

本研究は、当室長友永和夫博士の指導をいただき、齋藤昇君の協力を得たことを付記する。

#### 参考文献

- 1) 深谷：断面を異にする三径間連続バリにおける曲げモーメントの一般的傾向，土木学会誌，第39巻第4号（昭.29.4）
- 2) 深谷：ハリ断面の様な三径間連続バリ橋にお

ける径間比について，土木学会誌，第38巻第8号（昭.28.8）

- 3) 深谷：三径間連続バリ橋の経済的設計について，土木学会誌，第39巻第8号（昭.29.8）
  - 4) 深谷：断面二次モーメント比の影響を考慮した三径間連続バリ橋の設計について，土木学会誌，第39巻第11号（昭.29.11）
- (昭.29.7.21)

## 土の切削抵抗について

正員 工学博士 村山 朔郎\*  
准員 島 昭治郎\*\*

### ON THE CUTTING RESISTANCE OF SOILS

(JSCE March 1955)

*Dr. Eng., Sakurō Murayama, C.E. Member,  
Shōjirō Hata, C.E. Assoc. Member*

**Synopsis** In this paper, we explain the method for soil cutting test which has been newly devised to indicate the soil strength necessary for calculation of the cutting resistance of soils, and investigate its adaptability for clay, sand and loam (dry and wet) experimentally. With this results, a round estimate of cutting force to soils may be easily calculated.

**要旨** 本文は土の切削抵抗を計算するのに必要な土の強度を求めるために考案した切削強度試験方法と、その適用性を粘土、砂及びローム（乾、湿）について実験検討した結果とについて述べたもので、この試験結果を用いれば、現場において容易に工具によるその土の切削力の概略を計算することができる。

#### 1. 緒言

土工機械の作動時、排土板、バケツなどの作業工具に作用する土の切削抵抗値を求めることは、機械の設計、製作及び操作上きわめて重要なことである。しかし土の有する性質には各種のものがあつて、それらの関係も複雑であつて、土の諸性質を知つてもそれらから切削抵抗を理論的に解析することはなお困難である。一般に土の切削破壊状態では、単なる受動状態と異なりかなり大きい刃の変位をとまなうものであるから、破壊面付近は想像以上に圧縮された状態に至り、従つて例えば砂の内部摩擦角、鋭敏な粘土のせん断強度などは切削中に変動し、その変動する程度も場所によつて相違する。ゆゑに従来のせん断試験または圧縮試験では、実際切削破壊状態にあるときの土の強度特性をうる事がむつかしいから、従来の試験結果を用いて切削抵抗値を理論的に算出することには無理があると

考えられる。その上試料を採取し、それより試験片を作製するような方法では、その工程中に攪拌をうけ組織に変化が生じることもある。そこで現地において、あるがままの状態の土を切削機構と酷似した方法で破壊させ、その土の切削抵抗の指数となるような強度係数を求める目的で以下に述べる切削強度試験装置を考案し、その結果を砂、ローム、粘土に対する切削抵抗値と比較した。これによれば、その試験結果を用いて工具による土の切削抵抗が容易に求められる上に、この装置並びに方法はきわめて簡単で、いかなる現場にも容易に実施することができる利点がある。なお工具による土の切削抵抗には、通常切削抵抗のほかに運土抵抗（例えば、排土板前面に溜つた土を押してゆくときの抵抗）などが含まれる場合があるが、本文では切削抵抗のみを対象とした。

#### 2. 切削強度試験

切削時の土の強度を試験する装置として本研究に用いたものは、図-1に示すごとく長さ500mm、巾50mm、厚さ12mmで片面を1/25の勾配に削り、他面を切削工具の粗さと同様な粗さに仕上げた鋼板を土中に押し込み、A点を固定支点として上端を水平に牽引して勾配のない方の面によつて土を掘り返し、それに要する水平力Pより次のごとき方法で工具による切削抵抗を算定するものである。

\* 京都大学教授，工学部土木工学教室

\*\* 京都大学講師，同

牽引水平力  $P$  の性質を求めるため 図のごとく鋼板の巾を  $b_0$  (50 mm 一定), 土中部分の長さを  $t_0$ , 地上部分の長さを  $l$  とし, 川砂, 砂質ローム, 純粘土及び砂質ロームと純粘土とを適当に混合したものと種々の土質試料の各種締固め度合のものについて, 前述のごとき実験を行った。この結果を整理すると  $Pl/b_0t_0^2$  (ただし  $b_0=50$  mm) と  $t_0$  との関係は 図-2 のごとく同一土質では直線関係を示し, これらをまとめて式示すれば, 各土質について次のようにあらわされる (図-2 中の記号 I, II, …… は土質の種類をあらわす, 表-1 参照)。

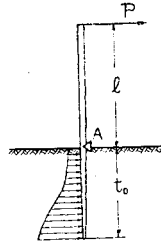


図-2 切削強度試験

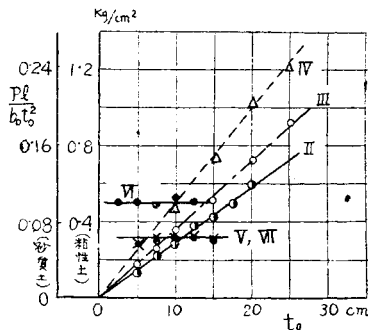


表-1 試料

番号	名称	粘性限度 mm	含水比 %	凝集力 $c_m$	内摩擦角 $\phi$
I	純粘土	0.01~10	12	0	37
II	ローム	—	15~17	0.07	38
III	川砂 (粒)	0.1~5.0	15	0	35
IV	砂 (5)	—	12~15	0.02	36
V	青粘土	0.001~0.002	35~38	0.12~0.16	— (remould)
VI	—	—	31~34	0.18~0.20	—
VII	II×V: 等量混合	—	38~43	—	—

$$Pl/b_0t_0^2 = e_c \text{ または } e_s t_0 \dots \dots \dots (1)$$

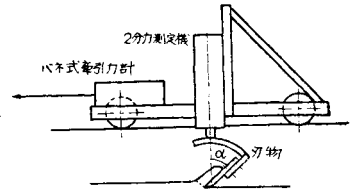
(1) 式において,  $e_c$  は各粘性土に対する係数で,  $e_s$  は各砂質土に対する係数である。その中間の土性については, 適当な試料がなかつたためと,  $t_0$  が小さかつたためか, 上式のいずれか一方の性質のみを示し,  $(e_c + e_s t_0)$  のごとき中間状態の関係を測ることができなかつた。ゆえに本文では両極端の土性の土についてのみ記すが, 中間の性質を示す土の存在も考えられるので, この点はさらに検討の上あらためて述べるつもりである。

3. 鉛直刃による切削抵抗の測定

本節ではすくい角  $\alpha$  (刃面と地表にたてた垂線とのなす角) が  $\alpha=0^\circ$  のときのみについて記し,  $\alpha \neq 0^\circ$  の場合は 4. において記すこととする。

(1) 測定装置 切削抵抗実験装置は 図-3 のごときもので, 3600×900×700 mm の木製土槽の両側壁

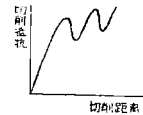
図-3 切削抵抗実験装置



上にレールを敷き, その上を切削抵抗測定機を備えた台車を走らせる。切削抵抗測定機は, その一端に固定した刃物にかかる切削抵抗の水平および垂直両分力を自記するもので, その機構はすでに報告したもの<sup>1)</sup>と同じである。台車はバネ式牽引力計を通してロープによつて牽引し, 全牽引抵抗もまた自記させるようにした。牽引動力には 3FP 三相交流電動機を用い, ウォーム減速機で減速させたドラムによりロープを巻きとりこれをバネ式牽引力計に結びつけて牽引する。牽引速度はドラムの直径を変えることによつて 1.7, 3.3, 5.0, 6.6, 8.3, 10.0 m/min の 6 段に変速させた。なお 1.7 m/min よりも小さい速度は手動によつて加減した。切込み深さ  $t$  は切削抵抗測定機全体を上下することによつて最大 300 mm まで任意にあたえることができ, 刃巾は 25, 50, 75, 100, 125, 150, 300 mm の 7 種を用いた。のちに述べる実験において刃のすくい角  $\alpha$  を変える必要のあるときには, 刃の取付け位置を変えることによつて  $-15^\circ$  から  $+60^\circ$  まで  $5^\circ$  間隔に 16 段に変化できよう。

(2) 測定結果 砂質土と粘性土とでは切削中の抵抗値の変動様相が異なる。すなわち砂質土では 図-4 のように刃の変位とともに前部の土が圧縮されるため

図-4 砂質土の切削抵抗 漸減し, せん断面の完成直前に極大値に達する。せん断面が地表に達して最初の破壊が完結すれば抵抗値は急激に減少するが, さらに刃を進めると上記のような圧縮, せん断を新たにくり返して周期的

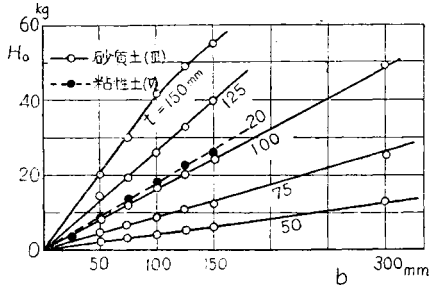


に変動する。そして刃巾が大きいときは, 切削距離が長くなるに従つて刃前面に切削された土が堆積して掘削抵抗は全体として増大するから, 切削抵抗値としては最初の極大値を用いることとした。粘土では上記のごとき周期的変動はみられないが, 切削された切層が刃面にそつて上昇するから抵抗値は漸増するが, やがて定常状態に達して抵抗値は一定となる。以下切削の初期値と定常値とについて比較検討した。

次に切削抵抗に及ぼす刃巾, 切り込み深さ, 切削速度等の影響について実験結果を述べよう。

(i) 刃巾：ドーザー、グレーダー、スクレーパーなどは刃巾に比して切り込み深さが小さいから刃側面の影響はほとんどなく、切削抵抗は刃巾に比例すると考えられる。この関係を模型巾についてみるため、刃巾  $b$  と水平抵抗  $H_0$ 。(添字はすくい角を示す。この場合  $\alpha=0^\circ$ ) との関係各種切り込み深さ  $t$  について実測すると 図-5 のごとく、砂質土、粘性土ともに  $t < b$  であれば  $H_0$  はほぼ刃巾に比例している。

図-5 刃巾と切削抵抗の関係

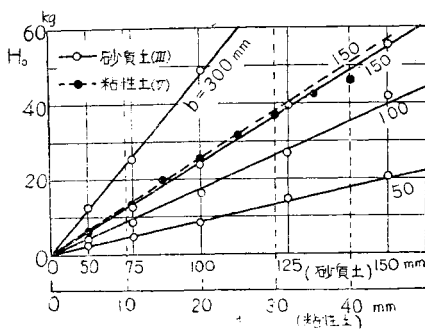


(ii) 切り込み深さ：切り込み深さ  $t$  と  $H_0$  との関係についての実験結果は 図-6 に示すように、砂質土(川砂, 砂質ローム)では  $t^2$  に比例するが、粘性土ではほぼ  $t$  に比例している。よつて (i) とあわせて整理すれば、

$$H_0/bt = f_c \text{ または } f_s t \dots \dots \dots (2)$$

となる。

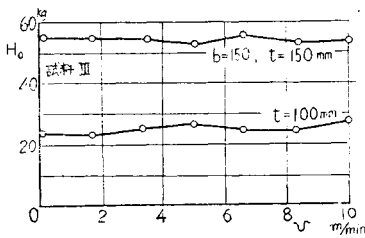
図-6 切込み深さと切削抵抗の関係



(iii) 切削速度：砂質土に対しては本実験に用いた変速範囲 (0.1~10.0 m/min) では、切削速度の影響はほとんどみられなかつた。このことは J. Rathje<sup>2)</sup> はじめ多くの人

が経験しているところと同じである (図-7 参照)。粘性土の場合は、刃面と土との間の粘

図-7 切削速度の影響



着抵抗が相対速度とともにかなり増大する<sup>3)</sup> ことから考えて、水平切削抵抗に及ぼす切削速度の影響は無視できないものと思われるが、粘土試料があまり大きくなかつたため、十分な切削距離が得られず、従つて台車の慣性を除いた定常的な高速度をうることができなかつたので、上記の影響を判別するにはいたらなかつた。

ここでは切り込み深さとして大体 10 cm までを対象としたから、(i) で求めた性質を考慮して  $t < b$  の範囲の  $b$  として、以後は  $b = 150$  mm を主として用いた。

4. 切削抵抗のすくい角による影響

(1) 切削抵抗水平分力  $H_\alpha$  と  $\alpha$  との関係 3. (1) にのべた実験装置を用いてすくい角  $\alpha$  と刃にかかる水平分力  $H_\alpha$  との関係を求めると、砂質土、粘性土とも 図-8,9 のようになり  $\log_{10}(H_\alpha/H_0)$  と  $\alpha$  とはほぼ直線関係の有する。すなわち、

$$H_\alpha = H_0 10^{-m\alpha} \dots \dots \dots (3)$$

となる。 $\alpha$  を rad. で表わし、常用対数を用いれば  $m$  の値は砂質土に対しては 0.56, 粘性土に対しては、0.22 となる。

(2) 刃にかかる垂直分力  $V_\alpha$  と水平分力  $H_\alpha$  と

図-8  $H_\alpha$  と  $\alpha$  との関係の一例

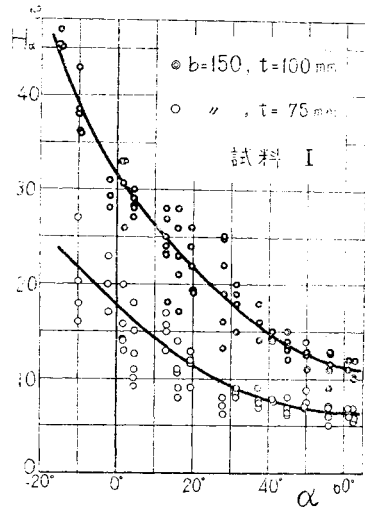
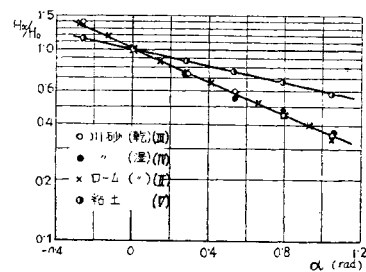


図-9 すくい角と切削抵抗の関係



の関係 砂質土では  $V_\alpha$  は刃巾  $b$  及び切り込み深さ  $t$  に対しては  $H_\alpha$  と全く同様の傾向をもつ。すなわち図

図-10  $H_\alpha$  と  $V_\alpha$  との関係 (砂質土)

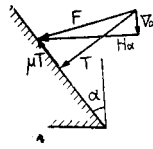
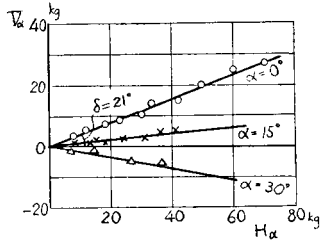


図-11

註:  $V_\alpha$  は図-11 と異なり上向きを正とする。

ほぼ一定の値をとり、すくい角が増すほど減少する。いま 図-11 のように合抵抗下を刃面に垂直な抵抗  $T$  と刃面に沿う摩擦力  $\mu T$  ( $\mu = \tan \delta$  は刃面と土との間の摩擦係数) とにわけると、

$$\left. \begin{aligned} H_\alpha &= T \cos \alpha + \mu T \sin \alpha \\ |V_\alpha| &= -T \sin \alpha + \mu T \cos \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

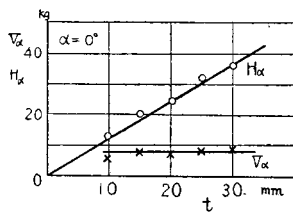
$$\therefore V_\alpha/H_\alpha = \tan(\delta - \alpha)$$

となり、 $V_\alpha/H_\alpha$  は一つの土に対しては  $\alpha$  のみの函数であり、かつ  $\alpha$  の増加とともに減少することが説明される。

しかし粘土に対しては 定常状態に達した後は、 $V_\alpha$  は  $t$  には無関係にほぼ一定となる (図-12 参照)。

これは内部摩擦がないため刃面と粘土との間の摩擦抵抗が直圧力に無関係に一定であること、及び切削が定常状態に達したのちは、切層と刃面との接触面積も一定となることから

図-12 粘性土の  $H_\alpha$  と  $V_\alpha$  との関係



うなづける。この刃面にそう摩擦力 (粘着抵抗) を一定値  $C$  とすれば、(4) 式の  $\mu T$  のかわりに  $C$  とおいて次の関係が得られる。

$$V_\alpha = (C - H_\alpha \sin \alpha) \cdot \sec \alpha \dots\dots\dots (5)$$

5. 実験結果の考察

(1) 砂質土の場合 砂質土に対して強度試験より得られた (1) 式の  $e_s$  と刃の切削実験より得られた (2) 式の  $f_s$  との関係を図-13 のごとく図示すれば土質に無関係に一直線上にあることが認められる。よつて、

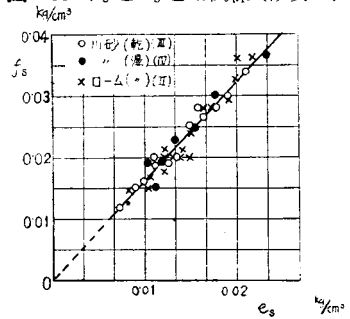
$$f_s = K_s e_s \dots\dots\dots (6)$$

とおくことができる。ここで  $K_s$  は砂質土の土質、含水量、締固め度に無関係な常数である。

それゆえ、(1), (2), (6) 式より

$$H_0 = K_s \frac{Pl}{t_0} \frac{bt^2}{b_0 t_0^2} \dots\dots\dots (7)$$

の関係が得られる。図-13  $f_s$  と  $e_s$  との関係 (砂質土)



砂質土においては  $Pl/t_0$  及び  $H_0$  がそれぞれ  $t_0^2, t^2$  に正比例することから、土中部分 ( $t_0$  あるいは  $t$ ) に作用する圧力分布

を地表面からの深さとともに増加する三角形分布と仮定すれば、その合力  $R$  は地表より  $(2/3) t_0$  のところに作用することになるから

$$R = 3 Pl/2 t_0 \dots\dots\dots (8)$$

となり、(7), (8) 式より  $R$  と  $H_0$  との関係が求めれば、

$$H_0 = \left(\frac{2}{3} K_s\right) R \frac{bt^2}{b_0 t_0^2} \dots\dots\dots (9)$$

となる。

さきに砂の切削抵抗が単なる受動土圧の取扱いではあられせないと述べたが、これについて試みに受動土圧計算で最も大きい値をあたえる Coulomb の式をあてはめてみる。Coulomb の式は鉛直壁に対して次式で示される。

$$H_0' = \frac{1}{2} r bt^2 \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta [1 - \sqrt{\sin(\phi + \delta) \sin \phi / \cos \delta}]^2}$$

ここに  $r$ : 土の単位重量、 $\phi$ : 内部摩擦角、 $\delta$ : 壁面 (この場合刃面) と土との間の摩擦角である。一例として資料Ⅲの値を用いて行つた実験値と、(4) 式を用いて実験結果より計算された  $\delta$  の値 ( $\delta = 21^\circ$ ) を Coulomb の式に入れた結果とを比較してみると Coulomb の式による計算値は

$$H_0' = 4 r bt^2 \quad (r = 0.00124 \text{ kg/cm}^3)$$

となる。しかるに実験結果は

$$H_0 = 15 r bt^2$$

であり計算値の約 4 倍の値を示している。従つて切削抵抗の算定は切削強度試験から (9) 式によつて計算する本提案の方式が最も適当であると考えられる。

(2) 粘性土の場合 粘土を多量に採取することが困難であつたのでまだ 2 種類について行つたにすぎないが、切削強度試験と切削抵抗とを比較した結果を 5. (1) と同様に

$$\left. \begin{aligned} f_c &= K_c e_c \text{ (初期値について)} \\ f_c' &= K_c' e_c \text{ (定常値について)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

とおく(図-14)。実験した試料例が少ないらみはあるが、係数  $K_c, K_c'$  は 5。(1) の場合のように粘性土の種類、土性に無関係のほぼ一定な値を持つ常数として取扱つていく。なおこの妥当性は後述する解析的考察の結果からみても適当なものと考えられる。よつて、(1), (2), (10) 式より

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= K_c e_c b t = K_c \frac{Pl}{t_0} \frac{bt}{b_c t_0} \text{ (初期値)} \\ H_0' &= K_c' e_c b t = K_c' \frac{Pl}{t_0} \frac{bt}{b_c t_0} \text{ (定常値)} \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

なる関係が得られる。

粘性土においては、砂質土と異なり  $Pl/t_0$  及び  $H_0$  がそれぞれ  $t_0, t$  に正比例することから、 $t_0$  あるいは  $t$  に作用する圧力分布は矩形分布であると仮定する。しかしこれのみではこの仮定は分布形の採定に十分なものとはいわれないが、次の解析的考察においてもなら不適當を生じない。よつて  $t_0$  上の合力  $R$  は地表より  $(t_0/2)$  の点に作用するから

$$R = 2 Pl/t_0 \dots\dots (12)$$

となり、(11), (12) 式より  $R$  と  $H_0$  との関係は次のごとくあらわされる。

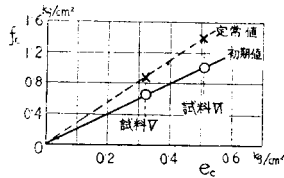
$$H_0 = \left( \frac{K_c}{2} \right) R \frac{bt}{b_c t_0} \dots\dots (13)$$

(3) 粘性土に対する切削強度試験及び切削の解析的考察 純砂土は急速せん断される場合には内部摩擦角は 0 であると考えてよいから、剛塑性体に仮定して塑性論を用いて強度試験時及び切削時の滑り線図を求め、 $K_c, K_c'$  について解析的な考察を行う。

いま 2 つの滑り方向を曲線座標としてえらび、それぞれ  $\alpha$  曲線、 $\beta$  曲線とする。これらの曲線にそうせん断応力は凝集強度に等しいから全塑性領域内で一定であり、この値を  $c$  とする。また塑性領域内の一点において両滑り線に垂直に働らく直応力は相等しく、この値を  $\nu$  とすれば、自重の影響を無視するときは、2 組の隣接する滑り線によつて囲まれる微小曲線要素には 図-15 に示すような応力系が作用し、主応力は滑り線と  $\pi/4$  なる角をなし、その値はそれぞれ  $\nu \pm c$  となる。

別に直角座標  $x, y$  を考え、 $\alpha$  曲線が  $x$  軸となす角を  $\theta$  とすると、直角座標に関する応力成分は次のよう

図-14 粘性土の  $f_c$  と  $e_c$  の関係



になる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \nu + c \sin 2\theta \\ \sigma_y &= \nu - c \sin 2\theta \\ \tau_{xy} &= c \cos 2\theta \end{aligned} \right\} \dots\dots (14)$$

そして微小要素に働らく力の平衡条件から

$$\left. \begin{aligned} \nu + 2c\theta &= \text{const.} \quad \alpha \text{ 曲線上} \\ \nu - 2c\theta &= \text{const.} \quad \beta \text{ 曲線上} \end{aligned} \right\} \dots\dots (15)$$

また材料の非圧縮性から

$$\left. \begin{aligned} du - v d\theta &= 0 \quad \alpha \text{ 曲線にそつて} \\ dv + u d\theta &= 0 \quad \beta \text{ 曲線にそつて} \end{aligned} \right\} \dots\dots (16)$$

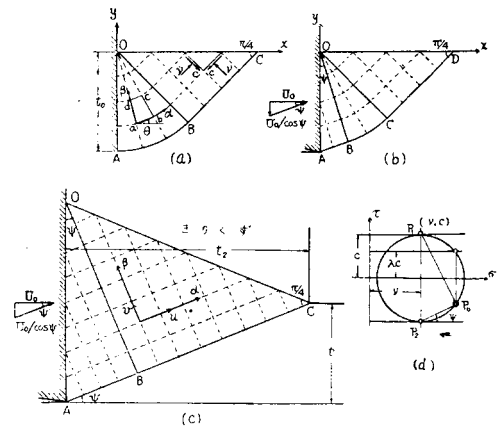
の関係が得られる<sup>4)</sup>。ここで  $u, v$  はそれぞれひずみ速度  $w$  の  $\alpha$  方向、 $\beta$  方向の成分であつて  $w$  は次のごとく定義されるものである。すなわち基準となる変位量、たとえば刃の移動量  $k$  が準静的に  $dk$  だけ増したとき、塑性領域内のある要素が  $ds$  だけ移動したとするとひずみ速度  $w$  は

$$w = \lim_{\Delta k \rightarrow 0} \frac{ds}{\Delta k}$$

であたえられる。

以上の平面塑性ひずみ問題の基礎式を用いると、 $t_0$  及び  $t$  上の応力分布が一定である場合に対する滑り線図は 図-16 のように画かれ、(a) が強度試験、(b) は切削初期、(c) が定常状態に対応する。これらは tria and error method によつて求めたものであるが次のごとく応力、速度の境界条件を満足している。

図-16



(a) 強度試験：応力条件は  $OC$  上で  $\sigma_y = \tau_{xy} = 0$  である。よつて (14) 式の第 3 式から  $\tau_{xy} = 0$  のときは滑り線は地表面と  $\pi/4$  だけ傾くことがわかる。また力のつりあいの関係から、 $OC$  面上では  $\nu = c$  となる。領域  $OBC$  内の滑り線は直線であるから、(15) 式によりこの領域内では  $\nu$  は一定であつて  $c$  に等しくなる。従つて  $OB$  上でも  $\nu = c$  となる。次に  $OA$  上の垂直圧力を  $\nu_1$  とすれば (15) 式より、

$$\nu_1 = c(1 + \pi/2) \dots \dots \dots (17)$$

すなわち OA 上では直応力  $\nu_1$  は一定となり 5. (2) で仮定した境界条件を満足する。ただし O 点は特異点となる。また  $t_0$  上では応力分布が一定であるから、合力は  $(t_0/2)$  のところに作用し、従つて

$$\nu_1 b_0 t_0^2 / 2 = Pl \dots \dots \dots (18)$$

となる。(1) 及び (18) 式より

$$e_c = \frac{\nu_1}{2} = \frac{c}{2} \left( 1 + \frac{\pi}{2} \right) \dots \dots \dots (19)$$

が得られる。

変位条件は OA が O を中心として回転すること、及び ABC より下の部分が静止していることである。あとの条件から ABC 上のこれに垂直な速度成分は 0 になり、全領域 OABC を通じて  $v=0$  が成立する。(16) 式より  $v=0$  であれば全領域を通じて  $u$  はおのおの  $\alpha$  線にそつて一定となる。従つて OA 上で  $u = kt$  とすれば、 $u$  は各  $\alpha$  線にそつてそのまま OC まで達するから、OC 上でもやはり O からの距離に比例し、C 点においては  $u = kt_0$  となる。ゆえに OABC は一体となつて ABC 上を滑り上る。よつてこの滑り線図は速度条件をも満足する。

(b) 切削初期：領域 OAB は刃面の摩擦の影響を受ける部分で角  $\psi$  は (d) 図により次式で求められる。

$$\cos^2 \psi = (1 + \lambda) / 2 \dots \dots \dots (20)$$

ここで  $(\lambda c)$  は刃面と粘土との間の摩擦抵抗で直圧力には無関係である。この場合の滑り線図としては領域 OCD は自然平衡状態をとり、領域 OBC は O を中心とする円弧で限られ、この領域内の滑り線は円弧と半径の群よりなるものとする。

応力条件としては OD 上で  $\sigma_y = \tau_{xy} = 0$ 、OA 上では  $\sigma_x = \text{一定}$ 、 $\tau_{xy} = \lambda c$  であり、変位条件は OA 上でこれに直角な変位速度  $u_x$  が一定 ( $= U_0$ ) で、ABCD より下方の部分は静止していることである。

OD 上の応力条件に対しては前と同様に OD と  $\pi/4$  だけ傾く直線滑り線群を考えればよい。OA 上では、(20) 式であたえられる角  $\psi$  だけ傾いた滑り線群となる。次に変位条件のうちあとに記した条件より ABCD 上のこれに垂直な速度成分は 0 であるから全領域を通じて  $v=0$  となる。刃面 OA 上では粘土のこれに直角な方向の移動は許されず従つて OA 上で滑り線にそつて速度の水平成分が  $U_0$  にならねばならないから、 $u = U_0 / \cos \psi$  となる (残りの鉛直成分  $U_0 \tan \psi$  は切屑が刃面を上昇する速さをあらわす)。かつ  $v=0$  であるから (16) 式により全領域を通じて  $U$  は一定となる。従つて OABCD は ABCD に沿つて滑り上る。このときの応力分布は領域 OCD 内では前と同様にし

て  $\nu = c$ 、従つて OC 上でも  $\nu = c$  となる。OB 上の垂直応力は (15) 式より

$$\nu = c(1 + \pi/2 - 2\psi)$$

となり OA 上でもこれが成立する。よつて OA 上のこれに垂直な応力は (14) 式により

$$\sigma_x (= f_c) = \nu + c \sin 2\psi = c(1 + \pi/2 - 2\psi + \sin 2\psi) \dots \dots \dots (21)$$

となる。

(c) 定常切削：これは E.H.Lee 及び H.Shaffer<sup>5)</sup> によつて金属切削に対して解かれたものである。粘土の自重を無視し、OC 上には外力が作用しないと考へて計算すると、

$$\sigma_x (= f'_c) = c(1 + \cot \psi) \dots \dots \dots (22)$$

となる。(10), (19), (21), (22) 式より

$$\left. \begin{aligned} K_c &= \frac{f_c}{e_c} = \frac{2(1 + \pi/2 - 2\psi + \sin 2\psi)}{1 + \pi/2} \\ K'_c &= \frac{f'_c}{e_c} = \frac{2(1 + \cot \psi)}{1 + \pi/2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (23)$$

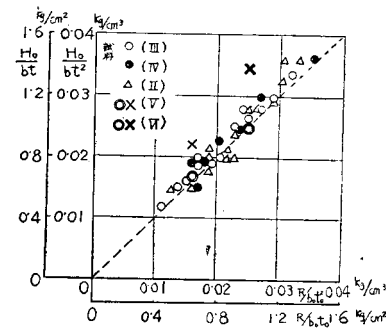
となり、 $\lambda$  は刃面が一樣であれば粘土によつてあまり変わらないと考えられるから、 $K_c$  及び  $K'_c$  は粘土の種類に無関係にはば一定とみなされる。

以上の考察によつて 5. (2) に述べた仮定のもとにおいても、その変形、応力分布にはなんら矛盾を生ずることがなく、あわせて  $K_c, K'_c$  の内容を明らかにすることができた。

6.  $H_0$  と  $R$  との比較

$H_0$  と  $R$  を比較するには 図-13, 14 より求めることもできるが (9) 及び (13) 式を用いて直接実験値を整理してみる。しかし (9) 式の  $K_s$  は (13) 式の  $K_c$

図-17  $H_0$  と  $R$  の関係



よりも深さ  $t$  に関して次数が一つ低いから、(9) 式の場合に対しては  $(H_0/bt^2)$  と  $(R/b_0 t_0^2)$  との関係を、(13) 式の場合に対しては  $(H_0/bt)$  と  $(R/b_0 t_0)$  との関係を実験値より求め、それぞれ前者を縦軸に後者を横軸にとり、ともに合せて図示すれば 図-17 のようになる。ただし図中の  $\times$  印は粘土の切削定常値である。この図よりみれば  $(\frac{3}{2} K_s)$  または  $(\frac{1}{2} K_c)$  はいずれもほとんど 1 になり (9) または (13) 式はそれぞれ概略的に、

$$H_0 \doteq R \frac{bt^2}{b_0 t_0^2} \quad (\text{砂質土に対して}) \dots\dots\dots(9_1)$$

$$H_0 \doteq R \frac{bt}{b_0 t_0} \quad (\text{粘性土に対して}) \dots\dots\dots(13_1)$$

となる。作業工具が切削する深さ  $t$  と同じ深さ  $t_0$  を用いて強度試験を行うものとすれば  $t=t_0$  であるから、(9<sub>1</sub>), (13<sub>1</sub>) 式はいずれも

$$H_0 \doteq R(b/b_0) \dots\dots\dots(24)$$

となる。

7. 土の切削強度試験より工具による土の切削抵抗の求め方

本実験によれば少なくとも切込み深さ 10~20 cm までは 6. に述べたごとく  $H_0$  と  $R$  とはきわめてよく (9<sub>1</sub>), (13<sub>1</sub>), (24) 式と一致するから、本試験機を用いて工具の初削抵抗を求めるには、本試験機を種々の深さ  $t_0$  に対して試験を行い、 $Pl/b_0 t_0^2$  が  $t_0$  といかなる関係になるかを見出し、もしそれが  $t_0$  の 1 次に比例するときは (8) 式より  $R$  を求め、これと (9<sub>1</sub>) 式より  $H_0$  を、また  $Pl/b_0 t_0^2$  が  $t_0$  に無関係に一定であれば (12) 式より求めた  $R$  と (13<sub>1</sub>) 式より  $H_0$  を求めればよい。しかし  $t=t_0$  で試験できる場合には以上のようにして求めた  $R$  と (24) 式とから  $H_0$  を求めることができる。

なお工具がすくい角  $\alpha$  をなしているときは、そのときの水平分力  $H_0$  は  $H_0$  を上記のようにして求め、これを (3) 式に代入して計算することができる。

なお以上の取扱いは試験機の中  $b_0$  を  $b_0=50$  mm とした場合である。もし  $b_0$  を変えれば  $R$  と  $b_0$  との関係が各種の  $t_0$  について直線性をもつかどうかは、さらに実験を要するもので、なおここではわからないが、 $b_0$  は非常に狭いものであるから試験機の土中部分の応力分布の三次元的影響が  $R$  の値、従つて  $K_c$ ,  $K_s$  の係数にかなり影響をもつことが十分に考えられるから、 $b_0$  を種々に変えることは試験法の性格として不適当であつて標準巾として一定なものを用いることが必

要である。本試験のごとく  $b_0=50$  mm として一定巾を用いたことはその一つの提案である。

8. 結 言

本文は土工機械の作業工具に作用する土の切削抵抗値を求めるため新たに考案した切削強度試験装置とその試験法を述べるとともに、その適用性を各種の土質について実験的に、また理論的に検討した結果を述べたものである。本試験装置はきわめて簡単なものであり、しかも切削しようとする現地のそのままの土に直接行える利点がある。ここに述べた実験では、砂質土、粘性土の両極端な土性の土しか扱えず、その中間的な土質、すなわち (1) 式の右辺が  $(e_c + e_s t_0)$  の形で示されるような土については実験することができなかった。これに対しては今後検討するつもりであるが、もしこのような土質の存在するときは、その圧力分布形を台形として上述と同様に取扱えるものと考えられる。またここで行つた切削実験は単純な刃によるもののみであるが、本試験法の原理を住友機械工業 KK において建設機械用バケツの掘削力試験<sup>6)</sup>の一部に利用していただいた際にも、その試験結果はバケツの切削抵抗とよい対応を示すことが認められた。

なお本研究は建設技術研究補助金をうけたものの一部であることを付記しこれに対して深い謝意をあらわすものである。

参 考 文 献

- 1) 畠：土木学会誌 38-3 (1953), p. 97
- 2) J. Rathje : Forschung 2(1931), Forschungsheft 350
- 3) 村山・畠：建設の機械化 40 (1953)
- 4) R. Hill : The Mathematical Theory of Plasticity. (1950)
- 5) E.H. Lee, H. Shaffer : Journ. of App. Mech. 18 (1951) 405.
- 6) 松村・三島：昭和 27 年度建設技術研究補助金による研究報告抄録 (建設省計画局) III, 機械篇 (1954) 112.

(昭.29.7.21)

新材料と新工法 B5判 134 ページ 会員特価 250 円 円30 円

目次

フ	ラ	イ	ア	ッ	シ	ユ	国分正胤	ウ	エ	ル	ポ	イ	ン	ト	工	法	甲野繁夫			
構	造	用	高	張	力	鋼	小西一郎	サ	ン	ド	ド	レ	ー	ン	工	法	石井靖丸			
異	形	鉄	筋				山田順治	ト	シ	ネ	ル	の	全	断	面	掘	削	工	法	加納俊二
プレ	バ	ク	ト	コン	ク	リ	ート	三	浦	一	郎	新	し	い	建	設	機	械		伊丹康夫

東京・千代田区・大手町 2-4 土木学会発行