

VI-190

軟岩の定常掘削特性のモデル化（掘削刃が前面刃物角を有する場合）

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

1. はじめに 地中連続壁工法の一つである TRD 工法に関して、その掘削刃帯を構成する単独刃が軟岩を掘削する際の力学的特性について研究を行った。掘削刃形状の実験的評価については既に公表してきているが¹⁾²⁾、その理論的評価については不明な点が多かった。したがって本研究では、掘削刃が前面に刃物角を有する際の掘削を対象とし、掘削深さが一定である定常掘削状態において刃物角や刃幅、掘削深さ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 McKyes³⁾は、平刃によって掘削を行った際に得られる上方から見た掘削領域を図1のように仮定した。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円で近似できるとしている。今回、著者らは前面に刃物角を有する際の掘削モデルを構築するにあたり、McKyes モデルを基礎とし、このモデルを一部修正するとともに、それを応用し、前面に刃物角を有する際の掘削モデルに適用した。なお実験的経験より掘削刃側方の掘削領域は中心角 η の円の一部分で近似することにした（図2）。ここに、角 η は掘削によって引き起こされる破壊線が地表面となす角でもある。以上のことをふまえた前面刃物角を有する際の掘削領域は図3、図4に示すように $\alpha > \eta$ 、 $\alpha \leq \eta$ の2パターンに分類できる。なお、領域①は三角柱、領域②、③は円錐の一部ということになる。各々の領域について釣り合いを考え、掘削抵抗の進行方向成分を水平掘削抵抗 H と定義して次式を得る。

$$(\alpha > \eta)$$

$$H = \frac{\frac{2bs_d}{\sin \eta} + \frac{\gamma b d^2 \sin \eta}{\tan \eta} + \left(\frac{s_d d^2}{\sin \eta \tan \eta} + \frac{\gamma d^3 \sin \eta}{3 \tan^2 \eta} \right) \cos(\alpha - \eta)}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta}$$

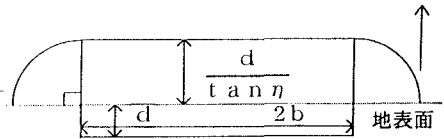


図1 McKyes モデルにおける掘削領域

$$(\alpha \leq \eta)$$

$$H = \frac{\frac{2bs_d}{\sin \eta} + \frac{\gamma b d^2 \sin \eta}{\tan \eta} + \frac{s_d d^2}{\sin \eta \tan \eta} + \frac{\gamma d^3 \sin \eta}{3 \tan^2 \eta}}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta}$$

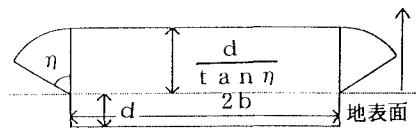
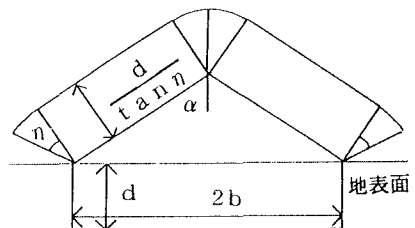


図2 MaKyes モデルを修正した掘削領域

ここに、 γ ：岩盤の単位体積重量、 $2b$ ：掘削刃幅、 s_d ：せん断強さ⁴⁾、 η ：破壊線が地表面となす角、 2α ：前面刃物角、 δ ：掘削刃と岩盤との間の摩擦角、 d ：掘削深さ、である。この水平掘削抵抗は、前面に刃物角を持つ掘削刃が一回の破壊を遂行する際に受ける抵抗の大きさのみを評価するものであり、これだけでは最適掘削刃形状は判断できない。そこで、掘削効率を評価する指標の一つとして掘削体積 V を水平掘削抵抗値 H で除したものを掘削効率指数 I と定義して次式を得る。

図3 $\alpha > \eta$ のときの掘削領域

キーワード：軟岩、室内実験、定常掘削、水平掘削抵抗、掘削効率

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:077-561-2629

$$I = \frac{d^2(\cos \eta - \tan \delta \sin \eta) \left\{ \frac{3b}{\sin \alpha} + \frac{d}{\tan \eta} \left(\frac{\pi}{2} + \eta - \alpha \right) \right\}}{\frac{6bcd}{\cos \eta} + 3\gamma bd^2 \sin \eta + \left(\frac{3cd^2}{\sin \eta} + \gamma d^3 \right) \cos(\alpha - \eta)}$$

$$I = \frac{d^2(\cos \eta - \tan \delta \sin \eta) \left\{ \frac{3b}{\sin \alpha} + \frac{d}{\tan \eta} \frac{\pi}{2} \right\}}{\frac{6bcd}{\cos \eta} + 3\gamma bd^2 \sin \eta + \frac{3cd^2}{\sin \eta} + \gamma d^3 \cos \eta}$$

3. 実験結果との比較 実験は図5に示すように、台車と油圧シリンダーを結合することで台車に一定の荷重を与え、台車上にモデル岩盤を設置して掘削を行った。水平掘削抵抗に関する理論値と実測値の比較を図6に示す。なお、実験は $\eta=40^\circ$ 、 $\delta=28.4^\circ$ 、 $s_s=24.17\text{kgf/cm}^2$ 、 $b=1.25\text{cm}$ 、 $\gamma=0.00218\text{kgf/cm}^3$ の条件の下に掘削深さ d 、刃物角 2α を変化させて行った。実験機の性能等の諸条件を考慮して、（前掘削過程の平均値＋ピーク値平均）／2を水平掘削抵抗の実測値として採用している。また、 η については実測値を使用している。理論値に比して実測値の方が大きく出る傾向にあり、その差は15%程度であるが、本モデルに対してほぼ妥当な結果が得られたものと判断できる。なお、ズレの原因としてはモデル岩盤中の礫分の影響等が考えられる。次に、上記条件と掘削深さ $d=1\text{cm}$ の条件の下で前面刃物角のみを変化させた時の、掘削効率指数 I の理論的变化を図7に示す。刃物角が鋭角になるほど、掘削深さが深くなるほど掘削効率指数 I が大きくなることわかる。また、前面刃物角が鈍角になるにつれ、掘削効率指数は一定値に落ち着くことも判断できる。なお、このことは過去に公表された研究²⁾と良い相関性を示している。

4. まとめ 本研究では、掘削刃形状が掘削特性にどのような影響をあたえるか理論的に検討した。これにより、前面刃物角を有する刃の受ける掘削抵抗値は、本モデルによって設計上十分と思われる精度で評価できることが分かった。また、刃物角が小さいほど、掘削深さが深いほど掘削効率が上がることも理論的に明らかになった。しかし、刃物角が小さいほど摩耗が激しいのは明らかであり、掘削を行うにあたっての最適角の決定には、摩耗特性も考慮に入れなければならない。また、実験においては水平掘削抵抗値が最大でも200kgf強ということから、さらに大きな荷重がかかったときのモデルの信頼性については今後の研究課題である。

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、pp2173-2174、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、1998. 3) McKyes, E: ASAE May, pp20-24, 1977. 4) 小林・奥村：日本鉱業会誌、Vol.87、No.999、pp.407-412、1971.

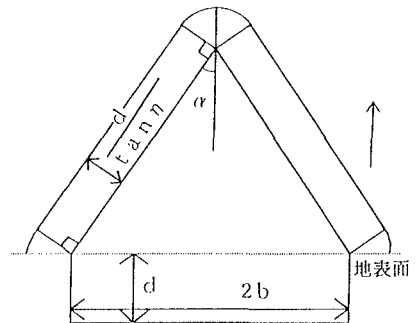


図4 $\alpha \leq \eta$ のときの掘削領域

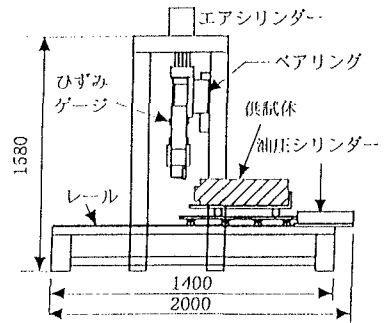


図5 実験装置概略図

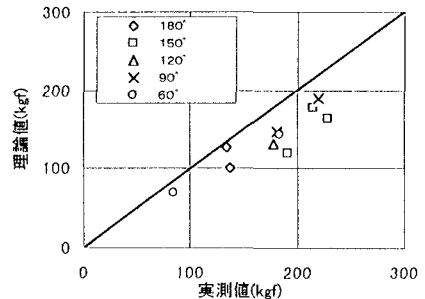


図6 理論値と実測値の比較

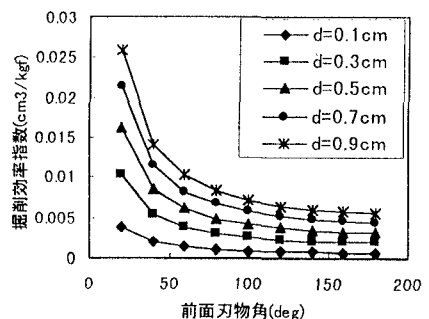


図7 刃物角と掘削効率指数の関係