

土工板の形状に関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 島 昭治郎
国 鉄 正員 ○安岡伸之

1. まえがき 従来から土工板の形状に関する実験的、理論的研究が数多いが個々の項目について相反する値を報告している。ところで土工板の有効な断面形状とは土工板の最大の作業能率を発揮させるためのサイクル当たりの運土量をできるだけ増大させ、かつ運土、掘削中における抵抗を最小限にとどめればよい。本研究は最近の Osman¹⁾、Reece^{2) 3)}等の研究を導入して、土工板の有効な断面形状を決定するための指針について考察した結果について報告する。

2. Reeceの理論について²⁾ A.R.Reeceは図-1に示すように削られた土が前面でロールすることなく、三角柱状に堆積する場合に対して水平掘削抵抗を理論的に求めた。すなわち、三角形の土塊 CDE に対する釣合いを考え図-2に示す水平方向の力(F_u)は

$$F_u = (\frac{1}{2} \sigma_i h^2 \cot \phi - h C_i) \sin 2\phi + h C_i \cot \phi \quad \text{---- (1)}$$

で、四角柱 ABCD については、Osman¹⁾、Reece³⁾の式の載荷重と考え、

$$S_u = F_u (\tan \phi + \tan \delta) + h (C_i + C_a + m \sigma_i) \quad \text{---- (2)}$$

また、カッティングエッジの部分の水平方向の掘削抵抗は、

$$D_h = \{ \sigma Z^2 N_\phi \cos \theta + C Z N_c \cos \theta + C_a Z (N_a \cos \theta + \cot \alpha) \} \quad \text{---- (3)}$$

したがって、土工板に働く水平方向の掘削抵抗の上限値は、

$$D_u = D_h + \frac{\sum}{m} Z N_\phi \cos \theta + F_u \quad \text{---- (4)}$$

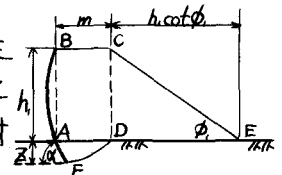
となる。また、CD面上のせん断力(G)=0として次式を得た。

$$F_e = \frac{1}{2} \sigma_i h^2 \cot \phi \cdot \tan \phi + h C_i \cot \phi \quad \text{---- (5)}$$

$$S_e = F_e \tan \delta + h (C_a + m \sigma_i) \quad \text{---- (6)}$$

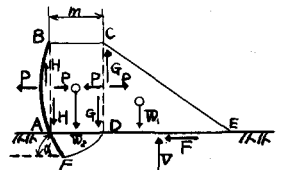
$$D_e = D_h + \frac{\sum}{m} Z N_\phi \cos \theta + F_e \quad \text{---- (7)}$$

式(4)、式(7)の平均値を(D_m)とし運土量(w= $\frac{1}{2} \sigma_i h^2 \cot \phi + h m \sigma_i$)との比の値を土工板能率($i = D_m/w$)と定義し求めた結果の一例を図-3に示す。このiの値は切削角(α)、切削深さ(Z)、土工板の高さ(h)の関数となり土工板の曲率半径(R)の影響を加味することができないが図-1に示すような土工板については、実験結果としての値がほぼ一致することがわかった。



$$\begin{aligned} \phi &= 0.95 \phi \\ \sigma_i &= 0.90 \sigma \\ C_i &= 0.50 C \end{aligned}$$

図-1



$$\begin{aligned} F &= \sigma \tan \phi + h C_i \cot \phi \\ G &= P \tan \phi + h C_i \\ P &= F \\ W &= V + G \end{aligned}$$

図-2

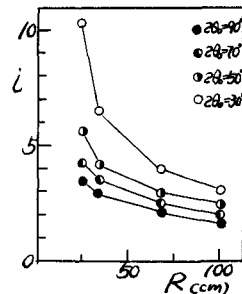


図-3

$$\begin{aligned} \phi &= 42^\circ \\ \delta &= 21^\circ \\ C &= 50 \text{ g/cm}^2 \\ C_a &= 25 \text{ g/cm}^2 \\ \sigma &= 1.5 \text{ g/cm}^3 \\ \alpha &= 50^\circ \end{aligned}$$

3. 動的解析法について 一般的に土工板の移動により掘削された土は図-4に示すような挙動を示す。ここでは初期掘削状態における一定曲率の曲面に近う土塊がする仕事量の算出方法について述べる。その土塊の分割には図-5に示す層状分割、弧状分割とし、速度、加速度は土塊の重心で考える。土塊が曲面に沿って運動するとき、曲面におよぼす力は運動

量の時間的変化と土塊の重量の和で、

$$R_x = m \cdot a_x \quad \dots (8) \quad R_y = m \cdot a_y + mg \quad \dots (9)$$

となる。ただし、 $m = \frac{\rho V}{g}$

曲面に対する法線方向の抵抗力は、

$$R_n = R_x \cdot \cos \beta + R_y \cdot \cos \alpha \quad \dots (10) \quad \cos \beta, \cos \alpha: \text{方向余弦}$$

摩擦力は、法線抵抗力に土と金属との間の摩擦係数を乗すればよい。

$$F = \mu_s \cdot R_n \quad \dots (11) \quad \mu_s = \tan \delta$$

$$F_x = \mu_s \cdot R_n \cdot \frac{V_x}{V} \quad F_y = \mu_s \cdot R_n \cdot \frac{V_y}{V} \quad \dots (12)$$

付着力は、土が接触している面積に土と金属との間の付着力の値を乗すればよい。

$$Q = C_a \cdot \delta A \quad \dots (13) \quad C_a: \text{付着力}$$

$$Q_x = C_a \cdot \delta A \cdot \frac{V_x}{V} \quad Q_y = C_a \cdot \delta A \cdot \frac{V_y}{V} \quad \dots (14)$$

$$\text{仕事量 } W = \int_A^B F \cdot dS = \int_A^B (X \cdot dx + Y \cdot dy) \quad \dots (15)$$

ただし、 F の成分 (X, Y) 、 dS の成分 (dx, dy)

の近似積分計算として台形公式で求める。

・ 曲面と土の間の摩擦にうちかつための仕事

$$W_{AB}(F) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{n=h} \{ (F_{x_n} + F_{x_{n-1}})(X_n - X_{n-1}) + (F_{y_n} + F_{y_{n-1}})(Y_n - Y_{n-1}) \} \quad (16)$$

・ 土を重力に抗してもちあげようとするための仕事

$$W_{AB}(G) = \sum_{n=1}^{n=h} m \cdot g (Y_n - Y_{n-1}) \quad \dots (17)$$

・ 曲面と土の間の付着にうちかつための仕事

$$W_{AB}(Q) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{n=h} \{ (Q_{x_n} + Q_{x_{n-1}})(X_n - X_{n-1}) + (Q_{y_n} + Q_{y_{n-1}})(Y_n - Y_{n-1}) \} \quad (18)$$

・ 運動量の変化によって曲面にあよぼす外力のする仕事

$$W_{AB}(A) = \frac{m}{2} \sum_{n=1}^{n=h} \{ (V_{x_n}^2 - V_{x_{n-1}}^2) + (V_{y_n}^2 - V_{y_{n-1}}^2) \} \quad \dots (19)$$

したがって、全体の仕事量は、

$$W_{AB}(T) = W_{AB}(F) + W_{AB}(G) + W_{AB}(Q) + W_{AB}(A) \quad \dots (20)$$

となる。計算方法、プログラムは省略し計算結果の一例を図-6に示す。切削角 $(\alpha=50^\circ)$ 、切削深 $(z=5\text{cm})$ 、中心角 $(2\theta_0=90^\circ)$

4. あとがき 最も能率的な断面形状の土工柄とは掘削過程における仕事量(エネルギー量)を最小にすればよい。したがって式(20)の汎関数を最小にする変関数を求める変分問題に帰着する。そのときの境界条件として、Reeceの理論を考えればよく、今後この計算方法について研究していきたい。

参考文献

- 1). M.S.Osman; "The Mechanics of Soil Cutting Blades", Journal of A.E.R. Vol.9, 1964, pp.313-328
- 2). A.R.Reece, et al.; "Theory of Bulldozer Action in Friable Soil" Proceedings of the S.I.C. 1966, pp.500-515
- 3). A.R.Reece et al.; "The Calculation of Passive Pressure in Two-Dimensional Soil Failure" Journal of A.E.R., Vol.11 1966, pp.89-107

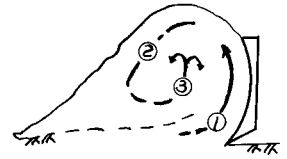


図-4

① 掘削初期状態

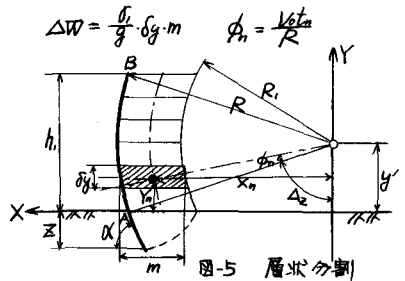


図-5 層状分割

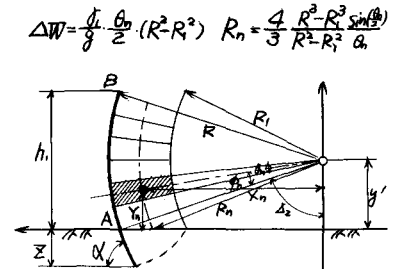


図-5 弧状分割

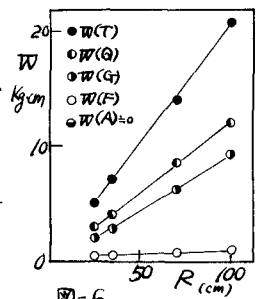


図-6