

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 ○保科 宏
正員 宮本 泰
正員 片桐 敏 昭

1. まえがき 密閉型排土機構としてロータリスクレーパ方式を取上げ、砂質土に適用した場合、土圧ならびに内部摩擦角が大きくなると、せん断強度が増加し、これに伴って回転トルクが増大すると懸念され、極端な場合装備能力を越え、回転不能となる恐れもある。そこで理論計算と実験から、砂質土におけるトルク特性を検討したので報告する。

2. トルクの算定式 ロータリスクレーパの回転トルクは近似的に次式で与えられる。

$$T = T_0 + T_1 + T_2 + T_3$$

$$= T_0 + P_e \{ (4.46 \times 10^{-2} K + 3.36 \times 10^{-2}) \tan \phi + 3.65 \times 10^{-3} K + 1.002 \times 10^{-2} \} \quad (1)$$

但し

T ; ロータリスクレーパの回転トルク (t-m)

T_0 ; 無負荷トルク (t-m)

T_1 ; 上面のせん断トルク $= \alpha P_e \tan \phi (\cos \theta + K \sin \theta) \left(\frac{a^3}{3} - \frac{D a^2}{2} + \frac{D^2 a}{4} \right)$ (t-m)

T_2 ; 側面のせん断トルク $= \frac{1}{2} D^2 \alpha P_e \tan \phi (\sin \theta + K \cos \theta)$ (t-m)

T_3 ; 底面摩擦抵抗によるトルク $= \alpha \mu P_e (\cos \theta + K \sin \theta) \left(\frac{a^3}{3} - \frac{D a^2}{2} + \frac{D^2 a}{4} \right)$ (t-m)

α ; スクレーパ開口角度 $= \frac{2}{3} \pi$ (ラジアン)

P_e ; 垂直土圧 $= \gamma (H + H') + w$ (t/m²)

γ ; 土の比重量 $= 1.8$ (t/m³)

H ; 土被り (m)

H' ; マシン天端からスクレーパ中心までの高さ $= 1.3$ (m)

w ; 上載荷重 $= 1$ (t/m²)

θ ; スクレーパの取付勾配 $= 20^\circ$

K ; 土圧係数 , ϕ ; 内部摩擦角($^\circ$)

a ; 羽根有効長さ $= 0.17$ (m) , μ ; 土と底板との摩擦係数 $= 0.5$

D ; スクレーパ外径 $= 0.65$ (m) , h ; 羽根高さ $= 0.18$ (m)

トルク発生の原因としては、上記の $T_0 \sim T_3$ の他、土粒子のかみ込みや、すりつぶしによるトルク増加が考えられるが、定常的な現象ではないと考えられるので、ここでは省略して考えた。

3. 実験の概要 1) 実験装置の概要 ; 製作した実験装置を写真-1に、またその主要諸元を表-1に示した。尚土圧計の取付位置は、スクレーパ上面より13cm上の試料箱前面(推力方向に対して垂直面)中心に埋込んである。2) 試料土 ; 試料土として用いた川砂の粒径分布、湿润密度(試料箱に詰めた状態)および含水比を図-1に示した。3) 実験方法 ① 試料土の作成法 ; 試料箱上部より川砂を入れ、高さ10cm毎に足で踏み固め、満杯後

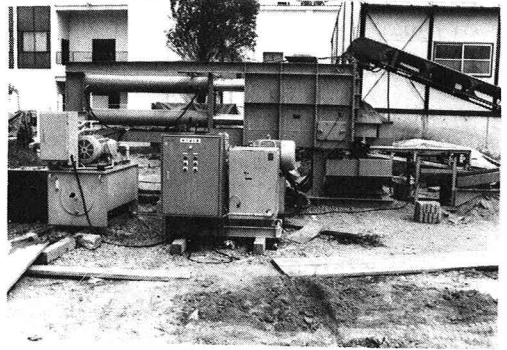


写真-1 実験装置

表-1 実験装置の主な仕様

項目	仕様
回転トルク	37-t (at 130%at)
回転数	2.7 rpm (max.)
スクレーパ外径	650 ϕ
高さ	180 mm
試料箱	1 m ³
推力	60 $\times$ 2 $\times$ 120 t
土圧計	容量 5 t/m ² 出力電圧増倍 0.25 mV 外径 30 ϕ

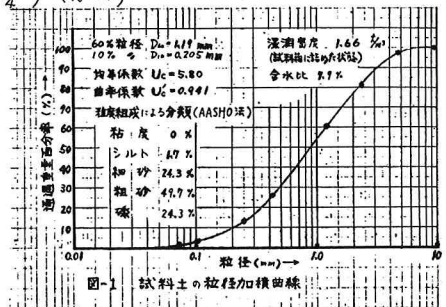


図-1 試料土の粒径加積曲線

表-2 土圧係数 K

水平土圧	垂直土圧	K
0.67 t/m ²	0.37 t/m ²	1.62
0.61	0.36	1.67
1.00	0.57	1.75
1.12	0.62	1.81
1.35	0.78	1.73
1.50	0.78	1.92
3.70	1.90	1.95
平均		1.78

上蓋をボルトで締付ける方法を取った。⑪起動トルクの測定；作成した試料土に対して水平方向に推力をかけ、土圧をセットし、負荷状態でロータリスクレーパーを回転させ、そのときの回転トルク（油圧）をペンレコーダで記録した。尚試料土は1回実験を行う毎に全部入れ換えた。

4. 実験結果と考察 1)実験結果；起動トルクの実測データを図-2に示した。2)Kの推定；試料箱上壁に同一規格の土圧計を取付け、水平方向に推力をかけた場合の垂直方向と水平方向の土圧を比較した結果を表-2に示した。土圧上昇に伴って若干のKの増加傾向が伺えるが、顕著ではないので、ここでは簡単のため、Kは土圧によらず一定と仮定し、平均値 $K=1.78$ をとることとする。3)φの推定；φは同一の試料土でも試料箱への詰め方すなわち密度により変化するとされている。①砂の詰め方による密度のバラツキ；②砂の重量を測定し、全く同一方法で踏み固めたときの密度を求めたところ4.2%の差があった。③推力をかけたときの密度変化；作成した試料土に $1\sim3\%$ の土圧をかけ、このときの後壁の移動距離を測定し、体積変化を求めた結果、 $1.1\sim1.8\%$ 体積の減少が見られ、その分密度が増加することが判った。この①と③を合わせても高々6%程度の差と考えられる。そこでここでは簡単のため密度はほぼ一定と仮定し、従ってφを一定と仮定すると、上記 $K=1.78$ および図-2のグラフよりφが推定できる。すなわち $\phi=28.5^\circ$ となった。この値は文献^{脚注)}によると丸味のある粒子、均等な粒子がゆるい締まり具合の状態にあるときの中と相等する。一方φを一定と考えないで、最大最小のデータからφのバラツキを推定すると $4.2^\circ\leq\phi\leq39.6^\circ$ となる。以上の結果をもとに、 $\phi=30^\circ$ 、Kをパラメータとしたグラフを図-3に示した。4)φの影響に対する考察；一般にせん断強度では $\tau=Pe\tan\phi$ で与えられるから、 P_e 、φが大きくなればとも大きくなり、この結果Tはどんどん大きくなると考えられる。しかるに今ゆるみ高さを考慮すると、φの増大により P_e は減少するので、この両者の効き方で決まり、従ってTも決まることになる。

ゆるみ高さ H_0 (m)は次式で与えられる。

$$H_0=\frac{B}{K\tan\phi}(1-e^{-K\tan\phi\frac{H}{B}})+\frac{H}{B}e^{-K\tan\phi\frac{H}{B}} \quad (2)$$
 但し $B=r_0\cos(45^\circ-\frac{\phi}{2})+H_1\cos(45^\circ+\frac{\phi}{2})$
 $H_1=r_0\{1+\sin(45^\circ-\frac{\phi}{2})\}$
 r_0 =掘削半径 $\div 0.75$ (m)
 いま $H=10$ m、 $K=0.8$ の条件で、φによる $\tan\phi$ 、 H_0 、Tを(1),(2)式より求め図-4に示した。5)土圧のバラツキに対する考察；砂の詰め方が平均してないと土圧計の位置により土圧が異なると考えられる。そこで同一規格の土圧計を20cm間隔に2ヶ横列に並べ、両者の土圧を比較した結果を表-3に示した。表-3より土圧 $1\sim3\%$ のとき15%程度のバラツキがあることが判った。

5. むすび 砂質土に対するトルク特性の考察から、φが大きくなったときTは極端に大きくなると推定されるが、ゆるみ高さを考慮すると、Tはφの大きさにそれ程左右されない結果となった。今後この結果を裏付けるため、アーチ効果を加味できる実験を検討する予定である。

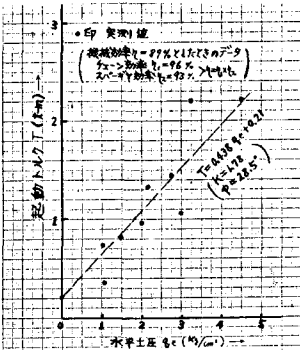


図-2 水平土圧をかけたときの土圧と起動トルクの関係

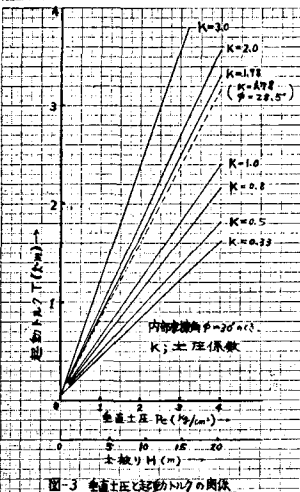


図-3 土圧と起動トルクの関係

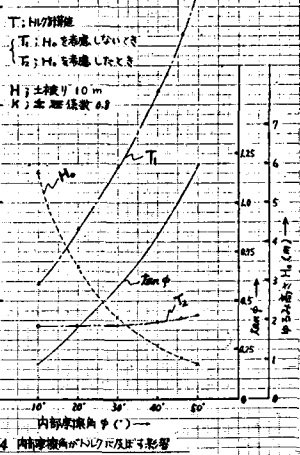


図-4 内部摩擦角がトルクに及ぼす影響

表-3 土圧計位置による差

土圧計位置	土圧計位置	差	バラツキ
0.31	0.24	0.07	22.6%
0.76	0.72	0.04	16.3%
1.45	1.22	0.23	15.9%
2.05	1.76	0.29	14.1%
2.81	2.50	0.31	11.0%
3.50	3.26	0.24	6.9%
			平均 14.4%

脚注) 河上；土質力学，P93，森北出版，1976