

排土板に作用する力の解析

Soil-Structure Interaction of Moving Machineries

浦環*・能勢義昭*

Tamaki URA and Yoshiaki NOSE

1. はじめに

図1のように、地盤上壤などを削り取り、掘り起こす機械に作用する力を考える。大は土工用機械のブルドーザー、スクレーパー、パワーシャベルなどから、農耕機械や、さらに小さなものでは鍬も、スコップ、熊手などの動作する部分（ここでは排土板と総称しておく）に作用する力を解析する手法として、土木工学の分野で用いられる塑性土圧論があり、いわゆる受動状態に当る。しかし、擁壁などに作用する力の解析の場合と異なり、次の2点が重要となる。

1) 盛上がりした土砂の影響。

2) 3次元的影響。

幅の広いブルドーザーでは排土板自身が盛上げた土砂を大量に押す結果となり、1)の効果は特に大きい。

土砂がどのように盛上がり崩れるか、またその過程で作用する力の性質はどのようかを調べるために、有限要素法などを用いて数値的にシミュレーションすることは必ずしも不可能ではない。しかし、大変形・破壊等を含む材料非線型な系を力ずくで解いたとしても実りは少ない。ここでは実験的な事実を基として、大胆な仮定に基づいた実際的な解析法を示す。なお、ここではy方向

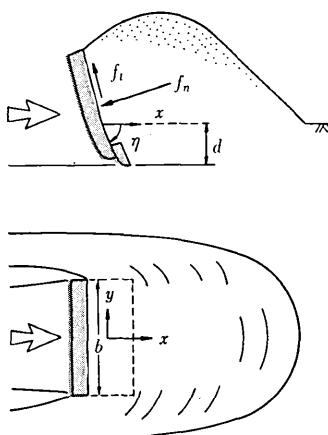


図1 移動する排土板

* 東京大学生産技術研究所 第2部

(左右方向)に傾きを持たない場合について考える。

2. 実験

用いた土砂は間隙比 = 1.0、安息角 ϕ = 内部摩擦角 = 35°、見掛けの比重 γ = 1.35 g/cm³、粒径 D_{50} = 0.043 cm の三河五号砂である。排土板は簡単のために長方形とし、上方へは十分に長いとする。幅を b 、深さを d 、開き角を η としアスペクト比 a を $a = d/b$ で定義する。板を毎秒約 20 cm の速度で移動させ、定常状態となつたときに静止させ盛上がり高さを計測した。また作用する力の成分も測定している。ここでは $\eta = 60^\circ$ の場合のみを示す。

図2-a ~ d はアスペクト比 $d/b = 0.5$ のときの砂の盛上がり高さ h の等高線を示している。ここで高さは後に示す結果により $\sqrt{bd \tan \phi}$ で無次元化する。図はそれぞれ幅 $b = 12.5$ cm, 10 cm, 7.5 cm, 5 cm, に対応する。xy面での長さは幅 b で無次元化する。図に示されるように、盛上がり高さの無次元量 $h/\sqrt{bd \tan \phi} = (h/d)/\sqrt{(1/a)\tan \phi}$ はアスペクト比をパラメタとして定まる。図3は $y/b = 0$ 、および $y/b = 0.5$ 断面の形状を、図4は $x/b = 0.4$ 断面の形状を示す。図5はアスペクト比 $d/b = 0.1$ 、図6は $d/b = 8$ の場合である。

3. 解析モデル

定常状態で前進する排土板ABDCの前方を考える。板の後方が及ぼす影響は、ここでは無視する。定常状態の前方の土砂の形状を滑り面を含めて図7に示されるように仮定する^{1,2)}。最大高さ h_{max} は、乱されない土砂表面下の排土板EFDCが盛上げる量と安息角 ϕ の傾斜で左右に残される量とが等しいことより、

$$h_{max} = \sqrt{bd \tan \phi} \quad (1)$$

で与えられる。滑り面は水平面と ρ の角度をなすDKLおよび鉛直面CKIG, DLZHを仮定する。盛上がり高さは板幅内で左右方向に一定とし、板の先端CDの上方で最大高さ h_{max} となり、G I間は一定とする。IKLZは平面とし、その傾斜が安息角 ϕ を越えるときは前方にも崩れて $\psi = \phi$ とする。

鉛直滑り面DKIGおよびCLZHに作用する剪断力 τ の分布を次式で仮定する。

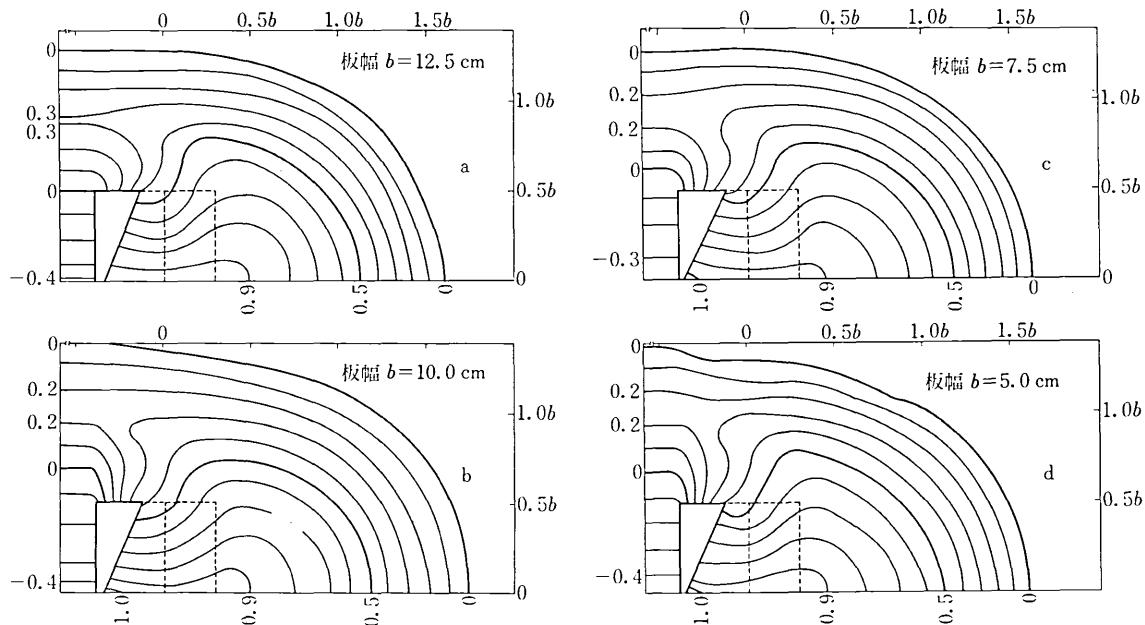
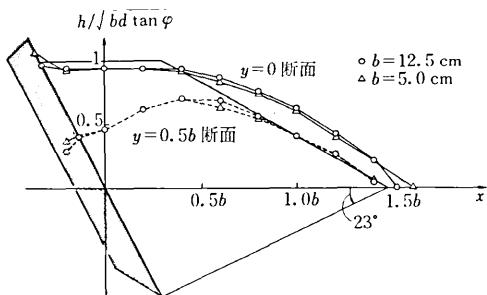
図2 $d/b = 0.5$ のときの盛上がり形状の比較

図3 盛上がった砂の進行方向の断面形状

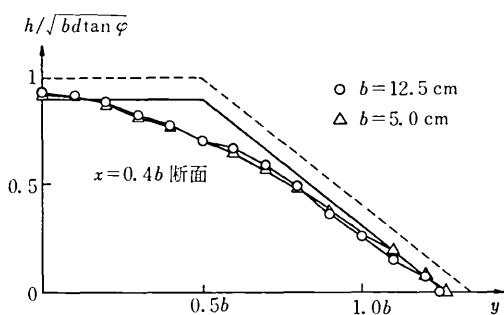


図4 盛上がった砂の横方向の断面形状

$$\tau = K_0 \tan \varphi \quad (2)$$

ここで K_0 は静止土圧係数 ($\approx 1 - \sin \varphi$), z は表面 G I KLZH よりの深さである. τ の作用する方向は滑り面 DKLC に平行であるとする.

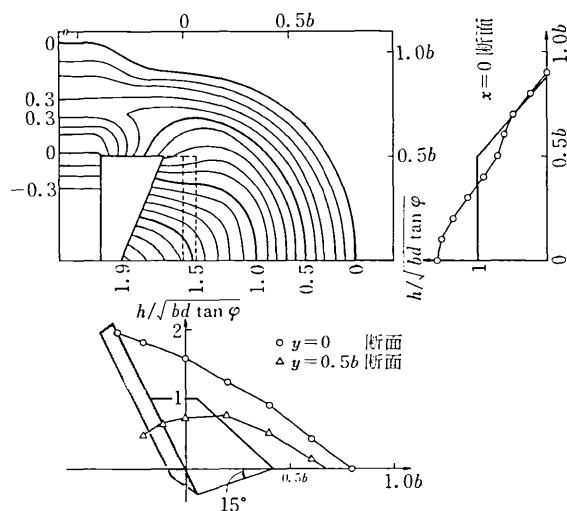
図5 $d/b = 0.1$ のときの盛上がり形状

図8に示されるように土楔 CKIGDLZH に作用する力を P , Q , R , とし自重を W とすれば, W および R は

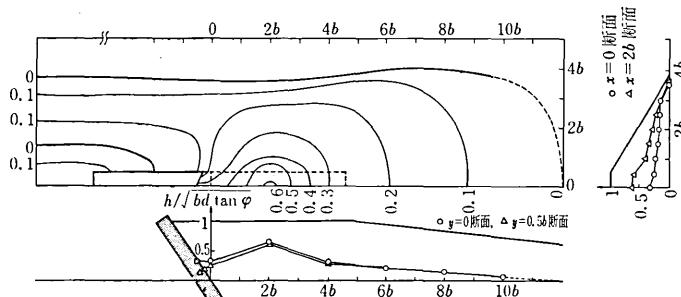
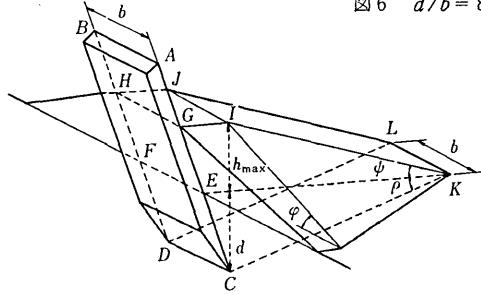
図6 $d/b = 8$ のときの盛上がり形状

図7 盛上がり形状の仮定と滑り面

$$W = \begin{cases} \frac{1}{2} r d^2 b (1 + h_{\max}/d) \{ (1 + h_{\max}/d) \\ \cot \eta + \cot \rho \} & \psi \leq \varphi \\ \frac{1}{2} r d^2 b (1 + h_{\max}/d)^2 \{ \cot \eta + \cot \rho \} \\ (1 + \tan \varphi / \tan \rho) \} & \psi > \varphi \end{cases} \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{3} K_0 (1 + h_{\max}/d) W \tan \varphi \quad (4)$$

力の釣合いより

$$P = \{ W \sin(\rho + \varphi) + 2R \cos \varphi \} / \sin(\rho + \eta + \varphi + \delta) \quad (5)$$

が得られる。 δ は板面と砂との摩擦角である。土楔論と同じ手法により、 ρ に関する P の最小値 P_{\min} が求める値となる。

P を板面の垂直力 f_n に書き直し、無次元の抵抗係数 C_N を導入すると

$$f_n = P_{\min} \cos \delta = \frac{1}{2} C_N r d^2 b \quad (6)$$

の関係があり、 C_N は開き角 η とアスペクト比 a の関数

$$C_N = C_N(\eta, a) \quad (7)$$

となる。

図8は実験値との比較であり、良好な一致を示している。また、盛上がり形状の比較を図3～6に示す。アスペクト比 d/b が小さい範囲での差は、主として、板幅内で高さを一定したことによる。 d/b が極端に大きい場合についての差は主として砂の圧縮性および板の後方へまわり込む砂を無視したことによる。2次元理論のクーロン理論($K_0 = 0$, $h_{\max} = 0$)による値を破線で図8

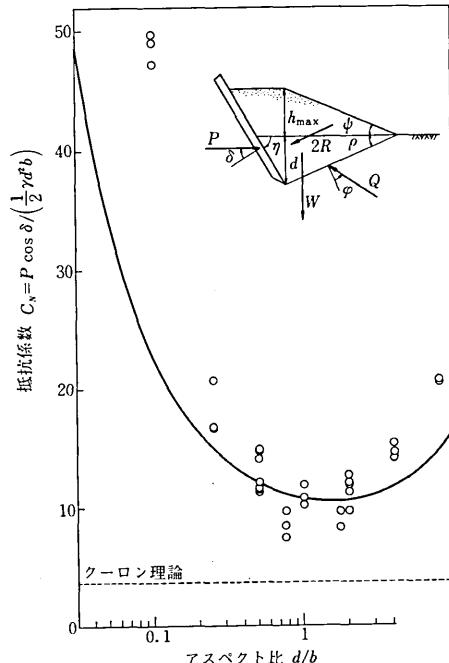


図8 アスペクト比による抵抗係数の変化
に示す。これより既存の理論ではいかに不十分であるか
が示される。

おわりに

本法の考え方は定常状態の形に着目した解析法であり、排土板に作用する力を容易に検討できる点が有効と考えられる。ここでは盛上がった土砂を乱さない状態のものと同一の性質として取り扱ったが、図7と同様のモデルを用いて、この点を修正することは全く容易であり、(3)～(5)式を若干変更することによりそれらの影響を考慮することができる。

(1978年12月18日受理)

参考文献

- 1) 浦・山本: 日本造船学会論文集, 第140号, 1976,
pp. 279～285.
- 2) URA・YAMAMOTO: 生研報告, 第4号, 1977,
pp. 141～159.