

アフリカ・マダガスカル共和国 エホアラ港建設工事

釣 部 敏 雄

マダガスカルの中でもリモートエリアと言える南部フォールドファンで、欧米系鉱山大手企業のイルミナイト（＝チタンの原料）積み出しのため、岸壁水深 17.4 m を持つ 7.4 万トン鉱石運搬船対応の港湾を、揚陸・係船設備も何もない岩礁と砂浜の状態から、わずか 1000 日で完成した。入札は部分設計施工を含む施工計画提案式で、PQ + 2 段階の審査を経た国際競争入札であり、契約は主体企業に加え世銀融資で現地政府の出資も 20% あったため、FIDIC のピンクブックに準拠した。

キーワード：国際競争入札、設計施工、港湾短期建設、バーム式防波堤、控杭式鋼管矢板岸壁、リモートエリア

1. はじめに

マダガスカルは、日本の 1.6 倍の国土を持ち、インド洋に浮かぶ世界で 4 番目に大きな島国である。人口は 1900 万人でマレー系住民が 5 世紀にボルネオから渡ってきたと言われている。同国は動植物の固有種の宝庫であり、特に原猿類やバオバブが有名である。気候は、5～9 月には南東からの貿易風が吹きインド洋側東岸の降雨量は 3000 mm 程度になり、10～4 月には、アフリカ大陸からの季節風が強くなり西岸の降雨量が増える傾向にある。また、毎年、インド洋で発生したサイクロンが上陸し毎年大きな被害を被っている。

当社のマダガスカルとの関わりは、1977 年に受注したナモロナ発電所建設工事に始まる。その後も日本国の無償援助工事を中心に継続的に工事を受注してきており、同国のインフラ整備や水産振興プロジェクト、

それに病院改修工事などに携わってきた。なお、同国の人材育成のため「内田弘四基金」を設立し、奨学金を支給している。

その中で、今回紹介するエホアラ港建設工事は、マダガスカル国の主要地域開発プロジェクトの一環と位置づけられ、同国南東部のチュリアル県に賦存するイルミナイト（チタンサンド）の積出港を建設する工事で、その内容を此处に紹介する。

2. エホアラ港建設工事について

当工事の名称は、Integrated Growth Poles Project, Port of Ehoala Project, (総合拠点開発プロジェクト、エホアラ港プロジェクト) である。これは、世界的鉱山大手である Rio Tinto 社（英国・オーストラリア）グループによるチタン鋼原材料採掘プロジェクトの主要な一部をなすものであり、マダガスカル南東部フォールドファン近郊に埋蔵される酸化チタンを含有する砂を一時処理し、積み出す港湾を新設する工事であった。と同時に、マダガスカル政府・世界銀行、各種国際援助団体と協力し、チタン鉱採掘事業とそれに伴う港湾整備を中心として、工事名称が示すように総合的な地域開発として取り組んでいるものであり、マダガスカル国政府より開発特区として指定されている。

本工事位置 Fort Dauphin は、マダガスカル国チュリアル州に属し、古くからの港町ではあるが、既設港湾は水深 2.5 m 岸壁しか持たず、小型船以外は接岸不



写真—1 ガリソン湾全景、手前が完成した Ehoala 港、奥の岬中ほどがフォールドファン市中心部



図-1 工事位置図

能であった。また首都アンタナナリボ (Antananarivo), または州都チュリアルからの陸路も存在するが整備が遅れており, 大型車両の通行には問題が多く, 特に雨季には長期間通行不能となることも多く, リモートエリアであった。

チタン採掘プロジェクトのみならず, この港湾が地域経済の活性化に果たす役割は少なくなく, 開港後はチタン原材料の輸出のみならず, 年間 120 隻を越える船が入港しており, また大型クルーズ船も寄港するなど, 今後の発展が期待されている。

また, 航路浚渫は当初通りの為 6 万 t 級の -15.75 m 岸壁対応のままであるが, 発注後の価値拡張検討

(Value Enhanced Study) により岸壁部分については将来の 7.4 万 t 級運搬船対応の -17.4 m に変更されている。この第一岸壁 275 m と, 8000 t 級の -8.0 m 第二岸壁 190 m を持つ新港湾は岸壁深度においては同国一の港湾となっている。このような規模の大深度港湾を, インド洋に直面し南氷洋方向に大きく口を開けた形のガリソン湾において, 写真-2 のような岩礁と砂浜の状態から工期わずか 1000 日で完成させるという超突貫工事であった。

また僻地性も特筆すべき点であった。マダガスカル自体で既に多くの資機材の調達に外部からの輸入となるが, 特に物流が不便なこの地域では, 通常規模の資機材すら輸入に頼らざるを得ない状況であった。しかも小規模の港湾のみで且つ道路整備も不十分な土地柄から, 調達のみでなく運搬手段から荷受の設備, 荷役までの運搬の検討が必須であり, 運搬も含めた調達に要する時間が大きな問題となった。さらに熟練運転工・作業員も調達できる状況にはなく首都から, さらに熟練工については日本・第3国に人材を求めた。まさにリモートエリアでの工事であった。

入札と契約にも特徴があった。民間工事の FIDIC レッドブック MDB 版を基本とした契約条件での国際競争入札であり, 岸壁の設計施工とその他全体についても技術コンペであり, 日本ではなじみの薄い形態であった。その点を踏まえ, まずチタン採掘プロジェクトを概説し, 技術提案書を含めた受注までの経緯を概説し, 最後に工事の概要を説明させて頂きたい。

3. チタン採掘プロジェクト全体の概要と施主の取り組み

先にも述べた通り, このプロジェクトは Rio Tinto 社グループの QIT 社 (= Quebec Iron and Titanium SA, Canada) 80% と, 世界銀行融資でマダガスカル鉱山工業開発局の 20% 出資で設立した QMM 社 (QIT Madagascar Minerals SA) が施主である。プロジェ

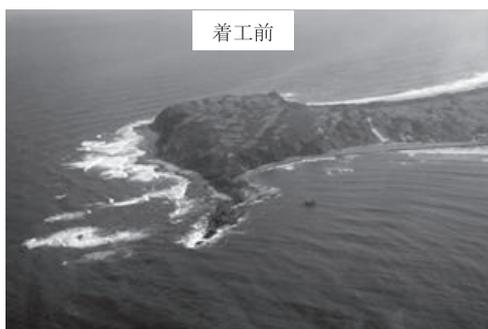


写真-2



写真一三 マンデナにあるイルミナイト採掘選別プラント全景
中央右寄りの緑色の建物群はドライプラント、そのやや左奥には人造池に浮かぶドレッジャーと1次遠心分離選鉱ウェットプラント

クト名称は QMM Ilmenite Project であり、その名の通り主な産出鉱物は酸化チタン砂 (Ilmenite) であり、付随的にジルシル (Zirsil, 風信子石 Zircon + 珪線石 Silimanite) がある。計画年間生産量は酸化チタン砂 75 万トン、ジルシルは 2 万 5 千トンである。採掘は人工池からカッタードレッジャーにて水砂同時にイルミナイトを浚渫採掘し、一次処理として浮きプラント (Wet Plant) で砂を遠心分離、2 次分離の陸上プラント (Dry Plant) で乾燥させ不純物をさらに分離し純度を高めた酸化チタン砂をカナダの工場に出荷する。この地域で 35 年間採掘する計画である。エホアラ港はその酸化チタン砂出荷用の港湾として建設された。プロジェクトのうち荷役設備も含めた港湾部分の投資額は 275 百万米ドルと発表されている。

Rio Tinto 社は 20 年以上前から同地での各種調査を始めており、採算性や投資環境のみならず、地域開発・環境等についても入念な計画がなされていた。また、着手前に政府との間に投資と税制に関わる枠組み合意が締結され、また地域開発においては他の欧米援助団体と協調した持続性のある開発プランも始動していた。さらに、生物多様性保護にも取り組んでいた。Rio Tinto 社のポリシーとして安全衛生環境を最優先としており、厳しい安全衛生環境管理を要求された。この安全衛生環境における姿勢はある面日本以上の厳しさがあり、これまでのアジア・アフリカ地域の工事では考えつかないような厳格な管理を要求されていた。ちなみに、この規模のプロジェクトにして、プロジェクト全体で死亡災害はゼロであったことも申し添える。

4. エホアラ港契約の概要

上記チタン採掘プロジェクトのうち、当社が受注したのは港湾建設工事部分であった。工事名は冒頭で述



写真一四 工事中のエホアラ港と原石山全景

べた通り Integrated Growth Poles Project, Port of Ehoala Project であり、直接の発注者は、QMM の港湾建設運営の子会社である Port of Ehoala S.A. (エホアラ港株式会社)。設計施工監理 (the Engineer, 以下「エンジニア」) は、バード社 (W.F. Baird and Associates, Madison, Wisconsin, USA) であった。

契約受諾書 (Letter of Acceptance, 以下 LA) 発行は 2006/10/4, 工期は 2006/10/12 から 1000 日間の 2009/7/8 までであり、無事工期内に完成し、1 年間の瑕疵期間完了検査も 2010 年 7 月に完了し、最終引渡しを終えている。発注・契約方式としては、FIDIC MDB 版に基づく事前資格審査付きの国際競争公開入札であり、岸壁は設計施工、その他は施工計画提案の審査条件付きの入札であり、当社の請負形態は単独元請けとなった。精算方式は、岸壁は設計施工ゆえに、また運搬や仮設工事は一式であったがその他は本工事は単価数量精算方式であり、支払通貨は入札時に工種 / 単価項目ごとに指定した 3 通貨により精算された。前渡金は契約金額の 7.5% であり、出来高精算は毎月出来高払いであった。支給材等は無く設計施工と技術提案も合わせて、ある面では EPC コントラクトとも言える。また遅延損害金 (Liquidated Damages, 以下 LD) が、6 つのマイルストーン (Mile Stone = 工期内工期, 以下「マイルストーン」) に設定されており、さらに本来は工事請負者にとってニンジンとなるべきインセンティブ・マイルストーン (Incentive Mile Stone 以下「インセンティブ」) も規定されていた。しかしこれは契約金額に含まれていたため、結果的に失敗すれば受け取れなくなるという罰金に近いものになってしまっていた。また、FIDIC の MDB 版に基づくため、3 名の常設 DB が設置された。

5. 入札から契約までの経緯

2005 年 8 月の準備工事 (Early works) の入札には時間がなく当社は不参加であった。2005 年 11 月、エ

ホアラ港工事本体の入札資格審査（PQ 審査）に応募（応募は全 11 社）し、2006 年 4 月の現地説明（Pre Bid Meeting）の参加は当社を含めて 8 社であり、当社を除き全て欧米系企業であった。資格審査後、2006 年 4～8 月までの間には質疑応答と 15 次に渡る仕様書の修正・追加（Addendum1～15）も発行された。その間の同年 6 月には、岸壁概略設計と工事全体の施工方法、工程、機械・資機材調達、施工体制、品質・安全環境管理などの概要計画で構成される ITP (Initial Technical Proposal = 初期技術提案書) を提出した。その後エンジニアらの審査を経て同年 7 月、Rio Tinto 社の本拠地ロンドンにてプレゼンテーション（ITP Presentation）が開催された。このプレゼンテーションでは応札者による ITP の説明・提案及び質疑応答があり、実質的口述審査でもあった。この段階で応募 5 社中 1 社が不合格となり、入札参加社は 4 社に絞られていた。ITP 合格社にはメモランダム（Memorandum）最終の仕様変更（AddendumNo16）が送付され、最終技術提案書（FTP, Final Technical Proposal）と入札書（Financial Proposal）を提出した。提出期日の 2006 年 8 月 25 日にマダガスカル国の首都アンタナナリボ市で即日開札され、当社が第一交渉権を得た。その後、エンジニアによる FTP・FP の審査・確認が行われ合格となり、エンジニア・発注者・世銀・マダガスカル政府間での承認作業が続き、2006 年 10 月 4 日、Letter of acceptance（契約承認通知, LA）が発行され正式に契約が発効し、工期は 2006 年 10 月 12 日から 1000 日間となった。その後 11 月上旬には Kick-off meeting（キックオフミーティング）も弊社東京本社で開催され、正式契約調印式は、同年 11 月 24 日マダガスカル国のアンタナリボ市内で開催され、QMM 社・当社両社長によりサインされた。なお、この契約書には FTP がそのまま含まれており、技術提案が契約の条件となっていた。

6. 工事概要

防波堤他築堤や護岸は、付近の原石山の花崗岩を、大塊に切出した石材による捨石堤で設計されている。特に防波堤は、諸外国では見られるが日本ではあまり例のないバーム式防波堤が採用されていた。

被覆用石材はクラス I から III と 3 段階にクラス分けされたが、その重量範囲は 2t から 22t であった。防波堤は全体が外洋に面し、また岩礁も存在したため、陸上施工とせざるを得ず大型クレーンにより投入した。

浚渫については、石材生産工程と埋立地の囲込み築



図-2 石構造物位置図

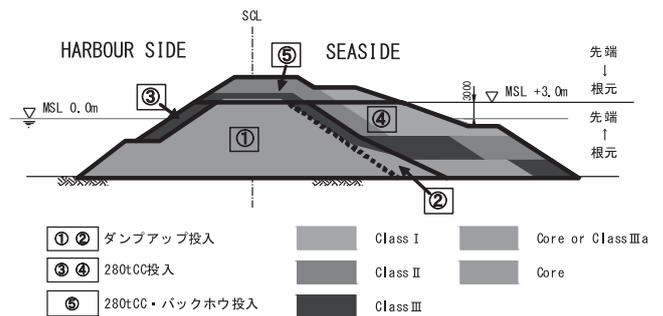


図-3 Breakwater 施工手順

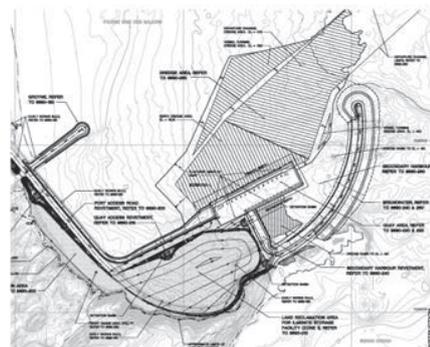


図-4 エホアラ港平面図



写真-5 完成した岸壁。手前が-17.4m 第1岸壁、奥が-8.0mの第2岸壁

堤の工程上の問題、地域的問題かつインド洋に直面し静穏でないうえ数量がポンプ浚渫の採算ラインに満たない、また第 3 紀以降の風成砂岩の崩落岩塊が海底に堆積していたことからグラブ浚渫とし、且つ岩盤存在

の可能性も否定できなかったことなどから砕岩用チゼルも準備（実際は未使用）はしていた。

岸壁については設計施工であり，当社では，極めて短い工期，水深と水域の非静穏性，コンクリート用材料調達の問題等の観点から，控え杭式鋼管矢板岸壁を提案し採用されていた。打設工法については，油圧ハンマーを基本とし，幸い使用しなかったが，ハンマーグラブとロックオーガーも念のために準備していた。

主要工事数量

石材生産・運搬：

約 80 万 m³，（被覆石 2 t ～ 22 t，砂利骨材含む）運搬距離約 10 km

石構造 捨石防波堤：

延長約 550 m，水深 0 m ～ 18 m，捨石・被覆石約 54 万 m³

岸壁連絡堤・第 2 岸壁連絡堤・防砂突堤（主と副）など：捨石・被覆石約 16 万 m³

浚渫工・埋立：

約 78 万 m³，浚渫深さ = 航路部 - 17.5 mMSL，埋立面積約 11.3 ha

岸壁（設計施工）：

第 1 バース 設計船舶 7.4 万 t 級，水深 - 17.4 m，延長 275 m ・ 幅 75 m

第 2 バース 設計船舶 8 千 t 級 水深 - 8.0 m，控え杭式鋼管矢板岸壁，係船柱・防舷材・荷役設備基礎・洗掘防止工・コンクリート舗装，

航行支援設備：

ブイ・航路標識他，波高計・流速計・潮位計・各種天候計測機器

7. 工種別概要説明

以下写真を中心に工種別に概要を説明したい。

(1) 石材生産と運搬

石材生産運搬のための大型重機の輸入は，マダガスカル南西部のチュリアル港にてバージに積替え曳航し，エホアラ港建設区域内に建設した仮設ジェッティに揚陸した。

主要機械は，

- エクスカベーター EX1100, CAT385, ZX850x3 他
- ペイローダー CAT992, CAT988, CAT960 他
- ダンプトラック 45 tx15 台, 30 tx5, 15 tx10 他
- スタティックグリズリー，振動グリズリー，クラッシャー他

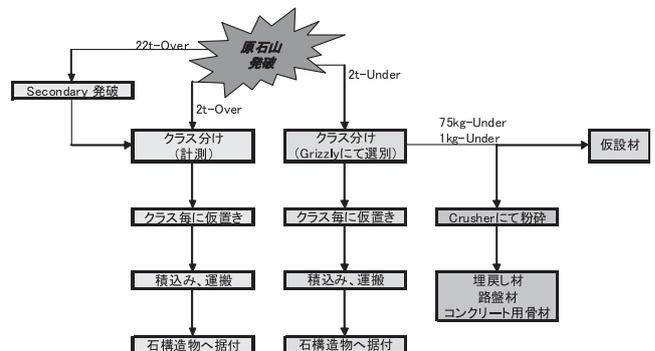
南山におけるアーマーストーン（被覆石）生産用の



写真一六 最大クラスの石材である Class I Armour Stone (11 t ～ 22 t, 写真は約 21 t)



写真一七 南山発破状況。北山頂上付近より



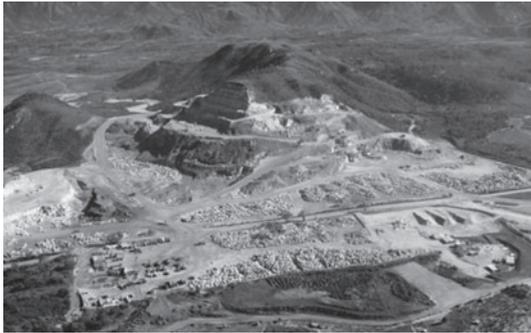
図一五 石材生産フローチャート

発破，写真一六のような大塊の石材などを，仕様数量に合わせて効率的に生産する為，試験発破も実施しながらパターンの修正・調整を行いより良い yield を目指した（写真一七，図一五）。

分級・計量した石材はサイズ毎にストックし，その規格ごとに再度粒度調整して出荷する。

2 t 以下の石材についてはグリズリー・振動グリズリー・フィーダーなどで分級し，骨材などのクラッシャーのフィードにも使用した（写真一八）。

また，効率的な発破・生産とするため，実際の yield に合わせて設計仕様の修正も積極的に提案し，また scope 外であった埋立地のローダー設備基礎部には，小径の余剰石材の流用を提案するなどして，ロス



写真—8 原石山移動中全景、及び Grizzly Plant 全景

の低減に努めた。

(2) 防波堤他石構造物

防波堤では、コア材 (Core, 1 kg ~ 2 t) はブルドーザー、2 t 以上の被覆石 (2 t ~ 22 t) は 280 t クレーン 2 台により投入した。280 t クレーンは岸壁工も含め 3 台準備し、主に 2 台で防波堤などを担当した (写真—9)。

サイクロン時の波高は海上で 7 m を超え施工中暫定断面 (MSL + 4 m) の防波堤を大きく超波した (写真—10)。

捨石の重量・大きさとその設置個所までの作業半径、常にインド洋の荒波・南水洋からのうねりにさらされる海象、大きさゆえの整形の困難さ、などの基本的問題が大きく、この捨石による防波堤が実は一番苦勞した工種であった (写真—11)。

(3) 浚渫・埋立

浚渫船団は大型半潜水台船で回航した (写真—12)。25 m³ 級浚渫船で実際は 11 m³ ヘビーバケットで掘削。岩盤の出現に備えチゼルも準備していたが、幸い使用せずに済んだ (写真—13)。

測量はマルチビームソナーにより 3 次元測量とした (図—6)。

埋立地で追加設計変更 (当初契約に含まず) となったローダー設備の基礎部については、当初杭基礎案で

あったようだが、リーフが点在し打ち込みだけでは施工が困難であること、機械設備の搬入に時間がかかり発注者の工程に間に合わないことなどから、提案を求められ、石材生産で派生する小径の石材の使用を提案し採用された。その締固めにはダイナミックコンパク



写真—12 半潜水台船による浚渫船団搬入



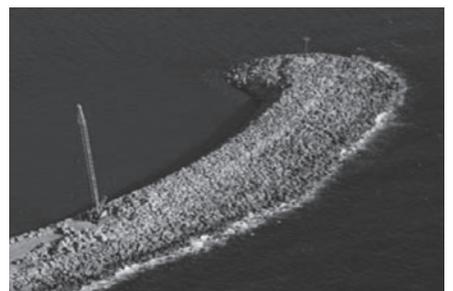
写真—13 25 m³ 級浚渫船, 11 m³ 重バケットによる浚渫状況



写真—9 280 t クレーン 2 台による防波堤暫定断面までの石材投入状況



写真—10 暫定断面の完成まじかの建設中に襲われたサイクロン時の状況



写真—11 防波堤施工状況。完成断面までを先端から施工中

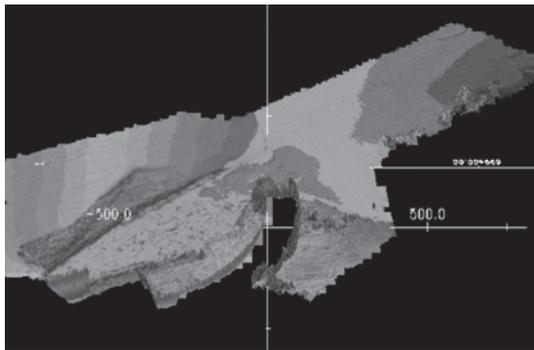


図-6 マルチビームソナーによる3次元深淺測量



写真-14 埋め立て地、イルミナイト集積倉庫基礎部の捨石のダイナミックコンパクション

ションを施工した (写真-14)。

(4) 岸壁他

岸壁は設計施工で、控え杭式鋼管矢板方式とした(図-7)。

仮定した土質条件との違いがあった場合は、設計変更とする条件で入札していたが、設計提案時仮定していた土質定数は、やや安全側に設定していたが、そのパラメーターの妥当性は、着工後に小型 SEP を回航し実施した海上ボーリングで確認された。

杭は、海域の非静穏性を考慮し大型 SEP 船で打設した。杭打設時は、防波堤・浚渫も同時進行であり、また杭にやや遅れてタイロッド・裏込めも同時進行であり、最盛期にはかなり込み合った状況となった (写

真-15)。マイルストーンにも規定され、チタン砂の積み込み用ローダーをオフロードするために、第一岸壁を早期に使用可能とする必要があり、閉合は第2岸壁とエンドウォールの角とし無事閉合した (写真-16, 17)。



写真-15 工事最盛期の岸壁施工状況。手前から、浚渫土埋立、中程左で鋼管矢板裏込め、右で SEP による鋼管矢板・杭打ち込み、その後方で浚渫、さらに奥では防波堤先端部投入



写真-16 SEP による鋼管矢板・杭打設状況



写真-17 鋼管矢板閉合。左奥ではタイロッドと裏込め施工中

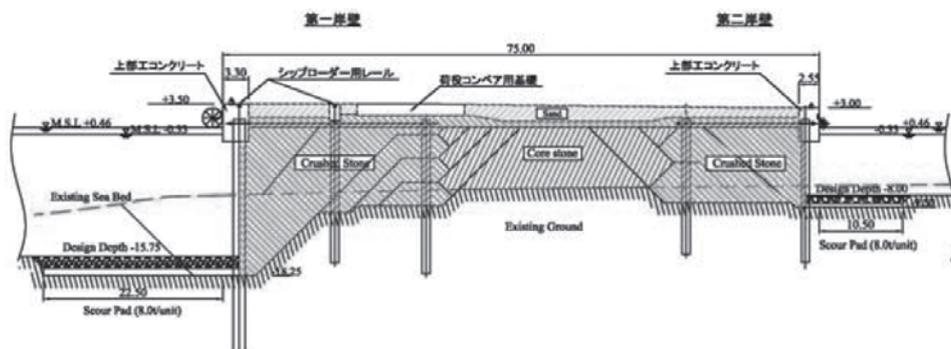


図-7 岸壁標準断面

裏込め材料は、コア石材生産過程で発生する1kg以下の残余石材(フィーダーで40mをカット)とした。控杭の横方向抵抗確保のためには控杭付近を先行して投入が必要であるが、施工海域の輻輳・作業半径・施工速度などを考慮し、中央部にコア材量(1kg~2t)を陸上投入したアクセスを設けて、クレーンによる陸上からの投入とした。埋め立て完了から使用開始までが短期間であることを考慮して、圧密沈下を最小限とするため、またコア材料生産過程で発生する余剰材料を利用できその他の補助工法を必要としない、台船投入より施工速度が速いなど、結果として総合的には最良の選択であったと考える。

なお浚渫砂による埋立はタイロッドより上の舗装路盤までのみとした。

埋立杭完了前には第一岸壁のコーピングも既に開始していた(写真-18)。海中部ロットでは偏心重量プレキャスト外壁を型枠とし、施工中の波浪に耐力を増すと同時に水中作業を低減した(図-8)。

施工中には実際1~1.5m程度の波はあったが、偏心が功を奏して安定し、且つ潜水作業量の低減により、かなり早い施工速度が実現できた。

マイルストーン(遅延損害金つき工期内工期)となっていた第一岸壁部分は実質的完成し、2008年12月15日、酸化チタン砂積込用シップローダーが荷卸された。



写真-19 岸壁実質完成



写真-20 イルミネイト輸出第1船積込み状況。工期前の2009年5月



写真-21 エホアラ港実質完成全景



写真-18 岸壁コーピング施工中

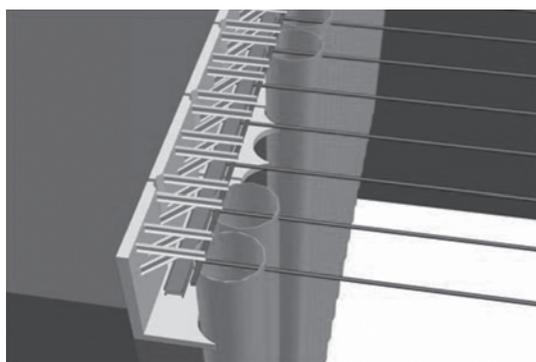


図-8 岸壁コーピング、プレキャスト型枠施工イメージ図



写真-22 工事完成時の原石山

「2009年早期に、酸化チタン砂運搬第一船を出荷したい」と発注者の強い希望があり、そのためには第一岸壁と航法支援設備もほぼ完成させ、設備業者も荷役設備の実質完成が必要であった。当社にとっては契約

義務ではなかったが、我々港湾建設業者と設備業者がプロジェクト全体の共通目標として設定し、協力して成し遂げることができた（写真—19）。

2008年5月には、発注者の強い希望と意思により共通の目標としていた酸化チタン砂運搬第一船入港積込みが達成された（写真—20）。なお、契約義務ではなかった早期出荷のため工程順序を変更し、その工程順序の変更およびコンペンセーションとしてもマイルストーンの変更が行われ、また一部アクセラレーションコストも認められた。

このようにして、プロジェクト全体が成功裏に予定工期限内に完成した。ある面プロジェクトの要ともなっていた当社担当の港湾工事も、無事工期限内完成することができ、瑕疵期間も無事完了している。写真—21, 22は完成後の港と原石山である。

8. おわりに

着工当時に欧米の技術者らから「Challenging」と言われていたが、実際工事中多々の難関に遭遇した。しかしこのプロジェクトでは発注者により目的と目標が明確にされており、発注者の工事総責任者の言葉であるが「目標に向かって一つの船に乗っている」とし



写真—23 完成翌年に Port d'Ehoala に入港したクルーズ

て発注者・エンジニア・請負者の共通の目標に向けての協力体制は非常によく構築されていたと感じている。民間工事であったこともあるが、発注者・エンジニアの決定が驚くほど迅速で、また合理的な提案は積極的に採用されたことも、当社担当工事のみならず、プロジェクト全体が成功した大きな要因であると感じている。

JCMA

【筆者紹介】

釣部 敏雄（つりべ としお）
大豊建設株
海外支店
工事部長

