

SH 型貫入試験調査要領

平成 19 年 2 月

表土層調査技術研究会

表土層調査技術研究会技術委員会

委員長 荒井 正 株式会社日さく

委員 (社名 五十音順)

西尾 貢 技研興業株式会社
山崎 勉 国土防災技術株式会社
長谷川秀三 ジオグリーンテック株式会社
中野 裕司 ジオグリーンテック株式会社
鈴木 隆 株式会社高島テクノロジーセンター
小川 恵三 株式会社日さく
会津 隆士 株式会社日さく
美甘 浩一 日特建設株式会社
山西霜野子 日特建設株式会社
高橋慶次郎 株式会社富士ボーリング
平岡 孝恵 ライト工業株式会社
濱浦 尚生 ライト工業株式会社

目 次

1	はじめに	1
2	SH 型貫入試験（機）の特徴	3
2.1	SH 型貫入試験機の改良点	3
2.2	斜面調査におけるサウンディング（他のサウンディング類との比較）	5
3	適用条件	6
4	調査の流れ	7
4.1	斜面概査	7
4.2	試験位置の設定	7
4.3	試験実施	7
(1)	地盤傾斜角の測定	7
(2)	SH 型貫入試験機の設置	7
(3)	試験機の鉛直保持	8
(4)	貫入量の読み取り	8
(5)	3kg ハンマーによる貫入	10
(6)	5kg ハンマーによる貫入	10
(7)	礫当たりの際の再試験	10
(8)	試験深度	10
(9)	状況写真撮影	10
(10)	ソイルコアサンプラーによる試料採取	10
(11)	ロッドの引抜き	11
4.4	地形測量	11
4.5	Nd/drop 図作成	11
(1)	自重沈下量の記録	11
(2)	3kg ハンマー貫入量による貫入抵抗 Nd'/drop 値の算出	11

(3)	5kgハンマー貫入量による貫入抵抗 Nd/drop 値の算出	12
(4)	Nd/drop 図作成	12
(5)	柱状図作成 (ソイルコアサンプリングを実施した場合)	13
4.6	ボーリング結果との対比	14
(1)	N 値との対比	14
4.7	土層厚分布及び土層状況の推定	15
5	調査事例	16
5.1	急傾斜地における対策工検討	16
(1)	調査概要	16
(2)	調査結果	16
(3)	対策工法の検討	17
5.2	Nd/drop 図からの表層崩壊すべり面の推定	18
(1)	調査内容	18
(2)	調査結果	18
(3)	表層崩壊すべり面の推定	18
5.3	樹木根系侵入深の推定	20
(1)	調査内容	20
(2)	調査結果	20
(3)	根系侵入深の推定	21
(4)	【参考】樹木根系と斜面安定	22
6	参考文献	23
7	データシート類	24
7.1	貫入量記録シート	24
7.2	SH 型貫入試験結果シート	25

1 はじめに

急傾斜地崩壊対策工法の設計を実施する際には、対象斜面について、崩壊可能性のある表土層や風化土層の厚さ及び強度、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・設計するためには、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こなかった経緯がある。

これは、急斜面において表土層の分布等を効率よく把握できる適当な調査機器がなかったことも大きな要因であると考えられる。従来の調査法（ボーリングやスウェーデン式サウンディング、簡易貫入試験など）では、表層崩壊の発生予測や崩壊土砂量の推定に不可欠な、斜面表層の風化土層厚の把握には十分とは言えなかった。

さらに最近では周辺環境を考慮して、斜面の植生をできる限り残すことが期待されている。このため対策工事においては、従来のような表層の事前掘削や樹木の伐採を極力避ける方向にあり、表層崩壊を生じる弱層が面的及び深さ方向にどの程度存在するか、また樹木の根系が地表からどの程度の深度まで進入しているかが重要な調査項目となってくる。

また同種工事においては、人家が近接する現場という特殊事情のため、施工途中の事故により尊い人命が失われるケースがかなり出ている。このような事故を未然に防止するためにも、工法決定の根拠並びに安全施工への配慮として、事前の実効的な表土層調査を充分に実施する必要がある。

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。さらに、ボーリング調査や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。

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。また、設計根拠のあるデータを蓄積・整理することは、斜面保全技術のさらなる発展・進歩並びに技術伝承にも貢献できるものとする。

表 1-1 斜面調査の流れとSH型貫入試験の位置づけ

プロジェクトの動き	斜面調査の流れ	調査の内容	備考
<p>概略設計</p>	<p>予備調査</p> <p>資料調査</p> <p>調査地の選定</p> <p>現地踏査による危険箇所調査</p> <p>対策区域の選定</p>	<p>既存資料の収集</p> <p>空中写真の判読</p> <p>現地踏査</p> <p>予備調査結果の整理</p> <p>問題箇所の抽出と評価</p> <p>★ 危険箇所のボーリング調査等</p> <p>対策の概略検討</p> <p>現地踏査</p> <p>調査計画立案</p>	<p>SH型貫入試験機は、非常にコンパクトな装置の構成となっているので、仮設備が整わない予備調査の段階でも比較的容易に導入できる。</p>
<p>予備設計</p>	<p>本調査</p> <p>対策工法の種類、計画および概略のための調査</p>	<p>現地踏査</p> <p>★ 地質・土質調査</p> <p>計測調査</p> <p>環境・景観調査</p> <p>調査結果の整理・解析</p> <p>崩壊・地すべり機構の判断</p> <p>調査結果の総合判断</p>	<p>SH型貫入試験をボーリング調査と併用することにより、容易かつ安価に対象斜面の面的な地表地質状況を把握可能となる。</p>
<p>詳細設計</p>	<p>設計・施工法の検討のための調査</p>	<p>★ 対策工設計のための補足調査</p> <p>調査結果に基づいた対策工の検討</p>	
<p>施工計画</p>			
<p>施工・施工管理</p>	<p>施工管理のための調査</p> <p>の調査・検査</p>	<p>施工管理のための計測</p> <p>★ 施工時に発生した崩壊対策のための調査・対策</p>	
<p>検査</p>			
<p>維持・管理</p>	<p>維持管理のための調査</p>	<p>管理のための計測</p> <p>★ 管理中に発生した崩壊対策のための調査</p>	
<p>修繕・復旧</p>			

2 SH 型貫入試験機（機）の特徴

2.1 SH 型貫入試験機の改良点

SH 型貫入試験機は、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。

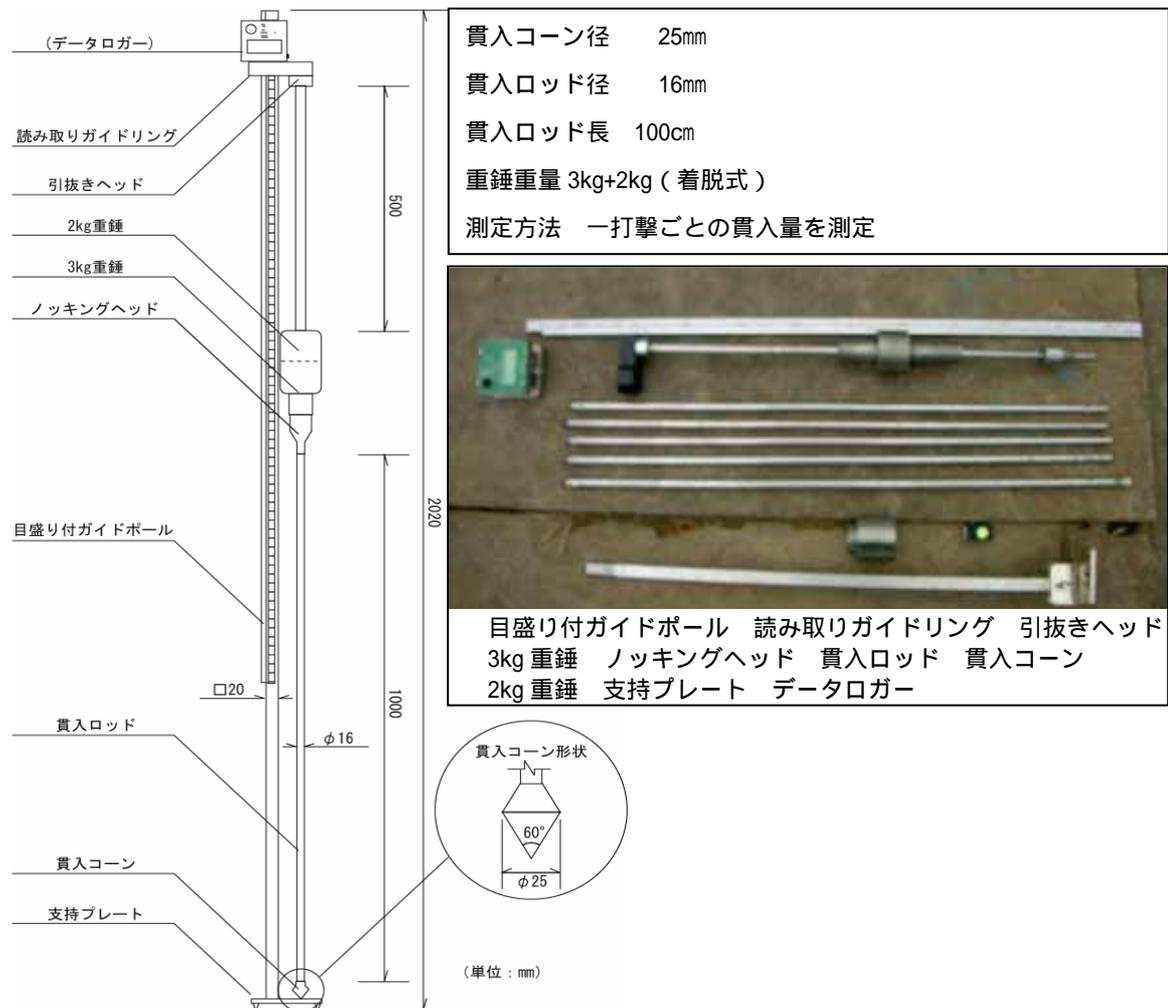


図 2-1 SH 型貫入試験機の概要

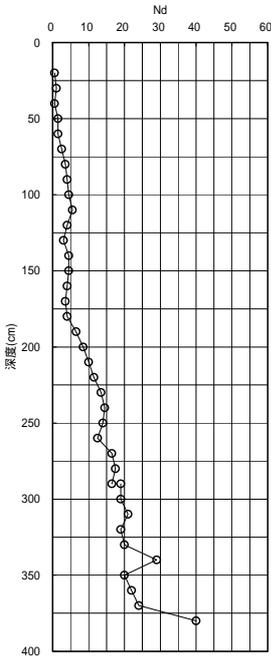
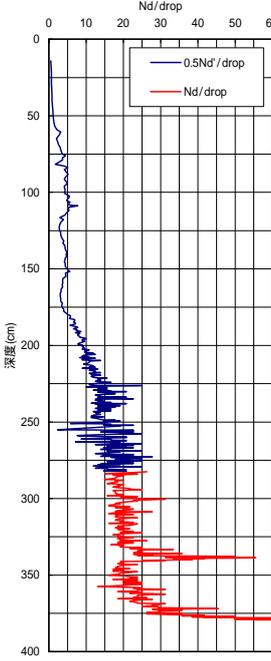
SH 型貫入試験機には以下の特徴がある。

- 1) 重錘を 3kg に軽量化したため、表層の軟らかい土層状況を高分解能で把握できる（土研式の重錘は 5kg と重く、軟らかい土層に対しては貫入力が過大）。
- 2) 一打撃毎に貫入深を測定・図化するため、土層状況を詳細に把握することが可能である（土研式では 10cm 貫入に要する打撃回数を記録・図化）。
- 3) 上記の改良により、表層崩壊すべり面を精度良く推定できる。また根系発達深度も推定が可能である。
- 4) 3kg 重錘は軽量なため片手で容易に作業可能で労力も軽減され、足場の悪い急傾斜地での

作業性・安全性が向上する（土研式は重錘が 5kg と重く両手作業となり、しっかりした足場と体力が必要）。

- 5) 重錘の形状変更により、ノッキングヘッドと重錘との間の指はさみ事故が低減される。
- 6) 一打撃毎の貫入量を自動読取・記録可能なデータロガーを用いることによって、迅速で読み取り誤差の少ない高精度な試験が可能となる。

表 2-1 土研式簡易貫入試験機と SH 型貫入試験機との比較

	土研式簡易貫入試験機	SH 型貫入試験機	SH 型のメリット
重錘	5kg	3kg + 2kg 着脱式 (新形状)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3kg 重錘では軟らかい土層状況を高分解能で把握可能 ・ 3kg 重錘使用時は片手作業が可能で労力が大幅に軽減 新形状で作業性・安全性の向上 ・ 2kg 重錘を付加して 5kg とすることで従来型と同じ貫入力
測定方法	10cm 貫入毎の打撃回数 (Nd 値) を測定	一打撃毎の貫入量を測定 (データロガー)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 詳細な解析が可能 データロガーを使用した場合、値の読み飛ばしや読み誤りがなく精度が 0.1mm に向上 また測定時間を短縮
ロッド長	50cm	100cm (50cm も有)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロッドの連結回数が少ない分測定時間を短縮 ネジのトラブル低減
解析能力	 <p>10cm 毎で図化</p>	 <p>一打撃毎で図化</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一打撃毎のデータ表示により、従来型では平均化されていた礫や根系の影響を除外し、土そのものの硬さを把握可能。また局所的な薄い軟弱層を把握可能 ・ 3kg 重錘のデータは軟らかい土層で高分解能であるため、根系発達深度や表層崩壊すべり面の推定に有効 (5kg では微妙な硬さの違いを把握できない) ・ 一打撃毎に Nd/drop 値を求めるため、図上のプロットが格段に多いため、高精細なデータが得られる。

2.2 斜面調査におけるサウンディング（他のサウンディング類との比較）

これまでの斜面調査は現地踏査とボーリング調査が主体となり、サウンディングが実施されることは少ない。また、簡易貫入試験は新潟県や愛知県、山口県などでは活用されたが、その他の都道府県では標準歩掛りがないために、スウェーデン式サウンディングとして発注されている例もみられる。

これらのサウンディングの特徴を表 2-2 にまとめた。スウェーデン式サウンディングは平野部における軟弱地盤に適用されるものであって、斜面に用いるものではない。

表 2-2 サウンディングの比較

	SH 型貫入試験	土研式簡易貫入試験 (簡易動的コーン貫入試験)	スウェーデン式サウンディング
技術概要	斜面における表層崩壊の恐れのある土層厚の把握手法として特化した調査。 3kg の重錘を高さ 50cm から落下させ一打撃毎の貫入量を記録し、そのデータより一打撃毎の貫入抵抗値 $Nd/drop$ を求め、表層の軟らかい土層状況を高精度で詳細に把握する。	風化土層と基岩との境界など、地盤表層部を対象とする調査。 5kg の重錘を高さ 50cm から落下させ、コーンが 10cm 貫入するのに要した打撃回数 Nd 値を記録する。	深さ 10m 程度以浅の軟弱層を対象に概略・補足調査に用いられる。 100kg 以下の荷重で貫入する場合の荷重 Wsw と、100kg で沈下しない場合ハンドルを半回転させて貫入したときの回転数から Nsw を求める。
測定状況			
測定精度	軽量の 3kg 重錘を用いた一打撃毎の測定により、土層の硬さの変化を連続的に詳細に把握可能。	5kg と重錘が重く、10cm 毎のデータであるため、表層土層の微妙な硬さの変化の把握には精度が不十分。	軟弱な層における概略・補足調査に用いられるが、測定者により差異が生じやすい。
表層崩壊対策での有効性	一打撃毎グラフによるすべり面の判断基準あり。 表層崩壊すべり面を推定可能。	すべり面の判断基準なし。 岩盤との境界深度を知ることができるが、表層崩壊すべり面深度の推定には難あり。	すべり面の判断基準なし。 表層崩壊すべり面深度の把握には不適。
作業性	急傾斜地でも作業可能。 3kg 重錘を主に用いるため、作業者の疲労度が軽減し、事故も発生しにくい。	急傾斜地でも作業可能。 重錘が 5kg と重いため、作業者の体力が必要であり、疲労しやすく指はさみ事故が多い。	急傾斜地では作業足場必要。 重錘が合計 100kg あり、試験作業や移動時などに十分な注意を要する。

3 適用条件

SH型貫入試験の適用条件を、図 3-1 に示す。

図 3-1 適用条件

項目	内容	備考
深度	3m以浅が適当(最大5mまで可能)	ただし、Nd/drop > 30 までの測定
地盤・岩盤	地盤表層部を対象とする	玉石・礫・岩盤 (Nd/drop > 30) 等の地盤では適用できない
傾斜	0° ~ 40° 程度	50° 以上では適用できない

4 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土層状況を把握する。

4.1 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。

4.2 試験位置の設定

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、試験位置の間隔は 5～10m 程度とすることが望ましい。対象斜面でボーリング調査が行われる場合は、ボーリング結果との対比のためにその近傍にも試験位置を設定する。

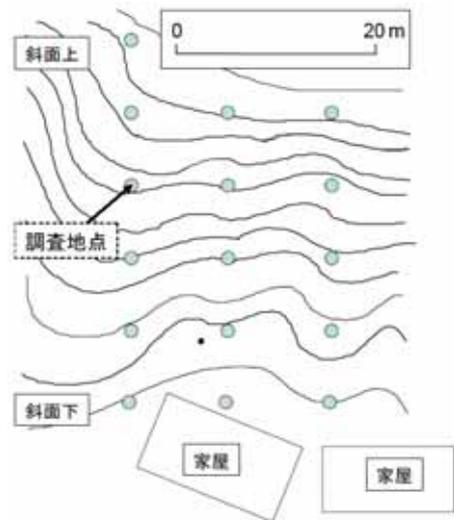


図 4-1 試験位置の設定例

4.3 試験実施

設定した試験地点において、以下の手順で SH 型貫入試験を実施する。

(1) 地盤傾斜角の測定

試験実施地点の地面に 2.0m の測量用ポールを斜面の傾斜方向に平行に置き、ポールに沿わせるようにしてスラントルール（もしくはクリノメーター等）を置き、その位置での傾斜を測定する。

(2) SH 型貫入試験機の設置

貫入ロッドの先端に貫入コーンを取り付けたあと、上部にノッキングヘッド、ガイドロッド、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。貫入量の読み取りにデータロガーを使用する場合には、ガイドリングの上にデータロガーを取り付ける。



図 4-2 SH 型貫入試験機の設置(左:設置状況、中:データロガー取付状況、右:鉛直確認)

(3) 試験機の鉛直保持

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。試験開始前に、試験機が鉛直に設置されていることを水準器等を用いて確認する。試験中も、ガイドリングを側方から保持し、ガイドロッドが前後左右にずれるのを修正しながらガイドポールの頭部が揺動しないように支持し、試験機が傾いていないかを常時確認しながら貫入作業を行う。

鉛直保持を怠ると、データの精度に影響を及ぼすだけでなく、ロッドの引抜きが困難となり、ロッドや貫入コーンが破損したり、回収できなくなる場合があるので、注意が必要である。

(4) 貫入量の読み取り

試験開始時に自重沈下があった場合には、ガイドポールの目盛から貫入深さを記録する。ハンマーを $500 \pm 10\text{mm}$ の高さから自由落下させ、1 打撃ごとの貫入量をガイドポールの目盛から読み取り記録する。1 打撃ごとの貫入量を、ガイドリングを介しガイドポールの目盛から mm 単位まで読み取りを行う。

データロガーを使用した場合には、自動的に一打撃ごとの貫入量を 0.1mm 単位まで記録する。

表 4-1 貫入量記録用野帳の例
SH型貫入試験 データ記録用野帳

調査件名 _____ 試験年月日 _____ 年 _____ 月 _____ 日
 地点番号 _____ 試験者 _____
 地点標高 _____ m 傾斜角 _____ ° 測定深度 _____ m

貫入ロッド 本目

貫入ロッド 本目

打撃回数	目盛 (cm)								
接地	60		121		182		243		
開始	61		122		183		244		
1	62		123		184		245		
2	63		124		185		246		
3	64		125		186		247		
4	65		126		187		248		
5	66		127		188		249		
6	67		128		189		250		
7	68		129		190		251		
8	69		130		191		252		
9	70		131		192		253		
10	71		132		193		254		
11	72		133		194		255		
12	73		134		195		256		
13	74		135		196		257		
14	75		136		197		258		
15	76		137		198		259		
16	77		138		199		260		
17	78		139		200		261		
18	79		140		201		262		
19	80		141		202		263		
20	81		142		203		264		
21	82		143		204		265		
22	83		144		205		266		
23	84		145		206		267		
24	85		146		207		268		
25	86		147		208		269		
26	87		148		209		270		
27	88		149		210		271		
28	89		150		211		272		
29	90		151		212		273		
30	91		152		213		274		
31	92		153		214		275		
32	93		154		215		276		
33	94		155		216		277		
34	95		156		217		278		
35	96		157		218		279		
36	97		158		219		280		
37	98		159		220		281		
38	99		160		221		282		
39	100		161		222		283		
40	101		162		223		284		
41	102		163		224		285		
42	103		164		225		286		
43	104		165		226		287		
44	105		166		227		288		
45	106		167		228		289		
46	107		168		229		290		
47	108		169		230		291		
48	109		170		231		292		
49	110		171		232		293		
50	111		172		233		294		
51	112		173		234		295		
52	113		174		235		296		
53	114		175		236		297		
54	115		176		237		298		
55	116		177		238		299		
56	117		178		239		300		
57	118		179		240		301		
58	119		180		241		302		
59	120		181		242		303		

打撃回数	目盛 (cm)								
-	-	60		121		182		243	
開始		61		122		183		244	
1		62		123		184		245	
2		63		124		185		246	
3		64		125		186		247	
4		65		126		187		248	
5		66		127		188		249	
6		67		128		189		250	
7		68		129		190		251	
8		69		130		191		252	
9		70		131		192		253	
10		71		132		193		254	
11		72		133		194		255	
12		73		134		195		256	
13		74		135		196		257	
14		75		136		197		258	
15		76		137		198		259	
16		77		138		199		260	
17		78		139		200		261	
18		79		140		201		262	
19		80		141		202		263	
20		81		142		203		264	
21		82		143		204		265	
22		83		144		205		266	
23		84		145		206		267	
24		85		146		207		268	
25		86		147		208		269	
26		87		148		209		270	
27		88		149		210		271	
28		89		150		211		272	
29		90		151		212		273	
30		91		152		213		274	
31		92		153		214		275	
32		93		154		215		276	
33		94		155		216		277	
34		95		156		217		278	
35		96		157		218		279	
36		97		158		219		280	
37		98		159		220		281	
38		99		160		221		282	
39		100		161		222		283	
40		101		162		223		284	
41		102		163		224		285	
42		103		164		225		286	
43		104		165		226		287	
44		105		166		227		288	
45		106		167		228		289	
46		107		168		229		290	
47		108		169		230		291	
48		109		170		231		292	
49		110		171		232		293	
50		111		172		233		294	
51		112		173		234		295	
52		113		174		235		296	
53		114		175		236		297	
54		115		176		237		298	
55		116		177		238		299	
56		117		178		239		300	
57		118		179		240		301	
58		119		180		241		302	
59		120		181		242		303	

貫入ロッド1本目 接地: コーンを地表に接地させた際の目盛の読みを記入 開始: 落錘の自重沈下時における目盛の読みを記入
 ('開始'の読み値から「設置」を引いた値が自重沈下量)
 貫入ロッド2本目以降 接地: 不要なため、空欄とする 開始: ロッド接続後の目盛の読みを記入
重錘を3kgから5kgに変えた箇所が分かるよう、印等をつける事

(5) 3kg ハンマーによる貫入

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 3~4mm の状態 ($N_d/\text{drop} = 30$ ($N_d/\text{drop} = 15$) 相当を 20 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。



図 4-3 重錘(左:3kg、中:5kg、右:2kg(着脱式))

(6) 5kg ハンマーによる貫入

5kg ハンマー使用時は、強風化層と弱風化層の境界付近となる土層深を確認するため、1 打撃ごとの貫入量が 3~4mm の状態 ($N_d/\text{drop} = 30$ 相当) を 20 回程度確認または 2mm 以下の状態を 10 回確認して、打ち止め(測定終了)とする。

(7) 礫当たりの際の再試験

土層中の未風化の礫や転石・玉石に試験機先端の貫入コーンが当たると、それ以上の貫入が不可能となりそれ以深の土層状況が把握不能となる。その場合は一旦試験を終了し、その近傍に試験位置をずらして再試験を行う。

(8) 試験深度

貫入深さは 5m を限度とする。一般には、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。

(9) 状況写真撮影

状況写真は、地点ごとに全景・残尺・検尺について撮影を行う。なお、残尺写真には、残尺(m)と地盤傾斜角(°)を黒板に記入し、一緒に撮影する。

(10) ソイルコアサンプラーによる試料採取

必要に応じて、SH 型貫入試験機の貫入コーンを 20mm のソイルコアサンプラー(図 4-4 左)に付け替え、SH 型貫入試験位置のすぐ横で 3kg ハンマーを用いて土層のサンプルを採取する。ノッキングヘッドにあらかじめ穿孔されている穴へ棒を差し込み、回転させることで、地山とサンプルとの縁切りを行う(図 4-4 中)。サンプル採取状況を標尺と並べる形で写真撮影し(図 4-4 右)たあと、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。



図 4-4 ソイルコアサンプラー(左:サンプラー、中:サンプリング状況、右:採取コア)

(11) ロッドの引抜き

ロッドの引き抜きを行う前に、あらかじめデータロガー、ガイドポール、支持プレート、2kg 重錘を取り外しておく(2kg 重錘は、両手で 2kg および 3kg 重錘を別々に持ち、引抜きヘッドにぶつけて重錘を分離させることで取り外すことができる)。3kg 重錘を引抜きヘッドに強くぶつけるように上方へ動かし、ロッドの引き抜きを行う。



図 4-5 ロッドの引き抜き

4.4 地形測量

あらかじめ調査地点および測線設定がなされていない場合には、簡易水準測量、地点測量を行う。

4.5 Nd/drop 図作成

1 打撃ごとの貫入量から貫入抵抗 Nd/drop 値を求め、深度との関係を整理する。

(1) 自重沈下量の記録

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。

(2) 3kg ハンマー貫入量による貫入抵抗 Nd'/drop 値の算出

この試験では、まず 3kg のハンマーにより表層の軟らかい土層を測定し、土層が硬くなった後、2kg のハンマーを付加することでさらに硬い土層まで測定する。測定結果の表示においては、3kg ハンマーによる貫入量から求まる値を「Nd'/drop 値」とし、5kg ハンマーによる値は「Nd/drop」値とする。

Nd'/drop 値とは、質量 3kg のハンマーを 500 ± 10mm 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、1 打撃ごとのコーン貫入量から、次式を用いて 1 打撃毎に Nd'/drop 値を求める。

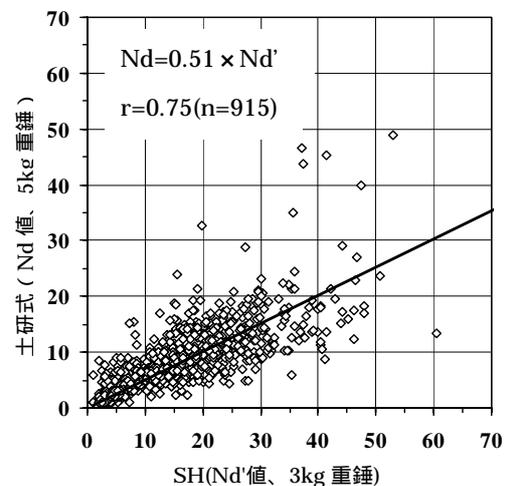


図 4-6 Nd と Nd' との関係⁵⁾

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

(3) 5kgハンマー貫入量による貫入抵抗 Nd/drop 値の算出

Nd/drop 値とは、質量 5kg のハンマーを 500 ± 10mm 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 Nd/drop 値を求める。

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

(4) Nd/drop 図作成

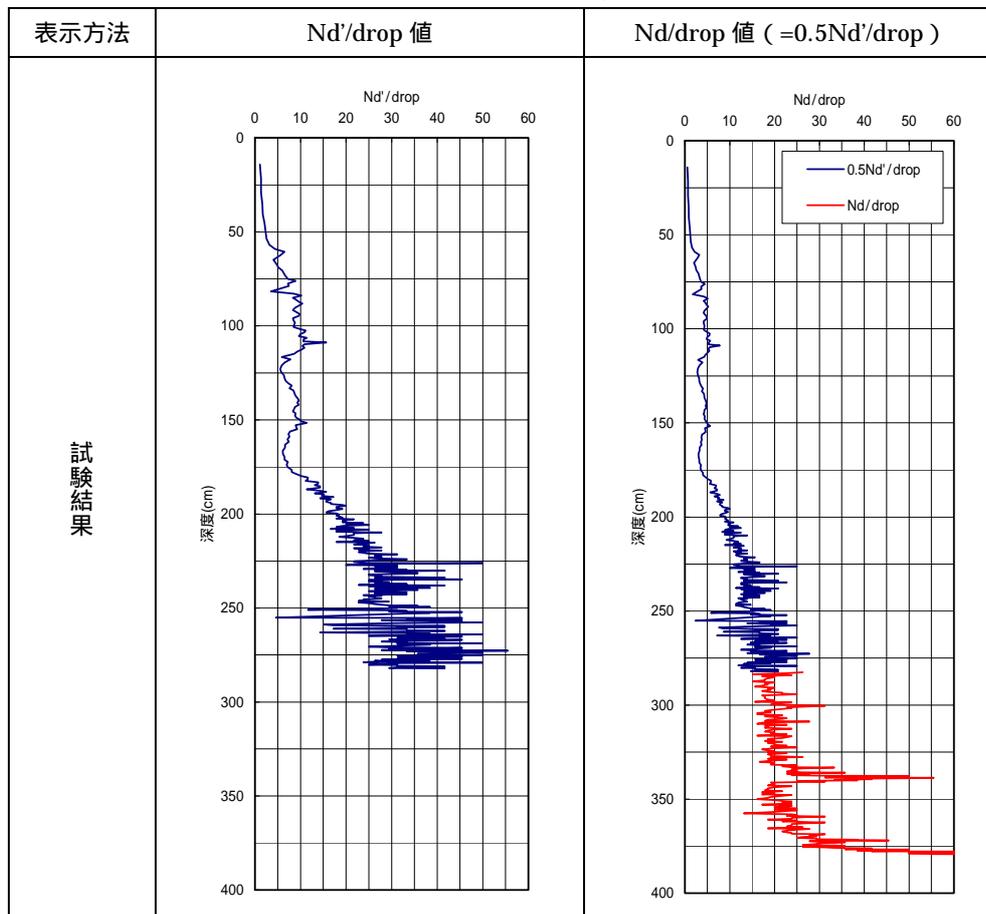
試験データを Nd/drop 図としてとりまとめる。ここで、Nd と Nd' との関係は次式が示されている(図 4-6)。

$$Nd = 0.5Nd'$$

したがって、結果の整理においては 3kg ハンマー打撃時のデータ Nd'/drop 値を 0.5Nd'/drop(=Nd/drop)に変換した上で、3kg+2kg ハンマー打撃時のデータ Nd/drop 値と同じグラフ上に線種を変えて Nd/drop 値で表示するものとする。

SH 型貫入試験の結果(Nd/drop 図)の例を表 4-2 に示す。

表 4-2 結果(Nd/drop 図)



左側の「Nd/drop 値」による表示では、3kg ハンマーによる一打撃ごとの測定結果を表している。このデータは、簡易貫入試験よりも軽いハンマー（3kg）を用いているため表層の軟らかい土層での分解能がよく、一打撃ごとに土層状況を見ることができることから、土層の硬さや礫の混入状況などを詳細に把握するのに適している。

右側の「Nd/drop 値」による表示では、5kg のハンマーによる Nd/drop 値を実線で、また 3kg による Nd/drop 値に 0.5 を乗じて換算した 0.5Nd/drop (= Nd/drop) を破線で表示した。このようにして、使用したハンマーの違いによらず、表層から深部まで一貫した基準 (Nd/drop 値) で測定値を解析することが可能である。

(5) 柱状図作成 (ソイルコアサンプリングを実施した場合)

ソイルコアサンプリングを行なった場合には、観察結果から土質区分を行い柱状図としてとりまとめ併記する。

4.6 ボーリング結果との対比

ボーリング箇所の近傍で SH 型貫入試験を実施した場合は両者の結果対比を行い、ボーリングによる土層状況及び N 値と Nd/drop 値との対応を把握する（図 4-7 参照）。これにより SH 型貫入試験結果による土層状況推定がより詳細なものとなる。

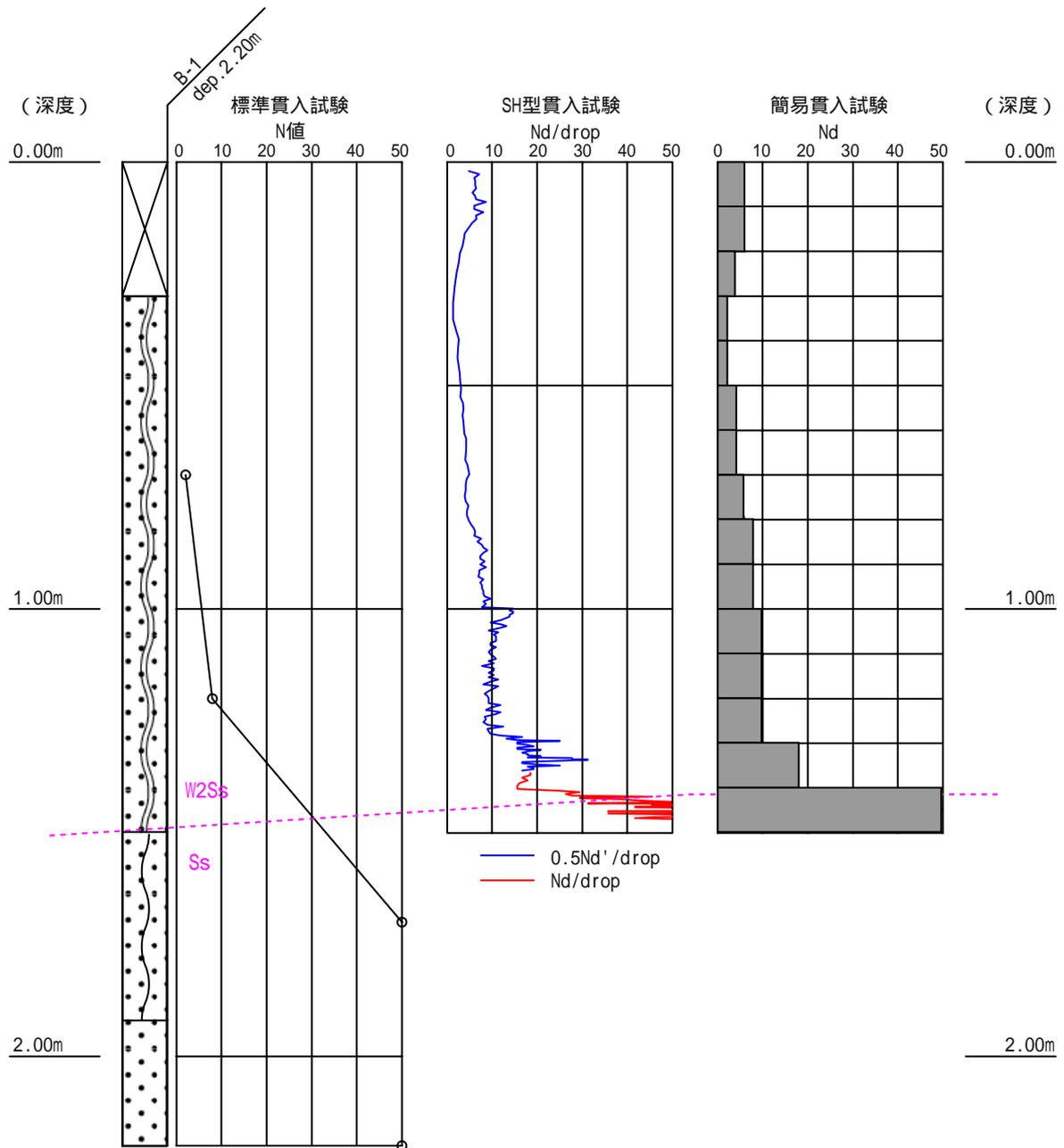


図 4-7 ボーリング柱状図との対比の例

(1) N 値との対比

Nd/drop 値とは、簡易貫入試験による Nd 値を 1 打撃ごとに換算した値であることから、Nd 値と同じ意味をもつ値として取り扱うことができる。

Nd 値と標準貫入試験から得られる N 値との関係については、大久保ら¹⁾が秋田県の第三紀頁岩の斜面調査から深さ 30cm に対する比較を行い、次式の関係を示した。

$$Nd = (1 \sim 3)N$$

小川ら²⁾は、急傾斜地で実施した結果から、地層の種類とその硬軟に関わらず、式がほぼ適用できることを示した。同様に新任³⁾は、凝灰岩と凝灰角礫岩の風化した崩積土の調査から、 $Nd < 20$ においてNdは $(1 \sim 2)N$ の範囲にばらつくことを示し、平均的な関係として次式を提案した。

$$Nd = 1.5N$$

また、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⁶⁾¹¹⁾。

$$Nd = N$$

4.7 土層厚分布及び土層状況の推定

SH型貫入試験、地形測量、ボーリングまたはソイルコアとの対比結果を総合し、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、斜面全体の土層状況を検討する。

5 調査事例

5.1 急傾斜地における対策工検討

急傾斜地崩壊対策事業の地質調査において、ボーリング調査の補完としてSH型貫入試験を実施し対象斜面全体の土層状況を把握して対策工の検討を行った事例を示す。

(1) 調査概要

調査地は厚木市山際地内で、水平距離約90m、高さ35m、斜面平均角度30°（斜面下部角度45°）で、斜面下に人家がある。調査地の地質は相模川と中津川による中～大礫を主とする砂礫層（緑色凝灰岩・頁岩・砂岩・チャート）を基盤とし、その上位をローム層が整合に覆っている。

ここでは既存のボーリング結果が2箇所分得られており、このデータの補完と斜面状況の面的な把握のため、SH型貫入試験を斜面4断面（各断面約10～15mピッチで3～4箇所ずつ）と既存ボーリング箇所直近（1m以内）の計16箇所で行った（図5-1）。ボーリング調査結果とSH型貫入試験によるNd/drop値との関係を合わせて風化土層厚の検討を行った。

(2) 調査結果

SH型貫入試験結果とボーリング調査結果の対比を図5-2に示した（ボーリングNo.2地点：斜面下部）。

対比結果及び過去の簡易貫入試験による調査事例より、Nd/drop=0～5が表土層、Nd/drop=5～10がローム層または崩積土層、Nd/drop=10～20が深部ローム層または砂礫層風化部と考えられた。

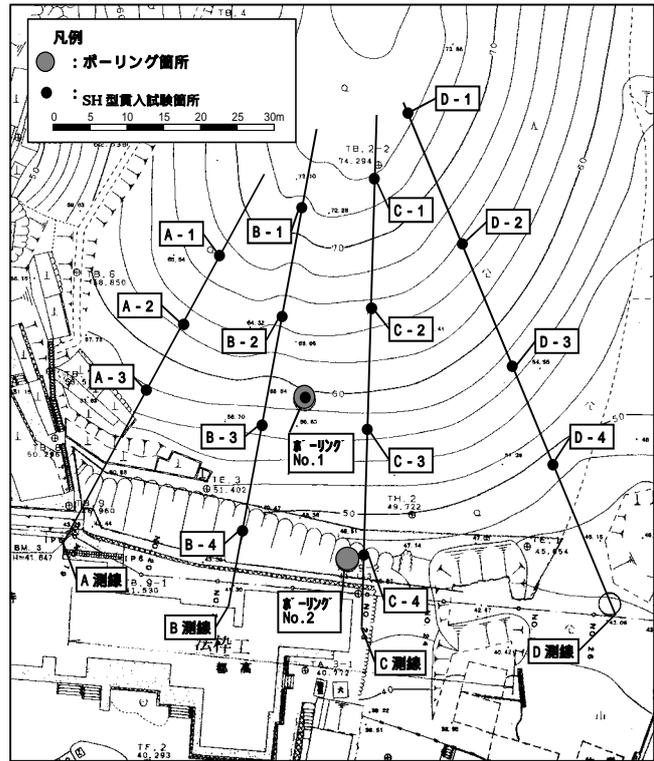


図 5-1 調査地及び貫入試験位置図

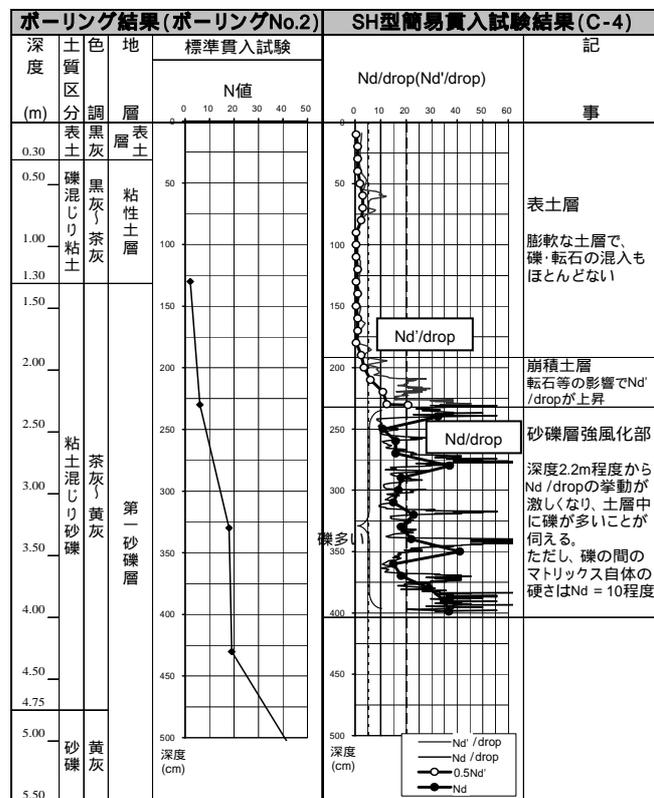


図 5-2 ボーリング結果との対比

また、軟らかい土層ではほぼ $Nd/drop=N$ に近い関係が得られた。

結果を基に、推定土層厚断面図を作成した(図 5-3)。 $Nd/drop$ 値 < 10 相当の土層厚を見ると、斜面上部～中部でおよそ 2.5m、中部～下部で 1.9～3.6m程度となり、緩い土層が斜面全体を厚く覆っている($Nd/drop$ 値と表層崩壊及びその抑止に寄与すると考えられる樹木根系との調査事例を挙げると、崩壊可能性のある表層土の硬さを $Nd/drop=10$ とした事例を始め、 $Nd/drop=10$ 前後で崩壊の可能性が高いとする報告が多い。またコナラの根系は $Nd'/drop=20$ ($=Nd/drop$ 値 10) 以上の土層にはほとんど侵入しないことが報告されている)。

斜面上～中部は傾斜が緩いのに対し、斜面下部部の急傾斜部では、斜面傾斜の大きさと土層厚の大きさを持っているため、何らかの対策を講じる必要が考えられた。

(3) 対策工法の検討

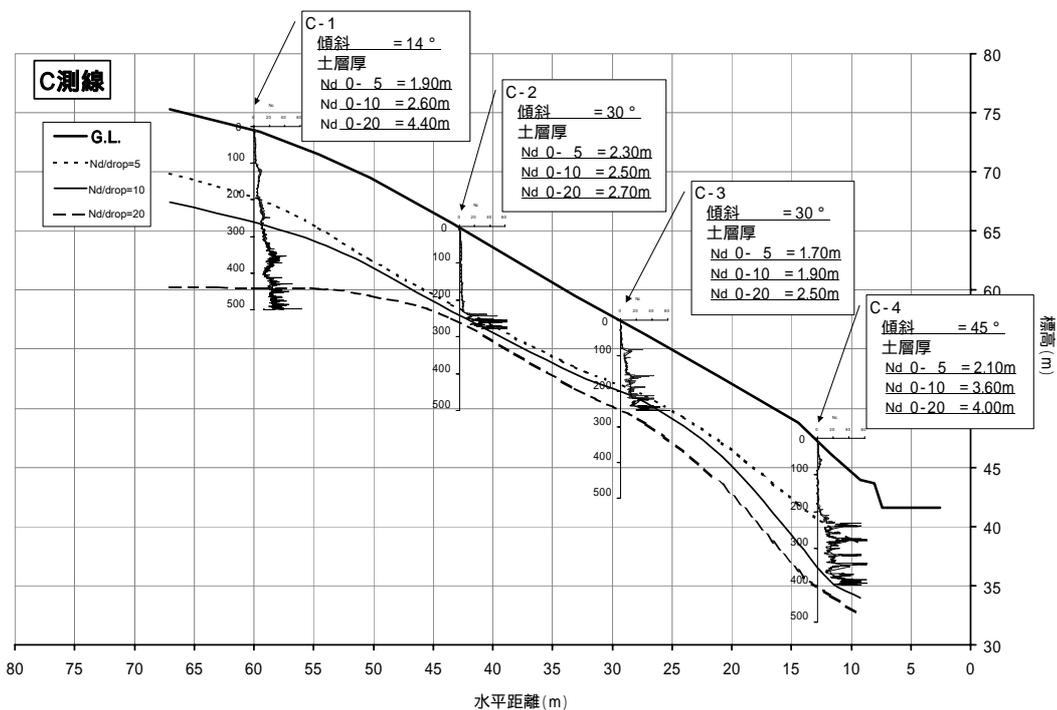


図 5-3 推定土層厚断面図(C 測線)

土層厚のスケールは標高の 3 倍

調査結果から、斜面上部～中部は傾斜角度 30° 程度以下でほぼ安定しているため、現況樹林を残したままとし、斜面下部部(傾斜角度 45°)の法長 10m を現場打ち法枠工で対策することとした。

5.2 Nd/drop 図からの表層崩壊すべり面の推定

SH 型貫入試験の特長である一打撃毎の Nd/drop 値の挙動により土層区分を行い、表層崩壊を予測するための手法が提案されているので下記に示す。

(1) 調査内容

内田ら(2004)¹²⁾は崩壊の発生した複数の斜面において崩壊地内外で SH 型貫入試験を面的に行った。図 5-4 にはその内の 1 箇所である平成 15 年 7 月 4 日未明に豪雨による崩壊の発生した静岡市小坂赤坂地区の斜面(平均勾配 30°、高さ 70~80m)を示した。この斜面において図示したように崩壊地の内外で面的に SH 型貫入試験を実施した。

(2) 調査結果

まず崩壊地周辺の崩壊していない箇所の試験結果(図 5-5)から表 5-1 のように土層を 4 層に区分できることを示した。次に崩壊地内の崩土の堆積していない箇所における試験結果(図 5-6)では、崩壊地内の地表面付近には崩壊地外の II 層に相当すると考えられる層が存在し、そこより深い部分には III 層、IV 層が見られた。

(3) 表層崩壊すべり面の推定

調査結果より崩壊地内外の土層を比較した結果、この斜面で生じたがけ崩れは、I 層と II 層の境界または II 層内をすべり面とするがけ崩れであると考えられた。

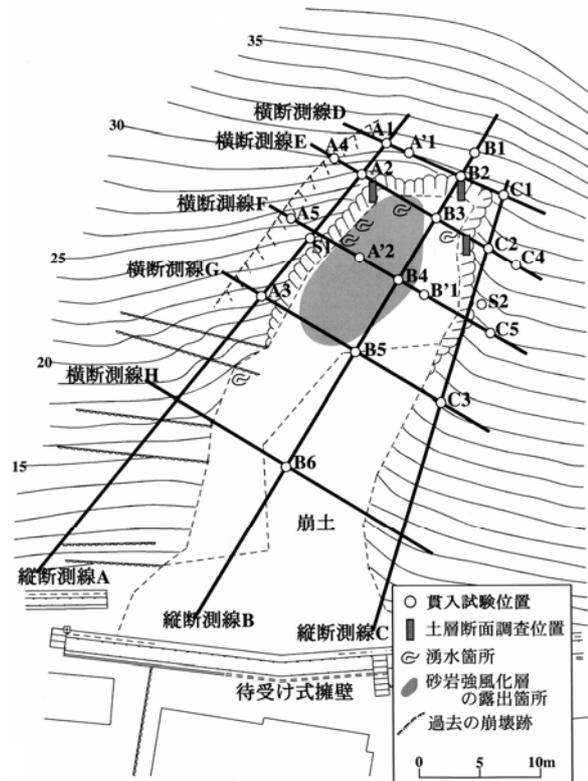


図 5-4 調査地及び貫入試験位置

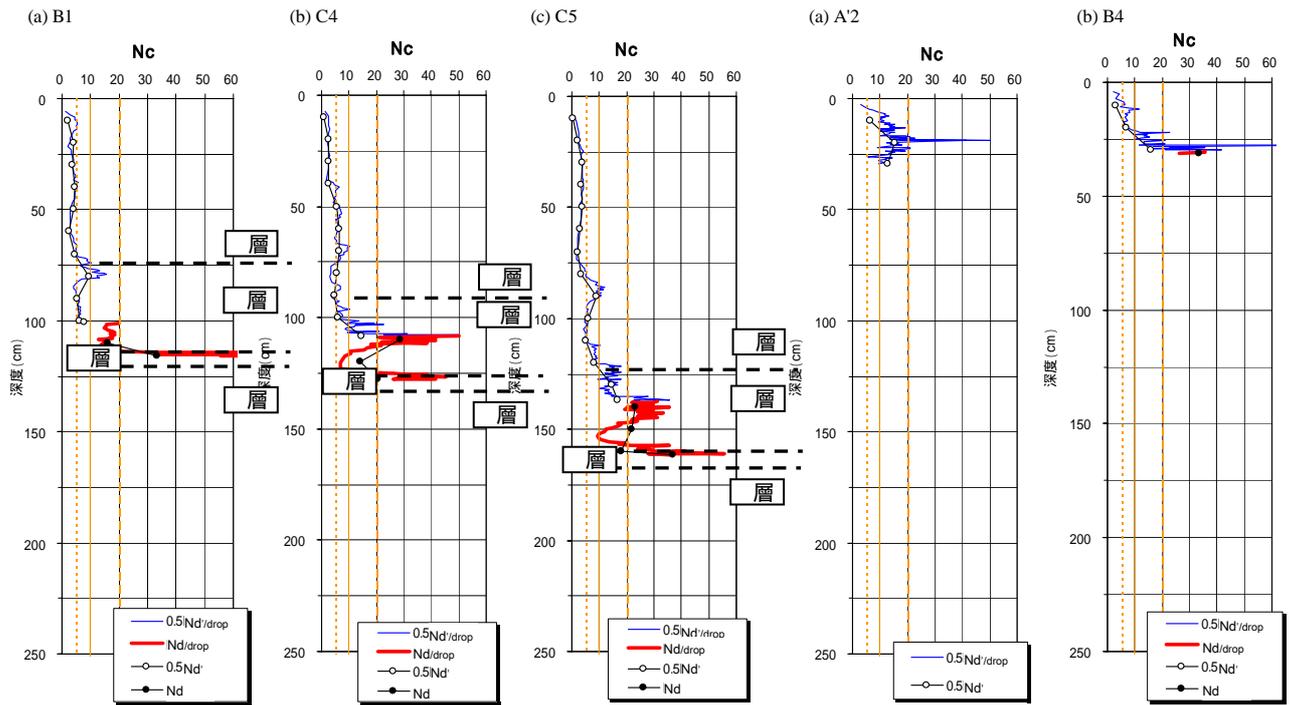


図 5-5 崩壊地内の貫入試験結果

図 5-6 崩壊地外の貫入試験結果

表 5-1 土層の分類例¹²⁾

名称	特 徴
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
層	層の下に存在し Nd/drop 値が 5 ~ 20 で変動する層
層	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
層	Nd/drop 値が 50 以上の SH 型貫入試験では計測できない層

5.3 樹木根系侵入深の推定

樹木根系の伸張は土が硬くなると発達規制され、限界を超えると侵入不能となる。従って、根系発達を規制する土の硬さを把握することにより樹木根系の分布状態を間接的に推定することができる。SH型貫入試験は、一打撃あたりの貫入深を直接読み取り土の硬さを把握することができるために垂直方向の詳細な土層状態の把握が可能であり、樹木根系の垂直分布、および侵入限界深度の推定ができる。

(1) 調査内容

瀬戸市のマサ土、厚木市のローム自然斜面に生育するコナラ自生木を対象に調査し、SH型貫入試験による樹木根系分布調査の精度を検証した。

根元から20～50cm離れた位置に貫入試験の測線を設け、20cm間隔で8～11箇所の貫入試験を行い、試験後に測線の位置で幅1.5～2mのトレンチを根が認められなくなる深さまで掘取り、トレンチの断面に20cmのメッシュを張り、出現したすべての根系について、太さと出現位置を測定した。

(2) 調査結果

Nd/dropと根系の分布を、出現本数比、出現断面積合計比から見ると、マサ土ではNd/drop=15までに92.7%、Nd/drop=20までに96.6%、ロームではNd/drop=15までに89.7%、Nd/drop=20までに98.1%が出現しどちらもNd/drop=15以上になると根の侵入はかなりの制限を受け、Nd/drop=20を越えるとほとんど侵入しないといえる(図5-7、図5-8)。

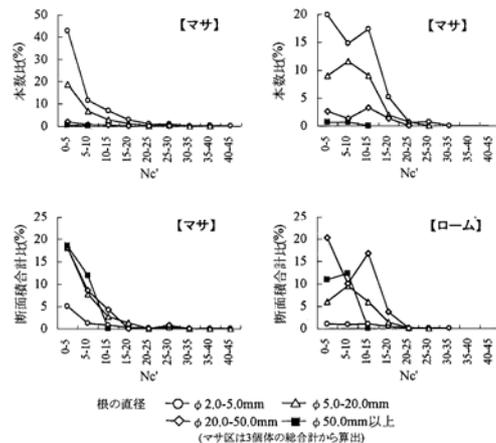


図 5-7 Nd /drop 値と根の本数比および断面積合計比

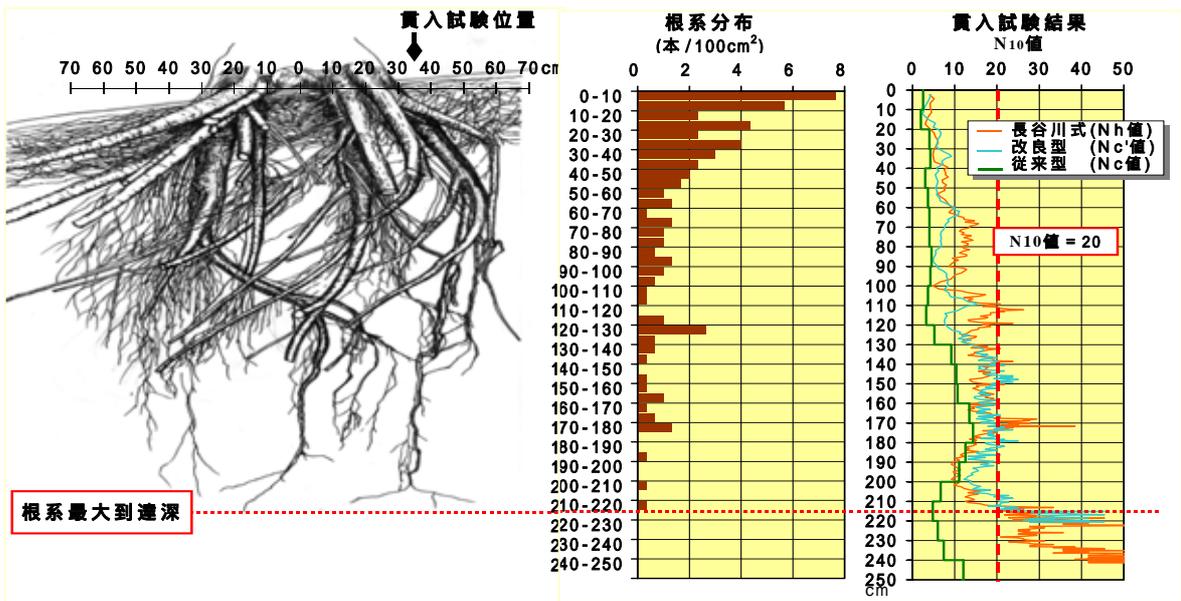


図 5-8 根系発達と貫入抵抗値との関係

(3) 根系侵入深の推定

造園緑地分野で土壌硬度調査に標準的に用いられる長谷川式土壌貫入計の貫入抵抗(Nh)とSH型貫入試験器 3kg 重錘の貫入抵抗(Nd'/drop)との関係はほぼ同値である(図 5-9)。従って、樹木根系侵入の可否は造園学会の判断基準を用いることができる(表 5-2)。

長谷川式土壌貫入計の貫入抵抗値 Nh は、軟らか度(S 値 cm/drop)として根系侵入可否の判断基準としているが、S 値 1.0 以下の土層が 10cm 以上、または S 値 0.5 以下の土層が 5cm 以上続いた場合を根系規制層としている。

今後、環境面に配慮した斜面防災対策を実施するに当たり、表層風化土層、及び既存木を残地させたままの斜面防災対策が必要となる。樹木の根系分布は、斜面土層の表層崩壊と密接に関係する因子であり、SH 型貫入試験による根系侵入深の推定が重要となる。

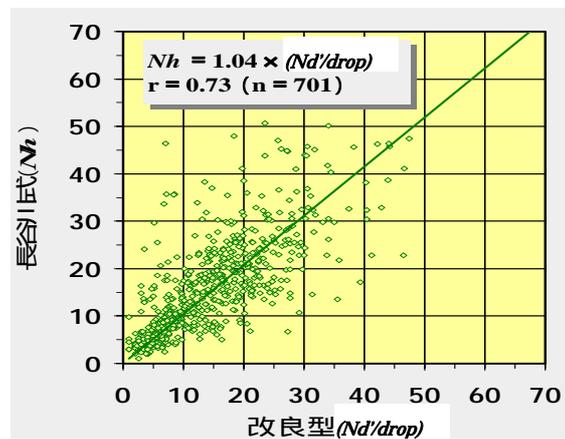


図 5-9 長谷川式とSH型の貫入抵抗の関係

表 5-2 SH 型貫入試験による根系侵入可否の判断基準(日本造園学会 改変)

Nd/drop ^{*3}	Nd'/drop ^{*2} (Nh)	やわらか度 ^{*1} S 値 (cm/drop)	対応する山 中式土壌硬 度(mm)	硬さの 表現	根系侵入の可否	植栽 ^{*4} 基盤 判定
1.3	2.5	4.0 より大	11 以下	膨軟過ぎ	根系の発達に障害なし (支持力低下、乾燥)	
3.4 ~ 1.4	6.7 ~ 2.7	1.5 ~ 4.0	11 ~ 20	軟らか	根系の発達に障害なし	
5 ~ 3.4	10 ~ 6.7	1.0 ~ 1.5	20 ~ 24	締まった	根系発達阻害樹種あり	
7.2 ~ 5	14.3 ~ 10	0.7 ~ 1.0	24 ~ 27	硬い	根系発達に障害あり	×
7.2 以下	14.3 以下	0.7 以下	27 以上	固結	多くの根が侵入困難	××

- *1) S 値(cm/drop) 重錘 2kg 1 打撃貫入深(cm/drop) 長谷川式土壌貫入計
 *2) Nd'/drop 重錘 3kg 100mm(10cm)貫入に要する打撃数(drop/10cm)
 *3) Nd/drop 重錘 3+2=5kg 0.5Nd'/drop
 *4) 植栽基盤としての判定

(4) 【参考】樹木根系と斜面安定

表層崩壊は深さ 1~2m で生じる場合が多いが、この深さは樹木根系が分布する範囲でもある。樹木の根系分布深は樹種・樹齢によって異なるが、土の硬さにより規制を受けずに生育する一般的な樹木であれば 1~1.5m 程度まで分布する。この深さは根系による土の強度補強効果が急激に減ずる部位でもある。

塚本らは、樹木根系による斜面の補強効果を、鉛直根は表土を貫いて力学的強度の大きい下層土に侵入していると考えたモデルを想定し無限長斜面安定式を適用して、鉛直根の根量と斜面安全率(Fs)の関係を図 5-10 のように示している。これによれば、直径 1cm 以上の根が 1m²あたり 1 本以上あれば斜面安全率が 1.0 以上になり、直径 2cm の根が 2 本存在すると Fs は 2 倍に増加することになる。このように根の垂直分布状態は表層崩壊と大きく関係しているものと考えられる。

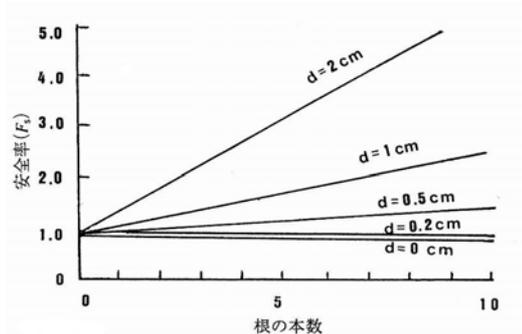


図 5-10 鉛直根の根量と斜面安全率の関係

SH 型貫入試験により樹木根系の分布、侵入深の推定は可能となった。これによるならば、Nd'/drop=10(Nd/drop=5)の領域には根系が存在するが、Nd'/drop=15(Nd/drop=7.5)に至る間に急速に根系は消失しており、塚本らによる樹木根系の存在による安全率の増加は Nd'/drop=10(Nd/drop=5)より軟質な土に対し適用可能なものと考えられる。しかしながら、現時点では分布する根系の密度、太さなどについて非破壊的に確認する手法は存在しないため、また、樹木根系の存在による補強効果は斜面の極表層の Nd'/drop=10(Nd/drop=5)より膨軟な土層に関する効果であると考えられるため、根系による斜面補強効果は安全サイドの因子として切り捨てて扱うことが一般的である。

今後、SH 型貫入試験と堀取り調査などにより樹木根系の分布に関する多くの資料が集積されるならば、樹木根系の補強効果を考慮した斜面表層安定の評価が可能となるものと考えられる。

6 参考文献

- 1) 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、Vol.13、No.2
- 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 回日本地すべり学会研究発表会講演集、p.210-213
- 3) 新任修(1986): 既存資料の重要性と面的調査、地質と調査、1986 年第 1 号、p.73-76
- 4) 川満一史(2002): 改良型簡易貫入試験機の開発、SABO vol.73
- 5) 吉松弘行・川満一史・瀬尾克美・長谷川秀三・村中重仁(2003): 斜面の表層構造調査用の簡易貫入試験機について、平成 15 年度砂防学会研究発表会講演集
- 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
- 7) 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講演集
- 8) 森永勝正(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 年度全国地すべりがけ崩れ対策協議会研究発表大会講演集
- 9) 内田太郎・小山内信智・曾我部匡敏・漆崎隆之・長谷川秀三・中野裕司(2004): 簡易貫入試験を用いた急傾斜面における崩壊深推定の試み、地盤工学会関西支部、地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2004
- 10) 小山内信智・内田太郎・曾我部匡敏・漆崎隆之・長谷川秀三(2005): 簡易貫入試験による急傾斜斜面における崩壊深推定手法の検討、平成 17 年度砂防学会研究発表会講演集。
- 11) 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。
- 12) 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 No.261。
- 13) 長谷川秀三(2006): 既存木を残置した法面保護のための根系分布深さの把握方法と法面保護工、緑化工技術-第 27 集-
- 14) 長谷川秀三(2006): 根系深さの推定方法、日本緑化工学会誌第 31 巻第 3 号
- 15) 本田尚正・奥村武信・多田泰之(2006): 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、p.21-29
- 16) 福永健司・石塚 望・富樫勇介・槇島朋子・漆崎隆之・長谷川秀三(2003)コナラの根系分布と土壤硬度の関係、日本緑化工学会誌、29、261-264
- 17) 塚本良則・窪田順平(1991)斜面プロセスにおける森林の役割、地形、12(3)、243-257
- 18) 社)日本造園学会緑化環境工学研究委員会(2000)緑化事業における植栽基盤整備マニュアル、ランドスケープ研究 63、224-241

7 データシート類

7.1 貫入量記録シート

SH型貫入試験 (貫入量記録シート)

調査件名 _____ 試験年月日 _____ 年 _____ 月 _____ 日

地点番号 _____ 試験者 _____

地点標高 _____ m 傾斜角 _____ ° 測定深度 _____ m

打撃回数	貫入深度 (cm)														
自沈	65	130	195	260	325	390	455	520	585						
1	66	131	196	261	326	391	456	521	586						
2	67	132	197	262	327	392	457	522	587						
3	68	133	198	263	328	393	458	523	588						
4	69	134	199	264	329	394	459	524	589						
5	70	135	200	265	330	395	460	525	590						
6	71	136	201	266	331	396	461	526	591						
7	72	137	202	267	332	397	462	527	592						
8	73	138	203	268	333	398	463	528	593						
9	74	139	204	269	334	399	464	529	594						
10	75	140	205	270	335	400	465	530	595						
11	76	141	206	271	336	401	466	531	596						
12	77	142	207	272	337	402	467	532	597						
13	78	143	208	273	338	403	468	533	598						
14	79	144	209	274	339	404	469	534	599						
15	80	145	210	275	340	405	470	535	600						
16	81	146	211	276	341	406	471	536	601						
17	82	147	212	277	342	407	472	537	602						
18	83	148	213	278	343	408	473	538	603						
19	84	149	214	279	344	409	474	539	604						
20	85	150	215	280	345	410	475	540	605						
21	86	151	216	281	346	411	476	541	606						
22	87	152	217	282	347	412	477	542	607						
23	88	153	218	283	348	413	478	543	608						
24	89	154	219	284	349	414	479	544	609						
25	90	155	220	285	350	415	480	545	610						
26	91	156	221	286	351	416	481	546	611						
27	92	157	222	287	352	417	482	547	612						
28	93	158	223	288	353	418	483	548	613						
29	94	159	224	289	354	419	484	549	614						
30	95	160	225	290	355	420	485	550	615						
31	96	161	226	291	356	421	486	551	616						
32	97	162	227	292	357	422	487	552	617						
33	98	163	228	293	358	423	488	553	618						
34	99	164	229	294	359	424	489	554	619						
35	100	165	230	295	360	425	490	555	620						
36	101	166	231	296	361	426	491	556	621						
37	102	167	232	297	362	427	492	557	622						
38	103	168	233	298	363	428	493	558	623						
39	104	169	234	299	364	429	494	559	624						
40	105	170	235	300	365	430	495	560	625						
41	106	171	236	301	366	431	496	561	626						
42	107	172	237	302	367	432	497	562	627						
43	108	173	238	303	368	433	498	563	628						
44	109	174	239	304	369	434	499	564	629						
45	110	175	240	305	370	435	500	565	630						
46	111	176	241	306	371	436	501	566	631						
47	112	177	242	307	372	437	502	567	632						
48	113	178	243	308	373	438	503	568	633						
49	114	179	244	309	374	439	504	569	634						
50	115	180	245	310	375	440	505	570	635						
51	116	181	246	311	376	441	506	571	636						
52	117	182	247	312	377	442	507	572	637						
53	118	183	248	313	378	443	508	573	638						
54	119	184	249	314	379	444	509	574	639						
55	120	185	250	315	380	445	510	575	640						
56	121	186	251	316	381	446	511	576	641						
57	122	187	252	317	382	447	512	577	642						
58	123	188	253	318	383	448	513	578	643						
59	124	189	254	319	384	449	514	579	644						
60	125	190	255	320	385	450	515	580	645						
61	126	191	256	321	386	451	516	581	646						
62	127	192	257	322	387	452	517	582	647						
63	128	193	258	323	388	453	518	583	648						
64	129	194	259	324	389	454	519	584	649						

自沈: 試験開始前の試験機の自重沈下量を記入
 重錘3kg 5kgの変更時点が分かるよう、5kgの初打撃のマスに網掛けとする (3kgのみ使用の場合は不要)

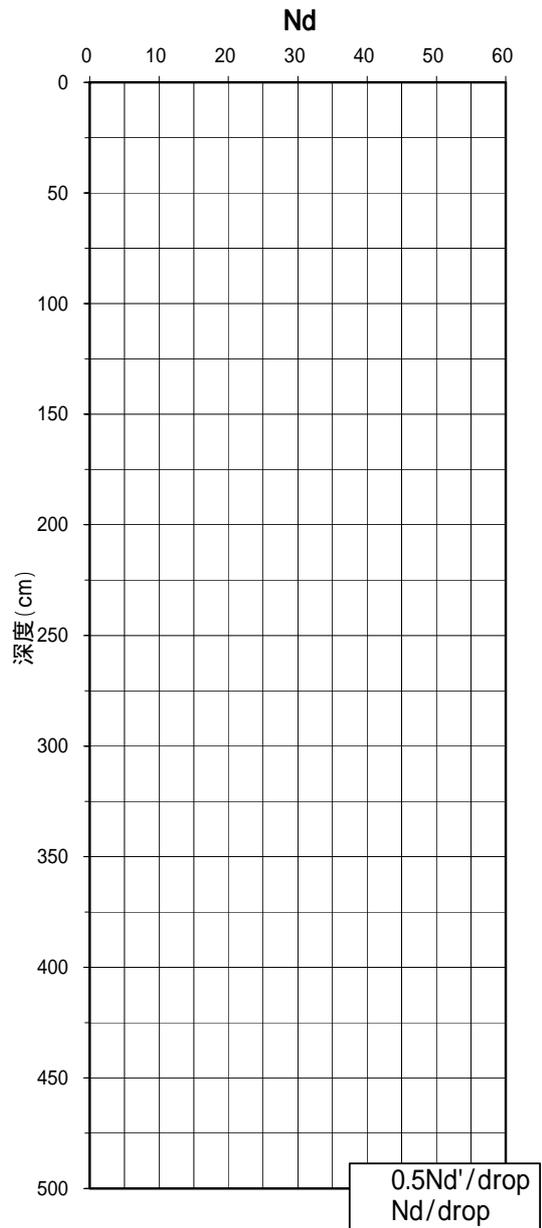
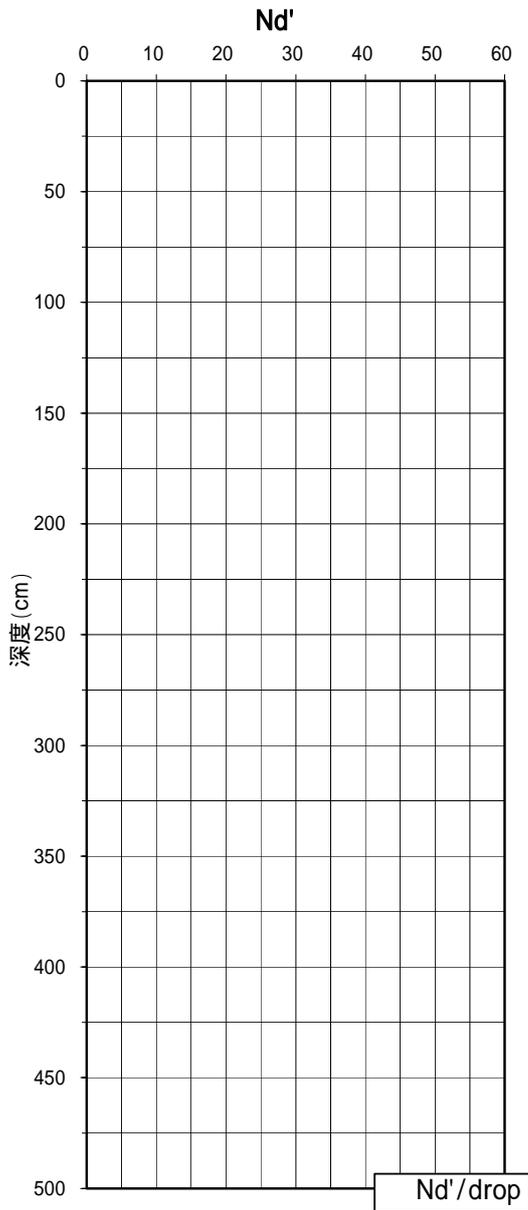
7.2 SH型貫入試験結果シート

SH型貫入試験 (Nd/drop図)

調査件名 _____ 試験年月日 _____ 年 月 日
 地点番号 _____ 試験者 _____
 地点標高 _____ m 傾斜角 _____ ° 測定深度 _____ m

Nd'値

Nd値 (=0.5Nd')



特記事項