

III-21

機械式シールドの掘削性能について(その4)

-カッタビット切削性能の評価方法の提案-

日本国土開発(株) 正会員 二宮康治 石田智朗
 不動建設(株) 正会員 奥利明 新沼裕
 三井造船(株) 正会員 江澤一明 村上昌也

1. はじめに

本報告では、「カッタビット切削性能確認実験」(以下、切削実験と称す)の結果に基づいてカッタビットの切削性能を評価する方法として、平刃の切削理論の適用性について検討した。また、外径20mのシールド機が回転切削をしながら掘進している状態でカッタ面板内周部に取付けたビットを想定し、その貫入勾配を実験式により評価し、さらに切削抵抗力と切削速度およびスリット幅の関係についても実験式より評価することを試みたものである。

2. 平刃の切削理論の適用性

切削実験結果について、畠¹⁾らが行った解析と同様の方法により貫入勾配がない場合の検討を行った結果、以下の実験式を得た。

$$\text{水平切削抵抗力(kg)} \quad H\alpha = 1.368 \cdot e_s \cdot B \cdot t^2 \cdot 10^{-0.274\alpha} \quad (1)$$

$$\text{鉛直切削抵抗力(kg)} \quad V\alpha = H\alpha \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad (2)$$

ここに、 e_s は切削強度指数(kg/cm³) (=0.011±0.004)、 B はビット幅(=57cm)、 t は切削深さ(cm)、 α はすくい角(rad)、 δ は刃面と土の摩擦角(=22.28°)である。

3. 貫入勾配の評価

貫入勾配は、シールド機が一定速度で掘進する時、カッタの中心に近いほど一回転あたりの摺動距離が小さくなるので大きな貫入勾配を必要とする。ビット取付位置による貫入勾配の違いによる、カッタビットの切削時に受ける抵抗力を評価するために、同一すくい角で貫入勾配の有無による切削抵抗力の測定を行った。

その結果、今回の貫入勾配の範囲内においては、切削抵抗力はほぼ同じであることがわかった。

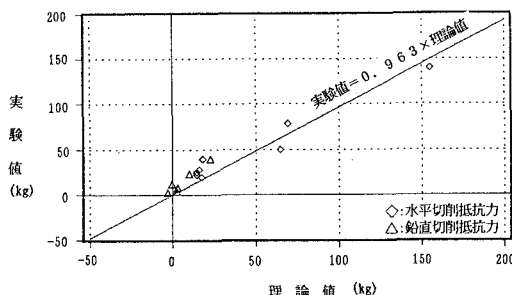


図-1 貫入勾配の評価

このことから式(1)、(2)のすくい角の項にビットすくい角に貫入勾配を加え合わせた数値を代入し切削抵抗力の算出(理論値)を行い、実験値との相関をとると図-1に示すように実験値=0.96理論値となる。

したがって、貫入勾配の変化はすくい角の変化であるとみなし実験式(1)、(2)中のすくい角 α をすくい角 α +貫入勾配 Δ とすることでビット取付位置に応じた貫入勾配を考慮した切削抵抗力を評価することができる。

4. 切削速度およびスリット幅の評価

先に提案した実験式(1)、(2)中には切削速度およびスリット幅に関する項が入っておらず、直接実験式からそれらの影響を評価することが不可能である。ここでは、切削実験の結果に基づいて切削速度およびスリット幅が切削抵抗力に及ぼす影響を評価する実験式の提案を行う。

1) 切削速度の評価

切削抵抗力と切削速度の関係について、切削速度 5cm/secの実験値を基準とし、切削速度 0cm/secの場合切削抵抗力は作用しないことを前提条件として実験値を整理すると次式のようになる。

$$\text{水平切削抵抗力 } H\alpha_v = \beta_H \cdot V^{0.5} \cdot H\alpha \quad (3)$$

$$\text{鉛直切削抵抗力 } V\alpha_v = \beta_V \cdot V^{0.5} \cdot H\alpha \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad (4)$$

ここに、 $H\alpha$ は実験式(1)の水平切削抵抗力、 β_H は水平切削抵抗力の速度係数(=0.45)、 β_V は鉛直切削抵抗力の速度係数(=0.82)、 V は切削速度である。実験式(3)、(4)を用いて算出した切削抵抗力と実験値の比較を行った結果を図-2、図-3に示す。図-2は水平切削抵抗力、図-3は鉛直切削抵抗力であり、各々貫入勾配が無い場合の結果である。図中の実線は理論値、プロットは実験値である。この図から実験式(3)、(4)を用いることにより切削速度を考慮した切削抵抗力の算出が可能になったと考えられる。

2)スリット幅の評価

スリット幅の評価は、切削実験結果からスリット幅が地盤の破壊幅以上の場合、スリット幅が無限大の場合とほぼ同様の数値を示しており、ビット切削において生じる地盤のすべり面の水平幅以上のスリットを設ければ過剰な抵抗値を受けないと考え、スリット幅21cmの場合を基準として、実験値を整理すると次式のようになる。

$$\text{水平切削抵抗力 } H\alpha_L = \gamma \cdot L_s^{-0.5} \cdot H\alpha \quad (5)$$

$$\text{鉛直切削抵抗力 } V\alpha_L = \gamma \cdot L_s^{-0.5} \cdot H\alpha \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad (6)$$

ここに、 $H\alpha$ は実験式(1)の水平切削抵抗力、 γ はスリット幅係数(=4.50)、 L_s はスリット幅である。

5. まとめ

以上の結果から、カッタビットの切削性能を評価する実験式として次式を提案する。

$$\text{水平切削抵抗力 } H\alpha = \gamma \cdot L_s^{-0.5} \cdot \beta_H \cdot V^{0.5} \cdot (1.368 \cdot e_s \cdot B \cdot t^2 \cdot 10^{-m\alpha}) \quad (7)$$

$$\text{鉛直切削抵抗力 } V\alpha = \gamma \cdot L_s^{-0.5} \cdot \beta_V \cdot V^{0.5} \cdot (1.368 \cdot e_s \cdot B \cdot t^2 \cdot 10^{-m\alpha}) \cdot \tan(\delta - \alpha) \quad (8)$$

この実験式により算出した切削抵抗値(理論値)と実験値との比較を行い、実験式の妥当性を検討した結果を図-4に示す。実験式より算出した切削抵抗値と実験値との相関をとると実験値同理論値となり、今回提案した実験式により切削時にカッタビットに作用する抵抗力を推定することが可能であると考えられる。

6. おわりに

今回提案した実験式中の係数は、特定の土質条件下での実験値から算出したものであり、実際の設計に採用するには再度の検討が必要であると考えられる。本検討は、地下総プロ「大深度、大断面シールドトンネルの設計・施工技術に関する研究」において建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターとの共同研究として実施したものの一部である。

◎参考文献：1)畠 昭次郎 「土の掘削機構について」土と基礎・最近の工法 土質工学会 1967

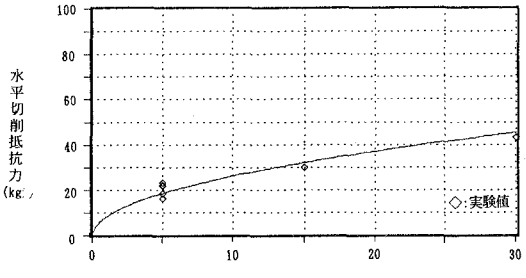


図-2 水平切削抵抗力と切削速度

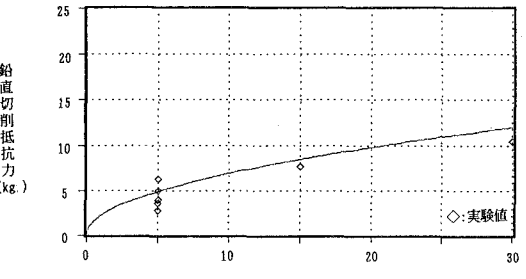


図-3 鉛直切削抵抗力と切削速度

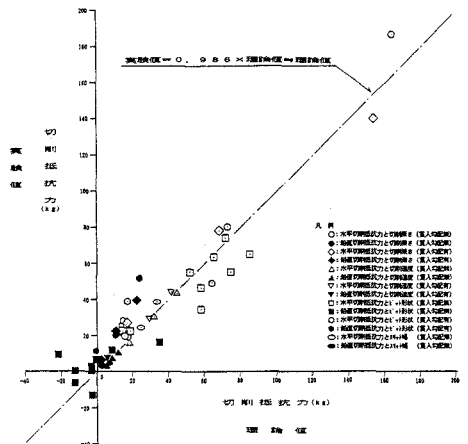


図-4 理論値と実験値の比較