

地質調査

2015

第3号

(通巻144号)

Japan Geotechnical Consultants Association

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

巻頭言

土砂災害の防止・軽減への取り組み

国土交通省水管理・国土保全局砂防部長 西山 幸治

総論

土砂災害への備え

応用地質株式会社エンジニアリング本部技師長／
岐阜大学客員教授／山梨大学工学部非常勤講師 上野 将司

小特集 土砂災害

≫ フェーズドアレイ気象レーダーを用いた
最新の気象予測

…………… 楠 研一

≫ 2014年広島土砂災害を教訓とする
ために

…………… 横山 俊治

≫ 2013年伊豆大島における土砂災害に
学び今後に備える

…………… 曾根 好徳・寺田 悠祐・飛田 健二

≫ 2011年台風12号による紀伊山地
豪雨による斜面崩壊の実態

…………… 千木良 雅弘

≫ 道路分野の土砂災害

…………… 浅井 健一

≫ 横浜市のがけ地総合対策

…………… 久松 義明・團野 雄介・
清野 修・渡部 匠・木口 彩

教養読本

≫ 植生による斜面安定効果

…………… 稲垣 秀輝

やさしい知識

≫ 改正土砂災害防止法

…………… 山口 和也

基礎技術講座

≫ 土壌・地下水汚染調査における試料採取(その1)

…………… 高木 一成

巻頭言	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 土砂災害の防止・軽減への取り組み 国土交通省水管理・国土保全局砂防部長 西山 幸治 ……1
総論	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 土砂災害への備え 応用地質株式会社エンジニアリング本部技師長／ 岐阜大学客員教授／山梨大学工学部非常勤講師 上野 将司 ……4
小特集	<ul style="list-style-type: none"> ■ 土砂災害 ≫ フェーズドアレイ気象レーダーを用いた 最新の気象予測 楠 研一 ……10 ≫ 2014年広島土砂災害を教訓とするために 横山 俊治 ……16 ≫ 2013年伊豆大島における土砂災害に学び今後に備える 曾根 好徳・寺田 悠祐・飛田 健二 ……22 ≫ 2011年台風12号による紀伊山地豪雨による 斜面崩壊の実態 千木良 雅弘 ……28 ≫ 道路分野の土砂災害 浅井 健一 ……32 ≫ 横浜市のがけ地総合対策 久松 義明・團野 雄介・清野 修・渡部 匠・木口 彩 ……36 ≫ 植生による斜面安定効果 稲垣 秀輝 ……43 ≫ 改正土砂災害防止法 山口 和也 ……49 ≫ 土壌・地下水汚染調査における試料採取 (その1) 高木 一成 ……53 ≫ 緊急災害における応急対策事例 岩木 雅史 ……57 ≫ 群馬県富岡市 群馬県立自然史博物館 渡辺 寛 ……61 ≫ 日本一の棚田米 嘉茂 美佐子 ……63 ≫ 洞爺湖有珠山ジオパーク ～変動する大地との共生～ (北海道) 横田 寛 ……65 ≫ 大型降雨実験施設を用いた斜面防災研究と 今後の方向性 酒井 直樹 ……67
教養読本	
やさしい知識	
基礎技術講座	
私の経験した現場	
各地の博物館巡り	
大地の恵み	
各地に残すべき地形・地質	
研究所からの報告	
	<p>全地連「技術フォーラム2015」について ……71</p>
会告	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 「ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱・ 保管要領 (案)・同解説」の公開について ……76 ≫ 「改訂3版 地質調査要領」の発行および「地質調査 要領説明会」の開催 ……76 ≫ 地質情報管理士 登録更新について ……77 ≫ 平成27年度上半期の事業量 389億円 ……77

地質調査 '16 第1号 (通巻145号) 内容 (予定) 平成28年4月発行

小特集テーマ

火山災害

火山災害に対する取り組み

わが国の火山災害とその対策

御嶽山噴火 (2014年)

口之永良部島噴火 (2015年)

箱根大涌谷噴火 (2015年)

火山監視・観測体制について

火山砂防事業としての火山防災対策

日本火山学会における火山防災への取り組み

*上記のタイトルは仮称です。執筆者により変更することがあります。

土砂災害の防止・軽減への取り組み

にしやま こうじ*
西山 幸治*

Key Word 土砂災害防止法, 広島災害, 土砂災害対策, 砂防堰堤, 警戒避難, 深層崩壊, 火山噴火, 地震

1. はじめに

多様な自然災害のうち、土砂災害はもっとも人的被害につながりやすい災害のひとつと言える。昨年広島で発生した土砂災害は都市周辺の土砂災害に対する脆弱さをまざまざと見せつけた。国土交通省では、人命を守ることに主眼を置き、ソフト対策を充実させるために土砂災害防止法を改正した。改正土砂災害防止法は平成27年1月18日に施行され、広島災害の教訓として、土砂災害が差し迫った時に住民の早めの避難につながる情報を住民と共有するための取り組みがスタートした。

我が国は、もとより急峻で脆弱な脊梁山脈を中心として土砂生産が盛んで、多発する地震や火山活動もあり土砂災害発生のポテンシャルが高い。ハード対策においては、気候変動による豪雨の増加などにより従来とは異なったステージに対する対策が必要となってきている。平成25年の伊豆大

島での火山地域の土砂災害への対応や、平成23年に紀伊半島で発生したような深層崩壊への対応など、近年の土砂災害の特色を踏まえた対応が急がれる。加えて、近年多発する地震や活発化する火山活動に起因して発生する土砂災害も含め、土砂災害に対する各種研究・技術開発を進める必要がある。

さらに、災害発生時の対応能力の向上や避難勧告等に関するスキルの向上など、国と地方公共団体の連携はもとより、産官学が土砂災害防止という共通の目的意識のもとに、危機管理体制の強化を図ることが従来に増して求められている。

2. 土砂災害防止法の改正

昨年8月20日の広島市北部での土砂災害の被害状況に鑑み、昨年の臨時国会において、改正土砂災害防止法は衆参両院でいずれも全会一致で可決



写真-1 平成26年8月豪雨による広島市北部での土砂災害

*国土交通省水管理・国土保全局砂防部長

され、本年1月18日に施行された。

法改正の背景としては、土砂災害警戒区域の指定が遅れており、住民に土砂災害の危険性が十分に伝わっていないこと、土砂災害からの避難勧告の基準が明確にされていないこと、さらには避難場所や避難経路が危険な区域内に存在するなど土砂災害からの避難体制が不十分な場合があることなどがあげられた。

そのため、まずは危険な箇所を明示するため、危険な範囲を確定する基礎調査が終了した段階でその結果を公表することを義務づけることとした。また、避難勧告の発令に資する情報として、土砂災害警戒情報を法律に位置づけ、都道府県知事は、土砂災害警戒情報を関係市町村の長に通知し、一般に周知の措置をとることを義務付けている。

次に、避難勧告の解除の際にも市町村長からの求めに応じて国土交通大臣、都道府県知事が必要な助言を行うこととした。さらに、住民に安全に避難してもらうために市町村地域防災計画へ避難場所、避難経路に関する事項等を明示するとともに、土砂災害警戒区域内の社会福祉施設、学校、医療施設等に対する土砂災害警戒情報等の情報伝達について定めることとしている。

今回の法改正では国による市町村への援助も明記している。国土交通大臣は従来から災害発生時には様々な形で市町村支援を行ってきているが、これらを法律に努力義務として位置づけている。

上述の土砂災害対策の推進には、ハザードマップの作成・配布、防災訓練の実施など他の多くの施策に取り組む必要がある。法改正を契機にこれらの諸施策が効果的に行われ、土砂災害の犠牲者をなくすために、地域住民、民間企業、大学、研究機関、行政等と一緒に努力していかなければならない。

3. 土砂災害の予知予測と住民避難

警戒避難体制を機能させるには、「いつ」「どこ」が危ないのかという情報が必要である。今回の土砂災害防止法の改正により、土砂災害警戒情報が避難勧告等の発令に資する情報として法律に位置づけられ、正式に「いつ」危ないかを示す情報となった。一方、基礎調査結果の公表や土砂災害警戒区域の指定は「どこ」を示す情報である。この2つの情報が適宜適切に住民に提供され、住民避難に役立てられるため、国土交通省や気象庁ばかりでなく内閣府や消防庁でもこのような体制整備を後

押しする検討が展開され、行政全体の重要課題として土砂災害対策が考えられるようになってきた。土砂災害を予知予測し、住民避難につなげ、土砂災害による犠牲者をなくすという目標に一步步近づいていると感じている。

しかしながら土砂災害警戒情報もいわゆる“空振り”が多く、これだけでは避難勧告の判断は難しいとのご意見をいただくことがしばしばある。また、全市域全住民に避難勧告が発令され、「どこ」が危ないのかという情報を欠いた運用も見られる。結果として住民の実際の避難行動に必ずしもつながっていない実態を見過ごすことはできない。また、土砂災害は洪水や高潮などの災害とは違った特徴を持つことから安易な垂直避難に頼るべきでないことなど、的確な避難に必要な知識の普及も重要であると考えている。

国土交通省では、平成27年4月に「土砂災害警戒避難ガイドライン」を改訂し、情報収集、伝達、避難勧告、避難場所、避難路など具体的な警戒避難体制の構築に資する考え方や情報をとりまとめた。同様に内閣府においても本年8月に「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」が改訂され、土砂災害に対してはできるだけ地域を絞って避難勧告等を発令することなどの考え方が明らかにされた。これらの資料の意図するところが広く理解されることを切に望むところである。

4. 豪雨に起因する土砂災害への課題と対応

昨年の広島災害では、あらかじめ整備された砂防堰堤が土石流を捕捉し、下流の被害を防止・軽減した事例も報告された。基礎調査の進捗により土砂災害警戒区域として指定されるべき区域の総数は全国で65万区域と推計されている。これらの箇所に効率的に砂防堰堤等の施設整備を進め、人命と財産を保全していくことも重要な課題である。要配慮者利用施設、防災拠点を保全し人命を守る土砂災害対策、重要交通網にかかる土砂災害対策などを重点的に進めることとしている。

また、今後予想される気候変動による土砂災害への影響を考え、その適応策を検討することが重要になっている。大雨や短時間強雨の発生頻度が増加することにより土砂災害の発生頻度が増加する、深層崩壊等の計画規模を上回る土砂移動現象が発生する頻度が増加する、さらには台風による風倒木の発生等と相まって流出する流木が増加する等が指摘されている。

平成 23 年紀伊半島を襲った台風第 12 号により、多くの深層崩壊が発生した。総雨量 1,800mm を上回る記録的大雨が深層崩壊を引き起こした。最近の降雨パターンの変化により、従来よりも深層崩壊の発生可能性が高まっていると思われる。この深層崩壊が想定される地域については、ハード対策についても袖部の鉄筋補強や砂防ソイルセメント材の活用などの工夫により、計画上の土砂量を超えても施設が壊れにくい構造としていくことが重要である。

また、最近の災害では流木が被害を助長する傾向がある。表層が広域にわたって崩壊した平成 25 年の東京都伊豆大島などの災害での流木被害は顕著であった。流木そのものが破壊力を持つだけでなく、流木が絡み合いダムアップし、被害エリアを拡大するなどの事例も各地で報告されている。透過型砂防堰堤や流木止などの活用により、土砂だけでなく流木によって引き起こされる被害の軽減に努めるとともに、里山砂防やグリーンベルト事業などについても地域住民と連携しながら取り組んでいく必要がある。

さらに伊豆大島で発生した土石流災害では、尾根を乗り越え、別の流域を流下した土石流が被害を拡大させた。不明瞭な谷地形が多く、危険性の高い火山地域を国が調査し、特に危険な地域を抽出する調査を進めている。尾根乗り越えの危険箇所、氾濫危険範囲といったリスク情報として把握し、ハード・ソフト両面の対策に活用していくこととしている。

5. 火山活動や地震に起因する土砂災害への課題と対応

火山噴火や地震に起因する土砂災害への対応も今後一層重要になってくる。昨年 9 月 27 日に長野・岐阜県境の御嶽山が噴火し、死者・行方不明者 63 名という戦後最悪の火山災害となった。火山活動が活発化した折の緊急的な対応で被害を最小限に止める「火山噴火緊急減災対策砂防計画」の策定が全国各地で進められている。平常時からの監視・観測機器の設置などの警戒避難対策と合わせて、噴火に起因する土石流等を制御するための緊急対策用資材の事前準備等を行っておくことが重要で、個別の活火山の特色を踏まえた対応が求められる。

また、火山が噴火した時には、市町村長による避難指示等に役立てるために、土砂災害防止法に基づいて緊急調査を行い、降灰の堆積状況等により土石流による被害が及ぶおそれのある土地の区

域や時期を、都道府県及び市町村に通知することとしている。この緊急調査をこれまで経験したことがない噴火規模や態様であっても確実に機能できるように実践的な準備を行う必要がある。

さらに、御嶽山噴火災害の教訓等を踏まえ、活動火山対策の強化を図るため、火山地域の関係者が一体となった警戒避難体制の整備等を進める改正活動火山対策特別措置法が本年 7 月に公布された。国が指定する火山災害警戒地域において、火山ごとの地形や噴火履歴等を考慮しつつ噴火に伴う土砂移動現象と及ぼす範囲の検討を行ったうえで、避難計画等が定められることとなる。火山ごとに設置される火山防災協議会には、地方整備局が必須構成員となっている。

このほか、平成 16 年の中越地震や平成 23 年の東北地方太平洋沖地震では、地震に伴い流域内に地すべりや深層崩壊が発生し河道閉塞が生じた。地震発生時には直後から深層崩壊などの流域内の土砂移動状況の把握を迅速に進めることが重要である。夜間や降雨時等の上空からの調査が行えない場合の速やかな状況把握は課題であったが、近年では、振動計や合成開口レーダーを活用した大規模崩壊監視警戒システムの開発及び整備を進めており、初動対応の迅速化に大いに寄与すると期待している。

6. おわりに

本年 9 月、台風 18 号の影響を受けた豪雨により鬼怒川等多くの河川で破堤や氾濫が発生し、広い範囲に甚大な被害が生じたほか、全国で 170 件を超える土砂災害が発生した。相次ぐ自然災害は連日のように報道され、国民の不安もますます高まりつつある。また、平成 26 年の広島市での土砂災害は日常の生活を営んでいた人々が瞬時にして命を奪われ、平穏な生活を突然破壊されるという土砂災害の悲惨さを広く認識させる機会となった。

近年相次ぐ大規模な土砂災害を振り返ってみると、発生メカニズムが複雑で対策にも様々な困難が伴い、悲惨な被害をもたらすという土砂災害の特徴を再認識させられる。改めて人命や住民の暮らしを守る対策を強化し、向上させる努力は歩みを止めることなく継続しなければならないとの思いを強くしているところである。

関係各位のさらなるご支援とご協力を心よりお願い申し上げます。

土砂災害への備え

うえの しょうじ*
上野 将司*

Key Word 土砂災害, 災害の地域特性, 危ない地形, 通行規制, 警戒避難, 二次災害

▼1 はじめに

わが国は山地や丘陵が国土の7割以上を占める斜面国であり、その地質は地殻変動によって多数の断層や褶曲が存在し脆弱である。そして毎年襲来する台風や前線の豪雨によって、斜面崩壊や洪水が頻発して人々に被害を与える災害国でもある。このような崩れやすい国土を評して地質学者の藤田和夫は「日本砂山列島」と呼んだ¹⁾。

一方、都市域の拡大にともなう低地や丘陵部の宅地化、臨海部の開発、山間部を通過する主要交通路の整備などが進み、人間活動の場が以前よりも災害を受けやすい状況になっている。

伊豆大島豪雨災害（2013年10月）や広島豪雨災害（2014年8月）の現場を見ると、被災地は比較的新しい住宅地で、土石流が繰り返して形成された小型扇状地である。したがって、今後も土石流が発生しやすい危険な場所である。平野においても東北地方太平洋沖地震（2011年3月）の際に、地盤の液状化被害を受けた千葉県浦安市や、本年9月の鬼怒川堤防決壊による洪水被災地についても、液状化や浸水被害を受けやすい土地であることは地形図を見れば容易にわかる。

生活の場が災害を受けやすい危ない土地であることや、ハード対策には限界があることを住民や自治体が認識すべきである。その上で異常時における適切な避難等の対応を考えておくことが望ましい。

本稿では土砂災害について、地域特性、地形から見た危険な土地、身を守るためのソフト対策や必要とされる知識、今後の課題と展望などについて話を進める。

▼2 土砂災害の地域特性

土砂災害をもたらす土砂移動の現象は、素因になる地形・地質を反映して形態や規模に地域特性が認められる。以下には同様な災害が地域で繰り返して発生する点について具体的な災害例で見していきたい。

①土石流

昨年8月の広島豪雨災害では土石流によって74名の人命が失われ、多数の住宅が被災した。同様な土石流災害は、西側に隣接する地域において、15年前の1999年6月の豪雨時に発生している。皮肉にも1999年の災害を契機に施行された土砂災害防止法は、昨年の災害を考慮して改正された。広島の災害は、谷頭部の0次谷での表層風化帯の崩壊が土石流の引き金になって溪流を流下し、扇状地の住宅等に被害を与えたものである。崩壊箇所の地質は、広島県に広く分布する花崗岩だけではなく、硬質なホルンフェルス（付加体）や流紋岩であった。

香川県小豆島では1974年7月と1976年9月の豪雨時に、花崗岩主体の山地斜面で発生した崩壊が引き金になって土石流が発生し、山麓の集落が被災した。また、鹿児島市竜ヶ水地区では1977年6月と1993年8月の豪雨時に、カルデラ壁の0次谷急斜面が多くの箇所で崩壊して土石流になり、国道・鉄道・住宅が被災している。

そのほか、桜島や焼岳のような活動的な火山では、ルーズな噴出物が広く分布するため、豪雨時に繰り返し土石流が発生している。

②表層崩壊

表1は横浜市地域防災計画や、横浜市記者発表資

*応用地質株式会社エンジニアリング本部技師長／岐阜大学客員教授／山梨大学工学部非常勤講師

料をもとに作成した豪雨時の斜面災害履歴である。災害形態は表層崩壊（崖崩れ）であり，地すべり・土石流・深層崩壊は発生していない。横浜市では1950年代に台地・丘陵へ宅地化が及ぶとともに崖崩れが急増した。1970年以降は斜面对策の進捗などで崖崩れが減少，1990年以降になると斜面自体を利用したマンションの建設などで自然斜面が減少してがけ崩れは激減した。しかし昨年10月の豪雨では小規模な崖崩れが多発し，2名の死者が出ている。

同様な災害形態は，首都圏では川崎市や多摩地域での丘陵や台地の集水地形を呈する斜面を中心に認められ，豪雨時に小規模な崖崩れが多発している。

表1 横浜市の斜面災害の履歴

年月	気象	崖崩れ数	死者数	総雨量 (mm)
1966.10	低気圧	74	7	104
1958.9	狩野川台風	1029	61	321
1961.6	梅雨前線	443	22	257
1966.6	台風	850	32	267
1970.7	梅雨前線	115	3	200
1973.11	低気圧	141	0	214
1974.7	梅雨前線	149	0	176
1976.9	台風	158	1	161
1982.9	台風	306	1	376
1991.9	台風	45	0	253
1994.8	寒気流入	17	0	263
2014.10	台風	(108)*29	2	403

*カッコ内は極小規模を含む

③地すべり

地すべり多発地域は地質分布との関係が顕著に認められる。地すべり地の多い地域は，古第三紀層や新第三紀層の分布する東北・北信越・中国地方日本海側・九州北西部，変成岩の分布する四国や紀伊半島などである。

地すべりは長期間移動を継続する場合があります，代表的なものとしては，大阪府と奈良県の県境付近に位置する亀の瀬地すべりが知られる。地すべりは幅1km，長さ1.1km，すべり面深度70mの大規模なもので，1932年に約40m移動した後に小康状態になったが，再び1967年に約20m移動して，末端に位置する大和川の河床や対岸を隆起させている。

④深層崩壊

紀伊半島豪雨災害（2011年9月）では十津川村を中心に，多くの深層崩壊と河道閉塞が発生して一帯に大きな被害を与えた。地形は急峻な斜面からな

る壮年期山地であり，地質は白亜紀付加体が主体である。全く同じ地域において，同様な災害が明治期の1889年8月に発生している。この時にも深層崩壊と河道閉塞が多数発生し，十津川村は壊滅的な被害を受けたため，被災者2691人が北海道に新十津川村を開いて移住するほどであった。

⑤岩盤崩壊

北海道古平町で1996年2月に発生した岩盤崩壊は，国道229号の豊浜トンネル坑口部を押しつぶし，通行中のバスと乗用車が被災して20名が亡くなった。地形は急崖の海食崖，地質は割れ目の少ない火山砕屑岩である。北海道西海岸は同様な地形地質条件にあるため，1981年12月の石狩市雄冬岬の岩盤崩壊で国道231号のトンネル坑口部埋没，1993年7月の岩内町の岩盤崩壊で国道229号の洞門上に崩壊岩塊が堆積，1997年8月の島牧村の岩盤崩壊で国道229号第二白糸トンネル坑口部埋没など，同様な岩盤崩壊が発生している。

岩盤崩壊の発生場は急崖斜面であり，海食崖のほかに内陸部の峡谷部があり，北海道をはじめ中部山岳地域や四国山地での被災例がある。

⑥落石

徳島県三好市の大歩危峡において，2000年1月に国道32号の上方100mの斜面から重量1.9トンの岩塊が落下した。岩塊は国道の防護柵を突破して道路に落下，幸いにして通行車両の被害はなかったが，反対側の建物に軽微な被害を与えた。一帯は風光明媚な峡谷部で，地質は砂質片岩や緑色片岩である。ここでは溪流からの土石流の履歴もあるが，落石が繰り返して発生しており，国道では落石対策が進められている。

ここに挙げた落石例は降雨の影響がないものであるが，豪雨時に発生した表層崩壊に伴って，崩土に含まれていた岩塊だけが道路上に落下した例も多い。

3 危ない地形の場所

各種の土砂移動と災害について，事例をあげて地域特性が認められる点を概観してきたが，ここでは地形に着目して土砂災害の危険な場所について説明する。

①0次谷や集水地形と遷急線

表層崩壊は，豪雨時に表流水の集中しやすい0次谷や，斜面の集水地形を呈する場所で多発する。一

例として広島県庄原市の山間部で2010年7月の集中豪雨時に発生して土石流化した表層崩壊の分布を図1に示す。地質は一部に新期の堆積岩が分布するが、大半は流紋岩である。表層崩壊は0次谷や集水斜面で発生しており、別の見方をすればその位置は遷急線直下付近にあたる。

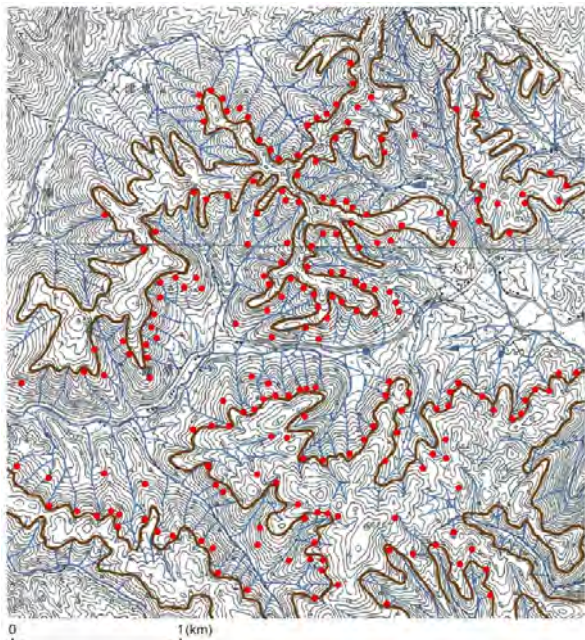


図1 2010年7月の広島県庄原災害の表層崩壊発生位置図(黒点:崩壊発生位置,太線:遷急線)

このように表層崩壊は、表流水が集まる斜面で発生しやすいのであるが、斜面の傾斜と表層風化部の層厚とも密接な関係がある。図2は斜面で行った簡易貫入試験によるNd=5(図ではD5と表記)の分布深度を風化等による土層深と考え、試験位置の斜面傾斜との関係を示したものである。この図から図中の曲線に示す様に、斜面傾斜に応じた限界土層深のあることがわかる。

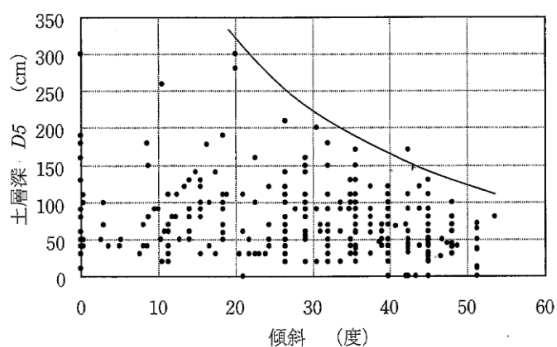


図2 斜面傾斜と土層深の関係²⁾

このことから、0次谷や集水斜面で、簡易貫入試験や、更に簡便な土層強度検査棒または検土杖を使用して土層深(風化部等の層厚)がわかれば、斜面の安定度を把握することができる。

②沖積錐

沖積錐は何回も繰り返す土石流によって溪流出口に形成された小型扇状地であり、今後も土石流に見舞われる可能性の高い土地である。昨年8月に広島市で土石流が多発して甚大な被害を被った地域の地形を図3に示す。山麓の破線の等高線で示す緩斜面にあった宅地の多くが被災した。この緩斜面は各溪流からの土石流で形成された沖積錐が複合したものである。図4はこの被災地の北側で発生した土石流で、太田川の河床に沖積錐が形成された状況である。沖積錐は太田川に侵食されて短期間で消滅してしまうが、図3のような場所では、繰り返し発生した土石流によって沖積錐が成長し、現在の地形が形成されてきた。図3の平滑な緩斜面の地形上では宅地として安全な場所はほとんどなく、被災後に大規模に進められている砂防堰堤等のハード対策の整備が必須となる。

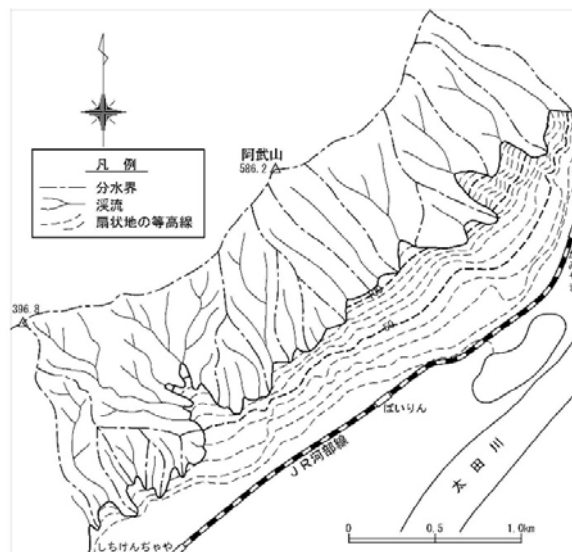


図3 2014年8月広島土石流被災地の地形



図4 図3の北側で太田川に流出した土石流

③地すべり地形

地すべりは繰り返して変動する場合が多いため、特徴的な地すべり地形を形成する。このため、地形図の読図や空中写真判読によって地すべり地形を抽出することができる。地すべり地形は、明瞭なものから不明瞭なものまでさまざまである。全国の地すべり地形については、国立研究開発法人防災科学技術研究所の研究者達の長年にわたる地道な空中写真判読によって、地形図上に整理され、図5に示すような地すべり地形分布図として公開されている³⁾。開発行為や防災対策に際しては、地形図の読図や空中写真判読を行うべきであるが、地すべりに関してはこれを参考にするによい。ただし、地すべり地形は変動状況まで示すものではなく、活動中のものや運動を停止しているものなど、さまざまな地すべりが含まれる。また運動停止中の地すべりでも開発行為によって、再活動することがあることに留意すべきである。

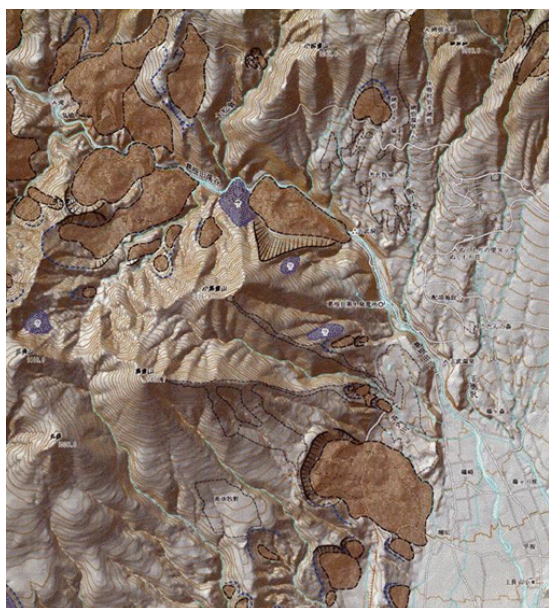


図5 地すべり地形分布図の例³⁾

④斜面の不安定化を示す地形

前述の紀伊半島豪雨災害で多発した深層崩壊については、災害前の空中写真判読によって赤谷や熊野地区など、いくつかの崩壊について不安定化の兆候が確認できる。兆候とは、尾根部の線状凹地(図6)、斜面のはらみだし、山向き小崖、斜面下部の小崩壊などの重力変形地形である。崩壊箇所のいくつかは、範囲が一致するわけではないが地すべり地形分布図にも示されている。千木良⁴⁾は災害前の航空レーザ測量地形図について詳細に検討し、深層崩壊の前兆として重力変形があり、深層崩壊の発生場所の予測が可能であることを示した。重力変形地形としては、

上記のほか山頂の陥没、斜面下部の浸食や崩壊を下部切断として強調している。

深層崩壊の発生場は、微細な地形表現ができる航空レーザ測量地形図によって重力変形地形の位置や分布を把握することができるため、予測可能な状況になりつつある。



図6 線状凹地(二重山稜)の例

⑤岩盤急崖斜面

筆者らが既往の岩盤崩壊16事例を整理した結果⁵⁾によると、斜面傾斜は60°以上が14事例と多く2事例が50°となっている。これらの岩盤崩壊は、地形的には海食崖や峡谷斜面で発生している。また、均質なモデル斜面で行われた数値解析結果⁶⁾では、引張り応力域が斜面傾斜45°では発生しないが60°では発生が認められている。したがって岩盤崩壊の発生が危険な斜面は、傾斜50°以上の急崖斜面をなす海食崖や峡谷斜面ということになる。

⑥河床・海岸における岩塊の分布

花崗岩類が分布する山地を空中写真で見ると、不安定な岩塔や岩塊群の分布が映し出されていることがある。このような直接的な落石発生個所の抽出に加えて、空中写真に写された河床や海岸に着目すると、角張った岩塊が散在する場合がある。



図7 河床に分布する岩塊は落石によるもの

図7の河床に見られるいくつかの巨礫は右手の斜面上部から落下した岩塊である。斜面は植生に覆われて空中写真では落石源の直接の判読ができないが、河床に分布する岩塊からどちらかの斜面が落石危険斜面であることの予測ができる。

4 土砂災害から身を守る

土砂災害から身を守るためには、ハード対策には限界があることを認識し、警戒避難や通行規制等のソフト対策を考慮する必要がある。また、当初の災害に引続いて起こる二次的な災害を受ける恐れについても注意する必要がある。

(1) 通行規制・警戒避難等の対策

土砂災害を回避するため、道路の通行規制、鉄道の運転規制、住民への避難勧告などが行われる。これらの規制等は以下に述べるような雨量指標に基づいて実施される。

① 連続雨量による道路の通行規制

1968年8月の集中豪雨で発生した土石流により、国道通行中の観光バス2台が巻き込まれて飛騨川に転落し、104名の犠牲者を出す大惨事になった。この災害を契機に、道路では異常気象時の事前通行規制が行われることになり、対象区間を設定して今日まで続けている。

通行規制方法は、連続雨量に基づいており、災害の地域特性を考慮して区間ごとに閾値が決められている。

② 連続雨量と時間雨量による通行規制

高速道路では一般道に比べて短時間で通行規制が可能であるため、連続雨量と時間雨量の両方で通行規制を行っている。この方法は鉄道の運転規制でも行われており、連続雨量だけで規制する場合に比べて災害回避率が高くなる。このため、一般国道でも平成27年度から、全国的にモデル区間を選んで試行が開始された。

③ 土砂災害警戒情報に基づく避難

最近の局所的な集中豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）による災害を考慮して、降雨による土砂災害の危険性が高まった場合に、気象庁と都道府県が共同で土砂災害警戒情報を発表することになった。平成26年度の土砂災害防止法の改正によって、土砂災害警戒情報が発表された際、市町村長は避難勧告を発令することが基本とされている。

土砂災害警戒情報は、図8のような判定図を用いて、予測降雨量を参考に2～3時間後に基準値を超える場合に発令される。

前述の高速道路や鉄道の場合は、図8の横軸は連続雨量であったが、ここでの横軸は、気象庁が開発した3段タンクモデルから計算される土壌雨量指数になっている。土壌雨量指数は地盤中の水分量をイメージしたもので、全国5kmメッシュ毎に計算されている。

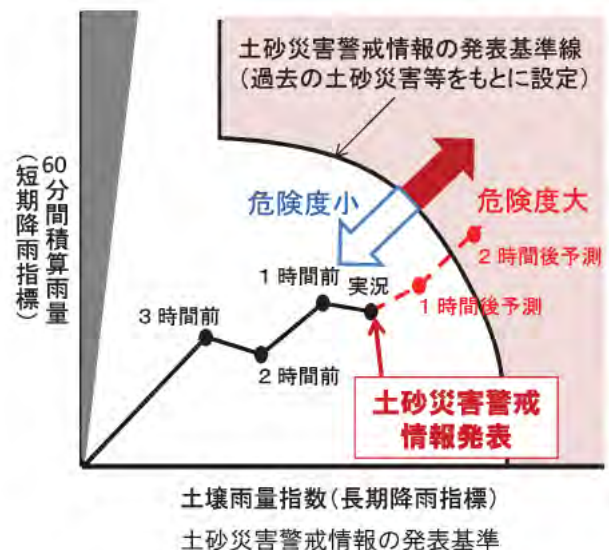


図8 土砂災害警戒情報の発表の説明図⁷⁾

(2) 二次災害の回避

土砂災害発生後、二次的な土砂崩壊などが発生して二次災害につながる場合がある。注意したいことで、二次災害としては次のような事例がある。

① 高知県繁藤の斜面崩壊

1972年7月の集中豪雨で警戒中の消防団員1名が小崩壊に巻き込まれたため、多数の人が救出作業にあたっている最中、大崩壊が発生して59名が犠牲になり、合計60名が死亡した。

② 川崎市高津区の崖崩れで住宅埋没

1989年8月の豪雨で住宅背後の崖崩れで住宅が埋没し、住民3名が生理めになった。これを救助しようとした消防署員を崩壊土砂が襲い、3名が死亡し、住民と合わせて6名が犠牲になった。

③ 上信越自動車道のり面崩壊

2001年9月の豪雨で高さ10mのり面が小崩壊して土砂が本線に流出したため、管理者が本線から確認中に再度崩壊が発生して5名が被災、そのうち2名が死亡した。

④浜松市原田橋岩盤崩壊

2015年1月に橋梁端部の斜面で落石があったため、管理者2名が斜面下の橋梁上から視察中に、大きな岩盤崩壊が発生して橋梁とともに河床に落下して死亡した。

いずれの災害も二次的な崩壊を予測せずに対処したため、土砂災害の犠牲になったものである。これらの二次災害を回避するために共通していえることは、次の点に留意することである。

- ①崩壊土砂の到達距離は、実態調査結果⁸⁾の90%が崖高と同じ距離まで到達し、最大で崖高の2倍程度まで到達すること。
- ②傾斜60°以上の急崖斜面では、落石や小崩壊等の兆候が認められた場合、崩壊までの余裕時間は1日以内と考えるべきである⁹⁾。
- ③地すべり地や不安定化した斜面では、末端部の両側が急速な変位を生じる場合や、急速に崩壊することがある。逆な立場に立つと、顕著な移動部分に監視や調査の注意が向いていると、背後の大きな動きに気が付かないことがある¹⁰⁾。

5 今後の課題と展望

今後の土砂災害対策として、ソフト対策を取り上げて課題と展望について述べる。

課題については、土砂災害を受けやすい危険な土地に住む住民の意識改革が求められる。昨年の広島土石流災害のように、被災地は土石流が繰返して形成された土地である。このような土地が宅地として開発される場合には、十分なハード対策が必要と思われるが、対策が後追いになっているのが全国の実態である。住民や行政は土砂災害の可能性について関心を持ち、適切な避難計画を考えておくべきである。

広島土石流災害と昨年10月の横浜市域の崖崩れ災害では、いずれも豪雨時に住宅裏の崖が崩壊し、1階崖側の部屋に崩壊土砂が流入して死亡事故につながった。最近マスコミなどが、垂直避難と称して崖から遠い2階の部屋への避難を呼びかけているが、土砂災害の多い山間部の集落では古くから身を守るために行われている。このような自主避難行動が忘れられている。

今後の展望については、次の2点がある。

①土砂災害の警戒指標に表層地下水位観測の追加

現状は降雨指標によって、道路の通行規制や住民の避難勧告が行われている。これに加えて表層地盤の地下水位を実際に測定して、避難等の判断に加えることが望ましい。

水位計の設置位置は、0次谷や集水斜面を対象にして、土層厚さを確認して危険度の高い位置を選定する。現状で課題になっている避難や通行規制の解除指標としても有効で、土壌雨量指数の検証にも利用できる。道路斜面では、1km間隔程度の設置、住民避難を目的にすると数km²毎の設置が想定される。

②深層崩壊発生場の抽出と計測監視

国土交通省では全国的な調査によって、2010年8月に深層崩壊推定頻度マップ、2012年9月に深層崩壊溪流レベル評価マップを公表してきた。これらの成果は流域における深層崩壊の相対的な危険度を表したものであるが、次の段階では深層崩壊の危険箇所そのものを抽出することが求められる。深層崩壊の恐れのある斜面は、重力変形地形などの兆候があると思われるので、微地形を詳細に表現した航空レーザ測量地形図をもとに空中写真等を参考に抽出が可能と考える。

一方、衛星による広域リモートセンシングによって、斜面変動の有無を調査する取り組みがなされるようになった。変動する斜面が把握できれば、調査や監視対象として優先的に扱う方向になろう。

抽出された深層崩壊危険斜面に対しては、地表変動、地中変動、地下水変動を計測機器によって監視することが望ましい。斜面変動が認められる場合には、計測記録をもとにした警戒避難や通行規制等が可能である。ただし、斜面変動が急速に始まり、数時間で崩壊に至る場合もあるため、地下水水位変動で計測監視することが適切な斜面もあることに注意したい。

(参考文献)

- 1) 藤田和夫：日本列島砂山論，小学館，1982。
- 2) 飯田智之：技術者に必要な斜面崩壊の知識，鹿島出版会，p49，2012。
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部 HP <http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/pdfview/> (2015年10月16日確認)
- 4) 千木良雅弘：深層崩壊，近未来社，pp.37～74，2013。
- 5) 上野将司：危ない地形・地質の見極め方，日経BP社，p.167，2012。
- 6) 川本眺万・藤田益夫：自由斜面の変形と応力状態について，土と基礎，Vol.16，No.8，pp.37～46，1968。
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部 HP <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/kaiseitorikumi.pdf> (2015年10月16日確認)
- 8) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 HP http://dil.bosai.go.jp/workshop/O1kouza_kiso/houkai/slide.htm (2015年10月16日確認)
- 9) 小寺忠広・上野将司・安藤伸：斜面崩壊の前兆現象に関する検討，第44回地すべり学会研究発表会講演集，pp.517～520，2005。
- 10) 上野将司：危ない地形・地質の見極め方，日経BP社，p.30，2012。

フェーズドアレイ気象レーダー を用いた最新の気象予測

くすのき けんいち*
楠 研一*

K
ey Word

フェーズドアレイ気象レーダー, 集中豪雨, 局地的大雨, 竜巻

1 はじめに

—今必要とされている気象情報はなにか—

集中豪雨, 局地的大雨, 竜巻などの激しい大気現象がもたらす災害を防止・軽減できるようにならないだろうか? そう思って私たちは, フェーズドアレイ気象レーダーを用いた研究に取り組んでいる。

研究の背景には, 近年報告されている顕著な気象災害がある。例えば2014年8月20日, 集中豪雨に伴って発生した土砂災害では広島市で死者74名の人的被害が生じた。2008年7月28日には神戸市の都賀川で, 局地的大雨によりわずか10分で水位が1m30cm上昇し, 増水した川に流され5人が死亡した。2012年5月6日には藤田スケールF3の竜巻により, 茨城県つくば市で1人が死亡, 住宅など約300棟が損壊, 被害範囲は長さ17km, 幅約500mに及んだ。これらの現象を素早かつ確にとらえ, 災害リスクを減らすための気象予測情報が, 今必要とされている。しかし集中豪雨, 局地的大雨, 竜巻は急激に発達するため詳細に観測することは難しく, 不明点が多い。

フェーズドアレイ気象レーダーは, 従来のレーダーとは比較にならない速い観測スピードを持つため, これらの現象を高速で3次元的にとらえることができる。いずれはフェーズドアレイ気象レーダーがこれらの現象のメカニズムを解明し, 予測することができると私たちは考えている。

2 どのような時間スケールの大気現象を見たいのか

大気現象はそれぞれ特定の空間および時間のスケールを持つ。主な大気現象をこの2つのスケールをもとに並べると(図1), 空間スケールの大きい

現象ほど時間スケールが長く, さらに左下から右上にはほぼ直線状に配列されることがわかる。また大気現象は独立に発生しているわけではなく, ある現象はこの図で右上にある, より大きなスケールの現象の中に埋め込まれる形になっているケースが多く見られる。

積乱雲は10kmの空間スケールと数十分の時間スケールを持つ。その内部ではさらに小さい数kmおよび数分のスケールで気流の上昇や降水の形成が見られる。集中豪雨はそれより1回り大きい, 数十kmと数時間のスケールを持つが, 積乱雲が数多くの埋め込まれた積乱雲の集合体で, 内部は時々刻々変化している。竜巻は積乱雲に伴う現象で, 積乱雲より一回り小さいおよそ数十~数百mおよび数分のスケールを持つ。このように激しい大気現象は内部に埋め込まれている現象も考えると, 数分の時間スケールで見ることが必要がある。

これらの現象のメカニズムの詳細は未解明で, 気象学上の課題になっている。従来の気象レーダーでは, アンテナ1回転で1枚の画像しか得られず, 複数の断面を5~10分かけて取っているあいだに, これらの現象は大きく形を変えてしまい, 全体像を推測することができないからである。そのことがさらに予測技術の開発の遅れにつながっている。

このことを具体的に説明する。集中豪雨は, 数時間にわたって停滞する長さ数十kmに広がる降水域によって起こる。その内部は多様で複雑だが, 風上のある場所で新しい積乱雲が次々と発生しては風下に流されることが繰り返され, 降水域が同じような場所に維持されていると考えられている(バックビルディング現象)。集中豪雨をもたらす降水域の形成や維持の仕組みを理解するには, 目まぐるしく

*気象庁 気象研究所 気象衛星・観測システム研究部 研究室長

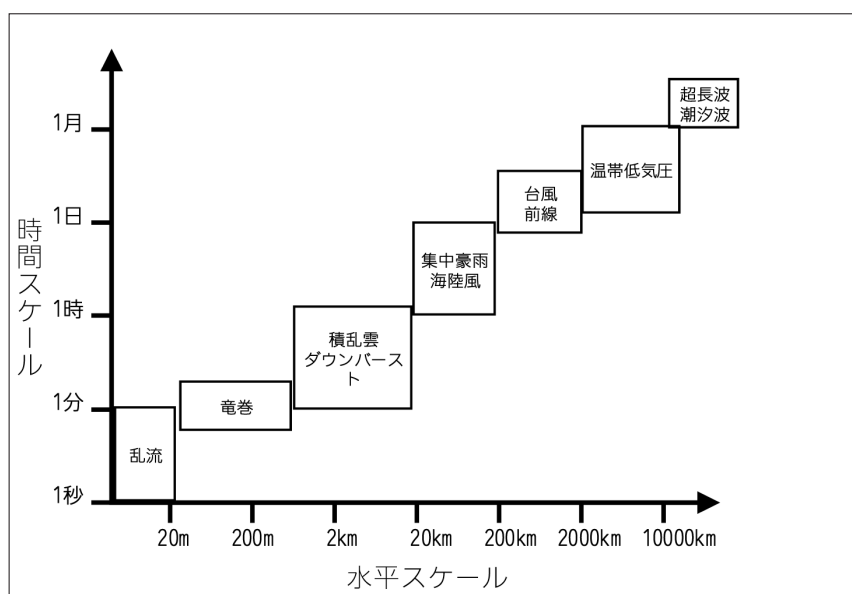


図1 いくつかの大気現象の水平スケールと時間スケール (Orlanski (1975) の図を修正したもの)

次々と発生する1つ1つの積乱雲とその内部に着目し、周辺の地形や風向・風速など、複雑に絡み合う集中豪雨の発生条件と関係づけながら、それらの移動や発達状況を見る必要がある。

局地的大雨は、短時間に狭い範囲で激しく降る大雨で、急速に発達する積乱雲がもたらす。その場所や時刻、規模を事前に予測することはできない。いくつかの事例で、上空に形成される数キロサイズの雨のかたまり（降水コア）が数分間で落下し、局地的大雨を引き起こすことがわかってきた。局地的大雨の前兆であるこの様子を3次元的に高速でとらえる手段があれば、新たな予測手法として使えるかもしれない。

竜巻は積乱雲とともなって発生する激しい渦で、多くの強い竜巻は、スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲に伴って生じる。スーパーセルの内部にある、直径2～10kmくらいのメソサイクロンという渦に伴う強い上昇気流が竜巻の発生・発達を助けていると考えられているため、メソサイクロンは竜巻のシグナルとして着目されている。しかしメソサイクロンには竜巻を発生させるものとそうでないものがある、その違いはわからない。地上付近から上空にかけておそらく数分で起こっている変化の様相をとらえることが必要である。

これまでのレーダーより飛躍的に速いレーダーでこれらのプロセスを観測し、次々と発生する積乱雲はどのようなプロセスで停滞する降水域を形成し集中豪雨を引き起こすのか、局地的大雨の何分前にどの高さから降水コアが落下するのか、どのようにしてメソサイクロンが竜巻渦に作用してその発達を促す

のか、それらの様子を目のあたりにできれば、現象のメカニズムをより理解でき、さらに発生・発達にかかわる重要な情報が得られ、予測技術の開発につながると考えられる。

3 フェーズドアレイ気象レーダー

雨粒や雪片などの降水粒子は電波を反射する性質を持っている。気象レーダーは、アンテナからビーム状の電波（マイクロ波）を発射し、その電波が降水粒子から反射されて戻ってくることを利用して降水を伴う現象を観測する機器である。

従来の気象レーダーとフェーズドアレイ気象レーダーの違いは、アンテナにある。従来のアンテナから発射される電波のビームは、太さが1～3°と大変細いため、アンテナを水平あるいは垂直に回転さ

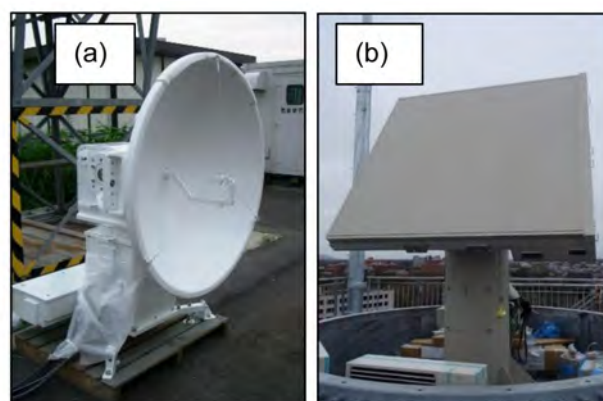


図2 気象レーダーのアンテナ
(a) 従来型 (b) フェーズドアレイ気象レーダー

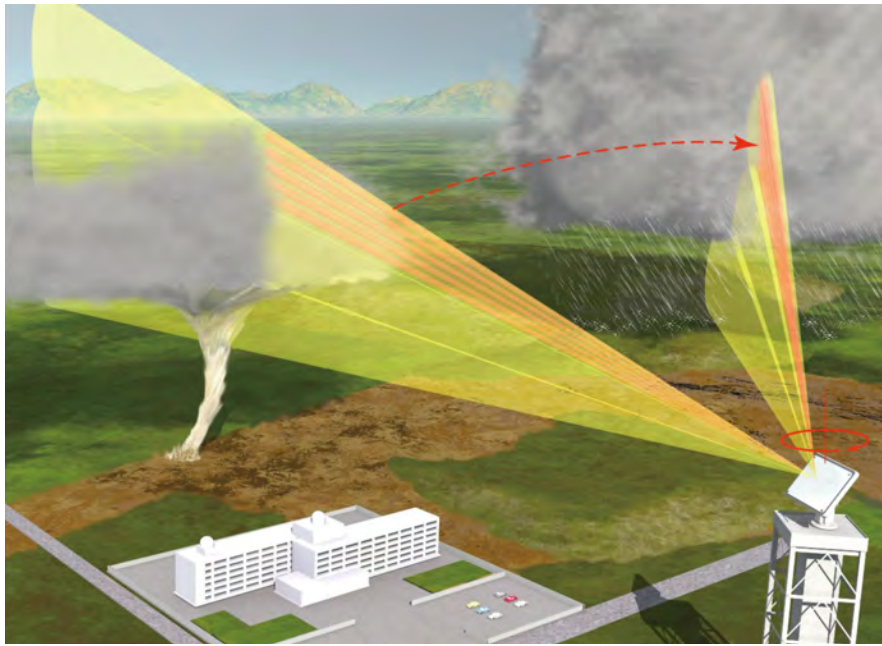


図3 フェーズドアレイ気象レーダーの観測イメージ

せ、1回転あたり1枚のスライスした断面を取りながら広い空間を走査（スキャン）して現象を観測している。最も多いアンテナ走査は、仰角を一定にし、1回転15～30秒かけて水平方向にアンテナを回転させる走査（PPI）を、仰角を少しずつ変えながら繰返し行う方法である。一連のスキャンに要する時間は、仰角の数とアンテナの回転速度によって決まる。降水現象は刻々と変化するので、一連のスキャンに要する時間は短いことが理想だが、仰角の数を減らしすぎると現象の全体像が再現できなくなる。一方、アンテナから単位時間内に発射される電波のパルス数には限界があるので、アンテナの回転を速くすると、観測対象へ届くパルス数が減り、測定精度が下がるジレンマがある。そのような背景から一連のスキャンに要する時間は5分から10分程度に設定されることが多い（たとえば30の仰角をスキャンするのに10分かかる）。

フェーズドアレイ気象レーダーは、仰角を変えるためのアンテナの上下方向の首振り機構をすばやく電子スキャンに置き換えたところが従来と大きく異なる。水平方向に回転するアンテナから幅の広いビームを送信し、デジタルビームフォーミング技術を使って狭いビームを受信することによって、複数の仰角を同時に受信する。アンテナの形状も違う。従来の気象レーダーはパラボラ型の丸いアンテナだが、フェーズドアレイ気象レーダーは数多くの細長いスロットアレイアンテナ素子を縦方向に128本という多数配置した四角い形状をしている（図2）。

このように従来はアンテナの首を上下に少しずつ動かしながらスキャンしていたため、現象の断面

30枚を取るのに5～10分かかるところを、フェーズドアレイ気象レーダーはわずか30秒で100近い数の断面をすきまなくスキャンする。そのため集中豪雨、局地的大雨、竜巻、さらにそれらをもたらす積乱雲といった、短時間に目まぐるしく変化する現象を初めて立体的かつ連続的に観測できるようになった（図3）。

表1にその仕様を示す。開発したのは情報通信研究機構、大阪大学、(株)東芝の産学官連携チームで、総務省のプロジェクトとして実用化に取り組んできた。気象研究所（茨城県つくば市）に設置されたフェーズドアレイ気象レーダーは4台目となる（図4）。

表1 フェーズドアレイ気象レーダーの仕様

項目	諸元（予定）
無線局の種別	実験試験局
周波数帯	Xバンド
空中線形式	鉛直1次元フェーズドアレイアンテナ
水平回転速度	1回転 最速10秒
垂直走査範囲	0～90度
観測半径	最大60km
距離分解能	100m
方位分解能	1.2度

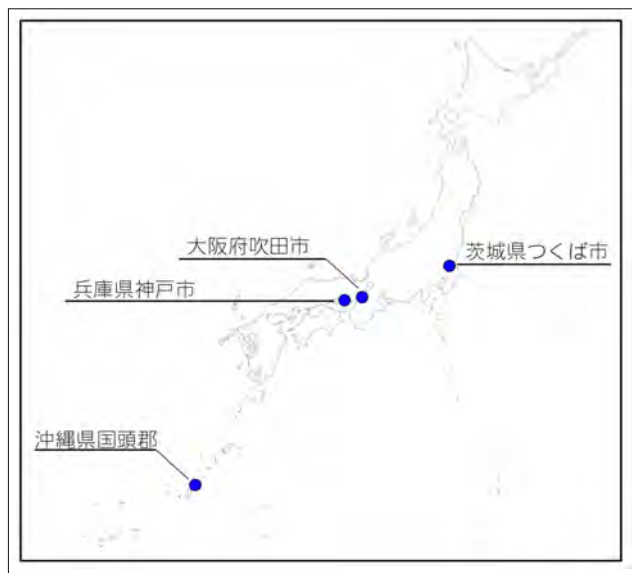


図4 フェーズドアレイレーダーの設置場所

このレーダーの開発に取り組んだ研究者たちは、機能を飛躍的に発展させ、今のフェーズドアレイ気象レーダーにはない、雨量を見積もることが可能な偏波機能を搭載させるといった先進的な技術開発に取り組んでいる。

4 フェーズドアレイ気象レーダーで観測された大気現象の実例

フェーズドアレイ気象レーダーは従来のレーダーと違い、すきまのないデータを高頻度で得ることができる。そのため現象の任意の断面を作り、それを使って詳しく解析できるほか、研究者が現象のプロセスを直感的に把握するために、立体像に陰影や遠近感をつけて（3次元レンダリング）表示したうえで、さらにアニメーションにすることもできる。

図5に気象研究所のフェーズドアレイ気象レーダー（茨城県つくば市）で観測された、激しい雷を伴った成熟期の積乱雲の内部の様子を示す。30秒間隔のアニメーションで見ると、地上から高さ5～8kmにある降水のかたまり（コア）が、5分前後で地上に次々と落下していくといった、従来のレーダーでは見ることにできなかった様相が見える。このような降水コアの落下がダウンバーストという突風現象に伴って見られた事例を図6に示す。大阪大学に設置されたフェーズドアレイ気象レーダー（大阪府吹田市）で観測された例で、降水コアが高度4～5kmから落下するとともに、ダウンバーストに伴って地上付近で水平に吹き出す風（発散風）が生じる様子がわかる。ダウンバーストは、積乱雲や積

雲などから生じる強い下降気流で、地上に達すると水平に吹き出し、離着陸過程にある航空機に危険な低層ウィンドシアアをもたらしものとして着目されている現象で、この事例は、降水コアの落下に伴うダウンバーストの立体的な動きを初めてとらえたものである。図7は気象研究所のフェーズドアレイ気象レーダーで2015年8月12日に観測された、積乱雲の中のメソサイクロンという渦に伴って観測された独特の構造である。地上からの高度4kmまで降水の弱い領域があり、その上に降水の強いドーム状領域が見られる。このような構造は丸天井構造（ヴォールト構造）と呼ばれる。メソサイクロンや丸天井構造は、しばしば竜巻を発生させる、スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲によく見られる。この事例では竜巻の報告はなかったが、フェーズドアレイ気象レーダーによってとらえたこれらの構造の時間変化は、積乱雲が竜巻を発生させるメカニズムの手掛かりとなる貴重なデータと考えている。

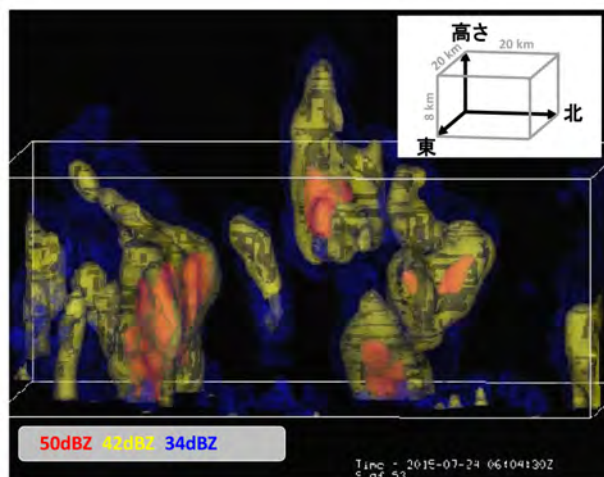


図5 茨城県で観測された積乱雲内部の降水コア（2015年7月24日15時04分30秒）。東から西に向けて見下ろした鳥瞰図

5 様々な課題

4章の例に示される通り、フェーズドアレイ気象レーダーは、激しい大気現象のメカニズム解明という、気象学の基礎研究の分野で大きな可能性を生み出しつつある。さらにこのレーダーの高速スキャンを生かすことで、従来とは異なる直接的なやり方で激しい大気現象の予測ができるだろう。例えば、上空から落下する降水コアや竜巻の伴う渦を高速で追跡することによる、局地的大雨や竜巻の短時間・超短時間予測の実現である。

より間接的に雨を予測する方法として、気象庁の

降水ナウキャストにフェーズドアレイ気象レーダーのデータを用いることで、降水予測の大幅な精度の向上も期待される。さらに接近してくる台風の監視を気象衛星ひまわりと組み合わせて監視したり、数値モデルに取り込んだりするなど、多様な用途に使

われていくだろう。

しかしフェーズドアレイ気象レーダーを、現実に気象予測の道具として開発しようとする、様々な課題がある。まずレーダー単体を研究に用いることと、全国規模で多数展開することは別物と考えな

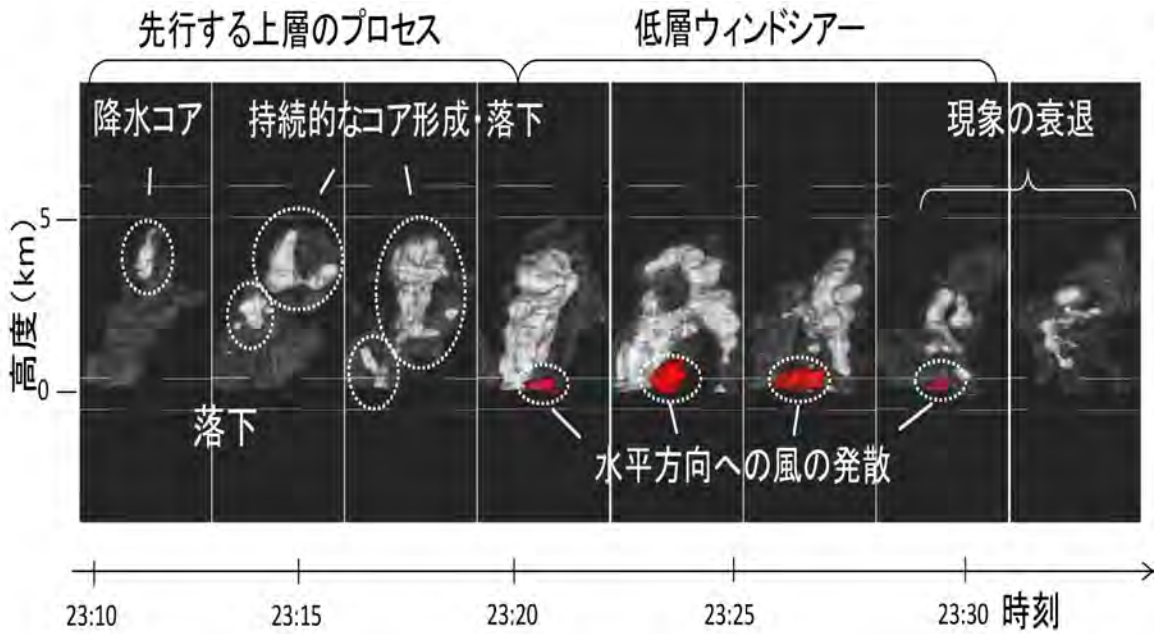


図6 大阪府で観測された積乱雲内部の降水コアの落下とダウンバーストの様子 (2014年9月10日23時10分～23時30分)。大阪大学および情報通信研究機構から提供されたデータによる解析。

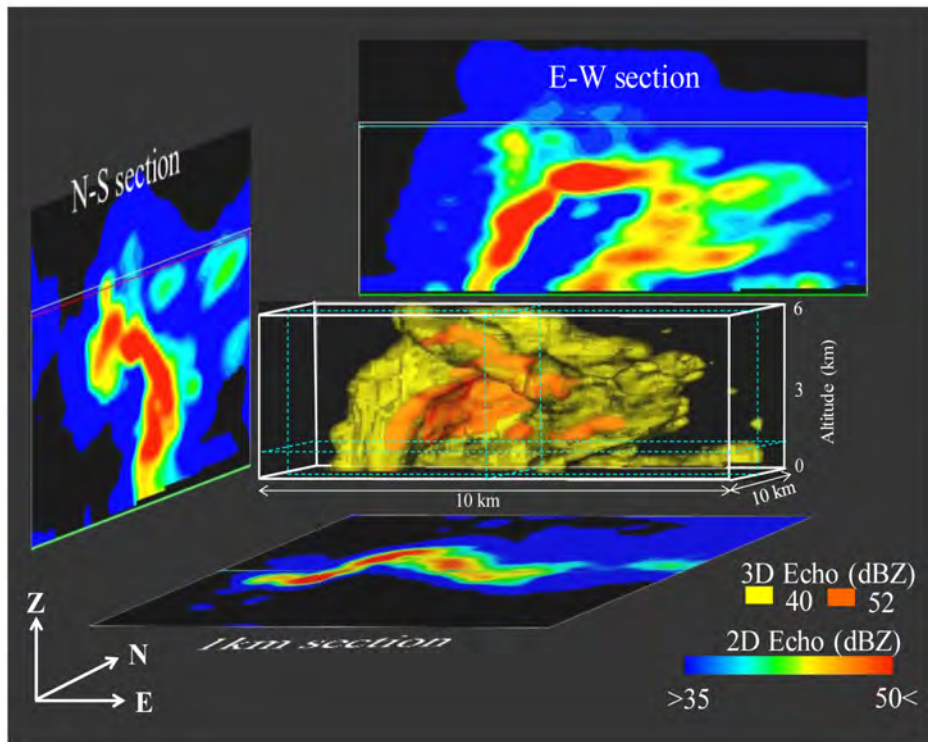


図7 茨城県で観測積乱された雲内部の丸天井構造。南から北に向けて見た立体図。1枚の水平断面と2枚の鉛直断面を同時に示す (2015年8月12日18時11分)

ければならない。現業展開するうえでの最大の障害はおそらく、許容可能なコストでの整備が現状では難しいことだろう。つぎに、従来のレーダーに比べ100倍にもなる大容量の観測データ（ビッグデータ）について、記録・転送・検索・可視化などをリアルタイムで処理する手段を考えなければ、その膨大なデータ量が足かせとなって、3次元高速観測という優れた特性が生かせない。

これらの問題を解決しても、現業化に向かうには十分とは言えない。フェーズドアレイ気象レーダーで得られる情報は従来のレーダーよりはるかに複雑である。その高速性を生かし切るには、出てくる情報を迅速に意味のある気象情報に落とし込むかがカギとなってくる。そのためにはレーダーのシステムに知性を持たせ、レーダーエコーから、災害をもたらすと考えられる領域や強さを抽出し、それを追跡して進路上に自動的にアラートを出すなどの機能を持たせなければならないだろう。今のところ技術はそこまで進んでいない。私たちは、従来のレーダーを使った、竜巻渦を自動探知し追跡するというシステムを開発し実験を進めている。現在、これをフェーズドアレイ気象レーダーのデータに応用し、3次元的に行う実験を始めたところである。これらは骨の折れる取組みだが、フェーズドアレイ気象レーダーによる気象予測の重要なコア技術であると考えている。

6 おわりに

私たちが取り組んでいる、フェーズドアレイ気象レーダーを用いた研究を紹介した。これまでにいくつかの激しい大気現象が観測されており、その構造の解析を皮切りに、これから集中豪雨、局地的大雨、竜巻などのメカニズムの解明が進んでいくであろう。

一方、フェーズドアレイ気象レーダーによる現象の予測という将来的な目標の実現には、多くの研究ステップを踏まねばならない。現象の予測をするためには、フェーズドアレイ気象レーダーで観測されたレーダーエコーのどの部分に着目すべきなのか、そこからどの程度の情報を取りだせるのか、研究はこれからである。

大容量で複雑なデータから自動的にパターンを抽出してそれを追跡するアルゴリズムの開発も並行して必要になってくる。このような研究を積み重ねていくことにより、将来的にはフェーズドアレイ気象レーダーで、気象災害がこれまで以上に防止・軽減される日が来ることを信じている。

〈参考文献〉

- 1) Orlandi, L., 1975: A rational sub-division of scales for atmospheric processes. Bull. Amer. Meteor. Soc., 56, 527-530.
- 2) 佐藤晋介, 2015: 気象レーダーの最近の動向, そんぽ予防時報, 261, 24-29.
- 3) 佐藤晋介・牛尾知雄・水谷文彦, 2013: フェーズドアレイ気象レーダーの研究開発. NICT News, 2013年1月号.

2014年広島土砂災害を 教訓とするために

よこやま しゅんじ
横山 俊治*

K
ey Word

2014年広島土砂災害, 防災教育, 災害予見教育, 防災行動教育, 土石流,
山津波, 土石流の洪水位, 蛇ぬけ

1 はじめに

自然災害 (natural hazard) が生活世界と重なったとき、被害 (disaster) が発生します。寺田寅彦の名言「天災は忘れたころにやってくる」は災害を忘れないようにという戒めの言葉として知られていますが、裏を返せば、ひとは忘れるものだということを自覚せよと言っているようにも思われます。体験した災害を教訓として忘れないようにするためには何等かの手だてが必要です。それが防災教育であることは皆が知っています。そしてその教育が難しいことも多くのひとが感じています。

防災教育では二つの側面からの教育が必要であると思います。ひとつは、自宅のある場所で、さらにはどこにいても、その場所で起きる恐れのある災害について想像することができる予見能力を育てる防災教育です。ここではそのような教育を災害予見教育と呼んでおきましょう。災害を予見できれば、事前に具体的な防災対応をとることも可能になります。いまひとつは、災害に直面したときにとるべき防災行動能力を育てる防災教育です。ここではそのような教育を防災行動教育と呼んでおきましょう。災害予見教育と防災行動教育は防災教育の両輪でなければなりません。災害に巻き込まれたとき、どのような防災行動をとるべきかの判断は、どのような災害が起きているのか、引き続いてどのようなことが起きる恐れがあるのかを予見することが必要だからです。ただ、防災という言葉が日々声高に叫ばれている今日でも、災害予見教育と防災行動教育が防災教育の両輪になっていません。防災行動教育はマニュアル化に偏っていて、災害予見教育は疎かになっています。

災害予見教育の根幹をなすものはいままでもなく

地学教育です。自然災害と呼ばれるもののすべてが地学現象であるからです。地学現象の基本的なみかたは高等学校の地学の教科書に網羅されています。しかし、高等学校における地学の履修率が極めて低いのが現実です。大学で地学系の学科、コースに進学した学生ですら、高校で地学を学んでこなかったものがほとんどです。これが日本人の災害予見教育を貧困にしているのです。

2014年8月20日の未明、3時間雨量が200mmを越えるかつてない集中豪雨によって、広島市北部では、流出した土砂が住宅地を襲い、74名の人命が失われました。しかし、もし、土砂の到達範囲内に家を建てていなかったら、もし、家の建設を許可していなかったら、もし、敢えてそんな危険な場所の家を買わなかったら……。宅地建設業者、建設許認可権をもつ役所、そして家を買った住民のうちの誰かひとりが、そこに家を建てること、そこに住むことを思いとどまっていれば、被害は発生しなかったのです。

2014年の広島市土砂災害は未曾有の豪雨によって発生したもので、災害を予見することは不可能だったと言うひとがいるかも知れません。しかし、そんなことはないのです。土砂災害がいつ発生するかを予測することはできませんでしたが、土砂災害が発生しうる危険性の高い土地に住宅が建設されていたことを示す情報は複数ありました。ただ、情報を読み取って防災に活かすことができなかつただけです。災害予見教育の貧困が救える命を救えなくしたのです。

小論では、はじめに、2014年の広島市土砂災害において、災害予見教育がいかに貧困であったかを示す具体的な事実をお話しします。そのつぎに、今

*高知大学名誉教授

回広島市で発生した土砂災害の実像についてお話しします。何が起きたかを正しく捉え伝えることも、災害予見教育の重要な課題だからです。広島市で土砂災害が発生したのは今回が初めてではありません。過去に何度も発生しています。しかし、その実像をしっかりと記録してこなかった。ここに災害予見教育を貧困なものにしてきた原因があります。

2 地形・地質を見る目の貧困

谷の存在は何を意味しているのでしょうか。谷は山が崩れてできたのです。下流から上流に向かって山を崩しながら成長したのが谷です。上流で崩れた土石は谷に沿って流れ降り、谷を出たところで住宅を襲います。それが土石流災害です。したがって、谷の中や出口に家を建てるのは危険なのです。防災の第一歩は谷の意味を知ることです。

谷の出口には、出口を頂点として低地に向かって扇状に広がる極緩傾斜面が形成されていることがあります。これを扇状地と呼びます。扇状地は中学で習っていると思います。扇状地の半径が約1kmよりも小さな極小型の扇状地のなかには、山崩れによって流出した土石が堆積して扇状地をつくっているものがあり、それは沖積錐と呼ばれ、河流によって流出・堆積した扇状地と区別されています¹⁾。山崩れによる土石の流出は重力によるものなので、谷底の勾配がある程度急でないと、谷から出てきて沖積錐を形成することはありません。扇状地と沖積錐の識別は堆積物のなかみを見ないと難しいと思いますが、谷底勾配が急な谷の出口に広がる極小型の扇状の土地は沖積錐の可能性が高く、土石流の危険性が高い土地であると予見して、土地利用を考えると土石流災害を軽減できると思います。沖積錐の平均勾配は自転車で登るのはきついと感ずるほどです。その勾配を実際に体で感じて土石流の危険性を予見することも重要です。

沖積錐では、土石流災害のほかに氾濫や洗掘も発生します。それで、昔のひとはそこに民家を建てることに慎重でした。堆積物が礫でできているので、畑や果樹園に利用されてきました。今回被災したJR可部線梅林駅の北西に広がる沖積錐にはかつては梅林が広がっていました。そこを宅地に開発したのです。

花崗岩が広く分布する広島県ではこれまでも土石流災害が多発してきました。1999年6月の梅雨前線に伴う豪雨で、広島県佐伯郡五日市や呉市の宅地造成地は甚大な被害を受けました。これも花崗岩地域の土石流災害でした。このとき、今回土石流災害

が発生した谷でも崩壊が発生していました。危険性を知らせるSOSの信号が発せられていたのですが、信号を無視してしまったのです。

今回の土石流災害の直後、全国ニュースの解説だけでなく、その後の調査速報でも、風化した花崗岩であるマサ土が崩壊し、それが土石流化したと決めつけられてしまいました。しかし、それは誤りでした。

現実には、花崗岩だけでなく、ホルンフェルスや流紋岩でも土石流災害が発生しました。しかも花崗岩で発生した崩壊の多くは、風化花崗岩由来の砂状堆積物であるマサ土ではなく、その直下の風化花崗岩であるマサでした。

ただし、中・長期的には、花崗岩地域は土石流災害の発生頻度が高いと予見して間違いありません。たとえば、花崗岩の山とホルンフェルスの山を比較すると、谷数の違いは明瞭で、花崗岩の山では細かく枝分かれした谷が多数発達しています。その小さな谷のひとつひとつが過去の崩壊の発生源であり、これからも崩壊発生源になり得る場所だからです。

地質、地形はその土地の安全性について様々な信号を発しています。しかし、それを見る目が貧困だと何も見えません。

3 都市の裂け目を見る目の貧困

「現代都市にはつぎはぎだらけの開発によって生じた大きな裂け目が至る所にある。問題をより深刻にしたのは、この裂け目を繕うはずの法の効果が、運用の拙さによって失われていた点である」と指摘するのは京都大学防災研究所の釜井俊孝教授です²⁾。

今回の広島の災害では、その典型例として、死者25名の犠牲を出した広島市安佐南区八木3丁目の土石流災害と、ふたりの幼い兄弟が亡くなった同山本8丁目の崖崩れ災害を釜井教授は取りあげています。ここでは八木3丁目の土石流災害についての釜井教授の論述を紹介します。

釜井教授は、八木8丁目では、当初からこの土地がもつ土石流災害の危険性を全く無視して開発が行われたわけではなかったと指摘しています。それは昭和34年4月に撮影された空中写真から分かることで、巨礫が点在する真新しい土石流堆積物を避けて、その両側に県営団地群が二列配置されていることから、土石流災害の危険性は意識されていたと見ることができると述べています。ところが、昭和46年6月の空中写真では、土石流堆積物の表面は整地され、駐車場、宅地として利用されています。そして今回、二列の県営団地群の間、すなわち、過

去の土石流の流路に沿って再び土石流が流れたのです。これは予見できなければならなかったことです。

釜井教授は次のように指摘しています。昭和44年に施行された(新)都市計画法は、「都市の健全な発展と秩序ある整備を図り、もって国土の均衡ある発展と公共の福祉の増進に寄与することを」目的とし、そのために、市街化区域(都市に組み込む区域)と市街化調整区域(開発から守る区域)の境界を定める「線引き」が主な業務でした。広島市では、この線引きは昭和46年に完了しましたが、その区域決定以前に業者による開発用地取得が活発に行われ、山麓の開発数が増加しました。さらに、市街化区域は、既存の開発地を包含するように設定され、その後も土地所有者等の要請によって拡張されました。

この一連の経緯の中に、釜井教授が指摘する法の運用の拙さが存在するのです。ひとつたががゆるんだことで、その後は連鎖的にあつという間に沖積錐全体に波及してしまったという印象を強く受けます。こういう事態に歯止めをかけるのが災害予見教育であり、地学教育です。

4 歴史・文化の伝承の貧困

今回の災害によって、広島市安佐南区八木には、かつて「八木蛇落地悪谷(やぎじゃらくじあしだに)」という地名があり、「蛇王池伝説」なる伝説が存在することを知りました。この伝説は、阿武山に棲み往来の人々を困らせていた大蛇を八木城主香川家の家来、香川勝雄(かがわかちお)が退治したという武勇伝です。復建調査設計株式会社の小笠原洋技術士ら³⁾は、JR可部線梅林駅から北東に約130mの位置にある蛇王池伝説の碑の周辺に伝説に関連する地名や史跡が集中すること、伝説の中に土石流現象に当たる記述が存在すること、土石流堆積物中の炭化物や有機質土の¹⁴C年代測定から、伝説に相当する時代に土石流災害が発生していたことなどから、大蛇とは土石流を指すものであることを明らかにしています。

蛇王池伝説は、当地が昔から土石流災害に悩まされていたことを今に伝えていますが、現在この地に移り住んだひとの多くはそのことを気にも留めなかったということです。

地名は文化です。最近も市町村合併で、歴史や災害を示す地名が失われています。伝説は物語として歴史を伝えているものです。こういった歴史・文化が伝承されず、地名が消えていく状況も、災害予見教育の貧困を示すものです。

5 土石流災害の実像に学ぶ

5.1 学術用語「土石流」と大衆用語「山津波」

いわゆる土石流という地学現象はこれまで様々な用語で呼ばれてきました。この節では、それらの中から、「土石流」と「山津波」のふたつの用語を取り上げ、分野ごとに、用語の使用の移り変わりとう用語の定義についてお話しします。それを踏まえ、次の節では、今回広島市で発生した土石流は、どちらの用語から想像されるイメージに近い現象であったかをお話しします。

西本(2006)⁴⁾は、検討する分野を「研究」「行政」「社会」「言語(辞典)」に大別し、土石流関連用語の使用の変遷を分野別に示しました(図-1)。ここでは、「社会」はマスコミに、「言語(辞典)」は一般大衆に読み替えてお話をします。

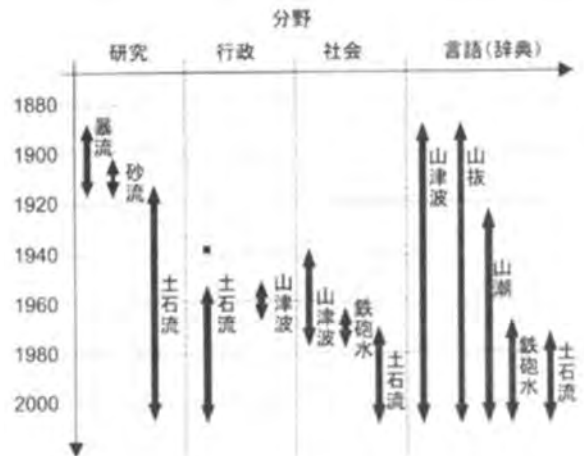


図-1 分野別に見た土石流関連用語の変遷⁴⁾

はじめに、用語「土石流」と「山津波」の使用について、各分野でどのように移り変わってきたか、比較してみましょう。

「土石流」という用語は、1980年ころまでには研究と行政、そしてマスコミの分野に定着しました。それと同時に、それらの分野では、「山津波」は影を潜めました。なお、西本⁴⁾によれば、研究分野でも、1950年頃の一時期には「山津波」が使用されたこともありましたが、定着しなかったようです。

「山津波」という用語は、西本⁴⁾によれば、1889年発行の国語辞典に掲載されているとのこと。なお、1982年旺文社発行の国語辞典⁵⁾に掲載されているのは山津波で、土石流は掲載されていません。

では、ふたつの用語のなかみについてみてみましょう。現在の学術用語は「土石流」です。西本⁴⁾によると、「土石流」は「物(土と石)」と「流れる」という物理現象を表現した用語であり、土石流

を表現するには最も理にかなった用語であるとしています。砂防用語集⁶⁾では、「石礫を高密度に含む流れ」と、土石流を定義しています。土石流の英語訳は debris flow (デブリフロー) で、直訳すると岩屑 (debris) の流れ (flow) となり、Glossary of Geology⁷⁾ という地質学の辞典の定義も「岩片や土、粘土が一体となって流れている集合体」と定義されています。

一方、「山津波」について、西本⁴⁾は、土石流の実態がよく分かっていなかった時代に生まれた用語で、津波のように押し寄せてくるイメージを感覚的・比喩的に表現されたものであるとし、学術用語としては不相当であると、一刀両断に切り捨てています。

1995年三省堂発行の大辞林⁸⁾に掲載されている「山津波」は「山崩れによって直接生ずる土石流であり、多量の土砂・岩片を含んだ濁流が溪岸・山腹を押し削って流下する」と説明されています。「山津波」は一般大衆の生活の中で生まれた“大衆用語”であると言えます。

5.2 広島市土砂災害は学術用語「土石流」、それとも大衆用語「山津波」に近い現象であったか

今回広島市で発生した土石流災害は、学術用語「土石流」、あるいは大衆用語「山津波」のどちらの用語から想像されるイメージに近い現象あったのでしょうか。

広島市で発生した土石流災害で観察された現象を整理すると、つぎの通りです。

①始まりは崩壊から

事の始まりは、小さな谷の谷頭部の表層で発生したパイピング崩壊でした。崩壊しても土石流化するものとしなないものがありました。土石流化した崩壊物は、崩壊と同時にその場でバラバラになって流動化し、かなりの勢いで流下しました。このとき、パイプ孔から吹き上げた泥水が崩壊面のすぐ脇の立木に背丈を超える高さまで付着した事例がありました。多量の地下水によって斜面が破壊した場合に、崩壊物は土石流化するようで、土石流化した崩壊物は発生時点ですでに高い洪水位をもっていたものと思われま

②多量の水が押し寄せる

学術用語「土石流」と大衆用語「山津波」を比較して、まず気が付くことは流下時の土石流に含まれている水の量のあつかいです。学術用語「土石流」は「流れる」という表現のなかに水の存在が示唆さ

れていますが、水の量を取り立てて問題にしていません。それに対して、大衆用語「山津波」では、上記大辞林に記されている通り、流下の過程において多量の水の存在を意識した記述になっています。命名した用語に津波が入っているのだから当然のことです。

流下時の土石流の洪水位を知りたいところですが、抜け殻となった土石流堆積物の厚さからそれを類推するのは無理なのです。そこで、土石流によるダメージを受けているが、倒木は免れた立木に刻まれた流下痕跡 (ダメージ) から、土石流の洪水位を推定することが試みられています⁹⁾。

広島市の土石流の場合、樹木の幹の上流側にべっとり付着している泥がダメージに当たるので、その高さから洪水位の高さを推定してみましょう。

樹幹に付いた泥の高さを見ると、谷の地形とは無関係に洪水位の高さが谷の両側で急激に低下しているのが分かります。すなわち、流下時の土石流を横断面形で見ると、土石流は谷底一杯に広がって流れていったのではなく、土石流の中央部が高く側部で急減に低くなっています (図-2)。ちょうどかまぼこを輪切りにしたような形をしていました。図-2では、洪水位の高さは谷底から5mを超える値が得られています。



図-2 流下痕跡 (立木に着いた泥の高さ) から推定した流下時の土石流の形 (破線)

土石流は先端に大きな石が集まるといわれています¹⁰⁾。流木はさらにその前を流れます。それはちょうど大きな蛇が鎌首をもたげて、谷を下ってくるような形が想像できるかも知れません。長野県では、土石流のことを昔から「蛇ぬけ」と呼んでいます。

長野県南木曾町には「蛇ぬけの碑」という土石流災害の記念碑があります。上述した八木に伝わっている蛇王池伝説とも共通するものを感じます。

「蛇ぬけ」という用語もイメージを感覚的・比喩的に表現された大衆用語ですが、学術用語「土石流」からは想像できない現象をうまく表現しているように思います。

③山腹を押し削る

土石流発生元になった崩壊はいずれの場所でも表層崩壊であったのに、住宅地に到着したときには、土石の量はふくれあがり、しばしば構成物も崩壊発生地の地質とは異なっていました。これらの土石はどこからどのようにして運ばれてきたのでしょうか。

土石流が流下した溪流では、谷壁斜面が削られて、地質がむき出しになっていますが、谷底が抉られて窪地になっているような所は見つかっていません。住宅に流れ込んだ土石の多くは谷に沿って堆積していた堆積物に由来する可能性があります。

そのひとつは、谷に沿って堆積していた古い土石流堆積物や側方の斜面から崩れてきた堆積物です。それらがつくる平坦面の側部が押し削られています。谷の出口（扇状地の頂部）に堆積していた古い土石流堆積物も今回の土石流で削られ、住宅地に流れ込んだものもありました。花崗岩地域では、古い土石流堆積物の中に未風化核岩起源の巨石も含まれていて、それも再び流れ出ました。

いまひとつは、谷の両側部の斜面上に堆積していた岩屑堆積物です。そこでは岩屑堆積物だけでなく、その直下の岩盤もしばしば削り取られていました。粗粒花崗岩が分布するところでは、マサと共に未風化核岩もえぐり取られています（図-3）。谷壁斜面の下部が削り取られたことで、その上部が崩壊したところもありました。図-3から明らかなように、このとき樹木も流されています。このようにして流



図-3 滝の下で発生した溪岸侵食。未風化核岩を含むマサが押し削られたため、未風化核岩が転がり出ている。破線：土石流の洪水位。

木の量も増えていったのです。

溪岸侵食は河床の地形と深い関係があります。滝の直下の谷壁斜面で溪岸侵食が多発しています。図-3もそのような場所のひとつで、滝の直下で勢いを増した土石流によって、谷壁斜面が押し削られています。

④多量の樹木も押し流す

土砂災害の直後の空撮写真を見ると明らかですが、土石流が流れた谷は崩壊発生域から下流まで、樹木が完全に失われ、土や岩盤がむき出しになっています。学術用語「土石流」では、土石流を土と石の流れと定義し、流木の存在は考慮されていませんが、土と石だけでなく、多量の樹木も流れ出たのは明らかです。広島市で発生した土石流の場合は、土石の量よりも流木の方が多かったかも知れません。流木の存在が土石流による被害を大きくしています。被害を考えると、流木の存在を無視することはできません。

上記の①から④の見出しは、三省堂発行の大辞林に掲載されている「山津波」の解説をアレンジしたものです。広島市で発生した土石流災害の特徴は、用語「土石流」の定義からは想像できないのですが、用語「山津波」を知っていれば、当にその通りと合点のゆくものです。

防災教育では、学術用語「土石流」ではなく、大衆用語「山津波」をイメージした方が有益です。

研究もほとんどなく、行政もマスコミも関心を示さなかった時代に、土石流を詳細に観察し、その実像にふさわしい山津波という名称を付けた日本の一般大衆の観察眼とセンスの良さに敬意を表さざるを得ません。

1980年頃までは、国語事典に山津波が掲載されていたということは、当時の日本人の生活の中に土石流災害が記憶されて、生きていたということです。それに対して、現代の日本人は山を忘れ、日々の自然体験を通して土石流災害を理解することはできなくなっています。しかも、知識としての地学教育を受ける機会も失われて、災害に対して無防備になっています。

6 土石流の実像—山津波—から学ぶ防災行動

沖積錐に流れ出した土石流は初めのうちは溪流や道路を使って、沖積錐の最大傾斜方向に流れる傾向があります。図-4は谷の出口（扇状地の頂部）の被災状況を撮影したのですが、住宅が破壊されているのは、小川に面したところだけです。平らな地表

面が広がっていても、土石流の幅が広がっていないのは谷を流れているときと同じで、土石流は大蛇の形は保っています。住宅の被災状況（図-5）から見ると、住宅地に入っても、大蛇の形は保たれているように見えます。人命が危険にさらされるのは、流木・土石・水が一体となって流れてくるこの段階です。流木が堆積して以降、土砂と水からなる流れは次第に沖積錐の走向方向の道路に沿っても流れ、被災範囲が横にも広がっていますが、人命が問題になることはありません。



図-4 谷の出口付近の住宅の破壊。住宅の破壊は溪流に面したところだけ。最上流の住宅は被災していない。破線：土石流の洪水位。

土石流が大蛇の形で流れてくるのであれば、豪雨の中、危険を冒して遠くの避難施設に移動する必要はなく、土石流の導流溝となった道路から離れた家に避難していれば、助かったかひとがいたかも知れません。

住宅を破壊した主犯は流木です。流木分布と被災住宅の位置関係や、流木による住宅の破壊の仕方が具体的に明らかになれば、防災行動に活かすことができます。今回の災害で、マスコミは被災現場の映像を大量に取得していると思います。マスコミはそれを死蔵させることなく、災害に強い街づくりに活かすべきです。

また、道路が導流溝になるのなら、街づくりの段階で道路に土石流の導流溝としての役目を兼務させることも考えてみるべきです。



図-5 住宅地内の土石流の流下痕跡。大蛇の形態は保たれている。破線：土石流の洪水位。

〈引用文献〉

- 1) 鈴木隆介：「B. 土石流地形，建設技術者のための地形図読図入門，第3巻 段丘・丘陵・山地」，「古今書院」，pp.851-860，2000.
- 2) 釜井俊孝：「災害の背景としての都市計画と法規制運用上の問題点を探る」，「広島大規模土砂災害調査団報告書，応用地質学会」2015（印刷中）.
- 3) 小笠原洋，松木宏彰，鈴木素之，猪原京子，阪口和之：「平成26年8月広島土砂災害地域に残る土砂災害伝説と過去の被災履歴」，「平成27年度研究発表会講演論文集，日本応用地質学会」，pp.165-166，2015.
- 4) 西本晴男：「土石流に関する表現方法の変遷についての一考察」，「砂防学会誌」，Vol.59，no.1，pp.39-48，2006.
- 5) 守随憲治・今泉忠義・松村明編：「国語辞典」，「旺文社」，1327p，1982.
- 6) 砂防学会編：「砂防用語集」，「山海堂」，432p，2004.
- 7) Bates, R., L. and Jackson, J., A., eds.: 「Glossary of Geology」，「Am., Geol., Inst.」，751p，1980.
- 8) 松村明編：「大辞林」，三省堂，1998
- 9) 村井政徳，横山俊治，中屋志郎，佐々浩司，日浦啓全：「流下痕跡による土石流の洪水位の推定：2004年台風15号豪雨によって発生した高知県嶺北地方の土石流災害の例」，「日本地すべり学会誌」，Vol.42，No.6，pp.31-36，2006.
- 10) 地盤工学会 土石流編集委員会編：「土石流．ジオテクノート12」，「丸善」，154p，2003.

2013年伊豆大島における 土砂災害に学び今後に備える

そね よしのり * 寺田 ゆうすけ ** とびた けんじ **
 曽根 好徳 * 寺田 悠祐 ** 飛田 健二 **

K
 ey Word

表層崩壊, 雨量分布, 土壌雨量指数, 早期警報

1 はじめに

2013年10月16日未明,平成25年台風第26号(以下,「台風26号」)の集中豪雨によって,伊豆大島三原山の外輪山西側の長沢,大金沢および八重沢等の上流域において表層崩壊が発生した。また,この表層崩壊により,下流域の元町地区が大きな被害を受けた。大島町の被害は,死者36名,行方不明者3名,負傷者22名,全壊家屋71戸,半壊家屋25戸に達している¹⁾。

近年,地球の温暖化に起因すると思われる異常気象が地球規模で発生している。我が国では集中豪雨に伴う自然災害が激甚化する傾向にある。1時間降水量50mmを超える大雨の発生回数は長期的に増加傾向(30年で約1.3倍)にあり,1時間降水量100mmを超える大雨の発生回数も増加傾向にある。また,年平均の土砂災害発生件数もここ30年間で約1.3倍に増加している²⁾。このように,降雨の増大と災害発生とが調和的となっている。

著者らは2013年の伊豆大島における土砂災害発生メカニズムの解明を通じ,地域の安全安心への貢献を目指した研究を行っている。本研究では崩壊地付近に着目し,地表踏査に加え,崩壊地付近において,土層のサクシオンおよび間隙水圧の計測装置を設置し,2014年5月より自動計測を開始した。

本報は,これらの調査,計測結果について,現在までに得られた知見を紹介するとともに,集中豪雨に伴う斜面崩壊による土砂災害から命を守るための方策等について述べる。

2 降雨の状況

2.1 災害発生時の雨量

2013年10月15日~16日にかけてのハイエトグラフを図1に示す。気象庁大島特別地域気象観測所(以下,「大島観測所」)では,最大正時時間雨量118.5mm(2013/10/16 3:00~4:00),24時間連続雨量824mm(2013/10/15 8:00~2013/10/16 7:00)を記録し,ともに1938年の観測開始以来の最高記録となった。

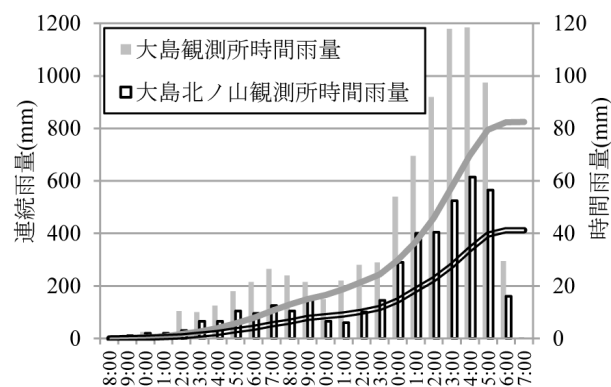


図1 気象庁観測所におけるハイエトグラフ
(2013年10月15日~16日)

2.2 土壌雨量指数とスネークライン

気象庁では,土砂災害の警報情報に土壌雨量指数³⁾を採用している。気象庁で採用している3段直列タンクモデルの概念図を図2に示す。また,各タンクモデルの係数を表1に示す。

タンクモデルは,降雨が土中に浸透し,流出する現象をモデル化したもので,土壌雨量指数は,各タンクに残っている水分量(貯留量)の合計となる。これは,土壌中の水分量に相当するとされている。計算式の詳細については,ウェブサイトを参照されたい³⁾。

*名古屋大学 減災連携研究センター 地域社会減災計画寄附研究部門 **応用地質株式会社 事業開発室

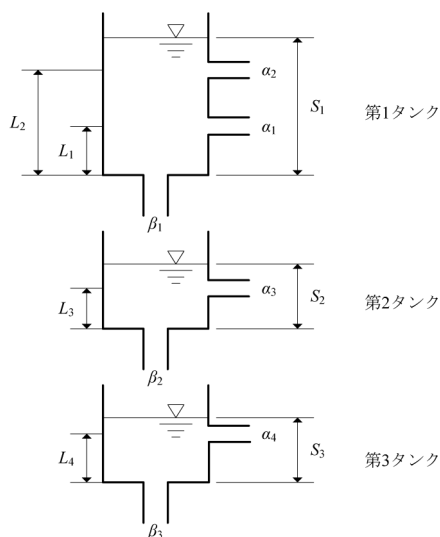


図2 3段直列タンクモデル

表1 タンクモデルにおける係数

	1 段目	2 段目	3 段目
流出孔の高さ (mm)	$L_1=15$ $L_2=60$	$L_3=15$	$L_4=15$
流出係数 (1/hr)	$\alpha_1=0.1$ $\alpha_2=0.15$	$\alpha_3=0.05$	$\alpha_4=0.01$
浸透係数 (1/hr)	$\beta_1=0.12$	$\beta_2=0.05$	$\beta_3=0.01$

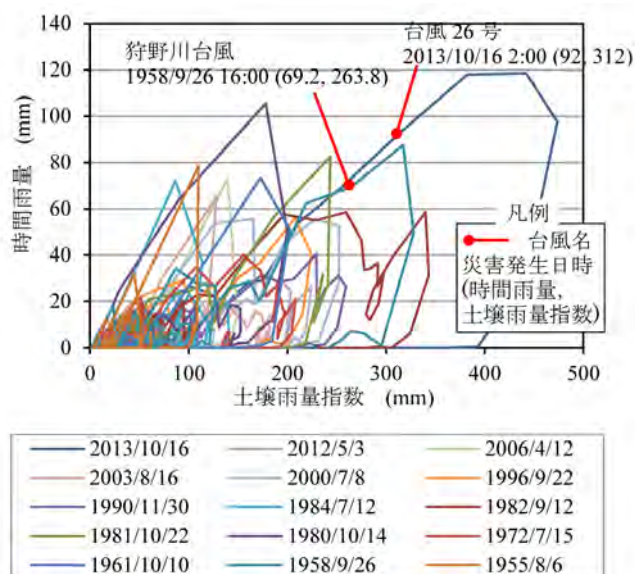


図3 スネークライン (時間雨量－土壌雨量指数)

図3に、伊豆大島における台風26号など過去の主な降雨の時間雨量と土壌雨量指数との関係(スネークライン)を示した。同図より、図に示した他の降雨に比べて、台風26号と狩野川台風の場合、時間雨量と土壌雨量指数とも大きく、図の右上方のエリアにプロットされる。これらの2例は結果的に人的被害を伴う災害が発生した。

一方で、台風26号と狩野川台風を除けば、時間雨量が大きく土壌雨量指数が小さい降雨(1980/10/14:1980年台風19号)、土壌雨量指数が大きく時間雨量が小さい降雨(1982/9/12:1982年台風18号)では、人的被害を伴う土砂災害は発生していない。このことから、スネークライン(時間雨量と土壌雨量指数との関係図)による判定が、土砂災害の発生の有無を予測するうえで有用なツールであることがわかる。ただし、筆者らは、さらに判定の精度を上げるには、土壌雨量指数の改良が有効であると考えている。

3 崩壊の概要

崩壊土砂の流出範囲は図4に示すとおりで、中央の広い面積の部分とその両側(南北)の筋状の部分がある。広い面積の部分は大金沢流域で、大規模な崩壊が発生したような印象をうけるが、後述するように谷地形の未発達な平滑な斜面において多数の表層崩壊が並列に発生したために、崩壊土砂が流下域で合流し、裸地化された箇所が合体した。崩壊地頭部は、外輪山の頂部緩斜面直下に位置する一連の急斜面にあたり、地形的には遷急線付近に相当する。遷急線は崩壊前線と呼ばれることもあり、山腹斜面では表層崩壊や落石が起こりやすい。

崩壊位置は遷急線の直下の傾斜30～40°の急斜面にあたり、0次谷やわずかに凹状の集水地形になっている。遷急線の上方斜面の傾斜は20°程度の緩斜面であるため、遷急線は明瞭である。

個々の崩壊規模は、幅10～50m、斜面長20～50m、崩壊深度1m程度であり、火山地域でよくみられる表層崩壊タイプの根系層崩壊⁴⁾と呼ばれる。このような表層崩壊が複数箇所で並列に発生したため、広い裸地が形成された。また、崩壊土砂はのり枠や道路を横断して流下している(写真1参照)。

崩壊面には透水性の小さいレス層が広く露出し、崩壊地の頭部や側方の崖にはレス層に比べ透水性の大きい火山砂層が1m程度の層厚で斜面と同じ傾斜で分布する(写真2)。火山砂層はスコップで容易に掘れる程度の緩い状態である。レス層と火山砂層は元町溶岩の上位に互層状に堆積し、少なくとも各

4層が確認できる。斜面の地質は流れ盤構造であり、樹木の根系の大半は表層より90cm程度に分布する火山砂層内にとどまり、下位のレス層まで侵入していない。このため、根系による緊縛効果（杭効果も含む）が小さく、火山砂層は極めて不安定な状況にある。



図4 土砂流出範囲⁵⁾を元に作成



写真1 のり枠上方の表層崩壊（①地点）
枠内の樹木は倒伏したが、のり枠は被災していない

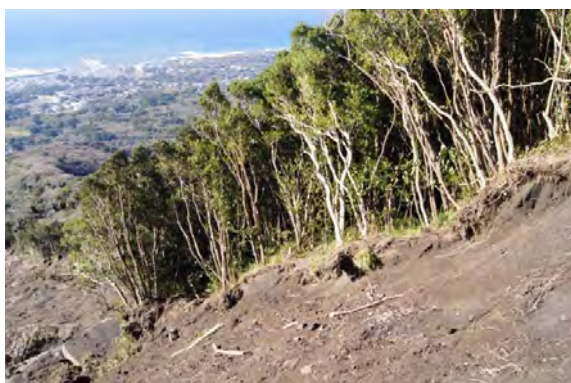


写真2 崩壊地側部の状況（②地点）
植生の根系は大半が表層の火山砂層に留まり、下位のレス層に貫入していない

4 モニタリング

雨量とサクシオンおよび間隙水圧の関係を明らかにする目的で、崩壊地頭部にパケット通信機能付雨量計（応用地質製）[No.1]と、レス層上位の火山砂層を対象としたテンシオメータ（モル社製）および間隙水圧計（応用地質製）[No.2]を設置した。

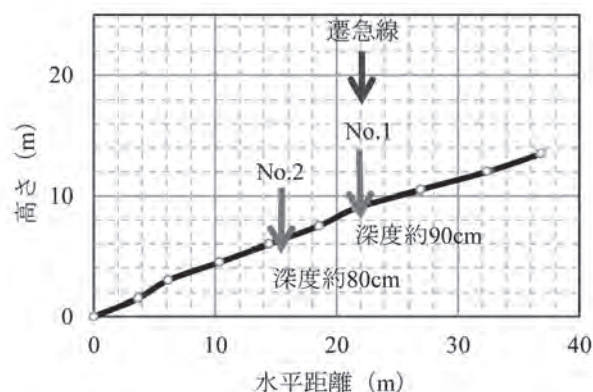
モニタリング計器設置場所は、大金沢の崩壊地頭部で、遷急線付近とした（図5）。

計器の設置位置は、図6の斜面断面に示すように、遷急線付近に位置するNo.2-1およびその下方に位置するNo.2-2の2地点とし、それぞれの地点にテンシオメータと間隙水圧計を各1基設置した。テンシオメータによりサクシオンを、間隙水圧計により間隙水圧を測定した。

また、それぞれの計器によるデータ収録とパケット通信機能付データロガー（応用地質製）を併せて設置した。なお、自動測定間隔は雨量計、テンシオメータ、間隙水圧計のいずれも5分とした。



図5 崩壊地とモニタリング計器設置場所



設置深度	No.2-1	No.2-2
テンシオメータ	0.90 m	0.80 m
間隙水圧計	0.85 m	0.80 m

図6 斜面断面と計器設置箇所および設置深度

5 モニタリング結果

5.1 雨量

雨量の観測位置を図7に示す。No.1雨量計による観測は、2014年5月20日よりモニタリングを開始した。

No.1雨量計による観測結果を大島観測所と大島北ノ山観測所（アメダス観測所）での雨量観測結果と比較検討した。

観測開始から2015年9月末までの総雨量を比較すると、本研究で設置したNo.1地点では4504.5mmであり、これに対して大島観測所では4120.0mm、大島北ノ山観測所では3074.5mmとなった。

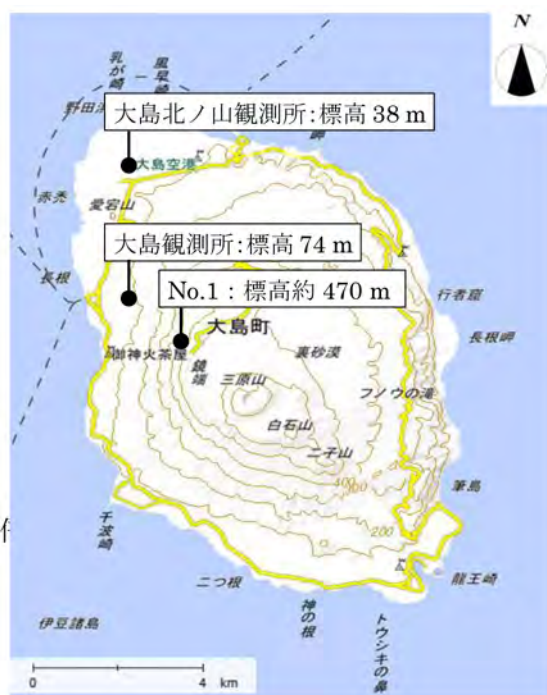


図7 雨量計設置位置図
(国土地理院 地理院地図 を基に作成)

No.1地点と大島観測所、大島北ノ山観測所との時間雨量の比較を図8および図9に示す。観測地点の距離が3～4km離れた場合や、標高が数百m異なる場合では、雨量が2倍以上異なるケースのあることが確認された。気象庁観測所で観測される雨量より斜面崩壊発生箇所付近でより多くの雨量となっている場合が散見されるという観測結果は、安全監視の面で極めて重要な知見である。斜面崩壊等の安全監視するうえで気象庁観測所での観測結果による危険度判定が危険側の判断になりうることであり、斜面の安定性を監視するうえで、崩壊等が危険視される斜面での稠密な雨量観測網の整備が必要であると考える。

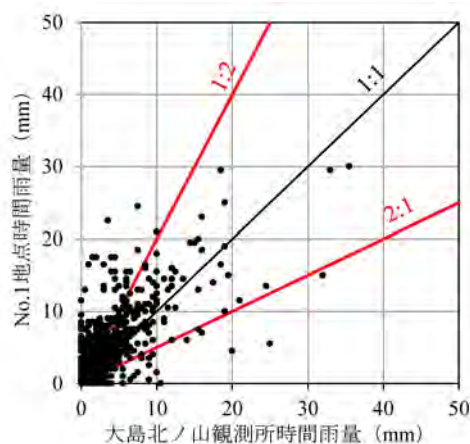


図8 No.1地点と大島北ノ山の時間雨量比較

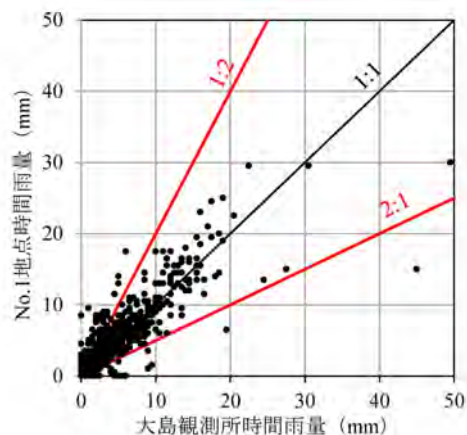


図9 No.1地点と大島観測所の時間雨量比較

5.2 間隙水圧およびサクシオン

図10に間隙水圧およびサクシオンの経時変化図を示す。間隙水圧の計測値は、No.2-1、No.2-2ともに、 $0 \pm 0.5\text{kPa}$ の範囲であり、使用した計測器の精度を考慮すると、計測期間中には正の間隙水圧の発生を確認できなかったと判断した。

一方、サクシオンは不飽和の土層の水圧を示す指標である（負の間隙水圧）。サクシオンの経時変化では、無降雨期間に増加し、降雨により減少する傾向が認められる。最小値は、No.2-1で1.3kPa、No.2-2で1.4kPaであった。サクシオンは、連続雨量100mm以上の降雨があると、約1.5kPaまで低下するが、1kPa以下までは低下せず1.5kPa程度の値を継続している。

No.2-1とNo.2-2の2地点におけるサクシオンの挙動を比較すると（図10拡大グラフ参照）、まずNo.2-1（遷急線付近）が降雨に反応し、続いてNo.2-2（遷急線下方）が緩やかに減少し、ピークを形成している。これは、斜面上方から降雨が浸透していく過程を示しているものと考えられる。

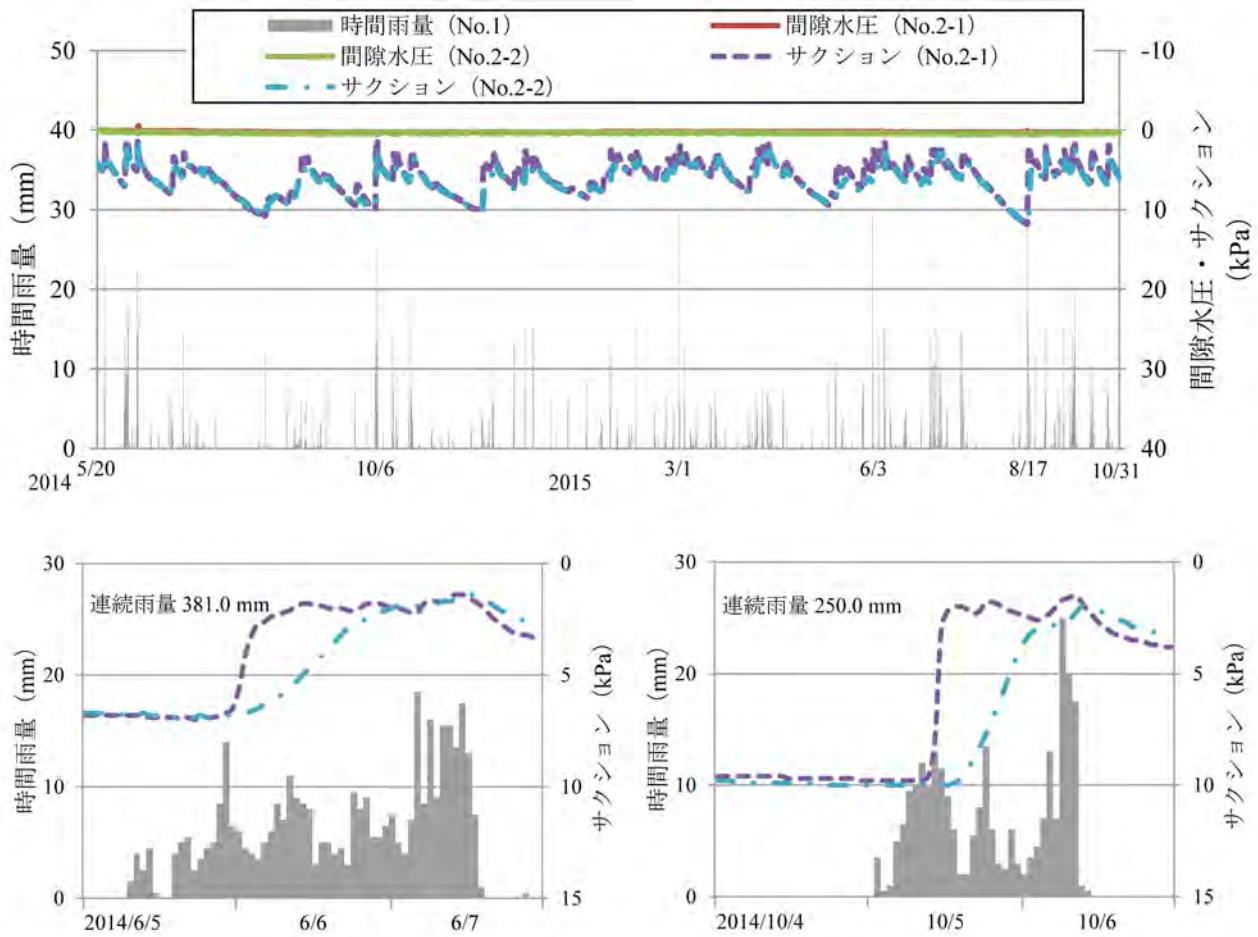


図 10 モニタリング結果

6 今後の早期警報に向けて

6.1 間隙水圧観測を反映させた警報

土層の間隙水圧は、地盤の力学的平衡状態を変化させ、地盤の崩壊を引き起こす誘因となるため、この変化をとらえることは、斜面崩壊の発生を予測する上で有用である。

図 11 に、間隙水圧と警報発令の考え方を示す。

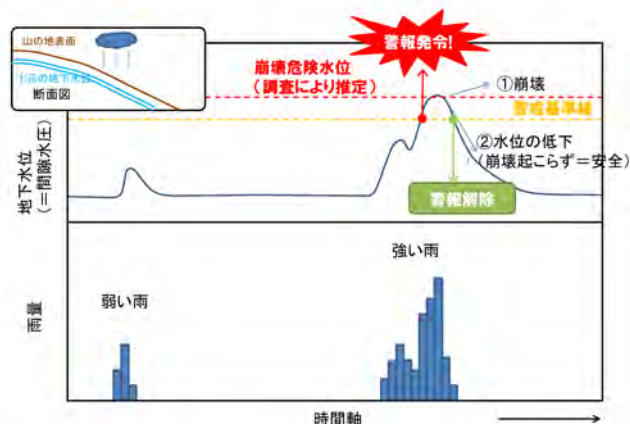


図 11 間隙水圧と警報発令の考え方

曾根ら⁶⁾は、伊豆大島崩壊地で採取した試料の室内試験から土質定数を用いて、無限長の斜面崩壊モデルにより安全率を推定した。その結果、間隙水圧の発生時点での安全率は1をわずかに上回る程度であった。このため、間隙水圧が上昇を示したタイミングでは、崩壊現象が起こるまでに十分な時間が無い可能性があり、間隙水圧による安全監視は困難と思われる。したがって、間隙水圧に先立って反応するサクシオンを安全監視に活用することも有効と考える。

ただし、今回の観測期間では、サクシオンが正の間隙水圧に変わるタイミングが把握できていないなどの課題もあり、サクシオンを安全監視に活用するためには、さらに、データの蓄積が必要と考えている。

6.2 土壌雨量指数を用いた予測

観測されたサクシオンと土壌雨量指数を比較した(図 12 参照)。図 12 よりサクシオンと土壌雨量指数との変化傾向は、高いサクシオン領域(サクシオンの絶対値が大きく、比較的乾燥している状態。図

の下方)では一致しないが、低サクシオン領域(図の上方)では比較的良く一致する傾向が窺える。

土壌雨量指数は降雨データより算出するため、土中の間隙水圧を計測するよりも容易である。現状では、土壌雨量指数は、便宜上、全国一律のパラメータ(表1)により算定されている。一般的に斜面ごとに、地形や地質が異なっており、降雨流出の特徴も異なるものと想定される。すなわち、タンクモデルのパラメータは厳密には一律ではなく、地形地質特性を反映した値を採用する必要があると考える。このことが可能になると、土壌雨量指数に基づく、斜面の安定性評価の信頼性も向上する。

地形地質に応じたタンクモデルのパラメータを設定するには、全国さまざまな地形地質において間隙水圧と土壌雨量指数を比較検討するなどのデータの蓄積が必要であり、今後の課題である。

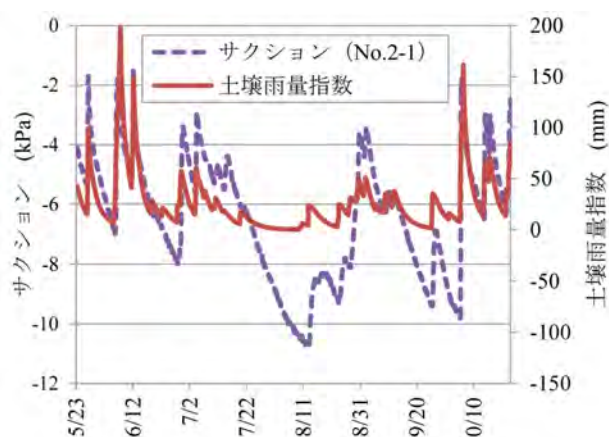


図12 サクシオンと土壌雨量指数の比較
(2014/5/23～2014/10/23)

7 おわりに

伊豆大島での斜面崩壊の機構の解明を通じ、斜面崩壊に伴う防災・減災への貢献を目指した研究の一端を紹介した。伊豆大島の例では、被災した大島町元町に位置する大島観測所での雨量観測結果は、4km程度離れた大島北ノ山観測所での雨量観測結果より約2倍となっている。また、本研究で得られた崩壊発生個所である外輪山の遷急線付近で観測した雨量は、大島観測所での観測結果と場合により2倍程度の違いがあることを調べた。このことは、大変、重要な情報である。身の回りの降雨より斜面崩壊発生源の降雨量が多いことがあり、危険回避の判断を誤らせる可能性のあることを示唆している。

近年の集中豪雨等に伴う斜面災害においては、最大時間雨量を記録する時間帯が深夜や真夜中になる

ケースが多いことにも留意すべきである。仮に、このような時間帯に避難勧告等が出されても避難することは困難であり危険である。

空振りになっても率先避難を積極に行うことを推奨したい。早期避難と避難所の開設をセットにする地域のルール作りが重要である。

近年では、毎年のように日本列島の各所で観測史上最高の連続雨量や時間雨量を更新している。災害リスクの高い時代に生きていることを十分に認識し、自らの命は自ら守るという意識が大事である。過去の経験にとらわれず、早めに避難することが大切である。

斜面崩壊の監視指標として、斜面を構成する土層中のサクシオンを指標とすることが有効と思われることを示したが、さらにデータの蓄積等により検証することが必要な段階である。引き続き、安心安全な地域の構築に貢献する信頼度の高い早期警報可能な指標を見出すための研究を継続する所存である。

〈参考文献〉

- 1) 総務省消防庁：平成25年台風第26号による被害状況等について(第37報)。2014。
- 2) 国土交通省：「平成23年度国土交通白書」, ぎょうせい, 2012
- 3) 国土交通省気象庁：土壌雨量指数
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html>
(2015年10月15日現在)
- 4) 稲垣秀輝：「根系層崩壊」, 「地盤工学会誌」, Vol.50, No.5, pp.5-7. 2002.5
- 5) 国土交通省国土地理院：災害情報共有マップ - 平成25年(2013年)台風第26号及び第27号による大雨に関する情報 -
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h25-taihu26-index.htm>
(2015年10月15日現在)
- 6) 曾根好徳ら：「平成25年台風第26号による伊豆大島火山山麓における表層崩壊の発生機構」, 「応用地質技術年報」, No.34, pp.1-22. 2015.3

2011年台風12号による 紀伊山地豪雨による斜面崩壊の実態

ちぎら まさひろ*
千木良 雅弘*

Key Word 台風, 紀伊山地, 深層崩壊, 土石流

1 はじめに

2011年台風12号は、9月2日から5日にかけて、四国と中国地方を横断した。そして、台風の進行方向右側にあたる紀伊山地では大量の降雨があり、多数の崩壊が発生し、北部では天然ダムが形成され、それらの内5か所では残存した天然ダムの決壊が強く懸念された。この台風の結果、奈良県と和歌山県では、土砂災害による死者47名、洪水による死者12名、その他の死者22名を含めて、合計81名の犠牲者が生じた。

後に述べるように、これらの斜面崩壊は地質状況を強く反映し、北部で深層崩壊、南部で表層崩壊と土石流に特徴づけられた。この台風12号による斜面崩壊に関しては、千木良他¹⁾(2012)、Chigira et al.²⁾(2013)、Arai and Chigira³⁾(2015)、Hirata and Chigira⁴⁾(2015)に取りまとめた。ここでは、それらをもとに概要を述べる。

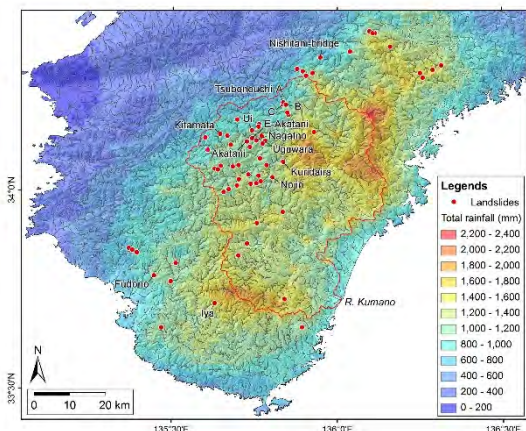


図1 台風12号による降雨分布 (Chigira et al., 2013)

8月30日17時からの総降雨量は、紀伊半島の広い範囲で1000mmを超え、奈良県北山村では降り始めの8月30日から9月5日までの総降雨量が2400mmを越えた。AMeDASによる過去30年間の観測によれば、紀伊半島の年平均降水量は北西部で約1300mm、南東部の多雨地域で3000mmを超える。

2 地形・地質概要

紀伊山地は標高1915mの八経ヶ岳を最高峰とする山地で、そこに分布する山稜頂部は比較的標高がそろっている。紀伊山地の中央部には熊野川と北山川が北から南に向けて流れている(図1)。平石・千木良⁵⁾(2011)は、熊野川上流の十津川支流の中原川で地形解析を行い、高標高部に古地形面が広く分布し、それを河川が下刻し、谷中谷が形成され、この下刻に伴って足元をすくわれた斜面、特に流れ盤斜面で重力による斜面変形と崩壊が発生していることを報告した。そして、この古地形面が広く広がり、このような地形プロセスが紀伊山地一帯にあるであろうことを指摘した。

紀伊山地の主体は東西に延びる中央構造線よりも南側の西南日本外帯に位置し、最北部に三波川帯と秩父帯が分布し、その南側の広い範囲は四万十帯となっている。今回の災害発生の主要部は四万十帯に位置し、北部の一部の崩壊は秩父帯に位置している。四万十帯は御坊―萩構造線を境に、白亜系の付加コンプレックスからなる北帯(日高川帯)と古第三系の付加コンプレックスとに分けられる。白亜系と古第三系とは、紀伊半島中央部東寄りでも南北に長い中新世の大峰花崗岩に貫かれ、その周囲はホルンフェルス化している(志井田他⁶⁾, 1989)。大局的な地

*京都大学防災研究所 地盤災害研究部門 山地災害環境研究分野 教授

形をみると、この花崗岩とホルンフェルスの分布域が紀伊山地で最も高い地域となっている。また、白亜系部分に比べて古第三系部分で山陵の標高は低下している。古第三系分布域の南西側と南東側とには、それぞれ中新世の田辺層群と熊野層群とが分布している（棚井・水野⁷⁾、1954、後掲の図6）。熊野層群は同じく中新世の熊野酸性岩類に貫かれており、熱水変質を受けている。熊野酸性岩類は高標高部に分布している。

3 斜面崩壊

紀伊山地の中部から北部と南部とで対照的な斜面崩壊が発生した。これらの崩壊は、明らかに地質を反映した様式をとった。すなわち、四万十帯と秩父帯では深層崩壊、熊野酸性岩類分布地では表層崩壊・土石流が多く発生した。深層崩壊は、土砂による家屋の直撃、天然ダムの形成、増水した川に土砂が突入して発生した津波、主要道路の分断などを引き起こした。

(1) 四万十帯と秩父帯の崩壊

台風による累積雨量は、紀伊山地の東側と南側で多かったが（図1）、深層崩壊の発生はむしろ、紀伊山地の中央部で、累積降雨量は相対的には少ない、西に寄った範囲であった。これは、単に累積降雨量が深層崩壊の発生場所を決めたのではなく、地域の“雨慣れ”、あるいは降雨量の多かった地域が大峯花崗岩の熱的影響を受けた地域である可能性があることを示唆している。1kmメッシュのレーダーアメダス解析雨量の正時値を用いた共一次内挿法によって、深層崩壊発生地点にもたらされた降雨の経時変化を復元したものが図2である。深層崩壊の発生が降雨終了間際から終了後10時間以内に発生したこと、また累積雨量が700mm以上に達したあたりから生じたことがわかる。これだけ多くの深層崩壊について、発生までの累積雨量が正確に求められたのは初めてである。

深層崩壊の発生前後の航空レーザー計測データによれば、それらが事前に重力斜面変形を生じていたことが明らかになっている。特に、半数以上は崩壊発生前に斜面上部に眉形の小崖が生じていたことが明らかとなった（千木良⁸⁾、2013）。

五條市南部の大塔地区では、深層崩壊が集中して発生した（図3, 4, 5）。それらの崩壊は、四万十帯の美山層分布域にあり（栗本他⁹⁾、1998）、すべての地層は、混在岩、破断層、砂岩である。赤谷の崩壊と赤谷東の崩壊は、両方とも、湾曲した鏡肌を

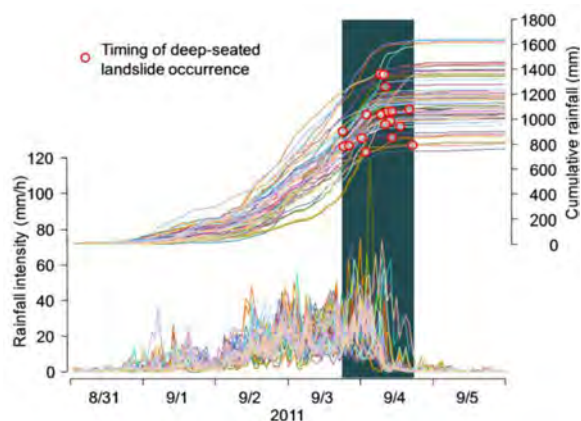


図2 紀伊山地の四万十帯で発生した深層崩壊個所の降雨状況（千木良他¹⁾、2012）

持つ面をすべり面としていた。これらの面は、付加体のサブユニット境界をなす衝上断層であると指摘された（横山他¹⁰⁾、2013）。その後、赤谷から赤谷東の崩壊地周辺の谷から尾根が詳細に調査された結果、それらのすべり面が大規模な衝上断層（川原樋衝上断層）に沿っていることが明らかになった（Arai and Chigira³⁾、2015; 図5）。この断層は、北東—南西走向で北西に30°～40°傾斜している。この断層破碎帯は、場所によって幅を変え、広い所では1mを超えるガウジと粘土質の角礫帯を伴う（図5）。この断層の断面が広く見えるところでは、この断層は全体として幅6m程度の断層帯を構成し、そしてその中でガウジに富む層が分離・併合している。赤谷や赤谷東の崩壊地で、幅cmから10cmオーダーの破碎帯が複数認められ、全体像がわかりにくくなっているのは、おそらくこのためである。

赤谷では、川原樋衝上断層のトレースは崩壊地よりも上に位置しているが、図5の断面図（D-D'）を見ると、それは崩壊地の下面に沿って赤谷川縁まで続いていることがわかる。このことは、地形的にみると、両方の崩壊地ともに、川原樋衝上断層が河川の侵食によって河川にほぼ露出する位置になり、上方斜面が下部切断されていたことを示している。赤谷の崩壊の場合、崩壊の両側は北西—南東方向の高角断層に限られていることも明らかになっている。

(2) 熊野酸性岩類分布地の崩壊

紀伊半島南東部の崩壊の大部分は、熊野花崗斑岩の分布地およびその近傍の熊野層群に位置していた。花崗斑岩には高角で規則的な柱状節理が一般的

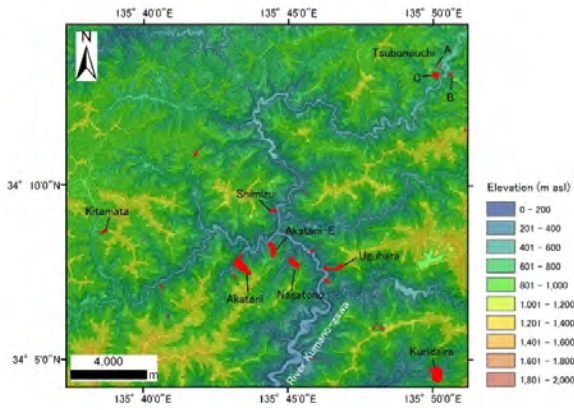


図3 五條市大塔地区の深層崩壊



図4 赤谷の崩壊（手前）と赤谷東の崩壊（左奥）
9月22日撮影

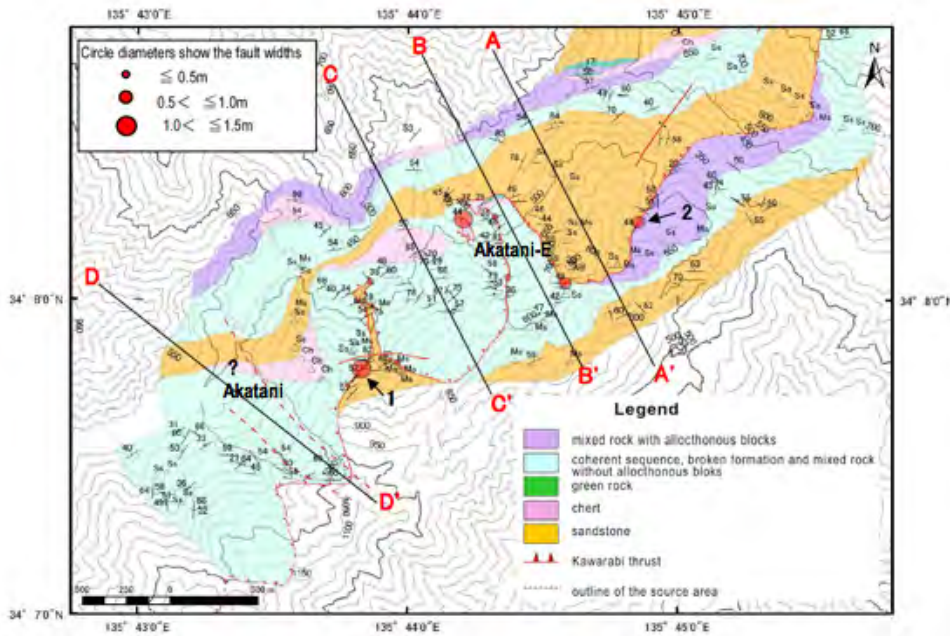


図5 赤谷および赤谷東の崩壊地周辺の詳細地質図と断面図 (Arai and Chigira, 2015)

に発達している。そして、それは高標高部で球状風化を受け、特に緩傾斜の斜面上には直径1 - 2mのコアストーンが地表付近に分布している。花崗斑岩の新鮮部には、緩傾斜のシーティング節理が形成されている。

国土交通省が9月7日と8日に撮影した空中写真を用いて、崩壊を判読し、崩壊源と移送域とをGIS上で地質図にプロットした(図6, 7)。地質図は、地質調査所のシームレス地質図¹¹⁾(2012)およびMiura¹²⁾(1999)、川上・星¹³⁾(2007)を基本図として用いた。降雨は、レーダーアメダス解析雨量による1kmメッシュの1時間雨量を用いた。プロットされた崩壊の内623個の崩壊源は花崗斑岩分布域に

あった。そして、54個はその周囲の堆積岩斜面上、22個は他の酸性岩斜面上、11個は花崗斑岩から離れた堆積岩上にあった。降雨量についてみると、特に花崗斑岩地域では、累積雨量が250mmを超える地域で崩壊が高密度で発生した(図7)。花崗斑岩地域での崩壊の大部分は、花崗斑岩のコアストーンを含んでいた。最も大規模な崩壊は、那智勝浦の井関地区のもので、2.4kmを流れ下った。その崩壊源は並んだ二つの崩壊で、合計5万m³の体積と見積られる。崩壊下部は柱状節理に分離された石柱の束、崩壊上部は石柱の形態を残して配列したコアストーン群であった。崩壊の始まりは石柱の束を軸方向にすべらせたような形で始まったものと推定される。

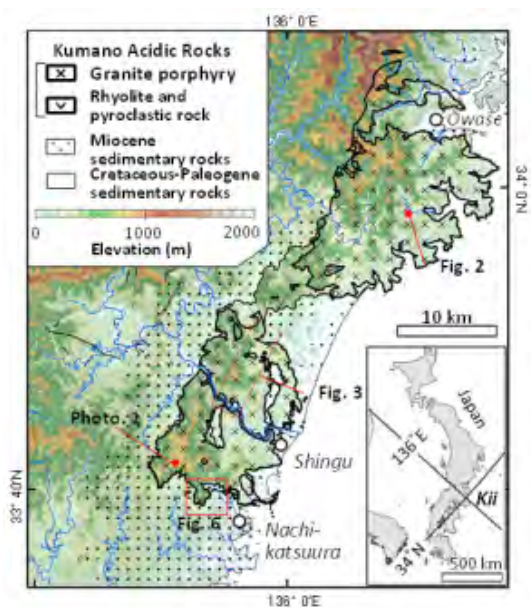


図6 紀伊山地南東部の地質図 (Hirata and Chigira⁴⁾, 2015 によるコンパイルマップ) 元データは本文参照

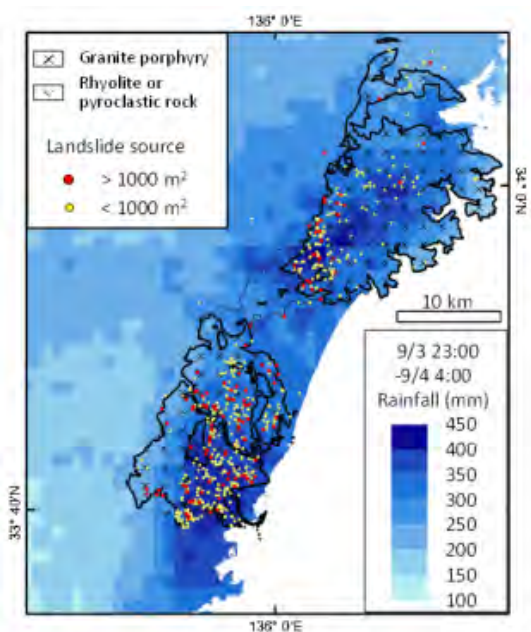


図7 熊野花崗斑岩の分布と崩壊源の分布 (Hirata and Chigira, 2015)

花崗斑岩地域の崩壊でもう一つの典型的なものは、シーティング節理に沿うすべりであった。この場合、柱状節理は存在するものの、密着しており、目立たなくなっていた。

花崗斑岩の周囲の堆積岩上で発生したものは、少なくとも妙法山周囲で観察した3つの崩壊では、熊野層群の泥岩が風化して粘土状になった物質の上に載る花崗斑岩のコアストーンなどの岩片が崩壊していた。これらの泥岩には目視できるサイズの黄鉄鉱も含まれており、おそらく熱水変質が粘土化の素因になっていたように見受けられる。

4 終わりに

2011年に紀伊山地を襲った台風12号による豪雨は、地質状況を強く反映した災害を引き起こした。紀伊山地北部に分布する付加帯である四万十帯と秩父帯では、付加時に形成された厚い破碎帯を伴う衝上断層がすべり面となった場合が見出された。また、このような流れ盤をなす断層と河川の下刻によって斜面が下部切断されて不安定になり、重力変形を起こし、大量の降雨時に崩壊するという場合が一般的にあるものと推定される。それに対して、熊野花崗斑岩ではこのような大規模な弱層はなく、深層崩壊は起こりにくい。一方、柱状節理とそれに起因する球状風化が発達し、コアストーンを含む層の崩壊と、それに引き続く土石流が甚大な災害の大きな要因であった。

(引用文献)

- 1) 千木良雅弘, 松四雄騎, ツオウ・チンイン, 平石成美, 松沢真, 松浦純男, 2012. 2012年台風12号による深層崩壊. 京都大学防災研究所年報, 55, 193-211.
- 2) Chigira, M., Tsou, C.-Y., Matsushi, Y., Hiraishi, N., Matsuzawa, M., 2013. Topographic precursors and geological structures of deep-seated catastrophic landslides caused by Typhoon Talas. *Geomorphology*, 201, 479-493.
- 3) Arai, N., Chigira, M., 2015. Rain-induced rock avalanches with a sliding surface along an out-of-sequence thrust, 10th IAEG Asian regional conference, Kyoto, Tp1-11.6p.
- 4) Hirata, Y., Chigira, M., 2015. Geological and geomorphological features of landslides induced by 2011 Typhoon Talas in a granite porphyry area, 10th Asian Regional Conference of IAEG, Kyoto, TP1-16, 8p.
- 5) 平石成美, 千木良雅弘, 2011. 紀伊山地中央部における谷中谷の形成と山体重力変形の発生. *地形*, 32, 389-409.
- 6) 志井田功・諏訪兼位・梅田甲子郎・星野光雄, 1989. 5万分の1地質図幅「山上ヶ岳」. 地質調査総合センター.
- 7) 棚井敏雄・水野篤行, 1954. 紀伊半島東南, 熊野炭田付近の地質構造について—紀伊半島南部の地史学的研究, その1—, *地質学雑誌*, 60, 28-39.
- 8) 千木良雅弘, 2013. 深層崩壊-どこが崩れるのか-. 近未来社, 名古屋.
- 9) 栗本史雄・牧本 博・吉田史郎・高橋裕平・駒澤正夫, 1998. 20万分の1地質図幅「和歌山」. 地質調査所.
- 10) 横山俊治, 井口隆, 永田秀尚, 加藤弘徳, 木村克己, 2013. 2011年台風12号で発生した奈良県赤谷深層崩壊の地質構造規制, 日本地すべり学会研究発表会, 松江, pp. 82-83.
- 11) 地質図 NAVI <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>
- 12) Miura, D., 1999. Arcuate pyroclastic conduits, ring faults, and coherent floor at Kumano caldera, southwest Honshu, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 92, No. 3-4, pp. 271-294.
- 13) 川上裕, 星博幸, 2007. 火山-深成複合岩体にみられる環状岩脈とシート状貫入岩: 紀伊半島, 尾鷲-熊野地域の熊野酸性火成岩類の地質. *地質学雑誌*, 113, 296-309.

道路分野の土砂災害

あさい けんいち
浅井 健一*

Key Word 道路, 斜面, 災害, 豪雨, 通行規制, 事例分析

1 はじめに

近年増加傾向にあるとされている集中豪雨の際には、道路斜面においても少なからぬ件数の土砂災害が発生する。また、道路斜面における土砂災害（以下「道路斜面災害」という）は、集中豪雨時のみならず、様々な降雨条件あるいは融雪や地震等の条件下でも発生する。このような道路斜面災害は、道路ネットワークを阻害し地域の社会・経済活動に大きな影響をあたえるのみならず、人的被害に至る場合もある。したがって、道路斜面災害を軽減・防止することは道路ネットワークの信頼性向上のために重要である。そのためには、実際に発生した災害の特徴や原因を詳細に分析し、点検・調査、維持管理、対策等に生かしていくことが必要である。

本稿では、土木研究所で収集した道路斜面災害の事例分析に基づいて、最近の道路斜面災害の特徴と傾向について述べる。

2 最近の道路斜面災害の全体的特徴

図1は平成20～23年度の直轄国道における斜面災害115事例の災害形態の内訳を示したものである。これらは概ね災害報告がなされる程度以上の災害を対象として収集しているため、災害報告の対象とならない程度の小規模な崩壊や、長期的に動く地すべりで通行止めに至る以前の段階で変状が生じているケースなどは含まれていない。なお、ここで橋梁基礎洗掘1事例を斜面災害事例に含めているのは、アーチ橋のアーチ部基礎の下方斜面が河岸の浸食により崩壊したケースである。

これらの中では切土のり面崩壊、自然斜面崩壊および路肩・盛土崩壊が多く、これら3つの形態で4

分の3を占める。また、切土のり面崩壊と自然斜面崩壊の両者でも過半数を占めており、これは佐々木ほか²⁾ および矢島ほか³⁾ で示された平成2年4月～平成16年12月の災害の内訳（これらでは切土のり面崩壊および自然斜面崩壊の区別はなく一括して「表層崩壊」に含まれている）と割合は異なるが類似した傾向である。

これらの直轄国道斜面災害の事前通行規制区間内外別の災害数を図2に示す。事前通行規制とは降雨

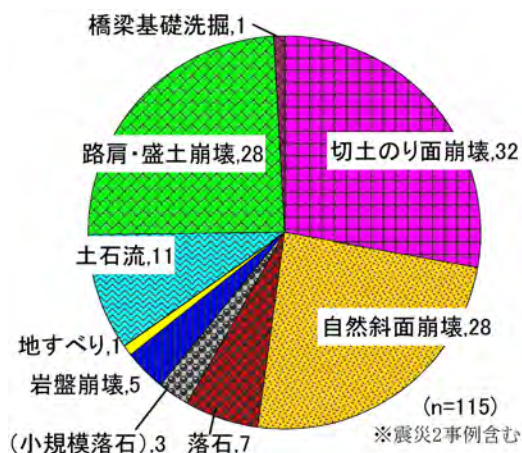


図1 平成20～23年度直轄国道災害事例の災害形態別件数内訳¹⁾

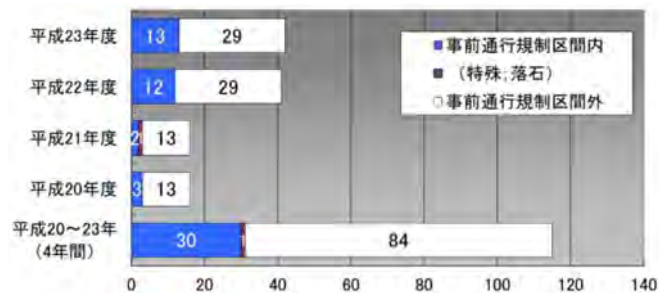


図2 平成20～23年度直轄国道災害事例の通行規制区間内外別件数内訳¹⁾

*国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ地質チーム

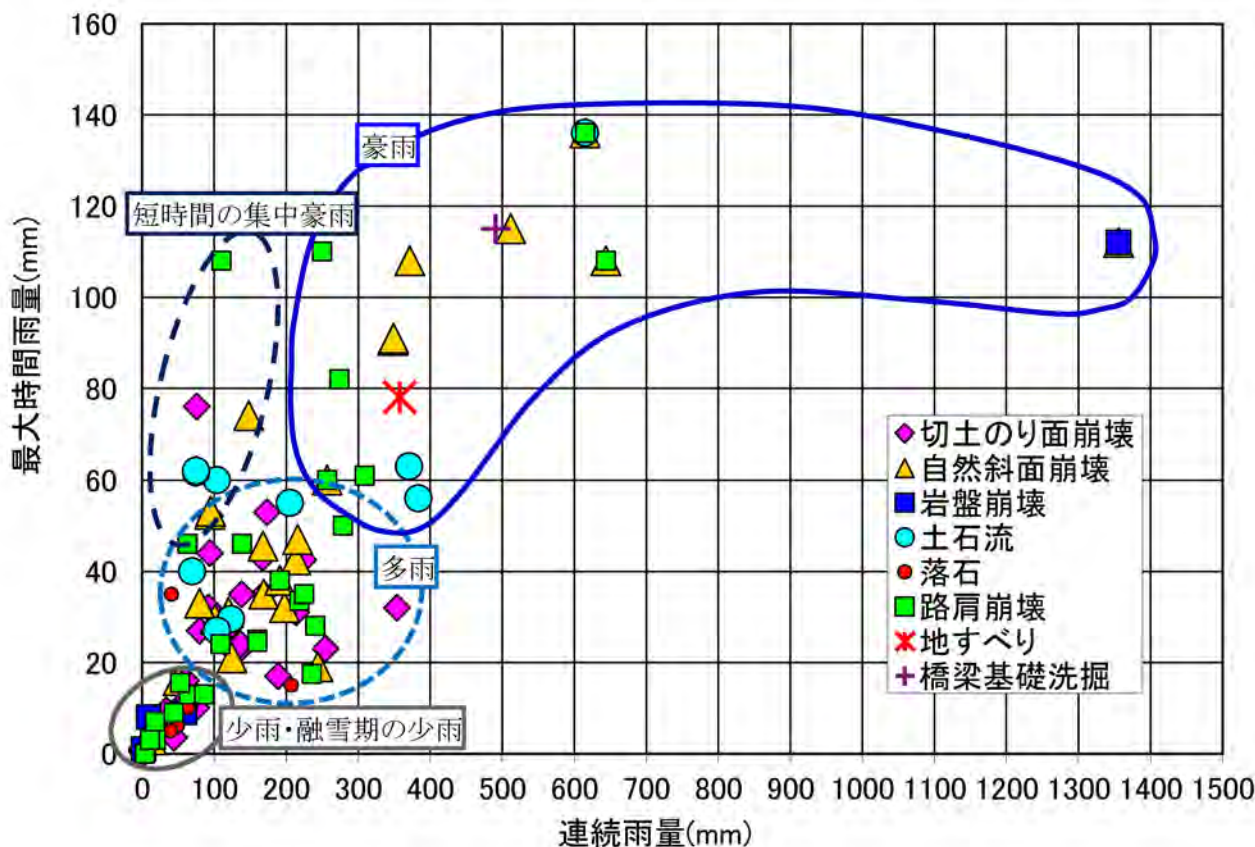


図3 平成20～23年度の直轄国道斜面災害における連続雨量*と最大時間雨量の関係^{4) 5) 6)}

*連続雨量：連続する一連の降雨における降り始めからの雨量の累積値で、事前通行規制を行う基準の指標などに用いられる。

による災害の危険性が高い箇所についてあらかじめ区間を指定し雨量基準値を設けて通行規制を行うものであり、砂防分野における警戒避難に相当する。この事前通行規制区間内での災害は4分の1程度で、佐々木ほか²⁾で示された平成2年4月～平成16年12月の災害に比べて割合が減少しており、規制区間外での災害の割合が増加している。事前通行規制区間内の防災対策が重点的に進められた結果と解釈することが可能であり、その一方で規制区間外での災害への対応が課題であるといえる。

これらの災害の誘因は降雨、地震、融雪など様々であるが、それらのうち地震によるものを除いた災害について、災害発生時における連続雨量と最大時間雨量の関係を図3に示す。これらの災害の雨量の領域は中間的なものもあるが、概ね以下のように分けられる⁴⁾。なお、ここで用いている「豪雨」「多雨」「短時間の集中豪雨」「少雨」については、明確な定義や分類基準はなく、ここでの便宜的な分けであるご理解頂きたい。

①豪雨のグループ：連続雨量が250mm程度以上で、

最大時間雨量も30～100mm以上と比較的多い。

②多雨のグループ：①ほどではないが連続雨量が100～250mm程度、最大時間雨量も20～50mm程度と比較的多い。

③短時間の集中豪雨のグループ：連続雨量は100mm程度以下であるが、最大時間雨量も50～100mm程度と多く、降雨が短時間（1～2時間程度）に集中している。

④少雨のグループ：連続雨量50mm程度以下で、最大時間雨量も20mm程度以下と比較的少ない。融雪期の少雨・無降雨のものも含まれる。

これらの災害のうち土石流や自然斜面崩壊は「豪雨」「多雨」「短時間の集中豪雨」で発生しているものが多く、雨との関連性が強い。また、「豪雨」「多雨」「短時間の集中豪雨」では切土のり面崩壊や路肩・盛土崩壊も多く発生しているが、これらは「少雨」でも少なからず発生している。

これらの災害のうち、①のグループのように連続雨量の多い災害については雨量基準値を設けて通行規制で人的被害を防ぐというこれまでの方法が適用

可能と考えられる。しかしながら、③の短時間での集中豪雨による災害や④の少雨での災害はこれまでの方法である連続雨量による雨量基準値を用いた通行規制による捕捉が難しい。

③の短時間での集中豪雨による災害に対しては、これまで直轄国道では連続雨量による雨量基準値を用いるのが一般的であった。一方、NEXCOが管理する高速道路の降雨時の通行規制や砂防分野における警戒避難などでは、時間雨量のような短時間の降雨指標を併用する基準を用いていることが多く、直轄国道においても一部区間で時間雨量を併用した通行規制基準の試行が始まっている⁷⁾。

④のグループについては雨量規制値による通行規制の適用は非常に困難である。このような少雨で発生する災害は何らかの原因（素因，誘因）があると考えられ、これまでの事例分析でも脆弱な地質（強風化した地山，固結度の低い新しい時代の地質）の存在，表流水の集中，融雪の影響などが報告されている⁴⁾。したがって、このグループの災害については個々の災害の形態や原因等について詳細に分析を行い、それに応じた対応方法を検討することが必要である。

3 特徴的な事例

3.1 表流水の集中による路肩崩壊の事例

写真1は平成21年中国・九州北部豪雨による路肩崩壊の事例である（発生土量 20m^3 ）⁴⁾。崩壊時の連続雨量は 138.5mm ，最大時間雨量は 46mm であり，図3の「短時間の集中豪雨」と「多雨」の間に相当する。写真2に示すように，多量の表流水が国道上を流下し，その一部が崩壊箇所に流入していた。当該箇所はさらに国道の側溝と暗渠の水を路肩下の谷へ排出する箇所となっており，これらに国道上の表流水が加わることで相当量の水が当該箇所に集中したと想定される。

路面の表流水の集中は路面の縦断および横断勾配，縁石，わだち掘れ，路面の局部的沈下，排水施設の状況のほか，周辺の地形条件の影響も受けると考えられる。条件によっては数百mあるいはそれ以上遠くの路面や隣接する斜面や造成地，合流する他の道路およびそれらに隣接する斜面や造成地などからの水が集まるなど，集水範囲が非常に広がる場合もあり，また地形改変などによりその状況が大きく変化する場合もある。当該箇所においても新たな土地の造成により国道へ流出する表流水が増加したと推察されている⁴⁾。

このような表流水の集中は豪雨時には各所で発生



写真1 道路上の表流水の流入による路肩崩壊の事例（管轄事務所提供）⁴⁾



写真2 写真1の現場における災害直前の表流水の状況（管轄事務所提供）⁴⁾

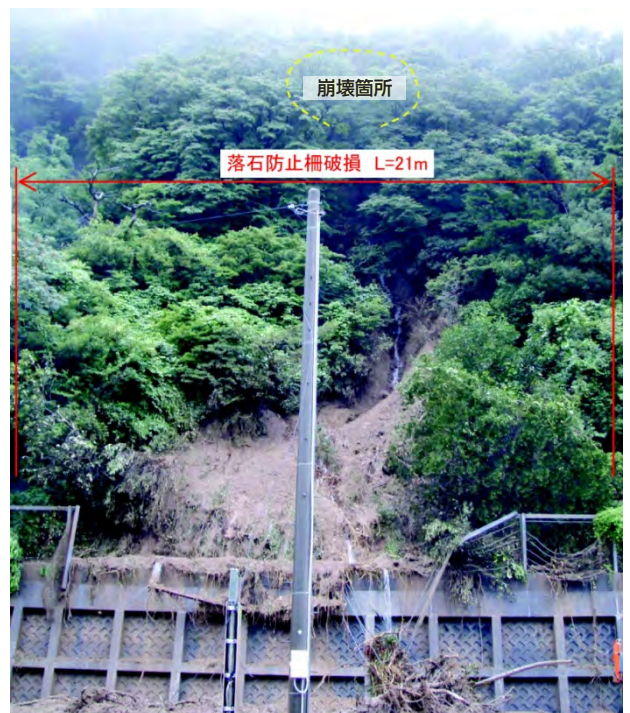


写真3 小規模な谷の谷頭斜面の崩壊による土石流の事例（管轄事務所提供）⁴⁾

する可能性があるほか、降水量が多くない場合でも災害に至る場合がある。災害防止に向けては、表流水が集中しやすい条件の箇所での抽出や流水の痕跡の確認、降雨後の流水の状況の確認などによって表流水が流入しやすい箇所を的確に把握し、安全に排水する施設の設置や周辺の浸食・崩壊防止対策を検討する必要がある。また、広い集水範囲からの水が集中するほどリスクが高いと考えられることから、排水経路の分散により集中する水を減少させてリスクを低減させる対策を検討する必要がある。

3.2 谷頭斜面の崩壊による土石流の事例

写真3は斜面上方の小規模な谷地形の谷頭斜面が連続雨量384mm、最大時間雨量56mmの降雨で崩壊し、土石流化して国道に流出した事例である（発生土量530m³、道路への到達土量300m³）⁴⁾。基盤の地質は新第三紀の泥岩であるが、崩壊した谷頭付近から上部は第四紀の段丘堆積物である。災害後の航空レーザ測量による地形図では、当該箇所のような小規模な谷地形が上方斜面内に複数見られた。

道路斜面における土石流や土砂流出は、当該事例のように比較的小規模な谷地形が発生源となる場合が多いが、このような小規模な谷地形は道路防災点検や対策の対象箇所とされていない場合も多い。その理由として、小規模なため土石流の点検対象（道路防災点検においては流域面積0.01km²以上）から外れること、既存の航測地形図や空中写真では樹木下のため地形が不明瞭であったりする場合も少なくないこと、大規模な谷地形に比べて道路への影響が小さいとされること等が考えられる。近年は集中豪雨が増加する傾向にあるため、崩壊や土砂流出のリスクも増大していると考えられる。したがって、航空レーザ測量などによる精密な地形図を整備するとともに、谷地形は小規模であっても災害の発生しやすい弱点箇所として適切に抽出・点検し必要な対策を検討することが必要である。

4 まとめ

豪雨災害に限らず、道路斜面災害に対する点検・調査、対策、維持管理のレベルを向上させていく上で、実際に発生した災害の形態や原因を分析し、得られた知見を反映させていくことは重要である。平成27年3月に策定された道路土工構造物技術基準⁸⁾では、考慮する降雨の作用について「地域の降雨特性、道路土工構造物の立地条件を勘案し、供用期間中に通常想定される降雨に基づく作用」とされており、今後新築・改築される道路については当該技術

基準に基づいて整備されるとともに、通常想定される降雨を越えるような豪雨に対しては通行規制等での対応が必要と考えられる。その場合でも災害とその原因となった降雨について十分な分析を行った上で対応方法を検討していくことが不可欠である。

また、同じ形態の災害でも現場の状況や原因は個々の災害で異なることから、適切な復旧対策を行う上でも個々の現場で災害の起こり方や原因を調査・分析することが必要である。

併せて、そのような取り組みを継続的に進めるよう、災害情報のほか、降雨情報、道路防災点検や日常パトロール等の記録、防災施設の諸元や現況、施工時の地山状況や工事記録等の情報など、必要な情報を蓄積・管理し、随時分析して知見を現場へフィードバックしていくことができる継続的な維持管理体制を構築していくことが必要である。

謝辞

災害事例の収集にあたっては、国土交通本省、管轄の各地方整備局等、各県および各事務所にご協力頂いた。深く感謝する次第である。

〈参考文献〉

- 1) 佐々木靖人, 浅井健一: 点検・災害データの蓄積と活用による道路のり面・斜面管理の高度化への取組み, 土木技術資料, Vol.55, No.8, pp.304~311, 2013.
- 2) 佐々木靖人, 矢島良紀, 倉橋稔幸: 全国国道斜面災害データベースの構築と過去15年間の災害分布特性, 日本応用地質学会平成18年度研究発表会講演論文集, pp.377~380, 2006.
- 3) 矢島良紀, 佐々木靖人, 倉橋稔幸: 国道斜面災害データベースを用いた災害特性分析, 応用地質, Vol.48, No.6, pp.304~311, 2008.
- 4) 浅井健一, 林浩幸, 宮本浩二, 佐々木靖人: 事例分析により明らかになった最近の国道斜面災害の特徴と道路斜面災害における留意点, 応用地質, Vol.54, No.6, pp.304~311, 2014.
- 5) 浅井健一, 宮本浩二, 佐々木靖人: 平成23年度直轄国道斜面災害の特徴, 平成25年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.187~188, 2011.
- 6) 浅井健一: 道路における最近の豪雨災害の特徴と復旧, 基礎工, Vol.54, No.6, pp.26~29, 2015.
- 7) 国土交通省: 報道発表資料「ゲリラ豪雨に対応し、新しい通行規制基準を試行します」, 国土交通省HP, http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000527.html (2015年11月5日現在)
- 8) 国土交通省: 道路土工構造物技術基準, 国土交通省HP, <http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/dokou/kijyun.pdf> (2015年11月5日現在)

横浜市のがけ地総合対策

ひさまつ よしあき*
久松 義明*だんの ゆうすけ**
團野 雄介**わたなべ たくみ***
渡部 匠***せいの おさむ***
清野 修***きぐち さい***
木口 彩***

Key Word

崖の民事を含む相談対応, 崖の被害影響度判定,
がけ地防災・減災対策工事助成金, がけ地現地調査, 緊急応急対策

1 はじめに

横浜市（以下、「本市」という。）は最も斜面に人口集中地区が多い「斜面都市」と言われている¹⁾。丘陵台地の雨水・湧水等の浸食による谷戸が多く分布しているとともに、造成により平坦地と谷戸が近接しており、土砂災害警戒区域は約2,430区域、約9,800箇所、急傾斜地崩壊危険区域は約690箇所が指定されている。

高度経済成長期に、東京のベッドタウンとして、急激な人口増加に伴う斜面地の宅造が行われた本市（図1参照）では、宅地造成等規制法（以下、「宅造法」という。）に先駆けて「斜面地における土木工事の規制に関する条例」を制定するなど対策を講じてきたが、大雨時には依然として毎年20～50件程度の崖崩れ（自然崖及び人工崖の崩壊）が起っており、2014年10月の台風18号の際には、2名の市民が亡くなる甚大な崖崩れ被害が発生した。現在、本市では、今後このような惨事が起こらないよう、また少しでも崖崩れ被害を減らせるよう施策を推進するとともに、より効果を上げていくための新たな施策の検討を行っている。

2 宅地開発に関する規制

2-1. 早期の制度整備

開港以来、本市では丘陵地に市街地が形成され、崖に近接した建築や宅地造成が行われてきたが、台風襲来時や梅雨時に崖崩れによる被害が度々発生していた。そのため、1950年の建築基準法制定を受け、1954年の建築基準条例において、「崖条例」と言われる崖に関する規定を新設した。更に1958年の台風22号による甚大な被害を受け、同年、規制強化

の条例改正がなされた。

また宅造法は、1961年6月の梅雨前線に伴う集中豪雨により、全国的に崖崩れ被害が発生し、被害の約3割が造成を行ったばかり、または造成中の宅地だったことを受け、1962年に施行された。しかし本市では、法制定を待たず、神戸市ほか斜面住宅地の多い2、3の都市と同様、1961年3月に単独条例「傾斜地における土木工事の規制に関する条例」を制定しており、盛土の締固め等適正な施工を実施するための規定を行っていた³⁾。

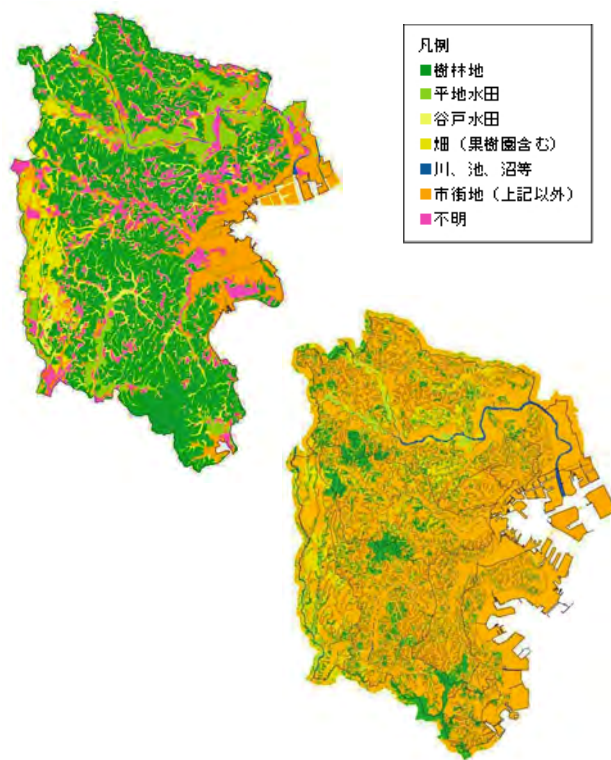


図1 1951年(左上)と1994年(右下)の本市土地利用図²⁾

2-2. 現在の規制

こうした経緯を踏まえ、本市では現在も建築基準条例における崖条例の制定及び災害危険区域の指定を行うとともに、宅造法に基づく宅地造成工事規制区域を指定し、建築物と宅地の両面から安全性の向上を図っている。

①崖条例による規制

勾配が30度を超え、かつ高さが3mを超える崖の規制対象範囲内（図2参照）に建築し、又は建築物の敷地を造成する場合には、基本的に、崖の形状、土質、建築物の規模、構造、配置、用途に応じて安全上支障がない位置に、法令及び宅造法の技術基準に適合する擁壁又は高さ2m以上の防土堤を設けなければならないこととしている。

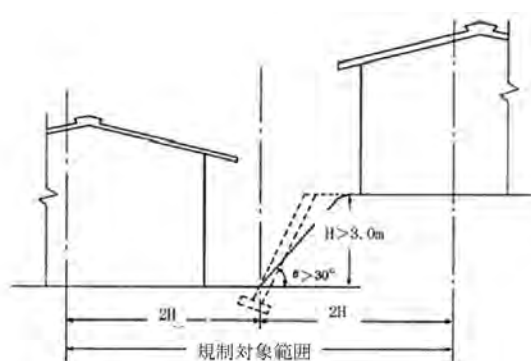


図2 建築基準条例での規制対象範囲⁴⁾

擁壁を築造できないなどの場合にも、例えば崖下に建築をする際には、主要構造部で崖崩れによる被害を受けるおそれのある部分について、開口部のない基礎の立上げをするなど、建築物側で崖崩れの被害を出さないよう措置を行うこととしている（図3参照）。

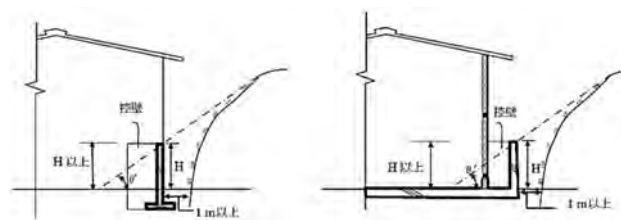


図3 基礎の立上げ（左：布基礎、右：べた基礎）⁴⁾

②宅造法による規制

本市では宅造法に基づき、市内面積の約63%を宅地造成工事規制区域として、指定している（全国の指定割合は約3%）。

宅地造成工事規制区域内で、2m以上の切土や1

m以上の盛土、500m²以上の切土盛土等、宅地造成に関する工事を行う場合は、工事着手前の許可が必要となる。さらに、区域内の土地所有者には、工事後に常時安全な状態に維持するよう努めるという保全義務が生じる。

3 近年の崖崩れ発生状況

早期に制度整備を行い、一定の質を確保した宅地開発が進められた結果、本市における人及び建物への被害や道路交通等への支障を及ぼす、又は崩壊土量が50m³以上となる大規模な崖崩れの発生件数は、1980年代以降大幅に減少した（図4参照）。

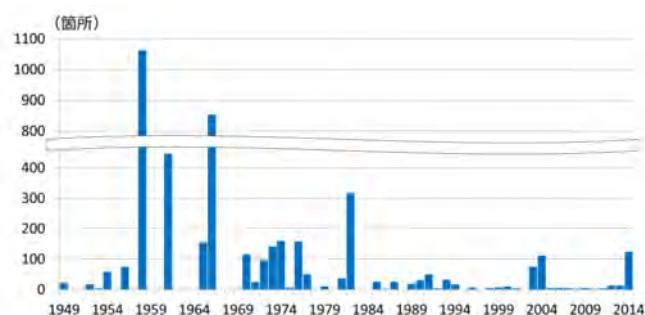


図4 崖崩れ件数の推移（1949～2014年）⁵⁾

しかし、小規模な崩壊事例は、直近約10年間で毎年20～50件程度が報告されている。特に、大型台風が接近した2004年は424件（台風22,23号）、2014年は123件（台風18号）と非常に多くの崖崩れが発生した。

3-1. 崖崩れの特徴

近年の崩壊事例のうち、人工崖を対策工種別で整理すると、コンクリートブロック（以下、「CB」という。）積みの崩壊が約半数を占めていることが分かる。続いて、大谷石積みが約2割を占める。一方、大谷石積みと同年代に築造されたと想定されるガンタ石積みや玉石積みの崩壊事例は少ない（図5参照）。

また、地質毎に崩壊事例の高さと勾配を整理すると、どの地質でも高さ5～10m、勾配60°以上の斜面で多くの崩壊が発生している。ローム層では、他の地質と比べて、高さ10～15mの斜面でも多くの崩壊が発生しており、表土・盛土では0～5mの低い高さでも崩壊事例が発生している（図6参照）。

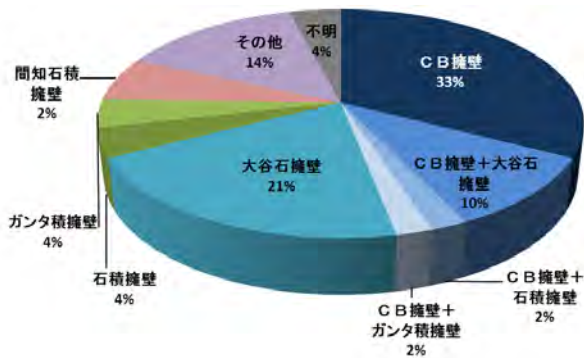


図5 対策工別の崩壊件数

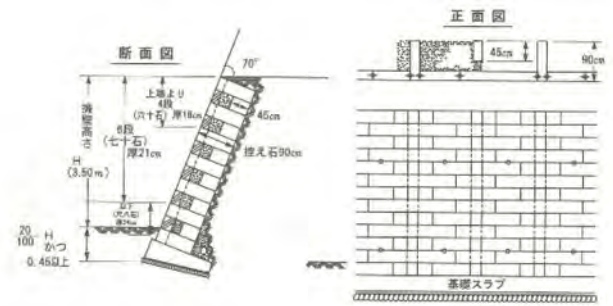


図7 大谷石積擁壁の構造図

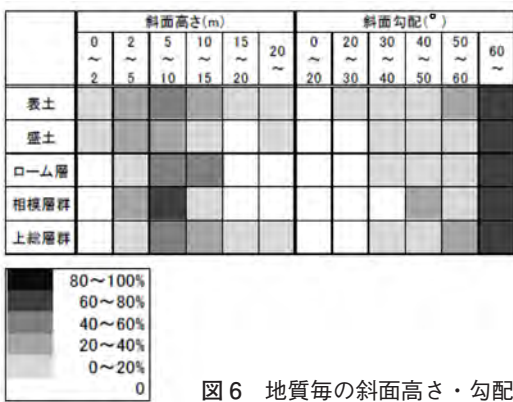


図6 地質毎の斜面高さ・勾配

3-2. 宅地における崖崩れの要因

3.1.で紹介した崖崩れの特徴の要因として、擁壁の構造や切土の基準等が、条例や法律の変遷の中で改正され、開発時期が古い地域では、現在では安全性の面から許可されていない基準のものが多く存在しているなど制度的な課題のほか、土地所有者等の宅地や崖地における経年劣化や変状に対する維持管理や安全性等についての認識が不十分であることなども考えられる。

①擁壁の構造

現行の宅造法及び建築基準法に定められている擁壁の構造は、基本的に鉄筋コンクリート造、無筋コンクリート造または間知石練積み造その他の練積み造のいずれかとされている。市内に多く存在し、近年、崖崩れが多く発生している大谷石積み擁壁は、1950～60年代にかけて多く築造されており、構造が空石積擁壁(図7参照)に近いことに加えて、風化や紫外線による劣化等により重量や厚みが失われ、崩壊を誘発しやすくなっていると推測される。

②切土法面の劣化

宅造法の施行以前は、崖条例の基準(表1参照)に基づき切土造成が行われた場合、擁壁等の設置は義務付けられていなかった。現在の宅造法の基準(表2参照)と比較すると切土法面の勾配が切り立っている。

表1 擁壁設置義務対象外となる切土の基準(旧基準)

土質	切り取れる高さ	切り取られた斜面勾配
頁岩(土丹岩)	20m以下	80度以下
硬質粘土及びローム	10m以下	50度以下
粘質粘土及びローム	3m以下	45度以下
	10m以下	35度以下
洪積砂利層	3m以下	50度以下
有機質ローム、岩屑等	3m以下	30度以下

表2 擁壁の設置を要しない切土法面の勾配(現行基準)

土質	勾配(H>5m)	勾配(H≤5m)
軟岩(風化の著しいものを除く。)	60度以下	80度以下
風化の著しい岩	40度以下	50度以下
砂利、真砂土、関東ローム、硬質粘土その他これらに類するもの	35度以下	45度以下

図1の旧地形図と近年の地形図との比較からも、現在、市内の建築物に近接した斜面の多くは、過去にこれらの切土造成等が行われた残斜面と考えられ、大雨時にこれらの斜面の崖崩れや表土の流出が多く発生している(図8参照)。



図8 崩壊事例（左：切土斜面、右：CB盛土）

③土羽付きの造成

増積みは、フェンスの基礎や土留め用に設置される2段程度のものから、盛土造成が伴う1m以上のものまでである。増積みやCB積みが多く設置される大きな要因として、5mを超える斜面を造成する場合には、間知石練積擁壁の基準高さが5mまでであるため、残斜面を土羽にする方法が認められており、擁壁の築造費用を抑えるために土羽付きの造成が行われてきたことが挙げられる（図9参照）。斜面地で狭小な宅地が多い本市においては、造成後に、土羽部分に盛土を行い、CB等で土留めを行い、少しでも宅地を広げる行為が一般化してしまっている。

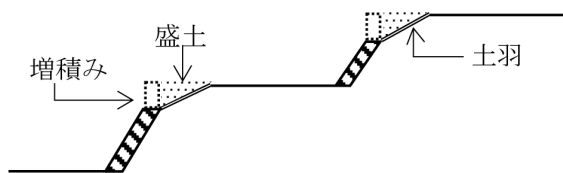


図9 土羽付きの造成

④簡易な工法による盛土造成

CB積みの崩壊事例が多い理由は、③によるものに加え、CBが安易かつ安価に築造できることも挙げられる。CB積みや増積みの危険性については、土地所有者のみでなく、施工者においても認識が不足している可能性が高く、危険性についての考慮がなされないまま、築造されている事例が多いと考えられる。

4 本市のがけ地防災対策

本市は従前より、急傾斜地崩壊危険区域の指定にかかる調整や、擁壁築造等に対する助成金による崖地改善の推進、崖崩れ発生時の防水シート掛け等の応急資材整備事業を中心に2次被害防止の取組を進

めてきた。しかしながら、前述の制度的課題や土地所有者の認識不足に加え、相隣関係のトラブルや高額な工事費用等から、改善が進みづらい状況があった。

そのため、2013年度の「がけ地総合対策調査業務委託」において、課題の抽出と新たな施策検討を行い、現在、がけ地総合対策事業の5本柱として取組を進めている（表3参照）。

表3 がけ地総合対策事業5本柱

	検討内容
A	崖の民事を含む相談対応・紛争処理へのアドバイス
B	防災・減災に有効な崖改善工法等の活用
C	崖地安全確認パトロール (専門家によるがけ地現地調査)の実施
D	自然崖及び既存擁壁の被害影響度判定
E	崖崩れ発生時の緊急応急対策(防護柵の設置助成)

4-1. 崖の民事を含む相談対応・紛争処理へのアドバイス(表3-A)

造成地については宅造法により土地所有者に維持管理義務があるとともに、崖地に近接する建築物に対しては、建築基準法において建築物の所有者に安全対策が義務づけられていることから、崖地の安全確保については、土地所有者及び隣地の双方が法令や維持管理等の責務を認識し、お互いに話し合っ対策を講じることが原則となる。

本市の相談対応では、土地所有者からの改善相談に加え、隣地からの改善指導の要望も多くあり、改善が進まない場合には民事紛争に至るケースも少なくない。そのため、初期的な民事対応や技術的なアドバイスによる紛争解決を進めることは危険な崖地の早期改善に繋がるものと考えられる。

さらに、複雑化した民事紛争に対しては横浜弁護士会との連携を図り、裁判外紛争解決手続き(ADR)を活用した紛争解決手法と市民相談の体制整備の検討を進めている。本制度では、本市が崖地の危険性や法令上の技術基準に照らした情報を仲裁機関に提供し、双方の責務についての認識を促すことで、より円滑な紛争解決が期待できる。

また、崖地の危険性の判断及び改善検討については技術的な専門知識を要するため、市内の中小規模の建設会社では崖地の状況に応じた相談対応が難しいケースもあり、改善が進まない課題がある。そのため、専門家を派遣し技術的なサポート・相談を行う制度の創設検討を進めている。特に本制度では、

擁壁の築造替えができない場合に、がけ地減災対策工事の対象となる既存擁壁等の状況に応じた安価で効果のある工法等の情報提供等を市民に行う予定であり、設計費等の負担軽減を図り、減災効果のある改善が進むことを期待している。

4-2. 防災・減災に有効な崖改善工法等の活用 (表 3-B)

本市では、擁壁の新設または築造替えにかかる工事費の一部を助成する制度「がけ地防災対策工事助成金制度」を運用してきた(図 10 参照)。



図 10 がけ地防災対策工事助成金を活用した改善

しかし、崖を改善したいものの、多額の工事費がかかる、建物が近接して工事スペースが確保できないなどの市民相談が多く寄せられ、改善が進まないという課題があった。

そこで、様々な立地条件に応じた工事施工が可能で比較的安価な、既存擁壁の補強や法面の保護工事など、「減災」を目的とする改善工事を対象に「がけ地減災対策工事助成金制度」の運用を 2015 年 4 月から開始した(表 4, 図 11 参照)。本制度により、崖地改善の選択肢が広がり、崖地改善が促進されると考えている。

表 4 減災対策工事の種類

	種類(工法)
1	擁壁の補強工事 (法枠、鉄筋挿入工等)
2	法面の保護工事 (吹付工、落石防護柵工等)
3	地滑り防止工事 (抑止杭、鉄筋挿入工等)
4	待ち受け擁壁工事 (待ち受け擁壁等)



図 11 法枠による補強工事例

また、2015 年 11 月からは、増積み擁壁の増積み部分の撤去及び石積擁壁等の崩壊時の被害低減を目的とした金網補強等の工事費の一部を助成する制度も運用を開始した(図 12 参照)。

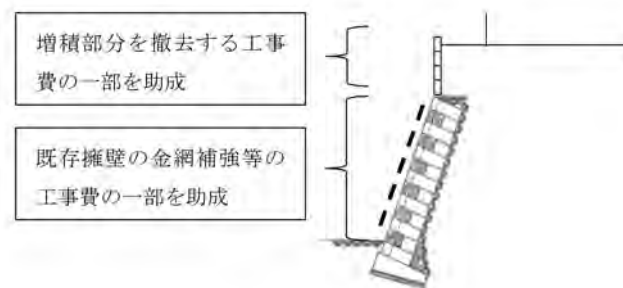


図 12 減災助成制度の解説(拡充)

4-3. がけ地現地調査の実施及び被害影響度判定 (表 3-C,D)

崖崩れ対策においては、擁壁等の変状や未対策斜面を発見し、土地所有者に改善を促す必要がある。そのため、2014 年 6 月から、市内の土砂災害警戒区域を対象に、市職員による「がけ地安全確認パトロール」に着手したが、2014 年の台風 18 号の崖崩れ災害を受け、調査の早期実施が求められたことから、委託により 2017 年度までに「がけ地現地調査」を完了させることとした(図 13 参照)。



図 13 がけ地現地調査の様子

調査では、崖及び擁壁の形状・状況、崖地と建築物の離隔等を総合的に評価し、崖崩れが発生した場合に人家に著しい被害を及ぼす可能性がある崖地を選定した。選定した崖地を含む土砂災害警戒区域を「土砂災害警戒情報の発表とともに避難勧告を一齐に発令する対象区域」として公表を行う等、全国的にも先進的な取組みとなっている。対策が必要な崖地の所有者に対して改善対策を促していく予定である。2015 年 8 月 24 日現在、約 1,500 箇所の調査が

終了し、避難勧告対象区域として、51箇所を指定を行った。

「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」では、斜面傾斜30°かつ斜面高さ5m以上の斜面を急傾斜地として抽出しているが、斜面毎に地形・地質状況及び既存対策工の状況が異なるため、崩壊の危険性は同一ではない。そのため、本パトロール及び現地調査に際して、崖地の土質や地形情報、対策工の有無、崩壊形態及び保全対象の状況等を考慮した崖地の被害影響度をA～Dで判定する手法に加えて、(一社)全国地質調査業協会連合会(以下、「全地連」という。)の道路防災点検の手引きの安定度調査表「擁壁」及び「落石・崩壊」を併用することとした。避難勧告対象区域は、崖地の影響度判定及び安定度調査表を基に個々の状況を勘案して特定した。

4-4. 崖崩れ発生時の緊急応急対策(表3-E)

本市では、大雨時に発生した崖崩れに対して、周辺住民への被害拡大防止のために防水シート掛け等を行う応急資材整備事業や、崖地の法尻保護等を行う応急仮設工事の助成金制度を運用してきた。しかし、土地所有者等が不明の場合や対応の意思を示さない場合には、対応ができないという課題があった。そのため、2014年11月に隣地での自衛策として、仮設防護柵を設置することのできる緊急応急対策工の助成制度を開始した(図14参照)。

また、大雨時の市職員の対応については、崖の状況に応じた的確な判断と行動を要するため、2015年8月に全地連の協力を得て、技術研修会を実施し、現場での対応力向上を図った(講師:上野将司氏、図14参照)。制度的な検討を進めることは必要であるが、制度を運用する職員の育成と経験の蓄積も重要であると考えている。



図14 緊急応急対策例(左)、研修状況(右)

5 今後の課題

5-1. 民事紛争解決と民地崖の評価

土地所有者が、隣地から崖地の改善が求められるケースは多々あるが、円滑に改善が進まない場合には紛争や訴訟に至るケースがある。これらの解決は当事者間の話し合いによる民事解決が原則となるが、古い擁壁の安全性についての評価や調査手法は明確ではなく、危険かどうかを断定できないために解決が困難になっている課題がある。同時に大谷石積み擁壁は、変状がなくても大雨時に崩壊する事例が多く、安全と判断することもできない。全地連には「道路防災点検の手引き」や本市のがけ地現地調査の経験を踏まえた「民地崖」に対する点検手法の確立を期待したい。

5-2. 活用されやすい制度・手法の検討

崖地の改善相談があった場合には、崖地や所有者の状況に応じた改善方法の提案が重要であり、本市では、次の3種類を主に案内している。

- ①崖崩れ後や建築物の建替えと同時に改善する場合は、擁壁の築造替え(防災対策)
- ②改善費用の捻出が困難、工事スペースが確保できない場合は、擁壁の補強工事(減災対策)
- ③高い斜面や広域な斜面の改善は、急傾斜地崩壊対策事業

減災対策は多様な状況に応じた適用が可能であるが、宅造法等により技術基準が定められているものではないため品質評価に課題があり、「暫定工法」と呼ばざるを得ない状況がある。評価について「横浜市造成宅地等災害防止対策検討委員会」(委員長:太田秀樹教授)に諮る等のルール化を進めるほか、技術基準の確立を国に要望している。

5-3. がけ地現地調査と避難勧告の運用

通常、避難勧告対象区域の指定については、土砂災害特別警戒区域を基に、既存の建築物への影響を考慮し、指定を行う方法が考えられる。しかし、本市では、現在、土砂災害特別警戒区域の指定がなく、昨年度の大雨による甚大な被災状況を勘案すると、がけ地現地調査及び避難勧告対象区域の特定を早期に進める必要があると判断した。そのため、今後、県による土砂災害特別警戒区域の指定が行われた場合や崖地対策等が進んだ場合には、柔軟に見直しを行う必要がある。



図 15 本市の崖地総合対策の概要と今後の課題

また、本市のがけ地現地調査は、法令等に基づく調査ではないことや、結果を公表した場合に資産価値への影響が考えられることなどから、承諾を得て実施している。これまで一部に承諾が得られない場合があり、今後、同意を得られるよう、繰り返し所有者に説明を行っていくとともに、本事業が市民からの理解を得られるように啓発を進めていく。さらに、避難勧告の対象となった崖地の改善検討も必要と考えている。

5-4. 土砂災害特別警戒区域の課題

土砂災害特別警戒区域内では、制限用途の開発行為の抑制と建築基準法による構造規制等を受ける。用途によっては、建て替えが困難になることや斜面保全に有効な斜面地建築物が規制されること、新規開発が困難になることなどが想定され、市街地における区域指定については課題がある。今後、これらの課題を踏まえた斜面地行政のあり方の検討が必要と考えられる。

<謝辞>

がけ地現地調査や避難勧告対象区域の特定、技術研修等は、全地連からの多大なる協力と助言をいただき進めております。改めて皆様方にお礼を申し上げますとともに、今後とも本市のがけ地防災対策事業へのご協力をお願いします。

<参考文献>

- 1) 読売新聞 2015年8月18日 38面
- 2) 横浜市環境科学研究所 環境研資料 No.146 : 「花鳥風月のまちづくり」, pp.31-32, 2002.03
- 3) 横浜市政策局政策課 調査季報 7号 : 「宅地問題の現状と対策」, pp.15-19, 1965.05
- 4) 横浜市建築局建築情報課 : 「横浜市建築基準条例及び同解説 (平成27年度版)」, pp.2-8,128-192, 2015.07
- 5) 横浜市総務局危機管理室 : 「横浜市の災害」

植生による斜面安定効果

いながき ひでき
稲垣 秀輝*

K
ey Word

植生, 斜面安定, 根系層崩壊, 杭効果, 緊縛効果, 吸水効果

1. はじめに

我が国に発生する斜面崩壊の55%は表土の崩壊であり、崩積土や段丘堆積物・強風化岩などを入れると斜面崩壊の約90%がこれら表層崩壊で占められる。このため、斜面を保全するためにはこれらの表層崩壊を未然に防止することは重要なことである。ところで、表層崩壊は樹木の根が分布する深さ、もしくはそれよりやや深い程度の土層が、降水の浸透とその地下水によって凝集力・粘着力などの力学的安定性を失い、地表に沿って剥落・滑落などの形で急激に崩れるものである。したがって、植生のあるなしや、植生の種類、その管理状況がこれらの表層崩壊に大きくかかわっていることが推測される。

つまり、植生による斜面安定効果として、降雨の分散や地表の侵食防止、根系による表層の緊縛効果、杭効果が考えられ、植生根系による斜面安定手法を確立していくことは、我が国の数多くの斜面や法面の保全や地域の生態系の保護のためにも大いに役立つとともに、もっとも経済的な対策方法と考えられる。ここで、生態系を考慮した植生による斜面安定性の評価と、地盤工学的な考察を行なう。

2. 植生と斜面安定に関連した研究

そもそも、斜面安定と植生に関する研究をまとめると、次の3点になる。①植生が斜面安定に効果がない、あるいは斜面を不安定にしているという定性的な研究。②植生が斜面安定に効果的であるという定性的な研究。③植生の斜面安定効果を定量的工学的に評価しようとする研究。

①については、植生が斜面を不安定にしている

定性的な研究として系統立てたものはない。一般に、根系の分布限界を越える深層崩壊では植生による崩壊防止効果は少ないといえる。植生根系が分布する表層においても急傾斜地などで植生根系が割れ目に入り込み、岩盤の緩みを助長することがあるといわれている。このため、根系の進入により緩んだ地盤が、地震時や豪雨時あるいは強風により樹木といっしょになって崩落する可能性が指摘されている。また、土石流に巻き込まれた倒木や流木は土砂災害を大きくする事例も報告されている。このため、道路切土法面では、倒木により直接自動車に影響を与える法面下部には樹木化を控えることが多い。

それに対して、②については、植生が斜面安定に効果的であるという研究として、森林の公益的機能の1つとして土砂流出防止機能や土砂崩壊防止機能に関する研究が主として治山の分野で行われている。特に明治以降の近代産業の復興にあわせて森林伐採が進み、戦後には山地の荒廃が著しく、豪雨のたびに土砂災害が頻発した。このため、20世紀中頃を中心として森木の土砂流出、崩壊防止機能に対する基本的な研究が進んだ。たとえば、川口武雄(1953)¹⁾などによると地被別による侵食土量の違いは、年侵食土量で荒廃地 $10^2 \sim 10^1$ mm、裸地で $10^1 \sim 10^0$ mm、農耕地で $10^0 \sim 10^{-1}$ mm、草地・林地で $10^{-1} \sim 10^{-2}$ mmと積算しており、植生による土砂侵食防止効果が高いことがわかる。さらに、難波(1972)²⁾によると、植生による地被状況がよいほど表層崩壊が少なくなることを示した。

植生による土砂侵食防止のメカニズムとしては、植生や落葉落枝の被覆による雨滴や地表流からの土壌侵食の防止と、多孔質な森林土壌による雨水

*株式会社環境地質 代表取締役, 京都大学防災研究所 非常勤講師

の浸透による地表流の減少が考えられる。植生による土砂崩壊防止のメカニズムとしては、表土中にはりめぐらされた根系による表層地盤の緊縛効果と垂直方向の主根による杭効果などが挙げられる。また、戦後の復興に伴う木材需要の増大で森林の皆伐一斉植林が行われ、その結果、皆伐後5～10数年の間に表層崩壊が多発した。その原因として北村・難波(1981)³⁾による伐採木と植林木とを合計した根系による地盤強度補強特性図は有名である。これによると、伐採木と植林木の合計根系強度は皆伐後約10年程度で最低となっている。塚本(1987)⁴⁾は統計的に山地の斜面災害調査し、林齢20年前後を境にして幼齢林の斜面崩壊確率が壮齢林に比べて3～6倍高いこと、しかも、針葉樹林は、広葉樹林に比べて20年以下の林地の崩壊率が高いことを示した。さらに、既往の林地崩壊に関する研究成果の多くが花崗岩地域と新第三紀層の山地を対象とし、ここでは崩壊が多く、中古生層では崩壊が少ないとしている。太田(1986)⁵⁾はこのことを花崗岩・新第三紀層に比べて中・古生層の斜面基盤は亀裂が多く、根が基盤面まで伸張しやすいことが表層土壌を斜面に固定しやすいからと推定している。

最近では稲垣(1999)⁶⁾が、台風による風倒木被害が幼少な針葉林で多く、広葉樹林で少ないことを示している。また、稲垣(2000)⁷⁾は風化花崗岩地盤で皆伐跡地の針葉幼樹林で崩壊が多く、同じ地盤でも潜在植生からなる自然林内で崩壊が少ないことをその地盤特性から明らかにしている。佐々木(2001)⁸⁾も、鹿児島県北西部地震の際、伐採跡の幼樹林で表層崩壊が多く、成樹林では崩壊が少なかったなどの報告を行っている。

③植生の斜面安定効果を定量的に評価しようとする研究としては、古くから植生の種類や特に樹種による伐根強度の研究が行われており、荻住(1979)⁹⁾に示されるように樹種によってその強度が異なる。一般に植林に利用される針葉樹より、ブナ、シイ・カシのような広葉樹の根系の支持力が大きいといわれている。また、海外ではWaldron(1977)¹⁰⁾により、根を含んだ土のせん断強度を粘着力の増加として説明したモデルがあり、根によるせん断抵抗力の補強メカニズムを検討している。1990年代に入ってから、植生の斜面安定効果を定量的に評価しようとする研究が、林業の分野だけでなく地盤工学の分野で行われるようになった。八木他(1992)¹¹⁾は根系による砂質土の補強機構と強度特性として、室内試験による含根率とせん断強度の関係を示し、地盤内の含根率の増加が地盤の粘着

力の増加で示されることを明らかにした。さらに、根系により補強された土の現地せん断特性を原位せん断試験により明らかにしている。

これらの研究成果に刺激されるかのように林業の分野でも力学的な検討の動きが加速し、阿部(1996)¹²⁾では、図2-1に示したとおり杉の原位せん断試験が行われ、単一根の補強効果を明らかにしたうえで、杉の根系分布をシミュレーションし、樹木根系を考慮した斜面安定解析を実施している。稲垣(2001)¹³⁾は本論文で述べるようにこれらの研究成果を整理し、表層斜面崩壊に対する根系の斜面安定効果とその工学的な取扱いについて検討したうえで、生態系を考慮した植生根系による斜面安定手法を提案している。

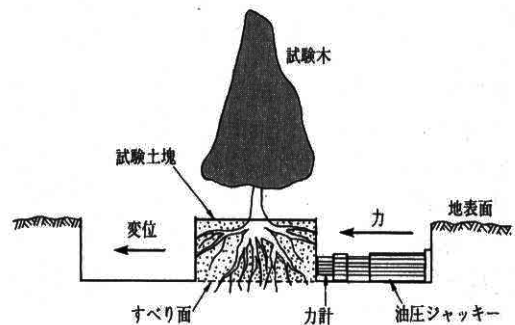


図2-1 杉の原位せん断試験の概要¹²⁾

3. 植生が斜面安定に効果的であった事例

著者は、植生による斜面安定効果があった次の3事例を研究した。①未固結地盤からなる室戸半島の段丘堆積物の海食崖では、段丘面が森林植生の地域では表層崩壊が少なく、段丘面が農地となりその流末が未整備の斜面で約20年間隔の表層崩壊が発生していることがわかった¹⁴⁾。②未固結砂地盤からなる北海道根釧台地の河食崖では、台地面が全体的に放牧地に改変されており、斜面崩壊が平均3.6年で発生し、その侵食速度は平均0.7m/毎とかなり速いことがわかった。これらの2例とも、未固結層斜面やその上部平坦面での森林植生が斜面安定に大きく貢献していることを示している¹⁵⁾。

それに対して、③岩盤斜面での植生の斜面安定効果として岐阜県七宗町の例がある(図3-1)。ここでは、風倒被害や斜面崩壊が幼令な針葉樹植林斜面で多いこと。さらに、間伐などの手入れが行われていない植林での崩壊が多いことを示した。つまり、岩盤斜面でも森林植生が斜面の安定性に寄与していることを明らかにしたが、斜面の安定性は森林があるだけでなく、樹種や森林の手入れの仕方にも影響されることがわかった⁶⁾。



図 3-1 風倒被害や斜面崩壊が多い幼齢な針葉樹植林斜面⁶⁾

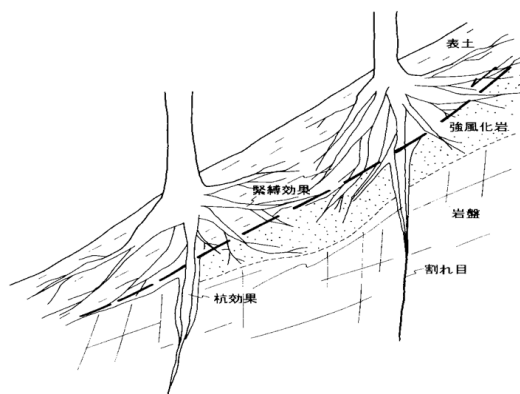


図 4-1 植生の根系による崩壊防止効果概要図¹⁶⁾

4. 根系層崩壊が発生しやすい地質

降雨が多量で林地地盤が不安定な場合に、立派な森林地でも表層崩壊が発生することがある。斜面崩壊は本来、降雨・地形・地質・土壌・植生などの諸条件に影響されるものであり、植生や森林のあり方だけで完全に崩壊を防止できない。

しかし、樹木の重量は崩壊土砂の重量の数%以下と小さいことが多く、崩壊の主要因としては考えにくいし、根系による岩盤の劣化速度は対策工としての構造物の寿命を考えるとそう早くない。したがって、地盤状況にあわせて植生を管理していくことで斜面の安定化はある程度対応できると考えている。

いいかえれば、自然の植生遷移を斜面安定に適した形で誘導していくと、半永久的な斜面安定の対策工となりうる可能性がある。ただし、浅根性樹種の過密不良林などにみられるように、弱い根系が浅くまとまって単純な板状層を成した森林では、豪雨による浸透水が根系の板状層とその下の地山との間に集中し、離層を生じて板状層の滑落が発生することがある。著者の研究においても地表植生の状況にかかわらずこのような板状層を形成しやすい地盤特性が存在していることがわかってきた。

たとえば、低溶結火砕流堆積物や風化花崗岩、泥岩地盤では植生に関わらずこのような板状層を形成しやすい地盤構造であり、この板状層に起因した崩壊を「根系層崩壊」と呼ぶこととした¹⁶⁾。一般に根系による斜面崩壊の防止効果は図 4-1 のように考えることができ、根系による緊縛効果と杭効果が主なものである。

根系の深度方向の発達が悪化された地盤では、せん断強度の低下するすべり面が岩盤直上に出現するため、根系層崩壊が生じるのではないかと考え

ている。つまり、「根系層崩壊」とは、図 4-2 に示したとおり、①崩壊厚さが 1m 未満ときわめて薄いこと、②斜面傾斜が 40° 前後と急であること、③表流水や地下水が集まりやすい地形・地質で生じること、④根系のある表層の直下に岩盤が分布し、Nd 値が 2 以下から 50 以上に急変すること、⑤表層直下の岩盤に根系が入り込む割れ目がないこと、⑥崩土内の立木が立ったままで崩土全体が速い速度で流下すること等を特徴としている。

また、根系層崩壊は①低溶結火砕流堆積物、②風化花崗岩、③第三紀層泥岩、④その他塊状砂岩などの割れ目の少ない一枚岩（流れ盤に多い）、⑤植生工の施工された切土法面などのように人工的に堅岩の直上に薄い表土がある地盤で発生することが明らかになった。

これからの根系層発生地盤では植生根系による斜面安定効果は制限されるため、一度でも良好な表層が消失すると繰り返し根系層崩壊が発生し、その対策が容易でない。

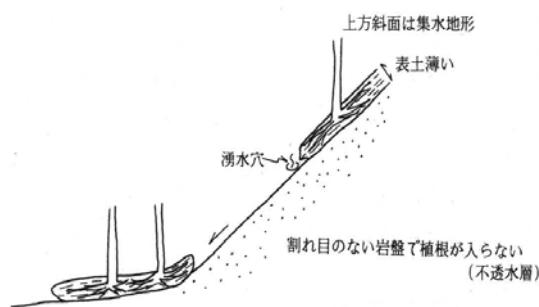


図 4-2 根系層崩壊概念図¹⁶⁾

5. 植生指標崩壊度の利用

植生を指標として、斜面の安定性を評価することも出来る。たとえば、崩壊度判定として表 5-1 に示した「植生指標崩壊度」を利用すると、現状の

斜面の安定性と長期的崩壊予測をすることが可能となる。

表 5-1 植生指標崩壊度⁷⁾

	IV	崩壊後、間もない裸地
	III	崩壊地に草本侵入
	II	崩壊跡地に木本侵入
	I	崩壊跡地に木本定着

表 5-1 は崩壊面が植生復帰する割合を示しており、崩壊後の植生復帰状況を時系的に追跡すると表層崩壊の繰り返し性や免疫性が明らかになり、地域全体の斜面での長期的な崩壊予測が可能となる。事例としては滋賀県南部の表層崩壊斜面⁷⁾と室戸半島の海食崖の例¹⁴⁾で実証できた。

たとえば、滋賀県南西部の風化花崗岩分布地域の例では、1963, 1970, 1975, 1982, 1985, 1990, 1995年の合計7時期に撮影された空中写真を用い、写真判読により根系層崩壊の繰り返し性や時間的变化を調べた。

表層崩壊した箇所では、崩壊直後は崩壊面が露出するが、その後、露出した崩壊面は風化していく。そして、植生の侵入やそれに伴う土壌化の進行により高度な植生の進入という遷移を行い、しだいに崩壊面の植生は回復していく。この考え方にに基づき、写真判読と現地確認による斜面の植生指標崩壊度の判定を行った。

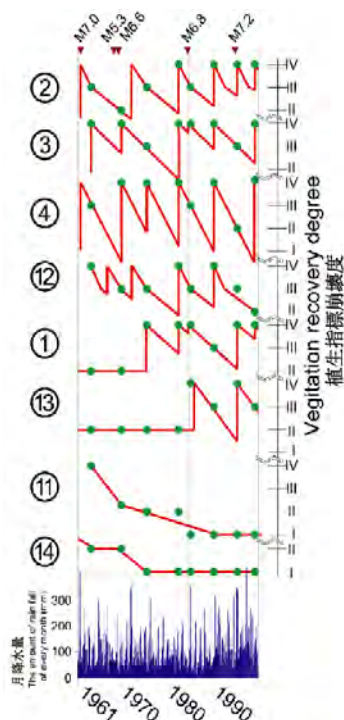


図 5-1 風化花崗岩での根系層崩壊の経過⁷⁾

1963年の空中写真を見ると、調査地域は伐採直後であり、ヒノキの幼木が植樹されている。さらに、これらの崩壊度の時間的变化と降雨量や地震のデータをグラフにまとめ図 5-1 に示した。

図 5-1 より以下の結果が得られ、①~⑭, ⑬のように根系層崩壊は一度崩壊が発生すると崩壊を繰り返し、十分に斜面が安定化しないことを示している。しかし⑪, ⑭のように植生管理がよく、崩壊地に木本が定着してしまうと、風化花崗岩でも斜面が定着していく可能性を示している。

6. 粘着力合算法による根茎の工学的取り扱い

まず、根茎による斜面崩壊防止メカニズムは根系による地盤の緊縛効果と杭効果としてとらえることができる。この中で、緊縛効果については、表流水などによる浸食防止に効果が高く、従来の植生工などの侵食防止効果として、定性的に促えればよい。

次に、杭効果であるが、これについては斜面上の根の大部分が、土壤中に発達しているものの、直根・側根の一部は基岩層にも侵入し土壌層と基岩層の境界面のせん断破壊に対する抵抗力を増加する効果として促えることができる。このような、根によるせん断抵抗力の補強メカニズムについては、Waldron (1977)¹⁰⁾による根を含んだ土のせん断強度を粘着力の増加として説明したモデル (1) 式がある。

$$S_r = c + \Delta S + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (1)$$

(ただし、 S_r : 根を含んだ土のせん断強度、 c : 土の粘着力、 ΔS : 根によるせん断強度、 ϕ : 土の内部摩擦角である)

この Waldron のモデルはたいへん有用であるが、現地での試験結果を利用するにはパラメータが多く、その値を入手するために手間がかかる。そこで、稲垣 (2001)¹³⁾は簡易に根を含んだ地盤全体のせん断強度を求めるために、以下の「粘着力合算法」と呼ぶ (2) 式を提案した。

$$C_3 (\text{根系を含む地盤の強度}) = C_1 (\text{根系による粘着力の増加}) + C_2 (\text{土質の強度で、粘性土を主体とする表土を対象としているので粘着力で評価}) \dots (2)$$

この式で重要なことは、根系のかかわる崩壊が表層のほとんど不飽和である粘性土を主体とする部分に限られるとして、内部摩擦角 (ϕ) を考慮せず粘着力だけの計算に簡潔化したことである。このために、計算は容易となるが、間隙水圧を考慮できない不利な面がある。これについては今後の課題である。また、この式を利用するにあたっては、深度方向ですべり面などの崩壊を発生させる弱線の抽出が重要となるため、深度方向で連続

的に C_1 と C_2 求められる工夫を行った。

まず、斜面安定にかかわる根系の力学的強度 (C_1) として、八木他 (1992)¹¹⁾ などが室内試験や原位試験を行っているように、含根率による地盤の粘着力の増加として評価する。その際、含根率の算出はトレンチなどによる根系のスケッチにより、深度毎におこなう。

次に、土質の強度 (C_2) は 5cm ピッチで実施する動的簡易貫入試験の Nd 値から深度ごとに求める。根系を考慮した地盤全体の強度 (C_3) は C_1 と C_2 の和とする。これによると、植生の根系による地盤安定効果と土質自体の強度による地盤安定性を合計した形で根系を考慮した斜面表層のすべりに対する安定性を深度ごとに算出し、斜面表層の安全性を評価することができる。

(2) 式の考え方を概念的に示すと図 6-1 のとおりとなり、稲垣 (2002)¹⁶⁾ が示した根系の深度方向の発達が阻害された根系層崩壊地盤では、せん断強度の低下するすべり面が岩盤直上に出現するため、表層崩壊が生じることがわかる。

試みとして、福島県白河地区の根系層崩壊箇所¹⁷⁾での動的簡易貫入試験結果とその付近の根系のスケッチによる地盤の含根率から、地盤全体のせん断強度 (C_3) を求めてみた。その結果は、図 6-2 に示したとおりであり、根系層の直下に地盤のせん断強度 (C_3) の低下箇所が発生している。この粘着力合算法を検証するため、植生根系の異方性に着目し、根茎を使用した室内大型一面せん断試験を行うことにより根系の根の張り方による斜面安定効果を求めた。試験結果は図 6-3 および表 6-1 のように根系層崩壊の発生機構を支持する結果を得た。

つまり、粘着力合算法は斜面安定に関して根茎を考慮した地盤強度を表す 1 手法といえる¹⁸⁾。

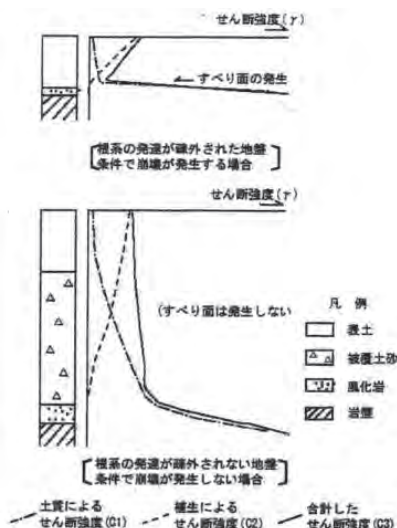


図 6-1 根系を考慮した地盤強度図

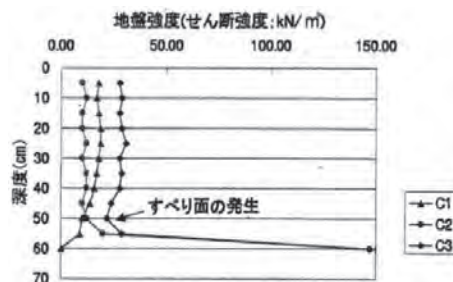


図 6-2 根系層崩壊が発生した白河地区の事例

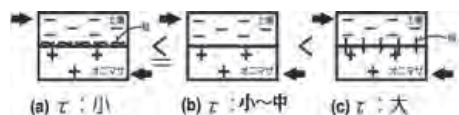


図 6-3 根系の異方性に着目した室内一面せん断試験の結果概要

表 6-1 根系の異方性を考慮した一面せん断試験結果一覧表

項目	根茎がすべり面に平行	根茎なし	根茎がすべり面に垂直
ϕ (°)	32.0	30.4	38.0
c (kN/m ²)	11.8	13.8	17.6
備考	根系層崩壊を想定	根系を無視した場合	根系の抗効果を期待した場合

7. 表土の簡便な強度調査法と対策工の提案

近年斜面の表層崩壊が増加する傾向にある。したがって、簡便な表層崩壊の調査と対策工法を確立することが急務である。ここでは、2010年9月に発生した神奈川県北部の豪雨災害調査を事例に、表層斜面の安定性を評価する簡易調査法として土層強度検査棒の適応事例を報告し、表層崩壊の簡易的な対策工法としての鉄根打設工法の概要について述べる。

豪雨災害による流出土砂は斜面表層に堆積した宝永スコリアを主体としている。常時は、植生によって安定となっている表土が豪雨によって流出したものである。この、表土の厚さと強度を土層強度検査棒で簡易に調査することが出来た (図 7-1, 表 7-1)。

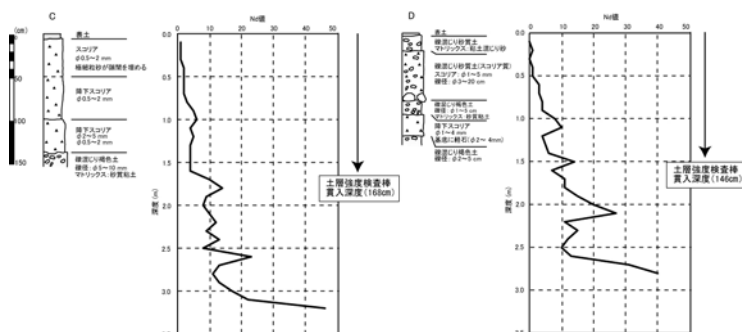


図 7-1 土層強度検査棒貫入深度と簡易貫入試験結果との関係¹⁹⁾

表 7-1 土層強度の測定結果¹⁹⁾

地質	崩積土	宝永スコリア	表土
粘着力 (C: N/m ²)	9.0	4.5	18.1
内部摩擦角 (φ: °)	30.4	39.6	17.7

さらに、表層を安定させるために、植林を残したまま斜面の表層崩壊防止工法を施工した。この工法は、森林の根系がもつ国土保全機能を維持したまま斜面の表土層を補強する工法である。細長い鉄製の有孔管を木の根のように配置することで、表土層の杭効果、緊迫効果を期待し、有孔ストレーナ加工をすることで吸水効果（間隙水圧の低減）を期待するもので、簡便で環境負荷もすくない。いわば、鉄製の擬似根系を作るともいうべき工法で、「鉄根打設工法」と称される工法である（図 7-2）。

鉄根打設工法施工後のスコリア堆積斜面において、台風 8 号など時間雨量 50mm 以上の豪雨があったが、今のところ表層崩壊はなく、効果を発揮している。

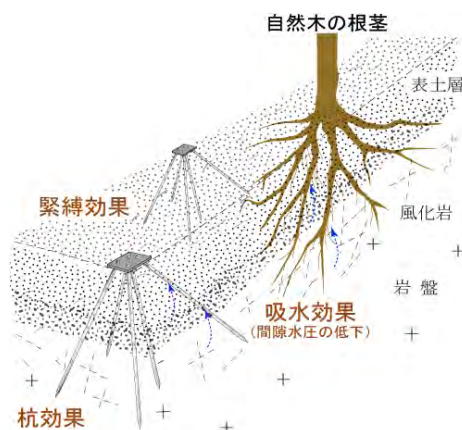


図 7-2 鉄根打設工法の提案¹⁹⁾

8. おわりに

植生には多様な斜面安定機能があり、斜面安定機能が高い植生は地域の生態系の保全にも大いに役立っていることがわかってきた。ただし、表層崩壊は植生のみで安定化できるものではなく、根系層崩壊の発生などのように地形・地質などの地盤特性を十分に知っておくことも重要である。

最後に、国土の大半を占める山地の全ての斜面崩壊を人的に構造物により防止することは、技術的にも経済的にも不可能である。したがって、今回提案した植生を考慮した斜面安定手法により、広域に斜面の安定性を評価した上で、多面的に環境保全効果の大きい植生の整備によって地域全体での斜面の安定を図り、その効果の及ばない危険な箇所、社会的に重要な箇所に限り人工構造物な

ごによる対策を施すことが経済的にも、自然環境保全の面からも重要であると考えている。

〈参考文献〉

- 1) 川口武雄：山地からの土砂流出とこれに対する治水及び森林の効果，林業技術，138号，1953
- 2) 難波宣士：豪雨による山地崩壊と森林との関係，施工技術，第5巻，第11号，pp.93～98，1972
- 3) 北村嘉一・難波宣士：抜根試験を通して推定した材木根系の崩壊防止機能，林業試験場研究報告313号，1981
- 4) 塚本良則：森林の崩壊防止機能に関する研究，東京農工大学演習林報告，Vol.23,pp.65～124,1987
- 5) 太田猛彦：山地災害防止機能について，森林計画研究会会報，No.298,pp.17～26,1986
- 6) 稲垣秀輝：植生の違いによる風倒木の発生と斜面崩壊，応用地質，Vol.40，No.4，pp.196～206，1999
- 7) 稲垣秀輝：滋賀県南西部に分布する風化花崗岩の表層崩壊の特徴，応用地質，Vol.41，No.2，pp.103～112，2000
- 8) 佐々木靖人：鹿児島県北西部地震における森林の崩壊防止効果，応用地質，Vol.42，No.2，pp.101～113，2001
- 9) 苅住昇：樹木根系図説，誠文堂新光社，1121p，1979
- 10) Waldron,L.J.: The shear resistance of root permeated homogeneous and stratified soil, Soil Science Society of American Journal,Vol.41,pp.843～849,1977
- 11) 八木則男・榎明潔・矢田部龍一・大塚俊二・牛尾充：根系による砂質土の補強機構と強度特性，第27回土質工学研究発表会講演集，pp.1865～1866，1992
- 12) 阿部和時：原位置一面せん断試験によるスギ根系の斜面崩壊防止機能の研究，日本緑化学会誌，Vol.22, No2, pp.95～108,1996
- 13) 稲垣秀輝：生態系を考慮した植生根系による斜面安定手法の提案，第4回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，(社)地盤工学会，pp.191～196，2001
- 14) 稲垣秀輝・平田夏実・日浦啓全：四国室戸半島の海食崖における崩壊特性，地すべり，Vol.41, No.5, pp.46～49,2005
- 15) 稲垣秀輝・平田夏実：北海道釧路地方の洪積地周縁斜面の侵食速度と崩壊特性，地すべり，Vol.39, No.4, pp.101～105,2003
- 16) 稲垣秀輝：根系層崩壊，土と基礎，Vol.50，No.5，pp.5～7，2002
- 17) 稲垣秀輝：1998年台風4号による福島県白河地方での表層崩壊の特徴，応用地質，Vol.40, No.5, pp.306～315,1999
- 18) 矢田部龍一・稲垣秀輝・岡村未対・ネトラバンダリー：自然斜面の安定問題における土の強度試験活用の現状と課題，土と基礎，Vol.54，No.10，pp.12～14，2006
- 19) 下河敏彦・稲垣秀輝・小坂英輝・鶴沢貴文：斜面表層の簡便な土層強度調査と対策工の提案—平成22年9月神奈川県北部豪雨災害の調査事例—，砂防学会誌，Vol.65, No.5, pp.41～44,2013

やさしい
知識

改正土砂災害防止法

やまぐち かずや
山口 和也*Key
ey Word土砂災害防止法, 土砂災害警戒区域, 土砂災害特別警戒区域, 警戒避難,
避難勧告, 土砂災害警戒情報

1. はじめに

平成 26 年 11 月に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」(以下「土砂災害防止法」という。)が改正されました。

土砂災害防止法は 15 年前の平成 11 年 6 月に広島市で発生した集中豪雨による土砂災害を契機として制定された法律です。この災害では、その多くが山麓部に開発された新興住宅地で生じ、死者・行方不明者 32 名の被害となりました。これを教訓として、平成 12 年に「土砂災害防止法」が制定され、翌 13 年に施行されました。



図 1 平成 11 年 6 月 29 日の広島土砂災害の状況
(撮影：アジア航測株式会社)

この法律では、都道府県が土砂災害防止対策基本指針に基づいて基礎調査を実施し、土砂災害が発生するおそれがある土地の区域を「土砂災害警戒区域」として指定し、市町村が警戒避難体制の整備を図ることが定められています。また、土砂

災害警戒区域のうち著しい土砂災害が発生するおそれがある土地の区域を「土砂災害特別警戒区域」として指定し、宅地の開発や建築物の構造規制を進めることも定められています。

そのようななか、平成 26 年 8 月 20 日に発生した広島市における集中豪雨による土砂災害において、死者 74 名という甚大な被害が再び生じたことから、昨年の 11 月に土砂災害防止法が一部改正されました。



図 2 平成 26 年 8 月 20 日の広島土砂災害の状況
(撮影：アジア航測株式会社)

2. 土砂災害防止法の改正の概要

国土交通省のホームページに示された改正の概要は以下の通りです。

① 基礎調査制度の拡充

イ 都道府県に対し、基礎調査の結果を公表することを義務付ける。

ロ 国土交通大臣は、基礎調査が適正に行われてい

*アジア航測株式会社 九州コンサルタント部九州防災地質課

ない場合において、講ずべき措置の内容を示して是正の要求を行うものとする。

② 土砂災害警戒区域における警戒避難体制の整備

市町村防災会議は、土砂災害警戒区域の指定があったときは、市町村地域防災計画において、当該区域ごとに、避難場所及び避難経路に関する事項等を定めるものとする。

③ 土砂災害警戒情報の提供の義務付け

都道府県知事は、避難勧告等の判断に資するため、土砂災害警戒情報を関係のある市町村の長に通知するとともに、一般に周知させるため必要な措置を講じなければならないこととする。

④ 土砂災害に係る避難勧告等の解除に関する助言

市町村長は、土砂災害に係る避難勧告等を解除しようとする場合において、国土交通大臣等に対し、助言を求めることができることとし、求められた場合は、必要な助言をするものとする。

⑤ 地方公共団体への援助

国土交通大臣は、この法律に基づく事務が適正かつ円滑に行われるよう、都道府県及び市町村に対する必要な助言、情報の提供その他の援助を行うよう努めなければならないこととする。

⑥ その他所要の改正を行うこととする。

3. 土砂災害防止法の主な課題と改正内容

平成26年の広島市における土砂災害で明らかとなった土砂災害防止法の主な課題とそれに対する改正の内容は以下の通りです。

1) 基礎調査の結果の公表

広島市における土砂災害で特に被害が集中した地域が安佐南区の八木地区と緑井地区でした。これらの地区は阿武山の山麓部に広がる住宅地で、過去に発生した土石流の堆積物が堆積した沖積錐に開発された住宅地でした。

この地域では数年前に基礎調査は実施されていたものの、住民説明会の準備などにより土砂災害が発生するおそれがある土地の区域等（土砂災害警戒区域および特別警戒区域）が住民に周知されていなかったことが課題となりました。

そこで、今回の法改正においては基礎調査の結果をすみやかに公表することが義務付けられました。都道府県では指定の手続きを待たずに、基礎

調査の結果についてホームページ等を使って公表されています。

第4条第2項

都道府県は、基礎調査の結果を、国土交通省令で定めるところにより、関係のある市町村（特別区を含む。以下同じ。）の長に通知するとともに、公表しなければならない。

2) 基礎調査に関する是正の要求

国土交通省の発表資料によると平成27年9月現在の土砂災害警戒区域に指定された区域は406,792区域、特別警戒区域は247,820区域となっており、指定率（土砂災害警戒区域指定数（合計値）／土砂災害警戒区域の総区域数の推計値）は63%にとどまっています。土砂災害防止法が施行されて10年以上が経過していますが、全区域の指定が完了している県はごくわずかなのが現状です。また、詳細な調査を進める中で新たな危険箇所が抽出されることも知られており、このような新規箇所を含めた指定率はさらに低くなると考えられます。

このような背景を踏まえ法改正においては下記の第6条が追加されています。これにより国は基礎調査が適切に行われていない場合に、都道府県に対して是正の要求を行うことと定められました。また、国は都道府県から基礎調査に関する報告を受け、進捗状況等を把握し公表するとしており、国土交通省のホームページで基礎調査の完了予定年度が公表されています。

第6条

国土交通大臣は、都道府県の基礎調査に関する事務の処理が法令の規定に違反している場合又は科学的知見に基づかずに行われている場合において、当該基礎調査の結果によったものでは次条第一項の規定による土砂災害警戒区域の指定又は第九条第一項の規定による土砂災害特別警戒区域の指定が著しく適正を欠くこととなり、住民等の生命又は身体に危害が生ずるおそれがあることが明らかであるとして地方自治法（昭和二十二年法律第六十七号）第二百四十五条の五第一項の規定による求めを行うときは、当該都道府県が講ずべき措置の内容を示して行うものとする。

3) 土砂災害警戒区域における警戒避難体制の整備

平成 26 年の広島市における土砂災害では、洪水などの避難場所に避難した住民が土石流の被害にあうなど、土砂災害に対する避難体制にも課題があったことが指摘されています。

今回の法改正においては、市町村の地域防災計画に土砂災害警戒区域における警戒避難体制として、避難場所および避難経路に関する事項や避難訓練の実施に関する事項を定めることが記載されました。さらに、社会福祉施設、学校、医療施設などの防災上の配慮を要する者の利用する施設に対する予報および警報の伝達について定めることとされています。

第 8 条

市町村防災会議（災害対策基本法（昭和三十六年法律第二百二十三号）第十六条第一項の市町村防災会議をいい、これを設置しない市町村にあっては、当該市町村の長とする。次項において同じ。）は、前条第一項の規定による警戒区域の指定があったときは、市町村地域防災計画（同法第四十二条第一項の市町村地域防災計画をいう。以下この条において同じ。）において、当該警戒区域ごとに、次に掲げる事項について定めるものとする。

- 一 土砂災害に関する情報の収集及び伝達並びに予報又は警報の発令及び伝達に関する事項
- 二 避難施設その他の避難場所及び避難路その他の避難経路に関する事項
- 三 災害対策基本法第四十八条第一項の防災訓練として市町村長が行う土砂災害に係る避難訓練の実施に関する事項
- 四 警戒区域内に、社会福祉施設、学校、医療施設その他の主として防災上の配慮を要する者が利用する施設であって、急傾斜地の崩壊等が発生するおそれがある場合における当該施設を利用している者の円滑かつ迅速な避難を確保する必要があると認められるものがある場合にあっては、これらの施設の名称及び所在地
- 五 救助に関する事項
- 六 前各号に掲げるもののほか、警戒区域における土砂災害を防止するために必要な警戒避難体制に関する事項

4) 土砂災害警戒情報の提供

現在、降雨による土砂災害の危険性を示す指標

として「土砂災害警戒情報」が市町村単位で発表されています。市町村長はこの情報等を参考として、避難勧告等の発令を判断することとされていますが、ここにも課題があると指摘されています。

平成 26 年の広島市での土砂災害では、20 日の午前 1 時 15 分に土砂災害警戒情報が発表されたものの、避難勧告はその 3 時間 15 分後の午前 4 時 30 分に発令されています。土砂災害は午前 3 時頃に発生しているため、避難勧告の遅れがマスクミ等で指摘されました。

今回の法改正においては、避難勧告等の判断に資するため「土砂災害警戒情報」が土砂災害防止法の中に明記されました。これを受けて国土交通省ではメッシュごとの土壌雨量指数や降雨情報を時系列で提供するとともに、これまで市町村ごとに発表されていた土砂災害警戒情報の発表単位を旧市町村単位とするなどの細分化を検討する必要があるとしています。

第 27 条

都道府県知事は、基本指針に基づき、当該都道府県の区域を分けて定める区域ごとに、土砂災害の急迫した危険が予想される降雨量（以下この条において「危険降雨量」という。）を設定し、当該区域に係る降雨量が危険降雨量に達したときは、災害対策基本法第六十条第一項の規定による避難のための立退きの勧告又は指示の判断に資するため、土砂災害の発生を警戒すべき旨の情報（次項において「土砂災害警戒情報」という。）を関係のある市町村の長に通知するとともに、一般に周知させるため必要な措置を講じなければならない。

2 前項の規定による土砂災害警戒情報の通知及び周知のための必要な措置は、その区域に係る降雨量が危険降雨量に達した区域（以下この項において「危険降雨量区域」という。）のほか、その周辺の区域のうち土砂災害が発生するおそれがあると認められるもの（危険降雨量区域において土石流が発生した場合には、当該土石流が到達し、土砂災害が発生するおそれがあると認められる区域を含む。）を明らかにしてするものとする。

5) 避難勧告等の解除に関する助言

今回の法改正により避難勧告または避難指示の解除に関する事項が追記されました。土砂災害は降雨後の小康状態になってから発生することがあ

ることが知られており、避難勧告等の解除の判断が難しいといわれています。

このため、法改正では市町村長が避難勧告等の解除について国または都道府県に対して助言を求めることが明文化され、避難勧告等を発令しやすい体制が整えられています。

第32条
市町村長は、災害対策基本法第六十条第一項の規定による避難のための立退きの勧告又は指示（土砂災害が発生し、又は発生するおそれがある場合におけるものに限る。）を解除しようとする場合において、必要があると認めるときは、国土交通大臣又は都道府県知事に対し、当該解除に関する事項について、助言を求めることができる。この場合において、助言を求められた国土交通大臣又は都道府県知事は、必要な助言をするものとする。

●土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案

平成26年8月豪雨により広島市北部で発生した土砂災害等を踏まえ、土砂災害から国民の生命及び身体を保護するため、都道府県に対する基礎調査の結果の公表の義務付け、都道府県知事に対する土砂災害警戒情報の市町村長への通知及び一般への周知の義務付け、土砂災害警戒区域の指定があった場合の市町村地域防災計画への記載事項の追加等の措置を講ずる。

背景

- 土砂災害警戒区域等の指定だけでなく基礎調査すら完了していない地域が多く存在し、住民に土砂災害の危険性が十分に伝わっていない。
- 土砂災害警戒情報が、直接的な避難勧告等の基準にほとんどなっていない。
- 避難場所や避難経路が危険な区域内に存在するなど、土砂災害からの避難体制が不十分な場合がある。

改正案の概要

土砂災害の危険性のある区域の明示

基礎調査の結果の公表

- 住民に土砂災害の危険性を認識してもらうとともに、土砂災害警戒区域等の指定を促進させるため、都道府県に対し、基礎調査の結果について公表することを義務付ける。

基礎調査が適切に行われていない場合の是正要求

- 国土交通大臣は、基礎調査が適正に行われていない場合、都道府県に対し是正の要求を行うものとする。（国は、都道府県から基礎調査の報告を受け、進捗状況を把握し公表「法に基づく基本指針で明記」）

円滑な避難勧告等の発令に資する情報の提供

土砂災害警戒情報の市町村への通知及び一般への周知

- 避難勧告等の発令に資するため、
 - ①土砂災害警戒情報について、新たに法律上に明記するとともに、
 - ②都道府県知事に対し、土砂災害警戒情報について関係市町村の長に通知すること、
 - ③都道府県知事に対し、土砂災害警戒情報について一般に周知すること、を義務付ける。

避難勧告等の円滑な解除

- 市町村が避難勧告等の解除のための助言を求めた場合、国土交通大臣及び都道府県知事が必要な助言を行うことを義務付ける。

避難体制の充実・強化

市町村地域防災計画への避難場所、避難経路等の明示

- 市町村地域防災計画において、土砂災害警戒区域について、避難場所及び避難経路に関する事項、避難訓練の実施に関する事項等を定めることにより、安全な避難場所の確保等、避難体制の充実・強化を図る。
- 市町村地域防災計画において、土砂災害警戒区域内の社会福祉施設、学校、医療施設等に対する土砂災害警戒情報の伝達等について定めることとする。

国による援助

国土交通大臣による助言、情報の提供等の援助に係る努力義務

- 国土交通大臣は、都道府県及び市町村による土砂災害防止対策の推進に資するため、必要な助言、情報の提供その他の援助を行うよう努めなければならないこととする。

(出所：国土交通省発表資料)

4. おわりに

土砂災害防止法は平成11年の広島での土砂災害を教訓として制定され、その後の土砂災害における課題をもとに改正がおこなわれてきました。今回の改正では基礎調査結果のすみやかな公表と基礎調査の推進、警戒避難体制の整備に関する内容などが変更されました。

このように土砂災害の防止に関する様々な制度が改正され、着実に土砂災害の軽減に対する取り組みが進められていますが、一方で調査方法に関する課題も指摘されているところです。このため、都道府県ではマニュアルの改正や航空レーザ測量等の活用等も行われています。

今後もさらなる研究成果や新技術の活用が行われ、より精度の高い調査を目的として、調査手法等の改良も進められるものと考えられます。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課砂防管理室：「土砂災害防止対策基本指針の見直しについて」, 「砂防と治水」, Vol.48, No.1, pp.11-14, 2015.4
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：報道・広報 http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000827.html (2015年10月18日現在)
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：土砂災害防止法 <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/linksinpou.htm> (2015年10月18日現在)
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：土砂災害警戒区域等の指定状況 <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/linksinpou.htm> (2015年10月18日現在)
- 5) 山越伸浩：「広島市の土砂災害を受けた土砂災害防止法の改正」, 「立法と調査」, No.359, pp.19-31, 2014.12

基礎技術 講座

土壌・地下水汚染調査における 試料採取（その1）

たかぎ かずしげ
高木 一成*

Key Word 土壌汚染対策法, 土壌汚染状況調査, 試料採取, 土壌ガス調査, 土壌調査

1. はじめに

本誌2014年第3号（通巻141号）にて、土壌・地下水汚染調査における「地歴調査」について解説しました。今回は、資料調査、聴取調査、現地調査で収集した情報から、土壌汚染のおそれがあると認められる特定有害物質の種類を特定し、特定有害物質の種類ごとに「土壌汚染のおそれの区分の分類」をおこなうところまでが地歴調査であるという説明をしました。

本稿では、調査対象物質の分析をするための試料採取について述べたいと思います。なお前回に引き続き、調査の内容や方法については、「土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第2版）」（以下、ガイドライン）を基本として説明をします。

2. 単位区画及び30m格子の区分

土壌汚染の有無を調査するために、土壌ガスや土壌を採取することを試料採取といいます。試料採取では、調査対象地の北端に起点を定め、起点から10m間隔で引いた線により区画した「単位区画」を設定します（図-1）。さらに、30m間隔で引いた線により区画した30m格子を設定し、地歴調査によって把握した土壌汚染のおそれの区分により、採取密度を変えておこなうことになります。

2.1 起点の設定

単位区画を設定するための起点は調査対象地の最北端としますが、最北端が複数ある場合はそのうち最も東の地点を起点とします。敷地の北縁の境界線が複雑な形状の場合や、敷地の形状が単純であっても、方位（東西南北）に対して回転して

いるような場合は、北端あるいは北東端の設定を慎重におこなう必要があります。起点の誤認による採取計画の見直し等の手戻りを防ぐためにも、地歴調査の段階で精度の高い図面を入手しておくことが重要です。

また、法第4条の調査では土地の形質の変更範囲が調査対象地となりますが、工事の計画変更等より、形質の変更の範囲が事前に実施した土壌汚染状況調査の範囲を超えてしまうことの無いよう、起点および調査対象地の範囲の設定は余裕をもって広めに設定することが望ましいです。

2.2 格子の回転と区画の統合

単位区画の格子は起点から東西方向および南北方向に引いた線により区画しますが、敷地の境界が東西方向や南北方向と斜交している場合等は、起点を支点として右回りに格子を回転させて、単位区画の数が最小となるようにすることができます。なお、東京都など自治体によっては土壌汚染状況調査の報告書を提出する場合、図面に格子の回転角度を記載するように求められる場合もあります。

敷地境界付近で半端な大きさの単位区画が生じた場合は、面積の合計が 130m^2 以下であり、統合した区画の長軸（垂直に投影した長さ）が20m未満であれば隣接する区画を統合して一つの単位区画とすることができます。

3区画以上で上記の条件を満たす場合も考えられますが、区画内の汚染状況を適切に把握するという観点から、ガイドラインでは区画の統合は2区画までが望ましいとしています。

また、採取した試料を分析した結果、基準に不

*地盤環境エンジニアリング株式会社

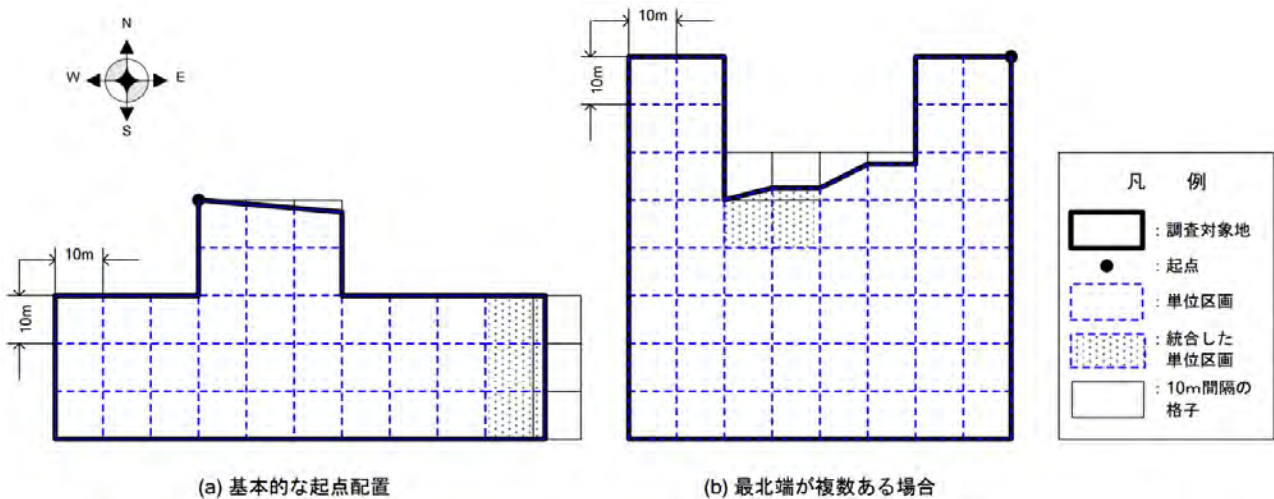


図-1 単位区画の設定と統合の例¹⁾に加筆

適合であった場合には、統合した区画全体が土壤汚染の存在する範囲と評価されることとなりますので、試料の採取数や分析数を抑制する目的で区画を統合する際は、汚染が判明した場合の対応についても留意しておく必要があります。

3. 試料採取等区画の選定

地歴調査の結果、土壤汚染が存在するおそれが比較的多いと認められる土地が含まれる単位区画は「全部対象区画」に分類し、すべての単位区画で試料採取等をおこないます。土壤汚染が存在するおそれが少ないと認められる土地を含む単位区画（上記で設定した全部対象区画を除きます）は「一部対象区画」に分類し、30m 格子単位で試料採取をおこないます。単位区画内のすべての範囲が、土壤汚染が存在するおそれがないと認められる土地である場合は「対象外区画」となり、原則として試料採取をおこなう必要はありません。

3.1 第一種特定有害物質を対象とした試料採取等区画

調査対象物質が第一種特定有害物質の場合には原則として土壤ガス調査を実施します。

土壤ガスの採取は、全部対象区画では特定有害物質使用施設や関連する配管など、単位区画内の土壤汚染が存在するおそれが多いと認められる部分でおこないます。

一部対象区画では、30m 格子を単位として試料採取区画を選定します。30m 格子の中心を含む単位区画が調査対象地の区域内である場合には、その単位区画で試料採取をおこないます。このとき、30m 格子の中心が全部対象区画であれば、当該全

部対象区画の結果で30m 格子内の評価をおこないません。

30m 格子の中心が調査対象地の区域内にない場合は、30m 格子内にある一部対象区画のうち、いずれか一つの区画において試料採取をおこないません（図-2）。

なお、第一種特定有害物質は揮発性があり、ある程度深い位置に存在していてもガス体として検知できると考えられるため、汚染のおそれが生じた場所の位置に関わらず深度0.8～1.0mで試料を採取します。

3.1.1 第一種特定有害物質を対象とした試料採取地点選定のポイント

以下に、第一種特定有害物質を対象とした試料採取地点を選定する際のポイントを記します。

- ①全部対象区画においてプラントや配管など、有害物質使用施設が複数ある場合には、（取り扱い状況等から合理的に判断して）汚染のおそれがより多い部分を選定します。
- ②敷地境界付近で統合した区画では、統合した区画の重心、または統合する前の区画のうち最も面積が大きな単位区画の中心もしくは重心を採取地点とします。
- ③30m 格子の中心が調査区域内にある場合は、当該単位区画が対象外区画であっても（そのほかの一部対象区画ではなく）、30m 格子の中心で試料の採取をおこないます。
- ④30m 格子の中心で対象物質が検出された場合は、

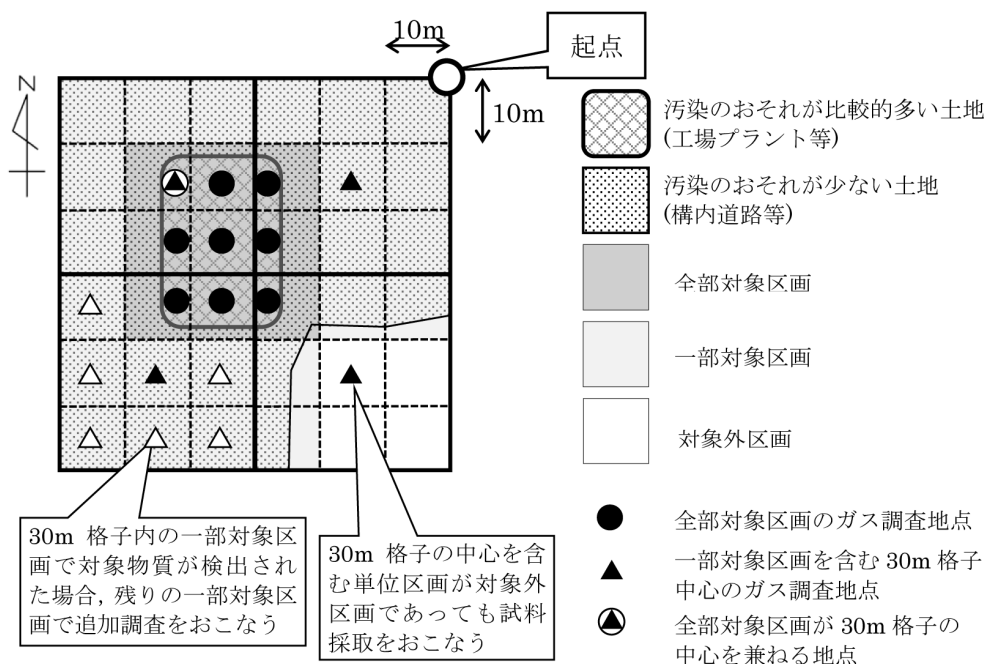


図-2 土壌ガス調査の試料採取地点例²⁾ に一部修正

その単位区画を含む 30m 格子内にあるすべての一部対象区画（採取済みの地点は除きます）で汚染範囲の確定のための試料採取をおこないます。

3.2 第二種・第三種特定有害物質を対象とした試料採取等区画

調査対象物質が第二種・第三種特定有害物質の場合には土壌調査（土壌溶出量および含有量の分析）を実施します。

全部対象区画では、第一種特定有害物質を対象とした調査の場合と同様に、使用施設や関連する配管など、単位区画内の土壌汚染が存在するおそれが多いと認められる部分で試料採取をおこないます。

一部対象区画では、5 地点均等混合法による試料採取をおこないます（図-3）。

なお、第二種・第三種特定有害物質を対象とした土壌調査では、地歴調査の結果把握された「汚染のおそれが生じた場所の位置」すなわち汚染の発生した深さに応じた試料採取をおこなう必要があることが、第一種特定有害物質を対象とする場合との大きな違いです。

3.2.1 第二種・第三種特定有害物質を対象とした試料採取地点選定のポイント

以下に、第二・第三種特定有害物質を対象とした試料採取地点を選定する際のポイントを記し

ます。なお、第一種特定有害物質を対象とした場合のポイントとして記した①および②は同様であるためここでは割愛します。

- ① 30m 格子内の一部対象区画数が 6 以上の場合は、いずれか 5 つの区画を選んで試料採取をおこない、これを等量混合して 30m 格子を代表する土壌試料とします。30m 格子内の一部対象区画数が 5 以下の場合にはすべての一部対象区画で試料採取をおこないます。
- ② 5 地点均等混合法による調査の結果、基準に適合しなかった場合は、30m 格子内にあるすべての一部対象区画（5 地点混合をおこなった区画を含みます）で個別に分析をして汚染範囲の確定をおこないます。
- ③ 単位区画内に汚染のおそれが生じた深さが異なる部分が存在する場合は、それぞれの深さで試料採取をおこないます（図-4）。

4. その他のポイント

試料採取区画の選定は、地歴調査で特定された調査対象物質ごとの汚染のおそれの区分、ならびに汚染のおそれが生じた場所の位置に応じておこなうこととなります。例えば、同一の単位区画内

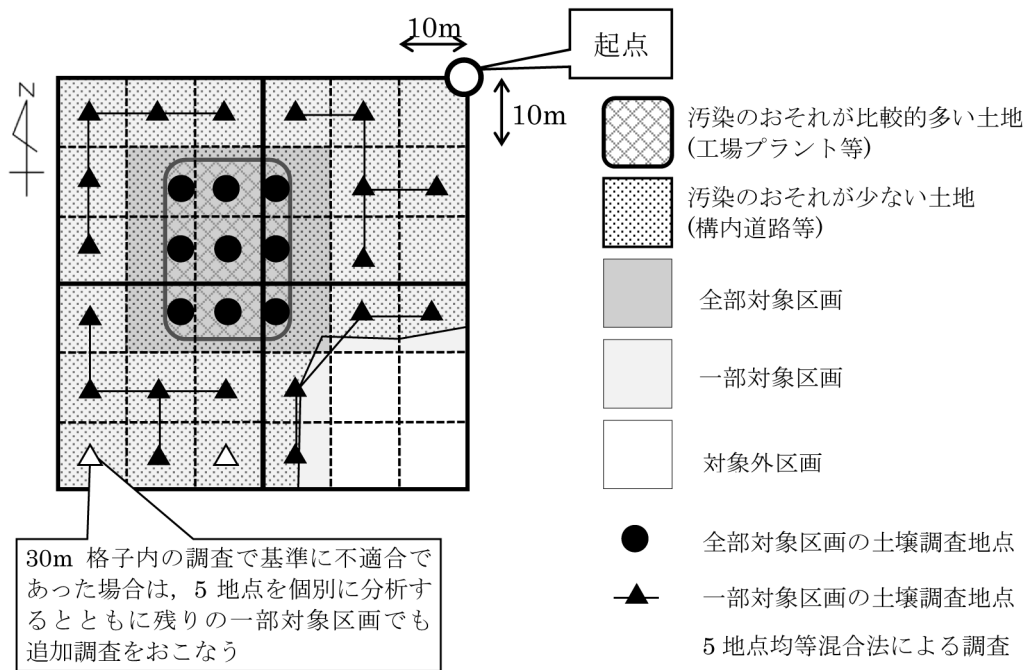


図-3 土壌調査の試料採取地点例²⁾

に砒素と鉛など二つ以上の特定有害物資を取り扱う別々の施設がある場合は、それぞれの地点で試料採取をおこなう必要があります。

対象物質が多い場合は採取内容が複雑になりますので、現地作業の際はチェックリストなどを作成し、採取や分析依頼項目の漏れが無いようにするとよいでしょう。

5. おわりに

本稿では「基本となる調査」について説明をしました。自然由来の汚染のおそれがある場合など、特例の調査では、試料採取地点の選定方法が異なり、調査の手法もボーリングによる調査となりますのでガイドラインを参考にしてください。

また、今回は試料採取地点の選定に絞って解説しました。実際に土壌ガスや土壌を採取する際のポイントは次回に説明をしたいと思います。

〈参考文献〉

- 1) 環境省 水・大気環境局 土壌環境課：土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第2版），2012
- 2) 全国地質調査業協会連合会：地質調査要領（改訂3版），経済調査会，2015
- 3) 全国地質調査業協会連合会・地質情報整備活用機構・地盤環境技術研究センター：土壌汚染調査技術管理者試験完全対策（第2版），オーム社，2013

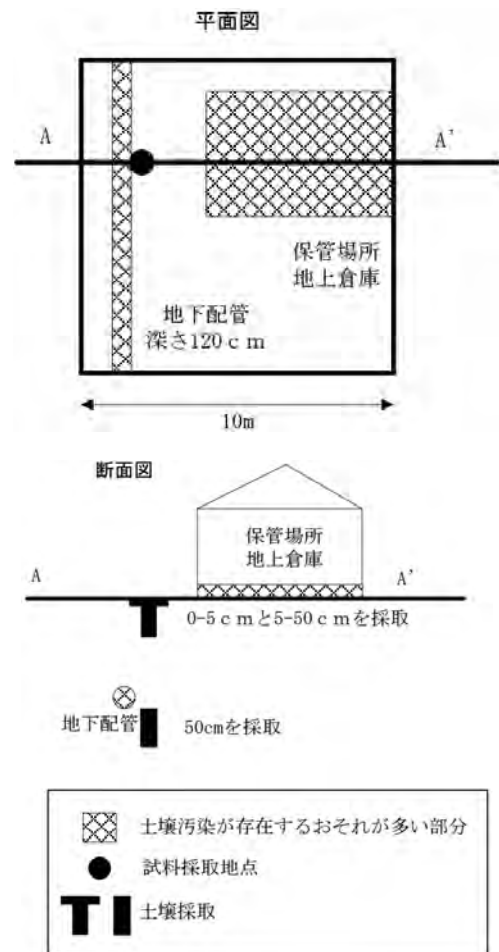


図-4 汚染のおそれが生じた深さが異なる場合の試料採取例¹⁾ 一部修正

緊急災害における応急対策事例

いわき まさふみ*
岩木 雅史*

K
ey Word

緊急災害，応急対策，新第三紀地すべり，カマボコ型の尾根すべり，全排土，すべり面，鏡肌

1. はじめに

私は、平成13年に入社して以来、主に地すべり対策に関連した業務に携わってきた。

その中で、初めて緊急災害を担当し、初期の調査から対策工の設計まで携わった現場の事例を紹介する。

2. 災害状況

地すべり災害は、平成21年4月3日、富山県氷見市新保地内の主要地方道高岡氷見線（以下、「県道」と略す）に隣接する細尾根において、亀裂や末端部のフトン籠工の押し出しが発見されたものである。

発見時には、頭部の細尾根上に幅20～30cm程度の開口亀裂が数本入り、末端部の県道付近では法面やフトン籠工が30～60cmほど県道側に押し出され、水路が折れ曲がるなど（写真1）、地すべりの兆候が見られた。頭部亀裂は、1ヶ月で1m以上拡大した（写真2）。

尾根の末端部や周辺には、民家や県道など重要な保全対象が存在するため、発見の翌日には通行規制や避難勧告が出された。同時に、伸縮計や警報器などによる観測・監視体制を構築した。

応急対策工として、県道の山側車線にL型擁壁を設置して、背面に押え盛土を施工した。その結果、末端部の滑動は停止した。

しかし、押え盛土後も上部では活発な滑動が継続し、亀裂が拡大していった。亀裂は、新たに側方でも発生し、末端部を押さえたことで、解放されている側方に向かって動き出す結果となった。



写真1 末端部水路の折れ曲がり



写真2 頭部の亀裂状況

このため、観測・監視体制を強化した上で、主に水抜きボーリングによる応急対策を順次追加しながら、本格的な調査や対策工の検討を行っていった。

3. 周辺地質

調査地には、新第三紀（中新世～鮮新世）の音川累層の葛葉互層が分布している。地層の走向は、概ねN40～50°Eで、南東へ10～15°前後傾斜し

*株式会社アーキジオ 調査設計部 専門技師

ている。

葛葉互層は、数mから10数m単位の砂岩とシルト質泥岩からなり、黄白色～淡白色の軽石質凝灰岩層を数枚挟む。互層中の砂岩は、無層理の細粒～中粒の石英質砂岩で、炭質物、凝灰質物を含む。全般に淘汰がよく均質である。新鮮な部分では暗灰色を呈するが、風化すると白灰色～帯緑灰色となり、大型の節理が網目状にあらわれる。

4. 地すべり規模

地すべりの規模は、図1に示すように、幅45m×長さ75mと比較的小規模で、頭部が細尾根の頂上付近、末端部が県道付近にある。側部は、亀裂が追跡できるため、これを結んで地すべりブロックとした。

また、縦断的には、図2に示すように、砂岩とシルト岩からなる互層のシルト岩上面をすべり面とし、地すべり土塊が厚さ4～7mの薄いイス型の岩盤すべりである。

当初、地すべりの移動方向は、県道に垂直方向と考えていたため、調査ボーリングも設定した測線で行った。しかし、移動量観測の結果を基にして、東側にも追加調査ボーリングを行ったことで、実際の移動方向は、県道の東側にややそれることが明らかとなった。

5. 応急対策・恒久対策

本地すべりは、小規模であるにもかかわらず、発生してから完全に停止するまで3ヶ月半もの長期間を要した(図3)。その原因は、主測線方向に

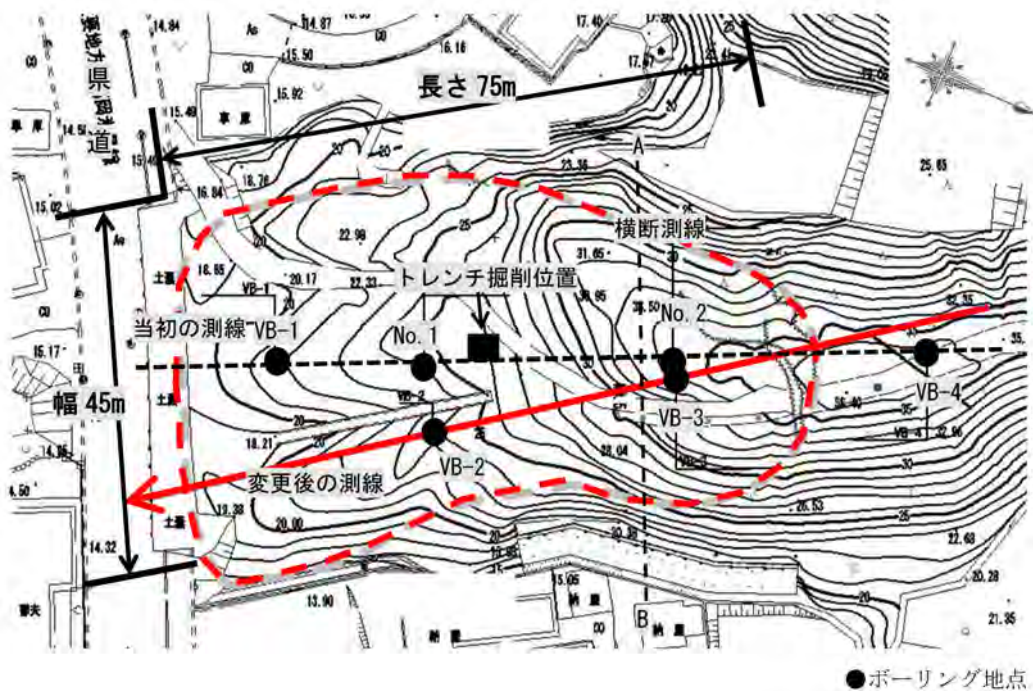


図1 調査位置平面図

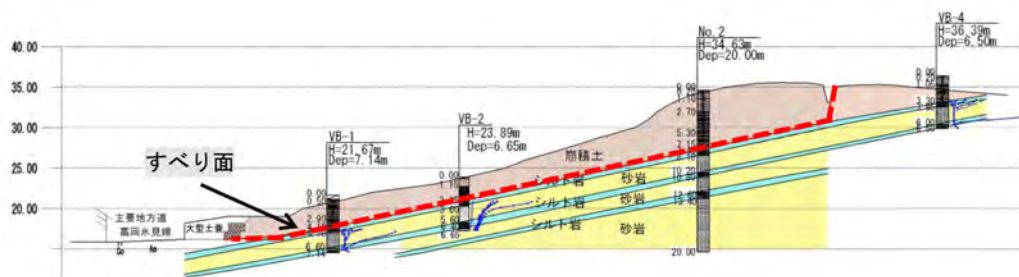


図2 地質断面図

はイス型の岩盤すべりである上、横断方向には図4に示すようなカマボコ型の尾根すべりという特殊な形状にあると考えられる。

当初は、降雨時に地すべりが活発化することから、地下水排除工が有効と考えて、水抜きボーリングを施工した。しかし、カマボコ型の地すべり土塊には、地下水がほとんど存在せず、降雨がすべり面まで浸透すると滑動するので、水抜きボーリングでは、浸透する雨を上手く排除することができなかった。

また、押さえ盛土(写真3)によって、末端部は初期に停止したが、上部は長期に渡って滑動が継続した。カマボコ型の細尾根は、末端部を押さえても側面が自由なため、滑動方向が変化したと考えられる。事実、中間部付近では跳ね上げ現象はほとんど見られなかったが、東側側部では押し出し現象が継続していた。このことから、すべり土塊を残したまま抑止すると、側方へ押し出す可能性が高いと考えられた。



写真3 末端部の押さえ盛土

これらの問題を解決できる対策工として、地すべり土塊を全排土する案を採用した(図5)。全排土した場合に問題となる後背斜面への影響は、以下の4点から不安定化することはないと判断した。

- ①すべり土塊は約4~7mと薄く、すべり面より下は新鮮で良好な岩盤が分布している。
- ②すべり面の岩盤は、約12°の単傾斜であり、細尾根の頂上付近で地上に出て、すべり面相当層が無くなるのが明らかである。
- ③細尾根の頂上からは、一旦下った後平坦な細尾根が約50mほど続いており、後背斜面が不安定化する恐れは極めて小さいと判断される。
- ④細尾根の頂上付近に設置したボーリングVB4の歪計は、全く動きがなく、活発な地すべり活動にもかかわらず後背斜面が安定していることを示している。

全排土は、施工が容易であるため短期間ででき、土砂の処分場が近接地に確保できたこともあり、復旧工事は順調に進み、県道の通行規制も施工開始後早々に解除するに至った。

なお、排土後の侵食防止や森林を回復するための植生回復工を併用した。

全排土を行う際に、すべり面が浅いためトレンチ掘削を行い、すべり面と判断される鏡肌を観察する機会が得られた(写真4・写真5)。すべり面付近からは、じわじわと水が染み出す程度であり、応急対策で水抜きボーリングを密に配置しても、排水量がほとんどなかった理由を知ることができた。

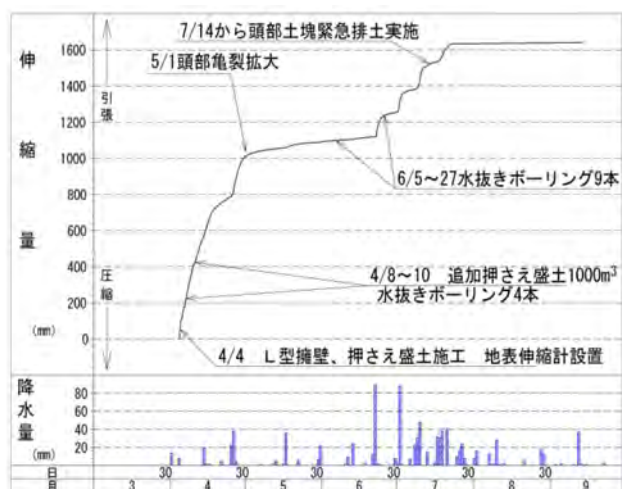


図3 伸縮計グラフと応急対策時期



図4 横断面図

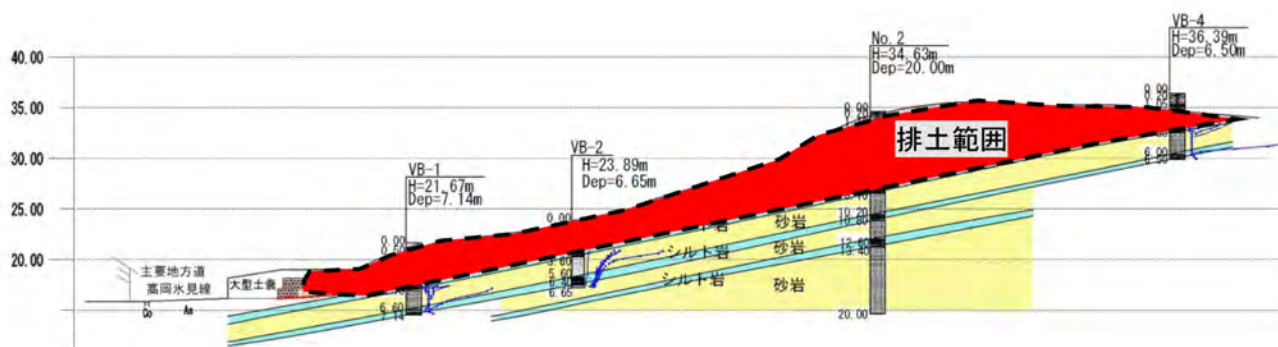


図5 対策工断面図（排土範囲・・・破線内）



写真4 すべり面のトレンチ掘削

6. 終わりに

この現場を通して、活動中の地すべりについて
 応急対策、恒久対策の検討まで、実施することが
 でき、大変貴重な経験ができた。効果的な応急対
 策をなかなか打ち出せずにて、焦る思いでいた
 が、無事に終了することができた。

この現場を経験した後も災害現場を数件担当
 しているが、それぞれの状況に応じた対策を考え
 ることに苦勞しているのは今も変わっていない。
 しかし、この現場を経験したことで得られた自信
 で、災害現場に取り組んでいる。今後も、より良
 い対応ができるように精進していきたいと考える。



写真5 採取したすべり面



写真6 施工後の状況

各地の博物館巡り

群馬県富岡市

群馬県立自然史博物館



博物館の外観
(擁壁にウミユリの化石が埋め込まれている)

はじめに

群馬県自然史博物館は平成8年(1996年)に開館しました。本博物館の前身は、富岡市一の宮にある貫先神社の参道わきにあった県立自然科学資料館です。現在の場所に博物館が建設された一つの理由として、寛政9年(1797年)にオオツノシカの角の化石が発見された場所であったためです。

本博物館では常設展示のほかに、企画展、サイエンス・サタデー、自然史講座、ファミリー自然観察会、大人の自然史倶楽部などの行事も開催しており、県民の教養と文化の向上に寄与しています。

展示内容のテーマは、次のようになっています。

展示内容

本博物館の常設展示は、次の5つのコーナーから構成されています。

A 地球の時代

地球の生い立ちを自然と生命の歩みとともにたどります。化石や恐竜の骨格標本が多数あります。

B 群馬の自然と環境

群馬の自然を地域や標高に分けて動植物を展示しています。尾瀬シアターでは尾瀬の四季を体感することができます。

C ダーウィンの部屋

世界中から収集した動物・植物・鉱物等の標本を間近に見たり、触れたりすることができます。

D 自然界におけるヒト

知っているようで知らない、私たちヒトの生物としての特徴について模型などを用いて紹介しています。

E かけがえのない地球

水と緑に包まれた美しい地球を守るために、私たちにできることを語りかけているコーナーです。

このページでは、地学に関するコーナーについて紹介します。

A 地球の時代

このコーナーは、「水の惑星と生命の誕生」、「生命を育てた太古の海」、「恐竜の時代」、「哺乳類の時代」、「人類の時代」に区分されています。

「恐竜の時代」では、恐竜の化石の発掘現場を再現したボーンベッドの展示やブラキオサウルス・ティラノサウルスなどの大型の標本・模型が多数展示されています。

「人類の時代」では、博物館が立地する当地で発掘されたオオツノシカの角の化石や、群馬県内で産する鉱物の標本、浅間山から噴出した火山灰などの展示があります。



写真-1 トリケラトプスの化石発掘現場を再現したボーンベッド。強化ガラスの上を歩くことができ、発掘現場にいるような体験ができます。



写真-2 左からブラキオサウルス、マメンキサウルス、動くティランノサウルスの展示。観覧者と比較して展示物の大きさが判ります。



写真-3 ヤベオオツノシカの骨格標本。国内5か所で発掘された化石を組合せて復元されています。角は富岡市から産出したものです。

B 群馬の自然と環境

このコーナーでは、群馬県各地の自然について地質を交えて動植物を展示しています。特に尾瀬については、地形模型や地層の剥ぎ取り標本を展示し、尾瀬の生い立ちを説明しています。



写真-4 尾瀬の生い立ち、尾瀬ヶ原の微地形を紹介したコーナー

C ダーウィンの部屋

この部屋はダーウィンの業績にあやかって名前が付けられています。部屋には多くの引出しがあり、この引出しを開けることができます。



写真-5 「ダーウィンの部屋」の入り口では、ロボットの博物学者が進化の話をします。

一般情報

●住所・電話番号

- 群馬県富岡市上黒岩 1674-1
- TEL：0274-60-1200 ●FAX：0274-60-1250
- ホームページ：http://www.gmnh.pref.gunma.jp

●料金

- 一般：510円 ●大学・高専・高校生：300円
- 中学生以下：無料
- ※企画展開催中は料金が変わります。

●休館日

- 毎週月曜日（祝日の場合は翌日）、年末・元日

●開館時間

- 午前9時30分から午後5時まで
（ただし、入館は午後4時30分まで）

●アクセス

- 上信越自動車道「富岡IC」から約7km
- 世界遺産「富岡製糸場」から約5km



〔(一社) 関東地質調査業協会 技術委員会 波辺 寛〕

大地の恵み

日本一の棚田米

1. はじめに

「大地の恵み」というテーマで執筆依頼をいただいた際、具体的なテーマの決定に悩みました。高知県で地質調査業に従事している私にとって、「大地」と聞いて真っ先に思い浮かべる言葉は、南海トラフ地震や土砂災害等の「脅威」だからです。しかしながら、防災の仕事に携わり地域住民と交流する中で、災害リスクを持つ大地と上手に共生する人々の営みを学びました。本稿では、大地の持つ「脅威」を生活の中に受け入れ、恵みに作り替えていった高知県本山町の取り組みを紹介します。

2. 本山町の地形・地質

本山町は、高知市役所から北へ約20kmに位置し、林野率が90%を占める中山間の町である。



図-1 本山町の位置図¹⁾

町内には御荷鉾構造線が東西方向に横断する。この構造線に沿って一級河川吉野川が流下しており、町の景色は吉野川の南北で大きく様相を変える。吉野川北岸側は三波川帯結晶片岩を基盤岩と

し、起伏量は全体的に200～400m程度と大きく、支流の中流域では河川浸食によって際立ったV字谷が形成されている。一方、吉野川南岸側は御荷鉾緑色岩を基盤岩とし、北側の三波川帯に比べて著しく緩やかな斜面が連続する。この緩斜面は、粘土化された御荷鉾緑色岩を地質的素因とする地すべりブロックであり、「大石地すべり」、「吉延地すべり」、「古田地すべり」、「権代地すべり」等の地すべり防止区域が連続して分布する。

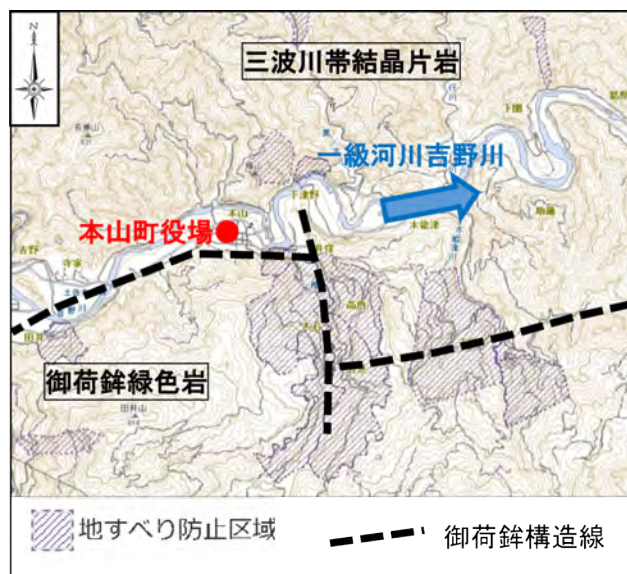


図-2 御荷鉾構造線位置図²⁾

3. 地すべり地の棚田

御荷鉾緑色岩は、風化によって含水率の高い粘土に変質する。この粘土層は、地表から数10mと厚く分布し、連続面はすべり面となることが多い。また、粘土層が遮水層となり、流入した地下水の排出を妨げることから、地下には常に高い水位が

保たれることとなる。したがって、土木地質的観点では、御荷鉢緑色岩分布域は地すべりの発生しやすい土地となる。

一方、御荷鉢緑色岩分布域で生活する人々は、この特殊な大地と共存し、良質な米を生産する棚田として継承してきた。棚田の標高は250～850mで、四国山地の山陵に取り囲まれた盆地に位置することから、霧が発生しやすく一日の寒暖差が激しい。この寒暖差の中、清澄な水に満たされた土壌でじっくり育った米は、一般の流通米より粒が大きいことが特徴である。特に、ブランド米である「土佐 天空の郷」は厳選された大粒米のみを出荷しており、通常流通米が1.8mmの網目のふるいにかけてのに対し、「土佐 天空の郷」の選別には1.9mm網目のふるいが使用されている。

4. 土佐 天空の郷

棚田で生産された米がブランド米として出荷されるには、厳しい基準をクリアする必要がある。審査を受ける米は、エコファーマー取得者が農薬や化学肥料を控えた特別な棚田から生産したものであり、前述した1.9mmふるいによる粒度選別の他に、色彩判定や食味検定機による数値評価によって厳選される。また、「土佐 天空の郷」に認定された米は、生産者別、水田別に低温貯蔵庫で保管され、精米は注文を受けた後に行うなど、美味しさを消費者に届けるための管理も徹底されている³⁾。

こうして作られたブランド米「土佐 天空の郷」は、「平成22年お米日本一コンテスト in しずおか」で最優秀賞に選ばれた。受賞した品種はもちもちの食感と粘りが特徴の「にこまる」で、「西日本で初めて、コシヒカリの品種以外でも初めて」ということが大きな話題となった。筆者も地元特産市で「にこまる」を購入したが、炊き上がったごはんはふっくらとしてツヤがあり、もちもちした米粒の甘味に箸が止まらなくなった。今回はお試し用に3合セットを購入したが、今年の新米が流通したら5kg袋を購入する予定である。

5. おわりに

現在、日本一の米を生み出した美しい棚田は、農業経営者の視察団や写真家が訪問する観光地としても注目を集めています。吉野川沿いの国道から展望台までの山道は十分に整備されており、大地の恵みを広く発信し未来へ継承していこうとする地域の強い意思が伺えます。

筆者が現地に訪問した日は、町の主催する棚田巡りイベントが催されており、黄金色に色付いた

棚田や道端の素朴な草木が観光客の目を楽しませていました。おいしいお米の好きな方、地すべり地形と里山風景を堪能したい方は、ぜひ高知県本山町へおいでください。



写真-1 土佐天空の郷「にこまる」⁴⁾

※筆者は撮影前に完食してしまったので販売元様の公式サイトから画像をお借りしました。



写真-2 大石展望台からの景色

[株式会社 地研 嘉茂 美佐子]

- 1) 高知県防災砂防課：「高知県防災マップ」,
<http://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/kochi/top/select.asp?dtp=11>
(参照日:2015年10月9日)
- 2) 高知県防災砂防課：「高知県防災マップ-砂防・地すべり・急傾 法指定区域」
<http://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/kochi/map/map.asp?dtp=11&mpx=133.56220174592391&mpy=33.782204319787986&mst=imgmap&gprj=1&bsw=1049&bsh=693>
(参照日:2015年10月9日)
- 3) 一般財団法人本山町農業公社：「保存版 土佐 天空の郷」, 2015
- 4) 美しいまち 本山
<http://town-motoyama.jp/index.html>
(参照日:2015年10月9日)

各地に残すべき

地形・地質

洞爺湖有珠山ジオパーク ～変動する大地との共生～（北海道）

1. ジオパークとは

ジオパークとは、科学的に価値の高い地形・地質・火山などの地質遺産がある公園です。ただし、ジオパークに認定されるにはそれらを多く含むだけでなく、地形・地質によって作り出される景観、植物、文化、産業など、地域の人々の暮らしそのものも対象となります。そして「ジオツーリズム(地質や自然・暮らしを学ぶ旅)」などを通じて持続可能な地域経済や地域文化の発展を目指すというのが大きな特徴です。ジオパークは、ユネスコの支援により2004年に設立された世界ジオパークネットワーク(Global Geoparks Network: GGN)が世界各国で推進している活動であり、世界ジオネットワークが審査・認定を行っています。

2. 洞爺湖有珠山ジオパークの概要

洞爺湖有珠山ジオパークは「変動する大地との共生」をテーマに、2009年に日本で初めて世界ジオパークに認定されました。

洞爺湖有珠山周辺には火山活動で形成された雄大で美しい自然や貴重な地質遺産が数多くあります。火山活動は現在も活発で、これまでに居住地や観光施設などが被害を受けてきました。その反面、火山活動によって形成された台地は広大な畑作地帯ともなっており、北海道の中では比較的温暖な気候条件を活かした果物・野菜などの栽培が盛んに行われています。また湧出した温泉も大きな観光資源の一つとなっており、数々の温泉や恵まれた景観によって訪れる人も多く、一大観光地となっています。

このように、この地域は火山の危険と恵みという、相反する現実を受け止め、行政と住民が連携して火山と共生するまちづくりを行ってきました。そのほか、縄文文化の遺跡群などの歴史遺産も数多く、過去から現在にわたって築かれた先人たち

の営みも感ずることができます。



図-1 位置図

3. おもなジオサイト

洞爺湖有珠山エリアにはジオパークを特徴づける見どころ(ジオサイト)が数多くありますが、代表的なものをいくつかご紹介します。

・昭和新山(写真-1)

昭和新山はもともと畑や道路、鉄道だったところの地盤が隆起してできたことで知られています。1943年12月から前兆地震が始まり、翌年1月には地盤が隆起し始め、6月には噴火も始まりました。その後も地盤の隆起は続き、海拔250mほどの潜在ドーム(屋根山)となりました。さらに潜在ドームの中央部から溶岩が隆起を続けて「溶岩円頂丘(溶岩ドーム)」を形成し、1945年9月までに海拔407mにまで達しました(現在は398m)。



写真-1 昭和新山

・洞爺カルデラ (写真-2)

約11万年前に発生した巨大火砕流噴火によって大量のマグマが地上に放出され、大地が陥没してカルデラが形成されました。そのカルデラ内に水が溜まってできたのが現在の洞爺湖です。その中央に位置する中島は約5万年前の噴火で形成された溶岩ドームです。

・有珠山 (写真-3)

約2万年前から洞爺湖の南側で繰り返起こった噴火によって有珠山が形作られました。その後、約7,000～8,000年前の噴火で山体崩壊を起こし、現在のような形になりました。

その後の長い休止期を経て、1663年に活動を再開しました。以降、有珠山は数十年おきに噴火を繰り返し、この間にオガリ山、大有珠、有珠新山などが生まれ現在の有珠山が形作られています。

有珠山の最近の噴火活動は1977～78年および2000年におこりました。これらの噴火では、降灰や地殻変動によって家屋の損壊、道路や上下水道、温泉の泉源、配湯管などが被害を受けました。

地元ではこのような被害を再び起こさないように、これら被害を受けた建物や建造物を保存して後世に伝えるため、遺稿公園として整備し、火山学習の場として利用されています。

・北黄金貝塚、カムイチャシ史跡公園

約7,000年前から江戸時代までは有珠山は活動しておらず、この間、人々は温暖な気候の中で暮らし、縄文時代から近代にかけて豊かな文化が形成されました。先人が残した貝塚や墓などから、その様子をうかがい知ることができます。

代表的なものが伊達市にある北黄金貝塚と豊浦町茶津にあるカムイチャシ史跡公園です。



写真-3 有珠山遠望 右側に昭和新山が見える

4. 変動する大地との共生

1977～78年では噴火そのものによる人的被害はありませんでしたが、その後の降雨による泥流で3名が犠牲になりました。そのため、砂防工事や家屋移転などの対策を大きく進めることとなり、官民学による防災への取り組みも始まりました。

2000年噴火では、長年観測を続けてきた岡田弘北海道大学教授（当時）らの的確な助言によって約1万人の住民避難がなされ、その結果人的被害はゼロでした。これまでの教訓を活かした砂防施設や防災教育による大きな成果といえるでしょう。

この地域には、洞爺湖や有珠火山地域の自然や特性についての知識を有する「洞爺湖有珠火山マイスター」という認定資格があります。登録されたマイスターが、噴火の記憶や減災の知恵などを次世代に語り継いでいく役割を担い活動しているなど、「火山との共生」の歴史を引き継ぎ、次の噴火に備えて官民学が一体となって防災や住民意識の向上への取り組みが続けられています。

[北海道地質調査業協会 横田 寛]



写真-2 洞爺湖 後方に有珠山、昭和新山が見える

大型降雨実験施設を用いた 斜面防災研究と今後の方向性

さかい なおき*
酒井 直樹*

Key Word 降雨実験, 斜面崩壊メカニズム, 産官学連携, 国際研究

1. はじめに

平成 26 年広島, 平成 25 年伊豆大島と記録的な豪雨による大きな被害を伴った土砂災害が連続して発生した。その主な原因として, 1 時間に 50mm を越えるような豪雨が数時間にわたって局地的に降ったこと, また元の地盤がマサ土や, 火山灰質土と呼ばれる脆弱な地盤であったこと, そして観測された降雨量から出される「土砂災害警戒情報」とその発令を受け, 市町村にて出される「避難勧告」等のタイミングが遅れたことなど, 複数の要因が重なったと見られている。

一方で, そのような災害を防ぐために, 対策工によるハード対策だけでなく防災情報によるソフト対策が重要視されるようになってきた。特に近年の災害のように強い雨が局地的に降ることも多くなり, 今までの基準では避難勧告等をだすタイミングが難しくなっている。そのため地域住民が直接活用できるようなきめ細かい防災情報が求められてきている。しかし現状では, まだ降雨情報を用いた防災情報以外に利用できる情報は実用化されていない。

そのような背景のもと, 防災科学技術研究所では, 大型降雨実験施設を用いた土砂災害のメカニズム研究及び崩壊予測研究が行われている。ここでは, 大型降雨実験施設を用いた研究の取組について紹介し, 今後の方向性について触れる。

2. 大型降雨実験施設の概要

防災科学技術研究所が所有する大型降雨実験施設は, 降雨に起因する災害現象を実物大に近い模型を用いて実験研究を行うために建設された共同

利用実験施設であり, 1974 年より共用を開始した。

2014 年度より近年多くなった局所的な集中豪雨(いわゆるゲリラ豪雨)を再現できるように, 雨滴サイズの最大粒径を, 2.2mm から 6mm 程度に, 降雨強度を, 200mm/h から 300mm/h の条件での降雨を降らすことが可能となった。

(1) 大型降雨実験施設の特徴

写真 1 に大型降雨実験施設の全景を示す。写真 2 には, 防災科研の全敷地と降雨施設の範囲(上部の線で囲った部分)を示す。建屋の大きさは, 幅 49m, 長さ 76m, 屋根の中心部の最大高さは 21m である。



写真 1 大型降雨実験施設の遠景



写真 2 防災科研敷地内の実験施設区画

*国立研究開発法人 防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 水・土砂防災研究ユニット 主任研究員

降雨システム

降雨システムは、2500m³の貯留槽、水を送出する大型ポンプ、そして4種類の出口孔の大きさの異なるノズルがセットとなった放出部で構成されており、また4つのノズルに繋がる配管は、それぞれ独立に制御できるようになっており、降雨強度や雨滴の分布を制御できるようになっている。このシステムでは、0.1mmから6mm程度の様々な雨滴の大きさの分布を再現することが可能となった。また、雨滴の落下速度は、地上から降雨ノズル先端までの高さが16mあり、自然の雨滴と同じ落下速度（終末速度）の状態を再現できる。

降雨システムは、降雨強度が自動制御されており、10分ごとに強度を変えて雨量データを再現することも可能である。これらの装置によって、災害時の条件を再現することが可能になり、また将来想定される雨量データに対する挙動を知ることにも可能となる。

3. 実験研究の概要

この施設を使った大型実験として、土砂災害に関する研究を中心に説明する。実験の形態として、防災科研が関与する程度により、施設貸与、共同研究、委託研究があり、それぞれの目的に応じて契約される。ここでは土砂災害に関する実験についていくつか事例を説明するが、この場合はすべて共同研究となっている。

(1) 崩壊メカニズム研究^{1),2)}

模型の形状は、総斜面長は、23 m（うち斜面部16 m）、幅3 m、深さ1.6 m（土層深1.2 m）、高さ7.8 mの斜面型模型（写真3）であり枠組みは鋼製である。水路末端はスリット型擁壁（浸透水は金網を通じて自然排水）で斜面土層を抑止している。水路末端以外は非排水条件である。斜面底面には粗度として、棧が水平方向に一定間隔で固定されている。また、片側壁は強化ガラスを用いて、土層内部の変形状況が外側から確認できるようになっている。

この盛土に対してセンサー計測設置例を示す。地表面変位計、土壌水分計（地表面から15cm, 45cm, 85cm）、圧力式水位計（斜面底部）を各所に設置して、10秒ごとに計測を行う。この実験では、降雨の浸透状況を、土壌水分計測より飽和度に変換し飽和度分布を計測し、水位計測より土層内の地下水分布を計測している。また地表面の変位計測からはクリープ理論に基づいた崩壊予測を行いな

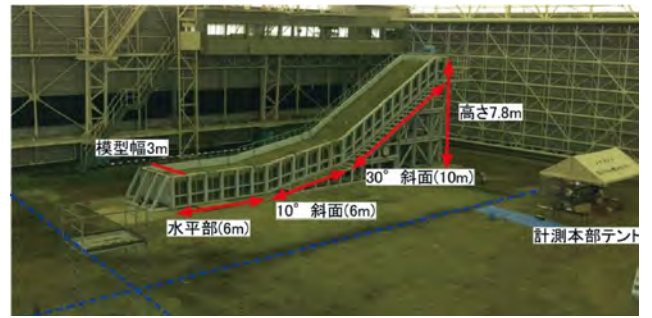


写真3 大型模型斜面のサイズと全景

がら実験を行った。

斜面模型の作成には、市販の佐原砂を用いた。その粒度特性は、礫分9%、砂分84%、シルト分7%、均等係数 $U_c=4.2$ 、 $D_{20}=0.185$ である。土槽模型は、初期含水比8%の試料を用いて、人力により湿潤密度が 1.45g/cm^3 を目標に作製した。飽和透水係数は、 2.71×10^{-2} (cm/sec)である。

これらの実験事例は、次のように報告^{1),2)}されている。

(2) 実物規模対策工を用いた実験³⁾

大型模型実験ができるメリットを生かし、実規模の対策を施した斜面と無体策の斜面の対策工の2種類の実験を行い、対策工の効果の検証実験を行った。ここでは、ただ対策を行うだけでなく、斜面の危険度を定量的に評価できるセンサーネットワークシステムを組み込んだ表面崩壊対策工として各種計測を行った。



写真4 対策なし（左）と対策あり（右）の実験後の写真

大型降雨装置による実大斜面実験概要を示す。斜面は高さ5 m×幅4 m、斜面角度40°で、筑波山まき土（含水比9.5%）を用いて、層厚1 mの土砂層を作製した。補強材はφ28.5mm中空棒鋼を用い、所定の位置に径50mmで基盤に垂直に設置

し、また一定の間隔でひずみセンサーを設置した。無対策時は斜面変位量 1 cm に達したときから約 10 分で斜面変位量 4cm に達して崩壊に至っている。一方補強材を 4 本設置した条件では、斜面変位量 1cm に達したときから斜面変位量 4cm に達するまで約 120 分要しているが、その後も崩壊には至っていない。すなわち補強材を設置することで斜面変位が抑制されていることがわかる。また、中空棒鋼に設置したセンサーでは、変形の進み具合を明確に計測できた。今後対策工が施された斜面において変形量を定量的に把握、危険度評価が可能になると考えられる。

(3) 比抵抗探査法による弱層評価実験^{4), 5)}

大型降雨実験施設内に、長期の斜面計測を目的とした盛土が 2009 年 4 月に作られた(写真 5 参照)。盛土は高さが約 7.3m の四角錐台であり、頂面は約 5m 四方、底面は約 27m 四方である。側面の斜度は約 35° で、頂部から底部までの斜面の長さは約 12m である。盛土は研究所構内にあった土や砂を集めて固められたものであり、砂が主体である。盛土中の比抵抗値は数 10 Ω m から数 100 Ω m の範囲に分布しており、盛土が不均質であることを反映している。ここでは雨期と乾期の差分をとり、その非抵抗値の差の分布より、盛土の透水性を推定した。全体的には、表面の色濃い部分は含水が高いことを示し、白っぽくなるほど乾いていることを示す。図 1 より、表面には浸透性が高く、表面より深くなると含水が低い部分と高い部分が存在し、雨は表面だけでなく盛土内まで浸透していることがわかる。

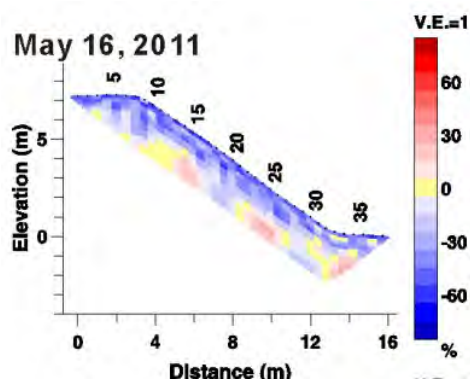


図 1 降雨後の含水分布図 (10cm 深度, 50cm 幅)



写真 5 測線と盛土全景 (建屋移動後)

4. 実験研究の今後の方向性

(1) 産官学の連携を重視した実験

センサー計測による崩壊予測手法は、崩壊予測すべき対象の範囲の絞り込み、局所的な地形地質要因、適切なタイミングでの情報発信の困難さによりなかなか実用化がなされていない。一方で、IoT による計測の手軽さ、Bigdata や AI (機械学習) による高度で迅速なデータ処理が可能となり、防災の分野にもその活用により新しい防災情報システムの構築が求められてきている。

この課題に対する一つの取り組みとして、2014 年度に日本地すべり学会と共同で民間企業 7 社が参加して、センサーによる崩壊予測手法に関する共同実験が行われた(写真 6 参照)。斜面には各社が準備した計測センサー(加速度計、傾斜計、土壌水分計、比抵抗等)と、通信システム(特定小電力無線や Zigbee, 携帯, 無線 LAN 等)を用いたセンサーシステムが設置された。ここでは、崩壊予測だけでなく、降雨浸透とともに進む不安定化した状態をセンサーによって検知できるかも含めて検討を行う。崩壊は局所的な影響が強く、センサーも斜面の個性に合わせて最適な組み合わせを知ることが必要である。実用化に近づけるために、このような取り組みが重要である。



写真 6 崩壊後の実験状況と計測状況

(2) 国際連携を重視した実験⁶⁾

近年では、土砂災害において地球規模的な課題解決に向けた研究の重要性が指摘されている。特に発展途上国を中心に大きな課題となっている。そこでは崩壊予測システム等の提供だけでなく、その国・地域的な特徴を踏まえた貢献が必要とされており、その分野における日本の技術的及び人的貢献が期待されている。具体的にはJICA及びJSTにより地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)として大型プロジェクトが実施されている。防災科研では、「マレーシアにおける地すべり災害および水害による被災低減に関する研究」(平成22年から平成27年、代表:登坂博行東大教授)に参画し、その中の一つの活動として崩壊実験が行われた(写真7参照)。30人超のマレーシアからの大学、民間、行政からの研究者、技術者の参加があった。そこでは、メカニズム解明、センサーシステムの検証等の研究交流や実験技術の普及等の貢献が行われた。

また近年では、中国、韓国、オーストラリア、米国、イギリスなどの研究者が訪問し、将来的な共同実験への期待が大きい。



写真7 崩壊直後の全景

5. まとめ

ここまで、防災科学技術研究所での大型降雨実験施設を用いた研究分野について説明してきました。土砂災害の被害軽減のためのメカニズム研究として、実大模型実験の特徴を生かして多くの研究が行われてきました。近年では成果が実際に役に立つことを考え、産官学連携活動を中心とした実用的な実験研究が求められるようになってきており、また海外においても地球規模課題の解決に向けた産官学連携による実験研究が行われるなど、

大型実験施設を活用した土砂災害の防災研究の拠点としての役割などを果たすことが求められている。今後も、そのような分野での貢献を行っていききたい。

〈参考文献〉

- 1) 石澤友浩・酒井直樹・諸星敏一・福園輝旗, 傾斜計を用いた斜面崩壊時の内部ひずみ計測による崩壊予測の有効性, 地すべり学会, 50 (6), 4-15., 2013.
- 2) 石澤友浩・酒井直樹・福園輝旗, 2013, 模型実験による斜面変位速度の経時変化と崩壊予測手法に関する検討, 地すべり学会, 50 (6), 16-26., 2013.
- 3) 檀上 徹・酒匂 一成・岩佐 直人, QUANG Nghiem Minh, 酒井直樹, 深川 良一, 新たな地盤変位計測に向けたネイリングセンサーの設置効果の検証, 地盤工学ジャーナル, 9 (1), 15-28., 2014.
- 4) 高倉伸一・吉岡真弓・内田洋平・石澤友浩・酒井直樹: 比抵抗モニタリングによる盛土中の水分変化の推定, 物理探査, 65, 223-236., 2012.
- 5) Yoshioka, M., Takakura, S., Ishizawa, T., and Sakai, N., Temporal changes of soil temperature with soil water content in an embankment slope during controlled artificial rainfall experiments. J. Appl. Geophys. 114, 134-145., 2015.
- 6) Naoki SAKAI, Habibah Lateh, Swee Peng Koay and Rohayu Che Omar, A physical approach to predicting a rainfall-induced shallow landslide by slope monitoring, International conference on slopes, Malaysia 2015, Kuala Lumpur, Malaysia, 151-156, 2015

全地連「技術フォーラム2015」について

第26回技術フォーラムが、9月17日(木)～18日(金)の2日間、名古屋市で開催された(行事の具体的な内容は、表1参照)。

今回のフォーラムでは、「地質調査業のイノベーション - 新時代に向けて -」をメインテーマに、地元「中部地質調査業協会」の全面的な協力と国土交通省中部地方整備局、愛知県、名古屋市の後援および国立研究開発法人土木研究所、日本情報地質学会、NPO地質情報整備活用機構、地質リスク学会、公益社団法人地盤工学会中部支部に協賛いただいた。

初日の特別講演会は、佐藤直良氏(一般財団法人日本建設情報総合センター 顧問)に特別講演として「建設の未来に向けて」というテーマでご講演いただいた。

技術発表会には、若手技術者を中心に全国から163編(表2参照)の応募があり、活発な質疑が行われた。

なお、今回の優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された29名が受賞された(表3参照)。

2日間の総入場者数は、約810名となった。

平成28年度の技術フォーラムは、九州地区(熊本市)で開催する予定である。

表1 行事内容

エリア 1 →	入場無料	エリア 2 →	有料
第1日目 9月17日(木) [受付開始]9:00～ [開場]9:30～ 会場:4号館 白鳥ホール		第1日目 9月17日(木) 会場:2号館 2F/3F 5会場(10セッション 72編)	
開会式 10:00～10:30 開会挨拶 (一社)全国地質調査業協会連合会 会長 成田 賢 来賓挨拶		技術発表会 13:00～17:45 孔内観測・空洞観測、室内試験、地山分類・評価、情報化・解析 ケーススタディ、現場技術、地理情報、地すべり、地域地盤特性 井戸・地下水調査	
特別講演会 10:30～12:00 「建設の未来に向けて」 講師:佐藤 直良 氏 一般財団法人日本建設情報総合センター 顧問 元 国土交通省 事務次官		会場:2号館 3F 234会議室 基調講演① 「南海トラフ巨大地震の備える科学・技術」 講師:金田 義行 氏 名古屋大学 減災連携研究センター 特任教授 特別セッション 16:10～17:30 基調講演② 「外水位が大規模河川堤防の地震時挙動に及ぼす影響に関する空気～水～土骨格連成有限変形解析」 講師:野田 利弘 氏 名古屋大学 減災連携研究センター 研究連携部門 教授	
同時開催展示会(フォーラム会場内で開催されます。) 展示会(入場無料) 2号館 1F 211号室 第1日目 9月17日 12:00～17:00 第2日目 9月18日 9:00～15:00		会場:4号館 白鳥ホール 技術者交流懇親会 [受付開始]17:30～ [懇親会]18:00～19:30	
		第2日目 9月18日(金) 会場:2号館 2F/3F 5会場(15セッション 91編)	
		技術発表会 9:00～15:00 物理探査・検層、サウンディング、液化化検討、耐震性能、 原位置試験、軟弱地盤、コア採取・コア観察、道路、 のり面・斜面、健全度調査、環境調査	

展示会出展者一覧

出展者名	展示内容
調査・探査機器関連コーナー	
㈱測商技研北陸	Webによる地すべり計測監視システム[LOCCO(ロッコ)]、パイプひずみ計、孔内傾斜計用アルミガイドパイプ
リーグルジャパン(株)	地上型3Dレーザースキャナ、UAV(ドローン)搭載型レーザースキャナ
GoTENコンソーシアム	GoTEN-tk(孔内局部載荷試験)
㈱東京電機	斜面の監視システム、表層パイプ歪計、地中伸縮測定器
東邦地水(株)	地中熱利用ヒートポンプシステム、SAAMシステム
㈱藤井基礎設計事務所	標準貫入試験自動記録装置「勘太(かんだ)」、トボク模型、土石流警報システム
自然地下水調査研究所	1m深地温測定器、多点温度検層器、単孔式加熱型流向流速計
㈱ダイヤコンサルタント	高周波衝撃弾性波探査、光る変位計
応用地質(株)	i-SENSOR2(通信機能一体型のデータロガー)、インテグラル水位計、地下レーダー探査装置

出展者名	展示内容
応用計測サービス(株)	カラーカメラシステム(井戸内部の検査システム)、AUTOLLT2・AUTOエラスト(自動孔内載荷試験装置)
㈱ジオファイブ	3次元地中レーダコロージョンドクター(腐食診断装置)、3軸磁気検層装置
システム関連コーナー	
応用リソースマネージメント(株)	Report,MAP、Boring Cloud、ReportSS、MET ADVANCE、地盤情報AR
土質試験関連コーナー	
中部土質試験協同組合	粒度試験ふるいしんとう機、供試体VpVs測定器の活用事例、大型三軸試験機のパネル展示
ジオ・ラボネットワーク	ジオ・ラボネットワーク(土質試験協同組合のネットワーク)の紹介
特別展示コーナー	
中部地質調査業協会	協会活動紹介

表2 全地連「技術フォーラム2015」名古屋 技術発表会内容一覧

セッション／発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	標 題
A-1 孔内観察・空洞観察 9月17日 13:00～14:30 232+233会議室	1	佐藤 伸哉	株式会社シアックス	北海道	高解像度ポアホールスキャナーの概要と適用性について
	2	武田 伸二	ハイテック株式会社	関西	CCDカメラ画像による孔壁展開画像作成
	3	蒲原 秀典	明治コンサルタント株式会社	中部	ポアホールカメラ観察によるのり面の安定性評価の調査事例
	4	西村 仁秀	応用地質株式会社	北海道	ボーリング孔を利用した3Dレーザースキャナーによる地下空洞の計測事例の紹介
	5	矢野 健	川崎地質株式会社	中部	空洞調査の現状と今後の展望
A-2 室内試験 9月17日 14:45～17:45 232+233会議室	6	五十嵐 央	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中部	礫分が混入する粘性土層の試料準備方法の違いによる動的強度特性の変化に関する考察
	7	佐藤 祐輔	株式会社新東京ジオ・システム	東北	砂防ソイルセメント(INSEM材)配合試験 供試体作製方法の違いによる一軸強さの比較検討
	8	岩田 暁	中部土質試験協同組合	中部	中間土の締固め試験の準備方法に関する研究
	9	細堀 建司	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中部	風化度の異なる盛土材料の動的変形特性
	10	田中 猛	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関東	Torsion Wave方式のVsアクチュエータを用いた様々な応力条件下のS波速度
	11	高砂 英郎	関東土質試験協同組合	関東	含水比試験における乾燥質量測定について
	12	伊藤 康弘	中部土質試験協同組合	中部	貫入方法の違いによるコーン指数試験の一考察
	13	平 伸明	北海道土質試験協同組合	北海道	泥炭の透水係数の異方性(鉛直・水平方向)について
	14	内野 豊治	関東土質試験協同組合	関東	関東ロームの配合CBR試験に関して攪拌時間がCBR値にどのような影響を及ぼすか
	15	富山 恵介	興亜開発株式会社	関西	改質材を用いた建設発生土のハンドリング性能改良について一考察
	16	奥平 佳菜絵	青葉工業株式会社	四国	中間土における圧密排水試験(CD)と圧密非排水試験(CUbar)の比較
A-3 物理探査・検層Ⅰ 9月18日 9:00～10:00 232+233会議室	17	青野 泰大	サンコーコンサルタンツ株式会社	中部	河川堆積物の分布把握を目的とした比抵抗二次元探査の適用事例
	18	山下 大輔	中央開発株式会社	中部	老朽化したダム減勢工における電気探査事例
	19	佐々木 宣欣	上山試験工業株式会社	北海道	比抵抗法二次元探査による岩層の推定事例
	20	吉村 辰朗	明大工業株式会社	九州	ボーリング1孔のみで検出された破碎帯の調査法 -放射能探査法のイノベーション-
	21	荒井 良祐	川崎地質株式会社	関東	海域活断層調査
A-4 物理探査・検層Ⅱ 9月18日 10:15～12:00 232+233会議室	22	三澤 文慶	応用地質株式会社	関東	路面下空洞調査結果に基づく空洞発生原因の検討 -都市部と山間部での事例の比較-
	23	澤田 量平	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	九州	車載型地中レーダーによる路面下空洞調査事例
	24	西 克明	株式会社ダイヤコンサルタント	九州	走行型トンネル計測結果と近接目視調査結果の検証と報告
	25	磯前 沙也加	中央開発株式会社	東北	鍾乳洞(空洞)探査事例
	26	小川 光喜	株式会社ジオファイブ	関東	高分解能3軸磁気検層装置の開発と適用
	27	小泉 和広	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	熱赤外線映像法を用いたコンクリート橋における耐震補強の劣化調査について
A-5 物理探査・検層Ⅲ 9月18日 13:00～15:00 232+233会議室	28	藤原 聡	東邦地水株式会社	中部	鉛直磁気探査とプラスチックピットを併用した埋設管確認探査
	29	伊藤 吉宏	日本物理探査株式会社	九州	磁気検層にポアホールレーダを併用した橋台基礎の探査
	30	高橋 勇介	興亜開発株式会社	関東	磁気探査による鋼管矢板位置の特定
	31	都築 孝之	日本物理探査株式会社	中部	磁気探査あれこれ
	32	長谷川 謙二	玉野総合コンサルタント株式会社	中部	弾性波トモグラフィを用いた砂防施設調査
	33	北澤 浩二	株式会社ダイヤコンサルタント	北陸	巨岩塊の防災対策における高周波衝撃弾性波法の適用事例
	34	福田 耕太	川崎地質株式会社	北陸	地中構造物の形状把握における高周波衝撃弾性波法(オーリス)調査事例
	35	永井 哲夫	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	高周波衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の内部状態評価
B-1 地山分類・評価 9月17日 13:00～14:30 234会議室	36	田中 剛	日本物理探査株式会社	中部	領家帯変成岩の磁性を基にした岩種分類
	37	中村 祐貴	株式会社開発工営社	北海道	AHP(階層分析法)を用いたトンネル地山分類
	38	横路 悠	川崎地質株式会社	関東	堆積柱状図を用いた堆積岩分布地域の層序区分
	39	久保 健一	玉野総合コンサルタント株式会社	中部	岩盤造成工事における地質調査と実施工との土工区分の違いについて
B-2 情報化・解析 9月17日 14:45～16:00 234会議室	40	井上 信	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	数値シミュレーションを用いた海成段丘の形成に関する考察
	41	友清 悟	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	東北	破堤生起確率を用いた河川整備・堤防強化優先度設定手法
	42	高岡 宏之	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	ジョイント解析手法を使った多種類の物理探査およびボーリングデータの総合解析
	43	谷 枝里子	応用地質株式会社	中部	メッシュ間隔が与える津波解析への影響
	44	山中 信彦	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	関東	不整形地盤の地震時における軸ひずみ分布の特徴
B-3 サウンディング 9月18日 9:00～10:00 234会議室	45	奈須 徹夫	株式会社ワイビーエム	九州	超軟弱粘性土地盤における動的コーン貫入試験用サンプリャーの適応実験
	46	一関 敏	株式会社日さく	関東	CPTと一軸圧縮強さ q_u との比較
	47	松川 尚史	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	粘性土の一軸圧縮強さとN値の関係(その2)
	48	藤田 元	大地コンサルタント株式会社	北海道	ローカルソイルにおける標準貫入試験とスウェーデン式サウンディング試験との相関性について
B-4 液状化検討 9月18日 10:15～12:00 234会議室	49	森田 祥子	中央開発株式会社	関東	関東地方沿岸部における液状化トレンチ調査事例
	50	米村 公貴	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中部	繰返し三軸試験における不攪乱砂質土での液状化強度予測法の検証
	51	小林 優起	川崎地質株式会社	関東	地盤調査方法が数値解析に及ぼす影響評価
	52	尾関 浩	株式会社東京ソイルリサーチ	中部	洪積砂地盤の液状化強度測定事例
	53	牧戸 邦浩	興亜開発株式会社	関東	マイクロバイアル・セメントによる液状化被害軽減対策の設計方法の検討
	54	金子 拓哉	応用地質株式会社	東北	サウンディング試験による液状化対策工の効果判定事例
	55	永津 めぐみ	川崎地質株式会社	中部	地形的特性を考慮した液状化予測マップの作成事例
B-5 耐震性能 9月18日 13:00～15:00 234会議室	56	濱田 祐二	株式会社荒谷建設コンサルタント	中国	三軸圧縮試験による c , ϕ の設定がため池堤体材料の安定性に及ぼす影響について
	57	世良 賢司	中央開発株式会社	中部	繰返し非排水三軸試験後の残留強度を求めた事例
	58	河原 弘明	中央開発株式会社	中部	河川堤防の耐震性能照査事例
	59	近藤 拓巳	玉野総合コンサルタント株式会社	中部	レベル2地震動を考慮した防災船着場の設計事例
	60	山田 博志	株式会社キンキ地質センター	関西	ため池堤体のレベル2地震動に対する耐震詳細照査 ～ため池堤体材料強度試験の実施事例～
	61	渡辺 康雄	玉野総合コンサルタント株式会社	中部	ため池耐震調査の事例
	62	中田 卓	株式会社基礎計画研究所	九州	熊本平野東部地域の工学的基盤面とN値について

セッション／発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	標 題
C-1 ケーススタディ 9月17日 13:00~14:30 222+223会議室	63	松尾 賢太郎	中央開発株式会社	関西	堤防兼用道路の法面崩壊箇所の安定性に関する検討
	64	太田 景治	地質基礎工業株式会社	東北	冠水による盛土の変状
	65	藤本 展子	川崎地質株式会社	東北	高透水性材料の混入による堤防の漏水被害とメカニズムの検討
	66	碓井 洋介	株式会社ダイヤコンサルタント	関西	地温の連続観測事例
	67	三輪 義博	東邦地水株式会社	中部	岩盤地域における地中熱利用空調システム稼働に伴う地温変化について
	68	今田 真治	株式会社エイト日本技術開発	中国	河川で確認される玉石の長径／短径比の特性
C-2 現場技術 9月17日 14:45~17:45 222+223会議室	69	鈴木 雄二	株式会社岐阜ソイルコンサルタント	中部	ボーリング作業前における事前調査
	70	奥 一步	株式会社東建ジオテック	中部	既設建物内でのボーリング時の地下水止水対策事例
	71	花川 和宏	日本物理探査株式会社	関東	不整地における削孔 -高所作業車の応用-
	72	安藤 翔平	奥山ボーリング株式会社	東北	保孔管頭部への地中伸縮計設置によるノイズ発生防止効果
	73	杉山 詠一	株式会社ダイヤコンサルタント	九州	構造物基礎調査におけるジャストボーリング実施の有用性について
	74	間瀬口 輝浩	日本物理探査株式会社	関東	橋台基礎における支持層傾斜部でのボーリング調査事例
	75	村田 淳	株式会社ウエスコ	関西	切土のり面における調査方法による工夫と崩壊機構の事例
	76	上野 俊幸	応用地質株式会社	九州	河川堤防のパイピング破壊に着目した被覆土調査事例
	77	桑原 常晃	株式会社アオイテック	中部	小径倍圧型水圧ピストンサンブラーの洪積粘性土に対する適用性
	78	西村 和貴	基礎地盤コンサルタント株式会社	四国	空港滑走路下地盤におけるトリプルサンプリング事例
C-3 原位置試験Ⅰ 9月18日 9:00~10:00 222+223会議室	79	江藤 崇	基礎地盤コンサルタント株式会社	中部	貯水池周辺斜面における原位置せん断摩擦試験を用いた調査・解析事例
	80	神田 大介	基礎地盤コンサルタント株式会社	中部	風化岩を対象とした原位置せん断試験の適用性について
	81	丸山 祐司	川崎地質株式会社	関東	孔内局部載荷試験(GoTEN)による岩塊の物性測定
C-4 原位置試験Ⅱ 9月18日 10:15~12:00 222+223会議室	82	澤田 喬彰	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	原位置岩盤引張り試験法の実岩盤への適用
	83	目黒 敬記	応用計測サービス株式会社	関東	自動孔内載荷試験装置の開発
	84	笹川 活禎	基礎地盤コンサルタント株式会社	関東	孔内水平載荷試験における繰返し載荷の例
	85	森川 佳太	株式会社ダイヤコンサルタント	関東	脱着式パッカーの開発
	86	上田 洋二	富士開発株式会社	中部	非定常法透水試験の手動水位測定と自動水位測定(水圧式)による透水係数算出結果の比較事例
C-5 軟弱地盤 9月18日 13:00~15:00 222+223会議室	87	菊地 将太	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	中部	亀裂状態とルジオン値の整合について
	88	五家 康宏	株式会社ダイヤコンサルタント	東北	気水分離方式による真空圧密工法の有効性について(その1)
	89	佐藤 春夫	株式会社ダイヤコンサルタント	東北	気水分離方式による真空圧密工法の有効性について(その2)
	90	清水 亮太	中部土質試験協同組合	中部	堆積環境の違いによる沖積粘性土の地盤工学的特性
	91	平岡 城栄	明治コンサルタント株式会社	北海道	ライフサイクルコストを考慮した軟弱地盤対策
	92	沼田 太樹	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	軟弱地盤上の盛土近接施工による影響検討事例
	93	東野 圭悟	中央開発株式会社	関東	河川改修工事に伴う地盤変状を想定した対策工の要否判定事例
D-1 地理情報 9月17日 13:00~14:30 224会議室	94	栗原 朋之	中央開発株式会社	関東	ジオテキスタイルを用いた離岸堤の設計事例
	95	小山 彰	応用地質株式会社	中部	長期的な圧密沈下対策を考慮した盛土造成の検討
	96	日下田 亮	川崎地質株式会社	北海道	産業用無人ヘリコプター搭載型レーザスキャン装置による地形測量
	97	鬼村 雅和	宇都興産コンサルタント株式会社	中国	調査現場における簡易ドローン(無人飛行体)の有用性について
	98	塩飽 悠馬	株式会社エイト日本技術開発	関西	LiDAR DEMを用いた地形解析による災害発生危険箇所の抽出
	99	中川 遼也	株式会社エイト日本技術開発	中部	古くからの市街地における宅地造成盛土の分布把握に関する一考察
	100	植田 亘彦	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	人工改変地における地盤情報の可視化事例
D-2 地すべり 9月17日 14:45~17:45 224会議室	101	田中 昭雄	株式会社地研	四国	地すべり地における地表地質踏査の方法
	102	野島 順二	明治コンサルタント株式会社	中部	無線式簡易地盤傾斜計による大規模法面工事の施工監視事例
	103	梅沢 晃司	株式会社ダイヤコンサルタント	北海道	地すべりを想定していなかったり面工事で地すべりが活動した際の対応事例
	104	神田 淳	中央開発株式会社	中部	対策工が施工された地すべりの動態観測
	105	高森 陽一	東邦地水株式会社	中部	伊賀地域で発生した地すべりの調査・対策工検討事例について
	106	田窪 裕一	株式会社愛媛建設コンサルタント	四国	豪雨により発生した地すべり災害の検討事例
	107	久野 高明	基礎地盤コンサルタント株式会社	東北	降雨時に発生した農地地すべりの機構と対策工法の事例紹介
	108	近藤 吏司	株式会社開発工営社	北海道	豪雪地帯の地すべりにおける融雪と気象および地下水位の関連性について
	109	竹田 知史	株式会社日さく	北陸	地すべり斜面における斜め下向き集水ボーリングの適用事例
	110	吉岡 崇	株式会社愛媛建設コンサルタント	四国	初生の岩盤地すべりにおける地すべり範囲の決定
	111	山田 幸一	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	古第三紀デイサイト火砕岩の岩盤地すべり調査事例
	112	坂本 祐樹	応用地質株式会社	四国	三波川帯岩盤地すべりの変位速度と内部構造
D-3 コア採取・コア観察 9月18日 9:00~10:00 224会議室	113	加賀 匠	中央開発株式会社	関西	地すべり地域における高品質ボーリング実施事例と高品質コアの品質管理への取り組みの紹介
	114	谷川 正志	応用地質株式会社	関東	コアボーリング技術の見える化によるサンプリング技術の向上
	115	岡野 肇	応用地質株式会社	中部	詳細なボーリングコア記載による火山活動履歴の復元と解釈
	116	砂田 大樹	株式会社東建ジオテック	中部	オールコア試料を観察する上での留意点
D-4 道路 9月18日 10:15~12:00 224会議室	117	宿田 浩司	和光技研株式会社	北海道	ボーリング調査と孔内カメラを利用した舗装厚調査事例
	118	溝口 秀治	サンコーコンサルタント株式会社	中部	防災設計業務に関する地質調査事例
	119	扇本 寛也	玉野総合コンサルタント株式会社	中部	斜面に造成された道路の変状原因の推定と対応事例
	120	齋藤 龍太	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	花崗岩斜面の崩壊予測時の実務における具体的な手法の紹介
	121	居川 信之	株式会社エイト日本技術開発	中部	山岳道路における落石発生に関する要因分析と防止対策の検討例
	122	鐘ヶ江 孝仁	株式会社ダイヤコンサルタント	九州	道路ストック(道路のり面・土工構造物)点検結果を活用した継続調査の提案事例
	123	上野 真実	中央復建コンサルタント株式会社	関西	要求性能を考慮した高盛土安定性評価に関する一事例

(表2のつづき)

セッション／発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	標 題
D-5 のり面・斜面 9月18日 13:00～15:00 224会議室	124	松場 康二	株式会社ダイヤコンサルタント	四国	末端が拘束された流れ盤斜面の変形について
	125	木村 隆行	株式会社エイト日本技術開発	中国	応力解放比とすべり面形状の相関
	126	林 浩幸	応用地質株式会社	中部	宝永火口内に発生した斜面崩壊による窪み
	127	秋吉 亮平	日本地研株式会社	九州	盛土のり面の水抜きパイプの排水効果検証
	128	伏木 治	サンコーコンサルタント株式会社	中部	崩壊地が分布するトンネル坑口調査
	129	谷垣 勝久	株式会社タニガキ建工	関西	四万十付加体斜面における地山補強の対策例
	130	炭谷 雅昭	株式会社ダイヤコンサルタント	関西	平成26年8月豪雨による兵庫県丹波市の土砂災害
E-1 地域地盤特性 9月17日 13:00～14:30 221会議室	131	小村 芳生	株式会社藤井基礎設計事務所	中国	土石流から住民を安全に避難させる仕組みの構築
	132	阿部 和弘	上山試験工業株式会社	北海道	火山灰質粗粒土のN値による透水係数の評価
	133	石幡 和也	新協地水株式会社	東北	猪苗代湖西側地域に分布する高有機質土の物理・力学特性について
E-2 井戸・地下水調査 9月17日 14:45～17:45 221会議室	134	蜂谷 菜穂子	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	粘性土の内部摩擦角φについて
	135	溝淵 年哉	中央開発株式会社	沖縄	微化石分析によるサンゴ礫混じり土の地層区分
	136	福井 亮	アーストラストエンジニアリング株式会社	北海道	エアージェッティングによる井戸洗浄の開発
	137	齋藤 琢也	上山試験工業株式会社	北海道	水路施工時に遭遇した湧水によるトラブルと透水性の再評価
	138	宇多川 和浩	川崎地質株式会社	関東	調査時及び施工時の透水係数に関する考察事例
	139	岡野 和也	株式会社日さく	中部	離島における長期連続揚水試験について
	140	藤野 直樹	株式会社ダイヤコンサルタント	中部	トンネル湧水の流出特性と実効雨量による湧水量の推定
	141	長藤 亮輔	株式会社日さく	中部	降雪期における消雪井利用地域の地下水モニタリング
E-3 健全度調査 I 9月18日 9:00～10:00 221会議室	142	川口 貴之	中央開発株式会社	九州	井戸損失および帯水層損失の理論と実際
	143	五島 努	基礎地盤コンサルタンツ	東北	逆解析を利用した地下水モデリングによる発生源対策の効果予測の研究
	144	秋山 晋二	国際航業株式会社	関西	地下水調査のための観測孔の仕上げ方マニュアル(案)その1 ～設置方法について～
	145	足立 直樹	ハイテック株式会社	関西	地下水調査のための観測孔の仕上げ方マニュアル(案)その2 洗浄方法について
	146	藤田 昌彦	玉野総合コンサルタント株式会社	中部	砂防施設である土堰堤の安定度照査事例
	147	松本 修司	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	フィルダムの劣化とその調査方法 ―室内土質試験―
	148	田中 英之	川崎地質株式会社	中部	雨水浸透槽の維持管理手法についての一提案
E-4 健全度調査 II 9月18日 10:15～12:00 221会議室	149	長谷川 智則	玉野総合コンサルタント株式会社	中部	住宅密集地における擁壁の変状の定点観測事例
	150	望月 敦人	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	中部	アンカーのり面の健全度調査における総合評価方法の紹介
	151	弘田 朋志	株式会社相愛	四国	グラウンドアンカー工の健全性評価における簡易評価手法について
	152	山下 英二	北海道土質コンサルタント株式会社	北海道	グラウンドアンカーのり面の維持管理と健全度評価事例
	153	鈴木 和也	応用地質株式会社	中部	老朽化した吹付のり面の健全度調査における弾性波探査の適用事例
E-5 環境調査 9月18日 13:00～15:00 221会議室	154	田口 浩史	日本地研株式会社	九州	盛土のり面の予防保全対策に関する排水及び補強新工法について
	155	渡邊 嘉之	応用地質株式会社	中部	トンネル工法の違いによる変状の特徴と点検時の留意点
	156	母良田 正一	日本物理探査株式会社	関東	汚染地下水の採取について
	157	佐藤 文彦	株式会社キタック	北陸	油汚染土の処理方法について
	158	大野 敦史	応用地質株式会社	関東	湿式分級処理による放射性セシウム含有土砂の濃縮・減容化
	159	竹村 建人	応用地質株式会社	中部	芝生地におけるふっ素の挙動 ―室内カラム試験による考察―
	160	西 俊憲	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	東北	携帯型蛍光X線分析装置による重金属測定事例
	161	濱本 拓志	株式会社ダイヤコンサルタント	中部	重金属を含むトンネル地山の調査・対策例(中部地方の山岳トンネルの例:その3)
	162	遠藤 康仁	地盤環境エンジニアリング株式会社	関東	ダイレクトセンシングによる土壌・地下水汚染の調査
	163	小岩 晃	和光技研株式会社	北海道	建設発生土を対象とした汚染土壌の不溶化処理に係る配合検討事例

表3 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション名	論文 No.	発表者	所属	地区	標 題
A-1 孔内観察・空洞観察	4	西村 仁秀	応用地質㈱	北海道	ボーリング孔を利用した3Dレーザースキャナーによる地下空洞の計測事例の紹介
A-2 室内試験	9	細堀 建司	基礎地盤コンサルタンツ㈱	中部	風化度の異なる盛土材料の動的変形特性
	12	伊藤 康弘	中部土質試験協同組合	中部	貫入方法の違いによるコーン指数試験の一考察
A-3 物理探査・検層Ⅰ	18	山下 大輔	中央開発㈱	中部	老朽化したダム減勢工における電気探査事例
A-4 物理探査・検層Ⅱ	27	小泉 和広	㈱ダイヤコンサルタント	関東	熱赤外線映像法を用いたコンクリート橋における耐震補強の劣化調査について
A-5 物理探査・検層Ⅲ	33	北澤 浩二	㈱ダイヤコンサルタント	北陸	巨岩塊の防災対策における高周波衝撃弾性波法の適用事例
B-1 地山分類・評価	37	中村 祐貴	㈱開発工営社	北海道	AHP(階層分析法)を用いたトンネル地山分類
B-2 情報化・解析	43	谷 枝里子	応用地質㈱	中部	メッシュ間隔が与える津波解析への影響
B-3 サウンディング	45	奈須 徹夫	㈱ワイビーエム	九州	超軟弱粘性土地盤における動的コーン貫入試験用サンプラーの適応実験
B-4 液状化検討	53	牧戸 邦浩	興亜開発㈱	関東	マイクロバイアル・セメントによる液状化被害軽減対策の設計方法の検討
B-5 耐震性能	62	中田 卓	㈱基礎計画研究所	九州	熊本平野東部地域の工学的基盤面とN値について
C-1 ケーススタディ	67	三輪 義博	東邦地水㈱	中部	岩盤地域における地中熱利用空調システム稼働に伴う地温変化について
	70	奥 一步	㈱東建ジオテック	中部	既設建物内でのボーリング時の地下水止水対策事例
C-2 現場技術	76	上野 俊幸	応用地質㈱	九州	河川堤防のパイピング破壊に着目した被覆土調査事例
	80	神田 大介	基礎地盤コンサルタンツ㈱	中部	風化岩を対象とした原位置せん断試験の適用性について
C-4 原位置試験Ⅱ	85	森川 佳太	㈱ダイヤコンサルタント	関東	脱着式バックカーの開発
C-5 軟弱地盤	94	栗原 朋之	中央開発㈱	関東	ジオテキスタイルを用いた離岸堤の設計事例
D-1 地理情報	96	日下田 亮	川崎地質㈱	北海道	産業用無人ヘリコプター搭載型レーザースキャン装置による地形測量
D-2 地すべり	103	梅沢 晃司	㈱ダイヤコンサルタント	北海道	地すべりを想定していなかったのり面工事で地すべりが活動した際の対応事例
	109	竹田 知史	㈱日さく	北陸	地すべり斜面における斜め下向き集水ボーリングの適用事例
D-3 コア採取・コア観察	115	岡野 肇	応用地質㈱	中部	詳細なボーリングコア記載による火山活動履歴の復元と解釈
D-4 道路	120	齋藤 龍太	㈱藤井基礎設計事務所	中国	花崗岩斜面の崩壊予測時の実務における具体的な手法の紹介
D-5 のり面・斜面	131	小村 芳生	㈱藤井基礎設計事務所	中国	土石流から住民を安全に避難させる仕組みの構築
E-1 地域地盤特性	135	溝渕 年哉	中央開発㈱	沖縄	微化石分析によるサンゴ礫混じり土の地層区分
E-2 井戸・地下水調査	137	齋藤 琢也	上山試験工業㈱	北海道	水路施工時に遭遇した湧水によるトラブルと透水性の再評価
	142	川口 貴之	中央開発㈱	九州	井戸損失および帯水層損失の理論と実際
E-3 健全度調査Ⅰ	148	田中 英之	川崎地質㈱	中部	雨水浸透槽の維持管理手法についての一提案
E-4 健全度調査Ⅱ	155	渡邊 嘉之	応用地質㈱	中部	トンネル工法の違いによる変状の特徴と点検時の留意点
E-5 環境調査	158	大野 敦史	応用地質㈱	関東	湿式分級処理による放射性セシウム含有土砂の濃縮・減容化

会 告

「ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱・保管要領（案）・同解説」の公開について

[公式公開]

社会基盤情報標準化委員会（委員長・柴崎亮介東京大学教授）は今年10月、ボーリング柱状図標準化小委員会の成果として「ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱・保管要領（案）・同解説」を公開いたしました。

これは、従来の関連要領《（ボーリング柱状図作成要領（案）（昭和61年）、ボーリング柱状図作成要領（案）解説書（改訂版）（平成11年）、地すべり調査用ボーリング柱状図作成要領（案）（平成14年）》がいずれも策定から年数が経過していることからこれらを統合し、新しい知見を反映した要領（案）及び解説書を作成して今後活用していくことを提案するものであります。

同要領（案）の詳細につきましては、（一社）全国地質調査業協会連合会及び（一財）日本建設情報総合センターのホームページをご覧ください。

全地連 HP ▶▶▶ http://www.zenchiren.or.jp/koukai/kousiki_0928.html

「改訂3版 地質調査要領」の発行および「地質調査要領説明会」の開催

全地連では、経済調査会と連携し、地質調査の計画や実施のポイントなどを解説した「地質調査要領」の改訂3版を平成27年9月に発刊いたしました。また、これを契機に、本書の内容を発注者・地質調査会社等の皆さまに広く理解いただくことを目的に、「地質調査要領説明会」を全国主要都市において開催いたしました。

この改訂3版は、従来掲載してきた調査技術の内容をベースに最新動向を反映し、さらには、調査目的によって異なる調査計画の策定方法や積算についてのポイントを示すなど、地質調査業務に携わる様々な立場の方々にご活用いただけるよう編集をいたしました。一方、説明会につきましては、全国8会場で約1200名の方々にご参加を頂き、地質調査会社の技術者や営業担当者をはじめ、多くの発注機関の方々にもご参加を頂く事が出来ました。

改訂3版の詳細・ご購入につきましては、経済調査会のホームページをご覧ください。

▶書籍購入案内 http://www.book-kensetsu-plaza.com/89_38.html



編集 全国地質調査業協会連合会
発行 経済調査会
価格 5,400円 税込

■講習会開催地・日程

開催日	開催地	会場	開催日	開催地	会場
9/30 (水)	東京	日本教育会館終了	10/20 (火)	大阪	新梅田研修センター
10/9 (金)	福岡	福岡センタービル終了	10/22 (木)	札幌	北海道経済センター
10/13 (火)	名古屋	名古屋国際会議場	10/29 (木)	広島	広島商工会議所
10/15 (木)	仙台	イズミティ 21	11/2 (月)	東京	日本教育会館

地質情報管理士 登録更新について

[平成 27 年度 地質情報管理士資格 登録更新]

現在、下記の通り登録更新申請を受け付けております。更新対象の方には、12月1日に更新案内のメールをお送りしております。案内をご確認の上、更新手続きの漏れが無いようにお早めにお手続きください。

- 申請対象者：平成 24 年度 地質情報管理士資格検定試験に合格し、資格登録した方
平成 24 年度 地質情報管理士登録更新の手続きを行った方
- 申請受付期間：平成 27 年 12 月 1 日（火）～平成 28 年 1 月 31 日（日）
- 申請方法：所定の様式に従い申請書類を作成し、全地連宛にメールにて提出していただきます。
詳しくは、以下のホームページよりご確認ください。

http://www.zenchiren.or.jp/jouho_kanrisi/kousin.html

平成 27 年度 上半期の事業量 389 億円

全地連の受注動向調査結果（平成 27 年度上半期（4月～9月））は、次の通りとなりました。

受注動向調査対前年比較表(4月～9月)						
1. 月別発注動向			(社)全国地質調査業協会連合会			
月別	平成26年度		平成27年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
4月	2,132	8,790,787	1,799	7,805,489	84.4	88.8
5月	2,006	6,548,049	1,718	5,915,430	85.6	90.3
6月	2,177	9,069,780	2,019	7,442,092	92.7	82.1
7月	2,113	8,257,317	1,820	7,428,134	86.1	90.0
8月	1,765	6,594,881	1,482	4,950,067	84.0	75.1
9月	1,948	6,214,061	1,560	5,365,151	80.1	86.3
計	12,141	45,474,875	10,398	38,906,363	85.6	85.6

2. 地域別発注動向						
地域別	平成26年度		平成27年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
北海道	864	4,136,621	673	3,545,201	77.9	85.7
東北	1,211	6,044,808	1,073	5,576,364	88.6	92.3
北陸	978	3,591,065	918	3,594,859	93.9	100.1
関東	3,524	10,253,587	2,979	9,343,063	84.5	91.1
中部	1,358	3,875,639	1,114	3,348,979	82.0	86.4
関西	1,130	3,867,915	946	3,107,766	83.7	80.3
中国	1,216	4,055,943	1,004	2,408,493	82.6	59.4
四国	690	3,686,706	608	3,187,726	88.1	86.5
九州	1,108	5,398,872	1,045	4,481,594	94.3	83.0
沖縄県	62	563,719	38	312,318	61.3	55.4
計	12,141	45,474,875	10,398	38,906,363	85.6	85.6

3. 発注機関別発注動向						
発注者別	平成26年度		平成27年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
国等の機関						
国交省(建設)	563	8,918,722	447	6,826,614	79.4	76.5
農林水産省	72	1,058,646	85	970,622	118.1	91.7
国交省(運輸)	74	1,032,012	58	1,269,512	78.4	123.0
(旧)鉄建公団	23	735,347	8	213,349	34.8	29.0
(旧)道路公団	44	661,346	56	783,405	127.3	118.5
(旧)都市基盤	5	45,826	8	55,100	160.0	120.2
その他	181	2,191,837	183	2,018,873	101.1	92.1
小計	962	14,643,736	845	12,137,475	87.8	82.9
地方公共団体	2,942	13,948,682	2,572	12,547,268	87.4	90.0
民間	8,237	16,882,457	6,981	14,221,620	84.8	84.2
計	12,141	45,474,875	10,398	38,906,363	85.6	85.6

4. その他						
項目	件数	金額 千円	件数	金額 千円		
海外	5	12,495	5	32,538		
項目	件数	金額 千円	件数	金額 千円		
土壌地下水汚染調査契約金額	1,031	1,888,608	770	1,518,826		

調査対象企業 150社

2013年10月16日に、台風第26号により伊豆大島において表層崩壊とそれに伴う土石流が発生し、下流域の元町地区で大きな被害が発生しました。この集中豪雨は、伊豆大島での1938年の観測以来、最大の豪雨となりました。また、2014年8月20日には、広島市安佐南区・安佐北区で大規模な土砂災害が発生し、甚大な人的被害、家屋等に被害が発生しました。この時の豪雨は、バックビルディング現象（暖かく湿った空気が流入し積乱雲が連続的に発達し、低気圧が一列に並ぶ現象）が原因でした。このように、近年特に局所的で強烈な豪雨が多発する傾向にあることは間違いなく、台風の大型化と合わせて、今後土砂災害に対する危険度があがっていく事が懸念されます。

本号では、このように近年多発している「土砂災害」をテーマとしました。まず、最新の気象観測技術を紹介し、その後最近発生した大規模な土砂災害（広島、伊豆大島、紀伊半島）の発生状況やメカニズム、今後の対策等に関する提言などを述べていただきました。更に、道路分野及び宅地分野における近年の土砂災害の発生傾向やそれへの対処方策を述べていただきました。

最後になりましたが、ご多忙中にも関わらず快く執筆を受け入れて頂きました執筆者の方々には、心から感謝の意を表します。

(2015年12月 利藤記)

機関誌「地質と調査」編集委員会

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

委員長 鹿野 浩司

委員 佐久間 春之、細野 高康、細矢 卓志、三木 茂、結城 則行、利藤 房男、土屋 彰義、山本 聡、池田 俊雄、高橋 暁、中川 直、各地区地質調査業協会

委員 北海道：鈴木 孝雄 東北：昆 孝広 北陸：津嶋 春秋 関東：丹下 良樹 中部：河本 光司
 関西：東原 純 中国：向井 雅司 四国：大岡 和俊 九州：金田 良則 沖縄県：長堂 嘉光

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階 TEL. (03) 3518-8873 FAX. (03) 3518-8876

北海道地質調査業協会	〒060-0003	北海道札幌市中央区北3条西2丁目1(カミヤマビル)	TEL. (011) 251-5766
東北地質調査業協会	〒983-0852	宮城県仙台市宮城野区榴岡 4-1-8 (パルシティ仙台1階)	TEL. (022) 299-9470
北陸地質調査業協会	〒951-8051	新潟県新潟市中央区新島町通1ノ町 1977 番地 2 (ロイヤル礎 406)	TEL. (025) 225-8360
関東地質調査業協会	〒101-0047	東京都千代田区内神田 2-6-8 (内神田クレストビル)	TEL. (03) 3252-2961
中部地質調査業協会	〒461-0004	愛知県名古屋市中区葵 3-25-20 (ニューコーポ千種橋 403)	TEL. (052) 937-4606
関西地質調査業協会	〒550-0004	大阪府大阪市西区靱本町 1-14-15 (本町クイーパービル)	TEL. (06) 6441-0056
中国地質調査業協会	〒730-0017	広島県広島市中区鉄砲町 1-18 (佐々木ビル)	TEL. (082) 221-2666
四国地質調査業協会	〒760-0067	香川県高松市松福町 2-15-24 (香川県土木建設会館)	TEL. (087) 821-4367
九州地質調査業協会	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-4-30 (いわきビル)	TEL. (092) 471-0059
沖縄県地質調査業協会	〒903-0128	沖縄県中頭郡西原町森川 143-2 (森川 106)	TEL. (098) 988-8350

機関誌「地質と調査」'15年3号 No.144

平成 27 年 12 月 15 日 印刷
 平成 27 年 12 月 20 日 発行

編集 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階

発行所 株式会社ジェイスパーク

〒102-0082 東京都千代田区一番町 9-8 ノザワビル 7 階 TEL. (03) 3264-7781 FAX. (03) 3264-7782

株式会社ワコー

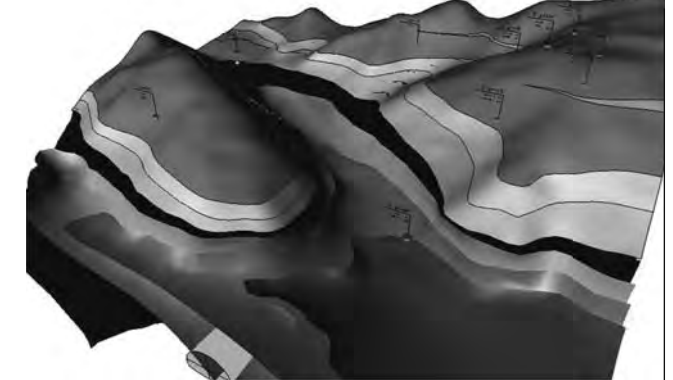
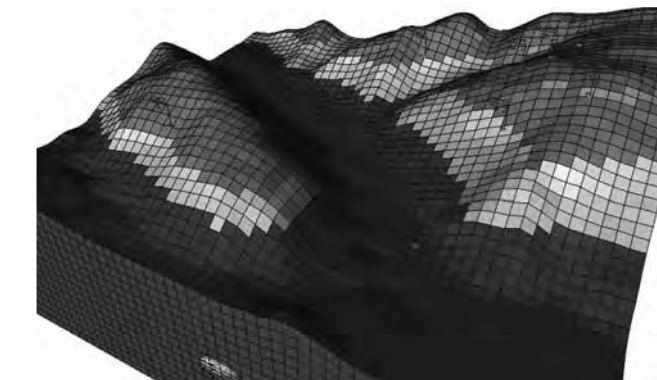
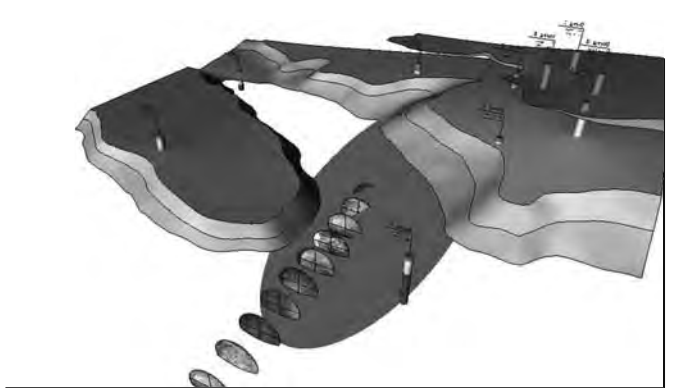
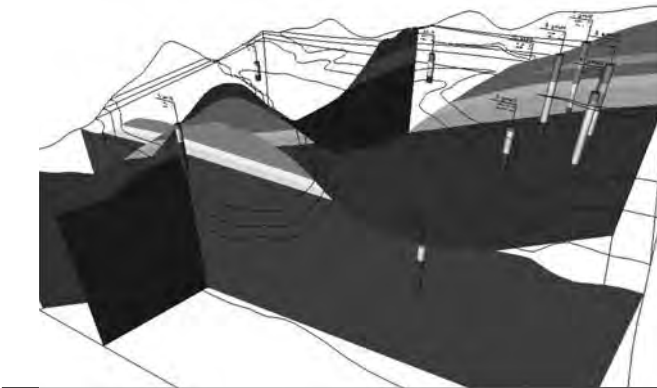
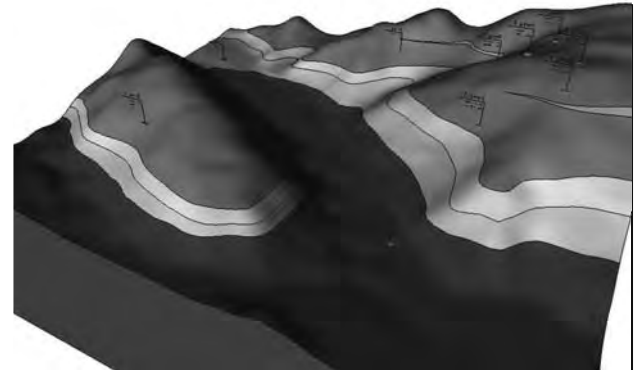
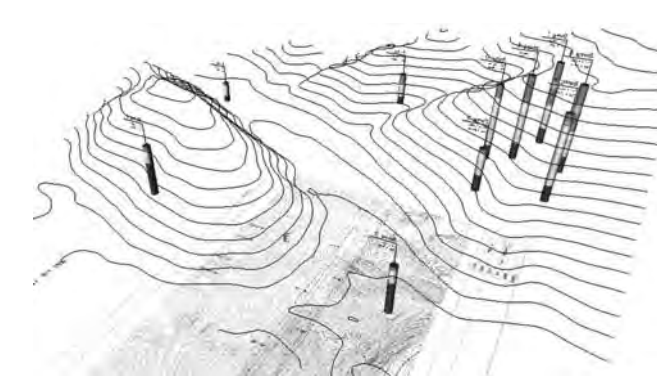
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-7 TEL. (03) 3295-8011 FAX. (03) 3230-2511

印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。

Geo-Graphia® 地下情報の3次元統合可視化ソフトウェア



3次元地質モデルを全ての建設ステージへ

- ◆ Geo-Graphia は、CAD 機能・サーフェス機能・地質モデル機能・ソリッドモデル機能・計測管理機能を装備しています。
- ◆ サーフェス機能で作成した地表面のほか、地質断面図やボーリングデータを利用して地質モデルを作成します。
- ◆ 作成された3次元地質モデルは、設計・施工・維持管理のステージで加えられた、計測・観察・探査データや数値解析結果など、ほかの地下情報とともに表示することができ、地質モデルの適時の更新を支援します。
- ◆ 地下情報の一元的な管理とともに、CIM に対応した標準規格での情報の交換を可能とします。

URL <http://www.geolab.jp/geo-graphia/>

chisouken@geolab.jp



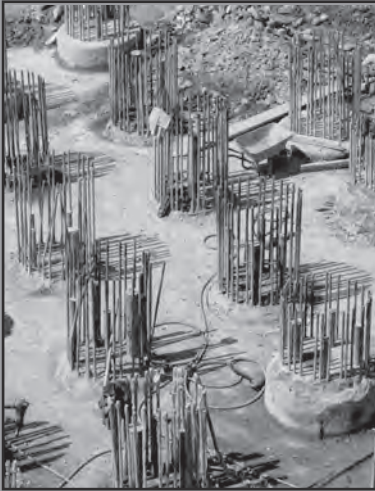
株式会社 地層科学研究所

本 社 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 3-1-6 J Mビル 4F TEL.046-200-2281
 東京事務所 〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-25 金子ビル 6F TEL.03-5842-7677
 大阪事務所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-7-9 第7新大阪ビル 301号 TEL.06-6886-7774

PDI (Pile Dynamics Inc) は、杭基礎の動的試験装置の業界標準器メーカー

ASTMに準拠した杭の健全性試験装置

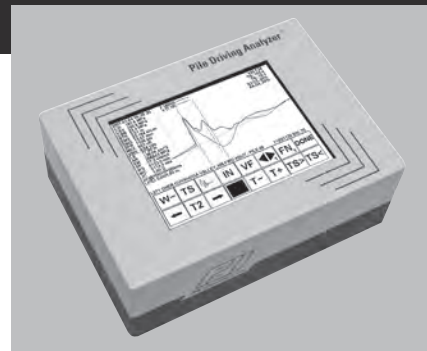
geo5



PITによる
測定風景

PDA 衝撃載荷試験装置

- PDA は、杭頭に重錘を落下させ、杭体に発生した弾性波を杭側面に取付けた歪計と加速度計により、杭の打ち止め深度の判定や支持力等を解析的に求める装置です。
- 同試験法は、ASTM D4945 に準拠し、日本では、地盤工学会の「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」に対応しています。



PIT インテグリティ試験装置

- PITは、杭頭を小型ハンマーで打撃し、杭中を伝搬する弾性波が音響インピーダンスの異なる亀裂や先端部からの反射波を杭頭部に設置した加速度計で検出して、解析処理する試験装置です。
- 同試験法は、ASTM D5882 に準拠し、国交省土木研究所「インテグリティ試験を用いた橋梁基礎の損傷調査法」で技術評価されています。



その他、ACT 型音響式コンクリートテスター、CHAMP 型クロスホールアナライザー、TIP 型温度式インテグリティ試験装置等もあります。お気軽にお問合せ下さい。

株式会社 ジオファイブ

URL <http://www.geo5.co.jp/>

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山 1-12-1
TEL 048-871-3511 FAX 048-871-3512
Email sales@geo5.co.jp

■業務内容■

- 計測機器販売 : 地質調査機器・土木計測機器・工業計測機器
- 計測機器レンタル : 地質調査機器及びその他計測機器レンタル
- 計測業務 : 現場計測業務・測定機器設置・3D 計測業務
- 計測機器設計製作 : 各種地盤計測機器の設計製作



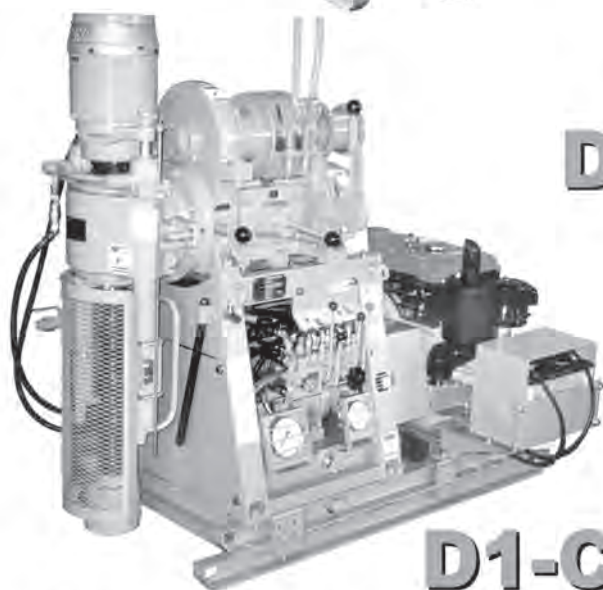
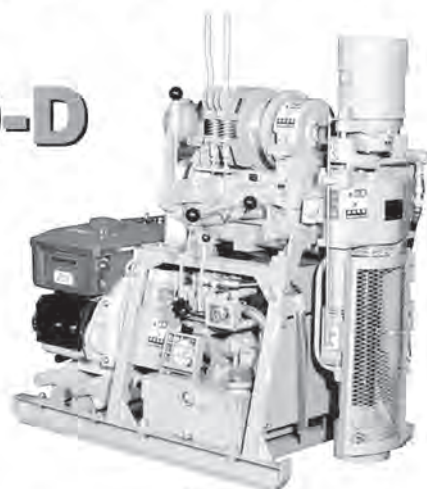
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

DM-03

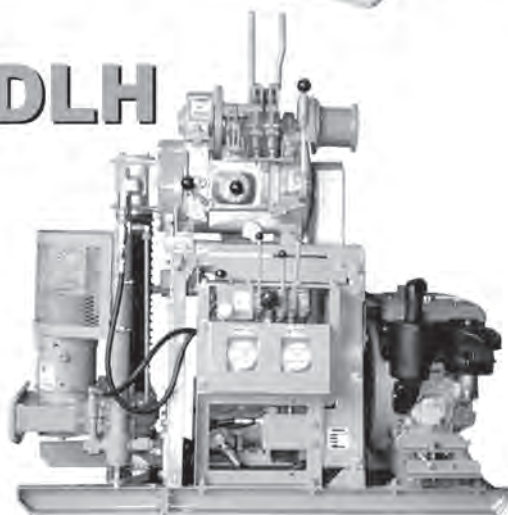


D0-D



D1-C

D0-DLH



試錐機には小型ボーリングポンプが内蔵できます。(DM-03を除く)

機種名		DM-03	D0-D	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min ⁻¹	65,125,370	(A)60,170,330	(A)60,170,330	(A)65,130,170,370
			(B)110,320,625※	(B)110,320,625※	(B)90,170,320,490※
スピンドル内径	mm	47	43	43	48,58
ストローク	mm	300	400,500※	500	500
巻上げ力	kN(kgf)	3.9(400)	5.9(600)	5.9(600)	10.8(1100)
スライド	mm		油圧式300※	油圧式300※	油圧式300
動力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質量	kg	180	315	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1200×660×1180	1440×890×1415	1390×735×1580

右操作、左操作をご用意しております。 ※はオプションです。



東邦地下工機株式会社

東京都品川区東品川 4-4-7 TEL 03 (3474) 4141
福岡市博多区西月隈 5-19-53 TEL 092 (581) 3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福岡 ☎ 092(581)3031
東京 ☎ 03(3474)4141
札幌 ☎ 011(376)1156
仙台 ☎ 022(235)0821
新潟 ☎ 025(284)5164
金沢 ☎ 076(235)3235

名古屋 ☎ 052(798)6667
大阪 ☎ 072(924)5022
松山 ☎ 089(953)2301
広島 ☎ 082(533)7377
山口 ☎ 083(973)0161
熊本 ☎ 096(232)4763

地質調査

通巻144号

●発行所

株式会社ジェイスパーク／株式会社ワコー