

VI-31 軟岩の定常掘削力と比切削抵抗

愛媛大学大学院 学生員 藤田 克美
 愛媛大学工学部 正員 室 達朗
 (株)朝日住建 山内 良紀

1. 緒言 日本では、本四架橋等の大規模な海洋土木工事が増大してきている。そこで、海底岩盤となり得る軟岩の掘削機構を解明するために実験を行った。ここでは、まず、軟岩モデルに対する比切削抵抗を測定し、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、さらに比切削抵抗との関係を導き出すことを目的とした。

2. 軟岩モデルの設計・製作 供試体は普通ポルトランドセメントと乾燥したシルト質ロームの重量比 C/S を約3%とし、含水比を60%にして混合、攪拌した。その結果、圧裂引張強度 σ_t (kgf/cm²) 及び一軸圧縮強度 σ_c (kgf/cm²) は、 0.205 ± 0.050 , 0.991 ± 0.190 を得た。試料を平面歪み条件の下で、 $90\text{cm} \times 30\text{cm} \times 5.4\text{cm}$ の鋼製容器に打設し、室内で7日間湿潤養生させた。

3. 比切削抵抗 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切削抵抗実験を行った。元来の比切削抵抗 $R_s^{(1)}$ は3次元において、次式の様に定義されている。

$$R_s = P l / B t^3 \quad (1) \quad \text{ここで } B \text{ は切削刃幅, } P \text{ は最大引張力, } l \text{ は固定支点からの距離である。}$$

ここでは平面歪み条件における比切削抵抗 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。

$$\sigma^2 / \sigma_t^2 + \tau^2 / \tau_0^2 = 1 \quad \tau_0 = 0.5 \sigma_c \quad (2)$$

このすべり面上のせん断抵抗、引張抵抗を使い、掘削刃の固定支点でのモーメント M の算定式²⁾において、すべり面の鉛直とのなす角 θ は平均値として 64.3° を与えることにより、 $\sigma / \sigma_t = 0.9$ と算定された。

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 $t = 2, 4, 6, 8, 10\text{cm}$ における実測値との相関を見ると、ある一定幅におさまっていた。なお、実測された R_s^* は図1に示す様に σ_t の1乗に比例し、次式で表せることが判明した。

$$R_s^* = 3.52 \sigma_t \quad (r=0.98) \quad (4)$$

4. 定常掘削実験 定常掘削³⁾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。実験装置は前述した鋼製容器、台車、0.4kw モータ付牽引装置、掘削刃よりなる。図2に示す様に、掘削刃の刃先から32cm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 $-20 \sim 60^\circ$ (10° 間隔) とし、 t を $1.5 \sim 6.0\text{cm}$ (1.5cm 間隔) と、それぞれ変えて実験を行った。牽引速度は 7.3cm/min 、刃先角は 30° 、刃幅は 5cm 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、 H_0 、 H_α

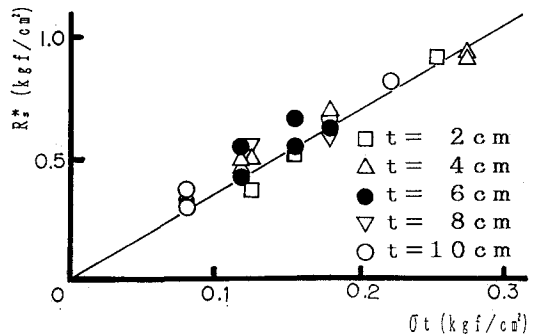


図1 比切削抵抗 R_s^* と圧裂引張強度 σ_t の関係

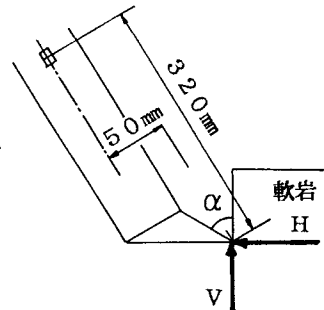


図2 掘削刃の詳細図

は図3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。

$$H_0 = 23.5 t^{1.033} \sigma_t^{0.906} \quad (R=0.99) \quad (5)$$

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。

$$H_\alpha / H_0 = -0.004 \alpha + 1 \quad (r=0.65) \quad (6)$$

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。

$$V_0 = 3.62 t^{1.033} \sigma_t^{0.182} \quad (R=0.90) \quad (7)$$

$$V_\alpha / V_0 = -0.020 \alpha + 1 \quad (r=0.89) \quad (8)$$

図4に $t = 1.5 \sim 6 \text{ cm}$ における H_α と V_α の関係を示す。 α が大きくなれば、合掘削抵抗の作用方向は反時計回りとなることが判明した

5. 考察 $t = 1.5 \sim 6.0 \text{ cm}$ (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、ほぼ t の1乗、 σ_t の1乗に比例し、次式で表せることが明らかとなった。

$$H_0 = 23.5 t \sigma_t \quad (9) \quad \text{そこで、式(4)}$$

を式(9)に代入すると次式となる。

$$H_0 = 8.70 R s^* t \quad (10) \quad \text{ここで、} R s^*$$

の理論値を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5に示す。 $R s^*$ より求めた H_0 が実験によって求めた 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固定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。

$$H_0 = 7.80 R s^* t \quad (r=0.99) \quad (11)$$

6. 結論 軟岩の平面歪み条件での比切削抵抗 $R s^*$ は掘削深さに無関係で σ_t の1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(11)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。

7. 参考文献

- 1) 畠昭治郎：建設機械学，鹿島出版会，pp.151～168，1987
- 2) 室達朗，藤田克美，中雅明：軟岩の比掘削抵抗と定常掘削力，土木学会中四研究発表会，pp.407～408，1987
- 3) 畠昭治郎：土と基礎・最近の工法，土質工学会，pp.1～17，1967

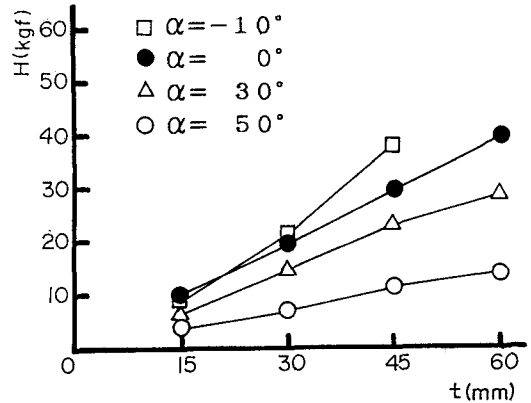


図3 水平掘削抵抗 H と掘削深さ t の関係

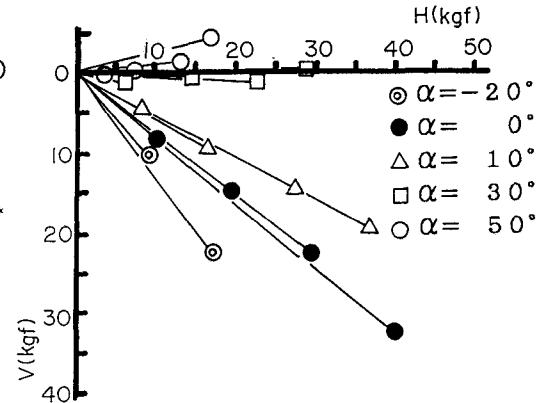


図4 水平掘削抵抗 H と鉛直掘削抵抗 V の関係

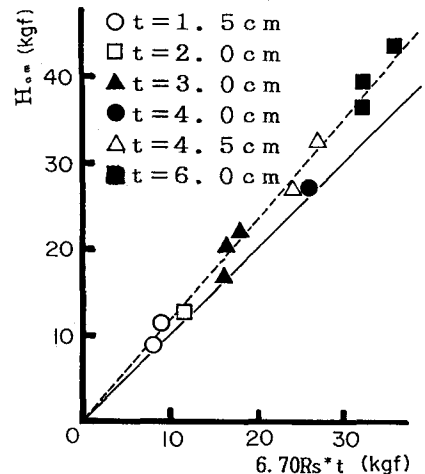


図5 H_0 の理論値 $6.70 R s^* t$ と実測値 H_0 の関係