

1997年7月梅雨前線停滞に伴う 西日本の豪雨災害に関する調査研究

(課題番号09600003)

平成9年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(1))研究成果報告書

平成10年3月

研究代表者 下川悦郎
(鹿児島大学農学部教授)

序 文

1997年7月6日ごろから西日本に停滞し活発な活動を続けた梅雨前線は、九州地方を中心に中国・近畿地方に至る西日本の広い範囲に記録的な豪雨をもたらした。九州地方では14日までの累積雨量が平地部でも600mm、山間部では1100mmを突破したところがある。この豪雨で鹿児島県出水市では7月10日深夜大規模な土石流が発生し、死者21名を出す大惨事となった。長崎県佐世保市では地すべりが発生し、家屋が倒壊、直後60世帯余りの住民が避難生活を強いられた。11日熊本県益城町では規模の大きな崩壊が発生しその土砂が河川に流れ込んだため、周辺の住民が避難した。13日兵庫県宝塚市では住宅地の裏山が崩壊し、一家4人が亡くなった。15日熊本県坂本村では斜面から崩れた土砂が河川を埋めたため土石流の発生に備えて周辺の住民が避難した。そのほか、豪雨災害は九州を中心に広範囲に及んだ。

本研究は、出水市の土石流災害をはじめ、梅雨末期の豪雨によって各地で発生した今回の土砂災害および河川災害の実態の全容を正確に把握するとともに、災害の原因を説明することを目的として実施したものである。そのため、災害発生の誘因となった豪雨の気象特性、災害をもたらした現象の発生機構、警戒避難の実態と問題点、被災住民の災害心理と災害ストレス、災害の予測と対策、等について総合的に検討した。

今回の災害の共通点は、兵庫県宝塚市の災害を除いて、局所的に発生した比較的規模の大きな斜面崩壊（または地すべり）が発端となっていることである。この種の災害は規模が大きいただけに多数の人命の犠牲を伴う悲惨なものになる。1996年12月に発生した姫川流域蒲原沢の土石流災害、1997年5月に秋田県八幡平で発生した地すべり・土石流災害も規模の大きな崩壊や地すべりが発端となって生じた災害である。こうした災害が防災の隙間を狙うように、最近、全国的に目立って発生しているように考えられる。災害をもたらした現象はこれまで事例が少ないため、表層崩壊や地すべりに比較して不明なことが多く予測が難しい。こうした形態の災害をどう軽減するかは今後の調査研究にかかっている。本調査研究がその端緒になれば幸いである。

本研究を実施するにあたっては、資料提供や情報収集等において、防災行政の関係者ならびに被災者、災害地住民の方々にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する次第である。最後になるが、災害で亡くなられた多くの方々のご冥福を心からお祈りする。

1998年3月

研究代表者 下川悦郎

（鹿児島大学農学部教授）

目 次

研究組織	1
研究経費	1
研究発表	2
1997年7月上旬九州中南部の豪雨解析 —鹿児島県北部出水・阿久根付近の豪雨機構を中心として— 守田 治・山口栄次・新野 宏	5
出水市針原川周辺の地形・地質と斜面崩壊 岩松 暉・井村隆介	15
出水市・針原川土石流災害 下川悦郎・地頭菌隆・小川 滋	19
鹿児島県出水市で発生した斜面崩壊発生機構に関する一考察 北村良介・落合英俊・小林哲夫・矢ヶ部秀美・高田 誠・阿部廣史	31
出水市針原川流域で発生した深層崩壊の水文地形的特性 地頭菌隆・下川悦郎	39
鹿児島県出水市針原川の崩壊・土石流の発生機構について 佐々恭二・福岡 浩・汪 発武	51
航空写真測量による出水市針原地区斜面崩壊部の生産土砂量の算出 後藤恵之輔・全 炳徳・中村晋一	61
針原川の土石流災害の特性と問題点 平野宗夫・橋本晴行・森山聡之・小川 滋・疋田 誠	67
出水市針原川で発生した土石流の流動・堆積特性 橋本晴行・平野宗夫・疋田 誠・Kichan Park	77
鹿児島県出水市針原川で発生した土石流の再現計算の試み 中川 一・高橋 保・立川康人・里深好文・市川 温	87
出水市針原川の土石流災害と流出過程について 疋田 誠	99
出水市針原地区土砂災害における地上リモートセンシング調査 後藤恵之輔・中村晋一・全 炳徳・山中 稔・持下輝雄・前間英一郎	103
人工衛星データに見る1997年鹿児島県北西部地震と出水市土石流災害との関係 後藤恵之輔・前間英一郎・全 炳徳・中村晋一	109
平成9年7月出水市土石流災害における防災機関の対応 高橋和雄	115
平成9年7月出水市針原地区の土石流災害時の地域住民の行動 高橋和雄	127
「出水市土石流災害に関する心理学的研究」 ～被災1ヵ月後・3ヵ月後の外傷後ストレス障害（PTSD）に関する調査分析～ 久留一郎	139
1997.7豪雨による宝塚市内の山くずれ災害 沖村 孝	153
佐世保市原分町において発生した地すべり災害 後藤恵之輔・山中 稔	163
1997年7月長崎市北陽町崖崩れ災害の調査 後藤恵之輔・全 炳徳・山中 稔・中村晋一・持下輝雄	171
97年7月熊本県の豪雨災害 鈴木敦巳・北園芳人・荒牧昭二郎	175

研究組織

研究代表者：下川 悦郎	（鹿児島大学・農学部・教授）
研究分担者：岩松 暉	（鹿児島大学・理学部・教授）
研究分担者：北村 良介	（鹿児島大学・工学部・教授）
研究分担者：久留 一郎	（鹿児島大学・教育学部・教授）
研究分担者：地頭 菌隆	（鹿児島大学・農学部・助教授）
研究分担者：疋田 誠	（鹿児島工業高等専門学校・教授）
研究分担者：鈴木 敦巳	（熊本大学・工学部・教授）
研究分担者：平野 宗夫	（九州大学・工学部・教授）
研究分担者：橋本 晴行	（九州大学・工学部・助教授）
研究分担者：落合 英俊	（九州大学・工学部・教授）
研究分担者：小川 滋	（九州大学・農学部・教授）
研究分担者：守田 治	（九州大学・理学部・助教授）
研究分担者：後藤 恵之輔	（長崎大学・工学部・教授）
研究分担者：高橋 和雄	（長崎大学・工学部・教授）
研究分担者：沖村 孝	（神戸大学・都市安全研究センター・教授）
研究分担者：佐々 恭二	（京都大学・防災研究所・教授）
研究分担者：中川 一	（京都大学・防災研究所・助教授）

研究経費

平成9年度	4,500千円
計	4,500千円

研究発表

(1) 学会誌等

Takashi Okimura, Nobuyuki Yoshida and Nobuyuki Torii : Analysis of Toppling Failure of Mountain Slope Due to Earthquake, Proceedings of the International Symposium on Landslide Hazard Assessment, Xian, China, 1997.7.13-16

地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳：1997年鹿児島県北西部地震による斜面崩壊，砂防学会誌，Vol.50，No.2，1997.7.15

沖村孝・島居宜之：六甲山系の豪雨に起因する土砂災害と対策，地形，1997.7.25

柏谷健二・沖村孝・八藤仁美：六甲山系の浸食環境の変遷と池底堆積物—兵庫県南部地震による環境変化に関連した予察的検討—，地形，18-3，1997.7.25

Kenji Kashiwaya, Takashi Okimura and Takashi Harada : Land transformation and pond sediment information Earth Surface Processes and Landforms, 22, 1997

後藤恵之輔：1997年7月・8月降雨によるK市地すべりの調査と得られた教訓，気象利用研究，第9号，1997.8

岩松暉：1997年7月鹿児島県出水市針原川土石流災害，自然災害科学，16巻2号，1997.8.30

Kenji KASHIWAYA and Takashi OKIMURA : Erosional environmental change due to the Kobe Earthquake inferred from pond sedimentation, Fouth International Conference on Geomorphology, Abstracts, 1997.9.3

下川悦郎・太田猛彦・小川滋・地頭蘭隆・谷口義信・水山高久（砂防学会出水・針原川土石流災害調査委員会）：鹿児島県出水市針原川土石流災害について，砂防学会誌，Vol.50，No.3，1997.9

平野宗夫・北村良介：鹿児島県出水市針原川土石流災害，土木学会誌，Vol.82，No.9，1997.9

沖村孝：地盤災害の特色，兵庫県防災専門家養成講座災害概論，1997.10.2

地盤工学会出水市針原川土石流緊急調査団：鹿児島県出水市土石流災害速報，土と基礎，Vol.45，No.10，1997.10

沖村孝：土砂災害について考える—六甲山系の豪雨がもたらすもの—，西宮市公民館防災講座，1997.10.4

北村良介・小林哲夫・地頭蘭隆・高田誠・矢ヶ部秀美：鹿児島県出水市土石流災害—環境地盤災害事例として—，第2回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，1997.11

寺本行芳・地頭蘭隆・下川悦郎・永田治：始良カルデラ周辺山地流域における侵食と土砂生産，鹿児島大学農学部演習林研究報告，第25号，1997.11.21

地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳：桜島における土石流河川の流出特性，鹿児島大学農学部演習林研究報告，第25号，1997.11.2

後藤恵之輔・全炳徳・中村晋一・山中稔・持下輝雄：サーマルカメラによる1997年7月斜面災害調査—出水市針原地区と長崎市北陽町を対象として—，長崎大学工学部研究報告，第28巻，第50号，1998.1

後藤恵之輔・全炳徳・中村晋一・山中稔：1997年7月出水市土石流源頭部崩壊斜面の地上リモートセンシング観測，自然災害科学研究西部地区部会報・論文集，第22号，1998.3

後藤恵之輔・全炳徳・金應南・後藤健介：台風9713号による南西諸島の塩害調査，自然災害科学研究西部地区部会報・論文集，第22号，1998.3

後藤恵之輔・全炳徳・前間英一郎・中村晋一：人工衛星データによる1997年7月出水市土石流災害の調査解析，計算機科学研究報告，第15号，1998.3

中川一・高橋保・里深好文・立川康人・市川温・吉田義則・中村行雄：平成9年鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について，京都大学防災研究所年報，第41号B-2，1998.4（予定）

北村良介・落合英俊・小林哲夫・矢ヶ部秀美・高田誠：鹿児島県出水市土石流災害と防災対策，土と基礎，1998.7（予定）

(2) 口頭発表

M. HIRANO, T. HARADA, M. E. Banihabib and K. KAWAHARA : Estimation of Hazard Area due to Debris Flow, 1st Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation, 1997.8

佐々恭二：崩壊誘起土石流のタイプとメカニズム，IUGS/IUFRO 崩壊誘起土石流研究集会，1997.8.17

岩松暉：平成9年7月9日出水市土石流の地質学的背景，IUGS/IUFRO 崩壊誘起土石流研究集会，1997.8.17

下川悦郎：平成9年7月9日出水市土石流の運動について，IUGS/IUFRO 崩壊誘起土石流研究集会，1997.8.17

下川悦郎・地頭蘭隆：鹿児島県出水市針原川の土石流災害，第34回自然災害科学総合シンポジウム，1997.10.16

平野宗夫・疋田誠・橋本晴行：97年7月出水市針原川の土石流災害について，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，1997.10.17

橋本晴行・平野宗夫・疋田誠・バクキイチャン・玉松潤一郎：'97年7月出水市針原川で発生した土石流の流動・堆積特性について，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，1997.10.17

後藤恵之輔：1997年7月佐世保市原分町地すべり災害について，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，1997.10.17

後藤恵之輔・全炳徳・山中稔・前間英一郎・中村晋一：1997年7月長崎市北陽町崖崩れ災害調査，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，1997.10.17

後藤恵之輔・山中稔・中村晋一：1997年7月出水市土石流源頭部崩壊の原因について，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，1997.10.17

新野宏・守田治：バンド状降水雲による大雨—1997年7月10日鹿児島県出水市の土石流に関連して—，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，1997.10.17

北村良介・地頭蘭隆・小林哲夫・高田誠：鹿児島県出水市土石流災害速報，第16回日本自然災害学会学術講演会，1997.10.17

地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳・松本舞恵：1997年鹿児島県北西部地震による斜面崩壊，日本林学会九州支部研究発表会，1997.10.18

後藤恵之輔・全炳徳・中村晋一・山中稔：1997年7月出水市土石流源頭部崩壊斜面の地上リモートセンシング観測，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

後藤恵之輔・全炳徳・金應南：台風9713号による南西諸島の塩害調査，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

平野宗夫・疋田誠・橋本晴行：出水市針原川の土石流災害と流出特性について，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

鈴木敦己・北園芳人・荒牧昭二郎：97年7月熊本県豪雨災害，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

井村隆介・岩松暉・隈元幸司：1997年3-5月に発生した鹿児島県北西部の地震被害と地形・地質の関連について，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳：鹿児島県北西部地震による斜面崩壊，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

岡林巧・兵動正幸・山本哲朗・中田幸男・北村良介・小林孝洋・日下部伸・藤井照久：鹿児島県北西部地震及び第2鹿児島県北西部地震による液状化災害，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

守田治・山口栄次：九州中南部における梅雨末期豪雨の解析，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

橋高裕人・高橋和雄：西日本における自治体の地震防災計画の策定に関する調査，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

岩松暉・井村隆介：1997年出水市針原川土石流災害の地形地質的素因，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

下川悦郎・地頭蘭隆：鹿児島県出水市針原川の土石流災害，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

高橋和雄・橋高裕人：出水市針原地区土石流発生時の情報伝達・避難行動，平成9年度第1回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1997.10.24

九州大学理学部 守田 治
 福岡航空測候所 山口栄次
 東京大学海洋研究所 新野 宏

下川悦郎・地頭蘭隆：出水市土石流災害，火山工学セミナー in 鹿児島'97，土木学会，1997.11.16

地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳・小藤葉月・松田重和・杉田美由紀・松本舞恵：地震による斜面崩壊の分布，平成9年度建設技術講演会「鹿児島県北西部地震について」，（財）鹿児島県建設技術センター，1997.11.17

寺本行芳・下川悦郎・地頭蘭隆：地震による斜面崩壊の特徴，平成9年度建設技術講演会「鹿児島県北西部地震について」，（財）鹿児島県建設技術センター，1997.11.17

松本舞恵・下川悦郎・地頭蘭隆：地震による斜面崩壊発生とその履歴，平成9年度建設技術講演会「鹿児島県北西部地震について」，（財）鹿児島県建設技術センター，1997.11.17

小林芳正・沖村孝：地震による斜面崩壊の雨および余震による拡大，第2回都市直下地震災害総合シンポジウム，253-254，1997.11.19

北園芳人・鈴木敦巳・荒牧昭二郎：97年7月熊本県豪雨災害，第6回熊本自然災害研究会研究発表会，1997.11.28

中川一・高橋保・里深好文・立川康人・市川 温・吉田義則・中村行雄：平成9年度鹿児島県出水市針原川で発生した土石流災害について，平成9年度京都大学防災研究所研究発表講演会，1998.1.29

佐々恭二：針原川土石流源頭部の流動性崩壊の発生機構，IUGS/IUFRO 崩壊誘起土石流研究集会，1998.1.31

岩松暉：台風9719号による鹿児島県田代町の斜面災害，IUGS/IUFRO 崩壊誘起土石流研究集会，1998.1.31

地頭蘭 隆・下川 悦郎・松本舞恵・寺本行芳：1997年鹿児島県北西部地震による斜面崩壊の特徴，平成9年度第2回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1998.2.20

守田治・山口栄次：1997年7月上旬の豪雨の研究，平成9年度第2回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1998.2.20

下川悦郎・地頭蘭隆・寺本行芳：出水針原川流域における深層崩壊の水文地形的特徴，平成9年度第2回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1998.2.20

平野宗夫・疋田誠：出水市針原川の土石流災害と流出特性について（第2報），平成9年度第2回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1998.2.20

橋本晴行・平野宗夫・疋田誠・パクキイチャン：97年7月出水市針原川で発生した土石流のピーク流量，平成9年度第2回自然災害総合研究班西部地区部会研究発表会・研究発表会，1998.2.20

高橋和雄：平成9年7月出水市土石流災害における防災機関の対応，平成9年度第2回自然災害総合研究班西部地区部会・研究発表会，1998.2.20

中川一・高橋保・立川康人・里深好文・市川温：針原川土石流の再現計算，平成9年度第2回自然災害総合研究班西部地区部会研究発表会・研究発表会，1998.2.20

後藤恵之輔・全炳徳・山中稔・中村晋一：地上リモートセンシングと航空写真解析による1997年7月出水市土石流災害調査，平成9年度土木学会西部支部研究発表会，1998.3.24

平野宗夫・疋田誠・古別府慶一・山路陽輔：出水市針原川の土石流災害について，平成9年度土木学会西部支部研究発表会，1998.3.24

後藤恵之輔・全炳徳・前間英一郎・中村晋一：LANDSAT/TMデータで探る1997年鹿児島県北西部地震と出水市土石流災害との関係，平成9年度土木学会西部支部研究発表会，1998.3.24

平野宗夫・橋本晴行：97年7月豪雨による鹿児島県出水市の土石流災害，河川災害シンポジウム，1998.4.4（予定）

平野宗夫・小川滋：鹿児島県出水市針原川の土石流発生にいたる降雨一流出解析，平成10年度砂防学会，1998.5.20（予定）

(3)出版物

後藤恵之輔・山中稔：1997年7月佐世保市原分町地すべり災害，西部地区自然災害資料センターニュース，No.18，1998.3

北村良介・落合英俊・小林哲夫・地頭蘭隆・矢ヶ部秀美・高田誠：鹿児島県出水市土石流災害報告書，地盤工学会，1998.3（予定）

Keinosuke GOTOH, Kensuke GOTOH, Eungnam KIM and Byungdug JUN : Remote Sensing Analysis for the August, 1997 Salt Damage of Sugar Canes in Nansei Islands, Japan, Proceedings of the 5th Symposium of Nagasaki University and Cheju National University on Science and Technology, 1998.4

1 はじめに

1997年7月上旬、九州北部に停滞した梅雨前線に伴う豪雨のため、九州では各地で災害が発生したが、中でも7月10日、出水市境町針原地区で起こった土石流は21名もの人命を奪う厳しいものとなった。本研究では、出水・阿久根付近の豪雨機構を中心として、梅雨前線の停滞に伴う豪雨の解析を行ったので報告する。

2 1997年7月上旬の気象状況

2.1 総観場

図1に7月9日午前9時の地上天気図を示す。小笠原諸島を中心とする太平洋高気圧とオホーツク高気圧にはさまれるように、梅雨前線が東北地方南部から九州北部を通り華南にかけて伸びている。高温多湿な亜熱帯の気圧が、太平洋高気圧の南西象限を時計周りに周って梅雨前線に吹き込み、地上前線の少し南側に幅約200kmの雲の帯を形成し

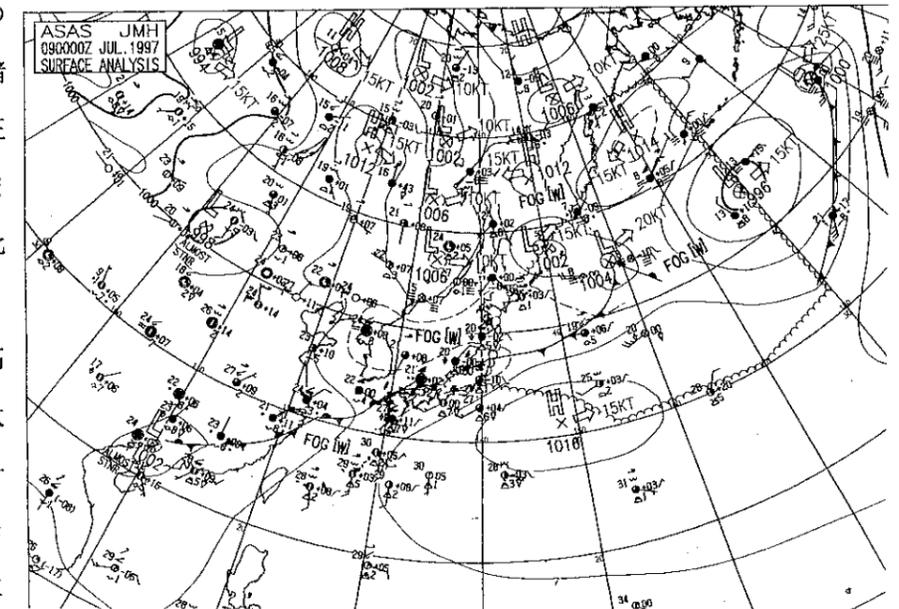


図1. 7月9日09時の地上天気図

ている（図2参照）。7月9日午前9時の帯状風の子午面断面図（図3）を見ると、朝鮮半島・烏山の上空200hPa面（地上約12km）に風速50m/sのジェットが梅雨前線に対応して存在する。また、福岡の上空750hPa

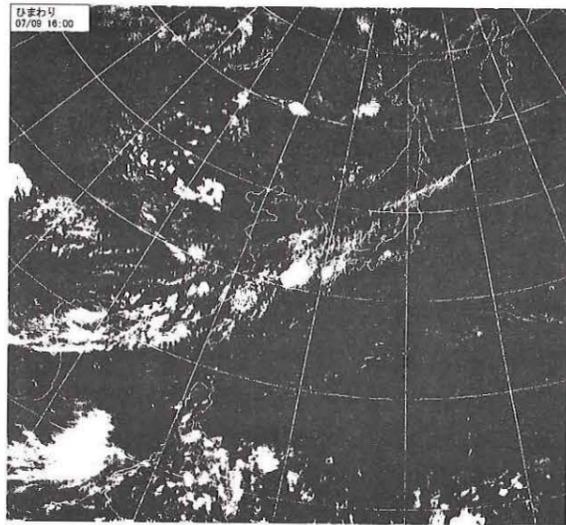


図2. 7月9日16時の気象衛星画像

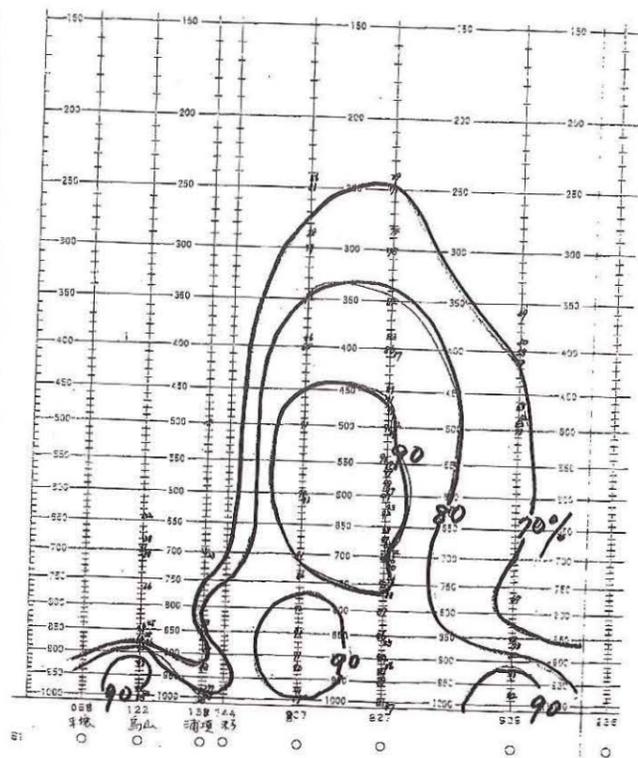


図4. 7月9日09時の相対湿度の子午面断面図

面(地上約2.5km)を中心として、豪雨時にはしばしば観測される下層ジェットが見られ、その風速は25m/sに達している。同じ時刻における、相対湿度の子午面断面を図4に示す。福岡と鹿児島の上空では、地表から350hPa面(地上約8km)まで相対湿度80%以上の湿潤域が広がっており、図2の带状対流雲域と対応している。梅雨前線の北側にあたる米子以北では、相対湿度は急に低くなっているが、これは黄海に中心を持つ高気圧を時計周りに周って、北東から梅雨前線に向かう大陸起源の寒冷で乾燥した空気の流れによると考えられる。一方、前線の南側では湿潤域の高度は急に低くなるものの、下層(地表から900hPa面)では名瀬から那覇に至るまで相対湿度80%以上の領域が続いている。

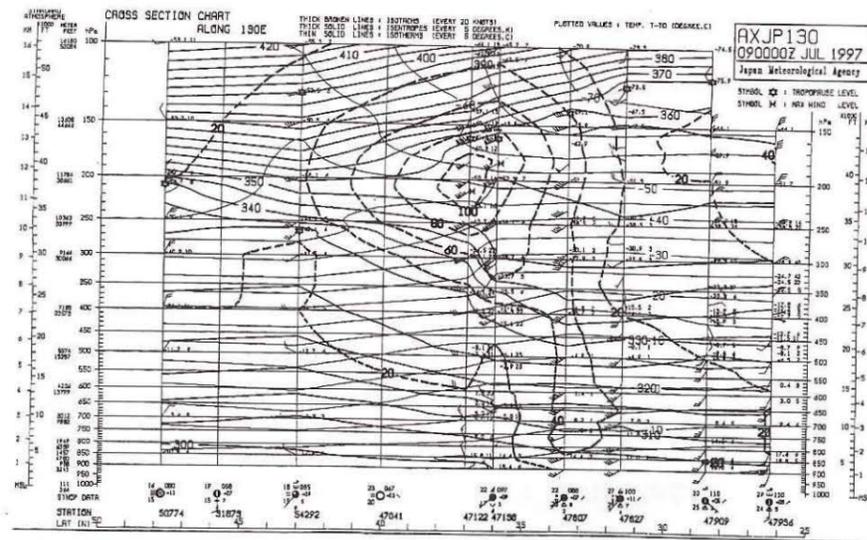


図3. 7月9日09時の風速と温位の子午面断面図

2.2 レーダエコー図

図5に7月9日午前9時の九州から近畿地方までのレーダエコー合成図を示す。幅約200km、長さ数100kmの降水域が九州の西海上から九州北部・中部を通過して中国地方・四国・近畿地方を覆っている。メソ α スケール(水平スケールが200km~2000kmの)に分類されるこの主帯状擾乱の中に埋

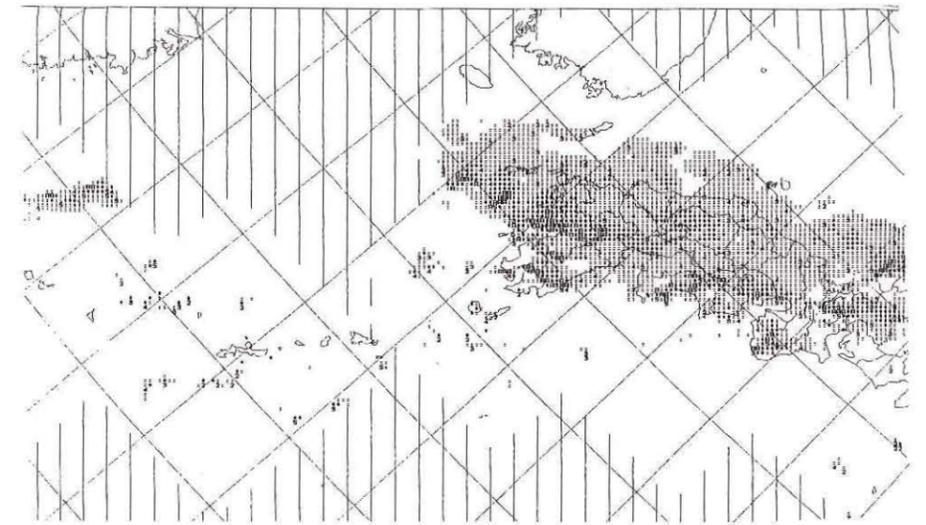


図5. 7月9日09時のレーダエコー合成図

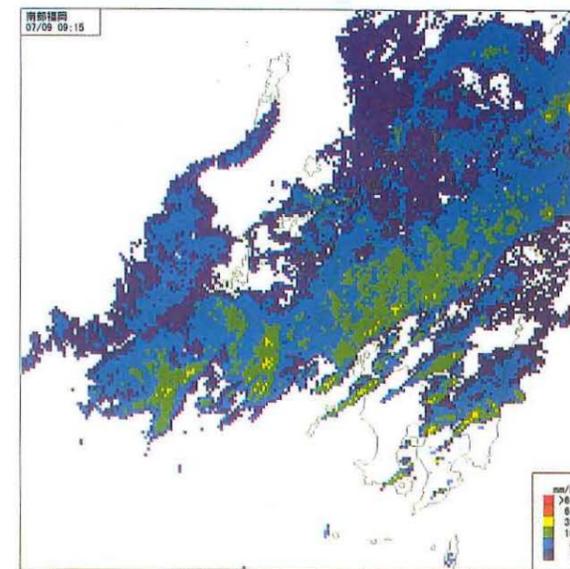


図6. 7月9日09時のレーダエコー図
まっていたり、あるいは主帯状擾乱の周辺にメソ β スケール(水平スケールが20km~200km)の擾乱が見られる。その様子は九州付近を拡大したレーダエコー図(図6)を見ると更に明らかになる。出水市付近に豪雨をもたらしたのも、幅約10km長さ約80kmのメソ β スケール擾乱であり、後に詳しく述

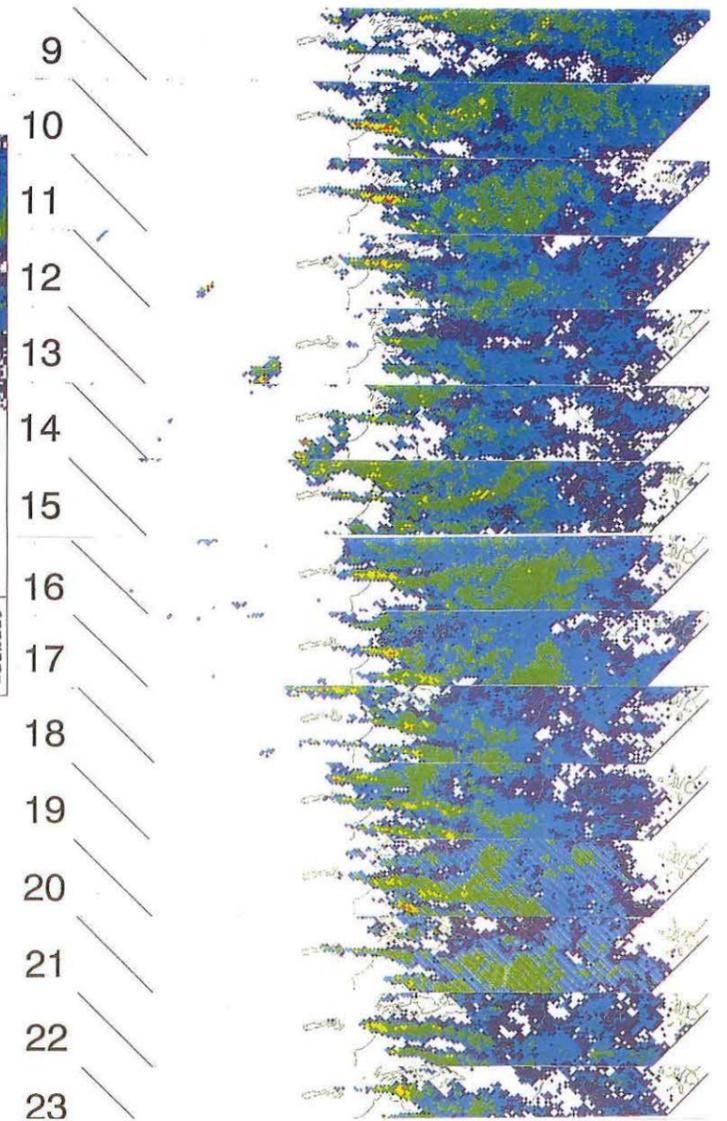


図7. 甕島下流のレーダエコーの時系列

べるように甌島の地形による強制上昇で生じた帯状降水雲である。主帯状擾乱では活発な対流活動が起っており、組織化された強い上昇流が生じるため、その周辺は弱い補償下降流場になっており、本来ならば降水雲は見られないはずである。ところが実際には主帯状擾乱の南側では、甌島の下流ばかりでなく、桜島・開聞岳・紫尾山・高隈山などの下流にも帯状降水雲が生じている。また、主帯状擾乱の中に見られる微細構造も、五島列島・天草諸島・阿蘇山などの強制上昇流によるメソβスケール帯状擾乱と考えられる。

7月9日9時~23時の甌島の下流に生じたメソβスケール帯状擾乱の時間変化を図7に示す。この間殆ど途切れることなく帯状降水雲が存在するが、特に10時~11時、17時~20時には時間降水量にして60mm以上の降水に相当する強いレーダエコーが見られる。

2.3 出水・阿久根における降水

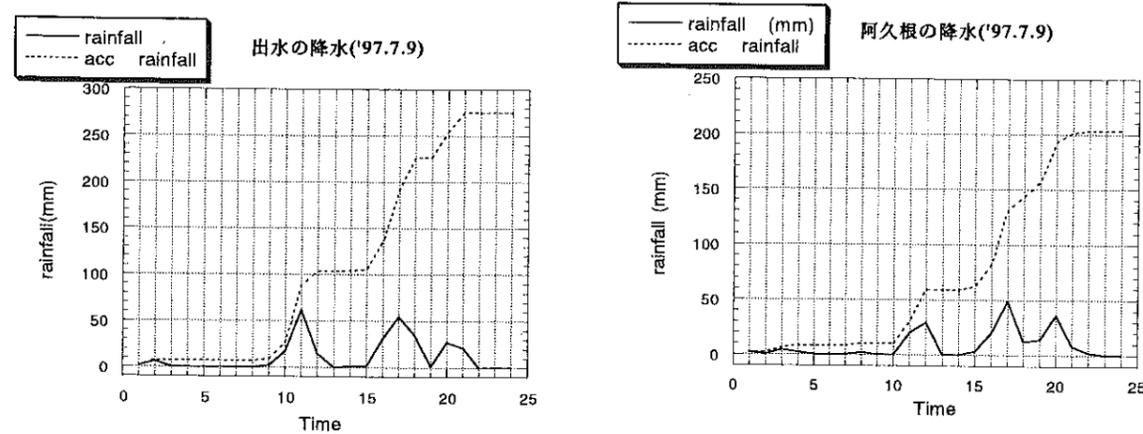


図8a. 7月9日出水における1時間降水量の時系列 図8b. 7月9日阿久根における1時間降水量の時系列

図8a、図8bに出水と阿久根における7月9日の1時間降水量および積算降水量の時間変化を示す。両観測点の降水特性は、降水のピークが現れる時刻、時間降水量の点から非常に類似していることが分かる。また当然のことではあるが、降水のピークが現れる時刻は、図7において強いレーダエコーが現れる時間帯と一致している。出水においては8時~9時の1時間降水量62mmが最大であった。またこの日の日降水量は275mmに達し、1979年の観測開始以来の最大値を記録した。一方、阿久根の日降水量は203mmであり、この値は観測開始(1939年)以来第10位の記録である。出水の日降水量については、アメダス観測網展開以前の記録がないため確たることは言えないが、阿久根の降水特性との類似から過去数10年の統計期間をとれば、やはり第10位程度の降水量に相当するのではないかと推測される。この点については、過去の降水記録との対比のところで述べたい。

図9aに7月9日の九州中・南部の日降水量分布を示す。日降水量が200mmを越える、幅約20kmの帯状降水域が西南西から東北東に2本存在するが、これは前節で述べたレーダエコー図に見られるメソβスケール帯状降水雲域と一致している。このことから、これまで述べてきた降水機構が少なくとも1日以上継続した

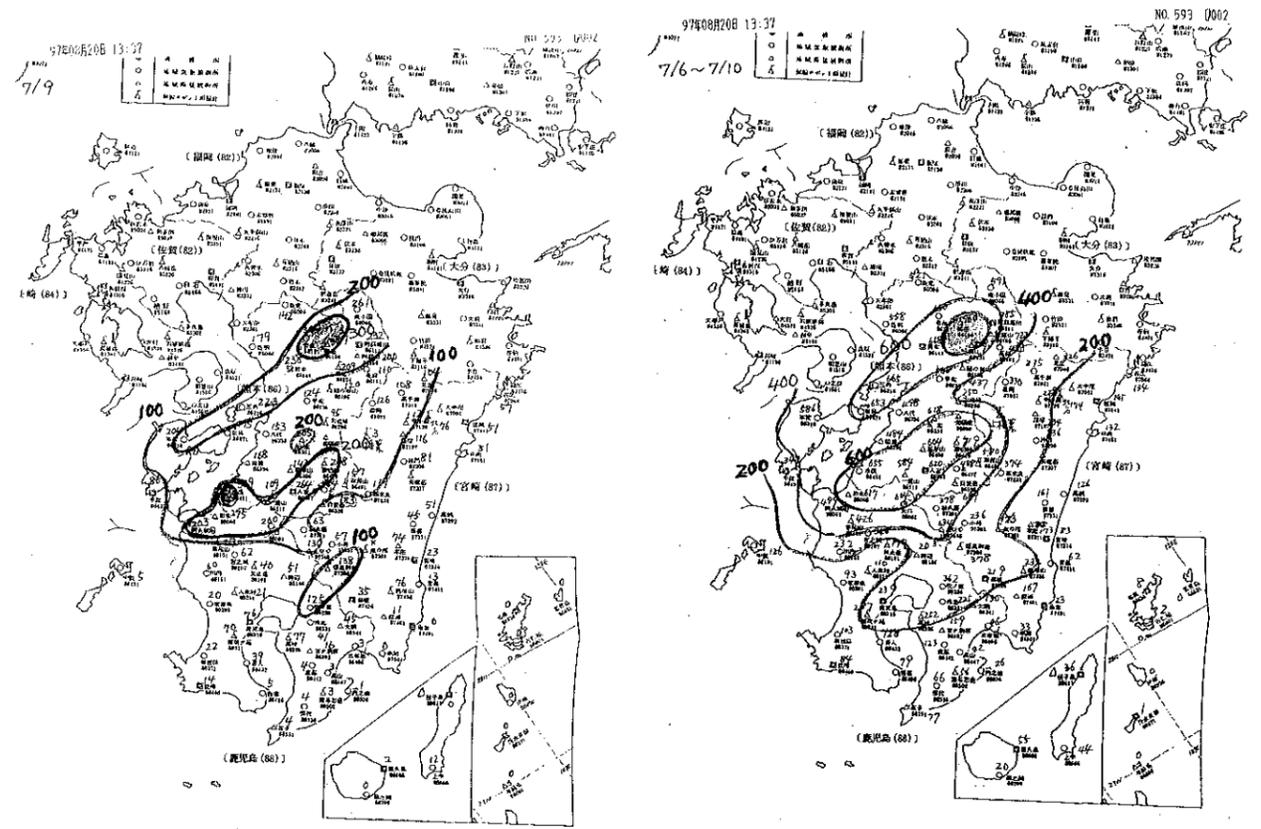


図9a. 7月9日九州中南部の降水量分布

図9b. 7月6日~10日九州中・南部の降水量分布

ことが分かる。

次に、図9bに7月6日~7月10日の九州中・南部の降水量分布を示す。降水量分布は図9aに類似している。この図から、同様の降水機構が5日以上継続したと推測される。総降水量600mm以上の帯状降水域の幅は約30kmで、図9aの帯状降水域よりも広がっているが、梅雨前線位置の揺らぎと梅雨前線に吹き込む南西風の風向の揺らぎによるものと解釈できるだろう。なお、各地の総降水量は出水617mm、阿久根499mm、水俣655mm、熊本県北部の鞍岳では実に960mmにも達している。

3 甌島の地形強制効果

図10に7月9日9時における、鹿児島の高層気象観測データを示す。対流圏下層(地上~700hPa面)では風速約15m/sの強い西南西の風(風向235°)が流入している。気温と露点温度の鉛直分布から、対流圏全層にわたりその差は3℃以内で非常に湿っていることが分かる。

帯状降水雲を生じていると思われる下甌島の地形の、下層風向の走向に沿う断面をとったのが図11である。甌島の山々の海拔高度は、青瀬岳の510.8mを筆頭として高々数100mだが、何れもコニーデ型の火山で勾配は急である。この地形的特徴が、その場で降水雲を作らずに島の下流に帯状降水雲を作るのに寄与している。7月9日の風速から、甌島の地形によって強制される上昇流を見積もると3m/sとなる。一方、エマグラム(図

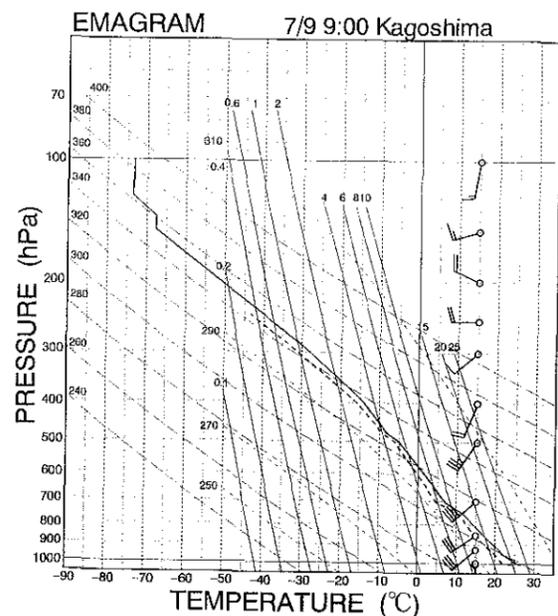


図10. 7月9日09時鹿児島島のエマグラム

10) から、地上500mの高度にある空気塊は地上1kmで凝結高度に達することが分かる。これらの値を用いて計算すると、甌島の下流3km付近から強制上昇による対流雲が発生することになり、レーダ観測の結果と矛盾しない。湿潤な空気塊が凝結を起こすと潜熱を放出し上昇流を加速する。以上の機構によって、甌島の下流に帯状の対流性降水雲が発達したと考えられる。

ところで、山岳の高度が凝結高度を遥かに越える場合には、地形による強制上昇流は風下に帯状降水雲を発達させることなく、風上で対流雲を発達させ多くの降水をもたらす。屋久島の降水がその好例である。

4 過去の降水記録との対比

4.1 日最大降水量

出水に関する降水記録は1979年以降のものしか利用できないので、ここでは降水特性が類似した阿久根の降水記録を基にして、今回の豪雨と過去の豪雨の比較を行うことにする。表1に阿久根における最大日降水量第10位までの降水量・起生日・気象状況を示す。このうち気象状況が不明となっているのは、戦中・戦後の混乱期で天気図が残っていないため、梅雨前線の位置が特定できなかった例である。

過去の日降水量10位の内、5~6例までが今回の降水機構と同様の気象状況の下で起こっている点に注目すべきである。更に、気象状況にとどまらず降水機構そのものが同じであったことが、降水量分布から推測できるが、個別の事例については後に述べる。

他の特徴的な点は、鹿児島県の他の地域では多い台風時の豪雨が2例しかないことであろう。これは、甌島との位置関係と後背山地の斜面の向きによると考えられる。九州に豪雨をもたらす台風のコースは、台風

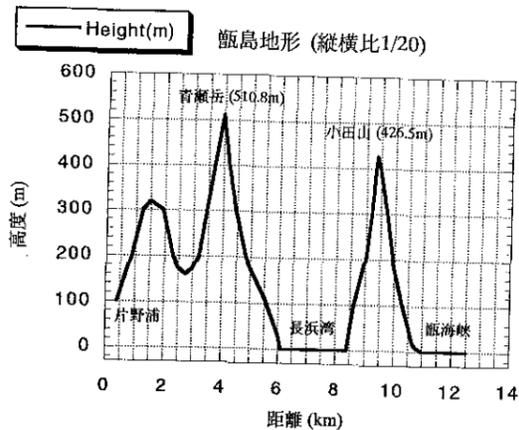


図11. 下甌島の地形 (走向は235°)

が九州西海上を北上する場合で、この時の風向は南東または南となるため、台風時の豪雨は南向きまたは南向きの斜面を背後に持つ地域に集中する。出水や阿久根の後背山地の斜面は西向きで、通常の台風のコースでは豪雨にならず、2例はむしろ台風が希なコースを辿った場合と言えよう。この例についても後に述べる。

また、梅雨前線の停滞に伴う豪雨が1例もないことは、この地域の大きな特徴である。前線付近の風のベクトルは前線に平行な成分が大きく、甌島の地形強制による帯状降水域が出水や阿久根に掛からないためと考えられる。

表1. 阿久根における日降水量の極値と起生時の気象状況 (1939年~1997年)

順位	起生年月日	日降水量(mm)	気象状況・その他
1位	1971.07.23	555.5	梅雨前線が九州北部にかかる
2位	1976.07.19	389.0	台風9号 (Therese)
3位	1953.07.18	299.1	不明 (梅雨前線が九州北部にかかる)
4位	1990.06.30	242.5	梅雨前線が九州中・南部にかかる
5位	1979.06.28	239.0	梅雨前線が九州北部にかかる
6位	1972.06.17	237.0	低気圧が九州南西海上から接近
7位	1969.06.29	235.5	梅雨前線が九州北部にかかる
8位	1942.06.14	234.5	不明
9位	1989.07.28	228.0	台風11号 (Judy)
10位	1959.07.14	220.5	梅雨前線が九州北部にかかる

4.2 個別の事例に関する解析

4.2.1 梅雨前線が九州北部に停滞あるいは九州北部から中南部に南下した場合

A. 1971年7月23日 (日降水量555.5mm、第1位)

7月23日朝には梅雨前線は九州北部に停滞し、その後ゆっくり南下した。太平洋高気圧の勢力は強く、一方台風18号は沖の鳥島の南方海上を西北西に進んでいた。このため、亜熱帯の湿潤な暖気が継続して九州地方へ流入した。阿久根では日降水量555.5mm、1時間降水量106mmの記録的な豪雨となった。このため、阿久根市では死者・行方不明者10名の被害があった。図12に7月21日~24日の鹿児島県における降水量分布を示す。出水・阿久根付近には帯状降水域が見られるが、その走向は西南西から東北東であり、降水の殆どは7月21日のものであることから、この例も今回の降水機構と同じ機構によるものと推定できる。鹿児島県中南部における降水は22日以降のものである。桜島と高隈山の東側にも200mm以上の帯状降水域が見られるが、その走向が東西であることに注目すべきである。

B. 1953年7月18日 (日降水量299.1mm、第3位)

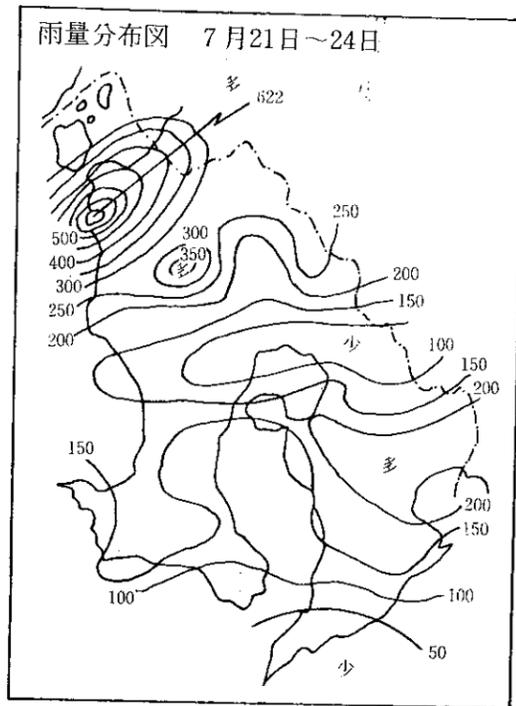


図12. 1971年7月23日の降水量分布

梅雨前線が九州北部から九州南部まで南北に振動した。7月16日～20日の鹿児島県における降水量分布を図13に示す。出水・阿久根付近では400mm以上もの帯状降水域が見られるが、今回と同様の降水機構によるものと思われる。また、鹿児島県中部の福山付近でも5日間で300mmを越える強い降水があった。

C. 1969年6月29日（日降水量235.5mm、第7位）

梅雨前線は7月29日には対馬海峡まで北上した。この時、出水・阿久根付近で豪雨があり、6月28日～7月2日の積算降水量は600mm以上になった。梅雨前線は30日朝にはゆっくり南下し、九州中部に停滞した。この時には県中部で豪雨となり、鹿児島市では時間降水量（6時32分～7時32分）62.5mmを記録した。図14に6月28日～7月2日の鹿児島県における降水量分布を示す。

4. 2. 2 台風の接近・通過による場合

D. 1976年7月19日（日降水量389mm、第2位）

台風9号（Therese）の接近によるもので、台風の進路を図15に示す。この台風は19日9時ころから鹿児島県西海上で進路を東向きに変え、ループを描いて西進した後消滅するという特異なコースを辿った。このため鹿児島県では、台風が運ぶ湿潤な暖気の流入方向が南から南西・西へと変わり、山地の南斜面ばかりでなく西側斜面でも多量の降水があったものと思われる。図16に7月16日～7月20日の鹿児島県における降水量分布を示す。出水・阿久根付近で帯状降水域の幅が広がっているのは、流入する風向が台風の位置に伴って変化したためと解釈すべきであろう。

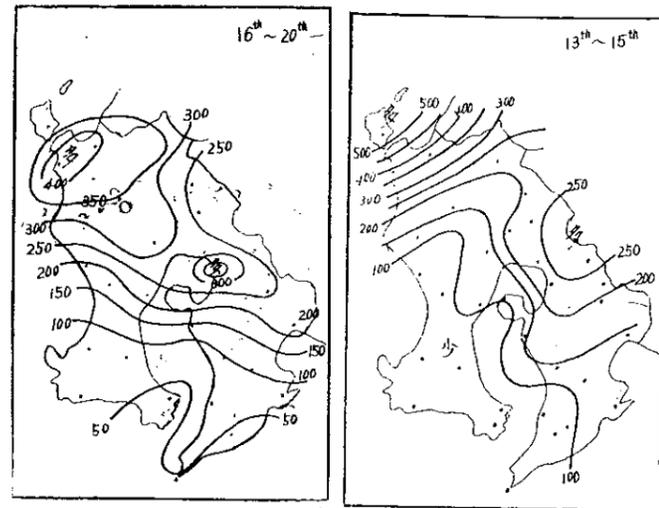


図13. 1953年7月18日

図14. 1969年6月29日

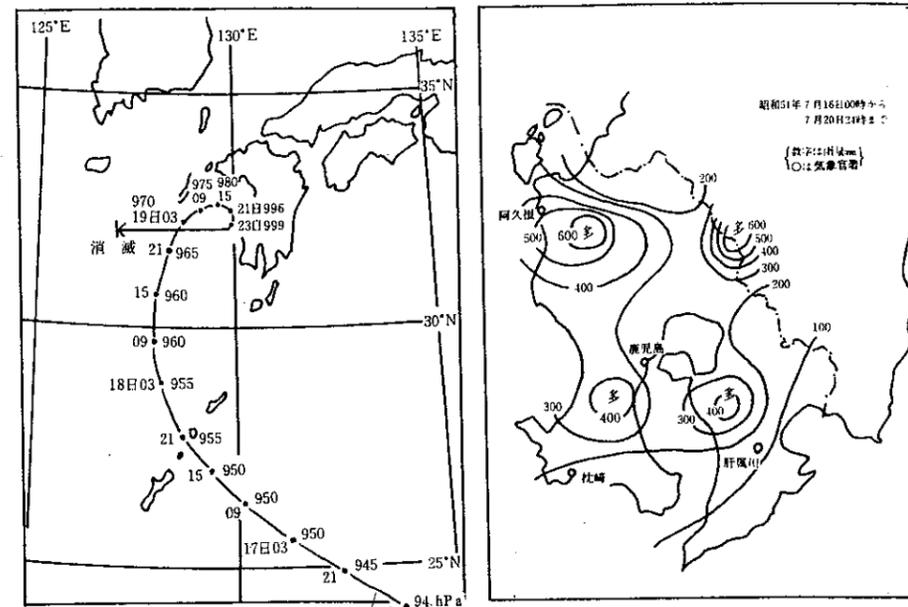


図15. 1976年台風9号の経路

図16. 1976年7月16日～20日の降水量分布

5 まとめ

1997年7月上旬の九州中・南部の豪雨について、7月9日の降水を中心に解析を行った。使用した資料は地上天気図、高層天気図、高層気象データ、アメダスデータ、気象衛星写真、レーダエコー図、国土地理院発行5万分の1地図、鹿児島県災異史などである。解析の結果明らかになった事実を以下に列挙する：

- (1) 7月9日を中心に出水・阿久根付近に豪雨をもたらした機構は、九州北部に停滞する梅雨前線に向かって流入する温暖で湿潤な南西風が、甌島の地形によって強制上昇を受け、甌島下流にメソβスケールの帯状降水雲を作り、この気象状況が長時間持続したためである
- (2) この豪雨機構は、出水・阿久根付近ではしばしば起こっていると考えられる。阿久根における日降水量10位の内、この豪雨機構によると思われるものは5～6例にもなる
- (3) 一連の降水で総降水量が数100mmに達することも、出水・阿久根付近では珍しくない。因みに今回の豪雨は、阿久根の日降水量で見れば第10位の記録である
- (4) 出水周辺のカレ沢で表層崩壊が起こったのは最近では1972年であり（鹿児島大学農学部・下川悦郎教授との私信による）、6月17日の豪雨によると思われる。この時、阿久根では日降水量は235.5mmで第6位の記録に止まるものの、1時間降水量は107mmに達し第1位の記録となっている。

6 参考文献

新野宏、守田治：バンド状降水雲による大雨—1997年7月10日鹿児島県出水市の土石流に関連して—、1997年自然災害学会講演要旨、1997年10月18日
 鹿児島県、鹿児島地方気象台：鹿児島県災異史、1967年3月20日
 鹿児島県：鹿児島県災異史、1994年6月12日

1. はじめに

1997年7月7日から10日にかけて梅雨前線は北部九州に停滞，南部には太平洋高気圧が居座り，長期にわたって湿舌から湿った空気の供給が続いていた。鹿児島県最北部熊本県境にある出水市でも7月7日未明から雨が降り始め，9日になって時間雨量60mmに達するような豪雨が午前10時頃と午後4時頃と波状的に襲ってきた。10日深夜，雨が小休止になった午前0時50分頃，出水市境町針原地区にある針原川で土石流が発生した。その時の累計雨量は397mmである。土石流は針原の集落を直撃，住家16棟，非住家2棟を押しつぶし，赤ん坊や幼児を含む21名の犠牲者を出してしまった。また，ミカン畑にも多大の損害を与えた。

針原地区は鹿児島・熊本県境にそびえる矢筈岳の西麓にあり，鮮新世～更新世の北薩新期火山岩類が広く分布している。この時期の火山岩類分布域では，小規模な地すべりが稀に見られるものの，一般には大規模な崩壊や土石流が発生することはほとんどない。そのため，あまり警戒していなかったことは事実である。したがって，本災害の地質・地形的素因を明らかにしておくことは，火山岩類分布地域の今後の防災対策にとってきわめて重要であると考えられる。

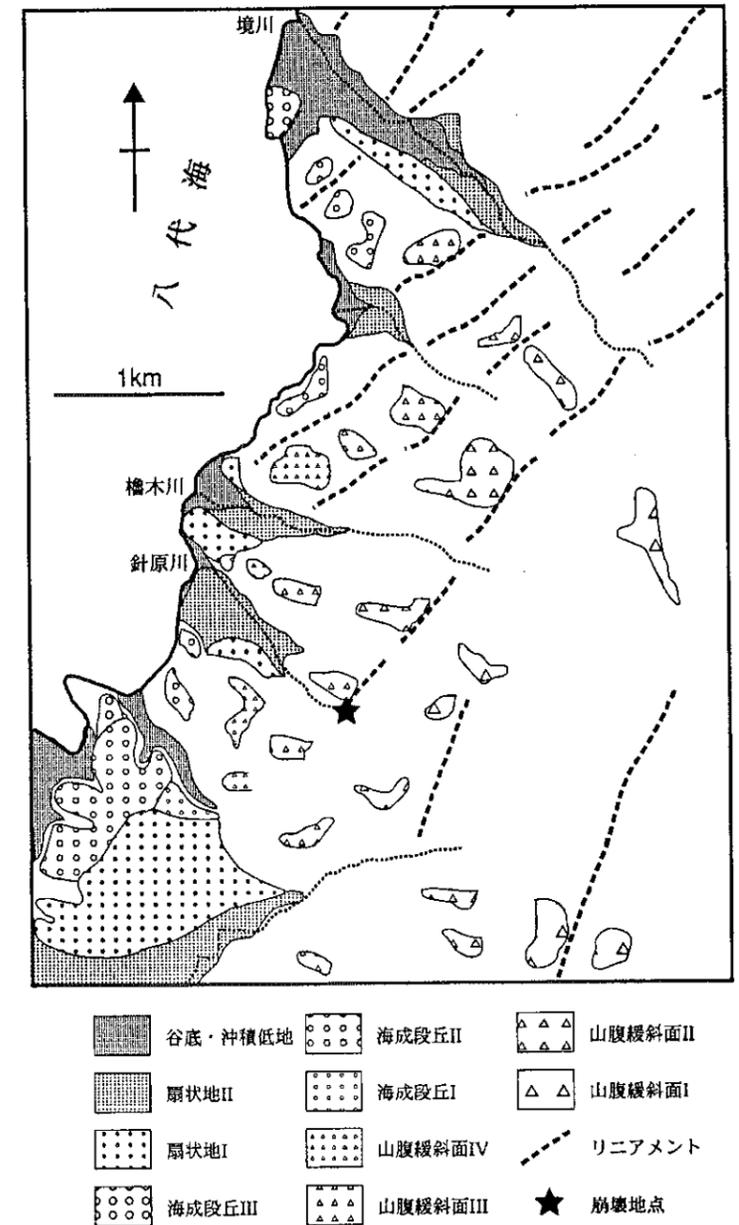


図1 針原地区周辺の地形分類図

2. 針原地区周辺の地形

出水市針原地区は、鹿児島県北西部の熊本県との県境に近い、八代海と矢筈岳の山塊がもっとも接近するところに位置する。この付近の地形分類図を図1に示す。この付近は、沖積低地の発達が悪く、急斜面の山地が海岸まで迫っているために広い平地が見られず、針原地区およびその周辺の集落は矢筈岳の中腹に発する小河川が作る扇状地上に位置している。扇状地は一部段丘化しており、少なくとも2段に区分できるが、比高差は小さい(土石流による被災家屋の多くは高位の扇状地面上にあった)。一方、分布面積は狭いが、おそらく海成と考えられる段丘面が八代海に沿って点在する。これらは少なくとも3つの面に区分されるが、その形成年代などについての資料はなく、詳細は不明である。また、矢筈岳の山腹には成因不明の緩斜面が点在している。これを便宜的に山腹緩斜面と呼ぶ。これらは分布高度によって少なくとも4つに区分できる。

針原地区周辺では、水俣南断層群(活断層研究会, 1980)と呼ばれる、北東-南西方向にのびるリニアメント群が発達している。リニアメントは海岸に平行して7~8本認められる。リニアメントそのものは、針原地区より北部の地域の方が明瞭である。これらのリニアメントは海成段丘および山腹緩斜面の一部を変位させているように見えるので断層であると考えられるが、その活動時期については明かでない。今回の土石流の発生原因となった崩壊は、リニアメントの延長上で発生した。

崩壊は、ほぼ東西にのびた尾根の南側斜面で発生したが、この尾根はリニアメントを境に緩傾斜の面を作っている。この緩傾斜面を作る堆積物は、崩壊地上部に露出しているような亜円礫~亜角礫の巨礫である(写真1)。恐らく断層凹地を埋めた崖錐堆積物ないしマスマーブメント堆積物ではないかと考えられる。いずれにせよこの緩傾斜面の形成にはリニアメント(断層)が深く関わっているらしいが、その詳細については全くわかっていない。今後より詳しい研究を行う必要がある。

3. 矢筈岳の地質

矢筈岳は鮮新世~更新世の矢筈岳火山岩類(山本, 1960)に

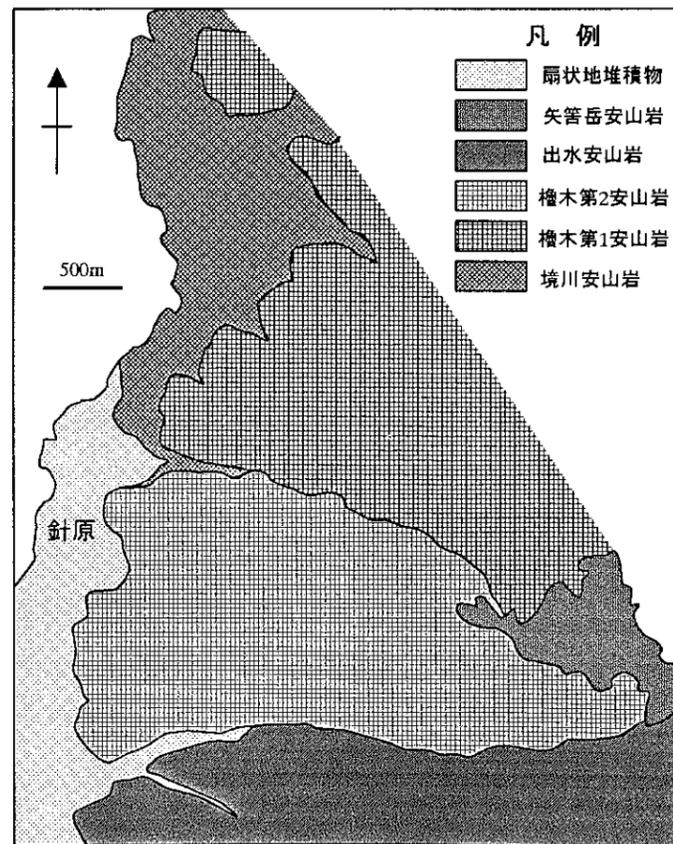


図2 矢筈岳西部の地質図(山下,1976を簡略化)

属す輝石安山岩溶岩および同質火砕岩からなる。山本(1960)によれば、矢筈岳火山岩類は、紫蘇輝石質岩系に属し、捕獲岩や捕獲斑晶を含むことが稀で、やや塩基性であり、混成作用・同化作用の影響が比較的弱く、 K_2O/Na_2O-SiO_2 図上で、世界・日本のカルクアルカリ火山岩平均値よりも著しく小さい特徴を有するという。

針原地区に分布するのは山本(1960)の檜木溶岩である。紫蘇輝石普通輝石安山岩からなる。山下(1976MS)はこれを下位より灰色粗粒な檜木第1安山岩と灰白色~暗灰色細粒緻密な檜木第2安山岩とに分けた(図2)。針原には後者が分布する。主として火山角礫岩および溶岩からなる。

4. 矢筈岳火山岩類の風化と岩塊の生産

矢筈岳火山岩類は第四紀以降ずっと地上にあって風化にさらされていた。そのため風化が著しく粘土化が進んでいる。とくに火山角礫岩の基質部分が軟質化して、角礫だけが突出していることが多い。山腹斜面は侵食が激しいから、基質が侵食し去られて角礫だけ洗い出されて散在している(写真2)。これらが土石流岩塊の生産につながった。また、溶岩のところでも球状風化(玉ねぎ風化)が発達し、玉ねぎ構造が随所で見られる(写真3)。この玉ねぎの核である直径数10cmのコアストーン(玉石)もやはり岩塊の生産に寄与した。実際、今回発生した土石流岩塊の中にも玉ねぎの皮(風化殻)が付いたものが多数認められた(写真4)。

このような現地生の風化残積物と共に、前述のような山腹緩斜面の堆積物が、矢筈岳の山麓や斜面に広く分布しているらしい。これらが土石流の素因を構成していたと考える。実際、矢筈岳を刻む河川はいわゆるガレ沢で、ほとんどすべて土石流溪谷である。檜木川などは海岸部への土石流堆積物の押し出しが認められるし、米ノ津町は江良川の土石流扇状地である。

5. 崩壊斜面

崩壊地は、元々若干凹型をした斜面にあり、幅約80m、長さ約150m、崩壊深約30数mである(写真1)。向かって右側下方には風化した岩盤が見られ、その上に上記のマスマーブメント堆積物が載る。両者の境界、つまり不整合面は走行 $N60^{\circ}\sim 80^{\circ}E$ 傾斜 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}NW$ である。低位置ほど傾斜が緩い。面上には真西へ $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の条線が付いている(図3)。このような低角の横ずれ断層は存在し得ないし、崩壊斜面は真西へ向いており調和的であるから、マスマーブメントに伴う擦痕であろう。その後の復旧工事に伴い向かって左側尾根部に取り付け道路が建設され露頭ができたが、いずれも岩盤であったから、この部分だけ溝状にマスマーブメント堆積物が詰まっていたのであろう。断層凹地を埋めたと述べた根拠の一つである。つまり、今回の崩壊は古いマスマーブメント堆積物が再活動したものである。

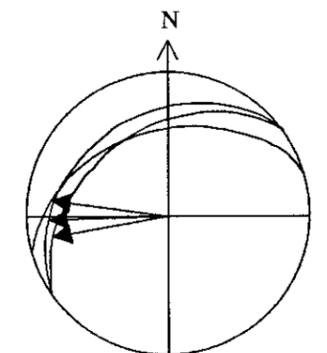


図3 擦痕のシュミット網下半球投影

6. 斜面崩壊と土石流

崩壊直後の空撮写真を見ると、かなり地下水が噴き出している。長雨で浸透した水が凹型地形の谷部に集まり、マスムーブメント堆積物下面から噴き出して崩壊したと思われる。崩壊した土砂はすぐ下流に存在した農業用溜池になだれ込み、水を得て流動化した。その土量は約 20 万 m³ と見積もられている。土石流は、まず溜池正面の小台地に乗り上げ、ついで砂防ダムを埋め尽くすと共に、右岸側斜面に乗り上げた。その勢いで直進し針原の集落を直撃したのである。なお、針原川は土石流危険溪流と指定されていたため、砂防ダムが建設中でほぼ完成に近かった。不幸中の幸いと言えよう。もしもこれがなかったら、土石流は海岸まで達し、被害を一層壊滅的なものにしていただろう。

引用文献

活断層研究会(1980)：日本の活断層。東京大学出版会、363pp.

山下好幸(1976)：鹿児島県出水市南部の地質。鹿児島大学卒業論文(MS)

山本 敬(1960)：肥薩火山区の火山地質学的並びに岩石学的研究。九州工業大学研究報告,1-87.



写真1 崩壊地頭部

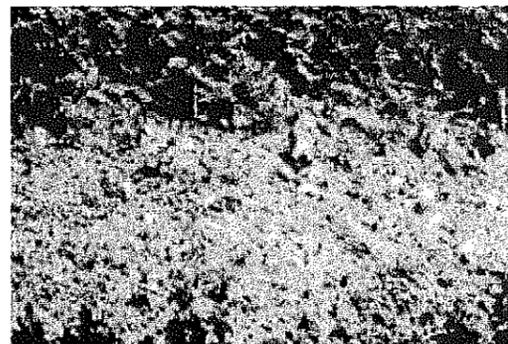


写真2 斜面上に点在する岩塊



写真3 安山岩の玉ねぎ風化

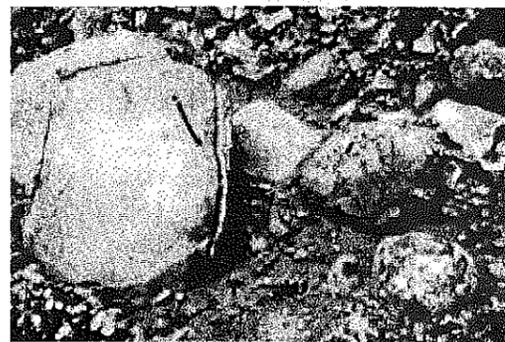


写真4 土石流岩塊に含まれているコアストーン

出水市・針原川土石流災害

鹿児島大学農学部 下川 悦郎・地頭蘭 隆

九州大学農学部 小川 滋

1 はじめに

7月に入り停滞し活発な活動を続けた梅雨前線は九州を中心に西日本の広い範囲に記録的な大雨をもたらした。九州地方では6日の降りをはじめから14日までの累積雨量が、平地部の多いところで600mm、山間部の多いところでは1000mmを突破した。この豪雨で、長崎県佐世保市で地すべり災害(7日)、鹿児島県出水市で土石流災害(10日)、熊本県益城町で斜面崩壊災害(11日)、兵庫県宝塚市で斜面崩壊災害(13日)、熊本県坂本村で斜面崩壊災害(15日)、長崎市で斜面崩壊災害(19日)と、土砂災害を中心に各地で豪雨による災害が相次いで発生した。

これらの災害で最も大きな被害をもたらしたのは、鶴の渡来地として世界的に知られている出水市で7月10日深夜発生した土石流災害である。ここでは、この災害の発生過程、自然的背景および発生場予測の可能性について検討する。

2 被災地と被害状況の概要

災害が発生した場所は出水市境町針原地区である。ここは、熊本県との県界に近い鹿児島県の北西部、矢筈岳(火山、標高687m)の山麓に位置する。針原川はその西側中腹部(最高点標高445m)から八代湾に向かって発し、本川と支川の二つの沢からなる小河川である。その流域面積は1.55km²である。流域の地形は、谷沿いに傾斜30度程度の急斜面が一部にみられるが、全体としては緩やかである。地質は中生代白亜紀の堆積岩類と、それを覆って分布する第四紀更新世の火山岩類からなる。下流部の緩傾斜面は扇状地堆積物が占める。中・下流域の谷沿いの斜面と扇状地は柑橘果樹園として広く利用されている。被害を受けた針原地区は扇状地上に位置している。

この災害によって、21名という多数の尊い人の命が奪われたのをはじめ、重軽傷者13名(うち重傷者2名)、住家の全半壊19棟(うち半壊1棟)、住家浸水21棟、非住家被害13棟など、針原地区は大きな被害を受けた。このほか被害は農業、商工業、公共土木施設など広範に及んでいる。被害額は47.5億円に達している(鹿児島県総務部消防防災課)。鹿児島県で1個所でこのような多数の死者を出した例は珍しく、最近では1993年9月3日の、20名の死者を出した日置郡金峰町大坂の斜面崩壊による災害があげられる(下川ら 1994)。また、規模の大きな斜面崩壊の例としては、9月20日日置郡日吉町毘沙門の災害がある(下川ら 1994)。

3 災害をもたらした雨の概要

7月6日ごろから九州北部に停滞した梅雨前線に向かって南西から水蒸気を多く含む温かい気流体がつぎつぎと流れ込み、南西海上から九州中部にかけて厚い雨雲を発達させた。これが今回の豪雨の気象的背景である。

図1は、気象庁の出水地域雨量観測所および水俣地域気象観測所における6日から10日までの時間雨量と累加雨量の時間的変化を示したものである。出水地域雨量観測所は針原地区の災害現場から南南西約5km地点にあり、水俣地域気象観測所は北北東約10km地点にある。出水地域雨量観測所における6日の降りはじめから10日未明の災害発生時までの累加雨量は401mmである。9日には9～12時、15～17時、19～20時の3回のピークがあり、それぞれの最大時間雨量は62mm（10～11時）、55mm（16～17時）、27mm（19～20時）である。一方、水俣地域気象観測所における6日から10日未明までの累加雨量は518mmであり、9日は9時から24時まで降雨が継続し、その間の最大時間雨量は47mm（14～15時）である。両地点の距離は約15kmであるが、降雨の時間変化はかなり異なっている。

図2は、6日から9日までの気象庁の各地の雨量データを用いて作成した総雨量と最大時間雨量の等雨量線図である。総雨量は水俣から人吉にかけて多いが、降雨強度は災害が発生した針原地区から矢筈岳にかけて大きい。

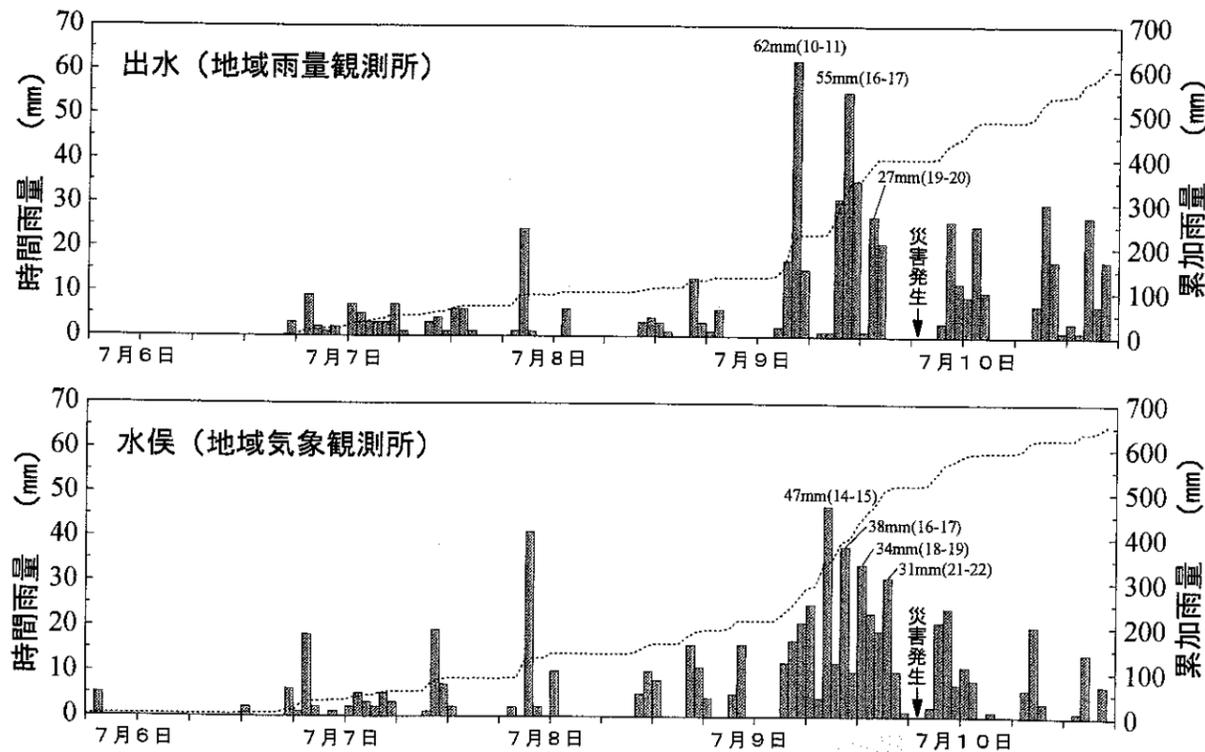


図1 出水地域雨量観測所および水俣地域気象観測所における7月6～10日の時間雨量と累加雨量の時間的変化

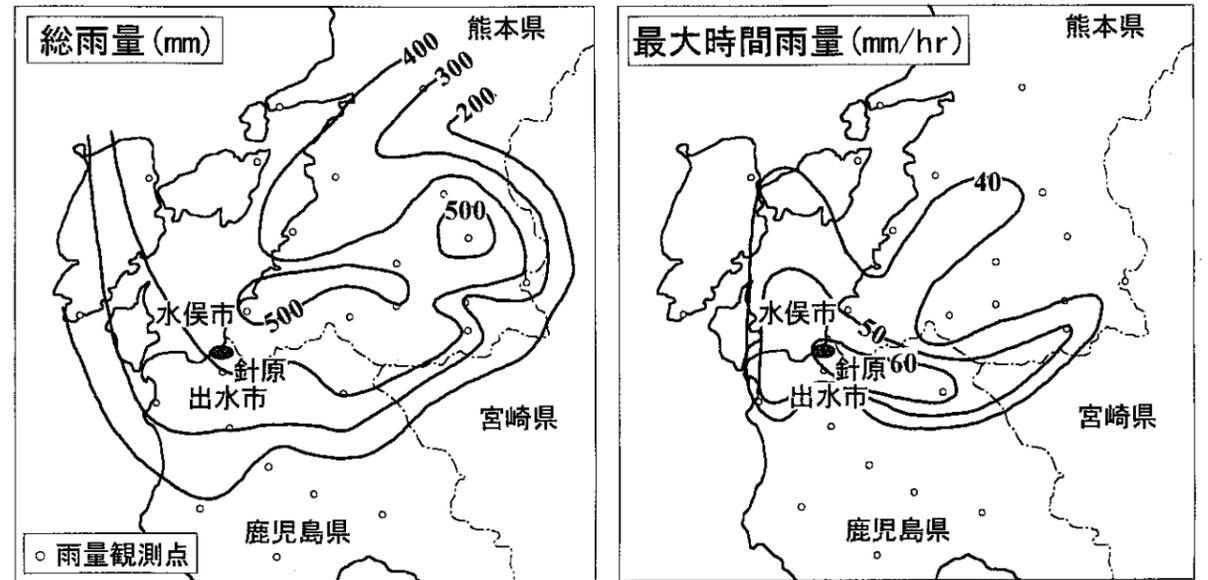


図2 7月6～9日の災害地周辺域の総雨量と最大時間雨量の等雨量線図

4 災害発生過程

関係住民の話によると、10日0時40分すぎ大きな音と揺れが続いた後わずか1分足らずの短い時間に泥水が針原地内に到達したとされており、この災害は、その発端となった斜面崩壊から災害の発生まで連続的かつ非常に短い時間で起きたものと考えられる。以下、災害発生後に残された痕跡と住民の情報を手がかりにして、災害発生の発端となった斜面崩壊から土石流・洪水流、災害発生までの過程を順を追って推察する（図3、図4）。

災害の発端となったのは、後述するように、本流域の右岸側斜面で発生した規模の大きな深層崩壊である。この崩壊は、住民が大きな音と振動を確認していることから、0時40分すぎ発生したと考えられる。これより1時間ほど前の11時半すぎ、住民が針原川上流方向で山鳴りの音を聞き、また針原地区内の下流で河川水の増水（1時間ほど前にくらべ河川の水位も少し増加していた）と異臭を確認していることから、このとき斜面の一部が崩壊したのではないかとの見解もある。しかし、本川流域でこの斜面崩壊以外に河道まで土砂が流入した表層崩壊が2個所で発生しており（図4）、それが11時半すぎの山鳴り、河川の増水および土砂流出に伴う河川水の異臭に結びついたとも考えられ、この見解ははっきりしない。もし、最初の崩壊が11時半すぎに起きていたとしても、それは規模の大きなものではなく、パイピングによる斜面脚部の小規模な崩壊であり、ここで推察する災害発生過程を大きく変更するものではないと考える。

この崩壊による土塊（崩土）は崩壊発生と同時に本川になだれ込んだ。河道に入ると、崩土はあまり乱れることなく、右岸側に湾曲した河道に沿って60～80mの幅で横断方向に5～10mの水位差（移動する崩土の表面の差、左岸側が右岸側より5～10m高い）を保って、約200m下流のため池まで進んだ。ため池に突入すると、崩土は、その一部が目前にある左岸側の小丘にぶつかって乗り上げる一方、その中心部分はため池の水を押し出しながらかつて堤防を破堤させ、少し右に曲がりながら流下した。

このとき、ため池に貯まっていた水量は9000m³程度（平常時の水量は約6000m³）と推定されている（鹿児島県土木部）。このため池から押し出された多量の水は崩土の少し前を先行して流れ、砂防ダムを乗り越えたものと考えられる（ため池から押し出された水はいったん砂防ダムにたまったのち、後続の崩土の流れによって再び押し出されダムを越えたと考えることもできる）。これに崩土の流れが間断なく続き、ダムに衝突、その右岸側袖部を破壊しながらダムを越えた。なお、砂防ダム直下流の両岸斜面とくに右岸側斜面には高い位置まで、樹木や竹がなぎ倒され、樹皮が剥がれ、地表が侵食された痕跡が明瞭に残っている。これは、ため池から押し出された水がダムに衝突し礫（最大径30～40cm）や流木を伴って跳ね上がったとき、あるいは崩土の流れがダムに衝突しダム内に貯まっていた水を跳ね上げたとき、その飛沫によってできたものと考えられる。

小丘に乗り上げた崩土の一部はそこに堆積し、他は本川に流れ落ちた。小丘に堆積した崩土の表面には崩れる前の斜面にあったシダ植物や樹木が点在している。また、この堆積物の上にため池に堆積していたと思われる苔むした玉石が散在している。この堆積物の厚さは厚いところで2m程度である。

砂防ダムの上流側には袖天端を越える高さまで多量の土砂が捕捉された。その土砂の堆積状況を除石の際にできた断面で観察すると、ダム直上流に位置する高さ5mの断面では斜面と同じく赤色強風化層が上位にその下位に風化層があり、攪乱度は比較的小さい。元ため池に位置する高さ6mの断面では土砂が2層にわたって堆積し、その間には土壌や木の破片を挟んでいる（図5）。下位の層は厚さ3.5m以上で、上から土壌層、赤色強風化層、風化層と続き、攪乱度は小さい。上位の層は厚さ2.5mで、下位の層に比較するとすこし乱れてはいるが斜面にあった構造を何とか維持している。また、砂防ダムから上流域に堆積した土砂の上には崩れた斜面に生えていた樹木が生きたままに散在状に保存されている。これらのことから、斜面を離れた土塊は砂防ダムまでは大きく乱されることなく流下したのと考えられる。

砂防ダムを越えた多量の水の流れは100mほど谷を流れ、その下流の扇状地の針原地区に氾濫し、土石流に少し先行して集落を襲ったものと考えられる。この洪水流で家と住民が流された。この住民の中には下流方向に100～200mほど流されて救出された人もいる。一方、崩土の流れの先端はダムに衝突したときかなり攪乱され、土石流化して流動性を増しダムを越え、洪水流に続き針原地内の住宅地と柑橘園に氾濫堆積した。しかし、土石流は洪水流で住民が流された位置までは到達していないし、到達していてもその流末部分で厚さ数10cmの泥状堆積物である。砂防ダムの下流に氾濫した土砂は砂防ダムに捕捉された土砂と異なり、かなり攪乱されている。その堆積厚は0.5～1.8m（河道部分では3.0～4.8m）である（出水市調査）。なお、一部が破壊した砂防ダムの破片は土砂氾濫域に散在している。

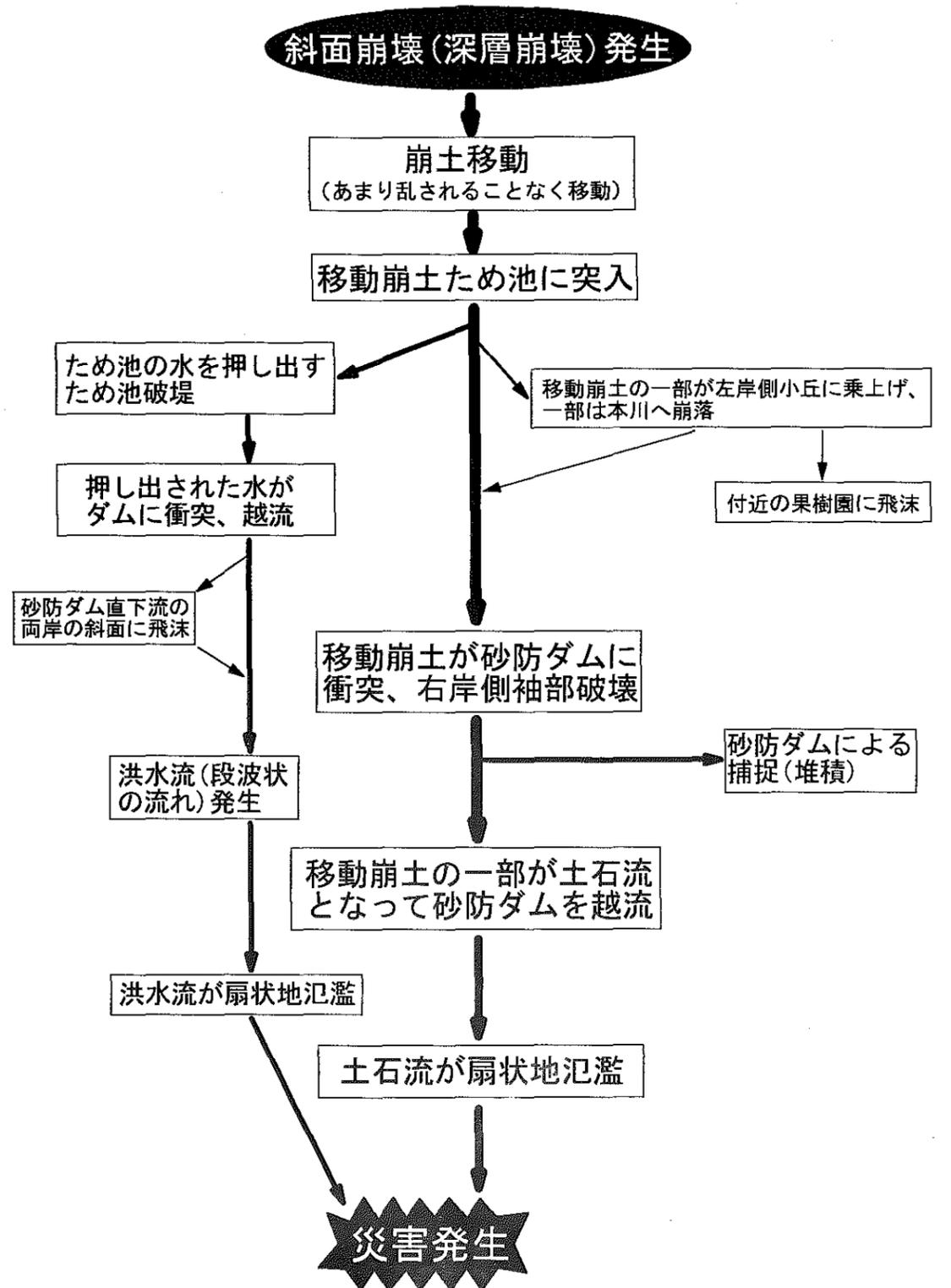


図3 災害発生過程

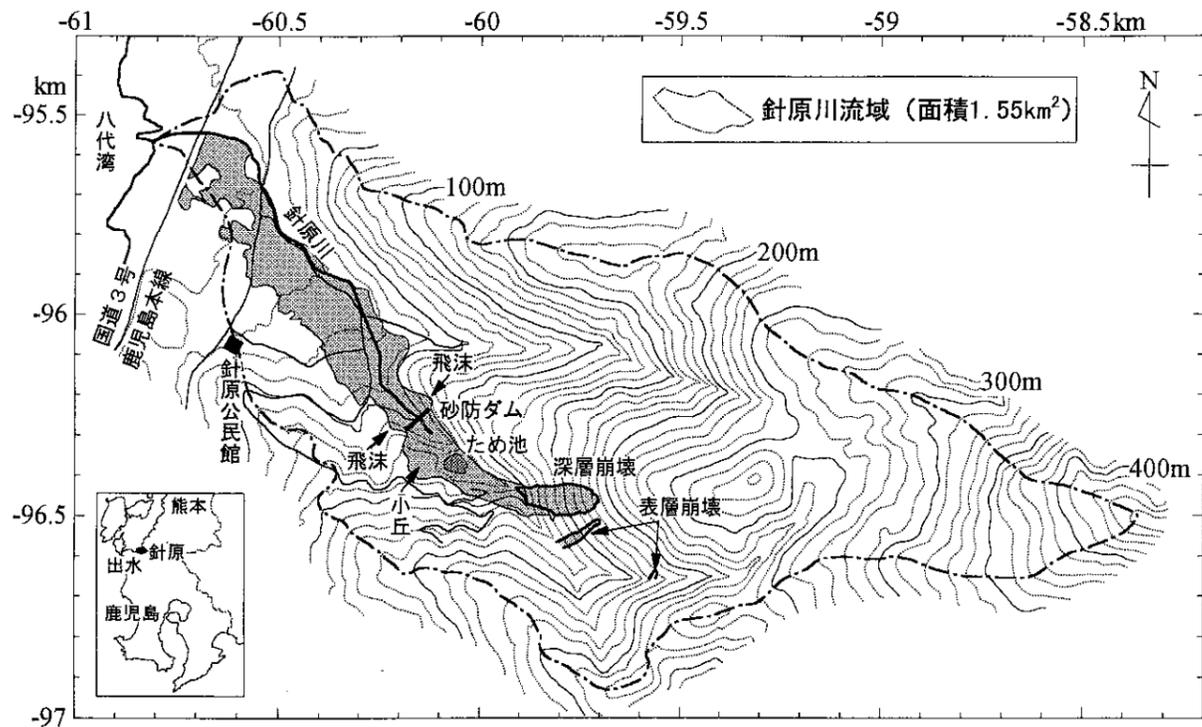


図4 災害地および針原川流域の平面図

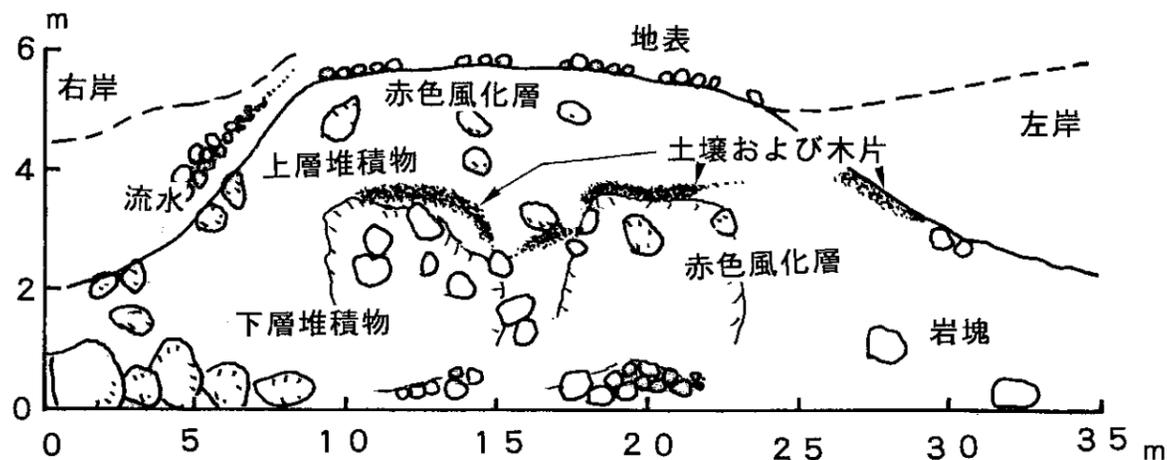


図5 元ため池付近での堆積土砂の横断面図

5 斜面崩壊の発生状況と発生機構

5.1 斜面崩壊の形態と規模

今回の豪雨で針原川流域では、規模の大きな斜面崩壊が1箇所と小規模の表層崩壊が6箇所が発生した。表層崩壊のうち、本川河道まで土砂が流入したのは2箇所の崩壊である(図4)。土石流の発端となった崩壊は規模の大きな崩壊で、針原川本川の中流域右岸側斜面で発生したものである(図4)。この崩壊の形態は深層崩壊である。現地での測量に基づくと、崩壊の規模は最大幅約80m、長さ約190m、最大深(鉛直方向に測った地表から崩壊跡地底面までの長さの最大値)約30m、面積約1万 m^2 、崩壊容量約13万 m^3 である(図6)。なお、崩壊跡地の底には崩壊した土砂の一部が堆積しており、崩壊(すべり)面はこの堆積土砂で覆われている。その厚さは、鹿児島県が行ったボーリングによる地質調査から2~5m程度である。その分、最大崩壊深と容量は上記の値より大きくなると考えてよい。

5.2 崩壊斜面の地形・地質・植生

崩壊前の斜面の横断形状は、斜面下部で微凹、上部で微凸、縦断形は斜面下部で下降型、上部で上昇型を呈する。斜面の平均傾斜は25度程度である。

地質は、凝灰角礫岩が基盤岩をなし、それを風化を受けた安山岩(溶岩)が厚く覆っている(図6)。安山岩の地表面から深さ5-7mまでは赤色の強風化を受けている。それより深い層は風化を受けた部分と受けていない堅固な部分が相互に入り交じって不連続な構造を呈している。風化を受けた部分の中には、水みちや帯水層が関係して還元状態で強風化を受けた部分もある。凝灰角礫岩が不透水層の役割を果たし、絶えず地下水が滞水した崩壊跡地底部付近の安山岩層も同様に還元状態で強風化を受けている。

崩壊斜面に向かって右側には比較的緻密な岩相の安山岩の露頭が現れ、その面には擦痕をもつ鏡肌(走向:ENE~WSW、傾斜:30~50°NNW)が観察される(写真1)。この擦痕の方向は斜面が崩壊した方向と同じである。崩壊地の横断面図(図6)によると、崩壊した斜面に向かって右側では崩壊の端と中央で凝灰角礫岩層に13m程度の落差がある。この落差は侵食によってできた旧谷地形とも考えられるが、明瞭な鏡肌が存在するので、断層によって形成されたものであろう。この断層は西側が東側にたいしずれ落ちたものである。右側部分の明瞭な崩壊面はこの断層に規制されているようである。一方、斜面左側では凝灰角礫岩の埋没地形面の形は不明である。安山岩層は、溶岩のももとの堆積構造を一部に残してはいるが、玉ねぎ状風化が著しく、崖錐堆積物と見間違えうほど粗しょうである。これは、断層によって岩盤が緩みそこに水が浸透して風化が促進されたことによるものと考えられる。また、崩壊斜面左側の崩壊端に近い未崩壊部分にほぼ平行して複数の開口亀裂が走っていることから、今回の斜面崩壊に伴う応力開放も影響しているようである。なお、災害発生直後は崩壊端に近い開口亀裂が拡大する形で小規模の崩落がたびたび起こり、その土砂は深くえぐられた崩壊跡地の底に堆積していた。

崩壊前の斜面の植生は、パルプ用材として植栽されたアカシアとシイ、カシ類、タブノキなどの広

葉樹からなる樹高10数mの自然林である。

5.3 崩壊発生のおくみ

崩壊面の縦断形は、円弧状をなす中・下部と楔状をなす上部を組み合わせた複合形をなす(図6)。一方、横断形は幅にたいし相対的に深さが大きく、また左半分の放物線形にたいし右半分は直線形を呈し非対称である(図6)。右半分の崩壊面は断層面をなぞるようにできたといつてよい。

このような崩壊面の縦横断形から、この深層崩壊は豪雨に伴う斜面深部での地下水水位の上昇のもとで発生したといえる。断層によって地盤の構造が乱れ、そこに水が浸透して永年にわたって岩盤の風化を促したことも、この斜面が大きく崩れた理由である。崩壊地の内部では、基盤をなす難透水層の凝灰角礫岩層が集水しやすい面を形づくっている(図6)。しかも、その面は崩壊斜面部分だけでなく周辺部にも広がり、広域から多くの水をcollectしているようである。このような面上の安山岩風化層の中に多量の地下水がたまり斜面内の間隙水圧が上昇し、その圧力でまず斜面の中・下部が不安定化し円弧状に崩れたものとする。崩壊した斜面に向かって右側の平滑な崩壊面の下部には崩れた方向にいく筋もの擦痕がみられ、この辺で大きなせん断応力が作用したことを示唆している(写真2)。安山岩層は前述したように、辛うじてもとの構造を留めているが、いったん崩れだすと液状化して、そのまま崩土は一気に移動したものと考えられる。斜面の上部の楔部は円弧状の崩壊に引きずられる形で崩落したものであろう。

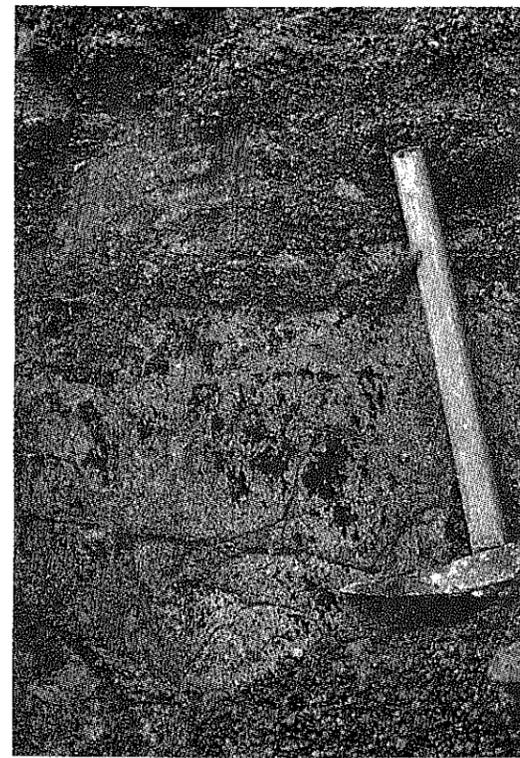


写真1 崩壊跡地に向かって右側の壁面にみられる鏡肌



写真2 崩壊跡地に向かって右側の壁面にみられる擦痕

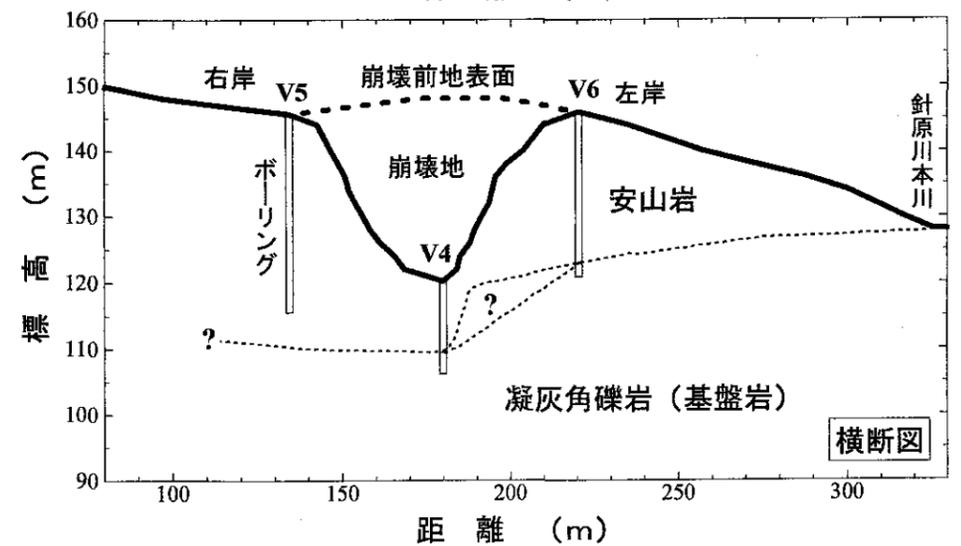
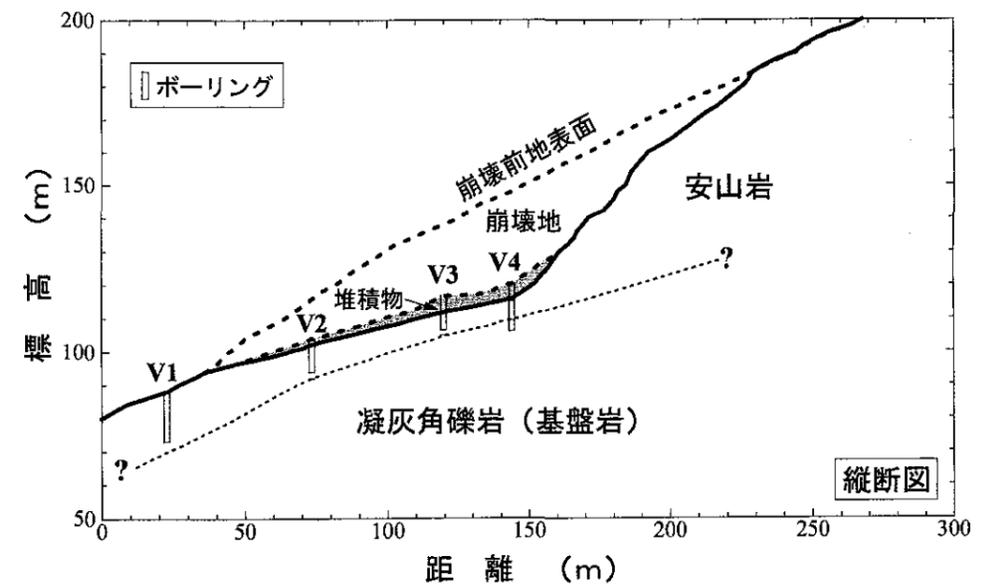
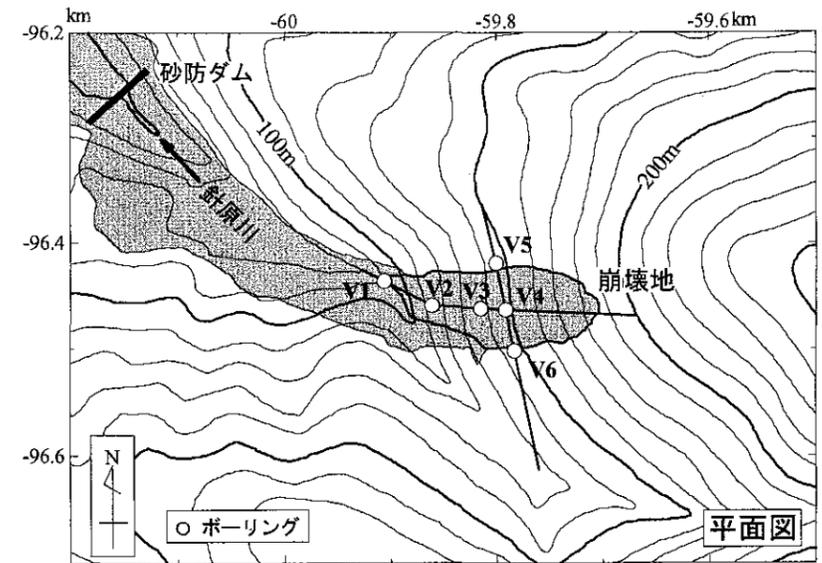


図6 深層崩壊地の平面図、縦断図、横断図

6 災害発生場の予測の可能性

以上の考察から、災害の発端となった深層崩壊の発生を支配している要因として、深層風化、断層地形、埋没地形、山麓緩斜面、地下水などがあげられよう。これらの要因を指標にして深層崩壊発生場予測の可能性について考える。

図7は、空中写真による判読と現地での調査に基づいて作成した矢筈岳火山周辺における深層崩壊跡地の分布図である。崩壊跡地の判読作業には、1965年に建設省国土地理院によって撮影された空中写真を用いた。崩壊跡地と認知された斜面は、規模が今回の崩壊と同程度で、スプーン状に深くえぐられた凹地形を呈し、その脚部に崖錐を発達させた0次谷斜面である。この図には、同じ空中写真から判読したリニアメントも示している。リニアメントは必ずしも断層を意味しないが、断層と断定できるものも含まれる。図によると、崩壊跡地のほとんどが低～中標高域の火山山麓部に分布している。この区域の斜面は傾斜20～30度程度で、侵食により開析が進んだ上流域の斜面と比較すると緩やかであるが、侵食を受ける頻度が相対的に少ないため分厚い風化層を発達させており、これが深層崩壊の発生に絡んでいるものと考えられる。また、崩壊跡地のいくつかはリニアメントに沿って分布しており、リニアメントが深層崩壊の発生に関与していることが伺える。

深層崩壊発生有力な要因の一つとして地下水がある。これについて検討するために、年間では比較的降水量の少ない時期の1998年1月30日、2月6日および13日に、針原川流域を含む矢筈岳の西側山体に位置する14の流域で河川流量と湧水量を観測した。針原川流域では本川と支川の合わせて5箇所を観測を行った（地頭菌ら 1998）。なお、3回の観測日を含む1月25日から2月13日にかけては日雨量で数mm程度の小雨が数回観測されている程度で、観測値は低水時の基底流量に相当すると考えてよい。その結果、針原川の本川流域では河川流量の大部分が今回発生した深層崩壊跡地内から供給されていることが確かめられた。このことは、地下水流出に水文的流域界（埋没地形）を考えなければ地形的流域界（現在の地表面の流域界）では説明できない流出経路が存在することを示唆するもので、前述した深層崩壊地内部の地質状況と調和的である。災害発生直後、崩壊跡地内から多量の地下水が流出していることが確認されており、この斜面は平常時だけでなく豪雨時においても地下水を滞留させていたものと考えられる。また、14流域の流量の比較によると、火山体の緩斜面にはより多量の地下水が賦存していることも確認されている（地頭菌ら 1998）。このように、河川流量は流域内の地下水の分布と移動経路を把握するうえで重要な指標となりそうである。

以上のように、深層風化、断層地形、埋没地形、山麓緩斜面、地下水などの要因は深層崩壊発生場予測の有効な指標になりそうである。これらの指標を抛りどころにして広域から深層崩壊の潜在危険斜面を抽出する、さらにその潜在危険斜面を精査してより危険度の高い斜面を絞り込んでいくといったような手順で深層崩壊発生場の予測が可能と思われる。

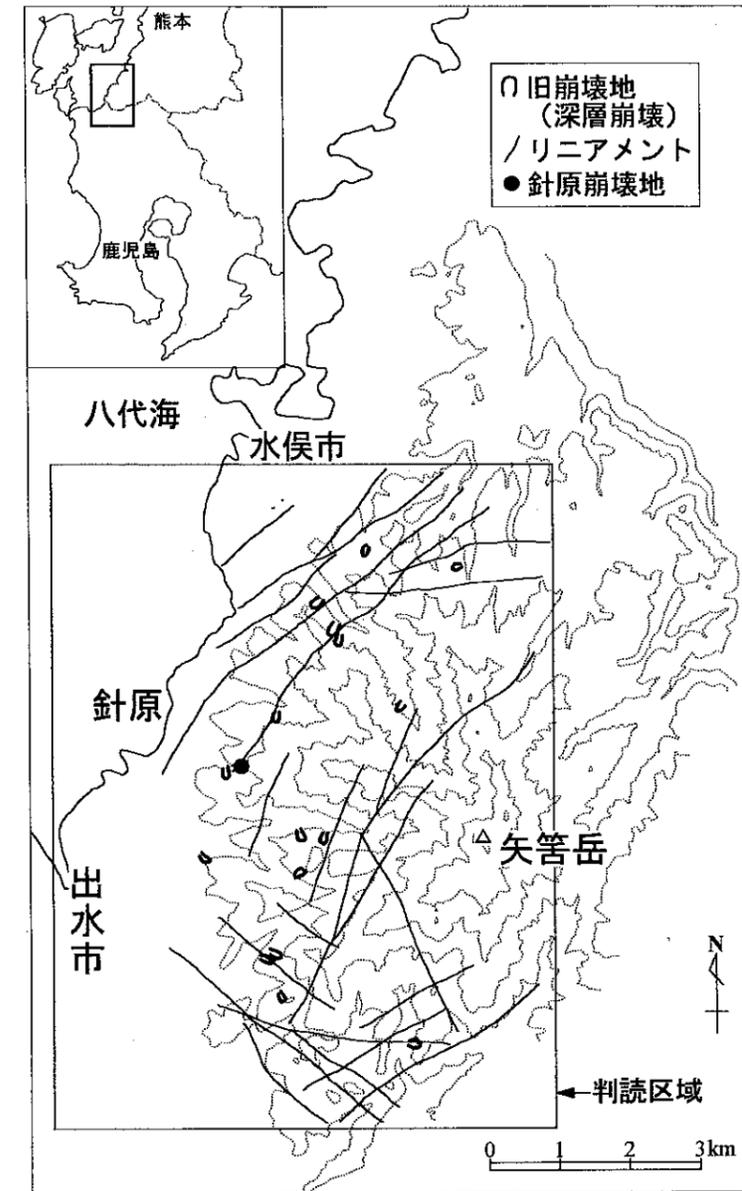


図7 矢筈岳火山周辺における深層崩壊跡地とリニアメントの分布図

7 おわりに

以上、1997年7月10日深夜鹿兒島県出水市境町針原地区で発生した土石流災害の発生過程、自然的背景、発生場予測の可能性について検討した。このような局所的災害にどう対応するか。この種の災害は発生頻度が低く、これまであまり注目されなかったところで発生していることから、まずその実

態を把握する必要がある。過去に発生した事例を調査して、災害の原因となる現象の発生過程やメカニズム、発生場の地質地形などを明らかにする。同時に、現象の発生場（源、拡大域）や規模、発生時期等を予測する。発生場の予測においては、深層風化、断層地形、埋没地形、山麓緩斜面、地下水などの諸要因が、潜在危険地かどうかを判断するうえで重要な鍵になろう。災害の誘因となる気象条件や地震の影響についても検討する必要がある。

現状では、このような局所的災害にたいする防災対策は難しいといえる。それは、発生場所が特定できない、場所が特定できたとしても将来どれくらいの規模の現象が発生するかわからない、からである。かりに規模を想定して砂防ダム等の防災施設を設けても、その能力を上回る規模の現象が発生することも考えておかねばならない。そうすると、警戒避難と土地利用規制による防災の役割が大きくなる。警戒避難には災害危険地の住民と地元行政が密接にかかわっており、災害にたいする住民の関心と積極的対応、行政の働きかけと支援がなければ実施できないし、対策は機能しない。土地利用規制はそれを実施するとなると難しいとされているが、効果のあがる対策であり、積極的に進める必要がある。

この土石流災害では21名という多数の尊い人の命が奪われた。これらの犠牲者のご冥福をお祈りするとともに、ご遺族の方々にたいし心から哀悼の意を表する次第である。また、被災された方々に心からお見舞いを申し上げる。

謝 辞

本文をまとめるにあたっては、鹿児島県土木部、鹿児島県出土木事務所、同農林事務所、出水市役所の各関係行政機関には資料提供や現地の案内など多大のご協力をいただいた。針原地区の関係住民および建設現場の関係者には災害時の情報収集にあたって快くご協力いただいた。さらに、太田猛彦（東京大学大学院農学・生命科学科教授）、谷口義信（宮崎大学農学部教授）、小林哲夫（鹿児島大学理学部助教授）の各氏には現地調査の際に、災害の発生過程や原因に関して有益なご意見をいただいた。以上の方々に深く謝意を表する次第である。

引用文献

- 下川悦郎・地頭菌 隆・松本舞恵・三浦郁人・加藤昭一：1993年豪雨による鹿児島県下の土砂災害、平成5年度教育研究学内特別経費「1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究」報告書、1994、47-59
- 地頭菌 隆・下川悦郎：出水市針原川流域で発生した深層崩壊の水文地形的特性、平成9年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書、1997年7月梅雨前線停滞に伴う西日本の豪雨災害に関する調査研究、1998、39-50

鹿児島県出水市で発生した斜面崩壊発生機構に関する一考察

鹿児島大学工学部	北村 良介
九州大学工学部	落合 英俊
鹿児島大学理学部	小林 哲夫
(株)ダイヤコンサルタント	矢ヶ部秀美
中央開発(株)	高田 誠
(株)中部地質	阿部 廣史

1 まえがき

1997年7月10日未明、鹿児島県出水市境町針原地区で大規模な斜面崩壊とそれに引き続く土石流災害が発生した。本災害に関して、地盤工学、河川工学、地質学、砂防学等の分野からの種々のアプローチがなされている。

本報告では、地盤工学の立場から災害の引き金になった斜面崩壊の発生機構の解明をめざし、次のようなことを行った。

- ・斜面崩壊地点の調査、試料採取、
- ・採取試料による室内土質試験（密度試験、粒度試験、液性限界・塑性限界試験、pF試験、透水試験、一面せん断試験）、
- ・上記の調査、試験結果をもとにした斜面安定解析。

2 試料採取

図-1は崩壊面をスケッチしたものである。崩壊前の地形は勾配が30度程度、緩やかな凸型地形を呈していたようである。崩壊面の地表面付近数mの地盤は赤色風化しており、崩壊斜面に向かって右側すべり面には凸型の形状を示す灰色の安山岩盤（弱風化し亀裂性）が露出しているが、左側斜面は厚い崖錐状の堆積物からなり、丸味をおびた安山岩塊（コアストーン？）と赤色の粘土から構成されている。崩壊斜面の向かって右側下部に露出する安山岩は著しく風化しており、岩体に連続性がないことから、破碎作用を受けた跡と推定される。また暗褐色の鏡肌が随所に認められ、この露頭部分が古い断層破碎帯であることを示唆している。またその表面には削痕をもつ茶色の粘土薄層があるのを、数ヵ所で確認した。削痕の方向は崩壊方向とほぼ同じ東西方向であり、斜面のすべり方向へ傾いているのが観察される。それゆえ今回の崩壊を引き起こした滑り面と考えられる。図-1にSPと記されている崩壊すべり面の右法尻地点で粘土ブロック、および、一面せん断試験・pF試験用の不攪乱粘土試料をサンプリングした。写真-1はサンプリングした粘土を示している。ブロックの厚さは約25cm程度であり、その上層、中層、下層から採取した試料を用いて、室内土質試験を行った。中層は風化の進んだ赤色粘土、上層はそれよりも風化の程度の少ない赤色粘土、下層は風化した灰白色を帯びた赤色粘土である。

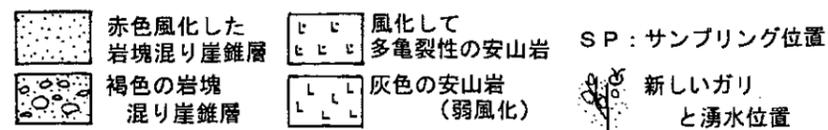
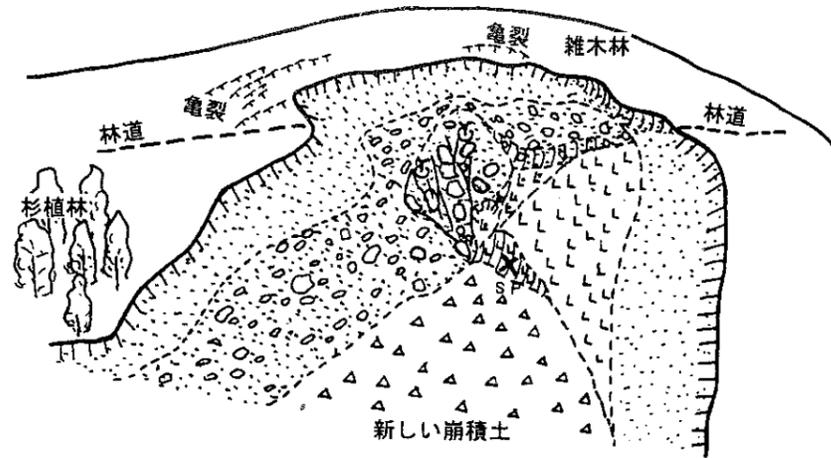


図-1 崩壊斜面のスケッチ

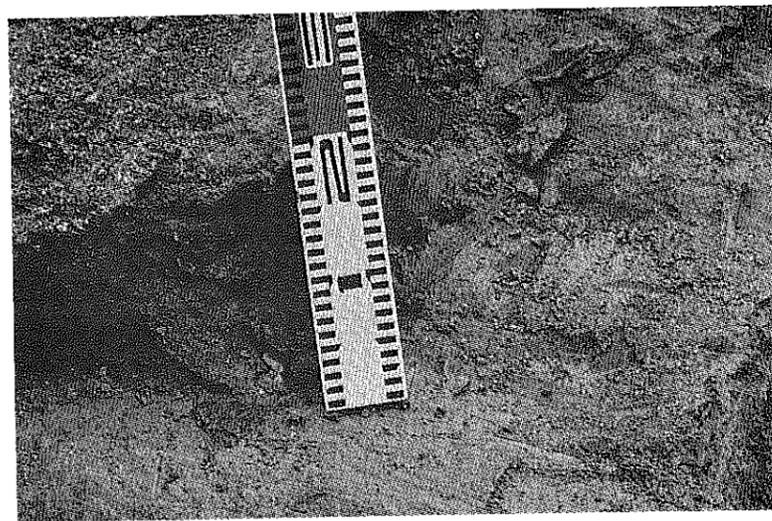


写真-1 試料採取地点の赤色粘土

3 室内土質試験

3.1 物理試験

上・中・下層から採取した試料を用いて土粒子の密度試験、粒度試験、含水比試験、液性限界・塑性限界試験を行った。それらの試験結果が表-1 にまとめられている。表より中層の試料は粘土分が多いこと、自然含水比が高いことがわかる。図-2 は採取試料のコンシステン

シー特性を示す塑性図である。図-2より、試料はほぼA-線上にあり、かつ、E線の両側にきており、上・下層の粘土と中層の粘土は異なった力学特性を有する火山灰質粘性土のようである。図-3は全国各地の火山灰質粘性土の塑性図を示している²⁾。図-2と図-3を比較すると、針原地区の粘土も全国の火山灰質粘性土の分布内にあることがわかる。

表-1 採取粘土の物理試験結果

試料の別	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	粒度試験				自然含水比 w_n (%)	コンシステンシー特性			日本統一土質分類
		礫分	砂分	シルト分	粘土分		液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	塑性指数 I_p	
上層	2.618	0	49.4	23.0	27.6	31.3	64.4	29.3	35.1	CH
中層	2.623	0	11.4	22.1	66.5	60.5	99.2	36.9	62.3	CH
下層	2.603	0	29.7	33.5	36.8	42.7	63.2	30.4	32.8	CH

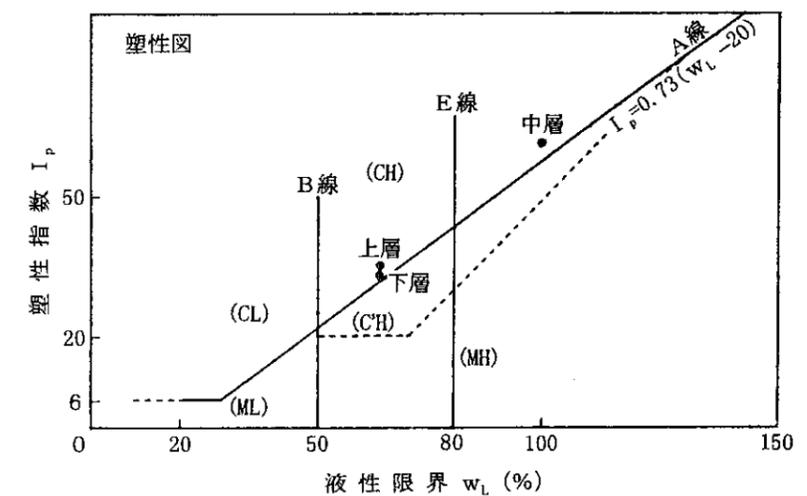


図-2 採取粘土の塑性図

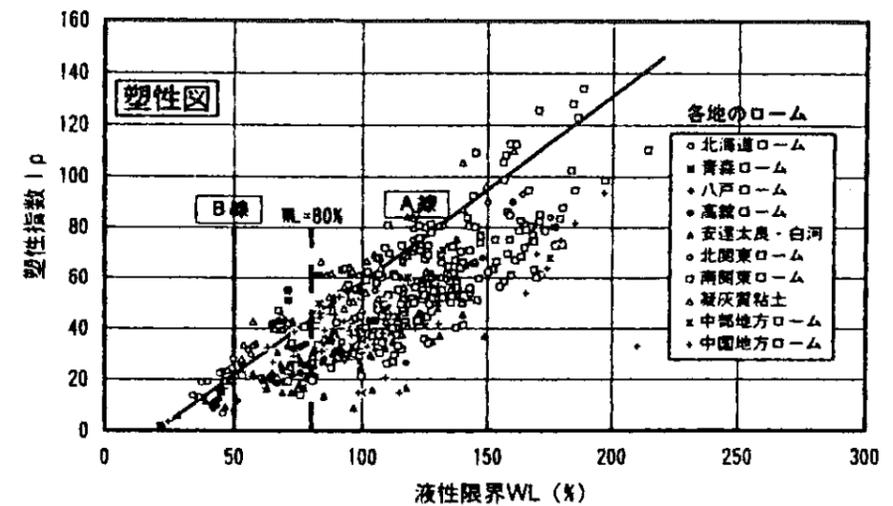


図-3 全国各地の火山灰質粘性土の塑性図上の分布²⁾

3.2 力学試験

3.2.1 pF試験

pF試験方法には吸引法、遠心法、加圧法、蒸気圧法、サイクロメータ法がある。ここでは吸引法の中の水頭法によってpF試験を行った。供試体は直径5 cm、高さ3 cmである。図-4はpF試験結果を示している。pF値=2は水頭差(負)=100 cmに対応している。図より含水比が70%付近で飽和していることがわかる。図-5はpF試験に先だてて約20 cmの水頭差(正)を与えて供試体を飽和させる過程での吸水量と時間の関係を示している。図より、自然含水比状態の粘土に約6程度の動水勾配をあたえると、飽和するまでに1週間程度の時間が必要であることがわかる。

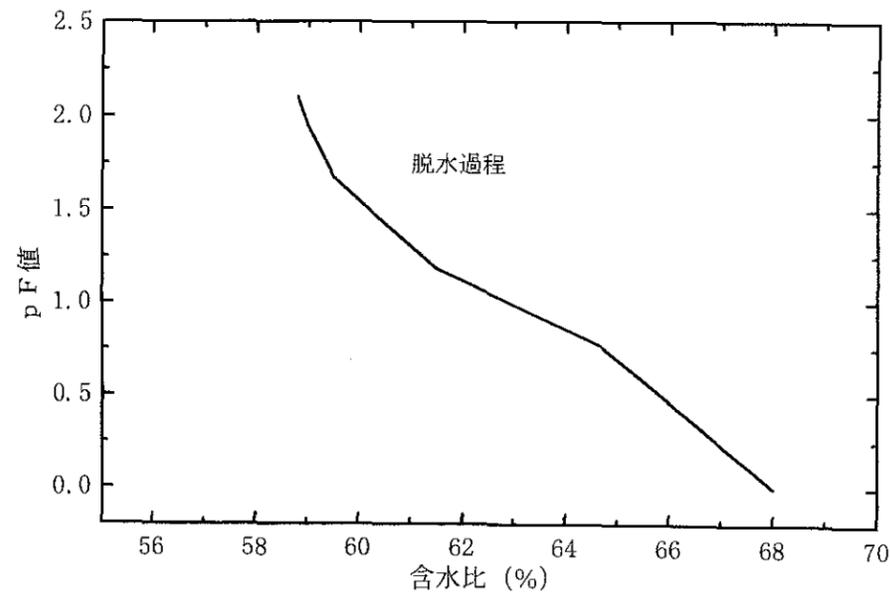


図-4 採取粘土のpF試験結果

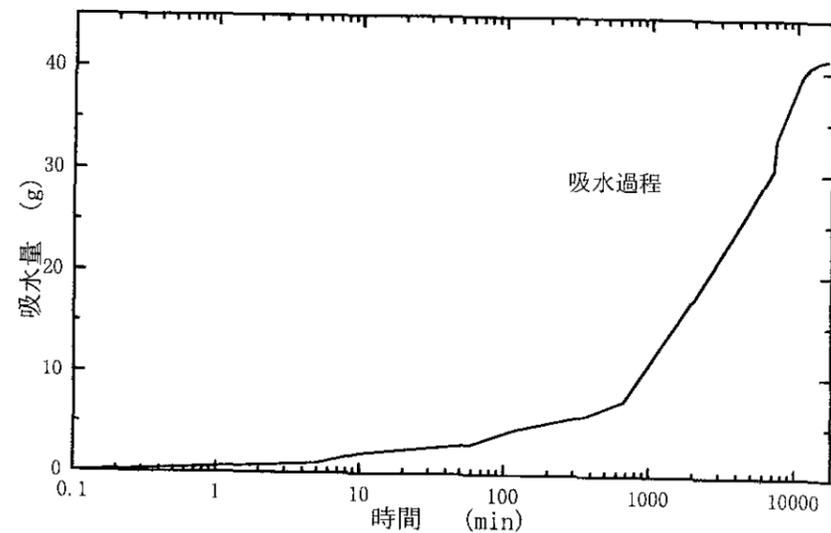


図-5 採取粘土の吸水試験結果

3.2.2 透水試験

透水試験は三軸セル内にセル圧=220 kN/m²、背圧=200 kN/m²を加えて実施した。表-2は結果をまとめたものである。透水試験を行った試料でも物理試験を行っている。表-2より、中層の粘土の飽和透水係数は10⁻⁷cm/secのオーダーであり、上層とは1オーダー、下層とは2オーダー異なっていることがわかる。表-1と表-2を比較すると採取場所のわずかな違い、試験者の違いによるおもわれるデータの差が出ている。

表-2 採取粘土の飽和透水試験結果

試料の位置		上層	中層	下層	
土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.677	2.684	2.697	
礫	分 %	14	0	4	
砂	分 %	17	1	13	
細粒分(75 μ m未満)	%	69	99	83	
シルト	分 %	34	24	51	
粘土	分 %	35	75	32	
液性限界	w_L %	84.4	120.8	87.4	
塑性限界	w_p %	34.7	43.3	35.4	
塑性指数	I_p	49.7	77.5	52.0	
透水試験時	自然含水比	w_n %	39.5	49.7	43.2
	湿潤密度	ρ_t g/cm ³	1.771	1.644	1.699
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.270	1.110	1.187
	間隙比	e	1.124	1.419	1.273
	飽和度	S_r %	94.8	91.2	91.5
	B 値	0.98	0.99	0.98	
飽和透水係数	k_r cm/s	2.2×10^{-6}	1.1×10^{-7}	1.3×10^{-5}	

透水係数は三軸室内でセル圧 $\sigma_v = 2.2$ 、BP=2.0(kgf/cm²)を加えて実施。飽和度は供試体成形時、B値は背圧負荷後の値。透水時の水温: T=23℃。

3.2.3 一面せん断試験

採取した自然含水比状態の不攪乱試料を用いて、定圧一面せん断試験を行った。試験方法は地盤工学会基準に則っている³⁾。図-6は得られた破壊規準線である。図より見かけの粘着成分は35 kN/m²、内部摩擦角が約27°となっている。

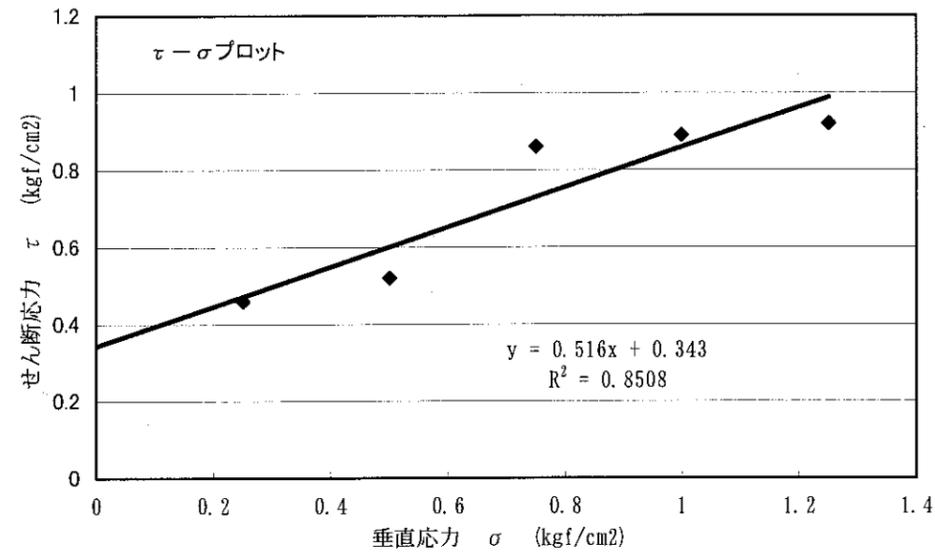


図-6 採取粘土の一面せん断試験結果

4 斜面安定解析

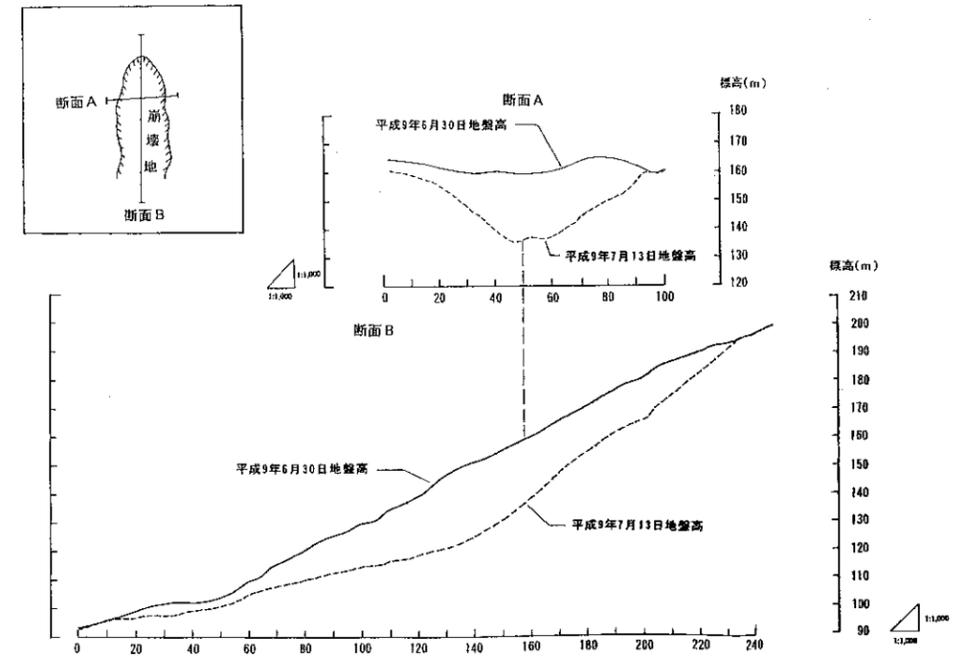
図-7は崩壊斜面の横断・縦断図を示している。図-7をもとに、図-8のようにすべり面を直線で近似した。そして、従来の斜面安定解析手法の一つである無限斜面法（ヤンプ法）を適用し、次式で示される安全率の計算を行った。

$$F = \frac{\sum [(W \tan \phi + cl) / \bar{m}_\alpha]}{\sum W \tan \alpha} \quad (1)$$

ここに、

$$\bar{m}_\alpha = \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F} \right) \cos^2 \alpha$$

表-3に入力値、計算結果を示している。表-3より、自然含水比状態にある採取粘土からなる斜面では安全率が1.4程度と計算されていることがわかる。但し、ここに示した計算結果は斜面全体が赤色粘土から成り立っているものと仮定しており、実際の崩壊斜面のものではない。



*) 作成した図面には、±1.5mの誤差が含まれている。

図-7 崩壊斜面の横断・縦断図

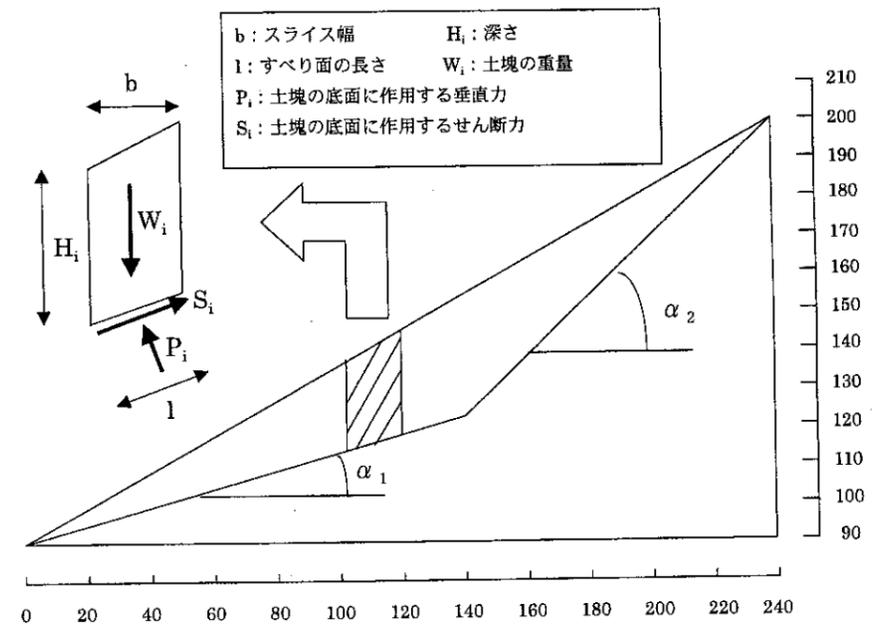


図-8 安全率の計算例として用いた断面

表-3 入力値と計算結果 (安全率)

	上層	中層	下層
自然含水率 (%)	39.5	49.7	43.2
土粒子の密度 (tf/m ³)	2.677	2.684	2.697
湿潤単位体積重量 (tf/m ³)	1.8151	1.7215	1.7838
見かけの粘着力 (kN/m ²)	35.0	35.0	35.0
内部摩擦角 (度)	24.42	24.42	24.42
安全率	1.405	1.424	1.411

5 あとがき

崩壊のメカニズムはいくつかのシナリオが考えられる。その一つとして、こ斜面の法尻付近が何らかの原因で小規模な崩壊をおこし、支えを失った上部斜面が崩壊したとの推測できる。しかし、あくまでも推測であり、これまでの地盤工学の立場からの調査研究からは推測の域を出ていない。今後の土質調査、土質試験等が必要と考えられる。

最後に、崩壊が発生してから崩壊機構を調べるのではなく、このような斜面崩壊を予知し、適切な防災対策を実施するための基礎試料を提供することが地盤工学分野の研究者・技術者に求められていることを我々は再確認しなければならない。

謝辞：土質試験、現地調査等で松本章夫（（株）中部地質）、植村桂樹（鹿児島大学大学院）、志方宏敏（鹿児島大学大学院）、入来秀徳（鹿児島大学大学院）の各氏にお世話になった。また、鹿児島県土木部の各種資料を参考にさせていただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 北村良介、小林哲夫、地頭蘭隆、高田誠、矢ヶ部秀美：鹿児島県出水市土石流災害－環境地盤災害事例として－、第2回環境地盤工学シンポ、pp.181-184、1997.
- 2) 諸戸靖史、黛廣志：火山灰質粘性土の工学的分類、火山灰質土の性質とその設計・施工に関するシンポジウム発表論文集、地盤工学会、pp.56-63、1995.
- 3) 地盤工学会基準部：土の圧密定圧一面せん断 (DBS-CP) 試験方法、土と基礎、45-1、pp.70-74、1997.

出水市針原川流域で発生した深層崩壊の水文地形的特性

鹿児島大学農学部 地頭蘭 隆・下川 悦郎

1 はじめに

1997年7月10日に鹿児島県出水市の針原川流域で規模の大きな崩壊が発生した。崩壊した土砂は土石流となり下流の住家を襲い、21名の人命を奪った。針原川は、古い火山である矢筈岳山体の西側に位置する小河川である。崩壊は針原川流域の中腹の標高190m付近から発生した。崩壊の形態は深層崩壊であり、現地測量によると崩壊地の最大幅約80m、長さ約190m、最大深（鉛直方向に地表から崩壊面までの長さ）約30m、面積約1万m²、崩壊土量約13万m³である（下川ら、1998）。今回の崩壊発生には大雨に伴う斜面内の地下水位上昇が関与したことが当初から指摘されている（下川ら、1997）。

本研究は、針原川流域で発生した深層崩壊の発生メカニズムを水文地形的な立場から検討したものである。さらに、火山地域におけるこのような深層崩壊発生場の予測手法開発の一步として矢筈岳山体をモデルに流域の地形特性と河川流量、地下水の賦存状態、流域間の地下水動態の関係について検討した。

2 針原川流域の基底流出特性

2.1 流域の地形・地質

針原川は矢筈岳山体の西側中腹部標高445mから発し、標高30m付近で右支川と合流して八代湾に注いでいる（図1）。流域面積は1.55km²である。図1には現地測量から求めた崩壊地の位置、空中写真判読による土砂および洪水の移動域と氾濫域も示している。また、表1は2,500分の1地形図（1989年作成の出水市都市計画図、ただし標高280m以上は熊本管林局5,000分の1森林基本図）を用いて算出した針原川流域の地形に関する因子をまとめたものである。

図2は、2,500分の1地形図から作成した本川および右支川の縦断面図である。図中には今回崩壊した斜面の崩壊前の縦断面も示した。本川の標高約50m地点の砂防ダムより下流域には扇状地が広がっており、縦断面の平均傾斜角は約3度である。本川の標高50～200m区間は約10度、標高200～250m区間はまた緩くなり約6度、それ以上の高度域は約14度である。一方、右支川は標高50～120m区間は約9度、標高120～250m区間は約18度であり、本川に比較してやや急である。崩壊した斜面の崩壊前の平均傾斜角は約25度となっている。

針原川流域の2,500分の1地形図に50mメッシュをかけ、メッシュ中央の標高からメッシュ単位での斜面傾斜角を算出した。メッシュ中央の標高から斜面の傾斜角を求める方法は国土地理院が採用している方法（国土庁、1987；高崎、1988）に従った。図3は傾斜角10度ごとに区分して表示した傾斜区分図である。流域の下流部は扇状地となっており、傾斜角10度未満の斜面や平坦地が広がっている。

流域の中流部には20~30度の斜面が広く分布し、上流部は10~20度の斜面の割合が高くなっている。傾斜区分図において斜面傾斜角10度ごとの面積および流域に占める面積率を求めると10度未満の斜面0.16km² (10.0%)、10度以上20度未満の斜面0.62km² (40.0%)、20度以上30度未満の斜面0.76km² (49.4%)、30度以上の斜面0.01km² (0.6%)である。流域平均傾斜角を求めると18.5度である。

流域の地質は、おもに鮮新世~更新世の安山岩からなり、その下部には凝灰角礫岩が分布している。流域の下流の緩傾斜面は扇状地堆積物であり、針原の集落はこの扇状地上に位置している。

中・下流域の谷沿いの斜面と扇状地は果樹園として広く利用されている。上流域の斜面は大部分が自然林で覆われる。

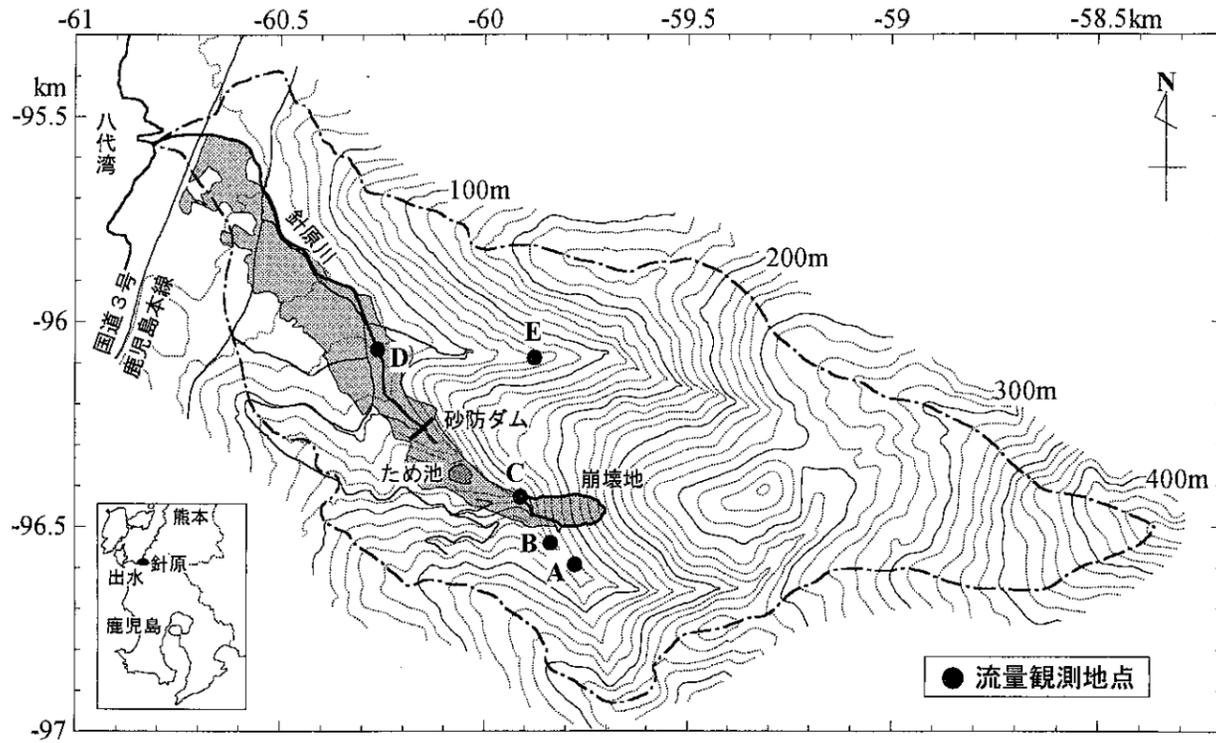


図1 針原川流域の位置と地形

表1 針原川流域の地形因子

流域面積	1.55 km ²
高度分布	0~445m
本川総延長	3.2 km
流域周囲長	6.6 km
本川平均勾配	7.9 度
流域平均幅	0.48 km
形状係数	0.15
密集度	0.67

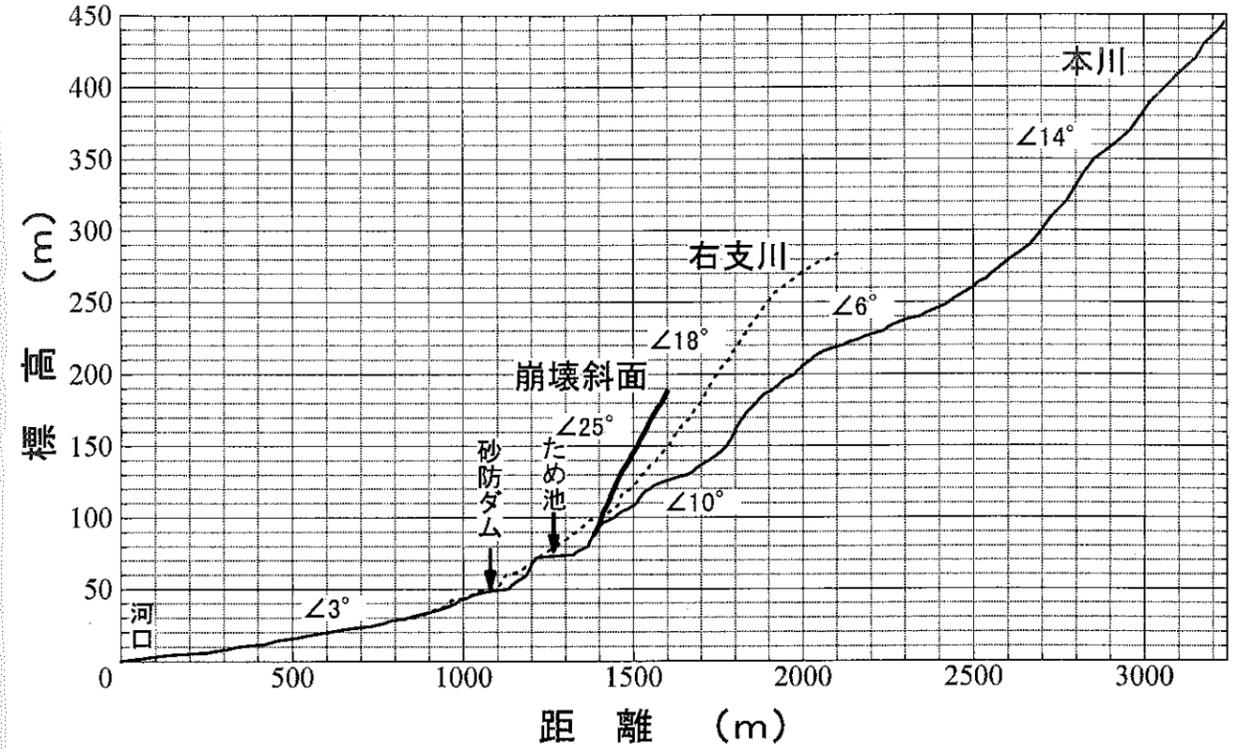


図2 針原川の縦断面図

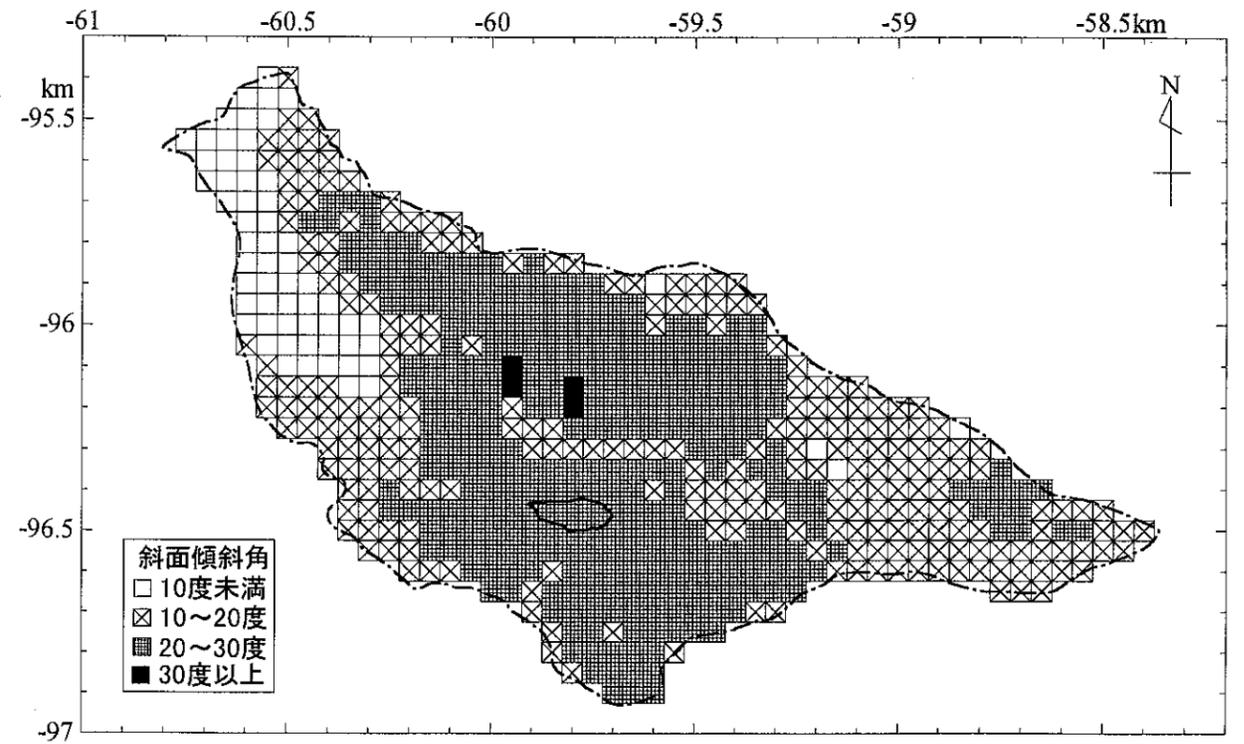


図3 針原川流域の傾斜区分図

2.2 河川流量と崩壊地付近の湧水量

針原川流域内の標高の異なる4地点で河川の流量を観測した。観測地点は、本川の標高126m地点(図1のA地点)、今回災害をもたらした深層崩壊発生地点のすぐ上流の標高115m地点(B地点)、右支川と本川の合流点のすぐ上流の標高30m地点(D地点)、右支川の標高72m地点(E地点)である。観測地点における流域面積は、A地点 0.45km^2 、B地点 0.50km^2 、D地点 0.67km^2 、E地点 0.35km^2 である。4観測地点とも溪床には流域の基盤岩を構成している凝灰角礫岩が露出している。流量観測はこの凝灰角礫岩上の河川水を粘土と樋を用いて集水し、水量を測定する方法で行った(写真1)。同時に、今回崩壊した斜面付近からの湧水量を測定した。崩壊した右岸斜面内からの湧水量測定は、崩壊地の直下流において砂防ダムの床堀の際にできた土層断面で行った。湧出は風化した安山岩と新鮮な安山岩の境界にみられる(写真2)。

河川および湧水の流量観測は、1998年1月30日、2月6日、2月13日の3回実施した。観測期間前の1カ月間の降雨量は、調査流域近くの出水地域雨量観測所(鹿児島地方気象台、1997)において 146mm である。図4は測定結果を時系列に示したものである。観測期間中は降雨がほとんどなく、基底流出が行われている段階と考えられる。流量は時間とともに全地点とも低下しているが、その割合は湧水と河川水では異なっている。本川の崩壊地上流(A・B地点)および右支川(E地点)の流量は同じ傾向で減少しているが、湧水量(C地点)は減少の割合が小さい。本川の標高30m(D地点)における流出量に占める崩壊斜面内からの湧水量の割合を求めると、1月30日は約36%、2月6日は約43%、2月13日は約72%であり、針原川の基底流出の多くが今回崩壊した右岸斜面内から供給されている。

針原川流域では、現在の地表面の流域界(地形的流域界)では説明できない流出経路が認められる。すなわち、上流部の緩斜面から侵入した雨水は深部浸透して地下水となり、地下部の流域界(水文的流域界)に規制されて移動し、今回崩壊した右岸斜面付近から湧出している。この湧水量は下流部で測定した基底流出量の大部分を占めていることから、右岸斜面内には多量の地下水が集中し、その地下水を貯留できる地層構造が形成されていることがわかる。このことが今回の深層崩壊発生に大きく関与したと考えられる。

火山地域は、溶岩流、火砕流、降下火砕物などが幾重にも積み重なって空隙に富んだ地層構造をしている場合が多い。地頭蘭ら(1990)は、南九州火山地域に小流域の試験地を設定して水文観測を行い、降下火砕物に覆われた流域と覆われていない流域の流出を比較している。その結果以下のような結論を得ている。降下火砕物に覆われた流域では中間流出成分が相対的に小さく、雨水の大部分は基盤岩との境界に貯留され地下水流出成分となっている。降雨後短時間に流出する直接流出成分が非常に小さい。降下火砕物からなる大きなタンクの中に多量の雨水が貯留され、時間をかけて徐々に流出が行われるため、無降雨時期にも安定した高い基底流出がもたらされている。

さらに、地頭蘭ら(1997)は、現在火山活動を続けている桜島の山体流域でも水文観測を行い火山体の流出特性を検討している。その結果、山腹斜面は火山灰に覆われ浸透能が極端に低下し表面流が発生しやすくなっているが、深層透過している雨水も多い。これは、火山体内部が軽石などの透水層と溶岩等の溶結した層の互層からなり地下部に空隙が多いこと、溶結層には急激な冷却に伴う割れ目が存在し、割れ目から多量の雨水が深層へ透過していることに原因している。

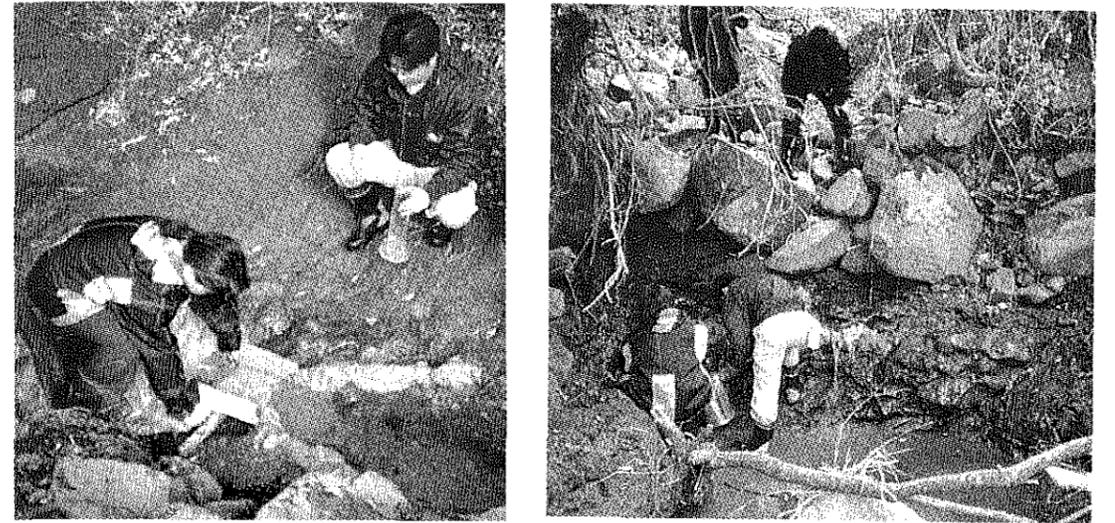


写真1 流量観測状況



写真2 崩壊斜面付近からの湧水

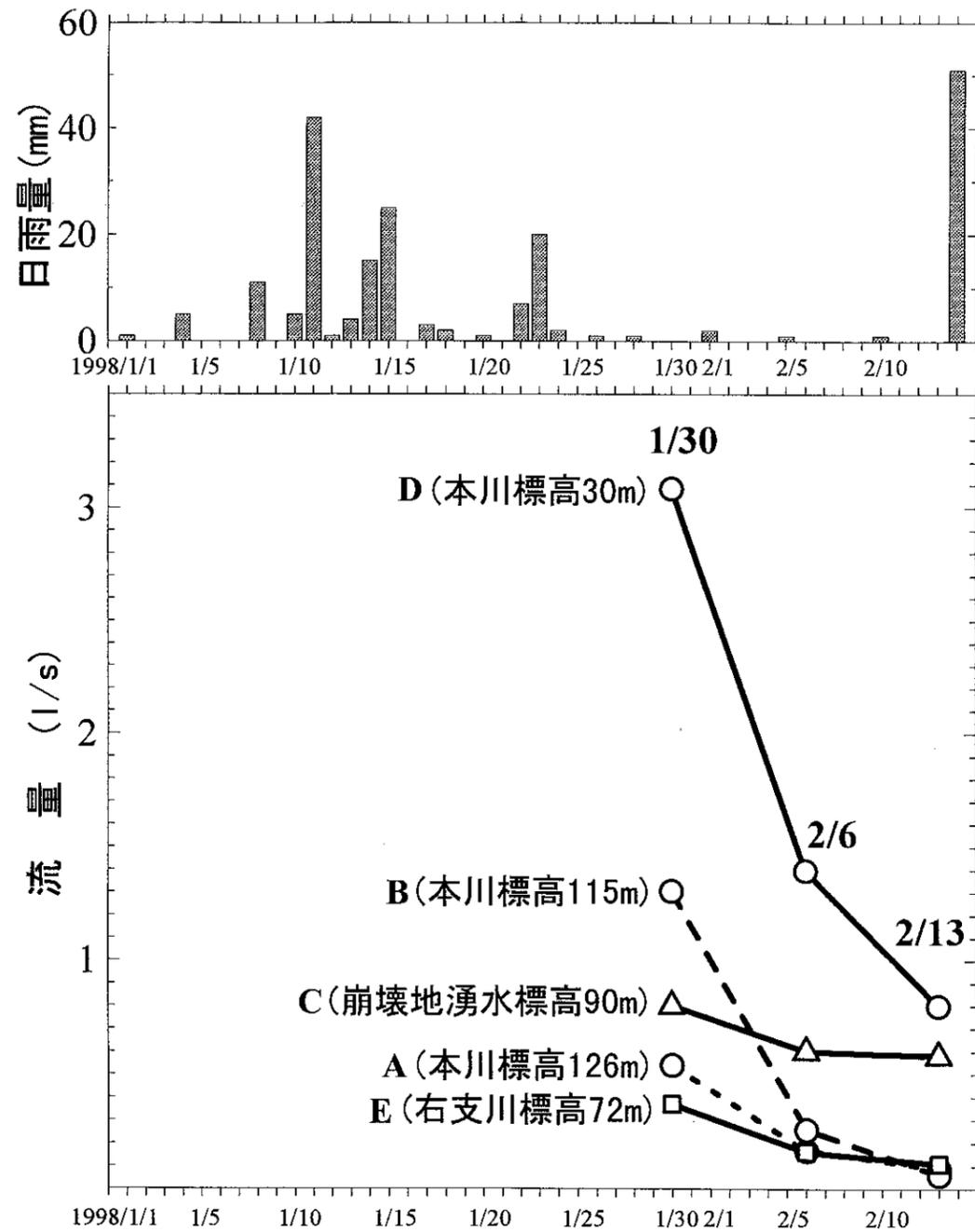


図4 針原川流域の流量の推移

3 矢筈岳山体周辺流域の流出特性

針原川流域で発生した地下水に原因した深層崩壊の発生メカニズムを解明し、発生場の予測法を検討するには、火山体における雨水流出現象を明らかにする必要がある。そこで、矢筈岳山体をモデルとして調査流域を設け流量観測を行い、地形と河川流量の関係を検討する。

3.1 流域の地形

調査流域は矢筈岳の主に西側山体に位置する14の流域である(図5)。流域面積は0.28~4.21km²の範囲にある(表2)。

図6は、25,000分の1地形図から作成した矢筈岳山体の水系図である。水系は矢筈岳を中心に放射状に発達しており、その密度は矢筈岳付近の高い標高域で高く、山体の裾野で低い。調査流域ごとに水系の総延長を測定し、流域面積で割って水系密度を算出した(表2)。水系密度は、開析の進んだNo.1(境川)流域、No.4(櫛木川)流域、No.7(江良川)流域で高く、山体の裾野に位置する小流域で低い。今回崩壊が発生した針原川流域は水系密度が低い流域に属している。

図7は、傾斜角20度未満の斜面を緩斜面として、25,000分の1地形図の等高線間隔を測定して作成した緩斜面分布図である。各調査流域内の緩斜面の面積を求め、流域面積で割って緩斜面率を算出した(表2)。緩斜面率は、矢筈岳山体の裾野に位置する小流域で大きく、開析の進んだ流域で小さい。針原川流域は緩斜面率の大きい流域に属している。

3.2 河川流量

調査流域の地下水の賦存状態や流域間での地下水の入出の動向を把握するために、低水時の流量をそれぞれの流域で観測した。流量観測は基盤岩(凝灰角礫岩あるいは安山岩)が露出している箇所です上述した方法で行った。流量観測日も針原川での流量観測日と同じである。

図8は、それぞれの流域の比流量を時系列にプロットしたものである。14流域は同じ山体に位置しているが、低水時の比流量はさまざまである。No.10(安原川)流域は流量観測地点が標高15mと低いために周辺低地からの地下水の流入が考えられ、このことが比流量を高めている可能性がある。No.13(日当川)流域は、流域中部に緩斜面が広く分布していることと隣のNo.14流域から地下水が流入していることが比流量を高めている原因と考えられる。その結果No.13流域とほぼ同面積のNo.14流域の流量は非常に小さくなっている。また、No.13流域は、2月6日と13日の流量がほぼ同じで減水がみられないことから多量の貯水が可能な地層構造を有しているものと思われる。一方、地形開析が進んで水系密度が高く、緩斜面率が小さいNo.1(境川)流域は流量の低下が著しい。No.1流域ほどではないが、相対的に水系密度の高いNo.4(櫛木川)流域やNo.7・8(江良川)流域も流量の低下が目立つ。No.2(前田川)、No.3(西前田)、No.5・6(針原川)、No.9およびNo.11流域は山体の裾野に位置する小流域であるが、南西斜面に位置するNo.9およびNo.11流域は流量が大きく、北西斜面に位置するNo.2およびNo.3は小さく、西斜面に位置するNo.5・6はこれらの中間的な値を示している。

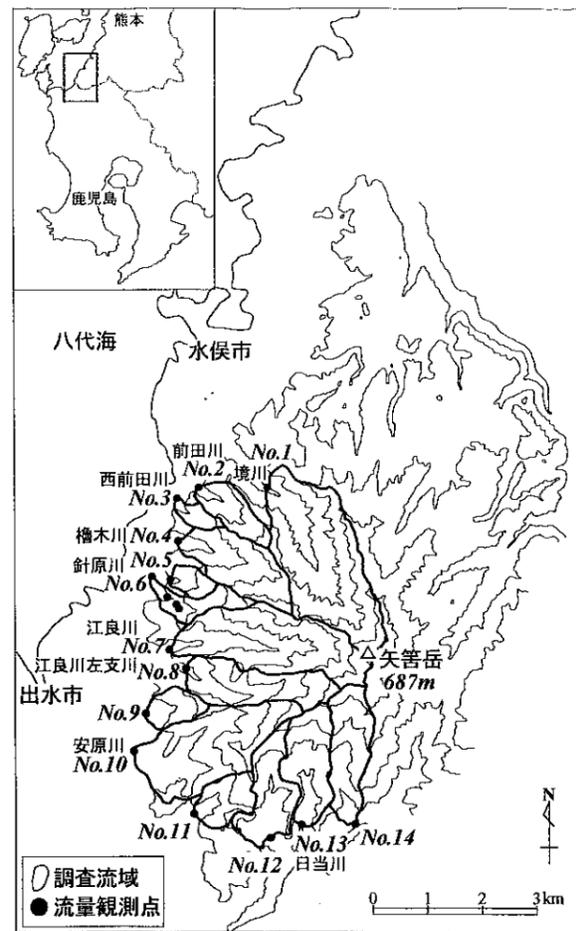


図5 矢筈岳山体の調査流域

表2 調査流域の地形因子

No.	河川・地名	標高 m	面積 km ²	水系密度 km/km ²	緩斜面率 %
1	境川	85~687	4.21	11.3	32.0
2	前田川	40~340	0.82	9.0	48.5
3	西前田川	30~220	0.28	6.9	82.7
4	櫛木川	42~476	1.76	10.0	46.2
5	針原川右支川	72~290	0.35	7.3	50.3
6	針原川本川	30~445	0.67	8.1	59.4
7	江良川	60~687	3.32	9.4	34.4
8	江良川左支川	80~598	1.76	7.4	43.2
9	豊原	38~257	0.58	7.1	74.2
10	安原川	15~498	3.05	8.0	53.4
11		50~320	0.80	7.7	48.4
12	第1大平谷川	135~450	1.40	8.1	68.2
13	日当川	100~530	1.52	9.1	50.2
14	芭蕉下	100~598	1.54	9.2	44.4

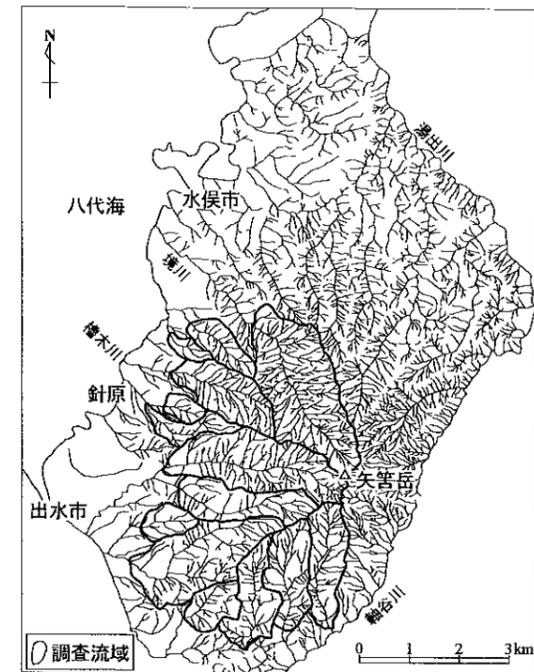


図6 矢筈岳山体の水系図

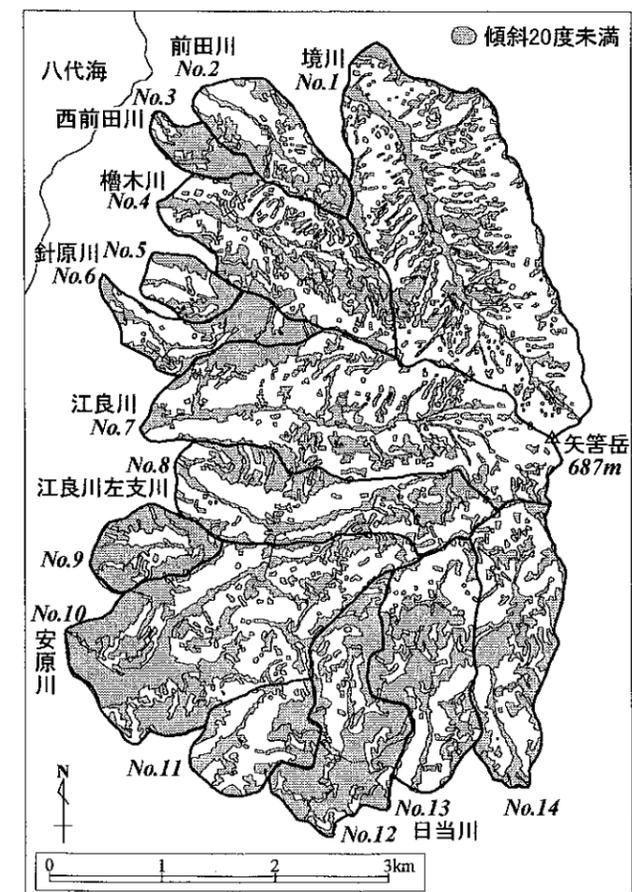


図7 調査流域の緩斜面分布図

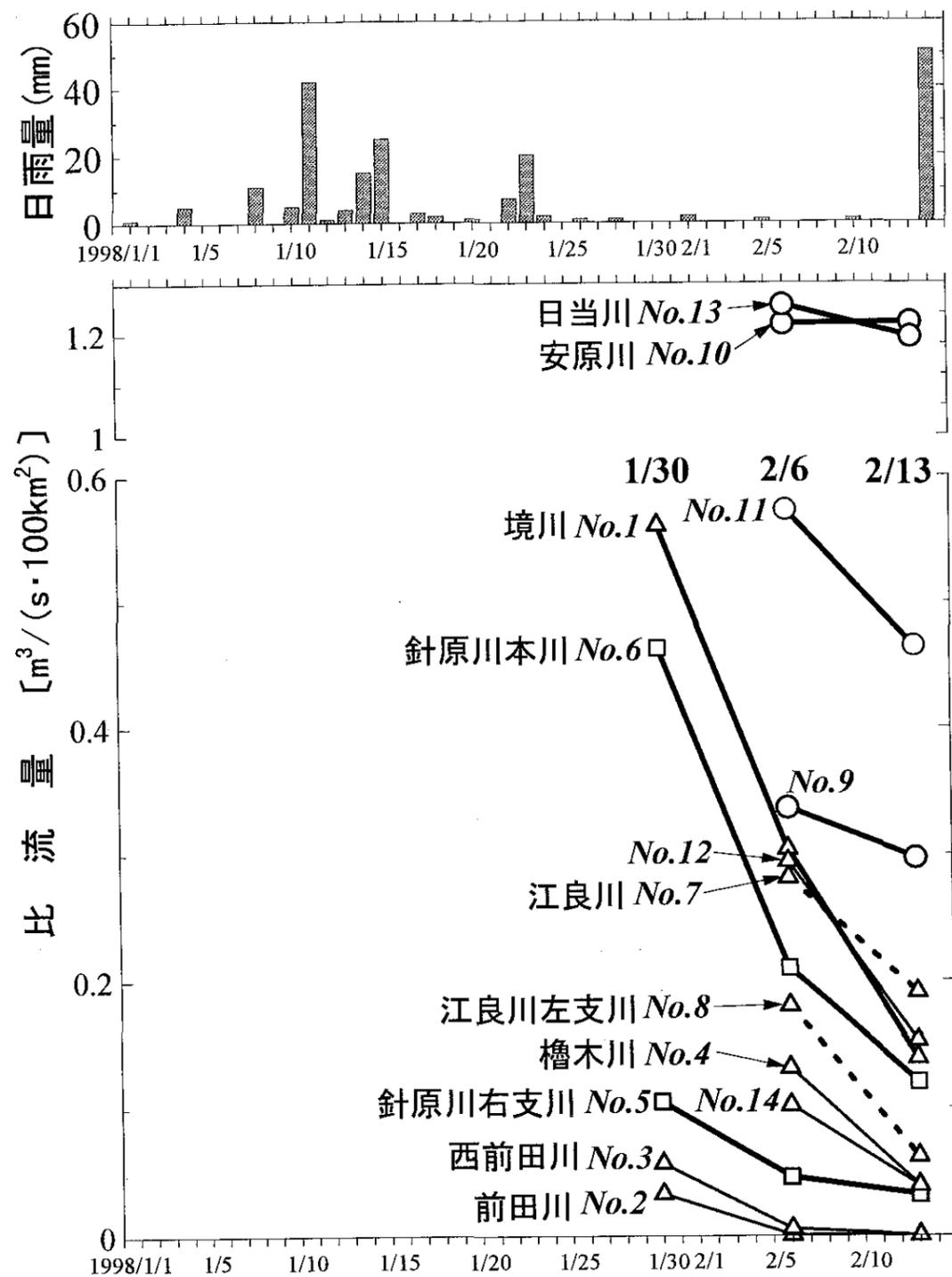


図8 矢筈岳山体の14流域における流量の推移

4 まとめ

針原川流域で発生した深層崩壊の発生メカニズムを水文地形的な立場から検討した。さらに、矢筈岳山体流域の地形と河川流量の関係を調べ、地下水の賦存状態、流域間の地下水動態について検討した。得られた結果をまとめる次のようである。

(1) 針原川流域内において河川流量を測定した結果、現在の地表面の流域界では説明できない流出経路がみられる。針原川の基底流出量は崩壊斜面付近からの湧水量が大部分を占めている。崩壊した右岸斜面内には多量の地下水が集中し、その地下水を貯留できる地層構造が形成されている。

(2) 矢筈岳山体には緩斜面が広く分布する流域と開析が進み緩斜面の少ない流域が混在している。針原川流域は水系密度が低く、緩斜面率の大きい流域に属している。

(3) 矢筈岳山体に位置する14流域の河川流量を観測した結果、低水時の流量はさまざまである。この原因を解明するには地下水の賦存状態や動態を考慮した流出過程を考えなければならない。

(4) 地形開析が進んで緩斜面が少ない流域は河川の減水が著しいが、広い緩斜面が分布する流域は減水が小さい。火山体の緩斜面部分には分厚い風化物が堆積している場合が多く、多量の地下水が貯留されていることがわかる。

(5) 河川流量の観測を行って流域内の地下水の分布や移動を推定することは、針原川流域で発生した深層崩壊の発生場を予測する上で重要である。

5 おわりに

1997年7月10日に鹿児島県出水市の針原川流域で発生した深層崩壊の発生メカニズムを水文地形的な立場から検討した。火山地域におけるこのような深層崩壊発生場の予測手法を開発していく上で河川流量は重要な情報であることが明らかになった。今後は連続的な河川流量や雨量の観測を行い、流域内の地下水の賦存状態、流域間の地下水動態に関する定量的な解析が必要である。

末筆ではあるが、本研究の実施にあたっては、鹿児島県土木部、鹿児島県出土木事務所、同農林事務所、出水市役所の各関係行政機関に多大なご協力をいただいた。また、現地調査や地形解析の際は鹿児島大学砂防学研究室の杉田美由紀、永田治、松田重和、小藤葉月の諸氏にご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

地頭蘭隆・下川悦郎 (1990): 南九州における火山砕屑物に覆われた森林流域の流出特性, 水文・水資源学会誌, 3(1), pp. 7~16
 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳 (1997): 桜島における土石流河川の流出特性, 鹿児島大学農学部演習林研究報告, 第25号, pp. 9~20
 鹿児島地方気象台 (1997): 出水地域雨量観測所資料

国土庁 (1987): 国土数値情報, 大蔵省印刷局, pp. 41~42

下川悦郎・地頭齒隆 (1997): 鹿児島県出水市針原川の土石流災害, 第34回自然災害科学総合シンポジウム, pp. 49~50

下川悦郎・地頭齒隆・小川 滋 (1998): 出水市・針原川土石流災害, 平成9年度文部省科学研究費補助金(基盤研究C)研究成果報告書(代表者:下川悦郎)「1997年7月梅雨前線停滞に伴う西日本の豪雨災害に関する調査研究」, pp. 19~30

高崎正義 (1988): 地図学, 朝倉書店, pp. 143~144

鹿児島県出水市針原川の崩壊・土石流の発生機構について

京都大学防災研究所 佐々恭二

福岡 浩

汪 發武

1. はじめに

平成9年7月の西日本の豪雨は各地で多大の災害を発生させた。ことに7月10日に鹿児島県出水市の針原川の上流斜面において発生した崩壊は、その土塊が針原川を流下し、扇状地の集落に建てられた住宅18棟を破壊し、21名を死亡させ大災害となった。我々の調査班は原因となった斜面崩壊の現地調査を行うとともに、崩壊部の縦断測量、崩壊の原因となった安山岩質の砂礫からなる土層のサンプル採取、及び地震時地すべり再現試験機を用いて豪雨による地下水位の上昇による崩壊の発生と運動を再現する試験を行い、この災害の原因となった高速土塊運動の可能なメカニズムについて検討を行った。

2. 崩壊と地下谷(埋没谷)及びサンプル採取

図1は崩壊後の地形図である。崩壊後にはきれいな谷が現れており、地下水が流出し、針原川支流の形状を呈している。この地形は過去にあった谷が崩積土で埋没したの(埋没谷)か、あるいはこの谷の右側の側壁部に断層粘土らしい粘土が露出していることから断層等で破碎されて形成された基岩の谷地形(地下谷)の上で風化・破碎の進んだ安山岩質の層が存在していたものと思われる。図2はその中央断面を現地でノンミラータルステーションを用いて地上測量を行ったものである。図中の旧地表線は崩壊の右岸側(サンプル採取地点側)の崩壊の境界線の地表高で測量しやすい数点を直線でつないだものである。サンプルの採取に当たっては、C点の粘土層の関与の程度を検討したが、せん断面としての面積は小さく、崩壊の運動を特徴づけるせん断破壊の主要な材料は、その他のすべり面を形成する安山岩質の崩積土(あるいは崩積土状のもの)と判断した。また、特にこの崩壊のすべりの原因として重要

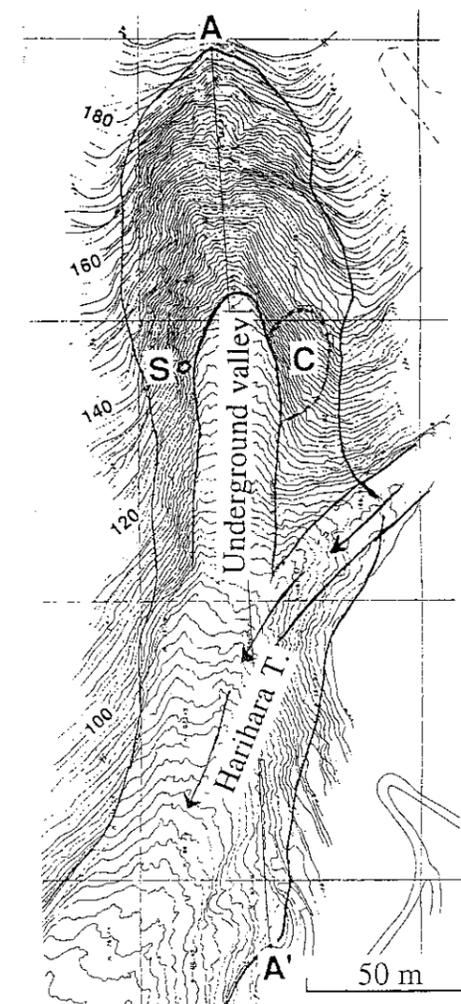


図1 針原川の崩壊後の地形図
アジア航測株式会社提供の地形図に地下谷の位置等を書き加えたもの。S:サンプル採取地点、A-A':現地測量線、C:粘土露出面

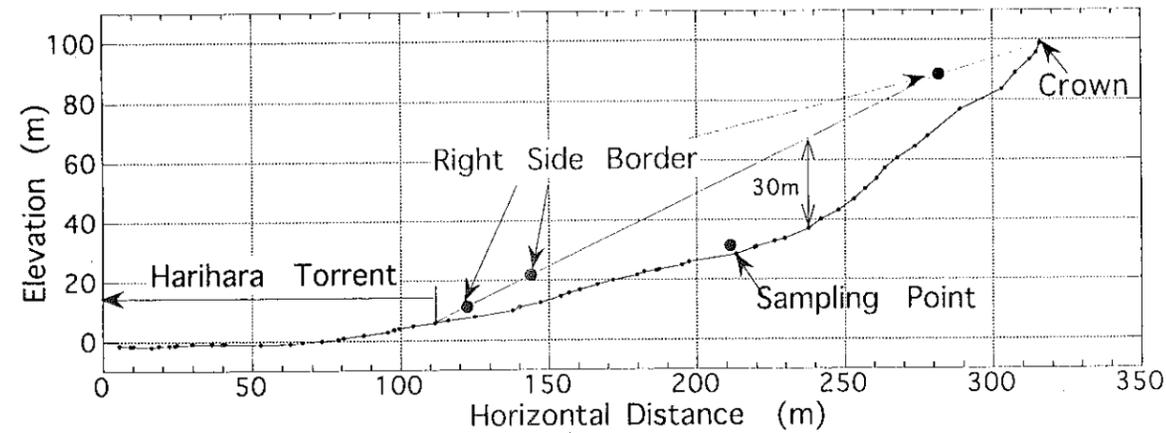


図2 崩壊中央断面図 (A-A'測線)

な場所は、地下谷底面 (図1, 図2における緩傾斜の部分。地下水が集中し間隙圧比が高かった場所と思われる) でのせん断破壊であり、上部の急傾斜の部分は、間隙圧比も低くむしろ引っ張られて滑落した形と思われる。そこで、地下谷 (基岩凹部) 底面に近いところで地山と思われる場所からサンプルを採取した。図3がサンプル採取地点とサンプリングの状況である。土層はかなり大きな粒径の巨礫を多数含むが、すべり面はそのような巨礫を切る形ではなくその間のマトリクスの層でせん断したと考え、マトリクスの部分よりサンプルを採取した。また、試験機のサイズを考慮して現地にて9.52mm以上を取り除いた。その粒度分布を図4に示す。

3. 試験機・試験条件

用いた試験機は1996年に開発した地震時地すべり再現試験機の大型の方であり (佐々他1997¹⁾), 基本的な構造は (Sassa1995²⁾) と同じである。図5に用いた試験機の全景写真、及びせん断箱の模式図を示す。せん断箱の上箱と下箱の間にゴムがエッジが張り付けられており、このゴムエッジにかかる圧力をサーボ制御で一定に保ち、回転中も非排水状態に保っている。(上下のエッジの間隔を1/1000mmの精度で計測し、そのFeed-back信号を用いて、サーボ油圧バルブと油圧ピストンを介して位置制御を行っている)

せん断箱のサイズは内径250mm, 外径350mm, せん断面以上のサンプル高さは圧密によって変わるが、通常は70~90mm, せん断面から底面までは40mmである。最大せん断速度は高速ギヤで220cm/sec, 中速ギヤで33cm/secであるが、今回の試験には中速ギヤを用いた。

試験に供した試料は、採取した試料より粘土・シルト分 (0.074mm以下) を取り除いた。その理由は、地下水が流れていた地下谷内の土層では細粒部が脱落していると思われることである。これは、流動地下水のある溪床堆積物などでは、通常、細粒部 (粘土、シルト分) が脱落し、砂礫層になっていること、また、1983年の島根災害で発生した中場の崩壊での研究より、移動せず残った土層と滑落した土層は同じ地質でも粒径分布が異なり、地下水の水みちのある部分では細粒部 (粘土、シルト分) が

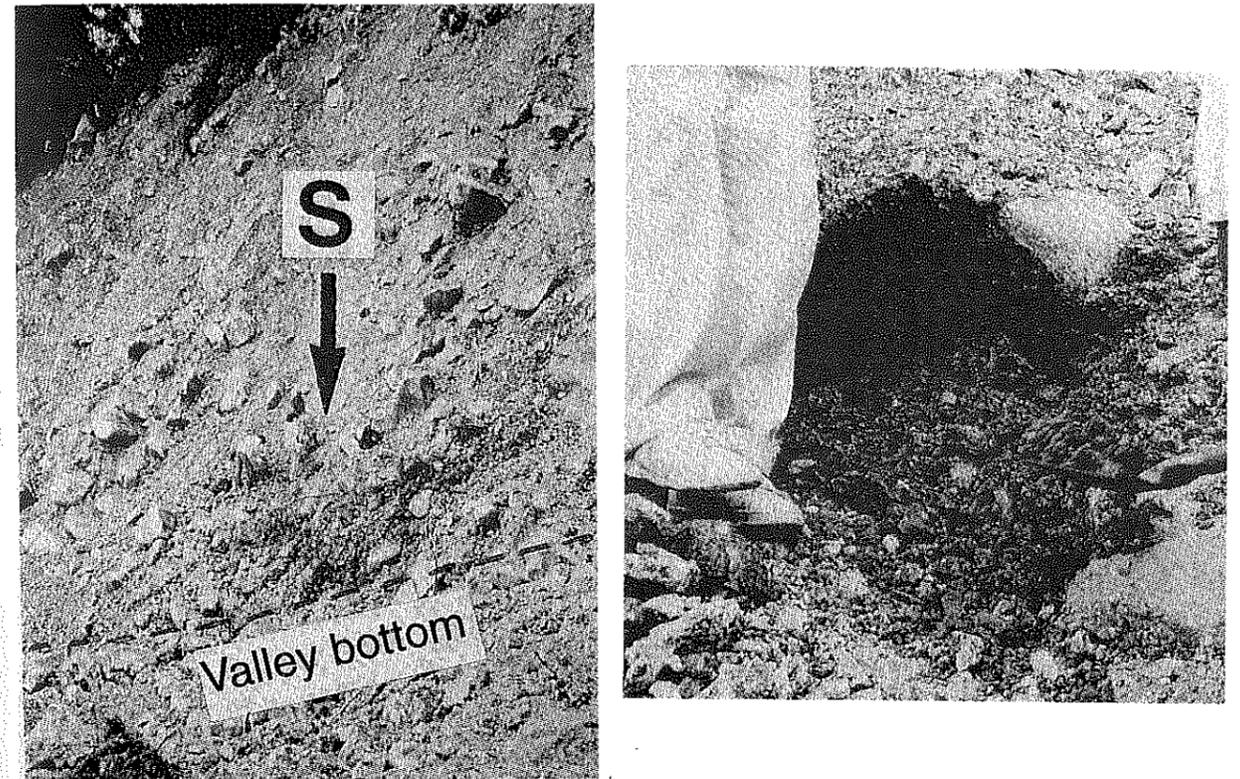


図3 サンプル採取地点の状況及びその近接写真 (図1に示した地下谷と斜面の境界付近を書き入れた)

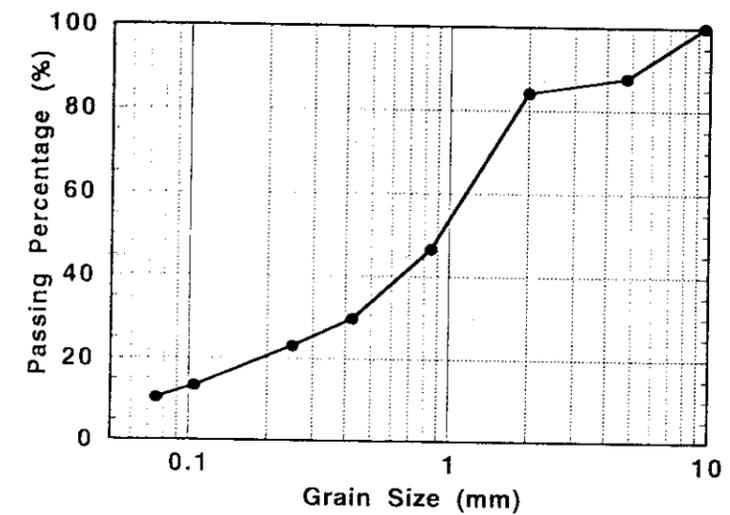


図4 採取したサンプルの粒度分布

脱落していたと推定されたことによる(日浦他³⁾,1991)。サンプルを飽和圧密後、すべり面深さ=25 m, 斜面配24度, 土層の湿潤単位堆積重量 2.0gf/cm^3 と想定した場合の斜面土層内の初期応力を再現した。その後、降雨による地下水圧の増大に対応させて、せん断箱内の間隙水圧をせん断箱上部のポーラスメタルを通じてコンピューター制御で徐々に上昇させた。実験は2回行い、一回目は間隙水圧上昇によりせん断変増大し始めた時点で、水圧供給バルブを閉じてせん断箱を非排水にしてせん断中の過剰間隙水圧の正確な測定を試みたもの、二回目はせん断開始後もバルブを閉じず、移動開始後も排水状態のままに保ち、それでもせん断抵抗が低下するかどうか調べてみたものである。

4. 試験結果

図6は最初の試験結果の応力経路と経時変化の破壊前後を示したものである。水圧上昇開始から約2,580秒後にせん断変形が増大し始めた。試験結果の応力経路(A)を見ると破壊線に到達後、水圧供

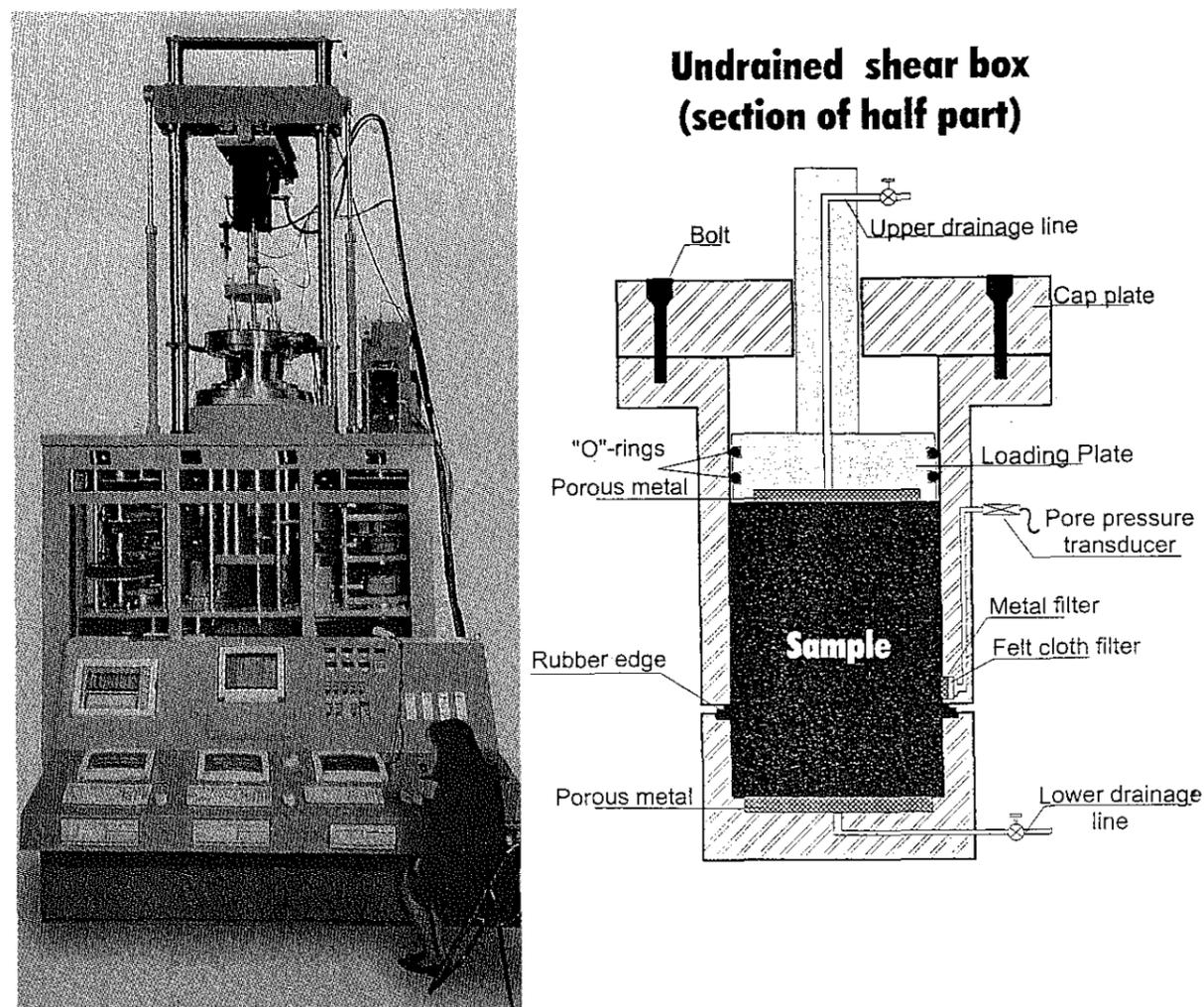


図5 用いた試験機(左)及びせん断箱の模式図(右)

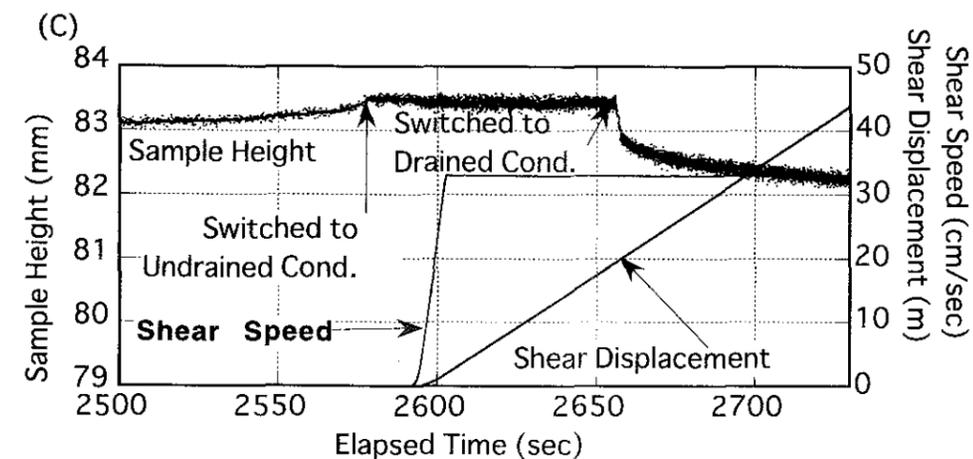
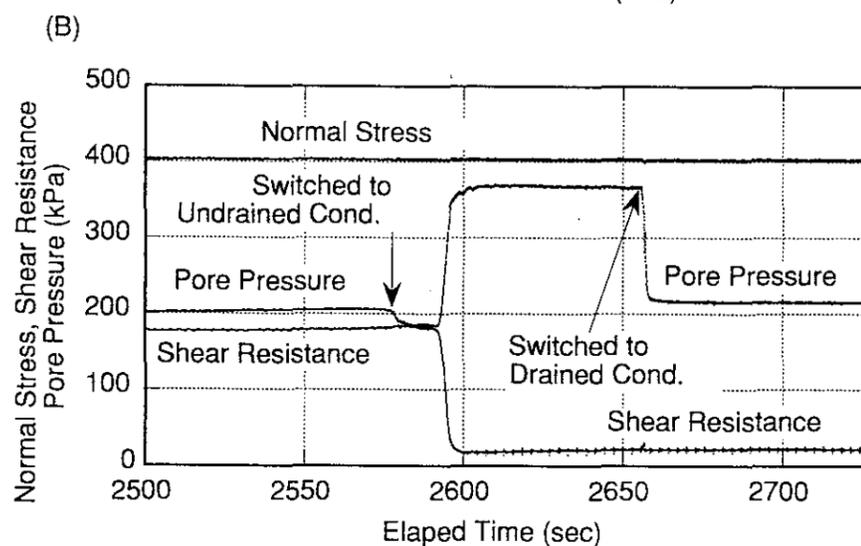
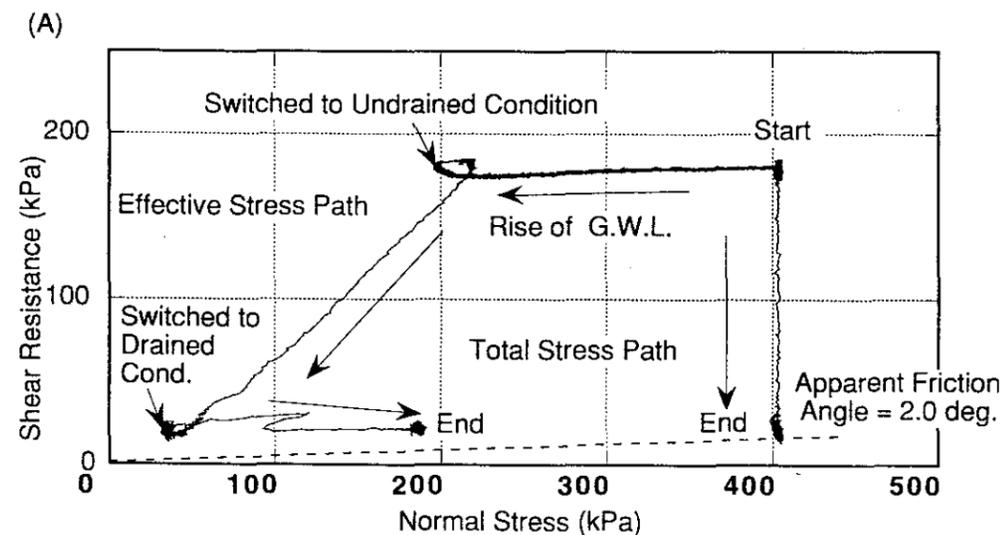


図6 リングせん断試験の結果。せん断開始後、直ちにせん断箱を非排水状態に切替えたもの。定常状態となった後に再度排水に切替えた。(A)：応力経路 (B)：応力・間隙水圧の経時変化 (C)：水平変位、せん断速度、サンプル高さ。 $B_D = \Delta u / \Delta \sigma = 0.96$ 。

給バルブを閉じてせん断箱を非排水にすると一時的に間隙水圧が減少する（せん断箱の上部より供給している水圧が切れることにより、せん断箱内の水圧が均等配分された影響と思われる（B））が、その後、せん断の進行とともに過剰間隙水圧が発生し、応力経路は破壊線に沿って低下し、低い応力状態で定常状態に達した。その時のせん断速度は、試験機の最大速度の3.3 cm/secである。この状態は、応力経路が破壊線に到達後、せん断の進行と共に過剰間隙水圧が発生することから、すべり面での粒子破碎と体積縮小に起因して生じるすべり面液状化と考えられる。すべり面液状化現象は、兵庫県南部地震で発生した西宮市仁川地すべりの研究から推定されたものである(佐々・福岡⁴⁾ 1995, Sassa et al. 1996⁵⁾, Sassa 1996⁶⁾)。図6より、この土砂の破壊後の定常状態で発揮される見かけの摩擦角はわずか2.0度であった。ついで、定常状態に達した後、せん断箱を排水状態に変えたところ、間隙水圧計の値（すべり面の2-6mm上で測定）は、過剰間隙水圧が発散しているが、すべり面での過剰間隙水圧は低下しなかったと思われ、せん断抵抗は変化せず（A, B）、見かけの摩擦角は2.0度のま

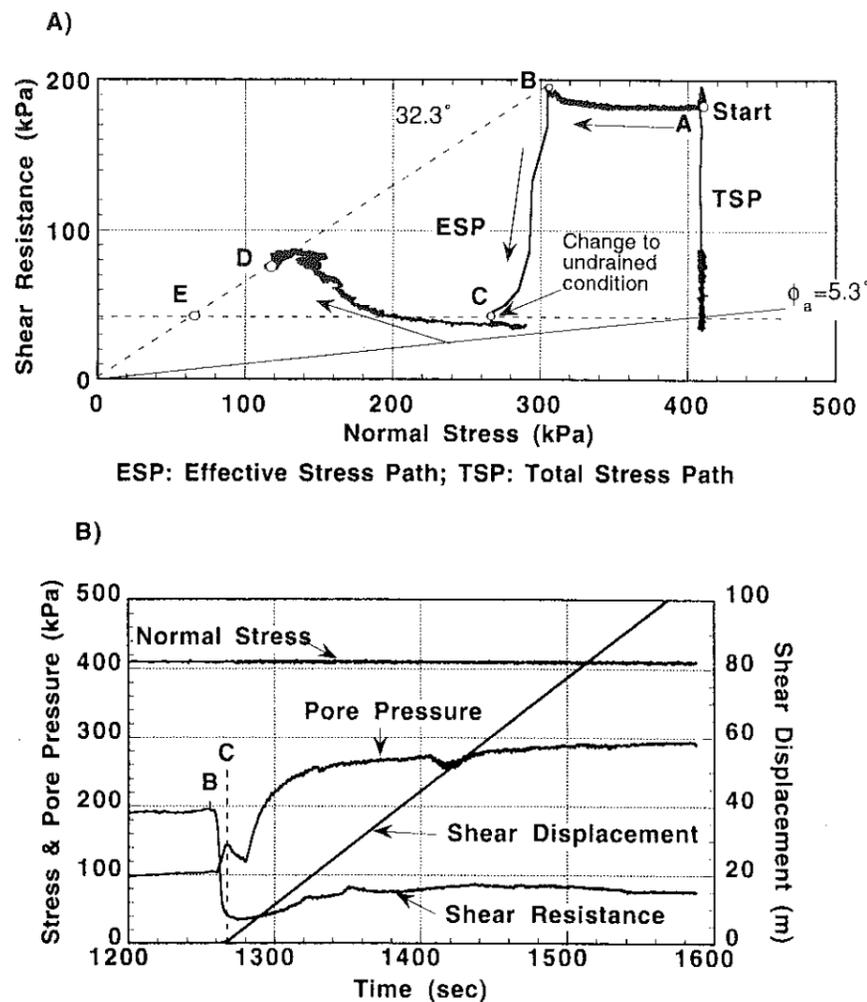


図7 リングせん断試験の結果。せん断開始後もせん断箱の排水状態を維持。破壊後、せん断抵抗が急低下し、その値がほぼ一定になってから非排水状態に切替えたもの（A）：応力経路（B）：応力・間隙水圧・水平変位の経時変化。 $B_D = \Delta u / \Delta \sigma = 0.96$ 。

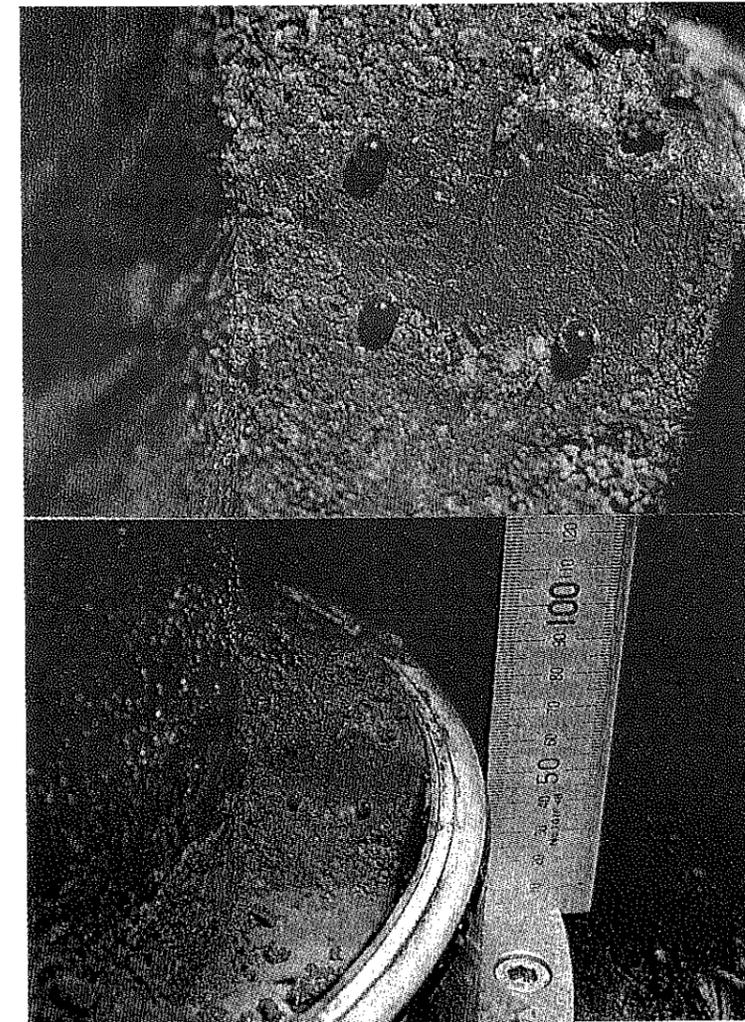


図8 図7の試験後に供試体の断面を観察したもの。（ピンが細粒化したせん断ゾーンとその上下との境界）

までった。この理由は、この試料はせん断されると細粒化（粘土化）し透水係数が極めて低下するらしいことと、排水状態では体積変化が生じるので（図6(C)）、せん断面で粒子破碎が継続し、せん断ゾーン内では、過剰間隙水圧の発生が継続するためと思われる。経時変化ではせん断破壊後、極めて急激な過剰間隙水圧の発生とせん断抵抗の低下、そしてせん断速度の急増が、明確に認められる。

図6の試験結果より、この試料はせん断が生じると粒子破碎が生じてせん断面の透水係数が低下することが分かったので、せん断開始後もせん断箱を排水状態のままにしてもせん断ゾーンの過剰間隙水圧はかなり維持されそうに推定された。そこで移動開始後も排水状態のまま試験した結果が図7である。図7（A）においてA点からC点までの応力経路が排水状態の応力経路である。地下水位上昇に相当する間隙水圧を徐々に上昇させるとある点（破壊線上）で、破壊が生じ、せん断が始まると同時にせん断抵抗が急激に低下した。そしてC点でほぼ定常状態に達した。この時に発揮された見かけの

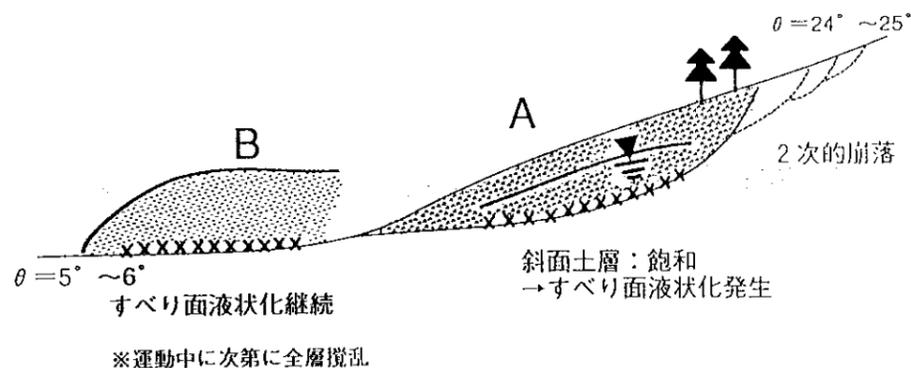
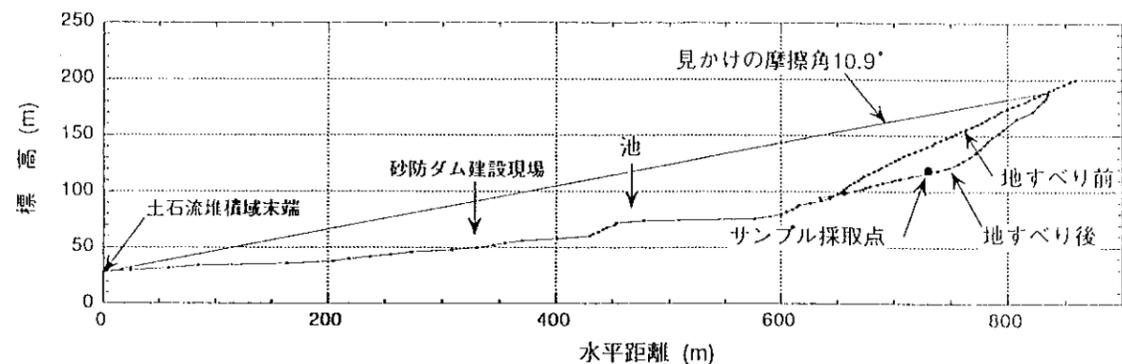


図9 針原川崩壊・土石流縦断面図(上)および運動模式図(下)

摩擦角は5.3度である。排水状態(図5の上部の給水バルブをあけた状態)なので過剰間隙水圧は測定されていないが、有効応力は破壊線上にあるはずであり、せん断ゾーンで発生していると思われる過剰間隙水圧が、せん断面より2~6mmで測定している間隙水圧計には検出されていないことを示している。その後、せん断ゾーンで発生している過剰間隙水圧を測定するためにせん断箱を非排水にした(C点)。せん断ゾーンの過剰間隙水圧がせん断箱全体に分散したため、E点までは応力経路が達せず、それより大きな垂直応力で、D点で破壊線に到達した。せん断ゾーンでさらに粒子破碎が進行すれば、最終的にE点付近まで到達するはずであるが、せん断ゾーンの状態は、B~C点間の78.6cmのせん断によりかなりの粒子破碎が生じて、それ以上の粒子破碎が生じにくい状態になっていたと思われる。せん断ゾーンの細粒化とそれに伴う透水係数の変化を調べるために、せん断箱の下部より水圧を与えて水圧制御で透水係数(サンプル全体の平均的値)を測定したところ、せん断前は 1.0×10^{-4} cm/sec、せん断後は 4.8×10^{-7} cm/secであり、細粒化による透水係数の低下を裏付ける値が得られた。さらにこの細粒化を視覚的に確認するために、同一供試体を用いた一連の試験後、せん断箱上盤を取り外し、試料の断面を切って観察した。図8がその写真である。幅1~2cmの細粒化したせん断ゾーンが認められる。

5. 土塊の運動機構

図9に現地測量した崩壊部のA-A'縦断面(すべり面)と崩壊前の地形図の地表を合わせた崩壊土塊の運動範囲の縦断面を示す。全体の平均勾配(運動時に発揮された平均の見かけの摩擦角)は10.9度であり、兵庫県南部地震ですべり面液状化を起こして高速流動した仁川地すべり、宝塚ゴルフ場地すべりの運動時の摩擦角とはほぼ同じである。針原川の崩壊は、試験結果から推定して、地下水位が限界まで上昇し、せん断開始して直ぐにかなり低い見かけの摩擦角(図6で2.0度、図7で5.3度)になったと推定される。

山腹斜面が24~25度あることから、崩壊土塊は斜面を高速で流下したことは確実と思われる。また、針原川の溪床堆積物は豪雨により上面まで飽和されていたと推定されること、溪床堆積物は、山腹より採取したものと同質の安山岩質の砂礫であったことから、針原川流入後のせん断面が、運動土塊の底面に形成されても、溪床堆積物(試験したものと同一安山岩質の砂礫)の上面に形成されても同様に低い見かけの摩擦角になったと推定される。崩壊土塊の針原川への流入時の土塊底面の摩擦角は小さいので溪床堆積物を大きくえぐることは考えにくく、図9(下)の模式図に示す如く、崩壊の発生直後から低い摩擦角をもつ高速の地盤崩壊の運動が開始され、針原川の溪床に流入後も運動土塊の底面、あるいは針原川の堆積物の上面ですべり面液状化を起こしながらそれほど攪乱されず高速で移動した可能性が高い。ただし砂防ダムに激突後は、運動土塊全体が攪乱されることになるので、運動土塊内の水分状態が高い場合、全層液状化した可能性もある。今回の崩壊に近い現象としては、前述の1983年の島根県中場の崩壊、1984年の長野県松越地すべり、1976年の兵庫県一宮の地すべりなどがあり、誘因は地震、豪雨と異なるが、いずれも崩壊土塊が高速で流動している。また、溪床堆積物のすべり面液状化が地すべり土塊や崩壊土塊の高速運動を発生させたと推定されるものに、1996年の長野県蒲原沢の土石流(佐々他⁷⁾1997)、1997年の秋田県澄川の地すべり(佐々他⁸⁾1998)がある。

今回の試験により、兵庫県南部地震で発生した西宮市仁川地区の地すべりや1996年の長野県蒲原沢の土石流について試験を実施したような急激(動的)な载荷ではなく、徐々(静的)に水位が上昇するような場合でも、せん断破壊後のせん断の進行にともなう粒子破碎とそれに伴う体積収縮・過剰間隙水圧上昇が速い速度で生じる場合には、すべり面液状化が発生しうることが確認できた。しかもせん断面から数cmの排水経路しかない場合でもすべり面液状化が発生したことは、豪雨に伴う高速地すべり、流動性崩壊の原因として重要と考えられる。また、この実験は出水市の崩壊についての再現試験であるが、一般的な特性を調べるには、せん断ゾーンでの過剰間隙水圧の値を規定する垂直応力・せん断距離と粒子破碎の関係、粒子破碎・体積収縮・飽和度と過剰間隙水圧発生との関係、地層の透水係数・排水経路長・粒子破碎の進行に伴うせん断ゾーンの透水係数の変化等によって規定される排水速度と粒子破碎による間隙水圧発生速度の関係など多くの課題がある。

6. 謝辞

本研究において出水土石流の空中写真、地形図の提供など多大のご協力をいただいたアジア航測

(株)の千葉則行達郎氏、現地調査を一緒に実施していただいたユネスコ文化部の野口英雄氏、防災研究所の岡田康彦・王功輝両氏に感謝いたします。

7. 参考文献

- 1) 佐々恭二・福岡浩・汪発武 (1997): 地震時地すべり再現試験機の開発, 第36回地すべり学会研究発表講演集, pp. 223-224.
- 2) Sassa, K. (1995): Access to the dynamics of landslides during earthquakes by an ewcyclic loading ring shear apparatus. Proc. 6th International Symposium on Landslides, 1992, "Landslides", Vol. 3, Balkema, pp. 1919-1939.
- 3) 日浦啓全・佐々恭二・大手桂二・海堀正博 (1991): 液状化による崩壊の発生について—中場大崩壊をケーススタディーとして—。地すべり, 27-4, pp.26-32.
- 4) 佐々恭二・福岡浩 (1995): 西宮市仁川地すべりと地震時地すべりの発生予測, 地すべり学会・兵庫県南部地震等に伴う地すべり・斜面崩壊研究報告書, pp.145-170, 1995.
- 5) Sassa, K., H. Fukuoka, G. Scarascia-Mugnozza & S. Evans: Earthquake-Induced Landslides; Distribution, Motion and Mechanisms. Special Issue of Soils and Foundations, pp. 53-64, 1996.
- 6) Sassa, K. (1996): Prediction of earthquake induced landslides. Proc. 7th International Symposium on Landslides, "Landslides", Balkema, pp.115-132.
- 7) 佐々恭二・福岡浩・汪発武 (1997): リングせん断試験による蒲原沢土石流の再現試験, 月刊地球, Vol.19, No. 10, 「崩壊誘起土石流」特集号, pp. 645-651.
- 8) 佐々恭二・福岡浩・汪発武: 秋田県澄川地すべり、鹿児島県針原川土石流における高速長距離土塊移動のメカニズムについて。地すべり、投稿中。

航空写真測量による出水市針原地区斜面崩壊部の生産土砂量の算出

長崎大学工学部 後藤恵之輔、全 炳徳
長崎大学大学院 中村 晋一

1 はじめに

出水市の針原地区で起きた土砂災害は、1997年7月10日未明に発生し、住家18棟が土石流に押し流され、21名に上る死者と重軽傷者13名を出す大惨事となった。著者等はこの災害について現地調査を重ねるとともに、地上・宇宙リモートセンシング技術を駆け付け、原因分析とリモートセンシング技術の土砂災害調査可能性について検討してきた^{1)・3)}。

本研究は、針原川の斜面崩壊部からすべり出されてきた土砂量について、航空写真を用いた写真測量技術による検討を行なったもので、航空写真フィルムからのスキヤニング、内部・外部オリエンテーション、3次元データ抽出の過程を経て、重ね合わせ処理による土砂量の算出を試みた。GCP (Ground Control Points) としては GPS (Global Positioning System) を使用し、現地での測量から選ばれたデータを用いた。これらの結果から、土砂量の算出量が約174千 m^3 であることが分かった。これらの結果は、今まで推定していた値(約10万~20万 m^3)とほぼ一致しており、実際に生産された土砂量に近い値であると推測される。

2 研究方法

2.1 土砂量算出の基本原則

本研究で用いた土砂量算出の原理としては、前述のようにステレオ写真フィルムをスキヤニングした後、写真測量技術により抽出された3次元情報の結果から、災害前・後のデータを重ね合わせ、災害前・後の3次元情報から算出される差(重ならない3次元情報量)を生産土砂量として定義した。図-1にこれらの概略図を示す。

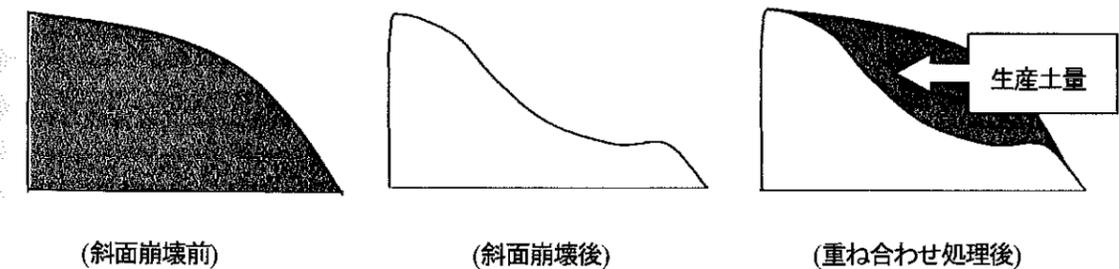


図1 土砂量算出の原理を説明した概略図

2.2 土砂量算出のための航空写真測量

本研究では、土砂災害地域を含む計4枚(災害前2枚、災害後2枚)の航空写真と地形図からなる立体モデルを考え、航空写真に写された出水市針原地区の現場と都市計画図(1/2,500 地図)に現された同点の位置を結ぶ相互標定を行なった。相互標定により求められた災害現場と航空写真との間には相似性を保つモデルが形成され、災害現場を写した航空写真カメラ位置と傾きなどが決定される。これらの結果から、絶対標定が行われ、対象物の3次元データが算出される。本研究ではデジタルフォトメトリーシステムとして Lica の DSW400 を使用した。このシステムにより、航空写真のフィルムから現場の3次元データを抽出するための作業の流れは以下のようになる。

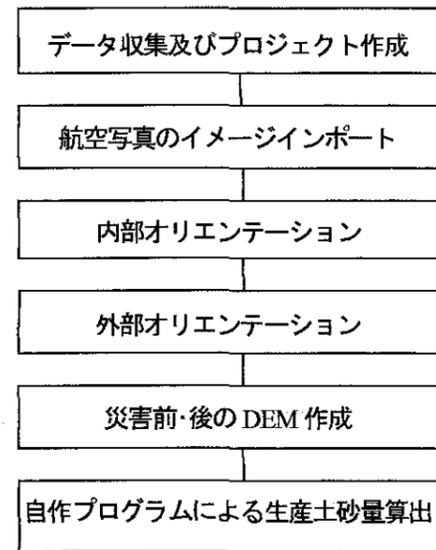


図2 航空写真フィルムから3次元情報を抽出するフロー

2.2.1 プロジェクト作成及びイメージインポート

本研究においてプロジェクトとは、航空写真のフィルムから3次元データを抽出するために必要とする全データ(テレイン・ファイル、フィーチャ・ファイル、グラウンド・ポイント・ファイル)の収容器である⁹⁾。プロジェクト名が決定されると、プロジェクト・ファイル(プロジェクト名.prj)とともに同名のディレクトリが作成され、すべてのデータ・ファイル管理はこのディレクトリの中で行なわれるようになっている。プロジェクト・ファイルには使用する地理的座標系と単位などが記される。

イメージインポートは航空写真フィルム(240×240mm)から大型スキャナーによりデジタルイメージが入力される作業の過程を意味しており、本研究ではデジタルデータの1ピクセルのサイズを航空写真フィルムサイズの0.0125×0.0125mm(災害前)と0.025×0.025mm(災害後)として設定しスキャニングした。

2.2.2 内部・外部オリエンテーション

内部オリエンテーションは、写真上に写されている像がカメラの特性(カメラ本体やレンズの違い)によって、また、使用しているフィルムや撮影時の気温・湿度などによって変わる内部的な誤差を補正す

るものである。特に、デジタルフォトグラメトリとしての内部オリエンテーションは、スキャニングした航空写真データの4つの指標及び主点の位置情報を、デジタルイメージ上に位置するピクセル情報として変換するものであり、撮影したカメラのキャリブレーション情報を必要とする。

外部オリエンテーションの目的は、スキャニングしたイメージと調査対象地との関連性を定義することで、定義された情報から3次元空間情報が算出される。これらの過程で必ず必要とする情報は、GCP情報であり、2つまたは、それ以上のタイポイント(ステレオイメージの重なる地域での共通ポイント)情報である。本研究ではGCP情報として10ポイント(基準点を含む)の情報を使用しており、GCP情報はタイポイントとしても利用されている。また、GCP情報は現地でのGPS測量により得られたものである。

2.2.3 DEM(Digital Terrain Model)作成と自作土砂量計算プログラム

DEMとは、ポストと呼ばれるエレベーション・データ・ポイントの2次元配列である。このポストの配列は常に、プロジェクトの座標系として整理されるようになっている。本研究では最終的に作成されたDTMをASCIIファイルに変換し、生産土砂量を計算するのに用いた。

土砂量計算に用いたプログラムはMatlab言語により作成されたもので、DEMから変換されたASCIIファイルのヘッダー情報を読み込み、DEMによる3次元画像の大きさを定めるとともに、各ピクセルには地理的な位置情報を対応させることにより、災害前・後の重ね合わせ処理ができるように配慮した。本研究で計算された生産土砂量はこの自作プログラムによるものである。

2.3 GPS測量による現地調査

GPS(Global Positioning System)とは、米国が開発した人工衛星による位置決定のためのシステムである⁹⁾。GPSを日本語で訳すと、汎(全)地球測位システムとして表現できるが、このGPSは測量技術の革命児とも呼ばれている⁹⁾。その理由は、従来測量における多くの技術的制限(見通しが良いこと、距離測定結果が安定する時間帯であること、雨天時には測定できないこと、場合によっては樹木の伐採などが必要であること等)を打ち破った技術の特徴にある。

本研究で必要とする現地測量データは、ほとんどが条件の厳しい山地の測量を必要としていたため、従来の測量では大変な大掛かりの作業量を必要としていた。しかし、本研究で用いたGPS測量は9ポイントのGCPを測定するのに対して1日の作業だけですべての測量作業が済んだ。

このGPSの測量方法には、大きく分けて単独測位と相対測位(干渉測位)として2分化される。単独測位は、GPS衛星とレーザー間の搬送波の伝播時間を測定して距離を算出する方法である。この方法はレーザーが1局のみで済むので、簡単であるが距離の誤差は30m~100mとなり精密測量には向いていない。これに対して、相対測位(干渉測位)は既知点にGPSの基準局を設置し、求めようとする目的の時点でGPSのレーザーを設置・受信することにより、30cm以内の精密情報を得ることが可能である。

本研究では後者の相対測位による精密測定による各GCP点の3次元情報を取得した。表1に既知点として用いた国土院の3等三角点とGPS測量を行なった9ポイントに対する情報を示す。この情報は現地調査により得られたデータを用いて、GPSの計算ソフトにより算出された相対測位法による既知点の情報である。

表1 本研究でGCPデータとして用いたGPS測量ポイント

測定点	緯度 / 経度 / 高度(m)	測定点	緯度 / 経度 / 高度(m)
基準点(坪の後)	32° 07'21.5"/130° 20' 49.9"/21.82	①	32° 07'25.7"/130° 21' 46.7"/105.8
②	32° 07'8.65"/130° 21' 34.1"/54.90	③	32° 07'42.8"/130° 21' 44.9"/95.00
④	32° 08'5.11"/130° 21' 30.8"/12.70	⑤	32° 08'3.21"/130° 21' 56.3"/欠損
⑥	32° 07'10.7"/130° 21' 34.6"/欠損	⑦	32° 07'40.6"/130° 21' 51.6"/122.0
⑧	32° 07'57.7"/130° 22' 11.0"/204.5	⑨	32° 07'59.4"/130° 22' 4.17"/164.1

2.4 使用したデータ

本研究で使用した航空写真フィルムは、災害前(1997年6月30日撮影)と災害後(1997年7月13日撮影)のものである。1997年6月30日に撮影した航空写真(写真番号:1098-1100と1122-1124)は、出水市が都市計画地図制作として建設省国土地理院に依頼し撮影したものであり、災害後のデータは、国際航業で災害調査用として撮影したもの(写真番号:1002-1005)である。これらのデータの中で、本研究のDTM作成用として使用したものは、災害前のもので写真番号1099と1100であり、災害後では1004と1005を用いた(図3参照)。

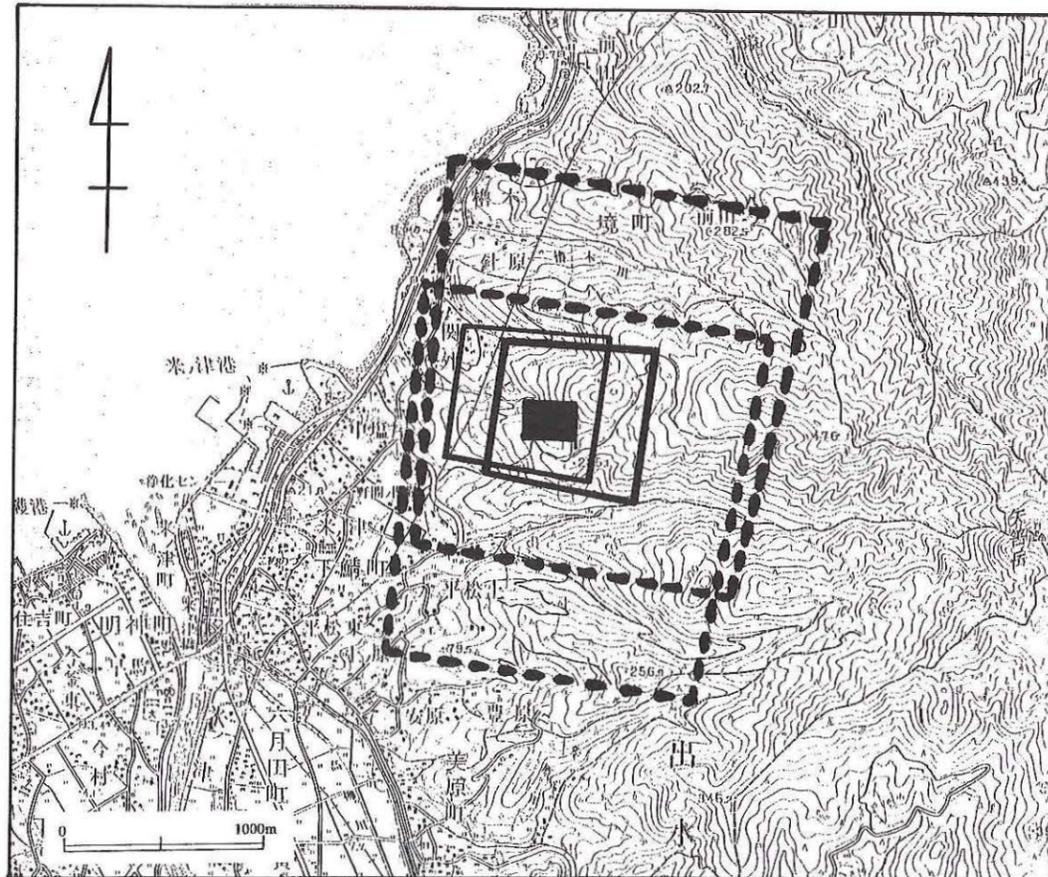


図3 本研究の対象地と航空写真(災害前[点線]、災害後[実線])の撮影場所(黒く塗りつぶされているところが本研究で作成したDTMモデル区域)

3 結果と考察

図3は本研究の対象地である災害現場(出水市針原地区)を示した図であり、写真1は図3の中で災害後のDTMモデルを作成した地域だけの航空写真(災害後)である。図3からも伺えるように、災害前と後には撮影高度が異なったため、一枚の写真に収められる撮影範囲も異なっている。災害前のデータ(点線で示した部分)は都市計画図を制作するために撮影したもので撮影範囲が広く、災害後のデータ(実線で示した部分)は土砂災害の調査用としていたため、特に、地すべりを起こした部分から土砂が流れ下った針原川周辺を主に撮影している。

写真1は図1の黒く塗りつぶしたDTMモデル作成区域の航空写真で、写真2は同じ地域のDTM結果から選ばれた生産土砂量の結果図である。また、写真3と4は災害前・後のDTM結果である。作成されたDTM画像は緯度・経度によって仕切られており、1ピクセル当たりの面積は表2のような計算結果から約18m²となっている。

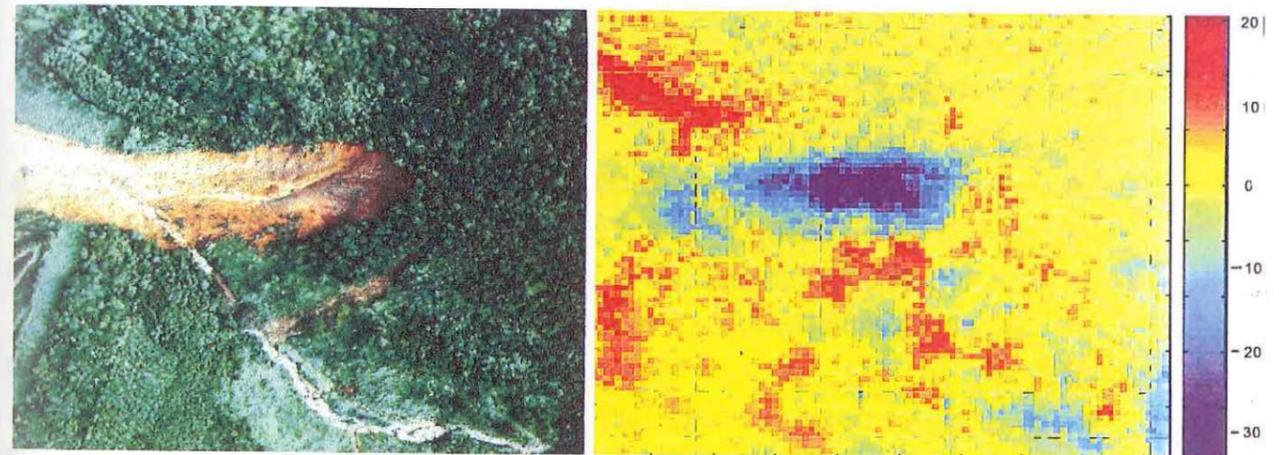


写真1 土砂災害現場の様子(災害後の航空写真)

写真2 DTM結果から選ばれた生産土砂量

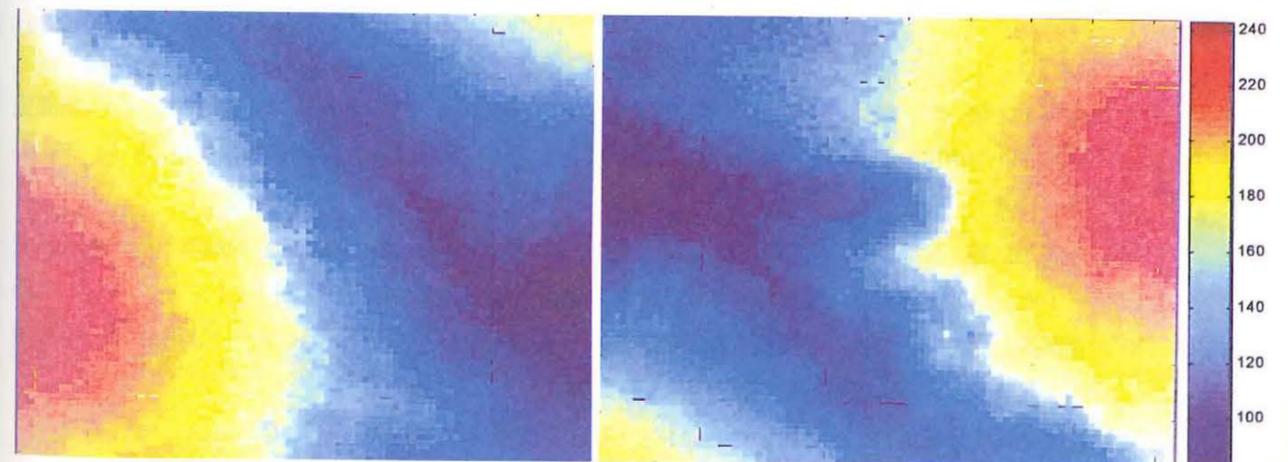


写真3 災害前の針原地区のDTM結果

写真4 災害後の針原地区のDTM結果

表2 本研究で作成されたDTMの1ピクセル毎の面積

緯度・経度の距離単位	緯度方向	経度方向
秒単位	0.15 秒	0.15 秒
メートル(m)単位	4.612m	3.904m
面積(m ²)	18.005 m ²	

本研究で開発された自作プログラムによる崩れた土砂(図1参照)の生産土砂量の計算結果(写真2参照)は、約174千m³であった。この結果は、約10万から20万m³として推定していた量に収まっており、精度良く生産土砂量を算出していると推測される。

4 まとめと今後の課題

本研究のまとめとしては以下のようなことが挙げられる。

- ①航空写真測量により土砂災害の生産土砂量を算出することができた。
 - ②GPS測量の結果から、山岳地帯の3次元情報抽出が容易であることが分かった。
 - ③航空写真の土砂災害調査への有効性が立証された。
- また、以下のようなことが今後の課題である。
- ①生産土砂量の結果、崩れたところ意外に部分的に土砂量が増えている部分がある。原因として考えられるのは、航空写真として使用した災害前・後のデータが飛行高度によるアナログ写真情報の違いが生じていたため、精度に若干の誤差が含まれているからである。また、崩壊前と後には健全な樹木と倒れてしまった樹木などの情報が写真上に含まれていたため、誤差を生じさせたと思われる。
 - ②本研究では2枚の写真だけの使用により、生産土砂量を算出している。今後、民家まで広がる写真情報から、正確な生産土砂量を算出するのが課題の一つである。

本研究を進めるに当たり、建設省国土地理院と出水市また、国際航業からは貴重な航空写真データを提供していただいた。ここに記し、感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 後藤恵之輔、全 炳徳、中村晋一、山中 稔、持下輝雄：サーマルカメラによる1997年7月斜面災害調査～出水市針原地区と長崎市北陽町を対象として～、長崎大学工学部研究報告第28巻、第50号、1998.1.
- 2) 後藤恵之輔、全 炳徳、中村晋一、山中 稔：1997年7月出水市土石流源頭部崩壊斜面の地上リモートセンシング観測、自然災害科学研究西部地区部会報・論文集第22号、1998.3.
- 3) 後藤恵之輔、全 炳徳、前間英一郎、中村晋一：人工衛星データによる1997年7月出水市土石流災害の調査解析、計算機科学研究報告第15号、1998.3.
- 4) HELAVA Associates Inc. : User's Manual SOCET SET Version 3.1, pp.3-1 ~ 3-14, 1996.
- 5) 土屋 淳、辻 宏道：GPS測量の基礎、社団法人 日本測量協会、1995.6.
- 6) 村井 俊治：ジオインフォマチックの世界、社団法人 日本測量協会、1995.6.

針原川の土石流災害の特性と問題点

九州大学工学部 平野宗夫・橋本晴行・森山聡之
九州大学農学部 小川 滋
鹿児島工業高等専門学校 疋田 誠

はじめに

鹿児島県出水市の北部を流れる針原川は、流域面積1.55km²、流路延長2.3kmの小河川で、災害発生当時は準用河川であったが、災害2ヶ月後の1997年9月3日に二級河川に指定された。

1997年7月上旬、九州地方は停滞した梅雨前線の影響で大雨となっていたが、出水市では7月7日午前零時から10日午前零時までの3日間で397.5mmの降雨量を記録した。9日は10時頃から断続的に強い降雨があり、10日未明針原川で土石流が発生した。針原川には堤高14m、堤長85m、計画貯砂量22,000m³の砂防ダムが建設中で本体はほぼ完成していたが、ダムの上流約400m付近の右岸山腹が崩壊し針原川に流入して土石流となった。土石流は砂防ダムを乗り越えて同市境町針原地区を直撃し、死者21、重軽傷13、住家の全壊18棟、同半壊1棟、床上浸水4棟、床下浸水17棟、非住家の全壊11棟、同一部破損2棟など激甚な被害を与えた。

災害の発生に先だつ9日23時過ぎに、異様な物音が住民に感知されている。音を聞いた人達は心配になって三々五々と川を見に行ったが、雨が止んで川の水量も減っていたので、避難は考えず帰宅した。土石流が集落を襲ったのはそれから約1時間後のことであった。

1. 土石流災害の概要と問題点

1.1 土石流の概要

災害の発生が110番に通報されたのは10日0時49分、出水市消防署に通報があったのは0時59分で、それを受けて消防は1時03分に出動し、1時14分に現場に到着している。針原地区では0時42分に停電(九州電力米の津変電所の記録による)していること、住民が異変を感じたすぐ後に停電したこと、被災地のがれきの中から0時44分を指したまま止まった目覚まし時計が見つかること、などから土石流の発生は0時40分頃と推定される。

これに先立つ9日23時頃から24時少し前の間に、土石流の予兆と思われる異様な物音が住民によって感知された。「岩石の崩れるような音」「何の音とも表現できないザーッと言うような音」「何かゴォッと言うような音」「地響きみたいな音で大きな車が通ったのかなと感じた」など人によって表現はさまざまであり、時間も「11時頃」「11時10分頃」「11時45分から50分頃」とまちまちである。したがって、異様な物音は1回だけでなく何回か発生していた可能性がある。また、「川底が見えるくらい水量が減っていた」と証言する人もある。これら「異様な物音」や「川の水量の異常な減少」などはいずれも土石流や山崩れの予兆として知られているものであり、針原地区の災害においては、明瞭な前兆現象が感知されたといえよう。

1.2 土石流の経緯

土石流の痕跡をみると、発生後溪流左岸に乗り上げながら流下し、砂防ダム直上

流で右岸寄りに進み、溜池を埋め尽くし、砂防ダムに突入した。溜池は砂防ダムの上流約120mの地点にあり、常時の貯水量は5800m³であるがこのときは9000m³程度の水量があったと推定されている。この水とダムに貯まっていた水（後述するように数100m³程度）が土石流の先端により押し出され、ダムに衝突してはね上げられ、ダム直下流に明瞭な痕跡を残している。また、その右岸痕跡が左岸のそれより高いこと、ダムの右岸袖部が破壊されていることなどから、土石流の主流はダム地点で右岸寄りであったと推定される。針原川は砂防ダム下流120mのところまで右に約45°屈曲しているが、土石流はそのまま直進して集落を直撃した。土石流は家屋を破壊した後、畑や道路を泥流となって流下し、砂防ダムから約1km下流のJR鹿児島本線まで達した。

住民が聞いた異様な音が山腹の崩壊によるものだとすると、それによって川がせき止められるから、異常な水量の低下についても説明が付く。しかし土石流の痕跡から、大規模崩壊土砂はそのまま土石流となって流下したものと思われ、一旦河道に堆積し1時間後に流動化して土石流になったとは考えにくい。したがって異様な音は、本崩壊に先立つ小規模な崩落によるものである可能性が高い。また、山腹の一部が崩壊すると残存土砂は不安定性を増すから大規模な崩壊も発生しやすくなる。小規模な崩落土砂により形成された天然ダムの崩壊が大規模崩壊やその流動化の誘因になったことも考えられる。いずれにしろ、大規模崩壊に先立って小規模な崩壊があったとするのが自然な考え方のように思われる。

なお、災害後の数日間、崩壊土砂の流入地点の針原川直上流に小規模な天然ダムが残存していた。これは大規模崩壊土砂の一部が河道に残ってできたものと思われるが、土石流発生後、これが崩壊して小規模な段波を発生させた可能性がある。土石流の本体が流下後、1-2波の土石流があったという住民の証言はこれによるものかもしれない。

1.3 問題点

1.3.1 避難に結びつかなかった予兆現象

今回の災害の特徴は、土石流の予兆と思われる現象が住民によって感知されていたことである。前述のような異様な物音を聞いた人達は心配になり川を見に行っている。しかし、川の水が減っていたので、「安心して」帰宅した。これらの現象は、土石流やがけ崩れの予兆として防災関係者には周知のことであるが、針原地区の住民には全然伝わっていなかった。

針原川は80年に土石流危険渓流に指定されており、「土石流危険渓流 水系針原川 土石流が発生する恐れがありますので大雨の時は十分注意して下さい 出水市」と書いた看板が立っている。また、97年3月26日には針原地区の南15kmを震源とするM6.3の地震が、ついで5月13日には南南西21kmを震源とするM6.2の地震が発生し、出水市役所では5月13日に震度5強が記録されている。これらの地震により土砂災害発生危険性が増加していることが懸念され、震源地近くの市町村では、梅雨入りに当たって土砂災害に対する警戒を強めていたはずである。このような条件のところでも土石流に関する防災情報が住民に伝わっていなかったということは、防災に関するPRや情報伝達について問題を提起するものであり、行政、報道機関、住民等で検討すべき課題である。

1.3.2 長期にわたる避難勧告

出水市では針原地区に、まず7月10日18時に避難勧告を出し、15日8:30に一旦解

除、次いで17日8:10に避難勧告、同日17時に解除した。さらに翌18日1:40に避難勧告が出されたが、この勧告は10月下旬に解除されるまで継続した。この間45世帯125人が避難所での寝泊まりを余儀なくされている。被災直後には、砂防ダムの上流には約5万m³の土砂が堆積しており、崩壊地の拡大も予想されたから、堆積土砂の除去や、倒壊家屋の撤去などの作業の際には二次災害への嚴重な注意が必要であった。しかし住民にとって、長期間蒸し暑い夜を避難所で過すのはかなりの難行である。住民の負担を少しでも軽減するために、危険の度合いや気象条件に応じたきめの細かい勧告の出し方についても検討する必要がある。

2. 降雨の特性

2.1 降雨記録

針原地区の最寄りの雨量観測所としては、アメダス出水局があり、出水浄化センターには自記雨量計が設置されている。また、出水市は建設省南部レーダ局の観測範囲には入っている。アメダス出水局は崩壊地南方9.5km、出水浄化センターは南西4.5kmにあり、レーダ局の資料は崩壊地上空を含む3kmメッシュの平均値で与えられている。各資料について時間雨量のハイトグラフを描くと図1のようである。

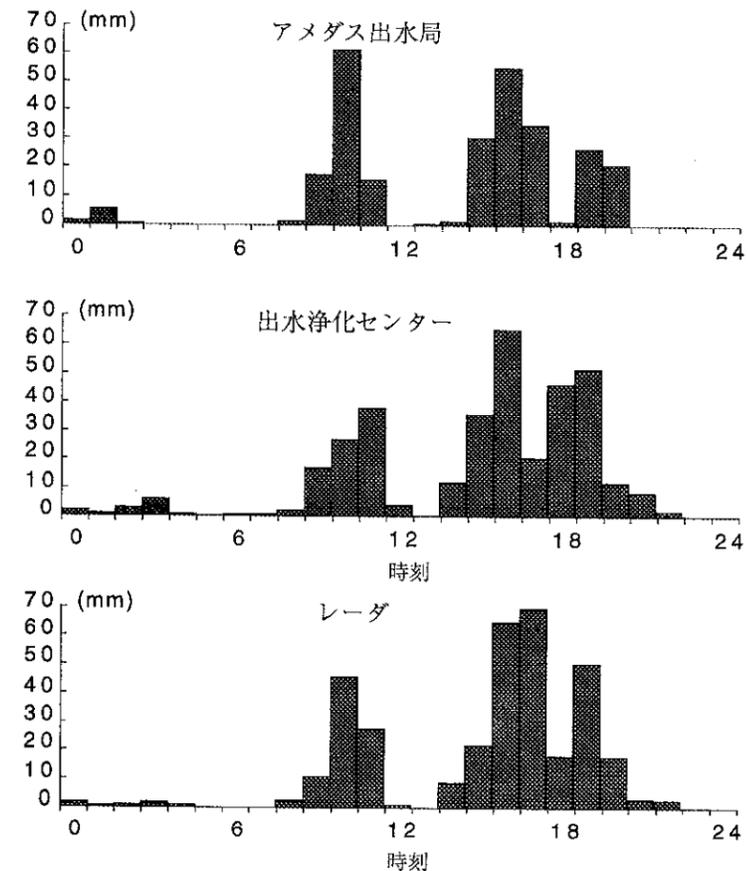


図1 1997年7月9日の時間雨量

上図によると、いずれも降雨波形は似通っており11時頃と17時頃の2つのピークをもっている。表1に示すように、レーダ及び浄化センターの日雨量及び午後の雨量は、アメダス出水局のそれより80mm程度少なくなっており、9日午後には針原周辺で出水市中心部より強い雨が降ったことを示している。

2.2 災害降雨

今回の災害時の雨を周辺で災害が発生したときの降雨と比較するために、近年鹿児島県宮之城土木事務所管内で発生した土石流や山腹崩壊の資料¹⁾から、人身や人家に損害を与えたものを取り出し表2に示す。

表1 7月9日の雨量(mm)

	日雨量	0-12	12-24
針原(レーダ)	352	93	259
アメダス出水局	275	103.5	171.5
出水浄化センター	356	97.5	258.5

表2 近年の主な土砂災害

生起年月日	発生町名	死者	負傷者	家屋全壊	同半壊	崩壊箇所	雨量観測所	備考
①69.6.26	祁答院町			3	6	11	大村	土石流、被害あり
②71.7.23	鶴田町			1		1	紫尾	
③71.8.5	樋脇町	6	2	3	10	1	川内	
④71.8.5	入来町			3	10	1	大村	
⑤72.7.6	鶴田町	2		9	10	8	紫尾	
⑥76.9.10	入来町				9	1	浦之名	土石流
⑦77.6.16	入来町				1	1	入来	
⑧82.7.25	宮之城町				1	2	宮之城	
⑨93.6.23	入来町				3		入来	

土砂災害の発生は、斜面における到達時間とその間の雨量によって規定される²⁾。ここでは、到達時間が不明であるので、最寄りの雨量観測所の時間雨量記録を用いて種々の時間に対する累加雨量の最大値を求める。それを累加時間に対してプロットすると図2が得られる。

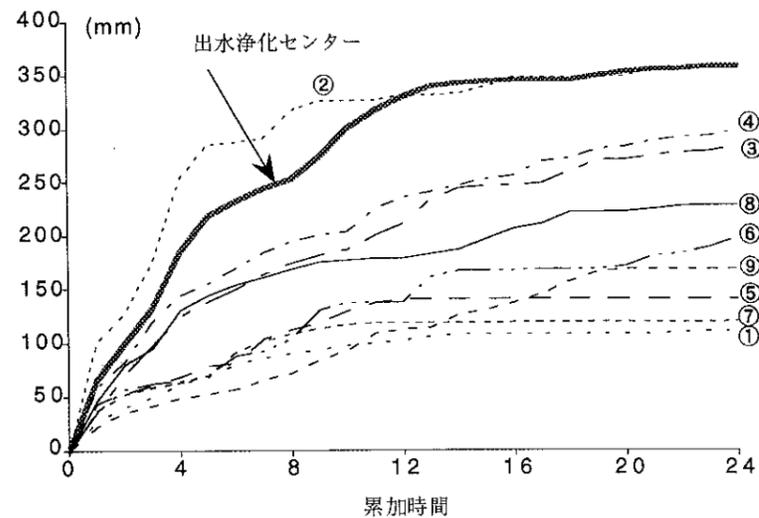


図2 災害発生時の最大累加雨量

図には針原川土石流災害時の出水浄化センターにおける累加雨量曲線も記入されているが、12時間までの雨量は71年7月23日の紫尾の雨量(表2の②)について2番目、12時間から24時間雨量についてはほぼ同じで1~2位となっており、まれに見る大雨であったことを示している。

3. 砂防ダムの水理特性

災害発生時における針原川の水量を検討するために、砂防ダムにおける水位と流出量の関係を求める。

3.1 砂防ダムの諸元

砂防ダムの水抜き孔と水通し部の諸元は図3の通りである。水抜き孔は6個で孔の直径は60cm、長さは4.76~9.71mである。

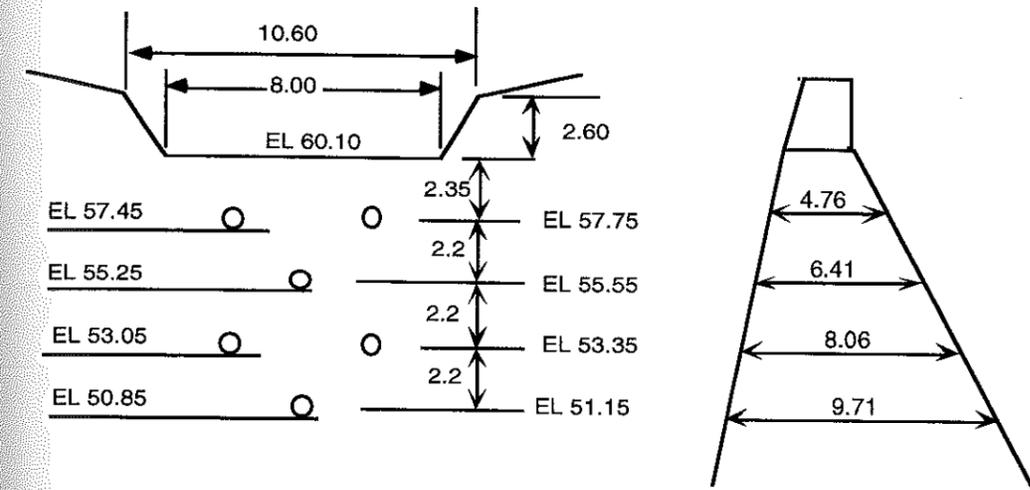


図3 砂防ダムの諸元

3.2 オリフィスからの流出量

水抜き孔からの流出は、図4に示すように満管で流れる場合と、自由水面が存在する開水路になる場合とがある。



図4 オリフィスからの流出形態

3.2.1 開水路で流れる場合

ベルヌーイの定理よりオリフィスからの流出量は下式で与えられる。

$$Q = CA\sqrt{2g(H-Z-h)} \quad (1)$$

ここに、 Q は流量、 C は流量係数、 A は断面積、 g は重力の加速度、 H は上流側の水

位、 Z は管底の標高、 h は管内の水深である。また図5より、水面幅 b 、水深 h 、流積 A などは下記のように表される。

$$b = 2r \sin \theta, \quad h = r(1 - \cos \theta), \quad A = r^2(\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

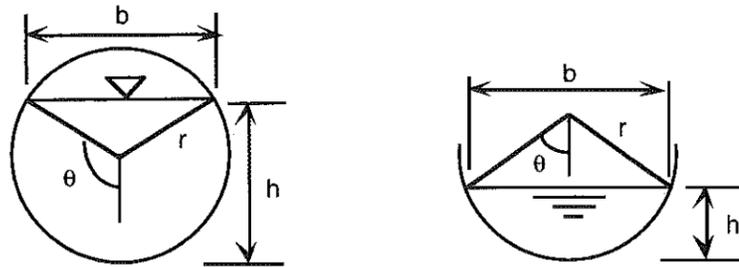


図5 オリフスの流れ

オリフス下流端では限界水深となるので、Belangerの定理により

$$\frac{\partial Q}{\partial h} = 0 \quad (2)$$

したがって、

$$\frac{Q}{C\sqrt{2g}r^{2.5}} = (\theta - \sin \theta \cos \theta) \sqrt{\frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{4 \sin \theta}} \quad (3)$$

ここに、

$$\frac{H}{r} = \frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{4 \sin \theta} + 1 - \cos \theta \quad (4)$$

流量係数はベルヌーイの定理

$$H = \frac{v^2}{2g}(1 + f_o + f_l) + h \quad (5)$$

を適用して

$$C = \frac{1}{\sqrt{1 + f_o + f_l}} \quad (6)$$

ここに、 v は流速、 f_o は入口の損失係数、 f_l は管の摩擦損失係数であり下記のように表される。

$$f_l = \frac{2gn^2L}{R^{4/3}}, \quad R = \frac{A}{S} = r \frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{\theta} \quad (7)$$

ここに、 R は径深、 S は潤辺、 L はオリフスの長さ、 n はマンニングの粗度係数である。

3.2.2 満管で流れる場合

大口径オリフスからの流量は次式で与えられる。

$$Q = \pi r^2 C_1 C_2 \sqrt{2g(H - Z + r)} \quad (8)$$

ここに、

$$C_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + f_o + f_l}}, \quad R = \frac{r}{2}, \quad C_2 = 1 - \frac{1}{32} \left(\frac{r}{H - Z + r} \right)^2 - \frac{5}{1024} \left(\frac{r}{H - Z + r} \right)^4 - \dots$$

3.3 水通し部の越流量

図6に示すように、水通し部の幅を B 、上流側の水深を H 、下流端の水深を h とすると、流量は次式で与えられる。

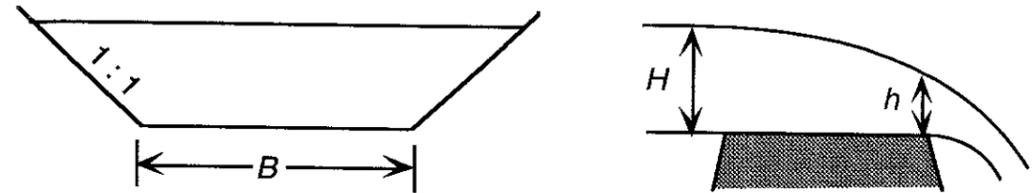


図6 水通し部の流れ

$$Q = A \sqrt{2g(H - h)} \quad (9)$$

下流端に限界水深が現れることから $\partial Q / \partial h = 0$ とおくと

$$\frac{h}{B} = \frac{1}{5} \left(2 \frac{H}{B} - 3 + \sqrt{\left(\frac{H}{B} \right)^2 + 8 \frac{H}{B} + 9} \right), \quad A = B h \left(1 + \frac{h}{2B} \right) \quad (10)$$

ここに、 A は流積である。

3.4 水位流量曲線

入口の損失係数 $f_o=0.5$ 、マンニングの粗度係数 $n=0.012$ として、上記各式を使用して水位に対する流出量を計算し図示すると図7のようになる。

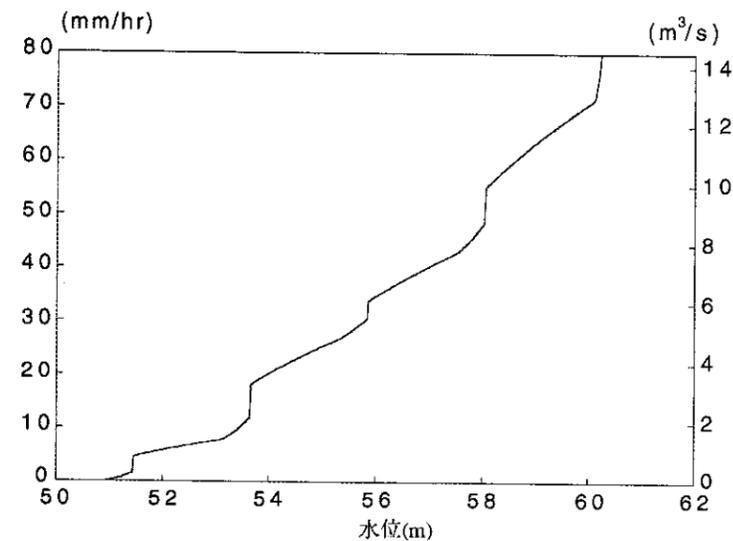


図7 水位-放流量

4. 流出解析

流出解析を行うためには、流出波形の実測値が必要であるが、針原川には量水標等は一切ないので、以下の手順で砂防ダム地点(流域面積は 0.65 km^2)における実績流量を推定する。①災害前日の写真や関係者の証言から砂防ダムの貯水位を推定

し、それから砂防ダムからの実績流出量を求める。②パラメータを仮定し流出波形を計算する。③計算した流出波形を用いてダムの貯水位とダムからの流出波形を計算し、実績流出量と比較する。

4.1 流出モデル

山地小河川における降雨と流出量の関係は次式で与えられる³⁾。

$$Q(t) = A \int_0^{\infty} k(\tau) r(t-\tau) d\tau \quad (11)$$

$$k(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} \frac{\phi(T)}{T} dT \quad (12)$$

ここに、 Q は流出量、 A は流域面積、 r は降雨強度、 $\phi(T)$ は到達時間 T の確率密度関数である。

$\phi(T)$ を対数正規分布と仮定すると上式は

$$\phi(T) dT = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S} \exp\left(-\frac{(X - X_m)^2}{2S^2}\right) dX \quad (13)$$

ここに、 $X = \log T$ 、 S は X の標準偏差、 $X_m = \log T_m$ は X の平均値である。

式(13)は S と T_m をパラメータとするパラメトリックモデルとして解くことができる。

4.2 流出波形の計算

一般に S は $\log 2$ 程度の値を取ることが多い³⁾ので、ここでは $S = \log 2$ とし、 T_m をパラメータとして計算を行う。レーダ降雨記録(5分平均降雨強度)を用い、種々の T_m の値について流出波形を計算する。図8は到達時間の平均値 T_m をパラメータとして流出波形の変化を示したものである。 T_m が小さくなるにつれて波形は扁平なものになる。

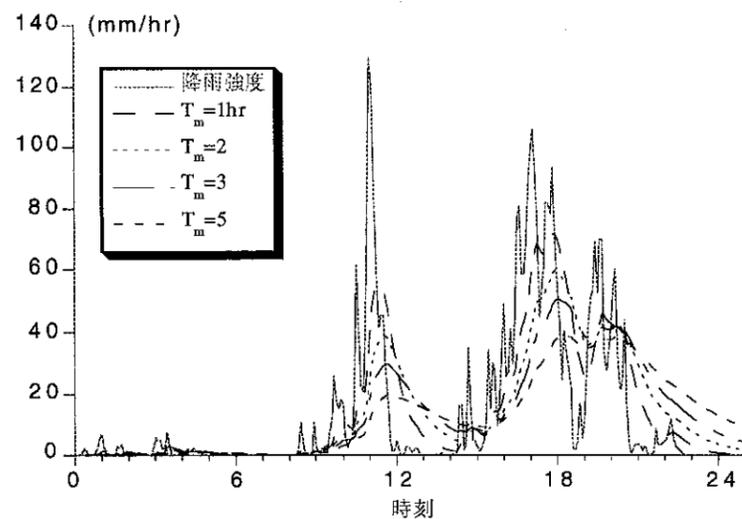


図8 レーダ降雨と流出波形

4.3 砂防ダムからの流出量と流出パラメータの同定

4.3.1 砂防ダム内水位の推定

7月9日は午前中と夕方に強い降雨があったため、砂防ダム工事関係者はしばしばダム周辺の見回りを行っており、写真撮影なども行われている。流出孔の写真と証言をもとに水位と流出量を推定すると表3のようである。

表3 水位と放流量の推定

判定材料	時刻	内容	推定水位	推定流出高
写真 写真 証言	14時頃	最下端孔は満管、下2段目の2孔から少しでている。	53.4m	9 mm/hr
	12時頃?	下2段目満管、下3段目は満管に近い。	55.9	34
	16時頃	全孔より流出。水通し部に越流の痕跡あり。	60.1	72

4.3.2 砂防ダム貯水位及び放流量の計算

ダム貯水池における連続の式は下記のようなものである。

$$S \frac{dH}{dt} = q_{in} - q_{out} \quad (14)$$

ここに、 S は貯水池の水表面積、 H は水位、 q_{in} は流入量、 q_{out} は流出量である。 S と H の関係は地形図より求められる。

図8に示したハイドログラフと先に示した水位と放流量の関係を用いて、水位と放流量を計算する。図9は $T_m = 1$ 時間として計算した流入量を用いて計算した結果を示したものである。図によると、流出波形の低減や時間遅れはごくわずかで、ダムによる貯留効果はほとんどない。

同図上に表3に示した流出高及び水位の推定値をプロットすると、計算値とよく一致する。したがって、 $T_m = 1$ 時間として計算した流出波形は、実績流量をよく再現していると考えられる。

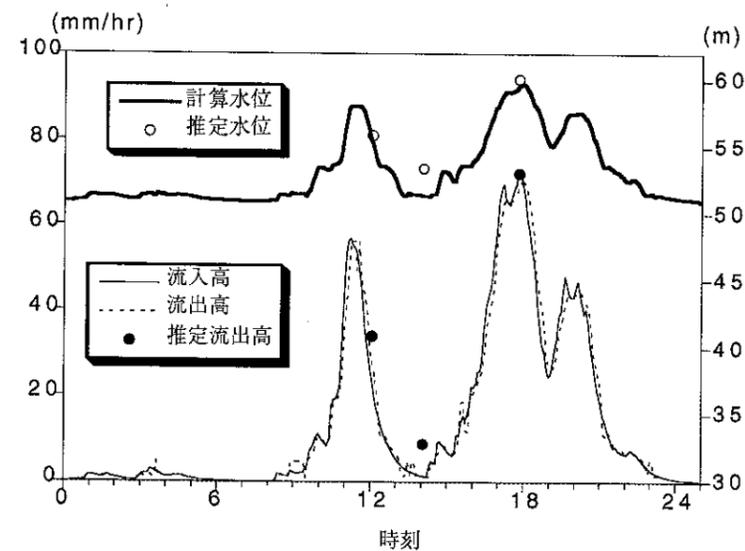


図9 水位と流出量の時間変化 ($T_m = 1$ 時間として計算)

上述の計算からえられる砂防ダムの貯水量を図示すると、図10がえられる。それによると、土石流発生時の貯水量は数100m³程度と思われる。これは、当時溜池に貯まっていたと思われる水量(9000m³)に比べるとかなり少ない量である。

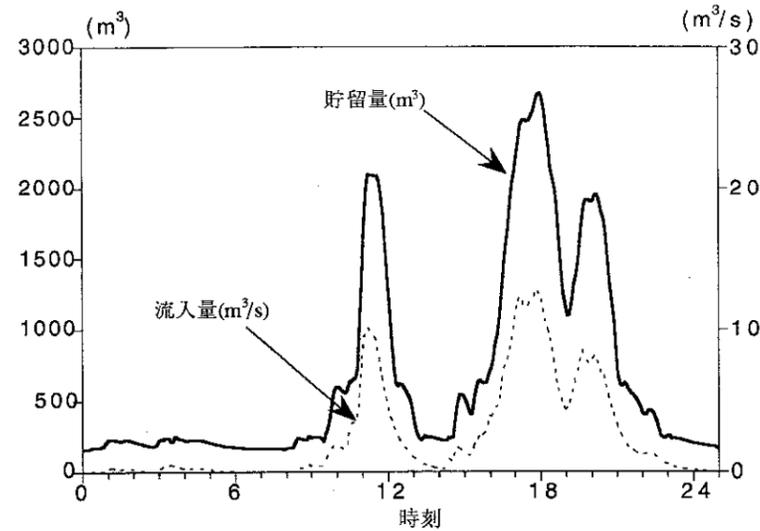


図10 貯留量の時間変化

おわりに

今回の災害の特徴は、土石流の予兆と思われる現象が住民によって感知されていたことである。しかし、それが住民の避難行動に結びつかず、多くの犠牲者を出してしまったことは、災害に関する情報伝達の問題点を表出したものであり、貴重な教訓となった。

崩壊のメカニズムと崩壊土砂が流動化して土石流になる過程については、災害直後から諸説があり未だ明らかではない。ここでは、これらに参与した河川の水量を定量化するために流出解析を行った。土石流発生時には砂防ダムの貯水量は数100m³程度で、溜池の貯留量(推定9,000m³)の数10分の1程度であったと推定された。したがって、土石流先端部により押し出された水や崩壊土砂の流動に参与した地表水の大部分は溜池の水であったと考えられる。

最後に、貴重な資料を提供していただいた鹿児島県土木部、同出土木事務所、砂防・地すべり技術センター、九州地方建設局に深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 鹿児島県土木部砂防課・国際航業：平成5年度土石流警戒避難基準雨量検証調査報告書、1994.3
- 2) 平野宗夫：土石流の発生とその予測、土木学会論文集、No.486/VI-22、1994年3月
- 3) 平野宗夫：山地小河川における流出過程について、土木学会論文報告集大308号、1981年4月

出水市針原川で発生した土石流の流動・堆積特性

九州大学工学部 橋本 晴行 平野 宗夫
 鹿児島工業高専 正田 誠
 九州大学大学院 Kichan Park

1. はじめに

九州南部における97年6月の降雨状況は平年に比べて2割程度多めであったが、7月に入ると倍以上となった。例えば、鹿児島県出水市などでは7月7日から10日までの4日間で613.5mmも降った。このような状況の中、7月10日午前零時44分頃出水市針原地区において、針原川河口から約1.9 km上流の右岸山腹斜面が崩壊し、土石流となって下流へ流出した。その結果、死者21名、重軽傷者13名もの被害を出した^{1) 2) 3) 4)}。著者らは災害後、数回に渡り現地を訪れ、堆積土砂のサンプリング、流路の横断面測量などを行ってきた。本報告は、それらを基に、土石流の流動・堆積特性、特に土石流のピーク流量などについて調べたものである。

2. 土石流の発生・流下状況

図1の灰色の部分で土石流の発生・流下した範囲である。ここにA点が崩壊発生地点、B点が針原川との合流点、C点が砂防ダムの位置である。また、No.1, 2, 3は堆積土砂の採取地

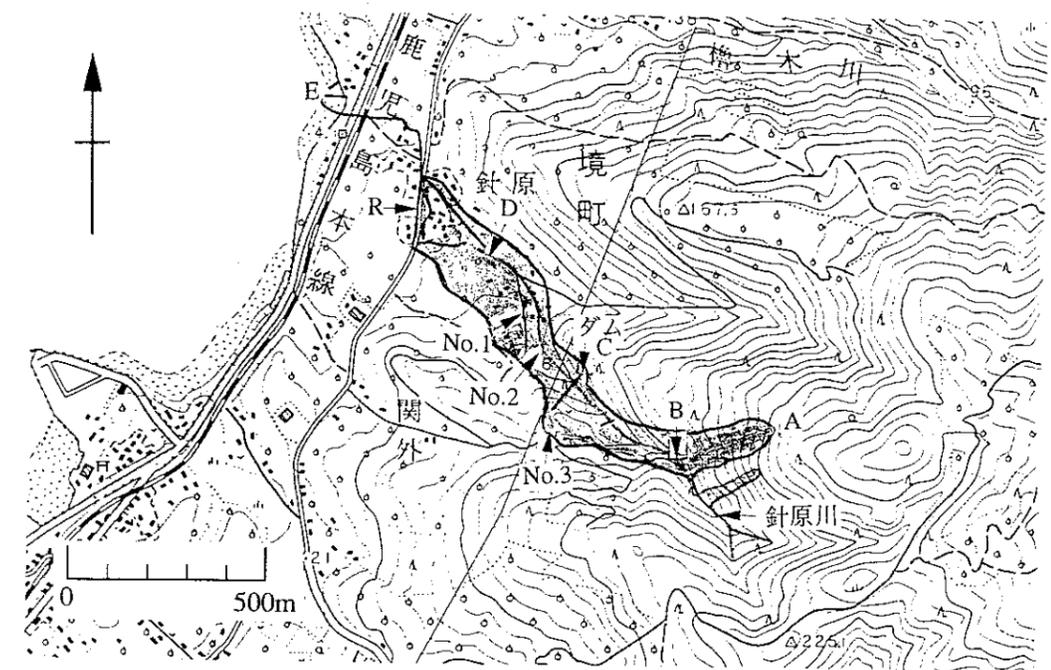


図1 土石流の流下状況の平面図

点である。土石流の発生・流下した面積は約 0.11km^2 である。砂防ダム（高さ 14m ，堤長 85m ，貯砂量 22000m^3 ）は建設されたばかりであるが，その上流約 600m の右岸山腹斜面で崩壊が発生した。針原川に流入後，川沿いに流下した土石流は，ダムで一部土砂を堆積させ，残りは砂防ダムを越えて直進し，針原地区の集落を襲った。

図2は，土石流が流下した流路の中央に沿って縦断面図を求めたものである。ここに，崩壊の源頭部をA点とし，さらに，流路中央の延長線上の海岸をE点として便宜上の原点とした。流路を勾配に基づき4つの区間に大別することができる。平均勾配 26° の崩壊発生区間 AB

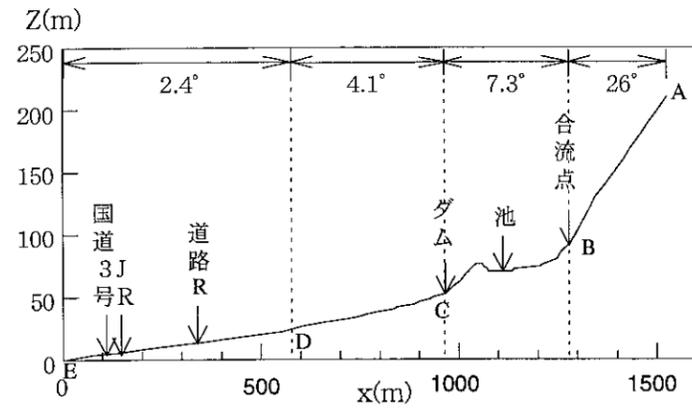


図2 流路の縦断面図

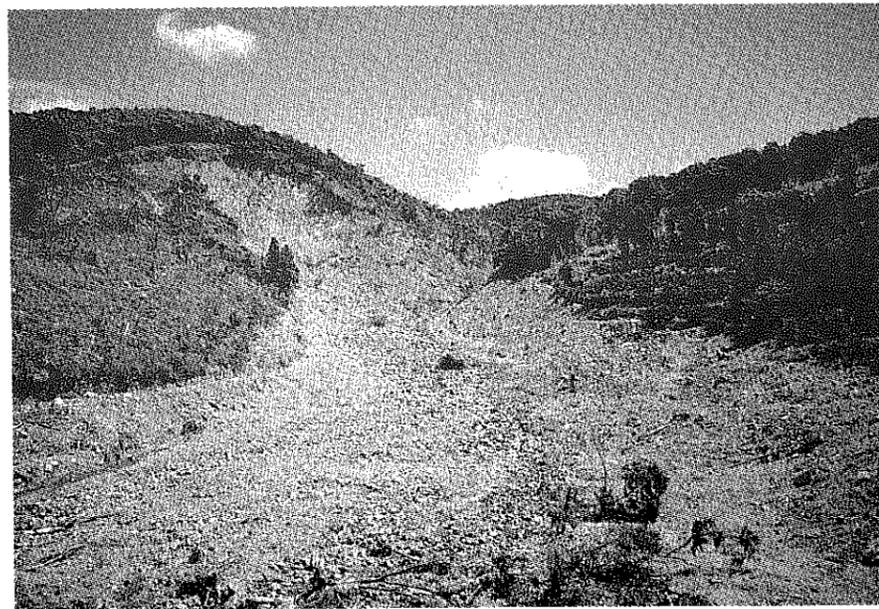


写真1 池付近から崩壊地を望む（1997年8月30日撮影）



写真2 砂防ダムに堆積した土砂と樹木
（ダムの上流から下流方向を望む，1997年7月15日撮影）

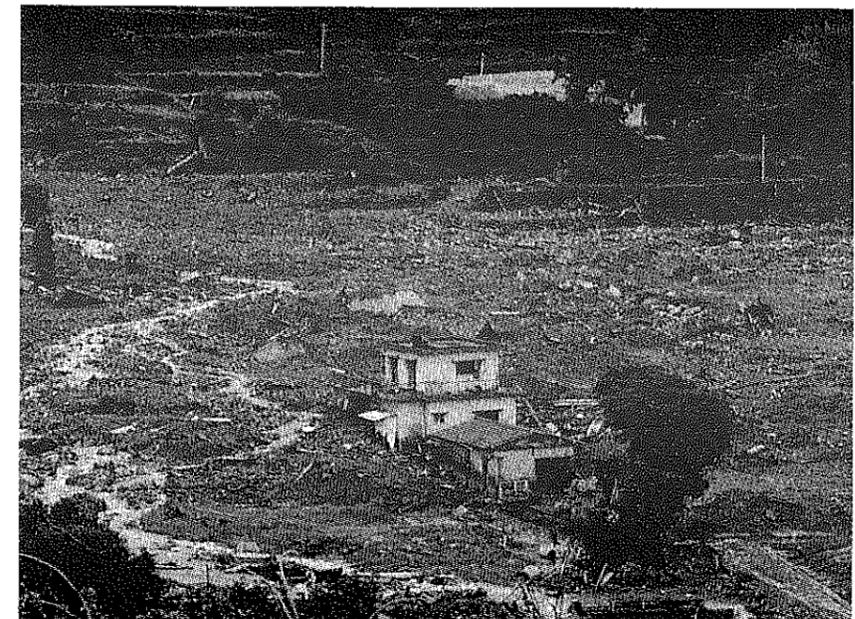


写真3 土石流が氾濫した区域
（右岸側高台から上流方向を望む，1997年7月12日撮影）

(写真1), 平均勾配が7.3度で, 池(推定貯水量約1万 m^3)や砂防ダムのある区間BC(写真2), 土石流が氾濫した平均勾配4.1度の区間CD(写真3)および2.4度の区間DEである。区間CDには針原地区の集落があり, この区間で住民に多大の被害を及ぼした。区間ABの崩壊幅は約70m, 崩壊長は約250mであった。また, 建設省などの調査によれば, 崩壊土量は16万 m^3 あり, その内15万 m^3 が流下し, ダム上流の区間BCに7万 m^3 , ダム下流域に8万 m^3 それぞれ堆積したとされている⁹⁾。

3. 土石流の痕跡水位

図3は, 区間BCにおける流路について, 災害後の航空写真を用いて地形図より読み取った横断面図である。図中の流路断面には, 右岸, 左岸それぞれに痕跡水位をプロットしている。用いた地形図は災害前のものであるため, 図中の断面は土石流発生前の流路断面を示している。土石流通過時には浸食あるいは堆積が発生し, 発生前の断面は変化しているものと考えられる。従って, 図中の断面形には精度上問題は残るが, 池の所($x=1130m$)などでは左岸側に2~3m程度水位が上昇しているにすぎないが, すぐ下流($x=1050m$)では針原川が右に湾曲しているため, 右岸側に比べて左岸側に約15mも水位が大きく乗り上げている。従って, 土石流の主流は規模の大きなものであったことがうかがえる。

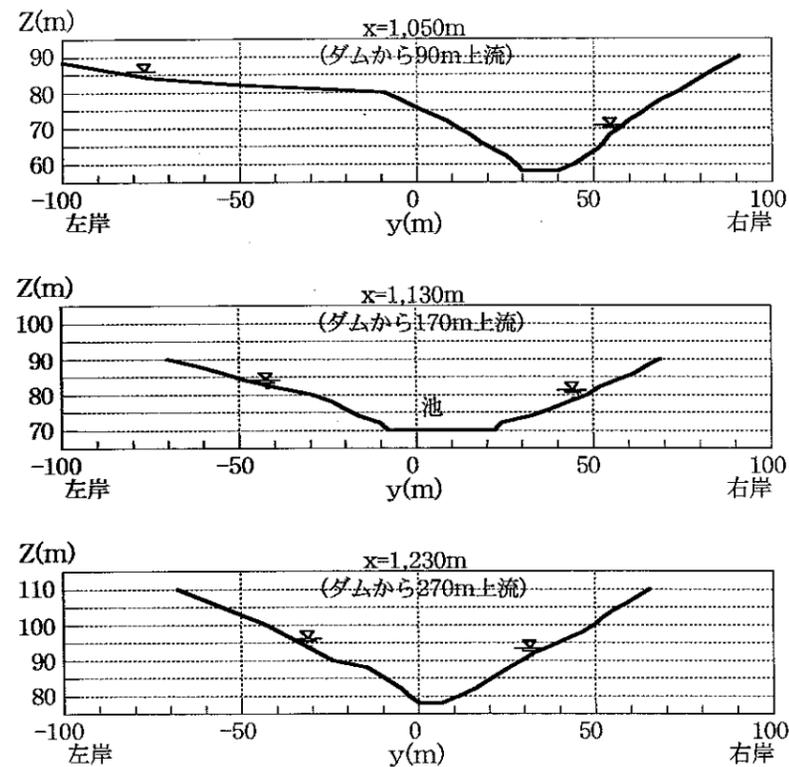


図3 地形図より読み取られた災害前の流路横断面図。

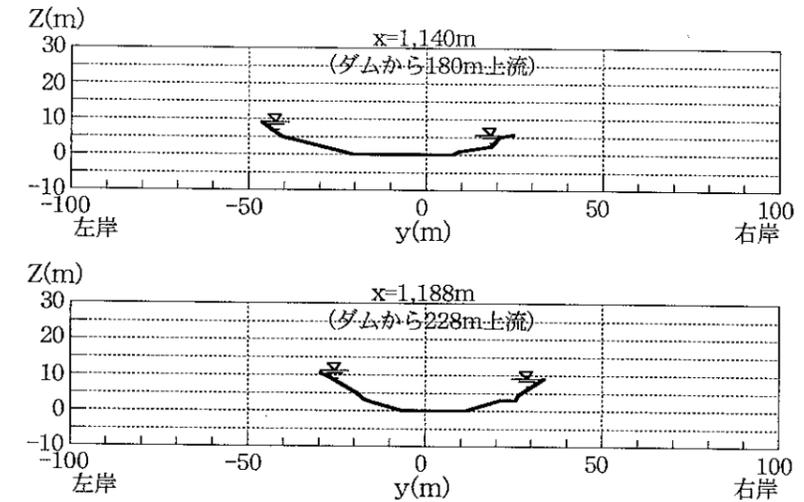


図4 実測された災害後の流路横断面図。

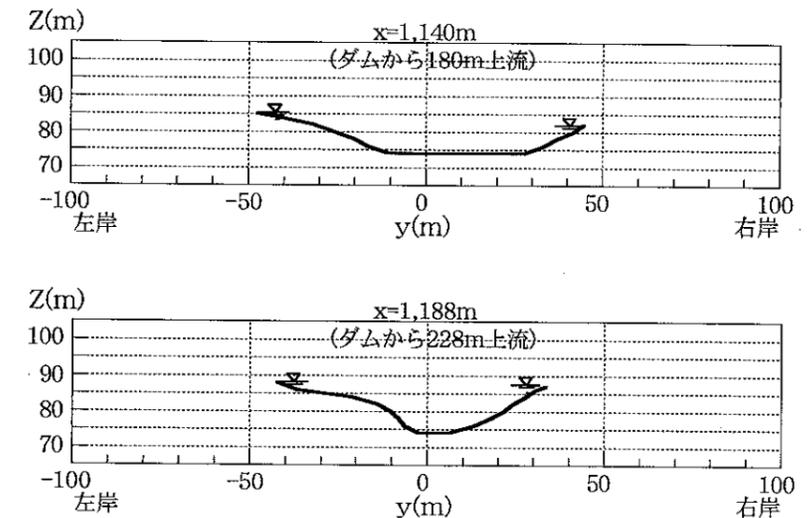


図5 図4の断面と同一地点における災害前の流路横断面図

図4の横断面は, 災害後の8月30日に現地において簡易測量した結果である。図3, 4いずれにおいても左岸側の水位が高くなっている。

また, 図5は, 図4に示す断面と同一地点において, 地形図から読み取った流路横断面図である。図5については精度上, 詳細な考察には限界があるが, 図4, 5を比較すると, 災害前後において著しい断面の変化はないようである。

一方, 土石流が氾濫したダム下流の区間CDでは, 被災家屋に残る土石流痕跡からピーク時の水位は3~4mだったものと推定される。

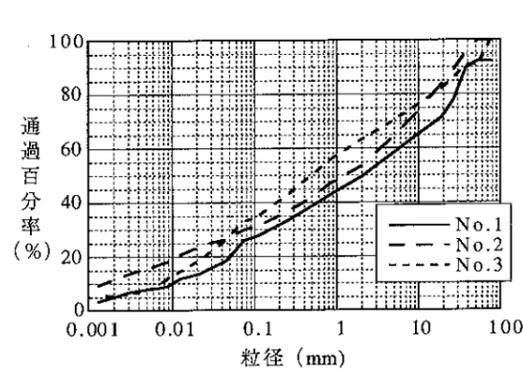


図6 堆積土砂の粒度分布

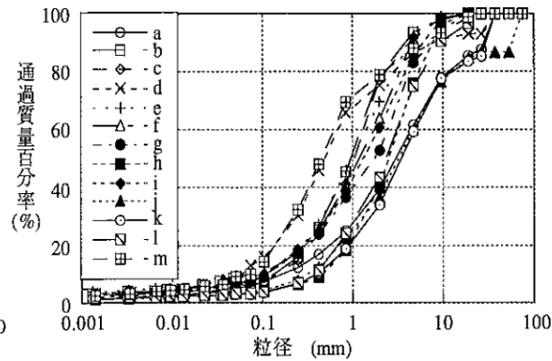


図7 雲仙水無川下流河道における堆積土砂の粒度分布⁷⁾

4. 堆積特性

図6は7月15日採取した堆積土砂の粒度分布を示す。No.1, 2は砂防ダム下流における堆積土砂を、No.3は砂防ダム直上流左岸に乗り上げた堆積土砂である(図1)。いずれも広範な粒度分布を示し、0.1mm以下の材料が全体の約30%も占めることが分かる。昨年の長野県蒲原沢⁶⁾や雲仙水無川⁷⁾などで発生した土石流の河道堆積土砂(図7)に比べても細粒分が多い。また、巨れきも他の土石流災害に比べて多くなく、特に砂防ダムより下流においては、土石流というよりは泥流に近い状態で流れ下ったものと推定される。

砂防ダムには樹木が枝をつけたままの状態ととも捕捉され(写真2)、ダム天端には盛り上がるようにして土砂や樹木が停止している。これは、ダム堆積層表面が主流通過後の後続部の堆積土砂であることを示唆するものである。また、堆積土砂除去後には堆積層に巨れきも認められる。

一方、ダムより下流では流木となった樹木が樹皮も枝も剥ぎ取られた状態で散在している(写真3)。

堆積物中には軽石が含有されており、その結果、No.1, 2, 3の比重測定ではそれぞれ2.62, 2.49, 2.22と通常の値より小さな値を示した。

No.1, 2, 3いずれも粒度構成にはあまり変化がないので、ダム付近から下流域の流動・氾濫堆積過程に関わった材料の粒度構成は図6に示される組成と考えられる。

以上の結果と3章の痕跡水位から、土石流の主流部分は、崩壊発生後、砂防ダム地点までは高濃度の状態で一気に流れ下ったことが推測される。砂防ダムのすぐ上流(x=1050m)では左岸側に約15mも土砂が乗り上げて堆積しているが(図3)、それは主流が流下した際の名残であろう。巨れきや土砂は一部はダムに捕捉され、残りは、池やダムに湛水していた水と混合してダムから流出し、ダム上流区間の流下土砂濃度よりは小さな濃度で、ダム下流域の集落を襲ったものと推測される。

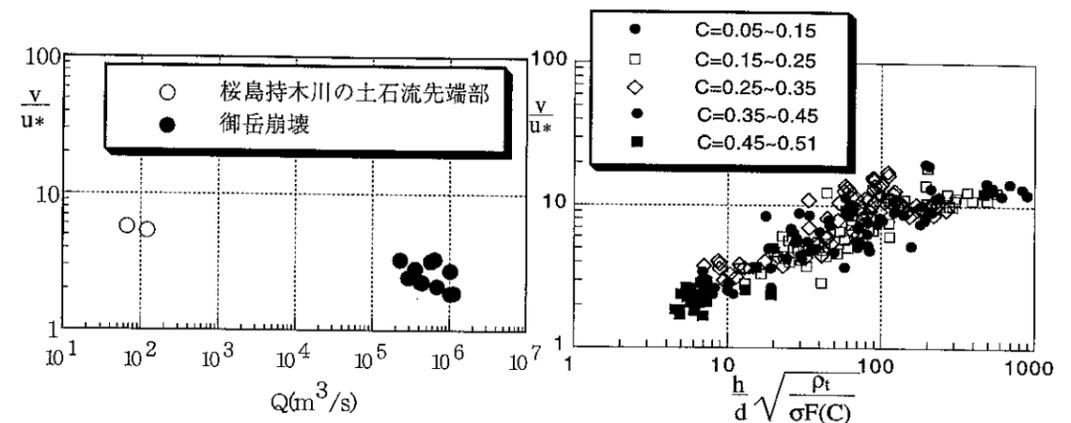


図8 流速係数の現地観測結果

図9 流速係数の水路実験結果¹²⁾

5. 流速係数とピーク流量

4章において、ダム地点を境界に、それより上流側と下流側とでは土石流の流動特性が異なっていることが推測された。土石流は、ダム地点より上流では平均勾配7.3°の河道を高濃度の状態で流下し、ダム地点より下流ではダムや池に湛水していた水が土石流に混合したため比較的low濃度の状態で、平均勾配4.1°の扇状地上を流下したものと考えられる。

従来、土石流は水理条件による若干の差異はあるものの、約14°以上の渓谷で発生・流下すると言われており、水路実験によっても実証されている。しかしながら、実際の土石流は14°よりも緩勾配の河道を高濃度の状態で流下することもあることが知られている。

例えば、1981年桜島の持木川では、約4°の流路工を、流路側壁や底面との摩擦により煙を上げながら巨れきの集合体が滑るように流下している状況がビデオに撮影されている⁸⁾。

また規模は異なるが、1984年長野県西部地震の際の御岳では、3600万m³もの土砂が崩壊し、土石流となって5.7°~8.6°の河道を侵食しながら約20m/sの速度で流下したことが報告されている^{9) 10)}。

これらの記録を用いて、断面平均流速・摩擦速度比すなわち流速係数 v/u_* を求め、流量に対して示したものが図8である。ここに、断面平均流速 v として、桜島持木川では表面のれきの速度(従って表面速度に近いものと考えられる)を、御岳崩壊では平均的な先端移動速度を用いている。従って流速係数としては前者は過大となり、後者は過小評価となっている。なお、持木川については土石流先端部のデータのみを採用している。これは、後続流の濃度が先端部のそれに比べて小さく、そのため後続流における流速係数は約3倍大きくなっているからである。

一方、水路実験によって土石流を再現し、その流速係数を調べたものが図9である。

今回の崩壊直後の土石流が水路実験で再現できているかどうかは明らかではないので、ダ

表1 流路の横断面積とピーク流量

地域	A (m ²)	θ (°)	S (m)	R (m)	v/u _*	v (m/s)	Q _p (m ³ /s)
ダムから180m 上流の地点	392	6.3	73.8	5.31	4	9.55	3740
ダムから228m 上流の地点	430	10	68.3	6.30	4	13.1	5630

ム地点より上流では図8の現地観測データを用い、ダム地点より下流では図9の成果を用いることにする。

従って、ダム地点より上流での土石流の流速係数は図8から $v/u_*=4$ 前後の値であると考えられる。図4の実測断面図を用いて、等流条件の仮定の下で、ピーク流量を算定した結果を表1に示す。精度上問題は残るが、ダム地点より約200m上流の地点において、概ねピーク流量 $Q_p \approx 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ であったと推定される。

一方、ダム地点より下流では、採取された堆積土砂の50%粒径が $d_{50} = 1 \text{ mm}$ 前後であり、痕跡水位はピーク値で $h = 3 \sim 4 \text{ m}$ と推定されている。土砂の最密充填濃度を $C_* = 0.7$ 、粒子比重を $\sigma/\rho = 2.44$ 、流下時の土砂濃度を $C = 0.5$ とすると、土石流の運動を規定する無次元パラメータ¹¹⁾は $\frac{h}{d} \sqrt{\frac{\rho_t}{\sigma F(C)}} = 1880 \sim 2510$ となる。ここに、 $\rho_t = \sigma C + \rho(1-C)$ 、 $F(C) = (C/C_*)^2 / (1-C/C_*)$ である。

従って図9の水路実験結果を参考にすると、ダム地点より下流では流速係数は $v/u_* = 10$ 程度であったと考えられる。

6. おわりに

以上、出水市針原川で発生した土石流について、その流動・堆積特性に着目した調査を行った。

その結果、ダム地点を境界にして土石流の流動特性が異なり、その上流では流速係数は $v/u_* = 4$ 程度の値となり、下流では $v/u_* = 10$ 程度の値となることが分かった。ピーク流量 Q_p は、ダムから約200m上流の地点においては $Q_p \approx 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ であったと推定された。今後は、これらの基礎的な知見をもとに針原川土石流災害の再現計算を行う予定である。

調査に当たり、鹿児島県土木部、同出土木事務所、出水市災害対策本部、毎日新聞社には貴重な資料を提供していただいた。また、桜島持木川における土石流データは建設省大隅工事事務所より提供していただいた。データ解析においては九州大学大学院の玉松潤一郎、同大学工学部生の神岡稚子、渡邊聰一の3氏に多大の助力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 出水市：出水市針原地区土石流災害関係資料，1997.
- 2) 下川悦郎・地頭蘭隆：出水市針原川土石流災害，九州大学西部地区自然災害資料センターニュース，No.17，1997.
- 3) 平野宗夫・疋田誠・橋本晴行：97年7月出水市針原川の土石流災害について，第16回日本自然災害学会学術講演会要旨集，1997.
- 4) 橋本晴行・平野宗夫・疋田誠・パクキイチャン・玉松潤一郎：'97年7月出水市針原川で発生した土石流の流動・堆積特性について，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，1997.
- 5) 南哲行・山田孝・水野秀明・古賀省三：平成9年7月10日に鹿児島県出水市針原川で発生した土石流の土砂量と面積について（速報），砂防学会誌，Vol.50，No.3，1997.
- 6) 橋本晴行・パクキイチャン・平野宗夫：1996年12月長野県小谷村で発生した土石流，自然災害科学研究西部地区部会報，第21号，研究論文集，1997.
- 7) 平野宗夫・橋本晴行・河野通斎：1993年水無川・中尾川における土石流の現地観測，平野宗夫（編），雲仙岳の土石流・火砕流災害に関する調査研究，文部省科学研究費研究成果報告書，1994.
- 8) 建設省九州地方建設局大隅工事事務所：桜島の砂防，1983.
- 9) 信州大学自然災害研究会（編）：昭和59年長野県西部地震による災害，1985.
- 10) 飯田汲事（編）：1984年長野県西部地震の地震および災害の総合調査，文部省科学研究費研究成果報告書，1985.
- 11) 橋本晴行・平野宗夫：泥流の抵抗則に関する研究，水工学論文集，第39巻，1995.
- 12) H.Hashimoto and M.Hirano：A FLOW MODEL OF HYPERCONCENTRATED SAND-WATER MIXTURES，Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, ASCE, 1997.

鹿児島県出水市針原川で発生した土石流の再現計算の試み

京都大学防災研究所 中川 一・高橋 保・立川康人・里深好文・市川 温

1 はじめに

平成9年7月10日午前1時頃、鹿児島県出水市針原地区で発生した土石流によって、死者21名、負傷者13名がでる災害となった。本研究では、洪水流出解析を行って針原川の洪水流出特性を検討するとともに、深層斜面崩壊を模擬して土石流を発生させた数値解析を行い、その氾濫・堆積過程の再現を試みる。さらに、この計算結果をもとに、計画を上回るような土石流に対して今後どのように取り組めばよいかについて検討を加える。

2 針原川の洪水流出特性

針原川は図1に示すように鹿児島県と熊本県の県境に位置する標高687mの矢筈岳に源を発し、その西麓を流下して出水市境町針原地区を貫流した後、八代海に流出する流域面積約1.55km²、幹川流

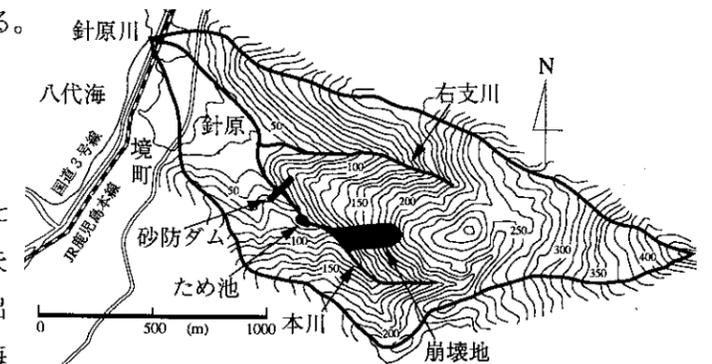


図1 針原川流域図

路長約2.3kmの小河川である。本災害前は準用河川であったが、災害後に二級河川に指定された。

針原川の本川には砂防ダムが建設中で、その本体部はほぼ完成していた。後述のように、図1に示した場所で深層斜面崩壊が発生し、この砂防ダムで崩壊土砂の約半分が捕捉されたと思積もられており、崩壊土砂の挙動にダム地点辺りの河川流量が寄与したのかどうか興味を持たれる。そこで、ここではダム地点での洪水流量を見積もるために、実斜面形状を考慮した雨水流の追跡モデル¹⁾を用いた流出解析を行う。

斜面勾配、斜面幅の変動を考慮し、中間流と地表面流を統合的に表す流量流積関係式を用いた kinematic wave モデルの基礎式は次のように表せる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{b(x)} \frac{\partial}{\partial x} \{qb(x)\} = r(x,t) \cos \theta(x) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 < h < \gamma D \text{ のとき } (0 < H < D \text{ のとき}) & \quad q = \frac{k \sin \theta(x)}{\gamma} h \\ h \geq \gamma D \text{ のとき } (H \geq D \text{ のとき}) & \quad q = \frac{\sqrt{\sin \theta(x)}}{n} (h - \gamma D)^m + \frac{k \sin \theta(x)}{\gamma} h \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 h ; みかけの水深、 $b(x)$; 斜面上端から斜面上での流下方向に沿って計った距離 x での斜面幅、 q ; 単位幅当たりの地表面に沿う流量、 r ; 位置 x 、時刻 t での鉛直方向の降雨強度、 $\theta(x)$; x における地表面勾配、 γ ; 表土層 (A層) の空隙率、 D ; 表土層の厚さ (一様)、 H ; 水深 (γH ; 見かけの中間流水深、 $H - D$; 表面流水深)、 k ; 表土層の透水係数、 n ; Manning の粗度係数、 $m = 5/3$ である。

なお、ここでは先行降雨が十分あって、地表面は飽和状態であると仮定して中間流の計算は行わず、降雨は全て表面流になるとしている。また、Manningの粗度係数として $n = 0.2$ を用いた。

ダム地点で評価した流域面積は 0.475 km^2 であり、降雨データとして気象庁出水観測所のデータを用いた。図2に計算結果を示す。10時～11時と16時～17時にかけて時間降雨強度が 50 mm を超える豪雨があるが、流域が小さいために洪水は急にピークを持つがまた同時に急激に低減するハイドログラフとなっている。そして、土石流が発生した7月10日前1時頃には砂防ダム地点における本川流量はほとんど無いことがわかる。この結果は、7月9日の16時～18時頃に床下浸水がおこり、22時45分頃には川の水深が $2 \text{ cm} \sim 30 \text{ cm}$ と異常なくらいに減ったという住民の目撃証言²⁾とも一致している。

以上の結果から、斜面崩壊が発生した時刻には本川流量は極めて小さいと考えられるので、斜面崩壊した土塊が本川の洪水流によって何らの影響も受けなかったとする取り扱いが可能と考えられる。また、この洪水によって土砂や流木が砂防ダムに流入し、砂防ダムの水抜き穴を塞いで河川流量が急に低下したとする意見もあるが、そのように考えなくてもこのような小さな流域では河川流量が急激に低下することも生じ得ることがわかる。ただし、右支川の洪水流出を考えていないので、これを考慮した場合の合流後の洪水はもう少し規模が大きくなると考えられる。

3 発生土石流の概要

土石流は図1に示した斜面が崩壊し、その崩土が流動化して発生した。針原川本川でも小規模な土石流が発生したが、崩壊発生地点の脚部の直前で停止・堆積している。斜面崩壊土量は空中写真を用いて作成したメッシュデータおよび現地計測結果から、約 16 万 m^3 と見積もられている³⁾。

この崩壊土塊は、崩壊斜面の直下流にあった農業用のため池に流入し、砂防ダム上流左岸の標高約 82 m の高台に乗り上げた。ため池には約 3500 m^3 の水が貯まっていたと考えられており⁴⁾、洪水痕跡から判断して、ため池の一部の水がこの高台からさらに下流に流下したと考えられる。また、砂防ダムには土石流が来襲する前から標高 60 m 当たりまで湛水していたとの情報もあることから、崩土の流入によってこの水が溢れて洪水痕跡を残したとも考えられるが、確証は得られていない。

崩壊斜面にあったと思われる立木がそのままの形で砂防ダムに流入した崩土の一部に残っていることから、崩土全体が渾然一体となって流動したとは考えにくく、一部が斜面内に蓄えられていた水やため池の水および砂防ダムに湛水していたと思われる水によって流動化して砂防ダム下流に氾濫・堆積したものと考えられる。

砂防ダムの右岸側の斜面にはほとんど土砂は堆積していないが、写真1に示すような痕跡が残さ

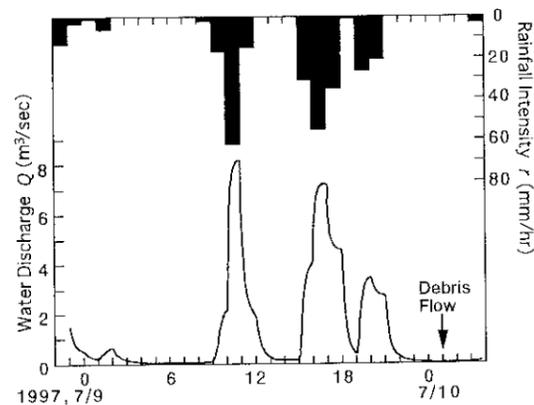


図2 針原川砂防ダム地点における洪水ハイドログラフ

れていた。斜面上の低木や竹が下流方向に倒れていたことから、洪水による痕跡と考えられる。ため池の水は崩壊土塊の流下方向から類推すると、砂防ダム左岸での越水等により減少しているはずであり、右岸側斜面でのこのような痕跡を残すほど寄与していないものと考えられる。したがって、右岸側に残された洪水痕跡は砂防ダムに湛水していた水が、崩土の流入により溢れて付いたものと推察できよう。

現地調査でこの洪水痕跡を調査した結果を図3に示しておく。最大で標高 76 m 程度まで痕跡が残されていた。なお、砂防ダムの天端高は 63.95 m であるが、右岸側の袖の一部は破壊されて流失し、約 1 m 程度低下した。洪水痕跡は砂防ダムの天端高より $10 \text{ m} \sim 12 \text{ m}$ 程度上回っていることがわかる。ただし、この数値は地形図の精度に大きく依存していることを断っておく。

砂防ダム下流では、氾濫域の左端に立地していた家屋が写真2のように破壊されていた。氾濫域の針原川近傍で見られた写真3のような土砂の流入による家屋破壊状況と異なり、ほとんど土砂の流入の影響が無いけれども家屋が大破している。これは土石流により直接的に破壊されたのではなく、流水の影響と考えられる。また、ベッドに乗ったまま流されて一命をとりとめたとの新聞報道もなされていること等を総合すると、大量の水が押し出されたのではないかと推定できる。ただ、これが砂防ダムに湛水していた水なのか崩土から絞り出された水なのかは不明である。これについては次章で検討する。

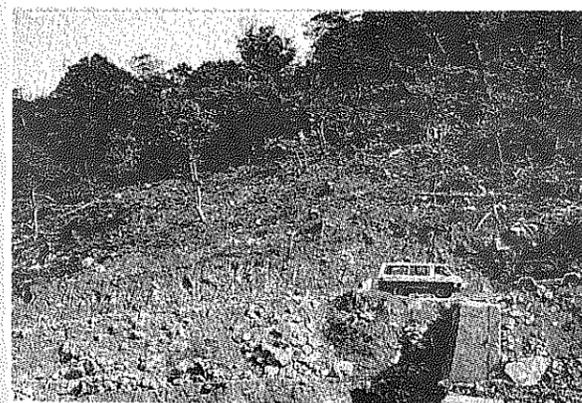


写真1 砂防ダム右岸の洪水痕跡



写真2 氾濫域左端付近の家屋被害



写真3 氾濫域の針原川近傍の家屋被害

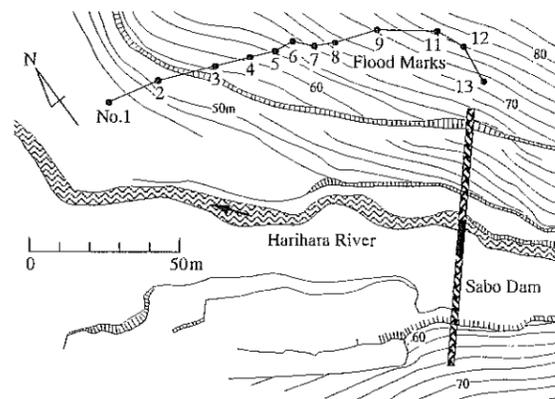


図3 砂防ダム右岸の洪水痕跡高さ

4 土石流の再現計算

前述したように、崩土全体が流動化して渾然一体となった土石流として流下したとは考えにくい
が、ここでは、崩壊斜面全体が降雨で十分飽和し、その流動は一種の連続体としての取り扱いが可能
であると仮定する。このような場合の土石流の基礎式は以下のように表せよう⁵⁾。

$$\text{x方向運動量式} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial(z_b + h)}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_T} \quad (3)$$

$$\text{y方向運動量式} \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial(z_b + h)}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_T} \quad (4)$$

$$\text{全容積の連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = i \quad (5)$$

$$\text{粗粒子の連続式} \quad \frac{\partial(C_L h)}{\partial t} + \frac{\partial(C_L M)}{\partial x} + \frac{\partial(C_L N)}{\partial y} = i C_{*DL} \quad (6)$$

$$\text{細粒子の連続式} \quad \frac{\partial\{(1-C_L)C_F h\}}{\partial t} + \frac{\partial\{(1-C_L)C_F M\}}{\partial x} + \frac{\partial\{(1-C_L)C_F N\}}{\partial y} = i(1-C_{*DL})C_F \quad (7)$$

ここに、 $M = uh, N = vh$, u, v ; それぞれ x 方向, y 方向の平均流速, z_b ; 地盤標高, ρ_T ; 土石流の
見かけの密度で、 $\rho_T = \sigma C_L + \rho_m(1 - C_L)$, $\rho_m = \sigma C_F + \rho(1 - C_F)$, C_L, C_F ; それぞれ土石流中の
粗粒子の容積濃度および粗粒子間隙を満たす泥水中の細粒子の容積濃度, σ ; 石礫の密度, ρ ; 水の密
度, β ; 運動量補正係数で、石礫型土石流ではほぼ 1.25, g ; 重力加速度, i ; 堆積 ($i < 0$) あるいは侵
食 ($i > 0$) 速度, C_{*DL} ; 土石流が新たに堆積する際の粗粒子の容積濃度である。なお、ここでは土石
流の堆積過程のみを対象とし、侵食は起こらないものとする。また、 τ_{bx}, τ_{by} は x 方向および y 方向
の底面摩擦で、土石流、掃流状集合流動、および乱流の場合にそれぞれ場合分けして次式のように表す。

$$\text{土石流} \quad \tau_{bx} = \frac{\rho_T}{8} \left(\frac{d_L}{h}\right)^2 \frac{1}{\{C_L + (1 - C_L)\rho_m/\sigma\} \{(C_{*DL}/C_L)^{1/3} - 1\}^2} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (8)$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho_T}{8} \left(\frac{d_L}{h}\right)^2 \frac{1}{\{C_L + (1 - C_L)\rho_m/\sigma\} \{(C_{*DL}/C_L)^{1/3} - 1\}^2} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (9)$$

$$\text{掃流状集合流動} \quad \tau_{bx} = \frac{\rho_T}{0.49} \left(\frac{d_L}{h}\right)^2 u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (10) \quad \tau_{by} = \frac{\rho_T}{0.49} \left(\frac{d_L}{h}\right)^2 v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (11)$$

$$\text{乱流} \quad \tau_{bx} = \frac{\rho g n_m^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (12) \quad \tau_{by} = \frac{\rho g n_m^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (13)$$

堆積速度式

$$\text{土石流} \quad i = \delta_d \left(1 - \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{pv_e}\right) \frac{C_{L\infty} - C_L}{C_{*DL}} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (14)$$

$$\text{掃流状集合流動} \quad i = \delta'_d \frac{C_{S\infty} - C_L}{C_{*DL}} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (15) \quad \text{乱流} \quad i = \delta''_d \frac{C_{B\infty} - C_L}{C_{*DL}} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (16)$$

ここに、 d_L ; 粗粒子の粒径, n_m ; Manning の粗度係数, $C_{L\infty}, C_{S\infty}, C_{B\infty}$; それぞれ土石流、掃流状
集合流動、乱流の場合の平衡濃度で、それぞれ以下のようなものである。

$$C_{L\infty} = \frac{\rho_m \tan \theta}{(\sigma - \rho_m)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (17) \quad C_{T\infty} = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (18)$$

$$C_{S\infty} = 6.7 C_{T\infty}^2 \quad (19) \quad C_{B\infty} = q_B / q_T \quad (20)$$

ここに、 q_T は単位幅流量で $q_T = h\sqrt{u^2 + v^2}$, q_B は掃流砂量であって以下のようなものである。

$$\frac{q_B}{\{(\sigma/\rho - 1)gd_L^3\}^{1/2}} = \frac{1 + 5 \tan \theta}{\cos \theta} \sqrt{\frac{8}{f}} \left(1 - \alpha^2 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \alpha \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \quad (21)$$

ここに、 τ_* ; 無次元の全掃流力, τ_{*c} ; 無次元限界掃流力で $\tau_{*c} = 0.04 \times 10^{1.72} \tan \theta$, α は係数で $\alpha^2 =$
 $\{2\{0.425 - \sigma \tan \theta / (\sigma - \rho)\} / \{1 - \sigma \tan \theta / (\sigma - \rho)\}\}$ であり、 f は抵抗係数で、

$$\left. \begin{aligned} \tau_* \geq 0.2 \text{ のとき: } & \sqrt{\frac{8}{f}} = A + 5.75 \log \left\{ \frac{(\sigma/\rho - 1)\tau_*}{\tan \theta(1 + 2\tau_*)} \right\} \\ \tau_* < 0.2 \text{ のとき: } & \sqrt{\frac{8}{f}} = A + 5.75 \log \left\{ \frac{0.2(\sigma/\rho - 1)}{1.4 \tan \theta} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

である。ただし、 $A = 0.04 \tan^{-2} \theta$ ($\tan \theta \geq 0.08$), $A = 6.0$ ($\tan \theta < 0.08$) である。また、 v_e は土石
流がその濃度を保持しながら流動を継続できる限界の流速で、

$$v_e = \frac{2}{5d_L} \left[\frac{g \sin \theta_e}{0.02} \left\{ C_L + (1 - C_L) \frac{\rho_m}{\sigma} \right\} \right]^{1/2} \left\{ \left(\frac{C_{*DL}}{C_L} \right)^{1/3} - 1 \right\} h^{3/2} \quad (23)$$

であり、 θ_e は流下してきた土石流の濃度 C_L をそのまま流すことができる限界の勾配で、

$$\tan \theta_e = \frac{C_L(\sigma - \rho_m) \tan \phi}{C_L(\sigma - \rho_m) + \rho_m} \quad (24)$$

で与えられる。なお、 ϕ は内部摩擦角で $\delta_d, \delta'_d, \delta''_d$ および p は定数であり、 $\sqrt{u^2 + v^2} > pv_e$ のときは、 $i = 0$ である。

上記方程式系を運動量式の移流項については風上差分、それ以外は中央差分の方法によって差分
化し、リーブフロッグ法によって計算を進める。

実際の計算において用いた諸量は、空間差分間隔 $\Delta x = \Delta y = 5 \text{ m}$, 時間差分間隔 $\Delta t = 0.01 \text{ sec}$,
 $p = 1/3$, $\delta_d = \delta'_d = \delta''_d = 0.1$, $C_{*DL} = 0.65$, $C_F = 0.0$, $d_L = 10 \text{ cm}$, $\tan \phi = 0.75$,
 $\sigma = 2,650 \text{ kg/m}^3$, $\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$, $n_m = 0.04$ である。

残念ながら崩壊後の崩壊斜面の地形データが入手できなかったため、鹿児島県から提供された崩
壊斜面の平面形状と崩壊土量を手がかりとして適当なすべり面を仮定して崩壊地形を作成した。そ
して崩壊した斜面は十分水で飽和し、容積濃度が 0.5 の流動体として流下すると仮定した。すなわ
ち、崩壊斜面を計算初期には拘束し、その拘束を解除することによって流動を開始させるという初
期条件とするのである。計算ケースは次の 3 通りである。すなわち、CASE 1 としてダム上流にあっ
たため池に約 3,500 m³ の水が貯水されていた場合、CASE 2 としてため池だけでなく砂防ダムにも
約 10,000 m³ の水が湛水していた場合 (標高約 60 m まで湛水)、CASE 3 として砂防ダムには水でな
く土砂が 10,000 m³ 程度堆積していた場合、の 3 通りである。

図 4 に、CASE 1 の崩壊発生 1 分後、2 分後、3 分後の土砂堆積範囲と浸水範囲の計算結果を示す。
同様に図 5 および図 6 にそれぞれ CASE 2 および CASE 3 の計算結果を示す。また、各計算 CASE
で最大浸水範囲および最大土砂堆積範囲の分布を図 7 に、最終的な土砂堆積厚の分布を図 8 に示す。

CASE 1 ため池にのみ湛水 約3500m³

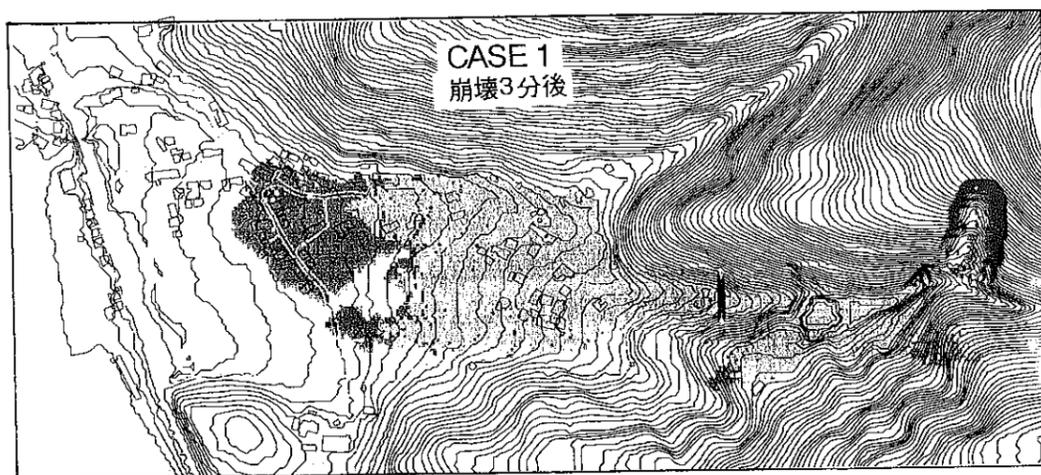
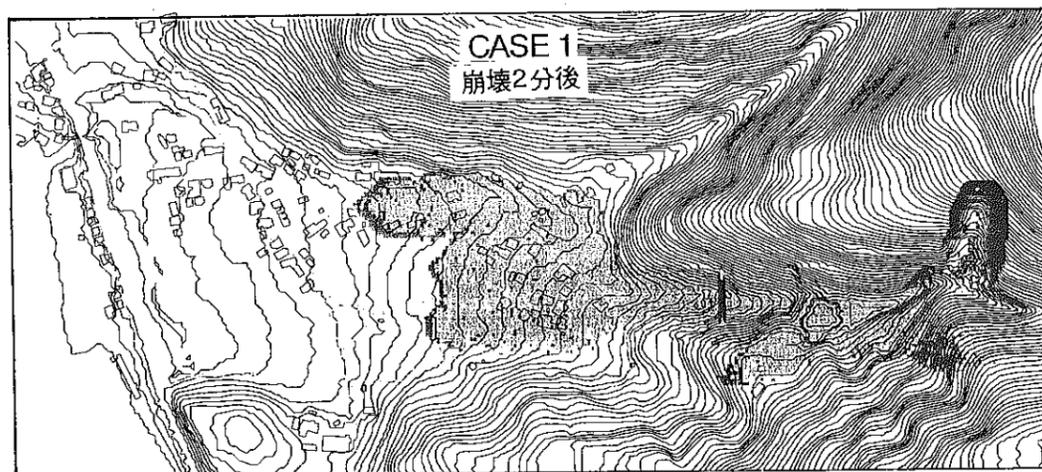
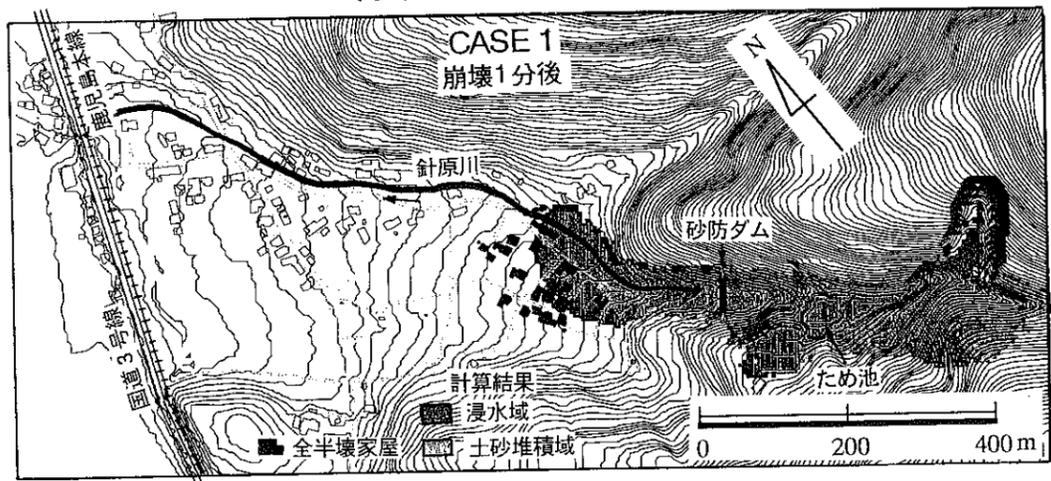


図4 崩壊発生1, 2, 3分後の土砂堆積範囲および浸水範囲の計算結果 (CASE 1)

CASE 2 : ため池と砂防ダムに湛水
各々約3500m³ 約10,000m³

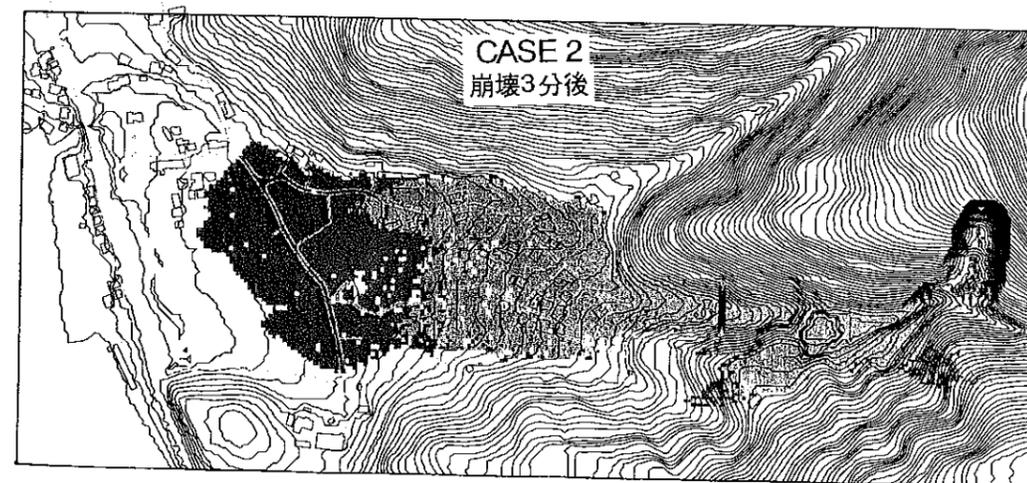
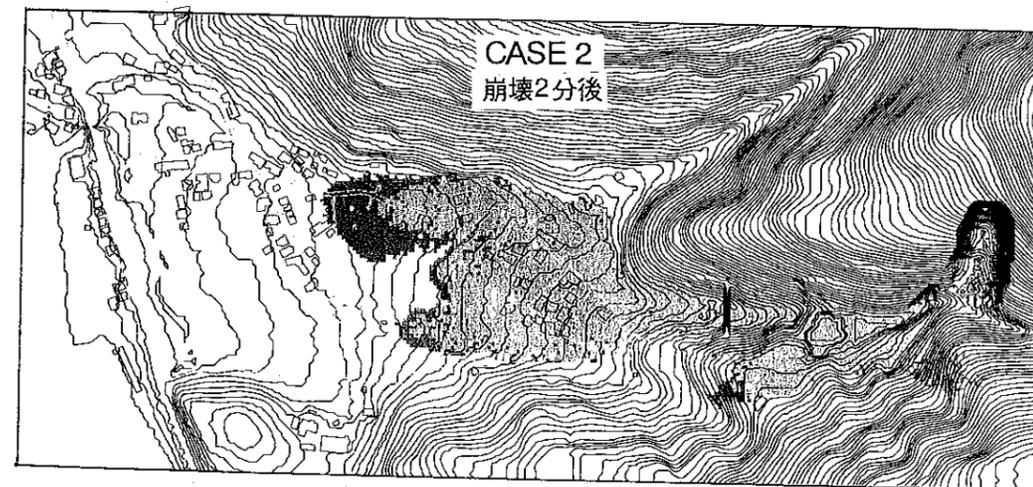
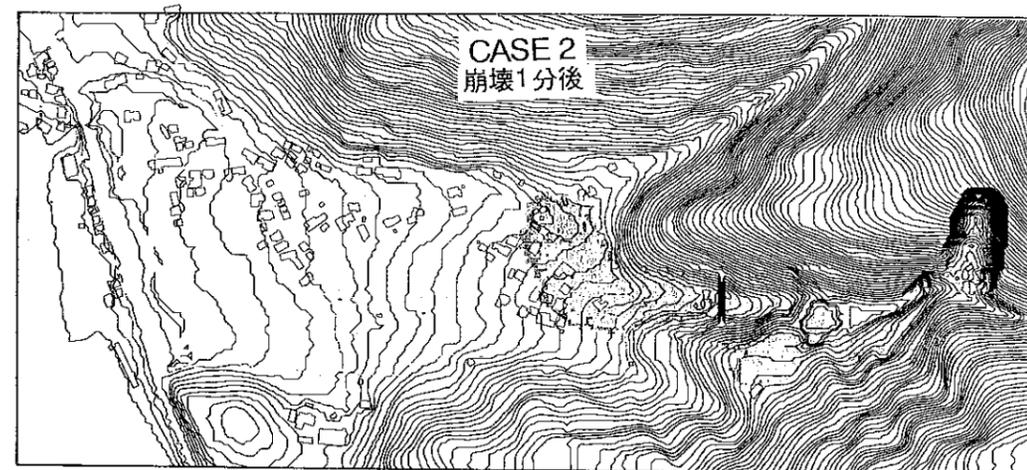


図5 崩壊発生1, 2, 3分後の土砂堆積範囲および浸水範囲の計算結果 (CASE 2)

CASE 3 ため池に湛水, 砂防ダム堆砂
各々約3500m³ 約10,000m³

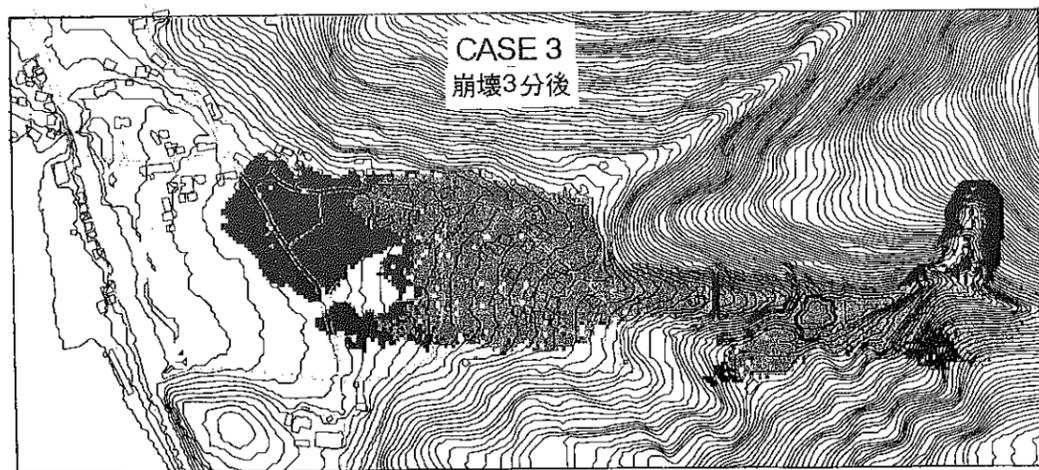
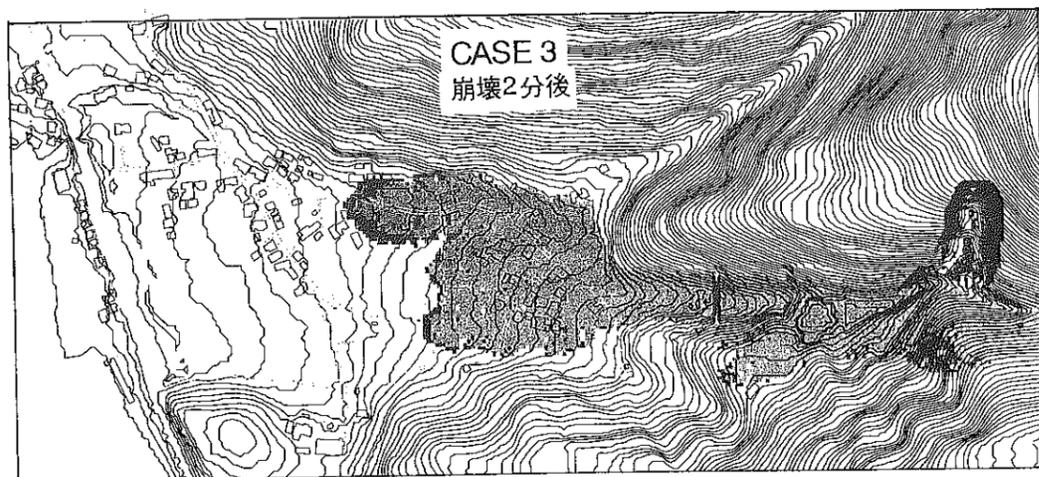
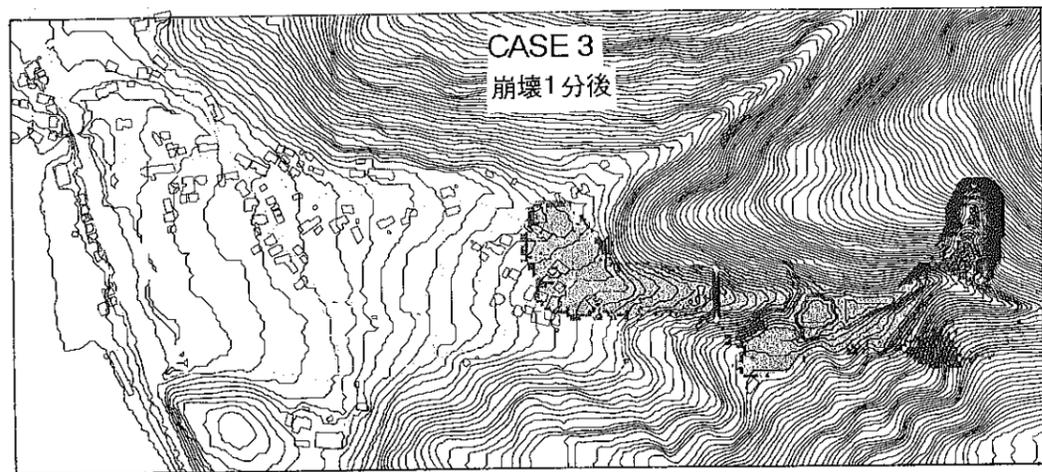


図6 崩壊発生1, 2, 3分後の土砂堆積範囲および浸水範囲の計算結果 (CASE 3)

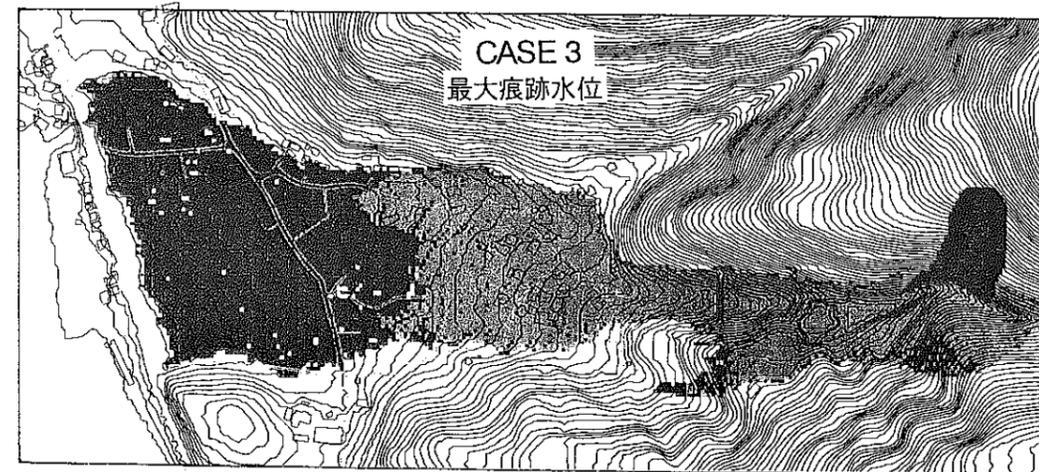
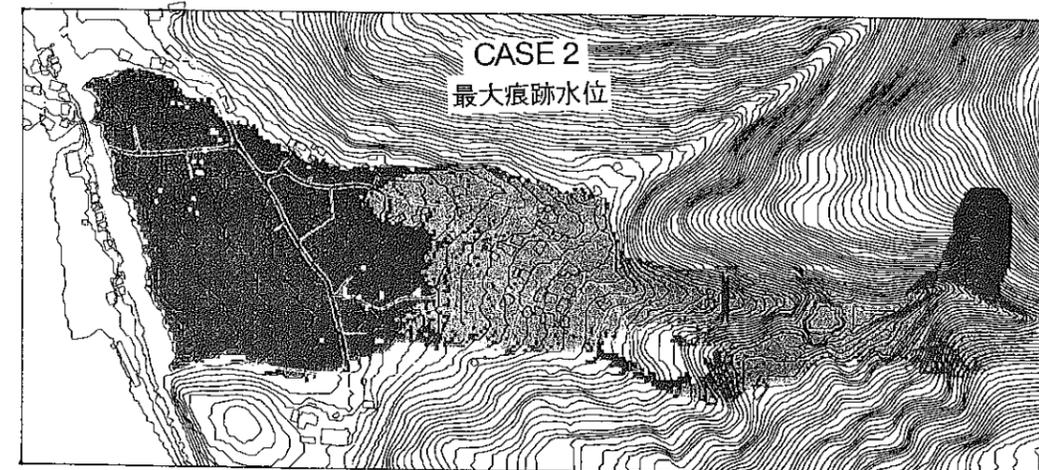
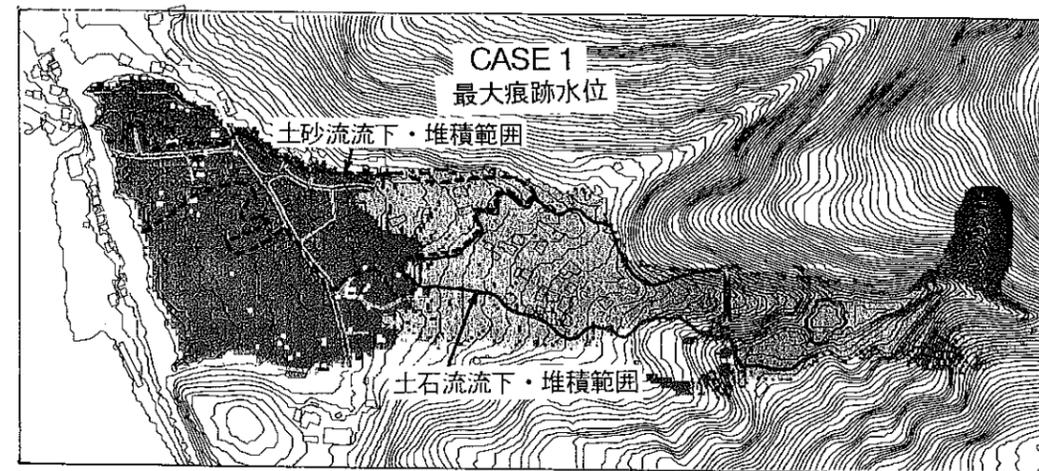


図7 土砂の最大堆積範囲および最大浸水範囲に関する計算結果

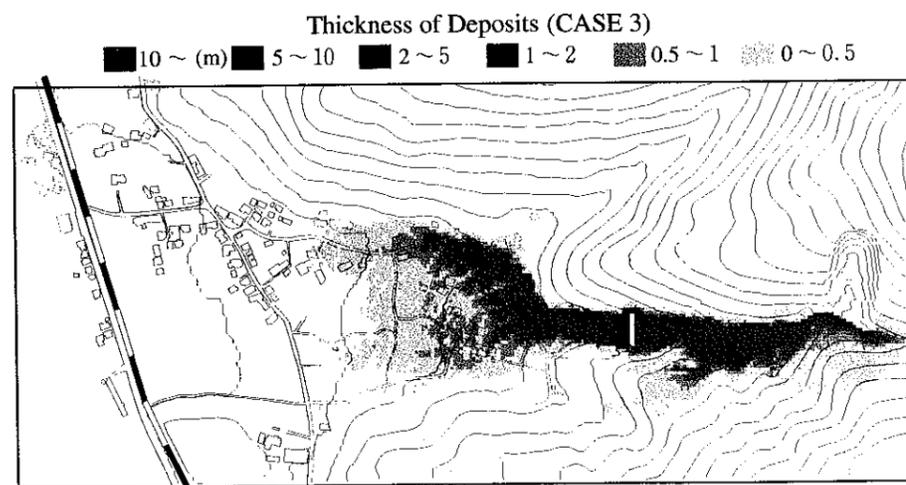
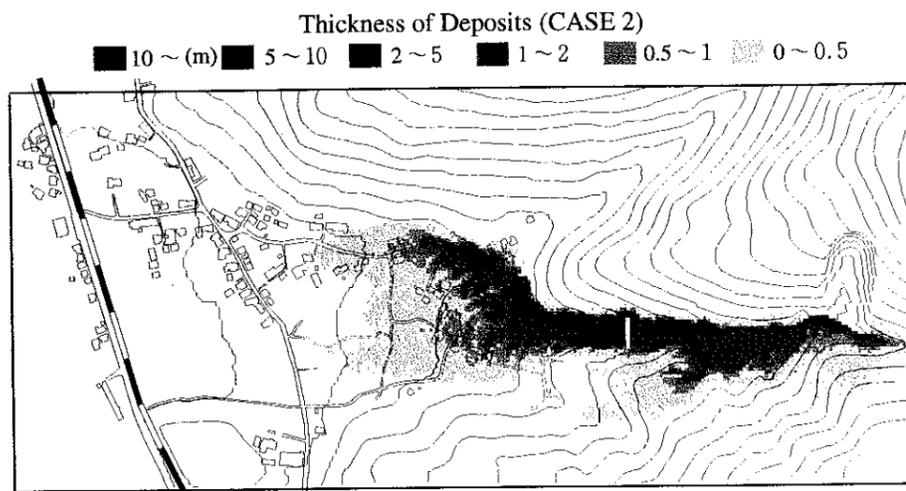
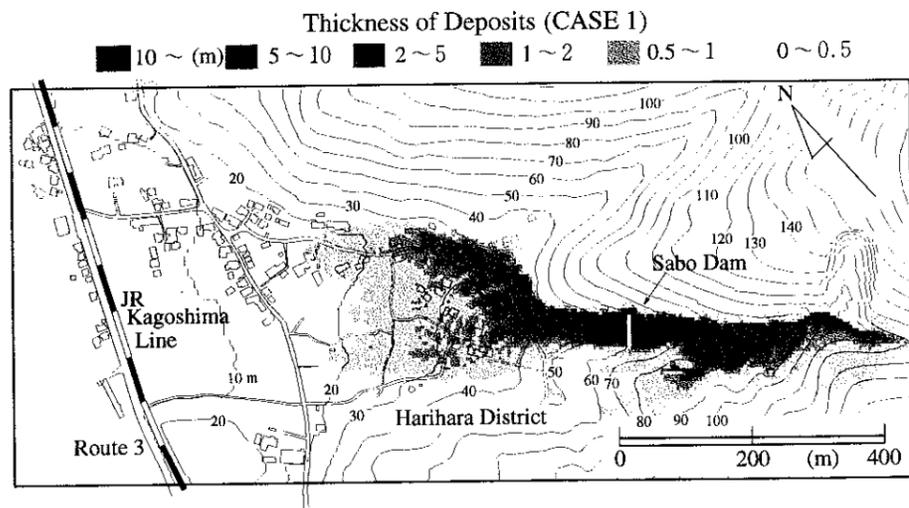


図8 土砂堆積厚の分布に関する計算結果

なお、土石流および土砂流の流下・堆積範囲の実績を図7のCASE 1の図中に示してある。これらの結果より次のようなことが言えよう。すなわち、斜面崩壊発生後1分程度で土石流の先端は針原地区に到達し、土砂の堆積範囲は崩壊が発生してから2分程度で決まり、それ以降はほとんど変化していない。土砂堆積範囲の計算結果は、実際に全半壊した家屋の分布と比較的よく対応しているが、計算では土石流の主流部は針原川に沿って進行し、堆積の最先端も針原川沿いに延びているのに対し、実績の土石流堆積範囲は砂防ダムを乗り越えて直進したような形状を呈している。ただし、実績の土砂流堆積範囲は針原川に沿っていることから、計算で求めた土砂堆積範囲は実績よりも過大ではあるがほぼ実績を再現していると考えられる。さらに、砂防ダム左岸直上流部で土石流が標高約82m程度まで乗り上げて堆積した計算結果となったが、これも比較的よく実際現象を再現していると言ってよい。

各計算ケースで土砂堆積範囲に顕著な差が見られないが、図4、図5、図6の崩壊2分後および3分後の図を比較すると、CASE 2の土石流先端付近では、浸水域が他のケースと比較して大きくなっており、砂防ダムでの湛水の影響が顕著にでていることがわかる。

図3に示したような洪水痕跡が、砂防ダムでの湛水や堆砂の影響で再現できるのではないかと予想したが、図7を見てわかるように、各ケースでほとんど差が無く、いずれのケースでも砂防ダム地点で標高約70m程度まで洪水が斜面に乗り上げた結果となった。この原因として、計算精度の問題や地形データの精度が考えられる。今回の計算では、地形データとして基本的には2,500分の1の地形図から等高線をディジタイザで入力して求めたが、砂防ダム近傍の地形については砂防ダムの建設の際に測量された500分の1の地形図を用い、両者を合体させている。その際、砂防ダム左右岸で両者の標高がうまく接続しなかったこともあり、今回用いた標高データの精度では砂防ダム右岸での洪水の乗り上げといった局所的な微地形に支配される現象の再現には限度があったものと考えられる。

図8に示した土砂堆積厚分布の計算結果から、いずれのケースでも砂防ダム直上流で10m以上の土砂堆積となった。砂防ダム下流の針原川沿いでは2~5m程度の土砂堆積となった箇所も見られるが住家があったところでは2m以下である。このことも実際現象とも比較的よく一致している。

砂防ダム下流と上流で堆積した土砂の量を各計算毎にまとめたものを表1に示す。同表には現地調査や空中写真測量から評価された土砂収支の結果も示してある²⁾。実測の土砂収支では、砂防ダム上・下流部でそれぞれ約8万m³の土砂が堆積しているが、計算でもほぼ同様の結果となっている。

なお、CASE 3では崩壊前から砂防ダムに土砂が1万m³貯まっていたとしているので、総土砂量が17万m³となっている。

実際の崩壊斜面の形状はもう少し東に傾いていて、崩壊源頭部の標高ももう少し高かったようであるので²⁾、ここで行った計算結果が実際現象をどの程度再現できたか不明であるが、計算では本質的なことがある程度再現されていると考えられる。

表1 土砂収支

	実測値	計算値		
		CASE 1	CASE 2	CASE 3
崩壊土砂量 (m ³)	160,000	160,000	160,000	170,000
崩壊地内の残存土砂量 (m ³)	10,000	89,800	90,200	101,400
崩壊地脚部の河床堆積土砂量 (m ³)	20,000			
針原川砂防ダム堆積土砂量 (m ³)	50,000			
針原地区内氾濫堆積土砂量 (m ³)	80,000	70,200	69,800	68,600

従来の砂防計画では今回生じたような深層崩壊に起因して発生するような土石流は対象とされていない。計画を上回るような土石流に対して今後の砂防計画をどのように考えるか緊急に対応する必要がある。大規模な砂防ダムを建設すれば周囲の住民は安全になったと信じ、砂防ダムにさらに近づいていく。このようなことは、平地の河川でも見られることで、堤防が高くなれば安全になったと思ってさらに堤防に近づいて住宅開発が行われていく。河川計画では、超過洪水に対しては堤防が決壊して大規模な洪水氾濫も生じ得ることを前提として、ハード・ソフト対策を充実させていこうという方向にある。とくに、ソフト面では、洪水ハザードマップを作成・公表して、過去の洪水実績を示し、避難地を指定するなど、災害を想定したシナリオのもとで避難計画がたてられつつある。

砂防計画においても、土石流対策として緊急に土砂災害ハザードマップを作成・公表して、有効な避難計画を策定する必要がある。とくに、今回のような超過規模の土石流に対しては地域住民に、扇状地が形成された頃からの地形変化の情報を提供し、ハザードマップに示された危険範囲を周知し、的確な避難・予警報システムのもとに日頃から避難訓練等を実施していくことが重要であると考えられる。ただし、計画規模の土石流や超過規模の土石流をどのように設定するかは、砂防計画の基本となるところであり、今後緊急に検討すべき課題であろう。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、鹿児島大学農学部下川悦郎先生・地頭 隆先生に多大のお世話になった。また、同工学部北村良介先生、九州大学工学部橋本晴行先生、鹿児島工業高等専門学校正田 誠先生には貴重なご助言や資料の提供をいただいた。鹿児島県庁ならびに出水市役所の方々には現地調査の便宜を図っていただくとともに貴重な資料を提供していただいた。また、東京都立大学の牛山素行先生から降雨データを提供していただき、京都大学大学院生佐藤康弘君には洪水流出解析の労を煩わせた。関係各位に記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 立川康人・原口 明・椎葉充晴・高棹琢馬：流域地形の三角形要素網表現に基づく分布型降雨流出モデルの開発，土木学会論文集，No.565/II-39，5月，1997，pp.1-10.
- 2) 鹿児島県：第1回針原川土石流検討委員会討議資料，1997.
- 3) 南 哲行・山田 孝・水野秀明・古賀省三：平成9年7月10日に鹿児島県出水市針原川で発生した土石流の土砂量と面積について（速報），砂防学会誌，Vol.50，No.3，(212)，9月，1997，pp.81-82.
- 4) 橋本晴行・平野宗夫・正田 誠・パクキイチアン・玉松潤一郎：'97年7月出水市針原川で発生した土石流の流動・堆積特性について，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，1997，pp.103-104.
- 5) 中川 一・高橋 保・澤田豊明・里深好文：計画土石流の設定と避難計画，京都大学防災研究所年報，第39号B-2，1996，pp.347-371.

1. まえがき

鹿児島県出水市の北部に位置する針原地区は、熊本県境にあり、東に矢筈岳、西に八代海を望み国道3号線から山間部に約1km入った86世帯、262人の集落である。そこを流れる針原川は幅3m程で、昭和55年に鹿児島県の土石流危険渓流に、今回の災害後は二級河川に指定された。鹿児島県は、平成6年度から砂防ダム建設に着工し、平成9年10月の完成を目指していた。平成9年7月10日午前0時40分頃、針原地区の通称十条山が崩壊し針原川に大規模な土石流となって流下した。崩壊地の土砂量約16万 m^3 のうち約8万 m^3 の土砂が既設砂防ダムの乗り越え下流の民家のみ込み、21人の死者、13人の負傷者、住家・非住家合計29棟の全壊、住家1棟の半壊、一部損壊2棟、床上浸水4棟、床下浸水17棟、商工業関係被害総額1754万円、農業関係（耕地関係、農作物関係）被害総額6億584万円、土木関係被害総額41億2620万円という大災害となった^{1),2)}。本報告は、この針原川の土石流災害調査を行い、土石流発生とその流出過程について考察したものである。

2. 流域の概要

針原川流域の地形図を図1に示す。砂防ダム地点の流域面積は0.68 km^2 、山頂からの距離は1.38 km である。今回発生した崩壊地は標高100~200m付近にある。そこを含む矢筈岳西麓は緩斜面を持つ小起伏山地を有し、砂防ダム下流から河口にかけては扇状地となっている。針原川の河床勾配は、上流域から右岸の扇頂部まで急勾配で、大体1/6~1/8ぐらいである。扇頂部から扇状地中央部までが1/19、そこから河口までは1/30となっている。

崩壊地の最大崩壊幅は約90m、平均崩壊幅は約70m、最大崩壊深さは鉛直方向で約28m、最大崩壊斜面長は約220mであった。今回の災害の氾濫面積は航空写真により、0.151 km^2 （ダムより上流の崩壊地を含む面積は0.043 km^2 、下流は0.108 km^2 ）であった。

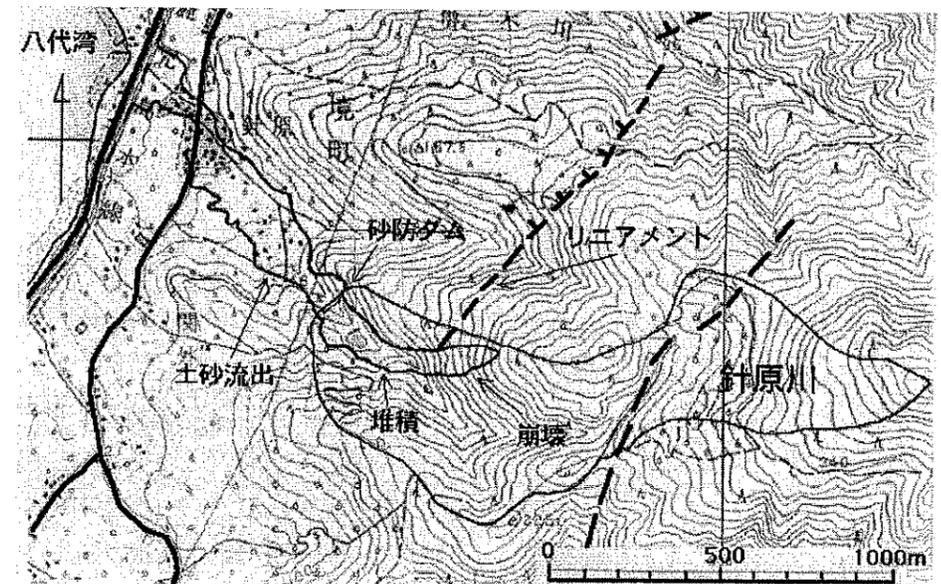


図1. 針原川流域の地形図と土石流の発生状況

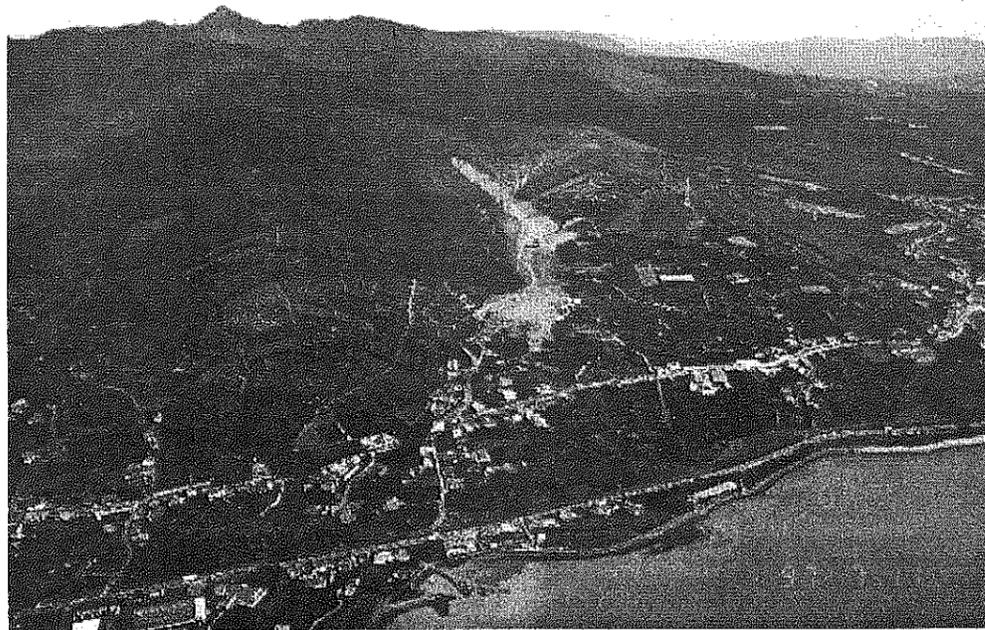


写真1. 針原川の土石流災害発生時の全景（平成9年7月10日）

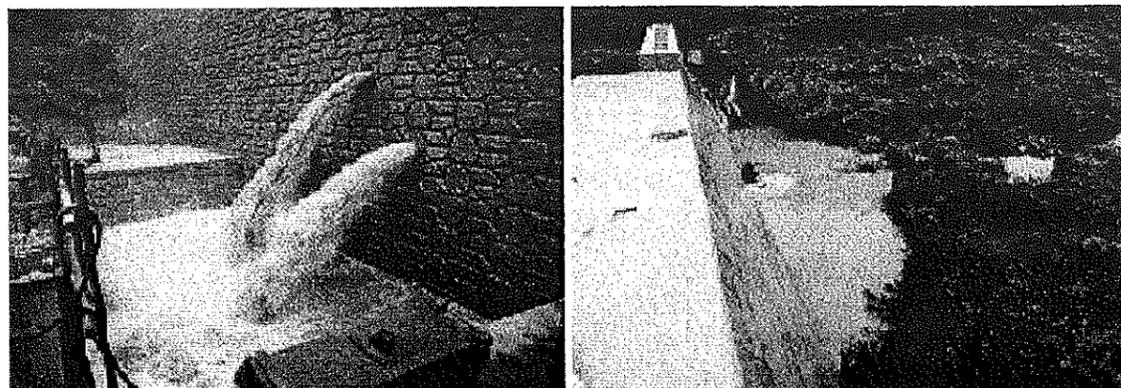


写真2. 砂防ダムからの流出状況（平成9年7月9日12~14時頃撮影, 鹿児島県砂防課提供）

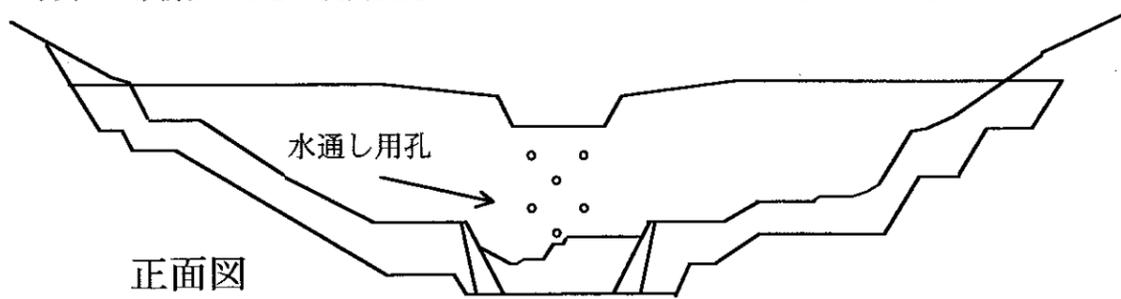


図2. 砂防ダムの水通し用孔

3. 砂防ダム

砂防ダムは、河口から1.3kmの位置にあり、重力式コンクリートダム（ダム高14m、堤長85m、計画貯砂量22000³、水通し底幅8m）である。計画流出土砂量は、52,000m³としている。土石流により右岸袖部等の一部が破損した。ダムの容量は約52,000m³と算出された。写真2及

び図2に砂防ダムの水通し孔（4段、計6個）からの流出と貯留状況、堤体正面図を示す。下から2段目左側の孔が閉塞しており、ダム水位が上昇していることが観察できる。

4. 地震・降雨・地形と土石流発生の関係

平成9年5月13日のマグニチュード6.2の鹿児島北西部地震では、出水市で、756galの地震動が科学技術庁防災科学技術研究所により記録されている。針原地区は震源（紫尾山）から北北東21kmの位置にあり、図1に示す崩壊斜面は東から西に向かって滑っており、地震のゆれ方向（東西）と一致する。この付近は北東/南西方向に出水断層がある地域で、崩壊斜面地点では図1の波線のようなリニアメントの存在が指摘されている³⁾。現地では崩壊斜面下部付近に、露出した玉葱状の風化岩石を見いだすことができ、地層の変化が観察される。この地域の地形は、写真1のような丘陵地帯であり、戦後、土石流は発生していない。平成9年3月以降に繰り返された鹿児島北西部地震による影響が十分考えられる。

土石流発生時、九州地方の気圧配置は、土石流発生前の平成9年7月9日から10日まで、北部に梅雨前線が停滞し、南部に太平洋高気圧がかかった状態のまま、ほとんど変化しなかった。出水市南西の甑島から連続して雨雲が発生し、針原地区に大量の雨量がもたらされた⁴⁾。災害発生時、針原川流域内に雨量計は設置されていない。

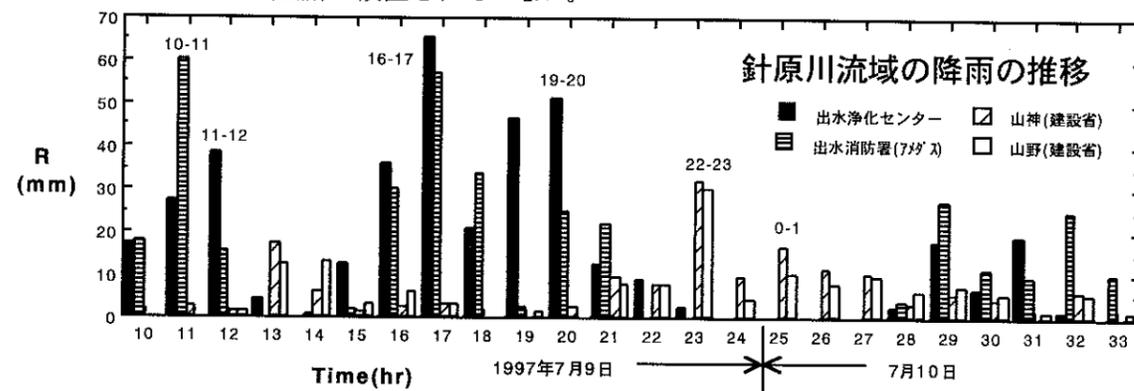


図3. 針原川流域周辺部の雨量の推移

図3は、針原川西部のA地点（出水浄化センター、出水消防署）と針原川東部のB地点（建設省の山神、山野）の7月9日~7月10日の時間雨量の推移を示したものである。地点AとBでは明らかに降雨の時間帯にずれがみられる。

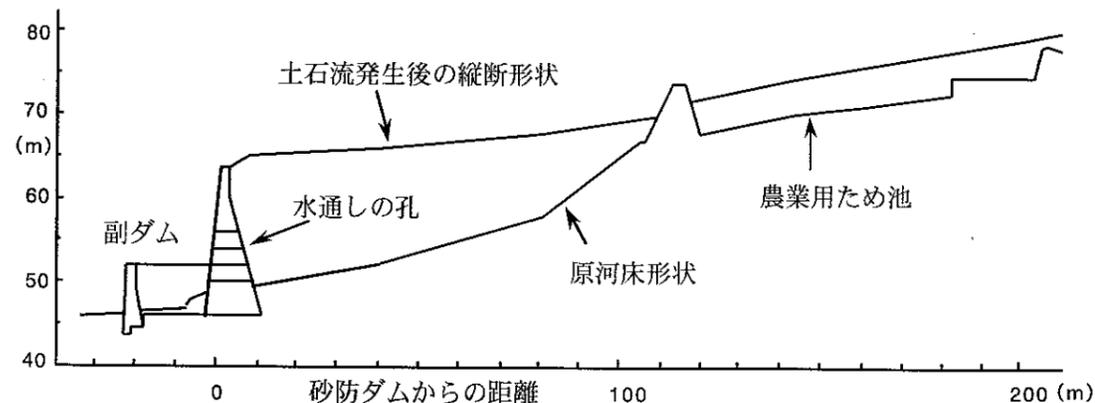


図4. 砂防ダムの堆砂状況と縦断形状

針原川の河川水位が最大になったのは図3の19時頃であると、土石流災害に遭った住民の一人は証言している。水位と雨量の相関が高いのは、川内市内のA地点では、出水消防署でなく、出水浄化センターの降雨のようである。出水消防署(アメダス)の記録によれば、7月6日23時から14日9時の連続最大雨量は751.5mm、最大時間雨量は、7月9日の10時から11時の61.5mm、最大日雨量は7月9日の275mm、土石流発生前の連続雨量は400.5mmであった。前駆降雨が大であったことが分かる。

土石流の発生は7月10日の0時40分頃である。砂防ダムの水通し孔からの流出の様子を、写真2(7月9日12時~14時頃)で見ることができる。このとき、出水市内のA地点の降雨は小康状態で、水位は4段中、下から3段目まで上昇している。15時から20時にかけて、A地点の降雨は非常に強く、22時から23時にかけて、雨は止んだが、山地部にあるB地点では、雨が降っているようである。下流の多くの住民が、このとき異様な音を聞いている。前述の凸地形の斜面が崩壊し、土砂がため池に流下・流入し、ため池の堰堤を破壊後、砂防ダムに流入し、突き進んだと考えられる。原河床の縦断形状と土砂堆積後の形状を図4に示す。図から、土砂混じりの水が下層部に溜まり、大崩壊の後、ため池と砂防ダムの区間は一つの超大すべり面となった。まず、砂防ダムの直ぐ下流の両岸で水しぶきがあがり、砂防ダムが満砂状態になった後は、一気に下流へ向かった。

5. まとめ

通常、土石流が発生するためには、上流部に大量の不安定土砂があり、気象条件として大量の累加雨量と強い降雨が必要である。火山活動の活発な桜島の砂防河川では堆積した降下火山灰が供給されるため、土石流は少量の降雨でも発生し易くなる。桜島の河川の流路は急勾配であり、上流部で発生した土石流は一気に海岸付近まで到達する。

針原川の土石流の流出過程を要約する。まず、大崩壊のあった滑り面は東西方向である。凸地形に斜めに横断するようにリニアメントが存在し、地層は空隙の多い玉葱上の巨礫層であり、崩れ易い地質になっていた。凸地形の斜面下部は、上空から見ると流路屈曲点でもある。この付近より低い地域では樹木の伐採が進み、地盤の保水力は弱まっていた。平成9年5月13日の鹿児島北西部地震(M6.2)では、この地域に東西方向に震度5強の地震が発生し、凸斜面は不安定になっていた。大量の前駆降雨に伴い砂防ダムの水位上昇及び水通し孔の閉塞化が進行していた。大崩壊が発生すると、土砂は崩壊斜面下部に堆積することなく、直ぐ下流の農業用ため池と砂防ダムに向かった。崩壊土砂は超大すべり面を通過することにより流動化が進行し、一気に下流の居住地域に到達したと推察される。

謝辞: 現地調査協力及び資料提供を鹿児島県砂防課、出土木事務所、出水市役所、出水消防署、河川情報センターから頂いた。九州大学の平野宗夫教授、橋本晴行助教授、鹿児島大学の下川悦郎教授、建設省国土地理院の関口辰夫氏に、有益な助言を頂いた。針原地区の方々には被災中にもかかわらず、多くのご協力を頂いた。このような災害を再び繰り返さないことを祈りつつ、関係各位に厚く謝意を表する次第です。

参考文献:

- 1) 出水地区消防組合消防本部: 出水市針原地区土石流災害概況, 1997
- 2) 平野・北村: 鹿児島県出水市針原川土石流災害(速報), 土木学会誌, Vol.82, pp26-28, 1997.9
- 3) 九州活構造研究会: 九州の活構造, 東京大学出版会, 553p, 1989.9
- 4) 新野・守田: バンド状降水雲による大雨/1997年7月10日鹿児島県出水市の土石流に関連して, 日本自然災害学会講演概要集, Vol.16, pp99-100, 1997.10

出水市針原地区土砂災害における地上リモートセンシング調査

長崎大学工学部	後藤恵之輔	長崎大学大学院	中村 晋一
同上	全 炳徳	長崎大学工学部	山中 稔
同上	持下 輝雄	長崎大学大学院	前関英一郎

1 はじめに

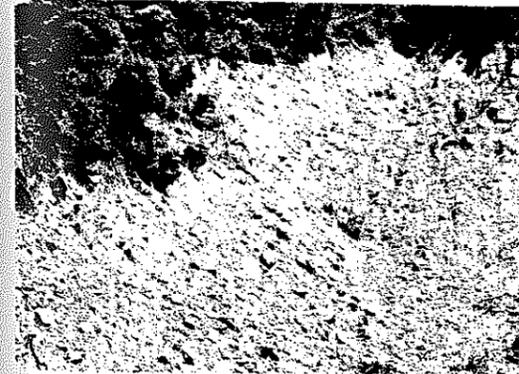
1997年6, 7月に九州地方に停滞した梅雨前線による大雨は、九州各地で起こった土砂崩れ等の災害を引き起こした。鹿児島県出水市では、7月10日未明に針原地区を土石流災害が襲い、死者21名、重軽傷者13名、住家18棟が押し流された¹⁾。しかし、出水市針原地区の土石流を引き起こしたとされる針原川上流での斜面崩壊の発生原因は、はっきりとは分かっていない。

そこで本研究では、斜面崩壊部を、地上リモートセンシング技術であるサーマルカメラを用いて観測、崩壊の発生原因について検討を行った。また、弾性波速度の測定による崩壊斜面の密度の解析と、スペクトルフォトメータを用いた崩壊地盤の反射特性の測定、及び解析結果について報告を行う。

2 土石流災害の概要

出水市針原地区土石流災害は、針原地区上流に位置する斜面が崩壊し、その生産土砂が崩壊斜面下流のため池の水を巻き込み、当時完成間近だった砂防ダムを乗り越えて、大量の土砂と水が下流へと流下していった。土石流が発生した地域は緩やかな地形であり、下流域には扇状地が見られ、以前から土石流が発生していたものと思われる。また、針原地区は扇状地の上に位置していた²⁾。

土石流の土砂が発生した、出水市針原地区の上流にある崩壊斜面の左側を写真1(a)に、崩壊斜面の右側を写真1(b)に示す。崩壊斜面を見れば、風化の進んだ地肌が見えている崩壊部の左側に対して、崩壊斜面の右側には左側と同じ風化の進んだ地盤の下に、風化が比較的進んでいない地盤が覗いていた。



(a) 崩壊斜面左側



(b) 崩壊斜面右側

写真1 鹿児島県出水市針原地区土石流災害現場(1997.7.24撮影)

3 崩壊斜面の熱分布及び分光反射率測定

3.1 使用機器及び観測方法

3.1.1 サーマルカメラ

観測に用いたサーマルカメラは、NEC三菱製（センサ部：H3102MR、本体部：TH31-100）である。

サーマルカメラは、構造物等の壁面やのり面内部の空隙もしくは亀裂が存在する部分の温度変化を表面の放射熱から計測でき、現在、構造物の欠陥部の検出などに使用されている。

写真1(a),(b)を見て、崩壊斜面の左側と右側とで、風化が進んでいるように見える崩壊斜面左側の部分と、崩壊斜面右側の風化が進んでいない様に見える部分を、サーマルカメラを使用して観測した。観測は、8月28日の午前6時頃から午後7時まで、崩壊斜面の温度を計測した。観測時に設定した放射率は0.60である。崩壊斜面のサーマルカメラ画像を画像1に示す。

3.1.2 スペクトルフォトメータ

崩壊斜面に対してスペクトルフォトメータを用いて斜面の持つ反射特性を計測した。スペクトルフォトメータを用いることで、斜面の構成物質の分光反射率を計測でき、その反射特性をつかめる。スペクトルフォトメータを用いて、崩壊斜面の左側と右側の分光反射率を測定した。調査で使ったスペクトルフォトメータは、400、425、450、475、500、525、550、575、600、625、650、675、700、750、850、950、1050nmと、17段階の波長ごとの反射率を測定することができる。ここでの反射率とは、白色板と比較した値である。

3.2 測定結果及び考察

崩壊斜面の日中の温度変化を示したものを図1に示す。測定した温度の上昇率と下降率を表1に示す。スペクトルフォトメータによって、計測した11:00の崩壊斜面の反射特性を図2(a)に、13:00を図2(b)に、そして、15:00を(c)にそれぞれ示す。また、太陽の位置・高度の違いによって崩壊斜面左側と右側の反射率に差が出ることから、400nmの値に合わせる補正法を用いた。補正後の11:00の結果を図3(a)に、13:00の結果を図3(b)に、そして、15:00の結果を図3(c)に示す。



画像1 崩壊斜面のサーマルカメラ画像
(中心温度37.0°C、計測幅1.0°C)

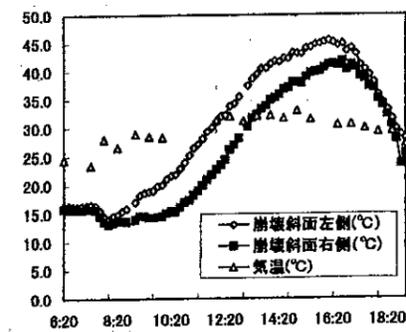
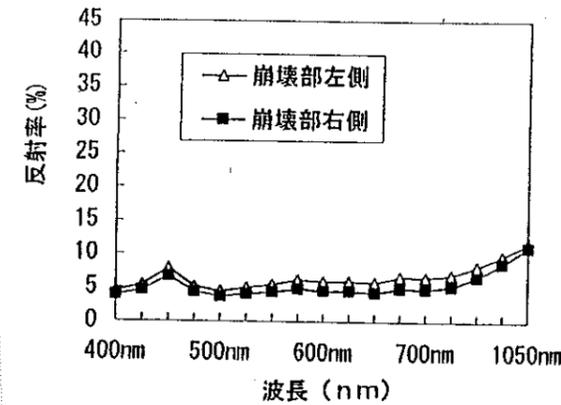


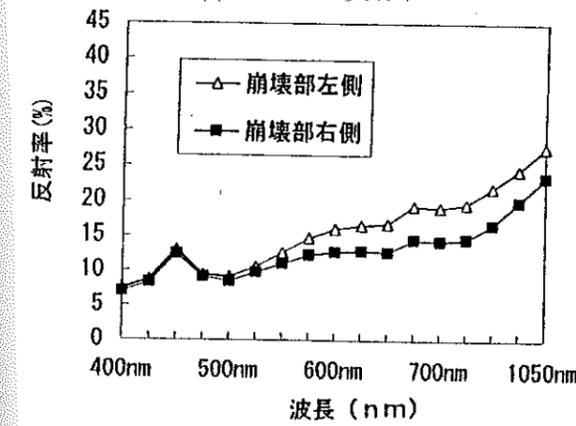
図1 崩壊斜面左側と右側の温度変化

表1 崩壊斜面右側と左側の温度変化率

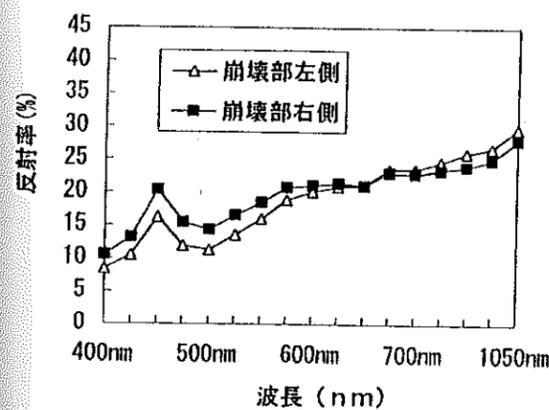
	崩壊部左側	崩壊部右側
上昇率 (°C/時)	4.135 (8:00~14:50)	4.329 (10:40~14:50)
下降率 (°C/時)	6.280 (15:00~18:40)	5.280 (15:00~18:40)



(a) 11:00の反射率

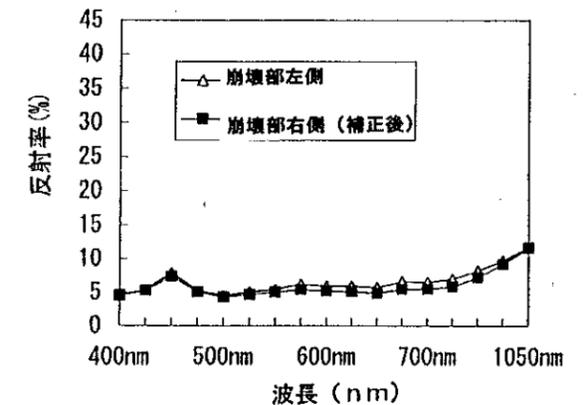


(b) 13:00の反射率

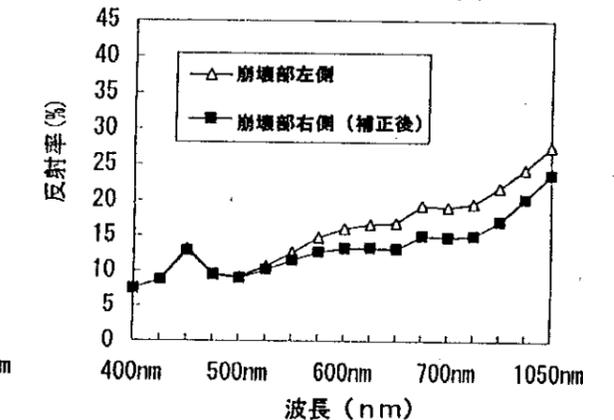


(c) 15:00の反射率

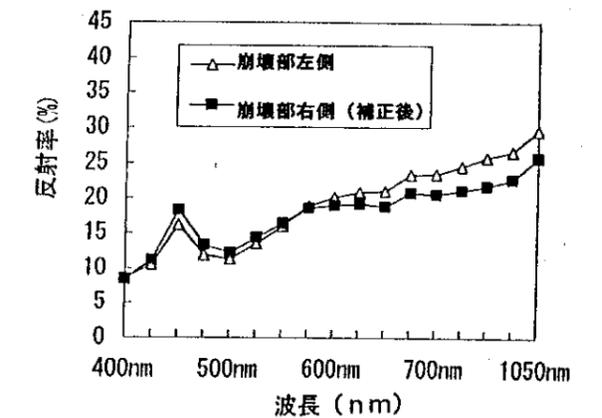
図2 崩壊斜面地盤の反射特性



(b) 11:00の反射率(補正後)



(b) 13:00に反射率(補正後)



(c) 15:00の反射率(補正後)

図3 補正した崩壊斜面地盤の反射特性

画像1では、崩壊斜面の右側の温度が低いことが分かる。また、図1の温度変化を見れば、崩壊斜面の右側は左側よりも温度上昇を始める時間が遅い。表1を見れば、崩壊斜面左側が温度の下降率が大きいことが分かる。崩壊斜面左側の下降率大きいのは、右側に比べ密度が低く、崩壊斜面の表面が内部からの温度伝達が少ないことで、太陽光の影響を受けやすくなったものと考えられる。

図2の測定結果を時間別に見れば、11:00では、崩壊部の左側の反射率が大きい。これは観測位置の影響と考えることで、次のような説明ができる。崩壊斜面は南西方向に向いており、太陽は崩壊した斜面の背後から早り、崩壊斜面の左側を8:00頃から照らした。崩壊部左側の反射率が、11:00と13:00で、右側よりも大きいのはこのためである。

補正した崩壊斜面の左側と右側の反射率を比較すれば、どの時間帯を見ても同じように、崩壊斜面の左側が赤色～近赤外線に当たる波長(600~1050nm)の反射率が大きい。この結果から、崩壊斜面の左側と右側とは、斜面の土質性状に違いがあることが分かった。

4 弾性波速度の計測

前述のサーマルカメラ及びスペクトルフォトメータの測定結果により、崩壊斜面左側と右側で構成土砂の密度が異なることが推測できた。そこで、両側斜面の密度を定量的に明らかにするために、弾性波速度試験を実施した。図4に測定地点A~Dを示す。測定地点A、Bは崩壊斜面右側、測定地点C、Dは崩壊斜面左側に位置している。弾性波測定には、携帯型弾性波測定装置(McSEIS-3:応用地質(株)製)を用いた。表2には、A~Dそれぞれの地点における弾性波速度の測定値を示している。崩壊斜面右側のA、B地点の弾性波速度は、崩壊斜面左側のC、D地点のそれよりも約2倍の速度を呈していることが分かる。弾性波速度は物質の密度と正の相関を示すことから、崩壊斜面の密度は右側の方が左側よりも高いといえる。これは、前述のサーマルカメラの計測結果による推測と一致する。また、この得られた弾性波速度の大きさから、この斜面は極端に風化の進んだ岩石³⁾で構成されていることが分かる。

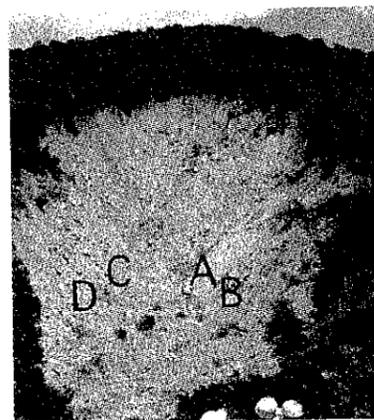


図4 弾性波速度測定位置

表2 出水市源頭部の弾性波速度

測定地点	弾性波の速度
A	0.758(km/s)
B	1.066(km/s)
C	0.445(km/s)
D	0.455(km/s)

5 おわりに

出水市針原地区土石流の崩壊斜面をサーマルカメラ、スペクトルフォトメータ、弾性波速度の計測によって観測した結果、崩壊斜面は異なる密度からなる土層で形成されており、その境界で崩壊が起こったことが推測できる。

今回の崩壊斜面を対象とした観測で、サーマルカメラ観測と弾性波速度測定の結果から、崩壊斜面土層の密度の値に相関性が得られた。特に土砂災害発生地点では、遠方からの調査ができず、できたととしても点的な調査に終わることがしばしばある。したがって、このような土砂災害地区における調査においては、遠方より面的な調査が可能なりリモートセンシング調査手法が有効であると言える。

参考文献

- 1) 読売新聞, 1997.7.11付.
- 2) 下川悦郎、地頭蘭 隆: 鹿児島県出水市針原川の土石流災害、第34回自然災害科学総合シンポジウム論文集, pp.49~50, 1997.10.
- 3) 日本道路協会: 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説, p.48, 1989.

人工衛星データに見る 1997 年鹿児島県北西部地震と出水市土石流災害との関係

長崎大学工学部 後藤恵之輔 長崎大学大学院 前間英一郎
同上 全 炳徳 同上 中村 晋一

1 はじめに

1997年7月10日未明、鹿児島県出水市針原地区において土石流が発生し、21名の尊い人命が奪われ、重軽傷者13名を出した。この土石流災害は、この地区で生活する人々の大切な住家18棟を押し流す大災害となった^{1,2)}。九州地方では、同年6月から7月にかけての梅雨時期に大雨が降り続き、長雨により土砂崩れ等の自然災害が発生した。斜面崩壊が起こった針原川上流では、崩壊までに累積降水量が1000mm以上もあったことから、何人もの研究者が、土石流が発生した主要因にこの異常な大雨を挙げている³⁾。

また、鹿児島県北西部では、同年3月26日と5月13日の2度にわたって震度5から6の大地震が起こっており、この影響で地盤にクラック(ひび割れや空隙)が生じていると推測した場合、植生環境にダメージがあったのではないかと考えられる。このことから、通常の植物の保水力より低下していた可能性があり、大雨や長雨に対する耐性が例年より低かったのではないかと考えられる。多くの研究者は、崩壊原因として大雨のみを挙げていたが、著者らは最初から崩壊原因として大雨と地震を挙げていた。なぜ今回災害が起こった箇所だけが崩壊したのか、数多くの調査研究機関が現地調査を行っているが、異常な降水による単なる地すべり、過大な地下水圧等様々な原因が今までに挙げられている。しかし、本報告書では大雨と地震との関係の根拠について、人工衛星リモートセンシングによりいくつかの観点から検討を行った。特に、3月の地震の影響を調べるため、4月のLANDSAT/TMデータ5シーンをを用いて、植生環境の変化及び地表面温度の変化に着目して、土石流災害と地震を関連付けて解析を行った。

2 地震の概要

1997年3月と5月の2度にわたって、鹿児島県の北西部、阿久根市・串木野市・宮之城町を震源とする震度6前後の地震が発生した。著者らは、土石流源頭部の斜面崩壊の原因として、大雨の他にこの第一、第二の鹿児島県北西部地震とその余震が関係していると考え。特に、出水市においてそれぞれ727gal、728galという1995年の阪神・淡路大震災にも匹敵する最大加速度を発生させた⁴⁾。2度にわたってこのような大きな地震が起こったにもかかわらず、出水市での地震被害は、あわせて負傷者74名、住家倒壊57棟であった。地震による衝撃は、すぐ近くの山々や被覆植生である森林等の自然が受け持ったのではないかと考えられ、これらの地震と打ち続く余震の結果、山々のどこかにダメージがあったのではないかと推測される。その場所が震央である宮之城町から約15kmしか離れていない、今回崩壊した斜面にあると著者らは考え、LANDSAT/TMデータにより植生環境の変化及び地表面温度の変化に着目して検討を行った。斜面崩壊部の様子を写真1に、地震の震源地と被災地

の位置関係を図1にそれぞれ示す。表1は1997年鹿児島県北西部地震の概要であり、図2は針原地区周辺の活断層の分布である。

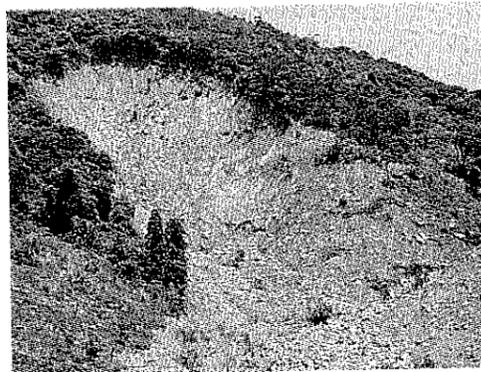


写真1 斜面崩壊部(1997.7.24撮影)



図1 地震の震源地と被災地の位置関係

表1 1997年鹿児島県北西部地震の概要^{4),5),6),7)}

項目	第一地震【最大 加速度及び震度】	第二地震【最大 加速度及び震度】
震源位置	北緯 32.0度 東経 130.3度	北緯 31.9度 東経 130.3度
マグニチュード	震源深さ 約20km M 6.3	震源深さ 約8km M 6.2
出水市	727gal	728gal
宮之城町	493gal(5強)	902gal(6弱)
川内市	224gal(5強)	318gal(6弱)
阿久根市	293gal(5強)	156gal(5弱)
串木野市	---(データ不明)	260gal



図2 針原地区周辺の活断層分布⁸⁾

3 解析方法

3.1 使用衛星データ

LANDSAT5号/TMデータ5シーンを用いて、鹿児島県北西部の植物活性度の変化及び地表面温度の分布状況に着目して解析を行った。使用したデータの一覧を表2に示す(Path-Row113-38)。ただし、観測範囲が広いので、熊本県南部及び鹿児島県北西部のエリアを抽出して解析を行った。また、解析に使用した衛星データはいずれも午前10時から11時の間に観測されているため、地表面温度の分布状況の解析を行う上で、気象状況を明確にしておく必要がある。このため、午前11時の気温及び天候状況を表3に示す。

表2 使用衛星データの観測日

衛星データ	観測日
LANDSAT5号/TM	1984年4月20日
LANDSAT5号/TM	1987年4月13日
LANDSAT5号/TM	1988年4月15日
LANDSAT5号/TM	1996年4月05日
LANDSAT5号/TM	1997年4月24日

表3 気象条件(午前11時) (単位:℃)

都市名	1984	1987	1988	1996	1997
阿久根(晴れ)	14.4	13.4	16.4	13.9	16.8
川内(晴れ)	18.0	14.9	17.9	13.4	19.0
宮之城(晴れ)	18.2	14.5	16.7	14.1	19.5

3.2 植生指標 NDVI

植物の状態は、植物の葉に含まれるクロロフィルの量、葉量、成長活力の違いにより表現されるため、植物の分光反射特性によって生育状態を評価することができる。植物のクロロフィルは、0.5μmから0.7μmの波長帯を約20%、0.7から1.3μmの波長帯を約60%の割合で反射する。一般には、クロロフィル含有量が多い葉を持つ植物ほど、可視光域の赤色波長帯の反射が低く、葉量が多く健康で元気な葉を持ち、成長活力が強い植物ほど近赤外域の波長帯の反射が強くなることが知られている⁹⁾。

LANDSAT/TMデータを用いて植物の活性度を知るには、可視光域の赤色波長帯であるバンド3と近赤外域の波長帯であるバンド4のデータを利用すればよい¹⁰⁾。植生指標NDVI値は、本来-1から1までの間の値をとるが、NDVI解析画像を作成する際に色を付けるため、0から255の値に換算する式を用いた。また、多時期のデータであるので、この両バンドに対して大気補正及び標準化を行った。最小となるデジタル値を算出し、各デジタル値から最小値を引くバルク補正を行い、この研究の大気補正とした。標準化を行う際に利用した標準化式及び植生指標NDVIを求める式を以下に示す¹¹⁾。

$$Z_i = (B_i - M_i) / sd(i) \times 30 + 127$$

ここに、 Z_i : 標準化後の*i*バンドの輝度値、 B_i : *i*バンドの輝度値

M_i : *i*バンドの輝度値の平均値、 $sd(i)$: *i*バンドの輝度値の標準偏差

$$NDVI = \{ (BAND4 - BAND3) / (BAND4 + BAND3) + 1 \} \times 128$$

3.3 地表面温度の算出

1997年3月26日の地震の影響の有無を判断する材料として、植生指標NDVIの解析だけでなくさらに地表面温度の分布状況を調べ、図2の活断層分布とあわせて、震源(震央)を中心にどのように分布しているかを把握する。地表面温度を算出するに当たっては、LANDSAT/TM6データの輝度値(補正無し生データ)を観測輝度値に変換する公式がNASAから発表されている。以下にNASAによる公式を示す。NASAの公式に対して、稲永ら¹²⁾によって近年補正式が発表されているが、本報告書では、解析で使用した衛星データの観測日の違い、及びこの補正式を稲永らが求める際に用いたLANDSAT/TMの観測輝度値の有効範囲外を含むため、この稲永らの補正式を使用せず、NASAの公式にしたがった。

$$R = (V / 255) \cdot (R_{max} - R_{min}) + R_{min}$$

ここに、 R : 絶対放射輝度($mW/cm^2 \cdot sr$)、 V : 各画素の輝度値

R_{max} : 最大放射輝度[$1.896(mW/cm^2 \cdot sr)$]、 R_{min} : 最小放射輝度[$0.1534(mW/cm^2 \cdot sr)$]

$$R_\lambda = R / 1.239 \quad (* \text{稲永らによる補正式 } \theta = 0.61 \cdot \theta_L + 3.98)$$

ここに、 R_λ : 単位波長当たりの放射輝度($mW/cm^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

$$R_\lambda = 5.1292 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 1.7651 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1.6023, \quad \theta_L = T - 273$$

ここに、 T : 観測器温度(K)、 θ_L : 観測器温度(℃)

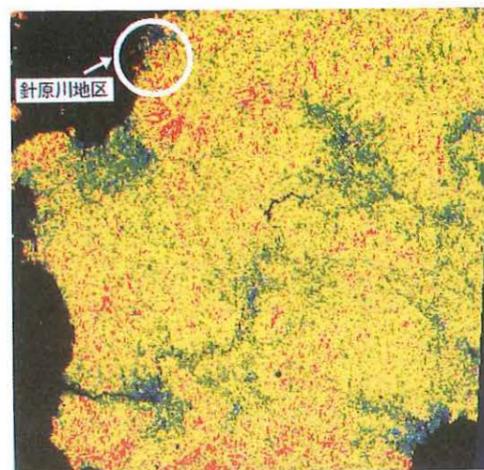
4 結果

まず、鹿児島県北西部(出水市周辺)と針原地区周辺を抽出して、植生指標 NDVI を算出した。また、同様に地表面温度の分布画像を作成した。植生指標 NDVI 値の平均値を求め、比較したものを表 4 に示す。

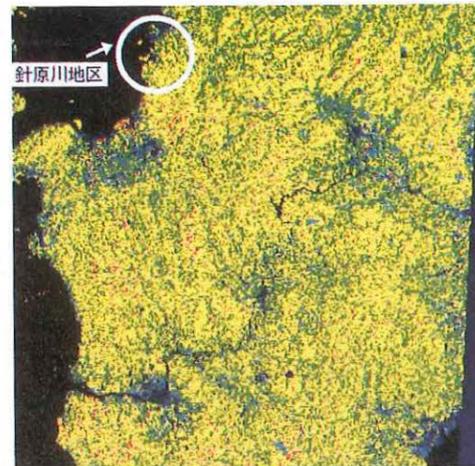
次に、植生指標 NDVI 解析画像のうち、1996 年を画像 1(a)に、1997 年を画像 1(b)に示し、地表面温度の分布状況を示す画像のうち、1996 年を画像 2(a)に、1997 年を画像 2(b)に示す(原図はカラー)。

表 4 植生指標 NDVI 値の平均値

観測年	出水市周辺	針原地区周辺
1984 年	194.6	197.7
1987 年	192.6	196.5
1988 年	182.3	197.6
1996 年	182.1	198.2
1997 年	192.7	188.5

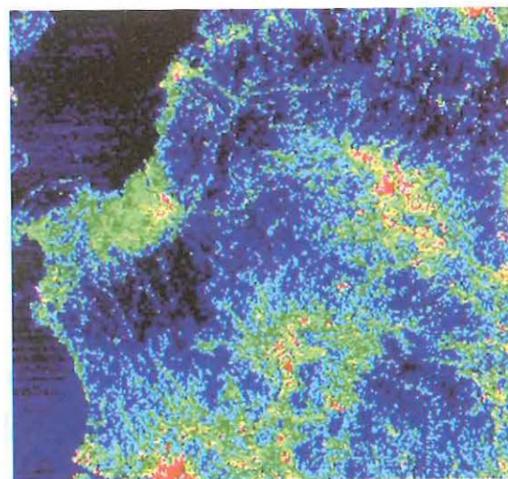


(a) 1996 年

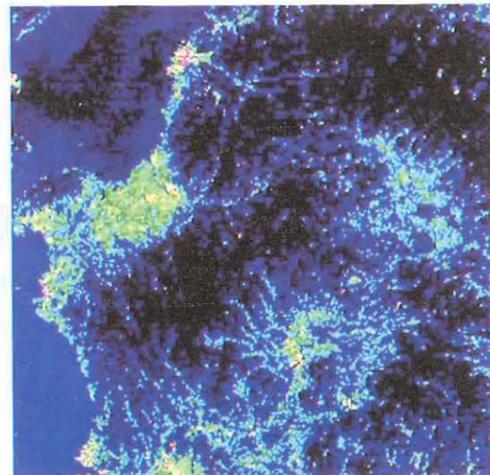


(b) 1997 年

画像 1 植生指標 NDVI 解析画像



(a) 1996 年



(b) 1997 年

画像 2 地表面温度分布画像

5 考察

画像 1、表 4 を見れば、1984 年から 1996 年まで植物活性度が徐々に落ちてきているように見える。これは、出水市周辺だけでなく Path-Row113-38 の衛星データ全体に対して言える(紙面の都合で掲載していない)。NDVI 値の平均値の変化傾向は、1984 年から 1996 年まで徐々に低下し、1997 年は平均値が上がっている。シーン全体に対してこの傾向が見られるが、これは 1997 年のデータが一番時期が遅いために、植物活性度が高いのではないかと考えられる。あるいは、同年 3 月の地震の影響で地盤にクラックが入り、水が入って植物や樹木に対して十分に水分が供給されたために植物活性度が上がった可能性がある。しかし、針原地区周辺の NDVI 値の平均値に関しては、1984 年から 1996 年までほとんど変化が見られないが、1997 年は上昇傾向ではなく低下している。時期のずれ及び地震でクラックが生じたあとの水分補給による植物活性度の上昇があるかもしれないということを考慮しても、この地区だけ植物活性度が低くなっているのは、3 月の地震の影響で植物の根にダメージがあったのではないかと考えられる。

画像 2 の地表面温度の分布状況及び図 2 の針原地区周辺の活断層分布から判断すれば、気温の違いはるが、震源(震央)である宮之城町から北方向に温度上昇が見られる。また、温度の伝導も活断層線に沿っていると見られ、特に活断層 A の末端付近が針原地区の斜面崩壊部に近いことから、出水市での 720gal を越える地震による加速度を生じたエネルギーがこの地区に集中したかもしれないと推測される。同様に、震源地の北に位置する出水市や水俣市や針原地区に、大きなエネルギーがかかっていたものと思われる。

6 おわりに

今回の報告書には、地震の影響として 1997 年 3 月 26 日の第一鹿児島県北西部地震後の衛星データを解析したものを報告したが、さらに詳細な解析を行うには同年 5 月 13 日の第二鹿児島県北西部地震後の衛星データを解析することで、今回の土石流災害の原因として、異常な降雨量と 2 つの大きな地震及びその余震との関連をより明確にできると考えられる。

また、LANDSAT/TM データは、熱赤外域の観測波長帯を持っているので、地表面温度に換算することができる。これに、十分な補正作業を加えて地表面温度の分布画像を作成することで、地震のエネルギーの負荷がかかっている方向を特定できると考えられる(第一著者¹³⁾は、阪神・淡路大震災発生後の活断層の温度上昇を LANDSAT/TM データから指摘している)。加えて、観測波長域が可視光域から熱赤外域まで 7 つあるので、各バンドデータ毎に線形リニアメントを震源地を中心にして、放射状に調べることによって何か特徴が掴めるのではないかと著者らは考える。

最後に、本報告書で解析を行ったエリア内で、1997 年 4 月の植物活性度が低下している箇所を、針原地区以外で見出すことができれば、今後発生するかも知れない危険地帯を事前に把握できる。針原地区を抽出して限定したエリアのように、今後衛星データを小さく分割して、土石流災害の発生可能性の高い危険地帯の特定作業を急ぎたい。特に、震源地より北に位置するエリアにおける危険地帯の解析が急務である。1968 年にえびの市ではマグニチュード 6 前後の地震が 5 回ほど起こって、液状

化現象の結果である噴砂が起こっている。液状化は、砂質土地盤あるいは埋め立て地のような軟弱地盤において、100から200galもの加速度(日本の場合)を生じるような地震が起こった場合に起こる¹⁴⁾。1997年の3月と5月には、出水市で720galを越える加速度を生じた地震が起こっていることから、地震の程度にもよるが砂質土地盤及び軟弱地盤付近で地震が起こり、異常な降水量があった場合は危険地帯だと判断した方がよいのではないかと考える。

謝辞

解析に使用したLANDSAT5号/TMデータは、いずれも宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター、(財)リモート・センシング技術センターの研究向け目的利用データ配布によるものであり、貴重な衛星データの提供をしていただいた。また、解析に使用した衛星データの観測日当日の気象データを、鹿児島地方気象台の観測課の方々に教えていただいた。ここに記して、深甚の謝意を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 土木学会・出水市針原川土石流災害緊急調査団：鹿児島県出水市針原川土石流災害速報，pp.1～5，1997.
- 2) 読売新聞，1997.7.11付.
- 3) 下川悦郎、地頭 隆：鹿児島県出水市針原川の土石流災害、第34回自然災害科学総合シンポジウム論文集，pp.49～50，1997.10.
- 4) 防災科学技術研究所のK-ネットより.
- 5) 南日本新聞朝刊，1997.3.27付.
- 6) 同上，1997.5.14付.
- 7) 同上，1997.5.15付.
- 8) 九州活構造研究会：九州の活構造、東大出版会，pp.436～441，1989.
- 9) 後藤恵之輔、前間英一郎、陳 運明、藤田 究：人工衛星データからみる黄河下流デルタ地帯の断流の影響について、計算機科学研究報告、第14号，pp.23，1997.3.
- 10) 宇宙開発事業団地球観測データ利用ハンドブック「第1章人工衛星を用いた地球観測システム」、(財)リモート・センシング技術センター，pp.23～24，1982.
- 11) 金 應南、後藤恵之輔、全 炳徳：地形を考慮したリモートセンシングにおける植物活性度の算出、土木構造・材料論文集、第12号，pp.89～95，1996.12.
- 12) 稲永麻子、竹内章司、杉村俊郎、吉村充則：NOAA/AVHRRの観測輝度温度に基づくLANDSAT/TMの観測輝度温度誤差の補正、日本リモートセンシング学会誌，Vol.16，No.4，pp.10～20，1996.4.
- 13) 後藤恵之輔、全 炳徳、増喜彰久：阪神大震災被害に関する宇宙と超低空からの熱赤外線リモートセンシング調査、自然災害科学研究西部地区部会報・研究論文集、第21号，pp.59～67，1997.3.
- 14) 安田 進：液状化の調査から対策工まで、鹿島出版会，pp.11～32，1988.

1. まえがき

平成9年7月10日未明の鹿児島県出水市針原地区の土石流災害では、土石流危険地の周知、避難対策、ハード対策の限界などが指摘された。鹿児島県では平成5年の鹿児島水害の教訓をもとに県の地域防災計画が見直されたり、初動体制の迅速化、情報収集対策の強化がなされている。さらに、平成7年1月17日の阪神・淡路大震災の後には、全国レベルの地震防災計画の見直しが行われ、防災業務が一段と明確にされている。市町村においても防災マップ、地区別防災カルテなどの災害危険地の周知および自主防災組織の育成が求められているが、これらの問題に着手したばかりである。このような現状が今回の針原地区の土石流災害の際にどのように生かされたか、また、課題は何かなどを明らかにする。このため、土石流発生前後の市役所、消防本部、警察本部および国の機関の対応などを明らかにする。

2. 気象の概況

7月7日10時に大雨洪水警報が発令された。鹿児島地方気象台が薩摩地方北部に発表した大雨洪水警報によれば、「九州北部付近に停滞している梅雨前線に向かって南から暖かく湿った空気が流れ込み、大気の状態が非常に不安定になっています。このため、薩摩地方北部では、これから夜遅くにかけてところにより雷を伴い1時間に50mm以上の激しい雨が降る恐れがあります。これから夜遅くにかけての予想雨量は多いところでは150mmの見込みです。薩摩地方北部では、これまでの大雨や地震活動により、土砂災害の起こりやすい状態となっているところがあります。また、今後予想される大雨で河川の増水、低い土地の浸水、山・崖崩れ、土石流などの重大な災害が発生する恐れがあります。厳重に警戒して下さい」。

この文でも明らかのように平成9年3月、5月の地震による地盤の緩みによって、薩摩地方北部は梅雨時に2次災害として崖崩れや土石流の発生が心配されていた。地震により目に見えない箇所の災害などが予想されるために川内川における水防活動が早目にできるように平成9年度に限り警戒水位を50cm下げて運用されていた。このため、テレビや新聞、市町村の広報で土砂災害の前兆現象の説明や自主避難を呼び掛けていた。また、放送局では大雨洪水警報発令時には川内市、宮之城市などに人員を配置して待機していたようである。

3. 出水市の避難体制

出水市地域防災計画によれば、避難準備勧告は時間雨量30mmまたは連続雨量100mmを超えた時、避難勧告は時間雨量50mmまたは連続雨量150mmを超えた時と定められている。これらの基準は鹿児島県の地

域防災計画に記載されている概ねの値であり、地域の危険度に基づいた数値ではない。避難勧告は災害対策基本法による措置で、出水市の地域防災計画に記載されている。しかし、出水市はこれまで避難勧告を発令したことがなく、運用上は市内を流れる米ノ津川の春日橋の水位、雨量等を参考にしながら、全市内に自主避難勧告を行ってきた。

この自主避難は平成5年の鹿児島水害を教訓に鹿児島県の地域防災計画¹⁾に位置付けられた。シラス斜面の崩壊が气象台からの大雨洪水警報などの雨量基準だけでは予測出来ないため導入された。住民は崖崩れ、地すべりおよび土石流について災害の発生につながる兆候の発生が認められるときは、自主的判断により速やかに避難するものとしてされている。なお、土石流については①立木の裂ける音が聞えた場合や巨礫の流下する音が聞える場合、②溪流の流水が急激に濁りだした場合や流木が混じり始めた場合、③降雨が発生しているにもかかわらず溪流の水位が急激に低下し始めた場合（上流で崩壊が発生し、流れが堰き止められている恐れがあるため）となっている。自主避難については市町村長などの避難指示権者が勧告・指示を出す性格ではないため、地域防災計画には自主避難については運用上の規程はない。出水市の地域防災計画に自主避難の記述はない。

出水市は鹿児島県の地域防災計画の改訂後には、避難勧告と同じ体制を取りながら、米ノ津川の春日橋の水位、雨量等を参考に全市的に自主避難勧告を行っている。自主避難の呼び掛けは今回が初めてではない。たとえば、針原地区公民館長によれば、平成7年7月3日21時40分（大雨）、同9月23日13時00分（台風14号）、平成8年7月18日10時00分（台風6号）、同8月14日5時00分（台風12号）がある。今回の7月9日の大雨では自主避難の呼び掛けに応じた住民は少数であった。今回の集中豪雨では出水市内でも雨が降らない地区は全く降っていない。降っても4、5時間で小康状態となり、河川の水位も下がるといった状況で自主避難勧告を行っても地区住民の対応が鈍かったと出水市は分析している。住民に雨量や地域の危険性などの情報の提供がないと自主避難が困難なのは明らかで、地区内で浸水や土砂災害などの災害が発生しないと機能しないと考えられる。

もちろん、出水市が全市的な避難勧告を米ノ津川の水位と气象台の雨量からの情報とで発令するのは無理がある。防災マップの作成、雨量計の配置などの防災システムの構築が必要と思われる。これに加えて、自主避難を住民が行うためには前兆現象を含めた土砂災害の状況の周知、被災歴の周知、地域ごとの雨量の提供、住民側の自主防災組織の結成などのシステムがないと実効性がないと考えられる。いずれにしても、市役所が市民に呼び掛ける用語として自主避難勧告は適切でない。避難勧告と避難準備勧告との中間の位置付けとなる恐れがあるため、鹿児島県の防災計画で自主避難の取り扱いを明示する必要がある。出水地区消防組合消防本部の雨量記録によれば、雨は20時頃から止んでおり、今回の土石流は4～5時間後に発生している。雨量や河川水位だけの情報でだけ避難勧告を解除すると、今回の土石流による被害は避けられなかった。一方、大雨洪水警報の解除を待つと7月13日午前中まで解除出来ないことになる。集中豪雨に対する防災対策の困難さを示すものである。

4. 市役所および消防本部の対応

9日の10時過ぎからの大雨で米ノ津地区を中心に河川が増水し、至る所で側溝が溢れ出した。その後15時頃までは小雨に変わり河川の水位は一時低下した。しかし、再び午後15時頃から降り出したので、

出水市は16時30分に災害対策会議を開催し、災害対策本部を17時に設置することを決定した図-1、(表-1)。16時から17時の時間雨量が50mmを超えていたので、17時30分に市内に全17箇所の避難所を設置し、161自治公民館長(自治会)に自主避難の有線放送を依頼した。

針原地区の自治公民館長は自宅の有線放送で17時30分と19時に自主避難を呼び掛けた。市役所が作成した放送例文に基づいて、「周辺に十分警戒して危険と感じたらすぐに避難して下さい」と通報した。自治公民館は161箇所に設置され、公民館長は市の非常勤の特別職(嘱託)にあたり、市役所からの連絡窓口になっている。市役所からNTTの回線で公民館長に通報され、有線放送で各家庭に再度連絡されるシステムである。有線放送設備の維持管理費として年3万円が出水市から支給されている。

針原川が氾濫すると広域農道が路面冠水のため、米ノ津地区の避難所である農村環境改善センターに行けないことを考慮して、出水市は臨時の

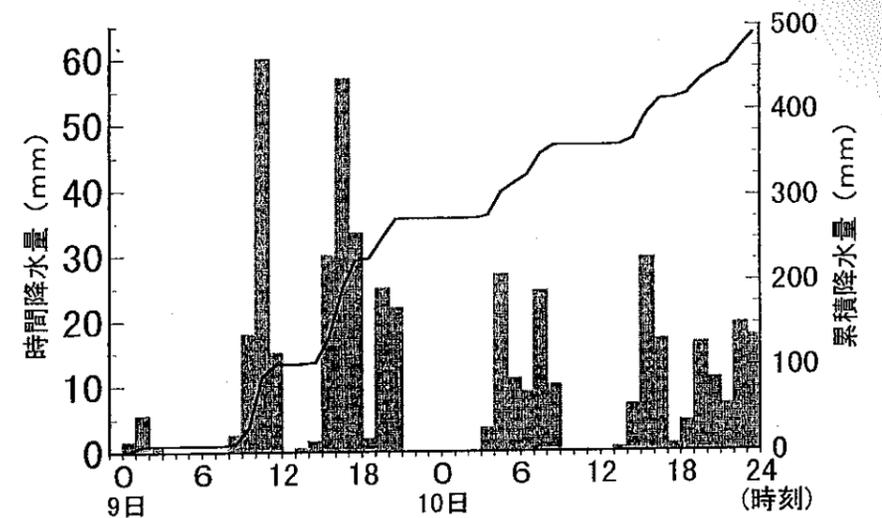


図-1 7月9日、10日の降水量

表-1 7月9日、10日の各機関の対応一覧

9日	10:45	大雨洪水警報切替(薩摩地方北部)
	17:00	出水市災害対策本部設置
	17:30	避難所の開設(17ヶ所) 有線放送で自主避難の呼び掛け
	19:00	有線放送で自主避難の呼び掛け
	23:00	大きな石が流れる音を多くの人聞く
	23:00	出水市職員の自宅待機、消防署非番の帰宅
10日	0:00	針原公民館への避難者は0
	0:42	針原地区停電(米の津変電所)
	0:44	土石流発生
	0:49	鹿児島県警察本部110通報
	0:54	出水警察署出動
	0:59	出水市消防署119通報、出水市役所通報
	1:00	災害救助法の適用
	1:14	消防車現地到着、事情聴取
	1:18	停電復旧
	1:46	警察本部へ第1報 住宅半壊、6世帯不明
	1:23	救出活動、2次災害の恐れで中止(3:46-5:38)
	1:56	NHKラジオ 土石流発生の第一報
	2:12	NHK TV 土石流発生の第一報
	2:20	陸上自衛隊の災害派遣の要請
	2:25	鹿児島県機動隊出動(5:00着)
	3:00	現地災害対策本部設置(針原地区公民館)
	3:05	九州管区機動隊鹿児島小隊出動(5:30着)
6:00頃		陸上自衛隊到着
	8:00	鹿児島県災害対策本部設置
	10:00	鹿児島県知事現地入り
	11:00	建設省、自治省、消防庁現地入り
	16:00	建設大臣現地入り
	18:00	針原地区35世帯99人に避難勧告
	18:30	10日の捜索の打ち切りを決定
11日	7:00	11日の捜索の再開を決定
	13:41	21人目の遺体発見(捜索終了)
	14:30	政府調査団現地入り

避難所を針原地区内の針原地区公民館にした。さらに、その後も雨は降り続き、18時頃米ノ津地区の平松東で床下浸水、江良川橋の決壊の連絡が市役所や消防本部へ入りだしたので、消防車や出水市の広報車で再度避難を呼び掛けた。消防本部では、同時多発する災害に対して消防力の分散を余儀なくされながら警戒にあたった。避難の状況については、米ノ津東小学校5世帯13人、米ノ津小学校2世帯4人であった。針原地区の避難所である農村環境改善センター、臨時の避難所の針原地区公民館にも避難者はいなかった。22時には雨が小降りとなったので、23時には出水市の職員は自宅待機となった。また、消防本部でも23時過ぎに非番員は帰宅した。

針原地区内では9日には針原川の氾濫による路面冠水や河川脇の家屋の浸水が想定されたが、出水市や消防本部に通報する程の被害は生じなかった。別途行ったアンケートに示すように針原地区内では針原川の氾濫に住民は警戒していた。避難の相談や準備もなされ、数世帯は知り合い宅に避難した。しかし、22時頃から河川の水位が下がったために帰宅した。23時から0時にかけて石垣が崩れるような音や石が流れる音がいつもと異なる音を聞いた住民が針原川や上流の砂防ダムの状況を見回したが、異常は発見されなかった。

5. 土石流発生直後の対応

5.1 土石流の第1報

7月10日0時44分に土石流が発生したことが災害対策本部に記録されているが、九州電力の米ノ津変電所が0時42分から停電となっている。針原地区に近い地点に設置された地震計には今回の土石流による振動は捉えられていない。大音響とともに外で人の悲鳴を聞いた住民は停電の中、状況の把握に追われた。110番、119番への通報は針原川沿いの若宮神社より60m程度下流の住民からなされた。針原川沿いでは人や家屋が流れてきたので、状況の把握は比較的容易であった。110番通報は0時49分に携帯電話から鹿児島県警察本部に通報され「山津波発生、泥流・ガス爆発が発生しているようだ。詳細はわからない」。通報を受けた鹿児島県警察本部は、0時54分に出水警察署に出勤を命じ、1時46分に住宅半壊、6世帯不明の情報が入っている。119番の通報も警察と同一人物から0時59分になされている。「針原の〇〇ですが、土石流か崖崩れが発生したようですが、暗くて何もわかりません」。「けが人が何人いるかわかりません」（通信人）。「とにかく暗くて何もわかりません」。「わかりました。行ってみます」（通信員）。

5.2 災害発生直後の状況把握

この通報を受けて、出水消防組合消防本部は土石流らしいとの情報をもとに救助工作車に水防資器材を積載し、偵察出勤し、1時14分に到着した。一方、出水市への通報は0時50分公民館長から「針原地区で10分前に大音響が発生し、若宮神社の方に小炎が見え家が流れてきたので調査して欲しい」と連絡された。公民館長の自宅からは、針原川の状況が全くわからないので、土石流が起ったことに気がつくのが遅れた。出水市の場合、防災活動は消防本部が行うことになっており、この情報は出水市から消防組合本部通信指令室に通報され、さらに出勤車に無線通報された。このため、火災を想定して移動局無線でタンク車とポンプ車が追加された。

出水消防組合消防本部の記録によれば、現場の入口にある針原公民館には照明が付き付近住民8人が

避難していた。避難していた針原公民館長から「広域農道上からは現場が確認できない。公民館裏道路も途中で行き止りで、車両はUターンもできない。針原川沿いからも進入出来ないのでは」と聞き、車両で現場に入れないことが判明した。このため、状況把握のために公民館長と住民の協力を得て、救助工作車の照明を使いながら徒歩で土石流現場に接した公民館長宅前市道に到着した。車道上にはガレキが堆積して、進入できないことが判明した。

救助工作車上からは神社付近の小炎が確認された。暗闇の中、限られた照明の中で全体の状況把握は困難を極めた。現地に住む公民館長に救助工作車のキャビンの上に乗ってもらい、流失家屋数、世帯数、人員および棟数を確認し、消防本部へ無線連絡し、同時に非番職員と全消防団の出勤要請がなされた。地域住民から「倒壊家屋に挟まれた要救出者がいるが救出できない」との連絡が入り出し、消防の活動はチェーンソーや船型担架の手配をして救出活動となった。

現地に出動した消防署長の命令により陸上自衛隊の出勤要請が指令室に無線連絡された。2時頃には再び大音響と小規模の土石流が発生した。救助工作車付近に泥流が流れてきた。3時頃から雨が強くなり、3時46分に退去命令が出され、救助活動は中止となった。この災害の要救出者の確認は地域住民の情報が極めて重要であった。地区の消防・警察だけでは捜索活動をする場所を絞り込むことが不可能であったと推察される。夜間の捜索活動の困難さを地域住民の活動がカバーしたことを忘れてはならない。

救出活動は道路上、その他に堆積したガレキに行く手を阻まれて困難を極めた。消防職員、消防団員、警察官、地元住民とともにガレキの除去をしながら若宮神社に向かい、ここで生存者3人（女性1人、子供2人）を救助している。その後、若宮神社近くの被災家屋（鉄筋コンクリート造）から生存者2人を救助した。さらにその隣に閉じ込められた男性1人をロープ、チェーンソーを使いながら救出した。しかし、それ以上の救出はできなかった。このような消防・警察署の活動をもとに出水市は災害対策本部の現地本部が針原公民館に設置された。

現地本部では死者・行方不明者の確認が住民基本台帳や連絡簿をもとに行われた。親戚や近所付き合いの頻繁な地域で人の出入りが少ない上流部では把握が比較的容易であった。消防本部によれば、安否の連絡が取れなかった1人暮らしの女性の生存が確認された4時37分に被災者が確定している。針原地区外から4歳の子供が実家に預けられていたことや、砂防ダム近くで被災した一家5人のうち1人は熊本県の学校に進学していることが確かめられた。この出水市の土石流はテレビ・ラジオを通じて全国に放送された。10日1時56分にNHKラジオで第1報が流され、2時12分にはNHKテレビが「土石流が発生して家が流出」と第1報を流した。NHK鹿児島放送局の放送によると4時36分に2人死亡、20人行方不明と被害の全体が把握されている。

6. 各機関の初動体制

平成5年8月豪雨や阪神大震災を経験して、国および県の初動体制は整いつつある。鹿児島県警察本部は10日2時25分に鹿児島県機動隊（32人）を出動させ、5時に到着した。3時5分には九州管区機動隊鹿児島小隊（36人）が出動し、5時36分に到着している。鹿児島県は2時20分に陸上自衛隊の災害派遣の要請を行い、6時頃に第12普通科連隊（国分市）および第8施設隊（川内市）が現地に到着している。鹿児島県は災害対策本部を10日8時に設置し、防災ヘリコプターを使用して鹿児島県知事が10時に

現地入りをしている。国の関係機関である建設省、自治省、消防庁の担当者も11時には現地入りし、16時には建設大臣が現地入りをしている。建設省から派遣された土石流対策官は2次災害の恐れを調査しながら救出活動のアドバイスをしている。このアドバイスに基づいて日没に伴う搜索の打ち切りや次の日の搜索開始時間が決められている。今回の土石流災害の初動体制は消防、警察、国および県の対応は明らかに早くなっている。

7. 本格的な救出活動

10日5時半過ぎから地元消防団員、警察官、陸上自衛隊によって搜索活動が開始された。針原川方面から鹿児島県警察本部、南側のみかん畑から消防署、消防団員、中央部は自衛隊がそれぞれ役割分担し、人海戦術で搜索が行われた。現場は土砂でぬかるみ足場が悪いため、搜索活動ははかどらなかつた。救助器材のチェーンソー、スコップ、ローラー、パールを使用しながらガレキの除去作業が行われた。消防団員は棒で探りながらローラー検索を行った。今回の土石流の搜索活動で日本レスキュー協会の災害救助犬が投入された。ぬかるみの中でその活動が制約されたようである。

また、平成8年1月30日に締結された鹿児島県消防相互応援協定が初めて適用され、「災害対策本部長から鹿児島県消防相互応援協定に基づき応援を要請する」旨の連絡が代表消防機関である鹿児島市消防局になされた。災害地に近い地域から6本部12台38名の派遣がなされた。

鹿児島県警察本部では多目的検索システム（ファイバースコープ）が使用された。また、ヘリコプターテレビシステムと衛星通信車を結んだ情報収集装置による災害現場の把握がなされた。ローラー作成による搜索の後にはバックホー、ショベルカーなどの重機によるガレキの除去が行われ、重機や救助資機材を持つ陸上自衛隊の活動が中心となった。関係者の懸命の搜索によって10日中に19人の遺体が収容された。11日になってから残る2人の搜索が行われたが、発見に時間がかかった。11時50分にベッドに横たわったまま冷蔵庫の下敷きになっていた小学生が発見された。流出した家の中とみられ土砂の上に本人のものと考えられるランドセルや机があつて災害救助犬が反応していたといわれている。最後の遺体は13時40分過ぎに針原川の縁に流された車を持ち上げるとその下に横たわっていたという。災害発生後37時間で搜索活動は終了した。大量の土砂堆積の中での搜索活動の割には短時間で終了したと評価できる。なお、みかん用のコンテナボックスが海まで流されていたことから、海上の搜索も行われた。

出水地区消防組合消防本部によれば、10日、11日の両日2,618人の人員が救助にあつた（表-2）。今回の土石流災害では、道路の土砂の除去や活動を支援するために建設業組合が重機と人員を投入していることが一つの特徴であ

表-2 土石流災害に伴う各関係機関の救助態勢・人員
出水地区消防組合消防本部提供

関係機関名	月日・曜日	7月10日(木)	7月11日(金)	合計
出水地区消防組合		55人	56人	111人
県消防相互応援隊		38人	74人	112人
出水市消防団		196人	256人	452人
出水市職員		80人	280人	360人
県警察他応援隊		215人	425人	640人
自衛隊(川内・国分)		408人	253人	661人
建設業組合		120人	120人	240人
建設省		20人	22人	42人
合計		1,132人	1,486人	2,618人

る。災害の救助の段階から専門的スキルと資材を持つ建設関係者が加わることは必要なことでシステム化が望まれる。

8. 電力および通信の状況など

0時42分に停電となったが、九州電力水俣変電所から送電を始め1時23分に復帰している。NTT鹿児島支店によれば、針原地区の通信ケーブルが切断されたため同地区40回線のうち24回線が不通になった。災害当日の電話の輻輳はなかったが、テレビ、新聞などの前線本部や行政の災害対策用の回線増設に対応した。しかし、10日に行方不明者の搜索が終了するとマスコミは前線設置を見送ったようである。

9. 土石流災害後の対応

7月10日18時に被災住宅を除く針原地区35世帯99人に避難勧告が発令された。鹿児島県知事は今回の教訓に避難勧告を従来より早目に出すように市町村に要請すると7月11日現地対策本部で表明した。この後の台風時では九州各地で避難勧告が頻りに発令された。出水市針原地区では7月15日8時30分に避難勧告が解除された。7月16日には崩落現場の周辺の山の斜面を取り囲むように亀裂が走っていることが確認された。崩落の危険があることから出水市災害対策本部は、針原地区に限って避難勧告などの雨量を引き下げた。これまでの時間雨量50mm（連続雨量150mm）の避難勧告基準を時間雨量15mm（連続雨量80mm）にした。また、避難勧告の基準として時間雨量10mm（連続雨量50mm）とした。7月17日には2回目の避難勧告が8時10分に発令され、17時に解除された。3回目の7月18日1時43分の避難勧告の際には出水市は山腹崩落部分の斜面に数箇所の亀裂があり、土砂が崩れば2次災害の恐れがあることや作業が長期化する見込みから最低1ヵ月は避難勧告を続けることを明らかにした。鹿児島県砂防課による土砂崩壊の危険性があることのアドバイスを出水市が受け入れたものである。砂防ダム内に堆積した土砂（約5.5万m³）の排除が終了するまでを目安とした。砂防ダム内の土砂は大量の水分を含み地盤も軟弱なため遠隔操作による無人重機による作業が導入されたが、作業は難航した。

8月18日の臨時市議会で避難勧告が3ヵ月に及ぶ見通しが示された。住民の避難勧告地域への立ち入りは8時から19時まで制限した。立ち入った住民の自宅には在宅、立ち去った自宅には不在とするカードを玄関に掲げるとともに、現地対策本部の針原公民館で名札によって立ち入りをチェックした。この避難勧告は98日間におよび10月25日まで続けられた。避難住民は当初避難所や親戚宅に身を寄せた。7月10日1時に遡って災害救助法が適用された。被災した世帯は市内の県営、市営住宅に入居した。

応急仮設住宅の設置を希望する住民がいることから応急仮設住宅が16戸、被災地から2.1km南の加紫久利公園内に設置された。鉄骨プレハブ平屋建4,700×5,500mmの2DK、6畳と3畳、キッチン（クーラー付き）の標準タイプで、浴室1,800×1,800mm、トイレ1,100×850mmは屋外に設置された。7月28日から入居が始まった。

10. ボランティアの活動

なお、今回の災害でもボランティアの活動が目立った。流失家屋跡から遺留品の発掘・洗浄・保管、みかん畑に堆積した土砂撤去、救援物資の整理、炊き出し、みかんのコンテナボックス回収などにあった。7月17日から受け入れ体制が整い8月5日まで3,049人を受け入れた(表-3)。出水市ボランティアセンターが針原公民館の横のテントで受付、土砂撤去用の用具などを貸し出した。ボランティアは企業、夏休みに入った高校生、みかんの摘果に詳しい鹿児島県果樹試験場の職員などが参加した。みかんは堆積土砂が固まると枯死の恐れがあるため早急な土砂の除去と摘果が必要とされた。地区内の住民は自宅や地区内の土砂撤去に精一杯で生活基盤であるみかん畑3.8haに堆積した土砂撤去まで手が回らなかった窮状をボランティアが救った。その後、みかん園の土砂撤去も国と鹿児島県による農地災害復旧事業が始まったためボランティアの作業は終了した。

表-3 ボランティアの派遣状況

出水市ボランティアセンター										
月日	曜	炊き出し	遺留品探し	土砂除去	コンテナ	援助物資の仕分け	遺留品洗浄	その他	計	累計
7/17	木	12				2			14	14
18	金	19				2			21	35
19	土	12				8	18		38	73
20	日	14			57	3	18		92	165
21	月	12		217			12		241	406
22	火			70			30		100	506
23	水			100		6	30		136	642
24	木			130		16	49	4(兼)	199	841
25	金			143	20	5	31	17(兼)	216	1057
26	土						46	30(兼)	76	1133
27	日		15	245		6	69	11(兼)	346	1479
28	月		19	120		2	69		210	1689
29	火		100	83		1	48		232	1921
30	水		102	102	37	6	36	6	289	2210
31	木		110			5	40	17(兼)	172	2382
8/1	金		138			2	53		193	2575
2	土		57			1	49		107	2682
3	日		117				69		186	2868
4	月		36		22	1	24		83	2951
5	火		20				39	39	98	3049
計		(69)	(714)	(1210)	(136)	(66)	(730)	(124)	(3049)	

11. 今回の災害の教訓と危機管理

今回の土石流災害は防災計画を作成する上で重要な課題を我々に見せつけた。ハード対策の限界とソフト対策の重要性について学ぶことが多かった。ハード・ソフト対策の進歩は確実に災害による被災を減らしているが、まだ対策の対象となっていないところや予知・予測手法の限界などが考えられる。平成8年12月6日蒲原沢土石流や今回の土石流災害はその典型例である。建設省・林野庁・地方自治体のハード対策とソフト対策部門の連携をこの際に抜本的に考えるべきであろう。

(1) 土木・林野の防災部門と消防防災部門の連携

現在、地域防災計画は消防防災(総務部門)の担当であり、防災事業を行う土木・林野の部門との連携は弱い。消防防災部門に土木・地質・地震などの専門官を配置した都道府県は少ない。災害予防計画にハード部門の参加が不可欠である。現在水防災計画書を別途作成しているが、これに土石流、崖崩れ、

地すべりなどの土砂災害も含めることが考えられる。また、倒壊家屋やガレキを除去するために重機を持つ建設業組合などの協力を得る体制づくりも検討する必要がある。今回の土石流の前には地震が続く北薩地方では土砂災害が心配され、土砂災害危険箇所図の作成をしていたようであるが、具体的な対応はなされていない。

(2) 自主避難勧告

今回の災害の発生前に自主避難勧告がなされている。この主旨は「危険と判断したら自らの判断で避難しなさい」である。雨量だけの情報で市内全域に避難勧告は考えられない。浸水、土砂災害の発生の恐れのある地域内に限られるべきである。このような把握がこれまで被災歴がない地域では一般に出来ていない。これを自主避難勧告の発令で住民に判断させるべきではないと考える。雨量だけの情報で土砂災害を予知出来ない現状では自主避難は必要である。自主避難を的確に行うためには危険箇所の周知、前兆現象の広報、自主防災組織の結成、情報伝達システムなどの整備が必要である。自主避難を可能にするとともに位置付けをはっきりさせるべきであろう。

(3) 災害危険箇所の周知

今回の土石流災害の発生地は鹿児島県の土石流危険渓流に指定されていた。平成9年7月、建設省土木研究所と鹿児島県が土石流危険渓流の保全対象人家27,362戸対象に実施したアンケートによれば、

「土石流危険渓流が家の近くにあること」を「知らない」が32%、また「土石流に対する警戒避難の心構えや土石流の発生を知っていますか」に対して「知らない」54%となっていた。また、鹿児島県が作成した想定被害区域内の全世帯に配布される土石災害危険箇所マップも、その存在を「知らない」52%となっていた。事態を重要視した鹿児島県は周知徹底の方法を検討した。

平成9年9月に建設省は全国の16市町村を対象にはがきによるダイレクトメールで土石流危険渓流、崖崩れ、地すべり箇所などの危険区域の全住民に周知することを行うことを試行している。住民に直接的に知らせる方法の試みと評価される。鹿児島県が作成した「土石災害危険箇所マップ」、「土石災害危険地マップ」(平成9年7月、5万分の1)などをもとに市町村が独自の防災マップを作成し、これをもとに自主防災組織や町内会で活用できるようにすべきである。新聞報道記事(西日本新聞、7月11日)によれば、平成9年5月に市内17の自治公民館長に危険箇所を報告するように求め、危険箇所マップを作成中であつたという。しかし、針原川は①砂防ダムがほぼ完成している。②地震の被害もなかったなどの理由で危険箇所に挙げられなかったという。

(4) ハード対策の計画の説明

針原川砂防ダムの貯砂容量2万2千m³は鹿児島県が想定した計画流出土砂量5万5千m³の半分以下であつた。建設省の河川砂防技術基準による算出であるが、地盤が砂礫で弱く高さ14mを超えるダムの建設は技術的に困難なためと説明されている。計画段階の想定土砂量と設計土砂量については地元の市や住民には伝えられていなかった。鹿児島県知事はダムの容量が想定される流出土砂量を下回っている場合、周辺の住民に説明することを明言している。今回の土石流の流出土砂量は13~16万m³に達しており、計画土砂量の3倍近くになっているので、計画どおり建設しても今回の災害は防げなかったが、住民に計画規模を超える土砂災害が起こりうることを説明することは必要で、試みとして評価される。砂防ダムの整備率は危険渓流地全体の約22%であることを考えるとハード対策には限りがある。また、砂防ダムが建設されている場合にも貯砂量が計画流出土砂量を下回っていることが予想され、住民への周

知、警戒避難体制を整備するなどのソフト対策との連携が必要である。

(5)被災者の心のメンタルケアの必要性

家族を失ったり、家屋を流失した被災者からは「精神的に落ち着かないうちに整備・復旧が進んでいく、ついていけない」という不安が寄せられている。出水市保健所は被災者の精神的な状態を聞く健康相談を7月18日、8月22日に行った。また1週間に1回の割合で保健婦らの巡回、被災者らの精神的なケアに努めている。長期的なケアが必要とされているが、最近の災害ではシステム化しているようで進歩といえる。針原地区は地域住民同士の結び付きの強いところであり、支えあっている現状である。復旧・復興にあっても地域住民の間に軋轢が生ずる恐れがないことは安心材料である。また、何が起こったかなどの災害の発生の様子を正確に伝えることも重要である。

(6)砂防法の検討

砂防法は明治30年(1897年)に制定された法律でカタカナで表されている。砂防指定地内の行為の禁止、制限と砂防設備の新設工事等の管理は記述されているが、土石流危険渓流地域における保全対象の家屋の移転制度、新築の規制などの予防対策はない。崖地等移転制度などが適用されている。土石流危険区域の家屋に対して砂防ダムなどハード対策や警戒避難体制などのソフト対策だけでは不十分である。建築規制や移転に対する助成制度などの検討が望まれる。

(7)ソフト対策の充実

警戒避難体制を確実にするための感知器の開発、土石流発生の雨量基準の作成、ハード部門との連携が指摘されている。いずれも重要な課題であるが、これだけでは不十分で、これ以上保全対象を増やさない対策も必要である。住宅や土地開発部門が新規の住宅開発を抑制したり、危険地内の住宅の移転などの予防対策を検討する必要がある。国・県だけでなく、市町村の制度も検討すべきである。

12. まとめ

(1)国および県の初動体制はかなり迅速になってきているが、市レベルの体制は整っていない。近年の被災歴があれば防災対策が行われているが、被災歴のない地域では具体的な計画ができていない。鹿児島県の土砂災害や地震の防災マップや防災アセスメントの結果をもとに、市町村が地区別の防災マップを作成することが望まれる。

(2)土砂災害の発生は、雨量だけの情報では予測できない。溪流、斜面の個々の危険度を調査することもハード対策にも限界がある。このため、自主避難は災害から人命を守るために重要である。自主避難を活かすためには危険性の周知、雨量などの情報伝達システムおよび自主防災組織の育成が必要である。

(3)豪雨災害は夜間に発生することが多く、周囲状況の把握が必要になる。周囲の状況に周知した地域住民でないと状況の把握は不可能に近い。夜間でも状況把握可能なシステムおよび強力な照明などが必要である。

(4)地域防災計画を取り扱う消防防災部門に、土木工学や地質工学の技術職や専門官が配置されていない。また、消防防災部門は事業費を持たない。このような状況では、災害予防対策についてリーダーシップを発揮することは困難で、災害応急対策にしか対応できない状況にある。この点のシステムの検討

が必要と思われる。

(5)土石流危険渓流の周知率が60%強であることから、ダイレクトメール方式が試行された。地域防災計画への記載だけでは住民への周知は無理で、周知の方法の改善が望まれる。

(6)ハード対策の進捗は時間がかかりすぎるために、予防対策として、都市計画や住宅部門と連携して、これ以上危険地域内の保全対象を増やさないことも必要である。

本調査を行うにあたり、出水市総務部総務課、出水地区消防組合消防本部、鹿児島県警察本部警備部警備課、鹿児島県総務部消防防災課、鹿児島県土木部砂防課、N T T出水営業所、九州電力(株)出水営業所、NHK鹿児島放送局、出水市針原自治公民館長の協力を得たことを付記する。各機関にはヒアリングおよび資料の提供を得た。土石流発生直後から朝日新聞、鹿児島新報、西日本新聞、毎日新聞、南日本新聞、読売新聞の記事を予備調査に活用したことも付記する。

参考文献

- 1) 鹿児島県防災会議：鹿児島県地域防災計画(計画編)；pp.165~169, 1996.6

1. まえがき

平成9年7月10日未明に鹿児島県出水市針原地区を襲った土石流で、死者21人、けが人13人の人的被害および住家の全半壊19棟の被害が発生した。この土石流については、土石流のハード対策、ソフト対策、情報伝達、避難対策、前兆現象への対応など、さまざまな課題が指摘されている。

比較的狭い地域に土石流被害が発生したため、新聞やテレビは住民の証言を報道しているが、断片的ではっきりしない点がある。そこで本研究では、針原地区の避難対象地区の世帯にアンケート調査を実施し、針原地区の災害環境、7月9日から10日未明までの状況、土石流による災害状況、7月10日以後の避難状況などを明らかにする。さらに、新聞報道の記事の内容を本人に確認した結果を用いて、災害発生時の対応を補足する。

2. アンケート調査の方法

平成9年10月4、5の両日、針原地区の避難対象地域の住民に「鹿児島県出水市針原地区土石流災害に関するアンケート調査」を実施した。アンケートの対象者は、平成9年7月10日未明に土石流によって家屋が被災した世帯と避難勧告世帯45世帯の計50世帯のうち、福岡、東京など市外に避難して当面帰る見込みがない世帯を除いた45世帯に配布した。避難勧告が発令中であるが、夜間を除いて立ち入りが認められているため、昼間はみかん畑、自宅の片付けなどでかなりの住民が自宅に戻っていた。出水市の現地対策本部で立ち入りした世帯を確認した後に、自宅や周辺のみかん畑で手渡しした。立ち入りが確認できない世帯については、避難先の応急仮設住宅、県営・市営アパート、親戚、職場を調べて手渡して配布した。一部留守宅には、置き手紙をしてアンケートの協力を依頼した。回収数は29世帯で回収率は64.4%であった。

3. 回答者の属性

回答者の属性を調べると、回答者29人のうち男性25人(85.2%)、女性4人(13.8%)となっている。年齢は、20歳代 3.4%、30歳代 20.7%、40歳代 13.8%、50歳代 13.8%、60歳代 27.6%、70歳代 20.7%と広く分布している。職業は、農業62.1%と最も多く、公務員・会社員6.9%となっている。針原地区は、みかんの産地として知られている。オレンジの自由化のあおりでみかん生産農家は大きな影響を受けて、全国的に減反など規模の縮小などが行われたが、この地区では、極早生などの品種の改良や独自の販売ルートをもち、安定した収入が見込まれている。このため、農業後継者が地元に残っている。後継者は両親の家の近くに新築して独立して住んでいる。広域農道より下側では、自営商業や公務員、会社員の世帯も見受けられる。

同居している家族の人数は2人 37.9%、3人 20.7%、4人 17.2%、6人 10.3%、1人および5人 6.9%となっている。針原地区の居住歴は30年以上が86.2%を占める。5年未満は1人だけである。この地区に生まれて育った人がほとんどであるといえる。家屋の構造については木造平屋 75.9%、木造2階建て 20.7%と大部分が木造である。地区内に鉄筋コンクリート造、鉄骨造の住家やみかん倉庫が見受けられる。これらの建物は全壊を免れている。

4. 災害に対する住民の意識

土石流災害が発生した平成9年7月10日以前の地域住民の災害に対する予備知識・認識をまとめる。「針原川が土石流危険渓流に指定されていたことを知っていましたか」に対する回答は「はい」62.1%となっている。鹿児島県が土石流危険渓流内の保全対象20,000世帯を対象に行ったアンケートに対する回答とほぼ同程度である。「はい」と回答した住民は土石流危険渓流があることを表示した看板（立札）を見ている。しかし、看板が何を説明しているかまでは分からなかったようである。しかし、針原川の上流部に砂防ダムが建設中であったことはほぼ全員が知っていた。土石流が発生する恐れがある渓流だから砂防ダムが建設されているとは認識されていなかった。

なお、地区の避難所の場所は約90%が「知っている」が、「現在地で大雨や台風などの自然災害に備えて避難したことがある」は3.4%（1人）のみである。針原川の広域農道の下流部では河川が湾曲しているため、浸水しやすい地形であったようである。

この地域には自主防災組織は結成されていなかったが、なかった理由については「災害で避難することはないから自主防災組織の活動が不必要であると思われた」79.3%（2個選択）が主な理由になっている。次いで「自主防災組織がなくても地区のまとまりがあるから災害時の避難、人命救助、初期消火は可能であるから」37.9%、「市役所から自主防災組織の呼び掛けがなかった」34.5%と災害の発生を地域住民も行政も予想していなかったようである。

なお、「自主避難、避難勧告、避難指示からなる避難に関する用語の区別を知っているか」どうか聞いたところ、図-1の結果となっている。「だいたい知っている」は半数程度となっている。さらに、「出水市地域防災計画に豪雨時の警戒避難体制、避難計画、避難方法などが定められていることを知っている」は17.2%、「自治公民館などの総会、広報紙などで、災害危険箇所、避難所、避難方法、災害の前兆現象等について聞いたり、見たりしたことがある」31.0%となっている。これらには、災害後に知ったとする回答も含まれており、7月10日以前はもっと少ないことが予想される。鹿児島県では、平成9年3月、5月の地震で地盤がゆるんでいるため、梅雨期における斜面崩壊などの土砂災害の発生が心配されていた。これを市民に呼び掛けるために市や町は広報紙で土砂災害の前兆現象を周知したり、テレビ・ラジオでも前兆現象や避難についての報道していたが、見過ごされていたようである。

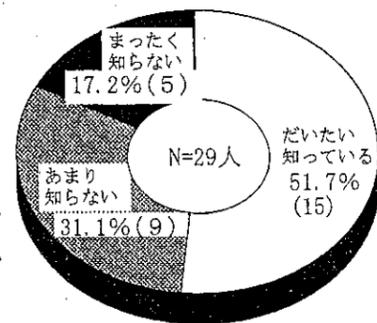


図-1 避難に関する用語の区別

5. 7月9日から10日未明までの状況

「7月9日10時45分に大雨洪水警報が発令されていたことを知っていた」と55.2%が回答している。大雨洪水警報の入手経路はテレビ・ラジオの放送を通じている。「大雨となった9日の17時30分と19時に地区公民館長が有線放送で自主避難を呼び掛けたことを聞きましたか」に対して50.0%が聞いている。この「有線放送を聞いてどう思いましたか」に対して、「針原川で河川氾濫が生ずるかもしれない」57.1%、「どこかで浸水被害が起こるかもしれない」57.1%となっているが、「針原地区で土石流が発生するかもしれない」、「どこかで土砂崩れや土石流が発生するかもしれない」とする回答は全くなかった（表-1）。「あなたもしくはあなたの家族は9日の午後から深夜にかけて針原川の水位や砂防ダムの見回りなどをしましたか」と大雨になった後の土石流が発生するまでの対応を聞いたところ、「はい」69.0%となっている。具体的な内容は表-2に示すとおりである。以下に針原川と砂防ダムに分けて説明する。

(1) 針原川の見回り

表-2に示したように、「針原川の水位を見に行った」95%と対応した住民のほとんどは、川の様子を見に行っている。その他「避難の用意」25.0%、「家庭内で避難の相談をした」25.0%、「テレビやラジオからの情報に注意した」20.0%などの情報確認のほかに避難準備行動を起こしている。針原川が市道の横を流れており道路と川沿いに家屋がある家では、針原川の様子心配で10時頃からの大雨（60mm）のときから、水位を見に行っている（表-3）。その後12時から15時頃までは小雨となったが、15時から雨が強くなり18時頃まで続いた。16時頃から川の様子を見に行く回数が増えている。水位が上昇し、河川や側溝からの氾濫水によって道路が川のようなになった。河川脇や下流部では床下浸水が始まった。18時頃は水の流れに加えて、石が流れる音が混じっていた。針原川では大雨のときは石が流れることは珍しくないとのことであった。川沿いの家では土のうを積んだり、避難の準備を始めた。18時30分頃から川の一部決壊や土砂崩れも始まったようである。19時頃は避難をするかどうかかなり切迫した状況になったと考えられる。危険が迫ったと感じた人は避難したり、市役所に連絡したり、避難の相談を行ったりした。避難先は地区内の高台の家屋となっていた。土石流の直撃で被災した家を予定していたようである。しかし、18時頃から雨が小康状態となって、20時頃から水位が下がってきたようで、22時頃は水量はかなり減ったようである。この様子を見て住民は「もう危険はない」と判断したようである。しかし、23時頃石垣の崩れるような音を聞いて川の様子を見に行ったが、変わった様子はないので、それ以上の警戒はしなかった。0時に川の石が流れる音が違

表-1 有線放送を聞いて思ったこと

N=14人(複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
どこかで浸水被害が起こるかもしれないと思った	8	57.1
針原川で河川氾濫が生ずるかもしれないと思った	8	57.1
このくらいの雨なら大丈夫だろうと思った	3	21.4
針原地区で土石流が発生するかもしれないと思った	0	0.0
どこかで土砂崩れや土石流が発生するかもしれないと思った	0	0.0
その他	1	7.1

表-2 9日から深夜にかけての行動

N=20人(複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
針原川の水位を見に行った	19	95.0
避難の用意	7	35.0
家庭内で避難の相談をした	5	25.0
テレビやラジオからの情報に注意した	4	20.0
上流の砂防ダムを見に行った	1	5.0
公民館長に連絡した	1	5.0
市役所に連絡した	1	5.0
親戚や知人と相談した	1	5.0
家の前に土のうを積んだ	1	5.0

表-3 針原川の状況

人/回数	時間	状 況	居合わせた人数
a-1	10:00	水嵩がだいぶんあつた	いない
b-1		川が氾濫、小屋が床下浸水	いない
c-1	11:00	氾濫していた	いない
d-1	14:00	川の水がものすごい流れだった	いない
a-2	16:00	水が減っていた	いない
e-1		川の水位が上がって上の橋が壊れていた	いない
f-1		だいぶん水位が上がっていた	1人
c-2		川の氾濫がすごかった	数人
g-1	16:30	側溝から水があふれ、川の水位もいつもより高かった	5,6人
h-1	17:00		いない
i-1		増水していた	5,6人
j-1	17:30	針原川が増水し道路にあふれ出た	6人
k-1		近所の橋の所まで川の水位が上がっていた	4,5人
g-2		市道は車が通行できないくらい側溝の水が道路にあふれていた	10人
l-1		一部あふれて道路に流れていた	10~20人
m-1			いない
h-2	18:00		いない
n-1		家の後ろの川を見に行った	数人
o-1		水量が多く石の流れる音がしていた	いない
p-1		川があふれそう、石のものすごい音	いない
g-3	18:30	川の土手が崩れていた	いない
q-1		家の裏の蜜柑畑から流れてくる、水が多いので上の農道の側溝を見に行く	砂防ダム建設の人
k-2	19:00	橋を水が越え始めていた	4,5人
i-2		浸水寸前	3人
p-2		新幹線用地の段々畑が崩れていた	1人
j-2	19:30	家の前の土のうの確認	市の消防団
f-2	20:00	水位が下がっていた	いない
j-3	20:30	家の前の土のうの水嵩が減った	いない
r-1	21:00	川を見た	4人
s-1		水量は多かったが変わりはないと思った	いない
r-2	22:00	多少川の水が減った	いない
o-2		水量は大変減ったと思った	いない
f-3	23:00	石垣の崩れる音がした	6人 (内3人死亡)
m-2	0:00	川の石の流れの音が違う	いない
q-2	1:10	土石流の後、橋に車が流れてきていた川は、どろどろの水が少し流れていた	いない

うことが気になって川の様子を見に行っているが、土石流の前兆などとは結び付けられなかったようである。後日、砂防ダムが土砂で埋まり、天端から小石が落ちる音ではなかったかと類推している。0時40分頃車で帰宅した女性の著者への証言によれば、「道路に冠水した水も引き、濡れた草がへばり付いていたくらい、川の水位も半分あるかそれ以下となっており、車内からの様子ではあたりは音が聞こえないくらい静かだった」という。自宅に入ってから5分もしないうちに土石流が発生している。

(2) 砂防ダムの見回り

針原川上流部の砂防ダムの建設現場にも確認のために住民が見回りをしている。地区公民館長が13時頃見た様子では、3個の水抜き穴から水が吹き出していた。さらに著者の補足アンケートによれば、17時頃に砂防ダム下のみかん園が心配で国道3号沿いに住む男性が状況を見に行っている。このとき、

「砂防ダムの5個の水抜き穴から水煙が上がるほど水が激しく流れ出ている。ダムの上方には流木がひっかかっていた。あれほど水が流れ出るの生まれて初めて見た。その時、建設業者の方がダムの上にあがっていた」と回答している。アンケートでも18時30分頃砂防ダム建設関係者が目撃されている。建

設中の砂防ダム内に置いてあった重機を安全な所に移したのではないかと住民は推測している。さらに、23時頃の石垣が崩れる音がしたときも、砂防ダム付近を点検したが、外見上の異常は見つからなかったようである。0時頃にも大きな石が落ちるような音を聞いて砂防ダムの様子を見に行っているが、暗い雨夜で何も見えず、まもなく音も止んだので帰宅して寝た(朝日新聞 97年7月12日)。この時間には、砂防ダムの周辺では静かで、水抜き穴から水が大量に流れ出す状況であったとは考えにくい。

なお、このような行動をした理由を聞いたところ、「雨が強く針原川の氾濫が心配だったから」82.4%、「いつもと様子が違う音(主として針原川で石が転がる音が違う、大きな石が転がる音の中に小さな石が流れる音、いつもより小さな音が連続してする)を聞いたので」23.5%などの理由からである。

「今年の春からの地震で地盤がゆるんでいる恐れがあるから、早めに避難する必要があると思ったから」および「平成5年8月鹿児島豪雨のような河川氾濫や土石流が発生しやすい状況になっていたから」などの認識は全くなかった。

(3) 住民の避難状況

この土石流災害では地区公民館長が前述のように自主避難を呼び掛けている。しかし、針原地区の避難先である檜木の農村環境改善センター、また針原川の氾濫による道路の冠水も考えられるため、市役所が臨時の避難先に指定した針原公民館にも避難した住民はいなかった。表-2のように避難の用意(貴重品の持出し準備など)や相談はなされ、3世帯が避難をしている。針原川沿いの上(若宮神社より上)、中(若宮神社と広域農道の間)、下流(広域農道とJR本線の間)に位置している。

最初の避難は上流域で9日の14時40分に避難している。家屋が針原川の支流にあって、増水が激しいため、土石流で被災した高台の本家に避難しようとしたが、針原川の上流の農道の橋桁に流木がひっかかり、若宮神社から上にいく道路が冠水していたため通行出来なかった。このため広域農道から下流の兄の家に避難している。また、針原川沿いでも貴重品の持出しなど避難の準備を開始した。

中流部では、河川脇に家屋と道路があるため河川氾濫に伴う家屋や道路の浸水が心配されたため、9日の15時半頃から浸水防止のための土のう積みなどが近隣の協力のもとに行われた。このうちの1軒は19時頃から21時まで一時避難している。

針原川の下流部では、河川が湾曲しているため浸水が生じやすい状況にあり、今回も道路が川になっている。1人暮らしの女性が19時30分に地区外の息子宅に避難している。避難のきっかけは、上流部に住んでいた親戚の女性から「危険だから早く逃げなさい」という電話を貰い、息子宅に電話して迎えに来てもらっている。なお、電話した女性は一旦道向かいの知り合い宅(鉄筋コンクリート造)に避難しようとしたが、川の水位が下がったので自宅に留まり被災した。「すぐに逃げ出せるように預金通帳や亡父の位牌、衣類などを積み込んだ車を家の前に止めていた。鉄筋コンクリートの建物なので、2階に寝ていたら助かったかもしれないが、この晩は逃げやすいように3人と1階にいた」(朝日新聞、7月24日)という。

6. 土石流発生直後の行動

10日0時42分頃、今回人的被害や家屋の被害をもたらした土石流が発生した。土石流はゴーという音や地鳴りのような音とともに発生した。上流部の家屋が全壊した地域は土砂より先に到達した泥水によ

って家屋が流出したようである。上流部の周辺南側の家屋が半壊して人が助かったところは土砂が押し寄せたようである。また、中流部では、泥水がゆっくりと押し寄せたようである。土石流の発生時の地域住民の行動を述べた新聞報道記事をワープロに入れ本人に時間、状況を確認した結果およびアンケート調査による結果を以下に示す。

(1) 家屋が全壊した上流部

上流部では家屋が全壊して死傷者が出たが、救出もしくは自力で助かった人がいる。家もろとも土石流によって流出した人である。針原川沿いでは「自宅ごと300m流された。泥水の中、これではまいと思っただけで、家族1人死亡、南日本新聞、7月11日」。この男性は、住宅の残骸と土砂にまみれて材木に足をはさまれていたところを、「助けてくれ」の叫び声に気がついた中流部の住民に助けられた。5人がかりでチェーンソーなどを使って救出された（朝日新聞、7月11日）。「山手の方からドーンという低い音が聞こえて一瞬目が覚めたと思ったらそのまま家ごと流されていた」という。

若宮神社近くで消防団員らによって発見された針原川沿いに住む女性によれば、「バキバキというものすごい音で目が覚め、水に流されるその間子供2人と同じ布団の上で流されていた。上の子と私は座った状態、下の子は寝たまゝの状態だった。多分、家ごと流されたと思う。土石流と分かってびっくりしたが、私は水に流されたと思う」（女性37歳、子供2人とともに救出、1人死亡、本人の記述）。

針原川から離れた高台にある家屋も土石流の直撃を受けた。川沿いの住民がいざという時に避難しようとしていた家屋である。今回の土石流で避難先としてあてにされていた2軒の家屋で被害を受けた。「瞬間的にベッドをつかんだから何度も泥水を飲んだけど放りだされずにすんだ」（男性36歳、家族3人死亡、鹿児島新報、7月10日）。「とっさに寝ていたベッドの端をつかんだ。意識が戻ったときは濁水の渦の中だった。200mくらい流された後だったろうか。何度も泥水を飲んででもがいているうちに体が止まった。頭だけ泥水の上に出ていた。覆いかぶさる流木を持ち上げ、自力で脱出。泥にまみれた体を引きずり、暗闇の中を歩き通し、明かりのついた民家に飛び込んだ」（読売新聞、7月11日）。本人のアンケートの記述に、土石流にのまれ、10分後には自力で脱出し、救助を求めるために、携帯電話によりすぐに自衛隊によるヘリの救助（特に灯かりが欲しかった）を電話したが来てくれなかった（信用してくれなかった）と述べている。また、土石流ではなく、泥水によって流されたことを認識している。この男性は、2時過ぎに家族を探しているところを消防団員と出会っている。消防団員と一緒に探したが、発見出来なかった。

(2) 上流部の南側

上流部の南側の3世帯は泥水の直撃を受けずに全員避難している。これらの家には土砂が押し寄せたが、家屋を一気に破壊する状況ではなかったようである。最上流の鉄筋鉄骨平屋建に住んでいた3人家族によれば、「ゴーという音がして、何秒もしないうちに窓から土砂が入ってきた。驚いて外に出ると周りの家がなくなっていた」（男性55歳、鹿児島新報、7月21日）。「ドーンという音と同時に窓ガラスが割れて土砂が浸入、全身に覆いかぶさって来た。そのため、右目下付近の骨を折ったほか、全身にすり傷を負った」（女性20歳、鹿児島新報、7月10日）。

次の家では、「地震のようなカタカタという小刻みな揺れを感じた。その直後強い衝撃があった。窓の外を見ると、上流にある家の屋根が吹き飛んでいる姿が暗がりの中に浮かんだ。一家で針原公民館へ避難したが、プロパンガスのような臭いが漂っていた」（女性33歳、毎日新聞、7月11日）。

道路をはさんで下側の家では、「ゴーという音に跳び起きた。『地震か』。小刻みな揺れが収まらないため、懐中電灯を取りに寝室を出ると、土砂のぬめりに足がはまった。動転しながら近くの家が形をとどめていないのを見て、事態の深刻さを知った」（男性59歳、西日本新聞、7月11日）。この男性は、「ガスのにおいが充満していたので、飛行機が墜落したのかと思った」（鹿児島新報、7月21日）のように、土石流が発生したとは思っていなかったようである。若宮神社の方向に小炎が見えたことを通報したために、消防署はポンプ車を出動させた。自治公民館長であるこの男性は、市役所に通報して、針原公民館へ避難した。この3世帯とも、家から避難するとき、家のドアが開けられたようなので、家の破損は当初小さかったと推定される。土石流跡の家屋は半壊・全壊となっているところを見ると、土砂は1回だけでなく、複数回流れてきた可能性がある。現地に入った出水地区消防組合によると、2時過ぎにも大音響があり小規模の土石流が発生し、泥流が流れてきたことが確認されている。

(3) 中流域

中流域では土砂は流れて来なかったが、しばらくして泥水が流れてきた。地鳴りの音、外で人の叫び声などで異常に気がついた。「主人が飛び起きたので私も目が覚め、東側の窓を開けた。ゴオーという音を聞いて間もなくドロドロとした水が流れてきた。周囲は停電で真っ暗。外に出ると膝下まで濁流につき、「おーい、おーい」と助けを求める声が聞こえた」（女性43歳、毎日新聞、7月11日）。「飛行機が墜落したような音がした。外で叫び声や悲鳴がしたので、外に出たら一面泥の海だった」（女性30歳、朝日新聞、7月11日）。彼女は0時40分頃、車を運転して被災現場となる道路を通って帰宅した直後であった。「土石流が発生したときは何が起こったか分からなかった。カーテンを開けると風が舞っており、龍巻かと思った」と補足アンケートに記述している。外の異常に気がついた住民は、警察や消防に連絡したり、流れてきた人を救出したり、全半壊した家屋の住人の安否の確認を行った。消防署が到着する頃には、流れてきた人の救出や家に閉じ込められた人がどこにいるかを把握しており、人命救助に大きな貢献をしている。ここでも近隣の対応が状況把握、人命救助などの初動期に重要であることを示している。ただし、照明やチェーンソーなどの工具がないので、家屋に閉じ込められた被災者の救出は素人には無理だったようである。

今回の災害では21名が死亡し、13名が救出（他力、自力）されている。土石流災害にしては遺体の損傷は少なかったと聞いている。土石流の先頭部の洪水で流されて被災したことが伺える。流された位置の確認ができれば、もっと救出されたかも知れないが、夜間で状況の把握が困難を極め、また、土石流の発生による2次災害の恐れがあるため十分に出来なかった。

7. 土石流直後の住民行動

アンケートによれば、「全員無事であった」86.2%、「死者が出た」10.3%、「負傷者が出た」3.4%となっている。家屋の被害は、「全壊」17.2%、「床下浸水」34.5%、「床上浸水」3.4%、「被害なし」44.8%、家屋の被害は上流部に発生し、「浸水」は針原川沿いで発生している。土石流が発生した10日0時40分頃には半数以上の58.6%が家族全員就寝中であった。当日夜が明けるまでに土石流が発生したことを全体の89.7%が知っていた。発生直後から夜が明けるまでの行動をまとめると、表-4の結果を得る。

前述のように大音響や人の叫び声で異常を知った住民は、表のように「状況の把握」、「安否の確認」、「人命救助」、「防災・行政機関への連絡」、「自宅からの避難」などを行っている。災害発生状況を把握した地域住民の迅速な対応が、流された人の救助、安否の確認に大きく貢献している。この結果、倒壊家屋に閉じ込められた生存者の確認がなされている。

出水地区消防組合消防本部が2時過ぎに現地で救出活動をするまでにほぼ状況を把握していたようである。なお、土石流発生後、約半数の48.3%が自宅から家族全員および一部が避難している。一部の地域では、消防団による避難の呼び掛けがなされたようである。避難先は、「親戚・知人宅」50.0%、「針原地区公民館」42.9%などとなっている。

当日の電気の状況については、0時42分に地域全体が停電したが、30分程度で送電を再開している(表-4)。アンケートでもこのことが確認されているが、場所によっては朝まで復旧しなかったところもある。土石流発生直後は全域が停電となったために、状況の把握に支障をきたしたようである。停電が解消した後も上流部では停電のまま照明の確保に消防や警察関係者は苦勞したようである。今回の土石流で地区内の40回線のうち25回線が電話線の破断によって使用不能となっている。災害発生直後、55.2%が電話を使用している。使った電話は「自宅の電話」68.8%、「携帯電話」31.3%となっている。電話の通話状況を見ると、「すぐに通じた」56.3%、「なかなかつながらなかった」18.8%、「全く通じなかった」12.5%、「電話器が使用不能」12.5%となっている。「警察や市役所に連絡するのに停電のため、多機能電話が使えなかった。また、携帯電話もつながらなかった」とする指摘もなされている。

土石流発生から未明までの「困ったこと」を聞いたところ、表-6の結果を得た。「何が起きたかという情報が入手できない」が44.8%と最も多く、次いで、「自分の家が安全かどうかわからない」24.1%となっている。この土石流災害を経験して、災害対策の意見を自由記入で求めたところ、「土石流災害の前兆現象を知らなかった」、「土石流危険渓流の看板を見ても危機感はなくなかった」、

表-4 土石流発生直後の行動

N=29人(複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
災害の状況をつかむために、家の周りや川の状況を確認した	15	51.7
土石流で流れてきた人を救助したり、避難所へ誘導した	15	51.7
自宅から避難した	14	48.3
知人や近隣の安否を確認した	13	44.8
消防署、警察署、市役所などに連絡した	5	17.2
特に何もしなかった	3	10.3
土石流で流されたが、周囲によって助けられた	3	10.3
家の中に流れ込んできた土砂や泥を家の外に出した	2	6.9
市内や市外の知人の安否を確認した	0	0.0
その他	3	10.3

表-5 停電の状況

N=29人		
項目	人数(人)	(%)
停電にならなかった	3	10.4
停電になったが、30分程度で解消した	11	37.9
朝まで停電が続いた	7	24.1
わからない	6	20.7
無回答	2	6.9

表-6 土石流発生直後から未明までの困ったこと

N=29(複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
何が起きたかという情報が入らないこと	13	44.8
自分の家が安全かどうかわからないこと	7	24.1
家族や親戚の安否がわからないこと	5	17.2
避難すべきかどうかの判断	5	17.2
電話がつながらないこと	4	13.8
停電でテレビからの情報が入らないこと	3	10.3
その他	2	6.9
無回答	4	13.8

「川の水量に気を取られていた」、「防災の知識があったらと思う」などの事前対応が取れなかったことが挙げられている。

また、「災害直後の人命救助の消防・警察の対応が迅速でなかった」ことが指摘されている。「夜間のため、状況の把握がしにくいこと」、「がれきに道路が塞がれて車両が現地に入らないこと」などで、直ちに状況を把握したり、救助すべきところへ到着出来なかったことは否めない。

土石流発生後、現地に到着した消防、警察、市役所は地域住民の安否確認を行った。この地域は隣近所の付き合いがあるため、当日に地域内にいた人数(1人県外で就学、1人地区外から子供が泊まりに来ていた)は把握できた。しかし、針原川上流域の1人暮らしの女性の安否が取れないために時間がかかった。この女性は耳が遠く土石流の発生を全く知らなかったという。

8. 7月10日の避難と今後の復興対策について

7月10日18時に避難勧告が発令されてから10月下旬まで約100日間継続された。避難勧告直後の避難先は、「親戚・知人宅」55.2%、「農村環境改善センター」27.6%、その他の避難所である。避難勧告発令中における住宅は、「応急仮設住宅」37.9%、「県営住宅」24.1%、「親戚・知人宅」24.1%、「市営住宅」10.3%となっている。

なお、今後の自宅復旧について聞いたところ、家屋の被害が小さい世帯については、防災工事が終わった後、「戻る」83.3%となっている。家屋が被害を受けたところでは、「戻らない」とする回答となっている。避難勧告が長くなっていることに対する住民の評価は図-2のとおりである。「どちらともいえない」65.5%となっており、特に大きな不満はないようである。

夜間(19時から7時まで)は立ち入りは制限されているが、昼間は立ち入りが許可され、食事、洗濯、みかんの世話などが可能なため、大きな支障はなかったようである。大規模な崩壊跡に新たな亀裂が発見され、2次災害の恐れがあるためと、砂防ダムの除石に時間がかかっていることを住民も認めていることを示している。少数であるが、応急仮設住宅の暮しにくさ、大雨や台風でも土石流がその後発生していないので、早く解除すべきだとする意見や、雨の多いときのみ避難勧告にすべきとの意見もあった。

9. 今後の復興対策について

被災地の復旧計画について、重要と思われることを複数回答で求めると、表-7の結果を得る。「農

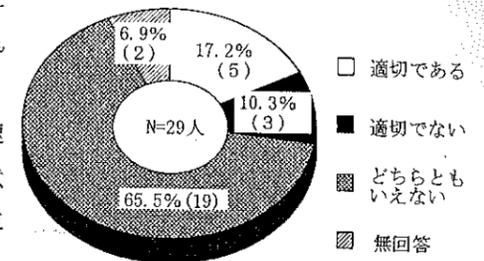


図-2 避難勧告の長期化に対する評価

表-7 地域の復興計画で重要なこと

N=29人(複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
農地の災害復旧	17	58.6
針原川の河道の付け替え	16	55.2
雨量計や土石流予警報装置の設置	13	44.8
砂防ダムの増設	12	41.4
生活再建のための特別融資制度の創設	12	41.4
土石流に対する避難所の整備(個室型など)	9	31.0
防災行政無線の導入	6	20.7
自主防災組織の結成・育成	5	17.2
住宅の高台への集約	3	10.3
避難路の整備	1	3.4
その他	4	13.8

地の災害復旧」、「針原川の河道の付け替え」、「雨量計や土石流予警報装置の設置」、「生活再建のための特別融資制度の創設」、「砂防ダムの増設」が40%を超えている。この時点では、被災地域の復興計画の具体案は示されていないが、土石流や河川氾濫のハード対策に加えて、生活再建のための農地の災害復旧と生活再建のための助成が挙げられている。災害時の対応をスムーズに行うための情報伝達システムや自主防災組織には関心が少ないようである。

今回の土石流災害は住民にとって考えもしなかったことが発生し、土石流災害のすさまじさを痛感することとなった。また、防災施設の計画規模を超える災害が起こりうることが指摘された。「今後の土石流対策としてどのようなことが考えられますか」に対する回答は表-8に示すとおりである。災害発生当初指摘された行政機関の情報交換、計画の一体化、砂防ダムの容量と計画土砂量の公表などが上位2位を占めている。回答状況から見ると、土石流対策を具体的に議論するまでには至っていないようである。最後に自由記入の形で被災地の復旧、これからの安全地域づくりについて意見を求めたところ、

- (1) 家族を失った被災者からは今回の災害の正確な原因究明、公表が求められている。
- (2) 家族を失った被災者からは精神的に落ち着かないうちに整備・復旧が進んでいく。ついていけないとの不安感が寄せられている。
- (3) 今回の土石流による家屋の被災・人的被害の発生は流出土砂だけではなく、土石流の先端の水によるものと考えられている。この水がどこから給水されたかが現状では説明されていない。地元住民の間には、土砂、流木による砂防ダムの水抜き穴の詰まりが砂防ダムを満水にしたのでは、という想定シナリオがある。これは、夕方にはダムの天端に流木が引っかかっていたこと、23~24時前後の石垣が壊れる音などは、ダムの天端から石がこぼれる音ではないかとの推定によるものである。
- (4) 針原川沿いに家屋や道路があり、また下流部は湾曲しているため浸水の恐れがある。浸水を防ぐために河川の拡幅、河道の付け替え、橋梁の工夫などが必要とされている。
- (5) 砂防ダムの増設と砂防ダム下流部に土砂を貯留するための防護堤防の設置が必要である。
- (6) 復旧に関する情報や復旧計画が確定する前に地元住民に案を提示し、要望を聞く場が欲しい。
- (7) 集団移転が適用された場合の戸あたりの坪数の問題、100坪まででは農家は困る。みかん農家では倉庫だけでも40~50坪必要で、それに自動車の駐車場などで200~300坪必要である。
- (8) 西回り高速道路との関係で、現在の宅地ならびに農地の整備をどのように設定するか困っている。

10. まとめ

表-8 土石流対策として重要なこと

項目	N=29人(複数回答)	
	人数(人)	(%)
行政の枠を超えた治山、砂防、河川の分野の一体となった防災計画の策定	12	41.4
砂防ダムの建設にあたって、計画内容の公表(計画土砂量、砂防ダムの計画容量)	10	34.5
砂防ダムの建設の推進(事業費の確保)	8	27.6
雨量計の増設によるきめ細かい降雨状況の把握	6	20.7
土石流の発生の感知器の開発	6	20.7
土石流危険地域の市民への周知	6	20.7
土石流危険地における災害予防対策としての住宅移転制度	4	13.8
土石流の前兆現象などに関する防災講演会・セミナーの開催	3	10.3
土石流危険地域における新規の住宅建設防止対策	2	6.9
土石流に対する防災マップやハザードマップの作成(土石流危険地域の明示)	2	6.9
砂防ボランティアなどの地域在住の専門家による点検制度	1	3.4
その他	0	0.0
無効回答	9	31.0

本報告は、針原地区の土石流に対する避難対策地域の住民に対するアンケートおよびヒアリングより、災害知識、今回の土石流発生時の住民の行動、判断、今後の対応を明らかにした。

- (1) 針原地区が土石流危険渓流に指定されていたことを住民は知っていたが、土石流が発生するとは誰も予想していなかった。
- (2) 土石流の前兆現象などの土石流災害に対する予備知識がなかった。
- (3) 大雨洪水警報や自治公民館長の自主避難の放送を聞いて、針原川で河川氾濫が生ずるかも知れないと思った。また、河川氾濫の危険が迫った状況になったので、河川沿いの住民は針原川の状況を確認している。浸水対策、避難準備、一部では避難をしている。しかし、雨が峠を越して、水位が低下すると安心して災害に対する警戒を解いた。
- (4) 23時頃から石垣が崩れるような音や川の石が流れる音がいつもと違う異常に気がついて、針原川や砂防ダムの状況を見に行ったが、夜間のため、状況がわからなかった。
- (5) 大音響と人の叫び声で屋外の異常を知った住民は、何が起こったかという情報が入らないまま、状況の把握、安否の確認、人命救助、防災・行政機関への連絡にあたった。消防や警察が状況を把握できない中で地域住民が流された人を救助したり、倒壊家屋に閉じ込められた被災者の安否を確認している。ここでも近隣の協力が人命救助に大きな役割を果たしている。
- (6) 針原川の上流部の家屋は全壊し、21名が死亡したが、被災して助かった住民の証言によれば、急激に押し寄せた水によって家が流出したと証言している。
- (7) 砂防ダムの堆積土砂の除去が終わるまで約100日間避難勧告が継続されたが、住民の不満は大きくなかったようである。
- (8) 今後の復興対策は土石流や河川氾濫に対するハード対策と生活再建のための農地の災害復旧と生活再建のための助成が挙げられている。しかし、自主防災、避難対策、情報収集や伝達などのソフト対策の関心は少ないようである。

本調査を行うにあたって、針原地区の皆様、古川司自治公民館長に大変お世話になりました。また、災害直後の朝日新聞、毎日新聞、鹿児島新報、西日本新聞、南日本新聞および読売新聞を参考にしたことを付記する。アンケートの配布集計、図表の作成には長崎大学工学部社会開発工学科大学院生西村寛史君、4年生橋高裕人君および筑紫宏之君の協力を得たことを付記する。最後に土石流で被災された方々のご冥福を祈るとともに、被災された方々の立ち直りと地域の早期の復興をお祈りします。

「出水市土石流災害に関する心理学的研究」

～被災1ヵ月後・3ヵ月後の外傷後ストレス障害（PTSD）に関する調査分析～

鹿児島大学教育学部 久留 一郎

1 問題

1997年の梅雨は、晴天が多く、「から梅雨か」といわれるほどであった。ところが、7月6日、西日本に梅雨前線が停滞し、活動が活発になり、連日の大雨になった。鹿児島県出水市では、9日午前から時間雨量60ミリ前後の大雨が断続的に降り、国道などで崖崩れが発生するなどの被害がでていた。

雨が小康状態になった10日未明、出水市境町針原地区で、大規模な土石流が発生した。完成間近の砂防ダムを乗り越え、16世帯48人が16万 m^3 の巨大な土石流に飲み込まれた。2日間にわたる懸命の捜索にもかかわらず、21名が犠牲となった。残る27人のうち、13人が負傷、全半壊の家屋も31棟にのぼり、甚大な被害を受けた。二次災害を警戒し、45世帯125人に対して避難勧告が出され、10月末までの約3ヵ月間の避難生活を余儀なくされた。被災4ヵ月目にしてようやく復旧計画が始まった。しかし、半年経った今も、石や瓦礫が残ったままである。

「外傷後ストレス障害（PTSD；Post-traumatic Stress Disorder）」は、人間の存在、生命に危機的影響を及ぼす「異常な状況」における「正常な反応」と言われる。すなわち、全く突然で予期出来ず（unpredictability）、自らの意志で制御することの出来ない（uncontrollability）事件・事故・災害状況に巻き込まれると、誰もがPTSDという心理的状況に晒される。今回の土石流災害は、砂防ダムがあることで住民は安心しきっており、土石が転がる音を聞きながら床に着いた人もいたという。誰もが予測しておらず、あらがいがようもない物凄い速度で家屋や人々を襲った今回の災害では、PTSD発症が大いに予測される。

わが国における、災害後の心の健康調査は、雲仙・普賢岳噴火災害、北海道南西沖地震、阪神・淡路大震災において、実施されている。また、鹿児島県北西部地震においては、筆者らが、被災1ヵ月後、3ヵ月後、6ヵ月後の心の健康調査を実施し、支援体制を確立しつつある。

出水市土石流災害に関しても筆者らは、PTSD発症の予防、危機介入を行なってきた。被災直後より、スタッフへの研修会で被災後の心のケアに関する啓蒙、啓発をし、個別相談希望者へは、臨床心理士2名による月1回の個別訪問治療を実施し、予防的危機介入を行なってきた。被災地区を訪ねてみると、建物は跡形もなく破壊されており、また、被災者の心理的状態は、将来の不安や大雨による恐怖、不眠や苛立ちなどが生じていた。マスコミの取材も多く、面接に抵抗を示す人もいた。

PTSDという心的状態は、主訴と症状の隔たりや、外傷体験後の発症が遅れるため、その診断は非常に困難になる。しかも、適切な治療がなされなければ、症状の慢性化や重篤化の危険性が十分に予測される。従って、PTSDの早期発見、早期治療は必要不可欠である。そこで、今回、土石流災害の約1ヵ月後と3ヵ月後に、土石流災害により被災人々の心の健康アンケート調査を実施し、実態把握を試み、危機介入のありようを考察した。

2 方法

2.1 対象

対象は、鹿児島県出水市境町針原地区の被災された住民である。現地の保健婦に依頼し、アンケート用紙を配布してもらった。

2.2 回収数

被災1ヵ月後調査の回収数は、108名である(表1)。被災地区住民のほとんどの回収がなされた(フェイスシートとGHQ: General Health Questionnaire<一般健康調査票>30は後から配布したため、回収数は、かなり少なくなってしまった)。

3ヵ月後調査の回収数は、69名であり(表2)、1ヵ月後調査の3分の2に減少している(しかし今回は、フェイスシート、GHQ 30ともに回収できた)。被災3ヵ月後は、ちょうど被害にあった自宅を今後どうするかという時期であった。また、他県のリサーチャーによる調査もあり、被災者の中には、よく似た内容のアンケートに対して、拒否感情がわき、われわれのケアのためのアンケート調査も回収数は減少してしまった。

2.3 実施時期と方法

調査時期は、被災1ヵ月後にあたる1997年8月と、被災3ヵ月後にあたる9月から10月にかけて実施した。個別相談を希望する場合は、氏名・連絡先を記入する覧を設けた。

表1
出水市土石流災害 心の健康1ヵ月後調査
回収数 (1997. 8.)

年齢	M	F	不明	Total
10歳以下	1	0	0	1
10~19歳	7	9	0	16
20~29歳	3	5	2	10
30~39歳	6	7	0	13
40~49歳	9	10	0	19
50~59歳	6	7	0	13
60~69歳	10	9	0	19
70~79歳	5	9	0	14
80~89歳	0	2	0	2
90歳以上	0	1	0	1
Total	47	59	2	108

注) 「不明」: 性別不明

表2
出水市土石流災害心の健康3ヵ月後調査
回収数 (1997. 9~10.)

年齢	M	F	Total
10歳以下	1	-	1
10~19歳	2	5	7
20~29歳	1	4	5
30~39歳	4	5	9
40~49歳	6	8	14
50~59歳	4	5	9
60~69歳	9	3	12
70~79歳	5	5	10
80~89歳	-	2	2
Total	32	37	69

2.4 調査内容

調査内容として、「フェイスシート」「DSM-IV (1994) 修正版」「GHQ30」を使用した。まず、調査用紙に、フェイスシートを添付し、「被災状況」「災害に遭った時、どのような状況で、どのように認知したか」「大雨の時に感じる事」「土石流災害について思うこと」「心配なこと」などを、さしつかえない範囲で(回答することによるフラッシュバックを防ぐため)、記入してもらった(表3)。

3ヵ月後調査では、回答することによる過剰な刺激(フラッシュバックなど)を避けるため、フェイスシートの質問項目を「大雨の時に感じる事」「土石流災害について思うこと」「心配なこと」のみに限定した。

表3
Q1: 97-8: 2/4 提出用

土石流災害の出来事について、さしつかえないかぎりでお答えください。

☆お名前: _____ 男・女

☆ご職業/学校: _____

☆生年月日: 明治・大正・昭和・平成 _____年____月____日 生まれ _____歳

☆ご自宅の被害の状況など: _____

Q1: あなたは、7月10日(木)の土石流災害の時、どこにいらっしゃいましたか?
自宅・親戚・学校・その他の建物(階)・道路・車の中・その他()

Q2: その時のようすを教えてください。

Q3: ご家族は、いかがでしたか?

Q4: 大雨の時、あなたは、どのように感じますか?

Q5: あなたは、現在(今)、土石流災害のことをどのように思いますか?

Q6: 現在、あなたは……

①「どこで」暮していますか? 自宅・仮設住宅・知りあいの家・親戚の家

②毎日、職場や学校に通っていますか? はい・時々休む・いいえ

③今、困ったこと、心配なことは何ですか?

※以下は、未記入でもよいです(記入したい人はどうぞ)

ご自宅の電話番号: _____

次に、PTSDのスクリーニング用のアンケートを使用した。PTSDのスクリーニングを目的とした心理査定は、いくつかみられるが(久留ら、1997)、本研究では、DSM-IV(1994)に準拠し、被災後の状況にあわせ、しかも、回答者にわかりやすい言葉で表現した「DSM-IV修正版」を作成した(表4)。

表4
あてはまるところに、○をつけてください。 Q2:97-8:3/4 DSM-N-R/H 提出用

土石流災害は「予期できず」「逃げることのできない」とてもこわい体験です。人のところに大きなストレスを与えます。そのため、土石流災害のあと、さまざまな体の変化や気持ちの変化を体験する人がたくさんいます。ここには、大きな土石流災害を経験した人なら、だれもが体験するような、心の状態や体の状態をまとめてあります。

お名前	記入した日	年	月	日(記入者:)
この1カ月に、あなたはつぎに述べるような体験(経験)がございましたか?				
1)	土石流災害のときのこわかった様子が、くり返し思い出される	はい・時々・いいえ		
2)	土石流災害のときのこわかった様子をくりかえし夢に見る	はい・時々・いいえ		
3)	また土石流災害がおきたのではないかと、びっくりする	はい・時々・いいえ		
4)	土石流災害を思い出させるような物を見たり聞いたりすると心が痛む	はい・時々・いいえ		
5)	土石流災害のことを思い出すと胸がドキドキしたり、緊張する	はい・時々・いいえ		
6)	土石流災害のことを考えたり、話題にすることをさける	はい・時々・いいえ		
7)	土石流災害のことを思い出させる出来事や場所をさける	はい・時々・いいえ		
8)	土石流災害のことをよく思い出せない	はい・時々・いいえ		
9)	土石流災害の後、仕事(勉強)や趣味(クラブ活動)などに打ちこめない	はい・時々・いいえ		
10)	土石流災害の後、一人ぼっちになった感じがする	はい・時々・いいえ		
11)	土石流災害の後、うれしい気持ち、楽しい気持ちが少なくなった	はい・時々・いいえ		
12)	土石流災害の後、将来のことを考えられなくなった	はい・時々・いいえ		
13)	土石流災害の後、寝つきが悪くなったり、すぐ目を覚ましたりする	はい・時々・いいえ		
14)	土石流災害の後、ちょっとしたことで、カッとなり、イライラする	はい・時々・いいえ		
15)	土石流災害の後、気がちって、ものごとに集中できない	はい・時々・いいえ		
16)	土石流災害の後、ちょっとしたことに、用心深くなる	はい・時々・いいえ		
17)	土石流災害の後、ちょっとしたことにもひどく驚いたりする	はい・時々・いいえ		

鹿児島大学教育学部治療心理学研究室(久留 修正版)

さらに、WHOによる一般健康調査票:GHQ60の短縮版、GHQ30を使用した(表5)。被災後に全ての人々がPTSDの診断基準を満たすとは限らない。土石流災害による心身の健康状態を把握する上で、PTSDのスクリーニングと組み合わせることにした。質問項目は、若干平易に表現した。

表5
最近(土石流災害の後)の状態について、あてはまるところに、○をつけてください。 Q3:97-8:4/4 GHQ-30 提出用

項目	0	1	2	3
1 気分や健康状態は	よかった	いつもと変わらなかった	悪かった	非常に悪かった
2 疲労回復剤(ドリンク・ビタミン剤)を飲みたいと思ったことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
3 元気がなく疲れを感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
4 病気だと感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
5 頭痛がしたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
6 頭が重いように感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
7 人前で倒れるのではないがという不安は	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
8 からだがぼてぼてたり、寒気がしたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
9 よく汗をかくことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
10 朝早く目が覚めて眠れないことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
11 朝起きたとき、すっきりしないと感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
12 いつもより元気ではずらつとしていたことが	たびたびあった	いつもと変わらなかった	元気がなかった	まったく元気がなかった
13 夜中に目を覚ましてよく眠れない日は	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
14 夜中に目を覚ますことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
15 落ち着かなくて眠れない夜を過ごしたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
16 いつもより忙しく、活動的な生活を送ることが	たびたびあった	いつもと変わらなかった	なかった	まったくなかった
17 いつもよりすべてがうまくいっていると感ずることが	たびたびあった	いつもと変わらなかった	なかった	まったくなかった
18 毎日している仕事(勉強)は	非常にうまくいった	いつもと変わらなかった	うまくいかなかった	まったくうまくいかなかった
19 いつもより容易に物ごとを決めることが	できた	いつもと変わらなかった	できなかった	まったくできなかった
20 いつもより日常生活を楽しく送ることが	できた	いつもと変わらなかった	できなかった	まったくできなかった
21 たいした理由がないのに、何かがこわくなったり、とりみだすことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
22 いつもより、いろいろなことを重荷と感じたことは	まったくなかった	いつもと変わらなかった	あった	たびたびあった
23 いつもより気が重くて、ゆううつになることは	まったくなかった	いつもと変わらなかった	あった	たびたびあった
24 自信を失ったことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
25 人生にまったく望みを失ったと感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
26 不安を感じ、緊張したことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
27 生きていることに意味がないと感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
28 この世から消えてしまいたいと考えたことは	まったくなかった	なかった	あった	たびたびあった
29 死んだ方がましだと考えたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
30 自殺しようと考えたことが	まったくなかった	なかった	あった	たびたびあった

ここでは、63名中42名(66.7%)に心身の不健康がみられた(表10)。30歳代の男女、50歳代男性、60歳代女性は、回答者全員がハイリスクの状態にあった。

表10 出水市土石流災害 心の健康1ヵ月後調査(1997.8.)
GHQ30 ハイリスク数と出現率

年齢/性	M (%)	F (%)	不明 (%)	Total (%)
10歳以下	0/1 (0.0)	-	-	0/1 (0.0)
10~19歳	1/5 (20.0)	1/4 (25.0)	-	2/9 (22.2)
20~29歳	0/0 (0.0)	1/3 (33.3)	2/2 (100.0)	3/5 (60.0)
30~39歳	3/3 (100.0)	4/4 (100.0)	-	7/7 (100.0)
40~49歳	3/4 (75.0)	5/7 (71.4)	-	8/11 (72.7)
50~59歳	4/4 (100.0)	3/5 (60.0)	-	7/9 (77.8)
60~69歳	4/5 (80.0)	4/4 (100.0)	-	8/9 (88.9)
70~79歳	2/4 (50.0)	4/6 (66.7)	-	6/10 (60.0)
80~89歳	-	1/2 (50.0)	-	1/2 (50.0)
90歳以上	-	0/1 (0.0)	-	0/1 (0.0)
Total	17/25 (68.0)	23/36 (63.9)	2/2 (100.0)	42/63 (66.7)

注) ハイリスク: GHQ30の合計得点が7点以上

3.2.2 被災3ヵ月後調査

GHQ30の3ヵ月後調査の結果をみると、50.0%に減少していることが明らかになった(表11)。50歳代男性は、相変わらず回答者全員がハイリスクの状態にあるが、全体的にどの世代も心身の健康状態は改善しつつある。

3.3 PTSDの各項目の出現率(被災1ヵ月後と3ヵ月後の比較)

「DSM-IV修正版」による各項目の出現率をみると(表12)、被災1ヵ月後においては、「④災害を思い出させるような物を見たり聞いたりすると心が痛む(85%)」「①災害の時の怖かった様子が繰り返し思い出される(60%)」「⑩寝つきが悪くなったり、すぐ目を覚ます(50%)」などは、半数以上の被災者に認められた。

被災3ヵ月後においては、「④災害を思い出させるような物を見たり聞いたりすると心が痛む(76%)」「①災害の時の怖かった様子が繰り返し思い出される(58%)」、そして新たに、「⑤災害のことを思い出すと胸がドキドキしたり緊張する(56%)」が半数以上に認められた。

1ヵ月後と3ヵ月後の比較をみると、「⑩ちょっとしたことに用心深くなる(16%→49%)」「⑤災害のことを思い出すと胸がドキドキしたり緊張する(36%→56%)」「⑪うれしい気持ち、楽しい気持ちが少なくなった(29%→44%)」「②災害の時の怖かった様子を繰り返し夢にみる(13%→24%)」などは、増加している。

また、北西部地震により被災した児童生徒の3ヵ月後のDSM-IV修正版による調査では、「③また地震がおきたのではないかとびっくりする」という項目が6割以上の児童生徒にみられたが、本研究ではその項目は、それほどではなかった。対象年齢が異なるが、震災後の心理的状況と、土石流災害後の心理的状況は若干、異なることが示唆された。

表11 出水市土石流災害 心の健康3ヵ月後調査(1997.9~10.)
GHQ30 ハイリスク数と出現率

年齢/性	M (%)	F (%)	Total (%)
10歳以下	0/1 (0.0)	-	0/1 (0.0)
10~19歳	0/2 (0.0)	2/5 (40.0)	2/7 (28.6)
20~29歳	-	2/4 (50.0)	2/4 (50.0)
30~39歳	3/4 (75.0)	2/5 (40.0)	5/9 (55.6)
40~49歳	3/5 (60.0)	5/8 (62.5)	8/13 (61.5)
50~59歳	4/4 (100.0)	4/5 (80.0)	8/9 (88.9)
60~69歳	3/8 (33.3)	0/3 (0.0)	3/12 (25.0)
70~79歳	3/5 (60.0)	2/4 (50.0)	5/9 (55.6)
80~89歳	-	0/2 (0.0)	0/2 (0.0)
Total	16/30 (53.3)	17/36 (47.2)	33/66 (50.0)

注) ハイリスク: GHQ30の合計得点が7点以上

表12 出水市土石流災害調査 DSM-IV:各項目の出現数と出現率
被災1ヵ月後と3ヵ月後の比較

項目 / 性別: 人数 (%)	M		F		Total	
	1ヵ月後	3ヵ月後	1ヵ月後	3ヵ月後	1ヵ月後	3ヵ月後
①災害の時の怖かった様子が繰り返し思い出される	25 (58)	17 (55)	33 (61)	21 (60)	58 (60)	38 (58)
②災害の時の怖かった様子を繰り返し夢に見る	5 (12)	9 (29)	8 (15)	7 (20)	13 (13)	16 (24)
③また災害がおきたのではないかとびっくりする	10 (23)	11 (36)	15 (28)	12 (34)	25 (26)	23 (35)
④災害を思い出させるような物を見たり聞いたりすると心が痛む	33 (77)	19 (61)	49 (91)	31 (89)	82 (85)	50 (76)
⑤災害のことを思い出すと胸がドキドキしたり緊張する	12 (28)	14 (45)	23 (43)	23 (66)	35 (36)	37 (56)
⑥災害のことを考えたり、話題にすることを避ける	13 (30)	13 (42)	17 (31)	10 (29)	30 (31)	23 (35)
⑦災害のことを思い出させる出来事や場所を避ける	8 (19)	10 (32)	14 (26)	9 (26)	22 (23)	19 (29)
⑧災害のことをよく思い出せない	6 (14)	7 (23)	5 (9)	3 (9)	11 (11)	10 (15)
⑨仕事(勉強)や趣味(クラブ)などに打ちこめない	18 (42)	9 (29)	20 (37)	9 (26)	38 (39)	18 (28)
⑩一人ぼっちになった感じがする	6 (14)	7 (23)	13 (24)	8 (23)	19 (20)	15 (23)
⑪うれしい気持ち、楽しい気持ちが少なくなった	16 (37)	16 (52)	12 (22)	13 (37)	28 (29)	29 (44)
⑫将来のことを考えられなくなった	9 (21)	9 (29)	11 (20)	9 (26)	20 (21)	18 (28)
⑬寝つきが悪くなったり、すぐ目を覚ます	20 (47)	11 (36)	28 (52)	17 (49)	48 (50)	28 (42)
⑭ちょっとしたことでカッとなり、イライラする	19 (44)	12 (39)	19 (35)	13 (37)	38 (39)	25 (38)
⑮気がちって、ものごとに集中できない	19 (44)	11 (36)	24 (44)	12 (34)	43 (44)	23 (35)
⑯ちょっとしたことに用心深くなる	8 (19)	14 (45)	7 (13)	18 (51)	15 (16)	32 (49)
⑰ちょっとしたことにも、ひどく驚いたりする	13 (30)	10 (32)	14 (26)	14 (40)	27 (28)	24 (36)

3.4 GHQ30の各項目の出現率(被災1ヵ月後と3ヵ月後の比較)

GHQ30の各項目の出現率をみると(表13)、被災1ヵ月後においては、「3.元気がなく疲れを感じた(71%)」「2.疲労回復剤を飲みたいと思った(63%)」「14.夜中に目を覚ますことがあった(58%)」「11.朝起きた時すっきりしないと感じた(57%)」などの睡眠障害、「20.いつもより日常生活を楽しく送れなかった(54%)」「5.頭痛がした(52%)」などは、半数以上の被災者に認められた。

被災3ヵ月後においては、「3.元気がなく疲れを感じた(59%)」「14.夜中に目を覚ますことがあった(50%)」が半数以上に認められる程度であり、被災1ヵ月後からすると減少している。

表13 出水市土石流災害調査 GHQ30：各項目ごとの出現数と出現率
被災1ヵ月後と3ヵ月後の比較

項目	性別：人数 (%)		M		F		性別不明		Total	
	1ヵ月後	3ヵ月後	1ヵ月後	3ヵ月後	1ヵ月後	3ヵ月後	1ヵ月後	3ヵ月後	1ヵ月後	3ヵ月後
1 気分や健康状態は悪かった	27 (44)	30 (20)	36 (39)	36 (25)	2 (100)	2 (-)	65 (43)	66 (20)		
2 疲労回復剤を飲みたい	16 (59)	13 (43)	23 (64)	18 (50)	2 (100)	2 (-)	41 (63)	31 (47)		
3 元気がなく疲れを感じた	19 (70)	20 (67)	25 (69)	19 (53)	2 (100)	2 (-)	46 (71)	39 (59)		
4 病氣だと感じた	10 (37)	9 (30)	10 (28)	10 (28)	1 (50)	1 (-)	21 (32)	19 (29)		
5 頭痛がした	14 (52)	13 (43)	18 (50)	13 (36)	2 (100)	2 (-)	34 (52)	26 (39)		
6 頭が重いように感じた	9 (33)	14 (47)	20 (56)	13 (36)	2 (100)	2 (-)	31 (48)	27 (41)		
7 入浴が面倒な感じがした	11 (41)	7 (23)	18 (51)	11 (31)	0 (0)	0 (-)	18 (28)	15 (22)		
8 入浴が面倒な感じがした	16 (59)	7 (23)	23 (64)	18 (50)	2 (100)	2 (-)	41 (63)	31 (47)		
9 よく汗をかくことがあった	13 (48)	11 (37)	19 (53)	8 (22)	1 (50)	1 (-)	33 (51)	29 (43)		
10 朝早く目が覚めて眠れない	15 (55)	12 (40)	17 (47)	9 (25)	2 (100)	2 (-)	34 (52)	21 (32)		
11 朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった	16 (59)	14 (47)	19 (53)	14 (39)	2 (100)	2 (-)	37 (57)	28 (42)		
12 朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった	10 (37)	7 (23)	11 (31)	9 (25)	2 (100)	2 (-)	23 (35)	16 (24)		
13 よく汗をかくことがあった	12 (44)	13 (43)	19 (53)	11 (31)	2 (100)	2 (-)	33 (51)	24 (36)		
14 夜中や明け方に目が覚めて眠れない	13 (48)	18 (60)	23 (64)	15 (42)	2 (100)	2 (-)	38 (58)	30 (45)		
15 落ち着かなくて眠れない夜を過ごした	10 (37)	5 (17)	16 (44)	9 (25)	2 (100)	2 (-)	28 (43)	21 (32)		
16 活動量が減った	7 (26)	9 (30)	6 (17)	3 (8)	0 (0)	0 (-)	13 (20)	12 (18)		
17 活動量が減った	13 (48)	13 (43)	11 (31)	10 (28)	2 (100)	2 (-)	40 (63)	35 (52)		
18 物事に集中できなくなった	11 (41)	8 (27)	19 (53)	9 (25)	2 (100)	2 (-)	22 (34)	17 (26)		
19 物事に集中できなくなった	8 (30)	8 (27)	8 (22)	10 (28)	2 (100)	2 (-)	18 (28)	18 (27)		
20 生活リズムが乱れた	14 (52)	11 (37)	19 (53)	12 (33)	2 (100)	2 (-)	35 (54)	23 (35)		
21 生活リズムが乱れた	6 (22)	1 (3)	5 (14)	3 (8)	1 (50)	1 (-)	7 (11)	4 (6)		
22 生活リズムが乱れた	13 (48)	30 (100)	15 (42)	14 (39)	2 (100)	2 (-)	30 (46)	35 (52)		
23 生活リズムが乱れた	13 (48)	11 (37)	18 (51)	15 (42)	2 (100)	2 (-)	33 (51)	29 (43)		
24 生活リズムが乱れた	7 (26)	8 (27)	10 (28)	9 (25)	2 (100)	2 (-)	19 (29)	17 (26)		
25 生活リズムが乱れた	5 (19)	4 (13)	5 (14)	7 (19)	2 (100)	2 (-)	12 (18)	11 (17)		
26 生活リズムが乱れた	6 (22)	8 (27)	10 (28)	8 (22)	2 (100)	2 (-)	18 (28)	16 (24)		
27 生活リズムが乱れた	7 (26)	7 (23)	11 (31)	14 (39)	2 (100)	2 (-)	12 (18)	11 (17)		
28 生活リズムが乱れた	7 (26)	7 (23)	11 (31)	14 (39)	2 (100)	2 (-)	12 (18)	11 (17)		
29 死ななかつた	7 (26)	7 (23)	11 (31)	14 (39)	2 (100)	2 (-)	12 (18)	11 (17)		
30 死ななかつた	1 (4)	1 (3)	1 (3)	2 (6)	0 (0)	0 (-)	1 (1)	2 (3)		

1ヵ月後と3ヵ月後の比較をみると、「1.気分や健康状態は悪かった(43%→20%)」「9.よく汗をかくことがあった(51%→29%)」「15.落ち着かなくて眠れない夜を過ごした(43%→21%)」「10.朝早く目が覚めて眠れない(52%→32%)」などは、大きく減少している。

また、北西部地震により被災した児童生徒のGHQ30の3ヵ月後調査では、「3.元気がなく疲れを感じた」「11.朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった」など易疲労感、睡眠障害が3割以上みられ、今回の結果と同様の傾向にあった。ただし、出現率は、今回の結果の方が高い。

3.5 フェイスシートの分析

Lauerら(1985)は、戦闘後のPTSDについて、客観的な状況の激しさよりも、本人の叙述する主観的意味づけを重視すべきだと主張している。同様に、Foaら(1989)も、実際の脅威よりも、「知覚された脅威」の方が重要であると強調している。その当人が「いかなる状態でその状況を体験し、受けとめたか」という心理的意味が症状に大きな影響を与えている(Wilsonら,1985)という。

同様に、Foaら(1989)も、実際の脅威よりも、「知覚された脅威」の方が重要であると強調している。例えば、同じレイプでも、思いもよらぬ自宅で、絶体絶命の中で遭遇すれば、PTSDに高頻度に結びつくという。McFarlane(1988b)が報告する全盲者におけるPTSDの事例は、信頼していた男性によるレイプ、安全なはずの横断歩道での交通事故、隣人からの暴力行為が契機になっている。以上の知見より、「PTSDにスクリーニングされたケース(以下、PTSD群)」と、「PTSDにスクリーニングされなかったケース(以下、non PTSD群)」について、特に、「主観的意味づけ」のありように視点をあて、その比較分析を行なった。

3.5.1 1ヵ月後調査：土石流災害時の様子

1ヵ月後調査では、災害後の後始末等で多忙を極めており、フェイスシートの配布も不十分となり、7名の記述しか得られなかった。一部を紹介すると、「物凄いな音を聞いて目が覚ましたらあつという間に流された」「わからない(全壊したケース)」「助けに行った」などであった。

3.5.2 1ヵ月後調査：家族について

記述していた7名のうち、家族を亡くした人が2名、その他5名は、家族は無事だったと述べていた。

3.5.3 大雨の時に感じること

1ヵ月後調査では、「嫌な感じで思い出す」「心配」「冷静に行動するようになった」などが述べられた。

3ヵ月後調査では、1名を除き、全員が回答していたので、PTSD群とnonPTSD群に分け、記述内容を「不満、攻撃」「不安、恐怖」「体の不調」「客観、中立」「その他」の5領域にカテゴリー化し、比較した(表14)。

表14 出水市土石流災害 心の健康3ヵ月後調査(1997.9~10.)
フェイスシート：Q1 大雨のとき、どのように感じますか？

年齢/性	M (%)		F (%)		Total (%)	
	PTSD 7名	nonPTSD 24名	PTSD 12名	nonPTSD 23名	PTSD 19名	nonPTSD 47名
不満、攻撃	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	1(4.3)	0(0.0)	1(2.1)
不安、恐怖	4(57.1)	14(58.3)	6(50.0)	17(73.9)	10(52.6)	31(66.0)
体の不調	0(0.0)	0(0.0)	1(8.3)	1(4.3)	1(5.3)	1(2.1)
客観、中立	3(42.9)	4(16.7)	4(33.3)	1(4.3)	7(36.8)	5(10.6)
その他	1(14.3)	8(33.3)	2(16.7)	8(34.8)	3(15.8)	16(34.0)

注)※：P<0.05

表15 出水市土石流災害 心の健康3ヵ月後調査(1997.9~10.)
フェイスシート：Q2 土石流災害のことをどのように思いますか？

年齢/性	M (%)		F (%)		Total (%)	
	PTSD 7名	nonPTSD 24名	PTSD 12名	nonPTSD 23名	PTSD 19名	nonPTSD 47名
不満、攻撃	1(14.3)	4(16.7)	3(25.0)	3(13.0)	4(21.1)	7(14.9)
不安、恐怖	4(57.1)	8(33.3)	8(66.7)	13(56.5)	12(63.2)	21(44.7)
体の不調	1(14.3)	0(0.0)	2(16.7)	0(0.0)	3(15.8)	0(0.0)
客観、中立	2(28.6)	7(29.2)	0(0.0)	3(13.0)	2(10.5)	10(21.3)
その他	1(14.3)	6(25.0)	1(8.3)	6(34.8)	2(10.5)	14(29.8)

注)※：P<0.05

両群ともに、「不安、恐怖」感情が半数以上にみられた。また、PTSD群は、「特に何も思わない」「雨がひどいな」「山や家は大丈夫かな」という状況を「客観的、中立的」に述べている人がnonPTSDに比べ、有意に高く示された。DSM-IVの回避症状、感情の麻痺などが示唆される。

3.5.4 土石流災害について思うこと

1ヵ月後調査では、「信じられない」「思い出したくない」「怖い」などがみられた。

3ヵ月後調査では、「不安、恐怖」感情が、PTSD群に高く示されている(表15)。また、PTSD群には、「頭が痛い」「やる気がわからない」「身も心も頑張りようがない」など「体の不調」が有意に高く認められた。

3.5.5 その他

1ヵ月後調査では、「自宅に帰りたい」「家がほしい」など安住の場所を求める記述がみられた。

3ヵ月後調査でも、住む家のことなど経済的問題、将来のことなどが「心配なこと」に挙げられている。勤務状況については、ほとんどの人は、なんとか毎日、出勤しているようであった。

4 考察

筆者は、被災1ヵ月後より、被災地を訪ね、被害状況の把握をし、そして、PTSD発症の予防のため、被災地区の市長、助役をはじめ、保健婦、ヘルパー、養護教諭、教師、公民会長などへの研修をおこなってきた。そして、被災地区の実態把握をするため、被災1ヵ月後と3ヵ月後の調査を行った。その結果、PTSDにスクリーニングされたのは被災1ヵ月後で22.7%、3ヵ月後で28.8%あり、時間をおうごとに重篤化の危険性が示唆された。

事件、事故後の「精神的ショック」で裁判沙汰になっている場合、事情聴取、喚問などにより、フラッシュバックが生じ、通常の出現率の約6倍(23%)がPTSDになるといわれる(Bellら,1988)。また、ケースによっては、災害や事故の被害者(PTSD)は治療者に対して、敵(加害者)か味方(援助者)かという二者択一的態度をとる傾向がある。例えば、レイプされた人間は、therapist(治療者)を“the rapist(強姦者)”とみなしかねないという(Rose,1986)。被害者や被災者の心理的世界は、他人(対外的状況)のせいでの自分の人生を台無しにされたという意識が生じやすくなる。そのため、一方的で権威的な治療者に対して、疑心暗鬼の感情や反抗心を持つ場合がある。また、サバイバーとして生き残ったものの、亡くなった人のことを思い、罪責感、恥辱感など精神的葛藤に苛まれる。PTSDの治療や援助に際しては、慎重でかつ受容的で共感的なかわりを一層、重視しなければならない。

個別面接による確定診断ではないが、早急な危機介入は必然である。今回の結果から、被災された人々にかかわる専門家(保健婦、担任教師、養護教諭など)への、PTSDに苦悩する人間の援助のために、啓蒙、啓発の研修会を行ない、PTSDに関する専門家養成と、同時に個別相談(治療)を継続している。場合によっては、行政にも働きかけ、支援システムの確立をするよう、要請する予定である。現在、被災6ヵ月後調査を実施し、分析中である。今後は、被災1年後、2年後の追跡調査を実施し、継続治療(訪問治療)を実施していく予定である。今回の報告は、その一部である。

文部省による阪神・淡路大震災後の調査結果によると、精神的側面は減少しているが、ストレス身体症状は増加することが明らかになっている。PTSDに苦悩する一部の人間には、その症状が多年にわたり、慢性の経過を示すことがある。従って、治療や援助においては長期的展望に立つ必要がある。特に、一人住まいの高齢者の場合、一戸建ての仮設住宅に転居することは、プライバシーが守られる反面、それまでの「癒し」の世界(自然発生的なディブリーフィング集団)から急に孤立してしまうことでもある。個々人の心理的状況にあった配慮が必要になる。PTSDの集団発生が予測される場合は、直後に「ディブリーフィング」、時間の経過とともに「グリーフ・セラピー」を行ない、「自助グループ」などによる「癒し」の場を設定し、集団的援助をする必要がある。「家族療法」においては、家族は援助者であるとともに犠牲者であるという二重性を有している点に留意する必要がある。また、被災者だけでなく、救急隊や支援グループへの心理的援助も忘れてはならない。

治療や援助のポイントを以下に要約する(久留,1990)。

☆実際にどのような災害的状況であったのかを、あらかじめ慎重に分析、理解しておくこと(本人から直接きくことは、想起や再体験になる危険性がある)

☆次に、災害後に抑制されていた感情を、受容的、共感的関係の中で解放すること(カウンセリングによる自己表明の促進;本人が言いたくないことを無理に聞き出したり表現させることは危険。本人の表明を待つことが大切)

☆最後に、現実を再構成し、被災者の未来に対する「生きる意味の確立」を促進すること(本人の未来が明るく展望できるような精神的、経済的、環境的配慮などが確約されていること)

PTSDの治療はもちろんのこと、「予防」に徹することは必須の条件である。ロンドン大学精神医学研究所のYule教授に、1995年の夏にいただいた“Wise before the event(Yuleら,1993)”には、学校の管理者、学校をとりまく社会的資源との連携(ネットワーク)のありよう、子どもへの対応など、災害が起きる前の「心構え」の必要性が述べられている。まさに“備えあれば憂いなし”である。

PTSDに苦悩する人間を援助するためには、多くの専門家の連携が必要となる。臨床心理士や精神科医、看護婦や保健婦、PSW、教師や両親、法律家や行政サイドなどそれぞれの「臨床援助」の専門家がケースネットワークを設定する必要がある。病み、悩み、挫折する人間をめぐって、「臨床援助」をおこなす人々が、人間科学という共通の基盤(人間哲学)に立ち、ホリスティック・アプローチ(全人的、統合的接近)を展開し、連携し、継続していく時に、PTSDに苦悩する人間の「生きる意味」は確立されていく、と筆者は考えるのである。

<引用文献>

- American Psychiatric Association(1994),Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders,IV Edition,Washington:APA.
- Coenjian,A.(1993) A mental health relief programme in Armenia after the 1988 earthquake:Implementation and clinical observations.British Journal of Psychiatry,163;230-239.
- Foa,E.B.,Steketee,G.& Rothbaum,B.O.(1989) Behavioral/Cognitive Conceptualizations of

post-traumatic stress disorder. Behavior. Therapy, 20, 155-176

- ・河合隼雄・日本心理臨床学会・日本臨床心理士会 (1995) 『心を蘇らせる～こころの傷を癒すこれからの災害カウンセリング～』 講談社
- ・久留一郎編著 (1989) 『臨床援助の心理学』 北大路書房
- ・久留一郎 (1990) 「心的外傷後ストレス障害 (PTSD) に関する心理学的研究 (I)」 『九州心理学会第51回大会発表論文集』 53
- ・久留一郎 (1991) 「心的外傷後ストレス障害 (PTSD) に関する心理学的研究 (II)」 『日本小児科学会鹿児島地方会第88回大会抄録集』 10
- ・久留一郎 (1992) 「心的外傷後ストレス障害 (PTSD) に関する心理学的研究 (III)」 『日本学校保健学会発表論文集』 285
- ・久留一郎 (1993) 「心的外傷後ストレス障害 (PTSD) に関する心理学的研究 (IV)」 『日本応用心理学会発表論文集』 220-221
- ・久留一郎 (1995) 「外傷後ストレス障害と人的災害」 『人間性心理学研究』 第13巻第2号, 日本人間性心理学会, 196-210
- ・久留一郎・餅原尚子 (1995) 「外傷後ストレス障害 (PTSD) に関する治療心理学的研究～極度のいじめの事例を通して～」 『鹿児島大学教育学部研究紀要』 47, 121-141
- ・久留一郎 (1996) 「PTSD: 外傷後ストレス障害」 日本児童研究所編 『児童心理学の進歩1996年版』 金子書房, 27-56
- ・久留一郎 (1997) 「PTSDとは」 『教育と医学』 第45巻第8号, 教育と医学の会編, 慶応義塾大学出版会, 4-11
- ・久留一郎・餅原尚子 (1997) 「PTSDの診断的概念と心理査定」 『ロールシャッハ研究』 39, 金子書房, 1-16
- ・Laufer, R.S., Frey-Wouters, E. & Gallops, M.S. (1985) Traumatic stressors in the Vietnam war and post-traumatic stress disorder. In; Figley, C.R. (ed.), Trauma and its Wake. Brunner/Mazel, New York.
- ・南日本新聞社社会部・事件グループ (1997) 「97事件簿かごしま (1) ～出水土石流災害～」 南日本新聞1997年12月21日朝刊
- ・森山成彬 (1990) 「心的外傷後ストレス障害」の現況 『精神医学』 第32巻第5号, 458-466
- ・Shannon, M.P., Lonigan, C.J., Finch, A. Jr., et al. (1994) I. Epidemiology of post-traumatic symptoms and symptom profiles. J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry, 33; 80-93.
- ・Wilson, J.P., Smith, W.K. & Johnson, S.K. (1985) A comparative analysis of PTSD among various survivor groups. In; Figley, C.R. (ed.), Trauma and its Wake. Brunner/Mazel, New York.
- ・Yule, W., Gold, A. (1993), Wise before the event, Published by Calouste Gulbenkian Foundation, London.

<付記> ご協力いただいた出水市保健センターのスタッフに、心より感謝を申し上げます。

1997.7 豪雨による宝塚市内の山くずれ災害

神戸大学都市安全研究センター 沖村 孝

1. 概要

鹿児島県出水市針原川で21名の尊い人命が大規模土石流で失われてから3日後の1997年7月13日の未明、梅雨末期の集中豪雨により兵庫県宝塚市花屋敷つつじが丘の通称「釣鐘山」(標高183m)の西面斜面が崩壊した。この崩土が崖直下にあった人家に流入したため、被災家屋の一階山側の部屋で就寝中の一家4人が土砂に生き埋めになり死亡するという惨事が発生した。

本報では山腹崩壊の原因となった降雨状況や崩壊の概要ならびにこの事故から得られた今後の問題点について述べる。

2. 崩壊斜面の位置

現地は兵庫県宝塚市の中心部から東北東へ約6.5km離れた花屋敷つつじが丘地区の北端に位置し、宝塚造形芸術大学の東側に隣接する(図-1 および図-2 参照)。この斜面は六甲山系の東に連なる北摂山系の南に位置し、地質は大阪西北部地質図¹⁾によれば、白亜期後期の石切山花崗閃緑岩である。現地のすぐ東側には古生代に堆積した丹波層群が見られる。現地から約1km南には、西から東にかけて有馬-高槻構造線が走り、北側の北摂山系と南側の川西市、伊丹市の沖積低地との境をなしている。1995年1月17日に出現した兵庫

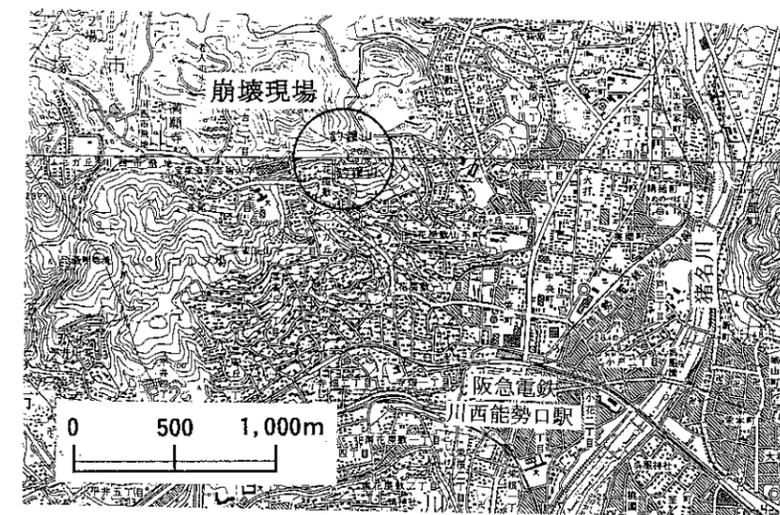


図-1 崩壊斜面位置図 (国土地理院発行 1/25,000 地形図 (伊丹) および「広根」の一部)

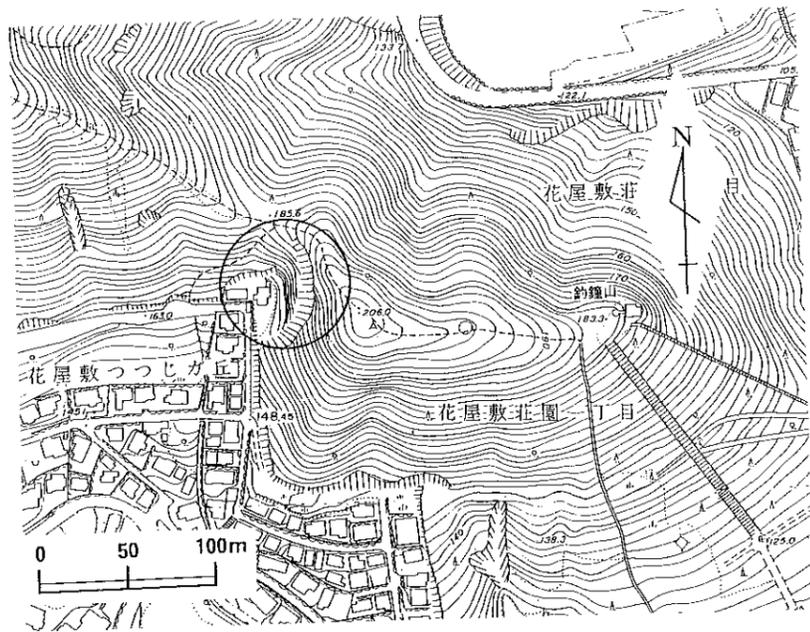


図-2 崩壊斜面平面図 (国土基本図 1/2,500)

県南部地震による建築物の被害分布²⁾を見ると、当該地付近では有馬一高槻構造線を中心として約 1km の幅で一部損壊の家屋が分布しているが、当該地付近にまでは家屋被害は及んでいない。

3. 降雨の状況

梅雨末期に特有の前線性豪雨は、近畿地方では 6 月下旬から 7 月上旬によく見られる。1938 年の阪神大水害では 7 月 3 日～5 日、1961 年には 6 月 24 日～27 日、1967 年の水害では 7 月 7 日～9 日に豪雨が出現し、いずれも 400～500mm の総降雨量をもたらした大きな災害の原因となった。1997 年の 6 月の降雨量は、神戸海洋気象台で 74.0mm と平年に比して少なかったが、7 月に入ると 2 日に 22.5mm を記録し、9 日から本格的な梅雨末期の降雨が始まった。図-3 は当該地から約 6.5km 南西に位置する宝塚市消防本部で観測された降雨量の結果を示す。日雨量としては 9 日 16.0mm、10 日 41.0mm、11 日 32.5mm、12 日 26.5mm および 13 日は 132.0mm であった。降雨強度としては 10mm/h を越えるものが 10 日、11 日で 3 回観測されたが、それ以外は大きな降雨強度の雨は観測されていない。12 日からは降雨はほとんど休みなく継続した。最も大きな降雨強度は 13 日午前 6 時から 7 時にかけて観測された 67.5mm/h と異常に大きな値であった。この強雨はかなり局所的なものであり、この時刻の神戸市灘区青谷地区 (現地から南西に約 22km) での記録は 14.5mm/h であった。この異常に大きな最大降雨出現までの累加降雨量は 7 月 7 日から加算すると 157.0mm となっていた。図-4 は過去に六甲山系で大きな災害をもたらした豪雨と今回の降雨

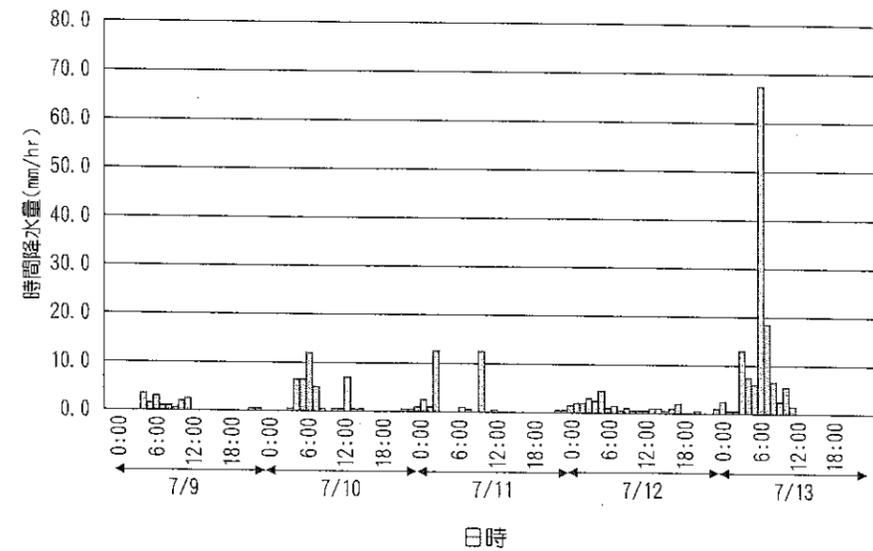


図-3 降雨記録 (宝塚市消防本部調べ)

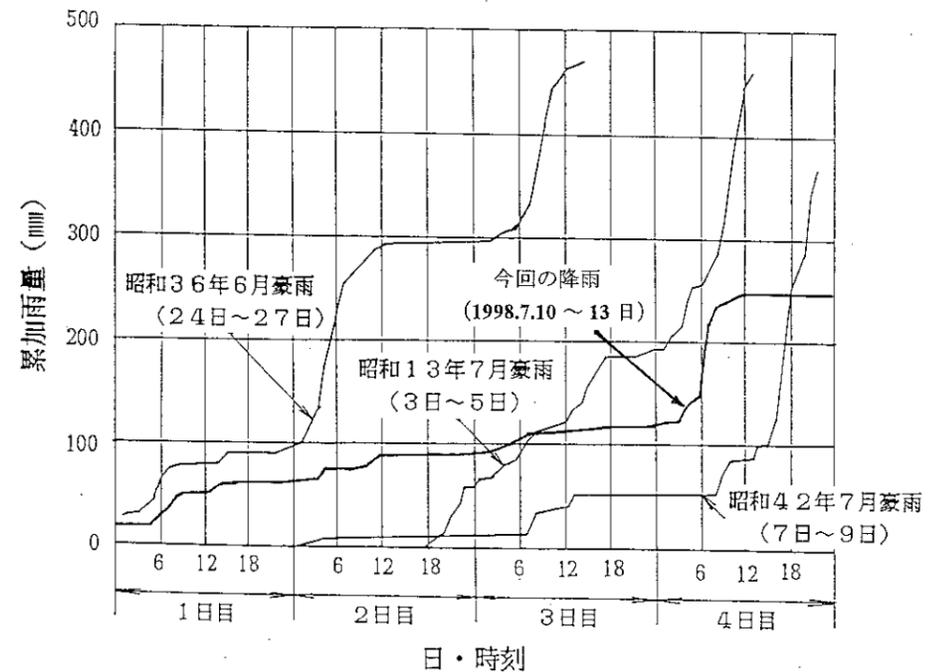


図-4 過去に災害をもたらした降雨と今回の降雨の累加雨量曲線

雨を一緒に示したものである。今回の降雨は先行降雨量が大きく、本格的降雨の最大降雨強度も大きかったが、降雨継続時間が短かったため、本格的降雨量の値は大きくないことが特徴である。このように急激に大きな降雨強度が出現するパターンは池谷³⁾がかつて提

案した降雨強度比 σ が大きくなる事例に相当し、崩壊が発生しやすい条件ではあったが、本格的な降雨の継続時間が短かったために数多くの崩壊が出現しなかったものと思われる。宝塚市では兵庫県南部地震を受けて、現地域防災計画を改訂中であるが、平成8年度修正版によれば警戒避難の基準は「当該地域または土地建物等に災害発生のおそれのある場合」と抽象的に表現されており、具体的な数値は示されていない。六甲山系では地震後の目安としては、累加雨量100mm、降雨強度20mm/hで第一次警戒避難が設定されることが多く、この範囲内では今回の降雨は累加雨量は基準を越えていたが、降雨強度は基準強度に達することなくいきなり本格的降雨強度が出現したため、あらかじめ避難等の準備をすることは困難であったと思われる。

4. 崩壊の状況

新聞の報道⁹⁾によると13日午前8時8分頃、近所の人々が「北側の斜面から小石が落ちている」と、119番へ連絡したのが最初であったようである。それまでは誰も崩壊の発生に気付いておらず、今回の崩壊発生時刻は不明である。しかし図-3の降雨記録を見ると、午前6時から7時にかけて強い雨が降っているためおよそこの時刻に崩壊が発生したものと思われる。

当該地区は昭和37年に宅地造成されたもので「釣鐘山」西面斜面の山裾を切り取りし、宅地を確保したものである。その結果として西向き斜面には高さ約25m、傾斜約40～50°の急な切り取り斜面が出現することになった。この切り取り斜面は種子吹き付けによるものと思われる草で覆われ、かつその上を金属性のネット(25×15m)がワイヤーロープを支えとして張られていた。ネットの下端は崩土の流出を防止する土のうが約1mの高さで積み上げられており、ワイヤーロープやネットの下端は固定されていた。当該斜面は宝塚市地域防災計画ではがけ崩れに危険箇所指定されていたが、法律に基づく急傾斜地崩壊危険斜面ではなく、土地が民有地であるため、公

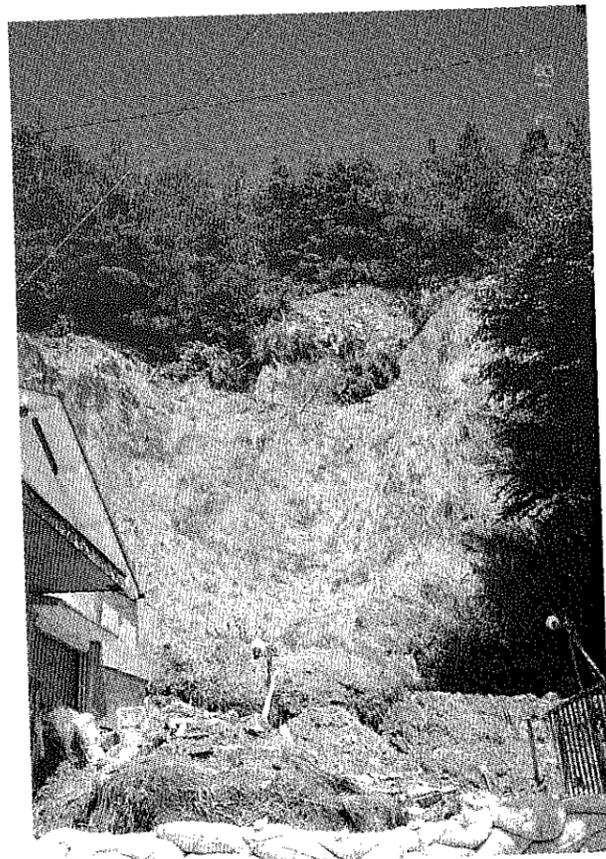


写真-1 崩壊発生状況(宝塚市消防本部提供)

的な資金を使つての防災工事は行われていなかった。

崩壊後の状況を写真-1に示す。この写真より崩壊は当該切り取り斜面の上部の一部、それに続く自然斜面をも巻き込んで発生している。このため自然斜面上に生えていた樹木が崩壊後の斜面上に倒木しているのが見える。崩壊源の大きさは幅約10～15m、長さ約8m程度で、崩壊土量は約25m³程度と考えられる。この崩土は切り取り斜面表面の植生の上、ネットの下面の間を流下し、ネット下端部でネットにより一時貯留されたが、崩土量が多かったため一部の土砂はネットごとに家屋に流入した。家屋への流入土砂量は約10m³程度と考えられている。その他の崩土は、ネットにより捕獲され、その一部がネット下端から流出し、家屋東側で宅地を切り込んで造られた駐車場に流入し、駐車中の自家用車の上を覆った。

被災家屋は切り取り斜面法尻に建てられた木造モルタル二階建てであった。崩土が流入したのは北東隅の6畳の和室だけであったが、たまたまこの部屋に一家4人が就寝中であつたため、この流入土砂により人命が奪われる事故となった。

図-5は被災後の7月14日に撮影された空中写真(縮尺約1/1,700)より判読できる当該切り取り斜面Aと、その切り取り斜面で発生した今回の崩壊の位置を示す。この図からも今回の崩壊は小規模なものであることがわかる。当該地北側には自然崖による路頭Bも出現している。今回使用した地形図(縮尺1/2,500)には、この自然崖と人工による切り取り斜面を一連のものとして一筋のケバで表現しているが、写真判読ではAとBは全く

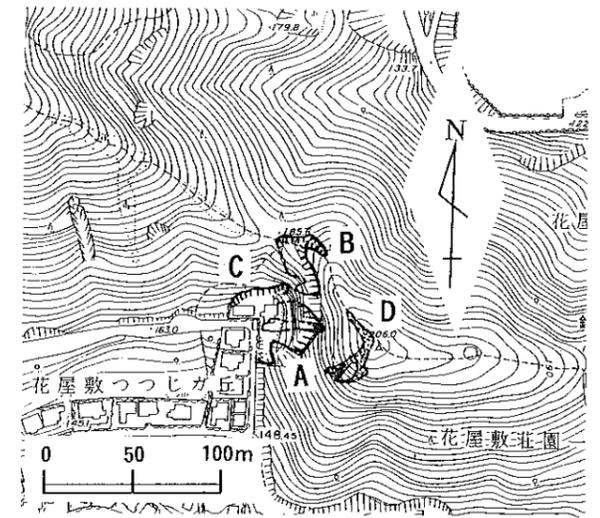


図-5 崩壊平面図

異なる原因で生じたものであることが写真判読よりわかる。念のため今回の崩壊前の空中写真(撮影年1996年1月)を判読すると、Bの自然崖の路頭面と人工による切り取り斜面AおよびCは明瞭に区分できる。なお、山頂部には禿しや地Dが広がっている。なお、これに用いた空中写真および写真-1からも明らかなように、今回は崩土による下流斜面での削剥は生じていないことがわかり、崩壊は崩落に近い形態で出現したものと考えられる。

本来は崩壊源に対して斜面安定解析を実施しなければならないが、1)崩壊した斜面が急で、現地での縦断面測量が困難なこと、2)崩壊前の縦断面形状が不明なこと等により、斜面安定解析を実施することができなかった。このため今回の崩壊の原因を力学的に究明することはできなかったが、切り取り斜面上流部の強風化を受けた岩が、降雨によりすべ

り抵抗を失って崩壊あるいは崩落したものと考えられる。

なお兵庫県南部地震と今回の崩壊の関係については、近くで崩壊例が少ないこともあり、これについても不明である。これについては次節で考察する。

5. その後の降雨による崩壊の拡大

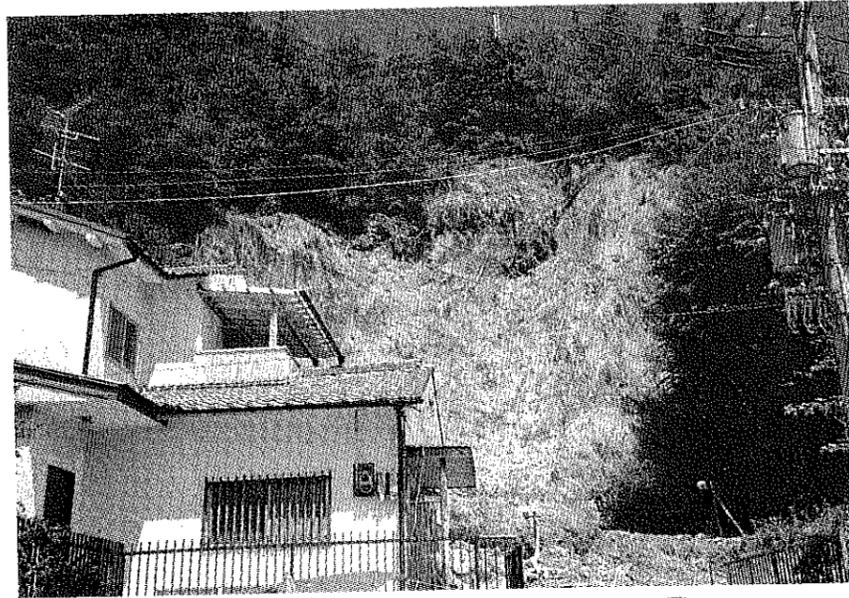


写真-2 崩壊直後の状況 (7月18日撮影、宝塚市消防本部提供)



写真-3 崩壊発生後の降雨による拡大 (8月7日撮影)

崩壊発生から約1ヵ月経過した、8月7日に現地調査を実施した。この現地調査時も降雨があり当該地では二次災害を防止するため警戒が行われていた。この時に撮影した写真と崩壊直後に撮影された写真をならべて写真-2、3に示す。この2枚の写真から明らかなのは、7月13日の崩壊から崩壊源が拡大していることである。この拡大は斜面に向かって左側で出現している。崩壊源を拡大した写真を写真-4に示す。この写真より拡大部



写真-4 崩壊源の拡大状況

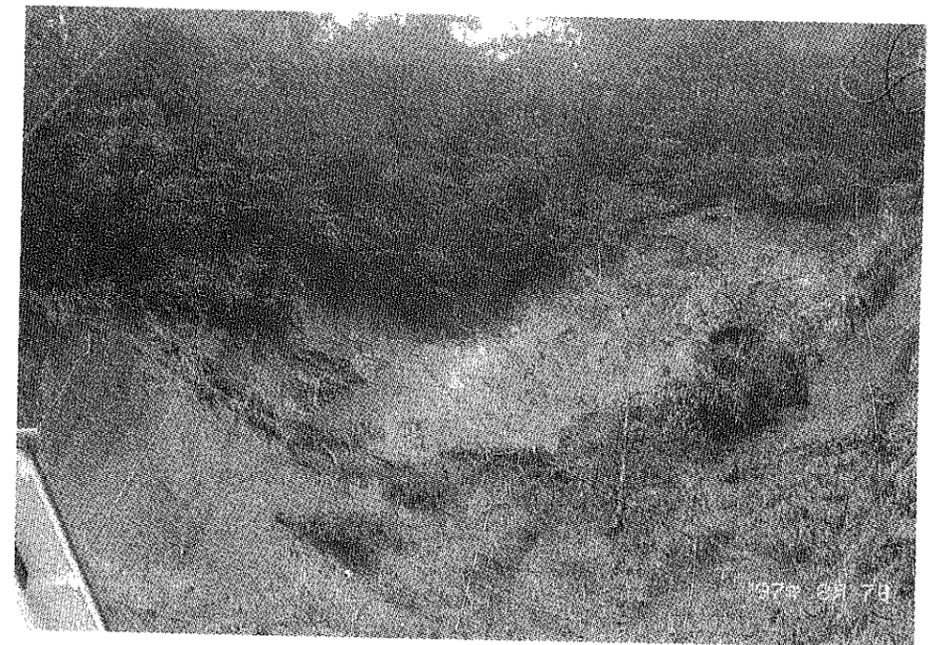


写真-5 道路面上の流出土砂

は節理に沿って出現しており、くさび型の崩壊が発生したと推定される。二次崩壊の崩土は全てネットにより捕獲されていた。この拡大がいつ出現したかは聞き取りを行ったが不明であった。しかし被災家屋前面の道路上には写真-5 に示すように、降雨に起因して崩土の流出が見られた。このように当該地では崩壊後の降雨により不安定な状況にあったものと考えられる。

六甲山系では兵庫県南部地震以後、1995年5月と7月の降雨により新たに約70箇所では崩壊が出現している。富田ら⁹⁾はこれらの崩壊の分布を求め、地震時には東六甲山系で多かった崩壊が、降雨により発生したものは六甲山系全域に分布していること、また崩壊発生に至るまでの降雨量を求めてみると、地震以前より少ない降雨量で崩壊が出現していることを指摘している。筆者はこれら降雨により発生した崩壊が、どのような地形条件の場所で発生しているか、および地震時に発生した崩壊とその後の崩壊の場所的な関係はどのようなものであるかを調査した。その結果、降雨により崩壊が出現した地形条件は、縦横断面形状ともに直線型斜面での崩壊が73-76%と最も多いが、地震時にはあまり見られなかった凹型斜面での崩壊や降雨時には見られない凸型斜面での崩壊も発生していることも明らかになった。また地震時に出現した崩壊と降雨により発生した崩壊との関係は、図-6に示されるように降雨時に出現した崩壊は、地震時に出現した崩壊と場所的に何らかの関係があったものは約10%に過ぎず、残りの90%は地震時に出現した崩壊とは全く異なる場所で発生していたことが明らかになっている。

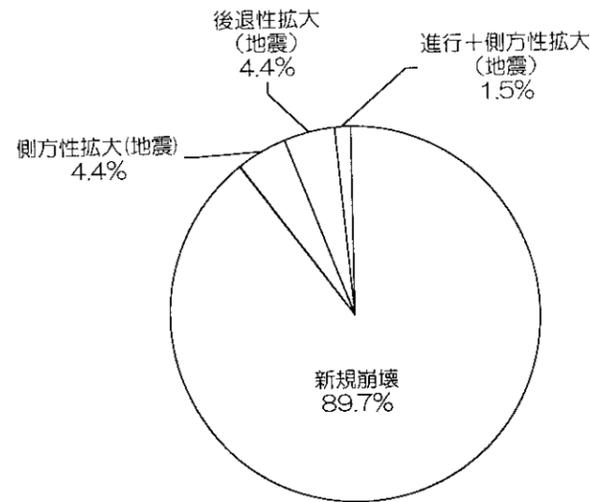


図-6 兵庫県南部地震以降の降雨による山腹崩壊の位置

以上の成果を参照すると、今回の第一次の崩壊も地震の影響が全くなかったことは否定できない。二次崩壊によりさらに不安定な土砂の分布も見られ、今後も崩壊の危険性がある。ただ地震後の崩壊が従来より少ない降雨により出現した機構が現在のところ不明であるので、地震後の崩壊を予測することは大変困難である。

6. 今後の問題点

1) 山腹崩壊に対する警戒について

前節に述べたように六甲山系では兵庫県南部地震以降、降雨による崩壊が発生してきたがその原因が地盤の強度そのものが地震により落ちてきたのか、あるいは地震により地盤が緩められ雨水が貯留しやすくなったのかまだ明らかになっていない。このため地震以後、降雨によりどのような斜面が危険となっているのか今だ不明のままである。このため降雨による山腹崩壊から被害を出さないためには、予知に頼ることはできず、結果的に崩壊が発生してもいかに被害を出さないか、あるいは最小限にするかが問題となる。山麓に位置し、山腹崩壊の危険にさらされている家は、降雨時には斜面に注意を払い、避難するかあるいは崩壊が発生しても被害を最小限にするための工夫、例えば二階の山とは反対側の部屋に避難する等の注意を今後喚起していく必要がある。

2) 落石防止ネットのあり方について

今回の崩壊斜面には防災のために落石防止ネットが張られており、崩壊土砂は全てこのネットに捕獲されていたため、被災家屋への土砂の流入量を最小にしたであろうことは十分想像できる。しかし全て捕獲していたためにネット内の土量は大きくなり、結果的に大きな土量がまとまった状態で被災家屋へ流入したことも考えられる。もしネットの下端が固定されず、フリーになっていたら崩壊した土砂はもっと多く被災家屋へ流入していたかもしれないが、その過程は幾分異なった状態で流入したかもしれない。どちらが結果的に被害を最小にできたか不明であるが、ネットの下端がフリーの方が土砂が早く出ることにより警戒が早期にできる場合もあるように思える。各地の斜面では落石防止用ネットや崩土の落下防止のためにネットで斜面が覆われることが多いが、写真-6のようにネットに一時貯留されたままの場合もあり、このような場合には捕獲された土砂が一気に崩落することも



写真-6 ネットにより捕獲されたままの土砂

考えられ、この場合は危険となる。ネットにより落下のエネルギーを減少させることを目的とするか、あるいは崩壊した土砂を捕獲することを目指すか、どのような役割をネットに期待するかに関しては今後一層の検討を要する。

本報告をまとめるに際しましては、資料の提供等で宝塚市消防本部には大変お世話になりました。ここに記して、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 藤田和夫、笠間太郎：大阪西北部地域の地質、5万分の1地質図、地質調査所、1982.
- 2) 神戸大学工学部建設学科土木系教室兵庫県南部地震学術調査団：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書（第2報）、p.301、1995.
- 3) 池谷浩：降雨強度比による土砂害からの避難基準に関する一私案、新砂防、94、pp.7-11、1974.
- 4) 宝塚市防災会議：宝塚市地域防災計画平成8年修正版、p.259、1996.
- 5) 朝日新聞：1997年7月14日夕刊、1997.
- 6) 富田陽子、桜井亘、中庸充：六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について、新砂防、203、pp.15-21、1996.

佐世保市原分町において発生した地すべり災害

長崎大学工学部 後藤恵之輔、山中 稔

1 はじめに

1997年7月6日からの梅雨前線の停滞により、西日本地方は各地で豪雨に襲われた。この豪雨により佐世保市原分町では7月7日午後、地すべりが発生した。この地すべりは当初、亀裂長さ約30m、最大亀裂幅20cmの比較的小規模なものであった。しかし本地すべりは市街地内で発生したこと、地すべり土塊上に位置した家屋が地すべりの進行とともに今にも倒壊しそうになったこと、またその家屋が新築であったこと等が相まって、マスコミに大々的に取り上げられ全国的に話題となった。また、この原分町地すべり災害の特徴の一つとして、ミニ宅地開発地での発生であるということも挙げられる。

本報告は、この地すべり災害の概要及び発生要因を述べると共に、本災害によって得られた教訓について述べるものである。

2 地すべり災害の概要

2.1 災害の推移

図1に、原分町で発生した地すべり地点位置図を示す。地すべり発生地点は、佐世保市北方の小高い山腹に位置し、周辺の多くが地すべり危険地域に指定されており、地すべりが発生しやすい地域に位置する。

表1には、本地すべり災害の推移を一覧している。長崎県内では各地で7月6日より断続的な大雨となり、この大雨が引き金となって7月7日午後、原分町で地すべりが発生した。発生した地すべりは、当初長さ約30m、最大亀裂幅20cmであり、比較的小規模であったが、その後も継続した降雨により地すべりが進行し、地すべり土塊上の世帯や地すべりの流下が予想される主に下流側の世帯を中心に、警戒区域及び避難勧告区域が設定された。7月8日に長崎県などは、亀裂からの雨水の浸入を防ぐために配水管のバイパスを設置したり、ビニールシートを敷くなどの応急措置を行った。地すべり発生以後も降雨が継続し、地すべりの動きが増大してきたため、7月9日には長崎県は地盤の動きを計測するセンサーを二箇所を設置するとともに、光波測距儀での測定を開始した。

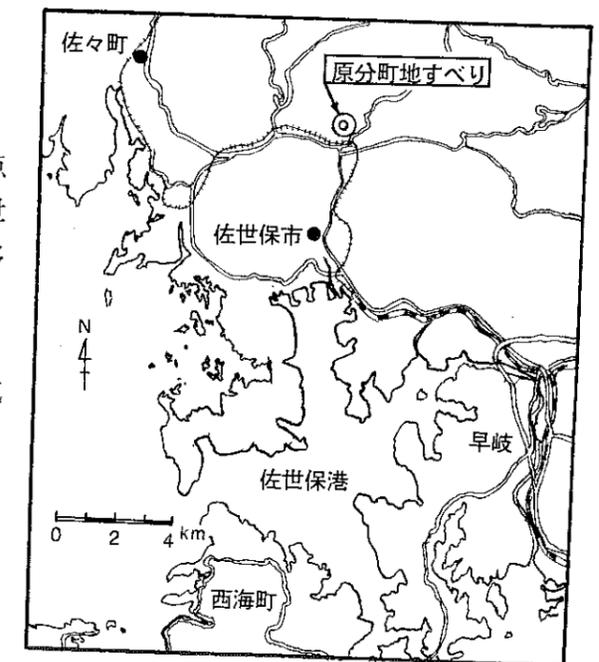


図1 原分町地すべり位置図

表1 原分町地すべり災害の推移

月日	主な事項	詳細内容
7月7日	長崎県内各地で大雨 地すべり発生	6日0:00の降り始めから7日19:00現在までの総雨量は、佐世保市で121mm。 午後、原分町での地すべりの発生を確認。亀裂は長さ約30m、最大幅20cm。
7月8日	長崎県北中心に大雨 避難勧告発令 応急措置	長崎県北を中心に大雨。6日0:00から8日20:00現在までの総雨量は、佐世保市で220mm。 佐世保市は8日午前、地すべり区域の10世帯31人に避難勧告を出し、この下の5世帯にも避難を呼びかけた。 県は、亀裂部分から地中に浸水し地すべりが拡大しないように、配水管のバイパス化やビニールシートを敷く等の応急措置。
7月9日	警戒区域設定	警戒区域内の住民は、14世帯46人。 家屋の石垣の亀裂が幅約60cmに拡大。地盤は約50cm沈下。
7月10日	亀裂の拡大	最大で1時間数cmのペースで亀裂が拡大。警戒区域のうち、上部の4棟の敷地が陥没する被害。地すべり幅40m、長さ60m、深さ5~10m。
7月11日	家屋倒壊の危険増	11日の雨で拡大、家屋倒壊の危険性。傾いた家屋2棟の地盤が1m以上ずれ、家屋の一部が接触。この2日間で1m以上沈下。55世帯143人が避難生活。
7月12日	亀裂の拡大	断続的な雨で地盤のずれや亀裂がさらに拡大。
7月14日	水抜きボーリングの計画	現場から約25m下の市道沿いに、長さ30m、高さ2.8mの仮設防護柵設置。県は、傾斜地の水抜きのため、長さ50m、計13本のボーリング工事を計画。 現地では、1時間2.4mm移動。
7月15日	避難勧告継続	51世帯135人の避難勧告を継続決定。現地では1時間2.4mm移動。
7月16日	避難住民一時帰宅	避難勧告区域内の一部の住民が午後、市職員の立ち会いで一時帰宅。
7月17日	大雨	16日には1時間2mmほどの亀裂の拡大が、17日夕現在26mmに増大。 17日3:00から18:00までの佐世保市の降水量は95mm。特に4:00からの1時間に44mmの雨量を観測。
7月18日	水抜きボーリング開始	現場脇の2箇所から50mの横穴を13本掘り、約2週間で地下水を抜く予定。
7月25日	被害家屋の取り壊し	台風9号の接近で倒壊の恐れがあるため、傾きが激しい家屋3棟について、早朝から取り壊し作業を開始。警戒区域は14世帯46人。 25日までに10本の水抜きボーリングを実施。地盤の動きは1時間1~2mm。
7月28日	国の予算内示	地すべり災害の復旧工事費として約2億9千万円の国の予算内示。
8月13日	避難区域の縮小	避難勧告として残っていた5世帯(12人)を解除し、警戒区域を一世帯(4人)分縮小した。残る警戒区域は13世帯(42人)。 現在の地すべりは1日1mm以下。
8月23日	表層のみ移動	5世帯について、警戒区域を解除。未だ8世帯25人が避難。 現在の地すべりは表層のみ。

7月10日には、地すべり規模は幅40m、長さ60m、深さ5~10mに拡大している。また、11日の雨によりさらに地すべり亀裂が拡大し、傾いた家屋2棟の地盤が1mずれ、家屋の一部が接触し、内1棟は10~11日の二日間で1m以上沈下し、「いつ倒壊してもおかしくない状態」となった。その後も、地すべりの滑動は止まらず、長崎県は14日、対策として水抜きボーリングの計画を開始した。

7月17日早朝の激しい降雨により地すべり亀裂の広がりが速まり、さらに家屋倒壊の危険性が大きくなった。16日には1時間当たり2mmほどに収まっていた亀裂の広がりは、17日夕

方には1時間当たり2.6cmにも拡大した。そのため、佐世保市災害対策本部は18日と19日に予定していた一時帰宅の中止を決定している。

降雨の収まった7月18日、長崎県は水抜きボーリングを開始し、地下5~10mの断層面に溜まった地下水を排出するため、現場脇の2箇所から長さ50mの水抜きボーリングを扇状に掘削を開始した。その後、排水ボーリングの進捗と共に地すべりの進行は収まってきたが、台風9号の接近により被害が拡大する恐れがあるために、25日に傾きの大きい2棟と、新たに承諾を得た1棟を加えた計3棟が解体された。因みにこの解体工事費用は、傾斜の大きかった2棟を建設した業者が負担している。

2.2 地すべり規模

図2に、地すべりブロックの平面図を示す。地すべりブロックは、幅40m、長さ60m、深さ5~10mの規模であり、詳細は関係機関の調査結果を待たなければならないが、本地すべりは表層すべりと推定できる。等高線形状は家屋の建設で明瞭ではないが、谷地形部で地すべりが発生していることが読み取れる。図中、特に被害の大きかった2棟の家屋をハッチングしているが、この2棟の家屋は地すべり小ブロック上に位置していることが分かる。小ブロック末端部は勾配が緩くなっており、この場所は墓地として利用されている。

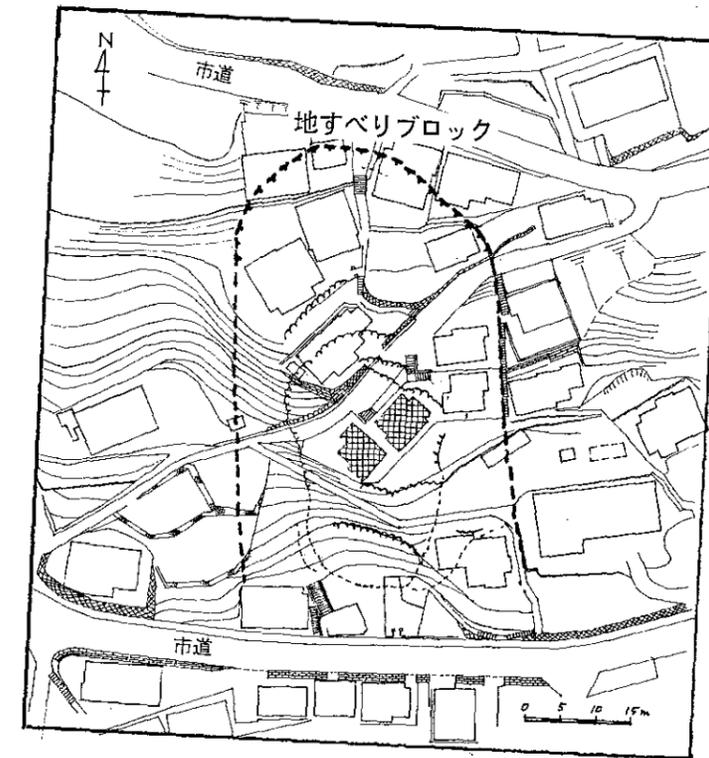


図2 地すべりブロック平面図(長崎県資料¹⁾に加筆・修正)

図3に、地すべり亀裂の観測データを示す。伸縮計による亀裂変位の測定と光波測距儀による移動量観測が7月13日から集中的に行われた。前日の12日まで降雨が続いていたが、13日～16日間は降雨がなく地すべりの動きは小康状態を保っていたが、17日の台風9号接近に伴う降雨により、地すべりの動きが活発化したことが読み取れる。17日の平均伸びは最大で34mm/hにも達している。

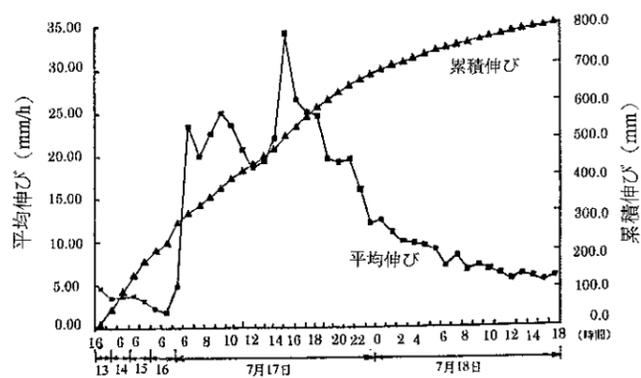


図3 地すべり亀裂観測データ (1997年7月17日17時現在)

3 現地調査

3.1 第一次調査

本地すべり災害に関して、現地の状況が一段落した1997年7月19日に現地調査（第一次）を第一著者の後藤が実施した。現地は当時、警戒区域に設定されていたが、佐世保市災害対策本部の許可を得て、地すべり亀裂の発生部分や倒壊の恐れのある家屋にまで接近し、現地の状況を調査した。

写真1は、地すべり土塊上に位置し大きく傾いた2棟の家屋の遠景である。家屋の建つコンクリートブロック擁壁側面には縦クラックが入り、大きく二つに割れているのが分かる。家屋の下方には、地すべり土砂を防ぐための鋼鉄板による仮設防護壁が設置されている。

写真2は、滑落崖の発生により傾いた電柱とコンクリート塀を示している。この塀の向こう側には、幅30cm程の地すべりクラックが生じている。地すべりクラックへの雨水の浸透を防ぐために、ブルーシートが掛けられている。また写真右側には伸縮計が見える。

写真3に、被害の著しい2棟の家屋を示す。盛土の沈下により寄り添うように家屋が傾いている。手前に見えるパイプは、上方からの雨水の排水を行うためのバイパス管である。



写真1 地すべり被害家屋の全景



写真2 ブロック塀の倒壊

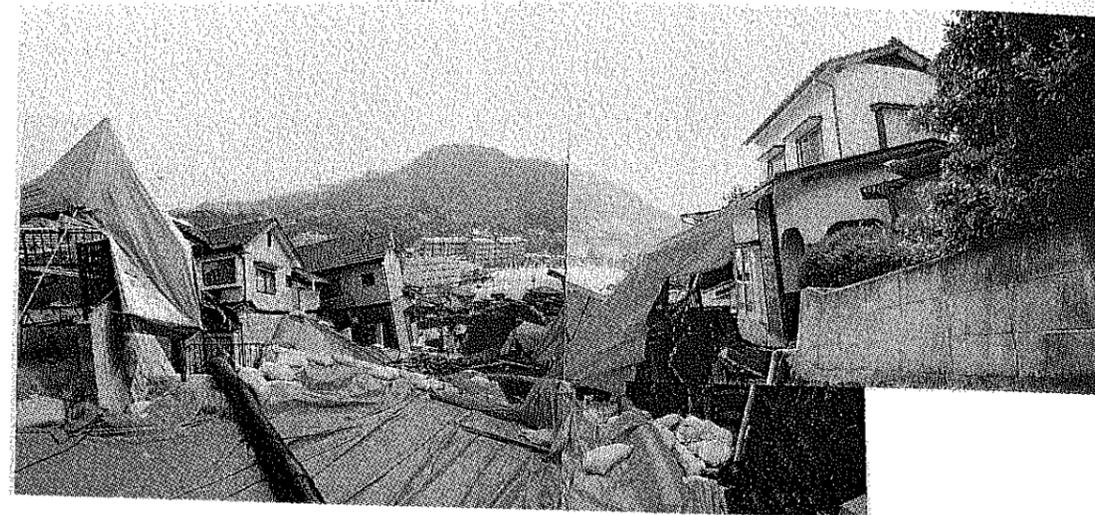


写真3 地すべり被害地の内部状況

3.2 第二次調査

地すべりの発生から3ヶ月後の1997年10月10日に、復旧状況を得るために第二著者の山中が現地調査（第二次）を行った。

写真4に、地すべり下方の仮設防護壁付近から見上げた現地の状況を示す。倒壊の恐れが大きかった2棟とその上部の家屋（計3棟）は取り壊されている。

写真5は、水抜きボーリングで敷設された排水パイプを示している。調査日前は10月2日の9mmの降雨以降晴天が続いている状態であったが、何本かの水抜きパイプからは水が少量流れ出していた。

写真6は、取り壊された家屋が建っていた付近を側方から撮影した写真である。雨水による斜面の泥弱化を防ぐために、一面にブルーシートが被せられている。



写真4 被害家屋跡地を見上げる

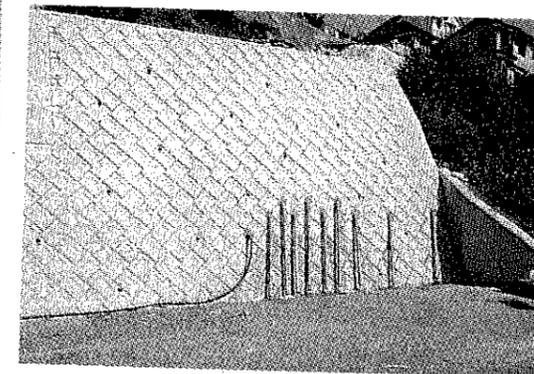


写真5 水抜きボーリング排水パイプ

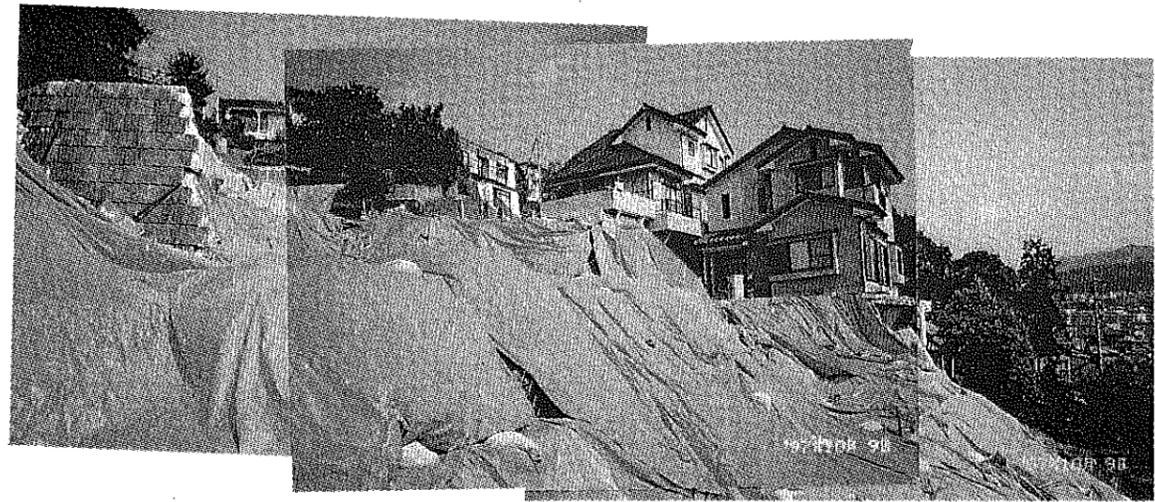


写真6 地すべり斜面側方からの状況

4 地すべりの要因

4.1 気象

図4に、地すべりが発生した7月7日前後における降雨の状況を示す。東シナ海を北上してきた台風8号が6月28日に九州北部を横断したため、佐世保市では145mmの日降水量があった²⁾。7月に入り、梅雨前線が対馬海峡から九州北部に停滞し活動が活発化したため、6日から12日にかけて累計で410mmもの降雨が佐世保市にあった³⁾。特に地すべりの発生した7日には1時間最大降水量が20.5mmに及んでいる。この強い降雨により地すべりが誘発されたと考えられる。7月12日以降、降雨は一時収まったが、7月17日には台風9号の接近により116mmの大雨となっている。

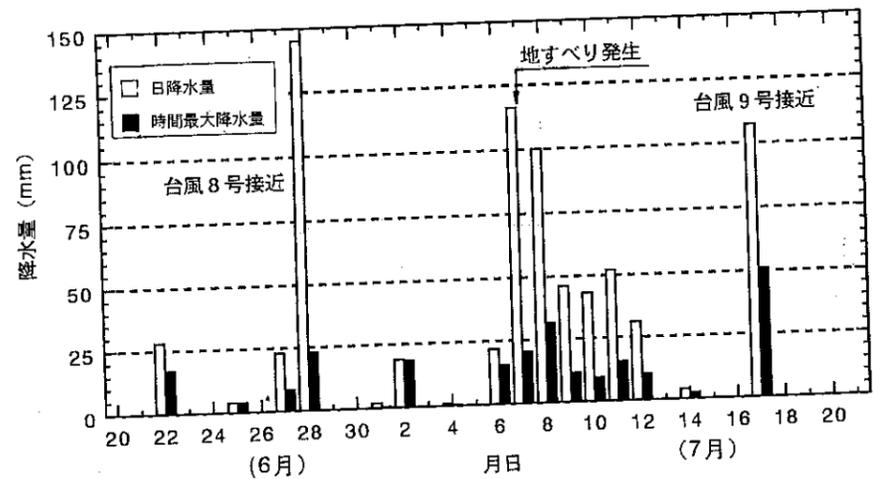


図4 降水量の経日変化

4.2 地形・地質概要

長崎県は、山地の占める面積が広く、かつ火山岩類や第三紀堆積岩類、結晶片岩類など、地すべりを発生しやすい素因を有する岩石や地層が広く分布している。

第三紀層地すべり地帯は、西彼杵半島から佐世保市周辺・北松浦地方（平戸島・生月島を含む）にかけての主として県北地域に分布しており、特に県北の北松浦地方は、「北松型地すべり」の多発地帯である⁴⁾。この北松型地すべりとは、第三紀堆積岩層の上に玄武岩をのせる地質構造のところに発生する。

図5には、北松型地すべり（第二次すべり）の模式図⁵⁾を示す。この北松型地すべりは、玄武岩がその基盤第三紀の侵食平坦面を、特にこの面上の級谷地形をすべり面として滑動するものである。玄武岩台地に降った雨は節理を通じて砂礫層に達し、台地末端から泉となって地表に出る。この地下水の通路は著しく粘土化し、崩壊滑動の主因となる。これが第一次地すべりである。第一次地すべりによって降下した地すべり堆積物は斜面に停滞し、堆積物は容易に雨水、地下水を浸透し、末端からしばしば第二次地すべりを発生する⁵⁾。

今回の原分町における地すべりは、この北松型第二次地すべりと推定される。また、地すべり発生箇所は緩やかな谷地形を呈していることから、地表水や地下水が集積しやすい場所であることが分かる。

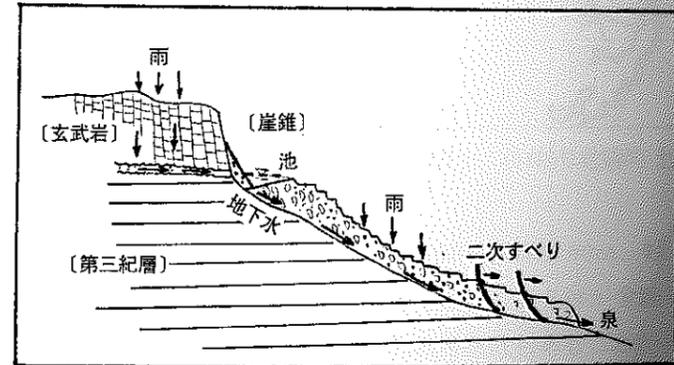


図5 北松型地すべりの模式図⁵⁾

5 得られた教訓

今回の地すべりの発生は、もっと早く察知できなかったであろうか。幸いにして人的被害はなかったが、地すべりの進行を防ぐためには、特に今回のような市街地の場合、前兆現象を如何に早く察知し以後の対策に結びつけるかが、被害を最少化する上で重要である。前兆現象の実態を、一般市民に広く積極的に知らせることが肝要である。

また、斜面の集水・排水は十分であったらうか。地すべりを防ぐ鉄則は、「斜面に水を入れるな」、「斜面に入った水はすぐ抜け」である。現地の地すべり発生前の集水・排水に関しては明らかではないが、現地は雨水が集まりやすい地形をなしていることから、本地すべり発生地に関わらず、

日頃から集水・排水施設の維持・管理を十分に行う必要があると言える。

さらに本地すべり災害は、宅地開発のあり方にも課題を投げかけた。第一著者の後藤が7月19日に調査を行った折に現地の方から聞いたところによれば、被害家屋の造成・建築が行われた場所は「抜け地」と呼ばれ、昔からここに手は加えるな、と言われていたそうである。災害現場は、急傾斜地崩壊危険地域に隣接しているものの、地すべり防止区域の指定はされていなかった。さらに、開発面積が基準に達しなかったため、都市計画法に基づく県の開発許可も必要としていなかった。

開発、土地造成を生業の一つとする土木技術者は、今回の地すべり災害を他山の石とせず、謙虚に受けとめる必要があると言える。

参考文献

- 1) 長崎県資料, 1997.
- 2) 長崎県気象月報: 1997年6月号, 日本気象協会長崎支部, 1997.
- 3) 長崎県気象月報: 1997年7月号, 日本気象協会長崎支部, 1997.
- 4) 縮尺20万分の1 土地保全付属資料(長崎県): 国土庁土地局, pp.57-58, 1988.
- 5) 山崎達雄: 九州各地の地すべりについて, 九州地質調査業協会, pp.1-16, 1966.

1997年7月長崎市北陽町崖崩れ災害の調査

長崎大学工学部 後藤恵之輔 長崎大学工学部 全 柄徳
長崎大学工学部 山中 稔 長崎大学大学院 中村 晋一
長崎大学工学部 持下 輝雄

1 はじめに

1997年7月19日未明、長崎市北部に位置する北陽町の住宅地の背後にある山の急斜面が崩壊した。崩壊は斜面上の竹と樹木がほとんど立ったまま起こっているために、崩壊性地すべりとの見方もあるが、ここでは斜面崩壊による土砂災害としておく。被害状況については、死者・重軽傷者はともになく、住家7棟が全半壊したり。著者らはこの土砂災害について、新聞報道調査、ヒアリング調査、及び地上リモートセンシング調査を行うとともに、ほぼ同時期に起こった宝塚市での土砂災害(死者数4名)との比較により、なにが死傷者を出す原因となったのか検討する。本土砂災害が発生した位置を図1に示す。



図1 長崎市北陽町土砂災害の発生位置

2 新聞報道による土砂災害の推移

7月19日午前3時過ぎ、北陽町の住宅地裏にある山の斜面が高さ60m、幅50m、奥行き30mにわたって崩れ、崖下の空き家1棟を含む住家7棟が土砂で埋まり、5棟が全壊し2棟が半壊した。長崎市は災害対策本部を設置し、依然亀裂があり二次災害の可能性もあることから、被災した6世帯20人を含む付近の住民80世帯210人は、近くの公民館などに避難した。

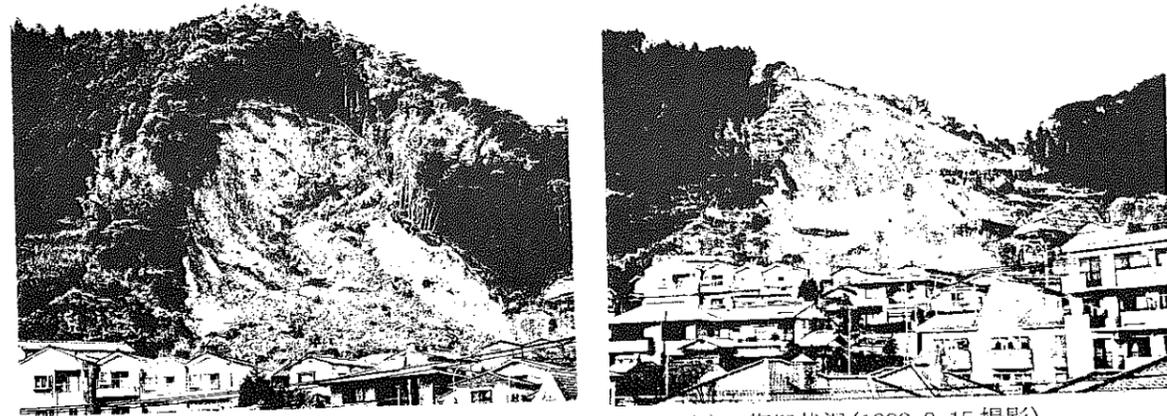
この土砂災害の前兆として、まず7月15日に地元住民が斜面のモルタル壁にひびが入るなどの変調に気付き、市に報告し警戒していた。その後18日には、午後6時に、斜面が崩れ始めているのを住民が気付き、自治会長を通じて警察と消防に通報した。同日18日午後7時45分には、斜面が高さ20m、幅30mにわたって崩れ、崩壊土砂は高さ5mのコンクリート防護壁を越えて、住宅地上の公園を埋めた。付近の住民はこの直後、自治会や警察の呼び掛けで自主避難した。19日に入って2回の中・小規模の土砂崩壊があり、午前3時過ぎに住家7棟が埋まる土砂災害が発生している。

このように、今回の土砂災害においては、斜面崩壊の前兆を発見した時点で住民は自主避難を始めており、犠牲者が出る惨事が回避されている。また、地域の自治会が警察、及び消防と密な連絡をとったことで、被害を最小限に抑えることができた理由と言える。

20日には80世帯に対する避難勧告の続行が決定されたが、避難勧告エリアへの一時立ち入りが許可され、避難住民らが自宅から生活用品などを運び出した。また、20日からは崩落した土砂の排出

作業を開始し、土砂上の樹木の伐採などをした。

長崎県は、この土砂災害に対し9月よりボーリング調査を開始して、その調査結果をもとに11月1日より災害復旧工事に着手している。対策工としては、斜面のボーリング調査の結果、当初の予想よりも地盤が軟らかいことが判明したため、約5km²の斜面を削り取り、約45度ある斜面を約10m毎に6つの小段をつけ、格子状の法枠工で固めることで補強する工事を現在実施している。本土砂災害について崩壊発生直後を写真1(a)に、現在の復旧状況を写真1(b)に示す。



(a) 崩壊発生直後(1997. 7. 23 撮影)

(b) 復旧状況(1998. 2. 15 撮影)

写真2 長崎市北陽町崖土砂災害現場

3 ヒアリング調査

著者らは7月23日に、立ち入り禁止となっている崩壊現場を遠望できる近くの坂上から、地上リモートセンシング調査を行った。そのとき、調査について尋ねてこられた5,6人連れの人たちが偶然、北陽自治会の会長以下、公民館に避難しておられる住民の方々であった。著者らは調査の内容を説明する一方、会長他から避難のことや1982年の長崎大水害時についてヒアリングを行なうことができた。新聞報道等では自主避難となっているが、住民だけではとてもそうはいかず、市や警察の協力があってこそできたのであり、市・警察に感謝していること、長崎大水害の時には今回の崩壊斜面の50mほど離れた斜面が崩れ、1人亡くなっていることなど、住民の生の声を聴取できた。

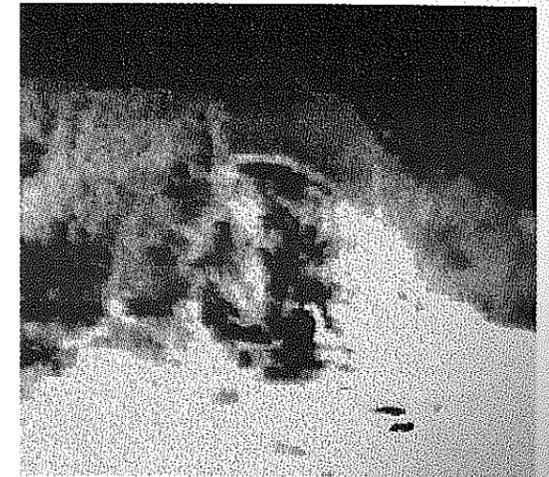
4 崖崩れ斜面の熱分布測定

3で述べたように、著者らは7月23日に崩壊現場の地上リモートセンシング調査を行った。用いたセンサはサーマルカメラで、放射率の設定値は0.95である。結果を画像1に示す。画像1は写真1(a)に対応しており、観測時刻は午後3時~4時であった。崩壊斜面は写真に向かって右側が太陽の直射を受けており、左側は日陰となっている。この画像1で明らかなように、崩壊斜面の右側は高温、左側は低温を呈しているが、左側斜面は日陰であるにもかかわらず一部に高温部が認められる。現場

は立ち入り禁止で詳細が不明であるが、この高温部は亀裂であるかも知れない。

5 宝塚市土砂災害との比較

新聞報道²⁾によれば、1997年7月13日午前8時過ぎ宝塚市花屋敷において、斜面が高さ40m、幅30mにわたって崩れ、斜面下の住家1棟に土砂が流れ込んでいるのに近所の人が気付いた。崩壊により、一家4人が生き埋めとなって遺体で発見されたが、この一家は同年5月に念願のマイホームを手に入れ転居してきたばかりであったという。同じ土砂災害で、何が死傷者の有無を分けたのであろうか。両者を比較してみれば、それは①被災歴を知っていたか、②ちょっとした変調にも気が付いていたか、③崩壊の前兆現象を掴んだか、④早く避難したか、⑤自治会の存在と、日頃の防災意識・訓練等の4点であると考える。



画像1 北陽町崩壊のサーマルカメラ画像
(中心温度29.0°C、計測幅0.3°C)

5 おわりに

長崎市北陽町の崩壊斜面をサーマルカメラで映した画像では、崩壊部に向かって左側に縦に筋状の温度が高い部分を発見した。その部分が亀裂等の崩壊の原因である可能性はあるが、現場での調査ができず特定はできなかった。北陽町では、現在、災害後の復旧工事が進んでいるが、1998年の梅雨時期(6月から7月)の降雨を考えれば、早急な整備及び管理が必要であると著者らは考える。

長崎市北陽町には死者が出ず、宝塚市花屋敷に死者が出た差を、被災者の生死を分けるキーポイントと言え、今後活かされなければならない。

参考文献

- 1) 長崎新聞, 1997. 7. 20 付.
- 2) 朝日新聞, 1997. 7. 14 付.

'97年7月熊本県の豪雨災害

熊本大学工学部 鈴木敦巳 北園芳人
九州東海大学工学部 荒牧昭二郎

1 熊本県の降雨状況

7月6日から13日にかけて梅雨前線が九州北部から南部にかけて停滞し、活動が活発となり県内各地で大雨続いた。そのため、熊本県内各地で記録的な降水量を観測した。熊本気象台の観測によると6日の降り初めから13日までの総降水量は鞍岳1209mm、俵山1079mm、阿蘇乙姫1051mm、阿蘇山1010mm、白髪岳902mm、茶臼峠839mm、菊池820mm、五木806mm熊本799mmを記録した。また、最大日雨量は鞍岳387mm(7/9)、水俣329mm(7/9)、白髪岳310mm(7/10)、菊池304mm(7/9)、俵山281mm(7/10)、阿蘇山279mm(7/10)、人吉264mm(7/9)、南小国261mm(7/9)、阿蘇乙姫250mm(7/10)を記録し、7月の平年降水量と比較するとほとんど150%以上で観測点27箇所の内10箇所200%を越えており、県内全域で記録的な大雨であったと言える。図-1に7月6日から14日までの累加雨量の等降雨量線を示す。また図-2に7月9日と10日の日降雨量の等降雨量線を示す。

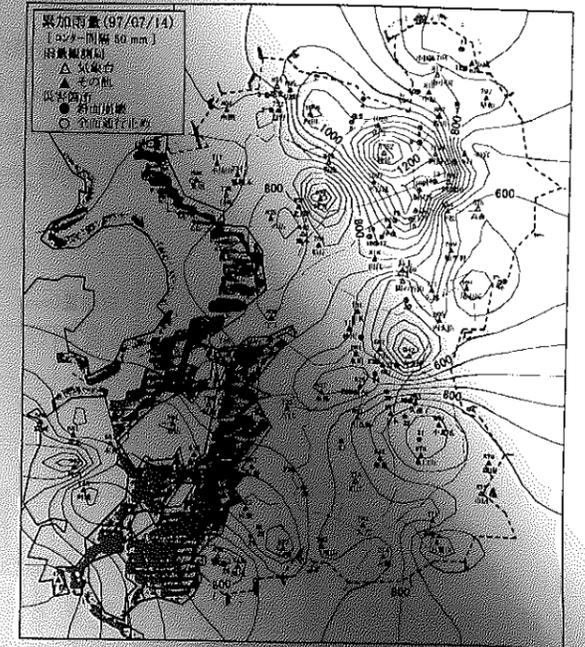


図1 県内の累加雨量(7月6日~14日)分布

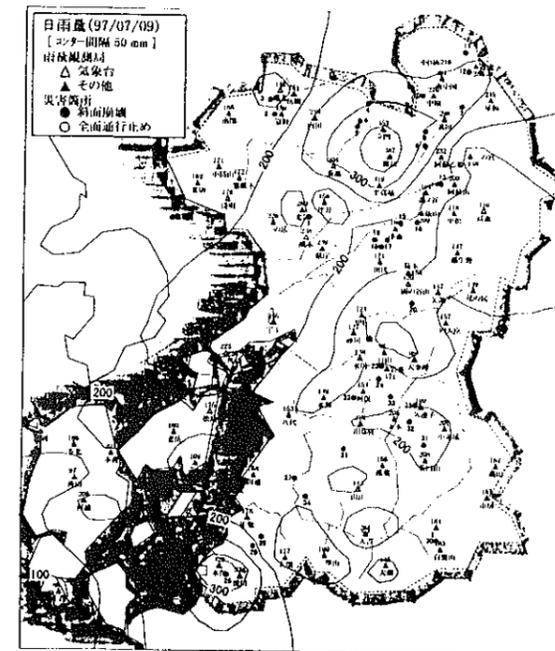


図2a 7月9日の日雨量分布

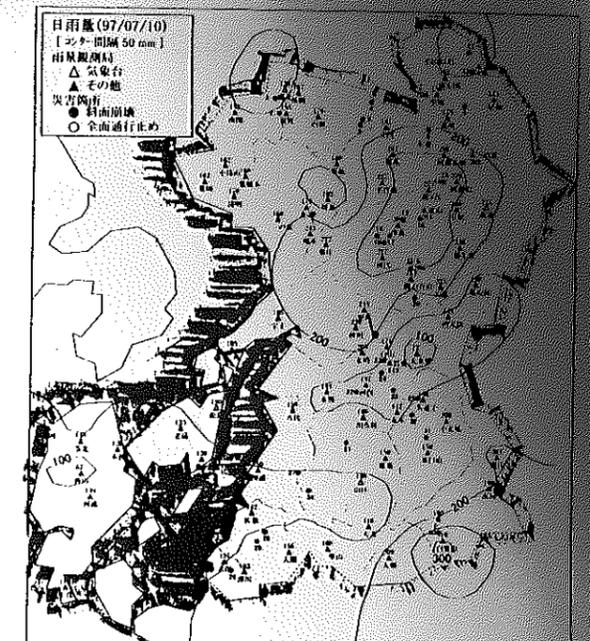


図2b 7月10日の日雨量分布

2. 被害状況

7月の大雨による熊本県下の被害（7月の6日から16日にかけて集中）は熊本県防災消防課資料（7/30現在）によると以下の通りである²⁾。

被害総括：人的被害(軽傷3名,その他0),住宅被害(全壊4棟,半壊8棟,一部破損24棟,床上浸水180棟,床上浸水1,406棟)

被害額：244億円(農業関連74,林業関連40,土木関連128,その他2)
道路被害：1,000箇所(50億円),砂防被害141箇所(13億円),山地崩壊138箇所(21億円)

3. 避難状況

熊本県防災消防課資料（7/17現在）によると9市町村,19地区で計436世帯に避難勧告が出された。熊本県防災消防課資料（7/17現在）によると9市町村,19地区で計436世帯に避難勧告が出された。内377世帯に7月11日に勧告,7月13日までに解除,59世帯(坂本村責・川原谷地区)には7月15日の山腹崩壊による2次災害に対する警戒のため同日勧告が出された。また,31市町村,49地区で,257世帯が自主避難がなされた期間的には正確に把握できないが,大部分が7月11日~7月13日と思われる。

4. 斜面崩壊例

4.1 上益城郡益城町福原川内田地区

a) 発生時期³⁾：7月11日18時10分頃（最大日雨量：280mm(建設省・津森)10日,図-3)

b) 発生箇所：赤井川右岸に並行する町道袴野福原線沿い山腹斜面,(図-4)

c) 崩壊状況³⁾：高さ70m,幅70m,にわたり斜面崩壊が発生し,崩壊土量40,000m³で河川及び町道が埋没した。しかし,幸い人的および家屋の被害はなかった。(写真-1)

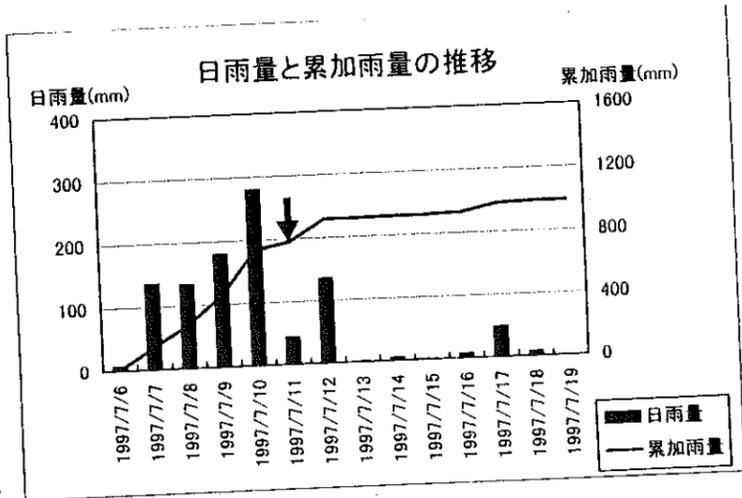


図3 益城町津森の累加雨量と日雨量（建設省テレメータ）

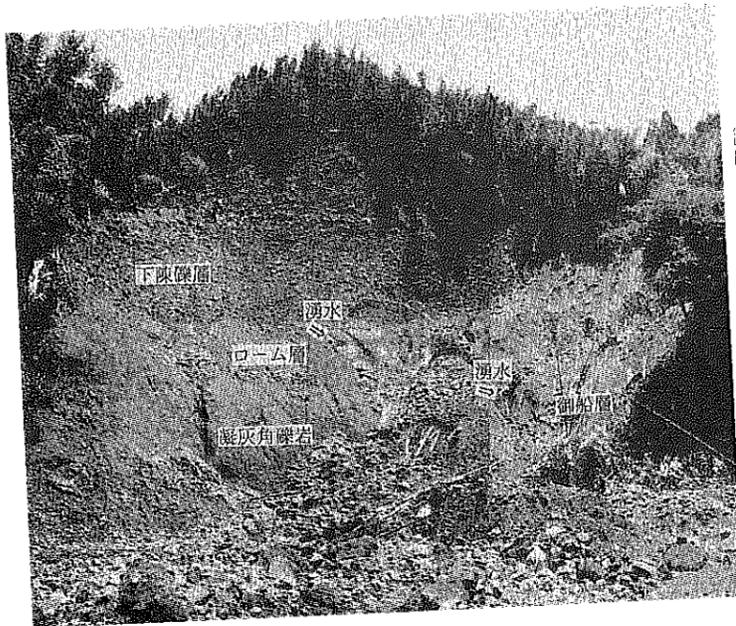


写真1 益城町福原河内だ地区崩壊斜面

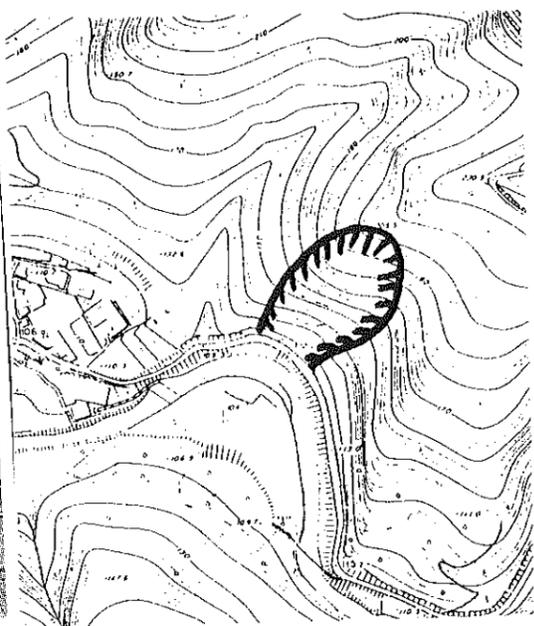


図4 益城町福原河内だ地区崩壊斜面位置図

d) 地質：この付近の地質は最下部に中生代白亜紀の堆積岩である御船層があり、岩石としては頁岩や砂岩或いは礫岩の互層で、崩壊斜面の右側（上流側）の下部付近に分布しており、岩質としては亀裂が多いが固結度は高い。しかしながら地下水があるところでは風化が激しく粘土化した軟弱な層が存在する。この層の上に黒色ないし灰色の凝灰角礫岩と褐色のローム層が存在する。この層はほぼ水平に分布し、ローム層は自形をした角閃石が多く見られる。さらにその上に礫層が厚く存在している。この層は下陳礫層と称され洪積世の扇状地堆積物と考えられ約80cm大の安山岩質円礫が主体である。



写真2 御船層上部の風化粘土層

e) 地形：阿蘇外輪から続く台地の南西斜面で、下端は赤井川が大きく蛇行した水衝部に位置する。この斜面は緩く湾曲した尾根と沢の遷移部分で杉・松の植生であるが、崩壊部分は竹林に見えるほどマダケ林の侵入が著しく、水分が多い斜面であったことが伺える。

f) 崩壊機構：崩壊斜面を正面から見ると正面中央と右側に

に水が流れた跡があり、斜面の下部ないし中央部から吹き出した地下水がこの崩壊の主原因と考えられる。下部の湧水は御船層と凝灰角礫岩との間,中央付近はローム層と下陳礫層間からの湧水である。下部からの湧水は以前から少しずつ出ていたものと考えられ,御船層の上面には4~10cmの粘土層があり(写真-2)、しかも粘土層表面にはすべり条痕が見られたことより、以前から不安定な斜面であったと考えられる。この湧水により斜面の下部がまず崩壊し、その結果その上部の厚い礫層が安定を失ってに崩壊した為大きな斜面崩壊となったと考えられる。

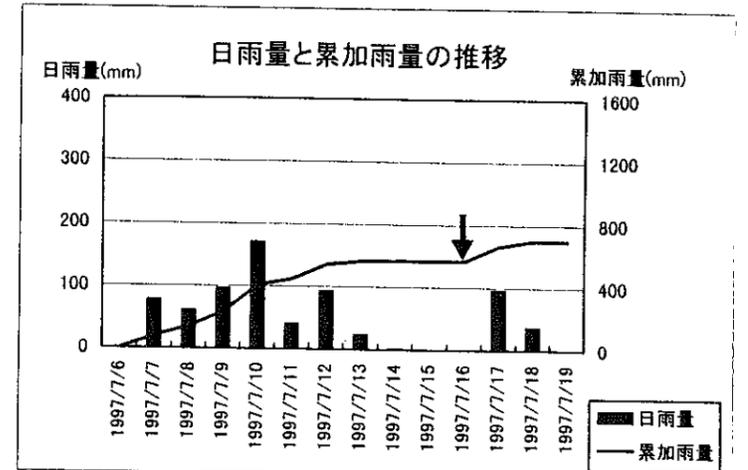


図5 中央町白山の累加雨量と日雨量

4.2 下益城郡中央町坂本釈迦院地区

a) 発生時期³⁾：7月16日町道のモルタル法面に亀裂発見(最大日雨量：171mm(中央町白山10日)(図-5)

b) 発生箇所：下益城郡中央町坂本緑川水系釈迦院川砂防ダム右岸の町道坂本線沿い南西向き尾根先端斜

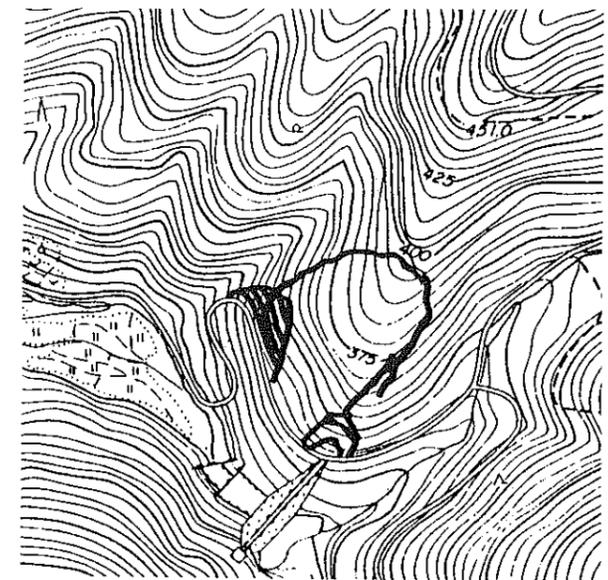


図6 中央町坂本の地すべり位置図

c) 災害状況³⁾：平成9年7月6日から大雨の影響で町道の道路法面のモルタル吹き付け部が剥離落下及び格子枠のアンカー頭部脱落(写真-4, 5)の被害が発生し、町道の全面交通止めを行った。その後8月9日に法面上部の山林内に地山の亀裂(写真-6)を発見、現地調査の結果、法面上部約200mの箇所に段差1.5m程の亀裂があり、地すべりの兆候を確認した。亀裂の末端部が砂防ダムの右端部に近くダムへの影響が懸念されたため、応急対策としてダムの貯留水を排水して町道部分に押さえ盛り土を行った結果、現状では落ち着いたように見える。

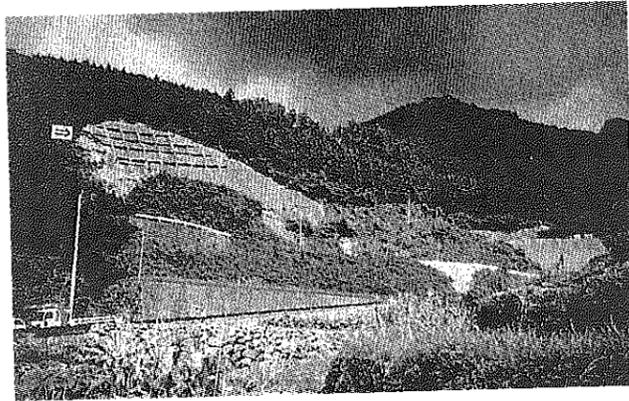


写真3 地滑り下端部モルタルの剥離落下

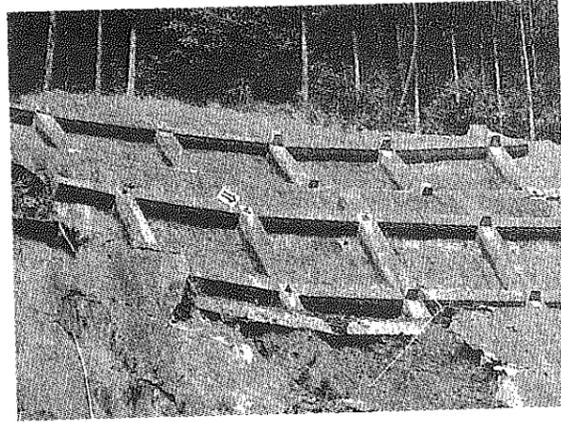


写真4 アンカー頭部の脱落

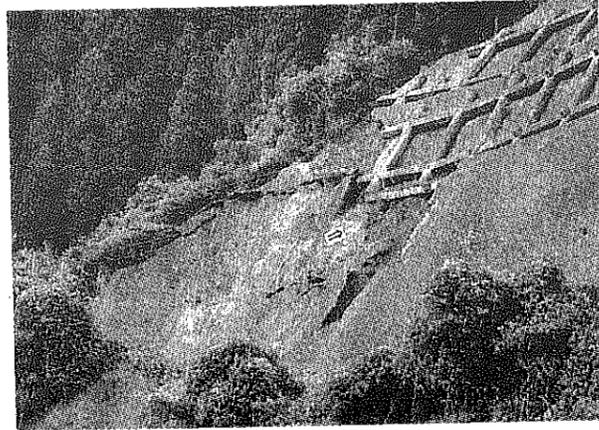


写真5 吹き付けモルタルの崩落

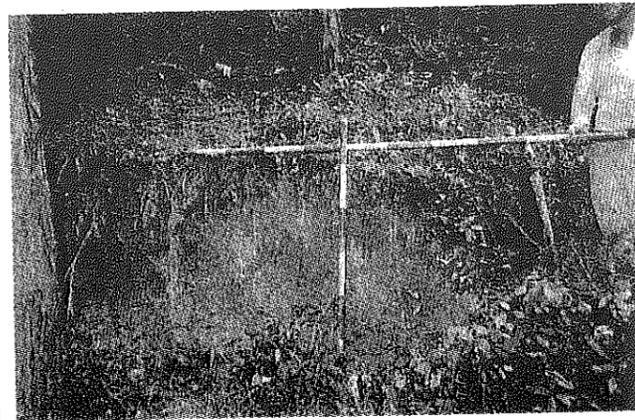


写真6 地滑り頭部の亀裂

c) 地質：この付近の岩石は時代未詳の粘板岩を主体として砂岩とチャートからなる。ダムサイトの右岸は砂岩にチャートを含む地層からなり比較的堅固であるが、粘板岩は表面にスリッケンサイド(鏡肌)が顕著であり造山運動に伴うせん断力を受けたものと考えられる。今回崩壊した斜面はこの粘板岩を主体とする土塊であり、斜面上部は風化が激しく赤褐色の粘土となっている。地層は斜面傾斜方向に傾斜した流れ盤構造になっている。

d) 地形：釈迦院川と支川の合流地点右岸に張り出したやや角張った尾根の上流側隅の下端に砂防ダム取り付け部が位置し、尾根の上流側・下流側両隅下端部がダム建設時(昭和63年頃)に付け替え道路工事のため切り取られ、下流側下端部は崩壊型の地すべりが発生する恐れがあったため、対策としてアンカー工が施工されていた。

a) 崩壊機構：この尾根地形の斜面は流れ盤地形で、崩積土が厚く堆積しており、その崩積土が地すべりを起こしたのと考えられる。植生は杉・松林であるが、上部の滑落部より高い地点や東側斜面でも根曲がりが見られ、上述した下流側下端部には過去の地すべりが確認されていることから、この斜面はもともと地すべりを起こしやすい斜面であったと言える。地すべりに伴う東側(上流側)部分の亀裂は西側が落

ちており、流れ盤地形に沿ってすべりが発生しているといえる。しかしながら、応急対策としてS字カーブの町道部分に行った押さえ盛り土工によりほとんど上部の変位が見られなくなったことより、一体型の規模の大きい地すべりというよりも下端部からのいくつかの地すべりが複合した地すべりとも考えられるので、今後のボーリング結果が待たれる。また、ダムサイトに地震計が設置されていたが、その振動記録によると40mm以上の降雨で、降雨後100時間以上して震度3~5の振動を記録している。これは斜面に変位があったことを示していると考えられる。そして降雨中には振動は発生していないことから、間隙水圧上昇がすべり面まで達するのに時間がかかっていることが何え、大雨の最中や直後に起こる表層型の崩壊ではなくすべり面が深いことを示している。

4.3 八代郡坂本村鮎尾地区

a) 発生時期³⁾：7月15日8時20分頃(最大日雨量：210mm(建設省・出る羽、9日)、図-7)

b) 発生箇所：八代郡坂本村鮎尾の球磨川水系油谷川支川河内谷川左岸沿い北西向き山腹斜面、(図-8)

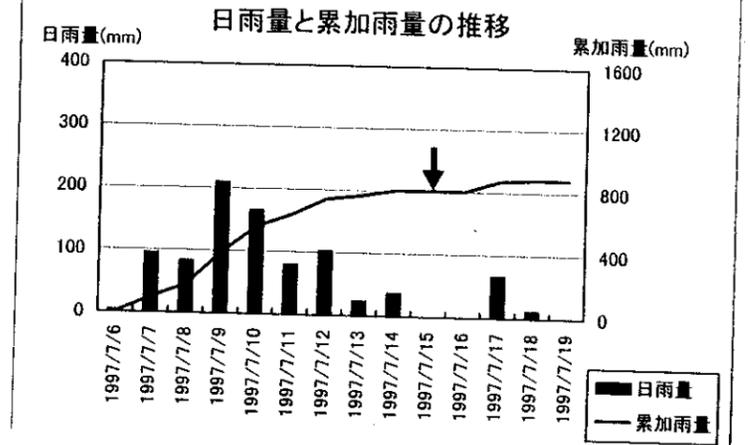


図7 坂本村出る羽の累積雨量と日雨量(建設省テレメータ)

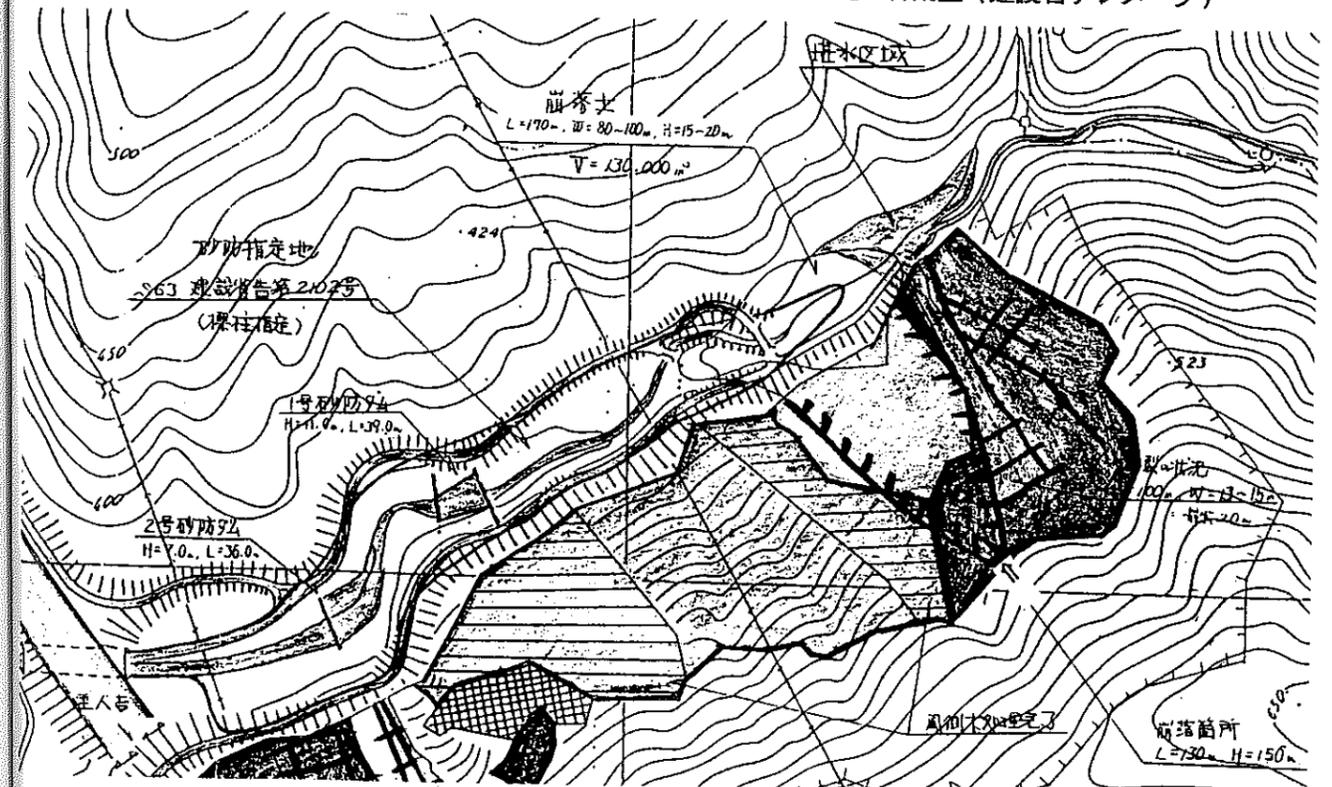


図8 坂本村鮎尾地区の斜面崩壊平面図

c) 崩壊状況³⁾：崩壊は7月15日午前8時頃発生し、同日夕方まで数回にわたり繰り返され、終息時点では、高さ130m、幅70mにわたり山腹が崩壊(写真-7, 8)し、その最大深さは15m以上に達した。崩壊堆積土量は130,000m³で自然河岸、村道、及び林道が埋塞したが、幸いにも人的、家屋被害はなかったが、埋塞土により上流に湛水し(写真-9)、埋塞土の崩壊による土石流災害が想定されたので下流の責及び川原

地区59世帯,172名が避難した。

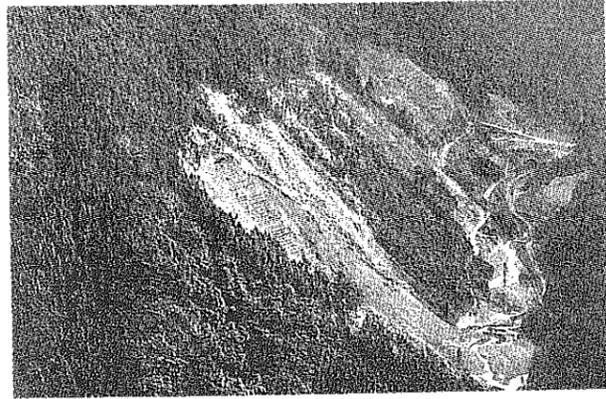


写真7 坂本村鮎埴り地区斜面崩壊地の航空写真

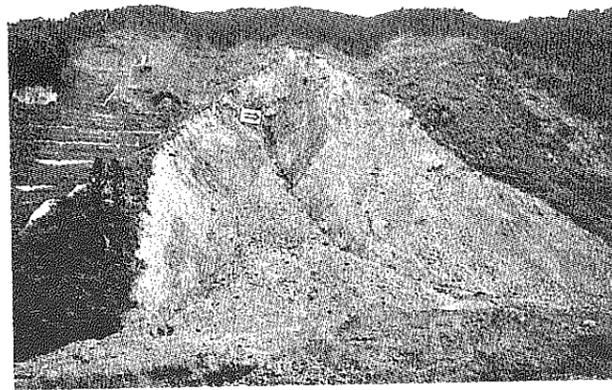


写真8 坂本村鮎埴り地区斜面崩壊地正面

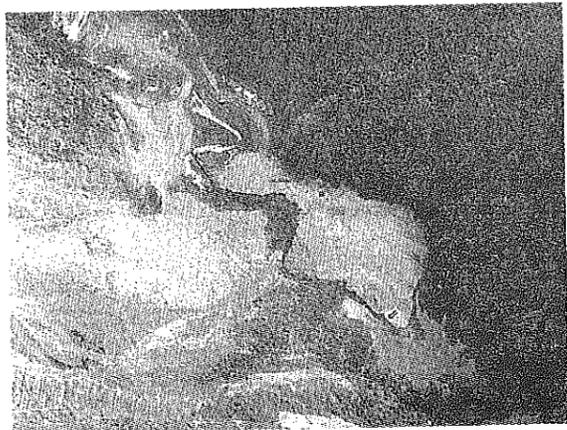


写真9 崩壊土砂溪流閉塞による湛水状況

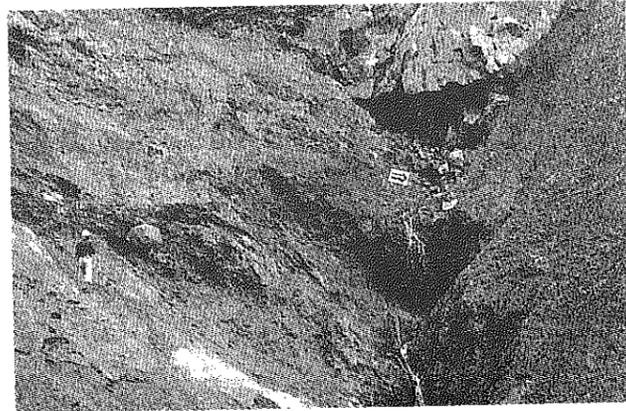


写真10 崩壊斜面からの湧水状況

- d)地質：この付近の地質は秩父古生層の三宝山帯の吉尾層に属し、主に珪質泥岩からなり厚い砂岩層を含んでいる。この地層は小褶曲を伴う衝上断層で数回の岩相の繰り返しや吉尾層より上部のえびら瀬層を挟んで存在する。崩壊部分の頂部に大きい砂岩塊とその下部に黒色粘土層が確認された。この両者の間からかなりの湧水(写真-10)が認められた。この黒色の粘土層は石墨片岩野岩片を含んだ粘りの強いもので断層によって生じた破碎帯粘土で、この小断層が地下水の流路であったと考えられる⁴⁾。この斜面には数カ所の標高に大きな砂岩塊がほぼ水平に点在的に露出している。斜面の存在する延長方向は地層走向とほぼ一致し、受け盤の構造である。この部分の岩石は造山運動に伴う断層活動によって大きなせん断破壊を受けて脆弱になった岩石と海底地すべりによって地層が乱されその構造が未だに残されているために固結度が低い岩石が浸食を受け随時小さな崩壊を繰り返してできた崖錐斜面と考えられる。
- e)地形：九州縦貫高速道の肥後トンネル人吉側入口の斜面の延長にあり約250m高の斜面がほぼ直線的に連続しており自然勾配は40°前後と急峻である。熊本県林務水産部の調査によれば⁵⁾、崩壊斜面は数段の緩傾斜部を有し、今回の豪雨では下から2段目まで崩壊した。またこの連続した斜面は平成3年の台風による風倒木が発生したが、風倒木処理は終わっていた。しかし、崩壊した部分はその後の対策工が未着工であった。
- f)崩壊機構：長期にわたる大雨で斜面内部の地下水圧の上昇をもたらし、上記砂岩の下位の地下水脈から多量の水が噴き出し、斜面に堆積していた崖錐堆積物を崩壊させたものと考えられる。大きな砂岩の塊は半円形に褶曲して出来たような放射状の亀裂を有しており、とくにこの部分を通して上部層からの浸透水が地下水脈に集まり易かったと推定される。

4.4 水俣市多々良地区

- a)発生時期³⁾：7月9日22時頃(最大日雨量：329mm(気象台・水俣、9日),図-9)
- b)発生箇所：多々良町家屋裏手の山裾部南北向き急斜面,(図-10)
- c)災害状況³⁾：高さ30m,幅27mの急傾斜斜面の崩壊で、崩壊土量4,500m³,7名が生き埋めになったが全員無事救出された。なお、家屋2棟全壊した。(写真-11,12)
- d)地質：凝灰角礫岩からなり、風化はかなり厚く、最大3~4mに及び、断層面と思われる面に沿って崩壊が起こっている。
- e)地形：尾根の先端に近く、下端部は局部的に凹型の横断形状を呈し、その部分に抱かれるように4軒の家屋と私道が接近していた。斜面の縦断形状は下端で1割程度、上部は緩やかな凸型形状で、崩壊頂部は狭い耕作地で、さらにその上方は階段状の元耕作地跡が見られた。植生は耕作地と雑木林であるが、竹の侵入が激しい。また以前に生じたと思われる亀裂(崩壊斜面の左側斜面)に竹が侵入しているのも見られた。

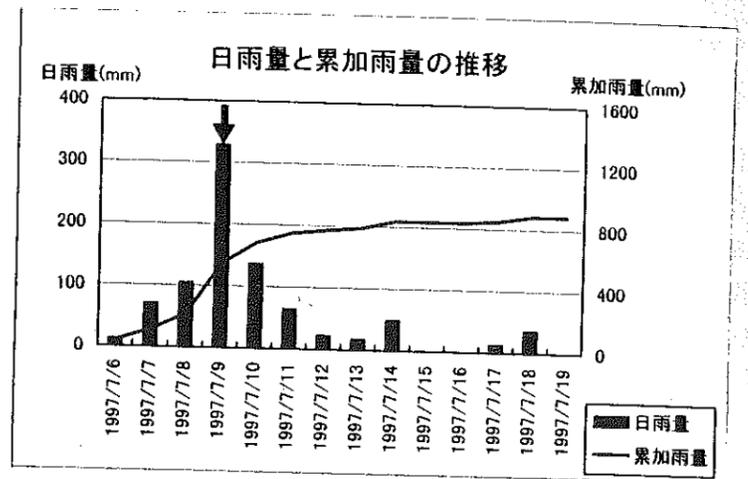


図9 水俣市の累加雨量と日雨量(気象台)

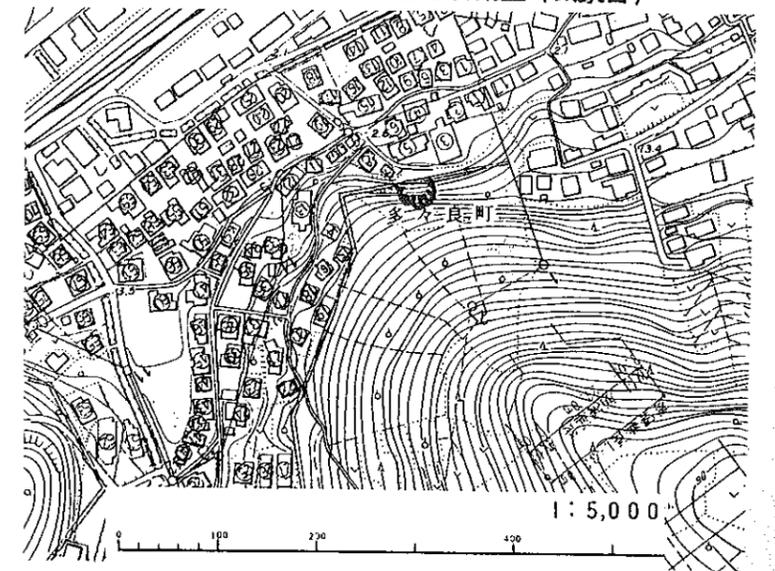


図10 水俣市多々良地区の斜面崩壊平面位置図

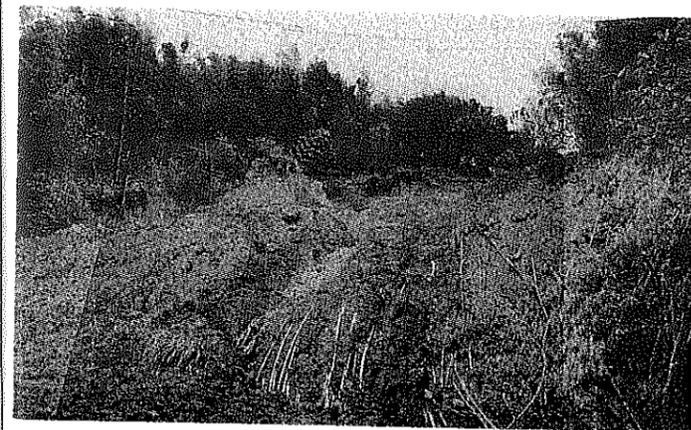


写真11 水俣市多々良地区の崩壊斜面

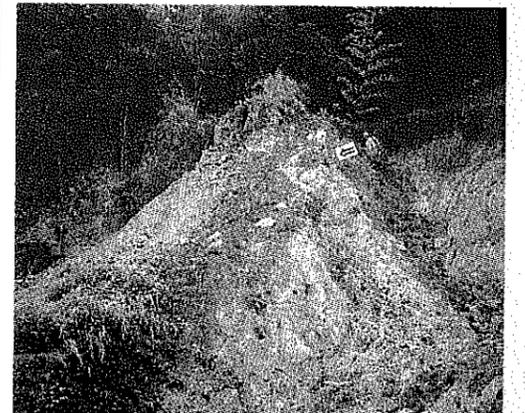


写真12 崩壊斜面の残留部

- f)崩壊機構：斜面崩壊は最大日雨量を記録した9日の22時で急傾斜地の豪雨による斜面崩壊の典型である。

崩壊は断層と見られる部分で発生し、残っている斜面と崩壊部分では風化の度合いがかなり異なっている。崩壊した斜面の上部にも急崖が見られ、斜面左側に大きな亀裂が見られることから、その亀裂から雨水が浸透し、地盤の飽和により粘着力が低下し、せん断抵抗力が低下し崩壊したものと考えられる。

5. まとめ

97年7月の大雨による災害は鹿児島県で土石流による多数の犠牲者を出したが、熊本県においては幸いにも犠牲者が出なかった。しかし、もう少し場所や時間がずれると大災害になったかもしれない。今回の調査報告は熊本県を始め関係市町村のデータを使用させて戴いた。十分な現地調査をするところまで至って居らず、崩壊機構などについてはもっと詳しい調査データを詳細に吟味して最終的には判断すべきかもしれないが、今回は現状での分析の結果で解る範囲の報告とした。本稿を終えるに当たり、筆者らの資料収集や現地調査に於いて快く御協力戴いた熊本県の関係部署の方々に深謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 熊本地方気象台, 地域気象観測降水量日報 (1997年7月6日~16日)
- 2) 熊本県総務部, 災害調査資料
- 3) 熊本県土木部, 災害調査資料
- 4) 熊本県林務水産部, 山地災害調査委託報告書, 平成9年10月