

ISSN 1346-7328
国総研資料 第875号
ISSN 0386-5878
土木資料 第4302号
平成27年11月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management, No.875

土木研究所資料

TECHNICAL NOTE of Public Works Research Institute, No.4302

November 2015

平成25年（2013年）台風26号伊豆大島土砂災害調査報告
Report on Investigations into Disasters in Izu Oshima Island Caused by Typhoon Wipha in 2013

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国立研究開発法人 土木研究所

National Research and Development Agency,
Public Works Research Institute, Japan

Copyright © (2015) by N. I. L. I. M and P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director-General of N. I. L. I. M and Chief Executive of P. W. R. I.

この報告書は、国土交通省国土技術政策総合研究所所長、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国土技術政策総合研究所所長、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

平成 25 年（2013 年）台風 26 号伊豆大島土砂災害調査報告

Report on Investigations into Disasters in Izu Oshima Island Caused by Typhoon Wipha in 2013

概 要

平成 25 年(2013 年)10 月の台風 26 号に伴う豪雨により、伊豆大島では、大規模な崩壊及び土石流が発生し、甚大な被害が生じた。

国土技術政策総合研究所及び(国研)土木研究所では、発災当日より災害の実態把握・解明および二次災害発生防止・行方不明者の捜索等への支援などを目的とし、土砂災害の専門家を現地に派遣した。

本報告は、この火山地域における甚大な土砂災害の実態・特性について調査・検討を行ってきたので、ここに報告するものである。

キーワード：土砂災害、台風、火山地域、崩壊、土石流

Synopsis

Typhoon Wipha in 2013 brought heavy rainfall around Izu Oshima Island, causing a number of sediment disasters such as landslides and debris-flows.

Immediately after the disaster occurred, NILIM (National Institute for Land and Infrastructure Management) and PWRI (Public Works Research Institute), jointly dispatched a team of technical experts to urgently provide the local authorities and rescue teams with technical support for avoiding secondary disasters and to investigate the disasters.

This report summarizes investigation results with emphasis on disastrous sediment behavior characteristic of a volcanic region.

Keywords: Sediment disaster, Typhoon, Volcanic region, Landslide, Debris flow

平成 25 年（2013 年）台風 26 号伊豆大島土砂災害調査報告

目次

執筆者一覧

1. まえがき.....	1-1
2. 台風 26 号災害概要.....	2-1
2.1 自然条件.....	2-1
2.1.1 地形・地質.....	2-1
2.1.2 気候・気象.....	2-1
2.2 社会条件.....	2-2
2.2.1 人口.....	2-2
2.2.2 法規制等.....	2-3
2.2.3 伊豆大島における過去の土砂災害.....	2-4
2.3 伊豆大島豪雨の概要.....	2-5
2.3.1 気象概要.....	2-5
2.3.2 被害概要.....	2-6
2.3.3 国土技術政策総合研究所・土木研究所による支援概要.....	2-8
3. 現地調査結果と伊豆大島土砂災害の特徴.....	3-1
3.1 崩壊地の調査と発生した崩壊の特徴.....	3-1
3.1.1 大金沢の崩壊状況.....	3-1
3.1.2 大金沢の土層観察実施箇所について.....	3-2
3.1.3 大金沢の土層観察結果.....	3-3
3.1.4 八重沢・八重南沢崩壊地の状況把握.....	3-9
3.1.5 粒度試験結果.....	3-11
3.1.6 まとめ.....	3-12
3.2 砂防施設の効果.....	3-13
3.2.1 伊豆大島総合溶岩流対策事業の概要.....	3-14
3.3 災害地の土質特性（土質試験結果）.....	3-26
3.3.1 調査の背景・目的.....	3-26
3.3.2 調査箇所の地質及び調査内容について.....	3-26
3.3.3 物理試験の結果について.....	3-28
3.3.4 力学試験の結果について.....	3-30
3.3.5 まとめ.....	3-37
3.4 流下域の調査と土石流の流下に関する考察.....	3-38
3.4.1 調査の目的.....	3-38
3.4.2 調査手法.....	3-38
3.4.3 調査結果.....	3-39
3.4.4 想定される流下状況.....	3-42
3.4.5 まとめ.....	3-46
3.5 流木調査と流木の発生・流出状況.....	3-47
3.5.1 調査の目的.....	3-47

3.5.2	調査箇所.....	3-47
3.5.3	調査方法.....	3-47
3.5.4	調査結果.....	3-48
3.5.5	立木調査・発生流木量の検討結果のまとめ	3-56
3.6	土砂流下範囲における被害発生時刻の時系列関係	3-57
3.6.1	調査の目的.....	3-57
3.6.2	調査手法.....	3-57
3.6.3	調査結果.....	3-58
3.6.4	被害発生の時系列	3-65
3.6.5	被害発生時刻と降雨量の関係	3-68
3.6.6	まとめ.....	3-69
3.7	家屋被害調査.....	3-71
3.7.1	調査手法.....	3-71
3.7.2	家屋の被災状況.....	3-72
3.7.3	土砂移動現象の推定	3-73
3.7.4	まとめ.....	3-74
3.8	地震計データを用いた土砂移動現象の発生時刻及び位置等の推定	3-75
3.8.1	地震計データによる解析の有効性について	3-75
3.8.2	検討に用いたデータの概要	3-75
3.8.3	台風26号で発生した表層崩壊・土石流による振動の特徴	3-81
3.8.4	地盤振動データを用いた表層崩壊・土石流の発生位置推定方法	3-83
3.8.5	表層崩壊・土石流の発生位置推定計算結果	3-86
3.8.6	まとめ.....	3-87
4.	あとがき.....	4-1

執筆者一覧

(所属・役職は平成 27 年 3 月 31 日現在)

1. まえがき

独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ

グループ長 小山内 信智

2. 台風 26 号災害概要

独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ

火山・土石流チーム 研 究 員 高原 晃宙 (2.1)

国土技術政策総合研究所

土砂災害研究部 砂防研究室 主任研究官 内田 太郎 (2.3)

土砂災害研究部 砂防研究室 部外研究員 丹羽 諭 (2.3)

土砂災害研究部 土砂災害研究室 主任研究官 松下 一樹 (2.2)

土砂災害研究部 土砂災害研究室 研 究 官 神山 嬢子 (2.2)

括弧内数字は、執筆担当節

3. 現地調査結果と伊豆大島土砂災害の特徴

独立行政法人土木研究所

土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 上席研究員 石塚 忠範 (3.4, 3.6)

土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 主任研究員 木下 篤彦 (3.3)

土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 研 究 員 高原 晃宙 (3.8)

土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 交流研究員 秋山 怜子 (3.4, 3.6)

土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 交流研究員 水谷 佑 (3.5)

土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 交流研究員 吉永 子規 (3.4, 3.6)

(元)土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 主任研究員 森田 耕司 (3.2)

(元)土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 交流研究員 松澤 真 (3.1)

(元)土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 交流研究員 一色 弘充 (3.1)

国土技術政策総合研究所

土砂災害研究部 砂防研究室 主任研究官 内田 太郎 (3.7)

土砂災害研究部 砂防研究室 研 究 官 松本 直樹 (3.7)

土砂災害研究部 土砂災害研究室 主任研究官 松下 一樹 (3.2)

土砂災害研究部 土砂災害研究室 部外研究員 江川 真史 (3.2)

括弧内数字は、執筆担当節

4. あとがき

国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部

部 長 渡 正昭

1. まえがき

平成 25 年 (2013 年) 10 月, 東京都伊豆大島では台風 26 号に伴う豪雨により大規模な崩壊及び土石流が発生し, 死者 36 名, 行方不明者 3 名, 家屋の全半壊 239 戸等の甚大な被害が生じた (伊豆大島土砂災害対策検討委員会, 2014)。

大島観測所では 10 月 15 日 9:00 から雨が降り始め, 23:00 頃まで時間雨量 20mm 程度の降雨が継続した後, 16 日 0:00 を過ぎると降雨は激しさを増し, 4:00 には最大時間雨量 122.5mm, 累積雨量では 824.0mm と, いずれも観測史上 1 位を更新した。(なお, 大島の 10 月の月降水量平年値は 329.0mm である。) この降雨では, 土砂災害が多発し始める 8 時間程度前に土砂災害警戒情報が発表されていたものの, 大島町による情報の活用がなされなかったことが防災体制上の課題として指摘されることとなった。

伊豆大島は, おもに玄武岩からなる円錐形の成層火山である三原山が, 島の中央部に位置する。三原山は過去に幾度も噴火活動を繰り返しており, 近年では 1986 年 11 月 12 日に山頂火口で噴気が確認され, 15 日には山頂以外の山腹から列状に噴火活動が始まる割れ目噴火が確認された。この割れ目噴火により吹き出した溶岩は町の方向に流下し始めたために, 島民は約一ヶ月にもおよぶ島外避難を行っている。この事例を含めた既往の噴火活動により, 山腹斜面は火山噴出物や溶岩の層を主な構成材料として形成されている。

台風 26 号に伴う豪雨による土砂災害は, 島の西部に位置する大金沢, 八重沢, 八重南沢, 長沢の 4 溪流で集中して発生しており, 特に大金沢周辺での被害が顕著であった。大金沢流域では崩壊により流域面積の約 30%も地表が攪乱され, 崩壊面積率は 13%, 生産土砂量は 175,000m³, 発生流量量は 13,600m³ 程度と推定されている (伊豆大島土砂災害対策検討委員会, 2014)。各溪流では, いずれも源頭部付近の火山灰堆積層で深さ 1m 程度の表層崩壊が集中的に発生した。これらの表層崩壊に起因する土石流は火山灰質の細粒分を多く含むとともに, 崩壊発生・土石流流下の過程で大量の流木を取り込んでいることが特徴的であった。

この地区では火山噴出物を意識して多くの砂防施設が整備されてきており, 実際にそれらは顕著な土砂捕捉機能等を発揮し, 被害の軽減に寄与していたものの, 結果的に神達地区を中心に甚大な被害を生じさせたことは, 現行の砂防計画では対応しきれない状況が発生していたことを示唆している。

国土技術政策総合研究所及び (国研) 土木研究所では, 発災当日より災害の実態把握・解明および二次災害発生防止・行方不明者の捜索等への支援などを目的とし, 土砂災害の専門家として職員を現地に派遣した。国土交通省の各地方整備局から派遣された TEC-FORCE 隊と連携しながら初動調査を行うとともに, その後も継続的にこの火山地域における甚大な土砂災害の実態・特性について調査・検討を行ってきたので, ここに報告するものである。

引用文献

伊豆大島土砂災害対策検討委員会 (2014) : 伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書, <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/kasen/ooshima/>, 参照 2014-6-12

2. 台風 26 号災害概要

2.1 自然条件

2.1.1 地形・地質

伊豆大島は、東経 139 度 21 分～28 分，北緯 34 度 40 分～48 分に位置し（図 2.1.1），総面積は 91.06km²，東西 9km，南北 15km，周囲は 52km と伊豆諸島で最大の面積をほこる島である（東京都大島町，2014）。おもに玄武岩からなる円錐形の成層火山である三原山が島の中央部に位置する。三原山は，過去に幾度も噴火活動を経験しており，近年では 1986 年 11 月の噴火活動が挙げられる（下鶴，2003）。11 月 12 日に山頂火口で噴気が確認され，15 日には山頂以外の山腹から列状に噴火活動が始まる割れ目噴火が確認された。この割れ目噴火により吹き出した溶岩は，町方向に流下し始めたために，島民は約一ヶ月にもおよぶ島外避難を実施している。本事例を含めて，過去に幾度も噴火活動を経験していることから山腹斜面は，火山噴出物や溶岩を主な構成材料としていることが特徴である。

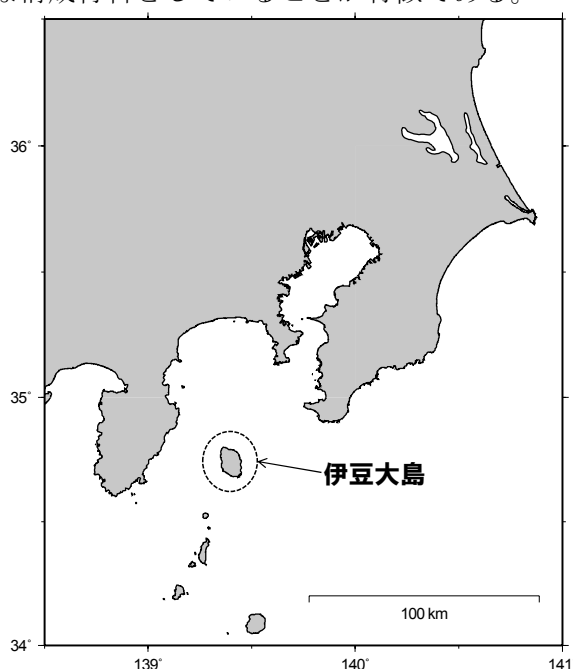


図 2.1.1 伊豆大島位置図

2.1.2 気候・気象

1981 年以降の大島観測所の平年値は，年間降水量 2827.1mm，平均気温 16.1 度であり，降水量が多く比較的温暖な気候である。また，海洋の影響を強く受け気温の差が小さく海洋の影響を強く受け気温の較差が小さく，黒潮の流れのため温暖多湿な海洋性気候となっている。「大島町地域防災計画」（東京都大島町，2009）には，「台風は多雨になるが，地形・地質の関係で洪水等になることはほとんどない」と記載されていることから，豪雨は経験するが，これによる水害，土砂災害に関してあまり経験がなかった地域であると考えられる。

引用文献

東京都大島町（2009）：地域防災計画，p274

火山防災用語研究会編著，下鶴大輔監修（2003）：火山に強くなる本，山と溪谷社，199pp.

東京都大島町（2014）：大島町の紹介，http://www.town.oshima.tokyo.jp/basic_information.html，参照 2014-07-01

2.2 社会条件

2.2.1 人口

大島町の人口について表 2.2.1 にとりまとめた。大島町の人口は昭和 26 年をピークとして近年は減少傾向にある。災害が発生した平成 24 年の人口は 8,213 人となっている。また、世帯当たりの平均人員は平成 10 年以降 2.0 を下回っている。

大島町の人口のうち、65 歳以上の高齢者が占める割合は約 34%（平成 24 年 4 月 1 日現在）で、日本全国の総人口に占める高齢者の割合約 24%（平成 24 年 4 月 1 日現在）と比較して高い割合となっている（総務所統計局，2012）。

表 2.2.1 大島町の人口と世帯数の推移

年	人口	世帯数	世帯当たりの 平均人員	年	人口	世帯数	世帯当たりの 平均人員
1944年（昭和19年）	9,487	-		1979年（昭和54年）	10,889	3,848	2.8
1945年（昭和20年）	9,207	-		1980年（昭和55年）	10,734	3,978	2.7
1946年（昭和21年）	10,620	4,096	2.6	1981年（昭和56年）	10,668	3,994	2.7
1947年（昭和22年）	11,627	4,551	2.6	1982年（昭和57年）	10,630	4,008	2.7
1948年（昭和23年）	12,140	4,853	2.5	1983年（昭和58年）	10,534	3,989	2.6
1949年（昭和24年）	-	4,868	-	1984年（昭和59年）	10,463	4,004	2.6
1950年（昭和25年）	12,838	4,838	2.7	1985年（昭和60年）	10,377	3,961	2.6
1951年（昭和26年）	12,873	4,871	2.6	1986年（昭和61年）	10,322	3,963	2.6
1952年（昭和27年）	12,754	4,931	2.6	1987年（昭和62年）	10,161	4,011	2.5
1953年（昭和28年）	12,553	4,925	2.5	1988年（昭和63年）	10,076	4,003	2.5
1954年（昭和29年）	12,474	4,906	2.5	1989年（平成1年）	10,081	4,115	2.4
1955年（昭和30年）	12,434	4,918	2.5	1990年（平成2年）	10,014	4,001	2.5
1956年（昭和31年）	12,343	4,945	2.5	1991年（平成3年）	9,887	4,003	2.5
1957年（昭和32年）	12,346	4,965	2.5	1992年（平成4年）	9,762	3,991	2.4
1958年（昭和33年）	12,220	4,968	2.5	1993年（平成5年）	9,740	4,060	2.4
1959年（昭和34年）	12,125	4,994	2.4	1994年（平成6年）	9,639	4,082	2.4
1960年（昭和35年）	12,090	3,285	3.7	1995年（平成7年）	9,693	4,117	2.4
1961年（昭和36年）	11,890	3,220	3.7	1996年（平成8年）	9,585	4,132	2.3
1962年（昭和37年）	11,761	3,225	3.6	1997年（平成9年）	9,449	4,794	2.0
1963年（昭和38年）	11,705	3,254	3.6	1998年（平成10年）	9,375	4,821	1.9
1964年（昭和39年）	11,674	3,281	3.6	1999年（平成11年）	9,270	4,852	1.9
1965年（昭和40年）	11,540	3,403	3.4	2000年（平成12年）	9,224	4,858	1.9
1966年（昭和41年）	11,444	3,443	3.3	2001年（平成13年）	9,058	4,861	1.9
1967年（昭和42年）	11,331	3,462	3.3	2002年（平成14年）	8,980	4,847	1.9
1968年（昭和43年）	11,121	3,463	3.2	2003年（平成15年）	8,912	4,886	1.8
1969年（昭和44年）	10,994	3,549	3.1	2004年（平成16年）	8,833	4,853	1.8
1970年（昭和45年）	10,889	3,506	3.1	2005年（平成17年）	8,702	4,827	1.8
1971年（昭和46年）	10,813	3,541	3.1	2006年（平成18年）	8,672	4,817	1.8
1972年（昭和47年）	10,964	3,725	2.9	2007年（平成19年）	8,587	4,891	1.8
1973年（昭和48年）	10,966	3,772	2.9	2008年（平成20年）	8,638	4,855	1.8
1974年（昭和49年）	11,123	3,849	2.9	2009年（平成21年）	8,560	4,873	1.8
1975年（昭和50年）	11,097	3,753	3.0	2010年（平成22年）	8,690	4,847	1.8
1976年（昭和51年）	10,971	3,726	2.9	2011年（平成23年）	8,483	4,730	1.8
1977年（昭和52年）	11,009	3,804	2.9	2012年（平成24年）	8,343	4,704	1.8
1978年（昭和53年）	10,960	3,847	2.8	2013年（平成25年）	8,213	4,698	1.7

1944年から2009年までのデータは東京都統計年鑑 (<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tnenkan/tn-index.htm>) から引用している。2010年から2013年までのデータは大島町ホームページ (<http://www.town.oshima.tokyo.jp/introduction.html>) から引用している。

2.2.2 法規制等

大島町における自然公園区域、土石災害危険箇所及び砂防指定地の分布を図 2.2.1 に示した。大島町は主要な集落周辺を除いて自然公園法に基づく特別地域、特別保護地区に指定されており、工作物の新築等のほか木竹の伐採や土石の採取等の、風致に影響の及ぶ行為について制限されている。国土交通省は、土石流対策を実施する基礎的な調査として土石流危険渓流および土石流危険区域調査を実施している。平成 14 年度に公表された結果によれば大島町には土石流危険渓流が 41 渓流存在する。このうち元町周辺に分布する土石流危険渓流で砂防指定地に指定されている渓流が多く。施設等の新築や土地の掘削、土石の採取等の治水上砂防に影響の及ぶ行為について制限されている。また、土石災害防止法に基づく土石災害警戒区域及び土石災害特別警戒区域は、災害が発生した平成 25 年当時は未指定だった。

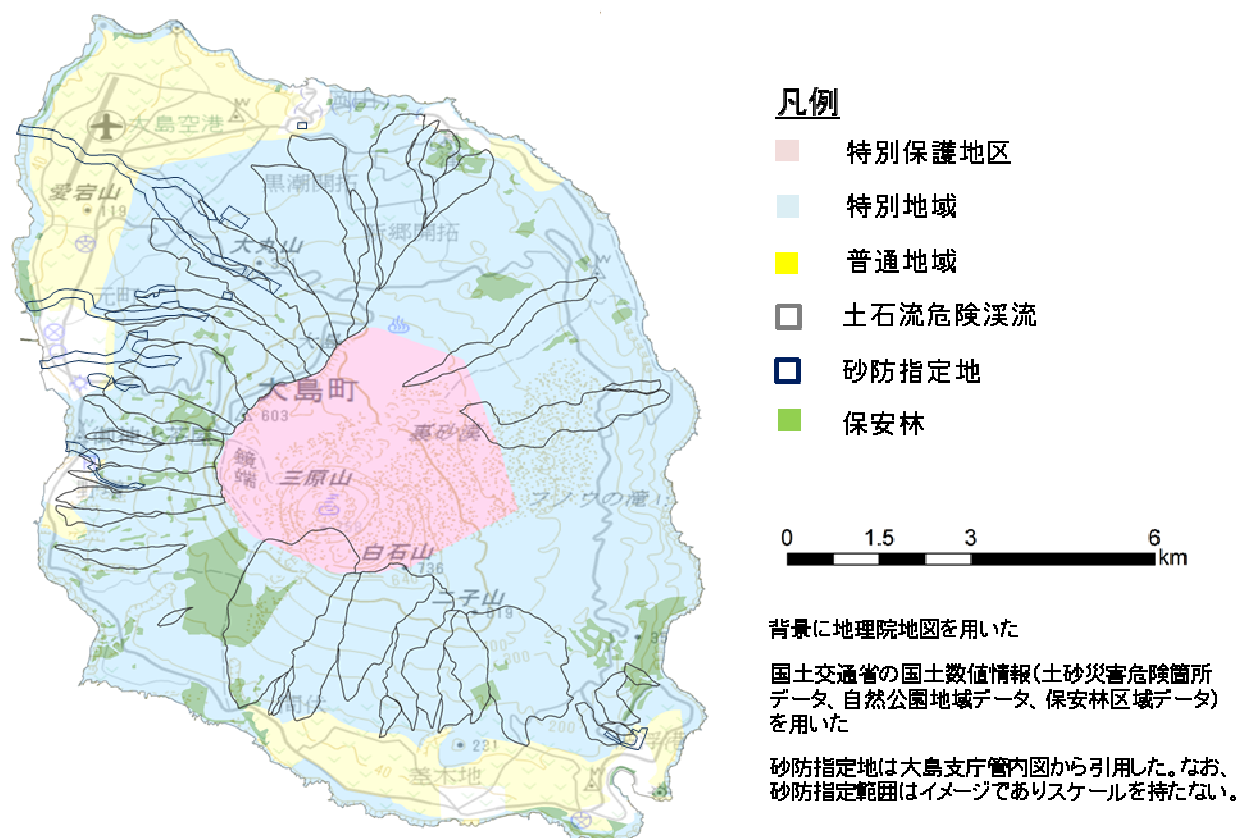


図 2.2.1 大島町における法規制等の状況

2.2.3 伊豆大島における過去の土砂災害

平成 25 年台風 26 号により、大島町では同時多発的に土石流が発生し、大きな被害が生じた。被害規模は、死者 36 名、行方不明者 3 名（伊豆大島土砂災害対策検討委員会，2014），建物被害認定調査（東京都大島町，2013）によれば住家全壊 71 戸（床上浸水 68 戸，床下浸水 3 戸）に及んだ。

大島町史編纂委員会（2000）によれば、台風に起因する同時多発的な土石流災害という点で同様の災害が昭和 33 年（1958 年）狩野川台風により発生している。狩野川台風の通過に伴い、大島観測所において日雨量 419.2mm を記録し、大島町元町周辺で土石流災害が発生した。この災害により全壊 55 戸，半壊 49 戸，死者 1 名，行方不明者 1 名の被害が発生した。また，正確な発生年や状況は不明だが，文禄年間（1592 年から 1596 年）に土石流の発生により元町集落が集団移住した伝承が採取されており（立木，1961），昭和初期には泉津で土石流により一家死亡の記録がある。

引用文献

大島町史編纂委員会（2000）：東京都大島町史通史編，p. 765-766

立木猛治（1961）：伊豆大島志考，伊豆大島志考刊行会，p. 59

伊豆大島土砂災害対策検討委員会（2014）：伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書，<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/kasen/ooshima/>，参照 2014-6-12

東京都大島町（2013）：広報おおしま災害臨時号，No. 4，<http://www.town.oshima.tokyo.jp/news/pdf/rinji20131201.pdf>，参照 2014-07-11

総務省統計局（2012）：人口推計-平成 24 年 9 月報-，<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/pdf/201209.pdf>，参照 2014-07-11

2.3 伊豆大島豪雨の概要

2.3.1 気象概要

伊豆大島に甚大な災害をもたらした台風26号は、10月10日にマリアナ諸島の近海で発生し、15日から16日にかけて伊豆大島に記録的な豪雨をもたらした。伊豆大島では、東京都大島町役場に気象庁の雨量観測所の「大島観測所」、島の北西部に「大島北ノ山観測所」が設置されている。大島観測所と大島北ノ山観測所における観測降雨を図2.3.1に示す。大島観測所では、10月15日9:00から降雨が開始し、16日23:00頃まで時間雨量20mm程度の降雨が継続した後、16日0:00頃から時間雨量40mmから100mmを越す降雨となった。16日4:00には最大時間雨量118.5mm、累積雨量824mmを観測した。大島北ノ山観測所では、最大時間雨量61.5mm、累積雨量412.5mmとなり、大島観測所の観測値と比較して半分程度となっている。

気象庁レーダアメダス解析雨量による1時間ごとの降雨強度分布を図2.3.2に示す。16日の2時から3時に、南西から北東方向にのびる降雨強度約100mm/hとなる帯状の領域が現れ、16日の4時から5時まで、伊豆大島近辺に停滞していることがわかる。この時間変化は、大島観測所の雨量観測値とも一致する。

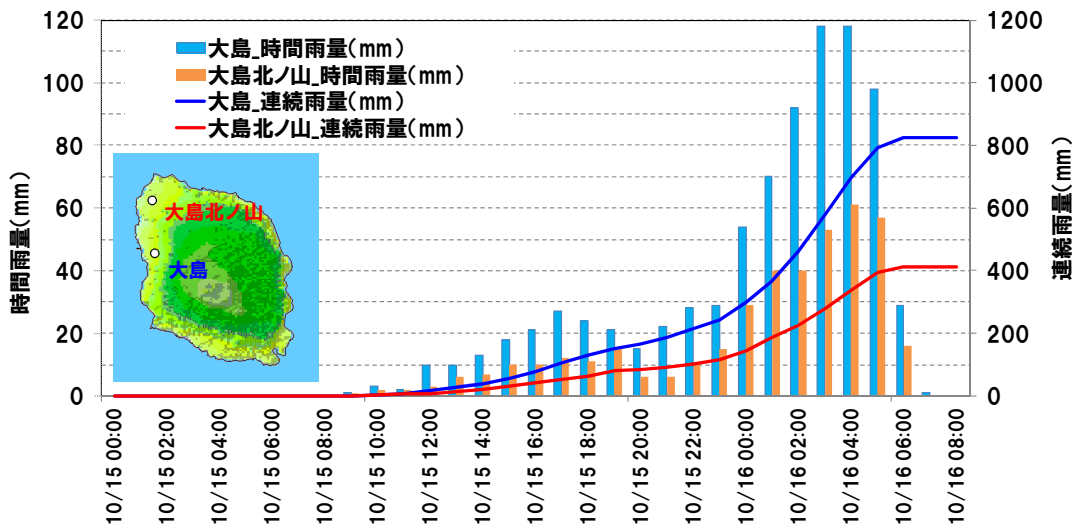


図 2.3.1 レーダアメダス解析雨量による伊豆大島周辺の降雨状況

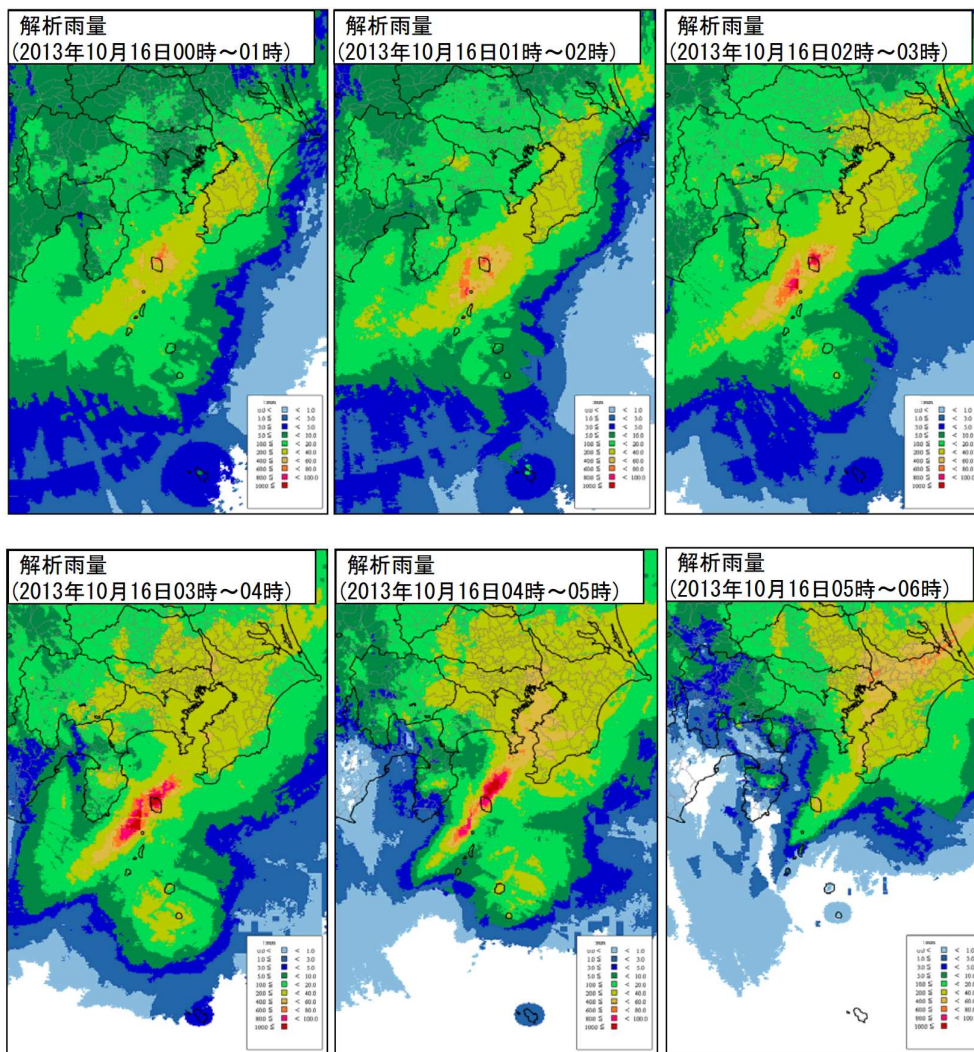


図 2.3.2 解析雨量による伊豆大島周辺の降雨分布（東京都管区気象台，2014）

2.3.2 被害概要

台風 26 号の降雨に伴う土砂災害は、伊豆大島の西部に位置する大金沢、八重沢、八重南沢、長沢の 4 溪流で集中して発生しており、特に大金沢周辺での被害が顕著であった。各溪流では、いずれも源頭部付近の火山灰堆積層で深さ 1m 程度の浅い表層崩壊が集中的に発生した。これらの表層崩壊を起因とした土石流は、火山灰質の細粒分を多く含み、崩壊発生・土石流流下の過程で大量の流木を伴って流下していることが特徴的である。

三原山中腹にある元町神達地区は、土石流の直撃により家屋の倒壊・流失、それによる人的被害が特に集中して発生した。住宅の基礎部を残して建屋全部が流失した建物が多い。周回道路（都道 208 号）周辺では、土砂・流木による建物被害と同時に、細粒の土砂が建物敷地内に流入し、大金沢周辺では、床上 1m 以上まで堆積した建物もある。土砂氾濫被害は元町港を含む海岸付近まで広がっていたものの、大金沢周辺を除くと 0.5m 以下程度の堆積であった。また、大金沢に架かる 3 箇所の橋梁付近では、流木による閉塞が見られ左右岸の住宅が氾濫による被害を受けた。

大島町では、この土石流災害により、人的被害として死者 36 名、行方不明者 3 名、家屋被害として全壊 50 棟、半壊 26 棟、一部損壊 77 棟となる甚大な被害が生じた（伊豆大島土砂災害対策検討委員会，2014）。



写真 2.3.1 土砂災害発生状況（神達地区）

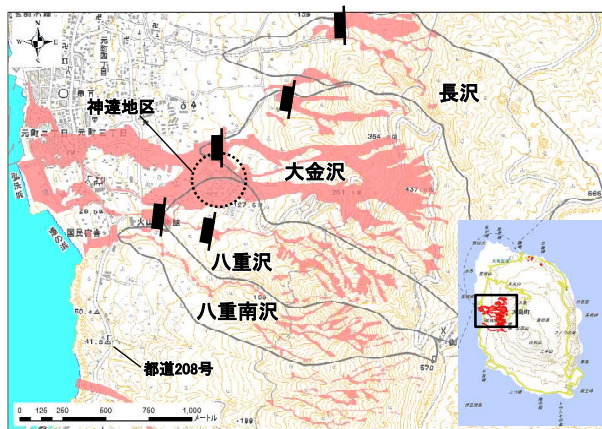


図 2.3.3 崩壊地および土石流の到達範囲
 (※国土地理院数値地図 25000 (地図画像) を背景に使用)



写真 2.3.2 土石流通過後の状況（神達地区）



写真 2.3.3 下流域の土砂・流木氾濫状況（大金沢下流域）

2.3.3 国土技術政策総合研究所・土木研究所による支援概要

国土技術政策総合研究所（国研）土木研究所では、災害発生当日から11月2日までの18日間、のべ48人日にわたり、東京都及び大島町に対して技術支援を行った。技術支援の主な内容は以下の通りである。

- ・2次災害等防止のための災害状況の把握
- ・東京都に対する2次災害等防止・復旧に係わる緊急対応に関する助言
- ・大島町役場に対する避難勧告、避難指示の対象範囲および解除に関する助言
- ・大島町役場に対する2次災害防止に関わる暫定避難基準、避難範囲に関する助言
- ・捜索活動における安全管理に対する技術指導

また、地方整備局のTEC-FORCEが中心となり実施した発災直後の土砂災害危険箇所の緊急点検結果の整理に対しても助言を行った。



写真 2.3.4 技術指導の様子

引用文献

伊豆大島土砂災害対策検討委員会（2014）：伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書，<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/kasen/ooshima/>，参照 2014-6-12

3. 現地調査結果と伊豆大島土砂災害の特徴

3.1 崩壊地の調査と発生した崩壊の特徴

3.1.1 大金沢の崩壊状況

大金沢の上流には多数の表層崩壊が発生しており、ほとんどの崩壊は、崩壊深が1m以下と浅いことが特徴的であった。大金沢の土層構造は、下位から灰色の溶岩層(1~3m)、赤褐色のスコリア層^{*1}(1~3m)、灰黒色の火山灰と褐色のレス^{*2}の互層(1~5m)が分布する事が一般的であり、谷部では溶岩およびスコリア層が厚いことが特徴的である(写真3.1.1)。

崩壊のほとんどは、火山灰とレスの互層部において、レス層上面がすべり面となり発生していた(写真3.1.2)。多くの崩壊地において、粘土分が多く難透水性のレス層上面に分布する火山灰層にパイピング孔が認められたことから、パイピングが崩壊発生に影響を及ぼしていたと考えられる。

^{*1} スコリア: 破片状の火山噴出物の一つ。黒色で多孔質という内部構造に基づく分類名。

^{*2} レス: 風によって運ばれて堆積した細粒物質。



写真 3.1.1 大金沢源頭部の崩壊状況



写真 3.1.2 大金沢源頭部のパイピング発生状況

3.1.2 大金沢の土層観察実施箇所について

本調査の目的は、「崩壊土層の特性を把握すること」であるため、すべり面（レス層）付近の層を対象として合計6箇所にて土層の観察を実施した。また、すべり面（レス）直上の火山灰層を6箇所、すべり面となったレス層を1箇所採取し、粒度試験を実施した。観察箇所及び試料採取箇所を図 3.1.1 に示し、一覧を表 3.1.1 に示す。

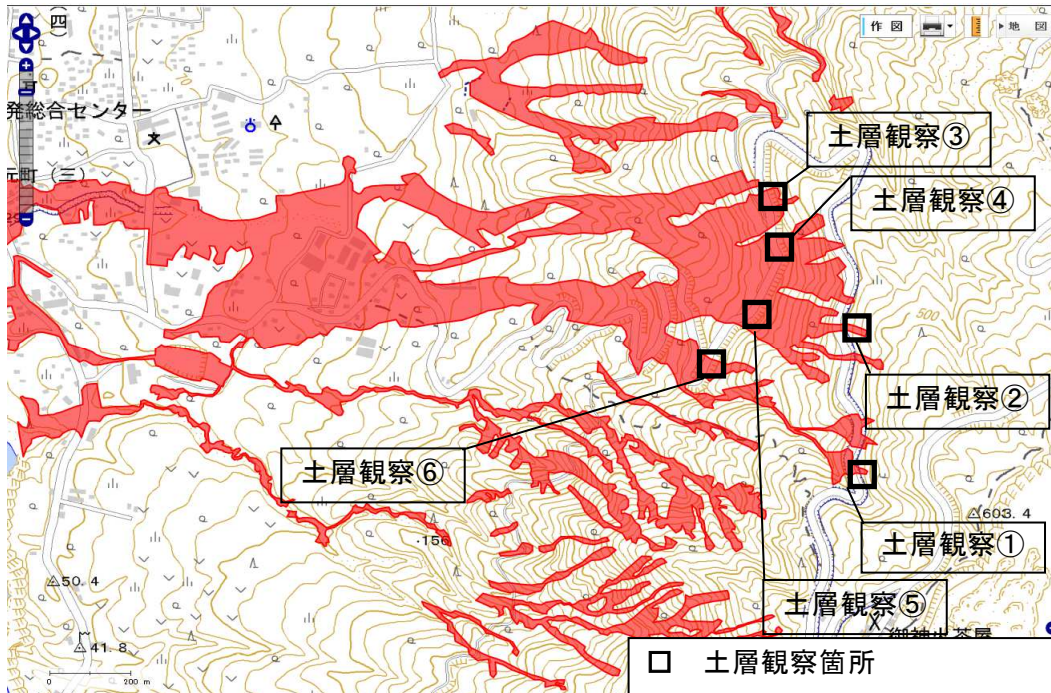


図 3.1.1 土層観察実施箇所位置図（地理院地図に加筆）

表 3.1.1 土層観察箇所一覧表

土層観察箇所名	調査位置			粒度試験試料採取箇所	試料名
	緯度	経度	標高(EL. m)		
土層観察箇所①	34.741766	139.379215	463	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地1_火山灰
土層観察箇所②	34.744976	139.379562	471	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地2_火山灰
土層観察箇所③	34.748026	139.377099	353	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地3_火山灰
土層観察箇所④	34.747169	139.377170	343	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地4_火山灰
土層観察箇所⑤	34.745293	139.376265	318	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地5_火山灰
土層観察箇所⑥	34.744124	139.375452	309	すべり面(レス層)直上の火山灰層 すべり面となったレス層	崩壊地6_火山灰 崩壊地6_レス

3.1.3 大金沢の土層観察結果

土層を観察した崩壊地の全景と、土層断面を以下に示す。

(1) 土層観察箇所①



写真 3.1.3 土層観察箇所①の崩壊地全景

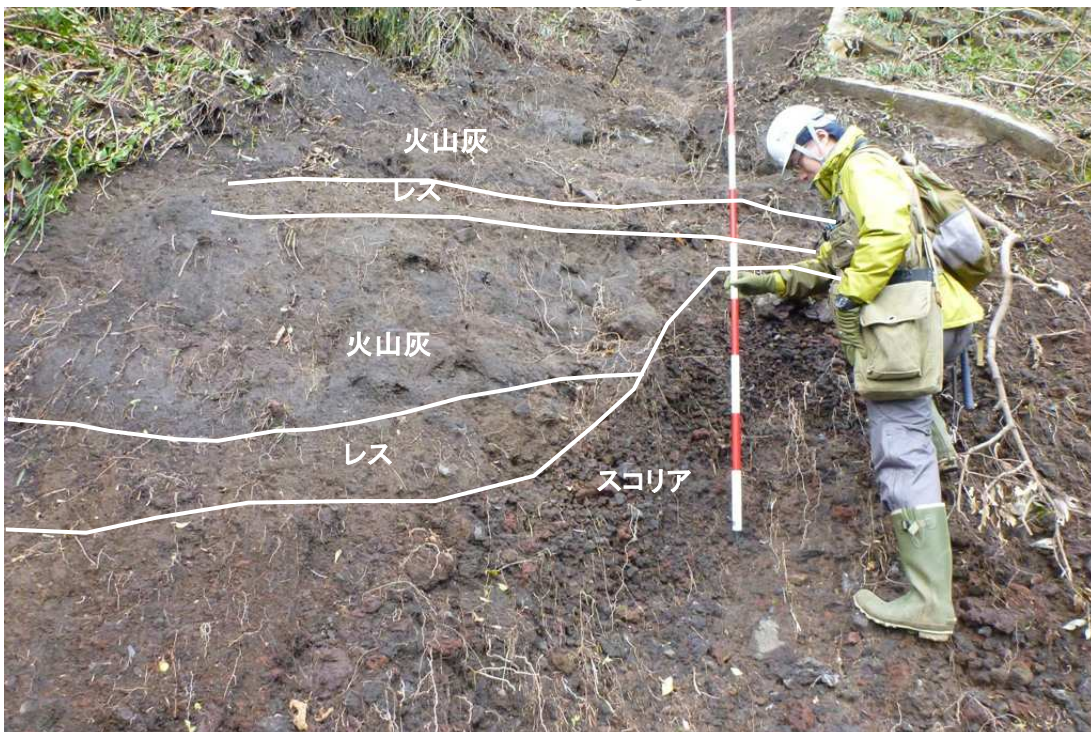


写真 3.1.4 土層観察箇所①の土層断面

(2) 土層観察箇所②



写真 3.1.5 土層観察箇所②の崩壊地全景



写真 3.1.6 土層観察箇所②の土層断面

(3) 土層観察箇所③



写真 3.1.7 土層観察箇所③の崩壊地全景



写真 3.1.8 土層観察箇所③の土層断面

(4) 土層観察箇所④



写真 3.1.9 土層観察箇所④の崩壊地全景



写真 3.1.10 土層観察箇所④の土層断面

(5) 土層観察箇所⑤



写真 3.1.11 土層観察箇所⑤の崩壊地全景

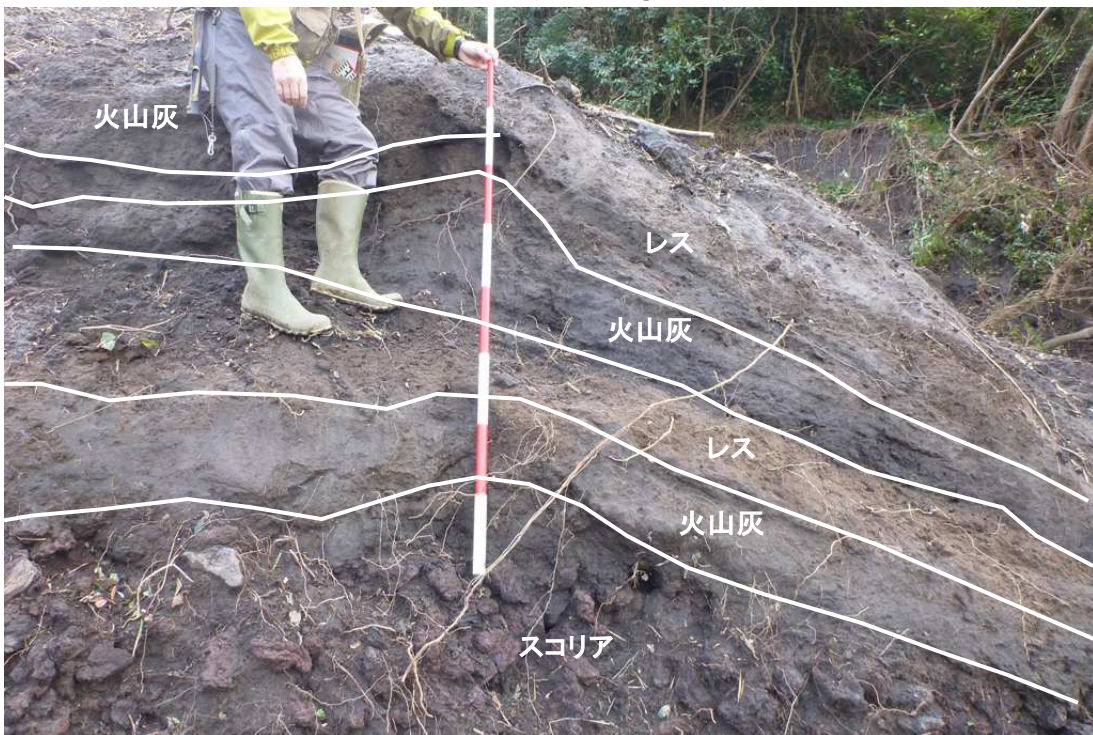


写真 3.1.12 土層観察箇所⑤の土層断面

(6) 土層観察箇所⑥



写真 3.1.13 土層観察箇所⑥の崩壊地全景



写真 3.1.14 土層観察箇所⑥の土層断面

3.1.4 八重沢・八重南沢崩壊地の状況把握

崩壊状況を把握することを目的に、八重沢・八重南沢内の崩壊地にて現地確認を行った。調査時には、崩壊面の土層構造、すべり面の状態、崩壊深などに着目した。図 3.1.2 に示す代表的な崩壊地の調査結果を以下に示す。また、崩壊地調査①では、すべり面（レス）直上の火山灰層および、すべり面となったレス層にて試料を採取し、粒度試験を実施した。

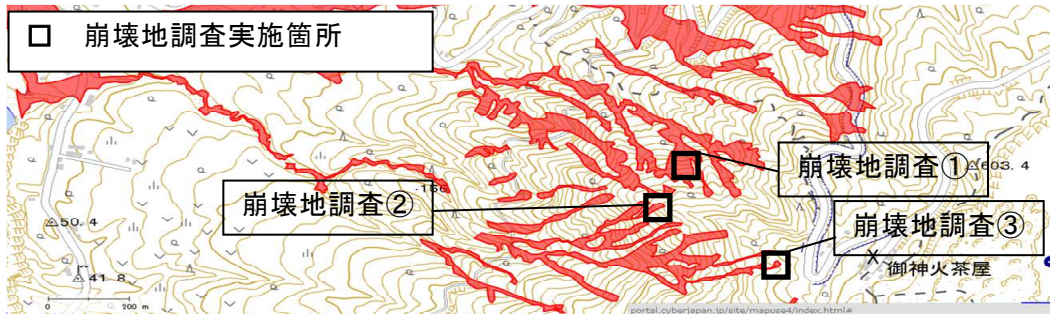


図 3.1.2 八重沢・八重南沢の崩壊地調査実施箇所位置図（地理院地図に加筆）

(1) 崩壊地調査①（典型的な崩壊）

- ・崩壊面には、火山灰とレスの互層が分布しており、スコリア、溶岩などの露出は認められなかった。
- ・レス層をすべり面とし、その上位の火山灰層が崩壊していた（写真 3.1.15 の右上）。
- ・火山灰層とレス層の境界部にパイピング孔が多数認められた。
- ・崩壊深は、0.5～1.5m 程度と浅い。

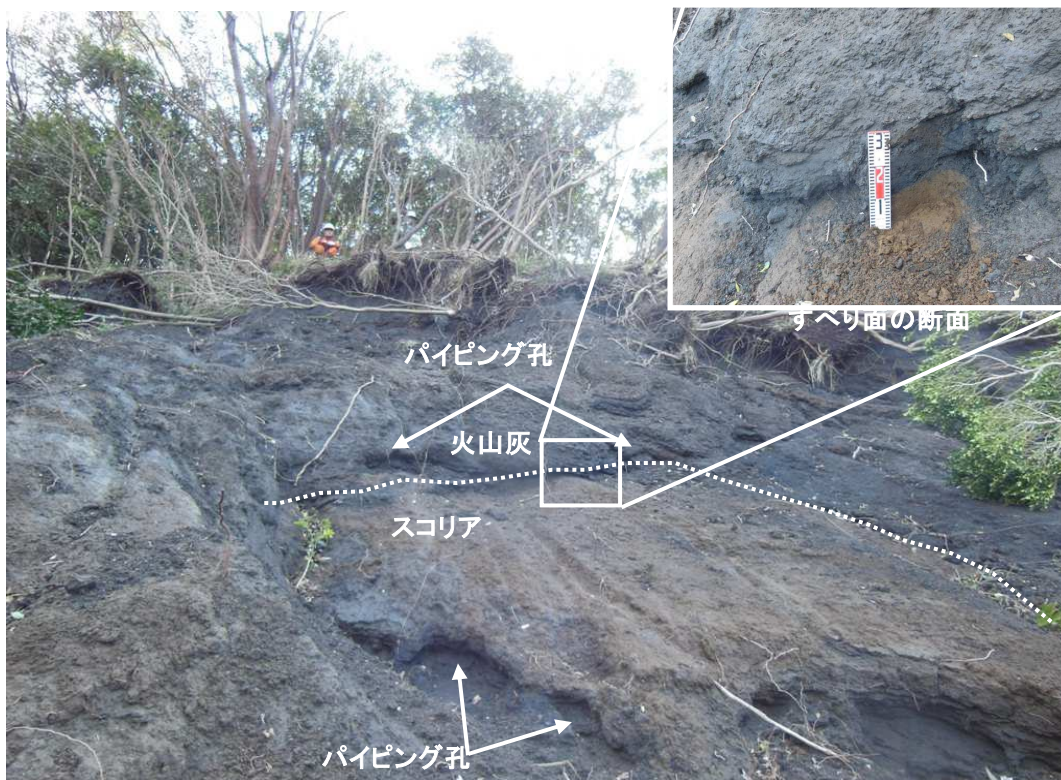


写真 3.1.15 崩壊地①の全景およびすべり面の断面

(2) 崩壊地調査②（典型的な崩壊）

- ・崩壊面には、火山灰とレスの互層が分布しており、スコリア、溶岩などの露出は認められなかった。
- ・レス層をすべり面とし、その上位の火山灰層が崩壊していた。
- ・火山灰層とレス層の境界部にパイピング孔が多数認められた。
- ・崩壊深は、0.5～1.0m 程度と浅い事が特徴的である。崩壊地の一部には、崩壊せずにそのまま現位置に残る土層が分布する。



写真 3.1.16 崩壊地②の全景

(3) 崩壊地調査③（崩壊深が若干深い）

- ・崩壊面には、火山灰とレスの互層が分布しており、スコリア、溶岩などの露出は認められなかった。
- ・レス層をすべり面とし、その上位の火山灰層が崩壊していた。
- ・崩壊深は、1.0～2.0m 程度と周辺の崩壊に比較し、若干、深い事が特徴的である。

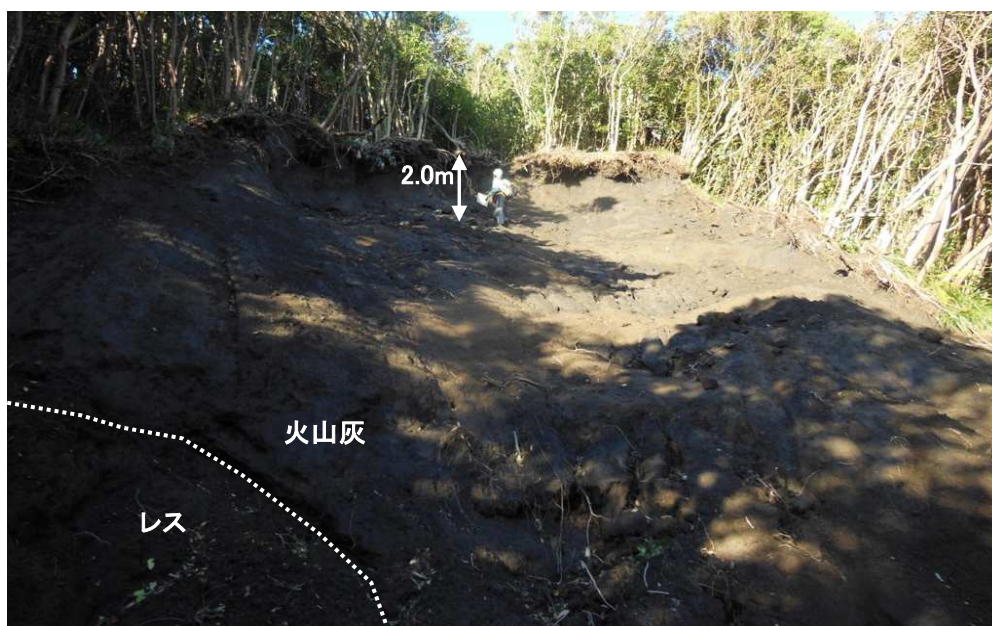


写真 3.1.17 崩壊地③の全景

3.1.5 粒度試験結果

すべり面（レス）直上の火山灰層および、すべり面となったレス層の粒度特性を把握するため、表 3.1.2 に示した合計9箇所にて土質試験を実施した。大金沢の採取箇所は図 3.1.1、八重沢の採取箇所は、図 3.1.2 に示す。

表 3.1.2 土層観察箇所一覧表

採取箇所	土層観察箇所名	調査位置			粒度試験試料採取箇所	試料名
		緯度	経度	標高(EL. m)		
大金沢	土層観察箇所①	34.741766	139.379215	463	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地1_火山灰
	土層観察箇所②	34.744976	139.379562	471	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地2_火山灰
	土層観察箇所③	34.748026	139.377099	353	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地3_火山灰
	土層観察箇所④	34.747169	139.377170	343	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地4_火山灰
	土層観察箇所⑤	34.745293	139.376265	318	すべり面(レス層)直上の火山灰層	崩壊地5_火山灰
	土層観察箇所⑥	34.744124	139.375452	309	すべり面(レス層)直上の火山灰層 すべり面となったレス層	崩壊地6_火山灰 崩壊地6_レス
八重沢	崩壊地調査①	34.442706	139.222887	351	すべり面(レス層)直上の火山灰層 すべり面となったレス層	八重沢崩壊地_火山灰 八重沢崩壊地_火山灰

粒度試験結果を図 3.1.3 に示す。まず、大金沢の火山灰層（赤線）とレス層（青線）を比較すると、レス層の方が細粒分が多い事が分かる。次に、八重沢の火山灰層（緑線）とレス層（水色線）を比較すると、同様にレス層の方が細粒分が多い事が分かる。しかし、八重沢のレス層（水色線）の粒度分布は、大金沢の火山灰層と類似しており、必ずしもレス層は火山灰層より細粒分が多いとは限らないことが明らかとなった。

以上から、溪流単位などの狭い範囲で見ると、レス層の方が火山灰層より細粒分が多いと言えるが、火山細碎物の粒度は地域差が大きいいため、隣接する溪流を比較すると必ずしも、レス層が火山灰層より細粒分が多くなるとは限らないと言える。いずれにしても、すべり面となったレス層は、その上位の火山灰層より細粒分が多いため、難透水層である事が分かった。

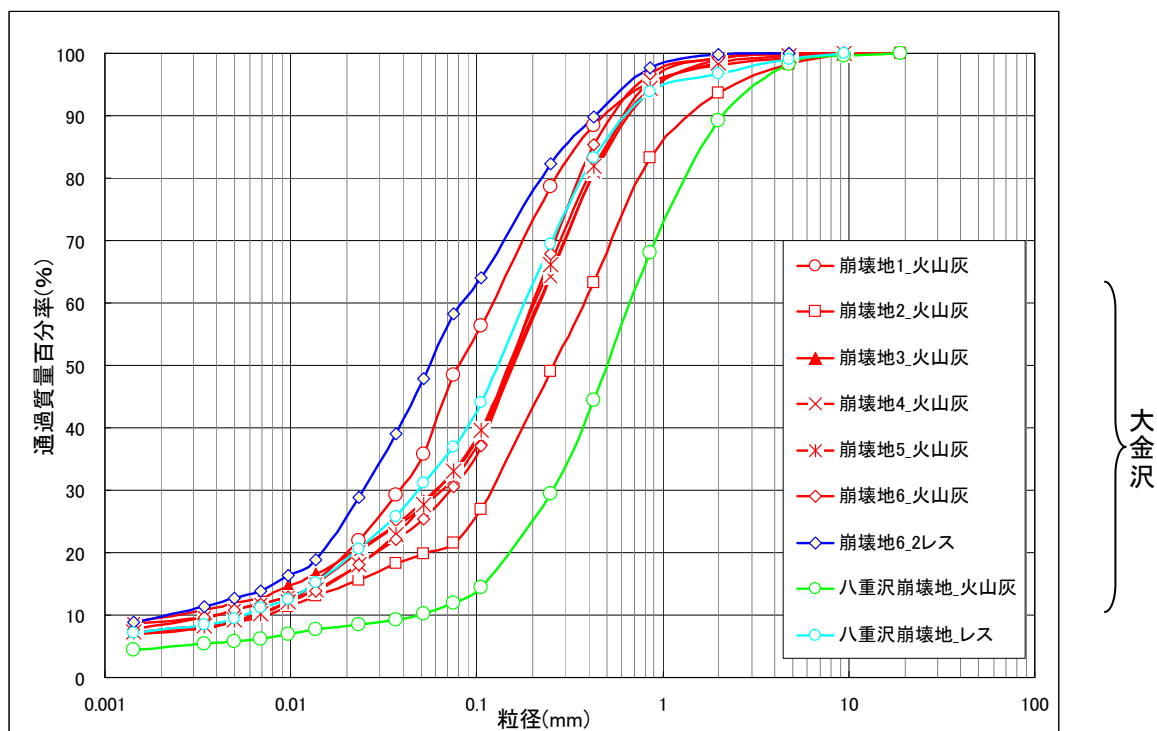


図 3.1.3 粒径加積曲線

3.1.6 まとめ

(1) 大金沢崩壊地の状況および土層観察

- ・崩壊地源頭部の現地踏査を行った結果、以下の事が明らかとなった。
 - ①大金沢の上流において発生した崩壊のほとんどは、崩壊深が1m以浅の表層崩壊であった。
 - ②崩壊は、火山灰とレスの互層部においてレス層上面がすべり面となり発生していた。
 - ③多くの崩壊地において、粘土分が多く難透水性のレス層上面に分布する火山灰層にパイピング孔が認められたことから、パイピングが崩壊発生に影響を及ぼしていたと考えられる。

(2) 八重沢・八重南沢崩壊地の状況

- ・崩壊地源頭部の現地踏査を行った結果、崩壊形態は大金沢と同様である事が明らかとなった。八重沢・八重南沢の崩壊の特徴を以下に示す。
 - ①八重沢・八重南沢の上流において発生した崩壊のほとんどは、崩壊深が1m以浅の表層崩壊であり、一部、2m程度の崩壊も認められた。
 - ②崩壊は、火山灰とレスの互層部においてレス層上面がすべり面となり発生していた。
 - ③多くの崩壊地において、粘土分が多く難透水性のレス層上面に分布する火山灰層にパイピング孔が認められたことから、パイピングが崩壊発生に影響を及ぼしていたと考えられる。

(3) 粒度試験結果

- ①大金沢及び八重沢ともに、すべり面となったレス層は、その上位の火山灰層より細粒分が多いため、難透水層である事が分かった。

3.2 砂防施設の効果

台風 26 号により顕著な崩壊・土石流が発生した大金沢，八重沢，長沢では，東京都の「伊豆大島総合溶岩流対策事業」により，堆積工（土石流を減勢し堆積させるための土石流・流木対策施設）や砂防堰堤等の施設整備が行われており，施設下流への土砂・流木流出の防止・軽減の効果が認められた（図 3.2.1，写真 3.2.1）。

なお，土石流が流域（比高の小さい尾根）を乗り越えて流下したことで甚大な被害を受けた神達地区上流域には，砂防施設が設置されていなかった。当該区間を流下した土石流が，さらに下流の元町地区における被害拡大に最も影響を与えたものと考えられる。

本節では，大金沢，八重沢，長沢に設置されている主な砂防施設（図 3.2.1 の①～⑤）の概要と現地踏査による土砂・流木の捕捉状況および下流への流出状況等について示す。

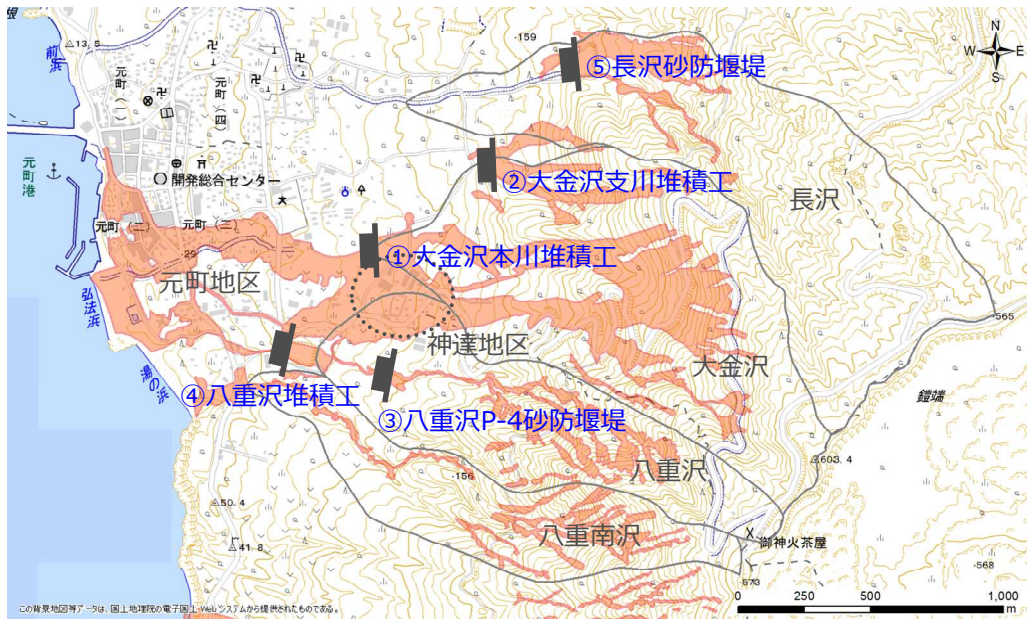


図 3.2.1 土石流氾濫範囲（土木研究所調査）と砂防施設配置状況



写真 3.2.1 土石流発生状況と砂防施設配置状況

3.2.1 伊豆大島総合溶岩流対策事業の概要

伊豆大島では、昭和61年11月の噴火により大量の溶岩が流出し、島民約1万人が1ヶ月間の島外避難を余儀なくされた。この噴火を契機として、東京都建設局河川部は火山地域の防災対策を見直し、日本で最初のケースとして溶岩流及び泥流を対象とした総合的な防災計画を立案する目的で、『伊豆大島総合溶岩流対策事業』をスタートさせた（東京都建設局河川部，1991；小林ほか，1993）。

大金沢，八重沢，長沢における「伊豆大島総合溶岩流対策事業（東京都大島支庁，2013）」の概要は以下のとおりである。

(1) 大金沢（東京都建設局河川部（1991））

大金沢は元町地区を流域下にもち、保全対象が最も多く、土石流氾濫予想区域に小学校があるなど、早期に整備が必要な溪流である。平成2年度から整備を進め平成19年度末に本川堆積工が完成し土砂整備率は64%となった。平成20年度から平成22年度で溪流保全工を実施した。



写真 3.2.2 伊豆大島総合溶岩流対策事業（大金沢）

【計画諸元】	
・ 噴火規模	: 135±50年確率の大規模噴火
・ 火山灰噴出量	: 1億m ³ （東京ドーム80杯分）
・ 計画土砂流出量	: 約121千m ³
・ 流域面積	: 1.36km ²
・ 土砂整備率	: 64%（H19末で概成）
・ 保全対象	: （公共施設）つばき小学校，都道他計11戸， （人家）404戸，1,212人
【事業規模】	
・ 全体計画	: 堆積工2基，堰堤工4基，流路工1,220m
・ 事業計画	: 堆積工2基，流路工540m
・ 完成	: 堆積工2基（支川：H6完成，本川：H19完成），流路240m
・ 施工年度	: 平成2～23年度（事業計画ベース）
・ 事業費	: 約20億円（事業計画ベース）
・ 施設効果量	: 本川堆積工25,200m ³ （上流ダム），支川堆積工16,700m ³ 他

小林ほか（1993）によると、大金沢の施設配置計画は、上流域が急勾配であり、かつ国立公園や保安林等の規制区域ともなっているため、山麓緩斜面に捕捉工・堆積工・流路工を組み合わせたものとした。また、大金沢堆積工は、土石流の停止条件となる勾配を考慮して 3～5° の溪床勾配区間に配置し、以下のような方針のもと設計された。

- ・堆積工の基本構成は、下流端に不透過型の砂防ダム、中間部に透過型の砂防ダムとし、両者間および透過型ダムの上流部を堆積地とする。
- ・堆積工は、原則として河道を拡幅した掘込形式とする。
- ・堆積工敷の勾配は、流入した土石流が分散堆積するような勾配（実際には 1/50）とし、平常時には掘込の堆積工空間を多目的に利用することも考慮する。
- ・国立公園区域という点を考慮し、十分な景観対策を行う。

以上の方針をもとに、ダブルウォール工法を採用して具体的な設計が行われた。ダブルウォール工法採用の決め手となった規制条件は以下のようなものであった。

- ・火山山麓特有の脆弱な地質構成からなるため、十分な地耐力（地盤支持力）が期待できない。
- ・堆積工は掘込式のため大量の現地発生土が出るが、伊豆大島には適当な残土処理場がない。
- ・伊豆大島の大金沢付近は道路が狭く、かつ資材運搬手段（ダンプ等）も少ない。
- ・民家等に近接しているため工事期間はできるだけ短い方が良い。

(2) 八重沢（東京都建設局河川部（1991））

堆積工が H13 に完成し、その後 H17 から砂防堰堤の整備を進めてきた。H19 年度末に砂防堰堤が完成し、八重沢の土砂整備率は 67% となった。



写真 3.2.3 伊豆大島総合溶岩流対策事業（八重沢）

【計画諸元】	
・ 噴火規模	: 135±50 年確率の大規模噴火
・ 火山灰噴出量	: 1 億 m ³ (東京ドーム 80 杯分)
・ 計画土砂流出量	: 約 53 千 m ³
・ 流域面積	: 0.65km ²
・ 土砂整備率	: 67% (H20 末で概成)
・ 保全対象	: (公共施設) 東京電力発電所, 都道他計 3 戸, (人家) 28 戸, 45 人
【事業規模】	
・ 全体計画	: 堆積工 1 基, 堰堤工 2 基, 流路工 500m
・ 事業計画	: 堆積工 1 基, 堰堤工 1 基, 流路工 190m
・ 完成	: 堆積工 1 基 (H13 完成), 堰堤工 1 基 (H19 完成)
・ 事業費	: 約 16 億円 (事業計画ベース)
・ 施設効果量	: 堆積工 26,050m ³ (上流ダム) 他

(3) 長沢 (東京都建設局河川部 (1991))

昭和 61 年の割れ目噴火に伴い流出した溶岩により, 流路が埋塞され, 災害復旧事業により流路の付替え及び堰堤 (本川堆積工) が整備された。その後も支川堆積工の整備を進め H15 に完成したが, 土砂整備率は 32% と低い状況にある。また, 長沢は元町地区を流域下にもつ溪流で保全対象も多いため, 捕捉工を施工中である。



写真 3.2.4 伊豆大島総合溶岩流対策事業 (長沢)

【計画諸元】

- ・ 噴火規模 : 135±50 年確率の大規模噴火
- ・ 火山灰噴出量 : 1 億 m³ (東京ドーム 80 杯分)
- ・ 計画土砂流出量 : 約 251 千 m³
- ・ 流域面積 : 1.78km²
- ・ 土砂整備率 : 32% (H24 末)
- ・ 保全対象 : (公共施設) 元町保育園, 都道他計 21 戸,
(人家) 225 戸, 450 人

【事業規模】

- ・ 全体計画 : 堆積工 3 基, 堰堤工 9 基, 流路工 470m
- ・ 事業計画 : 堆積工 3 基, 堰堤工 5 基, 流路工 470m
- ・ 完成 : 堆積工 2 基→本川 (H5 完成), 支川 (H15 完成)
- ・ 施工年度 : 平成元~30 年度 (事業計画ベース)
- ・ 事業費 : 約 33 億円 (事業計画ベース)
- ・ 施設効果量 : 本川堆積工 25,300m³, 支川堆積工 15,800m³ 他

(4) 主な砂防施設の効果

台風 26 号による崩壊・土石流発生時に、特に効果が認められた 5 つの施設 (①大金沢本川堆積工, ②大金沢支川堆積工, ③八重沢 P-4 砂防堰堤, ④八重沢堆積工, ⑤長沢砂防堰堤) について、現地踏査による土砂・流木の捕捉状況および下流への流出状況等について以下に示す。

①大金沢本川堆積工

大金沢本川堆積工は、下流端の砂防堰堤と中間部の鋼製スリットによる透過型砂防堰堤、両者間および透過型堰堤上流部の堆積地から構成され、堆積工下流区間には溪流保全工が整備されている。

災害発生翌日 (平成 25 年 10 月 17 日) の踏査では、当該施設において大量の土砂・流木が捕捉されている状況が認められた。特に透過型堰堤の鋼製スリット部における大量の流木捕捉が特徴的であり、下流堆積地では細粒土砂 (火山灰) の堆積が顕著であった (写真 3.2.5, 写真 3.2.6)。



写真 3.2.5 鋼製スリットによる流木の捕捉状況



写真 3.2.6 大金沢本川堆積工による土砂・流木捕捉状況

災害発生 11 日後（平成 25 年 10 月 27 日）の踏査時には，鋼製スリット部の除石・除木，下流堆積地の除石・横断方向への土嚢積みが行われていた。

除石・除木後の鋼製スリット付近の堆積断面から，多数の巨礫が認められた（写真 3.2.7）。鋼製スリットの部材間隔約 2m と比較して，巨礫の礫径は最大で長径 1m 程度であった。また，下流堆積地では，除石や災害発生以降の侵食による堆積断面から，数 10cm 以上の細粒土砂が堆積していることが確認された（写真 3.2.8）。

以上の状況から，土石流の先端部と推測される巨礫や流木が鋼製スリット部を閉塞したことにより，上流堆積地での土石流捕捉が促進され，越流した土砂流に含まれる細粒土砂は下流堆積地で大量に捕捉されたと推察される。



写真 3.2.7 捕捉された土石流の堆積物



写真 3.2.8 堆積工による細粒土砂捕捉状況

大金沢堆積工直下流の溪流保全工では，明瞭な土砂・流木の堆積は認められず，溪流保全工からの越流痕跡も認められなかった（写真 3.2.9）。当該区間を流下した土石流は，大金沢堆積工で概ね捕捉され，下流砂防堰堤を越流した土砂流等は溪流保全工内を安全に流下した

ものと推察される。

しかしながら、さらに下流区間において、神達地区に甚大な被害を与えた土石流が左岸側から流入し（写真 3.2.10）、流木等により橋梁部が閉塞した結果（写真 3.2.11）、下流の元町地区への氾濫被害が拡大し、甚大な人的・家屋被害が発生した（写真 3.2.12）。



写真 3.2.9 大金沢本川堆積工直下流の溪流保全工の状況



写真 3.2.10 溪流保全工への左岸側からの土石流流入状況



写真 3.2.11 橋梁部の閉塞に伴う溪流保全工内の土砂・流木堆積状況



写真 3.2.12 元町地区内（大金沢と周回道路との交点付近）の被災状況

②大金沢支川堆積工

大金沢支川堆積工は、大金沢本川堆積工と同様に、下流端の砂防堰堤と中間部の鋼製スリットによる透過型砂防堰堤、両者間および透過型堰堤上流部の堆積地から構成される。

災害発生翌日（平成 25 年 10 月 17 日）の踏査では、当該施設において大量の土砂・流木が捕捉されている状況が認められ、特に透過型堰堤の鋼製スリット部における大量の流木捕捉が特徴的であった（写真 3.2.13）。また、下流の堆積地には、細粒土砂（火山灰）と流木の堆積が主体であり、巨礫はほとんど認められなかった（写真 3.2.14）。

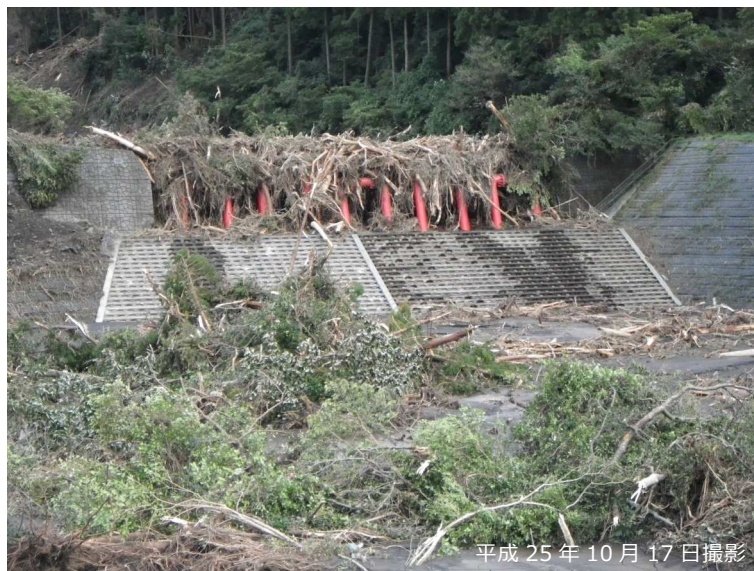


写真 3.2.13 鋼製スリットによる流木の捕捉状況



写真 3.2.14 堆積工による土砂・流木捕捉状況

平成 25 年 11 月 1 日時点では、部分的に除石が行われていたものの、大部分の堆積物は災害後の状況を留めていたと考えられる。鋼製スリット部では、前面に流木の幹・枝・根が絡み合い閉塞しており、その間を細粒の火山灰が埋めるような形で土砂・流木が捕捉され、明瞭な巨礫の捕捉は認められなかった（写真 3.2.15）。

以上の状況から、流入した土石流は主に細粒土砂と流木で構成されていたと推察され、当該施設により大半の土砂・流木が捕捉され、下流への流出は限定的であったと考えられる。



写真 3.2.15 鋼製スリット部の土砂・流木捕捉状況

③八重沢 P-4 砂防堰堤

平成 25 年 11 月 2 日時点の踏査では、八重沢 P-4 砂防堰堤（不透過型、堤高 11.0m，堤長 102.5m）は（写真 3.2.16），土砂および流木を容量一杯捕捉している状況であり，顕著な流

木の集積（山状の塊）が複数箇所確認された（写真 3.2.17）。また、流木の堆積は、砂防堰堤の堆砂末端から更に上流 50m 程度続いている状況が認められた。流木の樹種は主に広葉樹であり、植林による針葉樹の割合が少ないことから、上流部の崩壊に起因する流木が大半を占めていると推察される。

また、八重沢 P-4 砂防堰堤下流では、砂防堰堤を乗り越えた土砂・流木が屈曲部等で集積している状況が認められた（写真 3.2.18）。



写真 3.2.16 八重沢 P-4 砂防堰堤



写真 3.2.17 八重沢 P-4 砂防堰堤の土砂・流木捕捉状況



写真 3.2.18 八重沢 P-4 砂防堰堤下流の溪流保全工の状況

④八重沢堆積工

八重沢堆積工は、大金沢堆積工と同様に、下流端の砂防堰堤と中間部の鋼製スリットによる透過型砂防堰堤、両者間および透過型堰堤上流部の堆積地から構成される。

平成 25 年 10 月 28 日時点の踏査では、除石・除木作業が行われていたが、堆積土砂等の状況から、八重沢 P-4 砂防堰堤と比較すると明らかに流木は少なく、細粒土砂（火山灰）の堆積が主体であることが認められた（写真 3.2.19、写真 3.2.20）。



写真 3.2.19 八重沢堆積工（鋼製スリット部）の除石・除木作業状況



写真 3.2.20 八重沢堆積工（堆積地内）の除石・除木作業状況

また、下流堰堤の水通し付近の堆積地内に設置された金属製のフェンスが倒れず存在していた（写真 3.2.21）。これは、八重沢 P-4 砂防堰堤および八重沢堆積工の上流透過型堰堤において大半の土砂及び流木が捕捉されたため、フェンスを倒すほどの流体力・衝撃力が生じる土砂・流木の流出は生じなかったものと推察される。以上のことから、八重沢 P-4 砂防堰堤及び八重沢堆積工により、下流における被害を軽減したものと考えられる。

しかしながら、八重沢堆積工より下流では、島の周回道路である都道 208 号線と八重沢の交差部分において、堆積工を通過した細粒土砂による流下断面の閉塞により、氾濫及び家屋・事業所への土砂流入による被害が生じている（写真 3.2.22）。



写真 3.2.21 八重沢堆積工の下流端砂防堰堤の水通し部付近



写真 3.2.22 八重沢と周回道路交差点の閉塞状況

⑤長沢砂防堰堤

平成 25 年 11 月 2 日時点の踏査では、長沢砂防堰堤（不透過型、堤長約 170m、堤高約 13m）で除石・除木が行われていたが、堆積土砂等の状況から、細粒土砂（火山灰）が主体であり、流木の混入も多く認められた（写真 3.2.23）。

砂防堰堤左岸側を一部の土砂・流木が乗り越え、堤体上部に設置された管理用道路のフェンスが流失・倒伏していたが、堰堤下流 50m 程度の範囲で停止している状況が確認された。また、砂防堰堤下流の溪流保全工では、越流痕跡もほとんど認められなかったことから、大半の土砂・流木は当該施設で捕捉されており、下流への被害が防止・軽減されたものと考えられる。



写真 3.2.23 長沢砂防堰堤での土砂・流木の捕捉

引用文献

東京都建設局河川部（1991）：伊豆大島，新砂防 Vol.43，No.5，p.35-40

小林寛治・樋川正彦（1993）：伊豆大島堆積工におけるダブルウォール工法，新砂防 Vol.45，No.6，p.55-59

東京都大島支庁（2013）：伊豆大島総合溶岩流対策事業 第11版（平成25年5月作成）

3.3 災害地の土質特性（土質試験結果）

3.3.1 調査の背景・目的

大金沢流域では広範囲に渡って複数の表層崩壊が発生し、これらの表層崩壊の崩壊土砂がそのまま土石流となった。また、土石流は緩い尾根などを乗り越えて流下している（石川ら，2014）。今後の対策を考える上では伊豆大島の土質特性を十分検討した上で実施する必要がある。

これまで火山地域での表層崩壊に関してはいくつかの知見がある（野村ら，2003；木佐ら，2013）。野村らは、三宅島・有珠山・桜島について飽和透水試験・散水試験・攪拌抵抗試験を行い、水の浸透特性や流動化特性を比較している。特に粘土分が多い有珠山で流動化が起きにくいことを実験によって示していることが特筆すべきである。木佐ら（2013）は2011年の霧島山（新燃岳）の噴火による火砕物堆積斜面について、火砕物の層厚の違う斜面の表面流発生痕跡の有無を調査し、火砕物の層厚が厚いほど表面流が発生しやすいことを示している。

表層崩壊については土質強度や間隙水圧の点からもそのメカニズムを議論すべきであるがこの点については研究事例が少ない。そこで本研究では、平成25年10月の伊豆大島での災害で表層崩壊が発生した大金沢の土砂について、火山灰とレスの違いに着目して液性限界・塑性限界試験、透水試験、一面せん断試験、三軸圧縮試験、リングせん断試験等を実施し、土の特性について調査した。

3.3.2 調査箇所の地質及び調査内容について

検討箇所は図3.3.1に示す大金沢のSt-1～3である。それぞれの崩壊地の特徴は表3.3.1に示すとおりである。また、写真3.3.1にそれぞれの箇所の様子を、写真3.3.2に代表的な地層の様子を示す。いずれの箇所も火山灰及びレス層が分布していた。

実施した試験の内容について、物理試験を表3.3.2に、力学試験を表3.3.3に示す。いずれの試験も3箇所においてそれぞれ火山灰、レスについて試験を行った。ただし、リングせん断試験についてはSt-3の火山灰のみで実施した。



図 3.3.1 土砂採取箇所

表 3.3.1 崩壊地の諸元及び採取土砂の種類について

名称	崩壊地諸元			採取土砂
	幅(m)	長さ(m)	勾配(°)	
St-1	10	60	40	レス, 火山灰
St-2	37	55	28	レス, 火山灰
St-3	30	31	30	レス, 火山灰, レス・火山灰の境界



写真 3.3.1 土砂採取箇所の様子。(a)St-1。(b)St-2。(c)St-3。



写真 3.3.2 地層の様子。灰色が火山灰, 赤褐色がレス層である。

表 3.3.2 本研究で実施した物理試験の内容

試験種	粒度試験	土粒子の密度試験	含水比試験	液性塑性限界試験	透水試験
仕様	JIS A 1204	JIS A 1202	JIS A 1203	JIS A 1205	JIS A 1218
試料数	6	6	6	6	6
得られる物性値	粒度分布	土粒子密度	自然含水比	コンシステンシー特性	透水係数

表 3.3.3 本研究で実施した力学試験の内容

試験種	一面せん断試験	三軸圧縮試験	リングせん断試験
仕様	JGS0561	JGS 0523	-
試料数	6	6	1
得られる物性値	有効応力のピーク強度	全応力・有効応力のピーク強度	全応力・有効応力の残留強度
備考			St-3の火山灰のみで実施

表 3.3.4 土粒子の密度

採取場所	土砂の種類	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)
St-1	レス	2.81
	火山灰	2.84
St-2	レス	2.81
	火山灰	2.83
St-3	レス	2.79
	火山灰	2.85

表 3.3.5 土の含水比

採取場所	土砂の種類	自然含水比 W_n (%)
St-1	レス	46.3
	火山灰	22.0
St-2	レス	39.0
	火山灰	16.7
St-3	レス	46.5
	火山灰	18.1

3.3.3 物理試験の結果について

(1) 土粒子の密度試験

土粒子の密度試験の結果を表 3.3.4 に示す。レス層よりも火山灰層の方がやや大きい値となったがほぼ同様と言える。一般的な無機質土であれば $2.6 \sim 2.8 \text{g}/\text{cm}^3$ の範囲であることが分かっており（地盤工学会，2000），本研究の値はそれに近いと言える。

(2) 土の含水比試験

土の含水比試験の結果を表 3.3.5 に示す。レス層は 40%程度，火山灰は 20%程度であることが分かった。このことから，レス層は火山灰層に比べ水を含みやすいことが分かった。

(3) 土の粒度試験

表 3.3.6 及び図 3.3.2 に粒度試験の結果を示す。それぞれの箇所で砂分については火山灰の方が多いいこと，シルト分についてはレスの方が多いいことが分かるが，大きな違いはなく，いずれも地盤材料としてはシルト質砂であった。

(4) 土の液性限界・塑性限界試験

表 3.3.7 に土のコンシステンシー特性を示す。また，図 3.3.3 に塑性図を示す。レス層は液性限界 $WL=55.8 \sim 61.6\%$ ，塑性限界 $IP=23.4 \sim 25.4\%$ となり，塑性図上では MH:シルト（高液性限界）に分類される。液性指数は $0.34 \sim 0.49$ で，自然含水比は液性限界寄りとなっている。採取場所によるコンシステンシー特性の差はあまりない。なお，火山灰は NP（非塑性）となり，塑性を示さなかった。

(5) 土の透水試験

表 3.3.8 に土の透水試験の結果を示す。なお，St-1, 2 については攪乱試料を採取し，室

内で水中落下法によりコアを整形しており、あくまで参考値である。透水係数はいずれも 10^{-5} (m/s) 程度であり、火山灰とレスで大きな違いはなかった。なおこの値から火山灰、レスともに透水性としては低いと言える (公益社団法人地盤工学会, 2009)。

表 3.3.6 土の粒度割合

採取場所	土砂の種類	粒度割合 (%)			
		粘土	シルト	砂	礫
		0.005 (mm) 未満	0.005-0.075 (mm)	0.075-2 (mm)	2-75 (mm)
St-1	レス	7	35	56	2
	火山灰	5	24	69	2
St-2	レス	9	25	64	2
	火山灰	6	18	73	3
St-3	レス	16	29	53	2
	火山灰	10	24	66	0

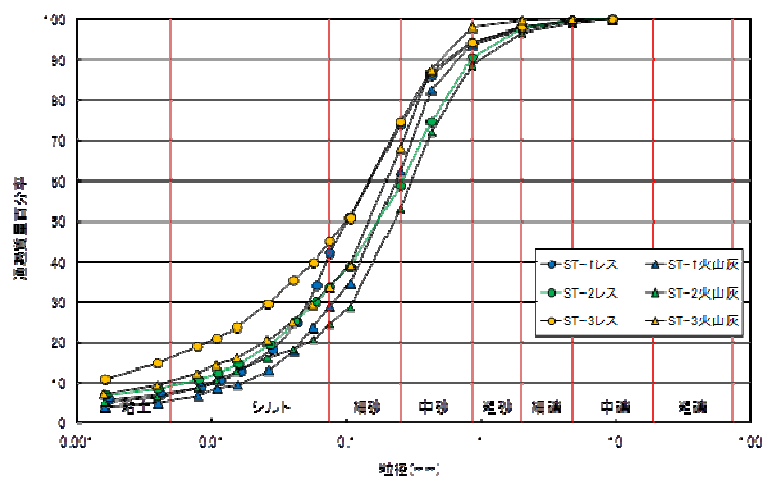


図 3.3.2 土の粒度分布

表 3.3.7 土のコンシステンシー特性

採取場所	土砂の種類	自然含水比 W _n (%)	コンシステンシー			
			液性限界 WL (%)	塑性限界 WP (%)	塑性指数 IP	液性指数 IL
St-1	レス	46.3	61.6	38.2	23.4	0.35
	火山灰	22.0	NP(非塑性)			
St-2	レス	39.0	55.8	30.4	25.4	0.34
	火山灰	16.7	NP(非塑性)			
St-3	レス	46.5	58.6	35.1	23.5	0.49
	火山灰	18.1	NP(非塑性)			

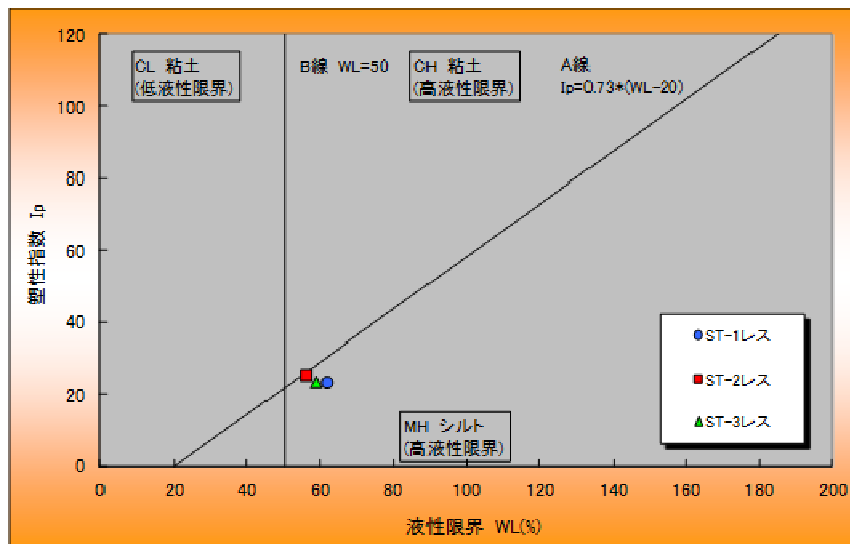


図 3.3.3 塑性図

表 3.3.8 透水試験の結果

採取場所	土砂の種類	室内透水係数 K_r (m/s)	供試体 作成方法
St-1	レス	3.6×10^{-4}	水中落下法
	火山灰	3.0×10^{-5}	
St-2	レス	2.3×10^{-6}	
	火山灰	1.1×10^{-5}	
St-3	レス	1.9×10^{-5}	不攪乱試料
	火山灰	2.1×10^{-5}	

3.3.4 力学試験の結果について

(1) 土の圧密非排水三軸圧縮試験

三軸圧縮試験には圧密時とせん断時の排水条件及び間隙水圧の測定の有無を組み合わせ、4種類の試験条件が規定されているが、本研究では圧縮時の間隙水圧に着目した研究を実施することから、圧密非排水 (CUbar) での試験を行った。

St-3の試料については不攪乱試料から供試体を作製した。St-1, 2については攪乱試料を採取し、水中落下法により供試体を作製した。なお、圧密後の乾燥密度を計測すると St-3と比較して大きな差がないことが確認されている。試験条件は表 3.3.9 に示す通りである。

土質強度の結果を表 3.3.10 に示す。圧密過程終了後の供試体の乾燥密度は各試料とも同じ試料であれば同程度であった。不攪乱試料の St-3 と水中落下法により作製した St-1, 2 の乾燥密度に大きな差はなく、攪乱試料の供試体作製は妥当なものとなっていると考えられる。全応力のせん断抵抗角 ϕ ではレス<火山灰という関係になっており、レスの $\phi = 10.0 \sim 17.2^\circ$ 、火山灰の $\phi = 16.8^\circ \sim 29.1^\circ$ となっている。有効応力のせん断抵抗角 ϕ' では各採取場所におけるレスと火山灰の大小関係に規則性はない。レスの $\phi' = 28.8 \sim 33.3^\circ$ 、火山灰の $\phi' = 29.7 \sim 35.5^\circ$ となっておりほぼ同様の値と言える。

図 3.3.4～図 3.3.6 にそれぞれ軸ひずみと過剰間隙水圧の関係、主応力差と過剰間隙水圧の関係、主応力差と軸ひずみの関係を示す。主応力差の増加によって軸ひずみが発生し、さ

らには過剰間隙水圧が発生している。この過剰間隙水圧の発生が表層崩壊発生の一因となったと考えられる。なお、火山灰とレスに大きな違いはない。

(2) 土のリングせん断試験

本研究では火山灰について土のリングせん断試験を実施した。図 3.3.7～図 3.3.9 に圧密圧力をそれぞれ 25, 50, 75kPa とした場合のせん断変位量とせん断応力、間隙水圧との関係を示す。いずれも間隙水圧がせん断面近傍と供試体で同様の挙動を示している。また、せん断初期に 20～70kPa の過剰間隙水圧が発生している。しかし、せん断変位量 30,000mm 付近からは徐々に過剰間隙水圧が減少しており、それに伴いせん断応力が上昇している。写真 3.3.3 にリングせん断試験後の供試体の様子を示す。粗粒分が供試体上位に移動し、かつ、細粒分が供試体下位に移動しており、この分級現象によって過剰間隙水圧が消散に向かったと推察される。

表 3.3.9 土の圧密非排水三軸圧縮試験の実験条件

供試体サイズ	直径 ϕ 50mm, 高さ 100mm
ひずみ速度	0.1%/min
最終変位量	軸ひずみ 15%
圧密応力	25kPa, 50kPa, 75kPa

表 3.3.10 土の圧密非排水三軸圧縮試験の実験結果

採取場所	土砂の種類	採取試料の状態	平均乾燥密度(圧密後) (g/cm^3)	全応力		有効応力	
				粘着力 C (kPa)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	粘着力 C' (kPa)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)
St-1	レス	攪乱	0.89	6.5	17.2	0.8	33.1
	火山灰		1.33	8.7	29.1	2.0	35.5
St-2	レス		0.91	2.6	16.1	1.1	28.8
	火山灰		1.34	2.1	16.8	2.7	29.7
St-3	レス	不攪乱	1.01	28.7	10.0	3.2	33.3
	火山灰		1.38	3.6	19.3	0.5	31.7

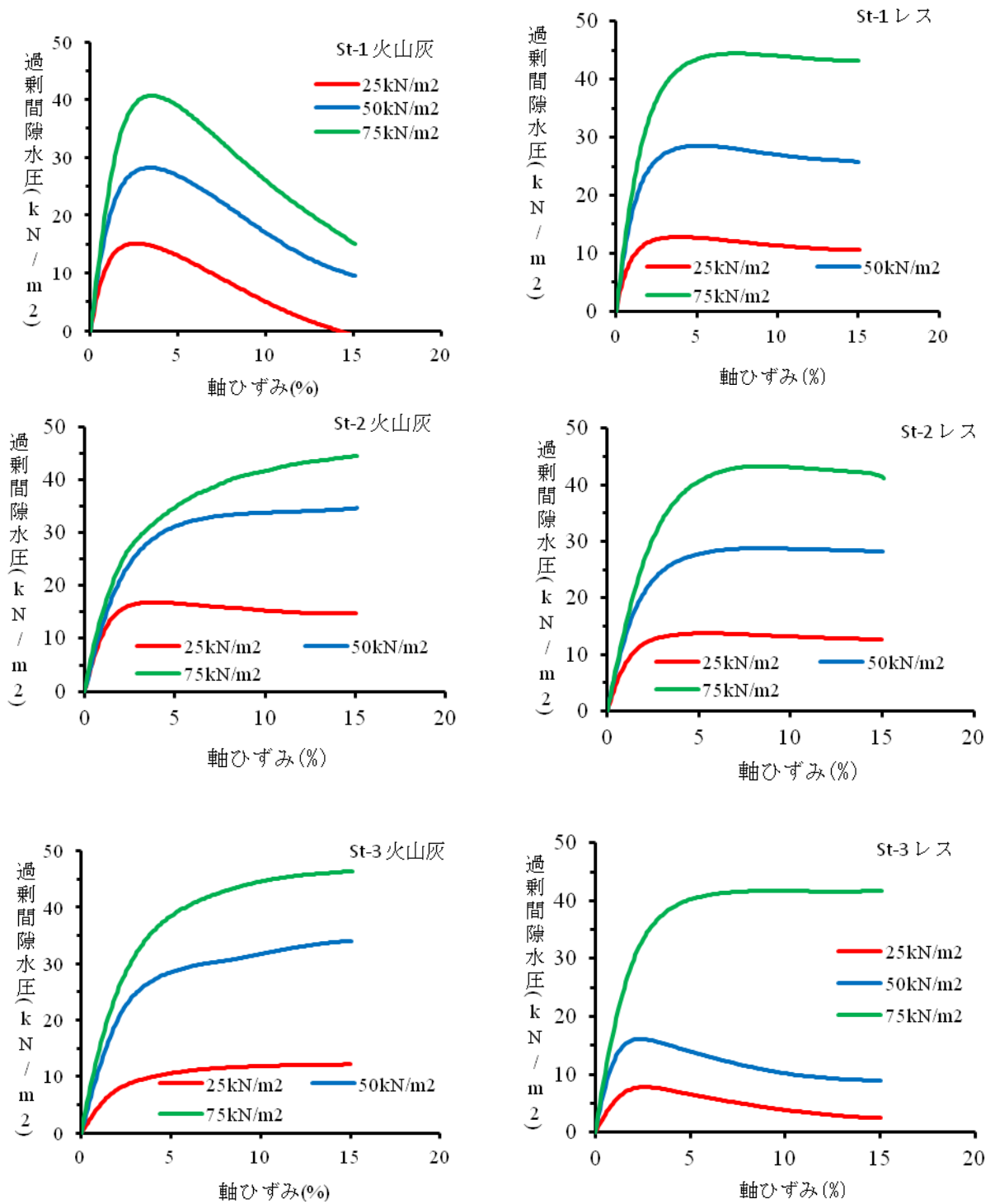


図 3.3.4 軸ひずみと過剰間隙水圧の関係

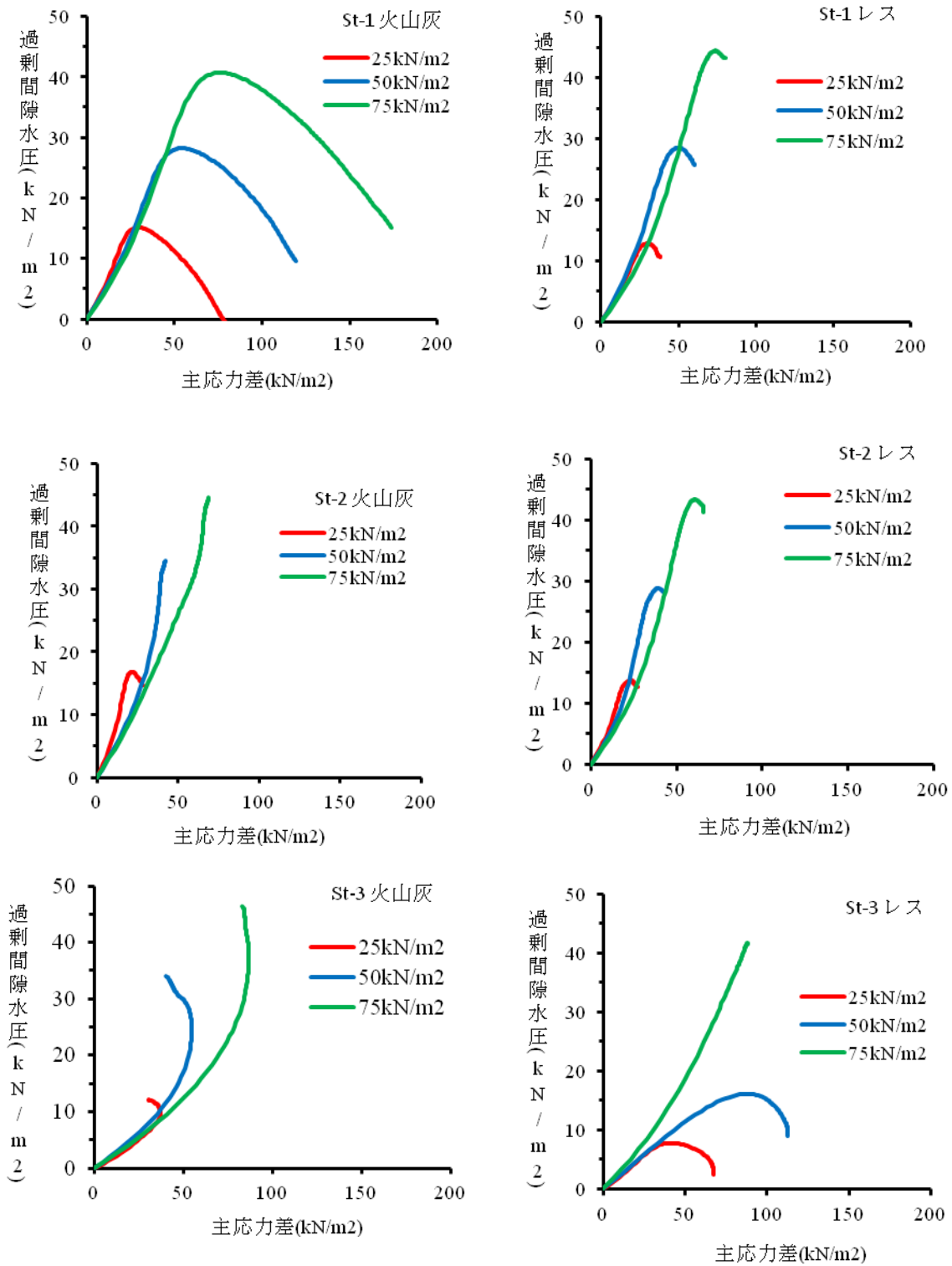


図 3.3.5 主応力差と過剰間隙水圧の関係

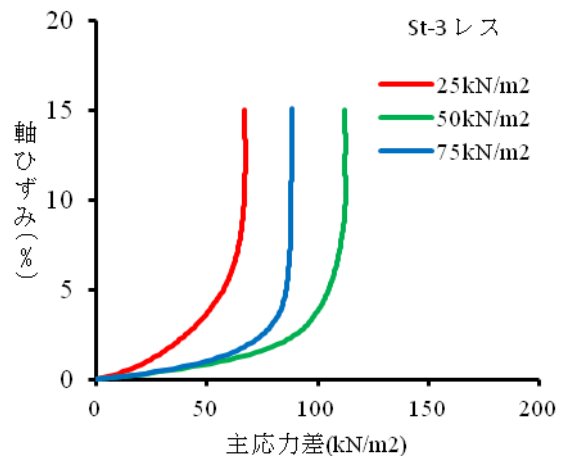
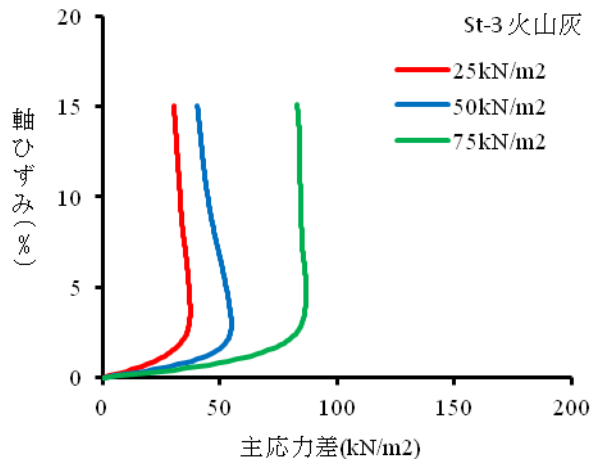
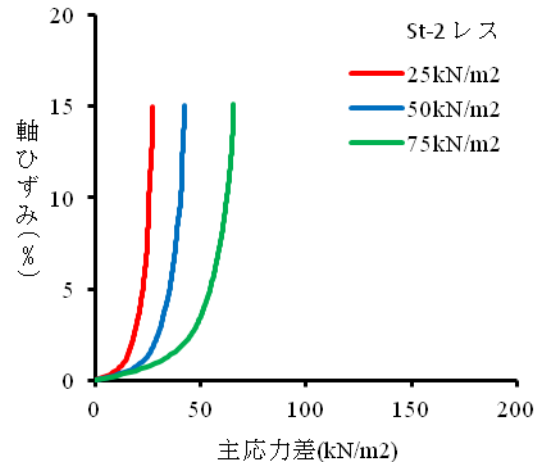
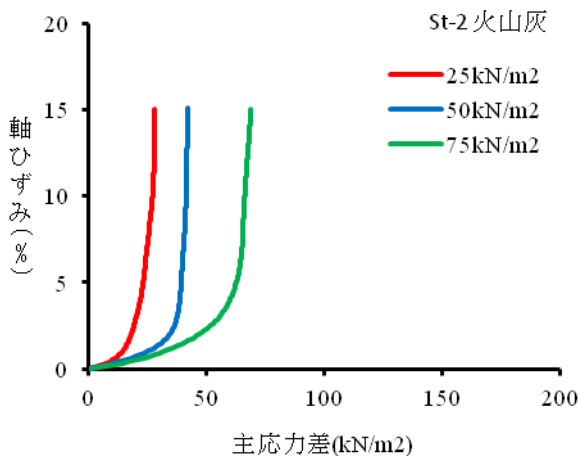
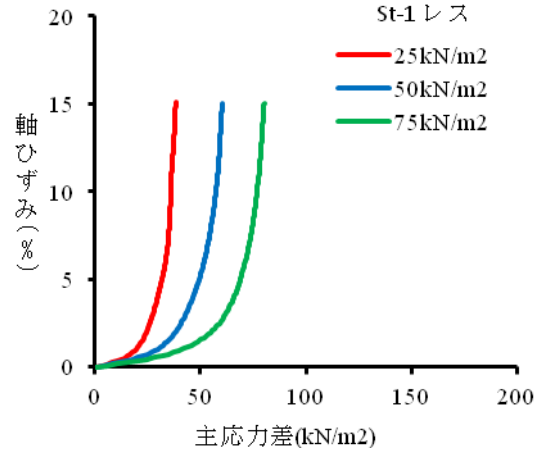
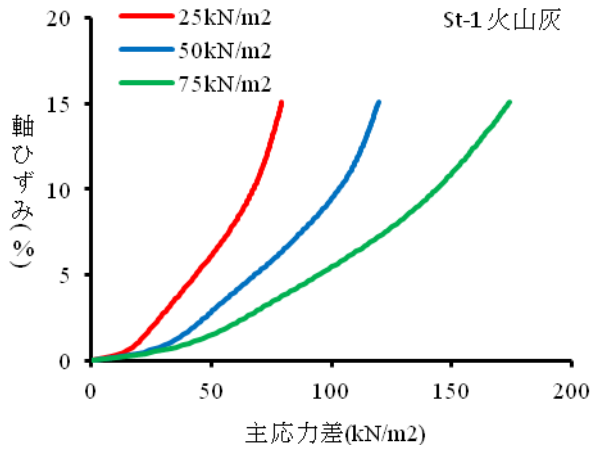


図 3.3.6 主応力差と軸ひずみの関係

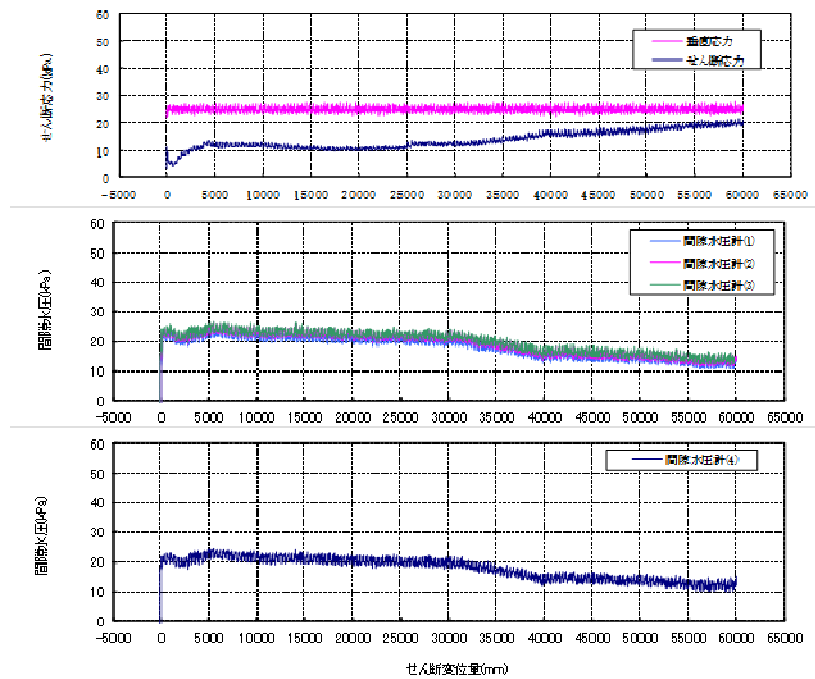


図 3.3.7 圧密応力 25kPa の時のせん断変位量とせん断応力，間隙水圧の関係。間隙水圧計 (1)～(3)はせん断面近傍を，(4)は供試体上面の間隙水圧を計測している。

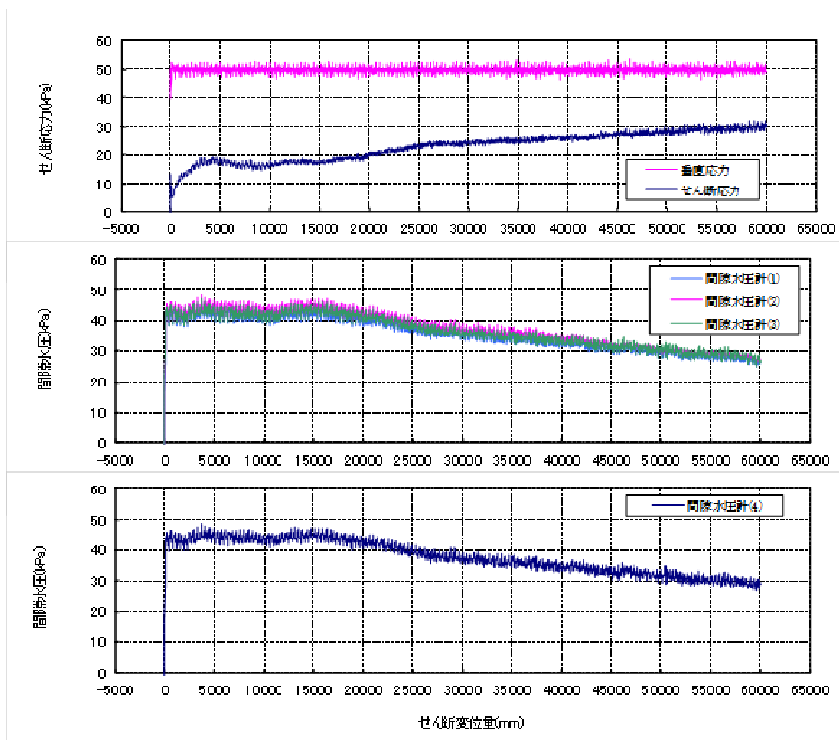


図 3.3.8 圧密応力 50kPa の時のせん断変位量とせん断応力，間隙水圧の関係。間隙水圧計 (1)～(3)はせん断面近傍を，(4)は供試体上面の間隙水圧を計測している。

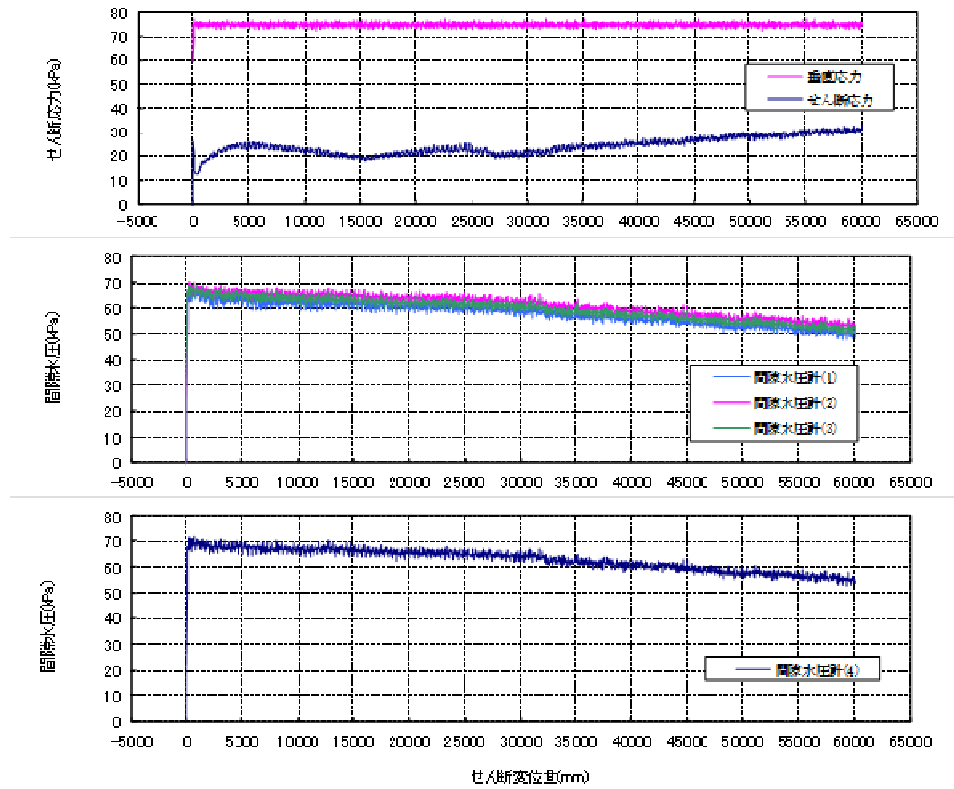


図 3.3.9 圧密応力 75kPa の時のせん断変位量とせん断応力，間隙水圧の関係。間隙水圧計 (1)～(3)はせん断面近傍を，(4)は供試体上面の間隙水圧を計測している。



写真 3.3.3 リングせん断試験後の供試体の様子。大きい粒径が上に移動している

3.3.5 まとめ

大金沢の土質試験の結果をまとめると以下の通りである。

- ・物理試験の結果から、火山灰とレスでは土粒子の密度・粒度分布・透水係数の点では違いが無かった。一方、自然含水比はレス層が火山灰の2倍程度であった。また、土の液性限界・塑性限界試験の結果から、レスは高液性限界(MH)であったのに対し火山灰は非塑性(NP)となった。
- ・土の圧密非排水三軸圧縮試験について、レスの $\phi' = 28.8 \sim 33.3^\circ$ 、火山灰の $\phi' = 29.7 \sim 35.5^\circ$ となっておりほぼ同様の値であった。また、火山灰・レスともに歪みの発生に伴って間隙水圧の上昇がみられ、このことが表層崩壊の発生の一因になったと考えられる。
- ・火山灰についてのリングせん断試験の結果から、せん断変位に伴ってせん断応力の上昇と間隙水圧の低下がみられた。試験後の供試体の観察結果から粗粒分の供試体上部への移動が見られておりこのことが原因とみられる。

引用文献

- 石川芳治・池田暁彦・柏原佳明・牛山素行・林真一郎・森田耕司・飛岡啓之・小野寺智久・宮田直樹・西尾陽介・小川洋・鈴木崇・岩佐直人・青木規・池田武穂（2014）：2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害，砂防学会誌（新砂防），Vol. 66, No. 5, p. 61-72
- 公益社団法人地盤工学会（2009）：地盤材料試験の方法と解説
- 木佐洋志・山越隆雄・石塚忠範・杉山光徳・瀧口茂隆（2013）：2011年霧島山（新燃岳）噴火による火砕物堆積斜面の降雨表面流出特性，砂防学会誌（新砂防），Vol. 65, No. 6, p. 12-21
- 野村康裕・小杉賢一朗・水山高久（2003）：三宅島・有珠山・桜島の火山灰の物理特性の比較検討，砂防学会誌（新砂防），Vol. 55, No. 6, p. 3-12

3.4 流下域の調査と土石流の流下に関する考察

3.4.1 調査の目的

本災害は、上流域で発生した複数の表層崩壊の崩壊土砂が土石流化し、溪床、溪岸の土砂を取り込みながら、比較的比高の低い尾根を乗り越え分流や合流を繰り返し流下・堆積したものと考えられる。土石流は主に土石流の規模と地形条件に支配され流下経路を決定するものと考えられるが、実際には橋梁の閉塞等によって土石流の規模や地形条件だけでは説明できない流下経路を辿る範囲も見られる。したがって、災害時に実際に辿ったと考えられる流下経路を明らかにすることは、今後の土石流流下範囲を想定する上で重要な基礎データとなると考える。

そこで、本章では災害当時の土石流の流下経路の実態を把握することを目的に、現地調査から得られた土砂流下範囲、堆積土砂の粒度、被害建物の分布状況から想定された流下状況についてとりまとめた。

3.4.2 調査手法

流下域の調査は、最も甚大な被害が発生した大金沢において、3.6 で後述する痕跡調査等とともに、災害発生約2週間後の平成25年11月2～4日と、平成26年1月15日～17日に実施した。調査は、土砂の流下範囲内を徒歩で移動し土砂の流下経路を確認するとともに、土砂の流下痕跡、堆積土砂の粒径、被害建物の分布状況などを記録した。なお、本章では土石流が比較的比高の低い尾根を乗り越えた，“御神火スカイライン”が横断する地点付近より下流を、流下域として調査対象とした（図 3.4.1）。

土砂の流下痕跡は、3.6 で詳細に述べるが、国土地理院によって「地理院地図」として公開されている土砂流出箇所（国土地理院，2013）に、現地で確認できた土砂流下痕跡の情報を追加し、「土砂流下範囲」を設定した。

堆積土砂の粒径については、神達地区で4地点（図 3.4.1 の観察地点①，②，⑤，⑥），元町3丁目で1地点（図 3.4.1 の観察地点③），元町3丁目で1地点（図 3.4.1 の観察地点④）の計6地点で堆積土砂の表面を観察し、各地点における堆積土砂を構成する粒度の相対的な違いを確認した。なお、神達地区で4地点のうち、2地点は土砂流下範囲内の立木が残存する尾根の北側の堆積土砂であり、残りの2地点はその尾根の南側の堆積土砂である。

被害建物の分布状況は、(国研)防災科学研究所によって公開されている家屋被害の判読結果（独立行政法人防災科学技術研究所，2013）をもとに、現地で確認できた情報を追加・修正した。また、災害直後に撮影された写真やインターネットの記事において確認された情報についても参考とした。なお、公開されている家屋被害の判読結果では、建物の種別を区分しているが、ここでは被害状況（流出・被災）のみの区分とし、家屋が流出し基礎のみとなっているような建物を流出、建物自体は残っているものの、壁が流出するなど外見から明らかに被害が確認できる建物を被災として追加・修正を行った。

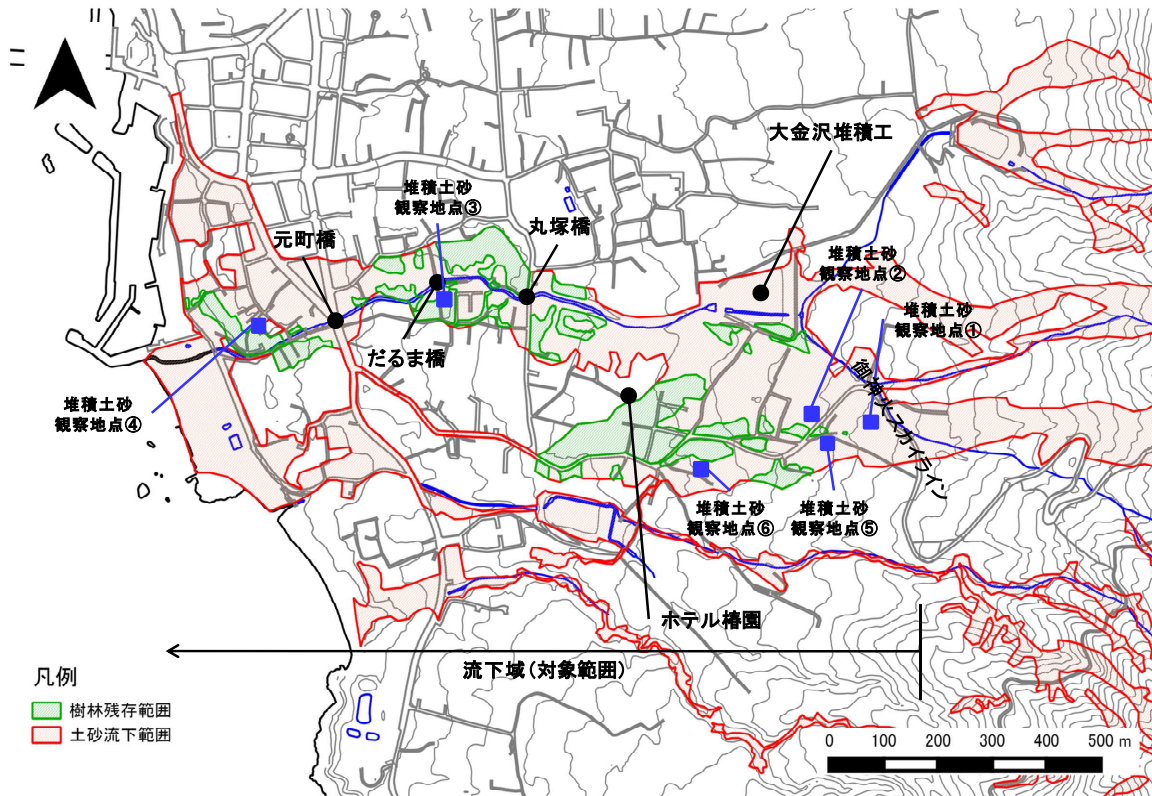


図 3.4.1 流下域調査の対象範囲

3.4.3 調査結果

痕跡調査については聞き取り調査結果とあわせて、3.6 で取りまとめている。ここでは、堆積土砂の粒径調査と被害建物の分布状況について調査結果をとりまとめる。

(1) 堆積土砂の粒径

各観察地点における堆積土砂の状況を、それぞれ写真 3.4.1～写真 3.4.6 に示す。

まず、観察地点①～④より、縦断的な堆積土砂の粒径変化を確認した。調査地①、②の堆積土砂は、火山灰質の細粒分を主体に $\phi=20\sim30\text{cm}$ 程度の礫が多く確認された。それに対し、調査地③～④の堆積土砂には、それらの礫は確認されずほとんどが火山灰質の土砂により構成されているものと考えられた。現地調査での観察の結果、調査地①、②で確認されたような $\phi=20\sim30\text{cm}$ 程度の礫は、大金沢堆積工付近より上流に見られ、それより下流ではほとんど見られなかった。

次に、観察地点①、②と⑤、⑥より、横断的な堆積土砂の粒径変化を確認した。調査地①、②に対し、調査地⑤、⑥は $\phi=40\text{cm}$ 程度の礫も一部見られるものの、観察地点①、②で多く確認された $\phi=20\sim30\text{cm}$ 程度の礫の割合が相対的に少なく、火山灰等の細粒分を主体として構成されていた。調査地①、②と⑤、⑥は残存した樹林帯によって隔てられており、この樹林帯を境界に堆積土砂の粒度分布が異なると考えられた。

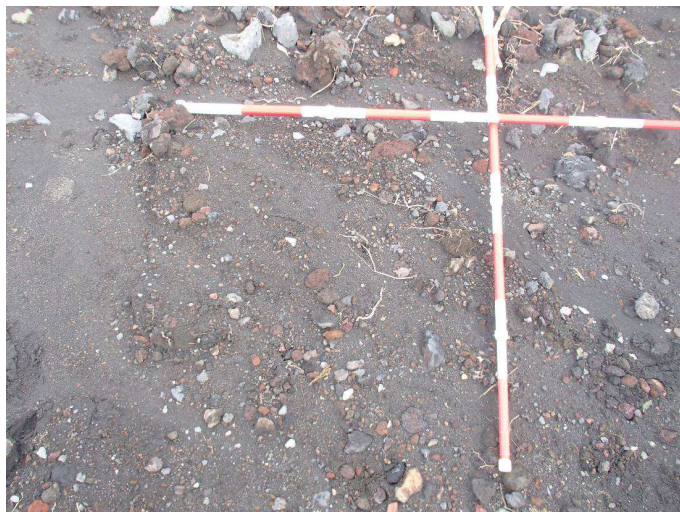


写真 3.4.1 堆積土砂観測地点①の堆積土砂の状況



写真 3.4.2 堆積土砂観測地点②の堆積土砂の状況



写真 3.4.3 堆積土砂観測地点③の堆積土砂の状況



写真 3.4.4 堆積土砂観測地点④の堆積土砂の状況



写真 3.4.5 堆積土砂観測地点⑤の堆積土砂の状況



写真 3.4.6 堆積土砂観測地点⑥の堆積土砂の状況

(2) 被害建物の分布状況

図 3.4.2 に被害建物の分布状況を示す。流下域の建物の被害分布は主に上流の神達地区とその下流の元町3丁目から元町橋付近で確認された。以下にそれぞれの地区における被災建物と流出建物の分布状況を整理した。

神達地区のうち上流側では、樹木が残存している稲荷神社のある尾根に沿って被災の建物が見られ、尾根から少し離れた両側は大部分の建物が流出していた。また、ホテル椿園やその南の工場などの下流側では流出していない被災の建物が見られる。次に元町3丁目では流出した家屋は流路工の周辺に見られ、丸塚橋の直下流では左岸側に分布している。一方で、だるま橋の下流では右岸側に分布する。また、その下流の元町橋付近では流路工の左岸側に流出家屋が見られるものの、流路工のすぐ右岸側の建物は被災しているものの流出には至っていない。しかし、さらに右岸側には流出した建物が分布している。

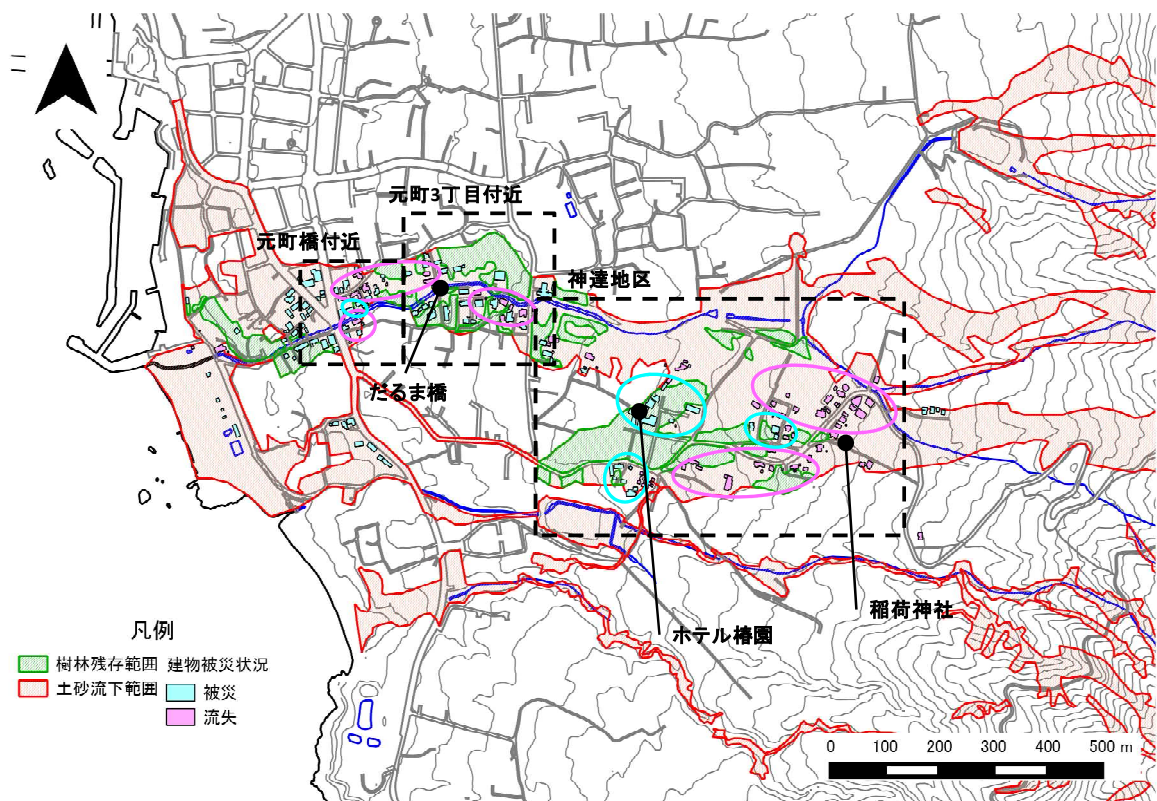


図 3.4.2 被災建物の分布状況

3.4.4 想定される流下状況

土砂の流下痕跡と堆積土砂の粒径、被害建物の分布状況を踏まえ、災害当時の流下状況について考察する。また、土石流形態で流下する土砂は、斜面勾配が概ね 10° 未満になると堆積傾向となり、 2° 未満になると停止することが知られていることから（例えば、危機管理技術研究センター砂防研究室，2007），各区間の流下状況は斜面勾配に大きく支配されていると考え、調査結果に加え 5m メッシュの地形標高データから求めた斜面勾配区分図（図 3.4.3）も考察に用いた。

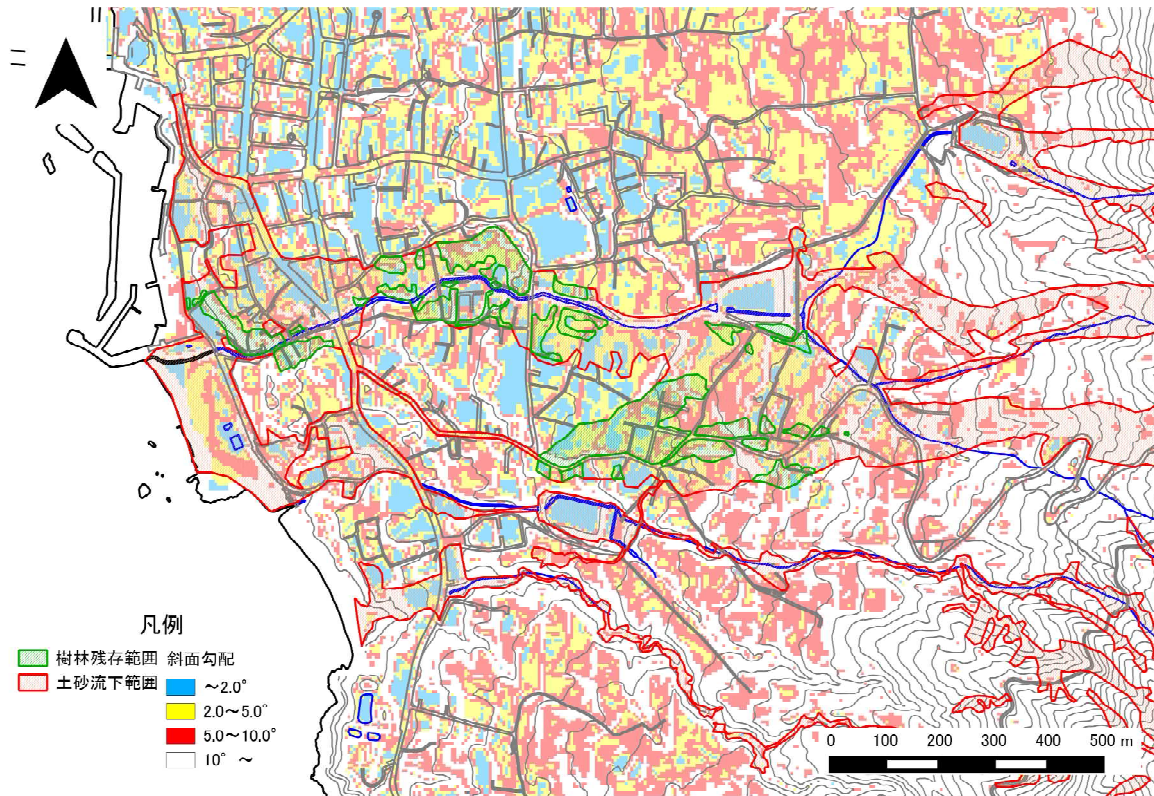


図 3.4.3 土砂流下範囲と勾配区分

(1) 神達地区

調査結果から想定される神達地区での流下状況を図 3.4.4 に示す。神達地区上流では、堆積土砂の粒径の観察結果から、立木が残存する尾根を挟んで大金沢側と八重沢側の堆積土砂で粒度分布が異なることが確認された。また、この尾根に沿って被災した建物が分布し、その両側の建物は流出していたことが確認された。これらのことから、神達地区上流では立木が残存する尾根を挟んで大金沢側と八重沢側に向かう異なる方向へ土石流の流下方向が分かれたとみられる。

神達地区の上流の横断形状（図 3.4.5 中の上流断面）と土砂流下範囲を確認すると、流下してきた流れは左岸側に大きく偏流した流れであったと想定された。御神火スカイラインを横断する付近の左岸側の尾根の比高が低くなる地点から流れの一部が稲荷神社のある尾根を越えて八重沢側へ向かう流れを形成し、建物に被害を与えたと考えられる。一方、大金沢側へ向かった流れは、ホテル椿園の上流で、再びホテル椿園へ向かう流れと大金沢流路へ向かう流れに分かれる。ホテル椿園周辺は、災害前は常緑広葉樹からなる樹林や草地であったが、豪雨後、ホテル椿園周辺はほぼ樹林内で停止しているのに対して、ホテル椿園北側の大金沢流路工沿いでは、丸塚橋周辺までほぼ一様に樹林が流出し、周辺の建物が倒壊する被害となっていた。図 3.4.3 によると、ホテル椿園付近を境界に、南側部分は 2° 未満の範囲が出現しているのに対して、北側部分は大金沢堆積工下端付近で一度勾配が 10° 以上の区間が出現し、大金沢の流路に沿って 2° 以上の区間が丸塚橋下流まで続く。このわずかな勾配分布の違いから、ホテル椿園の北側では樹林内へ土砂が一旦堆積したとしても、継続する降雨の集中により土砂・流木が下流へと押し流されたことが推察される。

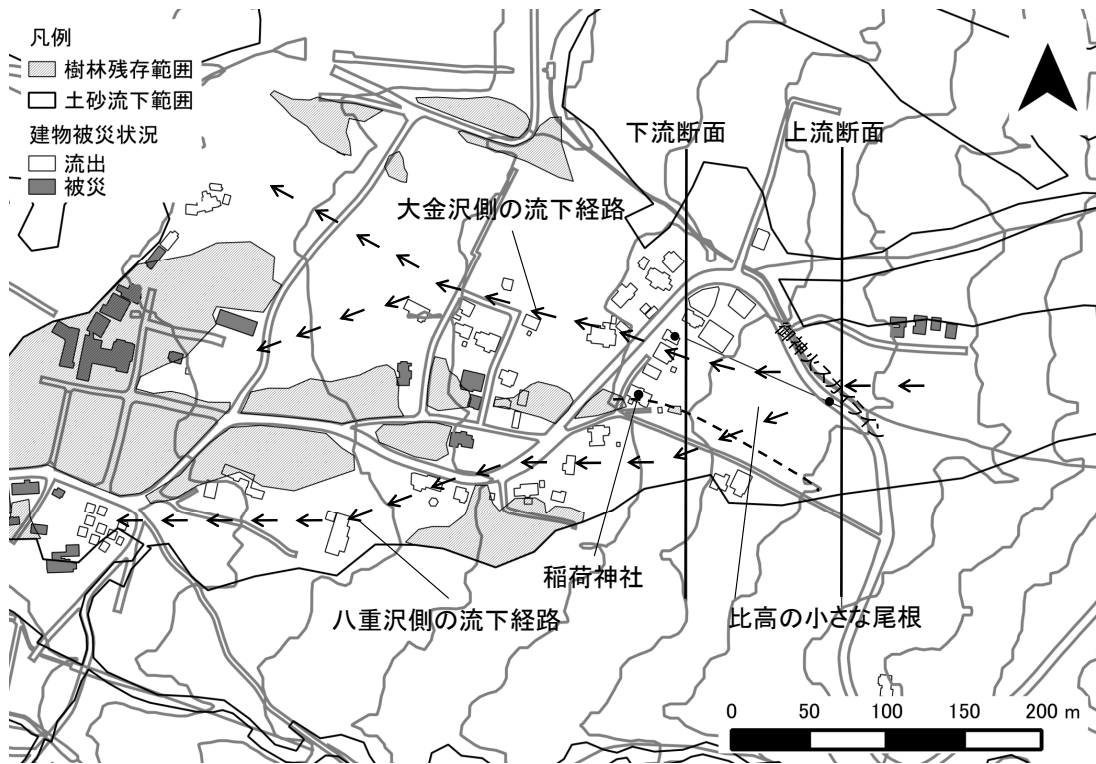


図 3.4.4 神達地区の流下状況

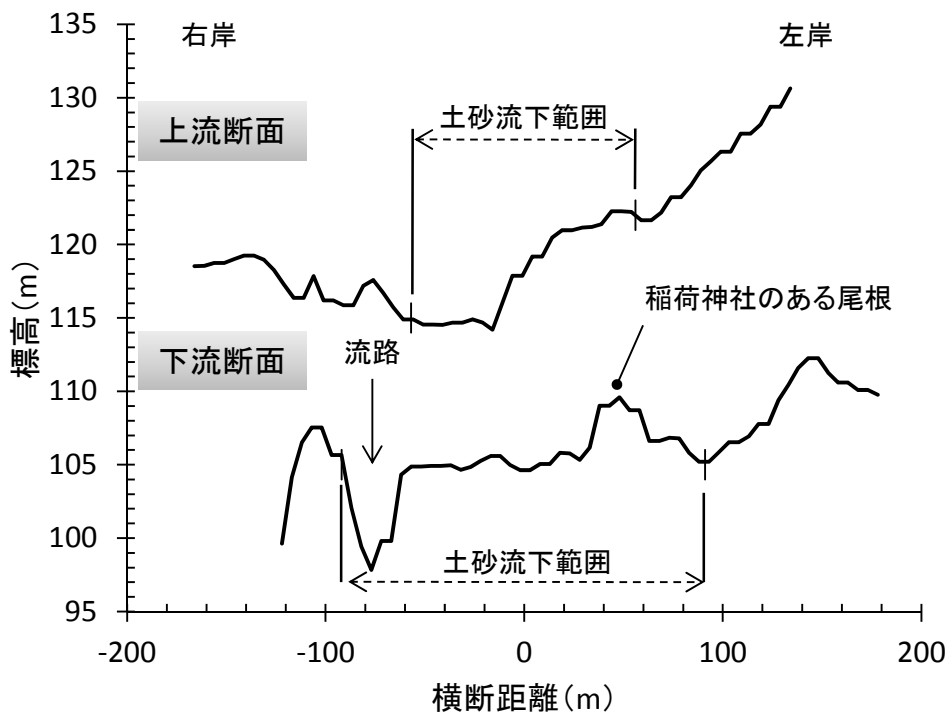


図 3.4.5 神達地区上流の横断形状と土砂流下範囲

(2)元町3丁目(丸塚橋～医療センター)付近

調査結果から想定される元町地区での流下状況を図 3.4.6 に示す。図 3.4.6 より、この区間の流出した家屋は流路工の周辺に見られ、丸塚橋の直下流では左岸側に、だるま橋の直下

流では右岸側に分布する。この区間は、神達地区と比較すると樹林が残存していることが特徴的であり、斜面勾配も $2.0\sim 5.0^\circ$ の区間に 5° 以上の区間を交えていた。丸塚橋上流と比較して勾配が緩く、減勢された土石流は、立木や橋梁、建物などに規制されながら、複雑な流れを形成したのではないかと推察される。

この区間には丸塚橋とだるま橋の2つの橋があり、災害直後はいずれも流木により閉塞していた。上流から流下してきた流れは、閉塞した橋の上流で宅盤が低い方を選択的に流下したものと考えられる。その結果、丸塚橋付近から下流では左岸側を、だるま橋付近から下流では右岸側を流下する複雑な経路をとったと考えられる。現地では、だるま橋下流の右岸側に、洗掘による深さ 2.0m 程度の流路が確認された（写真 3.4.7）。

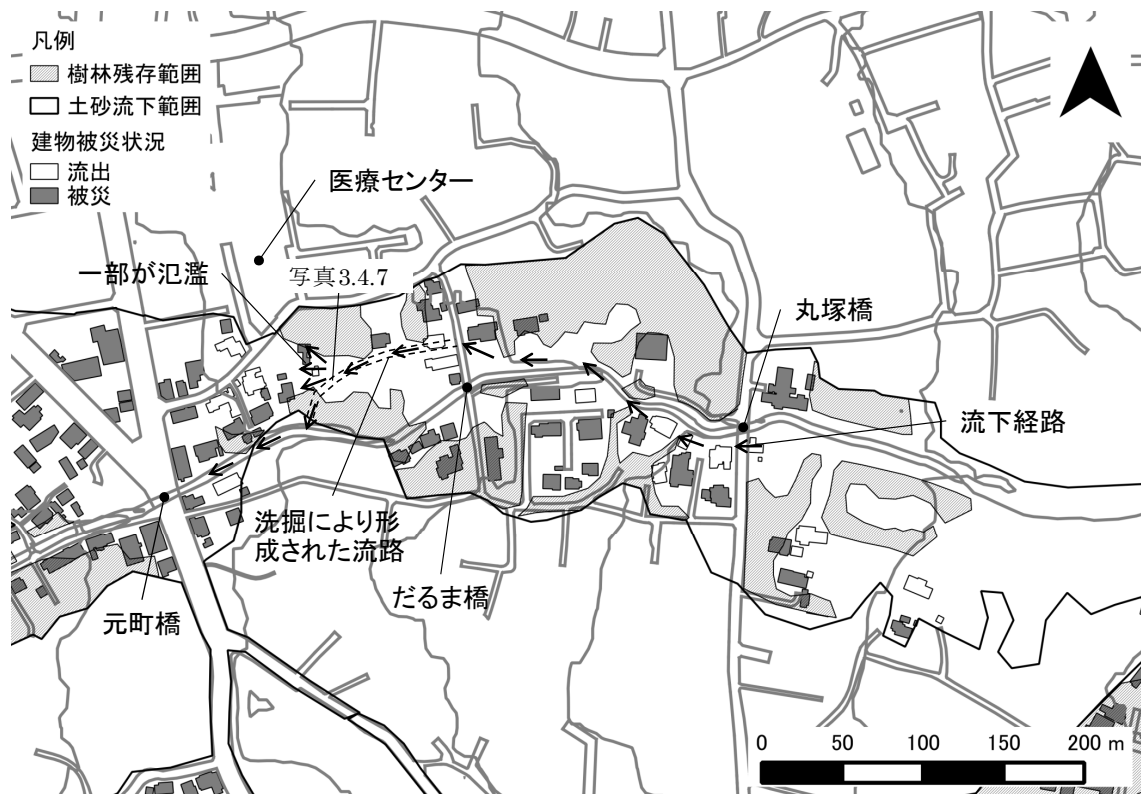


図 3.4.6 元町地区の流下状況



写真 3.4.7 洗掘によって形成された流路

(3) 元町橋付近

前述の通り、この区間の上流では右岸側に洗掘による深さ 2.0m 程度の流路が形成されていた。その流路は、右岸側の被災した建物の上流で、流路工に合流している。従って、当初はこの右岸側の流路を流下し、流路工に合流していたと考えられる。その後、この流路の流下能力を超えた流れの一部が右岸側に氾濫後道路を流下、市街地に広く流下した。元町橋下流では大金沢から離れるほど 2° 未満の緩い勾配となるが、海岸に向かって緩く傾斜がついているため、薄く広く土砂が堆積したものと考えられる。一方、大金沢流路周辺では 2° 未満の平地がみられず、宅盤が階段状に作られている。そのため、流路沿いに流下した土砂は、下流側の建物敷地内に次々に流れ込んで堆積したものと考えられる。

3.4.5 まとめ

本災害の特徴的な流下状況として、神達地区で確認された偏流により上流からの流れの一部が比高の低い尾根を乗り越えた現象と、元町地区で確認された橋梁の閉塞に伴う流下経路の変更が想定された。これらの特徴的な流下状況により、被害が大幅に拡大したと考えられる。

今後、土石流の流下範囲を想定する際には、このような現象が実際に起こりうるということを十分に認識した上で検討を行うことが重要である。

引用文献

- 独立行政法人防災科学技術研究所(2013):台風 26 号による伊豆大島の災害 災害情報の収集と解析 家屋被害の判読結果, http://dil.bosai.go.jp/disaster/2013H25T26/pdf/izuos_hima_house.pdf, 参照 2013-10-30
- 危機管理技術研究センター砂防研究室(2007):砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編), <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn/tnn0364pdf/ks0364.pdf>, 参照 2013-10-25
- 国土地理院(2013):地理院地図(電子国土 Web)防災関連台風第 26・27 号の大雨(大島町)土砂流出箇所, <http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/>, 参照 2013-10-25

3.5 流木調査と流木の発生・流出状況

3.5.1 調査の目的

本災害では、斜面崩壊・土石流と共に大量の流木が発生した。本調査では、大金沢本川堆積工上流域における流木発生の実態把握を目的として、空中写真判読・現地調査・立木調査に基づいて単位面積幹材積を算出し、発生流木量の推算および流木収支の検討を試みた。

3.5.2 調査箇所

本調査は大金沢本川堆積工上流域を検討の対象とした。対象範囲においては、事前の現地調査により、発生した流木のほとんどが河道内等に堆積せずに流下していること、流下した流木が大金沢堆積工によってほぼ捕捉され堆積工より下流には流出していないことが確認されており、また、大金沢堆積工から搬出した流木量が記録されている。すなわち、流木収支を検討するうえで閉じた系であると考えられ、発生流木量の推算結果検証にも適した箇所であった。

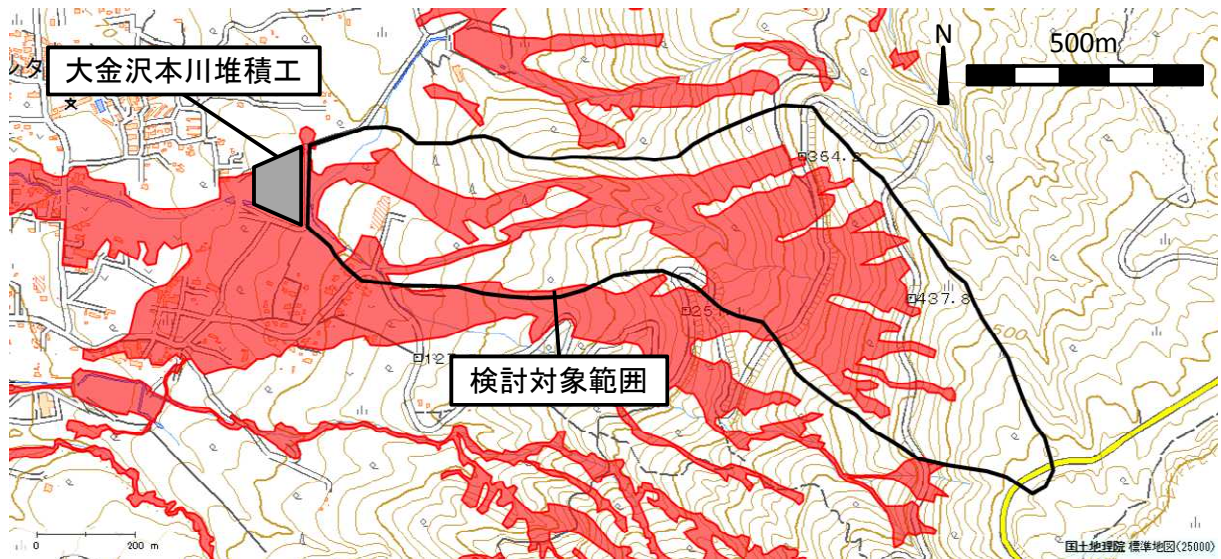


図 3.5.1 調査対象範囲（国土地理院判読の土砂流出範囲図に加筆）

3.5.3 調査方法

調査は林相区分及び現地確認、各林相と崩壊地の面積計測、立木調査（コドラート調査）、単位面積幹材積と発生流木量の算出、流木収支の検討を行った。

林相区分は国土地理院の空中写真アーカイブス（2007 撮影）を用いて実施した。判読結果は現地において確認し、必要に応じて再区分した。各林相および崩壊地の面積は GIS ソフトにより計測した。なお、崩壊地は国土地理院の土砂流出範囲を用いて、林相毎に算出した。

立木調査は各林相で 2～3 箇所を実施し、それぞれ 10m×10m のプロットを設定して立木数・樹高・胸高直径を計測するとともに、各プロットにおける留意事項等を記録した。

調査データは林相毎に整理し、立木本数・胸高直径・樹高・単位面積当たりの幹材積および発生流木量を算出した。単位面積幹材積は「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説」「土石流・流木対策設計技術指針及び同解説」（平成 19 年 11 月、国土交通省砂防部ほか）（以下、土対針という）に準拠し、発生流木量は単位面積幹材積に崩壊面積を乗じた。

3.5.4 調査結果

(1) 林相区分及び調査プロットの設定結果

林相区分及び調査プロットの設定結果を図 3.5.2 に示す。空中写真判読の結果、対象範囲上流部に樹高の異なる常緑広葉樹一斉林, 中流部から大金沢本川堆積工に常緑広葉樹複層林, その左岸側の一部に針葉樹林が確認された。現地確認の結果, 常緑広葉樹複層林は中間部に遷緩線を有し, 明瞭ではないものの林相が異なるように見受けられたため, 遷緩線を境界として上部・下部に区分した。また, 針葉樹林は枝打ち等の施業の痕跡が認められたため, 植林であると判断した。

以上より, 対象範囲の林相は下記の通り 5 つに区分された。なお, 最上流部に複層林が分布するものの, 斜面崩壊が発生していないため, 検討範囲から除外している。

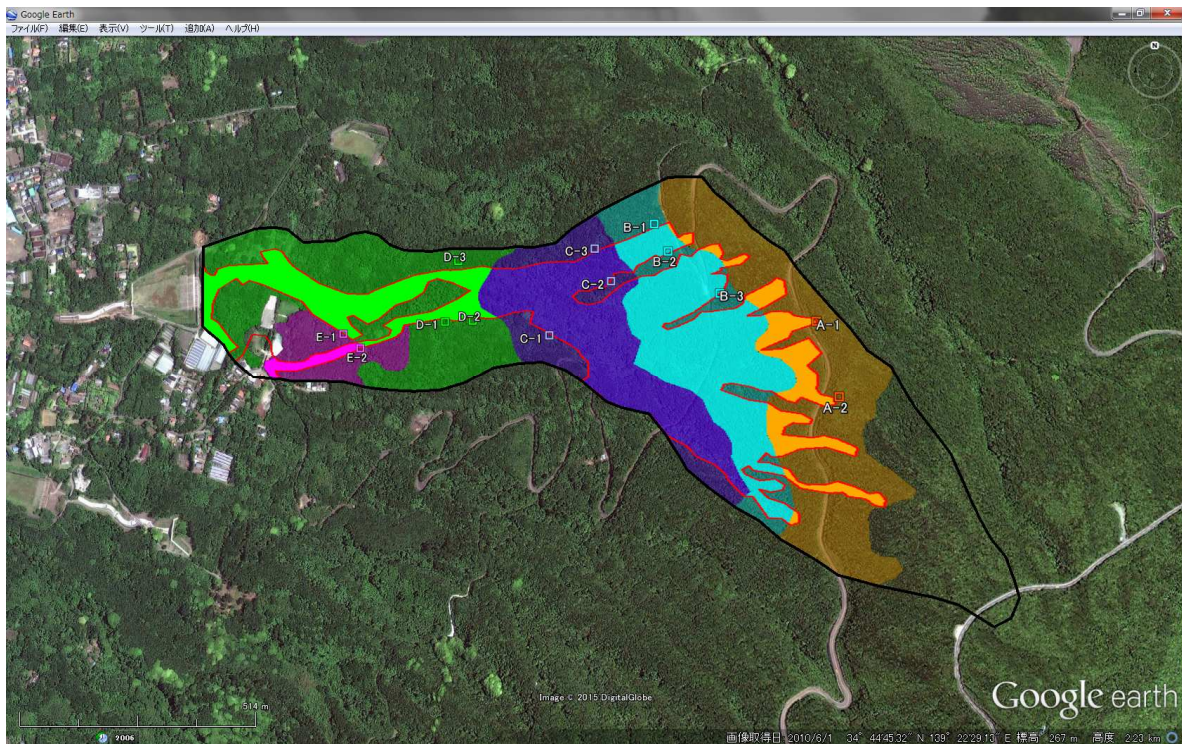
林相 A : 常緑広葉樹一斉林上部 (林相 B よりも相対的に樹高が低い)

林相 B : 常緑広葉樹一斉林下部 (林相 A よりも相対的に樹高が高い)

林相 C : 常緑広葉樹複層林上部 (林相 D よりも急勾配)

林相 D : 常緑広葉樹複層林下部 (林相 C よりも緩勾配)

林相 E : 針葉樹植林



©Google

図 3.5.2 林相区分と調査プロット位置

(ここに, 黒線: 大金沢本川堆積工の流域界, 赤線: 国土地理院判読の土砂流出範囲, 橙色ハッチ: 林相 A, 水色ハッチ: 林相 B, 紫色ハッチ: 林相 C, 黄緑色ハッチ: 林相 D, 桃色ハッチ: 林相 E, □A-1 など: 各林相における立木調査実施箇所, を意味する。GoogleEarth を用いて作図したものをスクリーンショットでキャプチャした。)

(2) 林相及び崩壊地面積の計測結果

対象範囲の面積，各林相の面積，各林相に含まれる崩壊地面積を計測した結果を表 3.5.1 に示す。

崩壊面積について，以下の特徴が挙げられる。

- ・全体としては，対象範囲の面積に対して崩壊面積率が 40%程度と非常に高い。
- ・林相 E の面積が特に少ないが，A～D についてはおおむね同程度の分布である。
- ・各林相面積に占める崩壊面積の割合は林相 B・C で特に高い。
- ・流下域となった林相 D では比較的谷地形が発達し流下範囲が地形に規制されているためか，崩壊面積の割合が B・C の半分以下であった。

表 3.5.1 林相・崩壊面積計測結果

エリア	各エリアの面積 (m ²)	流域面積に占める 各エリアの割合 (%)	土砂流出 (崩壊)面積 (m ²)	各林相面積に占める 崩壊面積の割合 (%)	全崩壊面積に占める 崩壊面積の割合 (%)
全体	504069.12	100.0	203573.12	40.4	100.0
林相A	100632.87	20.0	20606.07	20.5	10.1
林相B	87499.65	17.4	67416.42	77.0	33.1
林相C	91411.50	18.1	63674.01	69.7	31.3
林相D	138197.77	27.4	41776.05	30.2	20.5
林相E	27923.03	5.5	4599.13	16.5	2.3
A-E合計	445664.82	88.40	198071.68	-	97.3

(3) 各林相の調査結果

各林相における調査結果を表 3.5.2 及び図 3.5.3 に示す。また、調査地で記録した現地状況と合わせて、全体及び各林相の特徴と所見を以下に示す。

【全体の傾向及び現地状況に対する所見】

- ・ 林相 A-D では、各プロットでの立木本数のバラツキが大きい
- ・ 胸高直径および樹高の平均値は各林相で近い値となっている。
- ・ 樹冠が閉塞した林相の立木分布について、空中写真では一様に見えるが実際は疎密（＝バラツキ）がある。
- ・ 現地では同一林相のプロット毎に立木密度が異なるようには見えず無作為に調査プロットを設定したが、留意する必要がある。

表 3.5.2 立木調査結果

項目	調査本数 本					平均胸高直径 cm					平均樹高 m				
	崩壊地側 上部	崩壊地側 下部	斜面側 上部	斜面側 下部	合計	崩壊地側 上部	崩壊地側 下部	斜面側 上部	斜面側 下部	合計	崩壊地側 上部	崩壊地側 下部	斜面側 上部	斜面側 下部	合計
林相A-1	29	61	30	50	170	7.7	7.8	8.6	7.4	8	4.7	4.7	4.8	4.8	5
林相A-2	22	37	31	19	109	8.3	7.9	7.6	10.1	8	4.9	4.6	4.6	4.4	5
林相A平均	25.5	49	30.5	34.5	139.5	8	7.85	8.1	8.75	8	4.8	4.65	4.7	4.6	5
林相B-1	30	7	13	41	91	9.8	12.4	11.7	9.2	11	7.4	7.4	7.9	7	7
林相B-2	15	9	19	7	50	11.3	11.3	11.4	9	11	7.5	7	6.3	5.3	7
林相B-3	49	22	17	27	115	9	10.2	8.2	8.1	9	6.6	6	5.8	5.3	6
林相B平均	32	15.5	18	17	82.5	10.15	10.75	9.8	8.55	10	7.05	6.5	6.05	5.3	6.5
林相C-1	7	6	6	6	25	14.9	11.7	8.3	15.2	13	7.6	6.8	7.2	6.3	7
林相C-2	7	11	16	10	44	10.3	9.4	10.1	10.1	10	6	5.6	6.3	6.9	6
林相C-3	8	14	13	7	42	12.1	11.2	10.4	12.3	12	6.3	5.8	5.7	5.1	6
林相C平均	7.5	12.5	14.5	8.5	43	11.2	10.3	10.25	11.2	11	6.15	5.7	6	6	6
林相D-1	8	9	11	9	37	12.4	9.1	11.3	10.6	11	8.1	6.1	6.6	7.3	7
林相D-2	5	6	6	6	23	8.2	9	11.8	12.2	10	5.6	5.5	7.3	6.3	6
林相D-3	9	2	23	13	47	11.4	9.5	9.9	9.6	10	8.1	7.1	8.9	7.9	8
林相D平均	7	4	14.5	9.5	35	9.8	9.25	10.85	10.9	10	6.85	6.3	8.1	7.1	7
林相E-1	4	2	5	3	14	25	20.5	17.2	22	21	12.5	10	9.2	10.3	11
林相E-2	3	2	5	3	13	17	21	17.2	22	19	7.3	9.5	9.2	10	9
林相E平均	3.5	2	5	3	13.5	21	20.75	17.2	22	20	9.9	9.75	9.2	10.15	10

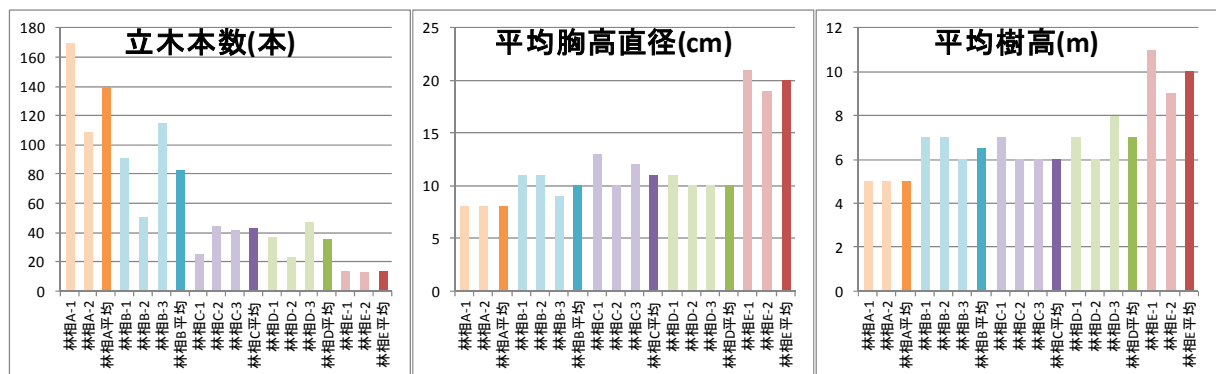


図 3.5.3 立木調査結果

【林相 A：常緑広葉樹一斉林上部】

- ・地表から数 10cm の高さで幹分かれするものが多い。
- ・胸高直径は 5～10cm，樹高は 4～5m の立木が優勢。
- ・立木密度（単面積当たりの立木本数）は最大。

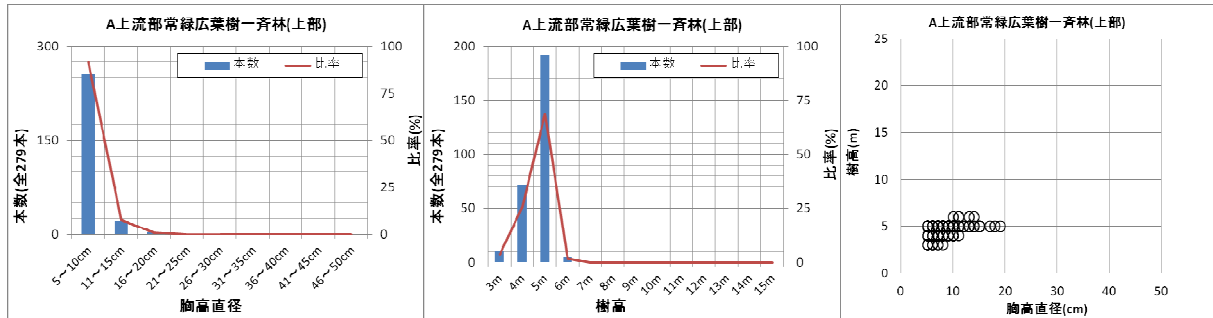


図 3.5.4 林相 A の立木調査結果

左) 胸高直径ヒストグラム，中) 樹高ヒストグラム，右) 樹高-胸高直径の関係

【林相 B：常緑広葉樹一斉林下部】

- ・地表から数 10cm の高さで幹分かれするものが多い。
- ・胸高直径は 5～15cm，樹高は 6～8m の立木が優勢。
- ・立木密度は林相 A について 2 番目に大きい。
- ・一次遷移の一斉林であるが，林相 A に比べて樹高・胸高直径ともに若干大きく，バラツキがある。

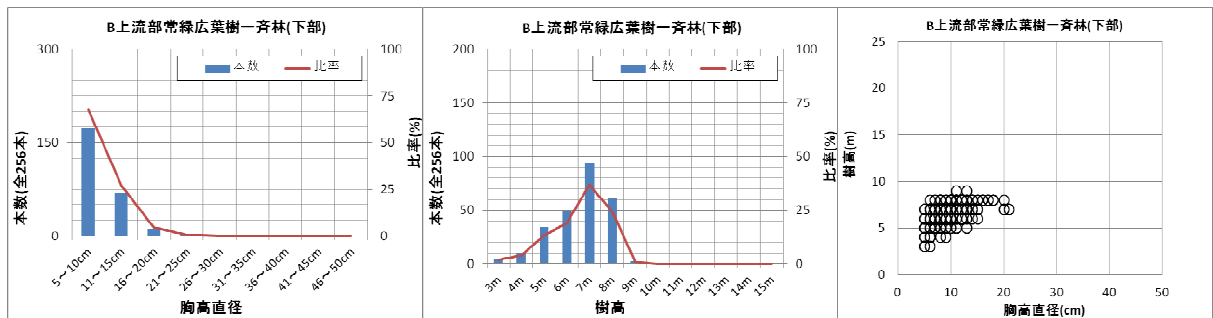


図 3.5.5 林相 B の立木調査結果

左) 胸高直径ヒストグラム，中) 樹高ヒストグラム，右) 樹高-胸高直径の関係

【林相 C:常緑広葉樹複層林上部】

- ・胸高直径，樹高ともにバラツキが生じている。
- ・立木密度は上流側の一斉林よりも小さくなる。
- ・複層の広葉樹林であり，樹高の分布からもその特徴が読み取れる。

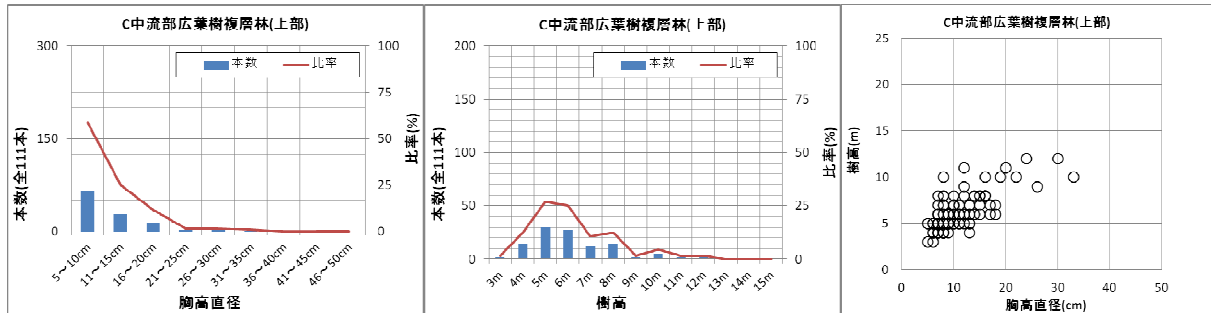


図 3.5.6 林相 C の立木調査結果

左) 胸高直径ヒストグラム，中) 樹高ヒストグラム，右) 樹高-胸高直径の関係

【林相 D:常緑広葉樹複層林下部】

- ・胸高直径，樹高ともにバラツキが生じている。
- ・立木密度は林相 C とほぼ同様である。
- ・林相 C と比較して，樹高の分布がやや高くなっており，斜面勾配が林相 C よりも緩いことに起因している可能性がある。

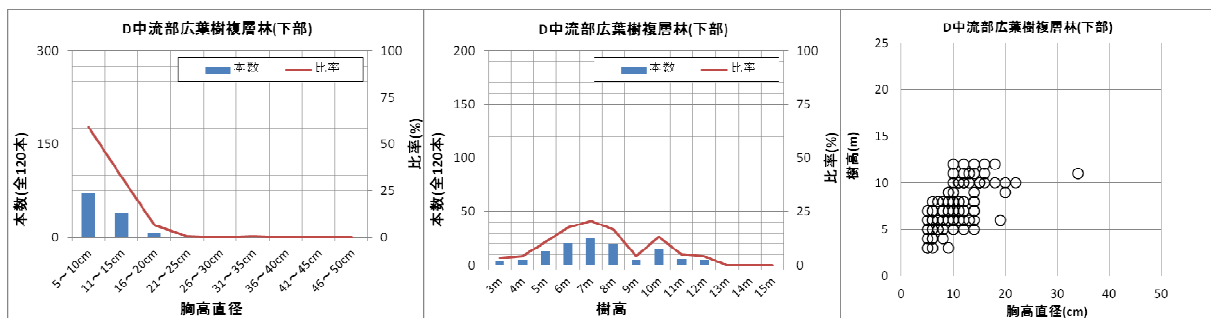


図 3.5.7 林相 D の立木調査結果

左) 胸高直径ヒストグラム，中) 樹高ヒストグラム，右) 樹高-胸高直径の関係

【林相 E: 針葉樹植林】

- ・ 胸高直径，樹高ともにバラツキが生じている。
- ・ 立木密度は最小。
- ・ 全体的にはやや樹高が高い。

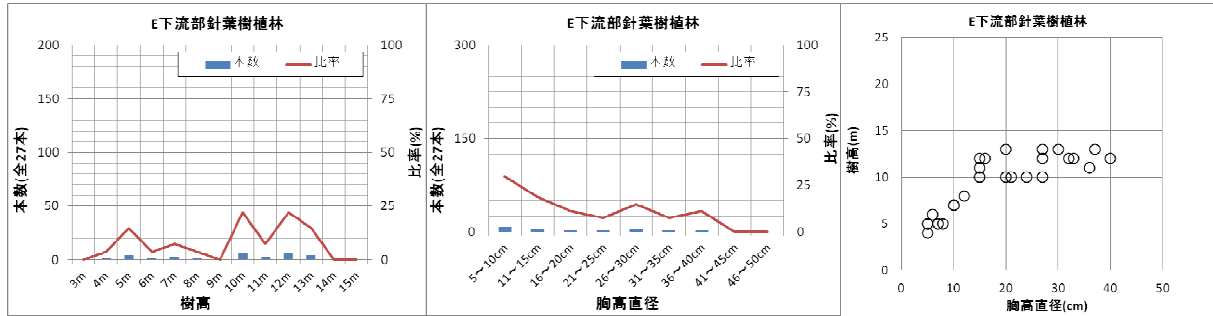


図 3.5.8 林相 E の立木調査結果

左) 胸高直径ヒストグラム，中) 樹高ヒストグラム，右) 樹高-胸高直径の関係

以上の結果をまとめると，下記の通りとなる。

- ・ 空中写真判読による林相区分ごとに異なる特徴（胸高直径・樹高）が認められた。
- ・ 上流域から下流域に向かって，胸高直径・樹高とも概ね増加する傾向にあった。
- ・ 判読上ほぼ同一の林相を呈していた林相 C・D は，現地の地形（斜面勾配）によってその特徴に差異が認められた。
- ・ 林相 A・B は谷地形が発達しておらず一斉林であり，一様な地形・植生が，広域に連続した表層崩壊の素因となった可能性がある。

(4) 発生流木量の推定

プロット毎の単位面積幹材積を算出し、各林相での発生流木量を推定した。算出方法及び算出結果を以下に示す。

1) 算出方法

- ・ 胸高係数と樹高の関係（広葉樹）を目視でプロット
- ・ 調査立木の最大樹高が 13m であるため、5m, 10m, 15m の 3 点で相関式を選定。
- ・ 表計算ソフトを用いて線形、二次、指数、対数で比較し、相関係数が最も高い線形の相関式を採用。

→ $y = -0.0175x + 0.7317$ (y : 胸高係数, x : 樹高) を採用。

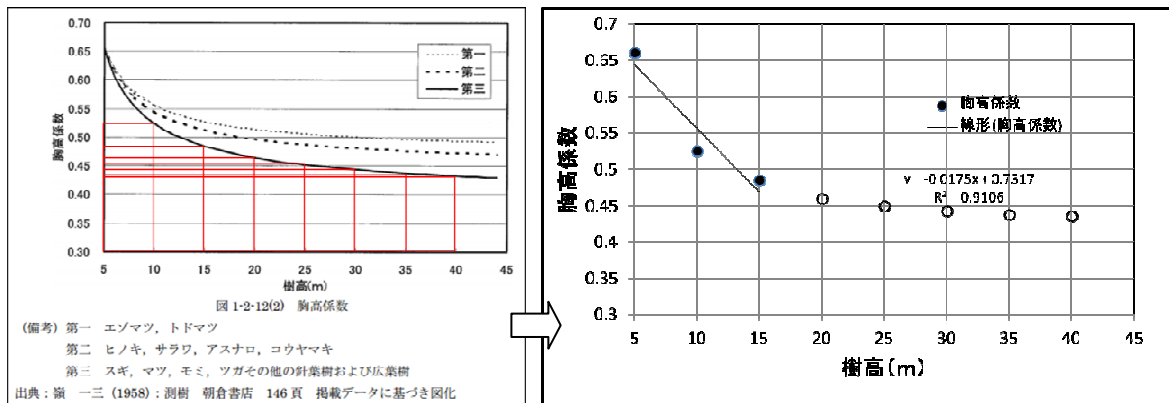


図 3.5.9 本検討における胸高係数相関式

※左図: 土対針 p30 図-12 (2) に加筆

- ・ 立木単体の幹材積（単木材積）は、土対針に従い算出した。

$$\rightarrow V_{wy} = \pi \times H_w \times R_w^2 \times K_d / 4$$

V_{wy} : 単木材積 (m^3), π : 円周率 (3.14), H_w : 樹高 (m)

R_w : 胸高直径 (m), K_d : 胸高係数

- ・ プロット毎に単位面積当たりの幹材積を算出して林相平均値を求め、各林相の発生流木量は崩壊面積に単位面積幹材積を乗じて算出した。

2) 算出結果

表 3.5.3 に単面積幹材積及び発生流木量等の算出結果を示す。また、算出結果から得られた知見を以下に示す。

- ・本調査結果に基づき発生流木量を推算した結果、計 4,630m³となった。(大金沢本川堆積工上流)
- ・崩壊面積率の大きい林相 B・C から発生した流木量が全体の約 7 割を占める結果となった。
- ・単面積当たりの幹材積では林相 E の値も大きかったが、崩壊面積が小さいため発生流木量としては全体の 3 % 程度となった。
- ・林相 B・C の崩壊面積は、同程度であったが、幹材積の違いが反映され発生流木量は 810m³ の差異が生じた。

表 3.5.3 発生流木量等の算出結果

	林相A	林相B	林相C	林相D	林相E
立木幹材積合計(m ³)	4.65	8.96	5.69	5.70	6.19
調査面積(m ²)	200	300	300	300	200
単面積当たり幹材積(m ³ /m ²)	0.023	0.030	0.019	0.019	0.031
崩壊面積(m ²)	20,606	67,416	63,674	41,776	4,599
崩壊面積合計に占める割合	10.1	33.1	31.3	20.5	2.3
発生流木量(m ³)	470	2,020	1,210	790	140
合計(m ³)	4,630				
発生流木量合計に占める割合(%)	10.2	43.6	26.1	17.1	3.0

3) 流木収支の検討

大金沢本川堆積工内およびその上流からガレキとして搬出された流木量は 1,368m³ と報告(※)されており、平均値から推算した 4,630m³ に対して約 3 割程度(量にして約-3,200m³の差異)であった。

(※) 東京都より提供いただいたガレキ(土砂・流木)搬出データに拠る。



図 3.5.10 左) 大金沢本川堆積工下流の流路工 右) 同堆積工上流側の状況

3.5.5 立木調査・発生流木量の検討結果のまとめ

本調査・検討では、大金沢本川堆積工上流域における林相区分と特徴の整理を行い、発生流木量の推定と、概略の流木収支検討を行った。その結果を以下に整理する。

- ・空中写真判読による区分で、林相の特徴を捉えることは可能である。
- ・樹冠が閉塞していると、立木の疎密は写真で判読できず、現地でも判断が難しい。
- ・立木の疎密は発生流木量算出に大きく影響すると考えられるため、調査プロットの設定の際には留意が必要である。
- ・調査結果に基づき対象範囲における発生流木量を推定した結果、4,630m²となった。
- ・大金沢本川堆積工で捕捉された流木量（搬出された量）は1,368m³であり、算出した発生流木量の約3割程度であった。

引用文献

国土交通省砂防部，国土交通省国土技術政策総合研究所（2007）：「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説」「土石流・流木対策瀬計技術指針及び同解説」

3.6 土砂流下範囲における被害発生時刻の時系列関係

3.6.1 調査の目的

本災害は、深夜から未明にかけて最も強い豪雨となっており、土砂災害による被害がどのようなタイミング、どのような範囲で発生したか明らかでない。平成13年に施行された「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（以下、「土砂災害防止法」とする）においては、土砂災害のおそれのある区域を「土砂災害警戒区域」として設定しているが堆積範囲や堆積深は地形や地物等の影響により異なる。そのため、本災害の土砂流下とそれに伴う被害の実態を明らかにすることは、火山地域における土砂移動特性の解明につながると同時に、全国の火山地域における土砂災害対策のための基礎資料として、きわめて重要だと考える。

そこで、本章では、大島町元町地区の大金沢を中心に、山腹での崩壊発生から海岸周辺での土砂堆積に至る土砂・流木の流下範囲と、その過程における被害発生時刻を明らかにすることを目的とし、痕跡調査及び聞き取り調査を実施した結果についてとりまとめた。

3.6.2 調査手法

(1) 痕跡調査

痕跡調査は、災害発生後10月19日～21日の降雨（累加雨量138.5mm）、10月23日～26日の台風27号に伴う降雨（累加雨量160.5mm）を経験したあとの11月2日～4日に実施した。国土交通省の調査により、これらの降雨により新たな土砂移動が発生していないことが確認されている（国土交通省，2013）。

調査は、調査範囲内を徒歩で移動し、土砂の流下痕跡、住民の証言、立木や建物への衝突痕跡を記録した。これらの中には複数の痕跡が確認できる地点もあったが、本稿では土砂の流動を示す最大の高さとしている（写真3.6.1）。また、災害直後の10月17日～18日にかけて撮影された写真やインターネット記事を参考に、痕跡高を推定した地点もある。土砂の流下範囲は、国土地理院によって「地理院地図」として公開されている土砂流出箇所（国土地理院，2013a）をもとに、痕跡や住民からの聞き取りにより推定した。なお、本稿では痕跡の地表面からの高さを「痕跡高」とし、土砂が移動した痕跡が残る程度の土砂を含む流水が流れた範囲を「土砂流下範囲」とした。



写真 3.6.1 複数の高さの痕跡の例

(2) 聞き取り調査

聞き取り調査は、平成26年（2014年）1月15日～17日に、大島町役場の助言、協力を得

て、13名の住民及び町職員・消防関係者等に対して実施した。聞き取り調査に応じていただいた方と当時の状況を表 3.6.1、図 3.6.1 に示す。

調査は調査員2名による対面方式で、概ね20分～1時間程度、土砂流下範囲、住宅地図等に図示しながら2013年10月15日～16日の状況について聞き取った。

表 3.6.1 聞き取り調査対象者

No	略称	当日の居所, 状況
1	町職員 A	防災担当職員。1:00 に登庁して待機。
2	町職員 B	神達地区在住。自宅待機中。
3	町職員 C	神達地区在住。自宅待機中。
4	消防本部	北の山地区にある本部で待機中。
5	消防団役員	北の山地区から神達地区へ出動。土砂流下範囲内を移動。
6	東京電力職員	元町2丁目の事務所待機中。途中神達地区方面へ自動車を出動。
7	住民 A	元町2丁目の店舗でテレビ視聴中に停電。
8	住民 B	元町2丁目の店舗兼自宅で就寝中。
9	住民 C	元町2丁目の店舗兼自宅で就寝中。
10	住民 D	元町3丁目の自宅でテレビ視聴中。
11	住民 E	元町2丁目の店舗で作業中。
12	住民 F	神達地区にある職員寮で就寝中。停電のため隣接する工場へ移動。
13	住民 G	神達地区に職員寮で就寝中。

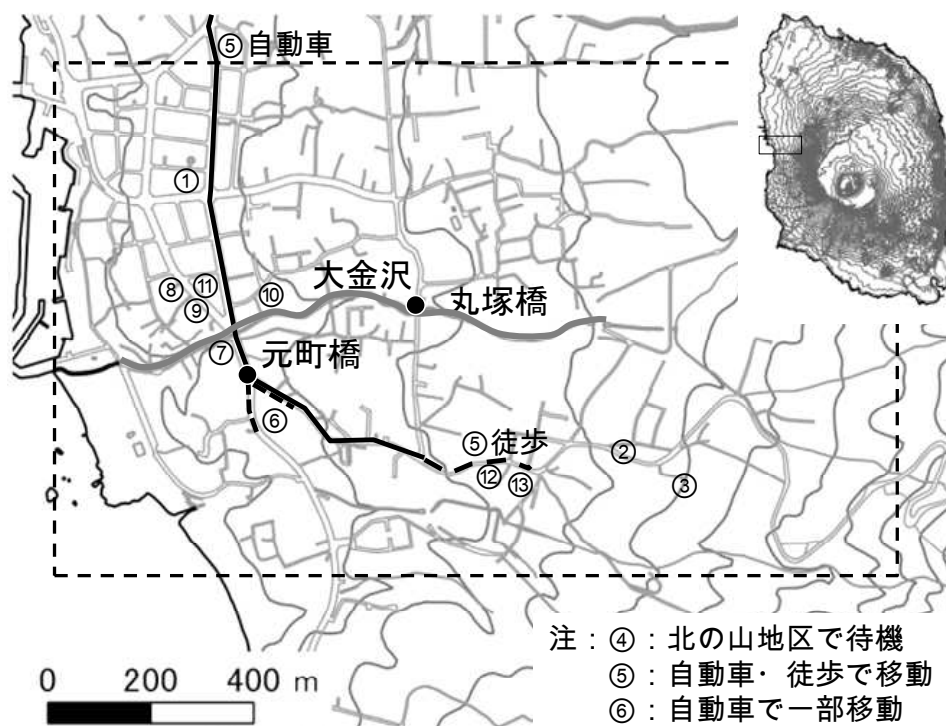


図 3.6.1 調査対象範囲及び聞き取り調査対象者の発災時の居所

3.6.3 調査結果

(1) 痕跡調査

土砂流下範囲及び痕跡高さを図 3.6.2 に示す。図中に示す樹林残存範囲は、国土地理院が

10月17日に撮影した垂直写真及びオルソ画像（国土地理院，2013b）から判読した。

土砂流下範囲は，特に被害が甚大であった神達地区と大金沢周辺に加え，都道海側の元町2丁目では広範囲に75cm未満の土砂流下痕跡が分布しており，各地区の土砂流下痕跡の状況は次のとおりであった。

1) 神達地区

神達地区では土砂流下範囲は，外縁部を除き，ほとんどの建物は残されておらず，痕跡も外縁の建物やガレキ，樹木の擦痕，飛沫痕跡などに限られる。稲荷神社のある尾根は，左右の土砂流下範囲を隔てる状態で残っており，流下範囲の中心部には，ガリー状の深い侵食が発達している。残存した建物の衝突痕跡は大半が1.5m以上，最大で6.0mのものもあり，倒壊状況から，相当の力をもつ土砂や流木で破壊されていることが推察できる（写真 3.6.2）。



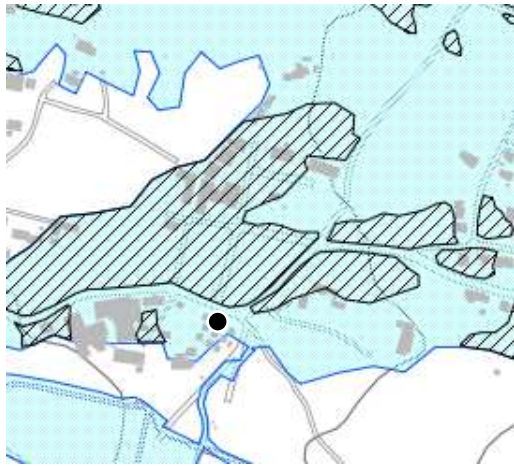
■ 土砂流下範囲 ▨ 樹林残存範囲

写真 3.6.2 土砂流下状況（神達地区）

2) ホテル椿園付近

この一帯は，樹林が完全に流された範囲と残存した範囲が混在する地域である。ホテル椿園の南側テニスコートの海側の林内では土砂が薄く堆積し，停止していた。さらに，南側の製塩工場ではコテージ風の独身寮は，10棟のうち，7棟が大きく移動した。移動したもののうち，海側（西側）へ移動したものが2棟，南側に移動し樹林で停止したものが3棟，南西へ移動したものが1棟であった。移動状況から，南側，西側への移動はほぼ同時であったことが推察できる。土砂堆積はホテル椿園でも1m程度であった。

これに対して，ホテル椿園北側の大金沢堆積工下流流路の左岸側においては，上流の神達地区から連続して樹林が流出した状況であり，痕跡の確認も難しい状況であった。樹林も大部分が流出し，倒壊した建物が見られたが，丸塚橋付近になると，一部樹林が残存している。丸塚橋右岸の寺院の宅盤は丸塚橋の橋面から，4.0m近く高かったにもかかわらず，痕跡高は1.9mに及んだ。災害直後の写真で，この寺院には，1階天井付近まで流木の堆積が見られた。

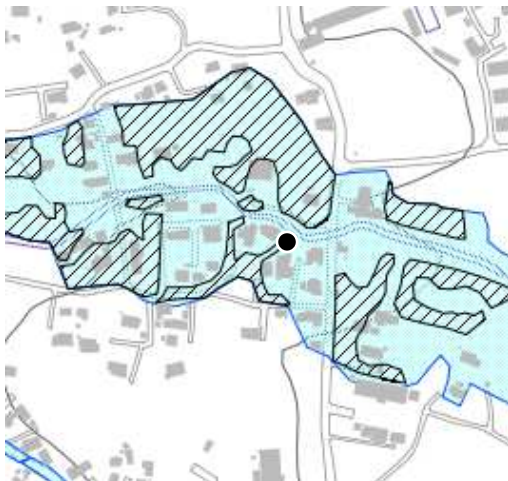


■ 土砂流下範囲 ■ 樹林残存範囲

写真 3.6.3 土砂流下状況（神達地区：ホテル椿園付近製塩工場社員寮）

3) 丸塚橋～元町橋

この区間の土砂流下範囲及び痕跡は大金沢の流路から左右岸約 100m 以内に限られる。ホテル椿園周辺と状況は似ており、流路付近には損傷が大きく倒壊、流失した建物がある一方で、少し外側では土砂堆積が床上に及んでも、建物が残存している箇所もある。ただし、元町橋周辺では特に被害が大きく、建物への衝突痕跡も多く、倒壊、流失した建物も存在する（写真 3.6.4）。特に右岸側の建物への被害が大きく、1 階が一部流出している建物もあった。痕跡高も 2.0m 以上の地点も多く、最大で 5.0m であった。



■ 土砂流下範囲 ■ 樹林残存範囲

写真 3.6.4 土砂流下状況（丸塚橋～元町橋；左岸側）

4) 元町橋下流～海岸部

この区間では、元町橋周辺、大金沢流路の概ね両岸、大金沢右岸の元町 2 丁目一帯の 3 つの範囲によって土砂流下痕跡が大きく異なっていた。

元町橋周辺では、建物に流木やガレキが衝突し、建物が大きく損傷しているケースもあり、聞き取り調査では、元町橋を 2 階建ての家が流れた等の証言がある。元町橋右岸の倉庫の痕跡高は 1.8m であった。また、元町橋よりやや下流の大金沢流路周辺では、衝突痕跡は確認さ

れないが、厚く土砂が堆積し、最大で 1.7m 以上土砂が堆積した建物もあった（写真 3.6.5）。
 この区間は、大金沢に沿って勾配が急な区間になっており。大金沢左岸の道路に沿って流下した土砂が一段低くなっている建物敷地内へ流入したことが推察された。



土砂流下範囲 樹林残存範囲

写真 3.6.5 土砂流下状況（元町橋周辺）

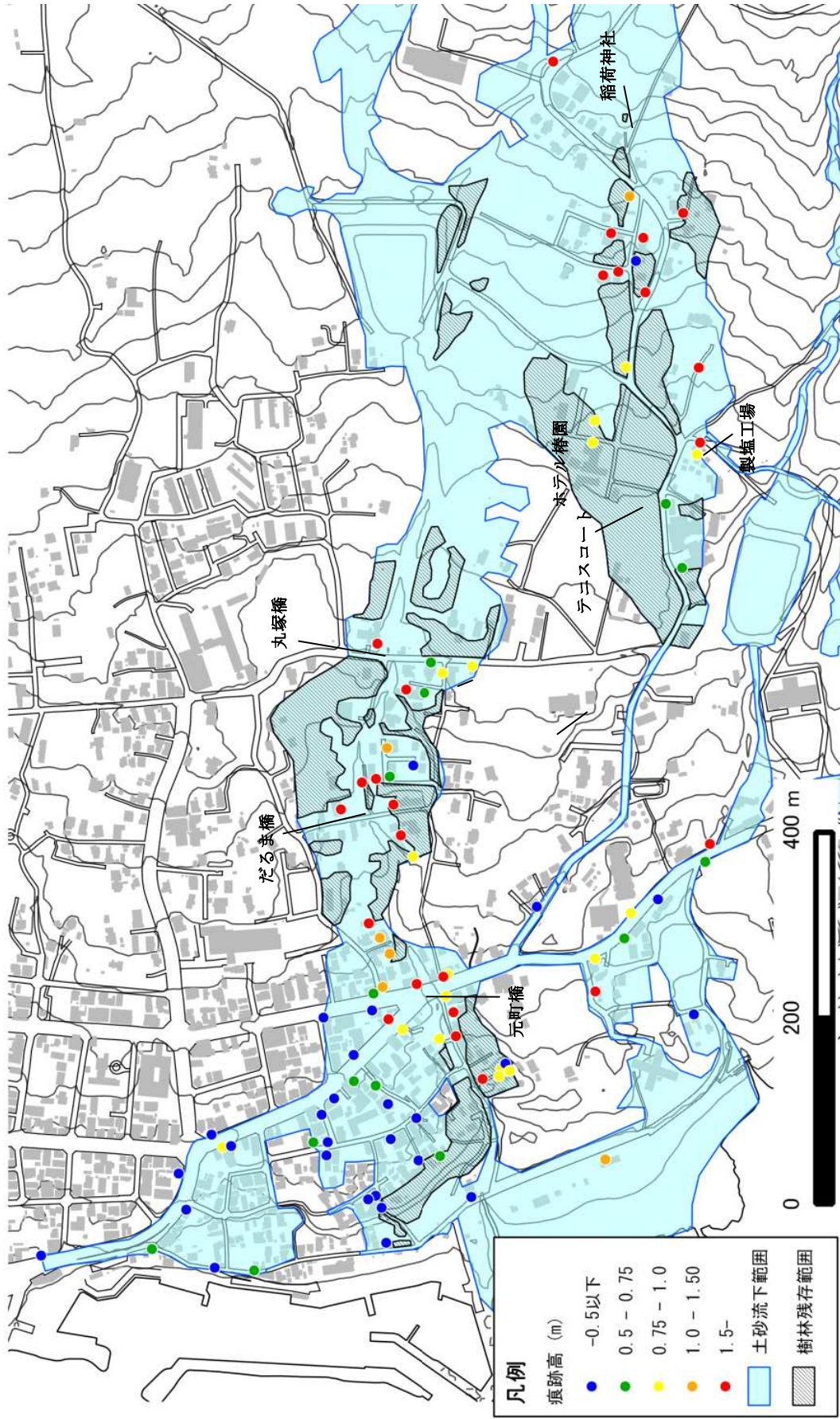
大金沢右岸側の元町 2 丁目の大部分は、概ね 75 cm 未満の土砂堆積範囲が広がり、間口が山側に開いているような建物や道路から一段下がった空き地や駐車場に土砂が流入しており、ブロック塀や建物の壁面に沿って土砂が流下した痕跡が残っていた（写真 3.6.6）。

また、最も海岸沿いの街路の山側の建物敷地では、山側が擁壁になっており、擁壁の上から土砂が流入していた。土砂流下痕跡などから、概ね街路や建物敷地に沿って土砂やガレキが流下したのではないかと考えられる。



土砂流下範囲 樹林残存範囲

写真 3.6.6 土砂流下状況（元町橋下流）



注：基図は国土地理院の配布する基盤地図データ（建築物，海岸線，道路線）と，5mメッシュ標高データから作成した5m間隔等高線である。

図 3.6.2 土砂流下範囲及び痕跡高

(2) 聞き取り調査

聞き取り調査から得られた情報のうち、特に土砂や水、流木に関することと、時刻に関することに着目して、要約して表 3.6.2～表 3.6.4 に整理した。聞き取り調査において確認した時刻は、対象者本人の記憶のほか、デジタルカメラの撮影時刻、携帯電話の着信記録等を確認していただきながら記録し、その結果、概ね 10 分～30 分程度の単位で当日の状況を記録することができた。停電した時刻については、それぞれの住居によって時刻が異なる可能性があるものの、東京電力において、停電（送電の停止）が発生した時刻と、その区間については、何らかのイベントが生じた時刻として取り扱った。一方、住民から、町役場、消防への通報時刻は、何らかの被害を受けた直後、即時的な何らかの対応ののちに電話連絡をしている可能性が考えられるため、イベントの発生後少し時間が経過しているとして扱った。

表 3.6.2 聞き取り調査結果 (1)

番号	時刻	聞き取りによる主な時系列情報
1	2:00	第一次非常配備体制として、関係職員が集合した。この際、丸塚橋下流左岸に自宅がある職員も登庁しており、登庁予定者が登庁できない等の問題は発生していなかった。
	2:43	神達地区在住の職員から、向いの民家の屋根がぶつかったと一報があった。消防団に連絡し、様子を確認するよう依頼した。
2	2:20 頃	倒木のような音で目覚めたが、すでに停電していた。自宅の外に出て確認したが、風雨で視界が悪く何が起きているかわからなかった。
	3:00	役場職員から召集の電話を受け、登庁しようとしたが、流水で道路に降りられなかった。自宅玄関から倒木を避けて、道路に降りる階段から下を見ると、駐車していた自家用車(複数台)がすでに流失していた。水位はひざ下くらいであった。役場に電話し、自宅待機することにした。 この後、近くに住む職員やホテル椿園の宿泊者とともに、神達地区の倒壊建物や、椿園北側の鉄塔にひっかかった建物内にいる住民など、近隣の住民の救助に加わった。
3	2:00 頃	就寝していたが、特に大きなきっかけはなく目覚めた。この時、すでに停電していた。大きな音や気になることは特になく、雨の音がしていた。
	2:30 前	起床して 10 分もたたない間に、役場職員から大金沢が氾濫したという電話を受けた。
	2:30 過ぎ	役場から自宅待機の電話を受けた。外に出てみると、雨ではっきり分からなかったが、周辺はすでに流されていた。
	3:00 過ぎ	それまでとは違うゴォーっという音が聞こえた。
4	2:00	北の山地区の本部で待機していた。暴風警戒を開始し、消防団の役員 120 名で警戒をはじめた。
	2:43	神達地区より向いの建物の屋根が飛んできたとの第一報が入り、消防団役員が自動車で出発した。
	2:51 2:53	ホテル椿園から浸水の通報があった。 元町 3 丁目の民家から浸水とガス臭の通報があった。その後、明け方まで被害の通報が続いた。
5	2:50 頃	2:43 の通報を受けて、北の山地区から神達地区へ出動した。それと同時に、元町分団にも連絡した。
	2:55 頃	都道の元町橋北側を、流されてきた自動車がふさいでおり、つばきやの手前で海側へ迂回した。岡山商店付近にはガスボンベや洗濯機が流れてきていた。流木がたまっているものの、流水が橋の上を流れている元町橋を通過し、神達地区へ向かった。製塩工場の海側の交差点からは流木で進めず、徒歩で神達地区へ向かうが、製塩工場の山側が流木で塞がれており、神達地区へは行けなかった。そのままホテル椿園へ向かった。
	3:05 頃	元町橋へ引き返すと、元町橋を 2 階建の家が流れていき、元町橋は通過できなくなっていた。この時、携帯電話で写真を撮影した (3:06)。その後、野増地区へ向かうとしたが、東電事務所前が通過できず、大金沢左岸のゲートボール場側から丸塚橋方面へ向かった。その後、引き返すが、元町橋の右岸へ渡れず、夜明けまで元町橋左岸で待機した。

表 3.6.3 聞き取り調査結果 (2)

番号	時刻	聞き取りによる主な時系列情報
6	東京電力が記録する停電時刻	2:12, 2:16 ホテル椿園より山側一帯 3:06 丸塚橋付近 3:07 大島医療センター南側
	2:25頃	2:16のホテル椿園から山側一帯の停電を受けて、御神火スカイライン方面へ自動車3台で出発した。教職員住宅付近で軽自動車2台は流水が多く事務所へ引き返した。4輪駆動車のみ少し先付近へ進んだところで洗濯機や流木が流れてきたため、同じく事務所へ引き返した。水深は30~40cmくらいで立っていられる程度であった。
	3:30頃	1階事務室に土砂が一気に流入し、2階へ避難した。この時、1階部分での水深は腰くらいだった。最終的に、1階部分の土砂堆積は50cm程度だった。都道山側の発電所には少しだけ土砂が流入した。
7	0:00過ぎ	店舗に隣接する自宅に帰ろうとしたら、雨が強く敷地に水が入ってくるので、雨が治まるのを待つことにした。
	2:30頃	ビデオ視聴中に停電し、懐中電灯を探した。
	3:00頃	外をみると家が流される場所であった。家族を起こしたり、警察に電話をしたりした。
	3:25頃	家や車が流されたあと元町橋の上を洪水が流れていた(3:27, 3:28 携帯電話のカメラで元町橋を撮影)。
8	3:00~3:20頃	息子に起こされた。そのあと、防災無線が流れた。この時、店舗のガラス扉の外を50cm位の深さで水が流れていた。特に大きい音はしなかった。ガラス扉の前に駐車していた自動車にも被害はなかった。南側に隣接する店舗のひさしに何かがひっかかって、土砂、流木が到達しなかった。
9	2:30~3:00	泥のにおいで目覚めた。扉を開けたら30cmくらいまで泥がきていたので2階に上った。停電はしていなかった。このとき、向いの酒店で懐中電灯の明かりが見えた。
	3:00過ぎ	酒店の明かりは見えなくなっていた。大きな音や店内への土砂流入はなかった。この間、特に音など流れに変化はなかった。
10	2:00頃	テレビを視聴していた妻が、豪雨が気になり2階で就寝中の夫を起こした。裏の沢では石の音が聞こえ、バキバキと音がした。庭先まで水がきていたが、大きい流木が流れている状況ではなかった。
	2:30頃	二人でテレビを見ていたら、山側にある台所から水が入ってきた。ほぼ同時に停電したので2階に上がった。
	3:00頃	携帯電話を1階へ取りに戻り、階段を上りかけたときに、海側にある1階の壁が流された。この時、家が揺れるとともに、径の大きな流木が流れていた。
11	2:00頃	停電したが、停電は自宅のみで都道の街灯はついていた。この時、一緒に働いていた母親は1:30頃先に帰宅させていた。
	2:50頃	外を見たらガソリンスタンドに、1m足らずの高さに堆積したガレキの上に赤い乗用車が流れてきていた。
	3:00頃	警察に電話をしていたら、ちょうど消防団の副分団長が自動車 came。都道の水深はまだ歩ける程度。この時、都道山側の建物はまだあった。
	3:10	土砂と水が店舗の中にドカンと入ってきた。その際、店舗の山側にいたが、海側に飛ばされた。泥の水深は1m程度。
	3:20	続いてシャバっと水のみが入ってきた。この時、浮いて移動した冷蔵庫に挟まれたが、抜け出して2階へ避難した。この間、1階は同じ勢いで水が流れていた。2階で様子をみると、1階の天井くらいまで水がきていて、ガソリンスタンドにひっかかっていた赤い乗用車は流され、別の乗用車がひっかかっていた。酒店の上流に流木が堆積し、その上を直径40cm~50cmくらいの流木が都道の方へ飛んできていた。元町橋の上は流水が乗り越えて流れていた。

表 3.6.4 聞き取り調査結果 (3)

番号	時刻	聞き取りによる主な時系列情報
12	2:00 2:10	神達地区の自宅で就寝中だったが、隣接する工場の停電を知らせる管理会社からの電話で起きた。
	2:15	自宅から工場へ自動車移動。工場内で停電に対応した管理作業をした。帰ろうとしたが、やり忘れた作業を思い出し、工場内へ一度戻った。
	2:20頃	再び自宅へ戻ろうとして道路に自動車を出そうとしたが、流水が多く前進できなくなったため、バックで工場敷地へ戻ったところで、流木が衝突して自動車が回転した。ゴロゴロなどの大きな音はしなかった。
	2:35	工場内を歩いて自宅へ戻ろうとすると、すでに複数の建物が流されて移動したあとだった。
13	2:30頃	自宅で就寝中だったが、ゴォーっという音で起きた。その時、すでに停電していた。少しして、衝撃があり、ガラスが割れて壁が壊れた。外をみると、2軒東側の住民Fの建物がぶつかっていた。外にでると、同じ敷地内に住む住民F以外の4名が出てきて、その後住民Fと合流し、工場内で待機した。移動する際、腰の下あたりまで泥が堆積し、歩くのも大変だった。敷地内の樹林では、東側に住む住民が流されてきていた。衝撃は1度だけだった。道路へは土砂は堆積していなかった。

3.6.4 被害発生の時系列

聞き取り調査から得られた情報を主な時刻と位置で図 3.6.3 に整理した。また、被害の発生時刻を、対象者別に4つの地区と時間帯に分けて整理すると、表 3.6.5 のとおりとなる。この結果、今回の豪雨による土砂移動に伴う被害は概ね次の4段階に分けられる。

(1) 2:20~2:30

神達地区で発生した土砂・流木によって、建物が流されるような被害である。住民からの聞き取りによると、2:20頃までは、神達地区を含む元町地区一帯で大きな変化はないが、単独の民家の停電などがはじまっていた。東京電力によると、2:12とその後2:16にホテル椿園から山側一帯が停電し、その後復旧していないことから、山腹斜面で何らかの変化が起きはじめたのがこの頃ではないかと推察される。最初に被害を受けたと考えられる神達地区の自宅にいた町職員B氏、C氏は、いずれも電話を受けるまでは、屋外の大きな変化に気づいておらず、また2:30以降に外にでると、すでに周囲が流出しており、正確な時刻や状況はわからない。一方、神達地区でもやや下流側の地区の職員寮にいた住民G氏は、2:30頃に突然の衝撃を感じており、同じ寮に住む住民F氏は2:20~:30頃に寮に隣接する工場脇で、自動車の運転中に流されそうになっている。これらの状況から判断すると、役場職員B氏、C氏の自宅と住民F氏、G氏の自宅があるやや下流側の地区との間に被害発生時間帯があるかどうかは分からないが、時間帯があったとしても、東京電力の把握する停電時刻の2:12から、2:20~2:30頃までの最大でも15分程度だと推察できる。

(2) 2:30~3:00前

元町3丁目を中心に土砂・流木による被害が発生している。丸塚橋~元町橋の区間で建物に水や土砂が入ってきたり、都道にもいくらかガレキが流れ着いていたりするのがこの時間帯である。複数の新聞記事(例えば、毎日新聞2013年10月17日、読売新聞2013年10月17日等)で、丸塚橋のすぐ下流左岸に居住する住民が、沢の音が気になり、沢の反対側へ移動したところで土砂が流入してきたと報じている。その他にも2階へ移動するなど避難につ

ながる行動をとった住民がいるが、この時間帯の現象が、明確な衝撃を伴うものだったのか、この時間帯に連続して生じていた現象だったのかは明らかでない。

(3) 3：00 過ぎ

3:00 前には、消防団が元町橋を通過しているが、3:00 過ぎには渡れなくなっており、その直後に家が流れていくのを目撃している。丸塚橋付近、医療センター南側では停電（東京電力による：3：05～3：10 頃）が起こっており、建物の損壊、流出などの被害が相次いで目撃されており、大規模な土砂・流木の移動が発生している。

(4) 3：30 頃

元町橋付近の住民が、再び水のみ流入を感じたとともに、八重沢側と大金沢側の両方から土砂が流れ込んだ東京電力事務所には、この時刻に一気に土砂が流れ込んでいる。3：25 に役場が停電していることから、下流ではこの時間にも何等らかの異変があったのではないかと推察される。

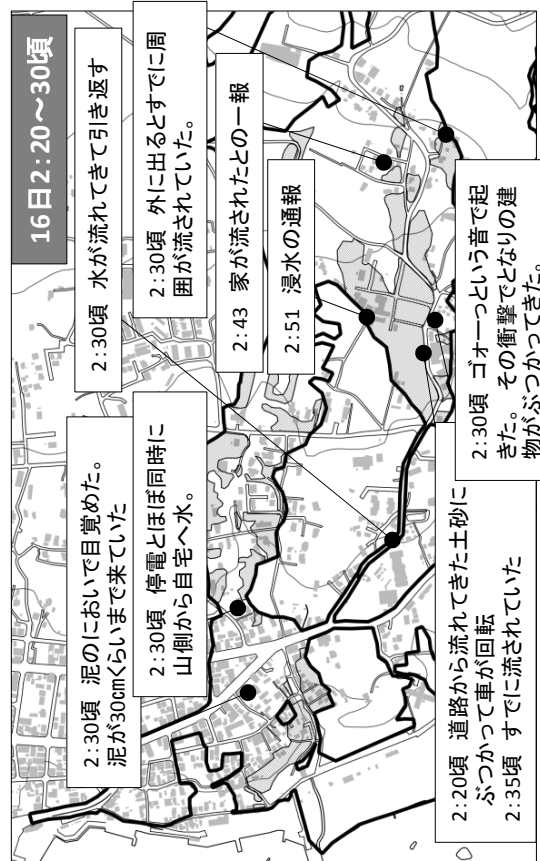
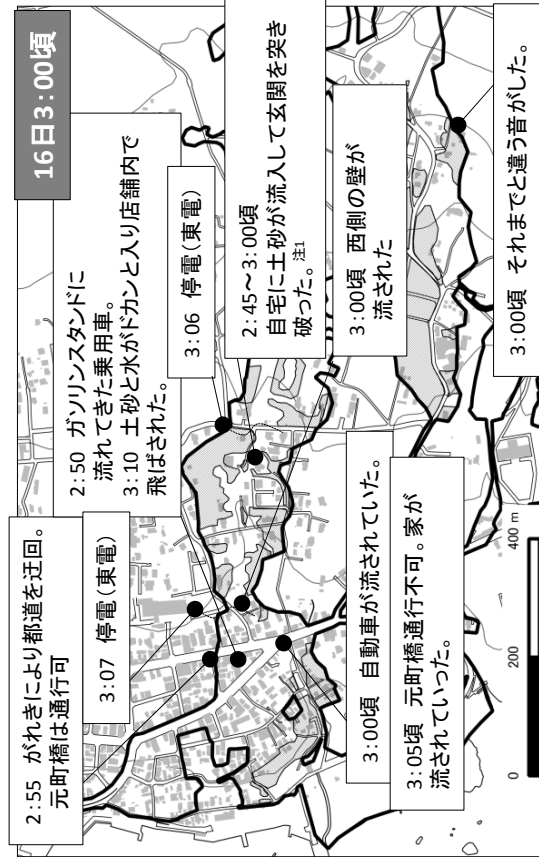
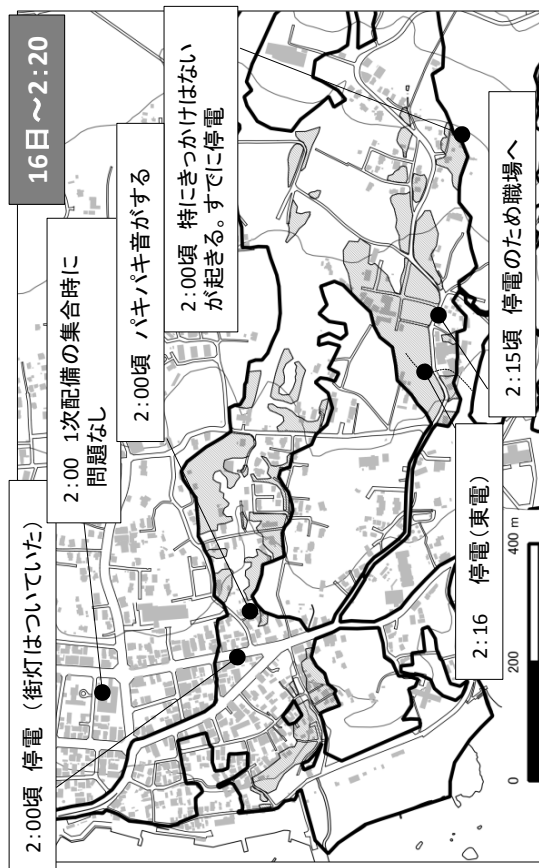


図 3.6.3 時刻ごとの土砂流出や被害に関わる事象

表 3.6.5 土砂移動現象の時系列

時刻	神達地区	元町3丁目 丸塚橋～医療センター	元町橋周辺	元町2丁目 都道～海岸
～2:20頃	一帯が停電(2:16)。			
2:30頃	建物、自動車が流された。	水が建物へ侵入。	泥が建物内へ流入。	
3:00頃		停電 (丸塚橋付近3:06) 建物の壁が流された。 自宅に窓から泥が流入	停電 (医療センター南 3:07) 都道に自動車やガレキが流出。 建物へ土砂が入ってきた。 元町橋通行不可。 元町橋を家が流れていった。	
3:30頃	大きな変化はなく救助活動が開始。		水のみが流入してきた。	1階へ土砂が流入。
夜明け				朝起きたら、庭先に一面土砂が堆積した。

3.6.5 被害発生時刻と降雨量の関係

聞き取り調査の結果区分した4段階の時間帯と累積雨量の関係を、表3.6.6に示す。最初に察知された土砂移動現象を神達地区一帯の停電(2:16)とすると、この時刻までの累加雨量は約500mmであり、狩野川台風をわずかに上回る雨量だった。しかし、前1時間の降雨強度は100mmを超していた。その後も、3:30にかけて、ほぼ同じ強度の降雨が続き、累加雨量は3:00までに577.5mm、3:30までに636.5mmとなり、最終的に午前6:00時点で824mmに達した。従って、2:00を過ぎたあたりから、過去の降雨量を上回り始めたといえる。

そこで、1976年以降の全降雨の最大N時間雨量(1時間雨量～18時間雨量)と各時刻における超過状況を比較した。気象庁大島地点における1976年1月から2013年9月までの2,696降雨を用いた。なお、1降雨の定義は前後に24時間の無降雨期間をもつものとした。この既往最大値と、台風26号における最大N時間雨量を、図3.6.4に、各時刻におけるN時間雨量の既往最大値との比を図3.6.5に示す。図3.6.4より、台風26号では最終的には、1時間雨量を含むすべてのN時間雨量で、それまでの既往最大値を超えており、最も乖離していたのは、最大5時間雨量、6時間雨量であった。

そこで、図3.6.5において、主な最大N時間雨量の既往最大値に対する比を時系列でみていくと、最初に既往最大値を超過するのは、1:50に5時間雨量、次いで2:00に3時間雨量、5時間雨量、6時間雨量、2:10になると2～7時間雨量がすべて、2:20になると2～9時間雨量すべて、2:30では1～13時間雨量すべてが、過去37年間の既往最大値を超過したことになる。これらの時間帯は、聞き取りで得られた最初の被害発生時刻とも一致しており、各最大N時間雨量が既往最大を上回り始めたころから、斜面崩壊の発生が始まったと考えられる。なお、2:30においても、既往最大に対する比は5時間雨量の1.23倍であり、神達地区を襲った最初の土砂移動現象が、既往最大雨量に対してはるかにかけ離れた豪雨によって引き起こされたわけではなかったことがわかる。

表 3.6.6 降雨の状況と被害発生タイミング

時刻	土砂移動・洪水現象	降雨強度 mm/h	累加雨量 mm
2:20	神達地区で被害発生	101.0	499.0 (狩野川台風並)
2:30	元町3丁目へ泥が流下	108.0	519.0
3:00	元町橋付近で建物が流出	118.0	577.5
3:30	元町橋下流へ土砂・水が流入	117.5	636.5

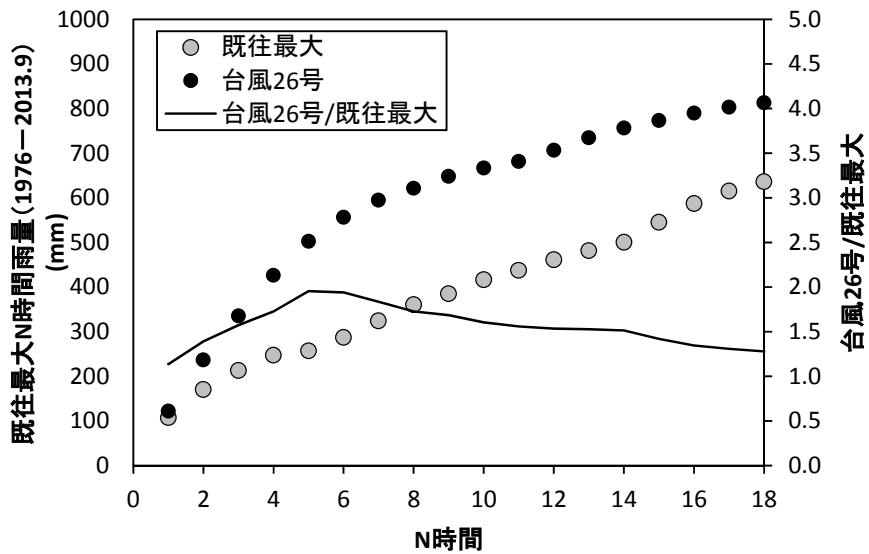


図 3.6.4 既往最大 N 時間雨量 (1976-2013.9) と台風 26 号の最大 N 時間雨量

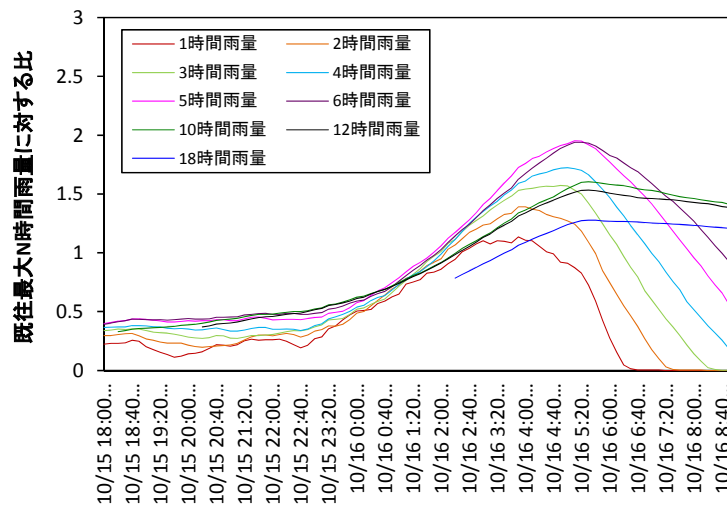


図 3.6.5 既往最大 N 時間雨量との比の時間変化

3.6.6 まとめ

以上の調査から、本災害時の被害範囲と時間的な災害の経過について、以下のことが明らか

かになった。

被害範囲は神達地区～元町橋上流では、大金沢周辺及び大金沢左岸側の範囲に土砂流下痕跡が認められた。特に神達地区では建物がすべて押し流されたほか、流木や土石の衝突により大規模に建物が損壊する被害が生じていた。それに対して、元町橋下流では、土砂の流下痕跡が1m以上に及ぶのは大金沢の流路周辺に限定され、それ以外の範囲は75cm以下の痕跡が建物はブロック塀に残っており、細粒の土砂が街路や建物に沿って広い範囲へ流下したものと考えられる。時間的経過としては、神達地区を中心とした最初の被害は、複数のN時間内雨量が既往最大雨量を上回り始めた午前2:00～2:30頃に発生しはじめ、下流の元町橋周辺では降雨がさらに継続した3:00頃から大規模な現象が発生し、その後も明け方まで降り続いた降雨によって被害が拡大したことが推察できた。

本調査にご協力いただきました大島町役職員の皆様、大島町消防本部、大島町消防団、その他住民の皆様に御礼申し上げます。

引用文献

国土地理院(2013a)：地理院地図(電子国土 Web)防災関連台風第26・27号の大雨(大島町)

土砂流出箇所, <http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/>, 参照 2013-10-25

国土地理院(2013b)：地理院地図(電子国土 Web)防災関連台風第26・27号の大雨(大島町)

垂直写真(10/17), <http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/> 参照 2014-11-08

国土交通省関東地方整備局(2013)：記者発表資料「台風27号通過後における土砂災害危険箇所の再点検結果について(東京都大島町における土砂災害危険箇所の緊急点検)」(2013年10月27日発表)

3.7 家屋被害調査

本節では、土石流及び土砂洪水氾濫による家屋被害の実態を把握するために、大金沢からの土砂及び水の影響を受けたと考えられる範囲において家屋の被害状況について調査した。

3.7.1 調査手法

平成25年11月21日～平成25年11月25日にかけて、土石流により甚大な被害が発生した大金沢の浸水範囲内にある182戸の家屋を対象に、現地にて家屋の損傷状況、家屋の構造（木造か非木造か）及び最大水位、土砂堆積深に関する痕跡状況の調査を実施し、写真撮影した。

現地調査結果をもとに家屋被害の分類を実施し、被災家屋の損傷状況を分類し、

- ①家屋流亡の有無
- ②土砂流入による居住の可能性
- ③家屋改築の有無
- ④家屋損傷の有無
- ⑤家屋清掃の有無

の5項目に着目し、家屋被害分類フロー（図3.7.1）を作成した。なお、土石流による家屋の流亡の有無は、国土地理院の災害前後の航空写真より判読した。

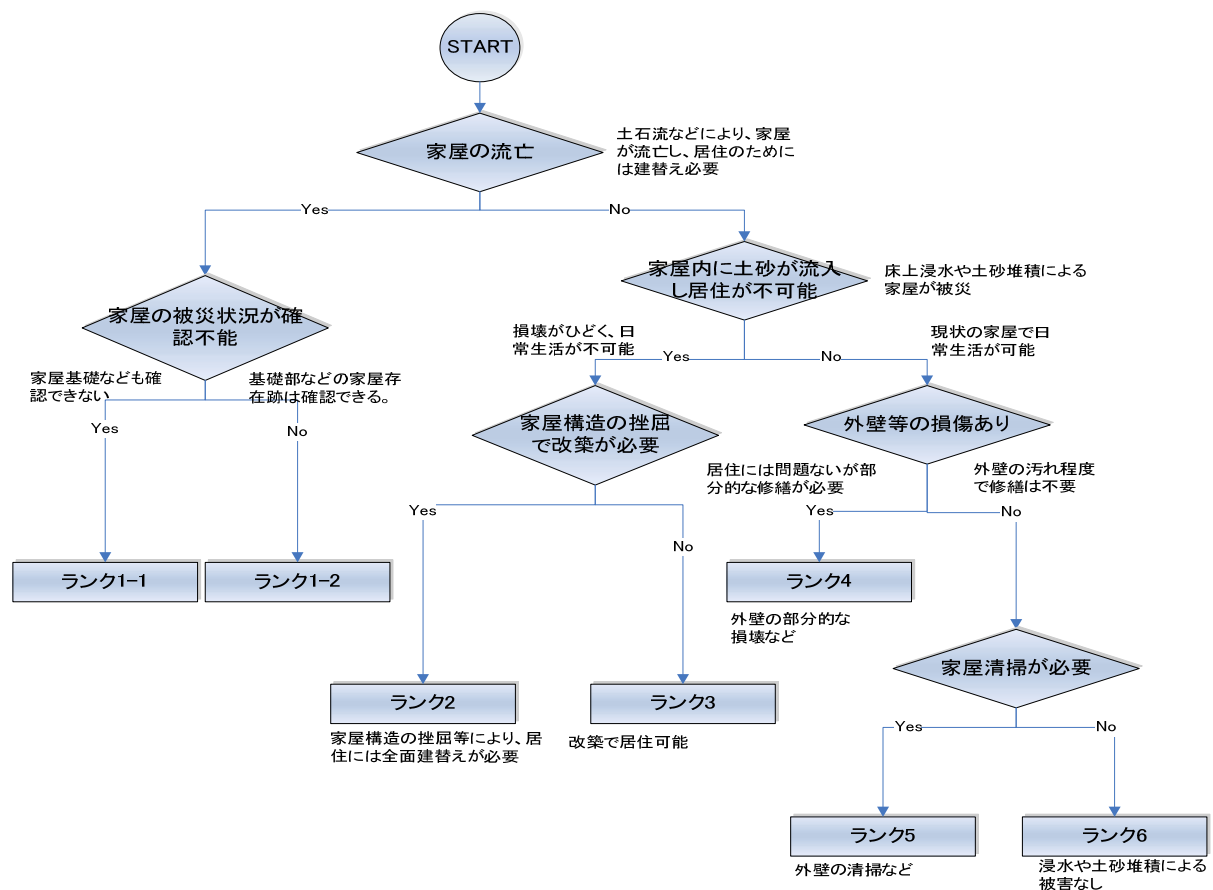


図 3.7.1 家屋被害分類フロー



図 3.7.2 家屋被害ランクイメージ

3.7.2 家屋の被災状況

家屋被害の分類結果は、表 3.7.1 に示すとおりである。結果から、調査対象家屋 182 戸のうちランク 1-1～ランク 6 は、それぞれ、66 戸、3 戸、23 戸、22 戸、4 戸、21 戸、43 戸であった。各ランクの空間分布は図 3.7.3 に示すとおりであり、場所によって被災の程度が大きく異なった。大きく分類すると、丸塚橋より上流の範囲（以下、A 地区と呼ぶ）、元町橋から丸塚橋の範囲（以下、B 地区と呼ぶ）、元町橋より下流の海岸までの範囲（以下、C 地区と呼ぶ）に分類できる。A 地区では、ランク 1, 2 の割合が A 地区の被災家屋のそれぞれ 70%, 10% を占めていた。また、B 地区では、ランク 1, 2 の割合が B 地区の被災家屋のそれぞれ 30%, 26% を占めており、A 地区に比べてランク 2 の割合が増加していた。C 地区では、ランク 1～6 の割合が C 地区の被災家屋のそれぞれ 0%, 3%, 7%, 2%, 10%, 35% であり、被害規模の小さいランク 5, 6 の割合が 45% を占めていた。図 3.7.4 に示すとおり、構造（木造、非木造）による違いは、被害規模が大きくなるにつれて、木造建築の家屋の被害頻度が大きくなる傾向が見られた。また、図 3.7.5 に示すように、堆積深による違いは、堆積深が 45 cm までは、被害ランク 1～6 まで点在するが、深くなるにつれて、被害規模も大きくなる傾向が見られた。

表 3.7.1 家屋被害分類結果

ランク	A地区		B地区		C地区		合計	
	(戸)	(%)	(戸)	(%)	(戸)	(%)	(戸)	(%)
1-1	54	68	12	26	0	0	66	36
1-2	1	1	2	4	0	0	3	2
2	8	10	12	26	3	5	23	13
3	4	5	11	24	7	12	22	12
4	1	1	1	2	2	4	4	2
5	6	8	5	11	10	18	21	12
6	5	6	3	7	35	61	43	24
合計	79	100	46	100	57	100	182	100

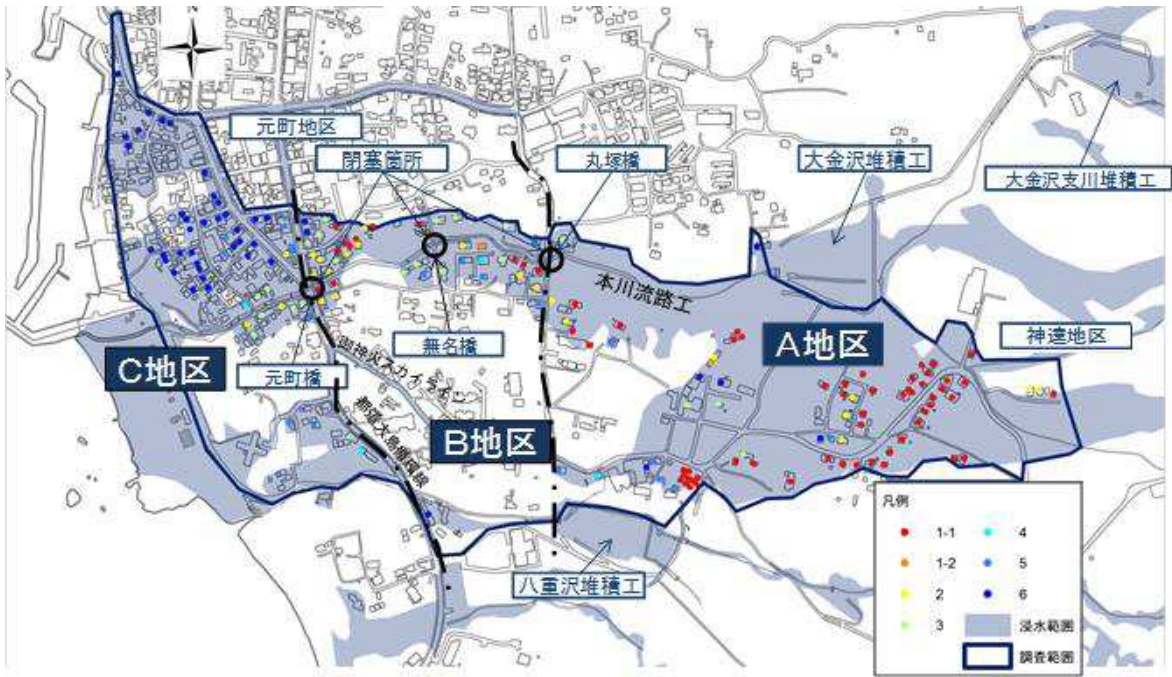


図 3.7.3 被害状況

3.7.3 土砂移動現象の推定

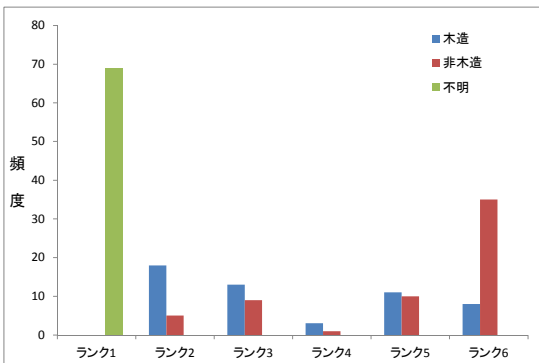


図 3.7.4 住宅構造とランク

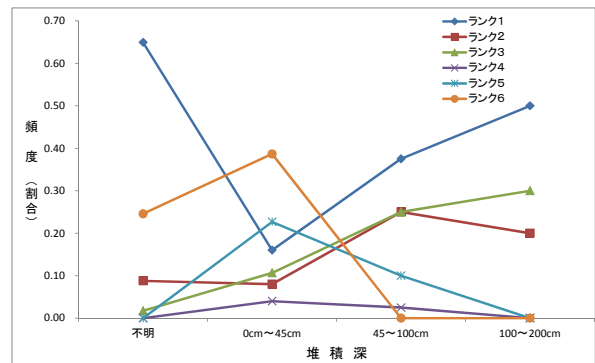


図 3.7.5 ランクごとの堆積深

家屋の被害状況は、A, B, C の各地区できわめて明瞭な違いがみられた。このことは、A, B, C 各地区で被害を生じさせた土砂移動現象が異なる可能性を示すものである。丸塚橋上流のA地区では、ランク 1, 2 の割合が被災家屋の約 80%を占め、被災家屋は広範囲に点在していた。これより、A地区の家屋の被災要因は、左支川から発生した土石流が直撃したものと推定できる。同様に、元町橋から丸塚橋間のB地区では、ランク 1, 2 の割合がB地区の被災家屋の約 60%を占めているものの、ランク 2 の割合が増加していた。また、被災家屋は、大金沢沿いの流木等で河道閉塞が生じた橋梁付近に集中していた。これらは、B地区の被災要因は大金沢の土砂・洪水氾濫によるものである可能性が高いことによると思われる。同様に元町橋下流のC地区では、被害規模の小さいランク 5, 6 が約 45%を占めており、被災要因は、各地区の氾濫水が地形に沿って流下したことによる被害と推定できる。また、ランク 2 の被災家屋の被災要因については、家屋位置が大金沢沿いであったため、氾濫水による外力が大きかった可能性が推定できる。これらの結果は、家屋等の被害状況から土砂移動プロセスを推定できる可能性を示すものである。今後さらに堆積深や浸水深、家屋の構造と被害

実態の関係を整理することにより，より詳細な土砂移動プロセスに迫れる可能性があると考えられる。

3.7.4 まとめ

本節では，大金沢における家屋の被災状況に関する調査結果についてまとめた。はじめに，本節では，家屋の被災状況を6ランクに分類する手法を提案した。そのうえで，同分類に従い各ランクに属する家屋の分布状況を見たところ，丸塚橋より上流域，丸塚橋から元町橋の間，元町橋より下流域の3地域に分類でき，地域間で被災状況に大きな違いが見られることを定量的に評価した。

3.8 地震計データを用いた土砂移動現象の発生時刻及び位置等の推定

3.8.1 地震計データによる解析の有効性について

土石流をはじめとする表層崩壊や深層崩壊などの土砂移動現象により、地盤振動が発生することは知られている。過去において、地盤振動特性の解析を試みた事例はいくつもある（たとえば、諏訪ら，1999）。また、土石流の早期検知を目的とした振動検知式土石流センサや深層崩壊などの大規模な土砂移動を対象として、その発生位置を特定しようとする大規模土砂移動検知システムの整備が進められている。

地盤振動を取得するためのセンサを面的に配置すれば、土砂移動現象を広範囲に監視・観測できる可能性があり、この特徴を利用した土砂移動現象の検知手法は有用な手段と考えられる。そのためには検知精度を向上させる必要がある、より多くの振動データを収集・解析し土砂移動形態による振動データの特徴やノイズとなる現象の特徴を把握する必要がある。本項目では、伊豆大島で発生した表層崩壊及び土石流の地震計データの特徴や発生位置推定方法についての検討結果を示す。

3.8.2 検討に用いたデータの概要

伊豆大島には、気象庁火山観測網（4 観測所）、独立行政法人防災科学技術研究所の火山観測網 V-net（4 観測所）、東京大学地震研究所の観測網（20 観測所）の振動観測局が整備されている（表 3.8.1 及び図 3.8.1）。本研究では、3.6 で実施したヒアリング結果より推測した災害が頻発した時間を含めた 10 月 16 日 1 時から 5 時までのこれら振動観測局のデータを収集し解析することにした。各観測局で観測された振動の時刻歴波形と大金沢堆積工との距離の関係を図 3.8.2～図 3.8.5 に示す。いくつかの観測所では、欠測している期間があるが、概ね災害が発生したと考えられる時間帯において振幅が変化している事が認められる。これらの波形の中で東京大学地震研究所の YOR 観測所は、崩壊地に近く、欠測が無い上に、土砂移動に伴うと推察される振幅が大きいことが確認できた。特に、10 月 16 日 2:03 頃、2:23 頃、2:32 頃、2:37 頃、3:03 頃の振幅が大きく変化を示していることが認められ、これらは表層崩壊や土石流による地盤振動を表しているものと考えられる（図 3.8.3、図 3.8.4）。

表 3.8.1 振動観測局一覧

No.	観測局名	大金沢堆積工からの距離	所属	備考
1	N.GJKV	1.74 km	(独)防災科学技術研究所	2:30:57以降欠測
2	NMS	1.86 km	東京大学地震研究所	
3	YOR	1.93 km	東京大学地震研究所	
4	OSM	2.05 km	東京大学地震研究所	3:07:41以降欠測
5	V.OSMA	2.32 km	気象庁	2:30:57以降欠測
6	OS2	2.46 km	東京大学地震研究所	
7	MW1	2.80 km	東京大学地震研究所	
8	MHR	3.12 km	東京大学地震研究所	
9	NR3	3.14 km	東京大学地震研究所	3:07:41以降欠測
10	MN2	3.16 km	東京大学地震研究所	3:07:41以降欠測
11	V.OSKT	3.41 km	気象庁	
12	N.OOHV	3.47 km	(独)防災科学技術研究所	
13	BKN	3.53 km	東京大学地震研究所	
14	BKE	3.76 km	東京大学地震研究所	
15	KSK	4.04 km	東京大学地震研究所	
16	OKA	4.33 km	東京大学地震研究所	3:07:42-3:09:30欠測
17	SH2	4.33 km	東京大学地震研究所	
18	KSG	4.66 km	東京大学地震研究所	
19	TTI	4.89 km	東京大学地震研究所	
20	SNK	5.02 km	東京大学地震研究所	
21	V.OSSN	5.05 km	気象庁	
22	V.OSFT	5.56 km	気象庁	
23	MBB	6.15 km	東京大学地震研究所	
24	OKB	6.26 km	東京大学地震研究所	
25	OSK	6.39 km	東京大学地震研究所	
26	N.ODKV	6.44 km	(独)防災科学技術研究所	
27	OKU	6.69 km	東京大学地震研究所	
28	N.OSMV	9.22 km	(独)防災科学技術研究所	波浪と思われるノイズあり

...欠測やノイズが確認された観測局

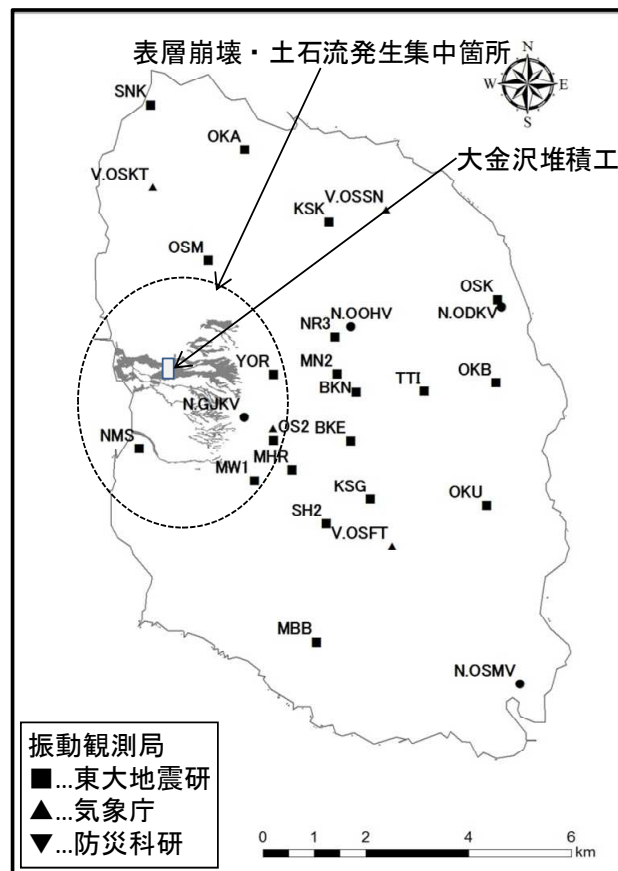


図 3.8.1 振動観測局位置図

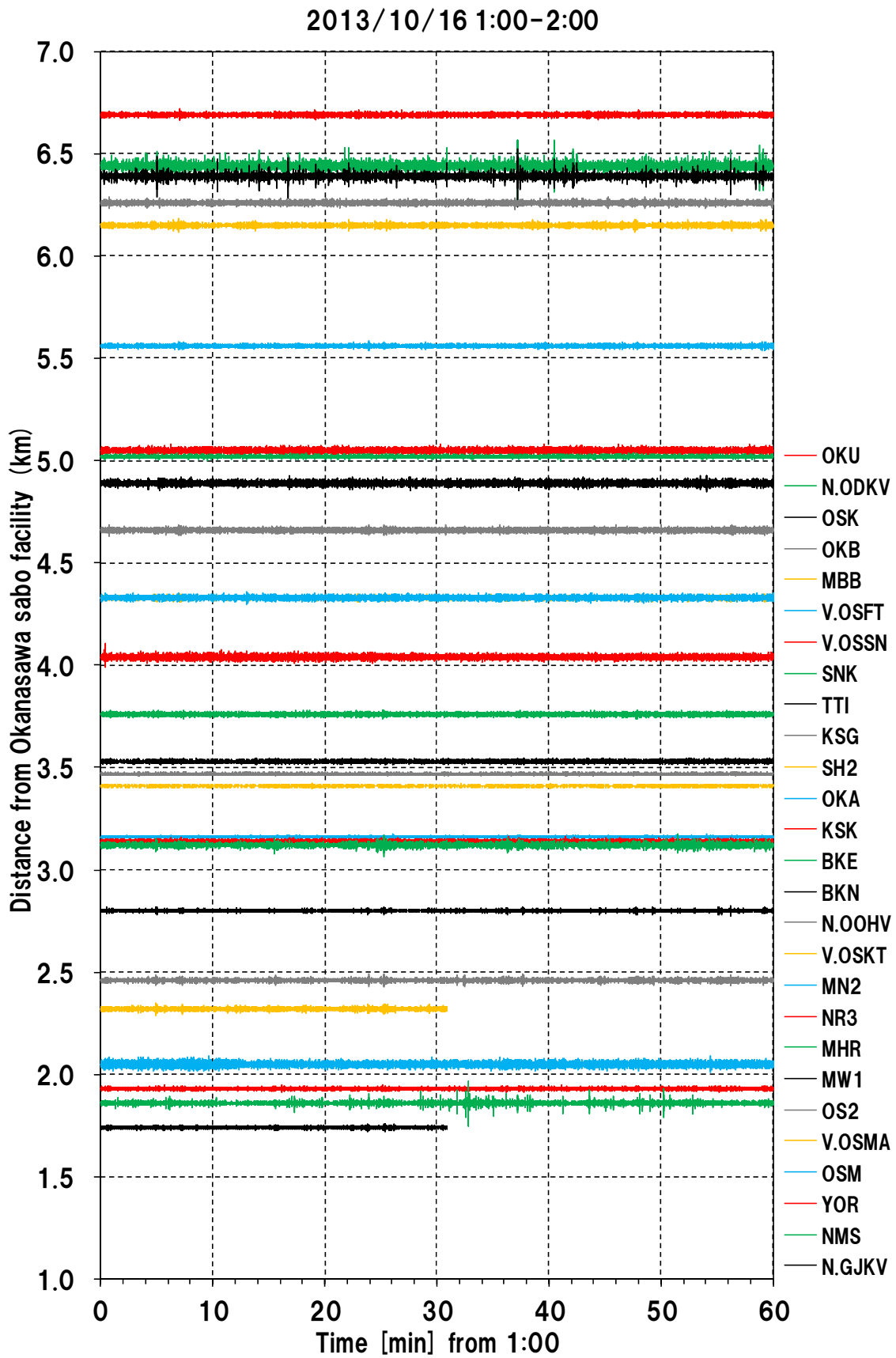


図 3.8.2 10月16日1時から2時までの各観測局で観測された振動の時刻歴波形と大金沢堆積工との距離の関係

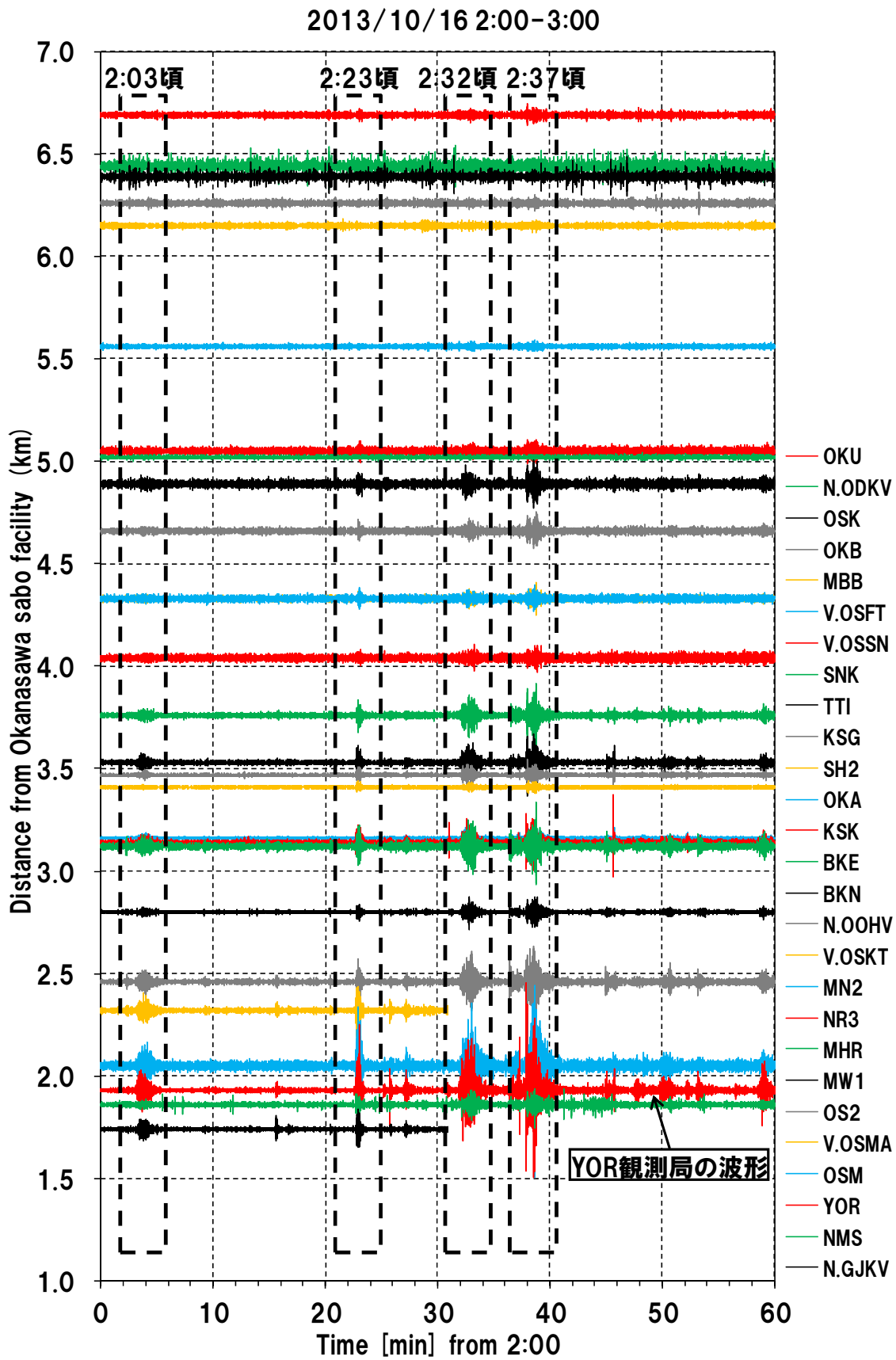


図 3.8.3 10月16日2時から3時までの各観測局で観測された振動の時刻歴波形と大金沢堆積工との距離の関係

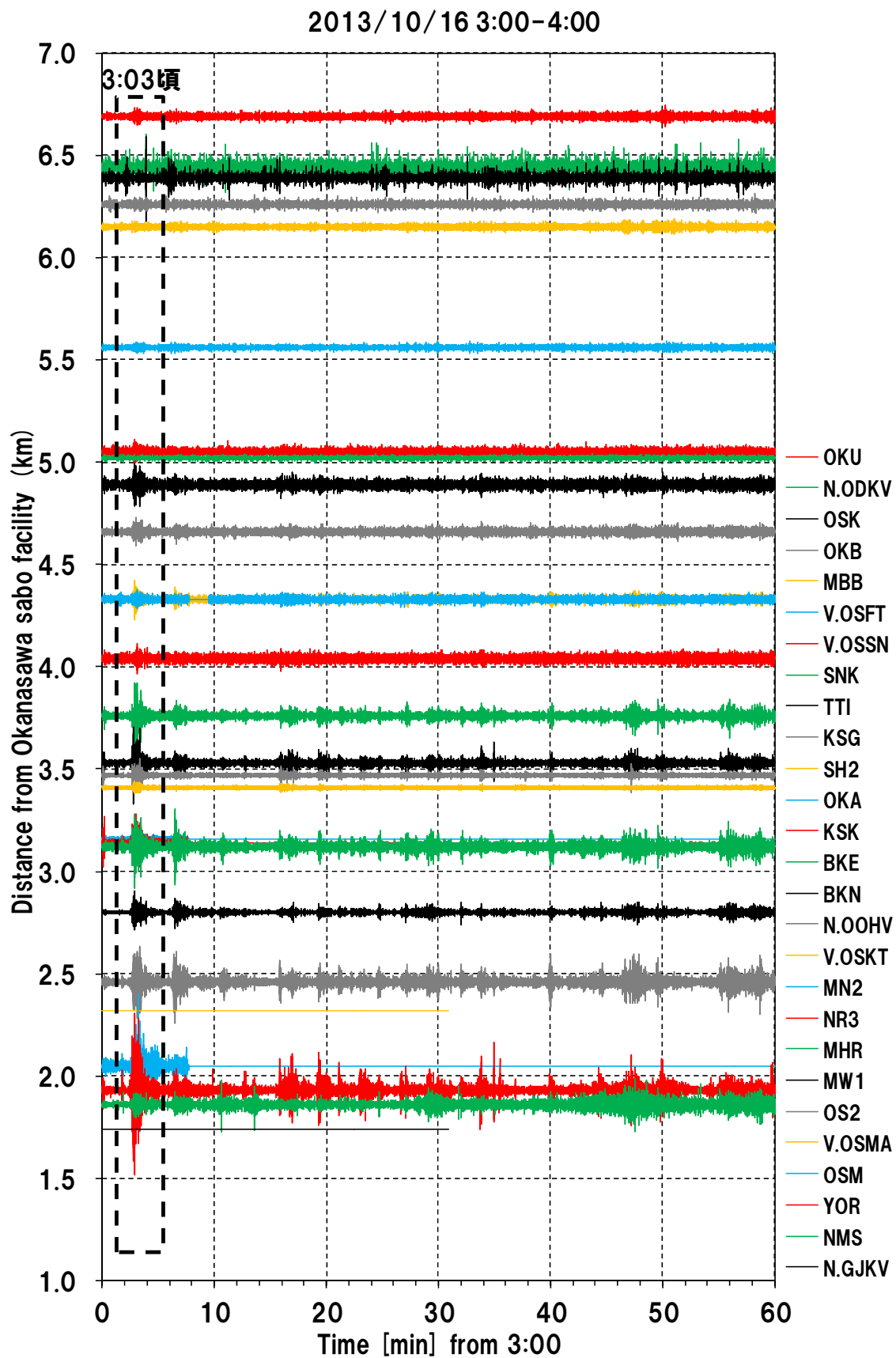


図 3.8.4 10月16日3時から4時までの各観測局で観測された振動の時刻歴波形と大金沢堆積工との距離の関係

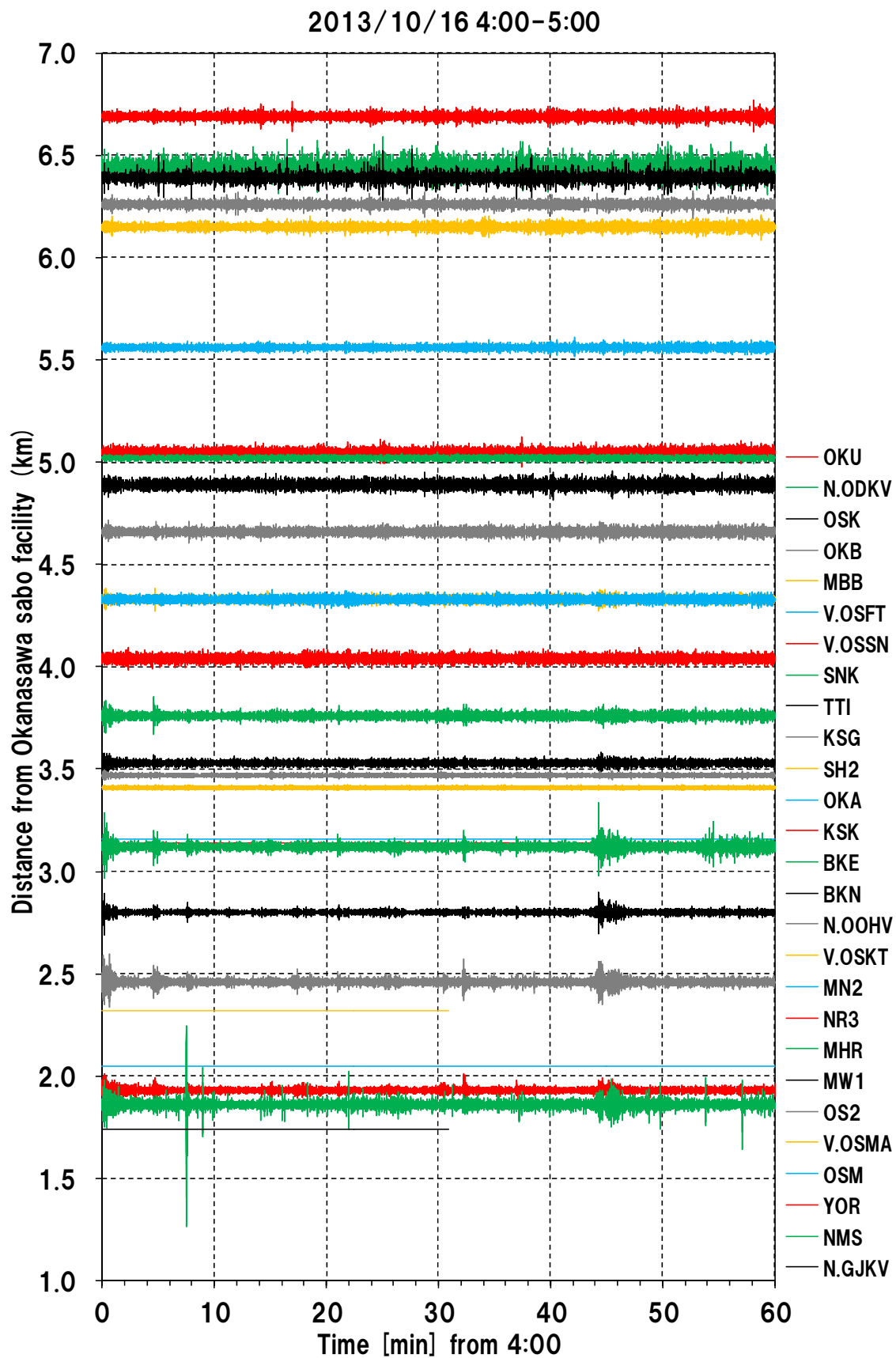


図 3.8.5 10月16日4時から5時までの各観測局で観測された振動の時刻歴波形と大金沢堆積工との距離の関係

3.8.3 台風 26 号で発生した表層崩壊・土石流による振動の特徴

(1) 周波数解析の概要

表層崩壊・土石流による地盤振動の特徴を把握するため、地盤振動データを用いてフーリエ解析により周波数解析を実施した。なお、用いた振動データは、先述の通り安定してデータを取得する事ができた東京大学地震研究所の YOR 観測所で記録された波形とした。周波数解析に用いたデータは、速度 UD 成分を用い、バンドパスフィルタを処理していない状態のものを約 41 秒間使用した。図 3.8.6 に YOR のスペクトル解析結果及び振動波形を示す。周波数解析は振幅の異なる土砂移動イベントを抽出することとし、2:25 頃 (a), 2:26 頃 (b), 2:36 頃 (c), 2:37 頃 (d), 3:01 頃 (e), 3:02 頃 (f), 3:17 頃 (g), 3:19 頃 (h) の周波数解析を行った。また、比較のために波形の変化のない時間 (reference) の周波数解析も行い、土砂移動に伴う周波数の範囲を把握した。

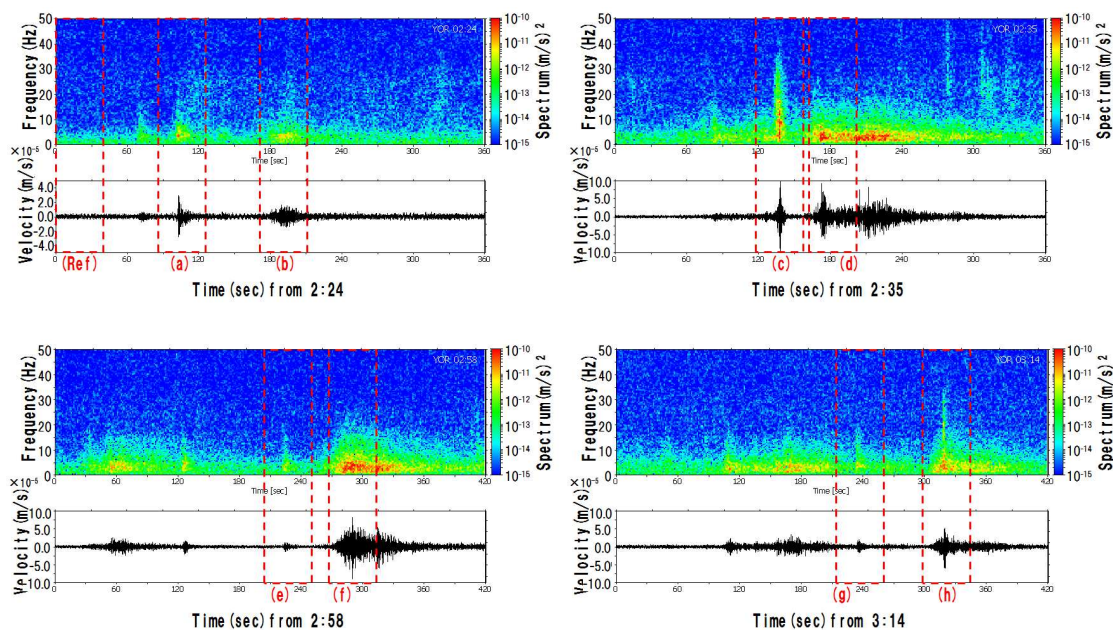


図 3.8.6 YOR 観測所で取得された波形データのスペクトル解析結果

(2) 周波数解析の結果

図 3.8.7 に周波数解析の結果を示し、周波数解析によって得たピークとなるフーリエスペクトルとそのときの周波数を表形式で表 3.8.2 に整理した。3~5Hz にピークがあるものが多いが、図 3.8.7 (c) のように 10Hz あたりにピークがあるものもある。深層崩壊発生時の地盤振動の周波数は 0.5~2Hz 程度 (水野ら, 2001; 森脇, 1999; 大角ら, 2005; 大角ら, 2006a; 大角ら, 2006b) であるのに対し、本解析結果は異なる周波数を示すことがわかった。なお、地盤振動の周波数は 1~12Hz の範囲にあり、どのイベントも 2~8Hz の範囲の成分が含まれていることもわかった。

深層崩壊を対象とした発生箇所の推定方法では、各観測所間の地盤振動の到達時刻を読み取り、その時間差に基づき地震の震源決定アルゴリズムを用いて推定を行う。一方で、本災害のような土砂移動現象では、深層崩壊と比べて振動の振幅が徐々に増加する特徴があるため、到達時刻を読み取ることが困難であり、深層崩壊と同じ手法を適用することが困難と考えられる。

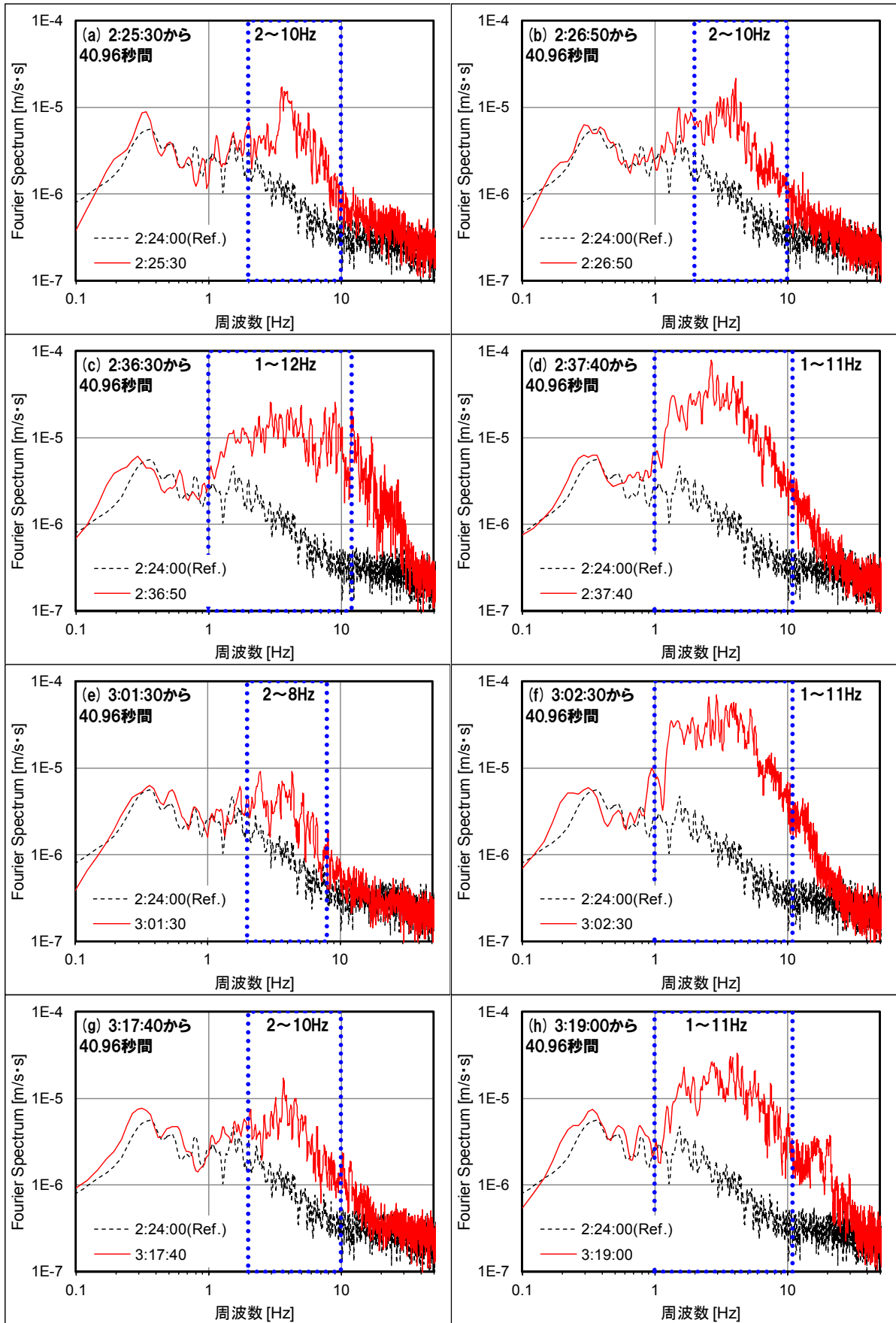


図 3.8.7 YOR 観測所取得された波形データの周波数解析結果

表 3.8.2 各イベントでのピークとなるフーリエスペクトルと周波数

時間	周波数(Hz)	【max】Fourier spectra(m/s・s)
(a) 2:25:30から40.96秒間	3.589	1.68E-05
(b) 2:26:50から40.96秒間	4.077	2.16E-05
(c) 2:36:30から40.96秒間	9.033	2.57E-05
(d) 2:37:40から40.96秒間	2.686	7.85E-05
(e) 3:01:30から40.96秒間	2.490	9.14E-06
(f) 3:02:30から40.96秒間	2.930	6.85E-05
(g) 3:17:40から40.96秒間	3.687	1.69E-05
(h) 3:19:00から40.96秒間	4.199	3.27E-05

3.8.4 地盤振動データを用いた表層崩壊・土石流の発生位置推定方法

(1) 震源特定方法の概要

本災害時の地盤振動の振幅は徐々に増加する特徴を有する事から、図 3.8.8 に示すイメージのように各観測局の地盤振動の減衰に着目して発生位置の推定を行った。

表層崩壊・土石流による地盤振動の振幅は、土砂移動発生位置（震源）からの距離に応じて式 (1) に示すような減衰を仮定し、b を変化させて最も適した値を求めて使用するものとした。発生位置の推定方法の流れを図 3.8.9 に示す。

$$y = a \cdot r^{-b} \quad (1)$$

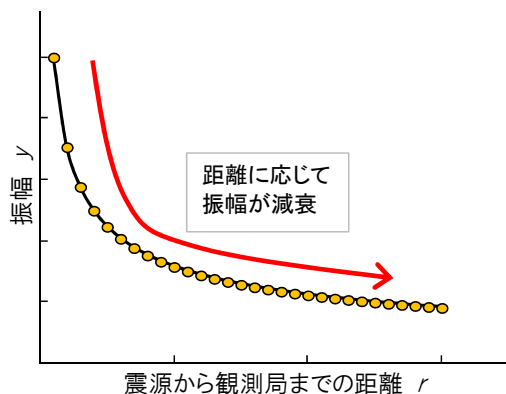


図 3.8.8 振幅の距離減衰イメージ

ここに、y…振幅，a,b…定数，r…土砂移動発生位置から観測局までの距離とする。

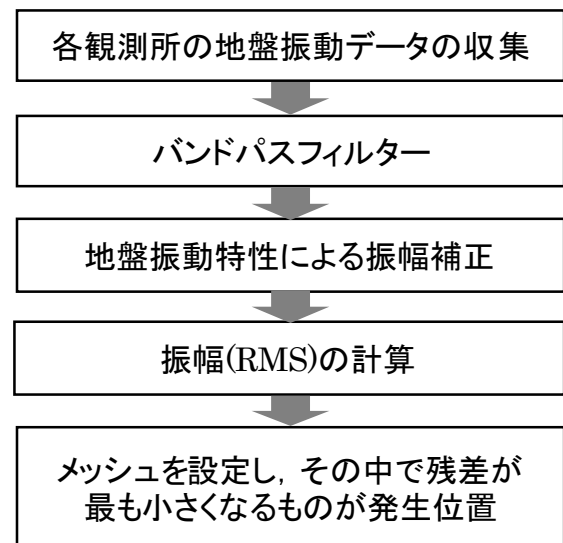


図 3.8.9 発生位置推定の流れ

(2) バンドパスフィルターと地盤振動特性による補正及び振幅の計算

図 3.8.7 に示したように、本災害による地盤振動は、イベントによって周波数の範囲は異なるが、多くのイベントでおおよそ 1~8Hz の成分が含まれていることから、ノイズ処理として、取得した生値データを 1~8Hz のバンドパスフィルターで処理した。また、観測局によって地盤振動特性は異なることから、各観測局間の振幅を補正するため、式 (2) を用いて伊豆大島に近隣の 7 地震データをもとに各観測所の相対地盤増幅率を求めた。補正の為に用いた近隣の 7 地震は、表 3.8.3 のとおりである。

$$o(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot G(f) \quad (2)$$

ここに、 $o(f)$ …観測される地震動、 $S(f)$ …震源特性、 $P(f)$ …伝播経路特性、 $G(f)$ …地盤振動特性とする。式(2)のうち $S(f)$ は、同一地震である場合、各観測局の記録は共通となる。また、 $P(f)$ は、各地震の震源から観測局までの方位角・距離がほぼ等しいものとし共通とみなした。よって、 $G(f)$ が観測点ごとの揺れやすさを示すこととなる。この $G(f)$ については、近隣7地震の振幅が比較的小さく、地震間のばらつきが小さいN.OOHV観測局を基準とし、それに対する各観測局の補正値(相対地盤増幅率)を求めるものとした(図3.8.10)。

振幅については、相対地盤増幅率を乗じた振動速度値を用いて式(3)によりRMS値(エンベロープ)を求め、5秒ごとに区切ってそれぞれの期間の最大値を求めた(図3.8.11, 図3.8.12)。

$$RMS(i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \{y(i, j)\}^2} \quad (3)$$

ここに、 $RMS(i)$ … i 秒目の振幅、 $y(i, j)$ … i 秒目 j 番目の速度成分振幅、 N …1秒間のサンプル数(N は各観測局の周波数により異なる)

表 3.8.3 相対地盤増幅率の算定に用いた地震

発生日時	震央位置		震源の深さ (km)	マグニ チュード	震央地名
	北緯	東経			
2013/10/02 19:35	35.649	140.108	68.8	3.8	Central Chiba Pref.
2013/10/03 16:41	36.141	140.121	61.7	3.5	SW Ibaraki Pref.
2013/10/06 05:23	35.110	139.387	24.7	2.4	Sagami Bay Region
2013/10/06 22:38	35.361	140.325	64.6	2.5	Kujukuri Coast Boso Pen.
2013/10/11 17:22	37.100	141.119	51.5	4.3	E off Fukushima Pref.
2013/10/12 02:43	36.432	140.698	51.8	4.8	Northern Ibaraki Pref.
2013/10/15 10:27	35.758	140.087	70.2	2.5	Central Chiba Pref.

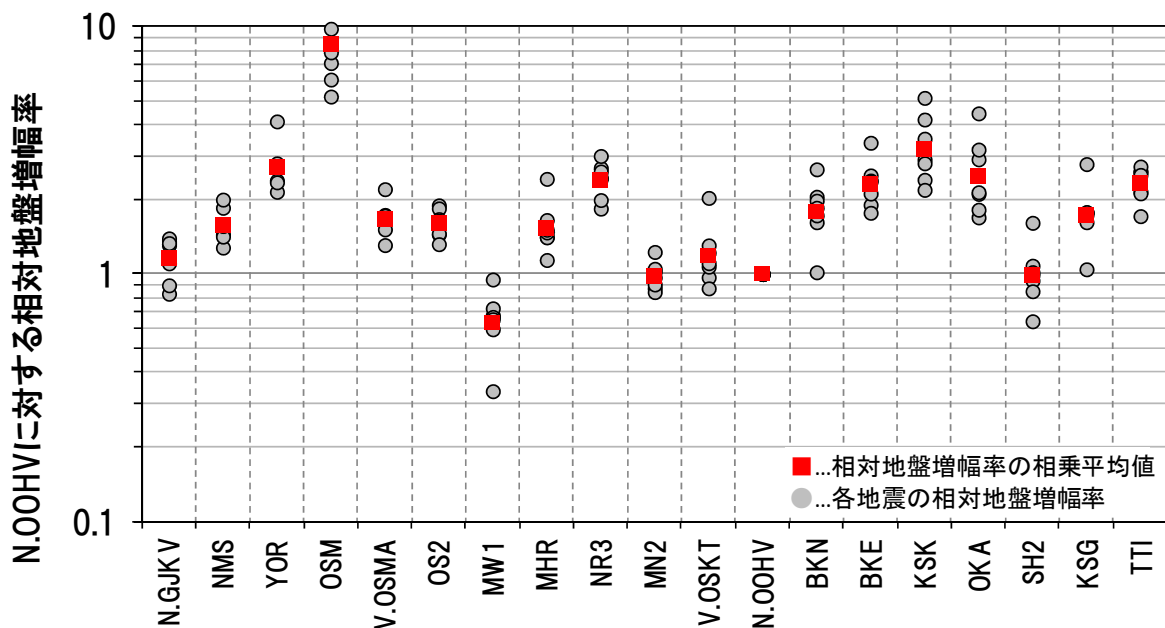


図 3.8.10 振幅の距離減衰イメージ

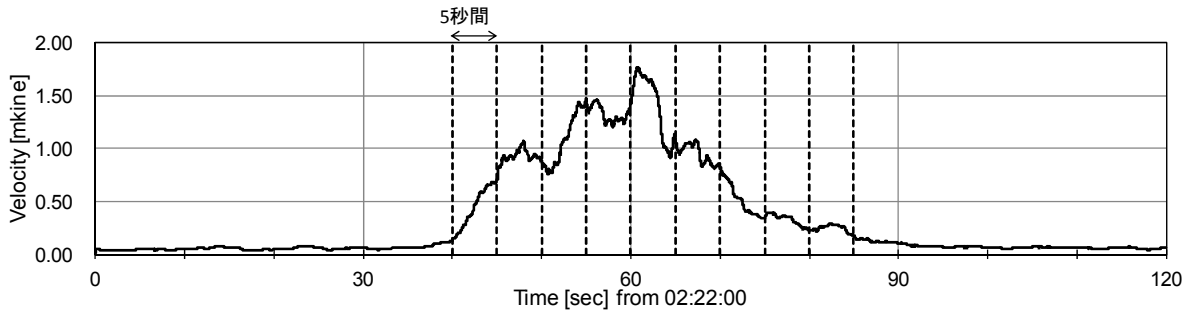


図 3.8.11 振幅 (RMS 値) の計算結果例 (2 時 22 分の場合)

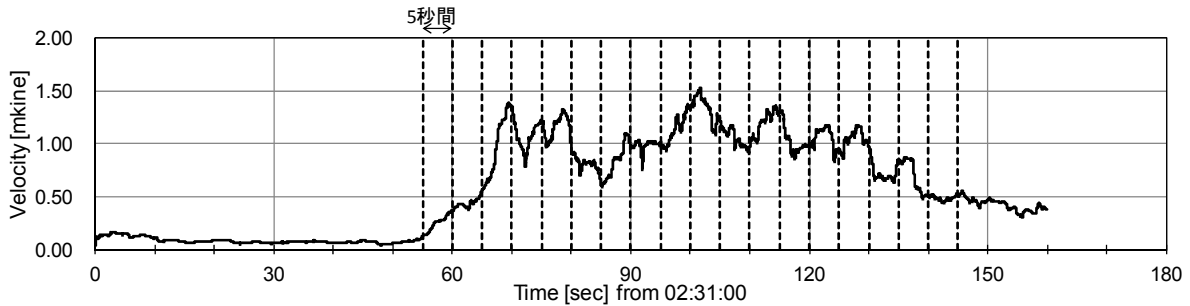


図 3.8.12 振幅 (RMS 値) の計算結果例 (2 時 31 分の場合)

(3) 表層崩壊・土石流の発生位置の推定方法

震源の位置推定にあたり、検討対象箇所を、緯度方向に 0.0005 度 (約 55m) 刻み、経度方向に 0.00075 度 (約 69m) 刻みの格子メッシュで区切った。これら各メッシュを土砂移動発生箇所候補地点と仮定した。次に、式(1)の両辺の対数をとった式(4)の b 値を変化させながら、 y と式(3)の RMS 値との残差が最小となるメッシュと a 値を最小二乗法を用いて求めた。なお、残差が最小となるメッシュが各イベントの土砂災害発生箇所と推定した。ここで、 a は最適なメッシュ位置が決まると自動的に決まるパラメータであり、地盤振動の発生源における放出エネルギーの大きさを示す。土砂イベントごとに式(4)の b 値を変化させた時の残差を図 3.8.13 に示す。2:22 頃では $b=0.7$ 、2:31 頃と 2:37 頃のイベントでは $b=1.4$ 、3:02 頃のイベントでは $b=1.0$ において最小となった。この結果から、各イベントで適切な定数 b が異なることがわかった。

$$\log y = \log a - b \log r \quad (4)$$

ここに、 y …振幅 (RMS 値) の最大値、 a, b …定数、 r …震源から観測局までの距離である。

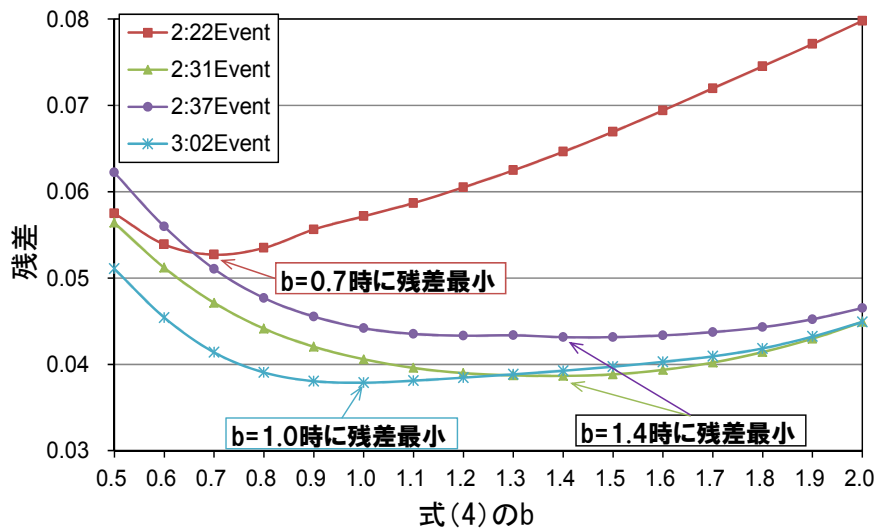


図 3.8.13 bを変化させたときのイベント毎の残差平均算出結果

3.8.5 表層崩壊・土石流の発生位置推定計算結果

信号雑音比 (S/N 比) が比較的大きい観測局のデータを使用し、解析を行った。S/N 比が高ければ雑音の影響が小さく、小さければ影響が大きいと考えられている。

この結果をもとに発生位置の推定を行った結果が図 3.8.14 である。図上で示した星印は、土砂移動現象の推定した位置とし、濃淡で着色することで時系列毎の位置を示すこととした。白色系は解析結果の初期位置であり、黒色系に近づくほど解析結果の後半を示す。(a) では、上流から下流へ土砂が移動しているように求めたが、(b) では概ね土砂移動の実績範囲に推定位置は求めたものの、(a) のように明瞭な結果とはならなかった。また、(a) はピークが一つといった単純な波形を示しているが、(b) はピークが複数存在する紡錘形を示している。(b) のような形状を有する振動では、位置推定が困難であることがわかった。(a) のような波形を示す場合は、一箇所での崩壊から流下までの一連の流れを示し、(b) では複数の地点で発生した崩壊及び流下現象を示していると思われるが、より詳細な検討が必要である。

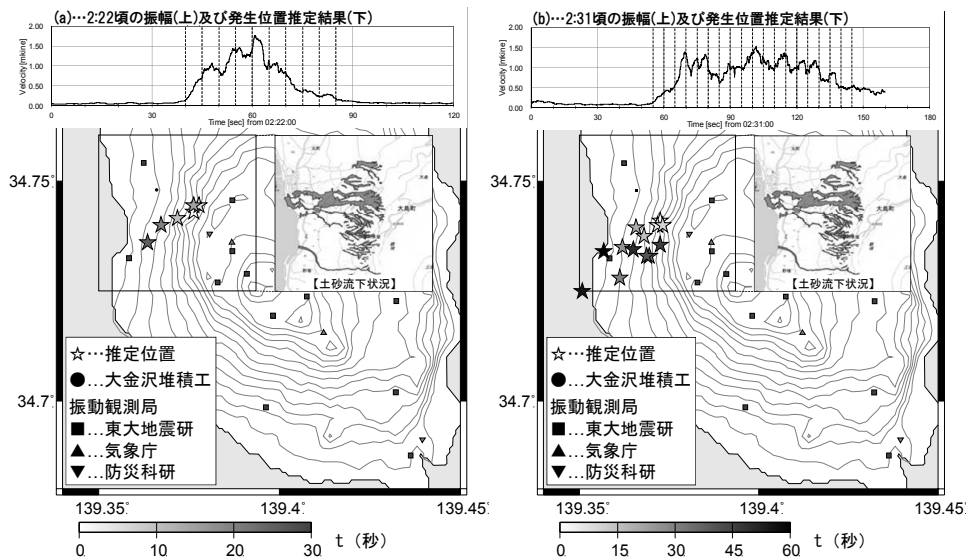


図 3.8.14 解析結果 (左: 2:22 頃の解析結果, 右: 2:31 頃の解析結果)

3.8.6 まとめ

本検討では、地盤振動の振幅と距離減衰に着目し、表層崩壊及び土石流発生時の振動の特徴を把握するとともに、土砂移動の発生位置の推定を行い、以下の結論を得た。

- 1) 表層崩壊や土石流による地盤振動は、深層崩壊のものよりも卓越周波数が高く、波形の立ち上がりが緩やかであった。
- 2) 発生位置の推定については、振動波形が単純な形状なイベントに対しては、概ね良好な結果を示すことができた。しかし、振動波形が複雑な形状を示すイベントに対しては位置推定が困難であるという課題点が残った。

謝辞：本研究の実施にあたり、東京大学地震研究所森田裕一教授には振動データの提供を受け研究の方向性について御助言をいただきました。また、防災科学技術研究所の基盤的火山観測網 V-net 及び気象庁の地震観測網の振動データを利用させていただきました。ここに深く感謝申し上げます。

引用文献

- 水野高志・伊藤潔・諏訪浩（2001）：岡山県総社市における斜面崩壊にともなう地震動，日本地震学会ニュースレター，Vol. 13, No. 1, p. 16-17
- 森脇寛（1999）：崩壊型土石流の流下に伴う地盤の震動特性-小谷村蒲原沢土石流-，地すべり，第 36 巻，第 3 号，p. 99-107
- 大角恒雄・浅原裕・下川悦郎（2005）：2004 年 8 月 10 日奈良県大塔村斜面崩壊時の Hi-net データ解析-斜面崩壊検知への応用-，自然災害科学，Vol. 24, No. 3, p. 267-277
- 大角恒雄・浅原裕・下川悦郎（2006a）：2005 年長野県白馬岳落石・崩壊の高感度地震観測網波形を用いた震源推定，日本地すべり学会誌，Vol. 43, No. 1, p. 27-32
- 大角恒雄・浅原裕・下川悦郎（2006b）：河道閉塞近傍の振動センサー記録による振動特性の検討，第 3 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，p. 163-168
- 諏訪浩・山越隆雄・佐藤一幸（1999）：地盤振動計測による土石流の規模推定，砂防学会誌，Vol. 52, No. 2, p. 5-13

4. あとがき

台風 26 号により伊豆大島では死者 36 名・行方不明者 3 名の人的被害を伴う大規模土砂災害が発生した。被害は特に大量の降雨を観測した元町・神達地区に集中しており、一つの地区を見舞った土砂災害としては、発生時点においては最大規模のものであったと言って過言でない。

これに対して、国土交通省では災害発生直後から現地に TEC-FORCE を派遣し、災害対策支援活動を実施するとともに、国土技術政策総合研究所ならびに土木研究所が中心となって災害調査にあたった。

本報告は、もっとも被害の大きかった大金沢を中心に実施したこれら土砂災害調査等の成果をとりまとめたものであり、非常に特徴的とも言える「火山地域にける表層崩壊の実態」、「尾根部を乗り越えた土石流の流下形態」、「大量の流木による被害の拡大」、さらには「砂防施設の効果」などについて考察を行ったところである。

さらに国土交通省では、この大規模土砂災害を受けて「土砂災害対策の強化に向けた検討会」（平成 25～26 年度、池谷浩委員長）を設け、上述の事項を教訓とした今後の土砂災害対策の強化策について提言を得たところである。

本災害により得られた知見を活かし、また、新たな課題を解決してゆくことで土砂災害対策技術のさらなる進展が図られるよう、今後とも調査研究や技術開発に努めていくことが求められている。

最後に、この土砂災害により被害に遭われた方々に心よりお見舞いを申し上げますとともに、調査等にご協力をいただいた大島町、東京都、その他防災関係機関、研究機関の皆様に御礼申し上げる次第です。

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM, No. 875
土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI, No. 4302

November 2015

編集・発行 ◎国土技術政策総合研究所
◎国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国土技術政策総合研究所 企画部 研究評価・推進課
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-2675
国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 TEL 029-879-6754