

第4章 港湾計画

4-1 基本政策

4-1-1 トアマシナ港の開発政策

トアマシナ港は次のような戦略で開発される。

- (1) 港湾施設は国家経済の発展が促進できるように建設される。
- (2) トアマシナ湾の潜在力をフルに活用する。
- (3) 生産力の向上を図る。
- (4) 航行の安全を図る。
- (5) SPAT の財務的な健全性を保持する。
- (6) 技術の移転と雇用機会の増加を図る。
- (7) 建設期間中の環境管理に努める。
- (8) 港湾の周辺での道路混雑と大気汚染を少なくする。
- (9) 環境と開発の調和を図る。

4-1-2 目標とシナリオ

(1) 港湾施設

マダガスカルの健全な経済開発を保証するため、港湾施設の十分な容量とタイムリーな建設が求められる。

- ① GDP 成長率は 2020 年まで、年率 5~7 % と見積もられる。
- ② コンテナは年率 10-13% で伸びると予想されるが、年率 10% で成長すると予想し 2020 年のコンテナ貨物の需要は 426,000TEU と見積もられる。
- ③ バルク／一般貨物は 2020 年において、983,000 トン(アンバトビー関連貨物を除く) と見積もられる。

リスクを避けるために、2017 年までには最小限の設備を建設する。もし、予想以上に貨物の増加があるときは、追加の施設建設が必要となる。

このため、中期開発計画として、緊急整備計画の施設と、追加の 2020 年計画の施設を含むものとする。

(2) 湾のポテンシャルの最大活用

トアマシナ湾はグランド・リーフとハスティー・リーフによって外海の波から遮蔽されてきている。湾の形は楕円形で長軸が 2km、短軸が 1.5km ある。中央の深さは 20m である。西側の岸

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

は砂に覆われ、東側はサンゴが露出している。海底の勾配は東側が急である。湾内の地盤は岸壁を支えるに十分な強度を有する。地形の状況、海底の状況、利用の状況などから、湾域は6つのエリアに分類できる。

- Area (C) は C3 岸壁の延長線部分
- Area (D) はグランド・リーフ港内側付近
- Area (E) は湾奥のビーチの部分
- Area (F) は独立大通りのあたり、
- Area (G) はタニウ岬の前の海域、

上記のうち独立大通りのところの Area (F) は公開空地として、市民が景色を楽しんだり散歩したりできるようリザーブする。残りの区域 (C), (D), (E), (G) が岸壁として開発可能な区域である。現在、グランド・リーフと防波堤は 500m 離れており、そこから波が侵入する。それ故、Area(C) が第一番目に開発されなければならない。Area (C) が開発されると、Area(E) が静穏になるので、Area(E)が開発可能となる。Area (D) もグランド・リーフが近くなるので開発が可能となる。追加的な防波堤を建設し、橋梁で結ぶことは困難ではなくなる。もし、防波堤が Area (D)の開発によって建設されると、Area (G)が静穏になるので、開発可能となる。

それゆえ、開発の順番は (C)-> (E) -> (D) -> (G)となる。

各区域の特徴と開発イメージに基づくコストは以下の通りである。

Area(C) :

元来、水深が深く、深水岸壁を建設するに十分な深さを有する。しかし、埋め立てには大量の材料を必要とする。外海の大きな波が作用するから、防波堤建設のコストは高い。岸壁の後ろに広いヤードを建設すると莫大なお金が必要となるので、スペースの要求を満たすためには、ハスティー・リーフを埋め立てる必要がある。

表 4-1-1 Area(C)開発コスト

施設	規模	Cost (EURO million)
防波堤	約 350m	38
岸壁	-14x320m, space 5ha	61
コンテナヤード (Hastie Reef)	10 ha	50
Total		149

Area (E):

このエリアではターニング・ベースンが必要である。ターニング・ベースンは岸壁の前に-14m まで掘り下げる。

岸壁の後ろは狭いので、バックアップエリアはハスティー・リーフに設けられる。現在、現地はテニスコートやフットボール場に利用されているからそれらは、Area (F)に移設される。

表 4-1-2 Area (E)開発コスト

施設	規模	(EURO million)
岸壁 -14m, -9m, -7.5m	Quay500m, Shore Protection200m	41
ターニング・ベースン	Dredging/Fill= 1million m3	11
舗装	4ha	5
ストックヤード(Hastie)	10ha	50
Total		107

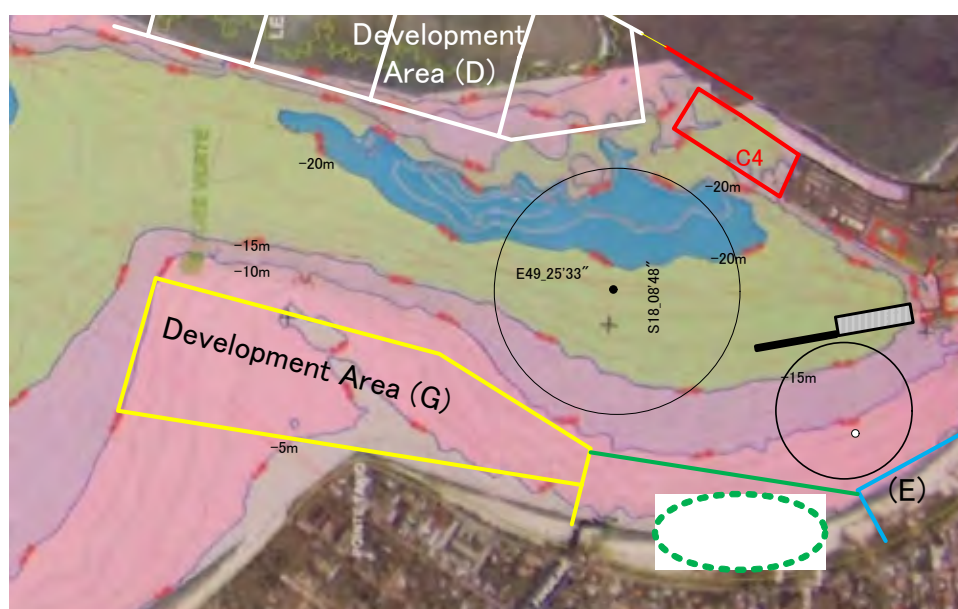


図 4-1-1 トアマシナ湾の開発可能エリア

Area (D):

グランド・リーフからの防波堤と Area (C) への連絡橋が建設される。大水深の岸壁がグランド・リーフの西側に建設される。リーフ・フラットは埋め立てられ、コンテナヤードが設けられる。Area (D)には、巨大なコンテナ・ターミナルが立地できる。それらは、BOTで実施できるとしても、SPAT のイニシアティブを必要とする。防波堤、連絡橋、第1期の開発は、SPAT. によって行われなければならない。

表 4-1-3 Area (D)開発のコスト

施設	規模	EURO million
防波堤と橋梁	Length150m, Bridge15m	22
岸壁 -16mx700m	-16mx350m,-16mx350m	88
岸壁、コンテナヤード	40ha	120
アクセス道路	200m	3
Total		231

Area (G) :

Area (D)が開発されると、この地域も静穏になるので、開発が可能となる。この地域は、航路開発と一緒に実施される。この地域は侵食と堆積が起こる地域である。なぜなら、北側の砂浜に接しているからである。

Area(G)の開発費用は表 4-1-4 に示される。

表 4-1-4 Area (G)の開発費用

施設	規模	EURO million
岸壁 -14mx2	-14x700m	50
護岸	500m	10
浚渫・埋め立て	浚渫 3.5 million m3	34
舗装	21 ha	24
Total		118

(3) 生産性の向上

- (a) 生産性を向上させるために、SPAT は、近代的な荷役機械の導入、たとえば、ガントリークレーン、トランスファークレーン、ダンプトラック、ベルトコンベヤ、そしてフォークリフトなどを導入するように指導すべきである。
- ① クロマイとの荷役機械をよりグレードの高いものに変え、荷役を迅速に行うべきである。
- ② 木材チップは野積み場から、コンベヤで埠頭まで運び、ローダーで積み込むべきだ。
- (b) 壁や、ビルディングなど、港湾内の通行を妨げるものは移設し、トラックの交通の流れをスムーズにするべきである。
- (c) 道路と鉄道の交差はできる限り避けるべきである。
- (d) NO.1 ゲートには立体交差橋を設けるべきである。

(4) 航行安全

ターニング・ベースンに十分なスペースを確保し、航路の往復を分離すべきだ。それにより、航行の危険と、待ち時間を減少させる。そのために、浚渫工事と航路標識の整備が必要である。

水域施設のコンセプトは、以下に示される：

航路は2レーンとし、1レーンを出港用、1レーンを入港用にする。モデル・シップは59,000 DWTのコンテナ船、それは、長さ288m、満載喫水13.3mである。操船の容易さを検討した結果は以下のとおりである。

全体の航路幅は、600m、風速10m/sec (45 degrees)、海水の流速は1.0 knots.

舵の角度が15度するとき、船の回転半径は2,000m、そして35度の時、1,000mである。波や風があるときは操船が困難だから、レーンの半径を2,500mとすることを提案する。

- 航路の深さは、波高が3m、周期14secのとき、-17mとすべきだ。直接外海の波が作用する航路の途中に、浅い箇所があるので、そこは-17mに掘るべきである。グランド・リーフの影で波の静かな場所の航路は-15mに掘るべきである。
- 灯標は信頼性があるので、建設されるべきである。Beacon Aは曲線の始まりに建設し、そこは水深が-10mと浅いから、航路を浚渫する必要がある。Beacon Bはやはり、航路の境を示すために必要で、建設することが勧められる。特に海がしけているときは視認性が確保されるべきである。ブイが安い嵐でしばしば流される。
- 2レーン化のコストは、EURO 29 millionと見積もられる。その内訳は表4-1-5に示される。

表 4-1-5 航路2レーン化プロジェクトのコスト

工事	単位	数量	単価	COST(EURO)	備考
浚渫	M ³	1,000,000	22.590	22,590,361	
灯標	Set	2	3,012,048	6,024,096	
導灯	Set	2	150,602	301,205	Renewal
通信、監視システム	Sum	1	37,651	37,651	
Total				28,953,313	

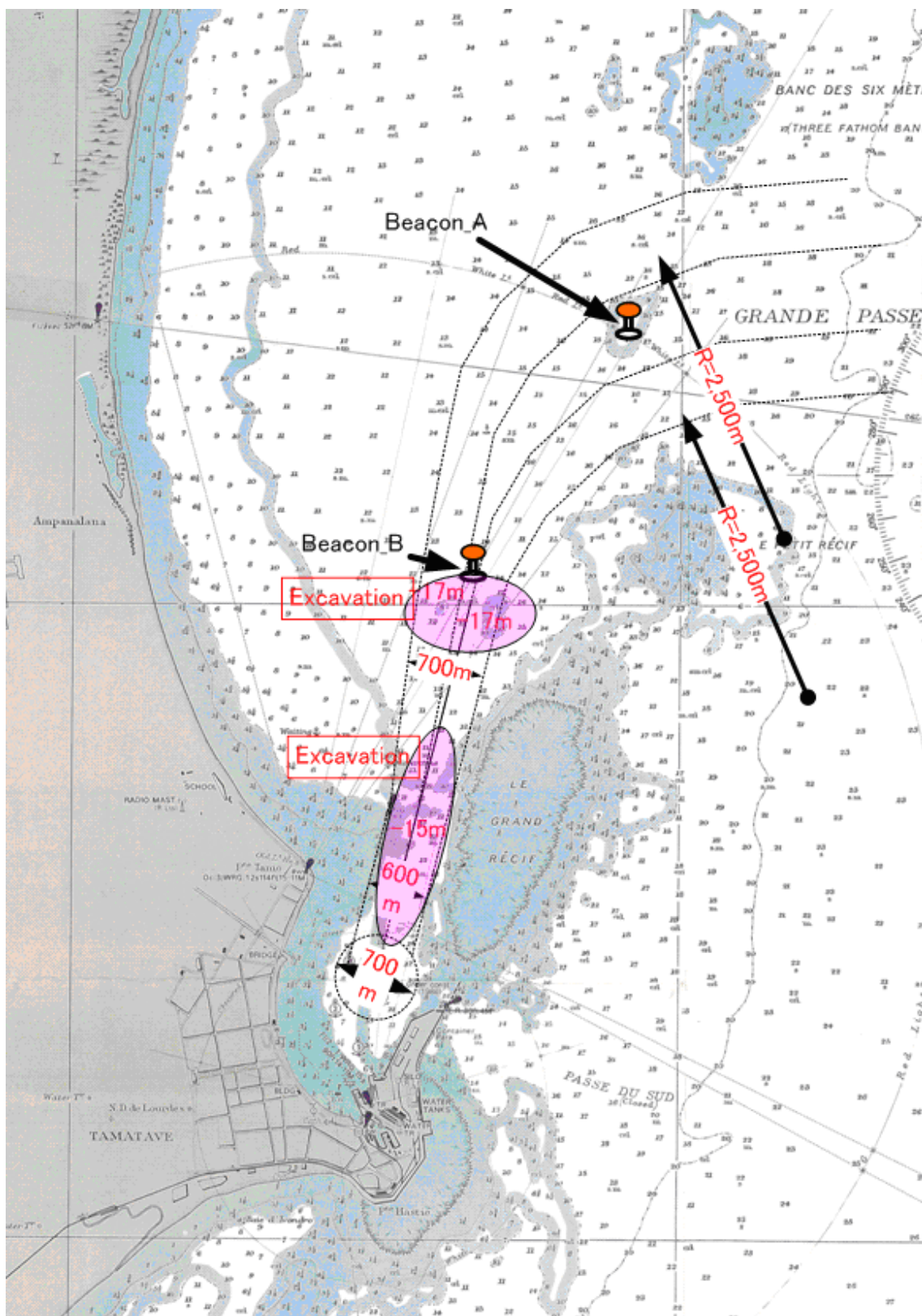


図 4-1-2 航路計画図

(5) 財務の健全性

- (a) 緊急開発計画は、最小の投資で最大のリターンを得ることができるよう計画されるべきである。
- (b) プライベート・セクターとの連携により、タイムリーな投資とリスクの分担が図られるべきである。
 - ① MICTSL はガントリークレーンやコンテナヤードの舗装などを担当する。
 - ② ウッドチップについては、SPAT が港内にヤードを提供し、王子製紙はベルトコンベヤや、シップ・ローダーなどを担当する。
- (c) 民間企業の参加を促すために、港の情報をインターネットサイトなどに公開する。

(6) 技術の導入と雇用機会の増加

プロジェクトの実施によって、もし、技術の導入と雇用機会の増加が図れるなら、単に拡張工事を実施する以上に好ましい。次のことはプロジェクトコストを下げる可能性があり、そのうえ、単なる入札以上の利益をもたらす可能性を持っている。

● モビリゼーション・デモビリゼーションのコストを節約する。

建設機械や材料を持ち帰る必要がなければ、建設会社はデモビリゼーション費用を節約できる。

- ▶ 入札仕様書では、入札応募者が持ち込む機械は、新しい機械（たとえば、ダンプトラック、ペイローダーなど）とし、工事終了後に SPAT に引き渡すよう、規定するべきである。
- ▶ 小型の作業船、バージなど百万ユーロ以下の船についても、持ちかえらず、SPAT に引き渡す。
- ▶ ブロックの型枠なども繰り返し使えるから、SPAT に引き渡す。

このようにすれば、次の段階のプロジェクトを実施するとき、マダガスカル側は持ち込み費用も支払わなくて良い。

● 重力式岸壁構造のオプション

① ケーソンタイプ

日本ではケーソン式の構造が非常に多く採用されており、技術移転は容易である。それに加えて、ケーソン式は鋼管シートパイル式の場合よりも、マダガスカルの現地の人を多く雇うことができる。コストはスチール・タイプの栈橋よりも少し高いと積算されているが、ケーソン式が実際の入札では安い場合も十分考えられる。それ故、SPAT はオールタナティブビッドを認めるべきである。

1. 入札のとき SPAT はケーソン式のオールタナティブビッドを認める。
2. SPAT 側は、港内の適切な場所に係留することを認める。

3. 入札図書の中で、応札者がフローティングドックを工事終了後に STAT に引き渡したいという申し出があれば、無償で引き取る旨を明らかにする。

② ブロック式岸壁

C4 岸壁予定地は深く、硬い地盤があるために、ブロック式の岸壁をつくることことができる。それに加えてマダガスカルには大きな地震がない。もし、SPAT が、ブロック式の岸壁の入札を求めたら、それは SPAT の利益になる。なぜなら急激な価格上昇が鉄鋼の場合にはあるが、コンクリートの場合にはなく、入札が不調になることがない。ローカルのマンパワーの比率がスチール・タイプよりも高い。

岸壁に適用可能なブロック式の形式はいろいろなものがある。最も単純な形の構造を図 4-3 に示す。

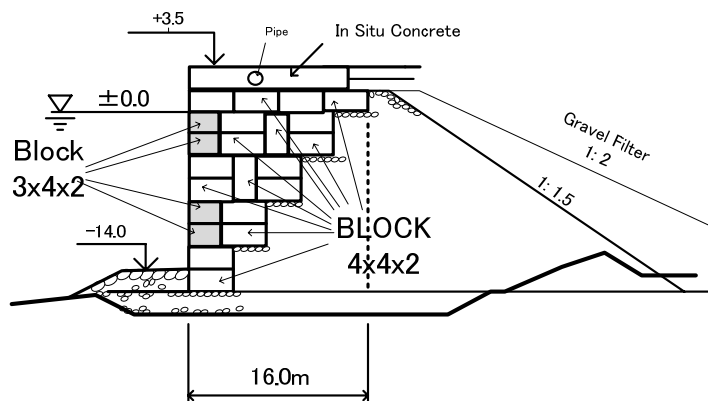


図 4-1-3 ブロック式岸壁の例

この構造の特徴は以下のとおりである。

- ① ブロックが階段状のスロープに積んである。
- ② スロープの勾配は(1:0.75)である。
- ③ 2種類のブロック(4x4x2, 3x2x2)から構成される。
- ④ 重い方のブロックは 80 ton である。
- ⑤ 安定は円形滑りでチェックできる。

もし、必要なら、直立壁の検討方法も適用できる。破線が仮想の直立壁である。この場合、壁体幅は 16m である。

いちばん重いブロックが 80 トンだから、これは防波堤の建設に使うものと同じつり上げ能力のクレーンで据付可能である。積み上げのためのマウンド石は、均しやすいサイズの石を使う。作業のヤードには、工事を期間内に終わるために、広いスペースが必要である。たとえば、160mx80m 程度の広さと積み出し岸壁が必要である。図 4-1-4 (see page 4-3) の Area (E) が場所として考えられる。

C4 岸壁用のブロックを利用して、Area (E) に仮設岸壁を作ることが考えられる。

(7) 建設期間における環境管理

- (a) 浚渫期間中の濁りを監視する。サンゴの斜面に濁り水が到達しないように、適切な処置を講ずる。
- (b) もし、浚渫予定の土砂が有害物質を含む時は密閉式のグラブで掬い、水密なダンプトラックで運び、水密な壁に囲まれた場所に封じ込め、蓋をする。
- (c) くい打ちの間、市内に許容値以上の騒音が到達しないように騒音はモニターされる。
- (d) トラックのルートと、時間は、騒音、振動、そして大気汚染が許容値以上にならないようにコントロールされる。
- (e) 建設作業従事者用のトイレットは作業ヤードに建設され、病気の予防、不潔な状態の回避を図る。

(8) 道路混雑の防止

駐車場と情報システムがアクセス道路沿いに設けられる。道に駐車することによる道路混雑は回避されなければならない。不要なエンジン・アイドリングは減少させ、排気ガスの排出も削減させる。

バイパス道路（有料）が将来建設されるべきだ。それは、南側の海岸にそって、主としてコンテナトラックの使用のために建設される。重量の大きいトラックは、ピーク時間中は、市内をとおさないようにすべきだ。市内の混雑と、人身事故は回避されるべきだ。

1) バイパス道路の建設

バイパス道路は市内の道路混雑を解消するであろう。炭酸ガスの排出も同時に削減できるであろう。新しい道が図 4-5 に示されているようにすでにできているから、海岸道路（黄色、10km）が建設されるべきである。

2) 駐車場と情報システム

トラックドライバーは彼の順番を待つために駐車をする。それ故、基本的に駐車場は必要である。市内の道路に駐車すると、道路混雑の原因となる。不必要な道路混雑を防止するには、待ちの順番の情報を提供するシステムを備えた駐車場が必要である。待っているトラックドライバーが、ゲートをくぐるべき時間を知っていれば、ゲート付近の道路に駐車する必要がない。情報を得つつ、トラック運転手は駐車場で待機すべきだ。しかし、待っているあいだ、運転手は車のエアコンを使うかもしれない。これは、大気汚染と CO2 排出の原因となる。不必要なアイドリングを避けるには、木陰や屋根を提供する必要がある。屋根付きの休憩所にはエアコンやトイレットを設備し、病気の予防をすべきだ。

3) インランド・デポの設置

もし、市街の車が港に来なくてもよければ、港のゲートの外の待ち行列は減少する。街の中を走る必要もない。この観点からインランド・コンテナ・デポが提案される。インランド・コンテナ・デポの規模は 20ha である。

図 4-1-4 に、バイパス・ルート、駐車場、インランド・デポの位置を示す。

図にあるように、13ha (550 cars) の駐車場はすでにできている。これが緊急開発計画期間内にはフルに活用されるべきである。

図には、ゲート外の傍にもう一つの駐車場が示されている。駐車中の規模は 2ha (160cars) である。インランド・デポも図に提案されており、港内の税関のスペース不足も補う。規模は 20ha である。

バイパス道路、駐車場、そして、インランド・デポの建設費用は表 4-1-6 に示される。

表 4-1-6 バイパス道路、駐車場、インランド・デポの建設費用

施設名	規模	Rough Cost (EURO million)
バイパス道路	B=25m, L=10km	47
カルバート部分	30 places	5
養浜、駐車場	B=500, L=200, Paving 2ha	10
インランド・デポ	Paving 20ha	27
Total		89

この道路は料金収入により運営される。この道路の大多数はコンテナトラックやダンプトラックである。もし、海岸が SPAT に属するなら、用地取得にお金はいらぬ。それが、道路幅より、海岸道路新設を選んだ理由である。ただし、道路はすぐに作れても、サイクロンによって、しばしば壊されるので、頻繁な修理が必要である。道路の広さは 25m よりも狭くてはいけぬ。何故なら、

1. 小さな断面では高波の時簡単に洗い流されてしまう。
2. 港湾の道路は、1 レーンは駐車に必要である。
3. 非常に重い貨物を積んだトラックはゆっくり走るので追い越し線が必要である。

25m 道路に加えて、両側に 25m 程度のスペースが必要である。それは道路の修繕のために必要である。

道路は人、車、動物の通行を妨げてはいけぬ。カルバートトンネルは 30 か所設けられる。

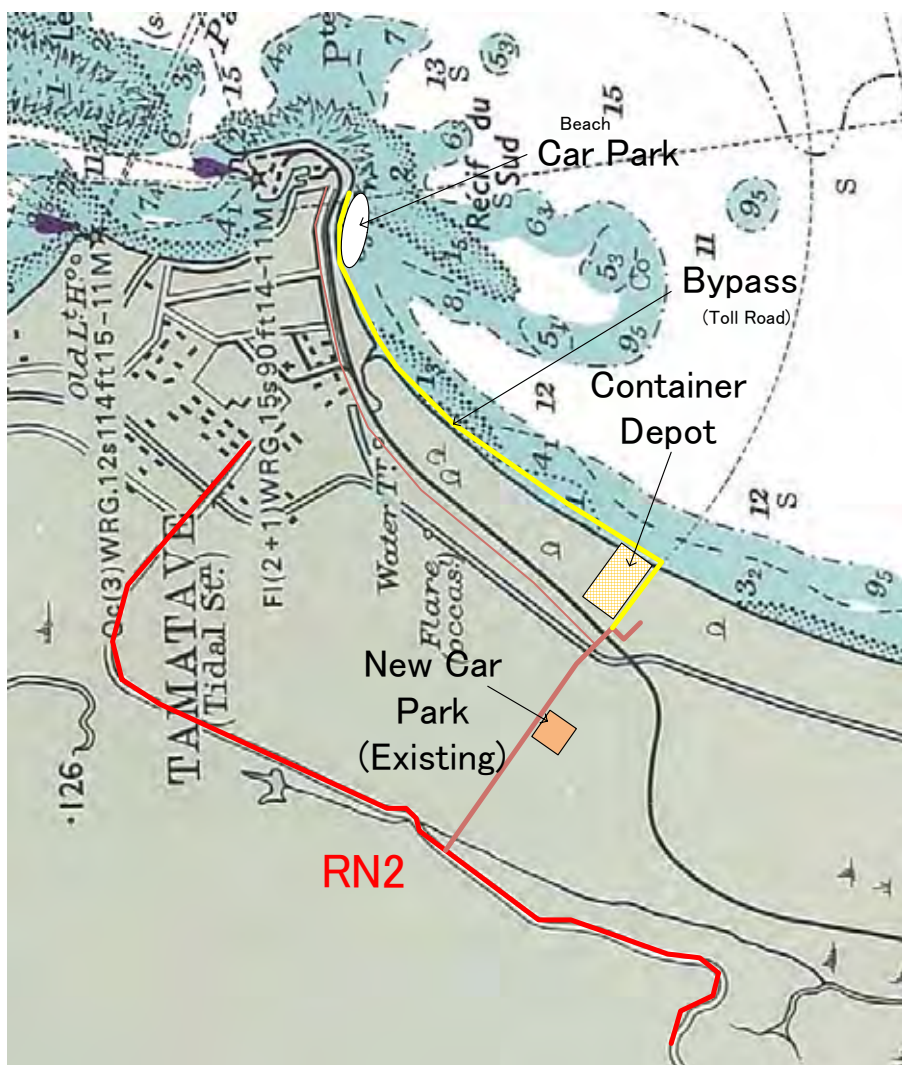


図 4-1-4 バイパス、駐車場、インランドデポ

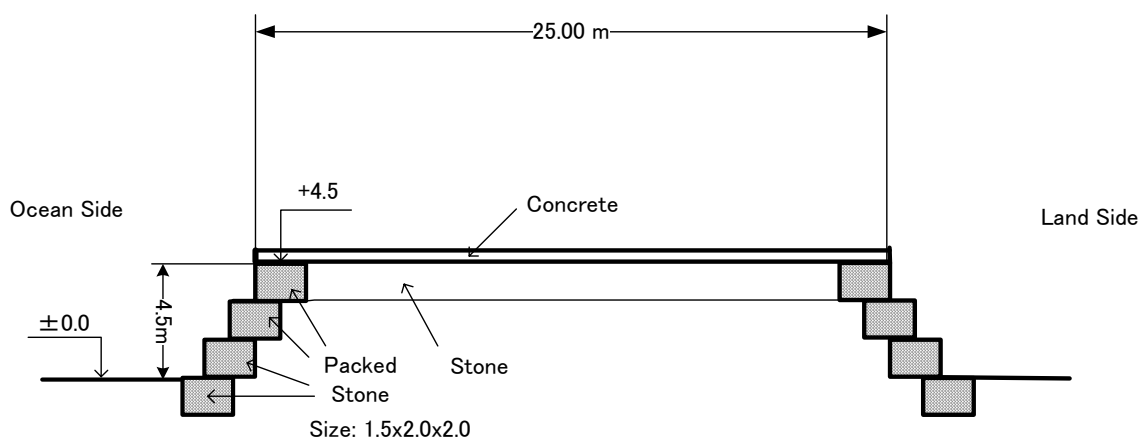


図 4-1-5 海岸道路の断面

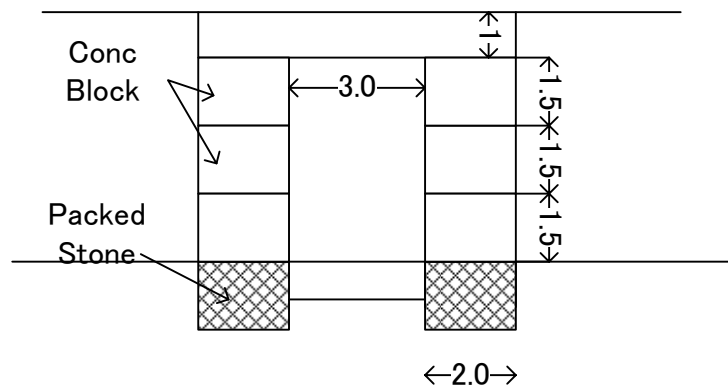


図 4-1-6 カルバート断面

(9) 開発と環境の調和

・サンゴとの共生

世界でも有数の 300km に及ぶコーラル・バリアーが、マダガスカル南部の Andavadoaka から Itanpolo にかけて存在する。

トアマシナ南部の 1,000km は地図の上では直線となっている。トアマシナ近傍には 5 つの珊瑚礁がある。そのうちの 2 つが、港の防波堤の役割を果たしている。大きいほうのリーフがグランド・リーフ、小さいほうのリーフがハスティー・リーフと呼ばれる。



図 4-1-7 トアマシナ海域のサンゴ礁

もともと 2 つのリーフは 1,000m 離れていたが、防波堤と、C3 岸壁を 1974 に建設したために、開口部は 500m に縮小した。

湾内は開発可能地域として 5 つの地域がある。それらは、図に示される(C), (D), (E), (F), および、(G)である。しかし、(F) は市民のための公開空地として残される。

(E), (G) は (C)が開発され、防波堤ができなければ利用できない。(D)はアクセス道路ができないと、利用できないから(C)が開発され、防波堤が建設される必要がある。

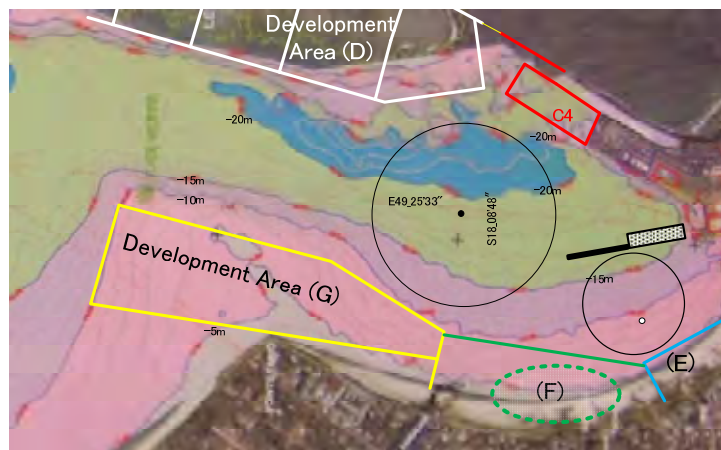


図 4-1-8 トアマシナ湾の開発ポテンシアル

それ故、(C) がはじめのステップとして開発されなければならない。

(C) と(D)地区を開発するにはサンゴを埋めざるをえない。

こういった状況では、港湾開発と、サンゴの保護のバランスをとらなければならない。サンゴの性質を注意深く観察し、サンゴとの共生をどのように図るかを見出さなければならない。

(1)サンゴは泥水がくると死滅する。それ故泥水がサンゴに来ないようにしなければならない。川は、切り回して、サンゴに泥水があたらないようにしなければならない。

(2)サンゴが防波堤の下敷きになったとしても、サンゴは防波堤の斜面に着生し成長することがよく知られている。



図 4-1-9 サンゴが消波ブロックに着生し成長する様子（沖縄） (1)



図 4-1-10 消波ブロックで成長したサンゴ（沖縄、建設 30 年後）

図 4-1-9～図 4-1-10 はサンゴが消波ブロックに着生し成長する様子である。サンゴは 1974 年に建設された C3 岸壁のブロックにも着生し成長している。図 4-1-11 は C3 岸壁の基礎に着生し成長したサンゴである。

それ故、珊瑚礁のスロープに防波堤や岸壁を建設することは許容できると考えられる。



図 4-1-11 C3 岸壁基礎に着生し成長したサンゴ(Toamasina Port)

(3)リーフ・フラットが高温になり、サンゴが死滅した場合、暴風時の異常な高波によって、サンゴが壊され、波の少ないリーフ中央部にサンゴの破片が堆積し、徐々に陸地化する傾向を持つ。この傾向は写真 4-1 にも見られ、一番左のリーフは、砂浜の堆積が進み、植物が生えて、陸地化している。すなわち、トアマシナ近辺のリーフ・フラットは、いずれサンゴが消滅し、陸地化する傾向を有するものと思われる。

リーフ・フラットのサンゴがいずれ消滅するという傾向と、トアマシナ港が、国民にとって不可欠の施設であることを考慮すれば、トアマシナのグランド・リーフのフラットについては、港湾として埋め立て利用することが許されるべきである。

(4) 外洋に面した斜面に生息するサンゴについては、水が濁らないよう配慮をすることをはじめとして、防波堤や岸壁に埋められるサンゴは、貴重な株については適切な場所に移動するとともに、使用する消波ブロックには窪みを設けるなど、サンゴの着生を助ける対策が取られるべきである。

以上をまとめると、サンゴとの共生は次のようにして図るべきである。

トアマシナのリーフ・フラットの埋め立ては、許容されるべきである。しかし、不必要にサンゴを痛めることは避けるべきである。

- (a) 防波堤で消滅するサンゴを回復するために、サンゴが着生しやすい消波ブロックを使用すべきである。
- (b) 港の側の斜面に生息するサンゴを死滅させないために、厳しい排出規制を敷くべきだ。排水はモニターされるべきである。港に排出される排水は水質が基準を満たすときだけ許可されなければならない。
 - ① 工場からの排水は SPAT の許可を得るようにすべきで、排水基準が守れないときはペナルティが課せられるべきである。
 - ② 雨水はオイルや沈殿物を取り除いて排出されること。
 - ③ 港のトイレットには汚水浄化槽を設置すること。
- (c) 外洋側のサンゴを守るために、ハスティー・リーフへの排出については、粘土などの懸濁物質は取り除かなければならない。厳格な排水規制と管理が行われるべきである。
- (d) 港湾内の富栄養化を避けるために、海岸沿いに運河を将来掘るべきである。それは、陸からの排水を集める。集められた排水は湾の入り口（タニウ岬）に導かれ、そこには魚の池が設けられる。魚の池は、藻や海藻が生え、それを魚が食べるので、栄養分を固定化できる。漁業者は魚を捕獲し、外に持ち出すべきである。魚の池の管理は漁業組合に委託されるべきである。魚は市民によって食べられるので、水質は管理されなければならない。

4-2 中期開発計画 (Middle Term Development Plan)

2020 年のコンテナ貨物、バルク貨物、一般雑貨貨物の増加に対して次の施設が計画される。

A. 港湾施設

- 防波堤の延伸 345m.
- C4, と C4-annex が C3 バースの先に建設される。バース C4 は長さが 320m, そして、C4-annex の長さは 150m とする。新しいバースの水深は -14m. 新バースはコンテナとする。
- ハスティー・リーフは埋め立てられ、コンテナヤードと野積み場として利用される。埋め立て面積は 26.2 ha とする。
- 現在のコンテナバース C3 は増深され-14m にする。
- 現在の C1,C2 バースはバルクや一般貨物を取り扱うが、それは、-14~-13m まで増深され、パナマックス船をつけることができるようにする。
- NO.1 ゲート付近の鉄道をまたぐ陸橋（オーバーパス）を設ける。

C4 岸壁をさらに延伸する (-14x150m). そのようにして追加のバース、追加のコンテナ取り扱いヤード、荷役機械を投入し、貨物を迅速に取り扱う。

追加の計画の目的は、2020 年以降の貨物の伸びに対処するため、船の待ち時間を少しでも少なくしようとするものである。しかし、貨物需要が大きければ、港は次の段階の開発、たとえば

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

Area (D)の開発、に進まなければならない。表 4-2-1 は 2020 年計画について、施設、コスト、実施主体が示されている。レイアウトは代替案の比較から、最も有利な案が、選ばれ、決定された。中期開発計画のレイアウトは図 4-2-1 に示される。

表 4-2-1 中期開発計画の費用と開発主体

施設	Cost: EURO(million)	Responsible Organization
(緊急フェーズ)		
防波堤 (345m)	42.7	SPAT
C4 岸壁(-14x320m)	55.4	SPAT
CY 埋立て 10ha	25.6	SPAT
移設と舗装	15.3	SPAT
浚渫 (143,000m ³)	3.8	SPAT
増深(C1,C2,C3)	9.8	SPAT
オーバークラス (at No1 gate)	10.5	SPAT
環境対策	4.2	SPAT
エンジニアリング(Civil)	11.7	SPAT
荷役機械	41.1	MICTSL
Total (1)	220.1	
追加施設 (after 2017)		
C4-annex (+150m)	26.0	SPAT
埋立て (+)16ha	41.0	SPAT
エンジニアリング(Civil)	4.7	SPAT
荷役機械	23.2	MICTSL
Total (2)	94.9	
(1)+(2)	315.0	

(上記は、エスカレーションを含んでいない。)

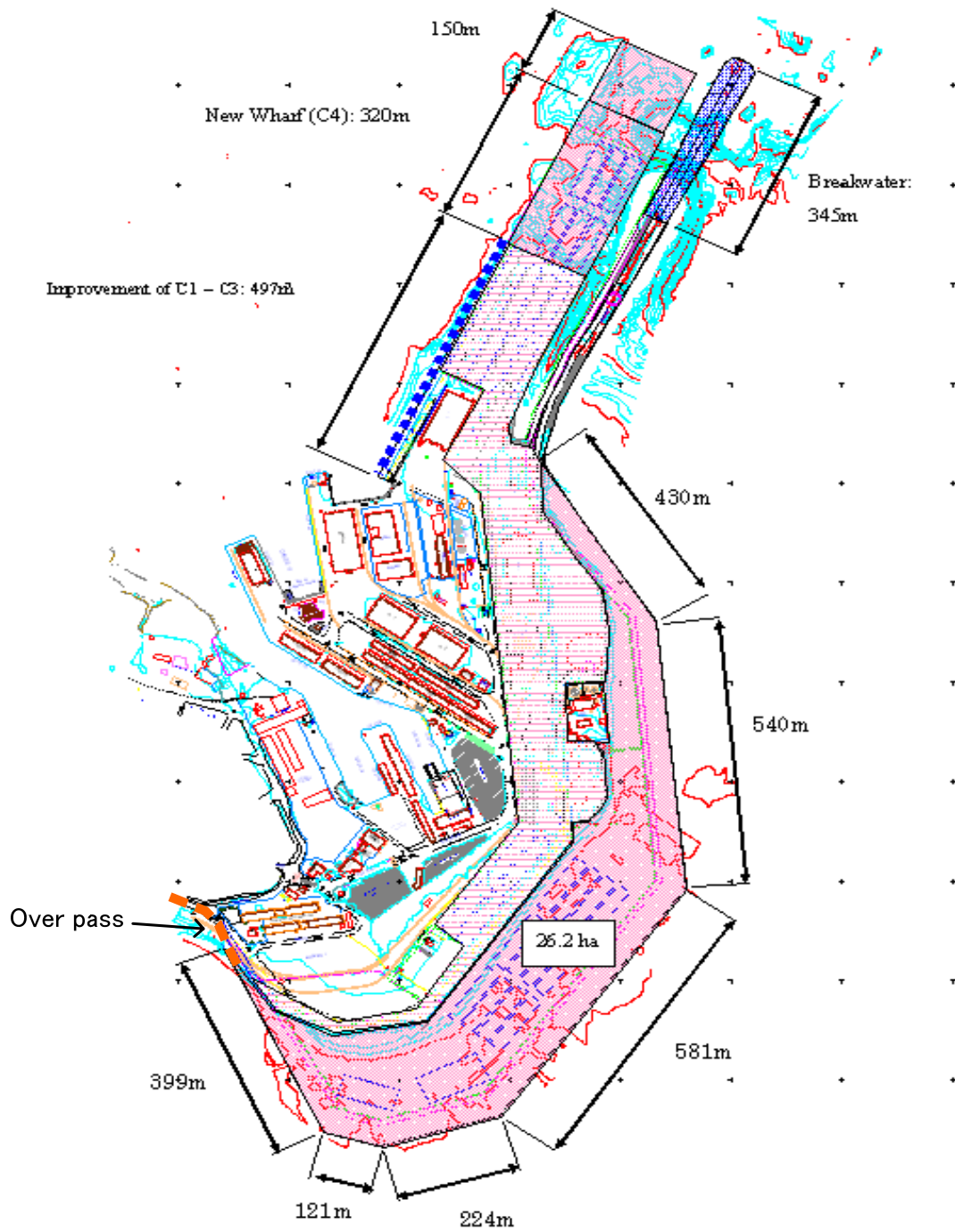


图 4-2-1 中期開發計畫

B. 関連施設

港湾施設に加え、環境の悪化を避けるために次の施設がミドルタームプランにおいて提案される。緊急開発計画終了後、その必要性、妥当性について再検討すべきである。

- バイパス道路 (10km)
- 大気汚染と、事故防止の目的で、南の海岸沿いに建設される。現在のアンバトビー工場のそばにある駐車場に加えて、新しく港に隣接して駐車場が建設される。
- 水路(B=15m, Length=2km)
- 水路は港の海岸に沿って設けられる (2km)。陸側は市民が自由に立ち入られる形で利用される。水路は下水を集め、港湾の水域を汚染から守る。
- 堤防 (500m)
- 侵食と堆積が堤防や突堤によって制御される。

関連プロジェクトのコストは表 4-2-2 に示される。

プロジェクトの場所と標準断面は図 4-2-2～図 4-2-5 に示される。

表 4-2-2 関連プロジェクトの費用

施設	Cost: EURO (million)
バイパス道路(B=25mx10km)	51.8
養浜と駐車場	9.8
水路(B=15mx2km)	5.8
侵食対策の堤防	1.8
エンジニアリング	4.8
Total	74.0

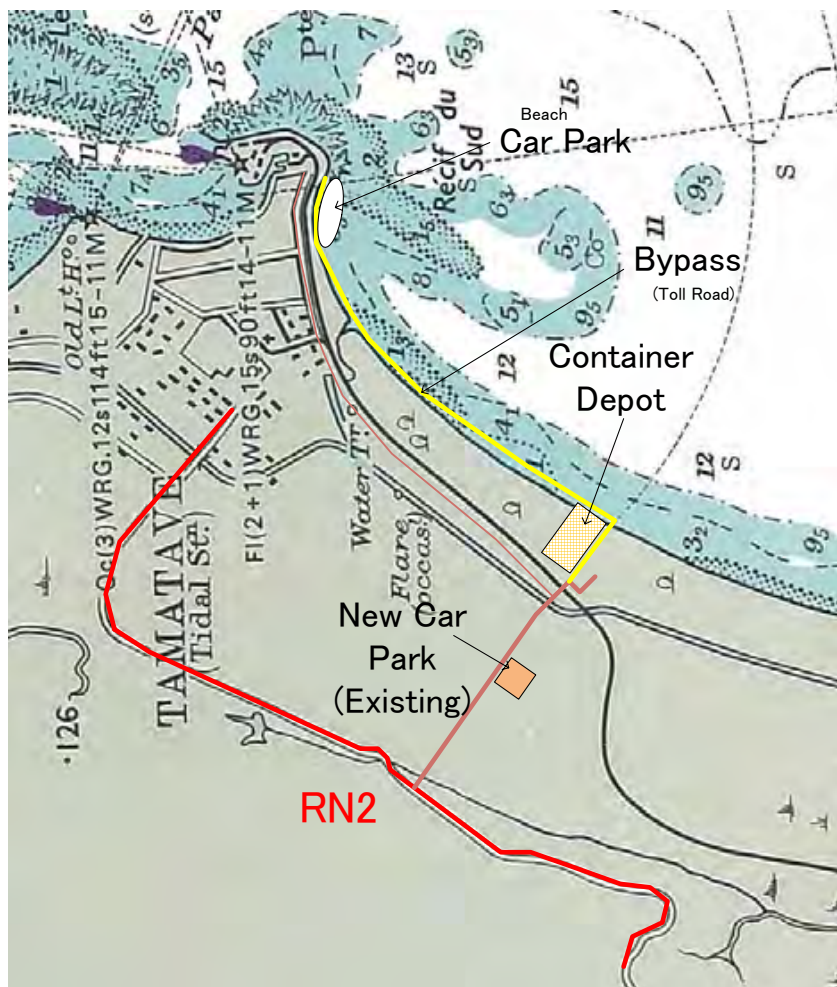


図 4-2-2 バイパス道路のルート

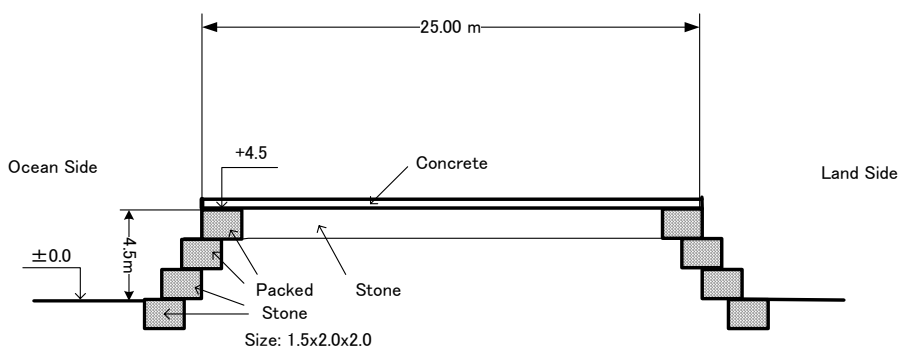


図 4-2-3 バイパス道路の標準断面図

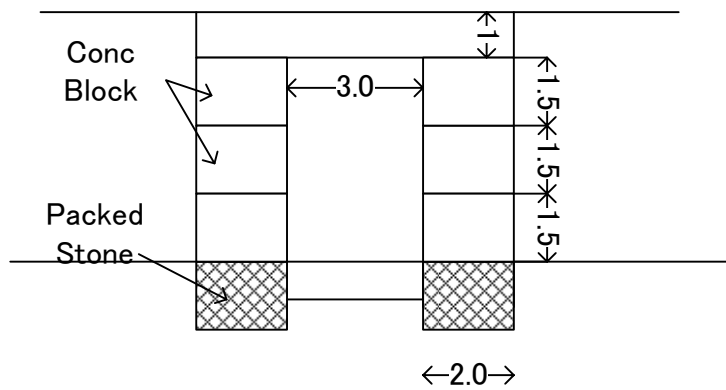


図 4-2-4 カルバート標準断面

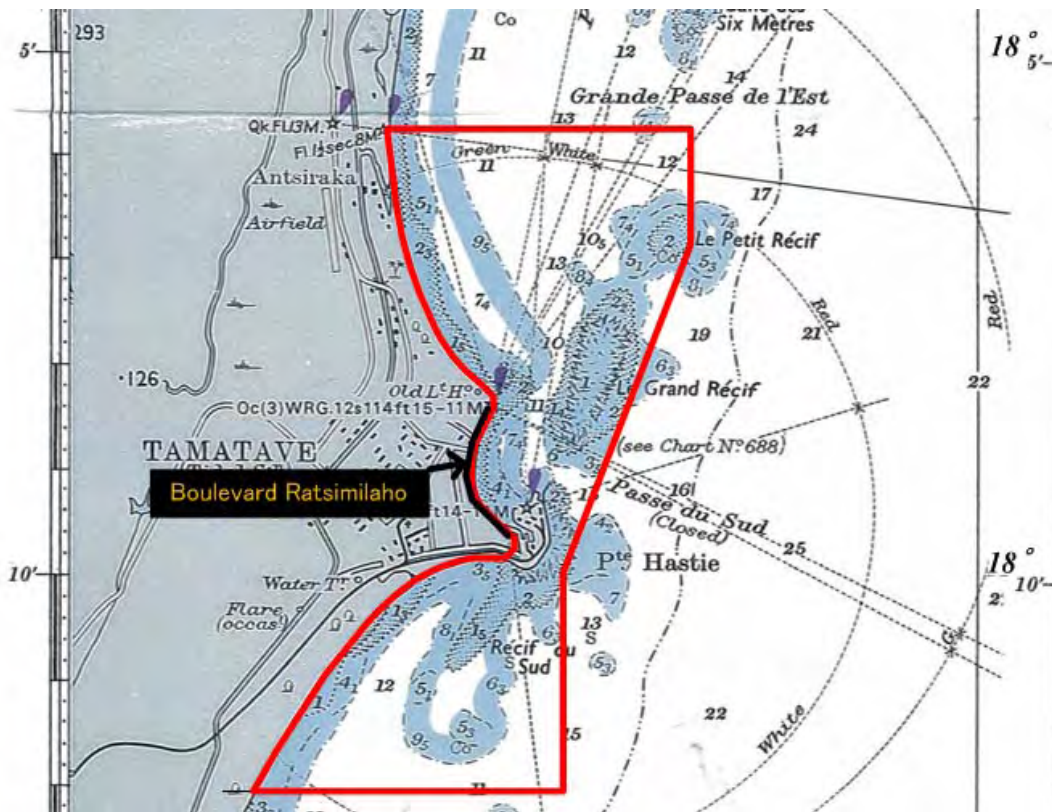


図 4-2-5 トアマシナ港のビーチ

港湾内の水質を富栄養化から守る方法は以下のとおりである。

- 1) 下水の排水を集める新しい水路を海岸沿いに掘る。全体の長さは2,100mである。
- 2) 水質をきれいに保つために、新鮮な水を水路の始まりの場所に汲み入れ、北の方角に流れをつくる。
- 3) そのポンプの動力源は自然エネルギーとする。その際、サイクロンがトアマシナを襲うので、風車は壊れやすい。太陽エネルギーを用いる。
- 4) 水路の出口はタニウ岬とする。
- 5) 水路の水から有害な物質や、繊維を取り除く処理場がそこに設けられる。

6) 約、2ha 程度の池をつくり、そこでプランクトン、藻、魚などが栄養分を消費する。

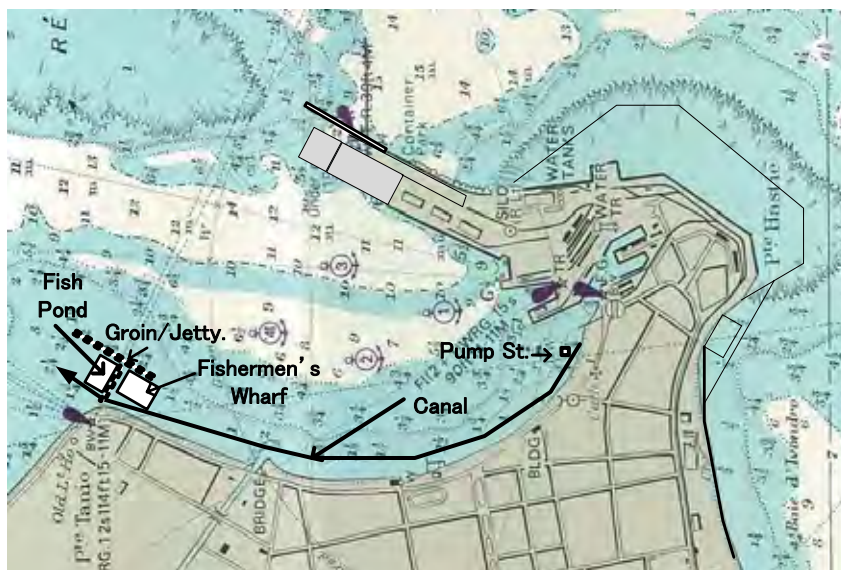


図 4-2-6 水路のルートと堤防の位置

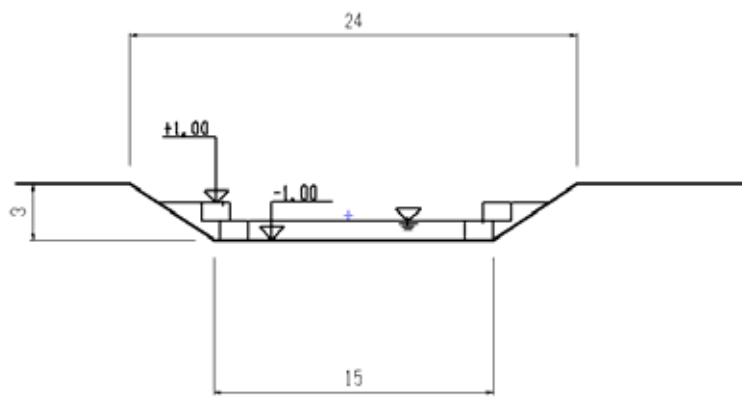


図 4-2-7 水路の断面

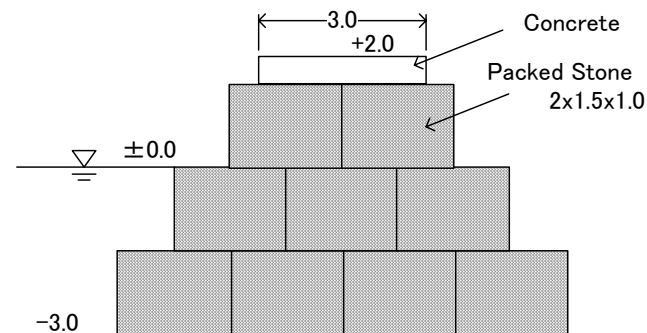


図 4-2-8 堤防の断面

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

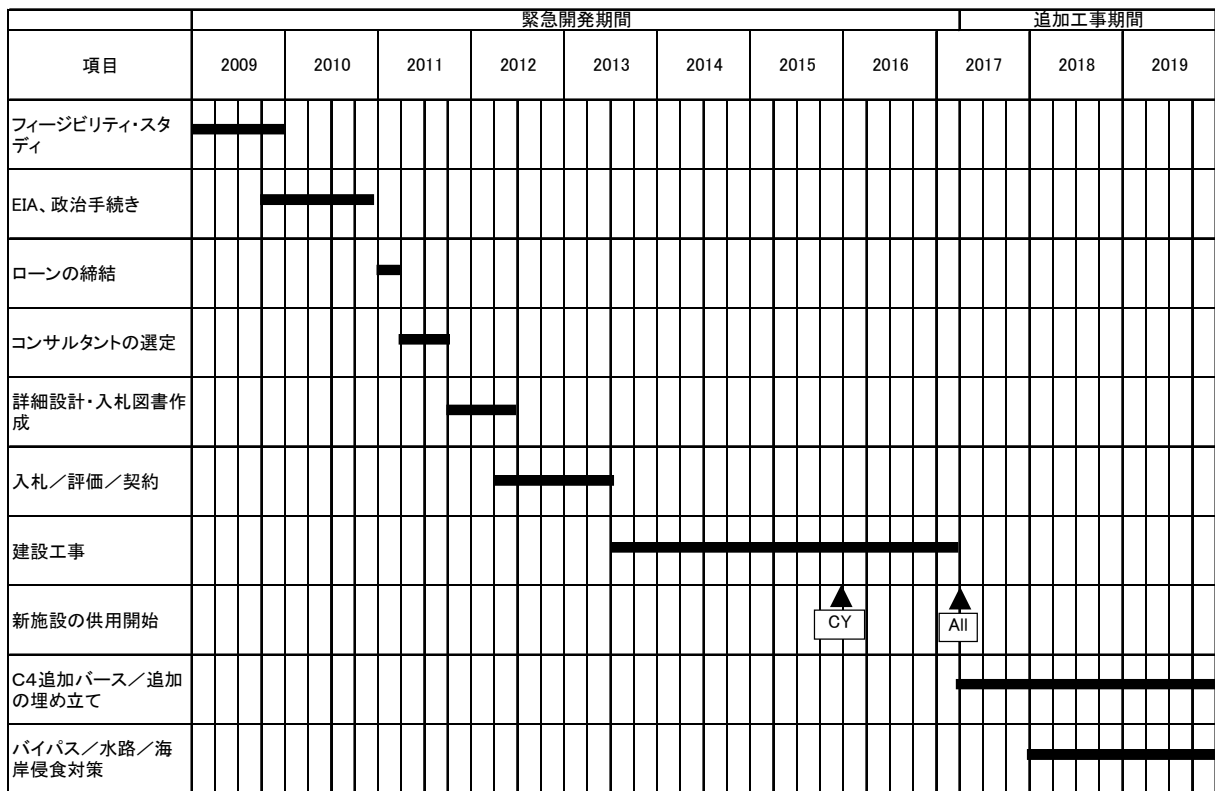


図 4-2-9 ミドルターム計画の実施スケジュール（緊急開発計画期間を含む）

4-3 緊急開発計画（Urgent Development Plan）

2017年を目標に、緊急開発計画として次の施設が選定される。

- 防波堤を 345m 延伸する。
- C3 バースの先に、C4 バースを建設する。
- コンテナヤード (10ha)がハスティー・リーフを埋め立てて、建設される。
- 現在のコンテナバース C3 岸壁は-14m まで増深する。
- C1,C2 バースは-13～-14m に増深する。ウッドチップ用に 4ha 程度の野積場が リザーブされ、C1～C2 バースで取り扱われる。ウッドチップはベルトコンベヤで野積場から岸壁まで運ばれる。
- No1 ゲート付近の踏切にオーバーパスを建設し、立体交差とする。

防波堤とランド・リーフの間の開口部は約 150m 残るが、防波堤の長さは C4 バースの静穏度を確保でき、稼働可能日は年間日数の 95%となる。

C4 バースは水深-14m 長さは 320m である。それは 3,200TEU 積みのコンテナ船をつけることができる。C3 バースも-14m まで増深する。C2,C1 バースは-14～-13m まで増深する。C4 バースの背後がコンテナを取り扱うのに十分な広さを有していないので、ハスティー・リーフを埋め立て (10ha)コンテナヤードとする。

アンバトビーの貨車が常時コンテナ車両の流れを止めるので、オーバーパスを建設する。

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

海岸侵食と堆積の対策は緊急開発計画には含めない。それは、波が静かになってのち建設するほうが有利だからである。2020年計画に含めるべきである。

防波堤を建設しても、富栄養化は少ないので対策は緊急開発計画には盛り込まれない。それは2020年計画に盛り込まれるべきである。

道路混雑に対する対策の、バイパス道路は2020年計画に盛り込まれるべきである。

緊急開発計画のレイアウトは図 4-3-1 に示される。

緊急開発計画のコストは表 4-3-1 に示される。

調達スケジュールは図 4-3-2 に示される。

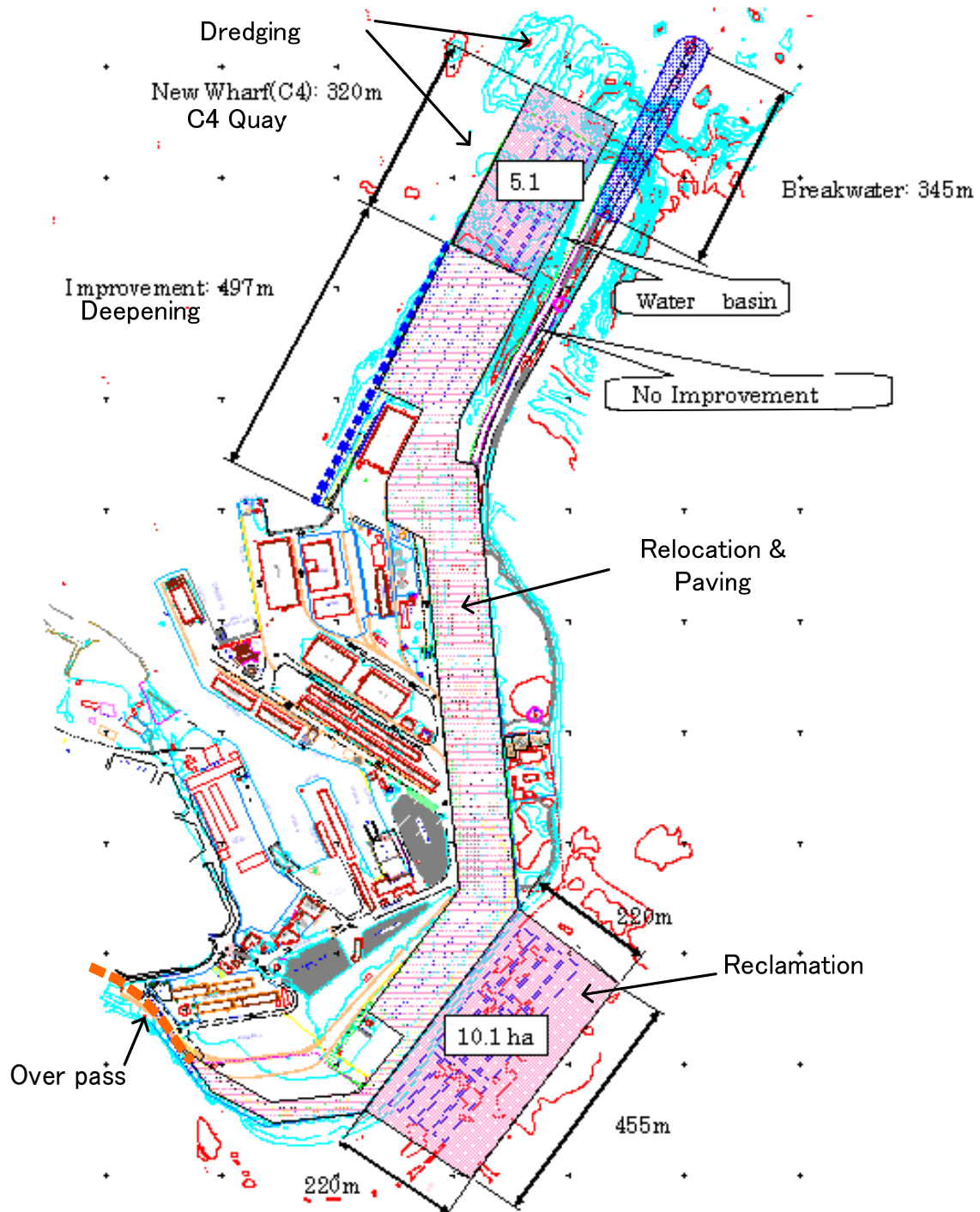


図 4-3-1 緊急開発計画

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

表 4-3-1 緊急開発計画のコスト

Facility	Cost: EURO(million)	Responsible Organization
緊急開発計画		
防波堤 (345m)	42.7	SPAT
C4 岸壁(-14x320m)	55.4	SPAT
埋立て 10ha	25.6	SPAT
移設と舗装	15.3	SPAT
浚渫 (143,000m ³)	3.8	SPAT
増深 (C1,C2,C3)	9.8	SPAT
オーバーパス (at No1 gate)	10.5	SPAT
環境対策	4.2	SPAT
エンジニアリング t(Civil)	11.7	SPAT
荷役機械	41.1	MICTSL
Total (Urgent Development Plan)	220.1	

(上記にはエスカレーションを含んでいない。)

それぞれの組織の手続きを考えると、建設のスタートは2013年、C4岸壁の供用開始は2017年と想定される。

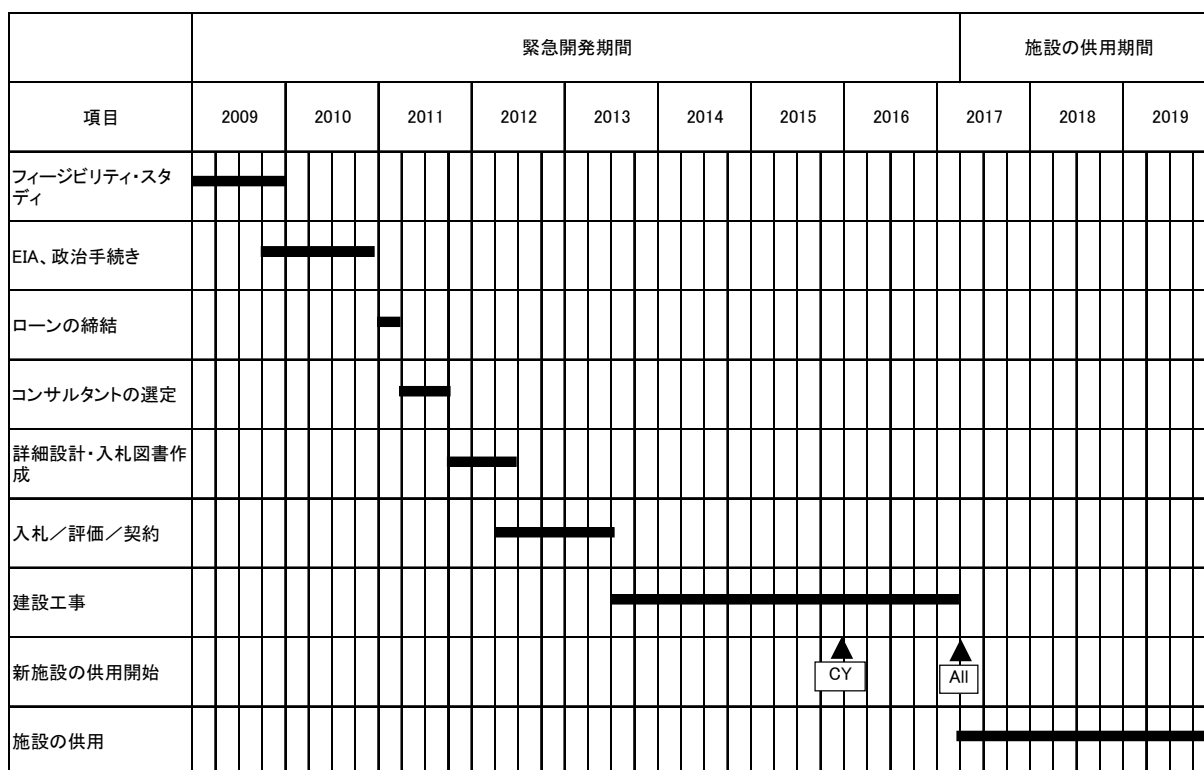


図 4-3-2 緊急開発計画の調達スケジュール

第5章 コンテナ、雑貨及びバルク貨物のオペレーション

5-1 コンテナ貨物

トアマシナ港の既存施設に於けるコンテナ貨物の最大扱い能力は、同施設の独占借業者である MICTSL 社に拠れば、年間約 175,000 TEU である。調査チームは、同港に於けるコンテナ貨物の近年の伸びから判断して、コンテナ貨物は 2005 年から 2020 年まで年率 10% で増加すると想定しているが、その場合、2011 年度には、同港の最大扱い能力値に達する事になる。従って、同港の管理者である SPAT は、コンテナ貨の伸びに対応した新たなコンテナ扱い施設をタイムリーに建設し、同港のコンテナ増加に適切に対処しなければならない、といえる。

表 5-1-1 トアマシナ港に於けるコンテナ貨物の需要予測

Unit: '000 TEU

Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Actual	141.9	123.0											
Estimated	135.8	149.3	164.3	180.7	198.8	218.6	240.5	264.6	291.0	320.1	352.1	387.3	426.1

Variance: 4.5% -17.6%

Source: MICTSL and Study Team

前章のトアマシナ港緊急開発計画案では、モール C バース(現在のコンテナバース C-3 の先端部)を 320 メートル延長(水深はマイナス 14 メートル)し、新たなコンテナバース(以降、C-4 バースと呼称する)を建設する、というものであり、C-4 バースは、4,000TEU~5,000TEU クラスのコンテナ船に十分対応できるものである。又、緊急開発計画案では、ハスティーリーフ上に追加のコンテナ蔵置場(CY)を建設する事をも提案している。

C-4 バースに 3 基のガントリークレーン(QGC)を設置し、それらの GC を時間当たり 30.0 コンテナユニット/GC の生産性、及びネット利用率 45% で運用した場合、C-4 バースの扱い能力は年間約 45 万 TEU(TEU/Box 比は、実績から 1.35 とした)になる。この数値は、同港に於ける 2020 年度の扱い予測値を若干上回る、という事になる。

一方、C-4 バース背後のコンテナヤード(On-dock CY) は、既存防波堤が切迫している為、最大 150 メートル幅程しか確保出来ず、同バースの扱い能力である年間 45 万 TEU に遥かに及ばない。RTG システムでデザインした場合、同 On-dock CY では、700 グラウンド TEU スロットを確保出来、この CY を主に輸出用の実入り及び空コンテナ(コンテナの最大蔵置段数を 5、平均 CY 滞留日数を 3 日と看做す)のマーシャリングヤードとした場合、年間 23 万 TEU のコンテナを扱う事が出来る。

従って、SPAT/MICTSL は、C-4 バースに出来るだけ近い場所に、主に輸入コンテナで年間 22 万 TEU を扱える、新たな CY を建設する必要がある。しかし、その様な場所はハスティーリーフ上にしか残されていない。従って、このリーフ上に、455 メートル x 220 メートル(約 10.0 ヘクタ

ール)の RTG システムに拠る CY(Off-dock CY)を建設した場合、SPAT/MICTSL は、其処に新たな 2,088 グラウンド TEU スロットを確保出来る。

サイクロン等の影響を考え、輸入コンテナの平均蔵置段数を 3.5、平均 CY 滞留日数を 7 日(2008 年度は 9 日)と看做した場合、この Off-dock CY の最大扱い能力は、年間 22 万 TEU(輸入コンテナで)になる。(“5 段+通過レーン”規格の RTG であれば、輸入コンテナの平均蔵置段数は、荷繰りを見越しても 4.3 段にまで蔵置する事は可能であるが、輸入コンテナ・デリバリー時の荷繰りを考慮した場合、3.5 段に押さえた方が、迅速な作業が出来、よりベターである。)

従って、緊急開発計画に示されているトアマシナ港の新たなコンテナバース、及び追加 CY 建設案は、新(C-4)バースに於けるコンテナ荷役能力と、両 CY に於けるコンテナの蔵置能力が共に 45 万 TEU 程で均衡しており、同港に於ける 2020 年度までのコンテナ増加に対応出来る、バランスの取れた良い案であると云える。

しかしながら、緊急案によるコンテナ扱い施設の建設スケジュールでは、ハスティーリーフ上の CY が 2016 年、新 C-4 バース及びその付帯 CY が 2017 年完工予定である。従って、この間に増加するコンテナを支障なく扱う為、SPAT/MICTSL は幾つかの対処をしなければならない。

第一に、両者は追加の CY を建設しなければならない。2016 年度の扱い量を 29.1 万 TEU と看做した場合、現施設による能力を 17.5 万 TEU/年として、年間約 12 万 TEU(Off-dock で扱う為、基本的に輸入コンテナ)を扱える施設が必要になる。この場合の適地は、やはりハスティーリーフ上であり、RTG システムでの換算スペースは約 6 ヘクタールといえる。

第二に、MICTSL 社は、C-3 バースに設置している 3 台の移動式大型モータークレーンの生産性を、現在の平均 14.0 コンテナユニット/GC から、16.0 乃至 17.0 に引き上げると共に、同クレーンの平均ネット稼働率を、50%程に高めなければならない。もし其れを達成できれば、C-3 バースの年間扱い能力は各 28.0 万 TEU 及び 29.7 万 TEU に向上し、需要に対応出来る、といえる。

5-2 雑貨及びバルク貨物

トアマシナ港は、現在国際雑貨及びバルク貨物を荷揚卸するバースとして、B、C-1 及び C-2 を保有している。しかし、C-2 バースは岸壁長が 134.5 メートルしかない為、是を 0.5 バースと看做した場合、計 2.5 バースという事になる。同港は、これ等のバースで、2008 年度、793,818 トンの国際雑貨及びバルク貨物を扱った。これ等の貨物は、計 167 隻の船舶で運送され、これ等の船舶の同港滞在日数は、下表の通り合計で 437.4 日、平均で 2.62 日であった。

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

表 5-2-1 2008 年のトアマシナ港の岸壁稼働率 (Mole A と Point B を除く)

Berth	Berth Particular (L & D)	Vessel No. handled	Berth-days Total	Berth-days Average	Prod'ty (Lift/B-hour)	Berth Utili. Rate (%)	Type of Vessels handled
B	190m, -9.7	71	157.1	2.21		43.0%	Bulk, GC, Used-cars etc
*B		21	11.2	0.53	0.78	3.1%	Container: Handled by MICTSL
C1	219m, -9.5	46	195.4	4.25		53.5%	Bulk, Container, Used-cars etc
C2	134.5m, -10.0	46	84.0	1.83		23.0%	Bulk, Cars, Petroleum etc
*C2		16	12.1	0.76	7.03	3.3%	Container: Handled by MICTSL
C3	172.5m, -12.0	293	213.0	0.73	20.54	58.4%	Container, Cars, Bulk
		4	0.85	0.21		0.2%	RoRo
S.Total		460	650.38	1.41		178.2%	
Except C3:		167	437.4	2.62		119.8%	

2008 年度の船舶滞在日数(437.5)を、2.5 バースで判断した場合、そのバース占有率は 47.9% になり、其の値は少々高く、不定期一般雑貨及びバルク運搬船舶が同港沖合到着後、バース待ち無しに、即着岸出来る状態とは言い難い。

しかし、トアマシナ港は、2010 年末完成を目指して B 突提(全長;約 250 メートル、幅;32 メートル及び水深マイナス 15 メートル)の延長工事中であり、完成後は、其の東側バースはアンバトビー事業関連の原材料輸入に充てられるが、西側バースは一般雑貨及びバルク貨物の取扱バースとなる。

更に、2017 年の新コンテナバース (C-4) 完成後は、現在のコンテナバースである C-3 バースも多目的バースとして一般雑貨に利用する事が出来、2016 年度開始予定の王子製紙扱いのウッドチップも此処で扱うことが出来る。

トアマシナ港に於ける、国内貨物を含む一般雑貨及びバルク貨物の伸びは、2005 年の扱い数を基準に 2020 年に至る間、年率 3%と予測されているが、表 5-2-2 に見る通り、コンテナ化の影響で、バルクセメント及びバルク小麦を除いた数値は、むしろ 2005 年以降減少している。

表 5-2-2 一般貨物・バルク貨物の取扱量の推移 (セメントと小麦を除く)

	2005	2006	2007	2008	2009
Excluding bulk Cement/Wheat + Domestic	522,066	372,064	419,128	446,203	327,607
Hike% against year-2005's volume	Base	-28.7%	-19.7%	-14.5%	-37.2%

Source: SPAT and SMMC

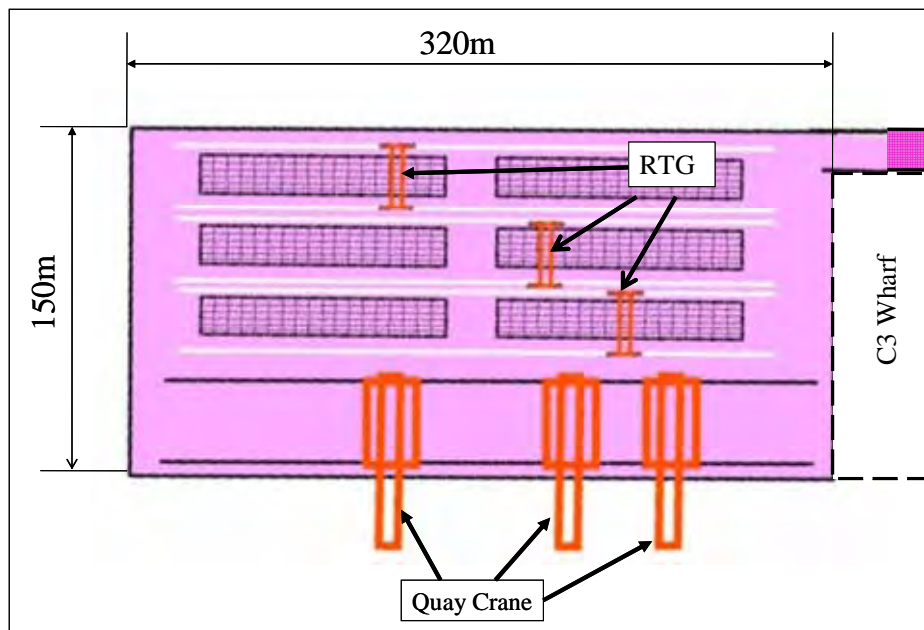


図 5-2-1 C 4埠頭におけるコンテナヤード配置

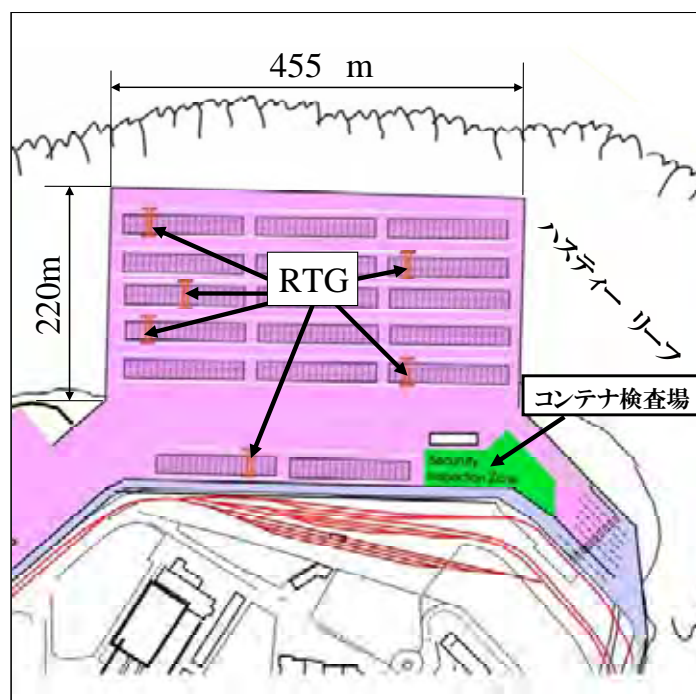


図 5-2-2 ハスティーリーフ埋め立て地のコンテナヤード配置

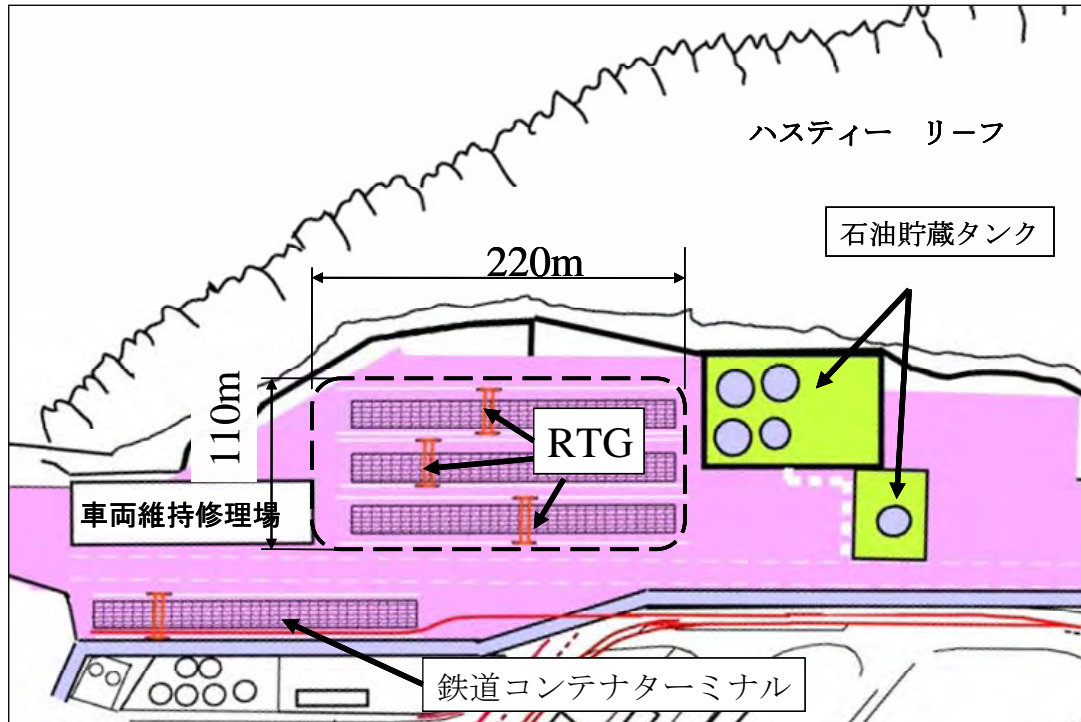


図 5-2-3 既存埋め立て地上のコンテナヤード配置

しかしながら、トアマシナ港に於ける、国内貨物を含む一般雑貨及びバルク貨物の伸びを年率3%と看做し、且つ今後の新規使用可能バース数を加味した一般雑貨及びバルク扱いバースの利用率は、2008年度の実績を基準に考察した場合、下表の様になり、2008年度と同等な混雑を引き起こす可能性のある年度が数年見受けられる。

表 5-2-3 一般貨物・バルク貨物取り扱い岸壁の稼働率の予測

Year	Official Forecast	Actual/2nd Forecast	Assumption	Total Berth days	Available Berth No.	Mean Berth Utili Rate	Remarks
2005	613,000	633,018	Actual				
2006	631,390	532,569	Actual				
2007	650,332	713,517	Actual				
2008	669,842	793,818	Actual	437.4	2.5	47.9%	Base
2009	689,937	817,633	3% hike	450.5	2.5	49.4%	
2010	710,635	842,162	3% hike	464.0	2.5	50.9%	
2011	731,954	867,426	3% hike	478.0	3.5	37.4%	Able to use Pier-B-West
2012	753,913	893,449	3% hike	492.3	3.5	38.5%	
2013	776,530	920,253	3% hike	507.1	3.5	39.7%	
2014	799,826	947,860	3% hike	522.3	3.5	40.9%	
2015	823,821	976,296	3% hike	537.9	3.5	42.1%	
2016	848,535	1,005,585	3% hike	557.1	3.5	45.6%	Commence Oji Chip biz
2017	873,991	1,035,752	3% hike	573.8	3.5	46.9%	*Impact is 2.0% as average
2018	900,211	1,066,825	3% hike	591.0	4.5	37.5%	Able to use C-3
2019	927,218	1,098,830	3% hike	608.7	4.5	38.6%	
2020	955,034	1,131,795	3% hike	627.0	4.5	39.7%	

Source: Study Team

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

トアマシナ港の一般雑貨及びバルクバース不足が顕著になった場合は、同港に於ける同貨物の作業会社である SMMC 社の作業システムを、現在の月曜—金曜間 06:00-14:00 及び 14:00-22:00 の 2 シフト制から、22:00-06:00 を加えた 3 シフト制に変更する事である。其れにより、SMMC 社は雇用労働者数を増加させなければならないが、バース占有率は適切な水準に低下するであろう。

[その他のプロジェクトについて]

1) 王子製紙のウッドチップ輸出事業：

計画扱い数量は、2016 年度 2.52 万トン、2017 年度 5.04 万トン、2018 年度 10.08 万トン、2019 年度 15.12 万トン、2020 年度及びそれ以降は 20.16 万トンである。同貨物の積み込み効率は、1 日当り 9 千トンである為、ピーク時での年間バース滞留日数は合計 24 日程である。使用バースは C-3(現コンテナバース)を予定している。

緊急開発計画で新コンテナバース(C-4)を建設する場合、完成は最短で 2017 年となる為、同社の 2016 年度の輸入計画は、同港に他に適切なバースが無い為延期せざるを得ないであろう。

2) アンバトビープロジェクト：

同計画は、2010 年には一部操業を開始し、2012 年にはフル生産に移行する予定であり、トアマシナ港に於ける同プロジェクトの年間取扱品目は以下の通りである。

a) 輸入：

扱い品目	取扱量: (トン/年)	本船のサイズ (DWT)	本船寄港数 /年	合計バース滞 留日数	バース 利 用率
石灰石	1,700,000	50,000	56	113	31%
硫黄	700,000	50,000	23	58	16%
石炭	400,000	50,000	13	48	13%
アンモニア	60,000	不明	不明	不明	不明
Total	2,860,000		92 +	219 +	60%+

b) 輸出：

ニッケル：	3,000 x 20' コンテナ
コバルト：	280 x 20' コンテナ
肥料(硫安)：	10,500 x 20' コンテナ

合計	13,780 x 20' コンテナ

[問題点]

同港 C-1~3 バースへのアクセス道路の確保について

アンバトビープロジェクトでは、輸入原材料をトアマシナ港から工場に輸送する為、12 両編成・全長 150 メートルほどの鉄道貨車 5 組をピストン回転させる予定である。これ等の鉄道貨車への

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

積み込み作業は、アンバトビー専用バースである B バース近くに設けられたホッパーを通して成される予定であるが、このホッパーへの鉄道引込み線が既存の C-3 ターミナルへのアクセス道路を分断する為、新たなアクセス道路を建設する必要がある。

C-3 ターミナルへのアクセス道路は、将来ハスティーリーフ上にコンテナヤード (CY) を建設した場合、新コンテナバース(C-4)と同 CY を結ぶ大動脈になり、同 CY で使用する RTG を、C-3 乃至 C-4 から搬入する通路でもある。従って、最低 25 メートル幅の道路にしておく必要がある。

更に、C-1、C-2 及び C-4 完成後の多目的バースである C-3 へのアクセス道路も、上記コンテナターミナルへの通路とは別途必要になり、ウッドチップを搬入する大型車両の通行を考慮した場合、その幅員は最低 8 メートルが必要であるといえる。

第 6 章 港湾施設の工学的検討

6-1 港湾施設の概略設計

6-1-1 防波堤

(1) 防波堤配置・延長

1) 防波堤配置

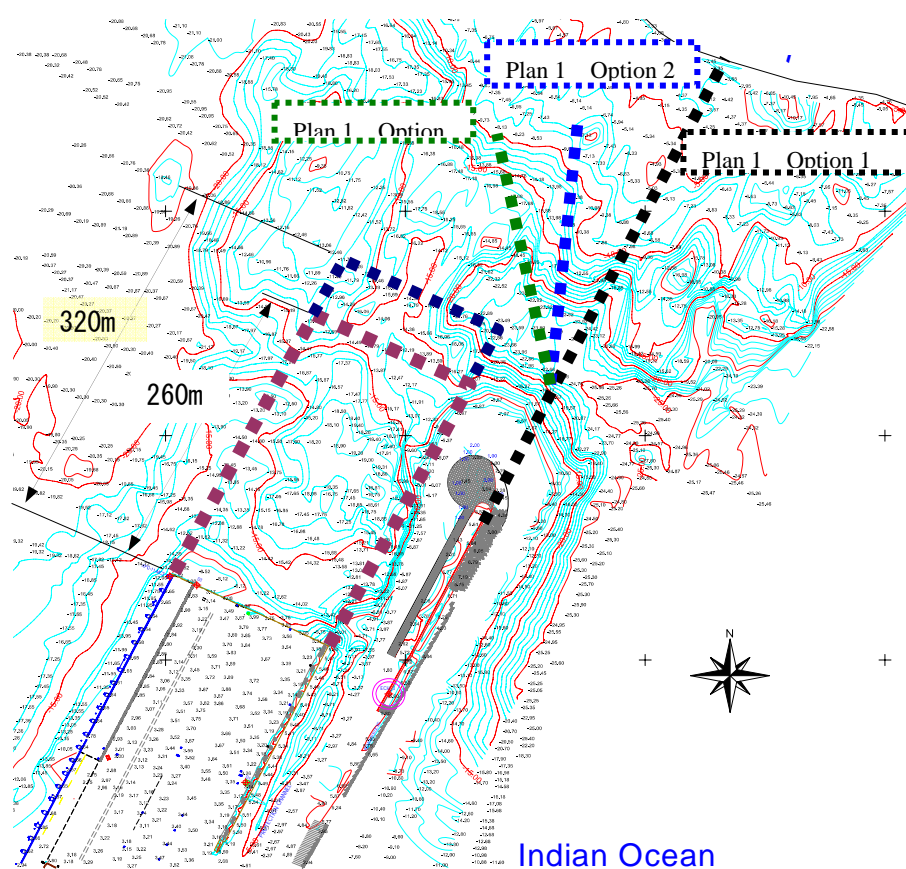


図 6-1-1 防波堤配置 3 案

海底地形と岸壁・埋立法線を考慮し、案 1 のオプション 1 が防波堤延長の法線として選定された。

2) 防波堤の所要延長

防波堤の所要延長は C4 岸壁における現状の静穏度（再現期間 1 年の波高に対して 0.6m 以下）を基準とし、波浪頻度分布を考慮した稼働率を計算して 345m とした。

表 6-1-1 岸壁の稼働率

防波堤延長・岸壁延長	岸壁	岸壁稼働率	
		稼働率(%)	年間稼働日数
防波堤: 345 m 岸壁: 320m	C4: 320m	94.5	345

(2) 防波堤断面

1) 設計条件

i) 潮位

	岸壁等	防波堤、護岸
通常時	+1.0m	+1.5m
異常時	+1.5m	+2.0m
	+0.27m	+0.77m

ii) 波浪条件

周期	15 秒		
設置水深波高	水深	-25m	-10m
	波高	11.0m	8.5m

2) 標準断面

延長される防波堤の延長部の標準断面は図 6-1-2～図 6-1-4 に示す。

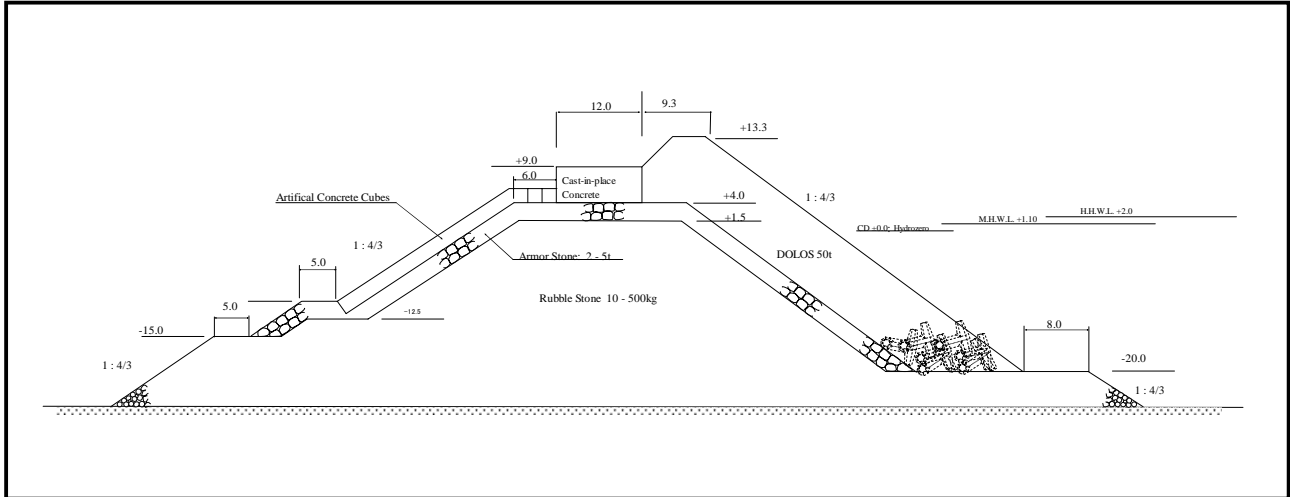


图 6-1-2 防波堤延長部標準断面 (水深 25m)

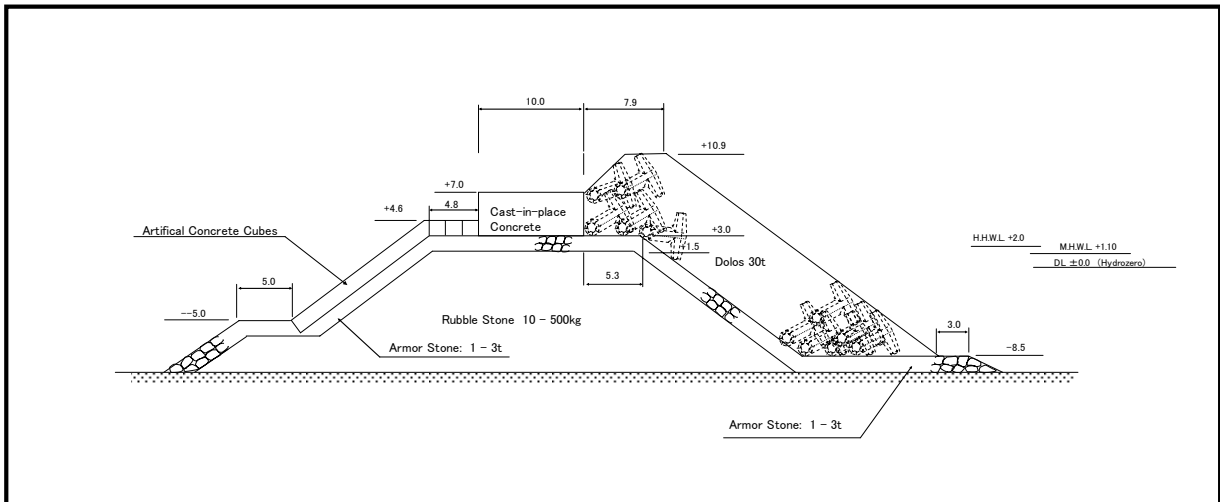


图 6-1-3 防波堤延長部標準断面 (水深 10m)

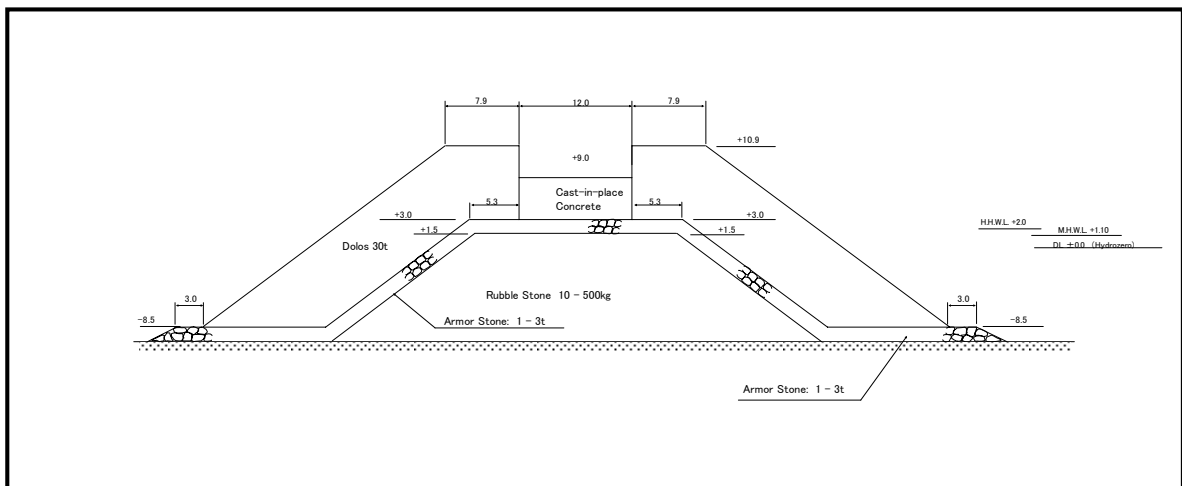


图6-1-4 防波堤主体部

6-1-2 C4 バースの設計

(1) 設計条件

設計条件の概要を表 6-1-2 に示す。

表 6-1-2 C4 バースの設計に係る設計条件

項目	C4 バース	
I. バース		
1. 対象船舶とバース諸元		
1.1 対象船舶		
(1) 対象船舶	コンテナ船	バルクキャリアー
(2) 船舶のトン数	50,000 DWT	55,000 DWT
1.2 必要バース長 (m)	330	280
1.3 必要バース水深 (m)	14.0	14.0
1.4 係船柱	100 tf/post	100 tf/post
1.5 接岸速度	0.10m/s	0.10m/s
2. エプロン上の積載荷重		
2.1 上載荷重 (kN/m ²)		
(1) 常時	30	30
(2) 地震時	15	15
2.2 活荷重		
(1) コンテナクレーン (自重)	1,000 tf	NA
(2) 自動車荷重	40 ft トレーラー	T-荷重, L-荷重
II. 自然条件		
1. 気象条件		
1.1 気温	月平均: 22.0~25.0°C	
1.2 降雨量	年平均: 4,000mm 以上	
1.3 風速	再現期間 100 年で約 89 m/s	
2. 海象条件		
2.1 潮位	CDL: 0.00, LWL: 0.27, MSL: 0.67, HWL: 1.10, HHWL: 2.0m	
2.2 潮流	0.1~0.3 m/s	
2.3 波浪	NA	
3. 土質条件	図 6-1-4 を参照	
4. 設計震度	設計震度: 0.1	
III. 材料およびその他の条件		
1. 材料		
1.1 コンクリート		
(1) 設計基準強度 (N/mm ²)	海洋構造物 24.0, 普通コンクリート 18.0, 捨てコンクリート 10.0	
(2) 鉄筋の許容応力度 (N/mm ²)	SR295: fa=157 (丸棒), SD345: fa=196 (異形棒鋼)	
1.2 鋼材の許容応力度 (N/mm ²)	SS400, SM400: fy=235, fa=140, SM490: fy=315, fa=185	

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

1.3 S鋼管の許容応力度 (N/mm ²)	SKK400, SHK400, SKY400: $f_y=235$, $f_a=140$, SKK490, SHK490, SKY490: $f_y=315$, $f_a=185$
1.4 鋼矢板の許容応力度 (N/mm ²)	SY295: $f_y=295$, $f_a=180$, SY390: $f_y=390$, $f_a=235$
1.5 鋼材の腐食速度 (mm/年)	海側:HWL以上: 0.3, HWL~LWL-1.0mまで: 0.2, LWL-1.0m~海底部まで: 0.15 海底泥層中: 0.03 陸側: 陸上大気中: 0.1, 土中(残留水位以上): 0.03, 土中(残留水位以下): 0.02
1.6 単位体積重量 (kN/m ³)	PC, RC: 24.0, アスファルト: 22.6, 石材: 26.0, 砂: 18.0, 鋼材: 77.0
1.7 埋立材料	砂: 単位体積重量 18 kN/m ³ , 内部摩擦角 30 度
2. その他の条件	
2.1 許容応力度の割り増し	地震時: 50%, 仮設時: 33%
2.2 安全率 (カッコ内は地震時)	
(1) 斜面の安定	1.3 (1.0)
(2) 重力式構造物	滑動: 1.2 (1.0), 転倒: 1.2 (1.1), 基礎の支持力: 1.2 (1.0)
(3) 鋼矢板壁	モーメント釣り合いに係る安全率: 1.5 (1.2), 控え版の安全率: 2.5 (2.0)
(4) 浅い基礎の支持力	基礎の支持力: 2.5 (1.5)
(5) 杭基礎の支持力	押込み: 2.5 (1.5), 引抜: 3.0 (2.5)
2.3 耐用年数	50 年

(出典 : JICA 調査団)

+3.0m	地表面 埋立砂 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 30^\circ$
-12.0m	サンゴ混じり砂 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 35^\circ$ N 値 平均 = 25
-19.0m	サンゴ混じり砂 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 35^\circ$ N 値 平均 = 30
-29.0m	

(出典 : JICA 調査団)

図 6-1-5 土質条件

(2) C4 バースの設計

図 6-1-5 に示された斜め組杭式横棧橋を、C4 バースの構造様式として推奨する。

また、コスト縮減を目的とした代替案として、改良タイプ鋼管矢板式係船岸を図 6-1-7 に示すものとする。

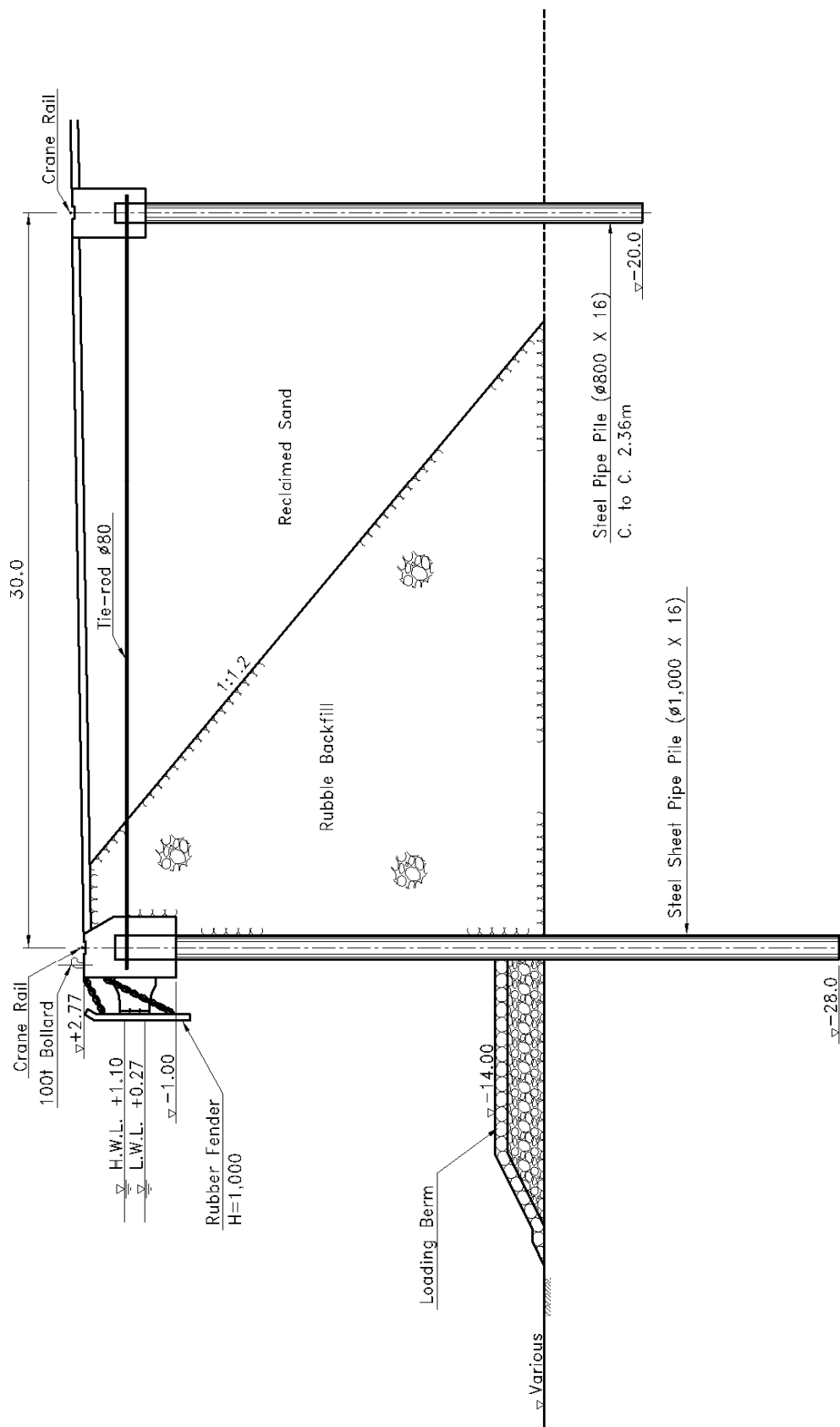


図 6-1-6 改良タイプ鋼管矢板式係船岸

(4) 既存バースの改善案

図 6-1-7 と図 6-1-8 に示す構造様式（鋼矢板式）を、改善案として推奨するものとする。

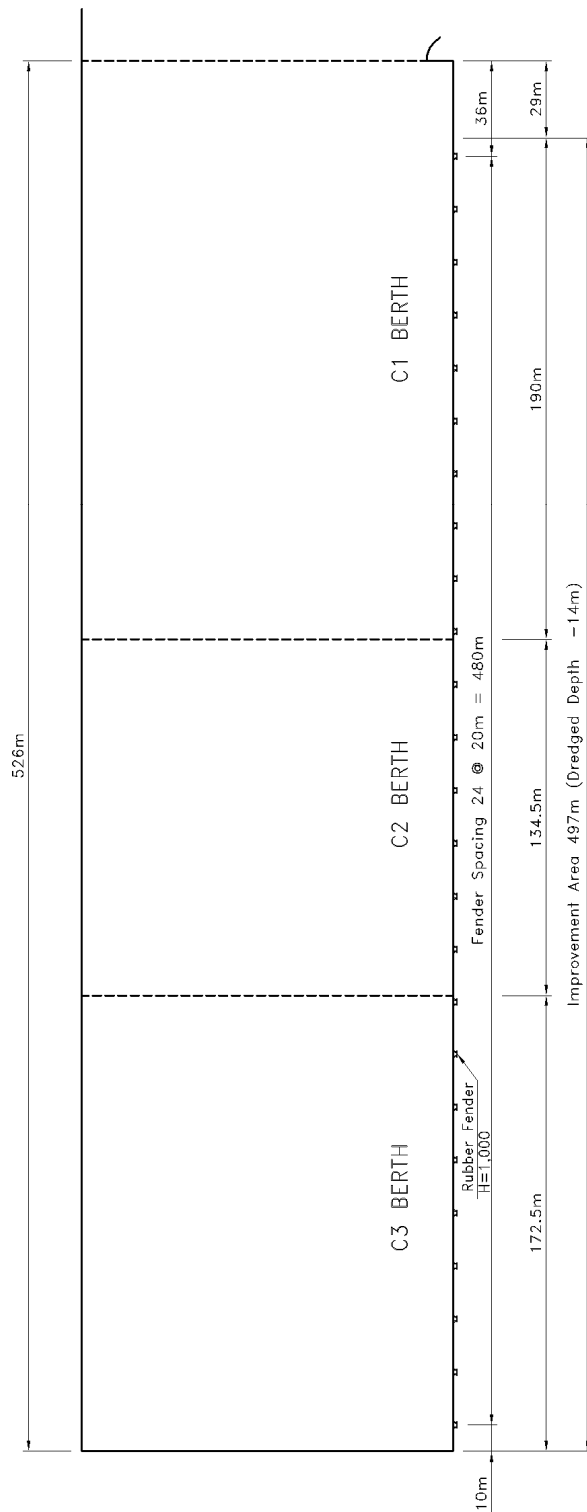


図 6-1-8 改善案の一般平面図

6-1-3 リーフ上護岸の設計

当該護岸はリーフ上の波浪変形、水位上昇、護岸の越波流量を基本に検討し決定した。その標準断面は以下に示す。

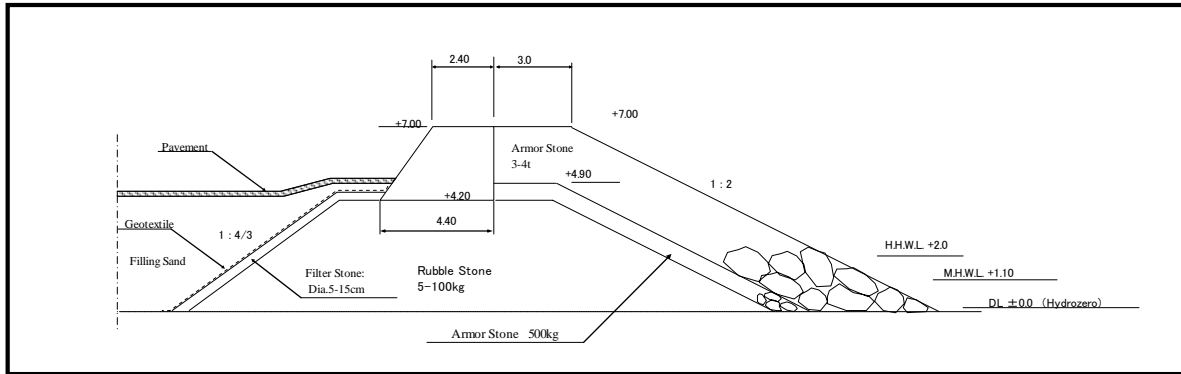


図 6-1-10 リーフ上護岸標準断面

6-1-4 立体交差の設計

(1) 設計基準

本施設の設計は日本における道路・道路橋の設計基準をもとに行う。

(2) 設計条件

臨港道路の設計速度は安全を考慮して 40km/h とする。本道路・立体交差の幾何構造は表 6-1-4 に示す。

表 6-1-4 臨港道路・立体交差の幾何構造

	日本国基準	本件基準	備考
設計速度	40 km/h	40 km/h	
車線数	2 lanes	2 lanes	
道路幅	7.0 m	8.0 m	
車線幅員	3.0 m	3.5 m	重車両の安全交通を考慮して 3.5m を適用
路肩幅員	0.5 m	0.5 m	
横断勾配 1	2.0 %	2.0 %	
最小水平曲線半径	60 m	60 m	
最小縦断曲線 (緩和曲線を除く)	500 m	500 m	
最小曲線長	70 m	70 m	
最大片勾配	6.0 %	6.0 %	
最大勾配	7.0 %	4.0 %	稼働している牽引車両の老朽度とその円滑な重車両交通を考慮して 4.0 % を適用
最小縦断曲線			
凸型曲線半径	450 m	450 m	
凹型曲線半径	450 m	450	

(3) 立体交差の設計

コンテナ貨物の円滑な搬出入を確保するために、鉄道との交差部に陸橋を配置する。この立体交差部の橋梁部の諸元を表 6-1-5 に示す。

表 6-1-5 立体交差橋梁の諸元

施設項目	諸元
全長	290 m
橋梁部	10 m
アプローチ部	140 m + 140 m
橋梁構造	プレテンションPC スラブ
ガーター高	0.6 m
車道部幅員	8.0 m
車線幅員	3.5 m x 2
路肩幅員	0.5 m x 2
縦断勾配	4.0 %
基礎構造	コンクロート杭基礎

立体交差部のアプローチ道路縦断面および橋梁横断面の概略構造は、それぞれ図 6-1-10 および図 6-1-11 に示すとおりである。

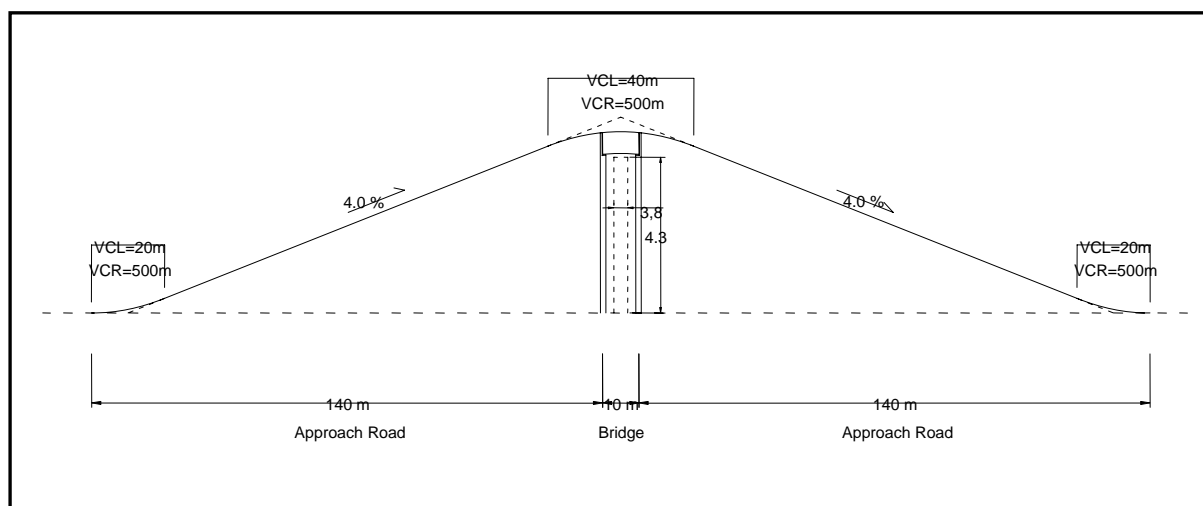


図 6-1-11 立体交差部の縦断面

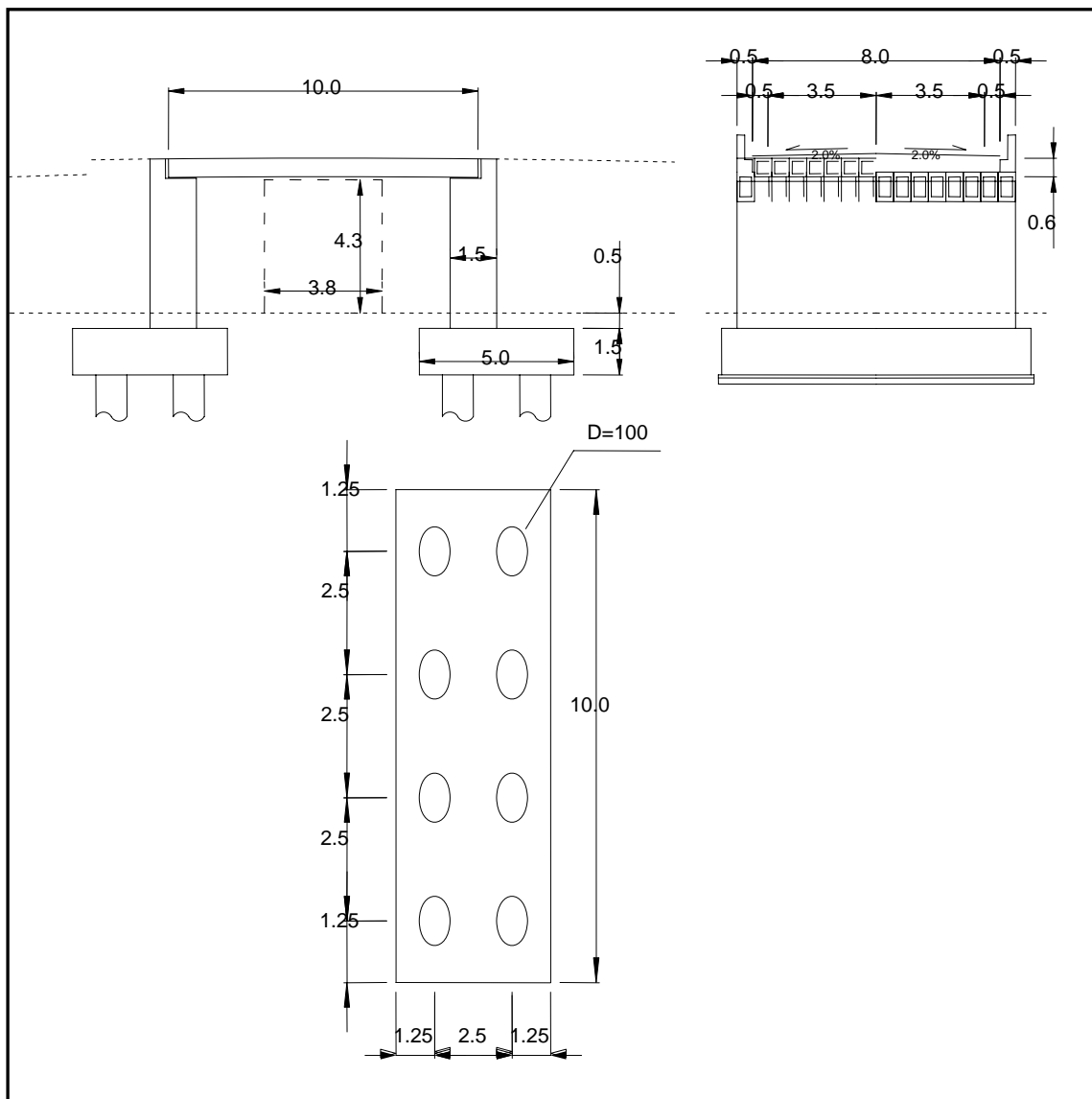


図 6-1-12 立体交差部の橋梁・橋台の諸元

6-2 緊急開発計画の施工計画及び事業費

6-2-1 マダガスカルの建設状況

現地建設会社の作業状況、外国籍建設会社の活動状況、資機材調達事情、及び気象・海象条件を考慮し、施工計画、積算を行う。

6-2-2 施工方針／調達計画

(1) 基本事項

- ①コンクリート用骨材、防波堤用被覆石を除き建設資材は海外調達とする。
- ②建設機械も海外調達とする。
- ③労働者はマダガスカル国人を雇用することを基本とするが熟練労働者及び特殊技術者は第三国調達とする。

(2) 施工方針

現地調査結果からトアマシナ港拡張工事における施工方針を以下のように設定する。

表 6-2-1 施工方針

前提条件（要素）	施工方針
① 港湾用地は上屋及びコンテナヤードで空き用地はない。計画サイトとして拡張されるC埠頭のC1岸壁は穀物及びセメント用、C2、C3岸壁ではコンテナ荷役が行われている。C埠頭コンテナヤードはすでに満杯状況である。	1) 港湾活動を阻害するためC埠頭は利用できない。防波堤内側の遊水池に仮設岸壁を建設する。 2) 船舶の入出港時には作業を一時中止する等船舶に支障をきたさない施工計画が必要となる。
② 計画サイトとなるC3岸壁北東部は防波堤があるもののリーフと防波堤の約200m間から入射する波の影響を得て、岸壁脇より静穏度が低く、うねりが入り込んでいる。また、マダガスカル北部海岸にサイクロン上陸時には港周辺は風波の影響が大である。	1) 防波堤を最初に施工し順次岸壁工を開始する。 2) 施工日数及び工期設定に当たっては、波浪条件を勘案し立案する。
③防波堤建設予定地は港内への波の入り口であり、波高は2mを観測することもある。	1) 防波堤建設にあたっては安全に十分配慮した計画とする。また、陸上からの施工とする。
④メインゲート（出入口）は2箇所であり、北側は普通車用、南側は荷役用トラック、	1) 既存の港湾荷役車両と建設工事車両及び建設機械の輻輳による事故防止

<p>工事車両が利用している。港湾区域内の工事車両と港湾車両の輻輳及び背後道路交差部での一般車両との輻輳による安全面が懸念される。</p>	<p>のために、車両誘導員の配置が必要である。</p> <p>2) 工事車両に対する速度規制による安全対策が必要である。</p>
<p>⑤港湾敷地内東側に、建設廃材などの土捨場がある。</p>	<p>1) コンクリートガラは港内土捨場を利用する。梱包材、鉄くず等のごみは、トアマシナ市の指定ゴミ処理場に運搬する。</p>
<p>⑥コンテナ・バルク用ヤード地域のほとんどの部分は放置されている。</p>	<p>1) 埋め立て中は一部を仮設ヤードとして使用し最後に仮設ヤードを撤去し全体を完成させる。</p>
<p>⑦浚渫土砂には汚染物質が含まれている。</p>	<p>1) 汚染物質を含んだ土砂はコンクリート内に密閉する。</p>

(3) コンサルタントの雇用

本プロジェクトは、「マ」国がコンサルタントを雇用し実施する。コンサルタント雇用に関しては、岸壁、岸壁背面埋立、防波堤、コンテナヤード、オーバース等工種が多義に亘っていることおよび工程上各工種の相互関係が複雑であることを考慮し、詳細設計と施工管理は1ロット契約とすることが適切である。コンサルタントの選定期間は「マ」国と協議の結果6カ月とする。

(4) 調達パッケージ (ロット)

海上工事に使用する各種作業船（台船、交通船、起重機船等）を防波堤、岸壁、および浚渫に供用できること、またコンテナヤードおよびオーバース等工種もあり、工種が多義に亘り高度な実施・管理技術を要すること等を考慮すると財務条件の厳しくなる可能な限り一社で管理する大ロットの調達が効率的である。

(5) 事業実施体制

本計画の「マ」国側の事業実施体制としては、トアマシナ港湾公社工務部長、工務部環境室、財務部長、港長がプロジェクト推進を担当し、工務部が主務となって、連絡調整する。そのためには工務部長を補佐する者が2名程度必要と考える。2007、2008年トアマシナ港損益計算書より、この2名の費用は、年間大凡500万円程度である。

運輸省のオーソリゼーション、財務省、環境庁の手続き等に関しては、F/S調査時のステアリングコミッティーと同様に、港湾・空港・水運局長が随時プロジェクト推進連絡会を招集し、手続き等を推進することが適切である。したがって、入札、工実施、完成後の維持管理等の事業主体はトアマシナ港湾公社となるのが適切と考える。

The Feasibility Study on Toamasina Port Development In the Republic of Madagascar
Final Report, December 2009

「マ」国と協議した事業実施体制を下記に示す。

Item	Implementation Body	Approval Body	Authorization Body
Pledge	Between Japan and Madagascar SPAT & APMF	MOT & MOF	MOFA
Signing of Loan Agreement	Between Japan and Madagascar MOT	MOF	MOFA
Selection of Consultant	SPAT	APMF	MOT(incl. JICA's concurrences)
Consulting Services			
Detailed Design	Consultants	SPAT & APMF	MOT(incl. JICA's concurrences)
Tender Assistance	Consultants	SPAT & APMF	MOT
Construction Supervision	Consultants	SPAT & APMF	MOT
Selection of Contractor			
Pre-Qualification (incl. JICAS's concurrences)	SPAT	APMF	MOT
Preparation of Tender Document (incl. JICAS's concurrences)	SPAT	APMF	MOT
Tender evaluation	SPAT	APMF	MOT
JICA's concurrence of Tender Evaluation	JICA		
Negotiation of Contract	SPAT	APMF	MOT
Signing on Construction Contract	SPAT	APMF	MOT
L/C Opening, L/C on Effectuate	MOF	MOF	MOF

6-2-3 施工上／調達上の留意事項

(1) 施工上の留意事項

1) 仮設ヤードの設置

建設工事事務所及び仮設ヤードは、港湾用地東側に位置する埋め立て予定地を使用する。

2) 仮設岸壁及び仮設道路

遊水部に資材搬入用仮設岸壁を設置する。また防波堤を利用した仮設道路は仮設ヤード西側を経て南側のゲートに続く。

3) 建設廃材

コンクリートガラはコンテナヤード用地を使用し、木材、ビニール、セメント袋等の廃材はトアマシナ市指定のゴミ処理場に投棄する。

4) し尿処理

し尿処理は小規模合併処理浄化槽を仮設ヤードに設置し、残留物はトアマシナ市浄化施設に運搬する。

5) 石材搬入道路

国道2号線からトアマシナ市内に入る12kmの場所に重車両専用道路が国道2号線と分岐して建設されている。石材搬入には、この道路を使用する。

6) 砕石場

石材および埋立土砂を購入予定の砕石場は、トアマシナ市内から約17kmの国道2号線沿いに位置し、埋蔵量、供給量に関しても問題ないことを聞き取り調査によって確認している。また、これらの採石場は「マ」国より開発許可を得ており、環境上も問題がない。

同上の許可砕石工場は、トアマシナ空港北側に（トアマシナ港から約12km）にもある。現在の採取している山のほかに近くに4箇所の許可を得た山を保有している。

(2) 調達上の留意事項

1) 建設業者・労働者

「マ」国建設会社は、建設機械の保有数や技術者が少なく海外資本の下請けをしている。大規模工事の施工には難がある。

2) 建設機械

- ① 「マ」国内には大型建設機械のリースを専門に行っている会社はなく、保有する小規模機械でも数、種類とも少なく高額であることから、大規模工事ではプロジェクトベースで建設機械を海外より調達する必要がある。
- ② トアマシナには、販売用の生コンプラントはなく、多くの生産量を必要とする工事では生コンプラントが不可欠である。

3) 建設資材

- ①同国内では、骨材、被覆石および埋立土砂の調達が可能だが、それ以外の鉄筋、セメント及び木製品等の建設資材については輸入している。
- ②特にセメントについては、強度の低いセメントは生産しているが、土木構造物に使用するセメント（ASTEM C150 Type II 相当）はインドネシア等から輸入されている。

4) 建設物価

- ①建設資材は全て輸入品であるため、一般に日本より高額である。

6-2-4 実施工程

(1) 実施工程

1) 建設工事

工期を試算した結果、工期は約4年が必要である。なお、稼働日数は公休日、祝祭日、降雨量等を考慮し、年間稼働日数を223日として試算した。

表 6-2-1 に工程表を示す。

表 6-2-2 工程表

工 種	単位	数量	年															
			1				2				3				4			
			1	6	7	12	13	18	19	24	25	30	31	36	37	42	43	48
準備工	式	1	■															
仮設工	式	1	■															
C4岸壁工	m	320	■															
C4岸壁埋立工	m ³	727,000	■															
C4岸壁ヤード舗装	m ²	38,400	■															
防波堤工	m	345	■															
ハステリーフコンテナヤード工	ha	10	■															
港内再配置(舗装)	m ²	148,400	■															
浚渫工(C4付近)	m ³	106,000	■															
C1-C3岸壁改修工	m	497	■															
C1-C3岸壁前浚渫工	m ³	37,000	■															
オーバーパス	m	200	■															
荷役機械	式	1	■															

調達期間を考慮した施工スケジュールは図-2を参照。

6-2-5 プロジェクトの概算事業費

本計画を日本国政府の有償資金協力によって実施する場合に必要な事業費総額は、約 301 億円となる。

(1) 概算事業費

表 6-2-3 概算事業費

概算総事業費 約 301 億円

費 目		概算工事費 (億円)
施設		
	防波堤工	56.7
	C4 埠頭工	73.5
	ハスティーリーフコンテナヤード工	34.0
	港内再配置工 (舗装)	20.4
	浚渫工 (C4 前面)	5.1
	C1-C3 岸壁改修工 (前面浚渫含む)	13.0
	オーバース工	14.0
	環境対策工 (モニタリング、コンクリートタンク、運搬対策費)	5.6
建設費		222.3
荷役機械		単価
	ガントリークレーン 3 基	8.47
	RTG 13 台	1.41
	トラクターヘッド 28 台	0.14
	シャーシ 30 台	0.08
	リーチスタッカー 2 台	0.80
	サイドリフター 6 台	0.50
エンジニアリング費		13.5
予備費		11.1
総建設費		301.4
トアマシナ港株式会社に関する事務管理費		2,500 万円

(2) 積算条件

- ① 積算時点 積算時点は現地調査終了月の前月である平成 21 年 9 月 7 日時点
- ② 為替交換レート : 1EUR=132.79 円、1 Ar=0.049 円
- ③ 施工期間 : 工事実施期間は実施工程表に示すとおりである。
- ④ コンティンジェンシー : 建設コストの 5%とする。
- ⑤ エンジニアリング費 : 詳細設計及び建設時

- ⑥スカレーション : 考慮していない。
- ⑦第三国調達資機材（鋼製品、鉄筋、防舷材、建設機械、作業船舶 等）は輸入関税および VAT は含まない。
- ⑧現地調達資材（燃料、セメント 等）は輸入関税を含み、VAT は含まない。

(3) インフレーション

IMF データによれば、「マ」国のインフレーションは 2006、2007 年は 10%強であり、2008 年には約 9%となった。IMF によれば、2009、2010 年は 9%強、2011 年 6%強、マダガスカル・アクションプランの計画最終年である 2012 年は 5%としている。本計画では 2011、2012 年値を参考にして、マダガスカル国のインフレーションを 6%と設定する。

IMF によるユーロ地域データによる 2002 年から 2008 年のインフレーション率の平均は、3%弱である。したがって、外国通貨のインフレーションを 3%とする。

6-3 海浜変形の解析

タマタブ市の海岸地形は、大小2つのリーフの背後に形成された舌状砂州と発達したトンボロで特徴付けられている（図6-3-1）。トアマシナの港は、小リーフとその背後に発達したトンボロの地形的特徴を巧みに活かしてつくられた港である。写真に見られるように、小リーフ（ハステイー・リーフ）から大リーフ（グランド・リーフ）に向かって防波堤が建設されている。この防波堤延長により、トアマシナ港の泊地埋没、湾内海浜の堆積、タニウ岬を含むそれ以北の海岸において侵食が生じた。現在計画されている防波堤のさらなる延長は、周辺地域における地形変化をさらに進行させることが懸念されている。このため、防波堤の延長が周辺地形変化に及ぼす影響を、定量的に予測するとともに悪影響を緩和する方策を数値シミュレーションで検討した。なお、数値シミュレーションには、汀線変化予測モデルを用いることとした。



図 6-3-1 トアマシナ港

6-3-1 海浜変形に関する調査結果

(1) トアマシナ港周辺の巨視的把握

マダガスカルの東海岸に延長 800km に及ぶ直線状の砂浜海岸が存在する（図 6-3-2 中の赤い直線）。図 6-3-3 は、風データをもとに推算したトアマシナ港の波浪特性である。図 6-3-2 と図 6-3-3 を並べてみると、入射波向は（平均的に見て）赤く示された海岸線に対して概ね直角になっていることが分かる。大局的には海岸と入射波向は直角になっているので、トアマシナ港周辺の海浜では海岸に沿って運ばれる沿岸漂砂はないと考えられる。



図 6-3-2 直線状の東海岸（赤線）

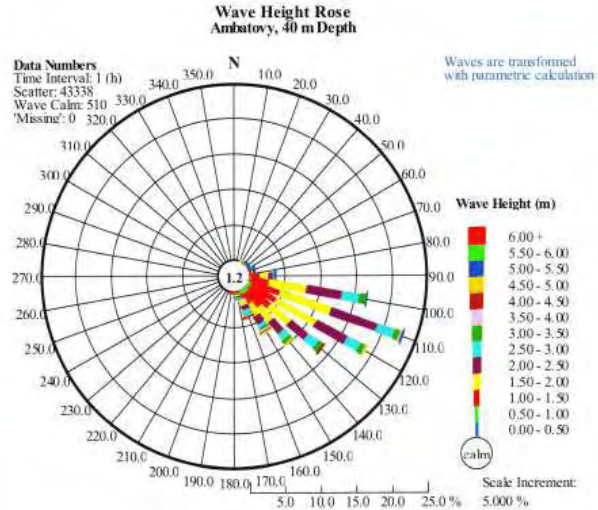


図 6-3-3 波高・波向の頻度分布（推算値、2006）

タマタブの海岸地形は、大小2つのリーフの背後に形成された舌状砂州とトンボロで特徴付けられている（図 6-3-1）。図 6-3-1 に見られるように、小リーフから大きなリーフに向かって防波堤が建設されている。防波堤の建設後に、背後の汀線は新たな平衡状態に向かって変化した。以下において、タニウ岬と港の間の海浜を Port Beach と称することにする。

(2) 防波堤の建設の経緯

図 6-3-4 に防波堤の建設経緯を示した。最初に防波堤が建設されたのは 1927 年～1930 年である。1930～1937 年に、港拡張のために防波堤を大リーフに向かって 500m 延伸した（図中の赤い部分）。この時点で防波堤先端水深は約 20m であり、グランド・リーフと防波堤の間の幅は 600m に減少した。

その後、防波堤は 1943 年のサイクロンによって被災したので、1943 年～1963 年の間に被災箇所での修理や新規建設が行われたが、先端部 80m 区間は復旧されなかった。1972 年～1974 年の間に防波堤がさらに 225m 延長された。その結果、開口部は 455m に縮小した。

1972～1974 年の防波堤建設は水深の深い箇所であり、航路幅が狭まったことにより湾内に入射する波のエネルギーの減少がおおきいので、大きなインパクトを湾内の海浜に及ぼすことになった。

防波堤の建設が海浜に及ぼした影響を理解するためには、1972～1974 年の期間の前後で地形がどのように変化したかという観点で地形変化を捉えることがポイントになる。以下の説明では、1972 年～1974 年に建設された防波堤を 72/74 防波堤と称することにする。

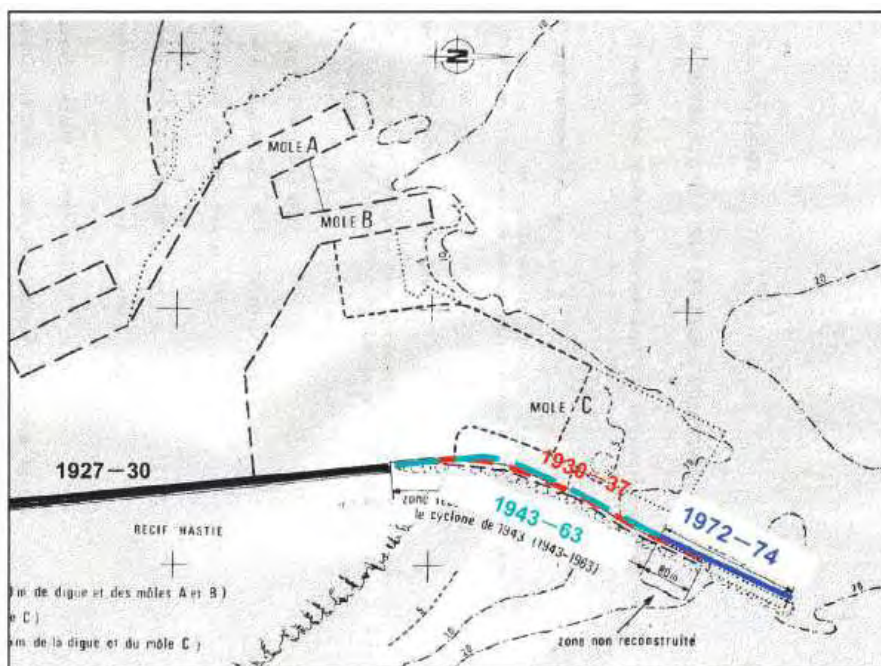


図 6-3-4 トアマシナ港の防波堤建設の経緯

(3) 72/74 防波堤建設に伴う海浜変形

図 6-3-5 に、現況の写真に 1961 年撮影の航空写真から読みとった汀線位置を重ねて示した。タニウ岬の先端付近で侵食が、港よりの海浜では堆積が生じている。汀線の前進は、港に近づくほど大きい。この変化は、72/74 防波堤建設の影響である、と考えることが出来る。



図 6-3-5 1961 年の汀線と最近の航空写真の重ね合わせ

図 6-3-6 は、1961 年撮影の航空写真の汀線を基準として各年代の航空写真の汀線位置および地形図(1975)の汀線位置と比較して求めた海浜面積の増加分に漂砂の移動帯幅を考慮して推定した Port beach での砂堆積量である。1972 年～74 年の防波堤延伸後に堆積土量が増加したことがよく分かる。

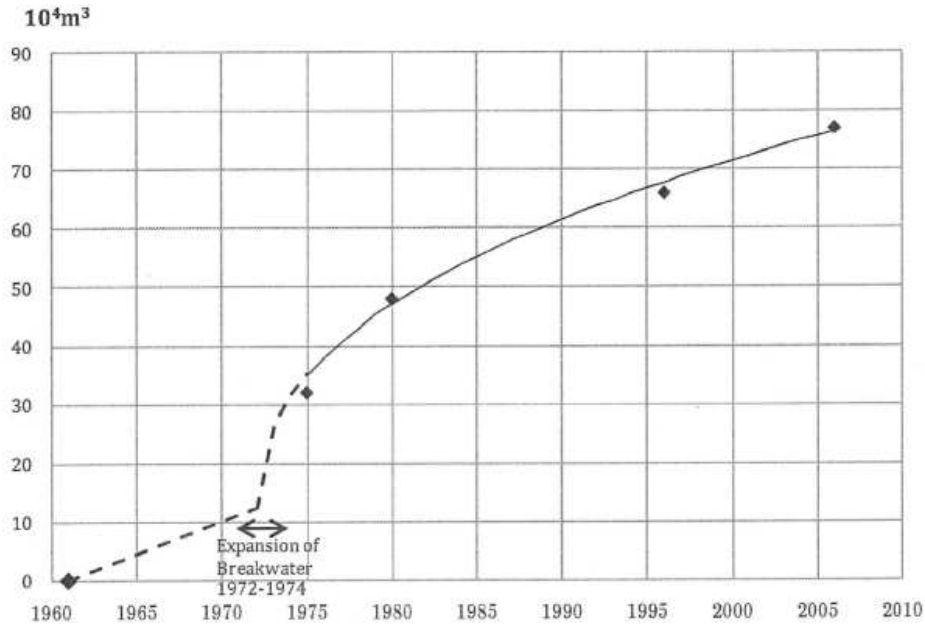


図 6-3-6 航空写真と地形図から推定した Port Beach の堆積土量の変化

(4) 湾内への土砂流入のルート

72/74 防波堤建設前後の汀線位置を比較した図 6-3-5 をみると、明らかに砂が堆積した範囲が広い。Port Beach での砂堆積 (図 6-3-6) は増加し続けている。図 6-3-7 は、1972/75 年から 1981 年間の地形変化である。図中の凡例が小さくて分かりづらいが、要するにタニウ岬の左側の北海岸では全域で侵食、右側の Port Beach では全域で堆積が生じている。この地形変化は、北海岸からタニウ岬の先端を回って Port Beach への砂移動の存在を強く示唆している。



図 6-3-7 1972/75年から1981年まで地形変化

6-3-2 タニウ岬を通過して港内に土砂が運ばれる機構

図 6-3-8 を用いて、砂が Port Beach へ運ばれる機構の説明をおこなう。図 6-3-8 において、実線は防波堤建設以前の汀線位置（平衡状態）であり、破線は防波堤建設後の汀線位置を示す。

まず、(A)防波堤を延伸する。

(B)Port Beach では、防波堤に向かう砂移動が生じる。

(C)その結果 Port Beach の右側で堆積が生じる。

(D)舌状砂州先端部（タニウ岬）が侵食する。この侵食は、一点鎖線で示した大リーフの中心線を越えて左側の海浜（北海浜）まで及ぶ。

(E)大リーフ中心線の左側の汀線が後退して平衡状態からずれるので、北海浜では平衡状態に戻すように南向き（右向き）の砂移動が生じる。

(F)その結果、先端部まで砂が運ばれ岬は回復する。

(F)まで砂が運ばれると、(B)→(C)→(D)→(E)→(F)→(B)→・・・の繰り返しループが形成され、Port Beach に継続的に砂が運び込まれる。

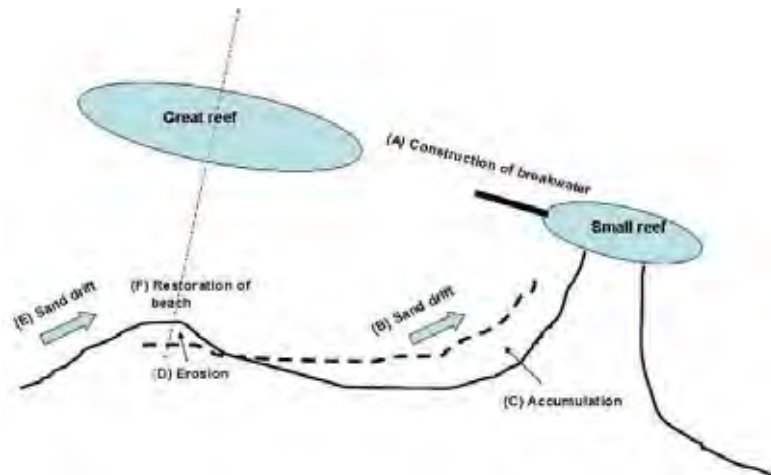


図 6-3-8 舌状砂州先端を迂回して砂が Port Beach へ運ばれる機構の概念図

6-3-3 海浜変形シミュレーションによる汀線の将来予測

(1) 計算条件

【計算領域】

計算領域は図 6-3-9 のとおりとした。つまり、図 6-3-9 の全域（19.5km x 10.8km）の範囲を波浪変形計算の対象範囲（広領域）とし、この図中の実線の領域（狭領域）を汀線変化計算の領域とした。波浪変形計算は、エネルギー平衡方程式に基づいておこなった。

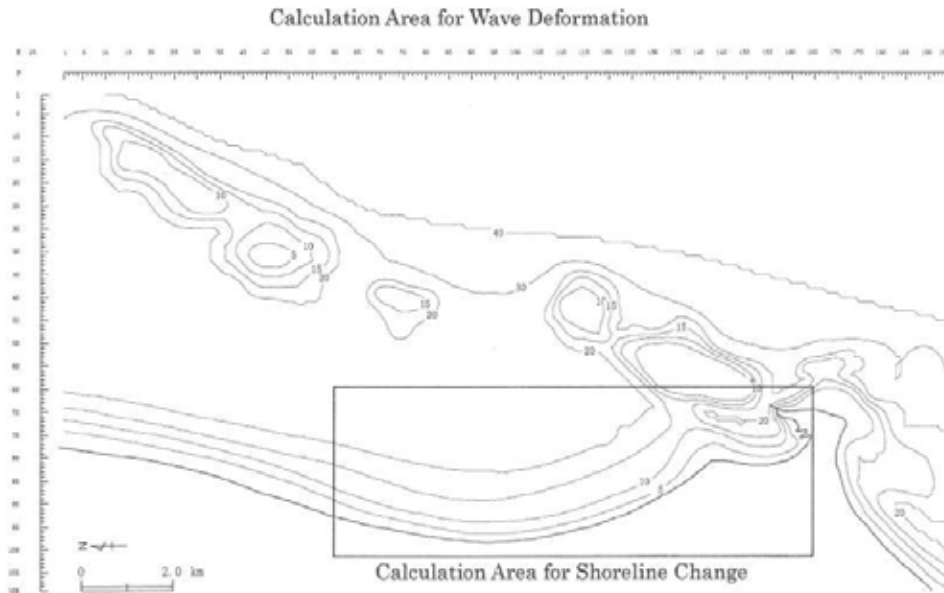


図 6-3-9 波浪変形と汀線変化の計算領域

【波浪条件】

水深 40m 地点の波浪特性が、既に 2006 年に推算されている(図 6-3-3) ので、この情報を元に波向毎のエネルギー平均波を算定し、数値計算で用いる 8 種類の代表波浪諸元とその出現頻度（作用日数）を表 6-3-1 のように決めた。

表 6-3-1 代表波浪諸元

No.	波向	波高 (m)	周期 (s)	出現率 (%)	作用日数
1	N90° E	1.74	9.8	5.0	18
2	N100° E	2.13	9.9	16.8	62
3	N110° E	2.09	9.9	23.1	83
4	N120° E	2.02	9.9	19.1	70
5	N130° E	2.04	9.9	13.9	51
6	N140° E	2.06	10.0	22.0	81
7	N150° E	2.13	10.0	6.9	26
8	N160° E	2.09	10.0	5.2	19

【潮位】

波浪変形、汀線変化計算の潮位は、平均潮位 (+0.67m) とした。

【沿岸漂砂量公式】

汀線変化計算において、沿岸漂砂量を評価する式として、防波堤などの構造物による波の遮蔽域での漂砂量評価の精度が高い

$$Q_y = \frac{(ECn)_b}{(1-\varepsilon)(\rho_s - \rho)g} \left(K_1 \cos \alpha_b \sin \alpha_b - \frac{K_2}{\tan \beta} \cos \alpha_b \frac{\partial H_b}{\partial y} \right)$$

を用いた。ここで、K1 (=0.028)、K2 (=0.022) : 係数、ECn : 波のエネルギーフラックス、 ε : 空隙率、 ρ_s : 砂の密度、 ρ : 水の密度、 α : 波の入射角、 $\tan \beta$: 海底勾配、H : 波高である。添え字の b は、砕波点を意味する。

(2) 現状の状態での将来予測

まず、港の拡張（防波堤の延長）を行わず、現在の状態を維持した場合の汀線変化の予測計算を行った。図 6-3-10 がその結果である。Port Beach 全体ではほぼ一定速度の汀線前進が生じる。一方、タニウ岬より北側の海浜では、僅かではあるが汀線後退が生じる。

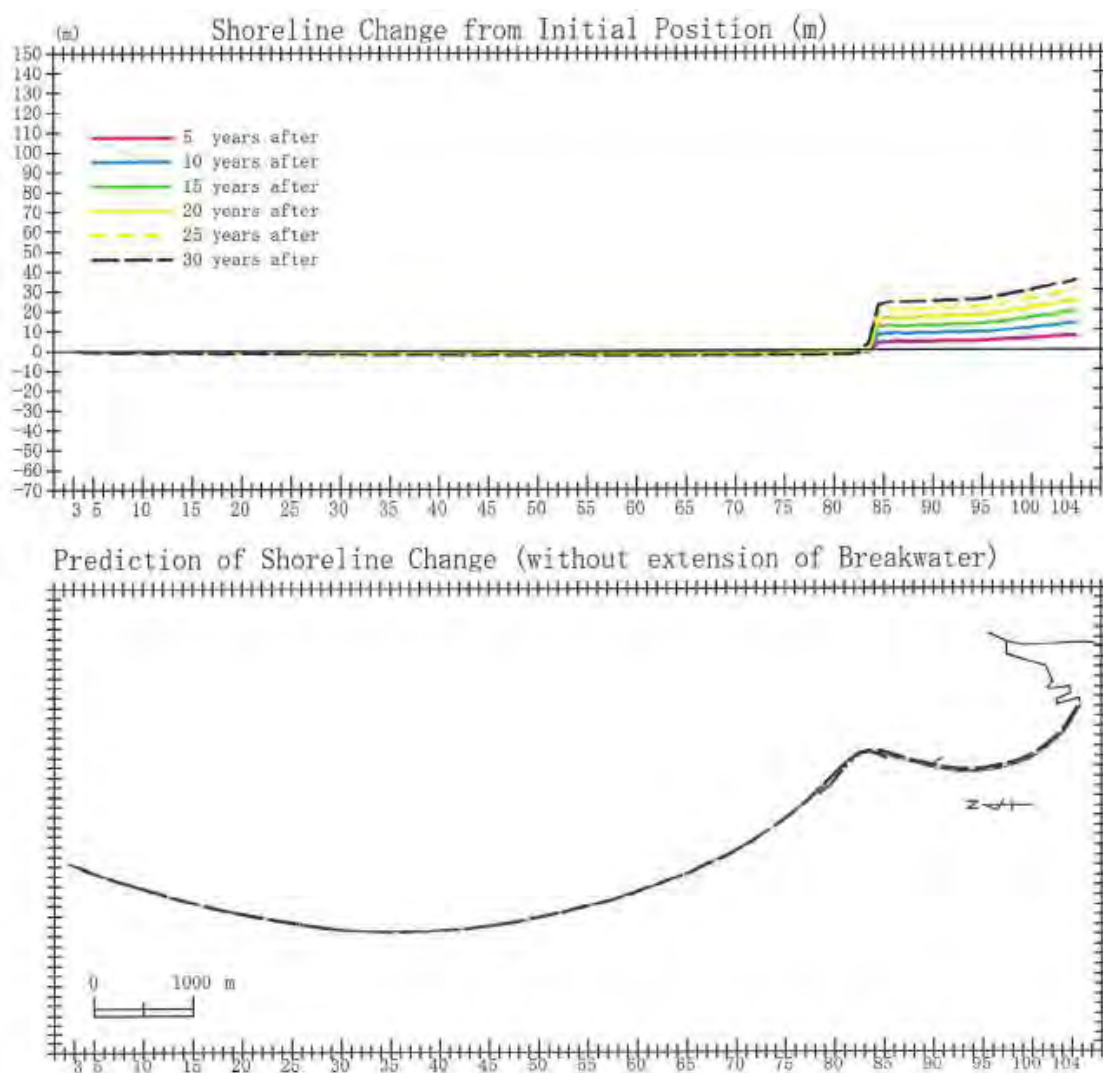


図 6-3-10 港を拡張しない場合（現在の状態）の汀線予測結果

(3) 施設配置代替案 3 の汀線予測結果

（施設配置代替案 3 の詳細ならびに施設の平面配置は第 4 章および付録に示されている。）

施設配置代替案 3 は、新規バースをグランドリーフの背後に建設し、新バースと現在の港を栈橋で連絡する案である。栈橋構造を波はほとんど通過するので、予測結果は図 6-3-10 と同じであり、施設配置代替案 3 の影響による海浜変形はないと判断された。

(4) 施設配置代替案 1 の汀線予測結果

（施設配置代替案 1 の詳細ならびに施設の平面配置は第 4 章および付録に示されている。）

図 6-3-11 は施設配置代替案 1 に対する汀線予測結果である。施設代替案 1 は、防波堤を 480m 延伸する案であり、現在の港とグランド・リーフの間のリーフパスを閉じることになる。

北海浜では侵食が更に進行し、砂はタニウ岬の前面を通過して港内へと運ばれる。港内に運ばれた砂は X93 付近に堆積し、最初の 5 年で汀線は 50m 程前進する。X91 の地点には運河の河口があるので、この汀線前進は河口閉塞を引き起こす可能性がある。港近く (X104) の汀線は最初ゆっくりと前進し、時間とともに前進速度が速くなる傾向がある。X85 付近は護岸がなく、初期の段階で 40m くらい侵食が生じるが、その後北海浜からの砂の補給により徐々に回復する。

タニウ岬 (X83) 周辺で汀線の後退が生じないのは、海岸が護岸で防護されているためである。

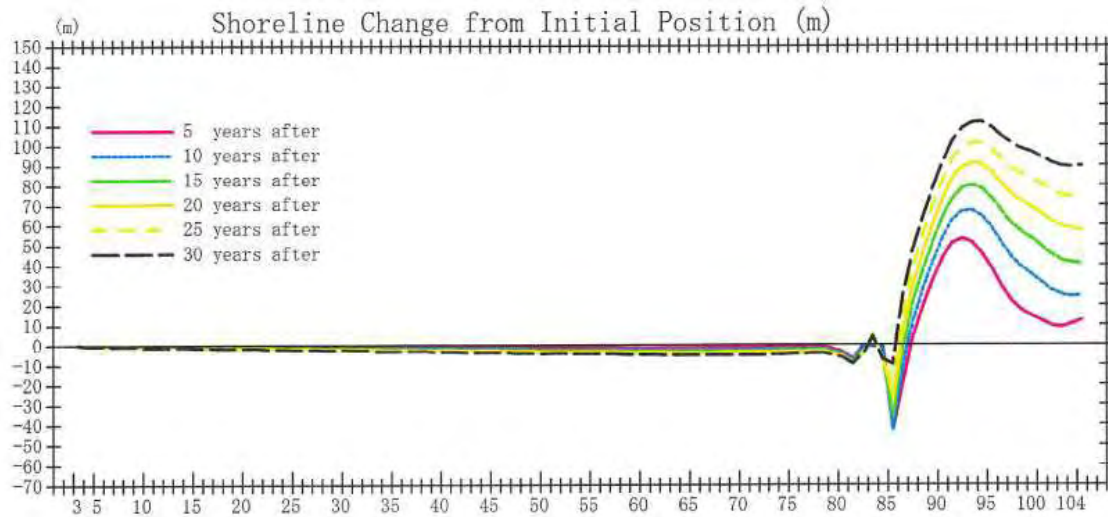


図 6-3-11 施設配置代替案 1 の汀線予測結果

(5) 施設配置代替案 2 の汀線予測結果

(施設配置代替案 2 の詳細ならびに施設の平面配置は第 4 章および付録に示されている。)

図 6-3-12 は施設配置代替案 2 に対する汀線予測結果である。施設配置代替案 2 では、防波堤を 345m 延伸する案であり、代替案 1 の防波堤延長より 135m 短い。現在の港とグランド・リーフの間のリーフパスは僅かであるが開いている。

図 6-3-12 を図 6-3-11 と比較すると、これらの図面では違いが認められなくて、代替案 2 でも代替案 1 と同じ汀線変化が生じるといえる。代替案 1 に比べて代替案 2 の防波堤の長さは 135m 短い、リーフパスの開口部の水深が非常に浅いため透過する波のエネルギーはあまり増加しないため、地形変化は変わらない結果になると考えられる。

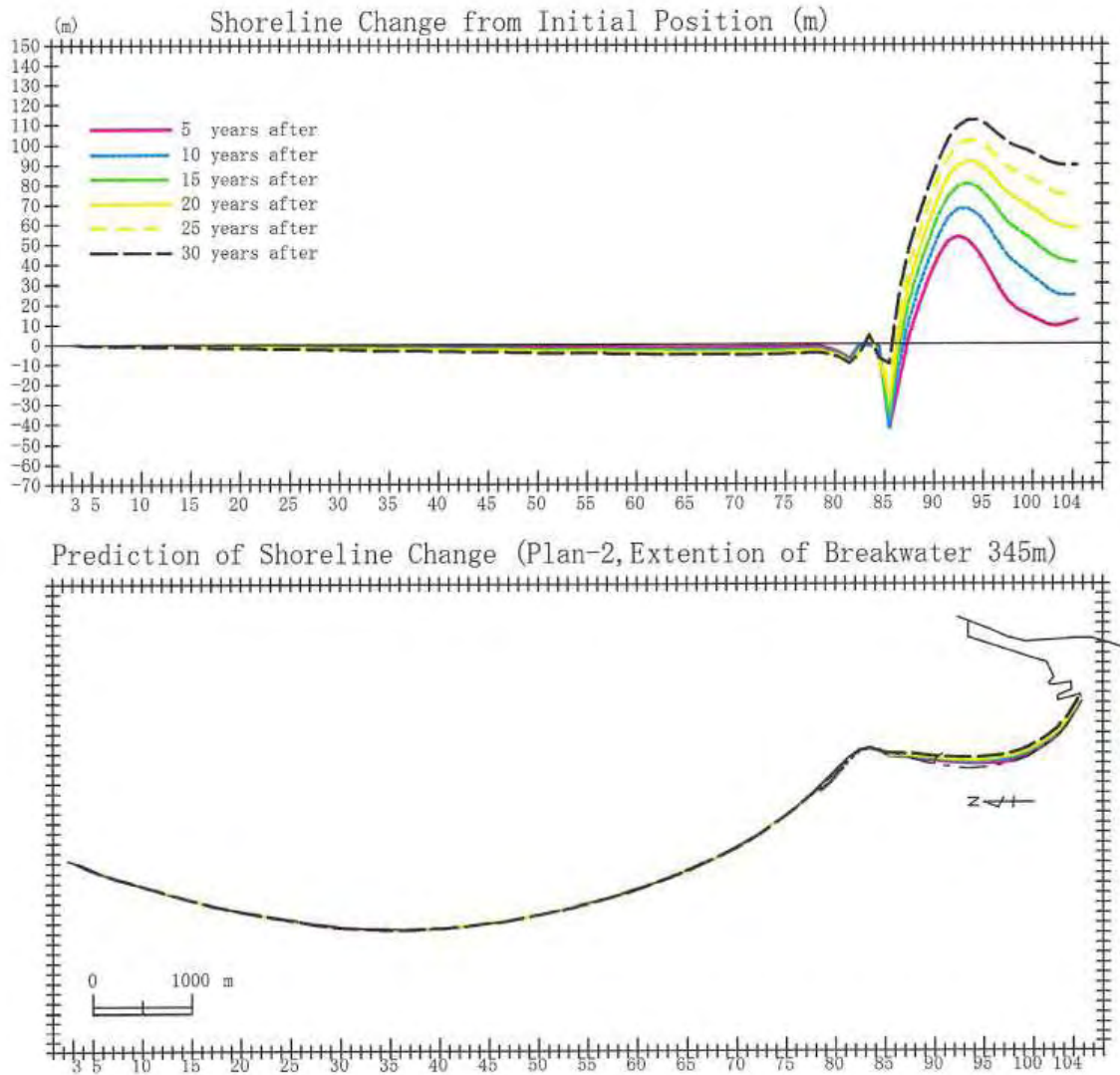


図 6-3-12 施設配置代替案 2 の汀線予測結果

6-3-4 施設配置代替案 2 の汀線変化に対する対策案

(施設配置代替案 2 の詳細ならびに施設の平面配置は第 4 章および付録に示されている。)

前節で説明した三つの施設配置代替案の汀線変化予測結果をまとめると以下ようになる。

◎施設配置代替案 3：海浜地形に及ぼす影響はない。

◎施設配置代替案 1 と 2：二つの案の海浜地形に及ぼす影響は同じであり、タニウ岬より港側で汀線前進、北側（北海浜）で汀線後退が生じる。

そこで、施設配置代替案 2 について海浜の変化量を少なくするための対策について数値シミュレーションで検討する。

【対策案 1】：タニウ岬に突堤

突堤が南下する漂砂を阻止するために、突堤の北側で汀線が前進し、北海浜での侵食は生じない。岬を回って港内へ運ばれる漂砂はなくなる。このため、港内の汀線変化は、港内の土砂収支だけで生じる。港内の砂堆積量は少なく、運河の河口（X91）付近の汀線前進量は少ない。しかしながら、突堤の下手側では汀線後退が生じる。

【対策案2】：タニウ岬にL型突堤

タニウ岬に施工する突堤をL型突堤にすると、港近くの汀線前進量が少なくなる。しかしながら、L型突堤の（漂砂の）下手側での侵食は依然として生じている。本来ならば、この部分の侵食は緩和されるはずであるが、波浪変形計算にエネルギー平衡方程式を用いているので、回折効果が十分計算されてないために、汀線予測の精度が悪くなっている可能性がある。

【対策案3】：タニウ岬にL型突堤+突堤2基

港内の海浜変化が平衡状態に達するまでの時間を短縮し、海浜の早期安定化を図るために、試みにタニウ岬にL型突堤、港内海浜にさらに2基の突堤を設置した。図 6-3-13 は、そのときの汀線変化を計算した結果である。港内の浜の形状が突堤によって不連続にはなるが、L型突堤の港内側（X85）および港近く（X100～104）での汀線変化量は少なくなり、5～10年でほぼ平衡状態に達している。

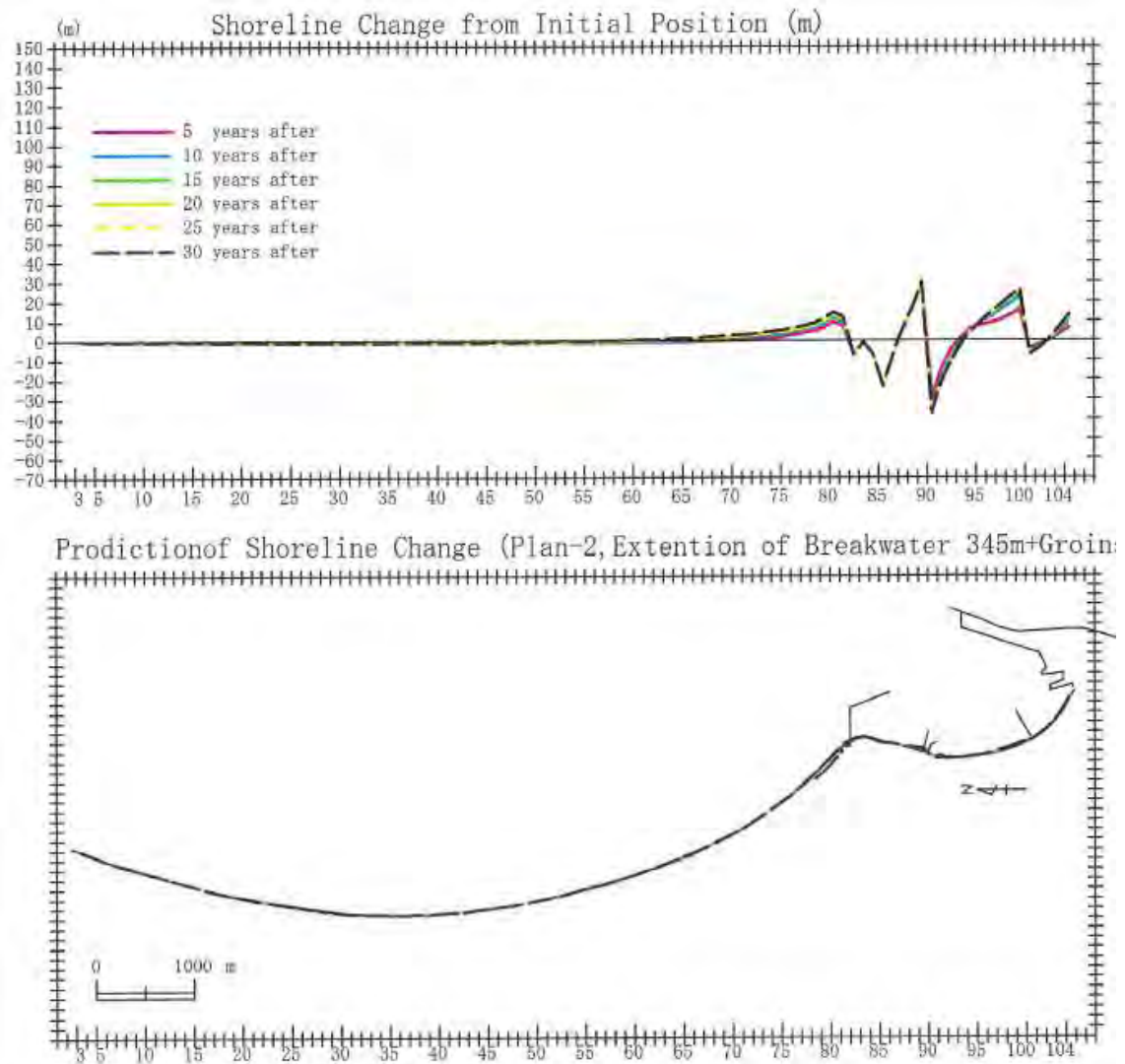


図 6-3-13 施設配置代替案 2 に対する対策案 3 (L型突堤+突堤 2 基)

6-4 滞船シミュレーション

6-4-1 シミュレーションの目的

トアマシナ港は、約 4.5km の 1 レーンの進入航路で運営されているが、現在滞船はほとんど生じていない。しかしながら、将来入港船舶が増加すると、船舶の沖待ちが生じる可能性がある。ここでは、数値シミュレーションにより、2020 年の滞船時間を予測し、プロジェクト実施の効果を把握する。対象とするプロジェクトは、緊急開発計画とした。

6-4-2 シミュレーションの方法

(1) ソフトウェア

シミュレーションに用いたソフトウェアは以下の通りである。

ソフト名：WITNESS（開発元 英国 Lanner Group Ltd.）

バージョン：2001

仕様：WITNESS は離散系・連続系統合型の汎用シミュレーションソフトウェアである。生産工程や物流・交通などの様々なプロセスを簡単にモデル化し、アニメーション表示することで、実行状況の観察が分かりやすく、自動生成されるレポート等を通して、プロセスを理解・評価することができる。

(2) 検討ケース

シミュレーションは以下の4項目に対して行った。

1) 2007年の入港船舶に対する滞船時間のシミュレーションによる再現

2007年の入港船舶のデータをもとに滞船時間と岸壁占有率を計算し、モデルのキャリブレーションを行った。

2) プロジェクトが実施されない場合の滞船時間の予測

需要予測の結果から、トアマシナ港のコンテナ取扱量、バルク・一般貨物取扱量、液体貨物取扱量の今後の伸び率はそれぞれ、10%、3%、2%と予測されている。シミュレーションでは、各船種の隻数を同様の伸び率で増加させ、2020年の滞船時間を予測することにする。

現在のコンテナターミナルの取り扱い能力は約20万TEUと考えられるため、これを超えるコンテナ貨物については、他の水深の浅い岸壁も荷役に併用できるように500TEU程度の小型船舶に近隣港（ポートルイス）で積み替え、シャトル輸送するものと仮定した。

また、液体貨物については、現在建設中のドルフィンバースが完成し、船舶が大型化して寄港船舶数は減少することを考慮した。

3) プロジェクトが実施される場合の滞船時間の予測 (1 レーン航路の場合)

プロジェクトが実施されるとコンテナ岸壁が1基増設され、水深が14mとなるため、コンテナ船は大型化し、平均50,000DWT(3,000TEU積み程度の船舶)が300回寄港すると仮定する。

4) プロジェクトが実施される場合の滞船時間の予測 (2 レーン航路の場合)

現在トアマシナ港の進入航路は1レーンで運行されているが、将来寄港船舶数が増加し、航路が混雑して滞船時間に影響が出ることも考えられる。そこで、寄港船舶数を上記の将来モデルと同様として、進入航路を2レーンにした場合のシミュレーションを行った。

(3) 入力条件

各検討ケースの入力条件は以下の通りである。

表 6-4-1 各検討ケースの入力条件

Ship Types & Sizes	Shiptype	Bulk/ General (1)	Bulk/ General (2)	Bulk/ General (3)	Container	Container Small Vessels	Pass./ Ferry	Car Carrier	Tanker	Bulk Ambatovy	Bulk Oji Paper	Others	Total
	LOA(m)	60	130	150	160	100	110	200	130	210	210	45	-
B(m)	12	19	23	25	18	18	33	23	30	30	8	-	
Draft(m)	3.5	8	10	10	6	6.2	10	9	12	12	2.5	-	
DWT	1,300	10,000	20,000	20,000	5,000	3,500	20,000	20,000	48,000	50,000	-	-	
Average Berthing Hrs	290.0	160.0	80.0	20.0	60.0	18.0	10.0	40.0	71.0	120.0	24.0	-	
2007 Shipcall	89	35	38	227	-	24	22	54	-	-	832	1321	
Without Project Case	131	48	48	400	450	24	22	50	71	5	832	2081	
With Project Case (1Lane)	131	48	48	300	-	24	22	50	71	5	832	1531	
With Project Case (2Lane)	131	48	48	300	-	24	22	50	71	5	832	1531	

6-4-3 検討結果

検討結果として各種船舶の滞船時間の計算結果を表6-4-2に、各岸壁の岸壁占有率を表6-4-3に示した。

表 6-4-2 各種船舶の滞船時間の計算結果

	Average Ship Waiting Time (days)			
	2007	Without Project 2020	With Project 2020 (1 Lane)	With Project 2020 (2 Lane)
Bulk/General (1)	0.15	2.09	0.49	0.51
Bulk/General (2)	0.00	3.65	0.55	0.55
Bulk/General (3)	0.00	0.82	0.36	0.33
Container	0.01	3.38	0.01	0.01
Container Small Vessel	--	1.28	--	--
Pass./Ferry	0.04	2.41	0.21	0.19
Car Carrier	0.02	2.63	0.43	0.40
Tanker	0.22	0.01	0.01	0.00
Bulk Ambatovy	--	0.00	0.00	0.00
Bulk Oji Paper	--	1.18	0.46	0.44
Others	0.32	0.02	0.01	0.01

表 6-4-3 各岸壁の岸壁占有率の計算結果

	Berth Occupancy Rate (%)			
	2007	Without Project 2020	With Project 2020 (1 Lane)	With Project 2020 (2 Lane)
MOLE A WEST(AW)	45.7	67.3	39.6	39.6
MOLE A EAST(AE)	37.4	66.6	39.6	39.6
MOLE B WEST(BW)	24.4	82.1	62.8	62.9
MOLE B WEST(New Berth)	28.0	80.6	37.2	34.6
MOLE B EAST (Ambatovy)	--	64.8	58.4	58.4
MOLE B New Oil Jetty	--	25.5	23.2	23.1
MOLE C1(C1)	39.3	66.3	21.6	21.7
MOLE C2 (C2)	33.5	89.6	18.5	18.5
MOLE C3 (C3)	33.7	89.7	38.5	38.5
MOLE C4 (C4)	--	--	34.6	34.6

図 6-4-1 は滞船シミュレーションの結果をグラフ化したものである。図中のバルク・一般貨物船や「Without Project Case」のコンテナ船等複数の船型を入力したものはそれらの平均値を図化した。拡張工事を行わない場合は、2020年までにタンカー以外の全ての船舶で平均2~3日の滞船が生じると予想される。拡張工事を実施すれば、バルク・一般貨物船などの滞船は半日程度に、コンテナ船の滞船はほとんど生じない状態まで改善できると考えられる。

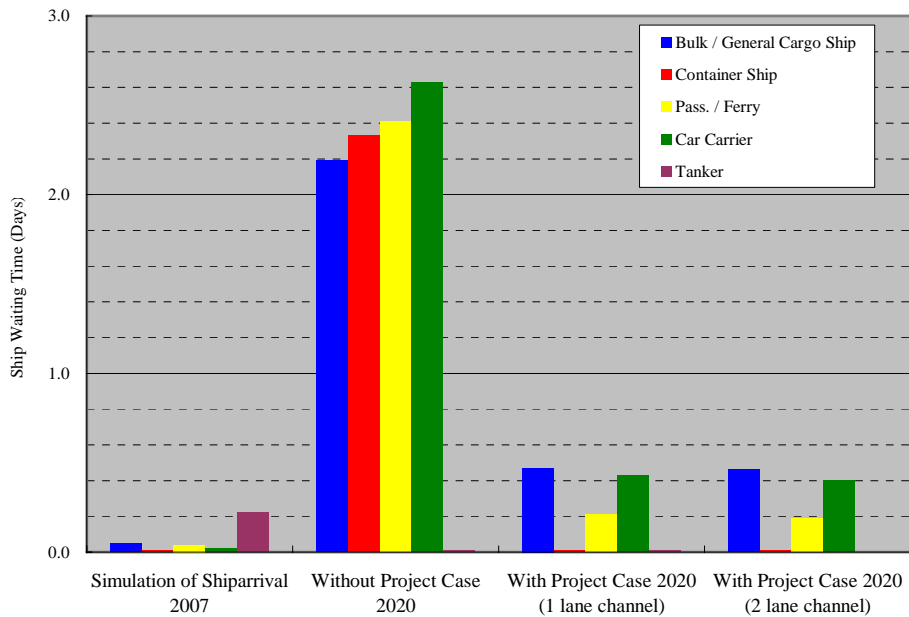


図 6-4-1 滞船シミュレーションのまとめ