

軟岩の非定常掘削における貫入抵抗係数について

愛媛大学工学部 正員 室 達朗
愛媛大学大学院 学生員 ○渡辺裕明

1. まえがき 建設機械の掘削機構は、掘削深さが変化しない定常掘削と、掘削深さが時間的に変化する非定常掘削とがある。ここでは、種々の強度を持つ軟岩モデルを製作し、グラブバケットの掘削に代表される非定常掘削機構を解明するために様々な実験を行い、その掘削抵抗、単位仕事量当たりの掘削土量および貫入抵抗係数について解析、考察した。

2. 軟岩供試体の設計・製作 供試体は、乾燥シルト質ロームと普通ポルトランドセメントと水を混合攪拌して製作した。混合攪拌した試料を、平面歪条件のもとで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。同時に、直径5cm長さ10cmの円柱供試体を作製し、一軸圧縮試験、圧裂引張試験に供した。その結果、配合の異なる供試体A, B, Cのそれぞれの一軸圧縮強度 S_c (kgf/cm²)、圧裂引張強度 S_t (kgf/cm²)およびせん断強度 S_s (kgf/cm²)の平均値は表1のようになった。

表1 軟岩モデルの力学特性

供試体	S_c (kgf/cm ²)	S_t (kgf/cm ²)	S_s (kgf/cm ²)
A	1.43 ± 1.11	0.16 ± 0.19	0.30 ± 0.32
B	8.16 ± 13.37	0.83 ± 1.44	1.56 ± 2.67
C	24.34 ± 13.52	2.87 ± 1.63	5.20 ± 2.80

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

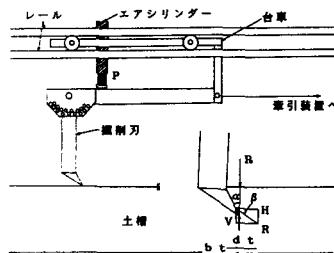


図1 実験装置の概略

3. 非定常掘削実験 実験装置は図1に示すように、エアシリンダー、台車、掘削刃、土槽よりなる。また、牽引装置として0.4kWのモータを備えている。非定常掘削実験では、掘削刃取付部に作用している軸力及び曲げモーメントから、刃先部に作用する水平・鉛直掘削抵抗 H, V (kgf/cm)および合掘削抵抗 R (kgf/cm)を算出した。同時に、超音波変位計により掘削深さ t (cm)を測定し、刃先の通った軌跡を求めた。実験はすくい角 α を $-20^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ の6種類とし、刃先に与える鉛直荷重 P_α (添字はすくい角を表す)を3.15~44.08kgf/cmの間で変えて行った。また、供試体Bにおいて、 α を -20° から 60° まで 10° 間隔で変化させて実験を行った。よって合計87種類の実験を行い、解析・考察した。牽引速度は7.3cm/min、刃先角は 30° 、刃幅は5cmと一定にした。

4. 解析・考察 図2は、掘削距離 X と H, V および t の関係を、 $\alpha=40^\circ$ 、供試体B、 $P_{\alpha 0}=12.78$ kgf/cmの場合を例として示したものである。これより、 $\alpha=40^\circ$ では、掘削が進むに従い H は増加するが逆に V は減少し、 t は深くなっていくことが分かる。こうした実験結果より、各 α に対する $H_\alpha, V_\alpha, R_\alpha$ を X, P_α, S_s, α の関数として表し、重回帰分析を行った結果、次式を得た。 β は R が作用する角度を表す。

$$H_\alpha = 2.638X^{0.057}P_{\alpha 0}^{0.673}S_s^{0.179}10^{-0.0023\alpha}$$

$$(r=-0.782) \quad (1)$$

$$R_\alpha = 3.469X^{0.086}P_{\alpha 0}^{0.599}S_s^{0.121}10^{0.0075\alpha}$$

$$(r=0.705) \quad (2)$$

$$V_\alpha = \pm \sqrt{R_\alpha^2 - H_\alpha^2} \quad (\beta > 0: V_\alpha > 0, \beta < 0: V_\alpha < 0) \quad (3)$$

ただし、これらは $\alpha \geq 0^\circ$ で解析したものである。図3は、 $\alpha=10^\circ$ において、 R の実測値 R_0 と式(2)の回帰式による算定値 R_c を比較したものである。図中の直線は 45° の直線

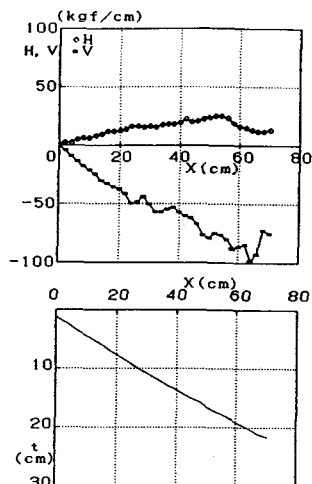


図2 掘削距離 X と水平・鉛直掘削抵抗 H, V および掘削深さ t の関係
($\alpha=40^\circ$, 供試体B, $P_{\alpha 0}=12.78$ kgf/cm)

であり、両者は良く一致している。

次に単位仕事量当たりの掘削土量 W を求めた。これは、掘削土量 V_s (cm^3/cm)を掘削仕事量(R (kgf/cm) $\times$ 刃先の動いた距離 S (cm))で割ったものである。掘削抵抗同様、 W を X, P_a, S_s の関数として表し、各 α について重回帰分析を行ったところ、以下の式が成立した。

$$W_{-20} = 0.073X^{0.410}P_{-20}^{0.198}S_s^{-0.827} \quad (r=0.858) \quad (4)$$

$$W_0 = 0.020X^{0.417}P_0^{0.425}S_s^{-0.856} \quad (r=0.845) \quad (5)$$

$$W_{10} = 0.095X^{0.486}P_{10}^{0.053}S_s^{-0.752} \quad (r=0.934) \quad (6)$$

$$W_{30} = 0.075X^{0.473}P_{30}^{-0.236}S_s^{-0.392} \quad (r=0.870) \quad (7)$$

$$W_{40} = 0.098X^{0.339}P_{40}^{-0.080}S_s^{-1.116} \quad (r=0.811) \quad (8)$$

$$W_{60} = 0.094X^{0.388}P_{60}^{-0.414}S_s^{-0.538} \quad (r=0.804) \quad (9)$$

図4に、供試体B、 $P_a=15.76\text{kgf}/\text{cm}$ における X と W の関係を示している。図中の曲線は、式(4)~(9)の回帰曲線を表す。図より、 W は X に関わらず $\alpha=10^\circ$ のときが最大であることが分かる。

さらに次に、掘削刃のくい込みやすさの程度を表す貫入抵抗係数 b について考察する。 b の値は、畠²⁾による次式より算出した。

$$P_a - V_a = bt \frac{dt}{dX} \quad (10)$$

本研究では、供試体Bにおいて、 b が最小となる、つまり掘削刃が最もくい込みやすい α を見出そうとした。 $\alpha \geq 0^\circ$ で、実験より得られた b を α の2次関数として表し、重回帰分析を行った結果、次式を得た。

$$b = 0.06\alpha^2 - 2.12\alpha + 33.87 \quad (r=0.811) \quad (11)$$

図5に、供試体B、 $P_a=3.15\sim 30.85\text{kgf}/\text{cm}$ 、 $S_s=0.96\sim 4.23\text{kgf}/\text{cm}^2$ における α と b の関係を示している。図中のデータは実測値であり、曲線は式(11)の回帰曲線を表す。図より、 b は α が約 20° で最小値をとっている。つまり、 $\alpha \geq 0^\circ$ の場合、掘削刃が最もくい込みやすいのは、 $\alpha \approx 20^\circ$ のときである。図6は、 $P_a=3.15\sim 44.08\text{kgf}/\text{cm}$ における S_s と b の関係を示している。図中のデータは実測値の平均値である。図より、全ての α において S_s の値が大きくなると、 b も大きくなっている。即ち、軟岩強度が強くなると、掘削刃はくい込みにくくなることが分かる。

5. 結論 すくい角が α' のときの掘削抵抗および単位仕事量当たりの掘削土量は、それぞれ式(1)~(3)、式(4)~(9)で与えられること、そして単位仕事量当たりの掘削土量は、6種類のすくい角の中で 10° が最大となることが分かった。さらに、貫入抵抗係数は、すくい角の2次関数として式(11)で表され、また、軟岩強度が強くなると大きくなり、すくい角が約 20° で最小値をとることが判明した。

参考文献 1)小林良二, 奥村清彦; 岩石のせん断強さについて, 日本鉱業会誌, Vol. 87, No. 999, pp. 407~412, 1971.
2)畠昭治郎; 土の掘削機構について, 土と基礎・最近の工法, 土質工学会, pp. 1~6, 1967

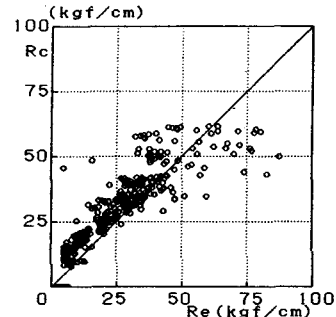


図3 合掘削抵抗の実測値 R_c と算定値 R_e の比較 ($\alpha=10^\circ$)

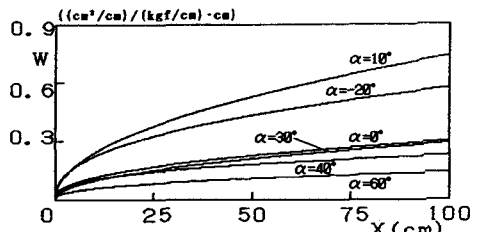


図4 掘削距離 X と単位仕事量当たりの掘削土量 W の関係(供試体B, $P_a=15.76\text{kgf}/\text{cm}$)

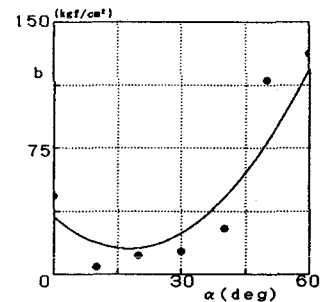


図5 すくい角 α と貫入抵抗係数 b の関係(供試体B, $P_a=3.15\sim 30.85\text{kgf}/\text{cm}$, $S_s=0.96\sim 4.23\text{kgf}/\text{cm}^2$)

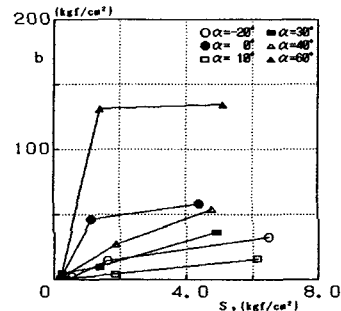


図6 せん断強度 S_s と貫入抵抗係数 b の関係 ($P_a=3.15\sim 44.08\text{kgf}/\text{cm}$)