

## 深層混合処理工法について (その2)

齋藤二郎 西林清茂  
松尾龍之

### Improvement of Deep Soft Ground by Cement Mixing (Part 2)

Jiro Saito Kiyoshige Nishibayashi  
Tatsuyuki Matsuo

#### Abstract

The improvement of deep soft ground by mixing in a stabilizer such as lime or cement involves a problem of uniformly mixing the stabilizer with the objective soil. The previous part of this paper described an effective mixing method focusing on the following two points: method of mixing efficiently, and method of supplying stabilizer.

The current part describes studies made carrying out model mixing experiments to find the best way to perform mixing, the configuration of mixing blade not affected by properties of the ground, and the influence on improvement effect of rotation speed of mixing and injection pressure of stabilizer.

#### 概要

石灰やセメントなどの固化材を用いて軟弱地盤を改良する深層混合処理工法においては、固化材と対象土を均一に混合することが施工上の課題である。前報では、この均一混合について、効果ある混合攪拌と固化材の供給方法の2点に焦点を絞って実験的に検討し、混合効果の大きな攪拌機構を見出したことについて述べた。

本報告は、この混合攪拌方式を更に効率の良いものにするために、モデル実験を継続し、混合効果が地盤の土性に左右されない攪拌翼の形状、混合回転数、固化材注入圧が改良効果に与える影響等について検討した結果について述べる。

#### 1. はじめに

機械攪拌方式の深層混合処理工法は、攪拌翼で改良対象土を攪拌すると同時に、セメントや石灰などの固化材を供給し、地中に混合固結体を造成するものであるが、土と固化材の均一混合が施工上の課題となっている。そこで、当研究の目的もこの点に着眼し、深層混合処理工法の心臓とも言うべき、混合攪拌装置の開発に焦点を絞ることとした。

ところで、この目的を達成するための研究開発のポイントとしては、

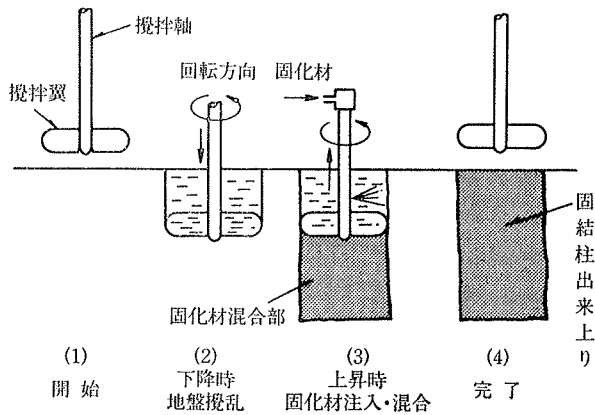
- ① スラリー状固化材を改良対象パイル全面にいかにして均等分布させるか。
- ② 均等分布させた液状の固化材と、固体で微細土粒子の集合体である粘性土とをいかにして均一混合させる

か

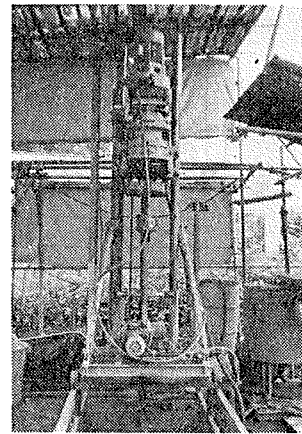
の2点に置いた。

前報で述べたように、昭和52年以來の研究の結果、①の課題に対しては、吐出口単独のみではスラリー状固化材の到達距離や均等分布に問題があることをつきとめ、均等分布注入に効果の大きい装置として、吐出口付近に設けた注入補助羽根を、また、②の課題に対しては、水平方向だけでなく垂直方向の混合も可能な、だ円あるいはひし形攪拌翼装置を開発した。

このように2年有余の研究の結果、混合攪拌装置の基本装置として固化材注入補助羽根と、だ円あるいはひし形攪拌羽根を組み合わせた複合型攪拌装置を生みだしたわけであるが、引続き、この基本装置をより効果のあるものとするため、基本性能に関する基礎的研究とモデル混合の各種条件下における性能検討を実施してきた。以



図一 混合作業模式図



写真一 混合処理機

下、これらの研究結果について述べる。  
 なお、開発した混合攪拌装置は、特許出願中である。

2. 実験方法

2.1. 混合攪拌方法

モデル実験の混合攪拌方法は、図一に示すようにバッチ式混練方式とし、直径 50 cm φ、深さ h=80 cm の固結パイルを造成する。

2.2. 実験装置

実験に使用した装置は、次の通りである。

(1) 混合処理機……一軸攪拌方式の混合処理機で攪拌軸の回転数、昇降速度は、バイエル変速機によって無段変速できる。混合効果を比較する各種形状の攪拌翼は、軸の下端にアタッチメントとして装着する。また固化材は、中空攪拌軸の内部を通して下部の吐出口から横向きに注入する(写真一)。

(2) 固化材製造、供給装置……固化材を所定の配合に混合する 150 l 練りミキサと、これを地盤中に圧送する注入ポンプおよび 32 mm φ の高圧ホース等を用いた。

実験装置の主要諸元を表一に示す。

2.3. 固化材

使用した固化材は、普通ポルトランドセメントを用い

混合 処理 機	打設深度	max 1m
	回転数	25~100rpm
	トルク	max 140kg-m
	攪拌動力	3.7kW
	昇降速度	0.5~1.00m/min
	昇降動力	0.4kW
	移動速度	0.025~0.10m/min
注 入 ポ ン プ	移動動力	0.2kW
	型式	単筒複動ピストン式
	吐出量	0~30ℓ/min
	吐出圧力	max 50kg/cm <sup>2</sup>
	シリンダ径	50mm
	ストローク	60mm
所要動力	3.7kW	

表一 実験装置の主要諸元

たミルクで、水・セメント比を W/C=1/1 の一定配合とした。

2.4. 対象地盤

対象地盤は、前回の実験と同様、関東ロームを直径 1 m×深さ 1 m の鋼製土槽に投入したものである。地盤に所定の強度、含水比を与えるために、ロームの含水比を W=150% に調整した後、セメントを添加して地盤を作成した。

このようにして作成した地盤の標準的な土質性状は、表一2の通りである。

土質試験項目		測定値
比 重 Gs		2.859
粒 度 組 成	レキ分 (%)	0
	砂 分 (%)	7
	シルト分 (%)	63
	粘土分 (%)	30
コンシス	液性限界 (%)	104.5
	塑性限界 (%)	65.3
	塑性指数	39.2
含 水 比 w (%)		100~110
一軸圧縮強度 qu(kg/cm <sup>2</sup> )		0.4~0.6

表一2 標準的な土質性状

2.5. 実験項目

今回の実験で検討した項目は、表一3に示す通りであり、固化材注入補助羽根の効果、ひし形攪拌翼 (Type A)、だ円攪拌翼 (Type B) の形状と混合効果に関するものである。

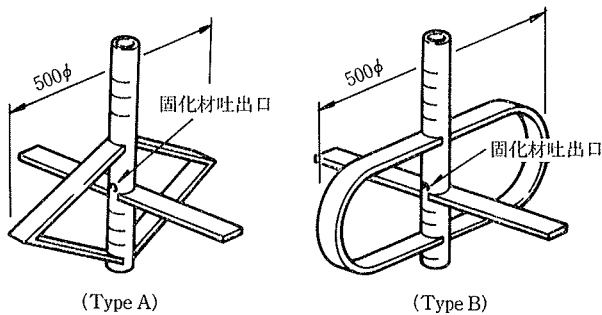
図一2に、A型、B型攪拌翼を示す。

2.6. 改良土の調査、試験方法

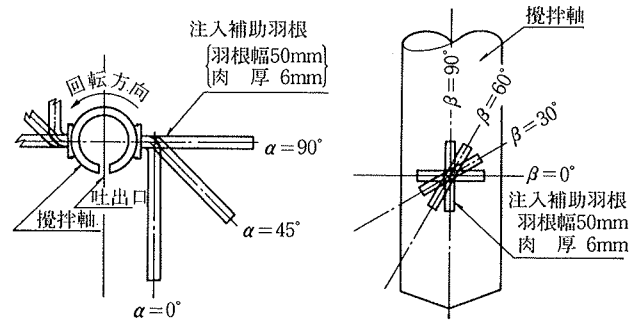
改良効果の調査は、原則として改良強度によった。すなわち、混合直後に6本のシンウォールチューブ (75 mm φ×1 m) で混合土を採取し、標準養生 (温度20℃、湿度95%) した後、材齢 7日、14日、28日のいずれかで

検討項目	実験条件	地盤条件	固化材条件	混合攪拌条件	備考
注入補助羽根	取付け角度 $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$	$w = 100\%$	添加率30% 注入圧10kg/cm <sup>2</sup>	回転数：25rpm(下降時), 50rpm(上昇時) 昇降速度：0.5m/min(下降時), 0.25m/min(上昇時)	図一3
	羽根傾斜角度 $\beta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$				図一4
A型攪拌翼	地盤の含水比 $w = 100\%, 110\%$	$w = 100\%$	添加率30% 注入圧10kg/cm <sup>2</sup>	回転数：25rpm(下降時), 50rpm(上昇時) 昇降速度：0.5m/min(下降時), 0.25m/min(上昇時)	図一5
	ひし形の開き角度 $\gamma = 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$ 羽根傾斜角度 $\delta = 0^\circ, 20^\circ$				
B型攪拌翼	地盤の含水比 $w = 100\%, 110\%$	$w = 100\%$	添加率30% 注入圧10kg/cm <sup>2</sup>	回転数：25rpm(下降時), 50rpm(上昇時) 昇降速度：0.5m/min(下降時), 0.25m/min(上昇時)	
	羽根傾斜角度 $\delta = 0^\circ, 20^\circ$ 羽根幅 $b = 15\text{mm}, 30\text{mm}$				
混合回転数	$n = 25, 50, 75, 100\text{rpm}$	$w = 100\%$	添加率30% 注入圧10kg/cm <sup>2</sup>	回転数：25rpm(下降時) 昇降速度：0.5m/min(下降, 上昇時共)	B型攪拌翼を使用
固化材注入圧	$P = 1, 5, 10, 15, 20, 25\text{kg/cm}^2$	$w = 100\%$	添加率30%	回転数：25rpm(下降時), 50rpm(上昇時) 昇降速度：0.5m/min(下降, 上昇時共)	同上

表一3 検討項目および実験条件



図一2 攪拌翼の形式

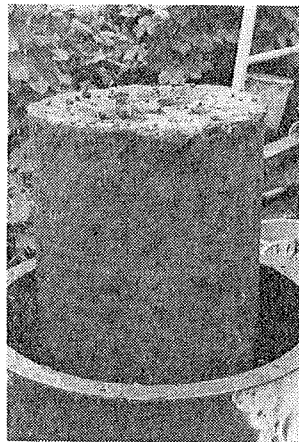


図一3 補助羽根の取付角  $\alpha$

図一4 補助羽根の傾斜角  $\beta$

一軸圧縮試験に供した。また強度試験とは別に、混合後14日経過した時点で、写真一2に示すように固結体を土槽から取り出し、固結形状、断面の固結状態を観察した。

効果の判定は、上記の方法で測定した強度の測定値から、平均強度  $\bar{q}_u$ 、強度のバラツキ  $V$  を指標とした。 $V$  の大きさは、変動係数  $\left( \frac{\text{標準偏差}}{\bar{q}_u} \times 100 \right)$  を算定して求めた。



写真一2 固結体の掘出し

### 3. 実験結果

#### 3.1. 注入補助羽根の検討

注入補助羽根は、固化材吐出口と同一断面の攪拌軸に取付け、地盤を攪拌して注入の補助をするものであるが、この羽根形状について、次のような検討を行なった。

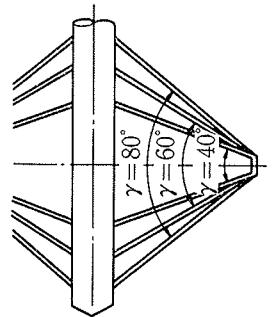
##### (1) 取付け角度 $\alpha$

$\alpha$  を  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  に変化させた時の固結強度、固結状態を図一6に示す。3者間に強度の差は認められないが、

固結状態に差がみられ、注入した固化材が全体的に細かく分布するのは、 $\alpha = 90^\circ$  である。

##### (2) 傾斜角度 $\beta$

傾斜角度  $\beta$  を変化させた時の固結強度は、図一7の通りである。 $\beta = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  では固結強度が認められたが、 $\beta = 0^\circ$  の場合は強度小であった。次に、固結体の観察結果から比較すると、 $\beta = 30^\circ, 60^\circ$  では固化材の水平分布が明確であるが、 $\beta = 0^\circ, 90^\circ$  の場合は固化材が部分的に集中し、この補助羽根の主目的である均等分布を達成する上では、 $\beta = 30^\circ \sim 60^\circ$  付近の羽根傾斜が良好であり、なかでも  $\beta = 30^\circ$  が優れている。

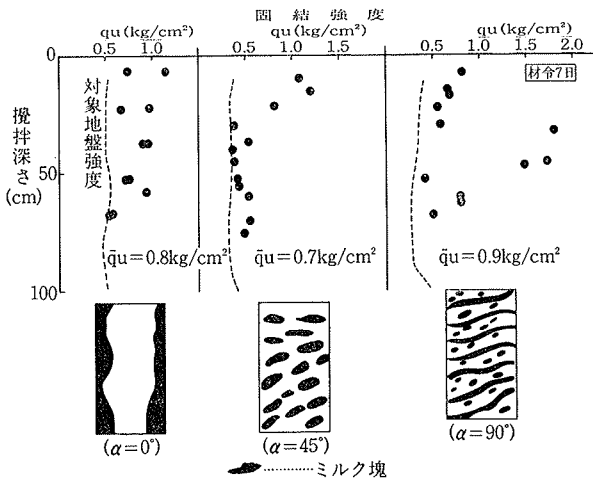


図一5 ひし形羽根の開き角  $\gamma$

#### 3.2. A型攪拌翼の混合効果

##### (1) 地盤の含水比 $w$ の影響

含水比を地盤の液性限界  $w_L = 105\%$  を基準として、その上下  $w = 100\%$  と  $w = 110\%$  に調整した地盤に対するA型攪拌翼の改良強度は図一8に示す通りである。含水比が低く、粘着力が大きくなると、ひし形の狭間部に

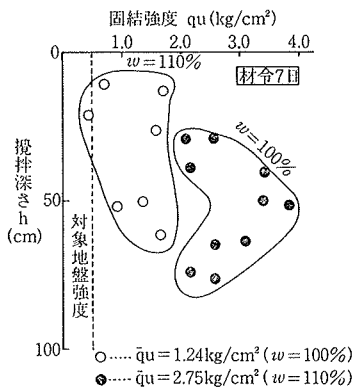


図—6 注入補助羽根取付け角の影響

多量の土が付着し、これが混合を阻止して強度を低下させている。

(2) ひし形の開き角度  $r$

したがって、高粘性土に対するA型攪拌翼の改良効果を検討するために、ひし形羽根の開き角度を  $r=40, 60, 80^\circ$  に変化させて混合した。その結果、いずれの角度の羽根も、図—9に示すように土が付着し、満足できる混合効果は認められない。

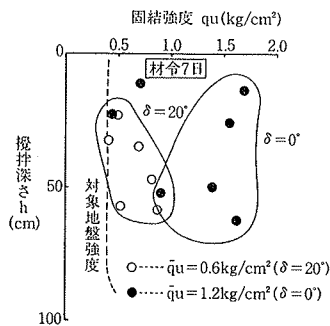


図—8 A型翼の含水比による影響

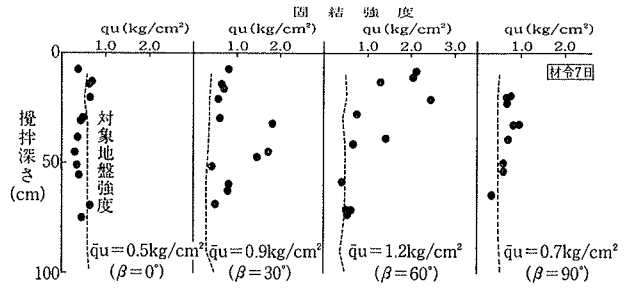
(3) 羽根傾斜角度  $\delta$

次に、ひし形羽根の傾斜角度を  $\delta=0^\circ$  と  $20^\circ$  の2種類に変化させた攪拌翼について実験した結果を図—10に示す。 $\delta=0^\circ$ 、すなわち羽根にひねりを与えない、水平羽根の方が土の付着が少なく、改良効果がよい。

以上の実験より、攪拌翼に付着する土量によって混合効果が大きく影響され、対象地盤の粘性が増大(ひいては粘着力の増加)するにつれて、A型攪拌翼は不利になることが判明した。



図—10 A型翼の羽根傾斜の効果

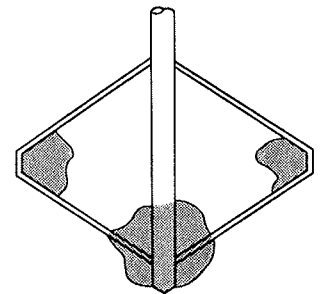


図—7 注入補助羽根傾斜角の影響

3.3. B型攪拌翼の混合効果

(1) 含水比  $w$  の影響

A型攪拌翼と同様に、含水比を  $w=100\%$  と  $w=110\%$  に調整した2種類の地盤に対するB型攪拌翼の改良効果を検討した結果を図—11に示す。だ円羽根を有するB型翼は、両地盤に対して土の付着が少なく、両者同等の改良効果が得られた。



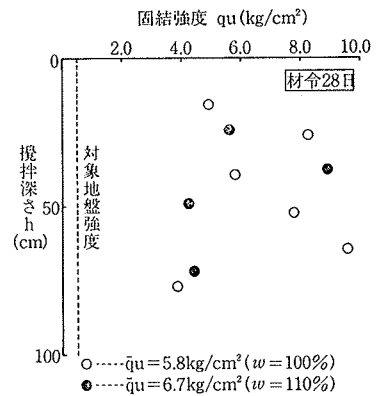
図—9 土の付着状況 (A型翼)

(2) 羽根傾斜角度  $\delta$

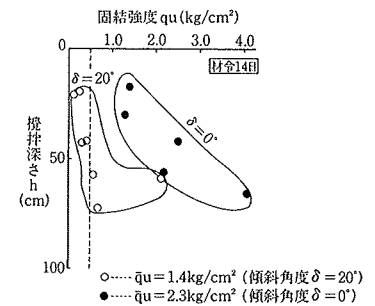
羽根傾斜角度  $\delta=0^\circ, 20^\circ$  に変化させただ円羽根の改良効果は、図—12の通りである。B型攪拌翼もA型と同様羽根をひねらない。水平羽根の方が改良効果は良好である。

(3) 羽根幅  $b$

次に、だ円羽根の羽根幅の効果を比較したのが図—13である。 $b=15\text{ mm}$  と細くした方が土の付着が少なく、大きな改良強度が得られる。



図—11 B型翼の含水比による影響



図—12 B型翼の羽根傾斜の効果

以上、羽根の傾斜角度と羽根幅の検討結果から、攪拌羽根はできるだけ対象土を細かく切る性能を備えることが必要であることが判明した。

### 3.4. 回転数 n の影響

改良効果に与える回転数 n の影響を試

験した結果が図-14である。ただし、n=25 rpm で混合した実験では固結体が造成されず、改良強度の測定は不能であった。

この図から明らかなように、回転数が上がるにしたがって平均強度  $\bar{q}_u$  は大きく、またバラツキ V は小さくなり、精度の高い混合がなされることが判明した。

### 3.5. 注入圧 P の影響

固化材注入圧 P の影響を検討した結果を図-15に示す。P=1 kg/cm<sup>2</sup>, 5 kg/cm<sup>2</sup> の混合では固結体が造成されなかった。

$\bar{q}_u$  は、注入圧の増大とともに大きくなり、P=20 kg/cm<sup>2</sup> 付近で最大となるが、P=25 kg/cm<sup>2</sup> になると逆に低下する。また、バラツキも同様に、P=15~20 kg/cm<sup>2</sup> で小さな値を示すが、P=25 kg/cm<sup>2</sup> で大きくなっている。

以上、固化材の注入圧も混合効果に大きな影響を与え

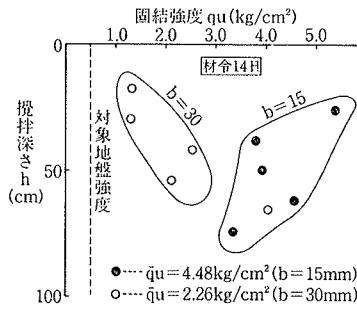


図-13 B型翼の羽根幅の効果

ることがわかり、地盤条件、攪拌径等によって適切な注入圧が存在することが判明した。

## 4. まとめ

以上の実験結果をまとめると、次の通りである。

- (1) 地中に固化材を均等に分布させる注入補助羽根は取付け角度 90°、傾斜角度 30° が最も効果的であった。
- (2) (その1)の基礎実験でB型攪拌翼(だ円羽根)とともに混合効果の大きかったA型攪拌翼(ひし形羽根)は、地盤の性状に大きく影響され、高粘性土地盤に対して不利である。
- (3) B型攪拌翼は、高粘性土地盤に対しても良好な混合効果が得られた。また、だ円羽根の形状では、羽根に傾斜をつけず、かつ羽根幅を小さくした方が、混合効果は良好である。
- (4) 回転数は高い程、改良強度が大きく、均一な混合が得られる。
- (5) 注入圧は、地盤条件、攪拌径等によって最適な値が存在する。

## 参考文献

- 1) 奥村, 寺師, 光本: 新しい軟弱地盤処理工法(その1, 2, 3), 土木技術, 28巻3号, (1973), pp. 36~46 同4号, pp. 45~55, 同5号, pp. 34~45
- 2) 斎藤, 西林, 松尾: 深層混合処理工法について(その1), 大林組技術研究所報, No. 21, (1980), pp. 95~99

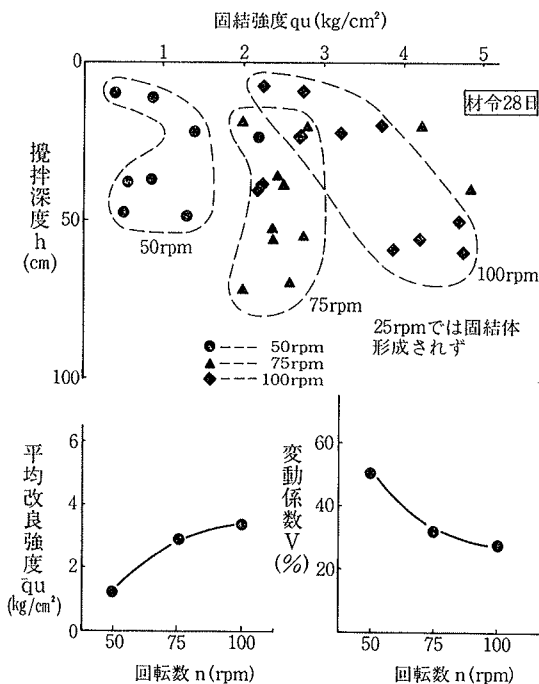


図-14 改良効果に与える回転数の影響

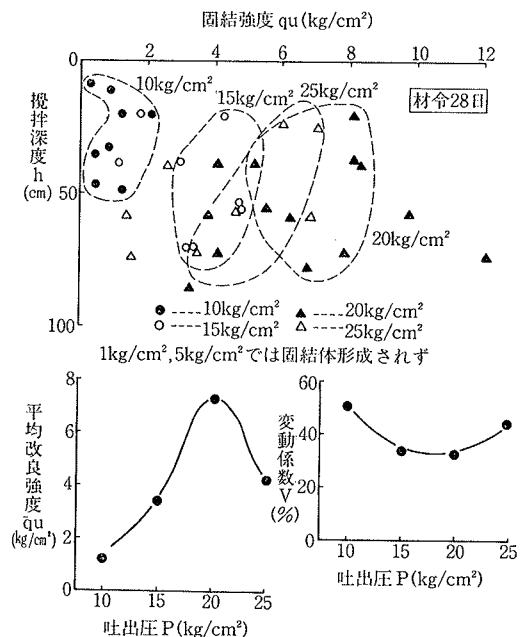


図-15 改良効果に与える注入圧の影響