

エルサルバドル共和国
空港・港湾運営自治委員会 (CEPA)

エルサルバドル共和国
ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクト
ファイナルレポート

平成 26 年 6 月
(2014 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社 エコー

基盤
JR
14-017

エルサルバドル共和国
空港・港湾運営自治委員会（CEPA）

エルサルバドル共和国
ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクト
ファイナルレポート

平成 26 年 6 月
(2014 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社 エコー

略 語 表

ALMOB	Automatic Light Mixture Overboard
C.D.L.	Chart Datum Level
CA4	Four Central American countries:El Salvador, Guatemala, Honduras and Nicaragua
CA5	Five Central American countries:El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua and Costa Rica
CEPA	Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma or Executive Autonomous Port Commission of the Republic of El Salvador
CNR	National Registration Center of the Republic of El Salvador
COCATRAM	Comisión Centroamericana de Transporte Marítimo (The Central American Commission on Maritime Transport)
CPN	Comision Portuaria Nacional Guatemala (Guatemala National Port Commission)
D.L.	Datum Level
ECOH	Environmental Consultants for Ocean and Human
EPN	Empresa Portuaria Nacional (Nicaragua National Port Company)
EPQ	Empresa Portuaria Quetzal (Quetzal Port Company)
GPS	Global Positioning System
GVD	Geodetic Vertical Datum
JBIC	Japan Bank for International Cooperation
JICA	Japan International Cooperation Agency
JSCE	Japan Society of Civil Engineers
LMOB	Lean Mixture Overboard
LOA	Length overall
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
MLLW	Mean Low Low Water
MLW	Mean Low Water
MSL	Mean Sea Level
NAD27	North American Datum of 1927
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration United States Department of Commerce
OCDI	The Overseas Coastal area Development Institute
OD	Origin-Destination
PIANC	World Association for Waterborne Transport Infrastructure
SAPI	Study on Special Assistance for Project Implementation
SIECA	La Secretaría de Integración Económica Centroamericana (The Secretariat of Central American Economic Integration)
TDS	Tons Dry Solid
TOR	Terms of Reference
TSHD	Trailing Suction Hopper Dredger
TSS	Total Suspension Solid
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
USA	United States of America

USDA	U.S. Department of Agriculture
VBA	Visual Basic for Applications
WGS84	World Geodetic System 1984
WID	Water Injection Dredging

要 約

要 約

第 1 章 序論

エルサルバドル国はラ・ウニオン県に新港を建設することを決め、日本に対して港建設のマスタープランの準備とフィジビリティ調査を要請してきた。この要請に対して日本政府は、国際協力機構（以降、JICA）による 1997 年 10 月から 1998 年 12 月の間のフィジビリティ調査ならびのその報告書の提出によって応えた。この調査に引き続き、2001 年 7 月から 2003 年 1 月の間に、港の詳細設計が行われた。ラ・ウニオン港の建設は 2005 年 4 月に始まり、土木関連工事は 2008 年 12 月までに完了した（図 1.1 参照）。

延長 22.3 km のアクセス航路の初期浚渫を行っていた 2007 年に、内港航路と外港航路および泊地で多量の埋没が生じていることが明らかになった。航路埋没は開港後のスムーズな港湾運営を脅かす恐れがあったので、エルサルバドル政府と日本政府は、2008 年 7 月に急速な航路埋没の調査の必要性について協議し、両者は「ラ・ウニオン港開発事業に係る案件実施支援調査（SAPI）」の実施について合意した。SAPI 調査は JICA が担当し 2008 年 11 月から 2009 年 11 月の期間に実施された（図 1.1 参照）。

SAPI 調査によって、航路埋没は浮泥がより深いところへとゆっくりとズレ落ちていくことが原因であることが分かった。しかしながら、継続的な深淺測量の回数に限りがあることや、調査の期間が比較的短かったため、予測された埋没量の精度は信頼おける維持浚渫量を推定するには十分ではなかった。

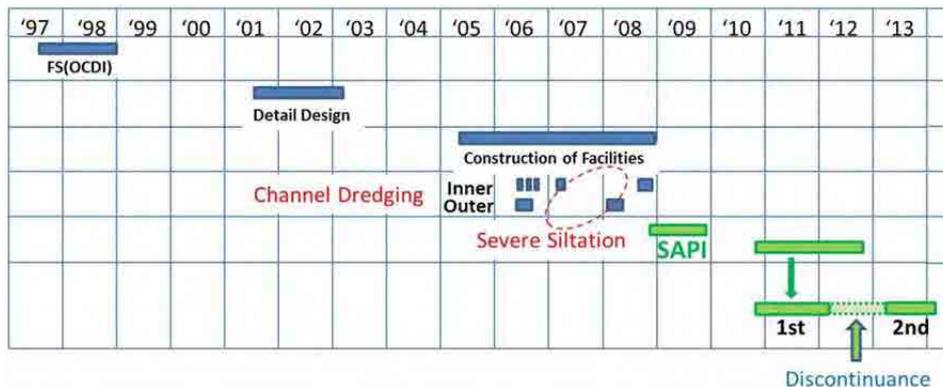


図 1.1 ラ・ウニオン港の歴史

大水深港湾としての港湾機能を適切に発揮するためには、浚渫コストだけでなく浚渫方法も財政活力にとって極めて重大な事項であり順調なターミナル運営のキー要因となる。そこで、CEPA は再び JICA に効果的かつ効率的な維持浚渫計画の策定を要請した。JICA と CEPA の議決に従って、JICA は第 1 年次調査団を 2011 年 1 月に派遣し、2012 年の 5 月までの約 1 年 4 か月にわたり一連の深淺測量とデータ解析を実施した。

調査と分析の結果、将来の船便の詳細な分析、詳細な需要予測および試浚渫のデータが効果的な維持浚渫計画の策定に必要不可欠であることが分かった。そこで、JICA と CEPA は、第 2 年次調査の開始に先立ち、ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクトに関する TOR を改訂することを協議し合意した。第 2 年次調査では、現状および将来の最適航路水深を技術的・財政的そして経済的に分析するために、工学的（技術的）課題だけでなく経済学的課題についても調査範囲に含めた。約 1 年間の中断の後、第 2 年次の調査が 2013 年 4 月に再開した。

第1年次および第2年次の調査目的は以下の3項目である。

- (1) 港の効率的で効果的な維持浚渫計画を策定するために、CEPA が持っているデータ、情報、解析などを活用する。
- (2) 航路・泊地の埋没を処理するための技術を移転する
- (3) 収集データと解析結果に基づき CEPA が行う浚渫計画の策定を支援する

第2年次調査団は、工学チームと経済チームの二つの副調査団で構成された。第2年次調査の適切な実施のために、JICA 本部に国内支援委員会が設置され工学チームを学術的技術的観点で支援し助言をおこなった。

第2章 技術移転

1年次調査では、CEPA 職員に対する技術研修を、2011年11月12日～12月9日の間に日本で実施した。二人の技術者がこの研修に参加し、浚渫作業の運営と管理、深淺測量の方法、潮位予測等について研修した。

2年次調査では、工学チームはカウンターパートや随時の参加者に対して、述べ12回の講義、演習、議論、OJT等を通じて技術移転を行った。移転された技術には深淺測量、潮位予測、潮位補正等に関する事項、航路埋没過程とその機構、レイキ浚渫、航路埋没量の経験的予測モデル、航路埋没のモニタリング方法、半円形人工島の影響、浚渫船のタイプ等が含まれている。

エコノミックチームは、16回の講義・ディスカッションを通じてカウンターパートおよびその他の参加者に対して技術移転を行った。その内容は、船舶寄港モデル、中米におけるコンテナ輸送の現状、ラ・ウニオン港および近隣諸港の料金水準についての確認、ラ・ウニオン港の潮位変化による期待待ち時間、港湾周辺地域における産業開発と港湾計画や誘致の関係などであった。

2013年8月27日にCEPA本部において、“Special Technical Assistance for Maintenance Dredging of the Port of La Union in the Republic of El Salvador”のタイトルのもとで、ワークショップを開催した。参加者は、CEPA側から17名、日本側から4名、JICA調査団から7名、JICAエルサルバドル事務所から4名であった。

第3章 現地調査とその成果

深淺測量や底質採取等の現地調査が、第1年次調査で実施された。

深淺測量は、2011年2月、2011年8月、2012年1月の3回実施した。得られた深淺データに基づいて、基本解析を行った。その結果、ラ・ウニオン港の延長22.3kmの航路は、かつてはD.L.-14mまで浚渫されていたが、現在はほとんど浚渫前の元の状態まで埋没してしまっており、航路としての水深は維持されていないことが分かった。

初期浚渫後約2年が経過した時に採取した底質を分析した結果、湿潤密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ 以下の浮泥層が、外港航路では0.5m、内港航路では1.0mの厚さで形成されていた。

航路内の浮泥層は比較的長期間にわたって存在する。このことは、維持浚渫計画に浮泥層の存在を考慮に入れると、維持浚渫量を少なくすることが可能であることを示唆している。

現地における調査団の経験に基づいて判断すると、周波数200kHzの測深機は浮泥層の上面を検知していると考えられる。したがって、船舶の航行が可能な水深は、周波数200kHzの音響測深機で測定した水深より、浮泥層の厚さだけ深いと考えられる。

第4章 航路埋没過程の解析と予測モデル

最初に、深浅測量のデータに基づいて指数関数型の経験的予測モデルを組み立てる。

次に、深浅データの解析を通じて航路埋没の過程と機構を明らかにする。解析結果に基づいて、原型の指数モデルの改良を行った。この新しいモデルを修正指数モデルと名付けた。

さらに、浚渫後数カ月以内に短期間に急激な埋没が生じることが明らかになった。急激な埋没は維持浚渫を継続している期間中は生じない可能性があることを考慮に入れて第二の予測モデルを構築した。このモデルを線形モデルと名付けた。

現在、修正指数モデルで予測した航路埋没量と線形モデルで予測した量の間には違いがある。前者で予測した埋没量は後者のそれより多い。後者はいまだ検証されていない仮説に基づいて組み立てられているので、その仮説が実測データで証明されるまでは現地適用を控えなければならない。

第5章 維持浚渫量と浚渫コストの見積もり

第5章では、第4章で構築した2つの予測モデルを使用して、維持浚渫量を見積もる。

現在、泊地、内港航路および外港航路はほとんど元の状態まで埋没している。最初に泊地と航路は再浚渫が必要である。航路維持目標水深9m～14mの範囲で1mごとに、2013年7月測量の最新深浅図に基づいて再浚渫量を計算した。その結果を、表5.1にまとめた。

表 5.1 再浚渫量 (単位 : 1000 m³)

水深 (m)	外港水路	内港水路	泊地	総計
9.0	0	895	0	895
10.0	25	1,535	59	1,619
11.0	404	2,215	344	2,964
12.0	1,161	2,936	798	4,895
13.0	2,284	3,696	1,471	7,452
14.0	3,882	4,496	2,186	10,565

維持浚渫量は6種類の航路維持目標水深、つまり9、10、11、12、13、14mについて計算した。サイクル時間、つまり連続する維持浚渫の実施間隔、は3、4、6、12カ月を想定した。ある航路維持水深であるサイクル時間のときの航路維持浚渫量を、修正指数もでると線形モデルで見積もった。計算においては、浮泥の層厚を考慮に入れた。見積もりの結果を図5.7に示す。

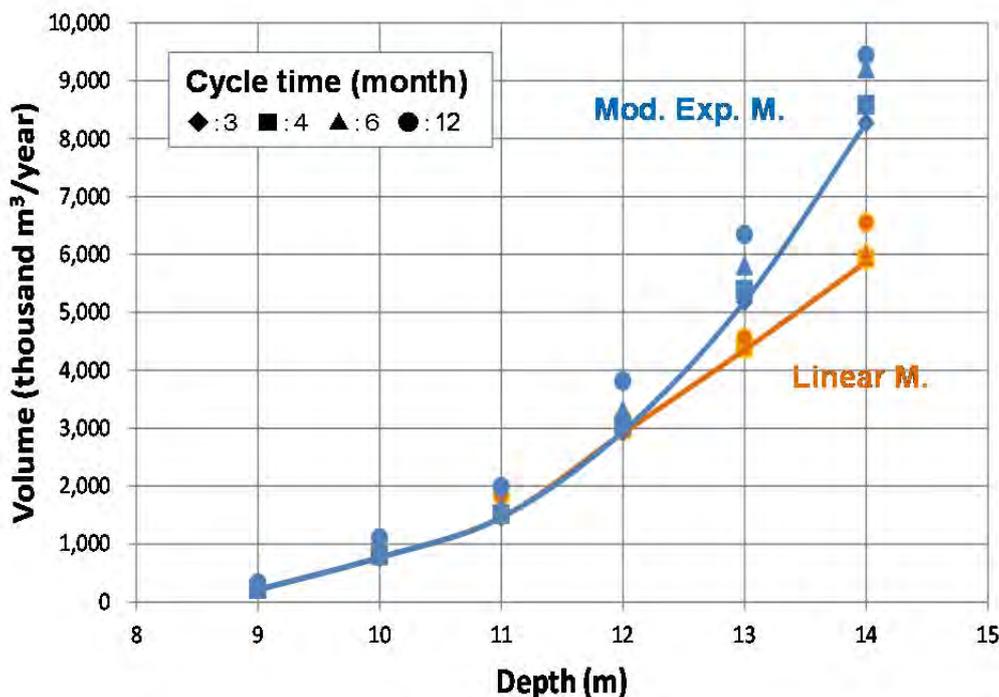


図 5.7 維持水深別の航路維持浚渫量

TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger) がラ・ユニオン港の再浚渫および維持浚渫に適しているという結果になった。というのは、4つのタイプの浚渫船の中で、TSHD が通航船舶に対する影響が最も少なく、生産性 (productivity) と費用効果 (cost efficiency) が最も高かったからである。

自船で浚渫を行うコストの方が外注契約で浚渫を行うコストより安く見積もられた。なぜなら、両者の直接費はほぼ同じであったが、自船浚渫の間接費が契約浚渫のそれよりはるかに安かったからである。契約浚渫の間接費は回航費、保険費、コンティンジェンシーに関する費用 (雑費) のほかに多くの種類の費用を含んでいる。これに対して、CEPA が考えている自船浚渫の間接費は、回航費、保険費、コンティンジェンシーだけである。しかしながら、以下の理由で、浚渫体制について、契約浚渫と自船浚渫のコスト比較だけで議論することは適切ではない。

もし CEPA が自前で浚渫船を保有すると、CEPA が現在考えている以上のかかりの費用がかかる。そして、浚渫作業を支援するための船団や施設は、長い経験とノウハウの蓄積があって初めて有効に機能する。コストとは別に、浚渫船の船員の訓練や教育等の課題もある。

さらに、浚渫船を調達する前に浚渫船の大きさと容量を設計するために航路埋没量を正確に予測する必要がある。しかし、本調査で開発した航路埋没量予測モデルは必ずしも十分信頼できるものではなく、今後、航路の埋没状況のモニタリングを通じてモデルの改良を行うことが必要である。

加えて、ラ・ユニオン港の発展と関連して目標維持水深が大きくなることに対して自船を保有することは、柔軟な対応が極めて困難になる。この問題は、(予測モデルの精度向上と違って) 将来にわたって継続する。

以上のことから判断して、航路の維持浚渫をある期間は契約ベースで行うことを提案する。

第6章 モニタリング計画の提案

第4章で構築した2つの埋没量予測モデルは、質的にも量的にも必ずしも十分でない深淺データに基づいている。さらに線形モデルは、検証されていない仮説を根拠としている。深淺測量によって航路水深をモニタリングすることが、モデルの予測精度を向上させまた線形モデルの維持浚渫に対する適用性を高める唯一の方法である。これが、モニタリングの第一の目的である。第二の目的は、浚渫直後の急激な埋没現象の確認である。

モニタリング計画は、CEPA自身が所有している装置を用いて自らが深淺測量を実施することを前提にしている。

第一の目的に対しては、泊地および航路における深淺測量を再浚渫の直前と直後に行わなければならない。その後は、深淺測量を2カ月程度の間隔（可能ならば1か月間隔）で繰り返す。第二の目的に対しては、まず深淺測量を再浚渫終了直後に実施する。その後、深淺測量を2週間の間隔で数か月間継続することを勧める。深淺測量は、浮泥の厚さの目安を知るために、常に38 kHzと200 kHzの二つの周波数の超音波を同時に使用しなければならない。

浚渫の記録や入出港する船舶に関する記録も同時に収集する。

第7章 CEPAが構築した将来需要予測モデルと市場配分モデルのレビュー

本章では、CEPAが構築した将来需要予測モデルおよび市場配分モデルのレビューを行った。

エルサルバドル、グアテマラ、ホンジュラス、ニカラグアのCA4諸国を発着するコンテナ貨物の将来伸び率については、CEPAが構築した将来需要予測モデルにおける推計結果を、そのまま次章以降の将来シミュレーションにおけるインプットとして利用した。

市場配分モデルについては、本モデルがCA4地域内の背後輸送にフォーカスした貨物配分モデルであり、海上輸送については考慮されてはいるものの不十分であることから、次章以降ではOCDI既構築の海上輸送モデルに、本市場配分モデルにおける陸上輸送部分の取扱い（ネットワーク構造、入力データなど）をほぼ踏襲したネットワークを追加した、インターモーダル輸送ネットワーク上の配分モデルを構築することとした。

第8章 船舶寄港モデル

本章の主眼は、ラ・ウニオン港の財務・経済分析を行うために必要な船舶寄港モデルを構築することにある。

そのため、はじめに、8.1節および8.2節において、エルサルバドルの諸港（アカフトラ、ラ・ウニオン）および中米5か国の主要港湾の現状を整理した。モデル構築にあたって必要となる取扱量などの経済的側面だけでなく、取扱能力に影響する各港の物理条件についても簡単に整理した。特に、その取扱容量がラ・ウニオン港の将来取扱量に大きな影響を与えるものと考えられることから、アカフトラ港の物理条件は重要なファクターと考えられる。

次に、8.3節において、中米太平洋岸に寄港する海上コンテナ輸送船社の戦略に関する分析・考察を行った。これもモデル構築や結果の検討にあたって重要な情報となるものである。ここでは、コンテナ船舶動静データに基づく船社別の定航サービス・ネットワークを作成し、変化を観察するというアプローチ（8.3.2）と、船社や関係者へのインタビュー調査（8.3.3）という2つのアプローチを併用した。

章の残りの部分では、船舶寄港モデルの概要および結果について説明した。最初に8.4節にお

いてモデル全般の概要を述べた後、船社の行動、コンテナ貨物配分モデル、入力データというモデルを構成する各要素について述べた。

8.5 節で示した海上コンテナ輸送ネットワーク（定航サービス・ネットワーク）は、船社の行動を理解するための基本情報として肝要である。ここでは、コンテナ船舶動静データに基づき、世界の 28 のコンテナ船社および 165 の港湾を対象とし、809 の定航サービスを含んだネットワークを構築した。

8.6 節で述べたコンテナ貨物配分モデルは、船舶寄港モデルの核となる部分である。確率的ネットワーク配分モデルを応用し、国際コンテナ貨物のインターモーダル輸送ネットワーク上で、金銭費用と輸送時間の両方を考慮した一般化費用に基づき、コンテナ貨物の配分を行うものである。

8.7 節で述べた入力データも、船舶寄港モデルにとっては重要な要素である。なかでも最も重要なのは、港湾間および地域（ゾーン）間のコンテナ貨物輸送需要（コンテナ貨物 OD）である。これは、国間のコンテナ貨物 OD データや、地域経済・貿易・港湾貨物に関する様々な統計情報を組み合わせて推計するものである。同様に、陸上および海上輸送ネットワークにおける物理距離や輸送費用、陸上輸送における越境費用・時間などの情報も必要である。

本章の最終節（8.8 節）においては、コンテナ貨物配分モデルの計算結果を示した。計算手順とモデルに含まれる未知パラメータ（時間価値、分散パラメータ、トランジット輸送に関する補正係数）の推定結果を示した後、CA4 諸港の港湾取扱量およびその相手地域別内訳や船社内訳、CA4 諸国発着貨物の輸出入利用港湾の内訳、各定航サービスごとの輸送量などの観点からモデルの再現性を検討した。くわえて、推定された未知パラメータの大小による CA4 諸港における港湾取扱量推計値の相違についても検討した。

結果として、コンテナ貨物配分モデルは、CA4 諸国における現状の国際コンテナ貨物輸送をおおむね再現できていること、また入力を変化させた場合の反応もおおむね合理的であることを確認した。

第 9 章 ラ・ウニオン港への船舶寄港と経済分析

第 9 章は、主として船舶寄港モデルのアウトプットに焦点をあてる。

本章の最初のパート（9.1 節）では、ラ・ウニオン港における現行のアクセス航路およびその航行規則の現状について整理し、新しい航行規則を提案した。現行規則だけでなく、新しい規則に基づいた、船舶がアクセス航路に進入する際に生じる期待待ち時間を算出した。その結果、現行規則は、小型船が水深の浅い航路を航行するという現状においては有効であるものの、航路が増深され、様々なサイズの船舶が航行する状況を想定した場合には、新しい航行規則との期待待ち時間の差異は大きくなることがわかった。このため、航路が増深された場合には新しい航行規則の導入が必要である。

続く 9.2 節では、2020 年および 2030 年の将来定航サービス・ネットワークに関する多くのシナリオを用意し、そのなかからいくつかの基準に基づき実現可能性のあるシナリオを各年ごとに抽出した。図 9.12 および図 9.13 に、船舶寄港モデルによって航路水深ごとの実現可能シナリオごとに推計された、2020 年および 2030 年におけるラ・ウニオン港のコンテナ取扱量の予測値を示す。図には、1) 既存のフィーダーサービスやウェイポート（途中寄港）サービスのネットワーク修正シナリオ（航路水深-9~-12 m）、および 2) トランシップ・ハブとしての追加的船舶寄港シナリオ（航路水深-12~-14m）の両方の結果が含まれている。また、本図より、アクセス航路の水深が深くなるにつれ、平均的に見ればラ・ウニオン港のコンテナ貨物取扱量は増加してい

く傾向が読み取れる。

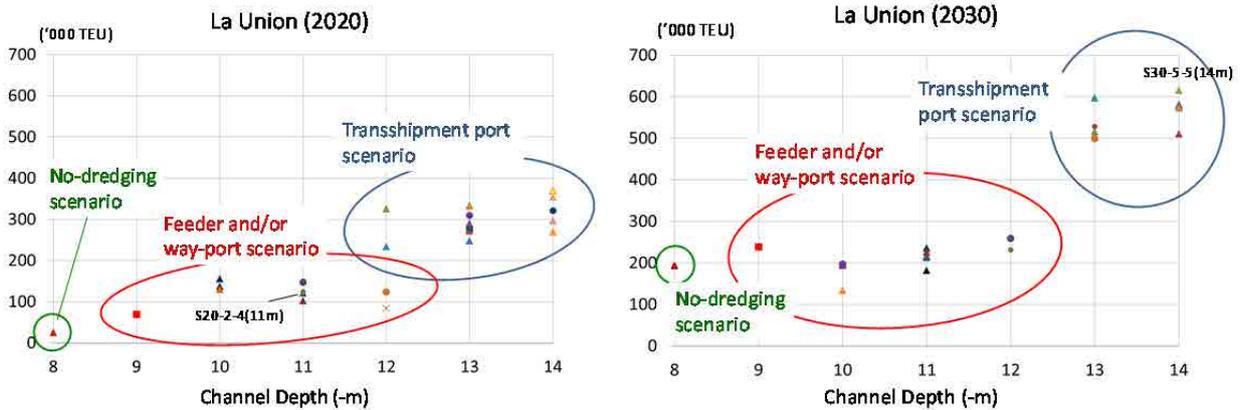


図 9.12 & 9.13 各実現可能シナリオにおける 2020 年および 2030 年のラ・ウニオン港コンテナ貨物取扱量の予測値

9.3 節においては、船舶寄港モデルによって推計されたコンテナ貨物取扱量等の出力をもとに、ラ・ウニオン港コンテナ部門における浚渫費用を除く純収入（港湾の期待収入からコンテナオペレーションコストを差し引くことによって得られる）、エルサルバドル国の港湾セクター（すなわち、アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計）コンテナ部門におけるラ・ウニオン港浚渫費用を除く純収入、およびエルサルバドル経済にとってのラ・ウニオン港浚渫プロジェクトの浚渫費用を除く純便益（浚渫実施シナリオにおけるラ・ウニオン港・アカフトラ港の純収益の合計及びエルサルバドルの輸出入貨物輸送費用と、浚渫未実施シナリオとの差分）を算出し、水深別に浚渫費用との比較を行った。ラ・ウニオン港の財務的観点から言えば、図 9.18 および図 9.19 に示すように、ラ・ウニオン港の利用料金が現行の水準のままである場合、どの航路水深においても浚渫費用を除く純収入は浚渫費用を常に下回ることがわかった。

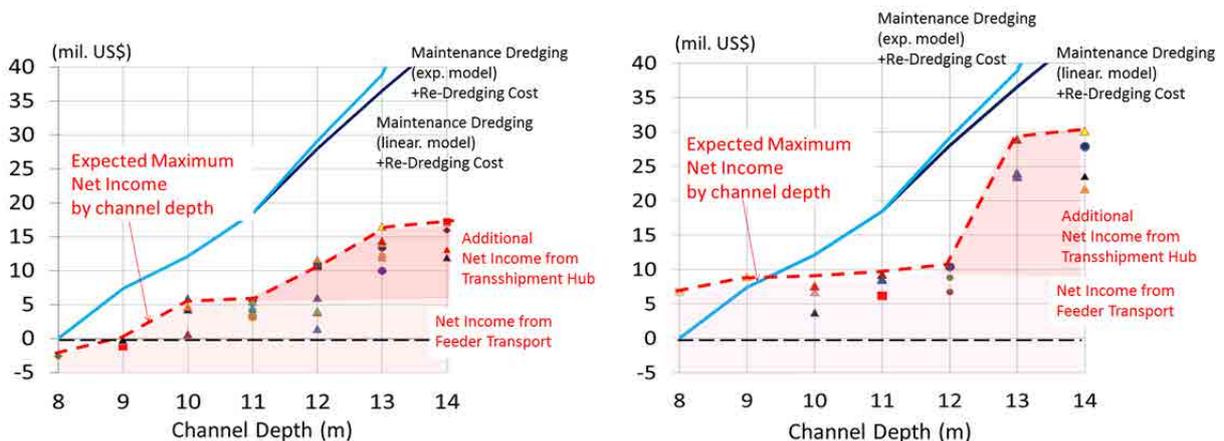


図 9.18 & 9.19 ラ・ウニオン港における航路水深別の純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（左：2020 年、右：2030 年）

一方で、9.4 節に示したように、ラ・ウニオン港の利用料金が引き上げられた場合には、各水深において純収入が最大となるようなシナリオにおいては、浚渫費用を除く純収入が浚渫費用を上回る結果となった（図 9.24 および図 9.25 参照）。すなわち、ラ・ウニオン港の利用料金引き上げは、財務的健全性を維持するためには必要不可欠であることが示唆される。しかしながら、料金引き上げは、近隣諸港に対するラ・ウニオン港の競争力を弱め、コンテナ取扱量を減少させる方向に働くだらう。特に、9.2.3(3)で示したような国境抵抗低減シナリオなどのように、将来的に輸送市場がより自由化される場合には、料金引き上げによる競争力の低下は、よりクリティカルとなるだろう。

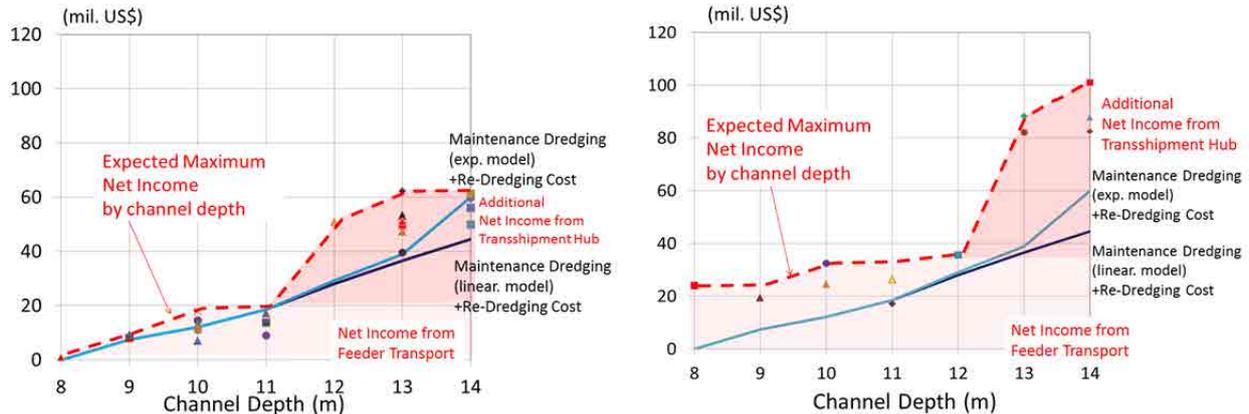


図 9.24 & 9.25 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および航路水深別浚渫費（左：2020年、右：2030年）

本章で実施したシミュレーションから得られたもう一つの重要な示唆は、将来定航サービス・ネットワークに関するラ・ウニオン寄港の実現可能シナリオとして、アカフトラ港に現在寄港しているようなフィーダーサービスやウェイポートサービスのネットワーク改善シナリオだけでなく、ラ・ウニオン港のトランシップ・ハブ化シナリオのうちいくつかも実現可能とされた点である（その結果は既に図 9.12 および図 9.13 などに示されている）。さらにこの場合には、エルサルバドル経済にとっても非常に有益である。しかしながら、留意すべき点は、浚渫によってアクセス航路が増深された場合に必ずトランシップ・ハブが実現するわけではないということである。トランシップ・ハブ実現のためには、基幹航路に就航する母船を惹きつけるための様々な努力が必要になる。

さらに本章から得られる最後の知見として、エルサルバドル国東部の地域開発が進展した場合には、ラ・ウニオン港のコンテナ取扱量や収入の増加に直結するということである（9.2.3(3)2）および9.4.4）。当初計画通り、ラ・ウニオン港と背後のエルサルバドル東部地域の開発が一体的に実施されることが、将来のラ・ウニオン港の発展において重要な鍵を握っている。

第 10 章 需要と費用の連続変化を考慮した浚渫計画

第 10 章は、各年の収入、便益、浚渫費用を考慮した時系列分析の方法を提案した。

また、浚渫を行う最適タイミングに関する議論を行うため、具体的な試算を行った。初回および 2 回目の再浚渫における目標維持水深の組み合わせごとに、浚渫開始の最適年次やその際の純便益の計算を行った。計算にあたっては、再浚渫は 2 回までかつ 2 回目の浚渫は初回浚渫のちょうど 10 年後に実施するなどといった、多くの仮定を置いていることに注意が必要である。さらに、本章で示した計算結果は、各航路水深ごとに最大の純便益が期待される定航サービスネットワーク・シナリオに基づくものに限定されている。

本章で示した試算結果によれば、純便益を最大化する戦略は、今後数年以内に維持浚渫用の浚渫船を購入して航路水深を-12～-13 m 程度に保つことであった。しかしながら、このような戦略は、ラ・ウニオン港の「トランシップ・ハブ」化が数年以内に成功する場合にのみ達成されるものであり、極めてリスクが高い戦略といえる。一方で、比較的リスクの小さいセカンド・ベストな戦略としては、たとえば、当初 10 年間は契約ベースの浚渫船で水深-10 m 程度を維持し、第 2 回の再浚渫で-13 m 程度まで増深するという戦略があげられた。このような「段階的戦略」は、大きな財務的リスクを避けるという観点から非常に有益であろう。

第 11 章 結論と提案

結論および提案は以下の項目についてとりまとめた。

11.1 結論

- (1) 航路埋没の現状
- (2) 浮泥層厚
- (3) 航路埋没機構と航路埋没予測モデル
- (4) 再浚渫量
- (5) 維持浚渫量
- (6) 適切な浚渫方法
- (7) 船舶寄港モデル
- (8) ラ・ユニオン港の経済・財務分析と政策シミュレーション
- (9) 時系列変化を考慮した最適浚渫計画
- (10) アクセス航路の航行規制

11.2 提案

- (1) 経験的に構築した予測モデルの適用性
- (2) 線形モデルの適用性
- (3) 適切な浚渫体制
- (4) 航路水深のモニタリングの必要性
- (5) 2周波数タイプの超音波測深機の使用
- (6) ラ・ユニオン港の料金水準
- (7) 「トランシップ・ハブ」シナリオ
- (8) エルサルバドル東部の地域開発
- (9) 財務リスクの拡大を避けるための段階的な浚渫投資計画の重要性
- (10) ラ・ユニオン港アクセス航路における新しい航路規制の必要性

エルサルバドル共和国

ラ・ユニオン港浚渫計画策定プロジェクト

略語表
要約

目次

第 1 章	序論.....	1-1
1.1	ラ・ユニオン港開発の概要.....	1-1
1.1.1	ラ・ユニオン港の開発.....	1-1
1.1.2	ラ・ユニオン港の港湾施設.....	1-2
1.2	ラ・ユニオン港の埋没問題の認識と SAPI 調査の開始.....	1-2
1.3	SAPI 調査の結果.....	1-4
1.3.1	フォンセカ湾と流入河川.....	1-4
1.3.2	底質特性と埋没の機構.....	1-5
1.3.3	埋没速度と航路内水深の予測モデルの構築.....	1-7
1.4	本調査の目的と主要な調査内容.....	1-8
1.5	参加技術者と調査の年表.....	1-9
1.5.1	参加技術者.....	1-9
1.5.2	調査の年表.....	1-12
1.6	本報告書の各章構成・概要.....	1-13
第 2 章	技術移転.....	2-1
2.1	日本での CEPA 職員に対する技術研修.....	2-1
2.2	カウンターパートに対する技術移転.....	2-2
2.2.1	エンジニア分野の技術移転.....	2-2
2.2.2	経済分野の技術移転.....	2-7
2.3	ワークショップの開催.....	2-12
第 3 章	現地調査とその結果.....	3-1
3.1	深浅測量.....	3-1
3.1.1	深浅測量の測線.....	3-1
3.1.2	航路の縦断面形状.....	3-3
3.1.3	泊地と航路の横断面形状.....	3-3
3.1.4	航路と泊地の平均水深.....	3-13
3.1.5	超音波周波数 38 kHz と 200 kHz で測定された水深の違い.....	3-16
3.2	底泥の特性.....	3-18
3.2.1	底泥採取位置と採取方法.....	3-18
3.2.2	泥土の状況と泥土層密度の鉛直分布.....	3-20
3.2.3	採取泥の物理的特性.....	3-22
3.2.4	圧密過程に伴う底泥密度変化の数値予測.....	3-23
3.2.5	航行可能水深のためのフルードマッド層厚の評価.....	3-29
3.3	現地調査の主要な結果.....	3-29

第 4 章	埋没過程の解析と予測モデル	4-1
4.1	収集データ	4-1
4.2	航路の埋没速度と水深差（指数モデル）	4-2
4.3	航路内の埋没過程の解析	4-5
4.3.1	内港航路の埋没	4-5
4.3.2	外港航路の埋没	4-10
4.3.3	浚渫直後の急激な埋没に関する物理的考察	4-13
4.4	航路の埋没予測モデル	4-17
4.4.1	原型指数モデルの修正	4-17
4.4.2	線形モデル	4-22
4.4.3	2つの埋没予測モデルの適用性	4-23
4.5	泊地航路と泊地の埋没モデル	4-24
第 5 章	浚渫土量と浚渫コストの評価	5-1
5.1	再浚渫土量	5-1
5.2	維持浚渫土量	5-4
5.2.1	航行可能水深	5-4
5.2.2	維持浚渫土量の評価方法	5-4
5.2.3	水深別維持浚渫土量	5-6
5.2.1	領域別の維持浚渫土量と余堀深さ	5-12
5.3	浚渫工法の検討	5-17
5.3.1	浚渫船の種類	5-17
5.3.2	適切な浚渫工法	5-22
5.3.3	浚渫船の必要容量	5-25
5.4	浚渫コストの積算	5-30
5.4.1	浚渫コストの積算の考え方	5-31
5.4.2	再浚渫のコスト	5-40
5.4.3	維持浚渫のコスト	5-41
5.4.4	再浚渫のコストの考え方	5-43
5.4.5	サイクルタイムを短縮する効果（目標水深 12m の事例検討）	5-43
5.4.6	浚渫体制についての提案	5-46
第 6 章	再浚渫後のモニタリング計画の提案	6-1
6.1	モニタリングの目的	6-1
6.2	埋没予測の妥当性の検証	6-1
6.3	浚渫直後の急激な埋没現象の確認	6-2
6.4	測量データの潮位補正	6-6
6.4.1	測量データの潮位補正の改良	6-6
6.4.2	ラ・ウニオン港の基準面	6-12
第 7 章	CEPA による需要予測モデルと市場配分モデル概観	7-1
7.1	CEPA による需要予測モデルと市場配分モデルの概要	7-1
7.2	CA4 発着コンテナ貨物の成長率の推計	7-1
7.3	市場配分モデルの構築	7-4
7.4	ラウニオン港における市場配分量の推計	7-8
第 8 章	船舶寄港モデル	8-1
8.1	エルサルバドルの港湾	8-1

8.1.1	エルサルバドルの概要	8-1
8.1.2	エルサルバドルの港湾の概要	8-1
8.1.3	港の主要な施設	8-1
8.1.4	品目別の貨物取扱量	8-1
8.1.5	アカフトラ港	8-2
8.1.6	ラ・ウニオン港	8-22
8.2	中米5か国太平洋岸の港湾	8-26
8.2.1	中米5国の基本指標	8-26
8.2.2	港湾の位置	8-26
8.2.3	港湾施設	8-26
8.2.4	港湾管理・運営	8-27
8.2.5	寄港船舶・取扱貨物	8-27
8.2.6	取扱コンテナ貨物の特徴	8-28
8.2.7	将来開発・整備	8-28
8.3	中米地域におけるコンテナ動向	8-36
8.3.1	中米地域における港湾のコンテナ取扱	8-36
8.3.2	中米地域におけるコンテナ船の動向	8-41
8.3.3	船社の考え	8-47
8.4	船舶寄港モデルの概要	8-50
8.5	船社の行動	8-52
8.5.1	定航輸送ネットワーク	8-52
8.5.2	運航船社	8-52
8.5.3	対象港湾	8-54
8.6	コンテナ貨物配分モデル	8-57
8.6.1	モデルの全体構成	8-57
8.6.2	コンテナ貨物配分モデルの定式化	8-57
8.6.3	海上輸送サブモデル	8-58
8.6.4	海上輸送運賃	8-59
8.6.5	陸上輸送費用および運賃	8-60
8.7	入力データ	8-61
8.7.1	コンテナ貨物 OD (コンテナ貨物輸送需要)	8-61
8.7.2	港湾サービスレベル	8-67
8.7.3	海上輸送ネットワーク	8-67
8.7.4	陸上輸送ネットワーク	8-67
8.8	コンテナ貨物配分モデルの計算結果	8-70
8.8.1	計算手順	8-70
8.8.2	未知パラメータの推定	8-71
8.8.3	モデルの再現性	8-71
8.8.1	モデルの感度分析	8-77
8.9	8章のまとめ	8-80
第9章	ラ・ウニオン港への船舶寄港と経済分析	9-1
9.1	ラ・ウニオン港の航行管制の現状	9-1
9.1.1	航路と航行規則の現状	9-1
9.1.2	潮位	9-7
9.1.3	航路水深による航行可能条件	9-9
9.2	船舶寄港モデルの計算と結果	9-18
9.2.1	モデルを用いた2010年時点におけるラ・ウニオン寄港のシミュレーション	9-18

9.2.2	将来シミュレーション（2020年および2030年）におけるシナリオ設定	9-19
9.2.3	モデル計算結果	9-26
9.3	船舶寄航モデルでの経済及び財務分析	9-36
9.3.1	定義と検討手法	9-36
9.3.2	ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用	9-38
9.3.3	エルサルバドル港湾部門のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用	9-41
9.3.4	ラ・ウニオン港のコンテナ取り扱いによるエルサルバドルの経済的便益	9-44
9.4	政策シミュレーションによる経済及び財務分析	9-47
9.4.1	ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（港湾料金引き上げケース）	9-47
9.4.2	エルサルバドルの港湾部門のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（港湾料金引き上げケース）	9-51
9.4.3	ラ・ウニオン港のコンテナ取り扱いによるエルサルバドルの経済的便益（港湾料金引き上げケース）	9-54
9.4.4	ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（エルサルバドル東部の地域開発が進展したケース）	9-57
9.5	第9章の結論	9-59
第10章	需要と費用の連続変化を考慮した浚渫計画	10-1
10.1	方針	10-1
10.2	浚渫費用	10-1
10.2.1	再浚渫費用	10-2
10.2.2	再浚渫のための回航費	10-2
10.2.3	維持浚渫船購入費（自船により維持浚渫を行う場合のみ）	10-2
10.2.4	維持浚渫船の回航費	10-3
10.2.5	年間維持浚渫費用	10-3
10.3	浚渫のタイミングを考慮したコンテナ貨物取扱量、純収入・便益、浚渫費用に関する時系列変化の推計	10-4
10.3.1	コンテナ貨物取扱量および純収入・便益の時系列推計	10-4
10.3.2	再浚渫のタイミングを考慮した浚渫コストの時系列計算	10-8
10.4	浚渫のタイミングを考慮した時系列財務・経済分析の手法と試算例	10-11
10.4.1	時系列分析用計算シートの作成	10-11
10.4.2	最適な再浚渫実施タイミングと目標水深組み合わせの試算	10-0
10.5	第10章の結論	10-3
第11章	結論と提案	11-1
11.1	結論	11-1
11.2	提案	11-4

ANNEXES

ANNEX A	プロジェクト実施の議事録	A-1
ANNEX B	CEPA と調査団の議事録	B-1
ANNEX C	ラ・ウニオン港の航路埋没に関するトピックス	C-1
C.1	航路側面勾配の安定性	C-2
C.2	航路の位置変更の可能性	C-7
C.3	レイキ浚渫	C-9
C.4	CEPA の計画に対するコメント	C-18
C.5	浚渫工法の検討	C-28
C.6	領域別の余掘深と浚渫土量	C-46
C.7	外港航路における西側の余掘りについて	C-58
C.8	再浚渫土量の計算	C-61
ANNEX D	ラ・ウニオン港の経済分析に関するトピックス	D-1
D.1	近隣諸国の港湾	D-2
D.2	海上輸送サブモデルの詳細	D-34
D.3	CEPA 経済チームと行ったインタビュー及び調査	D-48
D.4	船舶寄港モデルの計算プログラム使用マニュアル	D-59

表 リ ス ト

表 1.1	2007年4月～2008年1月に堆積した土量と2002年詳細設計で予測された埋没量との比較.....	1-2
表 1.2	国内支援委員会 委員名簿.....	1-9
表 1.3	第1年次調査団技術者名簿.....	1-10
表 1.4	第2年次調査団技術者名簿.....	1-10
表 1.5	第1年次調査カウンターパート.....	1-10
表 1.6	第2年次調査カウンターパート.....	1-10
表 1.7	CEPAへ派遣のJICA専門家.....	1-11
表 1.8	CEPA側の関係者(第1年次調査).....	1-11
表 1.9	CEPA側の関係者(第2年次調査).....	1-11
表 1.10	第1年次調査の年表.....	1-12
表 1.11	第2年次調査の年表.....	1-12
表 2.1	日本における技術研修の行程.....	2-2
表 2.2	参加者名簿(1).....	2-2
表 2.3	参加者名簿(2).....	2-3
表 2.4	参加者名簿(3).....	2-3
表 2.5	参加者名簿(4).....	2-4
表 2.6	参加者名簿(5).....	2-4
表 2.7	参加者名簿(6).....	2-4
表 2.8	参加者名簿(7).....	2-4
表 2.9	参加者名(8).....	2-5
表 2.10	参加者名簿(9).....	2-5
表 2.11	参加者名簿(10).....	2-5
表 2.12	参加者名簿(11).....	2-6
表 2.13	参加者名簿(12).....	2-6
表 2.14	参加者名簿(13).....	2-7
表 2.15	参加者名簿(14).....	2-7
表 2.16	参加者名簿(15).....	2-8
表 2.17	参加者名簿(16).....	2-8
表 2.18	参加者名簿(17).....	2-8
表 2.19	参加者名簿(18).....	2-9
表 2.20	参加者名簿(19).....	2-9
表 2.21	参加者名簿(20).....	2-9
表 2.22	参加者名簿(21).....	2-10
表 2.23	参加者名簿(22).....	2-10
表 2.24	参加者名簿(23).....	2-10
表 2.25	参加者名簿(24).....	2-10
表 2.26	参加者名簿(25).....	2-11
表 2.27	参加者名簿(26).....	2-11
表 2.28	参加者名簿(27).....	2-11
表 2.29	ワークショップのタイトルと講演者.....	2-12
表 2.30	参加者と発表者名簿.....	2-13
表 3.1	測線の位置.....	3-1
表 3.2	航路と泊地の平均水深(2011年2月).....	3-14
表 3.3	航路と泊地の平均水深(2011年8月).....	3-14

表 3.4	航路と泊地の平均水深（2012年1月）	3-14
表 3.5	各測線でのフルードマッド厚の範囲の概略値（SAPI, 2009）	3-17
表 3.6	採泥地点	3-18
表 3.7	採取地点の土質特性	3-23
表 4.1	浚渫の実施期間	4-1
表 4.2	泊地航路と泊地の最終水深差	4-26
表 5.1	再浚渫土量(単位: 1000 m ³)	5-2
表 5.2	再浚渫土量（TDS 表示）（単位: 1000 t）	5-2
表 5.3	維持浚渫土量を評価する埋没予測モデル	5-4
表 5.4	修正指数モデルによる維持浚渫土量	5-7
表 5.5	線形モデルによる維持浚渫土量	5-8
表 5.6	維持浚渫の浚渫高（余堀高）と浚渫量 目標水深 14m について修正指数モデルで評価	5-16
表 5.7	ラ・ウニオン港における浚渫船の適用性	5-24
表 5.8	作業時間計算の事例	5-27
表 5.9	再浚渫に必要な浚渫船容量（m ³ ）	5-28
表 5.10	維持浚渫に必要な浚渫船容量（m ³ ）、修正指数モデルのケース	5-28
表 5.11	維持浚渫に必要な浚渫船容量（m ³ ）、線形モデルのケース	5-29
表 5.12	CEPA 調べの浚渫船建造費	5-32
表 5.13	日本での浚渫船建造費（実績）	5-32
表 5.14	TSHD 容量別機械費	5-34
表 5.15	TSHD 容量別の機関出力とその内訳（ポンプ出力と推進機関出力）	5-37
表 5.16	高級船員及び普通船員の人数と労務単価（諸経費を含んでいない）	5-37
表 5.17	各クラス別年間当り人件費	5-38
表 5.18	自船での浚渫の場合の人件費（CEPA 単価基準；諸経費を含む）	5-38
表 5.19	浚渫船容量別初期回航費と1年当たりのコスト	5-39
表 5.20	浚渫船容量別の点検回航費（バルボア往復）	5-39
表 5.21	CEPA が試算した保険費とコンティンジェンシー	5-40
表 5.22	水深別浚渫コスト	5-41
表 5.23	修正指数モデルで予測された維持浚渫量に対する浚渫コスト	5-41
表 5.24	線形モデルで予測された維持浚渫量に対する浚渫コスト	5-42
表 5.25	契約ベースの浚渫の間接費内訳（赤字は CEPA が考慮している費用）	5-47
表 6.1	CNR より提供されたエルサルバドルにおける鉛直基準面	6-13
表 7.1	CA4 の GDP 成長率	7-2
表 7.2	CA4 発着のコンテナ貨物量推計値	7-2
表 7.3	CA4 発着コンテナ貨物量の GDP 弾性値	7-3
表 7.4	GDP 弾性値	7-3
表 7.5	取扱コンテナ成長率(2010=100)	7-4
表 7.6	各港のエリア別コンテナ取扱量（2010）	7-5
表 7.7	各国のエリア別コンテナ取扱量（2010）（TEU）	7-5
表 7.8	後背地別輸送量マトリックス(2010)	7-7
表 7.9	各エリアの代表地	7-9
表 7.10	TEU 当りの輸送コスト（2010）	7-9
表 7.11	輸送時間（2010）	7-9
表 7.12	2010 年における後背地輸送マトリックス（ラウニオン港ありのケース）	7-10
表 7.13	2020 年のラウニオン港を含む後背地輸送マトリックス（シナリオ 1）	7-12
表 7.14	2030 年のラウニオン港を含む後背地輸送マトリックス（シナリオ 1）	7-13
表 7.15	2020 年及び 2030 年のラウニオン港の将来市場配分予測（シナリオ 1）	7-14

表 7.16	2020 年のラウニオン港を含む後背地輸送マトリックス (シナリオ 2)	7-15
表 7.17	2030 年のラウニオン港を含む後背地輸送マトリックス (シナリオ 2)	7-16
表 7.18	2020 年及び 2030 年のラウニオン港の将来市場配分予測 (シナリオ 2)	7-17
表 8.1	エルサルバドル主要港の寄港船舶数と取扱貨物量の推移	8-2
表 8.2	アカフトラ港のピアの諸元	8-4
表 8.3	アカフトラ港の主要施設	8-4
表 8.4	過去 10 年間の貨物取扱量の推移	8-5
表 8.5	ピア毎のタイプ別貨物取扱量	8-6
表 8.6	10 年間のコンテナ貨物量の推移	8-6
表 8.7	2012 年の輸入貨物の品目別仕出し国	8-7
表 8.8	2012 年の輸出貨物の品目別仕向け国	8-7
表 8.9	2012 年のタイプ別寄港船舶	8-8
表 8.10	2012 年における月別の船社別寄港船隻数	8-8
表 8.11	2012 年における貨物タイプ別バース利用時間	8-9
表 8.12	2012 年の貨物タイプ別バース利用率	8-10
表 8.13	期待接岸時間/期待作業時間とコンテナ増加量	8-11
表 8.14	コンテナ容量の計算結果	8-12
表 8.15	アカフトラ港の施設一覧と現状	8-14
表 8.16	シュミットハンマー試験結果	8-18
表 8.17	岸壁上部工における目視及びシュミットハンマーでの劣化状況の調査結果	8-18
表 8.18	岸壁の劣化状況の評価結果	8-18
表 8.19	ラ・ウニオン港の主要荷役機械	8-22
表 8.20	ラ・ウニオン港の貨物取扱量	8-23
表 8.21	ラ・ウニオン港のコンテナ取扱量	8-24
表 8.22	2012 年のラ・ウニオン港の寄港船舶	8-24
表 8.23	中米 5 国の基本指標	8-30
表 8.24	中米太平洋岸港湾の立地	8-31
表 8.25	中米 5 国太平洋岸の港湾物理的条件	8-32
表 8.26	中米 5 国太平洋岸港湾の管理・運営	8-33
表 8.27	中米 5 国太平洋岸港湾の寄港船舶と貨物取扱 (2012)	8-34
表 8.28	中米 5 国太平洋岸港湾のコンテナ取扱 (2012)	8-35
表 8.29	中米地域の港湾のコンテナ取扱量	8-37
表 8.30	コンテナ船の標準諸元	8-40
表 8.31	寄港コンテナサービス数とその変化	8-46
表 8.32	MDS データベースの例	8-52
表 8.33	本モデルの対象となる 28 コンテナ船社	8-53
表 8.34	本モデルに含まれる中米港湾とその取扱量	8-55
表 8.35	各港に寄港するモデル対象船社の船腹量シェア (カバー率)	8-56
表 8.36	グアテマラ港湾における取扱貨物量の相手地域別内訳 (2010 年)	8-63
表 8.37	中米地域における実入りコンテナ貨物の相手地域別カリブ海 (大西洋)・太平洋岸 諸港取扱量シェア (TEU ベース、2010 年)	8-64
表 8.38	CA4 各ゾーンの相手地域別シェア	8-64
表 8.39	各港湾のサービスレベル設定値	8-67
表 8.40	各 OD ノード・港湾間の走行時間および費用	8-68
表 8.41	各 OD ノード・港湾間の越境時間および費用	8-69
表 8.42	CA4 諸港における相手地域 (方面) 別コンテナ取扱量シェア	8-74
表 8.43	CA4 諸国発着コンテナ貨物の利用輸出入港別推計結果 (TEU)	8-74
表 8.44	アカフトラ港における船社別シェアの実績値と推計値 (2010 年)	8-75

表 9.1	ラ・ユニオン港の航行規則	9-3
表 9.2	CNR 発行のラ・ユニオン港の基準となる潮位	9-7
表 9.3	PIANC が提案するケース毎のアンダーキールクリアランス	9-10
表 9.4	航路における航行可能時間の計算結果	9-11
表 9.5	日当航行可能時間	9-12
表 9.6	期待待ち時間の計算結果	9-14
表 9.7	ラ・ユニオン寄港定航サービスを考慮した場合の CA4 諸港におけるコンテナ貨物取扱量の推計結果 (TEU)	9-19
表 9.8	各港における将来サービスレベルの設定値	9-20
表 9.9	2010 年 5 月時点におけるアカフトラ港寄港定航サービス	9-21
表 9.10	2012 年 2 月時点におけるラ・ユニオン港寄港定航サービス	9-21
表 9.11	エルサルバドル港湾に現在寄港している各コンテナ船社が定航サービスのレベルを現状から変更するケースにおいて考えられ得る選択肢	9-22
表 9.12	ラ・ユニオン港においてトランシップ・サービスが提供される場合の選択肢	9-23
表 9.13	モデル入力となる海上輸送ネットワークのシナリオ設定例	9-24
表 9.14	エルサルバドル港湾の背後圏分布に関するモデル推計結果の例	9-29
表 9.15	ラ・ユニオン港の背後圏分布に関するモデル推計結果の例	9-33
表 9.16	ラ・ユニオン港の背後圏分布に関するモデル推計結果の例	9-34
表 9.17	ラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける収入と支出	9-36
表 9.18	ラ・ユニオン港のタリフ (コンテナに関するもの)	9-36
表 9.19	コンテナターミナルオペレーションコスト	9-36
表 9.20	エルサルバドルにおける港湾部門の収入と支出	9-37
表 9.21	アカフトラ港のタリフ (コンテナに関するもの)	9-37
表 9.22	ラ・ユニオン港の経済的便益と航路浚渫プロジェクト費用	9-37
表 9.23	ラ・ユニオン港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズの算定値 (2020 年)	9-38
表 9.24	ラ・ユニオン港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズの算定値 (2030 年)	9-38
表 9.25	水深別埋没モデル別の浚渫費用	9-38
表 9.26	ラ・ユニオン港コンテナビジネスにおける水深別最大純収益 (浚渫費用を除く、2020 年)	9-40
表 9.27	ラ・ユニオン港コンテナビジネスにおける水深別最大純収益 (浚渫費用を除く、2030 年)	9-40
表 9.28	ラ・ユニオン港における純収益(浚渫費用を除く)と浚渫費用の水深別差分最大値	9-40
表 9.29	ラ・ユニオン港における純収益(浚渫費用を除く)と浚渫費用の水深別差分最大値	9-40
表 9.30	アカフトラ・ラ・ユニオン両港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズ算定値 (2020 年)	9-41
表 9.31	アカフトラ・ラ・ユニオン両港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズ算定値 (2030 年)	9-41
表 9.32	アカフトラ港・ラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益 (浚渫費用を除く、2020 年)	9-43
表 9.33	アカフトラ港・ラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益 (浚渫費用を除く、2030 年)	9-43
表 9.34	エルサルバドル港湾部門における純収益 (浚渫費用を除く) とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値 (2020 年)	9-43
表 9.35	エルサルバドル港湾部門における純収益 (浚渫費用を除く) とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値 (2030 年)	9-43

表 9.36 エルサルバドル経済における浚渫プロジェクト純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2020年）	9-46
表 9.37 エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2030年）	9-46
表 9.38 エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの経済的便益の水深別最大値（2020年）	9-46
表 9.39 エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの経済的便益の水深別最大値（2030年）	9-46
表 9.40 ラ・ユニオン港における新タリフ	9-47
表 9.41 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズの算定値（2020年）	9-47
表 9.42 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズの算定値（2030年）	9-47
表 9.43 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収入（浚渫費用を除く、2020年）	9-49
表 9.44 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収入（浚渫費用を除く、2030年）	9-49
表 9.45 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港の浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）	9-49
表 9.46 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港の浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）	9-49
表 9.47 港湾料金引き上げケースにおけるアカフトラ港・ラ・ユニオン港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズの算定値（2020年）	9-51
表 9.48 港湾料金引き上げケースにおけるアカフトラ港・ラ・ユニオン港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズの算定値（2030年）	9-51
表 9.49 港湾料金引き上げケースにおけるアカフトラ港・ラ・ユニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2020年）	9-53
表 9.50 港湾料金引き上げケースにおけるアカフトラ港・ラ・ユニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2030年）	9-53
表 9.51 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）	9-53
表 9.52 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）	9-53
表 9.53 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル経済にとっての浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2020年）	9-56
表 9.54 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル経済にとっての浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2030年）	9-56
表 9.55 港湾料金引き上げケースにおける浚渫プロジェクトの経済的便益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）	9-56
表 9.56 港湾料金引き上げケースにおける浚渫プロジェクトの経済的便益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）	9-56
表 9.57 エルサルバドル東部の地域開発進展ケースにおけるラ・ユニオン港のコンテナ取扱量と寄航船舶数及びサイズの算定値（2020年）	9-57
表 9.58 エルサルバドル東部開発が進展したケースにおけるラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益(2020)	9-58
表 9.59 エルサルバドル東部開発が進展したケースにおけるラ・ユニオン港における純収益と浚渫費用の水深別差分最大値（2020）	9-58
表 10.1 浚渫費用の内訳と発生するタイミング	10-1

表 10.2	実施前および目標水深の組み合わせごとの再浚渫費用 (US\$)	10-2
表 10.3	実施前および目標水深の組み合わせごとの再浚渫のための回航費用 (US\$)	10-2
表 10.4	各埋没予測モデルにおける目標維持水深ごとの維持浚渫船購入費用 (US\$)	10-3
表 10.5	各埋没予測モデルにおける目標維持水深ごとの維持浚渫船回航費用 (US\$)	10-3
表 10.6	目標水深ごとの年間維持浚渫費用 (US\$/year)	10-3
表 10.7	2010 年におけるラウニオン港航路水深別の仮想的コンテナ取扱量および収入・費用等の推計結果	10-4
表 10.8	2020 年および 2030 年における航路水深ごとの代表シナリオ下での	10-5
表 10.9	浚渫形態 (契約ベースまたは自船ベース) および初回・第 2 回再浚渫の目標水深の組み合わせごとの初回目標水深の最適開始年次および期待される純便益 (ラウニオン港の料金引き上げ前)	10-1
表 10.10	浚渫形態 (契約ベースまたは自船ベース) および初回・第 2 回再浚渫の目標水深の組み合わせごとの初回目標水深の最適開始年次および期待される純便益 (ラウニオン港の料金引き上げ後)	10-2

図 リ ス ト

図 1.1	ラ・ユニオン港の歴史.....	1-1
図 1.2	内港航路の航路底の変化.....	1-3
図 1.3	外港航路の航路底の変化.....	1-3
図 1.4	フォンセカ湾の海底地形（海図 21521 of US NGIA より作成）.....	1-4
図 1.5	フォンセカ湾の衛星写真.....	1-5
図 1.6	内港航路周辺の底質組成と中央粒径.....	1-6
図 1.7	外港航路周辺の底質組成と中央粒径.....	1-7
図 3.1	航路内の測線.....	3-2
図 3.2	泊地内の測線.....	3-2
図 3.3	航路中心線上の縦断面形状.....	3-3
図 3.4	外港航路の横断面形状 (L1, L2, L3).....	3-4
図 3.5	外港航路の横断面形状(L4, L5, L6).....	3-5
図 3.6	外港航路の横断面形状(L7, L8, L9).....	3-6
図 3.7	外港航路の横断面形状(L10, L11, L12).....	3-7
図 3.8	内港航路の横断面形状(L17, L18, L19).....	3-8
図 3.9	内港航路の横断面形状(L20, L21, L22).....	3-9
図 3.10	岸壁に直角方向の泊地の断面形状.....	3-10
図 3.11	岸壁に直角方向の泊地の断面形状.....	3-11
図 3.12	岸壁に平行方向の泊地の断面形状.....	3-12
図 3.13	航路の平均水深の変化.....	3-15
図 3.14	内港航路と泊地の平均水深の変化.....	3-15
図 3.15	38kHz と 200kHz の音響測深による L18 から L20 の航路横断面形状(SAPI, 2009)	3-16
図 3.16	採泥地点の位置図.....	3-18
図 3.17	E 地点の採泥管を持ち上げている様子(a)と採泥管(b).....	3-19
図 3.18	採泥管を 0.3m 毎に切断している状況.....	3-20
図 3.19	底泥サンプルの写真とその密度.....	3-21
図 3.20	航路外側の底泥湿潤密度の鉛直分布.....	3-22
図 3.21	航路内側の底泥湿潤密度の鉛直分布.....	3-22
図 3.22	底泥サンプルの含水比と湿潤密度の関係.....	3-23
図 3.23	泥土の圧密解析の検証に用いた堆積速度.....	3-25
図 3.24	D 地点における(a) 航路水深と(b)湿潤密度分布の時間変化.....	3-25
図 3.25	E 地点における(a) 航路水深と(b)湿潤密度分布の時間変化.....	3-26
図 3.26	維持浚渫後の泥土の堆積予測に用いた堆積速度.....	3-27
図 3.27	維持浚渫後の(a) 埋没高さと (b) 最下層の湿潤密度の時間変化の予測結果.....	3-27
図 3.28	維持浚渫後の泥土の湿潤密度と埋没高さの関係.....	3-28
図 3.29	湿潤密度分布の時間変化 (a) $\Delta h = 3.0 \text{ m}$ and (b) $\Delta h = 4.5 \text{ m}$	3-28
図 3.30	湿潤密度分布の時間変化 (a) $\Delta h_0 = 6.0 \text{ m}$ and (b) $\Delta h_0 = 7.5 \text{ m}$	3-28
図 4.1	浚渫期間と測量時期.....	4-1
図 4.2	航路内外の平均水深の経時変化.....	4-2
図 4.3	アクセス航路の測線番号.....	4-2
図 4.4	埋没速度と航路内外の水深差の関係.....	4-3
図 4.5	水深の定義.....	4-3
図 4.6	代表測線の予測水深と実測水深の比較.....	4-4
図 4.7	内港航路の測線 L21～L18 の水深変化.....	4-5

図 4.8 測線 L21 の断面の重ね合わせ.....	4-6
図 4.9 測線 L20～L18 の航路断面の重ね合わせ	4-7
図 4.10 上方へずらした後の断面の重ね合わせ, 測線 L21 (2008 年 12 月測定の断面を上方に 0.6m シフトした)	4-7
図 4.11 測線 L20～L18 の断面の重ね合わせ (2008 年 12 月測定の断面を上方にシフトしてある)	4-8
図 4.12 内港航路の水深データの修正	4-9
図 4.13 外港航路の測線位置	4-10
図 4.14 外港航路の測線 L08～L05 の航路内水深変化	4-11
図 4.15 外港航路の浚渫期間と考察に用いた深浅図の測量年月日	4-12
図 4.16 外港航路の測線 L08～L05 の完全航路埋没	4-12
図 4.17 浚渫前の動的平衡状態の概念図	4-13
図 4.18 外港航路埋没の概念図	4-14
図 4.19 測線 L07 と測線 L06 の航路断面の重ね合わせ	4-15
図 4.20 堆積底質の空間分布	4-15
図 4.21 第 2 回目の浚渫直後の航路断面の重ね合わせ(2008 年 4 月 28 日と 5 月 5 日に測量)	4-16
図 4.22 2008 年 8 月 11 日 (浚渫後約 3 ヶ月半経過) 測定の断面の重ね合わせ	4-16
図 4.23 堆積物の空間分布	4-17
図 4.24 測線 L21 (内港航路) の断面のずれ (図 4.8 の再掲)	4-18
図 4.25 内港航路の埋没速度と水深差の関係、データ修正後	4-18
図 4.26 原型および修正指数モデルの予測結果と実測水深の比較 (内港航路)	4-19
図 4.27 最終水深の概念の導入による原型指数モデルの修正 (外港航路に対して)	4-20
図 4.28 最終水深 h_e の外港航路縦断方向分布	4-20
図 4.29 原型および修正指数モデルの予測結果と実測水深の比較 (外港航路)	4-21
図 4.30 内港航路と外港航路の航路水深の変化	4-22
図 4.31 内港航路と外港航路の代表的な埋没速度	4-23
図 4.32 線形モデルと修正指数モデルの接続	4-23
図 4.33 泊地内の座標系	4-24
図 4.34 泊地の断面地形 ($x=200\text{m}$: 岸壁に直角方向)	4-25
図 4.35 泊地の断面地形 ($Y=-400\text{m}$: 岸壁に平行方向)	4-25
図 4.36 測線 L22 の断面 (岸壁に直角方向)	4-25
図 4.37 泊地航路と泊地の相対埋没高さに関する予測値と実測値の比較	4-27
図 5.1 航路中央の縦断形状 (2013 年 7 月測量)	5-1
図 5.2 再浚渫土量計算における航路形状	5-2
図 5.3 航路浚渫における overbreak の定義	5-3
図 5.4 航行可能水深と音響測深器で測定される水深の定義	5-4
図 5.5 維持浚渫間の航路底面高変化の模式図	5-5
図 5.6 維持浚渫土量 (縦軸スケールを固定)	5-9
図 5.7 維持浚渫土量 (縦軸スケールが異なる)	5-10
図 5.8 水深別の維持浚渫土量	5-11
図 5.9 浚渫高と目標水深下の余堀高の定義	5-12
図 5.10 修正指数モデルにより評価された余堀深	5-13
図 5.11 線形モデルにより評価された余堀深	5-14
図 5.12 余堀深と年間浚渫量の関係	5-15
図 5.13 カッターサクシヨン浚渫船の概念図	5-17
図 5.14 TSHD の概念図	5-18
図 5.15 グラブホッパー浚渫船の写真と概念図	5-19

図 5.16	グラブ浚渫船 (台船形状)の写真と概念図	5-20
図 5.17	バックホー浚渫船の概念図	5-21
図 5.18	土捨て場位置	5-26
図 5.19	浚渫作業に必要な時間	5-28
図 5.20	維持浚渫に必要な浚渫船容量 (m ³)、修正指数モデルのケース	5-29
図 5.21	維持浚渫に必要な浚渫船容量 (m ³)、線形モデルのケース	5-30
図 5.22	浚渫業者との契約による浚渫コストの積算項目	5-31
図 5.23	CEPA が考えている自船を保有した場合の浚渫コストの積算項目	5-31
図 5.24	容量別 TSHD 建造費	5-33
図 5.25	TSHD 容量と総機関出力の関係	5-36
図 5.26	TSHD 容量とポンプ出力の関係	5-36
図 5.27	契約ベースの浚渫コスト (修正指数モデルと線形モデルのコストの比較)	5-42
図 5.28	自船での浚渫コスト (修正指数モデルと線形モデルのコストの比較)	5-43
図 5.29	再浚渫と維持浚渫コストの構成	5-43
図 5.30	サイクルタイムと年間維持浚渫量の関係	5-44
図 5.31	浚渫船容量 2,500m ³ と 4,500m ³ の場合のサイクルタイムと稼働率の関係	5-44
図 5.32	必要浚渫船容量の場合のサイクルタイムと稼働率の関係	5-45
図 5.33	サイクルタイムと年間浚渫コストの関係	5-45
図 5.34	契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストの比較	5-46
図 5.35	契約ベースと自船での直接経費と間接費の比較 (修正指数モデル 12m 維持水深 3 カ月サイクル)	5-47
図 5.36	水深別の浚渫コストと浚渫船容量	5-48
図 6.1	内港航路の測線;横断方向の測線長さ 500m、縦断方向測線間隔 1km、縦断方向航路中心線	6-3
図 6.2	外港航路の測線;横断方向の測線長さ 500m、縦断方向測線間隔 1km、縦断方向航路中心線	6-4
図 6.3	泊地内の測線:一辺 200m の格子	6-5
図 6.4	CEPA 職員により取り付けられた測量用機器	6-6
図 6.5	計測水深と補正水深の関係	6-7
図 6.6	2013 年 4 月 19 日の潮位の変化	6-7
図 6.7	航路位置に関連する潮位の補正パラメータ(SAPI の報告書より抜粋)	6-8
図 6.8	CEPA 職員が使用している座標変換プログラムの画面	6-9
図 6.9	Excel/VBA による後処理ツール	6-10
図 6.10	後処理後のデータの例	6-11
図 6.11	CNR による鉛直方向の高さの基準	6-14
図 6.12	詳細設計 (DD) による鉛直方向の高さの基準 (CUT-9 はラ・ウニオン港の東南側の角にあるベンチマーク)	6-14
図 6.13	航路水深の変化 (水深補正前)	6-16
図 6.14	航路水深の変化 (水深補正後)	6-16
図 8.1	エルサルバドルの主要港の貨物取扱量	8-2
図 8.2	アカフトラ港の位置	8-2
図 8.3	アカフトラ港のレイアウト	8-3
図 8.4	タイプ別貨物量の輸出入別 10 年間の推移	8-5
図 8.5	コンテナ貨物の推移	8-6
図 8.6	コンテナヤードのレイアウト	8-12
図 8.7	各岸壁位置	8-13
図 8.8 A	岸壁一般平面図	8-13
図 8.9 B	岸壁一般断面図	8-14

図 8.10 C 岸壁一般断面図	8-14
図 8.11 A 岸壁鋼矢板部の連続した赤橙色のさび	8-15
図 8.12 B 岸壁の鋼管杭の現状	8-15
図 8.13 A 岸壁の上部工の剥落状況	8-16
図 8.14 C バースの外海に面したコンクリート壁の状況	8-16
図 8.15 A 岸壁の鋼矢板セルの表面の劣化状況	8-16
図 8.16 シュミットハンマーテスト位置図	8-17
図 8.17 シュミットハンマーテストの向き	8-17
図 8.18 A 岸壁上部工のスラブにおけるシュミットハンマーテストの向き	8-17
図 8.19 B 岸壁上部工でのシュミットハンマーテストの向き	8-17
図 8.20 発電所位置図	8-20
図 8.21 アカフトラ港の主要道路網	8-21
図 8.22 ラ・ユニオン港の位置図	8-22
図 8.23 ラ・ユニオン港の平面図	8-23
図 8.24 ラ・ユニオン港の開発計画	8-25
図 8.25 中米地域のコンテナ港湾	8-36
図 8.26 中米 5 国太平洋岸の港湾のコンテナ取扱量	8-39
図 8.27 投入船舶の規模の分布	8-39
図 8.28 各船社のコンテナ動向	8-45
図 8.29 船舶寄港モデルの全体構成	8-51
図 8.30 中米地域におけるモデル対象港（赤字は本モデルにおける追加港湾）	8-55
図 8.31 モデル対象全港湾	8-56
図 8.32 コンテナ貨物配分モデルで考慮するインターモーダル輸送ネットワーク	8-57
図 8.33 本モデルで考慮する陸上輸送ネットワーク	8-68
図 8.34 コンテナ貨物港湾取扱量における現状値と推計値の比較	8-72
図 8.35 定航サービスごとのコンテナ輸送量推計結果の例（Maersk, 2010）	8-76
図 8.36 未知パラメータの感度[1] 荷主の時間価値 v_t の相違による CA4 各港のコンテナ取扱量の相違	8-77
図 8.37 未知パラメータの感度[2] 分散パラメータ θ の相違による CA4 各港のコンテナ取扱量の相違	8-78
図 8.38 未知パラメータの感度[3] トランジット輸送に関する補正係数 α の相違による CA4 各港のコンテナ取扱量の相違	8-79
図 9.1 ラ・ユニオン港の航路	9-2
図 9.2 MSL と CDL の関係	9-7
図 9.3 2013 年のラ・ユニオン港の潮位	9-8
図 9.4 アンダーキールクリアランスの模式図	9-9
図 9.5 期待待ち時間の計算の概念図	9-13
図 9.6 喫水別・航路水深別の期待待ち時間の計算結果	9-15
図 9.7 喫水と積載容量（TEU）の関係	9-15
図 9.8 航行可能時間帯のアウトプット	9-16
図 9.9 現行の航行規則における期待待ち時間の計算結果	9-17
図 9.10 2012 年に提供された APL・Hamburg-Sud 共同運航によるラ・ユニオン港寄港サービスの航路	9-18
図 9.11 海上輸送ネットワークの設定例（2010 年基本ケースおよび将来シナリオ例のケース、アカフトラまたはラ・ユニオンに寄港するサービスのみ表示）	9-25
図 9.12 各実現可能シナリオにおける 2020 年コンテナ貨物取扱量の予測値	9-27
図 9.13 各実現可能シナリオにおける 2030 年コンテナ貨物取扱量の予測値	9-28
図 9.14 各実現可能シナリオにおける 2020 年コンテナ貨物取扱量の予測値	9-31

図 9.15 各実現可能シナリオにおける 2030 年コンテナ貨物取扱量の予測値	9-32
図 9.16 ラ・ユニオン港利用料金引き上げがコンテナ貨物取扱量に及ぼす影響の違い ...	9-33
図 9.17 各実現可能シナリオにおける 2020 年コンテナ貨物取扱量の予測値	9-35
図 9.18 ラ・ユニオン港における航路水深別の純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020 年）	9-39
図 9.19 ラ・ユニオン港における航路水深別の純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030 年）	9-39
図 9.20 エルサルバドルの港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ユニオン港の合計、航路浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港における航路水深別浚渫費用（2020 年）	9-42
図 9.21 エルサルバドルの港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ユニオン港の合計、航路浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港における航路水深別浚渫費用（2030 年）	9-42
図 9.22 航路水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020 年）	9-45
図 9.23 航路水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030 年）	9-45
図 9.24 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および航路水深別浚渫費（2020 年）	9-48
図 9.25 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および航路水深別浚渫費（2030 年）	9-48
図 9.26 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ユニオン港の合計、浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港における航路水深別浚渫費用（2020 年）	9-52
図 9.27 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ユニオン港の合計、浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港における航路水深別浚渫費用（2030 年）	9-52
図 9.28 港湾料金引き上げケースにおける水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020 年）	9-55
図 9.29 港湾料金引き上げケースにおける水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030 年）	9-55
図 9.30 エルサルバドル東部の地域開発進展ケースにおけるラ・ユニオン港の純収益（浚渫費用を除く）と航路水深別浚渫費（2020 年）	9-57
図 10.1 港湾収入・費用の時系列計算に関する模式図（当初 10 年間は契約ベースの浚渫を行うと想定したケース）	10-8
図 10.2 港湾収入・費用の時系列計算に関する模式図（当初から自船ベースの浚渫を行うと想定したケース）	10-10
図 10.3 港湾収入・費用の時系列計算に関する模式図（当初から自船ベース、かつ 2 回目の再浚渫は行われないと想定したケース）	10-10
図 10.4 アカフトラ港およびラユニオン港における純収入・便益計算シートの例	10-0

第 1 章 序論

第 1 章 序論

1.1 ラ・ユニオン港開発の概要

1.1.1 ラ・ユニオン港の開発

エルサルバドルは、貿易に大きく依存した経済構造を有しており、その物流の中心となる海運は同国にとって非常に重要な役割を担っている。しかしながら、同国における唯一の国際貿易港であるアカフルト港は、外海（太平洋）に面し、うねり等の自然条件により、取扱貨物量、特に迅速な荷役作業を要請されるコンテナの扱いに限界があり、同国の増加する海運貨物及び世界的な潮流である貨物のコンテナ化に対応できる施設がない状況にあった。

ラ・ユニオン県はエルサルバドル国の中では最も東に位置する県で、フォンセコ湾を隔ててホンジュラス国とニカラグア国に面している。フォンセコ湾の西側において湾口より 25 km 入ったところにクツコ港が建設されていた。この港の 1975 年の貨物取扱量は 236,000 トンであったが、1980 年後半から 1990 年初めの内戦時代に急激に減少した。そして同県は、ほかの県と比較して経済成長が遅れていた。

内戦の終結とともに、エルサルバドル国は、同県での港湾活動を通じて経済的・産業的発展を刺激する目的もあって、ラ・ユニオン県に新港を建設することを決めた。この計画では、新港に中央アメリカの太平洋側におけるコンテナ貨物のハブ港としての機能も期待されていた。

エルサルバドル政府は日本に対して港拡張のマスタープランの準備と短期施設整備計画のフィジビリティ調査を要請してきた。これに対し日本政府は、国際協力機構（以降、JICA）による 1997 年 10 月から 1998 年 12 月の間のフィジビリティ調査ならびのその報告書の提出によって要請に応えた。この調査に引き続き、2001 年 7 月から 2003 年 1 月の間に、港の詳細設計が行われた。そして、岸壁位置をすこし移動して、港名もクツコ港からラ・ユニオン港へと変更された。

総工費 214 億円、うち国際協力銀行（JBIC）からの円借款が 112.33 億円で、ラ・ユニオン港の建設が 2005 年 5 月に始まり、土木関連工事は 2008 年 12 月までに完了した。

以上に述べたラ・ユニオン港の歴史を図 1.1 に示す。

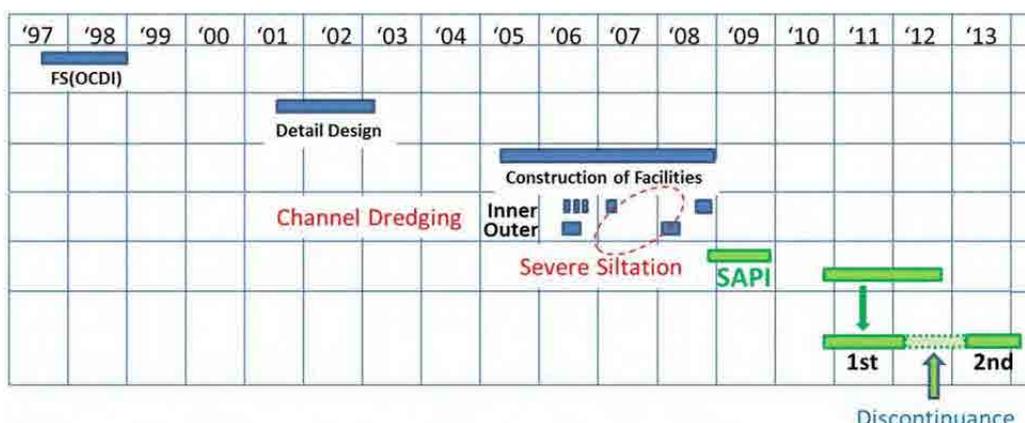


図 1.1 ラ・ユニオン港の歴史

1.1.2 ラ・ユニオン港の港湾施設

ラ・ユニオン港はパナマックス級のコンテナ船、50,000 DWT のバルク貨物船、25,000 DWT クラスの旅客船等を対象に設計されている。当初、航路は 14 m まで浚渫されていたが、航路全体が埋没してしまい、その後当初水深は維持されていない。

係船施設は延長 340 m、水深 15.0 m のコンテナバース、延長 220 m で水深 14 m の多目的バース、延長 240 m で水深 9.5 m の旅客船バースからなる。しかしながら、いずれの施設でも埋没によって水深が浅くなっている。ヤードは、3 百万 m³ の土砂で埋め立て造成された。

船舶回頭水面は直径 600 m で、水深は 14 m であったが、ここでも埋没によって水深が浅くなっているバース水面と船舶回頭水面を含む泊地の総面積は 65.7 ha である。

航路は延長 22.3 km あり、チキリン岬とサカティョ島の狭水路部によって内港航路と外港航路に分割される。前者は延長約 5.0 km、後者は延長約 17.3 km である。2008 年に浚渫が完了した時点で、内港航路は水深 14 m、底幅 140 m、外港航路は水深 14.5 m、底幅 137 m であった。内港航路のうち約 4.5 km は水深が 10 m 以浅（最浅部は約 6 m）の区間を通っている。外港航路で水深 10 m 以浅の箇所を通るのは約 1.5 km であり、最浅部の水深は約 9 m である。航路側面は勾配 1/5 で設計されている。

1.2 ラ・ユニオン港の埋没問題の認識と SAPI 調査の開始

2008 年 11 月末の竣工に向けてラ・ユニオン港の工事が行われていたときに、内港航路と外港航路および泊地で多量の埋没が生じていることが、浚渫工事と並行して行われていた深淺測量の結果から分かった（図 1.1 参照）。

ラ・ユニオン港の泊地と航路は、建設工事の開始前ならびに工事中に周波数 210 kHz の音響測深器を用いた水深測量が行われてきた。周波数 210 kHz の超音波は海底面で反射されているとすると、2007 年 4 月から 2008 年 8 月まで間の埋没土量は表 1.1 のように算定された。泊地と航路の埋没土量に関しては、日本工営が 2002 年に提出した詳細設計報告書の中で予測されていて、その値も表 1.1 に記載してある。これは埋没土量の予測業務を下請けした英国ウォーリング・フォード水理研究所（HR）が数値シミュレーションで予測した結果である。2008 年の初期の時点で、実際の埋没土量は予測値の 4～8 倍になっていた。

表 1.1 2007 年 4 月～2008 年 1 月に堆積した土量と 2002 年詳細設計で予測された埋没量との比較

地区名	面積 (m ²)	土量 (m ³)	
		実績	予測
泊地	657,000	158,000	478,000
内港航路	626,000	1,973,000	453,000
外港航路	1,660,000	2,389,000	312,000
合計	2,943,000	4,521,000	1,243,000

3 か所の航路の埋没過程の例を図 1.2 と図 1.3 に示す。これらは泊地から、それぞれ 2.78 km、16.0 km、17.0 km の位置の断面である。これらの図に見られるように、210 kHz の超音波で測定された海底面は 2007 年 4 月から 2008 年 1 月までの 10 か月間に厚さにして 3 m 程上昇した。

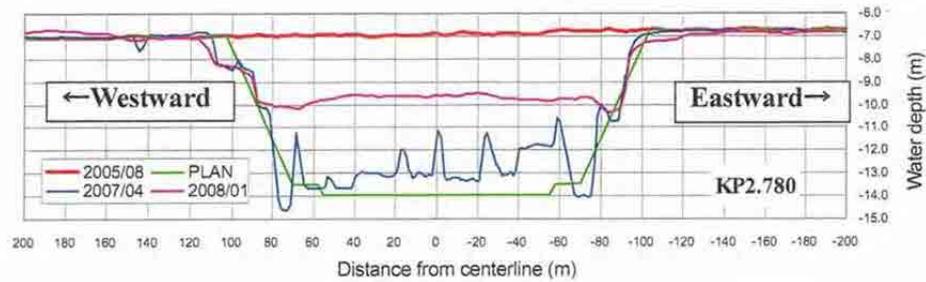


図 1.2 内港航路の航路底の変化

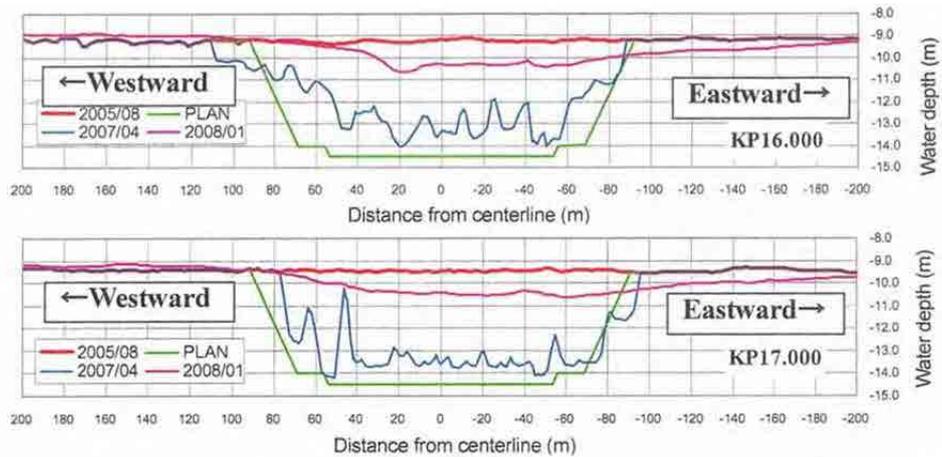


図 1.3 外港航路の航路底の変化

まだ工事中なのに予期していなかったほどの航路埋没が生じていることが分かったことから、開港後のスムーズな港湾運営が危ぶまれた。埋没量が多大であることが特定できていないので、将来の埋没量を予測することも、適切な対策を講じることも不可能であった。このため、急速な埋没に関する詳細な調査が喫緊の課題となった。

そして、JBIC とエルサルバドル国の空港・港湾運営自治委員会（Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma ; CEPA）は、2008 年 7 月に急速な航路埋没の調査の必要性について協議し、両者は「ラ・ユニオン港開発事業に係る案件実施支援調査（SAPI）」の実施について合意した。

SAPI 調査の目的は以下のとおりである。

- i) ラ・ユニオン港の現在の埋没状況を明確にする。
- ii) 対策が取られない場合の将来の埋没量を推定する。
- iii) 適切な埋没対策を検討し、勧告する。
- iv) 既存データの収集、現地調査、および数値シミュレーションによって潮汐、流れ、波浪、土質その他の自然条件を明らかにする。

これらの目的を達成するために、以下の調査が実施された。

- A. 世界の港の航行可能海底面を考えた港湾維持の方針と実施に関する調査
- B. 環境条件の情報収集と解析
- C. 現在と将来の埋没量の評価
- D. 埋没対策の検討

SAPI 調査は JICA*が担当し 2008 年 11 月から 2009 年 11 月の期間に実施された(図 1.1 参照)。

* 追記：2008 年 10 月 1 日に、JBIC の海外経済協力部門は JICA に統合された。

1.3 SAPI 調査の結果

SAPI 調査の結果から、埋没問題に関連する主要な結論を引用する。

1.3.1 フォンセカ湾と流入河川

フォンセカ湾は、広さ約 65 km、長さ約 45 km で、面積は 3,200 km²である（図 1.4 参照）。図 1.5 はフォンセカ湾の衛星写真であり、その中に 3 つの小さな湾があることが分かる。西から東に向かって、ラ・ウニオン湾、チスムジョ湾（ホンジュラス）、サン・ローレンソ湾（ホンジュラス）である。図 1.5 中に、深緑で塗られているように、フォンセカ湾の周縁は、マングローブの林で占められている。マングローブ林の総面積は約 780 km²である。

フォンセカ湾に流入している主要 5 河川は、西から東方向に Goascoran 川、Nacaome 川、Choluteca 川、Negro 川、そして Estero Real 川である。これらの河川は図 1.5 の中に、マングローブ林内の多くのクリークと入江とともに、紺色の部分として認められる。湾には、これ以外に数多くの小さな川が直接流入しており、湾周辺の開けた場所の降雨を湾に流している。

フォンセカ湾の底泥は、洪水時に多くの河川から浮遊状態で運ばれてきたものである。粒径の大きい掃流砂のほとんどはマングローブの沼地で捕捉される。シルトやクレイなどの浮遊物は河川水の流出時に拡散し、湾全体にわたって一様に広がって 0.2 から 1.2 m の厚さで堆積している。

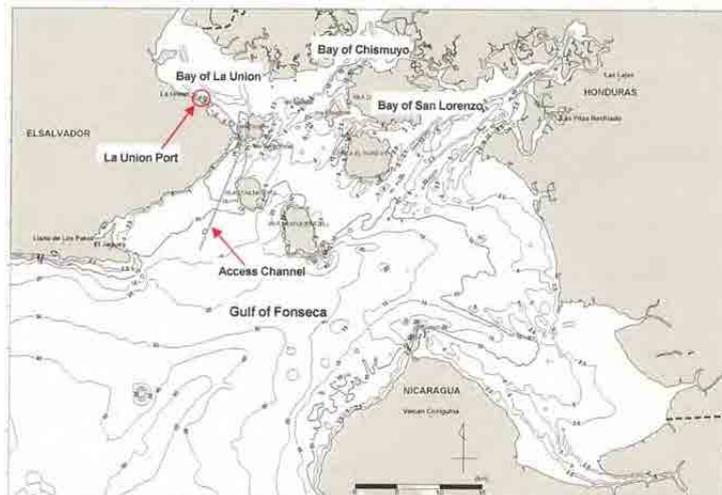


図 1.4 フォンセカ湾の海底地形（海図 21521 of US NGIA より作成）

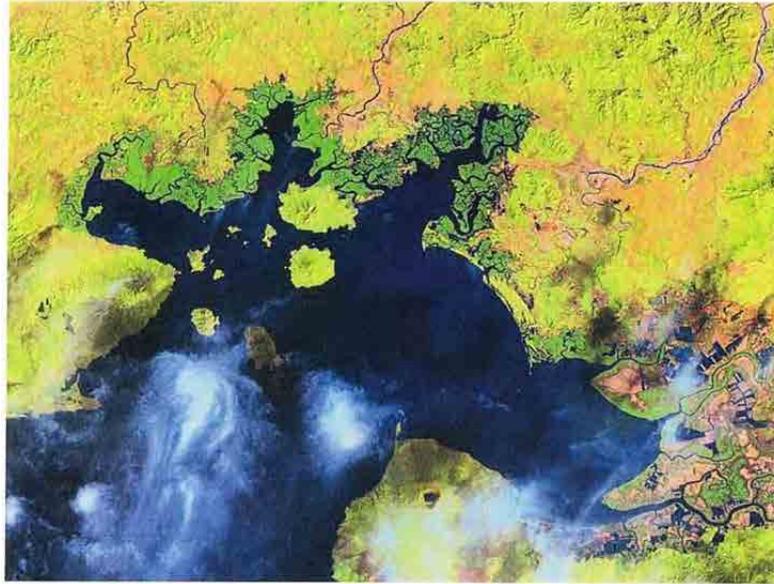


図 1.5 フォンセカ湾の衛星写真

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/96/GOF_Photo.jpg>

1.3.2 底質特性と埋没の機構

図 1.6 と図 1.7 は、それぞれ内港航路と外港航路周辺でサンプリングした底質の組成と中央粒径である。

チキリン岬より北側領域においては（図 1.6）、海底面のほとんどが泥で覆われている。若干の例外である St.9、12、24、26 では細砂が多く含まれ、局所的な砂供給の存在があるようだ。中央粒径は、細砂成分を含む地点を除いて、0.013～0.034 mm となっている。

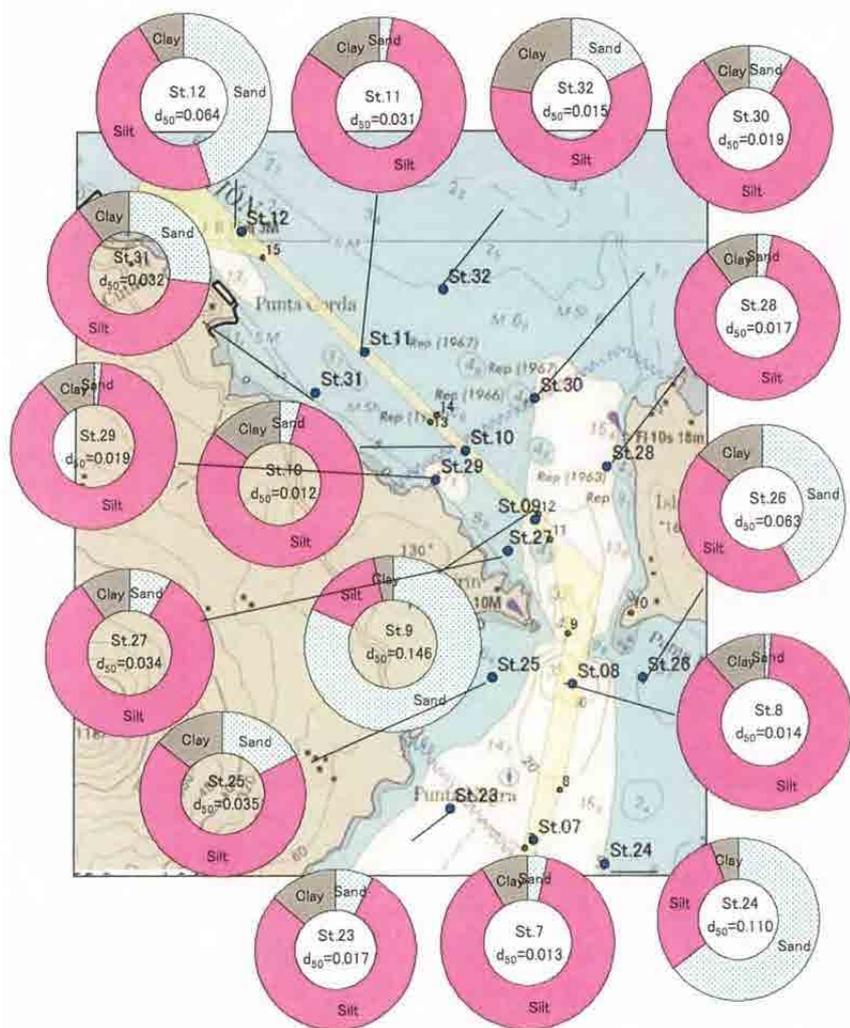


図 1.6 内港航路周辺の底質組成と中央粒径

チキリン岬の南側領域の外港航路の外側では、コンチャンギッタ島近くの海底露頭地点 St.20を除いて、細砂の成分が30%~50%を占める。

しかしながら、航路内になると細砂の割合はわずかになり、中央粒径は0.02~0.04 mmとなっている。航路内の St.1~6 において細砂の割合が僅かであるということは、砂成分は航路内に流入しておらず、シルトと泥だけが運び込まれているということを意味している。つまり、航路の埋没はシルトと粘土が移動することによって生じ、砂分は元の場所に留まっている。このことは、海底面上にある浮泥の薄い層が重力によってより深いところへとゆっくりとズレ落ちていくという埋没の機構の概念を支持するものである。

ラ・ウニオン港で生じていることは、浮泥層が密度流のように移動しているということである。浚渫された航路の断面のように、海底面に高さの違いがある所ではどこでも、浮泥は重力によって低地へと流れ込む。航路内と航路外の浮泥の表面レベルに違いがある限りこの動きは継続する。

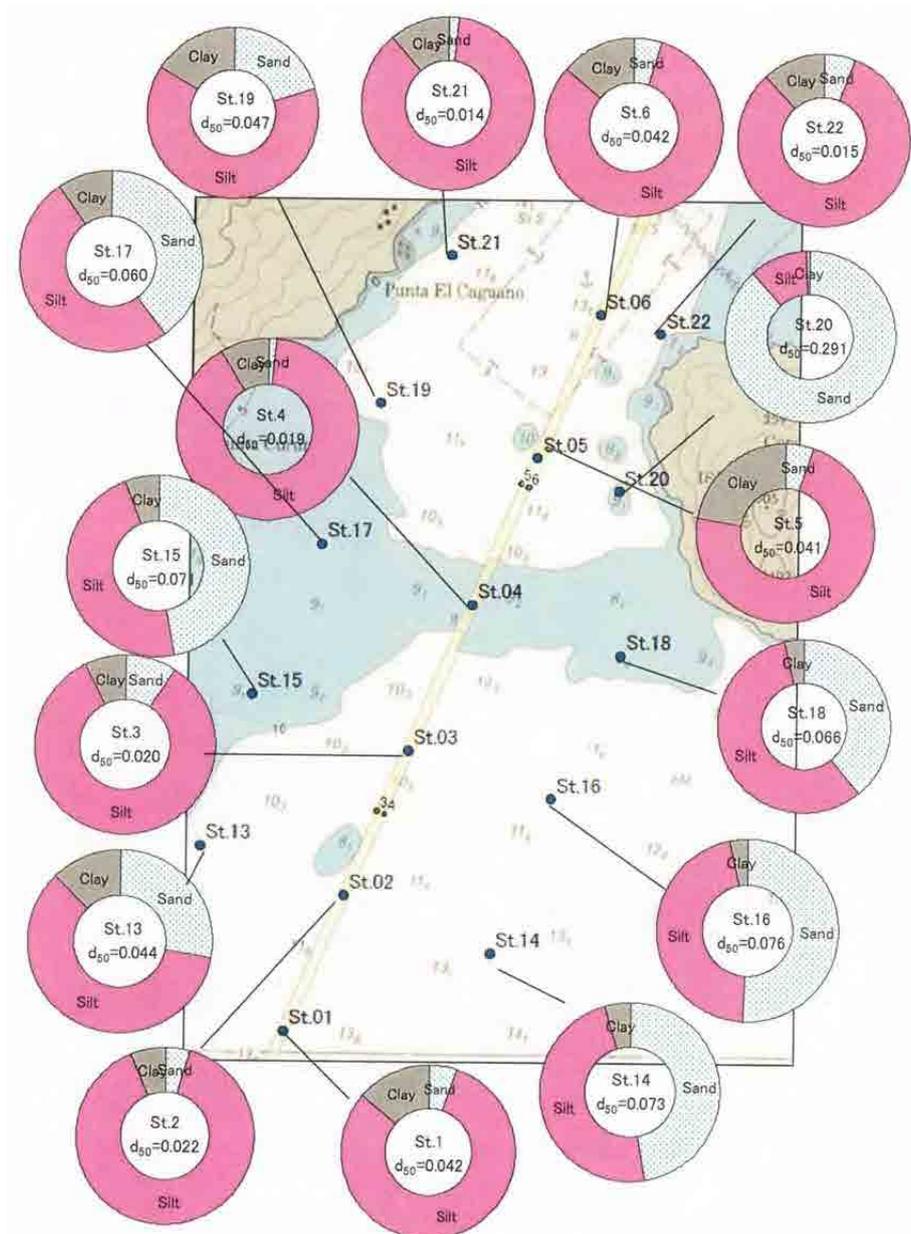


図 1.7 外港航路周辺の底質組成と中央粒径

1.3.3 埋没速度と航路内水深の予測モデルの構築

埋没問題を解析する最も信頼おけるデータは、初期浚渫が行われた 2006 年 6 月以降の航路の深浅測量の記録である。

航路横断測量の測線上の平均水深の変化についてトレンド解析を行えば、航路内外の水深差と初期浚渫からの経過時間を関数とした埋没速度の経験的な予測モデルが構築できる。

将来の航路内の水深を推定するモデルは、この埋没速度の予測式を時間積分して導ける。航路水深の予測モデルの妥当性は過去の深浅測量成果に基づいて確認されている。

1.4 本調査の目的と主要な調査内容

SAPI 調査によって、航路埋没はより深いところに向かう浮泥のゆっくりとした移動が原因であることが明らかになった。航路浚渫前・後の深浅測量データの解析結果に基づいて、埋没を予測するモデルが構築された。このモデルを使って、水深 14 m のアクセス航路内の埋没量は 1 年あたり 1 千万立米になると推定された。

しかしながら、継続的な深浅測量の回数に限りがあることや、調査の期間が比較的短かったため、予測された埋没量の精度は信頼おける維持浚渫量を推定するには十分ではなかった。また浮泥の圧密速度に依存する航行可能水深の変化についても十分には分かっていない。このため、現在のところ、浚渫場所、頻度、浚渫コストの見積もりや財務分析の方法等についての明確な計画が立案できない状態にある。

大水深港湾としての港湾機能を適切に発揮するために、コストだけでなく浚渫方法も財政活力にとって極めて重大な事項であり、臨時段階あるいはコンセッション状態での運営のいずれにおいても順調なターミナル運営のキー要因となる。そこで、CEPA は JICA に効果的かつ効率的な維持浚渫計画の策定を要請した。

JICA と CEPA の議決（2010 年 4 月 28 日付議事録、添付資料 A、参照）に従って、JICA は第 1 年次調査団を 2011 年 1 月に派遣し、2012 年の 5 月までの約 1 年 4 か月にわたり一連の深浅測量とデータ解析を実施した。第 1 年次調査は、議事録に述べられている以下の 2 項目を目的とした。

- (1) ラ・ウニオン港に大水深港湾にふさわしい機能を付加するための、効果的かつ効率的な航路維持計画の立案。
- (2) 航路と泊地の埋没対策に関する技術移転と CEPA が行う深浅測量データに基づいた現在の浚渫計画の見直しに対する支援。

第 1 年次に行った調査と分析の結果、将来の船便の詳細な分析、詳細な需要予測および試浚渫のデータが効果的な維持浚渫計画の策定に必要な不可欠であることが分かった。そこで、JICA と CEPA は、第 2 年次調査の開始に先立ち、ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクトに関する TOR を改訂することを協議し合意した（2012 年 10 月 31 日、議事録、添付資料 A 参照）。第 2 年次調査では、現状および将来の最適航路水深を技術的・財政的そして経済的に分析するために、工学的（技術的）課題だけでなく経済学的課題についても調査範囲に含めた。

2012 年 10 月 31 日に JICA と CEPA で取り交わされた議事録に、第 2 年次調査の目的として以下の 3 項目が盛り込まれた。

- (1) 港の効率的で効果的な維持浚渫計画を策定するために、CEPA が持っているデータ、情報、解析などを活用する。
- (2) 航路・泊地の埋没を処理するための技術を移転する。
- (3) 収集データと解析結果に基づき CEPA が行う浚渫計画の策定を支援する。

1.5 参加技術者と調査の年表

1.5.1 参加技術者

(1) 国内支援委員会

「エルサルバドル国ラ・ウニオン港浚渫策定プロジェクト」の適切な実施のため、JICA 本部、経済基盤開発部に国内支援委員会が設置された。表 1.2 はその委員名簿である。委員会は専門的かつ技術的見地から、経済基盤開発部長に対し次の各号に掲げる事項について評価し助言を行う。

1. 航路埋没対策に係る事項

- 1)現状の分析
- 2)泊地を含む航路全区間における埋没量・埋没速度の分析
- 3)レイキ浚渫データの収集・分析と浚渫工法の検討
- 4)航路の目標維持水深別の浚渫費用推計
- 5)航路埋没対策の提案

2. その他必要な事項

表 1.2 国内支援委員会 委員名簿

	氏名	担当分野	所属
委員長	村上和男	航路埋没全般・航路埋没対策技術	東京都市大学名誉教授
委員	中川康之	沿岸土砂管理	(独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 チームリーダー
委員	中崎 剛	港湾施設の維持管理行政	国土交通省 港湾局 産業港湾課 国際企画室長
委員	黒田正範	浚渫工法	(社)日本埋立浚渫協会 総務委員会 国際部長 専門委員

(2) 調査団

第1年次調査団と第2次調査団で技術者構成が異なる。

第1年次調査団は、株式会社エコーの技術者を中心とした、エンジニアリング部門の技術者で構成されている。第1年次調査団の技術者名、担当、所属を表 1.3 に示している。

第2年次調査団は、大きく二つのサブチームに分けられ、ECO H の技術者を中心として航路埋没問題と浚渫計画に関する調査を行うエンジニアリングチームと OC DI の技術者が港湾の需要予測や経済分析を行う経済チームで構成されている。第2年次調査団の技術者名、担当、所属を表 1.4 に示している。

表 1.3 第 1 年次調査団技術者名簿

氏名	担当事項	所属
合田良実	団長／航路埋没分析	株式会社エコー
小野信幸	副団長／航路埋没予測解析	株式会社エコー
青山高久	航路浚渫計画	株式会社エコー
伊東啓勝	海洋調査	株式会社エコー
松本アヌラ俊光	深淺測量	オーシャンエンジニアリング株式会社

表 1.4 第 2 年次調査団技術者名簿

氏名	担当事項	所属	
加藤一正	団長／航路埋没分析	株式会社エコー	工学チーム
小野信幸	航路埋没予測解析	株式会社エコー	
青山高久	航路浚渫計画／積算	株式会社エコー	
櫻井進士	航路浚渫計画	株式会社ドラムエンジニアリング	
宍戸達行	海運戦略	(財)国際臨海開発研究センター	経済チーム
柴崎隆一	需要予測	(財)国際臨海開発研究センター	
飯島隆之	経済分析	(財)国際臨海開発研究センター	
川田忠彦	港湾計画	(財)国際臨海開発研究センター	

(3) カウンターパート

第 1 年次調査のカウンターパート 2 名（表 1.5 参照）に対しては、日本国内において技術移転を行っている。

第 2 年次調査では、CEPA は調査団の構成に対応して工学チームに対するカウンターパート 3 名と経済チームに対するカウンターパート 8 名を配置した（表 1.6 参照）。

表 1.5 第 1 年次調査カウンターパート

氏名	所属
Mr. Mario Orantes	Navigation Aids
Mr. Abelino Crus	Chief of Maintenance Department

表 1.6 第 2 年次調査カウンターパート

	Name	Affiliation
工学チーム	Mr. Andrés Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
	Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Bathymetry and Dredging Specialist, La Union Port
	Ms. Egly Tatiana Chacón	Bathymetry and Dredging Specialist, La Union Port
経済チーム	Mr. Carlos Federico Paredes	Concessions Department, Advisor to the President
	Mr. Julio Romero	Concessions Department
	Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
	Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
	Ms. Andrea Castillo	Presidency
	Mr. Alan Castillo	Concessions Department
	Mr. Juan Carlos Martinez	Concessions Department
	Mr. Damian Reyes	Market Analysis Division

(4) CEPA へ派遣の JICA 専門家

JICA から CEPA に派遣されていた長期専門家を表 1.7 に掲げてある。

表 1.7 CEPA へ派遣の JICA 専門家

名 前	時 期
池田秀文	第 1 年次調査時
角野 隆	第 2 年次調査時

(5) その他の CEPA 側の関係者

カウンターパートではないが、いろいろな会議や技術移転のための発表会に参加した CEPA 側の関係者を、表 1.8 および表 1.9 にリストアップした。

表 1.8 CEPA 側の関係者（第 1 年次調査）

名 前	所 属
Mr. Luis Enrique Cordova Macias	President
Mr. Alberto Arene	President
Mr. Milton Lacayo	Director of La Union Port
Mr. Salvador Villalobos Brizuela	General Manager
Mr. Rolando Alberto Diaz	Concession Manager
Mr. Juan Caros Martinez	Concession Department
Mr. Alberto Jimenez	Manager of La Union Port
Mr. Carlos R. Cornejo	Maintenance Enginneer
Mr. Amilto Orellana	Administration Manager
Mr. Arquitect Karen Martinez	
Mr. Liutenant Miguel Martinez	Operation
Mr. Oaman Montoya	IT Manager

表 1.9 CEPA 側の関係者（第 2 年次調査）

名 前	所 属
Mr. Alberto Arene	President
Mr. Milton Lacayo	Director of La Union Port
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, Port of La Union
Mr. Marcos Vasquez	Concession Department
Mr. Juan Carlos Martinez	Concession Department
Mr. Rolando Diaz	CEPA Consultant

1.5.2 調査の年表

表 1.10 と表 1.11 は、それぞれ第 1 年次調査と第 2 年次調査の年表である。

表 1.10 第 1 年次調査の年表

2010	
4 月 28 日	会議議事録 (三宅署名)
2011	
1 月 7 日	第 1 年次調査契約
1 月 25 日～2 月 21 日	First On-site Works Inception Report 1 の提出
1 月 31 日～2 月 2 日	深淺測量
2 月 7 日～2 月 9 日	底泥採取
8 月 15 日～9 月 6 日	Second On-site Works Interim Report 1 の提出
8 月 19 日～8 月 22 日	深淺測量
2012	
1 月 15 日～2 月 6 日	Third On-site Works Interim Report2 の提出
1 月 19 日～1 月 21 日	深淺測量

表 1.11 第 2 年次調査の年表

2012	
10 月 31 日	会議議事録 (川上署名)
2013	
3 月 29 日	第 2 年次調査契約
4 月 1 日	第 1 回国内支援委員会
4 月 10 日～5 月 5 日	First On-site Works Inception Report の提出
5 月 14 日	第 1 次現地調査帰国報告会 in JICA
8 月 09 日	第 2 回国内支援委員会
8 月 11 日～9 月 1 日	Second On-site Works Interim Report の提出
8 月 27 日	ワークショップの開催 “Special Technical Assistance for Maintenance Dredging of the Port of La Union in the Republic of El Salvador”
9 月 11 日	第 2 次現地調査帰国報告会 in JICA
10 月 31 日	JICA 本部、JICA エルサルバドル事務所へ DF/R の事前説明 (TV 会議)
11 月 19 日	第 3 回国内支援委員会
12 月 04 日～12 月 16 日	Third On-site Works Draft Final Report の提出
12 月 10 日・11 日	CEPA 総裁等へ DF/R 説明
12 月 24 日	第 3 次現地調査帰国報告会 in JICA
2014	
1 月 20 日	DF/R に対する CEPA コメント締切
3 月 31 日	CEPA に F/R 提出

1.6 本報告書の各章構成・概要

第2章では、日本におけるカウンターパート研修、技術移転の内容、ワークショップの開催等について述べる。

第3章では、第1年次調査でおこなった現地調査（深浅測量と底質採取）の内容と、調査結果について述べる。

第4章では、最初に、過去の深浅測量成果に基づいて、指数関数で航路埋没を予測する経験的なモデルの枠組みをつくった。次に、深浅測量データの解析を通じて、航路埋没のプロセスおよび機構を明らかにした。その結果に基づいて、指数モデルを改良して修正指数モデルを構築した。さらに、浚渫直後の数ヶ月の間に生じる急激な埋没という現象を明らかにした。この急激な埋没は維持浚渫を継続している期間には生じない可能性があることを考慮に入れて、航路の埋没を予測する第二のモデル、つまり線形モデルを組み立てた。二つのモデル（修正指数モデルと線形モデル）の適用性について、考察してある。

第5章では、航路の再浚渫量と維持浚渫量を見積もった。維持浚渫量に関しては、第5章で組み立てた二つの航路埋没予測モデルを使って、航路目標水深別に予測した。浚渫方法の検討では、4種類の浚渫船を比較して、TSHD（Self-propelling Trailing Suction Hopper Dredger）に絞り込んだ。再浚渫については契約ベースの浚渫コストを、維持浚渫については契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストを積算した。

第6章では、航路と泊地の埋没についてのモニタリングの内容と方法について検討した。モニタリングは再浚渫直後と維持浚渫期間に行うことにした。モニタリングの目的は、現在構築されている二つの埋没量予測モデル（修正指数モデルと線形モデル）の結果の妥当性の検証と再浚渫直後の急激な埋没現象の確認である。

第7章は、CEPAによって構築された、CA4諸国（エルサルバドル、グアテマラ、ホンジュラス、ニカラグア）を発着する将来コンテナ貨物需要推計モデルおよび市場配分モデルをレビューする。

第8章の主眼は、ラ・ウニオン港の財務・経済分析を行うために必要な船舶寄港モデルを構築することにある。モデルの概要について述べた後、船社の行動、コンテナ貨物配分モデル、入力データといったモデルを構成する各要素について説明する。最後に、コンテナ貨物配分モデルの計算結果が、いくつかの指標における再現性や、モデルに含まれる未知パラメータに関する感度分析を通じて検討される。

第9章は、船舶寄港モデルの出力に焦点があてられる。ただし、章の冒頭では、ラ・ウニオン港のアクセス航路における現況や現行の航行規則について整理し、新しい規則を提案する。次に、ラ・ウニオン港の航路水深の設定値ごとに用意された将来定航サービスネットワークに関する多くのシナリオに基づき、船舶寄港モデルの計算を行い、将来コンテナ貨物取扱量等の出力を得る。モデルの出力から、ラ・ウニオン港における浚渫費用を除く純収入、アカフトラ港の純収入も含めたエルサルバドル国の港湾セクターにとっての浚渫費用を除く純収入、およびエルサルバドル国の経済にとってのラ・ウニオン港浚渫プロジェクトの浚渫費用を除く純便益が推計され、各水深ごとに浚渫費用と比較される。また、ラ・ウニオン港の利用料金引き上げや、エルサルバドル東部の地域開発、陸上越境輸送における国境抵抗の引き下げといった政策の実施を想定した場合についてのモデル計算や財務・経済分析も行われる。

第 10 章では、各年の収入、便益、浚渫費用を考慮した時系列分析の方法が示される。また、浚渫を行う最適タイミングに関する議論に資するため、具体的な計算例も示される。

第 11 章では、本調査の主要な結論と勧告について取りまとめている。

第 2 章 技術移転

第 2 章 技術移転

2.1 日本での CEPA 職員に対する技術研修

CEPA 職員に対する技術研修を、2011 年 11 月 21 日～12 月 9 日の間に日本で実施した。二人の技術者がこの研修に参加し、浚渫作業の運営と管理、深浅測量の方法、潮位予測等について研修した（写真 2.1 及び写真 2.2）。研修の行程を表 2.1 に示す。

研修参加者 Mr. Cruz Fuentes Andres Abelino
 Mr. Orantes Montigudo Mario Rene



写真 2.1 国土交通省の測量船「コスモ」での研修



写真 2.2 国土交通省の浚渫船「海翔」での研修

表 2.1 日本における技術研修の行程

Day	Date	a day of week	CEPA Trainee		JICA	
			Mr. Cruz Fuentes Andres Abelino	Mr. Orantes Montiel Mario Rene	Interpreter	Stay in
1	11/21	Mon	San Salvador → Miami			Miami
2	11/22	Tue	Miami→Chicago			frying overnight
3	11/23	Wed	Chicago→Narita			Tokyo
4	11/24	Thu	Courtesy call on JICA, Orientation		with Trainee	Tokyo
5	11/25	Fri	Exercise on Shin-Tokyo Maru Seminar on Dredging at ECOH		with Trainee	Tokyo
6	11/26	Sat	documentation		with Trainee	Tokyo
7	11/27	Sun	documentation		with Trainee	Tokyo
8	11/28	Mon	Excursion to HORS, Hasaki, Ibaraki		with Trainee	Tokyo
9	11/29	Tue	Tokyo → Fukuoka Inspection of Hakata Port		with Trainee	Kitakyushu
10	11/30	Wed	Hakata → Kitakyushu Exercise on MLITT's dredger, Kaisho Maru Exercise in Sounding Survey on Survey Boat		with Trainee	Kitakyushu
11	12/1	Thu	Inspection of Construction site at Shinwakato Tunnel and Kanda Port Kitakyushu → Tokyo		with Trainee	Tokyo
12	12/2	Fri	Seminar in Astronomical tide prediction at PARI		with Trainee	Tokyo
13	12/3	Sat	documentation		with Trainee	Tokyo
14	12/4	Sun	documentation		with Trainee	Tokyo
15	12/5	Mon	Seminar in Astronomical tide prediction program at ECOH		with Trainee	Tokyo
16	12/6	Tue	Exercise on Astronomical tide prediction program at ECOH		with Trainee	Tokyo
17	12/7	Wed	15:00 Assesment of the training		with Trainee	Tokyo
18	12/8	Thu	Narita→Los Angeles			Los Angeles
19	12/9	Fri	Los Angeles→San Salvador			

2.2 カウンターパートに対する技術移転

2.2.1 エンジニア分野の技術移転

(1) 第2年次 IC/R の説明、2013年4月16日実施

第2年次調査の開始に当たり IC/R を現場（ラ・ウニオン港）で説明し、調査目的と内容の理解を深めてもらった。参加者は、表 2.2 のとおりである。

表 2.2 参加者名簿(1)

氏名	所属
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Cornejo	Maintenance Engineer, La Union Port
Mr. Marcos Vasquez	Concessions Department
Mr. Osman Montoya	Navigation Aids, La Union Port
Mr. Roque Machado	IT Technician, La Union Port

(2) レイキ浚渫状況視察及び潮位補正方法の確認、2013年4月17日実施

レイキ浚渫状況、方法を確認した。CEPAが行っている測量調査の潮位補正方法についてヒアリングし、潮位補正方法の問題点を指摘した。参加者は、表 2.3 のとおりである。

表 2.3 参加者名簿(2)

氏名	所属
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Cornejo	Maintenance Engineer, La Union Port
Mr. Marcos Vasquez	Concessions department
Mr. Osman Montoya	Navigation Aids, La Union Port
Mr. Roque Machado	IT Technician, La Union Port

(3) 合同測量調査（実習）、2013年4月19日実施

現場において、深淺測量装置の取り付け、水深測定の校正、操船、データ取得等の測量実施方法について彼らから説明を受け確認した（写真 2.3）。深淺測量方法について問題なかった。参加者は、表 2.4 のとおりである。



写真 2.3 深淺測量の記録装置のセッティング

表 2.4 参加者名簿(3)

氏名	所属
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Cornejo	Maintenance Engineer, La Union Port
Mr. Marcos Vasquez	Concessions department
Mr. Osman Montoya	Navigation Aids, La Union Port
Mr. Roque Machado	IT Technician, La Union Port

(4) ラ・ウニオン港における潮位予測プログラムの解説、2013年4月22日実施

測量後のデータ処理における潮位補正方法の基本的考え方を解説し、併せて補正に必要な潮位の予測プログラムを提供するとともに、使用方法を説明した。参加者は、表 2.5 のとおりである。

表 2.5 参加者名簿(4)

氏名	所属
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Cornejo	Maintenance Engineer, La Union Port
Mr. Marcos Vasquez	CEPA Concessions Department
Mr. Osman Montoya	Navigation Aids, La Union Port
Mr. Roque Machado	IT Technician, La Union Port

(5) 合同測量調査と潮位予測プログラムの説明と演習、2013年8月21日実施

実際に深浅測量を実施し、そのデータを用いて測量実施後のデータ解析処理の実習を行った。実習では、提供した解析プログラム（改良版）を使用した。参加者は、表 2.6 のとおりである。

表 2.6 参加者名簿(5)

氏名	所属
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Cornejo	Maintenance Engineer, La Union Port
Mr. Osman Montoya	Navigation Aids, La Union Port
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Specialist Bathymetric And Dredging, Port of La Union
Ms. Egly Tatiana Chacon	Specialist Bathymetric And Dredging, Port of La Union
Mr. Roque Machado	IT Technician, La Union Port

(6) 航路埋没プロセスの解説、2013年8月22日実施

ラ・ウニオンにおける航路埋没プロセスの解析結果を説明し、議論した。この議論の内容は、構築した埋没量予測モデルを理解するための基礎知識となった。参加者は、表 2.7 のとおりである。

表 2.7 参加者名簿(6)

氏名	所属
Mr. Carlos Cornejo	Maintenance Engineer, La Union Port
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Specialist Bathymetric And Dredging, Port of La Union
Ms. Egly Tatiana Chacon	Specialist Bathymetric And Dredging, Port of La Union

(7) 合同測量調査、2013年8月23日実施

内港航路において、航路の縦断測量を実施した。参加者は、表 2.8 のとおりである。

表 2.8 参加者名簿(7)

氏名	所属
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Ms. Egly Tatiana Chacon	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Mr. Roque Machado	IT Technician, Port of La Union

(8) 埋没予測モデルの修正、2013年12月6日実施

修正指数モデルと新しく構築した線形モデルについて解説した。彼らは、これらのモデルの適用性について理解した。参加者は、表 2.9 のとおりである。

表 2.9 参加者名(8)

氏名	所属
Mr. Milton Lacayo	Port Manager, La Union Port
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Ms. Egly Tatiana Chacon	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Mr. Mmarcos Vasquez	Concession Department

(9) 航路埋没モニタリング計画の説明、2013年12月6日実施

予測モデルの精度向上にとってモニタリング調査が重要であることの理解が深まった。参加者は、表 2.10 のとおりである。

表 2.10 参加者名簿(9)

氏名	所属
Mr. Milton Lacayo	Port Manager, La Union Port
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Ms. Egly Tatiana Chacon	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Mr. Mmarcos Vasquez	Concession Department

(10) 半円形島建設が周辺環境に及ぼす影響について、2013年12月9日実施

CEPA は航路埋没量を軽減するために半円形島の建設計画を持っている。彼らが期待している半円形島の効果は、浚渫土砂の投棄場所として利用できることと、埋没量そのものが少なくなることである。土砂処分場としての人工島をラ・ウニオン港北側に建設した場合を想定した検討結果を紹介した。エンジニアリングチームは半円形島の影響に関する検討結果を説明した。参加者は、表 2.11 のとおりである。

表 2.11 参加者名簿(10)

氏名	所属
Mr. Milton Lacayo	Port Manager, La Union Port
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Ms. Egly Tatiana Chacon	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Mr. Mmarcos Vasquez	Concession Department

(11) 浚渫量の計算方法と航行可能水深、2013年12月10日実施

二つの埋没予測モデルを利用した浚渫土量の計算方法を理解した。参加者は、表 2.12 のとおりである。

表 2.12 参加者名簿(11)

氏名	所属
Mr. Milton Lacayo	Port Manager, La Union Port
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Ms. Egly Tatiana Chacon	Specialist Bathymetric And Dredging, La Union Port
Mr. Mmarcos Vasquez	Concession Department

(12) 各種浚渫船の紹介、2013年12月12日実施

各種浚渫船の紹介をおこない（写真 2.4）、浚渫技術に関する理解が深まった。参加者は、表 2.13 のとおりである。



写真 2.4 発表の様子

表 2.13 参加者名簿(12)

氏名	所属
Mr. Carlos Federico Paredes	Concessions Manager
Mr. Milton Lacayo	Port Manager, La Union Port
Mr. Amilto Orellana	Administrative Department Manager, La Union Port
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
Mr. Rafael Antonio Hernández	Engineering Department
Ms. Egly Tatiana Chacon	Bathymetric and Dredging Specialist, La Union Port
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Bathymetric and Dredging Specialist, La Union Port
Mr. Juan Carlos Martinez	Concessions department
Mr. Julio Alberto Romero Mejía	Concessions Management Technician
Ms. Patricia Callejas	Concessions Management Technician
Ms. Eugenia Luna	Concessions Management Technician
Ms. Andrea Castillo	President's Assistant
Mr. Damian Reyes	Economical Financial Analyst

2.2.2 経済分野の技術移転

(1) 第2年次 IC/R の説明、2013年4月16日実施

第2年次調査の開始にあたって、IC/Rの内容を説明した。本調査の主たる目的等について理解を深めた。CEPA側の参加者は表2.14のとおりである。

表 2.14 参加者名簿(13)

Name	Affiliation
Mr. Carlos Federico Paredes	Concessions Department, Advisor to the President
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Ms. Andrea Castillo	Presidency
Mr. Alan Castillo	Concessions Department
Mr. Juan Carlos Martinez	Concessions Department

(2) CEPAモデルの計算方法、2013年4月26日実施

CEPAが実施している将来需要予測の方法を確認した。参加者は表2.15のとおりである。

表 2.15.参加者名簿(14)

Name	Affiliation
Mr. Carlos Federico Paredes	Concessions Department, Advisor to the President
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Juan Carlos Martinez	Concessions Department
Mr. Alan Castillo	Concessions Department



写真 2.5 経済チームの団員による発表

(3) 船舶寄港モデル [1] モデルの概要と海上輸送サブモデルの説明、2013年7月11日実施 (Skype会議)

Vessel Calling Modelで見積もった結果の要約を説明した。CEPAからの参加者はモデルのアウトプットが何であるかを確認し、モデルの理解を深めた。参加者は表2.16のとおりである。

表 2.16 参加者名簿(15)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Carlos Federico Paredes	Concessions Department
Mr. Alan Castillo	Concessions Department



写真 2.6 Skype 会議

(4) 船舶寄港モデル [2] コンテナ貨物配分モデルの推計結果、2013年7月18日実施 (Skype 会議)

(3)で説明した海上輸送サブモデルに陸上輸送も追加して構築した、コンテナ貨物配分モデルの推計結果について説明し、質疑応答を行った。参加者は表 2.17 のとおりである。

表 2.17 参加者名簿(16)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Alan Castillo	Concessions Department

(5) 船舶寄港モデル [3] 修正結果の確認、2013年8月9日実施 (Skype 会議)

前回までの会議で出された意見等や追加情報(データベースに含まれていなかった航路の追加)などを踏まえて再度計算されたモデルの結果を確認した。参加者は表 2.18 のとおりである。

表 2.18 参加者名簿(17)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(6) 船舶寄港モデル [4] モデルと計算結果のレビュー、将来シナリオに関するディスカッション、2013年8月12日実施

これまでに Skype 会議で実施した内容について、ハイレベルのスタッフ(コンセッション部長、ラウニオン港長)も交えて概要を再度説明し、特に将来シミュレーションの際に考えられ得るシナリオについて意見交換を行った。参加者は表 2.19 のとおりである。

表 2.19 参加者名簿(18)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(7) 交通配分モデルの基礎、2013年8月15日実施

コンテナ貨物配分モデルの基礎的理論である交通配分モデル(具体的には、最短経路探索手法および利用者均衡配分モデル)について説明した。参加者は、演習を通じて利用者均衡配分モデルのアルゴリズムを学習した。参加者は表 2.20 のとおりである。

表 2.20 参加者名簿(19)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Ms. Andrea Castillo	Presidency
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(8) 中米五か国の太平洋沿岸におけるコンテナ輸送の現状、2013年8月16日実施

中米五か国の太平洋沿岸におけるコンテナ輸送の現状について説明した。参加者は、コンテナサービスのルートや頻度は中米の船主の戦略によって変わり得ることを理解した。参加者は表 2.21 のとおりである。

表 2.21 参加者名簿(20)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division



写真 2.7 CEPA 経済チームの参加者

(9) ラ・ウニオン港の料金、2013年8月25日実施

ラ・ウニオン港と近隣諸国の港の料金について説明した。参加者は、各港の料金について理解を深めることができた。参加者は表 2.22 のとおりである。

表 2.22 参加者名簿(21)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(10) 船舶寄港モデル [5] モデルの改良（海上運賃の考慮）、2013年8月27日実施

潮位変動とラ・ウニオン港の期待船待ち時間の評価について説明した。参加者は、潮位変動を有効に活用すれば、航行可能時間を長くすることが可能であることを理解した。参加者は表 2.23 のとおりである。

表 2.23 参加者名簿(22)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(11) ラ・ウニオン港の期待入港待ち時間の評価、2013年8月28日実施

潮位変動とラ・ウニオン港の期待入港待ち時間の評価について説明した。参加者は、潮位変動を有効に活用すれば、航行可能時間を長くすることが可能であることを理解した。参加者は表 2.24 のとおりである。

表 2.24 参加者名簿(23)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(12) 船舶寄港モデル [6] モデル再現性の検討とシミュレーション結果、プログラムの実行、2013年8月29日実施

8/27 に実施されたワークショップの内容について、経済チームの担当者を対象に、特に再現性の検討とラ・ウニオン港の寄港を想定したシミュレーションの結果について説明した。また、計算プログラムのコピーを配布し、実行を行った。参加者はプログラムの操作方法を理解した。参加者は表 2.25 のとおりである。

表 2.25 参加者名簿(24)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division



写真 2.8 JICA 経済チームの団員による講義

(13) 潮位変動を活用した水路航行、2013年12月6日実施

潮位変動を活用した水路の航行可能時間について説明した。参加者は、航行可能時間の計算方法の理解を深めた。参加者は表 2.26 のとおりである。

表 2.26 参加者名簿(25)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(14) 地位／産業発展と港湾計画および振興、2013年12月9日実施

港周辺地域の産業発展と港湾計画および振興の結びつきについて説明した。参加者は港湾政策の意義について、理解を深めた。参加者は表 2.27 のとおりである。

表 2.27 参加者名簿(26)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Ms. Andrea Castillo	Presidency
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(15) DF/R の概要 [1] 船舶寄港モデル最終版の説明、2013年12月11日実施

DF/R の内容のうち、船舶寄港モデルの概要および推計結果について、最終的な内容を説明した。また、確率配分モデルの基本であるロジットモデルについて、その導出方法を説明した。参加者は、これまで学んできたモデルの最終的な内容の確認を行い、またロジットモデルの導出方法についても理解を深めた。参加者は表 2.26 のとおりである。

表 2.28 参加者名簿(27)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Ms. Andrea Castillo	Presidency
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

(16) DF/R の概要 [2] 財務・経済分析の方法、2013年12月12日実施

DF/R の内容のうち、財務・経済分析の方法について説明を行い、時系列分析についてはエクセルファイルの操作方法についても説明した。分析方法について理解を深め、エクセルを用いた時系列分析の方法を習得した。参加者は表 2.29 のとおりである。

表 2.29 参加者名簿(28)

Name	Affiliation
Mr. Julio Romero	Concessions Department
Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
Ms. Andrea Castillo	Presidency
Mr. Damián Reyes	Market Analysis Division

2.3 ワークショップの開催

2013年8月27日に、ワークショップ “Special Technical Assistance for Maintenance Dredging of the Port of La Union in the Republic of El Salvador”が、CEPA 本部の最上階セミナー室で開催された。ワークショップは、CEPA 側の招待による昼食をとりながら始まった。ワークショップのプログラム、講演タイトル、発表者は、表 2.29 のとおりである。発表者のうち、村上博士と中川博士は、国内支援委員会の委員である。写真 2.9 は、ワークショップの様子であり CEPA サイドはスクリーンに向かって左側に座っている。参加者と発表者のリストを表 2.15 に載せてある。

表 2.29 ワークショップのタイトルと講演者

START	12:00	
0. Lunch	Invited by CEPA in order to enhance awareness of participants and presenters	12:00-12:30
1. Welcome Speech	By Mr. A. ARENE, President of CEPA	12:30-12:35
2. Opening Address	By Mr. T. KAKAMI, JICA HQ	12:35-12:40
3. Interim Report on Engineering Issues	By Dr. N.ONO, ECOH	12:40-13:20
4. Interim Report on Economic Issues	By Dr. R.SHIBASAKI, OCDI	13:20-14:00
5. Port Promotion examples in Japan	By Mr. M.KIHARA, MLIT	14:00-14:30
< Coffee break >		
6. Field Study on maintenance dredging in the access channel of Banjarmasin Port, Indonesia	By Dr. K.MURAKAMI, TCU	14:45-15:15
7. Harbor siltation and countermeasures in Japan	By Dr. Y.NAKAGAWA, PARI	15:15-15:45
8. Case study of analysis of bathymetric data	By Dr. K.KATO, ECOH	15:45-16:05
9. Regional development and port	By Mr. T.SHISHIDO, OCDI	16:05-16:25
10. Closing Remarks	By Mr. T.KADONO, JICA Expert	16:25-16:30
CLOSE	16:30	



写真 2.9 ワークショップの様子

表 2.30 参加者と発表者名簿

氏名	所属
El Salvador Side	
Mr. Alberto Arene	President
Mr. Carlos Federico Paredes Castillo	President Advisor
Mr. Milton Lacayo	Port Manager, Port of La Union
Mr. Padre Amilto Orellqana	Financial manager Port of La Union
Mr. Andres Abelino Cruz	Maintenance Chief, Port of La Union
Ms. Marta Eugenia Canales	Administrator Data Base, Port of La Union
Ms. Andrea Castillo	Assistant President
Ms. Patricia Callejas	Financial Assistant
Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Specialist Bathymetric and Dredging, Port of La Union
Ms. Egly Tatiana Chacon	Specialist Bathymetric and Dredging, Port of La Union
Mr. Rafael Antonio Hernandez	Engineering Department
Mr. Damian Reyes	Marketing Analyst
Mr. Jaime Flores	Financial Technician
Mr. Mmarcos Vasquez	Concession Department
Mr. Juan Carlos Martionez	Concession Department
Mr. Julio Alberto Romero Mejia	Concession Department
Mr. Takashi Kadono	JICA Expert
Japanese Side	
Mr. Taiji Kawakami	Executive Technical Advisor, Economic Infrastructure Department, JICA Headquarter
Dr. Kazuo Murakami	Emeritus professor, Tokyo City University
Dr. Yasuyuki Nakagawa	Team Leader of Coastal and Estuary Sediment Dynamics Research Group, Port and Airport Research Institute
Mr. Masatomo Hihara	Director for International Policy, Ports and Harbors Bureau

JICA Study Team	
Dr. Kazumasa Kato	Leader, Siltation Analysis, ECOH
Dr. Nobuyuki Ono	Siltation Analysis and Prediction, ECOH
Mr. Takahisa Aoyama	Channel Dredging works and Planning, ECOH
Mr. Tatsuyuki Shishido	Maritime Economics, OCDI
Dr. Ryuichi Shibasaki	Demand Forecast, OCDI
Mr. Takayuki Iijima	Economic Analysis, OCDI
Mr. Tadahiko Kawada	Port Planning, OCDI
JICA El Salvador Office	
Mr. Shinji Sato	Adjunct President Representative
Mr. Yuichiro Inoue	Director of Reimbursable Financial Cooperation
Ms. Miwako Kamimura	Project Formulation Adviser
Ms. Gabriela Alfaro	Program Officer

第 3 章 現地調査とその結果

第 3 章 現地調査とその結果

3.1 深浅測量

3.1.1 深浅測量の測線

測量調査は、航路縦断方向に 1 本、航路横断方向に 22 本、泊地内の岸壁に垂直な方向に 7 本、岸壁に平行な方向に 3 本の測線を設定して実施した。航路横断方向の測線位置を表 3.1 に示し、基点からの距離（測線番号と KP 座標との関係）を表 3.1 に示す。測線 L1 から L22 は、表 3.1 に示すものと一致する。泊地内の測線位置を図 3.2 に示す。測線 $x+0$ から $x+1200$ は、岸壁にほぼ垂直に設定された測線であり、一方、 $y-200$ と $y-400$ は、航路中心線に平行に設定された測線である。表中には、測線の延長についても示している。

表 3.1 測線の位置

No	KP (km)	Extension (m)	No	KP (km)	Extension (m)	No	KP (km)	Extension (m)
L1	21.91	600	L12	10.90	400	$x+1200$	1.20	700
L2	20.90	600	L13	9.91	400	$x+1000$	1.00	700
L3	19.90	600	L14	8.90	400	L22	0.92	700
L4	18.91	600	L15	7.91	400	$x+800$	0.80	700
L5	17.90	600	L16	6.92	400	$x+600$	0.60	700
L6	16.90	600	L17	5.93	400	$x+400$	0.40	700
L7	15.91	600	L18	4.93	400	$x+200$	0.20	700
L8	14.91	600	L19	3.92	400	$x+0$	0.00	800
L9	13.91	600	L20	2.92	400	$y-0$	-	800
L10	12.91	600	L21	1.92	400	$y-200$	-	1300
L11	11.89	400				$y-400$	-	1300

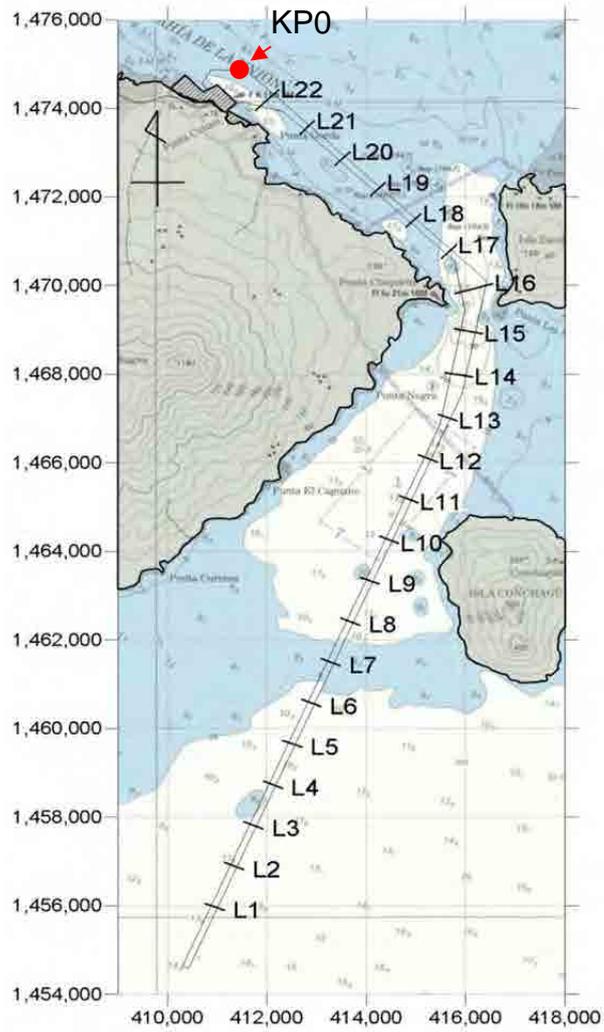


図 3.1 航路内の測線

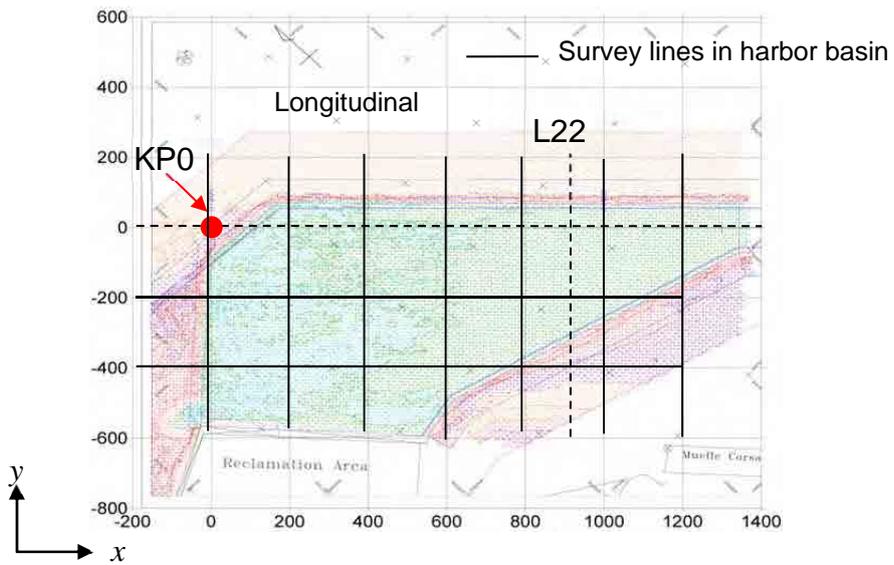


図 3.2 泊地内の測線

3.1.2 航路の縦断面形状

図 3.3 に、航路の中心線上の縦断面形状を示す。測量の実施期間は 2011 年 1 月 31 日から 2 月 2 日、2011 年 8 月 19 日から 21 日、及び 2012 年 1 月 19 日から 21 日である。上段の図は航路全体の縦断面形状であり、下段の図は 15 m より浅い部分を表示したものである。外港航路で最も浅い場所は KP16.00 で水深 10.2m、内港航路では KP3.5 付近の水深 7.4 m である。

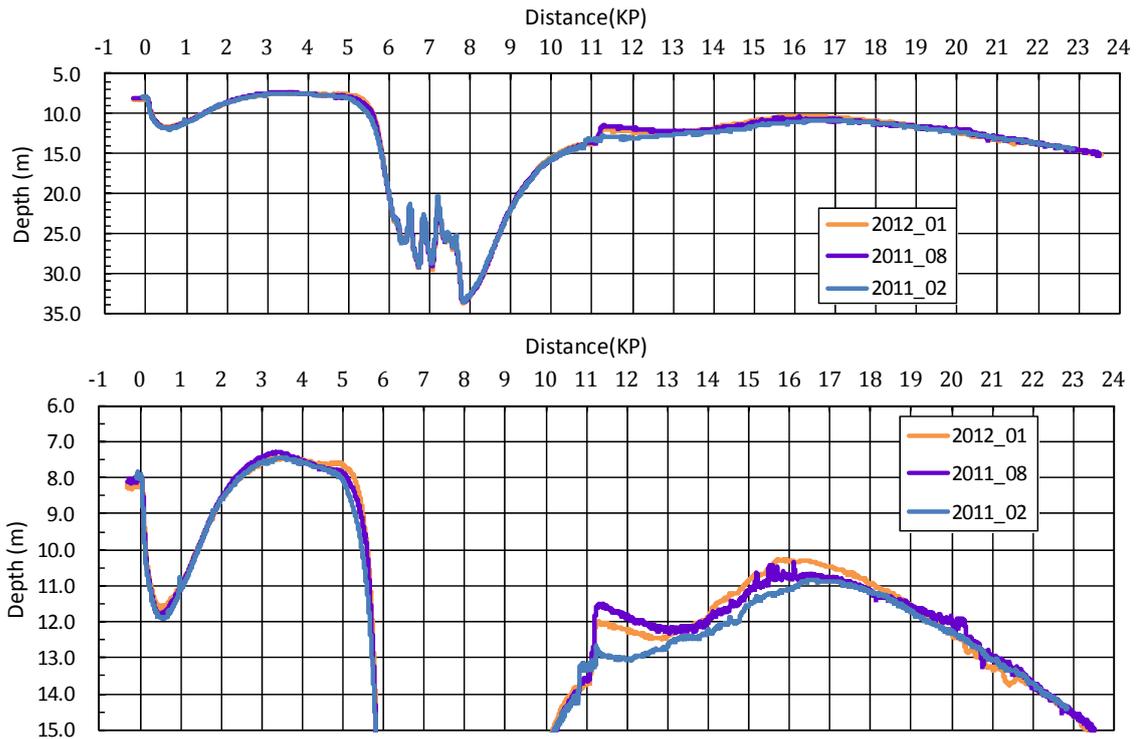


図 3.3 航路中心線上の縦断面形状

3.1.3 泊地と航路の横断面形状

図 3.4 から図 3.9 は、L01 (KP21.91) から L22 (KP0.92)まで 1 km 間隔で航路の横断面形状の変化を表示したものである。ここで、2008 年 12 月、2009 年 6 月、2011 年 2 月、2011 年 8 月、2012 年 1 月の 5 時期のデータを航路の計画形状と併せて表示した。各図において、距離の原点は航路の中心としており、東側を正として表示している。

図 3.10 と図 3.11 は、泊地の断面形状を 0.2 km 間隔で表示したものである。2008 年 12 月、2011 年 2 月、2011 年 8 月、2012 年 1 月の 4 時期のデータを表示した。初期浚渫完了時は 2008 年 12 月であり、図中に示している。

図 3.12 は、 $y = 0, -200$, 及び -400 m の測線に沿う泊地の断面形状であり、航路の中心線に平行な方向の断面形状である。図 3.2 に示す泊地の北端から南向きにとった距離を基準に表示した。

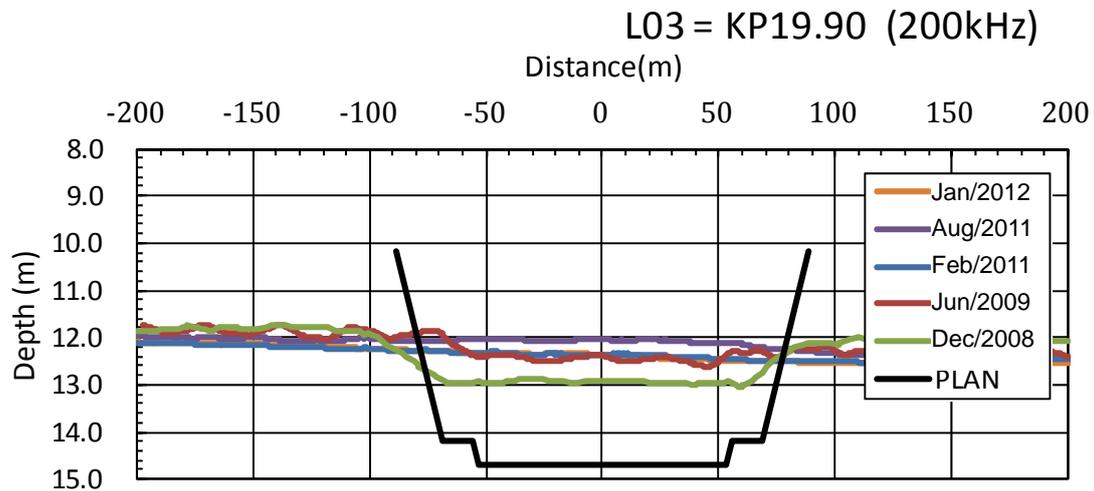
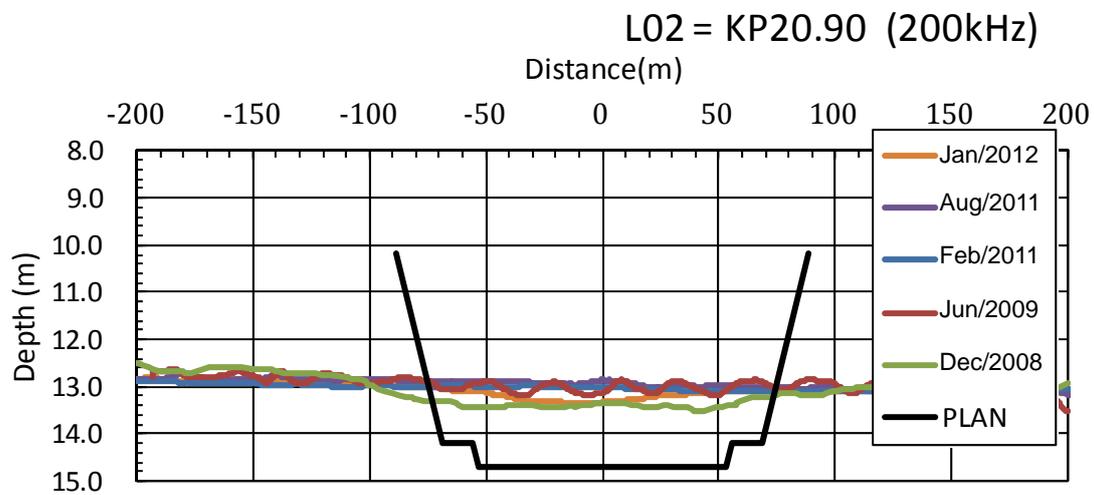
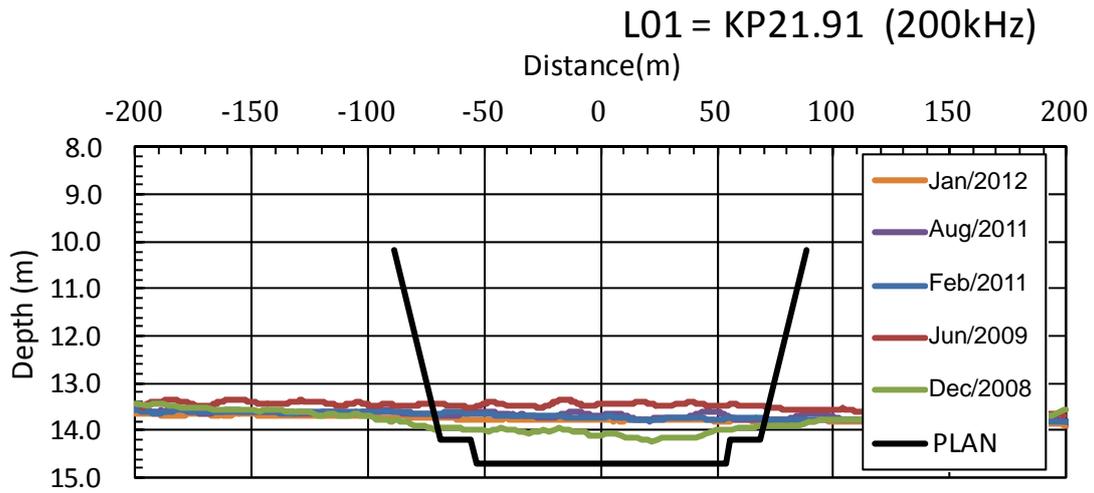


図 3.4 外港航路の横断面形状 (L1, L2, L3)

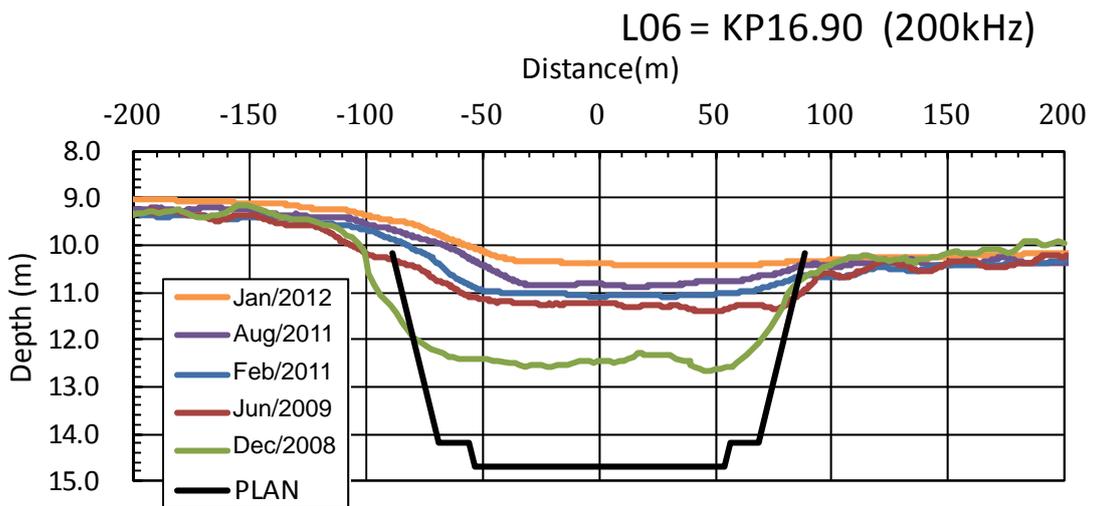
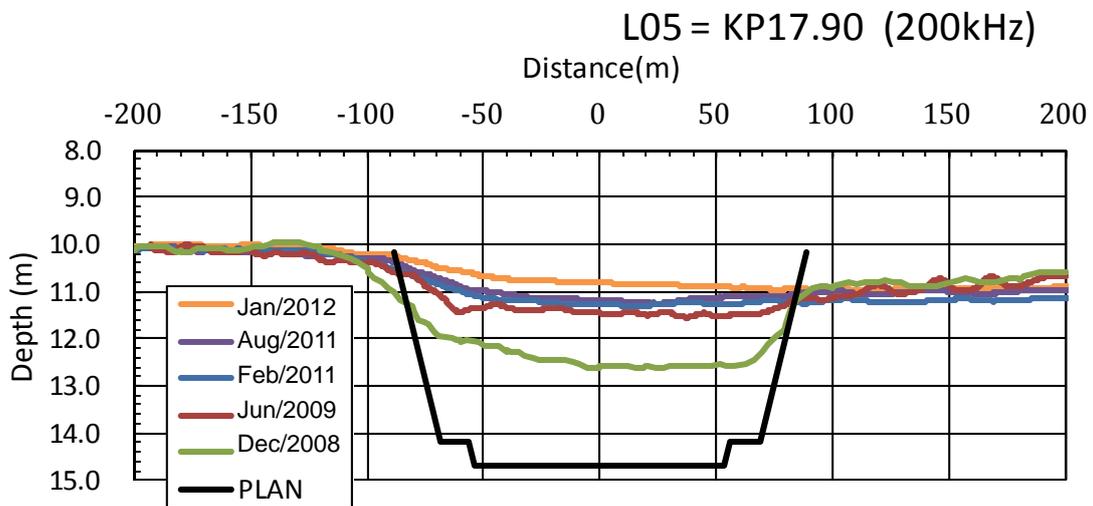
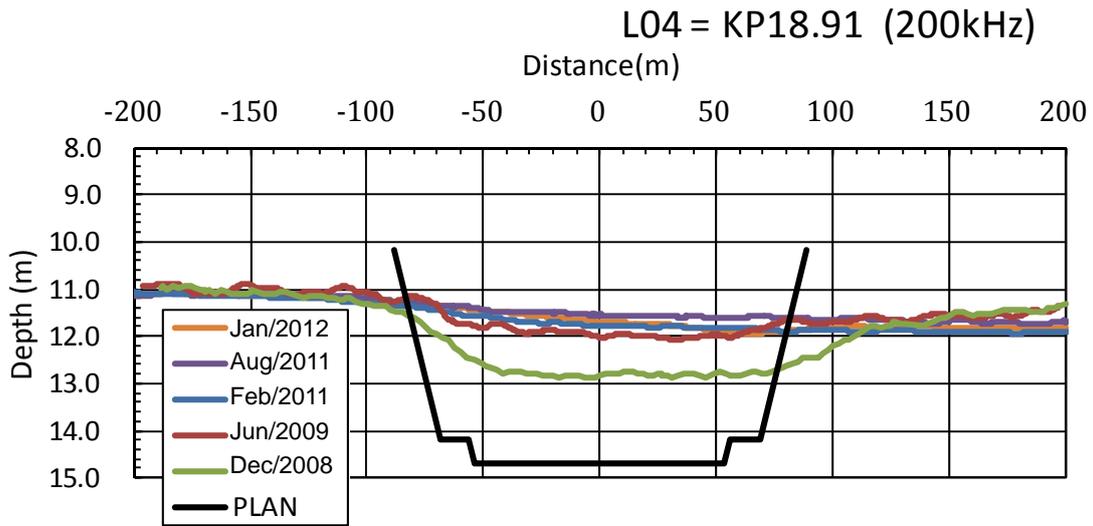


図 3.5 外港航路の横断面形状(L4, L5, L6)

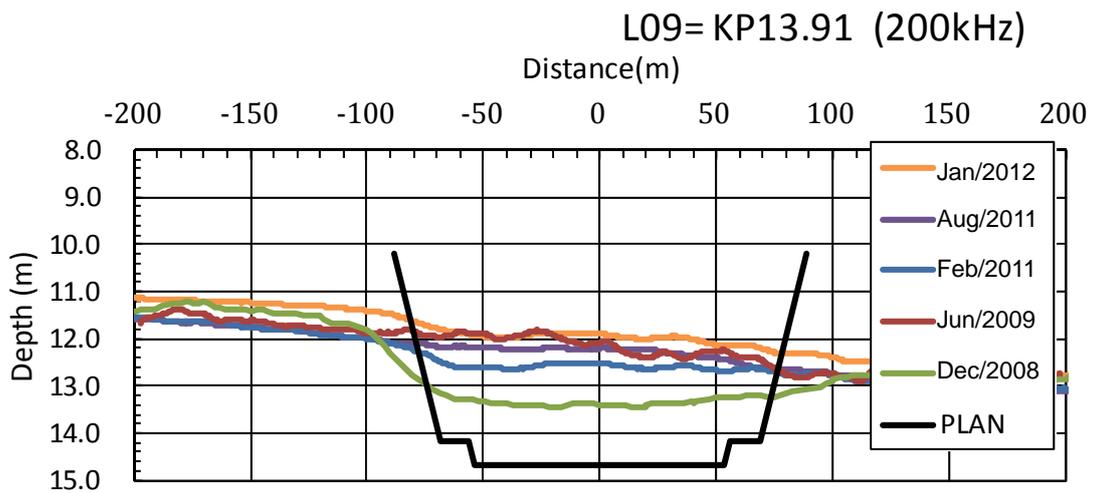
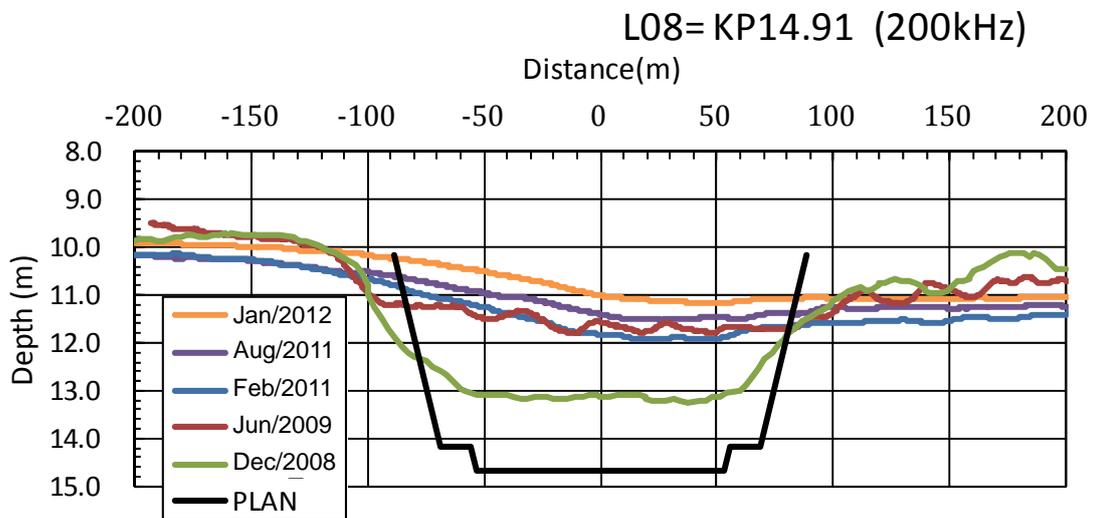
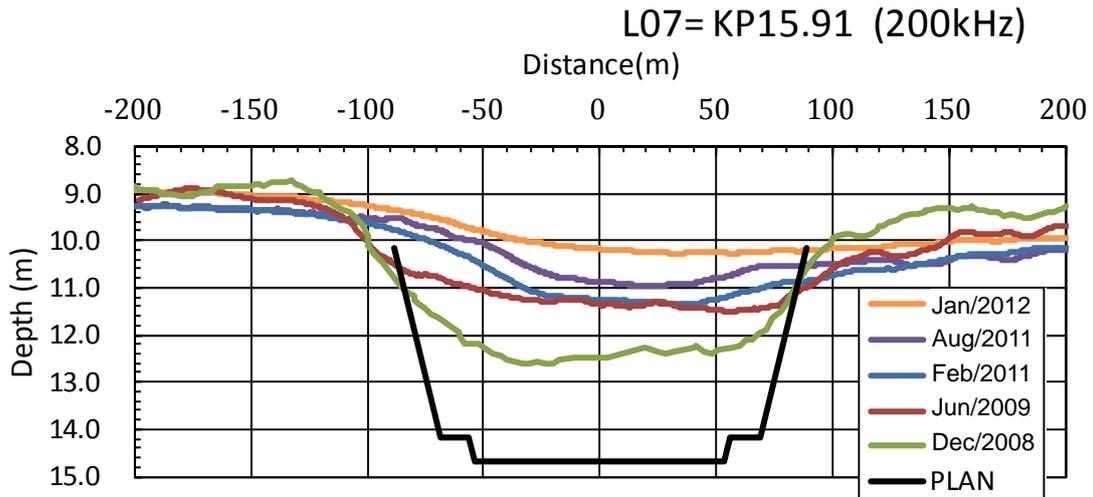


図 3.6 外港航路の横断面形状(L7, L8, L9)

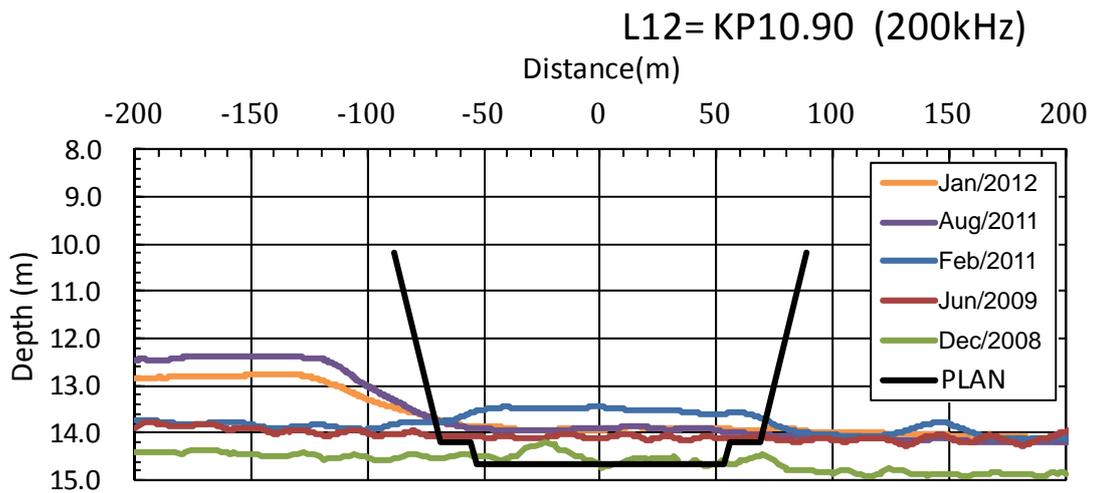
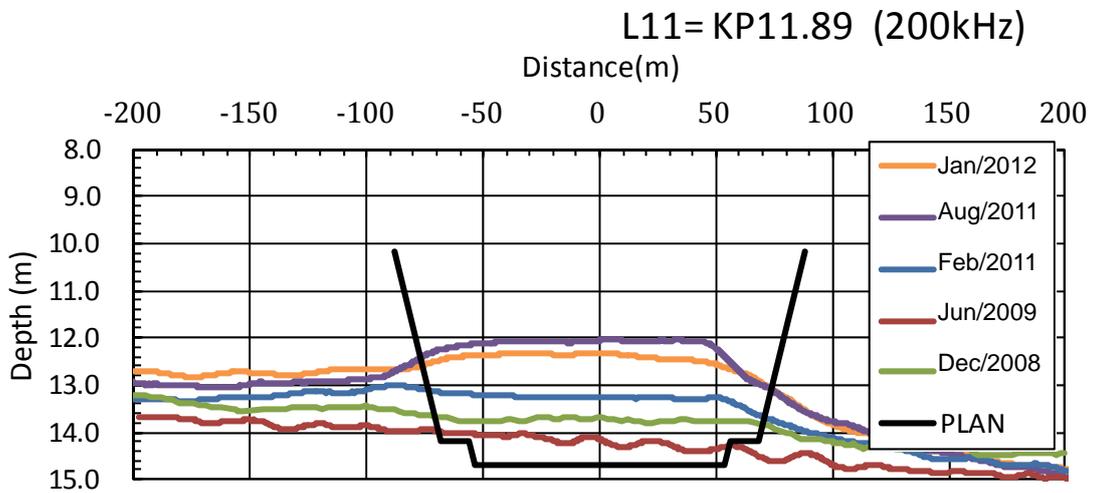
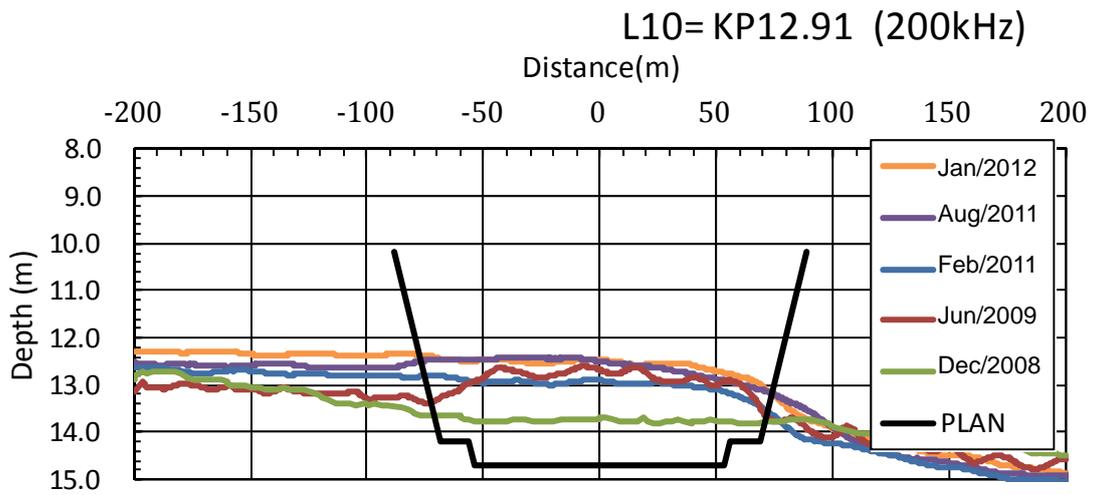


図 3.7 外港航路の横断面形状(L10, L11, L12)

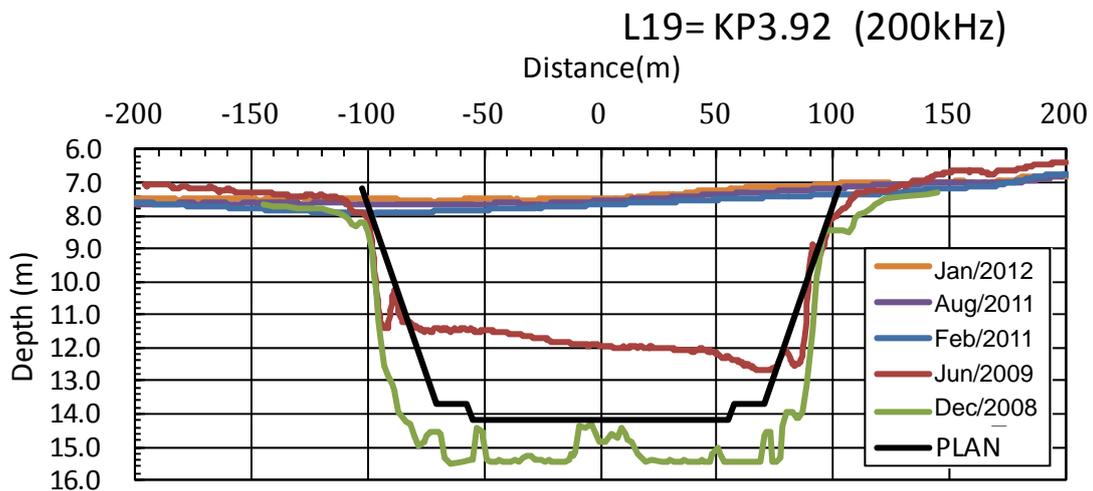
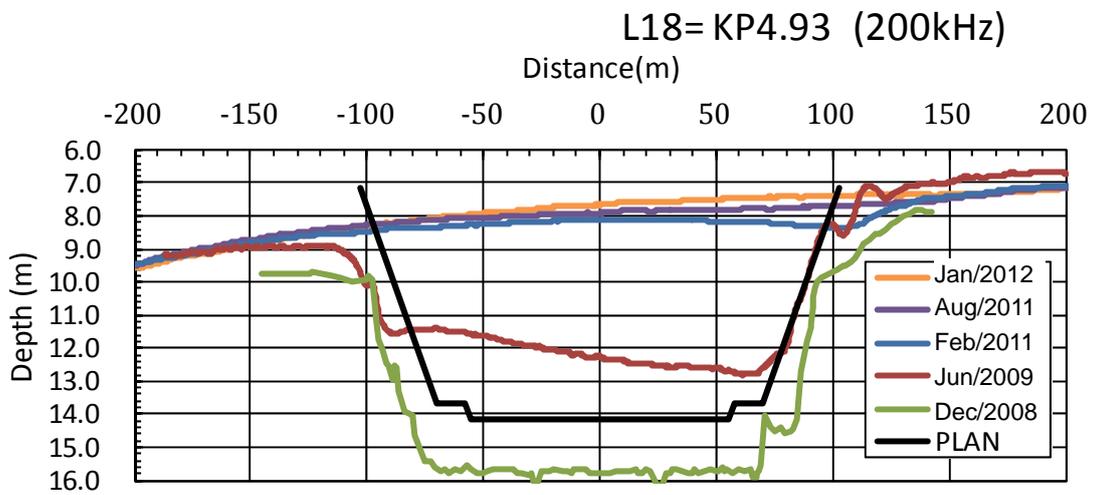
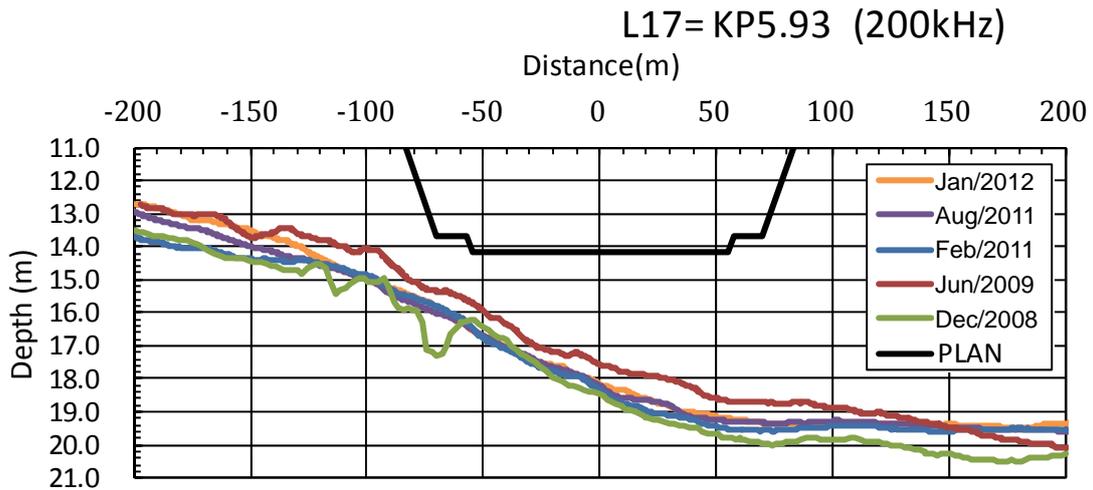


図 3.8 内港航路の横断面形状(L17, L18, L19)

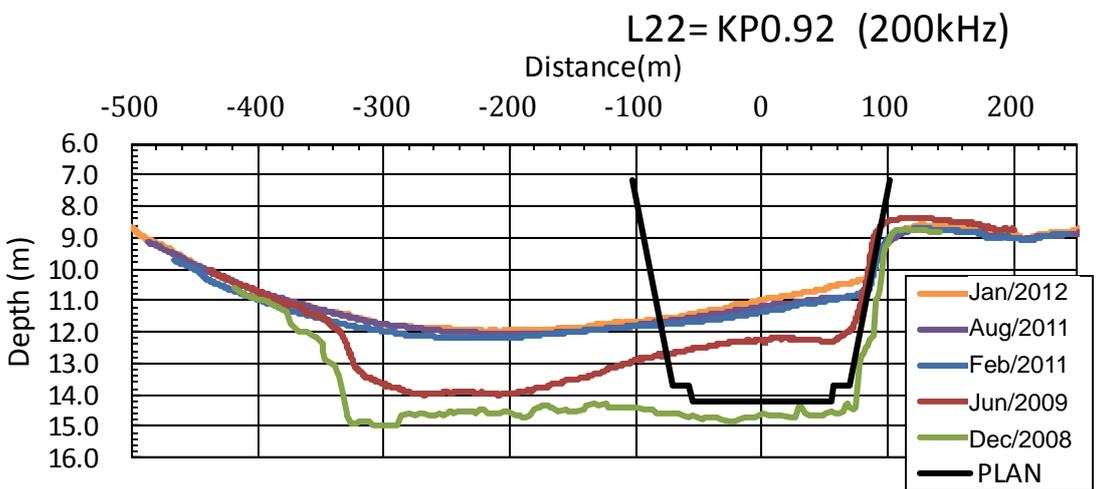
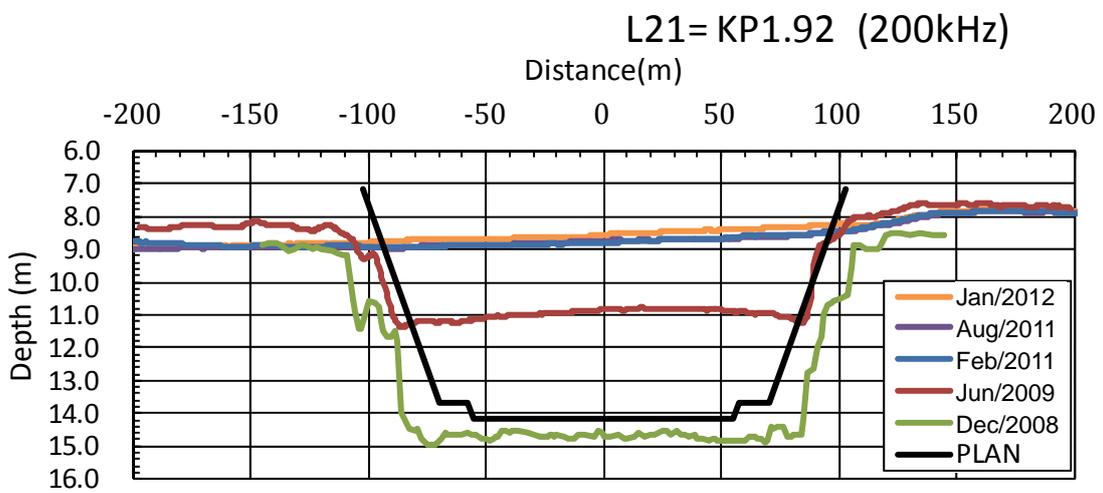
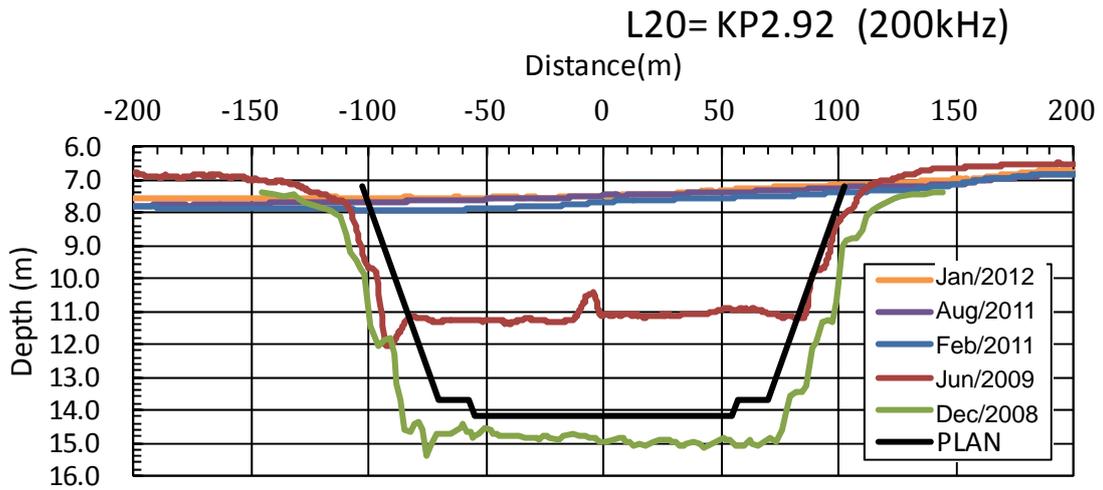


図 3.9 内港航路の横断面形状(L20, L21, L22)

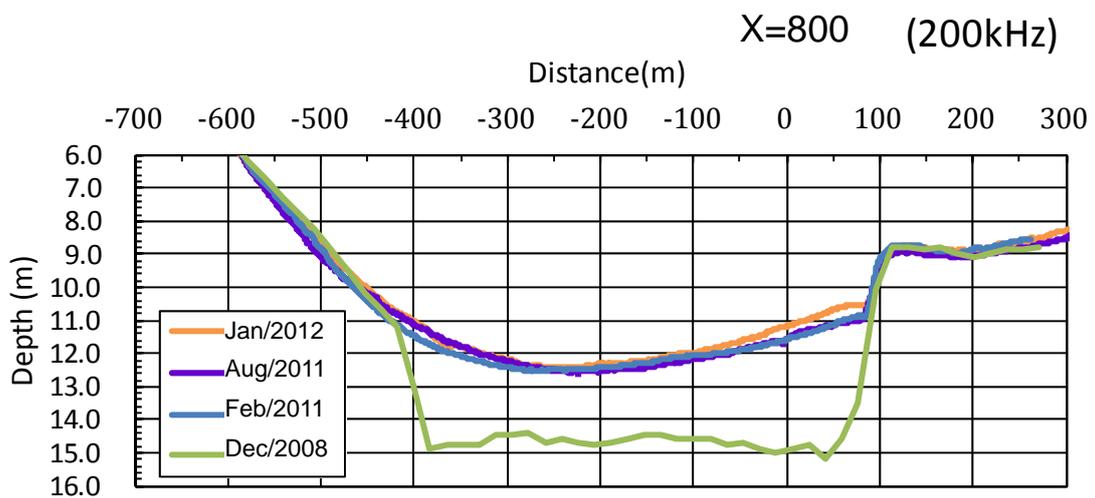
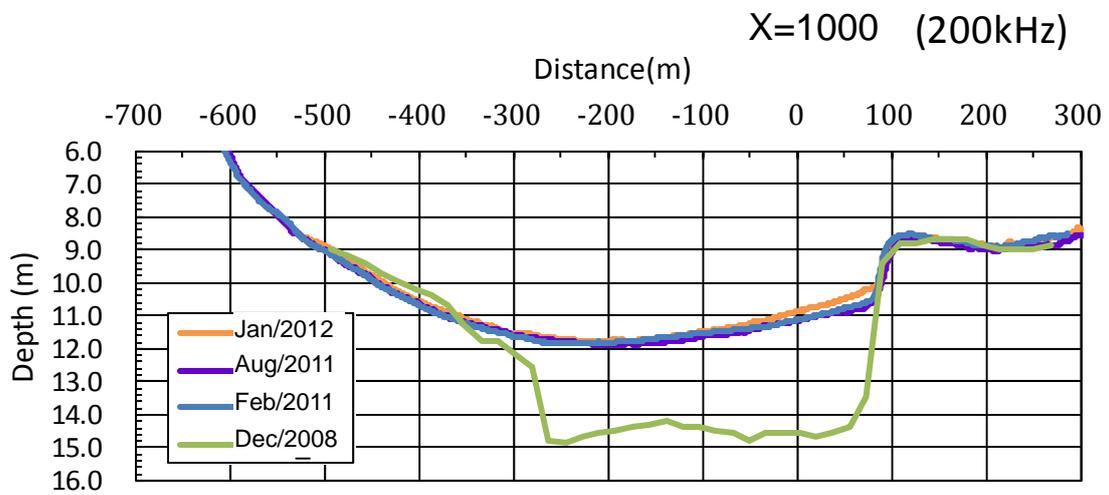
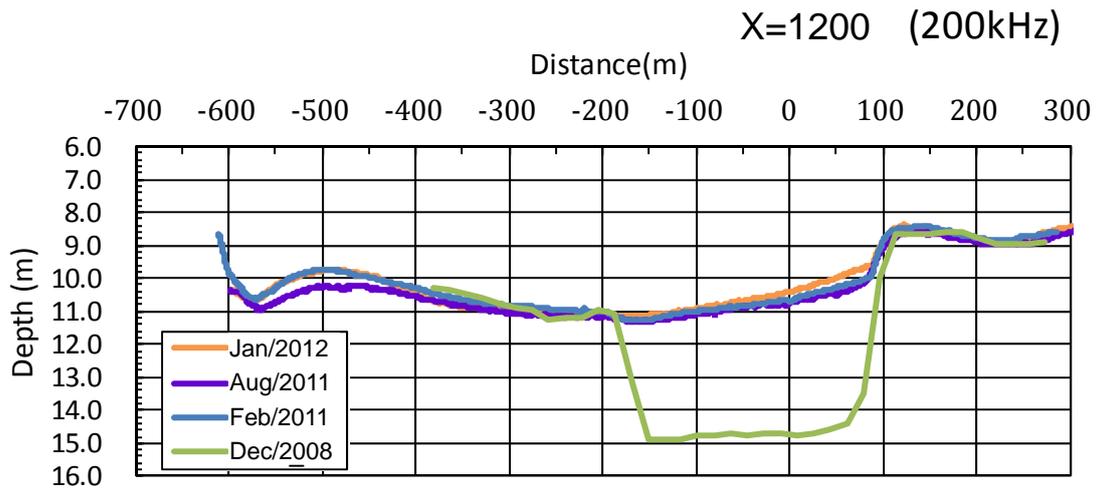


図 3.10 岸壁に直角方向の泊地の断面形状

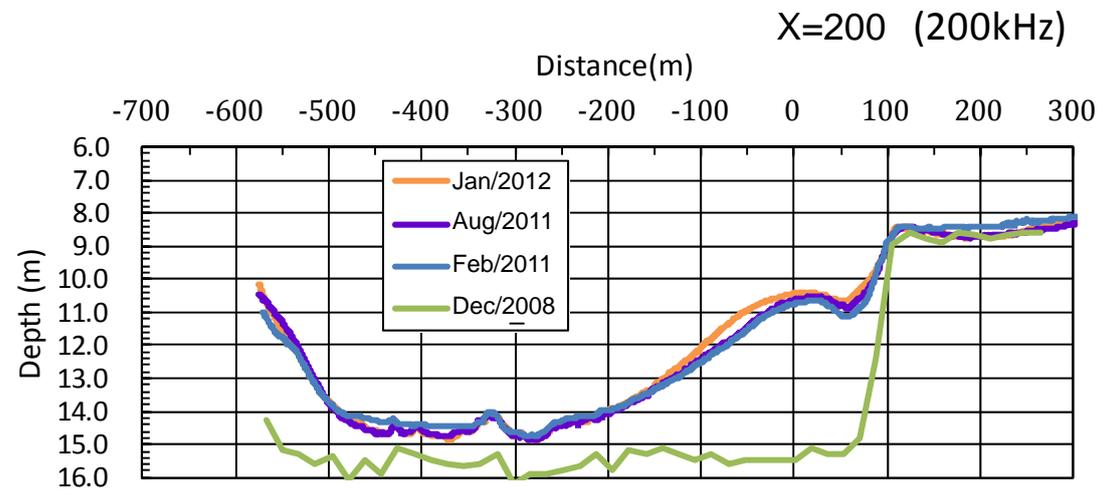
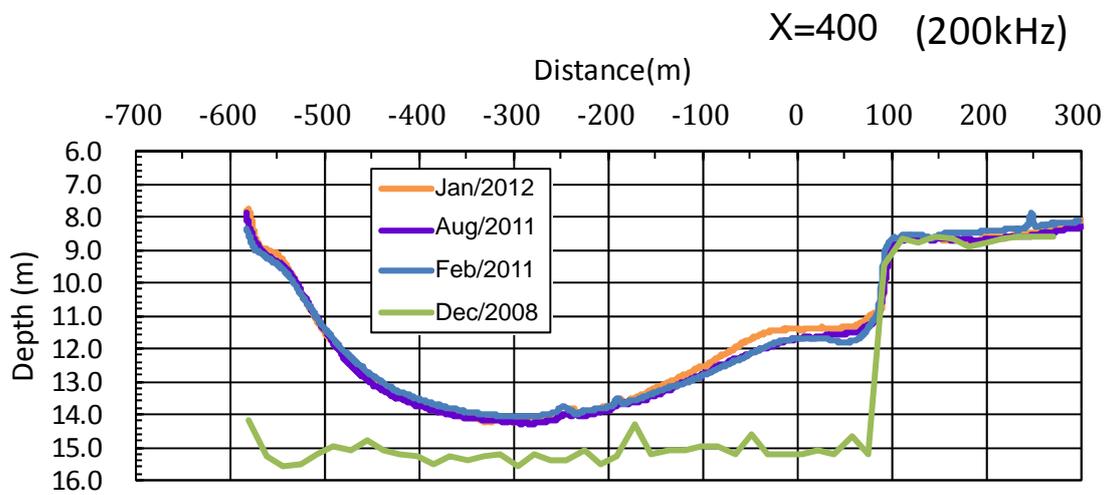
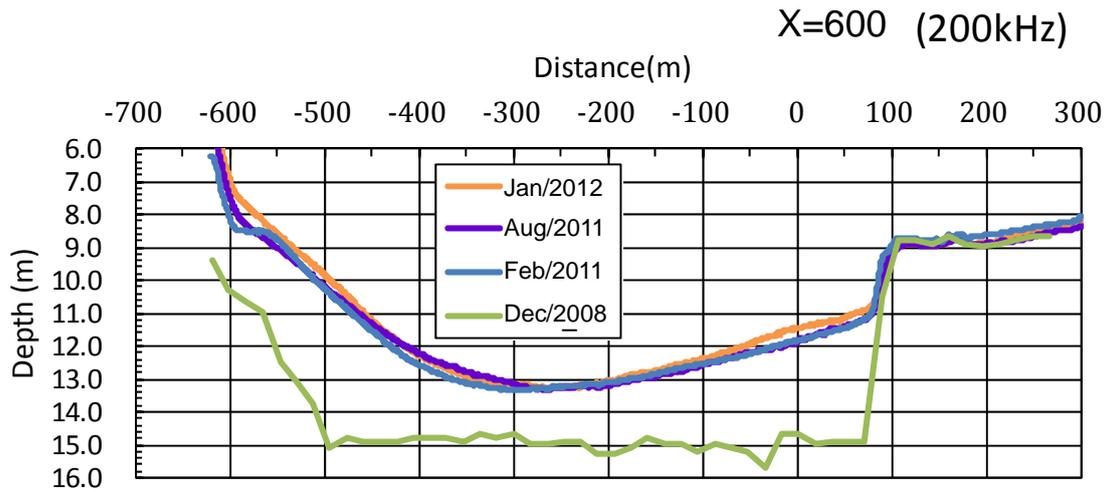


図 3.11 岸壁に直角方向の泊地の断面形状

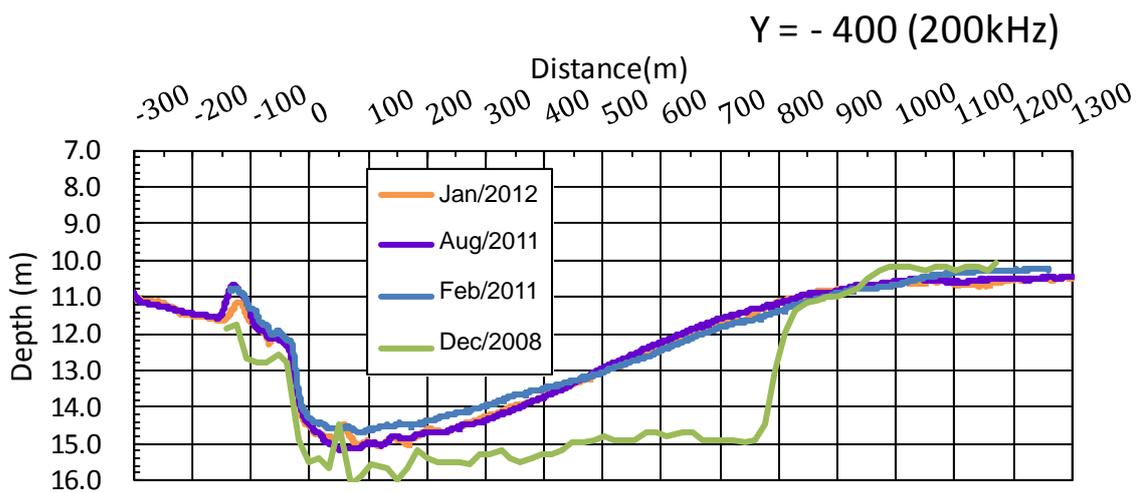
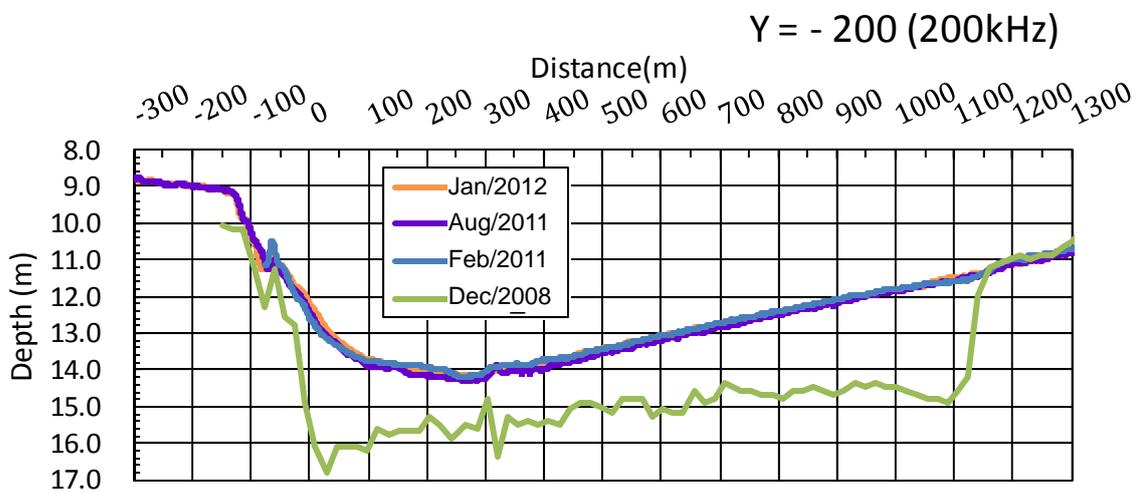
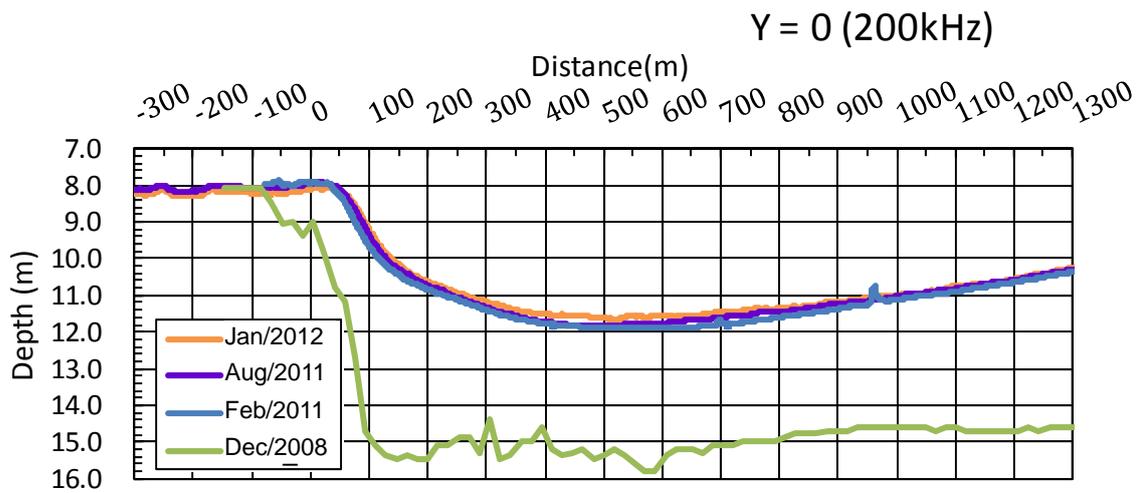


図 3.12 岸壁に平行方向の泊地の断面形状

3.1.4 航路と泊地の平均水深

航路幅（約 140 m）の平均水深を計算した。平均水深の計算結果を表 3.2 から表 3.4 に示す。

図 3.13 は本調査で測量して得られた泊地と航路の平均水深を過去の測量結果（2008 年 8 月、2008 年 12 月、2009 年 6 月）と比較したものである。図 3.14 は図 3.13 を内港航路と泊地の部分について拡大表示したものである。初期浚渫完了時の平均水深も黒丸で示してある。初期浚渫の完了時期は、外港航路が 2008 年 4 月、内港航路が 2008 年 12 月である。

外港航路においては、2009 年 6 月以降の埋没は少なく局所的には KP13 や KP14 の地点のように窪んでいる所もある。一方、内港航路の埋没は激しく、KP3 と PK4 の地点の水深は 7.5m まで浅くなっている。泊地では、平均水深は約 12.2 m である。x+200 と x+400 の測線上の平均水深は 12.7 m であるけれども、岸壁直前の平均水深は 9 から 11 m であり、局所的な埋没が生じていることを示している。

第 1 回から第 3 回の現地調査で得られた平均水深はほとんど変化がなく、現状で航路はほとんど埋め戻されてしまっている。

表 3.2 航路と泊地の平均水深（2011年2月）

No	KP (km)	Mean depth Channel (m)	No	KP (km)	Mean depth Channel (m)	No	KP (km)	Mean depth (m)	
								Channel	Basin
L1	21.91	-13.70	L11	11.89	-13.25	L21	1.92	-8.80	-
L2	20.90	-13.03	L12	10.90	-13.54	x+1200	1.20	-10.71	-
L3	19.90	-12.36	L13	9.91	-16.16	x+1000	1.00	-10.93	-11.47
L4	18.91	-11.70	L14	8.90	-22.14	L22	0.92	-11.06	-11.52
L5	17.91	-11.17	L15	7.91	-33.33	x+800	0.80	-11.34	-12.04
L6	16.91	-10.94	L16	6.92	-29.68	x+600	0.60	-11.57	-12.64
L7	15.91	-10.96	L17	5.93	-17.75	x+400	0.40	-11.69	-12.47
L8	14.91	-11.60	L18	4.93	-8.19	x+200	0.20	-10.85	-13.03
L9	13.91	-12.57	L19	3.92	-7.70	x+0	0		
L10	12.91	-12.97	L20	2.92	-7.74				

表 3.3 航路と泊地の平均水深（2011年8月）

No	KP (km)	Mean depth Channel (m)	No	KP (km)	Mean depth Channel (m)	No	KP (km)	Mean depth (m)	
								Channel	Basin
L1	21.91	-13.68	L11	11.89	-12.08	L21	1.92	-8.76	-
L2	20.90	-12.94	L12	10.90	-13.96	x+1200	1.20	-10.72	-
L3	19.90	-12.06	L13	9.91	-16.23	x+1000	1.00	-10.94	-11.51
L4	18.91	-11.54	L14	8.90	-22.42	L22	0.92	-11.02	-11.42
L5	17.91	-11.15	L15	7.91	-33.42	x+800	0.80	-11.23	-11.91
L6	16.91	-10.81	L16	6.92	-29.78	x+600	0.60	-11.39	-12.35
L7	15.91	-10.75	L17	5.93	-18.12	x+400	0.40	-11.63	-12.87
L8	14.91	-11.32	L18	4.93	-7.89	x+200	0.20	-10.78	-13.09
L9	13.91	-12.24	L19	3.92	-7.55	x+0	0		
L10	12.91	-12.54	L20	2.92	-7.50				

表 3.4 航路と泊地の平均水深（2012年1月）

No	KP (km)	Mean depth Channel (m)	No	KP (km)	Mean depth Channel (m)	No	KP (km)	Mean depth (m)	
								Channel	Basin
L1	21.91	-13.77	L11	11.89	-12.38	L21	1.92	-8.55	-
L2	20.90	-13.25	L12	10.90	-13.91	x+1200	1.20	-10.50	-
L3	19.90	-12.38	L13	9.91	-15.92	x+1000	1.00	-11.02	-11.37
L4	18.91	-11.67	L14	8.90	-22.63	L22	0.92	-10.91	-11.52
L5	17.91	-10.81	L15	7.91	-33.35	x+800	0.80	-11.35	-11.90
L6	16.91	-10.38	L16	6.92	-25.08	x+600	0.60	-11.66	-12.00
L7	15.91	-10.14	L17	5.93	-18.08	x+400	0.40	-11.61	-12.79
L8	14.91	-10.92	L18	4.93	-7.67	x+200	0.20	-10.78	-13.16
L9	13.91	-11.96	L19	3.92	-7.44	x+0	0		
L10	12.91	-12.52	L20	2.92	-7.48				

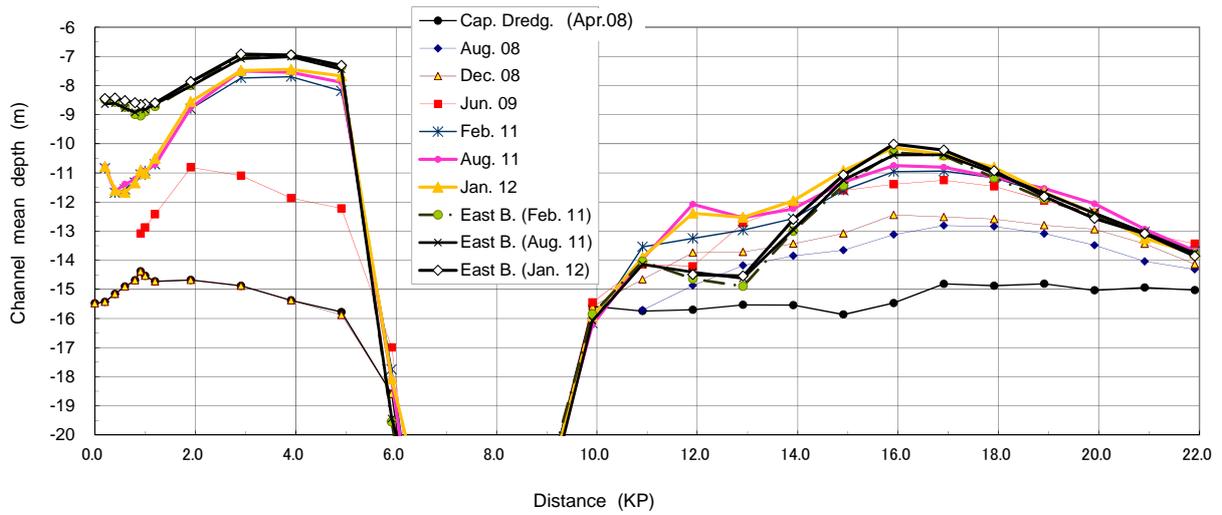


図 3.13 航路の平均水深の変化

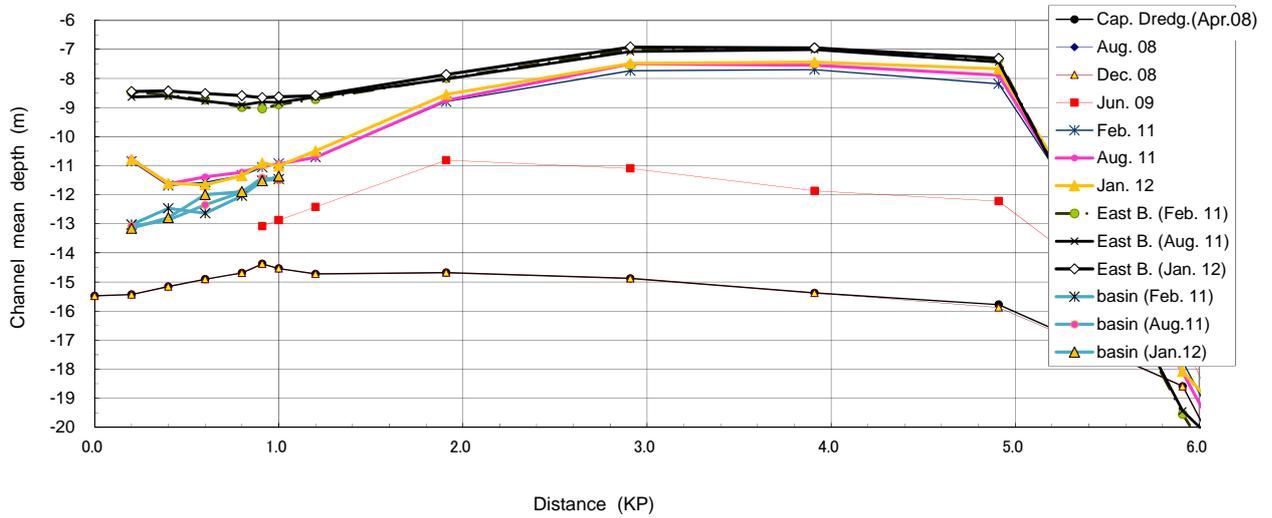


図 3.14 内港航路と泊地の平均水深の変化

3.1.5 超音波周波数 38 kHz と 200 kHz で測定された水深の違い

SAPI 調査時の 2009 年 6 月に実施された 2 周波数の音響測深機による深浅測量結果は、図 3.15 に示すように、38 kHz と 200 kHz で測定された水深に差が認められる。(図 3.15 は SAPI 調査の最終報告書より再掲。)

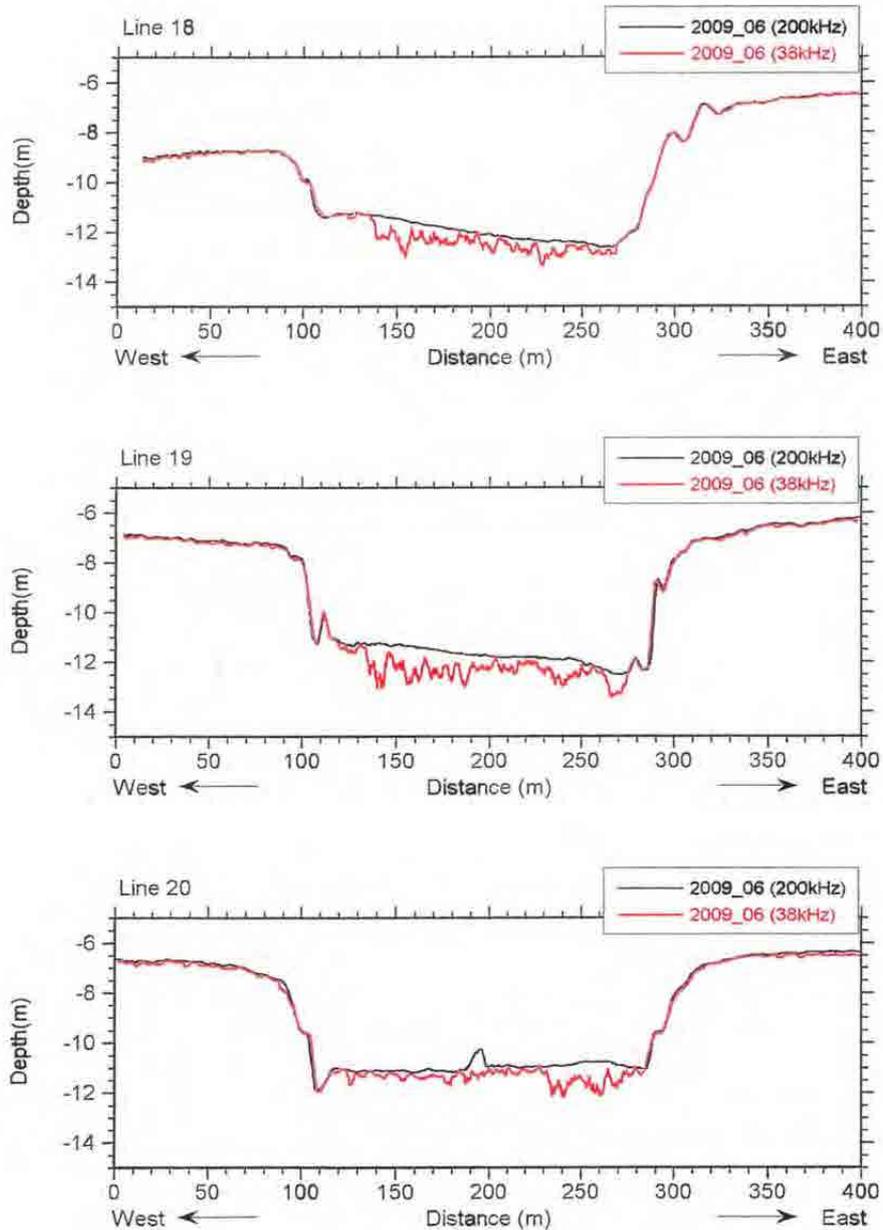


図 3.15 38kHz と 200 kHz の音響測深による L18 から L20 の航路横断面形状(SAPI, 2009)

38 kHz の低周波数は 200 kHz の測深結果より大きな水深値を出力する。水深差は場所ごとに変化し、その範囲は 0~1.2 m である (表 3.5 参照、SAPI 調査の最終報告書より抜粋)。この水深差は、2008 年 12 月末の初期浚渫以降にまだ圧密していない浮泥層の目安になる。

表 3.5 各測線での浮泥厚の範囲の概略値 (SAPI, 2009)

Line No.	Thickness (m)	Presence	Line No.	Thickness (m)	Presence
01	0.0	none	12	0.05 – 0.1	140 m
02	0.0	none	13	0.05 – 0.1	20 m
03	0.1 – 0.2	90 m	14	0.05 – 0.2	20 m
04	0.1 – 0.3	80 m	15	0.0	none
05	0.1 – 0.3	40 m	16	0.0	none
06	0.1 – 0.4	80 m	17	0.0	none
07	0.1 – 0.8	100 m	18	0.1 – 1.0	130 m
08	0.1 – 0.4	60 m	19	0.1 – 1.2	160 m
09	0.1 – 0.3	30 m	20	0.1 – 1.0	160 m
10	0.1 – 0.2	40 m	21	0.1 – 1.2	110 m
11	0.1 – 0.2	30 m	22	0.0	none

低周波数と高周波数の音響測深による浮泥層の測定にはまだ多くの議論があり、定量性に関する結論はまだ出ていない。鉛直方向の底泥採取が第1次現地調査時に実施されており、その結果は、浮泥層の密度は 1.05 g/cm^3 あたりであることを示す。SAPI 調査及び本調査における調査団の経験から判断すると、38 kHz の超音波は 1.05 g/cm^3 付近を検出し、200 kHz の超音波は 1.03 g/cm^3 付近（泥粒子を一部含み、海水密度より少し大きい密度）を検出する。

維持浚渫が実施される時、埋没過程もすぐに生じる。埋没の初期段階では、38 kHz と 200 kHz の測量結果に差が認められるであろう。

3.2 底泥の特性

3.2.1 底泥採取位置と採取方法

第1次調査において、表 3.6 に示す5地点で採泥調査が実施された。A地点とB地点は泊地及び航路の外側に位置し、C、D及びE地点は泊地及び航路の中に位置する。地点の位置は図 3.16 に示す通りである。

表 3.6 採泥地点

No	KP (km)	y (m)	Approx. depth of mud surface layer (m)		Remarks
			As meas.	Ref. to DL	
A	0.20	+200	-8.7	-8.5	Outside basin
B	2.92	+200	-6.9	-6.7	Outside channel
C	0.20	0	-13.7	-13.5	Inside basin
D	2.92	0	-7.8	-7.6	Inside channel
E	15.91	0	-11.6	-11.4	Inside channel

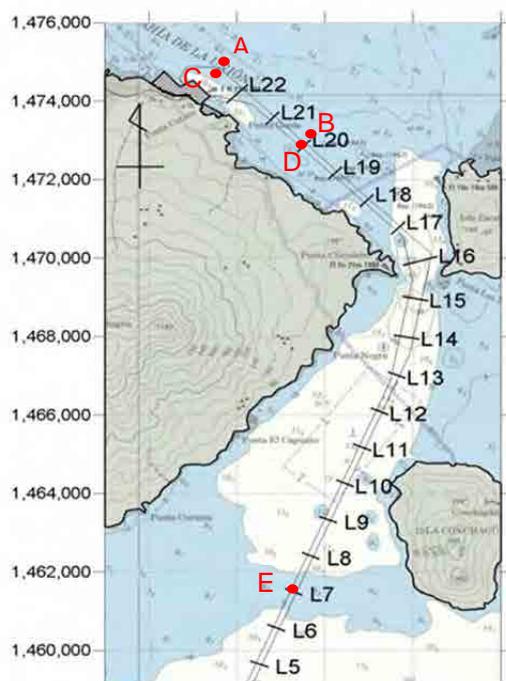


図 3.16 採泥地点の位置図

各地点で、2名の潜水士により、1.5 mの透明塩ビパイプと0.5 mの塩ビパイプを底泥の層に鉛直に挿入し、底泥を採取した。パイプの内径は50 mmである。短いパイプは全長を底泥に貫入し、一方、長いパイプは1.2 mまで貫入した。各短パイプの上部の高さは、潜水士のコンピュータに記録され、後に基準面に基づく水深に換算した。泥層から引き抜いたパイプは上部と下部にキャップで栓をし、作業船まで運んだ。(図 3.17 参照)。潜水士より報告された水深は、200 kHzで音響測深された水深とほぼ同じであった。そのため、音響測深機で計測された水深は、浮泥層の表層を表すものと判断した。

海底付近の海水の透視度はほぼゼロであった。潜水士の報告では、泥層の表面を目視により確認することは困難であり、泥層の上に座って手で触ることにより泥層の表面を確認したとのことである。

短パイプは浮泥層の表面の採取を狙ったものである。海底付近は透視度がゼロであるため、潜水士は浮泥の表面よりもやや深く貫入させていたようである。長めと短めのパイプは事務所へ運び、デジタルはかりにより中身の泥土込みの重量とパイプのみの重量を計測した。浮泥の湿潤密度は、泥土の重量をパイプの容積で割ることにより算出した。



図 3.17 E 地点の採泥管を持ち上げている様子(a)と採泥管(b)

長いパイプは海底に長さ 1.2 m まで貫入したものであり、泥層の 0.3 m 上を残した。場所によっては、固い泥土の大きな抵抗のため 0.9 m 程度までしか貫入できない場所もあった。船上にて、パイプを 0.3 m 毎に切断した (図 3.18 参照)。一番上部のパイプの断片は海水のみであり、2 番目の断片は大体水中に分散した泥土を含むものであった。長いパイプを作業船上に運んだ後、泥粒子の沈降過程が始まり、数分で海水と浮泥の境界面が明瞭となった。その境界面の高さを測り、浮泥表層の高さとして評価した。



(a) Cutting off the 0th and 1st sections.



(b) Splitting the 2nd and 3rd sections.



(c) Splitting the 3rd and 4th sections.

図 3.18 採泥管を 0.3 m 毎に切断している状況

3.2.2 泥土の状況と泥土層密度の鉛直分布

各切断パイプの中身の泥土は、湿潤密度を測定した後、密封用袋（ジップロック）に密封し、日本に郵送した。長い塩ビ管から得られた底泥は 40 サンプルである。各サンプルの重さは約 1 kg であった。密封用袋に入れた底泥サンプルの写真を、図 3.19 に示す。

図 3.19 (a)に示すように、底泥の湿潤密度が 1.1 g/cm^3 以下の場合、泥土は液体状となっている。密度が増加するにつれ、泥土は塑性を増し軟らかい粘土のようになる。底泥サンプルの一つは、塩ビパイプから密封用袋へ移された時、しばらくは円筒状の形状を維持していた。湿潤密度が 1.2 g/cm^3 を超えると、底泥サンプルは図 3.19 (d)に示すように粘土の塊のようになる。

図 3.20 と図 3.21 は、泥土層の湿潤密度を海底面下の採取層の深さに対してプロットしたものであり、航路外側と内側のものに分けて表示した。湿潤密度の変化傾向を示すため、線形回帰直線を各採取地点に対して表示した。航路外側の泥土は、長年乱されない状態にあり、自重及び波圧や潮流のせん断力などの荷重による圧密が進んでいる。図 3.20 に示すように海底面からの深さに伴って湿潤密度が急激に増大しているのは、泥土が十分圧密した状態にあることを示す根拠の一つである。泥土の湿潤密度の計測結果は散らばりが見られるが、回帰直線が示す密度変化の傾向は、海底面下 0.7 m の深さで 1.4 g/cm^3 を超えるものであった。



(a) D 地点の底泥サンプル
(2 層目)



(b) D 地点の底泥サンプル
(4 層目)



(c) B 地点の底泥サンプル
(2 層目)



(d) B 地点の底泥サンプル
(4 層目)

図 3.19 底泥サンプルの写真とその密度

航路外側の泥土の湿潤密度と比較すると、図 3.21 に示すように、航路内に堆積している泥土の密度は低く、深さに対する密度の増加も緩やかである。

KP2.9 の D 地点は、図 3.14 に示すように、浚渫後に約 7 m の堆積が生じている場所である。この泥土の層は 2 年かけて堆積したものであるが、いまだ圧密の進行過程にあるようである。航行可能な限界の密度 (1.2 g/cm^3) の深さは、海底面から 2 m 近くあったものと考えられる。

KP0.20 の C 地点の堆積厚は、図 3.14 より約 4.5 m である。KP15.91 の E 地点の堆積厚もまた約 4.5 m であるが、2009 年 6 月以降の堆積は 0.5 m に過ぎない。D 地点に比較して、C 地点や E 地点の堆積層厚は小さくなっており、このことは、D 地点より C 地点や E 地点の湿潤密度が大きくなっている理由かもしれない。

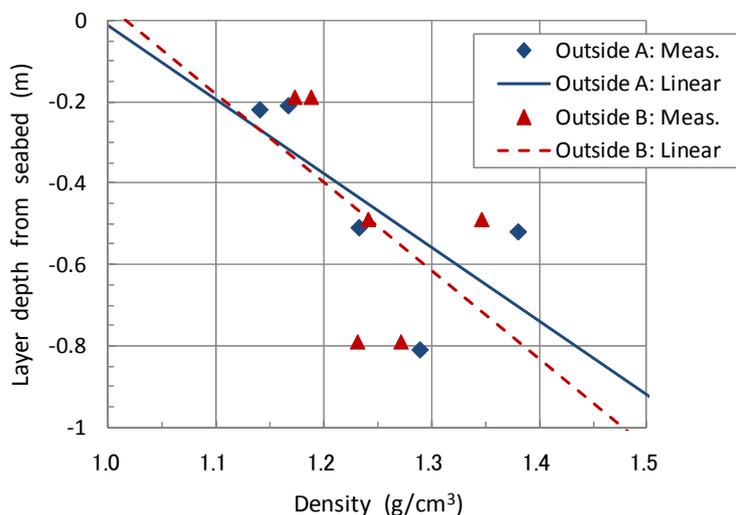


図 3.20 航路外側の底泥湿潤密度の鉛直分布

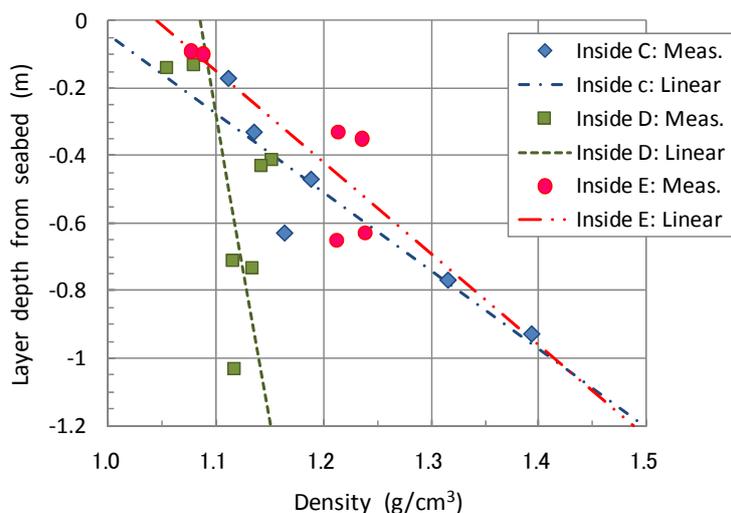


図 3.21 航路内側の底泥湿潤密度の鉛直分布

3.2.3 採取泥の物理的特性

採泥された 40 サンプルは日本へ輸送し、(株) 応用地質に詳細な土質試験を委託した。湿潤密度と含水比は、全サンプルについて試験をおこない、その他の土質特性については、泥の特性は深さによる違いはないと考えられるため、各採取地点の鉛直層のサンプルを混ぜ合わせたものを用いて分析した。

湿潤密度(ρ_t)は、含水比と式(3.1)に示すような関係を理論的に満足する。

$$w = \frac{1 - \rho_t / \rho_s}{\rho_t / \rho_w - 1} \times 100\% \quad (3.1)$$

ここで、 ρ_w と ρ_s はそれぞれ、水と底質の密度である。図 3.22 は、測定データと理論値を比較したものであり、ここで、水の密度は $\rho_w = 1.00 \text{ g/cm}^3$ 、底質密度は $\rho_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$ としている。

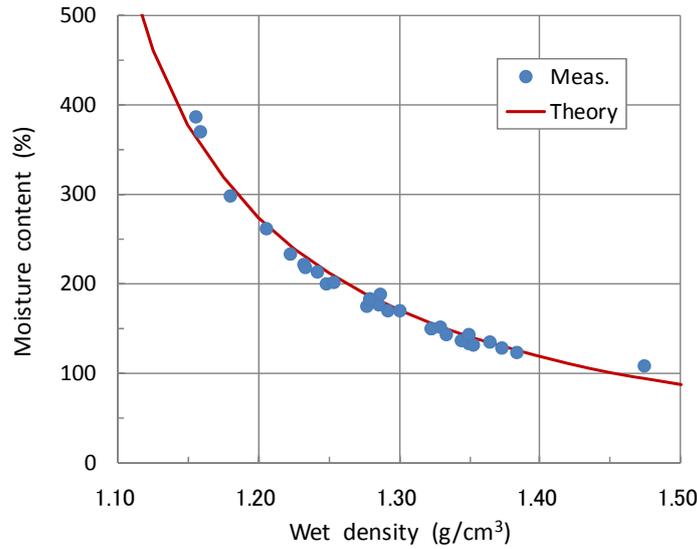


図 3.22 底泥サンプルの含水比と湿潤密度の関係

東京の実験室にて試験された湿潤密度はラウニオンにて測定された湿潤密度より 0.1 g/cm^3 程度大きかった点についてコメントする。底泥サンプルは、ジップロックに密封し、それをプラスチックボトルに入れて郵送した。にもかかわらず、ラウニオンで密封してから東京で開封する2か月間の間に、少しずつ水分が蒸発し湿潤密度が増加したものと考えられる。このことから、図 3.20 と図 3.21 には、海底から採取した直後に計測された湿潤密度を用いて表示し、これを現場の密度を表すものとした。

鉛直方向で混合したサンプルの土質特性の試験結果を表 3.7 に示す。これらの5つのサンプルは海底の表層下 1.0 m の泥土を代表するものであるため、SAPI 調査の分析結果よりも粘土分が多く含まれていた。D 地点のサンプルは、底質粒径が他の地点よりもかなり細かく、塑性指数が大きかった。これは、航路内外の水深差が大きい場所であったことから急激な浮泥の流入が生じたことを示しているのかもしれない。

表 3.7 採取地点の土質特性

Sampling site	Soil grain density ρ_s (g/cm³)	Median diameter d_{50} (mm)	75% upper diameter d_{75} (mm)	Liquid limit w_L (%)	Plastic limit w_L (%)	Plasticity index I_P	Organic content C_0 (%)	Ignition loss L_i (%)
A	2.640	0.002	0.014	111.6	33.9	77.7	4.69	13.4
B	2.648	0.006	0.042	103.7	34.0	69.7	5.20	12.9
C	2.672	0.003	0.040	105.7	33.0	72.7	4.39	13.2
D	2.626	0.001	0.008	132.4	39.0	93.4	5.14	15.1
E	2.636	0.005	0.028	113.3	34.3	79.0	4.78	14.0

3.2.4 圧密過程に伴う底泥密度変化の数値予測

(1) 底泥の圧密予測の方法

泊地や航路に堆積する浮泥は、泥土の粒子と海水の混合物である。その初期密度はおよそ 1.05

から 1.10 g/cm^3 の間である。時間が経過すると、泥土の粒子は凝集し、3D スケルトン構造を構成する。個々の泥粒子の重量は、スケルトンへの加重として作用し、スケルトンからの水を排水する。スケルトンは収縮し、浮泥の湿潤密度は増大する。これが、泥土圧密の初期段階で生じる現象である。

泥土の圧密における主要パラメータは圧縮率と透水性である。それらは、泥土の沈降試験と低圧圧密試験より調べた。前者は、径 0.2 m 、高さ 2 m の沈降管を用い、含水比が 1000 から 3000 % 泥土と水の混合物を沈降管に注入した。注入直後から泥土粒子は沈降を開始し、水と浮泥の境界面が現れる。その境界面は時間経過とともに低下するので、境界面の沈降を一定期間追跡した。A から E の 5 地点で採取された底泥サンプルについて、60 日間の沈降試験を行った。沈降管の底に堆積した泥土は、その後低圧力圧密試験に用いた。これらの試験を通して、圧縮性と透水性のパラメータを評価した。5 地点のサンプルから得られたパラメータは類似の値を示したため、これらの平均値を圧密解析に適用するものとした。

泥土の圧密過程の計算は、鉛直 1 次元の圧密方程式を解くことである。圧密過程における荷重は泥層の重量のみとし、波圧のような外部荷重は考慮しない。圧密過程の数値計算は、小林ソフトテック（有）の小林博士により実施された。

圧密過程の計算は、泥土層を継続的に増やすことにより堆積速度が減少していく状況を計算した。新しく堆積した泥土は、圧密によりその高さが減少し、連続的な埋没により堆積速度が増大する。その増大率は、試行錯誤により設定した。泥土の圧密過程は、180 ステップの計算を行った。最初のステップの間は、一つの泥土層を対象とし、第 2 回目の計算ステップでは、最初の層の上に 2 回目の泥土層を加える。このプロセスを 180 回繰り返し、180 層の厚さと密度を計算した。180 層の計算結果を 10 層に整理した。各層は 18 ステップの平均値をそれぞれの深さについて表した。

泥土の圧密の数値計算は 2 種類の計算を行っている。一つは、表 3.6 や図 3.16 の D 地点や E 地点で生じた埋没過程の再現するものであり、圧密予測のキャリブレーションを目的とした。もう一つは維持浚渫後 12 ヶ月間の埋没過程を予測するものである。航路内外の水深差を実際にありうる範囲の 3.0 m から 7.5 m の間で 4 段階設定し、計算を行った。計算結果について、以下の節で述べる。

(2) 現場データを用いた圧密解析のキャリブレーション

表 3.6 や図 3.16 に示す D 地点は、距離 KP2.92 (L20) に位置する。海底面近くの底泥の湿潤密度の鉛直分布を図 3.21 に示す。圧密解析のキャリブレーションの対象は、水深の時間変化と密度分布である。

D 地点において、初期浚渫が完了した 2008 年 12 月における航路内外の水深差は 7.8 m であった。測量結果によると、埋没速度は 2009 年 6 月初旬では $v = 0.87 \text{ m/月}$ であり、2011 年 2 月初旬では $v = 0.25 \text{ m/月}$ であった。E 地点の場合、初期浚渫は 2008 年 4 月末に完了し、その時の水深差は 5.9 m であった。埋没速度は 2009 年 5 月初旬で $v = 0.66 \text{ m/月}$ であり、2011 年 2 月初旬では 0.08 m/月 である。

堆積泥の圧密について、堆積速度は測量結果の埋没速度より大きく設定されている。異なる埋没速度に対する圧密の試行計算を行っており、結果の一部を図 3.23 に示している。

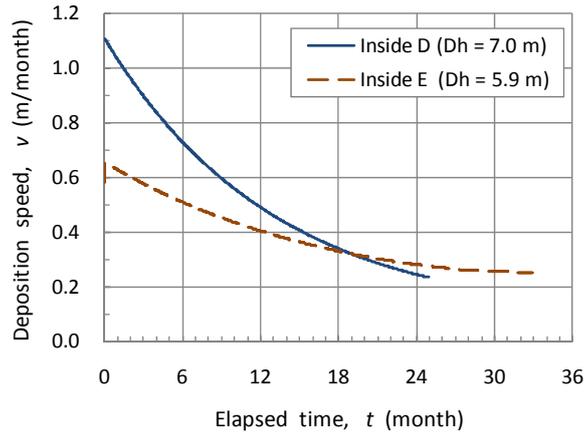
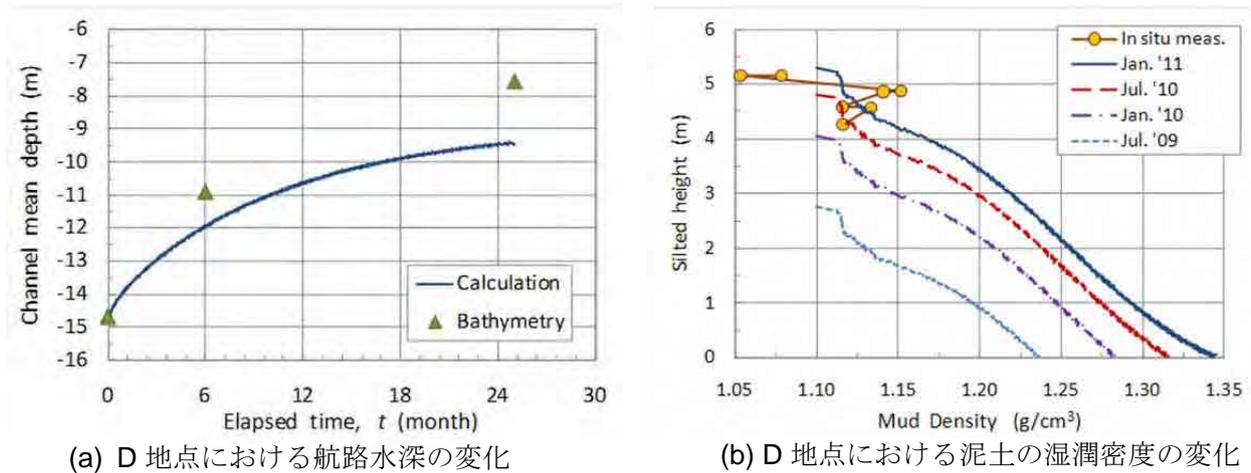


図 3.23 泥土の圧密解析の検証に用いた堆積速度

航路へ流入する浮泥の密度は周辺の海水密度 $\rho_w = 1.025 \text{ g/cm}^3$ に対し $\rho_s = 1.100 \text{ g/cm}^3$ と仮定した。堆積泥の厚さの計算結果は、航路水深の時間変化を計算するために用いる。図 3.24 (a)は、航路平均水深の予測結果と D 地点の測量結果を比較したものである。水深の計算結果は実測水深より深くなっており、D 地点で仮定した浮泥の堆積は実際的水深変化を十分には再現していない。しかしながら、これが試行計算の中で最良のケースであった。計算値と実測値でおよそ 1m の差があるけれども、水深変化の傾向は実測値と類似している。

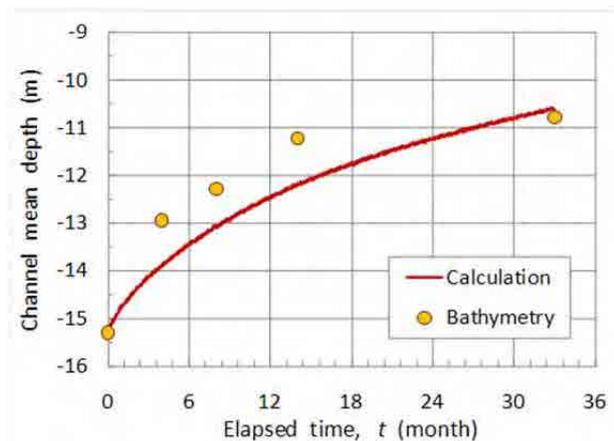
D 地点における湿潤密度の変化の分布を図 3.24 (b)に示す。縦軸は航路底の上に堆積した泥土層の高さである。密度 1.100 g/cm^3 と一致する堆積高さは各日付の全泥層厚を表す。図中に示す泥土の湿潤密度は、堆積高さの各レベルにおける密度である。例えば、航路底から 2.0 m の高さの湿潤密度は 2009 年 7 月で 1.13 g/cm^3 であり、その後 2010 年 1 月に 1.21 g/cm^3 、2010 年 7 月に 1.24 g/cm^3 、2011 年 1 月に 1.26 g/cm^3 へ増加している。時間の経過とともに、泥土の湿潤密度分布は形状を変えず上方にシフトしており、泥層の表面近くの密度分布は同じ値であり、泥層の低い部分で徐々に密度が高くなっていくことを示している。



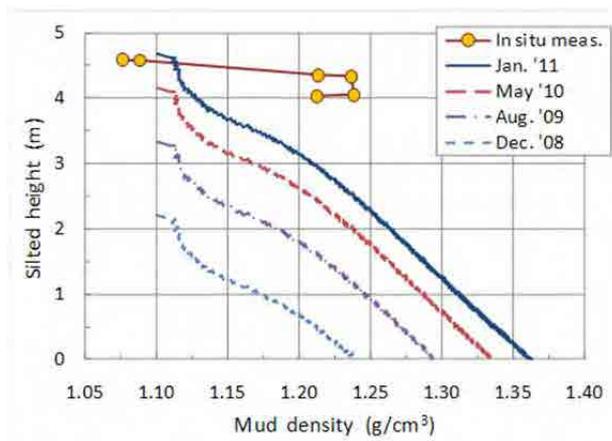
(a) D 地点における航路水深の変化

(b) D 地点における泥土の湿潤密度の変化

図 3.24 D 地点における(a) 航路水深と(b)湿潤密度分布の時間変化



(a) E 地点における航路水深の変化



(b) E 地点における泥土の湿潤密度の変化

図 3.25 E 地点における(a) 航路水深と(b)湿潤密度分布の時間変化

E 地点における圧密過程の計算結果と実測データの比較結果について、図 3.25(a)に航路の平均水深、図 3.25(b)に底泥の湿潤密度分布を示す。図 3.25(a) に示す航路底の上昇の計算結果は埋没開始後 18 か月までは現地データより緩やかであるが、最後の水深は測量結果と同じ値を示している。

図 3.25(b) に示す E 地点の湿潤密度の変化は、図 3.24 (b)に示した D 地点の変化と類似している。しかし、D 地点の堆積期間の 25 か月間に比べ E 地点は 33 か月間で長いため、航路底部の湿潤密度は D 地点よりも若干大きくなっている。現場で計測された海底面近くの 1.2 g/cm^3 より高い湿潤密度は圧密解析では再現されていない。この相違は、外港航路に絶え間なく作用するうねりによる圧力が付加的な荷重となって作用しているためと考えられる。

図 3.24 と図 3.25 に示す結果は現地と計算結果に違いが見られるけれども、この圧密解析は湿潤密度が増大する埋没の過程をかなり明らかにしていると言える。

(3) 維持浚渫後の泥土の堆積と密度変化の予測

(2)節に説明したように、埋没過程の再現性を確認した上で、維持浚渫後の泥土の堆積過程と湿潤密度の変化の予測計算を行った。航路に流入する浮泥の密度を海水密度の 1.025 g/cm^3 に対して、 1.100 g/cm^3 を仮定する。航路内外の水深差を実際にありうる範囲の 3.0m から 7.5m の間で 4 段階設定 ($\Delta h = 3.0, 4.5, 6.0, \text{ and } 7.5 \text{ m}$) し、計算を行った。図 3.26 は、圧密解析により得られた堆積速度を示したものである。

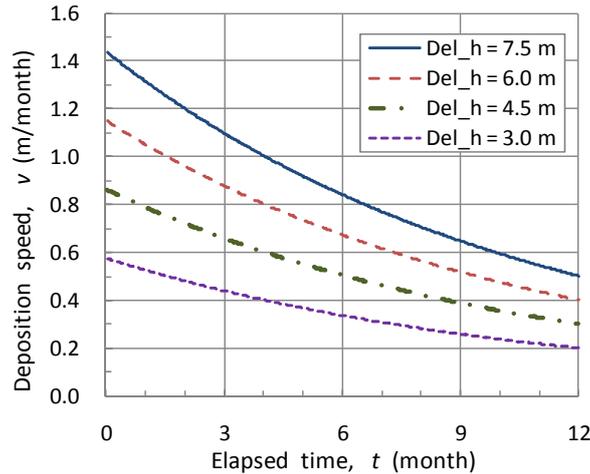
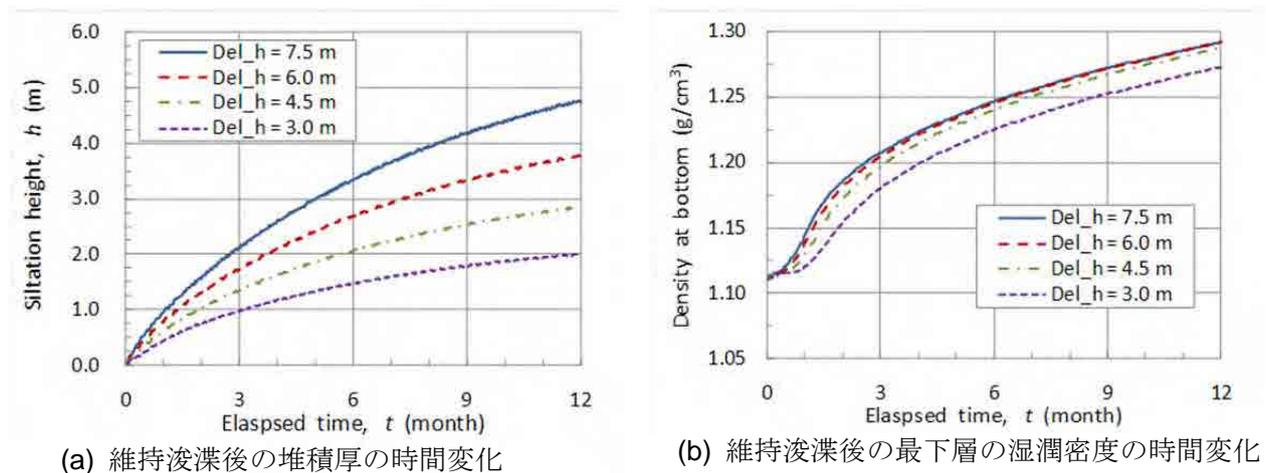


図 3.26 維持浚渫後の泥土の堆積予測に用いた堆積速度

堆積高の予測結果を図 3.27(a)に示す。式 (5.2)によれば、維持浚渫後の堆積高は 12 か月で 2.2, 3.3, 4.4, 5.5 と評価された。ここで初期の航路内外の水深差はそれぞれ、 $\Delta h_0 = 3.0, 4.5, 6.0,$ and 7.5 m である。堆積高の予測値は、若干低い値であるが、湿潤密度の時間変化を考える上では許容範囲とみなせる。

図 3.27(b)に、航路底での湿潤密度の時間変化を示す。湿潤密度の増加は最初の 3 か月間が急速であり、初期の航路内外の水深差による効果は小さい。図 3.28 に、堆積高に対する湿潤密度の増加を示す。これは、図 3.27(a)と(b)のデータを結合して表示したものである。4つの曲線は、初期の水深差の 4 レベルに対応し、4つのマーカーは維持浚渫後 3, 4, 6, 12 か月経過した時点の密度のデータを示す。図 3.27(b)は航行可能水深の限界密度 $\rho_s = 1.20$ g/cm³ に到達するのは 3~4 か月経過後であり、堆積厚は 1 から 2 m の範囲となっている。

湿潤密度分布の時間変化について、初期水深差が $\Delta h = 3.0, 4.5, 6.0, 7.5$ m に対して 図 3.29 と 図 3.30 に示す。密度分布のパターンは、初期の水深差に関係なく、ほぼ同じである。



(a) 維持浚渫後の堆積厚の時間変化

(b) 維持浚渫後の最下層の湿潤密度の時間変化

図 3.27 維持浚渫後の(a) 埋没高さと (b) 最下層の湿潤密度の時間変化の予測結果

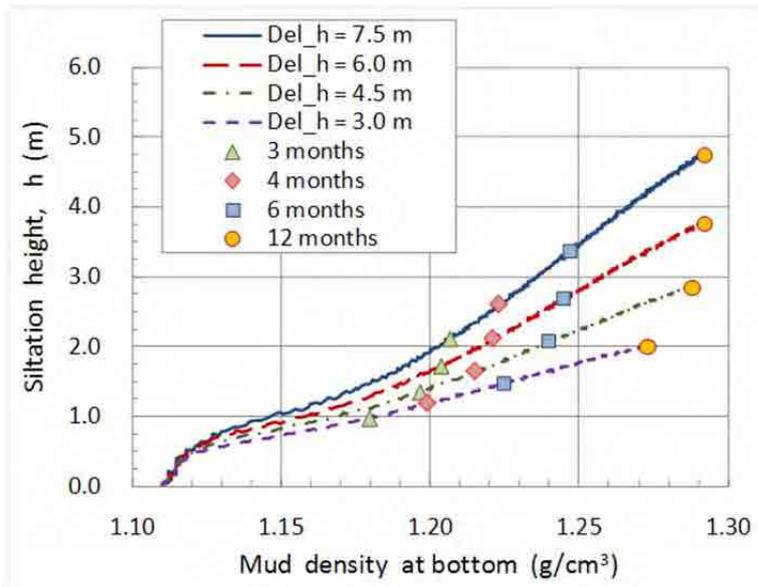
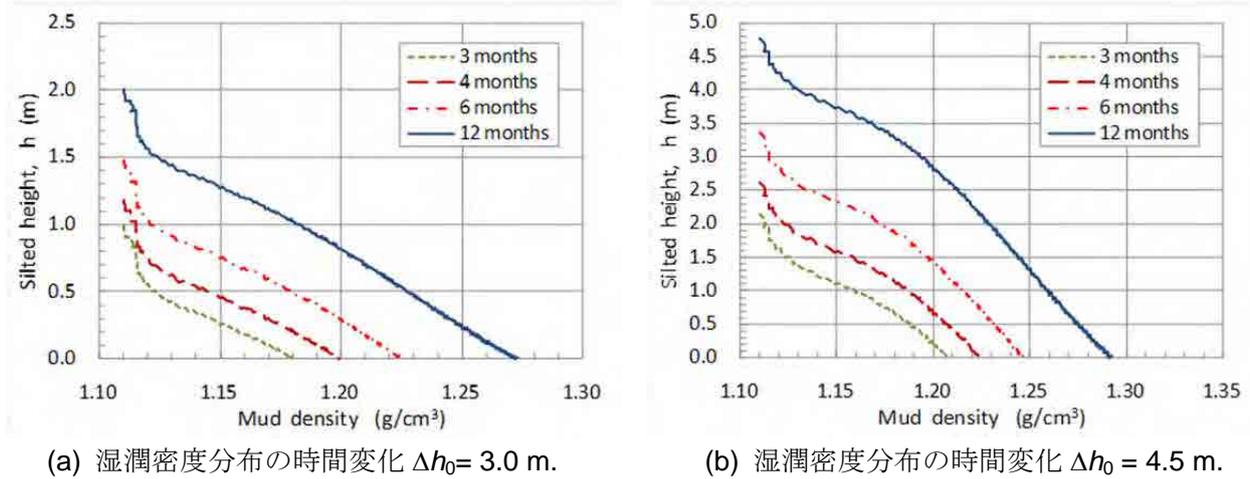


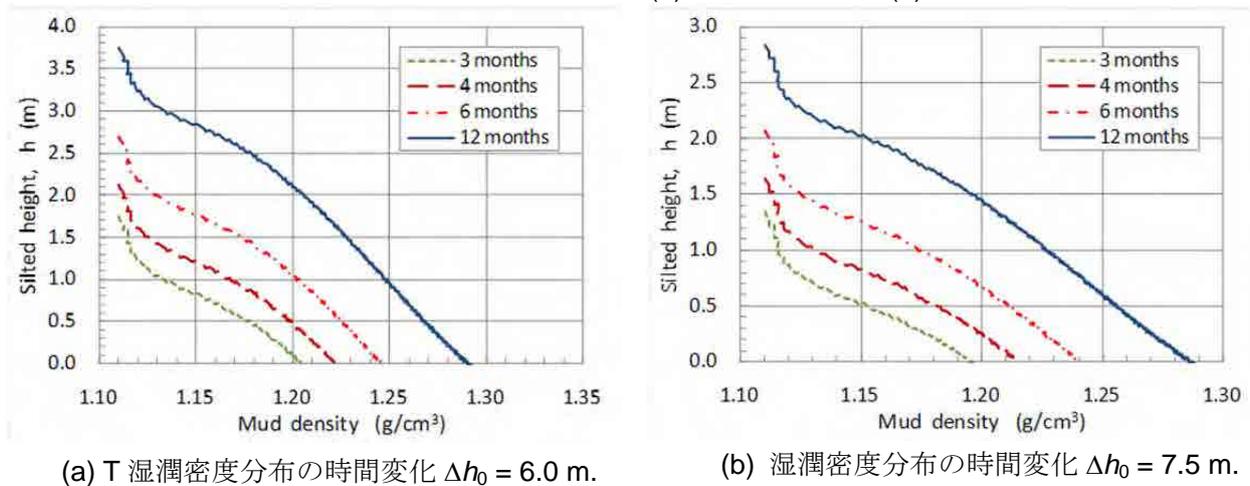
図 3.28 維持浚渫後の泥土の湿潤密度と埋没高さの関係



(a) 湿潤密度分布の時間変化 $\Delta h_0 = 3.0$ m.

(b) 湿潤密度分布の時間変化 $\Delta h_0 = 4.5$ m.

図 3.29 湿潤密度分布の時間変化 (a) $\Delta h = 3.0$ m and (b) $\Delta h = 4.5$ m



(a) T 湿潤密度分布の時間変化 $\Delta h_0 = 6.0$ m.

(b) 湿潤密度分布の時間変化 $\Delta h_0 = 7.5$ m.

図 3.30 湿潤密度分布の時間変化 (a) $\Delta h_0 = 6.0$ m and (b) $\Delta h_0 = 7.5$ m

3.2.5 航行可能水深のための浮泥層厚の評価

泥土の圧密過程解析の主な目的は、航行可能水深を定義する限界密度 $\rho_s = 1.20 \text{ g/cm}^3 = 1,200 \text{ kg/m}^3$ 以下となる浮泥層の厚さを評価することである。

航路の外側では、図 3.20 に示す A 地点と B 地点のデータより、海底面下 0.4 m で湿潤密度が限界密度を超える。内港航路の内側では、図 3.21 に示す C 地点と D 地点のデータより、0.5 m と 1.0 m 以上でそれぞれ限界密度を超える。外港航路の内側では、E 地点より、限界密度の深さ 0.4 m である。

現地の密度データと比較して、圧密解析の予測結果は湿潤密度の増加が緩やかとなっている。図 3.25 (b) に比較結果を一例として示している。この理由の一つは、潮流によるせん断応力や波浪による圧力のような付加荷重を考慮していないためである。

浮泥層厚の評価として、外港航路では波浪による付加荷重が作用することを考慮して 0.5 m に設定するのが安全であろう。内港航路では、圧密過程の解析結果は 2.0 m を示しているが、C 地点の現場データを考慮し、安全側の 1.0 m に設定する。

3.3 現地調査の主要な結果

本章では、測量結果と泥土特性の解析について整理した。調査より得られた主要な結果は以下の通りである。

- 測量調査結果より、内港航路と外港航路の両者とも航路は埋め戻されており、現在の航路水深は航路外側の水深と同じレベルとなっていることが確認された。
- 調査団の現場における経験から、200 kHz の音響測深機は浮泥層の上層を検出すると考えられる。従って、船舶の航行可能な水深は浮泥層により 200 kHz の測深値よりも深くなる。
- 航路内の浮泥層は航路内に比較的長い期間存在することから、この柔らかい泥土の層を考慮して維持浚渫計画を策定することで、維持浚渫土量を軽減できる可能性がある。
- 初期浚渫後約 2 年が経過した時点の底泥サンプルの解析より、湿潤密度が $1,200 \text{ kg/m}^3$ 以下の浮泥層が、外港航路で約 0.5 m、内港航路で約 1.0 m 形成されていることが確認された。

第 4 章 埋没過程の解析と予測モデル

第 4 章 埋没過程の解析と予測モデル

4.1 収集データ

埋没過程の解析のために収集したデータは、深浅図と浚渫記録である。

図 4.1 は泊地、内港航路、外港航路別に、浚渫の期間と深浅測量の実施時期を示したものである。表 4.1 には、浚渫の期間を示した。これらの深浅測量データの中から、浚渫の期間と深浅測量の実施時期を考慮に入れて解析に用いるデータを抽出した。

2013 年 7 月の最新の深浅測量データも部分的に解析に取り入れた。

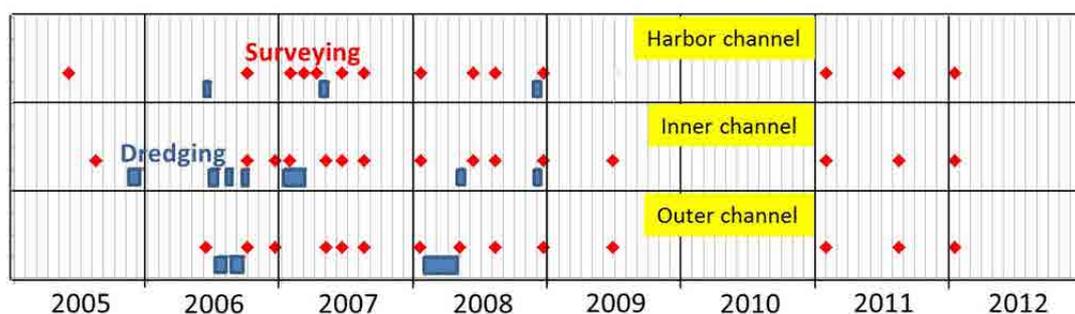


図 4.1 浚渫期間と測量時期

表 4.1 浚渫の実施期間

浚渫の場所	浚渫の期間
泊地	2006 年 6 月 16 日～ 22 日
	2007 年 4 月 25 日～ 5 月 11 日
	2008 年 11 月 25 日～12 月 10 日
内港航路	2005 年 11 月 17 日～12 月 21 日
	2006 年 6 月 22 日～ 7 月 17 日
	2006 年 8 月 13 日～ 22 日
	2006 年 9 月 25 日～10 月 6 日
	2007 年 1 月 12 日～ 3 月 10 日
	2008 年 5 月 5 日～ 15 日
	2008 年 11 月 25 日～12 月 10 日
外港航路	2006 年 7 月 17 日～ 8 月 12 日
	2006 年 8 月 23 日～ 9 月 24 日
	2008 年 1 月 30 日～ 5 月 4 日

4.2 航路の埋没速度と水深差（指数モデル）

図 4.2 航路内外の平均水深の経時変化は航路内外の代表測線（図 4.3 参照）の水深変化を示したものであり、茶色の線は航路内の平均水深、青色の線と緑色の線はそれぞれ内港航路外の西側バンクと東側バンクの水深である。浚渫を行った期間は灰色（内港航路）と黄色（外港航路）の帯で表示した。深浅測量は不規則に繰り返されており、浚渫もまた不規則に繰り返されている。この図より、浚渫後に航路埋没が生じていることが分かる。

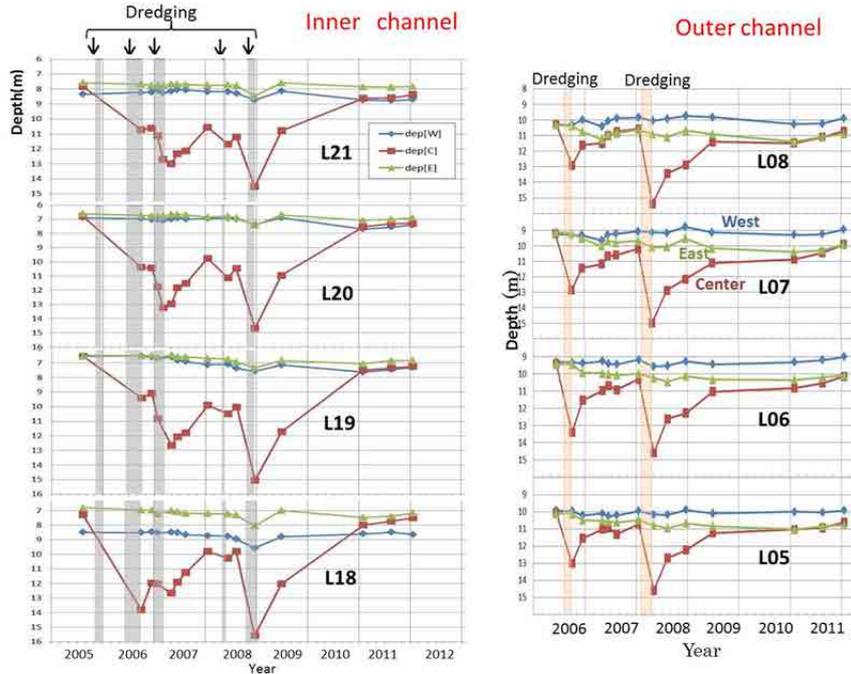


図 4.2 航路内外の平均水深の経時変化

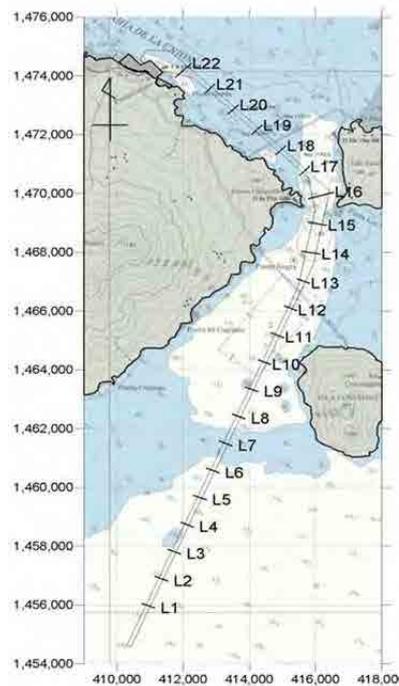


図 4.3 アクセス航路の測線番号

最初の試みとして、最後の航路開削浚渫完了後の深浅データに基づいて、埋没を経験的に予測

するモデルの定式化を行う。外港航路については、2008年4月、8月、12月、2009年6月、2011年2月、8月、2012年1月測定の7回のデータを用いた。一方、内港航路については、2008年12月、2009年6月、2011年2月、8月、2012年1月の5回のデータを用いた。

図 4.4 は、航路内の埋没速度と航路内外の平均水深差 Δh (m)の関係である。各水深の定義を図 4.5 に示した。埋没速度 (単位: m/月) は連続する2つの測量データの水深差をその間の期間で除して求めた。平均水深差 Δh (単位は m) は、航路外の西側サイドと東側サイドの水深を平均値した水深と2つの連続する測量データを平均値した航路内の水深との差である。凡例に“Outer: Dt=4”としてあるのは、航路開削浚渫後4カ月経過していること、すなわち2008年8月を意味している。外港航路は測線 L01~L12 のデータ、内港航路は測線 L18~L21 のデータがプロットされている。

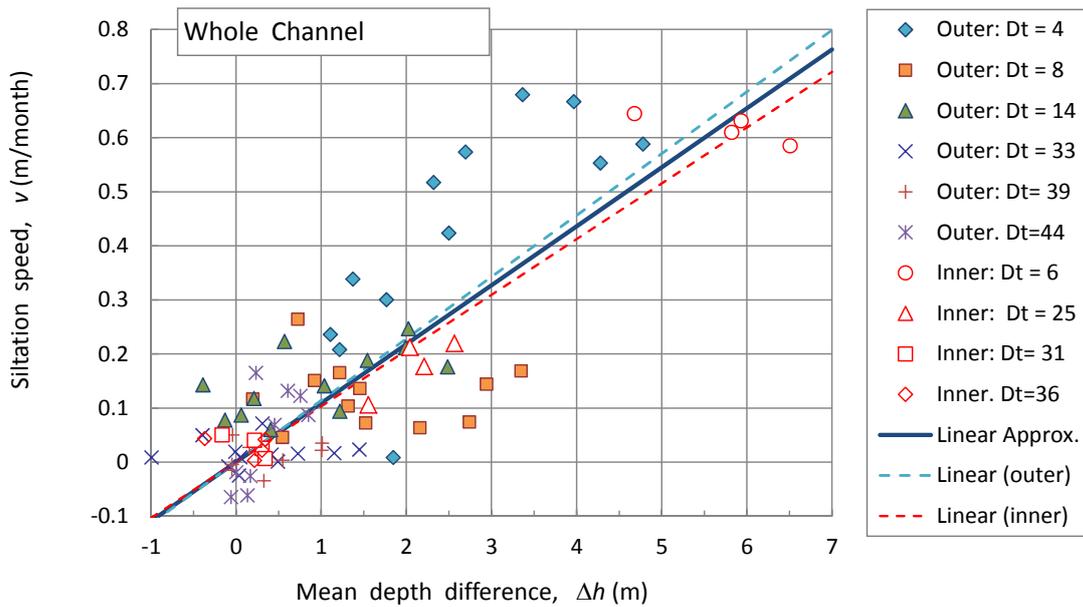


図 4.4 埋没速度と航路内外の水深差の関係

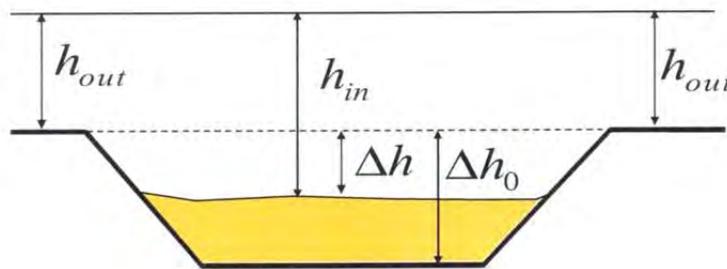


図 4.5 水深の定義

データのばらつきがあるものの、内港航路と外港航路のデータについて暫定的に回帰直線を引くと

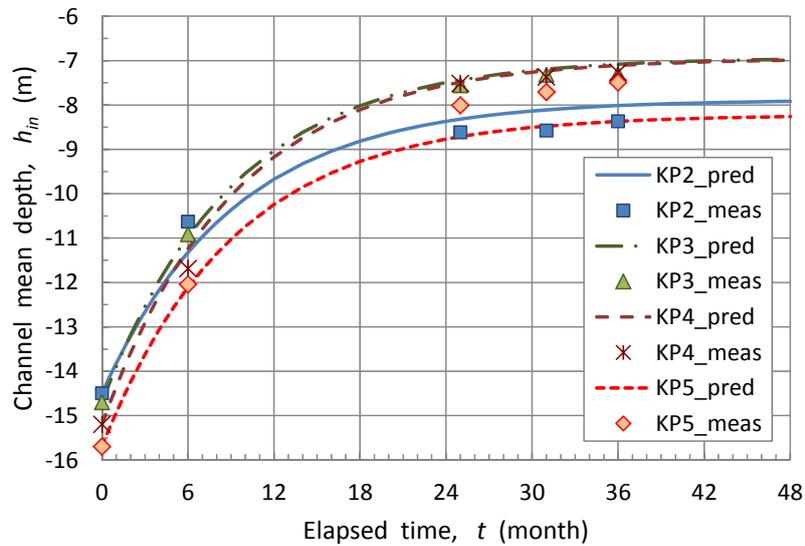
$$v = \frac{d\Delta h}{dt} = -0.109 \Delta h \quad : \Delta h = h_{out} - h_{in} \quad : \text{航路部分} \quad (4.1)$$

となる。このときの回帰係数は $R^2 = 0.6503$ である。経験公式 (4.1)は簡単に積分でき、水深差 h について次式を得る:

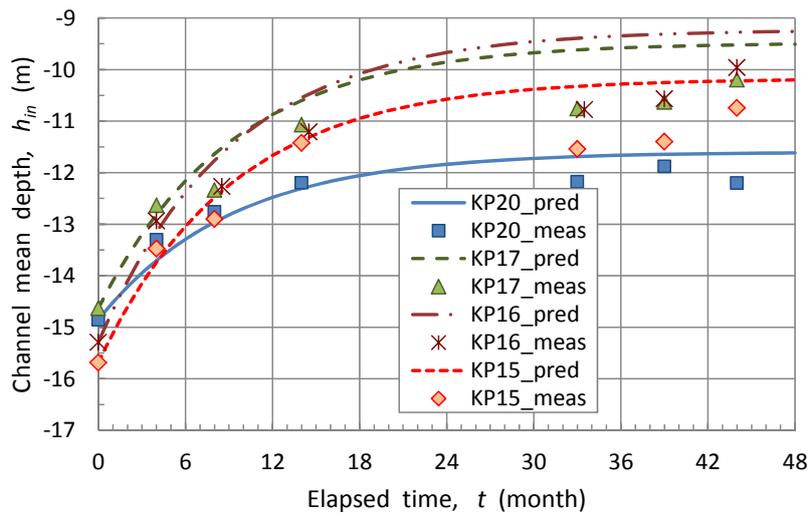
$$\Delta h = \Delta h_0 \exp[-at] \quad (4.2)$$

ここに a はアクセス航路について 0.109 である。この値は、すべての利用可能なデータを用いて決められた。

式(4.2)を用いると、アクセス航路の水深変化が予測できる。図 4.6 は内港航路と外港航路の代表測線について、予測された航路水深と実測水深を比較したものである。予測結果は、実測値と比較的よく一致する。図 4.6 (b)において、外港航路の場合、測線 KP16(L07)と測線 KP17(L06)では実測値に対して予測値が過大評価（予測水深が浅い）になっている。



(a) 内港航路の水深変化の予測値と実測値



(b) 外港航路の水深変化の予測値と実測値

図 4.6 代表測線の予測水深と実測水深の比較

4.3 航路内の埋没過程の解析

第 4.2 節では、埋没を予測する最初のステップとして経験モデル式(4.2)を、指数関数として定式化した（以下にこれを原型指数モデルと称する）。このモデルを改良するために、CEPA はレイキを用いたスポット再浚渫を試みた。しかしながら、原型指数モデルを改良するために必要なデータは依然として得られていない（添付資料 C.3 参照）。

そこで、しかたがないので、現有の深浅図を用いて埋没過程を把握するための解析を行い、モデル改良の可能性を探った。

4.3.1 内港航路の埋没

図 4.7 は測線 L21～L18 の水深変化を示したものであり、茶色の線は航路内の平均水深、青色の線と緑色の線はそれぞれ内港航路外の西側バンクと東側バンクの水深である。浚渫を行った期間は灰色の帯で表示した。これらのデータの中から、各測線について図中に示した A の期間と B の期間のデータを解析対象とした。というのは、これらの 2 期間は浚渫が中断して埋没過程に人工的な要素が含まれていないからである。

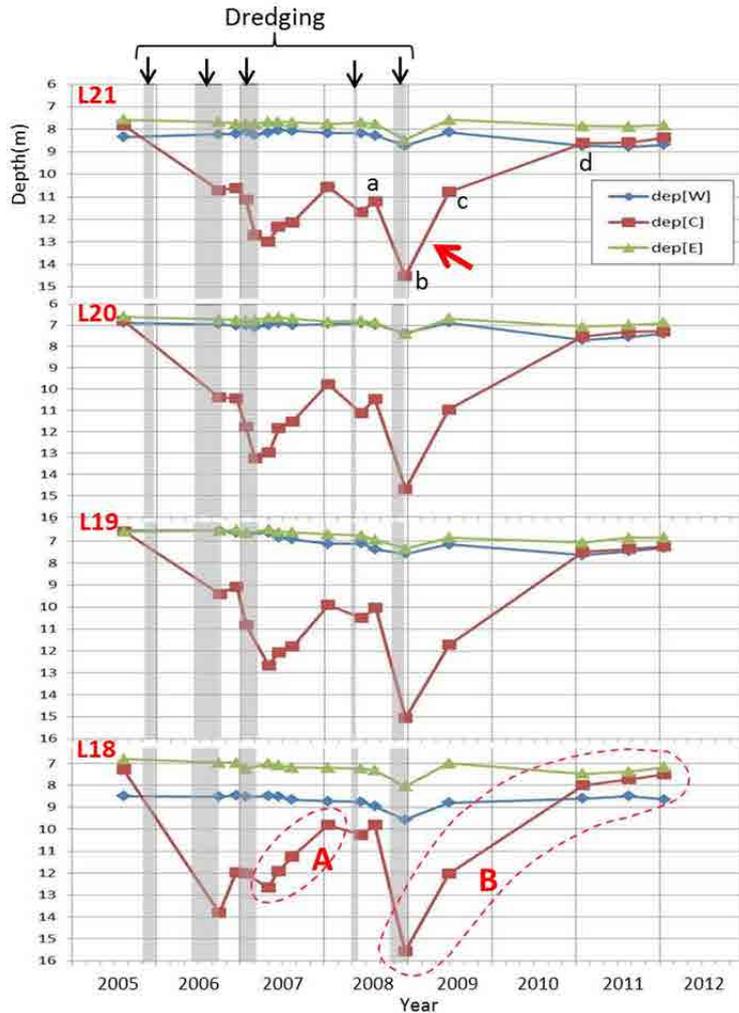


図 4.7 内港航路の測線 L21～L18 の水深変化

図 4.7 で期間 A に注目すると、水深はすべての測線において直線的に変化していることが分

かる。つまり、埋没速度は一定である。一方、期間 B の水深変化は、浚渫直後に相対的に速く、水深が浅くなるにつれて遅くなる。つまり、水深は指数関数的に変化した。期間 B の指数関数的な水深変化は図 4.7 のいずれの測線においても認められる。

期間 B ではなぜ水深が指数関数的に変化するのかについて考察する。図 4.7 中に代表例として測線 L21 に赤い矢印で示したように、浚渫直後の埋没速度は速い。この状況を詳しく調べるために、測線 L21 の 3 つの航路断面を図 4.8 に重ねて示した。これらは浚渫前の断面（2008 年 8 月；図 4.7 中に“a”としている）、浚渫完了直後の断面（2008 年 12 月；同“b”）、浚渫後約 6 ヶ月が経過した時の断面（2009 年 6 月；同“c”）である。

断面“a”（2008 年 8 月）と断面“c”（2009 年 6 月）は非常によく似ている。しかし、断面“b”（2008 年 12 月）はこれらの 2 断面と 2 つの点で異なる。第一の違いは、航路水深であり、それはもちろん浚渫によるものである。第二の違いは、図 4.8 中に破線で囲んだ位置の航路法肩の高さである。浚渫直後（“b”）の航路法肩の高さは、他の断面の法肩より約 60cm 低く、これは明らかに不自然である。

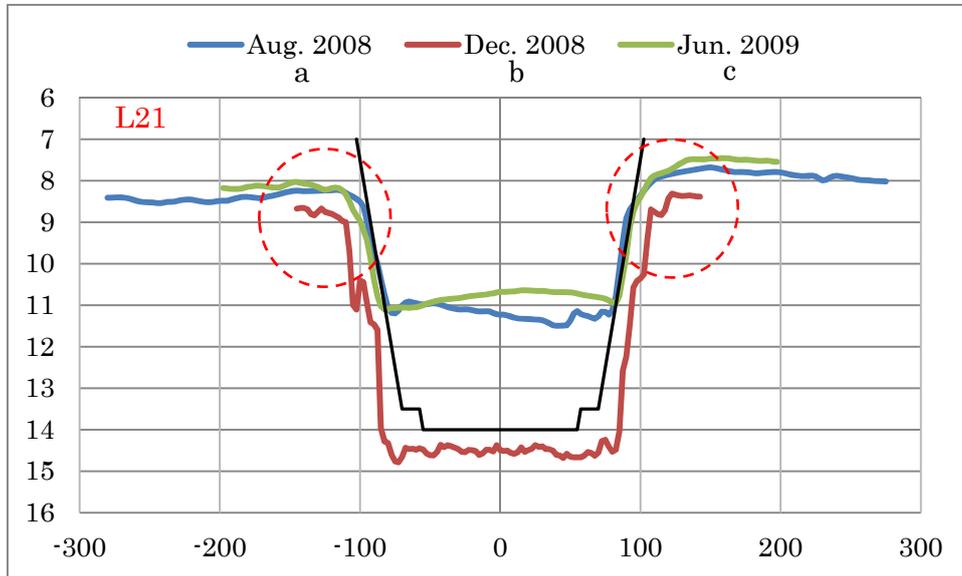


図 4.8 測線 L21 の断面の重ね合わせ

図 4.9 は、測線 L20～L18 の断面を同様に重ね合わせた結果である。図 4.8 で指摘した航路法肩高さの不自然さは、いずれの測線にも認められる。

再び図 4.7 を見ると、航路外の東・西バンクの水深は 2005 年～2011 年の約 7 年間にわたって一つの例外を除いて安定していた。例外は、2008 年 12 月の測量結果であり、下方にずれている。したがって、不適切な潮位補正や水深基準面の取間違いなどの何らかの系統的な誤差が含まれていると判断される。

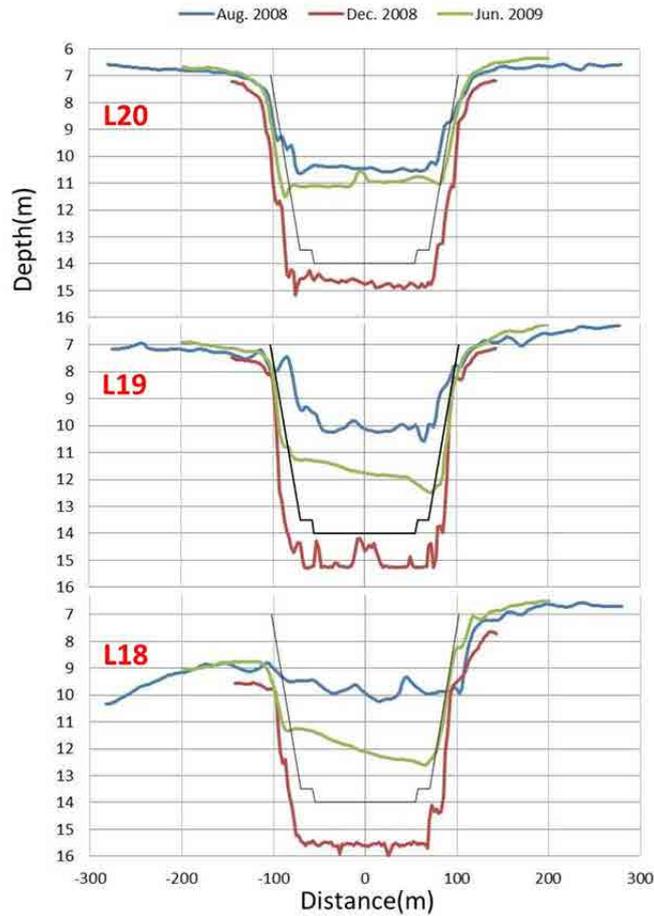


図 4.9 測線 L20～L18 の航路断面の重ね合わせ

図 4.10 に、測線 L21 の浚渫直後の断面（図 4.7 において“b”）を、試みに 2 つの断面に重なるように上方に 60cm シフトして示した。その結果、断面の整合性は全体としてよく改善されたので、この補正は適切であると考えられる。

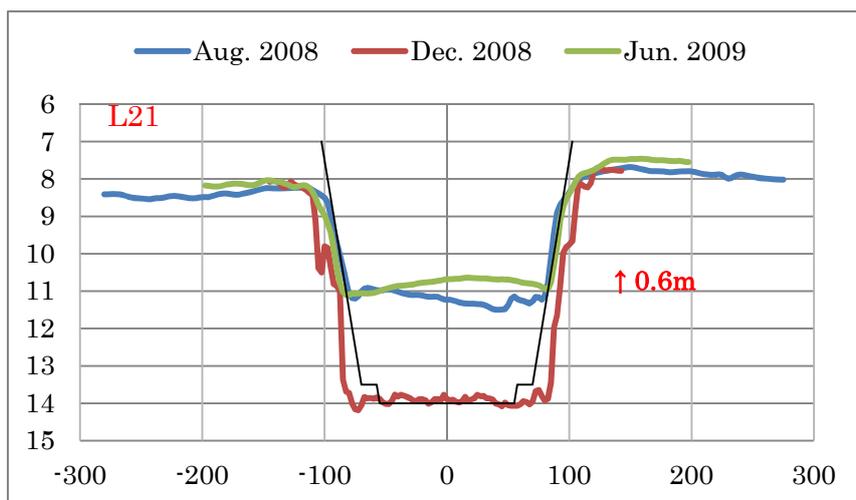


図 4.10 上方へずらした後の断面の重ね合わせ，測線 L21
(2008 年 12 月測量の断面を上方に 0.6m シフトした)

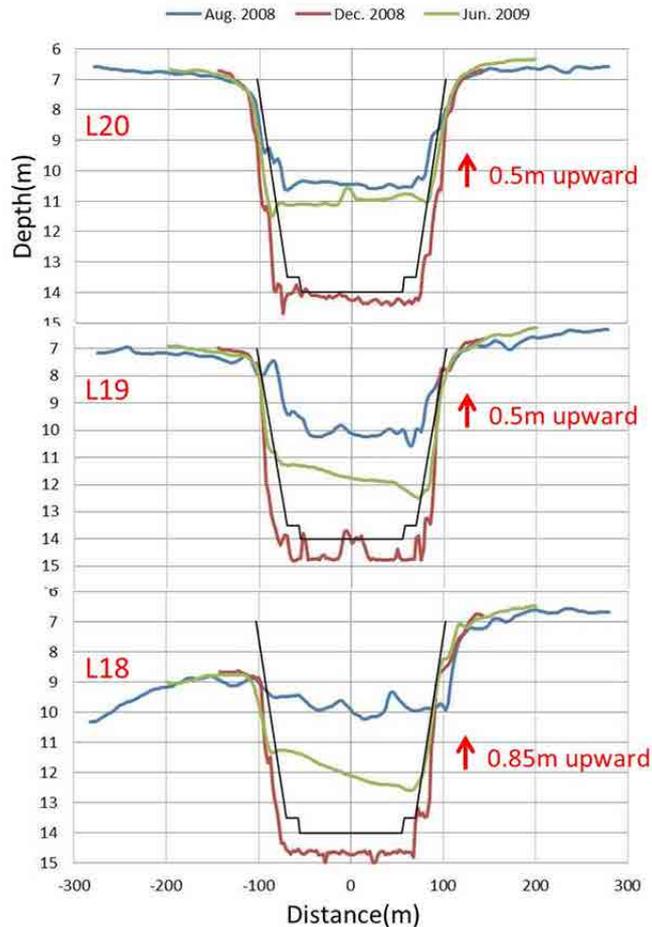


図 4.11 測線 L20～L18 の断面の重ね合わせ（2008 年 12 月測定の断面を上方にシフトしてある）

図 4.11 に、測線 L20～L18 について、2008 年 12 月の測量断面を同様に上方にシフトさせてその他の断面と重ね合わせた。それぞれの断面について、上方へのシフト量を図 4.11 に示してある。この結果、断面の全体的な整合性は、これらの測線においても改善されている。恐らく、2008 年 12 月測定の深浅データに対する潮位補正が適切でなかったのであろう。

次に、2011 年 1 月に測量された平均水深（図 4.7 中に“d”で示したデータ）について調べる。内港航路内の水深は航路外の水深とほぼ同じである。したがって、この“d”のデータに関しては、以下の二通りの解釈が可能である。

- a. 航路は 2011 年 1 月に完全に埋没した。
- b. 航路は 2011 年 1 月の時点で既に完全に埋没していた。

後者の場合、図 4.7 の“c”と“d”のどの時点で航路が完全に埋没したかを特定することが必要になる。しかしながら、現在これ以上のデータも情報もないので完全に航路が埋没した日を特定することはできない。埋没のモニタリングを再開し継続することが強く望まれる。

図 4.12 の点線は、2008 年 12 月の断面データ（“b”）を上方にシフトする補正を反映して描いている。同様に図 4.12 には、航路が完全埋没した時期を“c”と“d”の間の適当な時期まで遡って点線で示してある。断面データを上方にシフトした量は、図 4.10 と図 4.11 での考察の結果

に基づいて決めている。しかし、図 4.12 において航路が完全埋没した時期への遡りについてはその根拠となるデータは何もない。だのに図 4.12 をここで示したのは、期間Bにおいても水深変化が一定、言い換えると埋没速度が一定の可能性を示すためである。もし、そうならば期間Aと期間Bの航路埋没の特性はお互いに矛盾しない。

航路内水深に関係なく埋没速度が一定であるという仮説は非常に重要な意味をもつ。つまり、たとえ航路維持水深の目標が大きくなって、初期浚渫量が増えるだけで航路維持のための浚渫量は増えないことになるからである。この仮説の有効性を確認するために、航路内の埋没のモニタリングを再開し継続することが基本的に重要である。

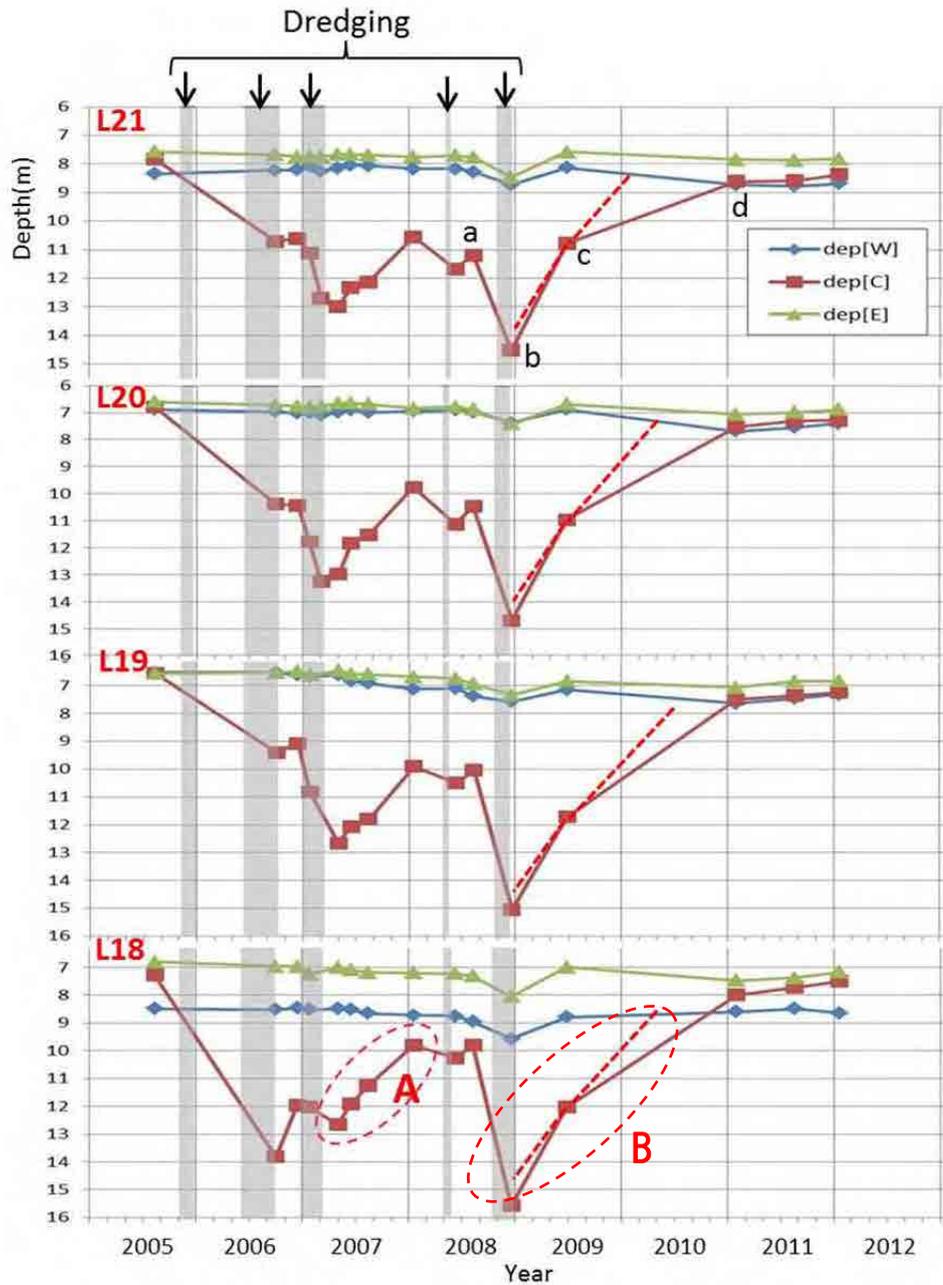


図 4.12 内港航路の水深データの修正

4.3.2 外港航路の埋没

図 4.13 に外港航路の測線番号を示す。

図 4.14 は測線 L08～L05 の水深変化を示したものであり、茶色の線は航路内の平均水深、青色の線と緑色の線はそれぞれ内港航路外の西側バンクと東側バンクの水深である。浚渫が行われた期間もオレンジの帯で示してある。

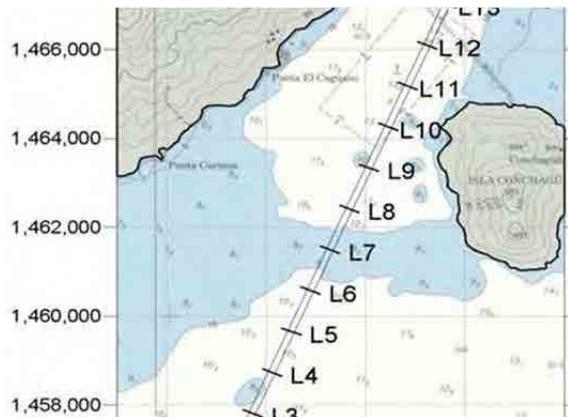


図 4.13 外港航路の測線位置

測線 L08～L05 の水深変化はすべてほとんど同じ状況であるので、代表例として測線 L07 の特徴について説明する。外港航路内の水深は、浚渫によって深くなる。浚渫完了の直後には外港航路の水深は急激に浅くなり、その後はゆっくりと浅くなる。指数モデルでは、これらの急激埋没と緩速埋没という 2 つの過程を考慮している。

さて、原型指数モデルで予測した外港航路の最終埋没水深は、実際的水深より 1 m 近く浅かった。そこで、予測値と実測値のこの食い違いの原因を検討した。

図 4.14 を見て分かるように、浚渫前の 2006 年 6 月の航路内の平均水深と航路外の東・西バンクの水深の 3 つの水深は、同じである。外港航路の西側のバンクの水深はその後ほとんど変化していないのに対し、東側のバンクの水深は徐々に増加している（深くなっている）。航路内の水深は時間とともに埋没が進行して浅くなり、最終的には東側のバンクの水深と同じ水深になる。東側バンクの水深は浚渫前の水深より深くなっているため、航路内の水深は 2006 年の浚渫前の水深までは埋没しないことになる。

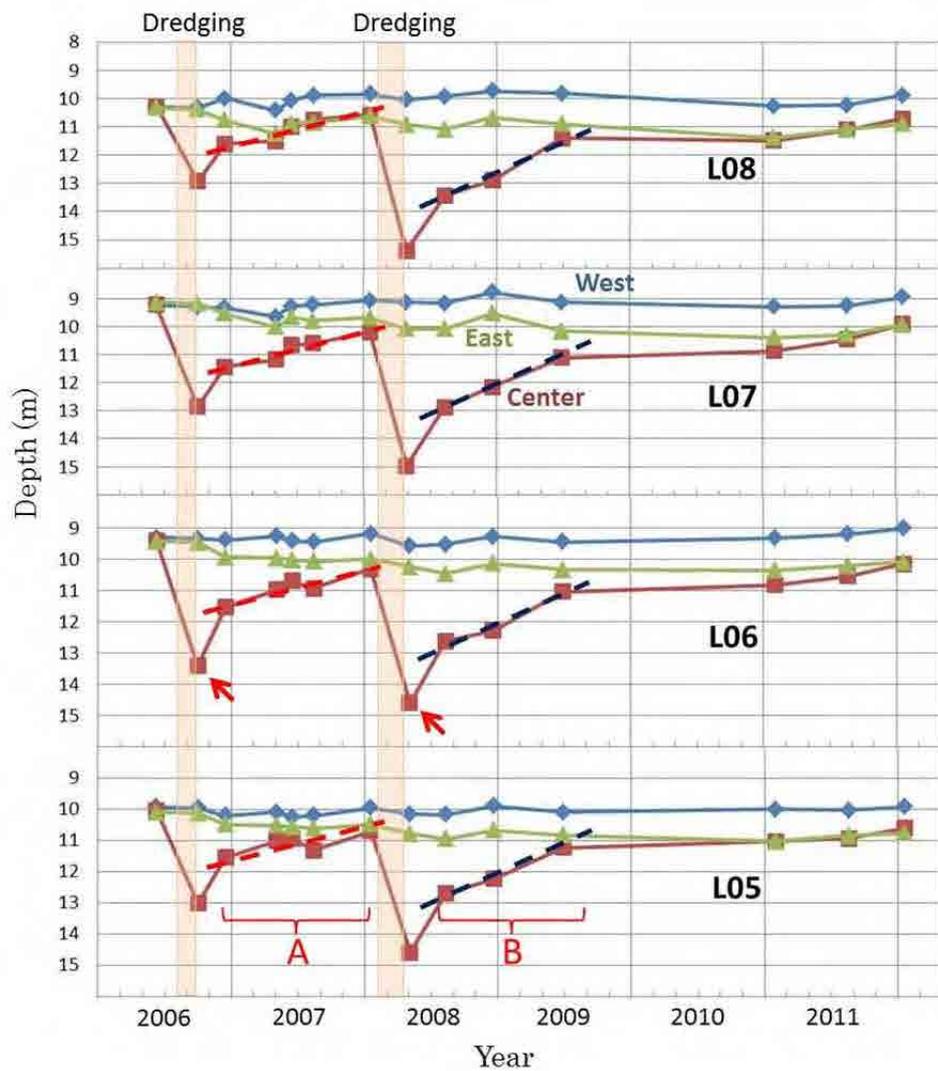


図 4.14 外港航路の測線 L08～L05 の航路内水深変化

次に、外港航路の測線 L08～L05 において埋没してしまった航路断面について調べる。外港航路の浚渫期間と考察に用いた深浅図の測量年月日の関係を図 4.15 に示す。考察には 3 種類の深浅図を用いた、つまり

- データ① (2006年6月10日測量) ; 最初の浚渫前
- データ② (2008年1月18日測量) ; 最初の浚渫後1年4カ月経過した時点
- データ③ (2011年2月1日測量) ; 2008年の再浚渫後2年8カ月経過した時点

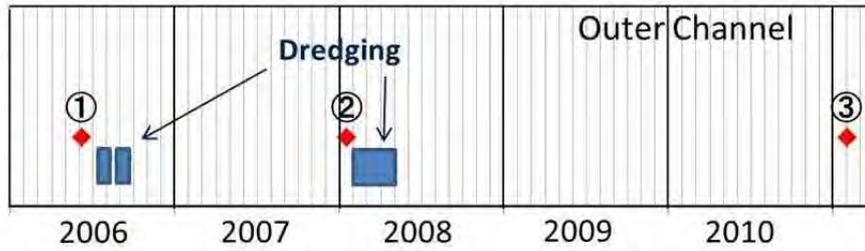


図 4.15 外港航路の浚渫期間と考察に用いた深淺図の測量年月日

図 4.16 は測線 L08～L05 について 3 断面を重ねた結果である。黒い線は計画航路断面を示していて、これ为目标に 2006 年および 2008 年に浚渫が行われている。すべての測線において、2 回ともほぼ完全に航路が埋没しており、その特性は定性的には同じである。そこで、代表測線として、測線 L07 について埋没の特徴を説明する。

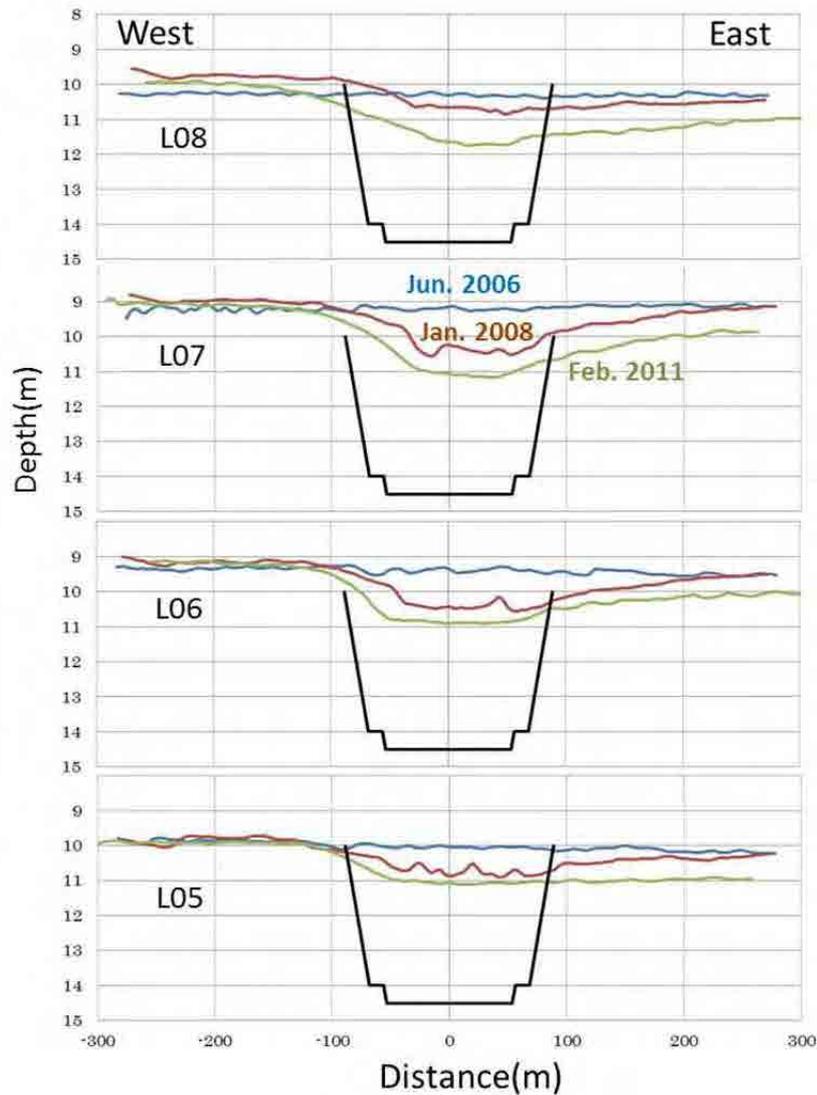


図 4.16 外港航路の測線 L08～L05 の完全航路埋没

測線 L07 では、2006 年 6 月の時点（最初の浚渫前）の海底は平らであった。最初の浚渫は 2006 年 9 月 24 日に完了した。この浚渫後 1 年 4 カ月が経過した 2008 年 1 月には外港航路はほとんど埋没していた。航路内の堆積は東西で非対称であり、埋没量は航路の西側のほうが東側より多い。航路外の海底地形変化も東西で非対称であり、横軸-100 m より西側のバンクの水深は変化しておらず安定しているのに対し、東側のバンクは 2008 年 1 月までに侵食を受け、2011 年 2 月までにさらに侵食が生じている。これらの地形変化の特徴は残りの測線の断面にも認められる。すべての測線において、航路内の水深が常に東側バンクの水深と同じかそれより深いということは最も重要でかつ興味ある状況である。この条件を、原型指数モデルに組み込まなければならない。

なお、航路埋没は西側から航路幅が狭くなるよう生じているので、将来は航路幅を西側へ広げよう追加の浚渫が必要になるだろう。

4.3.3 浚渫直後の急激な埋没に関する物理的考察

「急激な埋没」という次の話題に移る。既に説明したように、浚渫の直後には、外港航路の水深は急激に浅くなる。しかしながら、その後の期間（つまり図 4.14 において期間 A と期間 B）の水深は、図中に破線の直線で近似したように一定の速度で徐々に浅くなる。期間 A の各測線の近似直線は同じ勾配であり、同様に期間 B においても各測線の近似直線は同じ勾配になっている。

この状況を考慮に入れると、埋没速度を予測する新しいモデルをつくることができる。新しいモデルは一定速度の埋没だけを考慮していて、いわば線形モデルといえる。しかしながら、線形モデルの導入を阻む非常に堅い障害がある。もし期間 A と期間 B の近似直線を浚渫完了直後まで過去に向かって外挿すると、図 4.14 中に赤い矢印で示したように外挿した直線と実際の水深に大きな隔たりがある。実際的水深のほうが深い。したがって、線形モデルは浚渫直後の埋没速度を過小評価する危険性がある。

浚渫直後の急激な埋没を議論する前に、浚渫後数か月以上経過した時期に生じた一定速度のゆっくりとした埋没について調べる。図 4.16 に見られた埋没の特性に基づくと、埋没の過程は概念的には以下のように説明できる。

図 4.17 は航路開削を行う前の海底地形である。海底は水平で底質は左から右へ運ばれているとする。支配区間 B において、入ってくる底質の量と出ていく底質の量が同じならば、海底地形は変化しない。つまり、海底は動的平衡状態にある。支配区間 A、C についても、同じ状況になっている。

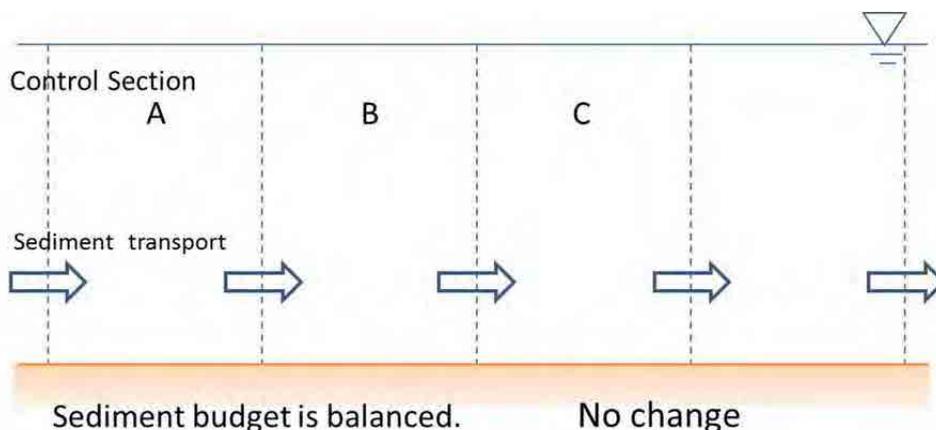


図 4.17 浚渫前の動的平衡状態の概念図

図 4.18 に示したように、支配区間 B に航路が開削された状態を考える。支配区間 A を出入りする底質の量は開削前と同じであるため、支配区間 A では依然として動的平衡状態が保たれていて、海底地形は変化しない。支配区間 B に流入した底質は航路内に堆積するため、支配断面 B から出ていく底質の量は少なくなる。その結果、支配区間 C に流入する底質量は減少する。支配区間 C から出ていく底質量はこれまで通りである。支配区間 C においては底質の収支バランスが崩れて、海底面が侵食を受ける。

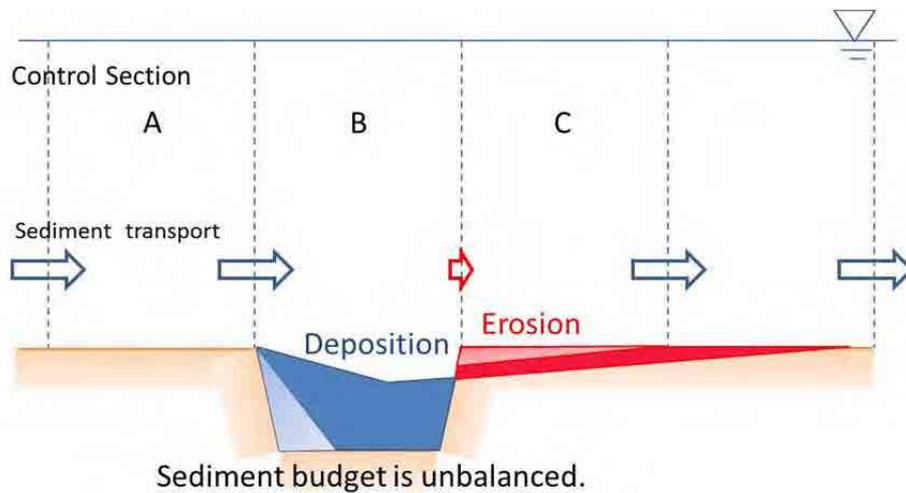


図 4.18 外港航路埋没の概念図

図 4.19 は測線 L07 と測線 L06 の航路断面を重ね合わせたものである。2006 年 10 月～2008 年 1 月の間は、浚渫工事が中断されていた。断面の変化の状況から、西側バンクより底質が堆積し、東側バンクが侵食を受けている様子が分かる。図 4.19 から得られる新しい知見は、図中に赤色の破線で囲んだ航路の東側サイドでは平らで水平状態を保ちながら埋没が進行しているということである。これは航路の東側サイドには非常に流動性の高い底質、つまり浮泥が堆積しているためと考えられる。

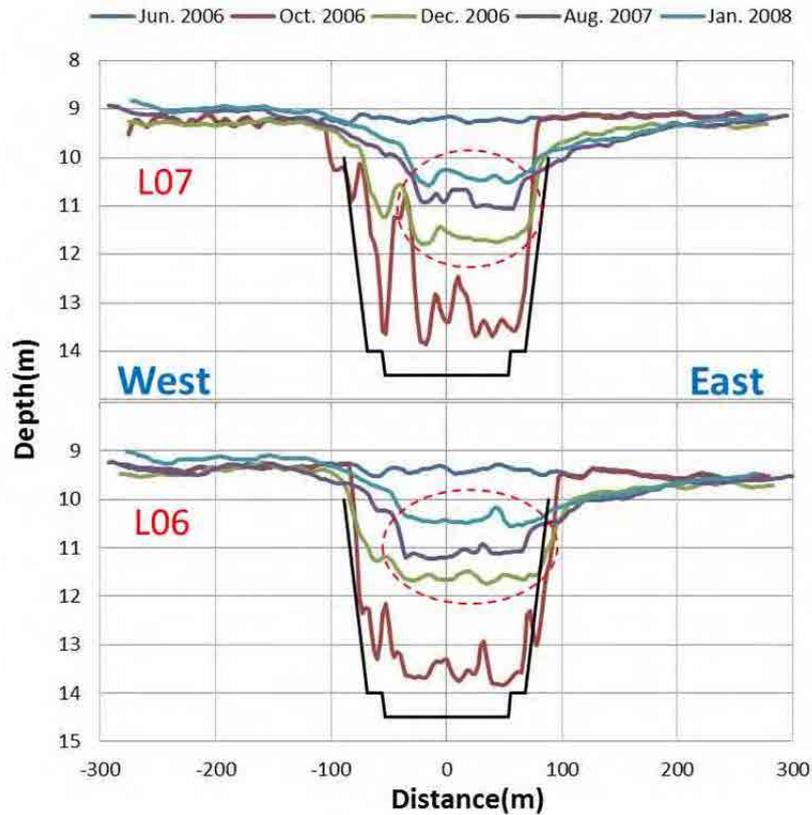


図 4.19 測線 L07 と測線 L06 の航路断面の重ね合わせ

以上のような状況を考慮に入れると、外港航路における緩やかな埋没期間の堆積は図 4.20 に示したようであると推察される。つまり、西側の航路斜面には速い沈降速度の粗い粒子が堆積し、航路内の東側には浮泥のような高い流動性を有する底質が堆積する。

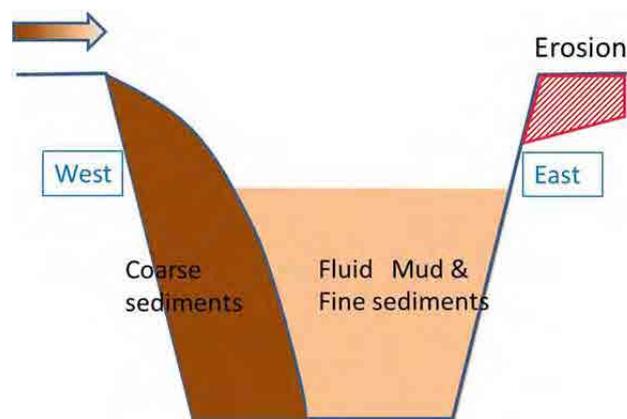


図 4.20 堆積底質の空間分布

さて、ここから急激な埋没について考察する。再び図 4.14 を見よう。急激な埋没は第 1 回目と第 2 回目の浚渫直後の 2 回発生している。第 1 回目の急激な堆積は水深 12 m~13 m 付近で発生している。これに対して、2 回目の急激な埋没は水深 14 m 付近で発生した。つまり、急激な

埋没は水深には依存していない。浚渫直後というタイミングに依存しているのである。

図 4.21 は、2008 年の 2 回目の浚渫直後である 2008 年 4 月 24 日と 5 月 5 日に測量された航路断面を、測線 L08～L05 について重ね合わせたものである。ほんの僅かな掘り残しが測線 L08 と測線 L07 にあるものの、航路はほとんど計画航路断面以上に浚渫されている。

図 4.22 は浚渫後約 3 カ月経過した 2008 年 8 月 11 日の断面を重ね合わせたものである。浚渫後 3 ヶ月間に厚さ 1.5 m～2 m の急激な堆積が生じていることが分かる。すべての測線において、航路断面全域にわたって埋没は航路底の水平状態を保って生じていて、航路側面での堆積は認められないので、流動性の高い底質、すなわち浮泥、が航路内に堆積したと推察される。航路を開削浚渫する前にその周辺に存在した非常に流動性の高い底質が、航路開削によって航路内に流入することによって急激な埋没が生じたのかもしれない。ただし、現時点ではこれ以上のデータがないので、これは推測に過ぎない。

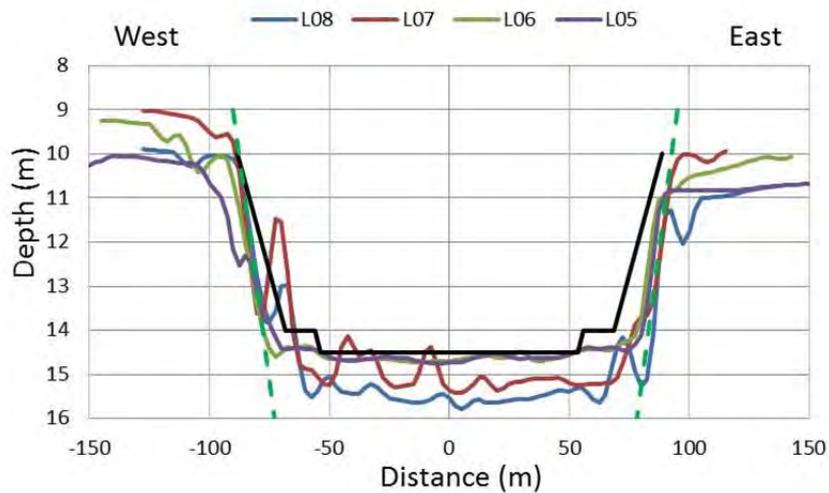


図 4.21 第 2 回目の浚渫直後の航路断面の重ね合わせ（2008 年 4 月 28 日と 5 月 5 日に測量）

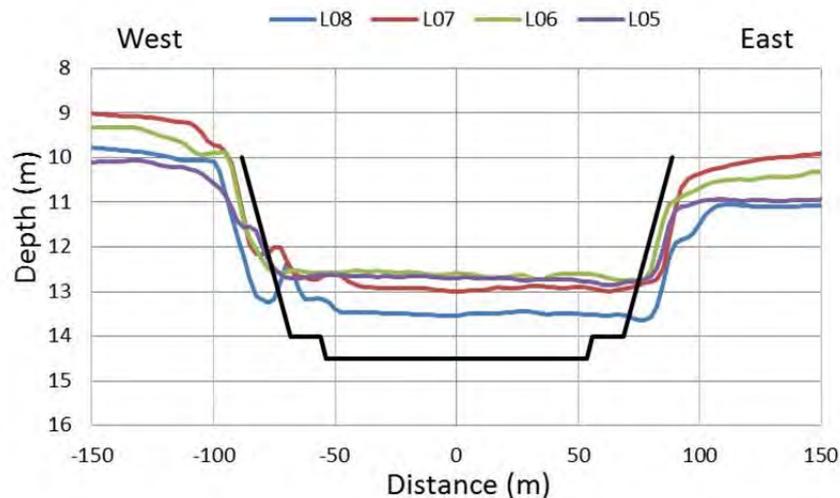


図 4.22 2008 年 8 月 11 日（浚渫後約 3 ヶ月半経過）測量の断面の重ね合わせ

外港航路の埋没過程は 2 つの連続するステージに分けられる。すなわち、浚渫直後の数ヶ月間の急激な埋没過程とその後の緩やかな埋没過程である。最初のステージでは流動性の高い底質の

堆積が航路幅全体にわたって水平になる。それに続く緩やかな埋没の第2ステージでは、図 4.18 と図 4.20 で説明したように、航路西側の斜面に粗い粒径の底質が堆積して東側バンクの海底が侵食され、同時に浮泥のような流動性の高い底質が航路内の東寄りに堆積する。この状況を考慮に入れると、外港航路に堆積している底質の特性は図 4.23 のようになっていると推察される。つまり、浚渫直後の期間は、浮泥のような流動性の高い底質が航路内に流れ込み水平状態を保ちながら堆積する。その後、航路の西側斜面に沈降速度の大きい粗い粒径の底質が堆積し、浮泥のような流動性の高い底質は航路の東側に堆積する。

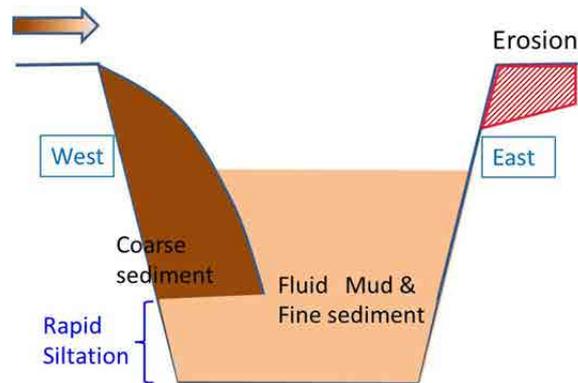


図 4.23 堆積物の空間分布

図 4.14 で説明したように、浚渫直後の急激な埋没の発生は航路内水深に依存せず、浚渫のタイミングに依存している。したがって、浚渫後の急激な埋没は航路開削以前にその周辺に存在していた非常に移動しやすい底質の流入によるものであるとも考えられる。もしそうならば、急激な埋没は新しく航路を開削した時に限り一度だけ生じる現象であって、維持浚渫が継続的に行われている状況下では生じないことになる。

4.4 航路の埋没予測モデル

4.4.1 原型指数モデルの修正

第 4.2 節において、航路内の水深を予測するモデルを経験的に構築した。しかしながら、深淺データに基づいて埋没過程を詳しく調べた結果、2つの懸念が生じた。内港航路においては、第2回目の浚渫直後の2008年12月に測量された深淺データは下方に不自然な状態でシフトしていること、外港航路では航路内の水深は東側バンクの水深より浅くならないことである。これらの状況を考慮に入れて原型指数モデルを修正する。

(1) 内港航路でのモデルの修正

外港航路において、第2回目の浚渫直後の2008年12月の水深は2006年～2011年の間で最も深い。これに相当する水深データは、例として図 4.24 に示したように、下方にシフトされた状態だったので、上方に修正した。測線 L21～L18 の断面に対する修正の結果を図 4.25 に示す。図中で、○印は図 4.4 から再現した外港航路の原データであり、修正後のデータを●印で示している。断面データの全体をそっくり上方にシフトさせて修正したので、横軸上の航路内外の水深差は変化しないのに対し、縦軸の埋没速度は減少する。

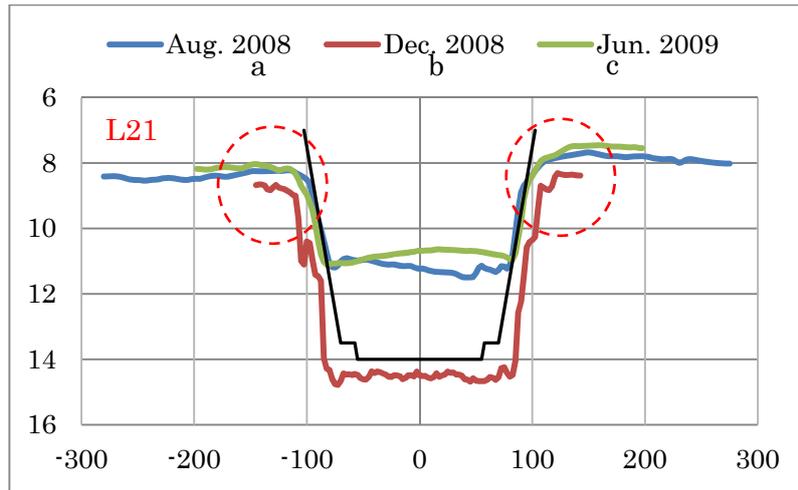


図 4.24 測線 L21（内港航路）の断面のずれ（図 4.8 の再掲）

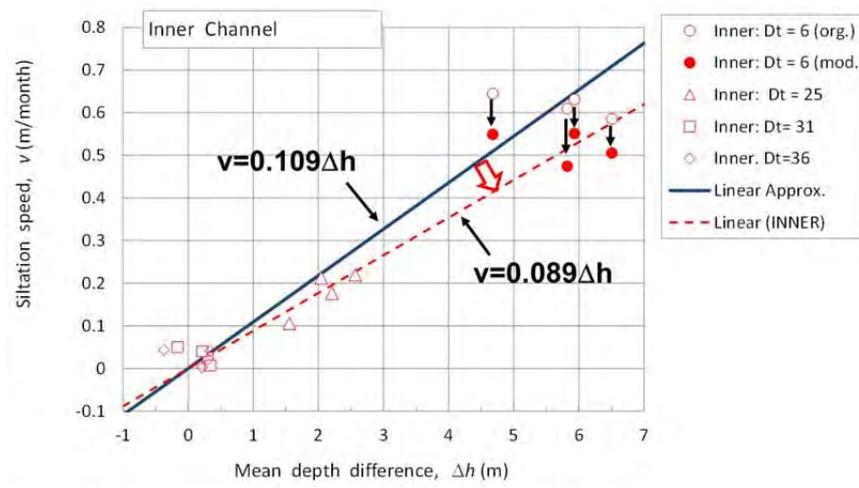


図 4.25 内港航路の埋没速度と水深差の関係、データ修正後

図 4.25 に見られるように、埋没速度と水深差の直線回帰式の勾配は $a=0.109$ から

$$a=0.089, \quad (4.3)$$

へ減少する。内港航路に対して、この新しい係数を式 (4.2) で採用する。

図 4.26 は、原型指数モデルで予測した曲線（上図）と修正指数モデルで予測した曲線（下図）に内港航路の実際のデータを重ねて比較したものである。修正を施したデータは、赤い破線で囲んである。原型指数モデルを修正すると（下図）、予測された曲線の水深 9 m から 14 m 付近の勾配は現行の予測結果より幾分緩やかになっている。このことは埋没速度の減少を意味している。

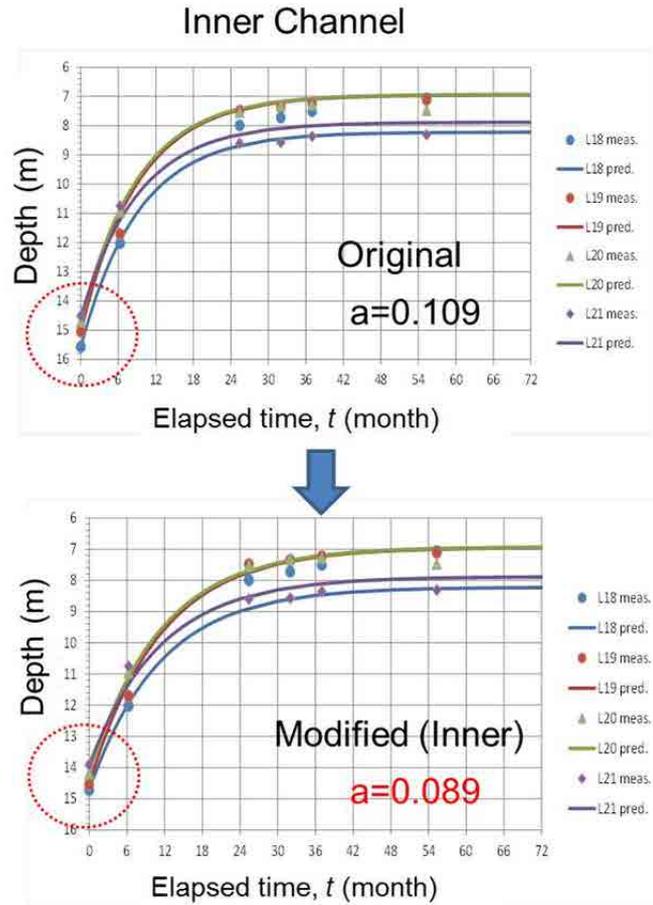


図 4.26 原型および修正指数モデルの予測結果と実測水深の比較（内港航路）

(2) 外港航路でのモデルの修正

外港航路の水深は埋没によって減少し、東側バンクのレベルに漸近する。東側バンクは浚渫後に侵食を受けるので、その水深は浚渫前より深くなっている。もし、維持浚渫を行わずに航路をそのまま放置していれば、航路水深はいずれ最初的水深、つまり西側バンクの水深、まで戻ってしまうだろう。しかしながら、維持浚渫が継続的に行われていけば、東側バンクの水深は常に西側バンクの水深より深いと考えられる。

東側バンクの効果を取り入れるもっとも簡単な方法を図 4.27 に示す。原型指数モデルの航路外的水深 h_{out} と航路内外の水深差 Δh_0 を、それぞれ図 4.27 に定義する h_e と Δh_{0e} で置き換えることである。以下では、東側バンクの水深 h_e を最終水深と呼ぶことにする。なお、係数は $a = 0.109$ に固定して変更しない。

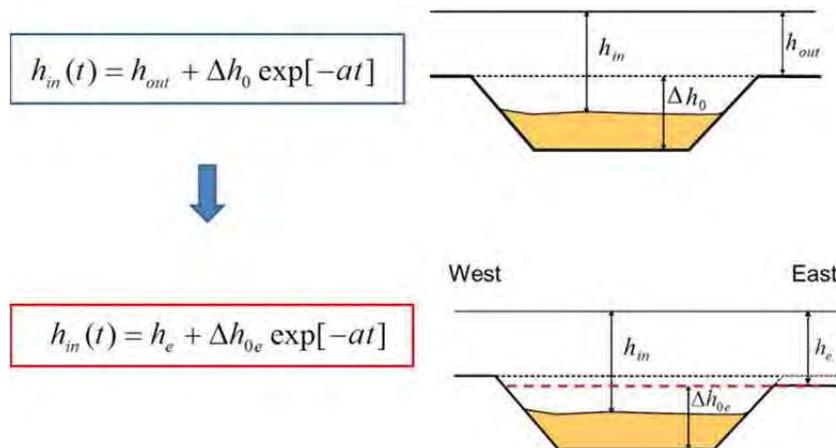


図 4.27 最終水深の概念の導入による原型指数モデルの修正（外港航路に対して）

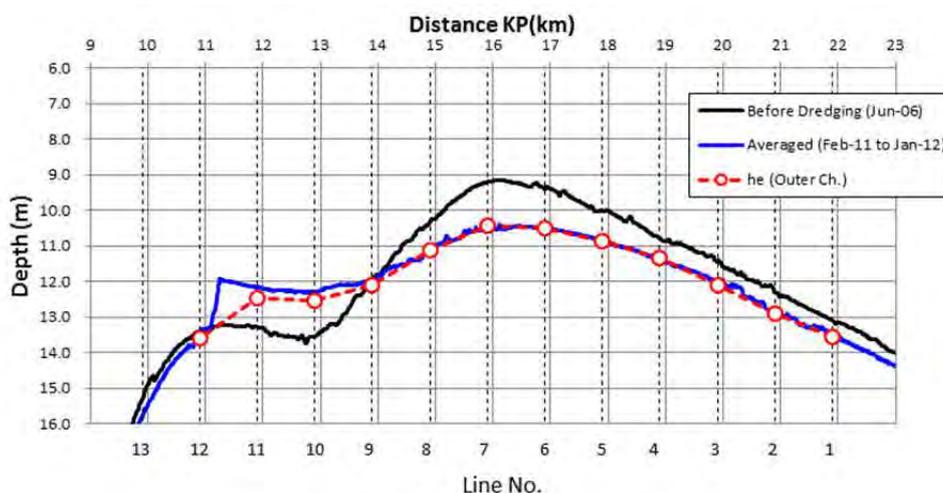


図 4.28 最終水深 h_e の外港航路縦断方向分布

図 4.28 は計算で用いた最終水深 h_e の航路縦断方向分布である。黒い線は最初の浚渫を行う前の 2006 年 6 月に測量された航路縦断方向海底地形であり、青い線は外港航路がほぼ埋没してしまっ後の 2012 年 2 月、8 月、2012 年 1 月の 3 回の深浅データの平均縦断地形である。各測線の最終水深は、この平均水深に一致するように決めた。

図 4.29 は、原型指数モデルで予測された曲線（上段）と修正指数モデルで予測された曲線を実測データとともに比較したものである。モデルに最終水深の考えを導入することにより、予測された曲線と実測水深は赤い点線で囲まれた浅海部でほとんど一致するようになった。さらに、図中に赤い矢印で示した点に注目すると、測線 L07 と L06 において水深 11 m まで浅くなるのが原型指数モデルでは 12 カ月後だったのに対し、修正指数モデルでは 18 カ月に延びている。つまり、外港航路でのモデル修正は埋没速度を遅くする結果となった。

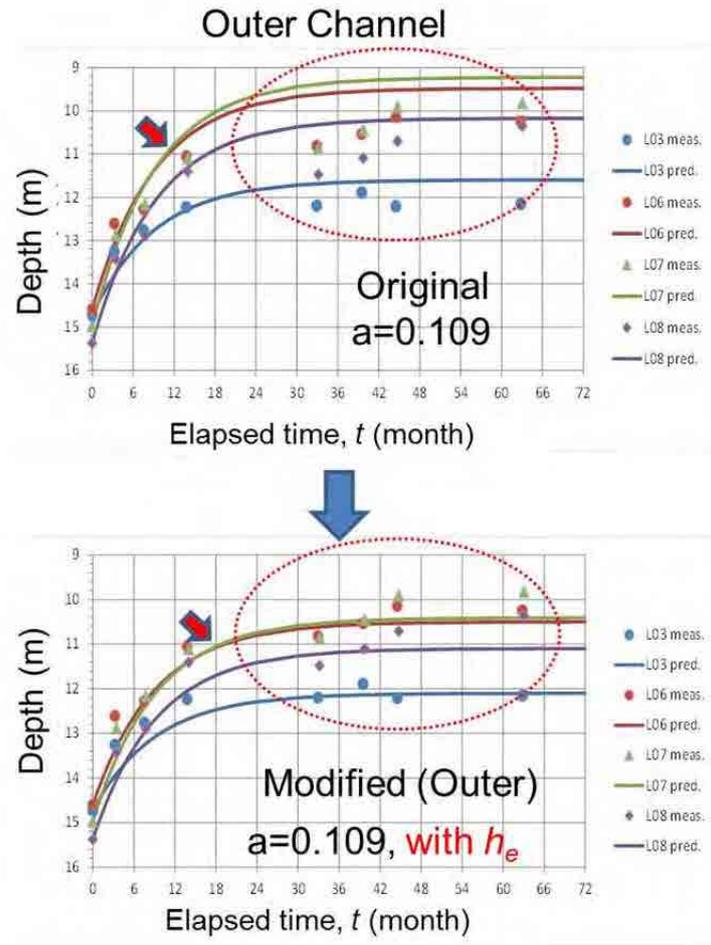


図 4.29 原型および修正指数モデルの予測結果と実測水深の比較（外港航路）

4.4.2 線形モデル

第4.2節で、外港航路の埋没過程は2つの連続するステージに分けられると説明した。つまり浚渫直後の急激な埋没とそれに続く期間の緩やかな埋没である。急激な埋没は新しく開削された航路に特有の一回限りの現象かもしれない。もしそうならば、維持浚渫を継続に行っている場合には急激な埋没は生じない。この仮説は、データで検証しなければならない。しかしながら、現時点ではそれに適したデータはない。ゆっくりとした埋没の生じる第2のステージでは、埋没速度は航路内の水深に関係なく一定である。第2ステージだけを対象として、試みとして、図4.30の点線の直線付近にプロットされたデータだけにに基づき、暫定的に、線形モデルをつくった。

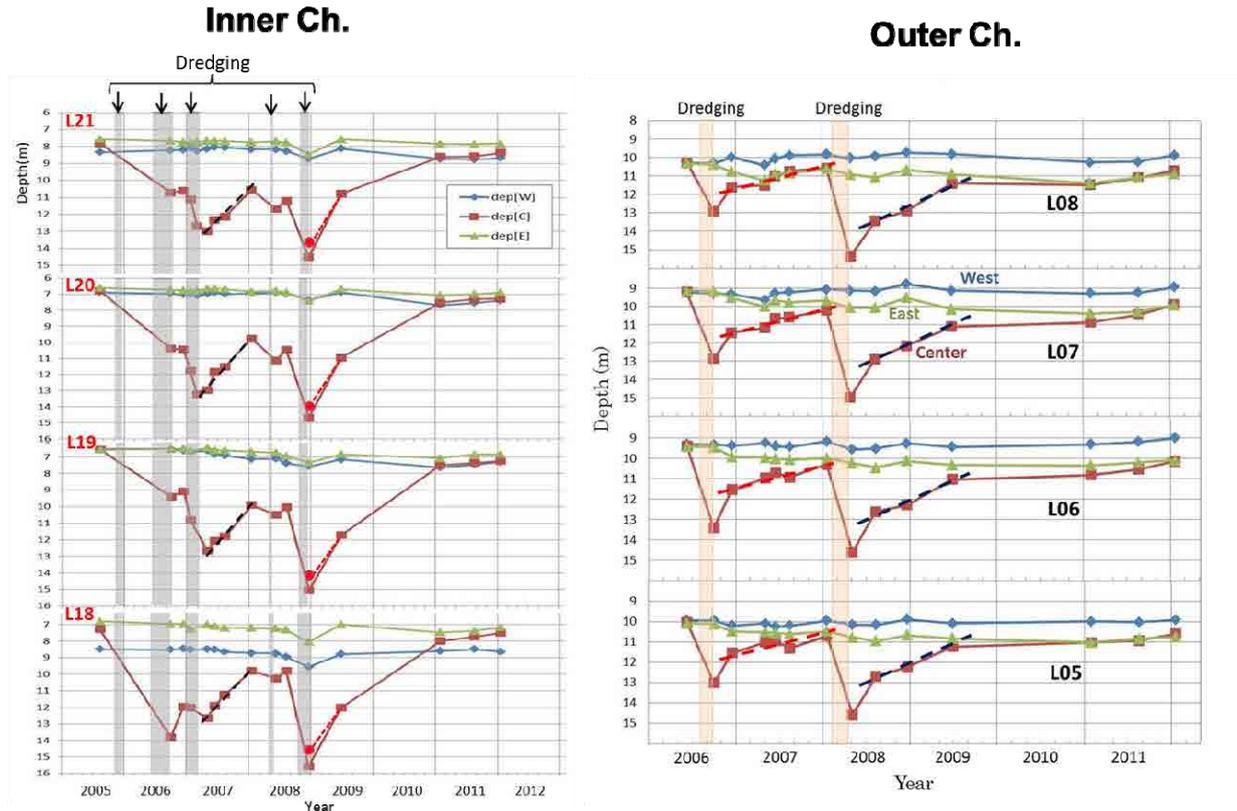


図 4.30 内港航路と外港航路の航路水深の変化

図4.31に、各測線上の平均埋没速度をプロットした。内港航路の平均埋没速度は0.39 m/月であり、外港航路のそれは0.14 m/月である。

$$v = -\frac{dh}{dt} = \begin{cases} 0.14 & \text{(Outer Ch.)} \\ 0.39 & \text{(Inner Ch.)} \end{cases} \quad (4.4)$$

この式を積分すると、航路内の水深は次式の直線で表わされる。

$$h = h_0 - vt \quad (4.5)$$

ここで、 h は航路内の水深、 h_0 は航路の(浚渫直後の)初期水深、 t は浚渫後の経過時間(単位:月)、そして v は埋没速度であり外港航路の場合0.14 m/月、内港航路の場合0.39 m/月である。式(4.5)は、航路水深が時間に比例して直線的に変化することを意味しているので、以降このモデルを線形モデルと呼ぶことにする。

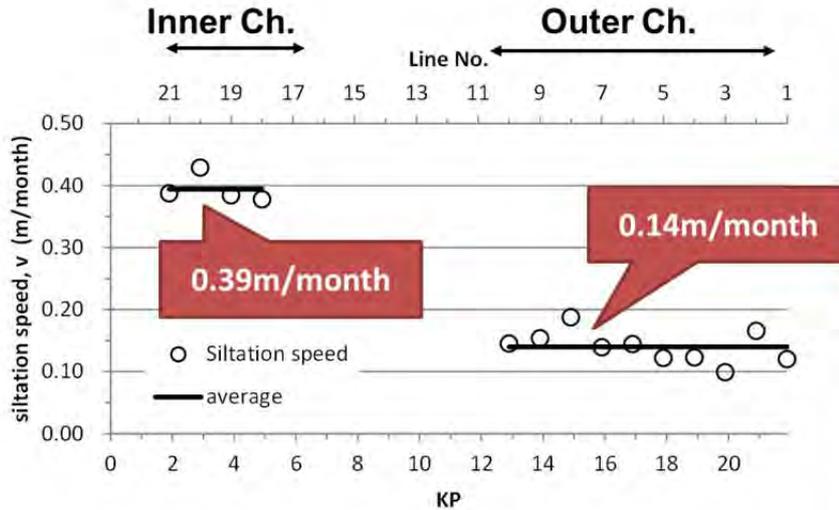


図 4.31 内港航路と外港航路の代表的な埋没速度

線形モデルは急激な埋没を考慮していない予測モデルなので、航路内外の水深差が大きいときには、埋没速度を小さく評価するという特徴がある。ところが、一方で水深差が小さいときには、埋没速度が実測データより大きくなり、さらに、時間が経過すると埋没が進行して、航路内の水深が航路外の水深より浅くなる。この不具合を解消し実測データとの整合を高めるために、水深差が小さい所で修正指数モデルと接続させることにした。具体的には、図 4.32 に実線で示すように、埋没速度で両者の連続性を確保した。

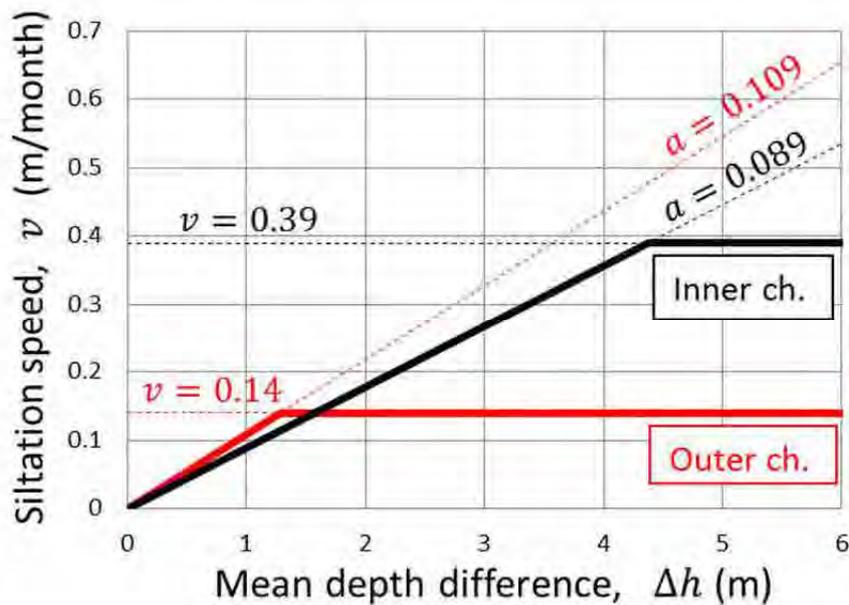


図 4.32 線形モデルと修正指数モデルの接続

4.4.3 2つの埋没予測モデルの適用性

修正指数モデルは、浚渫後の航路内水深の変化を第1第2ステージについて予測することができる。

維持浚渫が継続的に行われているときには、線形モデルを埋没量予測に適用することができるという可能性がある。しかし、線形モデルは一つの試みとしてつくられたモデルであるということを強調しておくことが極めて重要である。急激な埋没の発生は初めて航路を開削した直後に限られるに違いないという非常に大きな仮説が依然として残されている。したがって、仮説が測量データで証明されるまで、あるいは線形モデルの適用性がデータによって確認されるまでは線形モデルの使用を控えなければならない。

4.5 泊地航路と泊地の埋没モデル

泊地と泊地内の航路部分（図 4.33 において $X=0\sim 1200$ の区間で幅 140 m の範囲＝channel portion、以下に泊地航路と称する）でも航路埋没が生じている。

図 4.34 は、解析に利用可能な深浅図（2008 年 12 月、2011 年 2 月、8 月、2012 年 1 月測量）をもとに、岸壁に直角方法の測線 $X=200$ m（図 4.33 泊地内の座標系参照）の断面を重ねたものである。また、図 4.35 は、岸壁に平行な測線 $Y=400$ m の断面を重ねたものである。これらの図断面を見ると、浚渫が完了した 2008 年 12 月は、泊地および泊地航路の水深は 15 m 以深になっていた。その後、深浅測量は 2011 年 2 月までの 26 か月間行われていない。2011 年 2 月～2012 年 1 月の間に行われた 3 回の深浅データはほとんど重なっている。つまり、すでに 2011 年 2 月の時点ですでに平衡状態に達しており、その後の埋没は生じていない。平衡状態の水深（最終水深）は泊地の外側バンクの水深よりも深い。

唯一測線 L22（位置は図 4.33 参照）には、2009 年 6 月のデータがある。図 4.36 は、このデータも含めて断面を重ねたものである。このデータによると、浚渫完了後約 6 ヶ月ですでに埋没量は最終埋没量の半分ほどになっている。浚渫直後はやはり、埋没速度が速そうである。

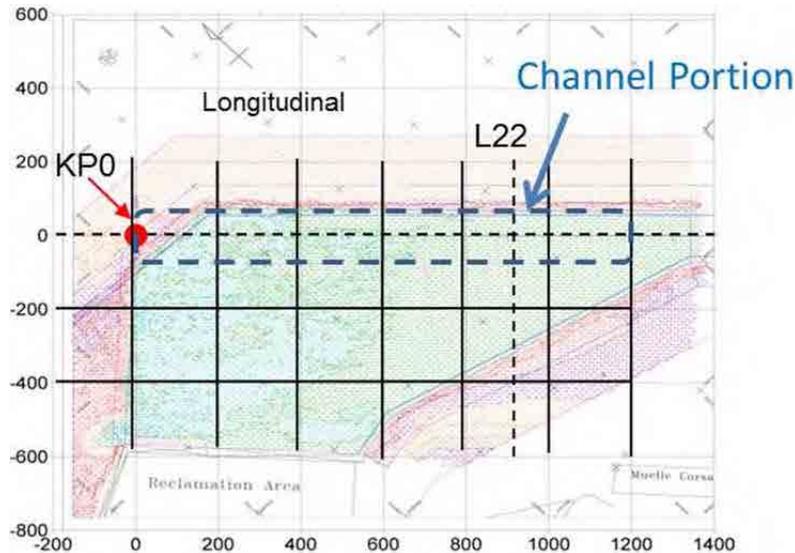


図 4.33 泊地内の座標系

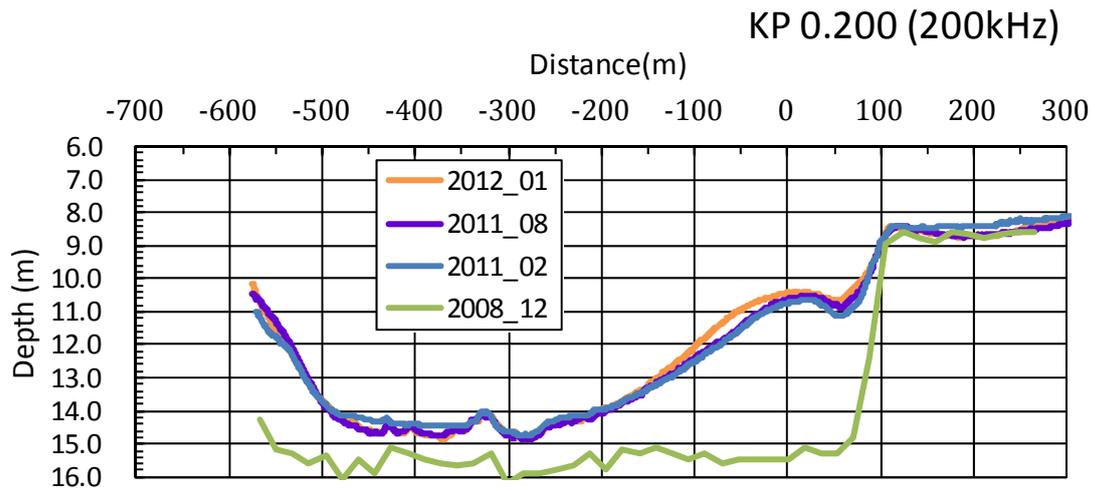


図 4.34 泊地の断面地形 ($x=200$ m : 岸壁に直角方向)

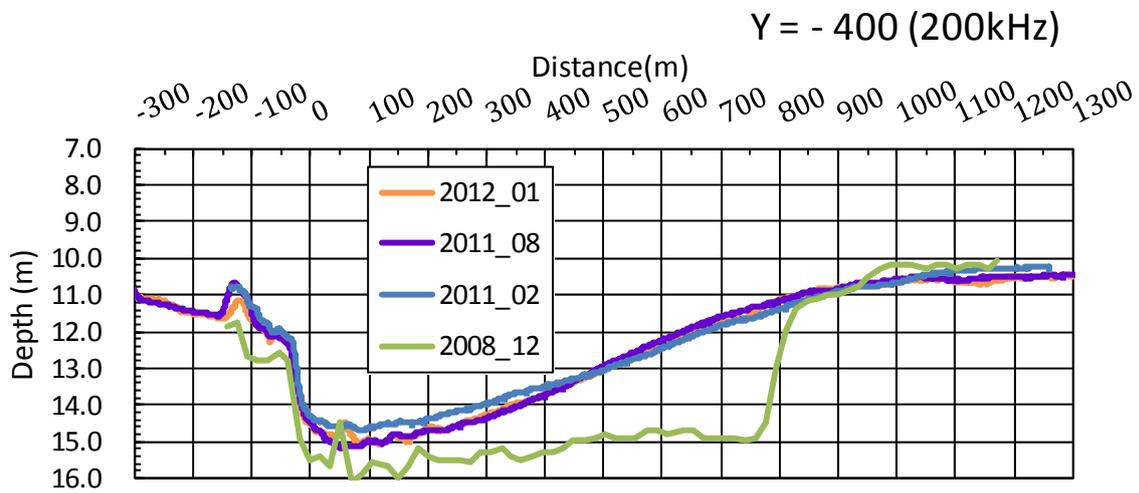


図 4.35 泊地の断面地形 ($Y=-400$ m : 岸壁に平行方向)

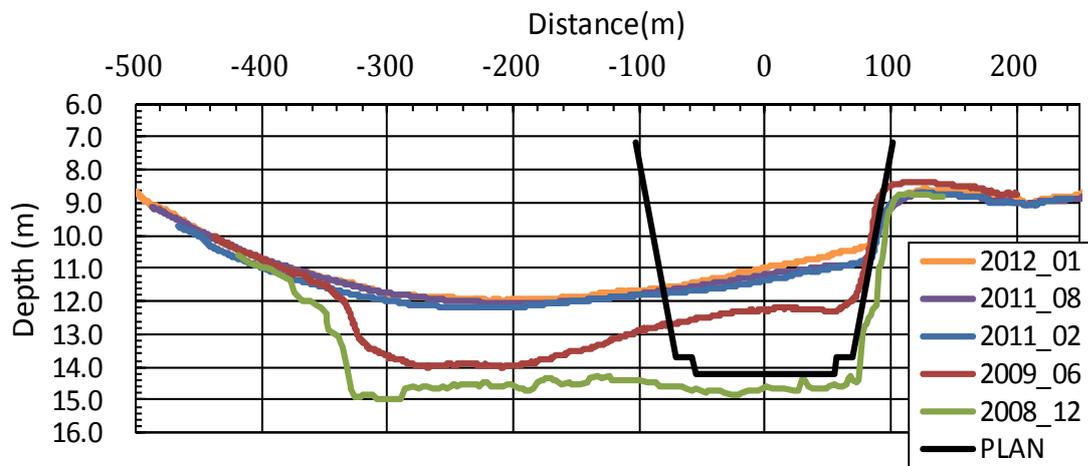


図 4.36 測線 L22 の断面 (岸壁に直角方向)

残念ながら、データに限りがあるのでこれ以上のことはわからないので、新たなデータが今後のモニタリングで入手でき、経験的なモデルが構築されるまでは、最終水深の考えをモデルに取り入れた、外港航路のモデルをここに適用する。

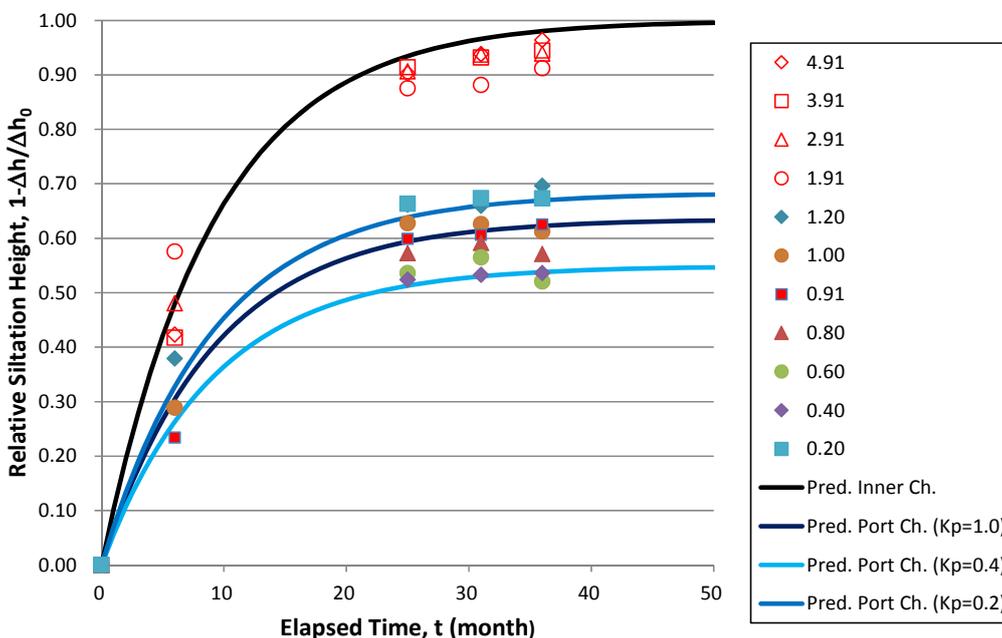
$$\Delta h = \Delta h_e + (\Delta h_{0e}) \exp[-at] \quad (4.6)$$

ここで、 Δh_e は泊地航路と泊地の内外の最終水深差である。最終水深差 Δh_e は、深浅図に基づいて、各測線の平均水深を計算して表 4.2 のように決めた。

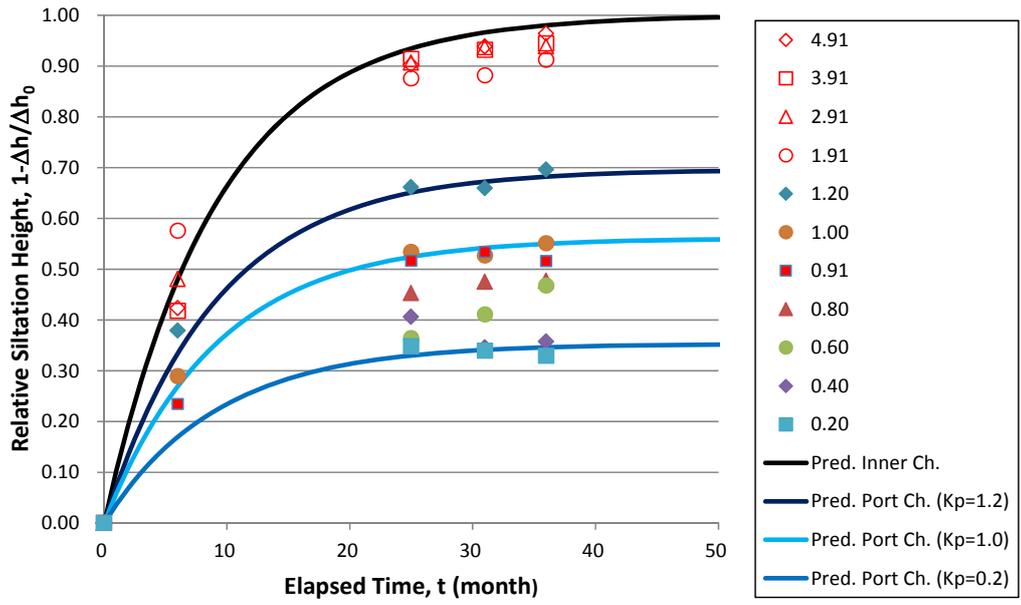
表 4.2 泊地航路と泊地の最終水深差

場所	x 1200	x 1000	L22	x 800	x 600	x 400	x 200
	KP1.2	KP1.0	KP0.9	KP0.8	KP0.6	KP0.4	KP0.2
泊地航路	1.70	1.88	1.88	2.17	2.53	2.75	1.94
泊地	--	2.35	2.35	2.79	3.29	3.78	4.15

図 4.37 は泊地航路と泊地の埋没高さ（量）について予測値と実測値を比較したものである。この予測では、式(4.6)と表 4.2 に示した最終水深差 Δh_e を用い、 $a = 0.109$ とした。泊地航路と泊地内の水深変化および、埋没高さが場所ごとに異なる状況が、式(4.6)でよく予測されることが分かる。



(a) 泊地航路の予測水深と実測水深



(b) 泊地の予測水深と実測水深

図 4.37 泊地航路と泊地の相対埋没高さに関する予測値と実測値の比較

第 5 章 浚渫土量と浚渫コストの評価

第 5 章 浚渫土量と浚渫コストの評価

5.1 再浚渫土量

維持浚渫は航路及び泊地の水深が次の浚渫サイクルまでの間に必要水深が維持されるように実施される。ラ・ユニオン港の場合、航路と泊地は既に大量の泥土で埋まってしまっているため、維持浚渫の実施前にまず再浚渫を実施する必要がある。ここではそれを再浚渫と呼ぶことにする。再浚渫土量は、2013年7月に実施された最新の測量成果の水深を元に評価する。

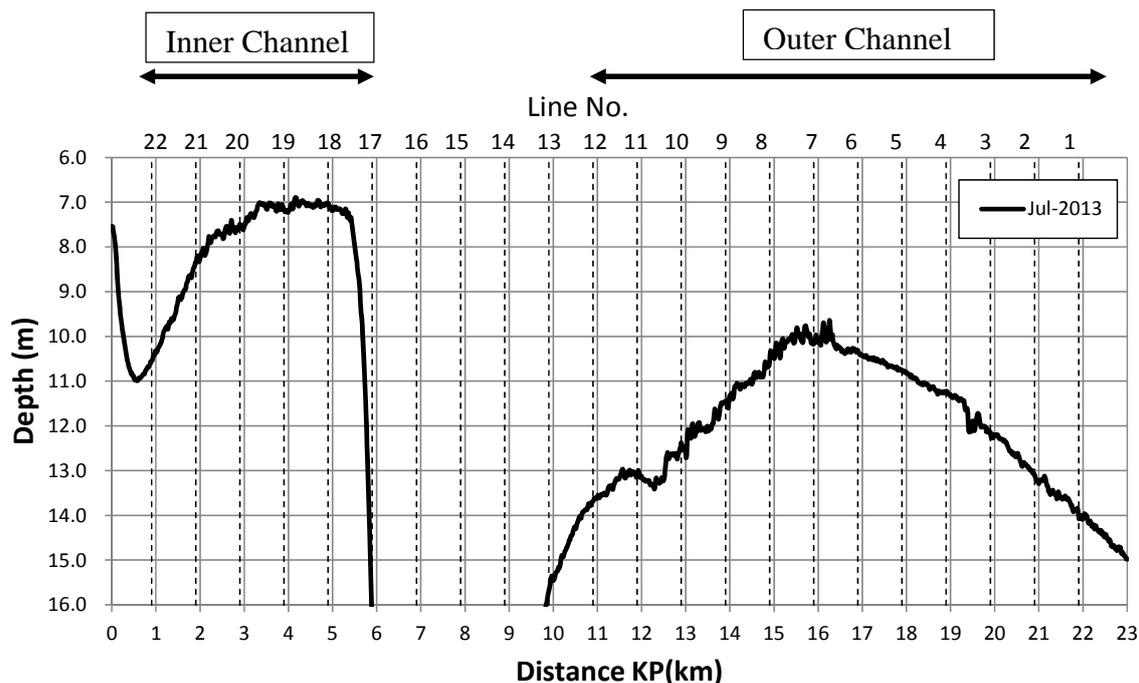


図 5.1 航路中央の縦断形状（2013年7月測量）

泊地、内港航路、外港航路は維持浚渫の前に再浚渫の必要がある。再浚渫の土量は、D.L.-9 m から D.L.-14 m の間で 1 m ずつ変化させた 6 つの目標水深に対して、表 5.1 のように評価した。再浚渫土量は、図 5.2 に示す航路形状を考慮して算定された。

再浚渫土量は、再浚渫開始時の航路水深により決まるものである。本報告書では、再浚渫土量を最新の測量データ（2013年7月測量）より算出している。

ここで、表 5.1 に示す再浚渫土量は、余掘り分の土量を含んでいない。実際、再浚渫が実施されている期間においても、埋没が同時に生じているものである。従って、余掘り分を含む全浚渫土量を計算するには、再浚渫土量に維持浚渫土量を加えて評価する必要がある。維持浚渫土量は、次節に述べる通りである。

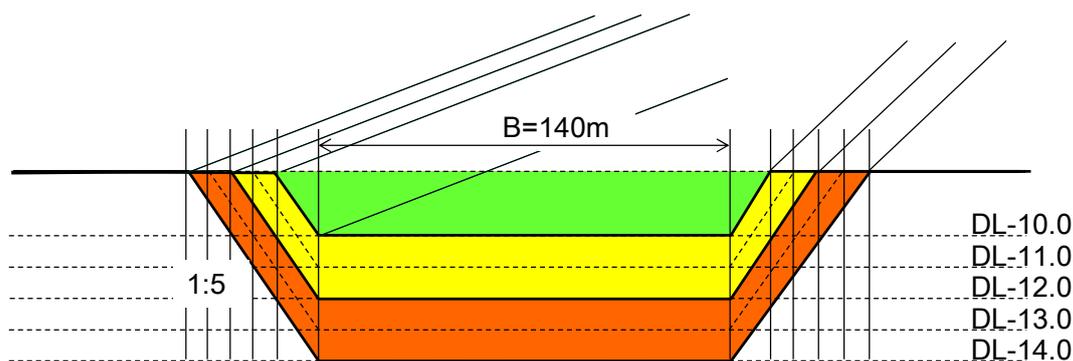


図 5.2 再浚渫土量計算における航路形状

表 5.1 再浚渫土量(単位: 1000 m³)

Depth (m)	Outer Ch.	Inner Ch.	Basin	Total
9.0	0	895	0	895
10.0	25	1,535	59	1,619
11.0	404	2,215	344	2,964
12.0	1,161	2,936	798	4,895
13.0	2,284	3,696	1,471	7,452
14.0	3,882	4,496	2,186	10,565

表 5.2 再浚渫土量 (TDS 表示) (単位: 1000 t)

Depth (m)	Outer Ch.	Inner Ch.	Basin	Total
9.0	0	401	0	401
10.0	11	688	26	726
11.0	181	993	154	1,329
12.0	521	1,317	358	2,195
13.0	1,024	1,658	660	3,342
14.0	1,741	2,016	980	4,738

表 5.1 の再浚渫土量は、以下の式により TDS (トンズドライソリッド) の重量表記に換算することができる。

$$TDS = \frac{2.65 \times V \times (\rho_s - 1.025)}{2.65 - 1.025} \quad (5.1)$$

ここで V は再浚渫土量 (体積)、s は現場における泥土の密度である。TDS 表記の量は、再浚渫契約が浚渫船から報告される TDS の量に基づくという契約形態の場合に使用される。表 5.2 には、 $s = 1.300 \text{ g/cm}^3$ と仮定した場合について、浚渫土量の堆積 V から TDS 表記の土量に換算した結果を例として示している。

表 5.1 の再浚渫土量には overbreak の余堀分を含まないことに注意されたい。Overbreak は、航路の浚渫では図 5.3 のように平坦な形状に浚渫できないので、底面高を計画形状よりも低くするために余分に浚渫する部分のことである。

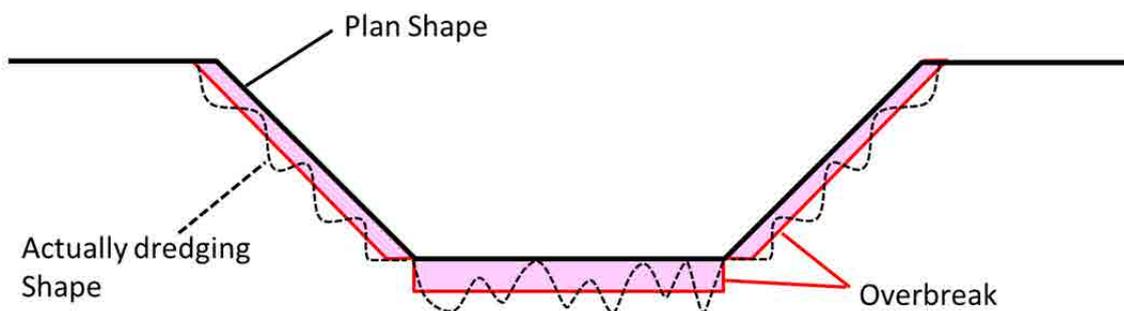


図 5.3 航路浚渫における overbreak の定義

5.2 維持浚渫土量

5.2.1 航行可能水深

図 5.1 によれば、外港航路で最も水深が浅い場所は KP16.0 (L07) 付近の-9.5 m であり、一方、内港航路では KP4.50(L18-L19)付近の-7.0 m である。3 章で述べたように、KP2.90 における航路の底面は密度 $1,200\text{kg/m}^3$ 以下の泥層となっている。また、調査結果は、軟泥層が 1m 以上あることを示している。軟泥層の厚さについてはまだ十分には評価できていないが、ここでは仮に 1.0 m と設定する。このように仮定すると、現状における航行可能水深は-8.0 m と見なすことができる。

図 5.4 は、航行可能水深の定義を示すものである。本調査では、航行可能水深は、密度 $1,200\text{kg/m}^3$ 以下の浮泥層を含む水深としている。次節に述べる浚渫土量の評価において、3 章の結果に基づき、浮泥の厚さを内港航路では 1.0 m、外港航路と泊地では 0.5 m に設定する。しかしながら、浚渫が実施されないならば、航路内の浮泥は固化し、その層厚も小さくなっていくと考えられる。そのため、維持浚渫を繰り返し実施することは、柔らかい泥層を航行可能な状態に保つためにも必要なことである。

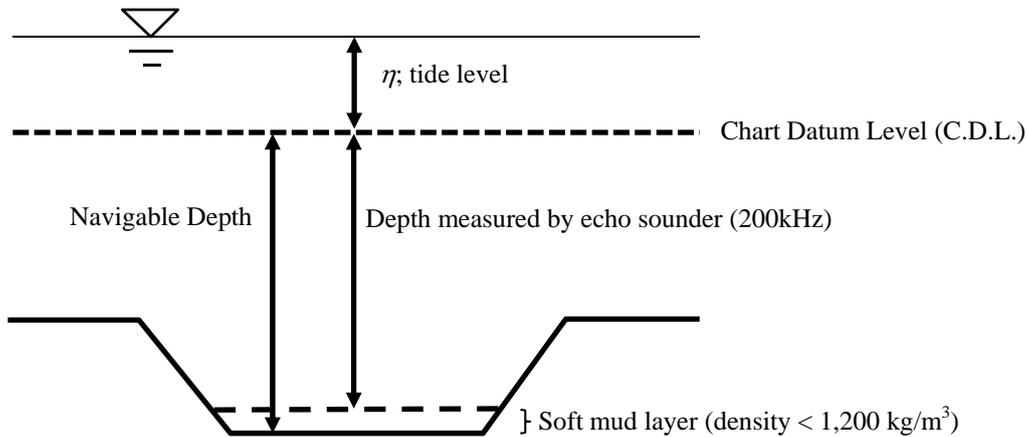


図 5.4 航行可能水深と音響測深器で測定される水深の定義

5.2.2 維持浚渫土量の評価方法

所定の目標水深までの再浚渫後は、航路の埋没が生じます。本報告では、4 章で述べたように、埋没速度について解析し、既往の測量結果に基づいて 2 つの予測モデルを構築した。以下では、修正指数モデルと線形モデルの 2 つの予測モデルを用いて、維持浚渫土量を評価する。

表 5.3 維持浚渫土量を評価する埋没予測モデル

予測モデル	摘要
1. 修正指数モデル	$V = a\Delta h$ <ul style="list-style-type: none"> ● $a = 0.089$ (内港航路) ● $a = 0.109$ (外港航路) with 最終水深(h_e)
2. 線形モデル	$V = \min(a\Delta h, V_{\max})$ <ul style="list-style-type: none"> ● $V_{\max} = 0.39$ m/月 (内港航路) ● $V_{\max} = 0.14$ m/月 (外港航路)

浚渫土量は、浚渫サイクル間の（維持浚渫の実施から次の維持浚渫実施までの期間）埋没した

水深に比例する。航路の目標水深と航路外側の水深差を Δh_{tar} とし、維持浚渫がTヵ月サイクルで実施されるとすると、必要となる浚渫深DX(余掘り分を含む)は、以下のように計算される。

1) 修正指数モデル

$$D_x = \Delta h_{tar} \exp[aT] \quad \text{for 内港航路} \quad (5.2)$$

$$D_x = \Delta h_e + (\Delta h_{tar} - \Delta h_e) \exp[aT] \quad \text{for 外港航路及び泊地} \quad (5.3)$$

2) 線形モデル

$$D_x = v_{linear} T \quad (5.4)$$

ここで、aは内港航路について0.089、外港航路及び泊地において0.109の値であり、 Δh_e は航路外側水深と最終水深の差(= $h_e - h_{out}$)、 v_{linear} は線形モデルにおける埋没速度であり、内港航路について0.39、外港航路について0.14(m/月)である。

式(5.2)について説明するため、L20(KP2.9)の位置の水深変化を想定する。ここで、航路外側の水深はDL-6.9mである。目標水深をDL-11.0mとすると、航路内外の水深差は $h_{tar} = 4.1$ mとなる。ここで、1.0mの浮泥層厚を考慮すると、水深差は $\Delta h_{tar} = 3.1$ mとなる。浚渫サイクルを $T = 6$ ヵ月とすれば、初期の水深差は $D_x = 5.3$ mと算定されるため、目標の浚渫深は、DL-12.2mとなる。浚渫サイクルの6ヵ月間で、航路の底面は徐々に上昇し、最終的にDL-10.0m(航行可能水深はDL-11.0m)になる。6ヵ月後に航路は再度DL-12.2mまで浚渫される。図5.5に、浚渫と航路底面高が上昇する過程の模式図を示す。

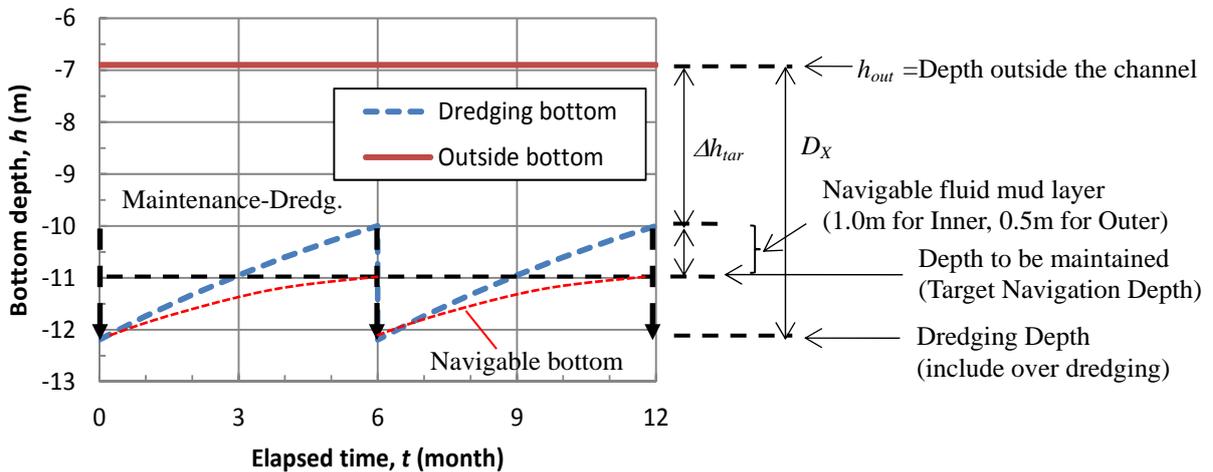


図 5.5 維持浚渫間の航路底面高変化の模式図

5.2.3 水深別維持浚渫土量

維持浚渫量は、DL-9.0 m, DL-10.0 m, DL-11.0 m, DL-12.0 m, DL-13.0 m、及び DL-14.0 m の6つの目標水深に対して計算した。維持浚渫サイクルは、3, 4, 6, 12 ヶ月とした。設定された浚渫サイクルと目標水深に対する維持浚渫量は、修正指数モデルと線形モデルの2つの予測モデル（修正指数モデル及び線形モデル）により評価した。計算結果を表 5.4 と表 5.5 に示す。計算では、 $1,200 \text{ kg/m}^3$ 以下の浮泥層を考慮している。3章の結果より、浮泥層厚は内港航路で 1.0 m、外港航路で 0.5 m を仮定している。

図 5.6 と図 5.7 は、各目標水深について浚渫サイクルに対する年間浚渫量を表示したものである。図 5.6 は、縦軸スケールを固定してプロットしたものの、図 5.7 は異なる縦軸スケールでプロットしたものである。これらの図表から、年間浚渫土量は目標水深と共に増大することが分かる。修正指数モデルによる維持浚渫土量は浚渫サイクルの増加とともに増加する傾向を示す。線形モデルによる維持浚渫量は目標水深が DL-9 m, DL-10 m, DL-11 m, DL-12 m の場合に修正指数モデルとほぼ同じ値となり、目標水深が DL-13 m と DL-14 m の場合、線形モデルの維持浚渫土量は修正指数モデルよりも小さくなる。

図 5.8 に目標水深に対し、年間維持浚渫土量の全計算結果をプロットした。修正指数モデルによる土量は青いマーカースで表示し、線形モデルによるものはオレンジ色のマーカースで表示している。青の曲線は、修正指数モデルによる各目標水深の最小値を結んだものであり、オレンジ色は線形モデルに対して同様に最小値を結んだものである。

修正指数モデルと線形モデルを比較すると、目標水深が 13 m より深い場合に計算された土量に差が見られる。線形モデルの埋没速度は線形モデルにおける一定値の埋没速度は航路水深が 12 m 付近より大きい場合に効果が現れるため、修正指数モデルと線形モデルの差は目標水深が 12 m より深い場合に顕著になる。

表 5.4 修正指数モデルによる維持浚渫土量

Target Navi. Depth (m)	Cycle time (month)	Dredging Volume by areas (10 ³ m ³ /cycle)			Total (10 ³ m ³ /cycle)	Total (10 ³ m ³ /year)
		Outer	Inner	Basin		
9.00	3.00	0	54	0	54	215
	4.00	0	75	0	75	224
	6.00	0	123	0	123	245
	12.00	0	323	0	323	323
10.00	3.00	0	193	0	193	770
	4.00	0	267	0	267	802
	6.00	0	435	0	435	871
	12.00	0	1,107	0	1,107	1,107
11.00	3.00	5	358	3	365	1,461
	4.00	7	495	4	505	1,516
	6.00	11	798	6	815	1,631
	12.00	33	1,937	19	1,988	1,988
12.00	3.00	164	519	53	736	2,944
	4.00	230	715	74	1,020	3,060
	6.00	384	1,140	125	1,650	3,300
	12.00	1,057	2,401	355	3,813	3,813
13.00	3.00	438	677	182	1,297	5,188
	4.00	613	928	256	1,797	5,390
	6.00	1,011	1,463	428	2,902	5,804
	12.00	2,620	2,532	1,190	6,342	6,342
14.00	3.00	818	831	419	2,068	8,272
	4.00	1,139	1,133	589	2,861	8,584
	6.00	1,857	1,766	982	4,605	9,210
	12.00	3,904	2,846	2,691	9,442	9,442

表 5.5 線形モデルによる維持浚渫土量

Target Navi. Depth (m)	Cycle time (month)	Dredging Volume by areas (10 ³ m ³ /cycle)			Total (10 ³ m ³ /cycle)	Total (10 ³ m ³ /year)
		Outer	Inner	Basin		
9.00	3.00	0	54	0	54	215
	4.00	0	75	0	75	224
	6.00	0	123	0	123	245
	12.00	0	323	0	323	323
10.00	3.00	0	193	0	193	770
	4.00	0	267	0	267	802
	6.00	0	435	0	435	871
	12.00	0	1,103	0	1,103	1,103
11.00	3.00	5	358	3	365	1,461
	4.00	7	495	4	505	1,516
	6.00	11	797	6	815	1,630
	12.00	33	1,776	19	1,827	1,827
12.00	3.00	161	516	53	729	2,918
	4.00	220	699	74	994	2,981
	6.00	346	1,071	125	1,542	3,083
	12.00	752	2,078	355	3,186	3,186
13.00	3.00	296	610	182	1,088	4,352
	4.00	397	807	256	1,460	4,379
	6.00	597	1,185	428	2,209	4,418
	12.00	1,203	2,170	1,190	4,563	4,563
14.00	3.00	422	628	419	1,469	5,875
	4.00	562	825	589	1,976	5,928
	6.00	842	1,201	982	3,025	6,050
	12.00	1,675	2,183	2,691	6,548	6,548

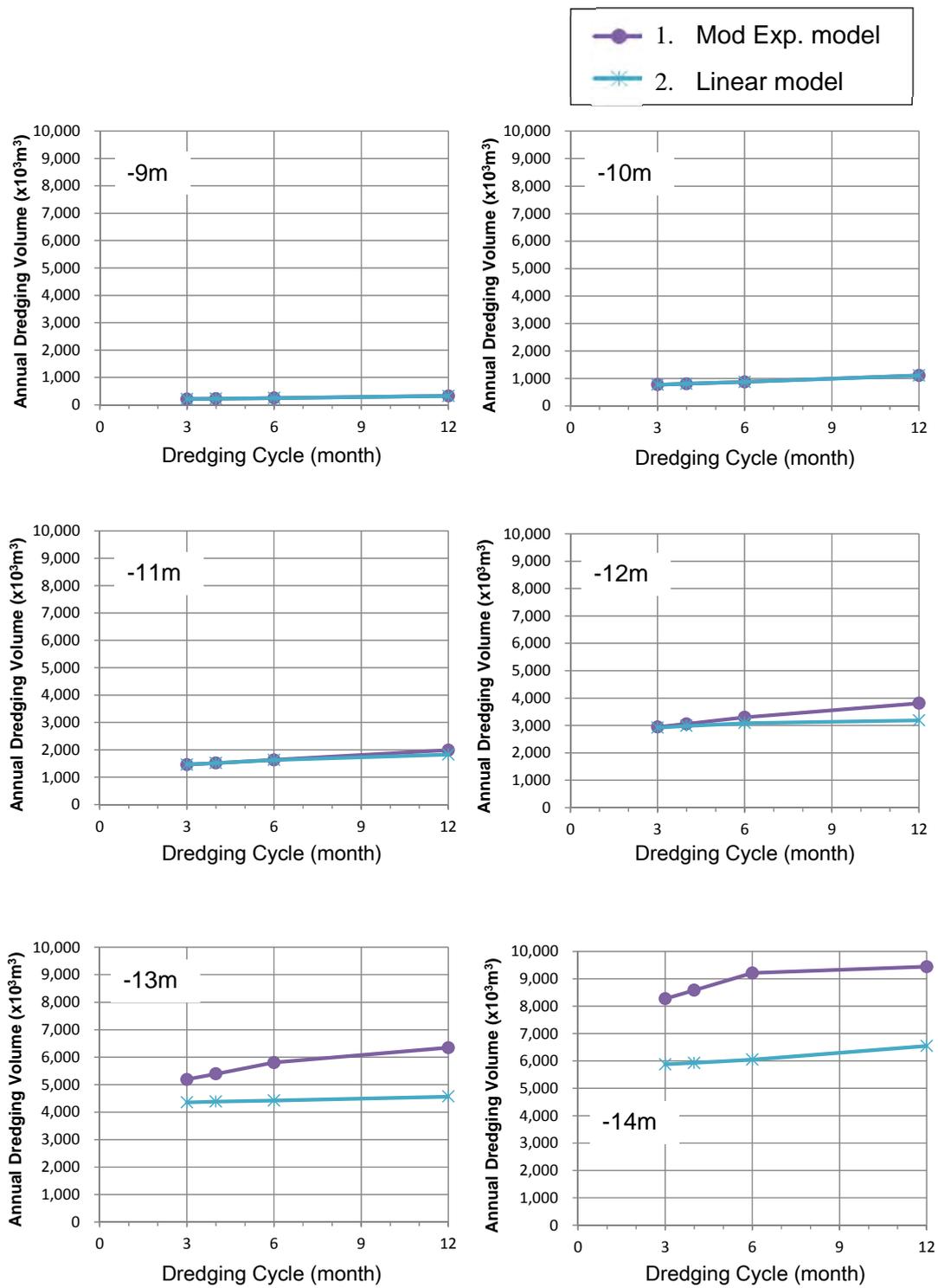


図 5.6 維持浚渫土量（縦軸スケールを固定）

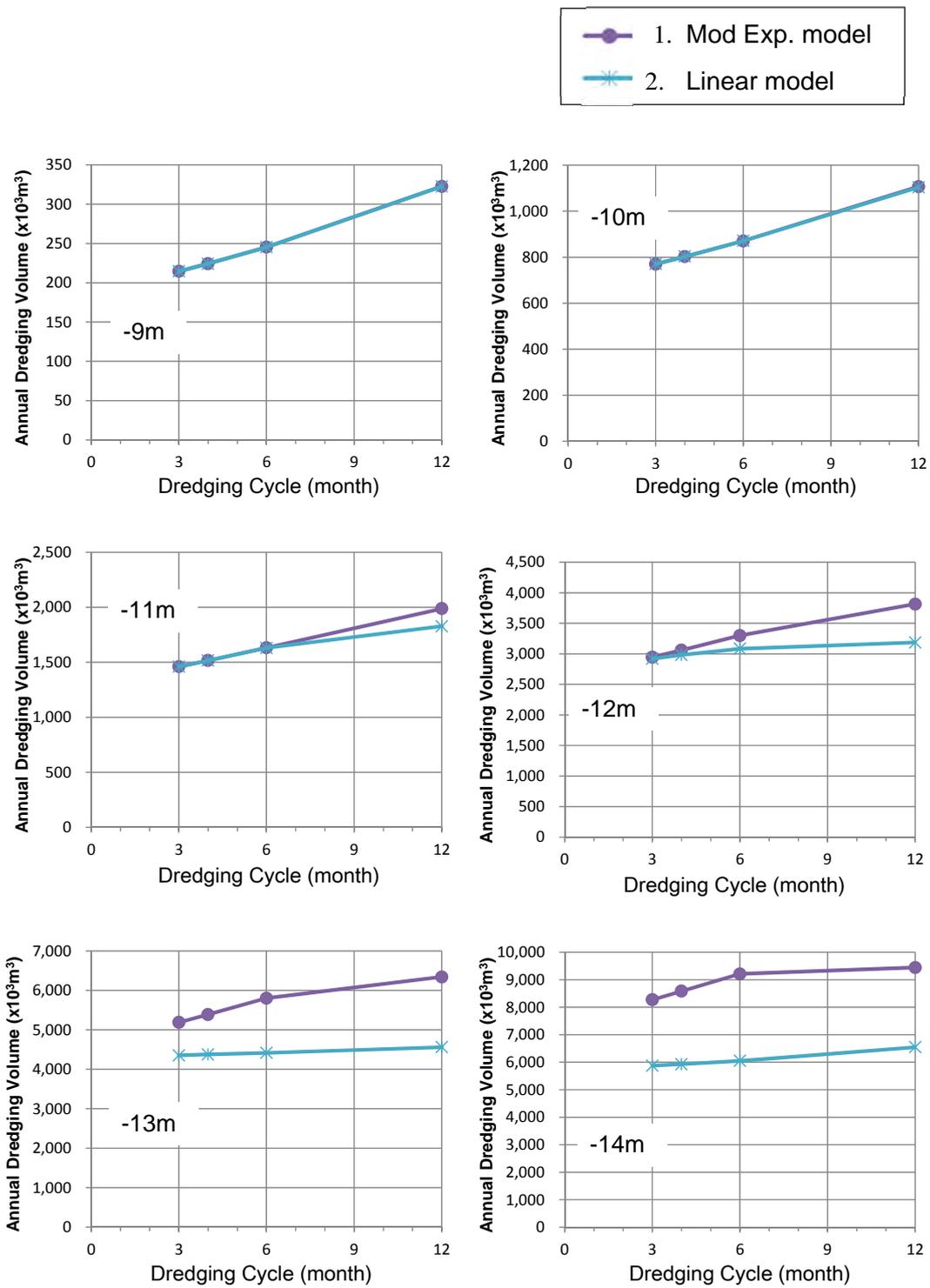


図 5.7 維持浚渫土量 (縦軸スケールが異なる)

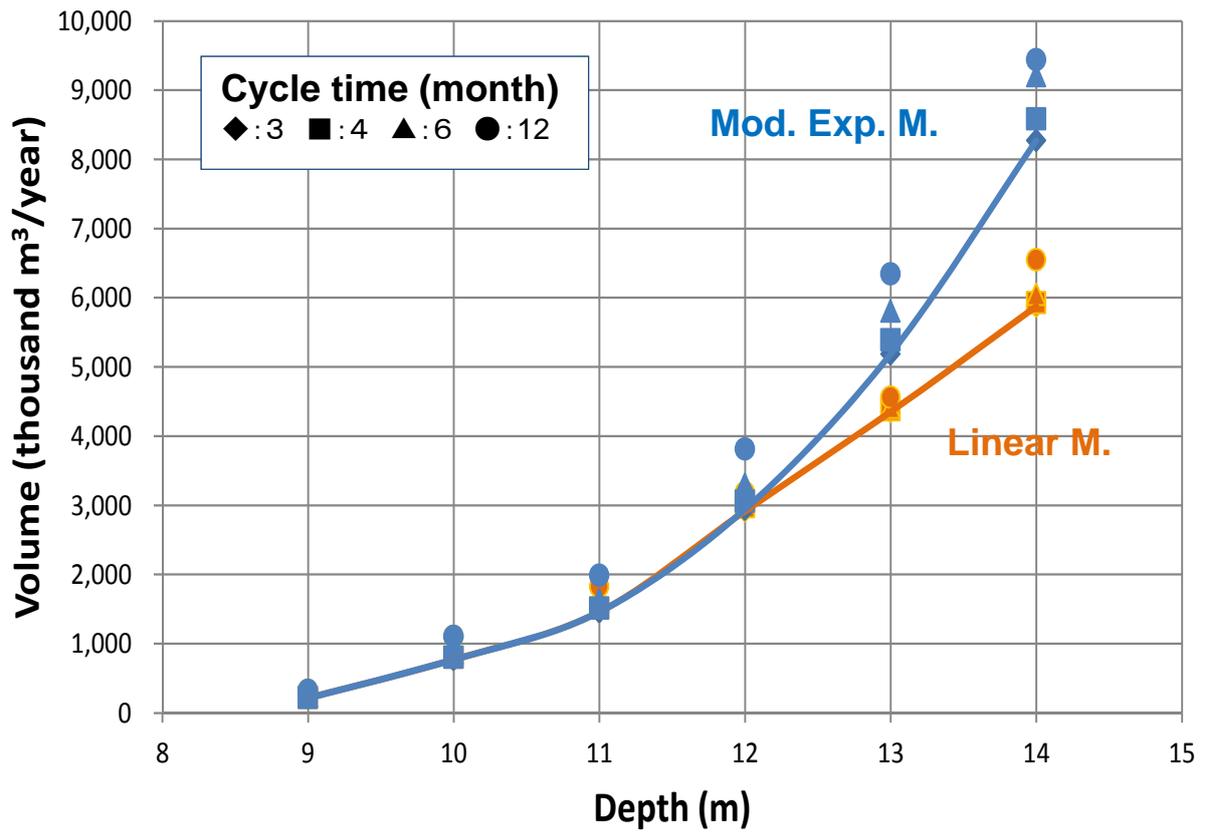


図 5.8 水深別の維持浚渫土量

5.2.1 領域別の維持浚渫土量と余堀深さ

浚渫コストを精度よく評価するためには、領域別の維持浚渫量が必要となる。本調査では、外港航路について1 km 間隔の12 領域、内港航路について1 km 間隔の4 領域、港航路と泊地については0.2 km 間隔の13 領域を設定した。領域は各測線番号に対応して設定している。

領域別の浚渫高と浚渫量の計算結果を表 5.6 に示す。表 5.6 は、一例として、修正指数モデルによる目標水深14 m に対する計算結果を表示したものである。目標水深が9,10,11,12,13 及び14 m に対する計算結果は、Annex C に付した。

表 5.6 の浚渫高は、次の浚渫サイクルに浚渫する必要がある高さであり、内港航路で1.0 m、外港航路と泊地で0.5 m と設定した浮泥層を含む。目標水深下の余堀高も表中に示した。浚渫高と目標水深下の余堀高の定義は図 5.9 に示す通りである。余堀高は浚渫高から浮泥厚を差し引いたものである。

図 5.10 と図 5.11 は、余堀りの水深を表示したもので、修正指数によるものと線形モデルによるものをそれぞれ示す。余堀りの水深は目標水深と目標水深下の余堀高の和で計算される。図より、浚渫サイクルが短いほど、余堀水深が浅くなることを確認される。

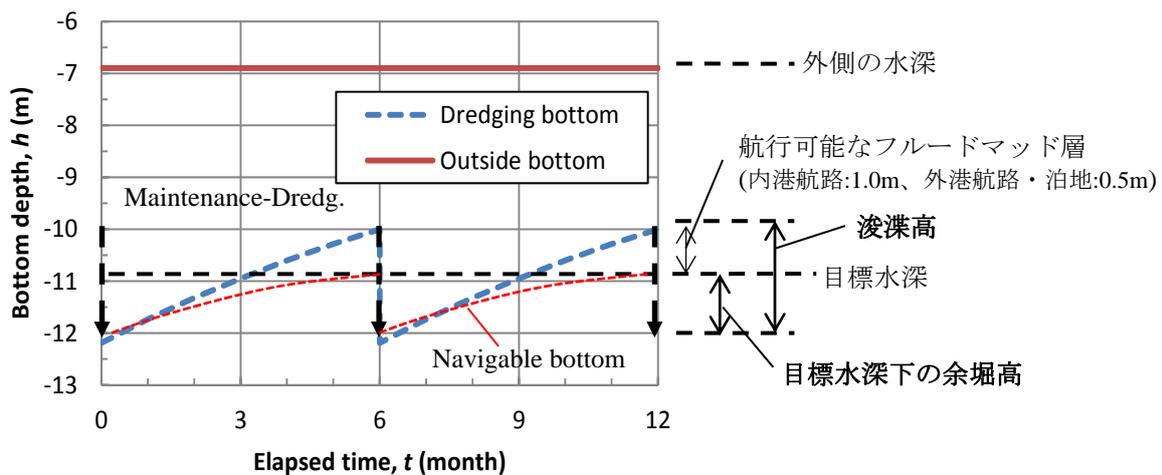


図 5.9 浚渫高と目標水深下の余堀高の定義

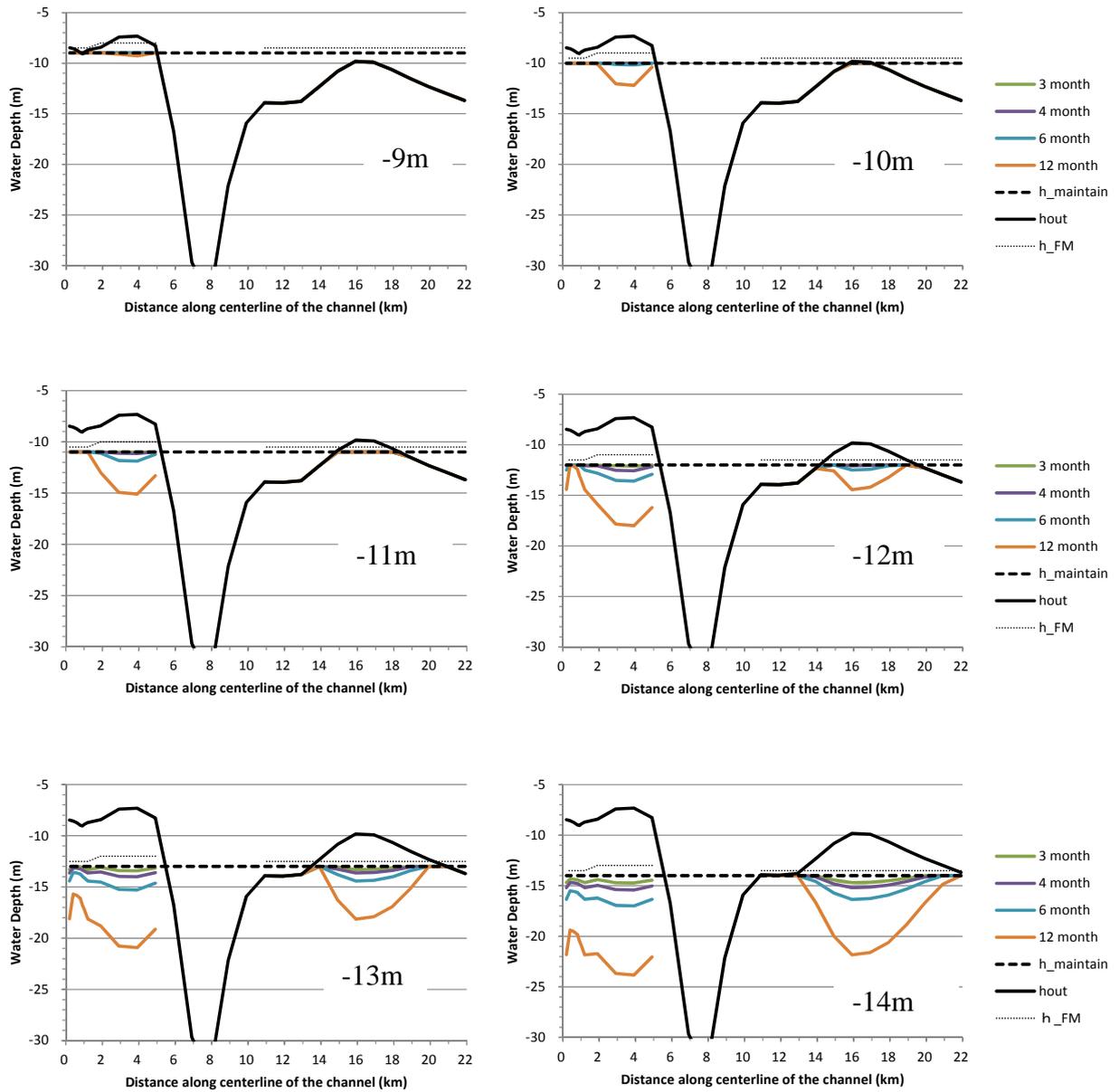


図 5.10 修正指数モデルにより評価された余堀深

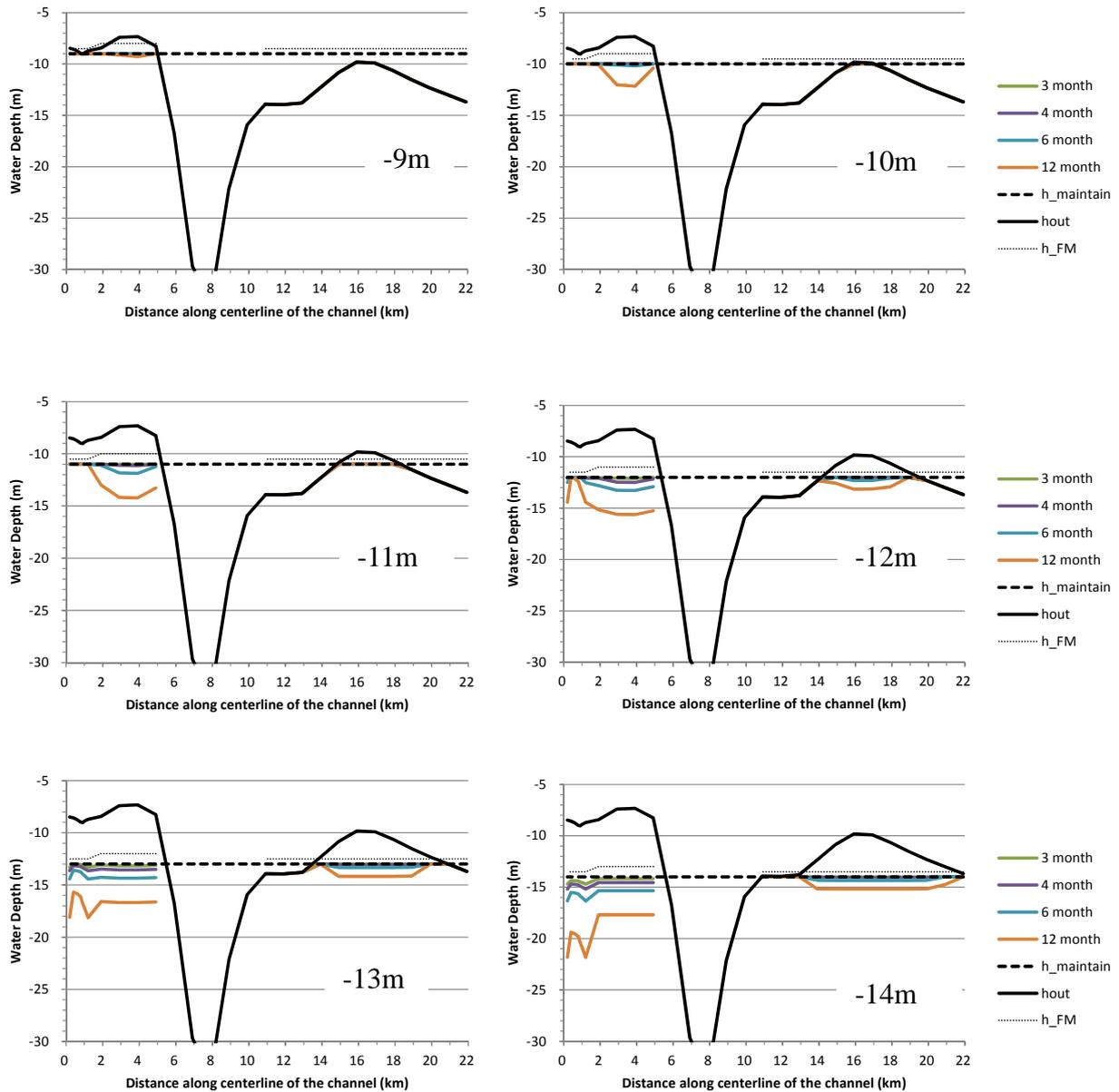


図 5.11 線形モデルにより評価された余堀深

浚渫深は年間維持浚渫量と直接は対応しないことに注意されたい。例えば、浚渫サイクルが3ヵ月の場合、浚渫は1年に4回実施しなければならない。従って、図 5.12 に概念的に示すように、年間浚渫量は浚渫深と繰り返し回数の積となる。浚渫サイクルが短く、浚渫深が浅くなったとしても、年間浚渫土量はそれほど減少しない。しかしながら、浚渫サイクルが短くなると年間浚渫量が若干減少するので、短い浚渫サイクルを選択する方が有利になると考えられる。

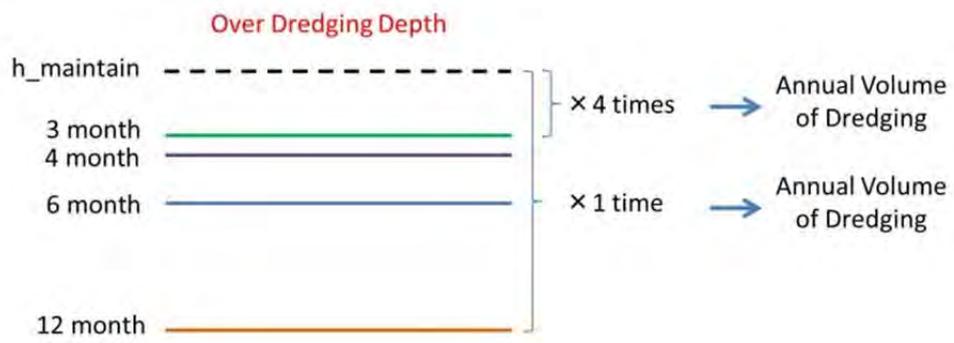


図 5.12 余堀深と年間浚渫量の関係

表 5.6 維持浚渫の浚渫高（余堀高）と浚渫量
目標水深 14 m について修正指数モデルで評価

Mod.Exponential Model

Target Depth = 14m		Height of Dredging (m) (Over dredging height below the target depth, m)				Dredging Volume (x10 ³ m ³ /km/cycle)			
Location		Dredging cycle				Dredging cycle			
Line No.	KP	3 month	4 month	6 month	12 month	3 month	4 month	6 month	12 month
Outer Ch.									
L1	21.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
L2	20.91	0.19 (0.00)	0.27 (0.00)	0.46 (0.00)	1.35 (0.85)	26	37	62	176
L3	19.91	0.46 (0.00)	0.65 (0.15)	1.10 (0.60)	3.21 (2.71)	62	87	144	388
L4	18.91	0.77 (0.27)	1.09 (0.59)	1.83 (1.33)	5.36 (4.86)	102	143	234	591
L5	17.91	1.02 (0.52)	1.44 (0.99)	2.44 (1.94)	7.13 (6.63)	135	187	305	513
L6	16.91	1.16 (0.66)	1.64 (1.14)	2.77 (1.27)	8.09 (7.59)	152	211	341	581
L7	15.91	1.19 (0.69)	1.69 (1.19)	2.85 (2.35)	8.34 (7.84)	157	217	350	598
L8	14.91	0.93 (0.43)	1.31 (0.81)	2.22 (1.72)	6.48 (5.98)	123	171	279	678
L9	13.91	0.45 (0.00)	0.64 (0.14)	1.07 (0.57)	3.14 (2.64)	61	85	141	381
L10	12.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
L11	11.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
L12	10.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
Inner Ch.									
L18	4.91	1.45 (0.45)	2.02 (1.02)	3.34 (2.34)	9.04 (8.04)	192	228	225	186
L19	3.91	1.74 (0.74)	2.43 (1.43)	4.00 (3.00)	10.83 (9.83)	263	310	306	254
L20	2.91	1.71 (0.71)	2.39 (1.39)	3.94 (2.94)	10.67 (9.67)	412	480	474	399
L21	1.91	1.40 (0.40)	1.95 (0.95)	3.22 (2.22)	8.72 (7.72)	657	783	772	635
Port Ch. & Basin									
X1200(P)	1.20	1.19 (0.69)	1.69 (1.19)	2.85 (2.35)	8.33 (7.83)	49	69	114	298
x1000(P)	1.00	1.05 (0.55)	1.49 (0.99)	2.51 (2.01)	7.34 (6.84)	14	20	34	89
L22(P)	0.91	1.00 (0.50)	1.41 (0.91)	2.38 (1.88)	6.97 (6.47)	14	19	32	85
x0800(P)	0.80	0.91 (0.41)	1.28 (0.78)	2.16 (1.66)	6.33 (5.83)	25	35	58	157
x600(P)	0.60	0.86 (0.36)	1.22 (0.72)	2.06 (1.56)	6.03 (5.53)	24	33	56	151
x0400(P)	0.40	0.84 (0.34)	1.19 (0.69)	2.01 (1.51)	5.89 (5.39)	23	33	54	148
x0200(P)	0.20	1.19 (0.69)	1.68 (1.18)	2.84 (2.34)	8.31 (7.81)	49	69	113	297
x1000(B)	1.00	0.87 (0.37)	1.23 (0.73)	2.08 (1.58)	6.08 (5.58)	15	21	34	88
L22(B)	0.91	0.82 (0.32)	1.15 (0.65)	1.95 (1.45)	5.70 (5.20)	19	26	44	117
x0800(B)	0.80	0.67 (0.17)	0.94 (0.44)	1.59 (1.09)	4.65 (4.15)	40	56	93	257
x600(B)	0.60	0.57 (0.07)	0.80 (0.30)	1.36 (0.86)	3.97 (3.47)	50	70	117	332
x0400(B)	0.40	0.45 (0.00)	0.63 (0.13)	1.06 (0.56)	3.11 (2.61)	46	65	109	314
x0200(B)	0.20	0.34 (0.00)	0.48 (0.00)	0.80 (0.30)	2.35 (1.85)	52	74	125	359

*) (P):Port Channel (港航路), (B):Basin (泊地)

5.3 浚渫工法の検討

5.3.1 浚渫船の種類

この節ではいくつかの主要な種類の浚渫船について概観する。詳細については ANNEX C の C5 浚渫工法の検討を参照されたい。

(1) 非航式カッターサクシオン浚渫船(CSD)

これは、ラダー先端に取り付けられたカッターヘッドで海底土砂を攪拌し、海水と混合された土砂を吸い上げる方法である。海水とともに吸い上げられた土砂は排砂管によって土捨て場に圧送される。経済的圧送距離は一般的に2~3キロメートルである。この形式の浚渫船の操船位置決めはスパッドと呼ばれる昇降し海底に差し込まれる2本の杭とラダーを通して海底に設置されたアンカーに連結しているスイングウインチワイヤーによって行われる。写真と典型的カッターサクシオン浚渫船の概念図を写真 5.1 および 図 5.13.に示す。



写真 5.1 カッターサクシオン浚渫船

(出典: “IHC Beaver Cutter Suction Dredger” International Marine Consultancy)

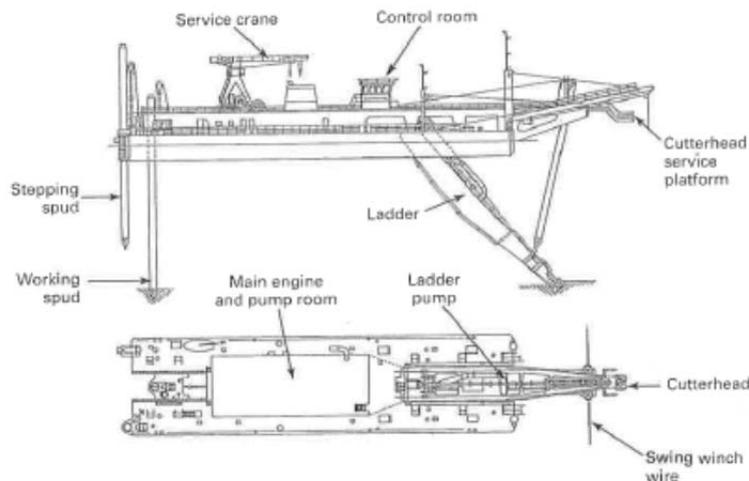


図 5.13 カッターサクシオン浚渫船の概念図

(出典: “Dredging; A handbook for engineers” R N Bray et al., 1998)

(2) トレーラーサクシオンホッパー浚渫船(TSHD)

これはサクシオンパイプの先端に取り付けられたドラッグヘッドで土砂と海水を吸い込みポンプによって吸い上げる方法である。吸い上げられた土砂は浚渫船に装備されたホッパーに積み込まれる。ホッパーが土砂で満杯になると浚渫船は自航し土捨て場に至り、ホッパーの底を開き土砂を捨てる。一般的な TSHD の写真と概念図を写真 5.2 および図 5.14 に示す。

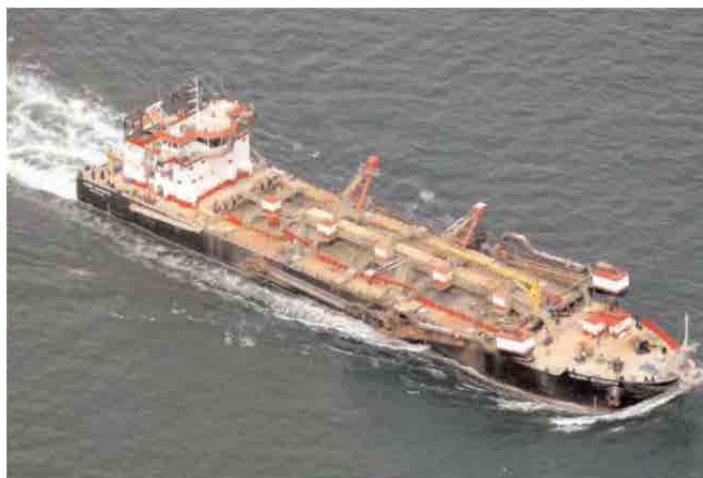


写真 5.2 トレーラーサクシオンホッパー浚渫船 (TSHD)
(出典: “TSHD Glenn Edwards 10,000m³” The art of dredging.com)

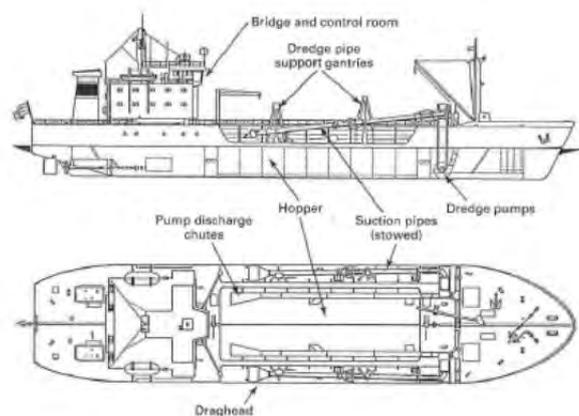


図 5.14 TSHD の概念図

(出典: “Dredging; A handbook for engineers” R N Bray et al.,1998)

(3) グラブホッパー浚渫船(GD)

これは、クレーンに取り付けられたグラブバケットによって海底を掘削する方法である。つかみ取られた土砂は浚渫船に装備されたホッパー内に積み込まれる。ホッパーが満杯になると、浚渫船は自航して、土捨て場へ行きホッパーの底を開いて土砂を捨てる。ほかに台船形状で自船上にホッパーを保有せず、自航もできないグラブ浚渫船もある。台船形状のグラブ浚渫船は浚渫土砂を土運船に積み込む。これらの図と写真を写真 5.3、写真 5.4、図 5.15 および図 5.16 に示す。



写真 5.3 グラブホッパー浚渫船

(出典: “Hopper Dredger CRANE” Axeonalias, RC Groups.com)

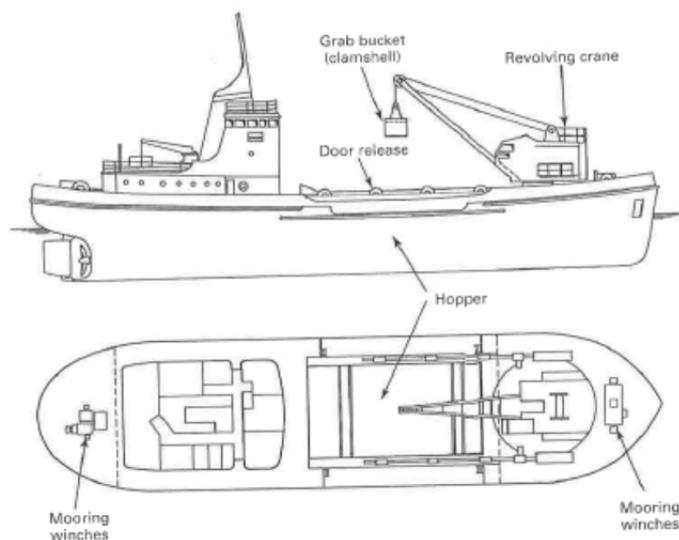


図 5.15 グラブホッパー浚渫船の写真と概念図

(出典: “Dredging; A handbook for engineers” R N Bray et al., 1998)



写真 5.4 グラブ浚渫船 (台船形状)

(出典: “The closing process of clamshell dredges in water-saturated sand” Dr. ir. S.A. Miedema et al.)

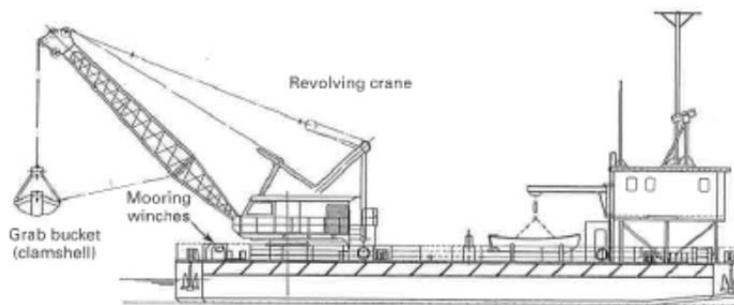


図 5.16 グラブ浚渫船 (台船形状)の写真と概念図

(出典: “Dredging; A handbook for engineers” R N Bray et al.,1998)

(4) 非航バックホー浚渫船 (BHD)

これは、バックホーの油圧アームによって操作されるバケットで掘削する方法である。主構成は陸上で使用されるバックホーである。浚渫土砂は通常土運船に積み込まれる。バックホー浚渫船は通常2または3本のスパッドが搭載されており、これで位置決めおよびバックホーの掘削時の反力に対抗するようになっている。バックホー浚渫船の写真と概念図を写真 5.5 および図 5.17 に示す。



写真 5.5 バックホー浚渫船

(出典: “Mimar Sinan” Jan De Nul Group)

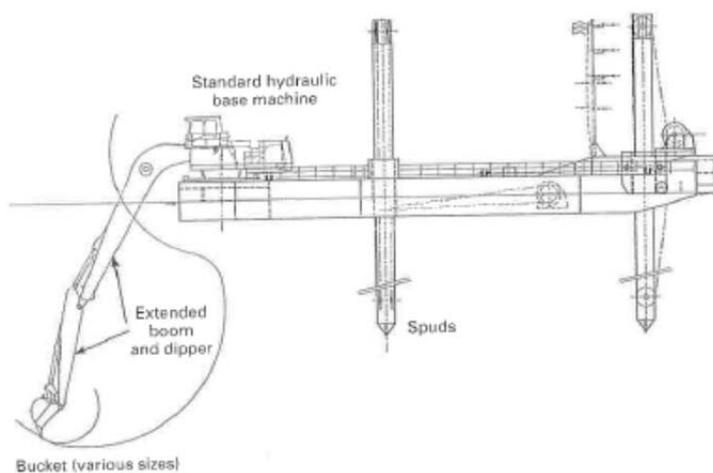


図 5.17 バックホー浚渫船の概念図

(出典: “Mimar Sinan” Jan De Nul Group)

5.3.2 適切な浚渫工法

前節では主要な 4 種類の浚渫船について述べた。ここではそれらの浚渫船を比較しラ・ユニオン港の維持浚渫に適した浚渫工法と浚渫船を選択する。

浚渫工法と適切な浚渫船を選択するために、下記の条件を考慮する。

- 1) 浚渫土砂の特性
- 2) 浚渫場所へのアクセス
- 3) 航路の最大維持水深
- 4) 浚渫場所の形状
- 5) 海象条件
- 6) 航行船舶への影響
- 7) 土捨て場
- 8) 生産性
- 9) 費用効果

1) 浚渫土砂の特性

ラ・ユニオン港の内港航路および外港航路の海底土砂は N 値がわずか 1 の粘土、粘土質シルトおよび、シルト質砂である。この条件に対しては、いずれの浚渫船でも浚渫可能である。

2) 浚渫場所へのアクセス

回航時の浚渫場所へのアクセスの可否は浚渫船を選択するうえで重要である。ラ・ユニオン港の浚渫前の航路深さと、その近辺の水深はおおよそ 7 m 以上であり、海象条件は一般的に穏やかである。したがって、水深および海象ともにいずれの浚渫船も浚渫場所へのアクセスが可能である。

3) 航路の最大維持水深

本プロジェクトでは航路の最大計画水深は 14 m であり、通常のバックホー浚渫船にとってはどちらかと言えば深い。したがって、バックホー浚渫船はあまり適していない。他の浚渫船は問題なく浚渫できる。

4) 浚渫場所の形状

TSHD は他の浚渫船と浚渫方法が異なっていて、ゆっくり前進航行しながら浚渫をおこなう。このため、浚渫延長が短いと頻繁に回頭しなければならない。逆に、浚渫場所がラ・ユニオン港の内港・外港航路のように細長い形状の場合は浚渫が効率的になる。また、TSHD は浚渫の終了地点で回頭するために十分な幅と深さが必要となる。例えば、回頭の際に浚渫船が航路の外側へはみ出しても外側の水深は 7 m 以上であり、これは TSHD にかぎらず全て浚渫船の回頭に十分な水深である。したがって、ラ・ユニオン港の航路の長さとは幅はいつれの浚渫船にとっても制約条件とはならない。

5) 海象条件

ラ・ユニオン周辺の風は年間を通して穏やかであるためいずれの浚渫船にとっても風

は制約条件に問題にならない。

内港航路の波は十分静穏であり、どの浚渫船に対しても制約条件とはならない。しかし、外港航路では外洋から波とうねりが来襲するため、スパッドによって位置を固定するカッターサクシオン浚渫船とバックホー浚渫船は、スパッドの耐波性に不安が残る。

ラ・ウニオン港での潮流は最大で 1.79 m/s に達する。クラブホッパー浚渫船の潮流に対する稼働限界は 1.5 ノット (0.77 m/s) であり、カッターサクシオン浚渫船及びバックホー浚渫船のそれは 2 ノット (1.03 m/s) である。TSHD だけが 3 ノット (1.54 m/s) である。TSHD が他の浚渫船よりも潮流の影響を受けにくい。

6) 航行船舶への影響

航路の維持浚渫を行う際には、浚渫区域内を航行する一般船舶を安全に通過させなくてはならない。このためには場合によっては、浚渫作業の中断が求められる。その中断の程度は浚渫船の位置決め方法（固定方法）によって異なる。固定にアンカーワイヤーを使用するクラブ浚渫船はそのアンカーワイヤーが近傍を通過する一般船舶の航行を阻害するので、一般船舶通過時に必要な深さを確保するためにアンカーワイヤーを緩める必要がある。その間、浚渫作業を中断することになる。スパッド式の浚渫船は航行船舶への影響は比較的少ない。カッターサクシオン浚渫船では排砂管が海面にあると航路を塞いでしまうので、排砂管を海底に設置する必要がある。しかし、浚渫場所を移動する毎に排砂管も移動しなければならないので移動・再設置の手間が大きくなる。上述した浚渫船のすべては浚渫区域で常に固定して作業を行うので緊急時の円滑な移動が困難である。これらに対して、TSHD はアンカーが不要であるので航行船舶への影響は最も少ない。したがって、TSHD が四つのタイプの浚渫船で一番良いと判断される。

7) 土捨て場

このプロジェクトの土捨て場は浚渫区域から 15.0～36.0 km 離れた沖にある。カッターサクシオン浚渫船の土捨て方法は、土捨て場まで配管された排砂管の先から土砂を排出する。通常は排出距離は 2～3 km である。ブースターポンプを使用すれば、より遠くまで排出が可能になるが、それでも今回のような長距離は極めて難しい。したがって、このプロジェクトではカッターサクシオン浚渫船は適切でない。

8) 生産性

一般的に、生産性は浚渫船の形式に依らず浚渫船各々のサイズまたは容量に依存する。また、生産性は浚渫船そのものよりも熟練した運転手、管理およびその他の要因に高く依存する。これらの条件が同じだとしたら、クラブ浚渫船は作業が連続でないために生産性は劣る。

ラ・ウニオン港においては潮流が 1.79 m/秒に達する。この速い流れが、浚渫船の生産性に影響を及ぼすことが考えられる。このため、上述した浚渫船の最大潮流に対する稼働限界を比較すると、クラブ浚渫船の生産性は最も低く、TSHD の生産性が最も高いと考えられる。

9) 費用効果

費用効果は回航費と生産性に関係する。このうち回航費については、自航できる TSHD とグラブホッパー浚渫船のほうが自航出来ないカッターサクシオン浚渫船とバックホー浚渫船よりも安価である（費用効果が良い）。そうすると、TSHD とグラブホッパー浚渫船の優劣は、生産性で決まる。前項 8）で述べたように、生産性は TSHD のほうが良いので、最終的に TSHD の費用効果が最も高いと評価できる。

上記の評価を表 5.7 に要約してリストアップしている。表 5.7 によれば、カッターサクシオン浚渫船は、航路の航行船舶を阻害するとともに、主に海象条件及び土捨て場の条件が制約となり、選択から外される。また、バックホー浚渫船は、海象条件及び水深条件に対す適用性が良くない。そして、グラブホッパー浚渫船は、費用効果とともに航路の航行船舶の阻害および生産性が劣るとの理由で外される。

結果として、ラ・ユニオン港での維持浚渫に適切な浚渫船として TSHD を選択した。

TSHD は表 5.7 に示すように他の浚渫船と比較して、一般航行船舶への影響が最も少ないとともに、生産性および費用効果の面で特に評価されている。

表 5.7 ラ・ユニオン港における浚渫船の適用性

浚渫船の評価項目		カッターサクシオン浚渫船	トレーラーサクシオンホッパー浚渫船	グラブホッパー浚渫船	バックホー浚渫船
1)	浚渫土砂の特性	適用	適用	適用	適用
2)	浚渫場所へのアクセス	適用	適用	適用	適用
3)	航路の最大維持水深	適用	適用	適用	NG
4)	浚渫場所の形状	適用	適用	適用	適用
5)	海象条件	NG	良好	適用	NG
6)	航行船舶への影響	NG	良好	NG	NG
7)	土捨て場	NG	適用	適用	適用
8)	生産性	NG	高い	NG	NG
9)	費用効果	NG	高い	NG	NG
最終選択浚渫工法			選択		

注: 「NG」は「適用しない」ことを示す。

5.3.3 浚渫船の必要容量

浚渫船の泥艙容量（以下、容量）が小さいと予定期間内に浚渫を完了することができず、逆に大きすぎると不経済である。したがって、浚渫量と浚渫期間に見合った容量の浚渫船を選定しなければならない。

例えば、浚渫サイクルが3カ月の場合、浚渫しなければならない量に対して浚渫船の容量が大きくて1カ月で完了するようだと、稼働率は33%（1カ月/3カ月）であり、浚渫船の待機時間が長くなり無駄である。一方、浚渫船の容量が小さくて所定の量を浚渫するのに4カ月かかると、稼働率は133%（4カ月/3カ月）であり、3カ月の浚渫サイクルが維持できない。

つまり、浚渫船容量としては、

稼働率 = (ある容量の浚渫船が浚渫に要する期間 / 要求されている浚渫期間) x 100
が100%を超えない範囲で、できるだけ大きいものを選ぶ。

本節は稼働率の評価の方法を説明し、再浚渫の浚渫船容量と維持浚渫の浚渫船容量を維持水深別に検討する。

(1) 浚渫の物理条件

浚渫船の容量を決定するための物理条件を下記に示す。

1) 浚渫土	シルト、粘土
2) 泥艙内土量の積み付け効率	60%
3) 浚渫場所から土捨て場までの距離	15 から 36 km (図 5.18 参照)
4) 浚渫および回頭時間	0.5 時間および 0.25 時間 (計 0.75 時間)
5) 土捨ておよび回頭時間	0.15 時間および 0.15 時間 (計 0.3 時間)
6) 船速 (満載)	10.2 kt
7) 船速 (軽荷)	10.8 kt

CEPA は、積み付け効率を 65% から 75% で評価している。しかし、日本の国土交通省中部地方整備局の報告書『浚渫効率の向上を図るドラグサクシオン浚渫兼油回収船「清龍丸」の建造』によれば、泥艙内のシルト量は 59.2% であった。以上のことから、本検討では積み付け効率として 60% を使用する。

最初の航路浚渫時（2007 年）の土捨て場の位置は、エルサルバドル国環境省の承認を得て決定された。本調査で、試浚渫の土捨て場について、エルサルバドル国環境省に確認したところ、同じ海域を使用するようとの指示があった（図 5.18）。

浚渫時間は 0.5 時間、回頭時間は 0.25 時間とし、合計で 0.75 時間である。また、土捨て時間は 0.15 時間、回頭時間は 0.15 時間とし、合計 0.3 時間とした。

浚渫船が土捨て場へ向かう満載時の速度を 10.2 kt とし、浚渫船が土捨て場から浚渫場所へ向かう軽荷時の速度を 10.8 kt とする。

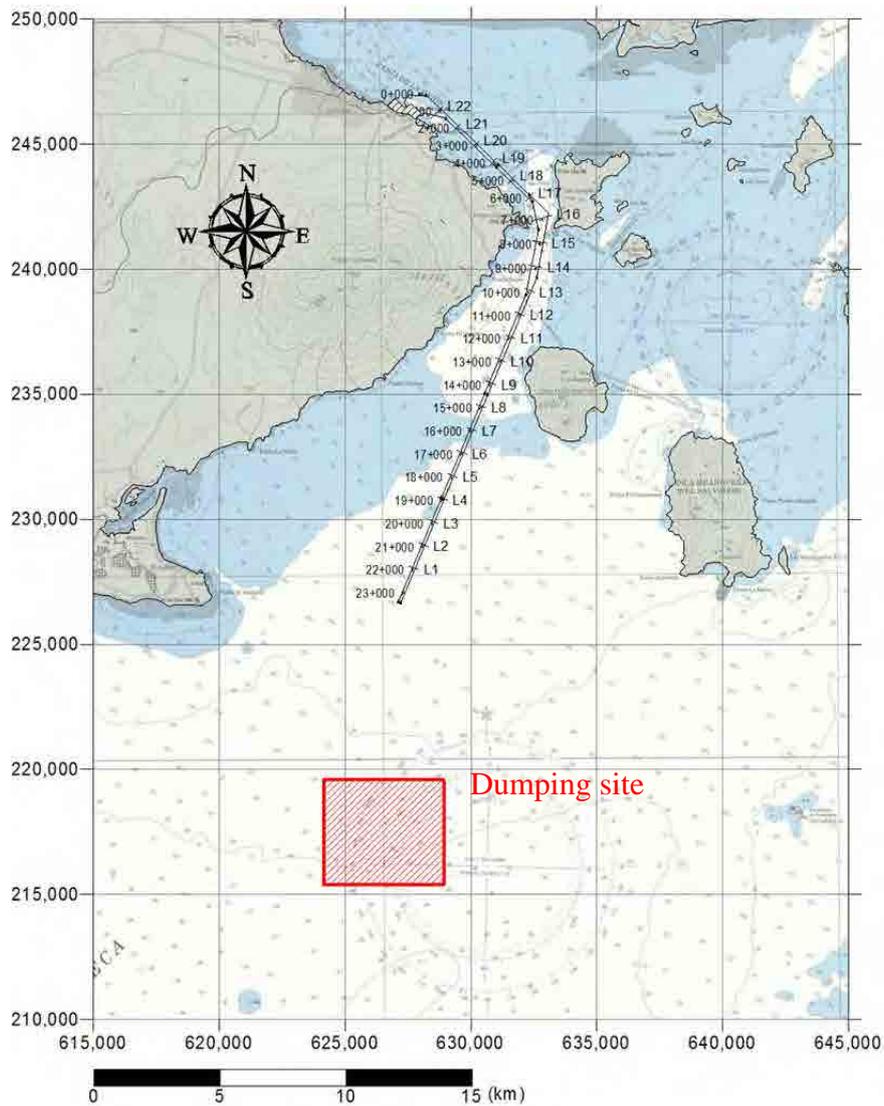


図 5.18 土捨て場位置

(2) 浚渫の作業条件

浚渫の作業条件を下記に示す。

1) 1年間の作業週間:	44 週間 (220 日間)
2) 1年間の点検及び作業不能週間:	8 週間
(入渠しての定期点検工事:)	4 週間
(修理、消耗品交換、手入れ等:)	3 週間
(悪天候による就業不能日:)	1 週間
3) 1週間の作業日数	5 日間
4) 1日の実働時間 (作業効率 0.8):	19.2 時間

1週間の作業日数5日間は、月曜日朝に作業を開始し、土曜日朝に帰港する。土曜日には機器類の点検及び補修を行い、日曜日は休日とする。

(3) 稼働率の考え方

浚渫作業全体に要する時間のうち、浚渫船が浚渫場所から土捨て場までを往復する時間が相当の割合を占める。ラ・ウニオン港の航路は約 22 km と長く、土捨て場までの距離は最も近いところで 15 km、最も遠い所で 36 km となっている。このため、土捨て場までの往復時間は浚渫場所によって大きく異なるので、航路を短い区間に区切ってそれぞれの区間について計算しなければならない。ここでは、航路を 1 km 区間に区切ってこの計算を行った。

図 5.19 は、浚渫船が浚渫を行い、沖に土砂を捨てに行き、元の浚渫場所まで帰ってくるまでに要する時間を具体的事例について図示したものである。対象とした事例は、表 5.8 の通りである。

表 5.8 作業時間計算の事例

航路維持水深	12 m
浚渫箇所	L19 の測線位置の 1 km 区間
土捨て場までの距離	33.5 km
維持浚渫土量	151,000 m ³ (3 カ月あたり) (修正指数モデルによる予測値)
浚渫サイクル	3 カ月
浚渫船容量	5,000 m ³ (有効容量 3,000 m ³)

【浚渫 1 回転に要する時間】 図 5.19 参照

浚渫作業及び回頭	0.75 時間
土捨て場まで往路	1.77 時間
土捨て作業及び回頭	0.30 時間
土捨て場からの復路	1.67 時間

合計 4.49 時間

【維持浚渫量達成までに要する時間】

浚渫船が土捨て場まで 1 往復した時に処理できる土量 : 3,000 m³

L19 の 1 km 区間の維持浚渫量 : 151,000 m³

従って、維持浚渫量を浚渫するためには、浚渫船は 50.3 往復しなければならない。1 往復に要する時間は 4.49 時間であるので、トータルの時間は 225.8 時間となる。

【稼働率】

上記の結果は測線 L19 を含む航路 1km 区間を浚渫するに要する時間である。同様な計算を残りの浚渫を要する 1km 区間ごとに計算して、それらの総和を求める。これが航路全体を 5,000m³ の容量の浚渫船で維持浚渫するのに要する時間である。ここに示した例では、時間の総和は 1047 時間であった。

一方、作業条件より 3 カ月の作業日数は 55 日 (220 日/4) であるので、実働作業時間は、55 日×19.2 時間=1056 時間である。したがってこの場合、

稼働率 = (1047 時間 / 1056 時間) × 100 = 99 %
となる。

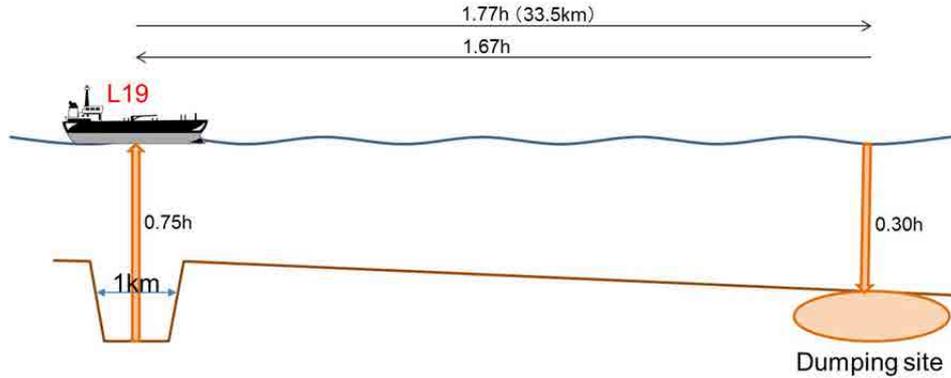


図 5.19 浚渫作業に必要な時間

(4) 必要な浚渫船容量の決定プロセス

第 5.1 節と第 5.2 節で、各航路維持水深について、再浚渫量と浚渫サイクル別の維持浚渫量が決まっている。再浚渫の場合は 1 年間で浚渫するケースについて検討する。維持浚渫の場合は 3、4、6、12 カ月サイクルのケース毎に検討する。

各ケースについて、浚渫船容量 1,000 m³ の場合の稼働率を計算することからスタートする。計算された稼働率が 100 % を超えていた場合は、浚渫船容量を 500 m³ 増加させて再度稼働率を計算する。浚渫船容量を 500 m³ 刻みで増加させながらこの計算を繰り返し行い、最初に稼働率が 100 % を下回った浚渫船容量をそのケースに「必要な浚渫船容量」とした。

(5) 必要な浚渫船容量

表 5.9 に、浚渫期間を 1 年として、再浚渫に必要な浚渫船容量及び稼働率を水深別に取りまとめた。

表 5.9 再浚渫に必要な浚渫船容量 (m³)

維持目標水深	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
浚渫船容量(m ³)	2,000	3,000	5,500	8,500	15,000	18,000
稼働率(%)	(80)	(96)	(93)	(97)	(82)	(95)

表 5.10 及び表 5.11 に修正指数モデル及び線形モデルのケースにおける水深別各浚渫サイクルの必要浚渫船容量及び稼働率を示す。

表 5.10 維持浚渫に必要な浚渫船容量 (m³)、修正指数モデルのケース

維持水深 浚渫サイクル		9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
		浚渫船容量 m ³	1,000 (39)	1,500 (92)	3,000 (87)	5,000 (99)	8,500 (99)
浚渫船容量 m ³	3 カ月	1,000 (39)	1,500 (92)	3,000 (87)	5,000 (99)	8,500 (99)	15,000 (88)
	4 カ月	1,000 (40)	1,500 (96)	3,000 (90)	5,500 (94)	9,500 (92)	15,000 (91)
	6 カ月	1,000 (44)	2,000 (78)	3,000 (97)	6,000 (92)	9,500 (99)	15,000 (98)
	12 カ月	1,000 (58)	2,000 (99)	4,000 (89)	6,500 (97)	11,000 (92)	15,000 (100)

下段のカッコ内の数字は、稼働率

表 5.11 維持浚渫に必要な浚渫船容量 (m³)、線形モデルのケース

浚渫サイクル		維持水深					
		9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
浚渫船容量 m ³	3 カ月	1,000	1,500	3,000	5,000	7,500	10,000
		(39)	(92)	(87)	(98)	(96)	(98)
	4 カ月	1,000	1,500	3,000	5,500	7,500	10,000
		(40)	(96)	(90)	(91)	(97)	(99)
6 カ月	1,000	2,000	3,000	5,500	7,500	11,000	
	(44)	(78)	(97)	(94)	(98)	(92)	
12 カ月	1,000	2,000	4,000	5,500	8,000	15,000	
	(58)	(99)	(82)	(97)	(96)	(74)	

下段のカッコ内の数字は、稼働率

図 5.20 及び図 5.21 は表 5.10 及び表 5.11 を図化したものである。

水深 9 および 11 m を維持するために必要な浚渫船容量は修正指数モデル及び線形モデルとも同じで 1,000~4,000 m³ である。しかし、維持水深 12 m 以深になると修正指数モデルと線形モデルとで違いが出てくる。線形モデルでは維持水深 14 m で必要浚渫船容量は 10,000~15,000 m³ であるのに対して、修正指数モデルでの必要浚渫船容量は 15,000 m³ である。

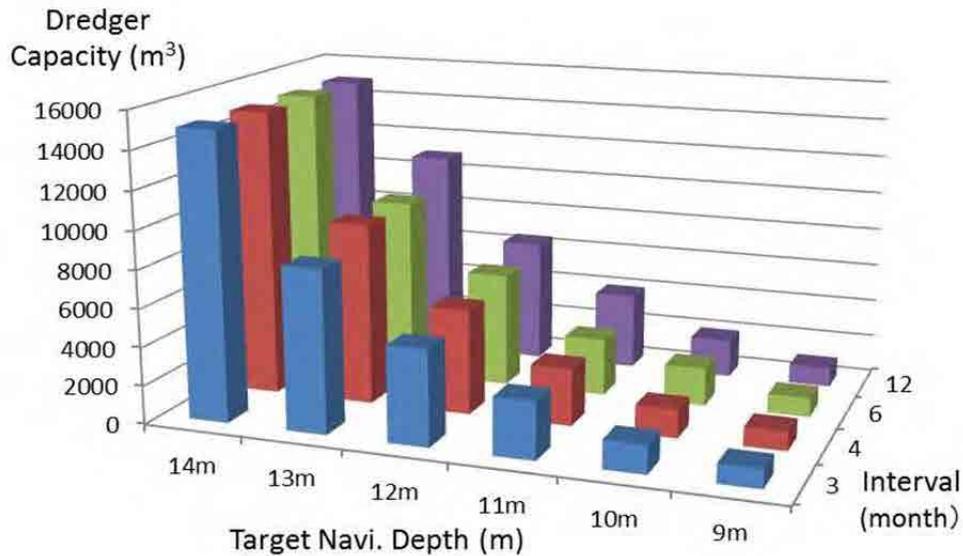


図 5.20 維持浚渫に必要な浚渫船容量 (m³)、修正指数モデルのケース

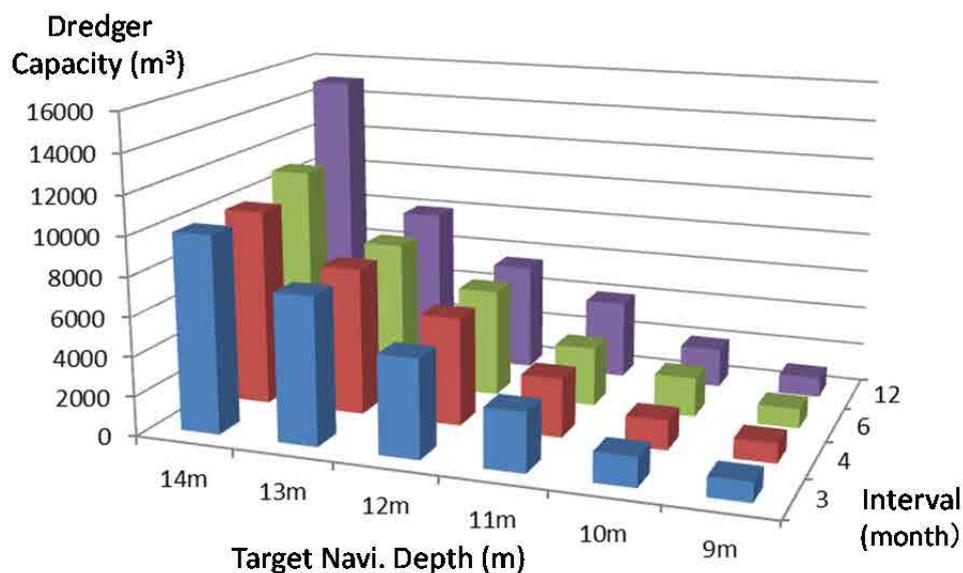


図 5.21 維持浚渫に必要な浚渫船容量 (m³)、線形モデルのケース

5.4 浚渫コストの積算

浚渫コストの積算は、浚渫を浚渫会社に委託して行う場合（契約ベースの浚渫）と浚渫船を保有して直営で浚渫を行う場合（自船での浚渫）について行う。自船での浚渫のコストは、現在 CEPA が考えている内容に基づいて積算した。

図 5.22 と図 5.23 は、それぞれ契約ベースの浚渫と自船での浚渫における積算の構成を示したものである。図 5.22 と図 5.23 を対応させたときに、同じ色付けになっている項目は同じ内容になっており、色付けしていない（白色の）項目は、考え方の異なる項目である。

二つの場合の積算構成は、最上段の項目が同じ色で対応しており、大枠では同じである。つまり、いずれの場合も浚渫コストは直接経費と間接費の和である。直接経費はいずれの場合も機械費、燃料費及び人件費で構成されるが、それらの内訳の項目において少し違いがある。間接費の内容は回航費を除いて、契約ベースの浚渫と自船での浚渫とで考え方および内容が異なる。

以下において、契約ベースの浚渫と自船での浚渫で同じ項目についてはまとめて、異なる項目については別々に具体的に説明する。図 5.22 と図 5.23 中の各項目につけた数字は以下の項と対応している。例えば、図 5.23 中の「2)CEPA 資料」は、以下の(3)人件費 2)CEPA 資料のところで説明している。

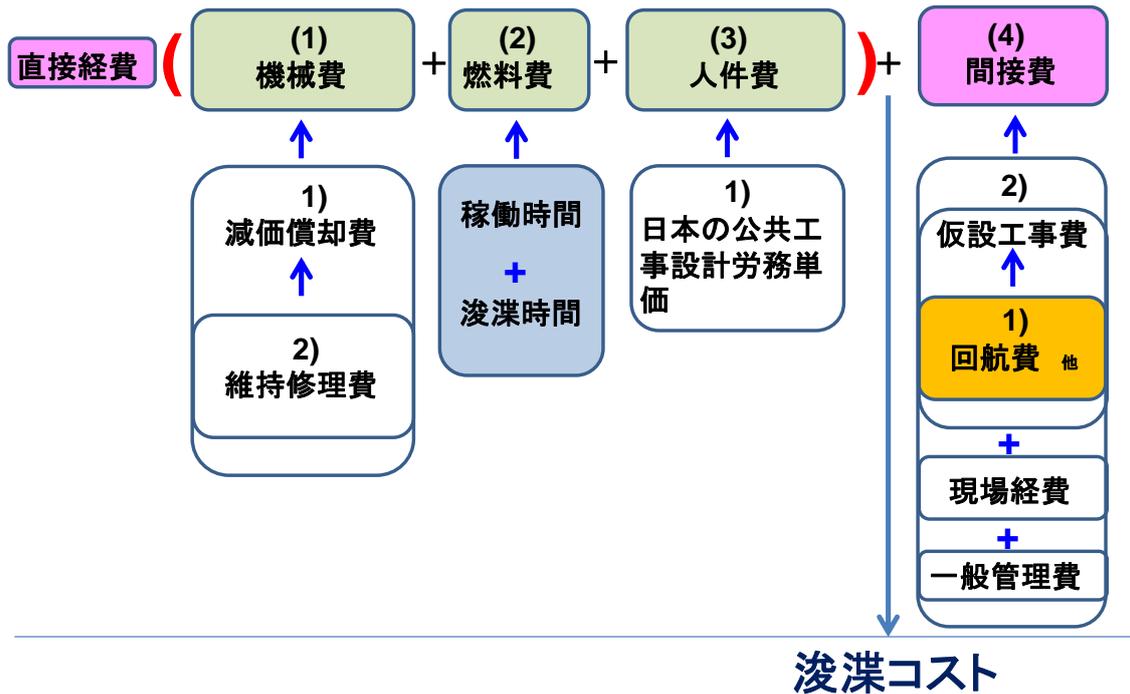


図 5.22 浚渫業者との契約による浚渫コストの積算項目

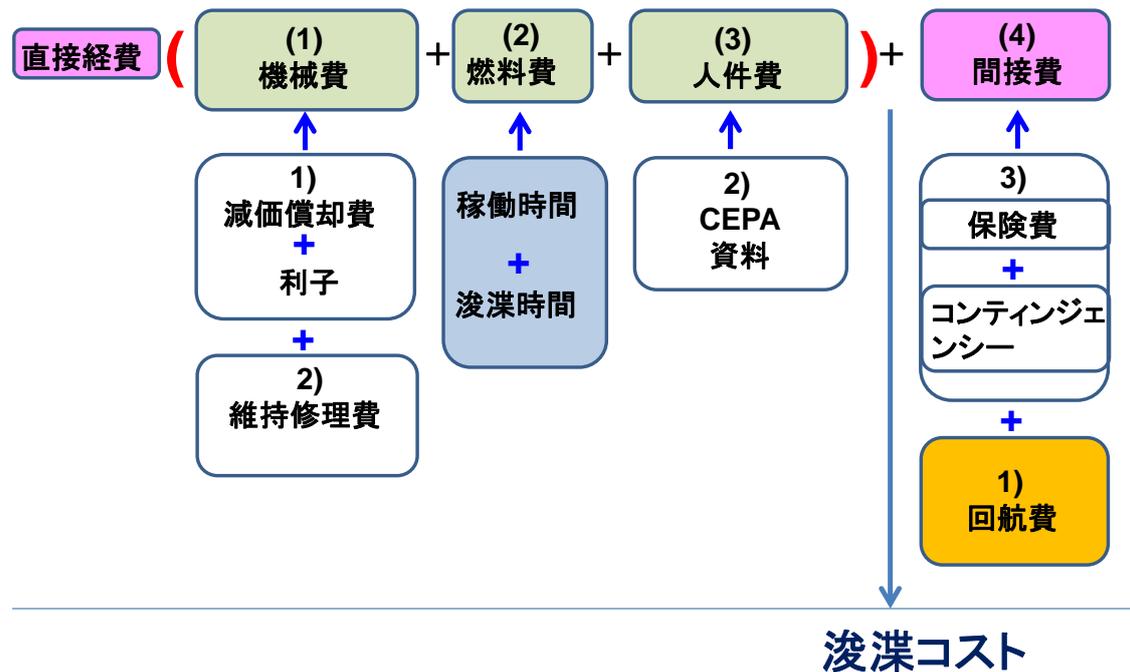


図 5.23 CEPA が考えている自船を保有した場合の浚渫コストの積算項目

5.4.1 浚渫コストの積算の考え方

(1) 機械費（直接経費）

機械費（直接経費）は減価償却費と維持修理費で構成されている。

1) 減価償却費

契約ベースの浚渫と自船での浚渫に共通する原価償却費の基本は、TSHD（トレーラーサクシ

ョンホッパー浚渫船)の建造費である。ただし、金利の考え方が両者で異なる。まず、両者に共通する建造費についてのべる。

表 5.12 は CEPA が調べた造船会社の新造及び中古の浚渫船の建造費である。表 5.13 は、日本国内での TSHD 建造費の実績である。

表 5.12 CEPA 調べの浚渫船建造費

No.	造船会社	容量	価格 (US\$)	新、中古
1	IHC MERWEDE	2,400 m ³	34,318,967	新造船
2	DAMEN	2,500 m ³	25,639,000	新造船
3	IHC MERWEDE	3,300 m ³	26,620,967	中古(10年)

表 5.13 日本での浚渫船建造費 (実績)

No.	造船会社	容量	価格(US\$)	建造年	備考
1	三菱重工	1,000 m ³	20,600,000	2007	新造船 (ベイラ港)
2	三菱重工	1,700 m ³	65,000,000	2005	清龍丸 (浚渫, 油回収及び防災機能付き)
3	IHI	1,350 m ³	55,000,000	2002	白山丸 (浚渫及び油回収機能付き)
4	IHI	2,000 m ³	63,000,000	2000	海翔丸 (浚渫及び油回収機能付き)
5	IHI	750 m ³	50,000,000	2011	海竜丸 (最新機能を装備)

表 5.12 と表 5.13 を比べると、日本で建造された浚渫船の容量は、CEPA が調査した浚渫船のそれより、小さいにもかかわらず、建造費は日本の実績が非常に高い。これは、清龍丸、白山丸、海翔丸及び海竜丸が浚渫機能だけではなく油回収機能及び防災機能を有すると共に自動化されている等、最新式のシステムを備えているからである。したがって、両者の直接的な比較は避ける。

別の情報源として、"Dredging: A Handbook for Engineers" R N Bray, A D Bates & J M Land 1997 Arnold, UK を調べ、TSHD の建造費を基に現在の費用評価を行った。

図 5.24 は、Handbook に基づいた建造費用と CEPA のデータをプロットしたものである。ただし、CEPA のデータの内、中古のデータは外してある。Handbook のデータと CEPA のデータはよく一致する。そこで、浚渫船の建造費を図中に示した近似直線で見積もることとした。見積もった結果は、表 5.14 に建造費として載せてある。

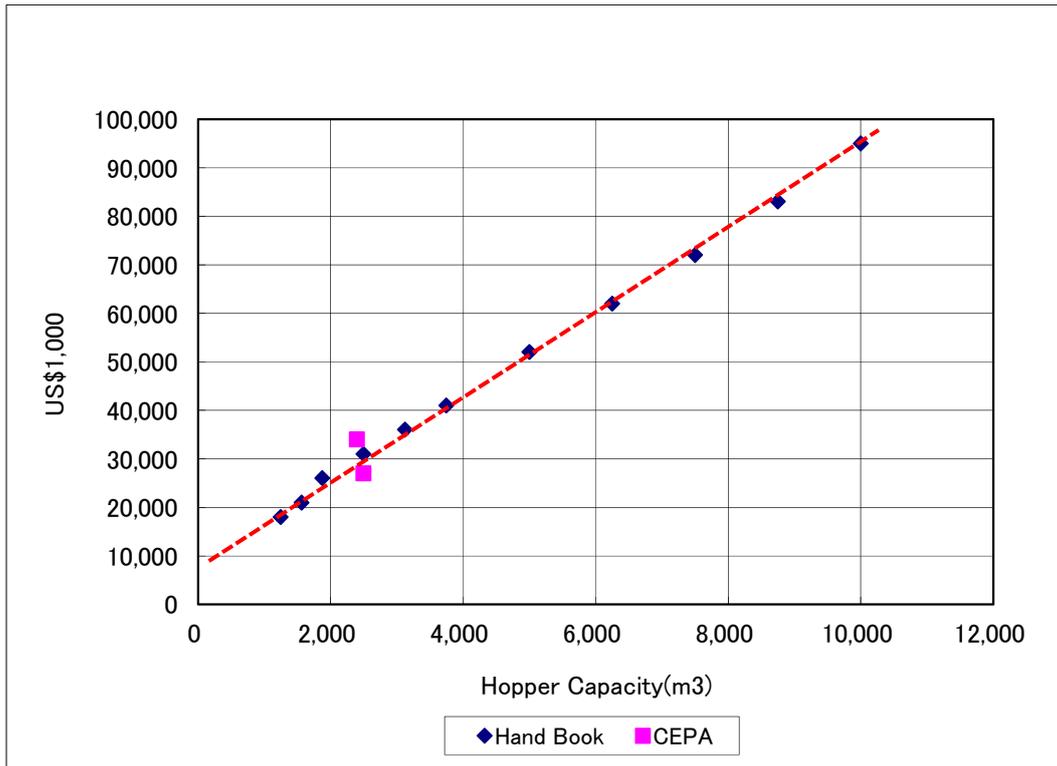


図 5.24 容量別 TSHD 建造費

【契約ベースでの浚渫】

契約ベースの浚渫では、減価償却費は運転 1 時間当り損料と供用 1 日当り損料の二つで構成されている。それらは日本の「船舶および機械器具等の損料算定基準」に基づいた (5.5)、(5.6) 式で計算される。

運転 1 時間当り損料=

$$\text{建造費} \times \frac{1/2 \times (\text{償却費率} + \text{維持修理費率})}{\text{耐用年数}} \times \frac{1}{\text{年間運転時間}} \quad (5.5)$$

供用 1 日当り損料=

$$\text{建造費} \times \left[\frac{1/2 \times (\text{償却費率} + \text{維持修理費率})}{\text{耐用年数}} + \text{年間管理費率} \right] \times \frac{1}{365} \quad (5.6)$$

これらの計算では、以下の条件を前提とした 5

- 償却費率： 0.9
- 維持修理費率： 1.3
- 耐用年数： 20 年
- 年間運転時間： 4,224 時間 (浚渫の作業条件：220 日×19.2 時間)
- 年間管理費率： 0.06

これらの数値を用いると (5.5)、(5.6) 式はそれぞれ以下のようなになる。

$$\text{運転 1 時間当り損料} = \text{建造費} \times (1.30208 \times 10^{-5}) \quad (5.7)$$

$$\text{共用 1 日当り損料} = \text{建造費} \times (3.15 \times 10^{-4}) \quad (5.8)$$

浚渫船容量別の運転 1 時間当り損料と共用 1 日当り損料を、表 5.14 に示す。

1 年当りの減価償却費はこれらの損料をベースに (5.9) 式で積算される。

$$\begin{aligned} \text{減価償却費} = & (\text{運転 1 時間当り損料}) \times (\text{浚渫船の年間運転時間}) \\ & + (\text{共用 1 日当り損料}) \times (\text{浚渫船の年間供用日数}) \quad (5.9) \end{aligned}$$

例えば、図 5.19 の例では、浚渫船の年間運転時間は 4188 時間 (1047 時間×4 回)、浚渫船の年間供用日数 365 日となる。

表 5.14 TSHD 容量別機械費

Hopper capacity (m ³)	Ship building cost (US\$)	Hourly operating cost (US\$)	Daily in-service Depreciation cost(US\$)
1,000	15,800,000	205.73	4,978.08
1,500	20,200,000	263.02	6,364.38
2,000	24,600,000	320.31	7,750.68
2,500	29,000,000	377.60	9,136.99
3,000	33,400,000	434.90	10,523.29
3,500	37,800,000	492.19	11,909.59
4,000	42,200,000	549.48	13,295.89
4,500	46,600,000	606.77	14,682.19
5,000	51,000,000	664.06	16,068.49
5,500	55,400,000	721.35	17,454.79
6,000	59,800,000	778.65	18,841.10
6,500	64,200,000	835.94	20,227.40
7,000	68,600,000	893.23	21,613.70
7,500	73,000,000	950.52	23,000.00
8,000	77,400,000	1,007.81	24,386.30
8,500	81,800,000	1,065.10	25,772.60
9,000	86,200,000	1,122.40	27,158.90
9,500	90,600,000	1,179.69	28,545.21
10,000	95,000,000	1,236.98	29,931.51
11,000	103,800,000	1,351.56	32,704.11
15,000	139,000,000	1,809.90	43,794.52
18,000	165,400,000	2,153.65	52,112.33

【自船での浚渫】

自船での浚渫の減価償却費は、TSHD の建造費 (表 5.14) がベースになり、年間償却費及び建造費をローンで借り入れたことによる利子が減価償却費として計算される。

年間償却費は浚渫船建造費の 1/20 とする。利子については、金利 7% で 20 年償却を行うときの利子総額を 20 年平均して 1 年当りの平均利子とした。

2) 維持修理費

維持修理費は、契約ベースの浚渫と自船での浚渫で異なる。なお、定期検査のための回航費は、別途間接費で計上した。

【契約ベースの浚渫】

契約ベースの浚渫の減価償却費には、すでに維持修理費および年間管理費など必要な経費が含まれている (式(5.5)、式(5.6)参照)。したがって、特にここで維持修理費を考

慮する必要はない。

【自船での浚渫】

CEPA の考えどおりに、年間維持修理費は浚渫船建造費の 8% を計上した。

(2) 燃料費

1 時間当りの燃料費は

$$\text{燃料費 (1 時間当り)} = \text{浚渫船の総機関出力(kw)} \times \text{燃料消費率}(\ell/\text{kw/h}) \times \text{燃料単価(US\$/\ell)}$$

で計算する。

浚渫船の総機関出力は、ポンプ、推進機関の出力の和である。燃料費の積算では総機関出力ではなく、ポンプ出力と推進機関出力を分けて取り扱う必要がある。なぜなら、土捨て場を往復しているときは機関推進出力だけを考慮するが、浚渫時にはポンプ出力だけでなく（移動しながら浚渫を行うので）推進機関出力もあわせて考慮する必要があるからである。しかしながら、ポンプ出力と機関推進出力を分けた資料（情報）がないので、ここでは以下のように考えた。

図 5.25 は、現在稼動中の TSHD の総機関出力と TSHD 容量の関係をプロットしたものである。両者の関係を図中のように直線で近似し ($R^2=0.9215$)、TSHD 容量に対応した総機関出力を求めた。図 5.26 は、TSHD 容量とポンプ出力の関係である。この図から、TSHD 容量に対応したポンプ出力を求めた。

表 5.15 は、TSHD 容量別の総機関出力、およびポンプ出力と推進機関出力である。このうち、推進機関出力は、総機関出力からポンプ出力を差し引いて求めている。

燃料消費率は、0.277 $\ell/\text{kw/h}$ （日本積算基準のガット船の値）とした。

燃料単価は、2013 年 4 月の価格 US\$0.99/ ℓ とした。

燃料費は浚渫時と航行時に分けて以下のように見積もった。

$$\begin{aligned} \text{浚渫時の燃料費 (1 時間当り)} &= (\text{ポンプ出力} + \text{推進機関出力}) (\text{kw}) \\ &\quad \times \text{燃料消費率} (\ell/\text{kw/h}) \times \text{燃料単価} (\text{US\$/}\ell) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{航行時の燃料費 (1 時間当り)} &= \text{推進機関出力} (\text{kw}) \times \text{燃料消費率} (\ell/\text{kw/h}) \\ &\quad \times \text{燃料単価} (\text{US\$/}\ell) \end{aligned}$$

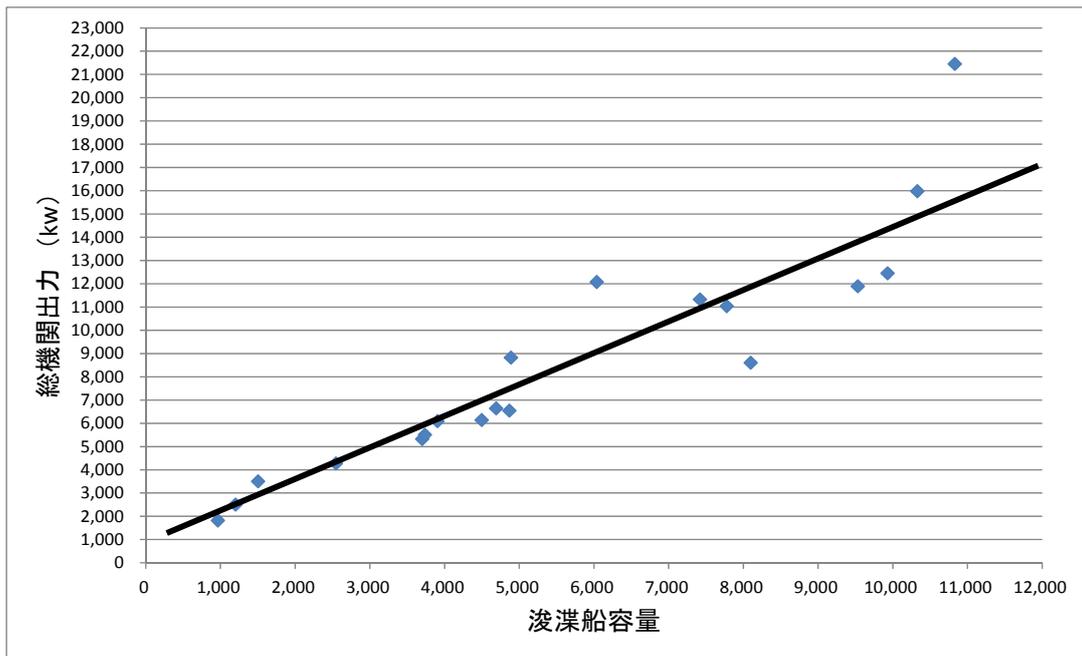


図 5.25 TSHD 容量と総機関出力の関係

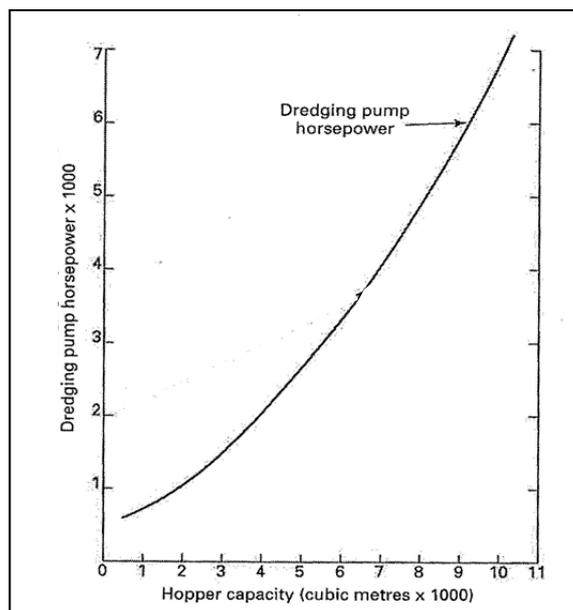


図 5.26 TSHD 容量とポンプ出力の関係

(出典: “Dredging : A Handbook for Engineers Second Edition”,
R N Bray, A D Bates & J M Land 1997 Arnold, UK)

表 5.15 TSHD 容量別の機関出力とその内訳（ポンプ出力と推進機関出力）

Hopper capacity (m ³)	Total installed power(kw)	Dredging pump (kw)	Propulsion power(kw)
1,000	2,100	500	1,600
1,500	2,800	700	2,100
2,000	3,400	700	2,700
2,500	4,100	1,000	3,100
3,000	4,800	1,100	3,700
3,500	5,500	1,300	4,200
4,000	6,100	1,500	4,600
4,500	6,800	1,700	5,100
5,000	7,500	1,900	5,600
5,500	8,100	2,200	5,900
6,000	8,800	2,500	6,300
6,500	9,500	2,800	6,700
7,000	10,200	3,100	7,100
7,500	10,800	3,400	7,400
8,000	11,500	3,700	7,800
8,500	12,200	4,000	8,200
9,000	12,900	4,400	8,500
9,500	13,500	4,800	8,700
10,000	14,200	5,100	9,100
11,000	15,500	5,600	9,900
15,000	20,900	7,000	13,900

(3) 人件費

1) 契約ベースでの浚渫

契約ベースにおける人件費は下記の仮定によって計算した。

人件費を計算するための船員数を、浚渫船容量の規模によって3種類のクラスを考えた。小規模級は、容量が 5,000 m³ 以下の浚渫船を対象として、船員数を 12 人とした。中規模級は容量が 5,000 m³ を超え 10,000 m³ 以下の浚渫船を対象に、21 人とした。そして大規模級は、容量 10,000 m³ を超える浚渫船を対象として、34 人とした。

上記の人数の詳細と労務単価を表 5.16 に示す。Officer は、船長、1 等航海士、機関長、電気長及び浚渫運転手長等の高級船員に相当し、Sailor は普通船員である。表 5.16 に示す人件費は 2013 年公共工事設計労務単価（積算資料）を参考とした。

表 5.16 高級船員及び普通船員の人数と労務単価（諸経費を含んでいない）

船員のランク (1日当たりの労務単価)	Officers (US\$259)	Sailors (US\$202)	Total Crew
Small-scale category 容量：5,000m ³ 以下	5	7	12
Middle-scale category 容量：5,000~10,000m ³	9	12	21
Large-scale category 容量：10,000m ³ 以上	15	19	34

運転 1 年当たりの人件費を式(5.10)で求める。

$$\text{運転 1 年当りの人件費} = \text{船員数} \times 1 \text{ 人当り人件費} \times 365 \text{ 日} \quad (5.10)$$

式(5.10)より小規模級の年間人件費を計算すると

運転年間あたり人件費（高級船員）＝5人×US\$259×365日＝US\$472,675
 運転年間あたり人件費（普通船員）＝7人×US\$202×365日＝US\$516,110

合計 US\$988,785

となる。同様に他の2グループの人件費を計算したものを表 5.17 に示す

表 5.17 各クラス別年間当り人件費

船員のランク	Officers (US\$)	Sailor (US\$)	年間当り人件費 (US\$)
Small-scale category 容量：5,000m ³ 以下	472,675	516,110	988,785
Middle-scale category 容量：5,000~10,000m ³	850,815	884,760	1,735,575
Large-scale category 容量：10,000m ³ 以上	1,418,025	1,400,870	2,818,895

2) 自船での浚渫

自船での浚渫の場合の船員数も浚渫船容量の大きさに応じて3クラスに分けた。クラスのわけ方および各クラスの船員数は契約ベースの浚渫と同様とした（表 5.16）。

人件費の単価は、CEPA が自船での浚渫で想定している年間人件費に基づいて決めた。CEPA は浚渫を行うための必要船員数を1クルー7人で、3シフトにより作業したときの年間人件費（諸手当を含む）を622,440US\$としている。

自船で浚渫する場合も、契約ベースの浚渫のクルーと同じ船員数を考える。例えば、小規模級の船員数は12人とするので、CEPA の年間人件費を12/7倍したのが年当りの人件費になる。同様に中規模級に対しては21/7倍、大規模級に対しては34/7倍とする。この結果を、表 5.18 にまとめている。

表 5.18 自船での浚渫の場合の人件費（CEPA 単価基準；諸経費を含む）

船員のランク	Person in Crew	年間当り人件費 (US\$)
Small-scale category 容量：5,000m ³ 以下	12	1,067,040
Middle-scale category 容量：5,000~10,000m ³	21	1,867,320
Large-scale category 容量：10,000m ³ 以上	34	3,023,280

(4) 間接費 (Indirect Cost)

1) 回航費 (Mobilization Cost)

回航費には、最初に浚渫現場まで移動するための回航費（初期回航費）と定期点検のために移動する回航費（点検回航費）がある

回航費そのものは、契約ベースの浚渫と自船での浚渫で同額である。初期回航はヨーロッパからラ・ウニオンまでとし、その片道の初期回航費を浚渫船容量別に表 5.19 の第2番目の列に示した。

両者の場合の年間あたりの初期回航費の積算は同じ方法であるが、考え方に若干の差がある。契約ベースの浚渫の場合、浚渫工事を10年契約で行うとし、初期回航費の1/10を毎年コスト

に計上する（表 5.19 の第 3 列目）。一方、自船での浚渫の場合は、CEPA が保有する浚渫船の償却年数を 20 年とすることに対応して、この期間で初期回航費を分割した費用（1/20）を毎年のコストに計上する（表 5.19 の第 4 列目）。

表 5.19 浚渫船容量別初期回航費と 1 年当たりのコスト

浚渫船容量 (m ³)	初期回航費 (ヨーロッパ片道) (US\$)	契約ベースの浚渫 初期回航費 (1 年当り) (US\$)	自船での浚渫 初期回航費 (1 年当り) (US\$)
1,000	450,006	45,001	22,500
1,500	552,061	55,206	27,603
2,000	668,511	66,851	33,426
2,500	756,170	75,617	37,809
3,000	872,625	87,262	43,631
4,000	1,062,338	106,234	53,117
4,500	1,164,393	116,439	58,220
5,000	1,266,447	126,645	63,322
5,500	1,339,710	133,971	66,986
6,500	1,515,032	151,503	75,752
7,000	1,602,691	160,269	80,135
7,500	1,675,953	167,595	83,798
8,000	1,763,612	176,361	88,181
8,500	1,851,270	185,127	92,564
11,000	2,246,381	224,638	112,319
15,000	3,062,827	306,283	153,141

定期検査は年に 1 回とし、パナマのバルボア市にて実施する。点検回航費は航海距離（往復）と航海日数をベースに計算した（表 5.20）。定期点検は年に 1 回なので、1 往復の点検回航費の全額が年あたりのコストになる。

表 5.20 浚渫船容量別の点検回航費（バルボア往復）

浚渫船容量(m ³)	契約ベースの浚渫(US\$)	自船での浚渫(US\$)
1,000	115,630	104,582
1,500	144,788	130,889
2,000	178,060	161,310
2,500	203,105	183,504
3,000	236,378	213,924
4,000	290,582	262,426
4,500	319,740	288,733
5,000	363,221	315,041
5,500	384,153	333,122
6,500	434,245	377,510
7,000	459,290	399,704
7,500	480,223	417,785
8,000	505,268	439,980
8,500	530,313	462,174
11,000	663,978	560,806
15,000	897,248	771,264

2) 仮設費、現場経費、一般管理費（契約ベースの浚渫）

日本の積算基準に基づいて、これらの諸経費を以下のように算定した。

また、仮設費、現場経費、一般管理費の詳細内訳は表 5.25 に示す。

仮設費は、回航、運搬、準備等の費用であり、これらを一括して次式で算出する。

$$\text{仮設費} = \text{Kr} \cdot \text{直接経費} + \text{回航費}$$

$$\text{ただし } \text{Kr} = a \cdot (\text{直接経費} + \text{回航費})^b$$

$$a = 357.8, b = -0.2223$$

現場経費は、労務管理、租税公課、保険料等の費用であり、これらを一括して次式で算出する。

$$\text{現場経費} = \text{Jo} \cdot (\text{直接経費} + \text{仮設費})$$

$$\text{ただし } \text{Jo} = a \cdot (\text{直接経費} + \text{仮設費})^b$$

$$a = 57.6, b = -0.0687$$

一般管理費は、役員報酬、従業員給与手当、退職金等の費用であり、これらを一括して次式で算出する。

$$\text{一般管理費} = \text{Gp} \cdot (\text{直接経費} + \text{仮設費} + \text{現場経費})$$

$$\text{ただし } \text{Gp} = a \times \log + b (\text{直接経費} + \text{仮設費} + \text{現場経費})$$

$$a = -2.57651, b = 31.63531$$

最終的に間接費は

$$\text{間接費} = \text{仮設費} + \text{現場経費} + \text{一般管理費}$$

となる。

3) 保険費、コンティンジェンシー（自船での浚渫）

間接費として、CEPA は、保険費とコンティンジェンシーだけを考えている。保険費は、全てのリスクを対象とした全危険担保保険（All risk insurance）である。コンティンジェンシーには、予備部品および燃料等の価格変動の可能性はあるが、不確定であるために、現時点では定量化できない潜在的コストが含まれる。

CEPA はこれらの1年あたりの経費を、容量 2,500m³ の浚渫船を対象にして、表 5.21 のように試算している。

ここでは、これらの経費の建造費に対する比率を計算し（表 5.21 の下段）、この比率を浚渫船の建造費に掛けて、容量別浚渫船の間接諸経費を算定した。

表 5.21 CEPA が試算した保険費とコンティンジェンシー

容量 2,500m ³ の浚渫船 の建造費 (US\$)	保険費 (US\$)	コンティンジェンシー (US\$)
25,700,000	300,000	375,000
1	1.167%	1.459%

5.4.2 再浚渫のコスト

再浚渫は契約ベースで1年以内に行うこととし、自船での浚渫は考えない。表 5.22 に契約ベース浚渫による深さ別再浚渫土量と浚渫コストを示す。これらの費用には、ヨーロッパからの片道初期回航費及び定期検査のための1往復の点検回航費が含まれている。

表 5.22 水深別浚渫コスト

Depth (-m)	Hopper capacity (m ³)	Operating hour (h)	Operating Month (m)	Volume (m ³)	Dredging cost by contract base (US\$/m ³)	Dredging cost by contract base (US\$)
9	2,000	3,366	9.6	895,000	13.79	12,342,319
10	3,000	4,064	11.5	1,619,000	10.87	17,603,115
11	5,500	3,941	11.2	2,964,000	9.34	27,686,793
12	8,500	4,096	11.6	4,895,000	7.15	35,010,001
13	15,000	3,464	9.8	7,452,000	7.31	54,466,014
14	18,000	4,020	11.4	10,565,000	6.47	68,371,225

5.4.3 維持浚渫のコスト

航路水深を維持するための維持浚渫量を、修正指数モデルと線形モデルで予測している。それぞれのモデルで予測された航路維持に必要な浚渫量に対して維持浚渫コストを契約ベースと自船での浚渫について積算した結果を、表 5.23 と表 5.24 に示す。各表では、水深別およびサイクル別の浚渫コストが示されている。各維持水深において最小となっている浚渫コストを、黄色でマークしてある。

表 5.23 修正指数モデルで予測された維持浚渫量に対する浚渫コスト

Target Navi. Depth (m)	Dredging Cycle (mon)	Total (10 ³ m ³ /year)	Hopper Capacity (m ³)	Working Ratio (%)	Dredging Cost by Contract base (US\$/m ³)	Dredging Cost by Contract base (US\$/year)	Dredging Cost by own Dredger (US\$/m ³)	Dredging Cost by own Dredger (US\$/year)
9.00	3.00	215	1,000	39	28.62	6,180,915	23.19	5,008,901
9.00	4.00	224	1,000	40	27.79	6,253,477	22.41	5,043,348
9.00	6.00	245	1,000	44	26.06	6,410,989	20.80	5,117,958
9.00	12.00	323	1,000	58	21.65	6,992,536	16.70	5,393,737
10.00	3.00	770	1,500	92	13.41	10,356,241	9.76	7,536,076
10.00	4.00	802	1,500	96	13.19	10,562,431	9.53	7,636,554
10.00	6.00	871	2,000	78	13.14	11,434,443	9.48	8,244,892
10.00	12.00	1,107	2,000	99	11.61	12,850,584	8.40	9,298,730
11.00	3.00	1,461	3,000	87	10.78	15,737,961	8.05	11,759,663
11.00	4.00	1,516	3,000	90	10.59	16,037,415	7.86	11,910,356
11.00	6.00	1,631	3,000	97	10.22	16,657,935	7.50	12,223,564
11.00	12.00	1,988	4,000	89	9.78	19,451,535	7.35	14,617,232
12.00	3.00	2,944	5,000	99	8.71	25,640,767	6.47	19,055,502
12.00	4.00	3,060	5,500	94	8.66	26,488,048	6.52	19,941,380
12.00	6.00	3,300	6,000	92	8.50	28,063,393	6.29	20,763,960
12.00	12.00	3,813	6,500	97	7.66	29,200,604	5.75	21,920,876
13.00	3.00	5,188	8,500	99	6.45	33,463,184	5.55	28,807,197
13.00	4.00	5,390	9,500	92	6.48	34,928,837	5.67	30,540,773
13.00	6.00	5,804	9,500	99	6.26	36,348,925	5.40	31,333,449
13.00	12.00	6,342	11,000	92	6.45	40,901,032	5.64	35,784,399
14.00	3.00	8,272	15,000	88	6.43	53,165,719	5.66	46,817,552
14.00	4.00	8,584	15,000	91	6.32	54,219,444	5.52	47,411,039
14.00	6.00	9,210	15,000	98	6.12	56,335,308	5.28	48,602,842
14.00	12.00	9,442	15,000	100	6.04	57,014,795	5.19	48,985,036

表 5.24 線形モデルで予測された維持浚渫量に対する浚渫コスト

Target Navi. Depth (m)	Dredging Cycle (mon)	Total (10 ³ m ³ /year)	Hopper Capacity (m ³)	Working Ratio (%)	Dredging Cost by Contract base (US\$/m ³)	Dredging Cost by Contract base (US\$/year)	Dredging Cost by own Dredger (US\$/m ³)	Dredging Cost by own Dredger (US\$/year)
9.00	3.00	215	1,000	39	28.80	6,180,915	23.34	5,008,901
9.00	4.00	224	1,000	40	27.88	6,253,477	22.48	5,043,348
9.00	6.00	245	1,000	44	26.14	6,410,989	20.87	5,117,958
9.00	12.00	323	1,000	58	21.68	6,992,536	16.72	5,393,737
10.00	3.00	770	1,500	92	13.45	10,356,241	9.78	7,536,076
10.00	4.00	802	1,500	96	13.16	10,562,431	9.52	7,636,554
10.00	6.00	871	2,000	78	13.13	11,434,443	9.47	8,244,892
10.00	12.00	1,103	2,000	99	11.63	12,829,553	8.10	8,936,712
11.00	3.00	1,461	3,000	87	10.77	15,737,961	8.05	11,759,663
11.00	4.00	1,516	3,000	90	10.58	16,037,415	7.86	11,910,356
11.00	6.00	1,630	3,000	97	10.22	16,655,968	7.50	12,221,218
11.00	12.00	1,827	4,000	82	10.20	18,635,676	7.77	14,204,350
12.00	3.00	2,918	5,000	98	8.40	24,496,627	6.24	18,197,121
12.00	4.00	2,981	5,500	91	8.77	26,154,960	6.51	19,417,834
12.00	6.00	3,083	5,500	94	8.63	26,611,492	6.49	20,001,788
12.00	12.00	3,186	5,500	97	8.49	27,048,217	6.35	20,225,698
13.00	3.00	4,352	7,500	96	7.15	31,116,587	5.90	25,675,580
13.00	4.00	4,379	7,500	97	7.13	31,236,238	5.88	25,739,572
13.00	6.00	4,418	7,500	98	7.11	31,411,086	5.85	25,834,421
13.00	12.00	4,563	8,000	96	7.15	32,635,385	5.91	26,989,699
14.00	3.00	5,875	10,000	98	6.42	37,703,511	5.54	32,566,017
14.00	4.00	5,928	10,000	99	6.40	37,923,832	5.51	32,688,028
14.00	6.00	6,050	11,000	92	6.76	40,903,783	5.91	35,756,291
14.00	12.00	6,548	15,000	74	7.40	48,455,017	6.74	44,140,424

図 5.27 は、表 5.23 と表 5.24 をもとに契約ベースの浚渫コストを修正指数モデルと線形モデルについて示したものである。図中には、各水深の最終浚渫コストを曲線で結んである。同様に、図 5.28 は自船での浚渫コストを図化したものである。

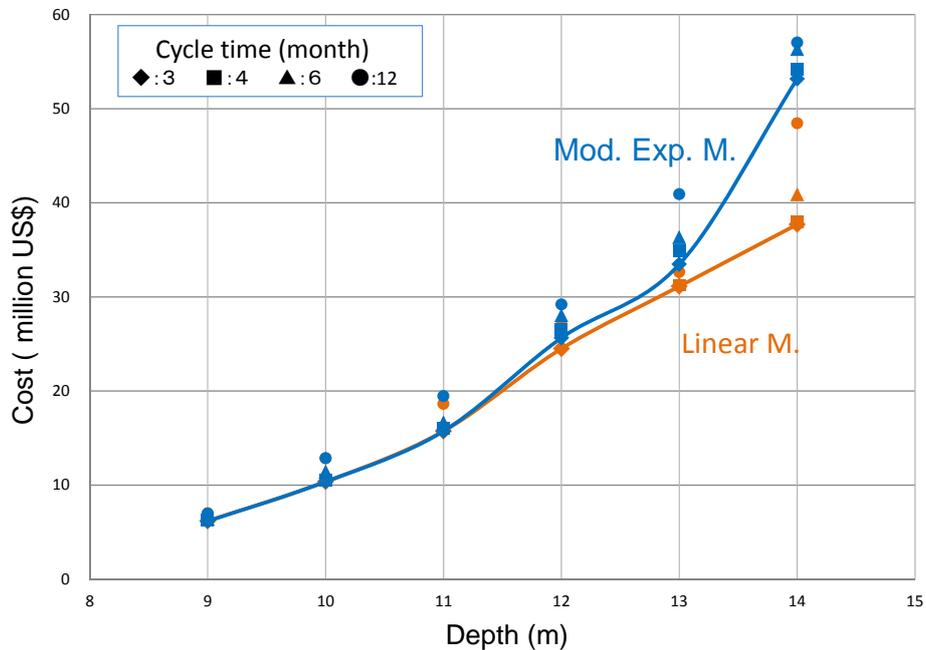


図 5.27 契約ベースの浚渫コスト（修正指数モデルと線形モデルのコストの比較）

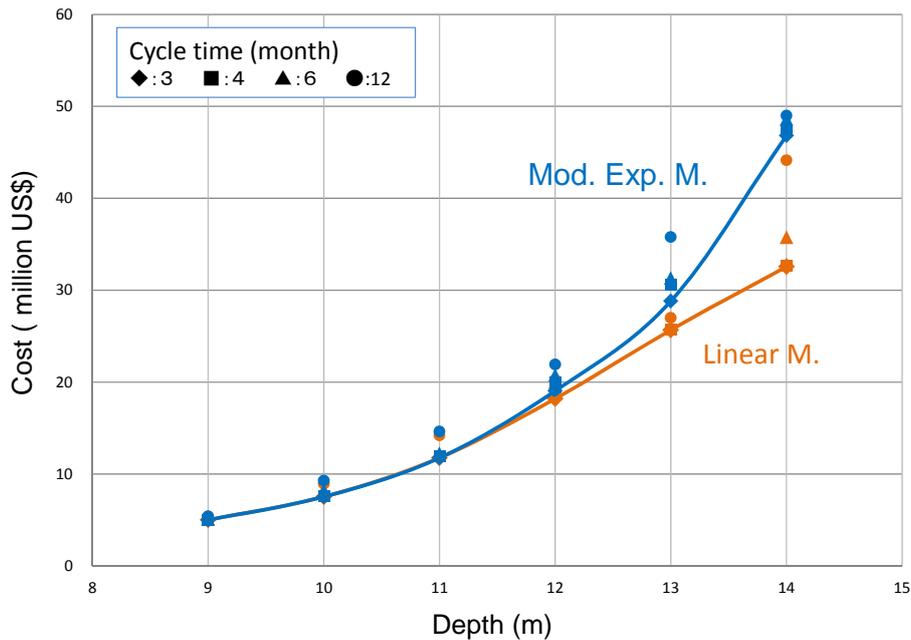


図 5.28 自船での浚渫コスト（修正指数モデルと線形モデルのコストの比較）

5.4.4 再浚渫のコストの考え方

再浚渫を行うときには、同時に将来の埋没を見越した余掘りが必要である。しかし、再浚渫のコストには、目標水深まで浚渫するときのコストだけしか積算していない。そこで、再浚渫のときの余掘りコストを図 5.29 に示した簡単な方法で取り扱うことにした。つまり、余掘りのためのコストは維持浚渫コストと同じであるとした。したがって、余掘りまで含めたコストは再浚渫コストと維持浚渫コストの和になる。



図 5.29 再浚渫と維持浚渫コストの構成

5.4.5 サイクルタイムを短縮する効果（目標水深 12 m の事例検討）

目標水深 12 m のケースについて、維持浚渫のサイクルタイムを短縮した場合に浚渫コストがどのように変化するかについて検討した。この場合の維持浚渫量は修正指数モデルで推定した。

水路全体の浚渫を瞬間的に終えることは全く不可能であり、ある期間が必要である。このため、ここでは最小サイクルタイムを 1 か月と仮定する。サイクルタイムが 1 ヶ月以下の状況をどうしても知りたいときには、図 5.30 から

図 5.33 において図中の曲線を横軸のタイムサイクルが 0 の位置まで外挿すれば、大まかな見当がつく。

図 5.30 は、サイクルタイムと修正指数モデルで予測した年間維持浚渫量の関係である。サイクルタイムが短くなるにつれて、維持浚渫量も減少する。図中の黒い破線は、タイムサイクルが 1 カ月短くなると、年間維持浚渫量が 0.11 百万 m^3 だけ減少することを示している。サイクルタ

イムが3ヶ月から1カ月に短縮すると、年間維持浚渫量の減少率は7.5%である。

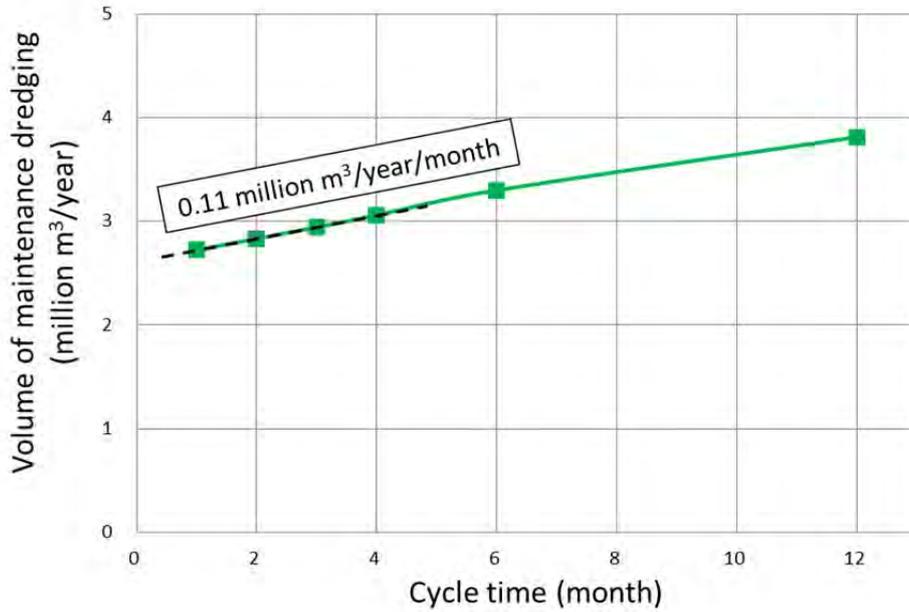


図 5.30 サイクルタイムと年間維持浚渫量の関係
(目標維持水深 12m、修正指数モデルで推定)

図 5.31 は、図 5.30 に示した年間維持浚渫量を容量が $2,500 \text{ m}^3$ と $4,500 \text{ m}^3$ の浚渫船で浚渫する場合の稼働率である。これらの浚渫船の稼働率はいずれのサイクルタイムにおいても 100% を超えている。つまり、これらの浚渫船では目標水深 12 m を維持できない。

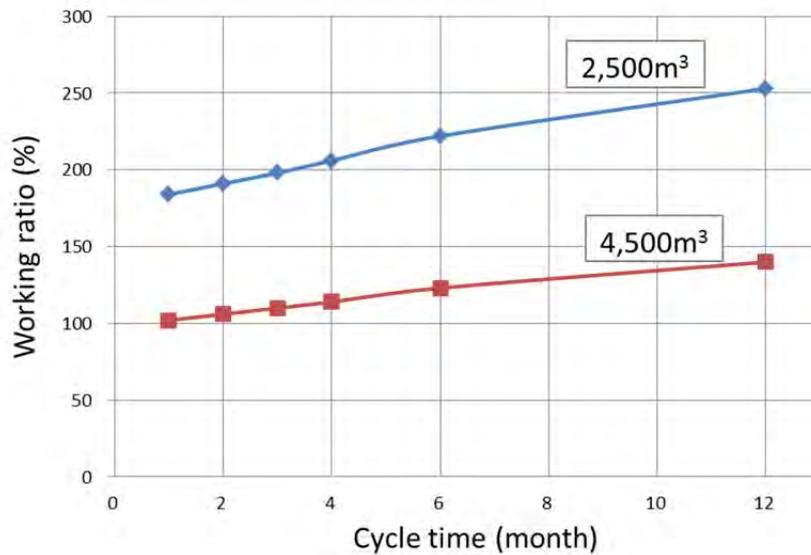


図 5.31 浚渫船容量 $2,500 \text{ m}^3$ と $4,500 \text{ m}^3$ の場合のサイクルタイムと稼働率の関係

図 5.32 は、第 5.3.3 項で説明した方法で決定した必要浚渫船容量と稼働率の関係である。それぞれのサイクルタイムに対応して浚渫船容量を変えることにより、稼働率を 90~100% の範囲内

に保たれている。サイクルタイム 1~3 ヶ月の場合の浚渫船容量が最も小さい。それでも、5,000 m³である。

図 5.33 は、必要容量の浚渫船で浚渫する場合のサイクルタイムと浚渫コストの関係である。サイクルタイムが短くなると浚渫コストも安くなる。サイクルタイムを3 ヶ月から1 カ月に短縮した場合に、浚渫コストは3.9%ほど減少するものの、それは維持浚渫量の減少率(図 5.30 参照)の約半分である。

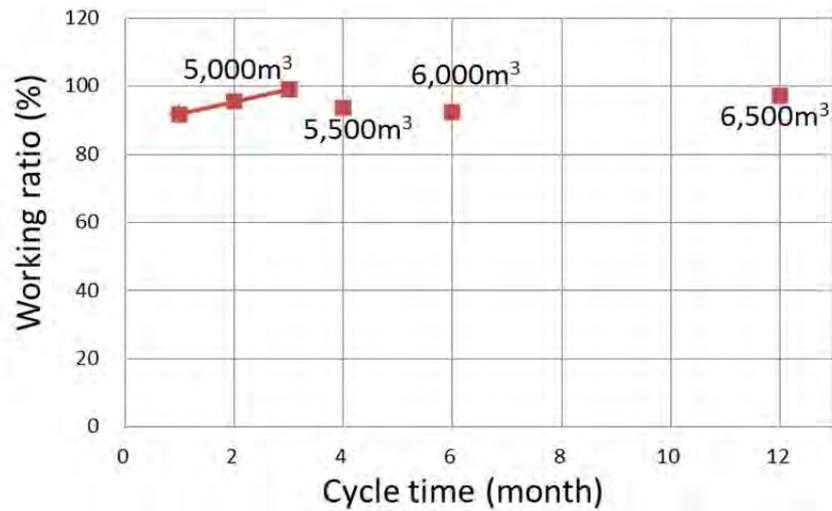


図 5.32 必要浚渫船容量の場合のサイクルタイムと稼働率の関係

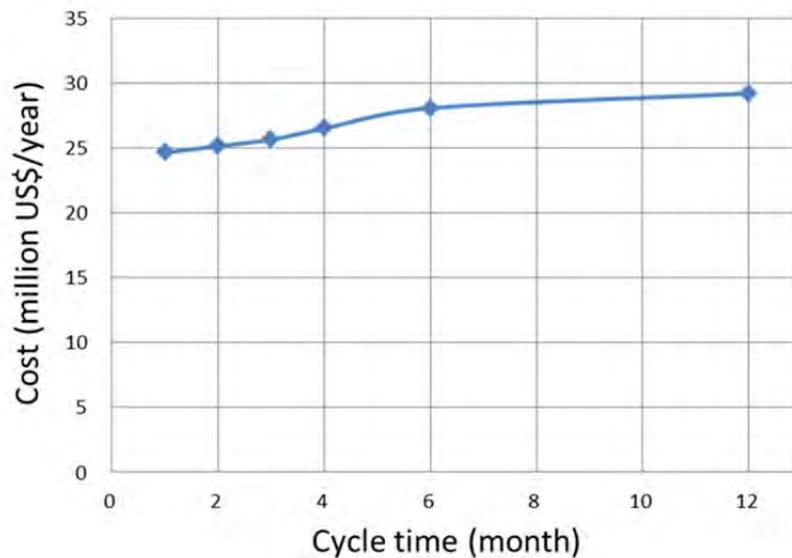


図 5.33 サイクルタイムと年間浚渫コストの関係

5.4.6 浚渫体制についての提案

(1) 契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストの比較

図 5.34 は、表 5.23 と表 5.24 の最小浚渫コスト（黄色でマークした）をまとめて図化したものである。契約ベースの浚渫コストを赤の線で、また自船での浚渫コストを緑の線で表現しているので、両者の比較が簡単にできる。この図を見ると、赤い線に対して常に緑の線が下にある。つまり、CEPA の考えている自船での浚渫コストが常に小さい。

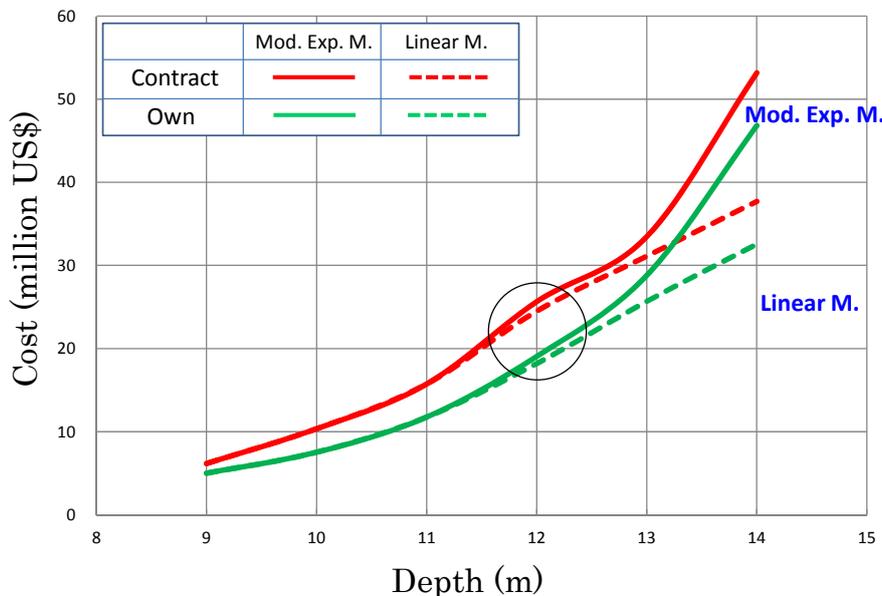


図 5.34 契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストの比較

この理由を調べるために、両者の直接経費と間接費を調べることにする。図 5.35 は、図 5.34 の円で囲んだところの契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストを直接経費と間接費に分けて比較したものである。図 5.35 より直接経費はほぼ同じであるが、間接費は自船での浚渫コストが大幅に少ない。契約ベースでの間接費は、表 5.25 に示すように回航費、保険費およびコンティンジェンシーに類する費用（雑費）の他に多くの種類の費用を考慮している。これに対して、自船での浚渫コストで CEPA が考えている間接費は、5.5.1(4)で説明したように、回航費、保険費およびコンティンジェンシーだけであり、これら以外のコストの見積もりは難しい。しかし、以下の理由により、契約ベースの浚渫コストと自船で浚渫コストの比較だけで浚渫体制を議論することは適切ではない。

実際に、CEPA が自船を運営するには、契約ベースの浚渫で考慮している多くの種類の費用が掛かる。例えば、仮設費関連では以下のようなものがある。

- 航路浚渫時の航行の安全を管理する安全監視船、調査及び出来形管理等を行う測量船、浚渫船の接岸離岸を補助するタグボート、病気等の緊急時に船員を運搬する交通船等の船団および乗組員が必要となる。
- 浚渫船船団の修繕維持のために、機械修理保全施設（岸壁、斜路、修理工場）を有する等の維持修理管理部門が必要となる。
- 浚渫の品質、出来形、工程等の技術管理のために、浚渫作業全般を管理する部門が必要となる。

- ・また、新たに上記のような三部門が設けられたことで、土地、用水、電力等の役務費も増加する。

したがって、自船での浚渫の場合は、CEPA が考えている以上の経費が掛かることになる。

さらに、契約ベースの浚渫では考慮する必要ないが、自船での浚渫では必要になる項目がある。たとえば、初期浚渫期間の船員の訓練に伴う費用が必要となると共に、船員が不慣れな時期の作業効率が落ちるといった問題もある。

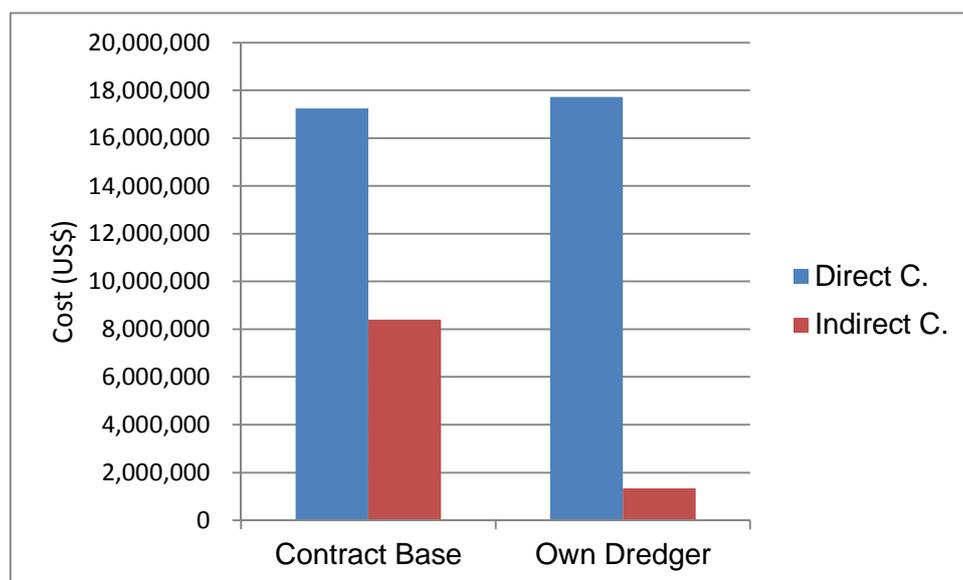


図 5.35 契約ベースと自船での直接経費と間接費の比較（修正指数モデル 12m 維持水深 3 カ月サイクル）

表 5.25 契約ベースの浚渫の間接費内訳（赤字は CEPA が考慮している費用）

仮設費	回航費、運搬費、準備費、事業損失防止施設費、安全費、役務費、技術管理費、水雷・傷害等保険料、営繕費、イメージアップ経費
現場経費	労務管理費、安全訓練等に要する費用、租税公課、保険料、従業員給料手当、退職金、法定福利費、福利厚生費、事務用品費、通信交通費、交際費、補償費、外注経費、工事登録に要する費用、雑費
一般管理費	役員報酬、従業員給与手当、退職金、法定福利費、福利厚生費、維持修繕費、事務用品費、通信交通費、動力・用水・光熱費、調査研究費、広告宣伝費、交際費、寄付金、地代家賃、減価償却費、試験研究費償却、開発費償却、租税公課、保険料、契約保障費、雑費

(2) 埋没量予測モデルの精度

深浅測量データに基づいて、航路の埋没を予測する二つのモデルを経験的に構築した。残念ながら、現状においては、埋没量を予測した結果（図 5.8）も、また積算した浚渫コスト（図 5.27 と図 5.28）も、二つのモデルの間には隔たりがある。このように埋没量の予測精度が高くない状況で、CEPA が浚渫船を保有することにはリスクが伴う。このことを、図 5.36 を用いて説明する。

図 5.36 は、CEPA が自船での浚渫を行うときの浚渫コストを示した図（図 5.28）に必要な浚渫船容量を追記したものである。例えば、航路維持水深を 13 m とした場合、修正指数モデルで予測した維持浚渫量を浚渫するためには容量 8,500 m³ の浚渫船が必要になるが、線形モデルで予測した維持浚渫量の場合は浚渫船容量 7,500 m³ で浚渫が可能になる。つまり、現時点では例え維持水深を 13 m に固定したとしても、二つの埋没量予測モデルの結果に相違があるので、浚渫船の容量を適切に判断することが難しく、したがって CEPA が浚渫船の容量を決めて保有することには大きなリスクを伴う。

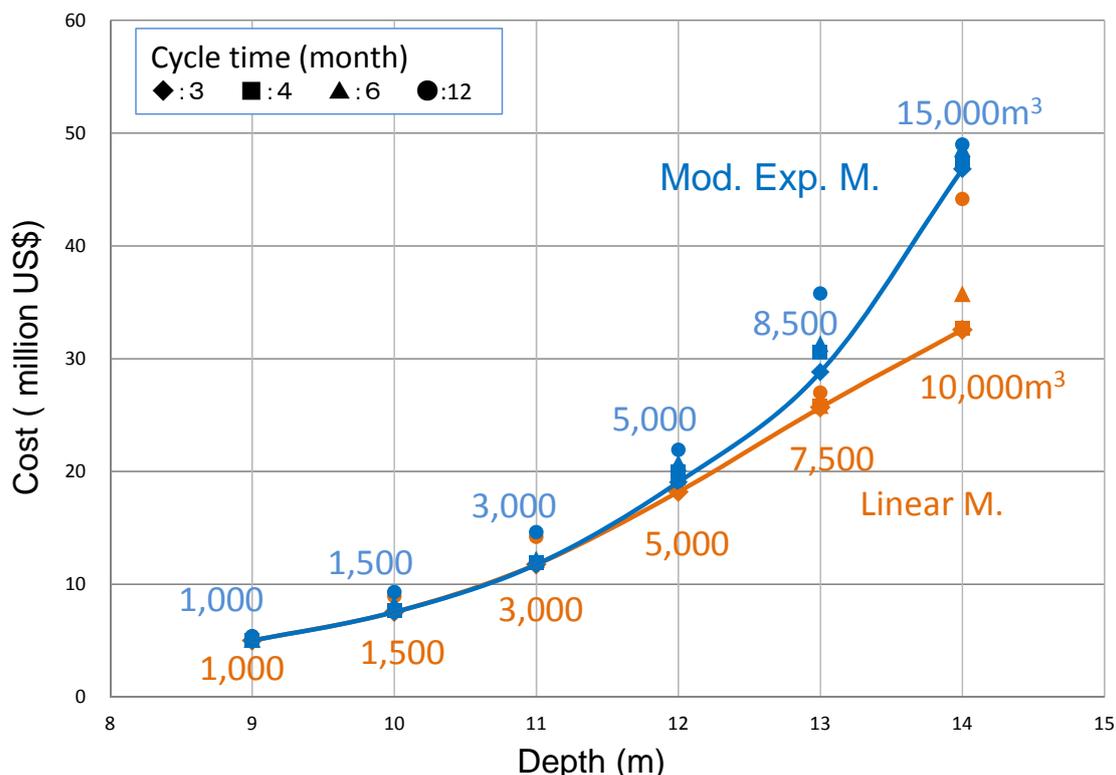


図 5.36 水深別の浚渫コストと浚渫船容量

(3) ラ・ウニオン港の発展に伴う航路維持水深の増大

図 5.36 をみると、航路の維持水深が深くなるにつれて、必要な浚渫船容量も大きくなるのが分かる。このことは、CEPA が自船を保有することと港の発展の関係が難しくなる。

その理由を、修正指数モデルで予測された埋没量に対する必要浚渫船容量（図中、青の線）で説明する。例えば最初に航路維持水深を 10 m とし、それに必要な容量 1,500 m³ の浚渫船を建造したとする。しばらくして、より大きな喫水の船舶の入港に対応することが必要となり、航路維持水深を 11 m に変更した場合、それに伴って、その水深を維持するための浚渫船容量は 3,000 m³ になる。この要求を満たすためには、容量 1,500 m³ の浚渫船を廃棄あるいは売却して、新たに容量 3,000 m³ の浚渫船を確保しなければならない。別の方法としては、容量 1,500 m³ の浚渫船を残したまま、新たに容量 1,500 m³ の浚渫船をもう一隻所有して 2 隻で維持浚渫を行うことが考えられる。

ラ・ウニオン港がさらに発展し、維持水深を 12 m に変更すると、また同じ問題が生じる。つまり、CEPA が自船を保有した場合は、ラ・ウニオン港の発展に対して航路水深を適切に維持するために追加の経費が発生する。

(4) 提案

自船で浚渫を行うコストの方が外注契約で浚渫を行うコストより安く見積もられた。なぜなら、両者の直接費はほぼ同じであったが、自船浚渫の間接費が契約浚渫のそれよりはるかに安かったからである。契約浚渫の間接費は回航費、保険費、コンテインジェンシーに係る費用（雑費）のほかに多くの種類の費用を含んでいる。これに対して、CEPA が考えている自船浚渫の間接費は、回航費、保険費、コンテインジェンシーだけである。しかしながら、以下の理由で、浚渫体制について、契約浚渫と自船浚渫のコスト比較だけで議論することは適切ではない。

もし CEPA が自前で浚渫船を保有すると、CEPA が現在考えている以上のかんりの費用がかかる。そして、浚渫作業を支援するための船団や施設は、長い経験とノウハウの蓄積があって初めて有効に機能する。コストとは別に、浚渫船の船員の訓練や教育等の課題もある。

さらに、浚渫船を調達する前に浚渫船の大きさと容量を設計するために航路埋没量を正確に予測する必要がある。しかし、本調査で開発した航路埋没量予測モデルは必ずしも十分信頼できるものではなく、今後、航路の埋没状況のモニタリングを通じてモデルの改良を行うことが必要である。

加えて、ラ・ウニオン港の発展と関連して目標維持水深が大きくなることに対して自船を保有することは、柔軟な対応が極めて困難になる。この問題は、(予測モデルの精度向上と違って)将来にわたって継続する。

以上のことから判断して、航路の維持浚渫をある期間は契約ベースで行うことを提案する。

第 6 章 再浚渫後のモニタリング計画の提案

第 6 章 再浚渫後のモニタリング計画の提案

6.1 モニタリングの目的

経済的で効率的な維持浚渫を行うためには、高精度の埋没量予測を行う必要がある。しかし、経験的に構築した二つの予測モデルは、質的にも量的にも必ずしも十分ではない深浅測量データに基づいているし、さらに線形モデルは検証されていない仮説を前提としている。

予測精度の向上と維持浚渫時に対する線形モデルの適用性を高めるためには、深浅測量によって航路水深をモニタリングしてデータを収集することが唯一で大切な方法である。

泊地については、これまでに深浅測量データは十分蓄積されておらず、泊地内の埋没量を予測する経験的なモデルを構築するまでには至っていない。このため、現時点では外港航路の修正指数モデルで泊地の埋没量を予測している。修正指数モデルを使用する妥当性を確認するためあるいは泊地用の予測モデルを構築するためには、泊地内の深浅データを収集することが重要でかつ不可欠である。

本節では、再浚渫後の航路水深のモニタリング計画を提案する。モニタリングの目的は以下の 2 項目である。

- a) 経験的に構築した修正指数モデルと線形モデルで予測した埋没量と維持浚渫量の妥当性の検証

*モニタリング場所：内港航路、外港航路、泊地

- b) 浚渫直後の急激な埋没現象の確認

*モニタリング場所：内港航路、外港航路

これらの目的を達成するためのモニタリング計画について、次節以降に説明する。なお、以下の計画は、現在 CEPA が所有している測量機器を用いて、CEPA の技術者が自ら測量を行うことを前提に組み立てている。今回の調査での技術移転を通じて、調査団は CEPA 職員が深浅測量をスムーズに行うことを確認している。調査団は、深浅測量で得られた生データを処理するツール（次節でその概略を説明する）を CEPA に渡してある。したがって、CEPA 自身で実施することが可能であると考えている。

6.2 埋没予測の妥当性の検証

修正指数モデルおよび線形モデルで予測された埋没量の妥当性を検証するためには、実際の埋没量を測定することが基本的に必要である。浚渫後の航路や泊地内に何ら人為的な作用が加わらない場合は、連続する 2 回の深浅測量データの差からその期間の埋没量を把握できる。しかしながら、再浚渫はラ・ウニオン港の活用を高めるために行うのであるため、再浚渫完了後は維持浚渫が繰り返えされるはずである。この場合もモニタリングのための深浅測量を定期的に行わなければならないが、深浅測量だけでは埋没量を把握することができない。精度の高い埋没量の推定には、浚渫量や浚渫場所等の浚渫記録を収集しなければならない。さらに、大型船の入出港が増加すると、スクリューによって発生する強い乱れ埋没量が減少する可能性がある。したがって、入出港船舶の記録も入手しなければならない。

(1) 深浅測量

- 1) 内港航路、外港航路、泊地で、指定した側線に沿っておこなう。
- 2) 内港航路と外港航路の測線は航路横断方向 500 m の長さで、縦断方向 1km の間隔に設定する。また、航路中心線に沿った航路縦断側線を設定する。内港航路と外港航路の側線を図 6.1 と図 6.2 に示す。
- 3) 泊地の測線は、一辺 200 m の格子状とする（図 6.3 参照）。
- 4) 深浅測量は、再浚渫の直前と直後に行う。再浚渫量はこれらの深浅測量データの差を計算することによって求まる。その後の深浅測量は、2 カ月に 1 回（もし可能ならば毎月）実施する。
- 5) 深浅測量では、浮泥の厚さに関するデータを得るために、38 kHz と 200 kHz の超音波を常に同時使用する。

(2) 浚渫量

浚渫量は TSHD(Trailing Suction Hopper Dredger)の容量と浚渫土砂投棄場所への往復航行回数の積で見積もることができる。ただし、浚渫土砂を船体に吸い上げる際に海水が混ざるので、浚渫船の容量は約 60 %に減少することに留意する必要がある。浚渫作業日誌に記録されている浚渫船の容量、往復回数、浚渫場所と日付などは、簡単に入手できるであろう。

(3) 船舶航行の効果

その程度はよく分からないが、船のスクリューによって発生する強い乱れによって巻き上げられた底質が移流によって運ばれるために、埋没量が減少することは容易に理解できる。しかしながら、このことに関する現象は十分わかっていないし、埋没量の減少の程度もそんなに多くはないであろう。したがって、精密なモニタリングをしてもあまり益はない。船体の長さ、船幅、喫水のような船の基本諸元を収集すれば十分である。加えて、船の入港と出航の時間が必要である。なぜなら、潮位（海底面からスクリューまでの高さ）、潮流の方向などが収集データを基に推定できるからである。

(4) 航路埋没量の推定

最初に、連続する 2 回の深浅測量データから航路内のある区間の地形変化量が計算できる。次に、この地形変化量に、同じ区間で同じ期間内に浚渫した量を加える。この結果が、埋没量である。ある特定の区間でこの計算をいろいろな期間について行くと、埋没量は必ずしも一定ではなくある程度はバラツクであろう。このバラツキと入・出港する船舶の頻度や大きさの相関を調べる。船舶の航行が多い期間は埋没量が少ないという結果が出る可能性がある。

もし埋没量に及ぼす航行船舶の影響が定量的に評価できれば、この影響を除いた埋没量をモデル式で予測した埋没量と比較する。

6.3 浚渫直後の急激な埋没現象の確認

浚渫直後には急激な埋没が発生する。これまでは、浚渫が完了してから数カ月が経過した後に深浅測量が行われていたので、急激な埋没に関連する深浅データの蓄積は十分でない。この現象を確認するためには深浅測量を短い時間間隔で繰り返す必要がある。

第 4.3 節で説明したように、急激な埋没は浚渫完了直後だけに発生し、継続的な維持浚渫が行われるようになる発生しないと推察されている。したがって、急激な埋没現象を確認するチャンスは再浚渫が完了する直後の 1 回しかないことを忘れないでいただきたい。

(1) 浚渫量

- 1) 深浅測量は内港航路と外港航路で指定した側線に沿っておこなう。
- 2) 内港航路と外港航路の測線は航路横断方向 500 m の長さで、縦断方向 1 km の間隔に設定する。また、航路中心線に沿った航路縦断側線を設定する。内港航路と外港航路の側線を図 6.1 と図 6.2 に示す。
- 3) 浚渫完了直後に深浅測量を行う（これは、7.2(1)でも行う）。その後、深浅測量を 2 週間間隔で数か月継続する。
- 4) 深浅測量では、浮泥の厚さに関するデータを得るために、38 kHz と 200 kHz の超音波を常に同時使用する。

(2) 浚渫量

6.2(2)と同じ

(3) 船舶航行の効果

6.2(3)と同じ

(4) 航路埋没量の推定

6.2(4)と同じ

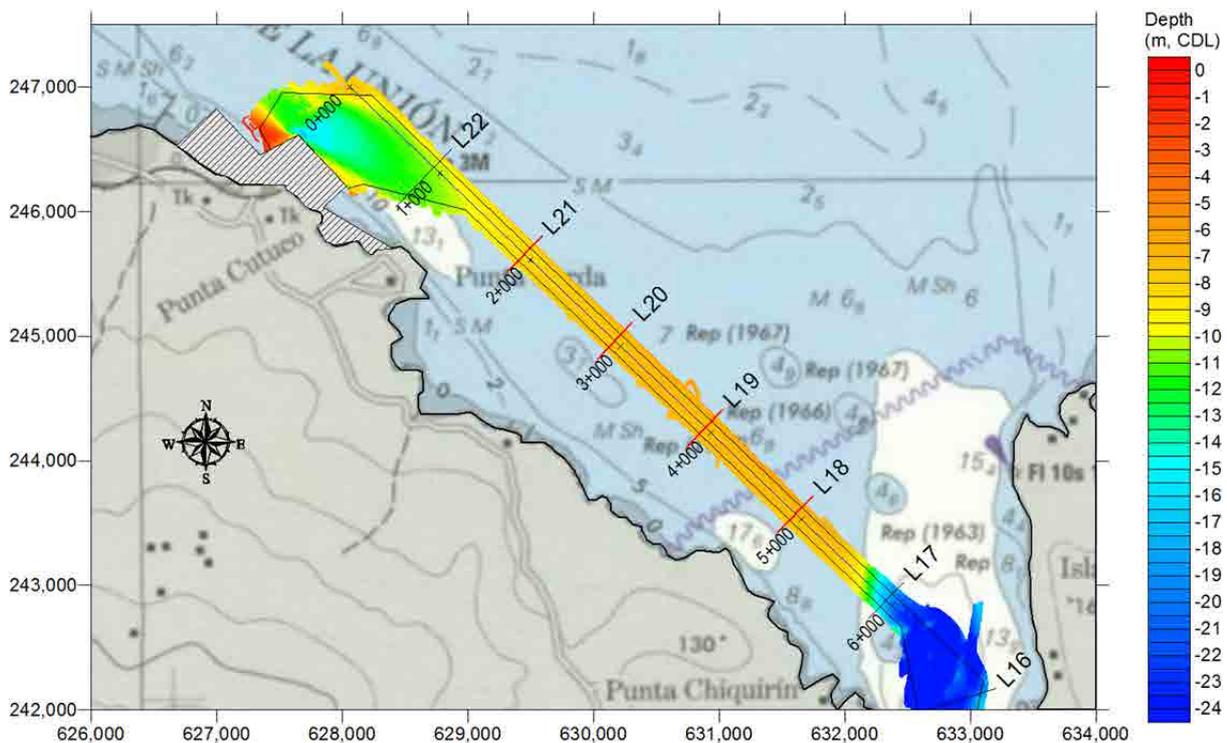


図 6.1 内港航路の測線;横断方向の測線長さ 500 m、縦断方向測線間隔 1 km、縦断方向航路中心線

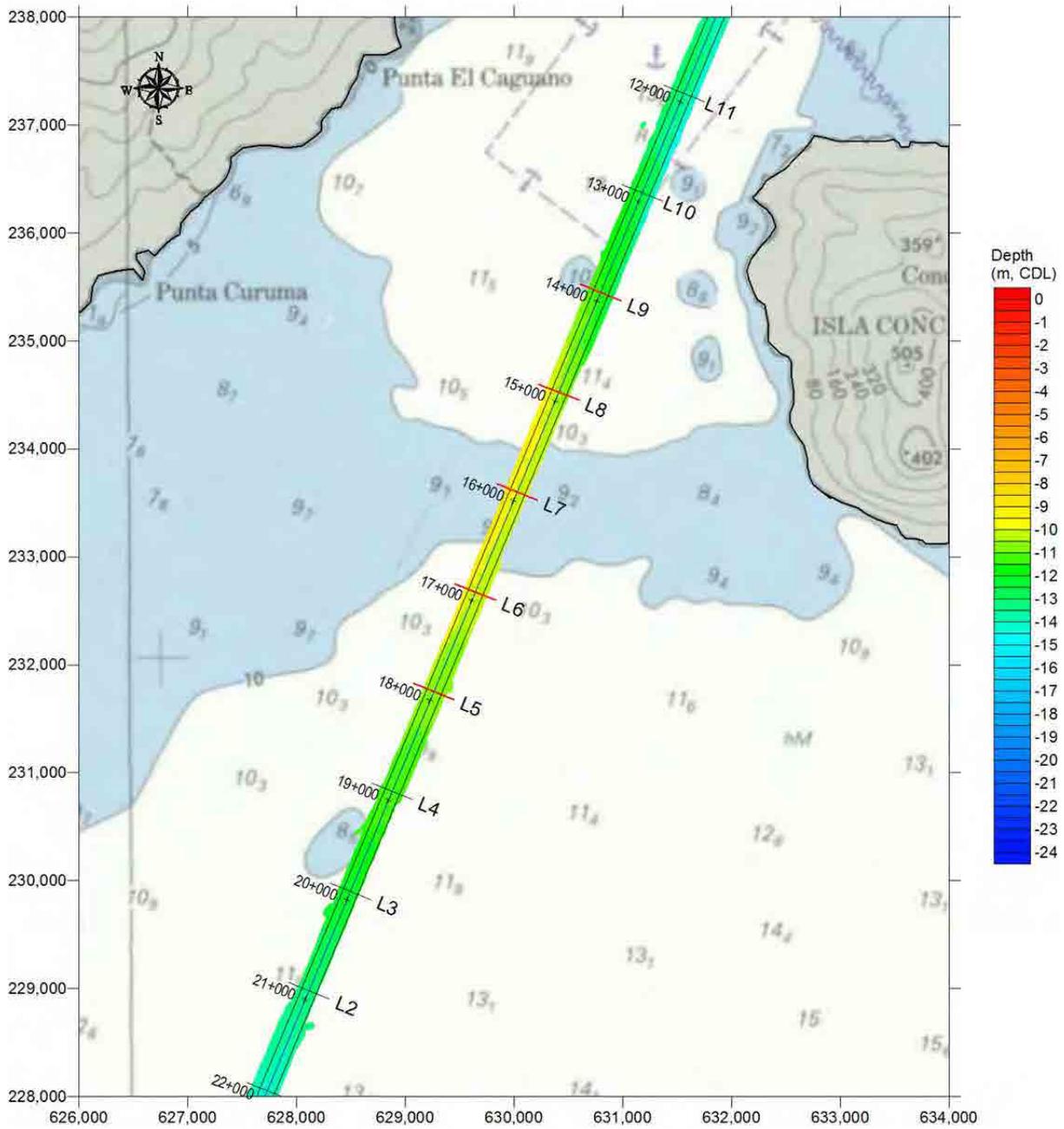


図 6.2 外港航路の測線;横断方向の測線長さ 500 m、縦断方向測線間隔 1 km、縦断方向航路中心線

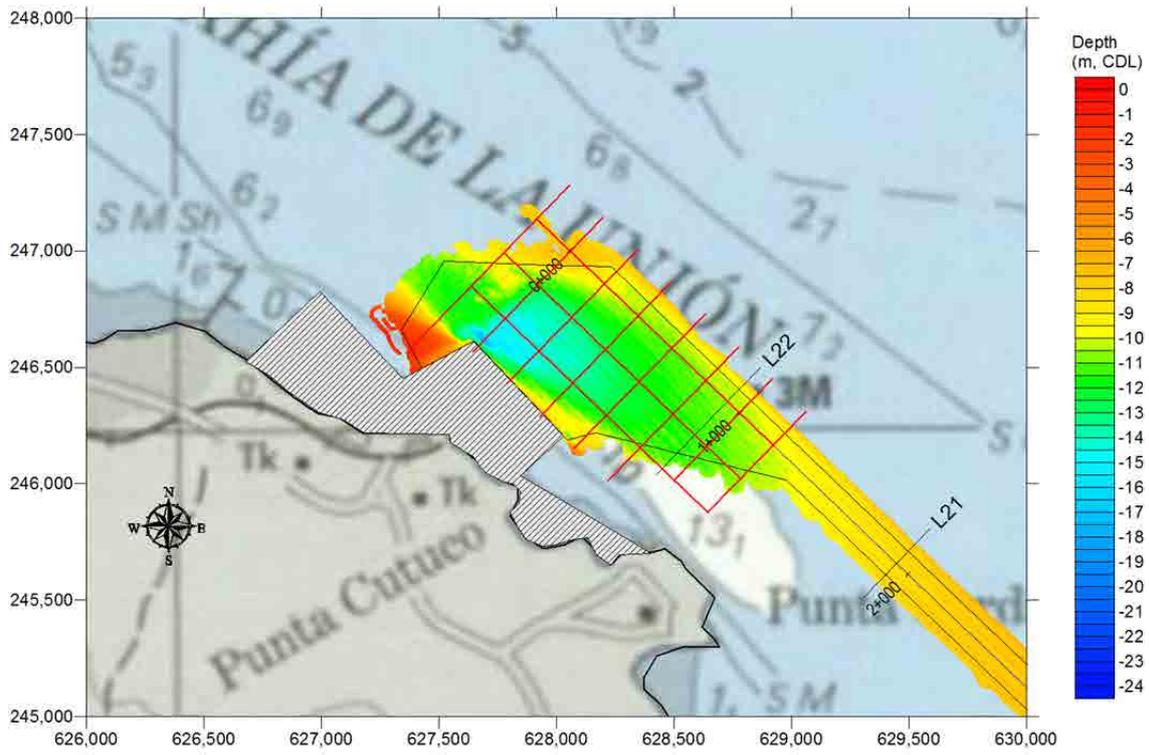


図 6.3 泊地内の測線：一辺 200 m の格子

6.4 測量データの潮位補正

6.4.1 測量データの潮位補正の改良

(1) CEPA 職員による測量調査

航路の維持には、継続的な航路水深のモニタリングが必要である。2013年4月の現地調査期間において、調査団はCEPAの職員が実施する測量調査を視察した。その測量調査で、CEPAの職員は計器の取り付けや計測などの現場作業を円滑にこなしていた。しかしながら、後処理ツールの不足のため、測量データの解析には非常に多くの時間がかかっていた。

そこで、調査団は、技術移転の一環として、測量データを円滑に処理するためのツールを準備した。

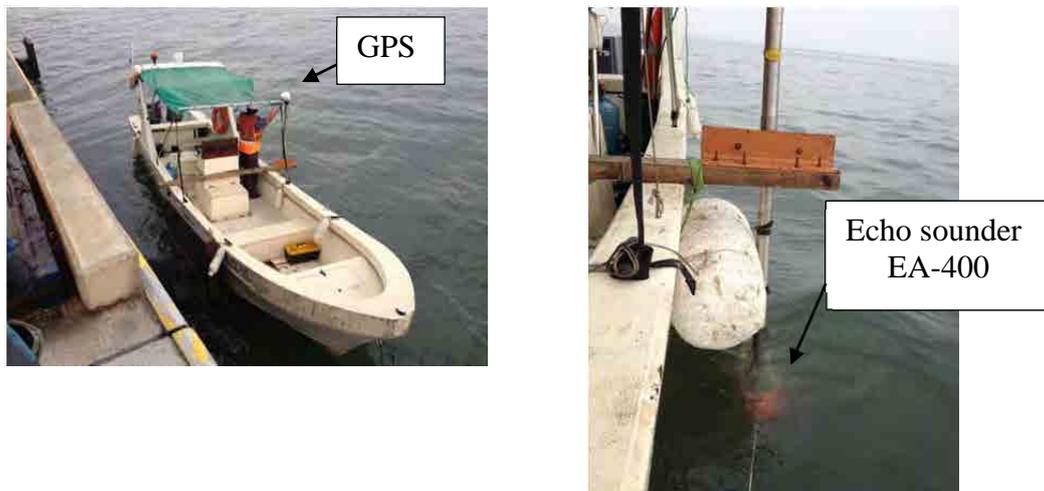


図 6.4 CEPA 職員により取り付けられた測量用機器

(2) 潮位による水深の補正

測量データの後処理の一つは潮位補正である。水深と潮位の関係は図 6.5 の通りである。潮位基準面 (C.D.L.) 下の水深を求めるためには、以下の式により潮位を補正しなければならない。

$$h = (h_{mes} + a) - \eta_{tide} \quad (6.1)$$

ここで h は C.D.L. 下の水深、 h_{mes} は音響測深機による計測水深、 a は音響測深機の設置深さ、 η_{tide} は潮位である。

式(6.1)は、測量データの精度は潮位データの精度に影響されることを示す。図 6.6 は潮位変化の一例を示す。CEPA 職員からの聞き取りによると、彼らの潮位補正は、図 6.6 に示すように、出版されている潮位表の満潮と干潮を線形内挿して任意の時刻の潮位を読み取るという方法を用いていた。この方法は、潮位の予測精度が低く、地形データの精度にも影響を与える。この潮位予測手法を改良するため、調査団は SAPI 調査で開発した調和法による潮位予測プログラムを用いて潮位補正を行う方法を紹介した。

SAPI 調査で開発した潮位予測プログラムは、図 6.7 に示すように航路に沿う場所に応じて平均水位、潮位振幅、位相差を補正するための補正パラメータを含むものである。

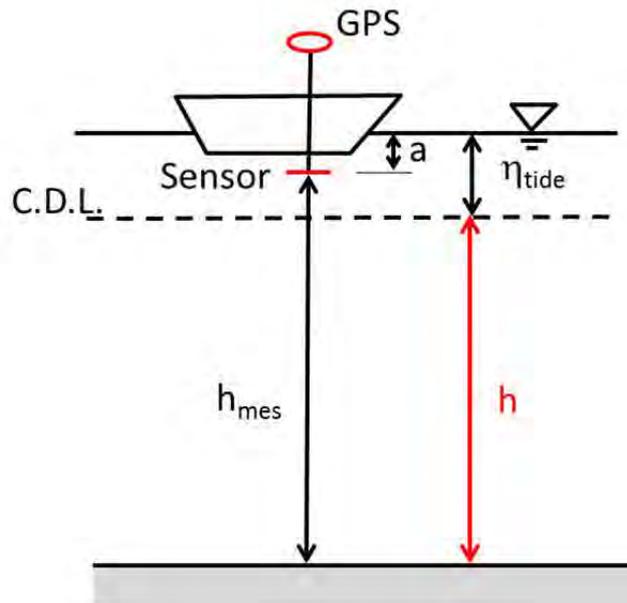


図 6.5 計測水深と補正水深の関係

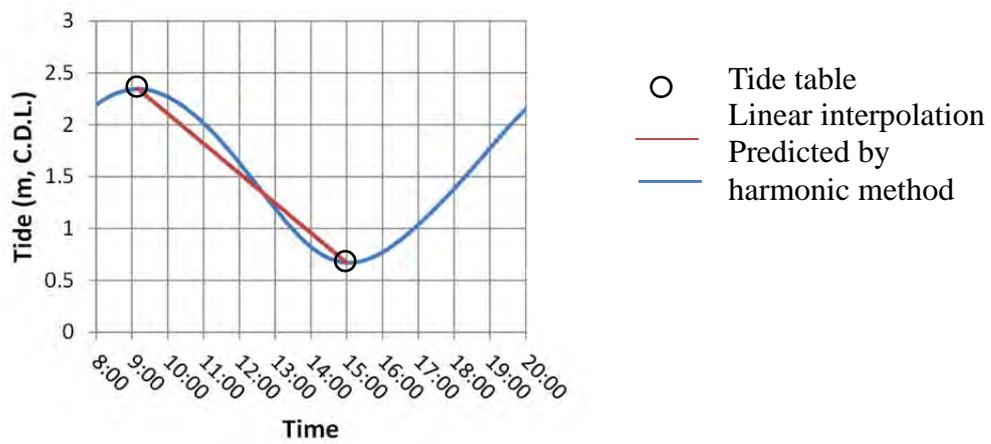


図 6.6 2013 年 4 月 19 日の潮位の変化

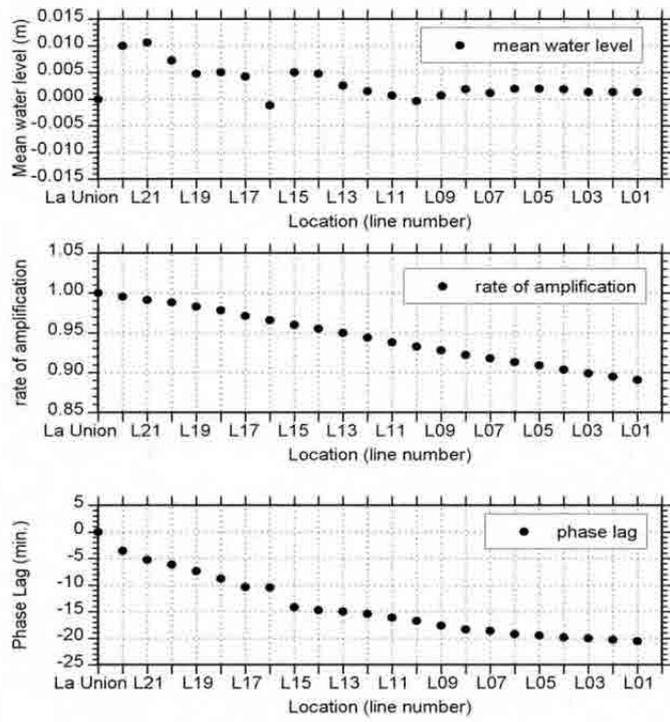
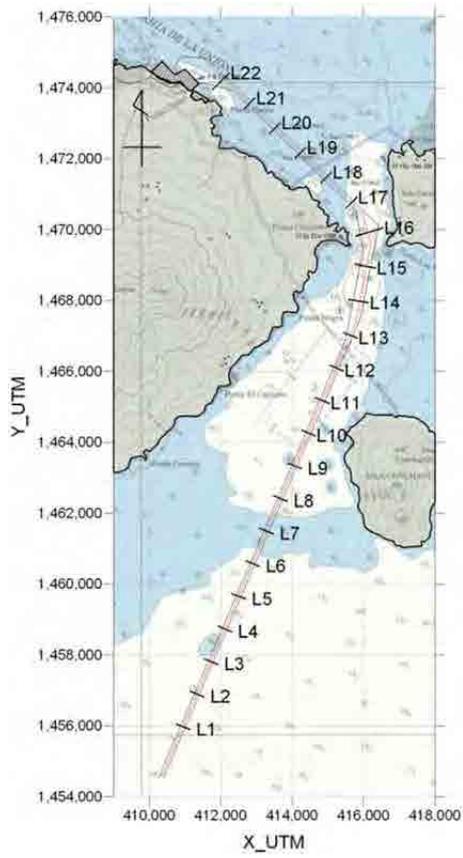


図 6.7 航路位置に関連する潮位の補正パラメータ(SAPI の報告書より抜粋)

(3) 座標変換

測量データの後処理でもう一つの重要な部分は、位置データ（GPS の出力）の座標変換である。測量データは GPS の出力を含んでおり、それは通常緯度、経度の座標として記録される。緯度・経度座標データは、適切な座標系に変換する必要がある。ラ・ユニオンでは、ランベルト NAD27 の座標系が用いられている。

座標変換について、CEPA の職員は図 6.8 に示すようなシンプルなプログラムを使用していた。このプログラムは、同時に大量のデータを変換できないため、調査団は迅速に座標変換できるプログラムを提供した。

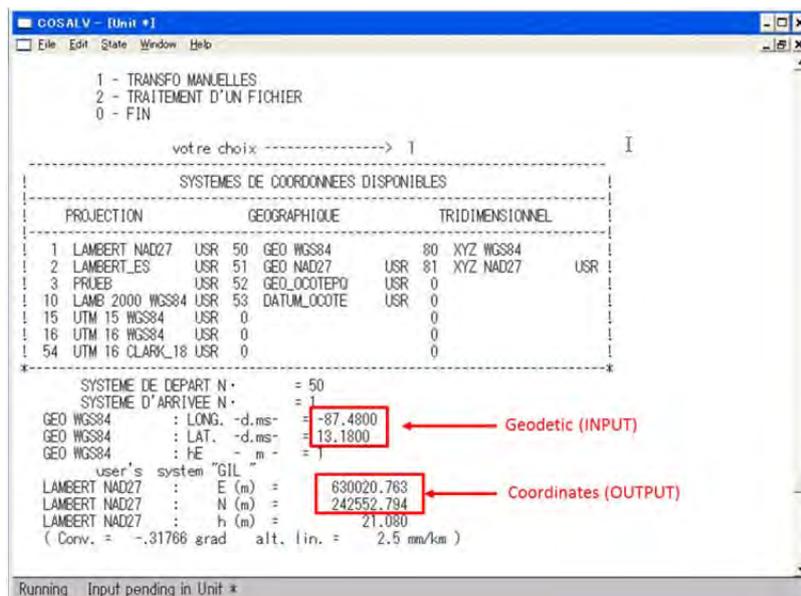


図 6.8: CEPA 職員が使用している座標変換プログラムの画面

(4) 測量データの後処理のためのエクセルマクロ

測量データの後処理を迅速に行うため、調査団は後処理ツールのエクセルマクロを開発した。マクロは VBA で記述されており、その主な機能は以下の通りである。

- 音響測深機 (EA-400) の計測データファイルを開き、読み込む
- 計測地点を考慮した潮位予測
- 測量データの潮位補正
- 緯度経度/WGS84 とランベルト/NAD27 の座標変換
- 異常データの除去機能 (半自動)
- 航路中心線を基準座標としたデータセットの作成

図 6.9 は、Excel マクロのスクリーンショットである。図に示すように、水深データと位置座標データが、マクロブック上でコマンドボタンをクリックしていくのみで全て変換されるようになっている。このマクロとその使用方法については、2013 年 8 月の現地調査において紹介された。

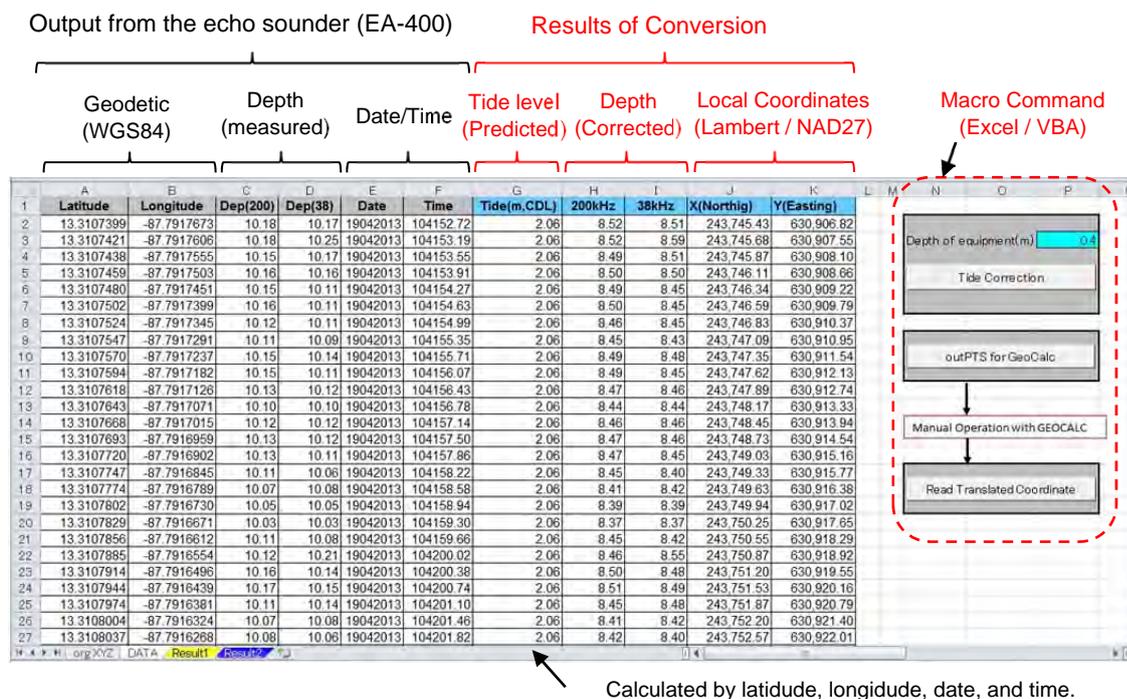


図 6.9 Excel/VBA による後処理ツール

Local Coordinates
(Lambert / NAD27)

Depth

Coordinates of along/across
the Channel Center Line

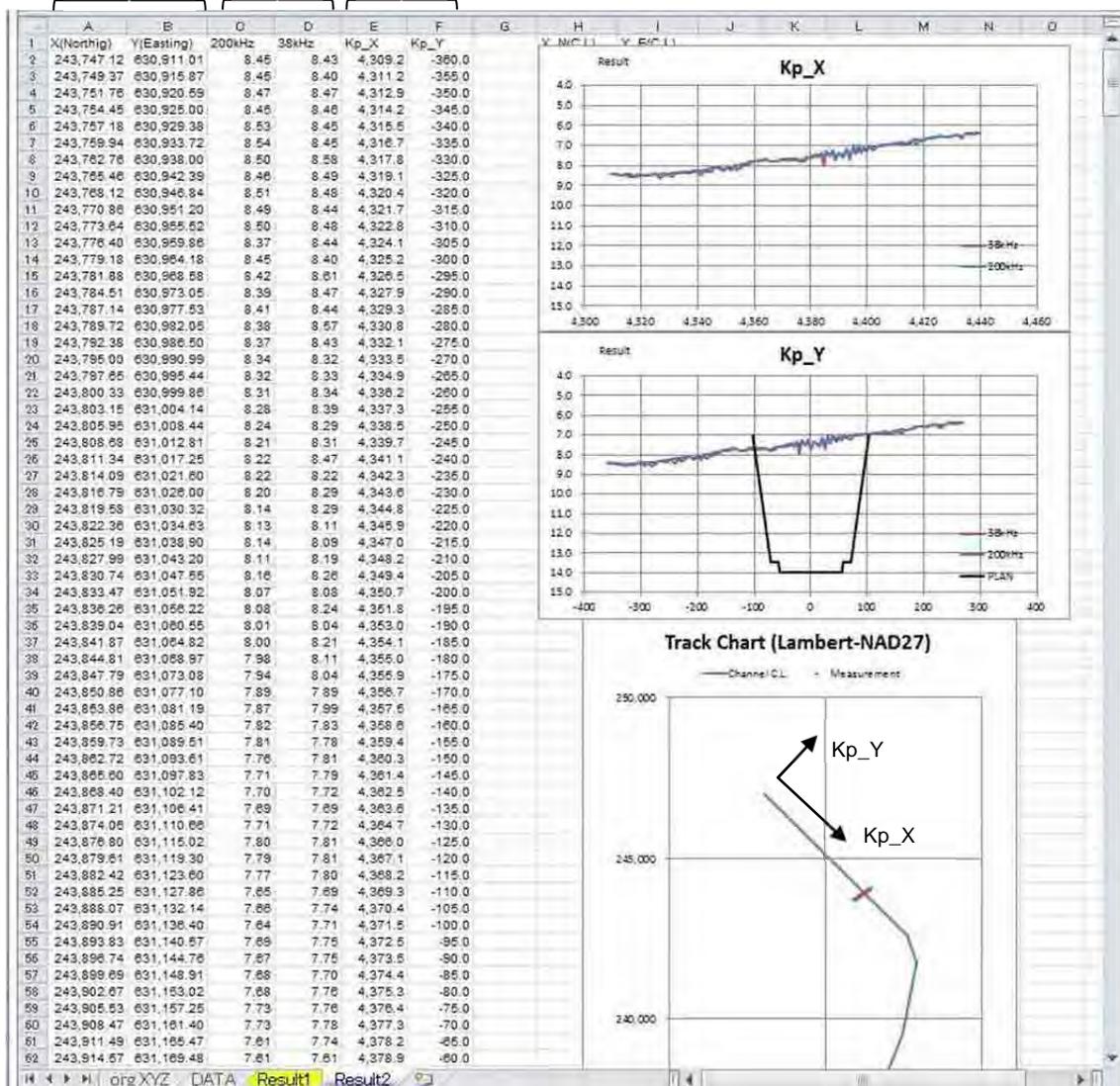


図 6.10 後処理後のデータの例

6.4.2 ラ・ウニオン港の基準面

(1) CNR 職員との打ち合わせ

航路の維持のためには、測量調査による水深のモニタリングを繰り返し実施することが必要である。測量された水深は、航路や泊地の埋没量を適切に評価するため、統一された基準面を用いて測定されなければならない。CEPA は 2011 年 6 月に深淺測量を実施したが、その結果は既往の結果と異なる傾向を示すものであった。CEPA の測量結果は既往の結果と異なる基準面を用いて整理されているようであったため、調査団は基準面を確認するため、エルサルバドルの潮位予測を行っている CNR の職員と打ち合わせをおこなった。

CNR との打ち合わせは、2011 年 8 月 24 日にサンサルバドルの CNR の事務所にて行った。打合せの目的は、潮位レベルや潮位予測の方法、及びエルサルバドルで用いられている鉛直基準面を明確にすることである。打合せの中で、調査団の質問に対し、エルサルバドルの潮位予測と潮位表出版の担当者が丁寧に説明してくださった。以下の情報は、打合せで確認されたものである。

- 1) CNR はラ・ウニオンの潮位予測に NOAA の調和定数データベースに記載の調和定数を使用している。調和定数は NOAA のウェブページ(<http://tidesandcurrents.noaa.gov/>)で確認できる。この調和定数は、調査団が潮位予測に使用しているものと全く同じである。
- 2) 調和定数は 1960 年に決められたもので、ラ・ウニオンにおける 9 年間の観測データに基づいている。この情報は、“El Salvador Elevations of Benchmarks referred to mean sea level.”の報告書に報告されている。
- 3) CNR より発行されている潮位表の基準面はラ・ウニオン港の MSL 下 5ft (=1.524 m) である。
- 4) エルサルバドルの標高の基準面(GVD) は、1960 年に決められたもので、1960 年の調査結果に基づく MSL をゼロレベルに設定している。
- 5) GVD と潮位レベルの関係は 表 6.1 の通りである。表 6.1 のデータは CNR より提供されたものである。
- 6) ラ・ウニオンでは、水深の基準は 1960 年以降 MLLW(= -1.3381 m)の高さを基準としている。しかし、船舶航行を対象とする場合、水深は MSL 下 1.5381 m (=1.3381+0.2)を基準として計算される。ここで、0.2 m は航行安全のために追加されている値である。これは、実際の潮位基準面 (CDL) が 1.5381 m であることを示す。

表 6.1 CNR より提供されたエルサルバドルにおける鉛直基準面

		La Unión	Acajutla	La Libertad
Highest Tide Obserbed	HTO	1.9812	1.5240	1.6154
High Water Springs	HWS		0.9601	1.0211
Mean High High Water	MHHW	1.2710	0.8656	0.9235
Mean High Water	MHW	1.1704	0.7711	0.8260
Mean Sea Level	MSL	0.0000	0.0000	0.0000
Mean Tide Level	MTL	-0.0518	0.0000	0.0061
Mean Low Water	MLW	-1.2771	-0.7742	-0.8138
Mean Low Low Water	MLLW	-1.3381	-0.8169	-0.8595
Low Water Springs	LWS		-0.9601	-1.0211
Low Tide Obseved	LTO	-2.2860	-1.4021	-1.4935

(2) ラ・ウニオン港の潮位基準面の設定

CNR との打ち合わせ確認項目の項目 6)より、船舶航行のための CDL は MSL 下 1.5381 m であることが分かった。MSL と CDL の関係は図 6.11 に示すように表示できる。CUT-9 のベンチマークの高さもまた図 6.11 に示す。ここで、CUT-9 はラ・ウニオン港のコンテナふ頭の東南の角に位置する。

ラ・ウニオン港の詳細設計の段階で、DD 設計のコンサルタントチームは CDL を MWL 下 1.652m に設定した。(これは、詳細設計の最終報告書：“Final Report of the Detailed Design on Port Reactivation Project in La Unión Province (JICA) in 2002”、の付属資料 B と F に記載されている。) MWL は Cutuco 突堤における平均潮位として定義されたもので、CNR によって平均海面と定義されている MSL とは異なる。また、ラ・ウニオン港のコンテナふ頭の設計図によれば、埠頭の上部高さは CDL+5.00m と記載されている。これらの情報から、MSL と CDL の関係について図 6.12 に示した。詳細設計の最終報告書の中で定義されている CDL を用いると、MSL は CDL + 1.7166 m と計算される。

上に述べたように、図 6.11 と図 6.12 に示すように、2つの CDL がラ・ウニオン港において定義されている。CNR による CDL に基づく水深は、詳細設計報告書によるものより 0.1785 m 深く計算されることになる。この差はわずかではあるが、埋没量や浚渫量の評価に影響を与える可能性がある。従って、将来において航路の維持管理を効率的に行うため、CDL を統一することを推奨する。

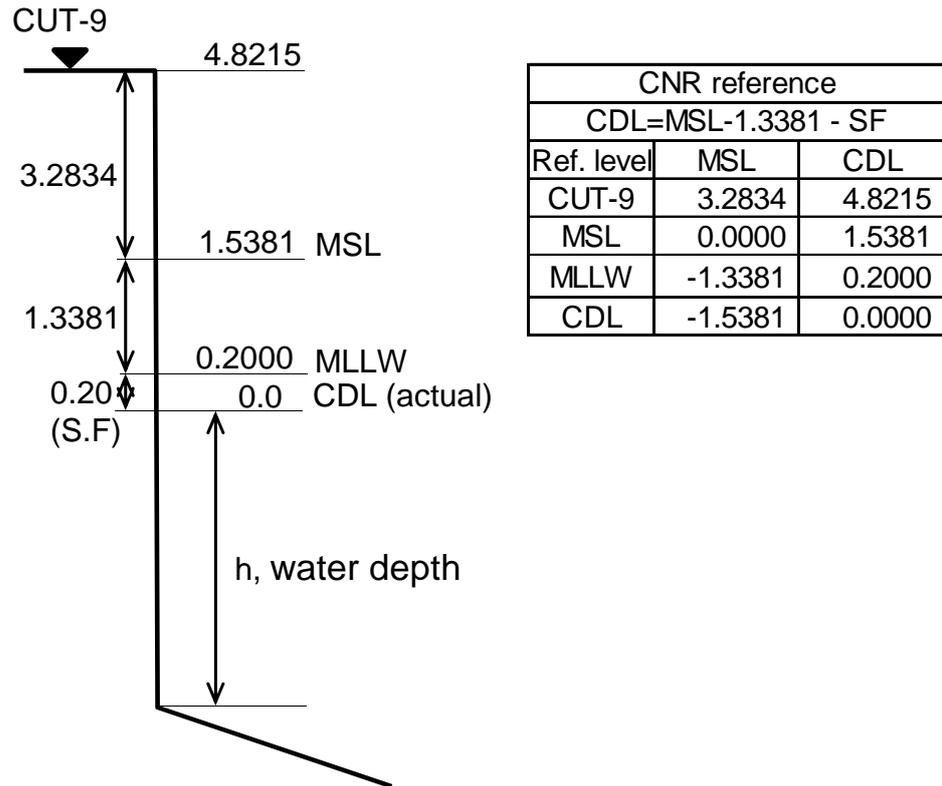


図 6.11 CNR による鉛直方向の高さの基準

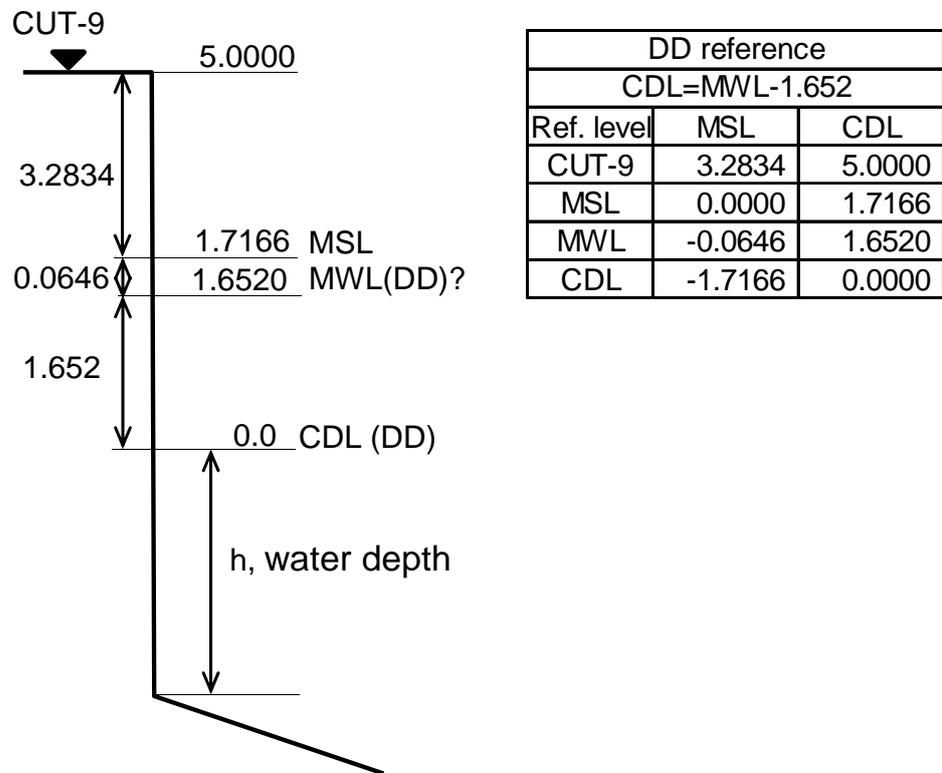


図 6.12 詳細設計 (DD) による鉛直方向の高さの基準
(CUT-9 はラ・ユニオン港の東南側の角にあるベンチマーク)

(3) CEPA による測量成果の補正

図 6.13 は、航路に沿う水深を表示したもので、2011 年 2 月初旬に JICA 調査団による測量結果と 2011 年 6 月に CEPA の発注で TOPONORT S. A. が実施した測量結果、加えて東側の航路外側を示したものである。2 回の測量の間の期間に埋没が生じることは予測されるけれども、CEPA の測量結果は内航路でわずかな堆積と外航路で増深が生じたことを示している。このような水深変化は現実的でないため、この水深の差は測量データの潮位補正の方法が異なっているものと考えられる。

TOPONORT S. A によれば、測量結果は MLLW(= -1.3381 m)で整理されており、安全のための 0.2 m を考慮していなかったようである。一方で、JICA 調査団による測量結果は図 6.12 に示す詳細設計に基づく CDL を基準に整理されている。この場合、基準面の違いによる水深差は 0.3785 m (= 0.1785 + 0.2)になる。水深を比較し、埋没高さを精度よく評価するには、測量データは同じ基準面を用いて適切に整理されていなければならない。図 6.14 は、水深を CNR により定義されている CDL (=MSL 下 1.5381 m) に調整した結果を示したものである。JICA と CEPA の測量成果の水深変化は図 6.13 と比べて自然な変化になっている。

上記の例から、航路水深は統一された CDL により整理する必要があることが確認される。詳細設計で定義された CDL は以前の測量結果に用いられているけれども、この CDL は潮位の基準面と一致していない。潮位と水深の関係は船舶航行に重要であり、調査団は CEPA に潮位の基準面と同一である CNR により定義された CDL を今後使用することを推奨する。

本報告では、水深データは CNR による CDL 基準に変換しており、前章までの全ての図面は修正済みのものである。

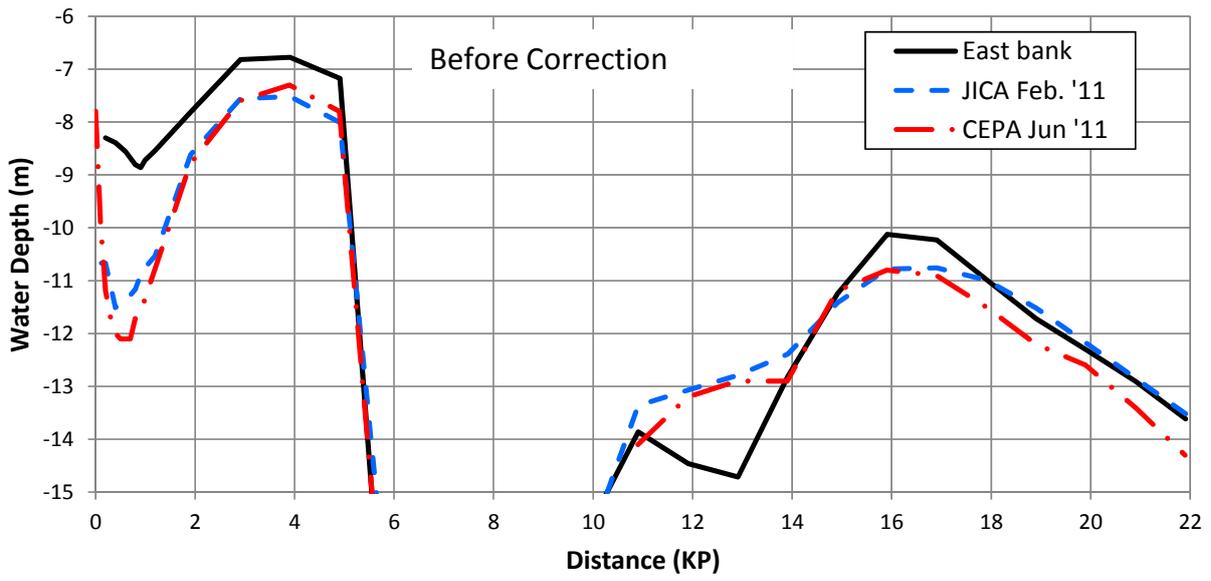


図 6.13 航路水深の変化（水深補正前）

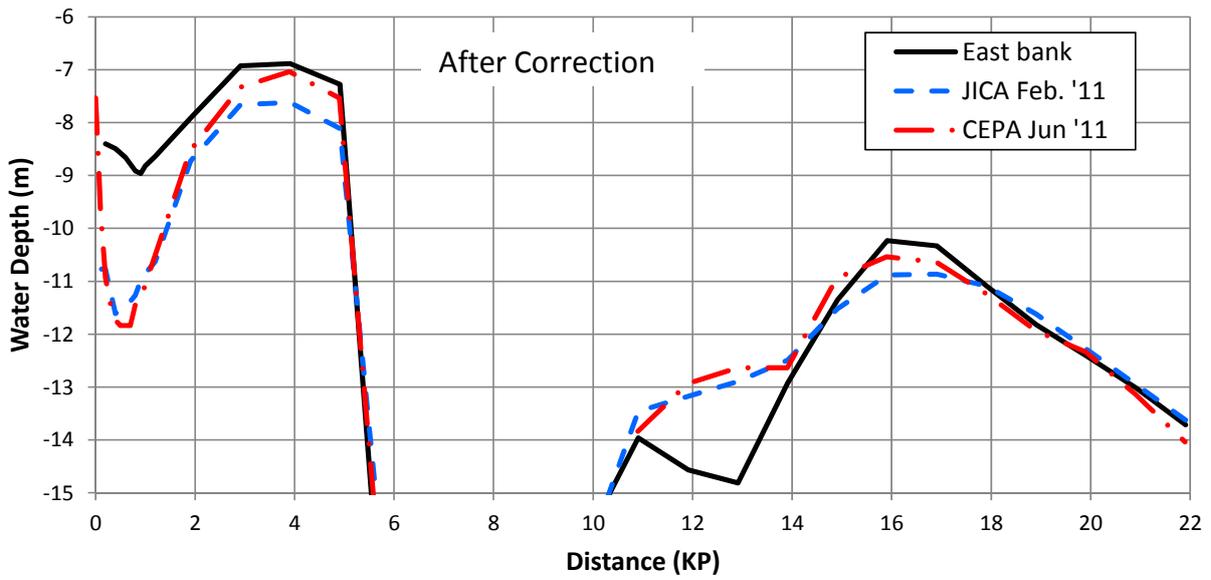


図 6.14 航路水深の変化（水深補正後）