

シンガポール・トゥアス地区でのグラブ浚渫 トゥアスコンテナターミナル建設プロジェクト

近 藤 真 行

現在もシンガポールは順調に経済発展を続けており、政府は西部地区に新たな4つのコンテナターミナルを建設するプロジェクトを開始している。

本稿ではそのうちの1つで、政府機関である Maritime and Port Authority of Singapore（以下、「MPA」とする）が発注し、2015年3月に始まった Tuas Finger 2（トゥアス第2コンテナ埠頭）建設プロジェクトでのグラブ浚渫船による浚渫作業（全純土量約4,100万 m^3 ）について報告する。

キーワード：グラブ浚渫船、浚渫、シンガポール、トゥアス、コンテナターミナル、24時間運転

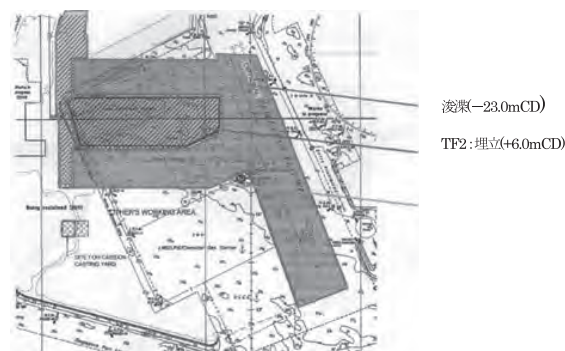
1. はじめに

トゥアスコンテナターミナル建設プロジェクトは、現在シンガポール中部に有るコンテナターミナルの機能を2027年までに西部・トゥアス地区に移設させることを目的としたプロジェクトである。

この工事では、工事請負者である Dredging International Asia Pacific Pte. にグラブ浚渫船を提供し、海外での浚渫作業ということと24時間連続作業という特別な条件を設定され、多くの工夫と改善で、請負者（以下顧客という）の満足を得られるよう活動している。かつ技術支援として監督以下乗組員を派遣している。

ここで工事概要を以下に示す（図—1、2）。

- ・工 事 名：TUAS TERMINAL PHASE 1
- ・発 注 者：MPA
- ・請 負 者：Dredging International Asia Pacific Pte. と DAELIM. Co. Ltd. の建設工事共同企業体



図—2 浚渫区域詳細図

- ・施工箇所：Tuas Finger 2
- ・工 期：2015年3月1日～2018年7月（浚渫終了予定）
- ・工事概要：グラブ浚渫全純土量は約4,100万 m^3 、2017年1月現在、第381良成丸(RM381)、第661良成丸(RM661)、五祥の3隻のグラブ船が稼働中である。
- ・使用船舶：小島組保有船を表—1に示す。



図—1 施工位置図

表—1 使用船舶

船舶名称	種 別	船体寸法 (m)				グラブ容積 (m ³)	主機関 (ps)
		長 さ	幅	深 さ	吃 水		
五 祥	グラブ	100.0	36.0	6.0	3.6	200	11,400
RM661	〃	70.0	26.0	5.0	2.7	56	5,600
RM381	〃	67.0	26.0	5.0	2.7	23	3,800
船舶名称	種 別	船体寸法 (m)				積載土量 (m ³)	主機関 (ps)
		長 さ	幅	深 さ	吃 水		
K-3605	箱 型	75.0	18.0	5.5	1.0	3,000	—
K-3607	〃	75.0	18.0	5.5	1.0	〃	—
K-3610	〃	75.0	18.0	5.5	1.0	〃	—
K-5602	〃	90.0	22.0	6.0	1.5	5,000	—

これまでの3隻の総浚渫土量は、2016年末で、約1,000万 m^3 に達している。

2. グラブ船導入の経緯

(1) グラブ浚渫船の特長

現在世界的に浚渫工事で活躍しているポンプ浚渫船・ドラグサクション浚渫船に比べて、一般的にグラブ浚渫船は、次のような特長がある。

- ①かなり硬い土質でも浚渫できる
- ②大深度に対応できる
- ③浚渫土の含水量が少ない
- ④隅角部等の狭い浚渫区域にも適している
- ⑤法面施工にも対応できる
- ⑥汚濁拡散量が比較的少なく、汚濁防止対策ができる
- ⑦浚渫土砂を土運船に積込むので、遠方の土砂処分場や埋立地に運搬できる

(2) グラブ浚渫船の配船計画

当現場の浚渫は、ケーソンを使用した護岸法線上に計画された床掘浚渫（最大水深-45m）、護岸前面の泊地浚渫（目標水深-23m）と航路浚渫（目標水深-23m）との3つに分かれる。

日本国内では経験したことがない浚渫量と複雑な地層に対し、3隻のグラブ浚渫船（RM381・RM661・五祥）を用意した。

各船の特長により、配船計画を顧客に提案した。

(a) RM381

機械式の普通グラブ（23 m^3 ・100t）を装備したグラブ浚渫船RM381は、最新鋭のハイブリット船である。

グラブバケットの下降時と重機旋回時に発電した電力をキャパシタに蓄電させ、その回生エネルギーをインバーター制御してグラブを持ち上げる作業と重機旋回作業に使用している。これにより、大幅な二酸化炭素排出量の削減（同規格船比）を実現している。比較的柔らかい地層の浚渫に向いており、表層の $N < 50$ の範囲を主に行っている。

(b) RM661

普通グラブバケット（56 m^3 ・120t）と硬土盤グラブバケット（38 m^3 ・130t）はともに電動油圧式で、硬い硬土盤層（ $50 \leq N$ ）を含む幅広い地層に対応している。

浚渫機は、油圧シリンダーで駆動するカウンターウェイト方式であり、安定したグラブバケットの昇降

速度を確保し、大幅な二酸化炭素排出量の削減（同規格船比）を実現した。

(c) 五祥

現在、軟泥仕様の電動油圧式普通グラブバケット（200 m^3 ・370t）を装備している。比較的柔らかい地層に適している。

浚渫機は、油圧シリンダーで駆動するカウンターウェイト方式であり、二酸化炭素の排出量の大幅な削減（同規格船比）を実現した。

3. シンガポール浚渫工事での施工管理

(1) グラブ浚渫船の能力と実績管理

事前に各グラブ船の能力を算定し、日々の実績との差異を分析し対策の一助としている。

(2) 浚渫作業の効率化とサイクルタイム

24時間運転の中、浚渫時間の拡張のため、サイクルタイムの短縮、土運船付替え時間の短縮、グラブバケット給脂時間の短縮、グラブバケット油温上昇対策を行った。

(a) 浚渫機のサイクルタイム（Cm）の短縮

浚渫出来高（浚渫量）の向上のため浚渫機のサイクルタイム（Cm）に着目した。

$$Cm = (H + \angle h + AWL + HB_1 + HB_2 + 2h)$$

$$* (1/Lift + 1/Low) * 60s$$

$$+ 2 * (\theta / (R * 360)) * 60s + (OG + CG)$$

H : 目標水深

$\angle h$: 余掘り

AWL : 平均水深

HB_1 : 土運船甲板の海水面からの高さ

HB_2 : 泥艙壁（コーミング）の土運船甲板からの高さ

2h : 泥艙積込時のグラブの昇降幅

Lift : グラブバケットの上昇速度（m/min）

Low : グラブの下降速度（m/min）

θ : 平均作業旋回角度

R : 浚渫機の旋回能力（rpm）

OG : グラブ開時間（s）

CG : グラブ閉時間（s）

(a)-1 グラブバケット下降速度（Low）の改善

五祥の場合、昇降油圧ポンプの吐出量を増加させることにより、43 m/min から 54 m/min に速度を上げることができた。

(a)-2 グラブバケット閉速度（CG）の改善

グラブバケットの閉速度の向上のため、硬土盤グラ

ブバケット（136 m³）の油圧ユニットに「差動回路」を増設した。これにより軟土質土砂の掘削時は1.8倍の閉速度にすることができる。

(a)-3 外国人オペレーターの教育

グラブバケットの昇降・開閉動作について、各オペレーター所要時間を調査したところ、外国人オペレーターは重機の取り扱い習熟度の低いことが明らかになった（日本人オペレーターの平均Cmの1.7倍）。

重機の特性を踏まえた操作方法、土質・土厚に応じた掘削方法、土運船への積込順序等を教育した結果、日本人と遜色のないレベルまでになった（写真—1）。



写真—1 重機運転状況

(a)-4 グラブ浚渫船に適した土運船の選定

大型のグラブバケット容量に適した土運船の手配、或いは新たに建造し、土運船の付替え回数を減少させ、また泥艙への積込時間を短縮させ、グラブ浚渫船の稼働時間を増やすことに成功した。

五祥の場合、1,500 m³級土運船と3,000 m³級土運船への積込サイクルタイムを調査したところ、1,500 m³級土運船の場合が約18秒遅いことが明らかになった。すべて3,000 m³級の土運船を使用した場合、90分/日の浚渫時間を増やすことができる（写真—2）。



写真—2 浚渫状況（五祥）

(b) 土運船の付替え作業時間の短縮

土運船の離接舷時には、安全のため浚渫作業を中断しており、調査したところ、特に接舷作業に時間がかかっていることが明らかになった（当初30分以上/回）。

そこで、現場に常駐している曳船に土運船の横押しをさせて、接舷作業の補助をさせた。

更に、係船綱取り人員を一人作業から二人作業とすることで、離接舷時間を約5分間/回まで短縮ができた。

(c) グラブバケット給脂時間の短縮

稼働当初、グラブバケット給脂時間は約30分/回であった。給脂ポンプの増加、事前準備の徹底で、給脂時間を15分/回まで短縮できた。12時間おきの給脂のため、30分/日の浚渫時間を増やすことに成功した。

(d) グラブバケット油温上昇対策

シンガポールでは、日本との気候の違い（高温・多湿特に30℃を超える海水温の高さ）が、グラブバケット油圧装置に大きく影響し課題が浮き彫りになった。

五祥とRM661の課題は、30℃を超える海水温による作動油冷却効果の低下で、油温が規定値まで上昇すると油圧装置が停止し、作動油の冷却時間が必要となり、浚渫時間が減少することである。

硬土盤層を掘削する際、グラブバケット作動油温度が上昇しやすい。72℃まで上昇したら、浚渫を一旦中止し、作動油を冷却させなければならない。

五祥では、作動油冷却による時間ロスを減少するため、油圧グラブバケットに冷却装置を増設することで硬土盤増(50 ≤ N)にも対応可能とする。661RMでは、油温上昇を抑える油圧回路に改造し、油温が適正範囲に収まるようになったため、冷却する必要がなくなった。

(3) 出来形管理

各グラブ船に設置している「浚渫施工管理システム」は、RTK（リアルタイムキネマティック）GPSを使用しており、グラブ船を指定した作業エリアへ高精度に誘導することができる（写真—3）。

更に、「サテライトコンパス（GPS）」は、グラブ船の向きを高精度に把握した上で、修正ができる。

五祥に設置した、大深度（−45.0 m）浚渫に向けた「グラブバケット水中測位装置」はモニターで視認でき、水中のグラブの方向・位置・前後左右の傾き及び深度を把握した上で修正できる。これにより、ほとんど一回の掘削で出来形を確保できるようにした（写真—4）。

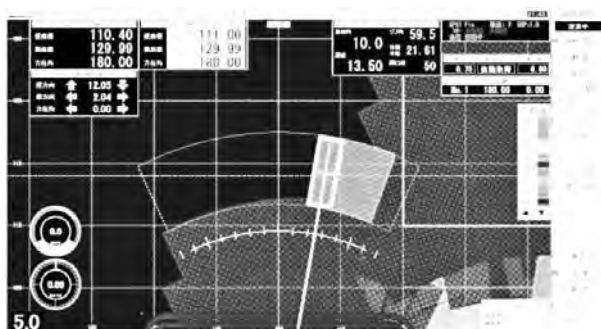


写真-3 施工管理システム画面

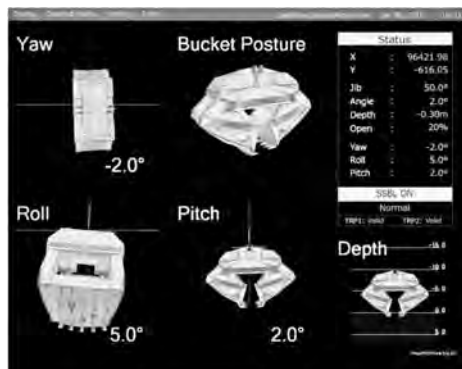


写真-4 バケットモニター画面

4. 24 時間運転・通年稼動に対応する機械管理

(1) 機械整備の課題と対処

国内のプロジェクトと海外のプロジェクトの違いは、規模の大きさもあるが、海外では24時間運転という点である。

本プロジェクトでも、運転を止めないことが最重要課題となった。

(a) 日常点検・整備

国内では日の出から日没までの作業が基本となるので、作業開始前や終了時に余裕をもって点検・整備を行うことができるが、海外では24時間運転を前提としているためグラブバケットへの給脂作業等、毎日必要な整備は土運船付替え作業時間を設定し、極力短時間で行う必要がある。

前述のとおり、例えば、当初30分以上かかっていた給脂作業は、15分/回までに短縮できた。

給脂作業と同時にグラブバケットワイヤーの点検も行う。機械を止めなくてもできる点検は運転しながら定期的の実施している。

(b) 特別点検・整備

その代わり、週に一度メンテナンスデーを設け完全に運転を止め、点検・整備を終日入念に行っている。

点検・整備は外国人が実施するので、作業船の整備マニュアル(英語)を作成し情報の共有を行っている。

(2) 消耗・摩耗部品の調達

消耗品・摩耗品については、日本からの輸入と現地での調達になる。

しかし、長納期部品については、通常日本では在庫を持たないようなシーブ等も備えておいた。

そのほか日本からの輸入は送料が高価になるので、なるべく現地で調達すべくメーカーの代理店や提携業者の開拓にも日々努力している。

(3) 24 時間運転に対応するバックアップ体制

使用機器について、24時間運転に対応するサービス体制の整備を各メーカーと構築し、運用している。

5. 機械の改善

前述のとおり、本プロジェクトでは、機械設備能力の改善についても日々実施している。現在改善された設備は、五祥の昇降油圧シリンダーの増伸、グラブバケットの昇降速度及び開閉速度の向上、五祥硬土盤油圧グラブバケット(136 m³/400 t)の油温上昇対策である。

RM381は、50 ≤ Nの硬土盤層に対応するため、9 m³・125 tという他に例のない容重比のスーパーヘビーグラブバケットを新規に製作し、現在使用している。

また、RM661の新56 m³・130 tグラブ(油温上昇対策済み)を製作し、2016年末に使用開始した。

今後、世界最重量(106 m³・477 t)超硬土盤グラブバケットの使用で、固結シルトや岩盤(軟質・中質)の硬い地盤でも掘削ができるように整備中である。

6. 作業船の回航(搬入)

(1) 艀装作業

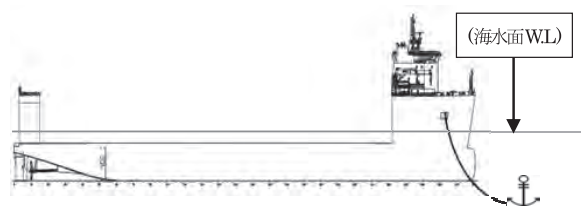
国内の回航でも艀装作業を行うが、外洋に出ることでも更に重点を置くのが、海水の浸入である。海水の浸入対策として、すべての窓を鋼板で覆うとともに、開閉扉の乗り越し高さを30 cm以上に改造して、容易に船内に海水が浸入しないようにした。

(2) リフトバージ(半潜水式重量物運搬船)による外洋海上運搬

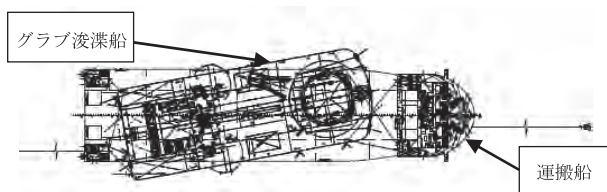
まず最初に、作業船積込場所を海図から選定し海上保安部に照会したのち作業届を申請する。

また、並行して積込場所近隣漁業関係者等と連絡を取り、説明して協力を得ることができた。

積込作業の当日、艀装した愛知県三河港から運搬船が待つ積込場所である伊勢湾沖を目指して出発した。



図一3 半潜式運搬船



図一4 運搬船積込平面図



写真一5 積込完了

積込場所で待機していた半潜式重量物運搬船（図一3）は、事前に入手したグラブ船の建造構造図から、あらかじめ盤木の配置を決定しており、所定の位置に据付済みであることを確認した。

次に、運搬船はバラスト水を注水し半潜水になり、運搬船のウインチ操作により、グラブ浚渫船を運搬船の所定の位置に引き寄せ、グラブ浚渫船を固定した（図一4）。

その後、運搬船を浮上させ、グラブ浚渫船の船底と運搬船の貨物甲板を完全に溶接で固定する。完全に浮上させた後、グラブ浚渫船を運搬船に固縛し、積込作業は完了した（写真一5）。

出国手続きを済ませた後、日本を出発し運搬距離2,777海里、平均航行速度10ノット、所要日数12日で無事にシンガポールへ到着した。

(3) シンガポールでの稼働準備

シンガポールは、1年を通じ日中の平均気温が約27℃、湿度は約80%である。

当初、どの船でも艀装解除及び浚渫準備作業は、日本から派遣された監督員と乗組員が主体となっていく

ため、シンガポールの暑さと湿気の高さに悩まされた。体調を崩す者が続出し、殆どの者が昼食ものを通らない有様であった。

派遣員の体調管理のため仕事量を大幅に減らすことになり、造船場での作業工程を見直さざるを得なかった。

更に、日本で使用していた道具類や機械（ホイスト・クレーン・電溶機・主機始動用コンプレッサー等）は、製品証明書の無い物は全て使用できないので、出国前に降ろせる物はすべて降ろしていった。吊具・ターンバックル・亀の子滑車その他シャックル・ボルトナットに至るまで現地で新たに積み込んだ。船に備わっている物のほとんどが新規に積み込むことになった。この作業と、思うように道具が使えないことが相まって、いよいよ艀装解除作業がはかどらないことが派遣員の神経と体力を疲弊させることとなった。

7. おわりに

この小さな国シンガポールの経済発展はもとより、インフラ整備や港湾整備の活況には目を見張るものがあり、眩いばかりだ。この国の発展の一翼を担うことができたようで嬉しくもあり、誇らしい気持ちにもなっている自分が確かにいる。

それにつけても、本工事の顧客であるベルギー国の浚渫企業は、その国の花形企業であり、王室が新造船の命名をつかさどり、その会社の節目の式典に参列するというのだから、その社会的地位の高さには、ほとほと感嘆した。我が国の浚渫業の認知度と地位の低さを思うと、うらやましい限りだ。

ここシンガポールでは、わが社のグラブ船に訪れる人が少なくない。MPA・MOM（シンガポール労働局）やマスコミ果ては東南アジアの港湾プロジェクトの方々まで。

いつの日か、わが社の担い手不足は、ひょっとしたら外国人によって解消されるのでは、と期待に胸を膨らませている。

JCMIA

〔筆者紹介〕

近藤 真行（こんどう まさゆき）
 ㈱小島組：海外担当子会社
 PACIFIC MARINE JAPAN Co., Ltd. 所属
 SUPERINTENDENT（監督）

