【017】

滋賀県における斜面崩壊調査の事例

双葉建設㈱　○堅田　真路，國本　次郎，岩崎　哲雄

1. はじめに

近江盆地は、四方を比良･野坂･信楽山地、比叡山、鈴鹿山脈に囲まれた断層盆地で、中央の低地が日本最大の湖である琵琶湖となっている。山地は、主として丹波帯の古期堆積岩類(中･古生界)を基盤とし、そこへ中生代白亜紀以降に貫入してきた花崗岩類からなっている。丘陵地には古琵琶湖層群と呼ばれる鮮新～更新統の堆積層と段丘層が分布する。(図-1参照)

近年の台風等の豪雨時に滋賀県内でも山地や丘陵地で斜面崩壊が頻発している。これらのうち我々が携わった斜面崩壊調査の事例を紹介する。図-1に示す丹波帯山地での表層崩壊、古琵琶湖層群の地すべり性崩壊、花崗岩山地での盛土体の崩壊の3事例である。

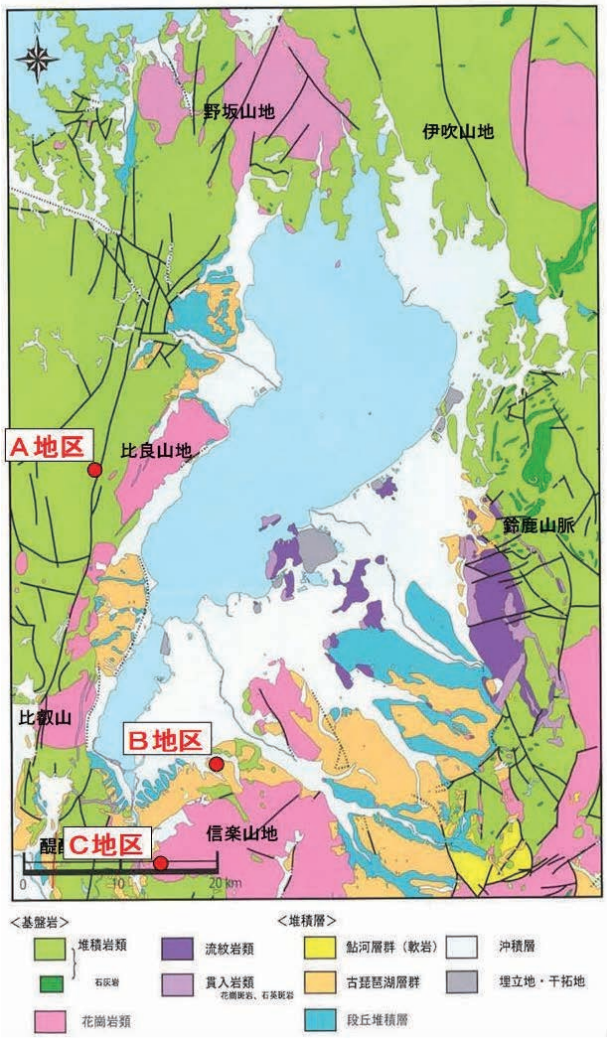


図-1 近江盆地地域の地質 [1)]

2. A地区の斜面崩壊

A地区には中生代ジュラ紀の丹波帯の泥岩砂岩互層が分布する。当地区での斜面崩壊は地表面下の崩積土層及び強風化岩の表層崩壊的なものであった。この地層分布を明確に把握するために斜めボーリング及び弾性波探査を行った。調査結果は図-2 に示すとおりである。崩積土層とD級岩盤(強風化岩)の明瞭な分布を把握することができ、対策工法の検討が確実に行えた。対策工法としては、現場吹付法枠工と鉄筋挿入工を提案した。

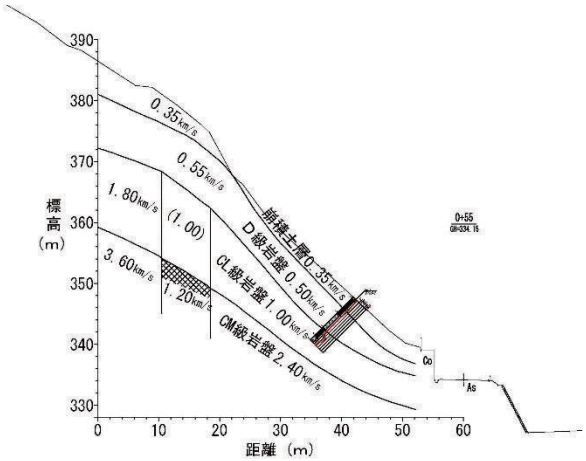


図-2 A地区の調査結果(速度層断面図)

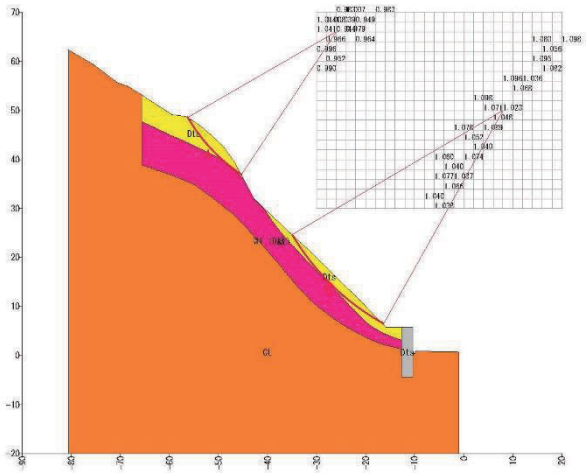


図-3 A地区の安定解析計算結果(最小安全率)

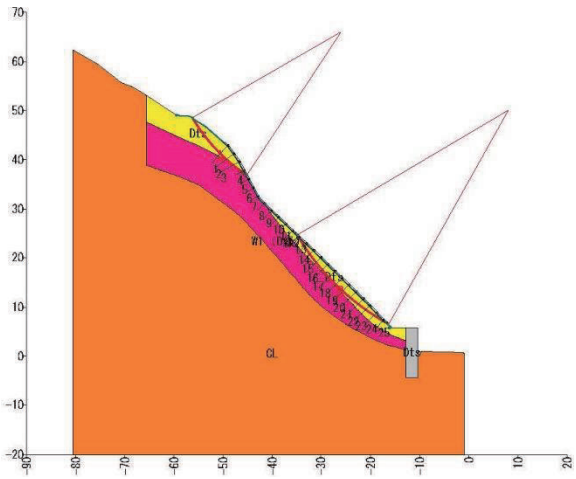


図-4 A地区の対策工法(鉄筋挿入工)

3. B 地区の斜面崩壊

B地区には鮮新世から更新世中期の堆積層である古琵琶湖層群と呼ばれる地層が分布する。河川成～沼沢成の堆積物が卓越して砂礫、砂、粘土～シルトの互層よりなる。未固結であるが良く締まった地層で、固結粘土も多く分布するが、滋賀県内ではこの古琵琶湖層群分布地域では主として粘性土層における地すべりが多く発生している。当地区でも同様な地すべりが発生した。地すべり的崩壊の後、ボーリング及びパイプ歪計観測を行った。

ボーリング結果による地層推定断面図は図-5 に示すとおりで、移動土塊(sm)、古琵琶湖層群の砂質土層(Ks)と粘性土層(Kc)の分布が確認された。移動土塊(sm)は元々は古琵琶湖層群の粘性土層(Kc)と見られ、豪雨時にKc 層で崩壊が生じたと推定された。

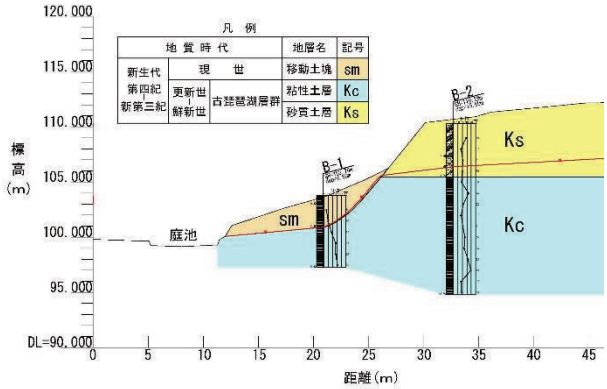


図-5 B地区における地層推定断面図

パイプ歪計の観測(図-6)においても GL-3.00m までの変位が確認され、sm 層及び Ks 層の滑落崖に対する対策工の検討が必要であると判断された。対策工法としては、鉄筋挿入工を提案した。

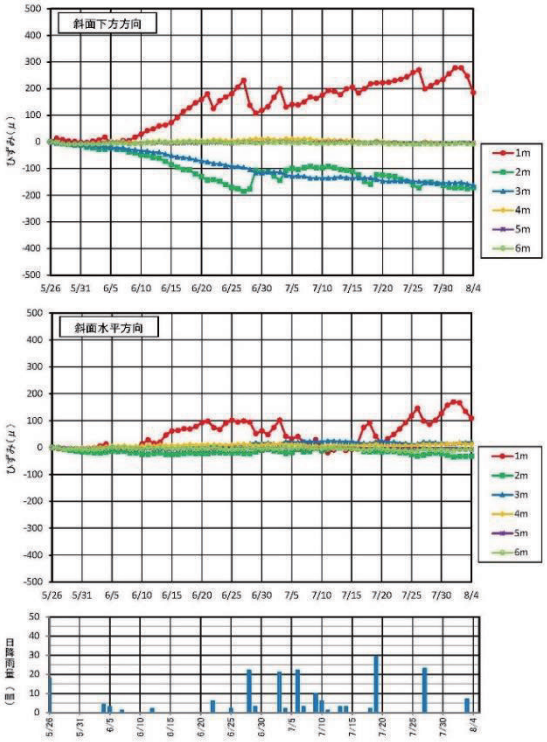


図-6 B地区におけるパイプ歪計観測結果 [2)]

4. C 地区の斜面崩壊

C地区には中生代白亜紀の花崗岩が分布する。崩壊は当該地区の盛土造成部で発生した。崩壊規模は滑落崖の幅 30m、最大斜面長さ 40mであった。崩壊した盛土法面でボーリング及び地下水位観測を行った。

ボーリング結果による地層推定断面図は図-7 に示すとおりで、地下水位観測結果からの最高水位も記入した。盛土層(B)が層厚 6.35～13.70mと厚く分布し、その下位は基盤岩である風化花崗岩層(Gr)が分布する。崩壊は盛土層内で発生したと推定された。また、盛土法面の上方での地下水位が高いことも確認された。

調査結果のN値より内部摩擦角φを推定し、現況の安全率を 0.95 として逆算法で粘着力 c を求めて、必要安全率 1.20 を確保できる対策工法の検討を行った。

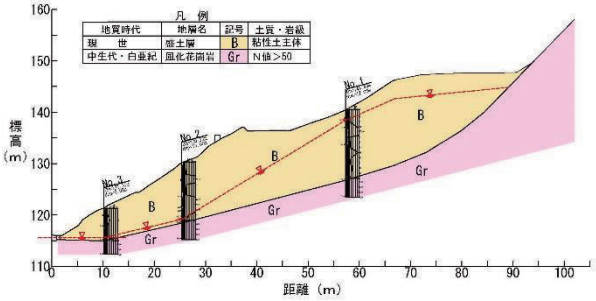


図-7 C地区における地層推定断面図

対策工法としては、安定勾配(緩勾配)を確保するための切土工と盛土層内の水位を下げるための水抜き横ボーリング工や盛土層内への浸透水を少なくするように法肩排水溝、斜面内排水溝、縦排水溝などの表面排水工を提案した。

5. おわりに

分布地層や斜面崩壊の形態が異なる 3 地区でボーリング調査を主として、弾性波探査、パイプ歪計観測、地下水位観測など状況に応じた調査を行い、最適と思われる対策工法を提案した。各地区とも崩壊後の現地踏査や既存資料の検討により必要最小限の調査を行えたものと思っている。斜面崩壊調査においては現地の状況に応じて種々の調査や観測により速やかに対策工法を提案することを今後も行っていきたいと思っている。

《引用・参考文献》

1) KG-NET・関西圏地盤研究会：新関西地盤-近江盆地-, 口絵2, 2014.9
2) 日降雨量は滋賀県土木防災情報システムの観測点「上砥山」の観測データ

【018】

地すべり地形における不安定のり面の変形機構の考察

㈱ダイヤコンサルタント　　○阿部　大志，春口　孝之，東　篤義，辻野　守茂，日小田　稜介

1. はじめに

平成 30 年 7 月豪雨直後，近接する 2 箇所の高速道路切土のり面で変形が顕在化した．本稿では，調査によりすべり面を確認し，変形解析及び対策工の設計を行った事例について示す．

2. 被災時の降雨状況

平成 30 年 7 月 5 日から 7 月 7 日にかけて「平成 30 年 7 月豪雨（西日本豪雨）」が発生し，累積約 450mm の降雨が観測された．（現地設置の雨量計による）

3. A 地点の変形

(1) 概要

事前の変形観察により，地すべり範囲や深さなどを推定していた斜面である．その直後，平成30年7月豪雨で推定したエリアが大変形を起こし，幅約45m の地すべり変形が発生した．（写真-1）

写真-1　豪雨後の A 地点のり面の様子

(2) 変形観察結果

A 地点は高速道路建設時にも変形が発生していたのり面で，その際に鉄筋挿入工，アンカー工、鋼製かご枠工が施工されていた．A 地点の変形解析結果を図-1に示す．

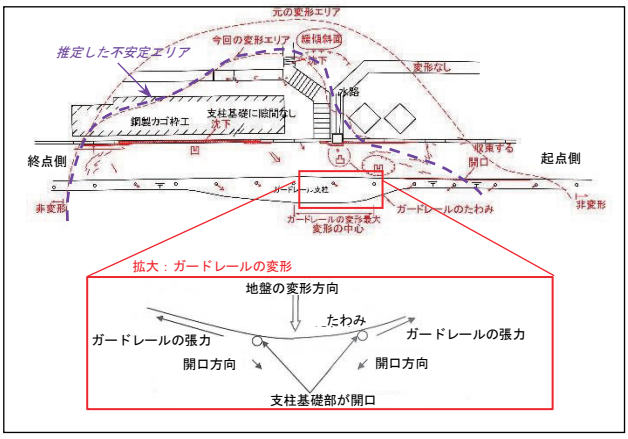


図-1　豪雨前に確認した構造物の変形状況

側道の舗装面では雁行亀裂を確認した他，舗装面の微小な陥没，水路と舗装面との接合部の開口など系統的な変形が認められた．

特に側道の本線側に設置されたガードレールは約20mにわたって本線側に屈曲していた．また，ガードレール支柱には本線側に隙間が形成されているのを確認した．

舗装面の雁行亀裂は，起点側では左ずれ，終点側では右ずれの変形センスを確認した．

本線脇のり面の法尻付近では，僅かではあるが，盛り上がりを確認し，本線脇を末端とする変形形状を推定した．これらの事象から，変形の方向及び範囲を想定した．

(3) 豪雨後の変形状況

平成30年豪雨後の現地観察結果を図-2に示す。雁行亀裂を確認していた地点は，変形により大きく開口し，段差も明瞭となった．また，側道の路面は陥没し，ガードレールの屈曲も明瞭となった．変形の末端と想定していた本線脇のり面に隆起が見られ，この付近にすべり面が抜けあがったことが確認できる．

さらに側道山側の縦排水は，大きく開口し段差が明瞭となった．豪雨前に確認していた，微細な亀裂などの系統的な変形を確認していた箇所に沿って大変形が発生していることがわかった．

つまり，豪雨前から進行しつつあった側道の沈下と本線脇へ跳ね上がる変形が，豪雨に伴い加速し，大変形に至ったものと解釈できる．

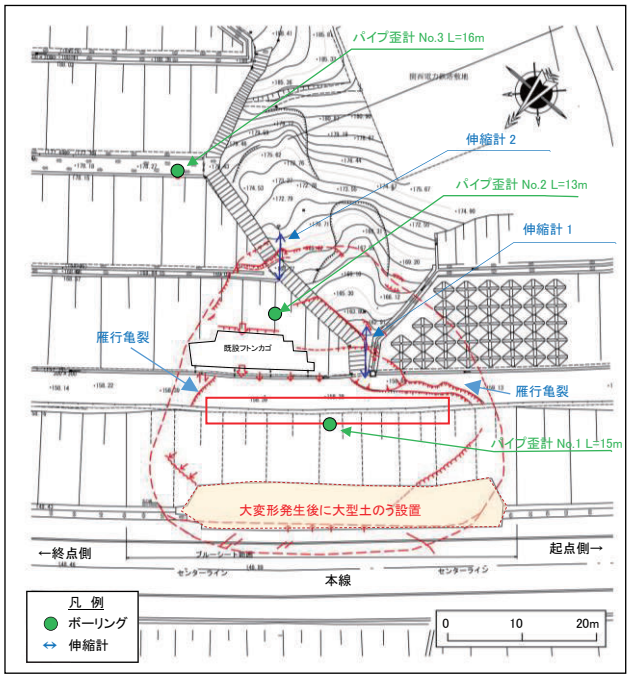


図-2　構造物の変形状況と不安定エリア
（ボーリング調査は豪雨後に実施）

(4) 地質調査及び動態観測によるすべり面の確認

すべり面の確認のため，ボーリング調査を3地点にて実施した．ボーリング調査の結果，および動態観測の結果より総合的に判断し，GL-5.6m 付近がすべり面であると判断した．

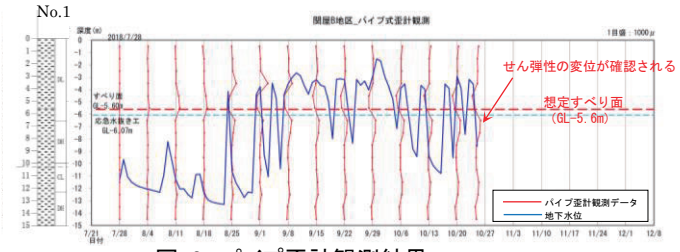


図-3 パイプ歪計観測結果

(5) 対策工施工後

地質調査により，すべり面を特定し，グラウンドアンカー工と地下水排除工による斜面対策を実施した．対策工施工後，約1年間，変形観測をおこなったが、変形は確認されていない．

4. B 地点の変形

(1) 概要

B 地点は高さ約80m，8段の長大のり面である．平成30年7月豪雨の直後，のり面の表層崩壊（幅20m程度）が発生した（写真-2）．こののり面では平成23年台風2号の際にも，のり面の小崩壊が発生していた．

先に発生した小崩壊は，崩壊の輪郭が直線の組み合わせで構成されおり，亀裂系に規制されたくさび崩壊であった．今回の B 地点の崩壊は，先に発生した亀裂系の延長部で発生した．このため再度，地形判読，のり面観察を行い，変形が一定のエリアに集中していることがわかった．

写真-2 豪雨後の B 地点のり面の様子

(2) 不安定エリアの推定

B 地点の切土前の地形図判読結果を図-4に示す．図に示すように，B-1，B-2，B-3の凸状の張り出し地形があることが解った．崩壊箇所は，この中の B-1ブロックに集中しており，施工時の崩壊箇所も B-1の輪郭部に沿っていることがわかった．さらに，のり面の微細な押し出しや小段の変形もこのブロックに集中していることを現地観察により確認した．

この結果より，B-1ブロックが変形している可能性が高いと判断し，詳細な地質調査を実施した．

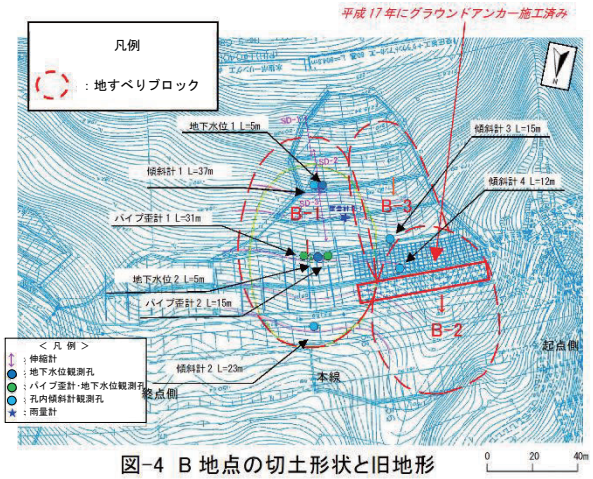


図-4 B 地点の切土形状と旧地形

(3) 地質調査及び動態観測によるすべり面の確認

平成30年豪雨前にボーリング調査を実施し，パイプ歪計を設置し，動態観測を行っていた．平成30年7月豪雨時にはパイプ歪計の GL-5.5m付近にて13,200（μ/月換算）を確認した．

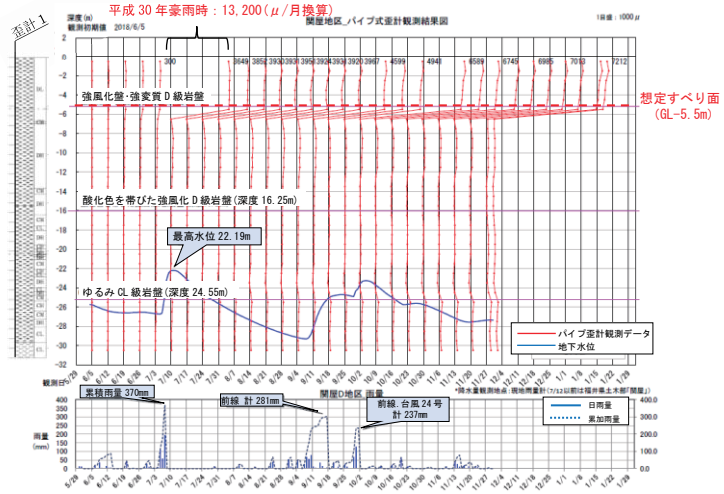


図-5 パイプ歪計観測結果

(4) 対策工施工後

地質調査によりすべり面を特定し，現在，グラウンドアンカー工と水抜きによる対策工が完了している．また，対策工完了後の観測により，変形が収束していることを確認している．

5. まとめ

斜面の変形には，必ずその前兆となる現象がある．変形の前兆をとらえるには現地での詳細な変形観察とその結果を踏まえ，地形判読を実施することが不可欠である．

現地観察結果にもとづく地形判読を行い，再度現地を観察する。これを何度も繰り返すことにより精度の高い変形予測が可能となる．

【019】

令和２年７月豪雨により愛媛県大洲市で発生した土砂災害における地すべり調査事例

（株）ダイヤコンサルタント　○橋之口　剛　春口　孝之　岸本　弘樹　伊藤　通和

1. はじめに

令和2年7月の豪雨により，愛媛県大洲市矢の口地区で，地すべり災害が発生した．

本稿では，発生した地すべり災害に伴い実施した初動調査と応急対策について報告する．

2. 愛媛県における降雨概要

停滞していた前線の影響により，九州から東日本にかけて広い範囲で記録的な大雨が発生した．[1)]

愛媛県では，6月10日から7月14日にかけて断続な降雨が続き，6月と7月の雨量は，それぞれ383mm，483mm に達した。これは2010～2019年に記録した6月，7月の累積雨量342mm，256mm と比較してもかなり多い[2)]．

6月末から降雨が始まり，7月3日から8日に地すべりが発生した．降始めから地すべり発生時までの総雨量は325mm であり，観測後最大時間変異を記録した時点での総雨量は407mm であった[2)]．

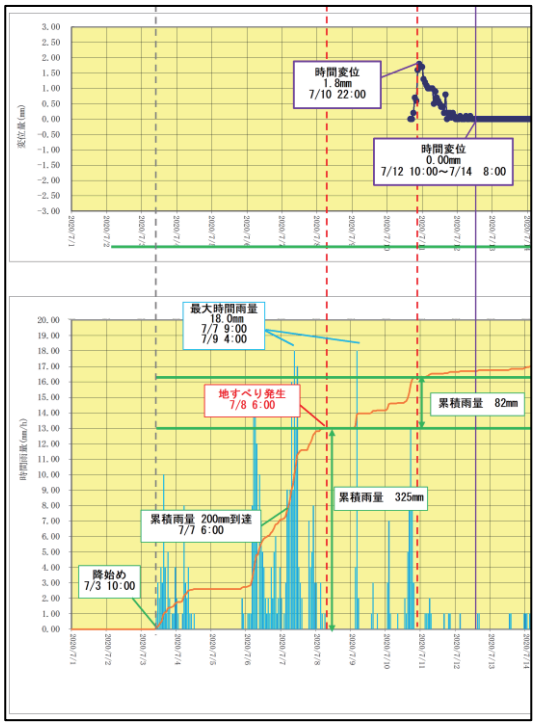


図-1　降雨と変位の関係

3. 災害箇所概要

災害箇所は，一級河川肱川の支流である久米川上流にあたり，河川は南西から北西へ流下している．保全対象人家は6戸である．

4. 初動調査概要

(1) 空中写真判読結果

空中写真判読結果を図-2に示す．当該箇所は凸状に張り出した斜面となっており、この斜面の対岸には、これと対照的な凹状の低地が広がっていることがわかる．

図-2の①の破線で示すかつての河道により右岸斜面が浸食され，足元をすくわれた．このため、斜面は川側へ大きく変形した．この結果河川は対岸へ流路を改変され，地斜面とは対称的な地形が形成された．

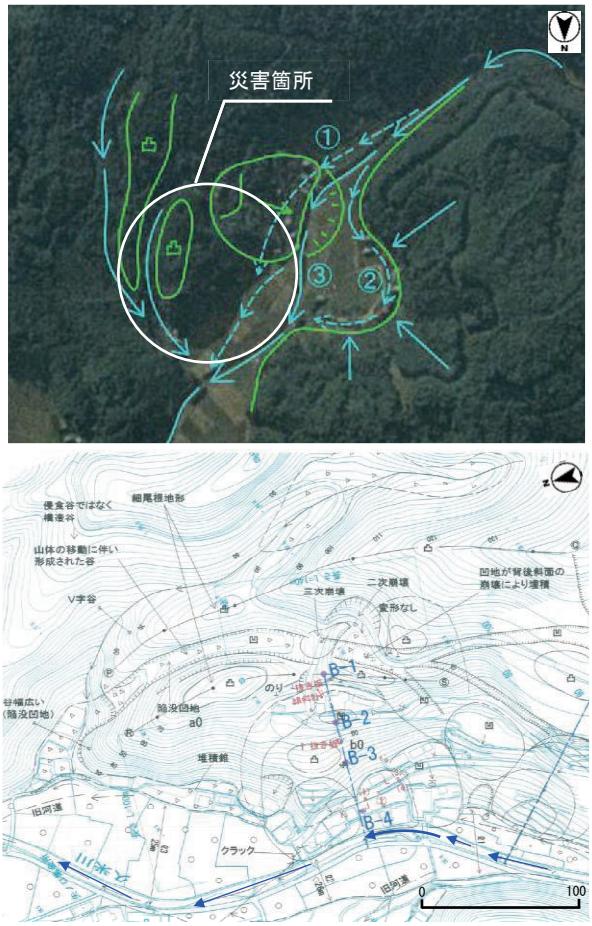


図-2　地形判読結果およびボーリング調査位置図

変状が発生した斜面は，複数の凸状の押し出し地形が確認され，全体として凸状の押出し地形をなしている．

押出し地形の河川上流側は浸食されており，非対称な押出し地形となっている．ただし，押出し地形頭部の川側への張出しは明瞭で，ブロックの変形方向はこの張り出し地形の凸の方向と判断した．つまり現状の斜面は多丘状の凹状台地状地形をなしており，変形がこれまでに何度も繰り返しおこっていることがわかる．地形判読結果及び現地観察結果をもとに地すべり範囲を決定した．

(2) 被災原因および対策工方針

本箇所は図-3に示すように，降雨に連動して変位が拡大する傾向が明確であった．このため，地下水位を下げることで変位を抑えることが急務であると判断した．

さらに，斜面下方の擁壁上部が川側に傾倒しているという事実から，地すべり末端が擁壁位置附近にあると判断した．

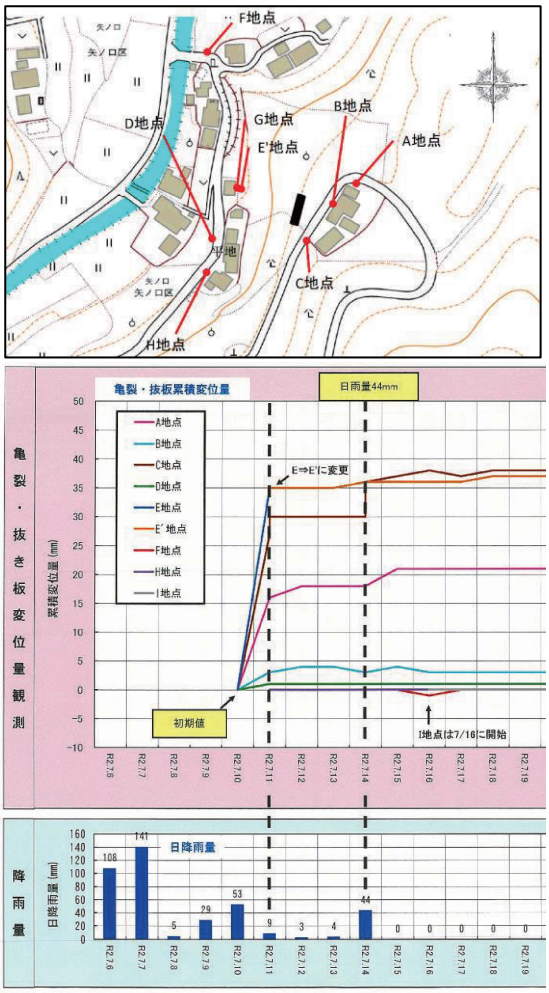


図-3 計測結果と降雨の関係

5. 判読結果の検証

図-2に示す位置でボーリング調査を実施した．また，これと並行し，雨量計，伸縮計，パイプ歪み計及び地下水位計を設置し、動態観測を実施し、ボーリングで推定したすべり面などの検証を行った.さらに計測データは、遠隔自動計測とし、大変形後の変形傾向をリアルタイムに把握した．図-4に示すように B-2孔において地すべり幅の約1/5の深度に相当する約23m に地すべり面を確認し，計測の結果もこの面での活動を示している．また，最下部の B-4には変位が認められないことから，当初想定した擁壁壁面付近を地すべり端部とする地すべり形状であることを確認した．

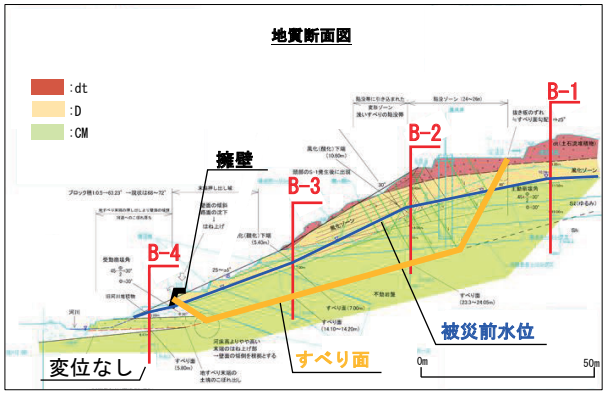


図-4 地質断面図

6. 応急対策工の検証

地形判読結果，踏査結果及び地下水位観測結果から，図-5に示すような地下水供給経路を推定し，これをもとに地下水排水工を実施した．その結果，図-6より地すべり頭部の地下水位が約6m 低下したことを確認した．

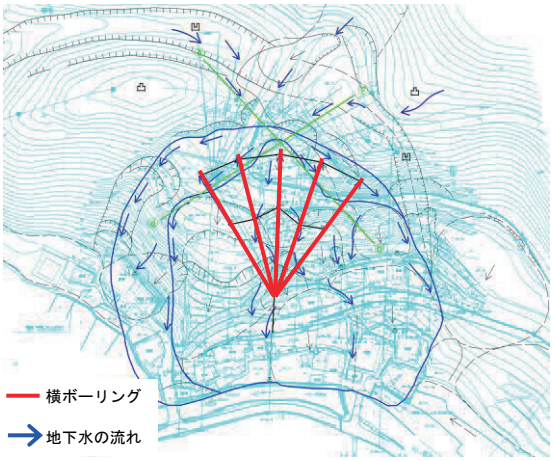


図-5 地下水供給イメージと横ボーリング

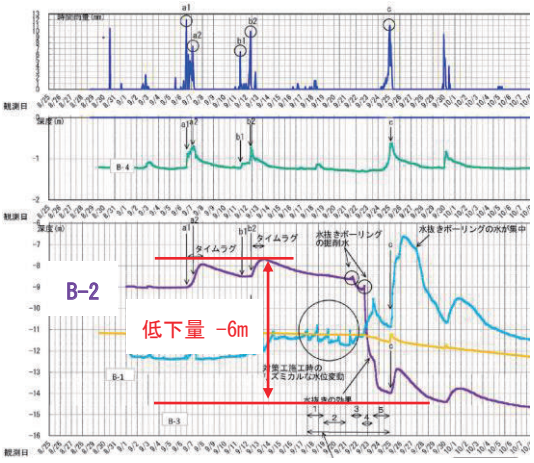


図-6 対策後の地下水位低下状況図

7. おわりに

初動調査で地形を判読することで、的確なボーリング調査が可能となった．また，地形判読結果とボーリング結果、現地観察結果を精度よく行うことで，地下水供給イメージを推定できたことにより,応急対策(横ボーリング工)で非常に効果的な地下水位低下が実現できた.災害時の初動で課題となるのは，地形判読等の解析に使用するデータがそろわないことである．本ケースではこれを補うためドローンを使用し地形画像を取得することで地形判読を効果的に補うことができた．短時間での正確な対応が要求される災害対応に関しては，最新技術を活用し初動調査の精度向上が不可欠であると考える．

《引用・参考文献》

1) 令和2年7月豪雨　　令和2年(2020年)7月3日～7月31日
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/20200811.html
2) 国の水門水質データベース　平野観測所
http://www1.river.go.jp/

【020】

トンネル坑口掘削に伴う傾斜センサーを用いた斜面モニタリング事例

中央開発株式会社　　森　大器

1. はじめに

近年，工事現場の安全管理や構造物の維持管理の一環として，計測機器を用いた遠隔モニタリングの需要が拡大している．

A トンネルの坑口部では，先行調査により地すべりブロックの存在が判明し，トンネル掘削に伴う地すべりブロックの滑動が懸念されることから，2019年3月から傾斜センサーを地すべりブロック内に設置して斜面モニタリングを実施している．

傾斜センサーはトンネル掘削によって坑口背後斜面の表層部に変動が発生した際に，累積傾斜角度や傾斜角速度によりその滑動性を把握することができる．

そこで，本稿では傾斜センサーと地すべりブロックの深部の変動を計測できるパイプ歪計とを組み合わせ，トンネル坑口掘削に伴う地すべりブロック全体の挙動を評価した事例を紹介する．

2. モニタリングの概要

傾斜センサーは，斜面の緩みや地すべり等を要因として徐々に変動する地表面の傾斜角度を経時的に計測するために，トンネル坑口背後斜面に分布する地すべりブロック内に計10箇所設置した．センサーモジュールは，地中50cm 程度の位置に埋設し，地上部には無線通信機を設置した．地盤が変動すれば，地表面が傾斜するため，その傾斜角度（θ）を経時的（標準10分間隔）に測定し，傾斜角度の累積や，傾斜速度の変化等で，地すべり変動の前兆をリアルタイムで把握することができる．

傾斜センサーは地すべりブロックの主測線上付近（K-1，K-2，K-4，K-5，K-7，K-8，K-9，K-10）と，地すべりブロックの末端翼部（K-3，K-6）に設置した（図-1）．

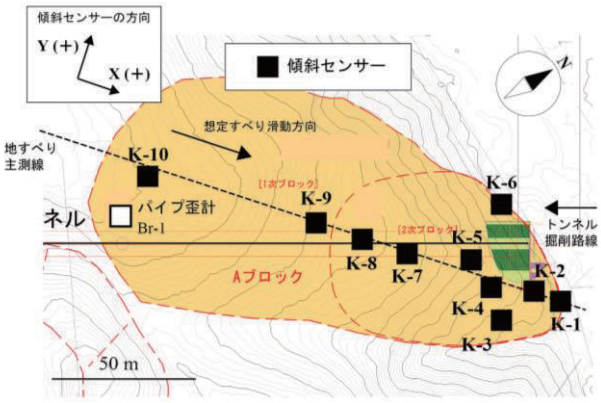


図-1　傾斜センサーの設置位置

3. モニタリング結果

図-2は地すべりブロック内に設置した傾斜センサーのうち，K-5，K-6，K-7，K-8，K-8，K-10の累積傾斜角度の変化図（X 軸・Y 軸）である（9月中旬の空白は欠測）．

モニタリングの結果，2020年6月から8月にかけて，トンネル掘削経路直上付近に設置した傾斜センサーK-5,K-7，K-8，K-9に明瞭な累積角度の変動が認められた．

なお、この期間中に地すべりブロックの末端部の傾斜センサー（K-1・K-2・K-3・K-4・K-6）および地すべりブロックの冠頭部の K-10には累積傾斜角度の顕著な変動は認められなかった．

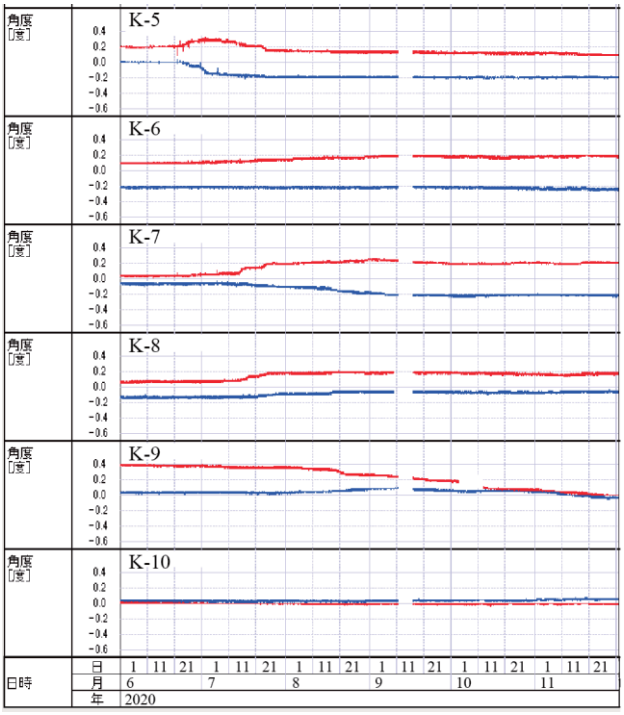


図-2　累積傾斜角度の変化図（2020 年 6～12 月）

4. 検討・考察

(1) トンネル坑口掘削の影響

A トンネル坑口の掘削は2020年6月より開始された．トンネル掘削の進捗と傾斜センサーの変動を比較した結果、傾斜センサーに変動がみられた時期（2020年6～8月）とトンネル掘削の開始時期は一致している．傾斜センサーの分解能（±0.02°）を考慮し，2020年6月1日0時00分00秒の値を基準として±0.05°以上の変動を記録した日を変動開始日とした（図-3）．各累積傾斜角度の変動開始日とトンネル掘削の進捗を比較することで，坑口背後斜面への影響を検討した．

傾斜センサーからトンネル掘削路線までの離隔距離と傾斜センサーと切羽までの離隔距離を比較すると，累積傾斜角度は掘削が傾斜センサーに接近した際に変動していることがわかった（表-1）．トンネル掘削が各傾斜センサー直下周辺を通過後は傾斜センサーの変化の収束が認められることから，2020年6～8月の変動はトンネル掘削による影響であると判断される．

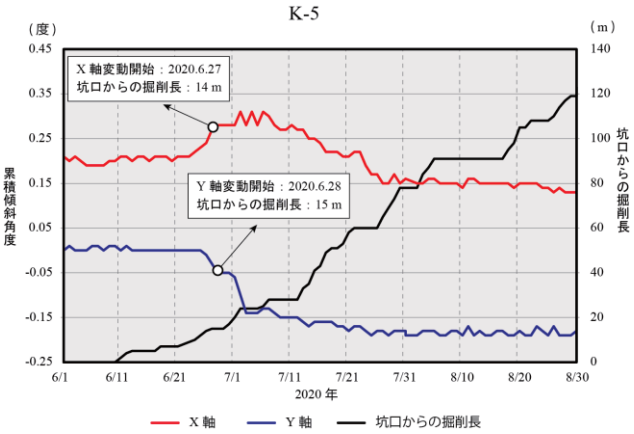


図-3 K-5 累積傾斜角度の変動（2020 年 6-9 月）

表-1 傾斜センサーの離隔距離

	K-5		K-7		K-8		K-9	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
傾斜センサーとトンネル掘削路線との離隔距離（m）	11.26		25.90		29.00		37.92	
傾斜センサーと切羽との離隔距離（m）	11.26	11.28	26.56	35.93	29.74	37.27	40.66	56.84

(2) 地すべりブロックへの影響

トンネル掘削の地すべりブロックへの影響を評価するため，既設パイプ歪計 Br-1の計測結果（図-4）と傾斜センサーの計測結果との比較検討を行った．

パイプ歪計 BR-1はトンネル掘削が近傍を通過した9月中旬から10月上旬頃にトンネル掘削深度に近い深度50～60m付近で顕著な変位がみられた．一方，パイプ歪計に最も近い傾斜センサーK-10には同時期に明瞭な変動は見られなかった．

また，トンネル掘削直上の傾斜センサーK-5，K-7，K-8，K-9に変動が認められた時期には，パイプ歪計 BR-1に変位がみられないことから，傾斜センサーで認められた傾斜角度の変化は地すべり挙動に起因したものではなく，トンネル掘削に起因した局所的な地盤のゆるみの影響であったと考えられる．

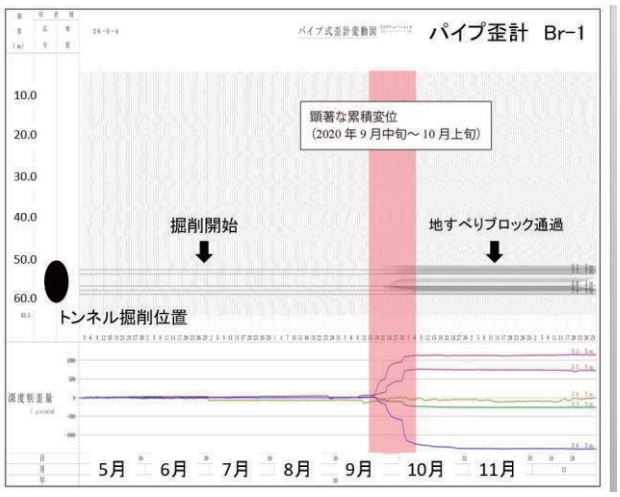


図-4 パイプ歪計 Br-1 変動図
（2020 年 7 月～12 月）

5. おわりに

A トンネルの坑口掘削に伴う傾斜センサーを用いた斜面モニタリングの結果，トンネル掘削路線の直上付近に設置した傾斜センサーの累積傾斜角度の変化は，トンネル掘削の影響であると判断した．また，パイプ歪計の計測結果と比較すると，表層部と深部にそれぞれ発生した値の変化は地すべりブロック滑動に起因したものではなく，トンネル掘削による局所的な地盤のゆるみに起因したものであると推察した．

傾斜センサーはパイプ歪計などの計測機器と比較して設置が容易であり，また安価であるなどのメリットがある．今後同様のトンネル掘削などの現場での安全管理を目的とした傾斜センサーの運用が期待される．

また，本事例のように傾斜センサーを他のセンサーと組み合わせることで変状の推定に活用できる可能性も示された。

【021】

島根県西部に分布する都野津層切土法面における調査・対策事例

(株)エイト日本技術開発　　○近藤　壮，牧岡　健一

1. はじめに

島根県西部には新第三紀鮮新世～第四紀更新世の堆積層である都野津層が分布する。都野津層は半固結の粘土層、砂層、礫層で構成されるが、降雨等による表流水の浸食に対し非常に弱い特性を持つ。そのため、道路切土等の土工において、切土勾配をかなり緩くしたとしても、土砂流出や表層崩壊及び湧水による変状事例が多く報告され、対策検討を余儀なくされている。

本稿では、都野津層の地質的特徴を交えて、都野津層分布域の完成道路法面対策事例の報告を行う。これに加えて、都野津層分布域内のガリ浸食が顕著な造成地切土の調査・対策事例を示す。以上2点の情報を整理し、都野津層分布域での切土施工時における留意点をまとめ、これを報告する。

2. 都野津層とは

島根県江津市都野津を模式地として島根県益田市周辺から島根県大田市周辺と広範囲に分布する新第三紀鮮新世～第四紀更新世の堆積層である[1)]。都野津層は河川が流入する潟湖ないし外浜の環境に堆積した砕屑物堆積物(主に未固結から半固結の礫層・砂層・泥層)から構成されており、中新世以前の地層岩体を不整合に覆う[2)]。

都野津層分布地域では、降雨や地下水の影響を受け、切土法面ではガリ浸食、表層崩壊、土砂流出等の変状が発生している事例が多く確認される(写真-1、写真-2)。

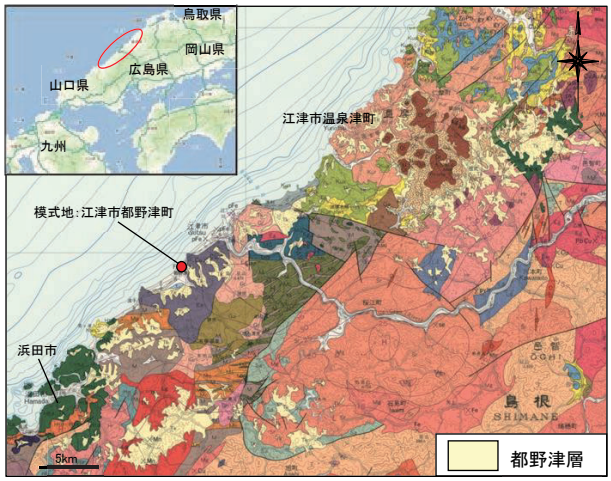


図-1　都野津層分布地[3)]

写真-1　ガリ浸食状況

写真-2　土砂流出状況

3. 都野津層分布域内における道路法面の対策事例

都野津層分布域内における道路法面の対策事例を写真-3～写真-5に示す。

写真-3の地点は切土高5m 以下、切土勾配1割2分の一般的な切土法面であり、表面保護として植生工が行われている。しかし、植生工のみでは切土法面表層の安定が保てず、土砂が流出している様子が伺える。

写真-4の地点は切土高5～10m 程度、切土勾配1割で、法枠工+鉄筋挿入工+水抜きパイプが設置されており、法枠内は石張りされている。切土施工中に表層崩壊が発生した箇所で、湧水も豊富なため、1割の切土勾配法面で安定が保てなかった。そのため、法枠工に加えて、鉄筋挿入工が併用されるなど、複数の対策工が併用されている。

写真-5の地点は切土高10～15m 程度で切土勾配1割8分であるが、法枠工+排水ボーリングがなされている。当該地は切土工・斜面安定工指針[4)]に示さている砂質土の標準法面勾配8分～1割5分(以下標準勾配)よりも緩く切られている。それにも関わらず、法枠工+排水ボーリング孔が施工されているため、非常に軟弱な地質が分布していることが伺える。

この他にも、グラウンドアンカー工やブロック張工が行われている箇所も確認されており、都野津層分布域では、切土勾配を標準勾配より緩くしても、切土法面の安定が保てない場合も確認される。

写真-3　都野津層分布域における道路法面-1(江津市浅利)

写真-4　都野津層分布域における道路法面-2(大田市祖式)

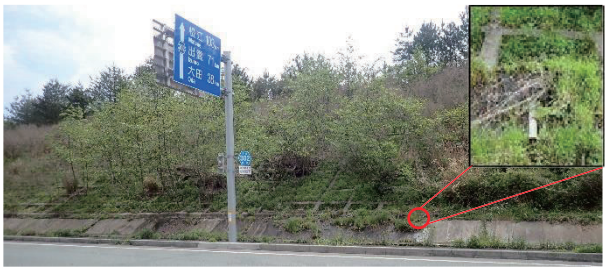


写真-5　都野津層分布域における道路法面-3(江津市浅利)

4. 都野津層分布域内における切土法面対策工事例

(1) 調査概要

都野津層分布域内の造成地切土の調査・対策事例を示す。当地では、既往調査ボーリング結果より未固結の砂質土・シルト層、粘性土層が確認された。そのため、地質的特性を考慮し、標準勾配よりも緩い1割8分の法面勾配が計画されていた。しかし、切土施工中の降雨により砂質土・シルト層部でガリ浸食が広範囲で確認され、緩みの進行による小崩壊が懸念された(写真-6)。法面の地層分布を現地にて確認したところ、砂質土・シルト層と粘性土層が数10cm～数ｍ毎に互層状に堆積しているのが確認された。このため、ガリ浸食が顕著な砂質土・シルト層の緩みの層厚を把握すべく、簡易貫入試験を実施した。調査は切土高が最も高くなる測線1と砂質土・シルト層の分布が広範囲に広がる測線2を対象とした(写真-7)。簡易貫入試験結果より、硬軟区分を行った後、地質断面図(図-2)を作成した。

写真-6 切土法面 ガリ浸食状況

写真-7 現地状況及び簡易貫入試験実施位置

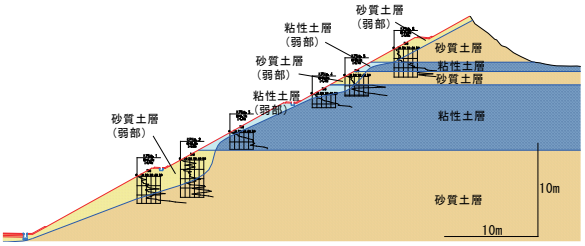


図-2 測線1 地質断面図

(2) 調査結果及び対策検討結果

簡易貫入試験結果より、砂質土・シルト層の緩みの層厚は厚い箇所で2～3m 程度分布しており、緩み層が比較的厚く分布していることが判明した。そのため、無対策のまま放置すると、降雨、表流水及び地下水の影響でさらに緩みが進行し、法面が崩壊することが懸念された。これ以上の緩みを防止するため、簡易法枠工に植生工を併用した対策工法を採用した。法枠施工後は特に変状はなく安定している。

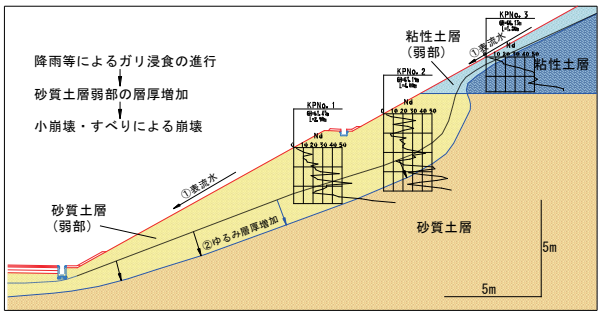


図-3 切土法面 崩壊機構図

写真-8 施工後状況写真

5. 都野津層分布域での切土施工の留意点

都野津層分布域内では、切土施工時に表流水及び地下水の影響を受け、ガリ浸食や土砂流出、小崩壊が発生し問題になるケースが多い。そのため、前述のように標準勾配よりかなり緩く計画した法面でも変状発生事例が認められる。したがって、都野津層分布域内で切土施工を行う場合、切土勾配の検討だけではなく、設計段階から法枠工等の表面保護を検討するとともに、表流水による浸食の防止に努めることが重要であると考える。また、降雨による地下水位上昇に伴い、土が飽和状態に近づくほど粘着力が低下するため、法面の崩壊が引き起こされる可能性も高い。そのため、排水ボーリング等による地下水排除も設計段階で検討することが望ましい。

また、切土高が1段程度と低い場合でも、ガリ浸食に伴う土砂の流出及び表層崩壊を起こしている事例がある。このような場合、切土法面下部にかご工のような排水性に富み、土砂流出を抑制する対策工を検討することが望ましい。

《引用・参考文献》

1) 島根県:島根県の地質,S60.8.1 P121～P126
2) 地質調査所:温泉津及び江津地域の地質,H13.3.23
https://www.gsj.jp/data/50KGM/PDF/GSJ_MAP_G050_12037_2001_D.pdf 一部抜粋（確認日:2021.5.30）
3) 地質調査所:20万分の1地質図福 浜田 S63.3.25
https://www.gsj.jp/Map/JP/geology2-5.html
一部抜粋・加筆（確認日:2021.5.30）
4) 道路土工 切土工・斜面安定工指針 H21.6 P136

【022】

崩壊のり面におけるボーリング調査等による崩壊メカニズムの検討

川崎地質（株）　○川口　慶一郎，　直本　啓祐

1. はじめに

本報告では高速道路の拡幅工事中ののり面崩壊に伴い、のり面対策工法検討に必要な基礎資料を得ることを目的とした調査、検討を行った事例である。

調査地は中央構造線の南側約1.5kmに位置し、周辺には和泉層群が分布している。

当該のり面は20年以上変状もなく安定していたのり面であったが、道路の4車線化に伴い、1:1.2勾配の既設のり面ののり尻を1：0.5勾配に切り直し、ロックボルト施工を行っている最中に崩壊が生じているが、共用道路には影響はなかった。

崩壊発生時の前日には日雨量にして22mm程度の降雨が生じており、崩壊のり面は幅約40m、高さ約18m 程度となる。

2. 調査内容

以下に本調査におけるフロー図を示す（図-1）。

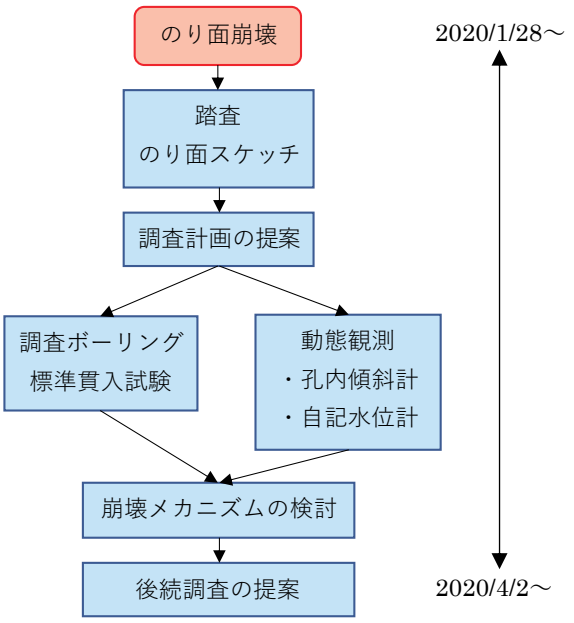


図-1　調査フロー図

本調査では、踏査及び崩壊のり面のスケッチ等を基にボーリング位置の選定を行い、地盤性状の把握を目的としたボーリング調査に加え、ボーリング孔を利用して斜面の地中変位と地下水位を把握するために動態観測を実施し、斜面崩壊のメカニズムの検討を行った。検討結果をふまえ、当該のり面における対策工の考え方および、施工までの監視体制の提案を行った。

3. 調査結果

(1) 踏査およびのり面スケッチ

調査により以下のことが確認された。

①崩壊箇所は幅約40m、高さは約18m 程度で高速道路に対し直交方向に崩壊している。

②のり面周辺には旧地すべり地形と考えられる緩い滑落崖跡が高速道路に対し北東方向へ斜交するが、新規に発生した亀裂は確認されなかった。

(2) 調査計画の提案

地すべりに起因した崩壊での注意点を以下に示す。

①地すべり対策のために対策工の範囲が拡大し、アンカー工法などのより高コストな工法が必要となる。

②梅雨の時期からの降雨量の増加により、崩壊がのり面の背面および周辺に広がること。

上記の注意点をふまえ、以下の調査を提案した。

①のり面内部の性状の把握のため、崩壊箇所と周辺の旧地すべり地形内にボーリング調査孔を配置する。

②ボーリング孔を利用し、地すべり地形とのり面崩壊の２方向に孔内傾斜計観測孔を配置し、地中変位を観測する。

③地山の地下水位の確認のため、崩壊個所とのり面背面側に地下水位観測孔を設置し、観測を行う。

調査結果をふまえ調査計画図を以下に示す（図-2）。

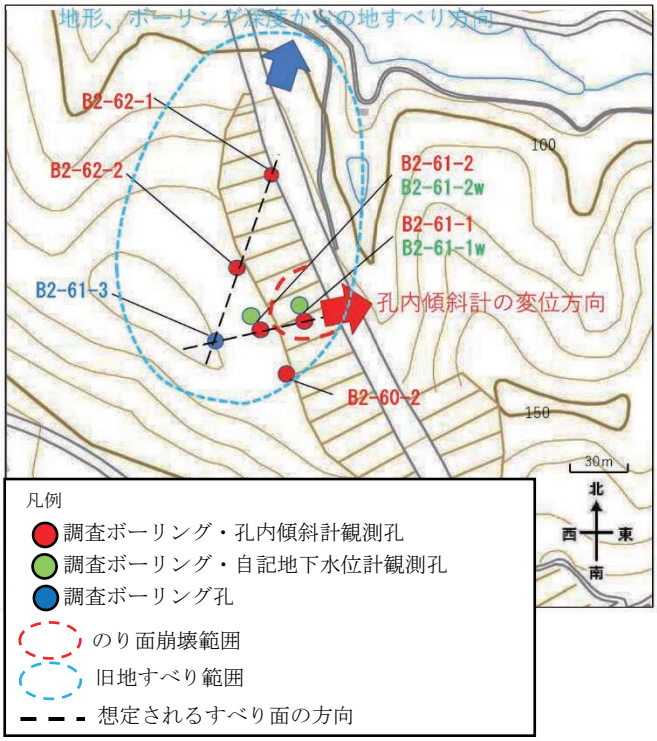


図-2　調査計画図

(3) ボーリング調査

崩壊個所の南側を境界として、のり面全体を覆う旧地すべりブロックと推定される境界面が確認された。

風化岩を主体とする地すべり土塊と新鮮岩を主体とする不動岩盤が確認し、境界部には礫混じり粘土が確認した（写真-1）。

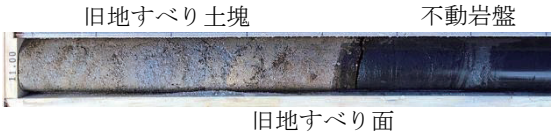


写真-1 のり面内部の状況（ B2-61-2）

(4) 動態観測結果

①挿入式孔内傾斜計観測

動態観測結果から、崩壊個所での地中変位は高速道路に対し直交方向で、時間をかけて徐々に変位量が小さくなる傾向を確認した（B2-61-1）。

また、崩壊箇所から離れた箇所で設置した観測孔には地中変位は確認されなかった。

②自記地下水位観測

背面地山の地下水位は降雨に鋭敏に反応し、日雨量38㎜で最大で7m 程度上昇している。

4. 考察

(1) 素因と誘因

のり面崩壊の素因と誘因は以下のことが挙げられる。

素因：のり面は旧地すべり土塊の中心に位置する可能性があり、軟質な岩組織で不明瞭なものが分布していた。また、旧地すべり面の端部がのり尻付近に分布していた。

誘因：切土により末端部を除去したことで斜面が不安定な状態となり、降雨により背面地山の地下水位が上昇し、斜面崩壊が発生したと考えられる。

(2) 崩壊のメカニズム

以下に崩壊のメカニズムを示す（図-3）。

①掘削によりのり尻の一部に旧地すべり面が分布していた。

②降雨によりのり面背面の地下水位が上昇したことにより、のり尻部分に旧地すべり面が存在した部分へ地下水が集中した。

③切土の崩壊後、上方に崩壊が進み、安定勾配まで崩壊した時点で崩壊が止まったものと判断される。

崩壊土砂の最終勾配は1：1.2程度であり、施工前の安定していたのり面勾配とほぼ同じである。

5. まとめ

(1) 調査結果

調査・検討結果により以下のことが判明した。

・のり面周辺に旧地すべり土塊（軟質な岩組織）と不動岩盤（泥岩）が分布していた。

・旧地すべり面がのり尻付近に分布していた。

・少量の降雨でも地山水位が上昇しやすい地盤であった。

以上のことから、切土施工でのり尻付近が除去され、降雨により地山水位が上昇し、斜面が不安定化したことによりのり面の崩壊につながったと判断した。

(2) 監視体制の提案

対策工が施工されるまでの監視体制として以下のことを提案した。

・定期的な地中変位および地下水位観測の継続。

・当該のり面周辺にばらまき型傾斜計を設置し、地表面の変位をリアルタイムで監視する。

また、対策工については崩壊箇所の切土（安定勾配で切り直し、アンカーでの補強）が検討されている。

(3) 今後の調査について

現場施工に伴い、観測以外にもスケッチ等を行うことを依頼されている。崩壊箇所の掘削時の状況や対策の工施工状況を確認できることから、のり面の性状、地質状況等を調査結果との比較を行い、技術者としての知見を深めたい。

《引用・参考文献》

1) 国交省：水文水質データベース
http://www1.river.go.jp/（確認日：2020. 6. 5）

2) 理工図書:地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル, pp. 107～168, 2010. 7

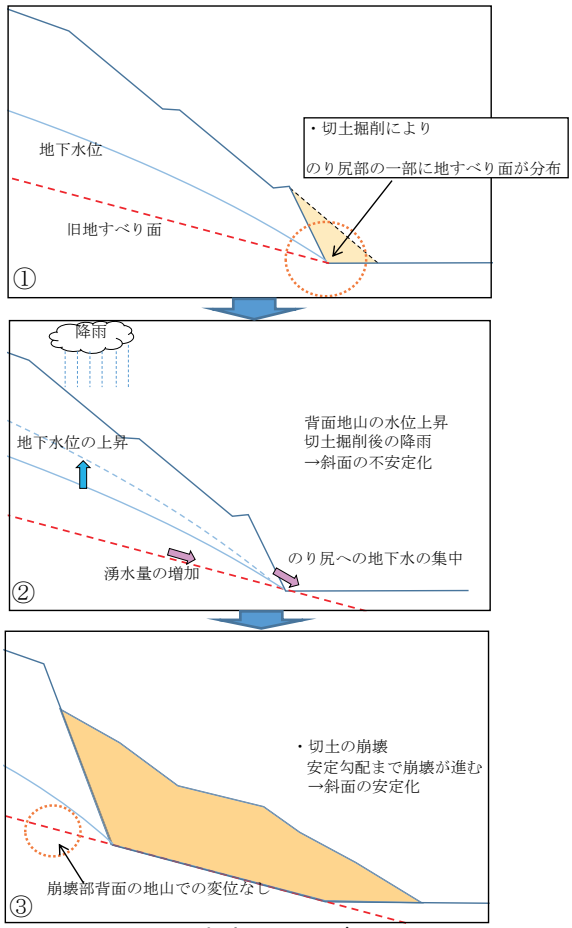


図-3 崩壊のメカニズム

【023】

結晶片岩分布地域における裸地率の高い切土のり面条件と裸地化による変状発生メカニズム

基礎地盤コンサルタンツ株式会社　○高林　健太，望月　敦人，近藤　光広
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社　関口　将司

1. はじめに

紀勢自動車道の勢和多気 JCT～紀勢大内山 IC 間は、紀伊半島東部の志摩半島の付け根を南北に横断しておりトンネル区間が多い路線である。

この区間の切土のり面では、のり面の植生工の定着が悪く、地山が露出している箇所（以下、裸地と呼称する）が多く認められている。のり面の裸地化が進行すると、地表面浸食が促進され、表層崩壊等が発生する危険が高まることが懸念される。本発表では、紀勢自動車道の勢和多気 JCT～紀勢大内山 IC 間における切土のり面の裸地化の原因とメカニズムについて報告する。

2. 地質概要

紀勢自動車道の勢和多気 JCT～紀勢大内山 IC 間では、三波川帯の結晶片岩が分布する（図-1）。

三波川帯は、中央構造線に沿う西南日本外帯にほぼ連続して分布する高圧低温型の変成帯であり、主に結晶片岩（黒色片岩、緑色片岩）・苦鉄質片岩からなる。調査地域では、主に黒色片岩が分布する。黒色片岩は泥質岩起源の低変成度の岩石であり、片理が発達しているため剥離性が高い特徴を有する。このため、切土による応力開放に伴って、片理面で剥離しやすく、板状・ブロック状・細片状に崩れやすい。また、片理面沿いに地下水が浸透することで、風化が促進されやすい特徴がある。

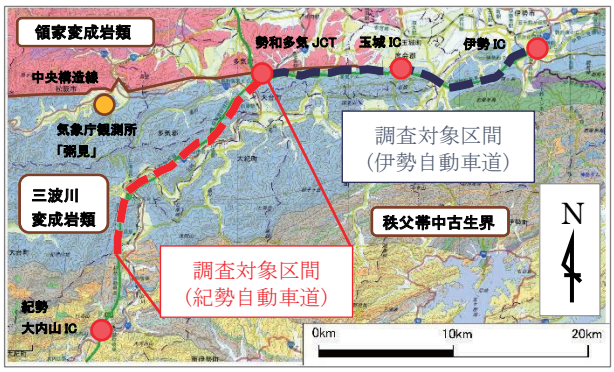


図-1　調査地域周辺の地質図 [1)]

3. 調査内容

紀勢自動車道の三波川帯結晶片岩分布区間（勢和多気 JCT～滝辺 TN 北坑口間）にある切土のり面を対象に、分布する地質とその構造・風化の程度・変状の発生・湧水の状況を把握するための現地調査を行い、切土偶数段目では硬度測定・簡易 pH 測定を実施した。

また、紀勢自動車道に隣接し、同様の結晶片岩が分布する伊勢自動車道の勢和多気 JCT～伊勢 IC 間についても、比較のため各種調査を行った。

調査地域周辺の気象状況については、気象庁観測所(粥見)の2010～2019年の10年間の観測記録を取りまとめた。また比較のため、名古屋気象台における結果も合わせて取りまとめを行った。

4. 調査結果

(1) 気象状況

調査地域の年間降水量はばらつきがあるものの10年平均で2,230mm/年、最大日降水量は200mm 以上の年が多く、降雨が多い地域である。また月別降水量では、6～10月に降水量が多い傾向にあることが確認された。

調査地域の風向きは、年間を通して西北西～西南西の風が多いが、降雨の多い6～10月に注目すると、南～南南東の風向きが多い傾向にある。よって、降雨期(6～10月)の雨は、南向き斜面に対して強く降っていると想定される。

(2) 現地調査結果

土壌硬度は、裸地箇所で 11～40mm, 植生箇所で 9～40mm を示し、裸地箇所と植生箇所による土壌硬度の差は認められなかった。また、pH は裸地箇所で 4.1～8.9, 植生箇所で 4.4～8.7 を示し、土壌硬度同様に裸地箇所・植生箇所の差は認められず、土壌硬度・pH は、裸地・植生試料を区分する指標にはならなかった。

のり面全体の裸地が多い状態の切土のり面（本発表では裸地率60%以上とした）は、紀勢自動車道で調査を行った67のり面のうち5のり面で確認された(図-2)。また、5のり面は全て南向き斜面であり、片理面の見かけ傾斜が受け盤構造を有していた。

さらに、南向き斜面かつ受け盤構造ののり面について、のり面勾配別の裸地率を見ると、のり面勾配1:1.2(40°)以上かつ5段以上ののり面で、裸地率60%以上の箇所が多く見られることが確認された(図-3)。

以上より、のり面全体の裸地率60%以上の切土のり面は、表-1に示す4条件を満たす切土のり面であることが確認された。

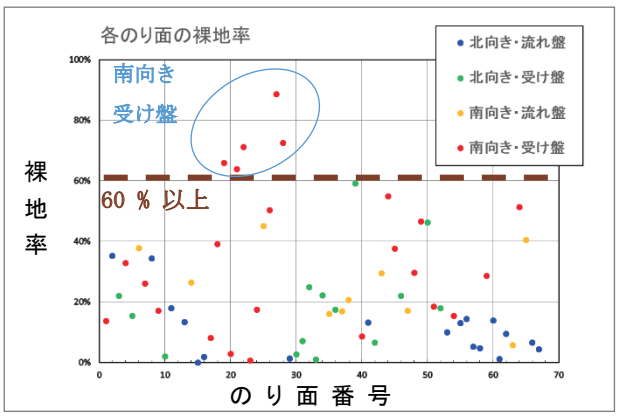


図-2 各のり面の裸地率

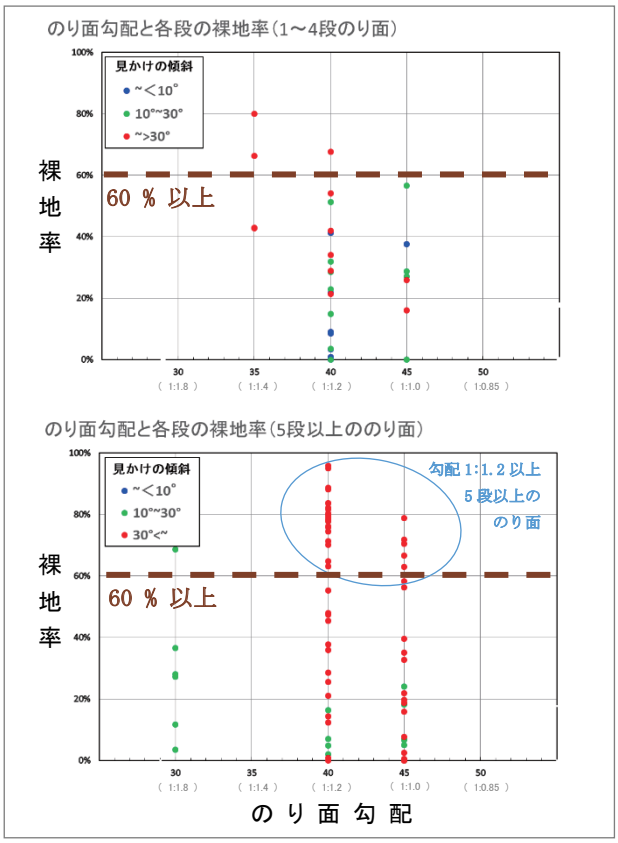


図-3 のり面勾配と各段の裸地率(南向き・受け盤)

表-1 裸地率の高い切土のり面の 4 条件

	条件	原因と影響	備考
1	南向き斜面	降雨期(6～10 月)の強い雨と長時間の日射により、風化および地表面浸食が助長される。	図-2
2	高角受け盤	流れ盤や低角受け盤に比べ、地表水が片理面に浸透しやすいため、風化が促進される。	図-2 図-3
3	5段以上ののり面	下部で露出した新鮮岩が、急激な応力開放により片理面や亀裂の発達が進行し、植生の定着を阻害する。	図-3
4	のり面勾配 1:1.2 以上	急勾配ののり面は新鮮岩が露出しており、亀裂が発達し植生の定着を阻害する。	

(3) 伊勢自動車道の調査結果

伊勢自動車道では、いずれの切土のり面でも裸地率が 0～1.9%と低く、紀勢自動車道で確認された「裸地率の高い切土のり面の 4 条件」を全て満たすのり面は確認されなかった。また、土壌硬度・pH についても、紀勢自動車道の結果と差は認められなかった。よって、紀勢自動車道の調査結果から設定した「裸地率の高い切土のり面の 4 条件」は、妥当であると評価した。

5. 裸地化による変状発生メカニズム

調査結果より、切土のり面の裸地化による変状発生メカニズムについて、以下のように推察した。

①5 段以上の急勾配（1:1.2 以上）のり面の施工
（特に第 1 のり面等が、新鮮岩の急激な応力開放により片理面や亀裂の拡大・発達）
②植生基材吹付、緑化が進行（根の伸長：特に春から夏）
③根の伸長期（定着前）に強い雨量強度・長い降雨日数により植生基材の流出
④地表面の風化進行、地表水浸透で片理面や亀裂の拡大
⑤片理面の剥離等（細片化・ブロック化）の促進
⑥植生の根が切れることで定着できず（緑化の衰退）
⑦降雨等により④～⑥を繰り返す
⑧植生基材の流亡、ラスの腐食
⑨裸地化の進行
⑩地表面のさらなる風化進行
⑪表層崩壊やブロック状岩塊の抜け落ち等の発生

6. まとめ

結晶片岩が分布する紀勢自動車道の当該区間において、裸地率の高い切土のり面は、4 条件を満たしていることが確認された。今後、すでに裸地率の高い切土のり面や 4 条件を満たすのり面で対策を行っていくことが望まれる。

また、現状では裸地率の低いのり面も、いずれ裸地化し変状が発生することが懸念されるため、これらのり面も対策が必要と考える。

《引用・参考文献》

1) 地質図 navi、シームレス地質図 V2
https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#10,34.44113,136.27101(確認日:2021.05.21)

【024】

現地計測に基づく斜面崩壊時の雨水浸潤挙動の推定

（株）ダイヤコンサルタント　　○柳田寛，坂東聡，鏡原聖史，岡崎敬祐
兵庫県森林林業技術センター　　藤堂千景

1. はじめに

近年、集中豪雨の増加により、各地で斜面災害が多発している。降雨時の斜面崩壊では、表層すべり型崩壊が多く、雨水の浸透による土塊自重の増加や土のせん断強度低下、湧水によるパイピングなど地下水に起因した発生が考えられる。したがって、斜面災害の発生条件や場所を予測し、適切な対策工を実施するためには、雨水の浸透挙動を把握することが不可欠である。

深川ら[1)]は、テンシオメータを用いて斜面における地下水流動を調査し、降雨条件の違いによる浸透挙動への影響を考察している。しかしながら、斜面内の地下水の流れは、降雨の鉛直浸透と斜面に沿った地下水流動の両方が存在するため、複雑な流れ場を形成しており、現象を理解するためには同時に2方向あるいは3方向の流れを考えなければならない。

本報告では、鉛直方向の降雨浸透が存在しない被覆工直下において、現地計測結果を再現できる水理条件を検討することで、2次元断面における斜面に沿った流れに着目した。さらに、検討した水理条件を別の斜面に適用することで、降雨条件や地形による斜面の水分状態の違いを考察し、豪雨時の崩壊に寄与する土中内の水分状態の推定を行った。

2. 崩壊地の概要

本報告における調査地は、神戸市北区有野町唐櫃に位置する山腹斜面で、調査地1～3は南西向き、調査地4は北西向きの自然斜面である（図-1参照）。調査地の表層は、花崗岩が風化したマサ土が分布していた。調査地1は、2014年8月豪雨により崩壊しており、2次災害防止のための応急対策として、崩壊地をビニールシートで覆う被覆工が施されている[3)]。また、調査地2、3は、調査地1と同様に2014年8月豪雨により崩壊しており、崩壊後の状況のままである。調査地4は、2018年7月豪雨により崩壊した。降雨の特徴として、2014年8月豪雨は、短時間に強い降雨（総雨量500mm、最大時間雨量80mm）[4)]があったのに対し、2018年7月豪雨は、弱い降雨が長時間継続（総雨量600mm、最大時間雨量30mm）[4)]した点が挙げられる。

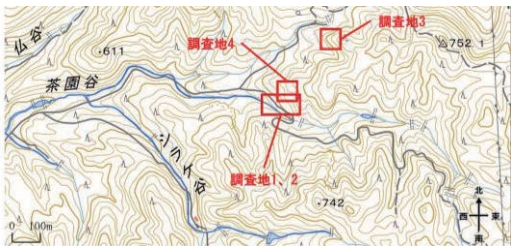


図-1　調査地[2)]に加筆

3. 現地計測結果の再現解析

調査地1において、被覆工が施された崩壊後の斜面をモデル化し、飽和・不飽和2次元浸透流解析を実施することで、被覆工の直下（図-2、C-1）の現地計測値の体積含水率の変化に整合する水理定数を検討した。降雨条件は、2020年7月における現地計測値[5)]を用いて設定した。被覆工はC-1のGL-0.2m のセンサの反応がまったくないことから、降雨の地下浸透を完全防止していると考え、被覆工に降った雨水は被覆工の下流に浸透させた。

水理定数のうち、透水係数は室内試験結果および現地計測の体積含水率の反応から推測した値を使用した（表-1参照）。岩盤層は難透水性と考え、崩壊土層下部を不透水境界とした。有効間隙率および比貯留係数は室内試験結果および既往検討から設定した。

表-1の透水係数を調査地1の解析モデルに設定し、浸透流解析を実施した。図-3に被覆工直下における体積含水率の現地計測値および数値解析結果を示す。現地計測結果は、被覆工直下でもまとまった降雨後すぐに体積含水率が上昇しており、斜面に沿った流れ場が想定される。なお、現地計測値は土壌水分計から出力された電圧値をメーカー公表の校正式を用いて変換しており、現地斜面の体積含水率と必ずしも一致しないため、絶対値での議論はせず反応のタイミングに着目した。透水係数に室内試験値を使用したケース1では、降雨による体積含水率の反応を模擬できなかったのに対し、降雨と現地計測値の反応のタイミングから推定した透水係数を使用したケース2では、これを再現できる結果が得られた。

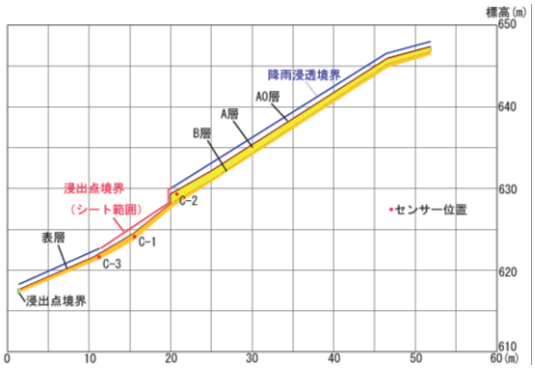


図-2　調査地1の解析モデル

表-1　解析ケース

地層名		透水係数(m/s)			
		ケース1 室内試験値		ケース2 現場計測値から推定	
		水平	鉛直	水平	鉛直
A0層	植生層	5E-5	5E-5	1E-2	1E-3
表層	崩壊箇所の表層	1E-4	1E-4	1E-3	1E-3
A 層	崩壊土層（根系侵入あり）	1E-4	1E-4	1E-2	1E-3
B 層	崩壊土層（根系侵入なし）	1E-4	1E-4	1E-3	1E-3

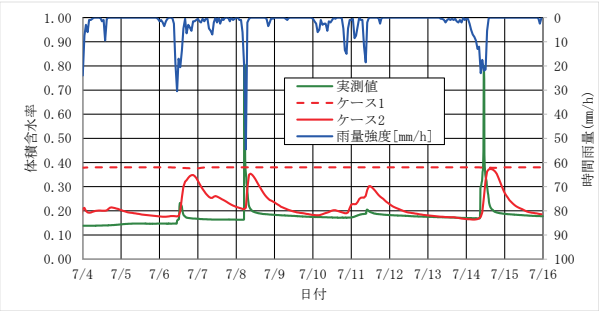


図-3 体積含水率の経時変化(C-1、GL-0.8m)

4. 崩壊時の飽和度分布の予測解析

調査地1の再現解析で得られたケース2の水理条件を調査地4に適用し、2014年8月豪雨時（非崩壊）および2018年7月豪雨時（崩壊発生）の飽和度分布の予測解析を実施した。なお、降雨条件は、水文データベースの有馬川における計測値を使用した[4]。調査地4は、調査地1～3と比較し、崩壊土層が厚く、傾斜が途中から緩やかになる特徴がある（図-4参照）。そのため、雨水が降雨後も傾斜の緩やかな領域に保持される様子がみられた（図-5参照）。図-5の矢印の位置における水位の経時変化を図-6に示す。水位の最大値は2018年7月豪雨のほうが高く、また水位の高い状態が長く継続する結果となった。斜面崩壊に至る前に、斜面内は飽和状態に長時間さらされていると考えられており、壇上ら[6]は計測地点で最初に飽和帯が形成されてからの継続時間と降雨強度の関係を考慮した雨量指標を用いることで崩壊の予測精度が向上されると報告している。本調査地においても、水位上昇後の継続時間の差異と崩壊発生の有無には関連性が示唆される。

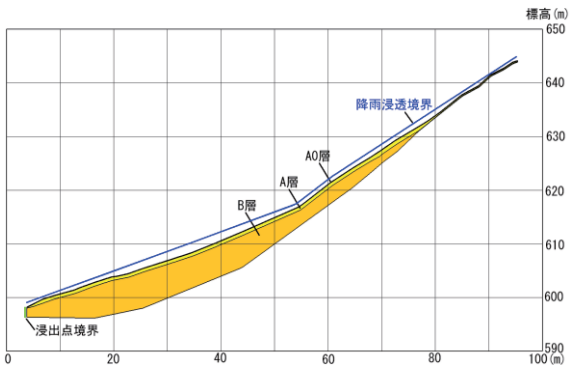


図-4 調査地4の解析モデル

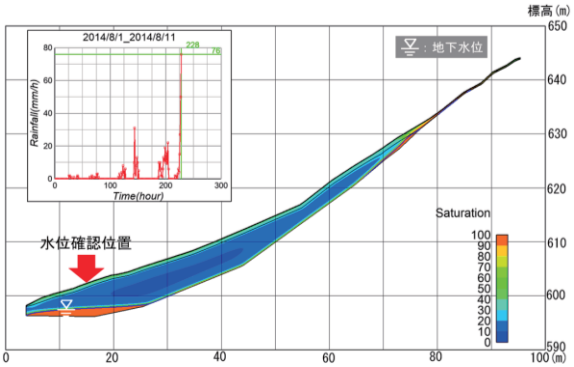
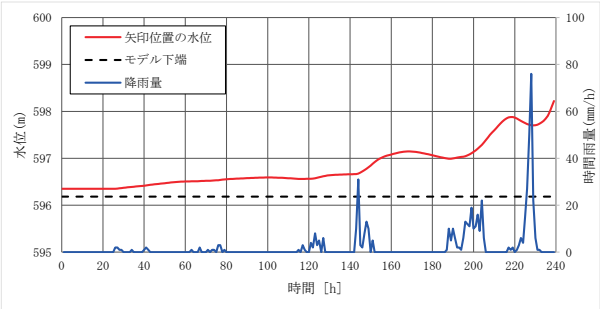
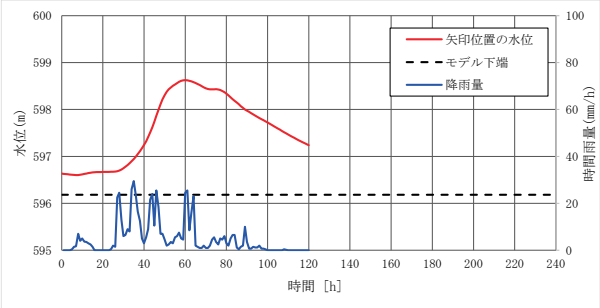


図-5 調査地4における飽和度コンター
（2014年8月最大降雨時）



(a)2014年8月豪雨時（非崩壊）



(b)2018年7月豪雨時（崩壊発生）

図-6 調査地4における水位変化

5. おわりに

降雨に対する被覆工直下の現地計測された体積含水率の反応のタイミングに整合するように水理定数を設定し、飽和・不飽和2次元浸透流解析による飽和度分布の推定を行った。その結果、降雨条件の違いにより地下水位の高い状態が継続する時間に差異が発生し、これにより崩壊発生の有無が分かれたことが推察された。

《引用・参考文献》

1) 深川ら:降雨時斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地多点モニタリング、歴史都市防災論文集、Vol.2、pp.99-104、2008
2) 国土地理院 HP: https://maps.gsi.go.jp/#16/34.780100/135.235147/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c0j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0 (2021.6.1 閲覧)
3) 鏡原ら:崩壊地に設置した被覆工の雨水浸透防止効果、Kansai Geo-Symposium2020、pp.221-226、2020
4) 国土交通省水文水質データベース(有馬川観測所): http://www1.river.go.jp/cgi-bin/SiteInfo.exe?ID=101611286612250 (2020.3.9 閲覧)
5) 高橋ら:神戸市北区有野町を対象にした土壌水分計測と飽和・不飽和浸透流解析による評価の事例、砂防学会研究発表会概要集、pp.537-538、2021
6) 壇上ら:テンシオメータの計測結果を加味した雨量指標による計測斜面での斜面崩壊予測精度向上に関する検討、土木学会論文集 C(地圏工学)、Vol.77、No.1、pp.87-102、2021

【025】

挿入式孔内傾斜計ガイド管のねじれ測定の精度向上に向けた取り組み

応用地質㈱　　○堂井百花，千葉伸一，伊藤義行

1. はじめに

地すべり対策の検討には，すべり面の深度や変位方向の把握が必要である．それらの情報を把握するための調査手法の一つとして挿入式孔内傾斜計がある[1)]．孔内傾斜計計測では，測定方向をガイドするための溝を有するガイド管が必要となるが，この溝が深度方向に適切な方位（主側線）に向いて設置されているか確認する必要がある．方位の確認は，方位磁石を用いて行われている場合があるが，この測定値にばらつきが生じることがある．ばらつきの要因の一つとしては，深尺のガイド管の設置時にガイド管と共に設置される吊り下げ用のワイヤが磁性を有するためと考えられている[1)]．

本発表では，ガイド管の設置時に使用する複数種類の吊り下げ用ワイヤを用いた場合の方位測定実験を行い，ワイヤの種類と方位測定データに与える影響について得られた知見を述べる．

2. 実験方法

実験は，鋼材などの磁性体を含んだ建築物から数十メートル以上離れた平地に位置する内径φ110mm の塩ビ管からなる検定孔で行った．検定孔には，表-1 に記載の条件でアルミ製のガイド管を 5.85m まで挿入した．そのガイド管の溝の方向を図-1 に示す．ねじれ測定器（Q スコープ方式）を用いて，図-2 に示すような方位画像を 0.5m 毎に撮影する方式で測定した．

実験では，初めにワイヤなしの状態で測定し，バックグラウンドの位置づけで方位を記録した。次に A～D ワイヤをガイド管に沿わせて撮影した．なお，A0 方向は図-1 に示した位置関係に設定し，ガイド管挿入時は A0 方向が常に一定となるよう留意した．各ワイヤの写真を図-3 に，測定時の状況を表-2 に示す．

表-1　各条件とワイヤの仕様

条件	
ワイヤなし	ガイド管のみ
A ワイヤ	φ2mm 鉄製，3 回測定
B ワイヤ	φ2mm ステンレス製(材質：SUS304)
C ワイヤ	φ3mm ステンレス製(材質：SUS304)
D ワイヤ	φ3mm ステンレス製(材質：SUS316)

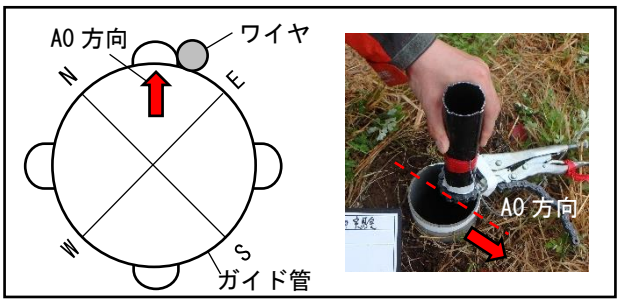


図-1　ワイヤ設置状況、ガイド管挿入状況

図-2　方位画像(ワイヤなし、GL-0.5m 地点)

図-3　ワイヤの外観

表-2　測定時の状況

条件	測定状況
ガイド管のみ	6mのガイド管を挿入し、初期値を測定。
Aワイヤ1回目	5m以深で方位磁石がぶれる。
Aワイヤ2回目	変化なし。
Aワイヤ3回目	2～2.5m、5～5.5mで方位磁石がぶれる。
Bワイヤ	変化なし。
Cワイヤ	変化なし。
Dワイヤ	変化なし。

3. 実験結果

撮影した画像を方位解析ソフト(Q スコープビューアー)を用いて方位を解析し，ばらつきの程度を把握した．方位は-0.5m を0° とした場合の相対的な方位の変化量とした．各条件の A 軸の方位のグラフを図-4に，深度毎の方位や方位の標準偏差を表-3に示した．各条件の測定結果の概要を以下に述べる．

(1)ワイヤなし(バックグラウンド)

A0方向は， GL-1.50～2.00m，GL-3.50～5.85m の間で2° のわずかな方位の変動が確認できた．

(2) A ワイヤ（φ2mm 鉄製）

A ワイヤではワイヤの区間を変えて3回測定を行った．1回目は GL-4.50～5.85m の間で方位の変動が確認され，GL-5.00m で最大53° の変動が生じ，2回目は-6～3° のわずかな方位の変動，3回目は GL-1.50～3.50m，GL-4.50～5.85m の間で方位の変動が確認され，GL-2.00m で最大45° のずれが生じた．

(3) B ワイヤ（φ2mm ステンレス製 材質：SUS304）

A0方向は， GL-1.00～1.50m，GL-2.50～3.00m，GL-4.00～5.85m の間で方位の変動が確認され，最大で GL-1.00m の3° のずれが生じた．

(4)C ワイヤ（φ3mm ステンレス製 材質：SUS304）

A0方向は， GL-1.00～3.50m，GL-4.50～5.85m の間で方位の変動が確認され，最大で GL-2.50m の8° のずれが生じた．

(5)D ワイヤ（φ3mm ステンレス製 材質：SUS316）

A0方向は GL-1.00～5.85m の間で方位の変動が確認され，最大で GL-1.50m の4° のずれが生じた．

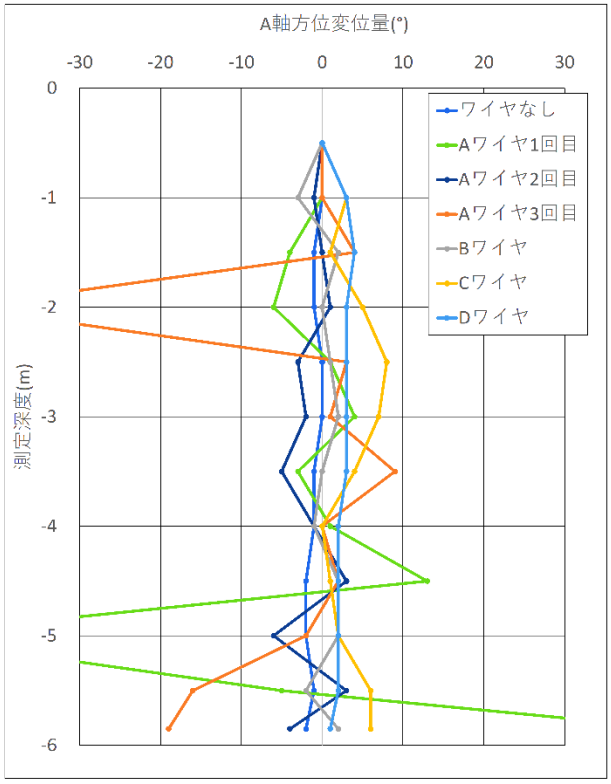


図-4 A 軸の方位グラフ

方位の標準偏差はガイド管のみが0.76と最も小さく，次いで D ワイヤ，B ワイヤが小さい．それに対して A ワイヤの1回目が20.44，3回目は14.22と大きい．

表-3 方位測定結果一覧表

測定深度(m)	ガイド管のみ	Aワイヤ1回目	Aワイヤ2回目	Aワイヤ3回目	Bワイヤ	Cワイヤ	Dワイヤ
-0.5	0.0	0	0	0	0	0	0
-1.0	0.0	0	-1	0	-3	3	3
-1.5	-1.0	-4	0	4	2	1	4
-2.0	-1.0	-6	1	-45	0	5	3
-2.5	0.0	1	-3	3	1	8	3
-3.0	0.0	4	-2	1	2	7	3
-3.5	-1.0	-3	-5	9	0	4	3
-4.0	-1.0	1	-1	0	-1	0	2
-4.5	-2.0	13	3	2	2	1	2
-5.0	-2.0	-53	-6	-2	2	2	2
-5.5	-1.0	-5	3	-16	-2	6	2
-5.85	-2.00	44	-4	-19	2	6	1
標準偏差	0.76	20.44	2.77	14.22	1.66	2.69	1.03

以上の結果から，ワイヤの磁性が与える影響について明らかになったことを述べる．

①非磁性であるステンレスワイヤ（材質：SUS316）の方位のばらつきが最も少なく，次いで2mm のステンレスワイヤ（材質：SUS304）である．

②鉄製ワイヤとステンレス製ワイヤでは，方位のばらつきに差が生じている．

③ステンレスワイヤ（材質：SUS304）はばらつきが相対的に小さいが，径が2mm に対し3mm の方が方位のばらつきが若干大きい．

④区間を変えて実施した鉄製ワイヤでは，方位がばらつく（磁性を有する）区間は特定の深度であった．

4. 今後の提案

これまで，ねじれ測定時に見られる方位のずれはワイヤ取り付け位置や局所的に磁性の強い地質などの影響により発生すると考えられていた．しかし，今回の実験により，ワイヤの素材の種類と磁性の局所性が明らかとなった．鉄製ワイヤは方位に大きなばらつきが生じるため，方位測定を行う場合は使用しない方が良い．材質が SUS304のステンレス製ワイヤは，磁性の影響は相対的に小さいが，材質が SUS316のステンレスワイヤは磁性の影響がさらに小さい．

したがって，深尺のガイド管設置で方位測定が重要となる孔内傾斜計観測孔については，使用する吊り下げ用ワイヤは最も磁性の影響が少ない「SUS316製のステンレスワイヤ」の使用を推奨する．

《引用・参考文献》

1) 地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル(2010)，土木研究所他

【026】

傾斜センサーを利用した構造物挙動のモニタリング事例

中央開発株式会社　　折原浩平

1. はじめに

崩壊する恐れのある斜面において傾斜センサーを設置する場合，通常は地中に埋設して設置する．しかし，近年はニーズ増大により，設置が多様化しており，各種構造物の表面に設置する事例が増加している．この場合で問題となるのは，温度変化による影響である．傾斜センサー自身は温度補正をしており，温度による影響を減少させているが，設置周囲の構造物の体積変化により，傾斜角度の測定値に影響を及ぼすことが懸念される．今回は構造物の表面に傾斜センサーを設置した事例を５つ紹介し，一部の事例で温度変化による影響をどのように対処し，観測を実施しているのかを述べる．

2. 事例紹介

(1) 法枠

寒冷地における法枠の凍上被害の有無や挙動を観測するため，法枠に傾斜センサーを設置した．傾斜センサーは鉄製プレートをアンカーボルトで法枠に固定した（写真-1）．設置後は，直射日光や積雪の影響を防ぐためにプラスチック製の箱と断熱シートで覆った．

観測結果としては，これまでに凍上に起因するような変化は認められていない．

写真-1 法枠への設置状況

(2) 道路盛土の擁壁

路面沈下と谷側滑動がみられる市道でコンクリート擁壁の挙動を観測するために傾斜センサーを設置した（写真-2）．傾斜センサーは，擁壁天端コンクリートに鉄製のL 型のプレートをアンカーボルトで固定し，このプレートにネジで取り付けた．設置後は，獣害や接触防止，積雪の影響や直射日光の影響を防ぐために鉄製のカバーと断熱シートで覆った．

観測結果としては，温度変化の影響も少しみられたが，安定した結果が得られた．

写真-2 擁壁への設置状況

(3) 仮設防護柵

国道および鉄道に沿う斜面の崩壊現場に応急設置された仮設防護柵において，その挙動を観測するために設置した．傾斜センサーはＪ型の鉄製プレートをＨ鋼に接着剤と万力で固定し，このプレートにネジで取り付けた（写真-3）．設置後は，直射日光の影響を防ぐために鉄製のカバーと断熱シートで覆った．

観測結果としては，対策工事や鉄道の振動によるブレを除けば，長期的に安定した結果が得られた．

写真-3 仮設防護柵への設置状況

(4) 仮設土留め

国道に面する斜面の崩壊現場に応急設置された仮設土留めの挙動を観測するため，仮設土留めのＨ鋼に傾斜センサーを設置した（写真-4）．傾斜センサーは，まずＨ鋼の上端にＪ型の鉄製プレートを接着剤と万力で固定し，このプレートにネジで取り付けた（写真-5）．設置後は，獣害や工事中の接触防止，また直射日光を防ぐために鉄製のカバーと断熱シートで覆った．

観測結果としては，温度変化の影響がみられるものとなっていた（図-1）．傾斜角度とセンサー温度の経時変化を比較すると明確に正の相関を示したため（図-2），傾斜

角度と温度の相関から求められる回帰直線を用いて，温度から予測される角度（推定角度と呼ぶ）を求めた．そこで，実際の角度（実角度と呼ぶ）と推定角度の差をとることによって（図-3），変状が発生した場合は，プラス側に継続して増大すると考えられたため観測項目に追加した．図-3に示す観測結果から長期的な変状は発生していないと考えられる．

写真-4 仮設土留めの全景

写真-5 仮設土留めへの設置状況

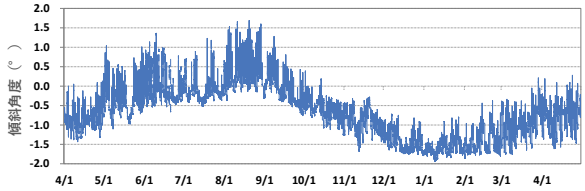


図-1 傾斜角度の観測結果（X 軸）

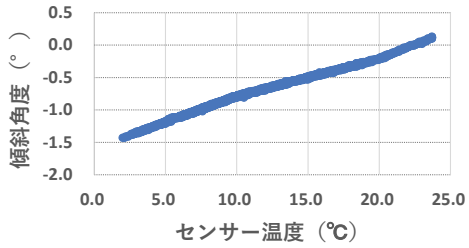


図-2 傾斜角度とセンサー温度

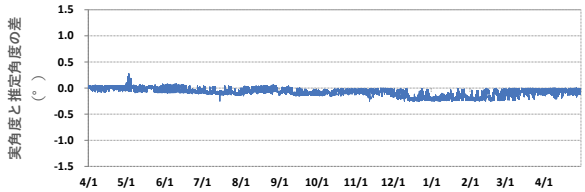


図-3 実角度と推定角度の差（X 軸）

(5) 石垣

はらみ出しの変状が認められる石垣において，その挙動を観測するために傾斜センサーを設置した．傾斜センサーの周囲および底面を石膏で固め，さらに両面テープ等で石垣に固定し，設置した（写真-6）．設置後は，直射日光を防ぐために断熱シートで覆った．

観測結果としては，温度変化の影響がみられるものとなっており，傾斜角度とセンサー温度の経時変化には相関関係がみられた．そこで(2)の仮設土留めのときと同様に，実角度と推定角度の差を用いて観測を行った（図-4）．実角度と推定角度の差からは長期的に安定していることが考えられる．

写真-6 石垣への設置状況

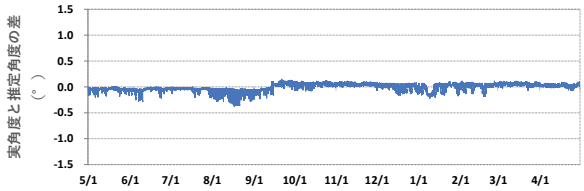


図-4 実角度と推定角度の差（X 軸）

3. まとめ

構造物に傾斜センサーを設置する場合は，温度変化の影響による傾斜角度の変化に注意する必要がある．現在，その影響を低減させるために，傾斜センサーを設置する際に鉄製のカバーや断熱シートで覆う対策を実施している．また，傾斜角度と温度に顕著な相関関係が示される場合には，温度データを用いて補正することで構造物の挙動を観測することが可能と考えられる．

4. おわりに

土木工事の安全管理の観点から仮設構造物に傾斜センサーを設置する業務はこれから増加していくことが考えられる．また,構造物の老朽化進行の観点から橋脚や道路の擁壁などに設置するニーズも増加すると考えられる．このため，これらの事例を参考にして臨機応変に工夫して対応していく所存である．

【027】

表層傾斜計の開発と現場での適用性

応用地質株式会社　○今野　信一、八木　雅

1. はじめに

近年の豪雨災害および土砂災害は、激甚化・頻発化・広域化が顕在化している。一方で、「労働人口の減少」「働き方改革関連法」への対応にともない、現場技術者が担ってきた点検作業の効率化、斜面監視手法の革新が求められている。このような動向は、国が注力しているDX 推進施策に通じるものである。

このような社会的課題を解決するためには、管理対象斜面にモニタリング機器を多点配置し、斜面の動態を常時監視することで、崩壊に至る前兆現象をとらえ、ハード・ソフト対策を講じていくことが有効である。

本稿では、斜面監視手法の革新に資するモニタリング機器の開発と現場での適用性について、検討結果を報告する。

2. 既存の斜面モニタリングの問題点

地表面の変状を観測する計測機器として、地表面伸縮計、地盤傾斜計などが使用されているが、以下の問題点がある。

①設置に熟練技術や多くの時間、資材を要し、全体のコストが高額になるため地表面伸縮計の多数設置は困難

②従来の地盤傾斜計では温度変化の影響により温度補正が必要で安定した精度の高いデータの取得が困難

③長期観測では、太陽光パネルの設置もしくはある頻度でのバッテリー交換や機能追加・更新等の現地作業が必要

3. 表層傾斜計の開発

既存モニタリング機器の問題点を解決すべく、設置が容易でかつ温度など環境ノイズの影響を低減した表層傾斜計（以下、クリノポールと表記）を開発した[1), 2)]（図-1）。

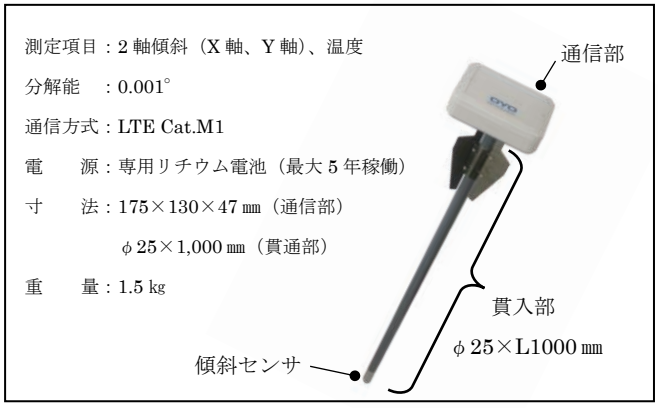


図-1　仕様と概形

本機の主な特長を以下に述べる。

(1) 設置が容易

設置方法は孔を掘り、本機を差し込むのみと、非常に簡便である（図-2）。熟練した技術も不要で、1日に10台以上設置することも可能である。

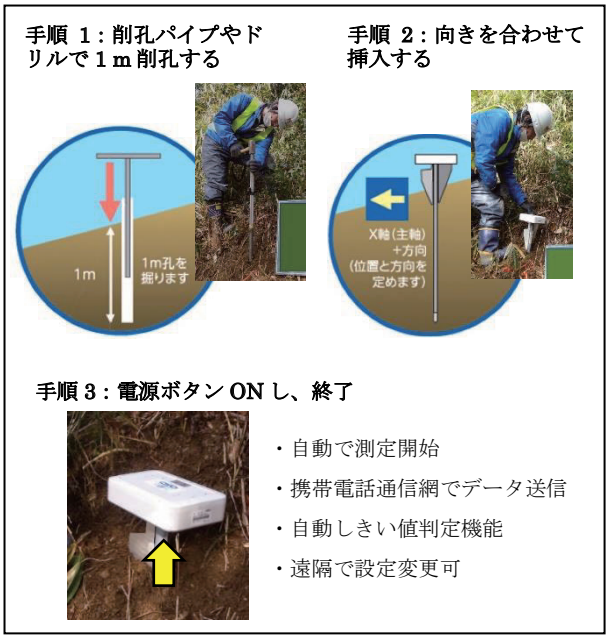


図-2　設置イメージ

(2) 温度変化による影響低減

地表面は温度変化の影響が大きくなることから、傾斜センサを地中に埋設することを考えた。

傾斜センサを深度1m に設置する構造とすることで温度変化を低減し、高精度な傾斜角データを安定的に得ることができた。図-3に検証結果を示す。

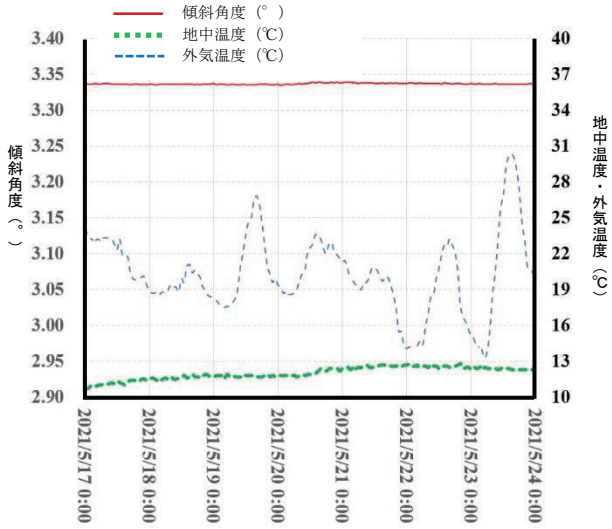


図-3　実験サイト測定データ

(3) 最大5年間メンテナンスフリー

角速度量に応じて送信回数を調整できるような機能を設けることで省電力化を図り、最大5年間稼働可能とした。さらに、サーバから本機に対し、設定の変更指示や遠隔操作によるファームウエアアップデートを実施できるようにし、現地でのメンテナンスを省力化した。

4. 現場での適用例

(1) 測定結果例

地すべりブロック内に設置した本機において、降雨と連動した斜面変位を確認した（図-4、図-5）これは、変位速度一定の2次クリープをとらえたものであり、このことは早期の避難判断に有効であると考えている。

図-4 地すべりブロックに設置された計器

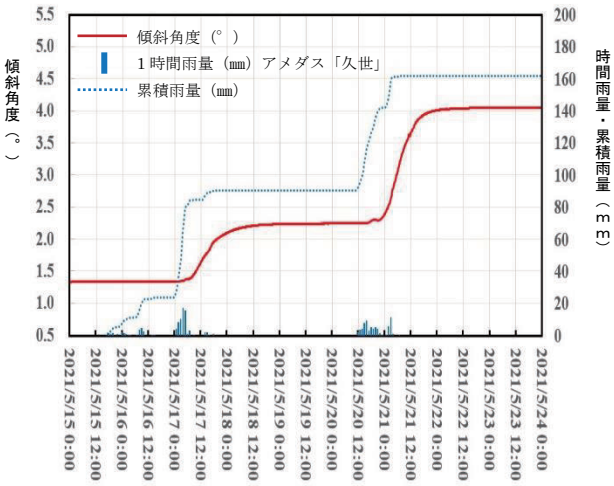


図-5 雨量と傾斜値の関係

(2) 岩盤への適用例

岩盤の削孔は人力では困難なため削岩機を用いた。岩盤に設置する場合、孔壁と本機とにある程度クリアランスがないと本機を挿入することは難しい。しかし、クリアランスを確保しすぎると本機が孔壁としっかりと固着されず、データが不安定になることが確認された。そこで、グラウト材をあらかじめ孔内に充填し、本機を挿入・設置し固着させることで本問題を解決した。図-6、図-7に本機を岩盤へ設置した際の状況を示す。

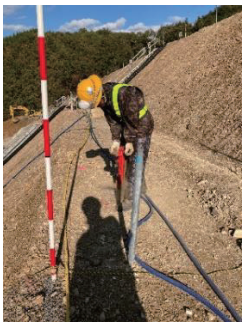


図-6 削岩機による削孔

図-7 設置完了図

削岩機を使用するには、一般的に油圧または空圧コンプレッサーが必要である。ただし、コンプレッサーは大きく重量もあるため可搬性に劣り、狭所や山間部での使用は困難である。今後、コンプレッサーが不要な削岩機の選定を進める必要がある。

(3) 多点設置の適用例

図-8は長大のり面において、本機を多数設置した例である。長大のり面全体の動態把握に通常実施される光波測量と比較し、天候に左右されず高い精度で詳細に斜面の動きを把握することができた。また、測定データ送信や設定変更等が個々に、かつ一括して遠隔から実施可能で、測定地点ごとの現場作業が不要となり、安全面、コスト面ともに改善を図ることができた。

図-8 長大のり面における計器設置例

5. おわりに

今回、クリノポールの開発により、モニタリング機器の多数配置が実現し、高精度で詳細な斜面監視を遠隔・自動で行うことが可能となった。この技術は、斜面管理手法を大きく前進させる可能性を秘めており、DX 推進の一助となすものである。

今後は観測データを蓄積し AI 解析を用いて崩壊予測をするとともに、崩壊前の前兆現象を早期に捉え適切な対策を講じることで被害低減を図っていきたい。

《引用・参考文献》

1) JACIC 情報123号, Vol.35, No.2, pp.114-119, 2021.
2) 計測技術2021年6月号, Vol.49, No.7, pp.21-24, 2021.

【028】

複数のプログラム言語を用いた地すべり監視システムの開発

株式会社藤井基礎設計事務所　　新宮　直人

1. はじめに

地すべり災害において、迅速な状況把握のための現地計測は、被害状況の把握、危機管理体制の構築、および対策工の早期計画に重要な役割を果たす。そして近年、IT 技術の発達により、地すべり観測においてもリアルタイム観測技術の向上が可能となった。

当社では平成13年からインターネットによる観測を行ってきた。そして、その観測機器と観測システムは自社での開発を継続している。自社開発では機器の開発と処理を行うプログラム開発が重要であった。私は入社してまだ数年であるが、現在この地すべり観測システムの開発に携わり、様々なプログラム開発を行っている。地すべり観測のそれぞれの場面でそれに適したプログラム開発を行っており、本稿ではそれを紹介する。

2. 地すべり観測の場面

図－１は地すべり監視システムのフローである。地すべり観測において、ここでは主に伸縮計観測を事例として観測システムの要素を以下に挙げる。

(1) 現場観測

センサーの値を観測し、それを蓄えたり、通信機器をつかって会社へ送信するシステムが必要であり、それは省電力で長期観測に耐え、耐候性に優れている必要がある。

(2) サーバー側の処理

サーバーは Linux サーバーを使い、Http プロトコルや ftp などでデータを受信し処理を行っている。サーバー側は、データの受信、データの保存、データによる図化、速度や変位の分析を行う。図化結果や分析結果は Web サーバーで公開する。また必要に応じて関係者に通知を行う。

(3) 関係者

平常時は専用サイトで地すべりを監視する。非常時には警報メールを受信し警戒体制をとる。

3. 必要な処理と開発言語

(1) 現場観測

地すべりの変動を観測しており、ゲートウェイ装置としてアルマジロを使用している。

当社では数年前から mRubyC という組み込み用 Ruby 言語を使った観測機器を開発している。

(2) サーバー側の処理

① データ受信

データ受信は Linux サーバーの機能を使って行っている。データを受信した際に破損している可能性があるため、エラーが起きてもクラッシュしないプログラムの記述の為に Ruby を使用している。

② データ整形

伸縮計の生値をグラフや警報メールに使用可能な形にする。また AI による運動予測の為の整形作業は Python と C++を組み合わせて行っている。

③ 図化処理

図化処理にはライブラリの豊富な言語を使用している。Python はライブラリが豊富で最初は主に Python を好んで使っていたが、Python はインタプリタ式の言語であるため動作は遅く、システムにかかる負荷も大きい。ライブラリの自作やあるいはループの改善でかなり高速にもできるが、どうしても必要な場面では C++を使用している。

④ 警報メールの発信

伸縮計の現在の値が閾値を越えた場合に警報が流れるようにしており、現場によって閾値の変更ができるようにしている。警報はメール、Line、社内 SNS などで通知を行っている。

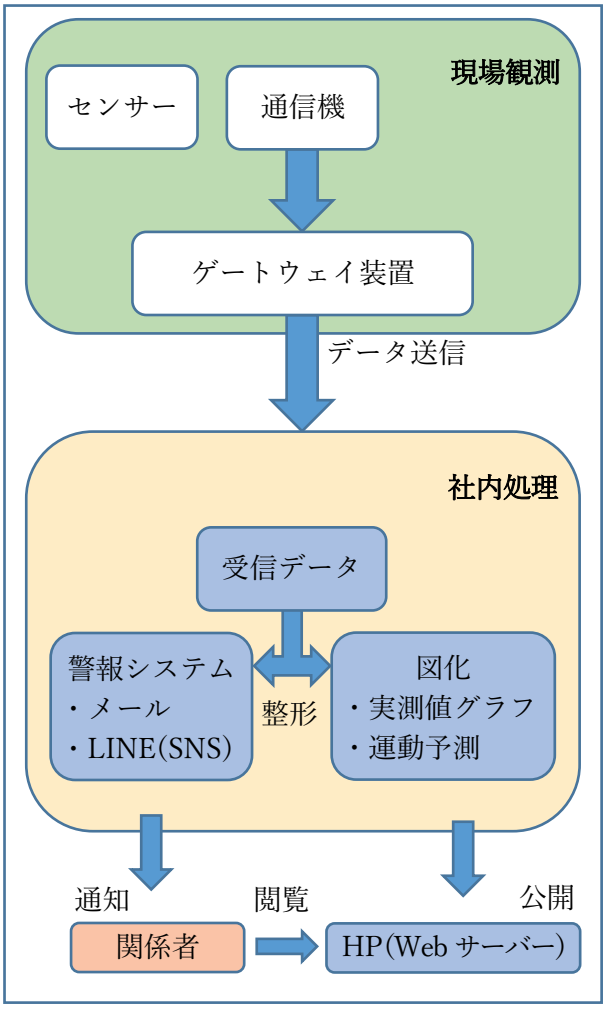


図-1　地すべり監視システム

4. 開発言語の特性および注意点

地すべり監視システムにおいて、データ通信・図化や、特に変位発生時の関係者への伝達といったものは高速である必要がある。その為、プログラムの実行・処理といった部分もそういった速さが重要視されており、様々な言語の中から用途に適したものを選ばなければならない(表 - 1)。

今回は実際の監視システムで使用しているプログラミング言語の長所と短所、具体的な使用例について述べていく。

(1) mRubyC

mRubyC とは、組み込みシステム向けの軽量な Ruby 言語であり、Ruby の様にコーディングをすることが可能となっている。

長所として、記述がしやすいこと、可読性が高いことが挙げられる。その為、データ通信部分などといった今後も度々修正する可能性が高く複雑な処理を行う部分をライブラリで扱うことができる。

短所としては、インタプリタ式である場合、実行速度が遅くなってしまうことが挙げられるが、数分ごとに実行する程度のものであれば遅さをそこまで感じることはない。

(2) C・C++

C・C++言語の長所として処理速度が高速であることが挙げられる。その為、伸縮計・歪計などの観測を続けているうちに膨大になってくるデータの処理や整形に適している。また、OS の制御が簡単であることから、地すべりに動きがみられた際の関係者にメールを一斉送信させる部分もこの言語で作成している。

短所としては、自由度が高いためにコーディングの際に書き方を統一していないと可読性が低いものになってしまいがちで、第三者が修正を行う場合に時間がかかってしまう可能性がある。

(3) Python

Python の長所として、豊富なライブラリがあることが挙げられる。また、AI による予測などといったものを比較的容易に行うことが可能であり、現在地すべりの崩壊予測を行っている。また、地すべりデータの可視化として、図化を行う際、GNUPLOT と併用して Python を使用している。

Python の短所として、インタプリタ式である為、実行速度が遅いことが挙げられる。その為、C,C++で作成したライブラリを使うなどして速度面の改善を図る必要がある。

(4) Go

Google が開発した比較的新しい言語である。

長所として処理速度が速く、並列処理が容易であることが挙げられる。また、Windows と Linux などといった OS 間での移行も簡単なことから、社内ソフトなどの作成に活用しており、地すべり監視システムにおいて、LINE などといった SNS の通知連動アプリを作成している。

短所としては、ライブラリが他の言語と比べて乏しく、計算処理部分などを自作する必要があることが挙げられ、他の言語と比べるとまだまだ未熟な点も多い。

5. まとめ

今回の発表では地すべりの監視システムについて述べてきた。自社開発のメリットとしては、警報にしても時間何ミリか、月何ミリかといった様に発注者の注文に柔軟に対応できることである。また、自社で作成したプログラム資産が蓄積されることで、今後の作業の効率化を図ることができる。

ただ、観測において、データの誤りは許されないことや、サーバー内のデータを定期的にバックアップをとるといった保守が必要になってくる。今後もインターネット観測を続けていくにあたって、こういった点に注意しながら観測業務を行っていきたい。

《引用・参考文献》

1) 新宮直人 斉藤龍太 木村忍：「機械学習による地すべりの崩壊予測プログラムの紹介」，全地連技術フォーラム論文集，論文 No.64，2019.9.
https://www.zenchiren.or.jp/e-Forum/2019/PDF/2019_064.pdf（最終閲覧日　2021年6月4日）

2) プログラミング言語をいろんな視点で分類してみた
https://atmarksharp.v01.jp/posts/programming-compare.html（最終閲覧日　2021年6月4日）

表-1 プログラミング言語の使い分け

場所	項目	目的	使用言語
現場	データ通信	センサーデータの取得など	mRubyC
	データ送信	データを社内サーバーに転送する	mRubyC
社内	データ受信	現場から送信されたデータを受信する	Shell,Ruby
	データ整形	CSV といった後処理しやすい形に整形する	C++
	図化	伸縮計データと雨量データを読み込みグラフ化する	Python
	速度の計算	伸縮計の変位データから速度を計算する。	C++
	警報メール配信	基準値を超えた場合、関係者へメールや LINE を行う	C++、Go
	運動予測	運動予測を行う	Python

【029】

道路防災点検における変状箇所の経年変化の特徴

基礎地盤コンサルタンツ（株）　○前田　達樹，樽石　静，田中　慎吾，東風平　宏

1. はじめに

道路防災点検は、防災対策事業や日常の道路管理を通じて活用することで、災害の発生をできる限り未然に防止し被害を最小限に抑えることを目的とする[1)]。

大分県玖珠町では、これまでに防災対策が順次実施されているものの、斜面等で認められる変状が徐々に進展するなど、災害危険箇所を依然、多く抱えている。このため、平成 10 年度から現在に至るまで約 5 年に 1 回の周期で道路防災点検による変状箇所の点検・監視を行っている。

本報告では、カルテ作成から約 20 年間における構造物および斜面等の変状の経年変化の特徴について得られた知見を報告する。

2. 玖珠町における道路防災点検

(1) 地形地質概要

玖珠町の町道は、主に標高 500～600m 程度の山体裾あるいは標高 350～500m 程度の谷地形部に位置し、市街地や玖珠川周辺では標高 350～400m の低地に位置する。玖珠町の特徴的な地形として、山頂が平坦で台形状を呈するメサ地形が分布することが挙げられる。

地質は耶馬渓溶結凝灰岩、筑紫溶岩および扇状地堆積物等が分布する[2)]。溶結凝灰岩は特徴的な垂直な節理面が発達し、岩盤崩壊や落石の要因となりやすい。写真-1に玖珠町に特徴的な溶結凝灰岩による奇岩の写真を示す。

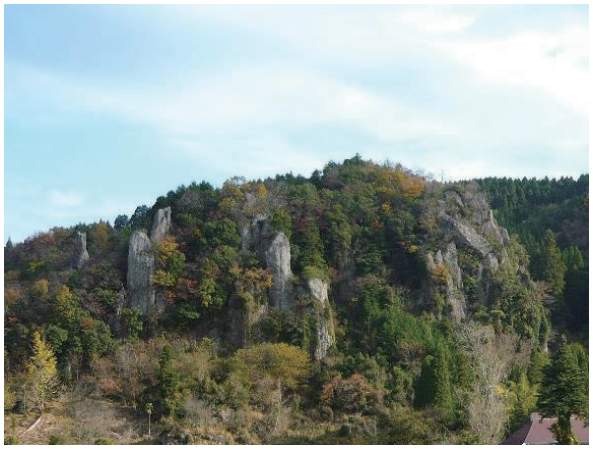


写真-1　玖珠町における斜面上の奇岩

(2) 点検概要

大分県玖珠町では、路線は概して地形に沿い、部分的に切土によって路線を設置している。対策工はモルタル吹付工が多く行われており、他の対策工としては落石防護網工、擁壁工（大部分がブロック積み擁壁工）が主に行われている。平成10年（一部平成11年）にカルテ箇所の抽出を行って以降、平成13年、22年、27年、令和2年の4回カルテ点検を実施している。点検対象項目は「落石・崩壊」が40箇所、「岩盤崩壊」が5箇所の計45箇所である。

防災カルテの総合評価は「対策工が必要」「カルテ対応」「その他（対策不要）」の3つのランクに区分を行い、令和2年度の点検における総合評価は「対策工が必要」が24箇所、「カルテ対応」が21箇所であった。

3. 変状箇所の経年変化の特徴

(1) 変状状況

防災カルテ点検では、災害に至る可能性のある箇所について、着目すべき変状として着目点や変状、点検方法等の記載を行う。この着目すべき変状は追跡点検によって、変化の有無等についての経年変化のデータが蓄積されている。

令和 2 年度のカルテ点検において変状の進展が見られた箇所の内、代表的な変状を以下に示す。

モルタル吹付工では主に剥離の進行やラス金網の露出、にじみ出し湧水等が見られ、一部ではははらみ出しや亀裂の進行が見られる。写真-2 に、モルタル吹付工の変状状況を示す。

写真-2　モルタル吹付工の剥離進行・ラス金網の露出

落石防護網工では、網工の破損や網工内への落石が見られる。ブロック積み擁壁は擁壁自体の変状は確認されなかったものの、擁壁上方の斜面で崩壊等が見られる。切土のり面では、のり面内の小崩壊、それに伴う側溝内や道路脇への落石が見られる。切土による急崖露頭では、浮石の不安定化や岩の抜け落ち、それに伴う側溝内や道路脇への落石が見られる。写真-3 に、切土による急崖露頭の変状状況を示す。

写真-3 切土による急崖露頭の浮石の不安定化

(2) 変状の分類

点検の結果、前述した通り、構造物や切土のり面等に変状の進展が多く認められたことから、着目すべき変状に焦点をあてて検討を行った。

45 箇所の点検箇所で、着目すべき変状は合計 116 個ある。それぞれの着目すべき変状については現地の状況や地形的特徴に応じて、図-1 に示すように 10 項目に分類した。更に経年変化の傾向を把握するにあたり、全 3～4 回の追跡点検記録のうち、前回点検時からの差異をもとに変化の分類を行い、「前回から変化ありが 2 回以上」、「前回から変化ありが 1 回のみ」、「全期間において前回からの変化なし」の 3 パターンに分類した。

図-1 に各項目と各変化パターンにおける着目すべき変状数を示す。

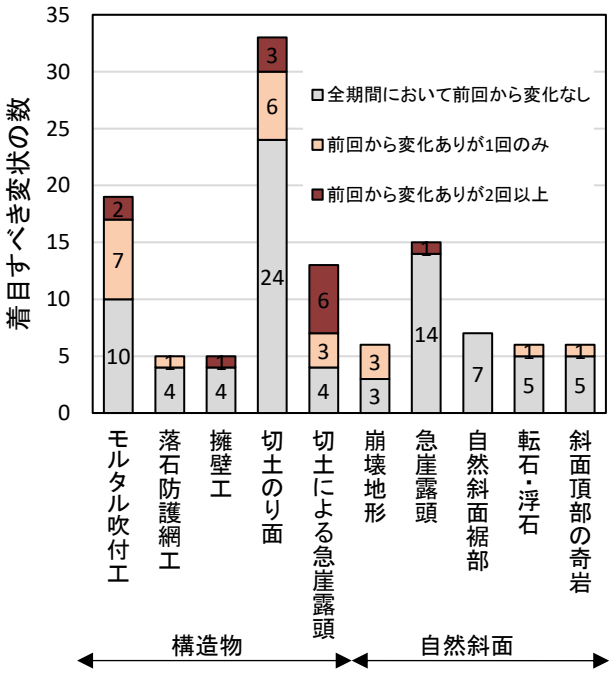


図-1 各項目と各変化パターンの着目すべき変状の数

分類の結果、モルタル吹付工では約半数で「変化あり」を示し、落石防護網工と擁壁工では一部で「変化あり」を示す。切土のり面は、約 30%の箇所で「変化あり」を示す。切土による急崖露頭では、約 70%の箇所で変化が見られ、「前回から変化ありが 2 回以上」が他の項目に比べて多く、約半数を占めている。急崖露頭、転石・浮石、斜面頂部の奇岩の項目は、一部で変化が見られるものの、大半は「変化なし」を示す。自然斜面裾部では、これまでの点検で変化は確認されていない。

(3) 経年変化の特徴

各項目の着目すべき変状は、大きく構造物と自然斜面に分けられ、大局的に見ると構造物では「変化あり」を示す割合が約 40%、自然斜面では「変化あり」を示す割合が約 15%と、構造物の方が「変化あり」を示す割合が多く、構造物および自然斜面の変状の進展に傾向の差異が確認された。

これはモルタル吹付工や切土のり面、切土による急崖露頭は人工的に形成されており、短期間のうちに斜面等に人工的に改変を行っているため、経年変化が進行しやすいものと考えられる。対して、急崖露頭や自然斜面裾部等の自然斜面は人工的な改変は受けておらず、長年にわたって自然に形成されてきたため、点検を行ってきた数十年程度の期間では経年変化はほとんど生じなかったものと考えられる。

4. まとめ及び今後の維持管理

本稿では着目すべき変状に焦点を当てて検証を行った結果、斜面や構造物の特徴によって経年変化に差異があることが確認された。

玖珠町における町道は山あいに敷設された道路であり、大規模な切土のり面や構造物は少ないものの、点検箇所としては切土のり面等の構造物が自然斜面に比べて多く、変状の進行は構造物（人工的に形成された箇所）の方が顕著という結果が出ている。構造物の方が自然斜面に比べて変状は顕在化しやすく、変化を捉えやすいという側面はあるものの、カルテ点検および検討結果をもとにすると、玖珠町においては構造物箇所に特に留意して維持管理に努める必要があると考える。

また、異常気象が頻繁に発生する昨今においては、適切な維持管理が必要である。5 年に 1 回実施しているカルテ点検と併せて、今回判明した当該地域の変状箇所の経年変化の特徴を踏まえた着目点に特に留意したパトロールの実施等が効果的であると考える。

《引用・参考文献》

1) 財団法人道路保全技術センター：防災カルテ作成・運用要領, p1, 1996. 12.
2) 産業技術総合研究所地質調査総合センター:1:200, 000 地質図幅大分（第2版）, 2015. 2.

【030】

UAV レーザ測量による斜面上の微地形分析とその活用事例

株式会社昭和土木設計　　○菅原　弘、栗澤　尚也、松村　春道

1. はじめに

道路脇の急崖地は、斜面崩壊や落石が発生すると道路利用者に危険が及ぶため、適切な斜面崩壊対策や落石対策が必要である。斜面崩壊対策や落石対策の計画・設計にあたっては、発生し得る斜面崩壊や落石について、これらの規模や発生源の分布を現地の斜面調査によって確認することが基本である。しかし、急崖地においては、現地の斜面調査自体が非常に危険であるため、ロープワークやクライミング調査などにより、多くの時間や労力を必要とすることが多い。

こうした現状に対し、近年、UAV 等を活用することで危険な急崖地での斜面調査において、省力化と安全性の向上を図りつつ、詳細調査を行う試みが増えている。

本報告は、高さ約100m、斜面勾配が60～70度以上の道路脇の急崖地において、UAV レーザ測量を実施し、得られた地形モデルから斜面上の微地形を分析することで斜面調査の省力化と安全性の向上を図り、その調査結果を斜面対策の計画・設計に活用した事例を紹介するものである。

2. 対象とした急崖地の状況

図-1に、UAV で撮影した急崖地の斜め方向撮影写真を示す。斜面中腹で表層崩壊が発生し、道路は片側交互通行になっている。

図-1　対象とした急崖地(概ね S=1:2,000)

(1) 現地踏査結果

詳細な斜面調査には危険が伴うため、踏査が可能な範囲で現地調査を行った。その結果、急崖地の斜面には、過去に生じた表層崩壊跡と、割れ目が多いために浮き石を伴って落石の発生源となる露岩箇所が複数確認された。図-2と図-3に、代表的な現場状況を示す。

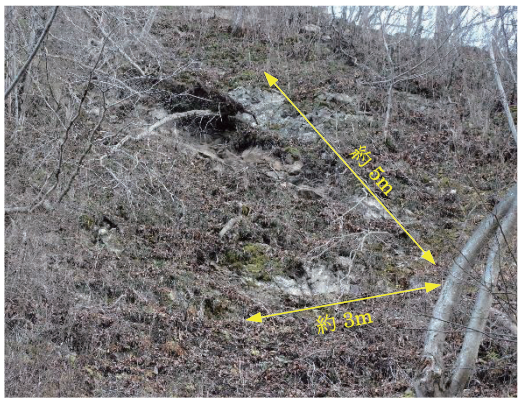


図-2　現地調査で確認した表層崩壊跡

図-3　現地調査で確認した浮き石を伴う露岩

(2) 弾性波探査結果と地盤構成

ロープ足場による弾性波探査を実施した。得られた弾性波速度を踏まえて地盤構成を整理した。図-4に地質断面図を、表-1に地質構成表を示す。表層崩壊や落石は風化安山岩(An-w2)で発生していると推定した。

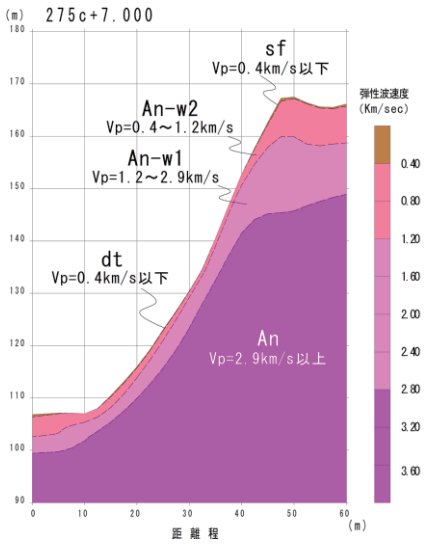


図-4　地質断面図

表-1　地質構成表

記号	土質・地質	分類	弾性波速度 Vp(km/sec)
sf･dt	表土・崩積土	土砂	0.4 以下
An-w2	風化安山岩	軟岩Ⅰ	0.4～1.2 以下
An-w1	弱風化安山岩	軟岩Ⅱ	1.2～2.8 以下
An	安山岩	硬岩	2.8～

3. UAV レーザ測量

レーザ測量は、樹木などの障害物があっても、比較的正確に地形を把握できる特徴がある。

今回は、UAV（DJI 社製：Matris600）にレーザスキャナ（Yellowscan 社製：Yellowscan surveyor ultra）を搭載し、急崖地の三次元点群データを取得した（点密度は400点/㎡を標準とした）。その後、フィルタリングを行って作成したグラウンドデータからグリッド（TIN）データと等高線データを作成した。なお、撮影は、落葉後の12月に実施した。

4. 斜面対策計画上のポイント

斜面対策を計画する際の技術的課題は、落石対策や斜面崩壊対策範囲を如何に適切に計画するかであった。

斜面崩壊対策範囲は、現地踏査結果から斜面上の表層崩壊跡に着目し、表層崩壊跡が多く存在する範囲が今後も崩壊する危険性が高い範囲に見なすことができると判断した。また、落石対策の範囲は、割れ目が多い地質状況から、斜面上の露岩箇所が落石の発生源に見なすことができると判断した。

以上より、踏査が危険な範囲を含めた急崖地の斜面全体で、崩壊跡や露岩箇所の微地形の分析を試みた。

5. 地形モデル図を用いた微地形の分析

(1) 表層崩壊跡および露岩箇所の微地形の特徴

図-5のように、崩壊跡は、急斜面と緩斜面の組合せからなると考えられる。また、露岩箇所は、周囲よりも急な斜面からなると考えられる。

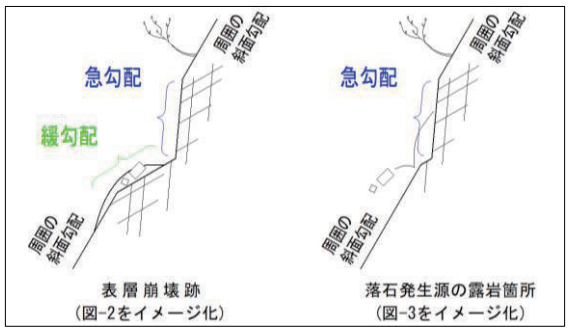


図-5 微地形の特徴

(2) 地形モデル図を用いた微地形の分析

等高線データによる地形モデル図では、急勾配地形の等高線が密に、緩勾配地形の等高線が疎に表現される。また、グリッド（TIN）データによる地形モデル図では、急勾配地形のグリッド面積が大きく、緩勾配地形のグリッド面積が小さく表現される。

これらの地形モデル図の特徴を用いて、周囲の斜面より急勾配な地形部分および緩勾配な地形部分を抽出した結果を、斜め上方からの視点で示す（図-6、図-7）。

また、この結果から、急勾配地形の直下に緩勾配地形がある場所は、表層崩壊跡を示す微地形であると判断して抽出した（図-7に併記）。

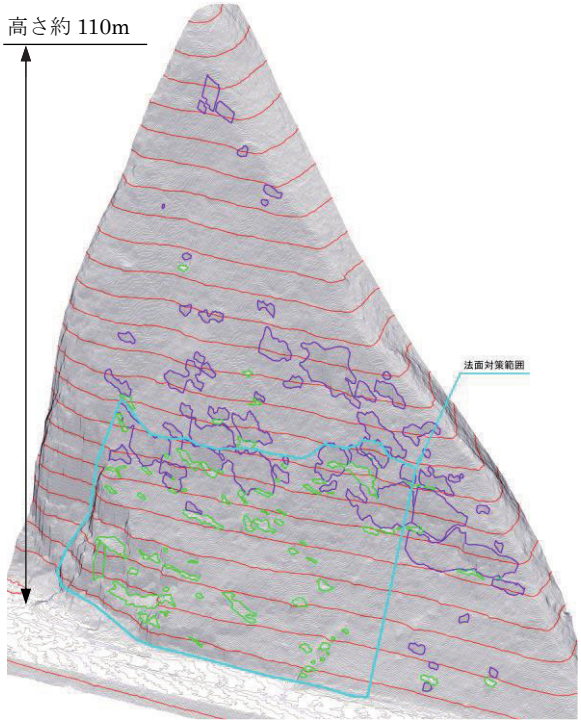


図-6 等高線データによる地形モデル図

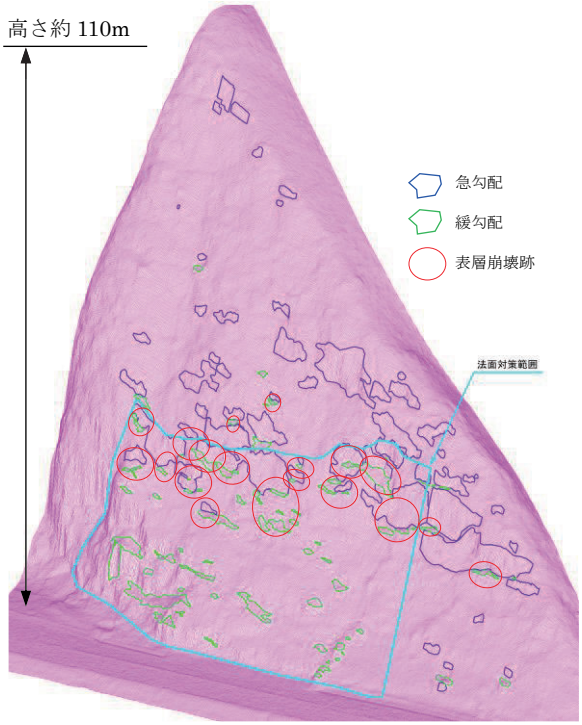


図-7 グリッド(TIN)データによる地形モデル図

6. 斜面対策の計画・設計への活用

斜面崩壊対策は、今後も崩壊を生じる危険性が高いと判断される、表層崩壊跡が特に多く存在する範囲を包括する範囲に計画するものとした。

また、落石発生源となる露岩箇所が斜面の上方にまで広く存在するため、斜面崩壊対策と併せて、ポケット式ロックネットによる落石対策を併用する計画とした。

《引用・参考文献》

1) UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案);平成30年3月、国土地理院

【031】

GIS を活用した切土のり面の維持管理の優先度の検討

西部技術コンサルタント株式会社　　○近藤 竜也，田邉 信男，大嶋 優斗

1. はじめに

平成 25 年 2 月,道路のり面工や斜面安定対策工の道路施設を対象とした総点検実施要領（案）[1)]が策定された.この道路施設の中で,道路のり面工や土工構造物は,橋梁などの構造物と比べ,自然地形を直接的,あるいは間接的に利用している.このため,場所的な地盤特性や地盤の不均一性などの違いによる特徴が,維持管理上の課題として指摘されている.[2)]

そこで,本稿では, 道路のり面工や土工構造物に着目し,道路施設一次点検データ及び GIS を用いて,第三者被害に影響を及ぼす環境要因や維持管理の優先度を分析する.さらに,分析結果の考察を通して,今度の効率的,効果的な維持管理を検討する際の知見を得ることを目的とする.一次点検データは, 弊社が岡山県から道路施設総点検業務委託[3)]により実施した結果である.なお,この分析結果は岡山県全体の傾向を示しているものではない.

2. 点検方法と分析データ

点検対象と点検方法は、総点検実施要領（案）[1)]に基づき実施した. また,分析に使用したデータは,目視点検により異常判定の有無を評価した N=1999 サンプルとした[3)].異常判定に影響する変状要因として,点検帳票や斜面安定度の一次評価の項目[4)]を参考に,「道路施設種別」,「災害履歴」,「要対策」,「表層地質分類」,「漏水状況」,「降雨量」,「最高最低気温差」の 7 つの要因を抽出した.なお,「要対策」については,道路防災点検により判定された評価である.分析方法には,二項ロジスティック回帰分析および GIS を使用した.まず,表層地質分類は,国土調査の表層地質図[5)]を用いて GIS で作成した.漏水状況については,調査記録表のコメント及び現状写真を参考に漏水有,漏水跡,浸み出し,漏水無の 4 つの状況に分類した上で,「漏水有（漏水有,漏水跡,浸み出し)」と「漏水無」の 2 つのカテゴリーに分類した.また,年平均降雨量及び年平均最高最低気温差は,1988 年～2018 年の 30 年間の気象庁の観測データを用いて算出した.分析に使用したデータを表-1[3,6)]に示す.

3. 道路土工構造物の異常判定に影響を及ぼす要因

第三者被害に影響を及ぼす道路土工施設や環境要因を分析するため,一次点検による異常判定の評価項目を用いて二項ロジスティック回帰分析を行う.各変数が及ぼす影響の強さは「オッズ比」によって評価する.このオッズ比は,他の変数を一定として,特定の変数が 1 単位増加した際の「異常」と判定された確率を示す指標である.目的変数は「異常」の有無とし,説明変数は表-1 に示す.分析した結果,回帰式は,有意水準 1%でモデル式に適合している.説明変数の分析結果を表-2 に示す.説明変数の評価については,「異常有」の影響を及ぼす正の偏回帰係数での「オッズ比:1 以上」に着目して考察する.この表より,「切土工」は,「有意水準 5%」で異常有と判定される確率が約 42 倍程度高くなる.また,「漏水」は「有意水準 1%」で異常有と判定される確率が約 152 倍と高いことがわかった.「漏水」は,すべての道路施設において,鋼材の腐食やコンクリートの劣化,土構造物の安定性の低下に,水が大きく影響しているものと考えられる.また,「切土工」は,他の土工構造物に比べて,地山そのものの風化や変質による強度劣化等の影響を受けやすいことが要因の 1 つとしてあげられる.

表-1　一次点検分析データ

表層地質分類	分析データ	施設種別	分析データ
沖積層(砂質土)	未固結土ダミー変数	カルバートエ	カルバートエダミー変数
沖積層(粘性土)		コンクリート擁壁工	擁壁エダミー変数
沖積層(礫質土)		ブロック積擁壁工	
崖錐堆積物		石積み擁壁工	
崖錐堆積物(礫質土)		組立歩道	
扇状地堆積物		張り出し歩道	
段丘堆積物		張出歩道	
山砂利層	半固結土ダミー変数	グラウンドアンカーエ	切土エダミー変数
砂岩(三畳紀)	堆積岩ダミー変数	のり枠工	
砂岩粘板岩互層(超丹波帯)		プレキャスト法枠	
砂岩粘板岩互層(舞鶴層群)		ブロック張工	
石灰岩(三都帯)		ロックボルト工	
粘板岩(三都変成岩)		吹付工	
粘板岩(舞鶴層群)		盛土工	盛土エダミー変数
頁岩(下部三畳紀)		落石防護柵工	落石対策工ダミー変数
頁岩砂岩互層(三畳紀)		落石防護網工	
礫岩(三畳紀)		落石防護擁壁	
流紋岩質火砕流堆積岩類	火山岩ダミー変数	漏水有(漏水、漏水跡、浸み出し)、漏水	漏水ダミー変数
流紋岩質凝灰岩			
石英閃緑岩	深成岩ダミー変数	年平均降水量(年平均最高最低の気温差)(1988-2018:30年間)	
細粒花崗岩		虫明観測所	1173.1mm(9.4°)
粗粒花崗岩		高梁観測所	1247.5mm(10.4°)
		津山観測所	1450.2mm(11.3°)
風化細粒花崗岩		恩原観測所	2435.8mm(10.5°)
砂質片岩(舞鶴層群)	変成岩ダミー変数	災害履歴の有無	災害履歴ダミー変数
泥質片岩(舞鶴層群)		要対策の有無	要対策ダミー変数
盛土(礫質土)	盛土ダミー変数	総点検実施要領(案)基づく判定:異常有(×、△)、異常無(○)	異常有無ダミー変数

4. 切土工の維持管理の優先度の検討

3 章の分析結果を踏まえ,道路土工施設の中で異常有と判定される確率が最も高い「切土工」に着目し,維持管理の優先度を検討する.「切土工」は,一次点検で異常有と判定された n=58 サンプルを使用した. 維持管理の優先度を検討する項目については,表-3 に示すように,切土工を維持管理していく上で、重要な要素として考えられる 6 つの項目を抽出した.分析方法は,6 つの項目を用いて,GIS によるデータベースにより,それぞれの該当する項目の個数の大きさで維持管理の優先度を評価する.分析結果を図-1,図-2 に示す.優先度の高い順に見ると,「優先度 1」については 1 箇所が該当する.次に,「優先度 2」では 14 箇所,「優先度 3」は 13 箇所,「優先度 4」

表-2　二項ロジスティック回帰分析

変　数	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	偏回帰係数の95%信頼区間		オッズ比	オッズ比の95%信頼区間		偏回帰係数の有意性検定	P　値	判定
				下限値	上限値		下限値	上限値	Wald		
要対策ダミー	−0.8929	0.6120	−0.2402	−2.0923	0.3065	0.4095	0.1234	1.3587	2.1289	0.1445	
災害履歴ダミー	0.7040	0.8153	0.1201	−0.8939	2.3019	2.0217	0.4090	9.9929	0.7456	0.3879	
盛土ダミー	−1.7149	0.8713	−0.4347	−3.4226	−0.0072	0.1800	0.0326	0.9929	3.8738	0.0490	*
未固結土ダミー	−1.9230	0.5134	−0.9342	−2.9292	−0.9168	0.1462	0.0534	0.3998	14.0309	P < 0.001	**
半固結土ダミー	−2.1390	0.8966	−0.3308	−3.8963	−0.3817	0.1178	0.0203	0.6827	5.6914	0.0170	*
堆積岩ダミー	−1.3300	0.5260	−0.5585	−2.3609	−0.2991	0.2645	0.0943	0.7415	6.3935	0.0115	*
火山岩類ダミー	−2.3011	0.6462	−0.6384	−3.5675	−1.0346	0.1001	0.0282	0.3554	12.6819	P < 0.001	**
深成岩類ダミー	−1.6186	0.5407	−0.6408	−2.6784	−0.5588	0.1982	0.0687	0.5719	8.9612	0.0028	**
切土工ダミー	2.0548	0.8588	0.7278	0.3715	3.7381	7.8052	1.4499	42.0166	5.7243	0.0167	*
盛土工ダミー	−1.6726	1.3247	−0.5357	−4.2690	0.9238	0.1878	0.0140	2.5187	1.5942	0.2067	
擁壁工ダミー	0.2469	0.8356	0.1218	−1.3909	1.8847	1.2800	0.2488	6.5843	0.0873	0.7677	
落石対策工ダミー	0.3734	0.9525	0.1224	−1.4934	2.2402	1.4526	0.2246	9.3951	0.1537	0.6950	
漏水ダミー変数	4.0654	0.4889	0.5257	3.1071	5.0236	58.2871	22.3570	151.9602	69.1435	P < 0.001	**
平均降水量/年	0.0004	0.0003	0.1867	−0.0001	0.0010	1.0004	0.9999	1.0010	2.3650	0.1241	
気温高低差/月	−0.2762	0.0993	−0.1691	−0.4709	−0.0815	0.7587	0.6245	0.9218	7.7277	0.0054	**
P値判定:*:P<0.05 **:P<0.01											

は 13 箇所が該当した.「優先度 5」の 17 箇所については,すべての検討項目への該当は見られなかった．それぞれの優先度項目の集計結果を図-1 に示す.

「優先度 1」の内容については,「要対策」,「15m以上」,「土砂災害危険区域」,「漏水」の 4 項目が該当した.

表-3　維持管理優先度の検討項目

項目	内容
①要対策	道路防災点検の評価
②15m以上(重要度1)	特定道路土工構造物:15m以上
③土砂災害危険区域	土砂災害防止法
④緊急輸送道路	点検帳票より
⑤災害履歴	点検帳票より
⑥漏水	二項ロジステック回帰分析より

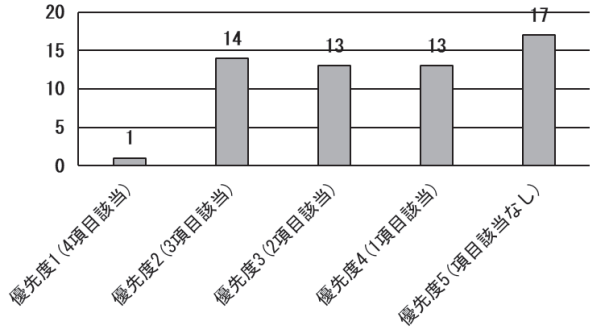


図-1　維持管理優先度項目の集計結果

5. まとめ

道路施設点検データを用いて分析した結果，第三者被害に影響を及ぼす要因として，「漏水」及び「切土工」が異常有と判定される確率が高いことが分かった.また,この中で「切土工」の維持管理の優先度を GIS によるデータベースにより可視化することができた．さらに,GIS の活用は優先度を単純に可視化するだけでなく,危険箇所の分布状況や傾向の把握,今後発生する可能性のある異常箇所の予測にも繋がると考えられる。今後はさらなるデータの蓄積や各項目の重要度を統計的検定（重回帰分析,数量化 2 類分析等）によって定量化し,評価できる手法の検討が必要であると考える.

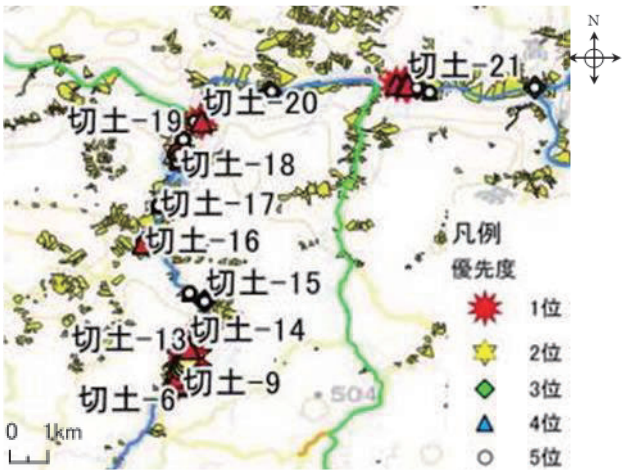


図-2　切土工の維持管理の優先度箇所（一部抜粋）

<<引用・参考文献>>

1) 国土交通省道路局：総点検実施要領（案）道路のり面工・土工構造物編,2013. 2
2) 建設コンサルタンツ協会：公共土木施設の維持管理に関する研究委員会報告書,2012. 7,p2-3-1
3) 岡山県：公共道路施設総点検業務委託,県道岡山牛窓線,国道 313 号,国道 374 号,県道加茂奥津線,2015,2017
4) 地盤工学会：切土法面の調査・設計から施工まで,pp125-128　2008. 6
5) 国土交通省国土調査： http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html
6) 田邉信男,上坂未希,水野正行:目視点検による道路施設の「第三者被害」に影響する要因,土木学会第 72 回年次学術講演会集,I_251-I_260,2016
7) 国土数値情報：http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/