

VI-191

軟岩の定常掘削特性のモデル化 (掘削刃が底面刃物角を有する場合)

立命館大学大学院 学生員 福隅拓也
 立命館大学理工学部 正 員 深川良一
 神戸大学大学院 学生員 江南和彦
 (有) コスモシティー 正 員 灘波賢樹
 (株) 神戸製鋼所 正 員 木下文男

1.はじめに 掘削刃が前面刃物角を有する場合のモデル化については、既に報告した¹⁾。ここでは同様に底面刃物角を有する際の定常掘削特性のモデル化を行い、底面刃物角の掘削に及ぼす影響に関して理論的に考察した。

2.掘削領域の分類 McKyes²⁾は、すくい角や掘削刃幅、掘削深さなどの掘削刃形状、および地表面と破壊面のなす角 η 、内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c などの地盤特性によって破壊面が変化することに注目して水平掘削抵抗を算定した。このMcKyesモデルの方法論にほぼ準拠し、本研究では図1に示すような掘削刃で岩盤を掘削した際のモデル化を行った。

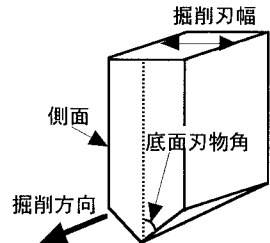
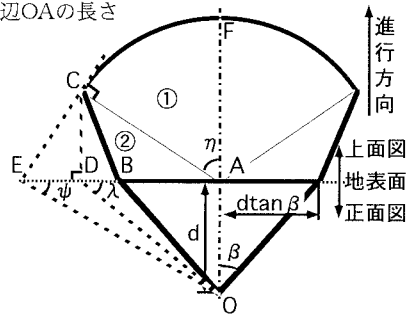


図1 掘削刃形状について

掘削領域は、掘削刃先端までの貫入深さ、底面刃物角、側面という3つの要因に支配される異なる破壊面の組み合わせによって決定されると仮定しモデル化を進めた。図2に底面刃物角が鋭い場合の掘削領域を示す。領域①(ACFO)は辺OAの長さに強く依存し、領域②(ABCO)は底面刃物角 2β を構成する掘削刃底面(面OAB)に強く影響を受ける。側面が存在すると領域②の形状は変化するが、ここでは側面の影響については触れない。底面刃物角の形状による掘削領域の分類は、図2の地表面と掘削開始面の交線上の3点B、D、Eの位置関係によって行うことができる。点Bは掘削刃と地表面の境界、点Dは点Cから掘削刃に下ろした垂線、点Eは点Cでの接線と掘削開始線(辺ABの延長線)の交点である。ここで、点Cとは、掘削刃先端によって発生する破壊面が地表に出てきたときの円弧の終点である。底面刃物角が異なる場合の掘削領域の分類を表1に示す。ここで $\lambda = \angle ODA$ 、 $\psi = \angle OEA$ である(図2~4参照)。 λ 、 ψ は以下の式のように η を用いて表すことができる。

図2 底面刃物角が鋭い場合の掘削領域 ($0 < \beta \leq 90 - \lambda$)

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\cos \eta} \right), \quad \psi = \tan^{-1} \left(\frac{\sin^2 \eta}{\cos \eta} \right)$$

図3にNo.2、図4にNo.3の場合の掘削領域を示す。図2~4の特徴は、図2は点Bが点Dの内側に有り、図3は点Bが辺DEの間に有り、図4は点Bが点Eの外側に有るという点である。注意すべき点は図4の場合のみ辺OGが存在することである。辺OGとは領域①と領域②の境界にあたる線である。図2、図3の場合は掘削刃先端までの貫入深さに支配される掘削領域が大きいため辺OGと辺OCが一致している。しかし、図4のような場合(底面刃物角が鈍い場合)は掘削刃底面が掘削刃先端までの貫入深さに支配されていた領域に影響を与えるために辺OGが存在する。

3.水平掘削抵抗算定式 底面刃物角が存在し、掘削中に掘削刃の側面は地中に無い(側面無し)場合の定常掘削状態での水平掘削抵抗算定式の構築を行った。この算定式に用いる岩盤特性のパラメータに

表1 掘削領域の分類

底面刃物角 (degree)	側面の有無	
	無	有
$0 < \beta \leq 90 - \lambda$	No.1	No.4
$90 - \lambda < \beta < 90 - \psi$	No.2	No.5
$90 - \psi \leq \beta < 90$	No.3	No.6
$\beta = 90$	—	No.7

キーワード：定常掘削、軟岩、掘削刃形状、モデル化

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 Tel:077-561-2875, Fax:077-561-2667

ついては、地表面と岩盤の破壊面がなす角を η 、岩盤と掘削刃の間の摩擦角を δ とした。また、岩盤の強度特性については、今回は掘削深さが非常に浅い場合について考えているので、いわゆる c 、 ϕ を用いた式ではなく、岩のせん断強度 $s_s^{(3)}$ によって表現した。

以下に、No.1～No.3の算定式を示す。

i) No.1(図2)の場合

$$H = \frac{S_s \left(1 + \frac{\sin \kappa}{\cos \beta}\right) + \frac{\gamma}{3} d \sin \eta \cos \eta (1 + \tan \beta \cos \eta)}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} \frac{d^2}{\tan \eta}$$

ここに、 $\kappa = \angle BOC$ であり、 κ は以下のように表される。

$$\kappa = \cos^{-1} \left\{ \frac{\sin \eta \cos \beta}{2} \left(\frac{1}{\sin^2 \eta} + \frac{1}{\cos^2 \beta} - \frac{1}{\tan^2 \eta} \frac{\cos^2 \eta}{\sin^2 \nu} \right) \right\}$$

上式中、 $\nu = \angle CBD$ であり、 ν は以下のように表される。

$$\nu = \tan^{-1} \left(\frac{\cos \eta}{\tan \beta \tan \eta - \sin \eta} \right)$$

ii) No.2(図3)の場合

この場合は、No.1のときと同じ式になる。

iii) No.3(図4)の場合

$$H = \frac{S_s + \frac{\gamma}{3} d \cos \eta \sin \eta}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} \cdot \frac{d^2}{\tan \eta} \left(\frac{\cos \rho}{\sin \eta} + \frac{\tan \beta \sin^2 \rho}{\cos \eta} \right)$$

ρ は領域①と領域②の境界面と掘削開始面のなす角で以下の式により求めることができる(図4参照)。

$$\rho = \cos^{-1} \left(\frac{1}{\tan \beta \tan \eta} \right)$$

4. 掘削効率指数 前面刃物角の最適角度を評価した場合と同様に、掘削効率指数 $I=V/H$ を用いて最適な底面刃物角 β を調べることにした。以下に、1回で掘削される土量 $V(\text{cm}^3)$ の計算式を示す。

i. $0 < \beta \leq 90 - \lambda$ の場合

$$V = \frac{d^3}{3 \tan \eta} \left(\frac{\pi}{180} \eta + \cos \eta \cdot \tan \beta \right)$$

ii. $90 - \lambda < \beta < 90 - \psi$ の場合

$$V = \frac{d^3}{3 \tan \eta} \left(\frac{\pi}{180} \eta + \cos \eta \cdot \tan \beta \right)$$

iii. $90 - \psi \leq \beta < 90$ の場合

$$V = \frac{d^3}{3 \tan^2 \eta} \left(\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{180} \rho \right) + \tan \rho \right)$$

図5に $2b=25\text{mm}$ 、 $d=3\text{mm}$ 、 $s_s=30\text{kgf/cm}^2$ 、 $\eta=35^\circ$ 、 $\delta=28.4^\circ$ を代入した時の計算結果を示す。

この図より、底面刃物角 β が $(90 - \psi)^\circ$ から離れるにしたがって掘削効率は下がって行くことが予測できる。また、 $2(90 - \psi)^\circ$ 前後のグラフの勾配から掘削刃先端までの貫入深さによって支配される領域の方が掘削刃底面によって支配される領域よりも掘削効率に与える影響は大きいと考えられる。

5. 結論 以上より、底面刃物角 β が $(90 - \psi)^\circ$ のとき掘削効率指数はもっとも大きく最適な角度と予測できる。

6. 参考文献 1) 江南・深川・福隅・灘波・木下：土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，1998。 2) McKyes, E : ASAE May, pp20-24, 1977. 3) 小林・奥村：日本鉱業会誌, Vol.87, No.999, pp.407-412, 1971.

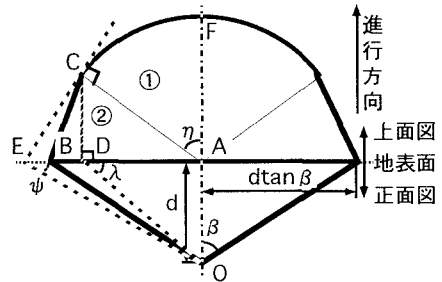


図3 底面刃物角が中間の大きさ場合の掘削領域

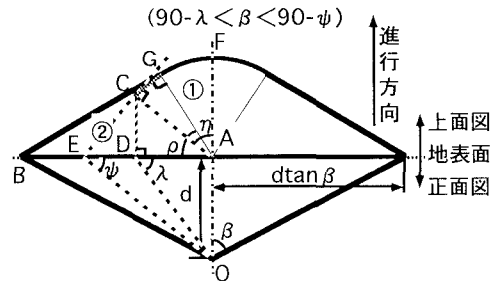


図4 底面刃物角が鈍い場合の掘削領域

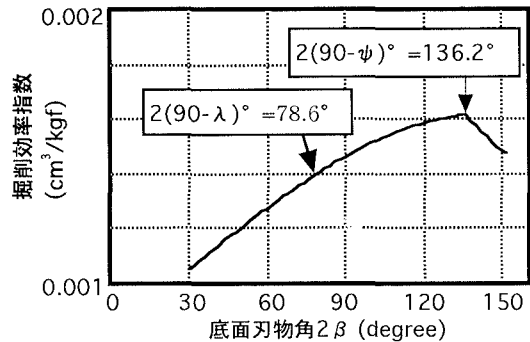


図5 底面刃物角と掘削効率指数の関係