

## 河川砂防技術研究開発 【成果概要】

<b>① 研究代表者</b>	<b>氏 名</b> （ふりがな）		<b>所 属</b>		<b>役 職</b>
	荒木 功平		国立大学法人山梨大学 大学院総合研究部 工学域土木環境工学系		助教
<b>② 研究 テーマ</b>	名称	早川流域における降雨と地盤の保水・透水特性に着目した土砂流出特性に関する研究			
	政策 領域	[分野] 地域課題分野（砂防）	融合 技術	（リモートセンシング, 非破壊 検査, 認知行動学 等）	
		[公募課題]			
<b>③ 研究経費</b> （単位：万円）	平成 年度	平成 年度	平成 年度	総 合 計	
※端数切り捨て。	191	191	117	500	
<b>④ 研究者氏名</b>					
氏 名		所属・役職（※平成29年3月31日現在）			
後藤 聡		山梨大学 大学院総合研究部工学域土木環境工学系 准教授			
<b>⑤ 研究の目的・目標</b>					
<p>2011年9月台風12号, 15号によって, 富士川砂防事務所管内の富士川水系右支早川の下流域で連続雨量1,228mm (12号), 最大日雨量502mm (15号) の豪雨となり, 多量の土砂が流出した。近年, 施設管理や危機管理などのために, 土砂の流出形態の把握が進められるようになった。ここで, 土砂の流出形態は, 降雨や地盤の状態に応じた様相を呈するため, 降雨～地盤挙動～土砂流出特性を明らかにする技術の確立が課題となっている。</p> <p>本研究は, 富士川砂防事務所管内の早川流域春木川支溪の池の沢を対象とし, 降雨～地盤挙動～土砂流出特性を現地調査, 現地観測, 解析等を協働で行うことにより明らかにし, 降雨特性, 地盤挙動を踏まえた危機管理に貢献することを目的とする。</p>					

## ⑥研究成果

### 1. 研究の背景・目的

2011年9月台風12号、15号によって、富士川砂防事務所管内の富士川水系右支早川の下流域で連続雨量1,228mm（12号）、最大日雨量502mm（15号）の豪雨となり、多量の土砂が流出した。特に、早川の下流部右岸に位置し、七面山の大崩れによる多量の土砂が生産されている春木川支溪の池の沢では、町道、乗用車、資材運搬用索道小屋の埋没の他、町道の通行止めにより宿泊施設（観光客等約300名）が孤立した。ここで、土砂の流出形態は、降水や地盤の状態に応じた様相を呈するため、降水～地盤挙動～土砂流出特性関係を明らかにする技術の確立が課題となっている。

本研究では、早川町の池の沢流域における溪岸斜面を対象とし、降水（降雨・降雪）～地盤挙動（土中水分等）～土砂流出特性（斜面形状変化、斜面崩壊・雪崩等）を現地調査、現地観測等を行うことにより明らかにし、降雨特性、地盤挙動を踏まえた危機管理に貢献することを目的とする。

### 2. 研究の内容

#### (1) 池の沢の地質と崩壊のしやすさの資料調査

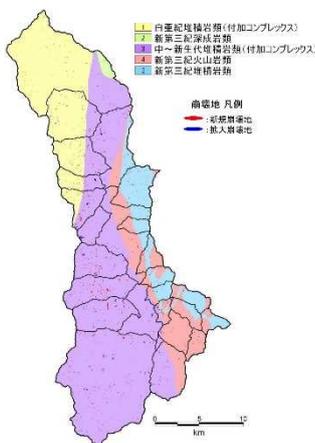


図-1 地質区分および崩壊地の分布状況（早川流域）<sup>1)</sup>

富士川砂防事務所では、年代及び岩種から早川流域の地質を5区分に分類し、地質ごとに新規・拡大崩壊地の分布状況を把握している<sup>1)</sup>。

図-1に地質区分および新規・拡大崩壊地の分布状況（早川流域）を示す。春木川流域は、春木川の本川を境界として中～新生代堆積岩類（付加コンプレックス）と新第三紀火山岩類に分かれる。なお、春木川支溪の池の沢流域内は春木川の左岸側に位置し、中～新生代堆積岩類（付加コンプレックス）である。

図-2に地質と崩壊状況（新規崩壊地）を示す。図-2から中～新生代堆積岩類（付加コンプレックス）が崩壊地面積、崩壊面積率ともに大きいことがわかる。このことから、池の沢流域内は崩壊しやすい地質といえる。

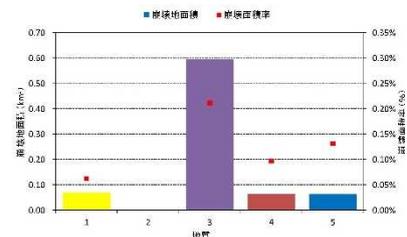


図-2 地質と崩壊状況（新規崩壊地）<sup>1)</sup>

#### (2) 観測対象とする溪岸斜面の抽出

池の沢流域で土砂災害の発生に伴い、過去に宿泊施設（観光客等約300名）が孤立したこと、上記の資料調査から崩壊しやすい地質であることなどから、本研究では池の沢流域を対象にする。

図-3に、池の沢の流域界の位置図を示す。国土地理院の数値地図<sup>2)</sup>を基にGISにより作成した。下流部には住宅や宿泊施設等の保全対象がある（現在、池の沢砂防堰堤群整備事業が進められている）。

本研究では、以下の考え方で現地調査により、観測斜面を決定した。

- ・0次谷で沢地形の斜面である。
- ・本川に対して直交方向の0字谷である。
- ・崩土が厚く堆積している。
- ・崩壊の痕跡がみられる。
- ・斜面勾配が30度以上ある。
- ・比較的保全対象から近い。



図-3 池の沢流域の位置

## ⑥研究成果 (つづき)

ただし、斜面勾配が大きく、崩壊の痕跡がある地点であっても、河川（池の沢本川）に平行に崩壊している地点は斜面崩壊というよりも河川の流れにより侵食の影響が考えられるので、本研究では観測対象から除外するものとした。

図-4に、国土地理院の基盤地図情報・数値標高モデル10mメッシュデータ<sup>3)</sup>を基に作成した勾配区分図(斜面勾配30度以上を色分けした)を示す。また、上記の考え方で観測対象として抽出した斜面(図中の○で囲んだ地点)を示す。図-4から、斜面勾配30度以下がほとんど無く、全体的に急な地域であることがわかる。また、抽出した斜面において、現地調査を行い、勾配が30度以上の急傾斜の斜面であること、0次谷の沢地形をしていること、崩土がある程度以上(1m程度を目安とした)あることを確認した。

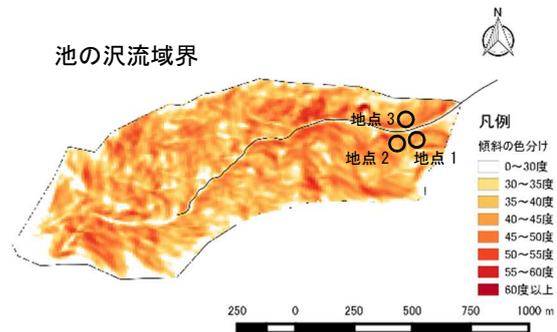


図-4 勾配区分図(池の沢流域内)

### (3) 池の沢流域の溪岸における土質特性の把握

土質特性の把握のために池の沢流域内の溪岸(図-2の地点1)で試料採取を行った。

写真-1(a), (b)に、試料採取状況((a)採取位置の概況, (b)採土円筒による採取)を示す。河川から鉛直約7m上方で採土円筒を用いて乱れの少ない試料を採取した。



写真-1 試料採取状況 (a) 採取位置の概況 (b) 採土円筒による採取

表-1に土質試験により求めた採取

試料の物理特性を示す。ただし、粘着応力度と内部摩擦角は一面せん断試験(初期飽和度27.2%で実施した)から求めた。

表-1 池の沢溪岸土の物理特性

土粒子の密度	間隙比	間隙率	乾燥密度	湿潤密度	粘着応力度	内部摩擦角
$\rho_s$	$e$	$n$	$\rho_d$	$\rho_t$	$c$ ( $S_r=27.2\%$ )	$\phi$ ( $S_r=27.2\%$ )
( $\text{g}/\text{cm}^3$ )			( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	( $^\circ$ )
2.63	1.09	0.522	1.258	1.425	19.18	22.54

### (4) 斜面安定性評価手法の開発

図-5のような地表面とすべり面が平行で、降水が地表から浸透し、余剰水は表流水となって流れていく表層すべり型の斜面モデルを想定する。なお、一般に、雪崩においてもすべり面が想定された崩壊発生機構が考えられている。特に、すべり面が積雪内部にある場合が表層雪崩、すべり面が地面にある場合が全層雪崩と呼ばれる(図-6参照)<sup>4)</sup>。

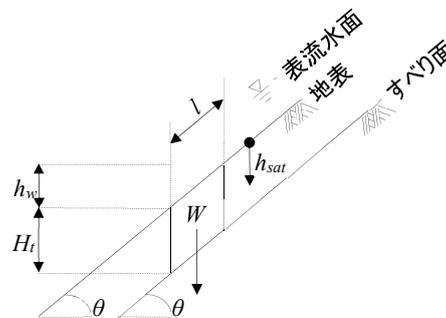


図-5 想定した斜面モデル

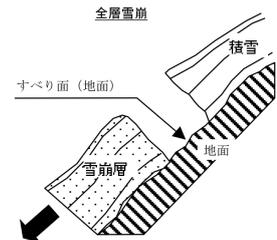


図-6 全層雪崩の概要<sup>4)</sup>

斜面勾配 $\theta$ ・単位表土厚 $H_t$ ・単位斜面長 $l$ ・単位奥行き $d$ (それぞれ1mとする)の土塊自重 $W$ (間隙率 $n$ , 湿潤密度 $\rho_t$ , 重力加速度 $g$ , 水の密度 $\rho_w$ )の斜面安定性を考える。本研究では、斜面安定解析(無限斜面法)に不飽和土の浮力 $P_v$ , 浸透力 $J$ を新たに導入する。次に降水量 $h_q$ のもとで表面流 $h_w$ を生じ、土を飽和させつつ浸透したときの深さ $h_{sat}$ を導入する。そして、安全率 $F$ が1となる表土層のすべり面での粘着応力度 $c_F$ を求め、正規分布 $f(c)$ (平均 $\mu_c$ , 標準偏差 $\sigma_c$ )において変数 $c$ が $c_F$ 以下となる確率を崩壊確率 $P_f$ とすることにより斜面の安定性を評価するものとした。ただし、標準偏差は平均値の0.1倍とした(変動係数を0.1とした)。

また、本研究では、Montrasio<sup>5)</sup>らが飽和度との関係に基づき提案した式(7)を導入することで、飽和度変化に伴う粘着応力度の変化を考慮する。

### ⑥研究成果 (つづき)

$$W = \left\{ \begin{array}{l} \rho_w \cdot h_w \\ + \rho_t \cdot (H_t - h_{sat}) \\ + (\rho_d + n \cdot \rho_w) \cdot h_{sat} \end{array} \right\} \cdot g \cdot l \cdot \cos \theta \cdot d \quad (1), \quad P_v = \rho_w g h_w + \rho_w g \cdot S_r \cdot H_t \cdot l \cdot \cos \theta \cdot d \quad (2),$$

$$J = P_v \sin \theta \quad (3), \quad h_{sat} = \frac{h_q - h_w}{(1 - S_r) \cdot n} \quad (4),$$

$$F = \frac{c \cdot l \cdot d + W \cos \theta \tan \phi - P_v \cos \theta \cdot \tan \phi}{W \sin \theta + J} \quad (5), \quad P_f = \int_0^{c_f} f(c) dc \quad (6),$$

$$\mu_c = A \cdot S_r (1 - S_r)^\lambda \quad (7)$$

図-7に算出した粘着応力度～飽和度関係を示す。ただし、式(7)において、不飽和土一面せん断試験装置を保有しておらず、パラメータを実験的に決定することが難しかったため、本研究では飽和度50%のときに粘着応力度がピークをとる ( $\lambda=1$ ) とし、表-1に示した飽和度と粘着応力度を通るようにパラメータを設定した ( $A=96.9755$ )。

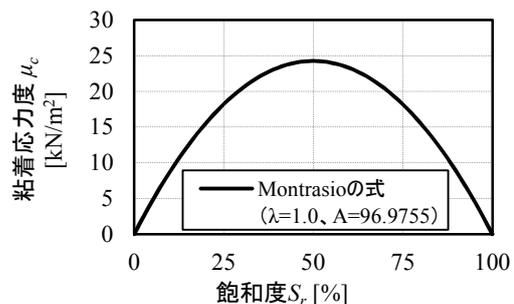


図-7 粘着応力度の飽和度変化モデル

#### (5) 現地観測機器の設置

インターネットに繋がる環境があれば、スマートフォンやパソコンから、遠隔地でリアルタイムに土中水分を入手できるシステムを導入した。



写真-2 土中水分計の設置状況 (a) スマートフォン (b) パソコン  
図-8 土中水分のリアルタイム取得状況例

写真-2に土中水分計の設置状況 (図-2の地点2)，図-8に土中水分の値の取得画面を示す。

### 3. 研究成果

#### (1) 無人カメラによる崩壊 (雪崩) の把握

斜面崩壊等の発生を捉えるため、現地に無人カメラを設置 (図-2の地点3) した。

写真-3(a), (b)に2017年1月，8日15:19の積雪状況と9日9:19の崩壊 (雪崩) 状況を示す。夜間は照明が足りず撮影出来なかったが約18時間の間に崩壊していることがわかった。



(a) 8日 15:19 積雪 (b) 9日 9:19 崩壊 (雪崩)  
写真-3 無人カメラによる崩壊の把握 (2017年1月)

#### (2) 積雪から崩壊までの地盤挙動の評価

図-9(a), (b), (c)に降水 (アメダス<sup>6</sup> (切石および南部))，土中水分，崩壊確率 (土中水分を入力して算出) の時系列変化を示す。図-9から積雪時に土中水分が下がること，それに伴い，崩壊確率が上昇することがわかる。また，12月27日に降水があるが，それに対しては崩壊確率は反応していない。すなわち，本対象期間において，崩壊しなかった現象と崩壊した現象を本手法により評価できると考えられる。

図-10に雪崩前 (2016年12月12日) と雪崩後 (2017年1月15日) にポール横断により実測した斜面横断形状を示す。図-10から概ね厚さ1~2mで斜面崩壊が発生していることがわかった。

図-11に約14ヶ月間 (2015年11月5日~2017年1月13日) にわたり，水平方向20mまでの斜面横断形状で囲まれた面積と日降水量 (アメダス切石) 関係を示す。図-11から観測期間中の日降水量は最大で120mm程度で極端な降水が無く，日降水量と土砂動態 (斜面形状) の相関は弱い。しかし，斜面形

### ⑥研究成果（つづき）

状は絶えず変化しており、冬～春～夏～秋にかけて一様なペースで土砂堆積し、秋～冬にかけて侵食する傾向と、侵食が進んでいた中で、観測した雪崩が生じていたと考えられることがわかった。

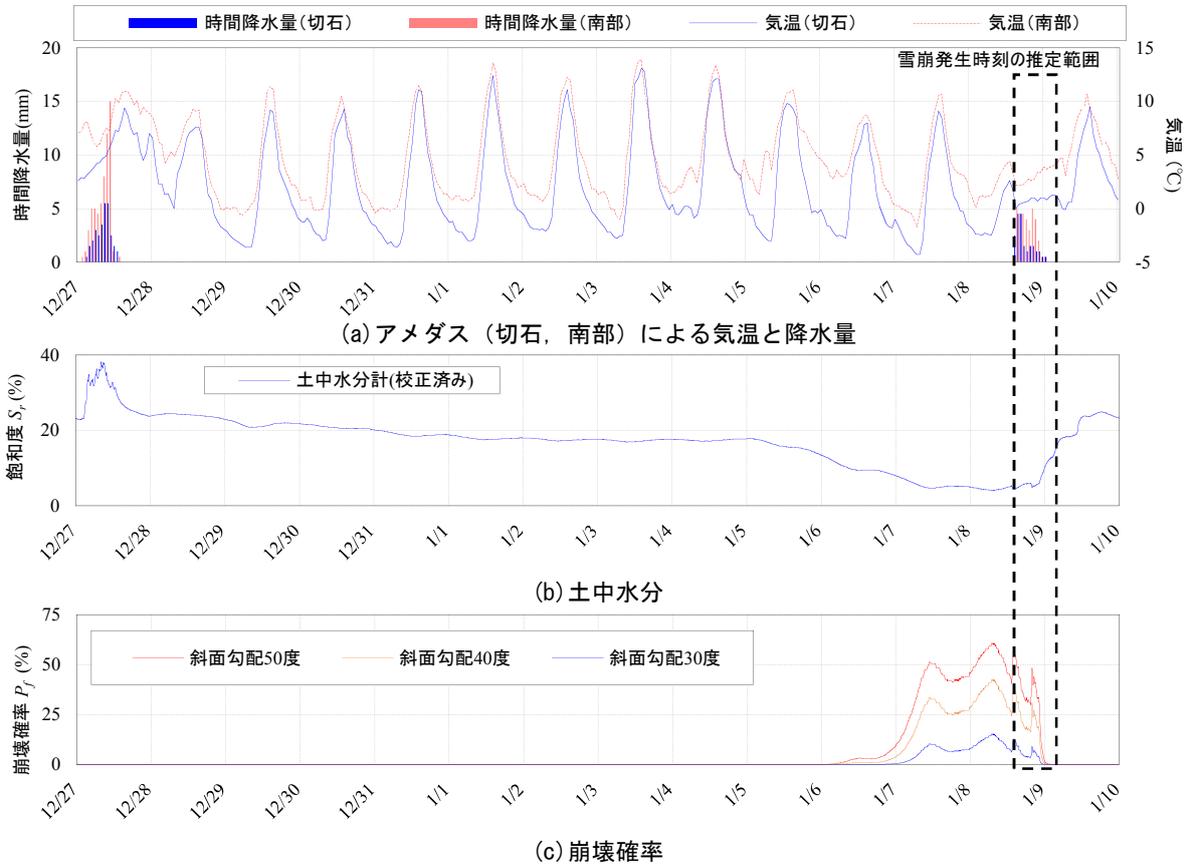


図-9 斜面崩壊（全層雪崩）発生前後の気温・降水量～土中水分～崩壊確率関係

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局富士川砂防事務所：H24富士川管内荒廃状況調査業務，pp.6-5-6-7，2013.
- 2) 国土地理院：数値地図25000（地図画像）『甲府』，平成22年5月1日発行
- 3) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス，<http://fgd.gsi.go.jp/download/>（2016年1月13日閲覧）
- 4) 独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所 土砂管理研究グループ 雪崩・地すべり研究センター 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪水チーム：土木研究所資料 豪雪時における雪崩斜面の点検と応急対策事例，p.2-2，2010.
- 5) L.Montrasio and R.Valentino：A model for triggering mechanisms of shallow landslides，Nat. Hazards Earth Syst. Sci.，No.8，pp.1149-1159，2008.
- 6) 国土交通省気象庁：過去のデータ検索，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>，（2017年2月10日閲覧）.

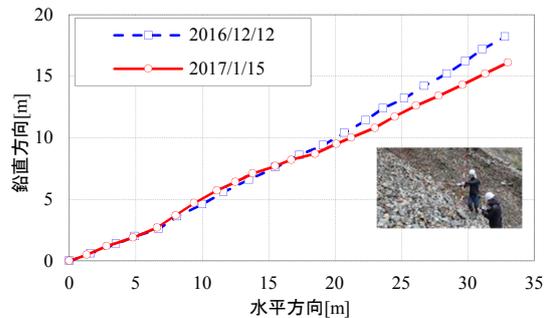


図-10 雪崩発生前後の斜面形状

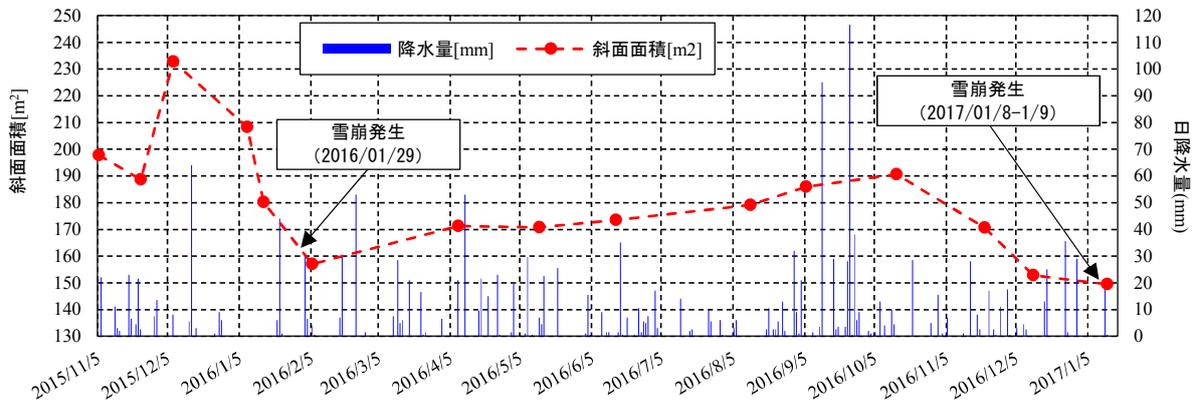


図-11 長期的土砂動態の観測結果と日降水量（アメダス切石）関係

## ⑦研究成果の発表状況

### 【査読付き論文（謝辞の記載有）】

1. 荒木功平：池の沢における危険渓岸斜面の抽出と土砂動態の把握に関する一考察，第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集，115-120，2016.9
2. Hiroaki Fujimori, Kohei ARAKI, Keiichi MASUTANI, Hiroshi KUMAGAI, Hajime SAKAMOTO, Hirishi ONISHI：Grasp and evaluation of the unsaturated seepage behavior of soil by using MRI, Geoenvironmental Disasters, SpringerOpen（オープンアクセスジャーナル），2016.12
3. 荒木功平，藤森弘晃，舛谷敬一，熊谷博司，坂本肇，大西洋：MR Iによる土の保水・透水特性把握に向けた新たな試み，地域性を考慮した地盤防災減災技術に関するシンポジウム論文集，43-46，2015.7
4. 藤森弘晃，荒木功平，北爪貴史，後藤聡：振動台を用いた地震動による不飽和地盤の破壊形態に関する実験的考察，第11回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，17-22，2015.7
5. 荒木功平，川越清樹，山中稔，ハザリカ・ヘマンタ，原忠，中澤博志，熊本直樹，齋藤修，酒井直樹：平成26年8月豪雨による広島市土砂災害現地踏査・ヒアリング調査結果の速報，第11回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，83-88，2015.7
6. 荒木功平，石井篤志，伊豆大島における大雨の頻度変動と平成25年台風26号に伴う土砂災害後の住民意識に関する一考察，第11回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，73-78，2015.7

### 【学会発表（謝辞の記載有）】

7. 荒木功平，市村彰大，石井篤志：池の沢渓岸の斜面崩壊（全層雪崩）の捕捉と土中水分計測に基づく安定性評価，土木学会第72回年次学術講演会，（投稿中）
8. 柏原史弥，荒木功平，宮本崇，中村高志：カトマンズリングロード内外の動的なコーン貫入抵抗と地域特性に関する一考察，第44回土木学会関東支部技術研究発表会，III-15，2017.3
9. 深沢郁未，藤森弘晃，荒木功平：不飽和砂の浸潤・保水・締固め特性による加振時破壊形態の評価に関する実験的考察，第44回土木学会関東支部技術研究発表会，III-25，2017.3
10. 荒木大輝，荒木功平，舛谷敬一，藤森弘晃，熊谷博司，坂本肇，大西洋：MRIを用いた不飽和土の水平・鉛直浸透挙動に関する一考察，第44回土木学会関東支部技術研究発表会，III-42，2017.3
11. 大沼哲郎，市村彰大，荒木功平：池の沢渓岸斜面における土砂動態に関する一考察，第44回土木学会関東支部技術研究発表会，III-48，2017.3
12. 小野薫平，荒木功平，遠山忠，山崎友香：アクリル酸重合体を用いた土の団粒化と微生物(藻類)の濃度変化関係に関する実験的研究，第44回土木学会関東支部技術研究発表会，VII-8，2017.3
13. 荒木大輝，荒木功平，舛谷敬一，藤森弘晃，熊谷博司，坂本肇，大西洋：MRIを用いた不飽和浸透試験に関する一考察，第13回地盤工学会関東支部発表会，170-172，2016.10
14. 藤森弘晃，荒木功平：浸潤・締固め特性と加振時破壊形態の関連性に関する実験的研究，第13回地盤工学会関東支部発表会，173-174，2016.10
15. 山崎友香，荒木功平，遠山忠：アクリル酸重合体を用いた土の団粒化と微生物（藻類）の濃度変化関係に関する一考察，第13回地盤工学会関東支部発表会，384-387，2016.10
16. 市村彰大，荒木功平：池の沢渓岸斜面における土砂動態に関する一考察，第13回地盤工学会関東支部発表会，313-316，2016.10
17. 荒木功平，宮本崇，藤森弘晃，木下顕吾，中村高志，西田 継，鈴木猛康：カトマンズ盆地における動的なコーン貫入抵抗と常時微動に関する一報告，第13回地盤工学会関東支部発表会，326-329，2016.10
18. 荒木功平：池の沢渓岸斜面の安定性評価と土砂動態の把握に関する一考察，土木学会第71回年次学術講演会，759-760，2016.9
19. 藤森弘晃，荒木功平，舛谷敬一，熊谷博司，坂本肇，大西洋，MRIによる不飽和土の浸透に伴う水分分布の把握に関する新たな試み，土木学会第71回年次学術講演会，323-324，2016.9
20. 荒木功平，石井篤志，川越清樹，山中稔，ハザリカ・ヘマンタ，原忠，中澤博志，熊本直樹，齋藤修，酒井直樹：長期的降雨変動と現地調査・簡易的ヒアリング調査報告と一考察 -平成26年8月広島市，平成25年10月伊豆大島-，第51回地盤工学研究発表会，151-152，2016.9
21. 藤森弘晃，荒木功平，舛谷敬一，熊谷博司，坂本肇，大西洋：MRIを用いた土の不飽和浸透挙動の把握と評価に関する研究，第51回地盤工学研究発表会，949-950，2016.9
22. 藤森弘晃，荒木功平：浸潤・締固め特性と加振時破壊形態に関する実験的一考察，第43回土木学会関東支部技術研究発表会，III-30，2016.3
23. 石井篤志，荒木功平：早川流域池の沢渓岸斜面の土砂動態把握の試み，第43回土木学会関東支部技術研究発表会，III-46，2016.3
24. 板倉洋介，荒木功平，舛谷敬一，熊谷博司，坂本肇，大西洋：MRIによる不飽和浸透挙動の把握と評価の試み，第43回土木学会関東支部技術研究発表会，III-52，2016.3
25. 荒木功平，川越清樹，山中稔，ハザリカ・ヘマンタ，原忠，中澤博志，熊本直樹，齋藤修，酒井直樹：平成26年8月豪雨による広島市土砂災害現地調査結果と気候変動動向に関する速報，第12回地盤工学会関東支部発表会，480-483，2015.10
26. 板倉洋介，荒木功平，舛谷敬一，藤森弘晃，熊谷博司，坂本肇，大西洋：MRIによる不飽和浸透挙動の可視化に向けた新たな試み，第12回地盤工学会関東支部発表会，408-411，2015.10
27. 藤森弘晃，荒木功平：加振方法の違いによる不飽和砂質地盤の沈下と破壊形態に関する実験的考察，第12回地盤工学会関東支部発表会，187-190，2015.10
28. 石井篤志，荒木功平：伊豆大島における気候変動と平成25年台風26号に伴う土砂災害後の住民意識に関する一考察，第12回地盤工学会関東支部発表会，339-342，2015.10
29. 藤森弘晃，荒木功平，後藤聡，北爪貴史：振動台を用いた不飽和砂質地盤の地震時破壊形態に関する実験的考察，第50回地盤工学研究発表会，737-738，2015.9
30. 藤森弘晃，荒木功平，後藤聡，北爪貴史：飽和度変化に着目した不飽和砂の動的挙動評価に関する実験的研究，土木学会第70回年次学術講演会，377-378，2015.9
31. 荒木功平，藤森弘晃，舛谷敬一，熊谷博司，坂本肇，大西洋：MRIによる土の不飽和浸透特性把握の試み，第27回中部地盤工学シンポジウム，92-95，2015.8
32. 畠山敏輝，荒木功平，後藤聡：早川流域における降雨～地盤～土砂流出関係の把握に向けた試み，(社)地盤工学会関東支部GeoKanto2014発表講演集，400-403，2014.10

## ⑧研究成果の社会への情報発信

研究成果の一部について、以下のセミナーで講演を行った。

- ・セミナー名：安心・安全セミナーin山梨 進化し続ける災害対策オペレーション
- ・実施日：2015年8月28日
- ・テーマ：土砂災害の発生メカニズムと最新研究成果「土砂災害を未然に防ぐ」
- ・参加者数：（約80名弱，主に山梨県等自治体職員）
- ・場所：山梨県防災新館

調査状況写真等は一部下記ウェブにて公開している。

- ・URL：<http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~karaki/>

## ⑨表彰，受領歴

- ・優秀講演者賞（藤森弘晃，土木学会平成28年度全国大会第71回年次学術講演会），2016.11
- ・優秀論文発表者賞（藤森弘晃，第51回地盤工学研究発表会），2016.10
- ・第27回中部地盤工学シンポジウム優秀発表賞（荒木功平，地盤工学会中部支部），2015.8

## ⑩研究の今後の課題・展望等

- ・高精度な不飽和土の一面せん断試験装置を導入することが出来れば，より適切に，飽和度変化に伴う粘着応力度の変化関係を導入することができ，システムの精度向上が期待でき，より精度の高い斜面崩壊の予知手法の確立へと繋がることを期待できる。
- ・本評価手法を池の沢において適用すると同時に，他の地域にも本評価手法を適用し，より多くの地域でのデータを取得し，評価をフィードバックして本評価手法の活用を行っていく必要がある。

## ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

- ・本評価手法により，流域内の時系列的な崩壊確率の変化を評価することができる。これにより，斜面对策の優先度の設定や，あるいは，危険度の高い斜面の個数，面積を明らかにすることができ，流域が生産する土砂量を時系列的に見積もることに応用できると考えられる。このことは，土砂管理を行う上で有用な情報提供に繋がると期待される。
- ・土石流センサーなどは土石流が発生してから感知するものであるが，土中水分計は地盤内の挙動を察知するものであるため，土石流等の発生前の異変を捉えることに有用である。リアルタイムでの土中水分計を導入し，開発した本手法を導入することで，より迅速に危険を察知することができ，特に工事関係者等の安全の確保などに効果的に使用することができるようになることを期待される。