

## 樹芸研究所青野研究林における 簡易貫入試験を用いた土壌層位の把握

浅野友子\*・渡辺良広\*・辻 和明\*・遠藤いず貴\*

Assessing soil stratification using a knocking pole test at the  
Aono Experimental Forest in the Arboricultural Research Institute

Yuko ASANO, Yoshihiro WATANABE, Kazuaki TSUJI, Izuki ENDO

### I は じ め に

本報告では、東京大学樹芸研究所青野研究林内の一つの斜面において、尾根から谷にかけての土壌の層位を面的に把握する目的で行った簡易貫入試験と土壌断面観察の結果を示す。得られた結果にもとづき、岩盤までの土壌の深さや、樹木の生育に適した土壌の厚さの空間分布を示す。

簡易貫入試験は、非破壊で土壌の硬さの深さ方向の垂直分布を知るのに便利な方法であり、多くの場面で土壌の記載に用いられてきた。例えば、簡易貫入試験は樹木の生育に適した土壌層の硬さや深さを評価したり（四手井ら，1982；福永ら，2003；益守，2001）、飽和地下水帯の発生深度を推定するにあたり有効である（Shanley et al., 2003）ことが明らかにされている。また、簡易貫入試験の結果得られる貫入抵抗値からは、風化土壌層厚や軟弱層の厚さ、深度が得られることや、抵抗値が様々な土壌の物性値（密度、間隙率、飽和透水係数、粘着力、内部摩擦角）と関係があることが明らかにされていることから（逢坂ら，1992；吉永・大貫，1995）、斜面災害に関わる調査や研究にも多く用いられてきた（例えば、小山ら，2005；小山内ら，2005）。以上のことから、簡易貫入試験の結果や、そこから得られる土壌層位に関する情報は、森林生態学や森林水文学、砂防学などの研究における基礎的なデータとして価値があると考えている。

調査にあたっては丹下健教授、樹芸研究所職員各位の御協力をいただいた。また、本調査は平成17年度科学研究費補助金若手研究Bの助成を受けて行った。記して謝意を表します。

---

\* 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林

University Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

## II 調査地の概要

調査は樹芸研究所青野研究林内に設定されている長期生態系プロット（北緯 $34^{\circ}41'$ ，東経 $138^{\circ}50'$ ）内の一斜面で行った（図-1）。斜面は南東向きの極急斜面（約 $31^{\circ}$ ）で，標高は110～170 mである（図-2）。斜面から約500 m離れた青野観測所の1964年から1993年までの30年間の年平均気温は $15.0^{\circ}\text{C}$ ，年降水量は2,270 mmであり，暖かさの指数は120で暖温帯に区分される。地質は，新第三紀中新統の白浜層群に貫入した，石英安山岩と閃緑ひん岩，石英閃緑ひん岩，細粒石英閃緑岩からなる（地質調査所，1970）。植生は1955年に炭焼き林として伐採された後に成立したスダジイの優占する照葉樹林からなる。

## III 方 法

図-2に示したA～Xの24地点で2005年8月から11月にかけて小型貫入試験機（以下，貫入試験機）を用いて土壌硬度の測定を行った。また，24地点とは別に，斜面上部と下部の2地点（それぞれ図-2のTrench-UとTrench-L）で土壌硬度の測定を行なった後に土壌断面を掘り，観察した。

今回用いた小型貫入試験機は，先端に円錐（頂角 $25^{\circ}$ ，底面積 $3\text{ cm}^2$ ）が附属した金属棒に，落錐（重さ1.17 kg）が附属しているもので，落錐を20 cmの高さから自由落下させて円錐を土壌

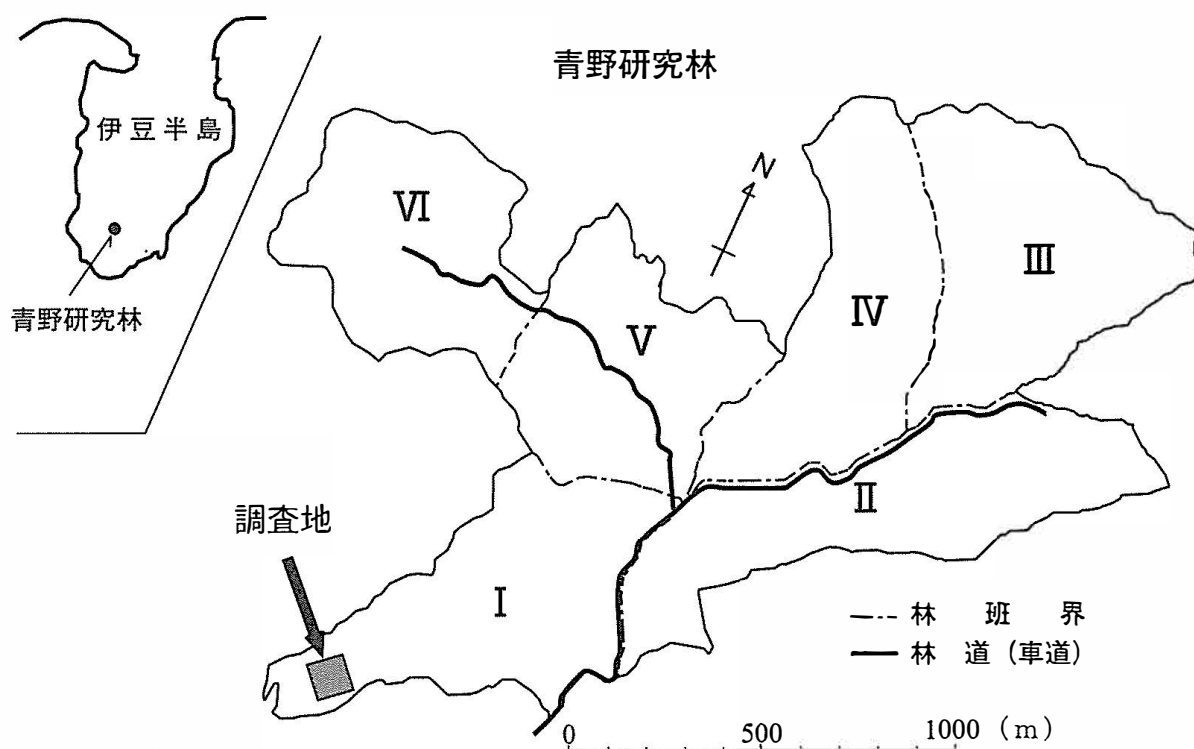


図-1 青野研究林内における調査地の位置

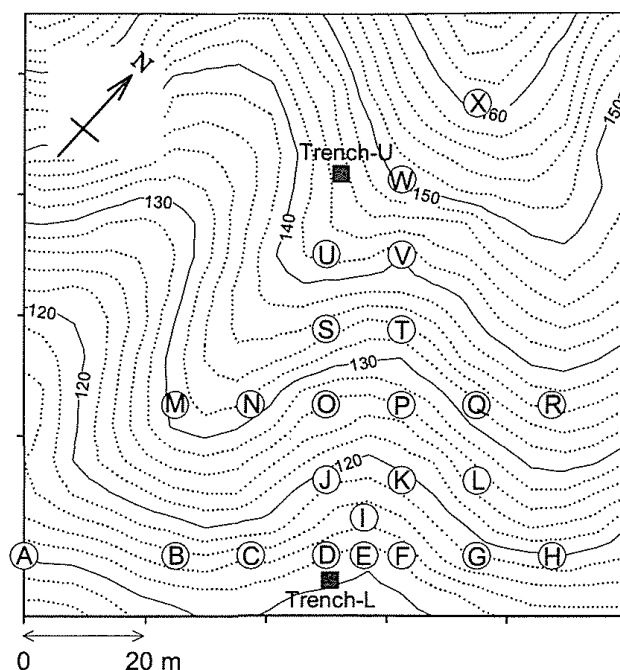


図-2 調査地の地形と調査地点

中に打ち込むことにより行う。金属棒には2 cm 刻みに目盛りがあるので、ここではまず、円錐が2 cm 土壌に貫入するのに必要な落下回数を数えた。次に、対象とする深さの前後の2 cm を貫入するのに必要であった落下回数を足しあわせることにより、その深さの土壌層を4 cm 貫入するのに必要な落下回数、 $N_4$ 値として土壌硬度を表した。簡易貫入試験機にはこの他にも土研式貫入試験機、長谷川式貫入試験機などがあるが、本調査で用いた小型貫入試験機は落錐の重さが軽いため土壌硬度が小さい範囲での分解能が高く、また、急な斜面での取り扱いが容易である特徴があり、これまでも山地斜面で多く用いられてきた（例えば、内田ら、2001など）。対象とした土壌には礫が多く含まれていたため、礫による影響がありそうな場合は同じ地点で複数回試験を行い、土壌層厚の判定にはもっとも深くまで貫入した結果を採用した。また、礫の存在が土壌層厚測定の結果に影響を与えるのを避けるため、途中で $N_4$ 値100程度の高い値（ $N_4$ 値100を超えた場合それ以上は貫入試験機で硬度を測定できない堅さであるとして、岩盤と扱う場合が多い）を示しても試験を続け、土壌硬度が $N_4$ 値150～200程度になるまで貫入試験を行った。土壌断面の記載は、日本ペドロロジー学会（1997）に従った。

## IV 結 果

### 1. 土壌断面観察の結果

断面観察の結果、対象斜面は礫を多く含む土壌に覆われていることがわかった（図-3、4）。A層に比べ、AB層やB層では礫の含有率が高く、また深くなるほど礫が多くなる傾向があった。さらに、BC層やC層はほとんど礫からなり、ブロック状になった礫の隙間に細土が挟まってい

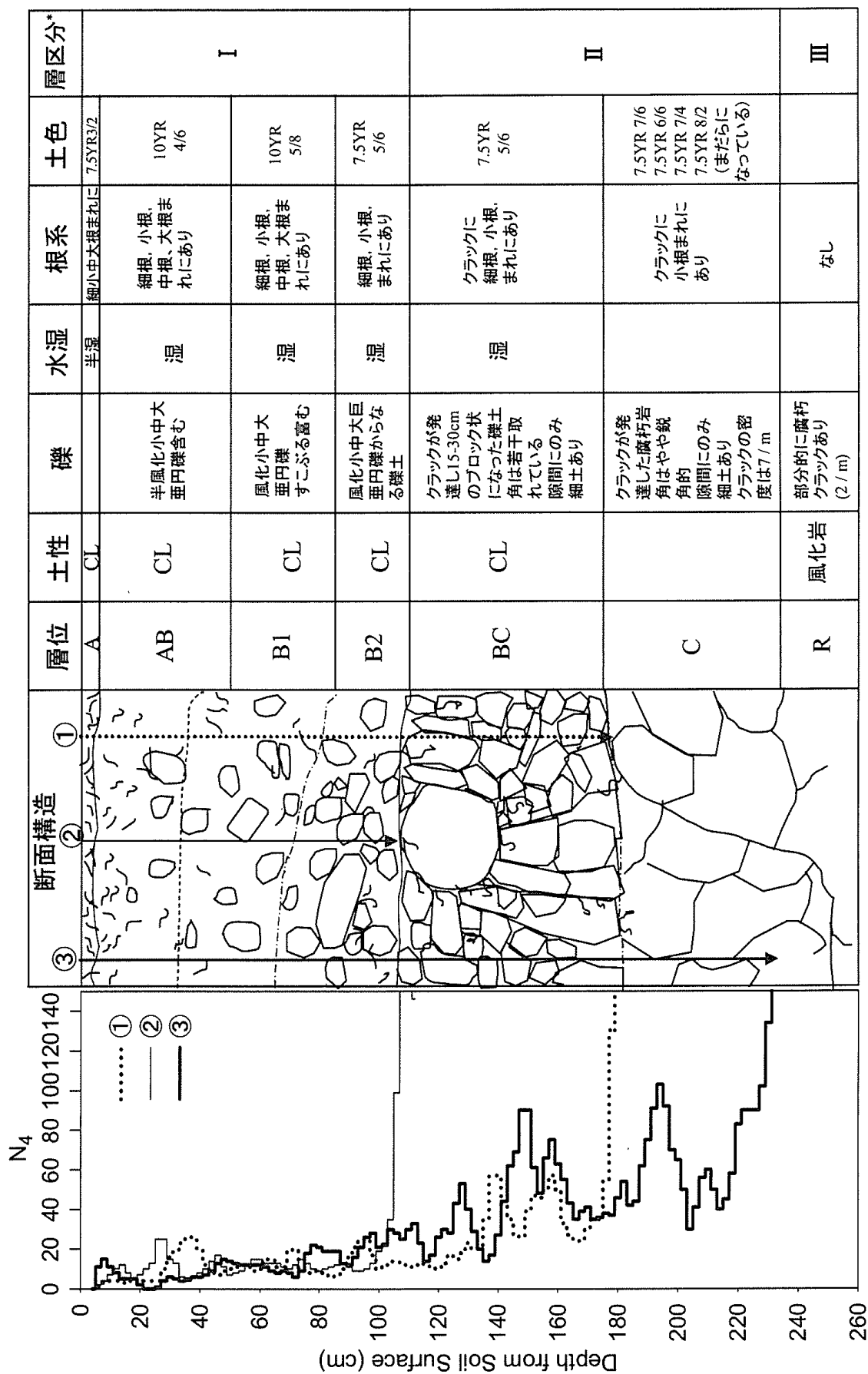


図-3 土壌断面観察と土壌硬度の測定結果 (Trench-U)

観察日：2005年11月8日，天気：晴れ，

土壌分類：適潤性褐色森林土（偏乾亜型），

調査地点：図-2のTrench-U，傾斜：35°，\*貫入試験にもとづく区分

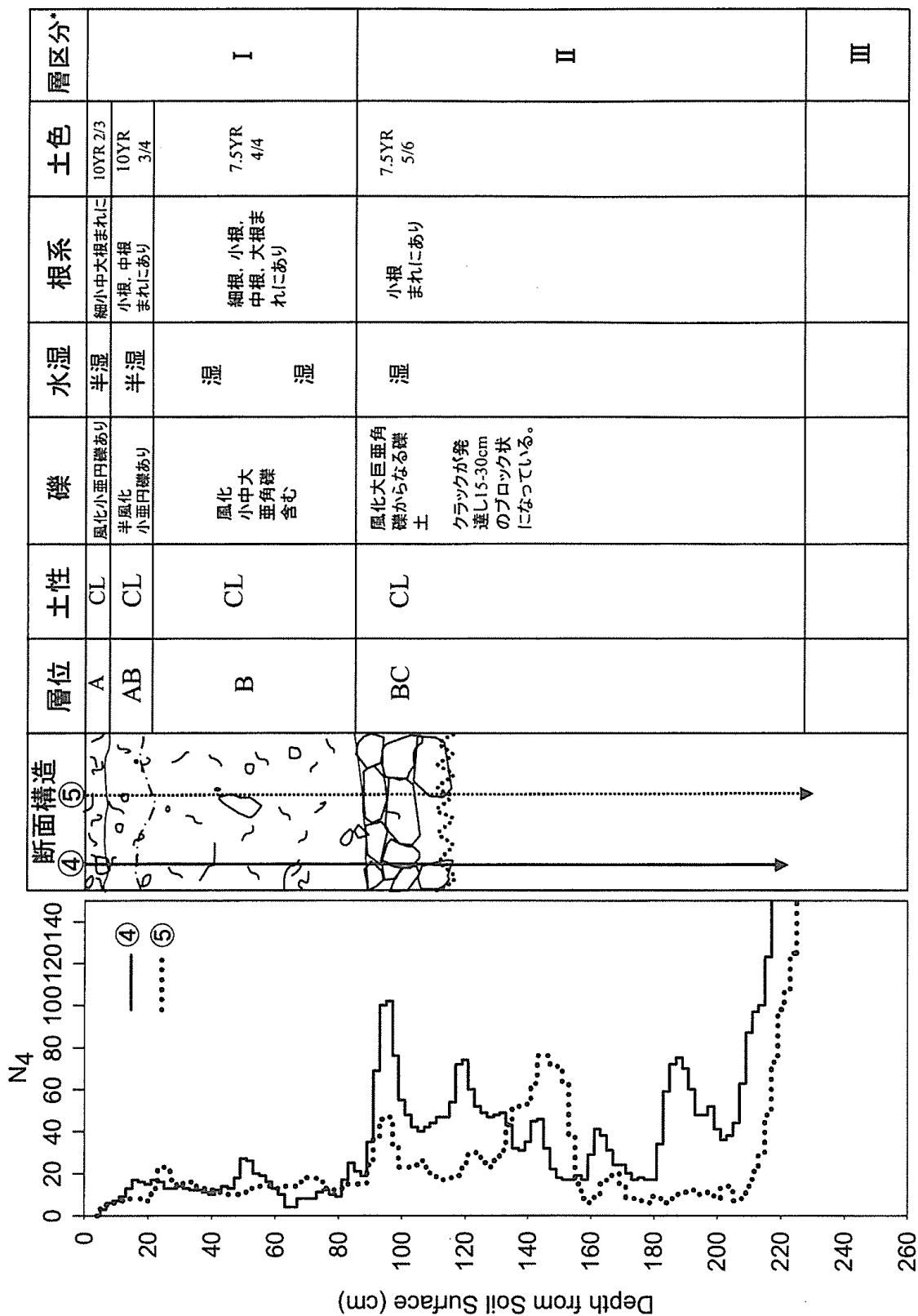


図-4 土壌断面観察と土壌硬度の測定結果 (Trench-L)

る状態であった。根はA層に最も多く、AB層、B層にも全体的に分布していたが、BC層では礫の隙間にのみ分布していた。

図-3に示すTrench-Uの測定②では、貫入試験機の先端が地表から約100 cmの深さのところにある30 cmの巨礫に当たったところで $N_1$ 値が150を超えてしまっていたことがわかる。これは、大きな礫に当たると、先端が岩盤まで達していなくても計測不能となり、貫入試験を終了してしまう場合があることを示す。一方で、図-3の測定①、③の結果を見ると、礫の大きさが10～20 cm以下であれば、今回もちいた小型貫入試験機によって、ほとんど礫からなる土壌層の硬度も測定可能であることがわかる。

さらに、結果を詳細にみると、Trench-Uでは表層から40 cm（Trench-Lでは20 cm）までの層では、礫や根以外の細土の部分では $N_1$ 値が5以下、礫や根に当たると $N_1$ 値10～20を示した。この層は従来の層位区分ではA層、AB層と対応していた。また、表層から40 cmから100 cmの深さ（Trench-Lでは20 cmから90 cmの深さ）では、細土の部分は $N_1$ 値10以下、礫の部分は $N_1$ 値20～30を示した。この層は、従来の層位区分ではB層と対応していた。これらのA、AB、B層と対応しているおよそ90～100 cmまでの土壌では貫入試験値の深さ方向の変動幅は小さかった。一方、Trench-U、Trench-Lとも表層から100 cm以上深い土壌では、細土（や礫の隙間）の $N_1$ 値が10～30程度、礫の部分の $N_1$ 値は40を越え、時には100以上の値を示すこともあった。またこの層では $N_1$ 値10～30の低いところと、40以上の高いところがおおよそ10～20 cmの間隔で交互に現れ、深さ方向の変動幅がきわめて大きかった。これらの層は従来の層位区分のBC層、C層と対応していた。

以上のように、土壌硬度の測定値と従来の断面観察に基づく土壌層位区分は良く整合していることが明らかとなった。礫の位置やサイズと $N_1$ 値の変動が一致することから、貫入試験機の先端が礫に当たると大きな $N_1$ 値を示すが、礫をやり過ぎるとまた低い値になることもわかった。そして、これらの結果にもとづくと、土壌層を貫入試験値から表-1に示すⅠ～Ⅲの3つに区分できると考えた。A層、AB層とB層の境界については貫入試験値のみからでは客観的な区分が

表-1  $N_1$ 値にもとづく土壌層の区分

名称	$N_1$ 値 (層内の低い方の値)	$N_1$ 値 (層内の高い方の値)	$N_1$ 値の分布	対応する従来の層位区分	備考
I層	10以下	10～30	深さ方向の変動は小さい	A層、AB層、B層	樹木根の伸長に適している
II層	10～30	40～100	深さ方向の変動幅はきわめて大きい	BC層、C層	樹木根の伸長にあまり適さない
III層	150以上			岩盤	

難しかったので、今回は区分しなかった。

本調査で観測された根の分布からは、 $N_4$ 値が10以下の部分が多くあるⅠ層は樹木根の伸長に比較的適した土壤層と対応しているが、 $N_4$ 値が30を越える部分の多いⅡ層は根の成長にはそれほど適さない層と対応している。この結果は、四手井ほか(1982)が、発達した土壤の表層では $N_4$ 値は5を超えず、20~30を超えるようになると根系の進入が抑制され、 $N_4$ 値100を超えると亀裂以外では植物根の伸長が生じないとした報告とも調和的である。また、本報告では、Ⅱ層の下に現れるⅢ層( $N_4 > 150$ )を岩盤であるとみなし、Ⅲ層に達するまでの深さを土壤層の深さとする。

## 2. 斜面における土壤硬度の測定結果

図-2に示した地点A~Xにおける土壤硬度の測定結果を図-5、付表1、2に示す。多くの地点において、前述の土壤断面観察地点で観測されたのと同様な傾向が観察された。すなわち、表層には、 $N_4$ 値が小さく深さ方向の変動幅の小さい層(Ⅰ層)があり、その下に、 $N_4$ 値がⅠ層より大きく深さ方向の変動幅の大きい層(Ⅱ層)があらわれ、さらにその下に $N_4$ 値150以上の硬い層(Ⅲ層)があった。

そこで、表-1にしたがって各地点の土壤をⅠ、Ⅱ、Ⅲ層に区分することを試みた。Ⅰ層とⅡ層の区分が困難な地点もあったが、今回は図-5に示したように区分した。より客観的に、 $N_4$ 値から土壤層位を区分する基準については、さらに検討する必要がある。

図-5に示した今回の区分の結果、Ⅰ層は平均61 cm(最小16 cm~最大119 cm)、Ⅱ層は平均119 cm(最小18 cm~最大224 cm)、Ⅲ層(岩盤におつかるまでの土壤の深さ)は平均で179 cm(最小74 cm~最大290 cm)であった。

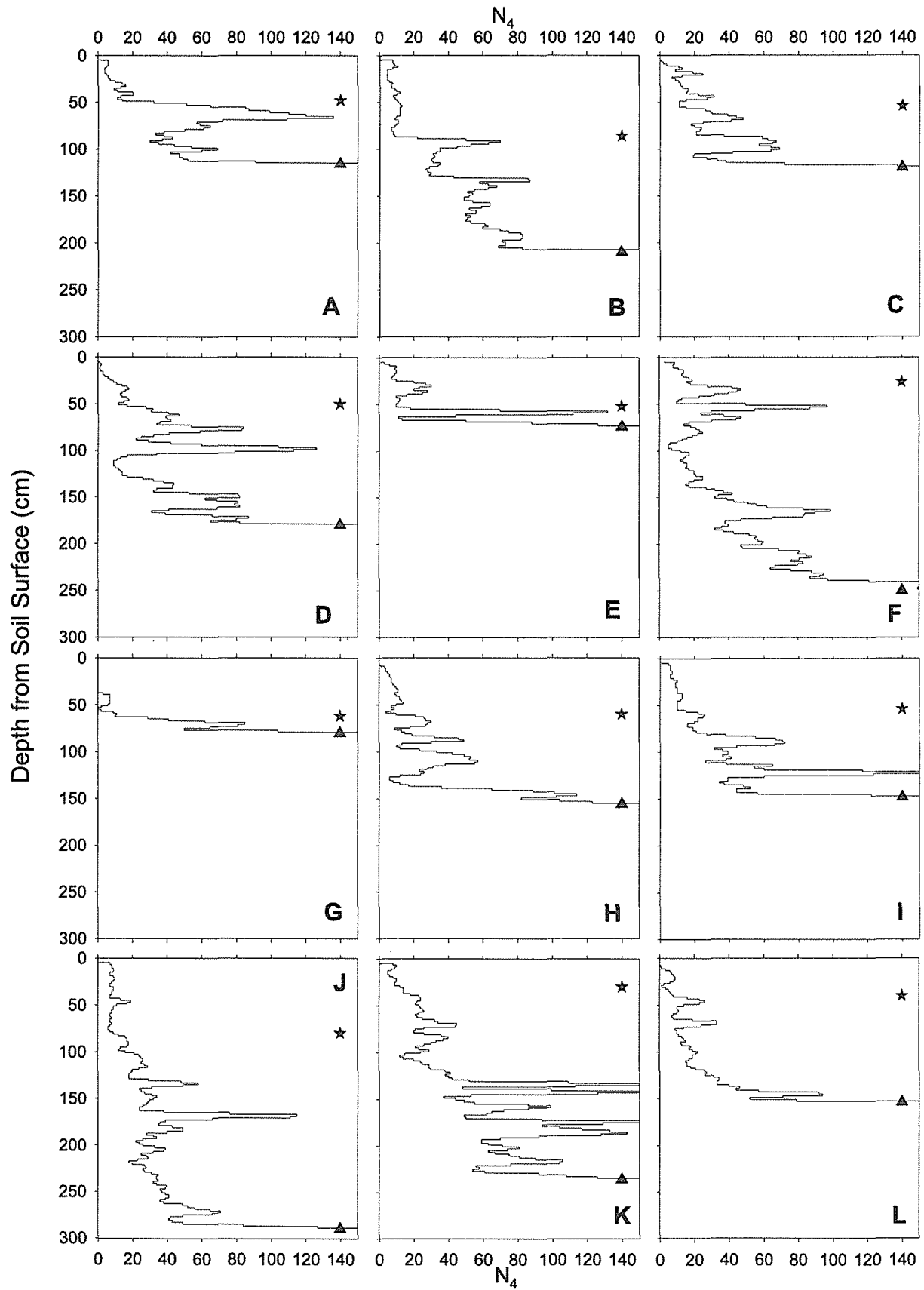


図-5 土壌硬度の鉛直分布

★ I 層の下端, ▲ II 層の下端・III 層の上端



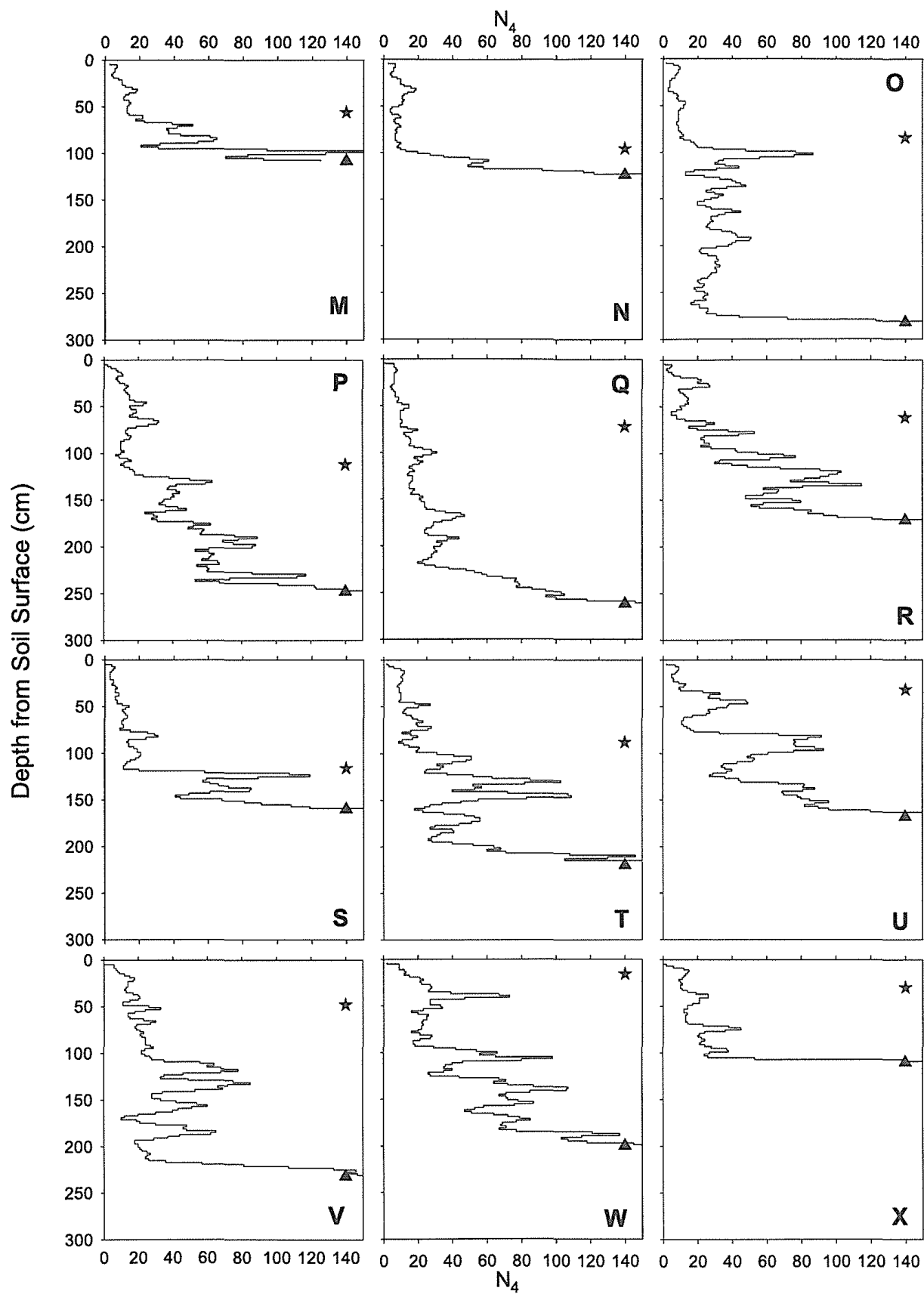


図-5 続き

### 3. 土壌層厚の空間分布

図-6に、Ⅰ層、Ⅱ層の厚さと、Ⅲ層にぶつかるまでの土壌の深さ（Ⅰ層＋Ⅱ層）の空間分布を示す。斜面において、土壌層の厚さは一様ではなく空間的に分布していた。Ⅰ層の厚さについては、斜面中腹のN, O, P, S, T, 地点で他より大きい傾向があった。Ⅱ層の厚さと岩盤（Ⅲ層）までの土壌の深さについては、A, M, X地点などの尾根付近でその他の部位に比べて小さい傾向がみとれる。

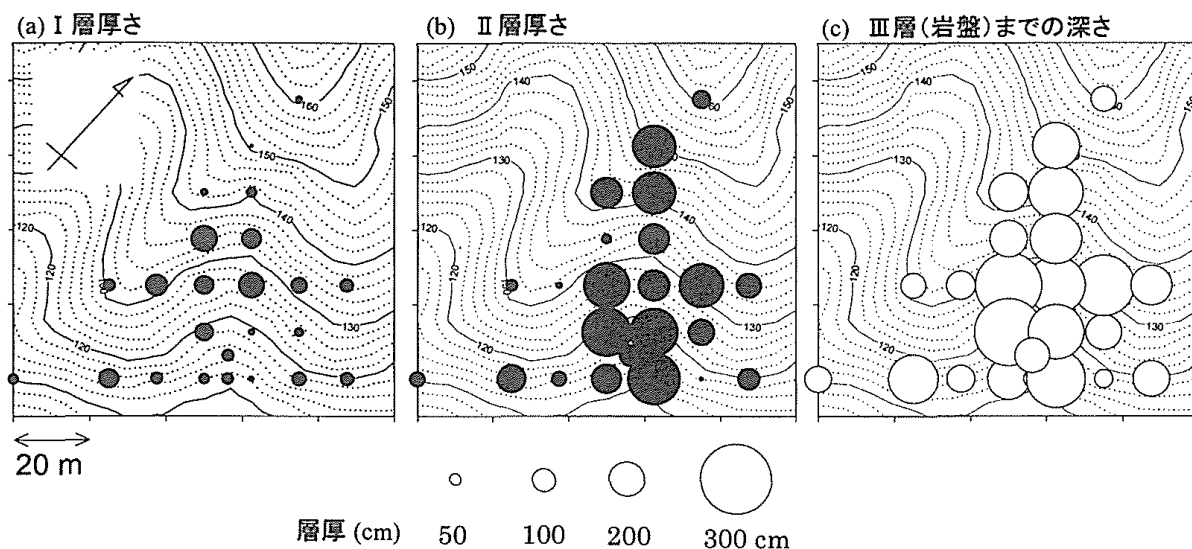


図-6 土壌硬度の鉛直分布にもとづいたⅠ層、Ⅱ層の厚さ(a)(b)と、Ⅲ層までの土壌の深さ(Ⅰ層＋Ⅱ層)(c)の空間分布

## V ま と め

樹芸研究所青野研究林において、斜面の土壌層位や土壌層の厚さを面的に把握する目的で行った簡易貫入試験と土壌断面観察の結果を報告した。対象斜面では、土壌断面観察による土壌層位と、簡易貫入試験から得られる土壌の硬さの深さ方向の垂直分布が良く整合していた。そこで、土壌硬度の測定結果に基づき、樹木の根の伸長に適した土壌の厚さや、岩盤までの土壌の深さの空間分布を示した。樹木の根の伸長に適した土壌の厚さは平均で61 cmで、斜面の部位によって異なっていた。また、岩盤までの土壌の厚さは平均179 cmで、尾根付近でその他の部位に比べて小さい傾向があった。

## 引用文献

- 地質調査所（1970）5万分の1図幅，東京(8)105号，下田．
- 福永健司・石塚望・富樫勇介・榎島朋子・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(1):261-264.
- 小山敢・三森利昭・落合博貴・奥村武信・本田尚正（2005）風化花崗岩斜面の表層崩壊発生に關与する脆弱層．日本森林学会誌 87(4):304-312.
- 益守眞也（2001）硬い土壌と根の成長．樹木医学研究 5(2):101-102.
- 日本ペドロロジー学会（1997）土壌調査ハンドブック 改訂版．169 pp, 博友社, 東京.
- 逢坂興宏・田村毅・窪田順平・塚本良則（1992）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.
- 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おそ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.
- Shanley, J., Hjerdt, K., McDonnell, J.J. and Kendall, C. (2003) Shallow water table fluctuations in relation to soil penetration resistance. GroundWater 41(7):964-972.
- 四手井綱英・小橋澄治・吉田博宣・森本幸裕（1982）斜面緑化．218 pp, 鹿島出版会, 東京.
- 内田太郎・浅野友子・大手信人・水山高久（2001）山地源流域の湧水の形成過程に及ぼす岩盤地下水の影響．日本水文科学会誌 31(2):59-72.
- 吉永秀一郎・大貫靖浩（1995）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.

付表1 土壌硬度の測定結果

Depth (cm)	A	B	C	D	E	E	E	E	F	G	G	H	I	I	I	J	K	L	M
4	1	1	0	0	1	1	1	2	3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3
6	6	8	1	1	3	3	3	4	9	0	0	0	5	4	5	7	8	0	7
8	6	8	2	2	6	4	3	5	8	0	0	1	6	7	7	8	10	0.5	7
10	6	9	4	1.5	10	8	3	6	8	0	0	3	6	9	9	8	9	1	6
12	5	11	11	1	9	12	4	6	11	0	1	4	6	10	8	9	7	3.5	6
14	4	8	13	1.5	10	13	5	11	14	0	3	4	7	9	7	9	5	6	5
16	4	5	9	3	10	14	113	14	14	0	4	5	7	114	7	7	5	7	4
18	4	5	19	3	9	10	***	11	13	0	5	6	6	***	7	7	6	8	5
20	5	5	25	4	8	8	-	11	14	0	7	6	6	-	15	9	8	9	8
22	6	5	13	6	7	11	-	11	17	0	11	7	8	-	60	10	10	9	10
24	6	5	7	7	10	9	-	12	19	0	16	7	10	-	154	9	10	8	10
26	7	5	9	9	20	5	-	12	16	0	16	7	9	-	***	8	9	6	10
28	10	6	11	11	27	5	-	8	18	0	18	8	9	-	-	7	9	2.5	12
30	14	8	12	14	30	5	-	7	28	0	24	9	9	-	-	7	12	1	16
32	16	7	12	17	23	4	-	9	42	0	25	10	10	-	-	9	14	3.5	19
34	13	7	13	18	20	5	-	10	47	0	19	11	10	-	-	9	14	5	18
36	9	9	16	16	28	6	-	11	45	0	14	11	10	-	-	8	14	6	14
38	11	10	16	14	25	11	-	30	40	3	15	9	13	-	-	8	18	7	12
40	20	12	15	13	16	61	-	70	32	7	14	10	13	-	-	7	23	8	11
42	20	10	22	14	10	106	-	76	23	7	12	12	13	-	-	7	24	16	11
44	13	8	31	17	12	168	-	72	13	7	13	12	12	-	-	13	24	23	14
46	11	9	27	18	12	195	-	92	11	7	14	13	10	-	-	19	22	26	15
48	14	10	15	15	11	185	-	130	10	7	13	14	10	-	-	17	21	23	14
50	32	11	11	12	10	***	-	***	50	6	13	10	10	-	-	11	23	14	13
52	51	12	11	17	10	-	-	-	97	2	14	7	10	-	-	9	24	10	13
54	65	13	11	28	18	-	-	-	87	0	14	9	10	-	-	9	25	10	13
56	85	12	15	32	70	-	-	-	55	2	15	7	15	-	-	8	26	11	13
58	87	12	26	31	132	-	-	-	30	9	18	4	22	-	-	8	23	10	14
60	99	12	29	41	112	-	-	-	24	11	22	10	26	-	-	7	21	8	22
62	110	12	30	47	44	-	-	-	37	10	22	21	25	-	-	7	22	7	22
64	120	12	39	39	11	-	-	-	47	29	20	26	22	-	-	8	25	8	18
66	136	10	44	40	13	-	-	-	44	41	78	27	22	-	-	7	32	19	23
68	109	9	48	42	50	-	-	-	30	62	178	30	20	-	-	7	34	33	39
70	72	11	41	36	88	-	-	-	17	85	***	28	16	-	-	8	45	33	51
72	57	11	25	34	126	-	-	-	14	81	-	27	16	-	-	7	44	24	42
74	59	10	18	54	190	-	-	-	18	65	-	18	19	-	-	6	26	14	36
76	65	9	20	84	***	-	-	-	21	50	-	9	19	-	-	6	21	9	37
78	61	7	24	83	-	-	-	-	23	104	-	13	21	-	-	7	20	10	37
80	50	7	23	59	-	-	-	-	25	189	-	15	27	-	-	9	26	10	44
82	38	8	21	41	-	-	-	-	22	***	-	19	38	-	-	12	36	11	61
84	33	8	21	32	-	-	-	-	19	-	-	32	55	-	-	16	40	13	65
86	38	9	37	25	-	-	-	-	16	-	-	46	67	-	-	17	37	14	63
88	43	22	59	22	-	-	-	-	13	-	-	49	71	-	-	17	33	15	54
90	37	50	62	29	-	-	-	-	10	-	-	30	72	-	-	18	30	12	32
92	30	70	67	42	-	-	-	-	6	-	-	13	66	-	-	18	26	13	21
94	35	63	65	60	-	-	-	-	5	-	-	10	44	-	-	17	21	18	31
96	44	53	57	104	-	-	-	-	5	-	-	12	31	-	-	13	23	17	94
98	54	45	64	126	-	-	-	-	7	-	-	23	36	-	-	12	29	19	151
100	69	35	69	113	-	-	-	-	12	-	-	33	39	-	-	16	24	22	128
102	60	35	64	79	-	-	-	-	17	-	-	42	39	-	-	21	15	21	83
104	42	33	42	34	-	-	-	-	17	-	-	49	36	-	-	24	12	19	70
106	47	31	20	17	-	-	-	-	15	-	-	53	41	-	-	25	14	19	92
108	47	32	19	13	-	-	-	-	14	-	-	52	38	-	-	26	20	17	125
110	49	31	27	11	-	-	-	-	12	-	-	57	26	-	-	26	24	15	***
112	52	30	33	9	-	-	-	-	14	-	-	55	38	-	-	25	25	16	-
114	91	31	38	9	-	-	-	-	16	-	-	38	65	-	-	27	29	16	-
116	176	35	72	9	-	-	-	-	16	-	-	31	54	-	-	29	29	18	-
118	***	34	137	10	-	-	-	-	15	-	-	28	60	-	-	24	30	21	-
120	-	29	194	12	-	-	-	-	17	-	-	23	117	-	-	20	38	26	-
122	-	27	***	13	-	-	-	-	20	-	-	26	152	-	-	19	41	27	-
124	-	28	-	14	-	-	-	-	20	-	-	24	123	-	-	18	38	26	-
126	-	30	-	14	-	-	-	-	21	-	-	12	60	-	-	18	40	31	-
128	-	29	-	17	-	-	-	-	25	-	-	6	39	-	-	18	42	34	-
130	-	43	-	26	-	-	-	-	25	-	-	6	39	-	-	29	52	34	-
132	-	86	-	32	-	-	-	-	20	-	-	8	34	-	-	48	109	33	-
134	-	87	-	38	-	-	-	-	17	-	-	12	37	-	-	58	169	33	-
136	-	58	-	44	-	-	-	-	15	-	-	17	48	-	-	49	113	40	-
138	-	63	-	43	-	-	-	-	17	-	-	36	52	-	-	31	48	46	-
140	-	68	-	43	-	-	-	-	27	-	-	65	44	-	-	24	99	44	-
142	-	63	-	34	-	-	-	-	32	-	-	89	44	-	-	25	164	57	-
144	-	55	-	32	-	-	-	-	37	-	-	101	56	-	-	27	126	92	-
146	-	51	-	53	-	-	-	-	42	-	-	114	122	-	-	31	53	94	-
148	-	54	-	81	-	-	-	-	34	-	-	102	170	-	-	34	37	71	-

A~Mは図-2の観測ポイントと対応している。全ての測定について掲載した。  
 \*\*\* それ以上は(硬くて)測定不可能であると判断した深さ

付表1 続き

Depth (cm)	A	B	C	D	E	E	E	E	F	G	G	H	I	I	I	J	K	L	M
150	-	52	-	82	-	-	-	-	32	-	-	82	***	-	-	32	44	52	-
152	-	49	-	62	-	-	-	-	39	-	-	104	-	-	-	30	49	79	-
154	-	49	-	69	-	-	-	-	43	-	-	123	-	-	-	29	55	177	-
156	-	54	-	81	-	-	-	-	51	-	-	172	-	-	-	28	86	***	-
158	-	64	-	79	-	-	-	-	56	-	-	***	-	-	-	26	99	-	-
160	-	64	-	82	-	-	-	-	62	-	-	-	-	-	-	24	86	-	-
162	-	59	-	69	-	-	-	-	83	-	-	-	-	-	-	24	72	-	-
164	-	52	-	41	-	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-	38	65	-	-
166	-	56	-	31	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	76	62	-	-
168	-	56	-	39	-	-	-	-	84	-	-	-	-	-	-	115	49	-	-
170	-	50	-	66	-	-	-	-	83	-	-	-	-	-	-	111	50	-	-
172	-	53	-	87	-	-	-	-	65	-	-	-	-	-	-	66	94	-	-
174	-	51	-	80	-	-	-	-	47	-	-	-	-	-	-	39	152	-	-
176	-	50	-	65	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-	36	129	-	-
178	-	53	-	82	-	-	-	-	38	-	-	-	-	-	-	35	94	-	-
180	-	61	-	158	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	43	104	-	-
182	-	63	-	***	-	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-	49	117	-	-
184	-	60	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	49	133	-	-
186	-	70	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	40	143	-	-
188	-	75	-	-	-	-	-	-	43	-	-	-	-	-	-	28	128	-	-
190	-	82	-	-	-	-	-	-	52	-	-	-	-	-	-	32	92	-	-
192	-	83	-	-	-	-	-	-	56	-	-	-	-	-	-	34	70	-	-
194	-	83	-	-	-	-	-	-	55	-	-	-	-	-	-	26	59	-	-
196	-	82	-	-	-	-	-	-	57	-	-	-	-	-	-	22	59	-	-
198	-	71	-	-	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-	24	63	-	-
200	-	73	-	-	-	-	-	-	59	-	-	-	-	-	-	26	71	-	-
202	-	73	-	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	-	-	33	81	-	-
204	-	69	-	-	-	-	-	-	48	-	-	-	-	-	-	39	74	-	-
206	-	83	-	-	-	-	-	-	69	-	-	-	-	-	-	38	63	-	-
208	-	150	-	-	-	-	-	-	81	-	-	-	-	-	-	32	67	-	-
210	-	210	-	-	-	-	-	-	80	-	-	-	-	-	-	25	75	-	-
212	-	***	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	-	28	81	-	-
214	-	-	-	-	-	-	-	-	88	-	-	-	-	-	-	29	90	-	-
216	-	-	-	-	-	-	-	-	81	-	-	-	-	-	-	23	106	-	-
218	-	-	-	-	-	-	-	-	76	-	-	-	-	-	-	18	104	-	-
220	-	-	-	-	-	-	-	-	83	-	-	-	-	-	-	20	76	-	-
222	-	-	-	-	-	-	-	-	80	-	-	-	-	-	-	27	56	-	-
224	-	-	-	-	-	-	-	-	67	-	-	-	-	-	-	28	58	-	-
226	-	-	-	-	-	-	-	-	64	-	-	-	-	-	-	26	54	-	-
228	-	-	-	-	-	-	-	-	76	-	-	-	-	-	-	27	61	-	-
230	-	-	-	-	-	-	-	-	88	-	-	-	-	-	-	31	92	-	-
232	-	-	-	-	-	-	-	-	95	-	-	-	-	-	-	35	108	-	-
234	-	-	-	-	-	-	-	-	93	-	-	-	-	-	-	34	126	-	-
236	-	-	-	-	-	-	-	-	87	-	-	-	-	-	-	34	157	-	-
238	-	-	-	-	-	-	-	-	97	-	-	-	-	-	-	35	***	-	-
240	-	-	-	-	-	-	-	-	121	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-
242	-	-	-	-	-	-	-	-	150	-	-	-	-	-	-	34	-	-	-
244	-	-	-	-	-	-	-	-	174	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-
246	-	-	-	-	-	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	39	-	-	-
248	-	-	-	-	-	-	-	-	149	-	-	-	-	-	-	36	-	-	-
250	-	-	-	-	-	-	-	-	171	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-
252	-	-	-	-	-	-	-	-	***	-	-	-	-	-	-	39	-	-	-
254	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-
256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-
258	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	-	-	-
260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	-	-	-
262	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	-	-	-
264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	-	-	-
266	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	-	-	-
268	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	-	-	-
270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65	-	-	-
272	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	-	-	-
274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66	-	-	-
276	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	-	-	-
278	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	-
280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-
282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-	-
284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	-	-	-
286	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	84	-	-	-
288	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127	-	-	-
290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	179	-	-	-
292	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***	-	-	-

A～Mは図-2の 観測ポイントと対応している。全ての測定について掲載した。

\*\*\* それ以上は(硬くて)測定不可能であると判断した深さ

付表2 土壌硬度の測定結果

Depth (cm)	N	O	O	P	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	X	Trench -U①	Trench -U②	Trench -U③	Trench -L④	Trench -L⑤
4	3	1	2	0	0	1	1	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0
6	7	6	6	1.3	2	6	5	4	3	7	6	9	19	2	1	2	11	3	5
8	7	8	9	0.7	4	6	4	6	6	9	6	9	20	6	3	4	15	6	5
10	6	8	10	0.7	7	7	2	5	10	9	7	9	18	12	4	7	11	7	6
12	6	6	9	1.3	8	8	3	4	12	8	8	12	17	15	4	10	8	9	7
14	5	4	9	3	10	7	5	3	12	7	9	13	14	14	3	12	5	13	8
16	4	5	8	3	11	6	6	3	11	5	12	12	19	13	4	8	5	17	8
18	5	6	7	5	8	6	10	3	10	5	15	15	25	12	4	5	5	16	8
20	8	6	7	11	7	6	20	3	11	6	18	21	28	11	3	7	2	15	7
22	10	7	5	13	8	6	22	5	11	6	17	23	29	9	4	10	0	17	13
24	10	10	4	11	9	6	20	5	10	9	14	21	30	10	4	13	0	16	23
26	10	11	4	11	12	6	26	4	9	13	14	22	36	11	4	25	1	13	23
28	12	8	4	12	14	5	27	6	8	12	14	27	52	10	10	25	4	13	17
30	16	6	4	13	13	4	17	7	9	9	13	28	102	10	16	15	6	14	14
32	19	7	3	15	12	5	9	6	9	10	12	27	***	11	19	13	5	13	16
34	18	8	3	16	13	6	10	6	9	23	13	26	-	14	23	6	4	12	16
36	14	9	6	15	14	7	12	8	10	33	17	39	-	19	25	4	5	12	14
38	12	9	8	17	15	7	13	8	10	27	20	67	-	26	26	6	6	11	13
40	11	8	9	17	15	7	14	6	10	26	21	73	-	26	20	8	6	10	12
42	11	14	8	18	15	9	15	6	10	33	20	47	-	21	12	10	7	12	11
44	12	120	9	22	18	9	14	7	9	48	15	27	-	21	8	14	9	14	10
46	11	***	13	21	25	8	15	7	18	49	11	27	-	21	7	17	13	13	10
48	11	-	13	19	23	11	13	10	27	38	11	27	-	17	9	11	15	18	10
50	9	-	12	16	15	15	10	14	20	37	26	33	-	14	10	7	14	27	11
52	5	-	12	14	16	15	11	12	13	31	33	34	-	14	11	8	13	26	13
54	4	-	10	13	19	12	8	10	12	26	24	23	-	12	12	9	12	20	14
56	4	-	9	10	19	10	5	11	11	27	18	16	-	12	11	12	12	19	14
58	5	-	9	8	17	10	5	12	13	25	14	20	-	14	9	15	12	16	14
60	9	-	9	9	15	10	8	13	16	17	14	26	-	13	10	15	12	13	13
62	10	-	9	10	20	10	8	13	17	12	15	25	-	13	15	13	11	10	13
64	7	-	9	11	29	10	13	11	20	12	23	25	-	13	15	13	9	4	14
66	6	-	9	10	32	11	25	10	23	11	30	23	-	13	11	13	8	4	14
68	7	-	8	10	31	11	30	10	19	11	27	22	-	14	11	11	9	8	16
70	9	-	8	12	26	10	25	11	20	12	19	23	-	23	19	10	8	8	18
72	10	-	9	15	19	10	15	11	28	14	18	22	-	38	20	12	6	8	18
74	8	-	9	16	14	14	20	9	26	16	19	22	-	45	10	15	9	11	16
76	7	-	9	13	13	20	38	15	16	18	21	20	-	36	8	13	18	12	13
78	8	-	10	13	13	17	53	25	11	33	23	16	-	24	9	10	22	10	12
80	7	-	11	15	14	12	44	29	16	67	21	21	-	21	9	9	21	9	12
82	7	-	12	16	16	13	24	31	20	92	22	28	-	20	8	10	19	17	13
84	7	-	10	15	15	15	22	24	17	84	24	27	-	22	6	11	19	25	15
86	7	-	12	14	12	16	24	14	11	76	24	21	-	24	7	12	19	21	15
88	8	-	16	15	10	16	24	13	9	77	24	17	-	22	10	13	13	19	15
90	10	-	18	14	10	16	27	14	12	76	24	17	-	21	16	11	12	35	24
92	9	-	19	15	10	15	22	14	15	77	27	18	-	24	21	9	16	69	37
94	8	-	20	20	10	18	28	17	21	88	29	29	-	28	24	9	21	100	46
96	10	-	29	26	10	23	42	19	20	93	24	42	-	37	25	10	26	102	47
98	13	-	48	35	12	28	43	19	19	76	22	54	-	38	17	13	28	76	33
100	20	-	77	124	10	31	55	21	31	61	22	66	-	27	10	19	21	55	23
102	27	-	87	162	7	28	70	21	41	51	24	56	-	24	12	23	22	48	23
104	35	-	76	158	9	23	77	20	51	49	27	65	-	26	14	35	30	42	24
106	50	-	56	***	14	18	62	18	51	53	28	98	-	53	14	99	28	40	26
108	61	-	35	-	16	20	33	15	48	52	35	80	-	140	13	160	25	42	23
110	58	-	32	-	12	23	30	13	40	43	56	46	-	173	11	158	30	44	20
112	51	-	30	-	10	21	40	12	31	35	64	40	-	***	12	146	33	47	18
114	49	-	36	-	12	17	49	11	35	34	60	36	-	-	13	***	23	47	17
116	58	-	44	-	15	15	68	11	33	36	68	35	-	-	12	-	14	54	18
118	92	-	31	-	17	17	91	20	25	40	78	40	-	-	11	-	17	72	19
120	116	-	18	-	18	18	103	58	24	37	68	35	-	-	10	-	26	74	25
122	122	-	13	-	18	15	101	107	37	29	46	26	-	-	13	-	30	60	30
124	175	-	13	-	23	14	96	119	52	27	35	27	-	-	17	-	28	52	30
126	***	-	24	-	38	17	91	89	63	36	33	44	-	-	15	-	43	49	25
128	-	-	33	-	50	17	82	59	85	44	49	67	-	-	18	-	53	47	23
130	-	-	40	-	63	17	74	57	103	45	75	71	-	-	23	-	40	48	26
132	-	-	42	-	59	16	96	61	82	67	85	64	-	-	20	-	29	49	31
134	-	-	45	-	42	15	115	66	52	82	72	72	-	-	22	-	20	43	43
136	-	-	48	-	38	15	81	72	57	81	66	87	-	-	35	-	14	32	52
138	-	-	37	-	37	15	58	85	53	88	69	107	-	-	57	-	17	31	52
140	-	-	28	-	42	18	67	84	40	81	53	106	-	-	57	-	27	35	53
142	-	-	25	-	44	17	66	61	72	69	34	85	-	-	42	-	44	45	63
144	-	-	30	-	40	16	58	49	107	70	28	71	-	-	35	-	62	46	76
146	-	-	35	-	41	21	48	41	109	78	28	67	-	-	27	-	69	32	76
148	-	-	32	-	39	23	48	44	83	80	28	71	-	-	26	-	90	22	71

N~X、Trench-U、Trench-Lはそれぞれ図-2の観測ポイントを指す。全ての測定について掲載した。  
 \*\*\* それ以上は(硬くて)測定不可能であると判断した深さ

付表2 続き

Depth (cm)	N	O	O	P	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	X	Trench -U①	Trench -U②	Trench -U③	Trench -L④	Trench -L⑤
150	-	-	28	-	35	21	75	68	55	85	33	72	-	-	39	-	90	18	71
152	-	-	24	-	34	22	80	81	45	96	42	78	-	-	47	-	61	17	63
154	-	-	20	-	32	24	58	91	34	88	54	87	-	-	46	-	48	17	38
156	-	-	20	-	36	24	51	108	27	82	60	76	-	-	51	-	66	19	15
158	-	-	25	-	43	24	56	119	24	90	51	58	-	-	57	-	75	17	8
160	-	-	28	-	48	25	76	173	18	96	43	53	-	-	50	-	63	29	6
162	-	-	40	-	36	30	86	***	23	120	40	47	-	-	33	-	55	41	9
164	-	-	45	-	24	36	84	-	35	153	30	51	-	-	27	-	43	38	15
166	-	-	36	-	29	45	93	-	47	174	20	64	-	-	24	-	35	31	19
168	-	-	32	-	31	47	101	-	53	181	12	72	-	-	24	-	39	24	20
170	-	-	28	-	28	42	121	-	56	***	10	79	-	-	31	-	41	24	15
172	-	-	28	-	31	40	180	-	56	-	19	85	-	-	35	-	35	20	8
174	-	-	29	-	52	34	***	-	51	-	21	77	-	-	35	-	36	17	8
176	-	-	27	-	62	29	-	-	44	-	30	69	-	-	54	-	38	18	7
178	-	-	26	-	52	29	-	-	30	-	48	68	-	-	130	-	37	17	6
180	-	-	25	-	49	28	-	-	27	-	46	71	-	-	211	-	46	17	9
182	-	-	27	-	58	25	-	-	40	-	48	67	-	-	209	-	54	34	8
184	-	-	34	-	57	24	-	-	41	-	65	77	-	-	***	-	42	59	6
186	-	-	40	-	56	24	-	-	33	-	62	121	-	-	-	-	44	72	8
188	-	-	42	-	76	26	-	-	31	-	44	137	-	-	-	-	62	75	10
190	-	-	43	-	89	37	-	-	28	-	37	115	-	-	-	-	75	70	11
192	-	-	51	-	78	44	-	-	26	-	29	103	-	-	-	-	91	60	12
194	-	-	50	-	69	37	-	-	28	-	18	107	-	-	-	-	103	48	10
196	-	-	42	-	75	31	-	-	40	-	18	118	-	-	-	-	92	48	10
198	-	-	40	-	88	34	-	-	52	-	20	145	-	-	-	-	70	52	11
200	-	-	38	-	86	33	-	-	64	-	20	192	-	-	-	-	65	41	8
202	-	-	31	-	61	29	-	-	68	-	21	***	-	-	-	-	50	36	13
204	-	-	22	-	53	30	-	-	60	-	22	-	-	-	-	-	30	38	14
206	-	-	21	-	61	31	-	-	71	-	25	-	-	-	-	-	41	44	7
208	-	-	22	-	64	29	-	-	108	-	27	-	-	-	-	-	56	63	8
210	-	-	26	-	62	28	-	-	146	-	25	-	-	-	-	-	60	87	14
212	-	-	31	-	61	28	-	-	130	-	24	-	-	-	-	-	50	97	21
214	-	-	31	-	57	26	-	-	105	-	26	-	-	-	-	-	40	100	30
216	-	-	32	-	66	23	-	-	155	-	36	-	-	-	-	-	45	123	48
218	-	-	30	-	67	20	-	-	180	-	57	-	-	-	-	-	58	180	73
220	-	-	31	-	54	24	-	-	178	-	81	-	-	-	-	-	83	220	98
222	-	-	33	-	60	30	-	-	***	-	107	-	-	-	-	-	90	***	107
224	-	-	30	-	61	38	-	-	-	-	133	-	-	-	-	-	90	-	125
226	-	-	31	-	60	48	-	-	-	-	146	-	-	-	-	-	90	-	183
228	-	-	31	-	86	53	-	-	-	-	139	-	-	-	-	-	102	-	***
230	-	-	28	-	117	57	-	-	-	-	147	-	-	-	-	-	134	-	-
232	-	-	27	-	112	60	-	-	-	-	168	-	-	-	-	-	152	-	-
234	-	-	26	-	73	69	-	-	-	-	***	-	-	-	-	-	***	-	-
236	-	-	22	-	53	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
238	-	-	20	-	67	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	-	-	21	-	101	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
242	-	-	24	-	122	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
244	-	-	23	-	123	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
246	-	-	18	-	140	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
248	-	-	19	-	186	94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	-	-	24	-	***	103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
252	-	-	26	-	-	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
254	-	-	24	-	-	94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
256	-	-	23	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
258	-	-	25	-	-	118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
260	-	-	18	-	-	146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
262	-	-	16	-	-	192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
264	-	-	21	-	-	***	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
266	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
268	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
270	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
272	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
274	-	-	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
276	-	-	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
278	-	-	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
280	-	-	123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
282	-	-	188	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
284	-	-	***	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
286	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
288	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
292	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

N～X、Trench-U、Trench-Lはそれぞれ図-2の観測ポイントを指す。全ての測定について掲載した。

\*\*\* それ以上は(硬くて)測定不可能であると判断した深さ