



# 岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

## 動的貫入試験による動的支持力強度の算定法と土層構造の影響について

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-06-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 西村, 直正, 千家, 正照, 五十崎, 恒 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12099/5831">http://hdl.handle.net/20.500.12099/5831</a>

## 動的貫入試験による動的支持力強度の算定法と 土層構造の影響について

西村直正・千家正照・五十崎 恒

農地工学研究室

農業水利学研究室

## Estimation of Dynamic Bearing Capacity from the Dynamic Penetration Tests and the Influence of Soil Layer on its Tests

Naomasa NISHIMURA<sup>1)</sup>, Masateru SENGE<sup>2)</sup>  
and Hisashi ISOZAKI<sup>1)</sup>

1) *Laboratory of Agricultural Land Engineering*

2) *Laboratory of Irrigation and Drainage Engineering*

### SUMMARY

Generally, dynamic penetration tests were carried out to obtain the penetration depth or N-value of soil. But these parameters depended on the characteristics of the penetrometers. In this paper, in order to obtain the physical parameter of soil by use of the penetration depth from the dynamic penetration tests,

1) Method of estimating dynamic bearing capacity of soil from its tests is proposed.

2) Improvement of penetrometers, necessary to calculate the dynamic bearing capacity from a simple equation, is pointed out.

On the other hand, some experiments were carried out to determine the relation between the dynamic bearing capacity and the soil strength that is obtained from the static penetration tests. The results are obtained as follows.

3) Qualitatively speaking, the dynamic bearing capacity is larger than the soil strength, and it is probably caused by the difference of penetration speed in these tests.

4) Penetration depth is influenced by the soil layer structure, so the influence area around the cone must be considered to compare them.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. (52) : 265—272, 1987.

### 要 約

動的貫入試験の結果は貫入深やN値といった形で処理されるのが一般的であるが、これらのパラメータが測定器の特性に左右されることはいうまでもなからう。これに対して本報では、動的貫入試験より得られる貫入深から測定器の特性によらない土壌に固有の物理定数を導くことを目的として、

1) 動的試験の結果から動的支持力強度を求めるための算定法を提案した。

2) 簡単な算定式から動的支持力を求めるために必要となる試験器の改良点を指摘した。

一方、動的支持力と土壌硬度との関係を求めるために行った実験より得られた結果は以下の通りである。

3) 定性的には、動的支持力は土壌硬度よりも常に大きく、これはコーンの貫入速度と関係があるであ

ろうことを指摘した。

- 4) 土層構造が貫入深に影響を及ぼす傾向にあるため、動的支持力と土壌硬度を比較する際には、コーン周辺の影響範囲を考慮する必要があることが明らかとなった。

## I. はじめに

土壌の支持力強度を測定することを目的とした試験器としては、我国では山中式の硬度計やコーンペネトロメータ、土研式あるいは長谷川式の土壌貫入計等が主に使用されている。これらはいずれも円錐形のコーンを土壌中に押し込める際に生じる土壌の抵抗力を評価するものであるが、これらの試験器により得られた測定値は、その測定条件から、静的なものや準静的なものや動的なものに区別して考える必要がある。というのは、一般に土壌の貫入抵抗はコーンの貫入速度に伴って増大すると考えられるからである。この意味から、ここでは山中式硬度計による土壌の単位面積当たりの抵抗力を「静的支持力強度」、コーンペネトロメータによる測定値を「準静的支持力強度」、土研式あるいは長谷川式等の土壌貫入計によって計算される値を「動的支持力強度」と称することにする。

ところで準静的あるいは動的試験では、山中式硬度計による静的試験と異なって土壌観測孔を掘らなくても良いことが最大の利点であることは言うまでもなからう。さらにコーンペネトロメータによる準静的試験では、土壌硬度の大きな場合には測定不能になることが多い。この意味では長谷川式あるいは土研式による動的貫入試験が最も簡便で実用的と考えられる。しかしながらその測定結果は、一般には軟らか度あるいはN値といった生のデータとして処理されるだけで、測定器の特性によらない土壌に固有の物理定数への換算方法が明確ではなかったことが本試験法の最大の欠点であったと言える。

これに対して本報告では、動的状態での支持力強度の算定法について考察した上で、土研式と長谷川式の2種類の動的貫入計による支持力強度を比較するとともに、支持力強度を簡便な式から算定するための動的貫入試験器の改良点を明らかにする。また、動的支持力から静的支持力を推定するための試みとして、山中式硬度計による静的支持力強度と土研式あるいは長谷川式貫入計による動的支持力強度の関係について若干の考察を行う。さらに動的支持力強度の鉛直方向分布あるいは動的支持力と静的支持力の比の鉛直方向分布の特徴についても論究し、静的試験と動的試験の結果を比較する際に問題となるコーンの影響範囲について指摘を行うことにする。

## II. 動的支持力強度の算定法

動的貫入試験による土壌の支持力強度の算定式として提案されているものの中では、次のオランダ公式が有名である<sup>1)</sup>。

$$Rd = \frac{M^2 H}{Ae(M+P)} \quad (1)$$

ここで、Rd は単位面積当たりの土壌の支持力強度 (kg/cm<sup>2</sup>)、A はコーンの断面積 (cm<sup>2</sup>)、M と P はそれぞれランマーと貫入ロッドの重量 (kg)、H と e はそれぞれランマーの落下高と貫入深 (cm) である。上式は、ランマーとロッドの打撃端が衝突した後はランマーとロッドは一体となって運動し、その際の貫入エネルギーは衝突直後の両者の運動エネルギーに等しいとする仮定から計算される。従って、衝突直後から貫入終了までのランマーとロッドの位置エネルギーは考慮されていない。これをも考慮すると、(1)式は次のように修正される。

$$Rd = \frac{M^2 H}{Ae(M+P)} + \frac{M+P}{A} \quad (2)$$

さらに(1)式と(2)式は、衝突の際の反発係数をεとするとε = 0が仮定されているが、金属同士の衝突を考えればこれは非現実的な値である。ちなみにε = 1とした場合にはランマー落下前の全位置エネルギーが貫入のエネルギーとして消費されるから、Rdは

$$Rd = \frac{MH}{Ae} + \frac{M+P}{A} \quad (3)$$

Table 1. 動的貫入試験器の特性値

	ランマー重量(kg)	ロッド重量(kg)	落下高(cm)	コーン断面積 (cm <sup>2</sup> )	コーン角度 (°)
長谷川式貫入計	2.0	2.1	50.0	3.14	60
土研式貫入計	5.0	8.5	50.0	7.06	60

となる。 $\epsilon$ がゼロでも1でもない場合はもう少し複雑であり、Appendix に示した方法に従って支持力強度  $R_d$  に対応する貫入深（または軟らか度） $e$ を繰り返し計算によって求める必要がある。

なお、Table 1 に長谷川式と土研式貫入計の特性値を示す。

### III. 動的貫入計の改良法の提案

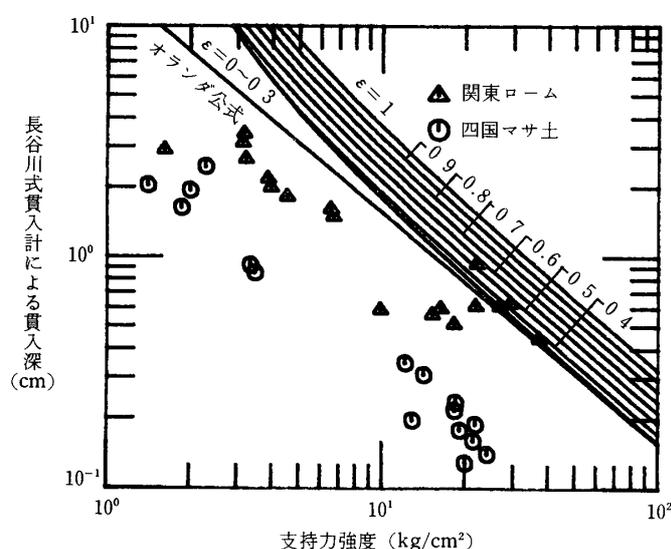


Fig. 1 動的支持力強度（長谷川式貫入計による計算値・曲線）と静的支持力強度（山中式硬度計による測定値：点）との関係。ただし、 $\epsilon$ は反発係数。

Fig. 1 に、長谷川式貫入計による軟らか度（貫入深）と動的支持力強度との関係を各 $\epsilon$ について曲線で示した。実際には $\epsilon$ は0.6から0.7程度の値となっているものと考えられるが、先に述べたようにその値から軟らか度と支持力強度との関係を求めるにはかなり複雑な計算が必要となる。実用的には、(2)式あるいは(3)式のような簡単でしかも物理的に意味のある理論式から動的支持力を計算する必要があるが、Fig. 1を見ると面白いことに、 $\epsilon$ がゼロから0.3までの範囲では曲線はほとんど一致している。そこで、いっそのこと $\epsilon$ が0.3以下になるように、動的貫入計を改良すればどうであろうか。例えばロッドの打撃端にゴム等の緩衝材を装着する等という簡単な方法を採用すれば、動的貫入試験より得られる軟らか度から(2)式により動的支持力強度を簡単

に算定することが可能になる。なお、以上の事項については、今後さらに実験的に検証を行う予定である。

### IV. 動的支持力強度と静的支持力強度の比較

Fig. 1 に、関東ローム<sup>2)</sup>と四国マサ土<sup>3)</sup>における長谷川式貫入計による軟らか度と山中式硬度計による静的支持力強度との関係を点で示した。これらのデータから、動的支持力強度は明らかに静的支持力強度よりも大きいことが理解できる。一般に、コーンペネトロメータによる準静的試験では、コーンの貫入速度が速いほど貫入抵抗値は大きくなることが確かめられており<sup>4)</sup>、動的試験での貫入速度を考えるとこれは当然の結果である。

しかしながら、動的支持力と静的支持力の比がどの程度の大きさであるかは土壌によって異なっており明確ではない。図に示した四国マサ土と関東ロームでは、静的な支持力が同一であっても動的支持力はマサ土の方が大きくなる傾向にある。この原因としては、圧密あるいは破壊特性といった土壌に固有の力学的性質が異なるためであると考えられるが、この方面での定量的な評価が今後の課題である。

### V. 調査結果

岐阜大学各務原農場（畑地転換後2年目の圃場）および黒野農場（代かき前の乾田状態の圃場）において、長谷川式と土研式による動的貫入試験と山中式硬度計による静的試験を実施した。Fig. 2 (a)～(h)

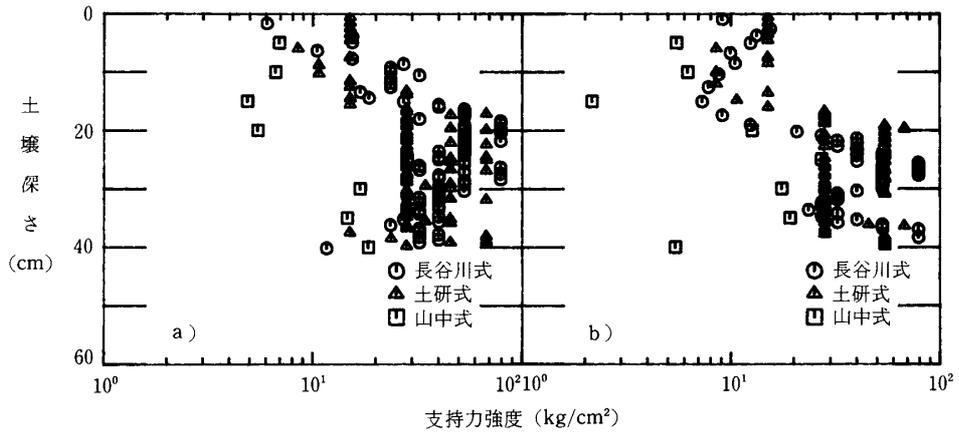


Fig. 2 a) ~ d) 支持力強度の分布 (黒野農場)

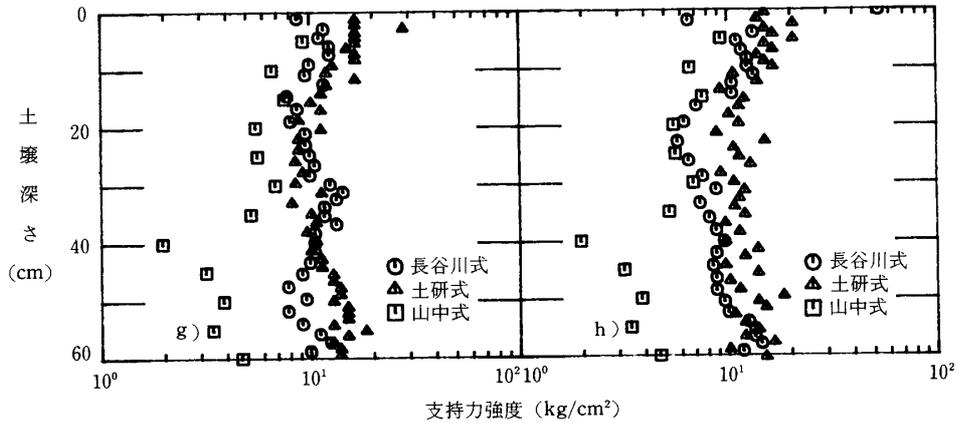
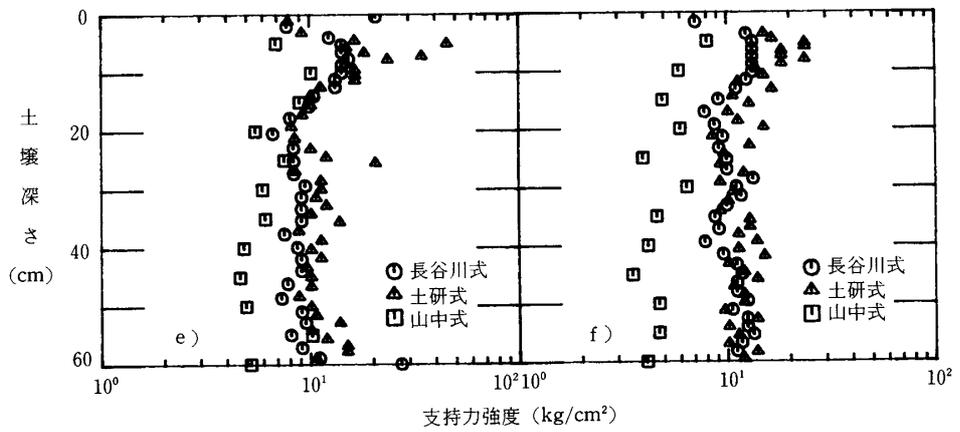


Fig. 2 e) ~ h) 支持力強度の分布 (各務原農場)

に、支持力強度の深さ方向での分布を示す。ただし動的支持力強度の計算には、便宜上(2)式を用いた。各務原農場の土壌は黒ボクであり、上層の密度が下層と比較して若干大きいものの、硬度分布に関しては比較的均一な傾向を示している。一方、黒野農場は25cm 前後から40cm までは明瞭な耕盤層を形成しているため、この部分の硬度は作土層と比較してかなり大きな値を取った。

図を見ると、長谷川式と土研式による動的支持力強度は、試験器の特性の相違にもかかわらず非常に似かよった値のパターンを描いている。これは、II章で述べた理論の正当性を裏付けるものである。Fig. 3にも示すように、土研式と長谷川式の支持力強度は1 : 1の直線上付近に集まっている。

これに対して、Fig. 4に示すように、動的支持力強度は山中式による静的支持力強度と比較して、やはり常に大きな値となった。また動的支持力強度と静的支持力強度の比に関しては、各務原農場では比較的一定の値が得られたものの、黒野農場ではかなりのバラつきを生じた。これは次章に述べるように、動的支持力に土壌の層位分布の影響が反映されるためであると考えられる。

### VI. 動的支持力に対する土層構造の影響

土壌の支持力強度について考える場合、その測定値が土壌のある深さでの値を表現しているのか、あるいはある深さ近傍の値を代表するものかについても注意をはらう必要がある。これは、山中式硬度計やコーンペネトロメータによる測定値がある地点

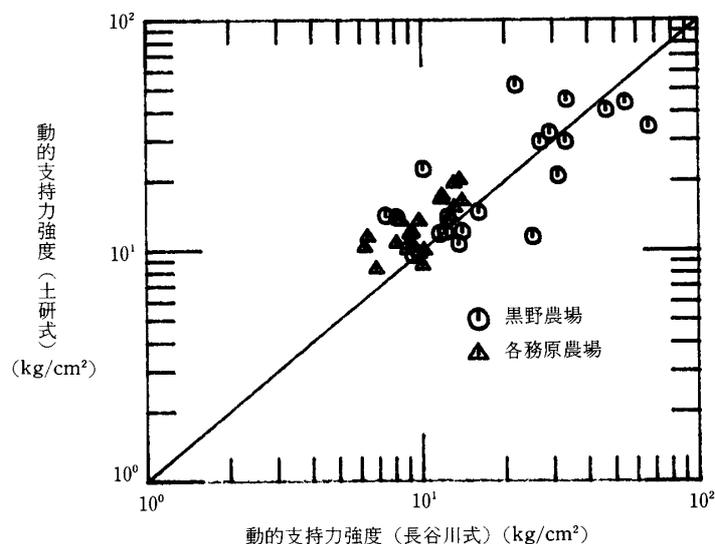


Fig. 3 長谷川式と土研式による支持力強度の比較（ただし、25cm 深さまで）

での値を表現するのに対して、動的貫入試験ではある深さからある深さまでの平均値としてしか値が得られないという意味だけではない。静的試験に比べてコーンペネトロメータのいわば準静的試験や土研式あるいは長谷川式の動的試験では、コーンの上下左右に圧密と破壊が進行しているという条件下で測定がなされるため、測定値は破壊の及ぶ影響範囲内の土壌の特性を反映したものと考えられるからである。

例えば、作土層と耕盤層が明瞭に分かれている黒野農場の場合 (Fig. 2), 硬度の大きな耕盤層にコーンが貫入する10cm 程度前から動的支持力は次第に増加する傾向がある。Fig. 5に、動的支持力と静的支持力

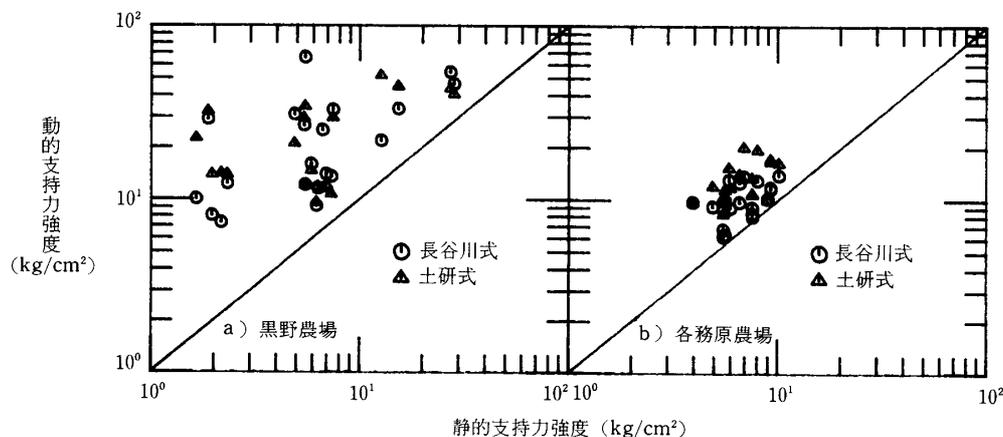


Fig. 4 山中式による静的支持力強度と長谷川式及び土研式による動的支持力強度との比較（ただし、25cm 深さまで）

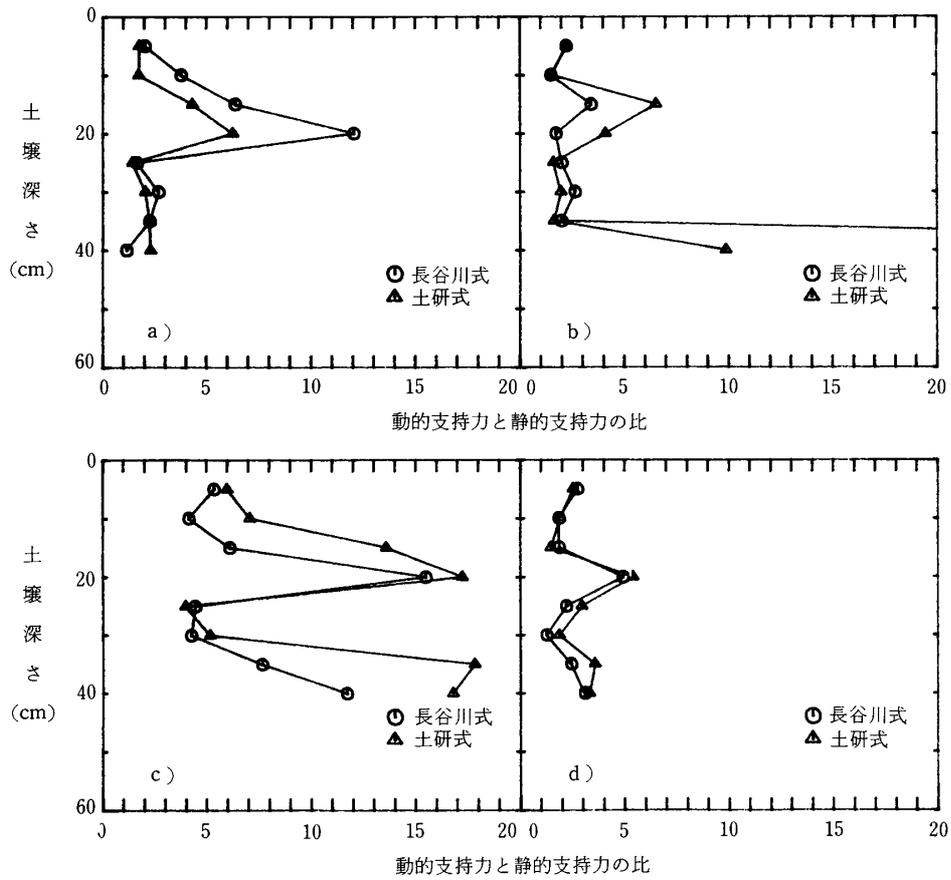


Fig. 5 a) ~ d) 動的支持力と静的支持力の比の分布 (黒野農場)

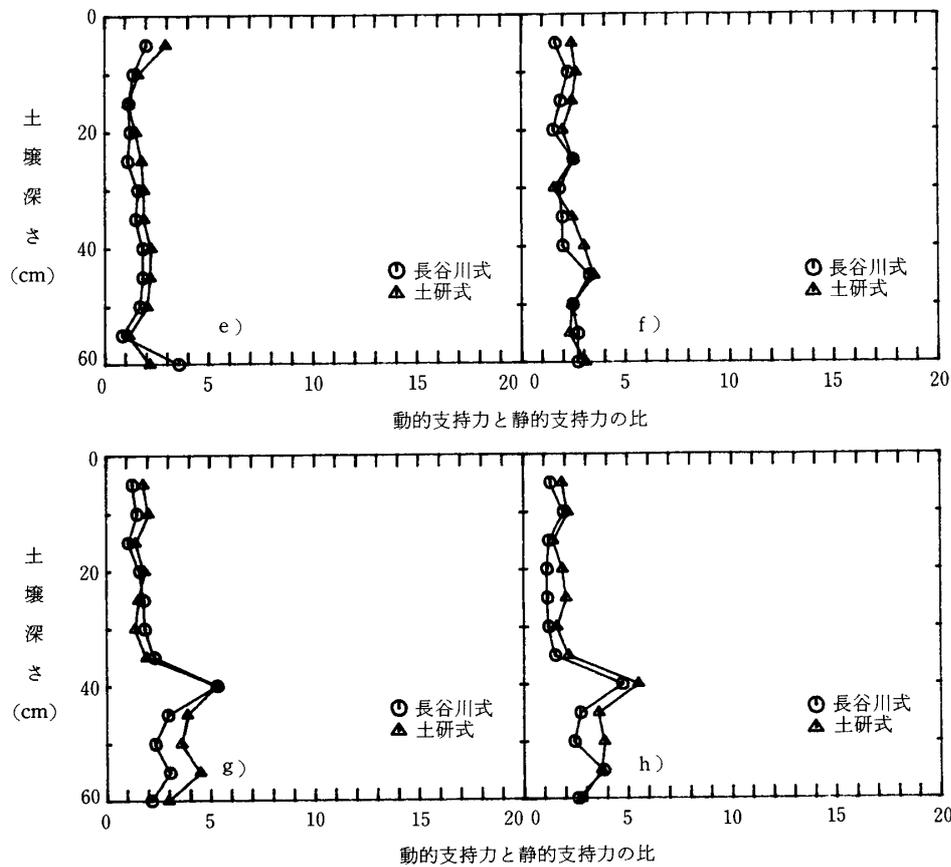


Fig. 5 e) ~ h) 動的支持力と静的支持力の比の分布 (各務原農場)

の比の深さ方向での分布を示す。これを見ると、黒野農場の場合、2つの支持力の比は層の境界付近に近づくとつれて上昇しており、動的支持力が土層構造の影響を受けていることが一層明らかである。これに対して、比較的均一な土壌分布を持つ各務原農場の場合、動的支持力と静的支持力の比はかなり安定している。

## VII. お わ り に

本報では、動的貫入計により得られる貫入深から動的支持力強度という測定器の特性によらない土壌に固有の物理定数を導くための算定法について検討した。その結果、簡単な算定法から動的支持力を求めるために必要となる試験器の改良点を明らかにできた。今後は、改良前と改良後で試験器の特性がどのように変化し、それが、はたして予想した通りの貫入深の変化となって現れるかについて、若干の追加実験が必要である。さらには土壌中でのコーン周辺の影響範囲を考慮して、動的支持力から静的支持力を推定するための予測式の検討などを行っていく必要がある。

## VIII. Appendix

ランマーを落下した際に、打撃端との間で  $i$  回目の衝突を行う直前におけるランマーと貫入ロッドの速度がそれぞれ  $v_M$  と  $v_P$  であり、衝突直後の速度がそれぞれ  $V_M$  と  $V_P$  であったとする。衝突の前後における両物体の運動量  $f_i$  は

$$f_i = M v_M + P v_P = M V_M + P V_P$$

また衝突直前のランマーとロッドの速度差  $\Delta v_i$  は

$$\Delta v_i = v_M - v_P = - (V_M - V_P) / \epsilon$$

従って、

$$V_M = (f_i - P \epsilon \Delta v_i) / (M + P)$$

$$V_P = (f_i + M \epsilon \Delta v_i) / (M + P)$$

である。

いま、 $V_M = V_P$  であればロッドはランマーと一体となって運動を行うから、 $i$  回目の衝突による貫入深  $\Delta y_i$  は

$$\Delta y_i = (M + P) (V_M)^2 / \{ 2 [R_d A - (M + P)] g \}$$

となり、運動を終了する。

$V_M < V_P$  であれば2つの物体は再度 ( $i + 1$ ) 回目の衝突を行うが、その際、 $2 P (V_P - V_M) / (R_d A g)$  と  $P V_P / [(R_d A - P) g]$  の大小関係により、それぞれロッドが停止しているかあるいは運動しているかの状態でランマーの衝突が起こることになる。

ロッドが停止の状態で次の衝突が生じる場合、

$$\Delta y_{i+1} = P (V_P)^2 / [ 2 (R_d A - P) g ]$$

$$\Delta v_{i+1} = \{ (V_M)^2 + P g (V_P)^2 / [(R_d A - P) g] \}^{1/2}$$

$$f_{i+1} = M \Delta v_{i+1}$$

ロッドが運動している状態で次の衝突が生じる場合、

$$\Delta y_i = 2 P (V_M - V_P) [ P g (V_M - V_P) - R_d A g V_M ] / (R_d A g)^2$$

$$\Delta v_{i+1} = - (V_M - V_P)$$

$$f_{i+1} = f_i + 2 P [ R_d A - (M + P) ] (V_M - V_P) / (R_d A)$$

となり、繰り返し計算により  $V_M = V_P$  となるまで、あるいは収束するまで、各  $\Delta y_i$  が求まることになる。

従って、貫入深  $e$  は、

$$e = \sum \Delta y_i$$

ただし、 $v_M = (2 g H)^{1/2}$ 、 $v_P = 0$  である。

## 文 献

- 1) Sanglerat, G. : “貫入試験と地盤調査” 室町忠彦・赤木俊允共訳 東京：鹿島出版会 214-215, 1976.
- 2) 長谷川秀三：長谷川式土壌貫入計による緑化地の土壌調査. 日本造園学会春季大会発表要旨：43-44, 1981.
- 3) 増田拓朗・藤原賢一・吉田重幸：ケヤキの生育に及ぼす土壌物理性の影響. 香川大学農学部学術報告34：157-162, 1983.
- 4) 吉田勲：貫入速度が貫入量一貫入抵抗曲線に及ぼす影響. 農業機械学会誌36：374-377, 1974.