

厚生労働科学研究費補助金
分担研究報告書

建設工事における安全衛生の確保のための
設計段階又は施工計画段階の取り組みに関する事例研究

分担研究者 伊藤和也 東京都市大学 建築都市デザイン学部都市工学科・教授
研究協力者 豊澤康男 （一社）仮設工業会・会長
（東京都市大学 総合研究所地盤環境工学センター・客員教授）

研究要旨

「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドライン」（厚生労働省）（※）では、設計段階又は施工計画段階からの具体的な取り組みについてまとめられているため、本分担研究報告書では、事例研究として、同ガイドラインの追跡調査を行った。

同ガイドラインでは、3つの点検表「設計・施工段階別点検表」、「日常点検表」、「変状時点検表」に加え、1つの対応シート「異常時対応シート」を用いて、施工以前の段階を含む、建設プロジェクトの上流から点検し、現場の危険性を抽出すること及び関係者間での情報共有の重要性を示している。

ここではまず、斜面崩壊による労働災害防止対策の現状として、近年の大きな労働災害事例を取り上げ、斜面ガイドラインの意味するところを考察する。また、設計段階又は施工段階からの取り組みに関する具体的な事例研究として、実現場に「斜面ガイドライン」を適用して各種点検を行い、高精度傾斜計を用いて施工中の動態観測を実施し、斜面ガイドラインの点検が持つ意味と必要情報の関係等について調査した。

その結果、今後の土木事業では同ガイドラインと「地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」が融合した「意識と体制」を構築したリスクコミュニケーションが重要であることがわかった。

※ 国土交通省の「土木設計業務等共通仕様書」の主要技術基準及び参考図書の中でも「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドライン」（厚生労働省）について、記載されている。

A. 研究目的

2009年に(独)労働安全衛生研究所(現、(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所。以下、「安衛研」という。)が学識経験者・行政担当者・施工業者等の専門家を委員とした「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」を設立した。斜面崩壊による労働災害防止対策の強化を図るため、防止措置の現状、防止工法の普及状況及び問題点等を調査して、実態の分析と同種災害防止対策に関する検討を行い、2010年3月に報告書(以下、「安衛研報告書」という。)をとりまとめている¹⁾。この安衛研報告書と建災防での検討結果を踏まえて、2015年には労働基準局安全衛生部安全課長から「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドライン(基安安発0629第1号)」(以下、「斜面ガイドライン」という。)という通達が発出され²⁾、施工以前の段階を含む、事業の上流から点検し、現場の危険性を抽出すること及び関係者間での情報共有の重要性について通達している。しかしながら、その普及効果は限定的であり「安全対策は施工者が実施するもの」との認識が根強い印象がある。

本分担研究では、斜面崩壊による労働災害防止対策の現状として、近年の大きな労働災害事例を取り上げ、昨今の国内外の建設工事での安全衛生対策の情勢について斜面ガイドラインの考え方も含めて概説する。その後、斜面ガイドラインを適用して各種点検を行い、加えて高精度傾斜計を用いて施工中の動態観測を実施した現場の事例を紹介し、斜面ガイドラインの点検が持つ意味と必要情報の関係等について考察を行った。

B. 研究方法

本分担研究では、以下の2点に着目して研究を実施した。

【1】斜面崩壊による労働災害防止対策の現状

斜面崩壊による労働災害防止対策の現状として、近年の大きな労働災害事例を取り上げ、昨今の国内外の建設工事での安全衛生対策の情勢について斜面ガイドラインの考え方も含めて概説する。

【2】実現場への斜面ガイドラインの適用と動態観測

斜面ガイドラインを適用して各種点検を行い、加えて高精度傾斜計を用いて施工中の動態観測を実施した現場の事例を紹介し、斜面ガイドラインの点検が持つ意味と必要情報の関係等について考察を行った。

以下に、それらの結果を示す。

C. 研究結果

B. 研究方法 に示した2つについてそれぞれ研究結果を記載する。

【1】斜面崩壊による労働災害防止対策の現状

(1) 由利本荘市「市道猿倉花立線」災害防除工事中の土砂崩壊災害

2013年11月21日に秋田県由利本荘市矢島町内の「市道猿倉花立線」において、災害防除工事中の道路のり面が崩落し、工事中の作業員8名のうち5名が死亡する労働災害が発生した³⁾。由利本荘市では土砂崩落の要因分析と再発防止策の検討および復旧対策の方向性について、専門的な見地から検討を行う、由利本荘市「市道猿倉花立線」土砂崩落技術調査委員会が設置され、2015年3月26日に報告書が市長に提出さ

れ、公開されている。報告書によると、当該現場の崩壊の誘因は、崩落 11 日前から数日間にわたる降雪が確認されており、その後の気温上昇に伴う多量の融雪水の地下浸透と、それに引き続く崩落 3 日前からの連続した強い降雨により、盛土内の地下水位が急速に上昇して崩壊に至ったことが推測されている。一方、原因については、さまざまな要因が複雑に絡み合い特定はできないとして、考えられるものを列挙することにとどまっている。一方、今後の安全対策に向けた再発防止策として以下の 5 項目を提言としてまとめている。すなわち、

- (a) 現場リスク情報の共有（調査設計段階）
- (b) リスクコミュニケーションの徹底と安全性の優先（施工段階）
- (c) 適切な維持管理の継続実施（維持管理段階）
- (d) 土工に対する認識と安全の優先（土工事全般）
- (e) 技術力の向上および継承（日常業務）

特に、(a)、(b)については、単に安衛則に従った計画と定石化した安全管理を行っていけばよいのではなく、周辺の地形・地質的特性、土質的特性および地下水特性などの現場情報の把握を行い、発注者、設計者、施工者がその情報を共有し、現場でのリスクをマネジメントする必要性を示している。

これは、2010 年の安衛研報告書以降の斜面崩壊による労働災害防止対策の方向性を踏襲した形であり、新たな視点として取り入れた内容が含まれたものだといえる。

(2) 斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドライン

2015 年に厚生労働省労働基準局安全衛

生部安全課長から「斜面ガイドライン」の通達が各関係機関に発出された²⁾。この適用はあくまで中小工事であるが、調査・設計段階から始まり、施工業者の現場作業の大きなイベント段階毎に地山点検を行い、安定に関わる異常な状態を早期に発見し、その状態を監視することを現場に求めている。また、その情報は常に発注者・設計者を含めて「安全性検討関係者協議会」を組織して地山状態情報の共有化を組み入れている。刻々と変わり明らかになっていく地形・地質のリスクを抽出し、施工者はマネジメントし、かつ関係者間でのリスクコミュニケーションを図り、問題解決と安全となる施工を目指すものである。

この斜面ガイドラインでは「調査・設計段階」での点検が重要であるが、業務成果品にこの点検表を掲載し、留意点を平易な言葉でわかり易く解説する必要がある。一方、施工者を含めた関係者が、「地形・地質リテラシー」を共有し、点検表で示している崩壊の素因のリスクを理解するように務める必要がある。そのため、「建災防」を中心とした各種災害防止団体によって、これらの研修・教育活動が実施されている。

(3) 諸外国における建設工事での安全衛生マネジメントの動向

吉川ら⁴⁾は諸外国での建設工事での安全衛生マネジメントと比較する既往研究調査が行われている。以下に、それらの結果を抜粋して紹介する。

a) イギリスの例⁴⁾

イギリスでは、建設工事での設計・マネジメントの規則を 1994 年に制定した。見直しを繰り返して、最新の CDM（Construction

Design and Management Regulation)

2015 では建設プロジェクトに実質的に部内の調整と連携を役割とする「主設計者」という立場を創設し、CDM は PDCA サイクル手法による見直しを常に行っている⁵⁾。

CDM2007 では、2012 年ロンドンオリンピック・パラリンピック関連工事で一定の成果を上げ、米国で P t D (Prevention through Design ; 設計段階における安全衛生の確保) が派生し、マレーシア、韓国でも CDM の導入を予定するなど世界的に拡大している。

b) シンガポールの例⁴⁾

シンガポールでは、2016 年に設計段階から安全衛生を考える D f S (Design for safety) が施行されている。この特徴は、(1) 発注者及び設計者に対する責務を規定、(2) 建設プロジェクトのすべての段階を通じての安全設計に関する評価の実施を義務付け、(3) すべての建設プロジェクトに対する「リスク登録」の義務付け、(4) 発注者に対する安全設計の専門家の任命を許可することにある。

諸外国の安全衛生管理手法は、設計段階から安全衛生対策に積極的に取り組み、発注者の責務が規定されていることなどから、日本の仕組みと比べて効果を発揮していることが伺える。一方、我が国特有の脆弱な国土の地質条件や気象環境の違いなどの素因の差についても整理を行い、諸外国の制度の長所を取り入れることが必要である。

(4) 地質リスクマネジメントとの関係

国土交通省では維持管理を含む工事総コストのみならず、プロセスの中で安全性や効率性に大きく関与する地質の不確実性を

扱う「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」を制定し、2020 年 3 月に発行した⁶⁾。そのなかでは事業者が「ONE TEAM 体制」という体制を構築し、強く連携して活動することの意識持つことを実施のポイントとしている。

斜面掘削による崩壊事象では、ほとんどが地形・地質における素因として存在し、地質的な不確実性が顕在化して事故が発生することは既往の研究でも明らかである⁷⁾。工事中の斜面掘削作業の工程にも安全上の「地質リスク」が同様に存在し、それを分析・評価の上、リスクマネジメントする必要がある。

【2】実現場への斜面ガイドラインの適用と動態観測

(1) 工事概要と地形・地質概要

工事中の掘削により斜面挙動の実態を把握するため、2018 年 9 月に発生した台風 24 号の襲来により被災した静岡県静岡市「上杉尾線」の災害復旧工事で観測を行った。被災状況は、2 箇所道路谷側斜面が崩壊し、路肩欠損が約 1.5m 生じた。それぞれの崩壊は、幅 20m と 12m で、高さはそれぞれ 13m、11m の表層崩壊であった（写真-1）。復旧工事は、道路線形を山側へシフトし、掘削拡幅による道路幅員を確保する。

山側への掘削に関しては、安衛則第 356 条では「その他の地山」に類し、高さ 5m 以上となるため 60 度が仮設掘削勾配の上限となるが、設計では 1 : 0.4 (68.5 度) のり面とすることから長期的安定や掘削中の緩みの発生と二次崩壊の発生を防止するため、鉄筋挿入工 (5 段) と逆巻き工法 (2 段

階掘削) によって安定化を図る計画である。被災箇所は、JR 静岡駅より北西へ約 20km の標高 700m 内外の高度を持つ山地にあり、散在する集落間を結ぶ主要な市道である。駿河湾に注ぎ、安倍川に合流することになる藁科川に向かって深く谷が刻まれ、急峻な山地を形成している。一方、地すべり地形を呈するような緩斜面も存在し「地すべり防止区域指定地」である集落も近隣に存在する。構成地質は、図-18)に示すように南海トラフの沈み込みに伴う付加体である四万十帯の三倉層群という地層区分にあり、砂岩と頁岩の互層帯を基盤としている。三倉層群は、古第三紀始新世～漸新世の主として緑～黒色の塊状の頁岩と砂岩頁岩互層からなる。造山運動により褶曲や断裂破碎を受けており、地すべりの素因のある地質である。

(2) 動態観測の体制

図-2～3 に動態観測の計器設置箇所を示す。計測機器は、斜面掘削による地山の挙動を捉えることが出来るように工夫した。具体的には、掘削背面に掘削により不安定化し易い崩積土が堆積している図-2 に示す区間 1 の測点 15.92 断面の測線上に傾斜計を 2 基、伸縮計を 1 基設置した。計測に用いた傾斜計は IT 傾斜計（曙ブレーキ(株)製）であり、測定範囲±20 度、精度 1/100 度（分解能 1/1000 度）で測定可能な MEMS 型傾斜計である（図-49）。測定範囲と精度は、広域かつ高精度であることから、設置が容易で長期測定時に測定範囲を逸脱する可能性が低くなる。また、一般的に MEMS 型傾斜計は温度の影響を受けてドリフトしやすいが、各計測器にキャリブレーション試験

を実施した温度補正を施しており温度に対しての即時対応性に優れているものである。IT 傾斜計は、図-5 に示すように地山に密着させ、X-Y 直交 2 軸方向の傾斜角度について施工前から施工中及び背後斜面完成まで連続観測を行った。計測値の収録間隔は 10 分毎とし、有線接続されたデータロガーに収録した。また、現場進捗状況と地山点検によりデータの検証を行うとともに IT 傾斜計の機能を補完するため、地すべり計測では実績のある伸縮計（(株)オサシ・テクノス SLG-100A、測定範囲 0～1000mm、分解能 0.1mm）を同位置に設置した。

(3) 斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドラインの適用

斜面ガイドラインは、目視等による点検を根拠に「調査・設計施工段階別点検表」、「日常点検表」及び「変状時点検表」を作成する。今回の観測対象現場にて、調査者、設計者及び施工者の立場になり、着手前から掘削完了まで斜面ガイドラインの適用を試みた。なお、この点検表の適用・使用単位は「地層ごと」と「幅約 20m」を目安とした。表-1 に当現場への適用した各段階点検表を示す。掘削作業前の点検までの段階では、樹木植生などによる点検障害がなかったので記載内容に変更はない。しかし、掘削が進行することで新たな地質が出現したり、湧水による崩壊の危険が生じたりといった地山の異常が生じた（写真-3）ため、斜面ガイドラインに従い「日常点検」から「変状時点検表」を作成し、「異常時対応シート」作成により情報共有を行った。最終的なトラブル解決は、発注者、設計者及び施工者を含めた三者協議で迅速に決定した。以下にそれぞれ

れの点検表について詳細を示す。

a) 調査・設計段階点検（表-1, 2）

図-2 に示すように工事区間の山側斜面には連続した滑落崖があり馬蹄形を呈する。地形判読では明らかな「地すべり地形」であるが、地質調査報告書では今回の被災について、地すべり土塊の活動はなく、その一部が崩壊したものとされている。しかし、工事箇所の外郭には休眠中の地すべりが存在することから、今回の主体工事である山側のり面工事は大きな地質リスクを有していることは明らかである。

また、滑落崖には表層がオーバーハングしており、かつての地すべり滑動によるブロック積擁壁に縦方向のサイドクラックが生じている（写真-2）。

一方、表層部の地質は、滑落崖直下の緩い崩積土層と崖面には岩組織を残留する脆く亀裂の多い強風化頁岩が露頭する。

地下水については、ボーリング調査によると GL-4.0m 付近に水頭を持つ地下水が存在するとされているほか、図-2 の平面図に示すように工事箇所の端部に常時湧水が見られた。地すべり頭部のより上方の残斜面は、杉林で一定勾配のなだらかな斜面を呈し、過去の地山変動を示す段差や杉の根曲がりはない。

b) 施工計画～掘削作業前段階点検（表-1, 2）

掘削斜面の植生は、繁茂状態ではなかったため、丁張り起工測量の際の伐採で新たな確認事項はなかった。そのため調査・設計段階での点検と同様であった。

c) 日常点検表（表-3）

点検区間 1, 3 においては、通常の見視による日常点検を行い施工トラブルはなかつ

た。計器を設置した点検区間 1 の測点 15.92 測線では、詳細は後述するが、施工段階や降雨などの気象状態の変化に微小な変形は生じており、掘削や斜面安定工法による目視点検では認められない地山挙動が把握できた。一方、点検区間 2 測点 32.00 付近で一次掘削を行った際に湧水が発生した。湧水箇所周辺は、強風化によって粘土化が激しい頁岩（風化の速い岩とする；新たな事実の出現）であり、降雨後に湧水量の増加に伴い小崩壊が発生した（写真-5）。粘土化した頁岩の吸水による軟弱化も激しく、さらに上部への後退性崩壊も予想され、今後の施工が不可能になったため「変状時点検表」を使い推移を記録した。規模が小さいため作業員の安全確保には問題は無かったが、今後の進展によっては、規模の拡大により補修の難易度が高くなるので着目する必要性があり「変状時点検表」による監視の重要性を認識することができた。

d) 変状時点検表（表-4）

施工に障害となる湧水の発生（写真-3）後、予定より 5 日間の休工遅延が生じた。現場での応急対策の検討や発注者・設計者への連絡及び三者会議の日程の調整などで時間を要することもあるが、予期せぬ現象が工事工程へ影響し、土砂崩壊災害の発生にも発展してしまう恐れがあった。斜面ガイドラインに従った点検では、湧水をトラブル発生まで予想できなかった。しかし、湧水発生後の崩壊が小さうちに予測・予防できた点では、点検項目で「湧水」を負のキーワードと認識していた点にある。

地質リスクマネジメントの視点では、この予期せぬ湧水を水抜きボーリングで「リスク対応」することとした。さらに、既往の

地すべり地形の存在を考慮すると、調査・設計段階点検で他地点における湧水の事実を水平展開して全体の「リスク分析～評価」に発展・思考することは技術者として必要な要件である。

(4) 高精度 IT 傾斜計での動態観測結果

IT 傾斜計は、降雨による斜面崩壊と切土による斜面の不安定化と鉄筋挿入工施工過程での短期的不安定化を示唆する微少な挙動過程を捉えることができた。観測結果の総括図として図-6 に時系列に変位動態をグラフ化した時間～傾斜計変化・降雨量関係を、図-7 に斜面谷側方向を-Y、東側を+X とした 2 方向データをベクトル化して変位方向変化図をそれぞれ示す。急勾配掘削作業や降雨が斜面へ与える外力アクションと考えると、特徴的な傾斜計への地山応答を以下のように整理できる。特に、図-6 で傾斜量が累積的に増加し始めた 4-5 段目の鉄筋打設時には、深い地すべりの挙動も監視した入念な検討を行っている。やや西側に傾斜した粘土層は深い地すべりにも関わっているようなので、この方向への重力傾斜変動には注視していた。

a) 施工前の豪雨時

一次掘削開始した後の 5 月 21 日に日雨量 163mm の豪雨があった。図-8 に豪雨時の時間～傾斜計変化・降雨量関係を示す。下段傾斜計は、斜面谷側方向に傾斜して東西方向への変位はなかった。一方、上段傾斜計は、東側へ傾倒した。

b) 1 次掘削～3 段目鉄筋挿入工後の挙動

一次掘削から 2 段までの鉄筋挿入工の一連の作業は約 2 日間で行われた。打設位置が IT 傾斜計に近いところで観測を一時中

断したが、3 段目の鉄筋挿入工の削孔から観測を再開している。図-9 に示すように削孔直後の急激な傾斜と継続的に生じるクリープ的な変形が生じている。

c) 二次掘削直後の挙動

既往の知見からこの状態が今回の地山掘削工事の中で最も危険な状態と予想された。また、掘削面の観察では粘土化した頁岩層が帯状に連続し、その上部にやや湿った湧水跡のような箇所がみられた（写真-4）。この粘土化した頁岩は、すべり易い面（すべり面となりやすい）である層相であり、斜面崩壊の地質リスクは高いものと評価される。図-10 に示すように掘削という作業で傾斜量の停止するまで二つの変動傾向が読み取れる。①の急激な変位では初生的な緩み変位と考える。その後、②のように変位増加が極度に少なくなり一定速度でクリープ的に谷側と東側に継続する。これは 7 日間放置したことによる重力変形と推察される。これは、斜面掘削の安全管理においても掘削後数日は危険な状態が続くことを示しており、日常点検管理の必要性を示唆している。

d) 4, 5 段目鉄筋挿入工後の挙動

図-11 に 4,5 段目の鉄筋挿入工後の動態を示す。特徴的なこととして削孔中に一旦西側に少し傾斜した後、傾斜方向が従来の東側へ反転する点である。「削孔—鉄筋挿入—洗浄—グラウト注入」の一連の作業では①、⑤及び③、⑦のような急激な谷側変位と東側変位が生じ、3 段目と同じように②、④と⑥、⑧はグラウト硬化によるアンカー効果が発揮されるまでの重力変形と解釈できる挙動が観測された。③は、数日遅れた急激な東西方向の傾斜であるが、施工方向が、東側であり水平間隔 1.0m の隣接する鉄筋挿入

工毎の削孔にクリープ変形が累積された変化を計測している可能性がある。

e) 施工後の挙動

写真-5 に施工完了後の状態の写真を，図-12 に施工後の傾斜計と降雨量の時刻歴図をそれぞれ示す。施工後の傾斜変位量の有無は，降雨時の挙動でその安定度として評価できる。降雨時の変形は，54.7 秒（図-12 参照）と微少ながら生じるものの施工前の豪雨時の傾斜量（29.9 秒）と比べると，同様な降雨量にも関わらず約 55%減少した。このことから，鉄筋挿入工による法面の表層崩壊に対する施工効果があったものと判断される。しかし，施工後も断続的な降雨により緩やかに微少な傾斜量で谷側傾斜しており，これは，施工後の地山の全体的な緩み変形と考えられ，これらの変動を今後も計測し，累積的で大きな変動になるようであれば，地山全体の地すべり対策を行う必要があったものと考えられる。

f) 動態観測結果の整理

工程作業毎に傾斜速度は図-13 のように整理できる。二次掘削直後と鉄筋挿入直後の変形が大きいことは，地山の緩みが大きいことを示している。

4 段目鉄筋挿入工時のグラウト硬化時のクリープ挙動が最も速いのは，一連の掘削と安定化作業の中で最も危険な状態であったためと考えられる。なお，各段のグラウト硬化の継続時間は 3 日間程度であった。これは，グラウト材の現場強度発現計画とも一致する。また，施工前後の豪雨時の傾斜速度は同程度の降雨量に関わらず約 37%低下している。

D. 考察

ここでは，【2】実現場への斜面ガイドラインの適用と動態観測 にて得られた結果を踏まえた考察を記載する。

(1) 斜面ガイドラインによる点検表の意味

一連の事業工程に連動した点検表は，作業進捗に従い，地山の微地形や地質性状など不明だった箇所が明らかになる。そのため，最上流の調査設計時点においては不明確であった地山の挙動は，リスクとして考える必要がある。一般に地質リスクマネジメントの多くは調査設計から施工段階に向かって，より合理的かつ総合的にも経済性を追求することを念頭において実施されるものである。これは，施工時の仮設地山掘削作業の安全性確保の観点からも合理的な手法といえる。したがって，「調査・設計施工段階点検表」を利用して，リスク抽出を行い，そのリスクを分析・評価して対応を策定することが現在の事業者つまり施工者の責務となる。しかし，リスクの分析～対応については，本来は事業者のみでは策定できないため，発注者を含めた調査・設計段階での地質リスクマネジメントが必須となる。今後の土木事業では「地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」と「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドライン」が融合した「意識と体制」を構築したリスクコミュニケーションが必要である。

(2) 観測結果による微少な地山挙動の推定

今回の現場では，併設した伸縮計では崩壊を予兆するような変位は認められなかった。構成地質から広範囲に岩盤が劣化して

いる地質のため、伸縮計位置よりも広い範囲での地すべり活動についても目視観察しながら、今回設置した IT 傾斜計で地山の外力により微少な挙動を高精度に観測することができた。以下にそれぞれのイベント毎にまとめる。

豪雨時挙動は、一次掘削後であるが計器設置場所の微地形方向に支配され、上段では地形傾斜と調和する東傾斜、下段では谷側のみ地表面方向であった。降雨による地山変動は、自然斜面の地表微地形の重力作用方向に傾動するとはいえ、降雨が継続または断続すると地下水の影響が深部への影響度が増すので、変形方向は未施工区間方向や大きな土塊変動方向に向かって変形すると考えられる。次に、二次掘削直後が、最も大きな傾斜速度であったことより、最も危険な状態であったと考えられる。これは設計計算結果での予測と一致している。鉄筋挿入工施工後から約 3 日間クリープ的に継続するような傾斜挙動を呈した。これは、削孔からグラウト硬化期間での微少な挙動を捉えているものと考えられる。その後、二次掘削時に最も速いクリープ変形を生じていることよりこの状態が最も不安定であり、逆巻施工による効果があった。4、5 段目鉄筋挿入工施工時では、掘削に対して時間差のある東西方向に隣接する鉄筋挿入工の施工による地山の緩みの影響を捉えていたと考えられ、傾斜計が高精度であることを示している。斜面崩壊の主たる方向は重力が作用する谷側への移動であるが、周辺の施工状況や地山挙動の影響を受けた複雑な挙動を示すことが理解される。斜面崩壊の前兆にはクリープ変形が増し、高次化すると共に崩壊に至る、いわゆる齧

藤式と呼ばれるクリープ曲線による予測方法¹⁰が知られているが、今回の現場では、そのような加速度的な変形の増加傾向はあまり得られず、それ以前の挙動として斜面直角方向への複雑な変形が生じていた。傾斜速度が上昇し崩壊の恐れがある場合には、その発生時間を予測することは多くの既往研究^{10)~16)}が存在する。施工中の安全体制強化に動態観測を有効活用することは、現場の状況を的確に判断する理論的材料として有用である。

(3) 観測結果による斜面安定化工法施工中の変位の実証

斜面安定工法は、経済性や施工性の高さを理由に鉄筋挿入工が多用されている。また、古くから斜面安定化工法の主力であるグラウンドアンカー工がある。いずれもグラウト固化による地山との密着効果を期待した工法であるが、プレストレスを与えるか否かに着目すれば、前者は「待ち受け型」に類し、後者は、積極的な「締め付け型」という違いがある。今回の観測でグラウト固化までの時間で微少な地山の変形が生じていることが明らかになった。グラウンドアンカー工は、その後のプレストレスの導入により、地山のクリープ変形を押さえることができる。しかし、鉄筋挿入工は地山のクリープ変形発生により引張り力が発現し機能が発揮されることからグラウト固化までのクリープ変形の収束を待ち、斜面下方への逆巻施工を行うことが安全であると考えられる。

(4) 設計段階点検表から想定された地質リスク

調査・設計段階点検表で着目すべき要素は、一般的に道路のり面勾配を設計するうえでの注意を要する斜面として挙げられている素因と同等である。その有無を認識することで崩壊に対する地質リスクが認識される。リスクの評価を行い、設計でリスクを考慮していない場合は、その対応を計画すると共に発注者への協議を行う。

(5) 設計段階点検表で想定されていなかった地質リスク

今回の適用現場では、調査段階では、区間1が最も注意すべき斜面があるとしていたため、観測計器類を区間1に設置した。しかしながら、掘削を開始した後に「湧水」による崩壊リスクが顕在化することになり、区間2について変状時点検表を作成することが必要となった。調査・設計段階の表は基本的に20m区間毎に作成されることを推奨しているが、20mに拘ることはない。地質リスクマネジメント手法では、地表踏査の段階で微地形・植生により、谷区間、尾根区間及び斜面勾配（例えば40度以上）や竹、シダなどの保水性植物の繁茂区間などに着目して点検区間を設定することが望ましい。斜面ガイドラインによるチェックの際に「地質リスク抽出」の技術を加えることでチェックリストをより充実することが可能となる。一方、すべてのリスクは抽出すべきと思われるが、リスク対応は「発生頻度と被害の大きさ」を勘案して、リスクが小さければリスクを許容することもありうる。

(6) 必要情報等の整理

今回の「斜面ガイドライン」に従った点検表を用いて、以下の情報に留意する必要がある

あると考えられる。

(a) 施工範囲の地形形成履歴と地質

「地すべり地、崩壊地、集水地形」など過去の斜面変位を示す等高線の乱れなど地形に反映している変動履歴を認識し、その規模やその後の挙動を想定する。想定外を無くす視点が必要である。

(b) 湧水点の抽出

その場所で湧水している理由や晴天時のみならず、降雨時やその後の変化にも注意をして観察する。

(c) 植生

竹やシダ及びコケなどが繁茂する場合には地下水が高いことが予想される。また、樹木の根曲がりや傾倒が見られる場合には、表層土のクリープや地すべりの可能性が示唆される。

(d) 点検表作成区間

「斜面ガイドライン」で記されている20m毎に拘らず、地形の変換点や設計計画での変異点で区間分けを行うなど適宜現場に合わせたゾーニングが必要である。

E. 結論

逆巻工法と切土鉄筋挿入工による斜面安定化を図る施工現場で高精度傾斜計での山地表面変動を連続して観測した。高精度傾斜計は、残斜面に設置して傾斜の方向と量を観測することで、工事による斜面の安定性を示す微小応答を一連の作業と時間軸をもった変動モニタリングを行い、傾斜量と傾斜速度値を得ることができた。また、斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドラインの作業毎の点検表、日常点検表及び変状時点検表を使用してチェックすることで、実現場での適用性及び監視点が

対比され、その妥当性を裏付けることができた。加えて、地質リスクマネジメント手法との融合で現場の安全管理も行うことができ、トラブルへの対応の決定が速くなることも分かった。

斜面掘削での地山挙動は、不可視な地山内部の構造に起因する場合が多く、不確実性が非常に高い。そのため労働安全対策は具体的な対応工法を適用すれば解決するのではなく、小さな情報からその先の事象を論理的にかつ経験的に推測する作業となる。斜面掘削の土砂崩壊災害を防止するためには「監視者の観察による点検とリスクマネジメントで定量化すること」と「各種センサーを用いた動態観測を行い定量化すること」が両輪でその適用性を高めることができる。前者は、監視者の経験や常駐が必要であり、人的スキルや要員配置を要する。後者は、計器設置・観測・資料整理などのイニシャルコストに加えランニングコストも掛かる。そのため、調査・設計時の点検表作成時に地質リスクマネジメント手法を用いることで、動態観測の導入の有無を検討することが現実的であると考える。

以下に、今回の観測から得られた動態観測の課題を示す。

- ・ IoT 技術を活用したリアルタイムの監視やデータ回収の検討
- ・ 中小規模の工事にも適用できるような安価で高精度なセンサーやシステム開発の必要性
- ・ 監視カメラの設置による動態観測データと現場作業の関係の同期システムの構築
- ・ 現場では、三次クリープや崩壊まで観測されることはあまりないが、様々な現場での動態観測施工の実施によるデータの

蓄積と閾値の設定方法

- ・ 斜面ガイドラインの点検の利用普及と点検者の意見収集（アンケート）
- ・ 地形地質技術者の「施工の安全性」を考慮に入れた地表地質踏査による平面図への記載.
- ・ 設計者の「安衛則」第 356 条・第 367 条の掘削勾配の盲信化。また、それを補うための検討方法の策定。

総じて、諸外国のように発注者を含む調査・設計段階の上流側での斜面問題へのマネジメント意識を持ち、最下流の施工までの一連の関係者間のコミュニケーションを図る必要がある。我が国では、その仕組みは構築しつつあるが、その利用・普及が完全ではない点があり、今後検討が必要である。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 柴田達哉, 伊藤和也, 杉山竜一: 斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドラインを用いた地質リスク抽出と実際の地山挙動, 土木学会論文集 F6 (安全問題), 掲載決定。

2. 学会発表

- 2) 柴田達哉, 伊藤和也: 斜面崩壊による労働災害防止対策ガイドラインと実際の地山挙動, 安全工学シンポジウム 2020, GS-3-15, pp.144-147, 2020.

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

H. 引用文献

- 1) (独) 労働安全衛生総合研究所：斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会報告書，2010.
- 2) 厚生労働省発行：「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドライン」2015
- 3) 由利本庄市「市道猿倉花立線」土砂崩落技術調査委員会：由利本庄市「市道猿倉花立線」土砂崩落技術調査委員会報告書，2015.
- 4) 吉川直孝，大嶋勝利，平岡伸隆，高橋弘樹，日野康道，豊澤康男：諸外国における建築物等の設計段階から考える安全衛生管理手法の調査，労働安全衛生総合研究所特別研究報告 JNOSH-SRR-No.49，2019.
- 5) 土木学会安全問題研究委員会 土木工事の技術的安全確保・向上検討小委員会：土木工事の技術的安全確保・向上に関する検討報告書，2016.
- 6) 国土交通省大臣官房技術調査課・国立研究開発法人土木研究所 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン，2020.
- 7) 伊藤和也，豊澤康男，井澤淳，高橋章浩，竹村次朗，日下部治：斜面崩壊による労働災害の崩壊形態・原因の傾向及び対策について，土木学会第 65 回年次学術講演会，平成 22 年 9 月
- 8) 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅東京(8)第 89 号「清水地域の地質（杉山雄一・下川浩一）」：地質調査所 1990,第 2 図を一部略
- 9) 例えば，国立研究開発法人土木研究所・曙ブレーキ工業・エイト日本技術開発・川崎地質・協和電業・坂田電機：特殊な地すべり環境下で使用する観測装置設置の手引き，pp.2-12，2016.
- 10) 斉藤迪孝：斜面崩壊時刻を予測するためのクリープ曲線の適用について，地すべり，第 24 巻,第 1 号，1987.
- 11) 福園輝旗：表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法，地すべり，第 22 巻，第 2 号，1985.
- 12) 菅原紀明：斜面崩壊時刻を概略予測するための移動速度の正規化，応用地質技術年報，No.21，2001.
- 13) 玉手聡，伊藤和也，Surendra B. Tamrakar：表層ひずみ計測による施工時斜面の崩壊監視に関する実験的研究，土木学会論文集 C, Vol.65, No.1, p.1-18, 2009.
- 14) Uchimura, T., Towhata, I., Wang, L., Nishie, S., Yamaguchi, H., Seko, I., Qiao, J. :Precaution and early warning of surface failure of slope using tilt sensors, Soils and Foundations, Vol. 55, No. 5, pp. 1086-1099, 2015.
- 15) 平岡伸隆，吉川直孝，伊藤和也，笹原克夫：斜面掘削中の動態モニタリングによる退避判定の検討，Vol. 73, No. 4, pp. 355-367, 2017.
- 16) 笹原克夫，岩田直樹，吉川直孝，平岡伸隆，伊藤和也：実大規模模型斜面の多段階掘削に伴う崩壊時刻の予測－福園式を用いた検討－，Vol. 13, No. 1, pp. 13-25, 2018.



写真-1 被災状況と施工路線

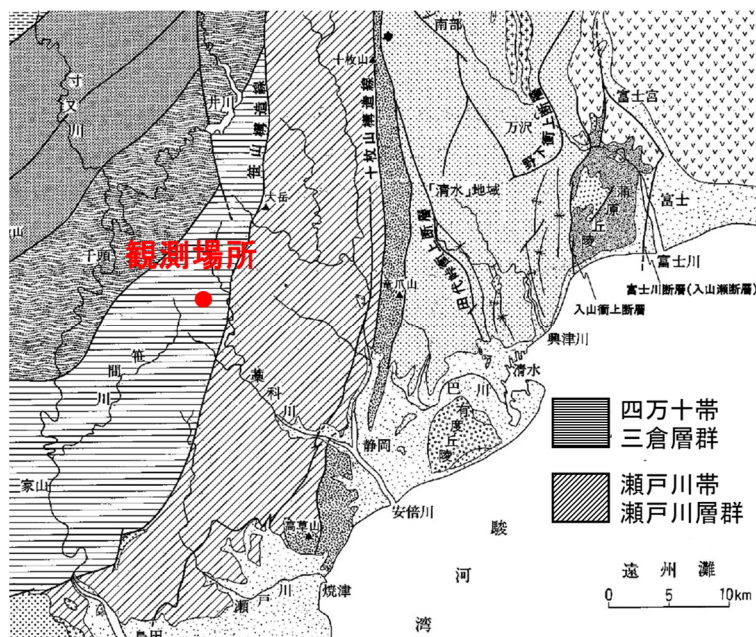


図-1 工事場所周辺の地質概略図¹²⁾

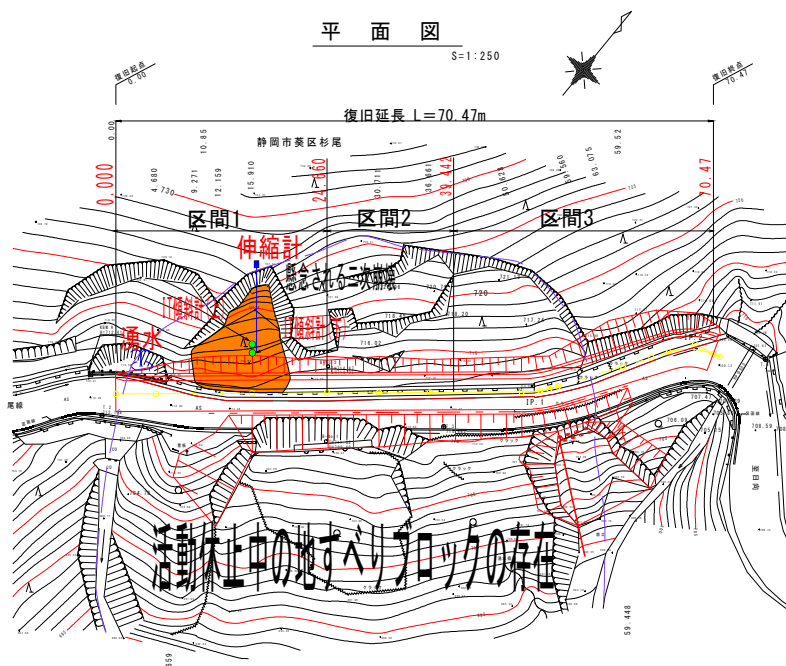


図-2 観測計器配置平面図

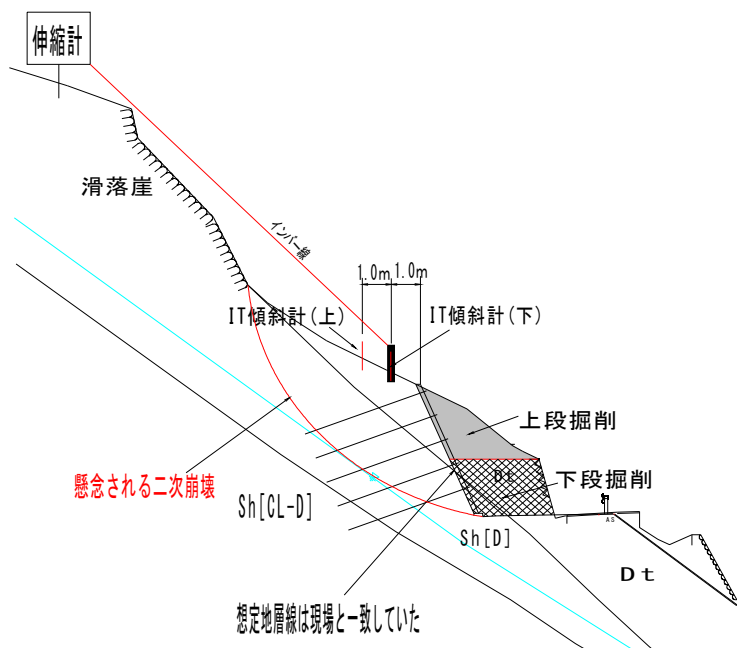


図-3 観測計器設置横断図



図-4 IT 傾斜計仕様¹³⁾

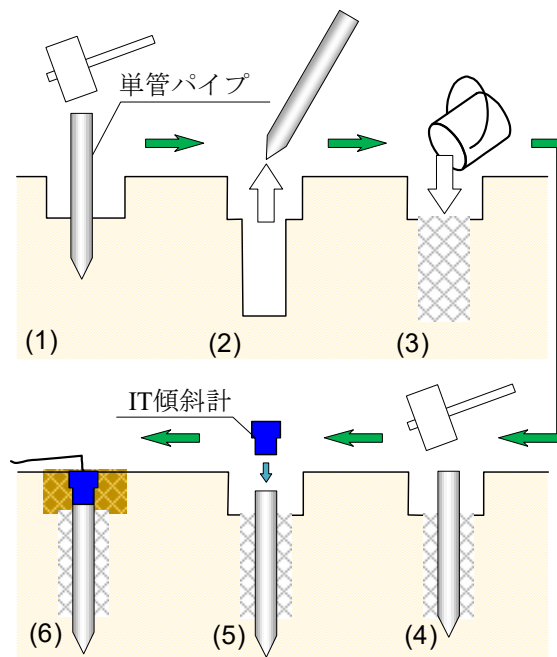


図-5 IT 傾斜計設置方法¹³⁾

表-1 設計・施工段階点検表（測点 0.00～24.60, 39.442～75.47：点検区間 1, 3）

工事箇所名				有無未に○印をつける：有=現象がある / 無=現象がない / 未=未確認(確認できない)				
位置	要因	項目	現象(確認内容)	①調査・設計	②施工計画	③丁張り	掘削	
							④作業前時	⑤終了時
残 斜 面	地形	地すべり地	亀裂、段差、等高線の乱れ等がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		浮石・転石	不安定な状況にある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		オーバーハング	新鮮な崩壊が認められる	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	周辺状況	植生	周辺の植生と異なるまたは竹林等がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		構造物	クラックなどの変状がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
切 土 部	地質等 (土・岩質)	崩積土・強風化斜面	不均一で軟弱な土質である	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		砂質土等	特に浸食に弱い土質である	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		風化が速い岩	表層から土砂化する岩である	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		割れ目の多い岩	亀裂が多く、もろい岩である	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	構造	流れ盤	流れ盤亀裂で簡単にはく離する	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		破碎帯等	すべる可能性の弱層がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	湧水	地下水	常時・多量の湧水、湧水に濁りがある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	凍結	凍結融解	凍結・融解が著しく起こる	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	災害記録	斜面崩壊	近傍工事個所で崩壊履歴がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
備考	「有」と記入した場合、状況や対応を記入する。							
	月/日 点検者サイン			/	/	/	/	/
	施工の安全性の確保ができています 月/日 確認者サイン			/	/	/	/	/



写真-2 地すべり左サイドブロックの開口クラック



写真-3 区間2 測点 32.00 付近の湧水と小崩壊と粘土化した岩盤

表-2 設計・施工段階点検表（測点 24.60～39.442：点検区間 2）

工事箇所名				有無未に○印をつける：有=現象がある / 無=現象がない / 未=未確認(確認できない)				
位置	要因	項目	現象(確認内容)	①調査・設計	②施工計画	③丁張り	掘削	
							④作業前時	⑤終了時
残斜面	地形	地すべり地	亀裂、段差、等高線の乱れ等がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		浮石・転石	不安定な状況にある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		オーバーハング	新鮮な崩壊が認められる	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	周辺状況	植生	周辺の植生と異なるまたは竹林等がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		構造物	クラックなどの変状がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
切土部	地質等 (土・岩質)	崩積土・強風化斜面	不均一で軟弱な土質である	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		砂質土等	特に浸食に弱い土質である	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		風化が速い岩	表層から土砂化する岩である	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		割れ目の多い岩	亀裂が多く、もろい岩である	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	構造	流れ盤	流れ盤亀裂で簡単にはく離する	有無未	有無未	有無未	有無	有無
		破碎帯等	すべる可能性の弱層がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	湧水	地下水	常時・多量の湧水、湧水に濁りがある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	凍結	凍結融解	凍結・融解が著しく起こる	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	災害記録	斜面崩壊	近傍工事個所で崩壊履歴がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無
	備考	「有」と記入した場合、状況や対応を記入する。						
月/日 点検者サイン				/	/	/	/	/
施工の安全性の確保ができています 月/日 確認者サイン				/	/	/	/	/

表-3 日常点検表（測点 24.60～39.442：点検区間2）

工事名	令和元年上杉尾道路災害	点検箇所	点検区間2(測点24.60～39.442)	施工会社	(株)石福建設
設計・施工段階別点検表で確認された現象の有無		無・有（その現象=地すべり、オーバーハング、クラック、軟弱な崩積土、割れ目の多い岩、風化が速い岩、すべり可能性、湧水、崩壊記録あり）			

- この日常点検表は、斜面の崩壊を予知し、労働災害を防止するために、斜面の変状をいち早く発見するために使用する。
- この日常点検表は、斜面掘削工事、切土部での擁壁工事などの作業開始前、作業終了時、大雨時、中震以上の地震の後などに使用する。
- 点検の結果、該当する項目がある場合は、その項目に"○"をつけ、該当しない場合は"レ"又は"- "をつける。
- 点検の結果、いずれかの項目に"○"印がついた場合、「変状時点検表」を用いて変状の推移を確認し、必要な対応を行う。(⑩、⑪を除く。)

点検月日 (A:始業、B:終業、C:大雨、D:中震、E:ほか)		5月6日	5月7日	5月8日	5月9日	5月10日	5月11日	5月12日	5月13日	5月14日	備考
		(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	
点 検 項 目	① 切土勾配が丁張りとはわなくなった	レ	レ	レ	レ	レ		休 工			
	② 切土部などに新たな亀裂が見つかった	レ	レ	レ	レ	レ					
	③ 切土部や底面などに"はらみ"が見つかった	レ	レ	レ	レ	レ					
	④ 切土部の底面などに落石が見つかった	レ	レ	レ	レ	レ					
	⑤ 切土部などの一部に崩壊が見つかった	レ	レ	レ	レ	○					
	⑥ 切土部に地下水(湧水)が出てきた	レ	レ	レ	レ	○					
	⑦ 切土部などに浮石・転石が見つかった	レ	レ	レ	レ	レ					
	⑧ 周辺の樹木の傾きが変わった	レ	レ	レ	レ	レ					
	⑨ 周辺の構造物に変状が見つかった	レ	レ	レ	レ	レ					
	※下記の⑩、⑪項目の点検の結果、○が付いた場合は直ちに改善する。(改善により、変状時点検表には移行する必要はなくなる。)										
	⑩ 降雨時に斜面の排水がスムーズでない	レ	レ	レ	レ	○					
	⑪ 降雨時の法面保護対策(シート等)に異常がある	レ	レ	レ	レ	レ					
	⑫ 「設計・施工段階別点検表」のうち、特記すべき現象が見つかった	レ	レ	レ	レ	レ					
	⑬ その他										
備考	5/10に35.0付近掘削湧水発生										
	点検者サイン										
	確認者サイン										

表-4 変状時点検表（測点 24.60～39.442：点検区間2）

工事名		令和元年上杉尾道路災害復旧工事		変状箇所	測点35.00付近				施工会社	(株)石福建設				
位置	点検実施 (○をつける)	項目	現象	月日	5月17日	5月25日	6月1日	6月11日	6月15日	7月11日	/	/	/	/
				点検時期または時刻	(休日)	(8:30)	(8:30)	(8:30)	(8:30)	(8:30)	()	()	()	()
切土部		① 切土こう配	丁張りと合致していない	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無
		② 亀裂	進展している	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無
		③ はらみ	進展している	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無
		④ 落石	小石程度が連続して起きている	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無
	○	⑤ 崩壊	肌落ち等が連続して起きている	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無
	○	⑥ 湧水	量に変化が起きている	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無
			濁りが発生している	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無
		⑦ 浮石・転石	変状が見られる	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	
残斜面及び周辺		② 亀裂	進展している	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	
		③ はらみ	進展している	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	
		④ 落石・⑤崩壊	増加、拡大している	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	
		⑦ 浮石・転石	変状が見られる	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	
		⑧ 樹木	樹木の傾斜などに変化がある	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	
	⑨ 構造物	変状が進んでいる	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無		
ほか		⑩ 特記すべき現象 ()	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	
		⑬ その他 (内容: 排水ボーリング保孔管に水が乗らず外周より湧水)	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	有無	
措置項目 (複数可)	(1) 引き続き変状を観察する(措置なし)	○	○	○	○	○	○	○	○					
	(2) 変状のモニタリングを実施する	○	○	○	○	○	○	○	○					
	(3) 水抜きボーリングを実施する	○								湧水量が低下してきている				
	(4) 集排水管の布設		○							周辺の泥濘化を軽減				
	(5) コンクリート吹き付け工背面に不織布布設								○	表面への湧水はないがモルタル面は湿潤				
	(6) 異常時対応シートに記載して報告する													
	点検者サイン													
	確認者サイン													

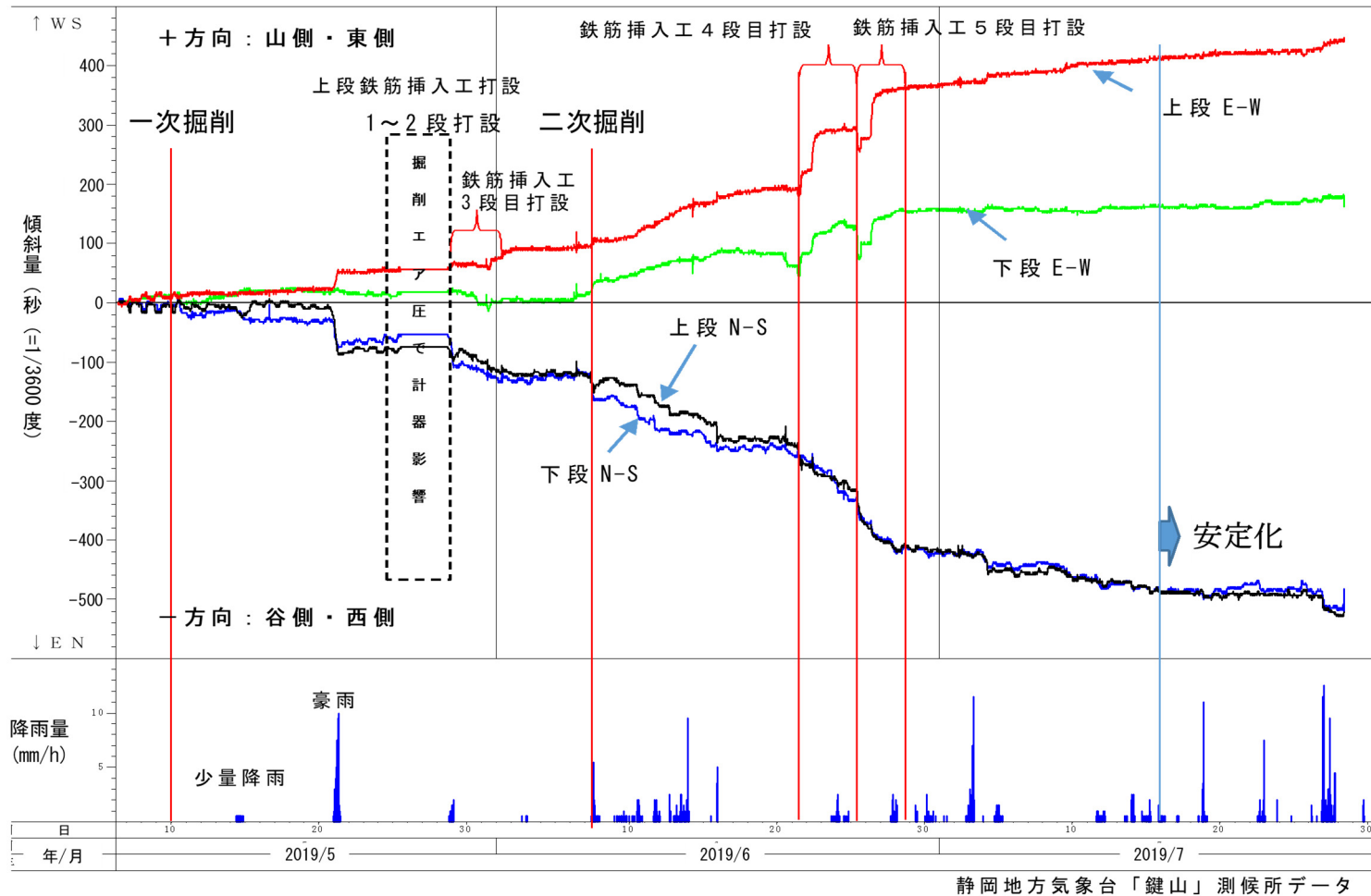


図-6 時間～傾斜計変化・降雨量関係図

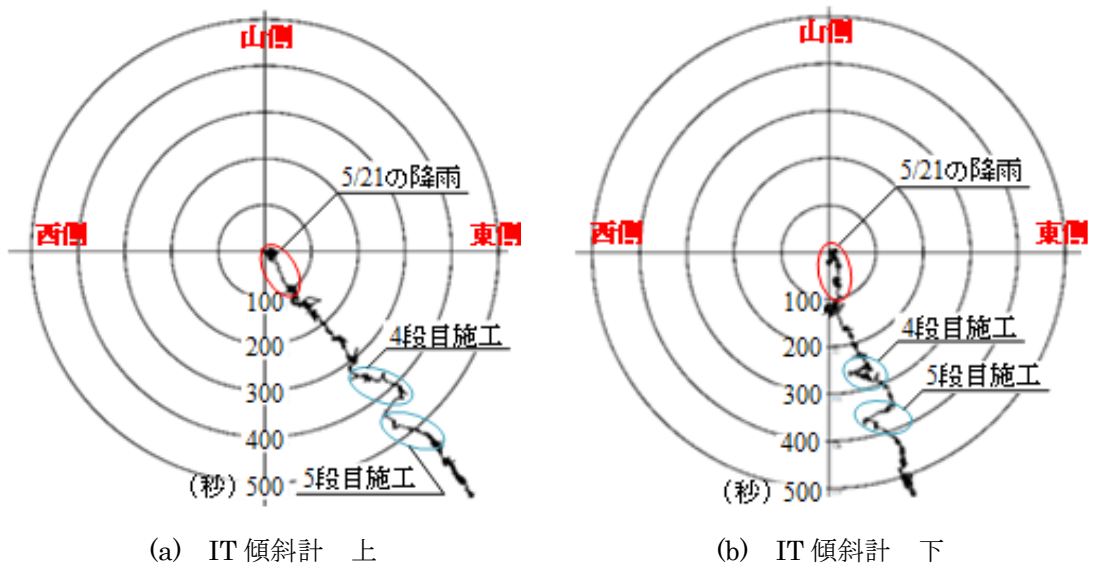


図-7 傾斜計ベクトル方向変位図

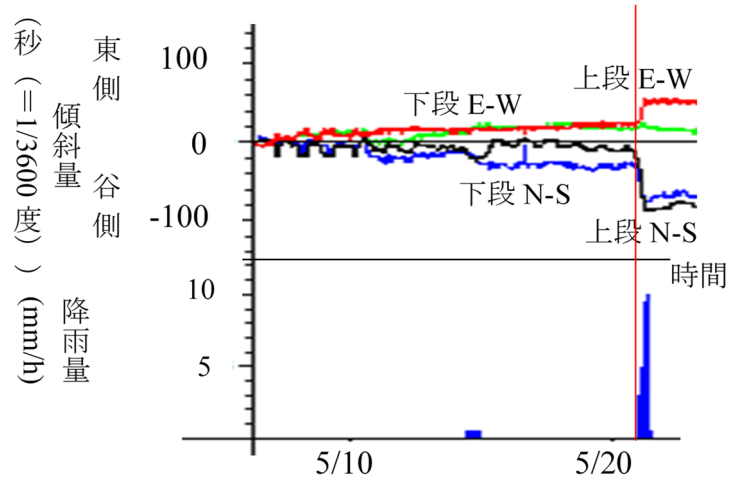


図-8 傾斜計ベクトル方向変位図

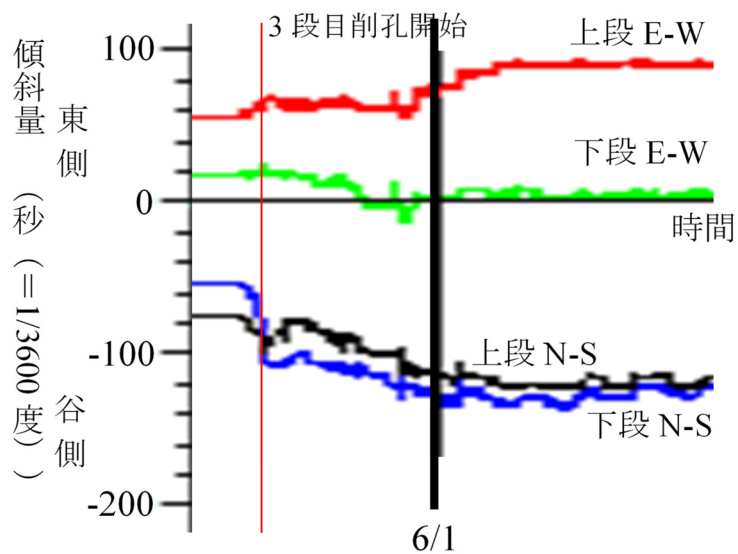


図-9 3段目鉄筋挿入工後の動態



写真-4 区間1の2次掘削直後の状態

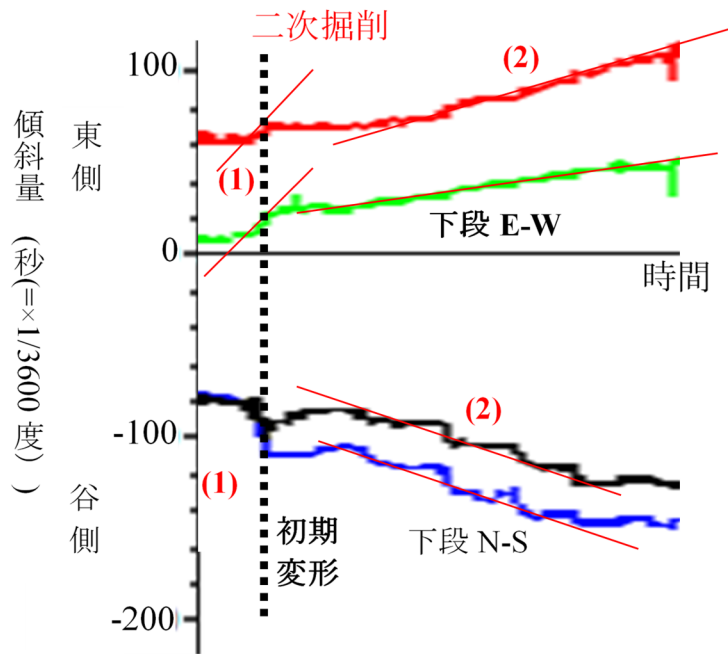


図-10 二次掘削時の動態

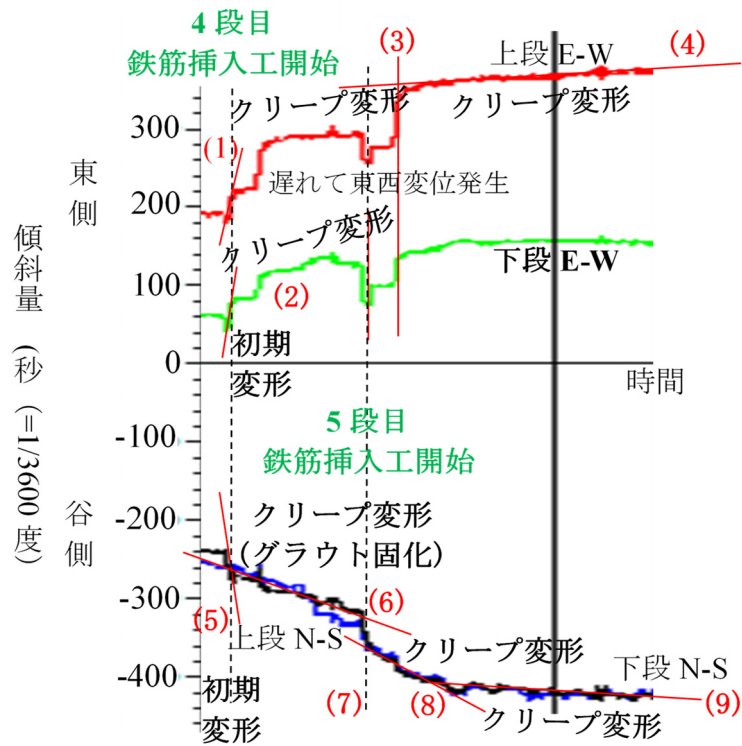


図-11 4, 5 段目鉄筋挿入工後の動態



写真-5 区間1 施工完了後の状態

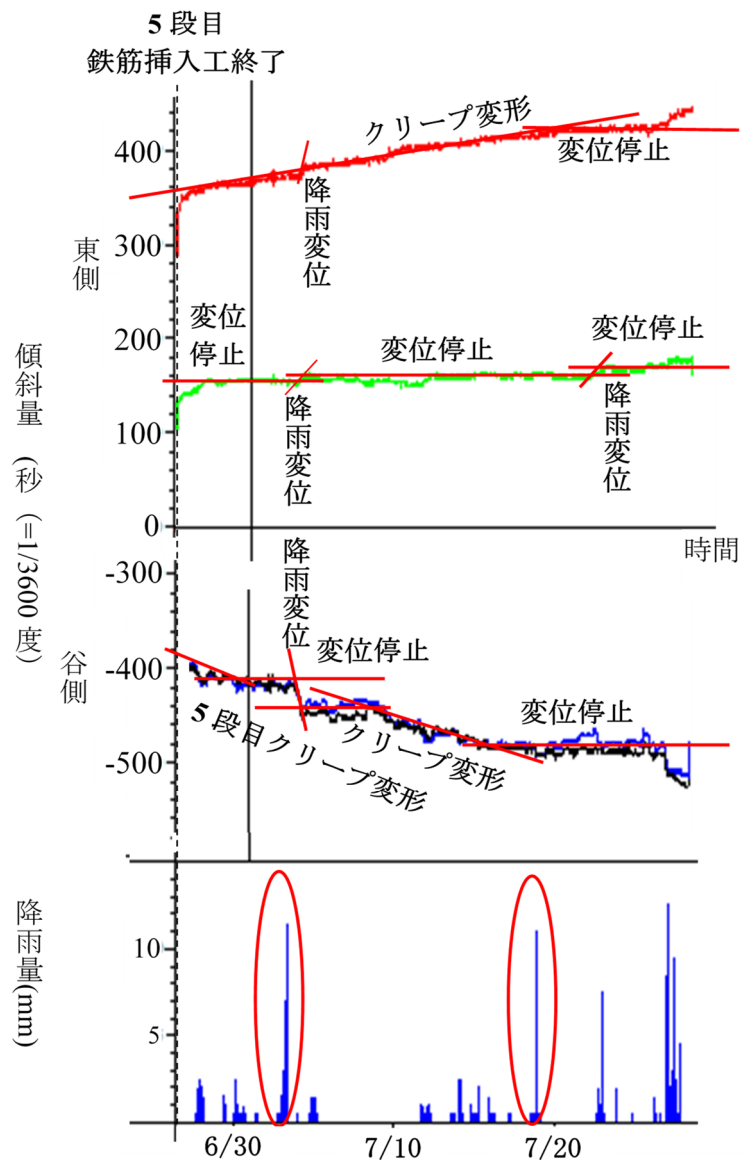


図-12 施工後の動態

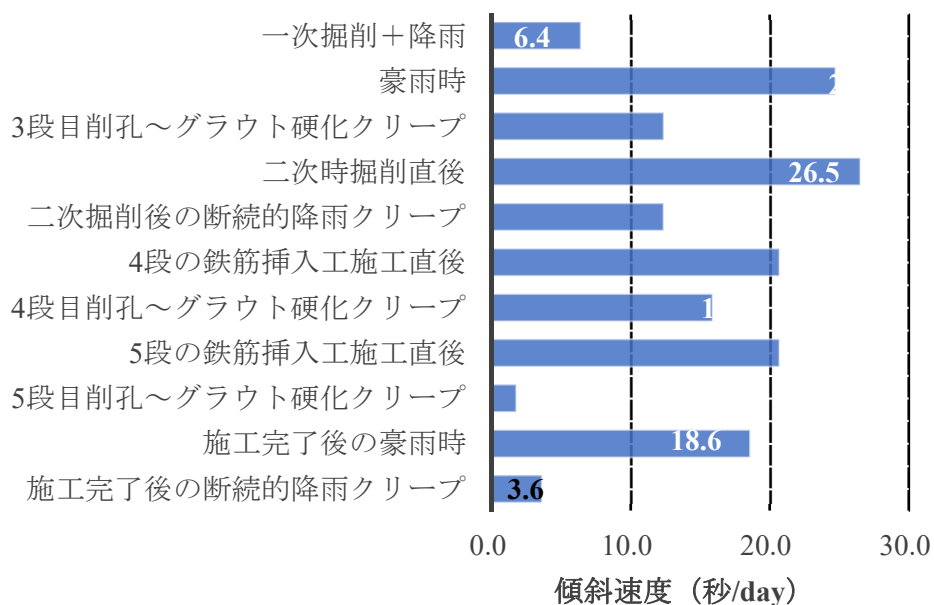


図-13 各施工工程での平均傾斜速度グラフ