

深層混合処理工法について（その6）

——改良土による土留の施工例——

西林清茂 松尾龍之 細谷芳己
杉江茂彦 小日向 隆

Improvement of Deep Soft Ground by Cement Mixing (Part 6)

——Execution of Earth Retaining Work with Improved Soil——

Kiyoshige Nishibayashi Tatsuyuki Matsuo Yoshimi Hosoya
Shigehiko Sugie Takashi Kohinata

Abstract

The Oval-DM Method is for improvement of deep soft ground by mixing using cement milk. An underground retaining structure has recently been built carrying out rapid and economical excavating by using this method, excavating soft clay to a depth of -14.5 m and replacing with good quality soil.

This report gives an outline of this construction, improvement effects produced by the Oval-DM Method, application efficiency, displacement of ground during construction of piles and excavating, etc., as it is seldom that the deep mixing method is applied in this manner.

概 要

Oval-DM 工法は、セメントミルクを用いる深層混合処理工法である。今回、軟弱地盤を最大-14.5 m まで掘削して良質土に置換する工事において、当工法の改良土による土留を行ない、短期に経済的な掘削を実施した。

深層混合工法をこのように適用する例は珍しいので、この工事の概要、Oval-DM工法の改良効果、施工能率、パイル造成時、掘削時の地盤変位、等について述べる。

1. まえがき

当社の深層攪拌混合 Oval-DM 工法は、混合の均一性向上を主に室内基礎研究、現場における応用研究を着実に実施しながら開発を進めてきた。その開発経緯については大林組技術研究所報 No. 21, 22, 23, 25^{1)~4)}に、また最初の工事実施例は同所報 No. 26⁵⁾に詳述している。

今回、深層混合処理工法の一つの適用例である掘削のための土留を Oval-DM 工法の改良土で実施した。以下、その工事概要、施工結果を中心に述べる。

2. 工事内容

近畿大学付属和歌山高等学校造成敷地内の調節池（貯水量 12,000 t）築造工事では、工事区域が既設溜池を 2 分割した片側であるため、池底軟弱土が深い。そのため締切り部分に高さ約 10 m の提体を盛土した場合、将来沈下、支持力不足が懸念され、掘削による良質土置換工法がとられた（図-1）。

しかし、軟弱土の掘削が最大 14.5 m に及ぶため、そのままでは掘削できず、特に締切り鋼矢板部分の土留対策が必要となった。

土留対策として、当初、図-2 のように、

(1) 締切り鋼矢板を利用する斜め切梁り方式

(2) 二重矢板方式

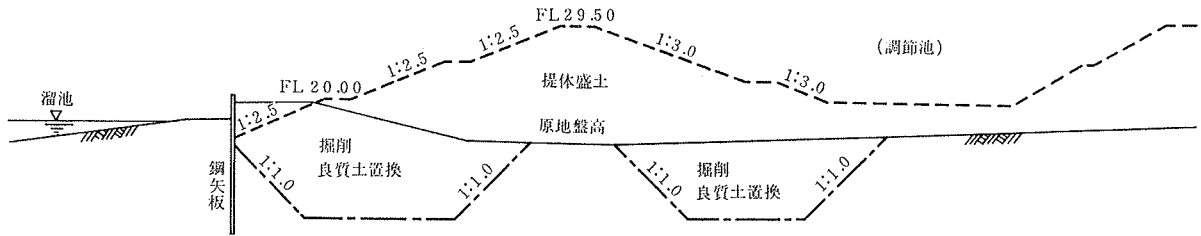
(3) 深層混合処理工法の改良土による土留方式

の三つの方式が検討され各々の施工の確実性、工期、工費等を総合的に比較検討した結果、(3)の方法が採用された。

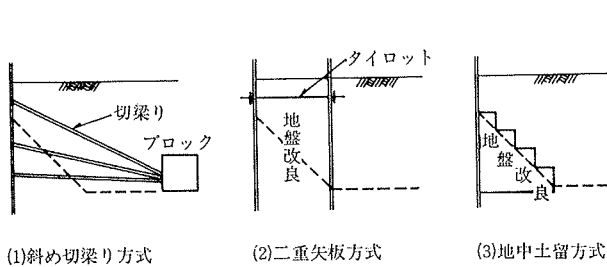
3. 改良対象地盤

工事区域の地盤は、風化頁岩の微粒子が堆積した標準貫入試験値 $N=2\sim5$ 程度の極めて粘性に富んだ池底堆積粘性土が主体である。

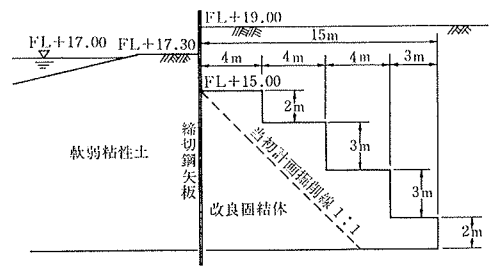
図-3 に対象地盤の N 値と混合パイル打止め支持層 ($N>10$ の風化頁岩) の推定線を示している。当区域の地形が谷間であるため、軟弱土層の深さは、中央部で、



図一 調節池全体工事計画



図二 各種の土留工法



図四 改良固結体の基本断面

GL -14.5 m と深く、両端に行くにしたがって浅くなっている。

また、改良区域の左半分には、 $N > 10$ の礫混り粘土から成る昔の崩壊土が堆積し、谷の中央部分では、この崩壊土が池底軟弱土の間に挟在しており、中間硬質土層を形成している。

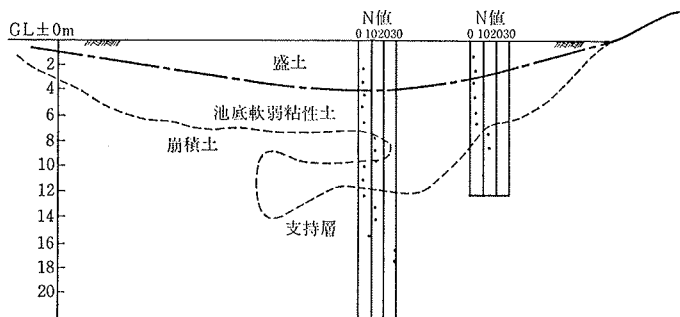
4. 改良地盤の設計法

深層混合処理工法の改良土による土留の設計は、まず掘削時の安定を保つように図一四の改良断面とした。掘削法面安定のためには、計画設計時点において次の2項目の検討を行なった。

- (1) 土圧に対する安定
- (2) 掘削斜面に対する安定

なお、15 m の改良幅については、固結構造体のせん断強度の他に、曲げ強度も考慮して決定している。

また、各種計算に用いた土質定数は、全層の単位体積重量を $\gamma_t = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、粘着力を上部粘性土 $C = 2.0 \text{ t/m}^2$ 、下部粘性土 $C = 3.5 \text{ t/m}^2$ 、支持層 $C = 3.0 \text{ t/m}^2$ 、改良地盤



図三 対象地盤の土質と強度

$C = 6.5 \text{ t/m}^2$ 、内部摩擦角を盛土層 $\phi = 30^\circ$ 、支持層 $\phi = 30^\circ$ と推定した。

4.1. 土圧に対する安定検討

土圧に対する安定検討は、固結構造体全体を擁壁あるいは地中ダム構造体と同じ考え方に立って行なった。したがって、固結構造体にかかる土圧、固結構造体の重力、重心位置を算定し、

- (a) 転倒に対する安定
- (b) 滑動に対する安定
- (c) 支持力に対する安定

の3項目について検討を加えた。

計算では、いずれの項目についても安全率 $F_s = 1.5$ 以上を確保させた。

4.2. 掘削斜面に対する安定

次に、掘削斜面に対するすべり安定検討は、混合パイル構造体を地盤改良と考え、締切り鋼矢板背面を幅 15 m に渡って改良した場合の掘削時、盛土時の法面すべりを計算した。

安定計算は、電算機プログラム SLOPE4GA、(IBM 3277) によった。

計算結果では掘削時の安全率が $F_s = 1.5$ 、盛土時の安全率が $F_s = 1.7$ である。計画断面の固結構造体は、すべりに対しても安全であった。

このように安全率に $F_s = 1.5$ 以上と若干安全にとった理由は、深層混合工法の信頼性によるものであるが、後述するパイル固結体の強度は、当初予想より大き目であるので、構造上の一体化に問題があったとしても十分良好な結果となった。

5. 地盤改良工事概要

Oval-DM 工法による地盤改良範囲は、図-5 に示す通りであり、中央部分では $N > 10$ の崩積土層を貫通して下の軟弱土層まで改良した。

また、中央部分の代表改良断面は、図-6 であるが、固結構造体と支持地盤の密接性を高め、せん断抵抗を十分期待することを目的として、造成パイルを1列おきに“くし状”に50 cm づつ根止まりに差をつけた。

- (1) 固結パイル径: $\phi 1,000$ mm
- (2) 設計改良強度: $q_u = 1.8$ kg/cm³
- (3) 造成本数: 333本
- (4) 改良全長: 1,504 m
- (5) 改良深度: GL -4.00 m ~ GL -14.50 m
- (6) 空掘長: 4, 6, 9, 12 m
- (7) 改良率: 65%
- (8) 工期: 昭和57年12月13日 ~ 58年1月7日

6. Oval-DM 工法施工概要

6.1. 施工機械

Oval-DM 工法に使用する主な施工機械は、表-1 である。当工事では、工期の都合上、2セットの機械を投入した。

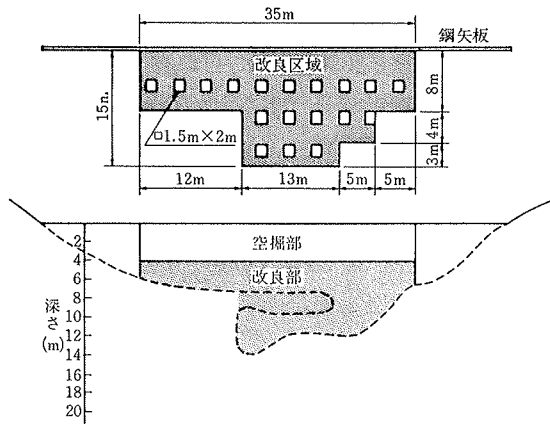


図-5 地盤改良範囲

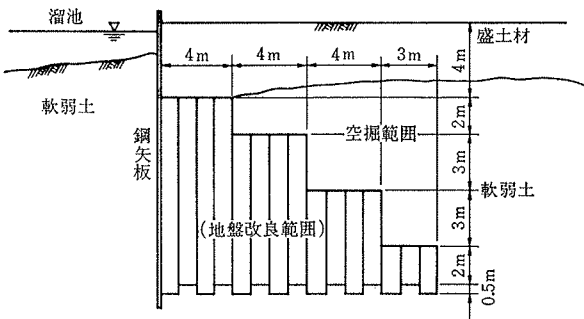


図-6 中央部の改良断面

写真-1 は、当工事に使用した攪拌装置で楕円形攪拌翼2段を組み合わせたOval-ダブル型攪拌装置である。

機 械 名	主 要 諸 元
ベースマシン	全油圧 三点支持くい打機
回転掘進機 (オーカーモータ)	電動45km 27.41rpm
スラリプラント	0.5m ² ×2連槽 ミキサ
グラウトポンプ	160ℓ/min×20kg/cm ²
セメントサイロ	20 t 用
攪拌軸	φ152.4mm×15m
攪拌翼	Oval型2段
発電機	175KVA

6.2. 固化材の配合

使用固化材は、普通ポルトランドセメントに水を加えたセメントミルクで、配合は、水/セメント=100% である。

6.3. 施工方法

パイルの造成方法には、(1)貫入時注入方法、(2)引抜き時注入方法、(3)往復注入方法の3種類の施工法があるが、当現場では、硬質中間層の掘削を少しでも容易にするのと、パイル先端の根固めを十分行なうために、(1)の貫入時注入方式を採用した。

表-2 に標準施工仕様を示す。

表-1 主要施工機械

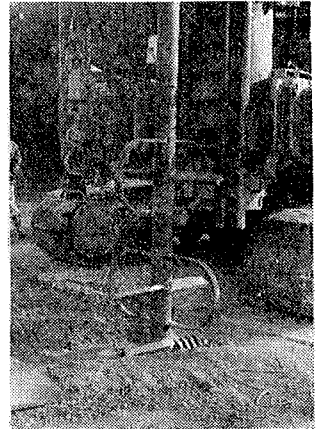


写真-1 Oval型攪拌装置

項 目	昇 降 速 度 (m/min)		回 転 数	吐 出 量
	貫 入	引 抜 き		
(1)機 械 設 置	—	—	—	—
(2)空 掘 部 貫 入	0.5~1.0	—	27	—
(3)改 良 部 貫 入	1.0	—	27	157
(4)先 端 処 理	0.25	—	27	157
(5)改 良 部 引 抜 き	—	1.0	41	—
(6)空 掘 部 引 抜 き	—	1.0	27	—
(7)造 成 完 了	—	—	—	—

表-2 計画標準施工仕様

7. 施工結果

7.1. 改良強度

改良強度の調査は、ダブルコアチューブ方式のボーリングを行なって固結試料を採取し、材令28日の一軸圧縮強度試験を実施した。調査パイルは、No. 120 である。

図-7 に深さ方向の改良強度の値を示しているが、シルト・粘土からなる池底堆積土では $q_u = 8 \sim 15$ kg/cm²、また崩積土の礫混り粘土では $q_u = 15 \sim 20$ kg/cm² の範囲に分布している。

次に、これらの改良強度の分布状態を調べるためにヒストグラムにまとめたのが図-8 である。改良強度は、 $q_u = 5 \sim 25$ kg/cm² の間に分布しているが、 $q_u = 10 \sim 15$

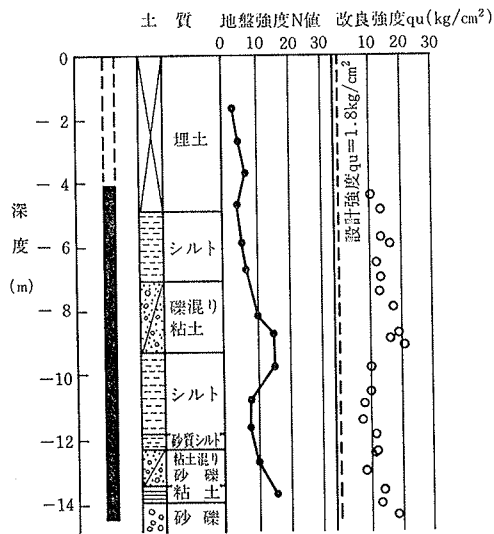


図-7 固結パイルの改良強度

kg/cm² にモード値があり、また、強度のバラツキ程度を示す変動係数も V=20%程度と小さく、深層混合固結パイルとしては、高品質の改良体が得られたとみなされる。

さらに、以上のサンプリング試料による改良強度調査とは別に、改良区域内で造成したパイルを掘り出し、実物大の強度試験およびパイル断面のセメント含有量を調査するために固結土のカルシウム分析を実施した。写真-2 に直径 104 cm×高さ 205 cm の実物大パ

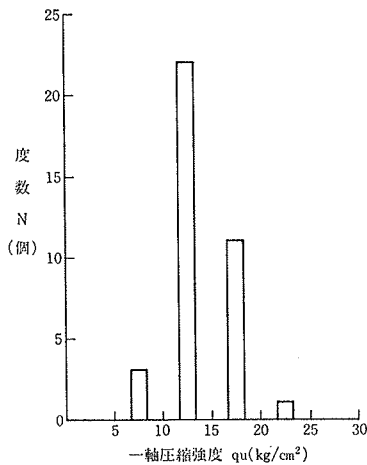


図-8 強度のヒストグラム

イルの強度試験状況、図-9 に試験結果を示す。改良強度の値は GL 0~2 m の盛土層のもので、GL -4 m 以深から調査したサンプリング試料の改良強度との値とは直接比較できないが、 $q_u=23 \text{ kg/cm}^2$ が得られ、また均一性に優れた固結体であることが観察された。

図-11は、このパイルのセメント含有量の平面分布を調べるために、パイル断面のカルシウム量を測定した結果である。カルシウム量は、40~50 g/kg の範囲に分布しているものの、中心部あるいは

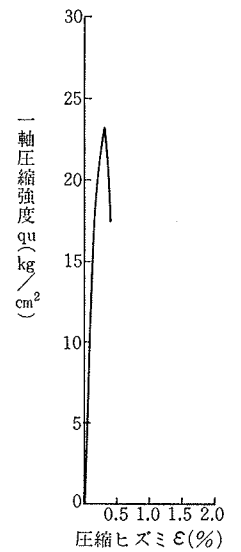


図-9 実物大パイロの強度試験結果

7.2. 施工能率

当工事の施工能力は、最初 10本/日・台 と計画したが、1 作業のサイクルタイムを計測した結果、計画よりもかなり長くなった。この主な原因は、攪拌軸貫入速度の低下で、特に中間硬質層の $N>10$ の礫混り粘土層では、 $v_d=0.2\sim0.3 \text{ m/min}$ まで低下したことである。しかし、パイル造成位置、造成順序等を考慮した作業能率の向上、作業時間の延長などの努力をした結果、1号機では平均 9.6本/日、2号機では平均 9.0本/日の施工能力が得られ、ほぼ計画通りの能率を上げることができた。

7.3. 施工中の地盤変位

パイル造成中および掘削中の地盤変位の測定は、図-11に示すように改良区域の中央部で、鋼矢板に近い固結パイル No. 17, 18, 52, 53 間の軟弱土中にパイプを挿入し、その傾斜を測定した。

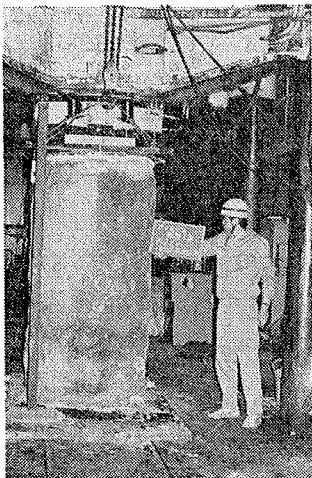


写真-2 実物大強度試験

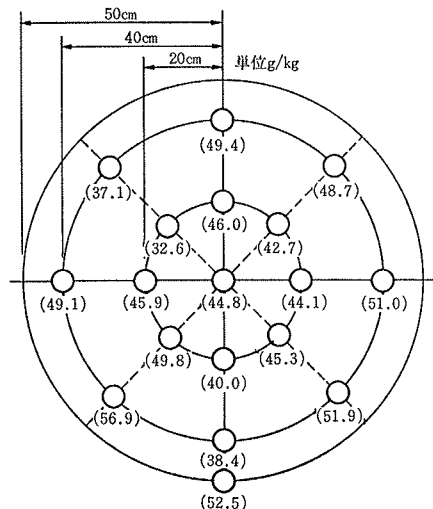


図-10 カルシウム含有量分布

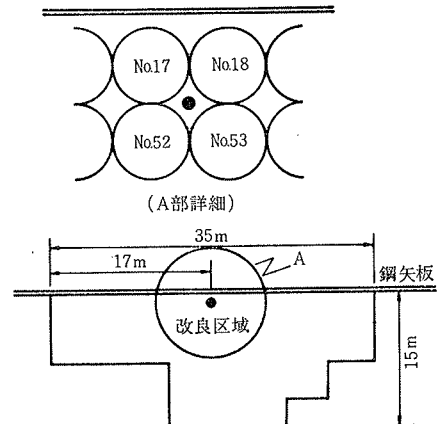


図-11 傾斜計測定位置

その結果は、図-12である。点線はパイル造成中の最大変位を示したもので、GL -1.5 m 付近の変位が最も大きく約 50 cm 池側に移動している。

次に、実線は掘削時の最大戻り量を示したものであるが、GL -4.5 m 付近で約 4 cm 陸側に戻っており、それ以上の深さについては変位量が少ない。

以上の測定結果から、今回の工事の主目的である地盤掘削時の土留としては、固結構造体の変位も少なく良好であったが、パイル造成時の変位が予想以上に大きいことが判った。したがって、今後既設構造物に近接してパイルを造成する場合は、十分注意して施工する必要がある。

7.4. 掘削状況概要

写真-3は、GL -4.0 m まで掘り下げた際の掘削状況写真である。露出したパイル頭部は、直径 100 cm か若干それよりも大き目に造成されていた。また、写真-4は、GL -9.0 m 近付の掘削状況で、掘削に対しては、特に何の支障もなく順調に進み、無事良質土に置換することができた。写真-5は、工事区域工事前後の写真である。

8. あとがき

Oval-DM 工法は、最近、実施例も増えつつあるが、その事例は各々異なった用途であり、設計から施工仕様ま

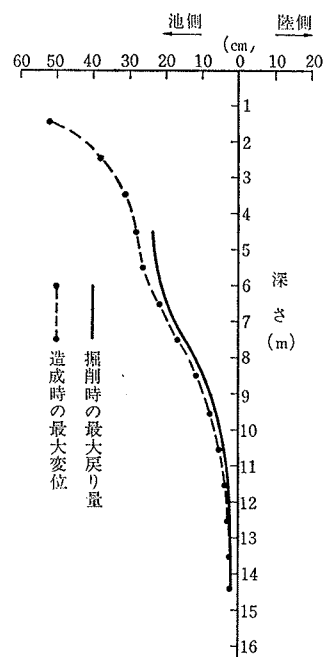


図-12 施工中の地盤変位

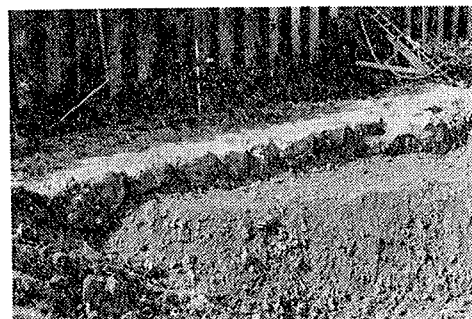


写真-3 GL-4 m 付近の掘削で露出したパイル頭部

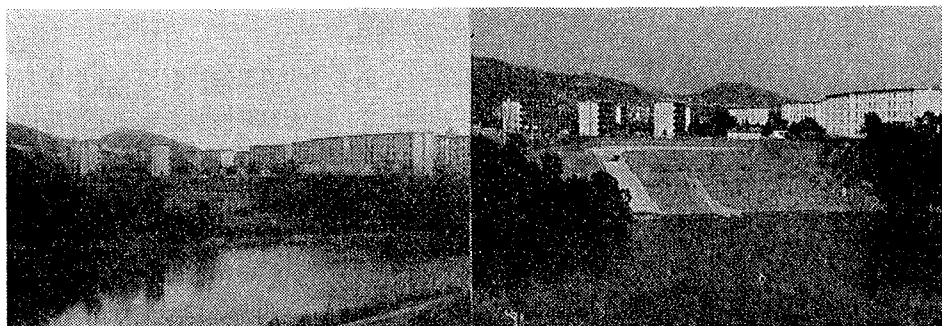


写真-4 GL-9 m 付近の掘削状況

でかなり相違する。また施工についても事例をかさねるにつれて、改良、改善しており、当現場で得られた経験からもその後、いくつかの改良が行なわれた。

参考文献

- 1) 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
- 2) 斎藤, 西林, 松尾: 深層混合処理工法について(その2), 大林組技術研究所報, No. 22, (1981), pp. 110~114
- 3) 斎藤, 西林, 松尾, 細谷: 深層混合処理工法について(その3), 大林組技術研究所報, No. 23, (1981), pp. 87~91
- 4) 西林, 松尾, 細谷, 須藤: 深層混合処理工法について(その4), 大林組技術研究所報, No. 25, (1982), pp. 85~89
- 5) 西林, 松尾, 細谷, 須藤: 深層混合処理工法について(その5), 大林組技術研究所報, No. 26, (1983), pp. 97~101



施工前

施工後

写真-5 施工前後の工事区域風景