

# 深層混合処理工法について (その8)

——特殊条件下での施工例——

西林 清 茂      松尾 龍 之  
細谷 芳 己      小日向 隆

## Improvement of Deep Soft Ground by Cement Mixing (Part 8)

——Execution under Special Conditions——

Kiyoshige Nishibayashi      Tatsuyuki Matsuo  
Yoshimi Hosoya              Takashi Kohinata

### Abstract

Improvement of soft ground using the Oval-DM Method was done on the occasion of filling and banking under monorail girders to secure bearing capacity on soft clay under the bottom of the sea.

Construction by the normal mixing machine was difficult under a section of monorail track and station platform since the work space was confined with a height restriction of about 8 m from the construction level. Therefore, the authors developed a mixing machine of crawler-mounted boring machine-type with which uniform and high-quality stabilized soil the same as with the Oval-DM Method was obtained. It was also confirmed by measurements in the field that requirements such as that the stabilization method was not to contaminate a nearby river and was not to affect existing structures such as the foundation footing of the monorail platform had been met.

### 概 要

防潮護岸築造工事のための埋立造成盛土を行なうに当り、海底下粘性土地盤の支持力確保のために、Oval-DM工法による地盤改良工法を適用した。

今回の施工場所の直上にはモノレール軌道およびホームがあり作業スペースが狭く、高さ制限(施工基盤から約8m)があるため、従来の混合処理機では施工が困難であった。そこで新規にボーリングマシン搭載クローラタイプの混合処理機を開発して施工を行ない、従来のOval-DM工法と同様に、均一な品質の高い混合固結体を得ることができた。また、施工中河川水を汚濁させないこと、ホーム基礎フーチングなどの既設構造物に影響を与えないことなどの制約に対しても、全く支障のないことが施工中の調査によっても確かめられた。

#### 1. まえがき

Oval-DM 工法は、攪拌混合性の優れた深層混合処理工法であり、均一性の高い極めて良質の混合固結体を造成することができる。その優れた攪拌混合性は、これまで多くの工事において高く評価されている<sup>1),2)</sup>。

施工機械は、これまで一般に大型のクローラタイプの三点支持式くい打機をベースマシンとしたものが使われているが、今回の施工場所が河川内でしかも高さ制限を受けるため、新規にボーリングマシンタイプの特殊混合

処理機を開発して施工を行なった。以下、その工事概要、施工結果について述べる。

#### 2. 工事概要

工事は東京港高潮対策のための勝島東防潮護岸計画において、東京モノレール大井競馬場前駅下の海底ヘドロ上に、2.5 m 厚の土砂を埋立てて護岸を築造するものである。しかし、このヘドロ層が極めて軟弱なため、埋立て盛土時の支持力不足、およびそれに起因する既設構造物(モノレール基礎)の変形が懸念された。そこで、対

策として地盤改良が計画された。

地盤改良に要求される基本的な選定条件は以下のとおりである。

(1) 改良対象土層は、埋立て盛土荷重による圧密沈下、および側方流動の恐れのある軟弱層（平均厚さ 3.0 m）のすべてとする。

(2) 除去置換あるいは安定処理後の改良地盤は、良質土を埋戻した場合と同程度以上になるものとし、安定処理の場合は一軸圧縮強度  $q_u = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$  以上とする。

(3) 地盤改良施工時あるいは施工後にモノレール基礎などの既設構造物に影響を与えない。

これに対して種々の工法を検討した結果、上記の条件を満たし、施工が確実、騒音、振動、水質汚濁が少なく経済的であることから、Oval-DM 工法を採用することになった。

### 3. 対象地盤

#### 3.1. 工事区域の地盤構成

当地区は、両側を埋立てた運河となっており、水底下は自然の海底地盤である。図-1 に示すように、洪積土は浅い位置に分布し、その上に砂層、粘土層から成る沖

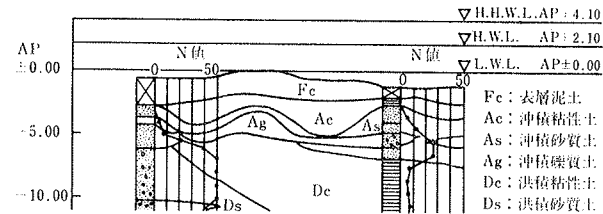


図-1 工事区域の地盤構成（代表断面の1例）

標高 m	土質 記号	液性限界 自然含水比 w <sub>l</sub> % w <sub>p</sub> % w <sub>c</sub> %			強熱減量 Lig %	PH		
		50	100	150		7.6	8.0	8.4
GL	表層粘土 細砂	○	●	×	○			
-1.0	シルト質粘土		×	×				
2.0	細砂	○	●	×	○			
3.0	有機質土	○	●	×	○	○		
4.0				×				

図-2 土質性状

積土層が互層の状態が存在し、最上層に表層泥土と称する有機物を含むヘドロ状の超軟弱土が分布する。改良の対象となる強度の小さい軟弱層は表層泥土および沖積粘性土であり、その厚さは場所によって大きく変化しているが、平均して 3 m 前後である<sup>3)</sup>。

#### 3.2. 土質性状

図-2 は、対象工事地区で実施した土質試験結果の 1 例である。改良対象土層は、次のように三つに分けられる。

- (1) 表層泥土：海底面から GL -0.3 m 付近までの極めて軟弱なヘドロ状の土。
- (2) シルト質粘土：暗灰、緑灰、暗緑灰色のシルト質粘土で自然含水比が  $w = 100\%$  以上と液性限界を超えており、強度も一軸圧縮試験が不可能な程小さい。
- (3) 有機質土：黒褐、黒灰色の腐植土で強度が小さく、強熱減量  $Lig = 20\%$  程度のもも見られる。上層のシルト質粘土層に狭在する。

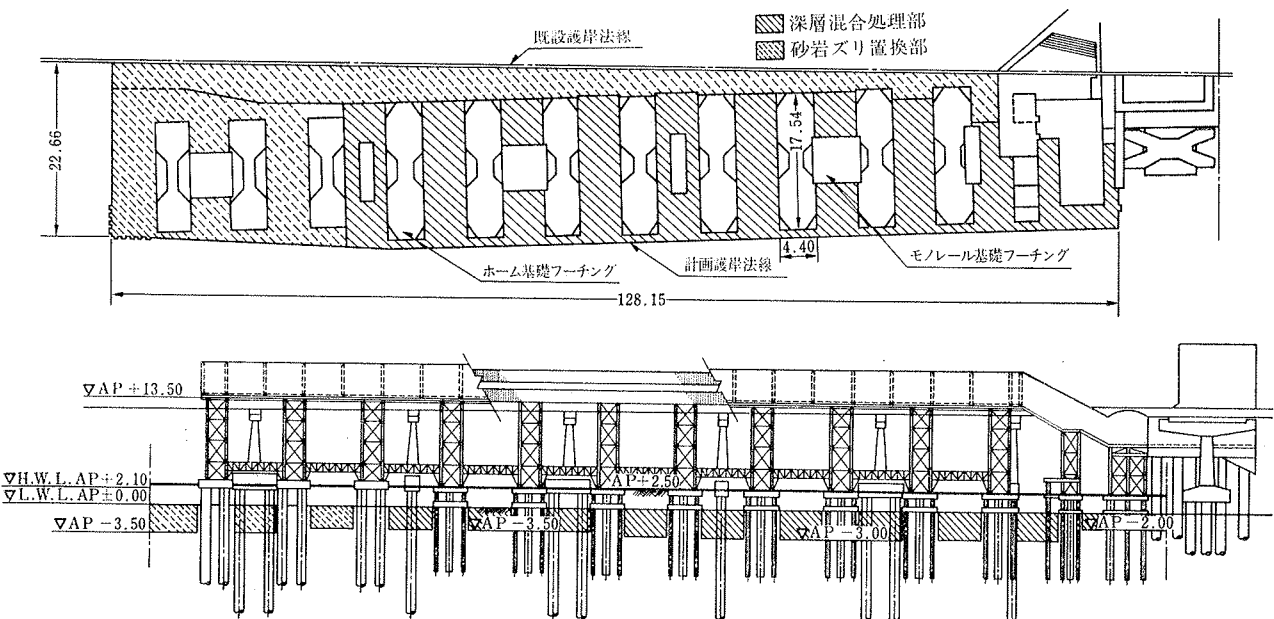


図-3 地盤改良範囲および深度

#### 4. Oval-DM工法概要

##### 4.1. 設計条件

埋立盛土時の海底軟弱地盤の支持力確保、地盤破壊による側方への流動変形防止を考慮して、設計強度は一軸圧縮強度  $q_u = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、改良深度は軟弱層の厚さに応じて AP-2.0~3.5 m となっている。地盤改良範囲および深度は、図-3に示すとおりである。

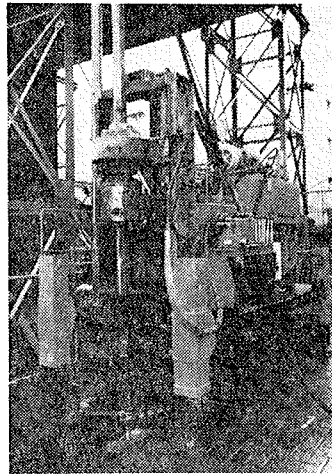


写真-1 混合処理機

##### 4.2. 施工機械

水深約 2 m の水上施工という条件に加えて、施工場所が狭くしかも高さ制限があることから、一般のベースマシンとして使用されているクローラタイプの三点支持式くい打機の使用は不可能なために、新たに開発したボーリングマシン搭載クローラタイプの混合処理機を使用した。

この混合処理機は、機械攪拌方式の利点を備えた上に、①上空制限を受けない、②クローラタイプなので移動性が良い、③小型軽量である、などの特徴を有する。

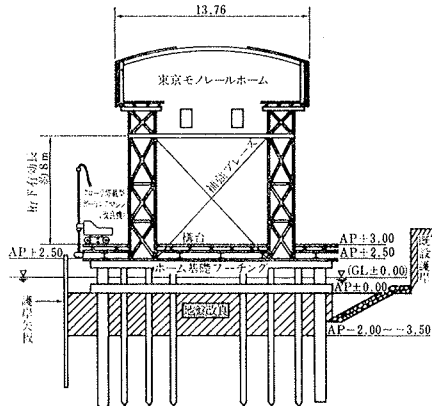


図-4 地盤改良施工方法

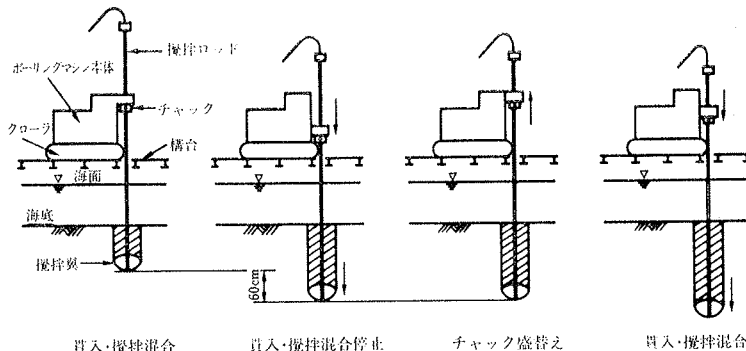


図-5 貫入・攪拌混合手順

写真-1 に混合処理機および攪拌翼を示す。攪拌翼径は 800 mm で、混合処理機の構造上の都合で、特殊Oval型攪拌翼を使用している。

##### 4.3. 施工方法

護岸矢板で締切を行なった区域内に新規打設受ぐいを利用して（一部ホーム基礎フーチング利用）構台を構築し、その上に混合処理機を乗せて施工を行なった（図-4）。構台の施工基盤からモノレール軌道最低部までの高さは約 8 m である。

施工の手順を以下に示す。

- (1) 混合処理機を所定の位置に移動する。
- (2) 海底面まで攪拌翼を降下させる。
- (3) セメントスラリーを吐出させながら攪拌翼を所定深度まで回転、貫入させる。
- (4) 所定深度に達したら吐出を停止し、攪拌翼を回転、上昇させながら、貫入時に吐出させたセメントスラリーと対象土を攪拌混合する。

なお、混合処理機がボーリングマシンタイプであるため、攪拌翼の貫入・引抜きの際には、図-5に示すように、約 60cm ごとにチャックの盛替えを行なった。

##### 4.4. 施工仕様

固化材には、普通ポルトランドセメントを用い、その添加量は対象土 1 m<sup>3</sup> 当り 150 kg である。固化材の供給は、水セメント比 0.8 のスラリー状で行なった。なお、添加量は図-6に示すように、現地採取土による室内配合試験結果を基

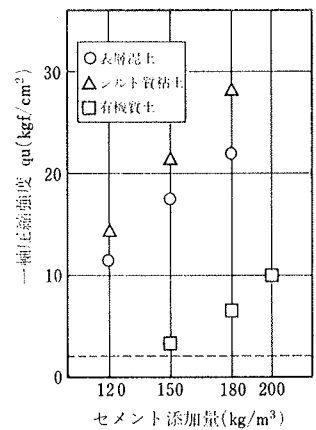


図-6 室内配合試験結果

攪拌翼回転数	貫入時	32r.p.m
	引抜時	32r.p.m
昇降速度	貫入時	0.6m/min
	引抜時	0.6m/min
スラリー供給		貫入時

表-1 攪拌混合条件

に、強度発現の低い有機質土の強度が設計条件を満足するように決定した。

攪拌混合施工条件は、表-1に示すとおりであるが、これは現場における試験施工を基に決定した。

#### 5. 施工結果

##### 5.1. 施工能率

施工開始当初は、狭い施工場所での作業員の不慣れや新規に開発した

施工本数	ℓ = 2.0m	240本	機械の不備もあって、十分満足する能率を上げることができなかったが、次のような改良を加えることによって、当初の施工能率を上げることができた。
	2.5m	66本	
	3.0m	255本	
	3.5m	537本	
総本数	1,098本		(1) クローラ前後進速度の変更
改良土量	1652.7m <sup>3</sup>		
延長	3289.5m		

表-2 施工数量の変更

- (2) マシン旋回位置の変更
- (3) ロッドチャック盛替方法の能率化
- (4) 覆工板切り回し方法

また、3台の施工機械を搬入することによって、計画工期内に完了することができた。

なお、施工数量は表-2に示すとおりである。

### 5.2. 改良効果

改良効果の調査は、現場より採取した固結土試料の一軸圧縮強度試験、現場におけるオランダ式二重管コーン貫入試験、標準貫入試験によって行なった。固結土試料の採取は、塩ビパイプによる方法とダブルコアチューブボーリング法による方法の2種類とした。

5.2.1. 一軸圧縮強度 塩ビパイプによって採取した固結土の材令28日における一軸圧縮強度を図-7に示す。室内配合試験でも見られるように、土性によってセメントの反応性が大きく異なっており、同一配合の場合シルト質粘土が  $q_u = 20 \text{ kgf/cm}^2$  に対し、有機質土では  $q_u = 5 \sim 8 \text{ kgf/cm}^2$  と小さい。しかしなが

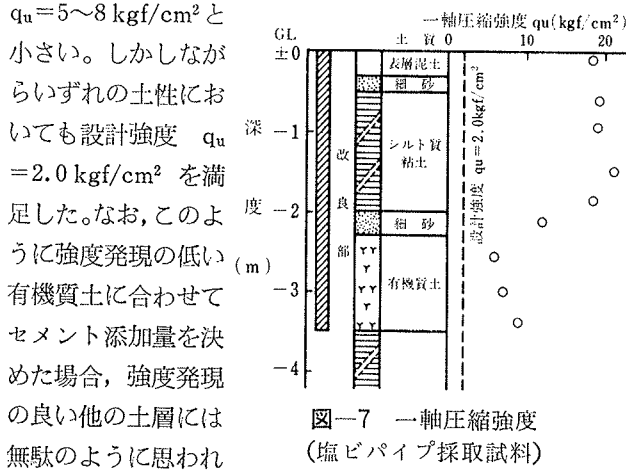


図-7 一軸圧縮強度 (塩ビパイプ採取試料)



写真-2 ボーリング採取試料

る。しかし現実には、各土層の深度分布が複雑であり、事前の土質調査で正確に把握できないため、土性に合わせた注入量で施工できない。このため、このように最も強度の小さい層に配合を適合させている。

また、同様にダブルコアチューブボーリングで採取した固結土試料の強度も、設計強度を十分満足するものであった。採取試料の状態を写真-2に示す。

### 5.2.2. オランダ式二重管コーン貫入試験

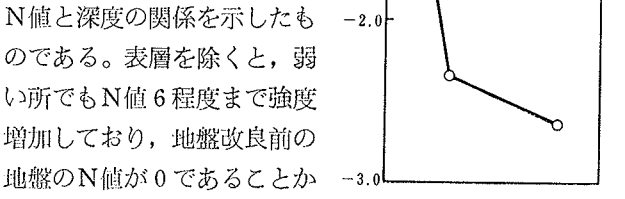
地盤改良施工後、3~7日経過した時点で3ヶ所のパイルにおいてオランダ式二重管コーンによる貫入試験を行なった。いずれの場所においても、表層の数10cmは貫入したものの、それ以深では地盤強度が大きすぎて貫入不能とな

った。この時点での強度は、一軸圧縮強度換算で  $q_u = 2.6 \sim 2.7 \text{ kgf/cm}^2$  に相当する。

( $q_u = q_c / 8^4$ ) を用いた場合)

### 5.2.3. 標準貫入試験

標準貫入試験は、地盤改良施工11日後に行なった。図-8は、N値と深度の関係を示したものである。表層を除くと、弱い所でもN値6程度まで強度増加しており、地盤改良前の地盤のN値が0であることから、地盤改良の効果が明確に



現れていることがわかる。

なお、参考のためにカルシウム分析を行なった。ボーリングによる採取試料によって一軸圧縮試験を行なった供試体から6試料を選んで実施した。この値からセメント含有量を求めたものが表-3である。

No.	採取深度 (m)	一軸圧縮強度 $q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	カルシウム量 CaO (%)	セメント含有量 (kg/m <sup>3</sup> )
1	-3.2 ~ -3.35	5.8	11.8	138
	-4.1 ~ -4.25	8.7	10.5	157
2	-1.3 ~ -1.45	8.0	13.6	149
	-0.7 ~ -0.8	28.5	14.7	174
3	-1.6 ~ -1.8	21.3	15.2	187
	-2.2 ~ -2.35	18.9	13.3	167

表-3 カルシウム分析結果

カルシウム分析結果より算定したセメント含有量は、パイル位置、深度によって差が見られるが、概ね設計セメント添加量の  $150 \text{ kg/m}^3$  前後に分布していることが判明した。ほぼ設計値通りのセメント量が供給され、均一に攪拌混合されていることがうかがえる。

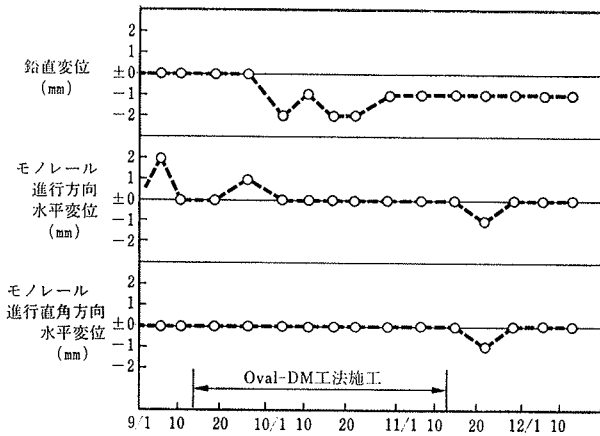


図-9 ホーム橋脚基礎変位

5.3. 現場周辺に及ぼす影響調査

5.3.1. 既設構造物への影響 Oval-DM 工法施工そのものが既設構造物へ及ぼす影響を調べるために、モノレール駅ホームの橋脚基礎の変位を施工前後にわたって調査した。施工区域中央の橋脚基礎の鉛直変位、水平変位を図-9に示す。鉛直方向、水平方向のいずれも施工開始の9月14日から終了の11月13日までの変位は小さく、大きい所でも2mm程度である。他の橋脚基礎の変位も同様であり、Oval-DM 工法施工が橋脚に及ぼす影響は小さく、問題はなかった。

5.3.2. 海水に及ぼす影響 Oval-DM 工法が海水に及ぼす影響を調べるために、施工開始前、施工中、施工終了後に、施工区域に隣接した3地点（既設護岸から15m程度運河中央寄の上、中、下流）の上層、下層から海水を採取して水質調査を実施した。濁度、COD、溶存酸素、懸濁物質SSの変化を図-10に示す。

懸濁物質SSは、施工中、施工後に少し増加しているものも見られるが、他は施工中、施工後とむしろ良い傾

向に向かっている。（溶存酸素は値が大きい程、水質良好）これら水の汚染の度合を示す指標は、水温、潮流によっても変わるものであり、Oval-DM 工法による水質の汚濁はなかったものと考えられる。

6. あとがき

今回施工した Oval-DM 工法は、上空を制限された作業スペースの狭い場所で行なったものであったが、新たに開発したボーリングマシン搭載クローラタイプの混合処理機によって問題なく施工することができた。また、既設構造物に与える影響もなく、さらに河川内の施工であったが、水質の汚濁も見られず、Oval-DM 工法が無公害な地盤改良工法であることが再確認された。

今回用いた混合処理機は、これまで不可能だった非常に狭い作業空間での施工を可能にした。これによってさらに Oval-DM 工法の適用範囲が拡大し、低振動、低騒音、低汚染、軽量化が求められる各種の工事に今後大いに活用されるものと期待する。

謝 辞

この工事を施工するに当って多くの御指導、御配慮をいただいた東京都港湾局建設部ならびに東京都東京港高潮対策事務所の関係各位に、ここで深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西林, 他: 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
- 2) 西林, 他: 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
- 3) 東京都総合地盤図 I, 東京都地質図集 3, 技報堂出版
- 4) 土質工学会編: 土質工学ライブラリー 4, 土質調査試験結果の解釈と適用例, p. 103

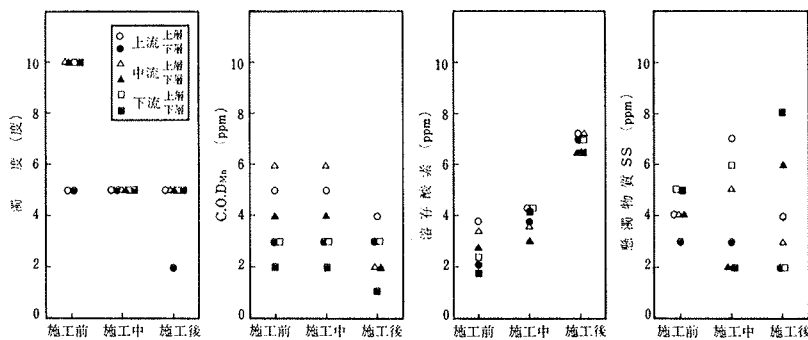


図-10 水質調査結果