

## 7.4 浚渫改良対策

### 7.4.1 浚渫作業の改良策

一般的に良く使用される代表的な浚渫方法は、カッターサクシオン工法またはトレイリングサクシオンホッパー工法のいずれかである。カッターサクシオンによる浚渫では、河川航路における船舶航行を妨げ、かつ風波によって上下動が生じ浚渫が困難となる場合がある。

トレイリングサクシオンホッパーによる浚渫は、浚渫航行しながら排出土砂をホッパーに積み込み、土砂の投棄地まで自航して投棄する方法である。ボカ・グランデの航路は80kmと長く、投棄地までの距離は40kmにもなるので投棄往復に8時間を必要とし、能率が悪く不経済である。

従って、リオグランデ航路では、浚渫航行しながら排出土砂を浚渫船に備え付けられたサイドキャスト管で航路沿いに放出するトレイリングサクシオン方式が採用されている。上記視点から現在適用されている工法は妥当と判断されるが、効率的に浚渫作業を実施するためには、下記に述べるような浚渫改善が必要と判断される。

#### (1) 浚渫航跡装置の装備

現在、維持浚渫時の位置の確認はGPSによる浚渫航跡をディスプレイにモニター表示し実施されている。しかし、航跡記録を示すプロッターその他の記録保存装置が備わっていないため、既浚渫済み区域と堀り残した浅い部分の確認が充分行われていない。従って、現行の方法では浚渫面の凹凸が3mにおよぶ。日本における過去の事例では、ハイスポットの位置を的確に表示記録するシステムを導入し、浚渫により生じる浚渫面の不陸を1.5m程度に押さえた実績がある。

位置設定では、ドラグヘッドの位置をGPSの位置座標とジャイロスコープの示す浚渫船の方位から求める。既に現地には衛星からデータを受信し浚渫船の位置を知らせる中継基地が2箇所設置されているので、このシステムを完成させるためには航跡を示すディスプレイ、コンピューター、ジャイロスコープの方位と連携しドラグヘッドの位置・深度を表示するソフトウェア等を浚渫船リオオリノコ号とグアヤナ号に追加導入して、堀り残し個所の位置と深さを正確に追跡できるようにする必要である。

#### (2) 底開きバージによる捨土方式

リオグランデで採用されているサイドキャストによる捨て土方式は、航路幅100m-120mよりも短い86m-114m長のアーム管を通して浚渫土砂を航路沿いに排出する。このため相当量の浚渫土砂が航路内に舞い戻ることから別称アジテーション（攪拌）工法とも呼ばれている。特に、風波の強いボカグランデ外航路にて静穏域用に造られたリオオリノコ号が浚渫稼動する場合には、アームに掛かる風圧を減じて船本体の安定を確保するためにアームを舟軸から充分に開くことができず、舞い戻り率を大きくしている。過去実施された調査報告書によると、内水路の舞い戻り率が約25%程度であるのに対して、外水路では約75%にも達しているとされている。

排出土砂の航路内への舞い戻りを減少させ浚渫効率の向上を計るために、バージによる捨土

方式に切り替えるよう提案する。3,500 m<sup>3</sup>容量のバージ 1 隻と 4,000 馬力のプッシャーボート 1 隻から構成される船団を 2 セット導入し、リオオリノコ号でバージに浚渫土砂を積み込み、航路外の近い距離に投棄する方法とする。ボカグランデの航路脇の水深は水面下 5～6 m と浅いが、バージの満船喫水は 4 m であるので安全に運行作業が可能である。バージ方式の浚渫作業の時間効率は低下しサイドキャストの場合の 50% から 80% になると見込まれるが、舞い戻りの激減によって逆に向上する浚渫効率が 80% - 100% になると予想されるので、総合的浚渫効率は、少なく見積もっても 1.6 倍程度の上昇が期待できる。平均 US\$2.60/m<sup>3</sup> の浚渫費用も単純に上記効率化によって US\$1.63/m<sup>3</sup> 程度になる事が期待できる。

#### 7.4.2 その他の改良策

下記の浚渫改良事項にも留意し効率向上を模索する必要がある。

##### (1) フラップ層への吸入口の十分な挿入

現在のところ、フラップの性状に関する既往の調査資料はないが、ボカグランデにおける深淺測定のデータは、密度の異なるフラップの層状堆積の状況が示されている。一般に、深いフラップ層ほど攪拌後の時間の経過に伴い自重による圧密が進行するので単位体積重量が増加する。従って、浚渫すべき航行に支障となる堆積フラップは、フラップ層群の下方に在る。従って、浚渫吸入口を可能な限り深くフラップ層に貫入させて浚渫する方が効率的である。

##### (2) サイドキャスト管を低く設置

現在、リオオリノコ号の吐出管は浚渫土をより遠隔に排土出来るよう水面上 17m の高さに設置されている。しかしながら、この排土管の高位置への設置は、ポンプ回転羽 (エンペラ) の頻繁な取り換えを必要とし、エンジンの損傷、船体の不安定化、燃料を多消費するなど、浚渫効率を悪化させる。このため、吐出管の位置を下げる検討の実施を提案する。吐出管を低くする方法には、次の 2 案が考えられる。

- a. 吐出管の先端を回転式とし、180 度回転することで約 5m 位置を下げられるようにする。
- b. 吐出管を甲板面に設置する。

オリノコの吐出管先端の位置を下げることによって、回転羽の交換回数が減じ、最大浚渫土量を得るための流速調整が容易になる。また燃料消費が減少し、エンジン故障や回転羽の激しい摩耗が生じにくくなって交換回数が減少する等、浚渫作業の効率化が期待出来る。

##### (3) 浚渫船グアヤナ号のホッパー方式をサイドキャスト方式に変更

現在、浚渫船グアヤナ号のホッパー底にある土砂排出口開け閉めに故障が多い。このため、浚渫船グアヤナ号のホッパー方式をサイドキャスト方式に変更し、年間 600 時間の実績稼働時間を年間 2,000 時間以上出来るようにする。

#### (4) 雨期到来の前にボカグランデの浚渫終了

深淺測量の結果を見ると、雨期においては内航路の水深は大型船航行が可能となるが、ボカグランデの航路水深は流出土砂の堆積で最も低下する。このためには、増水期を迎える前の減水期にボカグランデの浚渫作業を優先的に実施完了させると効果的である。

#### (5) 浚渫底面均し装置の装備

トレイリングサクシオン方式では極端に浚渫面が不規則となり不陸が生じやすい。航行の安全性のため掘り残した浅い部分は取り除く必要がある。地均し装置は、浚渫面の不陸を平らに均す効果があり、平均浚渫水深と航行可能水深との不陸差を1.5mから0.3mに減少させた過去の事例がある。

### 7.4.3 提案する調査計画

#### (1) フラッフの特性調査

ボカグランデにおけるフラッフの浚渫方法等を効果的に検討するためには、その物理特性の把握が不可欠である。しかし、現場で試料採取し分析した調査は過去実施されておらず、現在のところ入手可能な特性資料としては音響測深機による深淺記録に限られている。従って、室内試験を実施するために必要なフラッフ試料を航路現場から採取し、自然含水比、単位体積重量、粒度分布、粘着力等の物理特性を把握すべきである。特に、深度と圧密経過時間、並びに密度等の関係を圧密試験の結果から把握し、攪拌工法の適切な実施頻度等を含む浚渫手法の確立をする。さらに捨土工法、混合工法等を比較検討し、最適な浚渫工法を模索する必要がある。

#### (2) 効率の良い浚渫手法の調査

下記項目に係わる浚渫運転データを集積し、浚渫効率を最大にする手法調査の実施を提言する。浚渫量は、河床材料、土砂混入率、エンジン回転数、吸入口根入深度、航行速度等によって変動する特性がある。従って、浚渫区域や浚渫船の特性に対応する運転手法の検討確立は重要である。

- a) 吐出速度
- b) 回転羽のサイズと回転数
- c) ドラグヘッドの挿入適正深度

#### (3) 浚渫船リオオリノコ号の診断

現在使用されている浚渫船リオオリノコ号は、1978年8月に建造されて以来、22年の年月を経ている。従って、リオオリノコ号の浚渫機器効率の確認、ならびにその改善のために下記の診断を行う事を提言する。

- a) 過去20年間に取替えを必要とした部品リスト
- b) エンジン、動力供給、水圧ポンプおよび配管、その他浚渫システム関連する機材
- c) 鋼骨組み、鋼板その他構造部材
- d) ドラグアーム、ウインチその他の改良の必要性

#### 7.4.4 浚渫改良策の実施コストの算定

先に述べた浚渫改善策のうちの①リオオリノコ号とグアヤナ号に浚渫航跡装置を装備する案、および②バージにより航路外で捨て土する工法を採用する案に係わる対策工費は、下表 S.7.3 の通りである。

表 S.7.3 浚渫改良費用

項目	費用 (US\$)
1. リオオリノコ号およびグアヤナ号の航跡記録装置 (据付費を含む表示装置とソフトウェア、訓練費、消耗品)	191,000
2. バージとプッシャーボートの調達と リオオリノコ号への排砂管の追加設置	21,900,000
3. 運転、維持管理費	343,000
合 計	US\$ 22,434,000

### 7.5 事業実施・維持管理組織

河川改修および浚渫改良から成る優先事業の実施組織は、公共事業省 (MINFRA) の外郭組織である運河庁 (National Institute of Canalization; INC) となる。INC は現在オリノコ航路に係わる維持管理事業を担う専任組織で、水深確保のための維持浚渫の実施、並びに航路標識の管理業務等を航路使用者からの料金徴収を基に実施している。しかし、河川改修に関わる土木工事は、INC の通常業務には無く、この工事実施に当たっては、浚渫改良業務とは別の新規組織の設立検討が必要である。

#### 7.5.1 浚渫改良事業

INC は、浚渫計画の目標達成度の点で問題は在るものの、浚渫に関わる豊富な経験・技術管理情報等を有し、ヴェネズエラ国唯一の舟運航路の管理組織である。従って、本調査で提言される同種の浚渫改良事業も、引き続いて同組織で実施される事が望ましい。この場合、既存の INC オリノコ支局の水路管理部が実施担当組織となり、現在行っている水路計測を含む浚渫維持管理業務に加えて、提案される浚渫改良事業の実施推進を担う事になる。

#### 7.5.2 河川改修事業

締切堤や護岸等の河川改修の土木工事を実施管理する組織には、INC オリノコ支局の組織下に新たに事業実施部 (PIU) を設立することが望ましい。PIU 組織は、工事完了後に維持管理人員を残し解散することを踏まえて、工事を実施する施工業者のみならず、設計、入札、工事管理等を支援するための専門スタッフを外部から雇用する。事業実施の基本方針を策定し、資金・予算管理、スケジュール管理、品質管理等を担う事業実施の全責任を持つ現場組織が PIU となる。

### 7.5.3 事業実施組織の設立

PIU 新組織の中心となるプロジェクトマネージャーや資金管理等の業務は、現状と同様に INC 職員中心に組織構成する。しかし、プロジェクトの直接業務である用地補償、計画・調査、設計・工事管理、環境管理等は、工事完了までの暫定業務になることに配慮して外部の専門スタッフの雇用が望ましい。

INC 事業を国家公共事業として位置づけ、その資金調達や返済保証等の役割を担う監督担当省としては、現状の監督省である公共事業省 (MINFRA) があたる。環境天然資源省・オリノコアプレ推進局は、他機関・他事業との調整を担当する組織と位置付けられる。

従って、事業の円滑な推進と管理のために PIU、INC、MINFRA、PROA 等を構成中心とする 関係組織が実施監視委員会を設立し、事業の運営実施をする事が望ましい。工事の完了後に、PIU 機能を建設された施設管理に移行させるための見直しも委員会の重要な業務である。

## 7.6 環境影響予測評価 (EIA)

初期環境調査 (IEE) の結果にもとづいて更に詳細に環境の現状を把握し、計画が環境に与える影響を緩和する方策について検討するために 環境影響予測評価 (EIA)を行なった。

### 7.6.1 環境の現状調査結果

#### (1) 水質、堆砂および底生動物の調査

河川底部は粒子の細かい砂質土で構成され、有機物は含まれておらずベントスの棲息は確認されなかった。また確認されたプランクトンの生息数も少なく、活発な生物活動は見られない。水質は環境基準内で問題はない。

#### (2) 水生生物および魚類

周辺集落住民の主要な収入源は漁業で、漁期は通常 11 月から 4 月の乾期が主体となっている。締切堤の建設予定地上流のマリチェおよび下流トルトラ水路は地域の重要な漁場である。

#### (3) 社会環境

トルトラ水路周辺地域の経済は当該水路に大きく依存している。周辺の集落に住む住民にとって水路は集落間の交流のためだけでなくバランス、ピアコアなどへのアクセスの重要な交通手段となっている。

バランスの人々は主に農業、牧畜および公共機関に従事し、周辺の集落の住民は専ら農業と漁業に従事している。両者とも経済面での河川への依存は大きい。

### 7.6.2 影響予測

#### (1) 水理的側面からの影響

(河岸侵食)：河川の侵食は河川底部での侵食だけでなく、侵食度合いは低い、河川の側面でもおきる可能性がある。

(堆 砂)：オリノコ川上流から運ばれてきた土砂はトルトラ水路の締切り上部で堆積する可

能性がある。この土砂は河底を覆い、水生植物を含む水生生物の生息域を消失させる恐れがある。また、締切りによって舟運による地域交通も阻害される。

### (2) 水生生物および魚類への影響

地域では重要な漁場となっているマリチェとトルトラの漁場が消失する恐れがあり、漁業によって生計を立てている地域の住民に大きな影響を与えることになる。

### (3) 社会環境面での影響

水路の締切りは地域の河川交通にとって大きな障害となる。すなわち、周辺でのおもな生産物の集荷地となっているバルancasやピアコアなどへのアクセス手段がなくなくなる。水路沿岸に住む住民はその生活を大きく河川に依存しており、水路の締切りは彼らの生活スタイルそのものの変化をもたらすことになる。

## 7.6.3 緩和対策

- (1) 年間を通じて流水環境を保全維持するために、穴開きタイプ、スリットタイプ等の一部流水の下流への流下が可能となる締切堤を建設する。
- (2) 地域交通の障害緩和だけを考慮した場合、小規模な舟運水路を設置する事も考えられる。この水路によって乾季においても漁船の航行が可能になる。
- (3) バランカス沿岸では河岸浸食が予想されるため、約 4 km の護岸を施工する。

以上述べた越流堤、穴開きタイプ堤、スリット堤等の緩和策を実施しても将来的にはトルトラ水路区間の流下流量は激減し、河道流路の狭隘化あるいは陸地化の可能性がないと断言するのは困難である。そのため場合によっては住民移転が必要になる可能性も考えられる。移転対象となる村落とその人口・世帯数は下表 S.7.4 の通り。

表 S.7.4 トルトラ水路沿いの村落

部落名	世帯数	人口
1) Caratal de Tortola	9	21
2) Manacal de Tortola	16	98
3) Tortola Abajo	33	198
4) Tortola Arriba	7	20
5) Mariche	4	17
合計	70	354

7.7 経済・財務評価

(1) 概説

評価対象は構造的対策と浚渫改良計画である。構造的対策には完全締切堤案 (Complete Closing Dike) と越流堤案 (Submerged Dike) との二つの代替案があり、浚渫改良計画にはGPS増設案とそれにバージを追加導入する案がある。

(2) 経済評価

1) 構造的対策

現在の維持浚渫方式との比較から経済評価を実施した結果、唯一の構造対策案であるグアルグアポーバランカスージャジャ区間の完全締切堤案と越流堤案の代替案双方ともに投資費用に対し得られる便益が小さく、経済的妥当性は無いと判断される。当然財務的にも困難な事業と判断されるので、事業実施は見合わせるべきである。

表 S.7.5 構造的対策の経済分析結果

	Alternative I (完全締切堤)	Alternative II (越流型締切堤)
計画費用(Project Cost) (経済費用)	US\$ 61,029,000	US\$ 77,936,000
維持管理費用 (経済費用)	US\$ 305,000/年	US\$ 389,000 /年
便益/年 (経済費用)	US\$ 8,939,000 (浚渫費低減便益)	US\$ 8,939,000 (浚渫費低減便益)
B/C 費用便益比率	0.95	0.74
EIRR 経済的内部収益率	-	-
経済的妥当性	無し (×)	無し (×)

2) 浚渫改良対策

浚渫改良の実施によって計画航路水深が確保され、その結果として輸送船の載荷容量が増加し単位量当たりの輸送コストが低下する。この鉄鉱石の輸送コストの軽減分を浚渫改良による便益として計上し経済評価をした結果、下表に示す通り両浚渫改良案とも経済的に妥当性のある計画案と判断される。

表 S.7.6 浚渫改良事業の経済分析結果

	Alternative I (GPS 増設案)	Alternative II (GPS 増設案+バージ導入案)
改善費用(Project Cost) (経済費用)	US\$ 177,000	US\$ 20,544,000
維持管理費(O/M Cost) (経済費用)	US\$ 465/年	US\$ 319,000/年
便益/年 (経済費用)	US\$ 874,500 (輸送費低減便益)	US\$ 11,250,700 (輸送費低減、浚渫効率向上便益)
費用便益比率 (B/C)	43.76	4.36
経済的内部収益率 (EIRR)	493 %	53%
経済的妥当性	有り (○)	有り (○)

#### (4) 財務評価

##### 1) 構造的対策

各対策案は明らかに経済的妥当性が無いと判断された。よって、本対策案に関しては財務評価は行わない。

##### 2) 浚渫改良対策

###### a) Alternative I (GPS 増設案)

本計画案実施により、事業の実施主体である INC の財務収入は現行料金収入制度においては何等の収入増はあり得ないので、財務的妥当性は説明し難い。しかし、本案実施に伴い鉄鉱石の輸送費は年間 US\$ 1,175,900 軽減される事が予想される。よって、鉄鉱石の輸送業者がこの節減額の 10%を現行通行料金に上乗せして INC に支払う事は経済的に可能であり、かつ合理的であろう。具体的には、上述輸送費の軽減額をトン当たりに換算すると  $US\$ 1,175,900/4,000,000=US\$ 0.294$  となり、その約 10%は  $US\$ 0.0294$  となる。従って、現行のトン当たり  $US\$ 1.3511$  の通行料が  $US\$ 1.3805$  になる事となり 2.2%足らずの値上げに相当する。

かかる前提条件で INC に収入増(  $US\$ 117,600/年$ )があるとして財務評価をおこなうと本計画案 (GPS 増設案) の財務的内部収益率 FIRR は 61%となり、財務的に妥当な計画となる。

###### b) Alternative II (GPS 増設案+バージ船導入案)

本計画案実施後において事業主体である INC の財務上収入増はあり得ないが、浚渫費用の低減は見込める事となり、その低減額 (  $US\$ 9,700,000$  ) を財務上の利益として計量し財務分析を行なうと FIRR は 42%となり、財務的にも妥当な計画案と判断される。参考までにバージ (Barge Disposal System) の調達費を外国借款 (例えば国際協力銀行-JBIC) により賄うとした場合にも FIRR は 40 %となり財務的な妥当性が窺われる。

なお、今回の調査においては INC の財務関係資料が入手不能であったので、上述浚渫費用の低減額が全額現状の INC 経理上の利益として計上できるか否か不明である。よって、年間必要浚渫量を浚渫する経費が現状の INC の年間予算では不足している場合を前提とすれば、本計画案を実施するためには事業費に対する国家財政からの補助が必要となろう。

本計画案を財務的に妥当とするためには、バージの導入費(  $US\$21,900,000$  )を国の補助金により賄い、かつ現行の鉄鉱石通行料金  $US\$ 1.3511/トン$  の 7 %値上げが必要となる。この前提条件で FIRR は 18 %となる。( 7 %の値上げは、本計画案実施に伴う輸送費節約額の約 18%足らずである。)

以上の評価結果から GPS 増設案 ( Alternative I ) およびバージ導入案(Alternative II)の両浚渫改良案ともに財務的に妥当な計画案と判断される。

#### (5) 総合評価

優先プロジェクトとして提案された構造的対策と浚渫改良計画の夫々に関し経済評価と財務評価を行なった結果は以下の通り。

#### 1) 構造的対策

完全締切堤案および越流堤案とも投資費用に対し得られる便益が国民経済的な妥当性を示すに至らず、当然財務的にも困難な事業と判断されるので、事業実施は見合わせるべきであろう。

#### 2) 浚渫改良対策

全地球的測位システム（GPS）の増設案およびバージの調達案とも国民経済的な正当性は明らかである。よって、本事業の事業主体である INC は第一段階として早急に GPS の浚渫船への増設は実施すべきである。次いでバージの調達・投入は財務的な問題解決のため国家的合意を得て、国の財政補助を取り付けると共に通行料金制度の改定が可能となった段階で実施に踏み切るべきであろう。