

CDM船の施工生産性の評価と 今後の開発の方向性

久米由起¹・東方真次²

¹名古屋港湾事務所 保全課（〒455-0045 名古屋市港区築地町2番地）

²名古屋港湾事務所 保全課（〒455-0045 名古屋市港区築地町2番地）

名古屋港金城ふ頭では、ふ頭の再編計画を急ピッチで進めるため、複数の工事を発注し施工を進めているところである。中でも地盤改良工事においては、夜間も工事を実施するという24時間体制で行っており、近年、働き方改革が謳われている中、作業船（CDM[Cement Deep Mixing]船）の稼働効率化、作業員の労働環境のあり方等について報告する。

キーワード：海上地盤改良、深層混合処理工法、CDM船、施工生産性、ふ頭再編

1. はじめに

中部地域には多数の自動車メーカーが立地しており、それらメーカーの多くは名古屋港を利用しているため、名古屋港は、完成自動車の輸出台数が全国第一位となっている。完成自動車を取り扱う公共ターミナルは、主に金城ふ頭と弥富ふ頭に集積されているものの、両ふ頭間は移動に約20分を要すること、また金城ふ頭においては、モータープールの用地が十分確保できていないこと等により、輸送・保管コストが増大し、非効率な荷役を余儀なくされている。また、自動車運搬船も近年大型化していることから、既存岸壁では水深が十分に足りておらず、さらには大規模地震が発生した場合には、完成自動車の輸送に対応できる岸壁が無い状況となっている。

そのため、輸送の効率化、大型船への対応、大規模地震発生時の物流機能の維持に対応するため、金城ふ頭に完成自動車を取り扱う岸壁を集約し、ふ頭再編改良事業による耐震強化岸壁の整備を緊急に行うこととなった。

金城ふ頭再編改良事業において整備する施設は、以下のとおり示す。

- ・岸壁（水深12m）〔耐震〕260m
- ・泊地（水深12m）1.4ha
- ・航路・泊地（水深12m）31.6ha
- ・ふ頭用地16.4ha

今回岸壁を整備する箇所は、軟弱な粘性土が海底面か

ら約20mあり地盤改良を行う必要があるため、岸壁本体の構造形式と地盤改良工法の組み合わせにより比較検討を行い、安定性及び経済性に優れたハイブリッドケーソンと深層混合処理工法（CDM）の組み合わせを採用した。現地の工事は平成30年度より着手し、まずは地盤改良工事に取りかかったところである。今回、深層混合処理船（CDM船）により施工された事例をもとに、生産性向上に向けた今後の方向性について述べる。



図-1 金城ふ頭再編計画

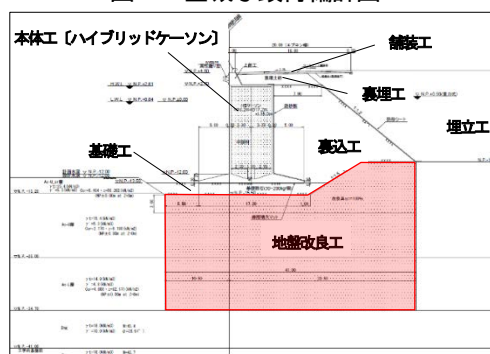


図-2 標準断面図

2. CDM船による施工概要

深層混合処理工法（CDM）とは、安定材としてセメントまたはセメント系固化材を軟弱地盤中に添加、攪拌混合することにより化学的な反応を利用し、強固な安定処理土を形成する工法である。施工はCDM船を使用し実施することとなり、作業の流れを以下のとおり示す。

〔作業の流れ〕
位置決め→貫入開始→着底→先端処理→引き抜き→完了

※スラリー吐出は、短杭の場合は貫入時、長杭の場合は引き抜き時に行う。

(1) CDM船の主要諸元等

平成30年度は2隻のCDM船を使用し施工を行い、それぞれの工事内容及び船体主要諸元を以下のとおり示す。

a) CDM船「ポコム12号」（建造年2010年）

（工事内容）深層混合処理杭
短杭（ $l=3.0\text{m}\sim 8.5\text{m}$ ）：63本
長杭（ $l=21.5\text{m}\sim 27.0\text{m}$ ）：126本

表-1 ポコム12号の主要諸元

深層混合処理船諸元							
船 名		船体仕様					
ポコム12号	長さ(m)	幅(m)	深さ(m)	喫水(m)	塔高(m)		
	60.0	30.0	4.0	2.5	61.3		
処理機							
改良面積 (m ²)	改良深さ(m)	処理能力 (m ³ /h)	処理機位置	駆動方法	重量 (t)	トルク (kg・m)	発電機容量 (KVA)
4.65	-52	50-70	前	電動	220	4,250	3,725
プラント			形式・諸元(mm)				
セメントサイロ (t×基)	ミキサー (m ³ ×基)	アジデータ (m ³ ×基)	グラウトポンプ (L/min×基)	軸 数	攪拌翼径	改良幅	軸間距離
200×2	2.5×1	7×1	350×8	4	縦軸	1,310	2,300
					横軸	1,310	2,300



図-3 CDM船「ポコム12号」

b) CDM船「デコム7号」（建造年1982年）

（工事内容）深層混合処理杭
短杭（ $l=3.0\text{m}\sim 8.5\text{m}$ ）：244本
長杭（ $l=21.5\text{m}\sim 27.0\text{m}$ ）：599本

表-2 デコム7号の主要諸元

深層混合処理船諸元							
船名		船体仕様					
デコム7号	長さ(m)	幅(m)	深さ(m)	喫水(m)	塔高(m)		
	63.0	30.0	4.5	3.2	57.7		
処理機							
改良面積 (m^2)	改良深さ(m)	処理能力 (m^3/h)	処理機位置	駆動方法	重量 (t)	トルク ($\text{kg}\cdot\text{m}$)	発電機容量 (KVA)
5.74	-66	80-150	中央	電動	410	4,000	3,589
プラント				形式・諸元(mm)			
セメントサイロ ($\text{t}\times\text{基}$)	ミキサー ($\text{m}^3\times\text{基}$)	アジデータ ($\text{m}^3\times\text{基}$)	グラウトポンプ ($\text{L}/\text{min}\times\text{基}$)	軸数	攪拌翼径	改良幅	軸間距離
400×4	3.5×1	18×1	350×8		縦軸	1,000	1,830
				横軸	1,000	3,490	830



図-4 CDM船「デコム7号」

(2) 施工における自動化技術

ポコム12号は、最新のCDM船で「自動打設システム」や「自動操船システム」を搭載している。「自動打設システム」とは、改良機の貫入から引抜、軸回転速度、セメント系安定処理材の吐出といった地盤改良における一連の動作を自動で行うものである。地盤の硬軟に応じて自動で軸回転数を一定にするシステムや、傾斜計と連動した自動バラスト制御システム等により、改良杭の品質と鉛直精度の向上を図っている。また、自動帳票の作成により、施工の透明性や打設位置座標、固化材添加量等の定量的評価にも寄与している。「自動操船システム」とは、6台の操船ウィンチが連動し、予め登録されている設計座標に自動で本船を誘導し、位置決めができるものである。これにより、ワイヤーの乱巻を心配することなく、容易にかつ安全に本船の移動が可能となっている。

一方、デコム7号では、「3D施工管理システム」による3Dモデルを利用したICT活用の取組みを行っており、設計データから作成した3Dの改良体（杭）モデルに、CDM船から得られる施工情報や打設管理データをリア

リアルタイムにマッチングさせて描画することにより、施工管理や土中を含む施工状況のリアルタイム表示を可能とした。インターネットを介して遠隔地から画面を閲覧することができるため、離れた場所にいる工事関係者間でリアルタイムに情報共有を図ることができ、不具合や異常等の早期発見・情報共有を実現すると共に、迅速で確実な対応のために有効であった。

また、施工済みの各杭の施工日や打設位置、スラリー量などといった施工に関する情報について、3Dモデルの任意の杭を選択することにより閲覧可能な機能を有しており、杭ごとの出来形及び施工情報の「見える化」を行い、施工管理や工程管理に役立っている。



図-5 「ポコム12号」自動打設システム画面

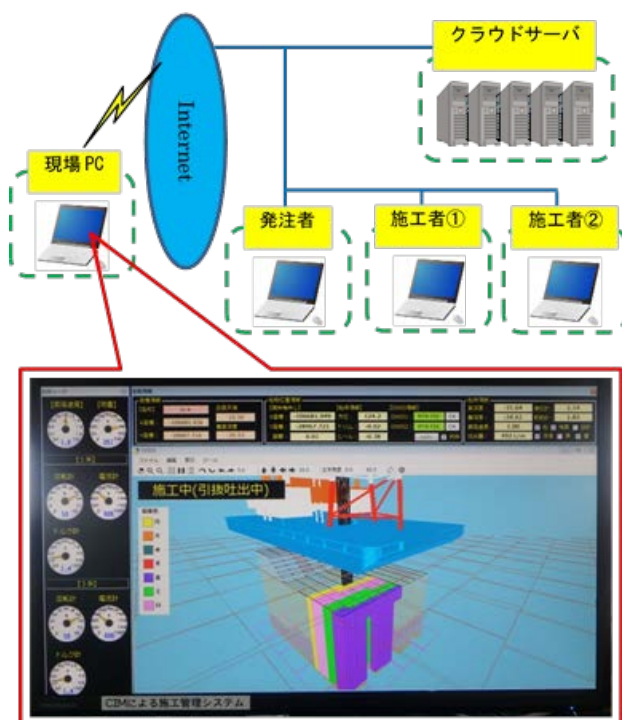


図-6 「デコム7号」3次元改良体モデルを用いた
施工状況画面

これら CDM 船では、自動化施工として、処理機の昇降速度、攪拌翼の回転数、施工数量に応じたスラリー製造やスラリーポンプの吐出量制御を自動化することで、従来よりもオペレータによる操作作業が軽減され、また、人為的なミスも減らすことができ、確実かつ効率的に安定した改良地盤の造成を行うことが出来た。

施工精度は、従来の方法と今回の自動化技術とでは、変わりはなく、打設時間についても技術マニュアルで処理機の貫入速度や固化材の吐出時間などが定められているため、トータルの施工時間も同程度であった。

(3) メンテナンスの省力化

ポコム12号では、自動化技術による杭造成時の省力化に加え、スラリープラントのミキサーには自動洗浄装置を装備し、プラントのメンテナンス時のはつり作業を省力化している。また改良機及び改良軸の洗浄に使用する放水銃の遠隔制御装置を装備しており、安全性の向上や省力化を図っている。



図-7 改良機の遠隔放水銃による洗浄

(4) その他技術

両船ともに、前述のような自動化・省力化技術のほかに、処理機を下降させる際の昇降ウィンチ用モータで発電される電力を有効活用する電力回生システムを搭載し、エネルギーの高効率化を図っている。

さらにポコム 12 号には、太陽光発電装置や風力発電装置を設置しており、油圧駆動の従来システムと比較すると、電力回生効果も含めて 2 割程度の削減効果を実現している。

3. 二つの施工体制と生産性の比較

本工事は、緊急対策事業として、できる限り早期に効果を発揮できるようにすることが重要な施策となっている。また、深層混合処理については、改良杭の接合部においては連続性を確保するため、原則24時間以内に施工することが港湾工事共通仕様書にて定められている。そのため、両船とも24時間2交代制の人員配置で施工が行われた。

(1) 作業船の通常作業(24時間以内ラップ)と勤務体系
デコム7号について、勤務体系を以下のとおり示す。

表-3 デコム7号の勤務体系

勤務体系		就労
1日目	就労16時間／拘束24時間（8時間仮眠）	A班16人
2日目		B班16人
3日目		A班16人
4日目		B班16人
5日目		A班16人
6日目		B班16人
7日目		A班16人
8日目		B班16人

※各班4人ずつ交代で休みを取得。
※1サイクル当たり、全作業員において就労日3日、休養日5日となる。

このような施工を行うことにより、改良杭の接合部における連続性の確保を確実に行うことができ、作業船が連続作業を行うため、作業効率のよい施工となる。

また、作業員における負担軽減のため、1サイクルを8日（うち勤務日は3日）とすることによって、1サイクル当たりの勤務時間が48時間（週当たり42時間）となる施工を行った。

(2) 作業船の週休2日制と勤務体系

ポコム12号について、勤務体系を以下に示す。

表-4 ポコム12号の勤務体系

勤務体系		就労
1日目	就労16時間／拘束24時間（8時間仮眠）	A班14人
2日目		B班14人
3日目		A班14人
4日目		B班14人
5日目		A班14人
6日目		B班14人
7日目	完全休養	-

※1班当たり14人構成。
※翌週は就労日と休養日が入れ替わる。

「働き方改革」のモデル工事として、土日を完全休養とした週休2日を実現させ、週当たり勤務時間が40時間となる施工を行った。改良杭の接合部における連続性の確保については、毎週金曜日の作業終了時に改良杭の空打ち施工を実施することによって、接合部の連続性を確保した。

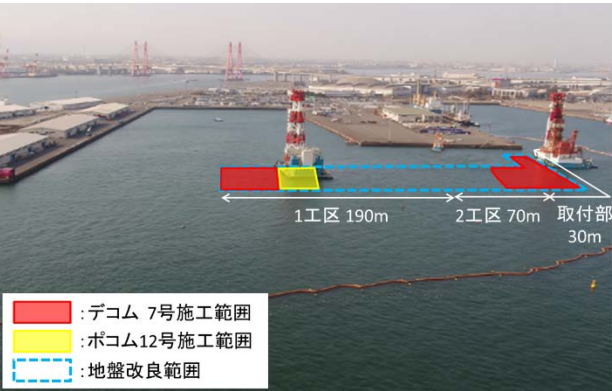


図-8 両船の施工範囲

(3) 生産性の比較

各施工実績より、両船ともに施工を行った1工区を対象とし、1週間あたりの作業進捗率について比較を行う。各工事における施工実績は以下のとおり。

表-5 両船の施工実績による比較

船名 (規格:改良面積)	ポコム12号 (中型船:4.65m2)	デコム7号 (大型船:5.74m2)	備考
抽出作業期間	2/18(月)~24(日)	1/7(月)~13(日)	※1週間を抽出
① 作業日数 (日)	5	7	
② 施工本数 (本)	76	111	※実績
③ 施工延長 (m)	979.65	1,866.11	※実績
④ 本数あたり施工延長 (m/本)	12.89	16.81	=③/②
本数あたり施工延長の比率	1.00	1.30	
⑤ 作業員 (人)	28	32	
⑥ 延べ人数 (人)	68	92	※実績
⑦ 日あたり作業員数 (人/日)	13.60	13.14	=⑥/①
⑧ 人工あたり施工延長 (m/人)	14.41	20.28	=③/⑥
作業進捗率	1.00	1.41	
⑨ 施工本数(空打ち含む) (本)	85	-	※空打ち9本
⑩ 施工延長(空打ち含む) (m)	1,105.29	-	※空打ち125.64m
⑪ 人工あたり施工延長 (m/人)	16.25	20.28	=⑩/⑦
作業進捗率(空打ち含む)	1.00	1.25	

上記結果からは、作業員一人当たりの施工延長（表中⑧）については、完全週休2日を実現したポコム12号に対して、通常の24時間施工を行ったデコム7号が1.41倍の作業進捗となった。

またポコム12号においては、作業の連続性を保つため毎週金曜日の作業終了前に改良杭の空打ち施工を行っていることから、それを加味して比較（表中⑪）を行ったところ、1.25倍の作業進捗となった。しかしこれについては、施工箇所毎に杭の深度が異なるため、別途比較した本数当たりの施工延長（表中④）の比率が1.30倍となっており、一概に生産性が高まっているとはいえない。

今回のような地盤改良においては、貫入速度、引抜速度等がマニュアルで規定されているため、生産性を高めるためには、作業の自動化による作業員の削減、移動時間の短縮を実現しない限り、生産性の向上には結びつかないものと考えられる。

4. 今後の開発の方向性

デコム7号では、CIMの概念につながる「3D施工管理システム」を導入し施工管理を行っているが、一方で、労力を要するプラント洗浄及び攪拌翼洗浄は完全自動化に至っていない。プラント洗浄は安全装置により完全に停止しているミキサー内に作業員が入り、固着した固化材の除去作業を行っている。また、翼洗浄は作業員が放水銃などを用いて攪拌翼の表面に付着した固化処理土を除去している。これらの作業を自動化し、作業船の省力化が可能となる。

ポコム12号は、「自動操船システム」及び「自動打設システム」により一連の作業を自動化しているが、自動操船システムは、熟練したオペレータの手動による操船

とでは、自動操船システムの方が時間を要しており、今後もシステムの改善が進めば施工の効率化につながる。

今後は CIM の導入・活用が期待されており、今回導入された「3D 施工管理システム」に、出来形管理帳票の自動出力機能の追加や、CIM モデルの自動作成機能を追加することで、業務効率化が図られる。

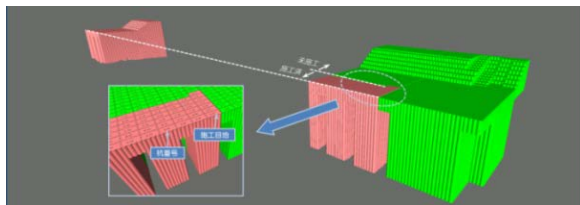


図-9 CIMモデル自動作成機能画面例

前述のように、自動化システムの追加や改善を網羅的に導入することができれば、さらなる生産性向上が期待できる。

5. おわりに

本報告で述べたCDM船については両船ともに、前述で示すように24時間体制による施工を行ってきているが、交代要員の確保や作業員の負担軽減を考慮して人員配置しているため、自動化技術を取り入れても、人員削減には至っていない。

また、本報告で述べた深層混合処理のような原則24時間以内に施工を行わなければならない工事においては、生産性向上の観点から、作業船による連続作業を行い、かつ作業員の休日確保を行っていくことが最も効率的であるといえる。

しかし、現在の労働環境においても、作業員の確保が

厳しくなっている。将来的には少子化問題による担い手不足が懸念されていることから、より一層厳しくなっていくことが予想される。さらに「働き方改革」としては、週休2日を確保できる勤務体系へと見直ししながら、施工を行わなければならない。

生産性を高めるには、少ない人数で、いかに効率的に、かつ安全に作業を行っていくかが重要であり、工事を効率的に進めるには、作業の自動化、ICTやCIM等を活用することが有効である。港湾工事における作業船については、本報告で述べたCDM船のみではなく、その他の作業船においても、生産性向上に向けて取り組みが行われている。将来的には、全ての作業船において、危険が伴う箇所では原則無人化ができるよう技術開発に取り組んでいくことが有効である。

また、発注者としても休日確保に向けた適切な工期設定を行うこと、施工実績を蓄積し、施工実態に合わせた基準類へと反映することによって、官民一体となった公共工事を行っていき、働き方改革の取組みへと貢献していくことが重要である。

謝辞：本報告の作成にあたり、ご指導、ご協力をいただいた関係者の方々に深く感謝し、御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 沿岸技術ライブラリーNO.43 港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル 一般財団法人 沿岸技術研究センター，平成26年10月。
- 2) 沿岸技術ライセメント系固化剤による地盤改良マニュアル [第4版] 社団法人セメント協会。