

September 2017

防災科学技術研究所研究資料 第413号

Technical Note of the National Research Institute
for Earth Science and Disaster Resilience: No.413

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備
—航空レーザ計測と地上観測調査に基づいた防災情報データベースの構築—

**Restoration of Topographic and Geotechnical Information
 in Area Affected by the 2016 Kumamoto Earthquake**

**—Database development to integrate information about disaster mitigation based
 on airborne LiDAR measurement, geological survey and ground surface monitoring—**



防災科学技術研究所研究資料

- 第343号 阿寺断層系における深層ボーリング調査の概要と岩石物性試験結果(付録CD-ROM) 15pp. 2010年3月発行
- 第344号 地すべり地形分布図 第46集「札幌・苫小牧」19葉(5万分の1). 2010年7月発行
- 第345号 地すべり地形分布図 第47集「夕張岳」16葉(5万分の1). 2010年8月発行
- 第346号 長岡における積雪観測資料(31)(2006/07, 2007/08, 2008/09冬期)47pp. 2010年9月発行
- 第347号 地すべり地形分布図 第48集「羽幌・留萌」17葉(5万分の1). 2010年11月発行
- 第348号 平成18年度大都市大震災軽減化特別プロジェクト実大3層RC建物実験報告書(付録DVD) 68pp. 2010年8月発行
- 第349号 防災科学技術研究所による深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果(足尾・新宮・牛伏寺)(付録CD-ROM)12pp. 2010年8月発行
- 第350号 アジア防災科学技術情報基盤(DRH-Asia) コンテンツ集 266pp. 2010年12月発行
- 第351号 新庄における気象と降積雪の観測(2009/10年冬期) 31pp. 2010年12月発行
- 第352号 平成18年度大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅡ 木造建物実験 -震動台活用による構造物の耐震性向上研究-(付録CD-ROM)120pp. 2011年1月発行
- 第353号 地形・地盤分類および常時微動のH/Vスペクトル比を用いた地震動のスペクトル増幅率の推定 242pp. 2011年1月発行
- 第354号 地震動予測地図作成ツールの開発(付録DVD) 155pp. 2011年5月発行
- 第355号 ARTSにより計測した浅間山の火口内温度分布(2007年4月から2010年3月) 28pp. 2011年1月発行
- 第356号 長岡における積雪観測資料(32)(2009/10冬期) 29pp. 2011年2月発行
- 第357号 浅間山鬼押出火山観測井コア試料の岩相と層序(付録DVD) 32pp. 2011年2月発行
- 第358号 強震ネットワーク 強震データ Vol.29(平成22年No.1)(CD-ROM版). 2011年2月発行
- 第359号 強震ネットワーク 強震データ Vol.30(平成22年No.2)(CD-ROM版). 2011年2月発行
- 第360号 K-NET・KiK-net 強震データ(1996-2010)(DVD版6枚組). 2011年3月発行
- 第361号 統合地下構造データベースの構築 <地下構造データベース構築ワーキンググループ報告書> 平成23年3月 238pp. 2011年3月発行
- 第362号 地すべり地形分布図 第49集「旭川」16葉(5万分の1). 2011年11月発行
- 第363号 長岡における積雪観測資料(33)(2010/11冬期) 29pp. 2012年2月発行
- 第364号 新庄における気象と降積雪の観測(2010/11年冬期) 45pp. 2012年2月発行
- 第365号 地すべり地形分布図 第50集「名寄」16葉(5万分の1). 2012年3月発行
- 第366号 浅間山高峰火山観測井コア試料の岩相と層序(付録CD-ROM) 30pp. 2012年2月発行
- 第367号 防災科学技術研究所による関東・東海地域における水圧破碎井の孔井検層データ 29pp. 2012年3月発行
- 第368号 台風災害被害データの比較について(1951年~2008年, 都道府県別資料)(付録CD-ROM)19pp. 2012年5月発行
- 第369号 E-Defenseを用いた実大RC橋脚(C1-5橋脚)震動破壊実験研究報告書-実在の技術基準で設計したRC橋脚の耐震性に関する震動台実験及びその解析-(付録DVD) 64pp. 2012年10月発行
- 第370号 強震動評価のための千葉県・茨城県における浅部・深部地盤統合モデルの検討(付録CD-ROM) 410pp. 2013年3月発行
- 第371号 野島断層における深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果(平林・岩屋・甲山)(付録CD-ROM) 27pp. 2012年12月発行
- 第372号 長岡における積雪観測資料(34)(2011/12冬期) 31pp. 2012年11月発行
- 第373号 阿蘇山一の宮および白水火山観測井コア試料の岩相記載(付録CD-ROM) 48pp. 2013年2月発行
- 第374号 霧島山万膳および夷守台火山観測井コア試料の岩相記載(付録CD-ROM) 50pp. 2013年3月発行
- 第375号 新庄における気象と降積雪の観測(2011/12年冬期) 49pp. 2013年2月発行
- 第376号 地すべり地形分布図 第51集「天塩・枝幸・稚内」20葉(5万分の1). 2013年3月発行
- 第377号 地すべり地形分布図 第52集「北見・紋別」25葉(5万分の1). 2013年3月発行
- 第378号 地すべり地形分布図 第53集「帶広」16葉(5万分の1). 2013年3月発行
- 第379号 東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討 349pp. 2012年12月発行
- 第380号 日本の火山ハザードマップ集 第2版(付録DVD) 186pp. 2013年7月発行
- 第381号 長岡における積雪観測資料(35)(2012/13冬期) 30pp. 2013年11月発行
- 第382号 地すべり地形分布図 第54集「浦河・広尾」18葉(5万分の1). 2014年2月発行
- 第383号 地すべり地形分布図 第55集「斜里・知床岬」23葉(5万分の1). 2014年2月発行
- 第384号 地すべり地形分布図 第56集「釧路・根室」16葉(5万分の1). 2014年2月発行
- 第385号 東京都市圏における水害統計データの整備(付録DVD) 6pp. 2014年2月発行

防災科学技術研究所研究資料

- 第386号 The AITCC User Guide -An Automatic Algorithm for the Identification and Tracking of Convective Cells- 33pp. 2014年3月発行
- 第387号 新庄における気象と降積雪の観測(2012/13年冬期) 47pp. 2014年2月発行
- 第388号 地すべり地形分布図 第57集「沖縄県域諸島」25葉(5万分の1). 2014年3月発行
- 第389号 長岡における積雪観測資料(36)(2013/14冬期) 22pp. 2014年12月発行
- 第390号 新庄における気象と降積雪の観測(2013/14年冬期) 47pp. 2015年2月発行
- 第391号 大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のためのE-ディフェンス加振実験 報告書 -大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験- 193pp. 2015年2月発行
- 第392号 地すべり地形分布図 第58集「鹿児島県域諸島」27葉(5万分の1). 2015年3月発行
- 第393号 地すべり地形分布図 第59集「伊豆諸島および小笠原諸島」10葉(5万分の1). 2015年3月発行
- 第394号 地すべり地形分布図 第60集「関東中央部」15葉(5万分の1). 2015年3月発行
- 第395号 水害統計全国版データベースの整備. 発行予定
- 第396号 2015年4月ネパール地震(Gorkha地震)における災害情報の利活用に関するヒアリング調査 58pp. 2015年7月発行
- 第397号 2015年4月ネパール地震(Gorkha地震)における建物被害に関する情報収集調査速報 16pp. 2015年9月発行
- 第398号 長岡における積雪観測資料(37)(2014/15冬期) 29pp. 2015年11月発行
- 第399号 東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価の改良(付録DVD) 253pp. 2015年12月発行
- 第400号 日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討(付録DVD) 216pp. 2015年12月発行
- 第401号 全国自治体の防災情報システム整備状況 47pp. 2015年12月発行
- 第402号 新庄における気象と降積雪の観測(2014/15年冬期) 47pp. 2016年2月発行
- 第403号 地上写真による鳥海山南東斜面の雪渓の長期変動観測(1979~2015年) 52pp. 2016年2月発行
- 第404号 2015年4月ネパール地震(Gorkha地震)における地震の概要と建物被害に関する情報収集調査報告 54pp. 2016年3月発行
- 第405号 土砂災害予測に関する研究集会-現状の課題と新技術-プロシードィング 220pp. 2016年3月発行
- 第406号 津波ハザード情報の利活用報告書 132pp. 2016年8月発行
- 第407号 2015年4月ネパール地震(Gorkha地震)における災害情報の利活用に関するインタビュー調査-改訂版- 120pp. 2016年10月発行
- 第408号 新庄における気象と降積雪の観測(2015/16年冬期) 39pp. 2017年2月発行
- 第409号 長岡における積雪観測資料(38)(2015/16冬期) 28pp. 2017年2月発行
- 第410号 ため池堤体の耐震安全性に関する実験研究-改修されたため池堤体の耐震性能検証- 87pp. 2017年2月発行
- 第411号 土砂災害予測に関する研究集会-熊本地震とその周辺-プロシードィング 231pp. 2017年3月発行
- 第412号 衛星画像解析による熊本地震被災地域の斜面・地盤変動調査-多時期ペアの差分干渉SAR解析による地震後の変動抽出- 107pp. 2017年9月発行

-編集委員会-	防災科学技術研究所研究資料 第413号
(委員長) 河合 伸一	平成29年9月29日発行
(委員) 松澤 孝紀 三輪 学央 若月 強 平島 寛行 中村いづみ 三好 康夫	編集兼 国立研究開発法人 発行者 防災科学技術研究所 〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1 電話(029)863-7635 http://www.bosai.go.jp/
(事務局) 白田裕一郎 横山 敏秋	印刷所 前田印刷株式会社 茨城県つくば市山中152-4
(編集・校正) 植山 信子	

© National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience 2017

※防災科学技術研究所の刊行物については、ホームページ(<http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/>)をご覧下さい。

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備 －航空レーザ計測と地上観測調査に基づいた防災情報データベースの構築－

酒井直樹^{*1}・木村 誉^{*1}・上石 熱^{*1}・田中義朗^{*2}・村松広久^{*2}・九鬼和広^{*2}・
水谷 佑^{*2}・長倉 賢^{*2}・近藤雅信^{*3}・高野正範^{*3}・植野 亮^{*4}

Restoration of Topographic and Geotechnical Information in Area Affected by the 2016 Kumamoto Earthquake

– Database development to integrate information about disaster mitigation based on airborne LiDAR
measurement, geological survey and ground surface monitoring –

Naoki SAKAI^{*1}, Takashi KIMURA^{*1}, Isao KAMIISHI^{*1}, Yoshiro TANAKA^{*2}, Hirohisa MURAMATSU^{*2},
Kazuhiro KUKI^{*2}, Tasuku MIZUTANI^{*2}, Ken NAGAKURA^{*2}, Masanobu KONDO^{*3},
Masanori TAKANO^{*3}, and Ryo UENO^{*4}

^{*1} National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

sakai@bosai.go.jp, kimurat@bosai.go.jp, kamiisi@bosai.ac.jp

^{*2} Nippon Koei Co., Ltd.

^{*3} Nakanihon Air Service CO.,LTD.

^{*4} RIPRO Corporation Japan

Abstract

The 2016 Kumamoto Earthquake caused occurrences of numerous sediment-related disasters in Kumamoto prefecture. As a result, abundant sediment deposit on footslopes and river channels and open cracks were formed on steep slopes; risks of secondary disasters still remain in such areas. Given this situation, we conducted multi-temporal airborne LiDAR (Light Detection and Ranging) measurement, ground surface monitoring using “Landslide-detection” sensor (MEMS-type accelerometer), geotechnical surveys (boring survey, seismic velocity logging and elastic wave exploration) and soil tests (standard physical tests and triaxial compression test) in area, including Aso city, Minami-Aso village and Nishihara village, Kumamoto prefecture, where numerous landslides and open crack formation were induced by the earthquake. Based on results of the above surveys, topographic and geotechnical information after substantial changes of ground condition due to strong seismic motions were restored. To intelligibly and effectively pass this information on staffs of regional disaster prevention as well as local residents, and to make it available for restoration and reconstruction after the earthquake, we developed a database of information about disaster mitigation, which integrated and visualized survey results through web cloud system.

Key words: The 2016 Kumamoto Earthquake, Slope failure, Airborne LiDAR, Ground surface monitoring, Information integration

^{*1} 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

^{*2} 日本工営株式会社

^{*3} 中日本航空株式会社

^{*4} 株式会社リプロ

目 次

1. 全体概要	3
1.1. 調査内容	3
1.1.1. 航空レーザ計測	3
1.1.2. 地上調査観測	3
2. 地上センサー観測	7
2.1. 地上センサー観測の概要	7
2.2. 地上センサー観測結果の整理・解析	19
2.2.1. 雨量観測結果	19
2.2.2. 崩壊検知センサー(傾斜センサー)観測結果	20
2.2.3. 台風降雨期間中の観測結果	24
2.2.4. 観測結果のまとめ	34
3. 航空レーザ計測	35
3.1. 航空レーザ計測および計測結果の整理・解析	35
3.1.1. 計測概要	35
3.1.2. 計測計画	36
3.1.3. 航空レーザ計測作業	37
3.1.4. 計測飛行記録	38
3.1.5. 既存アーカイブ調達	39
3.1.6. 差分解析	41
3.2. 航空レーザ計測結果の整理・解析	42
3.2.1. 既存資料の収集	42
3.2.2. 地震後の降雨に起因する土砂移動状況の分析	45
3.2.3. 航空レーザ計測範囲全域における土砂移動状況の分析結果	45
3.2.4. 地上観測調査地点における土砂移動状況の分析結果	50
4. 地盤調査	78
4.1. 既存資料の収集	78
4.1.1. 土砂災害履歴	78
4.2. ポーリング調査・物理探査・土質試験	84
4.2.1. 調査および試験概要	84
4.2.2. 高野台地区	88
4.2.3. 大峯山地区	117
4.2.4. 垂玉川地区	134
5. 情報統合型のデータベース構築による防災サービスの提供	143
5.1. データベースの設計	143
5.1.1. 利用者の想定	143
5.1.2. システム機能の検討	144
5.1.3. システム構成の検討	150
5.1.4. 画面構成の検討	151
5.1.5. データベースの検討	151
5.2. データベースの構築	152
5.2.1. システム開発、インストールおよび動作確認	152
5.2.2. 関連データの登録	152

1. 全体概要

1.1. 調査内容

1.1.1. 航空レーザ計測

斜面災害や地盤災害による地形変化が生じた熊本地震被災地において、地震後の降雨等による二次的な地形変化も考慮して8月・9月・10月の計3回の航空レーザ計測を実施した。

1.1.2. 地上調査観測

熊本地震被災地において今後の降雨などにより2次的に土砂災害が発生する危険性がある箇所での監視、および地震による土砂災害発生の地盤的特性や発生メカニズムの把握のための調査を行うことを目的として対象箇所を選定した。箇所選定までのフローは下記の通りである。

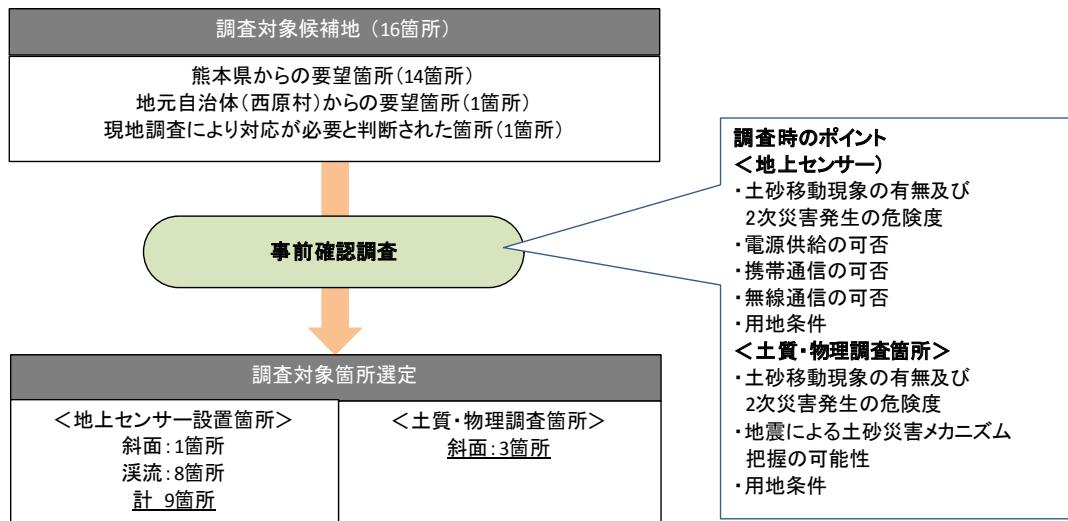


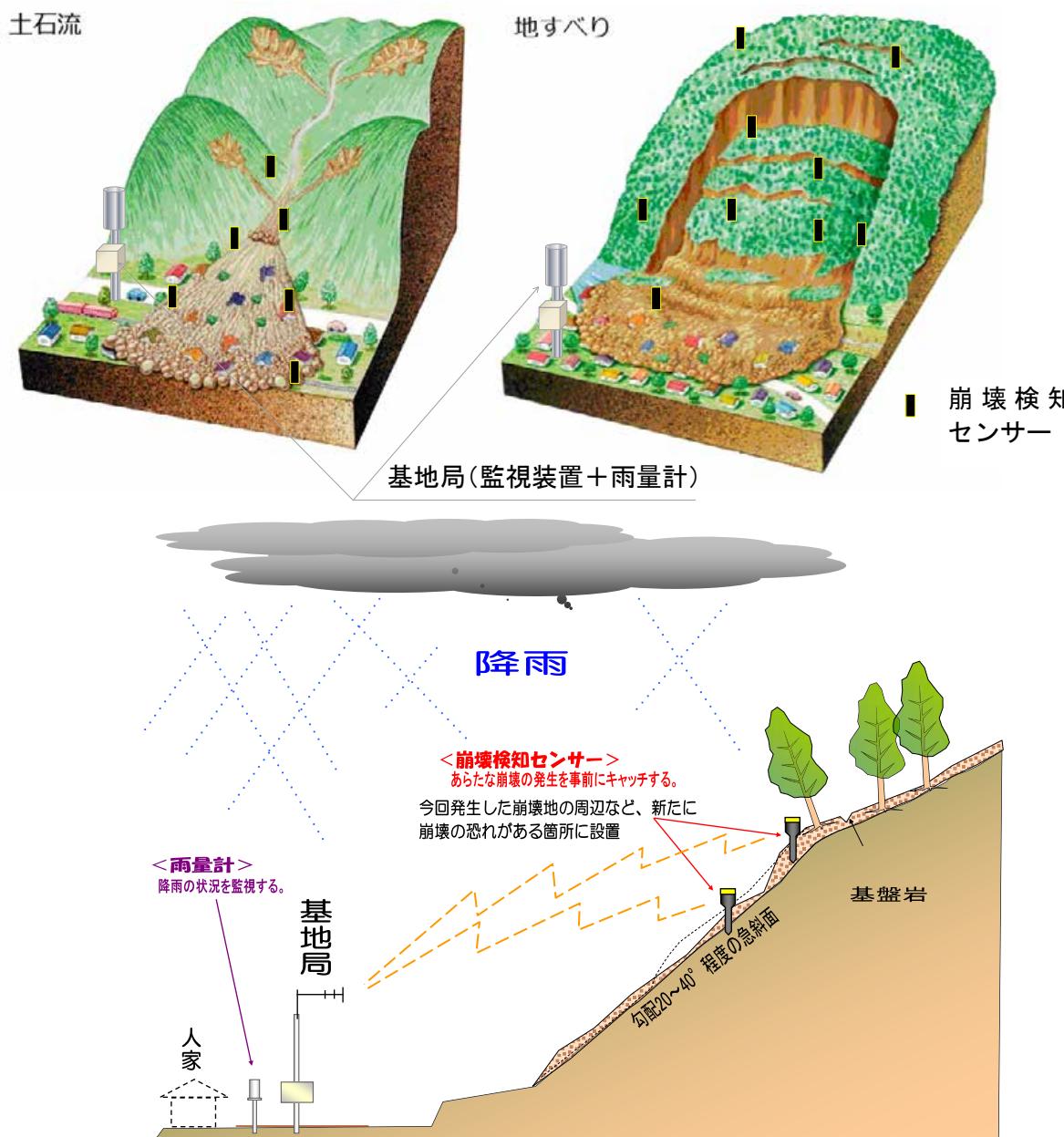
図1.1 調査箇所選定フロー

① 地上センサー観測

地上センサーは、雨量計（転倒ます式）と崩壊検知センサー（傾斜センサー）を一式として設置する。崩壊検知センサーには、MEMS式傾斜計内蔵の測量杭型センサーを使用する。

② 地盤調査

地盤調査として、ボーリング調査、PS検層、弾性波探査、土質試験を行う。ボーリング調査は、地震による土砂災害発生箇所の土質、地質的特徴を把握するとともに、土砂移動の素因となったテフラ層などの地盤特性を把握することを目的とする。PS検層および弾性波探査は、斜面全体の地盤状況や断層等の弱線の分布を面的に把握することを目的とする。土質試験は、土砂災害に起因した地層の物性値や強度特性を確認することを目的とする。



<崩壊検知センサーの崩壊を検知するイメージ>



図1.2 崩壊検知センサー概要および検知イメージ図

No. (土危番号)	地区(溪流名)	優先度 (※)	調査実施内容												備考		
			地上センサー						土質調査								
			前堤塗如七ニナ一			雨量計&監視局			電源			ボーリング調査+モーリル仮設等					
対象	位置確認	無線送受	用地	位置確認	通報装置	AC100V	大崎川の中腹に断層帯がある箇所を中心とした調査。	対象	数量	位置確認	用地	位置確認	数量	用地			
(斜面)	大峰山地区	—	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	○	2本(L=60m、L=30m)	○	○	3測線	民有地		
(斜面)	高野台地区	—	—	—	—	—	—	—	—	○	(L=60m×2、L=30m×2)	○	○	3測線	南阿蘇村		
429-1-011	垂玉川(溪流+斜面)	1	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	AC100V	瀬戸内海の東側の断層帯での弹性波深さを予定。 京大より山岳の周辺斜面。 業者との業務調整。	—	—	○	○		
429-1-013	飯山地区(溪流)	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
429-1-010	芝原川(溪流)	1	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	AC100V	下流域部の安全対象に近い箇所でセーバー設置。	—	—	—	—		
429-1-007	中松川(溪流)	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
431-1-007	濁川(溪流)	1	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	AC100V	下流域部に安全対象がない。	—	—	—	—		
429-1-009	水口川(溪流)	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
431-1-009	三王谷川(溪流)	2	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	AC100V	下流域部の河床治水でセーバー設置。	—	—	—	—		
429-1-014	高木川(溪流)	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
431-1-013	東下田川(溪流+斜面)	2	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	AC100V	瀬戸内海の東側の断層帯での安全対象。	—	—	—	—		
431-1-009	新所川(溪流)	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
422-1-010	四ツ江川(溪流)	2	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	AC100V	下流域部の河床治水でセーバー設置。	—	—	—	—		
422-1-008	石ノ前川(溪流)	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
422-1-012	一里山川(溪流)	2	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	AC100V	下流域部の河床治水でセーバー設置。	—	—	—	—		
土危外	南郷谷(溪流)	—	○	☆	☆	民有地	☆	☆	民有地	AC100V	土石流が発生した渓流。土石流危険渓流ではないが、下流域部の河床治水でセーバー設置。	—	—	—	—		
合計		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2箇所	6本	—	3箇所	—	

※優先度は、熊本県から提示された対策優先度 ☆:確認済
■:調査の結果、センサー設置対象から除外した渓流

図 1.3 調査対象箇所選定表

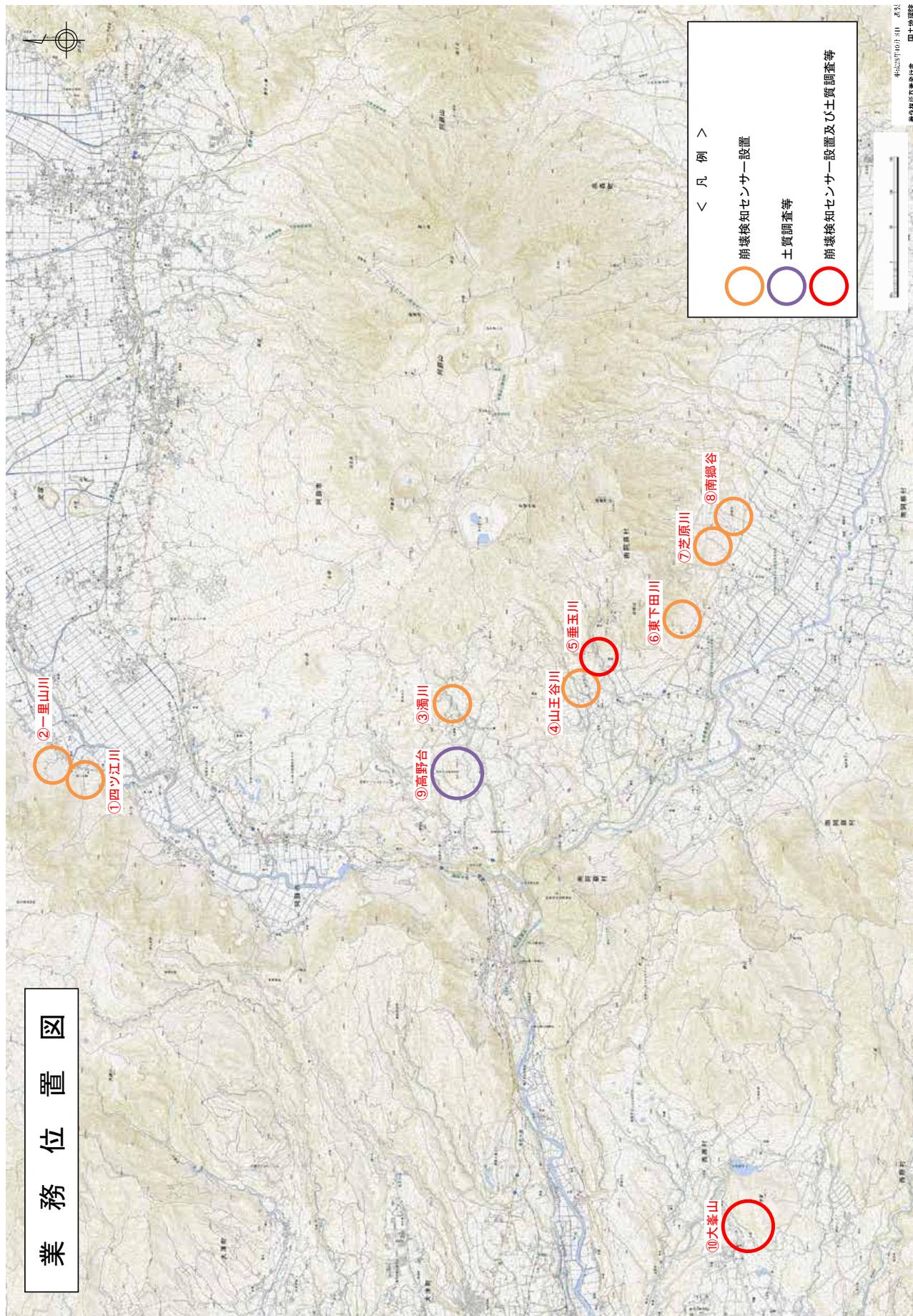


図 1.4 業務位置図(背景には国土地理院電子地形図タイルを使用)

2. 地上センサー観測

2.1. 地上センサー観測の概要

下記地区に対して地上センサー（崩壊検知センサー、雨量計）を設置した。
設置地区の位置図を図2.2にしめす。

表2.1 地上センサー設置箇所一覧

	地区名	住 所
1	南郷谷	阿蘇郡南阿蘇村中松 白水竜神権現付近
2	東下田	阿蘇郡南阿蘇村河陽 陽気茶屋付近
3	濁川	阿蘇郡南阿蘇村河陽 5816 の横の畑
4	大峰山（西原）	阿蘇郡西原村小森 付近
5	垂玉川	阿蘇郡南阿蘇村河陽 脇野橋付近
6	芝原川	阿蘇郡南阿蘇村中松
7	四ッ江川	阿蘇市狩尾 1730
8	山王谷川	阿蘇郡南阿蘇村河陽 781 牛舎横
9	一里山川	阿蘇市狩尾 1798-1 尾ヶ石 YMCA 保育園

地上センサー（崩壊検知センサー、雨量計）の設置は下記に示すフローに従い実施した。

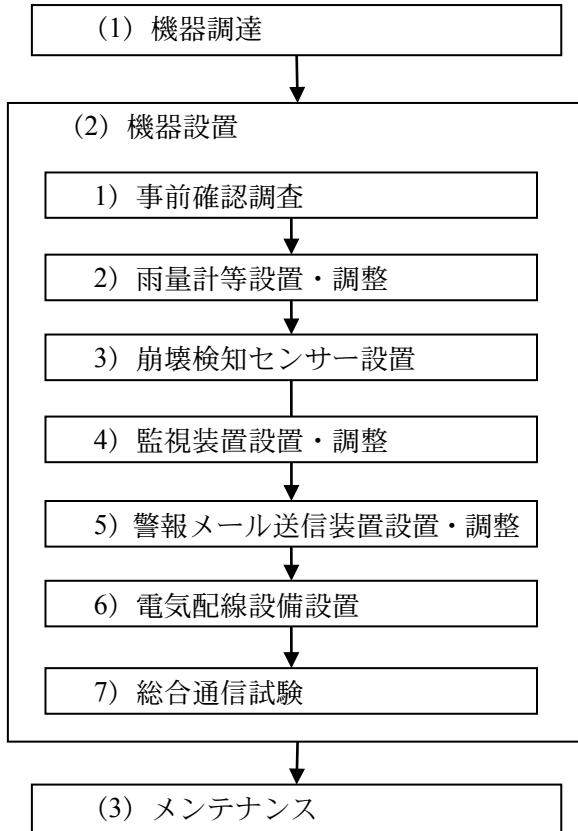


図2.1 地上センサー設置フロー

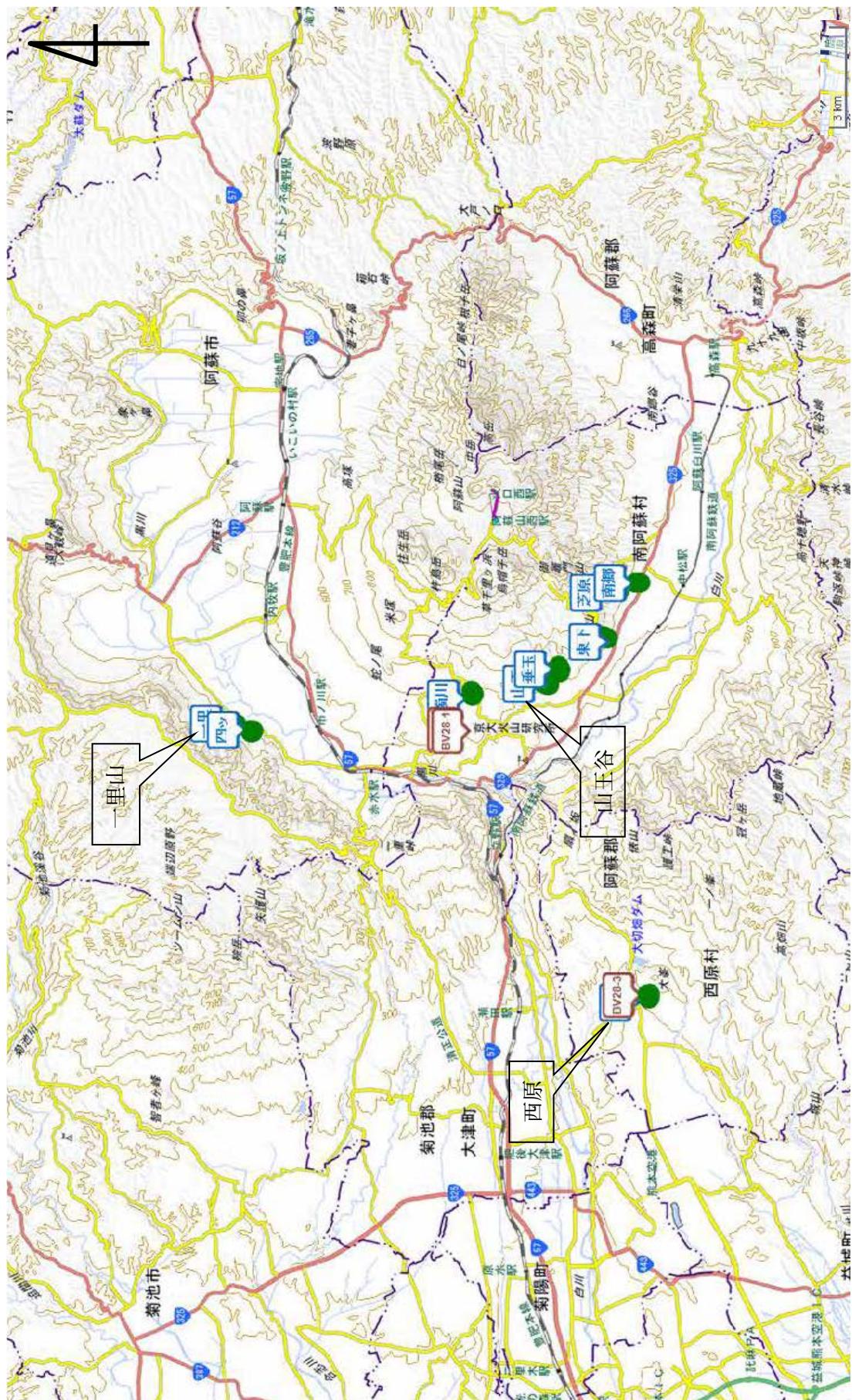


図 2.2 地上センサー設置位置図（背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）

設置した地上センサーは「雨量計」と「崩壊検知センサー」の2種であり、外部電源から電力が供給されている。芝原川地区のみは近傍に電源供給できる電柱が無いため、ケーブルを式設し電力供給を行っている。

それぞれのセンサーからの信号(観測結果)はパケット通信機によって外部サーバーにデータ伝送されている。配線図を図2.3と図2.4に、各地区における計器位置図を図2.5～図2.22に示す。

8箇所(芝原川以外)

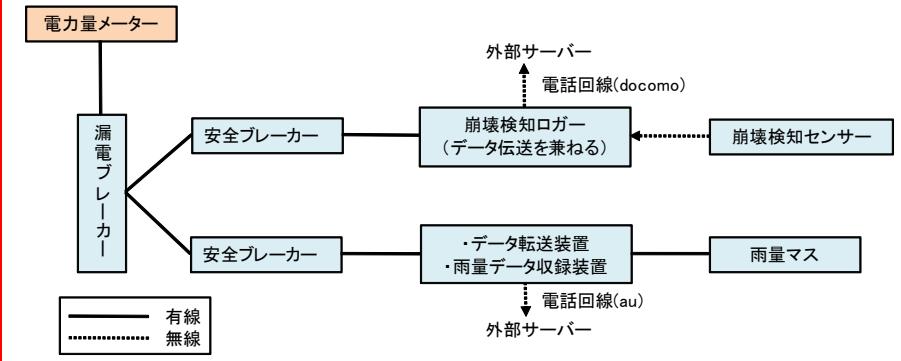


図2.3 地上センサー配線図（8地区：芝原川以外）

1箇所(芝原川)

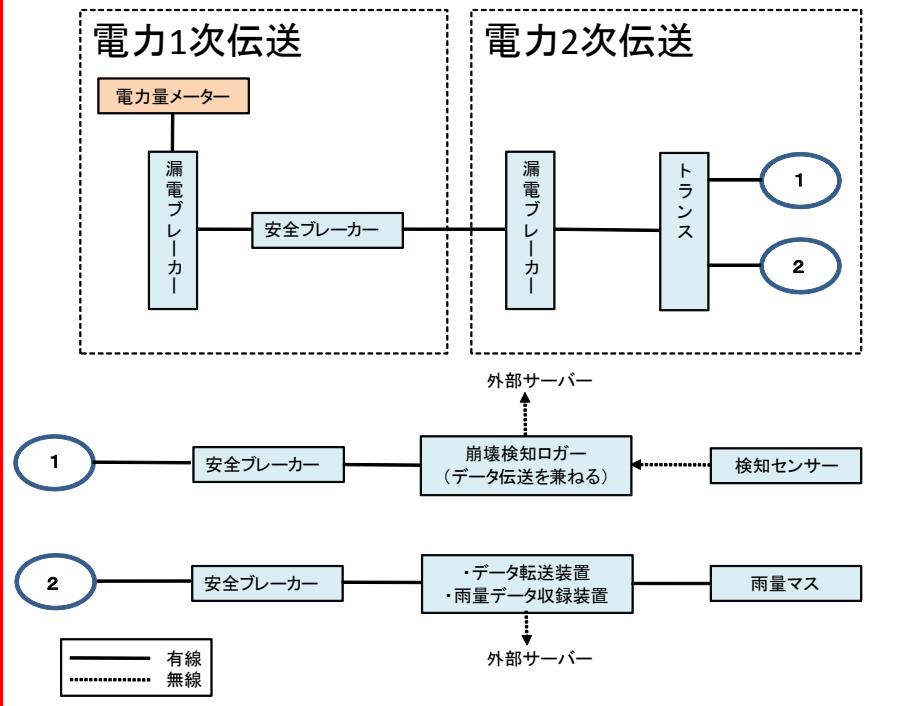


図2.4 地上センサー配線図（1地区：芝原川）

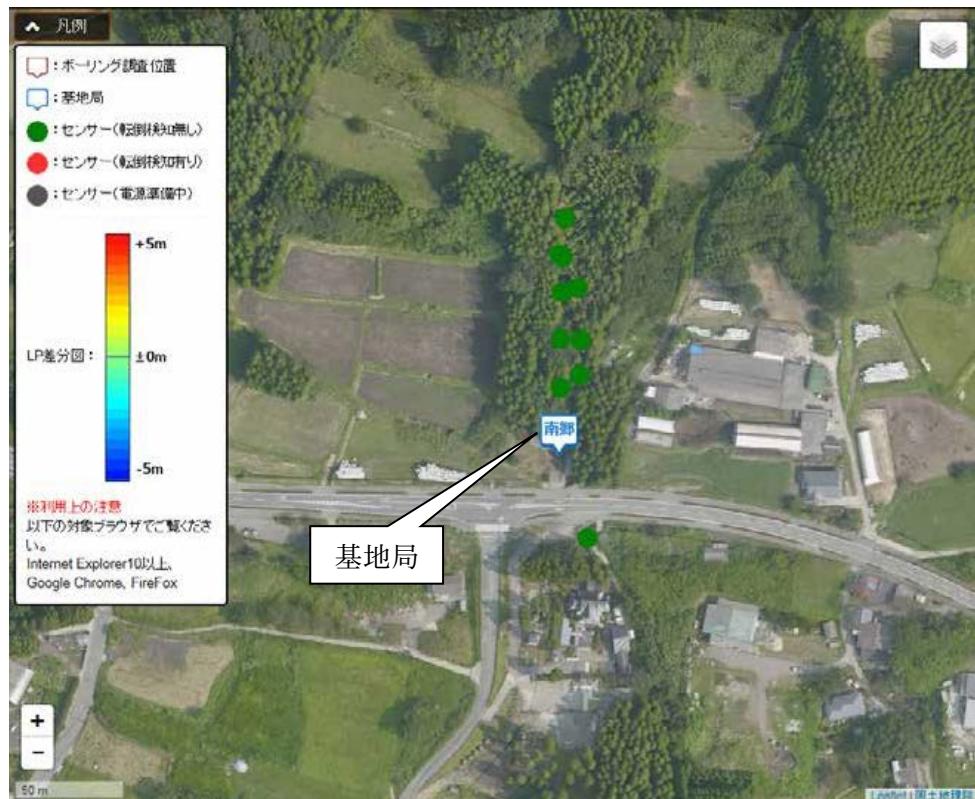


図2.5 地上センサー配置図（南郷谷）



図2.6 地上センサー配置図（南郷谷）

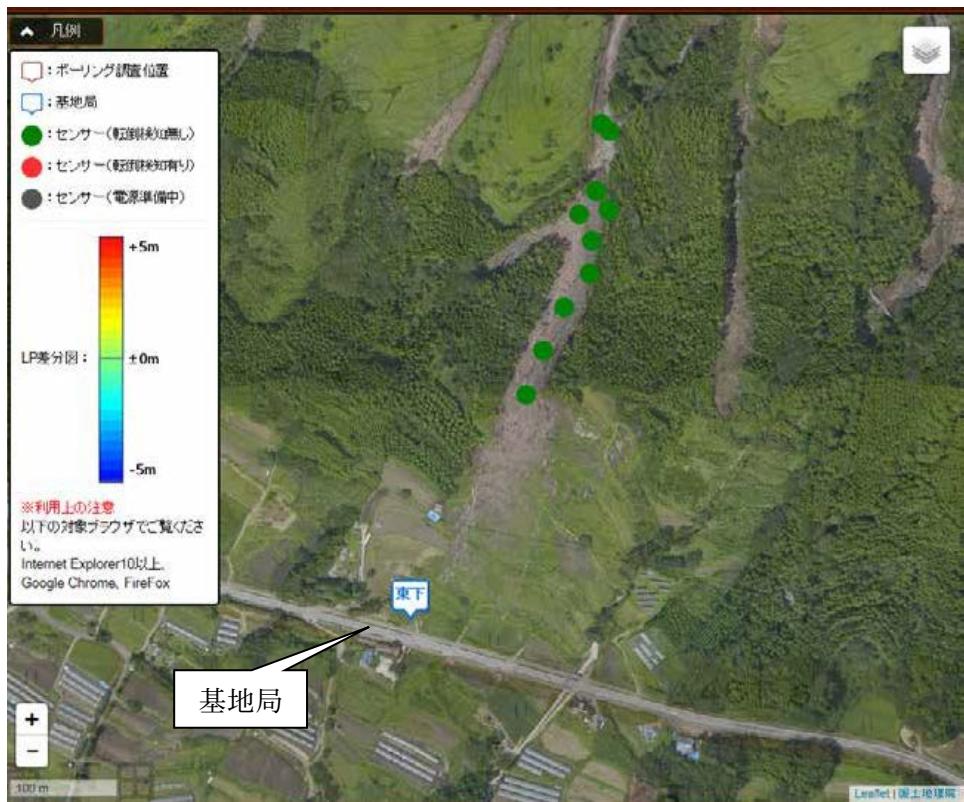


図 2.7 地上センサー配線図（東下田）



図 2.8 地上センサー配置図（東下田）

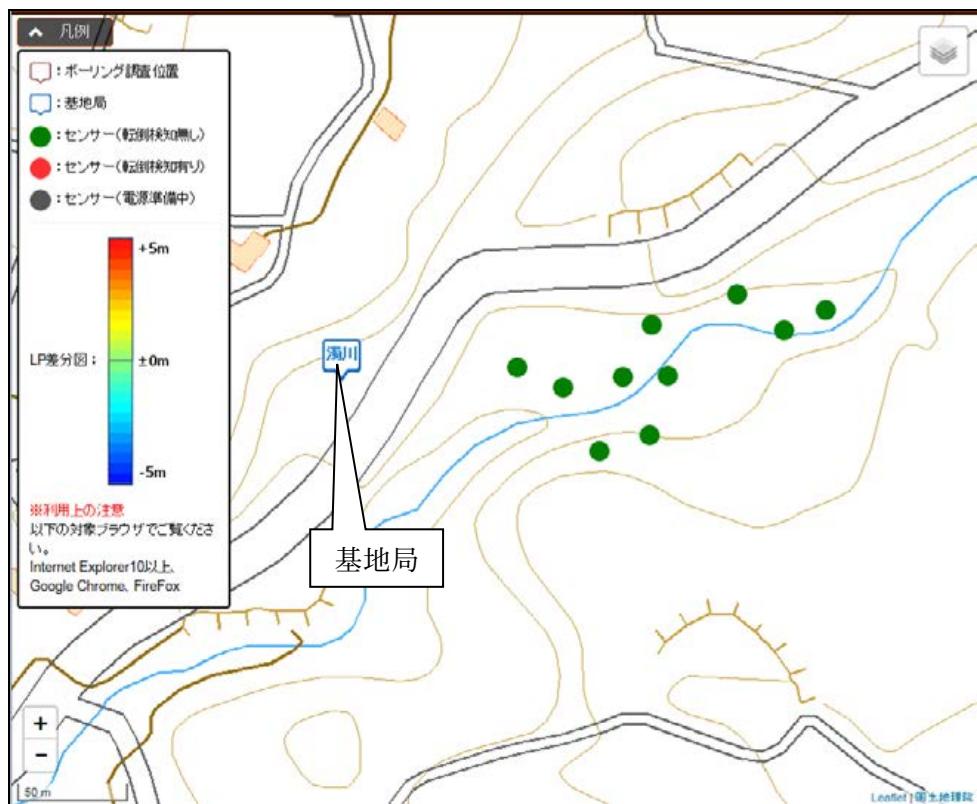


図2.9 地上センサー配置図（濁川、背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）



図2.10 地上センサー配置図（濁川）

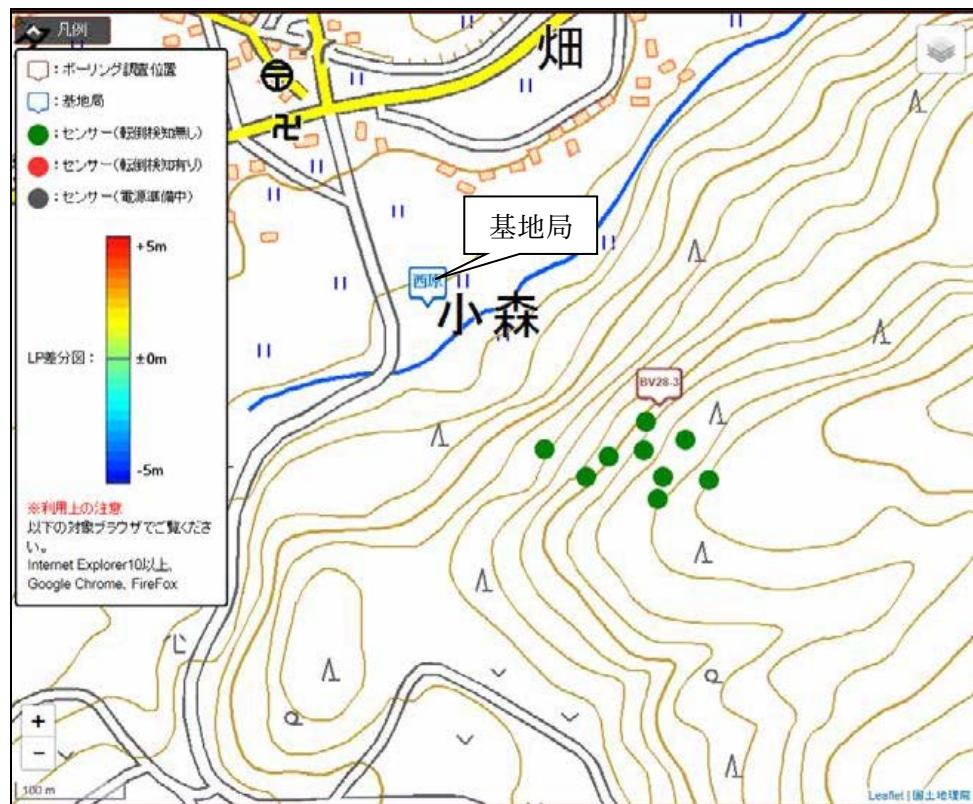


図 2.11 地上センサー配置図（大峰山（西原）），背景には国土地理院電子地形図タイルを使用)



図 2.12 地上センサー配置図（大峰山（西原））

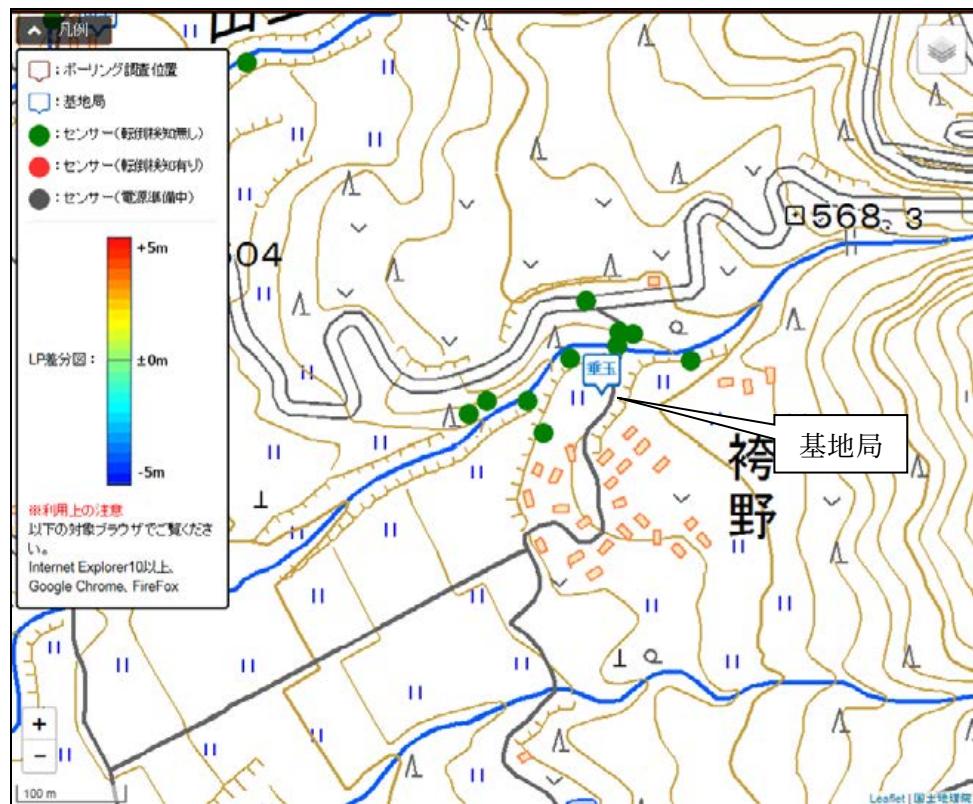


図 2.13 地上センサー配置図（垂玉川、背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）



図 2.14 地上センサー配置図（垂玉川）

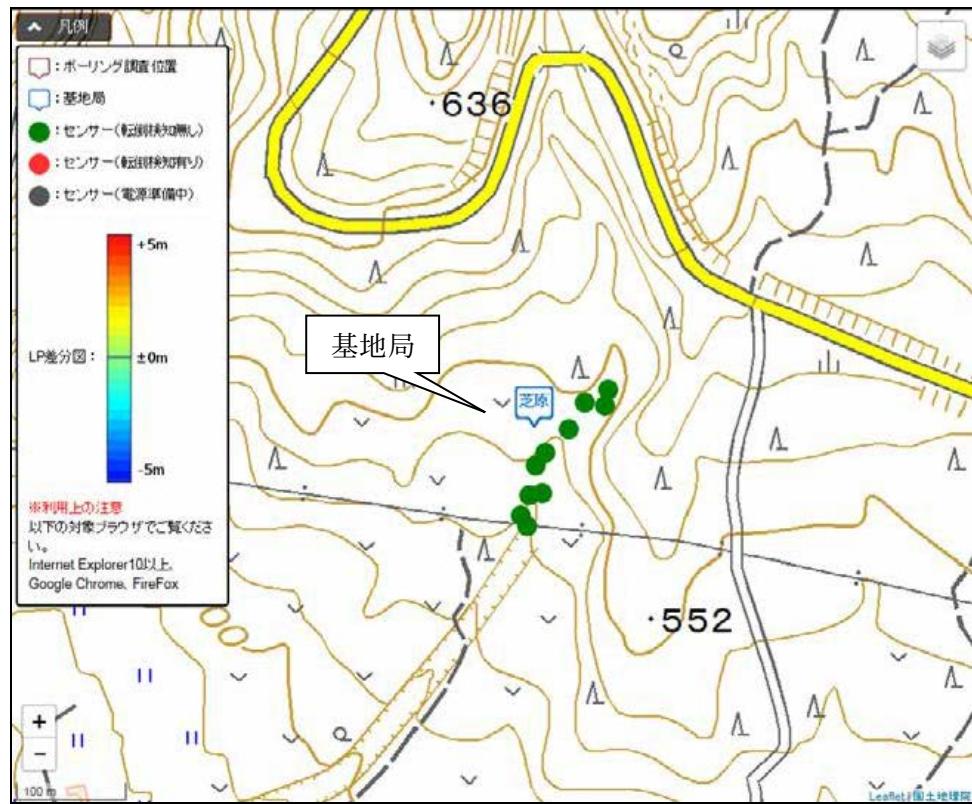


図 2.15 地上センサー配置図（芝原川、背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）



図 2.16 地上センサー配置図（芝原川）

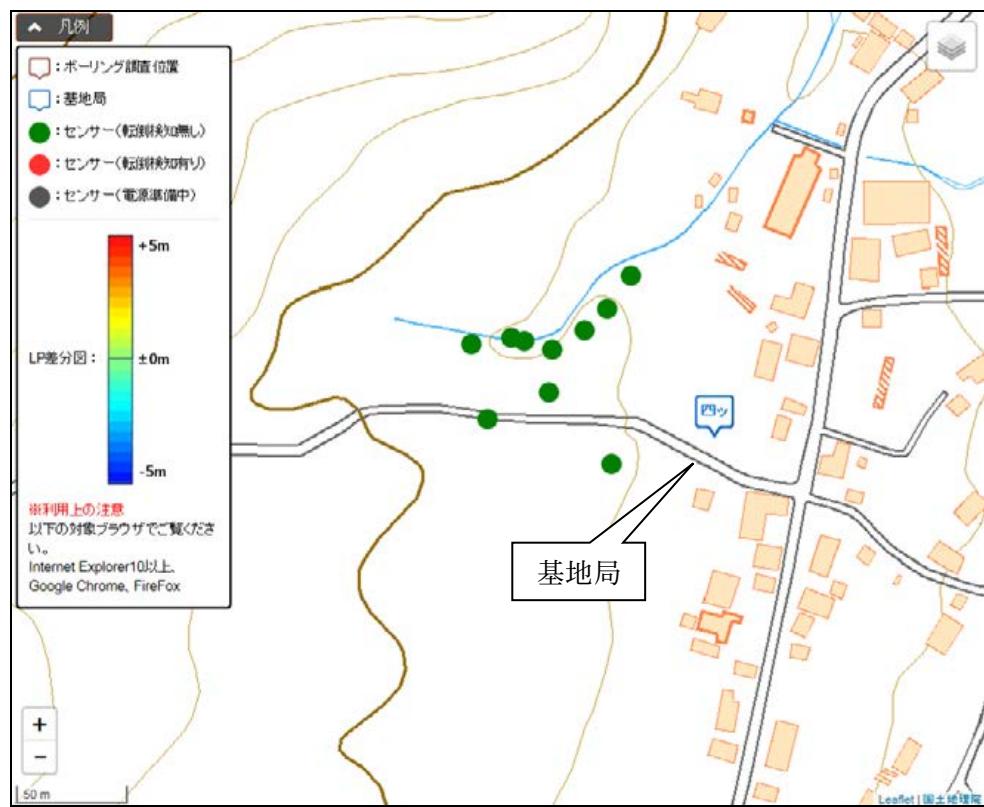


図 2.17 地上センサー配置図（四ッ江川、背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）



図 2.18 地上センサー配置図（四ッ江川）

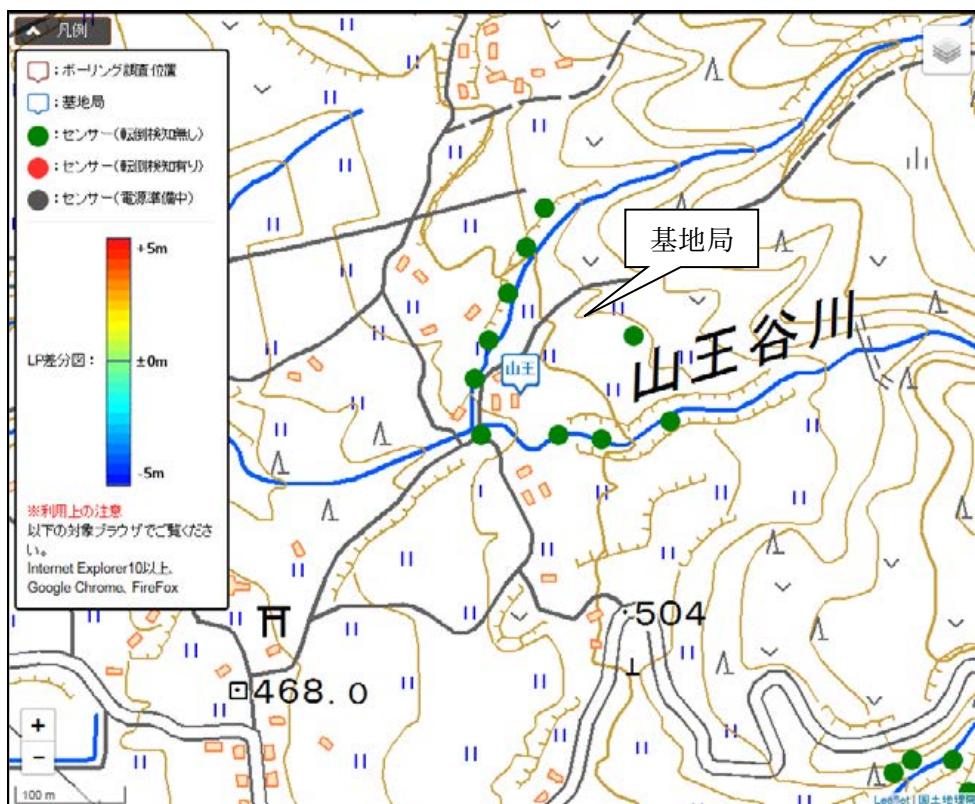


図 2.19 地上センサー配置図（山王谷川、背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）



図 2.20 地上センサー配置図（山王谷川）

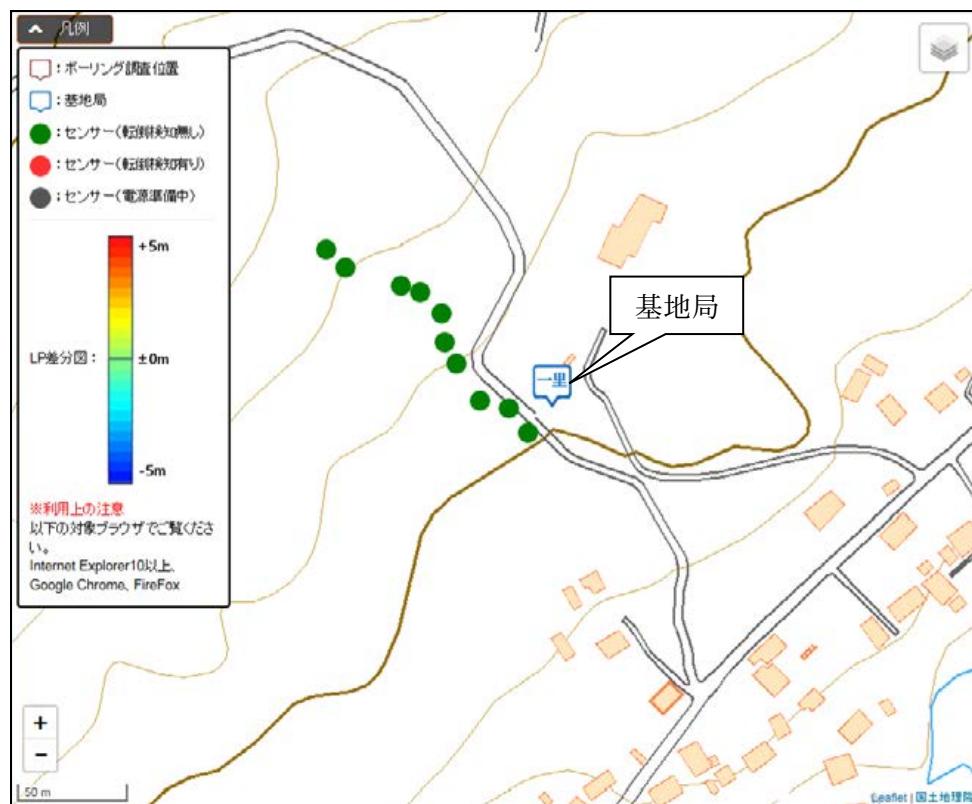


図 2.21 地上センサー配置図（一里山川、背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）



図 2.22 地上センサー配置図（一里山川）

2.2. 地上センサー観測結果の整理・解析

今回の観測期間（H28.9月～12月）の観測データの傾向や特徴について地区毎に整理した。また、期間中に発生し、まとまった降雨をもたらした台風12号、16号の2つの台風に伴う降雨期間のデータについても整理分析を行った。

2.2.1. 雨量観測結果

観測期間中の雨量観測データを表2.2に整理した。

① 時間雨量

期間中の最大時間雨量は、濁川地区で11月19日の8:00に41.5 mmを記録している。

阿蘇市（阿蘇カルデラ北西部）の2地区を除く地区で、同様に11月19日の8:00に最大時間雨量（30～40 mm/h程度）を記録している。

② 日雨量

期間中の最大日雨量は、一里山川地区で10月28日に91.0 mmを記録している。同じく阿蘇カルデラ北西側の四ッ江川地区も最大日雨量を記録している。

そのほかの地区では、9月14日と11月19日に最大値（50～60 mm）を記録している。

表2.2 雨量観測結果整理表

地区名	最大時間雨量 (mm/h)	発生日時	最大日雨量 (mm/d)	発生日
大峰山	32.5	11月19日 8:00	61.0	9月14日
四ッ江川	20.0	9月15日 2:00	73.0	10月28日
一里山川	25.0	9月16日 18:00	91.0	10月28日
濁川	41.5	11月19日 8:00	65.0	11月19日
山王谷川	35.0	11月19日 8:00	49.0	9月14日 11月19日
垂玉川	40.0	11月19日 8:00	56.0	11月19日
東下田川	35.0	11月19日 8:00	60.0	9月14日
芝原川	36.0	11月19日 8:00	57.0	9月14日
南郷谷	33.5	11月19日 8:00	53.0	9月14日

2.2.2. 崩壊検知センサー（傾斜センサー）観測結果

観測期間中の傾斜観測データを表2.3に整理した。

各地区とともに斜面における土砂移動の兆候である累積傾向を示す変位は発生しておらず、降雨時における傾斜の変化も認められなかった。

全体傾向として、主に温度によると思われる回帰性の変位が発生しており、おむね2~3°の変位幅が確認される。箇所によっては5°を超えるような変位幅も認められるが、設置箇所の地盤状況や傾斜などの要因によるものと推測される。

表2.3 傾斜観測結果整理表

地区名	項目	傾斜値(°)									
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
大峰山	最大値	2.4	2.9	1.6	2.4	3.2	3.1	2.6	3.4	2.3	2.2
	最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
	変位幅	2.4	2.9	1.6	2.4	3.1	3.1	2.6	2.8	2.3	2.2
	平均値	0.9	1.0	0.7	1.0	1.2	0.9	0.9	1.9	1.0	1.0
四ツ江川	最大値	3.4	3.0	3.0	3.7	2.3	2.4	3.1	3.4	3.8	2.2
	最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	変位幅	3.4	3.0	3.0	3.7	2.3	2.4	3.1	3.4	3.8	2.2
	平均値	1.0	0.8	1.0	1.6	1.3	0.8	1.0	1.0	1.1	0.9
一里山川	最大値	3.3	4.3	2.9	3.0	3.1	3.1	2.6	2.9	3.3	3.0
	最小値	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
	変位幅	3.3	4.3	2.9	2.6	3.1	3.1	2.6	2.9	2.9	3.0
	平均値	1.5	1.7	1.3	1.2	1.4	1.2	0.9	1.4	1.6	1.0
濁川	最大値	2.7	5.2	5.5	5.2	4.3	3.6	4.0	2.7	4.7	2.7
	最小値	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
	変位幅	2.7	5.1	5.0	5.2	4.3	3.6	3.6	2.7	4.7	2.7
	平均値	0.9	3.1	2.2	2.0	1.7	1.5	1.8	0.8	2.2	1.1
山王谷川	最大値	2.2	2.5	2.4	1.8	2.1	3.3	3.7	2.4	4.5	4.2
	最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	変位幅	2.2	2.4	2.4	1.8	2.0	3.3	3.7	2.4	4.5	4.2
	平均値	1.0	0.9	0.8	0.6	0.9	1.1	1.6	1.1	1.6	1.5
垂玉川	最大値	2.9	4.2	2.7	1.9	2.3	4.6	3.2	2.6	4.9	3.9
	最小値	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	変位幅	2.5	4.2	2.6	1.9	2.3	4.6	3.2	2.6	4.9	3.9
	平均値	1.7	2.8	1.1	0.9	0.7	2.2	1.2	1.3	2.5	2.1
東下田川	最大値	3.1	2.7	3.5	3.5	4.5	4.4	5.4	5.6	3.0	4.7
	最小値	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2	0.0
	変位幅	3.1	2.7	3.4	3.5	4.5	4.4	5.4	5.4	1.9	4.7
	平均値	1.4	0.7	1.3	1.4	2.8	2.2	3.4	2.8	1.9	2.6
芝原川	最大値	5.0	3.3	2.9	3.4	4.3	3.6	4.2	3.7	3.7	4.4
	最小値	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1.0
	変位幅	5.0	3.3	2.8	3.3	3.9	3.2	3.8	3.3	3.3	3.3
	平均値	2.2	1.2	1.2	0.9	1.9	1.8	1.8	1.9	1.6	2.4
南郷谷	最大値	3.0	4.1	4.2	3.9	3.3	2.8	3.3	3.8	4.2	3.8
	最小値	0.4	0.4	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.4	0.4	0.0
	変位幅	2.6	3.7	3.7	3.5	3.3	2.8	2.8	3.5	3.8	3.8
	平均値	1.6	2.0	1.9	1.9	1.7	0.8	1.5	1.7	2.0	1.3

【温度等による影響の考察】

傾斜変位における外気温の影響を調べるため、比較的傾斜変位のバラツキが大きかった濁川地区と、センサー毎でバラツキの大きかった四ッ江川地区のセンサーデータについて、気象庁アメダス南阿蘇観測点の外気温データとの相関を分析した（図2.23、図2.24）。

結果としては、両地区ともに特に有意な相関は認められなかったが、特徴的なものとして9月～10月までの外気温の最低気温が5度以上のある場合において変位幅は小さく安定しているが、11月以降、外気温が低下し、最低気温が5度以下、特に11月後半の最低気温が0度以下になる期間において変位幅が大きくなる傾向が認められる。

以上のことから、変位幅に影響を与えている要因としては外気温とともに、傾斜センサーを設置している地表地盤の凍土上の影響を受けている可能性が高い。

凍結融解による設置地盤のわずかな変化が傾斜センサーの変位として表れていると推測される。

特に、周辺の植生がないもしくは、疎な箇所ほど変位幅が大きいことからもそれが裏付けられる。

バラツキの差異については、設置箇所の日照や地盤条件（傾斜、硬軟等）の影響によるものと推測されるが、様々な要因が関係していると思われるため特定は困難である。

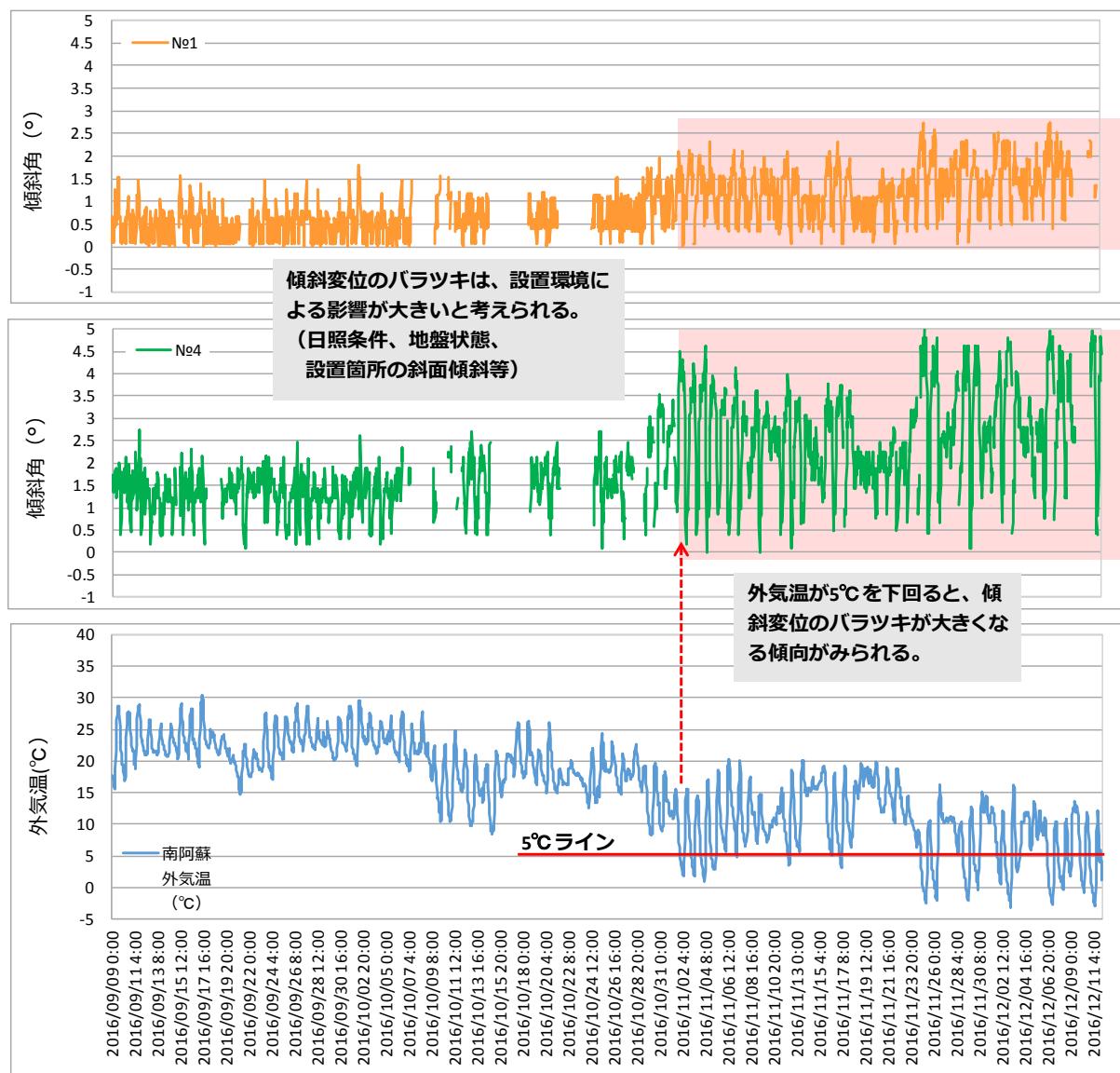


図2.23 傾斜変位と外気温の相関グラフ（濁川地区）

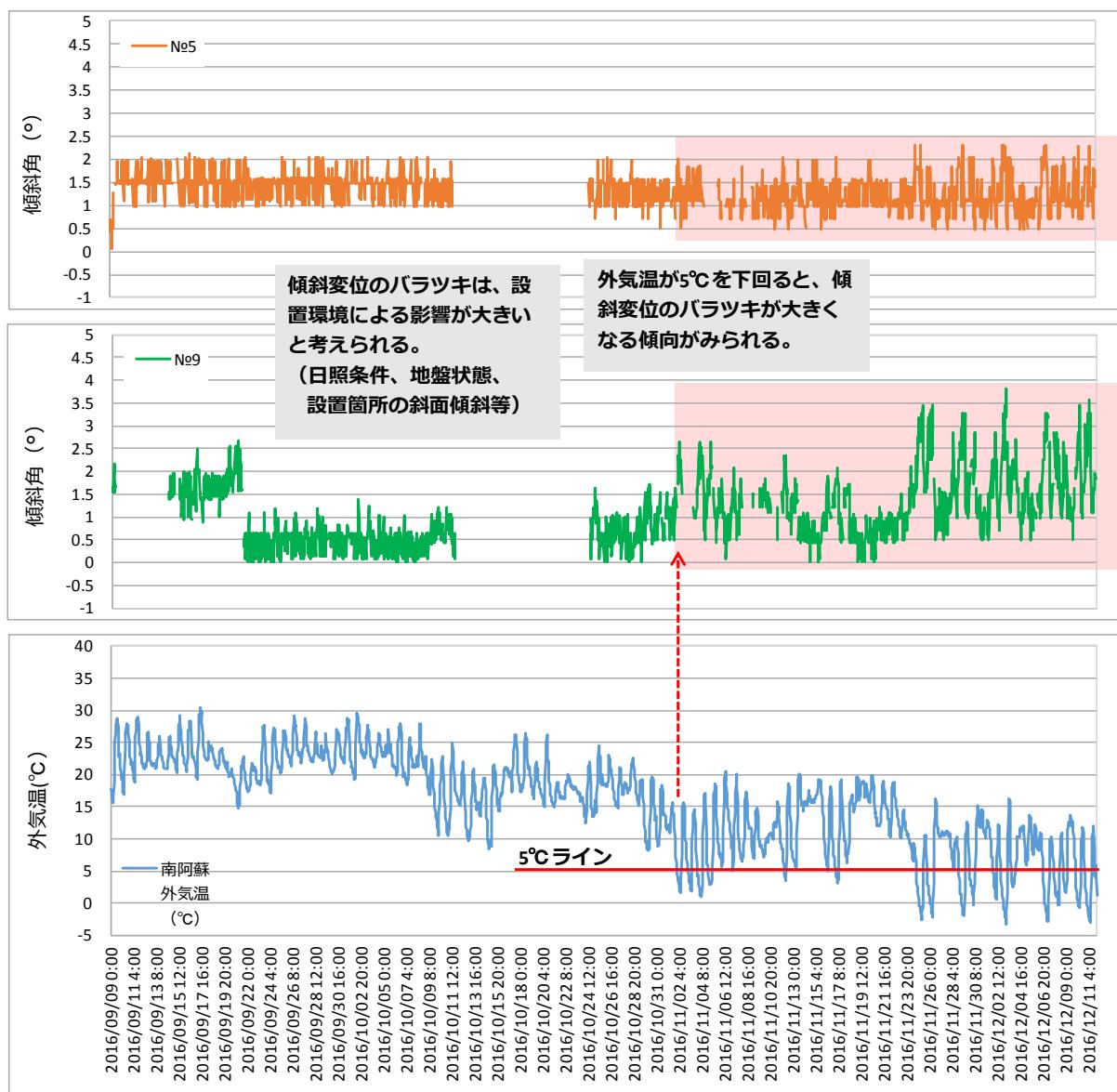


図2.24 傾斜変位と外気温の相関グラフ（四ッ江川地区）

表 2.4 地区別傾斜観測結果整理表

地区	センサー番号	観測対象	観測結果	センサー番号	観測対象	観測結果
大峰山	No.1	大峰山と御岳山との間の風速と風向	風速は常に0.5m/s未満で、風向は不定である。	No.1	御岳山と御嶽山の風速と風向	風速は常に0.5m/s未満で、風向は不定である。
	No.2	"	"	No.2	"	"
	No.3	"	"	No.3	"	"
	No.4	"	"	No.4	"	"
	No.5	"	"	No.5	"	"
	No.6	"	"	No.6	"	"
	No.7	"	"	No.7	"	"
	No.8	"	"	No.8	"	"
	No.9	"	"	No.9	"	"
	No.10	"	"	No.10	"	"
瀬川						

地区	センサー番号	監視対象	检测結果			
			地区	センサー番号		
四ツ江川	No.1	三丁目川手の水位及び河川断面	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。 11月は雨季は、データから川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。	山王谷川	No.1	山王谷川の浸食点及び崩壊土石堆積量
	No.2	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。 11月は雨季は、データから川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.2	"
	No.3	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。 11月は雨季は、データから川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.3	"
	No.4	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。 11月は雨季は、データから川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.4	"
	No.5	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.5	"
	No.6	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.6	"
	No.7	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。 11月は雨季は、データから川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.7	"
	No.8	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。 11月は雨季は、データから川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.8	"
	No.9	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。 11月は雨季は、データから川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.9	"
	No.10	"	毎時測定により川底の変化を検出するようなる場合は測定が行われる。		No.10	"

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

地区	センサー番号	監視対象	経済結果
No.1	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.2	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.3	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.4	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.5	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.6	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.7	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.8	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.9	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況
No.10	畜産用土壌施肥装置の稼働状況	経済結果は新たに肥料を撒くことで生産性は上がらない。	畜産用土壌施肥装置の稼働状況

地区	センサー 番号	監視対象	観測結果
No.1	芝原川 河床、左岸堤防	芝原川河床の浸食量及び 底泥、左岸堤防	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。
No.2	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在
No.3	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在
No.4	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在
No.5	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在
No.6	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在
No.7	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在
No.8	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在
No.9	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在
No.10	"	範囲内では特に河床底泥や左岸堤防は認められてい ない。	11月1日現在

地区	センサー番号	監視対象	規制結果
南郷谷	No.1	生糞等の廃棄物を貯蔵する施設、排水孔、化糞池	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。
	No.2	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。 1月18日は、データのログがありません。
	No.3	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。 1月18日は、データのログがありません。
	No.4	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。
	No.5	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。
	No.6	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。 1月18日は、データのログがありません。
	No.7	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。
	No.8	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。 1月18日は、データのログがありません。
	No.9	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。
	No.10	ア	無制限運転が行われた結果、廃棄物を貯蔵する施設では規制がかかる。 1月18日は、データのログがありません。

2.2.3. 台風降雨期間中の観測結果

【台風12号 (H28.9.4~9.5)】

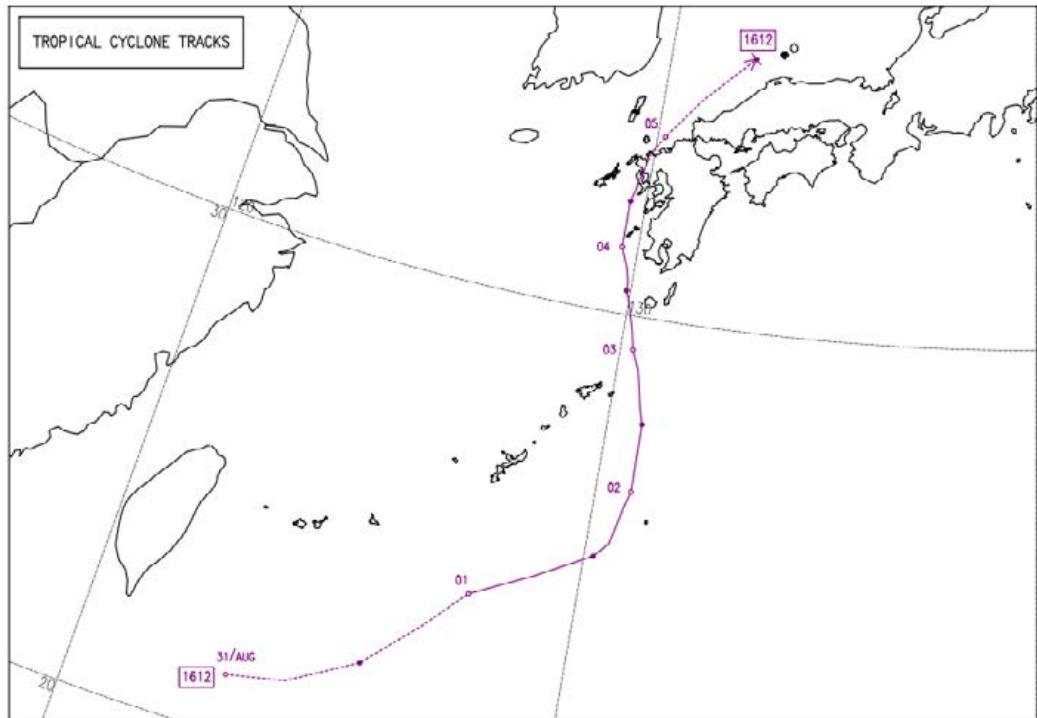


図 2.25 台風 12 号経路図

台風概要	台湾南東部で発生し(8/31), 南西諸島東方沖を北上し, 9/4~5に熊本地方に最接近し長崎県北部に上陸. その後熱帯低気圧に変化した. (最接近時の気圧: 970 hPa)	図 2.4.3-12 参照
観測状況	地上センサー設置直後で, 各地区雨量計と1基の傾斜センサーを設置した状態で観測を行った. (※東下田川は傾斜センサーのデータは欠測)	
雨量データ	各地区ともに台風が最接近した9/4の昼過ぎに時間雨量10mmを超える激しい降雨が2~3時間程度観測されている. それ以外の時間帯は特に激しい降雨は観測されていない. (表参照)	表 2.4.3-4 参照
傾斜センサーデータ	各地区ともに降雨時に斜面移動や渓岸浸食など地表面の挙動を示すような変位は観測されておらず, 安定的である. 一部データの欠測が発生している.	
考察	今回の台風に伴う降雨は短時間に集中的な降雨が発生しているが, 累積降雨量は50mm程度と土砂移動を発生させるような降雨量ではなかったことから, 特に土砂災害や被災箇所での2次災害を引き起こすような兆候等は観測データから確認できない.	

表 2.5 台風 12 号接近時の雨量観測データ整理表

時刻	西原村(カルデラ外)		阿蘇市(カルデラ内)		濁川		山王谷川		垂玉川		東下田川		芝原川		南郷谷	
	大峰山	四ッ江川	一里山川	時間雨量 (mm/h)	累積雨量 (mm)											
2016/9/4 0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/4 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/4 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/4 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/4 4:00	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2016/9/4 5:00	0.5	1.5	1.5	1.5	2	1	1	1.5	1.5	1	1	1.5	1.5	1	1.5	1
2016/9/4 6:00	0.5	0	1.5	0.5	2.5	0	1	0	1.5	0	2	0	1.5	0	2.5	0
2016/9/4 7:00	0.5	0	1.5	0	2.5	0	1	0	1.5	0	2	0	1.5	0	2.5	0
2016/9/4 8:00	0.5	0	1.5	0	2.5	0	1	0	1.5	0	2	0.5	2	0	2.5	0
2016/9/4 9:00	0.5	0	1.5	0.5	2.5	0	1	0	1.5	0	2	0	1.5	0	2.5	0
2016/9/4 10:00	0	0.5	0	1.5	0	2.5	0	1	0	1.5	0	2	0	1.5	0	2
2016/9/4 11:00	0	0.5	0	1.5	0	2.5	0	1	0	1.5	0	2	0	1.5	0	2
2016/9/4 12:00	0.5	1	0	1.5	0	2.5	0	1	0	1.5	0	2	0	1.5	0	2
2016/9/4 13:00	1	2	0	1.5	0	2.5	0.5	1	2.5	1	3	1	3	1.5	4	1
2016/9/4 14:00	9	11	4.5	6	5.5	8	9.5	11	9.5	12	10.5	13.5	12.5	15.5	16	20
2016/9/4 15:00	8.5	19.5	13	19	18	26	18.5	29	28.5	15.5	29	17	32.5	18	38	18.5
2016/9/4 16:00	1.5	21	12.5	31.5	13	39	9.5	38	8.5	37	8	37	8.5	41	11.5	49.5
2016/9/4 17:00	3	24	1	32.5	1.5	40.5	1.5	39.5	2	39	2	39	2	43	2.5	52
2016/9/4 18:00	0	24	0	32.5	0.5	41	0.5	40.5	0.5	39.5	0.5	39.5	1	44	0.5	52.5
2016/9/4 19:00	1	25	0.5	33	0	41	0.5	40.5	0.5	40	1	40.5	0.5	44.5	1	53.5
2016/9/4 20:00	0	25	0	33	0.5	41.5	0.5	41	1.5	41.5	1	41.5	1	45.5	1.5	55
2016/9/4 21:00	0	25	0	33	0.5	42	0	41	0	41.5	0	41.5	0	45.5	0.5	55.5
2016/9/4 22:00	0	25	0	33	0	42	0	41	0	41.5	0	41.5	0	45.5	0.5	55.5
2016/9/4 23:00	0	25	0	33	0	42	0.5	41.5	0	41.5	0	41.5	0	45.5	0	55.5
2016/9/4 24:00	0.5	25.5	0	33	0	42	0.5	41.5	0	41.5	0	41.5	0	45.5	0	55.5
2016/9/5 1:00	0.5	26	0	33	0	42	0	41.5	0	41.5	0	41.5	0	45.5	0	55.5
2016/9/5 2:00	1	27	0	33	0.5	42.5	0	41.5	0.5	42	1	42.5	0.5	46.5	1.5	57
2016/9/5 3:00	0	27	0.5	33.5	0	42.5	0	41.5	0	42	0	42.5	0	46.5	0	57
2016/9/5 4:00	0	27	0	33.5	0	42.5	0	41.5	0	42	0	42.5	0	46.5	0	57
2016/9/5 5:00	0.5	27	0	33.5	0.5	43	0	41.5	0	42	0	42.5	0	46.5	0	57
2016/9/5 6:00	0	27	0	33.5	0	43	0	41.5	0	42	0	42.5	0	46.5	0	57
2016/9/5 7:00	0.5	27.5	0.5	34	0.5	43.5	1	42.5	1.5	43.5	0.5	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 8:00	0	27.5	0.5	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 9:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 10:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 11:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 12:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 13:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 14:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 15:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 16:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 17:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 18:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 19:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 20:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 21:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 22:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57
2016/9/5 23:00	0	27.5	0	34	0	43.5	0	42.5	0	43.5	0	43	0	46.5	0	57

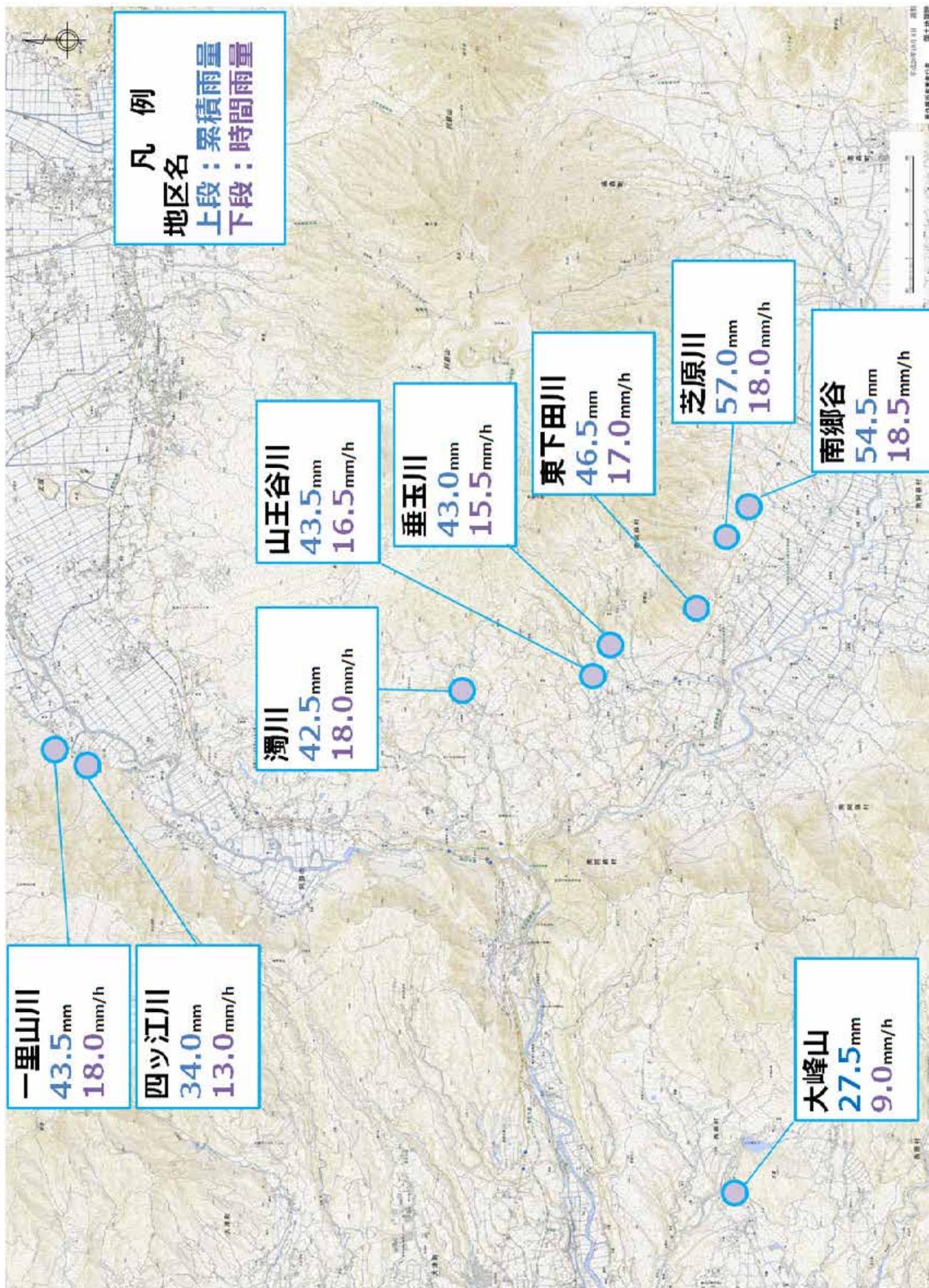
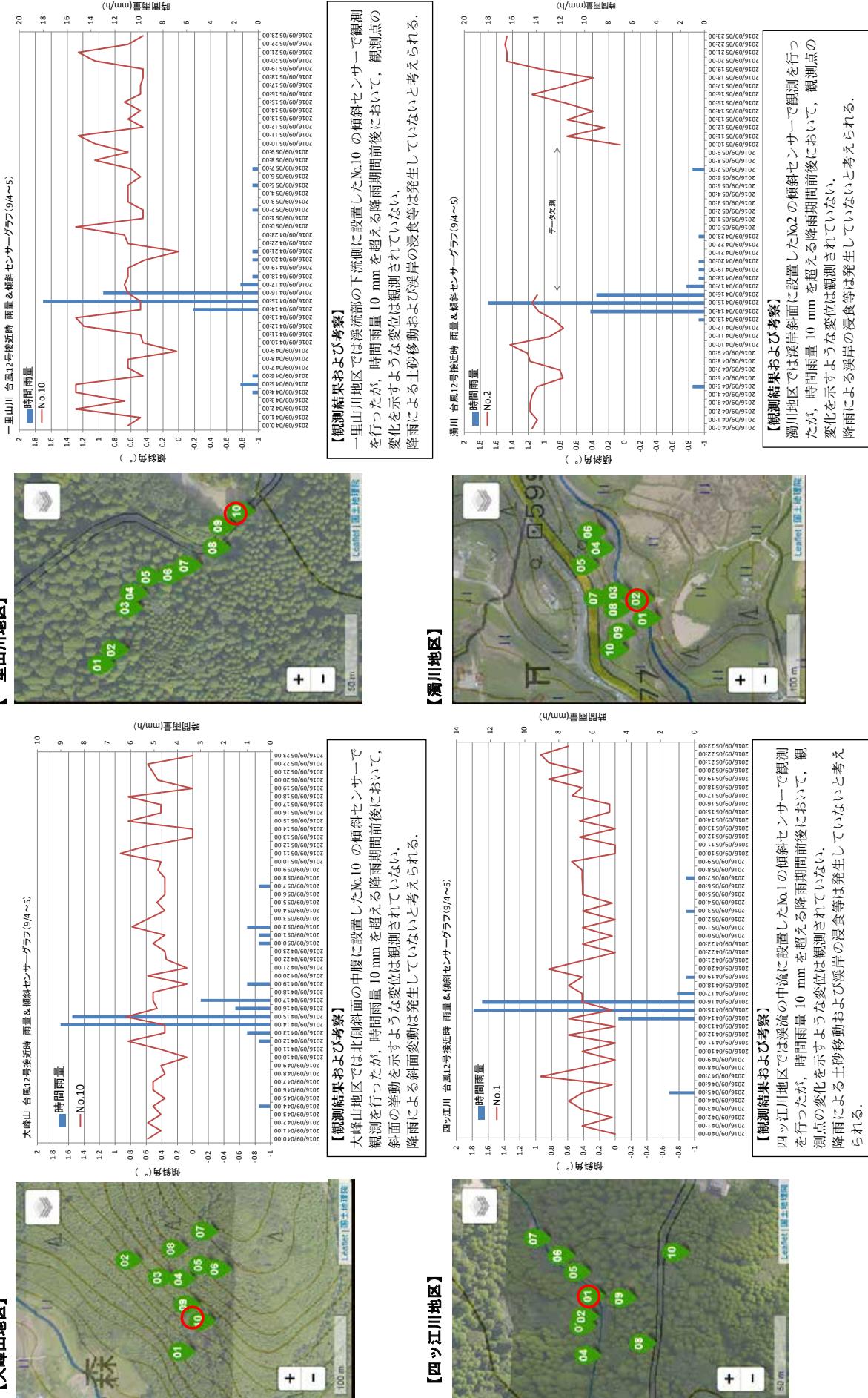
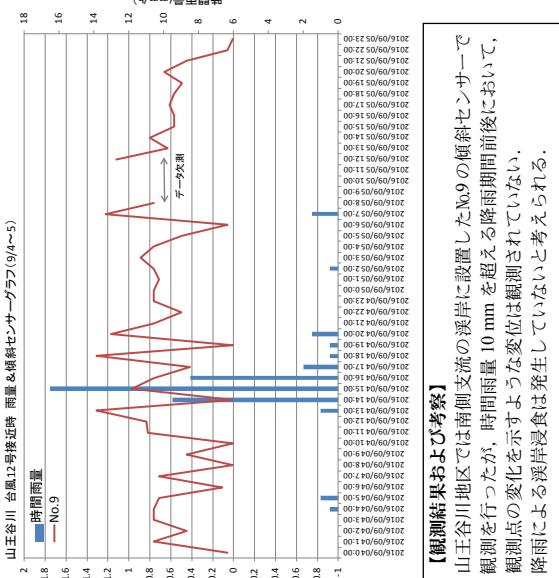


図 2.26 雨量計設置箇所と各地区の雨量データ(台風12号、背景には国土地理院電子地形図タイルを使用)

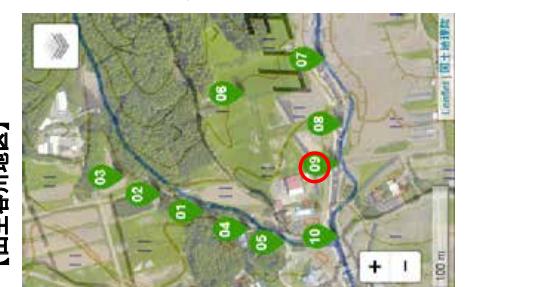
熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか



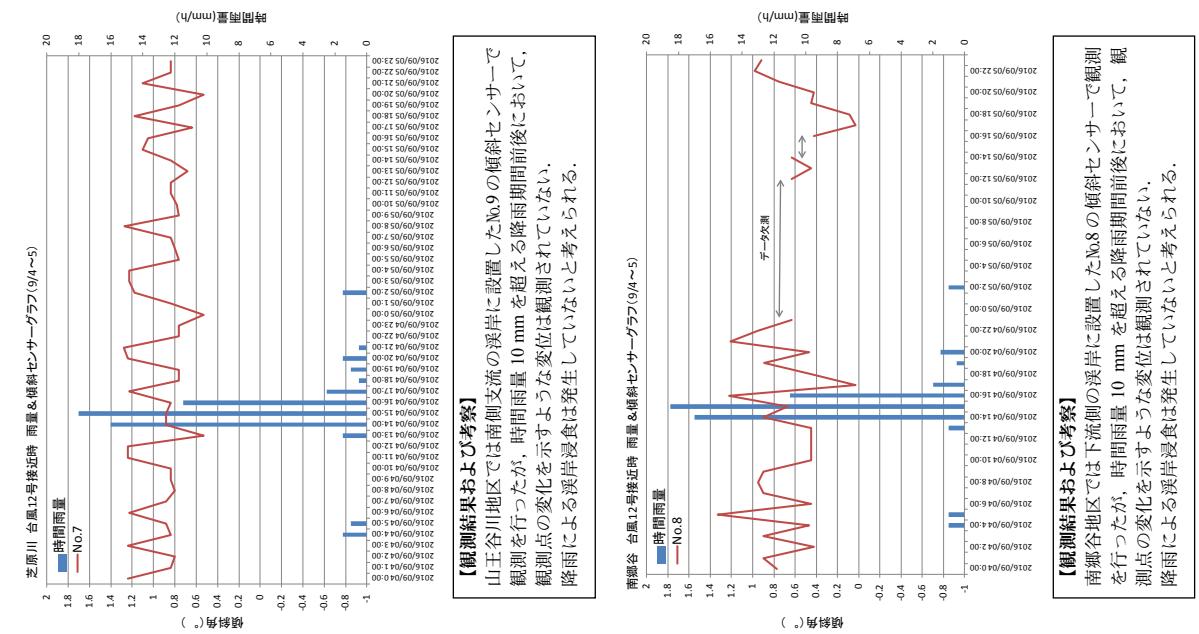
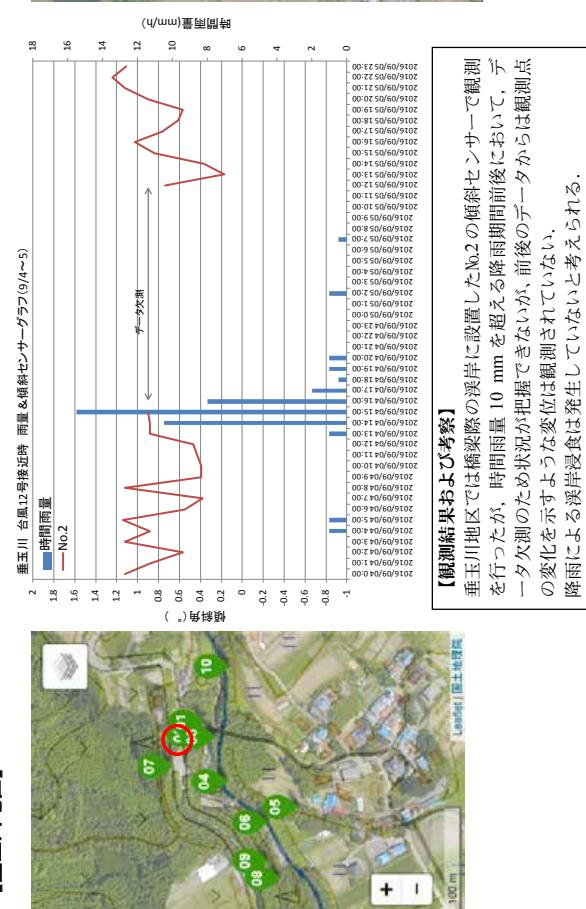
【芝原川地区】



【山王谷川地区】



【垂玉川地区】



【台風 16 号 (H28.9.17~9.20)】

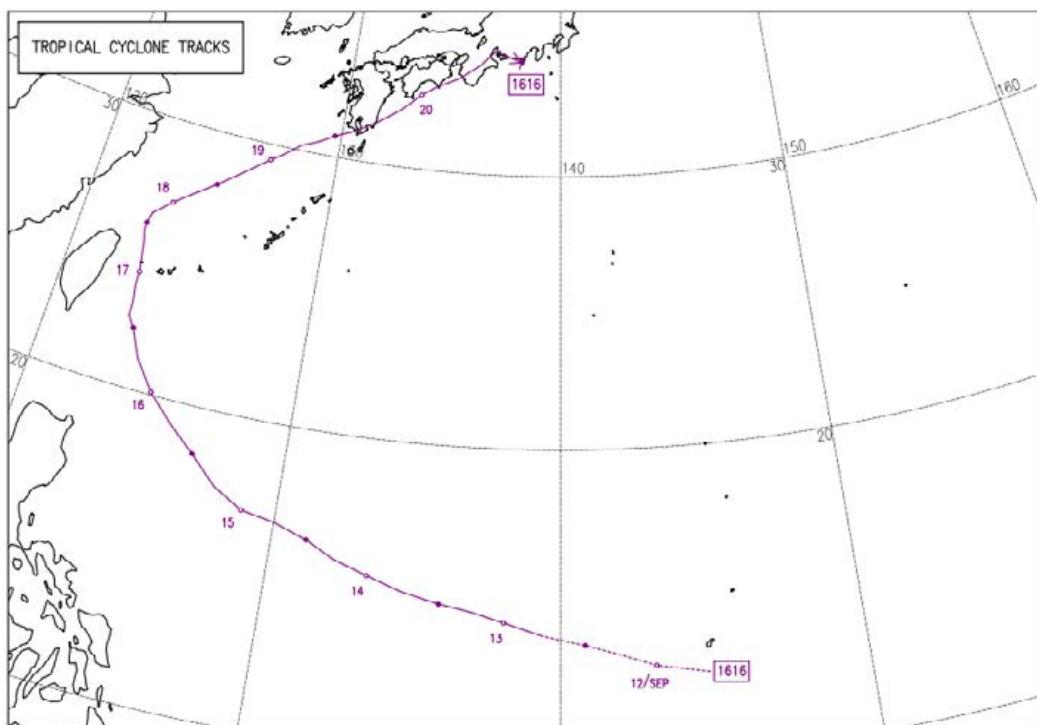


図 2.27 台風 16 号経路図

台風概要	マリアナ諸島沖で発生し (9/12), フィリピン～台湾東方沖に向かって西へ移動し, 与那国島付近を通過した後に東シナ海を北東に進み, 9/19 に鹿児島県南部に上陸し (熊本地方最接近), さらに紀伊半島へ上陸. その後熱帯低気圧に変化した. (最接近時の気圧 : 940 hpa)	図 2.4.3-14 参照
観測状況	各地区雨量計と 10 基の傾斜センサーを設置した状態で観測を行った.	
雨量データ	降雨は地域によりピークが分散している. 西原村, 阿蘇市では 9/17 の夜間, 阿蘇中央火口丘東～南側では 9/18 のお昼と 9/20 の朝方の 2 回ピークが発生している.(表参照)	表 2.4.3-5 参照
傾斜センサー データ	各地区ともに降雨時に斜面移動や渓岸浸食など地表面の挙動を示すような変位は観測されておらず, 安定的である.	
考察	今回の台風に伴う降雨は 3 日間にわたり発生し, 累積降雨量は 100 mm 前後ではあったが, 降雨強度は小さく土砂移動を発生させるような降雨量ではなかったことから, 特に土砂災害や被災箇所での 2 次災害を引き起こすような兆候等は観測データから確認できない.	

表2.6 台風16号接近時の雨量観測データ整理表

時刻	西原村(カルデラ外)		阿蘇市(カルデラ内)				南阿蘇村(カルデラ内)				東下田川				芝原川		南郷谷	
	大峰山		四ッ川		一里山川		湧川		山王谷川		垂玉川		東下田川		芝原川		南郷谷	
	時間雨量 (mm/h)	累積雨量 (mm)																
2016/9/17 0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 7:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 9:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 18:00	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 19:00	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016/9/17 20:00	0.5	1	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2016/9/17 21:00	11.5	12.5	31	35	8	9	9.5	9.5	10	7.5	8	7	7.5	7	7.5	5.5	6	
2016/9/17 22:00	2.5	15	0.5	4	1	9	2	11.5	2	12	1.5	9.5	1	8.5	1.5	9	1.5	7.5
2016/9/17 23:00	0	15	0.5	4.5	0.5	9.5	0	11.5	0	12	0	9.5	0	8.5	0	9	0	7.5
2016/9/18 0:00	3.5	18.5	0	4.5	0	9.5	0	11.5	0	12	0	9.5	0	8.5	0	9	0	7.5
2016/9/18 1:00	3.5	22	17.5	22	20	29.5	4	15.5	1.5	13.5	1	10.5	0	8.5	0	9	0	7.5
2016/9/18 2:00	3.5	25.5	10	32	10	39.5	3	18.5	1.5	15	1	11.5	1	9.5	0.5	9.5	0.5	8
2016/9/18 3:00	0.5	26	1	33	1	40.5	2.5	21	1.5	16.5	1	12.5	0	9.5	0.5	10	1	9
2016/9/18 4:00	0	26	1	34	1.5	42	0	21	0	16.5	0	12.5	0.5	10	0.5	10.5	0	9
2016/9/18 5:00	0	26	0.5	34.5	0.5	42.5	1	22	0	16.5	0	12.5	0	10	0	10.5	0	9
2016/9/18 6:00	0	26	0.5	35	0	42.5	0	22	0	16.5	0	12.5	0	10	0	10.5	0	9
2016/9/18 7:00	0	26	0	35	0	42.5	0	22	0	16.5	0	12.5	0	10	0	10.5	0	9
2016/9/18 8:00	0	26	0	35	0	42.5	0	22	0	16.5	0	12.5	0	10	0	10.5	0	9
2016/9/18 9:00	0	26	0	35	0	42.5	0	22	0	16.5	0	12.5	0	10	0	10.5	0	9
2016/9/18 10:00	1	27	1	36	1.5	44	2	24	4.5	21	5.5	18	2	12	1	11.5	1.5	10.5
2016/9/18 11:00	6.5	33.5	5.5	41.5	7.5	51.5	6	30	5.5	26.5	5	23	6.5	18.5	10.5	22	9.5	20
2016/9/18 12:00	2	35.5	41	45.5	3.5	55	2	32	1.5	28	1.5	24.5	1.5	20	1.5	23.5	1.5	21.5
2016/9/18 13:00	0.5	36	1	46.5	1.5	56.5	0.5	32.5	0	28	0.5	25	0.5	20.5	0.5	24	0	21.5
2016/9/18 14:00	2	38	1.5	48	2.5	59	1	33.5	1	29	0.5	25.5	0.5	21	1	25	0.5	22
2016/9/18 15:00	1	39	2	50	2	61	3	36.5	3	32	2.5	28	0.5	21.5	0.5	25.5	0.5	22.5
2016/9/18 16:00	0.5	39.5	0.5	50.5	0.5	61.5	0.5	37	1	33	1	29	1	22.5	1	26.5	1.5	24
2016/9/18 17:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0.5	37.5	1	34	0.5	29.5	0.5	23	0	26.5	0	24
2016/9/18 18:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/18 19:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/18 20:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/18 21:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/18 22:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/18 23:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 0:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 1:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 2:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 3:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 4:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 5:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 6:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 7:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 8:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 9:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 10:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 11:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 12:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 13:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 14:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 15:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 16:00	0	39.5	0	50.5	0	61.5	0	37.5	0	34	0	29.5	0	23	0	26.5	0	24
2016/9/19 17:00	4	45	8.5	60	9.5	73	6.5	45.5	6.5	42	6	37.5	5.5</					

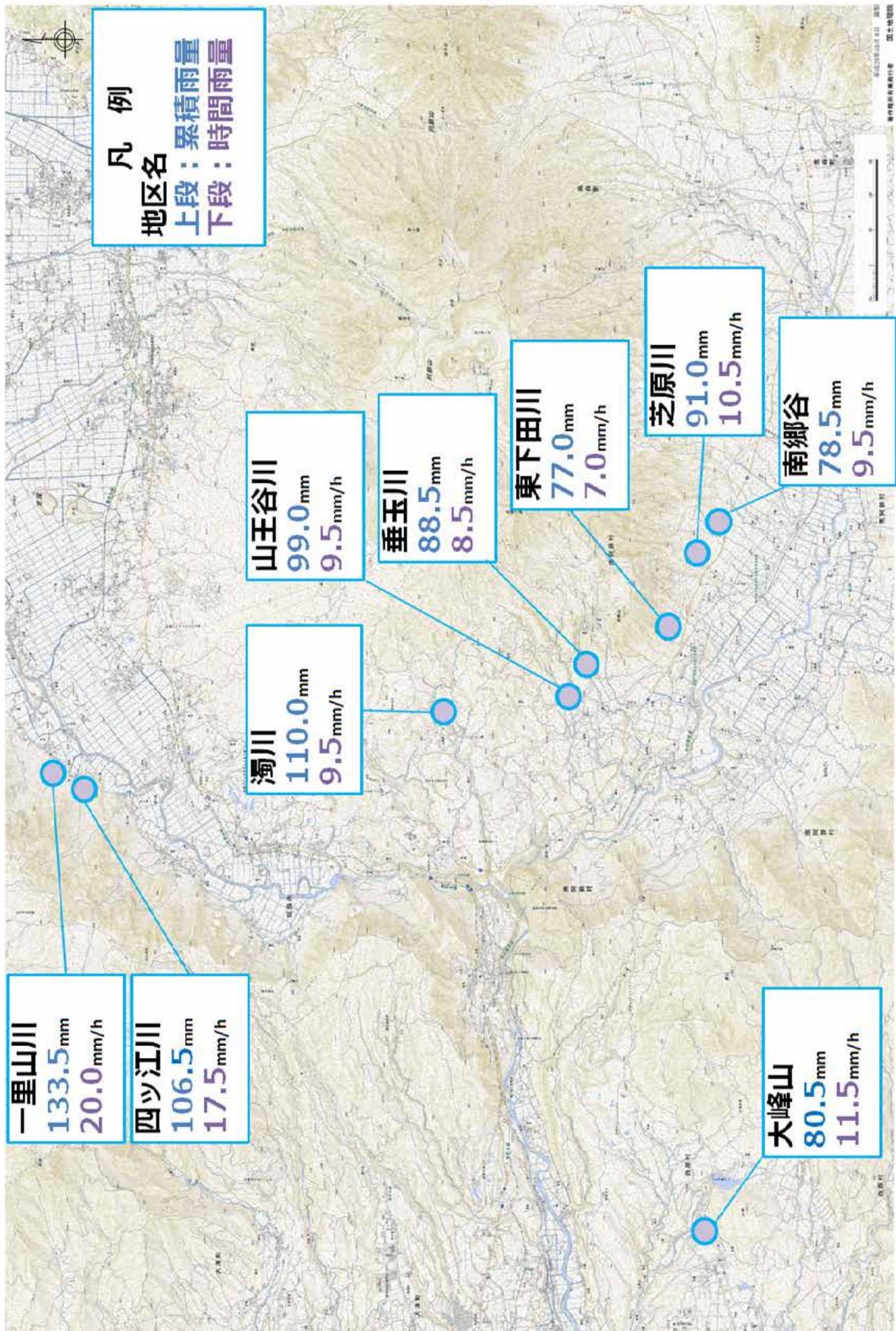
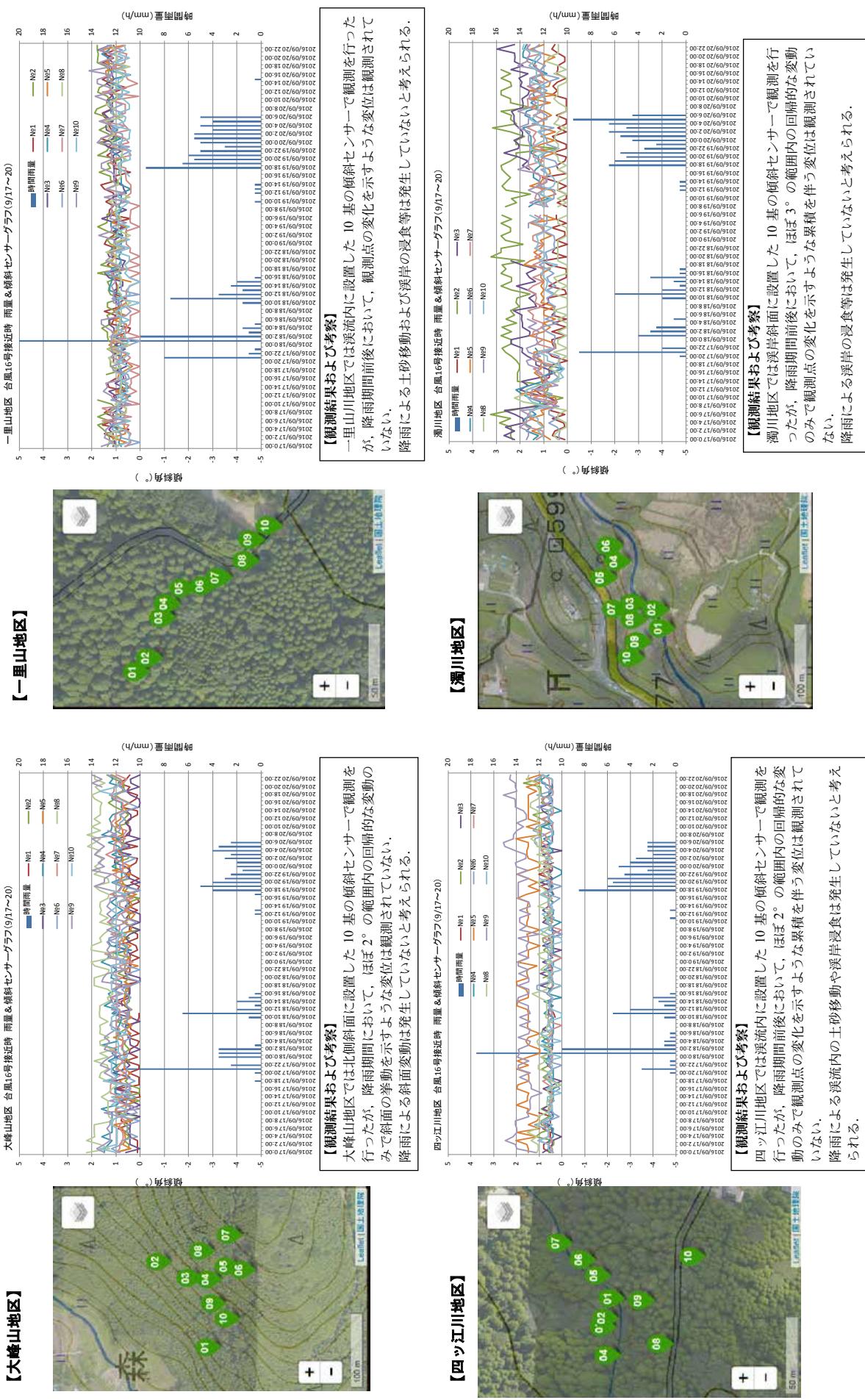
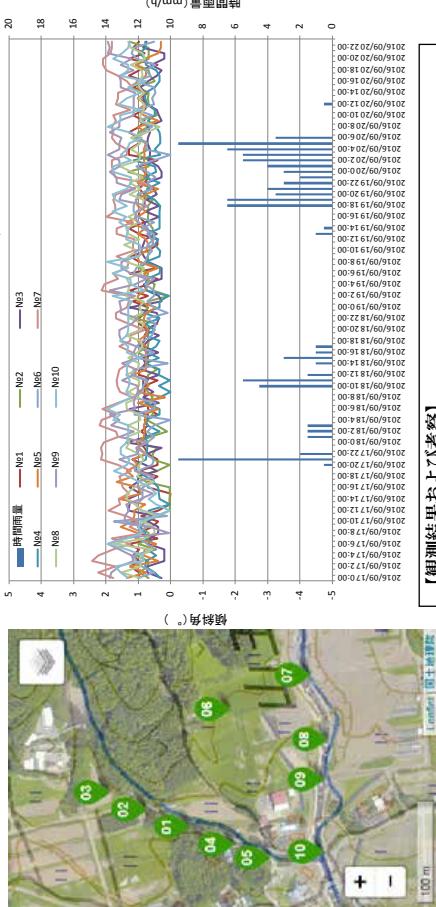


図 2.28 雨量計設置箇所と各地区の雨量データ(台風 16 号、背景には国土地理院電子地形図タイルを使用)



熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

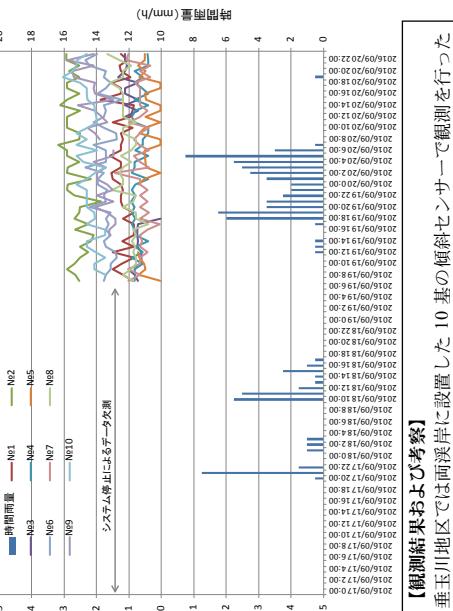
【山王谷川地区】



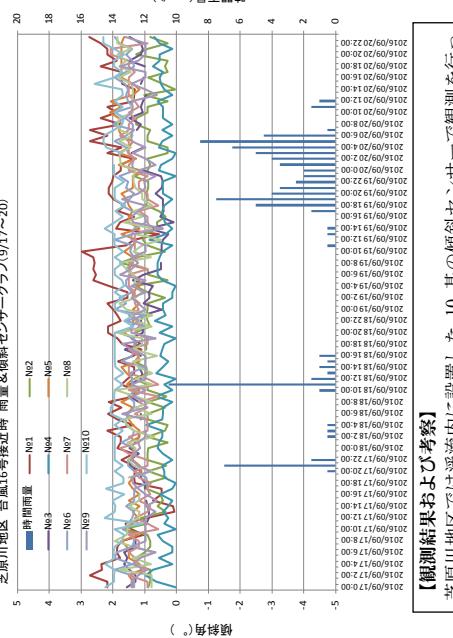
【東下田川地区】



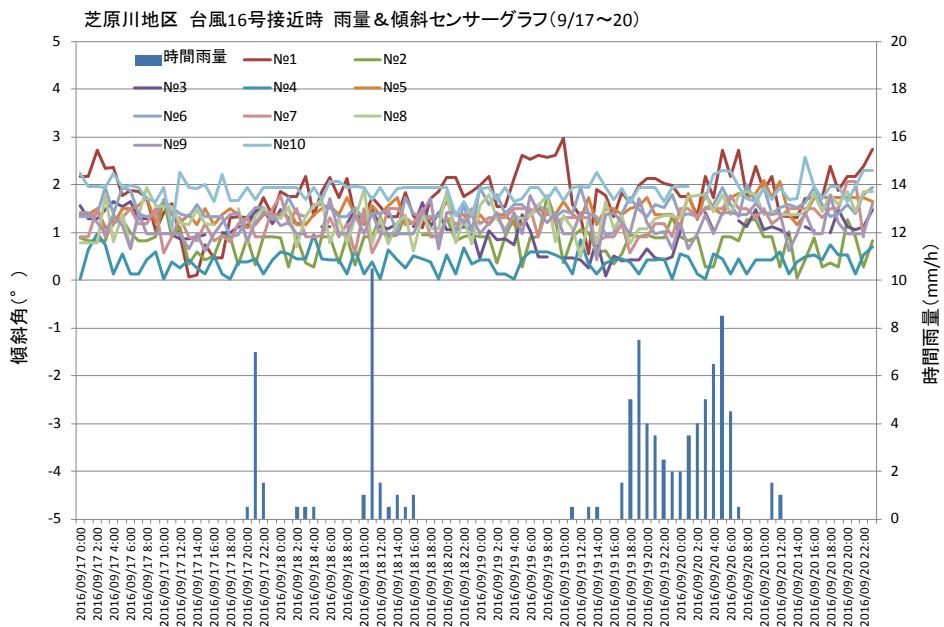
【芝原川地区】



【垂玉川地区】



【南郷谷地区】



【観測結果および考察】

南郷谷地区では渓流内に設置した10基の傾斜センサーで観測を行つたが、降雨期間前後において、観測点の変化を示すような累積を伴う変位は観測されていない。

降雨による土砂移動や渓岸浸食は発生していないと考えられる。

2.2.4. 観測結果のまとめ

今回の観測期間における地上センサーの観測結果を以下に総括する。

① 崩壊検知センサー（傾斜センサー）

- ・土砂災害を発生させるような豪雨は発生しなかったことから、傾斜センサーに地表面の移動等を示す変位は確認されなかった。
- ・傾斜センサーは、温度変化等による固有変位が確認されているが、その変位幅は1~2°程度であるが、設置場所によってバラツキが生じているが、設置位置条件（設置箇所の傾斜や地盤状況）の違い等の影響原因の特定は困難である。

② 雨量計

- ・降雨状況の傾向をしっかりと把握している。
- ・各箇所の雨量の差異が表れているが地形的要因の分析までは難しい。
- ・降雨と傾斜センサーの変位の相関は確認できない。

今後、まとめた降雨条件下での傾斜データの変化と土砂移動現象を対比しながら、実現象と変位量の関係性を分析していくことが求められる。

3. 航空レーザ計測

3.1. 航空レーザ計測および計測結果の整理・解析

3.1.1. 計測概要

本業務では、平成 28 年（2016 年）熊本地震後の地盤の変動状況を高精度な数値地図情報として入手するため、航空レーザ測量を実施した。航空レーザ測量の主な仕様は以下のとおりである。

- ・精度：0.5 mDEM
- ・計測面積：300 km²
- ・計測回数：3 回
- ・計測時期：8 月・9 月・10 月（平成 28 年）
- ・作成図：地形起伏図作成、差分解析

航空レーザ計測の作業フローを以下に示す。大きくは前段の現場計測作業と後段の室内解析作業とに分類できる。本業務では 3 回の計測毎にこれら一連の作業フローを繰り返すこととなる。ただし、調整用基準点の計測は 8 月・10 月の 2 回となる。

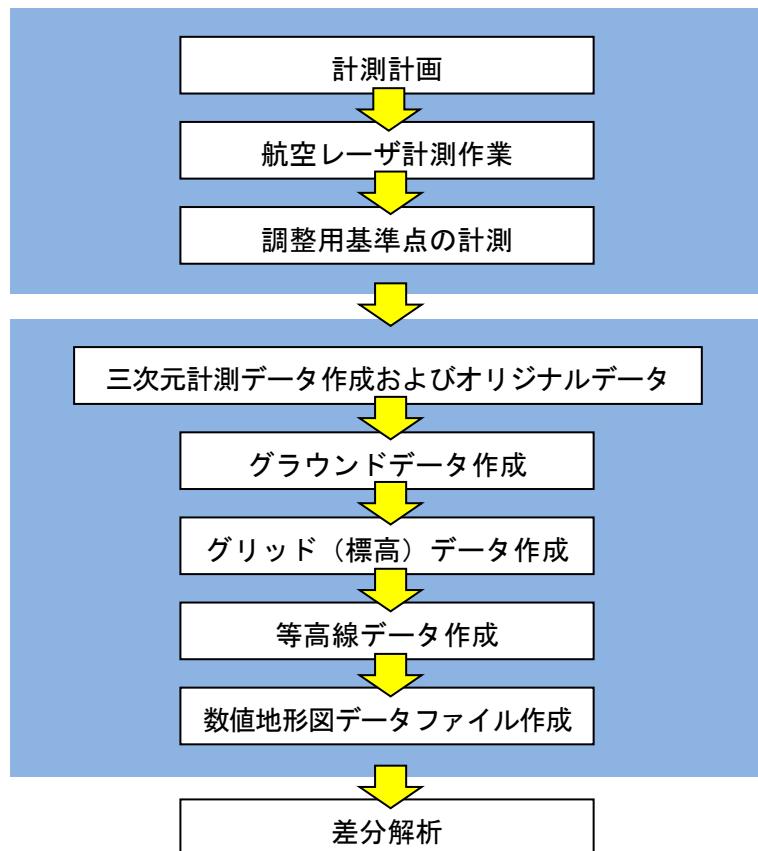
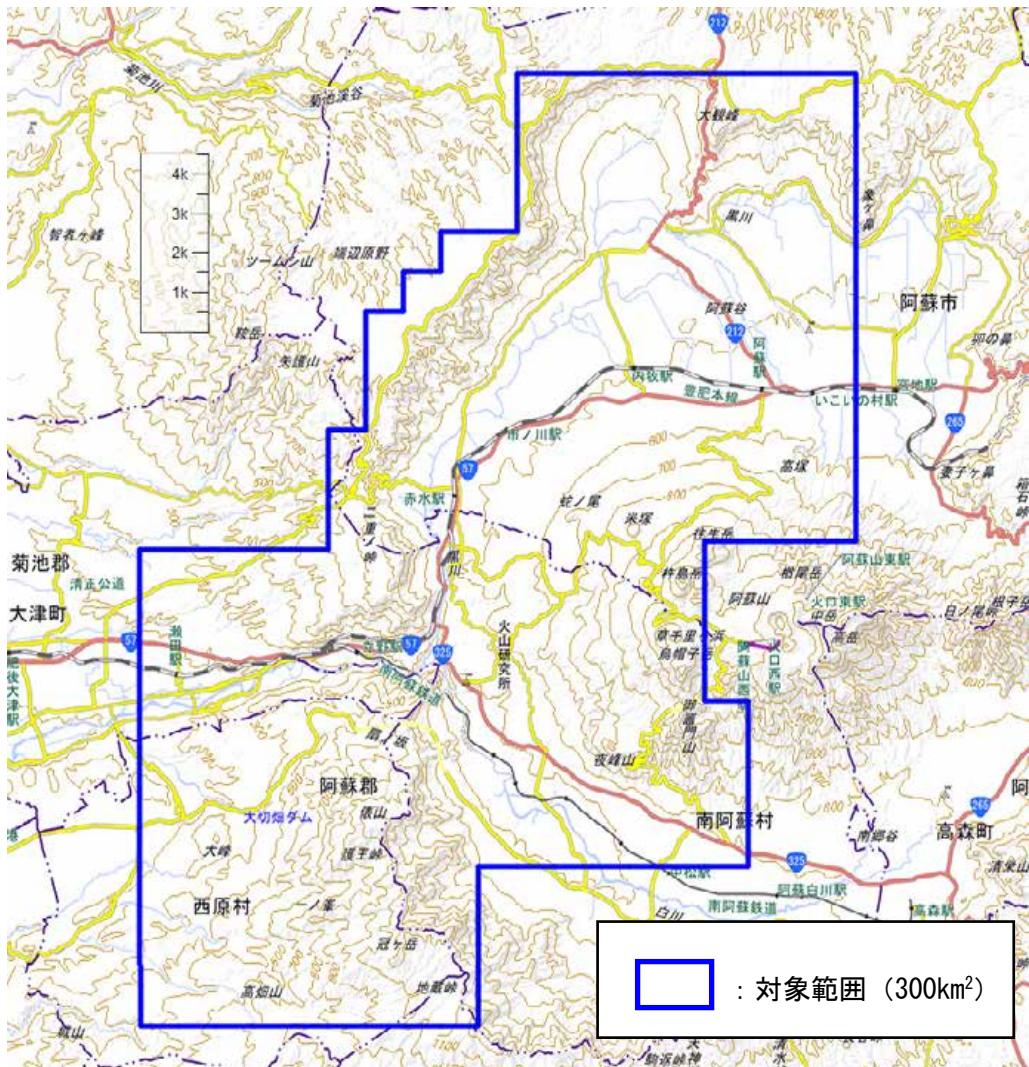


図3.1 航空レーザ測量の作業フロー

本業務の対象範囲を、以下の図に示す。航空レーザ計測は、当該対象範囲を面的に欠落なく網羅するように計測した。また、地盤変動を時系列的に把握することを目的に、本年の8月・9月および10月の計3回計測した。現地標高検証のための調整用基準点の設置は、8月および10月の2回実施した。



3.1.2. 計測計画

計測計画では、航空レーザ計測の工程全体について、作業の方法、使用する機器、要員、日程等について適切な計画を立案し、関係機関への諸手続きを行った。また、作成した計測計画は監督職員の承認を受けた上で、現地の計測作業に用いた。なお、使用するレーザ機器は6ヶ月以内にキャリブレーションサイトでの機器点検を行ったものを用い、計測前にキャリブレーション結果を監督職員に報告した上で、現地の計測作業に着手した。

以下の図に計測飛行計画を示す。当初、計測飛行計画は3回（8月・9月・10月）の計測とも原則同一としていたが、実際には3回目の10月計測開始直前の10月8日未明に阿蘇山火口が噴火して噴火警戒レベルが2から3に上げられたことにより、一部火口周辺において当初計画範囲で計測飛行できない範囲が生じたために、急遽代替地域を設定して再度計測計画を立案、計画承認の上で10月計測を実施した。

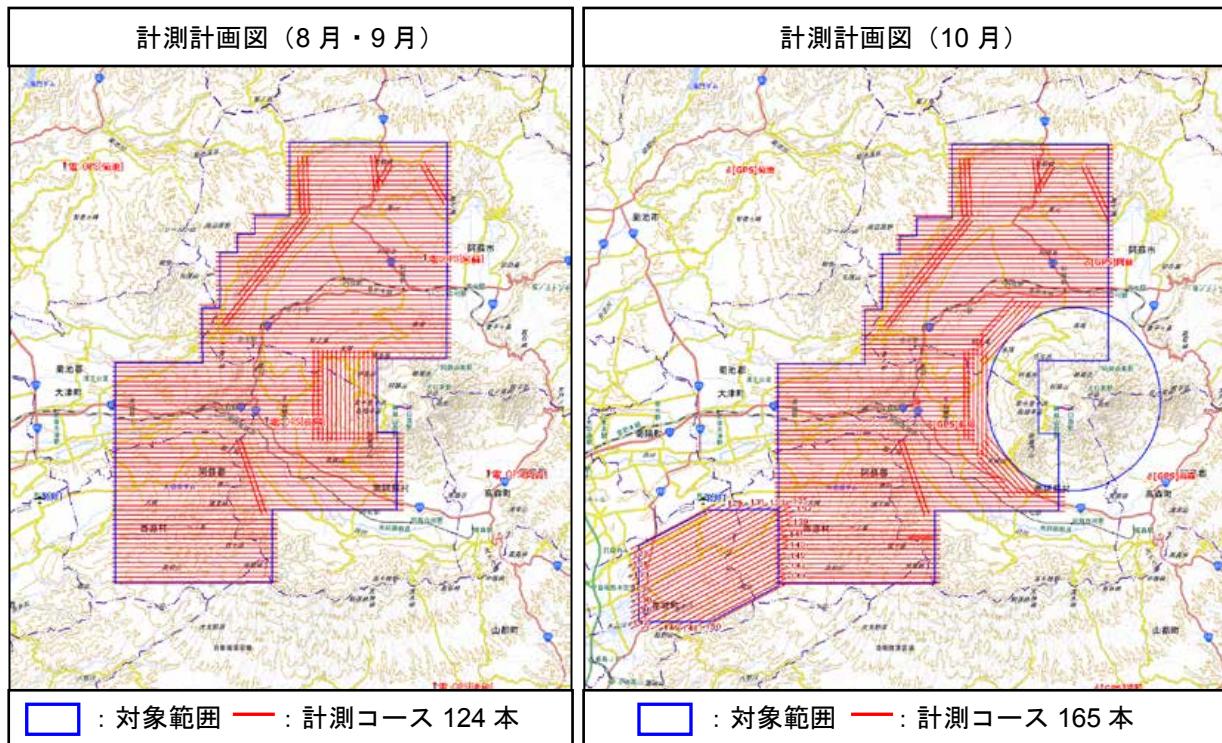


図3.3 計測計画図（背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）

3.1.3. 航空レーザ計測作業

航空レーザ計測作業では、先の計測計画に従って航空レーザ計測システムを搭載した航空機にて、対象地域の地形を計測した。前述したように計測面積は 300 km^2 、計測回数は3回（8月・9月・10月）である。以下に航空レーザ計測作業の仕様を示す。

① 航空レーザ計測システムの仕様

- a. シングルパルス発射頻度が最大10万発/秒以上の機能を有する。
- b. デジタルカメラを同時搭載し、1,800万画素以上でRGB画像が取得できる。

② 計測の仕様

- a. 計測密度は、4点/ m^2 以上に設定する。（0.5 m メッシュ）
- b. レーザスキャナの位置を連続キネマティックGNSS測量で求めるため、地上のGNSS基準局を選定し、レーザ計測との同時観測を行う。なお、GNSS基準局として電子基準点を用いることができる。

3.1.4. 計測飛行記録

航空レーザ計測は、前述の計測計画および計測諸元によって、本年8月、9月、10月の計3回を実施した。いずれも計測基地は熊本空港とし、機体機材、およびパイロット、整備士、計測オペレータの手配調整を毎回行った上で、毎月、弊社本拠である名古屋空港その他から2機の回転翼航空機を熊本空港まで空輸移動して計測開始した。

熊本空港での計測待機中には、日々現地の天候判断と航空管制との調整を行い、航空安全の確保を最優先としながらも計測飛行に適した機会を逃さず捉えて、3カ月3回ともほぼ最大効率で計測完了させることができた。また、計測待機中は毎日、関係者全員へのメール連絡を欠かさず行い、密な状況報告に努めた。

以下の表に3回の計測飛行の記録をまとめて示す。

表3.1 航空レーザ計測作業日誌（まとめ）

月日		天気		【8月計測】作業内容（計測コース番号）	フライト実施数
		午前	午後		
1	8/8	晴れ	晴れ	1-6,9-13,86-89,109-117	2
2	8/10	晴れ	晴れ	37-46,107,108	2
3	8/12	晴れ	—	14-22,30-36,104-106	2
4	8/13	曇り	—	94-98	1
5	8/15	曇り	晴れ	23-26,79-85,86(補備),90-93	2
6	8/17	曇り	晴れ	58-65,27-29,40(再計測),47-49,99-103,118-122	3
7	8/18	曇り	曇り	50-57,66-78	4
8	8/25	晴れ	—	71(再計測),74(再計測),75(再計測),123,124	1
月日		天気		【9月計測】作業内容（計測コース番号）	フライト実施数
		午前	午後		
1	9/6	—	曇り	1-14	1
2	9/7	—	曇り	36-46,58-70	2
3	9/8	曇り	—	55,56,94	1
4	9/9	晴れ	晴れ	15-35,55(補備),56(補備),57,71,72,78-93, 95-108,112-117,123,124	4
5	9/10	晴れ	—	47-54,73-77,109-111,118-122	3
6	9/15	—	晴れ	50(再計測),58(再計測)	1
月日		天気		【10月計測】作業内容（計測コース番号）	フライト実施数
		午前	午後		
1	10/18	—	曇り	1-12	1
2	10/20	晴れ	曇り	13-29,69-74,75-93,124	4
3	10/24	晴れ	晴れ	30-36,47-53,68,74(再計測),121-123,125-142	3
4	10/25	曇り	曇り	37-40,54-61,67,72(再計測),109-120	2
5	10/31	—	曇り	56(再計測),62-66	1
6	11/1	晴れ	曇り	200-222	2
7	11/2	晴れ	—	41-46,66(補備)	1

3.1.5. 既存アーカイブデータ調達

熊本地震前後の地殻変動を把握することを目的に、震災前の既往航空レーザ成果および震災直後の既往航空レーザ成果を収集・調達して対象域のアーカイブを作成した。これらの既往航空レーザ成果については、データの品質を確認検証した後、必要に応じてグラウンドデータを作成するとともに、異なる既往データ間の接合調整を実施した。なお、既存アーカイブデータは、震災直後を基準としての0次データ、その前となる震災前を-1次データと位置付けた。（本業務の計測データは、3回の計測順に1次、2次、3次データとしている）

1) 震災前の既往航空レーザ成果（-1次データ）

本業務の対象範囲は、元来、火山地域に特有の開析が進んだ急崖地形や火口壁等が集中していることもあり、過去にも大規模土砂災害への備えとして高精度な航空レーザ計測が実施されている。本業務では、熊本地震による大きな地殻変動および崩壊土砂等の発生を把握するため、これら震災前の既往航空レーザ成果を収集・調達し、解析に利用した。収集・調達した震災前の既往航空レーザ成果について以下に示す。

表3.2 震災前の既往航空レーザ成果

計測時期	業務名	作業機関
H25年1月	阿蘇外輪山地域航空レーザ計測業務（平成24年度）	パスク
H25年1月	阿蘇中央火口地域航空レーザ計測業務（平成24年度）	中日本航空



図3.4 震災前の既往航空レーザ成果

2) 震災直後の既往航空レーザ成果（0次データ）

本年4月14日・16日の平成28年（2016年）熊本地震発生直後から、震災状況の早期把握および災害復旧対応のために本業務の対象範囲およびその周囲において数多くの航空レーザ計測が実施された。

これら震災直後の既往航空レーザ成果は、前述の震災前の航空レーザ成果との地震による地形変化の把握に利用できるだけでなく、本業務の主たる目的である震災後の崩壊土砂等の把握のための基本情報となる。収集・調達して使用した震災直後の既往航空レーザ成果について、計測時期の古い順に以下に示す。

表3.3 震災直後の既往航空レーザ成果

計測時期	業務名	作業機関
H28年4月～5月	単県砂防調査（熊本地震）業務委託（航空レーザ測量）	国際航業
H28年4月～5月	中日本航空アーカイブ（一部6月～7月を含む）	中日本航空
H28年4月～5月	森林域における航空レーザ計測業務（林野庁）熊本県※	アジア航測ほか
H28年6月～7月	森林域における航空レーザ計測業務（林野庁）	アジア航測ほか

※林野庁が単県砂防調査（熊本地震）業務委託の計測データを熊本県から入手して利用したもの

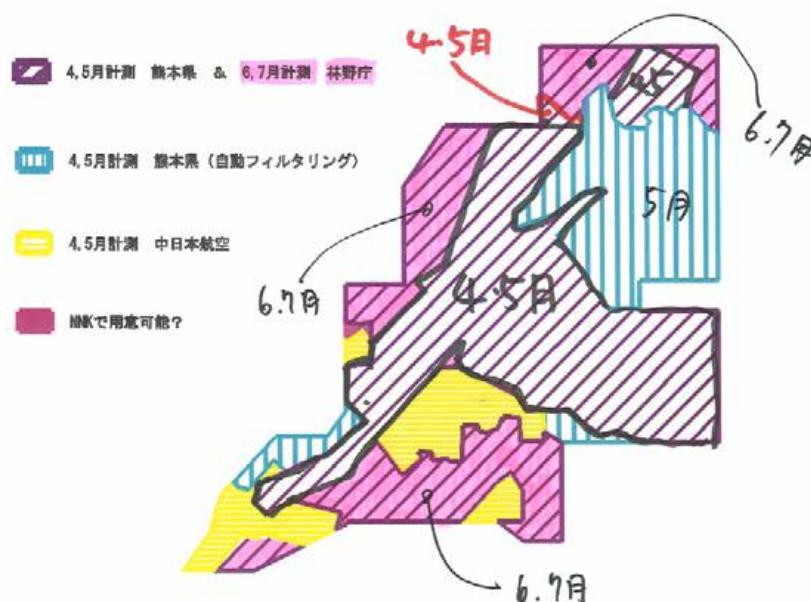


図3.5 震災直後の既往航空レーザ成果

3.1.6. 差分解析

調達した2時期(-1次, 0次)の既存アーカイブデータ、および本業務の3回(1次, 2次, 3次)の計測データを用いて、以下の表に示す各2時間間の地盤変動等の差分解析を実施した。計5時期の航空レーザ計測データから直近2時期の差分解析をそれぞれ行い、都合4種類の差分解析図を作成した。ただし差分1は、-1次データが本業務の対象範囲を満たしていないため、一部差分解析範囲が異なっている。また差分4についても3次データの計測範囲が一部異なることから、やはり差分解析時期が異なる範囲が部分的に存在している。

表3.4 差分解析一覧

	計測時期(差分前)	計測時期(差分後)	差分解析面積
差分1	(-1次) 平成25年1月	(0次) 平成28年4月～7月	300 km ²
差分2	(0次) 平成28年4月～7月	(1次) 平成28年8月	300 km ²
差分3	(1次) 平成28年8月	(2次) 平成28年9月	300 km ²
差分4	(2次) 平成28年9月	(3次) 平成28年10月	300 km ² ※

※一部(0次) 平成28年4月～7月と(3次) 平成28年10月の差分解析範囲あり

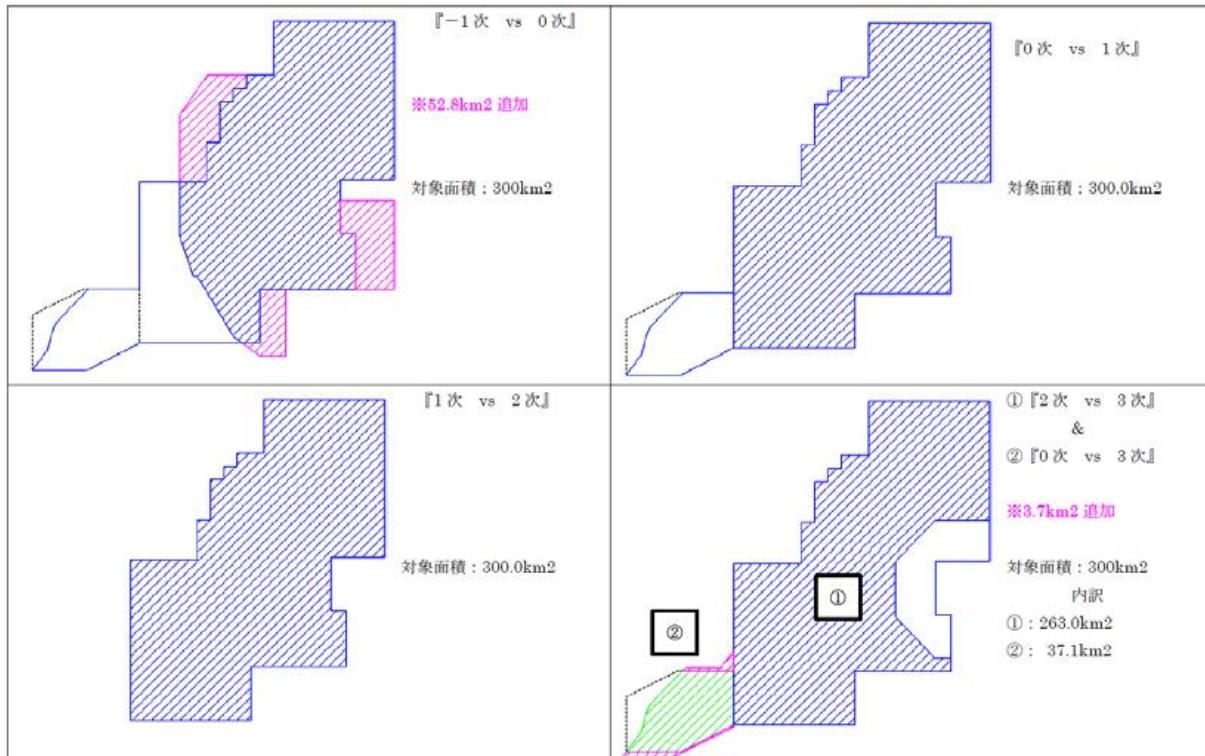


図3.6 差分解析範囲一覧

3.2. 航空レーザ計測結果の整理・解析

レーザ測量成果に各種情報を GIS 上で重ね合わせ、地震後の降雨起因の土砂移動について検討するための基礎資料を作成した。各時期の測量成果を用いて、地上センサー観測地区および高野台地区・立野地区において雨量、断層分布などとの関連を分析した。

3.2.1 既存資料の収集

表に示す収集資料・データと測量成果を GIS ソフト上で重畠した。収集資料は国土地理院国土数値情報の各種データ、熊本地震による土砂移動判読結果および活断層分布データ、気象庁公表の震源分布データである。また、国土地理院の地理院地図を基盤図に用いた。

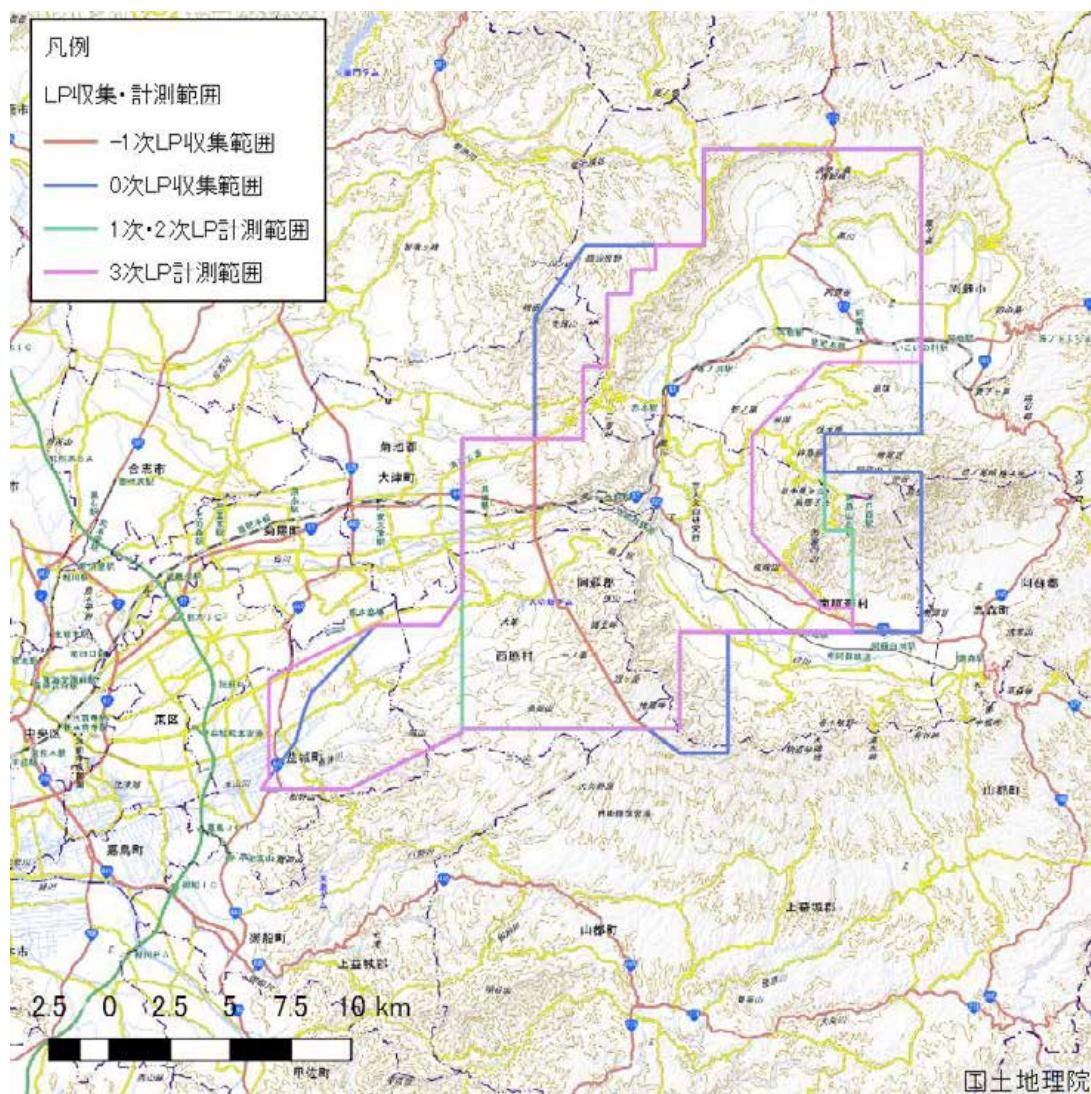


図 3.7 収集資料整理範囲（背景には国土地理院電子地形図タイルを使用）

表 3.5 収集資料一覧

国土数値情報	
土地利用	
森林地域	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A13.html
農業地域	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A12.html
都市地域	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A09.html
用途地域	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A29.html
災害・防災	
避難施設	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P20.html
土砂災害警戒区域	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A33-v1_3.html
施設	
国・都道府県の機関	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P28.html
市町村役場等及び公的集会施設	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P05.html
市区町村役場	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P34.html
公共施設	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P02-v4_0.html
警察署	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P18.html
消防署	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P17.html
郵便局	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P30.html
医療機関	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P04-v2_1.html
福祉施設	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P14.html
文化施設	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P27.html
学校	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P29.html
都市公園	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P13.html
地場産業関連施設	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P24.html
物流拠点	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P31.html
集客施設	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P33.html
地域資源・観光	
都道府県指定文化財	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P32.html
世界文化遺産	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A34-v1_2.html
世界自然遺産	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A28.html
観光資源	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P12-v2_2.html
地域資源	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P19.html
保護保全	
自然公園地域	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A10-v3_1.html
自然保全地域	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A11.html
鳥獣保護区	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A15.html
交通	
高速道路時系列	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N06-v1_2.html
緊急輸送道路	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N10-v1_1.html
鉄道	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N02-v2_3.html
発注者貸与資料	
活断層分布shpデータ	((研)産業技術総合研究所 地質調査総合センター)
崩壊地判読shpデータ	(研)防災科学技術研究所
震源分布	
気象庁 震度検索データベース	http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php

震源分布を整理した地震は、熊本県において2016年4月1日～30日に震度5弱以上を観測した地震とした。気象庁の震源検索データベースを用いて得られる震央の座標を用いてshpファイルを作成した。

表3.6 震源分布整理対象の地震一覧

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2016/4/29 15:09	大分県中部	33°15.4'N	131°22.0'E	7km	M4.5	5強
2	2016/4/19 20:47	熊本県熊本地方	32°34.3' N	130°39.1'E	11km	M5.0	5弱
3	2016/4/19 17:52	熊本県熊本地方	32°32.1'N	130°38.1'E	10km	M5.5	5強
4	2016/4/18 20:41	熊本県阿蘇地方	33°00.1'N	131°11.9'E	9km	M5.8	5強
5	2016/4/16 16:02	熊本県熊本地方	32°41.9'N	130°43.2'E	12km	M5.4	5弱
6	2016/4/16 9:50	熊本県熊本地方	32°51.1'N	130°49.7'E	15km	M4.5	5弱
7	2016/4/16 9:48	熊本県熊本地方	32°50.8'N	130°50.1'E	16km	M5.4	
8	2016/4/16 7:23	熊本県熊本地方	32°47.2'N	130°46.4'E	12km	M4.8	5弱
9	2016/4/16 7:11	大分県中部	33°16.2'N	131°23.7'E	6km	M5.4	5弱
10	2016/4/16 3:55	熊本県阿蘇地方	33°01.5'N	131°11.4'E	11km	M5.8	
11	2016/4/16 3:09	熊本県阿蘇地方	32°58.1'N	131°05.2'E	10km	M4.2	5弱
12	2016/4/16 3:03	熊本県阿蘇地方	32°57.8'N	131°05.2'E	7km	M5.9	5強
13	2016/4/16 1:45	熊本県熊本地方	32°51.7'N	130°53.9'E	11km	M5.9	
14	2016/4/16 1:44	熊本県熊本地方	32°45.1'N	130°45.6'E	15km	M5.4	5弱
15	2016/4/16 1:25	熊本県熊本地方	32°45.2'N	130°45.7'E	12km	M7.3	
16	2016/4/15 1:53	熊本県熊本地方	32°42.0'N	130°45.1'E	12km	M4.8	5弱
17	2016/4/15 0:06	熊本県熊本地方	32°41.7'N	130°45.1'E	11km	M5.0	5強
18	2016/4/15 0:03	熊本県熊本地方	32°42.0'N	130°46.6'E	7km	M6.4	
19	2016/4/14 23:43	熊本県熊本地方	32°46.0'N	130°49.6'E	14km	M5.1	5弱
20	2016/4/14 22:38	熊本県熊本地方	32°40.6'N	130°44.1'E	11km	M5.0	5弱
21	2016/4/14 22:07	熊本県熊本地方	32°46.5'N	130°50.9'E	8km	M5.8	
22	2016/4/14 21:26	熊本県熊本地方	32°44.5'N	130°48.5'E	11km	M6.5	

気象庁HP震度データベース検索 (<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>)

3.2.2 地震後の降雨に起因する土砂移動状況の分析

地震によって発生した斜面崩壊・亀裂等について、その後の降雨による変化（新規・拡大・侵食・堆積等）、地形や砂防施設の土砂移動への影響（流下範囲・方向、土砂の捕捉等）を写真判読および差分解析結果を用いて分析した。なお、具体的な内容・対象範囲・分析方法は下記のとおりとする。

【内容】

0次（地震直後：5～7月）と1次（8月）、1次と2次（9月）、2次と3次（10月）について、オルソ写真、地形起伏図、等高線を比較する。差分解析結果およびオルソ写真により、2時間において土砂移動発生箇所を判読する。土砂移動の発生要因については、活断層分布等、3.2.1で整理した内容も踏まえて考察を加える。

【解析範囲と分析方法】

地上センサー観測が実施されている9地区に加え、高野台地区、立野地区、0次と1次の比較で顕著な土砂移動が発生した箇所を対象とする。

航空レーザ計測範囲全域の傾向について、オルソ写真、地形起伏図、等高線図に差分解析図、基礎情報を重ねたものを用いて分析した。また、各地区・箇所について、比較結果をカルテ形式で整理した。

3.2.3 航空レーザ計測範囲全域における土砂移動状況の分析結果

【0次（地震直後：5～7月）計測結果の概要】

地震に伴う斜面崩壊、亀裂が発生している。

【1次（8月）計測結果の概要】

0次計測時には認められなかった土砂移動が発生している。6月の豪雨に起因するものと考えられる。

【2次（9月）計測結果の概要】

1次計測後、顕著な土砂移動は認められない。

【3次（10月）計測結果の概要】

2次計測後、顕著な土砂移動は認められない。

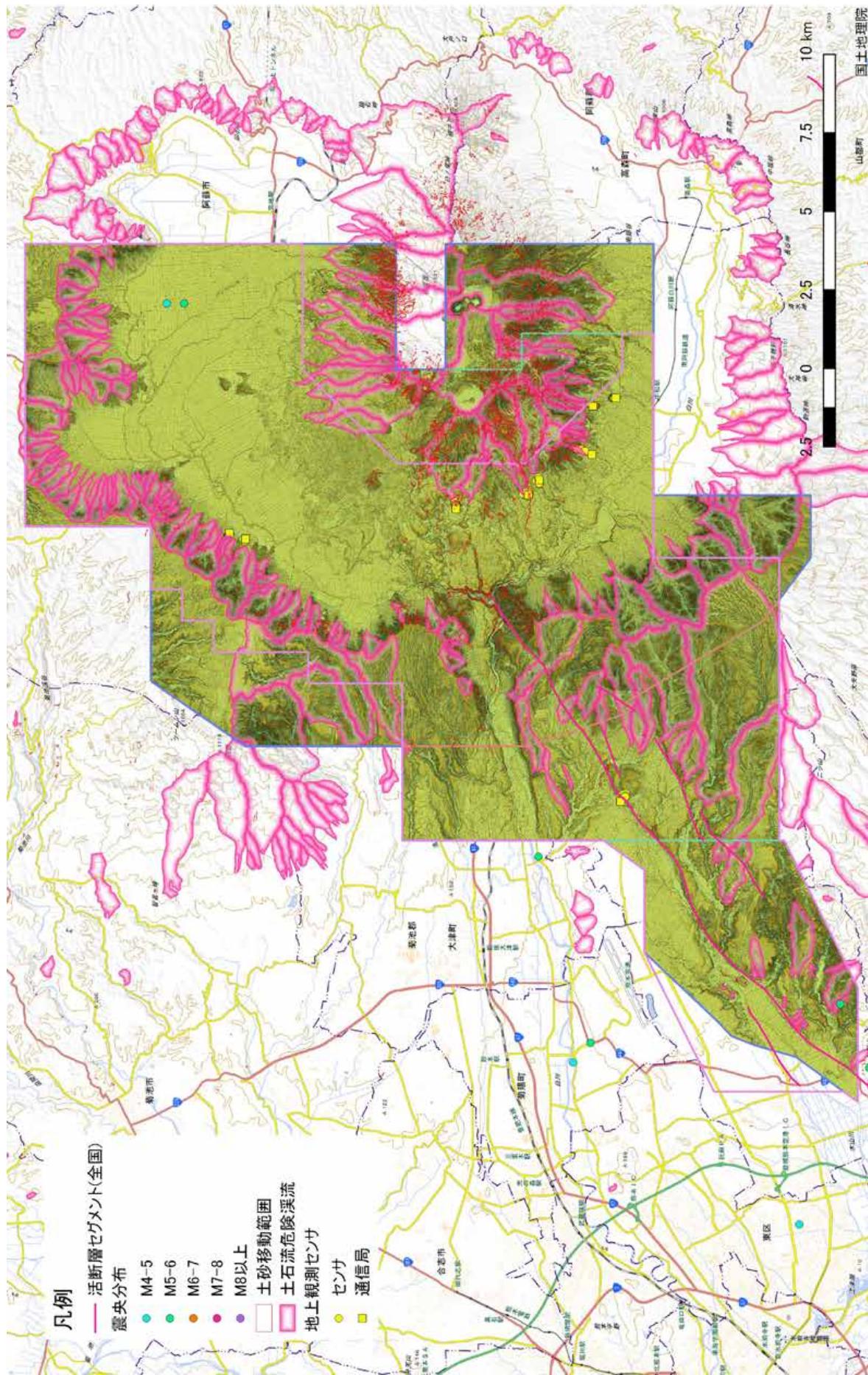


図 3.8 0 次地形起伏図(背景には国土地理院電子地形図タイルを使用)

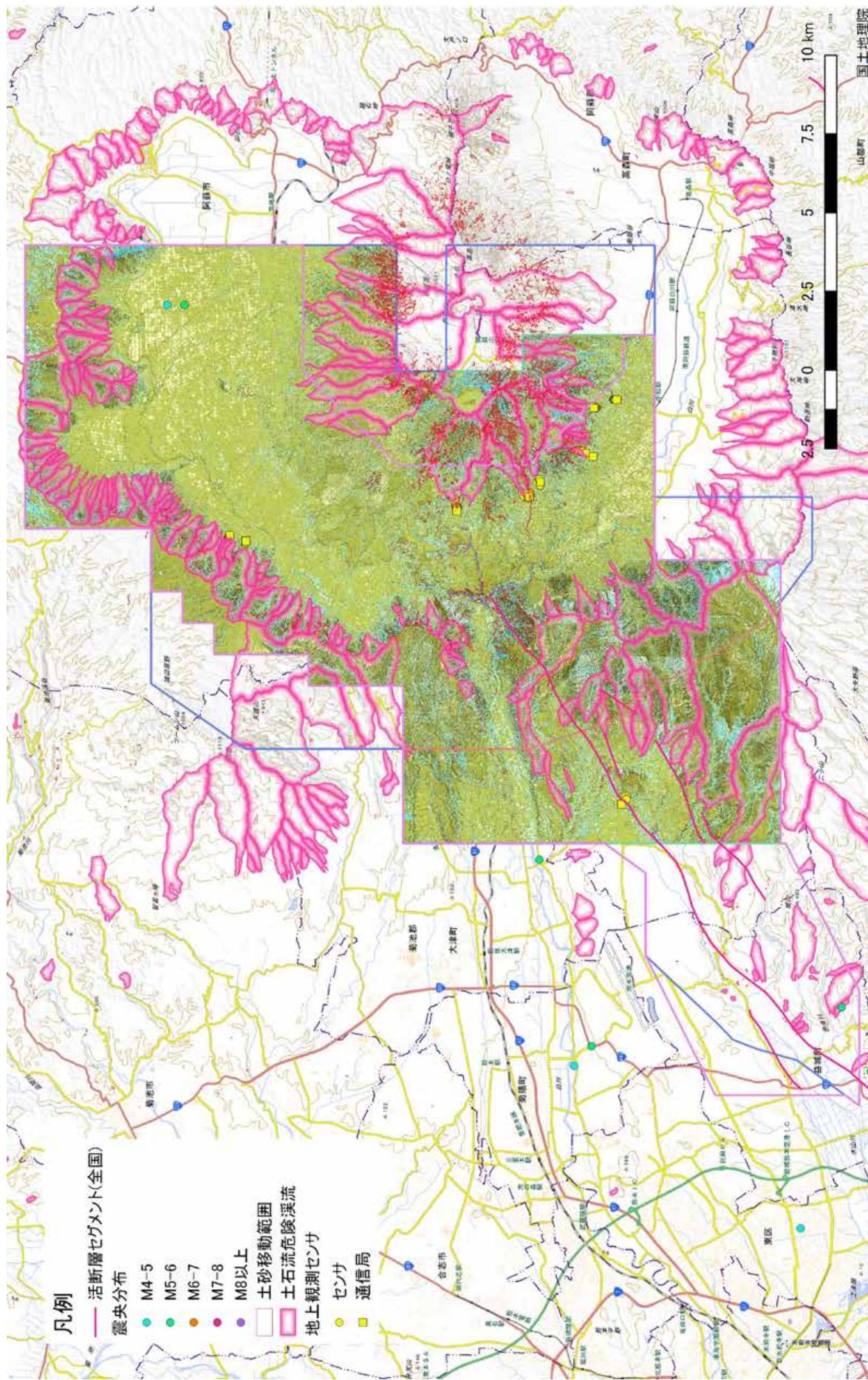


図 3.9 1次地形起伏図 + 0-1次差分図(背景には国土地理院電子地形図タイルを使用)

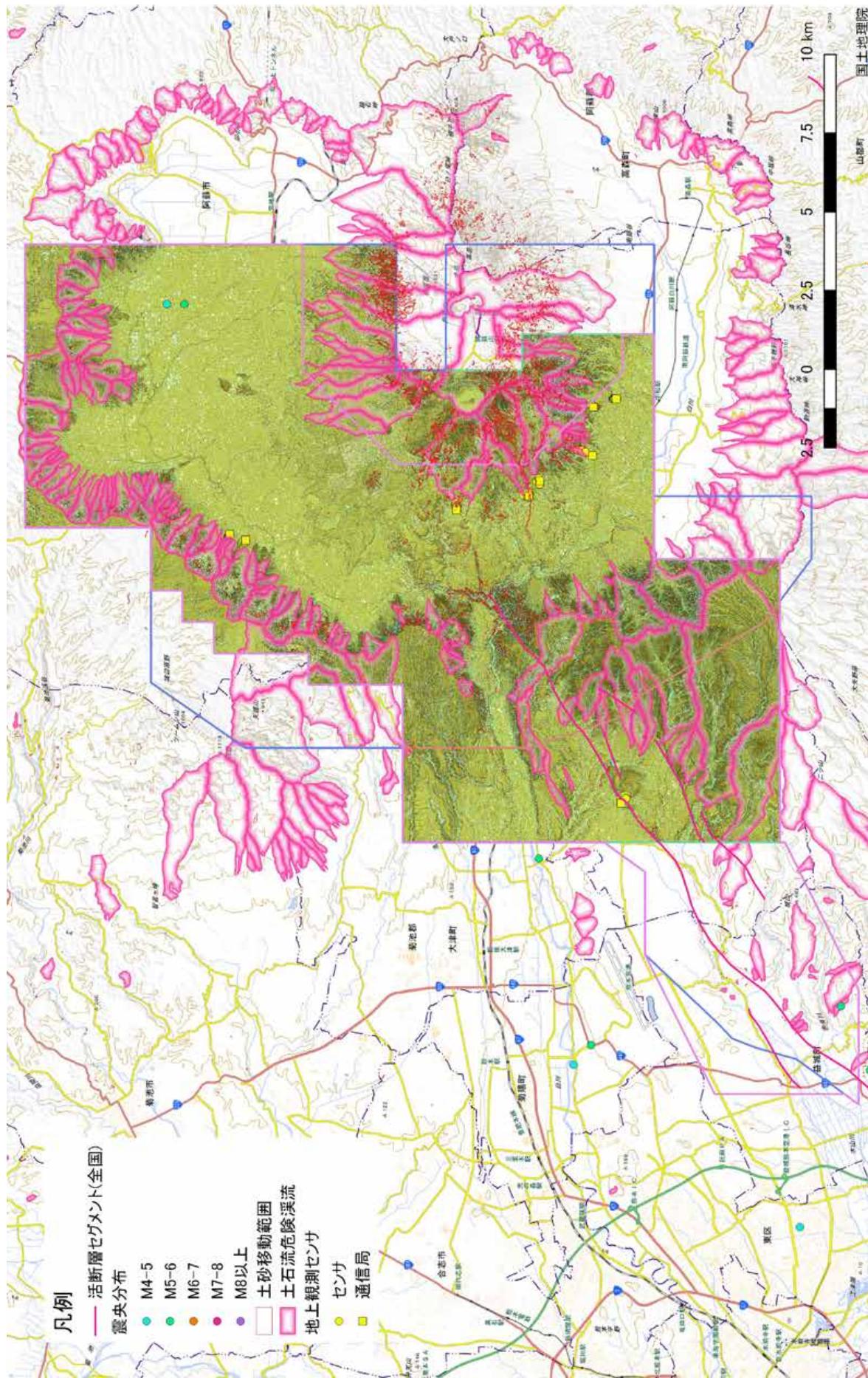


図 3.10 2次地形起伏図 + 1-2次差分図(背景には国土地理院電子地形図タイルを使用)

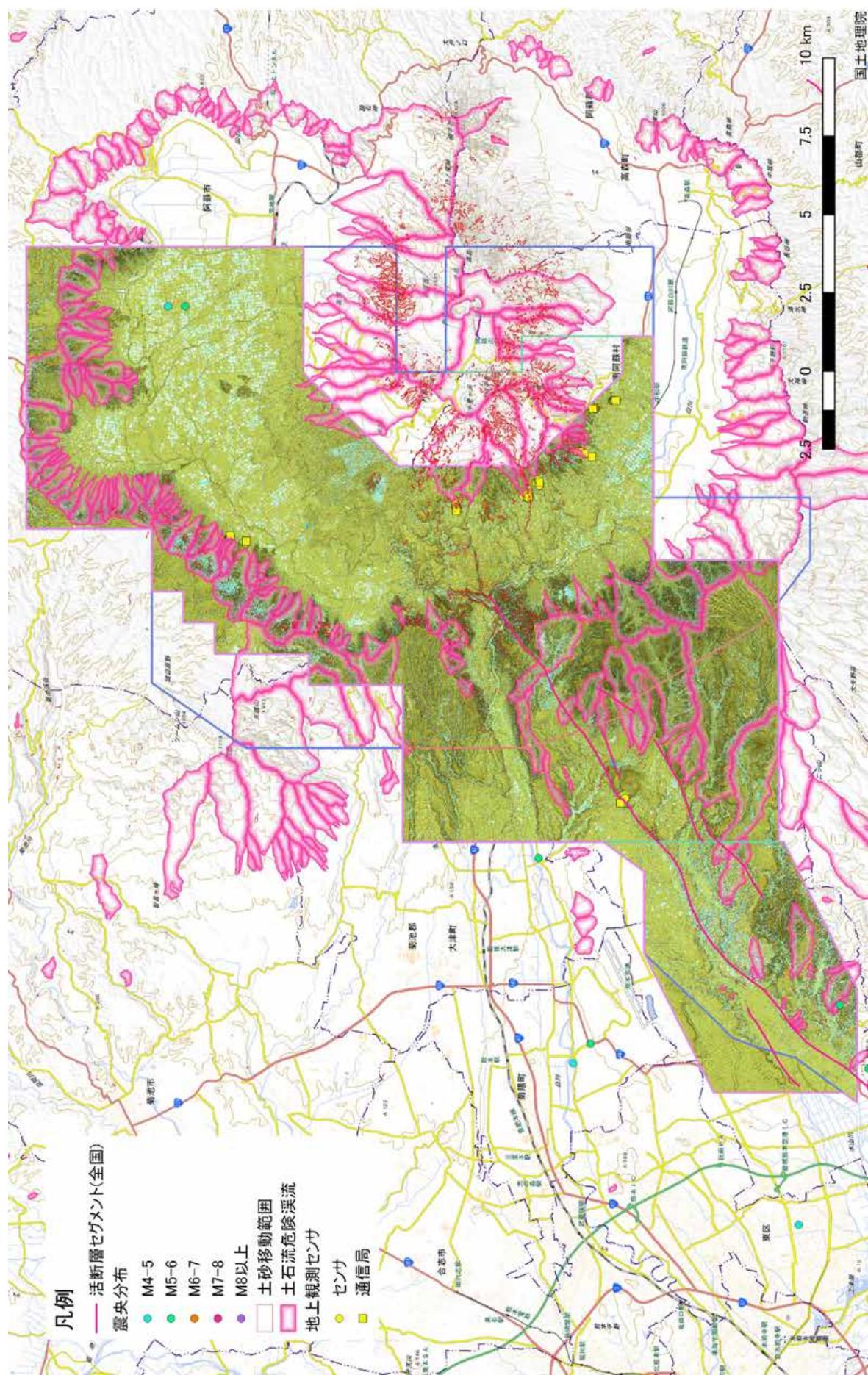


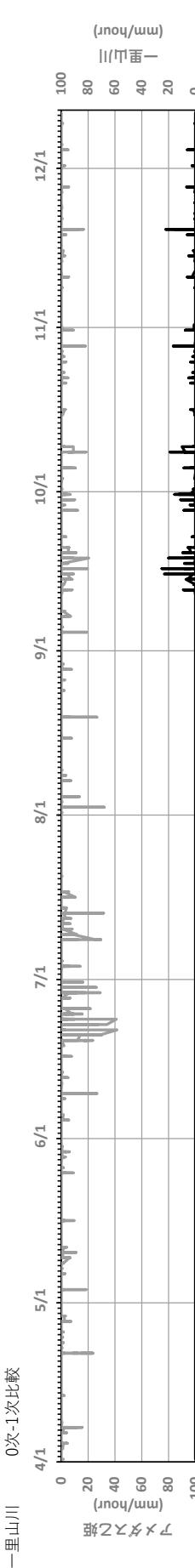
図 3.11 3次地形起伏図+2-3次差分図(背景には国土地理院電子地形図タイルを使用)

3.2.4 地上調査観測地点における土砂移動状況の分析結果

以下に示す地区の土砂移動状況について、3時期のオルソ写真、地形起伏図、等高線を比較し、降雨や活断層分布との関係について分析した。

- ・ 一里山川
- ・ 山王谷川
- ・ 四ツ江川
- ・ 芝原川
- ・ 垂玉川
- ・ 大峰山
- ・ 濁川
- ・ 東下田川
- ・ 南郷谷

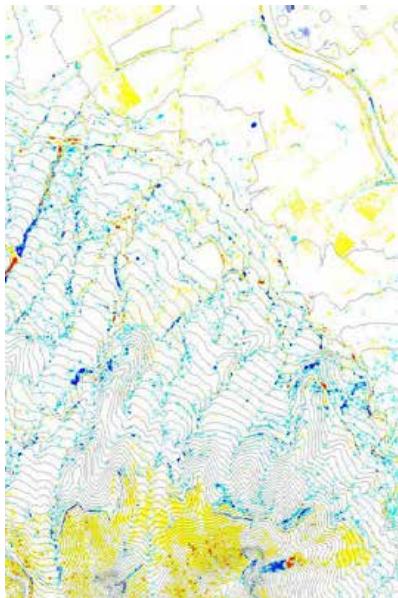
熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか



【0次オルソ】

[0次陰影]

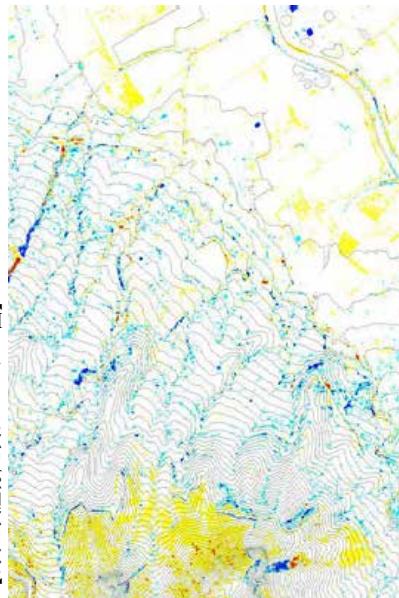
[0次-1次差分/0次5mコンターノ]



【1次オルソ】

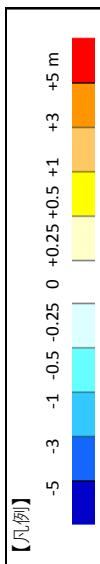
【1次陰影】

【0次-1次差分/1次5mヨンタ-四】

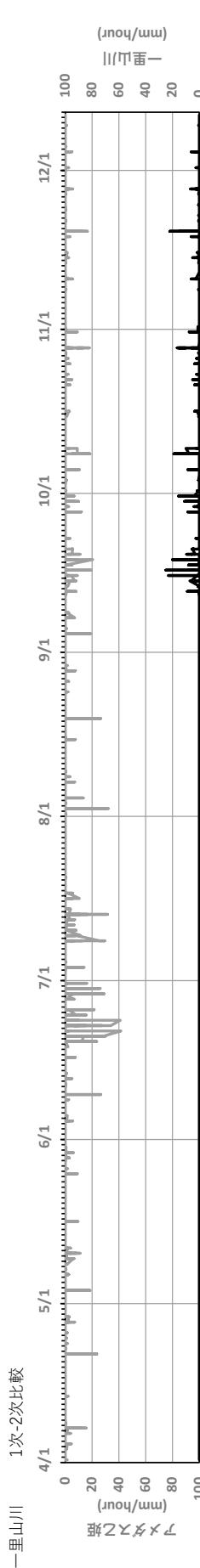


[所見]

センサーの背後の流域は外輪山の稜線まで届かない、比較的小規模な流域である。今回の地震と豪雨では流域内に特筆すべき変化は生じなかつた。周辺流域では河道的に侵食されている箇所も見られる。



NIPPON KOEI



【1次オルソ】

[1次陰影図]

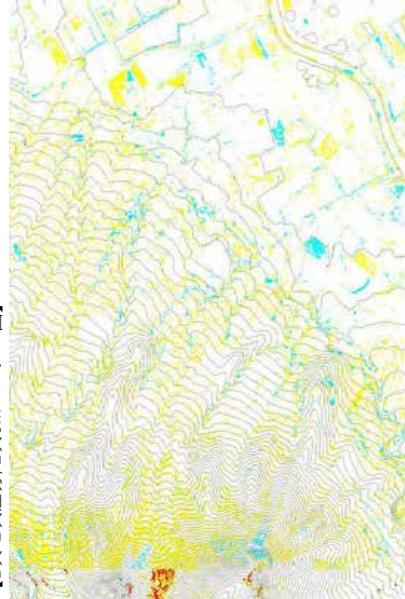
[1次-2次差分/1次5mヨンターツ]



【2次オルソ】

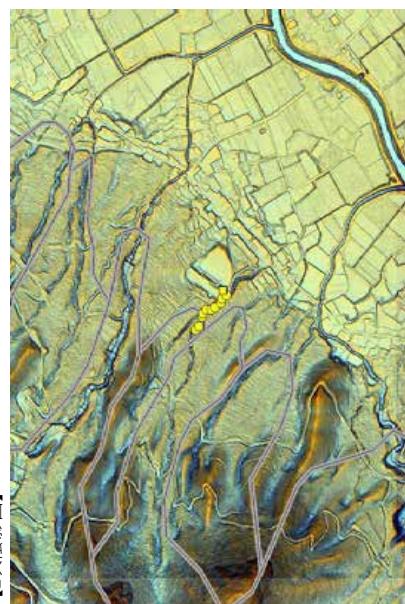
【2次陰影】

【1次-2次改善分/2次5mヨンターノ】

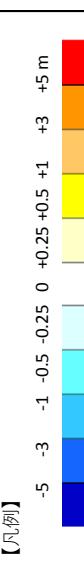


【所見】

西部で植生の繁茂によると思われる高まりが見られる。

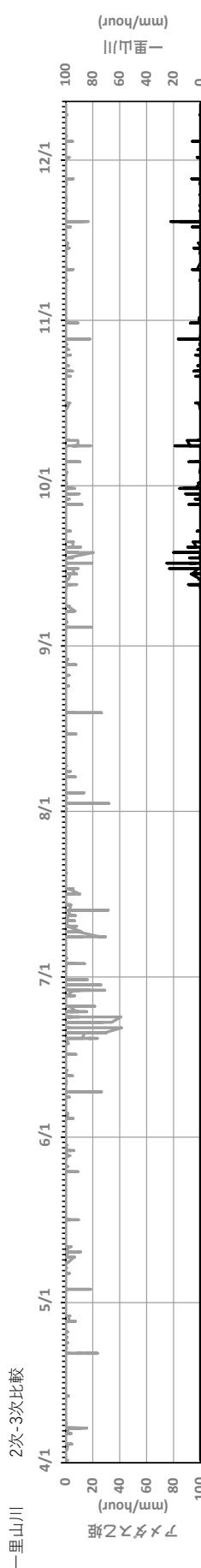


【凡例】

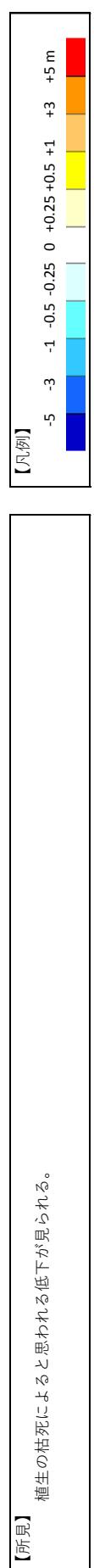
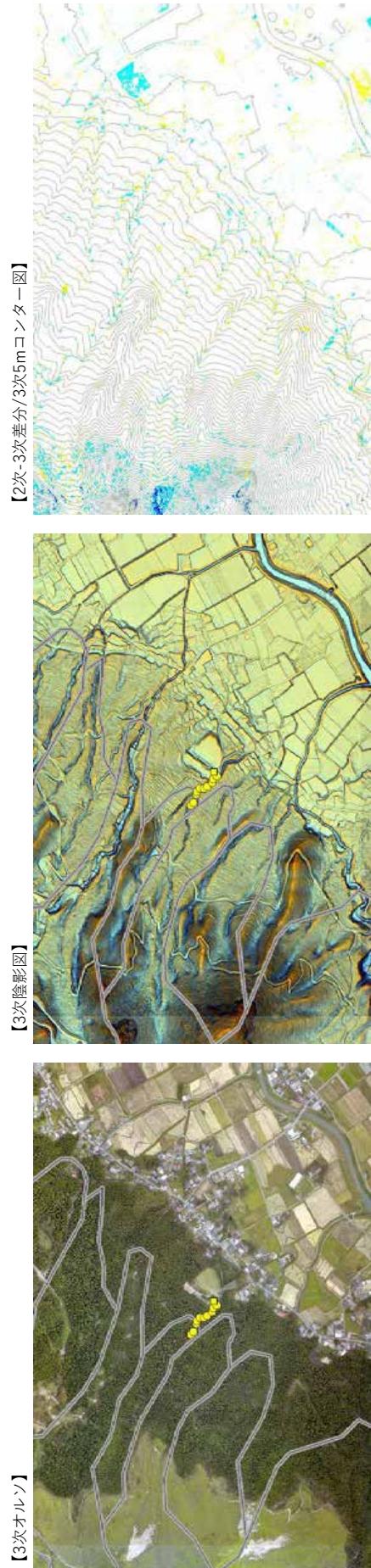
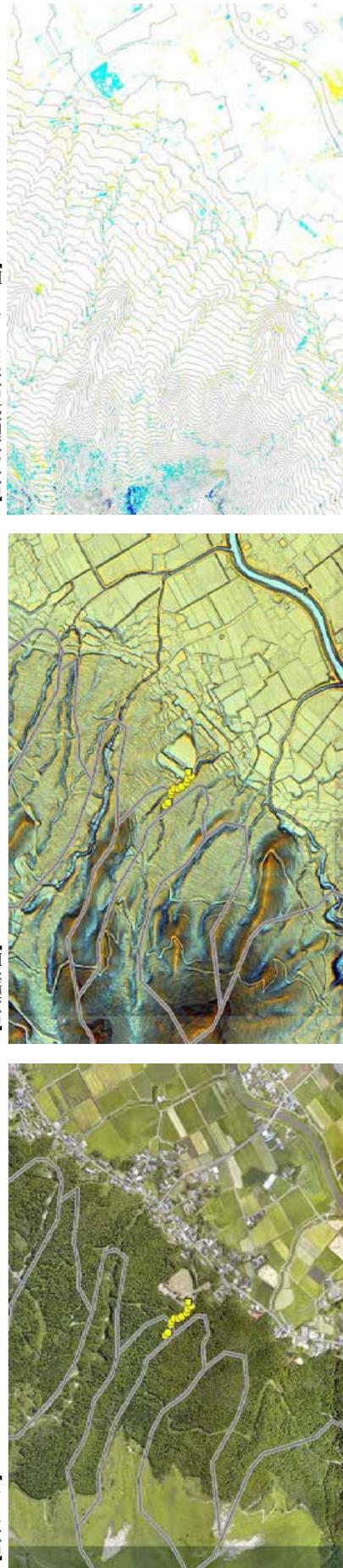


NIPPON KOEI

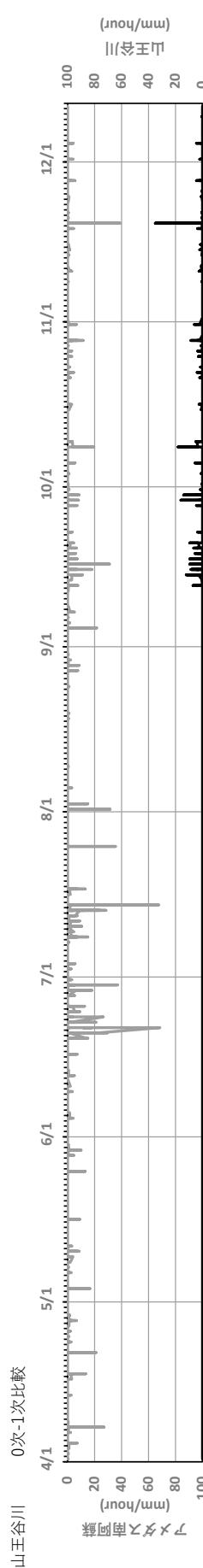
熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか



【所見】 植生の枯死によると思われる低下が見られる。



NIPPON KOEI



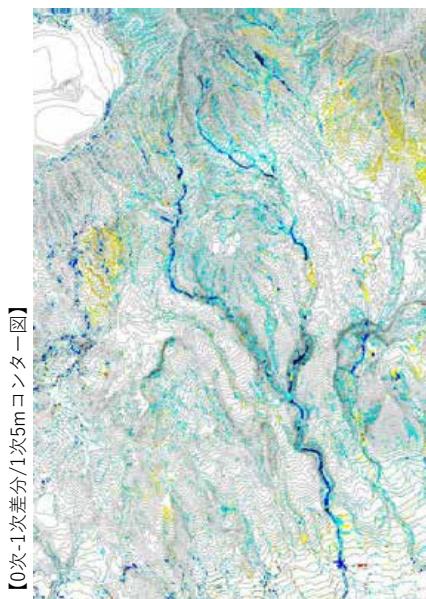
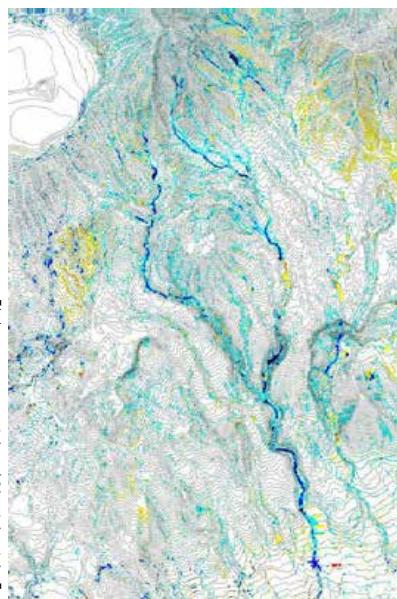
【0次オルソ】

【0次オルソ】

【0次陰影図】

【1次陰影図】

【0次-1次センター】



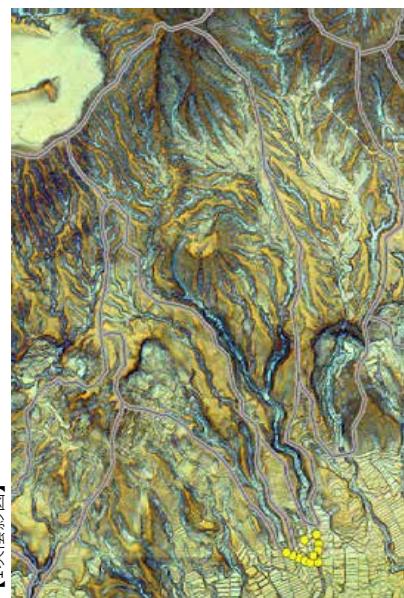
【0次-1次センター】

【0次-1次センター】

【1次陰影図】

【1次オルソ】

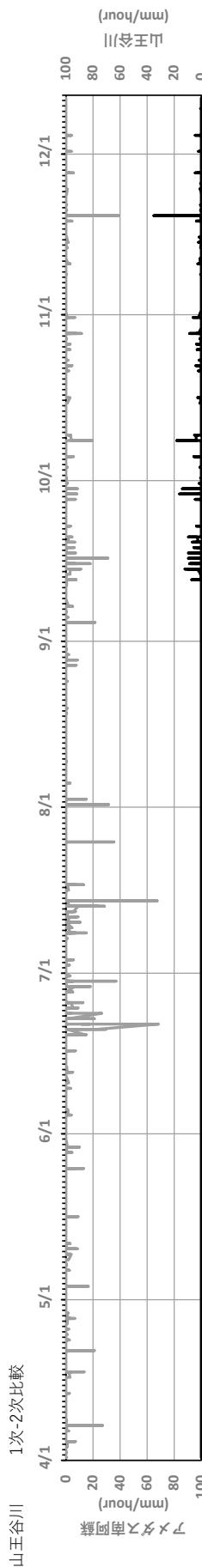
【1次オルソ】



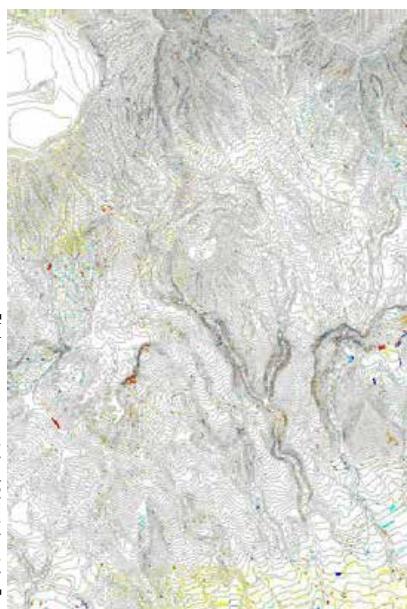
【所見】草千里ヶ浜の南部、烏帽子岳を源流とする流域、北西部で接する流域が合流するところにセンサーが配置されている。地震では流域内の噴火口と烏帽子岳が全方向に崩壊を起こし、流域内の半分程度が崩壊地となつた。豪雨では崩壊地が一面に広がつたこともあり、土石流が人里まで流下して流路の崩壊や田畠の埋積を招くなど大きな被害をもたらした。

【凡例】

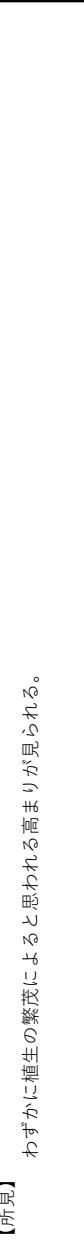
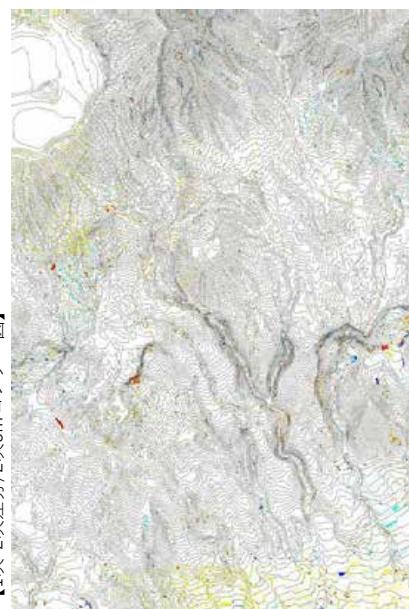
-5	-3	-1	-0.5	-0.25	0	+0.25	+0.5	+1	+3	+5m
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■



【1次-2次差分/1次5mセンター図】



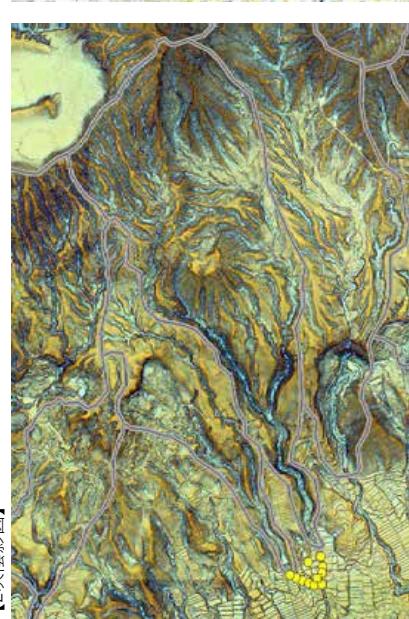
【1次-2次差分/2次5mセンター図】



【2次オルソ】

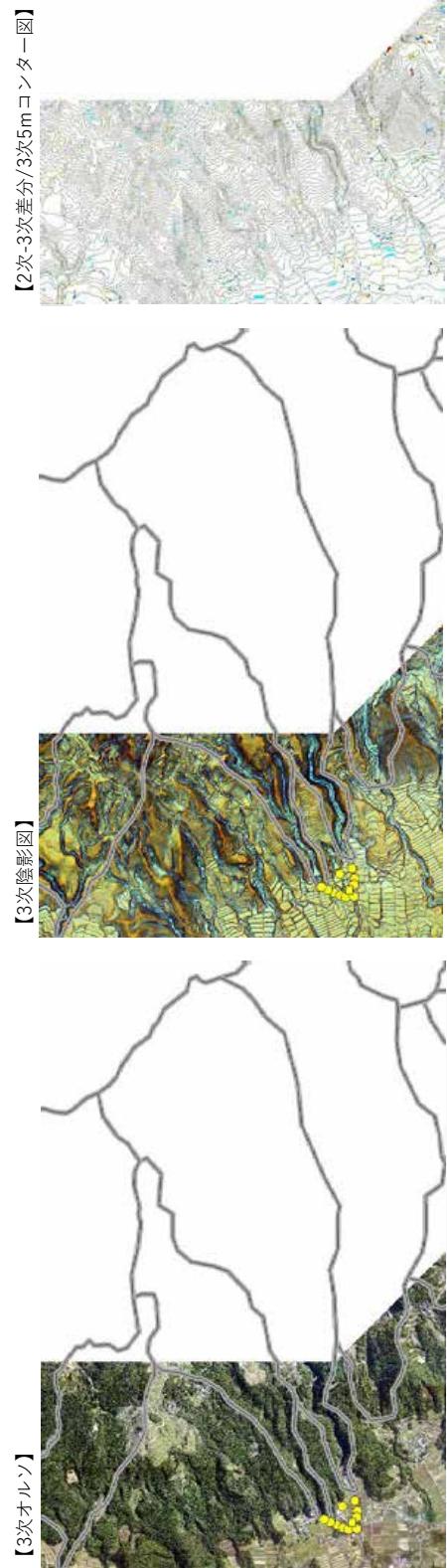
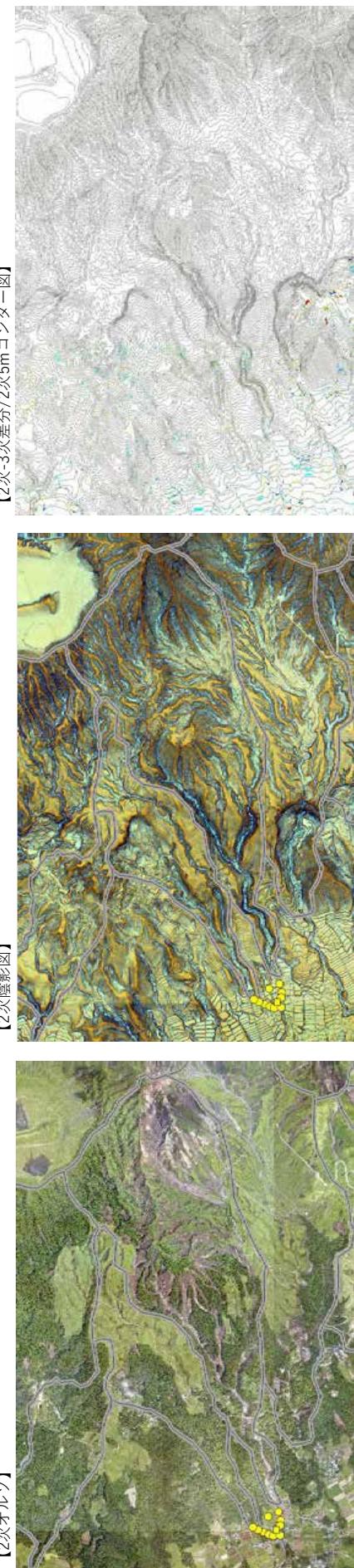
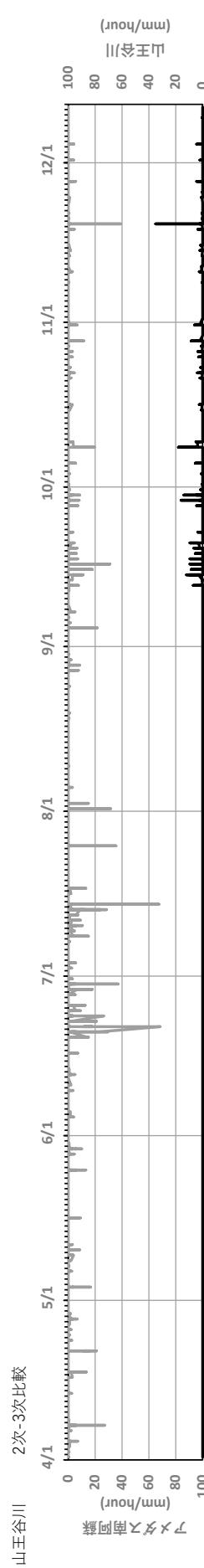


【2次陰影図】



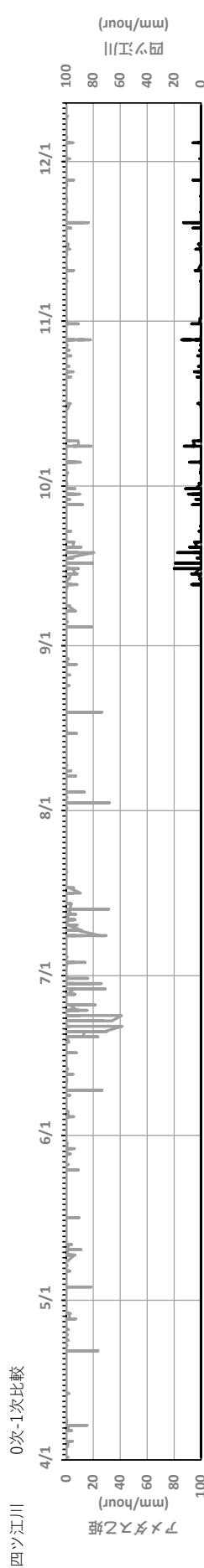
【所見】

わずかに植生の繁茂によるとと思われる高まりが見られる。



【所見】 わずかに植生の枯死によるとと思われる低下が見られる。

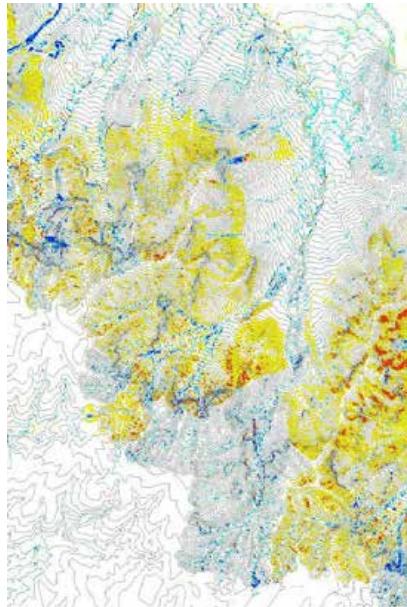
熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか



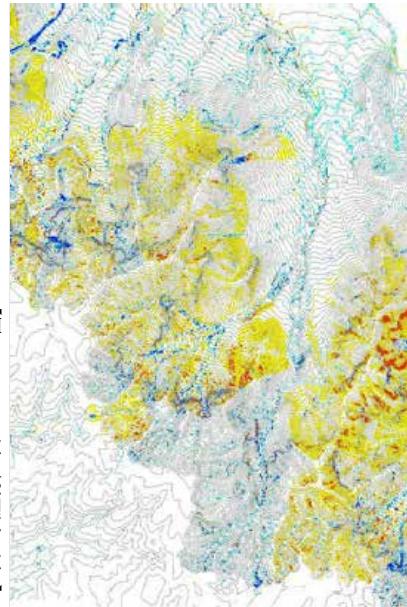
【0次-1次差分/0次5mコンターライン】

[0次陰影圖]

【0次オルソ】

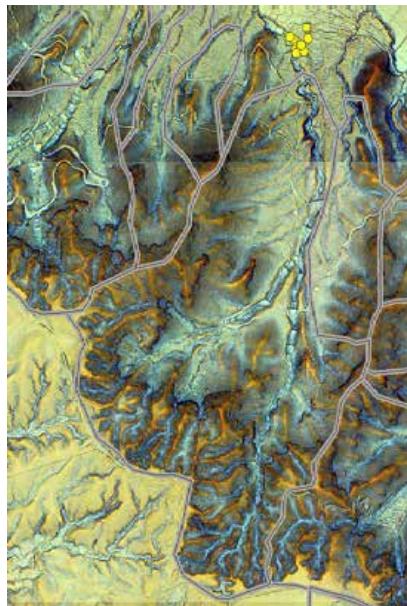


【0次-1次差分/1次5mコンターノ】



【1次陰影図】

【1次オルソ】

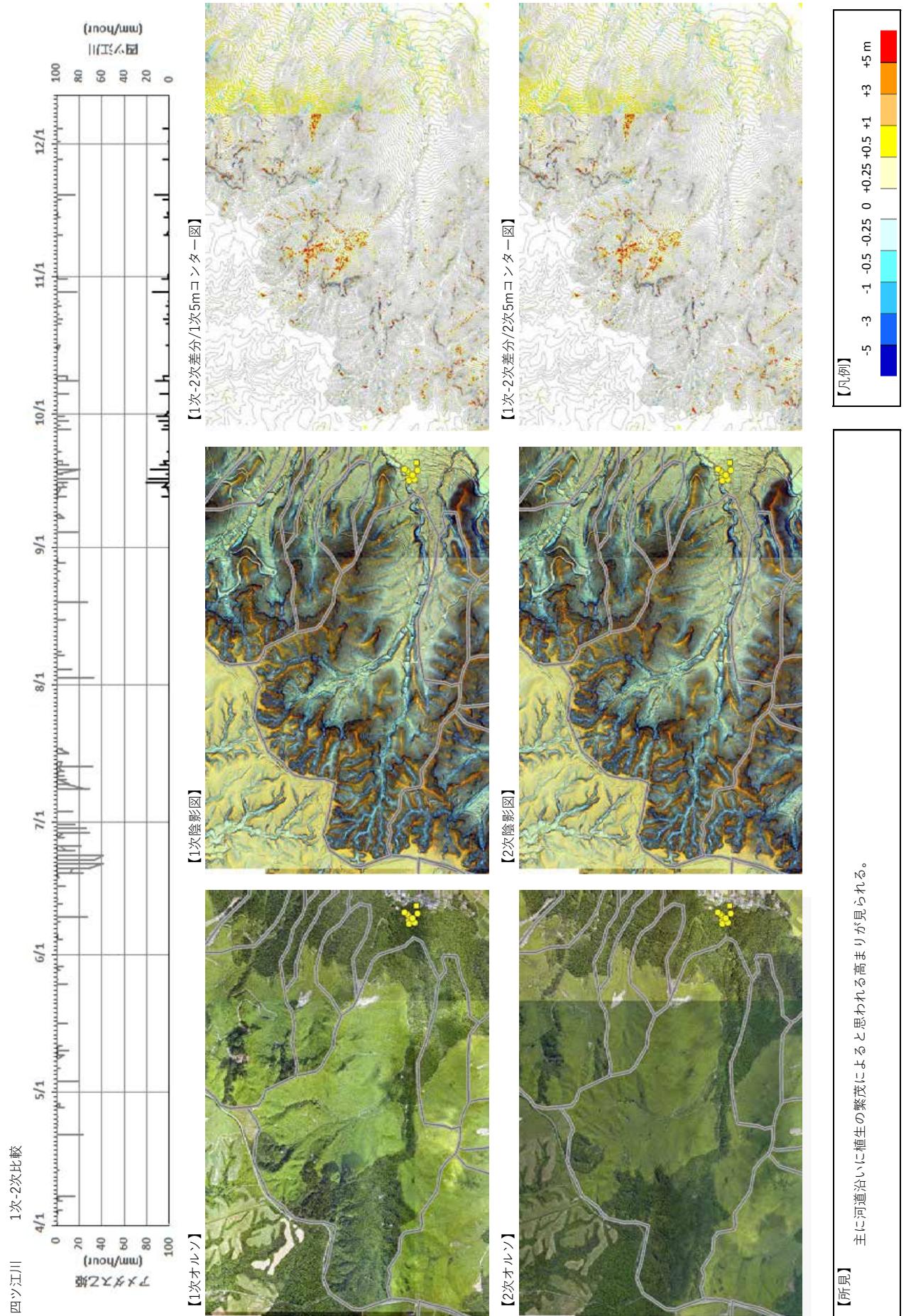


A topographic map of a mountainous region, likely the Colorado Rockies, showing a network of rivers and streams. The terrain is rugged with deep valleys and high peaks. A yellow star-shaped marker is placed near the confluence of a small tributary on the left and a larger river flowing from the bottom right towards the top center. The map uses a color gradient to represent elevation, with blues and greens at lower elevations and yellows and oranges at higher elevations.

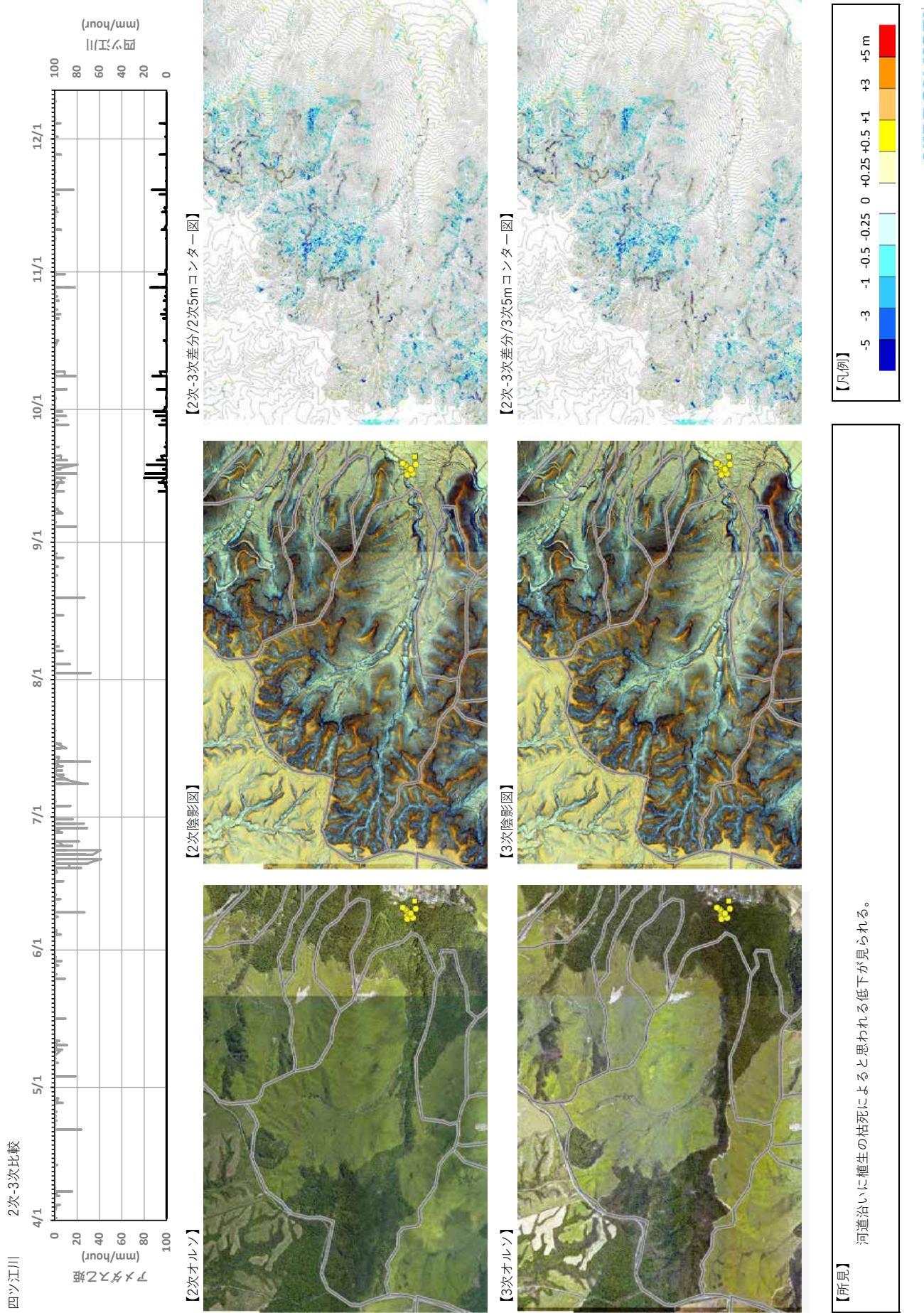
センサーの背後の流域は外輪山の棱線までを含み、外輪山に沿った流域中では最大級の流域面積のある流域である。他の流域は特徴的な上流部の草地位が見られず樹林に覆われている。今回の地震と豪雨では流域内に特筆すべき変化は生じなかつた。

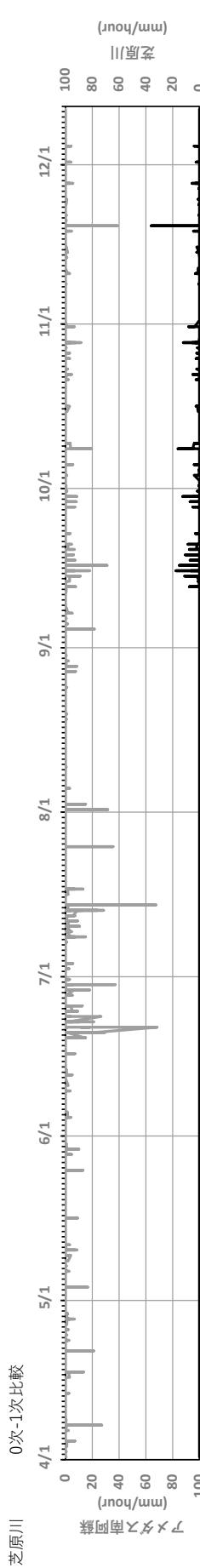
【所見】

NIPPON KOEI



熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか





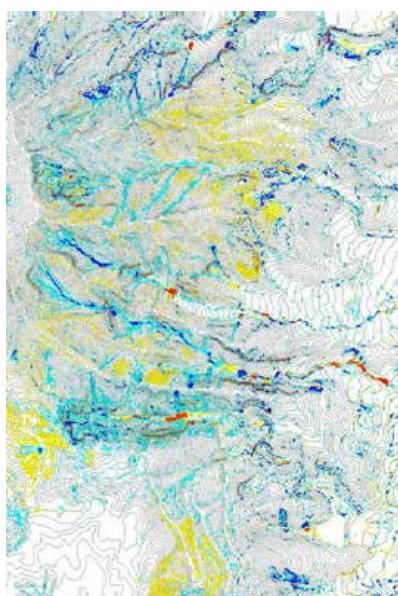
【0次オルソ】



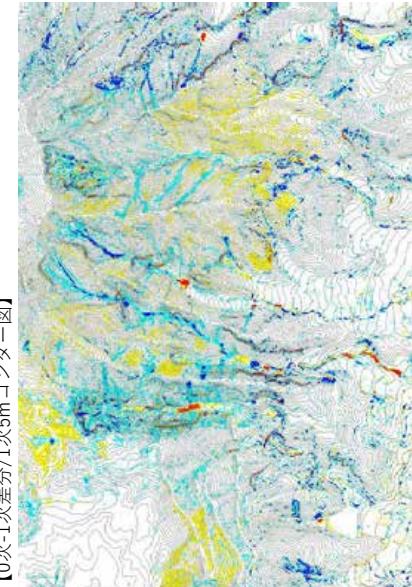
【0次オルソ】



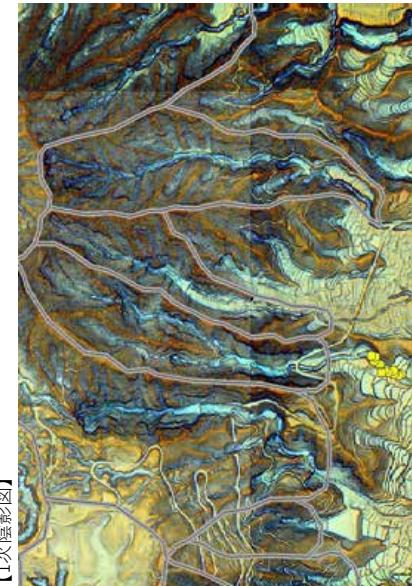
【0次陰影】



【0次5mセンター図】



【0次-1次差分/0次5mセンター図】

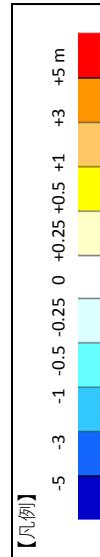


【1次陰影】

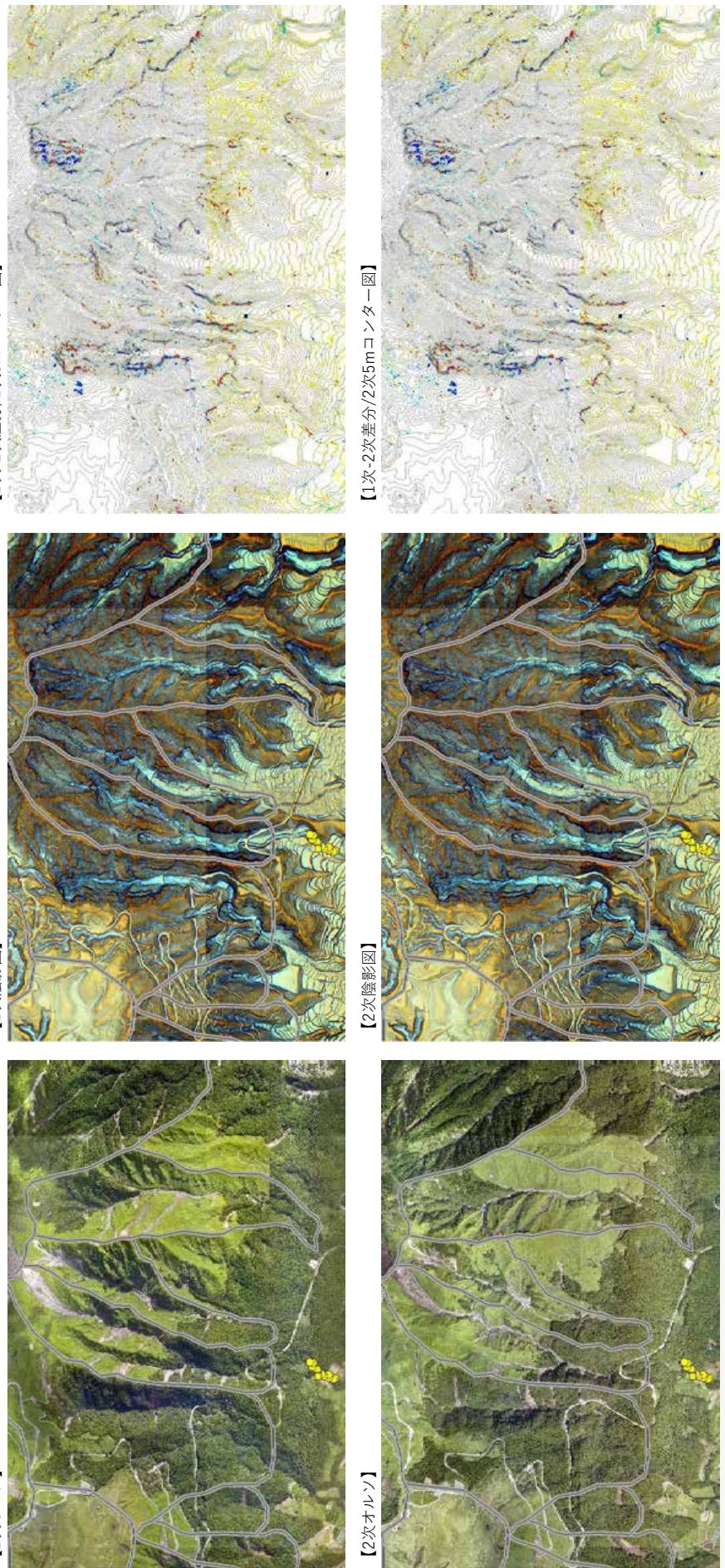
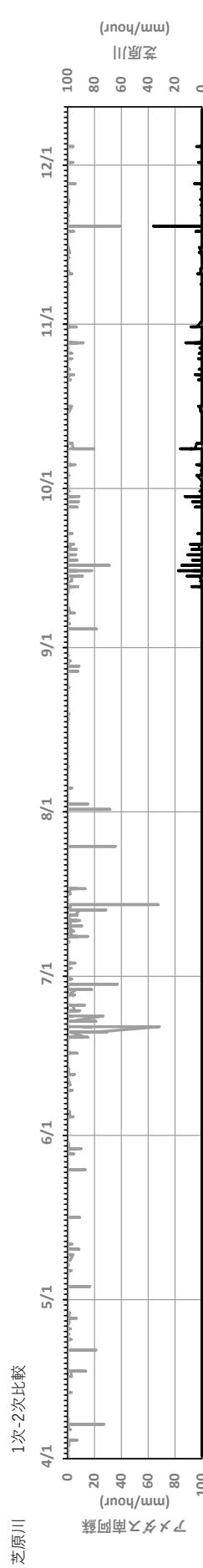


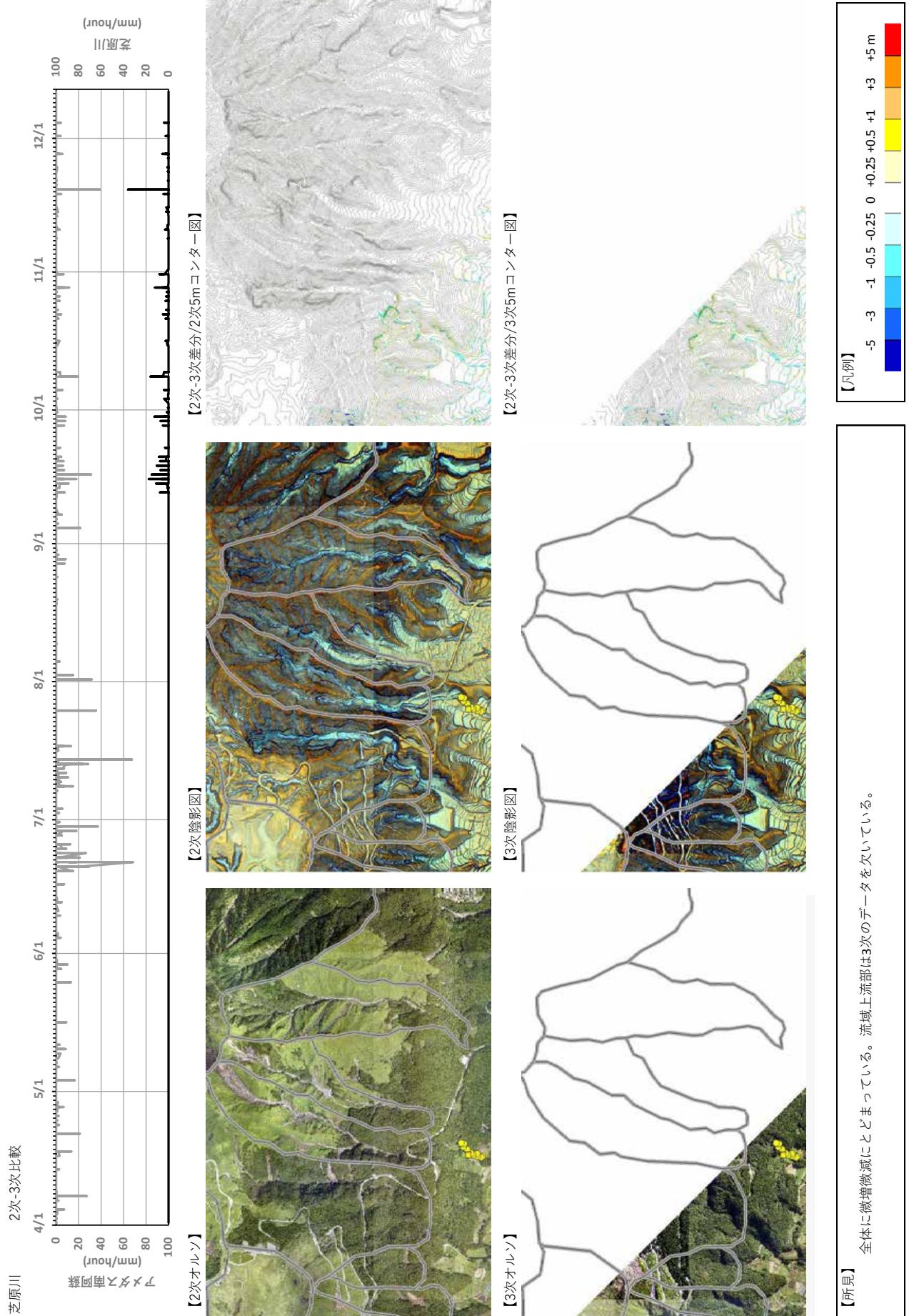
【1次オルソ】

【所見】センサー背後の流域は御竈門岳の南部を源流とし、比較的小規模な流域である。地震では最上流部からセンサーの下流部まで、流域全体で崩壊が多数発生した。豪雨により上流域では土石流の痕跡があるが、下流に被害をもたらすまでは至らなかつたと思われる。

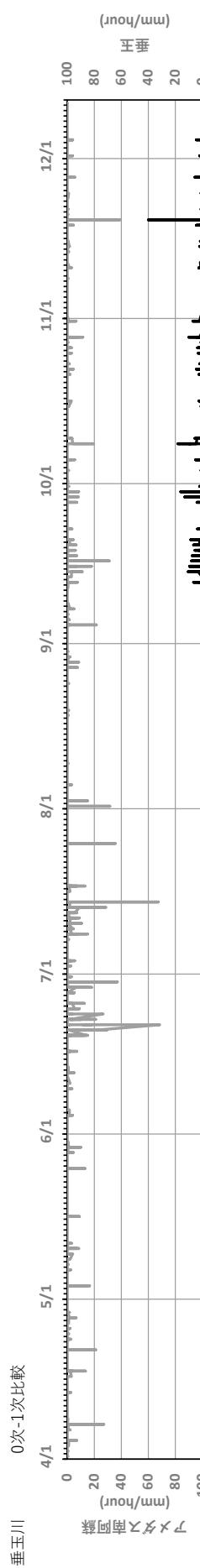


熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

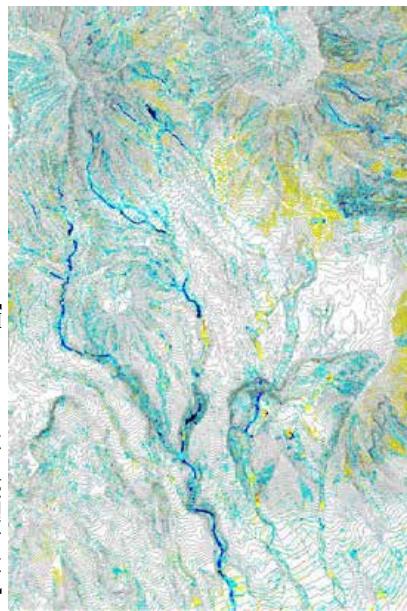




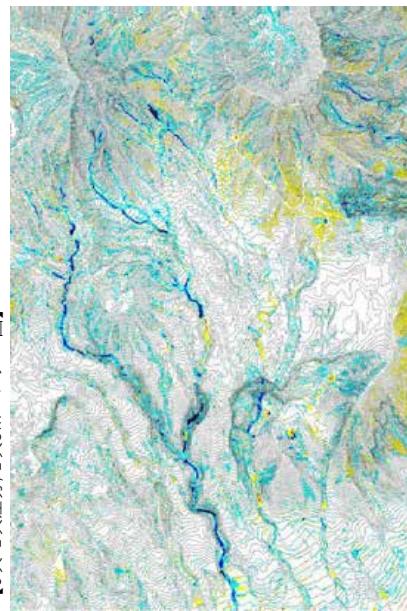
熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか



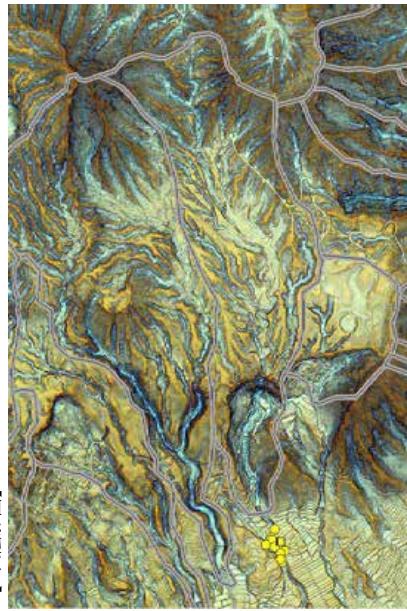
[0次陰影圖]



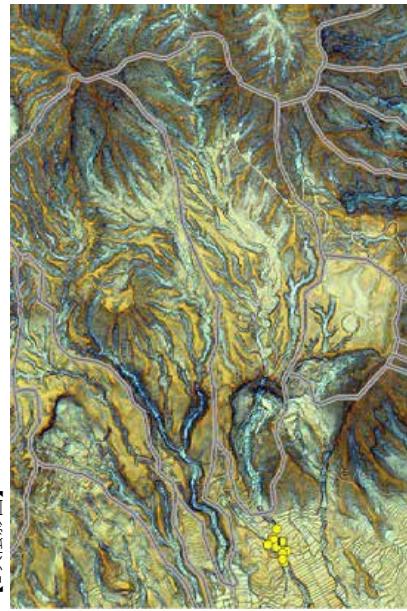
[0次-1次差分/0次5mヨンターノ]



【0次 1次 美分/1次 フレンチ】



【1次陰影】



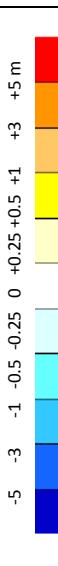
111



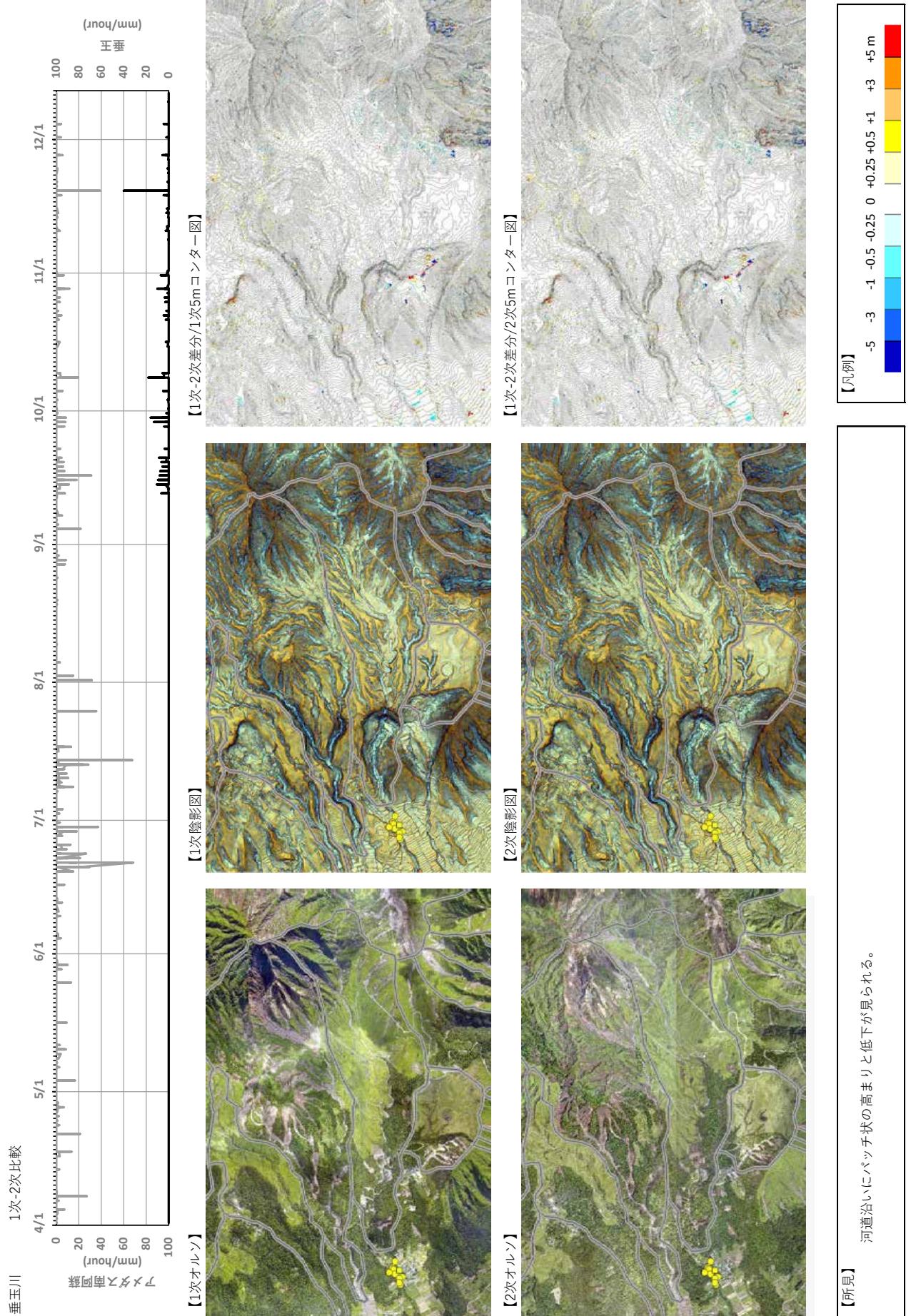
An aerial photograph of a mountainous landscape, likely a valley, showing green forests and rocky terrain. A yellow flower icon is placed in the bottom right corner, indicating the location of the study area.

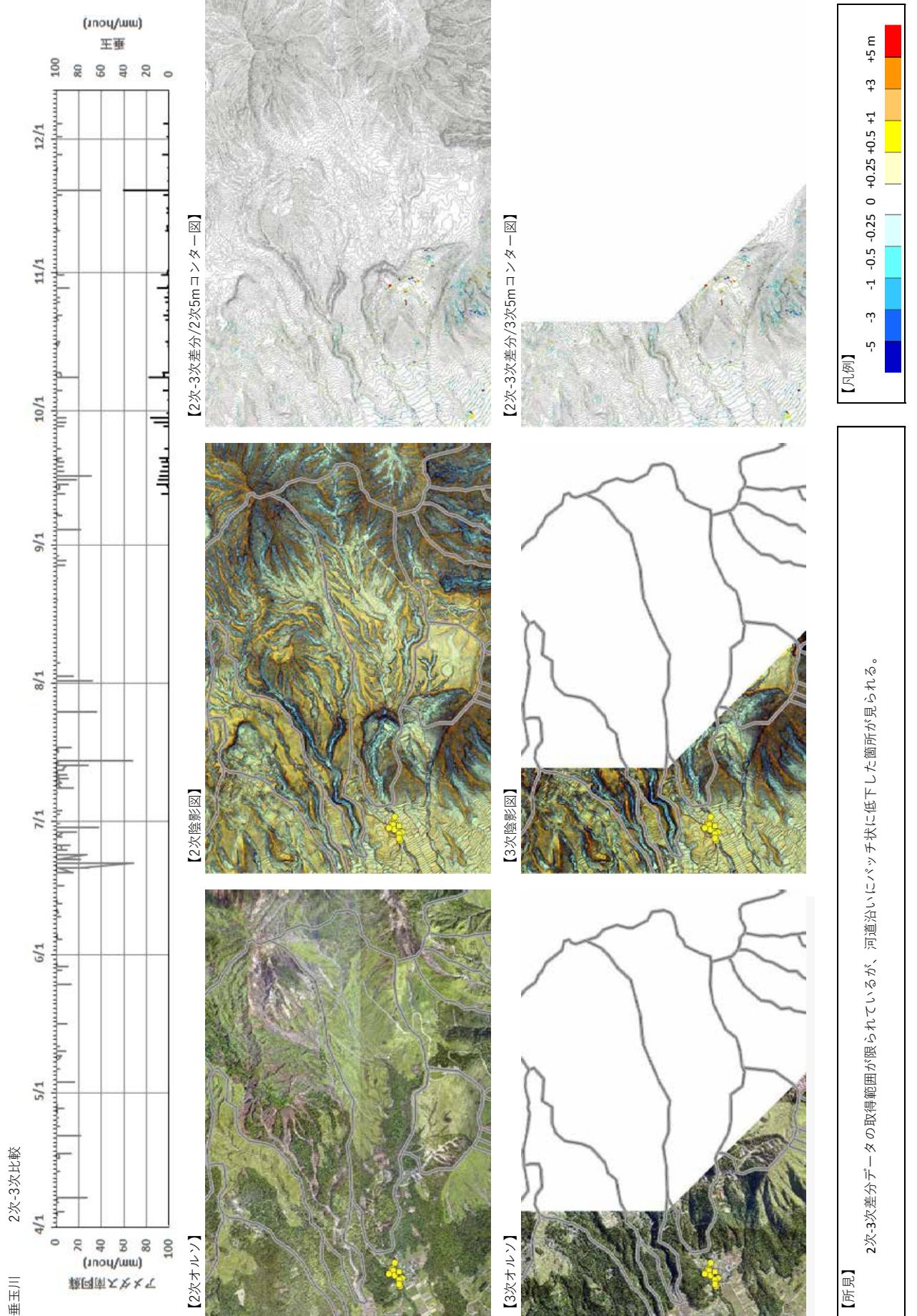
センサーの背後の流域は鳥帽子岳と御竈門岳を源流とする流域で、山王谷川の南で接する。地震では鳥帽子岳と御竈門岳の山頂部で崩壊が発生し、豪雨では崩壊地が拡大するような形で影響があつたものの、大規模な土石流の発生には至らなかつたと思われる。

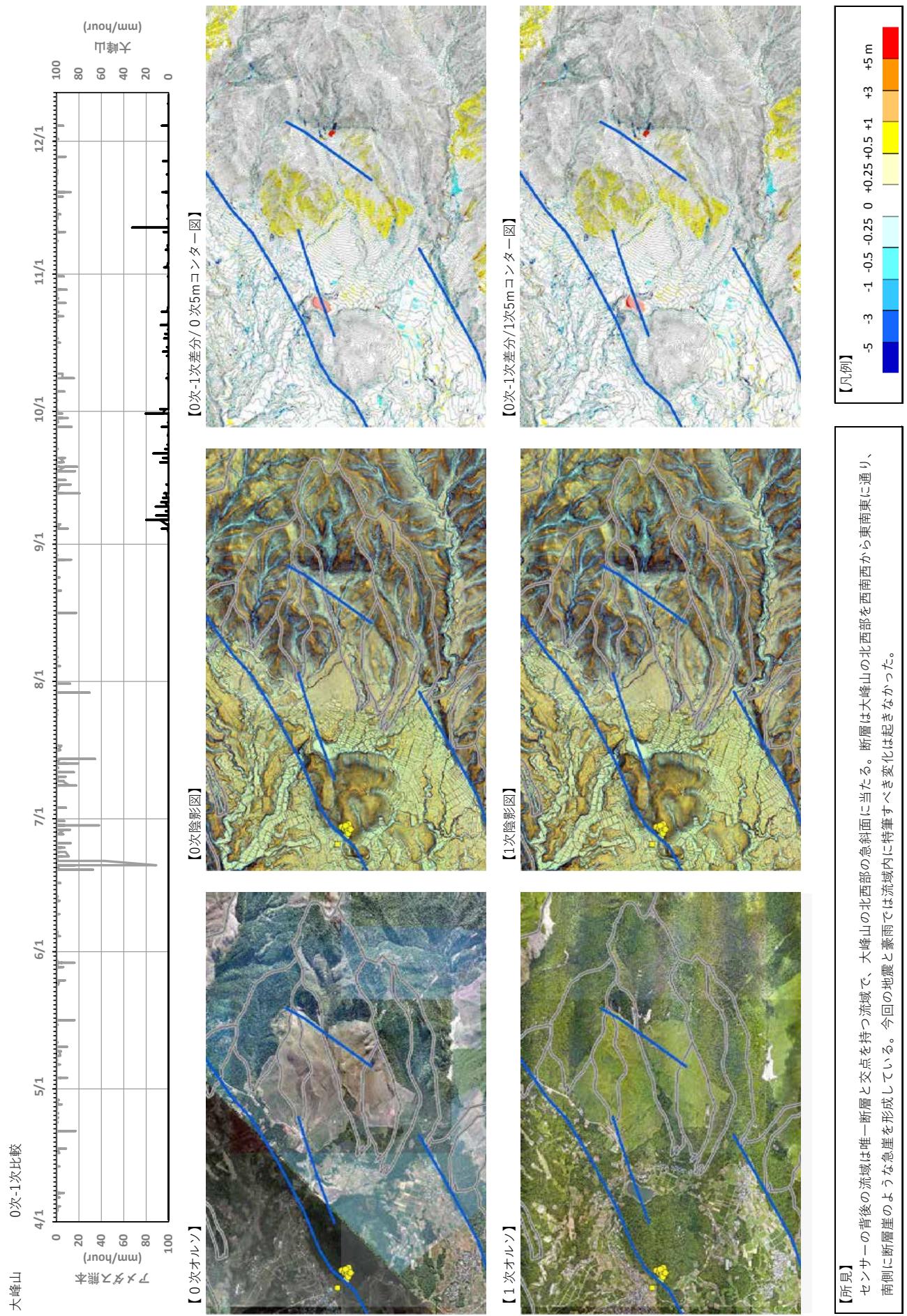
【例】

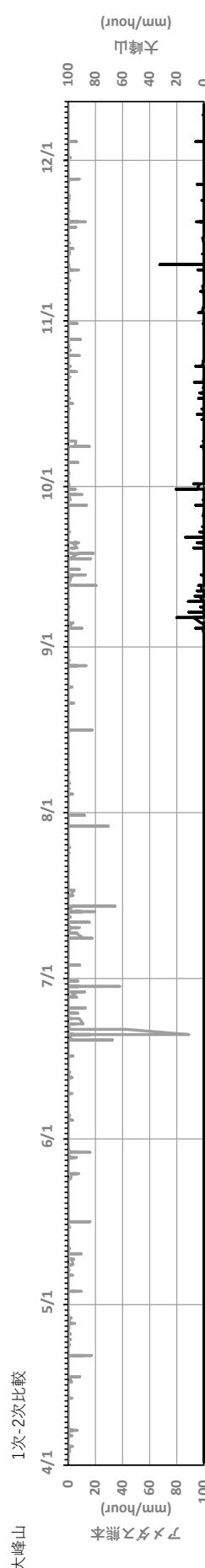


NISSAN KOEI

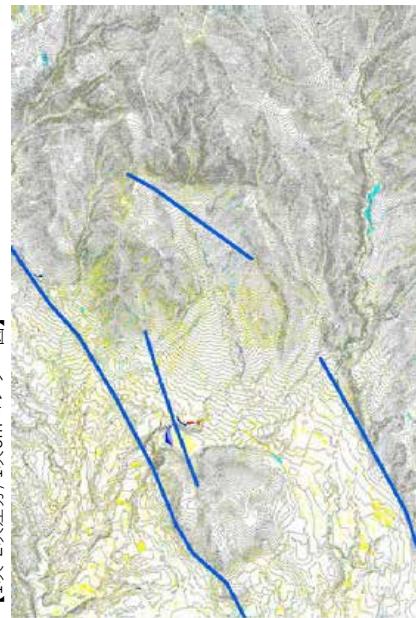




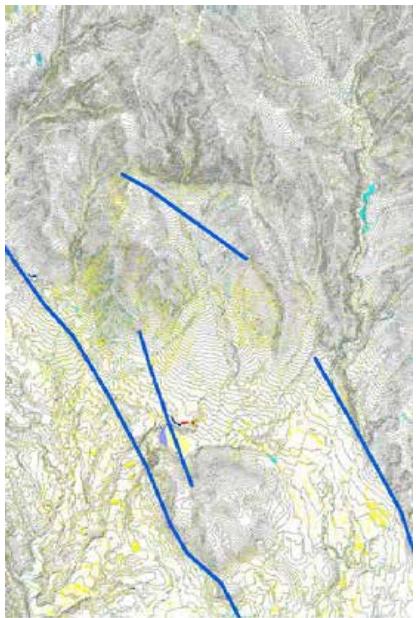




【1次オルソ】



【1次-2次差分/2次5mセンター図】



【所見】

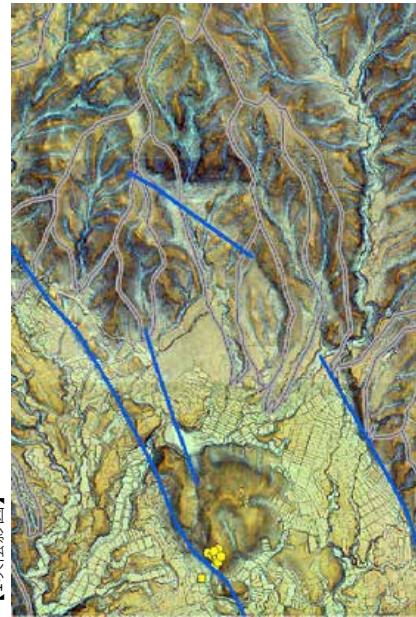
田畑を中心とした高まりが見られる。

【凡例】

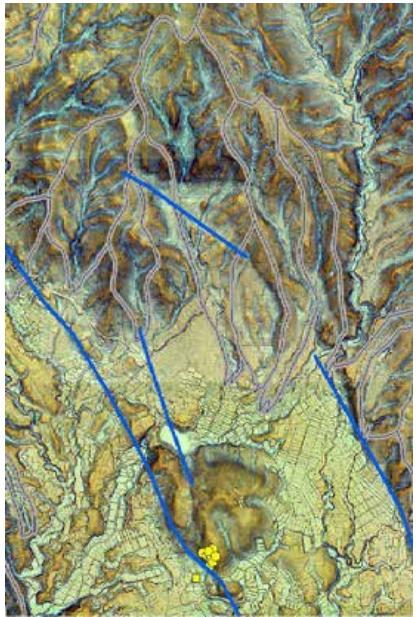


NIPPON KOEI

【1次陰影図】

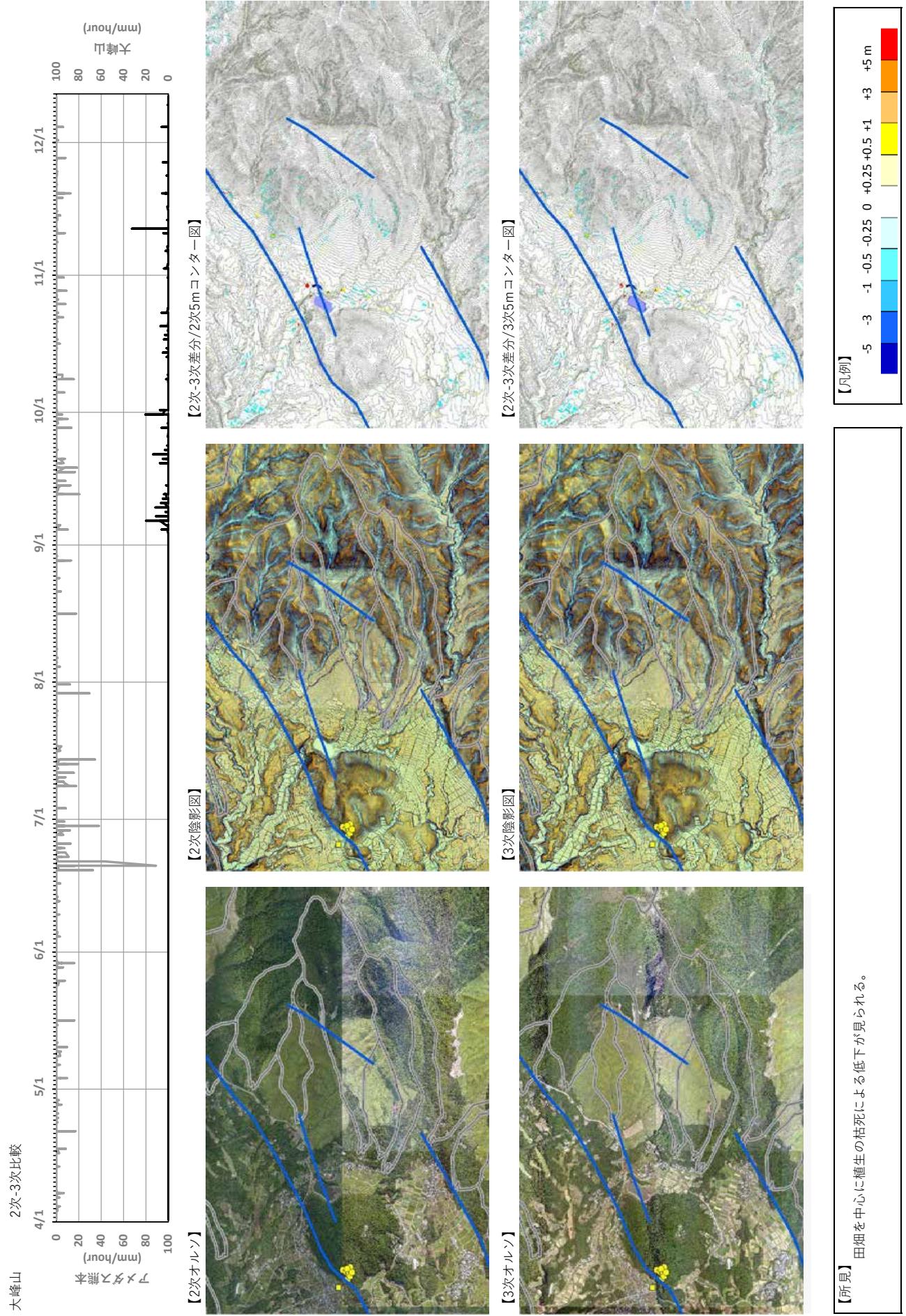


【2次陰影図】

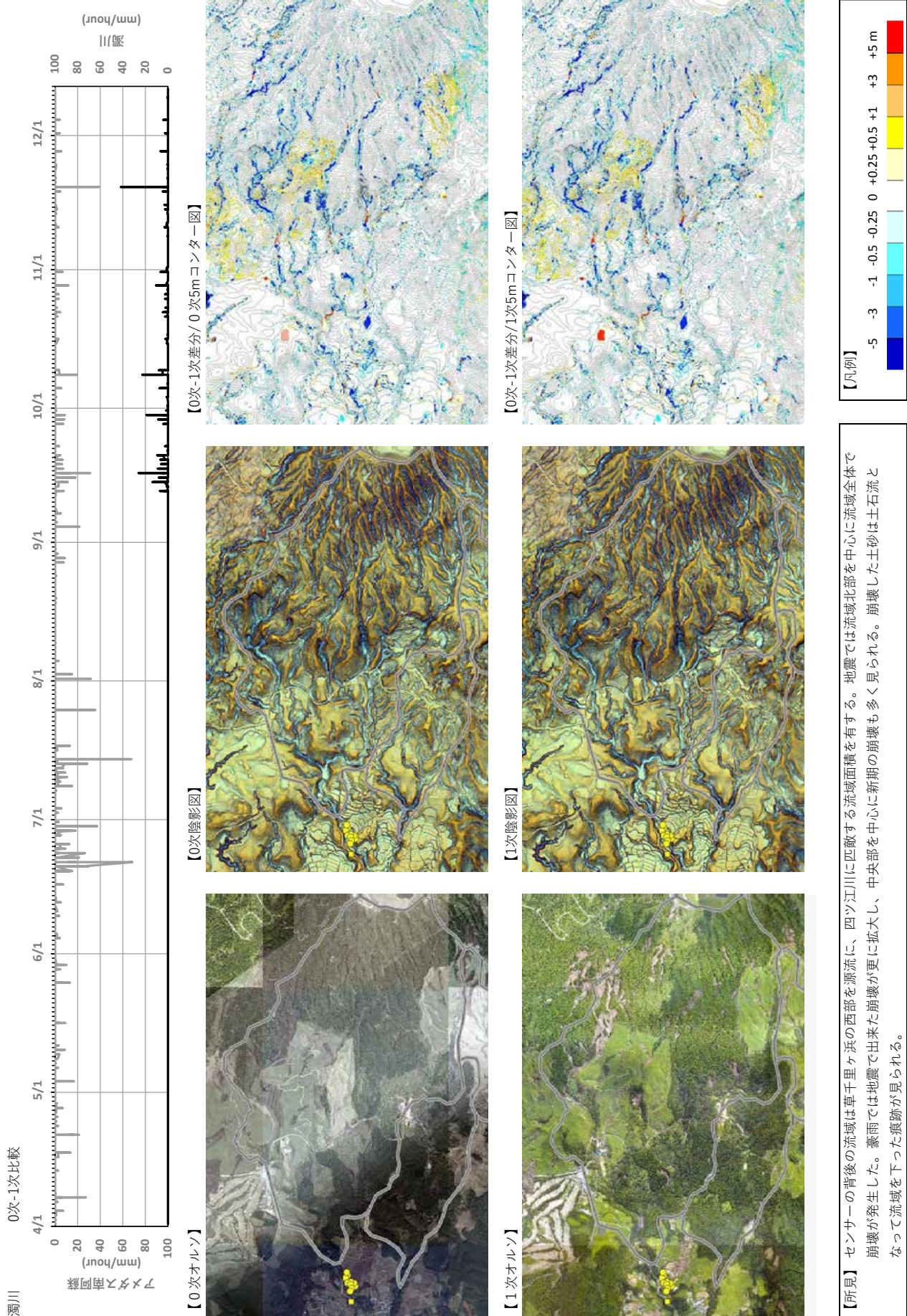


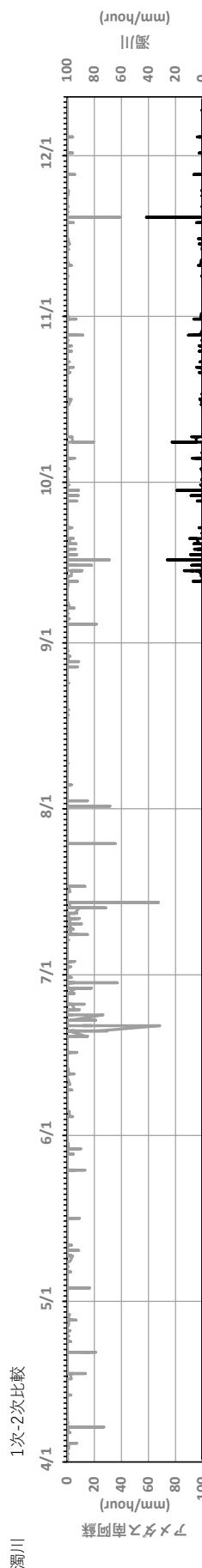
【2次オルソ】



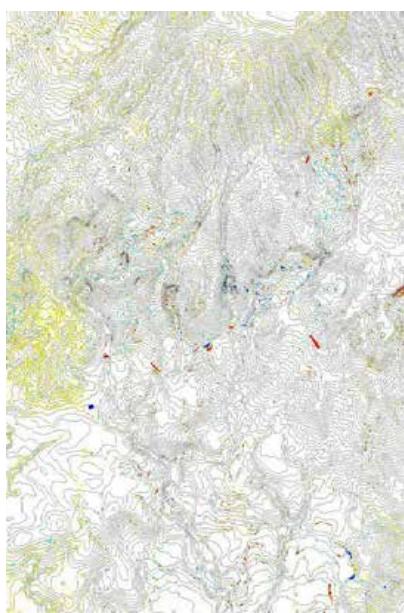


熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

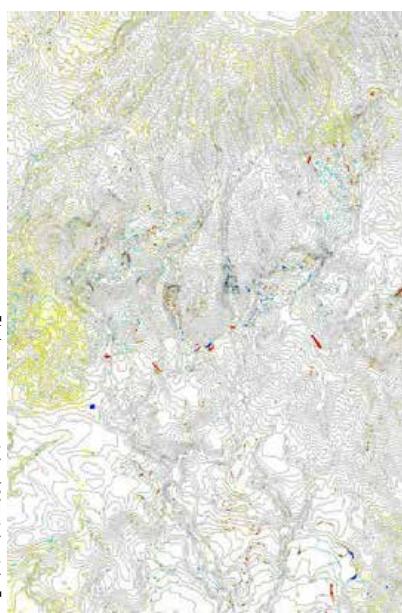




【1次陰影図】



【2次陰影図】



【所見】 北部で植生の繁茂によると思われる高まりが見られる。それ以外、変化は乏しい。

【凡例】

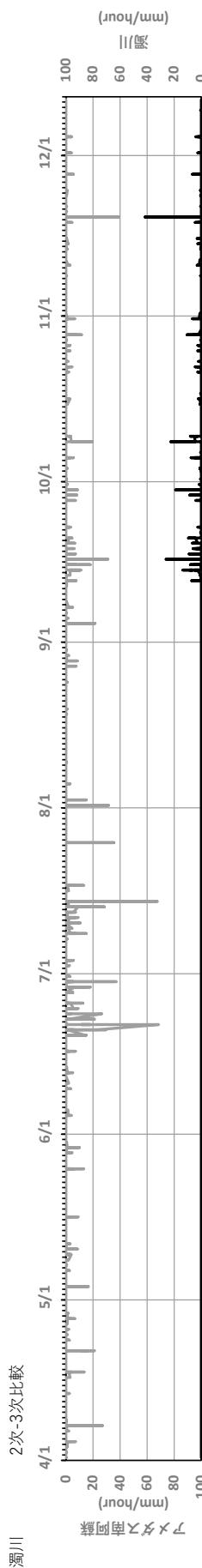
-5	-3	-1	-0.5	-0.25	0	+0.25	+1	+3	+5m
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

【1次オルソ】



【2次オルソ】

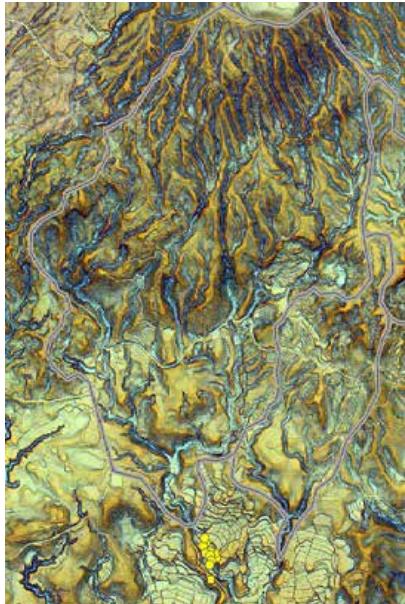




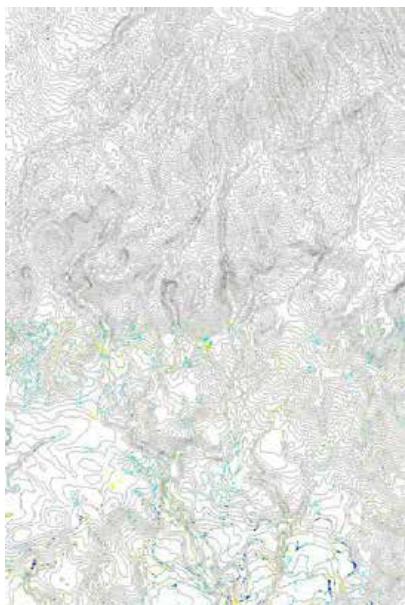
【2次オルソ】



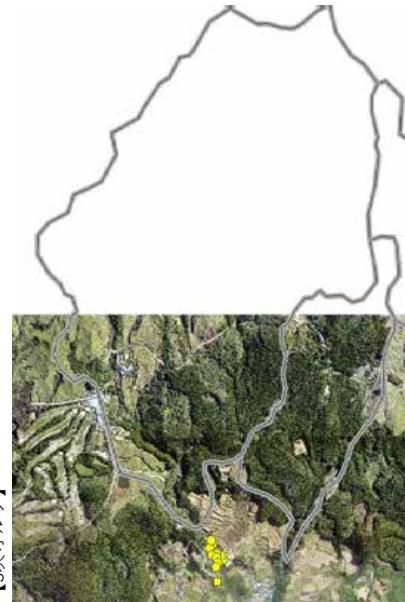
【2次陰影】



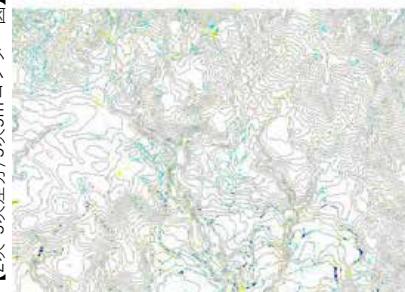
【2次-3次差分/2次5mセンター図】



【3次オルソ】



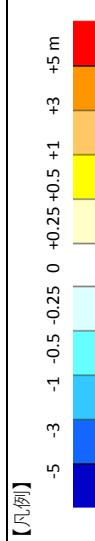
【3次陰影】

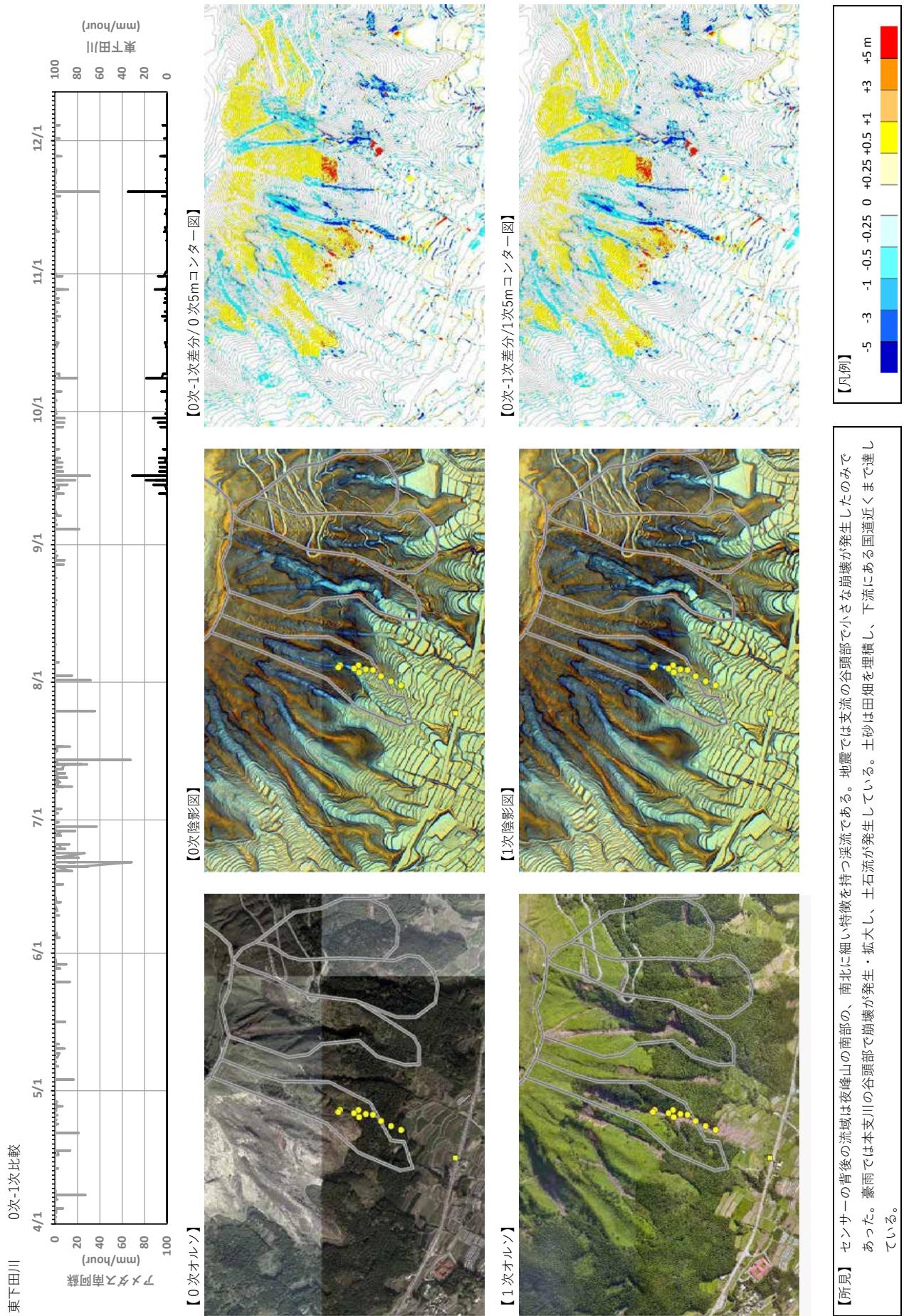


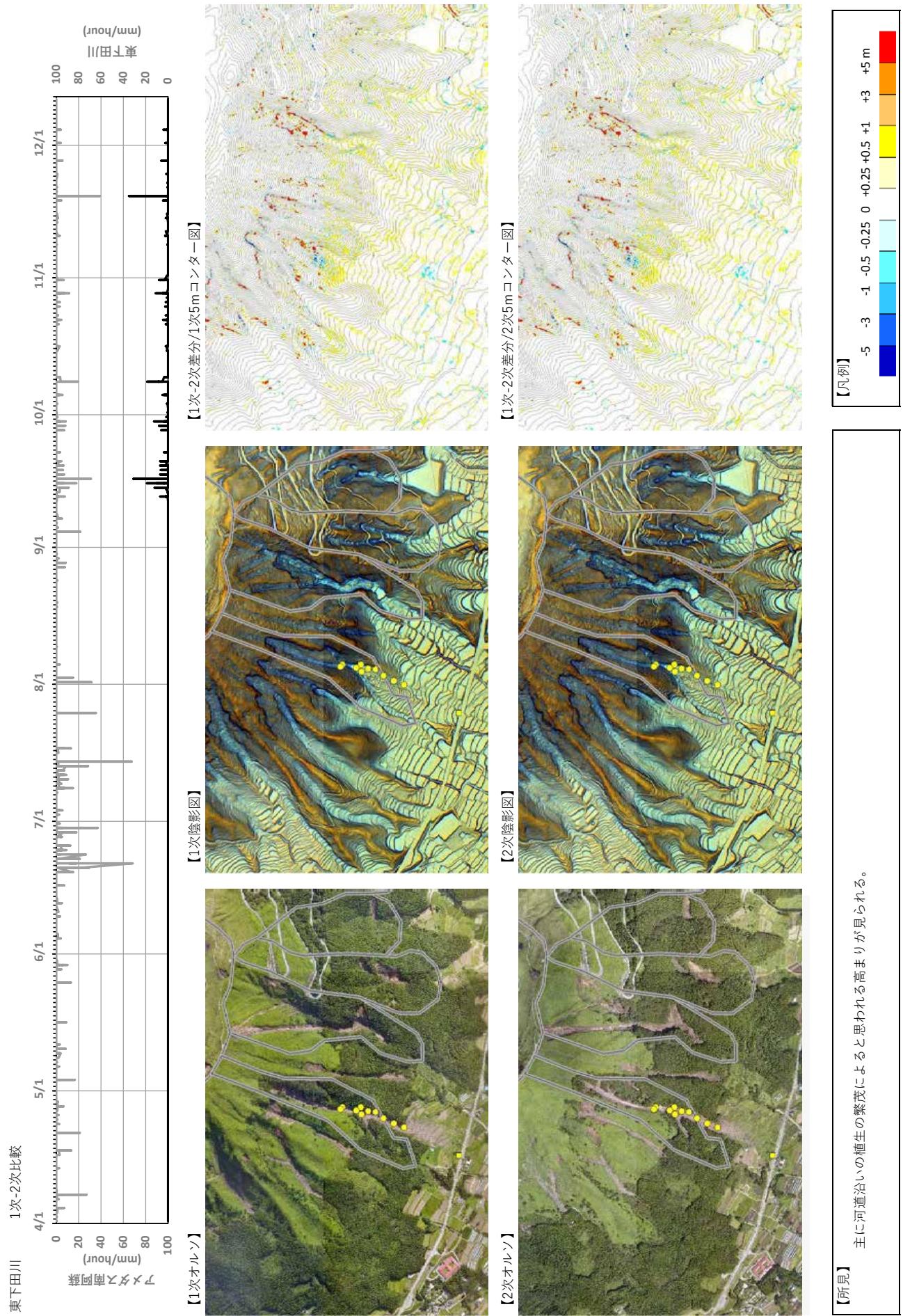
【2次-3次差分/3次5mセンター図】

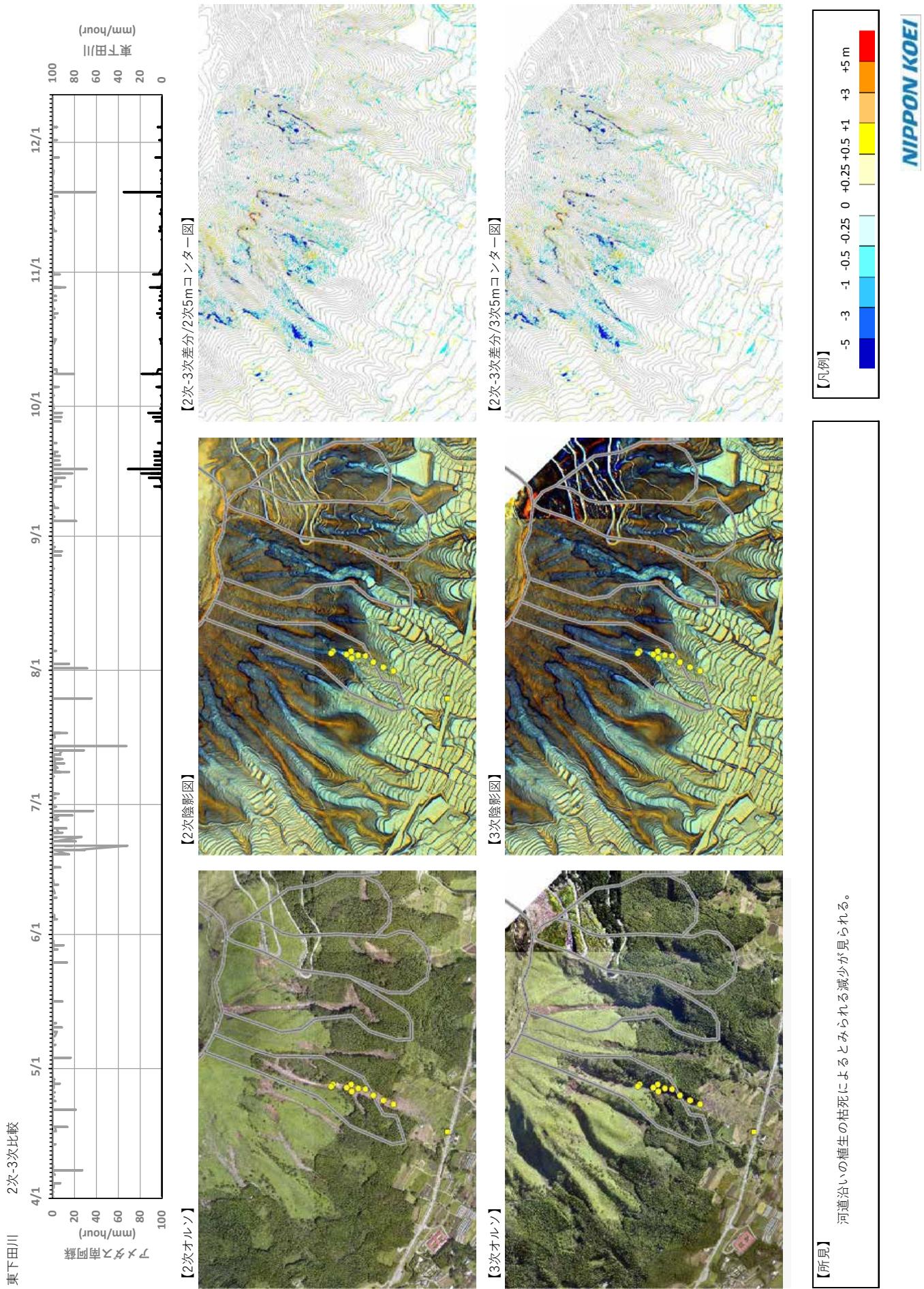
【所見】 河道沿いに微増微減が見られる。

【例】 -5 -3 -1 -0.5 0 +0.25 +0.5 +1 +3 +5m

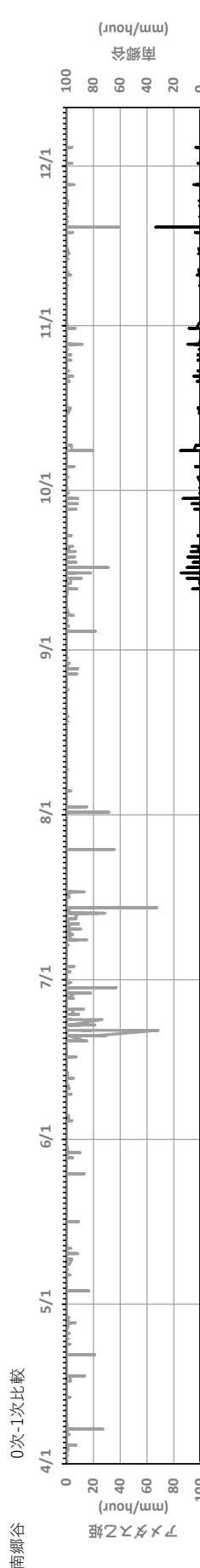




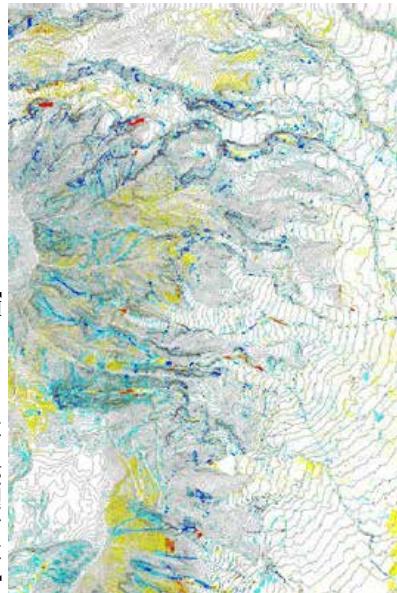




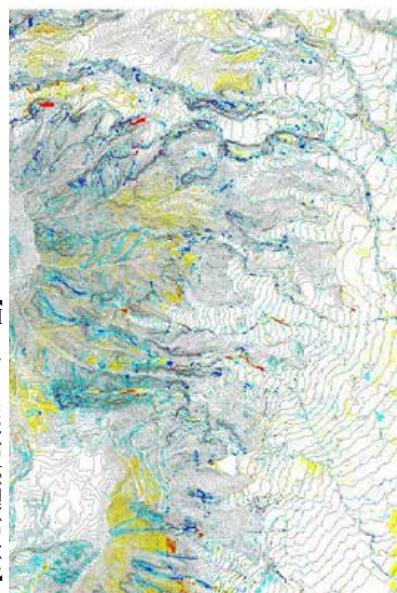
熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか



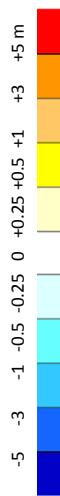
【0次-1次5mセンター図】



【0次-1次5mセンター図】



【凡例】



NIPPON KOEI

【0次影影】



【1次影影】



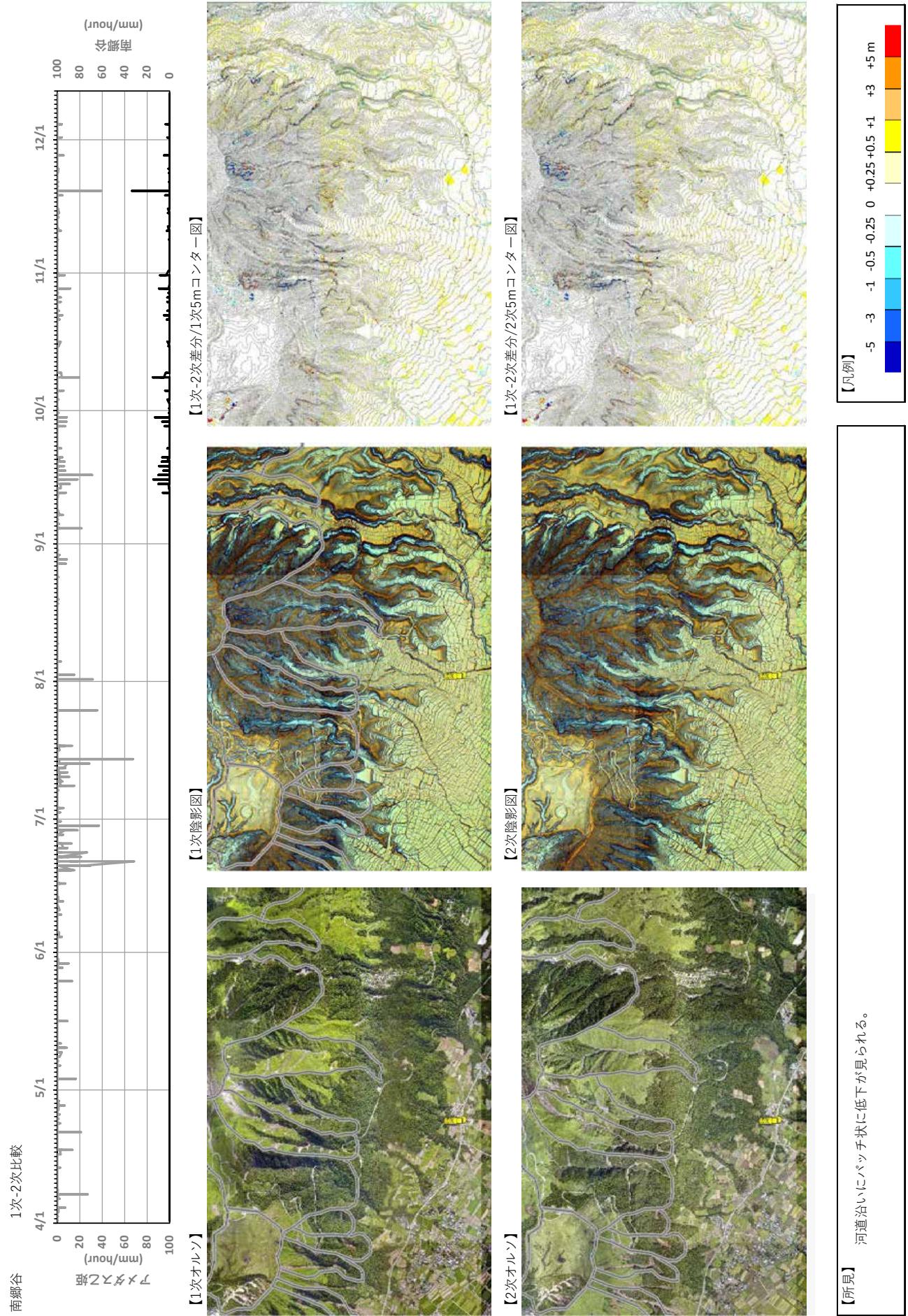
【1次オルソ】

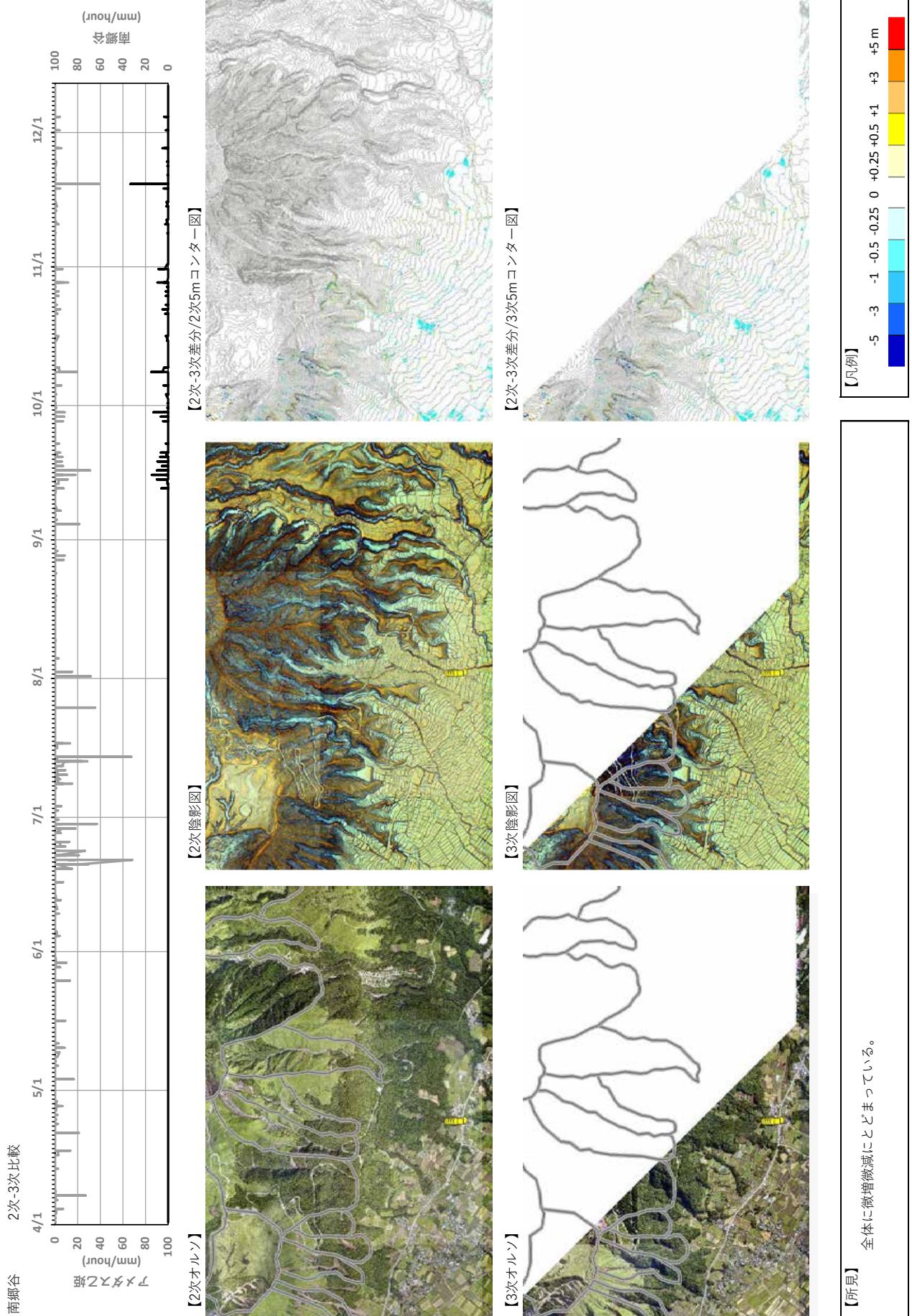


【1次オルソ】



【所見】 センサーの背後の流域は御電門岳の南部を源流とし、水口川に隣接する比較的小規模な流域である。地震では水口川ほどの数ではないが流域全体で崩壊が発生した。豪雨では最上流部の再崩壊など影響はあったが、被害をもたらすには至らなかつたと考えられる。





4. 地盤調査

4.1. 既存資料の収集

本業務では、熊本地震に起因した土砂災害をキーワードとして、地形、地質および過去の土砂災害履歴を中心に既存資料の収集整理を行った。

4.1.1 土砂災害履歴

土砂災害が発生した斜面の周辺は、過去にも土砂災害が発生している場合がある。土砂災害発生機構を考察する上で、過去の災害履歴を把握することは重要である。甚大な被害が発生した災害は、災害誌等に一括して取りまとめられていることが多い。しかし、その地域で個々に発生した災害は、村誌や文献に個別の記載されていることが多い。このため、災害履歴は、災害誌、村誌、論文等により調査を行った。

近年、阿蘇山周辺では、「平成24年7月九州北部豪雨（平成24年7月12日発生、4日間降水量816.5mm）」で甚大な被害を被った。下図は、航空写真判読による土砂移動痕跡の分布状況を示したものである。なお、平成24年7月九州北部豪雨では、外輪部北東部においてはほとんどの溪流で崩壊や土石流が発生したこと、外輪部西部の阿蘇市三久保地区周辺地域および南阿蘇村立野地区周辺地域においても崩壊や土石流が発生したことが確認されている。

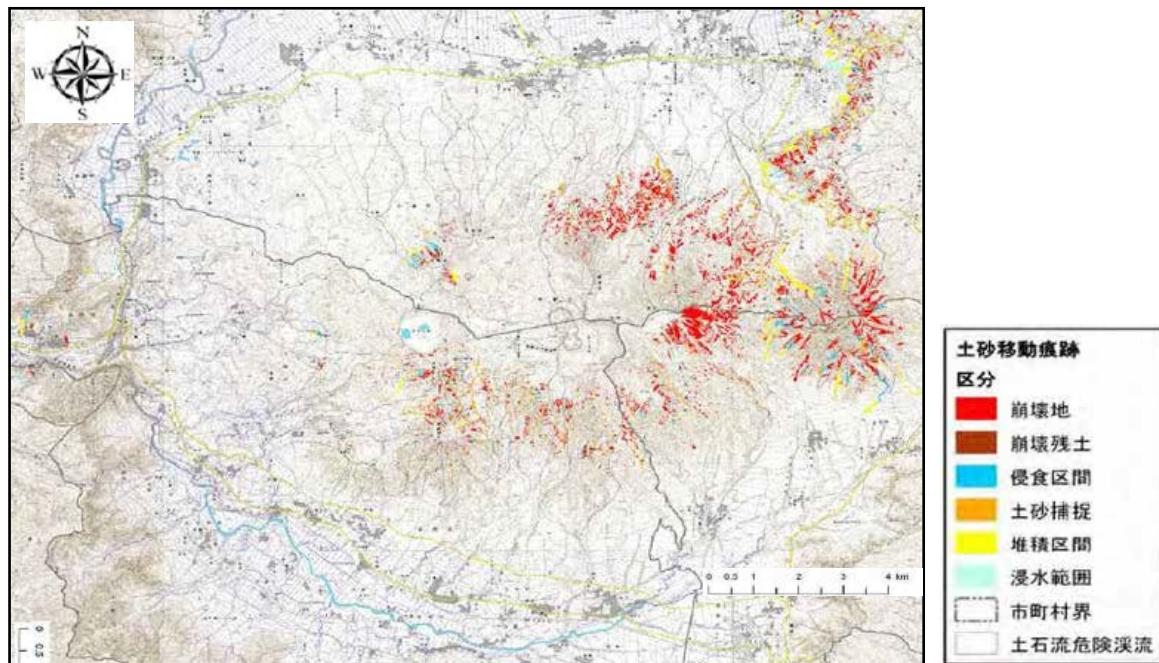


図4.1 九州北部豪雨土砂災害発生位置図

(阿蘇地域土砂災害対策検討委員会平成25年3月, pp27)

また、地震を起因とする（可能性のある）土砂災害履歴として以下のものが見つかった。

- 火山研究所の南東で、地すべりによって埋積されたと考えられる約2000年前の弥生時代の遺物が発見されたとする研究報告（プロットNo.06）。
- 明治27年8月に発生した阿蘇地震で、中央火口丘の夜峰山、鳥帽子岳等では、山崩れが発生したとの記録（プロットNo.18, 19, 20, 21）
- 昭和50年1月の群発地震で、南阿蘇鉄道の立野～戸下間でかけ崩れが発生し、交通不通となったとの記録（プロットNo.16）

表4.1 阿蘇周辺の土砂災害に関する文献収集リスト（1/2）

ファイルNo.	資料名	発行年月日	著者	発行者	備考
001	広報あそ 九州北部豪雨災害特別号	—	阿蘇市役所 情報課広報情報係	阿蘇市役所	http://www.city.aso.kumamoto.jp/pub_relatios/pr_2012/combined_number/
002	南阿蘇村地域防災計画(平成27年6月15日修正) 資料編 12災害記録	平成27年6月15日	南阿蘇村	南阿蘇村	http://www.vill.minamiaso.lg.jp/uploaded/life/104_14687_misc.pdf
003	広報南阿蘇 災害特集号 号外	—	南阿蘇村役場 企画観光課	南阿蘇村役場 企画観光課	http://www.vill.minamiaso.lg.jp/site/koho/kuuhouminamiasosaigettokusyu.html
004	広報たかもり No.636	平成24年8月5日	高森町役場 政策推進課	高森町役場	http://www.town.takamori.kumamoto.jp/oyaku/udachi/koho/update/43_52_ps1_CYG6DS6Z
005	熊本県地域防災計画(平成27年度修正) 資料編 第23災害等の発生状況	平成27年	熊本県防災会議	熊本県防災会議	http://cyber.pref.kumamoto.jp/bousai/Content/asp/topics/topics_detail.asp?PageID=6&PageType=shiryo&id=1101
006	九州災害履歴情報データベース 熊本県	平成28年5月27日閲覧		一般財団法人 九州地域づくり協会	http://saigairireki.qscpua2.com/kumamoto/
007	九州北部豪雨 阿蘇市災害記録誌	平成25年12月17日	熊日情報文化センター (熊日サービス開発出版部)	阿蘇市	
008	久木野村誌 第二巻 むらの歩み(上)	平成2年4月30日	久木野村誌編纂委員会	久木野村教育委員会	
009	久木野村誌 第五巻 むらの歩み(下)	平成8年5月1日	久木野村誌編纂委員会	久木野村教育委員会	
010	山西村誌	昭和34年8月31日	山西村郷土誌編纂委員会	熊本県阿蘇郡山西村公 民館 日置乙次郎	
011	長陽村史	平成16年3月30日	長陽村史編纂室	長陽村	
012	山田村史	昭和58年7月27日	井野忠治	—	
013	日本談義 VOL33 8月号 特集熊本大水害	昭和28年8月1日	荒木精之	荒木精之	
014	濁流の中から 昭和28年6月26日 白川大水害体験 記	平成7年3月31日	(株)エヌ・ティ・ティ・アド九州 支店	建設省熊本工事事務所	
015	波野村史	平成10年3月31日	波野村史編纂委員会	波野村	
016	波野村誌編纂資料(一)	平成3年3月29日	波野村史編纂委員会	熊本県波野村	
017	波野村誌編纂資料(二)	平成4年3月28日	波野村史編纂委員会	熊本県波野村	
018	波野村誌編纂資料(四)	平成6年3月31日	波野村史編纂委員会	熊本県波野村	
019	波野村誌編纂資料(五)	平成6年12月10日	波野村史編纂委員会	熊本県波野村	
020	大津町史	昭和63年10月1日	大津町史編纂委員会編集室	大津町	
021	高森町史2 ふるさとの回顧と展望	昭和55年7月25日	高森町史編さん委員会	熊本県阿蘇郡高森町	
022	大津史	昭和30年11月3日	吉田菊南 大津史刊行会	大津町公民館	
023	一の宮町史 自然と文化 阿蘇選書 10 草原と人々の営み	平成9年12月20日	大滝典雄 一の宮町史編纂委員会	一の宮町	
024	西原村誌	平成22年10月1日	西原村誌編纂委員会	西原村	
025	阿蘇町史 第一巻 通史編	平成16年8月1日	阿蘇町町史編さん委員会	阿蘇町	

表4.2 阿蘇周辺の土砂災害に関する文献収集リスト (2/2)

ファイルNo.	資料名	発行年月日	著者	発行者	備考
026	阿蘇町史 第二巻 資料編	平成16年8月1日	阿蘇町町史編さん委員会	阿蘇町	
027	町制施行50周年記念誌 阿蘇町のあゆみ	平成16年11月	阿蘇町役場総務課 (株)熊本日日新聞社	熊本県阿蘇町	
028	長陽村史資料集 第四集	平成16年8月	長陽村史編纂室	長陽村教育委員会	
029	黒川村史	昭和61年9月7日	井野忠治	—	
030	内牧町史	昭和57年4月1日	井野忠治	—	
031	尾ヶ石永水村史	昭和59年10月	井野忠治	—	
032	大津町史研究 第七集 郷土史落穂集	平成7年3月15日	大津町史編纂室	大津町教育委員会社会教育課	
033	昭和38年熊本県災害誌	昭和39年5月	熊本県防災消防課	熊本県	
034	昭和40年熊本県災害誌	昭和42年2月	熊本県防災消防課	熊本県	
035	6.26白川水害50年 昭和28年6月26日の記録と記憶 Since1953	平成15年6月26日	熊本日日新聞情報文化センター	熊本日日新聞社	
036	熊本泥水害 冠水 堆砂 詳密地図解説(白川筋浸水堆砂状況図)	昭和54年10月	建設省熊本工事事務所	建設省熊本工事事務所	
037	昭二八、六、二六 熊本水害誌	昭和28年	原田安雄	原田安雄	
038	S28.6.26 白川大水害の記録	平成15年6月	水防災行事実行委員会(国土交通省熊本河川国道事務所・立野ダム工事事務所、熊本県、熊本市)	水防災行事実行委員会(国土交通省熊本河川国道事務所・立野ダム工事事務所、熊本県、熊本市)	
039	熊本県大水害写真集	昭和28年7月21日	島田四朗	熊本日日新聞社 熊本県	
040	平成2年7月2日 一の宮町大水害の記録	平成7年3月	(株)熊本日日新聞情報文化センター	一の宮町	
041	平成24年7月12日熊本広域大水害 阿蘇地域記録誌(被害編)	平成26年3月	熊本県県北広域本部阿蘇地域振興局	—	
042	阿蘇07.12九州北部豪雨災害記録集 阿蘇からの知駆	平成26年7月12日	災害NGO結 前原土武	kirokuプロジェクト	
043	阿蘇地域土砂災害対策検討委員会報告書	平成25年3月	阿蘇地域土砂災害対策検討委員会	阿蘇地域土砂災害対策検討委員会	http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_6973.html
044	最新版 日本被害地震総覧[416]-2001	平成23年6月30日	宇佐美龍夫	財団法人東京大学出版会	
045	1975(昭和50年)1月22—23日熊本県北東部の地震の調査報告震時報第40巻(1975)	昭和50年	福岡管区気象台	福岡管区気象台	http://www.ima.go.jp/ima/kishou/books/kenshin/vol40p055.pdf
046	記者発表(H280621 20:30)	平成28年6月21日	国土交通省九州地方整備局	国土交通省九州地方整備局	http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1466508944.pdf
047	記者発表(H280624 18:30)	平成28年6月24日	国土交通省九州地方整備局	国土交通省九州地方整備局	http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1466760320.pdf
048	災害時気象資料 (平成28年6月19日から23日にかけての熊本県の大雨について)	平成28年6月23日	熊本地方気象台	熊本地方気象台	http://www.ima-net.go.jp/fukuoka/chosa/saigai/20160619-23_kumamoto.pdf
046	九州北部豪雨 阿蘇市災害記録(DVD)	平成26年1月	阿蘇市	阿蘇市	

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

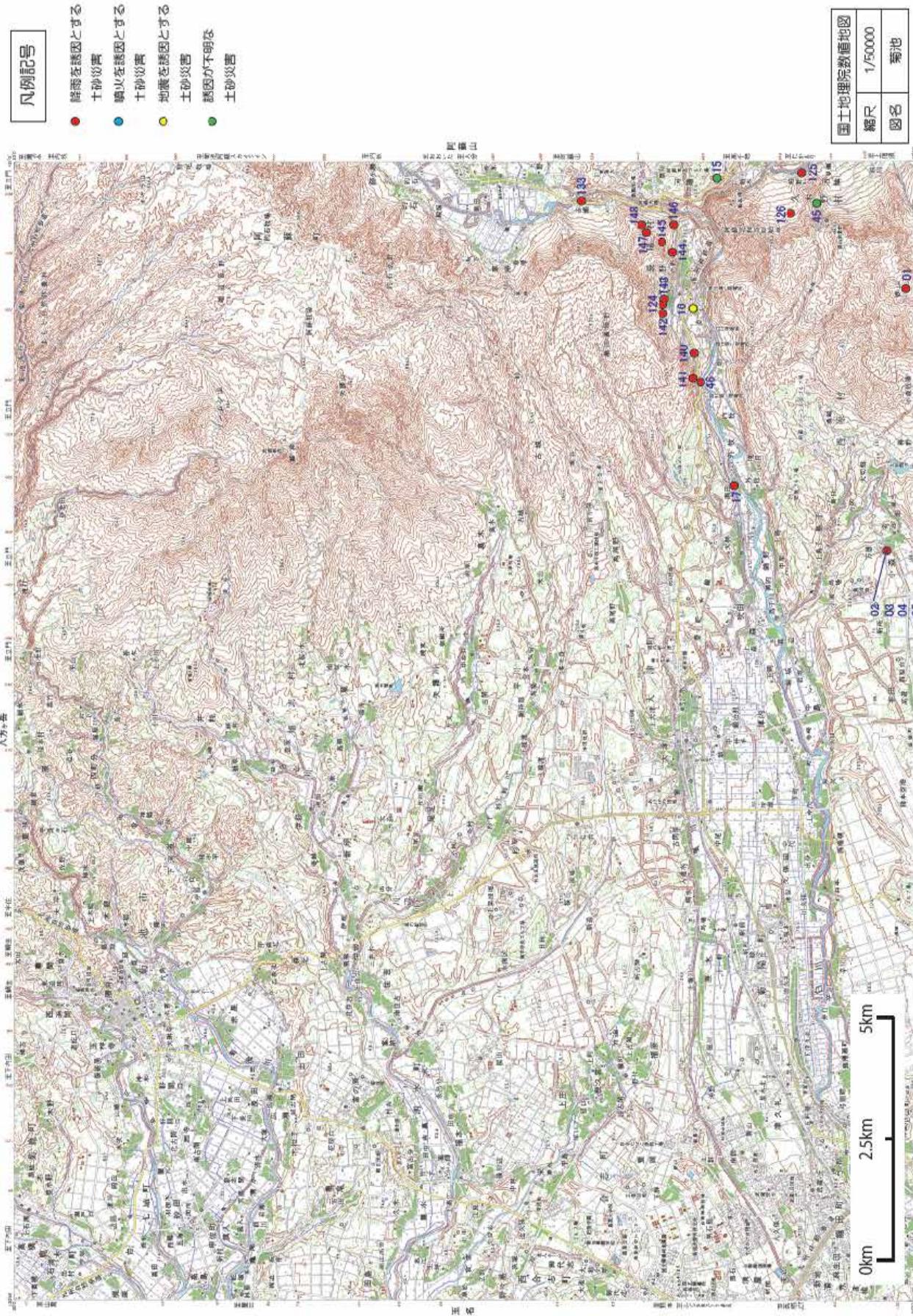


図 4.2 既往土砂災害発生位置図(1/3 —菊池—)

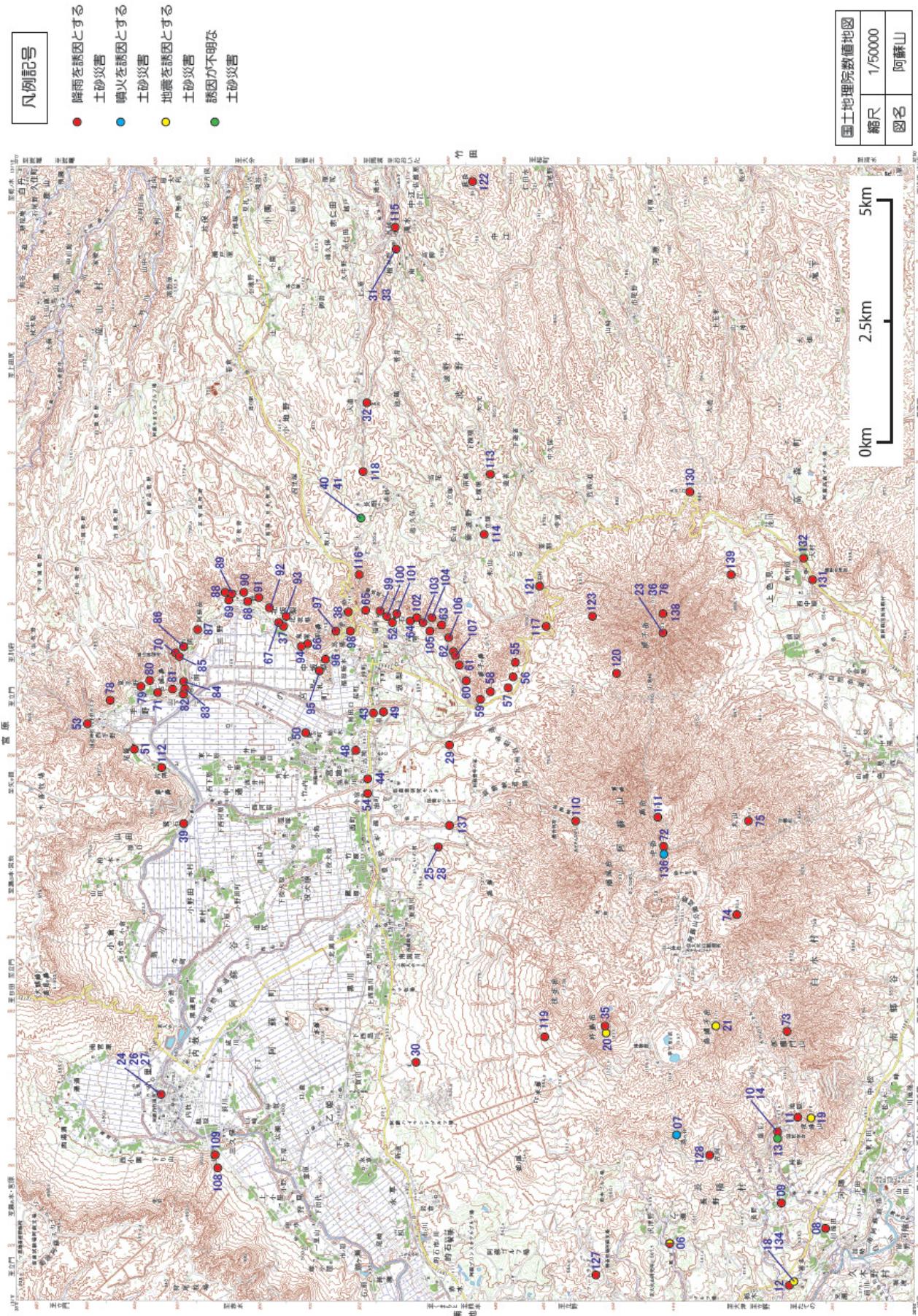


図4.3 既往土砂災害発生位置図(2/3—阿蘇山)

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

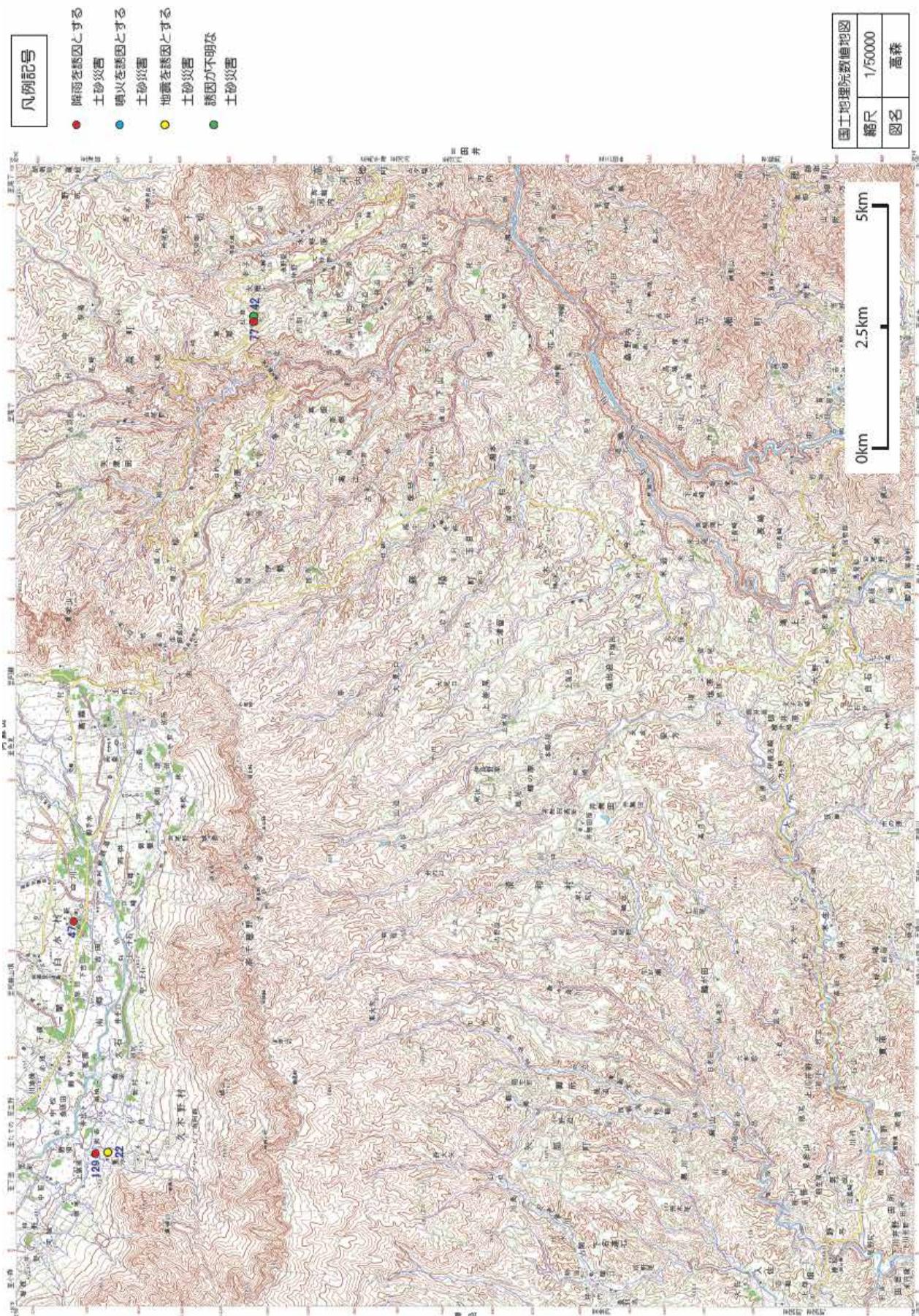


図4.4 既往土砂災害発生位置図(3/3—高森—)

4.2. ボーリング調査・物理探査・土質試験

4.2.1. 調査および試験概要

1) ボーリング調査

- ① ボーリング調査は、オールコアで実施するとともに、別孔にて土質試験用のサンプル採取（デニソンサンプリング）を行う。
- ② ボーリング孔は、 $\phi 66\text{ mm}$ の孔については孔内傾斜計用のアルミケーシングパイプを設置し、 $\phi 116\text{ mm}$ の孔については水位観測用の塩ビパイプを設置する。

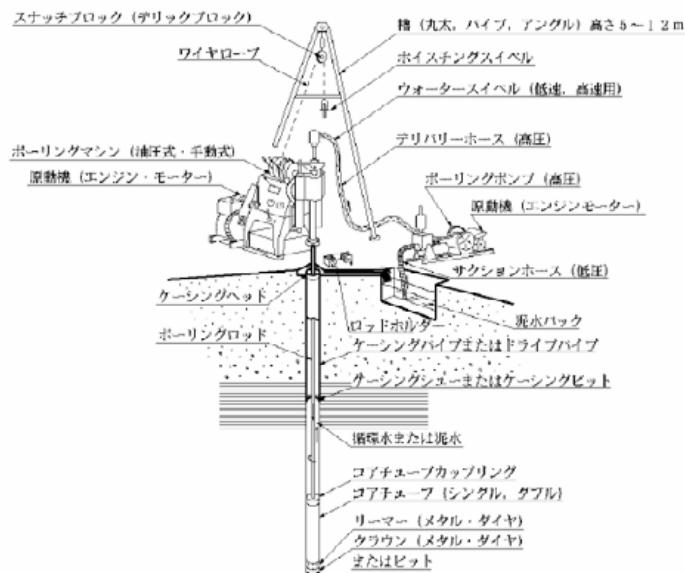


図4.5 機械ボーリングの模式図

((社)全国地質調査業協会連合会：新版ボーリングポケットブック，p.26，1993.)

2) PS 検層

- ① 上記ボーリング調査のボーリング孔を利用して、弾性波速度の深さ方向の分布を測定するPS検層を行う。
- ② PS検層は、地盤工学会基準による「地盤の弾性波速度検層方法」(JGS1122-2012)により調査を実施する。

表4.3 PS 検層実施一覧

地区	ボーリング孔番	削孔深度(m)	実施数量(m)
⑨高野台	BV28-1	60	0 - 60
	BV28-2	60	0 - 60
⑩大峰山	BV28-3	60	0 - 60

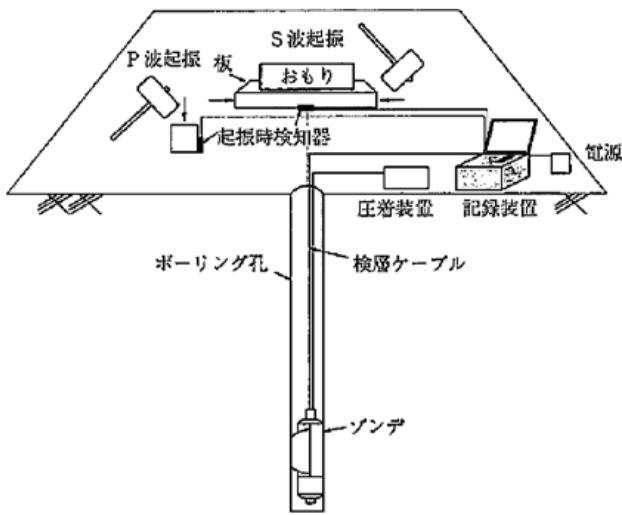


図4.6 ダウンホール方式の検層装置の構成例
(地盤調査の方法と解説 地盤工学会 -二分冊の 1- (2014) P.100)

3) 弹性波探査

- ① ボーリング調査を実施した 2 地区（高野台地区・大峯山地区）に 1 地区（垂玉川地区）を加えた計 3 地区で弹性波探査を行う。
- ② 弹性波探査には屈折法を用いる。地盤工学会基準による「地盤の弹性波速度検層方法」(JGS1122-2012)により調査を実施する。屈折法弹性波探査は、地表または地下浅所で人工的に弹性波を発生させ、地層境界で屈折して地中を伝播する速度を地表面に等間隔に設置した受振計で記録し、その伝播走時を解析し、地下の速度構造を求めるものである。

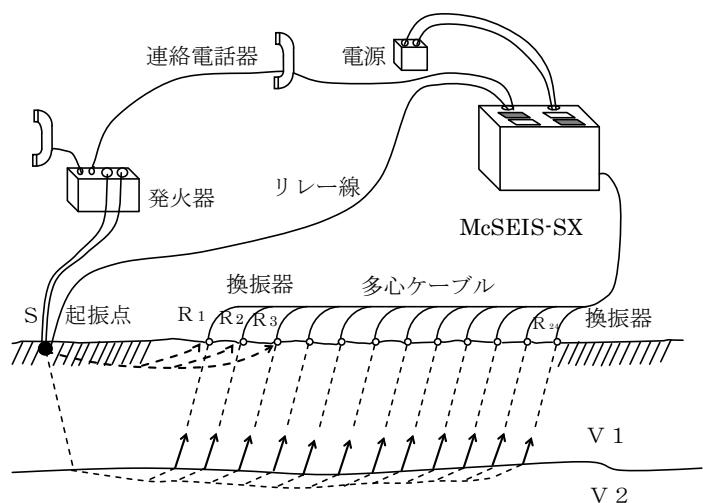


図4.7 弹性波探査概念図

4) 土質試験

ボーリング調査で採取したサンプル試料から供試体を作成し、各種試験を実施する。試験項目は下表とするが、試験箇所(試料)や条件は事前に打合せで確認する。

表4.4 試験項目

区分	試験項目		準拠基準・規格
物理試験	土粒子の密度試験		JIS A 1202
	土の含水比試験		JIS A 1203
	土の粒度試験	沈降分析	JIS A 1204
	土の液性限界試験		JIS A 1205
	土の塑性限界試験		JIS A 1206
	土の湿潤密度試験		JIS A 1225
力学試験	土の三軸圧縮試験	CUorUU	JGS 0521

JIS : 日本工業規格, JGS : 地盤工学会基準

5) 解析等

① 計画準備

ボーリング調査位置および弾性波探査測線の選定および測量を行う。

② 既存資料の収集

調査対象地区における地形・地質に係る文献や資料を収集するとともに、既存地質調査資料などを関係機関などから入手する。

③ 柱状図・断面図等の作成

資料取りまとめとして、採取したボーリングコアの観察により柱状図を作成する。

ボーリング調査結果や弾性波探査結果に基づき地質断面図を測線毎に作成する。

断面図等の作成では、調査測線およびボーリング位置の測量を行い、各測線の断面図基図を作成する。

④ 弹性波探査 現地踏査資料検討

弾性波探査実施予定箇所において事前に現地踏査を行い、発破位置や火工所の配置などの計画を検討し、資料に取りまとめる。

⑤ 解析

地質調査結果および既存調査結果を基に調査地点周辺の地形・地質の検討、土質定数の設定、地盤の工学的性質の検討を行う。

【ボーリングコアの地質区分（高野台）】

高野台地区の地質区分・名称に関しては、熊本県との合同コア観察会での決定事項を反映し、以下のように記載することとした。

表4.5 高野台地区の地質区分

記号	地質区分		噴出年代 (万年)	備 考
	表土		—	
Dt	崩積土		—	今回の災害によって堆積した崩積土。
	旧崩積土		—	過去に堆積した崩積土。
Kb	黒ボク土		—	黒色の火山灰土。黒ボク土より古い黒色土壤は古土壤とし、概ね層厚20cm以上の場合に地質区分する。ただし、断面図においては連続性のある古土壤のみ記載する。
V	褐色火山灰土	鬼界アカホヤ火山灰	0.73	褐色の火山灰土。明瞭に区分できる場合は、鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah)および姶良 Tn 火山灰(AT)に区分する。
		姶良 Tn 火山灰	2.9	
Pm	軽石	乙ヶ瀬軽石	2.0	最上位の降下軽石上面から最下位の降下軽石下面までを草千里ヶ浜軽石として区分する。
		草千里ヶ浜軽石	3.1	
Tl	旧崖錐			高野尾羽根溶岩を覆う白色部と褐色部の混在層。
Ry	高野尾羽根溶岩		5.0	軽石質層、黒曜石層とも一括して高野尾羽根溶岩として地質区分し、記事で細別する。

4.2.2. 高野台地区

高野台地区では、ボーリング調査、PS検層、弾性波探査、室内試験を行った。

1) 調査箇所の選定

資料収集および現地調査の結果から、以下の現象が確認された。

- ① 当地区頂部の台地面から斜面中腹にかけて北西－南東方向の段差亀裂が無数に発生している。
- ② 当地区の南西側斜面において大規模な土砂流出（A, B, C ブロック）が発生している。
- ③ 地震時に変動が生じていない斜面中腹において凹状地形がいくつか分布する。

＜調査ボーリング：BV28-1, BV28-2＞

北西－南東方向の段差亀裂と大規模な土砂流出との間の残存斜面があり、今後の余震や降雨によって地すべり化した場合、周辺および建物への影響が高いと考え詳細調査を実施した。

本業務の調査ボーリングは、該当斜面において概ね等間隔に配置することとし、凹状地形の中に BV28-1, 遷急線付近に BV28-2 を計画し、大規模崩壊の有無について調査を実施した。なお、斜面下方には熊本県による別途災害関連緊急地すべり対策業務で実施されている調査ボーリングとの整合を計り、これらの情報も活用するとともに熊本県への情報提供が可能な箇所とした。

＜弾性波探査：A 測線, B 測線, C 測線＞

弾性波探査は、当地区全体の地質状況を対比するため、大規模な土砂流出箇所を通る測線（A 測線）、これに直交する測線（B 測線）、調査ボーリングの計画位置を通る測線（C 測線）を計画した。

2) 調査位置

高野台地区の調査位置を以下に示す。

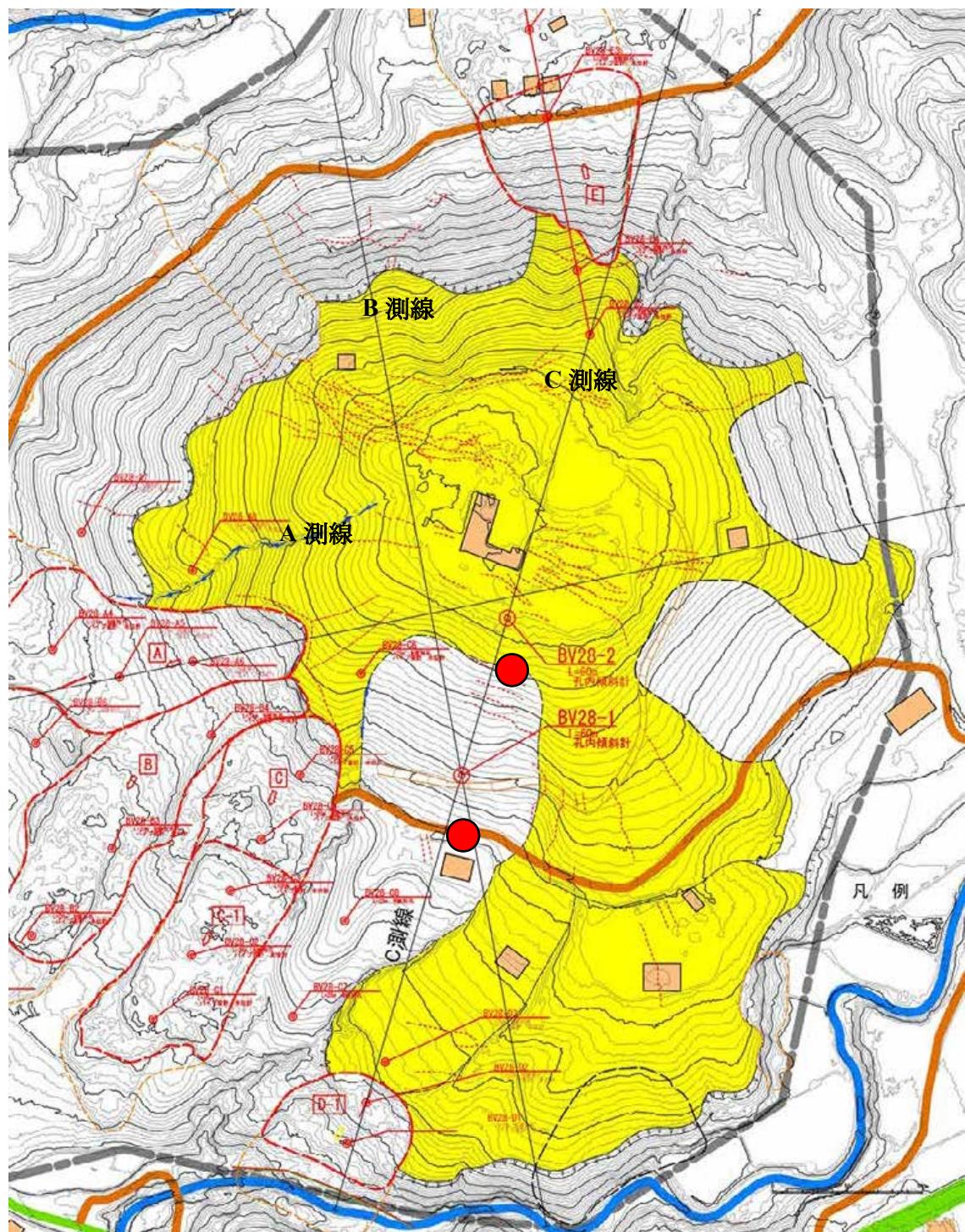


図4.8 高野台地区 調査位置平面図

3) ボーリング調査結果

① BV28-1(L=60.0 m, GH=468.83 m)

BV28-1 のボーリングコア観察結果および掘進時の孔内水位変化を示す。

表4.6 BV28-1 地質状況 (1/2)

深 度	地 質	記 事
0.00 ~ 0.55 m	表土	暗茶, 表土, 植根を混入する.
0.55 ~ 1.50 m	褐色火山灰土	非常に柔らかく水分を多く含む. 全般に緻密な火山灰土. 希に炭質物を含む.
1.50 ~ 2.40 m	黒ボク土	全般に炭質物を多く含む. 下層ほど炭質物が多い. 全般に軟質.
2.40 ~ 3.30 m	褐色火山灰土	全般に炭質物を混入し, 希に草千里ヶ浜軽石を混入する. 下層との境界は明瞭. $\theta = 20^\circ$ を呈し, 軟質.
3.30 ~ 3.60 m	黒ボク土	褐色の粘性土. $\phi 1 \text{ mm}$ 以下の炭質物を多く含む.
3.60 ~ 4.80 m	褐色火山灰土	炭質物を混入する火山灰土. 炭質物が多い. 淘汰が悪い. 4.70-4.80 m には変質した安山岩礫を混入.
4.80 ~ 6.45 m	旧崖錐	乳灰色の軽石片を含む. 気質は黄褐色の火山灰土.
6.45 ~ 13.55 m	高野尾羽根溶岩	乳灰色に変質した軽石質層. 比較的新鮮であるが, 一部割れ目が発生する. 6.50~13.55 m : 軽石質層. 9.0~9.4 m : $\angle 80^\circ$ の開口割れ目. 割れ目沿いに礫状となりやや酸化する.
13.55 ~ 18.60 m	高野尾羽根溶岩	13.55~18.48 m : 主に淡赤色に変質した流紋岩質溶岩. やや亀裂が発達する. 18.00~18.30 m : 縱亀裂発達. 18.30~18.48 m : 軽石質.
18.60 ~ 29.90 m	高野尾羽根溶岩	18.40~30.0 m : 柱状~短柱状で採取されるが, 部分的に亀裂が発達する. 縞状に淡黄色に変質する. 19.00~19.60 m, 20.00~20.65 m : 低角度の亀裂発達. $\angle 0 \sim 20^\circ$. 亀裂面酸化.

表4.7 BV28-1 地質状況 (2/2)

深 度	地 質	記 事
18.60 ~ 29.90 m	高野尾羽根溶岩	21.0~21.40 m, 21.70~22.10 m : $\angle 45\sim70^\circ$ 程度の亀裂発達. やや開口し亀裂面酸化する. 24.30~25.50 m : $\angle 60\sim90^\circ$ 程度の亀裂. 亀裂面酸化. 28.30~30.00 m : $\angle 80\sim90^\circ$ 程度の亀裂発達. やや開口し亀裂面酸化.
29.90 ~ 42.30 m	高野尾羽根溶岩	30.00~42.30 m : 亀裂少ない. 30.00~32.40 m : 一部軽石質. 34.70~34.90 m : 堆積構造に斜交する亀裂. 亀裂面は密着している. 39.20~40.90 m : 一部軽石質.
42.30 ~ 49.50 m	高野尾羽根溶岩	42.30~49.50 m : やや亀裂が多い. 亀裂面の酸化は少ない. 48.10~48.63 m : 高角度亀裂 $\angle 80^\circ$
49.50 ~ 60.0 m	高野尾羽根溶岩	49.5 m 以深は亀裂少ない. 部分的に軽石質となるが, 全体的に硬質で新鮮. 54.75~55.05 m : 一部軽石質.

図4.9 BV28-1 ポーリングコア写真(1/3)



図4.10 BV28-1 ポーリングコア写真(2/3)



図4.11 BV28-1 ポーリングコア写真(3/3)



② BV28-2 (L=60.0 m, GH=562.566 m)

BV28-2 のボーリングコア観察結果および掘進時の孔内水位変化を示す。

表4.8 BV28-2 地質状況 (1/2)

深 度	地 質	記 事
0.00 ~ 0.10 m	表土	暗茶, 表土, 植根を混入する.
0.10 ~ 1.35 m	褐色火山灰土	非常に柔らかく水分を多く含む.
1.35 ~ 2.77 m	黒ボク土	粘性強く柔らかい. 指圧で容易に崩れる. 1.35~2.20 m, 2.48~2.77 m は炭質物が多い. 炭質物層は 2 層.
2.77 ~ 4.70 m	褐色火山灰土	乳灰色の軽石片, 黒色の炭質物を含む. 基質は褐色火山灰土. 淘汰が良い. 全体的にやや締まる.
4.70 ~ 5.65 m	褐色火山灰土	褐色火山灰土を主体とする. 乳灰色の軽石片, 炭質物, 草千里ヶ浜軽石を混入する. 淘汰が悪い.
5.65 ~ 6.30 m	草千里ヶ浜軽石	黄橙色の軽石片を含む. 6.00~6.30 m は軽石片を希に含む.
6.30 ~ 6.80 m	褐色火山灰土	6.30~6.80 m: 草千里ヶ浜軽石を含む火山灰土. 炭質物を多く含む.
6.80 ~ 7.55 m	黒ボク土	6.80~7.55 m: 褐色の粘性土. ϕ 1 mm 以下の炭質物を含む.
7.55 ~ 9.55 m	褐色火山灰土	橙白色の軽石および炭質物を混入する火山灰土. 炭質物が多く淘汰が悪い. 9.15~9.55 m には変質した安山岩礫を混入.
9.55 ~ 23.0 m	高野尾羽根溶岩	9.00~23.0 m: 全般に多孔質な流紋岩. 全般に斑状構造を有する. 乳灰色に変質した溶岩. 9.55~10.05 m, 10.50 m~11.30 m 付近は割れ目沿いの変質が強く軟質化する. 11.72~11.77 m: 数 mm の礫の空隙を淡赤色の粘土分が充填. 13.63~13.78 m: 淡灰色に変色, 一部砂状. 14.70 m~最後まで変質.

表4.9 BV28-2 地質状況 (2/2)

深 度	地 質	記 事
9.55 ~ 23.00 m	高野尾羽根溶岩	15.12~18.33 m : 軽石質層. 15.46~15.97 m : 高角な亀裂. 磯の空隙を数 mm の細粒分が充填. 19.53~20.91 m : 開口縦亀裂. 22.15~23.21 m : 軽石質層.
23.00 ~ 26.00 m	高野尾羽根溶岩	23.00~26.00 m : 流紋岩. 全般に斑状構造を有する. 噴出孔は少ない.
26.00 ~ 33.00 m	高野尾羽根溶岩	26.00~33.00 m : 全般に斑状構造が少ない流紋岩. 一部 27.00~27.25 m, 30.60~30.80 m は斑状構造を有する. 希に斜長石, 角ヒン石の結晶が見られる. 26.00~27.40 m : 20~30 cm 間隔で θ 10~25° の亀裂. 32.56~33.30 m : 縦亀裂. 亀裂内を細粒分が充填. 割れ目区分 C に相当.
33.00 ~ 35.65 m	高野尾羽根溶岩	33.00~35.65 m : 全般に斑状構造を有する流紋岩. 角ヒン石, 斜長石の結晶が多くみられる. 33.85~34.20 m : 縦亀裂.
35.65 ~ 60.00 m	高野尾羽根溶岩	35.65~51.28 m : 全般に斑状構造のない流紋岩. 希に斜長石, 角ヒン石の結晶が見られる. 38.00~38.12 m : 開口亀裂. 41.35~41.86 m : 縦亀裂. 41.60~42.00 m : 基質は暗赤褐~暗灰色. 51.25~60.00 m : 全般に斑状構造を有する流紋岩. 51.58~53.00 m : 縦亀裂. 亀裂内を数 mm~5 cm の礫が充填. 58.00~60.00 m : 開口縦亀裂. 59.28~59.44 m : 黒曜石層.

図4.12 BV28-2 ポーリングコア写真(1/3)



図4.13 BV28-2 ボーリングコア写真(2/3)



図4.14 BV28-2 ポーリングコア写真(3/3)



4) PS 検層結果

① BV28-1

PS 検層の測定結果を表 4.10, 図 4.15 に示す。

表4.10 BV28-1 PS 検層測定結果

層	深度 (GL-m)	岩相	Vp (km / sec)	Vs (km / sec)	ボアソン比 (σ)
1	0 – 4.8	表土, 黒ボク土, 褐色火山灰	0.650	0.250	0.413
2	4.8 – 6.45	旧崖錐	0.750	0.400	0.301
3	6.45 – 13.55	高野尾羽根溶岩	1.040	0.550	0.306
4	13.55 – 18.48	高野尾羽根溶岩	0.840	0.450	0.299
5	18.48 – 30.00	高野尾羽根溶岩	0.960	0.570	0.228
6	30.00 – 42.30	高野尾羽根溶岩	1.300	0.680	0.312
7	42.30 – 49.50	高野尾羽根溶岩	1.550	0.780	0.330
8	49.50 – 60.00	高野尾羽根溶岩	1.700	0.850	0.333

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

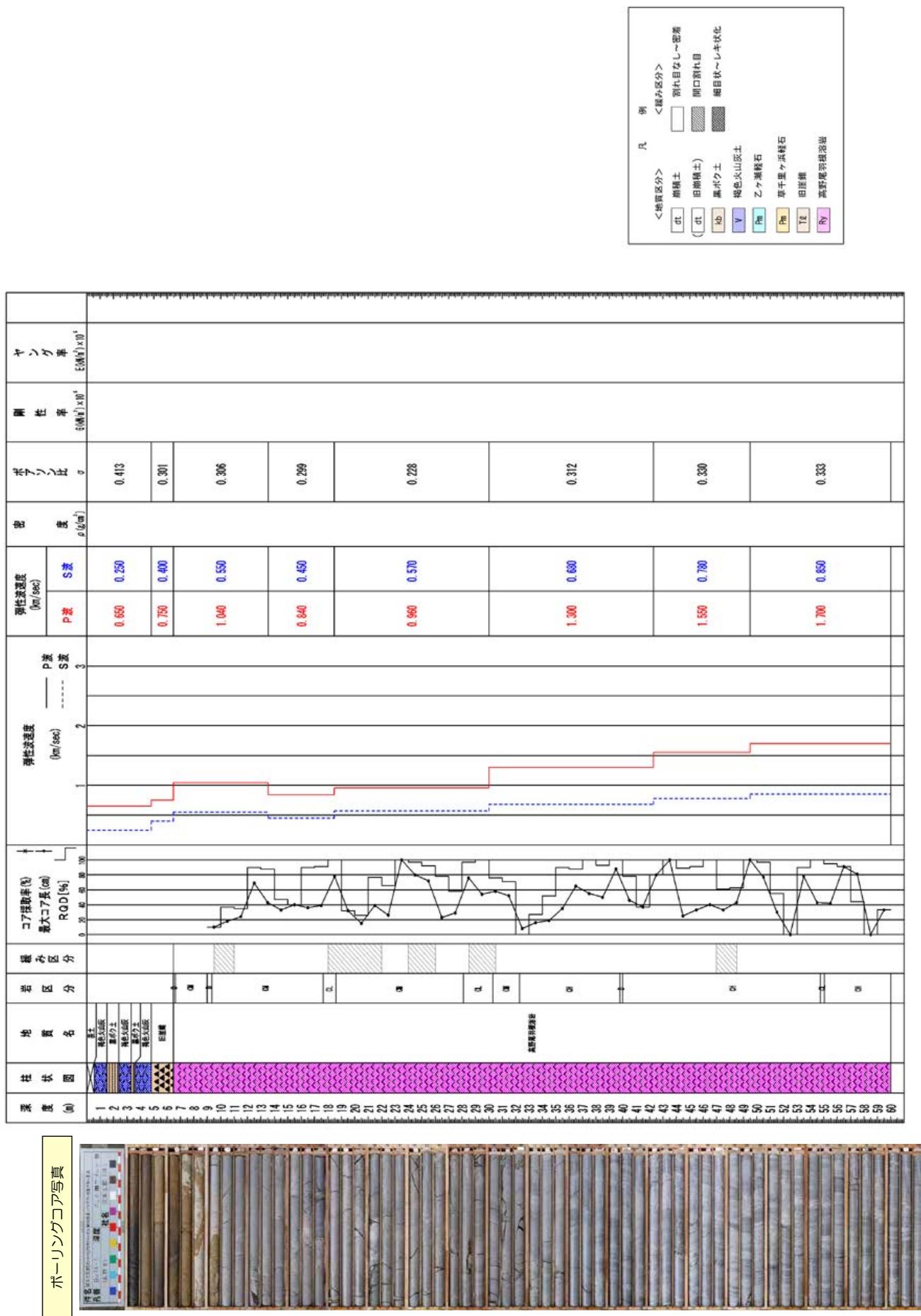


図 4.15 PS 検層測定結果図 (BV28-1)

② BV28-2

PS 検層の測定結果を表 4.11, 図 4.16 に示す。

表4.11 BV28-2 PS 検層測定結果

層	深度 (GL-m)	岩相	Vp (km / sec)	Vs (km / sec)	ボアソン比 (σ)
1	0 – 2.77	表土, 黒ボク土, 褐色火山灰	0.288	0.081	0.457
2	2.77 – 4.70	褐色火山灰	0.289	0.109	0.417
3	4.70 – 9.55	草千里ヶ浜軽石 褐色火山灰 黒ボク土	0.375	0.169	0.372
4	9.55 – 23.00	高野尾羽根溶岩	0.825	0.374	0.370
5	23.00 – 26.00	高野尾羽根溶岩	1.232	0.476	0.412
6	26.00 – 33.00	高野尾羽根溶岩	0.988	0.487	0.339
7	33.00 – 35.65	高野尾羽根溶岩	1.044	0.537	0.320
8	35.65 – 51.58	高野尾羽根溶岩	1.056	0.540	0.323
9	51.58 – 60.00	高野尾羽根溶岩	1.367	0.600	0.381

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

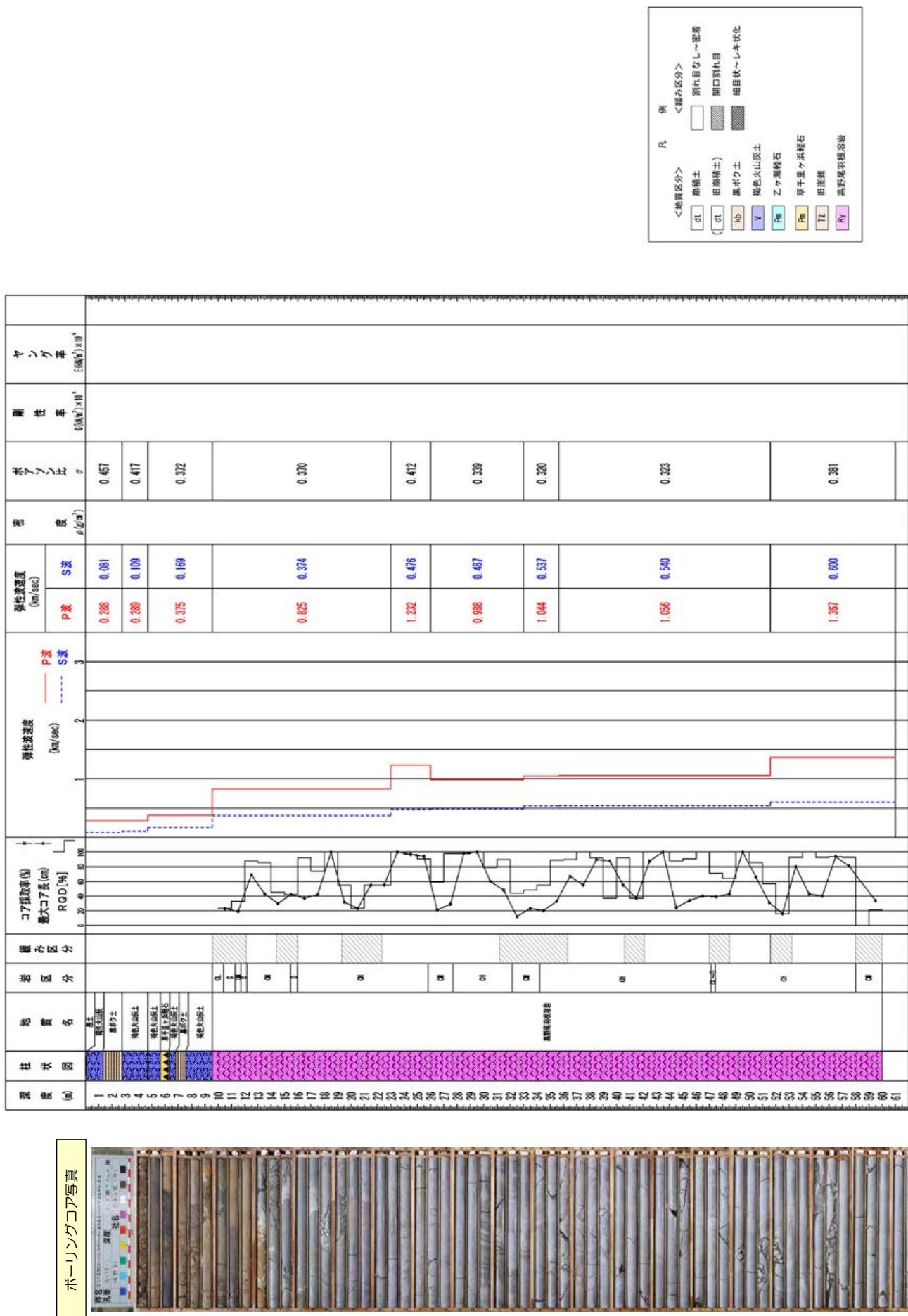


図 4.16 PS 検層測定結果図 (BV28-2)

③ 一般値との比較

一般に堆積層におけるP波速度(V_p)は、土の構成粒子および間隙水の堆積弾性率によって決まるが、S波速度(V_s)は粒子の大きさや形状および密実度(堅さ、剛性)などに支配されている。

P波は地下水や滯水状態に影響されやすい。透水性の良い滯水地盤では地下水の影響を強く反映し、水のP波速度に近い $V_p \approx 1.50 \text{ km/s}$ に近似するか、それよりも大きな速度値になりやすい。

S波は直接的に滯水や含水状態に影響されないため、S波速度(V_s)が大きいほど強度や密実度は高い。

表4.12 地質別PS検層結果

岩相	孔番	深度(GL-m)	岩級	V_p (km/sec)		V_s (km/sec)	
				計測値	平均値	計測値	平均値
表土、黒ボク土、褐色火山灰	BV28-1	0 - 4.8	dt	0.650	0.469	0.250	0.166
	BV28-2	0 - 2.77		0.288		0.081	
旧崖錐	BV28-1	4.8 - 6.45	dt	0.750	0.750	0.400	0.400
崩積土	BV28-3	0 - 1.95	dt	0.340	0.340	0.070	0.070
褐色火山灰	BV28-2	2.77 - 4.70	dt	0.289	0.340	0.109	0.120
	BV28-3	1.95 - 6.00		0.390		0.130	
草千里ヶ浜軽石、褐色火山灰、黒ボク土	BV28-2	4.70 - 9.55	dt	0.375	0.375	0.169	0.169
火碎流堆積物	BV28-3	6.00 - 10.10	dt	0.460	0.460	0.190	0.190
高野尾羽根溶岩	BV28-3	9.55 - 23.00	D~CH	0.825	1.083	0.374	0.505
	BV28-3	35.65 - 51.58		1.056		0.540	
	BV28-3	51.58 - 60.00		1.367		0.600	
	BV28-1	13.55 - 18.48	CM~CL	0.840	0.900	0.450	0.510
	BV28-1	18.48 - 30.00		0.960		0.570	
	BV28-1	6.45 - 13.55	CM	1.040	1.040	0.550	0.550
	BV28-1	30.00 - 42.30	CM~CH	1.300	1.141	0.680	0.545
	BV28-2	23.00 - 26.00		1.232		0.476	
	BV28-2	26.00 - 33.00		0.988		0.487	
	BV28-2	33.00 - 35.65		1.044		0.537	
安山岩(破碎状)	BV28-1	42.30 - 49.50	CH	1.550	1.625	0.780	0.815
	BV28-1	49.50 - 60.00		1.700		0.850	
安山岩～スコリア混在層(破碎状)	BV28-3	10.10 - 18.00	D	0.570	0.640	0.220	0.290
	BV28-3	18.00 - 24.80		0.710		0.360	
安山岩～スコリア混在層(破碎状)	BV28-3	24.80 - 28.00	D	0.880	0.880	0.410	0.410
安山岩～スコリア混在層	BV28-3	28.00 - 37.10	CM~CL	1.150	1.180	0.460	0.455
	BV28-3	37.10 - 39.30		1.210		0.450	
溶結凝灰岩	BV28-3	39.30 - 50.00	CL~D	0.930	0.930	0.470	0.470
	BV28-3	50.00 - 60.00	CL	1.110	1.110	0.510	0.510

【未固結堆積物】

表土, 黒ボク土, 褐色火山灰, 火碎流堆積物の S 波速度は $V_s = 0.120 \sim 0.169 \text{ km/sec}$ となり, シルト ($V_s = 0.150 \sim 0.200 \text{ km/sec}$) の一般値と整合している.

旧崖錐の S 波速度は $V_s = 0.120 \sim 0.169 \text{ km/sec}$ で, 洪積砂礫 ($V_s = \text{約 } 0.400 \text{ km/sec}$) の一般値と整合している.

【岩盤】

高野尾羽根溶岩の D～CM 級岩盤の S 波速度は $V_s = 0.510 \sim 0.545 \text{ km/sec}$ となり, 一般値では CL～D 級岩盤 ($V_s = 0.400 \sim 0.900 \text{ km/sec}$) に該当する. D～CL 級岩盤は整合しているものの, CM 級岩盤 ($V_s = 1.200 \sim 1.800 \text{ km/sec}$) は整合しない結果となった.

高野尾羽根溶岩の CH 級岩盤の S 波速度は $V_s = 0.815 \text{ km/sec}$ となり, CL～D 級岩盤 ($V_s = 0.400 \sim 0.900 \text{ km/sec}$) に該当する. 岩級と一般値が整合しない結果となった.

安山岩～スコリア混在層の D 級岩盤の S 波速度は $V_s = 0.290 \sim 0.410 \text{ km/sec}$ となり, D 級岩盤 ($V_s = 0.300 \sim 0.700 \text{ km/sec}$) の一般値と整合している.

安山岩～スコリア混在層の CM～CL 級岩盤の S 波速度は $V_s = 0.455 \text{ km/sec}$ となり, CL～D 級岩盤 ($V_s = 0.400 \sim 0.900 \text{ km/sec}$) に該当する. CL 級岩盤は整合しているものの, CM 級岩盤 ($V_s = 1.200 \sim 1.800 \text{ km/sec}$) は整合しない結果となった.

溶結凝灰岩の CL～D 級岩盤の S 波速度は $V_s = 0.470 \sim 0.510 \text{ km/sec}$ となり, CL～D 級岩盤 ($V_s = 0.400 \sim 0.900 \text{ km/sec}$) の一般値と整合している.

未固結堆積物, D 級岩盤部は概ね一般値と整合しているものの, CM～CH 級岩盤において一般値よりも低い弾性波速度となっている.

表4.13 地質別PS検査結果

岩盤 地盤記 分区	地盤工学上の全体的な指標						地質						硬岩の指標						軟岩の指標						土質地盤の指標					
	① 孔速 内透 検層横 波 V _s	② 孔速 ア軸 の度 深幅 qu	③ R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	④ V _p	⑤ V _s /s	⑥ V _s	岩 種 類 の 例	岩 地 質 年 代	岩 種 類 の 例	岩 地 質 年 代	岩 種 類 の 例	岩 地 質 年 代	⑦ 平均 粒 径 $(\frac{D_{10}}{D_{30}})$	⑧ 間 隔 比 U _c	⑨ 孔内 S 波速 度 qu	⑩ 孔 内 波 速 度 qu	⑪ 吸 水 率 W _s	⑫ 乾 燥 度 C R	⑬ N 饱 和 度 E ₉	⑭ 塑 性 指 数 rd	⑮ 液 化 の 特 性 K	⑯ 透 水 係 数 cm ² /s ~10 ⁻¹⁰								
火成岩 H ₁ A~B	(田中 A~B) kg f/cm ² ~1000以上	約2000~3000 kg f/cm ²	約1800~2500 kg f/cm ²	約1200~1800 kg f/cm ²	安山岩 (新新統)	花崗岩 (新新統)	R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100								
火成岩 H ₂	C _H	C _H	C _H	C _H	粘板岩	花崗岩	R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100							
火成岩 H ₃	C _M	C _M	C _M	C _M	頁岩	頁岩	R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100	例 100							
火成岩 H ₄	C _L	C _L	C _L	C _L	砂岩など	砂岩など	R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	例 20~80	例 20~80	例 20~80	例 20~80	例 20~80	例 20~80	例 20~80	例 20~80	例 20~80	例 20~80	例 20~80							
火成岩 H ₅	S ₁	D _H	C _L	D	頁岩	頁岩	R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~						
火成岩 H ₆	S ₂	D _H	C _L	D	砂岩など	砂岩など	R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~						
火成岩 H ₇	S ₁	D _L	D	/50~100	約400~900	砂岩	R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~	例 25~						
火成岩 H ₈	S ₁	E	土質試 験する	5~10<	約300~700	風化泥岩	R 不 連 続 性 Q D 面 の 特 性	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	古 第 紀 系 前 (2300 万年)	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~	例 15~						
地盤 地盤記 分区																														
Boulder (3.0cm以上)							(更新統) 洪積世	(約180 万年)						約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5	約0.5			
Cobble (7.5cm以上)							(更新統) 洪積世	(約180 万年)						約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10	約10		
Gravel (0.2cm以上)							第四 紀 系							例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1	例 1		
砂質 材料 + 骨														0.1	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6	約0.6		
砂 質 材 料 +														0.01	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9	約0.9		
砂 質 材 料 +														0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007		
細 粒 材 料 +														0.001	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	約1.0	
細 粒 材 料 +														1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

5) 弹性波探査結果

弾性波探査結果を走時曲線図、解析断面図（はぎとり法）、解析断面図（トモグラフィー解析）としてとりまとめた。

弾性波速度には、地盤を構成する土質・岩石自体の鉱物組成や粒子構成、粒子の固結度、空隙率、風化・変質状況や岩盤自体の割れ目状況、地圧状況が反映される。一般的な地盤と弾性波速度との関係を表4.14、図4.17に示す。

弾性波速度が速いほど岩の強度も大きくなるという物理特性、および深度が大きくなるにつれ地山の風化程度も弱くなり弾性波速度も速くなるという一般法則を利用し、地山の岩種や地山状況を推定した。

表4.14 主要地質・岩石の原位置弾性波探査伝播速度
(地盤調査の方法と解説 地盤工学会 -二分冊の 1- (2014) P.118)

	P 波速度 (km/s)	0	1	2	3	4	5	6	7
沖積層	表 土	—							
	崖 錐	—							
	乾 砂 磨	—							
	含 水 砂 磨	—	—						
洪積層	ロームおよび粘土	—							
	砂 磨	—	—						
層	火 山 碎 屑 岩	—	—	—					
第三紀層	頁 岩	—	—						
	珪 質 頁 岩	—	—	—	—				
	砂岩および礫岩	—	—	—	—				
	凝 灰 岩	—	—	—					
	凝灰角礫岩	—	—	—					
中古生層	集 塊 岩	—	—	—					
	粘 板 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	砂岩および礫岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	硬 砂 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	石 灰 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	珪 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	輝 緑 凝 灰 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
火成岩	花 崩 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	閃 緑 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	はんれい岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	かんらん岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	斑 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	ひ ん 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	輝 緑 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	浮石質溶岩	—	—	—	—	—	—	—	—
岩	石英粗面岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	安 山 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	玄 武 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
変成岩	千 枚 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	石 墨 片 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	石 英 片 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	綠 色 片 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	片 麻 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	蛇 紋 岩	—	—	—	—	—	—	—	—
	ホルンフェルス	—	—	—	—	—	—	—	—

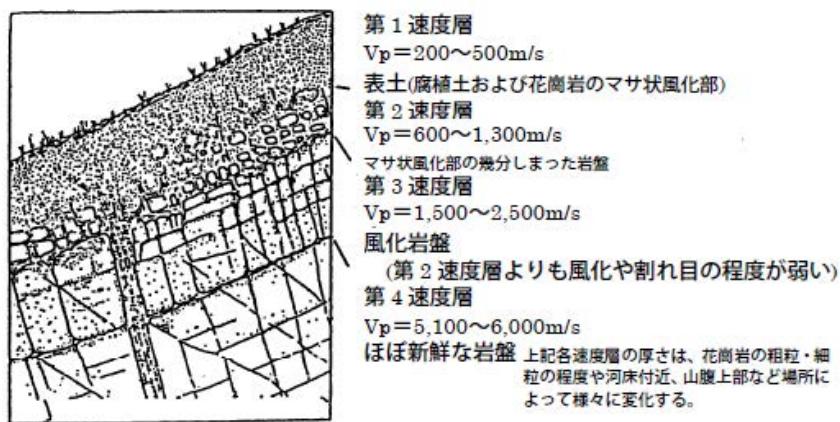


図4.17 花崗岩の一般的な風化状況と速度層
 (物理探査適用の手引き (2000) P.74)

調査地の地質は、火山碎屑岩と流紋岩質溶岩を主体としている。表4.14より、火山碎屑岩は0.5～2.0 km/sec程度、流紋岩質溶岩は1.5～2.5 km/sec程度の速度値が期待される。

はぎとり法により、当調査地域での速度分布は、下表の通り以下の5層に区分された。

表4.15 弹性波速度と推定地質状況（高野台地区）

速度層	弾性波速度 (km/sec)	推定地質状況
第1速度層	0.3	表土、黒ボク土、褐色火山灰、草千里ヶ浜軽石、礫状の高野尾羽根溶岩
第2速度層	0.6～0.8	高角亀裂を含む高野尾羽根溶岩
第3速度層	1.3～1.5	一部に亀裂を含む高野尾羽根溶岩
第4速度層	2.1～2.3	新鮮な高野尾羽根溶岩
第5速度層	2.8～3.0	基盤岩

各速度層の分布・地質状況推定すれば、以下の通りである。

第1速度層（0.3 km/sec）

本速度層は、表土、黒ボク土、褐色火山灰、草千里ヶ浜軽石に相当すると思われる。

岩級区分ではD級（礫状の高野尾羽根溶岩）に対応すると推測される。

第2速度層（0.6～0.8 km/sec）

本速度層は崖錐堆積物又は、第3速度層から更に風化の進んだ高野尾羽根溶岩で、岩級区分ではCL～D級相当に対応すると推測される。

第3速度層（1.3～1.5 km/sec）

本速度層は段丘堆積物又は、第4速度層から風化の進んだ高野尾羽根溶岩で、岩級区分ではCL～CM級に対応すると推測される。

第4速度層（2.1～2.3 km/sec）

本速度層は、新鮮堅硬な高野尾羽根溶岩に相当し、岩級区分ではCH級に相当すると推測される。

第5速度層（2.8～3.0 km/sec）

本速度層は地表から直接風化の及ばない新鮮堅硬な岩盤に相当すると思われる。溶岩の一般値よりも弾性波速度が速いため、火山岩と推測される。岩級区分ではCH級を主体とすると推測される。

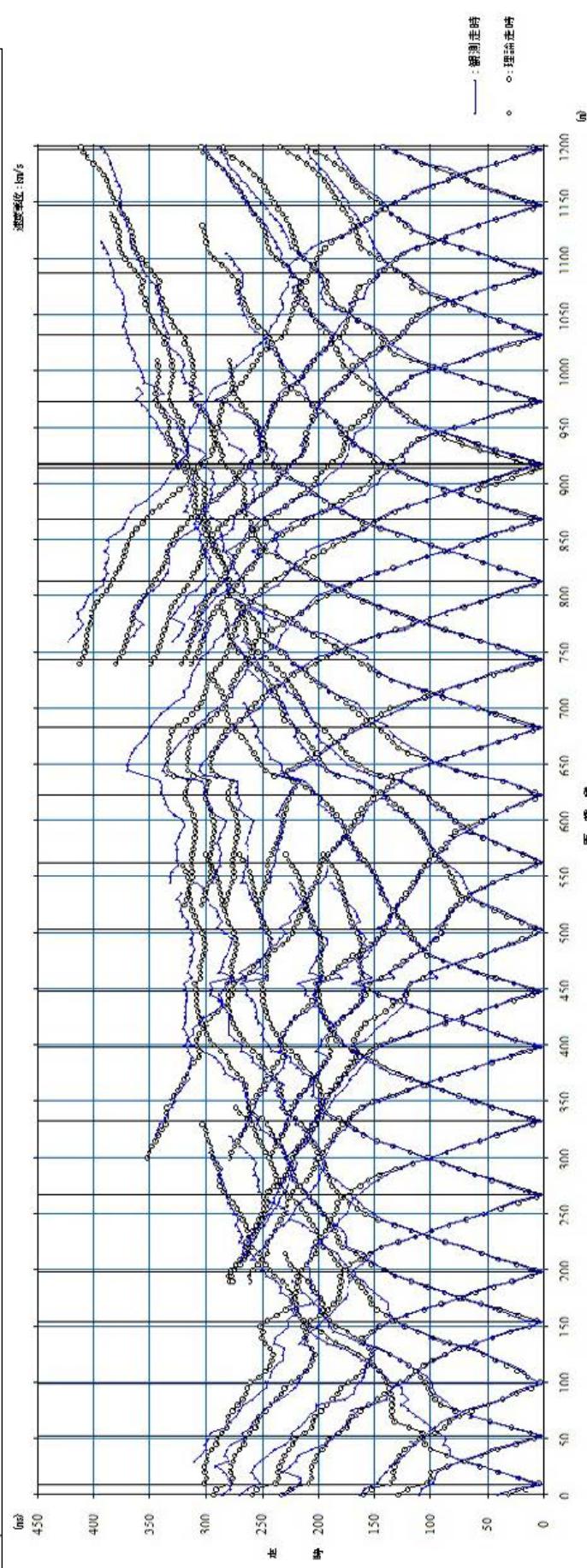
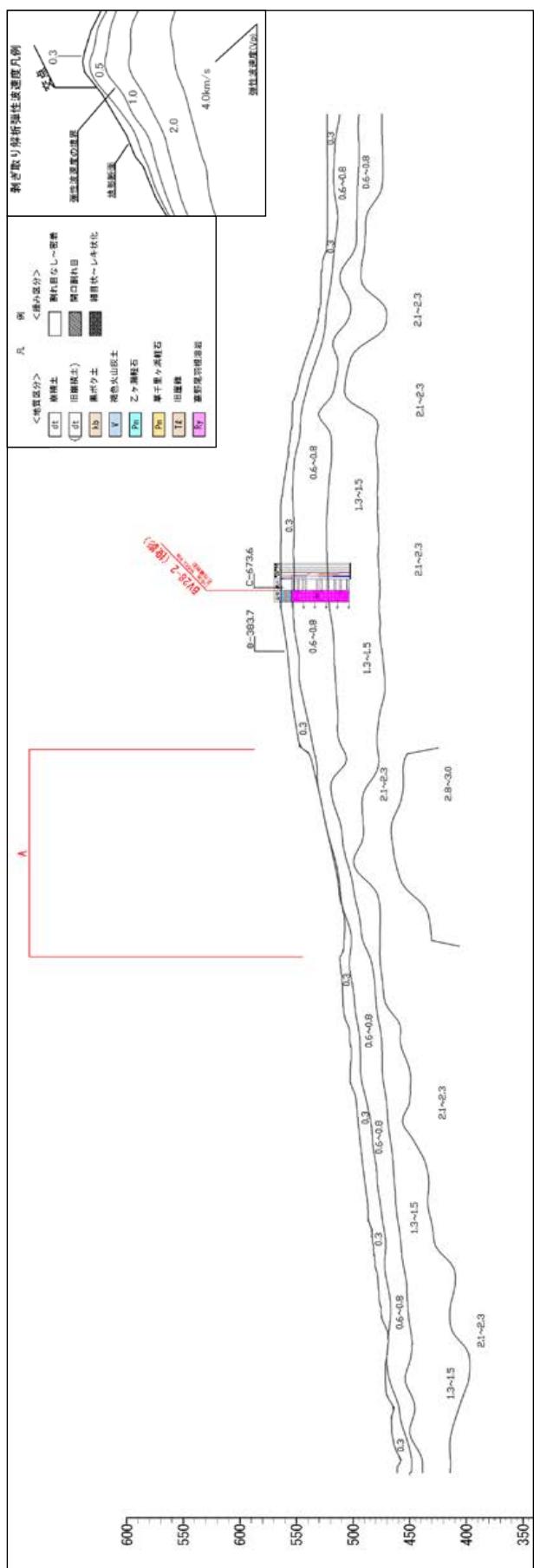


図 4.18 弹性波探査結果図(高野台 A 測線) (1/2)

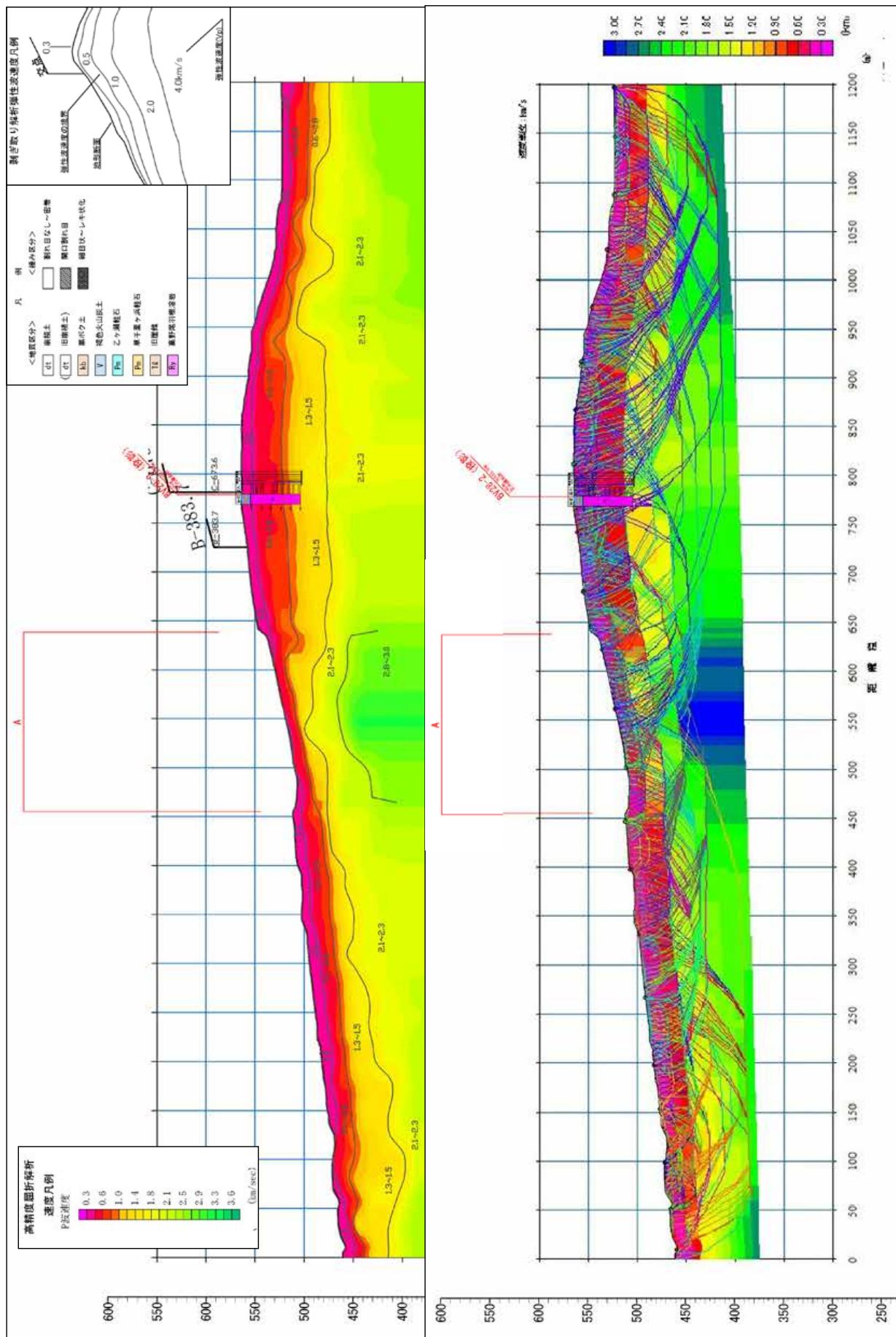


図 4.19 弾性波探査結果図(高野台 A 測線) (2/2)

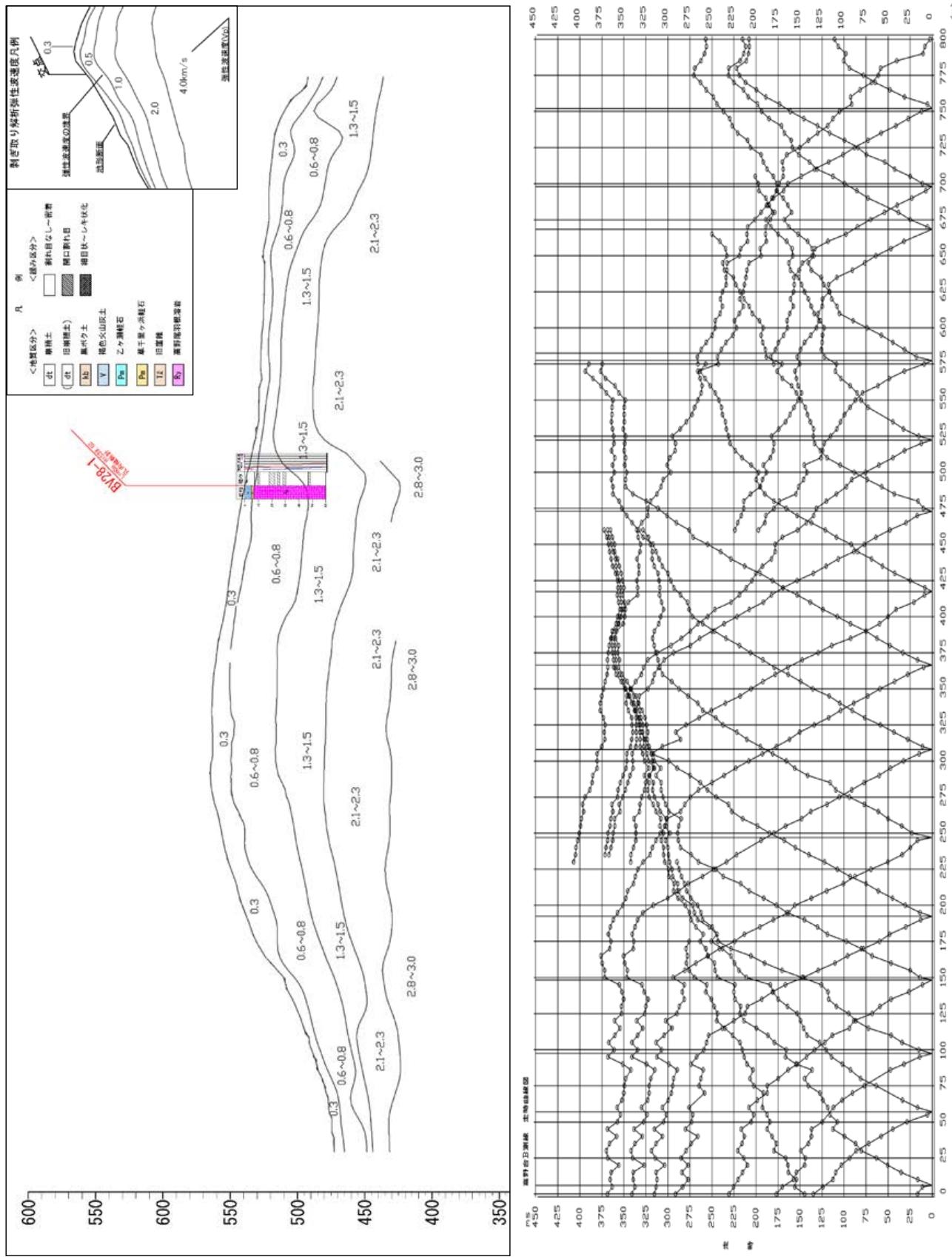


図 4.20 弾性波探査結果図(高野台 B 測線) (1/2)

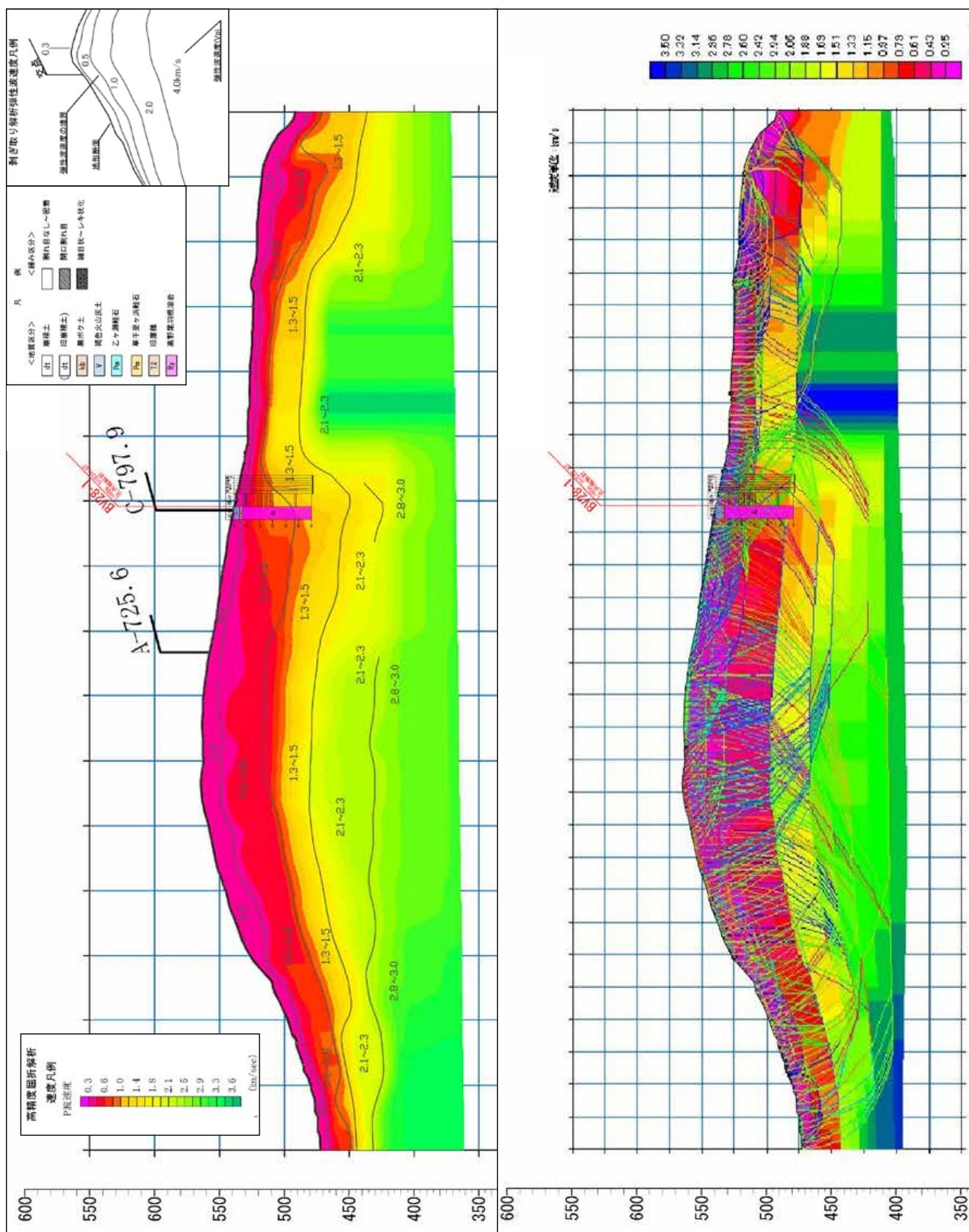


図 4.21 弾性波探査結果図(高野見探査線) (2/2)

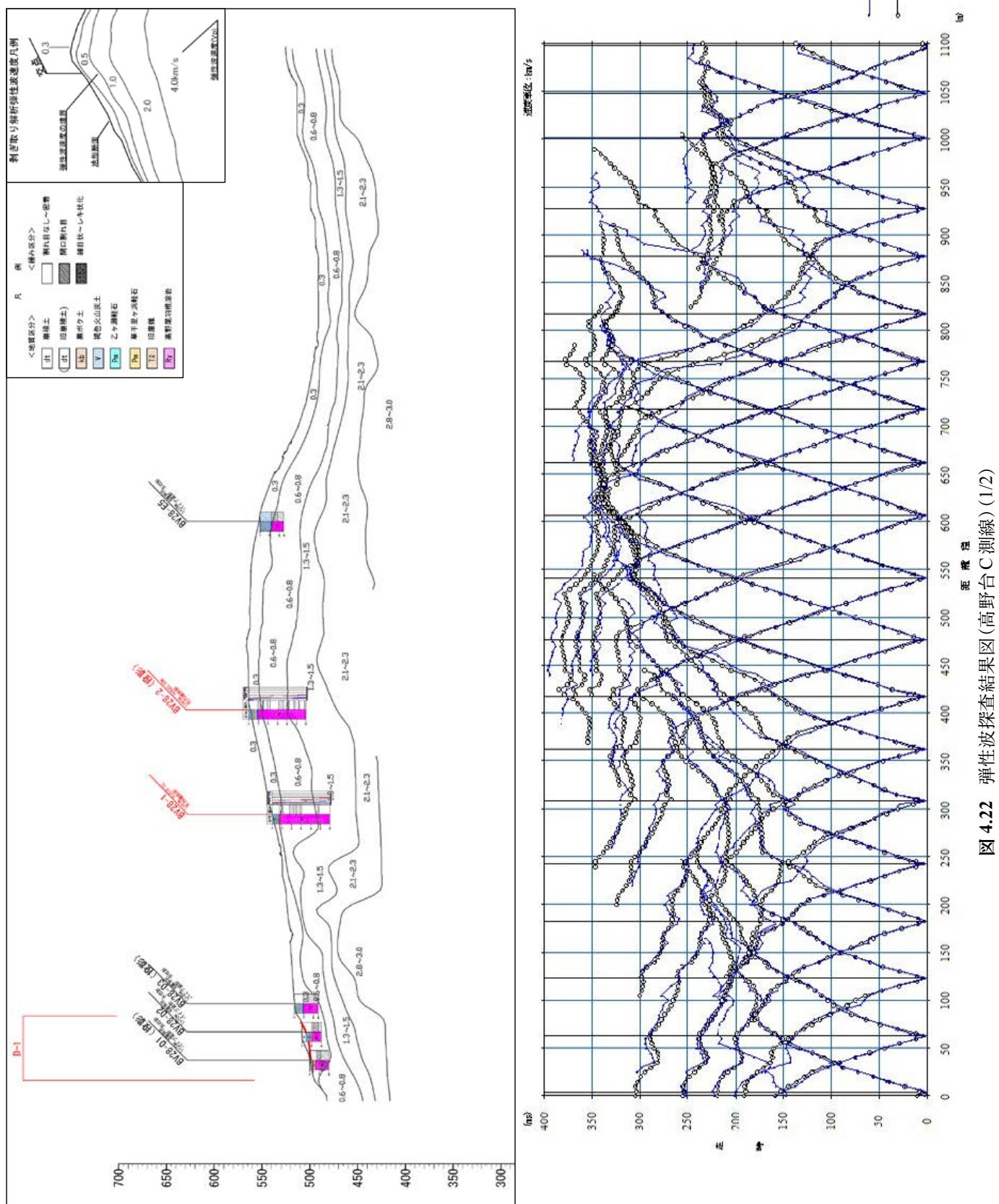


図 4.22 弾性波探査結果図(高野台C測線) (1/2)

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

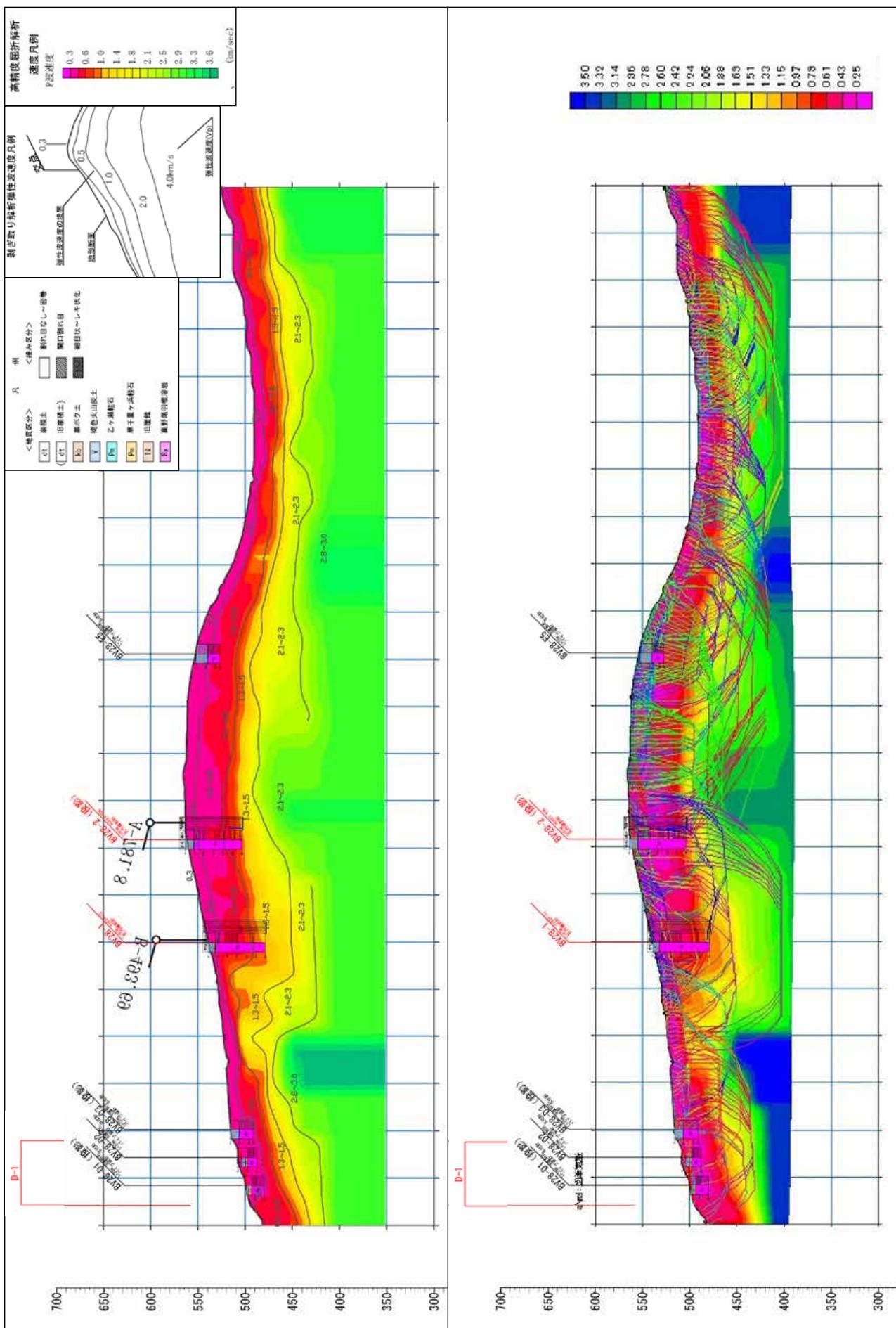


図 4.23 弾性波探査結果図(高野台C測線)(2/2)

6) 室内土質試験結果

BV28-1 および BV28-2 サンプリング孔における室内土質試験結果を以下に示す。

試験結果によれば、BV28-1 (3.0~4.0 m) は BV28-2 (5.0~6.0 m) に比べて粒度が細かくシルト分・粘土分が多い。また、三軸圧縮試験によるせん断強度は、BV28-1 (3.0~4.0 m) は BV28-2 (5.0~6.0 m) に比べて粘着力が小さい値となった。

表4.16 室内土質試験結果一覧表

試料番号		BV28-1	BV28-2
深さ		3.0~4.0 m	5.0~6.0 m
地質区分		褐色火山灰土	褐色火山灰土 草千里ヶ浜軽石
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.293	1.376
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	0.549	0.686
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.510	2.390
	自然含水比 ω_n %	135.6	105.0
	間隙比 e	3.574	2.595
	飽和度 S_r %	95.2	96.7
粒度	礫分(2~75 mm) %	0.0	1.8
	砂分(0.075~2 mm) %	30.2	51.0
	シルト分(0.0005~0.0075 mm) %	40.6	31.2
	粘土分(0.005 mm 未満) %	29.2	16.0
	最大粒径 mm	2	9.5
コンシステンシー特性	液性限界 ω_L %	76.4	93.1
	塑性限界 ω_p %	60.5	76.7
	塑性指数 I_p	15.9	16.4
せん断	試験条件	CU	CU
	全応力	c kN/m ²	31.27
		ϕ °	14.5
	有効応力	c kN/m ²	15.30
		ϕ °	31.7
			25.88
			31.9

4.2.3. 大峯山地区

大峯山地区では、ボーリング調査、PS検層、弾性波探査、室内試験を行った。調査位置および調査結果を以下に示す。

1) 調査箇所の選定

資料収集および現地調査の結果から、以下の現象が確認された。

- ① 尾根沿いおよび斜面中腹に南西—北東方向の段差・右横ずれ亀裂が連続する。（この2条の段差亀裂群は既存文献に記載された布田川断層の位置に概ね相当する。）
- ② ずれ亀裂の延長となる道路部では右横ずれ断層による道路のずれが認められる。
- ③ 当地区の北東側斜面では2条の段差亀裂群に挟まれた広大な緩斜面が分布する。

＜調査ボーリング：BV28-3＞

南西側斜面においては、尾根沿いの段差亀裂が明瞭である。このため尾根沿いの段差亀裂の近傍斜面が、今後の余震や降雨によって地すべり化した場合、周辺および建物への影響が高いと考え、段差亀裂の直部にBV28-3を計画した。

なお、北西側斜面は熊本県による災害関連緊急地すべり対策事業で調査ボーリングが実施されている。

＜弾性波探査：A測線、B測線＞

弾性波探査は、当地区全体の地質状況を対比するため、調査ボーリングの計画位置と2条の段差亀裂群を含む測線（A測線）および2条の段差亀裂群に挟まれた広大な緩斜面を含む測線（B測線）を計画した。

2) 調査位置

大峯山地区の調査位置を以下に示す。

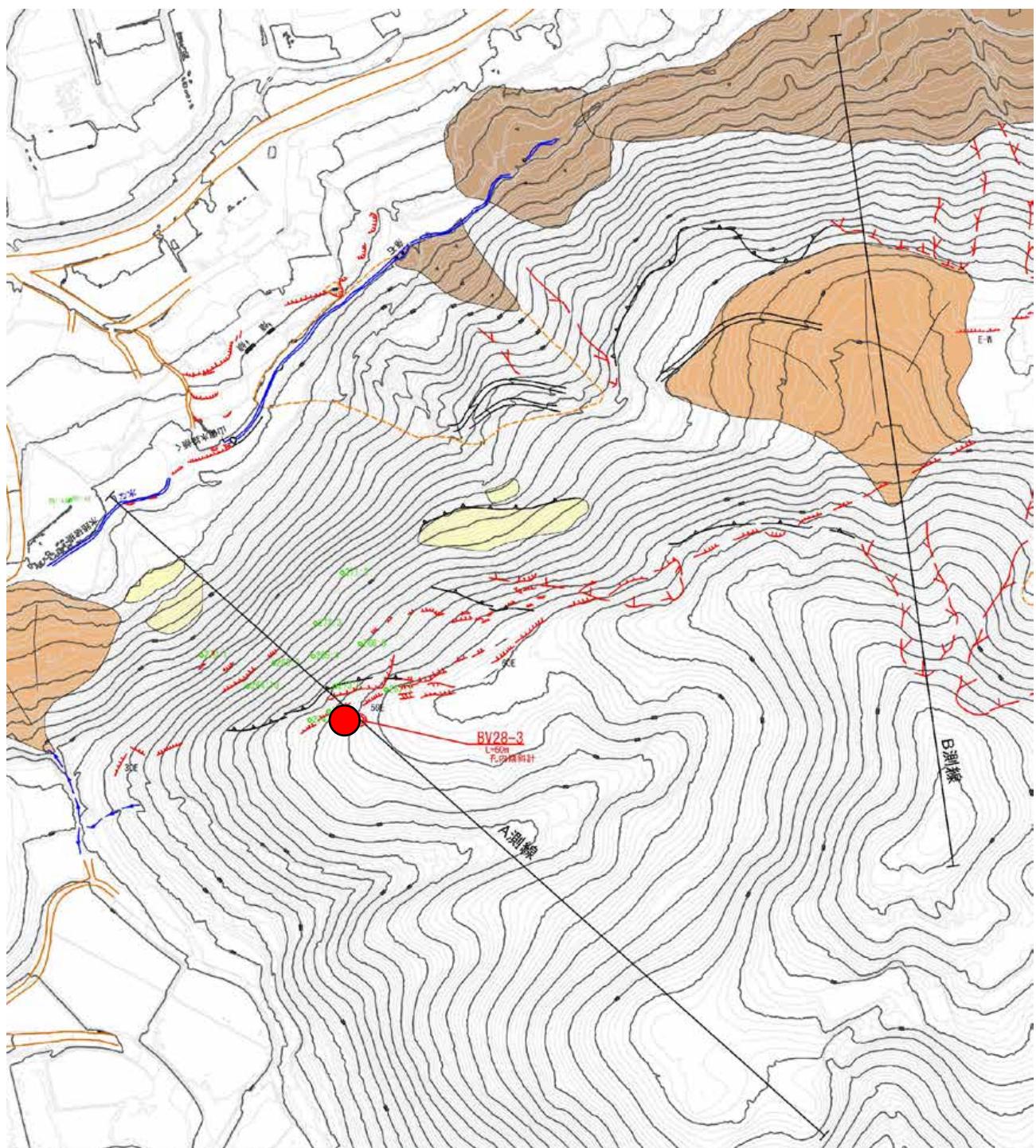


図4.24 大峯山地区 調査位置平面図

3) ボーリング調査結果

① BV28-3 (L=60.0 m, GH=328.0 3m)

BV28-3 のボーリングコア観察結果および掘進時の孔内水位変化を示す。

表4.17 BV28-3 地質状況 (1/2)

深 度	地 質	記 事
0.00 ~ 1.95 m	崩積土	非常に柔らかく指圧で容易に崩れる。植根を混入する。
1.95 ~ 6.00 m	褐色火山灰土	粘性が強くやや締まる。φ=0.5~1.0 cm 程度の軽石片を若干混入する。 4.40~4.60 m, 5.55~5.70 m : 水分を多く含み軟らかい。
6.00 ~ 8.75 m	火碎流堆積物	細粒で不均質。粘性は弱くやや締まる。φ=0.1~1.0 cm 程度の軽石片、安山岩礫を混入する。
8.75 ~ 10.10 m	火碎流堆積物	礫状～岩片状コアとして採取される。φ=0.5 cm 前後の亜角礫主体。
10.10 ~ 24.80 m	安山岩-破碎状	主に岩片状～礫状コアとして採取される。全体的に赤褐色に変質。風化・破碎が著しく、一部細粒化する。 10.1~10.65 m, 10.7~11.0 m : 短柱状コア。硬質で比較的新鮮。 11.0~12.05 m : 著しく破碎され礫状となる。 12.05~18.0 m : 高角度亀裂沿いに風化、粘性土が進行する。やや軽石質となる。
24.80 ~ 28.00 m	安山岩～火碎岩混在層	主に岩片状～礫状コアとして採取される。全体的に変質。やや軽石質となる。
28.00 ~ 37.10 m	安山岩～火碎岩混在層	主に短柱状コアとして採取される。やや軽石質で部分的に割れ目が多い。 以下の震度で高角度の開口割れ目が見られる。 28.0~28.65 m, 30.2~30.5 m, 34.3~34.95 m
37.10 ~ 39.30 m	安山岩～火碎岩混在層	安山岩質溶岩。硬質であるが割れ目がややあり短柱状コアとなる。 39.05~39.30 m : やや淡赤色を帯びる。
39.30 ~ 60.00 m	火碎岩	安山岩質溶岩に赤褐色に変質した礫、岩塊が縞状・渦状に取り込まれた産状を呈す。

表4.18 BV28-3 地質状況 (2/2)

深 度	地 質	記 事
39.30 ~ 60.00 m	火碎岩	<p>主に岩片状～短柱状コアとして採取されるが、部分的に礫状・粘土化する。</p> <p>43.30～43.70 m: 矸混じり粘土状。φ0.1～0.5 cm 前後の亜角礫主体。</p> <p>46.50～47.00 m: 割れ目が網目状に発達する。</p> <p>47.20～47.35 m: 矸状化。</p> <p>47.50～49.30 m: 高角度の割れ目が発達し、割れ目沿いに一部礫状化する。</p> <p>50.20～50.40 m: 矸状化。</p> <p>56.60 m 以降は赤褐色に変質した礫、岩塊がやや少なくなる。主に短柱状コアとして採取されるが部分的に割れ目が発達する。</p>

図4.25 BV28-3 ポーリングコア写真(1/3)

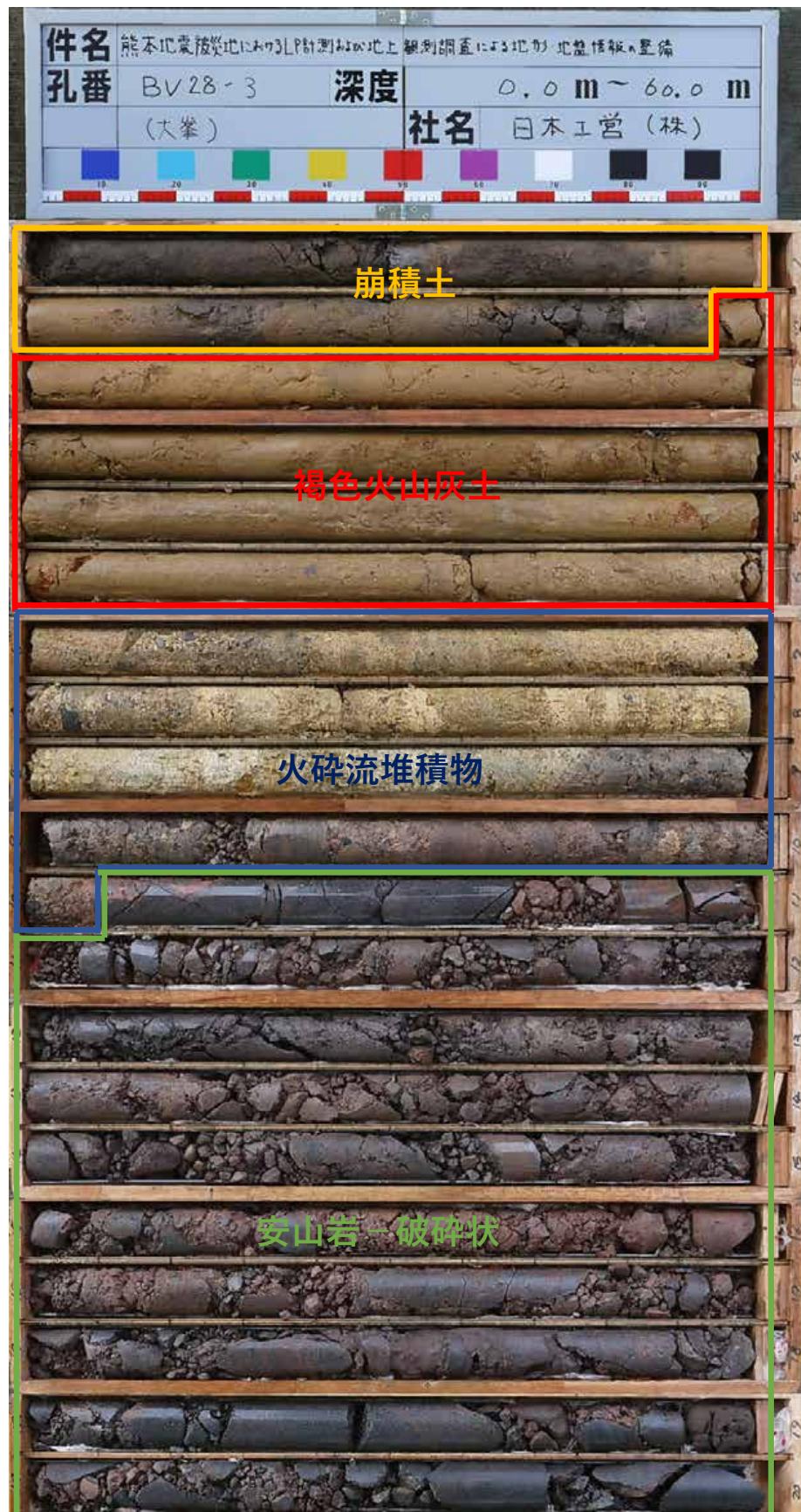


図4.26 BV28-3 ポーリングコア写真(2/3)



図4.27 BV28-3 ポーリングコア写真(3/3)



4) PS 検層結果

① BV28-3

PS 検層の測定結果を表 4.19 に示す、図 4.28 に示す。

表4.19 BV28-3 PS 検層測定結果

層	深度 (GL-m)	岩相	Vp (km/sec)	Vs (km/sec)	ボアソン比 (σ)
1	0 – 1.95	崩積土	0.340	0.070	0.478
2	1.95 – 6.00	褐色火山灰土	0.390	0.130	0.438
3	6.00 – 10.10	火碎流堆積物	0.460	0.190	0.397
4	10.10 – 18.00	安山岩（破碎状）	0.570	0.220	0.412
5	18.00 – 24.80	安山岩（破碎状）	0.710	0.360	0.327
6	24.80 – 28.00	安山岩～火碎岩混在層（破碎状）	0.880	0.410	0.361
7	28.00 – 37.10	安山岩～火碎岩混在層	1.150	0.460	0.405
8	37.10 – 39.30	安山岩～火碎岩混在層	1.210	0.450	0.420
9	39.30 – 50.00	火碎岩	0.930	0.470	0.328
10	50.00 – 60.00	火碎岩	1.110	0.510	0.366

熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備－酒井ほか

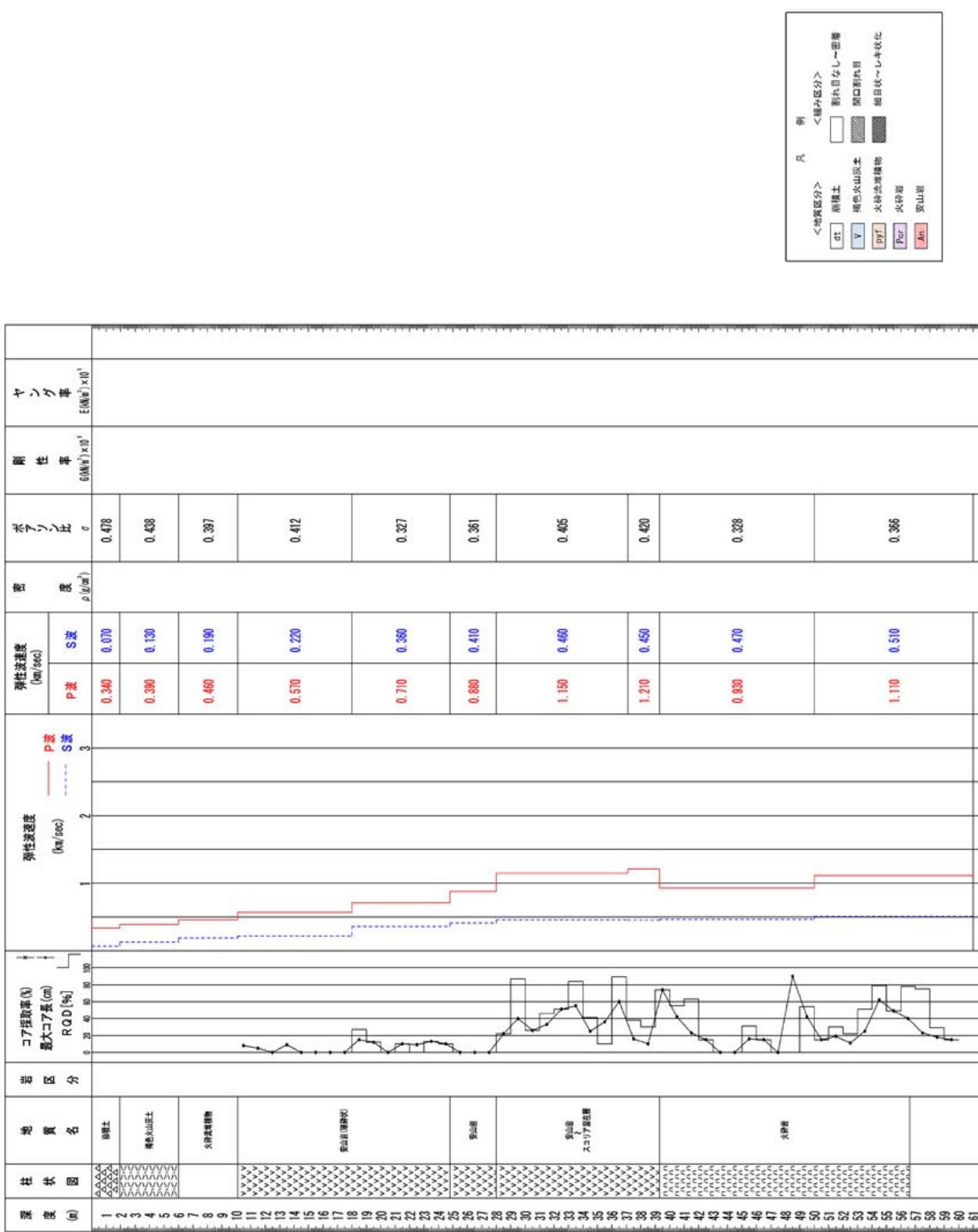


図 4.28 PS 檢層測定結果図 (BV28-3)



5) 弹性波探査結果

弹性波探査結果を走時曲線図、解析断面図（はぎとり法）、解析断面図（トモグラフィー解析）としてとりまとめた。

弹性波速度には、地盤を構成する土質・岩石自体の鉱物組成や粒子構成、粒子の固結度、空隙率、風化・変質状況や岩盤自体の割れ目状況、地圧状況が反映される。一般的な地盤と弹性波速度との関係を表4.20、図4.29に示す。

弹性波速度が速いほど岩の強度も大きくなるという物理特性、および深度が大きくなるにつれ地山の風化程度も弱くなり弹性波速度も速くなるという一般法則を利用し、地山の岩種や地山状況を推定した。

表4.20 主要地質・岩石の原位置弹性波探査伝播速度

(地盤調査の方法と解説 地盤工学会 -二分冊の1- (2014) P.118)

		P波速度(km/s)							
		0	1	2	3	4	5	6	7
沖積層									
崖錐									
乾砂礫									
含水砂礫									
洪積砂礫									
火成岩層									
火山碎屑岩									
第3紀層	頁岩								
	珪質頁岩								
	砂岩および礫岩								
	凝灰岩								
	凝灰角礫岩								
	集塊岩								
中生層	粘板岩								
	砂岩および礫岩								
	硬砂岩								
	石灰岩								
	珪岩								
	輝緑凝灰岩								
火成岩	花崗岩								
	閃綠岩								
	はんれい岩								
	かんらん岩								
	斑岩								
	ひん岩								
変成岩	輝綠岩								
	浮石質溶岩								
	岩石英粗面岩								
	安山岩								
	玄武岩								
	千枚岩								
変成岩	石墨片岩								
	石英片岩								
	緑色片岩								
	片麻岩								
	蛇紋岩								
	ホルンフェルス								

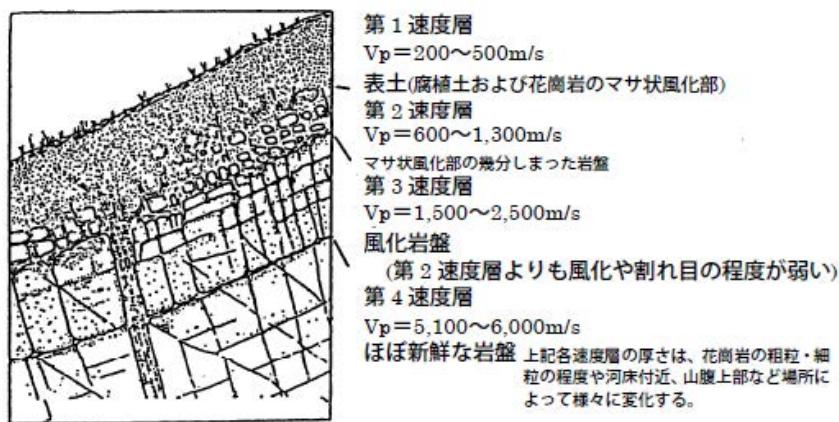


図4.29 花崗岩の一般的な風化状況と速度層
(物理探査適用の手引き (2000) P.74)

調査地の地質は、火碎岩と安山岩を主体としている。表4.20より、火碎岩は 1.2~3.2 km/sec 程度、安山岩は 2.5~5.0 km/sec 程度の速度値が期待される。

はぎとり法により、当調査地域での速度分布は、下表の通り以下の 5 層に区分された。

表4.21 弹性波速度と推定地質状況 (高野台地区)

速 度 層	弾性波速度 (km/sec)	推定地質状況
第1速度層	0.3	表土、褐色火山灰、礫状の安山岩
第2速度層	0.6~0.8	亀裂を含む火碎岩
第3速度層	1.3~1.5	一部に亀裂を含む火碎岩
第4速度層	2.1~2.3	新鮮な火碎岩
第5速度層	2.8~3.0	基盤岩

各速度層の分布・地質状況推定すれば、以下の通りである。

第1速度層 (0.3 km/sec)

本速度層は、表土、褐色火山灰、礫状の安山岩に相当すると思われる。

岩級区分ではD級（礫状の安山岩）に対応すると推測される。

第2速度層 (0.6~0.8 km/sec)

本速度層は崖錐堆積物又は、第3速度層から更に風化の進んだ火碎岩で、岩級区分ではCL~D級相当に対応すると推測される。

第3速度層 (1.3~1.5 km/sec)

本速度層は段丘堆積物又は、第4速度層から風化の進んだ火碎岩で、岩級区分ではCL~CM級に対応すると推測される。

第4速度層 (2.1~2.3 km/sec)

本速度層は、新鮮堅硬な火碎岩に相当し、岩級区分ではCH級に相当すると推測される。

第5速度層 (2.8~3.0 km/sec)

本速度層は地表から直接風化の及ばない新鮮堅硬な岩盤に相当すると思われる。岩級区分ではCH級を主体とすると推測される。

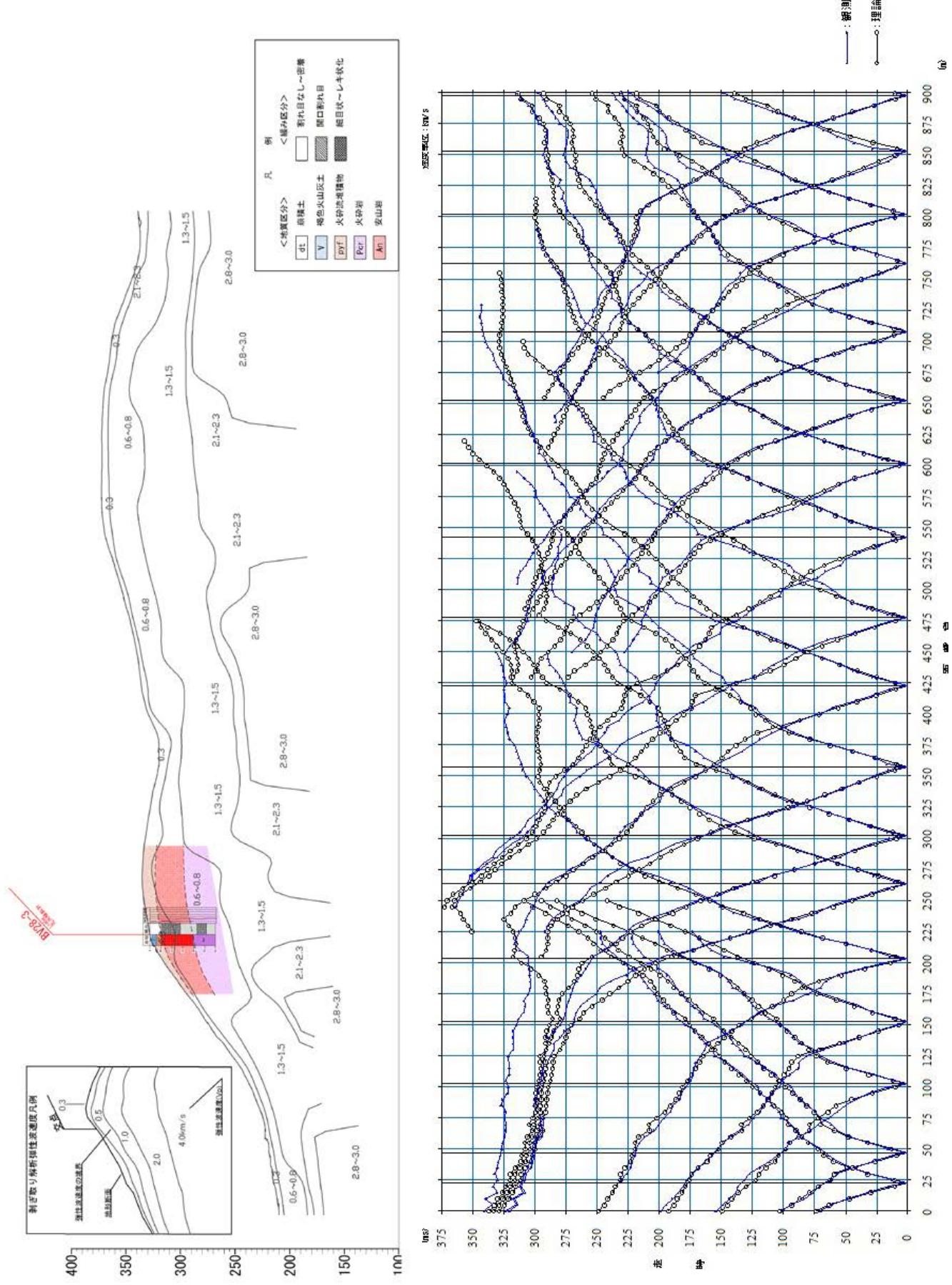


図 4.30 弾性波探査結果図(大峯山 A 測線) (1/2)

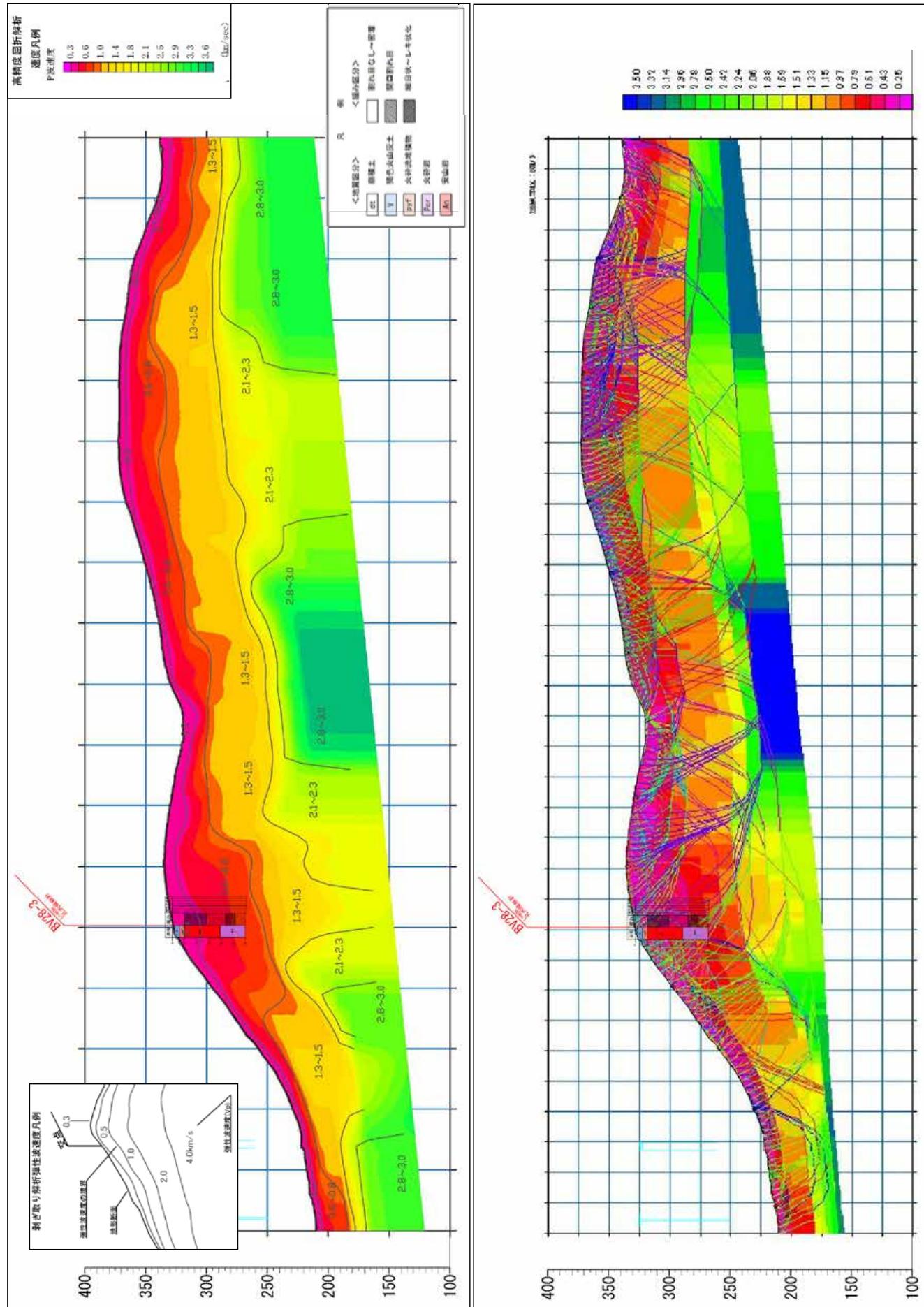


図 4.31 弹性波探査結果図(大峰山A測線)(2/2)

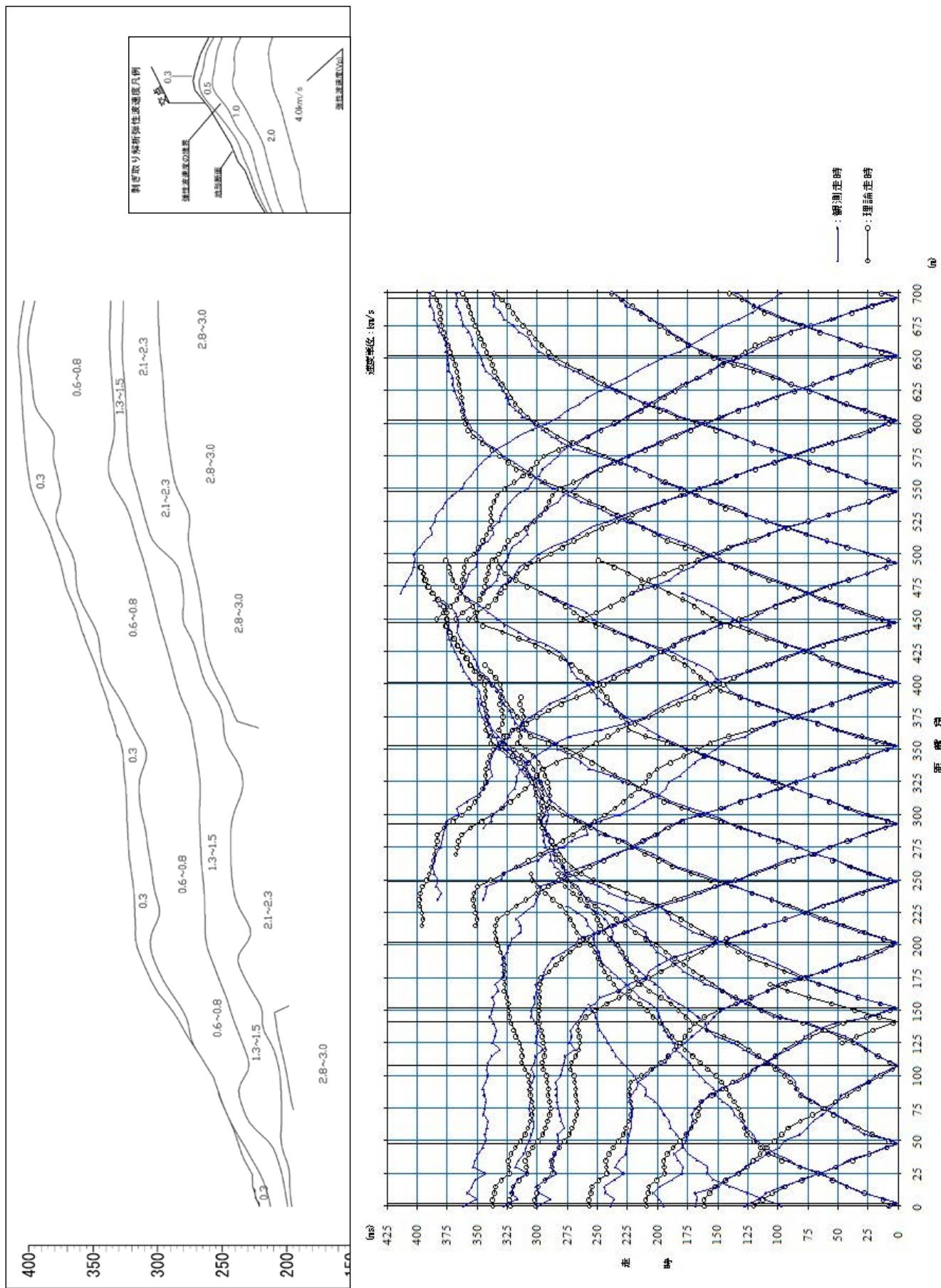


図 4.32 弾性波探査結果図(大峯山B測線) (1/2)

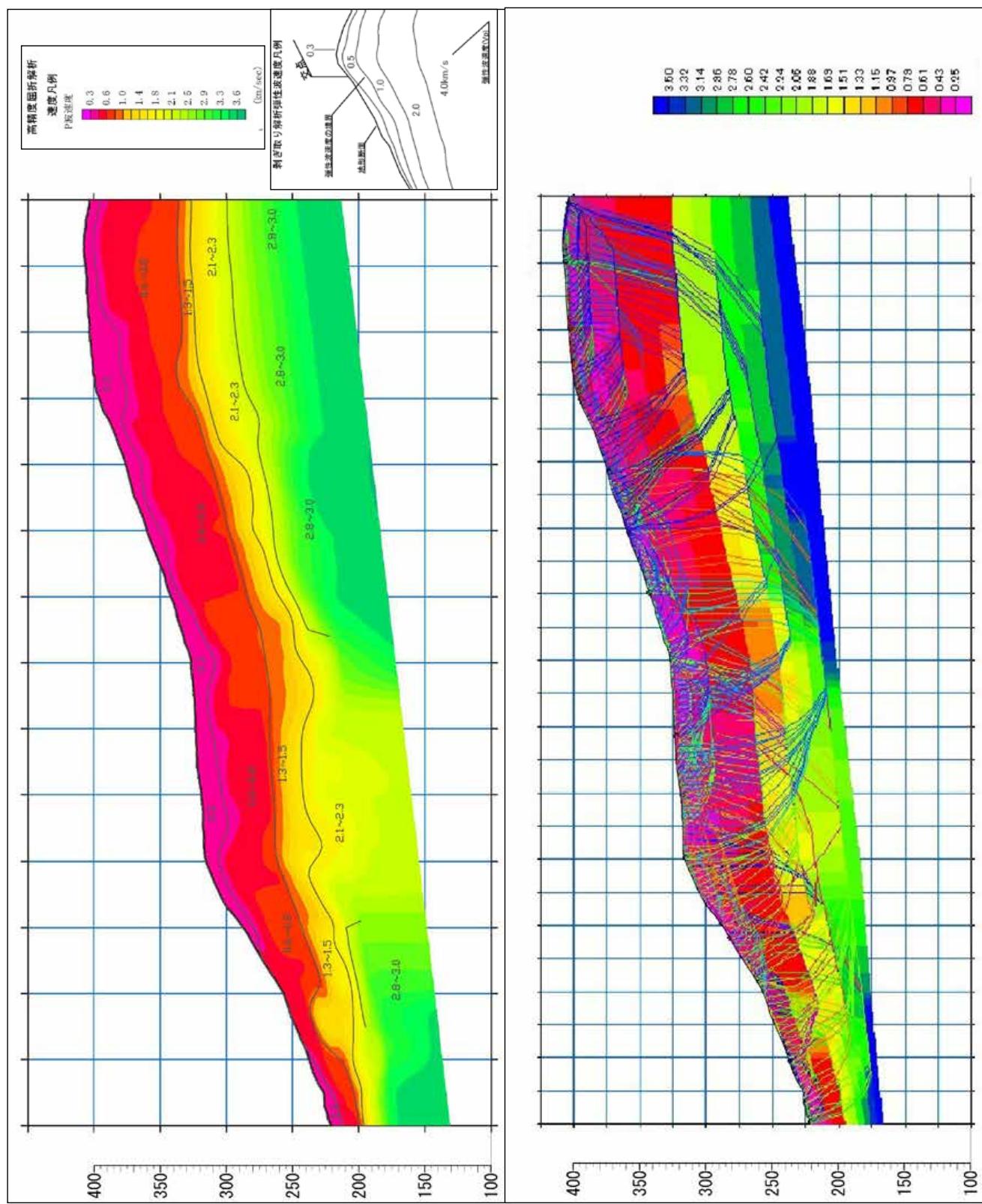


図4.33 弾性波探査結果図(大峯山B測線)(2/2)

6) 室内土質試験結果

BV28-3 サンプリング孔における室内土質試験結果を以下に示す。

表4.22 室内土質試験結果一覧表

	試料番号	BV28-3	
	深さ	3.0~4.0 m	
	地質区分	褐色火山灰土	
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.462	
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	0.746	
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.662	
	自然含水比 ω_n %	95.9	
	間隙比 e	2.567	
	飽和度 S_r %	99.5	
粒度	礫分(2~7.5mm) %	0.0	
	砂分(0.075~2 mm) %	11.6	
	シルト分(0.0005~0.0075mm) %	37.3	
	粘土分(0.005 mm 未満) %	51.1	
	最大粒径 mm	2	
ンコ シン 一 特性 テ	液性限界 ω_L %	87.8	
	塑性限界 ω_p %	58.6	
	塑性指数 I_p	29.2	
せん 断	試験条件	CU	
	全応力	c kN/m ²	22.97
		ϕ °	16.8
	有効応力	c kN/m ²	8.98
		ϕ °	34.4

4.2.4. 垂玉川地区

垂玉川地区では、弾性波探査を行った。
調査位置および調査結果を以下に示す。

1) 調査箇所の選定

資料収集および現地調査の結果から、以下の現象が確認された。

- ① 地震時に沢部に崩壊が発生し、その後の降雨や余震時に下流へ大規模な土砂流出が発生した。
- ② 地震時に発生した崩壊はいずれも沢内に限定されていたが、崩壊により川道が閉塞され、その後の余震や降雨時に下流へ土石流となり流出し、温泉施設（垂玉温泉：山口旅館）へ到達した。
- ③ 崩壊発生箇所と温泉施設間は岩盤が露出する急斜面（滝）を呈し、土石流通過後は認められるが、地震による崩壊は認められない。

＜弾性波探査：A測線、B測線＞

弾性波探査は、崩壊により土石流発生源となった滝の上部斜面で計画した。

滝の上部では崩壊地および地すべりが認められ、滑落崖には火山灰やローム層など未固結堆積物が厚く分布していることが確認された。また滝部では岩盤が露出し、新たな崩壊が認められない事より、地震により発生した崩壊は未固結堆積物層内に限定されていることが確認された。

上記の状況を考慮し、地すべりおよび崩壊を通過するA測線を計画した。また、地震により発生した崩壊および地すべりの最大層厚を把握する目的で、比較的変状の小さい斜面を通過するB測線を計画し、A測線との比較を行える調査計画とした。

2) 調査位置

垂玉川地区の調査位置を以下に示す。

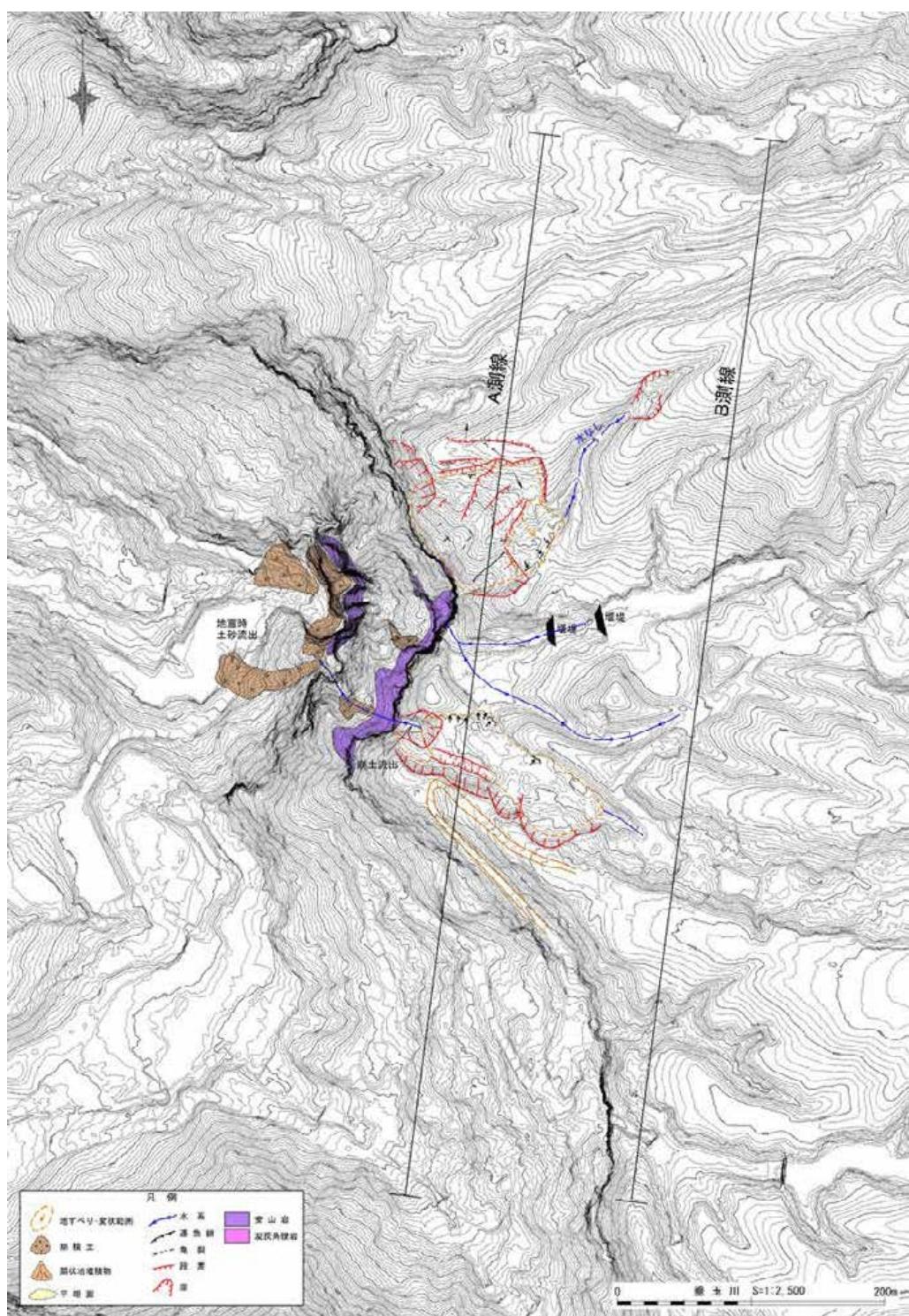


図4.34 垂玉川地区 調査位置平面図

3) 弹性波探査結果

弹性波探査結果を走時曲線図、解析断面図（はぎとり法）、解析断面図（トモグラフィー解析）としてとりまとめた。

弹性波速度には、地盤を構成する土質・岩石自体の鉱物組成や粒子構成、粒子の固結度、空隙率、風化・変質状況や岩盤自体の割れ目状況、地圧状況が反映される。一般的な地盤と弹性波速度との関係を表4.23、図4.35に示す。

弹性波速度が速いほど岩の強度も大きくなるという物理特性、および深度が大きくなるにつれ地山の風化程度も弱くなり弹性波速度も速くなるという一般法則を利用し、地山の岩種や地山状況を推定した。

表4.23 主要地質・岩石の原位置弹性波探査伝播速度
(地盤調査の方法と解説 地盤工学会 -二分冊の1- (2014) P.118)

	P波速度 (km/s)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
表土	—							
冲積層	—							
乾燥	—							
含水砂礫	—							
洪積層	—							
砂礫	—							
火成岩	—							
頁岩	—							
珪質頁岩	—							
砂岩および礫岩	—							
紀凝灰岩	—							
凝灰角礫岩	—							
集塊岩	—							
粘板岩	—							
砂岩および礫岩	—							
硬砂岩	—							
石灰岩	—							
珪藻岩	—							
輝緑凝灰岩	—							
花崗岩	—							
閃緑岩	—							
はんれい岩	—							
かんらん岩	—							
斑岩	—							
ひん岩	—							
輝緑岩	—							
浮石質溶岩	—							
岩石英粗面岩	—							
安山岩	—							
玄武岩	—							
千枚岩	—							
石墨片岩	—							
石英片岩	—							
綠色片岩	—							
片麻岩	—							
蛇紋岩	—							
ホルンフェルス	—							

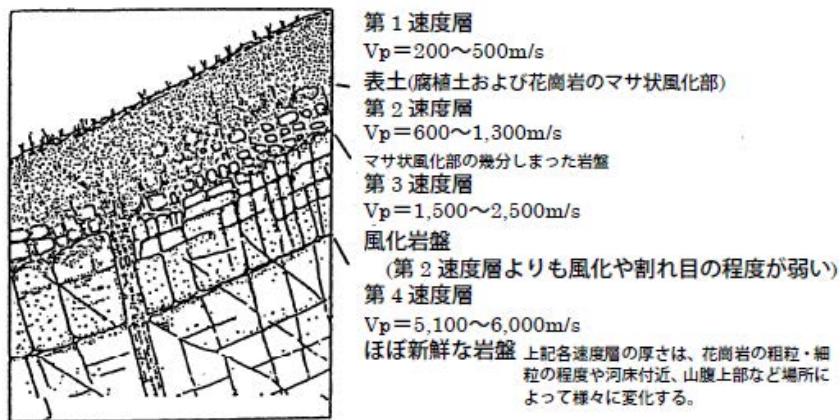


図4.35 花崗岩の一般的な風化状況と速度層
(物理探査適用の手引き (2000) P.74)

調査地の地質は、凝灰岩と安山岩を主体としている。表4.23より、凝灰岩は1.2～3.2 km/sec程度、安山岩は2.5～5.0 km/sec程度の速度値が期待される。

はぎとり法により、当調査地域での速度分布は、下表の通り以下の5層に区分された。

表4.24 弹性波速度と推定地質状況（高野台地区）

速 度 層	弾性波速度 (km/sec)	推定地質状況
第1速度層	0.3	表土、褐色火山灰、礫状の安山岩
第2速度層	0.6～0.8	亀裂を含む溶結凝灰岩
第3速度層	1.3～1.5	一部に亀裂を含む溶結凝灰岩
第4速度層	2.1～2.3	新鮮な溶結凝灰岩
第5速度層	2.8～3.0	基盤岩

各速度層の分布・地質状況推定すれば、以下の通りである。

第1速度層 (0.3 km/sec)

本速度層は、表土、褐色火山灰、礫状の安山岩に相当すると思われる。

岩級区分ではD級(礫状の安山岩)に対応すると推測される。

第2速度層 (0.6~0.8 km/sec)

本速度層は崖錐堆積物又は、第3速度層から更に風化の進んだ溶結凝灰岩で、岩級区分ではCL~D級相当に対応すると推測される。

第3速度層 (1.3~1.5 km/sec)

本速度層は段丘堆積物又は、第4速度層から風化の進んだ溶結凝灰岩で、岩級区分ではCL~CM級に対応すると推測される。

第4速度層 (2.1~2.3 km/sec)

本速度層は、新鮮堅硬な溶結凝灰岩に相当し、岩級区分ではCH級に相当すると推測される。

第5速度層 (2.8~3.0 km/sec)

本速度層は地表から直接風化の及ばない新鮮堅硬な岩盤に相当すると思われる。岩級区分ではCH級を主体とすると推測される。

4) 解析

地質調査結果等に基づき、当地区周辺の地形・地質の検討、土質定数の設定、地盤の工学的性質の検討を行った。

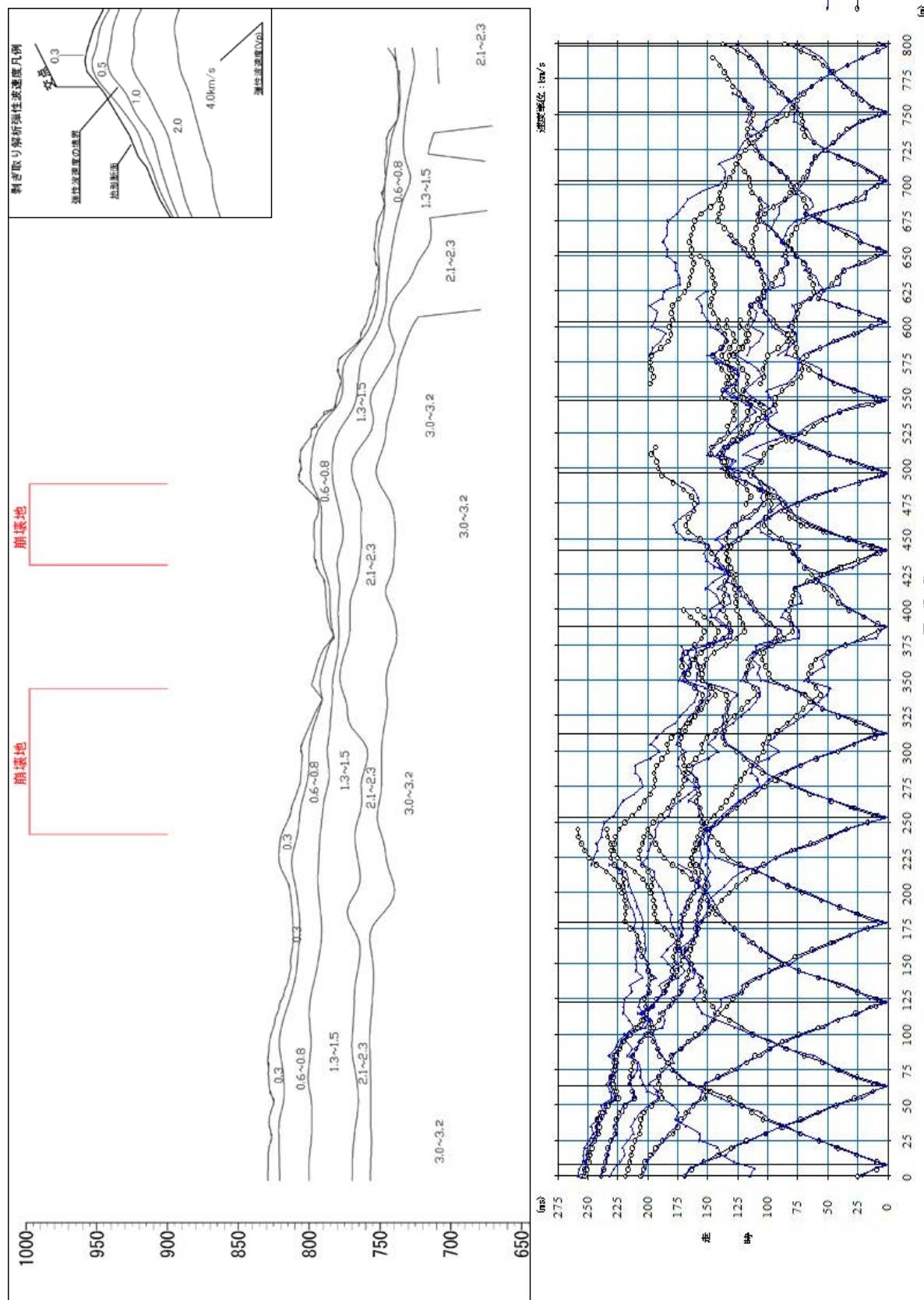


図 4.36 弾性波探査結果図(垂玉川 A 測線) (1/2)

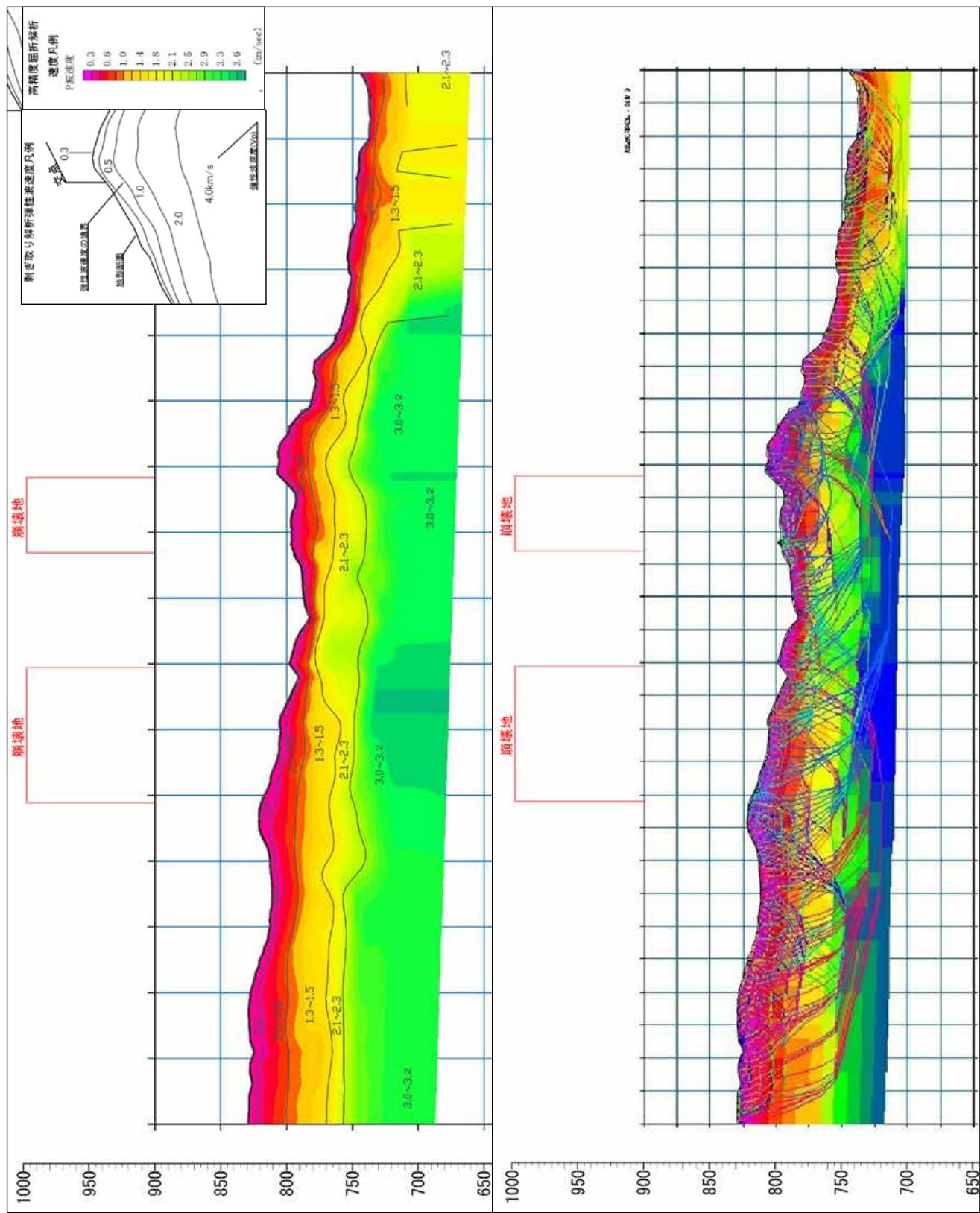


図4.37 弾性波探査結果図(垂玉川A測線)(2/2)

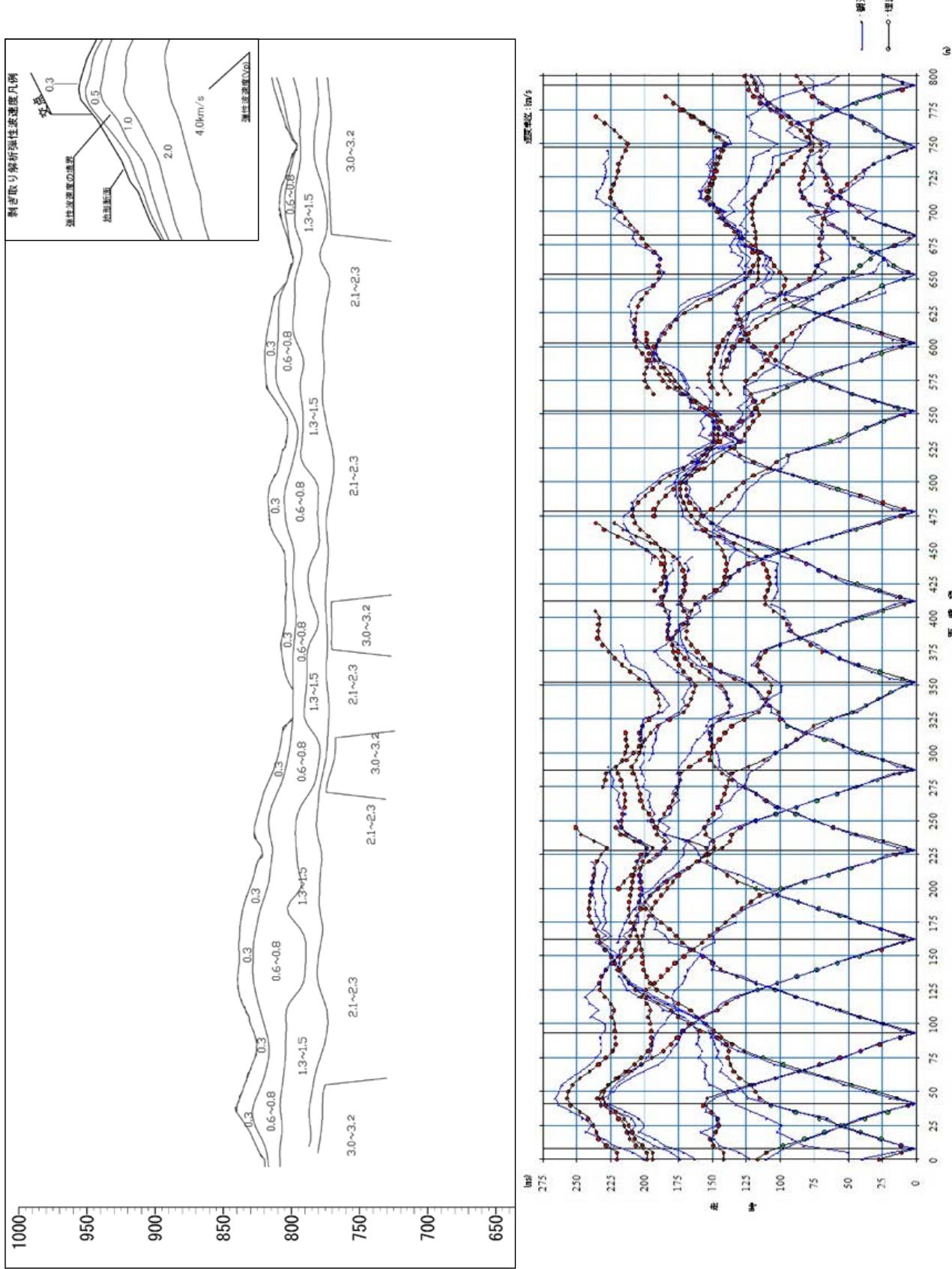


図 4.38 弾性波探査結果図(埼玉川 B 測線)(1/2)

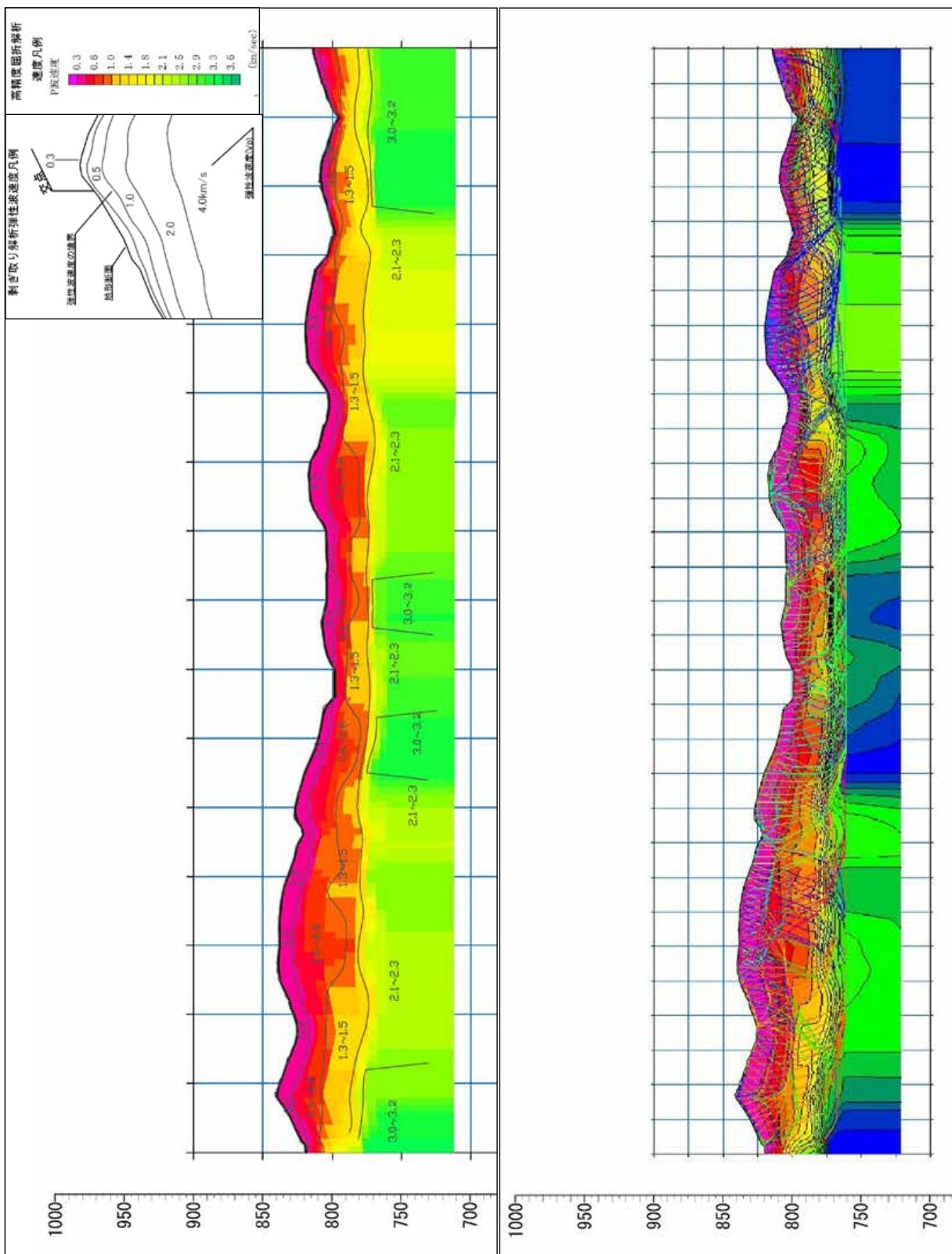


図 4.39 弾性波探査結果図(垂玉川 B 測線) (2/2)

5. 情報統合型のデータベース構築による防災サービスの提供

5.1. データベースの設計

【特記内容】

以下の項目を利用できるデータベースとしてシステムの設計を実施する。

- ・航空レーザー計測解析結果
- ・地上センサー観測解析結果
- ・土質調査結果
- ・物理探査調査結果

なお、設計の前提条件は、単独で Web 上からデータベースの検索と検索結果と観測結果の表示（地図上）ができることとする。

上記を踏まえ、以下の検討を実施した。

5.1.1. 利用者の想定

本システムは、平成 28 年 4 月に発生した熊本地震の被災地域の復旧・復興に関する計画の策定に資することが目的であることから、行政に関係する者、研究に関係する者および目的に合意した一般の方が主たる利用者であると考えられる。

【主たる利用者】

- ・熊本地震の被災地域の復旧・復興に関する行政の方
- ・熊本地震の被災地域の復旧・復興に関する研究者
- ・目的に合意した一般の方

よって、利用目的に合意した方にのみの利用とするために、ユーザ ID とパスワードを利用した認証のページを設定することとする。

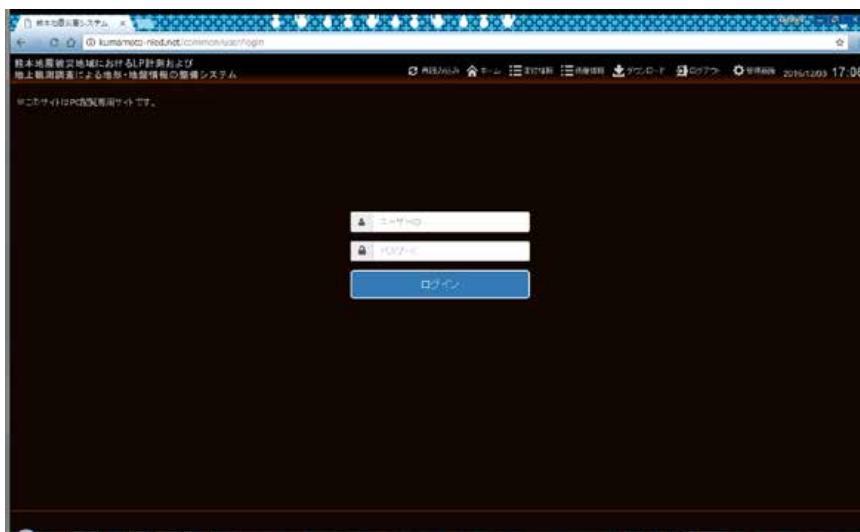


図5.1 ログイン画面

5.1.2. システム機能の検討

① 地理空間情報

広域にわたる被災の状況を把握するためには、地理空間情報としての情報提供が有用である。このため、国土地理院の提供する地理院地図（電子国土 Web）を活用する。

また、地図上に重ねる地図データは選択と透過ができるようとする。

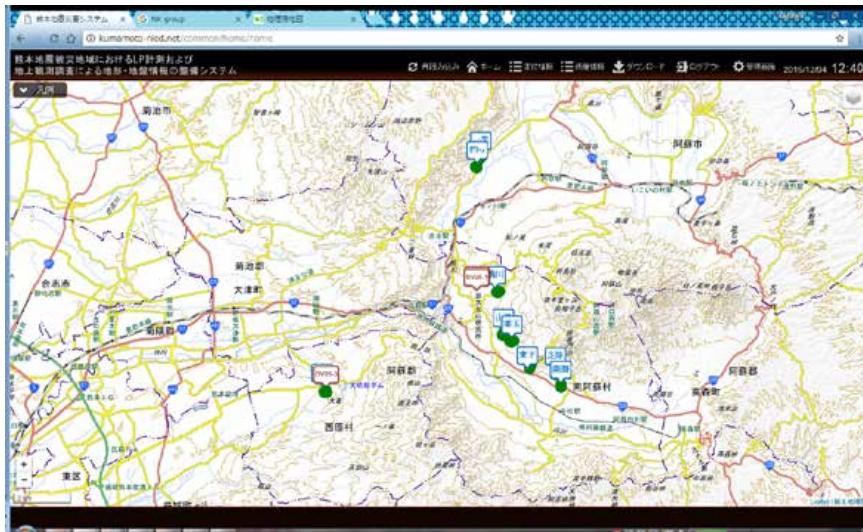


図5.2 地理院地図（電子国土 Web）の活用

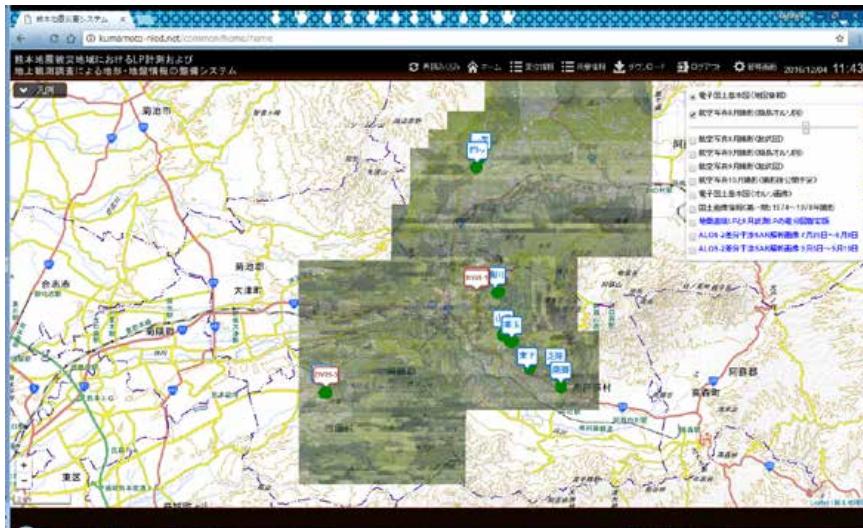


図5.3 地図上に重ねる地図データの選択と透過

② リアルタイム情報

地図情報上に表示した雨量計のポイントデータからポップアップされるリンク情報から、連続雨量と日雨量のグラフを参照できるようとする。

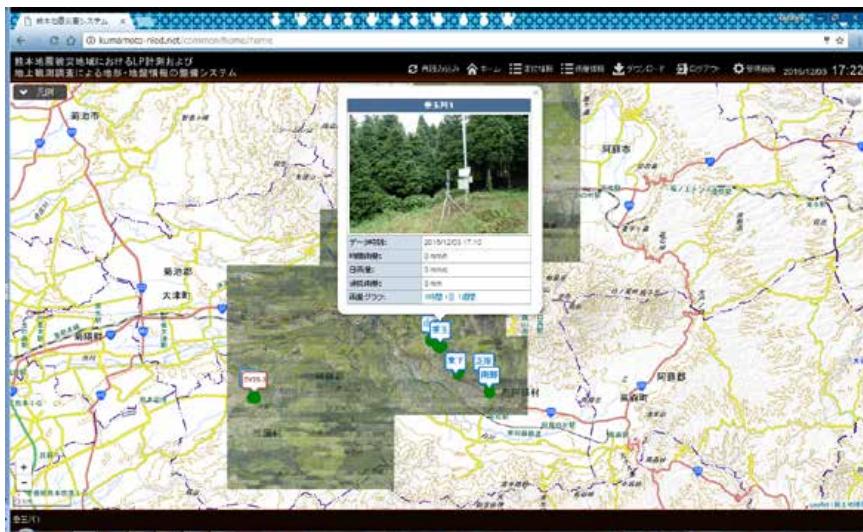


図5.4 雨量情報ポップアップ

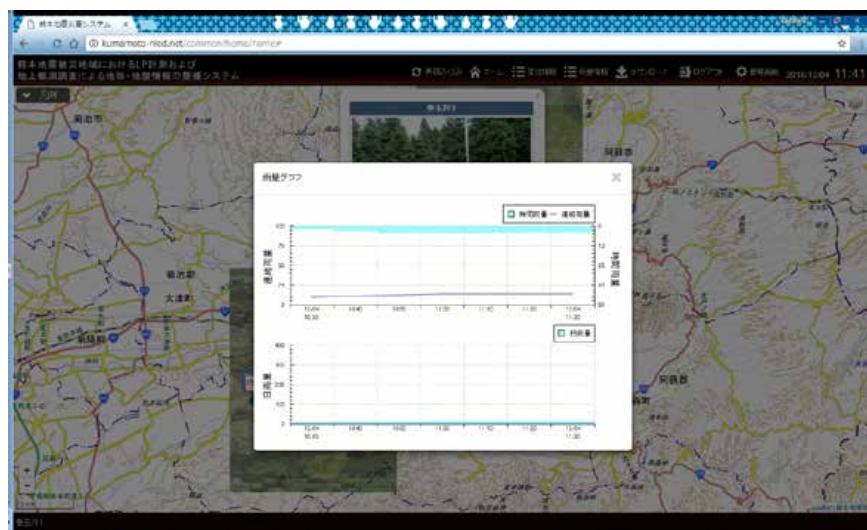


図5.5 連続雨量と日雨量のグラフ

同じく、杭情報に関する杭のポイントデータからポップアップされるリンク情報から、杭の傾きのグラフを参照できるようにする。

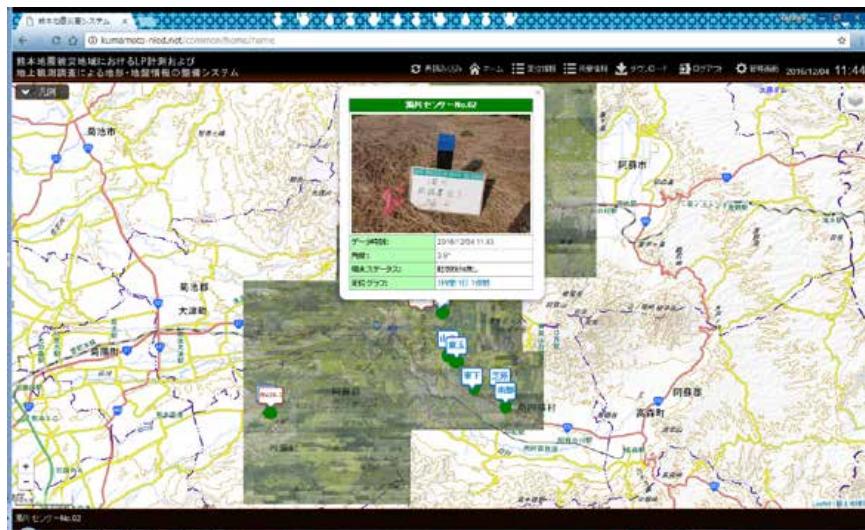


図5.6 杭情報のポップアップ

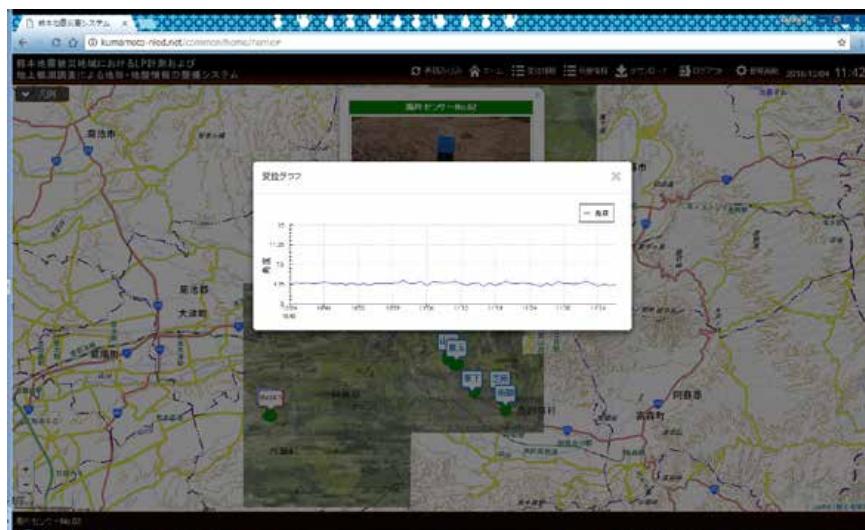


図5.7 杭の傾きのグラフ

さらに、雨量計および杭情報の全データの現状を確認可能な画面を用意し、一覧性を高めた画面を用意する。

その際、雨量計の場合は、1時間雨量、24時間雨量および連続雨量を表示する。

杭情報の場合は、最新の傾斜時刻、最新の傾斜 最新の傾斜と10分前の傾斜との差分および最新の傾斜と1時間前の傾斜との差分を表示する。



図5.8 雨量計の現状表示画面

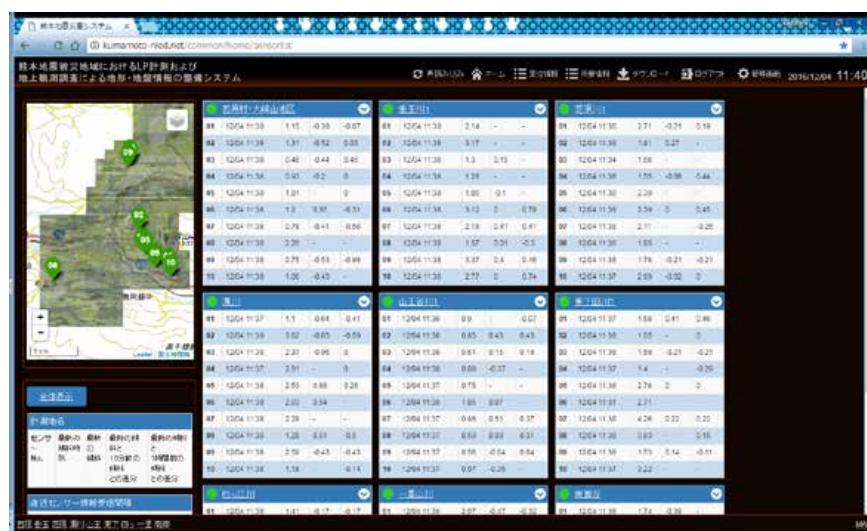


図5.9 杭情報の現状表示画面

③ 警報通知機能

杭の傾きが15度に達した場合、傾き通知が送られてくる。この情報をもとにメール配信を行う警報通知機能を実装する。



図5.10 杭転倒の通知メール

④ データ提供

雨量計および杭情報の収集されたデータを提供できる機能を実装する。

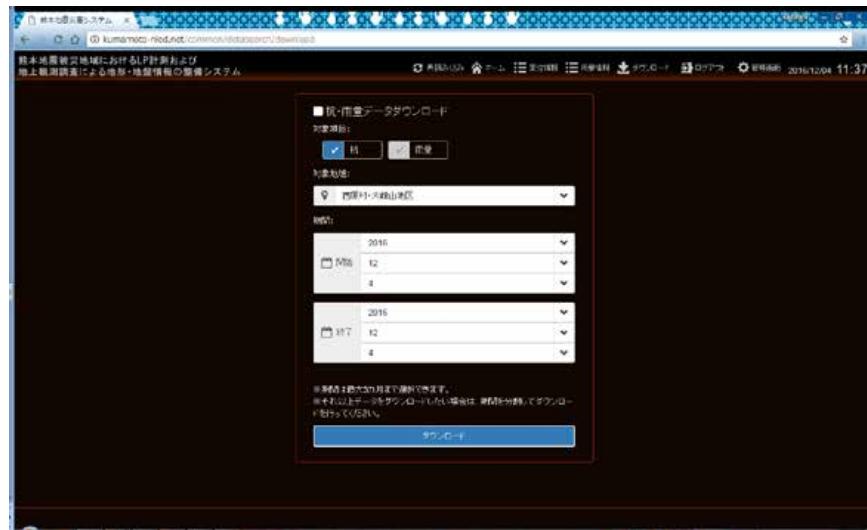


図5.11 リアルタイムデータの提供画面

⑤ 管理画面

警報通知機能として登録されているメールアドレスを管理できる画面を用意する。
管理画面へ移行するには、専用の ID とパスワードを利用する。

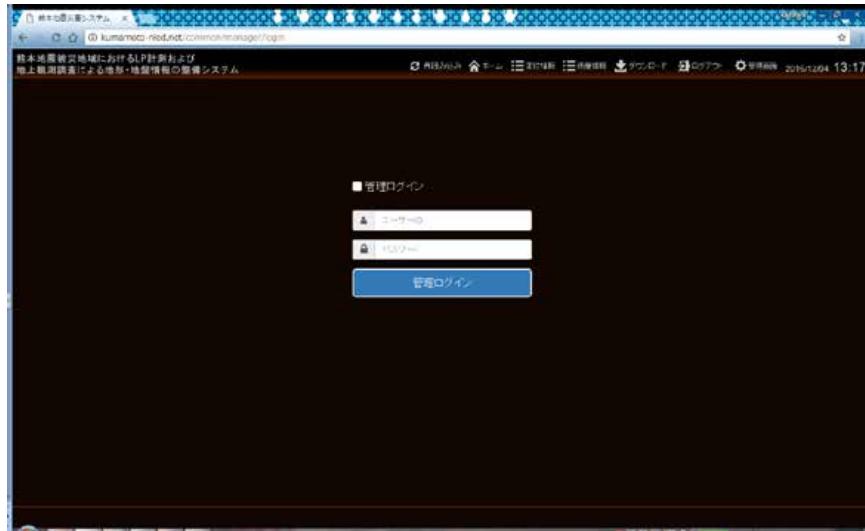


図5.12 管理画面用 ID とパスワード画面

■ 現行部門のおおらせ先メールアドレス管理画面					
対象地域:					
<input type="button" value="対象選択"/>		<input type="button" value="メール登録一覧"/>			
<input type="button" value="メール登録一覧"/>		※チェックのひとつもメールアドレス間にコトメールを配置します。 ※名前欄のチェックを選択するごとにチェックが入ります。			
名前	メールアドレス	更新日時	変更	削除	
防災課 調査担当 桜井 雄実	ryukin.sakai@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
防災課 国土災害課 調査担当(災害管理担当) 桜井 雄実	sakai.yuji@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
防災課 4防振室 土木防災担当(防災管理担当) 桜井 雄実	tanaka.yuji@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
防災課 防災管理課 事務 田舎 健	itaichi.tanaka@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
防災地盤調査室 工務課第一課 主任担当者 小林 信一	tanaka.yuji@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
災害地盤調査室 工務課第一課 主任担当者 新木 公一	tanaka.yuji@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
防災地盤調査室 工務課第一課 合掌 信木 伸	tanaka.yuji@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
防災科長 上石	kamishi@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
防災科幹 通木	tanaka.yuji@*	03/14/20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

図5.13 メールアドレス管理画面

5.1.3. システム構成の検討

① システム構成

本システムは、インターネット上に公開された地理院地図（電子国土 Web）のデータを利用する。

また、熊本県庁をはじめとする行政関係者や、防災科研をはじめとする研究者が利用できるようにするために、特別な内部 LAN を新たに構築するのではなく、既に利用できるインターネットを利用するのが効率的である。

よって、システムはインターネット上に設置するシステム構成とした。

なお、当初は熊本県庁内にシステムを設置することを想定していたが、早期に調査成果を公開する必要があり、調整に時間要する熊本県庁内にシステムを導入することは困難であることからクラウドシステムにて公開することとした。

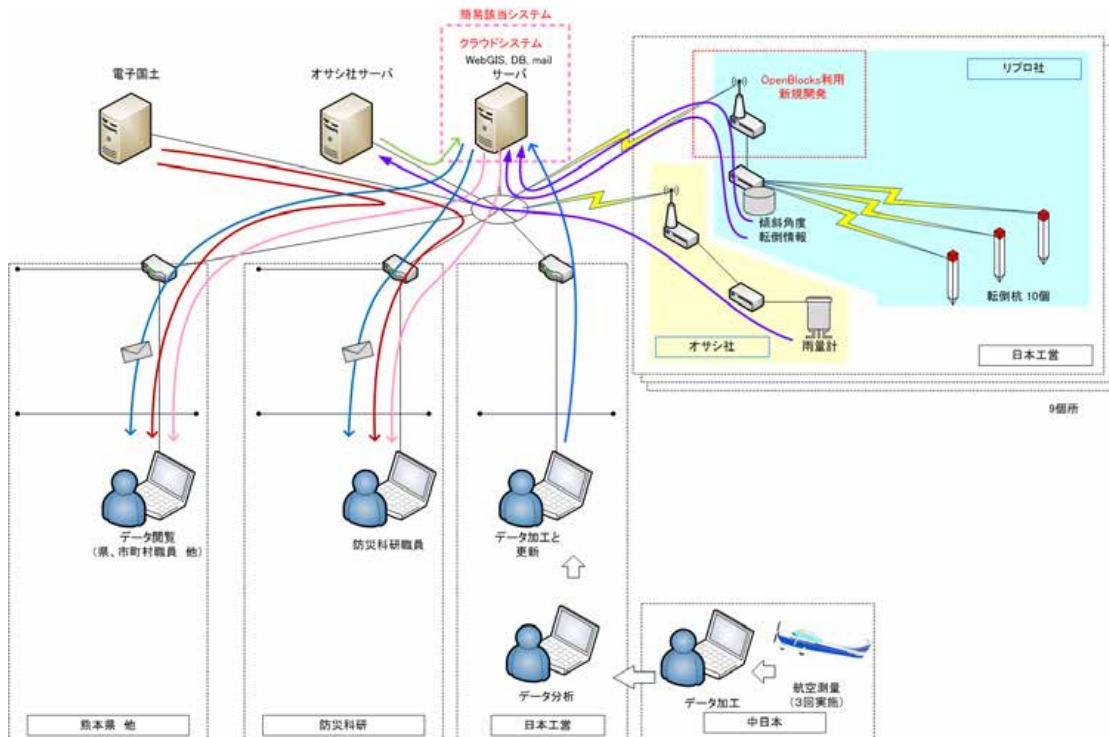


図5.14 システム構成

② クラウドサーバ内構成

リアルタイムデータを受信するシステムは、メンテナンスなどによる長時間のシステム停止を行うことが難しい。

なお、データ受信によるサーバ負荷は一定であり、複数のサーバを同時に利用した不可分散を考慮する必要は少ない。

よって、データ受信を行うフロントエンドの部分を2重化し、1つを本番運用系、1つを待機系とする。フロントエンド部分の切り替えは、DNSの設定変更によって実施する。

また、データを保存するデータベースや地理情報の地図データ等の部分は、メンテナンスが行われる頻度が少ないとことから、フロントエンドから共通に使える部分に配置し利用する。

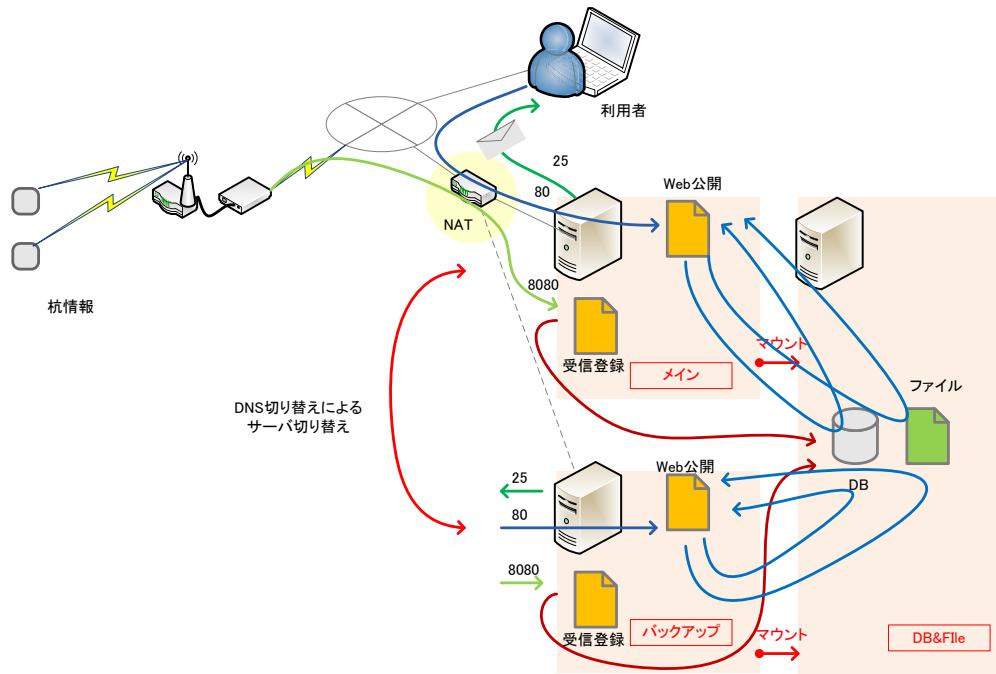


図5.15 クラウドサーバ内構成

5.1.4. 画面構成の検討

上記までの検討を踏まえ、画面構成の検討を実施した。

検討結果は、画面仕様書として別途とりまとめた。

5.1.5. データベースの検討

上記までの検討を踏まえ、データベースの検討を実施した。

検討結果は、データベース定義書として別途とりまとめた。

5.2. データベースの構築

【特記内容】

設計に基づき、システムの開発を実施する。発注者が別途用意するサーバ（熊本県内を想定）に対し、システムの稼働に必要な動作環境を構築し、開発したシステムをインストールする。あわせて、システムの機能が正常に動作するよう動作確認を行うとともに、関連データの登録を実施する。

上記を踏まえ、以下の検討を実施した。

5.2.1. システム開発、インストールおよび動作確認

上記の検討をもとに、システム開発を実施した。システム開発は、社内環境に構築したシステムで実施し、開発が終了したものをお部公開サーバ（クラウド）にインストールした。

なお、早期に情報を提供することを目的としたため、開発できた部分から順次公開する方法を採用した。

5.2.2. 関連データの登録

① 航空レーザー計測解析結果の登録

- ・航空写真 0時データ（簡易オルソ図）
- ・航空写真 8月撮影（簡易オルソ図）
- ・航空写真 8月撮影（起伏図）
- ・0次と8月撮影時との差分図
- ・航空写真 9月撮影（簡易オルソ図）
- ・航空写真 9月撮影（起伏図）
- ・8月撮影時次と9月撮影時との差分図
- ・航空写真 10月撮影（簡易オルソ図）
- ・航空写真 10月撮影（起伏図）
- ・9月撮影時次と10月撮影時との差分図

② 土質調査結果

- ・高野台地区ボーリングデータ（BV28-1）
- ・高野台地区ボーリングデータ（BV28-2）
- ・大峰地区ボーリングデータ（BV28-3）

③ 物理探査調査結果

- ・高野台地区 物理探査結果
- ・大峰地区 物理探査結果

表5.1 システム開発、インストールおよび動作確認のスケジュール

開発項目	開発期間	インストール および動作確認
1) Web-GIS 基本システム	8月中旬～8月下旬	8月下旬
2) 基本ログイン機能	8月中旬～8月下旬	8月下旬
3) 雨量データ公開	8月中旬～8月下旬	8月下旬
4) 杭データ送信システム（暫定）	8月中旬～8月下旬	8月下旬
5) 杭データ公開（1個所）	8月中旬～9月上旬	9月上旬
6) 杭データ公開（9か所）	8月中旬～9月下旬	9月下旬
7) 杭転倒メール（暫定）	9月上旬～9月中旬	9月中旬
8) 航空データ公開機能	9月上旬～9月中旬	9月中旬
9) 雨量データ現状表示	9月中旬～9月下旬	9月下旬
10) 杭データ現状表示	9月中旬～9月下旬	9月下旬
11) 雨量データグラフ（暫定）	9月中旬～9月下旬	9月下旬
12) 杭データグラフ（暫定）	9月中旬～9月下旬	9月下旬
13) 杭送信システム（改良）	9月中旬～9月下旬	9月下旬
14) ダウンロード機能	9月中旬～10月上旬	10月上旬
15) メール配信機能	9月中旬～10月上旬	10月上旬
16) 雨量データグラフ（改良）	9月下旬～10月下旬	10月下旬
17) 杭データグラフ（改良）	9月下旬～10月下旬	10月下旬
18) 航空データ透過機能（固定）	10月下旬～11月上旬	11月上旬
19) 航空データ透過機能（個別）	11月上旬～11月下旬	11月下旬
20) 土質調査結果公開	11月下旬～12月中旬	12月中旬
21) 物理探査調査結果公開	11月下旬～12月中旬	12月中旬

要 旨

平成28年(2016年)熊本地震によって、熊本県内では多数の土砂災害が発生した。その結果、崩壊地周辺の斜面や渓流沿いに大量の崩土が堆積したほか、斜面上に多数の亀裂が形成されており、今後も二次災害の発生が懸念される。そこで、地震で多数の崩壊や亀裂形成のあった熊本県阿蘇市、阿蘇郡南阿蘇村および西原村を含む地域において、多時期にわたる航空レーザ計測、崩壊検知センサー(MEMS式傾斜センサー)を用いた地上観測、地盤調査(ボーリング調査・PS検層・弾性波探査)および土質試験(標準物理試験・三軸圧縮試験)を行い、地震動の影響で著しく変化した地形・地盤情報を整備した。そして、整備された地形・地盤情報を被災地域自治体の防災担当者や住民にわかりやすく伝え、復旧・復興に役立ててもらうために、クラウドシステムによって各種情報を統合・可視化した防災情報データベースを構築した。

キーワード：平成28年熊本地震、斜面崩壊、航空レーザ、地上モニタリング、情報統合