

10. 深層混合処理工法における攪拌装置の開発研究

(株)大林組 松尾 龍之

1. まえがき

機械攪拌方式の深層混合処理工法は、セメントや石灰などの固化材を地盤中に供給するとともに、攪拌翼で固化材と改良対象土を攪拌混合し、地中に固結体を造成する地盤改良工法である。当工法は他の改良工法に比較して短時間に大きな改良強度が得られ、しかもセメントなどの化学反応を利用するため、施工機械の制約を受けるだけで大深度の改良も可能であることから、最近、地盤のすべり防止、沈下防止等にその適用例が増大している。しかし、固化材と対象土を原位置で攪拌混合するために混合の不均一が避けられず、改良効果に大きなバラツキが生じるケースが多く見られるのが施工上の課題となっている。そこで混合の均一性を向上すべく昭和52年度より当工法の心臓部である攪拌装置の研究に着手した。

開発研究の経緯は、基礎的な室内モデル実験から改良効果の優れた攪拌装置の原形を比較選定し、これに引き継ぎ、実大規模の中型モデルによるフィールド実験を実施して試作攪拌装置の実用性の確認。さらに、実際の地盤を対象とした現場試験を行なって開発した攪拌装置によって造成したパイルの物性調査および掘削試験を実施してきた。

2. 開発経緯

一般に、深層混合処理工法の主要な施工条件は、攪拌軸回転数が $N = 40 \sim 50 \text{ rpm}$ 、昇降速度が $V = 0.5 \sim 1.0 \text{ m/mm}$ の範囲が多く、改良深度各断面における混合時間はきわめて短い。

そこで、短時間の攪拌混合でも固化材と対象土をできるだけ均一に混合できる攪拌装置を、次の2点の機能に焦点を絞って実験的に研究した。

- ① 固化材であるセメントミルクの地盤中への均等供給機構
- ② 供給された固化材と対象土との均一攪拌混合機構

2.1 室内モデル実験

図-1に示す試験機を用い、直径50cm×長さ80cmの固結パイルを造成しながら、各種実験調査項目を比較検討した。実験地盤は、直径1m×深さ1mの鋼製土槽に粘性土を投入した均一地盤で、その強度は、粘着力が大きく固化材との混合が比較的難しい一軸圧縮強度で $qu = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ とした。

100ケースに及ぶ混合実験を行ってきたが、実施した実験調査項目およびそれらの結果を要約すると次の通

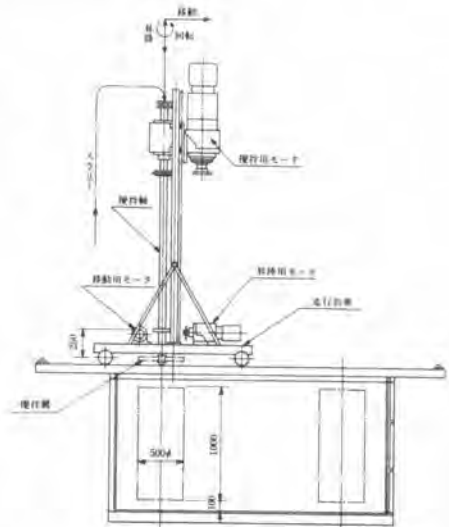


図-1 モデル混合用実験機

りである。

(1) 固化材供給方法の検討

セメントミルクの供給方法として、図-2の代表的な4例を含め10ケース以上の方法を検討した。その結果、Case1、2の中空攪拌軸の1箇所あるいは複数箇所から単独にミルクを吐出させるよりも、吐出口そばに三角断面あるいは平板状の注入補助翼を備え、回転に伴って生じる空隙に向かってミルクを噴射させるCase3、4の供給方法が注入範囲全域にわたってミルクが分散しており、特に、平板ブレードを30度前後の傾斜角で攪拌軸に取付けたCase4の方式が最もミルクを均等に分散した。

(2) 攪拌混合方法の検討

攪拌混合翼についても図-3に示す5種類を初め、20種類近くの形状の混合性能を比較検討した。その結果、対象土を上下、左右、斜め方向と立体的に攪拌するType D、Eのひし形、だ円形の攪拌翼の方が従来の攪拌装置に見られる水平ブレード形攪拌翼よりも良好な混合性能を発揮し、なかでも平板状の注入補助翼とだ円形の攪拌翼を組み合わせたType Eのだ円型(Oval型)攪拌装置が最も優れた改良効果を示した。

2.2 野外フィールド実験

次に、モデル実験で良好な混合性能を示したOval型攪拌装置の原形をもとに、直径1mの攪拌装置を試作し、実大規模の混合性能を確認するために、次のようなフィールド実験を行なった。

(1) 実験概要

- ①実験期間 : 昭和55年11月
- ②試験地盤 : 縦7.5m×横2.5m×深さ4.0mの大型土槽に粘性土を埋立てた人工軟弱地盤
- ③造成パイル仕様 : 直径1.0m×長さ3.0m
- ④造成パイル数 : 合計8本(内、2本は予備パイル)
- ⑤パイル配置と攪拌混合条件 : 表-1
- ⑥攪拌混合方式 : 下降時に地盤の掘削と攪乱、上昇時にセメントミルクの供給と混合を行なうバッチ方式
- ⑦固化材の種類 : 水・セメント比 $W/C=1$ のセメントミルク

(2) 実験結果

造成したパイルから、直径100mm×長さ4mの塩ビパイプで固結土を採取し、材令28日で強度試

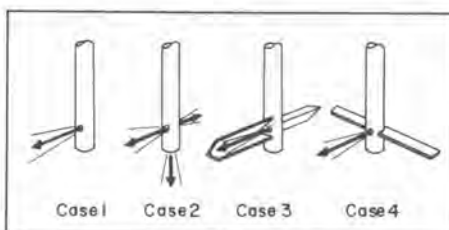


図-2 各種の固化材供給方法

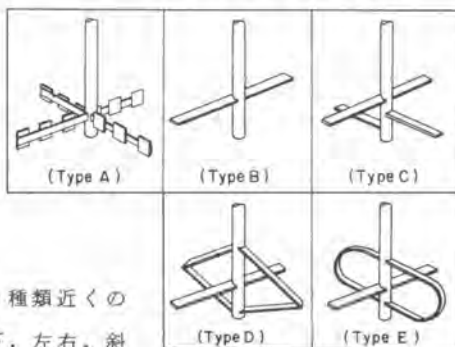
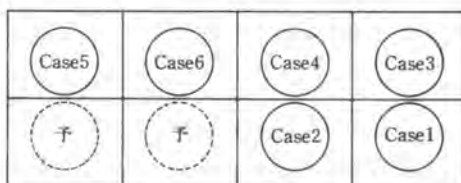


図-3 攪拌翼の形状



ケース番号	引上げ速度 v(m/min)	注入圧 P(kgf/cm ²)	混合回数 N(往復)	備考
1	0.50	30	1	
2	0.50	30	2	
3	0.50	50	1	
4	0.50	30	1	切削羽根付
5	1.00	30	1	
6	1.00	50	1	

表-1 パイルの配置と攪拌混合条件

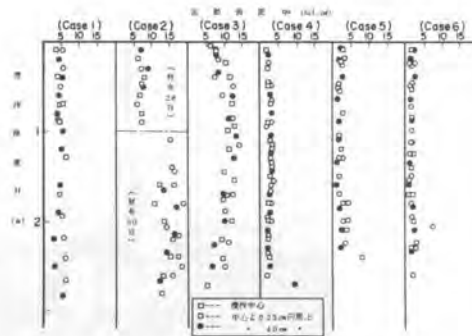


図-4 各パイルの固結強度



写真-1 造成パイルの出来上り形状

験した結果は、図-4である。各種変化させた攪拌混合条件によって固結強度の大きさやバラツキに差が見られ、攪拌混合時の引上げ速度、セメントミルクの吐出圧が混合効果に大きな影響を与えている。しかし、固結パイルの出来上り形状を観察するために、深さ2 mまで掘削したパイルの形状調査では、写真-1に見られるように全てのパイルが攪拌径通りに造成されているのが確認された。

3. 現場試験

以上、基礎的なモデル実験から開発したOval型攪拌装置は、攪拌径を実大規模の1 mにしたフィールド実験においても期待通りの混合性能を示すことが確認できた。しかし、これらの実験は、全て人工的に作成した均一地盤である。そこで、自然堆積の軟弱地盤に対する混合性能を調査し、Oval型攪拌装置の実用化を計るために、実際工事を想定した次のような現場試験を行なった。

3.1 実験概要

①実験期間：攪拌混合……昭和56年8月、掘削確認……昭和56年9月

②実験場所：埼玉県荒川河川敷内

③試験地盤：(GL0～-5 m)細砂混リシルト、(GL-5 m以深)シルト

地盤強度は、両層とも粘着力で $c = 0.2 \sim 0.4 \text{ kg/cm}^2$

④造成パイル仕様：

直径1.0 m × 長さ1.0 m

⑤造成パイル数：

P-1～P-15, 合計15本

⑥パイル配置と攪拌混合条件：

図-6の通り

⑦攪拌混合方式：

フィールド実験と同じバッチ式

⑧固化材の種類：

セメントミルク、 $W/C = 1$

⑨使用機械

・ベースマシ……日立パイル

ドライバPD-100

固結パイル番号	P-1	P-3	P-5	P-6	P-7	P-10	P-12	P-14
攪拌混合装置	0-I	0-I		0-II		0-IC	0-I	0-I
注込率 (%)	20	19		15		20	20	20
注込圧 (kg/cm ²)	5	33		20		30	20	40
回転数 (rpm)	41	41		41		41	41	41
上昇速度 (m/min)	0.5	0.5		0.5		0.5	1.0	1.0

--	--	--	--	--	--	--	--	--

固結パイル番号	P-2	P-4	P-8	P-9	P-11	P-13	P-15
攪拌混合装置	0-1	0-1	0-1	0-I	0-II	0-I	0-II
注込率 (%)	20	20	15	15	20	20	15
注込圧 (kg/cm ²)	15	40	30	40	40	30	20
回転数 (rpm)	41	41	41	41	41	41	41
上昇速度 (m/min)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5

図-5 パイル配置と各パイルの攪拌混合条件

- 回転掘進機…… 三和 D-60H 改造型 45 kw
- 注入プラント…三和 PM-J-23WA 50 kw
- 注入ポンプ…… 鉦研 MG-15H, MG-30, PG-75

Q0 攪拌混合装置 (写真-3)

- Oval シングル攪拌装置 (O-I 型)
- Oval シングルーッタ付攪拌装置 (O-IC 型)
- Oval ダブル攪拌装置 (O-II 型)

3.2 実験結果

造成したパイルの材令 28 日における固結強度の代表的な測定例を図-6 に、また固結形状確認のため掘り出したパイルを写真-4 に示す。

本工法に適合した施工条件のもとでは、ソイルミキサによる室内配合試験の固結強度 (添加率 $\alpha = 20\%$ で $q_u \approx 45 \text{ kg/cm}^2$, $\alpha = 15\%$ で $q_u \approx 25 \text{ kg/cm}^2$) の 50~60% の強度発現が得られた。

4. あとがき

室内モデル実験から開発した Oval 型攪拌装置は、現場試験においても予想通りの混合性能を持つことが確認された。そこで本年 1 月から 2 月にかけて本装置を用いた最初の工事を実施した。この工事は、擁壁基礎地盤の改良と盛土によるすべり防止対策工である。工事は順調に進み良好な改良結果が得られたが、この報告は、次の機会にしたいと思っている。



写真-4 掘り出した固結パイル



写真-2 攪拌混合機械全景



写真-3 使用した攪拌装置

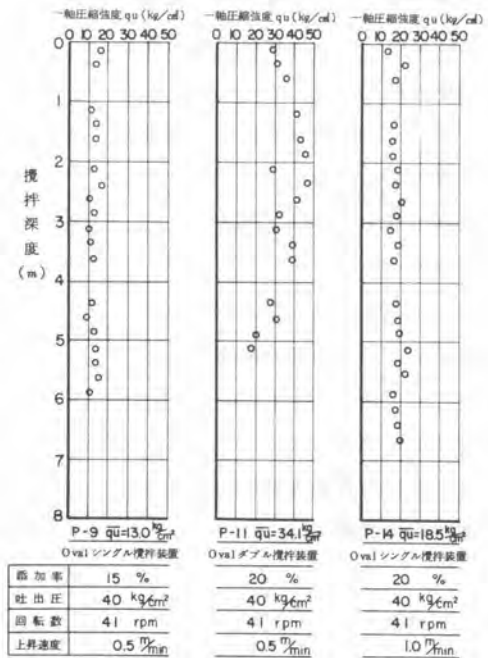


図-6 主要パイルの固結強度