

# 熊野地区災害復旧工事の安全確保について

藤井 厚企<sup>1</sup>・佐藤 渉<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 紀伊山地砂防事務所 田辺監督官詰所 藤井 厚企 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

<sup>2</sup>国際航業(株) shamen-netプロジェクト 佐藤 渉 (〒183-0057東京都府中市晴見町2-24-1) .

平成23年の台風12号豪雨により発生した河道閉塞災害復旧工事現場において、着々と復旧工事が進捗している。しかし、被災規模が甚大であったため、未だに手つかずの危険箇所が数多く存在する。これらの箇所は、発災から約1年9ヶ月の年月が経ち、降雨などにより浸食が進み、発災直後より、さらに危険度が増してきている箇所もある。このような危険箇所に隣接した箇所を災害復旧工事として進めているのが現状がある。

そこで、巨大な転石が数多く存在し、落石・崩壊の危険性が高い箇所の直下において、緊急対策工事を実施している和歌山県熊野地区の工事安全確保の取り組みについて報告し、この事例をケーススタディとして情報共有を図ることを目的とした。

キーワード 深層崩壊, 災害復旧工事, 安全対策, モニタリング, GPS, 崩壊検知センサー

## 1. 熊野地区の概要

2011年9月、台風12号がもたらした豪雨により、和歌山県田辺市熊野地区において、大規模な深層崩壊が発生した。当該地で発生した深層崩壊は、長さ650m、幅410m、深さ60mに及び、その崩壊土砂量は約410万 $\text{m}^3$ と推定されている(図-1)。

この大量の崩壊土砂は、河道を閉塞し、上流部に湛水池を形成(天然ダム化)した。また、崩壊土砂の一部は土石流化し、熊野川を1km以上にわたって流下、3名もの死者を伴う甚大な被害が生じた。

この、甚大な被害を受け、国土交通省は、熊野地区において、平成23年5月に新たに施行された土砂災害防止法に基づき「緊急調査」の実施、住民避難指示を判断する元となる「土砂災害危険情報」の通知、「緊急対策工事」の実施を行なっている。



図-1 熊野地区崩壊発生状況

## 2. 災害復旧工事の工事概要

熊野地区では形成された湛水池をポンプ排水と埋戻しにより湛水池をなくし、仮排水路の設置する緊急対策工事に続き、計画規模(1/100年)の降雨・流量に対し崩壊地の新たな崩壊や浸食、不安定土砂の二次移動、土石流などの防止を図る施設の建設に取り組んでる。

具体的には13基の落差工を有する水路工、1基の砂防堰堤工(h14.5m×w145.6m)、5基の床固工群により、熊野地区を閉塞した大量の崩壊土砂に対する抜本的対策として図-2に示す内容の事業計画し、現在(2013年6月)は、水路工がほぼ完成、砂防堰堤工を建設中である。

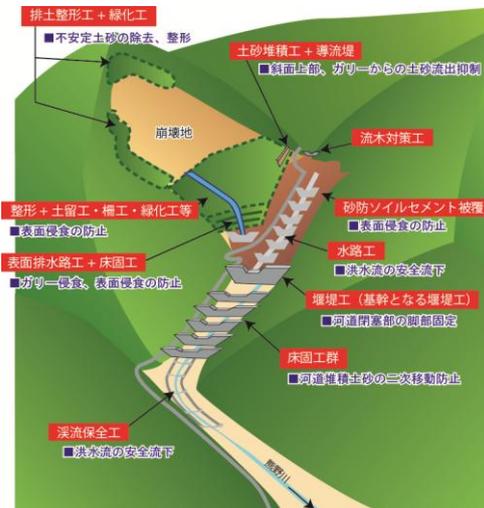


図-2 熊野地区の全体事業計画

### 3. 災害復旧工事が直面する危険性について

現在取り組んでいる施工エリアに隣接する斜面は、熊野地区の中でも崩壊土砂が厚くかつ急勾配で堆積している崩壊地下流側末端部の直下に位置している（図-3）。斜面上には、崩壊跡として数m～数十mの巨大な転石が不安定な状態で数多く点在するなど、当該地において二次崩壊の懸念が最も高い区域である（図-4）。今後の降雨により崩壊土砂の侵食等がさらに進み、浮石化した岩塊が崩落した場合には、施工エリアを直撃する可能性がある。そのため、我々は安全な災害復旧工事を行なうために、崩壊土砂や転石に対する安全対策が必須であると判断した。



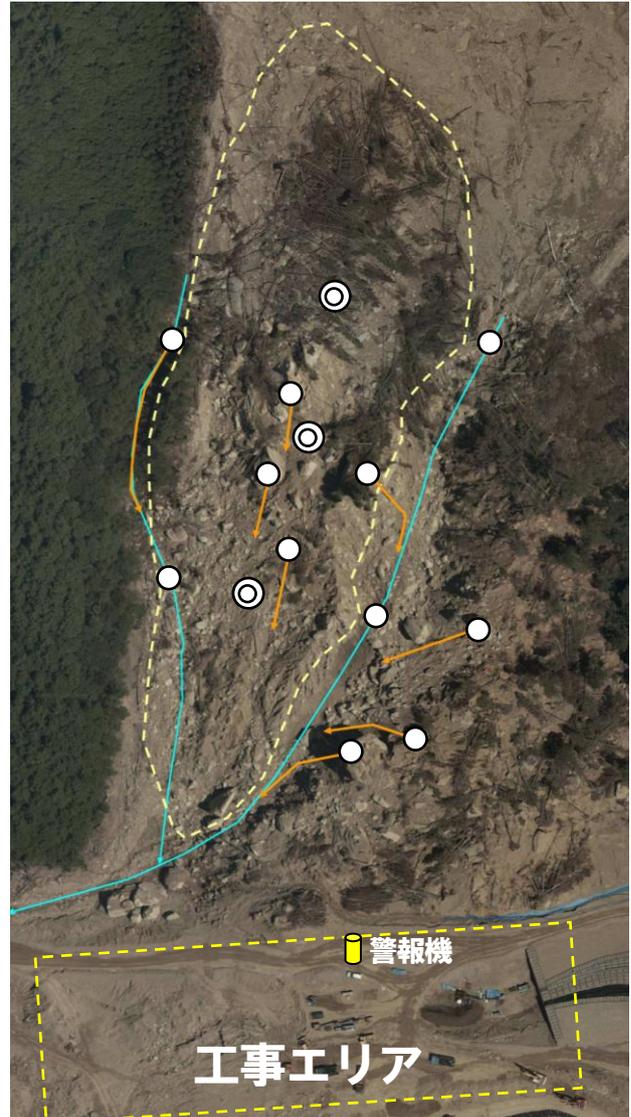
図-3 崩壊地 下流側末端部の状況  
(施工エリアより撮影)



図-4 崩壊地内の岩塊の状況  
(浮石上となった岩塊背後に明瞭な亀裂が認められる)

### 4. 工事安全確保を担うセンサー配置について

熊野地区では、工事の安全確保のために、①GPSセンサーおよび②崩壊検知センサーを設置し、リアルタイムに斜面変動状況を監視する計測監視体制を構築した。図-5にGPSおよび崩壊検知センサーの設置位置を示すとともに、以下にそれぞれのセンサーの特徴と計測目的を示した。



- ①→ 落石検知
  - 崩壊検知センサー
  - 落石の移動方向(想定)
- ②→ 崩土移動監視
  - ◎ GPSセンサー
  - 2次崩壊が懸念される崩土の範囲

図-5 動態監視機器配置図

#### ① 崩壊検知センサー

崩壊検知センサーとは、表層崩壊や落石・土石流等の地表面変動現象を安価に検知するために開発された機器で、変動現象時に地表面が傾く現象を測定するセンサーである。

当該地への適用は、この現場を施工する(株)森組が技術提案したシステムを、協議の上、この箇所への適用に変更したものである。ここで使用する崩壊検知センサーは、3軸重力加速度センサ(MEMS)を搭載した測量杭形状のセンサーである。各センサーにおいては、小型電池(寿命約1年)および無線器が格納されており、センサーが一定の傾斜量を検知した際に、無線を通じ施工エ

リア下部にある警報機を起動させる仕組みである。

なお、変位量が測定できない、正確な傾斜量が検知できないという問題を有するが、落石や土石流等の突発的な変動現象を瞬時に検知できるという面で優れたシステムである(図-6)。

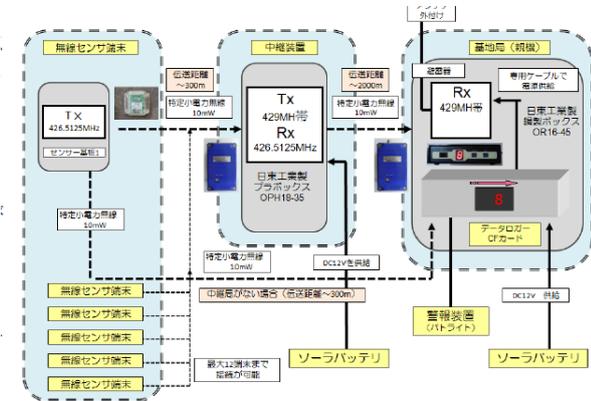


図-6 崩壊検知センサーのシステム構成

崩壊検知センサーは、地形地質状況ならびに機器の特性を鑑み、岩塊の崩落や落石、沢からの土石流を瞬時に検知できるような箇所へ計11台配置した。

11台の内訳としては、①斜面や沢を滑落し、施工エリアに到達する可能性がある岩塊に対し、センサーを8台設置した(図-7)。また、②岩塊や土砂が土石流化して沢を流下する際に、必ず土石流が通過する地点に3台のセンサーを設置した。



図-7 崩壊検知センサー設置状況

② GPSセンサー

GPS(Global Positioning System)とは、衛星からの電波を受信して、任意地点の三次元座標を求めることが可能なセンサーで、ナビゲーションや測量等で広く利用されている。

当該地で設置したGPSセンサーは<sup>2)3)</sup>、深層崩壊や地すべり等の大規模土砂移動現象に伴う変位量を安価かつ正確に計測するために開発されたセンサーである。各GPSセンサーは携帯電話を内蔵した通信集約機と呼ばれるデータロガーに接続され(図-8)、計測データは携帯電話を通じてGPS計測監視センター内のデータ解析サーバーに送信される(図-9)。

GPS計測監視センターにおいては、座標計算に加え、トレンドモデル<sup>4)</sup>と呼ばれる誤差処理を行い、mm単位の変位量を求めている。

また、得られた変位量は、インターネットを介しデータを公開しているため、施工者だけでなく監督官詰所や紀伊山地砂防事務所においても計測データが確認できる。さらに、監視センターには変位を監視するための技術者を常駐させ、夜間や休日等に変位発生兆候が認められた場合でも、即座に緊急体制に移行できるような計測監視体制を構築している。

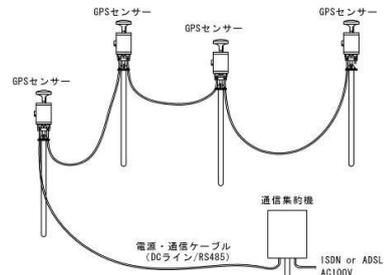


図-8 GPSセンサーのシステム構成



図-9 GPS計測監視センターの概念図

GPSセンサーは、崩壊検知センサーでは検知しがたい微小な土砂変動現象を早期かつ正確に把握する目的で、二次崩壊が懸念される崩壊地下流側末端部エリアの上・中・下部に計3台設置した(図-10)。

なお、熊野地区では、当該下流側末端部以外に崩壊土



図-10 GPSセンサー設置状況

砂の不安定化が懸念される箇所にGPSを2基設置するとともに、深層崩壊の滑落崖および側方崖の背後クラックを計測する目的で伸縮計を4基設置している。

5. 動態観測結果

①GPSセンサーおよび伸縮計の観測結果

災害復旧工事のための動態観測体制は、2013年3月22日より運用開始した。図-9に運用開始から6月20日（90日間）までの計測結果を示した。

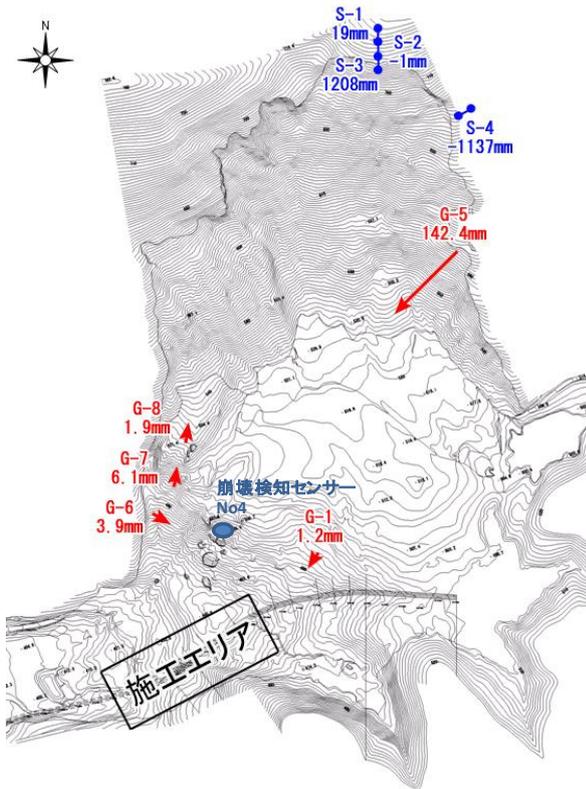


図-11 GPSおよび伸縮計計測結果

下流側末端部に設置した崩壊検知センサーおよびGPS (G-6～8) においては、5月中旬に127mm/日の降雨を経験したものの、目立った変位傾向は認められなかった。

しかし、工事施工エリアからは離れているが、滑落崖・側方崖に設置した伸縮計(S-1～4)とGPS (G-5) において、降雨と連動した変位が認められた。

そのため、工事エリア近傍の観測機器に加え、これらセンサーにおいても、引き続き注意を払う必要があることが判明した。

②崩壊検知センサーの観測結果

崩壊検知センサーの観測結果(No4)例を以下に示す。観測期間中において、このNo8で2回(4月7日、19日)、No7のセンサーで1回(4月8日)、傾斜角度が5度を超える大きな突発的な動きがあった。しかし、その後は傾斜角は戻り、傾斜が累積する傾向もないため、動物や風等の一時的な外力の影響を受けたものと考えられる。これらの現象以外、いずれの監視箇所においても、図-

12で示すような0.5°～1.0°未満の範囲で推移していた。これらは、機器の精度(1～2度)の範囲内であり、崩壊に結びつくような動きはないと考えている。

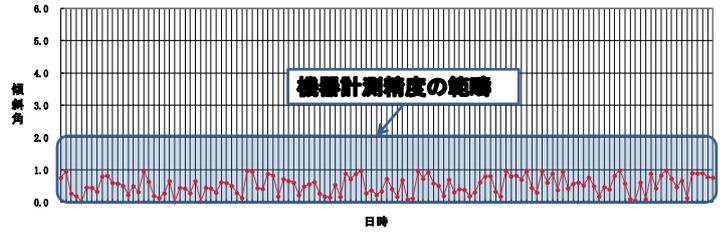


図-12 崩壊検知センサーのデータ例(No4)

6. 工事の避難・安全対策について

当現場のような二次災害が起こる危険性の高い災害復旧現場で工事の安全性を確保するためには、優れたシステムで危険箇所の監視のみでは不十分で、異常が見られた場合、速やかな作業中止や避難といった行動に結びつけていかなければならない。また、万一、二次災害が起きても、防御・減災が可能な施設設置なども可能な限りの実施しなければならない。以上のことから、当現場では以下の①～③の対応をとった。

①工事実施(中止)基準の設定

配置されたセンサー類が、変状を感知した際、速やかな対応がとれるよう、あらかじめ表-1で示すような、判断基準を設け工事作業の中止および避難実施等の運用をに組み込んでいる。

表-1 熊野地区作業中止基準

基準	事象					
	降雨	地震	土壌雨量指数	伸縮計	GPSセンサー	崩壊検知センサ
作業注意	5mm/h以上	-	-	-	10mm/日以上	-
作業中止	10mm/h以上	震度4以上	287以上	4mm/h以上	25mm/日以上	5度以上(避難)

② 防護施設を設置

施工エリアが崩壊危険箇所の直下流端にさしかかった際は万が一崩落した場合を想定した防護土堤を設けた。防護土堤は工事用道路端部に設け、長さ100mに渡り、高さ1mの盛土上に大型土嚢を2段積(図-13)形状とした。落石側は、工事用道路から2m以上の落差があるので高低差は5m確保していることとなる。ただし、この施設で防護が十分かどうかはまでは想定できておらず、あくまでも補助的施設の位置づけとし、避難手法の確立は必須とした。



図-13 防護土堤の設置状況

③ 緊急避難手法への取り組み

地震時や配置したセンサーが、決められた基準値を超過し崩壊の危険性が高まった際は、速やかに作業を中止し、避難しなければならない。そこで、各作業位置において、危険箇所から最も短い距離(短時間)で避難できるルートを一あらかじめ決定しておいた。その際、避難ルート上には仮排水路などの縦断工作物が障害となるため、その施設を横断する仮設橋(図-14)を3橋設置し避難ルート確保に努めた。また、作業員全員に避難路の周知するため、新たな作業班がこの現場作業に入った際は、必ず避難訓練を実施することとした。避難訓練はセンサー設置(3月22日)からすでに4回実施している。

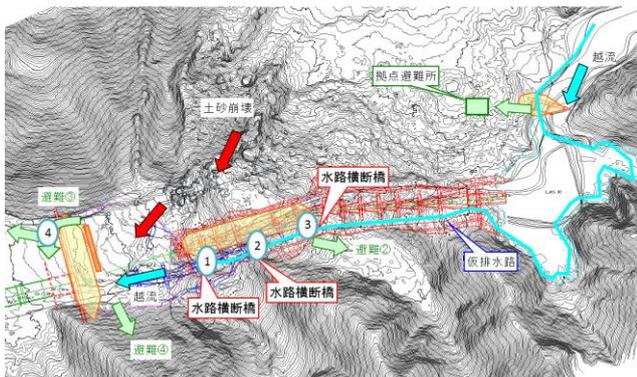


図-13 設定した緊急避難ルート



図-14 避難するために設けた仮排水路を横断仮橋

7. まとめ

今回の熊野地区災害復旧工事においては、崩壊土砂が厚く堆積し、傾斜勾配が急で崩壊土砂の二次崩壊が懸念されている上、斜面内には、数m~数十m規模の巨石が不安定な状態で数多く点在するきわめて危険な斜面直下での施工となった。災害復旧事業の性格上、これらの危険な箇所の対策を待ってからの事業進捗は許されない中、どのような形で、工事の安全確保に努めるべきか難しい対応であった。

このような状況下の中、取り組んだ安全対策としては、崩壊検知センサーならびにGPSセンサーを用い斜面変動の動態観測体制を構築した。中でも、GPS計測においては、計測データをインターネットを用いて公開する仕組みを構築し、施工者だけでなく、監督官詰所や紀伊山地砂防事務所でも現状を把握、情報共有が可能な体制を構

築した。

さらに、危険な際は速やかに作業中止・避難が出来るよう、これら動態観測値の作業中止基準を設けるとともに、作業員が速やかな避難が出来るよう、現地作業員全員が避難訓練に参加し、避難路の確認や避難意識を周知徹底するよう取り組んだ。

このエリアの動態観測体制は運用開始から3ヶ月が経過し、この間127mm/日の降雨を経験したものの、目立った変位は認められなく、安心して工事進捗に取り組めるなど安全監視体制は有効に機能したと言え、発災後から建設に取り組んで来た、鋼製枠の水路工(落差堰堤13基含む)は、この6月をもって無事に完成予定とすることが出来た。

しかし、当現場は引き続き基幹砂防堰堤(現在施工中)や床固工群などの建設、危険な斜面对策の実施など、引き続き危険な工事に取り組んでいかなければならないうえ、今後、降雨期(6月~10月)を迎え、さらに、数年間事業が続く中、これら危険箇所は、引き続き安全監視を行い、細心の注意を払いながら施工に取り組まなければならないと考えている。

謝辞：現場では、施工する(株)森組の大島晃(元)工事長、松林尚現場代理人、吉井靖博監理技術者の方々とは当該地の危機意識を共有し施工に取り組んでいただいたとともに、崩壊検知センサーの配置計画にも参加していただき、当システムづくりに寄与していただきました。また、この論文作成にあたり、崩壊検知センサーのデータ提供などを頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高田知典, 佐藤隆秀: 「建設分野における MEMS の実用化」—マルチセンサ対応無線センサ端末の開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2010
- 2) 佐藤渉, 武智国加, 岩崎智治: GPS を用いた災害監視システムの開発, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム, 2007
- 3) 岩崎智治・原口勝則・佐藤渉・増成友宏・内田純二・清水則一: GPS を用いた自動変位監視のための Web システムの開発, 日本地すべり学会誌, 2012
- 4) 松田浩朗, 安立 寛, 西村好恵, 清水則一: GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証, 土木学会論文集, 2002