

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

Experimental production and estimation of a variable impact weight for simple penetration tests

本田 尚正*¹
Naomasa HONDA奥村 武信*¹
Takenobu OKUMURA多田 泰之*²
Yasuyuki TADA

Abstract

The resistance value in simple penetration tests, i.e., the N_c -value, is useful for investigating sliding surfaces or the surface soil layer of a forest slope. However, the impact weight of 5-kgf, which is the conventional one used in the tests, is too great for accurately estimating the physical characteristics of soil within the surface soil layer when the soil layer is soft. This paper proposes a new type of impact weight for simple penetration tests that is variable from 1-kgf to 5-kgf in 1-kgf increments. Many simple penetration tests are conducted in order to estimate the effect of this weight on an actual forest slope. Experimental results provide a detailed description of the vertical distribution of the penetration resistance value within the surface soil layer. This is made possible by using lighter weights than the conventional one, especially the weights 2-kgf and 3-kgf ones. In addition, the penetration resistance value obtained with the 3-kgf weight is nearly equal to that with Hasegawa's soil penetration test, but detail is improved further by using the 2-kgf and 1-kgf weights.

Key words : Simple penetration test, variable impact weight, improvement of penetration resistance

1. はじめに

簡易貫入試験機は、土研式貫入試験機を急傾斜地の地盤調査に活用できるよう小型軽量化したものであり（大久保ら, 1971 a, 1971 b), ①急斜面上かつ狭小な区域において、「据付→調査→撤去→移動」といった一連の作業が少労力かつ容易に行えること, ②急斜面上で面的な広がりをもった地盤調査が実施可能であること, ③表層と基層の境界を容易にとらえて判断できること, 等の利点を有することから, これまでとくに地表面下 5 m 程度以浅の地盤探査に多くの実績を上げてきた（たとえば飯田・奥西, 1979; 恩田, 1989; 逢坂ら, 1992; 多田, 2002）。

さらに近年, その簡便性と山地における機動性を活かして, 同試験で得られた貫入抵抗値 (N_c 値: 5 kgf 重錘が高さ 50 cm から落下することによって, 先端コーンが 10 cm 貫入するのに要する打撃回数) から, 土の乾燥密度 γ_d , 内部摩擦角 ϕ' および粘着力 c' とした斜面土層の物理的なパラメータを推定しようとする試みも多くなされている（たとえば逢坂ら, 1992; 小川, 1997; 平松・尾藤, 2001; 多田, 2004）。

しかし, 同試験機の 5 kgf 重錘による衝撃力は, 表土

層厚の決定や $N_c=10$ を超える土の硬軟の判定には適しているが, 表層部における樹木根系の発進深度の推定上重要な微細な土層構造の変化や, 通常, 地表面以下 2 m 程度に位置すると考えられる表層崩壊のすべり面を調べるには過重である。また, 表層土の物理的なパラメータの推定に関しても, 高い推定精度を得るには, 貫入抵抗値に関する分解能は概して悪い。

この問題を解決するために, 吉松ら (2002) は, 土壤調査用として従来から多くの探査実績を有する長谷川式土壤貫入計と従来の斜面調査用簡易貫入試験機の機能を兼備した改良型簡易貫入試験機 (SH 型簡易貫入試験機) を開発した。同試験機は, 重錘を 3 kgf と 2 kgf の着脱可能な分解型構造とし, 3 kgf 重錘と簡易貫入試験機の ϕ 25 mm 先端コーンを用いた測定によって, 長谷川式土壤貫入計 (重錘重量 2 kgf, 先端コーン径 ϕ 20 mm) と同等の貫入力および分解能を確保し, 地表付近の微細な土層構造の変化をより詳細に把握しようとするものである。この 3 kgf 重錘を用いた貫入抵抗値は, 従来の 5 kgf 重錘による N_c 値をより詳細に表示して貫入抵抗値に関する分解能の向上を図ったものであり, その後も同試験機を用いた調査事例が多数報告されている（たとえば川満, 2002; 平松ら, 2004; 小山内ら, 2005）。

*1 正会員 鳥取大学農学部森林科学講座 Member, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Tottori University (honda@muses.tottori-u.ac.jp) *2 正会員 京都大学防災研究所流域災害研究センター (現所属: 独立行政法人森林総合研究所水土保全研究領域) Member, Research Center for Fluvial and Coastal Disaster, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University (Now in Department of Soil and Water Conservation, Forestry and Forest Products Research Institute)

また、多田 (2004) は、簡易貫入試験機用の 2 kgf 重錘を自作し、森林斜面土層を対象に簡易貫入試験および室内土質試験を行って、5 kgf 重錘による N_c 値と 2 kgf 重錘による貫入抵抗値の両方から γ_s , ϕ' および c' を推定した。その結果、斜面土層の各種のパラメータの推定には、重量の軽い 2 kgf 重錘による貫入抵抗値に拠る方が推定精度が高いことを明らかにした。

以上述べたとおり、これまで急傾斜地の地盤調査に数多くの探查実績を上げてきた簡易貫入試験機の重錘を軽量化して貫入抵抗値に関する分解能を向上させることは、斜面土層構造の微細な変化を明らかにし、土層の有する物理的特性をより詳細に把握できる点において大いに意義があると考えられる。

そこで著者らは今回、1 kgf から 5 kgf まで 1 kgf 単位で分割可能な重錘「分割型ランマー」を試作した。そして、鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター教育研究林「蒜山の森」(旧名称：農学部附属蒜山演習林) 内に試験地を設けてその性能評価を行ったので、ここに報告する。

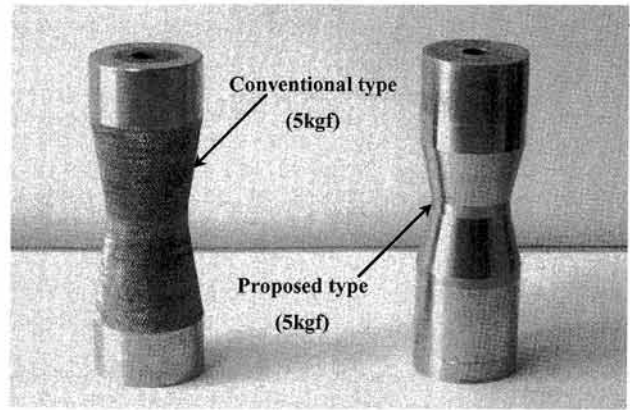
2. 分割型ランマーの構造

分割型ランマーを写真-1 に示す。また、これまでに実用化されている簡易貫入試験機のうち、代表的な機種と今回試作品との比較を表-1 に示す。

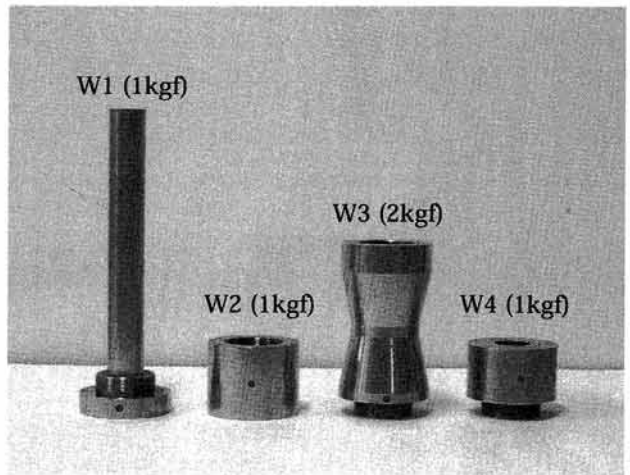
それらを参考にして、分割型ランマーの特徴について述べると、次のとおりである。

- ① 当ランマーは W1~W4 の 4 部材からなる。5 kgf 合体時の重錘全体の外観 (高さ 221 mm, 最大直径 66.5 mm) は、従来の簡易貫入試験機の 5 kgf 重錘とほとんど同じであり、これまで使い慣れた形状となっている。
- ② 各重量での部材の組合せは、次のとおりである。
 1 kgf: W1 (重量 1 kgf) のみ使用する。
 2 kgf: W1 と W2 (重量 1 kgf) を組合せて使用する。
 3 kgf: W1 と W2 プラス W4 (重量 1 kgf), または W1 と W3 (重量 2 kgf) とを組合せて使用する。
 4 kgf: W1 と W2 プラス W3 とを組合せて使用する。
 5 kgf: W1~W4 の 4 部材すべてを使用する。
- ③ 部材 W1 (高さ 220 mm) は、重錘が貫入ロッドに沿って落下する際、重錘とロッドとの間の摩擦の条件に差異が生じないようにするため、すべての重錘重量の組合せに共通して使用する。
- ④ 部材間の連結はネジ方式による。すべての部材で雄ネジと雌ネジの形状は統一されている。そのため、2 kgf および 3 kgf 重錘の場合、上記②のように複数の組合せで連結することが可能である。
- ⑤ 重錘の材質には、耐食性と強度にすぐれたステンレス SUS 304 を使用した。

なお、以下では従来の 5 kgf 重錘に対して、分割型ランマーによる 4 kgf 以下の重量重錘のことを「軽量重錘」



(a) 合体時
(a) Condition of combination



(b) 分割時
(b) Condition of division
写真-1 分割型ランマーの外観

Photo 1 Appearance form of the variable impact weight

表-1 代表的な簡易貫入試験機と今回試作品との比較
Table 1 Representative instruments of the simple penetration test

機種名	土研式貫入試験機	簡易貫入試験機			長谷川式土壌貫入計
		従来型	今回試作品	改良型 (吉松ら, 2002)	
先端コーン径	φ 30 mm		φ 25 mm		φ 20 mm
貫入ロッド径	φ 25 mm		φ 16 mm		φ 16 mm
重錘の重量	5 kgf (固定)	5 kgf (固定)	1 kgf~5 kgf (分割可)	3 kgf+2 kgf (着脱可)	2 kgf (固定)

と呼称する。

3. 分割型ランマーによる簡易貫入試験の実施

分割型ランマーの性能を評価するため、岡山県真庭市にある鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター教育研究林「蒜山の森」(図-1 参照) の一斜面を利用して簡易貫入試験を実施した。

調査対象斜面の縦断形状を図-2 に示す。この斜面の

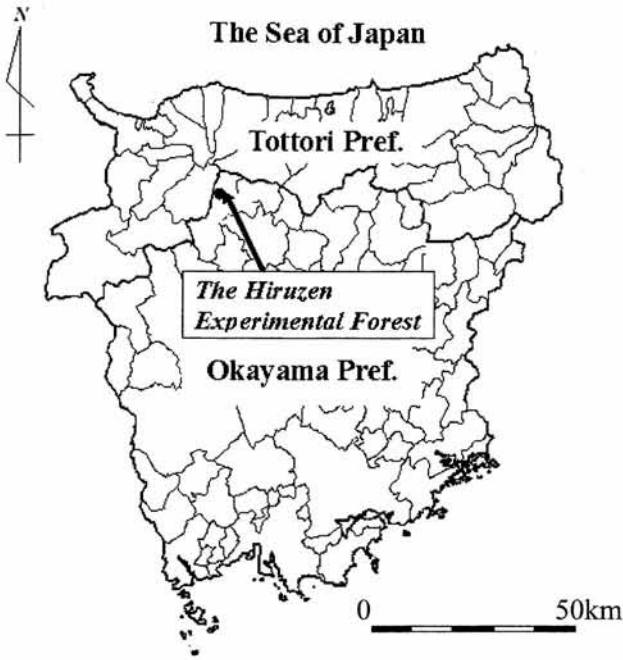


図-1 調査地の位置図
Fig.1 Situation of the investigative spot

平均勾配は 29.2° である。試験地周辺はスギ植林地で、地質は大山・蒜山火山群から供給された安山岩質の角礫、亜角礫からなる凝灰角礫岩質であり、強度の風化を受けている。また、表層には黒色火山灰土(クロボク)が1.0~1.5m程度堆積している。

この斜面に図-2に示すとおり、No.1~No.6の調査箇所を設け、さらに図-3に示すように、各調査箇所上に格子点間隔50cmの貫入試験予定地点(全16点)を設定した。そして、次に示す手順で簡易貫入試験を実施した。

- ① 調査箇所上の格子点の一つを選び、最初に最軽量の1kgf重錘を用いて貫入試験(落下高さ50cm)を行う。その際、「打撃数4回で貫入量が1cm未満」を限界貫入深度とし、この深度に到達したら重錘重量を1kgf追加する。ここで、「打撃数4回で貫入量1cm未満」を限界値としたのは、それが5kgf重錘による $N_c = 40$ (先端コーンを10cm貫入させるのに40回の打撃を必要とする土層の硬さ)以上に相当するからである。以下、同様のルールで順次重量を追加し、重錘重量を5kgfとした後、打撃数4回で貫入量1cm未満になるまで貫入試験を行う。
- ② 次に、上記①の格子点に隣接する格子点上で、重錘重量2kgfから貫入試験をスタートさせ、以下、①と同様のルールおよび手順で試験を継続する。最後に、重錘重量5kgfからスタートする貫入試験を行って、その調査箇所における第1回目の貫入試験(計5本)が終了する。
- ③ ①および②の作業を1調査箇所につき3回(5本×3回=15本)繰り返す。
- ④ ①~③の作業終了後、引き続いて長谷川式土壌貫入

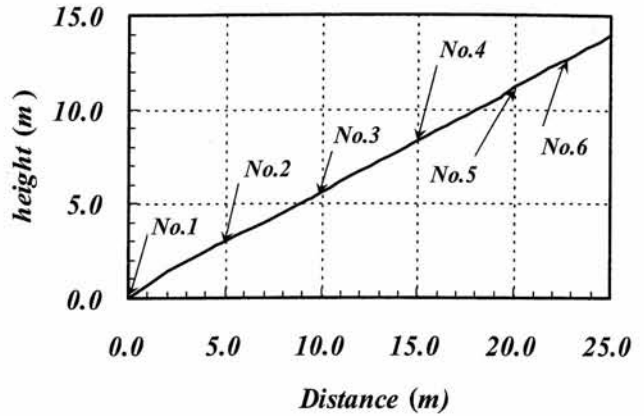


図-2 調査対象斜面の縦断形状
Fig.2 Profile of the investigative forest slope

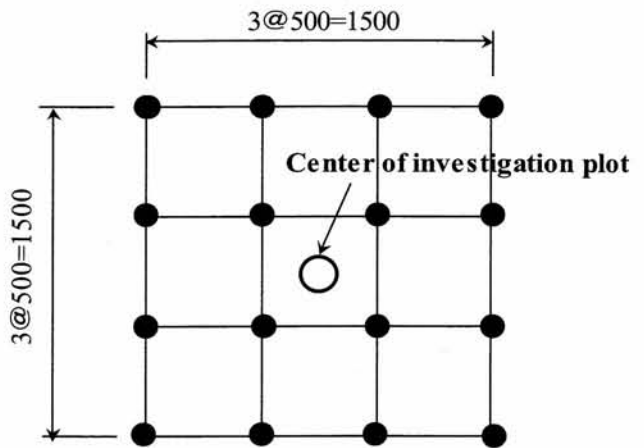


図-3 調査箇所上の貫入試験予定地点
Fig.3 Detail of the investigative plot

表-2 貫入試験の実施状況
Table 2 Simple penetration tests in this study

重錘重量・調査箇所	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
分割型ランマー	1kgfからスタート	3	6	5	5	5
	2kgfからスタート	3	6	3	3	3
	3kgfからスタート	3	3	3	3	3
	4kgfからスタート	3	3	3	3	3
	5kgfからスタート	3	3	3	3	3
小計	15	21	17	17	17	17
合計	104本					
長谷川式土壌貫入計	10	10	16	15	10	10
合計	71本					

計による貫入試験を計10回実施し、その調査箇所での試験がすべて終了する。

- ⑤ ①~④の作業をNo.1~No.6の計6箇所の調査箇所について実施した。

以上の手順にしたがって、ここでは表-2に示すとおり、総本数104本、貫入深の累計長381.44mの分割型ランマーによる簡易貫入試験と、総本数71本、貫入深の累計長65.75mの長谷川式土壌貫入計による貫入試験

を実施した。

なお、表-2において、1調査箇所では簡易貫入試験の実施本数が15本を超えている、あるいは長谷川式土壌貫入計による貫入試験の実施本数が10本を超えているものがある。これは、軽量重錘使用時に比較的浅い深度で樹根や玉石の存在に起因すると思われる貫入不可能な格子点があり、それらによるデータの不足を補完するために、当初の想定本数以上の貫入試験を実施した調査箇所があることによる。

次にデータの整理方法であるが、各重錘重量に対応した貫入抵抗値の定義は、従来の5kgf重錘を用いた N_{5kgf} 値と同様に「当該重量重錘が高さ50cmから落下することによって、先端コーンが10cm貫入するのに要する打撃数」とする。この定義にしたがって、まず、計104本の貫入試験データごとに貫入抵抗値の鉛直分布を貫入深度5cmあたりの平均値で表示する。次に、調査箇所ごとに試験開始時の重錘重量の条件が同じ貫入試験による貫入抵抗値の鉛直分布(3本または3本以上)を重ね合わせ、同一深度の貫入抵抗値を平均化して、その調査箇所を代表する貫入抵抗値の鉛直分布を求めた。また、長谷川式土壌貫入計による貫入試験についても、上記と同様の方法でデータ整理を行った。

4. 結果および考察

4.1 5kgf重錘と軽量重錘による貫入抵抗値の相互関係

図-4(a)および(b)は、調査箇所No.2およびNo.5における各重錘重量による貫入抵抗値(深度5cmあたりの貫入抵抗値の平均値)の深度分布を示している。図-5(a)~(e)は、それぞれ、横軸に1~4kgfの軽量重錘による貫入抵抗値、縦軸に同じく5kgfまたは2kgf重錘による貫入抵抗値をとり、重量が異なる重錘の使用による貫入抵抗値の相互関係について調べたものである。なお、ここでは5kgf重錘による貫入抵抗値は「 N_{5kgf} 」、3kgf重錘では「 N_{3kgf} 」などのように表記した。また、図-5中の n は標本数(測定結果の平均値の総数)である。

図-5には、直線近似式と相関係数を記載した。さらに、図-6(a)および(b)には、重量が異なる重錘の重量比と直線近似式の傾きおよび相関係数との関係を示した。これは、今回新たに提案した分割型ランマーの軽量重錘による貫入抵抗値をこれまでに多くの実績を有する従来型の5kgf重錘使用時の貫入抵抗値に「単純に、しかも精度よく」換算できれば、両者を同等に取り扱うことができ、分割型ランマーの実用化(重錘の軽量化による貫入抵抗値に関する分解能の向上)の可能性をよりいっそう高めることができると考えたからである。

ここで、軽量重錘による貫入抵抗値と5kgf重錘使用時の貫入抵抗値との関係について直線近似を仮定したのは、

- データのばらつき具合から、複雑な回帰式による近似はなじまないと判断したこと、

- 現場実務レベルでの実用化を考慮した場合、換算式は単純明快な形が望ましいと考えたこと、

- 両者の関係は、既往の研究(たとえば川満, 2002; 吉松ら, 2002)においても直線近似によって議論されており、それらの成果と本研究成果が比較できること、

等の理由による。また、相関係数を記載したのは、同値が相関関係の強弱を示す数値であり、その大小によって、軽量重錘による貫入抵抗値の5kgf重錘使用時の貫入抵抗値への換算の精度を示すことができるからである。

これら図-4~図-6を参考にして、分割型ランマーの性能について考察すると、次のとおりである。

- (1) 直線近似式の傾きに着目した重錘重量が異なる貫入抵抗値の相互関係

まず、 N_{4kgf} と N_{5kgf} では、図-4(a)および(b)ともに両者の間に大きな差異はみられない。この両者による直線近似式の傾きは図-5(a)より0.6902であり、これより両者の倍率は1.45(≒1/0.6902)と小さい。その理由としては、4kgf:5kgf=0.80:1.00(=1.00:1.25)であり、両者の重錘重量の差が小さいため、重錘落下1回あたりの貫入エネルギーの差が小さく、そのため、両者の貫入抵抗値には大きな差異が生じなかったものと考えられる。

次に、 N_{3kgf} と N_{5kgf} では、図-4(a)および(b)ともに両者の間に明確な差異が認められる。とくに、深度0.5~1.5m程度までのクロボク土層に着目すると、 N_{5kgf} や N_{4kgf} よりも増して土層内での硬軟の違いが明瞭に確認できる。 N_{3kgf} と N_{5kgf} による直線近似式の傾きは図-5(b)より0.4532であり、これより両者の倍率は2.21(≒1/0.4532)であり、 N_{4kgf} と N_{5kgf} の場合よりも大きくなっている。

なお、図-5(b)において、 N_{3kgf} と N_{5kgf} との関係は、

$$N_{5kgf} = 0.4532 N_{3kgf} \quad (r = 0.8975) \quad \dots\dots\dots(1)$$

で表されている。一方、吉松ら(2002)は花崗岩風化層、関東ローム層、第四紀砂層を調査対象土層としてSH型簡易貫入試験機を用いて貫入試験を実施し、次式を得た。

$$N_{5kgf} = 0.51 N_{3kgf} \quad (r = 0.75) \quad \dots\dots\dots(2)$$

上述の二式は、調査対象土質の違いはあるものの、 N_{3kgf} と N_{5kgf} との比が概ね1.0:0.5程度であることを示している。

さらに、 N_{2kgf} と N_{5kgf} 、あるいは N_{1kgf} と N_{5kgf} では、図-4(a)および(b)より、クロボク土層内での硬軟の違いは、ともに N_{3kgf} の場合以上に明確に出現している。 N_{2kgf} と N_{5kgf} による直線近似式の傾きは図-5(c)より0.2140であり、これより両者の倍率は4.67(≒1/0.2140)である。また、 N_{1kgf} と N_{5kgf} による直線近似式の傾きは図-5(d)より0.0781であり、これより両者の倍率は12.80(≒1/0.0781)である。

このように、軽量重錘の使用によって従来の5kgf重

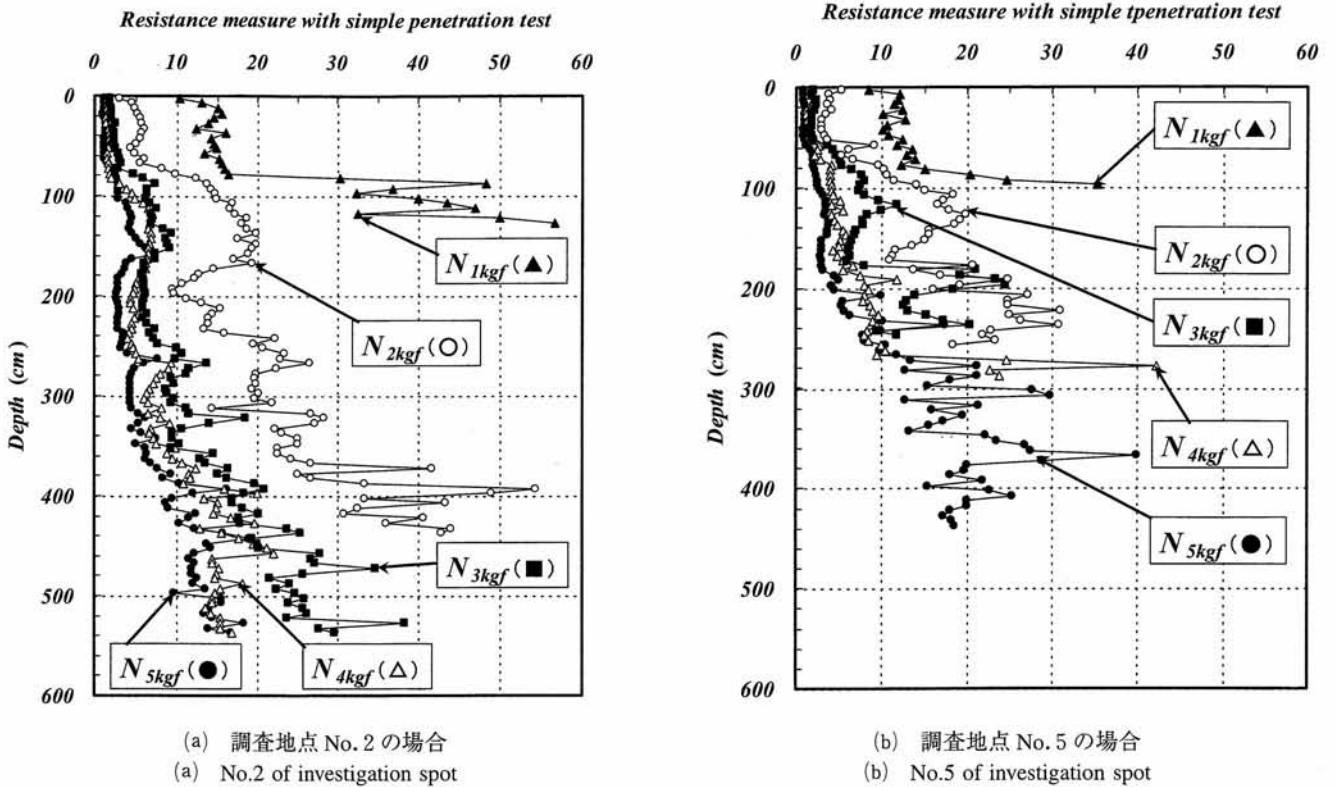


図-4 分割型ランマーの使用による貫入抵抗値の深度分布の一例
Fig.4 Examples of vertical distribution of penetration resistance by using the variable impact weight

錘による貫入抵抗値との間の倍率が上昇したのは、それぞれ、 $3\text{ kgf} : 5\text{ kgf} = 0.60 : 1.00 (=1.00 : 1.67)$, $2\text{ kgf} : 5\text{ kgf} = 0.40 : 1.00 (=1.00 : 2.50)$, $1\text{ kgf} : 5\text{ kgf} = 0.20 : 1.00 (=1.00 : 5.00)$ のように、軽量重錘と 5 kgf 重錘との重量差が大きくなり、それに伴って軽量重錘落下1回あたりの貫入エネルギーが小さくなったためである。

それは、図-6(a)からもみてとれる。すなわち、同図より、重錘重量比 W_n/W_n (W_n :軽い方の重錘の重量, W_n :重い方の重錘の重量) が小さくなり、異なる重量重錘間の重量差が大きくなるにしたがって、直線近似式の傾きは 1.0 から二次関数的に減少し、その逆数である倍率は相対的に増加することになる。

以上述べたとおり、分割型ランマーによる軽量重錘の使用によって貫入抵抗値に関する分解能は向上し、その効果、すなわち、土層内での硬軟の違いのより一層の明確化は、とくに地表面下 1.5 m 程度までの表土層内において顕著に現れていることがわかる。

一方、軽量の重錘では貫入可能な土層の硬さに限界があり、図-4(a)および(b)から、 2 kgf 重錘では $N_{5\text{kgf}}=10$ 程度、 1 kgf 重錘では $N_{5\text{kgf}}=5$ 程度がそれぞれ貫入試験の限界値といえる。しかし一般に、表層崩壊のすべり面を特定する貫入抵抗値の目安は $N_{5\text{kgf}}=10$ 程度とされており、分割型ランマーの 1 kgf および 2 kgf 重錘を用いることにより、表層崩壊のすべり面付近までの表土層内の貫入抵抗の分布特性や微細な土層構造の変化等をより詳細に

調べることができる。

また、 3 kgf 重錘による貫入試験は SH 型簡易貫入試験機による実績が多くあり、SH 型簡易貫入試験機と分割型ランマーとの互換性は、式(1)、(2)のとおり、ほぼ良好といえる。

以上より、急傾斜地上で表層崩壊のすべり面の特定や表土層内の詳細な土層構造の調査等を行うにあたり、従来型の 5 kgf 重錘による貫入抵抗値に関する分解能を向上させるためには、分割型ランマーによる 1 kgf から 3 kgf までの3種類の軽量重錘の使用が実用的であるといえる。

(2) 直線近似式の相関係数に着目した重錘重量が異なる貫入抵抗値の相互関係

次に、図-5(a)~(d)において、各直線近似式の相関係数 r に着目すると、 $N_{4\text{kgf}} \sim N_{2\text{kgf}}$ と $N_{5\text{kgf}}$ との間では、 $r = 0.897 \sim 0.898$ 程度であることから、これらの間では、軽量重錘による貫入抵抗値の 5 kgf 重錘使用時の貫入抵抗値への換算がほぼ同等の精度で行われているといえる。

それらに比べて、 $N_{1\text{kgf}}$ と $N_{5\text{kgf}}$ との間では $r = 0.8201$ であり、相関関係は若干悪い。そこで、図-6(b)により、異なる重量重錘の重量比と直線近似式の相関係数との関係を見てみると、重量比が 0.40 ($2\text{ kgf}/5\text{ kgf}$) よりも小さい2ケース ($1\text{ kgf}/5\text{ kgf} = 0.20$ および $1\text{ kgf}/3\text{ kgf} = 0.33$ 、なお、 $1\text{ kgf}/3\text{ kgf}$ については後出の図-8(b)参照) の場合、 r は他に比べて若干小さいことがわかる。その

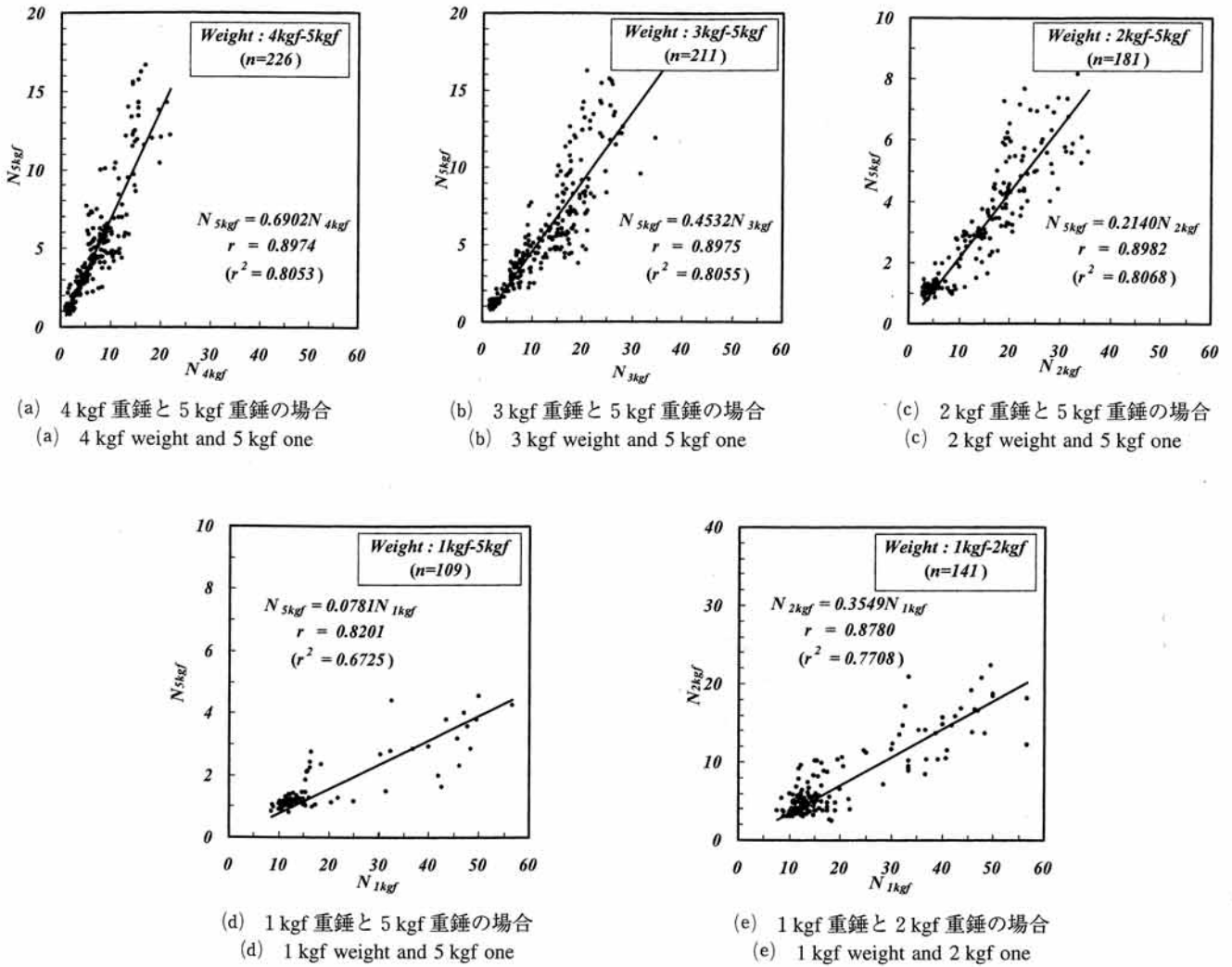


図-5 分割型ランマーの使用による貫入抵抗値の相互関係
 Fig. 5 Reciprocal relation of penetration resistance by using the variable impact weight

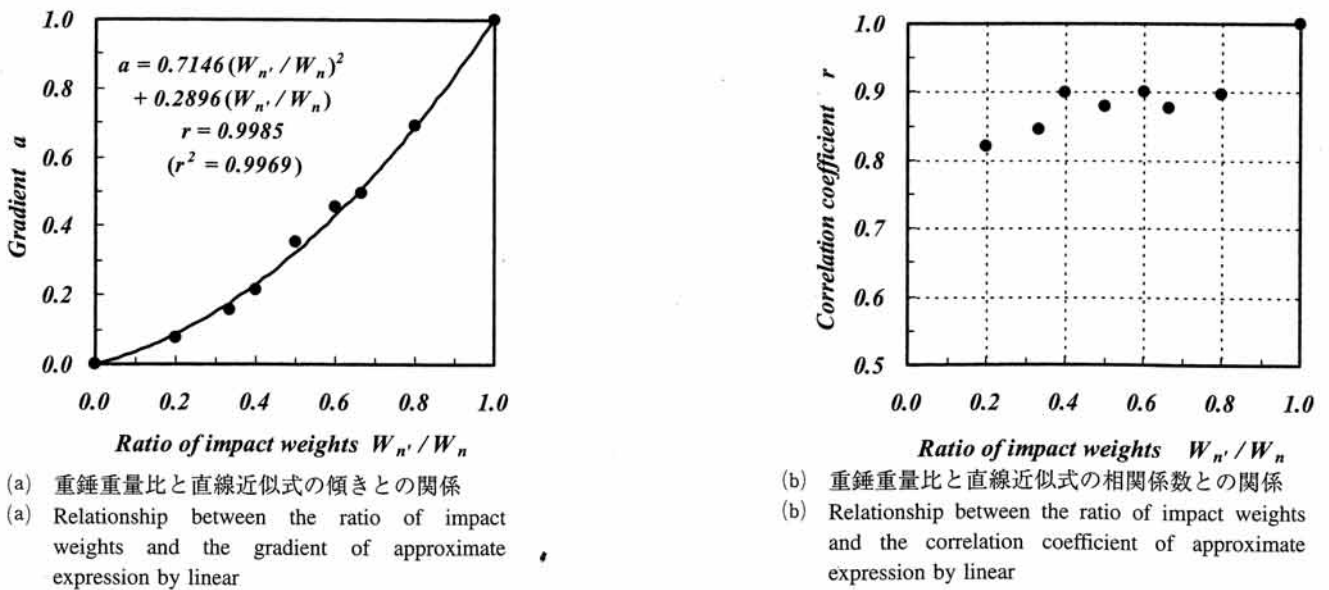


図-6 重錘重量比と直線近似式との関係
 Fig. 6 Relationship between the ratio of impact weights and the approximate expression by linear

原因が、重錘重量比が小さいことによる影響なのか、それとも 1 kgf 重錘自体の問題なのかを調べるため、ここでは N_{1kgf} と、 N_{5kgf} との直線近似の相関性が最も高い N_{2kgf} ($r=0.8982$) との間の相関関係を調べてみた。ちなみに両者の重錘重量比は、 $1\text{ kgf}/2\text{ kgf}=0.50$ である。

その結果、図-5(e)に示すとおり、 N_{1kgf} と N_{2kgf} との間の相関係数は $r=0.8780$ まで向上した。このことから、 N_{1kgf} と N_{5kgf} との相関関係が他に比べて若干悪いのは、重錘重量比が小さいことによる影響が大きいと考えられる。よって今後、分割型ランマーを用いた軽量重錘による貫入抵抗値の 5 kgf 重錘使用時の貫入抵抗値への換算にあたり、重錘重量比が小さい N_{1kgf} と N_{5kgf} との換算には注意が必要である。

4.2 分割型ランマーと長谷川式土壌貫入計との関係

図-7 は、横軸に重錘重量 3 kgf の場合の貫入抵抗値、縦軸に長谷川式土壌貫入計による貫入抵抗値をとり、両者の互換性について調べたものである。

同図によれば、分割型ランマーによる N_{3kgf} と長谷川式土壌貫入計による貫入抵抗値 N_H との関係は、

$$N_H = 1.1070 N_{3kgf} \quad (r=0.7195) \dots\dots\dots(3)$$

で表される。一方、吉松ら (2002) によれば、SH 型簡易貫入試験機による N_{3kgf} と N_H との関係は、次式のとおりである。

$$N_H = 1.04 N_{3kgf} \quad (r=0.73) \dots\dots\dots(4)$$

上述の二式から、 N_{3kgf} と N_H との比は概ね 1.0 : 1.0 であると考えられ、分割型ランマーの 3 kgf 重錘も、SH 型簡易貫入試験機の 3 kgf 重錘と同様に長谷川式土壌貫入計と同等の貫入力ならびに探査能力を有するといえる。このことと、前節で述べたとおり、1 kgf~3 kgf 重錘の使用によって表土層内における貫入抵抗値に関する分解能が著しく向上することから、分割型ランマーの 2 kgf 重錘あるいは 1 kgf 重錘を用いて貫入試験を行えば、長谷川式土壌貫入計相当の貫入抵抗値に関する分解能をさらに高めることができると考えられる。

図-8(a)および(b)は、横軸に重錘重量 2 kgf または 1 kgf の場合の貫入抵抗値、縦軸に同じく 3 kgf の場合の貫入抵抗値をとり、長谷川式土壌貫入計相当の貫入抵抗値に関する分解能が軽量重錘の使用によって向上するかどうかを調べたものである。同図によれば、 N_{2kgf} と N_{3kgf} との相関係数 $r=0.8437$ の方が、 N_{2kgf} と N_{3kgf} との相関係数 $r=0.8752$ よりも若干小さい。これは前節での考察のとおり、 $1\text{ kgf} : 3\text{ kgf}=0.33 : 1.00 (=1.00 : 3.00)$ 、 $2\text{ kgf} : 3\text{ kgf}=0.67 : 1.00 (=1.00 : 1.50)$ 、といった重錘重量比の大小に起因するものと考えられる。

しかし、前出の N_{1kgf} と N_{5kgf} ($r=0.8201$) ほどには重錘重量比が小さいことによる影響はみられない。このことから、 N_{3kgf} ($\equiv N_H$) を N_{2kgf} および N_{1kgf} を用いてさらに詳細に分解表示することにより、長谷川式土壌貫入計相当の貫入抵抗値に関する分解能を向上させることは十分可能である。

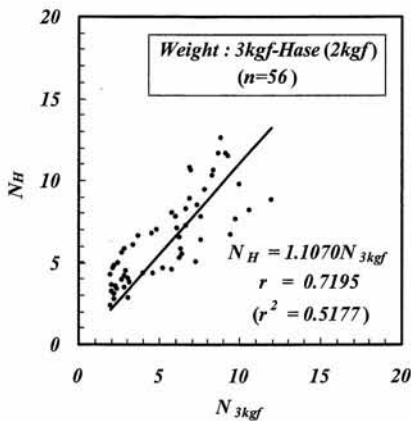
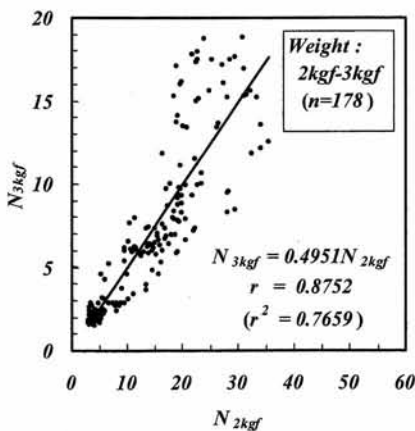
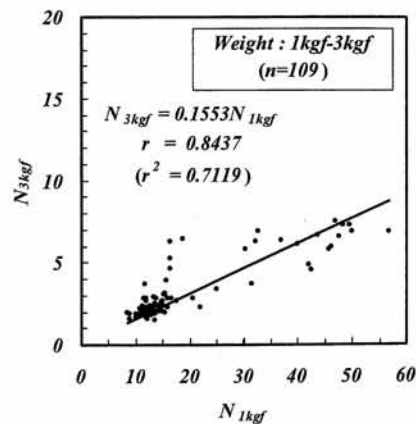


図-7 N_{3kgf} と N_H との関係
Fig.7 Relationship between N_{3kgf} and N_H

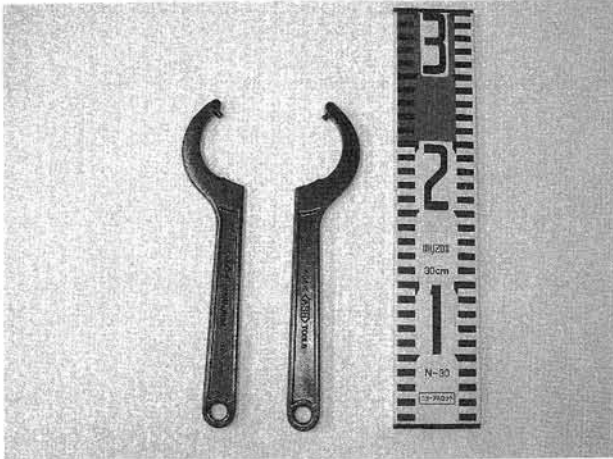


(a) 2 kgf 重錘と 3 kgf 重錘の場合
(a) 2 kgf weight and 3 kgf one

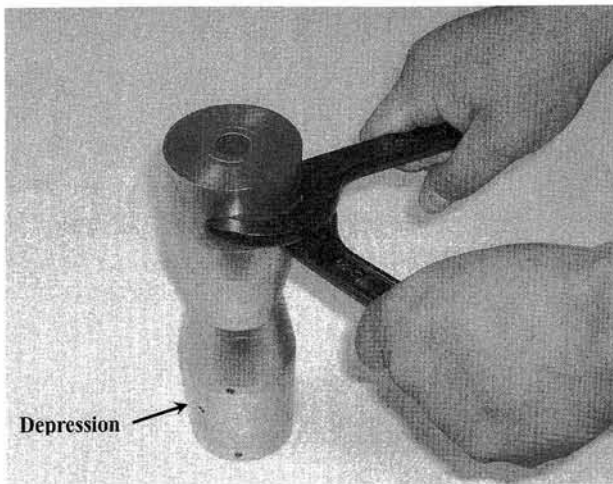


(b) 1 kgf 重錘と 3 kgf 重錘の場合
(b) 2 kgf weight and 3 kgf one

図-8 分割型ランマーの使用による N_{3kgf} ($\equiv N_H$) の分解能の向上
Fig.8 Improvement of N_{3kgf} ($\equiv N_H$) by using the variable impact weight



(a) 引掛けピンスパナ
(a) Hook spanner of pin-type



(b) 引掛けピンスパナによる部材の着脱
(b) Removal of the variable impact weight by using hook spanners of pin-type

写真-2 分割型ランマーの着脱方法
Photo 2 Removal way of the variable impact weight

4.3 分割型ランマーの使用による簡易貫入試験の作業性

分割型ランマーによる簡易貫入試験の作業性については、

- ① 重錘の形状を、今まで使い慣れた従来の5 kgf重錘を基本に考えて製作した。
 - ② 重錘部材の着脱は、貫入ロッドの継ぎ足しの合間に行えば、それほど時間のロスを感じない。
- 等から、これまでとほとんど変わらない、というのが試験従事者の弁であった。

また、計画段階における懸案事項として、各部材の連結方法をネジ方式としたことにより、打撃による部材連結部の緩みや欠損が心配されたが、今回の一連の試験作業中、そのような不具合は一切生じなかった。

- 一方、試験従事者からは、現場での注意事項として、
- ① ネジ部に土が付着した状態で無理に部材を連結すると、その後の着脱が困難となる。

- ② 各部材は円形状を呈しているため、手元から落とすと斜面を転げ落ち、その後の搜索が非常に困難である。
- ③ 重錘の落下回数の増加に伴い、振動によって部材連結部が強く締まった状態となり、場合によっては手動では着脱できない事態となるので、部材の連結の度合いを適宜点検しながら作業を行う必要がある。

とくに、上記③の問題点は貫入試験の作業性の低下にも関わる重大な欠陥であることから、部材の着脱方法について再検討を行った。その結果、各部材に小さな凹部を設け、写真-2(a)に示す「引掛けピンスパナ(全長約23 cm, 重量約260 gf/本)」を用いて写真-2(b)のようにして部材の着脱を行うことで、上述の問題点を解決した。

5. おわりに

本報告では、簡易貫入試験機の分解能の向上を目的として、1 kgf から5 kgf まで1 kgf 単位で分割可能な重錘「分割型ランマー」を試作し、その性能評価を行った。その結果、いくつかの興味ある知見が得られた。それらを列挙すると、次のとおりである。

- (1) 分割型ランマーの1 kgf, 2 kgf および3 kgf 重錘による N_{1kgf} , N_{2kgf} および N_{3kgf} により、従来型の5 kgf 重錘による貫入抵抗値 N_{5kgf} に比べて貫入抵抗値に関する分解能は著しく向上した。その効果はとくに表土層内において顕著に現れた。
- (2) 軽量の重錘では貫入可能な土層の硬さに限界があり、2 kgf 重錘では $N_{5kgf} = 10$ 程度、1 kgf 重錘では $N_{5kgf} = 5$ 程度がそれぞれ限界値といえる。しかし一般に、表層崩壊のすべり面を特定する貫入抵抗値の目安は $N_{5kgf} = 10$ 程度であるため、1 kgf~3 kgf 重錘の使用により、表層崩壊のすべり面付近までの表土層内の貫入抵抗の分布特性や微細な土層構造の変化等をより詳細に調べることができる。
- (3) 5 kgf 重錘と軽量重錘による貫入抵抗値の関係を直線近似式で表した場合、 $N_{2kgf} \sim N_{4kgf}$ と N_{5kgf} との間では、軽量重錘による貫入抵抗値の5 kgf 重錘使用時の貫入抵抗値への換算は、それぞれの相関係数から判断してほぼ同等の精度で行われているといえる。それらに比べて、 N_{1kgf} と N_{5kgf} との間の相関関係は若干悪いが、これは両者の重錘重量比が小さいことによる影響が大きいと考えられる。よって今後、 N_{1kgf} と N_{5kgf} との換算には注意が必要である。
- (4) 吉松ら(2002)の研究成果を参考にして、 N_{2kgf} と長谷川式土壌貫入計による貫入抵抗値 N_H との同等性を確認した。さらに、分割型ランマーの2 kgf 重錘および1 kgf 重錘による N_{2kgf} および N_{1kgf} によって、 N_H 相当の貫入抵抗値に関する分解能が著しく向上することを明らかにした。
- (5) 分割型ランマーの使用による簡易貫入試験の作業性は、従来型のそれとほとんど変わらなかった。一方、試験従事者からは、重錘の落下回数の増加に伴い、振

動によってネジ方式の部材連結部が強く締まった状態となり、手動による着脱が困難となる、との指摘を受けた。この問題点に関しては、引掛けピンスパナによる着脱が可能となるよう若干の改良を行うことによつて解決した。

以上述べたとおり、今回試作した分割型ランマーを使用した簡易貫入試験には、表土層内における貫入抵抗値に関する分解能の向上や、地表面付近の微細な土層構造を把握するための援用手法としての一定の効果と可能性が認められた。

今後は、今回の試験地以外の地質・土質における分割型ランマーの性能確認や、当ランマーを用いた簡易貫入試験による斜面土層の各種の物理的なパラメータの推定精度の向上等に取り組み、分割型ランマーの有効な活用方法を模索していきたい。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、平成16年度文部科学省地域貢献特別支援事業(水!汚れからのよみがえりプラン「林地の水源涵養機能の定量的評価手法の開発」, 研究代表者 奥村武信)から研究費の一部を補助いただいた。ジオグリーンテック株式会社 代表 長谷川秀三氏には、貫入試験データの整理方法ならびに貫入抵抗値の算出方法に関して貴重なご助言を賜るとともに激励をいただいた。ここに記して深甚の謝意を表します。

また、分割型ランマーの試作加工は、鳥取大学工学部ものづくり教育実践センターの実習工場において行われた。その際、関係各位にご尽力いただくとともに、とくに部材の着脱方法の改良に関して適切なアドバイスをいただいた。ここに記して深謝いたします。

引用文献

- 平松晋也・尾藤顕哉 (2001)：斜面調査用簡易貫入試験機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, Vol. 54, No. 4, p. 12-21
- 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
- 飯田智之・奥西一夫 (1979)：風化表層土の発達による斜面発達について, 地理学評論, No. 52, p. 426-438
- 川満一史 (2002)：改良型簡易貫入試験機の開発, SABO, Vol. 73 June, p. 14-19
- 小川紀一郎 (1997)：山地斜面における表土層の構造特性と水分変動過程に関する研究, 北海道大学農学部演習林研究報告, Vol. 54, No. 1, p. 87-141
- 恩田裕一 (1989)：土層の水貯留機能の水文特性および崩壊発生に及ぼす影響, 地形, No. 10, p. 13-26
- 大久保駿・上坂利幸 (1971 a)：簡易貫入試験機による地盤調査, 土木技術資料, Vol. 13, No. 2, p. 83-87
- 大久保駿・上坂利幸・船崎昌継 (1971 b)：簡易貫入試験機による地盤調査(2), 土木技術資料, Vol. 13, No. 8, p. 403-409
- 小山内信智・内田太郎・曾我部匡敏・長谷川秀三・漆原隆之 (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概要集, p. 64-65
- 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 (新砂防), Vol. 45, No. 3, p. 3-12
- 多田泰之 (2002)：地温分布測定による浅層水みち経路の推定, 砂防学会誌, Vol. 55, No. 2, p. 4-10
- 多田泰之 (2004)：斜面土層内に発達するパイプと斜面の安定, 鳥取大学大学院連合農学研究科学位論文, p. 70-86
- 吉松弘行・瀬尾克美・長谷川秀三 (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

(原稿受理 2005年7月7日)