

7. 河川改修優先プロジェクト

7.1 構造的対策の対象区間

構造的対策の対象区間であるグアルグアポーバランカスージャジャ区域は、オリノコ上流域からの流出土砂が河道急拡部の流勢低下で堆積し、砂州・島および複雑な分岐水路を発達させるオリノコデルタ頂部に位置する。この対象区間における維持浚渫量は年間 380 万 m^3 にもおよび、外水路のボカグランデ浚渫区間に次ぐ内水路最大規模の浚渫区間となっている。

航路水深確保のための構造的対策は、リオグランデ水路が有する河道特性である「河床高の縦断変化は川幅および流量に対応する掃流力によって規定される」を基本に、効率的に分岐水路を締め切り、本川航路の流量増加を図る「点対応案」がもっとも実現可能性ある構造的対策になることをマスタープランで確認した。

この計画方針に基づき、グアルグアポーバランカスージャジャ区間の浚渫解消を目的とするトルトラ水路締切案（B2 案）が、構造的対策の実施可能性のある優先プロジェクトとして唯一選定された。その他の浚渫区間に対しては、現在の維持浚渫量に比べて、浚渫を解消するために必要な施設規模の莫大さから、実現可能な構造的対策案は無いと結論付けられた。

7.2 構造的対策

7.2.1 環境配慮

トルトラ水路の完全締切案（B2 案）は、本川航路の流量増加による河岸侵食のみならず分岐水路内の流水を停滞させ、かつ土砂堆積による水路閉塞を引き起こし、社会環境および生態系に悪影響をおよぼすことが危惧される。本調査では、予想される環境影響への軽減策として、締切堤の上下流区間に水流を確保するために越流タイプ、穴開きタイプ、スリットタイプ等の締切堤も代替案の検討に盛り込む。また、締切堤建設によって遮断される地域住民の域内舟運交通を確保するため、締切堤の河岸取付部に閘門付き迂回舟運水路を設置する。さらに派川水路締切によるリオグランデ本川の流量増加による河岸侵食対策についても検討する。

7.2.2 締切堤に対する代替案

(1) 代替案の選定

トルトラ水路締切に係わる水理検討代替案として表 S.7.1 に示す 8 案を選定した。代替案 B2-1 と B2-2 は締切堤の最適な建設位置を比較する案、代替案 B2-3、B2-4、B2-5 は下流区間への水流を確保するための越流堤天端高の比較案である。穴開きタイプやスリットタイプの締切堤案も水流を下流区間に確保する案としてあるが、本川への水理効果は各案ほぼ同様となるので、比較水理解析では越流堤案を基本にして検討を進める。

さらに B2-6 と B2-7 の代替案は水制工の効果を検討する参考案として実施するもので、トルトラ水路の川幅を狭めて航路の掃流力の増加を図る案、ならびに抜本的な流量制御を図るトルトラ水路上流端の参考締切案 B2-8 である。

表 S.7.1 トルトラ水路締切堤に係わる代替案

構造物形式	代替案	主な構造物	備考
締切堤	B2-1	水路上流側の完全締切堤(堤長 2,200m)	締切堤の建設位置の比較検討案
	B2-2	水路下流側の完全締切堤(堤長 1,720m)	
越流堤	B2-3	水路上流側の越流型締切堤(堤長 2,200m, 天端高 海抜+6m)	越流堤の天端高の比較検討案
	B2-4	水路上流側の越流型締切堤(堤長 2,200m, 天端高 海抜+3m)	
	B2-5	水路上流側の越流型締切堤(堤長 2,200m, 天端高 海抜+0m)	
水制工等	B2-6	水路上流端の水制工群(延長 2,000m × 3 本)	流量制御目的の水制工の効果を検討する参考案
	B2-7	水路上流端および中流の水制工群(延長 2,000m × 3 本、延長 1,000m × 3 本)	
	B2-8	トルトラ水路とピアコア水路の完全締切(堤長 4,300m)	抜本的な流量制御を行う参考案

(2) 水理解析モデル

各代替案に対する流況および河床変化等の水理解析には、2次元解析モデルを採用した。このモデルは一般に採用されている平面2次元水理・河床変動モデルで、流れの計算、流砂量計算、2次流を考慮した河床変動の計算等のモデルを組み合わせたものである。流れの計算では、曲線直交座標系でメッシュ化された検討対象区間に対し、非圧縮性流体の連続式と運動方程式を陰解法によって数値的に解く。次に得られた流れの条件から各地点の流砂量を全流砂量式の1つである Engelund-Hansen 式によって算定し、流砂の連続式から河床変動を計算する。

本改修計画調査では、対象河川区域が広大で、かつ分派・合流を繰り返す水路網の複雑さ等を勘案して2段階の水理シミュレーション解析手法を採用した。すなわち前章までに記述した第1段階解析では、1次元水理解析手法を用いて流量、河床高、水路幅の關係に着目した対象河川全体の水路網を再現すると共に、改修計画の基本的着眼点となる「河床高の縦断的变化は、河道幅・流量の対応する掃流力の増減に規定される」との河道変動特性を明らかにし、マクロ的な視点から「点対応」による流路変更等の実現性のある改修計画検討を行った。広大で複雑なデルタ水路網の河床変動特性の把握には、少なくとも数十年以上の長期的な解析が必要であるが、一部水路区間を除いて河岸線は変動が少なく安定している事、また河床材料は比較的粒径が様な中砂で、かつ年間流況は単純で規則的である等の条件から、1次元水理解析手法はこの長時間スケールの解析をも可能にした。

第2段階で採用した2次元水理解析では、構造的対策案による選定水路区間に対する水理効果を詳細に評価するために、1次元解析では困難な航路の河床低下の効果のみならず、2次流を考慮して河岸部の侵食、複雑な湾曲部河床の滞筋変動等に着目し検討を進めた。必要な解析の時間スケールとしては、対象区間において下流への流送土砂の影響が再現可能で、かつ計算機能力のバランスが確保できる数年間を対象とした。

7.2.3 水理解析結果

流況解析検討の結果、完全締切の代替案 B2-1 と越流型の代替案 B2-3 が、航路の流量を増加させ、河床低下に効果があると判断された。河床変動解析は、流況解析で効果が期待できるとされたこの2代替案に対して実施し、B2-1 は浚渫区間平均で現況河床面から 3.9m、B2-3 は 2.6m の河床低下が確認され、どちらも維持浚渫量の低減効果が充分にあると判断された。

以下に、各比較構造的対策毎の水理解析結果を示す（図 S-7-1 参照）

(1) 完全締切堤案

代替案 B2-1 と B2-2 の比較検討の結果、トルトラ水路における締切堤の位置は、水路内水位を上昇させない上流端案（B2-1 案）が望ましいことを確認した。この上流案は、締切堤体の体積を最小にする点でも適している。ただし、完全締切堤であるために締切堤の建設位置に関わらずトルトラ水路の流れは停滞し、長期的には土砂堆積により水路は閉塞すると予想される。

(2) 越流堤案

代替案 B2-1、B2-2、B2-3 の比較検討の結果、グアルグアポーバランカスージャジャ区間の流量増を図るには、トルトラ水路の越流堤の天端高は少なくとも平均海面上 6m 以上（代替案 B2-3）にする必要である事が判明した。天端高をこれより下げて域内舟運に寄与しようとする越流堤案では、航路本川の河床は十分に低下しない。しかし、6m 以上の天端高を有する越流堤でも、越流期間は年 3 ヶ月程度しか発生しないため、トルトラ水路の流れは停滞し長期的には土砂堆積によって水路閉塞が生じると予想される。

(3) 水制工案

トルトラ水路の川幅を水制工によって狭めて航路の流量増を図る代替案 B2-6 と B2-7 を比較検討の結果、その水制工設置区間の流速が上昇して河床低下が引き起こされるが、航路本川の流量増に寄与しないことが確認された。

7.2.4 施設計画

完全締切堤案 B2-1 と越流堤案 B2-3（天端高は海拔 6m）について施設計画を作成した。施設は、締切堤の堤本体、護床工、取付護岸、小型舟運水路、および航路区間の河岸侵食防止護岸工からなる。越流堤案 B2-3 は、越流水に対する堤体の安全を考慮して、天端幅 12m を確保、法面には蛇籠工を布設し、上流側の法勾配は 1.8 割、下流側は緩勾配の 3 割とした。完全締切堤案 B2-1 は、天端幅 10m、碎石による盛土のみで法勾配は上下流側とも 1.5 割とした。また、両案とも堤体下面の洗掘防止対策用に上下流に護床工を設けることとする。

小型ボート用舟運水路には、上下流の水位差があるため閘門を設ける。従って、舟運水路は、流水環境の保全や魚道確保には寄与しない。また、トルトラ水路の締切によって周辺水路の流量が増加し、河岸侵食の進行が予想される。2 次元水理解析の結果、最も影響のあるのはリオグランデ水路の左岸であると判断され、現況で想定される左岸近傍の最大流速 1.4m/s よりも速い流速が締切によって生じると想定される区間 4km を護岸工によって防護することとした。図 S-7-2 および図 S-7-3 に、締切堤、舟運水路および河岸侵食防止護岸の標準構造図を示す。

7.2.5 改修工事費

河川改修における構造的対策案 B2-1 および B2-3 に係わる総事業費は、下表 S.7.2 に示すように各々 101.1 百万ドルおよび 129.1 百万ドルである。維持管理費は、各々直接工事費の 0.5 % として年間 0.37 百万ドルおよび 0.48 百万ドルである。

表 S.7.2 河川改修事業費：(B2-1 案および B2-3 案)

費用	完全締切堤 B2-1 案 (百万米ドル)	越流堤 B2-3 案 (百万米ドル)
A. 直接費	74.9	95.6
締切堤	(66.1)	(86.8)
護岸工	(8.8)	(8.8)
B. 間接費	11.2	14.4
事務経費	(3.7)	(4.8)
技術経費	(7.5)	(9.6)
C. 予備費	15.0	19.1
総事業費	101.1	129.1

- 注) ・積算価格 1999 年 10 月の市場価格
 ・換算レート US\$ 1.0 = Bs. 630 = ¥. 105
 ・事業費項目 直接費 ①工事費
 間接費 ②事務経費は直接工事費の 5%と仮定。
 ③技術経費は直接工事費の 10%と仮定。
 予備費 ④予備費は直接工事費の 20%と仮定。
 ・工事費単価 浚渫費は INC の予算と浚渫量実績から 2.60 US\$/m³と仮定。

7.3 非構造的対策

リオグランデ水路の河岸法線や浚渫区間の顕著な変動は、1950 年代の航路開設以来発生していないが、砂州形状や滞筋等の河道内河床の変動は各所で見られるので、深淺測量を定期的に実施して滞筋の位置、深さ等の変化状況を把握し、維持浚渫量の低減と船舶の安全な航行の視点から舟運航路線形の見直しを提案する。

260 km 地点から 270 km 地点のバランス区間では、砂州によって分派されたりオグランデ本川の左派流が航路として利用されて来ているが、1959 年と 1998 年の約 40 年間にわたる航路図の比較に見られるように、当初連続していた砂州が現在 262 km 地点付近で分離二分され、これに伴って左派流側から右派流側に水流滞筋が拡大発達する傾向にある。二次元水理解析結果にもこの拡大傾向は現われており、流況によっては将来この分離水路がさらに拡大され、滞筋が左派流から右派流に移動する可能性もある。従って、この動向を定期的な深淺測量を通して観測し、浚渫量の軽減の視点から航路線形の見直しを実施する事が望ましい。

INC は浚渫区間における航路内、あるいは航路沿いの河床変動の状況を確認するために、浚渫の前・後や水深の浅くなる乾期等に定期的な深淺測量を実施しているものの、本川全幅にわたる測量は数年に一回程度、また派川や派流の測量は充分に実施されていないので、効率的で安全な航路確保の視点から定期的な航路観測並びに見直し体制の整備拡充が必要である。