

斜面崩壊対策における SH 型貫入試験 調 査 基 準

平成 21 年 5 月 18 日
表土層調査技術研究会

はじめに

急傾斜地崩壊対策工の設計を実施する際には、対象斜面について、崩壊の可能性がある表土層や風化土層の厚さおよび強度、斜面形状（傾斜・地形）、土質・地質の状況、湧水の状況等を把握する必要がある。特に表土層や風化土層の厚さについては、同一斜面内においても地形や位置により異なるため、より安全で経済的な（コスト縮減）工法を選択・設計するには、面的・立体的な把握が必要である。しかし、今までこれらの点について、事前の表土層調査が十分には行われていない。

SH 型貫入試験は、従来の地質調査手法では困難であった斜面表層部の土層状況を詳細に調査し、斜面の土層状況を立体的に把握可能とした調査手法である。斜面表層の土層状況調査に SH 型貫入試験を導入することで、斜面崩壊対策の精度向上を図ることが期待される。さらに、ボーリング調査や SH ソイルコアサンプリングと組み合わせて実施することで、より詳細なデータが得られる。

また、設計根拠のあるデータを蓄積・整理することは、急傾斜地崩壊対策事業に限らず、治山事業、道路法面、河川法面、宅地造成法面等の保全対策事業も含め、斜面保全技術のさらなる発展・進歩ならびに技術の伝承にも貢献できるものとする。



写真 1 崩壊した斜面を SH 型貫入試験で調査して対策工を施工した例

1. 総則

(1) 試験の目的

この試験は、SH 型貫入試験機を用いて主に表層崩壊の可能性がある深さ、樹木の根系が進入する深さ等を効率よくかつ精度よく把握することで、より安全で経済的な工法を選択・設計するとともに、施工の安全を確保することを目的とする。

(2) 適用範囲

地盤表層部を対象とする。

(3) 用語の定義

SH 型貫入試験とは、SH 型貫入試験機を用いて質量 $5 \pm 0.05\text{kg}$ (3kg と 2kg に分割) のハンマーを $500 \pm 10\text{mm}$ の高さから自由落下させ、1 打撃ごとの貫入量から貫入抵抗 N_d/drop 値を求める試験をいう。

2. 試験機の構成

SH 型貫入試験機は、貫入コーン、貫入ロッド、ノッキングブロック、ドライブハンマー（分割式）、ガイドロッド、ガイドポール、ガイドリングおよびデータロガーから構成される。

- (1) 貫入コーン：
鋼製で、先端角 $60 \pm 1^\circ$ 及び底面積 $490 \pm 10\text{mm}^2$ のもの。
- (2) 貫入ロッド：
外径 $16 \pm 0.2\text{mm}$ の鋼製で、長さ 1000mm のもの。
- (3) ノッキングブロック：
鋼製で、ハンマーの打撃を受け止める構造を有するもの。
- (4) ドライブハンマー（重錘）：
鋼製で質量 $3 \pm 0.03\text{kg}$ のものと、着脱嵌合可能な $2 \pm 0.02\text{kg}$ のもの。
- (5) ガイドロッド：
外径 $16 \pm 0.2\text{mm}$ の鋼製で、ハンマーを $500 \pm 10\text{mm}$ の高さから自由落下させることができるもの。
- (6) ガイドポール：
 20mm のアルミ製角柱でコンベックスルール 1 級の、 1mm ごとの目盛を有するもの。
- (7) ガイドリング：
高機能プラスチック製で、厚さ 30mm 、外径 60mm のもの。
- (8) データロガー：
ガイドリングの上部に装着し、1 打撃ごとのコーン貫入量を 0.1mm 単位の精度で自動的に記録できる装置。

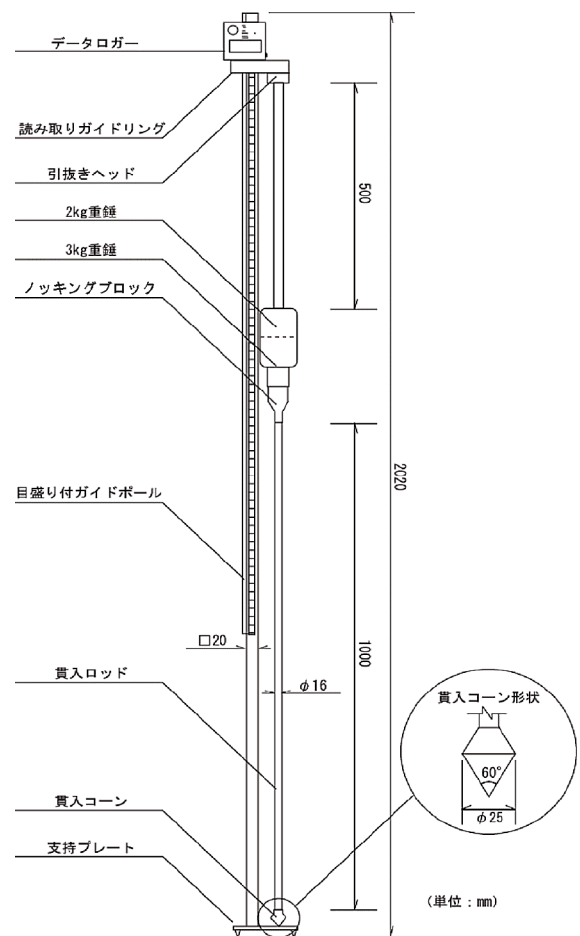


図 - 1 SH 型貫入試験機



写真2 3kg ハンマー



写真3 3kg ハンマーに 2kg ハンマーを装着



写真4 5kg (合体) ハンマー



写真5 データロガー装着時

3. 試験方法

SH 型貫入試験は、次の手順で実施する。

- (1) 貫入ロッドの先端に貫入コーンを取り付け、上部にノッキングブロック、ガイドロッド、ドライブハンマー（3kg）を取付け、本体に平行にガイドポールを取り付ける。
- (2) 試験機の支持プレートを地面に固定し、調査地点に鉛直に保持する。
- (3) 貫入ロッドから手を離し自重で沈下させた後、沈下が静止した時点でガイドポールが目盛で自重自沈量を測定、記録する。
- (4) データロガーをガイドリングの上部に装着し、ガイドポールのギアにデータロガーの歯車を確実ににかませ、かみ合わせがスムーズか確認してから、測定モードにセットする。
- (5) ドライブハンマーを $500 \pm 10\text{mm}$ の高さから自由落下させ、データロガーに自動的に 1 打撃ごとの貫入量を 0.1mm まで記録させる。
- (6) ドライブハンマーは 3kg のもので試験を開始し、1 打撃ごとの貫入量が 4mm 未満 (3.9mm 以下) の状態を 10 回程度確認したら、2kg ハンマーを付加して 5kg の状態で試験を継続する。

- (7) 5kg ハンマーによる打撃で、1 打撃ごとの貫入量が 3mm 未満（2.9mm 以下）の状態を 10 回程度確認して試験を終了する。但し、最終貫入深度で $N_d=50$ を確認する必要がある場合は、データロガーの耐久性の点から、データロガーをガイドリングからはずし、ガイドポールを目盛を用いて 10 打撃の貫入量を記録し、2cm 程度になったことを確認し終了する。
- (8) 貫入深さは 5m を限度とする。一般に 3m を超えるとロッドの周面摩擦が大きくなるだけでなく、試験終了後のロッドの引き抜きが困難になることがある。

4. 試験結果の整理

1 打撃ごとの貫入深さから貫入抵抗 N_d/drop 値を求め、深度との関係を整理する。試験開始時に自重沈下があった場合には貫入深さを記録する。

(1) N_d/drop 値

N_d/drop 値とは、質量 5kg のハンマーを $500 \pm 10\text{mm}$ の高さから自由落下させ、コーンを 100mm 貫入させるのに要する打撃回数である。この試験では次式を用いて 1 打撃ごとに N_d/drop 値を求める。

$$N_d / \text{drop} = \frac{1}{3\text{kg} + 2\text{kg}\text{ハンマー1打撃におけるコーン貫入量}(\text{mm})} \times 100(\text{mm}) \cdots (1)$$

(2) N_d'/drop 値

N_d'/drop 値とは、質量 3kg のハンマーを $500 \pm 10\text{mm}$ の高さから自由落下させ、コーンを 100mm 貫入させるのに要する打撃回数である。この試験では次式を用いて 1 打撃ごとに N_d'/drop 値を求める。

$$N_d' / \text{drop} = \frac{1}{3\text{kg}\text{ハンマー1打撃におけるコーン貫入量}(\text{mm})} \times 100(\text{mm}) \cdots (2)$$

(3) N_d/drop 値と N_d'/drop 値の関係

N_d/drop と N_d'/drop との関係は次式が示されている⁶⁾。

$$N_d / \text{drop} = 0.5 N_d' / \text{drop} \cdots (3)$$

(4) N_d/drop 値と貫入深さの関係図

結果の整理においては、3kg ハンマー打撃時の貫入深データを貫入抵抗 N_d'/drop 値に換算した値と深度との関係を図示するとともに、 N_d'/drop 値を上記の(3)式によって N_d/drop 値に変換した上で、3kg+2kg ハンマー打撃時の貫入抵抗 N_d/drop 値と同じグラフ上に N_d/drop 値で表示し、一貫した基準で測定値を解析することができるようにする。

ただし、表層部の軟らかい土壌層や土層 ($N_d/\text{drop} < 20$) については、3kg ハンマー打撃時の N_d'/drop 値と深度の関係図のほうが、貫入抵抗の深度による変化を敏感に反映することから、原則として N_d'/drop 値で解析するものとする。

また、試験終了時にデータロガーを取り外して 10 打撃ごとの貫入量を記録した場合は、便宜的に貫入量の 10 分の 1 の値を貫入抵抗 N_d/drop 値とする。

SH 型貫入試験のグラフ (N_d/drop 図) 例を図-2 に示す。

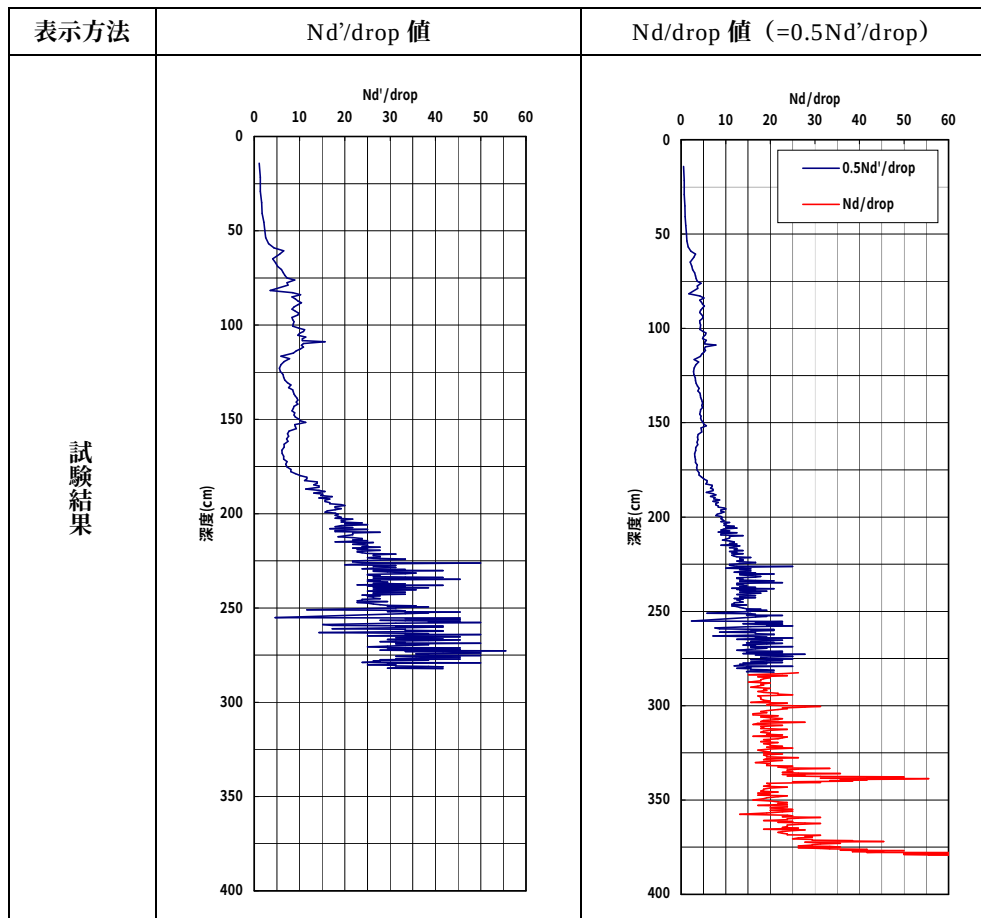


図-2 SH 型貫入試験のグラフ (Nd/drop 図) 例

5. 斜面調査の流れ

SH型貫入試験を実施する場合、次のような流れで調査を行い対象斜面の表層の土層状況を把握する。

(1) 斜面概査

対象斜面の地形図（縮尺 1：500～1000）と踏査により、斜面規模・地形・傾斜変換点等、SH型貫入試験の試験位置を設定するための基本的斜面状況を把握する。

(2) 測線、測点の設定

概査結果を踏まえて SH 型貫入試験の試験位置を設定する。斜面縦断方向の土層厚分布の把握には後述の土層厚断面図が有効となるが、それを作成するための測線を既存の測量測線または対象斜面の典型的・特徴的位置に設定する。対象斜面の土層状況を面的・立体的に把握するには、縦断方向測線は 10～20m ピッチで設定し⁴⁾、測線上の試験地点（測点）の間隔は 5～10m 程度とすることが望ましい。図-3 に測線、測点の設定例を示す。

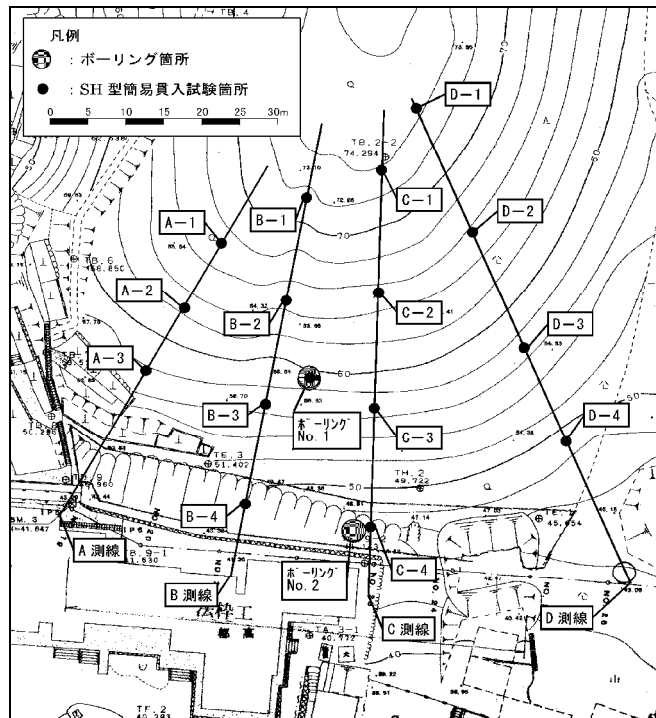


図-3 測線、測点の設定例

(3) SH 型貫入試験

設定した試験地点で SH 型貫入試験を実施する。礫や転石の影響で貫入停止したと考えられた場合には、必ずその近傍で再試験を行う。

(4) 地質・土質状況の確認と標準貫入試験

深いところに(地すべり性の)すべり面がないかを確認し、同時に地質データを得る目的で、同一斜面上で深さ 10m 程度のボーリング調査を 1 箇所程度実施し、その直近で SH 型貫入試験を実施し対比することが望ましい。

この際、ボーリング調査時に行う標準貫入試験は、試験開始深度を JIS 規格で定められる GL-1.0m からではなく、地表面(GL)から行い、表土層が分布する深度(GL-2.0m)程度まではコア採取を行わずに連続して(0.5m 毎に)標準貫入試験を行うことが望ましい。こうすることによって、N 値と Nd/drop 値の対比をより正確に行うことが出来る。なお、地質の判定は標準貫入試験用サンプラーの試料を用いて行う。

ボーリングが行えない場合には、SH ソイルコアサンプラーによる土質確認を行うことが望ましい。

(5) 地形測量

土層厚断面図を作成するため、設定した測線の地形測量を行う。(既存の測量の測線上に設定した場合この工程は省略される。)

(6) 試験結果グラフ作成

試験データを深度方向の一打撃毎の Nd 値変動グラフ (Nd/drop 図) としてとりまとめる。SH ソイルコアサンプラーによる試料採取を行なった場合には、観察結果から土質区分を行い土層図としてとりまとめ併記する。

(7) 土層厚分布及び土層状況の推定

斜面状況踏査、SH 型貫入試験、地形測量、ボーリング、SH ソイルコアサンプリングとの対比結果等を総合し、縦断方向の土層厚分布を推定したものを「土層厚断面図」として表示・作成する。また、測線上以外の試験データも含めて総合的に考察し、斜面全体の土層分布状況を検討する。図-4 に推定土層厚断面図の例を示す。

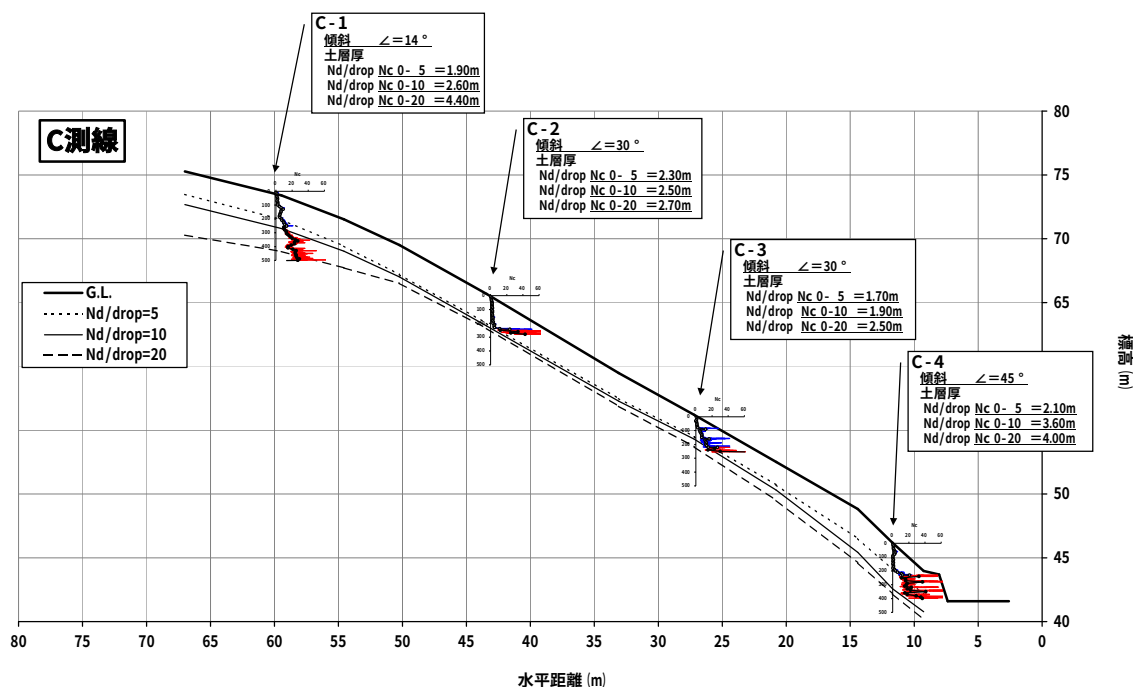


図-4 推定土層厚断面図例

(8) 表層崩壊すべり面の推定

小山内らは、国土技術政策総合研究所資料第261号「簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚推定に関する研究」⁹⁾において、6地区のがけ崩れ発生斜面での70点に及ぶSH 貫入試験で崩壊地内外の貫入抵抗値 (Nd/drop) を測定し、結果を既存の研究を含めて整理・検討した結果、急傾斜地崩壊では地質によらず、すべり面の Nd/drop 値は10程度であり、Nd/drop 値が20以上の層は崩れずに斜面上に残っていると報告している。また、表-1のように土層を Nd/drop 値によってI層～IV層の4層に区分し、どの土層境界で崩壊が発生したかを判定する方法を示した。これにより、Nd/drop 値の深度方向の分布状況による表層崩壊すべり面の推定が可能となった。

表-1 SH 型貫入試験結果に基づく土層の分類例

名称	特 徴
I 層	表層付近に存在するNd/drop値が5以下で深さ方向のNd/drop値の変動が極めて小さい層
II ₁ 層	I 層の下に存在しNd/drop値が5～10の範囲で変動する層
II ₂ 層	II ₁ 層の下に存在しNd/drop値が10～20の範囲で変動する層
III層	II層の下に存在しNd/drop値が20～50の範囲で変動し深さ方向のNd/drop値の変動が大きい層
IV層	Nd/drop値が50以上のSH貫入試験機では計測できない層

原報⁹⁾の一部を改変。(II層を「II₁層」と「II₂層」に細区分した。)

6. 標準貫入試験との関係

従来型の簡易動的コーン貫入試験では、急傾斜地で実施した調査から地層の種類と硬軟に関わらず、 $N_d = (1 \sim 3)N$ の関係がほぼ適用できることが示されている²⁾。

さらに、SH 型貫入試験の場合には、標準貫入試験併用のボーリング調査結果と対比した結果、表層の $N_d/\text{drop} < 10$ の柔らかな土層（表-1：I 層・II₁ 層）では、 N_d/drop 値が最小となる深度での貫入抵抗値（： $(N_d/\text{drop})_{\min}$ と表現）は、 $(N_d/\text{drop})_{\min} \sim N$ の関係がほぼ成立することがわかっている。この点について確認・精査するために、調査地において標準貫入試験を行った箇所の直近で SH 貫入試験を行い、対比することが望ましい。

7. SHソイルコアサンプラーによる試料採取

SHソイルコアサンプラーによる試料採取は、 N_d/drop 値と土層状況の関係を把握する上で、有効である。特に設計を行う際、粘性土か砂質土かを判断する根拠となるため、代表的な試験箇所で、 $N_d/\text{drop} < 10$ までの区間（または深さ 2m まで）、SHソイルコアサンプラーによる試料採取を推奨する。

サンプラーによる試料採取の方法は、SH型貫入試験での貫入コーンを $\phi 20\text{mm}$ 、 $L=250\text{mm}$ の SHソイルコアサンプラー（写真上左）に付け替え、3kg ハンマーで打撃し、20cm ごとに土層のサンプルを採取する。地山と採取試料の縁切りはノッキングブロックの穴へ引き抜き棒を差し込み回転させることで行う。（写真上右）。サンプル採取状況を標尺と並べる形で写真撮影（写真下）した後、土質や色調等を確認して土層図にし、各土層を代表するサンプルを標本瓶に収納する。なお、礫や転石の影響で貫入停止したと考えられた場合には、再度その近傍で採取を行う。



写真6 SHソイルコアサンプラー

上左：サンプラー、上右：試料採取・縁切り状況

下：標尺と並べて写真撮影

8. 安全対策

調査に当たっては、調査地域の地形や周辺状況を把握し、貫入試験を行う地点と手順を決定し、作業用通路等を事前に計画する。

現場調査では、ヘルメット、安全帯を着用し、傾斜が急で足場が不安定な場合は、必要に応じて滑落転倒を防ぐために滑り止めスパイクを使用するか簡易な作業足場を設けるなどして安全を確保する。

また、近くに堅固な岩や立木がある場合はロープと安全帯を用いて作業者の転落防止に努める。

なお、1日の作業着手前に危険予知ミーティングを実施し、潜在する危険についての抽出を行うとともに、作業者同士の合図方法も確認しておくことが重要である。

引用・参考文献

- (1) 長谷川秀三・川九邦雄・今川映二郎(1981)：長谷川式土壌貫入計による緑化地の土壌調査，昭和56年度日本造園学会春季大会研究発表要旨，43-44
- (2) 小川義厚・滝田喜久男(1986)：簡易貫入試験の適用における2,3の問題点，第25回地すべり学会研究発表講演集，154-156
- (3) 小嶋伸一・笹原克夫(1995)：土研式簡易貫入試験測定間隔の検討について，平成7年度砂防学会研究発表会概要集，301-302
- (4) 建設省河川局(1997)：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編，228
- (5) 川満一史（2002）：改良型簡易貫入試験機の開発，SABO vol.73 jun.2002 14-19
- (6) 吉松弘行・川満一史・瀬尾克美・長谷川秀三・村中重仁(2002)：斜面の表層構造調査用の簡易貫入試験機について，平成14年度砂防学会研究発表会概要集，392-393
- (7) 山下勝、吉岡英幸、漆崎隆之、長谷川秀三、内田太郎(2004)：急傾斜地対策事業における風化土層厚の把握と対策検討例，平成16年度砂防学会研究発表会概要集
- (8) 地盤工学会(2004)：簡易動的コーン貫入試験，地盤調査の方法と解説，274-278
- (9) 小山内信智・内田太郎・曾我部匡敏・寺田秀樹・近藤浩一(2005)：簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚推定に関する研究，国土技術政策総合研究所資料第261号
- (10) 本田尚正・奥村武信・多田泰之（2005）：簡易貫入試験機の分割型ランマーの試作とその性能評価，砂防学会誌，vol.59,no.2，21-29
- (11) 長谷川秀三(2006)：根系深さの推定手法，日本緑化工学会誌第31巻第3号，346-351