

京都大学工学部 正員 嶋 昭治郎

京都大学工学部 正員 檜垣 義雄

京都大学工学部 学生員 ○ 藤本 直昭

1. はじめに 本報告は、水噴流による、不飽和の粘性土の表層溝掘削について、実用化をはかる上での基礎的データを得るために、深草粘土 ($G_s = 2.687$, $D_{50} = 0.23 \text{ mm}$, $D_{\max} = 2.50 \text{ mm}$, $U_c = 71.4$) を試料として、主に土の強度変化による掘削能率の変化について、実験的考察を行ったものである。

水噴流による掘削は、既に海底ケーブル埋設の手段としては実用の域にあるが、都市機能の維持、景観の保護等の目的により、通信用ケーブル、送水管等を地表面下に埋設する際の、既存埋設物への配慮等の条件を満たす施工法としても、注目され始めているものである。

2. 実験装置、および実験方法

実験は 図-1 に示すように、ノズルに一定の荷重を載荷 (7.32 kN/m^2) して垂直方向に沈下させる落とし込み実験を行った。ノズルを図-2 に示す。これは、実際の埋設機 (棒状の本体に、複数のノズルを連装したもの) として想定したものの断片を縮小したものである。噴流水は、水タンクに空気圧を加えて得ており、バルブによりタンク内圧を変化させて、任意の流量を得ることができる。断片模型の沈下量は、角度変換機を介してビジグラフで記録した。試料は、乾燥密度 γ_d と、含水比 w を計測して任意の強度に調整した。

3. 実験結果

本実験においては、土の強度を規定するパラメータとして、土がその強度を得るために外部より吸収したエネルギー E_c (kNm/m^3) を考え、これと、噴流水が土に対してなす仕事量が等しくなった時に掘削が行われると考えた。また、同じ密度、含水比の土に対しては、その含有エネルギー E_c と Proctor の突固めエネルギー E_s が、一義的に対応していると考え、この突固めエネルギー E_s を土の強度を規定するパラメータとして用いるために、まず、突固めエネルギー E_s と乾燥密度 γ_d 、含水比 w の関係をもとめた。

(図-3)。この図より、最適含水比を超えない範囲で

$$\gamma_d = 0.351 \log E_s + 0.02w + 0.08 \quad (\times 10^3 \text{ kgf/m}^3) \quad \text{---(1)}$$

なる実験式を得、この実験式により、所定の密度、含水比に対する突固めエネルギー E_s を推定した。

次に、次式によりもとめた必要掘削エネルギー E_w

$$E_w = \rho \pi d^2 V / 4 \times T \quad (\text{kNm/m}^3) \quad \text{---(2)}$$

(ρ : 水の密度、 d : ノズル口径、 V : 噴流水速度、 T : 噴射時間)

- ① ビジグラフ ④ ノズル ⑦ 固定台 ⑩ コンプレッサ
② 角度変換器 ⑤ 試料 ⑧ バルブ ⑪ 空気調整バルブ
③ 滑車 ⑥ 測定箱 ⑨ 水タンク ⑫ 圧力計

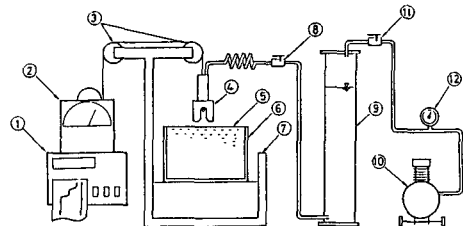


図-1 実験装置

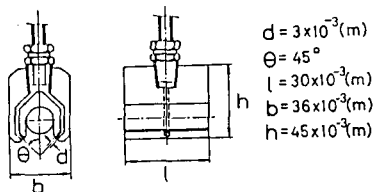


図-2 ノズル形状

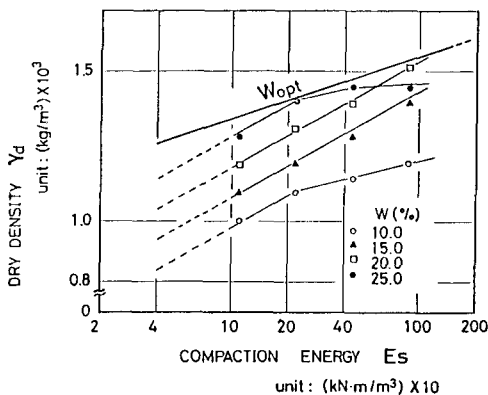


図-3 乾燥密度と突固めエネルギー

と突固めエネルギー E_s 、含水比 w の関係を図-4、5に示す。これらの図より、次の結果が得られた。

1. 必要掘削エネルギー E_w は、すべての含水比において、 $\log E_s$ に比例する。
 2. その比例係数は、噴流水の強さにより変化する。
- また、土の強度変化に対しては、ある境界点をもち、その前後で値が大きく変化する。

実際に土を掘削する場合には、土の状態による、必要掘削エネルギーの変動は小さいほうが好ましいので、変動の小さい部分について、必要掘削エネルギー E_w と含水比 w 関係を図-6に示す。この図より、掘削エネルギー E_w と含水比 w もまた、比例する。ゆえに、図-4、および、図-5について、次の実験式が得られた。

$$E_w = 320 \log E_s + 15.6w - 411 \quad \text{---(3)}$$

(kNm/m³)

$$E_w = 560 \log E_s + 27.1w - 726 \quad \text{---(4)}$$

(kNm/m³)

これらの実験式の係数を比較すると、必要掘削エネルギー E_w は、噴流水速度 V に逆比例する。噴流水速度 V と噴流水動圧 P_v が比例すると仮定すると、この結果は、石塚らの式

$$D = C \cdot d^{\frac{3}{2}} \cdot P_v - D_0 \quad \text{---(5)}$$

(D : 掘削量、 P_v : 噴流水動圧、 C, D_0 : 定数)

と一致する。ゆえに、次の関係式が、得られる。

$$E_w = A_1 (B_1 \log E_s + C_1 w + D_1) / d^{\frac{3}{2}} V + E_1 \quad \text{---(6)}$$

($A_1 \sim E_1$: 定数) (kNm/m³)

(2) 式と (6) 式より、不飽和土を掘削する場合には噴流水速度を上げるより流量を増した方がエネルギー的には有利である。これは、粘性土の場合、粒子径が小さいために砂質土にくらべて掘削後の粒子の排除が容易であるためと思われる。

4. おわりに

今回の実験では、土の強度のとらえ方に問題があった。今後は、掘削により適した比掘削抵抗 R_s 等のパラメータを用いることを考えてみたい。また、図-4の屈曲点が、噴流水のもつ条件により、どのように変化するかという点についても、今後の研究課題としたい。

5. 参考文献

- 1) 石塚 浩次・岩田 尚生 “水噴流による水中粘土の掘削について” 港湾技研資料 No. 77

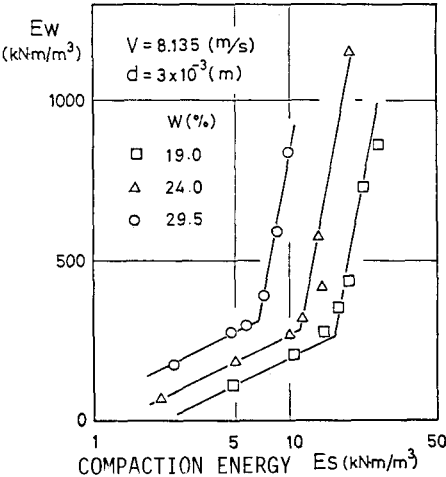


図-4 突固めエネルギーと必要掘削エネルギー

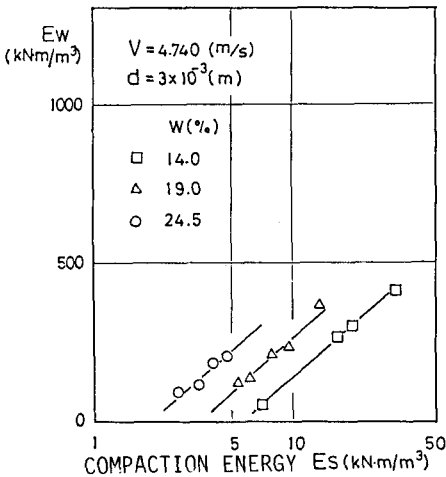


図-5 突固めエネルギーと必要掘削エネルギー

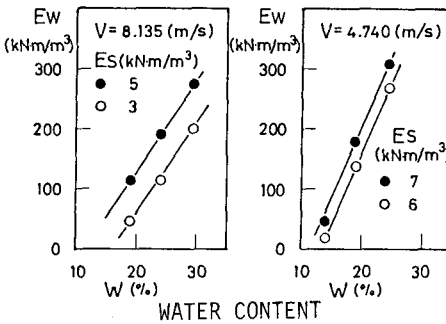


図-6 含水比と必要掘削エネルギー