

簡易貫入試験を用いた急傾斜斜面における崩壊深推定の試み

国土技術政策総合研究所 ○内田 太郎 小山内信智 曾我部匡敏
ジオグリーンテック株式会社 漆崎 隆之 長谷川秀三 中野裕司

キーワード 簡易貫入試験 崩壊深推定 急傾斜地崩壊危険箇所

1 はじめに

急傾斜地崩壊危険箇所における土砂災害の予防、対策工の計画・施工に際して、対象斜面について把握すべき内容は、①崩壊可能性のある風化土層の厚さ及び硬さ、②斜面形状(傾斜・地形)、③土質・地質の状況、湧水の状況等である。このうち、①の風化土層厚の分布は地表面地形に関係なく、同一斜面内においても位置により異なるため¹⁾、面的な把握が必要である。これまで、急傾斜地崩壊危険箇所における風化土層厚を推定する際には、対象斜面において実施されたボーリング結果を基に検討・設計されてきた。しかし、ボーリング調査は、機械の設置が困難であるなどの理由から、斜面上で多点の調査の実施が難しく、斜面上の風化土層厚の分布を面的に把握できなかつた。さらに、ボーリング調査の場合、貫入力が大きすぎるため斜面崩壊の大部分が発生する表層1~2m程度の風化土層の状況把握には適さない面があった。そこで、比較的簡易に、斜面上の多くの点で表層1~2m程度の風化土層厚が測定可能となるよう、軽量(人力で扱える)かつ貫入力の小さい簡易貫入試験機(簡易動的コーン貫入試験機²⁾)が開発され^{2), 3)}、斜面土層構造、盛土構造の調査に用いられてきた^{4), 5)}。さらに、簡易貫入試験の測定値とスウェーデン式サウンディング等の以前から用いられている試験結果との相関性が検討され、簡易貫入試験の測定値は他試験の結果との相関性が高いことが確認されてきた⁶⁾。

従来、簡易貫入試験は、風化土層厚や軟弱層の厚さ、深度の推定など、土層構造の記載に用いられてきた⁴⁾。また、簡易貫入試験より測定される貫入抵抗値と様々な風化土の物性値(空隙率、粘着力、内部摩擦角)との関係について検討され、貫入抵抗値から土の密度、空隙率、飽和透水係数、粘着力、内部摩擦角を推定する手法が提案されてきた^{4), 7)}。さらに近年、根系分布⁸⁾や飽和地下水帯の発生深度⁹⁾を推定する上でも、簡易貫入試験は有効であることが明らかにされてきた。これらの事実は、斜面安定に影響を及ぼすと考えられる因子(土の粘着力、内部摩擦角、根系分布、飽和地下水帯の発生面など)の空間分布の多くが簡易貫入試験で推測できることを示しており、簡易貫入試験により、崩壊深が推定できる可能性が考えられる。これまでも様々な手法を用いてすべり面の貫入抵抗値を明らかにする試みがなされてきた⁹⁾。しかしながら、これまで、崩壊発生後数年経過した崩壊跡地において貫入試験を実施した例はあるものの⁹⁾、崩壊発生直後に簡易貫入試験を実施し、すべり面の貫入抵抗値を実測した例はほとんど見られない。そのため、依然として、簡易貫入試験による崩壊深の推定手法はその有効性が指摘されてきているものの、確立されていないのが現状である。そこで、本報告では崩壊深推定手法確立に向けての基礎情報を得る目的で、実際に斜面崩壊が発生した斜面において発生直後に近年改良された簡易貫入試験機を用いて測定を実施した。

2 SH型簡易貫入試験機

本研究ではSH型簡易貫入試験機¹¹⁾を用いた。SH型簡易貫入試験機は従来の簡易貫入試験機を、①重錘の重さの変更を可能にし、②1打撃ごとの貫入量が測定できるように改良したものである。従来の簡易貫入試験機²⁾は5kgの重錘を50cmの高さから落下させ、φ16mmのロッドで先端角60°でφ25mmの円錐コーンを地中に貫入させて土層の硬さ(貫入抵抗)を求めるもので、コーンが10cm貫入するのに要した重錘の打撃回数をNc値として表すものであった。一方、SH型簡易貫入試験機は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、5kgの重錘を3kgの重錘と2kgの着脱式の重錘に分割することによって、重錘の重さが3kg及び5kgの2種類から選択可能となっている¹¹⁾。吉松ら(2002)¹¹⁾は、3kgの重錘を用いた際の10cm貫入するのに必要な重錘の落下回数をNc'値とし、Nc'値とNc値の関係を地質の異なる5箇所で行った貫入試験結果を基に分析し、Nc'値はNc値の1.96倍となることを示した(図-1)。この結果は、比較的やわらかい表層部では貫入力の小さい3kgの重錘を用いることによって分解能の高いデータの取得が可能となることを示している。なお、本報告では、吉松ら(2002)に従い、3kgの重錘を用いた際についても $Nc=0.51Nc'$ として

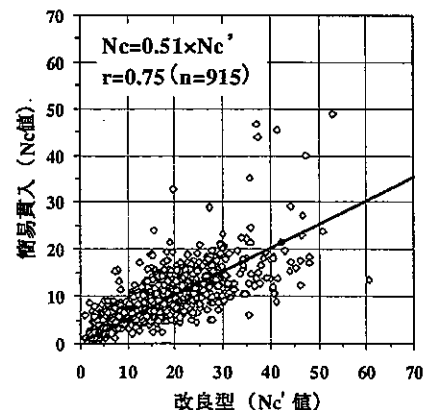


図-1 Nc'値とNc値の比較(吉松ら2002より)

算出した Nc 値を用いることとする。

さらに、1 打撃毎の貫入量を自動測定・記録できるデータロガーを試作し¹²⁾、使用した。その結果、細かい貫入抵抗値の深度分布を明らかにできるようになった。平松ら(2004)¹²⁾は、従来の簡易貫入試験とデータロガー付き SH 型を用いた簡易貫入試験の作業時間を比較し、多くの場合で従来、1 地点あたり 20~40 分程度かかっていた測定時間が、10 分程度短縮することができることを示した。

また、これらの改良により、従来の簡易貫入試験機に比べて、わずかに重量は増えたが、ボーリングやスウェーデン式サウンディングと比較して本体は軽量であり、移動・設置が比較的容易で急斜面でも調査が可能である(表-1)。加えて、従来の貫入試験機に比べて、試験時間が短い上に、記録の手間が省け、読み間違いがなくなるなどの利点があるため短時間で多点の調査が精度良くできる。

表-1 各種貫入試験の比較

	SH 型簡易貫入試験機	簡易貫入試験機(従来型)	標準貫入試験(ボーリング)	スウェーデン式サウンディング試験機
おもり重量	3kg+2kg(着脱式)	5kg	63.5kg	100kg(5,15,25,50,75,100kgと段階的)
貫入部先端形状	円錐コーン(∠60°, φ25mm)	円錐コーン(∠60°, φ25mm)	標準貫入試験用サンフラー(φ51mm, L810mm)	スクリーポイント(φ33mm, L200mm)
貫入方法	動的貫入 高さ 50cm から重錘を自然落下	動的貫入 高さ 50cm から重錘を自然落下	動的貫入 高さ 76cm ± 1cm からハンマーを自然落下	静的貫入 ①荷重による貫入(段階的に載荷) ②回転による貫入(100kg 重錘)
分解能	1 打撃毎(1mm 単位で読取り, 自動記録機使用時は 0.1 mm 単位で読取り可能)	10cm 毎	30cm 毎	1cm 毎(各荷重の貫入停止深) 25cm 毎(回転貫入時)
データ表示	Nc/drop または Nc'/drop (1 打撃毎の Nc 値 3kg 時は Nc'/drop)	Nc 値 (10cm の貫入に要した打撃回数)	N 値 (30cm の貫入に要した打撃回数)	Wsw (荷重貫入時, 荷重の大きさで表示) Nsw (回転貫入時, 1m 貫入に要した半回転回数)
作業人数	2 人	2 人	2 人	2 人
本体重量	17kg (ポット 5m 分)	15kg (ポット 5m 分)	約 400kg	110kg 超 (ポット 5m 分)

3 静岡市小坂赤坂地区への適用例

3.1 がけ崩れの概要

平成 15 年 7 月 4 日未明、静岡市小坂赤坂地区では、平均勾配 30°、高さ 70~80m の斜面において崩壊が発生した。斜面はみかん畑に利用されており、地質は砂岩である。同地区には、高さ 3m の重力式の待受け擁壁が設置されていた(図-2)。静岡県の調べによると、7 月 3 日 20 時から同 4 日 5 時までの間の連続降水量は 358 mm、その間の最大時間降水量は 103 mm(7 月 4 日 1 時から 2 時)、最大 10、60 分間降水量はそれぞれ 30 mm(4 日 1:00~1:10)、106 mm(4 日 1:30~2:30)であった。住民への聞き取り調査によると崩壊は 7 月 4 日の午前 1 時半ごろに発生したと考えられる。

斜面下端から崩壊地頭部までの比高は 21m、崩壊幅は最大 15.3 m、平均崩壊深は約 1m、最大崩壊深は約 2.5m であった。崩壊地は谷地形を呈しており、大部分の崩壊地の底部は風化した岩盤が露出していた。崩壊地の詳細な測量に基づくと、崩壊土量は約 270 m³程度であると考えられる。なお、現地調査時に湧水(23 日の雨天の後 24 日に確

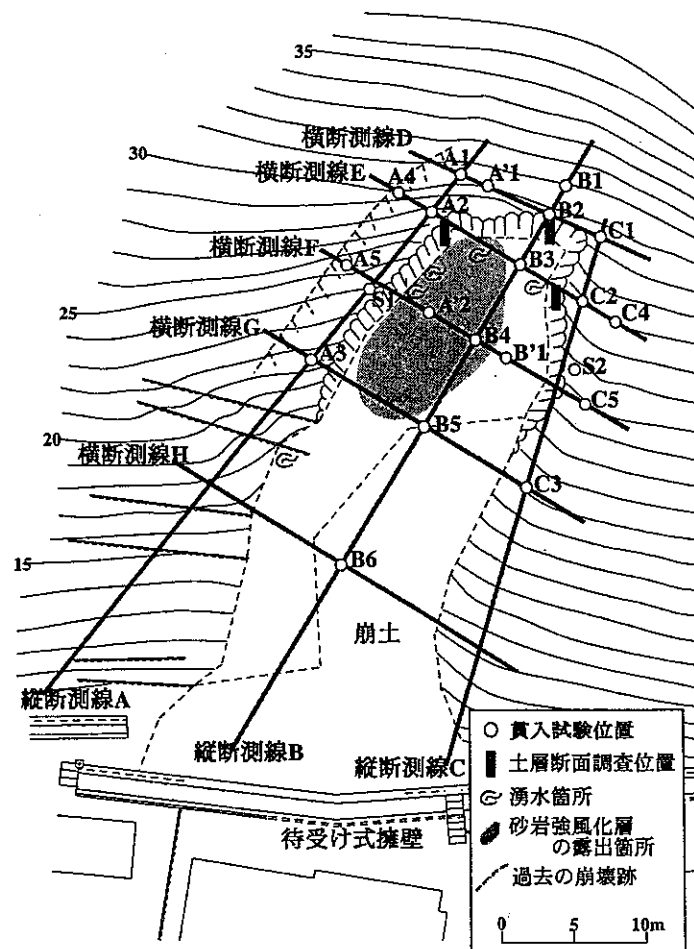


図-2 静岡市小坂赤坂地区の平面図

認)や崩壊すべり面と思われる滑らかな強風化砂岩層の地層面の露出、および過去の崩壊跡が確認されたため、それらの位置を図-2に付記した。

3.2 貫入試験

貫入試験は、崩壊発生から19日後の平成15年7月23~24日に行った。縦断測線を崩壊地内部の1本(縦断測線B)および崩壊地脇の2本(縦断測線A、C)の計3本と、横断測線を5本(横断測線D、E、F、G、H)設定し、SH型簡易貫入試験を実施した(図-2)。

崩壊地外の貫入試験結果を図-3に、崩壊土砂が堆積していない崩壊地内の結果を図-4にそれぞれ示した。崩壊地外の土層は、4層に区分した。表層付近はNc値が概ね10以下でNc値のばらつきが小さい層が存在し、これをI層とよび、さらに、I層の下に存在し、Ncが5~20のばらつくII層、II層以下に存在しNc値が20~50の範囲で深さ方向にNc値が急激に増大するIII層、Nc値が50以上で本貫入試験機では測定不能なIV層に区分できる(図-3参照)。ただし、小坂赤坂地区においては、III層は5cm程度で極めて薄く、明らかではない。なお、逢坂ら(1992)⁴⁾は、Nc値5以下の層を表層土層、Nc値が5~10の層を下層土層、Nc値が10~30の層を風化層、30以上を基盤と分類している。

B1、C4、C5の地点では、それぞれ75、95、120cmまでは、概ねNc値は10以下でありI層に区分できる。同地区のII層の厚さ

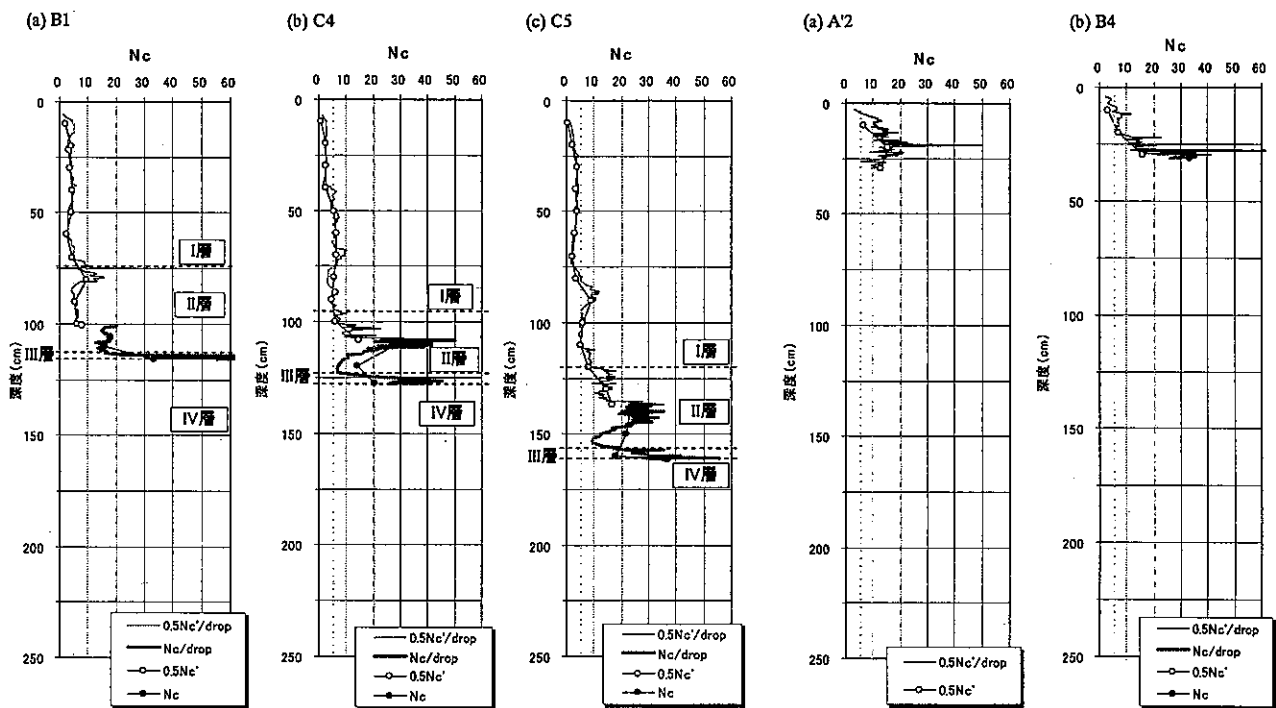


図-3 小坂赤坂地区の崩壊地外の貫入試験結果

図-4 小坂赤坂地区の崩壊地内の貫入試験結果

は、30~35cm程度であった。ただし、C4、C5の2地点はII層中に約10cmの厚さ(C4で105~115cm、C5で135~145cm)でNc値が20~40の層が存在する。

一方、崩壊地中央付近に位置するB4、A2では、貫入試験の結果をみると、崩壊地の表面からそれぞれ深さ20cm、8cmまではNc値は10以下であることが分かる(図-4)。さらに、B4、A2では、それぞれ厚さ10cm、23cmのNc値が5~20でばらつく層が存在する。それ以下では、Nc値は急激に増大し、いずれも深さ30cmの地点で、Nc値は50に達し、それ以上貫入しなくなった。なお、Ncが20以上、50以下の層厚は両地点とも、5cm以下と極めて薄かった。

4 神奈川県横須賀市鴨居地区への適用例

4.1 がけ崩れの概要

平成16年3月31日未明、神奈川県横須賀市鴨居地区では、平均勾配50°、高さ20mの斜面において崩壊が発生した(神奈川県調べ)。斜面上は宅地として造成され、利用されている。斜面は広葉樹に覆われており、防空壕の跡が散見される。また、斜面下端は鴨居小学校と接している。同地域の基盤をなす地質は上総層群であり、対象箇所の基岩は泥岩である。神奈川県による、3月30日17時から同31日3時までの間の連続降水量は106mm、その間の最大時間降水量は48mmであった(3月30日23時から24時)。

斜面下端から崩壊地頭部までの比高は20m、崩壊幅は最大20m、最大崩壊深は約1.8mであった。崩壊地はわずかながら谷

地形を呈しており、崩壊地の上部半分は風化した岩盤が露出していた。

4.2 貫入試験

現地調査は、崩壊発生から約2ヶ月半経過した平成16年6月16~17日に行った。崩壊地内の崩壊土砂が堆積していない箇所2点(P2、P3)、崩壊土砂の堆積が見られる箇所1点(P17)、崩壊地周囲9点実施した。崩壊地内外の結果をそれぞれ、図-6、7に示す。

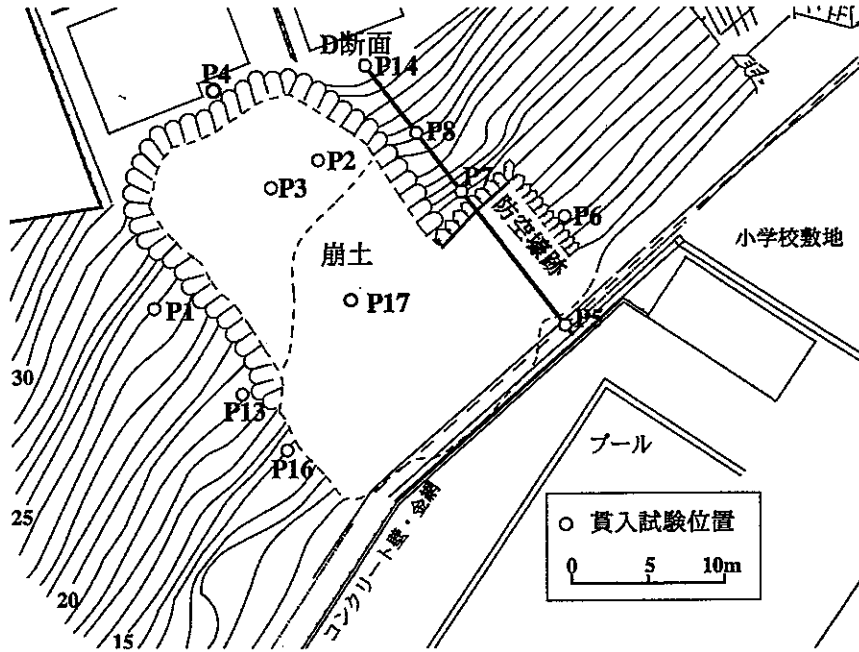


図-5 横須賀市鴨居地区の平面図

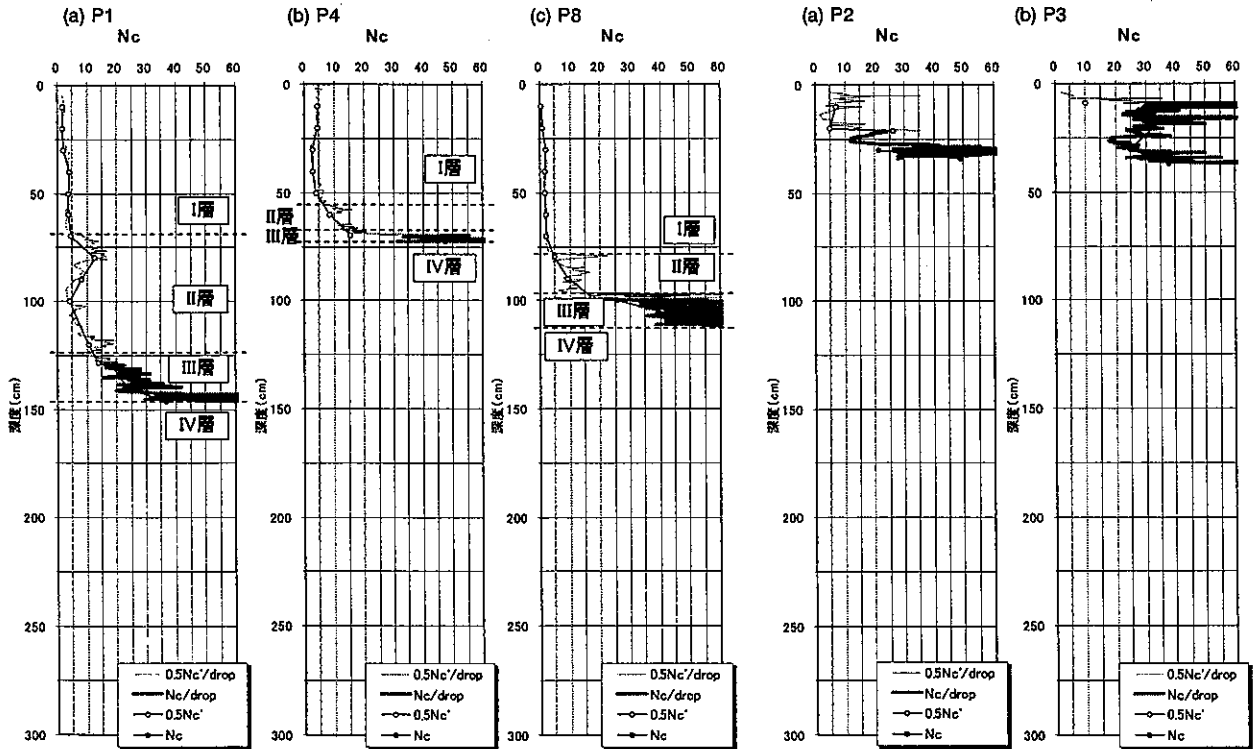


図-6 鴨居地区の崩壊地外の貫入試験結果

図-7 鴨居地区の崩壊地内の貫入試験結果

鴨居地区においても、Nc 値の測定結果から崩壊地外の土層は、静岡市小坂赤坂地区と同様な基準で、4 つに分類することができた(図-6)。崩壊地外の3点は深度60~75cmまで、Nc値は概ね10以下であり、ばらつきは小さく、I層に分類できる。その下には、Nc値が5から20でばらつくII層があり、II層の厚さは20~60cm程度である。その下の部位では、Ncが20から50の間

で、大きくばらつき層が存在し、III層に分類できる。III層の厚さは小坂赤坂地区に異なり、5~20cm程度であった。また、この層の測定結果を10cmごとの平均で見るとNc値は徐々に増加する。また、III層とIV層境界面(Nc=50)は、地表面から70~140cmの深さであった。

一方、崩壊地内の崩壊土砂が堆積していない地点で測定した2点(P2、P3)の結果を見てみると、いずれも表面から5cm程度まではNc値は10以下である。その下部には、5~15cmの厚さでNc値5~20の層があった。Nc値5~20の層の下には、Nc値が20~50で、Nc値のばらつきが極めて大きい層が15~35cmの厚さで続いた。Nc値が50に達し、測定不能となった深さはいずれも35cm程度であった。

5 考察

5.1 すべり面位置の推定

静岡市小坂赤坂地区の崩壊地内の表面付近のNc値は10以下であり、Nc値の絶対値から崩壊地外のI層に相当する可能性が指摘できる。また、この部位の下には、崩壊地外同様、Nc値が5~20でばらつき層が存在し、深さ方向のNc値のばらつきの程度は、崩壊地外のII層とほぼ同程度であった。さらに、Nc値が20~50の部位が極めて薄い点においても、崩壊地外のNc値の鉛直分布と一致している。ただし、C4、C5の地点のII層で見られたような、Nc値が20~40、厚さが10cmの層は、崩壊地内では見られなかった。また、崩壊地内ではNc値が5~20の層厚は10~23cmであり、崩壊地外のII層に比べて薄く、すべり面がII層内である可能性も考えられる。以上のことから、小坂赤坂地区では、I層の最深部またはII層の上部をすべり面とする崩壊が発生したと考えられ、すべり面のNc値は10程度であると考えられる。

一方、横須賀市鴨居地区の崩壊地内では、表面付近のNc値は10以下であり、Nc値の絶対値から崩壊地外のI層の最深部付近をすべり面とした崩壊が発生した可能性が指摘できる。さらに、その下には、Nc値が5~20の層が存在するが、崩壊地外のII層(20~60cm)に比べると薄い(5~20cm)。III層に相当すると考えられるNc値が20~50の層厚は崩壊地内(15~35cm)と外(5~20cm)で差は小さかった。これらの結果から、同地区ではI層の最深部またはII層の上部をすべり面とし崩壊が発生したと考えられ、すべり面のNc値は、小坂赤坂地区同様、10程度であると考えられる。また、いずれの場所においても、III層は崩れずに残っていると考えられ、Nc値が20以上の部位は崩れずに斜面上に残っているとえよう。

5.2 これまでの研究との比較

前節までで述べたように、崩壊発生直後に実施した貫入試験結果から、崩壊のすべり面のNc値は10程度であったと考えられた。この結果はこれまで報告されてきた値(表-2参照)と概ね一致する。すなわち、これまで、貫入試験と風化土層構造の観察、崩壊地周辺における貫入試験、Nc値と風化土の物性値(間隙率、飽和透水係数、粘着力、内部摩擦角等)の関係性と崩壊発生予測モデルを組み合わせた数値シミュレーションなどから、明らかにされたすべり面のNc値は、基盤地質によらず、5~15とされてきた。また、近年行なわれた崩壊発生から数年経過した崩壊跡地内で行なわれた貫入試験結果からも、すべり面のNc値は5~10程度であると考えられるとされた。さらに、降雨時に発生する地下水面が発生する面のNc値もほぼ同様な5~20の値であることが報告されてきている(表-2)。

表-2 すべり面、降雨時の地下水位発生面のNc値に関する検討例

対象	Nc値	根拠	地質	参考文献
すべり面	10	Nc値の急変点がすべり面になるとし、導出	新第三紀層	遠藤ら(1989) ¹⁴⁾
	10	土壌断面等の観察からB層下面がすべり面となるとし、土壌断面観察と貫入試験の結果を対比させ導出	中生代堆積岩	水山・小菅(1993) ¹⁵⁾
	14	土壌断面等の観察からB層下面がすべり面となるとし、土壌断面観察と貫入試験の結果を対比させ導出	花崗岩	水山・小菅(1993) ¹⁵⁾
	10	崩壊地周辺の貫入試験結果	斑レイ岩	平松ら(1998) ¹⁶⁾
	2~50*	崩壊地周辺の貫入試験結果	火砕流堆積物	稲垣(1999) ¹⁷⁾
	10	崩壊地周辺の貫入試験結果	花崗岩	稲垣(2000) ¹⁸⁾
	9	Nc値と土壌の物理性に関する関係性と浸透計算、斜面安定計算から算出	砂岩	平松ら(2001) ¹⁹⁾
	10	崩壊地内における貫入試験	砂岩	市川・松倉(2001) ²⁰⁾
	5~10	崩壊地内における貫入試験	花崗岩	松倉ら(2002) ¹⁰⁾
	5~10	崩壊地内における貫入試験	片麻岩	松倉ら(2002) ¹⁰⁾
地下水面発生箇所	20	土壌断面観察と貫入試験の結果を対比させ導出	礫層と泥岩の互層	太田(1988) ²¹⁾
	5~10	Nc値と土壌の物理性に関する関係性と浸透計算から算出	花崗岩	小川(1996) ¹⁾
	5~10	貫入試験結果と地下水位観測結果を対比	花崗岩類	Shanley et al. (2003) ⁹⁾

*Nc値が2から50まで急変し、その2から50に急変する部位をすべり面としたと考えられる

6 まとめと今後の課題

急傾斜地崩壊対策の計画における崩壊深推定手法の確立を目指し、崩壊発生から3ヶ月以内に、重錘の重量を変更できるように

に改良した簡易貫入試験機と1打撃毎の貫入量を自動測定・記録できるデータロガーを用いて、崩壊地内外の貫入抵抗値(Nc値)の分布を測定した。本研究では、データロガーを使うことによって、Nc値のばらつきを詳細に評価し、従来検討されてこなかったNc値のばらつきの程度を考慮し、土層内のすべり面の位置を推定した。その結果、すべり面のNc値は10程度であり、Nc値が20以上の層は、崩れずに斜面上に残っていることがわかった。さらに、この結果は従来、報告されてきた値と概ね一致し、地質によらず、すべり面のNc値は10程度ある可能性が考えられた。

次に、簡易貫入試験が様々な地形、土層構造を有する急傾斜地の斜面崩壊深推定に適用可能となるようにするために必要となるであろう今後の課題について整理する。

① 空間的な不均一性の評価

斜面の風化土層厚は空間的にばらつきが大きく、Nc値の鉛直方向の分布様式も場所によって異なることが知られている^{1),4)}。すなわち、斜面の崩壊する可能性がある風化土層の厚さは、数点の測定だけでは正確に評価できない可能性が高いと考えられる。小嶋・笹原(1995)¹³⁾は、40mの測線で1m間隔で貫入試験を行なった結果、斜面の風化土層厚の空間分布を精度よく評価するためには5m以下の間隔で調査を行う必要があることを指摘している。しかしながら、面的に高密度に貫入試験を行なった例はほとんどないのが現状である。そこで、今後、面的なデータを蓄積し、土層構造の空間的不均一性を評価するのに必要な測定密度を明らかにする必要があると考えられる。

② 深さ方向のNc値の分布様式の影響評価

すべり面は、Nc値の絶対値のみならず、深さ方向のNc値の変化率の影響も受ける可能性が指摘されてきた¹⁴⁾。一方、これまでの斜面における貫入試験の結果から、土層のNc値の鉛直分布は、4~6タイプに類型化できること(例えば、Nc値が10以下の層が続いた後、急激にNc値が増大するタイプ、Nc値が10以下の層が続いた後、徐々にNc値が増大するタイプ)が報告されてきた⁴⁾。また、本報告で示したように、データロガーを用いることによって、Nc値の詳細な鉛直分布のデータが入手できるようになった。今後、Nc値の絶対値のみならず、深さ方向のNc値の変化率が崩壊のすべり面位置に及ぼす影響を明らかにすることより、多様な斜面で適用できるすべり面の推定手法が確立できると考えられる。

最後にはなりましたが、静岡県土木部河川砂防総室砂防室並びに静岡土木事務所、神奈川県県土整備部砂防海岸課並びに横須賀土木事務所の方々には、調査に御協力いただき深く謝意を表します。

※「地盤調査の方法と解説」(2004年(社)地盤工学会)では、「簡易動的コーン貫入試験(JGS1433-1995)」とされているが、急傾斜地における試験の実施例に関する文献の多くは「簡易貫入試験」とされているので、本稿では「簡易貫入試験」を用いることとした。

参考文献

- 1) 小川紀一郎:山地斜面における表層土の構造特性と水分変動過程に関する研究, 北大演報, 54, 87-141, 1997
- 2) 大久保駿・上坂利幸:簡易貫入試験機による地盤調査, 土木技術資料, 13(2), 83-87, 1971
- 3) 大久保駿・上坂利幸・船崎昌継:簡易貫入試験機による地盤調査(2)一, 土木技術資料, 13(8), 403-409, 1971
- 4) 逢坂興宏・田村 毅・窪田 順平・塚本良則:花崗岩斜面における土層構造の発達過程に関する研究, 砂防学会誌, 45(3), 3-12, 1992
- 5) 杉山友康・岡田勝也・野口達夫・村石 尚:盛土表層部における土の強度の鉛直・平面方向の空間分布特性, 土木学会論文集, No.457, 33-40, 1992
- 6) 例えば、岡田勝也・杉山友康・村石 尚・野口達夫:盛土表層部における土質強度に関する異種サウンディング試験結果の相関性, 土と基礎, 40(4), 11-16, 1992
- 7) 吉永秀一郎・大貫靖浩:簡易貫入試験による土層の物理性の推定, 砂防学会誌, 48(3), 22-28, 1995
- 8) 福永健司・石塚望・富樫勇介・榎島朋子・漆崎隆之・長谷川秀三: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(1), 261-264, 2003
- 9) Shanley, J., K. Hjerdt, J.J. McDonnell and C. Kendall: Shallow water table fluctuations in relation to soil penetration resistance. Ground Water, 41(7): 964-972, 2003
- 10) 松倉公憲・田中幸哉・若月 強:韓国ソウル郊外の花崗岩と片麻岩山地の土層構造と表層崩壊形状に与える基岩地質の影響, 地学雑誌, 111, 416-425, 2002
- 11) 吉松弘行・川満一史・瀬尾克美・長谷川秀三・村中重仁: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, 2002
- 12) 平松晋也・宮前 崇・長谷川秀三・漆崎隆之: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 220-221, 2004
- 13) 小嶋伸一・笹原克夫: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, 1995
- 14) 遠藤治郎・松崎健・木村隆樹・五十嵐浩行:積雪地森林の水保全機能に関する研究(4), 新大演報, 22, 51-65, 1989
- 15) 水山高久・小菅尉多:表層崩壊予測のための土層調査例, 新砂防, 46(1), 38-40, 1993
- 16) 平松晋也・井良沢道也・本郷国男:融雪に起因した山腹崩壊の発生に関する一考察, 砂防学会誌, 51(3), 27-34, 1998
- 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, 40(5), 305-315, 1999
- 18) 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, 41(2), 103-112, 2000
- 19) 平松晋也・尾藤顕哉:斜面調査用簡易貫入試験を用いた崩壊予測モデルへの入力諸元簡易設定手法に関する一考察, 砂防学会誌, 54(4), 12-21, 2001
- 20) 市川岳志・松倉公憲:弱固結砂岩からなる斜面における土層構造と表層崩壊, 応用地質, 42(1), 30-37, 2001
- 21) 太田猛彦:森林山腹斜面における雨水の流出について, 水文・水資源学会誌, 1, 75-82, 1997