

軟岩の比掘削抵抗と定常掘削力

愛媛大学工学部 正員 室 達朗
愛媛大学工学部 学生員 ○ 藤田 克美
愛媛大学工学部 中 雅明

1. 緒言 近年、大規模な海洋土木工事が増大し、港湾建設、橋脚の基礎建設、航路浚渫のための海底岩盤掘削は土木工事の基礎となる重要な作業である。ここでは、まず、種々の軟岩モデルに対する比掘削抵抗を測定し、その後、定常掘削において種々のすくい角 α 、掘削深さ t を変えた場合の、掘削刃にかかる水平・鉛直掘削抵抗の実験式を導き出し、さらに比掘削抵抗との関係の導き出すことを目的とした。

2. 軟岩モデルの設計・製作 本研究で使用した試料はセメントと乾燥粘土の重量比 C/S を 3, 6, 9%とし、含水比を60%にして混合、攪拌することにより、一定の強度を得ようとしたものであり、平均圧裂引張強度 σ_t (kgf/cm²) 及び平均一軸圧縮強度 σ_c (kgf/cm²) は、それぞれ3%が 0.27, 1.31 で、6%が 0.46, 3.37 で、9%が 0.97, 5.87 である。試料を平面歪み条件の下で、90cm×30cm×5.4cm の鋼製容器に打設し、室内で7日間湿潤養生させた。

3. 比掘削抵抗 軟岩に対する掘削機構を究明するために、軟岩モデルに対し比掘削抵抗実験を行った。ここでは、運土抵抗や積込み抵抗を除いた、切削抵抗のみを取り扱っている。元来の比切削抵抗 $R_s^{(1)}$ は3次元において定義されているが、ここでは平面歪み条件における比掘削抵抗 R_s^* について考察する。実験後の試料の破壊形態は三角形の岩石塊がすべり上がるような状態が観察されたので、直線すべり面上の垂直応力 σ 、せん断応力 τ は次式で与えられる楕円上にあるものとした。

$$\sigma^2/\sigma_t^2 + \tau^2/\tau_0^2 = 1 \quad \tau_0 : \text{せん断強度} (=0.5\sigma_c), \quad \sigma_t : \text{圧裂引張強度} \quad (1)$$

図1に示すように、破壊面上のせん断抵抗 S 、引張抵抗 T とし、 $\sigma = k\sigma_t$ と仮定すると掘削刃の固定支点Oでのモーメント M は次式で表される。

$$M = (S \cos \beta + T \cos \gamma) \cdot r = B t^2 / 2 \cos^2 \theta \times (\tau_0 \downarrow 1 - k^2 \sin 2\theta - \sigma_t k \cos 2\theta) \quad (2)$$

ここで、応力状態のパラメータには実験中の観察や逐次計算より、C/S = 3%では $k=0.5$ 、C/S = 6%及び9%では $k=1.0$ として与えられることにする。そして、この M を $B t^2$ で除した値は軟岩の強度のみによって定まるので、これを平面歪み条件における比切削抵抗 R_s^* (kgf/cm²) とする。

$$R_s^* = M / B t^2 \quad (3)$$

こうして求めた R_s^* の理論値と $t=4, 6, 8, 10$ cmにおける実測値との相関を見ると多少ばらついているものの、ある一定幅におさまっていた。なお、実測された R_s^* は t の $-0.42 \sim -0.60$ 乗に比例することが判明している。次に、C/S = 9%の軟岩に対して、 $t=1.5 \sim 6.0$ cm (1.5cm間隔)で定常掘削実験を行った結果、掘削刃先端で実測した水平掘削抵抗 H_0 は t の0.872乗に比例することが明らかとなった。この H_0 による表層でのモーメントを式(3)に代入すると次式となる。

$$H_0 = R_s^* B t \quad (4)$$

ここで、 R_s^* の理論値と実測値をそれぞれ代入することによって求めた H_0 と定常掘削実験から得られた H_0 との関係を図2に示す。 R_s^* より求めた H_0 が実験

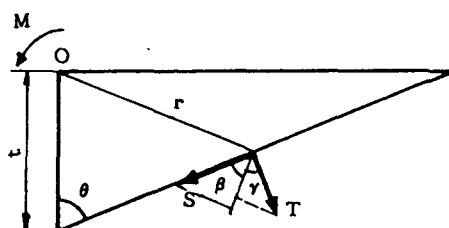


図1 破壊面に働く抵抗力

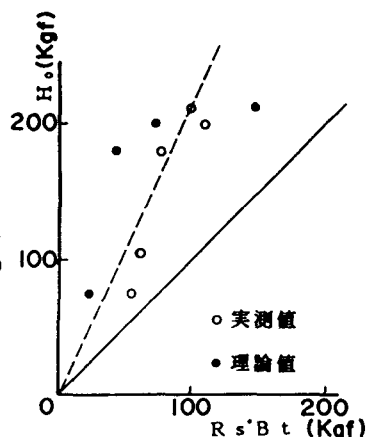


図2 水平掘削抵抗の理論値と実測値

によって求めた H_0 に比べて小さいことを示しているが、 $R s^*$ 実験では刃先の軌跡がO点まわりの回転移動であるのに対し、定常掘削実験では表層に対して平行な直線移動となるために、軟岩の破壊機構が基本的に異なるためである。実際、定常掘削における破壊面は表層に平行に進行していく場合が多く見られた。従って、実験式として次式の関係が成立することが判明した。

$$H_0 = 2.11 R s^* B t \quad (5)$$

4. 定常掘削実験 定常掘削²⁾とは、掘削距離、時間や α に関係なく、 t が一定のまま掘削していくものである。実験装置は土槽、台車、牽引装置、掘削刃よりなる。図3に示す様に、掘削刃の刃先から32 cmの所にストレインゲージを前後・左右に計4枚貼り、刃先に作用している軸力及び曲げモーメントを測定した。その後、水平・鉛直掘削抵抗を算出する。実験は α を0, 10, 20, 30°とし、 t を1.5, 3.0, 4.5, 6.0 cm と、それぞれ変えて、16通りの実験を行った。牽引速度は7.3 cm/min, 刃先角は45°, 刃幅は5 cmと一定にした。 α が0°の時の水平掘削抵抗を H_0 、すくい角が α の時のそれを H_α とすると、一例としてC/S = 9%における H_0 , H_α は図4に示す様に、 t にほぼ比例する。これを、 t と σ_t の関数として表すと次式が成立した。

$$H_0 = 66.1 t^{0.872} \sigma_t^{0.354} \quad (6)$$

H_0 と H_α の関係は、 α が増すほど H_α は減少し、次式で表された。

$$H_\alpha / H_0 = 10^{-0.004\alpha} \quad (7)$$

また、すくい角 α の時の鉛直掘削抵抗 V_α についても同様に、次式で表された。

$$V_0 = 61.2 t^{0.781} \sigma_t^{0.461} \quad (8)$$

$$V_\alpha / V_0 = 10^{-0.016\alpha} \quad (9)$$

図5に $t = 6$ cmにおける、 H_α と V_α の関係を示す。 α が大きくなれば、合掘削抵抗と水平とのなす角度は小さくなる。また、 $\alpha = 0^\circ$ で $t = 1.5$ cm, $\alpha = 20^\circ$ で $t = 1.5$ cm, 及び $\alpha = 20^\circ$ で $t = 6.0$ cmの3例について、計算した結果単位仕事当りの掘削土量は、0.142, 0.164, 及び0.184 (cm³/kgf·cm)となり、 α , t の増加とともに大きくなることが判明した。

5. 結論 軟岩の平面歪み条件での比切削抵抗 $R s^*$ は深さの-0.5乗に比例し、定常掘削における水平抵抗は $R s^*$ を用いて式(5)で表された。また、定常掘削時の水平・鉛直掘削抵抗は、掘削深さ、圧裂引張強度、及びすくい角の関数として与えられることが判明した。

6. 参考文献

- 1) 島昭治郎：建設機械学，鹿島出版会，pp.151~168，1987。
- 2) 島昭治郎：土と基礎・最近の工法，土質工学会，pp.1~17，1967。

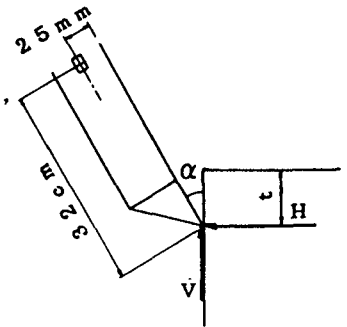


図3 掘削時の詳細図

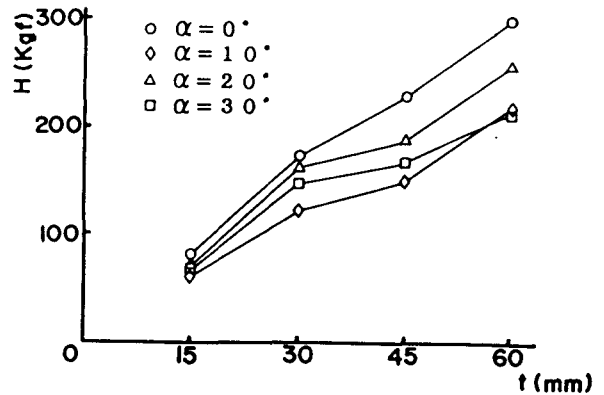


図4 水平掘削抵抗Hと掘削深さtの関係

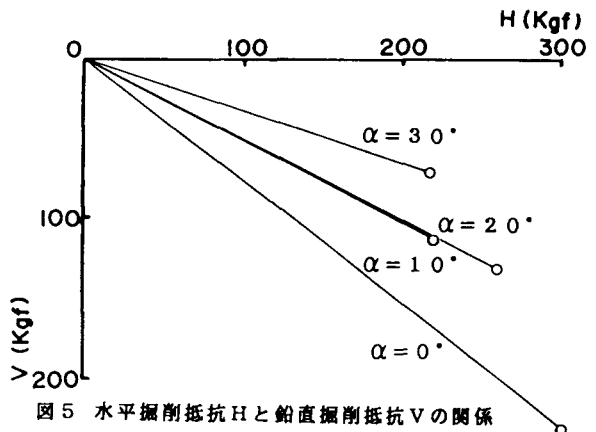


図5 水平掘削抵抗Hと鉛直掘削抵抗Vの関係