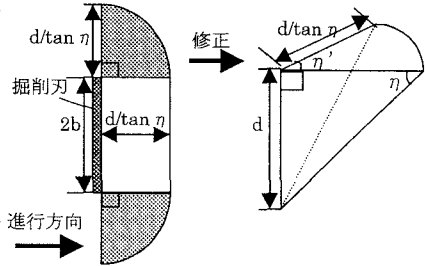


VI-6

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・その2）

立命館大学大学院 学生員 片木 聖樹 立命館大学理工学部 正 員 深川 良一
 (株)東京建設コンサルタント 正 員 福隅 拓也 (株)大林組 一本松 努

1.はじめに 本研究は単独刃が軟岩を掘削する際の力学的特性の理論的解明を目的としている。刃物角や刃幅等が掘削特性に及ぼす影響に関する理論的・実験的研究については既に公表しているが¹⁾²⁾、それらの理論的モデル³⁾については、掘削面形状の取り扱いに修正すべき点があった。それを考慮し、今回は、底面に刃物角を有する際のモデルを再構築し、掘削において刃物角や破壊角等が掘削特性に与える影響について理論的に検討した。



2.掘削のモデル化 McKyes⁴⁾は、平刃（すくい角 0deg）によって掘削を行った際に得られる破壊面形状を上方から見ると図1

図1 McKyesにおける掘削領域と掘削刃側方の修正掘削領域

左のようになると仮定した。すなわち、掘削刃前方においては長方形、掘削刃側方においては1/4円に近い。既に公表したモデルにおいては、実験的考察により McKyes モデルの掘削刃側方の破壊面形状に関する破壊角を $\eta = \eta'$ （図1右参照）と仮定したが、さらに考察を進めた結果、中心角 η' が η より大きいものが多く存在した。そこで今回は、 η' を η と独立に設定してモデル化を進めた。ここで、 η は破壊線が地表面となす角である。底面刃物角を有する場合の最終的な破壊面形状は図2に示すように、掘削刃を構成する細片によって生ずる破壊領域の外側包絡面として得られるが、モデルの詳細については文献3)を参照されたい。底面刃物角を有する場合の力学的モデルは結局、底面刃物角 2β 、破壊角 η 、 η' の相互関係および掘削刃の鉛直な側面が岩盤中に貫入しているかどうかによって6パターンに分類することができる。例えば 2β が η 、 η' に比べて相対的に大きい場合、水平掘削力 P_h （掘削抵抗の進行方向成分）ならびに掘削土量 V の算定式は最終的に以下ようになる。

i) 側面無しの場合

$$P_h = \frac{S_s \frac{\sin \eta'}{\sin \eta} + \gamma \frac{d \cos \eta \cdot \sin \eta'}{3}}{\cos \eta - \tan \delta \cdot \sin \eta} \cdot \frac{d^2}{\tan \eta} + \frac{S_s \frac{\sin \kappa}{\cos \beta \cdot \cos \eta} + \gamma \frac{d \tan \beta \cdot \cos \eta' \cdot \sin \chi}{3}}{\cos \chi - \tan \delta \cdot \sin \chi} \cdot \frac{d^2}{\tan \eta}$$

$$V = \frac{d^3}{3 \tan \eta} \left(\frac{1}{\tan \eta} \cdot \frac{\pi}{180} \eta' + \cos \eta' \cdot \tan \beta \right) + d^2 \tan \beta \cdot x$$

ii) 側面有りの場合

$$P_h = \frac{S_s \frac{\sin \eta'}{\sin \eta} + \gamma \frac{d \cos \eta \cdot \sin \eta'}{3}}{\cos \eta - \tan \delta \cdot \sin \eta} \cdot \frac{d^2}{\tan \eta} + \frac{S_s \frac{(d^2 - d'^2) \sin \kappa}{\cos \eta \cdot \cos \beta} + \gamma \frac{(d^2 - d'^2) \tan \beta \cdot \cos \eta' \cdot \sin \chi}{3}}{\cos \chi - \tan \delta \cdot \sin \chi} \cdot \frac{1}{\tan \eta}$$

$$V = \frac{1}{3 \tan \eta} \left(\frac{d^2}{\tan \eta} \cdot \frac{\pi}{180} \eta' + (d^3 - d'^3) \cos \eta' \cdot \tan \beta \right) + \left\{ b(d + d') + \frac{d'^2 \sin \eta'}{\tan \eta} \right\} \cdot x$$

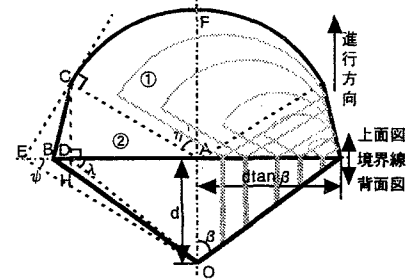


図2 底面刃物角が相対的に大きい場合の破壊面形状（側面なし）

キーワード：定常掘削、軟岩、掘削刃形状、室内実験、モデル化

連絡先：立命館大学理工学部：〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 Tel:077-566-1111 Fax:077-561-2667

ここで、 γ ：岩盤の単位体積重量(gf/cm^3)、 $2b$ ：掘削刃幅(cm)、 S_s ：せん断強度(kgf/cm^2)、 η ：破壊線が地表面となす角(deg)、 η' ：岩盤中に発生する破壊角(deg)、 2β ：底面刃物角(deg)、 δ ：掘削刃と岩盤との摩擦角(deg)、 d ：掘削深さ(cm)、 d' ：掘削刃側面部貫入深さ(cm)、 x ：掘削距離(cm)、 α ： $\angle DCH$ 、 κ ： $\angle BOC$ である。

3. 実測値と理論値の比較 実験¹⁾は、 $S_s=32.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $\gamma=2.20\text{gf}/\text{cm}^3$ のモデル岩盤に対して、 $b=1.25\text{cm}$ の条件で、掘削深さ d 、底面刃物角 2β を変化させて行った。水平掘削力の実測値は全掘削過程の平均値を採用している。今回、モデル式で用いた η の値は、実験から得られた値の平均値($\bar{\eta}=27.3\text{deg}$)を用いている。さらに、 $\eta'=90-\eta$ とした。

まず、平刃において、破壊角 η の塑性論や実測値間の関係を考慮して水平掘削力への影響を計算した図3を見ると、水平掘削力を最小とする破壊角 $\eta_{\min}$ が存在し、かつ $\eta_{\min}$ が掘削深さ d によって変化することが分かる。

底面刃物角を有する場合、実験で計測された η の標準偏差 σ が7.4と大きいので、 η を $19.9\sim 34.7\text{deg}$ ($\bar{\eta}-\sigma\sim\bar{\eta}+\sigma$)と変化させたときの水平掘削力、掘削土量の理論値の範囲を算出した。各実測値に対する理論値の上下限值および $\bar{\eta}$ に対する値（プロットで示す）を図4、5に示す。まず水平掘削力について図4を見ると、 $\bar{\eta}$ の場合における水平掘削力の理論値はそれらの範囲内の最小値付近に存在しているものが多い。さらに実測値とも良い相関性を示していると判断できる。次に、掘削土量について図5を見ると、 η の変化による理論値の変化はさほどないことが分かる。さらに、 $\bar{\eta}$ の場合における掘削土量の理論値は実測値に近い値を示すものが多い。

以上のことから、 η の変化により水平掘削力、掘削土量もそれぞれ変動するが、 η に対する理論値はともに実測値と良い相関性を示していると判断できる。

4. 結論 本研究では、掘削刃形状が掘削特性にどのような影響を与えるか理論的に検討した。今回の理論的研究により、掘削刃が底面刃物角を有する場合において、再構築したモデルにより水平掘削力と掘削土量は、ほぼ妥当なレベルで予測できることが分かった。

5. 参考文献 1) 深川・福隅・木下：第32回地盤工学会研究発表会講演集，pp.2173-2174，1997. 2) 深川・福隅・木下：平成10年度関西支部年次学術講演会講演集，pp.V13-1-3-2，1998. 3) 深川・福隅・江南・灘波・木下：土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，pp.382-383，1998. 4) McKyes.E：ASAE May，pp.20-24，1977.

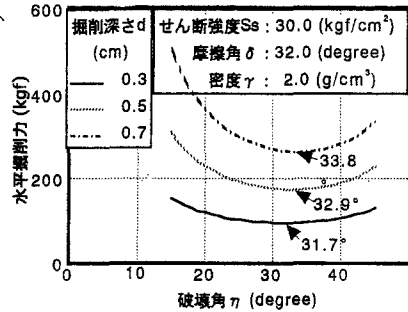


図3 破壊角 η が水平掘削力に及ぼす影響

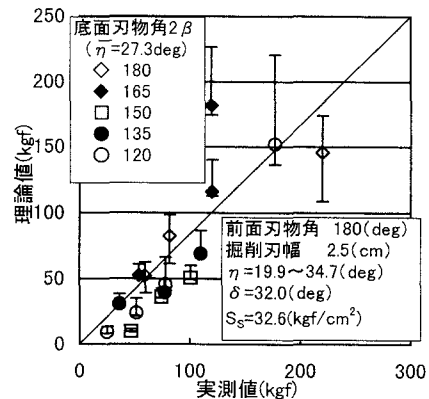


図4 η 変化時の底面刃物角を有する場合の水平掘削力の理論値範囲

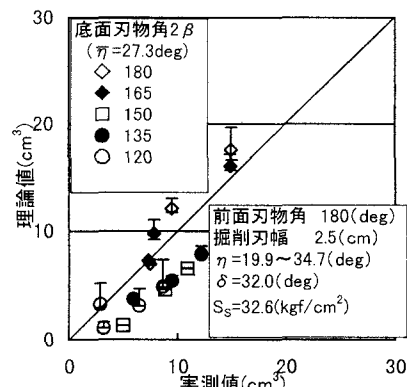


図5 η 変化時の底面刃物角を有する場合の掘削土量の理論値範囲