

31. ソイルオーガーマシンの攪拌性能に関する模型実験

竹中工務店 鈴木昭夫 東藤隆義
星野春夫 斉藤 聡

1. まえがき

ソイルオーガーパイル工法は、当社において多くの実績を有する柱列式山留工法であるが、最近では施工環境の変化に伴って高能率化、有人化、低公害化等同工法の合理化促進に対する要望が高まってきている。このためには施工機械の能力アップを計る一方、施工品質を向上、安定させるために機械と地盤との係り合いの問題の解明が必要となってきた。

本実験は、模型攪拌機により土とセメントミルクとを実用機と類似した方式で攪拌し、この時の機械的攪拌条件と改良土の一軸圧縮強度およびセメント含有率のバラツキ度合の関係について検討を行なったものである。

2. 実験概要

2-1 実験方法

攪拌対象試料としては、砂およびシルトを用い、 267.4×700 の容器に充填し、振動台にて所定時間加振し締固めを行なった。ここで、砂については飽和度 S_r を 100% とし、間隙比 e を 0.63~0.65 に調整した。またシルトにおいては、単位体積重量比を 1.60~1.63% となるように混入空气の排除を十分行なった。この攪拌対象試料を国-1に示す実用機の約 $1/2$ スケール(攪拌羽根寸法)の実験装置にて、深度当りの注入セメントミルクを一定に保ちながら、回転数、穿孔引抜速度の各種組合せにおける往復攪拌(穿孔時正回転、引抜時逆回転)を行なった。

攪拌後の試料は、容器ごと恒温槽にて封緘養生とし養生 28日において、国-2に示すような位置より供試体を採取し、一軸圧縮試験(ひき込み速度 0.625 mm/min)を行なった。またセメント含有率のバラツキ度合はカルシウム分析試験(原子吸光法)により求めた。

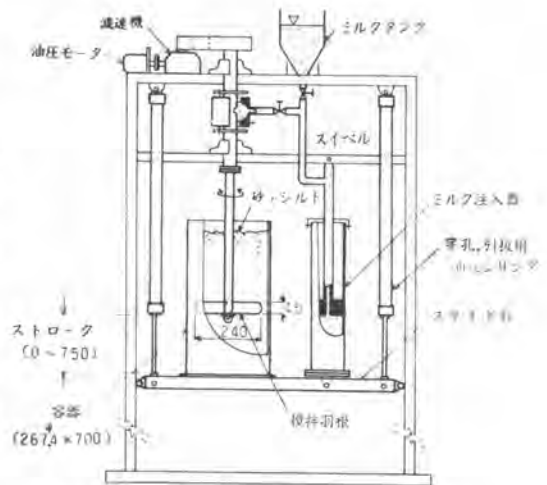


図-1 実験装置概要

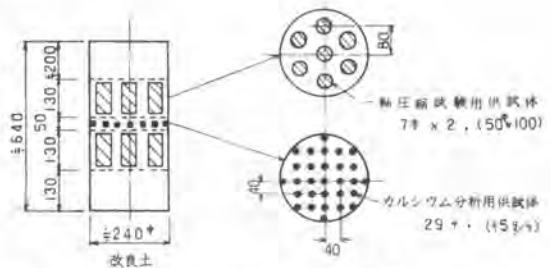


図-2 改良土中の供試体採取位置

2.2 実験条件

攪拌用試料の砂は、東京都中央区築地の4.L-10.7^mより、シルトは、東京都江東区豊州の4.L-27^mより採取したものを用いた。表-2に、これらの試料の物理的性質、図-3に、砂の粒径加積曲線を示す。

実験条件は、表-1に示す組合せとした。セメントミルクの注入率(表-1の注を参照)は、20%、40%の2種類上設定した。なお、セメントミルクの材料として、セメントは小野田の普通ポルトランドセメント、ベントナイトは豊順洋行の250^号を用いた。

表-1 実験条件

項目		条件				
割合 (重量比)	セメント:ベントナイト:水	1 : 0.15 : 1.2				
	砂	1 : 0.24 : 2.4				
	シルト	1 : 0.24 : 2.4				
注入率 P (%)		20, 40				
機械的 攪拌 条件	穿孔引抜速度 回転数 V (cm/min) N (r.p.m.)	25	5	10	20	40
	10			○		
	20		▲	△○	●	●
	40	△	▲	△○	△●	○
	60		▲	△○	○	○
	80	△ [※]	▲	▲●	▲●	●

注) ○は砂、△はシルトを示す。
●、▲はカルシウム分析を實施した。
注入率 P = $\frac{\text{セメントミルク体積}}{\text{総体積}} \times 100 (\%)$
※は注入率20%の量酸のみ實施した。

表-2 試料の物理的性質

物理定数		試料名	
		砂	シルト
土粒子比重	G _s	2.67	2.75
自然含水比	w _n (%)	14.3	63.7
液性限界	w _L (%)	—	53.0
塑性限界	w _p (%)	—	27.1
塑性指数	I _p (%)	—	25.9
粒度分布	砂分 (74~200 _μ) (%)	99.0	13.4
	シルト分 (5~74 _μ) (%)	1.0	53.6
	粘土分 (5 _μ 以下) (%)	0	33.0

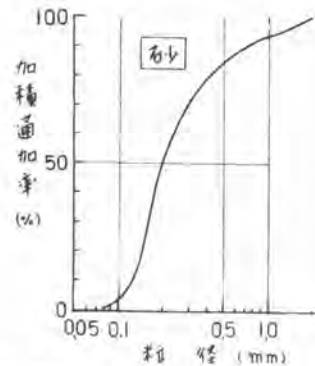


図-3 砂の粒径加積曲線

3. 実験結果

3.1 一軸圧縮試験結果

攪拌羽根の回転数N、穿孔・引抜速度V、セメントミルクの注入率Pと一軸圧縮強さ $\bar{\sigma}_u$ の関係を図-4、5に示す。ここで、一軸圧縮強さ $\bar{\sigma}_u$ は14本の供試体の平均値を用いた。

図-4は、砂についての結果を示したものである。砂の場合本実験条件の範囲においては、一軸圧縮強さ $\bar{\sigma}_u$ は、各セメントミルクの注入率Pと、それとほぼ一定の値に収められる傾向を示した。ただし、V=40^{cm}/minにおいては、N<40r.p.m.で急激に $\bar{\sigma}_u$ は低下する傾向を示した。

図-5は、シルトについての結果を示したものである。シルトの場合本実験条件の範囲においては、一軸圧縮強さ $\bar{\sigma}_u$ が一定の値に十分収められる状態に至らず、Nの増大と共に $\bar{\sigma}_u$ が増加する傾向が見られ、特に注入率P=40%においてこの傾向が顕著なでている。

上記の結果の比較から、シルトの場合、砂に比べてより大きな機械的攪拌エネルギーを必要とすることが推定できる。

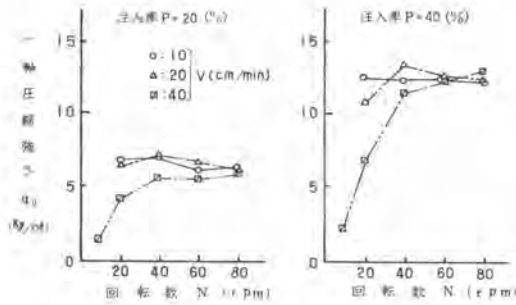


図-4 N, V, Pと \bar{Q}_u の関係(砂)

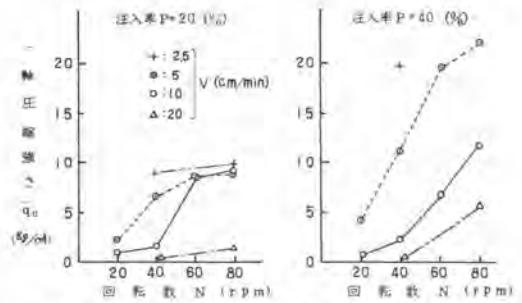


図-5 N, V, Pと \bar{Q}_u の関係(シルト)

3.2 カルシウム分析試験結果

カルシウム分析より求めたセメント含有率 C_{ca} のバラツキ度を標準偏差 σ_{ca} にて表わし、攪拌条件と σ_{ca} の関係を図-6, 7に示す。この結果、機械的攪拌条件の向上(せん断回数増加)から従って、 σ_{ca} は一定の値に収れんする傾向が認められ、特にシルトの場合この傾向が顕著にてている。

4. 実験結果の検討

4.1 単位深度当りのせん断回数と一軸圧縮強さの関係について

一軸圧縮試験結果の図-4, 5に基づいて、(4)式により単位深度当りのせん断回数(往復攪拌) S と一軸圧縮強さ \bar{Q}_u の関係を求めて、それぞれ図-6, 7に示す。

$$S = 2 \cdot \frac{N \cdot M \cdot Z}{V} \quad (\text{回/cm}) \quad \text{--- (1)}$$

S ; 単位深度当りのせん断回数(回/cm)

V ; 穿孔・引抜速度 (cm/min)

N ; 回転数 (r.p.m)

M ; 一段当りの羽根枚数(本実験 $M=2$)

Z ; 羽根長さ(本実験 $Z=1$)

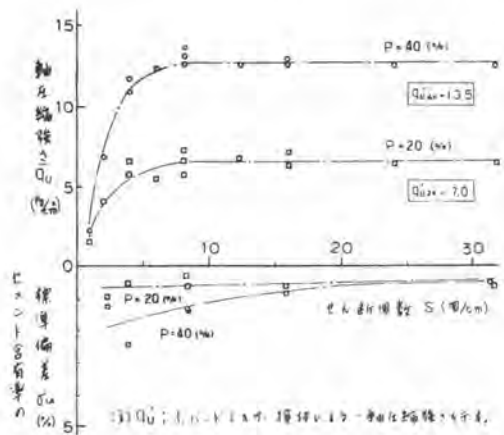


図-6 S, Pと \bar{Q}_u , σ_{ca} の関係(砂)

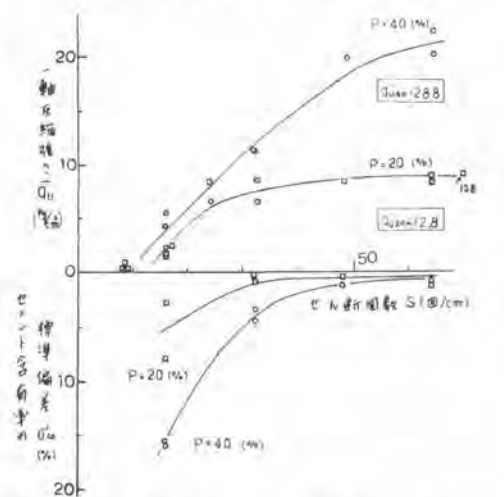


図-7 S, Pと \bar{Q}_u , σ_{ca} の関係(シルト)

図にみるように、一軸圧縮強さ $\bar{\sigma}_u$ は、単位深度当りのせん断回数 S により整理できる見通しを得ることができた。砂、シルトともに S の増大に伴って $\bar{\sigma}_u$ も向上するが、砂においては $S=8\sim 10$ 回/cm、シルトにおいては、 $S=50\sim 60$ 回/cm程度でその上昇の度合は鈍化し、ほぼ一定の値に落ち着く傾向を示した。

4.2 攪拌効率の検討

ホバートミキサーによる、10分間攪拌して得られた改良土の一軸圧縮強さ $\bar{\sigma}_u$ を基準として、(2)式による攪拌効率 η を表わす。

$$\eta = \frac{\bar{\sigma}_u}{\bar{\sigma}_u} \times 100 (\%) \text{----- (2)}$$

η ; 攪拌効率 (%)

$\bar{\sigma}_u$; 模型機による改良土の一軸圧縮強さ (kg/cm^2)

$\bar{\sigma}_u$; ホバートミキサーによる改良土の一軸圧縮強さ (kg/cm^2)

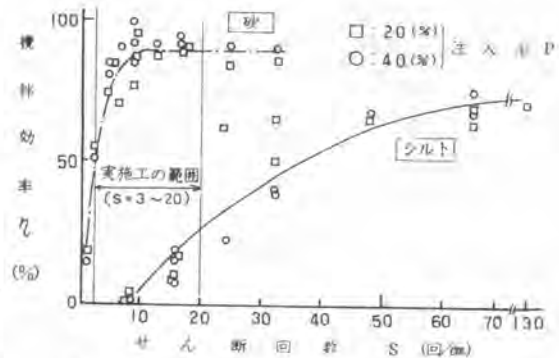


図-8 Sと η の関係

図-6,7の結果から、(2)式により求めた攪拌効率 η を図-8に示す。攪拌効率 η は、砂、シルト

とも注入率 P による差はあまりなく、それぞれはほぼ同一の曲線として表わされ、単位深度当りのせん断回数 S の増加に応じて上昇する傾向を示す。しかし、砂とシルトではその上昇傾向は大きく異なる。砂の場合 $S > 8$ 回/cmで一定の値に達し、 $\eta_{max} \approx 90\%$ となる。また、シルトの場合は $S > 60$ 回/cmで一定値に達し、 $\eta_{max} \approx 70\%$ となる。

なお、実施工における単位深度当りのせん断回数の範囲を従来の施工実績より推定して同図に示した。この範囲においては、砂の場合十分な攪拌状態が確保されているものと推定されるが、シルトの場合は、攪拌のレベルとしては向上の余地を多く残していると言えらる。今後の実用機の性能検討等においては、この間についても考慮する必要があるものと思われる。

5. おわりに

本実験結果より、機械的攪拌条件と改良土の一軸圧縮強さ $\bar{\sigma}_u$ 、あるいはセメント含有率のバラツキ度合 σ_{cu} 等について、一定の傾向を見いだすことができた。ソイルパイル工法の合理的な施工を目指す上で一つの糸口を得ることができたものとする。今後は、実用機による確認試験を踏まえてながら本実験結果を施工に生かしていきたいと思う。

(参考文献)

- 1) 軟弱地盤深層混合処理工法について(その2),(その3) 1977年, 1978年 奥村組技術研究所年報
- 2) スタティックミキサーによる室内混合固化実験について, 第13回土工学会研究発表会,

五洋建設