

水中掘削の機構について

京都大学工学部 工博 畠 昭吾郎
日建設計工務KK. 工修。伊勢村 邦郎

1. まえがき. 掘削の問題に関して、ことに、固定平刃による切削に関して、これまで多くの研究がなされている。これらは、主に、土質力学の問題の応用、つまり、土圧論、支持力論の適用によって解かれている。しかし、動的な要素の多い掘削の問題を、微小変位の仮定から出発しているすべり線概念によってとらえているところに問題点を含んでいる。本報は、特に動的な影響の大きいとみられる水中掘削をとりあげ、掘削機構解明の基礎となる定常切削の性状を明らかにしたものである。

2. 水中定常切削機構について. 乾燥および液相の地表土に関して、これまで行われた研究には、大別して2つの方法があり、1つは土圧論的方法であり、1つは現場での切削抵抗度試験に基づく実験式的方法である。地表土の切削の場合、切削抵抗は切削速度の影響をうけたいことが明らかになっており、これが、力の釣合条件から切削抵抗を求めることを可能にしている。しかし、水中で飽和した砂の切削の場合、つぎのことが考えられる。透水性の高い砂質土であっても、これを非排水せん断すると、せん断中に間隙水の入出がないため、砂は砂では体積が膨張しようとすることによって、間隙水中に負圧が発生する。したがって、せん断抵抗は排水状態でせん断する場合に比べて増大する。刃による切削も、刃の前進によって地盤にせん断破壊を生じしめることにほかならないので、水中で飽和した地盤では、せん断時に給排水が即応する場合以外、切削抵抗は給排水の難易度の影響をうける。給排水の難易度はせん断速度、つまり、切削速度によって異なり、透水係数と給排水距離によって評価できる。このような、切削抵抗に影響する多くの因子の関係を定量的に求めることは困難であるので、次元解析によって関係因子の形を求める。切削抵抗に関係する因子は、

・単位刃幅当りの切削抵抗 H/b kg/cm ・刃と土の摩擦角 δ degree ・切削速度 V cm/sec
 ・切削深さ z cm ・土の単位体積重量 γ kg/cm^3 ・土の透水係数 k cm/sec
 ・すくい角 α degree ・土の切削強度指数 C_s kg/cm^3 ・重力加速度 g cm/sec^2

であり、 π 定理により、無次元積の関係として切削抵抗を表現すると、次の式となる。

$$H/b \gamma z^2 = f(\alpha, \delta, C_s/\gamma, V/k, V^2/gz) \quad \text{--- (1)}$$

実際の関数形は実験によって求めなければならぬ。

3. 実験試料および実験方法. 実験に用いた試料は表1に示した、粒径と間隙比の異なる7種類の砂である。切削刃の幅は5cm、切削速度は0.3~9.5 cm/sec の範囲で5段階に変えた。

4. 実験結果および考察. まず、すくい角0°について、切削深さと切削速度を変えた実験の結果、切削抵抗水平分力 (H_0 kg) は、切削深さ一定

試料	平均粒径 d_{50} mm	間隙比 e	浸透係数 k cm/sec	浸透率 q $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}$	浸透率 q $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}$	浸透率 q $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}$	浸透率 q $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}$	浸透率 q $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}$
B-0 琵琶湖砂	0.48	4.9	2.65	0.66	1.60	1.14	1.00	
B-1a 琵琶湖細砂	0.57	2.5	2.64	0.81	1.47	0.50	1.55	
B-1b 琵琶湖細砂				0.66	1.60	1.03	0.87	
B-2a 琵琶湖粗砂	1.40	1.3	2.65	0.92	1.38	0.38	0.05	
B-2b 琵琶湖粗砂				0.75	1.51	0.70	5.20	
Sa 豊前標準砂	0.18	1.3	2.63	0.69	1.56	1.15	0.64	
Sb 豊前標準砂				0.61	1.61	1.46	0.55	

表1 実験試料

の場合、切削速度に比例し、切削速度一定の場合、切削深さの2乗に比例する。したがって H_0/bZ^2 を Z^2 で割った値は切削速度に比例する。(図.1参照) 切削抵抗は

$$H_0/bZ^2 = p_0 + q_0 V \quad \text{--- (2)}$$

と表わされ、 p_0 、 q_0 は試料によって異なる値をとる。

p_0 は切削速度が0のときの切削抵抗値であるから、ほとんど静的な破壊条件で測定した値である切削強度指数 C_s と相関をもつことが予想され、整理の結果、図.2 のように、 p_0 と C_s は直線関係にあった。 q_0 は切削速度に影響される程度を示すので、透水係数と相関をもち、図.3 のように q_0 と k は逆比例の関係にあった。(注: 透水係数をけた工の単位経積重量) p_0 、 q_0 の値を読みとり、すくい角 0° の場合の切削抵抗水平分力は

$$H_0 = (1.6 C_s + 3.54 \times 10^{-2} k V / R) b Z^2 \quad \text{--- (3)}$$

と表わされる。つぎに、すくい角を 20° 、 40° 、 60° と変えた実験の結果、いずれのすくい角の場合も $H_\alpha/bZ = p_\alpha + q_\alpha V$ の関係が保たれ、 p_α と q_α がすくい角によって変化する割合は図.4 に示すように、試料に関係なく指数的に減少し、

$$p_\alpha/p_0 = 10^{-0.0138\alpha}, \quad q_\alpha/q_0 = 10^{-0.0106\alpha} \quad \text{であった。}$$

また、切削抵抗水平分力と鉛直分力の間には、切削速度、切削深さに関係なく、 $V_\alpha = H_\alpha \tan(\alpha - \delta)$ の関係が成立するので、以上の結果をまとめ、水中砂の定常切削基本式として、

$$\left. \begin{aligned} H_\alpha &= (p C_s 10^{-m_1 \alpha} + q \frac{V}{R} 10^{-m_2 \alpha} V) b Z^2 \\ V_\alpha &= (p C_s 10^{-m_1 \alpha} + q \frac{V}{R} 10^{-m_2 \alpha} V) b Z^2 \tan(\alpha - \delta) \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (4)}$$

が得られた。ただし、 $p = 1.6$ 、 $q = 3.54 \times 10^{-2}$ 、 $m_1 = 0.0138$ 、 $m_2 = 0.0106$

この実験式は式(1)を説明するものであるが、式(1)の第5項 $\frac{V}{R}$ が現われていない。それは、この項が流延中を刃が進むときにうける抵抗を示す項であり、本実験の速度範囲では無視できる値しかとらえないからである。なお、切削速度がさらに下な場合、刃幅と切削深さの比が下な場合にについては、さらに検討の余地がある。

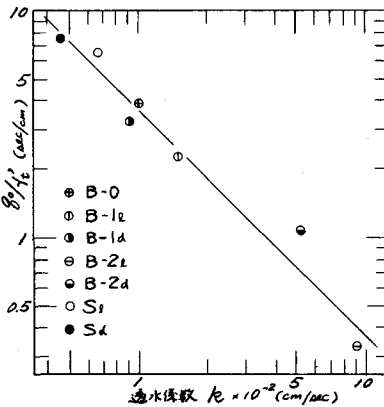


図.3 係数 q_0 と透水係数の関係

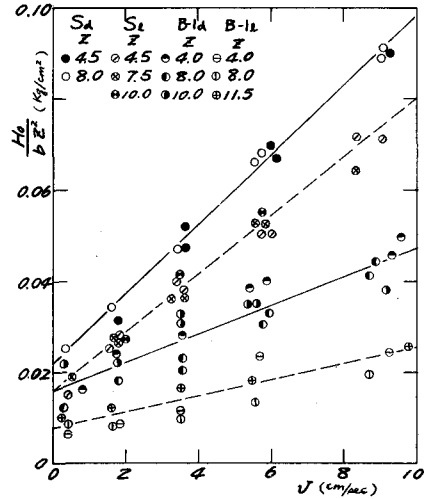


図.1 切削抵抗と切削速度の関係

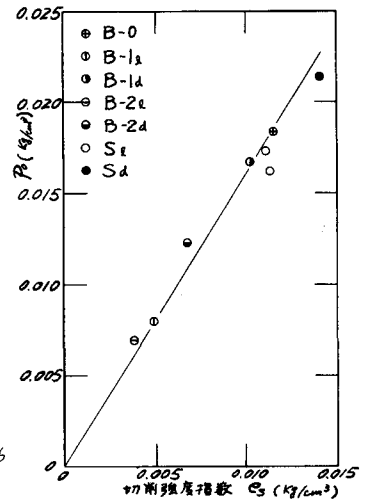


図.2 p_0 と切削強度指数の関係

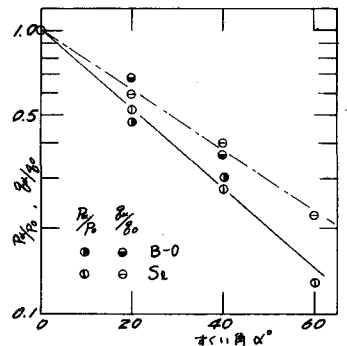


図.4 p_α 、 q_α とすくい角の関係