第３章

プロジェクトの内容

第 3 章　プロジェクトの内容

3-1　　プロジェクトの概要

3-1-1　　プロジェクトの背景

「ボ」国政府は、国家上位計画の中で、経済の活性化を促す道路のインフラ整備を重点施策として取り上げている。中でも 3 大都市のラパス、コチャバンバ、サンタクルスを結ぶ国道 4 号線は物流の幹線道路であるとともに、隣国のブラジルとチリとを結ぶ東西輸出回廊として国際的な重要性も高い。

国道 4 号線上に位置する日ボ友好橋は 2008 年のピライ川洪水により取付け道路が被災した。これをうけて護岸等の応急対策を「ボ」国側が実施したが、技術的、経済的に限界があり、再度洪水が発生したときの対応が困難な状況にある。このため、「ボ」国政府は 2008 年のピライ川、ヤパカニ川、イチロ川の洪水により発生した河岸対策について、無償資金協力「河川洗掘による護岸対策」をわが国に要請した。

これに対しわが国は、中長期的な河川管理の視点から、プログラム形成調査を実施して、現状の確認、河川護岸対策の実施に必要な制度・事業の検討、提言を通じて、支援策を提示することとなった。

3-1-2　　プロジェクトの目標

本プロジェクトの目標は、ピライ川の洪水による侵食に対する国道 4 号線の日ボ友好橋取付け道路の保全に必要な対策(案)を示すことにある。すなわち、洪水により被災した国道 4 号線に位置する日ボ友好橋取付け道路の護岸対策を対象とし、「ボ」国側で実施した応急対策工の技術的評価を行い、中期的な観点から必要な護岸対策案を策定し、対策工の概略設計及び概算事業費の積算を行い、河川管理実施機関等の能力強化支援策の技術協力案を策定することを目的としている。

3-1-3　　プロジェクトの概要

本プロジェクトは、上記目標を達成するための協力事業として、構造物対策である施設の概略設計及び概算工事費の算定を行った。施設としては、応急対策で実施された護岸の補強と、取付け道路の侵食防止のための水制工及びベーン工からなる。また、非構造物対策として砂利採取により河道を整正し、侵食防止を図ることを提案した。このほか、河岸侵食防止に関連する技術支援の必要性に関して検討した。なお、施設の本体工事は「ボ」国による実施となる。

施設の概要及び設置目的は次のようになる。

- 右岸日ボ友好橋より 1.5km 上流の延長 250m のじゃ籠による水制工及び延長 810m にわたる 60 基の杭式ベーン工の設置：水制により流れが橋梁に向かうようにするとともに、ベーン工により蛇行の発生を防止することを目的とする。

- 左岸日ボ友好橋より 400m 上流の延長 345m にわたる 3 基の既設水制工の補強：水制による導流及び堆砂機能を補強し、蛇行による侵食を防止することを目的とする。
- 取付け道路護岸の延長 250m にわたるふとん籠による根固め工補強：根固め工により前面洗掘に対する安全性を確保し、ジオチューブの耐久性をふとん籠で補強することを目的とする。

施設の構造形式、数量及び諸元は次のとおりである。

表 3-1-1　施設の構造形式、数量及び諸元

項目	構造物	数量、諸元、構造
右岸橋 1.5km 上流対策工	水制工	2 基、延長 150m+100m=250m、じゃ籠
	ベーン工	2 列*30=60 基、延長 4.8m、間隔 27m、設置区間延長 783m、木杭
左岸橋 400m 上流対策工	水制工補強	3 基、延長 45m+100m+200m=345m、木杭
	護岸補強工	延長 250m、ふとん籠

工事工程は基本的には乾季に工事を実施することとして計画したが、「ボ」国での予算措置等の状況を考慮して、表に示す単年度施工と複数年度施工の 2 案を計画した。

図 3-1-1 河川護岸対策工事単年度工程表

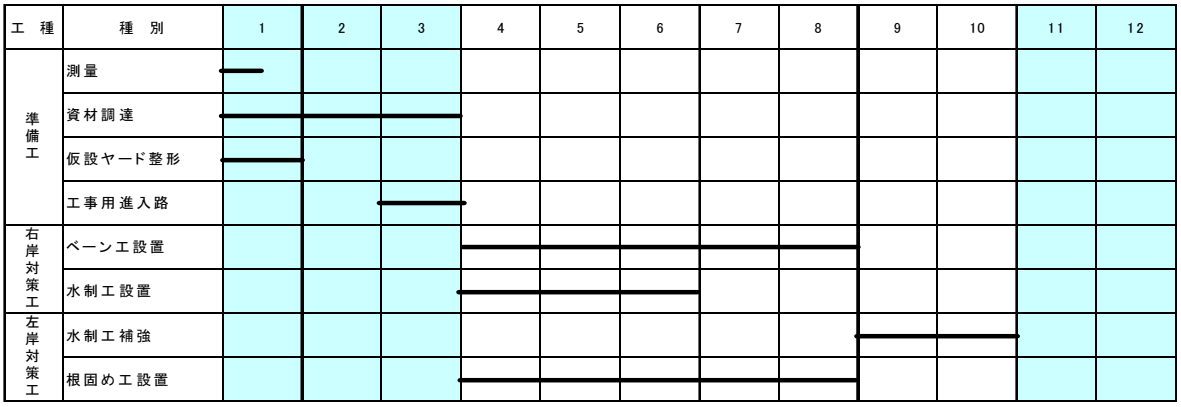
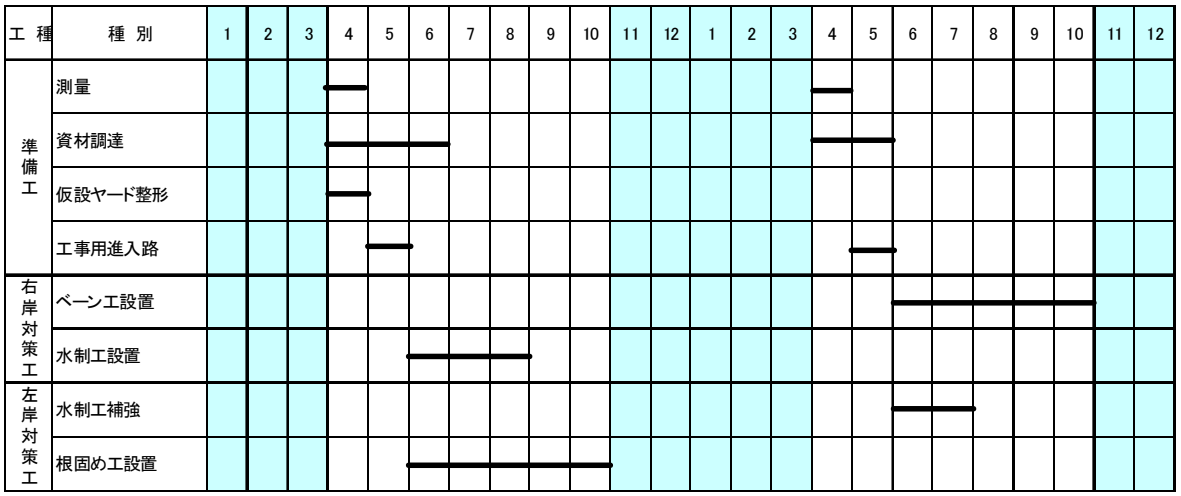


図 3-1-2 河川護岸対策工事複数年度工程表



概算事業費は表に示すように合計 140 万 US ドルと見込まれる。なお、事業費は物価上昇等が想定されることから不確定要素を有している。

表 3-1-2 概算事業費

項　目	費 用（千$US）
右岸橋梁上流 1.5km 対策:水制工とベーン工	600
左岸橋梁上流 400m の対策:護岸補強と水制工補強	600
物価上昇と施工管理	200
合　計	1,400

技術支援に関してはボリビア道路管理局(以下、ABC)とピライ川治水公団(以下、SEARPI)を対象とした。ABC に対しては、「ボ」国の特性を考慮した技術を確立することが必要であり、専門家の派遣等により施設の計画や設計のための水文資料の取りまとめや、「ボ」国での被害の実態の対応した橋梁や道路の河川災害対策技術マニュアルの策定が考えられる。

SEARPI に対しては、サンタクルス県では河川に関連した洪水による浸水被害、河道の変動による道路や農地の侵食、骨材資源の採取による影響などの問題を抱えているにもかかわらず、河川管理としての組織は弱体である。また、適用技術についても先進国で適用されている技術に加えて、現地の特性を生かすものが求められている。このため、技術協力プロジェクトによりこれまでに実施した対策を評価するとともに、現地に適合した新しい技術の導入が考えられる。

3-2　取付け道路保全対策

本業務は日ボ友好橋取付け道路護岸の構造物対策案及び非構造物対策案の策定にある。これらの対策の検討に際しては、取付け道路の被災の状況及び原因を解明し、それを解消するための対策を検討した。

取付け道路は 2008 年初めの洪水により被害を受けた。被害は左岸橋上流の延長 800m、幅 100m に達する河岸侵食、河岸に設置されていた延長 800m の水制の倒壊、取付け道路前面の洗掘、道路法面の延長 200m、高さ 8m の崩壊に及んだ。このため道路は一車線しか使用できなくなり、国道 4 号線の交通に大きな影響を与えた。

被災原因は直接的にはピライ川とグェンダ川の合流点が上流に 4 km 以上に移動したため、河道の蛇行状況が変化し、取付け道路前面の洗掘と法面崩壊を引き起こしたことにある。また、間接的には日ボ友好橋の計画規模が確率 1/20 と小さく、橋長が短く、河道変動の影響を受けて取付け道路が危機にさらされたことにある。

取付け道路の被災を受けて、応急対策工事が行われた。盛土の安定を図るため基礎地盤の砂質土への置き換えによる強化、基礎工としてのふとん篭の設置、法面安定のための土嚢積工、洗掘対策としてのジオチューブ及びマットの設置が行われた。また、上流では木杭による水制が設置された。しかしながら、護岸は盛土の安定に寄与しているものの前面の洗掘に対して不安定であり、必ずしも十分ではない。またジオチューブの耐久性にも問題がある。水制も新たに設置されているが、その導流および堆砂機能が不十分である。

これら検討の結果、既存の応急対策は一応の機能は発揮しているが、災害の原因となった蛇行の発生には十分対応しておらず、また構造的にも不十分であると考えられる。このために護岸対策を検討した。対策案としては構造物による対策と非構造物による対策が考えられる。

構造物対策としては、取付け道路、橋台、橋脚を施設により補強する案、橋梁の上流にガイドバンクを設置する案、水制等により河道の安定を図り、洪水を橋梁に導く案が考えられた。この中から、短期的には取付け道路の安全を確保することとし、護岸の補強と上流河道の整正をおこなうこととした。

非構造物対策としては、ピライ川では骨材資源としての砂利が採取されていることから、これを活用し、ピライ川の河道計画に基づき河床を掘削し、グェンダ川との合流点を元に戻す案、グェンダ川の河道を整正する案等が考えられる。砂利採取に関しては市が採取権に関する権限を有していることから、道路を管理する ABC、ピライ川を管理する SEARPI、採取権と管理する市が協力して、採取範囲を設定して、採取を誘導することを提案する。

骨材に採取に関しては、過剰な採取により橋脚や橋台周辺の河床低下により被害を生じていること、また、流域では土砂流出による災害を生じていることから、流域の土砂管理計画を策定し、それに基づいて管理を行うことが求められている。したがって、この一環として砂利採取の誘導、規制を行うことが望ましいと考えられる。

3-3　施設の概略設計

3-3-1　設計方針

(1) 基本方針

設計の対象とする施設は 2008 年 3 月の洪水による被害原因に対応するものとし、護岸の補強および上流河道を整正する水制等とする。施設の計画規模は現橋梁の計画規模 1/20 を基本とし、これを超える洪水への対応も検討する。

現在の橋梁は確率 1/20 と低い計画規模で建設されており、川幅に比較して橋長が短く、確率 1/100 の計画規模では少なくとも 90m 以上の橋の延長が必要とされていた。このため河道の変動に対応できず、今回の被害が生じたと考えられる。河床が低下しており、現在の橋長でも確率 1/100 の洪水は流下するが、橋台および橋脚の洗掘による安定性に問題を生じている。また、橋梁は建設後 46 年経過し、トラスや床板の補修はしたが一部であり、長期的には耐久性の問題を抱えている。

このような課題のもとで、護岸対策の規模を検討した。まず、護岸対策及び上流河道の整正案、橋梁延伸案、橋梁架け替え案のそれぞれに対する特性を比較した。（表 3-3-1 参照）

その結果、以下の結論が得られ、これに基づいて施設の計画規模は 1/20 とした。

- 護岸対策及び上流河道の整正案は、十分に課題が解消されないため、経済性の確保される範囲で対策を講じることが適切である。
- 橋梁の延伸案は一部課題が解消されるが、仮設道路の建設で事業費用がかさむという問題があり、また根本的な解決とはならない。
- 橋梁の架け替え案は課題も解消されるため、将来交通需要が拡大すれば、経済性が確保されるためこの案が最適である。

計画の規模を超える場合の対策としては、取付け道路の補修のための資材に備蓄や応急対策計画の策定と実施などが考えられる。

施設建設の範囲としては、今回の被害が生じた蛇行を解消するために取付け道路上流左岸の湾曲部および右岸 1.5km 上流の湾曲部に施設を設置することとした。約 3km 上流左岸でも湾曲部があり、地形として低いことから、過去にこの地点で分派し国道 4 号線やポルタチェロの町に影響を与えた事例がある。今回の設計は取付け道路の対策であることから、これについては別途問題点を指摘するにとどめることとした。

対策施設の概略設計と概算工事費の積算は本業務で実施するが、その結果に基づく詳細設計、業者選定、工事の実施、施工管理、維持管理は「ボ」国側で実施することから、現地で実施可能な工法、材料を選定する。

表 3-3-1 護岸対策、橋梁延長、橋梁新設の特性比較

課　題：　現橋梁は交通の確保と洪水の安全な流下に対して機能上に問題があり、また、構造上橋台、橋脚、取り付け道路の洗掘対策に課題が残る。
また、耐久性に関しても管理が必要である。

対策案	護　岸　対　策		橋　梁　延　長		橋　梁　新　設	
概要/評価項目	取り付け道路の護岸の補強、上流河道での制御施設の設置により取り付け道路の安全性を確保する。		現橋梁を100mほど延長し、橋梁による縮流を解消し、橋梁および道路の安全性を確保する。		延長400mの橋梁を新設し、交通需要に対応するとともに、橋梁および道路の安全性を確保する。	
交通確保	幅員が狭いために交通に支障がある。	×	幅員が狭いために交通に支障がある。	×	幅員の拡張により、課題が解消される。	○
洪水流下	洪水の流下に必要な流路幅が確保できず、橋梁地点で水位上昇などの問題が生じる。	×	ほぼ必要な流路幅を確保でき、洪水に対する支障は解消される。	○	ほぼ必要な流路幅を確保でき、洪水に対する支障は解消される。	○
洗　掘	川幅が狭いために河床低下や橋台、橋脚の局所洗掘が生じる。ただし、取り付け道路に沿う洗掘には対応できる。	△	川幅が広いための洗掘の問題は解消される。	○	川幅が広いための洗掘の問題は解消される。	○
耐久性	耐久性に課題が残りモニタリングにより対応等が必要である。	△	耐久性に課題が残りモニタリングにより対応等が一部必要である。	△	耐久性に関しては問題は解消される。	○
施工性	取り付け道路護岸の補強については問題ないが、上流の制御施設の設置については状況を見ながら施工する必要がある。	△	橋梁延長に際して仮設道路の建設が必要になり、また、工事中交通に支障が生じる。	△	現橋で交通を確保することができ、施工性に関して大きな問題はない。	○
環境社会配慮	住民移転等は無く社会環境上は問題ない、また自然環境への影響は少ない。	○	住民移転等はなく社会環境上は問題が無いが、施工中の自然環境への影響がある程度考えられる。	○	住民移転等はなく社会環境上は問題が無いが、交通量の増加による自然環境への影響が考えられる。	△
リスク	洪水による洗掘、車両によるトラスの損傷などのリスクがある。	×	車両によるトラスの損傷などのリスクがある。	△	洪水による洗掘、トラスの損傷のリスクは大きく低減される。	○
総合評価	十分に課題が解消されないため、経済性の確保される範囲で対策を講じることが適切である。		一部課題は解消されるが、仮設道路の建設の問題があり、また根本的な解決とはならなる。		交通需要の拡大があれば、課題も解消されるため、経済性が確保されればこの案が最適である。	

(2) 自然条件に対する方針

河道地形に関しては、2009 年 11 月の測量資料を基に施設設計を行うが、施工時点までには河道形状が変化すると考えられることから、これらに対応できる施設設計とする。

構造物周辺の洗掘量の算定には、河床材料および水理条件を与えて適切と考えられる式を用いて求める。ピライ川は日ボ友好橋付近では粘性土の上に砂が堆積している状況にある。したがって、洗掘は最深でも粘性土までしか及ばないと考えられる。ボーリング資料によると砂層の厚さは場所により幾分異なり、7m から 8m である。したがって、洗掘量は砂層厚を考慮して算定する。

護岸や水制の洗掘対策として根固め工を用いるが、洗掘が深い場合には構造物周辺に根固め工を設置し、洗掘され沈下することによりその効果を発揮させることとする。洗掘深まで掘削して根固め工を設置することより工費が軽減される。根固め工の維持管理に関しては、沈下しても機能を発揮するに必要な形状を設定し、その形状を維持することとする。

水制等の設計に関しては、河床変動に大きな影響を与える流量を対象に検討する。主要な流路は年最大流量の平均値または低水路満杯流量で維持されるといわれており、この流量を施設の配置や諸元の決定に考慮する。なお、この流量は過去約 30 年の観測値によると、ピライ川では 1,100m^3/s となる。

また、橋梁の計画規模に相当する 1/20 確率流量は 3,720m^3/s となる。

(3) 社会経済条件に対する方針

施設の設置はピライ川の河道内であり、近隣に居住地も無く工事が社会生活に与える影響はほとんど無い。また、工事期間中に必要となる施工ヤードは借地となるが、想定しているのは国有地内であり問題は生じない。なお、産業廃棄物の発生や騒音等の環境への影響については「ボ」国の法律を遵守し適切に対応する必要がある。なお、現地の土地利用、周辺環境は概略調査時と変化しないものとする。

サンタクルス県における建設資材の価格上昇が近年顕著である。概算工事費の算定においては10%程度の価格上昇を見込んでいるが、工事発注に際しては実態に合わせた積算をするものとする。

(4) 建設事情に対する方針

検討に使用する基準または指針としては、「ボ」国の設計指針を主体に、不足であれば AASHTO の関連規定、日本の河川砂防技術基準及び河川管理施設等構造令、米国の HEC18、HEC20、HEC23 を参考とする。

工事に際しては詳細な図面、数量を発注者が作成することが無いことから、概略設計の資料で発注できるように作成する。

労務状況については「ボ」国の労働基準法を遵守し、雇用に伴う適切な労働条件や慣習を尊重する。

材料としては現地で入手できる木材、砂利を主なものとするが、入手先が限られることから、工費の積算には入手先を確定し算定する。

(5) 現地業者の活用に係る方針

これまで河川工事は SEARPI により実施されており、現地で実施している類似の工事についての工事業者を活用することとする。

(6) 運営・維持管理に関する方針

河道整正のための水制等は河道の変動に対応し、その配置や構造を変える必要があるため、定期的にモニタリングを行い、効果を確認し、施設を維持管理することが不可欠である。ただ、一般に実質的な維持管理は、「ボ」国では行われていない。また、河川構造物は劣化よりも洪水により損傷を受ける例が多いことから、被災した場合に復旧する計画とする。

(7) 施設等のグレードの設定に係る方針

施設等のグレードに関しては、「ボ」国の技術指針や現地の類似構造物に従う。

(8) 工法、工期に係る方針

工法に関しては、現地で実施している工法を主体に考える。現地での主な工法としては木杭やじゃ籠の水制、ふとん籠の根固め工などがある。

工期に関しては、雨期に材料の手配を行い、乾期に工事を実施するよう設定する。現地の材料を活用することから、材料の入手に時間を要することを考慮する。

3-3-2 基本計画

3-3-2-1 設計条件

(1) 被災状況と原因

設計条件を整理するにあたり被災状況と原因を取りまとめた。被害の直接の原因は、2008 年に発生した洪水により、ピライ川のグェンダ川への合流点が上流に移動し、日ボ友好橋上流の河道の蛇行位置が変化し、左岸取付道路上流にそって洪水が流れたことによる。その結果、取付道路前面が洗掘をうけ道路盛土が崩壊した。一方、過去に補修した護岸工及び護床工により保護された橋台および橋脚がほとんど被災していないことから、補修による効果が認められた。

日ボ友好橋上流に設置されていたコンクリート杭の水制(長さ 11m)はほとんど流出しており、河岸は幅約 300m、長さ 800m にわたり侵食されている。従って、設置されていた水制は導流および堆砂機能が不十分であったと考えられる。

被災後、応急対策として木杭水制を設置さているが、その周辺に砂が厚さ約 0.5m 堆積しており、現水制はある程度効果を発揮していると考えられるが、2008 年のような洪水発生時には効果、安定性に問題があると想定される。

間接的な原因としては、ピライ川全体の変動、河床低下、短い橋長などがあげられるが、対策案の検討にあたっては、短期的に取付け道路の安全確保するものとして、護岸の補強、上流河道整正、現橋梁の計画規模(1/20)に対応した設計、計画規模を超える洪水に対する対応の検討について実施するものとした。

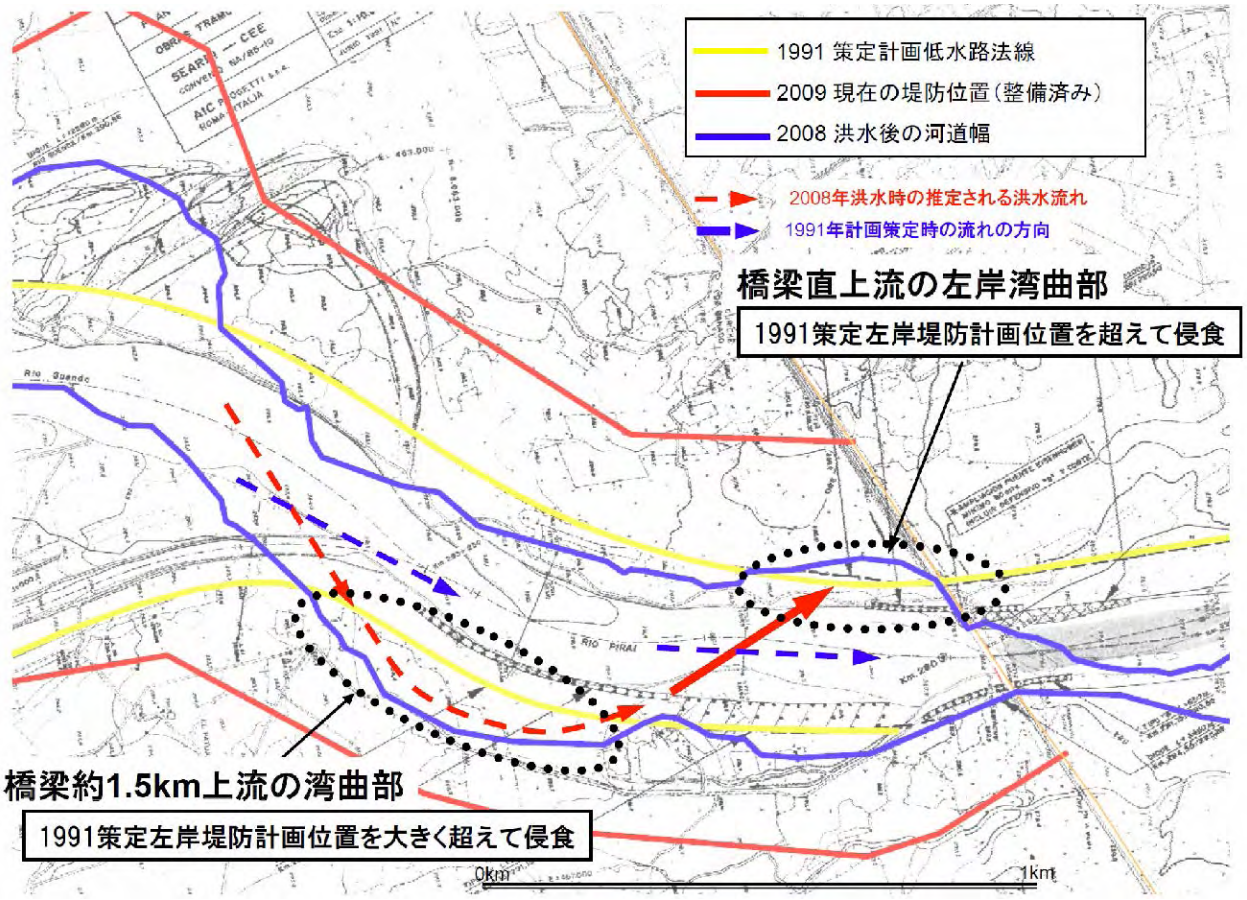


図 3-3-1　2008 年洪水による河岸侵食状況と堤防計画(SERARPI)

1991 年に策定されたピライ川河道計画法線と比較すると、日ボ友好橋約 1.5km 上流で洪水時の流れが大きく右岸側に蛇行し、計画低水路法線を越えて侵食を受けていることがわかる。

一方、左岸取付け道路上流も計画低水路法線を越えて侵食を受けており、計画法線に対して河道が大きく蛇行したことがわかる。

(2)　水理量

対策施設の設計条件を整理するため、100 年確率流量 5,620m³/s、20 年計画流量 3,720m³/s および河道の状態を決定づける支配流量 1,100m³/s に対して水理計算を実施し、設計条件となる水理諸元をまとめた。

水理量は、計算した結果を以下に示すが、日ボ友好橋地点で流量が 3,720m³/s では水深が 3.6m、1,100m³/s では 2.4m となり、最大流速はそれぞれ 5.1m/s、3.5m/s となる。一方、水面幅は架橋地点で大きく変化しており、3,720m³/s では 710m から 270m に、1,100m³/s では 570m から 260m とそれぞれ 38%、46%と水面幅が縮小している。

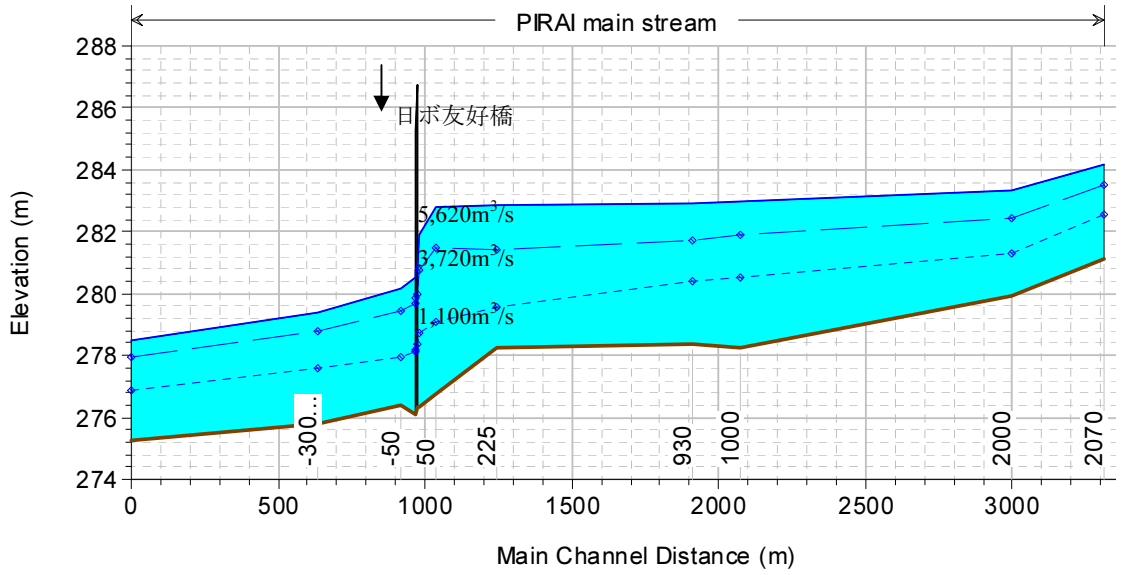


図 3-3-2　水位の縦断変化

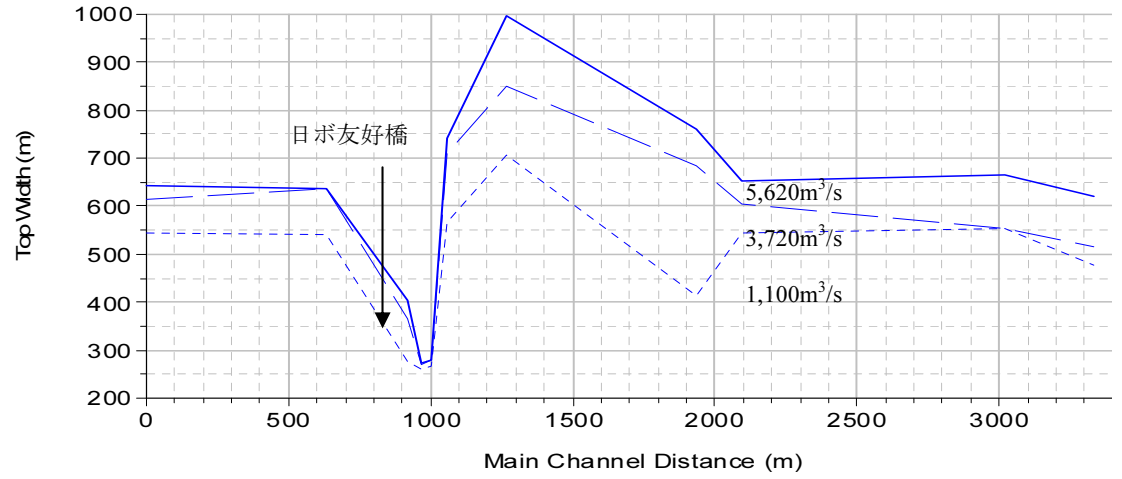


図 3-3-3　川幅の縦断変化

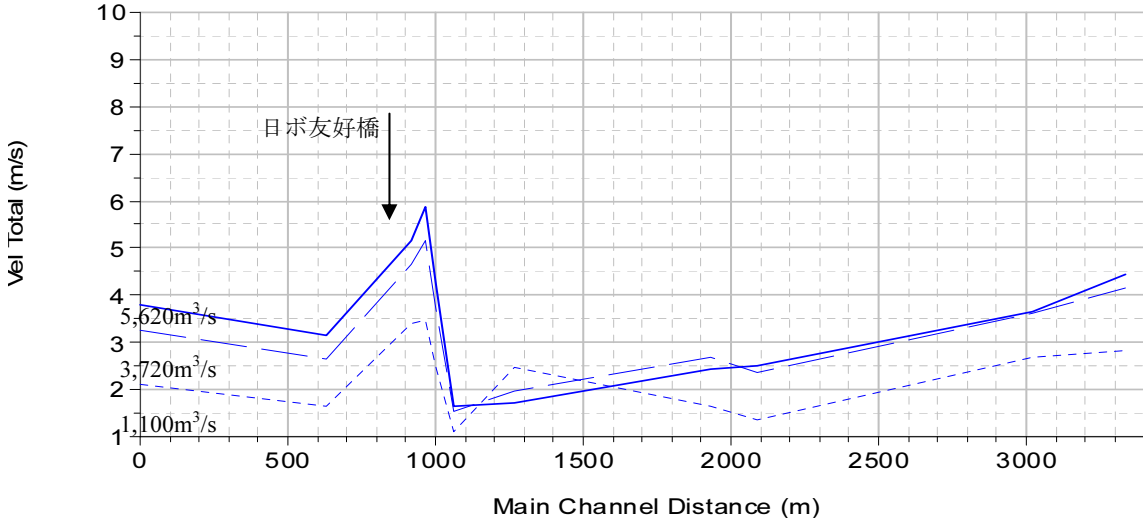


図 3-3-4　流速の縦断変化

(3) 河床低下量

河床材料は、砂質が支配的であり、砂利や粘土はほとんどみられない。土質調査から得たサンプルを元の粒度分析試験を行った結果から、砂層の平均粒径は 0.2mm である。

SEARPI で実施している河床横断形状の計測を図に示すが、日ボ友好橋地点の最深河床高は 1987 年から 2007 年までの 20 年間で 1.9m 低下しており、年間約 0.1m ずつ最深河床が下がっている。施設の耐用年数を 20 年と想定すると、河床全体の低下量は 2.0m となる。

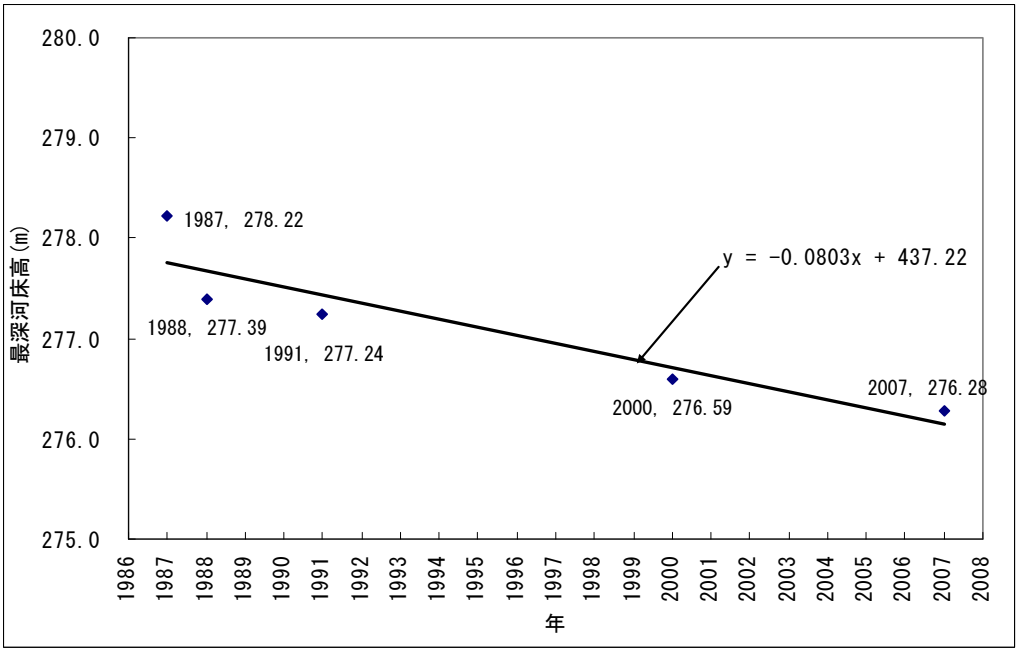


図 3-3-5　日ボ友好橋地点の最深河床高の変化（SEARPI 計測）

河床は全体としての低下以外に局部的な深掘れが想定される。当該地点においては流れの曲がりによるもの、川幅の変化によるもの、構造物によるものがあげられる。

曲がりによる深掘れは、河道の曲率半径と川幅、水深に関係し Thorn の経験式などにより推定することができる。支配流量となる 1,100m³/s 時の水深 2.3m、平均川幅 570m を当てはめ洗掘量を算定すると、曲がりによる洗掘量は 2.0m となる。

川幅の変化による洗掘量は、川幅の変化があると大出水時に川幅の狭い箇所で河床が低下する。上流部と狭窄部の川幅の比から「ボ」国のマニュアルによって算定すると、上流の川幅が 570m、架橋部の川幅が 260m であることから、川幅の変化による洗掘量は 1.0m となる。

流れの中に構造物があると構造物周りの流速が増大し、渦や二次流の発生とともに局所洗掘が生じる。日ボ友好橋の場合、橋梁取付道路、橋台前面護岸および橋脚などの構造物により局所洗掘が生じることが考えられる。取付道路が河川に 130° の角度で 90m 突出していると考え洗掘量を推定すると、、構造物による洗掘量は 4.2m となる。

ピライ川全体の経年的な河床低下と、洗掘量から当該地点の河床低下量を推定すると、全体で 9.2m の河床低下となると推定される。

一方、土質調査の結果から、砂層の下には粘性層が存在しており、洗掘は砂層内にとどまると考えられる。当該地点における粘性層の標高は 270.1m、これは洗掘深に換算すると 7.1m である。これは先の洗掘量 9.2m より浅いことから、洗掘深は最大でも 7.1m 程度と推定される。

3-3-2-2 全体計画

本プロジェクトの目標は、ピライ川の洪水による侵食に対する国道 4 号線の日ボ友好橋取付け道路の保全に必要な対策(案)を検討することにある。被害の直接原因が河道の蛇行、取付道路前面の洗掘、盛土の崩壊によることを考慮し、取付け道路の安全確保を目的として、護岸の補強と上流河道の整正を行う。

設計範囲は、被害が生じた取付上流部左岸と蛇行が発生した上流 1.5km 右岸の湾曲部までの範囲とした。

橋梁約 1.5km 上流の右岸湾曲部の対策は、流向を変えるための対策を講じるものとして、ベーン工、水制工、導流堤による対策を検討する。

橋梁直上流の左岸湾曲部の対策としては、流向を変えるための対策、流速を低下させ土砂を堆積させる対策、取付け道路前面の洗掘対策を検討する。流向を変えるための対策として、ベーン工、水制工、導流堤を、流速を低下させ土砂を堆積させる対策として水制工、取付け道路前面の洗掘対策としては根固工について検討する。

表 3-3-2　被災原因と対策案

直接原因	必要な対策	対策工例
河道の蛇行	河道整正	低水護岸工、水制工、ベーン工等
取付道路前面の洗掘	現護岸の補強	根固め工(フトンかご、シート他)
盛土の崩壊	応急対策で対応	ジオメッシュ、ジオチューブによる補強(対策済み)

日ボ友好橋の取付け道路の安全性を確保する案として、上記の案以外にガイドバンクを設置する案が考えられる。ガイドバンクは、橋台より盛土状の構造物を上流に出し、取付道路に沿う流れを阻止し、流れをなめらかに導く効果がある。この案について検討した結果、施設規模が大きく費用が掛かること、将来もし橋梁が延長されたときガイドバンクが支障となる可能性が高いことから、不採用とした。

施設の法線としては、1991 年に検討された河岸の法線計画、既設の堤防の法線、現在の河岸線を考慮し、できるだけなめらかに日ボ友好橋に向かうような法線を設定した。具体的には、右岸は 1991 年の計画堤防法線、左岸については現在の河岸に沿った法線とした。

3-3-2-3 対策工

対策工の検討にあたっては、被害の直接の原因が河道の蛇行、取付道路前面の応急対策、盛土の崩壊によるものを考慮し実施する。その際、対策の規模の方向性については、短期的に取付道路の安全確保を目的として、護岸の補強、上流河道の整正、現橋梁の計画規模（1/20）に対応した設計とし、計画規模を超える洪水に対する対応も検討するものとした。

(1) 橋梁 1.5km 上流右岸の対策工

直接の原因の一つが河道の蛇行であることから、対策として取付道路 1.5km 上流右岸の河道整正を目的として、導流堤、水制工、ベーン工について比較検討した。

比較検討の結果、取付道路上流 1.5km の対策としては、主として流向を変える対策が必要であることと河道の変化に対応できること、経済性の点からベーン工の採用を提案する。

また、河道変遷の状況を衛星写真から経年的に調査した結果から、取付道路 1km 上流の湾曲部の上流端には蛇行した流れを元の安定した直線的な流れに誘導するための水制工の設置を提案する。

表 3-3-3　橋梁 1.5km 上流右岸の対策工の比較

	水制工	ベーン工	導流堤
蛇行対策	施設下流の堆積 湾曲の流れを修復	湾曲部の洪水流を抑制	流れを強制的に抑制 流路変動抑制に優れる
洗掘	施設による流れ抵抗により流速を低減し、土砂の堆積を促進 先端の洗掘が問題となり対策が必要	二次流を弱め、土砂を外岸方向に移動し、外岸側河床の洗掘軽減	前面の洗掘が問題となり対策が必要
施工性	施設規模中程度 構造は単純 構造の実績多い	施設規模が小さい 構造が単純 構造の実績少ない	施設規模が大きい 資材調達困難 実績少ない
経済性	施工規模がふくらみ 経済性で多少劣る	施設規模小さく、施工費ともに安価	施設が大規模となり 経済性で劣る
変化への対応	河道変化に対応困難	河道変化に対応可能	変化への対応に困難
評　価	河道の変動により設置位置、効果不確定　△	流向を変えるための対策として効果高い　○	施設規模が大きく、変化への対応に困難　×

(2) 取付道路直上流左岸の対策工

取付道路直上流の対策としては、洪水流の流れを変えるとともに現在洗掘を受けた箇所の流速を低下させ、土砂を堆積させる対策が必要である。対策工法としては、導流堤、水制工、ベーン工が考えられるが、これらの対策工の中で、洗掘を受ける箇所の土砂を堆積させるには水制工の設置が効果的である。一方、当該地点においては、応急対策工として、SEARPI によって木杭が打設されていることから、既存施設を活用する工法として、２種類の材料の異なる水制工について補強工法について比較検討を行った。

比較検討の結果、木杭並列打設による水制工補強工法を提案する。

表 3-3-4　取付道路直上流左岸の対策工の比較

	水制工補強(フトンかご併設)	水制工補強(木杭並列打設)
蛇行対策	施設下流の堆積 湾曲の流れを修復	施設下流の堆積 湾曲の流れを修復
洗　掘	施設による流れ抵抗により流速を低減し、土砂の堆積を促進	施設による流れ抵抗により流速を低減し、土砂の堆積を促進
施工性	比較的施設規模が大きい 構造は単純 フトンかご工の実績は多い	施設規模が小さい 比較的構造が複雑 ピライ川で実績がある
経済性	施工規模がふくらみ経済性で多少劣る	施設、施工とも安価
課　題	比較的施設規模が大きくなる	安定性、耐久性の課題が残る
評　価	施工規模が大きく、経済性で劣る　△	ピライ川での実績があり、経済的である　○

(3)　応急対策工

「ボ」国によって実施された応急対策工の課題は、前面の洗掘に対する安定性と、紫外線による劣化やいたずらなどジオチューブおよびジオグリッドの耐久性である。

耐久性に関しては紫外線などに晒されないよう被覆する案、洗掘に対する安定性に対しては根固め工の設置について検討する。

法覆い工の被覆の例としては、張芝やかご材料などの自然材料によるもの、ジオテキスタイルに代表されるシートやコンクリートブロックによるものが挙げられる。

法覆い工は、洪水頻度が低く植生による法覆い効果が十分発揮できると考えられる平均年最大洪水流量以上の法面は植生による被覆とし、頻度の高い年平均流量 1,100m^3/s に対応する 280m 程度までは、かご材料による被覆工を採用する。

図 3-3-6　法覆い工の事例（美しい山河を守る災害復旧基本方針　平成 14 年６月）

土と植生による被覆（張芝）

シートによる被覆（ジオテキスタイル）

ブロックによる被覆（ブロックマット）

かご材料による被覆（フトンかご）

3-3-2-4 施設計画

対策工の検討結果から、日ボ友好橋取付道路の保全に必要な対策工案を以下の通りとする。

上流 1.5km 右岸は、主として流向を変える対策が必要であるため、ベーン工による対策工とするとともに、蛇行した流れを元の安定した直線的な流れに誘導するため水制工を設置する。

上流 400m 左岸は、洪水流の流れを変えるとともに現在洗掘を受けた箇所の流速を低下させ、土砂を堆積させる対策が必要であることから、対策工法としては、洗掘を受ける箇所の土砂を堆積させるには水制工を設置する。その際、当該地点においては、応急対策工として木杭の透過水制が設置されていることから、既存施設を活用する工法として、木杭並列打設による水制工補強工法とする。

応急対策工の設計としては、紫外線などに晒されないよう被覆するとともに、洗掘に対する安定性を確保するため、かご材料による被覆工と根固め工を設置する。

表 3-3-5 対策工一覧

直接原因	必要な対策	対策箇所	対策工
河道の蛇行	河道整正	上流 1.5km 右岸	水制工 ベーン工
河道の蛇行	河道整正	上流 400m 左岸	木杭並列打設による 既設水制工補強工
取付道路前面の洗掘	現護岸の補強	応急対策工実施箇所	根固め工 法覆い工

(1) ベーンエ

ベーン工の諸元は、実験の結果から設計水深に対する突出長、1 基当たりの延長および仰角の推奨値が示されている。流量 1,100m³/s に対する水深 2.4m から、突出長 0.80m、1 基当たりの延長 4.80m、仰角 20° を決定した。また、ベーン工の天端高は、湾曲による深掘れが発生すると想定される流量の断面平均水深の 1/3 程度の高さで決定しているため、ベーン工設置にあたっては、河川横断測量および断面平均水深を算定した上で決定する必要がある。

ベーン工の構造は、「ボ」国で入手できる材料とピライ川における工事実績から、木杭による構造とした。また、木杭の連続打設は、打設機械に使用上不可能であることから、一定間隔で木杭を打設する親杭方式とし、親杭間は鉄線で木杭を固定する構造とした。

ベーン工に掛かる基本的な外力は揚力・抗力および土圧である。このうち、土圧はベーン工に掛かる力に対して定まり、抗力は揚力に対して小さいので、揚力に対して安全となるよう設計する。

ベーン工に掛かる揚力は底面近傍流速から計算され、揚力によるモーメントと洗掘を考慮した材料の応力度から親杭材の必要径を決定した。また、親杭は現地で入手しうる木材として断面係数などを設定した。ピライ川における施工実績から木杭径を 0.3m として計算し、応力度を照査した結果、満足する結果となった。

一方、根入れ長については、洗掘を考慮した土圧の釣り合い位置による根入れ長の計算結果から安

全率 1.5 を乗じて、決定した。その結果、弾性体として計算した計算値 4.62m に安全率 1.5 を乗じて 6.93m となった。

親杭全長は、根入れ深さに突出高さを加えて計算値が 7.73m 以上であるため、親杭長を 8.0m とした。

ベーン工の配置は、二次流の発生する蛇行の範囲を対象として、780m とした。

配置は、ベーン工によって生じた逆流による遠心力二次流を相殺する水流の効率を二次流相殺率γとして算定し、外岸付近の洗掘深を効率よく軽減し、ベーン工周りの局所洗掘が外岸に及ばないようにするために外岸での河床高が断面平均河床高に近くなるようγ値が 0.5～0.6 になるよう選定し決定した。その結果、１列目と河岸との距離が 135m に対して、列間距離 10m、１列当たりのベーン工設置基数が 30 基、ベーン工の縦列間隔が 27m となった。

ベーン工の設計条件と諸元は下表の通りとなる。

表 3-3-6　ベーン工の設計

設計条件	設計流量	: 1,100m^3/s
	設計水深	: 2.4m
	川幅	: 540m
	河床勾配	: 1/600
	曲率半径	: 2,000m
施設諸元	突出高さ	: 0.8m
	延長	: 4.8m
	仰角	: 20°
	親杭数	: 4 本
	親杭長	: 8.0m
	親杭間隔	: 1.2m
	親杭直径	: 0.3m
配置計画	１列目と河岸の距離	: 135m
	列間の距離	: 10m
	設置列中心線の曲率半径	: 2,145m
	ベーン工列数	: 2 列
	１列当たりのベーン工設置基数	: 30 基
	ベーン工縦断間隔	: 27m

(2) 水制工

水制工の配置は、日本における統計的な研究の結果から設計水深に対する値として、水制工の高さ、水制長、水制間隔を決定した。20 年確率流量 3,720m3/s に対して、川幅が 620m、水深が 4.0m であることから、水制高さ 3m、水制長 100m、水制間隔 150m を決定した。水制長については、その先端が、低水路河道法線と整合が図れる位置を検討した。

水制工の構造は、「ボ」国で実績があり、材料が入手可能であるかご工とした。

かご積み水制工は、不透過越流水制として桟型粗度に関する実験結果を利用し、水制領域内の各流速を求め、その流体力に対するかご工の滑動および転倒に対する安定性を照査した。水制領域内の平均流速は水制先端流速が最大で平均流速が 1.8m/s となり、三段積みじゃ籠の頂点のじゃ籠が 1 列で最も安定性が低いため、1 列最上段の 1.0m×1.0m の安定性を評価し、満足する結果となった。

一方、中詰め材の石料の径は設計流速 1.8m に対する流体力に対して、石材の水中比重から移動可能性を照査し、中詰め材の必要径は 0.15m 以上とした。

水制工周りの局所洗掘範囲については、設計水深 4.0m から Andru 式による推定洗掘深さ 3.2m に対して、河床材料の安息角 30°から洗掘範囲を算定し、根固め範囲 6.4m を決定した。

かご積み水制工の設計条件と諸元は下表の通りとなる。

表 3-3-7　水制工の諸元

設計条件	設計流量	: 3,720m^3/s
	設計水深	: 4.0m
	河床勾配	: 1/600
水制工諸元	高さ	: 3.0m
	幅	: 5.0m
	水制長	: 100.0m
	水制間隔	: 150.0m
	中詰石直径	: 0.15m 以上
	使用材料	: じゃ籠 1.0m×1.0m
根固め工諸元	布設幅	: 18.0m（一般部） 26.0m（先端部）
	使用材料	: フトン籠（t=30cm）

(3) 水制工補強

水制工の諸元は、既設水制工の諸元から、水制高さ 1.5m、水制長 100m、水制間隔 100m を決定した。

既設水制補強工は、既存の木杭水制を活用し、補強する構造した。従って、新たに打設する杭は既設構造物との整合性から木杭とし、鉄線により固定する構造とした。

設計は不透過越流水制として、桟型粗度に関する実験結果を利用して、水制領域内の各流速を求め、その流体力に対する水制工全体の滑動および転倒に対する安定性を照査した。

水制工は杭により地面に固定されているが、腐食や強度不足などにより杭の剪断が期待できない状態を想定し、水制全体の重量に対する安全性を照査した。

一方、杭については、洪水などにより被覆材が流出した場合を想定し、杭だけでの流速による流体

力に耐えうるよう杭の曲げモーメントおよび根入れ長を算定した。

ピライ川における施工実績から木杭径を 0.3m として計算し、応力度を照査した結果、満足する結果となった。

根入れ長については、洗掘を考慮した土圧の釣り合い位置による根入れ長の計算結果から安全率 1.5 を乗じて、決定した。その結果、弾性体として計算した計算値 4.62m に安全率 1.5 を乗じて 6.93m となった。

その結果、木杭に対する水制領域内の平均流速は水制先端流速が最大で平均流速 1.8m/s となり、三段積みじゃ籠の頂点のじゃ籠が 1 列で最も安定性が低いため、1 列最上段の 1.0m×1.0m の安定性を評価し、満足する結果となった。

親杭全長は、根入れ深さに突出高さを加えて計算値が 7.94m 以上であるため、親杭長を 8.0m とした。

既設水制補強工の設計条件と諸元は下表の通りとなる。

表 3-3-8　水制工補強の諸元

設計条件	設計流量	: 3,720m^3/s
	設計水深	: 4.0m
	河床勾配	: 1/600
水制工諸元	高さ	: 1.5m
	幅	: 2.0m
	水制長	: 100.0m
	水制間隔	: 100.0m
	親杭長	: 8.0m
	親杭間隔	: 2.0m
	親杭直径	: 0.3m
根固め工諸元	布設幅	: 10.3m（一般部）
		15.1m（先端部）
	使用材料	: フトン籠（t=0.3m）

(4) 応急対策工

土質定数を評価し、護岸前面が大きく洗掘された場合の応急対策工の法面の安定を照査した。また、

取付道路前面の洗掘対策としては、水理諸元から推定した洗掘量および土質調査の結果から洗掘深さが標高 270.1m までに対して安全となる構造を検討する。

かご工の布設幅は、推定した最大標高と測量調査時の河床高 277.5m から算定した最深河床高の評価高 7.4m に対して、河床材料である細砂の安息角 θ ＝30°から、下式によって算定すると、

$$B = L_n + \Delta Z / \sin\theta$$

ここに、Ln が護岸前面の平坦幅（2m 程度以上）、θ が河床洗掘時の斜面勾配（河床材料の水中安息角：30°）、ΔZ が根固め工布設高と最深河床高の評価高の高低差である。B=2.0m+7.4m／sin30°＝16.8m 以上となることから、基礎工としてじゃ籠を 2m 幅で設置し、前面に根固め工としてフトン籠を 16m 布設するものとした。

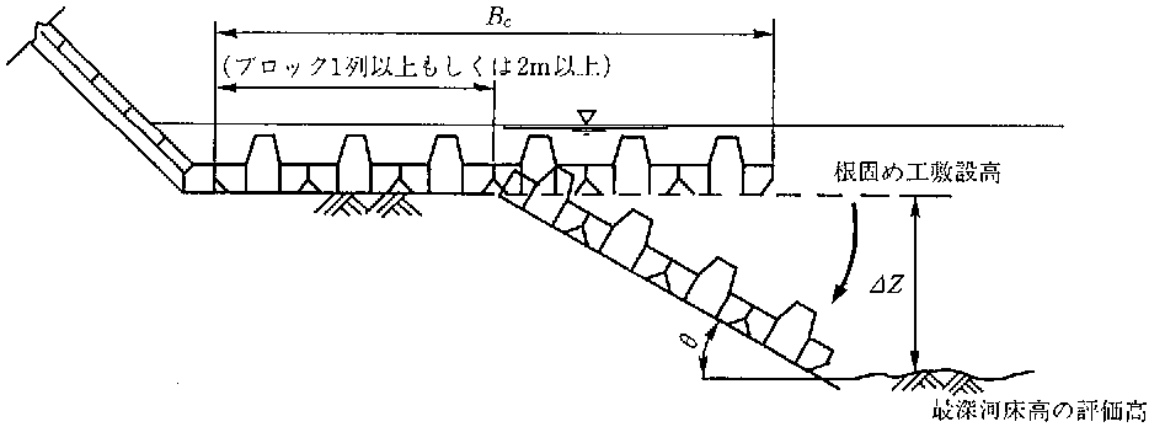


図 3-3-7　根固め工の敷設幅

一方、中詰め材の石料の径は設計流速 1.8m に対する流体力に対して、石材の水中比重から移動可能性を照査し、中詰め材の必要径は 0.15m 以上とした。

応急対策工の設計条件と諸元は下表の通りとなる。

表 3-3-9　根固め工の諸元

設計条件	土質	：砂質土
	湿潤重量	：γ=19.0kN/m^3
	内部摩擦角	：ϕ=30°
	粘着力	：C=4.6kN/m2（計算上無視）
	洗掘深	：7.4m
対策工諸元	護岸工	
	法覆工使用材料	：カゴマット t=0.3m
	基礎工使用材料	：じゃ籠　1.0m×1.0m
	布設幅	：2.0m
	中詰め石	：ϕ200mm(ϕ150mm 以上)
	根固め工	
	使用材料	：フトン籠(t=0.3m)
	布設幅	：16.0m

概略設計の結果をまとめると下表のようになる。

表 3-3-10　概略設計結果の概要表

項　　目	内　　容
計画位置	日ボ友好橋～上流 1.5km
計画規模	1/20 年
計画流量	3,720m³/s
ベーンエ	
設置位置	日ボ友好橋上流 1.5km
設置延長	783m
設置数及び設置間隔	30 基、27m
列数と列間距離	2 列,10m
1基当りの長さ	4.8m
親杭長と親杭間隔	8.0m、1.2m
突出高さ	河床から 0.8m
水制工	
設置位置	日ボ友好橋上流 1.5km
設置延長	250m（上流から 100m,150m）
設置数および設置間隔	2 基 150m
構造	じゃ籠（1.0m×1.0m　3段積み）
高さおよび幅	3.0m,5.0m
中詰め材	玉石　0.15m 以上
根固め工（水制工）	
布設幅	18.0m（一般部）、26.0m（先端部）
構造	フトン籠　t=0.3m
中詰め材	玉石　0.15m 以上
水制工補強工	
設置位置	日ボ友好橋上流 0.4km
設置延長	345m（上流から 45m,、100m、200m）
設置数および設置間隔	3 基,100m
親杭長及び親杭間隔	8.0m, 2.0m
親杭数（全体）	173 本
突出高さ	河床から 1.5m
中詰め材	玉石　0.15m 以上
根固め工（水制工補強工）	
布設幅	10.3m（一般部）、15.1m（先端部）
構造	フトン籠　t=0.3m
中詰め材	玉石　0.15m 以上
応急対策工	
設置位置	日ボ友好橋　取付道路上流側
設置延長	250m
法覆い工構造	カゴマット　t=0.3m
基礎工構造	じゃ籠　1.0m×1.0m
中詰め材	玉石　0.15m 以上
根固め工（応急対策工）	
布設幅	16.0m
構造	フトン籠　t=0.3m

3-3-3　概略設計図

以上の基本計画に基づいて作成した概略設計図面を次頁より掲載する。

PLANO EN PLANTA DEL DISEÑO PRELIMINAR DE LAS MEDIDAS DE PROTECCION DE MARGEN DEL RIO

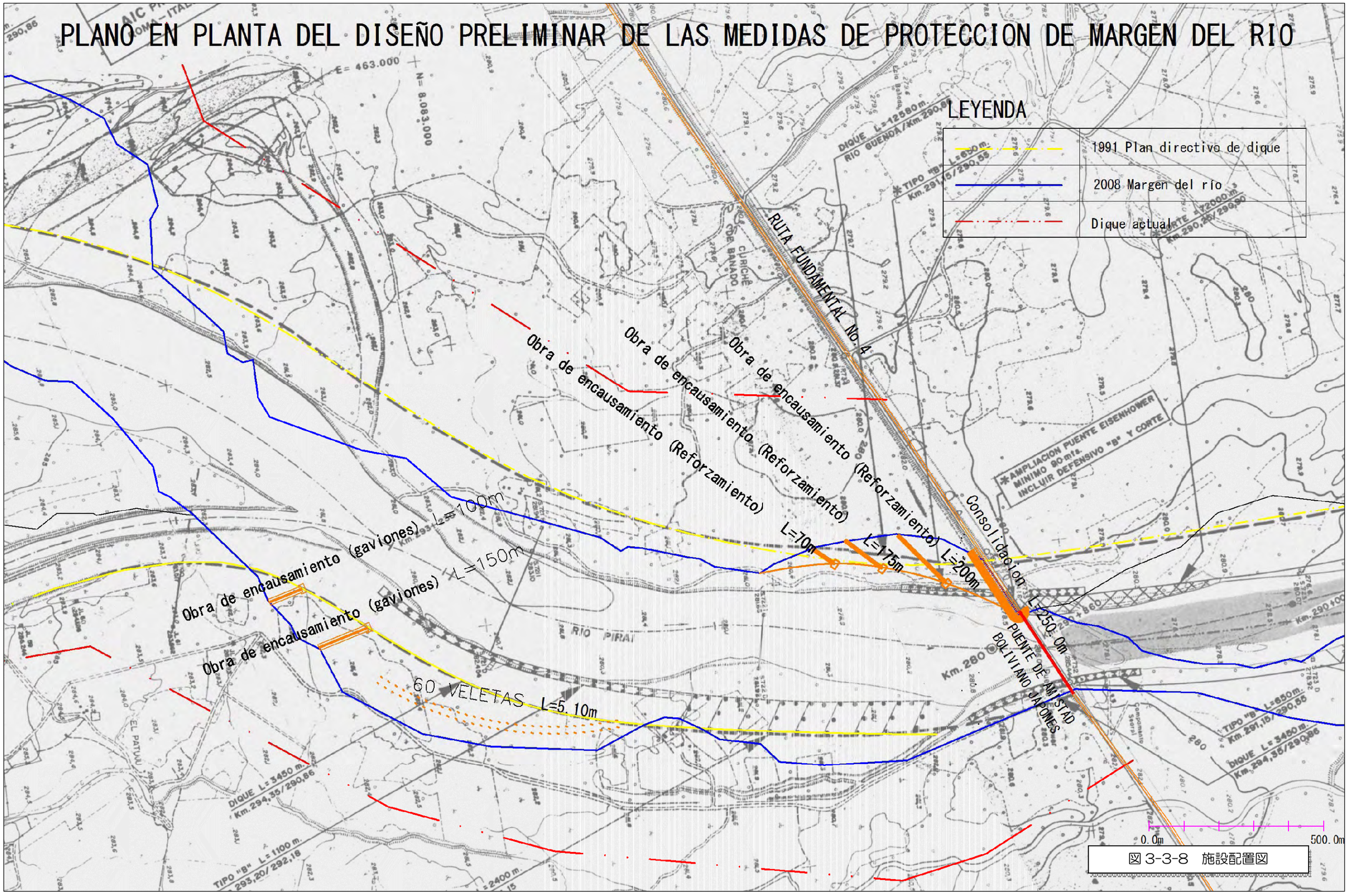


図 3-3-8　施設配置図

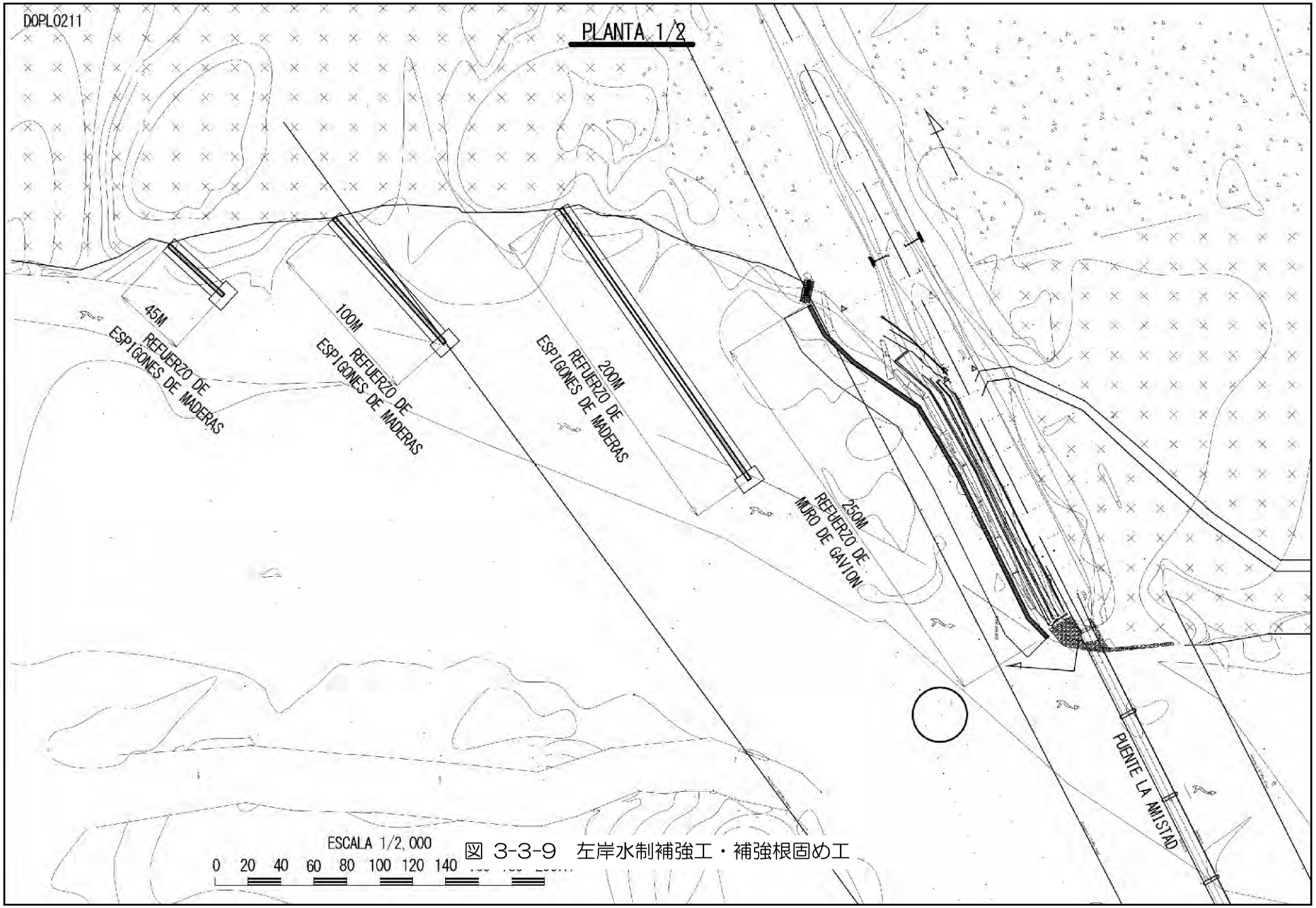


図 3-3-9　左岸水制補強工・補強根固め工

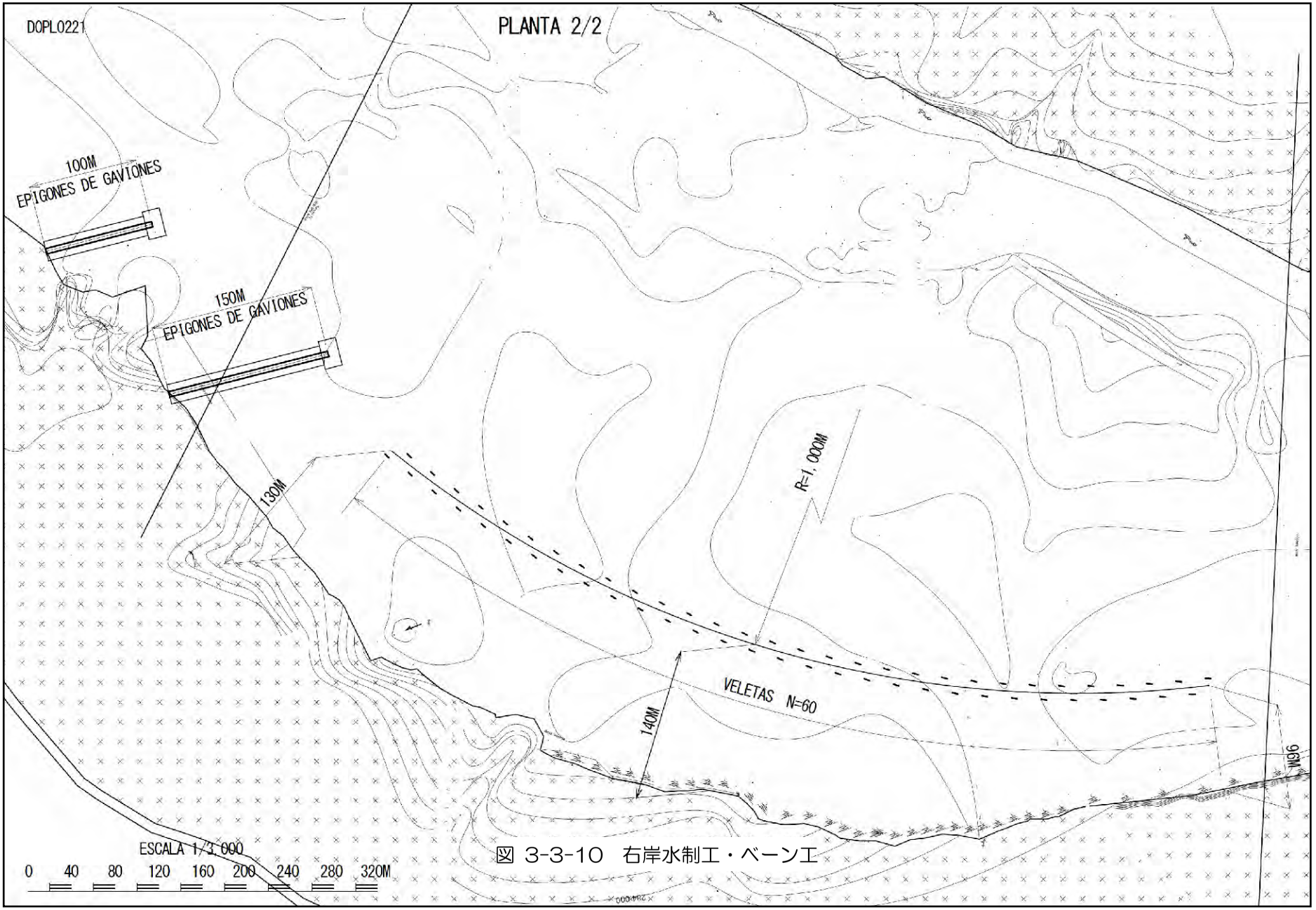


図 3-3-10　右岸水制工・ベーン工

DOVS0101

ESPIGONES DE GAVIONES

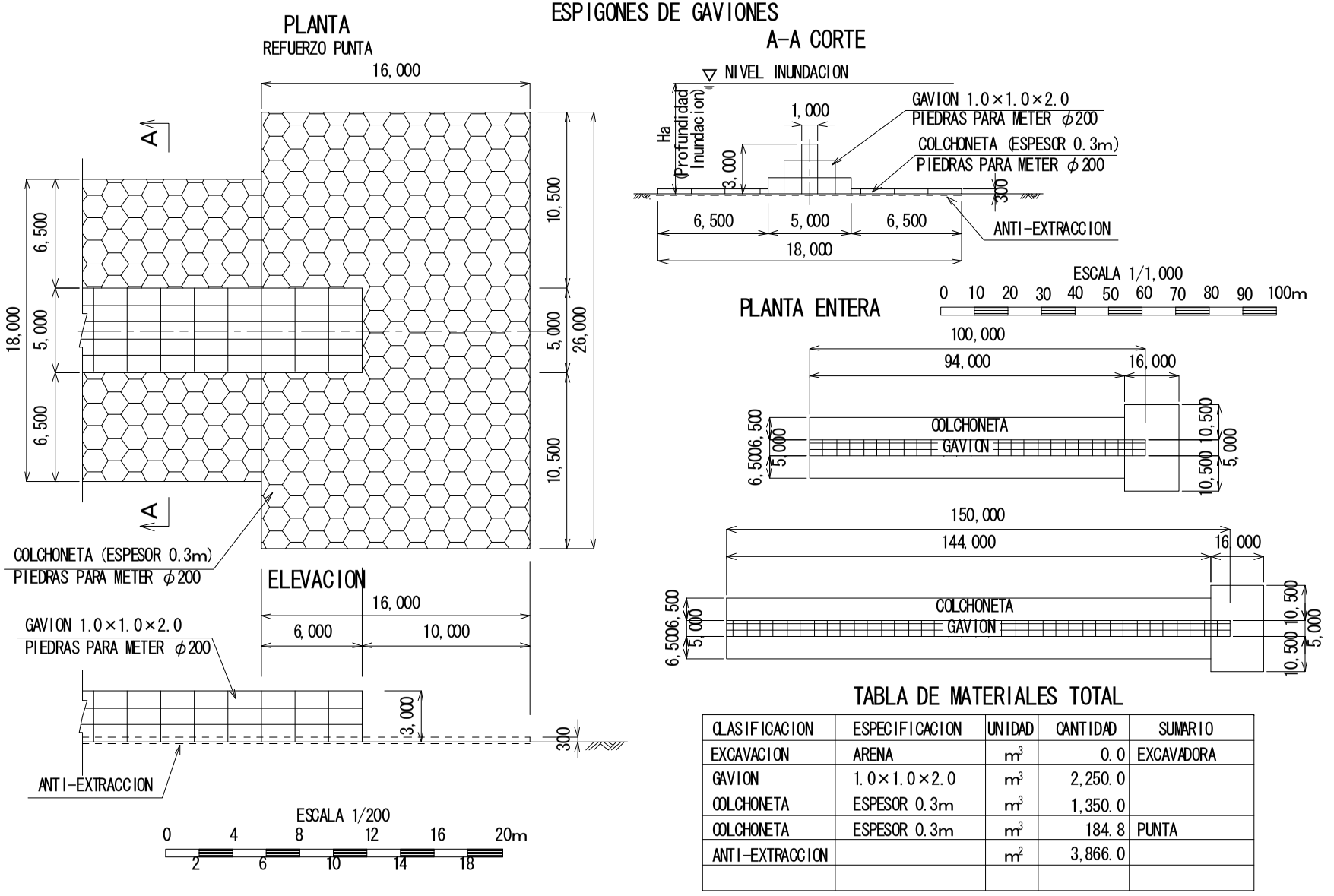


TABLA DE MATERIALES TOTAL

CLASIFICACION	ESPECIFICACION	UNIDAD	CANTIDAD	SUMARIO
EXCAVACION	ARENA	m^3	0.0	EXCAVADORA
GAVION	1.0×1.0×2.0	m^3	2,250.0	
COLCHONETA	ESPESOR 0.3m	m^3	1,350.0	
COLCHONETA	ESPESOR 0.3m	m^3	184.8	PUNTA
ANTI-EXTRACCION		m^2	3,866.0	

図 3-3-11　右岸水制工

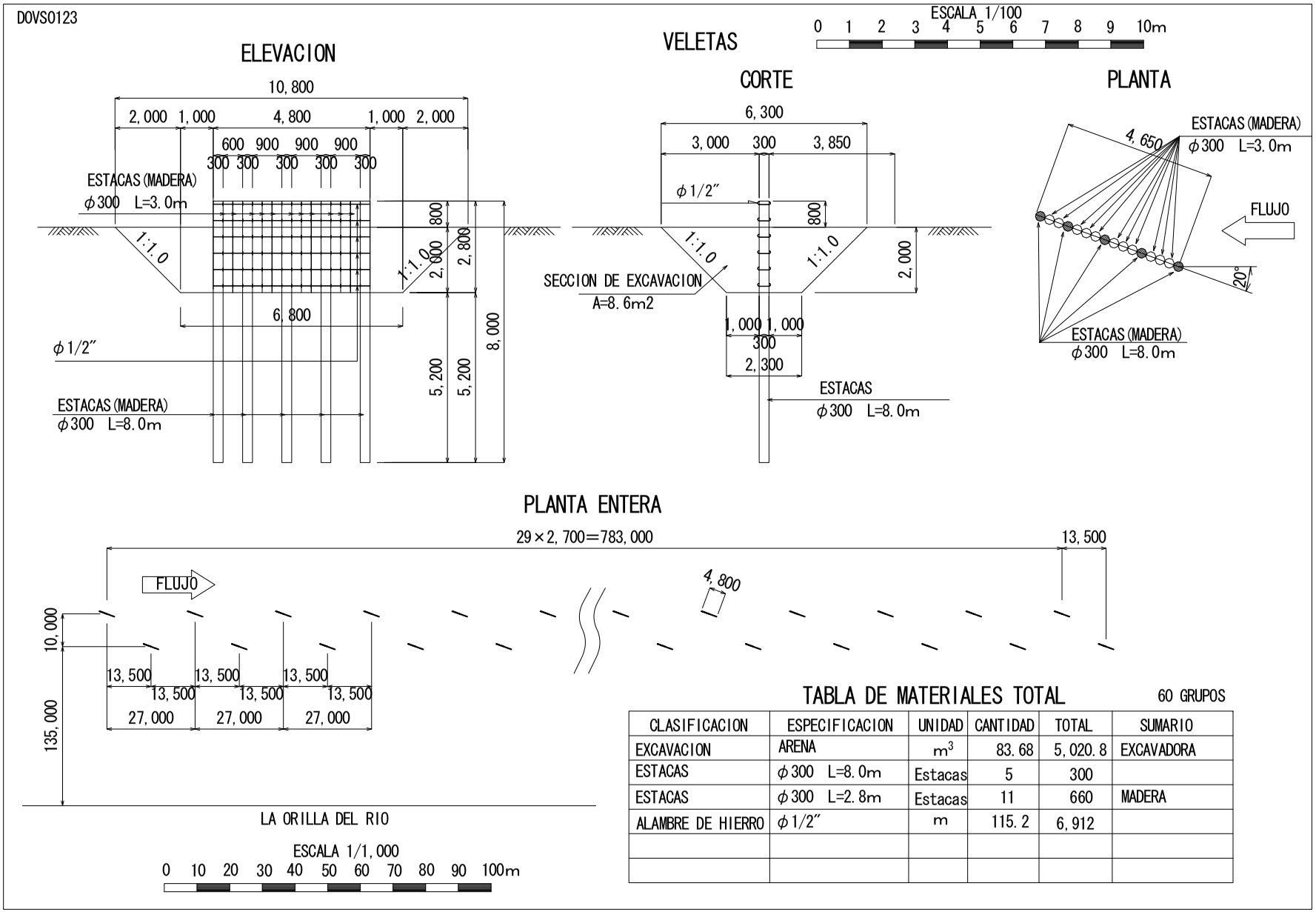
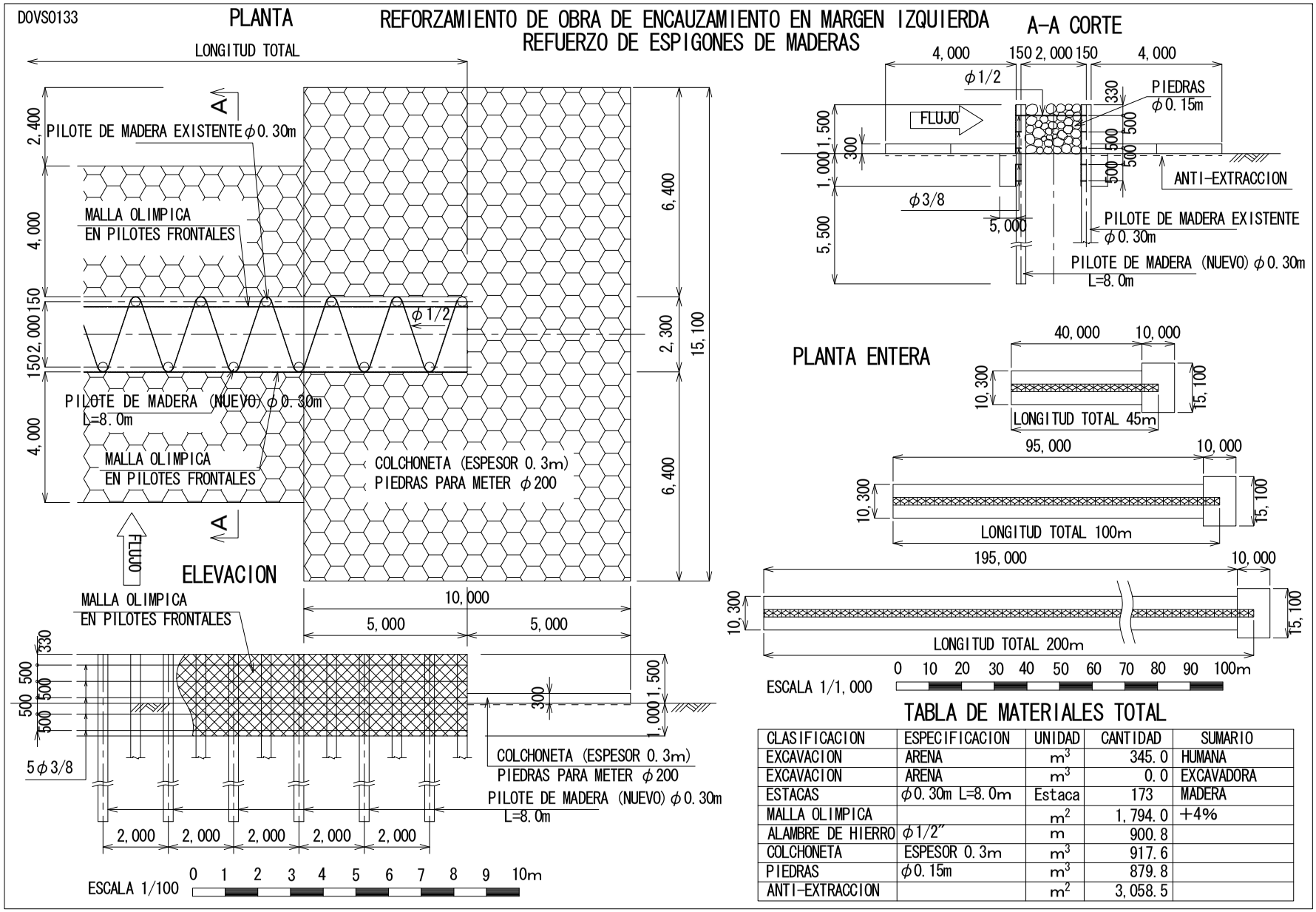


TABLA DE MATERIALES TOTAL　60 GRUPOS

CLASIFICACION	ESPECIFICACION	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL	SUMARIO
EXCAVACION	ARENA	m^3	83.68	5,020.8	EXCAVADORA
ESTACAS	φ300 L=8.0m	Estacas	5	300	
ESTACAS	φ300 L=2.8m	Estacas	11	660	MADERA
ALAMBRE DE HIERRO	φ1/2"	m	115.2	6,912	

図 3-3-12　右岸ベーン工



CLASIFICACION	ESPECIFICACION	UNIDAD	CANTIDAD	SUMARIO
EXCAVACION	ARENA	m^3	345.0	HUMANA
EXCAVACION	ARENA	m^3	0.0	EXCAVADORA
ESTACAS	φ0.30m L=8.0m	Estaca	173	MADERA
MALLA OLIMPICA		m^2	1,794.0	+4%
ALAMBRE DE HIERRO	φ1/2"	m	900.8	
COLCHONETA	ESPESOR 0.3m	m^3	917.6	
PIEDRAS	φ0.15m	m^3	879.8	
ANTI-EXTRACCION		m^2	3,058.5	

図 3-3-13　左岸水制補強工

DOVS0143

OBRA DE REFORZAMIENTO MEDIANE CONSOLIDACION EN MARGEN IZQUIERDA

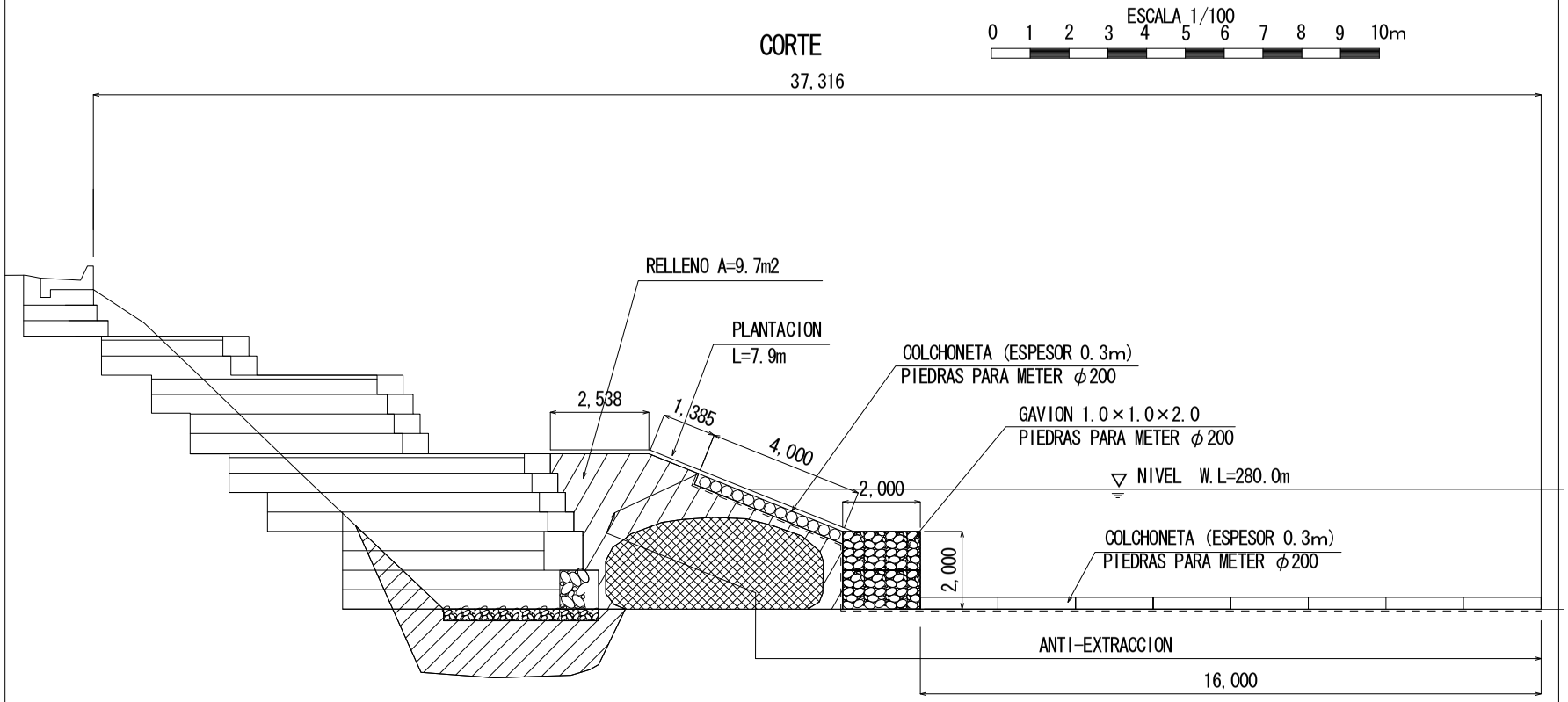


TABLA DE MATERIALES TOTAL

L=250m

CLASIFICACION		UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL	SUMARIO
EXCAVACION	ARENA	m^3	0.0	0.0	
COLCHONETA	ESPESOR 0.3m	m^3	4.8	1,200.0	
GAVION	1.0×1.0×2.0	m^3	4.0	1,000.0	
COLCHONETA	ESPESOR 0.3m	m^3	1.2	300.0	VERTIENTE
AMONTONAR LA TIERRA	ARENA	m^3	9.7	2,425.0	
PLANTACION	ARCILLOSA	m^2	7.9	1,975.0	
ANTI-EXTRACCION	t=3mm	m^2	24.1	6,025.0	

図 3-3-14　左岸補強根固め工

3-3-4　施工計画

3-3-4-1 施工方針

本計画は、先方政府の技術力及び予算によって実施される事を想定し、以下の施工方針をとりまとめた。

- 施工基地となる敷地はピライ側右岸側にある SEARPI の敷地を使用する。
- 雨期に資機材の手配を行い、乾期に施工する。また、木材及び玉石の入手に時間がかかることから、早期に手配を行う。
- 河川内の工事では、洪水の発生に注意し、必要に応じて対応する。
- 計画段階と施工段階で大幅に地形が変動することが予想されることから、施工前に地形状況の確認し、必要に応じて変更を加える。
- 資機材の調達や河道内施工は不確定要素が多いことから、工程に余裕を持たせること。
- 水制工、ベーン工があることから、施工管理に際しては、これらと類似工事に経験を有する技術者を活用する。

3-3-4-2 施工上/調達上の留意事項

(1) 施工方法

各工種の施工方法は以下の通りである。

水制工

当該工種はボ国でも頻繁に行われている工事であり実績も多い。主要材料は玉石とじゃ篭、ふとん篭であり技術的に問題はない。工事用進入路を構築後に水制工の先端部より施工を行う。主要機械は掘削にバックホー0.7m³級、ブルドーザ D7 級、玉石供給にペーローダー及び、ダンプトラックを使用する。施工はブルドーザにて排土、バックホーで積みこみダンプトラックで搬出し、ふとん篭を設置する。水制工自体は人力施工が主体となり作業員の確保が出来れば比較的簡単な工事である。施工工程は全体で 3 カ月である。

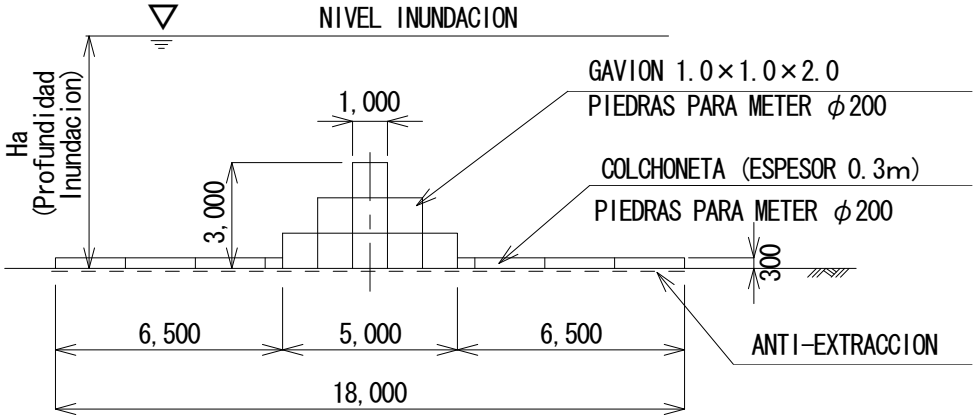


図 3-3-15　水制工横断図

ベーンエ

当該工種は「ボ」国での施工事例はない。ただし、主要資機材は「ボ」国のもので十分対応可能であり問題はない。主要機械はバックホー0.7m³ 級及びブルドーザにアタッチメントを取り付けた杭打ち機である。(写真 3-1 参照)

施工は上流側より木製の杭を打設後バックホー0.7 m³ 級にて掘削をおこなう。遮水木杭は人力にて建て込み鉄筋で確実に固定する。固定したのち随時埋め戻しをおこない作業スペースを確保する。施工工程は 1 基当たり 2 日間要し全体で 5 カ月の予定である。

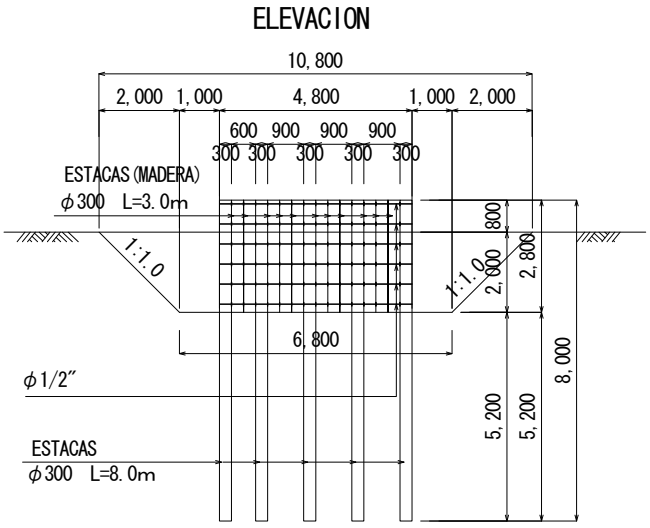


図 3-3-16 ベーン工横断図

図 3-3-17　くい打ち機

水制工補強

既設の水制工を補強するもので「ボ」国では一般的な工事である。施工は既設杭の隣に新しい杭を交互に打ち込む。杭の周りを人力で掘削し、鉄網を張り詰め鉄筋にて強固に杭に取り付ける。埋め戻し後杭の周りに洗掘防止のフトン籠を設置する。既設杭と新設杭の間には玉石を敷き詰めより強固なものを製作する。

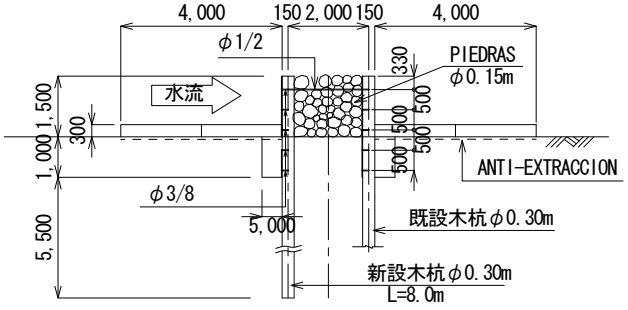


図 3-3-18 水制工補強横断図

根固め工

国道 4 号線で施工済みの応急対策施設に対し、根固め補強を行う。初めに根固め用のフトン篭を設置し、次に護岸用に 1.0m×1.0m×2.0m のフトン篭を 2 列 2.0m の高さまで積み上げる。次にジオチューブ周辺の盛土を行うがジオチューブ本体に損傷を与えないように、砂水締め工法を用い慎重に行う。また、通年雨期に観測される水位までフトン篭により保護しのり面は植生を施す。

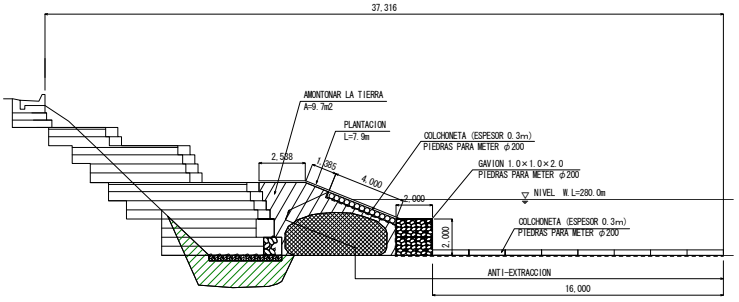


図 3-3-19　護岸工補強横断図

(a) 施工上の留意事項

一般的な労働基準の遵守、工事の安全確保及び環境保全、資機材の盗難防止以外に、当該工事は河川内工事であることから以下の点に留意する。

① 主要材料を施工時までに調達する
② 河川内工事は乾期に施工する
③ 資機材置き場となる仮設ヤードを確保する
④ 資機材確保が困難となる他の大型プロジェクトとの競合に留意する

なお、「ボ」国労働基準は次の通りである。

表 3-3-11　労働基準

労働時間	：	1 日 8 時間　週 48 時間労働　1 日の最大残業時間は 7 時間
休　　日	：	日曜、祭日
有給休暇	：	雇用期間が 1 年以上 5 年未満　15 日間
賞　　与	：	年末（クリスマス）雇用期間が 1 年以上　1 か月分
保　　険	：	社会保険（CNS）雇用者側負担は月給の 10.0%
		年金（AFP，S）雇用者側負担は月給の 3.71%
		労働者側負担は月給の 12.21%
その他	：	勤労年数手当　2～4 年　月給の 5%
		5～7 年　月給の 11%
		厚生　市街地または居住地からの距離により現場までの送迎、宿舎や診療所の設置等が定められている。

仮設ヤードの確保については、SEARPI の敷地(日ボ友好橋右岸側)を借用することを前提に計画を

行った。配置図を下図に示す。

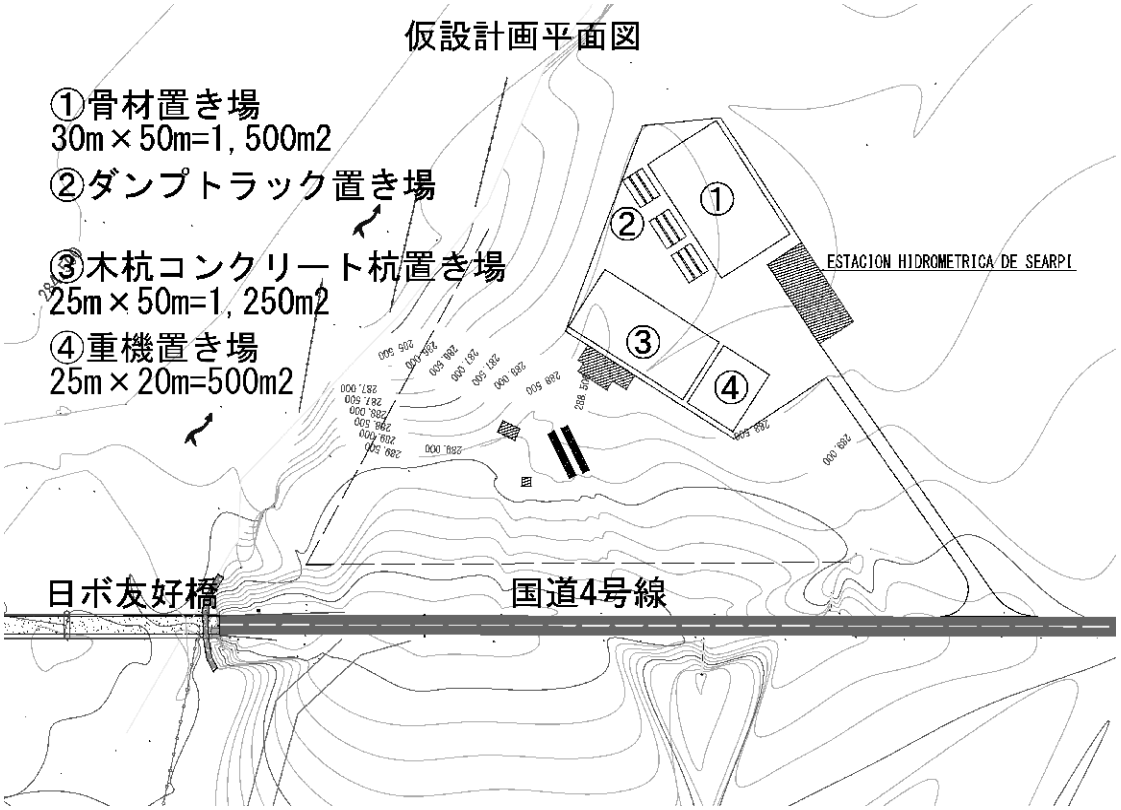


図 3-3-20　仮設ヤード配置図

(b) 公共工事の入札

「ボ」国における公共工事は工事規模のかかわらず一般競争入札で行われることが定められている。一般的に公示を行い仕様書、設計図書の配布、質問受け付け、回答を行い入札となる。契約時の前渡金は 20～30%で、使用材料などの工事内容で定められる。また、小規模緊急案件ではインフレによる物価上昇のリスクを回避する目的で材料費全額を前渡金とする場合もある。

(c) コンサルタントおよび施工業者

ボ国におけるコンサルタントの多くは“Camapa Nacional de Consultoria”と称するコンサルタント協会に所属し、情報交換等を行っているが、技術者のための資格試験等は行っていない。また、日本のような資格制度もなく大学卒業で得られる修士号、学士号と経験でその地位が守られている。

施工業者も多くの経験者を擁しており、工事経験は豊富のようである。また、現在多くの公共工事が首都ラパス、およびサンタクルス市で行われており、優秀な技能工の奪い合いが横行しているとのことである。この為、技能工を確保するために賃金が高騰し、人材の確保に大きな影響があることが確認できた。

(d) 調達上の留意事項

工事に際しては経験の豊富な業者を確保できれば問題はないが、工事は一般競争入札であり、類似業務の実績等を有し能力のあるコンサルタント、工事業者が入札の参加者となるようにする必要があ

る。

(2) 施工監理計画

施工管理は「ボ」国の基準、指針、慣習に基づき実施する。ただ今回の工事の中には、「ボ」国で実施例のないベーン工があることから、施工管理には能力を有する技術者を配置する。

工程管理は、着工前に施工方法、使用機械、作業人員の調整等を十分に行い、工程を計画する。資機材、人員の不足による遅延が生じることのないよう計画する。出来形管理は管理基準値を設定し管理する。

緊急対策は、緊急時の連絡体制の確立。急な増水に対する避難方法の確立。気象データの蓄積による天候の予測及び気象情報の把握などを行い、事故を未然に防止できる体制を確立する。

交通安全は、一般車両とのトラブルが発生しないよう安全施設配置計画を立案する。その内容には、一般道路との交差部に交通誘導員の配置、夜間の安全対策、過積載防止の取り組み、資機材の運搬ルートや輸送方法、誘導員の配置を適切に計画する。

環境対策は、振動、騒音、汚濁防止等の措置を明確にし、地元住民との調整を図る。特に河川内工事であることから重機の油流出には十分な配慮する。

品質管理に関しては、主要な資材としては木材、玉石等であり、適切な品質が確保されるように管理する。

(3) 資機材調達計画

(a) 留意事項

資材はそのほとんどがサンタクルス市近郊で調達可能である。しかし、木材、玉石及びコンクリート骨材は以下に示すように年々良質材料の調達が困難になっており、数か所からの調達を計画しなければならない。特に玉石、木杭は材料が少なく事前に調達しておく必要がある。施工機械に関しては、サンタクルス市近郊で入手可能であり、特に問題はない。

(b) 骨材および玉石

ピライ川上流、トルノ地区からホロチット地区に 3 か所の砕石プラント（1 業者のみ稼動を確認）とその周辺に点在するサンドポンプ使用の砂利、砂フルイ業者がある。今回必要とする 80mm の玉石の大量調達は困難であり、現場からの距離は約 100km である。さらに、ヤパカニ川、ヤパカニ地区から南に約 6～10km 付近に 3 か所の砕石プラント（1 業者のみ稼動を確認）がある。ここは今回必要とする 80mm の玉石の調達及び、コンクリート骨材の調達は可能である。

(c) 木　材

ベーン工に使用する木杭は調達できる業者が限られており、短期間での大量調達は困難である。調達場所はサンタクルス県コルディリェラ郡で現場からの距離は約 250km 離れている。年間の生産量はφ30cmL=8.0m の木杭が 2000 本との情報を得ている。

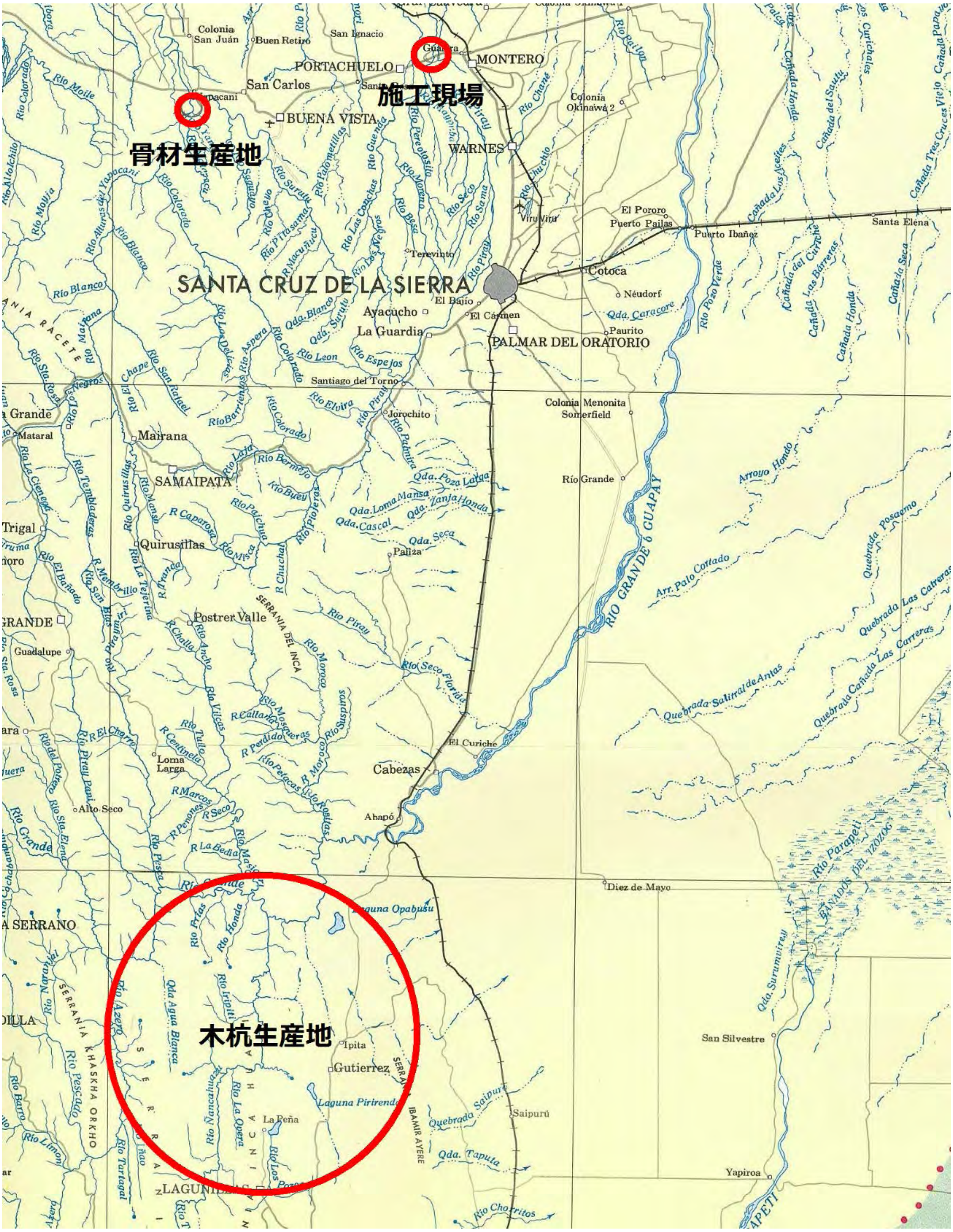


図 3-3-21　調達資材位置図

(4) 実施工程

工事工程計画立案にあたって、単年度施工と複数年度施工を計画した。単年度施工で乾期内完成を目指すには不確定要素が多く見受けられることから比較計画にとどめた以下に単年度施工工程と複数年度工程計画を示す。

(a) 単年度工事工程表

工 種	種 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
準備工	測量	―											
	資材調達	―	―	―									
	仮設ヤード整形	―											
	工事用進入路			―									
右岸対策工	ベーン工設置				―	―	―	―	―				
	水制工設置				―	―	―						
左岸対策工	水制工補強									―	―		
	根固め工設置				―	―	―	―	―				

(b) 複数年度工事工程表

工 種	種 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
準備工	測量				―												―								
	資材調達				―	―	―										―	―							
	仮設ヤード整形				―																				
	工事用進入路					―												―							
右岸対策工	ベーン工設置																		―	―	―	―	―		
	水制工設置						―	―	―																
左岸対策工	水制工補強																		―	―					
	根固め工設置						―	―	―	―	―														

(c) 主要資材

主要資材は以下の通りである。

表 3-3-12　主要資材

建設資材	仕様・寸法	単位	数量	摘要
玉石	φ80mm 以上	M3	8,552.0	自然石
フトン篭	1m×1m×2m	マイ	1,805.0	
フトン篭	2m×4m×0.3m	マイ	1,625.0	
鉄網	D2.2mm	M2	1,157.0	
鉄筋	1/2 インチ	m	14,100.0	
木杭	Φ30cm	本	943.0	天然木

3-4　プロジェクトの運営・維持管理計画

3-4-1　施設の維持管理

河川護岸対策工施工後の維持管理は、主に洪水などの作用により施設がどのように変化したか現地の状況を確認し、損傷の度合いに応じて復旧することである。水制およびベーン工に関しては、洗掘による沈下、変形が想定されが、変形しても機能を発揮している場合には特に問題は無い。特に根固め工は施工性の観点から沈下を想定しており、本体の安定性に影響を与える状況に達した場合に補修する。

取付け道路の護岸に関しても、今回に被害でも明らかなように前面の洗掘により法面の安定性が失われ崩壊したことから、基礎の状態が安定に大きく影響する。根固め工の状況をモニタリングし、護岸の安定に影響を与える状況に達した場合に補修する。

河川護岸対策工の維持管理は、ABC サンタクルス支所が担当することになろう。施設のモニタリングは ABC の下部組織である“ミクロエンプレッサ”による目視観察で実施可能と考えられる。

一般に河川構造物は劣化等よりも洪水による破壊される場合が多い。構造物が大規模に被災した場合には復旧することになる。洪水で被災するときには河道変動が影響することが多い。この場合には、構造物の復旧のみならず、配置や構造を再検討する必要がある。これについては河道の維持管理の観点から次項に述べるように ABC のみならず、河川を管理している SEARPI との協力が必要である。

3-4-2　河道の維持管理

日ボ友好橋取り付け道路付近における、洪水による護岸侵食対策を図るためには、単に今回設計した施設の維持管理のみならず、河道の維持管理も実施する必要がある。ピライ川は河道が変動していることから、その状況をモニタリングして、日ボ友好橋及び取付け道路の安全性に影響を与えるような事態になれば、対応策を講じる必要がある。また、河道改修工事や骨材の採取が行われていることから、その影響についても配慮する必要がある。

ピライ川については SEARPI が河川改修工事及び河川管理を実施しており、その能力を有している。したがって、SEARPI がピライ川の河道管理の一環として日ボ友好橋の安全性に関して、ABC と共同でモニタリングを実施し、必要に応じて対策を講じることが適切であると考えられる。日ボ友好橋については橋脚の洗掘による安定性にも問題があることから、合わせて対応する必要がある。

今回の洪水の際に、日ボ友好橋の 3km 上流左岸で蛇行が生じた。この地点は地盤が低く、過去に洪水が分派し、新たな河道が形成され、国道 4 号線を横断した実績を有している。河道の変動はピライ川とグェンダ川の変動状況と、上流での対策工事や砂利採取に支配されることから、河道管理の一部として日ボ友好橋の安全性を確保することが求められる。

3-5　　プロジェクトの概略事業費

3-5-1　　概　要

ボ国には日本のような工事積算基準はない。すべての工事が過去の経験による積み上げ方法を採用している。基礎となる価格は市場調査を実施し、材料費、労務費、社会保障費、間接労務費、付加価値税、機械費、工事損料等の直接工事費に営繕費、利益、取引税を加え工事単価として算出している。また、今回の概算事業費には物価上昇分を 10%加味して積算を行った。その結果、約 1,300 千ドル、日本円で約 125,000 千円の工事費となった。

サンタクルス市内の建設物価上昇のグラフを添付する。

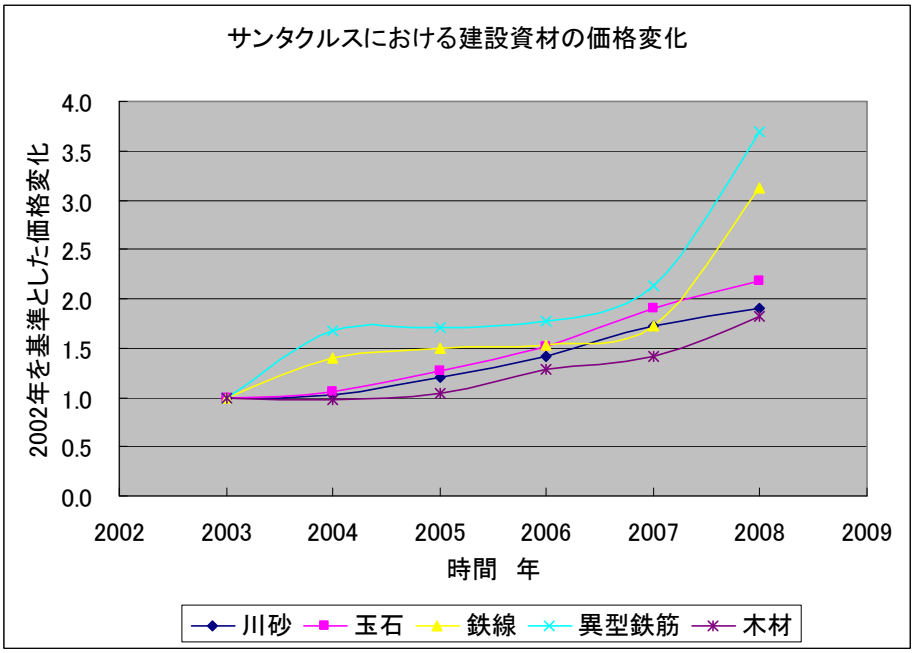


図 3-5-1　サンタクルスにおける建設資材の物価変化

3-5-2　　概主要材料単価

(1)　主要材料

表 3-5-1　主要材料単価

項目	仕様	単位	単価(US ドル)
異型鉄筋	D1/2“　12m	本	9.82
丸鋼	D1/2“　12m	本	9.89
セメント	普通ポルトランドセメント	Ton	147.00
粗骨材	砕石	m^3	5.31
細骨材	砂	m^3	16.79
玉石	4“	m^3	20.09
丸太	φ30cm　L=8.0m	本	99.7

(2) 労務費単価

表 3-5-2　労務費単価

職種	分類	労務費(USドル／時間)
労働者	測量士	2.93
	鉄筋工	2.35
	型枠工	2.93
	左官工	2.35
	溶接工	2.93
	一般作業員	1.35

(3) 機械コスト

表 3-5-3　機械単価

項目	細目	単価(USドル／時間)
バックホー	0.7m3 級(運転手含む)	35.0
ブルドーザ	CAT　D-6 (運転手含む)	35.0
ダンプトラック	12.0m3 積み (運転手含む)	25.0
くい打ち機	最大 h＝11.0m(運転手含む)	50.0
溶接機	電気溶接(運転手含む)	7.0

3-5-3　概算事業費

概略設計で得られた工種、数量に基づき算出した概算事業費は以下のとおりである。

(1) 右岸対策工概算事業費

表 3-5-4　右岸対策工事業費

工　種	項　目	単位	数 量	単価(ドル)	金額(ドル)
右岸仮設工	工事用進入路(整形費)	m3	3,000.0	1.448	4,344
	基準測量	m2	18,500.0	0.520	9,620
右岸ベーン工	機械掘削	m3	5,020.8	2.395	12,024
	木杭打設(L=8m)	本	300.0	277.606	83,281
	遮水用木杭設置(L=3m)	本	720.0	107.504	77,402
	鉄筋	m	6,912.0	0.831	5,743
	小計				192,414
右岸水制工	機械掘削	m3	0.0	2.395	0
	フトン篭(4.0×2.0×0.3)	m3	1,534.8	91.343	140,193
	フトン篭(1.0×1.0×2.0)h=3.0m	m3	2,250.0	80.668	181,503
	吸い出し防止材	m3	3,866.0	7.235	27,970
	小計				349,666
右岸対策工合計					542,080

(2) 左岸対策工概算事業費

表 3-5-5　左岸対策工事業費

工　種	項　目	単位	数 量	単価(ドル)	金額(ドル)
左岸仮設工	工事用進入路(整形費)	m3	1,000.0	1.448	1,448.0
	基準測量	m2	10,900.0	0.520	5,668.0
左岸補強根固め工	機械掘削	m3	1,200.0	2.395	2,874.0
	フトン篭工(4.0×2.0×0.3)根固め工	m3	1,200.0	91.343	109,611.0
	フトン篭(1.0×1.0×2.0)	m3	1,000.0	73.716	73,716.0
	フトン篭工(4.0×2.0×0.3)のり面補強	m3	300.0	91.343	27,402.0
	盛土工(砂)	m3	2,425.0	10.844	26,296.0
	植生のり面工	m2	1,975.0	0.695	1,372.0
	吸い出し防止材	m2	6,025.0	7.235	43,590.0
	小計				291,977.0
左岸制水工	人力掘削	m3	345.0	6.952	2,398.0
	機械掘削	m3	0.0	2.395	0.0
	木杭打設	本	173.0	277.606	48,025.0
	鉄筋・鉄網組み立て	m	345.0	73.631	25,402.0
	玉石	m3	879.8	39.697	34,925.0
	フトン篭工(4.0×2.0×0.3)	m3	917.6	91.343	83,816.0
	吸い出し防止材	m3	3,058.5	7.235	22,128.0
	小計				216,694.0
左岸対策工合計					508,671.0

(3) 総事業費（右岸・左岸対策工概算事業費）

表 3-5-6　総事業費

右岸左岸合計					1,050,751.0
	物価上昇による費用(10%)	式	1.0	105,075	105,075.1
	スーパーバイザー費	式	1.0		74,062.0
	総事業費合計				1,229,888.1

3-6　技術支援計画(案)

3-6-1　ABC に対する技術支援

河川護岸対策及び河川管理に関する技術支援計画案に関して、対象とする機関として道路に関してABC、河川に関して SEARPI が想定されることから、これらの機関について必要性と計画案を検討した。

ABC を対象とした技術支援に関しては、主に適用技術に関する支援が必要と考えられる。すなわち、今回の設計に基礎となる水文資料の解析結果、「ボ」国側の技術マニュアル、「主要国道道路災害予防調査」で策定した道路防災管理マニュアルの成果を見ると、実質的に設計に必要な計画雨量に関する資料が不足しており、マニュアルの活用に支障が出ている。したがって、専門家の派遣等により水文資料を解析し、地域及び確率毎の計画雨量を算定することにより、施設の安全性確保や防災に役立つものと考えられる。

ABC が定めている「道路設計技術マニュアル」の第 2 巻に「水文と排水」についての記述があり、今回の災害に関連する項目が述べられている。その内容は、水文、横断排水、平面排水、水路設計、地下水排水、河川水力学、河川対策、環境アプローチである。今回の被害状況の解析に際し降雨及び流量の確率や雨量と流量の関係に関して具体的な数値がマニュアルの記載されておらず、施設設計を困難にしている。

マニュアルでは雨量の観測結果を使用した確率処理、雨量と流量の関係、計画流量の設定方法について記載されているが、「ボ」国では利用できる雨量観測資料が限定されていることから、個別に解析するよりは、まとめて解析を行い、具体的な地域での確率雨量の値や、各確率に対応する時間強度曲線を取りまとめておけば、対象流域や排水区域での計画流量の算定が容易となると考えられる。具体的には、水文に関する専門家派遣により、「ボ」国内での雨量観測成果を収集し、それを基に地域ごとの確率雨量や時間降雨強度を取りまとめ、算定式をマニュアルに記載することにより、設計を容易にすることが出来ると考えられる。現状では、設計者が観測資料の収集から解析を行うことは困難と考えられる。この成果は橋梁の設計流量や、排水施設の諸元の決定に大いに役立つものと考えられる。

今回の取付け道路の被害と対策に関連しては、類似の橋梁及び取付け道路の災害が数例見られる。たとえば、ヤパカニ川の国道 4 号線にかかる橋の河床低下及び洗掘による沈下、イチロ川の蛇行による道路護岸の侵食、古くはアルフォンス橋の流出などの事例がある。これらの災害を防止するためには、技術指針を整備するとともに、具体的な対策事例を取りまとめることが必要である。現在、ABC では既存の施設の設計図面や災害事例が蓄積されておらず、災害対策を困難にしている。

専門家の派遣等により災害事例を収集し、その結果を解析し、復旧工法を類型化したメニューを準備することにより迅速な対応が可能となると考えられる。被災事例については、記録に残っているのは少ないが、過去の災害に関する新聞記事を収集することで対応可能である。また、これらの結果を施設設計の技術マニュアルに加えることにより、災害の防止に役立たせることが可能である。なお、道路防災管理マニュアルにはこれに関連する項目は含まれていない。

3-6-2　SEARPI に対する技術支援

ピライ川の洪水対策に関しては、サンタクルス開発公社(CORDECRUZ)が 1971 年にピライ川に関する技術情報の集積と河川工事のプロジェクトを始めた。その後 1983 年 3 月の洪水を受けて、人的また経済的被害を軽減するために、1983 年 5 月に共和国の法律によりピライ川治水公団(SEARPI)が設立された。その後、2003 年及び 2005 年の規定 No.037/2003 と No.064/05 により、SEARPI は 26 年以上の経験を生かし、サンタクルス県の流域の持続的発展と保全のため、流域管理の責任を持つことになった。その使命はサンタクルス県の河川の改修、流域の水に関する環境の保全に関して、計画を策定し、組織化し、実行する技術機関である。水文気象情報の連続観測資料の収集及び集積のネットワークを管理する役割を有する。

その活動は河川関係の

- 迅速な水文に関する警報の発令
- 復旧プロジェクトの評価と実施
- 構造物及び非構造物対策の実施
- 地域機関への総合流域管理に関する技術支援

に分けられる。

すなわち、当初はピライ川の洪水対策を対象としていたものから、サンタクルス県内の河川を対象とした洪水対策と環境も配慮した総合流域管理へと活動の中心を移しつつある。SEARPI を対象として技術支援に関して調査した結果によると、次のような項目に対して希望が述べられた。

- ピライ川、リオ・グランデ川、ヤパカニ川の流域総合管理
- 劣化した環境改善のための技術的代替案
- ピライ川及びリオ・グランデ川の土砂問題解決
- ピライ川の水質汚染問題の解決
- リオ・グランデ川の排水及び洪水防止プロジェクト
- SEARPI に対する機材供与

流域総合管理に関しては、流域での林業、農業開発のともなう自然環境の悪化が問題であり、自然保護と調和する農林業の実施が求められている。したがって、土地利用の計画策定や規制の実施などの管理を行うことが求められている。この課題に関しては、一部スペインの支援を受けて実施している。

環境改善のための技術的代替案に関しては流域の総合管理とも関連しており、山地での森林伐採や農業開発による土砂流出とその抑制方法、農林業の生産改善、環境の保全工法などに関する技術的手法を求めている。

ピライ川やリオ・グランデ川の土砂問題については、山地から流出する土砂が堆積する領域で土砂の堆積や河床の上昇の問題を生じている。また、山地では土砂流出により災害を生じているため、これらの問題の解決を求めている。また、サンタクルス市周辺では建設事業のための骨材資源、すなわち砂、砂利、玉石が河川から採取されており、河床低下に起因する災害も生じている。

リオ・グランデ川の排水及び洪水防止プロジェクトに関しては、排水不良や洪水氾濫により農地での浸水被害が生じている。また、河道が変動し蛇行により農地が失われている。このためこれらの災害防止のための計画の策定と対策の実施が求められている。

今回のような橋梁及び取付け道路の災害に関連する課題としては、河川が自然河川であり河道の改修が十分でないことがあげられる。特にサンタクルス県では地形が平坦である一方、河川は土砂を上流から運んでくるために流路が一定していない。このため洪水による氾濫とともに、河道が変動することより道路、橋梁、住宅、農地などが侵食等による被害を生じている。

これらの災害に対応するためにピライ川では SEARPI が設置され、計画が策定され、対策がとられてきた。しかし、リオ・グランデ川、ヤパカニ川、イチロ川については災害防止計画が無く、災害発生の都度、対策がとられてきた。特に浸水域や河道の変動域に道路や農地があり、被害を拡大している。災害の防止には施設による対策に加えて土地利用の規制など非構造物対策も必要であり、総合的な防止計画を策定し、実施する必要がある。

一方、現在サンタクルス県では経済が発展しており、これに伴う洪水等の災害が激化する可能性を有している。山地での森林伐採や農地開発による流出土砂の増加、土地利用の高度化による洪水の流出増や排水不良による浸水被害などの可能性を有している。これらの問題についても計画的な対応が必要である。

河川改修技術に関しては、SEARPI はピライ川の改修計画をヨーロッパ経済共同体の支援を受けて策定し、プロジェクトを実施した。現在は堤防や水制の建設、河道掘削などの構造物対策とともに洪水予警報の発令や氾濫マップの作成等の非構造対策を実施している。災害防止計画の策定については、現在では技術的能力が不足している。また、構造物対策についてもこれまでの経験が基本で、その経験を生かした新しい技術や他国の技術の適用は行われていない。

SEARPI に対する技術支援としては、組織強化に関する支援と、適用技術に関する支援に分けて考えることが出来るが、適用技術に対する支援を通して組織を強化することが適切であると考えられる。

機材供与に関しては自動車や電子機器の供与を求めているが、基本となる水位及び流量観測が人手によっており、洪水時の水位変化が観測されていない。このため災害の原因究明や対策の検討が困難である。したがって、主要な地点での自記水位計による観測が必要である。

SEARPI の要望および今回の護岸対策に関連して考えられる支援の項目としては次のように分けられる。

- 専門家派遣
- 技術協力プロジェクト
- 開発調査/開発計画調査型技術協力

技術協力プロジェクトとしては専門家派遣、研修員受入、機材供与(観測機器等)の組合せで実施する。また、場合によってはパイロット事業を実施することが可能である。実施項目としては、以下の 5 点が考えられる。

- サンタクルス県での河川に関する災害の実態調査
- SEARPI で実施した河川改修、河川構造物の効果及び影響評価
- 日本等の技術を活用した対策のメニュー作成
- 代表的な対策についてのパイロット事業の実施
- 成果を取りまとめた指針の作成、事例の集積、技術者への展開

開発計画調査型技術協力については、ピライ川、リオ・グランデ川、スルツ・ヤパカニ川、イチロ川等の河川を対象に、流域管理計画、洪水防止計画、河道改修計画等を策定し、それを受けて無償や有償支援に結びつけることが想定される。

ピライ川の洪水対策の状況に関しては、1991 年にピライ川流域治水基本計画が策定され、また 2000 年にモンテーロ市街地防御ピライ川治水事業が完成し、橋梁周辺の堤防建設では右岸の 100 年確率堤防、同じく右岸 20 年確率堤防と左岸 100 年確率堤防が建設された。これらの堤防建設により大きな浸水被害は生じていない。河道については変動しており、水制や護岸の設置、水路の掘削が行われており、河道の安定に関して問題を残している。今後は上流からの土砂供給や河道内での骨材資源としての砂利採取などに関連する土砂管理と下流浸水域の土地利用管理が求められている。

リオ・グランデ川では浸水被害および河道の変動による侵食被害が生じており、一部では堤防建設と水路掘削が行われている。リオ・グランデ川の被害は広範囲に及んでおり、土地利用計画も含めた長期的な計画を作成しそれを基に工事を実施するのが有効であると考えられる。

スルツ・ヤパカニ川及びイチロ川については、いずれも蛇行河川であり、流路の変動により道路や農地の侵食が発生している。これらについてはピライ川での改修の経験を生かして河道計画を策定し、必要に応じて工事を実施することが、地域の発展に寄与すると考えられる。

SEARPI はピライ川に関する情報の蓄積と河道改修の経験を有している。「ボ」国での経済発展に伴い、河川に関連する災害も増えると想定される。技術協力プロジェクトの実施や開発計画の作成に際して、これら過去に実施した経験を取りまとめ、それを他の河川に展開することにより、サンタクルス県の水災害の防止に役立つものと考えられる。

3-7 事業実施に当たっての留意事項

3-7-1 構造物対策

本調査は日ボ友好橋の取付け道路護岸を対象として、構造物対策の概略設計及び概算事業費の積算を行った。これらの成果を受けて工事、すなわち詳細設計、工事発注、施設工事、施工管理等は「ボ」国側で実施する予定である。その際の主な留意事項は次の通りである。

今回の概略設計は現地における調査資料、収集資料を基に実施している。したがって、自然条件や社会経済条件が変化した場合には、それに対応して変更する必要がある。特に、今回の取付け道路の被災原因がピライ川の河道変動により生じており、変動状況を予測することが困難なことから、状況をモニタリングし、必要に応じて対応することが求められる。

概略設計は工事を「ボ」国側が実施することを前提に、現地で主に SEARPI が実施してきた工法を基本とし、それを発展させた形で現地の材料及び施工経験を生かすように配慮している。したがって、工事や施設の維持管理については現地での経験を生かすようABCはSEARPIとの協力を図る必要がある。

湾曲部の深掘れ対策としてベーン工を設置する計画であり、蛇行が発生したときの効果を発揮するように、位置及び高さを適切に設定する必要がある。現在の設計は 2008 年 3 月の蛇行状況、2009 年 10 月の測量成果に基づいて諸元を設定している。工事の時期によっては河道形状が変化する可能性があり、設計を変更することが求められる。

工事に際しての留意事項に関しては、施工計画、資機材調達計画、施工管理計画に記載してある。主要な項目は、施工管理と実施に際しては河川工事の経験を有するコンサルタント及び工事業者が入札の参加者となること、資材の調達では良質材料を短期間に調達することが困難なことから、事前の準備及び期間に余裕を持たせる必要がある。また、河道内工事であり、洪水の影響を受ける可能性があることから乾期に施工すること、洪水への対応を準備することが求められる。

水制工及び護岸工の洗掘対策として根固め工を設置する計画であるが、経済性の観点から現河床上に設置することとした。洗掘が生じ、根固め工が沈下しても水制の本体または護岸の安定性が保たれる場合には特の復旧する必要は無いと考えられる。洗掘により想定された形状を超える場合に補強等の対策を実施する。

3-7-2　河道管理

取付け道路護岸対策の一環として、非構造物対策として砂利採取の規制、誘導を提案した。また、今回の被害が河道の変動が原因で生じていることから、構造物対策のみでは経済的ではなく、また強固な施設を建設すると下流に影響を与える可能性がある。したがって、河道計画を策定し、管理することも合わせて実施する必要がある。

3-7-3　技術向上

河川護岸対策及び河川管理に関する技術向上に関してABC及びSEARPIの個別組織に対して提言した。しかしこれらの組織は技術の一部しか分担しておらず、コンサルタント、建設業者、大学などの役割も大きい。したがって、他の組織との連携を図る必要があろう。また、ABC については、これまで組織の変更が行われており、技術の継続性が断たれている。したがって、個別組織の技術向上に加えて、関連組織間の連携及び役割を明らかにするとともに、全体として技術向上を如何に図るかの視点も重要である。したがって、今後具体的な技術向上策を計画するに際しては、このような視点での対応策も含めることが求められる。