

SH型貫入試験を活用した急傾斜地崩壊対策

Slope failure works using SH type handy dynamic cone penetrometer test

門倉 貴巳*1

Takami KADOKURA

1. はじめに

我が国は、国土の大半が山地及び台地で構成されており、土地利用の範囲が山麓部分にまで拡大せざるを得ない状況にある中で、毎年発生する台風や集中豪雨に伴う土砂災害により、多くの尊い人命が失われている。

急傾斜地崩壊対策事業は、急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律（昭和44年法律第57号）が施行されて以来、地域住民の安全・安心な暮らしを確保するための重要な施策の一つとして、約40年間にわたり進められているところであるが、近年の地球温暖化に伴う異常気象や大規模地震への対策の必要性などから、今後も益々、重要な事業として推進していく必要がある。

しかしながら、対策工事には膨大な時間とコストが必要であり、また、景観や緑への配慮、工事中の安全確保、コスト削減、説明責任の必要性など、本事業を取り巻く環境は近年、より一層厳しいものとなっており、対策を講じる上でより詳細な調査や設計の合理化等が求められる。

さらに、近年の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（平成12年法律第57号）の施行や土砂災害警戒情報の提供など、ソフト対策の推進及び充実・強化を図る上でも、調査の必要性が高まってきた。

そのような背景の中、斜面の崩壊形態の予測については、従来から現地踏査や過去の崩落実績、必要に応じてボーリング調査、標準貫入試験などの地質調査を行うなどして検討されてきているところであるが、斜面全体の面的な把握や表層中における地層強度の詳細な把握については必ずしも十分な調査が行われていないのが実情である。

今回紹介するSH型貫入試験は、従来の簡易貫入試験に比べ斜面全体の面的な把握や表層中の地層強度を詳細に把握できる利点を有しており、そのような必要がある箇所においては、有効な調査の一つであると考えられる（例えば、小山内ら、2005、飯島ら、2005）。

以下に、本試験の概要と適用事例について紹介する。

2. SH型貫入試験の概要

SH型貫入試験機（吉松ら、2002）は、斜面調査用として従来から用いられている簡易貫入試験機（大久保ら、1971）と、根系発達深度等の把握を目的として開発された長谷川式土壌貫入計の、両試験機の調査能力を備えた貫入試験機である（例えば、福永ら、2003）。

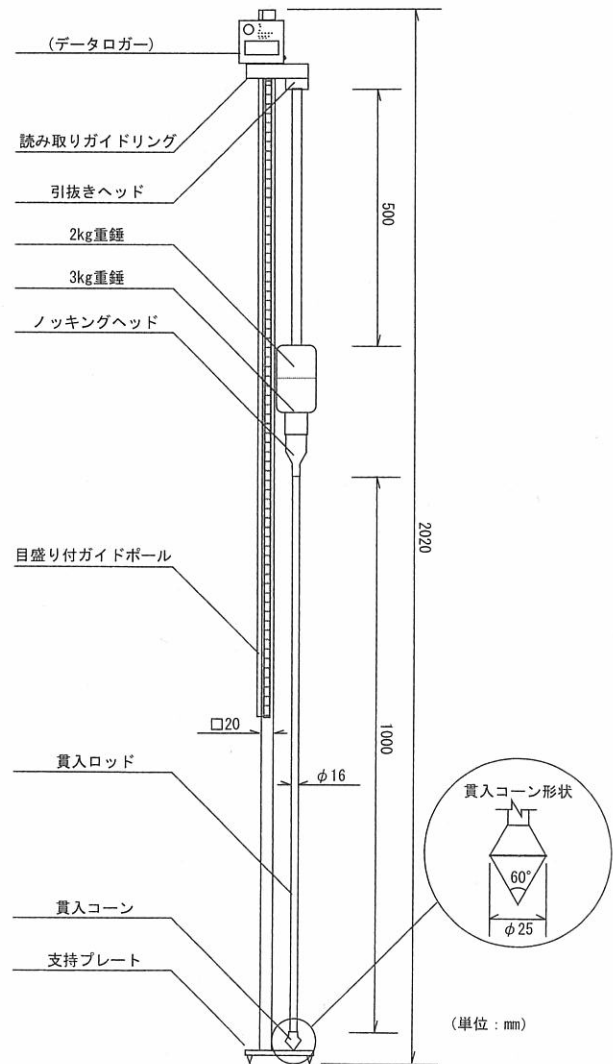


図-1 SH型貫入試験機

Fig. 1 SH type Handy Dynamic Cone Penetrometer

*1 神奈川県県土整備部砂防海岸課急傾斜地班

重錘を落下させる高さ、ロッドやコーンの先端角、直径は従来の簡易貫入試験機と同じであるが、ハンマーを簡易貫入試験の5 kg から 3 kg+2 kg (着脱式) としたことにより、3 kg ハンマーを用いた場合、脆弱な表層土における地層強度の分解能が簡易貫入試験よりも高くなる。

また、1 打撃毎の貫入量を自動計測・記録できるデータロガー (平松ら, 2004) の開発により、現場作業を迅速に行うことが出来、表層の詳細な強度変化を容易に把握することが可能となった。

簡易貫入試験では、 N_d 値 (質量 5 kg のハンマーを 500 ± 10 mm の高さから自由落下させ、コーンを 100 mm 貫入させるのに要する打撃回数) が用いられているが、SH 型貫入試験では、次式を用いて 1 打撃毎の換算値である $N_d/drop$ 値を求める。

$$N_d/drop = \frac{1}{5 \text{ kg ハンマー} \cdot 1 \text{ 打撃時コーン貫入量 (mm)}} \times 100 \text{ (mm)}$$

また、同様にして質量 3 kg のハンマーを 500 ± 10 mm の高さから自由落下させ、コーンを 100 mm 貫入させるのに要する打撃回数を N_d' 値と定義し、1 打撃ごとのコーン貫入量から、次式を用いて 1 打撃毎の換算値である $N_d'/drop$ 値を求める。

$$N_d'/drop = \frac{1}{3 \text{ kg ハンマー} \cdot 1 \text{ 打撃時コーン貫入量 (mm)}} \times 100 \text{ (mm)}$$

ここで、 N_d と N_d' との関係は $N_d = 0.5 N_d'$ が示されている (吉松ら, 2002, 図-2)。

したがって、結果の整理においては 3 kg ハンマー打撃時のデータ $N_d'/drop$ 値を $0.5 N_d'/drop (= N_d/drop)$ に変換した上で、5 kg ハンマー打撃時のデータ $N_d/drop$ 値と同じグラフ上に $N_d/drop$ 値で表示することができる (表-1)。

$N_d/drop$ 値は、簡易貫入試験による N_d 値の 1 打撃換算値であることから、 N_d 値と同じ意味をもつ値として

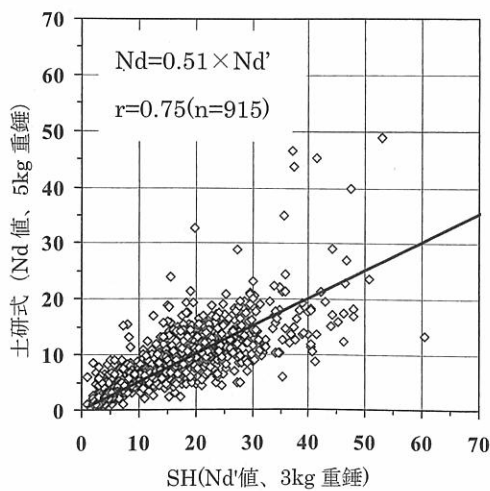


図-2 N_d 値と N_d' 値との関係 (吉松ら, 2002)
Fig.2 Relationship between Value of N_d and N_d'

取り扱うことができる (引用文献 8), 9)。

$N_d/drop$ 値と標準貫入試験による N 値との相関については、比較的軟質な地層においては、次式が成り立つとの報告もある (例えば山下ら, 2004)。

$$N_d = N$$

3. 神奈川県における適用事例

神奈川県では、平成 14 年度から SH 型貫入試験を活用した調査を実施しており、平成 18 年度末時点で約 20 件の採用実績がある (引用文献 10), 13)。

これらの実績は、調査・設計段階におけるものだけでなく、工事施工段階における活用も少なくない。

3.1 事例 1: 鴨居 3 丁目 B 地区 (横須賀市)

3.1.1 概要

本地区は、がけ高 20~30 m, 勾配 50 度の急傾斜地で、新第三紀層の三浦層群逗子泥岩を基盤岩とし、その上部に表土が堆積して構成されている。

平成 16 年 3 月の低気圧に伴う降雨により、斜面崩壊が発生 (高さ 20 m, 幅 20 m, 崩壊土量 400 m³) しており、通常想定している崩壊形態・規模等と若干の差異があったため、本試験を実施した。

3.1.2 調査結果等

地層構造および崩壊機構の解明等を行うため、崩壊箇所隣の隣接箇所においてボーリング調査を実施し、併せて SH 型貫入試験を崩壊箇所および未崩壊箇所において実施した。

表-1 試験結果の表示

Table 1 The Graph of SH type Handy Dynamic Cone Penetrometer Test

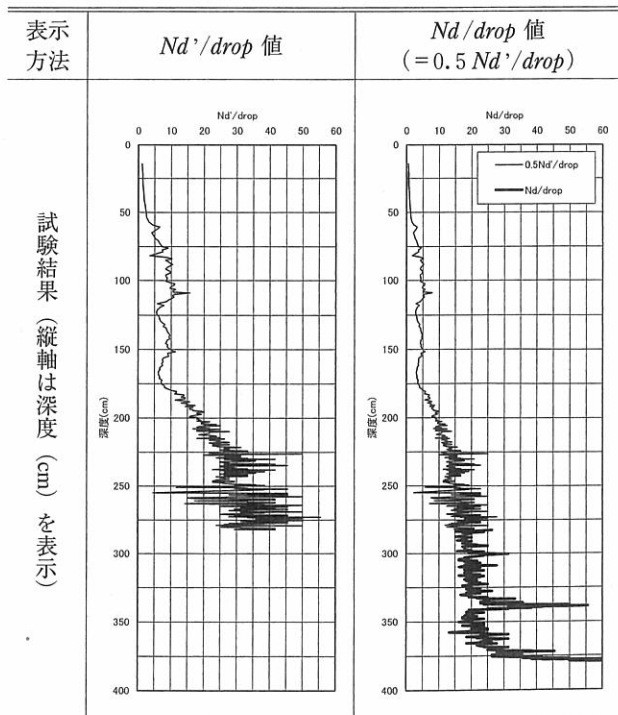




写真-1 斜面崩壊状況 (鴨居 3 丁目 B 地区)
Photo 1 The Slope failure at Kamoji district

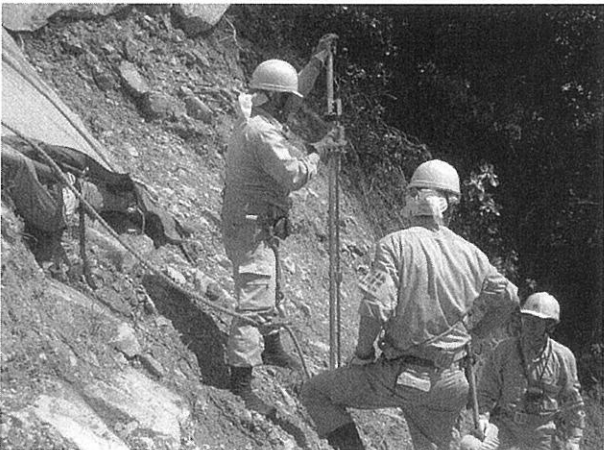


写真-2 崩壊箇所における SH 型貫入試験状況
Photo 2 SH type Handy Dynamic Cone Penetrometer Test at Collapsed area

その結果、崩落した斜面は表土だけでなく多量の風化岩が混在しており、隣接斜面の調査から $Nd/drop = 30$ 付近を移動層 (移動層厚は 1.0~2.0 m 程度) として崩壊しているものと思われ、今回と同規模の崩壊が今後、隣接斜面においても発生すると考えられた。

3.1.3 考察

対策工法を検討するにあたり、通常は種々の調査などから風化防止や表層すべりに対する抑制対策、基盤境界 ($N > 50$) によるすべり層に対する抑止対策を行うことが多いが、本箇所においては、調査結果から $Nd/drop = 30$ を移動層と評価して、それに対する抑止対策の検討を行った結果、斜面对策工は鉄筋挿入工つき吹付法枠工 (枠断面 300×300 mm, 枠間隔 2.0×2.0 m, 鉄筋挿入工 $l = 2.5$ m/本) を選定した。

今回のケースでは、ボーリング調査や標準貫入試験などの調査結果だけでは、脆弱な表層中の地層強度を詳細に把握できなかった可能性があり、より適正な対応をとることができたと考えられる。

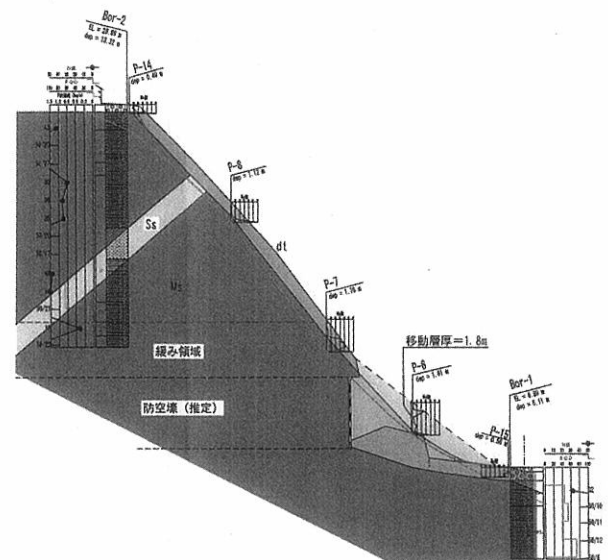
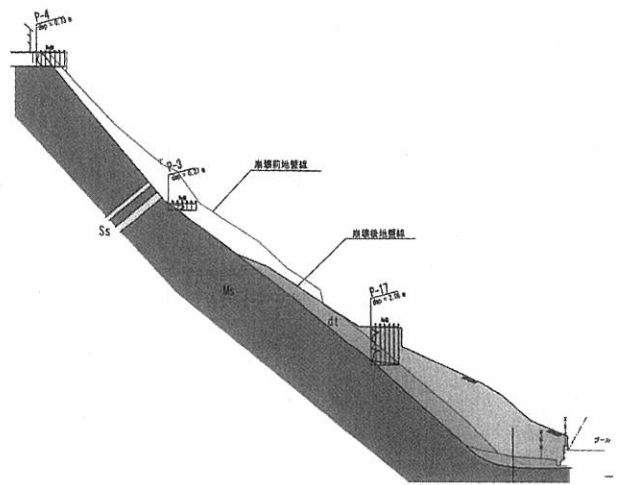


図-3 崩壊箇所 (上) と未崩壊箇所 (下) との比較
Fig. 3 Comparison between Collapse and Uncollapse Section

3.2 事例 2: 常盤地区 (鎌倉市)

3.2.1 概要

本地区は、がけ高 20~70 m, 勾配 40~60 度の急傾斜地で、新第三紀層の三浦層群逗子泥岩を基盤岩とし、その上部に表土が堆積して構成されている。

地区内には、国指定史跡「北条氏常盤亭跡」が存在し、かつ歴史的風土特別保存地区にもなっていることから、近年開発されたノンフレーム工法やユニットネット工法 (地形改変や既存木の伐採をほとんど伴わない抑止工) などの採用を検討する必要性があったため、本試験を実施した。

3.2.2 調査結果等

詳細な調査を行うため、ボーリング (2 測線 2 本) および SH 型貫入試験 (8 測線 24 箇所) を実施した (図-4)。

その結果、 $Nd/drop$ 値と土層状態の関係を対比すると $Nd/drop = 0 \sim 5$ が表土層 (黒ボク土および凝灰質粘土), $Nd/drop = 5 \sim 10$ が土砂状の強風化凝灰質砂岩, Nd

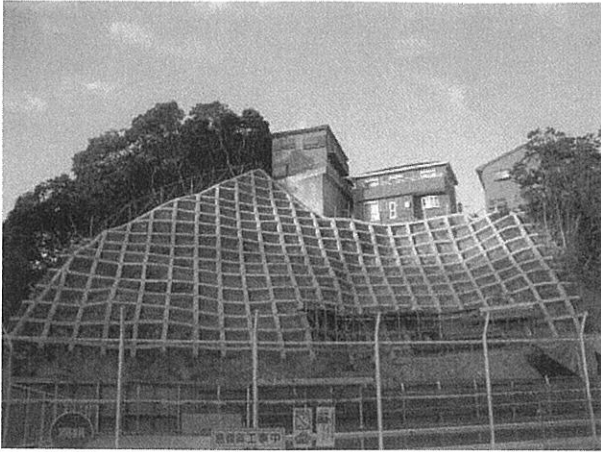


写真-3 対策工施工後の状況（鴨居3丁目B地区）
Photo 3 The Steep Slope after Works at Kamoi district

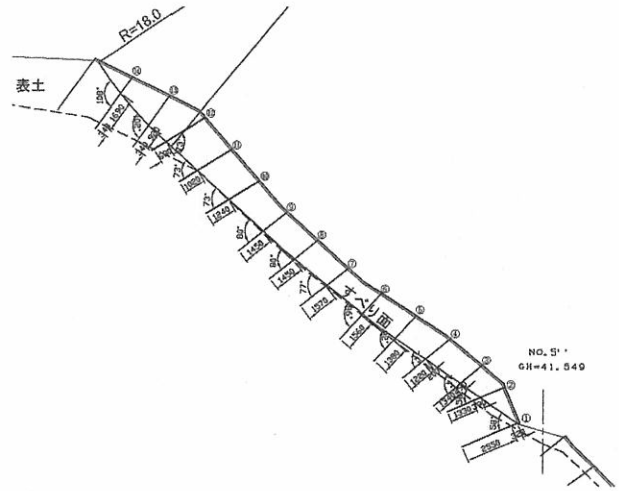


図-5 SH型貫入試験結果に基づいた対策工（常盤地区）
Fig.5 The Works based on SH type Handy Dynamic Cone Penetrometer Test

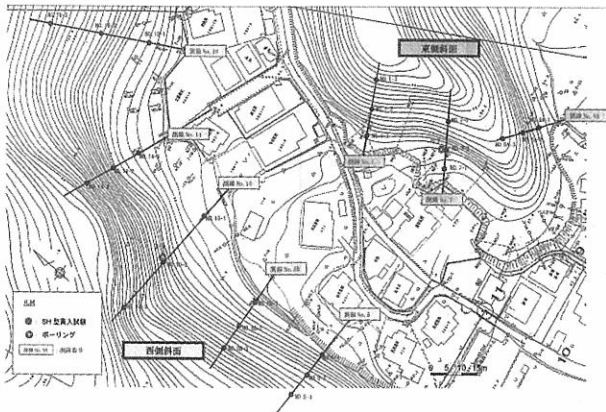


図-4 調査箇所の配置（常盤地区）
Fig.4 Survey points at Tokiwa district

$drop = 10 \sim 20$ が強風化凝灰質砂岩、 $Nd/drop = 20 \sim 40$ が弱風化凝灰質砂岩となった。

表層崩壊の可能性が高いと考えられる $Nd/drop = 10$ 相当の土層厚は、東側斜面で 0.5~1.6 m、西側斜面の上部で約 1.8~4.2 m、下部で約 0.5~1.4 m であり、斜面上部で厚い傾向が見られた。

対策工事の計画にあたっては、調査結果から地域特性を考慮できるユニットネット工法の採用が可能であると判断されたため、これを採用し、SH型貫入試験によって得られた表土層の分布を利用し、崩落土層の厚さに応じて鉄筋長の長さを変えて施工を実施した。

3.2.3 考察

本地区においては、その地域特性から比較的新しい技術であるユニットネット工法を採用しているが、本工法は自然斜面に鉄筋挿入補強土工の考え方を導入したものであり、また法枠工などの剛な構造を支承構造物として併用していないことから、斜面の崩壊形態を面的に把握し、それに対応した形で適正に設計を行うことが望ましく、本試験の活用は効果的であったと考えられる。

3.3 事例3：戸室A地区（厚木市）

3.3.1 概要

本地区は、がけ高 10~20 m、勾配 30~60 度の急傾斜地で、第四紀層の武蔵野及び立川ローム相等層の上部に表土または崩積土が堆積して構成されている。

本地区の斜面は降雨や外気の影響により風化が進行しており、標準貫入試験では表層部の状況を把握することが難しいため、本試験を実施した。

なお、本地区は市街地の貴重な「みどり」として市の緑の基本計画で斜面緑地保存地区に指定されていることから、既存樹木に十分配慮する必要がある。

3.3.2 調査結果等

本地区では、ボーリング試験及び標準貫入試験（3箇所）とSH型貫入試験（8測線計28箇所）を実施した。

ボーリングによる土質調査結果とSH型貫入試験による $Nd/drop$ 値を総合的に判断したところ、 $Nd/drop = 0 \sim 5$ の中で分布している値が安定しない表土層、 $Nd/drop = 5 \sim 10$ で値がほぼ一様に安定するローム層、 $Nd/drop = 10 \sim 20$ 超を示す硬質なローム層に区分することができた。

また、表土層は各断面で一様ではなく、層厚 0.4~1.4 m で斜面上に分布していた。

なお、本地区は、ムクノキエノキ群集の樹林であり、タブノキ、シラカシ等の常緑樹も混在する二次林である。大きい樹木は樹齢 50~60 年以上に生育しており、根が深く伸長していることが確認された。

本地区に隣接する区域では平成 16 年の台風 23 号で斜面崩落が発生した。これは、人工的な切土面が風化の進行により、表層部にブロック状の亀裂が発達して崩落したものであった。

以上のことから、本地区では風化した $Nd/drop = 0 \sim 5$ で挙動が安定しない表土層のクリープや小規模な表層崩壊等が繰り返し発生することで大きな斜面崩落となる



写真-4 対策工施工後の状況 (常盤地区)

Photo 4 The Steep Slope after Works at Tokiwa district



写真-5 対策工施工後の状況 (戸室 A 地区)

Photo 5 The Steep Slope after Works at Tomuro-A district

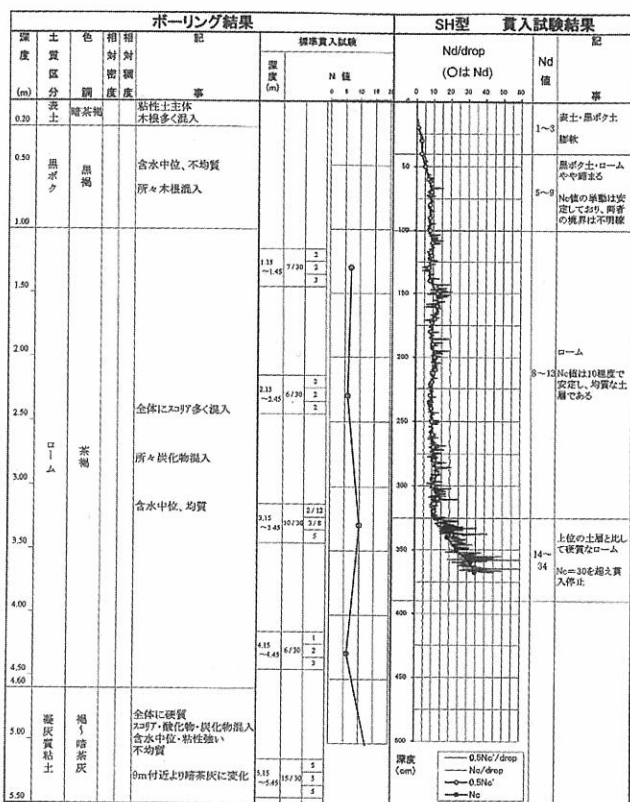


図-6 SH型貫入試験結果とボーリング結果との関係

Fig.6 Relation between SH type Handy Dynamic Cone Penetrometer Test and Boring

可能性が高いと考えられた。

そこで、表層土を法面整形して、その後に抑制工として法枠工を施工することとした。なお、既存樹木に配慮するため法枠間隔を3.0×3.0mとすることにした。

3.3.3 考察

本地区においては、標準貫入試験の結果が土層厚4.0mまではN値10以下で点在している状況であり、表層部を適切に理解するのは困難であった。

一方、SH試験の結果は、土層厚4.0m以下の地質の変化を表現しており、表層部の把握及び対策工法の選

定に有効な手段であったと考えられる。

なお、根系は $Nd/drop \approx 7 \sim 8$ 程度までは発達するが $Nd/drop \approx 10$ を超えるとほとんど侵入しない(福永ほか, 2003) ことから、樹木根系が $Nd/drop = 5 \sim 10$ のローム層まで発達し、斜面安定に寄与していると考えられる。

3. まとめ

以上の3つの事例などから、ボーリング調査や標準貫入試験などの調査と併せてSH型貫入試験を行うことで、表層中の地層強度の把握や場合により表層中における崩壊想定線の予測を行うことが可能となり、かつ斜面を面的に把握することができると考えられ、工法選定の適否や経済断面の設定など、より適正な設計を行うことができると評価している。

また、今後における工事中の安全対策や表層中の崩壊機構の解明等について、参考となるデータを蓄積することができたと考えている。

なお、本試験は使用実績のある従来の簡易貫入試験に比べより詳細なデータが得られるというメリットがあるが、その反面、現時点では調査コストが若干高くなるため、表層中の地層強度を詳細に把握する必要がある場合(例えば、表層土が厚く堆積している斜面や起伏の激しい斜面等)に適用することが効果的であると考えられる。

今後、本試験が多様な地形・地質において実施されデータの蓄積が進むとともに、コストダウンが図られ、また他の研究において、地層強度からの崩壊予測や樹木根系の斜面安定性評価などの定量化が進み、より適正な設計が導き出せるようになることを期待している。

引用文献

- 1) 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, p.27
- 2) 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, p.392-393
 - 3) 大久保駿・上坂利幸 (1971)：簡易貫入試験機による地盤調査, 土木技術資料, 13 (2), p.83-87
 - 4) 地盤工学会自然環境の保全と緑化編集委員会編 (2004)：自然環境の保全と緑化, 地盤工学・実務シリーズ21, 社団法人地盤工学会
 - 5) 平松晋也・宮前崇・長谷川秀三・漆崎隆之 (2004)：改良自記型簡易貫入試験機の砂防調査への適用性, 平成16年度砂防学会研究発表会概要集, p.220-221
 - 6) 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講演集, 218-219
 - 7) 飯島昭・長岡宏行・原義文・田下昌志・山本浩二・内田太郎・漆崎隆之 (2005)：段丘斜面におけるSH型簡易貫入試験の実例, 平成17年度砂防学会研究発表会講演集
 - 8) 表土層調査技術研究会 (2007)：SH型貫入試験調査要領, p.3
 - 9) 表土層調査技術研究会 (2007)：SH型貫入試験技術基準, p.1-5
 - 10) 神奈川県横須賀土木事務所・基礎地盤コンサルタンツ株式会社 (2004)：平成16年度急傾斜地崩壊対策工事 (公共) (その1) 報告書
 - 11) 神奈川県藤沢土木事務所・株式会社アガック横浜支店 (2005)：平成16年度急傾斜地崩壊対策工事公共 (その2) 報告書
 - 12) 神奈川県藤沢土木事務所・応用地質株式会社 (2005)：平成16年度急傾斜地崩壊対策工事公共 (その3) 報告書
 - 13) 神奈川県厚木土木事務所・株式会社共和技術コンサルタンツ (2006)：平成17年度急傾斜地崩壊対策工事 (その1) 戸室A地区設計報告書
 - 14) 福永健司・石塚望・富樫勇介・楨島朋子・漆崎隆之・長谷川秀三 (2003)：コナラの根系分布と土壌硬度の関係, 日本緑化工学会誌, 29, p.261-264

(Received 4 December 2007)