

## 粒度組成の異なる地盤における土研式と筑波丸東製の簡易貫入試験計測値の比較

Comparison between Doken-Type and Tsukuba-Maruto Type Simplified Dynamic Cone Penetrometers on Foundations of Different Grain Size

若月 強\*・佐々木 良宜\*\*・松倉 公憲\*\*\*

Tsuyoshi WAKATSUKI\*, Yoshinori SASAKI\*\* and Yukinori MATSUKURA\*\*\*

### はじめに

簡易貫入試験機は、2～3人で施行可能な簡便な土層構造調査用機具であることから、奥西・飯田(1978)をはじめとしてその他の多数の斜面研究に用いられている。例えば、表層崩壊時に崩土となる土層の識別などに有効である(奥西・飯田, 1978など多数)。簡易貫入試験機を用いた土層区分は、逢坂(1996)がレビューしている。また、逢坂ほか(1992)、吉永・大貫(1995)、小川(1997)、平松・尾藤(2001)などは、貫入試験値と乾燥単位体積重量やせん断強度定数( $c$ )、飽和透水係数などの物性値との関係を調べている。

簡易貫入試験機にはいくつか種類があるが、土研式簡易貫入試験機(KDK S 0901-1968 動的円すい貫入試験、以下、土研式と呼ぶ)と筑波丸東製簡易貫入試験機((財)砂防・地すべり技術センター意匠 No.635530号、以下、筑波丸東製と呼ぶ)の2種類の試験機は、その呼称は様々であるが多数の斜面研究に用いられている(第1表)。両試験機はともに、5 kgの重り(ウエイト)を50 cmの高さからノッキングヘッドに自由落下させたときの運

動エネルギーで、ロッドにつながる先端角60°の円錐コーン(貫入先端コーン)を貫入させる(第1図)。それにより、先端コーンの貫入に対する土層の抵抗の垂直的な変化が明らかになる。簡易貫入試験による結果は、先端コーンが10 cm貫入するのに要する打撃回数である $N_c$ (または $N_{10}$ )値で表す。本研究では、土研式による計測値を $N_{10}$ 値、筑波丸東製による計測値を $N_c$ 値と呼ぶ。両試験機は先端コーンの直径が異なる(土研式 30 mm、筑波丸東製 25 mm)。両貫入試験機を用いた研究は数多くあるので、それらの研究間でデータの比較をおこなうためには、両試験機による計測値の関係を明らかにする必要がある。貫入試験機の原理からは、地盤に先端コーンが貫入するエネルギーは、先端コーンの断面積に反比例すると考えられるので、理論上では同じ地盤で貫入試験をおこなった場合、 $N_c$ 値は $N_{10}$ 値の $25^2/30^2 = 0.694444 \dots$  0.69倍となるはずである。しかし、今回5種類の地盤(花崗岩土層・洪水段丘堆積物・湖岸段丘堆積物・粘土)で $N_{10}$ 値と $N_c$ 値を比較した結果、理論値とは異なる結果が得られたので、若干の考察を加えて報告する。

\* 筑波大学大学院地球科学研究科

\*\* 筑波大学大学院理工学研究科

\*\*\* 筑波大学地球科学系

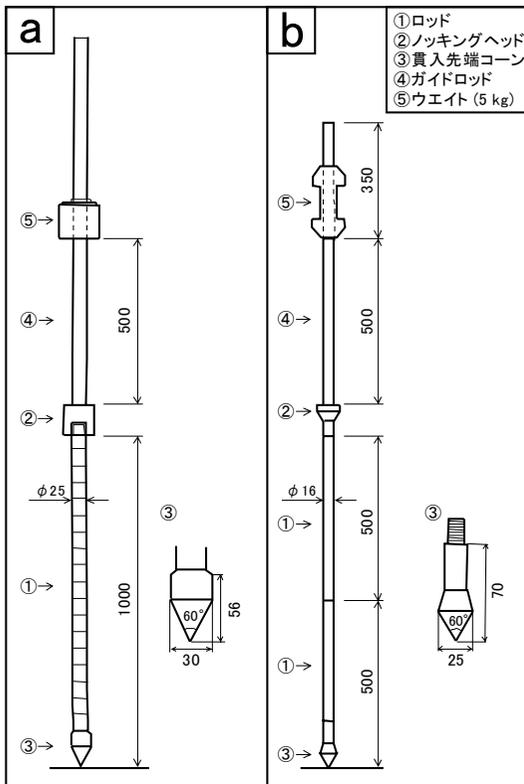
第 1 表 貫入試験機の呼称

| 貫入試験機の呼称                                      | 調査対象となった地質(または地層)    | 研究者                      |
|---|----------------------|--------------------------|
| <b>土研式</b>                                    |                      |                          |
| 土研式動的円すい貫入試験機                                 |                      | テスコ(株) 説明書               |
| 土研式動的貫入試験機                                    |                      | 大久保・上坂 (1971)            |
| 土研式簡易貫入試験機                                    |                      | 奥西・飯田 (1978)             |
| (a simplified cone penetrometer (Doken-type)) | 花崗岩                  | Iida and Okunishi (1983) |
| 土研式簡易貫入試験機                                    | 古生層・花崗岩類・新第三紀層       | 遠坂・塚本 (1987)             |
| 土研式簡易貫入試験機                                    | 花崗岩・花崗閃緑岩・ハンレイ岩・石灰岩  | 寺田ほか (1994)              |
| 土研式簡易貫入試験機                                    | 花崗岩類                 | 小川 (1997)                |
| 土研式簡易貫入試験器                                    | 弱固結砂岩                | 市川・松倉 (2001)             |
| 土研式簡易貫入試験器                                    | 花崗岩                  | 若月ほか (2002)              |
| <b>筑波丸東製</b>                                  |                      |                          |
| 斜面調査用簡易貫入試験機                                  |                      | (株) 筑波丸東説明書              |
| 簡易貫入試験機                                       |                      | 大久保・上坂 (1971)            |
| 斜面貫入試験機(丸東製作所製)                               | 斑状花崗閃緑岩              | 望月・松本 (1986)             |
| 単管式小型動的コーン貫入試験機                               | 泥岩(中新世~更新世初)         | 小宮・新城 (1991)             |
| 簡易貫入試験機                                       | 花崗岩類                 | 遠坂ほか (1992)              |
| 簡易貫入試験機                                       | 花崗岩・片麻岩・片岩・砂岩・頁岩・火山灰 | 吉永・大貫 (1995)             |
| (a handy dynamic cone penetrometer)           | 安山岩                  | 飯田・田中(1997)              |
| (株)筑波丸東・斜面調査用簡易貫入試験器                          | 砂岩                   | 平松・尾藤 (2001)             |
| (a handy dynamic cone penetrometer)           |                      |                          |
| 斜面調査用簡易貫入試験器                                  | 花崗岩・片麻岩              | 松倉ほか(2002)               |
| (a simplified dynamic cone penetrometer)      |                      | Wakatsuki et al. (2002)  |
| 筑波丸東製の土研式貫入試験器                                | 花崗岩類                 | 鈴木ほか (2002)              |

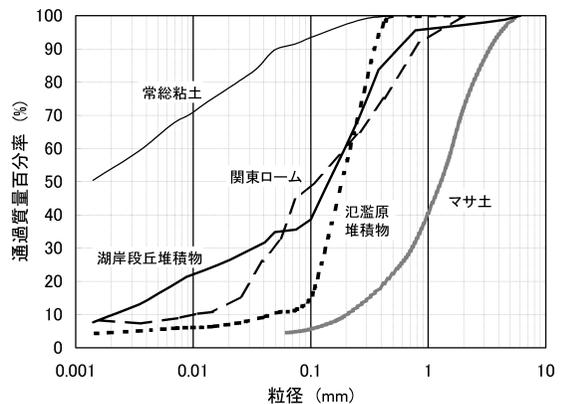
地盤構成物質の粒度組成

調査対象とした地盤構成物質は以下の 5 つである：(1) 南阿武隈山地南部多賀山地の角閃石黒雲母花崗岩からなる勾配約 40° の斜面上のマサ土 (Matsukura and Tanaka, 1983 の Slope 2), (2) 茨城県つくば市北条の桜川の氾濫原堆積物, (3) 茨城県麻生町の霞ヶ浦の湖岸段丘堆積物 (豊田, 2003 の湖岸段丘 I) (4) 筑波大学陸域環境研究センター内の関東ローム (立川・武蔵野ロームに相当), (5) 同センター内の常総粘土。

氾濫原堆積物と関東ロームについては粒度分析を行った。シルト以下の細粒分は沈降法によって、砂以上の粗粒分は篩分け法により求めた (JIS A 1204)。また、マサ土の粒度については Matsukura and Tanaka (1983) を参照した。同様に湖岸段丘堆積物は豊田 (2003)、常総粘土は前門ほか (1979) の粒度分析結果を引用した。試料は貫入試験地点において、マサ土は深さ 40-50 cm、氾濫原堆積物は深さ 80-100 cm、湖岸段丘堆積物は深さ 10-20 cm、関東ロームは深さ 100 cm で採取されたものである。常総粘土試料は、貫入試験地点から 12 ~ 13 km 離れた茨城県谷田部町の切り取り面で採取している。肉眼観察では、いずれの地盤構成物質も貫入試験位置や地盤の深さによる粒径の違いはなかった。



第 1 図 土研式 (a) と筑波丸東製 (b) の簡易貫入試験機 (単位は mm)



第 2 図 地盤構成物質の粗度組成

粒度分析結果を第 2 図に示した .50% 粒径は, 粒径の大きな順にマサ土 (1.27 mm), 氾濫原堆積物 (0.18 mm), 湖岸段丘堆積物 (0.15 mm), 関東ローム (0.11 mm), 常総粘土 (0.0013 mm) となった.

### 土研式と筑波丸東製を用いた簡易貫入試験

土研式と筑波丸東製を用いた簡易貫入試験はマサ土では計 6 地点, 氾濫原堆積物と湖岸段丘堆積物ではそれぞれ 1 地点, 関東ロームと常総粘土ではそれぞれ 2 地点でおこない, 両試験機の試験位置は互いに 0.3 ~ 1.0 m 離れた. 貫入試験は  $N_{10} = 50$  と  $N_c = 30$  になるまでおこなった.

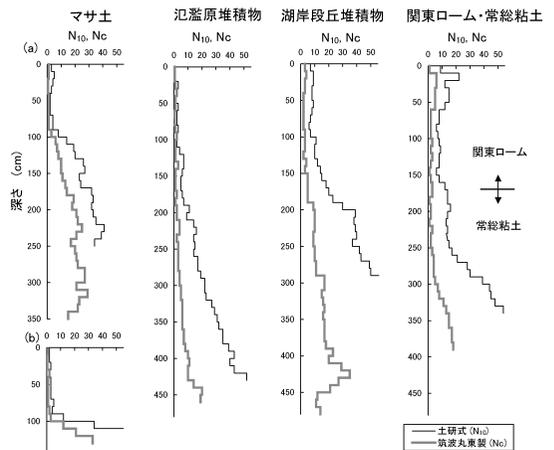
簡易貫入試験による  $N_c$  および  $N_{10}$  プロファイルを図 3 に示す. ただし, マサ土は 2 地点, 関東ロームと常総粘土は 1 地点での結果のみを示している. 関東ロームと常総粘土は, 同一地盤内にあり第 3 図では深さ 0-170 cm が関東ロームで深さ 170-340 cm が常総粘土である.  $N_{10} < 50$  の土層深は, マサ土の 6 地点ではそれぞれ 50 cm, 70 cm, 70 cm, 70 cm, 110 cm, > 250 cm となり, 氾濫原堆積物の 420 cm, 湖岸段丘堆積物の 290 cm, 関東ロームの 170 cm, 170 cm, 常総粘土の 170 cm, 140 cm に比べると浅い土層が多かった. 氾濫原堆積物, 湖岸段丘堆積物, 関東ローム, 常総粘土は  $N_{10}$  値・ $N_c$  値は土層深とともに徐々に増加している. マサ土では,  $N_{10}$  値・ $N_c$  値が土層深とともに徐々に増加している土層 (第 3 図 (a), 計 4 地点) と, ある土層深で急増する土層 (第 3 図 (b), 計 2 地点) があつた.

第 4 図に,  $N_{10}$  値と  $N_c$  値の関係を示した. 得られたデータをもとに, 以下のような回帰直線を描いた.

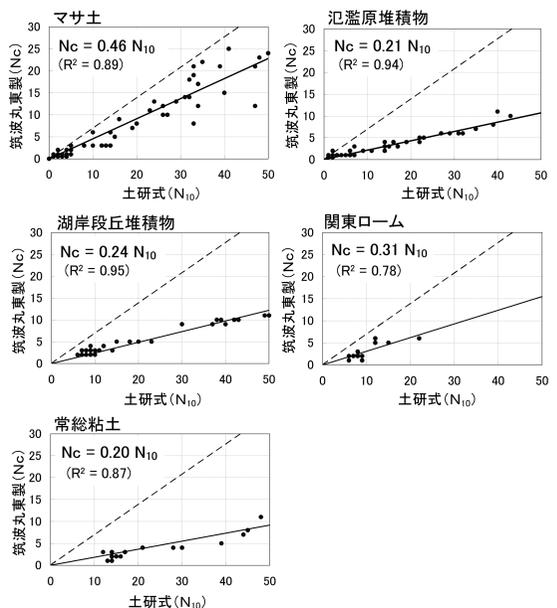
$$N_c = a N_{10} \quad (1)$$

$a$  は係数. また, 図中には先端コーンの断面積から求めた理論式  $N_c = 0.69 N_{10}$  の直線を破線で示し

た.  $a$  は, 値の大きい順にマサ土 (0.46), 関東ローム (0.31), 湖岸段丘堆積物 (0.24), 氾濫原堆積物 (0.21), 常総粘土 (0.18) となったが, いずれも理論値  $a = 0.69$  より小さな値であつた.



第 3 図 土研式と筑波丸東製の貫入試験プロファイル

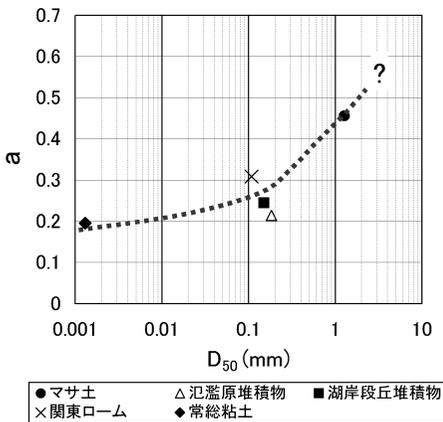


第 4 図 土研式と筑波丸東製の貫入試験値の関係 (実線は回帰直線, 破線は理論式  $N_c = 0.69 N_{10}$ )

## 考察

地盤の粒度組成は、地盤のせん断抵抗力などの力学的性質に大きく影響している（例えば、Statham, 1977）. 吉永・大貫（1995）は、数種類の地質（花崗岩・片麻岩・片岩・砂岩・頁岩・火山灰）を対象として筑波丸東製の貫入試験をおこなっている．それによると、地盤構成物質の密度が同じならば、粒径の大きい砂質地盤では  $N_c$  値が小さくなり、粒径の小さいシルト・粘土質地盤では  $N_c$  値が大きくなることを明らかにしており、その原因として、粒径の小さいシルト・粘土質地盤では粘着力が大きいために、貫入時のコーンの先端におけるせん断抵抗力が大きくなる可能性を指摘している．したがって、地盤の粒度組成の違いは、地盤の力学的性質の差異をあらわす指標になると考えることができるであろう．

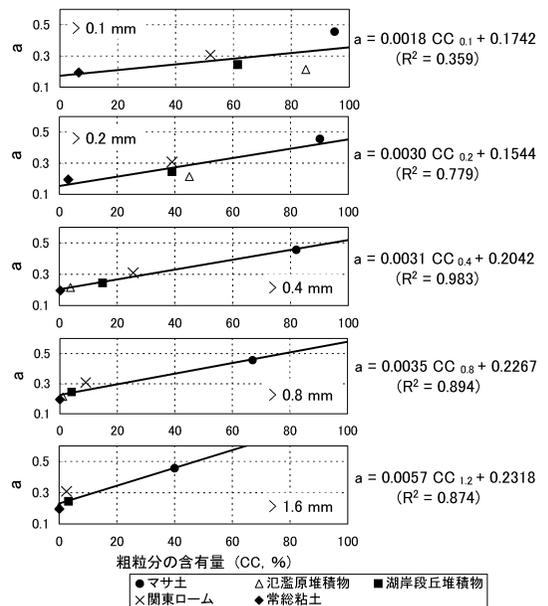
そこで、地盤構成物質の 50% 粒径と (1) 式の  $a$  との関係を示した．この図によると、50% 粒径が大きくなると  $a$  の値も増加する傾向がある．ただし、50% 粒径が 0.1-0.2 mm の範囲にある関東ローム、湖岸段丘堆積物、洪水段丘堆積物の  $a$  は 0.21 から 0.31 の範囲にあり、やや大きなばらつきがある．一方、平均粒径の指標値である  $(16 + 84)/2$  や  $(25 + 75)/2$  と  $a$  の間には明瞭な関係は見られなかった．



第 5 図 50% 粒径と  $a$  の関係

第 6 図は、粗粒分の含有量 (content for coarse grains, CC) と  $a$  との関係を示した．このとき、粗粒分と細粒分の境界の設定が問題となるので、図中では境界として 0.1 mm, 0.2 mm, 0.4 mm, 0.8 mm, 1.6 mm の 5 種類の値を与え、それぞれの場合について直線回帰した．粗粒分の含有量が 100% となる場合の  $a$  の値は、粗粒分と細粒分の境界が 0.1 mm のとき 0.35, 0.2 mm のとき 0.45, 0.4 mm のとき 0.51, 0.8 mm のとき 0.58, 1.6 mm のとき 0.80 となった．粗粒分の含有量 (CC) が 100% になると、 $a$  は上述の理論値である 0.69 に近づくと考えられる．理論値よりも  $> 1.6$  mm の値は大きいので、粗粒分と細粒分の境界を 1.6 mm とすることはできないであろう．また、 $> 0.1$  mm と  $> 0.4$  mm の値は理論値よりもかなり小さい．したがって、粗粒分と細粒分の境界を 0.4-0.8 mm くらいに設定するのが適当であろう．本調査では、0.4 mm 以上を粗粒分とした場合に  $r^2 = 0.982$  と最も決定係数が高くなった (第 6 図)．そのとき、 $a$  は以下の式で示される．

$$a = 0.0031 CC_{0.4} + 0.2042 \quad (2)$$



第 6 図 粗粒分の含有量 (CC) と  $a$  の関係

ここで、 $CC_{0.4}$  は 0.4 mm 以上の土粒子の含有量 (%) である。

以上より、0.4 mm 以下の細粒分の割合が増えるほど、吉永・大貫 (1995) が示唆したような地盤のせん断抵抗力などの力学的強度が大きくなり、筑波丸東製に対して土研式の貫入試験機が地盤に貫入しにくくなっているであろう。

### おわりに

粒度組成の異なる 5 種類の地盤において、土研式簡易貫入試験機 (先端コーンの直径 30 mm) と筑波丸東製簡易貫入試験機 (先端コーンの直径 25 mm) による計測値の比較をおこなった。その結果、以下の関係が得られた。

$$a = 0.0031 CC_{0.4} + 0.2042$$

$a$  は、土研式による計測値 ( $N_{10}$ ) と筑波丸東製による計測値 ( $N_c$ ) の比であり、 $N_c = a N_{10}$  とあらわすことができる。 $CC_{0.4}$  は、0.4 mm 以上の土粒子の含有量 (%) である。

### 謝辞

現地調査および試料収集に協力して下さった筑波大学環境科学研究科の豊田麻衣氏、筑波大学生命環境研究科の小暮哲也氏、および調査地域の選定に際し貴重な助言をして下さった筑波大学地球科学研究科の斎藤健一氏に深く感謝します。

### 文献

飯田智之・田中耕平 (1997): 簡易貫入試験からみた土層深と地形の関係。地形, **18**, 61-78。  
市川岳志・松倉公憲 (2001): 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**, 30-37。

逢坂興宏 (1996): 斜面土層構造の測定。恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴編: 『水文地形学』古今書院, 15-23。

逢坂興宏・田村 毅・窪田順平・塚本良則 (1992): 花崗岩斜面の土層構造の発達過程に関する研究。新砂防, **45**(3), 3-12。

逢坂興宏・塚本良則 (1987): 自然斜面の土層の厚さについて。緑化工技術, **12**, 31-36。

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**, 31-35。

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報告, **51**, 87-141。

奥西一夫・飯田智之 (1978): 愛知県小原村周辺の山崩れについて (I) 斜面形, 土層構造と山崩れについて。京大防災研年報, **21B-1**, 297-311。

小宮康明・新城俊也 (1991): 島尻層泥岩における風化の進行とその工学的性質に及ぼす影響。土と基礎, **39**(6), 21-27。

鈴木浩一・伊藤栄紀・千木良雅弘 (2002): 風化花崗岩斜面の緩みと斜面内部への降雨の浸透 - 物理探査と実測データを用いた検討 -。応用地質, **43**, 270-283。

寺田憲一・広瀬 孝・松倉公憲 (1994): 阿武隈山地における二、三の土の力学的性質と崩壊に対する斜面の不安定性について。筑波大学水理実験センター報告, **19**, 19-31。

豊田麻衣 (2003): 霞ヶ浦湖岸平野の形成過程。筑波大学自然学類卒業論文。

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。新砂防, **54**(4), 12-21。

前門 晃・松倉公憲・木股三善 (1979): ローム切り面におけるクラックの形成条件と受食性について。地理学評論, **52**, 643-649。

- 松倉公憲・田中幸哉・若月 強 (2002): 韓国ソウル郊外の花崗岩と片麻岩山地における土層構造と表層崩壊形状に与える基盤岩質の影響 . 地学雑誌 , **111** , 416-425 .
- 望月倫博・松本栄次 (1986): 山地谷頭部の土層中における地中水の挙動 . 筑波大学水理実験センター報告 , **10** , 81-94 .
- 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 . 新砂防 , **48**(3) , 22-28 .
- 若月 強・飯田智之・松倉公憲 (2002): 愛知県小原村, 粗粒花崗岩山地における簡易貫入試験からみた表層崩壊後 28 年間の土層形成 . 筑波大学陸域環境センター報告 , **3** , 35-47 .
- Iida, T. and Okunishi, K. (1983): Development of hillslopes due to landslides. *Zeitschrift fur Geomorphologie, N. F.*, **46**, 67-77.
- Matsukura, Y. and Tanaka, Y. (1983): Stability analysis for soil slips of two grass-slopes in Southern Abukuma Mountains. *Transactions Japanese Geomorphological Union*, **4**, 229-239.
- Statham, I. (1977): *Earth Surface Sediment Transport*. Clarendon, Oxford, 184p.
- Wakatsuki, T., Tanaka, Y. and Matsukura, Y. (2002): The effect of bedrock lithology on soil layer structure, slip depth and slope angle of shallow soil slips on granite and gneiss slopes in Korea. *Transactions Japanese Geomorphological Union*, **23**, 223-236.
- (2003年6月3日受付, 2003年7月7日受理)