

回転掘削機構について (才2報)

京都大学 正員 畠 昭治郎、学生員 伊藤典生

今回の報告は、前回報告したアースドリルの掘削機構の実験的研究にひきつづき行なった、同じ回転式掘削機構であるアースオーガーの掘削機構に関するものである。

実験装置および試料 実験に使用したオーガーは、直径(D)=500mm、ラ線部のピッチ(P)=200mm($P/D=0.4$), 250mm($P/D=0.5$), 300mm($P/D=0.6$)の3つのタイプのもので、いずれも高さは、500mmである。また、先端は軸径($d=80$ mm)に等しい径をとり、高さ100mmのコーンである。オーガーの駆動は、20馬力および5馬力の無段変速機付きのモータにより、掘進速度(V)は1.5~65mm/sec、回転数(N)は0.02~0.06rev/secの範囲で得られる。土試料は、京都桃山丘陵産の砂質土で、比重2.73、均等係数3.4、最大粒径4.8mmである。この試料を、含水比が18%、現場密度が $\gamma=1.808$ g/cm³であるように調整して実験に用いた。

実験方法および結果 オーガーの運転速度およびオーガーの形状寸法によって、掘削の機構がどのように変化するかを実験した。実験はオド初期の後階で、現在続行中のため、得られている結果は少ないが、その中から2例だけ記しておく。図-1は、ピッチと直径の比(P/D)が、0.4のオーガーを用いて行なった実験結果で、1回転あたりの掘削深さ V_f を50mm/revから200mm/revまで変化させたときのものである。この結果において、 $V_f=200$ mm/revのもの、1回転あたりの掘削深さがオーガーのピッチと同である。図-2は、オーガーの P/D が、0.4と0.6のものとの比較である。

オーガーの掘削抵抗は、次のように考えられる。オーガーの先端の刃による切削抵抗 R_c 、刃先のくい込み抵抗 R_i 、オーガーのラ線部分に載った土の積み込み抵抗 R_b 、オーガーに積み込まれた土と、周囲の土との間に働くせん断抵抗 R_t 、さらに、オーガーの軸の下端部の抵抗 R_a 、ラ線部分の縁と土との間のまっ抵抗 R_m などが考えられる。切削抵抗 R_c は、いくらか低い値を与えるようであるが、高さが V_f の壁の受働土圧として計算でき、刃先のくい込み抵抗 R_i は、アースドリルのときに行なった計算法で算定できる。積み込み抵抗 R_b は、まっ抵抗と付着抵抗の2つよりなる。

まっ抵抗は、図-3に示すように、オーガーのラ線部に対して垂直なうぶに水平方向に、次

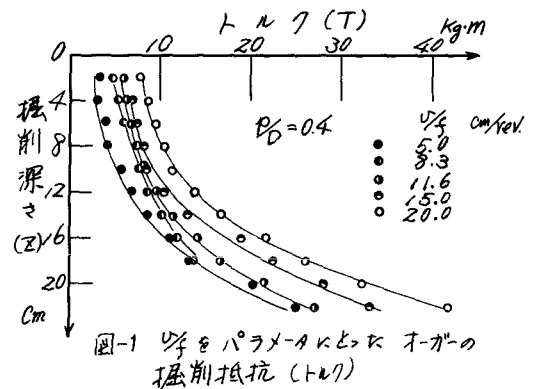


図-1 V_f をパラメータとしたオーガーの掘削抵抗 (トルク)

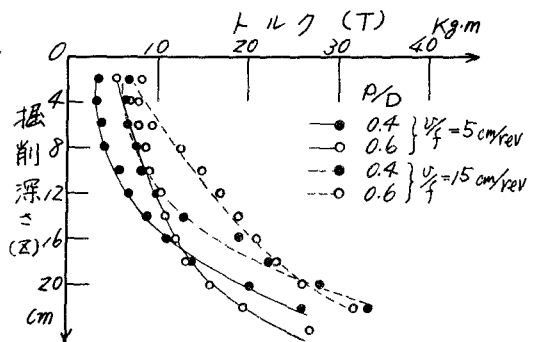


図-2 $P/D=0.4, 0.6$ のときの掘削抵抗の比較

式で表わせる力を与える。

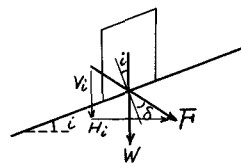
$$V_i = W_i \left\{ 1 + \frac{\cos i}{\cos \delta} \cos(\delta + i) \right\} \quad (1)$$

$$H_i = W_i \frac{\cos i}{\cos \delta} \sin(\delta + i) \quad (2)$$

V_i, H_i 単位面上に働く垂直, 水平方向合力,

W_i 単位面上の土の自重, δ 鉄と土との間の摩擦角, 図-3. まさつ抵抗

i ら線部の傾斜角,



i 傾斜角, δ 鉄と土との摩擦角

まさつ抵抗による垂直力は, (1)式をオーガ-の刃幅, ならびに土の載っている高さまで積分すれば求められる。また, トルクは同じ領域において, (2)式に腕長を掛けて積分すれば求められる。しかし, ら線部の傾斜角 i は中心からの距離 r により異なる ($\tan i = \frac{r}{2\pi r}$) ため, 計算が複雑になるのである。単位幅ごととその幅の中央の傾斜角 i を用いて計算する。

$$V_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\pi r}{4} \frac{D^2}{D^2 - d^2} \left(z - \frac{r}{2f} \right) (D_i^2 - D_{i-1}^2) \left\{ 1 + \frac{\cos i}{\cos \delta} \cos(\delta + i) \right\} \dots (3) \quad T_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\pi r}{4} \frac{D^2}{D^2 - d^2} \left(z - \frac{r}{2f} \right) (D_i^2 - D_{i-1}^2) \frac{\cos i}{\cos \delta} \sin(\delta + i) \cdot r_i \dots (4)$$

γ : 未掘削土の単位重量; D_i : i 番目の同心円の直径; r_i : i 番目の幅の中央までの距離; T トルク;

付着抵抗は, 接触面積に比例するから, 水平, 垂直方向の抵抗力の成分は, V_2 -面, T_2 -面への投影面積に C_a (鉄板と土との間の付着力) を掛けて求める。

$$V_2 = \eta \frac{DP}{\pi} C_a \dots (5) \quad T_2 = \eta \frac{\pi D^3}{12} C_a \dots (6)$$

η は, オーガ-の上の土が圧縮せずに積み込まれると仮定したとき, 土の付着している線部の

の段数である。側面のせん断抵抗 R_t は, 土がオーガ-の線部上を, 外径 D , 内径 d , 厚さ t の角柱つるまきばねのようにながで滑り上がってくると考えたと次式で表わせる。

$$V_3 = \frac{t}{\tan i} \left\{ k r \tan \phi \frac{(z - \frac{r}{2f})^2}{2} + (z - \frac{r}{2f}) C \right\} \sin i \dots (7) \quad T_3 = \frac{t}{\tan i} \frac{D}{2} \left\{ k r \tan \phi \frac{(z - \frac{r}{2f})^2}{2} + (z - \frac{r}{2f}) C \right\} \cos i \dots (8)$$

i , オーガ-最外端の線部の傾斜角; ϕ , 土の内部摩擦角; k , 土の横方向土圧係数; C , 土の粘着力; これまでの回転式掘削機械 (ア-ストリル) の掘削機構について実験し解析してきた結果を, 本機械に適用すると以上のような考え方が基本となって, オーガ-にかかる力を算定することができると考えられる。

表-1 トルク計算値

P/D	γ_f	T_1	T_2	T_3	T_4	合計
0.4	5.0 _{cm}	9.15	44.16	15.05	1.06	69.42
"	15.0	7.12	14.72	20.32	9.53	51.69
0.6	5.0	9.75	44.16	9.91	1.06	64.88
"	15.0	7.59	14.72	13.42	9.53	45.25

* トルクの単位は $\text{kg} \cdot \text{m}$

むすび 今, (4), (6), (8)式とくい込み抵抗 R_i によるトルク T_4 を, 図-2において与えた条件で, 掘削深さ $z = 25 \text{ cm}$ として計算すると表-1の値となる。表の値には, 切削抵抗が入っているためまだ実験値と比較はできないが, P/D が少々小さくともまさつ抵抗 (T_1) には大差がなく, P/D が小さければオーガ-の側面のせん断抵抗

(T_3) が大きくなるので明らかに不利であることがわかる。図-1からわかるように, γ_f が小さくとも, 大きな抵抗の変化 (掘削機構の変化) は見られず。つまり施工を迅速にするため, γ_f をピッタリに等しくなるまで持っていけることを示している。