

# 荒砥沢地すべりにおける排土工の施工と 動態観測について

片山 政弘<sup>1</sup>・石濱 茂崇<sup>1</sup>・北原 茂郎<sup>2</sup>  
黒澤 肇<sup>3</sup>・掛野 泰史<sup>3</sup>・江坂 文寿<sup>4</sup>・田中 裕治<sup>4</sup>

<sup>1</sup> (株)熊谷組 土木事業本部 土木設計部地質グループ (〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1)

<sup>2</sup> 正会員 (株)熊谷組 土木事業本部 機材部 (〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1)

<sup>3</sup> (株)熊谷組 東北支店 (〒980-0011 仙台市青葉区上杉5丁目3番36号)

<sup>4</sup> 東北森林管理局 宮城北部森林管理署 宮城山地災害復旧対策室  
(〒987-2392 宮城県栗原市一迫真坂字清水田河前5番地)

荒砥沢地すべりは平成20年6月に発生した岩手・宮城内陸地震に起因して発生した国内最大級の地すべりである。この地すべりでは、高さ約150mにもおよぶ滑落崖が形成され、更にその背後にも新たな不安定地山の存在が懸念されたことから、背後地山に対し約37万 $\text{m}^3$ の排土工が計画された。この排土工は、約150mの滑落崖の冠頭部で施工することから安全管理上、迅速で精度の良い動態観測が必要と考え、リアルタイム解析機能を備えたGPS観測システムやノンプリズムによる動態観測システムを採用した。

ここでは、荒砥沢地すべりの概要と施工時の動態観測の結果について述べるとともに、これら観測結果、施工時の状況から無人化機械による排土工に工法変更した経緯、施工結果などを報告する。

**キーワード：**岩手・宮城内陸地震、大規模地すべり、動態観測、無人化施工

## 1. はじめに

岩手・宮城内陸地震が原因として発生した荒砥沢地すべり(図-1)では、高さ約150mにもおよぶ滑落崖が形成され、更にその背後にも新たな亀裂が発生し、冠頭部の崩壊が懸念されたことから、背後地山に対し約37万 $\text{m}^3$ の排土工が計画された。

この排土工は、約150mの滑落崖の冠頭部で施工することから安全管理上、迅速で精度の良い動態観測が必要と考え、新しい動態観測技術を採用しながら施工を進めた。しかしながら、施工途中で隣接斜面が崩壊したこと、また動態観測結果から軽微ながらも継続的に地山変状が認められることから、施工の安全性に懸念がある箇所にて無人化施工の採用に踏み切った。

無人化施工を計画する際には、既施工箇所の地山状況や動態観測結果、斜面安定検討結果を踏まえ安全で施工性の良い無人化施工範囲を設定した。その結果、大きなトラブルもなく工期内で工事を終えることができた。以下に、荒砥沢地すべりの概要、動態観測結果、無人化施工概要を中心に報告する。

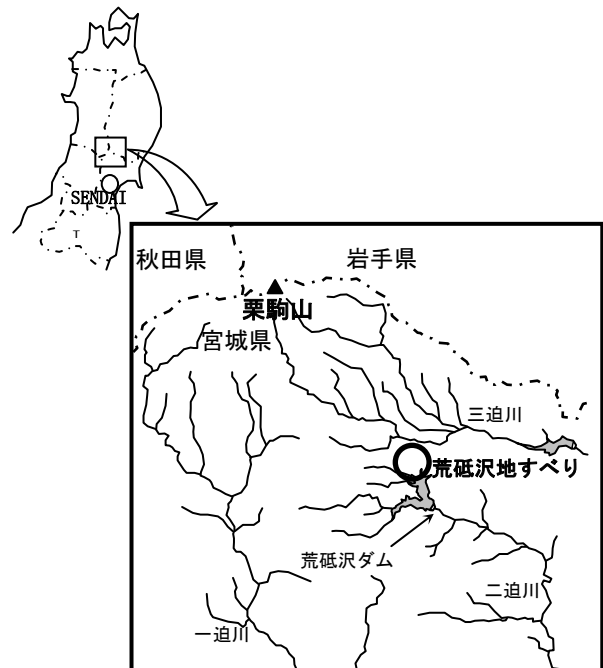


図-1 工事箇所位置図

## 2. 荒砥沢地すべりの概要

### (1) 地すべり規模と分布地質

荒砥沢地すべりは、斜面長約 1300m、幅約 900m、面積約 98ha、不安定土砂発生量約 6700 万  $\text{m}^3$  となり（図-2）、その規模は国内最大級と言われる。また、地すべり面の最大深度は 100m を超え、地すべり時に形成された滑落崖の高さは 150m にも達する。すべり面傾斜角は末端部で  $1^\circ$  程度、中腹部から上位で  $1^\circ$  程度と極めて緩い（図-3）。

分布地質は第四紀更新世の火山岩性堆積岩類であり、滑落崖の下位から軽石凝灰岩、溶結凝灰岩、（安山岩質）凝灰角礫岩が分布する（写真-1）。溶結凝灰岩は柱状節理が発達した中硬岩である。一方、軽石凝灰岩、凝灰角礫岩は初生的に軟岩であるうえに風化・破碎の影響を受け脆弱化している。今回の排土は主に最上位に分布する凝灰角礫岩を対象としている。

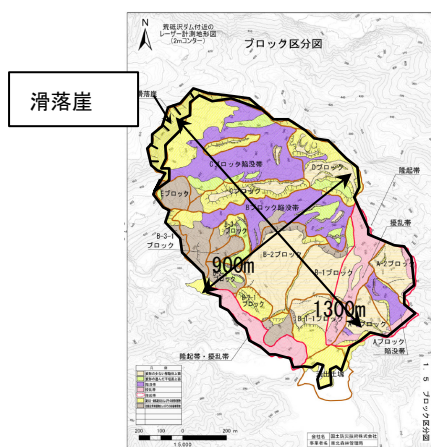


図-2 荒砥沢地すべり全体図<sup>1)</sup>

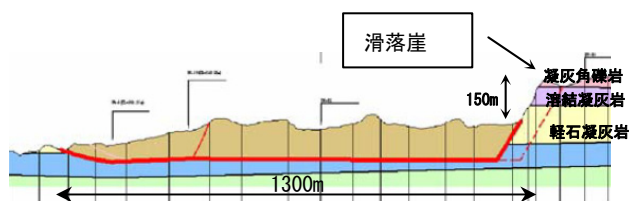


図-3 荒砥沢地すべり断面図<sup>1)</sup>

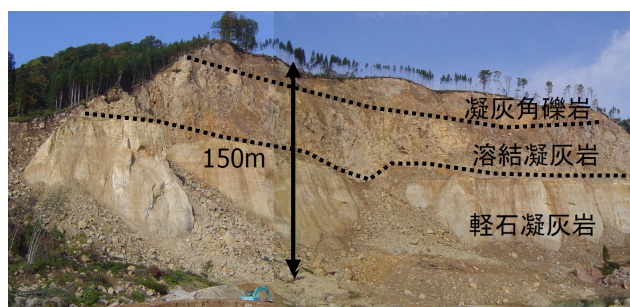


写真-1 滑落崖全景写真

### (2) 地震後の地すべりの挙動

荒砥沢地すべりでは、地震直後～1ヶ月後のレーザープロファイラにおける地形観測結果から（図-4）、滑落崖の壁面から約 50～60m 背後に新たな小崖と亀裂（以下 拡大亀裂と称す）が形成され、更に低標高位に分布する軽石凝灰岩が前方にせり出していることが判明した。また、この結果を受けて新設した地表面伸縮計の計測結果（図-5）からは継続的に亀裂が拡大していることが確認された。

この亀裂の拡大の原因は、図-6 に示すように、冠頭部に分布し厚さ 100m に達する溶結凝灰岩、凝灰角礫岩の土塊荷重が下部の軽石凝灰岩に作用したことで発生したと考え、かつ溶結凝灰岩には分離面となりやすい柱状節理が発達しているため、これが拡大亀裂顕在化の一因となったと考えられている。

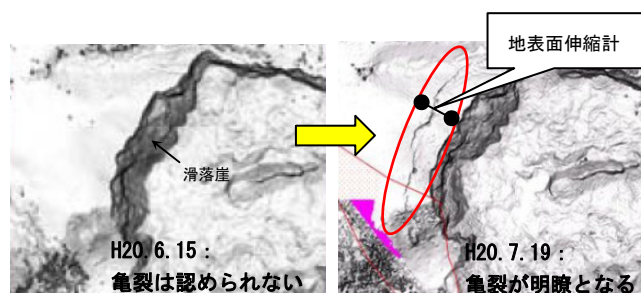


図-4 レーザープロファイラ計測結果<sup>1)</sup>

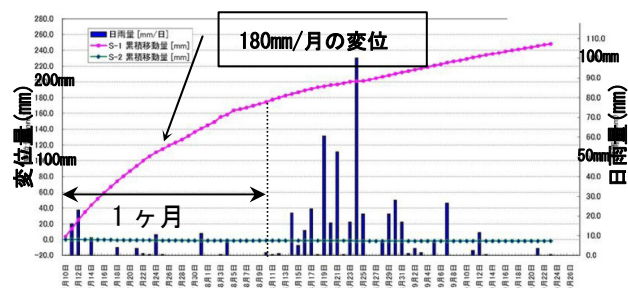


図-5 地表面伸縮計計測結果<sup>1)</sup>

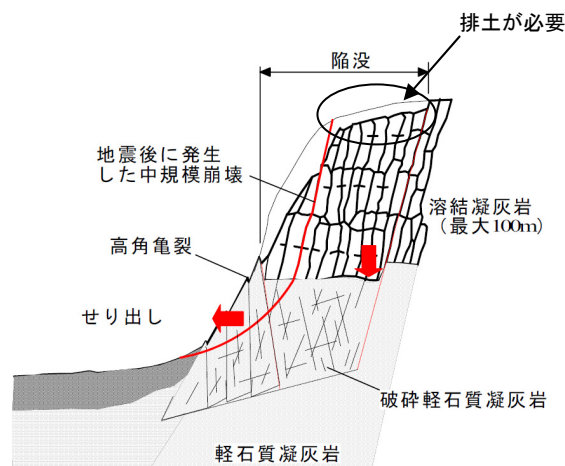


図-6 亀裂拡大要因模式図<sup>1)</sup>

### 3. 工事概要

本地すべり地では、拡大亀裂の進展に伴う冠頭部の崩壊が発生した場合に、地すべり移動体への頭部載荷や衝撃力により地すべり滑動の誘発が懸念されることから、冠頭部の排土工が計画された。排土量は、滑落崖に対し斜面安定検討を実施し、豪雨時においても  $F_s=1.02$  から  $1.05$  を確保できる規模とした。

その結果、排土工は滑落崖冠頭部に対し高さ約30m、施工範囲28,700 m<sup>2</sup>、排土量約370,000m<sup>3</sup>の規模となった。表-1にその他の工事も含めた工事概要一覧を示し、図-7に工事概要図を示す。

尚、本工事では当初、土工事として一般的な有人オペレータによる施工を実施していたが、5章で述べるように施工安全性の懸念から、一部の範囲で無人化機械による工法変更を実施した。

表-1 工事概要

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工 事 名 | 荒砥沢Ⅱ (H21) 治山工事                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 工事場所  | 宮城県栗原市栗駒字栗駒岳<br>国有林21林班地内                                                                                                                                                                                                                                            |
| 発 注 者 | 東北森林管理局<br>宮城北部森林管理署                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 施 工 者 | ㈱熊谷組 東北支店                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 工 期   | 平成21年7月30日～平成22年6月30日                                                                                                                                                                                                                                                |
| 工事内容  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・頭部排土工 370,000m<sup>3</sup><br/>(有人：305,000m<sup>3</sup> 無人化：65,000m<sup>3</sup>)</li> <li>・切土法面緑化 2,000m<sup>2</sup></li> <li>・盛土工 340,000m<sup>3</sup></li> <li>・作業道 W=8.5m L=1,160m</li> <li>・旧市道改修 W=6.0m 420m</li> </ul> |

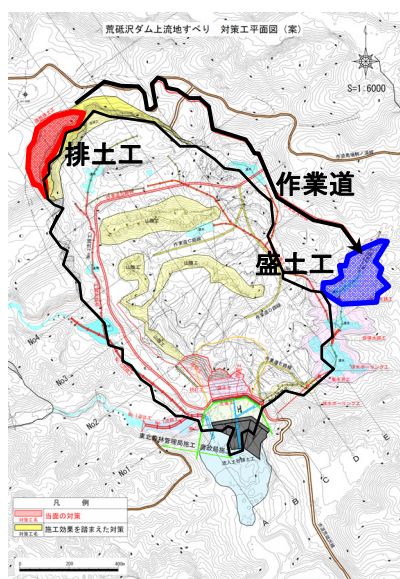


図-7 工事概要平面図<sup>1)</sup>

### 4. 動態観測の概要と結果

#### (1) リアルタイムGPSの概要

本工事は比高150mの冠頭部での施工となることから、地山の挙動を常時把握し、安全に施工を進めることが求められた。本現場では地表面伸縮計による動態観測を継続的に実施していたが、施工範囲が広く、平面的な管理が必要と考え、図-8に示すように滑落崖近傍、切土法面肩部にGPS計測点を配置した。今回、滑落崖の岩盤性状から、変位速度の速い崩落現象の懸念があるため、GPSは変位追従速度に優れたシステムを採用した（以下 リアルタイムGPSと称す）。

現在、一般的に動態観測として汎用化されているGPSは、ミリオーダーの精度を有するが、その精度を得るためには通常1時間以上の解析時間を要する難点がある。リアルタイムGPSは、迅速な計測結果を得るためにRTNetと呼称するソフトウェアを利用し、まず、リアルタイム（数分で10～20mmオーダー精度）での解析・評価を実施したのちに、Berneseと呼称するソフトウェアを利用し、精度をミリオーダーまで向上させることを可能としたシステムである。観測は24時間体制で実施し、異常時には警報が携帯電話へ発信される。

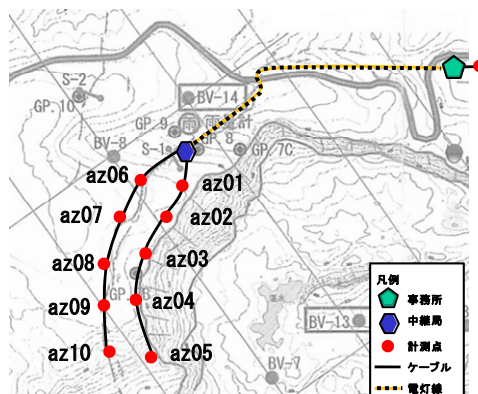


図-8 リアルタイムGPSと設備配置図

#### (2) ノンプリズム動態観測の概要

滑落崖は地震直後から、経時的に軽石凝灰岩を主体として前面にせり出していることが確認されていた。このようなせり出しの進行は冠頭部の崩落に至る可能性があることから、滑落崖の壁面挙動を観測し安定性を評価する必要があると考えた。但し、滑落崖は小崩落が頻発し、近寄ることができないことや工事中の管理として、簡便で迅速な計測手法を必要とすることから、今回、光波測距の応用としてノンプリズムによる壁面形状計測（以下 ノンプリ計測と称す）を実施した。

ノンプリ観測は、トータルステーションの機能の一つである「縦断面スキャン測量」を用いて行う動態観測法である。図-9に示すように任意の2点間の測線に対して直交する方向に縦断面を作成し、同一測線の測定を繰り返すことにより動態観測を実施するものである。当地のような人が近づくことができない危険な場所への適用が有効である。

観測は、滑落崖から約200m離れた箇所に基準点を設け、写真-2に示すように縦断線を5測線設定し、高低差約120m区間を観測した。尚、観測は1回/日実施し、その計測時間は概ね2時間程度である。

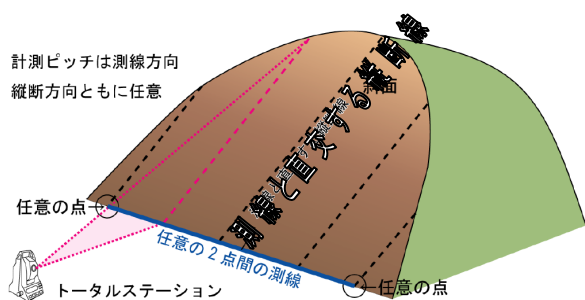


図-9 ノンプリ計測概念図



写真-2 ノンプリ計測と測線配置

### (3) 観測結果

観測はリアルタイムGPS、ノンプリ計測ともに本格的に掘削が開始された平成21年11月中旬～平成22年6月末まで実施した。また、観測中は管理基準値を定め安全を確保しながら施工を進めた。

図-10に冠頭部で実施したリアルタイムGPSと滑落崖壁面部で実施したノンプリ計測の結果を示す。

リアルタイムGPS観測結果では、法肩に設置した機器は概ね東～北東方向に変位し、滑落崖近傍に設置した機器は概ね南～北東方向に変位している。法肩部の結果は、切土後の応力開放に伴う変位 (az09, 10) や沢地形の斜面傾斜方向への変位 (az06, 07) が発生したと考えられ、滑落崖近傍の結果は、概ね

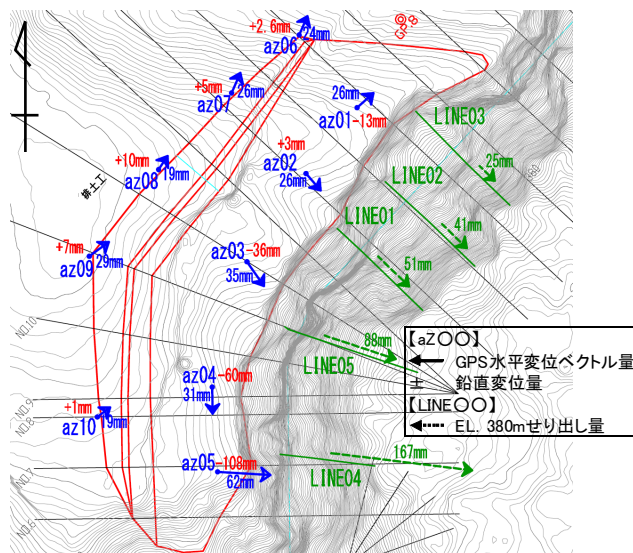


図-10 GPS・ノンプリ計測結果 (H21. 11～H22. 6)

滑落崖側への変位が継続的に発生しているものと考ええる。

ノンプリ計測結果として各測線におけるEL. 380m付近 (軽石凝灰岩) のせり出し量を示した。軽石凝灰岩のせり出しはすべての測線で確認され、特に南西側の滑落崖が相対的に大きな値を示す (LINE04, 05)。また、図-11に示すノンプリ計測断面結果の一例 (LINE04) からは、今回の施工中において軽石凝灰岩に加え溶結凝灰岩でもせり出している結果が得られた。これは、経時的な滑落崖面の緩みやトップリングによるものと考え、場所によっては崩壊に至っている箇所もあると考える。

尚、これらGPS観測やノンプリ計測の結果からは、排土工事の進捗に伴う変位抑制効果の発揮により、変位収束の傾向が認められ、特に軽石凝灰岩のせり出しは、値が最も大きいLINE04付近にて観測初期の30mm/月から観測後期の15mm/月へと減少する傾向が認められた。但し、完全に全ての変位が収束しているわけではないことから、工事竣工後も継続して計測を実施していく予定である。

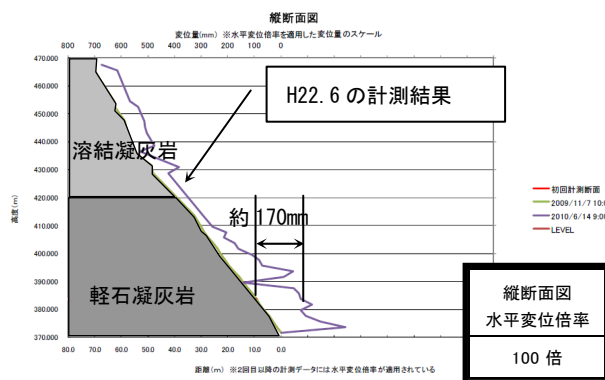


図-11 ノンプリ計測縦断面結果 (LINE04)

## 5. 無人化施工

### (1) 無人化施工採用の背景

排土工は平成21年11月中旬から順調に進捗していたが、平成22年2月12日に滑落崖の東側斜面にて約12,000 m<sup>3</sup>の崩落が発生した（写真-3）。また、前章にて示したように、滑落崖の南西側斜面（崖面に向かって左側）が軽微ながらも継続的に冠頭部の沈下や滑落崖のせり出しが確認されていた。このような事象に加え、後工程の施工時期は春先の融雪期へと移行していくことから、冠頭部の斜面安定性は低下するものと考え、残りの約40%（約15万m<sup>3</sup>）の排土工は有人と無人化の併用施工へと変更した。



写真-3 東側斜面の崩落

### (2) 無人化施工範囲

無人化施工の計画を実施するにあたり、その施工範囲を検討した。無人化施工範囲（有人施工では危険な範囲）の設定はこれまでの無人化施工工事例においても、明確な基準がなく、今回の場合も手探りで検討を開始し、最終的に図-12に示すフローのような考えに基づき範囲を設定した。尚、このような検討ではフロー中の斜面安定計算結果（図-13）に判断を大きく委ねがちであるが、計算結果を過信せず、既施工範囲での地山観察、動態観測結果などから、安全性を最優先しながらも施工性に配慮した

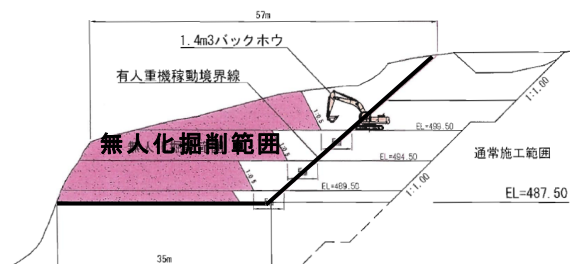


図-14 無人化施工範囲縦断区分図

範囲を総合的に判断することが重要である。今回の検討では、図-14に示すような標準断面結果を平面的に展開（図-15）した結果、無人化施工数量は65,000m<sup>3</sup>となった。

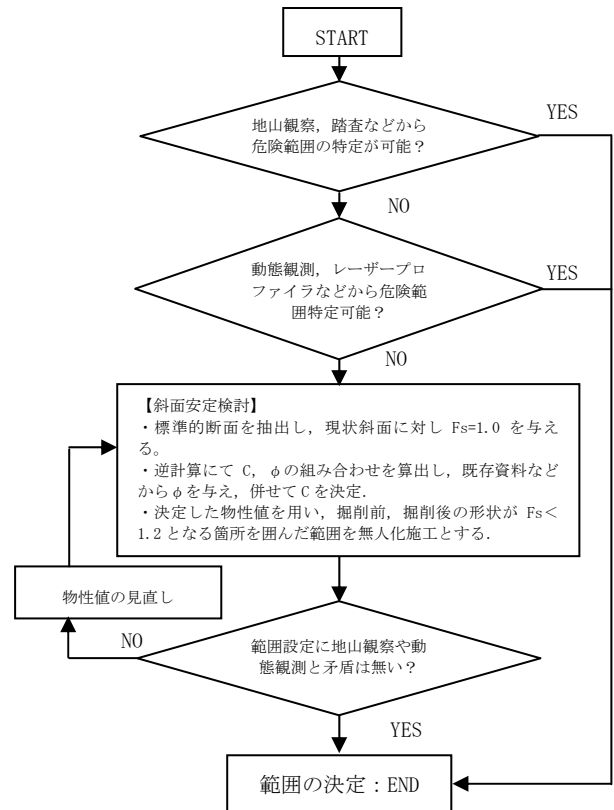


図-12 無人化施工範囲検討フロー

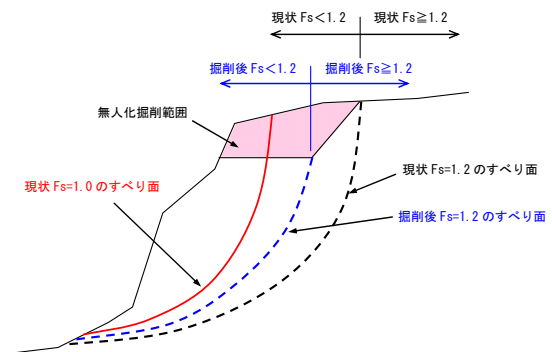


図-13 斜面安定検討概念図

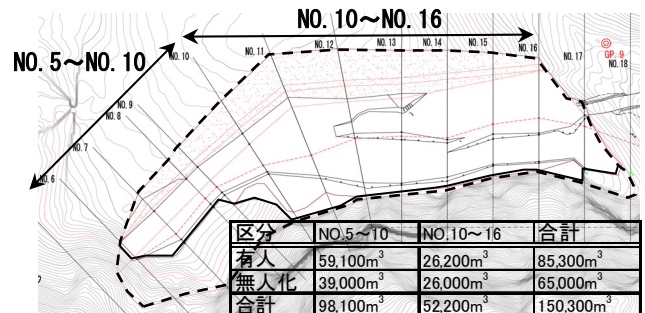


図-15 無人化施工範囲平面区分図（H22.4時点）

### (3) 無人化施工システム

無人化施工は汎用建設重機をラジコン化したものであり、テレビカメラを見ながら遠隔操作を行う施工法である。使用機械は掘削土量，工期，施工性などを勘案しながら表-2に示す資機材を採用した。施工イメージを図-16に示す。有人施工・無人化施工の使い分けは，図-14に示す施工範囲などの結果から，無人化機械は主に掘削，整形に使用し，積み込み，運搬は有人での施工が可能と判断した。

これらの資機材を運用することで，大きなトラブルもなく平均2,000m<sup>3</sup>/日程度の排土を行い約3ヶ月間で無人化施工を終了することができた。

## 6. まとめ

比高150mを有する滑落崖での排土工の施工にて新しい動態観測技術を採用，運用しながら地山の挙動を迅速に把握することができた。

また，動態観測の結果や周辺地山状況から速やかに施工法変更（無人化施工）を行い，その際，無人化施工範囲を適切に決定することで，安全かつ効率的に施工を進めることができた。

## 7. おわりに

このような自然災害の対策工における動態観測の活用，無人化施工の実施ならびに無人化施工範囲の設定方法などが今後の同種工事の参考となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 東北森林管理局：岩手・宮城内陸地震に係る荒砥沢地すべり対策と大規模地すべりにより出現した地形・景観の活用に関する検討会 報告書，2010. 3

表-2 無人化施工機械一覧表

| 機械名         | 規格                | 台数 | 使用工種   | 摘要                             |
|-------------|-------------------|----|--------|--------------------------------|
| 遠隔操作式バックホウ  | 3.5m <sup>3</sup> | 1  | 掘削・整形  | 車載カメラ搭載                        |
|             | 1.5m <sup>3</sup> | 1  | 掘削・整形  | 車載カメラ搭載<br>ガイダンスシステム搭載         |
| 遠隔操作式ブルドーザー | 16t               | 1  | 押土・整地  | ガイダンスシステム搭載                    |
| 大型ブレーカー     | 2t                | 1  | 転石・小割り | —                              |
| 移動カメラ       | —                 | 2  | 作業監視   | 0.5m <sup>3</sup> 遠隔操作式バックホウ搭載 |
| 固定カメラ       | —                 | 3  | 作業監視   | —                              |
| ハイビジョン固定カメラ | —                 | 4  | 全体監視   | 1台                             |
|             |                   |    | 崖面監視   | 3台                             |
| 操作室         | 3K×4K             | 1  | —      | —                              |

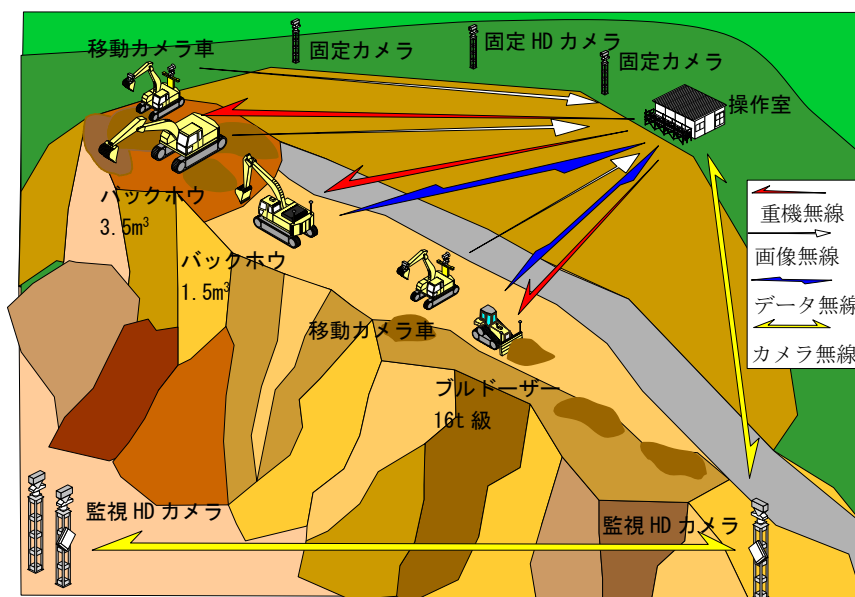


図-16 無人化施工イメージ図