)は、最近10年間の平均1,161件に対してかなり多くなっていることが分かる。平成16年度が極端に多くなっているのは、台風が非常に多かったことと中越地震が発生したためである。

ただし、この発生件数には、鉄道、道路などがすべて含まれているわけではない。発生件数は、関係機関ごとに調査されているため、全体数は不明である。ちなみに、鉄道関連では、日本鉄道施設協会の調査によれば平成18年度は408件となっている³⁾。いずれにしても、わが国は土砂災害が相当多く発生していることが明白である。

このようなことを背景として、平成13年に土砂災害防止法が制定された。それに基づき、土砂災害によって被害を受けるおそれのある区域を都道府県が土砂災害危険区域等として指定し、警戒避難体制の整備や一定の開発行為の制限なども進めている。全国で指定されている警戒区域数を、土石流、急傾斜、地滑りという災害分類でまとめたのがTable 1である。

土砂災害警戒区域は、災害発生時に住民などの生命または身体に危害が生じるおそれがある区域であり、危険の周知、警戒避難体制の整備が行われることになっている。土砂災害特別警戒区域は、災害発生時に住民等の生命または身体に著しい危害が生ずるおそれがある区域であり、特定

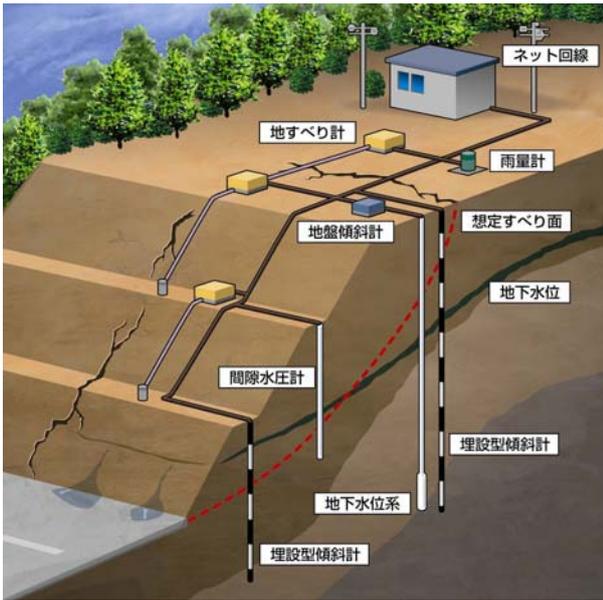


Fig. 3 地滑り計測の例
Examples of Slope measurements

の開発行為に対する許可制、建築物の構造規制等が行われることになっている。

4. 土砂災害に関する当社の研究実績

4.1 予測・評価技術

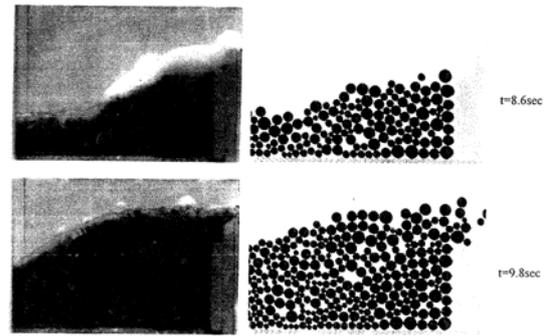
4.1.1 遠隔地地滑り自動計測システム 地滑りの場合には、突発的な現象ではなくある程度長時間にわたって変位が継続するのが一般的であるため、適切な現地計測を行っておけば崩壊規模や時期などをかなり精度よく知ることができる。その際、各種通信ネットワークを介して、計測データを遠隔地でリアルタイムにみることができれば非常に効率的である。当社は、1990年代初頭からこのようなシステムを実用化してきている⁴⁾。

具体的な斜面の計測項目をFig.3に示す。地表面の計測は地滑り計、地盤傾斜計、地中の計測は埋設型傾斜計、地下水位計、間隙水圧計などが代表的なものである。その他に、地滑りの引き金となる雨量計も重要な計測項目である。

4.1.2 DEM (個別要素法) 解析の土石流、落石、岩盤崩壊への適用

(1) 土石流 わが国には78,000箇所を超える土石流危険渓流があり、毎年人的・社会的被害が報告されている。土石流は崩壊に比べて流下距離が十分に長く(100~1000m程度)、地滑りよりは移動速度が速く(秒速数m~数十m)、水と土砂が一体となって流下する土砂の流れである。また、その重量の大部分は粒子同士の衝突や接触を通して河床で支持される混層流とされており、そのメカニズムも他の土砂災害とは異なっており、複雑である。

そのため、一般に土石流の数値シミュレーションでは、砂礫と水の混合体である土石流を1つの流体として扱う水理学的な方法が用いられる。ただし、流体解析のため、



(a) 実験結果 (b) 解析結果

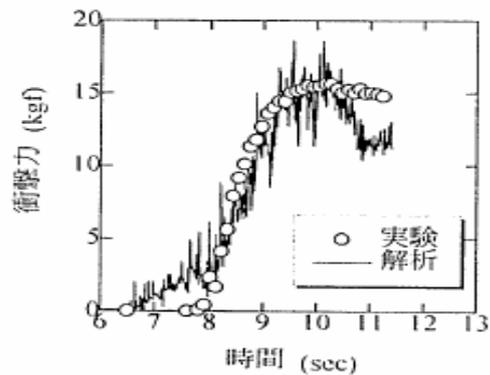


Fig. 4 実験と解析結果の流動形態、衝撃力比較⁵⁾
Comparison between Measured and Calculated of Flow pattern and Impact load

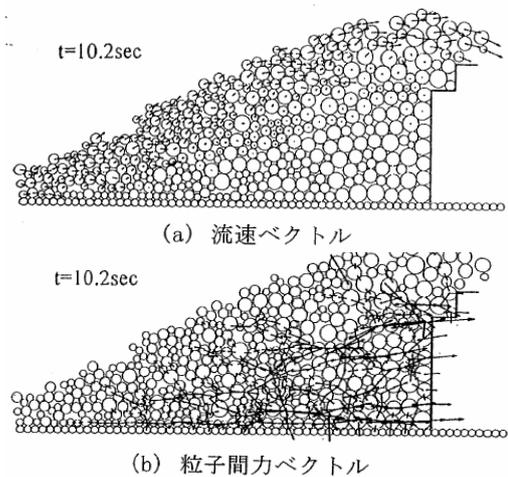


Fig. 5 砂礫要素の流速と粒子間力⁵⁾
Particle Velocity Vector and Interparticle Force Vector

汎濫領域の予測等には有用ではあるが、巨礫などの砂防ダムへの衝撃力の評価は困難である。

一方、個別要素法では、砂礫を個別の要素として、モデル化するので、個々の粒子の砂防ダムへの衝撃力を直接評価することが可能である。また、土石流内部の応力構造など流動メカニズムを解明するツールとしても有効である。

そこで、個別要素法の土石流解析への適用性を検証することを目的に、土石流模型実験とそのシミュレーション解

析を行い、その有効性を確認している。Fig.4⁵⁾ に実験と解析結果の流動形態と衝撃力の比較、Fig.5⁵⁾ に砂礫要素の流速と粒子間力を示す。

(2) 落石、岩盤崩落 落石防災対策においては、落石発生危険性の評価を行い、可能性ありと判断した場合、どのような速度を持って、道路や構造物に到達するか予測しなければならない。一般には既往の現場落石実験等から得られた結果に基づいて、安全側に設定した経験則により設計がなされている。しかし、経験則では斜面形態(裸地、吹付け、植生)や斜面形状を考慮していないため、適用が難しいケースも存在する。

このようなことから近年、落石、岩盤崩落の落下軌跡や速度を予測するシミュレーション手法として個別要素法が注目されるようになった。個別要素法は、物体の分離、飛行、衝突をモデル化できることから、非質点系シミュレーションとして多くの分野で適用されている。

個別要素法では、時間ステップ毎に落石の接触、非接触の判定がなされ、接触時には接触点での接触力、すべり、回転モーメント、エネルギー損失が計算され、非接触時には重力と速度により変位が計算される。

Fig. 6 に岩盤崩落軌跡解析結果を示す。これらの結果から、落石や岩盤崩落の履歴や速度を予測し、対策工の選定や形状寸法を決めることが可能となる。

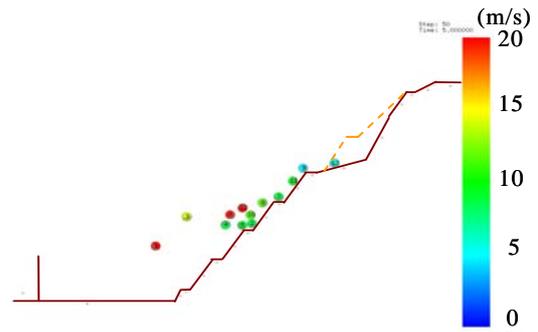


Fig.6 岩盤崩落軌跡解析結果
Rock Fall Displacement History

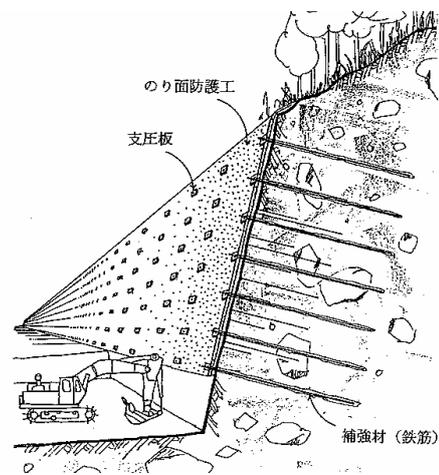


Fig.7 地山補強土工法の概要⁶⁾
Schematic View of Nailing Method

4.2 対策技術

4.2.1 地山補強土工法(アースネイリング工法、ハイスぺックネイリング工法) 地山補強土工法は、Fig.7に示すように地山内に鉄筋などの棒状補強材を打設して地山の安定化を図る工法である。地山補強土工法はグラウンドアンカーに比べて施工が容易で、低コストとなることから、わが国では1980年後半以降急速に採用されるようになってきた。

当社においても、これまで地山補強土工法の補強メカニズムの解明など基礎的な研究から実用的な工法開発まで積極的に行ってきており、①アースネイリング工法と②ハイスぺックネイリング工法の2種類の工法を開発している。

Photo 1⁷⁾ は地山補強土工法の効果を検証するため実施した実大規模の載荷実験時の状況を示している。Fig.8⁷⁾ は載荷実験に対するシミュレーション解析で得られた安全率分布を示しており、補強材近傍では補強材の拘束効果によって安全率が増加することが良く分かる。

以下に、当社開発のアースネイリング工法とハイスぺックネイリング工法の概要および特徴について記述するとともに、これらの工法の適用性について述べる。

(1) アースネイリング工法 アースネイリング工法は、中空状のボルトを用いて、Photo 2に示すように先端部よりグラウト材を高圧噴射しながら削孔する手法を採用しており、その特徴は以下の通りである。

- ・グラウト材を高圧噴射しながら削孔することによって、土砂地山の場合には孔の径が拡大して引抜き抵抗力が



Photo 1 載荷試験の状況⁷⁾
Field Loading Test on Actual-Scale Slope
Reinforced with Steel Bars

増加する。一方、礫や亀裂の多い岩盤では間隙や亀裂にそってグラウト材が浸透するため、引抜き抵抗力が増加する。

- ・自穿孔ボルトを採用することで、削孔した孔が自立しない地山においても地山補強土工法の適用が可能となる。

(2) ハイスぺックネイリング工法 ハイスぺックネイリング工法は、袋体を装着した芯材を用い、袋体にグラウト

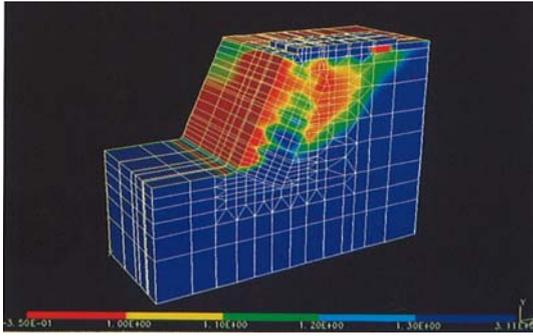


Fig. 8 安全率分布⁷⁾
Contour of Safety Factor

材を高圧で注入する工法であり、以下の特徴を有している。
Photo 3に空中でグラウトを注入した袋体の状況を示す。

- ・比較的強度の低い粘性土の地山に適用した場合には袋体にグラウトを加圧注入することによって、削孔した孔を拡大させて引抜き抵抗力を増加させる。Fig.9にハイスぺックネイリング工法と従来の地山補強土工法の引抜き抵抗力の比較を示す。
- ・袋体を用いることで礫地盤におけるグラウト材の散逸を防止できる。また、湧水の多い礫地山や地下水下の地盤においても施工が可能である。
- ・グラウト材の注入圧や注入量による品質管理が容易である。
- ・緊張力を導入できるため、土留め工への適用に当たっては土留め壁の変位を抑制できる。

(3)工法の適用性 (1), (2)の特徴から、アースネイリング工法は砂質地盤、礫質土、岩盤、および比較的硬い粘土地盤における切土法面対策に適していると言える。

一方、ハイスぺックネイリング工法は比較的強度の低い粘性土地盤、ゆるい砂地盤、空隙の大きい礫地盤、地下水位以下あるいは湧水の多い地盤の補強対策に適している。また、このような地盤に適していること、および緊張力の導入が可能であることから、都市部における土留め掘削への適用実績が増えてきている。

4.2.2 変位吸収型アンカー工法 (D & S アンカー工法)

グラウンドアンカー工法は、斜面の安定化工法として広く採用されており、グラウンドアンカー工の健全性の確保は斜面の安定性において極めて重要である。しかし、グラウンドアンカーは地震に伴って緊張力が変化して頭部に損傷を生じる、あるいは寒冷地では地盤の凍上作用によって緊張力が増加して破断にいたるなど、グラウンドアンカーそのものが損傷して斜面の安定性に影響を与えることがある⁸⁾。また、地盤のクリープ変形や凍結した地盤の融解によって、グラウンドアンカーの緊張力が低下すると、斜面の安定性も大きく低下することになる。このように、斜面に打設したグラウンドアンカーの健全性は斜面の安定性を確保する上で重要であることから、変位吸収型アンカーの開発を行ってきている^{9), 10)}。

変位吸収型アンカーとは、Fig.10に示すようにグラウン



Photo. 2 グラウト材の噴射状況
Injection view of Grout Material



Photo. 3 グラウトを加圧注入した袋体の状況
View of Grouted Packer

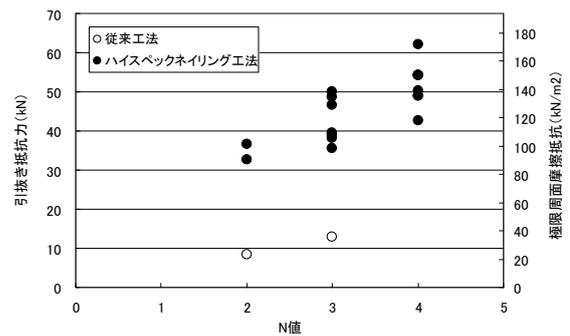


Fig. 9 引抜き抵抗力の比較
Comparison of Pull-Out Test Results

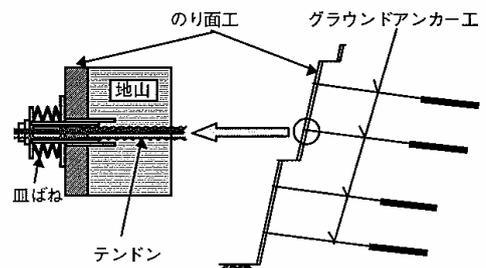


Fig. 10 変位吸収型アンカー工法の概要
Schematic View of Ground Anchorages using Coned Disk Springs

ドアンカーの頭部に皿ばねを設置し、地震に伴う地盤の変形、地盤のクリープ変形、および凍結・融解に伴う地盤の隆起や沈下を吸収することによってグラウンドアンカーの緊張力の変化を抑制する工法である。

本工法に用いる皿ばねをFig.11に示す。皿ばねの素材はバネ鋼であり、板厚とたわみ量の比を変化させることによ

って、異なる荷重とたわみの関係が得られる。また、皿ばねを直列と並列に組み合わせることで様々な荷重とたわみの関係が得られるという特徴を有している。

グラウンドアンカーの頭部に皿ばねを設置した場合の効果を以下に示す。

- ①緊張力保持機能 地盤のクリープ変位に伴ってアンカー緊張力が低下するのを抑制する機能。
- ②耐震対策機能 地震時にアンカーに作用する過大な緊張力を抑制し、地震によるアンカーの損傷を防止する機能。また、地震後におけるアンカーの残留緊張力の変化を抑制する機能。
- ③凍上対策機能⁸⁾ 地盤の凍上に伴ってアンカーに作用する過大な緊張力を抑制し、凍上に伴うアンカーの損傷を防止する機能。また、融解時におけるアンカー緊張力の低下を抑制する機能。

これまでグラウンドアンカー頭部に皿ばねを設置した模型実験や現場試験施工を実施し、上記①～③の効果を検証してきており、②の機能を模型実験によって検証した事例、①の機能を現場試験施工によって検証した結果を以下に記述する。

(1) 模型実験による耐震対策機能の検証 Photo 4は地震時における皿ばねの効果を検証するために実施した振動台実験の状況を示している。Fig.12は兵庫県南部地震で観測された地震波を用いて加振実験した際の模型アンカーの緊張力の変化を示している。この図から、皿ばねを設置していない場合には加振に伴って緊張力が大きく変化しているのに対して、皿ばねを設置した場合には緊張力の変化が非常に小さくなっている。また、加振終了後の緊張力についても、皿ばねなしの場合には緊張力が増加した状態となっているのに対して、皿ばねを設置した場合には概ね初期緊張力の状態に戻っている。これらの実験によって、グラウンドアンカーの頭部に皿ばねを設置することによって、地震時および地震後の緊張力の変化は抑制されるこ

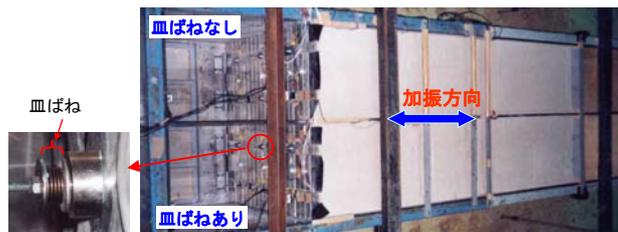


Photo. 4 振動台実験の概要⁹⁾
View of Seismic Table Test

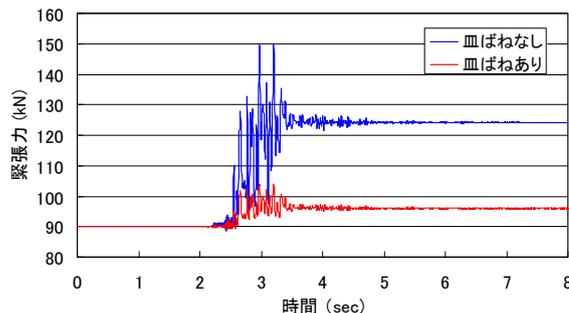


Fig. 12 アンカー緊張力の計測結果⁸⁾
Results of Loading Force of Anchorages

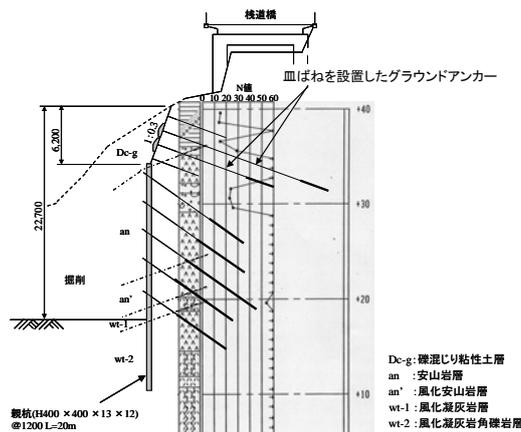


Fig. 13 変位吸収型アンカーを設置した切土法面
Cutting Slope derived Anchorages
with Coned Disk Springs

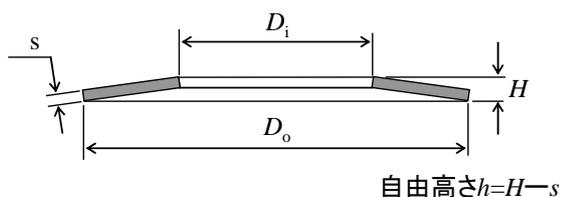


Fig. 11 皿ばねの概要
View of Coned Disk Spring



Photo. 5 変位吸収型アンカー用受圧板
Fixing board of Anchorages with Coned Disk Springs

とが検証できている。

(2) 現場試験施工による緊張力保持機能の検証 Fig.13は皿ばねをグラウンドアンカーの頭部に設置して緊張力の時間的な変化を調べた現場試験ヤードの断面図を示している。図中にはボーリング調査結果も併せて示している。地質はN値15以下の崖錐層からなる緩い地盤であり、その下部に安山岩が分布している。皿ばねを設置したグラウンドアンカーの仕様は以下の通りである。

- ・ 設計アンカー力：231kN/本
- ・ 自由長：10.0m
- ・ 定着長：3.0m
- ・ 削孔径：φ90mm

緊張力の計測は皿ばねを設置したグラウンドアンカー3本と皿ばねを設置していないグラウンドアンカー1本について実施した。

Fig.14は緊張力の計測結果を初期緊張力で正規化し、残留緊張力として示している。皿ばねを設置していないグラウンドアンカー緊張力は90%以下まで低下しているのに対して、皿ばねを設置した場合には3本とも95%程度となっており、皿ばねを設置することによって緊張力が保持されていることが分かる。図中には近似線から推定される10年後の残留緊張力率も併せて示しており、皿ばねありの場合には10年後においても90%を上回るが、皿ばねなしの場合には80%を下回る結果となっている。これらの計測結果から、皿ばねをグラウンドアンカー工の頭部に設置する緊張力保持技術は極めて有効であるといえる。

(3) 変位吸収型アンカー用受圧板 変位吸収型アンカーでは、皿ばねをアンカー頭部に収納する必要がある。そのため、皿ばねを収納できる受圧板を開発している。Photo 5に皿ばねの収納が可能な受圧板を示しており、設計アンカー力や地耐力に応じて受圧板の形状を選択する。

4.2.3 石積壁の耐震補強工法（ピンナップ工法）

(1) 工法の概要 城郭の石垣に代表される石積壁は古くから国民に親しまれ、今もなお我々の身近なところに数多く存在している。Photo 6は一般的な石積壁を示している。石積壁は、その背面構造の違いから、空積および練積の大きく2種類に分類される。空積は間知石と裏グリ石のみで構成されており、練積は背面に胴込めコンクリート、裏込コンクリートおよび裏グリ石を有している。しかし、このような構造を有する石積壁の設計法は確立されておらず、経験に基づく標準断面によって仕様が決まられており、安定性については未解明な部分が多いのが現状である。また、兵庫県南部地震では、約5,000箇所の宅地擁壁が倒壊、沈下、滑動、はらみ出しなどの被害を受けており、鉄道沿線などの重要構造物近傍に存在する石積壁では、地震時における安定性の評価方法や、耐震補強・補修技術の整備が求められている。

このような背景から、Photo 7に示す縮尺1/3の模型石積壁を用いた振動台実験を実施し、地震時における石積壁の変形から崩壊に至る不安定化メカニズムを明らかにする

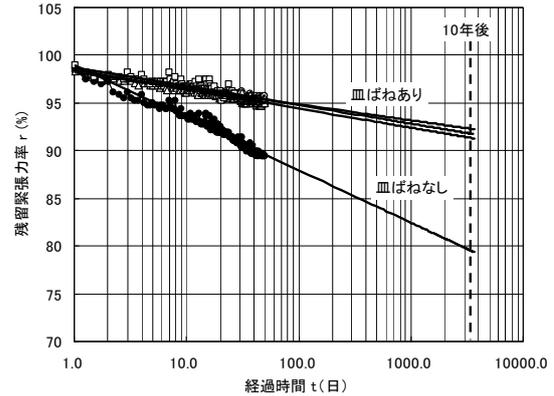


Fig. 14 残存緊張力の経時変化
Variation of residual Loading Force of Ground Anchorages with Time



Photo. 6 石積壁の例
Example of Masonry Wall

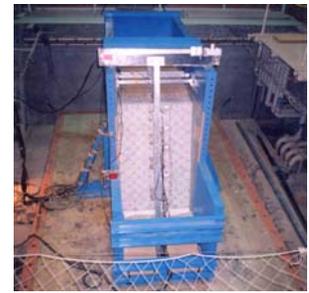


Photo. 7 実験模型の全景
Masonry Wall Model

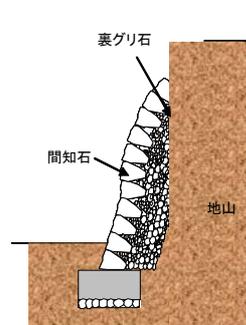


Fig. 15 無対策時の変状
Deformation of Masonry Wall

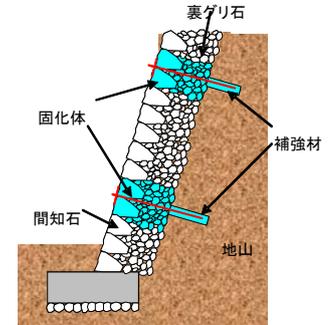


Fig. 16 Pin-Up工法の概念図
Outline of Pin-Up Method

とともに、これらのメカニズムに基づいた石積壁の耐震補強工法「Pin-Up工法」の開発（財団法人鉄道総合技術研究所と共同特許出願）を行った。

本工法は、既存の石積壁を対象とした補強工法であり、軽量・コンパクトな施工機械を用いた比較的簡易な施工方法により石積壁の耐震性の向上を図ることを目的としている。Fig.15に無対策時の石積壁の変状状況を、Fig.16にPin-Up工法の概略図を示す。間知石と裏グリ石を一体化した固化体を裏グリ石層内に複数箇所造成することにより、地震時における石積壁の崩壊の主な要因と考えられる裏グリ石のゆるみを防止し、石積壁の耐震性向上を図る。

(2) 工法の特徴 Pin-Up工法では、Fig.17に示すように間知石の交点に補強を行うことが最大の特徴となる。排水性が良好な裏グリ石層の改良に適した注入ボルトならびに固化材を用いて、裏グリ石層内に注入を行い、隣接する4個の間知石とその背後の裏グリ石を、部分的に固化させる。その後、必要に応じて、背面地山へ補強材の打設を行い、補強効果を高める。なお、補強材を打設するには、裏グリ石層を既に固化しているため、削孔が容易となる。施工時の状況をPhoto 8に、固化体の造成状況をPhoto 9に示す。本工法の主な特徴を以下に示す。

- ・施工機械が軽量、コンパクトである。
- ・大規模な足場を必要としない。
- ・裏グリ石の部分的な固化で済むため、経済性に優れる。
- ・裏グリ石を部分的な固化で済むため、裏グリ石の排水性を保持することが可能である。

5. まとめ

この報文を執筆している最中にも、平成19年新潟県中越沖地震が発生した。台風も、頻繁にわが国を襲ってきている。その結果、土砂災害が各地で発生している。

このような土砂災害の被害を少しでも低減するために、当社でも様々な研究開発を行ってきている。この報文で紹介した研究事例はその一部ではあるが、実際の現場でも適用されてその効果も検証されてきたものがほとんどである。

大林組では、このような研究開発とは別に、数多くの現場で土砂災害防止のためのコンサルタンツ業務も行っている。その際に重要なのは、現地の地形、地質、気象条件を十分に調査して、崩壊規模や崩壊パターンをできるだけ正確に予測することである。予測の精度を高めることによって、合理的な対策工の策定が可能となる。対策工としては、ここで紹介したもの以外に数多くの方法があり、それらを最も適切に組み合わせることによって、コストパフォーマンスの高い対策工が可能となる。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：第3回土砂災害対策懇談会資料, (2007)
- 2) 地盤工学会：地盤工学ハンドブック, (1999)
- 3) 日本鉄道施設協会：日本鉄道施設協会誌, Vol. 45, 7月号, pp13-19, (2007)
- 4) 平間邦興, 鳥井原誠, 山本彰：地滑り・斜面崩壊の遠隔地自動計測システム, 第20回日本道路会議論文集, pp. 110-112, (1993)
- 5) 山本彰, 山本修一, 鳥井原誠, 平間邦興：砂防ダムに作用する土石流の衝撃力に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 56, pp93-100, (1998)
- 6) Scientific Committee of the French National Project COLOUTERRE: Soil Nailing Recommendations, (1991)
- 7) 山本彰・鳥井原誠・平間邦興：鉄筋で補強した切土のり面の挙動解析に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 42, pp77-84, (1991)
- 8) 奈良義明:主として凍上作用によって破断したグラウンドアンカーの事例について, 地盤工学シンポジウム, pp. 35-38, (1998)
- 9) 山本彰, 鳥井原誠：アンカーの緊張力保持技術に関する研究, 土木学会論文集, No. 694/Ⅲ-57, pp. 141-151, (2001)
- 10) 山本彰・鳥井原誠：グラウンドアンカーの凍上対策に関する研究, 土木学会論文集, No. 694/Ⅲ-67, 37-51, (2004)

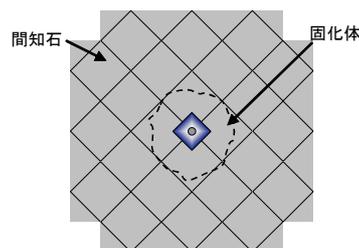


Fig. 17 Pin-Up工法の施工概要
Outline of Pin-Up Method



Photo 8 施工時の状況
Construction of Pin-Up Method



Photo 9 固化体の形成状況
Part of Improvement