

## 32. 新しい攪拌メカニズムの深層地盤改良装置の研究開発 —ZECOM工法—

(株)錢高組：鶴岡 胤英・岩崎 則夫

### 1. まえがき

狭い国土を有効に利用する必要性が高まっている今日、各種建造物が厳しい地質条件を克服して設けられている。軟弱地盤改良工法の一つであり研究・開発・実用化されてまだ十数年しか経っていない深層混合処理工法は地盤と固化材とを原位置で強制攪拌することによって一種の人為的にコントロールした人工地盤を造ることができる。従ってそのできばえは使用機械の特性・施工管理法に大きく左右される。ここに報告する新しい攪拌メカニズムの深層地盤改良装置はできばえの面で改良するのに困難な地盤でも優れた特徴を発揮できるものと確信している。

### 2. 研究・開発過程

#### 2.1 研究・開発のねらい

既存工法の技術内容を特許情報・学会協会誌論文・各社の技術資料等から調査分析した結果および実施工の現場での要望とを検討し、我々は次の点を改良すれば更に深層混合処理工法の技術が向上すると考えた。つまり①固化材と攪拌混合しにくい粘性土地盤での改良強度のバラツキを解消する。②一軸で改良面積をできるだけ大きくし、施工速度を向上させる。③空掘し改良施工する際、改良深度までの無駄な回転・削孔を減らし地盤の必要以上の乱れを防ぐ。④地中の埋設物に対して貫入・引上げ・攪拌の際、処理機の公転を止め対象物と接することなく地盤改良ができる。⑤小規模な土留工事の際、改良装置の特性を活かして柱列式土留壁を経済的に形成する。等である。言いかえるとこれ等の課題を実現化することが研究・開発のねらいであり目的であった。

#### 2.2 深層地盤改良装置（処理機）の構想検討

改良効果として問題視されることの多い粘性土地盤を対象として解決策を考え基本的に必要な装置機構のイメージを具体化できるよう技術整理を行った。（図-1）

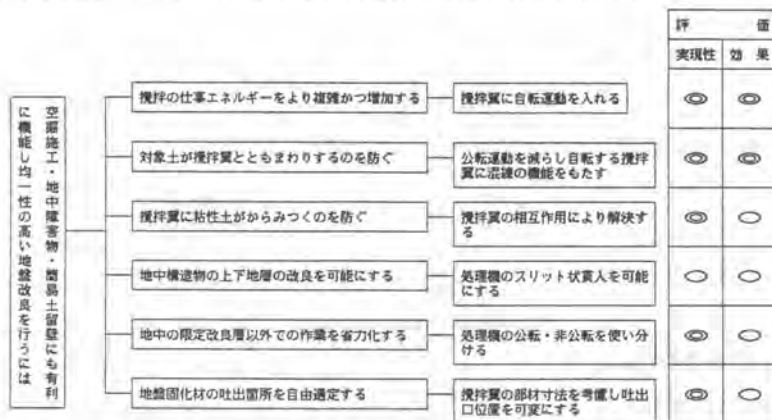


図-1 処理機構想展開図

図-1の主要因より、開発処理機の装備機能他を次のように設定した。

- ①攪拌翼の公転運動は低速度とし、事象に合わせて使用・不使用を選択する。
- ②攪拌翼は高速自転とし、鉛直ロッドを中心に公転する。
- ③攪拌翼は水平2段程度の配置とし自転により相互

に攪拌翼ピンが干渉し合い地盤のからみつきをとる。

④地盤の固化材の吐出口は上下2段の攪拌翼各々に2カ所ずつ設ける。

これ等の主要装置・機能を含めて考え合わせると基本形は図-2のようになった。

### 2.3 実験と解析

深層地盤改良装置の開発構想に基づいて昭和56年から昭和60年まで各種実験を繰返して行った。実験No.1

～4、7については東大阪特有の沖積粘性土を対象に深度10mまでを実験範囲とした。(表-1)

#### ① 実験No.1

(実験目的) 開発装置の内、処理機本体部(外径 $\phi 370$ mm)が地山の貫入抵抗に逆って貫入できるか、またこの孔を利用して投入したOBW機を使って翼の自転トルク・全体を回転させるに必要な公転トルクの値がどれ位か等を観察・測定し必要機械能力のあらましを決めることを目的とした。

(実験装置)

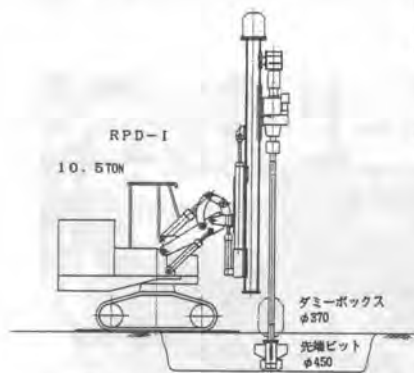


図-3 実験装置図

#### ② 実験No.2

(実験目的) 開発目標である改良径 $\phi 2,000$ mm用の改良機をまず攪拌翼一段式で試作し、貫入力、貫入速度、自転トルク、公転トルクの設計値の把握にあった。また若干実際に固化材スラリーを送り攪拌効率についてもチェックを行った。攪拌翼も3種試作し施工効率の比較を試みた。

(実験装置)

#### 写真-1

地上機と処理機全景

自転トルク:  $667 \text{ kgf}\cdot\text{m}$

公転トルク:  $1,000 \text{ kgf}\cdot\text{m}$

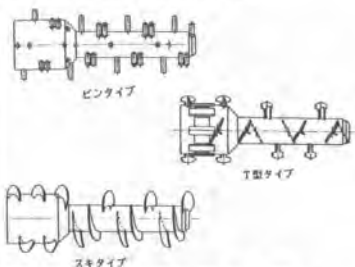


図-4 実験用攪拌翼形状図

表-1 実験場土性値表

深度 (m)	経緯 (m)	地盤構成 地層名	N値
1		表土	
2	1.7	砂質土	
3	1.7	砂質土	
4	1.7	砂質土	
5	1.1	砂質土	
6	2.1	砂質土	
7	2.5	砂質土	
8	2.1	砂質土	
9	2.7	砂質土	
10	2.1	砂質土	
11	2.1	砂質土	
12	2.1	砂質土	
13	2.1	砂質土	
14	2.5	砂質土	

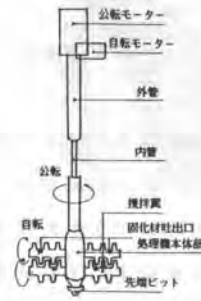


図-2 装置基本図

(実験結果)

- 先端ビットのみは無水で回転貫入が可能であった。
- 処理機本体部に相当したダミーボックスは $30 \text{ l/mim}$ の送水削孔をしないと貫入不能であった。
- OBW機のアーム長 $2,100$ mmで自転トルクは約 $100 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ 、公転トルクは約 $300 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ 程度と測定できた。

表-2 機械関係装備能力概略値

必要貫入力	10tf以下
公転トルク	1000kgf・m以下
自転トルク	300kgf・m以下

この実験より $\phi 2,000$ mm改良径クラスでは必要装備能力は表-2の値程度であらうことが分った。

(実験結果)

- (1) 圧入装置付き地上機であったため貫入速度は1.0 m/minが定常速度であった。
- (2) 圧入力は10 tf以下であった。
- (3) 貫入時の自転トルクは注水を前提として520~680 kgf・mであった。
- (4) 引上げ力は公転を伴っても0.8 tf程度であった。(公転トルク800~1,100 kgf・m)
- (5) 攪拌翼は自転翼に棒状ピンを設けたものが良さそうであった。
- (6) やはり一段式の攪拌翼では公転を主にする従来工法より改良効果が劣る課題が残った。

表-4 機械関係数値表

必要貫入力	10tf
必要引上げ力	自重+3tf
公転トルク	1100kgf・m
自転トルク	600kgf・m
公転回転数	1~6rpm
自転回転数	60~105rpm

表-3 攪拌翼関係表

必要段数	最低2段
攪拌翼形状	ピンタイプを基本とする
吐出口位置	上段外周2箇所、下段内周2箇所

以上のことよりまとめとして、実用機の機械能力・仕様は表-3、4のように考えるべきと最終的な判断をした。

③ 実験No.3

(実験目的) 前回の実験No.2までで機械の装備能力についてはほぼ解明できたが、地盤をいかに確実に均一攪拌混合して改良するかと言う問題を残した。そこで今回の実験では問題の内、攪拌翼の形状(段数、ピン長H、ピン間隔L)、自転回転数(Nj)、公転回転数(Nk)、固化材の吐出口位置、引上げ速度(Vu)、練り回数(M)等を変化させて攪拌混合に寄与する要因を追求するために一軸で改良径φ1,000mm×長さ1.5mの供試体を造成した。

(実験装置)

写真-2

実験機全景



写真-3 実験用処理機(攪拌翼ピンタイプ)

(実験結果)

- (1) 引上げ速度が遅いほど、自転回転数が多いほど、練り回数が多いほど攪拌はよく強度も上がった。(図-5、6、7)

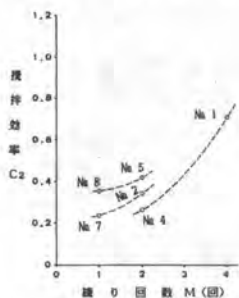


図-5 Cz~M関係図

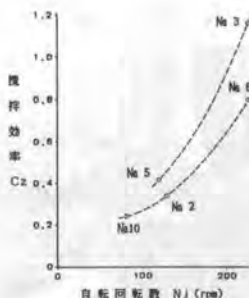


図-6 Cz~Nj関係図

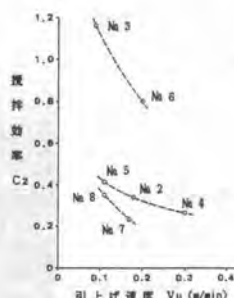
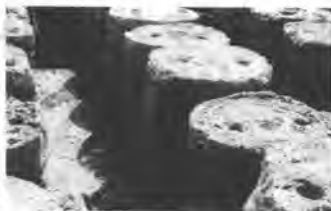


図-7 Cz~Vu関係図

- (2) 引上げ速度の平方根が攪拌効率に反比例する。
  - (3) 自転回転数の自乗が攪拌効率に正比例する。
  - (4) 練り回数の3乗が攪拌効率に正比例する。
- その他の傾向値を示すと



∅ 1,200 mm  
改良杭全景

- (5) 攪拌翼のピン長は長いほど、翼段数は多いほど攪拌もよく強度も上がる傾向にあり、一段式は

$$C_2 = 9.78 \times 10^{-9} \times \frac{(N_f^2 + 13000)(M^2 + 10) \cdot \sqrt{H} \cdot K^{1.5}}{\sqrt{V_u}} \quad (1)$$

N<sub>f</sub> : 自転回転数 (rpm)  
M : 練り回数 (回)  
H : ピン長 (mm)  
K : 攪拌翼段数 (段)  
V<sub>u</sub> : 引上げ速度 (m/min)

- (6) ピン長の平方根が攪拌効率に正比例傾向にある。
- (7) 翼段数の1.5乗が攪拌効率に正比例傾向にある。
- (8) 固化材の吐出口位置だけの傾向は不明であった。

- (9) セメント量は多いほど強度は上がったが、攪拌効率に表わせる程顕著でなかった。

以上の結果から攪拌効率C<sub>2</sub>を表わすと式(1)のようになった。また開発装置の攪拌機構については、攪拌翼段数>練り回数>自転回転数>引上げ速度>攪拌翼ピン長>セメント量>公転回転数の順に寄与すると判断できた。

- ④ 実験No.4 ; ∅ 2,000 mmの攪拌翼2段式実用機1号を製作し各種実用テストを行った。

- ⑤⑥ 実験No.5、6 ; ∅ 1,200 mm (2号機)、∅ 2,000 mm改良径の試験工事実施。

- ⑦ 実験No.7 ; 2現場の実績を踏えて能力アップの改良テスト、施工管理体制の確立テスト実施。

実験結果と実用機仕様決定についての関係を詳細に述べることは紙面の関係でできなかったが、攪拌翼を水平2段式とし自転・公転運動をとり入れた効果は絶大でその後の実施工でも実証できた。

### 3. 実用機と施工法

- ① 実用機 ; 完成機は写真-5のとおりである。
- ② 施工法 ; 図-8の施工順序・内容のとおり

写真-5  
実用機  
全景



表-5 実用機仕様

自転t-ク	45kw4P (3相220V×60Hz)	公転t-ク	11kw4P
自転数	90rpm	公転数	3.6rpm
自転t-秒	487kgf・m(η=100%)	公転t-秒	2960kgf・m

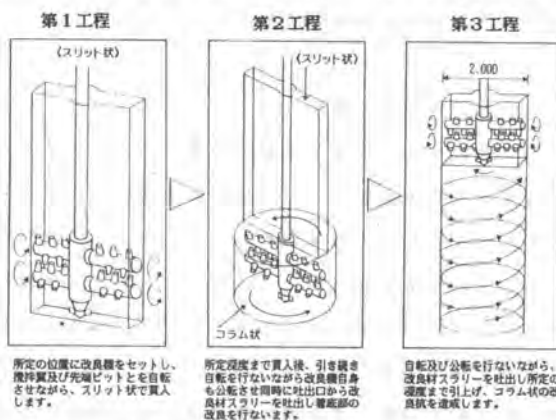


図-8 施工順序図

### 4. あとがき

開発実験後、今日まで実施例は京都市淀水路改修工事①②、長岡京市立第4中学校敷地造成工事、阪神高速道路公団原野第2工区下部工事、大阪府鴻池処理場水処理施設工事など延改良土量約24、000 m<sup>3</sup>である。最後に研究開発にあたって、種々御指導下さいました京都大学、共同開発者の㈱大阪防水建設社の方々に深く感謝いたしております。