

## 砂地盤の水平方向掘削抵抗に関する一考察

愛媛大学工学部 正員 深川 良一  
愛媛大学工学部 正員 室 達朗  
ソノライト・ロックエンジニアリング 正員 ○山田 義彰

はじめに 建設機械による押土・掘削作業を自動化しようとするれば、地盤条件と制御命令との関係、あるいは制御命令で使用し得る地盤の特性値を明確にする必要がある。本論文では、押土作業に際してブレードにかかる力が $c$ 、 $\phi$ に基づく従来の土の力学に基づいて整理し得るか否かについて考察している。

**実験装置及び実験方法** 実験装置については基本的に深川・室・鈴木(1991)と同じである。実験に使用した試料砂(海砂)は4.78mmのフルイに通したものを室温で乾燥させたものである。試料の最小、最大乾燥密度はそれぞれ1.45, 1.69g/cm<sup>3</sup>である。また、 $D_{60}=0.810(\text{mm})$ 、 $D_{50}=0.670(\text{mm})$ 、 $D_{10}=0.203(\text{mm})$ である。

試料の内部摩擦角 $\phi$ を測定するために一面せん断型のリングせん断試験装置(石井, 1991)を用いた。得られた種々の相対密度 $Dr$ に対する $\phi$ (ピーク・残留強度に相当する $\phi_{peak}$ 、 $\phi_{res}$ )をFig.1に示す。

本論文では計測に際して平面歪みを仮定しているが、滑り面で発揮されているせん断力を正しく評価するためにはブレードと土槽側面との摩擦抵抗および車両の転がり抵抗をできるだけ正確に把握しなければならない。転がり抵抗は実測し、平均値0.43kgfとなった。土槽側面との摩擦については、まずブレードにかかる水平方向の力 $F$ は次式で表せると仮定した。 $F=2 \cdot f + A \cdot \sigma$ 。ここに、 $f$ : 地盤と土槽側面との摩擦(kgf)、 $A$ : ブレード面積(cm<sup>2</sup>)、 $\sigma$ : ブレードにかかる滑り面のせん断力に起因する水平方向応力(kgf/cm<sup>2</sup>)である。上式に基づいて、 $A$ を種々変化させて実験を行い、縦軸を $F$ 、横軸を $A$ ( $B$ でも良い)にとれば、縦軸の切片として側面摩擦 $2 \cdot f$ が決定される。 $B$ として15, 30, 60cmが採用され、これらに対応した土槽を合わせて作製した。なお主実験の土槽巾は60cmである。 $Dr=51\%$ の地盤に対する実験結果をFig.2に示す。この際、実験より得られたブレードにかかる力 $\sim$ 押土距離関係をべき関数によって回帰し、その結果に基づいてFig.2を得ている。Fig.2より先に述べた整理方法が可能であることがわかる。Fig.2に基づいて側面摩擦と押土距離の関係を導いたのがFig.3である。

**一般化された極限平衡法による水平方向押土抵抗の算定** ここでは、榎ら(1989)により開発された一般化された極限平衡法(GLEM)により解析を行った。ブレードによる押土作業を行うと、ブレード前面に盛り上がり部ができる。目視観察より、盛り上がり部をFig.4に示すように台形OABCで近似した。ここで、 $AB=2 \cdot OA$ 、 $OABC$ =ブレード移動により押される土量 $=t \cdot x$ 、 $\angle BCO=\phi_{res}$ である。また、 $t$ : ブレード貫入量(cm)(全て5cm)、 $x$ : ブレード移動量(cm)である。

GLEMの計算では、初期値として

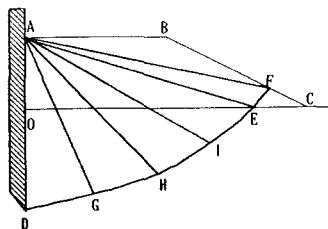


Fig.4 Several blocks used in GLEM calculation

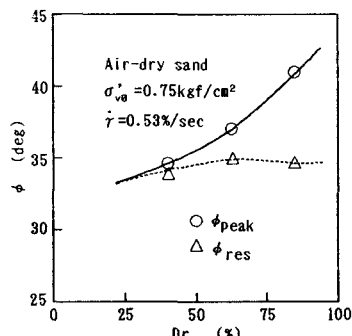


Fig.1  $\phi$  obtained from ring shear apparatus

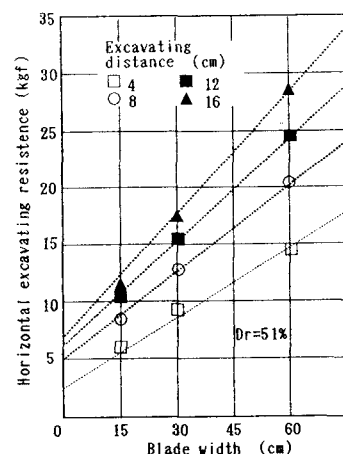


Fig.2 Decision of side friction by extrapolation

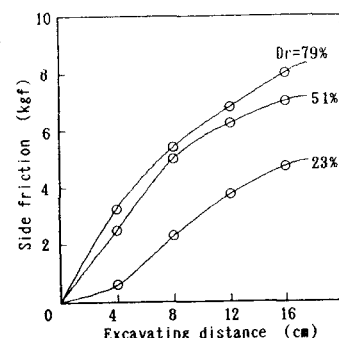


Fig.3 Side friction estimated from extrapolation

滑り面を仮定する必要がある。ここではまずブレードと地盤との間に摩擦がないものとして仮定し、D点より地表面OCと $45^\circ - \phi/2$ で交わる直線滑り面を得、図の交点Eを決定した。実際はブレードと地盤との摩擦が存在するため、滑り面は下に凸の形状となる。したがってここでは初期滑り面として、DおよびEを通り、Fに至る滑らかな曲線を採用した。

本計算では収束までの速度および精度を考慮して、図のような三角形4乃至5ブロックからなる集合ADFを採用した。各ブロックの境界で設定した $\phi$ は、i)DE;  $\phi_{peak}$  or  $\phi_{res}$ , ii)EF;  $\phi_{res}$ , iii)AD; ブレードと地盤との摩擦角 $\delta$ は、Potyondy(1961)によれば、smooth steelに対する砂(粒径加積曲線が今回の試料に極似している)の $\delta$ として、 $\delta = 0.543 \phi_{peak}$ と表現できる、iv)AF;  $\phi = 0$ 。

解析においてはさらに、地盤の単位体積重量 $\gamma$ 、収束条件、計算に際しての増分値などを設定する必要があるが、いずれも実測値および経験的に妥当であると判断されている値を用いている。なお計算に用いたブロックが原地盤及び盛り上がり部の2層にまたがるときは $\phi$ 、 $\gamma$ はそれぞれ比例配分的に求めた。

**実験結果および考察**  $Dr=23, 51, 79\%$ の地盤に対する実験結果を順に、Fig.5(a)~(c)に示している。いずれもブレード巾Bは60cmである。実験値は、転がり抵抗および地盤と側面との摩擦を含む。同じ図上にそれぞれ解析結果を重ねて示している。 $\phi_{peak}$ および $\phi_{res}$ を原地盤の材料定数として代入し計算を行っている。 $Dr=23\%$ の場合は $\phi_{peak}=\phi_{res}$ である。Fig.5中の解析値は、実験より求められた転がり抵抗および側面摩擦をGLEMによる計算値に加えたものである。Fig.5より

$\phi_{res}$ に基づく解析値と実測値がいずれの $Dr$ においても良好な対応を示していることがわかる。また、Fig.5(a)~(c)の実測値間の差があまり大きくないということも特徴である。 $Dr$ の増加に連れわずかに押土抵抗 $H$ も大きくなるという傾向を示すが、顕著ではない。以上の結果は次のように推論できよう。ブレードの前進に従ってすべり面近傍の地盤が連続的に弱化するため、発揮される $\phi$ はかなり $\phi_{res}$ に近いものとなる。 $\phi_{res}$ は $Dr$ に依らず、ほぼ一定と見なせるから、すべり面上でのせん断力に起因する押土抵抗はほとんど変化しないことになる。 $H$ に差が現れるとするならば、地盤と側面との摩擦、ブレードと地盤との間の摩擦であるが、いずれも圧倒的な要因とは言いがたい。したがって、結果的に、 $Dr$ が変化しても押土抵抗にはさほどの差は生じない。

**まとめ** 相対密度 $Dr$ を変化させて押土実験を行った。いずれの $Dr$ の地盤に対しても、滑り面近傍で発揮される $\phi$ は $\phi_{res}$ にかなり近いことを示すような結果が得られた。

**参考文献** 石井朋紀(1991):愛媛大学工学部修士論文 榎明潔・八木則男・矢田部龍一(1989):第24回土質工学研究発表会講演集, pp.1567-1568. Potyondy, J.G. (1961):Geotechnique, Vol.12, pp.339-353. 深川良一・室達朗・鈴木貴雄(1991):土木学会中国四国支部研究発表会講演集

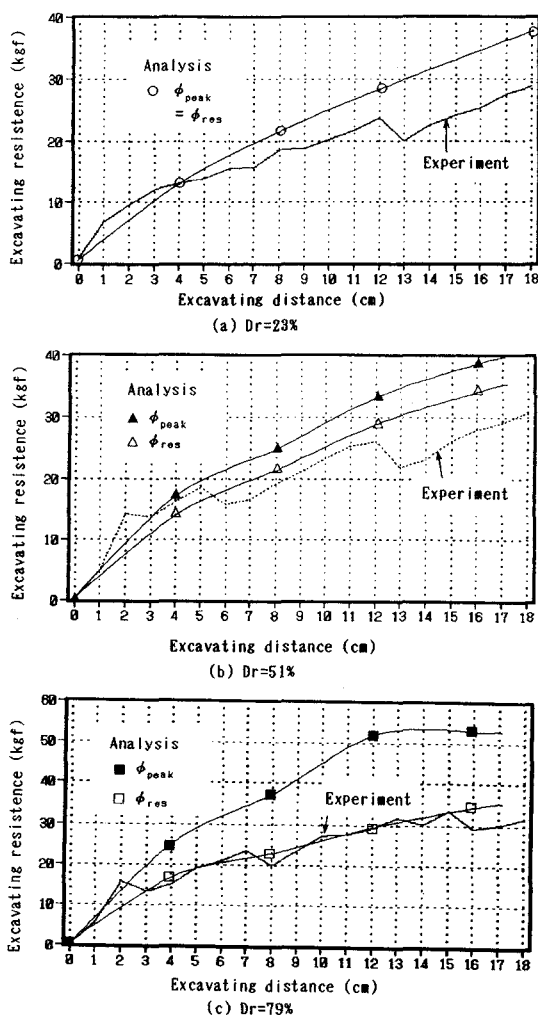


Fig.5 Evaluation of experimental data with use of numerical analysis