

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) コスモンティ 正 員 灘波 賢樹
 (株) 神戸製鋼所 正 員 木下 文男

1. 緒論

地中連続壁を構築する方法の一つであるTRD工法に関する研究の一つとして単独刃が軟岩を掘削する際の力学的特性に関する研究を行った。刃物角や刃幅等が掘削特性に及ぼす影響については実験的研究として既に公表されている^{1), 2)}が、掘削理論については不明な点が多い。今回は、前面に刃物角を有する際の掘削について刃物角や刃幅、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⁾によると、平刃によって掘削を行った際の掘削範囲は図1のようになる。すなわち、上方から見た破壊面形状は掘削刃前方において長方形、掘削刃側方においては1/4円で近似できるとしている。なお、今回は実験的考察によりMcKyesのモデルを一部修正し、掘削刃側方の破壊面形状は中心角 η の円で一部で近似することにした(図2)。ここに、 η は破壊線が地表面となす角でもある。そして前面刃物角を有する際の掘削モデル構築にあたっては、McKyesモデルの拡張という形で理論解析を進めた。これらのことをふまえた前面刃物角を有する際の掘削範囲は、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。ここで、 $\alpha > \eta$ の時の各々の領域における作用力を図5(領域①)、図6(領域②)、に示す。領域①について破壊方向、鉛直方向についてそれぞれ釣り合い式をたてて次式を得る。

$$P \cos \delta - R \sin \eta - s_s \cos \eta \frac{bd}{\sin \alpha \sin \eta} = 0 \quad (1)$$

$$P \sin \delta - R \cos \eta + s_s \sin \eta \frac{bd}{\sin \alpha \sin \eta} + \frac{\gamma b d^2}{2 \sin \alpha \tan \eta} = 0 \quad (2)$$

(1)式、(2)式より R を消去して次式を得る。

$$P = \frac{\frac{bs_s d}{\sin \alpha \sin \eta \cos \delta} + \frac{\gamma b d^2 \sin \eta}{2 \sin \alpha \tan \eta \cos \delta}}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} \quad (3)$$

この領域での水平掘削抵抗は $H_1 = P \cos \delta \sin \alpha$

で与えられるので、

$$H_1 = \frac{\frac{bs_s d}{\sin \eta} + \frac{\gamma b d^2 \sin \eta}{2 \tan \eta}}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} \quad (4)$$

となる。ここに、 γ ：岩盤の単位体積重量、 $2b$ ：刃幅、 s_s ：せん断強さ、 d ：掘削深さ、 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である。

領域②についても同様に、

$$dp = \frac{\frac{s_s d^2}{2} \frac{1}{\sin \eta \tan \eta \cos \delta} + \frac{\gamma d^3}{6} \frac{\sin \eta}{\tan^2 \eta \cos \delta}}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} d\theta \quad (5)$$

この領域の水平掘削抵抗は $H_2 = \Sigma dp \cos \delta \cos \theta$

であたえられるので

$$H_2 = \int_0^{2-\alpha} \frac{\frac{s_s d^2}{2} \frac{1}{\sin \eta \tan \eta} + \frac{\gamma d^3}{6} \frac{\sin \eta}{\tan^2 \eta}}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} \cos \theta d\theta = \frac{\frac{s_s d^2}{2} \frac{1}{\sin \eta \tan \eta} + \frac{\gamma d^3}{6} \frac{\sin \eta}{\tan^2 \eta}}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} \sin \alpha \quad (6)$$

同様に領域③の水平掘削抵抗 H_3 は

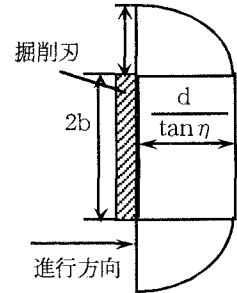


図1 McKyes Modelにおける掘削範囲

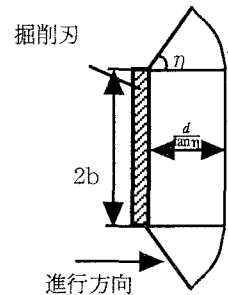


図2 McKyes Modelを修正した掘削範囲

$$H_3 = \frac{\frac{s_s d^2}{2} \frac{\cos \phi}{\sin \eta \tan \eta} + \frac{\gamma d^3}{6} \frac{\sin(\eta + \phi)}{\tan^2 \eta}}{\cos(\eta + \phi) - \tan \delta \sin(\eta + \phi)} \left\{ \cos(\alpha - \eta) - \cos \alpha \right\} \quad (7)$$

以上の結果より、全領域での水平掘削抵抗は

$H = 2(H_1 + H_2 + H_3)$ で与えられるので

$$H = \frac{\frac{2bs_s d}{\sin \eta} + \gamma b d^2 \frac{\sin \eta}{\tan \eta} + \left\{ \frac{s_s d^2}{\sin \eta \tan \eta} + \frac{\gamma d^3 \sin \eta}{3 \tan^2 \eta} \right\} \cos(\alpha - \eta)}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} \quad (8)$$

同様にして $\alpha \leq \eta$ の時の水平掘削抵抗は

$$H = \frac{\frac{2bs_s d}{\sin \eta} + \gamma b d^2 \frac{\sin \eta}{\tan \eta} + \frac{s_s d^2}{\sin \eta \tan \eta} + \frac{\gamma d^3 \sin \eta}{3 \tan^2 \eta}}{\cos \eta - \tan \delta \sin \eta} \quad (9)$$

となる。

3. 実験結果との比較

モデルによる理論値と実験による実測値の比較を図7に示す。実験は $\eta = 40^\circ$ 、 $\delta = 28.4^\circ$ 、 $s_s = 24.17 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $b = 2.5 \text{ cm}$ 、 $\gamma = 2.18 \text{ kgf/cm}^2$ の条件のもとに、掘削深さ d 、前面刃物角 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、（全掘削過程の平均値＋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。なお、本実験においては掘削深さが浅いためその拘束圧は非常に小さく、結果的に内部摩擦角の影響は無視できると考えた。また、破壊線が地表面となす角 η の値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。この原因としては、モデル岩盤中の礫分の影響などが考えられる。次に、図3、図4から掘削刃先端部の受け持つ掘削範囲は全掘削範囲の中でも大きな割合を占めることが理解できる。つまり、掘削刃先端に限らず角の部分においては岩盤から受ける負荷が非常に大きく、他の部分に比して摩耗の進行が早いことを示している。実験終了後の掘削刃の観察からもこの傾向がはっきり現れており、摩耗への対策も今後の課題であると考えられる。

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。今回の研究により、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。しかし、実験では水平掘削抵抗値が最大でも300kgf弱ということから、更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。

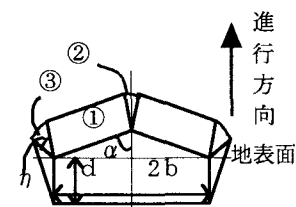


図3 $\alpha > \eta$ の時の掘削範囲

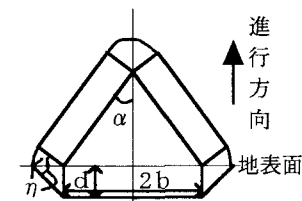


図4 $\alpha \leq \eta$ の時の掘削範囲

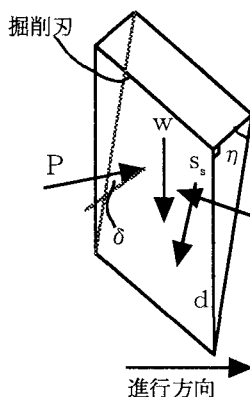


図5 領域①における作用力

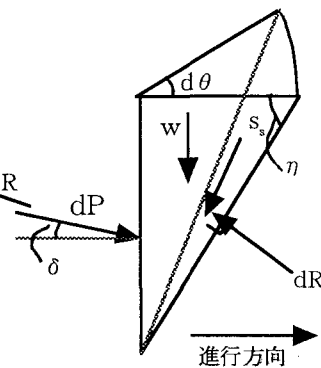


図6 領域②における作用力

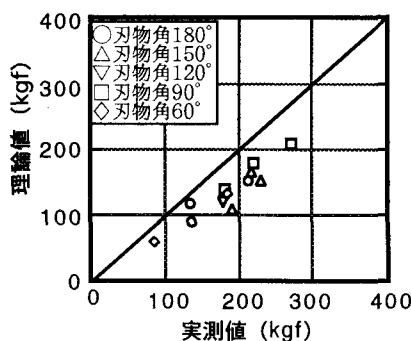


図7 理論値と実測値の比較