

軟岩の非定常掘削に関する実験的考察

愛媛大学工学部 正員 室 達朗
愛媛大学工学部 正員 深川 良一
愛媛大学大学院 学生員 ○渡邊 裕明
若 築 建 設 ㈱ 二宮 隆司

1. まえがき 近年、ウォーターフロント開発をはじめとする海洋土木工事は増大し、港湾建設や橋脚工事のための海底岩盤掘削も盛んに行われている。ここでは、軟岩モデルとして種々の強度を持つソイルセメントを使用し、パワーショベルの掘削刃に代表される非定常掘削の機構を解明するために、その掘削力と単位仕事当りの掘削量について実験的考察を行った。

2. 軟岩モデルの設計・製作 本研究で使用した供試体A、B、Cは、表1に示す3種類の配合比のものを混合、攪拌し、平面歪み条件の下で150cm×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後、実験に用いた。また同時に、それぞれの軟岩モデルの一軸圧縮強度 S_c (kgf/cm²) および圧裂引張強度 S_t (kgf/cm²) を測定した。その結果を表2に示す。

3. 非定常掘削実験 掘削機械の掘削機構は定常掘削と非定常掘削とに大別される¹⁾。定常掘削とは、掘削距離、時間に関係なく掘削深さが一定のまま掘削して行くもののことである。これに対して非定常掘削は掘削深さが掘削距離、時間に伴って変化して行くもののことである。

実験装置は、図1に示すように土槽、台車、牽引装置、掘削刃、エアシリンダーよりなる。掘削刃には、ストレーンゲージを前後・左右に4枚貼り、刃先に作用している軸力および曲げモーメントを測定した後、水平・鉛直掘削抵抗力 H 、 V を算出した。同時に超音波変位計により掘削深さ t を測定した。実験はすくい角 α を0、 $\pi/6$ 、 $\pi/3$ (rad)とし、刃先にかかる垂直力 P_α を3.12～42.60(kgf/cm)まで変化させ、計42通りの実験を行った。牽引速度は7.3(cm/min)、刃先角 $\pi/6$ (rad)、刃幅5(cm)で一定とした。

実験を通して、 H 、 V の挙動は、 α や軟岩強度の影響を、微妙に受けるものの、掘削距離 X の増加に伴って H は増加、 V は減少する傾向が見られた。その一例として図2は、供試体B、 $\alpha = \pi/3$ (rad)、 $P_{(\pi/3)} = 12.52$ (kgf/cm)の場合の X と $H_{(\pi/3)}$ 、 $V_{(\pi/3)}$ 、および $t_{(\pi/3)}$ の関係を示している。ここで、 H_α (kgf/cm)、 V_α (kgf/cm)を、 X (cm)と P_α (kgf/cm)、せん断強度 S_s (kgf/cm²) および α (rad)の関数として表すと式(2)、(3)が成立した。なお添字は α の値を示す。ここに、 S_s は式(1)により算定した。

表1 軟岩モデルの配合比

供試体	ソイル質ロー-A (kgf)	セメント (kgf)	水 (kgf)
A	29.00	0.87	17.90
B	27.50	2.48	17.98
C	23.00	6.90	17.91

表2 軟岩モデルの力学特性

供試体	S_c (kgf/cm ²)	S_t (kgf/cm ²)
A	1.01±0.52	0.12±0.12
B	6.94±1.84	0.71±0.21
C	22.60±6.53	2.63±0.79

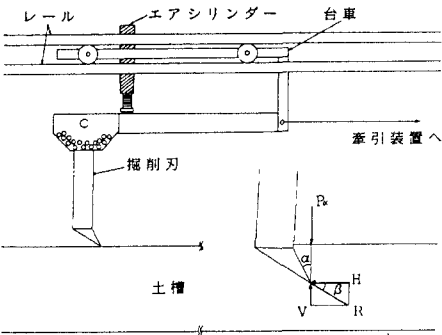


図1 実験装置の概略図

$$S_s = \frac{S_c \cdot S_t}{2\sqrt{S_t(S_c \cdot 3 \cdot S_t)}} \quad (1)$$

$$H_\alpha = 2.181 \cdot X^{0.111} \cdot P_\alpha^{0.690} \cdot S_s^{0.147} \cdot 10^{-0.389\alpha} \quad (R=0.877) \quad (2)$$

$$V_\alpha = P_\alpha \cdot \text{EXP}\{(-0.0216 + 0.0040 \cdot S_s) \cdot X \cdot 10^{0.857\alpha}\} \quad (R=0.866) \quad (3)$$

図3に前述と同じ条件における H_α と V_α の関係を示す。図中のデータは各々の X での H_α 、 V_α の値である。図の横軸と合力とのなす間の角度が β を表す。 β は式(2)、(3)を用いて次式で表される。

$$\beta = \tan^{-1} \frac{P_\alpha \cdot \text{EXP}\{(-0.0216 + 0.0040 \cdot S_s) \cdot X \cdot 10^{0.857\alpha}\}}{2.181 \cdot X^{0.111} \cdot P_\alpha^{0.690} \cdot S_s^{0.147} \cdot 10^{-0.389\alpha}}$$

図から β は掘削が進むに従い回転していることが分かる。つまり、 X が大きくなると β は小さくなっていく。これは図2から、 H は X が大きくなると増加し、 V は X が大きくなると減少する傾向があることから分かる。

次に単位仕事当りの掘削量 W_α を求めた。これは、掘削土量 V (cm^3/cm)を掘削仕事(全掘削力 R (kgf/cm) $\times$ 刃先の動いた距離 S (cm))で割ったものである。図4に $\alpha = \pi/3$ (rad)での W_α と X の関係を示している。 W_α の X に伴う変化は一般に小さいが、 P_α 、 S_s によって変化している。 W_α (cm^3/cm) / (kgf/cm) $\cdot \text{cm}$)を P_α (kgf/cm)、 S_s (kgf/cm^2)の関数として表すと、次式が成立した。

$$W_{(\pi/2)} = 0.061 \cdot P_{(\pi/2)}^{0.568} \cdot S_s^{-0.887} \quad (R=0.818) \quad (4)$$

$$W_{(\pi/6)} = 0.493 \cdot P_{(\pi/6)}^{0.2884} \cdot S_s^{-0.531} \quad (R=0.889) \quad (5)$$

$$W_{(\pi/3)} = 0.453 \cdot P_{(\pi/3)}^{-0.036} \cdot S_s^{-0.595} \quad (R=0.889) \quad (6)$$

図5は供試体Bにおける W_α と P_α の関係を示している。図中の曲線は、(4)～(6)式の回帰曲線を示す。図より W_α は P_α の増加に伴い、 α によって変化することが分かる。その中で P_α が小さい場合は、 $\alpha = \pi/6$ (rad)のときに W_α は増大する。しかし、 P_α が増加し続けると $\alpha = 0$ (rad)に対する W_α が増大する傾向にある。

4. 結論 すくい角 α (rad)のときの H_α 、 V_α は式(2)、(3)により与えられること、また、 β は掘削が進むに従い回転し、 X が大きくなると β は小さくなる傾向があることが分かった。さらに、単位仕事当りの掘削土量は3種類のすくい角の中では、垂直力が小さいとき最もくい込み易い $\alpha = \pi/6$ (rad)のときが最良であることが判明した。

参考文献 1) 畠昭治郎：土と基礎・最近の工法、土質工学会、pp.1～17、1967。

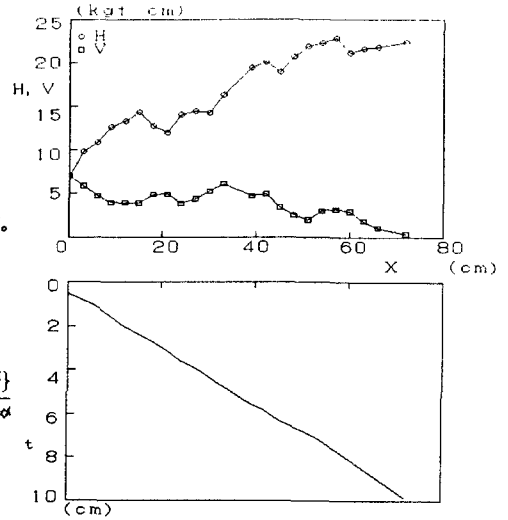


図2 XとH、V、tの関係

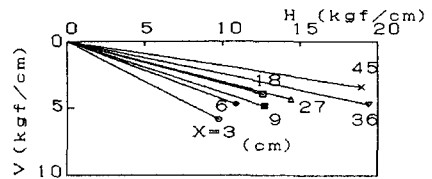


図3 HとVの関係

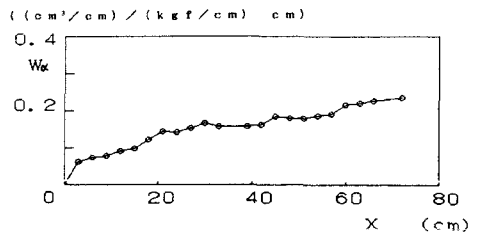


図4 W_α と X の関係 ($P_\alpha = 12.52 \text{ kgf}/\text{cm}$)

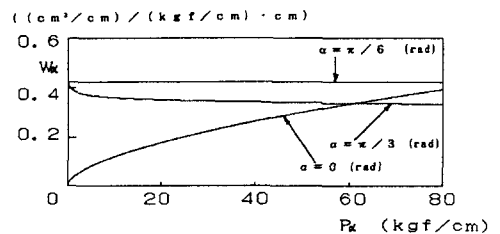


図5 W_α と P_α の関係