

粘土におけるコーンの静的および動的貫入特性

誌名	佐賀大学農学部彙報
ISSN	05812801
著者	甲本, 達也 加来, 研
巻/号	67号
掲載ページ	p. 141-145
発行年月	1989年9月

粘土におけるコーンの静的および 動的貫入特性

甲本 達也・加来 研
(生産環境工学講座)
平成元年 5月31日受理

Characteristics of Static and Dynamic Penetration of Cones into Clays

Tatsuya KOUMOTO and Ken KAKU
(Laboratory of Construction Engineering)
Received May 31, 1989

Summary

An experimental investigation was made on the characteristics of the static and dynamic cone (fall cone) penetration into clays.

According to the experimental results, the penetration vs water content of clay relationships were found to become, generally, straight lines not on a semi-logarithmic scale but on a double logarithmic one in the wide range of water content varying from near the plastic limit to over the liquid limit. The inclinations of the straight lines (exponents) depended upon the sort of clays, while being independent of the tip angle of cones.

The ratio of dynamic/static penetration h/h_s was approximately the value of 1.46 for any clay and tip angle. The Hansbo's K values obtained earlier agreed closely with those calculated for the above h/h_s value.

Key words: clay, fall cone test, static cone penetration test, undrained shear strength.

緒 言

フォールコーンテスト (FCT と略称) は土の液性限界や塑性限界の測定法として用いられており、とくに液性限界については従来の Casagrande 法にとって代わりつつある程であるが、本来は粘土の非排せん断強さの測定法としてスエーデンで開発されたものである^{1,2)}。フォールコーンの貫入機構解析は Hansbo¹⁾に端を発して藤川ら³⁾, Houlsby⁴⁾等により行われているが十分に解明されたとは言いがたい。もし機構が解明されれば、FCT により求められる液性限界や塑性限界といった土の物理的性質が工学的意味を持つことになり土質工学上意義のあることである。

本論文は粘土について静的コーン貫入試験 (CPT と略称) と FCT とを行い、双方の貫入特性を調べるとともに両特性の対比によりフォールコーンの貫入機構を明らかにしようと試みたものである。

実験および結果

実験は、Table 1 に示すような特理的性質を有する 3 種類の粘土についての CPT (貫入速度 $v=0.02$ mm/s) と FCT より成っている。いずれの場合も使用したコーンの先端角 α は $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$

の 3 種類である。FCT の場合はこれらのコーンの重量 Q を $Q=0.6\sim 4$ N の範囲で数段階に変化させて実験を行った。

実験に用いた粘土の非排水せん断強さ C_u の特性を Fig. 1 に示す。ここで C_u はベーンせん断試験 (回転速度 $0.1^\circ/s$) により求めた。図によれば C_u と含水比 w の関係は幅広い含水比の範囲においては両対教紙上で直線関係にあり、一般に次式で表わされる。

$$C_u = Aw^{-B} \dots\dots\dots(1)$$

ただし A は $w=1\%$ のときの C_u であり、 B は指数で粘土の種類による。

典型的な CPT および FCT の結果を Fig. 2 に示す。図によれば CPT の場合の貫入抵抗 Q と貫入深さ h_s の関係も、FCT の場合のコーン重量 Q と貫入深さ h の関係もともに次式で表わされることがわかる。

$$\left. \begin{aligned} Q &= A_s h_s^2 \text{ (静的貫入)} & (a) \\ Q &= A_f h^2 \text{ (動的貫入)} & (b) \end{aligned} \right\} (2)$$

ただし A_s, A_f は定数で α や C_u の関数である。

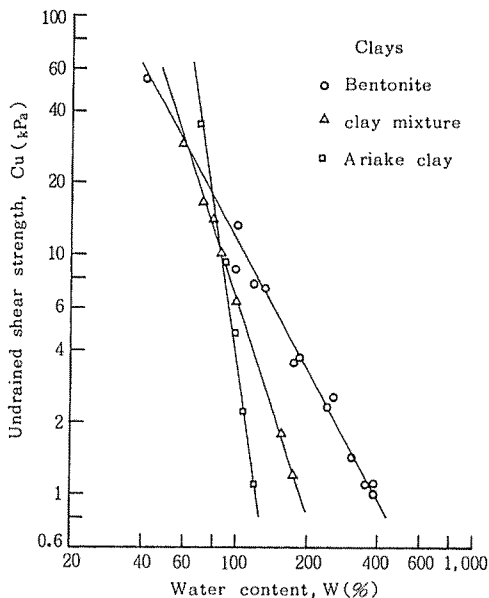


Fig. 1 Characteristics of undrained shear strength of clays obtained by vane test.

Table. 1 Physical properties of tested clays

Clay	Specific Gravity G_s	Liquid Limit W_L (%)	Plastic Limit W_P (%)	Plasticity Index I_P
Bentonite	2.74	402.5	35.6	366.9
Clay mixture*	2.65	178.0	40.6	137.4
Ariake clay	2.65	120.0	51.2	68.8

* Bentonite/Ariake clay..... 1 : 1

考察および結論

1. コーン表面の粗度

静的コーン貫入解析結果によれば^{3, 4)}, Q と h_s との間関係は次式で表わされる。

$$Q = (\pi C_u N_c \tan^2 \alpha) h_s^2 \dots\dots\dots(3)$$

ただし N_c はコーン支持力係数で、内部摩擦角 ϕ が $\phi=0$ である粘土の場合 α とコーン表面の粗度のみの関係である。

(2 a)式と(3)式とを対比すると傾向は全く一致していることがわかる。そこで(3)式の適用性をコーン表面の粗度を考慮してみたものが Fig. 3 である。図によれば実験値はコーン表面を粗とみなした場合の計算値とよく一致しており、通常用いられるコーンの表面は粘土に対して粗とみなすべきことがわかる。

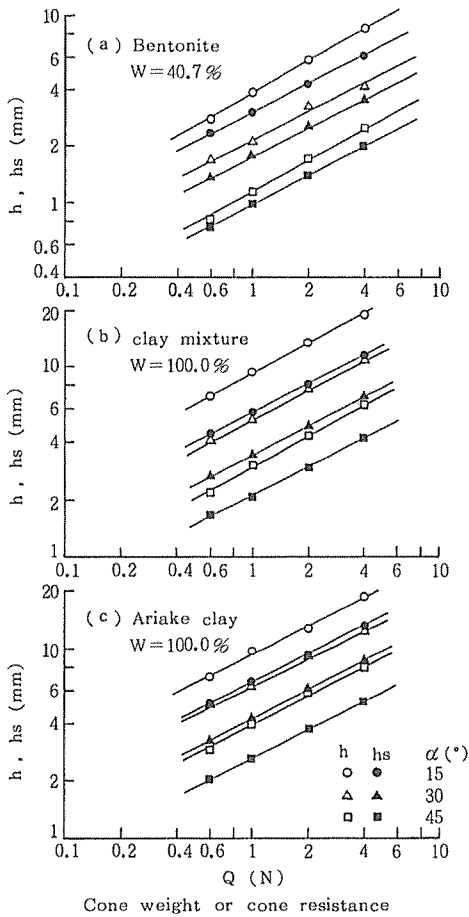


Fig. 2 Typical test results on static and dynamic cone penetration into clays.

2. コーン貫入特性

Fig. 4 は $Q=1\text{ N}$ の場合の h_s , $h \sim w$ 関係を粘土の種類別に示したものである。

今まで $h \sim w$ 関係は片対数紙上で直線となるといわれていたが、図からわかるように幅広い含水比の範囲においては h_s , $h \sim w$ 関係は両対数紙上で直線となり一般に次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} h_s &= A'_s w^{B'} \quad (\text{静的貫入}) \quad (a) \\ h &= A'_d w^{B'} \quad (\text{動的貫入}) \quad (b) \end{aligned} \right\} (4)$$

ただし A'_s および A'_d はそれぞれ $w=1\%$ のときの h_s および h の値であり、 B' は指数であり、貫入方法やコーン先端角によらず一定で粘土の種類により変化する。

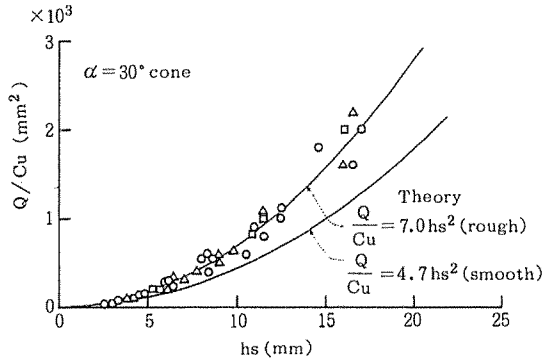


Fig. 3 Influence of roughness of cone surface on penetration resistance for $\alpha=30^\circ$ cone (symbols as shown in Fig. 1)

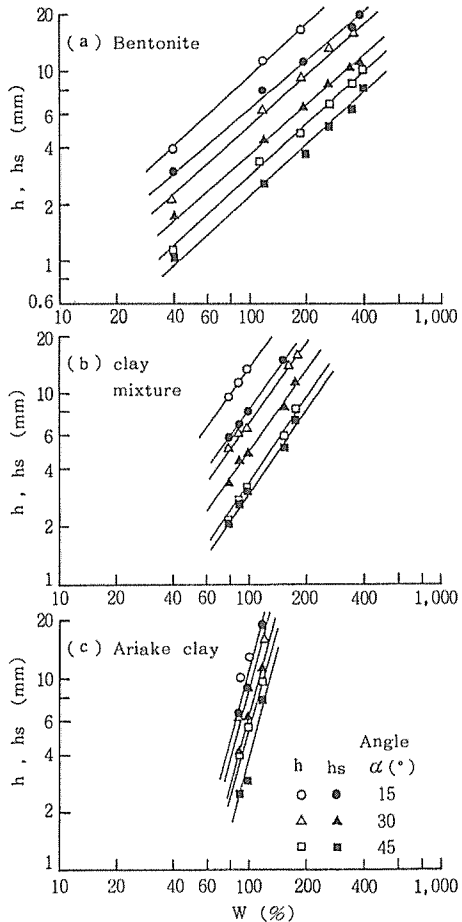


Fig. 4 Variation in depths of static penetration (h_s) and dynamic penetration (h) with water content w for cones with weight 1N for each clay.

いま(3)式より C_u は,

$$C_u = \frac{Q}{\pi N_c \tan^2 \alpha} h_s^{-2} \dots\dots\dots(5)$$

(1)式と(5)式より

$$A_w^B = \frac{Q}{\pi N_c \tan^2 \alpha} h_s^{-2}$$

これより $h_s \sim w$ 関係は

$$h_s = \sqrt{\frac{Q}{\pi A N_c \tan^2 \alpha}} w^{\frac{B}{2}} \dots\dots\dots(6)$$

(4 a)式と(6)式より B' と B との間には

$$B' = \frac{B}{2} \dots\dots\dots(7)$$

なる関係があることがわかる。

3. h_s と h との関係

Fig. 5 は貫入抵抗とフォールコーンの重量が等しい場合の h_s と h との関係をコーン先端角別に示したものである。同図にはまた Hansbo¹⁾の動的理論解 $h/h_s = \sqrt{3}$ および静的解 $h/h_s = 1.0$ をそれぞれ点線および一点鎖線で示した。図によれば実験値は両理論解の間にある。いま h_s と h との間に原点を通る直線式をあてはめると、 α や粘土の種類によらず次式が得られた。

$$h/h_s \doteq 1.46 \dots\dots\dots(8)$$

Fig. 5 にはまた(8)式を実線で示している。

4. フォールコーンの貫入機構

(8)式を(5)式に代入して h_s を消去すると次式が得られる。

$$C_u = \frac{2.13Q}{\pi N_c \tan^2 \alpha} h^{-2} \dots\dots\dots(9)$$

一方 Hansbo 式は次式でえられる。

$$C_u = K Q h^{-2} \dots\dots\dots(10)$$

(9)式および(10)式より Hansbo 式の係数 K は次式で表わされる。

$$K = \frac{2.13}{\pi N_c \tan^2 \alpha} \dots\dots\dots(11)$$

(11)式は係数 K の半解析解である。

いま(11)式の適用性を検討するために K の実験値とコーン表面を粗とみなした場合の N_c の値を用いた K の計算値とを対比したものが Fig. 6 である。同図にはまた静的解と Hansbo の解をも示している。図によれば実験値と本計算値との対応はかなりよく、本解析結果の妥当性が確かめられる。

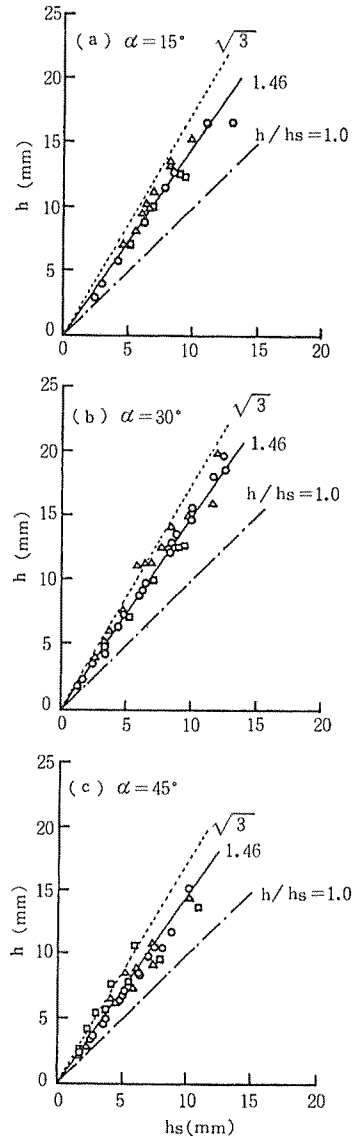


Fig. 5 Relationship between h_s and h for each cone. (symbols as shown in Fig. 1)

摘 要

本論文は粘土におけるコーンの静的および動的（フォールコーン）貫入特性を実験的に明らかにしたものである。

実験結果によると、一般に貫入深さと粘土の含水比との間の関係は塑性限界近くから液性限界を越えるような幅広い含水比の範囲においては片対数紙上ではなく両対数紙上で直線となることが明らかとなった。これらの直線の傾き（指数）はコーンの先端角によらず、粘土の種類により変化する。

動的貫入深さ h と静的貫入深さ h_s との比はコーンの先端角や粘土の種類によらず $h/h_s \approx 1.46$ とほぼ一定であった。この h/h_s の値を用いて計算した Hansbo 式の K は既存の実験値とかなりよく一致した。

引用文献

- 1) Hansbo, S. (1957). A New Approach to the Determination of the Shear Strength of Clays by the Fall-Cone Test. Roy. S.G.I. Proc. 14: 7—48.
- 2) Flodin, N. and Broms, B. (1981). Historical Development of Civil Engineering in Soft Clay. Soft Clay Engineering (Eds. Brand, E.W. and Brenner, R.P.). pp. 55—56.
- 3) 藤川武信・甲本達也 (1979). フォールコーンの貫入に関する三次元解析. 農土論集, 83, 38—43.
- 4) Houslyby, G.T. (1982). Theoretical Analysis of the Fall cone Test. Geotechnique, 32, No. 2, 111—118.
- 5) Karlsson, R. (1961). Suggested Improvements in the Liquid Limit Test, with Reference to Flow Properties of Remoulded Clays, Proc. 5th ICSMFE. Paris. 1, 171—184.
- 6) Wood, D. M. (1985). Some Fall-Cone Tests. Geotechnique, 35, No. 1, 64—68.

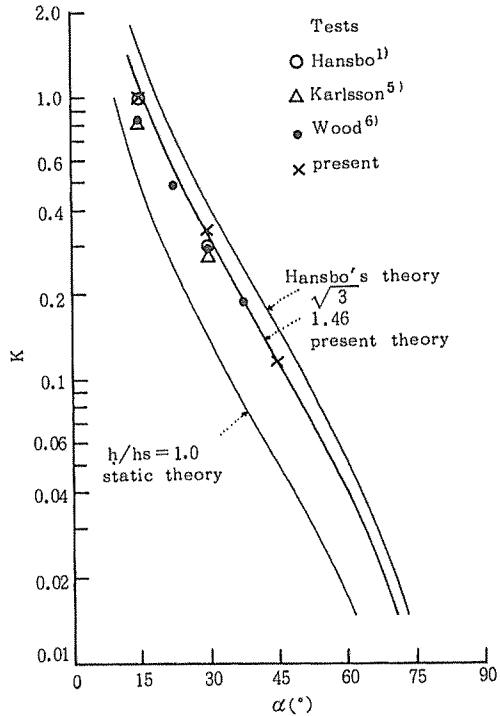


Fig. 6 Comparison of theoretical and experimental values of coefficient K .