平成 29 年度(公社)日本地すべり学会関西支部現地討論会

# 「大呂地すべりの現状と課題」

平成 29 年 10 月 30 日 (月) 現地見学会及び技術交流会 11:30~ 集合場所: JR 智頭 11:30 (昼食は各自用意してください) 見学場所: 鳥取県八頭郡大呂 大呂地すべり地 現地解説、踏査 12:30~17:00 技術交流会·宿泊:18:00~ 鳥取温泉しいたけ会館 鳥取市富安 1-84 ☎0857-24-8471 平成 29 年 10 月 31 日 (火) 特別講演および話題提供 8:30~15:00 会場: 鳥取温泉しいたけ会館・対翠閣 8:30~9:20 特別講演 (1) 2016 年鳥取県中部の地震による地震動と地域の地盤震動特性 鳥取大学大学院工学研究科教授 香川敬生 1 9:20~12:00 話題提供 <鳥取県大呂地すべり> (2) 高標高部に地すべり末端部が位置する大呂地すべり 日本工営(株) 木下慎逸 59 (3) 大呂地すべり地の地下水の水質 13 高知大学名誉教授 日浦啓全 〈地すべり施設の長寿命化〉 (4)鳥取県における地すべり施設の長寿命化 27 鳥取県 大坪亮太 (5) 計測機器の信頼性を高める活用法 (株)オサシ・テクノス 古島広明 43 (6) 水抜きボーリング保孔管の室内比較実験と現場での適応性 アクアコントロール(株) 北村晴夫 47

12:00~13:00 昼食

- 13:00~15:00 パネルディスカッション・若手技術者による発表 司会 鳥取大学名誉教授 藤村 尚 パネラー 特別講演者と話題提供者
  - 主催 (公社)日本地すべり学会関西支部
  - 後援 鳥取県、(公社)砂防学会中四国支部
    - (公社)地盤工学会関西支部・中国支部
      - (一社)建設コンサルタンツ協会中国支部

(公社) 日本地すべり学会関西支部長

末峯 章 (元京都大学防災研究所)

シンポジウム実行委員

 委員長藤村尚
 (鳥取大学名誉教授)

 委員中井真司
 (復建調査設計株式会社)

 委員徳永博
 (日本工営株式会社)

 委員木下慎逸
 (日本工営株式会社)

 委員本下憲孝
 (日本工営株式会社)

 委員本下一支
 (日本工営株式会社)

 委員
 10

 委員
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

 (10
 10

### 2016年鳥取県中部の地震による地震動と地盤震動特性

## Ground motions due to the 2016 central Tottori earthquake affected by surface geology

## 香川敬生(鳥取大学大学院工学研究科)

### Takao Kagawa (Tottori Univ., Graduate School of Engineering)

#### 1. はじめに

2016年10月21日14時7分に,鳥取県中部においてマグニチュード6.6(Mj, Mwは6.2)の地震が発生し,倉吉市,湯梨浜町龍島(りゅうとう),北栄町土下(はした)の3地点において震度6弱(いずれの観測点でも計測震度は5.8)が観測された。図-1に,震源断層(Kubo et al., 2017)と後述する観測点との位置関係を示す。

鳥取県と周辺地域では、1943年鳥取地震(Mj7.2)、2000年鳥取県西部地震(Mj7.3, Mw6.6) とM7クラス、1983年10月には2016年の地震の震源域近くでMj6.2の地震が発生し、M 5クラスを最大とする群発地震活動が各地で頻発している。また、2015年10月、12月には 1983年地震の地震域でそれぞれマグニチュード4.3、4.2を最大とし、最大震度4の群発地 震活動が断続的に発生していた。このため、鳥取県地震防災調査研究委員会(2015)の地震被 害想定では県中部でM7クラスの地震を対象とし、政府地震調査研究推進本部(2016)では、 2016年7月に中国地域の活断層の長期評価を実施し、鳥取県を含む中国地域北部で今後30 年以内にM6.8以上の地震が発生する確率を40%と評価していた。そのような背景で発生し た2016年鳥取県中部の地震について、その地震動と地盤震動特性についてまとめる。



#### 図-1 2016年鳥取県中部の地震の震源断層と対象観測点(×:震央)

#### 2. 震源断層の破壊過程

この地震による地震動は、気象庁、防災科学技術研究所、自治体震動計、大学によって記録され、国土地理院による地殻変動の観測も行われている。発生直後の余震分布、地殻変動を説明する震源断層モデル(国土地理院,2016)を参考に、防災科学技術研究所によって強震観測網の記録を再現する震源断層破壊モデルが推定されている(Kubo et al., 2017)。図-2にそのすべり分布を示し、断層設定位置を図-1に付記する。長さ・幅ともに16km、走向N162E(図の左側が北)、傾斜88度の断層面に、最大0.6mのすべりが想定されている。左図に破壊のスナップショットが示されているが、破壊開始点(震源)から上方北寄りに破壊が進行し、ひとつ目の大きなすべり(強震動生成域:R1)を形成した後、ふたつ目のすべり(R2)が破壊したことが分かる。このことにより、断層中央やや北付近に位置する倉吉市から北部の湯梨浜町、北栄町に向けて強震動が放射されたことが想定される。



図-2 防災科学技術研究所による断層破壊モデル(Kubo et al., 2017)

3. 強震観測記録の特徴

2016年鳥取県中部の地震では,倉吉市役所(防災科学技術研究所 K-NET TTR005 を活用) において約1.4Gの最大加速度(EW 成分)が記録された。計測震度は5.8(震度6弱)と評 価されている。湯梨浜町龍島(りゅうとう:東郷支所),北栄町土下(はした:北条支所)の 2観測点でも,同様に震度6弱(計測震度も5.8で同じ)が観測された。

図-3~5にこれら3地点における水平動最大成分の波形および応答スペクトルを示す。 図の左には観測加速度およびそれを積分した速度,変位波形を示している。倉吉市の変位波 形に永久変位が見られるが,測地衛星による地殻変動と方向,量ともに対応している。図の 右には減衰 5%の擬似速度応答スペクトルを、応答加速度・応答変位軸とともに表示している。応答スペクトル中の破線は、1995年兵庫県南部地震のJR 鷹取駅や 2016年熊本地震の 益城町役場など、震度7相当かつ周辺に大被害を生じた記録のレベルを参考として示したも のである。一般的な木造家屋の固有周期は 0.3 から 0.5 秒程度であり、この周期帯の地震動 に共振して初期的な被害を受ける。それによって構造が弱くなることで固有周期が長周期化 し、周期 0.5 秒から3 秒帯域の地震動が倒壊に至らしめると考えられている。

倉吉市の地震動は大加速度が注目され,確かに 0.4 秒程度以下の短周期のレベルは大被害 を生じた神戸市内や益城町の地震動に匹敵している。このため、棟瓦の落下や壁の亀裂・剥 落,墓石の倒壊などを広範囲に生じたと考えられる。しかし,図-3に示されるように、周期 0.5 秒以上の地震動は小さく、初期の被災によって建物固有周期が長周期化を起こした場合に 共振する地震動のレベルが小さく、破壊がそれ以上は進行しなかったものと考えられる。5 章で述べるように、倉吉市内での余震観測からは市役所位置よりも市街域の方で周期 0.3~ 0.4 秒程度が増幅する傾向があるものの、大きな破壊には至らないであろうことが示唆される。 実際、倉吉市街域で倒壊に至った構造物はほとんど見られなかった。



図−3 倉吉市役所における観測記録(EW 成分)

湯梨浜町龍島のNS成分(図-4)は、周期0.5から1.5秒程度が大きく、破線で示した既 往被害地震のスペクトルと共通の形状を示している。しかし、レベルがやや小さく、周辺に 顕著な建物被害は見られない。この記録に特徴的なのは、加速度波形に強い非線形応答を示 すパルス状の片振れ(Iai et al.(1995)など)が見られていることである。実際、震度計設置 点周辺では地盤の沈下が観察された(写真-1)が、液状化に特徴的な噴砂などは見られなか った。非線形応答については6章で解析結果を紹介する。

次に北栄町土下(図−5)であるが,震度6弱を観測した3地点の中では最大加速度が最 も小さく,最大速度が大きい。応答スペクトルを見ると,周期約1.5秒で破線の被害地震レ ベルに届いている。しかし、一般的な木造家屋の固有周期にあたる 0.3 から 0.5 秒のレベル が小さい。このため、健全な木造家屋が共振することはなく、周辺に被害は生じていない。 一方で、北栄町の一部地域では老朽化した木造建物の倒壊や大破が集中して見られた(写真-2は西園地区)。これらは概して開口部の大きく柱の少ない作業小屋など、非住家で十分にメ ンテナンスが施されていない建物であったと思われ、耐震性が低下していた、あるいは既に 固有周期が長周期化していたことが示唆される。

このように、同じ計測震度 5.8 (震度 6 弱) であっても地震動の周期特性は大きく異なり、 周期毎の地震動強さに見合った被害が周辺に見られている。計測震度など地震動特性値のみ でなく、観測波形に基づく地震動の周期特性を把握しておくことが、初動段階で重要である と示唆される。



図-4 湯梨浜町龍島における観測記録(NS 成分)



写真-1 湯梨浜町龍島観測点の状況

写真-2 北栄町西園地区における家屋の倒壊



図-5 北栄町土下における観測記録(NS 成分)

この他,特徴的な観測記録を図-6~8に示す。図-6は,北栄町由良宿(ゆらしゅく:大 栄庁舎)の記録であるが,図-5に示した北栄町土下よりも写真-2の被害地点に近く,木造 家屋の固有周期に対応する周期 0.3 から 0.5 秒のレベルは土下サイトよりも大きいが,観測 点直近では大きな被害は見られない。計測震度は 5.4 (震度 5 強)である。



図-6 北栄町由良宿における観測記録(EW 成分)

図-7に湯梨浜町久留(ひさどめ:羽合庁舎)の記録を示すが,震度6弱を観測した湯梨 浜町龍島や北栄町土下のほぼ中間に位置するものの,地震動のレベルは小さく,計測震度は 5.2(震度5強)である。周辺に大きな被害は見られない。



図-7 湯梨浜町久留における観測記録(EW 成分)

もう1点,2015年10月からの群発活動に対応するため,鳥取大学が独自に観測点を設置 していた,湯梨浜町高辻(たかつじ)でも本震観測記録を得ることができた。図-8からは, 木造家屋に影響する周期0.5秒程度がやや大きいことが分かるが,図-9の卓越周期分布では 範囲外となっている。周辺では,棟瓦の落下などが散見されている。計測震度は5.4(震度5 強)である。また,速度波形や変位波形には,明瞭なパルス状の波形が見られ,図-2に示し たふたつの大すべり(強震動生成域)に対応したものと考えられる。



これら各地点の情報および観測量について、表-1にまとめて示しておく。

観測点名	別称	設置・管理者	緯度	経度	震度階(計測震度)	最大加速度(Gal)
倉吉市役所	K-NET TTR005	防災科学技術研究所	N35. 4290	E133. 8253	6弱 (5.8)	1381
湯梨浜町龍島	東郷支所	鳥取県	N35.4674	E133. 8962	6弱(5.8)	565
湯梨浜町久留	羽合庁舎	鳥取県	N35. 4901	E133. 8647	5 強(5.2)	254
北栄町土下	北条支所	鳥取県	N35. 4793	E133. 8217	6弱(5.8)	275
北栄町由良宿	大栄庁舎	鳥取県	N35.4902	E133. 7582	5強(5.4)	646
高辻		鳥取大学工学部	N35.4582	E133. 9169	5強(5.4)	391

表-1 強震観測点および記録の概要

4. 地盤の卓越周期分布

3章に示した観測地震動の周期特性は、観測点の地盤震動特性に大きく影響されているように見える。図-9に、常時微動3成分観測から推定した該当地域の地盤卓越周期分布を示す (野口・香川(2014)に観測点を追加したもの)。倉吉周辺では0.3~0.4秒付近が卓越し、観測 記録にもその特徴が見られる。また、日本海沿岸には周期1秒以上が卓越する地域が点在し ている。図中の黒点が常時微動の観測点であるが、日本海沿岸の北栄町では他に比べて観測 点が粗となっており、分解能にはやや難がある。それでも、北栄町由良宿で短周期が、湯梨 浜町久留で長周期成分が大きいことと、地盤卓越周期が対応しているように見える。また、 日本海沿岸付近で建物被害が集中する地域では、概して地盤卓越周期が長い傾向が見られる。



図-9 常時微動観測による対象地域の地盤卓越周期分布(野口・香川(2014)に加筆)

一方で、湯梨浜町龍島および北栄町土下では、地盤の卓越周期よりも観測記録の卓越周期 が長くなっているようである。これについては、6章で非線形地盤応答の影響として考察す る。また、湯梨浜町久留は地盤の卓越周期が長く、厚い軟弱層による地震動の増幅が懸念さ れるものの、観測記録は周辺に比べて著しく小さくなっている。入力地震動の周期特性とも 関連していると思われるが、今後の課題のひとつである。

これら観測された強震動の特性と図-2に示した震源破壊モデルから考えられる,本震で 生じた強震動のイメージを図-10に示す。破壊開始点から強震動生成域に広がった断層破壊 により,破壊の進行方向にあたる倉吉市域から日本海沿岸の北栄町,湯梨浜町に向けて強震 動が放射され,これに堆積地盤による周期毎の増幅が作用することで,地域固有の地震動を 生成したものと考えられる。



図-10 2016年鳥取県中部の地震による強震動生成のイメージ

#### 5. 臨時余震観測

鳥取大学工学部附属地域安全工学センターでは、本震直後から2016年12月上旬まで、の ベ12点において臨時余震観測を実施した。その一例として、倉吉市街での事例を図-11に示 す。図-3に本震観測波形を示した倉吉市役所は流紋岩よりなる打吹山の麓の高台にある。一 方で、建物被害を生じた白壁土蔵群などの市街域は市役所北部の小鴨川に向かう平地に位置 する。そのため、倉吉市役所から平地に降りた倉吉市北庁舎、白壁土蔵群に近い大岳院、小 鴨川堤防脇の倉吉東中学校に臨時余震観測点を設置した。

図-11 は、倉吉市役所を含むこれら4観測点における同時観測記録の一例(10月24日20時5分,M3.8)であるが、倉吉市役所のみが他の3地点とは異なる地震動を記録していることが分かる。倉吉市役所では周期0.1秒付近の短周期が他の3観測点よりも大きく、そのため最大加速度が他の2倍ほど大きい。これに対して市街域の3地点では共通して周期約0.3~0.4秒が大きく、図-9に示した微動卓越周期分布とも対応している。このことから、倉吉市街で棟瓦の落下や土壁の剥落を生じた地震動は、倉吉市役所で観測された本震記録とは異なる特性を持っていたことが示唆される。



図-11 倉吉市街における同時余震観測記録例(2016年10月24日20時5分, M3.8)

#### 6. 非線形地盤応答

次に,図-4に見られた湯梨浜町龍島における波形について,地震動の大きさと地盤卓越 周期について考察を試みた。図-12は、同地点における前震(10月21日12時12分, Mi4.2)、 本震(14時7分, Mj6.6), 直後の余震(14時30分, Mj4.4)の3成分加速度波形と, H/V スペクトル比(水平動を NS, 平均, EW として上下動で除した3本の線)を示している。 Kawase et al.(2011), Sánchez-Sesma et al.(2008)による拡散波動場理論では、地震動のH/V スペクトルは対象地点を水平成層構造でモデル化した平面波入射のグリーン関数に対応する とされ、図-12 に見られる卓越周期は対象地点の地盤応答を反映したものと考えることがで きる。図の縦の破線は、弱震(前震、余震)に見られる卓越周期を結んだものである。中間 に図化した本震の卓越周期が、長周期側に移動していることが分かる。長い方のピーク周期 (より深い地盤に対応)が,弱震時の約0.5秒から強震時には約0.8秒に1.6倍ほど伸びてい る。これをS波速度の変化に換算すると、逆数の約1/1.6だけ遅くなっていることに対応し、 剛性低下に換算すると約0.4になる。これを一般的な地盤の非線形応答特性と比較すると10<sup>-3</sup> 程度のひずみに相当する。液状化には至らないものの、十分に大きな非線形応答を示すレベ ルと考えられる。図-4に見られた片振れパルス状の波形や周辺の沈下は、本震時のこのよう な震動特性を反映したものと思われる。また図-12からは、本震で見られた非線形応答が、 約23分後の余震では十分に回復しているように思われ、興味深い結果となっている。

同様の現象は北栄町土下(図-5)でも見られているが、地盤卓越周期が長く厚い軟弱層 が想定される湯梨浜町久留を含め、他の観測点では明瞭な非線形化は見られていない。この ため、図-9に示した常時微動による卓越周期分布のみではなく、強震動を受けた際の地盤の 非線形応答を踏まえて地域の想定地震動を検討せねばならないことが示唆され、今後の地震 防災を考えるにあたっての課題となろう。



図-12 湯梨浜町龍島における地盤卓越周期の変化(上:前震,中:本震,下余震)

7. おわりに

本報告では,2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震について,観測地震動の特徴と地盤応答との関連について考察した。その結果を以下にまとめる。

- ・ 2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震では、破壊開始点から倉吉市街および日本海沿岸に向けて強い地震動が放射された。
- ・ 倉吉地域では短周期が卓越した地震動が観測された。これによって初期的な損傷は懸念されるがそれ以上の破壊は進行せず、家屋の倒壊など大被害には至らなかったものと考えら

れる。

- 日本海沿岸の北栄町などには地盤の卓越卓越が長い地区があり、被害が集中した要因と懸 念される。
- これら地震動の卓越周期は、常時微動を用いて評価した地盤の卓越周期分布と概ね対応している。
- 一部の観測点では地盤の非線形応答により、常時微動など弱震時よりも地盤卓越周期が長くなったことが確認された。
- ただし、非線形応答の有無は、地盤卓越周期から想定される地盤の軟弱性とは必ずしも対応していない。

以上の観点を反映して、今後の地域の地震防災を検討する必要がある。

謝 辞

本報告は,香川(2017),Kagawa et al.(2017)による速報に,新たな解析結果を加えて構成し ています。解析には,鳥取県および防災科学技術研究所の観測記録を利用しました。また, 余震および微動観測には,災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画による経費の 一部および微動・強震観測装置を利用させて頂きました。余震観測点の設置には現地の皆様 にご協力頂きました。記して関係各位に感謝致します。

参考文献

- Iai S., Morita T., Kameoka, T., Matsunaga, Y., Abiko, K. 1995. Response of a dense sand deposit during 1993 Kushiro-Oki earthquake. Soils and Foundations. 35(1). pp. 115-131.
- 香川敬生. 2017. 2016 年 10 月 21 日鳥取県中部の地震 (M6.6) について. 地震ジャーナル. 63. 地震予知総合研究振興会. pp. 14-22.
- Kagawa, T., Noguchi, T., Yoshida, S., Yamamoto, S. 2017. Effect of the surface geology on strong ground motions due to the 2016 Central Tottori Earthquake, Japan. Earth Planets Space. 69. 106. doi:10.1186/s40623-017-0689-0.
- Kawase, H., Sánchez-Sesma, F.J., Matsushima, S. 2011. The optimal use of horizontalto-vertical (H/V) spectral ratios of earthquake motions for velocity structure inversions based of diffuse-field theory for plane waves. Bulletin of the Seismological Society of America. 101(5). pp. 2001-2014.
- 国土地理院. 2016. 平成 28 年(2016 年) 10 月 21 日鳥取県中部の地震の震源断層モデル. http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/dansoumoderu.html. 2017.09.25 閲覧.
- Kubo, H., Suzuki, W., Aoi, S., Sekiguchi, H. 2017. Source rupture process of the 2016 central Tottori, Japan, earthquake (MJMA 6.6) inferred from strong motion waveforms. Earth Planets Space. 69. 127. doi:10.1186/s40623-017-0714-3.
- 野口竜也・香川敬生.2014. 微動および重力探査による倉吉平野臨海部の地盤構造推定. 土木

学会論文集 A1(構造・地震工学). 70(4)(地震工学論文集 33). pp. 888-896.

Sánchez-Sesma, F. J., Pérez-Ruiz, J. A., Luzón, F., Campillo, M., Rodríguez-Castellanos,A. 2008. Diffuse Fields in Dynamic Elasticity. Wave Motion. 45. pp. 641-654.

政府地震調査研究推進本部. 2016. 中国地域の活断層の地域評価. http://www.jishin.go.jp/ main/chousa/16jul\_chi\_chugoku/chu\_honbun.pdf. 2017.09.25 閲覧.

鳥取県地震防災調査研究委員会【被害想定部会】. 2015. 第2回被害想定部会. 資料1地震動

予測結果(修正案) http://www.pref.tottori.lg.jp/secure/988166/150630\_1\_1\_1.pdf. 2017.09.25 閲覧.











地中の高い圧力下では炭酸ガスを多く含む(=CO<sub>2</sub>の分圧が高い)。そこに存在する地下 水はその空気と平衡する。大気圧下では、地下水から炭酸ガスが抜けて、そこの空気と 平衡する.

箱根蛯子(元箱根19号泉)の例(栗屋による), 深さ525mにある源泉を異なる方法で 地上に汲み上げた後の炭酸ガスの分圧の比較である;

エアーリフトポンプ: 0.00011atm (log(PCO<sub>2</sub>)=-1.1×10<sup>-4</sup>), pH=8.1 水中ポンプ: 0.18atm (log(PCO<sub>2</sub>)=-1.8×10<sup>-1</sup>), pH=6.5

#### (採水された水は、採水時点の地下水の情報を保持している)

断層を経由してCO<sub>2</sub>に富む地下水が供給される場合もあるが、地すべり地帯には 池・沼・湿地帯が存在し、地すべり活動によって多量の有機物が土中に埋没すること により、土壌空気のCO<sub>2</sub>濃度が多くなったことも考えられる.

このような空気と接している水では、下式のような化学変化が地表の水よりも進行し、 溶出する各種のイオンが高濃度化する.逆に地表で、水中の炭酸ガスが分離脱出しする と、下の反応は起こりにくくなると考えられる.

一定の分圧を有する水が岩石・土壌中を通過する段階で、その水中の炭酸ガスは岩石・土壌中と反応しながらHCO<sub>3</sub>-濃度, pHを高めていく.

炭酸ガスが水に溶けると:  $CO_2 + H_2O \Leftrightarrow H_2CO_3 H_2CO_3 \Leftrightarrow H^+ + HCO_3^- HCO_3 \Leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$ 

























		m	国(	の地	すべ	り地	の地	下水	: の水	質(	(横田	15k	こよる	)	
No.	名称	地質帯	pН	EC	Na <sup>+</sup>	K	NH4 <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl⁻	S04 <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub>	HCO3-	総量	水の型
1	沢渡	三波川/	7.6	171	0.19	0.03	0.00	0.89	0.72	0.16	1.19	0.32	0.05	117.6	Ca-SO <sub>4</sub>
2	//\//x	御荷鉾帯	7.6	181	0.25	0.04	0.00	1.04	0.67	0.16	1.35	0.32	0.05	129.4	Ca-SO <sub>4</sub>
3	盖疝	三波川帯	7.7	324	0.29	0.06	0.00	2.99	0.33	0.07	1.33	0.00	2.27	277.5	Ca-HCO <sub>3</sub>
4		= 1/2 / 1 /m'	7.8	315	0.29	0.06	0.00	2.60	0.33	0.07	1.99	0.00	1.19	235.5	Ca-SO <sub>4</sub>
5	奴田	四御井谷世	7.6	210	0.11	0.07	0.00	0.99	0.92	0.10	0.39	0.01	1.59	155.9	Ca-HCO <sub>3</sub>
6	愈田	기비가미 한부.(부).	7.0	256	0.12	0.08	0.00	1.15	1.06	0.11	1.16	0.04	1.10	170.7	Ca-HCO <sub>3</sub>
7	ራወዋ	サシサ	7.5	440	0.28	0.04	0.00	3.72	0.74	0.06	1.76	0.00	2.96	358.4	Ca-HCO <sub>3</sub>
8	谷の内	小 秩文帝	7.6	435	0.28	0.04	0.00	3.66	0.72	0.06	1.73	0.00	2.91	352.5	Ca-HCO <sub>3</sub>
9	Е±	者 秩父帯	9.2	147	0.34	0.06	0.00	0.86	0.40	0.23	0.37	0.00	3.15	250.1	Ca-HCO <sub>3</sub>
10	<b> </b>		10.2	163	0.64	0.05	0.00	0.72	0.01	0.41	0.30	0.00	2.51	213.1	Na-HCO <sub>3</sub>
11	十十 田4		7.5	598	1.13	0.08	0.01	3.69	1.19	0.20	2.67	0.03	3.47	466.1	Ca-HCO <sub>3</sub>
12	位野	二次川市	7.2	770	1.22	0.10	0.06	4.42	1.20	0.21	3.29	0.02	3.57	520.1	Ca-HCO <sub>3</sub>
(単位	立:EC(µ	u/s∕cm), 溶	存量	(meq/	L), <i>t:t</i>	ざし, 溶	存成分	の総量	(mg/L	) <b>ヘの</b>	換算, 7	kのタ₁	(プ分け)	は日浦が	がおこなった
田公 国の ジ 城 概	忠・八木 地すべい 年度第3 要集, 25	:則男・二神; )地の地下기 回四国支部 i6-257,社団	台・柴日 くの水 注 行 は 行 は 人 二	日隆洋( 質特性) 肝究発表 上木学会	(1997): 長会 会四国支	5部.	溶 =(	存成 mg)÷	┃ 分量 (分子	(meq, 子量)	/L)				



































	3 またのたけ     10 / ンパナシスタイクへもの長     ボルズル・ペルドレード・     ボルズル・ペルドレード・     ボルズル・ペルドレード・     ボルズル・マンパー     ボルズル・     ボル・     ボルズル・     ボル・     ボル・     ボル・     ボル・     ボル・     ボルボル・     ボル・	- 0.4480 (2) 中発展的なトータルコストの確実・予想な、 単成原原を組合いいては、施設の次化や個化的 に並った地球変更を行い、トータルホストの副	に応じた為年的・強策的な維持管理 ・平準化に取り組み、		品を味インフラ原寿命に計画(行) - 444988-000, WEAT COMPANY - 48028->
Here a the transformation of the transform	<ul> <li>Ben have introduce other spaces, a the Restaurch of the space of the s</li></ul>	・ exe web           ・ anama           ・ anama <trr></trr>	<ul> <li>(a) Brocksall</li> <li>(b) Brocksall</li> <li>(c) Br</li></ul>	田かい山城市もすらよいう私の一一本 高なな近しいてくめ作り時時になった品 ないったない。 やので 日本 でした。の日本 での日本 でした。の日本 での日本 での日本 での日本 での日本 での日本 での日本 での日本 での日本 での日本 での日本 での日本 での日本	
対象施設、点検・診 計画の方向性を明記 ・施設点検頻度は原 ・平成30年までに、	断などの基準や個別の <u>則5年に1回</u> 長寿命化計画を策定	* 98007 ・ Artifer Hattick Cale Anti- し、Artifer Cale Anti- の修繕・更新等( (10年単位、5		A function of the second	











) <u>데</u> 니	辺かつ効率的な経過	観察を行う。				表 4.2 占捻箱度の設定表			
古絵の	表 4-1 点	検の種類と目的、頻度	Ĕ	衣 **-2 息候須度の設定表 第1段時 第2段時					
種類	目的	実施方式	実施頻度(時期)	施設	の健全度	施設の重要度 (R-合計集-の影響等)	定期点検等6 頻度		
砂防関係 水・洗掘・	砂防関係施設の漏水・湧 水・洗掘・亀裂・破損・ 地	<ul> <li>目視</li> <li>・簡易計測等</li> </ul>	地すべり防止施設の健全度 に応じた点検計画に基づき	A 対策不要	施設完成後の 初回点検	(床上內家: 50/約·雷守)	5年以内		
官期点検	すべり等の有無などの 施		実施する。		45	【その他】 - 下記以外	3年以内		
	設状況及び施設に直接 影 響を与える周辺状況に つ いて点検する。			補修改築が、	C2」 必要だが当面は	<ul> <li>【過去の災害実績】</li> <li>1)直近の災害実績あり</li> <li>2)過去10年間より前の災害実績あり</li> <li>2)(当去10年間より前の災害実績あり)</li> </ul>			
臨時点検	出木や地震時などによる 砂防関係施設の損傷の有 無や程度及び施設に直接 影響を与える周辺状況を 把握、確認する。	<ul> <li>目視</li> <li>・簡易計測等</li> </ul>	豪雨出水後及び震度4以上の地震発生後に実施する。	経過観察 及び 「B」 経過観察		(又合気土中の必要1.0% 解決的(2) )用金入口100人以上 2)公共施設5 施設以上 3)定範所あり (現在箇所の影響) (現在箇所の影響) 1)変状が確認されたプロックの周辺に人家等 なため。	1~3年		
Di Am H LA	定期点検や臨時点検では その変状の程度や原因の	<ul> <li>・目視</li> <li>・簡易計測等</li> </ul>	定期点検導で異常が確認さ れた場合に、必要に応じて	「C1」 補修改築が必要			1年		
+#46.8.1英	把最が困難な場合に実施 する。	<ul> <li>· 測量調査</li> <li>· 破壊・非破壊検査</li> </ul>	<b>実施</b> する。	<ul> <li>※定期点検 た時点かい</li> <li>※対策を講り</li> <li>※災害発生町 する情報()</li> <li>※災害履歴:</li> <li>する。</li> </ul>	サイクルは、緊急 ら起算してもよい こた施設は、基本 寺の影響に関する ま、地滑り区域調書 は地滑り区域調書	点族後もしくは詳細点検会実施した場合には、繁な 。 的には「A 対策不要」な状態に戻ることを想定 情報のうち「公共施設」「遊難所」「以客時吸配慮 書紙式3-2を参考とし、現地調査時の情報を踏ま 様式2-2及び2-3を参考とし、現地調査時の情	急点検等の実易 する。 者関連施設」に えて記入する 根を踏まえて言		






















		リア りの レ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ マ		施設( ング 谷止	の点 L、C L	余結果     《集水     》     集水     《     书     》     书	、補( 井工、 	多履[ ③]	を等を	Ē—7 ⊑、@	〒的 ①か	に管	管理 I、	する ⑤山:	ため 複暗	、工種毎 渠工、⑥	に口	ンクエ、	ני <i>ל</i> 7	スト )ア:	~作 ンた	成を行っ ローエ、 ()	った。 3水8	各二			
				施設( ング 谷止	の点 E、C E		、補( 井工、 - <sup>新30</sup> - <sup>新301</sup>	多履! ③]	歴等を 雍壁コ	Ē—7 2、@	〒的 ①か	に で 二	管理 I、	する ⑤山	ため 複暗	、工種毎 渠工、⑥	に口	ンクエ、	ני <i>ו</i> 7	スト )ア:	~作 ン た	成を行っ ローエ、®	った。 3水8	各二	- `		
4. 020 2. 020				NB a Q ( ング) 谷止 1888-82-98 1888 1888 1888 1888 1888			、 THU II 井工、 - 第501 -	3	교 국 2 雍壁 I	- , @	1)か	iii E でこ	5 1±	9つ. ⑤山:	複暗	、工程母 渠工、⑥	法枠	Ι,	Ĩ	)ア:	ンた	1-I. (	,,, 3水8	各그	-		
4. 020 2. 200 2. 200 3. 200 4. 200 3. 200 4. 200 5. 200			- I J 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	ング 谷止 <sup>85928293</sup> <sup>860</sup> <sup>8573</sup> <sup>8695</sup> <sup>8695</sup>	E. () E - #8 - #8 - #8 - #8	》集水	井工、 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18	3	雍壁工	. @	①か	<u>ح</u>	I.	5山 <sup>;</sup>	複暗	渠工、⑥	法枠	Ι,	Î	)ア:	ンナ	)−I、(	3762	各二	-		
4			1/1 1/1 1/1 1/1 1/1 1/1 1/1 1/1	AD002.8248 AD002.8248 メロット 10.000 11.0000 11.000 11.000 11.000 11.000 11.000 11.00			77 L \ 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18		9E 3E 1	-	REFAL		L <b>、</b>		夜旧	*⊥、⊚	////+	<b>`</b>	<u>u</u>			· _, «			-`		
4. UN 1.	5 U X 5	K     K	1/2 -025 X -025 X -025 X -025 X -025 X -025 X	AD9928298 200 21278 21078 2100 21000 21000 21000 210000000000000	- 32 - 32 - 32 - 32	8A9 A9 L	833 P68 • R021 • Statester • Statester	AB	1.04 P8	,	REEAL	44															
A         D >           2013         2013           2013         2016           1         201           2         201           3         201           4         201           4         201           5         201           1         201           2         201           4         201           5         201           1         201           2         201           4         201           5         201           1         201           1         201           1         201           1         201           1         201           1         201	5         1           No         1           NO         2	H         H	1/2 -0.7 X -0.7 X -0.7 X -0.7 X -0.7 X -0.7 X -0.7 X -0.7 X	N0022278 200 200 200 200 200 200 200 200 200 20	1 82 1 82 1 82 1 83	8.59 019 L	83 845 1 885 1 8855 1 68-5857 1 68-55657	AB	808 P8	*	RECOL	16															
B         B         2           1         2         2           2         2         2           3         2         2           4         2         2           5         2         2           6         2         2           7         2         2           8         2         2           9         2         2           10         2         2	201011 0 101 101 101 101 101 101 101 101		-107 × -107 × -107 × -107 × -107 × -107 ×	NDR2824	- 88 - 88 - 88 - 88	8.59 //10 /.	#3 #45 #8 #8 #8=8847 b @8=8847 c#oft/dt/	A8	8.5 W		REFFL	46															
1         XP           2         XP           2         XP           3         XP           4         XP           5         XP           6         XP           7         XP           8         XP           9         XP <tr td=""></tr>	143 2 144 2 144 2 144 3 144 3 145 4 145 4 145 4 145 4	3.29         13.86.0           3.29         23.86.0           3.29         23.86.0           3.29         23.86.0           3.29         23.86.0           3.29         24.86.0           3.29         24.86.0           3.29         24.86.0           3.29         24.86.0           3.29         24.86.0           3.29         24.86.0	-10.47 × -10.47 × -10.47 × -10.47 × -10.47 ×	10000 10000 10000 10000	· 55		10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 1	18	PE			BAN.		1 10													
2         24           3         32           4         324           5         324           6         324           7         324           8         324           9         324           10         324           11         ABB	8-3 2 8-4 2 8-4 2 8-5 4 8-5 4 8-5 4 8-6 4	1120 21804 128 21804 3030 24804 5134 12804 5134 12804	-104 ¥ -104 ¥ -104 ¥ -104 ¥	11.049 11.878 11.689 11.689	· 83	u	> GE-SBEY		· RRGL	AB	· 81		110	#8 • RR01	A9												
4         X+           5         X+           6         X+           7         X+           8         X+           9         X+           9         X+           9         X+           9         X+           10         X+           11         Addit	A4 2 A4 2 A5 4 A4 4	30.31 24.90.0 31.34 32.36.0 4.39 34.00.0	-169 K	1049	· 88		· RRSL	219.94	* RRGL	10.69	> 68-1 CEO	1001	1018	+ #8-584.7 (18-51-51) + #851	1018-13		813	tus -				1434			_	_	
1 X+ 1 X+ 1 X+ 1 X+ 3 X+ 3 X+ 3 X+ 1 ABE	.8-5 .8-5 .8-1	6.00 (A.B.F			1 88			6.02.00	· REG.			-		* 48-584.7 12:0-50 88-5867		869.8	14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 1	BARRY ROAD	100		340 84	RING REAL	**	8.8 8.8	18 R.241	A	248
1 X0 1 X0 3 X0 1 X0 1 A00	A1 1			HRTH	1 88	i i	* R051-		-								1		*					10	11	×35.00.2	2 - 12.00 2 - 12.00 - 12.00
2 X+ 2 X+ 1 ABE		1.0 1180	-12.4 8	6.569	5 60-11 5 60-11	87 1/1+8.0978	-	1984.088	* 1183111031 * 0437837888	1048						TAL DEPOSITORIAN	1	- 12	A'					н		+84.10.2	1.20
11 A88		201 4188	-12.0 0	SAT .	. 5.8			1.0388	<ul> <li>IDF-CERTY</li> <li>IDF-CERTY</li> <li>IDF-CERTY</li> </ul>	20.58	· 82	#SL		· RRGL			8	41	87 187					16	20. 20	#35.00.2 #35.00.2	1.124
		10 3	• •	RAR	- 88.1	47 1-18 <b>2</b> 8	+ 88-1887	128.88	· ##-5##7		-	-		· REGL			i.	AY	A'					14	14	10510-2	112.00
0 ABR	1	11 A	e er	848	· 開設	87 1-68 <b>2</b> 8	· 08-1867	AVABLE	· REG.		-			· RESL		AGREENTING ANNEARS	ii ii							10	n	×25.10.1	1.1
H 2.84			4 er	8+3		C 1:1+058	· de-nady	45988	· RRG.			-		· ##91		14. 84881 28181044- 84 184 282804842122244	10	- 11	cr.					10	10	+24.10.2	1.12
15 X.84	2		• ×	10878		6	· 8801		· RRGL					· R801		AGREENED COMMERCE	8	42	8°					H13 684	18. 36	H25.10.2	1.1
0 888	3	20 1	• •			67 11848	. 86-1857	12888	. REGL		-	-		. REGL		0.0285108.11-L0.85280 20588924	4	1.0	- 14'					554	н	105-03	12.0
* 2.84	3		• •	8.42	< 88-11	87 11888		11988	· RROL		2	-			1098	ECRA.	3	629	e' cz'					581	30 34	H85/03	
10 X.84	3	a 1	φ <u>α</u>	8.12		6	· #8-1817	11288	· RRGL		-	-		. 00.5857	28.98		×.	6311	A'					387	34	×35.10.3	1100
21 2.84	8	20 C	• a	8.049	- 82		·	0.09308	· RROL			-		· REGL	1048	LASINGLICHTUGAL	4 2	031	A'					881 647	34	H06101	1.754
22 1.84			• 67	818				12485	1 REG.	MECT	-	-				REPORT OF STREET	1	M#55	ca*					327	24	+25/10.3	112.0
33 A.8.8		40 K	• •	8108	· 體長	67 LESSER	• 88-5867	618368	· REGL	-	1 881	5867	1045	. REGL		RECENTION DORMALS		61	car -					887	34	×35.10.1	.3%
34 X.848	-	41 E	• er	848		C INARDORN	· 00-1847	111888	· RRG.	autor		-			****	ALEXERCENTRALIANCE IN	2	001	8					124		×28/10/3	34
24 + X		1 185	-11.17 8	11.04.9			> ##-58EY	128.88	+ BRYERA			•		· .		KORBEIRTIPGA, 755-16 BIRA, GIRBERTER,	1		er					588	38	48107	-24
27 +8		4 1865	-12-7 CZ	1010	1 E8-12	GL 1/24/83	·	1/28.88	· BESTERLO		- 81					1. 8. 8. 8. 8. 8. 8. 9. 9. 1. 8. 8. 8. 8. 8. 8. 8. 8. 8. 8. 8. 8. 8.	*	1.02	œ					504,80	100	H84.10.5	.3%
31 iA2		3 30	62 X	HNTE					·		- 20	851.		. #85L		COMPANYALITY, DRIVER	*	8851	- CB*					180	28	+3810.3	34
30 162		4 40	0-3 X 0-1 X	PARTS.		6	· 2051	128.00	A REG.			RSL RSL		· REGL		CO. BRANCOSCI. RIB. TI-GO. BARRETRECAN. MORECO.	5							10		NEATIN T	
M az	0	14	× 10	HRFR			* ##95		> 8850		· #	851		+ ##91		MALTATVASBABARPERA			cr.					*#		*25.12-2	2 128.8
m úž	•	0 0	61 X	11878	. 5.0		* RR01		· RROL			#1L		* RR01		THERE CO OF BRIERS ASIA	7	119	A.					10	26	H28.10.1	
31 43	0	24 08	HI K	8469			* 00-0847	-	· RROL		1 221	1887	10.88	. REGL		SERVICE PROPERTY.	1	- 641	A'					812	6.27	H84-01	120
31 44.8		25 08	++ 07	810	· 88	6	· #8-5867	1188.00	· REG.		· 83	BLL.		. REGL		e. as BECKERSING,	*	10	N.					643 643	8	H86101	12.0
17 AL	1	20 03	HI X	1049	· 88	C DIRECTOR	CENTURAL	LOANS	· ICENTING	21.6		-					1	1.00	*					н	17	101101	-12.8
N W.Z		01 10	H8 ¥	1049			B CROTIGN	15948	A RROL			855		A REAL		P. BARROWNIE CO. BA		1.7	A'					562	19	H85101	128
e az			H X	1278		-	* R851		. RR01.		- 81	#5L				A-D-RANGE AND A-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-D-	1	4.1	cr.					142	11	+04/01	-2.0
4 43		28 FB	61 K	1000			. REGL	Lood SER	· REGL			BSL .		. REGL		CO. REGENERATION CO. C.	5	429	0'					10	в	#2610.1	1.12.00
41 182		81 PA	+ x	HRFR	· 88		- R65L		· 880.		- 30	#SL		. REGL		A. BARRORRERED.	5	067	8					16	8	H35101	120
44 (s)2	E.	42 31	12 X	HEFE	1 88		<ul> <li>##55.</li> </ul>		A REG.		11	-	1.221	* #895		1.00	it .	10	*					10	.05	105.54	-12.0
										42 1	94	FHE-1	*	12385	000 1041 1011 1	CO. BARROWKERLAGY, BA	5	0.9						10	n	495/10/5	- 1728.8 - 248 - 17128.8





l	<b>Б</b>	鳥取県
	ご清暁ありがとうございました	
	ご清聴ありがとうございました	
	ご清聴ありがとうございました	
	ご清聴ありがとうございました	
	ご清聴ありがとうございました <sup>(ダ音楽料]</sup>	
	ご清聴ありがとうございました ©計画基準 ・範環インフラ長寿命化計画で「平成28年3月既定) ・範環環が関係施設長寿命化計画度でマニュアル海の設定について(通知) (平成28年10月14日付け第201600109091号)	
	<ul> <li>ご清聴ありがとうございました</li> <li>(#58#X)</li> <li>●ABER#</li> <li>●ABUR# / D755長寿命化計画(定式28年3月策定)</li> <li>●ABUR#WONIGK Mable 長寿命化計画策定マニュアル等の策定ついて(通知) (平成28年10月14日付け第201600109091号)</li> <li>●BBUR#WONIGK Mable 長寿命化計画策定マニュアル等の一部政定について(通知) (平成29年5月10日时付第201700031240号)</li> </ul>	
	<ul> <li>ご清聴ありがとうございました</li> <li>(54歳年)</li> <li>(54歳年)</li> <li>●記録本</li> <li>●記録AFVフラ長寿命化計画(行動計画)(平成28年3月策定)</li> <li>●記録報約防関係施設長寿命化計画策定マニュアル等の策定について(通知) (平成28年10月14日付け第201600109091号)</li> <li>●記録報約防関係施設長寿命化計画策定マニュアル等の一部改定について(通知) (平成29年5月10日付け第201700031240号)</li> <li>(9年初報</li> </ul>	
	<ul> <li>         に清聴ありがとうございました          (学者報料)      </li> <li>         の計画基準         <ul> <li>             ・範疇県かりう見考命化計画で定立フルし多の発定について(通知) (平成28年10月14日付け第201600109091号)             ・勘読県砂防関係施設長考命化計画策定マニュアルほの一部改定について(通知) (平成29年5月10日付け第201700031240号)         </li> </ul> </li> <li>         OBJACH         <ul> <li>             ・単成27年夏砂防関係施設長考慮化計画策定案指数</li> </ul> </li> </ul>	
	ご清聴ありがとうございました           (5458年1)           OH国基準           ・局取県インフラ長専命化計画(行動計画)(平成28年3月策定)           ・局取県分的関係施設長寿命化計画策定マニュアル等の一部改定について(通知) (平成28年10月14日付け第201600109091号)           ・意取県砂防関係施設長寿命化計画策定マニュアル等の一部改定について(通知) (平成29年5月10日付け第201700031240号)           OP基本規準           ・確成27年度砂防関係施設長寿命化計画策定業務委託           ・平成28年度長寿奇化計画策定業務委託(健全変評価)(地域へり)(その1)	
	に対象のにのです。           01回惑率           ・印刷県インフラ長寿命化計画(行動計画)(平成28年3月策定)           ・印刷県インフラ長寿命化計画策定マニュアル等の実定こついて(通知)(平成28年10月14日付け第201600109091号)           ・印刷県砂砂関係施設長寿命化計画策定マニュアル等の一部改定について(通知)(平成29年5月10日付け第201700031240号)           02部成果           ・平成27年度砂防関係施設長寿命化計画策定業務委託           ・平成28年度長寿奇化計画策定業務委託(健全度評価)(地域への)(その1)           ・平成28年度長寿奇化計画策定業務委託(健全度評価)(地域への)(その2)	

# 計測機器の信頼性を高める活用法

# Utilization of measuring instruments for improving the reliability

古島 広明 (株式会社 オサシ・テクノス) Hiroaki KOJIMA(Osasi Technos Inc.)

1. はじめに

近年、気候変動や地殻変動の影響によって、我が国では土砂災害が多発している。その被害 を軽減するためにハード対策が有効であるが、多大な費用を必要とする。それに対し計測機器 を活用したソフト対策は、安価ながらも自治体および地域住民との連携によって大きな効果が 期待できる。

しかし、計測機器は精密機器であるとともに物理量を電気量に変換するセンサであり、正し く使用しないと正確な計測値を取得することができなくなる。また定期的な点検も必要である。

ここでは、一般的な計測器の構成について説明した後に、当社の代表的な計測器である水圧 式水位計と昨今使用頻度が増えつつある地表面 MEMS 傾斜計の原理を解説して、これらの計 測器を正しく活用するための設置時や点検時の注意点について説明する。

最後に計測器の信頼性を高めるための当社の今後の施策についても紹介する。

2. 計測機器の概要

2.1 計測機器の構成

計測器は基本的にセンサ部と計測部、制御部、通信部で構成されるが、下図のように2つの タイプに分かれる。どちらもセンサ部が心臓部であり、最も取扱いを注意する必要がある。



図-1 計測機器の構成図

#### 2.2 主な斜面計測機器

以下において、主な斜面計測機器である「地表面 MEMS 傾斜計」「水圧式水位計」について 説明する。下表にそれぞれの概要を示す。

計測機器	用途	計測仕様
地主田 MDMS	多点設置による	計測範囲:±30°
地衣面 MEMIS	広範囲な斜面の	測定精度:全動作温度範囲:±0.2°、埋設時:±0.1°
	変状把握	分解能:0.01°
	地下水観測、	計測範囲:0~10m、20m、50m、100m
水圧式水位計	河川水位監視	測定精度:±0.1%F.S. (全動作温度範囲)
		分解能:1cm または 1mm

表-1 計測機器の概要

(\*) 当社では、「広範囲計測」の意味を込めて、「ばらまき型傾斜計」と命名している

3. 計測原理

3.1 ばらまき型傾斜計

センサ部は MEMS 傾斜センサで構成されており、構造は下図のようになっている。センサ が傾くと錘と横の壁の隙間が変わり、電気的な静電容量が変化し、これを電気的に検出してい る。この錘と壁の隙間は非常に狭く数ミクロンである。



3.2 水圧式水位計

水位計の方式には超音波、電波などを用いた非接触式と接触式が存在するが、当社の水位 計は下図のように半導体ひずみゲージによって水圧を検知する接触式である。



# 4. 計測機器の長期安定活用

斜面計測機器は、基本的に屋外へ設置され、過酷な気象環境の下で使用される。そのような環境下でも確実な計測を行うには、「設置」と「保守点検」の作業を正しく行う必要がある。

4.1 定期点検や修理

当社は自社工場で定期点検及び修理を受け付けている。主な受付内容を下表に示す。水 位計のセンサ部分は、誤ってケーブルを断線するケースが多い。電子回路については屋外 での結露等による内部部品の腐食が多い。

表-2 主な修理受付内容

	ばらまき型傾斜計	水圧式水位計
センサ部	ケーブル断線、落石による筐	動物や草刈り等によるケーブルの破損
	体ひび割れ	や断線、サージによる素子破壊
計測部	内部部品の腐食、及びそれに	結露などによる内部部品腐食、水没、
	よる消費電流異常	筐体の変形や破損

4.2 設置時の主な注意点

設置時はなるべく故障を回避するよう設置し、設定ミスにも注意する必要がある。

表-3 設置時に注意する主な項目

ばらまざ	き型傾斜計
注意点	理由
・センサはなるべく水平に設置する	→変動時に計測範囲に入るようにする
・センサへの直射日光を避ける	→温度変化によるデータへの影響をなくす
・埋め戻し土は締め固める	→なじみによる初期変動を少なくする
・センサの埋設箇所が分かるようにする	→踏みつけ、ケーブル切断をしない
水压。	式水位計
注意点	理由
・センサに衝撃を与えないよう注意する	→センサ自体の破壊を防ぐ
・ケーブルのねじれ、よれをなくす	→設置後のケーブルの伸びをなくす
・大気開放パイプを折らないようにする	→大気圧補正を正確に行う
・大気開放パイプに乾燥剤をつける	→大気開放パイプ内の結露をなくす
・センサ係数を入力する	→センサの個体差を補正する
・センサケーブルを保護する	→動物などによる破損を防ぐ

4.3 保守点検時の主な注意点

定期的な保守点検により計測機器の長期的な有効活用が可能となる。

	式 I
	ばらまき型傾斜計の場合の注意点
外観検査	端子台・電池ホルダなどの錆、筐体の異常
	動物や草刈り等によるケーブルの破損
性能検査	無線状態の確認、電池残量の確認
	水圧式水位計の場合の注意点
外観検査	端子台・電池ホルダなどの錆、接続リード線の断線・緩み
	筐体の異常、大気開放パイプの折れ・詰まり
	ケーブルの破損(動物の噛み跡、切り傷など)
性能検査	センサ供給電圧測定、実測値との比較
	絶縁抵抗測定、水位変化への水位値の追従

表-4 設置時に注意する主な項目

- 5. 計測機器の信頼性を高めるための提案
  - ·防水構造

上記の故障事例に見られるように、故障で多いのは結露による電子回路の腐食であり、 有効な対策は防水性能をもった筐体にすることである。当社では、耐候性をさらに強化す ると共に、今後主要な計測機器の防水筐体化を進めていく予定である。

・故障検知機能の強化

2.1 で述べたように、計測機器は電子回路とセンサ部で構成されるため、この両方に ついて故障検知機能を強化するとともに、使用状態の状態検知機能の強化をしていく。

	衣 5 候和 <b>风</b> 能門者
故障検知機能	センサ(供給電圧、供給電流、抵抗値)
	電子回路(消費電流、模擬測定、疑似通信)
状態検知機能	電源電圧 (電池およびソーラー)
	無線通信レベル(特定小電力、3G 回線)

表-5 検知機能内容

・AIによる故障診断

計測データから AI を使用して計測機器の特にセンサ部分の故障診断、ついては故障予知 を行う検討していく。AI としてはリカレントニューラルネットワークを使用する。ただし、 AI 診断を行うためには多数の現場の有効データが必要であり、その有効データをどのよう に集めることができるかが鍵となる。

当社では今後も信頼性のあるデータを提供できるよう様々な計測機器の改良を進めていく。

<話題提供>

# 水抜きボーリング保孔管の室内比較実験と現場での適応性 北村晴夫 (㈱アクア・コント―ロール)

#### 1. はじめに

地すべり地における地下水排除工の1つである水抜きボーリングの目的は、すべり面の間 隙水圧を低下させ、地すべりの動きを抑制することである。ボーリングで掘削した孔には保 孔管が挿入される。この保孔管には、①孔壁保護機能、②集水機能、③通水機能の3つの機 能が求められる。従来使用されてきたストレーナ加工を施した塩化ビニール管は、掘削時に 確認されていた湧水が、保孔管設置後に排水されないことがあるなど問題点が指摘されてき た。近年、管内カメラの観察結果では、一端保孔管に集水された水が途中で漏水しているこ とが観察された。これらの問題を受け、関係者の間でそれぞれに工夫を凝らした保孔管が開 発され使用されてきている。平成22年から25年にかけて(独)土木研究所と8社の共同研 究で、これらの保孔管の室内比較試験を実施しその適用性を評価した。その成果は、「地すべ り地における地下水排除ボーリング工の排水性能調査」共同研究報告書第453号、平成25 年5月、としてまとめられた。当社では、MTパイプを開発し、多くの現場で使用してきた。 いくつかの現場でMTパイプと従来の保孔管の比較のデータを集めてきた。本稿では、室内 比較試験の結果と現場での適応性について報告する。

## 2. 室内比較試験

## 2.1 試験に用いた保孔管

試験に用いた保孔管は、従来の塩化ビニール管とSGP管以外に10種類、合計12種類の保孔管である。12種類の保孔管を集排水機構で分類し表-1に示す。

<b>把 11 答</b> 友	集	排水機	構	ストレ	(ーナの)	<b>公</b> 新夕	
体化官石	全周	天端	特殊	大	中	小	万规石
従来型VP管	0					0	
SGP管	0					0	
ヒシパイプ斜孔管	0				0		
サビレス管	0			0			
植毛暗渠パイプ	0					0	全周集水型
プラグ式集水管	0					0	
ロジオドレーン	0			0			
波形ハイストローグ管	0	0				0	
ミズデルン	0	0		0			
ハーフパイプ		0		0			王姆伟大型
シュウスイ		0				0	入咖菜小空
MTパイプ			0		0		特殊集排水型

A I KWKに用いた体化目の未許が依旧による。	分類
--------------------------	----

集排水機構としては、全周集水型、天端集水型、特殊集水型の3タイプに分類される。ストレーナの開口率は、大・中・小で区分した。

実験に使用した保孔管の種類と構造を写真と図で示す。





写真-1 試験に用いた保孔管

保孔管の機能は、図-1の通り、①孔壁保護機能、②集水機能、③通水機能の3通りある が、試験では②集水機能と③通水機能の2点について実施した。



図-2 保孔管の機能

# 2.2 試験方法

試験装置は、写真-2の通り、外形94mm、長さ4mのアクリル管を疑似孔壁とし、単管パ イプで組み立てた架台に5度の角度で設置した。このアクリル管の中に試験対象の保孔管を 設置し、設置条件や水量などを変えて試験を実施した。



# 写真-2 試験装置

保孔管の機能のうち、集水機能と排水機能に分けて試験を実施した。

集水試験では、給水方法を孔底給水と天端集水と全周集水の3通りとしたが、ここでは実際の地すべり地の湧水状態に合わせて孔底給水についてのみ述べる。孔底からの給水量は、 2・5・10 リットルの3通りとした。保孔管の設置方法は、図-3のとおり、ストレーナを真 下(0度と表現する)にした場合と45度回した場合の2通りとした。

通水試験は、保孔管の中に直接給水し、保孔管長の4mを流下させ、通水量(漏れずに流れた水量)を計測した。給水量と保孔管設置方法は集水試験と同じとした。

試驗夕	試除日的	試験条件							
山河大口		擬似孔壁	給水方法	給水量(I/分)	保孔管置き方	継手			
試験 I		アクリルパイプ	孔底給水	2•5•10	0°、45°	ネジorソケット			
試験Ⅲ	集水性能	アクリルパイプ	天端給水	2•5•10	0°、45°	ネジorソケット			
試験Ⅳ		飽和した砂地盤	全周給水						
試験Ⅱ	通水性能		保孔管へ直接給水						





図-3 試験装置

# 2.3 室内試験結果

# 2.3.1 集水試験結果

集水試験結果は、図-4 に示した。 全周集水型は、給水量に比例して集水率が増加する 傾向がみられた。給水量の増加は孔壁断面で見ると水位上昇になり、ストレーナに水が入る 量が増えるからである。保孔管設置パターンと継手方法で集水率が大きく変化した。保孔管 設置パターンが0度の場合は孔のふさがりにより水が入りにくくなるが、45度になると孔底 を流れる水が入りやすくなるからである。従来型 VP 管では45度は0度の倍の集水量となる。 継手も集水量に大きな影響がある。ネジ継手は孔底に密着するが、ソケット継手ではソケッ トの肉厚分が孔底より浮き上がり、給水量が少ない場合はストレーナからの取り込みができ にくくなる。ソケット継手の場合、給水量が5リットル以下では集水量が0で、10リットル で初めて集水が始まる。

全周集水型は、3種の給水量平均で0~58%である。天端集水型は、孔底が樋になっているので、孔底を流れる水はほとんど集水できない。一方、特殊集水型はパッカーで水を堰き止め上流側のストレーナからすべて取り込むので、集水率は100%である。



図-4 集水性能試験結果

# 2.3.2 通水試験結果

通水試験結果は図-5に示した。全周集水型では継手は通水試験結果に関係しなかったが、 設置方法は通水率に大きな影響を与えた。ストレーナの位置が0度で給水量が2リットルと 少ない場合は、真下のストレーナから水が漏れてしまう。45度の場合は、保孔管の下底が樋 になるため、通水率が上がる。給水量が増加すると漏れの影響が少なくなる。また、給水量 に比例して通水率が増加するものが多い。天端集水型は、下底が樋となっているので通水率 が100%。特殊集水型も構造上通水率が100%となった。



図-5 通水性能試験結果

#### 2.3.3 保孔管の性能評価

集水率と通水率の散布図を図-6 に示す。プロットは 4 つのグループに区分できる。①の グループは、全周集水型で開口率の高い保孔管である。開口率が高いため、集水率が高いが、 逆に通水率が低くなる。(水が入りやすく漏れやすい保孔管) ②のグループは全周集水型で 開口率が低い保孔管である。開口率が低いため、集水率が低い反面、通水率が高くなる。(水 が入りにくく、漏れにくい保孔管) ③のグループは、天端集水型であり、集水率が低く、 通水率が高い保孔管である。(水は入らないが漏れない保孔管) ④は特殊型保孔管であり、 集水率も通水率も高い保孔管である。(水がすべて入り漏れない)



図-6 集水率と通水率の散布図

排水機能の評価方法として、排水効率という概念を考えた。

排水効率=集水率×通水率

排水効率でグラフを作成し、図-7に示した。従来型の保孔管の15%を基準として、新し く開発された保孔管を評価してみる。ただし、ここで採用した排水効率は、いろいろな試験 条件の中の最高値としているので、実際はもう少し低い値となる。

- 全周集水型は、一つの保孔管を除いて 20%~37%で排水効率は従来の VP 管より改善さ れている。
- ② 天端集水型は、地すべりの地下水湧水状況を反映した試験条件下では、従来管を下回った。
- ③ 特殊集水型は100%であった。

特殊



図-7 排水効率による保孔管の評価

# 3. 現場での排水性能比較

室内試験はあくまでも人為的な条件下での試験であり、現場では様々な要因が作用する。 したがって、室内試験の結果がそのまま現場で通用するわけではない。

今回は、特殊型のMTパイプと従来型VP 管での排水性能比較を実施した。

#### 3.1 排水量の比較

排水量の比較を正確に行うには、同じボーリング孔でするのが望ましいが、一つの孔で保 孔管を出し入れすることは技術的にむつかしい。そこで従来型VP管とMTパイプを交互に 配置して、それぞれの合計湧水量を比較した。水抜きボーリングは水みちにあたるかどうか で排水量は違ってくる。したがって、比較する場合には、できるだけ多くのボーリング本数 が必要である。今回は、6~10本の横ボーリング施工個所で試験を実施した。

試験個所は、三紀層で2か所と白亜紀の粘板岩1か所である。

試験の結果は、図-8、図-9、図-10に示した。図や写真で赤丸がMTパイプである。

三紀層では、MT パイプの排水量が従来の VP 管に比べて 3.2~8 倍。白亜紀粘板岩では 2.5 倍となった。また、MT パイプはわずかな湧水量でも保孔管に取り込み排水することが明らかになった。



図-8 山口県油谷(三紀層)







図-9 新潟県旧山古志(三紀層)





# 3.2 MT パイプの地下水位低下効果の検証

山口県長門市油谷の三紀層地すべり地で地下水位低下効果を検証した。地すべりブロック は、幅 30m、長さ 50m、すべり面深度 5m と小規模である。初年度に下段と中段で、2年後 に上段の横ボーリングが実施された。下段と中段は従来型 VP 管で水抜きを実施したが、降 雨時の水位は横ボーリング施工後も全く低下せず、ほぼ地表まで上昇した。2 年後に上段を MT パイプで施工したところ、施工後の水位低下量は、すべり面までの観測井で 1.85m、基 盤を貫く観測井では 2.96mと顕著に低下した。図-11・12 及び表-4 参照。

油谷半島の農林所轄地すべり地で過去のデータを整理したところ、地下水位低下量は横ボ ーリングでは1.5m、集水井では3m程度であった。過去のデータと比べると、地すべり層厚 がわずか5mにしてはよく下がったほうだと思われる。

地下水位の低下量は、観測井が全孔ストレーナの場合が多いこと、観測井と水抜きボーリ ングの位置関係、年度ごとの降雨量や降雨パターンの違いなど、比較が容易ではない。



図-11 地すべり平面図及び断面図



図-12 地下水位と降雨のグラフ

観測孔の位置		水位の 種類	MT施工 前水位 (GL-m)	MT施工 後水位 (GL-m)	水位低下量 (m)	効果
	投計區	最高	0.20	2.05	-1.85	0
A-3	何夕禹川音	最低	1.89	3.55	-1.66	0
	其般岩	最高	0.23	3.19	-2.96	Ø
	~ 空运力	最低	1.92	3.96	-2.04	Ø
	投動區	最高	0.00	0.25	-0.25	Δ
۸_1	何夕禹川音	最低	2.65	2.67	-0.02	×
	甘暢出	最高	0.00	0.75	-0.75	0
	<b>卒</b> 塗石	最低	4.11	4.41	-0.30	Δ
	投動房	最高	0.00	0.03	-0.03	×
A_2	修動層	最低	1.64	2.31	-0.67	0
A-2	甘畅出	最高	3.73	3.49	0.24	×
	- 卒 ニ 右	最低	4.92	5.01	-0.09	×

表-4 ミズトールと従来管の水位低下比較

注 : MTはミズトール

# 4. まとめ

①全周集水型は、ストレーナの開口率が高いと集水率は上がるが、通水率が下がり、開口率 が低いと集水率が下がり、通水率が上がる。どちらの場合も、排水効率(集水率×通水率)は 高くなりにくい。

②天端集水型(下部が樋)は、孔底を流れる地下水を集水することができないため、地すべりの保孔管としては機能しにくい。

- ④ 特殊集水型の MT パイプは、室内実験では排水効率 100% であり、現場でも排水量が従来 管の 2.5 倍~8 倍で、有効であることが確認できた。
- ⑤ MT パイプの地下水位低下効果については、1 か所で顕著な水位低下が確認されたが、デー タが少ないので今後のデータ収集が必要である。

# 参考文献

土木研究所他、地すべり地における地下水排除ボーリング工の排水性能調査 共同研究報告書 整理番号 453 号、2013.5

話題提供

高標高部に地すべり末端部が位置する大呂地すべり

日本工営株式会社 木下慎逸・市川岳志・久保圭槻・徳永博・平山拓哉

## 1. はじめに

鳥取県八頭郡智頭町の採石場斜面上方に位置する大呂地区地すべりは、平成 16 年に滑動 が確認された。平成 17~19 年に頭部排土工及び地下水排除工を施工した結果、滑動は沈静 化し、平成 20 年に事業概成となった。しかし、平成 23 年台風 12 号豪雨(9月4日の日雨 量 148mm)により再滑動したため、平成 24~26 年に地下水排除工が追加施工された。その後、 地下水排除工による地下水低下効果は認められるものの、現在も地すべり滑動は継続中であ る。

今回、地すべりが再活動し、現在も地すべり滑動が休止しない原因について討論するため、 これまでの経緯、地すべり再滑動前に明らかにされた地すべり概要、再滑動後に新たに得ら れた調査結果について発表する。



写真 1-1 大呂地区全景斜め写真 (平成 17 年 5 月撮影)



写真 1-2 大呂地区全景斜め写真 (平成 19 年 11 月 2 日撮影)



図 1-1 大呂地区地すべり位置図

# 2. 経緯

大呂地すべりは、北股川や、主要地方道津山智頭八束線から比高約370mの斜面高標高部に 位置するため、一般には目につきにくい。こういった地理条件の中、冠頂部の亀裂は平成7年 (1995年)1月の「阪神淡路大震災」直後に地元の猟師がはじめて発見し、株式会社智頭砕 石に報告があったとのことである。これまでの経緯を以下に示す。

時期	イベント	予稿集
平成7年	「阪神淡路大震災」直後に、地元の猟師が冠頂部の亀裂を発見	
(1995)1月	し、株式会社智頭砕石に報告。	
平成 16 年	砕石場内の最も奥にある東斜面(切取法面と自然斜面の一部)	
2月~3月	が崩壊(規模:約 6000 m³)し、土砂は砕石場内にある仮設道	
(融雪期)	路の一部区間(約 30m)を塞ぎ停止した。	
平成 16 年	鳥取県県土整備部・八頭県土整備事務所(維持管理課)・八頭	
4月8日	地方農林振興局・県庁治山砂防課・地権者(智頭砕石社長)・	
	調査コンサルタント会社による合同現地視察が行われた。	
平成 16 年	地すべり調査(地質調査、計器観測)を開始する。当初、想定	
8月	した地すべりは、調査ボーリングが2孔(B-1, B-2)のみであ	
	ったため、地すべり層厚約 20mの規模を想定しており、この	
	地すべりに対する対策工(P.Fs≧1.15)を検討していた。	
平成 16 年	9月28~30日に台風21号が、10月18~20日に台風23号	4.1~4.6章
9月~11月	が襲来し、頭部に設置している地盤伸縮計で約 500mm の累積	
	変位量に達した。削孔中であった B-1 は孔内閉塞が生じるな	
	どし、削孔不能となった。このとき、砕石場直上の急崖肩部が	
	小崩壊を起こし、土砂が北股川まで流出した。	
	10 月に追加ボーリング1孔 (B-3) を実施した。地すべり変動	
	により、11 月中旬に B-2 孔内計傾斜計は挿入不能となった。	
平成 17 年	災害関連緊急地すべり対策事業として、追加調査(調査ボーリ	4.1~4.6章
1月~	ング7孔;B-4~B-9,パイプ歪計観測)を実施した。その結果	
	をもとに技術指導(砂防・地すべり技術センター)を受けて、	
	地すべり層厚は約48mの規模であることが判明した。	
	地すべり層厚を20mから48mに見直した上で、対策工の検討	
	を行った(P.Fs≧1.15)。	
平成 17 年	自動監視システムを導入し、監視体制基準や避難基準を設け	
4月~	て通行規制や安全管理を行うとともに、インターネットを通	
	して地すべりの変動状況を Web 公開し、情報提供を開始。	
平成 17 年	株式会社智頭砕石が閉山する。	
5月		

表 2-1 経緯一覧

時期	イベント	予稿集
平成 17 年	8月7日から9月19日に地下水排除工(横ボーリング工;n	4.1~4.6章
8~11月	=36 本、ΣL=2,235m)、8月16日から11月5日に頭部排土	
	工一期工事(5段;EL667.0m、V=75,000 m <sup>3</sup> )が施工され、	
	当面の安全率 Fs≧1.05 を確保した。	
平成 17 年	一期工事頭部排土工基面でトレンチ調査を実施し、技術指導	4.7章
12 月	(砂防・地すべり技術センター)を受ける。頭部すべり面形状	
	を見直すとともに、左右非対称なすべり面で形状を明らかに	
	した。	
平成 18 年	融雪に伴い、頭部排土基面(一期工事; EL667.0m)に新たな亀	4.7~4.9章
1月中旬~	裂が認められたため、すべり面、地下水条件等を見直し、三次	
	元安定解析による追加頭部排土工、集水井工による追加地下	
	水排除工の検討を行った(二次元;P.Fs≧1.15、三次元;	
	$P. Fs \ge 1.10)_{\circ}$	
平成 18 年	6月5日~9月8日に追加頭部排土工(7段; EL656.5m、V=	4.10章
6月~平成	36,000 (計111,000) m <sup>3</sup> ) を、11月1日から翌年3月15日に	
19年11月	集水井工を施工した。	
	その後、平成19年10月までの地すべり変動はほぼ安定して	
	いるため、技術指導を受けて平成 19 年 11 月に監視体制を解	
	除した。	
平成 19 年	監視体制解除後も遠隔監視(Dopa)等による継続観測を継続。	
12 月~平成	継続観測の結果、地すべり変動は沈静化していることを確認	
20年3月	した。	
平成 23 年	台風 12 号、15 号の豪雨に伴い、頭部排土工基面に亀裂が発生	5.2章
9月	し、地すべりの再滑動が疑われた。	
平成 23 年	頭部排土工基面に発生した亀裂に地盤伸縮計を設置し、自動	6.2~6.3章
9 月~平成	観測システムを再導入し観測を行っている。また、地すべりブ	
29年8月	ロック内の地下水観測も実施している。	
平成 24 年	平成 24 年 5 月に集水ボーリング孔内洗浄を実施し、平成 24	7.1章
5 月~平成	年10月から追加集水ボーリング工、追加排水ボーリング工を	
26年8月	順次施工した。	
平成 28 年 3	地すべり背後の地下水位は高く、GL-2.5m付近まで上昇(B-12)	7.2章
月~平成 29	することから、地すべり背後の地下水を排除するため、新規集	
年8月	水井工を設計し、現在、施工中である。	

# 3. 地形·地質概要

#### 3.1. 地形概要

調査地は、鳥取県八頭郡智頭町大呂地内にあり、智頭町郷原にて国道 373 号より分岐する 主要地方道津山智頭八東線を、約 4.5km 北上した地点である。斜面下端部の河床付近には、 主要地方道津山智頭八頭線のほかに北股川、虫井神社、株式会社智頭採石の採石場が位置す る。また、北俣川上流方約 1.2km に芦津集落が、下流約 1.7km には大呂の集落が位置する。

図 3-1 に大呂地区周辺鳥瞰図を示す。調査地周辺は標高 500m~700mの山岳地で、その斜面勾配は 30~45°と急峻である。調査地斜面は、中国電力大呂発電所の北東方約 1km の山頂

(標高 710m)から北西方に伸びる尾根筋(傾斜 10~20°)部で、緩傾斜面から斜面中~下部の急斜面へと転じる位置にあたる。この地点は、穿入蛇行を繰り返しながら南に流下する 北股川の左岸側高標高部に位置し、当時稼動中の株式会社智頭砕石(平成 17 年 5 月閉山)の 背後の山腹斜面にあたる。

調査地の下方斜面に当たる株式会社智頭砕石の採石場内には、広範囲に良好岩盤が露出し、 その背後には長大な崩壊地が成長している。また北股川の河床部は堅硬な岩盤が連続的に露 出するとともに、両岸が迫り、河川沿いの氾濫原平坦地はわずかに分布するのみである。地 すべり地頭部の河床からの比髙は約370mと大きく、調査地の全景は谷底からは認めづらく、 北股川沿い上流方からその北側側部~末端部がわずかに望めるにすぎない。





空中写真判読(図 3-2)、地表踏査結果によれば、本地すべり地外の周辺地域には、明瞭な 遷急線を有する「すり鉢状地形」が認められるものの、不安定土塊や新しい変状などは確認 されていない。



図 3-2 大呂地区周辺の空中写真判読図

# 3.2. 地質概要

(1) 広域地質

調査地周辺の基盤岩類は、三郡変成岩類に属する泥質片岩を主体とする変成岩である(図 3-3 広域地質図参照)。

三郡変成岩類の分布は、東が若桜町春米(つくよね)から西は旧佐治村栃原に至る東西約 42km、北は郡家町山路から南は県境の志戸坂峠に至る南北約25kmの広範囲におよび、さらに 志戸坂峠から南方には岡山県西粟倉村南端部まで約8km連続する。広域地質図によると、周 辺の三郡変成岩類は泥質片岩の他に、珪質片岩、砂質片岩などからなり、これらは全体とし てNW-SE 走向でNE 傾斜を示している。また、これらの三郡変成岩類は周囲を因美花崗岩(古 第三紀)や広島花崗岩(白亜紀)により取り囲まれているため、軽微な熱変質を受けている とともに、ところどころに同種の貫入岩が三郡変成岩類中にも分布する。 地表地質踏査では、北股川の河床部の連続露頭、山腹斜面の一部、及び採石場内の大規模 露岩で新鮮硬質の泥質片岩等が確認できる。その片理面はWNW-ESE、20~50°Nの走向傾斜を 示し、調査地周辺の一般的な方向と考えられる。このため片理面は北西傾斜の地すべり当該 斜面に対して見かけ上、緩い「流れ盤」の構造をなす。節理面(亀裂面)はNE-SW 系及びNW-SE系で高角度のもの発達しており、大略的には谷や尾根の方向はこれらの方向と調和的であ る。 調査地周辺の三郡変成岩類は、泥質片岩を主体とするが、これに少量の砂質片岩および 珪質片岩の薄層が挟在し、ごくまれに暗緑色の塩基性片岩を伴う。表 3-1 に調査地三郡変成 岩類及び周辺地域を構成する地質の構成表を示す。調査地は花崗岩を除く各地質が確認され ている。

地質時代	地質名	構成岩(記号)	備考
第四紀	崩積土	土砂	調査地に分布
新第三紀	岩脈類	ひん岩(Op)	調査地に分布
古第三紀	因美花崗岩	花崗岩(Gr)	
中生代白亜紀	広島花崗岩	閃緑岩・花崗閃緑岩(Gd)	
古生代~中生代	三郡変成岩類	泥質片岩(Sm)、砂質片岩(Ss)、珪 質片岩(Sc)、塩基性片岩(Sb)	調査地に広く分布

表 3-1 調查地周辺地質構成表



\*構成岩の記号は、調査地周辺広域地質図に対応

図 3-3 大呂地区周辺の広域地質図

## (2) 調査地周辺の地質

調査地に分布する地質のうち、泥質片岩は基盤岩類を構成する主要な地質である。暗黒色 の一定方向にはがれやすい片理構造を有するが、その程度は極めて軽微で、肉眼的には初生 的な堆積構造と区別が付きにくい場合が多い。新鮮なものは、硬質で、ハンマーの強打で硬 質音を発して、片理あるいは層理方向に割れる。砂質片岩は泥質片岩中に挟在する砂岩起源 の片岩で、その層厚は数 cm~10 数mのオーダーで、中~粗粒の砂岩からなり、層理や葉理は ほとんど認められない。風化に強く、通常、新鮮硬質である。調査地周辺では、北に傾斜する 層厚 5~10m程度の砂岩層が 3 層確認される。

岩脈類のうちフェルサイトは白色の細粒・緻密な岩石である。幅1~2mの岩脈をなし調査 地北部、採石場切羽北端部の断層近傍に幅2~3mで分布する。閃緑岩は暗灰色を呈し、塊状 の細粒硬質緻密で均質な石英、角閃石、斜長石からなる。幅1~2mの岩脈をなし、採石場切 羽南端部その他で確認される。フェルサイト同様、北西-南東方向に高角度で分布する。

地質 時代	地 質		記号	摘要
第四紀	1 崩積土		dt	崩落による未固結の土砂。土砂は径 1~30cm の基盤 岩の角礫を含む砂質土~粘性土。火山灰を含む。火 山灰は黄褐色の粘性土で径 1~2mm の軽石を含む。 層厚 1~5m。
新第三 紀	岩脈類	フェルサ イト	Fel	白色の細粒・緻密な岩石。幅1~2mの岩脈をなす。
		閃緑岩	Di	塊状の細粒硬質緻密で均質な岩石。石英、角閃石、 斜長石からなる。暗灰色を呈する。幅1~2mの岩脈を なす。
		ひん岩	Ро	暗灰色で緻密な石基と少量の有色鉱物の斑晶を含む。幅1~2mの岩脈をなす。
古生代     三郡 変       中生代     岩類	泥質片岩	Schm	黒灰色の泥質岩起源の岩。極めて軽微な片理構造を 示す。調査地の基盤岩類の主要な地質。	
	郡変成岩類	砂質片岩	Schs	灰色の砂質岩起源の岩。極めて軽微な片理構造を示 す。主として中粒の砂岩からなる。
		珪質片岩	Schc	灰白色のチャート起源の岩。極めて硬質。
		塩基性片 岩	Schb	暗緑灰色の塩基性凝灰岩起源の岩。軽微な片理構造 を示す。

表 3-2 調査地に分布する地質構成表

#### (3) 地質構造

地質構造と地すべりブロックを図 3-4 に示す。三郡変成岩類の片理面の方向は、WNW-ESE, 20~50°N(N70W、35N程度)である。北股川の流路が東西方向から北西方向となる区間では、 山腹斜面は北または北東傾斜となり、片理面は斜面に対して流れ盤となる。一方、それより 上流の株式会社智頭砕石及び地すべり地付近では、片理面の最大傾斜方向は斜面最大傾斜方 向と一致せず、両者は平面的に70°程度の大きな角度をなす。地すべり移動方向では、片理 面は見かけ上、緩い流れ盤となる。 (4) 断層

調査地周辺でF-1、F-2、F-3の断層が確認された。これらは南北系と東西系に大別できる。F-3 断層は東西系で、ブロック上部南西側の直線状の頭部亀裂と一致している。F-3 断層は、平成17年夏~秋に実施された頭部排土工後の掘削盤上のトレンチ調査で確認されたもので、幅1~2mの断層ガウジを伴う。そして、地すべり頭部亀裂はこのF-3 断層に沿って発生したことが判明した。



図 3-4 地質構造と地すべりブロック

# 4. 再活動前に明らかにされた地すべりの概要

### 4.1. 地すべりの特徴

大呂地区地すべりは河床から約 370m上方の尾根筋に位置し、尾根筋斜面において発生した地すべりである(図4-1、図4-2)。その規模は幅約100~150m、長さ約250mである。地すべり頭部では、尾根を跨ぐ連続する新しい亀裂(高さ2~3m)が発生しているほか、地すべりブロック側部には多数の新鮮で明瞭な崩壊跡、亀裂などの変状が認められる。

地すべり最大層厚は約50m、推定移動土塊量は約900,000m<sup>3</sup>と大規模で、地すべり土塊の 崩落により北股川の閉塞が懸念された。

大呂地区地すべりは、顕著な変状が発生し、しかも著しい滑動が発生しているにもかかわ らず、馬蹄形地形等の地すべり地形は呈していない。これは初生的な「岩盤地すべり」の特 徴を示すものである。地すべり斜面の頭部~中腹部にかけての平均勾配は、 $\theta = 20^{\circ}$ 程度と なだらかである。



## 図 4-1 北股川河床と地すべり断面図



4.2. すべり面

平成 16 年度から 17 年度にかけて、ボーリング調査は9 孔実施している。図 4-3 にボーリ ング位置とすべり面コンターを、図 4-4 に地すべり主測線断面図を示す。また、巻末に主要 なボーリングコア写真を添付する。

ボーリング調査の結果、移動土塊中央付近 には硬質な岩盤(中硬岩)も確認されている が、頭部亀裂沿いのF-3 断層・貫入岩分布ゾ ーンやその他の広い範囲に強風化による劣化 が進んでいることから、頭部亀裂が発生する 以前に長期にわたり、緩みや風化が進行して いたものと推定される。

表 4-1 にすべり面深度一覧を示す。すべり 面は礫~土砂状コアから良好岩盤へ急変する 箇所に判定される。ただし、B-2 のすべり面に は、深部まで劣化しているが、すべり面の連 続性、孔内傾斜計やパイプひずみ計観測結果 をもとに、深度 10.0mに推定している。

表 4-1 すべり面深度一覧

		•	ボーリング9孔実施(主測線6孔、副測線3 孔)
ボーリング調査		•	地下深部(深度50m付近)まで劣化して おり、その下面はほぼ直線状に約16 <sup>°</sup> の 勾配で連続している。(劣化ゾーンの下 面をすべり面と判定)
	すべり面	•	B-1 : 深度45.4m
		•	B-2:深度10.0m
		•	B-3:深度31.0m
		•	B-4:深度48.1m
		•	B-6 : 深度22.7m
		•	B-8:深度39.3m
		•	B-9:深度25.0m



図 4-3 ボーリング・計測器位置とすべり面コンター


## 4.3. 移動量

移動杭観測結果を図 4-5 に示す。平成 16 年 4 月 24 日~平成 16 年 10 月 5 日の水平移動量 は 58.8cm (斜距離 66.6cm) に達した。その経過を見ると 4 月 24 日から 9 月 23 日の水平移動 量は 19.8cm、9 月 23 日から 10 月 5 日の水平移動量は 39.0cm であった。9 月下旬に大きく移 動したのは、9 月 29 日の台風 21 号に伴う豪雨(智頭観測所日降水量 177mm)の影響と考えら れる。頭部に設置された地盤伸縮計(S-1,S-2)変動図を図 4-6 に示す。地盤伸縮計の移動量 は 85cm と移動杭観測結果と調和的である。移動方向は N52W で、解析測線方向と一致する。



図 4-5 移動杭観測結果



地すべり変動観測結果を表 4-2 に示す。孔内傾斜計、パイプ歪計ともに、推定したすべり 面付近で累積変動が認められた。

孔内傾斜計観測予定であった B-1 は、当初 47.20mまで削孔を進めたが、台風 21 号に伴う 豪雨時の地すべり滑動により、深度 24.96mにおいて孔が閉塞した。このため、深度 24.96~ 41.70m区間を再度削孔したが、台風 22 号の通過時に同じ深度の深度 24.96mが再び滑動し、 孔が閉塞した。そこで深度 24.96mから再々度削孔したが、深度 26.50mを削孔した時点で、 残念ながら、地すべり滑動も大きく、収束する傾向も認められなかったため、ボーリング調 査作業自体が危険と判断して削孔作業を中止し、撤収した。

孔内傾斜計 B-2 は、深度 31.0mでは観測開始の 10 月 30 日~11 月 25 日にかけて、地すべ り方向への累積変動 4.4mm が確認された。深度 4.0~5.5m区間では変動量の総和が 46.20mm と なり、変動 A(確定変動)に相当する変動量となる。11 月 12 日には、深度 32m以深は挿入不能に なった。 また、1 月 29 日には深度 6mで、3 月 8 日には深度 3.5mで挿入不能となった(図 4-7)。

孔内傾斜計 B-3 は、深度 39.0mでは観測開始から 2 月 21 日までの変動量が地すべり方向 へ 8.45mm 確認されており、これは変動A(確定変動)に相当する。また、同深度を含む深度 38.0~40.0m区間では変動量の総和が 46.20mm となっている。3 月 3 日には、深度 39mで挿 入不能になった(図 4-8)。

地すべり変動	地盤伸 縮計	• <u>頭部</u> :	<ul> <li>S-1が台風に伴う豪雨により累計 500mm</li> <li>の引張変動を観測。 その後、約1mm/日の</li> <li>引張変動となる。</li> </ul>
		• <u>中腹</u> :	S-6,13 は融雪期に約0.3mm/日の圧縮変 動を観測するが、その後は0.1mm/日未満に 収束する。
		・ <u>末端部</u>	側部両側のS-3,5は、融雪期に約 0.6mm/日の引張変動を観測するが、その後 は約 0.02mm/日と収束する。それに対し て、中央部のS-4,9,12は、融雪期に 約 0.3mm/日の圧縮変動を観測するが、その 後は約 0.1mm/日と収束する。
観	孔内傾	• B - 2	深度6m以深孔曲がりにより測定不能。
侧	斜計	• B - 3	深度 39m以深孔曲がりにより測定不能。
	パイプ	• B-4	深度 43m累積歪変動。
	ハイノ 不乱	• B – 8	深度 39m累積歪変動。
	正印	• B - 9	深度 26m累積歪変動。
	孔内水	・観測孔B	-8,B-9共にすべり面より下位に観測さ
	位	れる。	

表 4-2 地すべり変動観測結果









- 4.4. 地すべり発生機構
  - 1) 素因
  - F-3 断層及びこれ沿いに貫入し変質を受け脆弱化したフェルサイトがブロック頭部に 存在する。
  - ② 深度 50m付近に連続した脆弱層が存在する。
  - ③ 地質構造が末端開放型の流れ盤で、地質も地すべりを生じやすい結晶片岩である。
  - 2) 誘因
  - ① 兵庫県南部地震(平成7年1月)による地震動。
  - ② 台風 21 号 (H16.9.28~30 連続降水量 210.5mm)と、台風 23 号 (H18.10.18~20 連続 降水量 217.0mm)による豪雨。
  - ③ 融雪による地下水位の上昇。

#### 4.5. 安定解析

地すべりの安定解析は、一般的に用いられている簡便法(スウェーデン式分割法)により、 安全率や必要抑止力を算定した。安定解析条件を表 4-3 に、安全率フローを図 4-9 に示す。

観測期間中の地下水位はすべり面よりも低い位置にあったため、安定解析における被災時 地下水位は、逆算により設定した。

地すべり計器観測結果から、地すべり滑動当初は降雨の有無に関わらず、著しい滑動を示 していたが、地下水位の観測を開始してからは地下水位がすべり面より下位に存在しており、 地すべり変動はほぼ小康状態を保つようになった。平常時でもすべり面付近の地下水位で、 緩慢な地盤伸縮計変動は認められるため、すべり面よりも地下水位が少しでも上位に存在す る場合は、地すべりは活発に滑動するものと考えられる。このため、被災時地下水位は安全 率 Fs=0.95(降雨の有無に関わらず地すべりが滑動する状態)となる地下水位を逆算で設定 した。

計画地下水位は、一般的に地下水排除工(横ボーリング工)による地下水位の計画低下高 は3m(現地調査等を考慮して1~3mで決定する)とされるが、当地区の地すべり土塊は層 厚が厚いこと、現況において地下水位が低いことから、大きな地下水位の低下は期待できな い。そこで、地下水位の低下高は1~3mの中間値である2mを採用した。

項目	設定値	設定条件
現状の安全率 Fs0	1.00	地下水位がない状態で地すべりが安定
計画安全率 P.Fs	1.15	保全対象が県道及び北股川
<ul> <li>地すべり土塊の単位体 積重量 γ (kN/m<sup>3</sup>)</li> </ul>	18.0	一般的な地すべり土塊の単位体積重量
粘 着 力 c (kN/m²)	25.0	地すべり層厚(45m)との比、上限 25kN/m <sup>2</sup>
間隙水圧 u (kN/m)	0.0	地下水位はすべり面以下
内部摩擦角 $\phi(度)$	$16.7782^{\circ}$ (tan $\phi$ =0.3015)	逆算で設定

表 4-3 安定解析条件



Fs≧1.15(計画安全率達成)

図 4-9 安全率フロー

4.6. 対策工法

大呂地すべりは、主に台風 21 号に伴う豪雨により地すべり変動が顕著化したことから、直 接的な地すべり活動の誘因は、豪雨に伴う地下水位の上昇と考えられる。

地すべり対策工法は、対策効果や施工性について評価した結果、頭部排土工、横ボーリン グ工、地表水排除工を採用した。

① 頭部排土工 V=114,000m<sup>3</sup>

·1 期工事; V=75,000m<sup>3</sup> EL=669.0m

·2期工事; V=39,000m<sup>3</sup> EL=658.5m

② 横ボーリング工 L=2,235m、36本

·上段1~4群:45,60,75m×12本(L=720m)

- ·下段1~4群:50,55,60,70m×24本(L=1,515m)
- ③ 地表水排除工 L=486m







## 図 4-11 対策工断面図

## 4.7. 頭部排土工一期工事中の地すべり挙動

平成17年8月16日から11月15に、頭部排土工一期工事EL667.0m(計画安全率Fs= 1.090,計画地下水位)を施工した後、頭部排土のり面地質観察、トレンチ調査を行った。写 真4-1に頭部排土工切土のり面全景を、写真4-2にトレンチ調査で確認したすべり面を示す。



写真 4-1 頭部排土工切土のり面全景



写真 4-2 トレンチ調査で確認したすべり面

頭部排土工一期工事(EL667.0m、11月5日完了)以降も継続して斜面監視を実施したと ころ、平成18年1月中旬の融雪の影響を受けて、地下水位が約10m(すべり面より約2m 上位まで)上昇し、地盤伸縮計の変動がわずかに観測された。その後も累積変動を続け、積 雪がほぼ消えた3月下旬には排土工基面に亀裂が発見された(写真4-3)。亀裂は延長約20 m、最大開口幅約15mm、段差約10mmであった。地すべり頭部に相当する亀裂は、下流側が 明瞭であるのに対し、上流側は不明瞭である。この亀裂が発見された前後の変動状況を図

4-12 に示す。下流側に設置した地盤伸縮計 S-7' は融雪時から明瞭な引張変位が観測されるが、上 流側に設置した地盤伸縮計 S-2'は約1ヶ月遅れ て引張変位が観測された。さらに、地下水位の変 動状況をみると、地すべりブロック中心に位置す る B-8 孔の地下水位はすべり面よりも上位に存在 し、高い地下水位を保つのに対し、地すべりブロ ック末端付近に位置する B-9 孔の地下水位はすべ り面より下位に存在するとともに、B-8 に比較し て地下水位は速やかに低下している。



写真 4-3 出現した亀裂



図 4-12 施工中の地すべり動態観測結果

4.8. 三次元安定解析による対策工の効果評価

頭部排土工一期工事施工前の観測期間中、地下水位はすべり面以下であったが、施工後の 融雪期にはじめて地下水位はすべり面より上位まで上昇し、緩慢な累積変位を示した。そこ で、融雪期に上昇した地下水位を最高水位として二次元安定解析により安定度を再評価した。 頭部排土工一期工事後の地形で、安全率は Fs=1.081 と、実際の変位現象(緩慢で軽微な変 動)に一致しない計算結果となった。この原因としては、以下の2点が考えられる。

- 大呂地すべりは尾根地形の地すべりであるため、二次元解析では排土工の効果が過大 に評価される傾向にある。
- ② 地質調査およびトレンチ調査の結果から、大呂地すべりのすべり面横断形状は図 4-13 に示すとおり、左右非対称である。



図 4-13 地すべり横断形状断面図

そこであらためて、三次元安定解析により対策工の検討を行った。二次元解析と三次元 解析との計算結果を比較した安全率フローを図 4-14 に示す。



図 4-14 二次元安定解析と三次元安定解析安全率フローの比較

## 4.9. 追加対策工

頭部排土工一期工事後、亀裂が発生したことを踏まえ、追加頭部排土工(二期)と追加地 下水排除工を以下の条件のもと検討した。

① 必要最小限の排土計画とする。より経済的かつ有効な排土計画とするため、地すべり ブロック形状に沿って排土形状を決定した。なお、必要以上の排土工は、応力除荷が働 いてすべり面の強度が低下する恐れがあると判断した。

- ② すべり面形状は左右非対称であることを考慮する。地すべり挙動の特性から、可能な限り上流側の土塊を残し、下流側の土塊を除去する形状とした。その際、施工性についても検討を行った。
- ③ 頭部排土工切土のり面に出現した馬蹄形の褐色帯について安定度の検討を行う。写真 4-4 に認められる馬蹄形の褐色帯は、現時点で下部が埋もれた状態にある。このまま、 排土工を進めた場合、新たなすべりが発生する危険性が高いため、可能な限り褐色帯 の下部を排土しない計画とし、想定されるすべりに対してのり面対策工を計画する。



写真 4-4 頭部排土のり面に出現した褐色帯

- ④ 地下水排除工を追加検討する。融雪期において、水位観測孔 B-10 の地下水位が計画水 位まで低下していないことが観測されているため、地すべり頭部付近の地下水位を低 下させる地下水排除工(集水井工)を計画する。
- ⑤ 排土基面に表面排水路を設置する。排土基面には表流水の浸透を防ぐため、水切り勾配(3%程度)を設け、表面排水路工を設置する。また、法面小段には排水施設を設置する。

以上の項目を検討した結果、最終的に決定した排土形状を図 4-15 に示す。



図 4-15 最終的な頭部排土工平面図

4.10. 対策工の効果

対策工施工後平面図を図 4-16 に、効果判定総括図を図 4-17 に示す。平成 15 年~17 年の 降雪・融雪時期には変動量が増加したが、地下水排除工・頭部排土工施工後の平成 18 年以降、 変動は収束傾向にあった。





- 85 -

### 5. 地すべり変動・再滑動

5.1. 「気象情報」

平成23年9月の台風12号、15号の豪雨に伴い、頭部排土工基面に亀裂が発生し、地すべ りの再滑動が疑われた。以下に、平成23年9月の気象状況を整理する。

大呂地すべり地区近傍の降水量観測所は国土交通省綾木観測所(観測開始:平成14年)で、 積雪深観測所は気象庁智頭観測所(観測開始:昭和59年)である(図 5-1)。

台風 12 号は 9 月 2 日~4 日にかけて鳥取県を南北に横断し、総降水量 329mm、日最大降 水量 205mm (9/3) であった。また、9月 20日~21日に台風 15号の影響によって、総降水 量 374mm、日最大降水量 139mm (9/21) を観測した (図 5-2)。平成 23 年 9 月 3 日の日降水量 (205mm) は平成14年以降2番目に多く、9月の月間降水量(714mm) は、同期間中で最も多 い降水量であった(図 5-3)。



**0**m

図 5-1 観測所位置図



図 5-2 平成 23 年 9 月の降水量(綾木観測所)



図 5-3 日降水量 (綾木)

# 5.2. 「現地状況」

台風 15 号通過後の現地踏査で、頭部排土工基面に連続した開口亀裂が確認され(写真 5-1 ~写真 5-2)、地すべり移動土塊が 5cm 程度沈下していた。亀裂の発生位置は、すべり面の背 もたれ部が頭部排土工基面と交わる箇所であった(図 5-4)。地すべりが再滑動したかどうか を確認するため、この亀裂の位置に地盤伸縮計を2基(S23-1,S23-2)設置し、地すべりの変 動状況を確認することとした。なお、地すべり両側部、末端部には目視によって認識できる ような新しい変状は、確認されなかった。



写真 5-1 頭部排土工基面に発生した亀裂



写真 5-2 開口亀裂(地すべり移動土塊側が 5cm 程度沈下)



## 6. 再滑動後の地すべり観測結果

### 6.1. 気象情報

平成23年から平成29年8月までの降水量、積雪深を表 6-1、図 6-1に示す。

大呂地すべり地区では、毎年、日降水量100mmを超える降雨イベントをほぼ数回観測する。 また、智頭町は豪雪地帯に指定されており、1月~3月の積雪・融雪期には、20cmを超える積 雪深を毎年観測する。平成29年1月24日の積雪深は111cmと、例年と比較し降雪が多い年 だった。

平成	年降水量 (mm/year)	<sup>条水量</sup> 降水 <sub>(voar)</sub> 日数·	最大月 (mm/month)		最大日 (mm/day)		最大 積雪深	20cm 以上 積雪日
	(IIIII/ year)		降水量	月	降水量	日付	(cm)	(日)
23	3002	184	714	9	205	9/3	87	41
24	2228	193	237	12	101	6/19	41	16
25	2338	161	489	9	148	9/4	27	7
26	2228	163	460	8	120	10/13	32	11
27	2150	166	316	1	113	12/11	31	3
28	1863	162	382	9	62	5/16	20	1
29*	1085	117	253	1	147.5	8/7	111	45

表 6-1 気象情報まとめ

※平成 29年は8月31日までのデータ



6.2. 地盤伸縮計

平成23年11月から、頭部排土工基盤面に発生した亀裂に、地盤伸縮計を2基(S23-1、S23-2)設置した。地盤伸縮計の観測位置図を図 5-4に示す。なお、S23-1は平成28年5月に新 規集水井施工のため、撤去した。

地盤伸縮計の観測グラフを図 6-2 に、地盤伸縮計の変動状況を表 6-4 に示す。これより、 地盤伸縮計の変動状況を表 6-2 にまとめた。なお、地盤伸縮計の変動判定種別一覧を

表 6-3 に示す。

2基の地盤伸縮計は、設置当初から引張の累積変動を示す。また、無積雪期と比較し、1月 から3月の積雪期の変動は、増加する傾向にあることが明らかとなった。

機器名	設置期間	特徴
		平成23年から現在まで、地盤伸縮計の変動は、累積を伴う 引張変動を示す。また、2基の伸縮計は、類似した変動傾向を 示している。
S23-1	H23/12~H28/6	O無積雪期 無積雪期は変動Cで、常時緩慢に引張変動を示す。降雨との 相関はやや明瞭である。代表的なイベントとして、平成25年 9月の連続降水量319mm、日最大降水量148mmの降雨によって 変動し、変動種別Aを観測した。また、平成26年10月の日 降水量120mmを観測した降雨で水位上昇とともに、変動Bを
S23-2	H23/12∼	<ul> <li>観測した。</li> <li>〇積雪期</li> <li>積雪期は変動Bに相当し、無積雪期と比較して変動量が増加する。</li> </ul>

兼	6-2	地盤伸縮計観測結果	まとめ
2	0 2		5 6 5

			総合判定		
変動 種別	日変位量 (mm)	累積変位量 (mm/月)	変動 判定	活動性ほか	
変動A	1以上	10以上	確定	活発に運動中。 表層・深層すべり	
変動B	0.1~1	2 <b>~</b> 10	準確定	緩慢に運動中, 粘質土・崩積土すべり。	
変動C	0.02~0.1	0.5~2	潜在	継続観測必要。	
変動D	0.1以上	なし (断続変動)	異常	局部的な地盤変動・ その他。	

表 6-3 地盤伸縮計変動種別一覧





	表 6-4 地盤伸縮計変動	伏況一覧		
計器名	観測期間	累積 変動量 (mm)	月換算 変動量 (mm)	変動 判定
	H23/12/6~ H28/6/20(1658 日間)	99. 3	1.83	変動C
	H23/12/6~H24/4/4(120 日間)	14.4	3.60	変動 B
	H24/4/5~H24/12/5(245 日間)	8.2	1.00	変動C
	H24/12/6~H25/3/31(116 日間)	9.9	2.56	変動 B
	H25/4/1~H25/12/12(256 日間)	12.9	1.51	変動C
S23-1	H25/12/13~H26/4/10(118 日間)	11.8	3.00	変動 B
	H26/4/11~H26/12/22(256 日間)	8.9	1.04	変動C
	H26/12/23~H27/3/31(98 日間)	12.3	3. 77	変動 B
	H27/4/1~H27/12/19(261 日間)	9.9	1.14	変動C
	H27/12/20~H28/3/31(102 日間)	7.4	2.18	変動 B
	H28/4/1~H28/6/20(71 日間)	3.2	1.35	変動C
	H23/12/6~ H28/9/16(2096 日間)	106.9	1.6	変動C
	H23/12/6~H24/4/4(120日間)	10.6	2.65	変動 B
	H24/4/5~H24/12/5(245 日間)	9.3	1.13	変動C
	H24/12/6~H25/3/31(116 日間)	7.9	2.04	変動 B
	H25/4/1~H25/12/12(256 日間)	12.4	1.45	変動C
	H25/12/13~H26/4/10(118 日間)	9.3	2.36	変動 B
S23-2	H26/4/11~H26/12/22(256 日間)	10.1	1.18	変動C
	H26/12/23~H27/3/31(98 日間)	9.4	2.87	変動 B
	H27/4/1~H27/12/19(261 日間)	9.1	1.05	変動C
	H27/12/20~H28/3/31(102 日間)	6.1	1.79	変動C
	H28/4/1~H28/12/14(258日間)	8.2	0.96	変動C
	H28/12/15~H29/3/31(107 日間)	9.4	2.68	変動 B
	H29/4/1~H29/8/31(153日間)	3.7	0.74	変動C

※地盤伸縮計変動種別一覧(表 6-4)を参考に、変動種別ごとに観測期間を着色

6.3. 地下水位

大呂地すべりでは、5箇所で地下水位を観測している。地下水位観測孔位置図を図 6-4、 図 6-5 に示す。

B-8 孔と B-9 孔は、初期の地すべり滑動時の観測孔であり、再滑動した平成23年11月から観測を再開した。平成23年12月に頭部排土工基面のB-10 孔付近に、B-10'孔を設置した。B-10'孔の地下水位観測結果から、地下水位が高かったことを受け、B-11 孔を地すべり 背後の切土法面に設置した。B-11 孔の地下水観測結果から地下水が高かったこと受け、B-10' 孔とB-11 孔の中間にB-12 孔を設置した。

地下水位観測グラフを図 6-3 に、地下水の変動状況を表 6-6 に示す。これより、地下水位の変動状況を表 6-5 にまとめた。

地下水位観測結果より、地下水位は降雨と相関性が高く、地すべり上部ブロックで滞水時間(地下水が上昇し、水位を保持している時間)が長い傾向を示す。特に、降雪期・融雪期に 滞水時間が長い傾向がある。また、地下水位は、地すべりブロック下部ではすべり面より下 に位置し、ブロック上部に向かって高くなる。さらに、すべり面の背もたれを挟んで水位へ ッドがついていることが明らかとなった(図 6-5)。

孔番	水位変動の特徴	断面図における特徴
В-8	降雨と相関した水位変動を示すが、変動幅は 4.32mと小さい。	最高水位は、ほぼすべり 面直上である。
В-9	降雨と相関した水位変動を示し、水位変動幅 は10.28mと大きい。	水位はすべり面より下の 孔底に位置しており、す べり面より上部に上昇し ない。
B-10'	降雨と相関した水位変動を示し、水位変動幅 は7.61mと大きい。B-8,B-9と比較して、地 下水の滞水時間が長い。最低水位は低下傾向 にある。これは集水井からの増打し横ボーリ ング工の効果と考えられる。	最低水位はほぼすべり面 より上にあり、降雨によ り地すべり移動土塊内の 水位が上昇する。
B-11	降雨と相関した水位変動を示し、水位変動幅 は10.4mと大きい。B-10'と比較して、より 滞水時間が長い。最高水位はGL-8mより上昇 しない。	最高水位は地表から 8m 下であり、切土法面内ま で上昇する。
B-12	降雨と相関した水位変動を示し、水位変動幅 は19.24mと大きい。平成29年2月の融雪に より、地下水位はGL-3mまで上昇した。	最高水位は地表付近まで 上昇し、地すべり地内と 背後で水位ヘッド差があ る。

表 6-5 地下水観測結果 まとめ

孔番	すべり面 深度 (GL-m)	設置位置	観測期間	最高水位 (GL-m)	最低水位 (GL-m)	水位変動幅 (m)	降雨との 相関性
B-8	39.30	主側線 中腹部	H23/11~	34.14	38.46	4.32	ややあり
В-9	25.0	主側線 末端部	H23/11~	45.54	55.82	10.28	ややあり
B-10'	_	主側線 頭 部	H23/12 $\sim$	22.64	30.25	7.61	あり
B-11	_	主側線 頭上部	H25/6 $\sim$	7.42	17.82	10.4	あり
B-12	_	主側線 頭上部	H27/11 $\sim$	2.69	21.93	19.24	あり

表 6-6 地下水位観測結果まとめ

(※1) B-9の地下水位計は、孔内の変形により抜き取ることができず、点検・整備不備であ るため参考値とする。

(※2) B-10' は水位観測孔であるため、すべり面深度まで達していない。 B-11、B-12 は地すべり地外であるため、すべり面深度なし。



図 6-3 地下水位変動グラフ



※地下水観測孔と地盤伸縮計を青字で示す



※地下水観測孔を青字で示す

## 7. 対策工検討

7.1. 平成 20 年概成後の地下水位上昇対策

(1) 地下水位の変化

B-10' 孔について平成 20 年度の最高水位(B-10 孔) と平成 23 年度から現在までの最高 水位を比較すると、約 4m 水位が上昇している(図 7-1)。これは平成 20 年度の概成以降、 平成 23 年 9 月の台風 12 号・15 号をはじめ、複数の降雨イベントなどにより地下水流動形 態が変化したためと推定される。さらに、集水井内の集水ボーリングおよび排水ボーリング の劣化による集排水機能の低下もひとつの要因と考えられた。



図 7-1 B-10, B-10' 孔地下水変動グラフ

(2) 追加集水・排水ボーリングの施工

概成後、上昇した地下水位を低下させるため、平成24年から以下の対策工を実施した。

- ① 集水ボーリング工の洗浄(平成24年5月)
- ② 追加集水ボーリング(中段):9本(平成24年10月完成)
- ③ 追加排水ボーリング(中段):1本(平成24年10月完成)
- ④ 追加集水ボーリング(中段):3本(平成25年5月完成)
- ⑤ 追加集水ボーリング(上段):8本(平成26年8月完成)



図 7-2 集水井追加対策工 経緯

(3) 対策工効果

追加集水ボーリングの排水状況を写真 7-1 に 示す。集水ボーリングの上段・中段ともに No.5 付 近から多量の集水を確認した。

追加対策工施工後、図 7-1 に示すとおり、B-10'孔の最低水位は低下傾向を示す。また、地す べり背後に設置している地下水位観測孔は、降 雨や融雪により地下水位が地表付近まで(B-11 孔は GL-8m付近、B-12 孔は GL-3mまで)上昇す る。(図 6-3 参照)

地盤伸縮計 S23-1, S23-2 の変動は収束せず、 恒常的に引張を観測し、積雪期には変位量が増 加する。追加集水ボーリングの効果によって、最 低水位の低下が確認されたが、現状では地すべ り変動は沈静化に至ってなく、対策の追加が必 要と判断される。



写真 7-1 集水状況

7.2. 地すべり背後の高水位対策

(1) 地下水流動特性

前述したように、地すべり背後の地下水が地すべりを不安定化させている可能性がある。 そこで、地すべり背後の地下水流動特性を把握する目的で地下水検層と水質イオン分析を行 った。

表 7-1 地下水流動特性調査まとめ

	・B-10'孔(地すべり地内)ではGL-28~32.4mのすべり面付近で潜在
	流動層あり。
	・B-11 孔(地すべり背後)では流動がない。GL-24.5m付近の比抵抗値
地下水検層	増大は、他と比較して突出しているため、異常値と判断した。
	・B-12 孔(地すべり背後)ではGL-15~18mで潜在流動層あり。GL-24m
	前後で微弱な流動層あり。しかし、B-10'(地すべり地内)と比較す
	ると流動の程度は小さい。
	・地すべりブロック地内の地下水はイオン溶存量が少なく、表流水と
水質イオン分析	型が類似する。
	・地すべりブロック背後の地下水はイオン溶存量が多い。

調査の結果、地すべりブロック地内(B-10'、集水井内、横ボーリング)と地すべり背後(B-11、B-12)の水質特性が異なることが分かった。その理由として、地すべり地内の地下水は、降水が浸透してからの時間が短いため、イオン溶存量が少ないと推定された。一方、地すべり背後の地下水は、地中に浸透した後、比較的時間が経過しているため、イオン溶存量が多いと推定された。これらは、地すべり地内の地下水流動が大きく、地すべり背後の地下水流動が小さいことと一致する(図 7-3)。

地すべり地内と地すべり背後の地下水状況に差をもたらせている原因は、地すべり頭部に 位置する断層破砕帯の存在が考えられる。頭部排土の切土法面には、地すべり頭部の亀裂と 連続するように断層破砕帯が確認されている(図 7-4)。また、B-12のコアでも深度 2.5m 付 近に断層破砕帯が確認された(写真 7-2)。この断層破砕帯は、地すべり頭部を規制している ものと判断される。これによって、地下水が遮水されるため地すべり地内と地すべり背後で 水位ヘッド差が生じていると推定される。





写真 7-2 B-12 深度 2.5m 付近の断層破砕帯

(2) 地すべり背後の地下水排除工検討

地すべり変動は、地すべり背後の地下水が影響しているものと判断される。地すべり背後 は断層破砕帯により遮水され高水位であるが、地すべり地内は水位が低く、地すべり背後か らの水圧が、すべり面背もたれ部に作用し、地すべり滑動力に寄与していると推定される (図 7-5)。

以上より、地すべり対策工として、地すべり背後に集水井を計画した。地すべり背後からの水圧を低減させるため、地すべり背後の地下水位を排除する対策工が適していると判断し、 井筒本体の排水効果も期待した。地下水観測の結果、CL級とCM級岩盤境界付近に最低水位 が存在する。集水井は、常時地下水が存在するCL級とCM級岩盤境界を貫く形で井筒を計画 し、深度25mとした(図 7-5)。

現在、地すべり背後の集水井は施工中である。今後、集水井完成後に、地すべり変動およ び地下水位状況を確認し、対策工の効果判定を行う必要がある。



図 7-5 地すべり背後の集水井計画図

### 8. 末端ブロックの存在

8.1. 地すべりブロックの見直し

大呂地すべりは、頭部排土工基面に発生した亀裂を頭部とし、末端を標高 580m付近となるブロックを推定している。しかし、末端部には、明瞭な変状が認められない。また、地すべりブロック内には、複数の段差地形が存在し、ブロックが分化していることが推定される。今後の方針を計画するに当たって、さらに精度の高いブロック区分、および地すべり機 構解析を実施した。

そこで、現地変状から地すべりブロックの見直し案を図 8-1 と図 8-2 に示した。各ブロックの概要を以下に示す。

【①ブロック:被災時ブロック】

- 頭 部:頭部排土基面に、連続した明瞭な亀裂が存在する。
- 創 部:南側側部は、頭部の亀裂から、南側斜面に連続する亀裂が発生する。しかし、
   末端に向かうほど、亀裂は不明瞭となり、現在は、新しい亀裂は存在しない。
   北側側部は、頭部の亀裂から、北側斜面の不明瞭な沢地形が連続する。側部中
   腹の工事用道路には段差地形が発生している。工事用道路から下方の沢地形に
   明瞭な亀裂は認められない。
- 末 端:ブロック末端に明瞭な変状は認められない。
- すべり面:既存のすべり面と同じと推定される。

【②ブロック】

- 頭 部:地盤伸縮計 S-5 付近に段差亀裂が存在する。南側は連続性の良い亀裂が発達する。北側は徐々に亀裂が不明瞭となるが、主測線付近では、山側に傾く杉が顕著に認められる。
- 創 部:南側側部は、頭部の亀裂から連続して認められるが、末端付近になると亀裂は 不明瞭となる。北側側部は、①ブロックと同様に工事用道路下方の沢地形と推 定されるが、明瞭な変状は認められない。
- 末 端:ブロック末端に明瞭な変状は認められない。
- すべり面:採石場中腹に末端が推定されるため、急勾配のすべり面を持つと推定される。

【③ブロック】

- 頭 部:地盤伸縮計 D-2 付近に連続する段差地形が認められる。
- (側 部:南側側部は、②ブロックと共有する。北側側部は、採石場崖面の崩壊跡地と推 定される。
- 末 端:ブロック末端に明瞭な変状は認められない。
- すべり面:採石場中腹に末端が推定されるため、急勾配のすべり面を持つと推定される。





8-2

8.2. 平成 29 年度の地すべり変動状況

平成28年4月から地すべりブロック末端部に伸縮計D-2とS-5の2基を設置した(図 8-3)。S23-2は継続して観測を行っている。なお、S23-1は集水井工事のため撤去した。



図 8-3 伸縮計計器位置図

平成28年4月からの伸縮計の観測結果を図8-4に示し、表8-1に各地盤伸縮計の観測結果を概説する。


機器名 ブロック	観測結果	H28/4/1~ H29/1/20 無積雪期	H28/1/21~ H29/3/31 積雪期	H29/4/1~ H29/8/31 無積雪期
S23-2 ①ブロック	無積雪期は変動C、積雪期は変動B 判定の引張変動が認められる。	変動 C 総変動量 10.7mm 1.11mm/月	変動 B 総変動量 6.9mm 3.0mm/月	変動 C 総変動量 3.7mm 0.74mm/月
S-5 ②ブロック	無積雪期は変動 C、積雪期は変動 B 判定の引張変動が認められる。 地すべり頭部に設置した S23-2 と 比較すると、無積雪期の変動量は 小さく、積雪期の変動量は大きい。	変動 C 総変動量 5.9mm 0.61mm/月	変動 B 総変動量 14.4mm 6.27mm/月	変動 C 総変動量 2.8mm 0.56mm/月
D-2 ③ブロック	平成28年4月から1月中旬まで圧 縮変動もしくは変動なし。1月中旬 から3月末まで引張変動を観測し た。平成29年4月から再度圧縮変 動もしくは変動なし。	変動なし 総変動量 4.7mm 0.48mm/月	変動 B 総変動量 17.4mm 7.58mm/月	変動なし 総変動量 1.4mm 0.28mm/月

表 8-1 地盤伸縮計観測 まとめ

8.3. 地すべり変動機構

地すべり変動機構は、大きく無積雪期と積雪期に分けることができる。地すべり変動機構の説明図を図 8-5 に示す。

図 8-6 に示すように、各地盤伸縮計の変位量から地すべり背後の不動点を基準とした地す ベリブロックの変位量(以下、絶対変位量)を算出した。ここでいう地盤伸縮計の変位量と は、地盤伸縮計の2点間の変位量であり、絶対変位量に対して相対変位量と区別する。

絶対変位量(①ブロック) =相対変位量(S23-2) 絶対変位量(②ブロック) =相対変位量(S-5) +相対変位量(S23-2) 絶対変位量(③ブロック) =相対変位量(D-2) +相対変位量(S-5) +相対変位量(S23-2)

(1) 無積雪期

無積雪期は、相対変位量(S23-2)と相対変位量(S-5)が軽微な引張変動を示し、相対 変位量(D-2)は、圧縮または停止している。相対変位量(S-5)は、相対変位量(S23-2) よりも小さい。しかし、絶対変位量(②ブロック)は、絶対変位量(①ブロック)よりも 大きくなる。これは、②ブロックは、①ブロックから分離して滑動しており、①ブロック は、②ブロックに追随して変位していると判断される。

絶対変位量(③ブロック)は、相対変位量(D-2)が停止している場合、絶対変位量(② ブロック)と同等である。相対変位量(D-2)が圧縮の場合、③ブロックは、実際には谷側 へ滑動しているが、②ブロックよりも絶対変位量が小さいため圧縮変動が観測されている。 無積雪期の②ブロックと③ブロックは、概ね一体となって滑動しいるものと判断される。

(2) 積雪期

積雪期の変位は、大きく三つに分けることができる。

1)積雪期(i)

積雪のピーク到達後(1月下旬)、相対変位量(D-2)が引張変動に変化し、急激に増加 する時期を積雪期(i)とする。

絶対変位量(③ブロック)は、これまで絶対変位量(②ブロック)よりも小さかった が、積雪とともに変動が活発化し、絶対変位量(②ブロック)よりも大きく増大したもの と考えられる。この時期は、融雪により常時地下水が供給されるため間隙水圧が上昇し たこと、積雪による荷重により、一番滑動しやすい末端の③ブロックの活動度が高まっ たと推定される。

2) 積雪期(ii)

積雪期(i)後、相対変位量(S-5)の引張変動が急激に増加する。この時期を積雪期(i)とする。

この時期は、積雪期(i)と同様、融雪や雪荷重により地すべりが活発化していると 判断される。積雪期(i)から引き続き③ブロックが大きく活動したため、②ブロック前 面の隙間を埋めるように絶対変位量(②ブロック)が増大したと考えられる。この時期 は、③ブロックに設置の D-2 が引張変動を示していることから、②ブロックよりも③ブ ロックのほうが絶対変位量が大きいと判断される。

一方、積雪期(i)から積雪期(ii)にかけて、絶対変位量(①ブロック)は、大きな変化は認められない。これは、①ブロックはすべり面勾配が、②ブロックと①ブロックと比較して緩勾配であるため、間隙水圧上昇などの影響を受けにくいためと推定される。

3) 積雪期(iii)

積雪期(ii)後、相対変位量(S23-2)が軽微に増加する。相対変位量(S-5)は引張 変動が継続するが、変位量は徐々に減少する。相対変位量(D-2)は、引張変位量が徐々 に減少し、その後停止、圧縮変動と変化する。この時期を積雪期(iii)とする。 相対変位量(S23-2)の増大は、積雪期(i)から積雪期(ii)にかけて②ブロックと ③ブロックが大きく滑動したことにより、①ブロック前方に隙間が生じたため、その隙 間を埋めるように①ブロックが滑動したことが原因と推定される。

一方、②ブロックと③ブロックの絶対変位量は、徐々に減少する。相対変位量(D-2) は、さらに停止および圧縮変動を示す。これは、融雪量が徐々に減少することによって、 地下水供給量が減少したため、②ブロックと③ブロックの絶対変位量が減少したと推定 される。対変位量(D-2)が圧縮変動となったことは、絶対変位量(③ブロック)が絶対 変位量(②ブロック)よりも小さくなったことを示している。これは、地すべり変動の減 少は、末端から進んでいると推定される。

この積雪期の変動は、はじめに③ブロックが大きく滑動し(積雪期(i))、その後背後の ②ブロックが追随するように滑動し(積雪期(ii))、さらにその後①ブロックが②ブロック に追随して変動(積雪期(iii)するといった、地すべりが背後に波及していることを示して いると判断される。積雪期が終了すると、無積雪期の変動形態に回帰する。

以上のような、ブロックによる変動の差異が生じる理由は、以下のように考えられる。

- (1) ②ブロックと③ブロックは、積雪期に絶対変位量が大きくなる理由
  - ・末端が開放されていること、すべり面勾配が急であるため、積雪荷重および融雪による間隙水圧の上昇といった地すべり滑動の誘因を①ブロックよりも受けやすい。
- (2) ①ブロックは、積雪期・無積雪期ともに軽微な変動を継続する理由
  - ・①ブロックは、すべり面勾配が緩いため、積雪荷重の影響を受けにくく、絶対変位 量が増加しない。
  - ①ブロックを滑動させているひとつの誘因であるすべり面背後からの水圧は、積雪期・無積雪期で変化が少ないため、積雪期・無積雪期の絶対変位量に差異が生じにくい。
  - ・②ブロックは①ブロックよりも絶対変位量が大きいため、常に②ブロックと①ブロックとの間に隙間が生じている状態である。そのため、緩勾配のすべり面に沿って常時働く重力によって①ブロックの土塊が軽微に変位している。

以上より、被災当初の地すべりブロック(①ブロック)とは別に、新たにふたつの地すべり ブロック(②・③ブロック)が存在する可能性がある。しかしながら、新たな地すべりブロッ クのすべり面深度が確定できていない。したがって、大呂地すべりの機構を解明するために は、追加調査ボーリング・孔内変動観測・地下水位観測が必要である。追加調査案を図 8-7 に示す。今後、追加調査・観測に基づき、大呂地すべりについて解析し、概成に向けた対応を 検討する必要がある。



図 8-5 地すべりブロック変動機構図



図 8-6 伸縮計,ブロック絶対変動図



図 8-7 追加調査提案平面図



図 8-8 追加調査提案断面図

## (公社)日本地すべり学会関西支部協賛会員名簿

平成29年10月1日現在 24社

## (五十音・口数順)

(会社名)	(電話番号)	(口数)
有限会社 太田ジオリサーチ	078–907–3120	3
中央復建コンサルタンツ株式会社	. 06–6160–1132	3
日本工営株式会社 大阪支店	06–7177–9500	3
アジア航測株式会社 西日本コンサルタント部	06–4801–2250	2
株式会社 荒谷建設コンサルタント 品質企画部	082–292–5481	2
株式会社 エイト日本技術開発	086–252–8917	2
応用地質株式会社 四国支社	089–925–9516	2
河井建設工業株式会社	0868–26–3787	2
川崎地質株式会社 西日本支社	06–7175–7700	2
国土防災技術株式会社 大阪支店	06–6136–9911	2
国土防災技術株式会社 高知営業所	. 088–882–7110	2
株式会社 コスモ建設コンサルタント	0853-72-1171	2
株式会社 四国トライ	088-883-5908	2
株式会社 エス・ビー・シー	0883–52–1621	2
島建コンサルタント株式会社	0853–53–3251	2
株式会社 相愛	088-846-6700	2
株式会社 ダイヤコンサルタント 関西支社	06–6339–9141	2
株式会社 地圏総合コンサルタント 四国支店	. 0897–33–3123	2
中央開発株式会社 関西支社	06–6386–3691	2
株式会社 東建ジオテック	089–945–3328	2
株式会社 ナイバ	0878–62–5121	2
日本工営株式会社 四国支店	087–811–2660	2
明治コンサルタント株式会社 大阪支店	072–751–1659	2
株式会社 四電技術コンサルタント	087-845-8881	2