

# 15. 深層混合処理工法における 施工機械と施工法

竹中土木 杉山一徳・\*木村信之  
細見尚史 吉永忠義

## 1. まえがき

最近の港湾工事は構造物が大型化する傾向を示すとともに、建設用地も水深深くしかも軟弱層の厚い地盤への進出を余儀無くしている。このような地盤上に港湾構造物を構築する場合、従来工法では自然環境保全、公害防止などの点から排出土砂の処分や良質砂の採取、供給が困難となっている。そこで、従来工法に較べ水深、大深度の地盤改良への適用性が高く、省資源、低公害を可能とする工法として開発されたのが深層混合処理工法であり、海底軟弱地盤への本格的な活用が始まっている。

## 2. 深層混合処理工法の現況

深層混合処理工法は、生石灰、セメントモルタル、セメントスラリーなどの硬化材と深層の軟弱土を混合処理井を用いて攪拌・混合し、原位置で所定の強度が得られるように地盤改良する工法である。生石灰を用いる工法としてはDLM工法(Deep Lime Mixing Method)があり、セメントまたはセメントモルタルを用いる工法としてはCMCI工法(Clay Mixing Consolidation Method)がある。また、セメントスラリーを用いる工法としてはDCMI工法(Deep Chemical Mixing Method)がある。同じくセメントスラリーを用いる工法としてデコム工法、デミック工法、ボコム工法などがあり、それらを総称してCDM工法と言っており、CDM研究会として諸活動を行っている。なお、運輸省各港湾建設局では深層混合処理工法を総称してDMM(Deep Mixing Method)と言っている。本稿では筆者らが研究、開発の一部を担当してきたDCMI工法について以下に述べる。

## 3. DCMI法の概要とその開発経緯

DCMI法は、スラリー状のセメント系硬化材と海底の軟弱な粘性土や緩い砂層を多軸式深層混合処理井によって原位置で攪拌・混合し、種々の形状の改良土からなる複合地盤を形成することを主目的として開発された工法である。図-1は着手から現在に至るまでの開発経過をまとめて示したものである。

混合処理井に関しては、まず昭和49年から4軸模型実験井を用いた室内ピット実験が行われた。昭和50年にはこの模型実験井を延伸した実験井を用いて陸上実験を行った。次いで、陸上実験で得たデータをもとに実用1号井を完成させ、これを用いて海上実験工事を東京港において昭和51年に実施した。この実験工事が評価され、セメント系硬化材を用いた深層混合処理工法による初めての海上実工事が昭和51年に、東京港廃棄物処理場中仕切護岸地盤改良工事として実施された。次に、1号井の性能をさらに高めた2号井を完成さ



図-1 DCMI法の開発経緯

せた。運輸省第二港湾建設局により、港湾構造物の基礎としての適否を検討するための試験工事が横浜港において実施され、この試験工事に2号舟が使用された。試験工事に対しては詳細な調査が実施され、その結果2号舟の採用が認められ、昭和52年に横浜大黒埠頭岸壁地盤改良工事として着工した。昭和54年7月には、1号舟、2号舟の多くの経験とデータを基にして3号舟を製作し、これを装備した本工法の専用船である第三竹中号が完成し、現在横浜港で稼働中である。

#### 4. DCMI法の施工

DCMI法の施工機械、施工方法および施工管理方法の概要を以下に述べる。

#### 4.1 処理舟の性能

DCMの施工機械は当社の保有しているもので3舟あり、表-1にその機械仕様を示す。DCM処理舟は処理舟本体と、この処理舟を駆動させるための油圧ユニットより構成されている。処理舟の構造は上部に8台の油圧モーターがあり、減速舟を通じて8本の軸を回転させるようになっている。回転軸の下端は掘削攪拌羽根に連なり、先端に3枚の掘削羽根が、その上段には攪拌羽根が2段（各段とも2枚）取付けられている。セメントスラリーの吐出口は掘削攪拌羽根の上端に本体鋼管にそって設置され、先端固化時には油圧ジャッキによって掘削羽根の上端まで押し下げることができるようになっている。処理舟によって1回あたりの改良面積、最大改良可能深度、攪拌および掘削軸トルク等が異なるため、施工方法、施工能力を十分検討し処理舟を選定すべきである。また、本工事着工前には必要な試験工事を実施し、改良効果を調査し処理舟のその地盤に対する特性を把握する必要がある。図-2にDCM3号船の一般図を示す。

#### 4.2 施工方法

本工法の施工順序は  
 ① 位置決め ② 掘削貫入 ③ 先端固化 ④ 攪拌混合引抜 ⑤ 完了、刃先点検 ⑥ 転船 である。施工の主要項目について以下に述べる。

i) 位置決め 改良位置への本船位置決めは、従来DCM1、2号船において、光波距離計とトランシットを用い測量台上の基準点から行ってきたが、位置決め時間の短縮、測量人員の削減、精度の向上をはかり、作業船位置決め測量システムを開発した。この測量システムは自動視準の光波距離計

表-1 処理舟の機械仕様

項目	1号機	2号機	3号機
型式	油圧駆動4軸式2連型	油圧駆動4軸式2連型	油圧駆動4軸式2連型
寸法	39.0m有効長さ30.0m	47.0m有効長さ38.0m	52.0m有効長さ40.0m
重量	141t	160t	305t
出力	トルク 2,250kg・m×30r.p.m 1,430kg・m×40r.p.m 753kg・m×50r.p.m 578kg・m×60r.p.m	2,250kg・m×30r.p.m 1,430kg・m×40r.p.m 753kg・m×50r.p.m 578kg・m×60r.p.m	4,000kg・m×30r.p.m 3,140kg・m×40r.p.m 2,970kg・m×50r.p.m 3,700kg・m×60r.p.m
動力	1,150kW	1,150kW	1,080P/S×4台
処理面積	4.26m <sup>2</sup> (3.01×1.58)	4.26m <sup>2</sup> (3.01×1.56)	5.74m <sup>2</sup> (3.49×1.63)
最大深度(海床面下)	30m	30m	40m
掘削力	30m <sup>2</sup> /hr	30m <sup>2</sup> /hr	40m <sup>2</sup> /hr
ミキサー	2m <sup>2</sup> ×2台	2m <sup>2</sup> ×2台	2.6m <sup>2</sup> ×2台
アシナード	20m <sup>2</sup> ×1台	20m <sup>2</sup> ×1台	20m <sup>2</sup> ×1台
アウトポンプ	250ℓ/min×4台	250ℓ/min×4台	250ℓ/min×8台
モニター	220t	200t	300t
動力	180kW	180kW	200kW
総長	45.0×19.2×3.75m	43.2×24.0×3.2m	47.5×28.0×4.6m

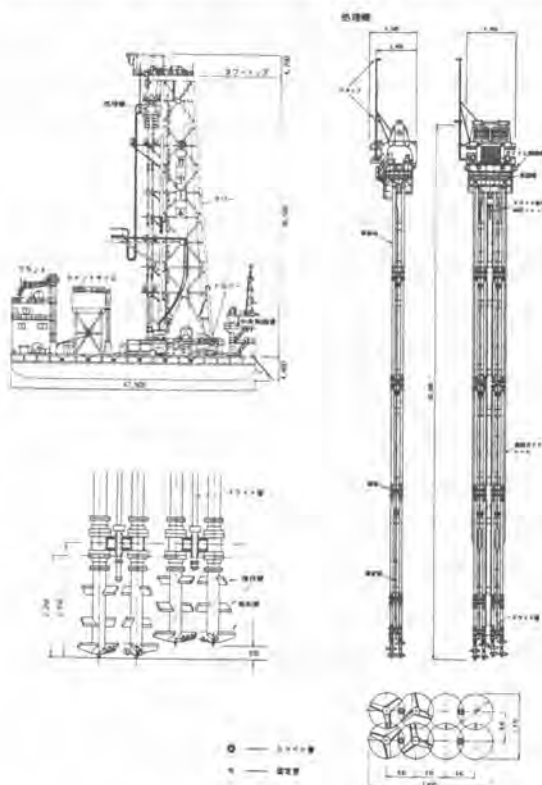


図-2 DCM3号船

3台、グラフィックディスプレイ付パーソナルコンピュータ、光波距離計データを計算機に入力するためのインターフェイス(I/F)およびスイッチボックスより構成される。位置決め方法は、対岸に設置した発光部を常時自動視準しながら距離測量を行い、I/Fを介して作業船の中央制御室に置かれた計算機に距離データを送り、作業船の現在位置を計算した上で、あらかじめセットした設計位置と対比しながら所定位置にシフトするものである。現在DCM船はこの測量システムを用い位置決めを行っている。

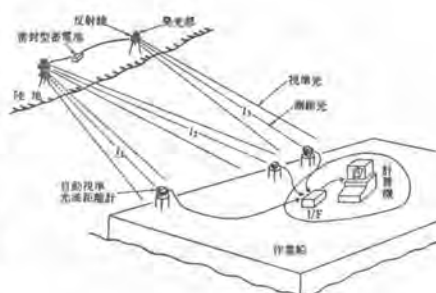


図-3 作業船位置決め測量概要図

図-3に測量システムの概要を示す。

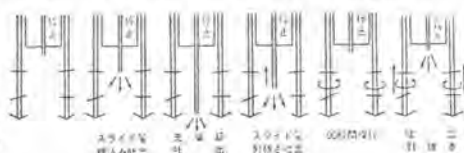


図-4 先端固化模式図

ii) 貫入引抜・先端固化 改良方法は、まず処理材を掘削方向(正転と称す)に所定の回転数で回転させ、所定の速度で貫入を行い、砂刃等の地盤の堅さに応じて回

転数、貫入速度を調整しながら貫入する。次に処理材の先端が所定の深度に達した所で以下に述べる先端固化(定着)作業を行い、その後セメントスラリーをスライド管より所定量吐出しながら回転軸を攪拌方向(逆転と称す)に回転させ、攪拌混合しながら引抜きを行う。先端部の固化方法は、スライド吐出方式で処理材が先端まで達した時一旦止め、スライド管を押し込んで先端部にセメントスラリーを吐出させ攪拌を行う方法をとっている。図-4にその模式図を示す。引抜速度および回転数は改良土の強度に大きく影響し、現場の条件にあわせて最適な値を使用しなければならない。実施例では攪拌時の回転数をDCM船では40~60r.p.m.、引抜速度1.0 m/minで実施し良好な改良結果を得ている。貫入時の速度については、処理材の安定性(垂直性)を確保する速度を保つのと同時に、未改良土をできるだけほぐした状態にするのが望ましく、一般に1.0~1.5 m/minで実施している。

iii) 施工能力 サイクルタイムの算定は次式によって求められる。

$$C_t = t_1 + t_2 + \frac{l_1 + d}{V_{i1}} + \frac{l_2}{V_{i2}} + t_3 + \frac{l_2}{V_{o2}} + \frac{l_1 + d}{V_{o1}} \quad \text{----- (1)}$$

ここに  $C_t$ :改良杭1本あたりのサイクルタイム(min)  $t_1$ :攪拌翼刃先チェック時間(min)  
 $t_2$ :船のシフト時間(min)  $t_3$ :先端固化処理時間(min)  $V_{i1}$ :粘性土の貫入速度(m/min)  $V_{i2}$ :砂刃の貫入速度(m/min)  $V_{o1}$ :粘性土の引抜速度(m/min)  
 $V_{o2}$ :砂刃の引抜速度(m/min)  $l_1$ :粘性土部の改良長さ(m)  $l_2$ :砂刃への定着長さ(m)  $d$ :改良土部上端の土被り厚(m)

1日あたりの標準作業能力は次式によって求められる。

$$N = \frac{60 \times T \times E \times \eta}{C_t} \quad \text{----- (2)}$$

ここに  $N$ :1日あたりの改良本数(本/日)  $T$ :1日あたりの運転時間(hr)  $E$ :現場作業効率  $\eta$ :実作業時間率

iv) 定着深度の確認 定着深度については、平均的な支持地盤の深度を想定した設計断面を基準とするが、実施工での支持地盤は一定でないため、事前に定着の判断基準を設定する必要がある。判定基準は、事前にボーリングを実施している場所の周辺で試験施工を実施し、貫入速度・回転数・トルク・荷重の変化より総合的に判断して決定する。

v) ラップ幅 改良杭同志の適合性を確保するため、杭と杭をオーバーラップさせて施工している。ラップ幅は、船体位置決めによる誤差、施工中の船体・処理杭の動揺を勘案して決定する。通常ラップ幅は25cmを基準として施工している。また、設計ブロックの一体化を確保するため、最短时间内でラップするよう配慮し各杭の施工順序を決定している。

#### 4.3 施工管理項目

DCM工法の施工管理は、処理杭およびプラントの計測器のデータを制御室に集め、集中コントロール方法にて行っている。使用している管理計器類は次のものである。① 処理杭深度計 ② 回転数計 ③ 貫入引抜速度計 ④ 掘削攪拌駆動油圧計 ⑤

処理杭荷重計 ⑥ 硬化材吐出量計 ⑦ 傾斜計

#### 5. あとがき

本稿では深層混合処理工法について、特にセメントスラリーを用いる工法(DCM工法)を中心に工法の概要、施工特長ならびに施工法について述べた。DCM工法は工期の短縮、資源の有効利用、環境保全の立場などからみて従来の地盤改良工法に較べて多くの利点を備えており、今日の社会的要請に応える工法として期待されているものである。

特に本工法で得られる改良土の強度を十分に利用し、経済性を高める目的から壁状、格子状など特定の形状の改良を行うことが本工法の特長の一つとして考案されている。そして、各地の実工事においても特定の改良形状の特長を生かした部分改良が実施されている実状にある。現在、施工実績の積重ねに伴い、設計法、施工特長、施工法、施工管理手法ならびに使用硬化材などについて多角的に研究が進められている。

<参考文献> 1) 千田, 村尾: 深層軟弱地盤改良工法の現況, 基礎工, Vol.7, No.3, 1979 2) 土橋: 深層混合処理工法について, 日本鋼構造協会, 第3回関西地区研究会テキスト, 1980 3) 杉山, 川崎: 深層混合処理工法, 土木学会誌, Vol.65, No.8, 1980 4) 杉山, 北脇, 森本: セメント系硬化剤による海底軟弱地盤改良工法, 土木施工, Vol.21, No.5, 1980 5) 山田, 菊池, 川原田: 作業船の位置決め測量方法の検討(光波・レーザ測量装置による実験例), 建設特種と施工法シンポジウム論文集, 1977

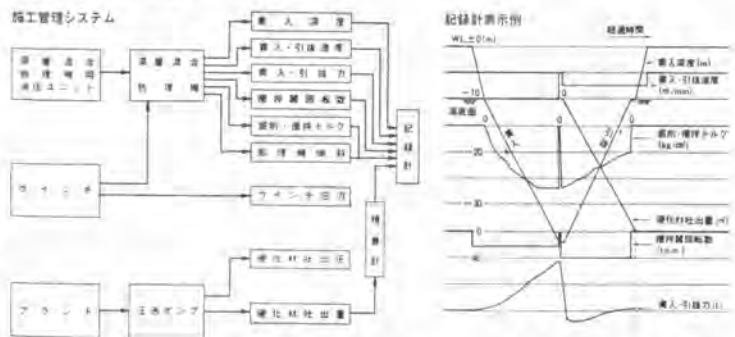


図-5 測定記録フローチャートと表示例

図-5に測定記録のフローチャートおよびその表示例を示す。