

県道岩国美和線 道路災害復旧工事における 無人化施工について



所属名：山口県岩国土木建築事務所
発表者：林 正和

1 はじめに

県道岩国美和線は、岩国 I.C.付近の岩国市阿品と岩国市美和町を結ぶ延長約13kmの路線であり、美和町と岩国市中心部を連絡する最短の道路である。

平成18年4月、岩国美和線の起点から約3.5kmの岩国市美和町長谷において、法尻擁壁の変状及びモルタル吹付の座屈等が発見され、その後、地すべりの挙動観測を開始したが、9月の台風13号に伴う大雨により急激な変位が生じ、10月6日には大きな変位とともに法面上部の山林地面に開口亀裂を確認したため、現場周辺の約1kmを全面通行止めとした。

本論文では、地すべりの解析を踏まえた復旧工法の検討及び無人化施工について述べる。

2 地すべり解析

2.1 地すべり発生機構

今回の地すべりは、まず地表からの風化の影響を受け、脆弱化していた地山が道路建設に伴う切土で応力解放され、緩み域を形成したと考えられる。

その後、風化や豪雨で徐々にすべりが進行し、平成18年9月の豪雨により不安定化が活発となり、大規模地すべりが発生したと推測される。

2.2 地すべり概要

写真1に示す頭部滑落崖は4~5cm/日程度で広がり3m以上まで進行し、側部の点在していた開口亀裂と連続した。地すべり規模は、写真1に示すように延長90m、直高65mにわたり、地すべり土塊は89,100m³と推定される。

末端部は写真2に示すように地すべり土塊の押出しを受け落石防護柵は破損し、表層崩壊も広範囲にわたっており、

高さ3mの擁壁は路面より60cmの打継目より倒壊した状況である。

地すべりブロックの地質であるが、砂岩粘板岩互層で、平面型が馬蹄型、すべり面型が椅子型となっており、典型的な岩盤地すべりといえる。



写真 1 地すべり全景と頭部滑落崖



写真 2 末端部表層崩壊と擁壁の押出し

3 復旧工法の検討

3.1 地すべり抑制工

今回の地すべり対策にあたっては、活発な移動が継続していること、移動土塊

が大きいこと、すべり面上部に地下水面を確認できないこと等を理由に、確実に地すべり抑制効果を上げられる排土工を抑制工とした。

3.2 切土勾配と法面保護工

現地踏査及び機械ボーリングにより確認された地すべり土塊内の層理面傾斜角は図 1 に示すように N40° W45° 前後で東落ち(見かけ傾斜角 43° 程度)で切土法面に対して流れ盤であった。

流れ盤の切土法面の安定性については、割れ目の見かけ傾斜角と同じか、それより緩い勾配とすることが望ましいとされている。当地区の切土勾配については見かけ傾斜角が 43° 前後であることから、それより緩い勾配となる切土勾配 1:1.2 を安定勾配と考えた。また、切土勾配 1:1.0 で計画する場合は、法面表層部の崩落防止を目的とした法枠工が必要であると考えた。



図 1 斜面上部における切土形状と層理面の関係

3.3 応急対策工

当地区においては、全面通行止めしており、早期の地すべり沈静化が必要である。応急対策は、地下水位が低いことから横ボーリングは期待できないため、無人化施工による頭部排土工を実施する。応急工事における計画安全率は、 $F_s=1.00 \sim 1.05$ の範囲で考えられるが、地すべり活動が活発であり、県道の早期解放が必要であることから、安全側を考慮して $F_s=1.05$ とする。

ただし、頭部排土工により大規模な地すべりの活動が沈静化しても、写真 2 からわかるように表層すべりは不安定な状態にある。県道の解放にあたっては、

表層崩壊に対しても対策が必要であると考え、応急盛土工(大型土のう工)で対策することとする。

3.4 対策工法の検討

前節までの検討事項を基に対策工法を検討した。検討前提条件として地すべり活動の沈静化を目的とした仮設安全率 $F_s=1.05$ を満足する EL.299.5m までの頭部排土工、表層すべり防止を目的とした応急盛土工を各案共通項目として計画する。

(第 1 案)頭部排土工

+ 切土工(切土勾配 1:1.2)

頭部排土工後、安定勾配である 1:1.2 で切土を行い、計画安全率 $F_s=1.15$ を満足させる。また、切土で地すべり土塊をすべて除去できないため、地表水の浸透防止を目的としたモルタル吹付工($t=8\text{cm}$)を地すべり範囲に計画する。

(第 2 案)頭部排土工

+ 吹付法枠工(切土勾配 1:1.0)

頭部排土工後、現況と同じ勾配 1:1.0 で切土を行い、1 案同様のモルタル吹付工($t=8\text{cm}$)と表層の崩落防止を目的に吹付法枠工(300×300)を計画して、計画安全率 $F_s=1.15$ を満足させる。

(第 3 案)頭部排土工

+ アンカー工(切土勾配 1:1.0)

頭部排土工後、現況と同じ勾配 1:1.0 で切土を行い、1 案同様のモルタル吹付工($t=8\text{cm}$)と斜面全体の抑止及び表層の崩落防止を目的にアンカー工を計画し、計画安全率 $F_s=1.15$ を満足させる。

(第 4 案)頭部排土工

+ 鋼管杭工(切土勾配 1:1.0)

頭部排土工後、現況と同じ勾配 1:1.0 で切土を行い、1 案同様のモルタル吹付工($t=8\text{cm}$)と斜面全体の抑止工として鋼管杭及び表層の崩落防止を目的に吹付法枠工(300×300)を計画し、計画安全率 $F_s=1.15$ を満足させる。

3.5 対策工法の選定

前節で 4 案検討したが、以下の観点から対策工法を選定した。

(1) 対策効果

いずれの工法も計画安全率 $F_s=1.15$ を満足しており、対策効果は優れている。

(2) 施工性

第1案が工種が少なく最も施工性で優れる。第3案、第4案は工種が多くなり施工性で劣る。

(3) 経済性

第1案が最も経済性で優れる。第2案がその次に優れ、第4案、第3案と経済性で劣る。

(4) 景観・環境

法面全体を吹付法砕工(砕内モルタル吹付)、モルタル吹付で覆われるため、どの案も景観性はよくない。

(5) 工法比較

以下の表 1 より工法比較の結果、施工性及び経済性で最も優れる第1案：頭部排土工 + 切土工(切土勾配 1:1.2)を採用した。

すように仮設安全率 $F_s=1.05$ を満足する EL.299.5m までとした。

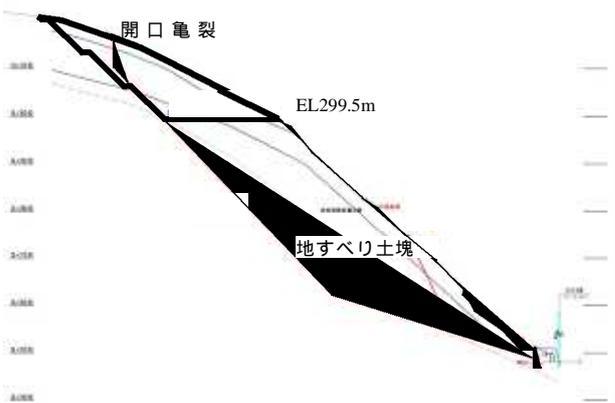
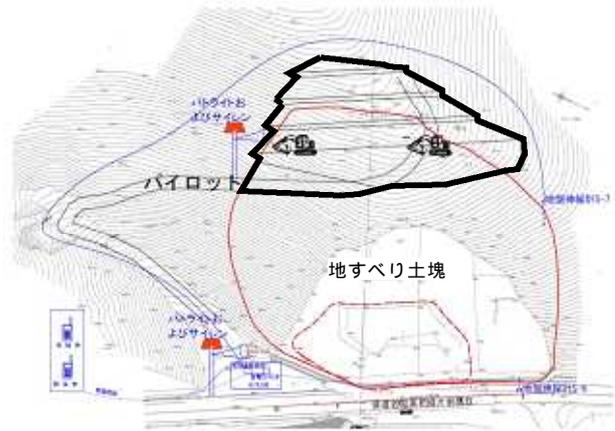


図 2 無人化施工区域(太枠内)

	第1案 頭部排土工 + 排土工 (切土勾配 1:1.2)	第2案 頭部排土工 + 排土工 (切土勾配 1:1.0) + 法砕工	第3案 頭部排土工 + 排土工 (切土勾配 1:1.0) + アカー工	第4案 頭部排土工 + 排土工 (切土勾配 1:1.0) + 鋼管杭工
対策効果				
施工性			×	
経済性			×	
景観・環境				
判定	1	2	4	3

表 1 対策工工法比較概要表

3.6 復旧工事概要

前節で述べた対策工法が11月の査定により認められ、査定工事概要は以下の通りである。

- ・ 査定決定額 364,670千円
- ・ 主要工事概要

頭部排土工(無人化施工)	16,600m ³
排土工(有人施工)	47,200m ³
植生基材吹付工(t=3cm)	2,720m ²
モルタル吹付工(t=8cm)	10,021m ²
大型土のう工(応急盛土)	1,890袋

4. 無人化施工

4.1 無人化施工区域の確認

今回の無人化施工区域は、図 2 に示

4.2 無人化施工上の問題点

今回の無人化施工は、地すべり活動中の不安定土塊上での作業となり、かつ急峻な地形での排土工を行うものである。当然、無人化施工は有人施工に比べ安全な施工環境を必要とするため、過去の実績でも比較的平坦で広いフィールドで採用されており、不安定土塊上での作業経験は全国的にも経験が少ない。そのため、遠隔操縦士の目となる固定カメラ等を的確な位置に配置するとともに、熟練の遠隔操縦士を必要とした。

また、不安定土塊への上載荷重を極力低減する必要があるため、応急対策とはいえ必要最小限の遠隔操作式建設機械編成としなければならなかった。

4.3 無人化施工機械の選定

遠隔操作式建設機械は、当現場で必要とされる作業内容から掘削機械(バックホウ系)、運搬機械(ダンプトラック系)、集積機械(ブルドーザ系)を候補としたが

早期着工・完成を大前提とし、以下の点に着目し機種選定を行った。

早期調達が可能であること。

大規模な分解組立を要しないこと。

岩塊の破碎が可能であること。

(岩出現の可能性が高いため)

小型～中型機の採用により仮設道路幅を極力狭くでき、不安定土塊の上乗荷重の低減が図れる。

特に についてであるが、軟岩 相当の掘削機械の選定は、「32t級リッパ装置付ブルドーザ」または「大型ブレイカ装着0.8 m^3 バックホウ」が標準である。しかし、遠隔操作式建設機械の機種には、前記ブルドーザは現存せず、遠隔操作式リッパ装置付ブルドーザは62t級以上しか存在しない。 にもあるように不安定土塊上において、標準機械の約2倍の重量がある建設機械で作業することは二次災害を誘発する恐れがあり極めて危険であると判断される。よって、岩出現時にはアタッチメント交換により大型ブレイカ装着可能な遠隔操作式バックホウを採用した。

また、土砂の運搬には仮設道路幅が狭く、旋回するスペースが確保困難な状況を考慮し、遠隔操作式不整地運搬車は全旋回(荷台部が360°旋回)型を採用した。なお、同運搬車は無人区域から有人区域へ連続作業するため、有人区域で特殊運転手が搭乗し、有人で運搬した。

4.4 無人化施工設備

無線設備については一般的な簡易無線(50GHz帯)と重機の制御用に特定小電力無線(429MHz帯)を用いた。

カメラ設備については、各遠隔操作式バックホウに車載カメラを2基搭載し、有線式固定カメラを地すべり箇所両側に各1基、頂部に1基の計3基配置した。

車載カメラの2基のうち1基はブームアームの動きを捉え、掘削や重機足場造成、不整地運搬車の誘導時に使用し、もう1基はバックホウの覆帯付近を捉え、移動時の接触や法肩からの踏み外し防止のために使用した。

固定カメラは、遠隔操縦士が全体視野・局部視野・立体視として最低限度捉え

られるように配置した。また、このカメラは電動ズームレンズにより望遠・広角が可能で、上下左右に動作することもできる。

4.5 頭部排土工施工手順

頭部排土工は以下の施工手順により施工した。

(1) 仮設道路造成工

遠隔操作式バックホウ(0.8 m^3 、1.4 m^3)にて頂部への登坂路を造成した。

(2) 頭部排土工

遠隔操作式バックホウ(0.8 m^3)にて片切掘削及び法面整形を行い、遠隔操作式バックホウ(1.4 m^3)にてオープン掘削領域の掘削・積込を行った。



写真 3 頭部排土工(掘削・積込・運搬)

(3) 掘削土小運搬工(無人 有人)

遠隔操作式 11t 不整地運搬車で仮設道路を走行し、地すべり土塊を通過すると、そこからは特殊運転手が搭乗し掘削土仮置場まで運搬した。



写真 4 掘削土小運搬工(有人区域)

(4) 掘削土搬出

掘削土仮置場において有人バックホウ(0.8 m³)で 10t ダンプトラックに積込み、残土処理場へ運搬した。



写真 5 掘削土搬出状況

4.6 地盤伸縮計に伴う挙動監視体制

頭部排土工施工中は、依然地すべり活動中であることから、無人化施工とはいえ二次災害防止のために地すべりの挙動を監視する必要があったため、図 3 に示す側部に設置した地盤伸縮計 S-7 により監視を行った。

監視中は管理基準値を設け、管理基準値を超える変位を観測した場合には、図 3 に示すように遠隔操作室付近及び頭部排土工現場付近の2箇所に設置したパトライトとサイレンで周知するようにした。管理基準値の設定については、地質構造、崩壊規模など様々な条件を考慮しなければならない。また、管理基準値をゆるく設定すれば十分機能せず危険であり、厳しく設定すると誤作動多発となる。文献によれば管理基準値は2mm/h～4mm/hとあり、当現場は比較的移動速度の速い岩盤すべりであることから、管理基準値は厳しい値をとり2mm/hとした。

また、当現場は大規模な地すべりとは別に表層崩壊も発生していることから、サイレン等の警報がなくても法面からの小石等の落石及び異常音等を確認した場合には、ただちに現場周辺から離れるように現場作業員に指導した。

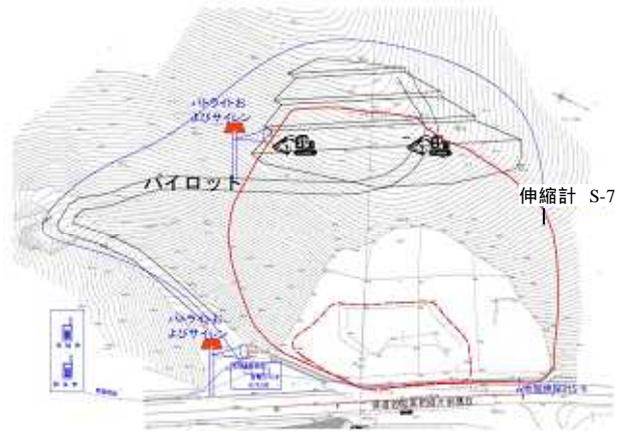


図 3 頭部排土工施工時の挙動監視体制

4.7 頭部排土工から排土工への切替

頭部排土工は、当初計画の EL.299.5m までの施工を完了後、地盤伸縮計の変位もなくなったため、地すべり活動は沈静化されたものと判断し、有人施工に切替えて排土工を行っているところである。

また、地すべり活動は沈静化したため、交通解放にむけて土工用防護柵設置等の工事を行い、約 9 ヶ月に及んだ全面通行止は平成 19 年 7 月 17 日より片側交互通行に切替えたところである。



写真 6 頭部排土工完了後

5. おわりに

今回、施工事例の少ない無人化施工を採用した現場を担当して、新たな知識を得ることができ今後の業務にも活かしていきたいと思う。

本現場は現在も施工中であるため、今後も早期復旧に努めていきたい。