

# 深層混合処理工法について（その1）

齋藤二郎 松尾龍之  
西林清茂

## Improvement of Deep Soft Ground by Cement Mixing (Part 1)

Jiro Saito Tatsuyuki Matsuo  
Kiyoshige Nishibayashi

### Abstract

Recently, the method of mixing a stabilizer such as cement or lime has been developed and is frequently used as a way of improving deep soft ground. Since this method is still new in comparison with other improvement methods, there are many problems to be solved before it can be used effectively.

This report describes the studies carried out to determine the best way of mixing stabilizer with soil in situ, focusing on the following points: (1) the method of supplying stabilizer in the mixing area, and (2) the method of efficient mixing.

### 概要

最近、深層軟弱地盤の改良工法として、石灰やセメントなどの固化材を用いて攪拌混合し、軟弱地盤に固結パイルを造成する工法が開発され、利用されるようになった。しかし、この工法は他の改良工法と比較して開発されてから日が浅いため、設計、施工上未解決の問題点が多い。

この報告は、本工法施工上、最大の問題点である固化材と原地盤土の均一混合について、(1)攪拌範囲内への固化材の供給法(2)効果ある攪拌混合、の2点に焦点を絞って実験的に比較検討したものを述べたものである。

## 1. はじめに

セメントや石灰などの固化材を用いて土と攪拌混合し、軟弱地盤を化学的に改良する方法は、短期間に大きな強度増加が期待されることから、従来、軟弱な表層地盤を改良する路上混合処理などに広く利用されてきた。しかし、これを深層の軟弱地盤に適用しようと試みられたのは比較的新しく、昭和42年頃より運輸省港湾技術研究所で研究された<sup>1)</sup>のが最初で、実際の地盤改良工事に適用され始めたのは、昭和50年に入ってからである。したがって、本工法はサンドドレーン工法、サンドコンパクション工法などの他の地盤改良工法に比べて施工実績が少なく、設計上、施工上未解決な問題点が多い。

今回、施工上最大の問題点である固化材と対象土の均一混合について、固化材の供給方法、攪拌翼の形状を模型実験を行ないながら検討した。

## 2. 深層混合処理工法の現状<sup>2)</sup>

現在、深層の軟弱地盤に固化材を供給し、混合固結する方法には、大別して次の2系統がある。

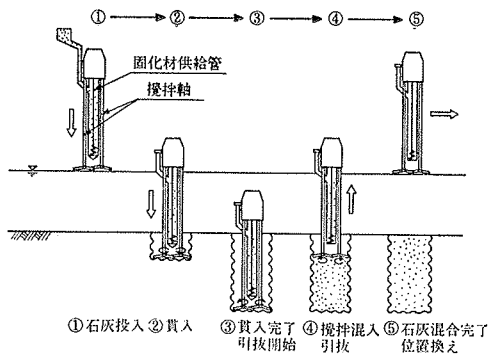
### (1) 噴射攪拌方式

200 kg/cm<sup>2</sup>以上の高圧で固化材（主にセメントミルク）を高速噴射させ、地盤を切削しながら攪拌混合する方式で、噴射口を上下移動および回転させることによってパイル状の固結体を造成する。

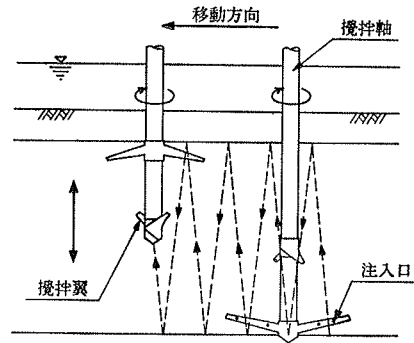
### (2) 機械攪拌方式

セメントや石灰系固化材を地盤に供給し、攪拌翼あるいはオーガなどで現地盤の土砂と攪拌混合することによって地盤を改良する方法で、セメント・ペーストやモルタルと現地盤土をオーガで攪拌しながら混合し、固結パイルを造成する方法として古くから知られているMIP工法\*を母体としている。

なお、この方式には、図-1に示すように対になった偶数個（2～8本）の攪拌軸と固化材供給管からなる装置を用いて、まず地盤を攪乱しながら攪拌翼を所定深度まで貫入させ、次に引抜き時に固化材を供給しながら地



図一1 バッチ式混練方法



図一2 連続式混練方法

盤と攪拌混合して、パイル状あるいはブロック状に固結体を造成するバッチ式と、図一2のように1~2本の中空攪拌軸を通して固化材を供給し、攪拌翼の数箇所から吐出させながら、回転、昇降、さらに微速水平移動して壁状にブロックを造成する連続式がある。

\* MIP 工法とは Mixed-in-place pile 工法の略名で昭和30年頃、米国プレパッド社によって開発される。

### 3. 室内模型実験

上記2方式の混合処理工法のうち、機械攪拌方式では、コンクリートの混練などに比較して極めて短い時間に固化材と対象土を混合する必要がある。したがって、出来るだけ均一に混合するためには、固化材を攪拌範囲内に均等に供給する方法と、混合効果の大きな攪拌翼の形状が要点になり、次のような室内模型実験を行なって検討した。

#### (1) 室内混合処理機

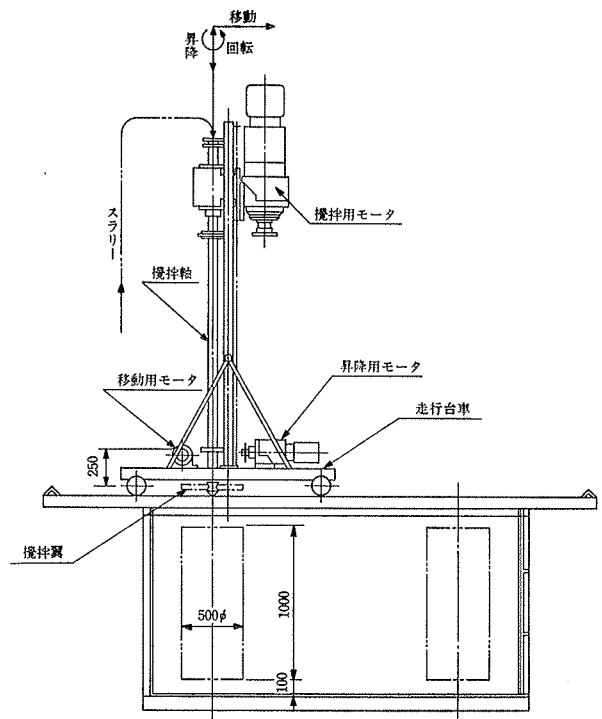
実験に用いた混合処理機は、施工機械のはん用性、作業性等を考慮して試作したもので、図一3に示す1軸攪拌方式である。攪拌軸は中空パイプで、その下部に各種形状の攪拌翼が装着できる構造になっている。固化材は、中空攪拌軸の内部を通して下部の吐出口から地盤中に供給する。混合処理機、固化材供給ポンプの主要諸元は、表一の通りである。

なお、この混合機は、攪拌軸の回転、昇降動作の他に微速水平移動ができ、壁状固結体の造成も可能なように設計した。

#### (2) 改良対象地盤

一般に、粘性土の混合処理では、土の粘着力が増加するに於いて攪拌翼にダンゴ状に付着する土量が多くなり、混合が難しくなる。

今回、実験に使用した混合対象土は、当研究所敷地内のロームで、150%に含水比調整した後にセメントを加えて混合し、これを直径1mφ×高さ1mの鋼製モール



図一3 室内混合処理機

混合処理機	打設深度	max 1 m
	回転数	25~100 rpm
	トルク	max 140 kg-m
	攪拌動力	3.7 kW
	昇降速度	0.25~1.00 m/min
	昇降動力	0.4 kW
	移動速度	0.025~0.10 m/min
注入ポンプ	移動動力	0.2 kW
	型式	単筒複動ピストン式
	吐出量	0~30 l/min
	吐出圧力	max 50 kg/cm <sup>2</sup>
	シリング径	50 mm
	ストローク	60 mm
	所要動力	3.7 kW

表一 実験装置の主要諸元

ドに投入して、一軸圧縮強度が  $q_u=0.3 \sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$  になるように調整したものである。

表-2 に改良対象地盤の土質性状を示す。

(3) 固化材

一般に、固化材としては生石灰、セメントミルク、モルタル

が使用されているが、地盤中への供給や混合が容易なこと、適用土質のはん用性などから、現在、セメント系のスラリー状固化材が主流になってきた。

本実験に使用した固化材としては、普通ポルトランドセメントを使用し、水を重量比でセメント：水=1：1の配合になるように添加した。

(4) 実験方法

実験は、上述の機械装置と対象地盤を準備した後、次のような手順で行なった。

- (i) 攪拌翼を 25 rpm で回転し、0.5 m/min の速度で土槽下面まで降下させる。
- (ii) 降下終了後、直ちにセメントミルクを吐出しながら攪拌翼を引上げる。
- (iii) 混合終了24時間後、図-4 に示す位置で混合土をサンプリングし、3日間養生した後一軸圧縮強度を測定する。
- (iv) 7日後に土槽を分解して固結体を掘出し、その形状を観察する。

(5) 改良効果の判定

改良効果の判定は、原則として改良土の一軸圧縮強度によったが、固結体の形状、切断面の状況等も観察して総合的に判断した。

3.1. 固化材供給方法の検討

(1) 供給方法

次の 4 case についてセメントミルクの注入実験を行ない、地盤中へ固化材を均等に供給する方法を検討した。なお、注入目標範囲は直径 50 cm  $\phi$ 、深さ 80 cm である。

土質試験項目		試験値
比	重 Gs	2.85
粒度組成	レキ分 (%)	0
	砂分 (%)	14
	シルト分 (%)	38
	粘土分 (%)	48
コテンシス	液性限界 (%)	101
	塑性限界 (%)	60
	塑性指数	41
含水比	w (%)	110
一軸圧縮強度 $q_u(\text{kg/cm}^2)$		0.3~0.5

表-2 対象地盤の土性

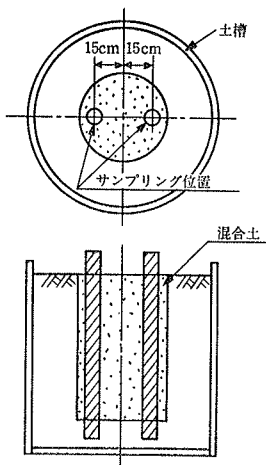


図-4 試料採取位置

Case 1: 攪拌軸の複数箇所から吐出させる方法 (横向き 2箇所と下向き 1箇所の計 3箇所と横向き 2箇所の吐出)。吐出圧  $1 \text{ kg/cm}^2$

Case 2: 写真-1 に示すように、攪拌軸の 1箇所から横向きに圧力を与えて噴出させる方法。吐出圧  $10 \text{ kg/cm}^2$

Case 3: 攪拌軸の 1箇所から横向きに吐出させるが、吐出口の周辺に三角形断面の注入補助羽根を設け、攪拌軸の回転によってこの羽根が作る地盤中の空隙にミルクを供給する方法。吐出圧  $1 \text{ kg/cm}^2$

Case 4: 攪拌軸の 1箇所から横向きに圧力を与えて噴出させるが、その吐出口近くに攪乱用の羽根を設け、この羽根で地盤を攪乱した直後にミルクを噴出させる方法。吐出圧  $10 \text{ kg/cm}^2$

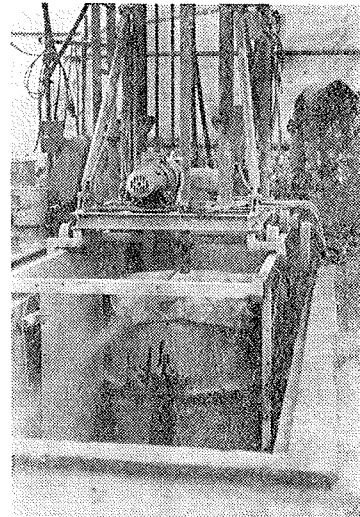


写真-1 Case 2 の注入方法

(2) 実験結果

(i) Case 1: 吐出口を複数個設けたにもかかわらず、ミルクを吐出したのはその内の 1箇所だけで、他の吐出口には土が詰まっていた。また供給されたミルクは図-5 のように注入範囲の中心部分に固まっていた。

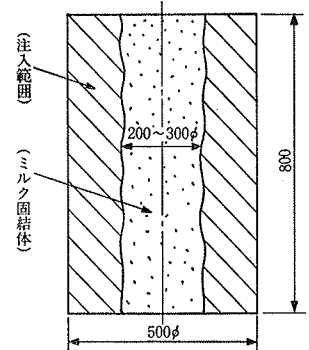


図-5 Case 1 の注入後の固結状態

(ii) Case 2: 吐出圧  $10 \text{ kg/cm}^2$  では、噴出したミルクは遠方まで達せず、直径 25~30 cm  $\phi$  程度で Case 1 と同様ミルクの供給は中心部分だけであった。また、多量のミルクが攪拌軸周囲から上方に流出した。

(iii) Case 3: 三角形断面の注入補助羽根の効果は一応認められ、写真-2のように注入範囲全域にわたって、

蜂の巣状にミルクが供給されていた。しかし、空隙中に供給したミルクの一部は、羽根の外周が地盤を切る際に生じる円周方向の空隙を伝わって下方に流れ落ちるため、注入範囲の下部にミルクが偏る傾向が見られた。



写真-2 Case 3の注入状態

(iv) Case 4: 注

入目標範囲全域にわたってよく注入された。これは固結強度の試験結果からも明らかであって、掘出した固結体も写真-3に示すように、攪乱羽根の外径と同じ50cmφのパイルに固まっていた。

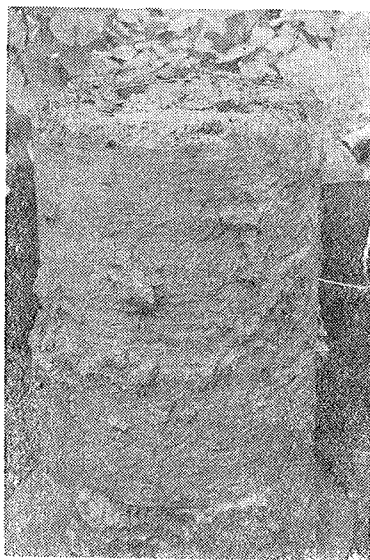


写真-3 Case 4の注入状態

以上のように、各種の固化材供給方法を試みたが、効果の差が大きく、効率的な攪拌混合を達成するためには、供給方法が重要な要因であることが判明した。

### 3.2. 攪拌翼の検討

#### (1) 攪拌翼の形式

次の5種類の攪拌翼について混合実験を行なった。それぞれの翼の直径は500mmφである。またセメントミルクの添加率は30%一律とした。

Type A: 攪拌板付1段4枚羽根型

Type B: 1段2枚羽根型

Type C: 3段4枚羽根型

Type D: (1段2枚羽根) + (だ円羽根) 複合型

Type E: (1段2枚羽根) + (ひし形羽根) 複合型

以上の5種類の攪拌翼を写真-4に示す。

#### (2) 実験結果

(i) Type A: 水平羽根に取付けた攪拌板が回転方向前面の土を押し出し、攪拌翼の回転につれて周囲の土

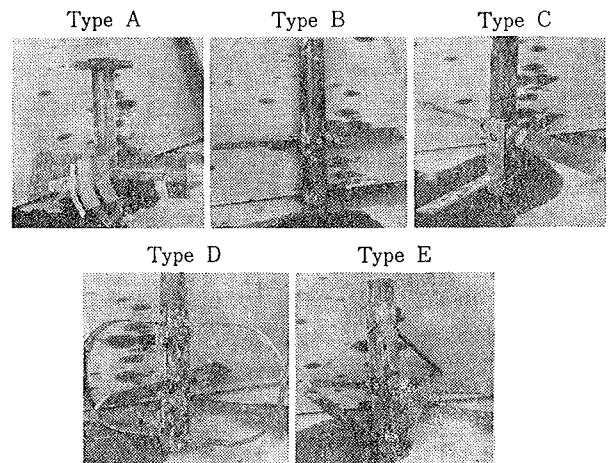


写真-4 攪拌翼の形状

も回転する。いわゆる共回り現象が生じ、固結パイルは造成されなかった。また4日後に測定した改良強度も地盤の乱れのため、混合前の地盤強度よりもむしろ低下した。

(ii) Type B: 固結パイルは造成されたが、注入されたセメントミルクがしま状に混入しており不均一であった。また、改良強度は平均  $q_u = 1.0 \text{ kg/cm}^2$  程度であった。

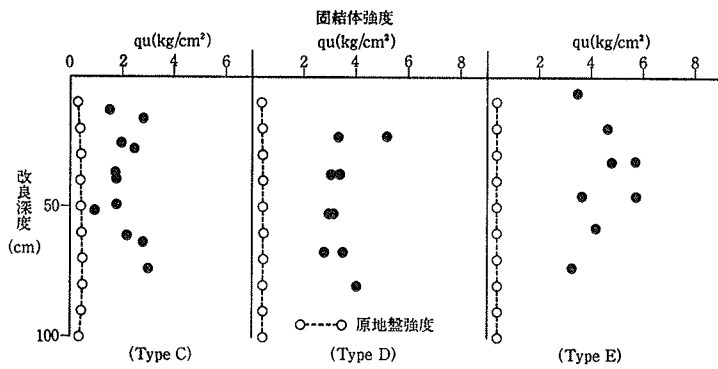
(iii) Type C: B型の攪拌翼に2枚の水平羽根を付加したもので、その効果が認められ、改良強度が、平均  $q_u = 2.0 \text{ kg/cm}^2$  程度まで増大し、また強度のバラツキも比較的少なかった。

(iv) Type D: 比較的均一に混合された固結体が造成された。また固結体の強度は平均  $q_u = 3.0 \text{ kg/cm}^2$  前後まで増大した。これは水平羽根による土の上下方向の動きと、だ円羽根による左右、斜め方向の動きが複合され、立体的に攪拌混合されたためと思われる。

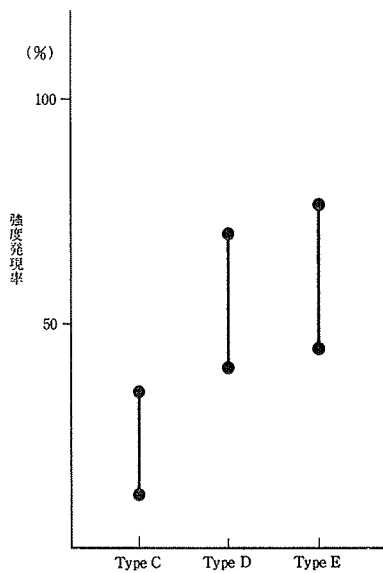
(v) Type E: D型攪拌翼と同様の混合効果が得られ、平均改良強度  $q_u = 4.0 \text{ kg/cm}^2$  前後の固結パイルが造成された。また、混合断面を見ても未改良部分は極めて少なく、均一性にすぐれていた。

以上、5種類の攪拌翼による混合実験のうち、比較的大きな強度の固結パイルが造成されたType C, D, E型攪拌翼の混合深度別固結強度を図-6に示す。

また、この3種類の攪拌翼の改良効果を総合比較するために、ソイルミキサを使用して完全混合した室内混合試験で得られた強度  $q_L$  と模型実験で得られた実際改良強度  $q_m$  との比を強度発現率 ( $q_m/q_L \times 100$ ) で表示し、検討した結果を図-7に示す。



図一六 Type C, D, E 型攪拌翼の固結体強度



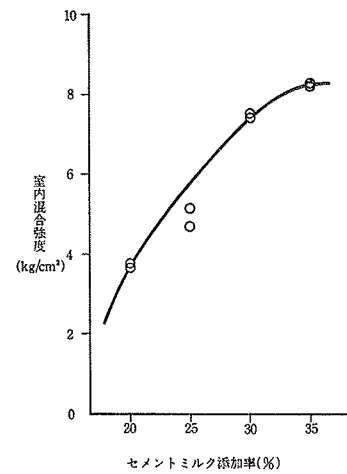
図一七 Type C, D, E の強度発現率

図から明らかのように、Type D, E の改良効果は認められ40~70%程度の発現率を示しているが、Type C は10~30%程度であった。

図一八に、セメントミルクの添加率に対する室内混合試験結果を示す。

#### 4. まとめ

以上の実験の結果



図一八 室内強度試験結果

(1) セメントミルクの供給は、水平羽根で地盤を攪乱した直後に圧力を加えて注入する方法で効果的である。

(2) 攪拌翼の形状は、水平羽根の段数を増やすよりも1段の水平羽根とだ円、あるいはひし形羽根を組合わせた形式が大きな混合効果を発揮した。

#### 5. おわりに

今回、深層混合処理工法の施工上、最大の問題点である均一混合について、固化材の供給方法、攪拌翼の形状の選定資料を得ることができた。

現在、均一混合については、さらに各種条件（地盤強度、混合条件……）を種々変化させて実験研究を継続中であるが、同時に設計上の問題点である複合地盤についても併わせて研究している。順次、報告したいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 奥村, 他: 新しい軟弱地盤改良工法（その1, 2, 3), 土木技術, 28巻3号, pp. 36~46, 同4号, pp. 45~55, 同5号, pp. 34~45
- 2) 千田, 村尾: 深層軟弱地盤改良工法の現況, 基礎工, (1979. 3) pp. 15~21