

地域の自主防災組織と連携した土砂災害危険渓流の現地調査

Site-investigation of Natural Valleys in Partnership with Autonomous Disaster-prevention Group

花岡 尚	Takashi HANAOKA	(広島大学大学院工学研究科)
土田 孝	Takashi TSUCHIDA	(広島大学大学院工学研究院)
中川翔太	Shota NAKAGAWA	(元広島大学大学院工学研究科)
川端昇一	Shouichi KAWABATA	(広島大学大学院工学研究科)
梅田賢也	Kenya UMEDA	(元広島大学大学院工学研究科)

現在、各地気象台が発表する土砂災害避難警戒情報に利用されている指標は土壌雨量指数であるが、土壌雨量指数の計算に用いられるパラメータは全国一律であり、個々の傾斜地における表土層の層厚、斜面勾配等の地盤情報が考慮されておらず、実質、雨量情報のみで表現されている。本論では、土砂災害危険渓流を対象とした現地調査に基づいたリアルタイム危険度評価システムの開発に関する研究における現地調査に関して報告する。地盤調査を専門としない方々でも実践できる地盤調査方法を提案し、地元住民の方々に実践していただいた。調査後に行ったアンケートから、調査の意義や安全性について概ね肯定的な評価を得ることができた。

キーワード：現地調査，斜面，貫入試験

(IGC：C-8, C-0)

1. はじめに

近年、豪雨の増加にともない、土石流等の土砂災害も増加している傾向にあり、土砂災害への対策は急務である。砂防ダム建設等の物理的な災害対策は、時間や費用面で大きな妨げとなるため、ソフト対策の充実が望まれている。現行のソフト対策の1つである全国各地の気象台が発表する土砂災害警戒情報は、タンクモデルを用いた土壌雨量指数をもとに発表されている。土壌雨量指数とは、降った雨が土壌中に水分量としてどれだけ溜まっているかを数値として表すものである。しかしながら、タンクモデルに使用されるパラメータは全国一律であり¹⁾、個々の傾斜地における表土層の層厚、斜面勾配等の地盤情報が考慮されておらず、実質、雨量情報のみで判断されていることになる。

個々の傾斜地の地盤情報を考慮した危険度評価を行うためには、現地調査を行う必要がある。広島県内には、全国最多の31,987箇所²⁾の土砂災害危険箇所が存在している。その中で、土石流に対する特別警戒区域は2,832箇所である。例として、これらを専門業者に調査してもらうに必要なコストを考える。地質調査技師（人件費3万円/日）1名、地質調査員（同2万円/日）1名で、ポータブルコーン貫入試験（3000円/m）による地質調査を行うとする。深度2mの貫入試験を10箇所行った場合、人件費と試験費用だけで11万円となる。このように、専門業者に調査を依頼した場合、莫大な費用を要してしまい、実施は困難と

考えられ、データ収集は困難である。

そこで著者らは、地域の自主防災組織の協力により地盤情報を収集できるのであれば、上記問題を解決できると考えた。さらに、地域と協同して調査を行う意義として、地域の自主防災組織の方々に防災について正しい知識を得てもらい、地域の防災の意識を高め、活性化することができると考える。問題となるのは、自主防災組織の方々は地盤調査の専門家ではないため、標準貫入試験のような大型で操作が複雑な機械を用いないような容易で安全な調査方法でなければならないことである。また、専門家ではない地元住民の方々が収集した情報には十分注意しなければならない。本論では、土石流危険渓流を対象とした容易で安全な地盤調査方法を提案し、東広島市に協力いただき、紹介していただいた東広島市河内町の自主防災組織の方々に実践していただいた結果を報告する。

なお本研究は、最終的には本論で報告する地盤調査によって収集した地盤情報に基づいたリアルタイム危険度評価システムの構築を目指している。図-1にリアルタイム危険度評価システムの全体のフロー図を示す。個々の土砂

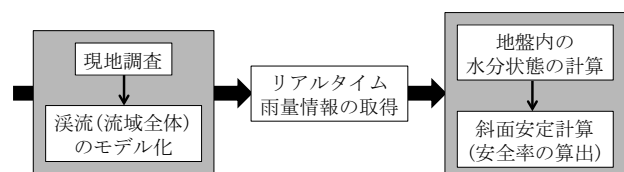


図-1 リアルタイム危険度評価システムのフロー図

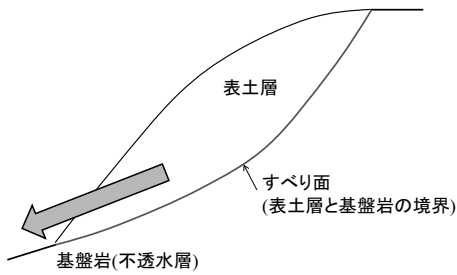


図-2 想定する斜面崩壊

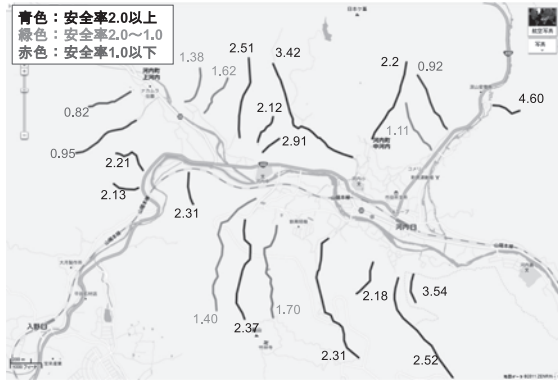


図-3 危険度評価システムのイメージ

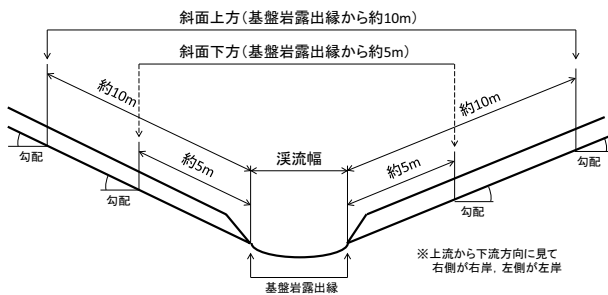


図-4 現地調査の概要

災害危険渓流を個別に現地調査し、渓流の流域全体をモデル化し、リアルタイムで配信される雨量情報をもとに地盤中の水分状態を予測し、斜面安定解析によって算出される安全率をもって危険度を評価しようというものである。ここでいう安全率とは、図-2 に示すように、基盤岩（不透水層）上に存在する表土層が基盤岩との境界ですべり破壊が生じることを想定したものであり、任意の形状のすべり面を設定できる Janbu の安定解析手法により算出するものである。図-3 に本研究で構築する危険度評価システムの最終的なイメージ図を示す。

2. 現地調査と渓流のモデル

本章では、現地調査方法および現地調査の情報に基づいて構築する渓流のモデルについて述べる。

2.1 現地調査方法

図-4 に現地調査の概要を示し、調査する項目を下記に

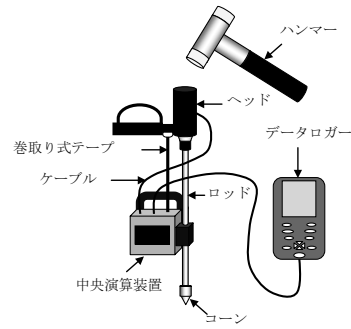


図-5 軽量動的コーン貫入試験の概要



写真-1 勾配測定の様子

列挙する。

- ① 渓流部の幅 B および勾配
- ② 側方斜面の勾配および表土層の層厚
- ③ 渓流方向の調査地点間隔
- ④ 表土層の土質情報

これらの情報を効率よく収集するにあたり、複雑な調査内容にせざるべく短い時間で調査できること、地盤調査を専門としない人でも行うことのできるような簡単かつ安全な作業方法であることに配慮した。これは、自主防災組織など住民の参加によってこれらの渓流の地盤調査を行うことで、防災情報の充実をはかることがねらいである。

表土層の層厚の調査には、軽量動的コーン貫入試験を適用した²⁾³⁾⁴⁾。軽量動的コーン貫入試験機は、図-5 に示す機器で構成され、総重量約 20kg であり、リュックサック等に入れて持ち運ぶことが可能である。また、作業面でも、2m×2m 程度の範囲が確保できれば容易に作業でき、ロッドをハンマーで貫入させるだけで深度方向の貫入抵抗値を自動収録してくれるため、安全面や作業の容易さにおいて優れており、本研究で行うような自然斜面での調査に非常に適している。また、土田ら⁵⁾、加納ら⁶⁾はこの軽量動的コーン貫入試験の結果より、まさ土地盤のせん断強度定数 c 、 ϕ を推定することを提案している。

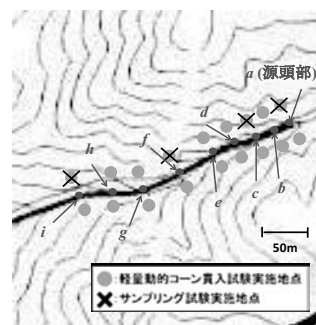
勾配の測定は、渓流の縦断方向および側方斜面方向で実施し、写真-1 のようにポール等を斜面に置き、その勾配を測定する。また、飽和度、間隙比を把握するための不攪乱試料の採取、粒度試験等を行うための攪乱試料の採取も行う。不攪乱試料の採取は力学試験を行う場合には高い精

土砂災害危険の地盤調査法

広島大学地盤工学研究室

事前準備（調査地点の選定）

- ① 調査対象の渓流を選定し、渓流の勾配を読み取り、渓流の縦断面図を作成する。
- ② 地形図を用い、対象渓流の源頭部（a 点）を決定する。
- ③ 源頭部（a 点）より 50m 下流に下るごとに点（b 点、c 点、・・・）を決定する。
（右図参照；図中の赤い地点を決定する。）
- ④ 各地点の渓流勾配および側方斜面勾配を読み取る。
- ⑤ 調査地点は渓流勾配が 20°以上の箇所を調査地点とする。渓流勾配が 20°以上の箇所が少ない場合は、側方斜面勾配が 35°以上の箇所を数か所抜粋する。



調査地点の例

現地調査

・調査地点のマーキング

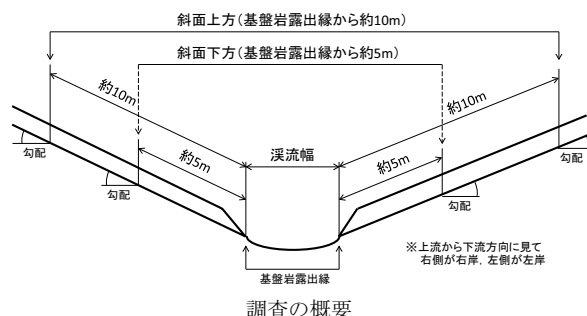
- ① 渓流に沿って上流へ向かい、事前準備で決定した源頭部（a 点）まで登り、マーキングする。（位置を GPS で確認）。
マーキングは、蛍光色のテープ等を木の枝や石などに巻くとよい。
- ② 源頭部（a 点）からメジャーを使って 50m 下り、マーキングする。（b 点）
- ③ 以降、同様にメジャーを使って 50m 下り、事前準備で決定した調査地点にマーキングしていく。

・貫入試験およびサンプリング

- ① マーキングした調査地点において、貫入試験とサンプリングを行う。
- ② 貫入試験は全調査地点、サンプリングは 4 点程度選定。（右上図参照）
- ③ 貫入試験は、基本的に基岩露出線から左右 5m および 10m 離れた両岸で行う。
（貫入試験の手順は別紙「貫入試験（軽量動的コーン貫入試験）について」を参照。）
5m および 10m の位置で試験が行えない場合は、近辺の試験可能な位置に移動する。
（何メートルの位置で試験を行ったかを記録する。）
- ④ サンプリングは、貫入試験実施箇所のすぐそばで行う。（サンプリングの手順は別紙「サンプリングについて」を参照。）
- ⑤ 全ての調査地点で作業を終えたら、マーキング（テープ等）を回収して速やかに退散する。

・その他の計測事項

各調査地点において、渓流の勾配および側方斜面の勾配を記録する。



調査の概要

図-6 調査方法に関する資料

度を必要とするが、本研究では間隙比、飽和度を求めることが目的であるため、少しの誤差は大きな問題とならないので、地元住民の方々でも実施可能と判断した。

なお、調査を行う範囲は、源頭部から渓流の勾配が 20°以下となる範囲で、50m 間隔で調査を実施する。また、渓流の勾配が 20°以上の範囲が少ない場合は、側方斜面の勾配が 35°以上である急勾配の斜面を調査することとした。

地域の自主防災組織の方々にも実践してもらうにあたり、図-6 に示す資料を作成した。この資料には、上記に示した調査方法を示したものである。この資料の他に、軽量動的コーン貫入試験機の使用手法、試料のサンプリング方法を示した資料も作成した。

2.2 地元住民の方々による現地調査の実施

2.1 節で説明した地盤調査方法を広島県東広島市河内町

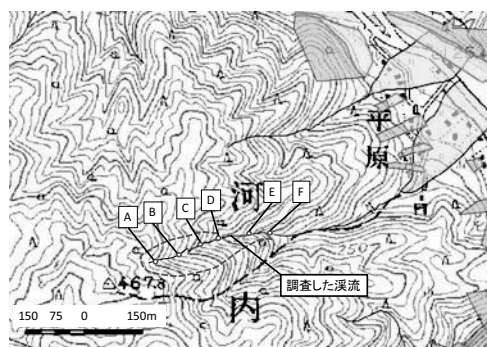


図-7 調査した平原谷川と調査地点

の地元住民の方々にも実践していただいた。調査の目的・方法を示した資料（本論末尾に掲載）および機器の使用手法を示した資料を作成し、これら資料をもとに調査を行っていただいた。なお、調査開始前に簡単に機器の使用について説明を行った。調査参加者は 60 代以上の地元住民の方 9 名、補助として広島大学の学生 3 名が同行し、基本的



写真-2 地点Cの様子



写真-5 地点Fの様子



写真-3 地点Dの様子



写真-6 貫入試験の様子



写真-4 地点Eの様子



写真-7 サンプルングの様子

に地元住民の方だけで調査を行っていただいた。2人または3人で1グループとし、軽量動的コーン貫入試験を行うグループと試料採取を行うグループそれぞれ2グループずつ、計4グループで調査を進行していった。図-7に調査を実施していただいた平原谷川と調査地点を示す(広島県土砂災害危険箇所図⁷⁾に加筆)。なお、この平原谷川は土石流危険渓流に指定されている。調査地点は、あらかじめ地形図により源頭部をA点と定め、50m間隔でB、C、D、E、F点と定めた。しかし、2.1節で説明した調査方法では、調査範囲は溪流谷部に表土が堆積している範囲であるが、この平原谷川は、源頭部まで溪流谷部の基岩盤が露出していたため、調査該当範囲がなく、急遽、C～F点までの側方斜面の調査のみとした。写真-2～写真-5に調査地点C～F点の様子をそれぞれ示す。どの地点でも溪流部は基岩が露出しており、流水も確認できる。写真-6は資料を確認しながら軽量動的コーン貫入試験のロガーをセッティング

している様子、写真-7はサンプルングの様子である。調査に要した時間は、調査開始時刻(溪流を登り始めた時刻)が午前8時30分、調査終了時刻(溪流の麓に下りてきた時刻)は午後1時であり、機器の説明等を含め、4時間30分であった。これは、1日で1溪流を調査することが十分可能であることを示している。

2.3 調査結果

図-8に軽量動的コーン貫入試験の結果(地点D)を示す。貫入抵抗値 q_d と簡易動的コーン貫入試験から得られる N_d 値には、以下の式(1)の関係があり、 N_d 値40すなわち $q_d = 10\text{MPa}$ を強固な地盤(基岩盤)と判断した。

$$q_d = \frac{1}{4} N_d \quad (1)$$

表-1に斜面勾配と表土層厚の調査結果の一覧を示す。平

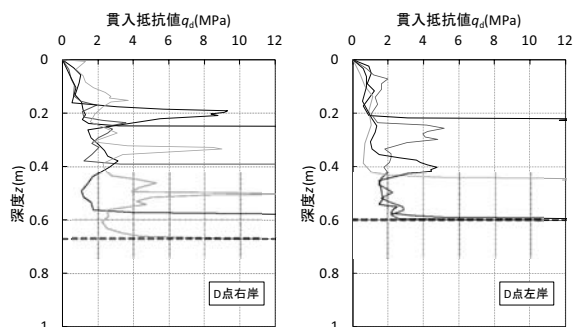


図-8 軽量動的コーン貫入試験の結果（地点D）

表-1 斜面勾配と表土層厚の調査結果

地点	右岸勾配(°)	左岸勾配(°)	右岸層厚(m)	左岸層厚(m)
C	39.0	39.0	0.39	0.27
D	40.0	34.5	0.67	0.60
E	44.0	38.5	0.62	0.58
F	21.0	35.0	0.38	0.32

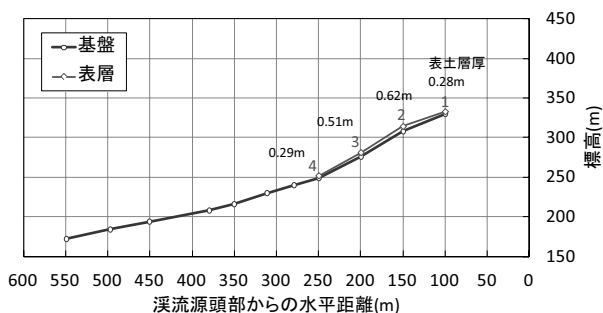


図-9 溪流の縦断面図

原谷川の側方斜面は、表土層厚 1.0m を超える箇所はなく、最大でも D 点右岸の 0.67m であり、全体で薄い表土層が分布していることがわかった。勾配については、35° を超える箇所が多く、比較的急勾配の斜面であるといえる。図-9 に調査結果から作成した溪流の縦断面図を示す。なお、この図の表土層厚は、両側方斜面の表土層厚を平均したものである。

表-2 に土質試験結果を示す。平均で土粒子密度 2.633、乾燥密度 1.143、飽和度 37.2% という結果を得た。また、土田ら⁵⁾は軽量動的コーン貫入試験および土質試験の結果より、まさ土地盤のせん断強度定数 c 、 ϕ を推定することを提案している。推定式は以下の式(4)、(5)である。

$$q_{ds} = q_d - 0.01 \times (\gamma_t \cdot z - 5) \quad (2)$$

$$e = -0.084 \ln(q_{ds}) + (-0.0074 S_r + 1.19) \quad (3)$$

$$\phi_d = 29.9 + 1.61 \ln(q_{ds}) + 0.142 S_r \quad (4)$$

$$c_d = 27.5 - 0.146 S_r - 14.2e \quad (5)$$

ここで、 q_{ds} : 土被り圧 5kPa における貫入抵抗値(MPa)、 q_d : 貫入抵抗値(MPa)、 γ_t : 土の単位体積重量(kN/m³)、 z : 深さ(m)、 e : 間隙比、 S_r : 飽和度(%), ϕ_d : 内部摩擦角(°)、 c_d : 飽和状態における粘着力(kN/m²)である。

表-2 土質試験の結果

	ρ_s (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_t (g/cm ³)	S_r (%)
C右岸	2.656	1.201	1.481	41.4
D左岸	2.591	1.201	1.450	38.4
E左岸	2.682	1.088	1.333	33.6
F左岸	2.603	1.082	1.336	35.2
平均	2.633	1.143	1.400	37.2

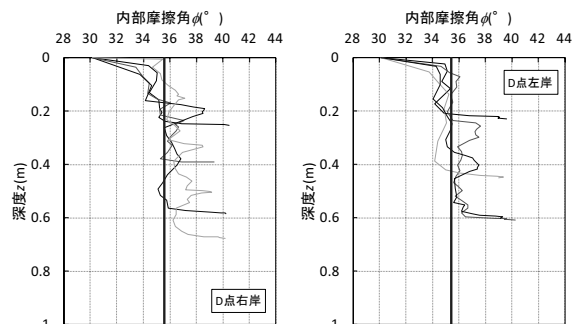


図-10 内部摩擦角の推定例（地点D）

表-3 推定した間隙比およびせん断強度定数

S_r (%)	e	ϕ (°)	c (kN/m ²)			
			20	40	60	80
C	0.77	35.7	11.9	9.0	6.1	3.2
D	0.79	35.1	11.6	8.6	5.6	3.1
E	0.76	34.8	11.1	8.2	5.4	2.2
F	0.76	35.9	12.0	9.2	6.3	3.4
平均	0.77	35.4	11.6	8.7	5.8	3.0

一例として、D点の内部摩擦角の推定結果を図-10に示す。これは、図-8の結果において、式(4)を適用した結果となる。推定値にばらつきがあるが、土田ら⁵⁾は下限値を持って推定値とするとしている。表-3に推定した間隙比およびせん断強度定数を示す。粘着力については、式(5)に示すように、飽和度の関数となっており、飽和度の変化による粘着力の変化を表すことができる。

3. 調査実施者に対するアンケート調査結果と課題

現地調査後、調査を実践していただいた地元住民の方々9名に対し、調査の意義や作業の難易度などのアンケート調査を行った。アンケートの趣旨は作業の意義、難易度、安全性、体面について、実践した方々がどのように感じたか調査し、今後の改善につなげることである。表-4にアンケートの内容と回答結果を示す。項目1の調査の意義に対しては、非常に高い評価を得た。項目2、3の資料のわかりやすさおよび作業の難易度に対しては平均的な評価であり、資料の改善を図ることにより、作業をよりわかりやすくし、効率面の向上が可能であると考えられる。項目4、5の作業量および体面に対する評価は低い結果となった。これは、溪流の長さが比較的長く、調査地点も比較的急勾配であったことからこのような結果となった。

表-4 アンケート内容と結果

アンケート項目	評価			評価
	1	～	5	
1 危険渓流の危険度評価を行うにあたって、地元の方々が調査を行いデータを収集することにどう思いますか？	悪い	・・・	良い	4.7
2 作業方法を示した資料はわかりやすかったですか？	わかりにくい	・・・	わかりやすい	3.4
3 調査の作業は簡単でしたか？	難しい	・・・	簡単	3.0
4 作業量はどうでしたか？	多い	・・・	少ない	2.4
5 一連の調査を行って、体力的にどうでしたか？	きつい	・・・	余裕がある	2.2
6 この調査を専門家でない方々が行っても安全だと思いますか？	危険	・・・	安全	4.1

のではないかと考えられる。項目6の安全面は高評価であった。以上の結果は、一つの自主防災組織に調査を実践していただいた結果であり、今後行っていく予定の他の事例でも同等のことが必ずしも言えるとは限らないが、今回のアンケート結果より、以下のようなことがいえる。作業面で改善の余地が見られるものの、調査の意義や安全面で高評価を得ることができ、本論で提案した調査方法は地盤調査を専門としない方々でも十分実行できる可能性が示された。

また、調査中のけがや事故等に対する保険等をどのように体系付けるかなど、組織的・体系的にどのように取り組んでいなければならないかは今後の検討課題である。

4. 結論

土砂災害危険渓流を対象に簡単かつ安全な作業方法である現地調査方法を提案し、広島県東広島市河内町の自主防災組織の方々に調査を実践していただいた。調査後、アンケート調査を実施し、以下の結論を得た。

- 1) 軽量動的コーン貫入試験による表土層厚の調査、勾配測定、試料採取による現地地盤調査方法を提案した。提案した調査方法を広島県東広島市河内町の9名の地元住民の方々に実践していただいた。
- 2) 調査に要した時間は、機器の使用時間の説明時間を含め、4時間30分程度であった。これは、1日で1渓流を調査することが十分可能であることを示している。
- 3) 調査後にアンケート調査を行った結果、作業量・体力面が低い評価であり、改善の余地が見られるが、調査の意義や安全面で高評価を得ることができ、本論で提案した調査方法は地盤調査を専門としない方々でも十分実行できる可能性が示された。

謝辞

本研究を行うにあたり、現地調査およびアンケートに回答していただいた東広島市河内町の自治組織「you 愛 sun こうち」会長の野田一三様をはじめ、協力していただいた皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Ishihara, Y. and S. Kobatake : Runoff Model for Flood Forecasting, Bull.D.P.R.I. , Kyoto Univ. , 29, pp.27-43, 1979.
- 2) Athapaththu A.M.R.G, Tsuchida, T. , and Suga, K., and Kano, S. : A Lightweight Dynamic Cone Penetrometer for Evaluation of Natural Masado Slopes, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.2, pp. 403-416, 2007.
- 3) Athapaththu AMRG, 土田孝, 菅和暁 : 軽量動的コーン貫入試験によるまさ土斜面地盤の強度評価と自然斜面の危険度評価への適用, 地盤工学会誌, Vol.55, No.6, pp. 27-29, 2007.
- 4) 土井豆聡之, 土田孝, 加納誠二, 中井真司, 竹内次郎 : 簡易動的コーン貫入試験と軽量動的コーン貫入試験によるまさ土斜面の地盤調査, 地盤と建設, Vol.25, No.1, pp.17-24, 2007.
- 5) Tsuchida, T. , Athapaththu A.M.R.G, Kano, S. , Suga, K.: Estimation of in-situ shear strength parameters of weathered granitic (Masado) slopes using lightweight dynamic cone penetrometer, Soils and Foundations, Vol. 51 , No. 3, pp.497-512, 2011.
- 6) 加納誠二, 土田 孝, 川口将季, 小村尚史, 細粒分を含む地盤の簡易な強度定数推定法に関する研究, 地盤と建設, Vol.27, NO.1, pp.73-80, 2010.
- 7) 広島県土砂災害危険箇所図 : <http://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/kikenmap/map.aspx>

(2012年6月24日 受付)