

4. タウンサ堰灌漑システムの問題点

4.1. タウンサ堰ゲートにかかわる問題点

タウンサ堰ゲート施設では、本件現地調査期間に実施した諸相から調査を通じて以下の問題点が明らかになった。

(1) 支承部の摩耗および損傷

本川ゲート（洪水吐ゲート、土砂吐ゲート、上流剣閉門ゲート）の支承部では、顕著な摩耗や変形が進み、開閉作業に支障をきたしている。支承部の摩耗は、建設当初よりの材質選定（ローラー；高硬度ステンレス、トラックプレート；普通鋳鋼、ロッカーアッセンブリー；高張力鋼で硬度はローラーより低い）が適切でないことが原因と考えられ、取替え困難な戸当り側のトラックプレートは最大16mm、平均13mmの偏摩耗がみとめられる。このようなトラックプレートの凹凸状の摩耗により、ローラーが均一に接触せずローラー軸に過大な水圧荷重が加わっている。ローラー軸と取付材（キーププレートや固定ボルト）は、本来このような水圧荷重を考慮していないため、取付材の腐食進行も影響して、ローラー軸の変形・脱落がみられる。

トラックプレートの摩耗およびローラーの脱落の結果、ローラートレインのフレームと戸溝は接触しており、ローラートレインの変形、開閉時の開閉荷重の増大をまねいている。開閉荷重増大は、この理由の他、扉高より高い貯水位運用による越流発生でローラーガード内への雑多異物混入があり、このようなローラー部への異物の噛込みも大きく影響して開閉荷重はさらに増幅されている。ストーンゲートタイプは、開閉荷重を大幅に低減できる反面、ローラートレインへの異物の混入が容易で、その防止策が最大の問題点と考えられる。

ロッカーアッセンブリーは端桁と一体構造となっており、ローラー接触面の片減り、下部の凹凸摩耗、溶接部の割れなどの進行がみとめられる。ロッカーアッセンブリーは端桁下流部の狭いスペースに多点支承で取付けられている構造で、剛性が低く、異物の噛込みも多く、また、軸部の腐食も進み、回転機能は無くなっている。下部のローラーガードの多くは、ガード内への異物の噛込み等によって過大な開閉荷重を受け破損・脱落している。また、多くのローラートレイン用ワイヤーロープは過大な開閉荷重を受けて破損している。

(2) 土砂吐ゲート下段扉の端桁損傷

土砂吐ゲートは積重式二重ゲートのため様々な問題を生じている。上段扉、下段扉間に空間が生じると、その中間部での放流水深が深い場合には、下段扉の開閉操作は困難な状況にある。また、このような中間部よりの放流では多大な異物がローラーガード内に進入し、ローラートレインとロッカー

アッセンブリーに噛込んで操作困難をもたらしている。これは2重式ストローニーゲートでは避けられない構造上の根本的な欠陥と考えることができる。

また、土砂吐ゲート全11門中7門においては下段扉の修理、12カ所のロッカーアッセンブリー改造が行われているが、それらの修理作業も改造時の施工不良により、4カ所で端桁ウェブの亀裂がみられる。

(3) 水密部および扉体底部の損傷

本川ゲート（洪水吐ゲート、土砂吐ゲート、上流側開門ゲート）の水密部および扉体底部では、ゲート側部および底部のシール金物は脱落し、激しい漏水がみられる。全ゲートにおいて、その扉体底部では腐食が進行し、表面に1~2mmの凹凸が生じている。洪水吐ゲート端桁の底部では、ロッカーアッセンブリーが機能しないことにより、最大13.1°、平均3°の曲がりが生じている。また、ゲート側部の戸当り側シール面では、シール金物との接触により約5mm程度の凹凸がみられる。さらに、全ゲートの敷金物は、表面がエロージョンにより損傷し、上下流コンクリート面では激しい洗掘がみられる。

(4) 開閉装置の損傷

本川ゲート（洪水吐ゲート、土砂吐ゲート、上流側開門ゲート）の開閉装置各部分は、過大な操作力の影響を受け、多くのドラムが径間方向に移動しフレームと接触、軸受け取付け部のクラックやボルトの緩み、歯車の噛合いや歯当りの不良など、機能不良が認められる。さらに、動力伝達用チェーンが緩み、操作時に噛合いピッチが飛ぶことがあり、危険な状態であるほか、ワイヤーロープのドラムへの巻取り位置がずれ、全開または全開付近でワイヤーロープが重なって開閉困難となるゲートもみられる。

これらの損傷の他に、いくつかの構造上の不備が認められる。ドラム部や中間ギヤ部は点検用の通路が無く、それらギヤ部を覆うカバーがメンテナンスを妨げ、建設以来、清掃、給油等の維持管理ができずに、ギヤ部分には錆が発生している。ギヤ部のカバーは、雨水が溜まり約半数の中間ギヤフレームで異常に腐食が進行し、部材を貫通している箇所もみられるなどの構造的な劣化を招いている。

(5) 開閉装置の操作性不良

ゲート支承部の損傷や開閉装置の不備に加えて、各本川ゲートのカウンターバランス重量不足のため、操作荷重はますます増大し様々なゲート機能障害が発生している。土砂吐ゲートでは、開閉操作の難しさから頻繁な排砂操作を行うことができず、DGカーン水路堆砂問題の主因となっている。洪水時には全本川ゲートを高揚程操作するため、操作が長時間に渡り、操作員の疲労は極めて激しい。また、TPリンク取水口ゲートを除く各ゲートの制動方法は、足でクラッチペダルを操作してブレー

キを外す構造にあるが、本川ゲート（洪水吐ゲート、土砂吐ゲート、閘門ゲート）開閉時操作荷重が過大すぎるため、ペダルの誤操作によって扉体が急落下し、これまでも何度か人身事故を引き起こしている。

(6) 上部デッキの老朽化

上部デッキは、木製構造で老朽化が激しく、荷載重量に制約があるほか、部分的に欠落が発生しており、安全面で大きな障害となっている。

(7) 点検通路の不足

開閉装置ドラム部、中間ギヤ部には、点検通路が設置されていないために容易にアプローチできず、開閉装置ドラム部や中間ギヤ部の維持管理の大きな障害となっている。また、堰体フロアーに接近するための梯子等が全く無く、扉体の維持管理、点検にも不自由である。

(8) スーパーストラクチャーの腐食

スーパーストラクチャーそのものの、顕著な破損、構造上の欠陥はみられない。しかし、建設以来再塗装の実績はなく、幾つかの箇所では錆がみとめられる。

(9) 扉体の維持管理作業期間の不足

扉体の維持管理は毎年のクロージャー期（1月の3週間）に行っているが、期間が短いため、十分な維持管理（塗装時の十分な下地処理、端部の補修等）は困難である。本堰には仮締切り設備が無く、本川ゲートはクロージャー期を除いては通年取水のため常時使用状態にあり全開できないので、全開状態が前提となる扉体の補修工事等は実施困難である。

(10) 取水口ゲートの現状と問題点

DGカーン取水口ゲートとムザファルガー取水口ゲートは、本川ゲートに比して、扉体底部の腐食はやや激しいが、扉体強度に影響するほどの腐食はみられない。各ゲートの支承部で、3～5 mm程度の摩耗がみとめられるが開閉に支障はなく問題とはならない。水密部のシール金物にも多少の損傷は発生し、特に上部シール金物の脱落は激しいが、取水口ゲート天端標高はRL 446.60 ftと計画貯水位より高く、上部シール金物が脱落しても上部より漏水することは希で問題ではないと考えられる。開閉装置各部では、ドラム軸受けの損傷やチェーンの緩みが発生しているほか、数門のローラートレイン用のワイヤーロープには破損がみられるが、維持管理上の調整や小補修工事で取替えが可能である。

取水口ゲートの開閉荷重は小さく、カウンターバランスの調整の必要性はあるものの、一人の操作員で開閉可能であり、開閉装置の操作性は良好とみとめられる。このように取水口ゲートは現状でも開閉操作に支障なく、ゲート本体、戸当り金物、開閉装置について改修を必要とする箇所は特にみられず、開閉装置の調整や小補修、デッキ下の開閉装置ドラム部の点検設備の設置、上部デッキの取替

え、スーパーストラクチャーの再塗装などで十分対処できる状況と判断される。

(11) 下流側閘門ゲートの現状と問題点

下流側閘門ゲートは、使用頻度が年数回と本川ゲートに比して極端に少なく、常時空中に保持可能なため、扉体の腐食はほとんど無く、扉体は健全な状態である。支承部の摩耗は調査困難であったが、使用頻度より問題ないといえる。水密部のシール金物は確認困難であったが、常時全閉で貯水するゲートではないので、水密性が低下しても問題ないと判断する。開閉装置各部では、ドラムの移動によりフレームと接触しているため、ドラムの固定や歯当りの調整が必要である。用頻度は少ないが、使用時には高揚程を往復する必要があるため、また、揚降時間も通船時の待ち時間を考慮すれば、操作性の向上が望まれる。

以上のように下流側閘門ゲートは、ゲート本体、戸当り金物の改修は不要と判断するが、開閉装置については他の本川ゲート同様に、調整、補修が必要であり、また、電動化による操作性の向上、デッキ下の開閉装置ドラム部点検設備の設置、上部デッキの取替え、スーパーストラクチャーの再塗装を行う必要がある。

(12) 扉体の余寿命評価による問題点

精密調査対象ゲート扉体の板厚計測結果にもとづいて、強度的な余寿命評価を行った。その結果によると、洪水ゲート、土砂吐ゲートでは軒並み 100 年以上の余寿命を有すると判断できる。TPリンク取水口ゲートは、極端に劣化が進んでおり扉体下部の腐食が進行している部材が降伏点に至るまでの余寿命は9年と算定される。また、DGカーン取水口ゲートは、許容応力を降伏点の1/2とした場合、扉体下部の腐食が進行している部材が許容応力に至るまでの余寿命は43年となる。これは、DGカーン取水口ゲートは建設当初より発生応力が1171 psiと低く設計されているが、TPリンク取水口ゲートは建設当初より発生応力が21,292 psiと高く設計されているためと、建設時期の違いにより材質に差異があるためTPリンク取水口ゲートは腐食の進行が早いと考えられる。余寿命評価結果より、TPリンク取水口ゲートは、今後の入念な維持管理（塗装）により多少の延命は見込めるものの、極近い将来には必ず取替の必要が生じることが予想される。

4.2. タウンサ堰の水利構造物にかかわる問題点

4.2.1. 水利構造物

タウンサ堰水利構造物の被害状況は、以下のように集約される。

表 4.2.1 水利構造物の被害状況

施 設	被害概況
上流護床工	一部に洗堀が見られるが、大きな問題は認められない。
上流護床ブロック工	問題は見られない。
上流コンクリート床	大きな問題は認められない。
上流グレース部	大きな問題は認められない。
下流グレース部	全ての門において激しい磨耗が認められる。門によっては、骨材、鉄筋が露出している。
下流コンクリート床	床そのものの損傷は認められない。しかし、フリクションブロックの損傷にともなうスキンコンクリートの剥離、鉄筋の曲出が見られるとともに、マスコンクリートとの接触面に中間流が発生している門もある。
フリクションブロック	半数近い門において、ブロックの流失、破損が認められる。
下流護床ブロック工	問題は見られない。
下流護床工	かなり激しい洗堀、隆起が見られる。
ピア-	ピア-そのものには、全く損傷が見られない。ただし、ゲートの戸当たり部には、高速流による部分的な洗堀が見られる。

タウンサ堰体の下流部では、かなり深刻な障害が認められる。65 門中の 32 門においてフリクションブロックに激しい損傷が見られる。これらの損傷に関係して、ブロックが付着していたスキンコンクリートは部分的に剥離し、鉄筋が曲出するなど流況に悪い影響を及ぼしている。また、下流グレース部では、長年の激しい高速流にさらされてスキンコンクリートの磨耗が進み、骨材、鉄筋が露出している。スキンコンクリートは、このような表面からの磨耗に加えて、マスコンクリートとの密着に問題があり、同密着部に隙間が生じて中間流が発生しているとみられる。

タウンサ堰の下流部では、洗堀等による河床低下が予想以上に進行しており、堰計画時の予想値を大きく上回る河床低下（リトログレッション）が認められる。フリクションブロックの損傷は、このような河床低下による河川流の高速化とともに、スキンコンクリート下の中間流による揚圧力によって、ブロックの付着が弱められた結果と考えることができる。このようなフリクションブロックの損傷は、さらに下流構造物の被害を増大するとともに、下流洗堀を拡大させる。そのことは、さらに下流構造物の損傷を深めることになり、状況悪化の悪循環を形成しているとみられる。このまま放置すれば下流構造物の崩壊の危険性が高い。

この河床低下（リトログレッション）の進行は激しく、現在の状況はタウンサ堰計画設計時予測値

を7ft以上を上回っている。下表は、計画値と現在（1997年）の下流水位を対比したものである。

表 4.2.2 最新時点の河床低下（レトログレション）状況

流量 (Cs)	設計最 小 下流水位 (ft)	設計河床低下後 の最小下流水位 (ft)	設計時の予測 河床低下量 (ft)	最近（1997）の 河床低下下流水位 (ft)	実際の 河床低下量 (ft)
40,000	432.00	428.35	3.65	422.20	9.80
80,000	434.40	431.30	3.10	424.85	9.55
100,000	435.15	432.15	3.00	425.65	9.50
200,000	437.50	435.00	2.50	428.30	9.20
300,000	438.90	436.70	2.20	429.80	9.10
400,000	439.90	438.00	1.90	430.90	9.00
500,000	440.70	439.00	1.70	431.70	9.00
600,000	441.30	439.70	1.60	432.50	8.80
700,000	441.80	440.30	1.50	433.00	8.80
800,000	442.30	440.90	1.40	433.55	8.75
900,000	442.70	441.40	1.30	434.00	8.70
1,000,000	443.00	441.80	1.20	434.40	8.60

タウンサ堰下流に形成される跳水の規模・形状からみて、現在の水利構造物で安全に支障なく流下できる確実な流下量は、500,000 cusec (14,150 cu.m/sec) 程度とみられる。これは、タウンサ堰計画洪水量の50%にすぎず、何らかの早急な改善が必要である。

なお、タウンサ堰では1958年の供用開始直後にも下表に示すような、堰下流における多くの問題が発生している。これらは1963年までに修理されて、その後1987年まで問題とされるような被害は報告されていない。1987年の被害は翌年までに補修されたが、その後の状況変化によって1996年時点では多くのブロックが流去、あるいは破損したままで放置されている。

パンジャブ州灌漑電力局は本件調査とは別に、当局が所管する14堰（本タウンサ堰も含む）の水利構造物安全性評価調査を開始している。これは、特に水利構造物の施設信頼性について、全堰を同時期に共通の視点から評価しようとする試みであり、本件調査のように特定の堰を重点的に調査するものに対して、一般的な調査項目を中心にそれぞれの堰どうしの関連性を重視した悉皆調査となっている。調査の最終成果は、1998年8月までに取りまとめられることが予定されており、本件調査成果と相補って、パンジャブ州全水利堰の現状がより明確にされるものと期待されている。

表 4.2.3 タウンサ堰下流構造物の被災履歴

年 度	被災箇所	被災内容
1958	開門 (ゲート 8)	スキンコンクリートの剥離、ブロックアンカーの緩み
1959~60	ゲート 56~65	スキンコンクリート剥離および台形ブロックの移動
1961	ゲート 54~65	水叩き斜面コンクリートの侵食
1959~61	ゲート 1, 21, 23, 24	台形ブロック破壊
1962	ゲート 49	全台形ブロック移動、スキンコンクリート剥離
	ゲート 50	台形ブロック 3 個流去
	ゲート 52	スキンコンクリート剥離、台形ブロックおよび正方形ブロック移動
1987	ゲート 41	スキンコンクリート 100 %剥離
	ゲート 42	スキンコンクリート 50 %剥離
	ゲート 41~42	台形ブロック 15 個、正方形ブロック 11 個移動
1988~96	ゲート 4~62	ブロック破損 196 個、正方ブロック 18 個、台形ブロック 3 個流去

4.2.2. 堰体基礎

(1) 基礎地質

インダス川のタウンサ堰付近における河床勾配は 1/5,000~1/10,000 である。タウンサ堰建設前のインダス川はこの堰付近で川幅が約 13 km あり、この幅のなかで洪水のたびに砂洲が消長を繰り返し、河道は蛇行してきた。タウンサ堰付近のインダス川は平均年最大流量 (2~3 年確率洪水量 $Q=13,000$ cumec)、河床勾配 (1/5,000)、低水路幅 (2~3 km) から見て、細砂の堆積する条件にある。河川地形の形成過程を考慮すれば、河床構成材料の密度や構造は砂洲の移動に伴う堆積環境の違いのみに影響されていると考えられる。このため、堰基礎地盤は深度により工学的性質が異なる均質な地層と見做すことが可能である。したがって、本件調査では堰基礎地盤の平均的な工学的性質は堰周辺の調査成果から推定した。

堰の左右岸にそれぞれ 4 カ所ずつ深度 40 m まで標準貫入試験を実施し、堰付近の平均的な地盤支持力および地盤材料の粒度構成を調査した。調査結果によると、深度 40 m までの基礎地盤はほぼ均質な細砂から構成される。地盤構成材料の粒度分布は 0.3 mm 以上が 3~16%、0.15~0.3 mm が 84~92%、0.15 mm 以下が 1~10% であり、調査全箇所ではほぼ同じである。透水係数は粒度分布から $(1~2) \times 10^{-2}$ cm/sec と推定される。N 値は場所により異なるが、深度の増加とともに大きくなり、103~114 m 以下では $N > 50$ となる。地表 (標高 134~140 m) から約 5 m の深さまでの N 値は 15 より低いが、これより深く標高 103~114 m まで N 値はおおよそ 15~50 の範囲にある。

(2) 基礎の構造

タウンサ堰では、構造物を支持する基礎としてピアおよび両岸導流壁に井筒基礎が、また、浸透に対する基礎構造として堰基礎および両岸導流壁基礎にシートパイルが採用されている。ピアの井筒基

礎は、長さ4.1～4.9m、幅6.1m、深さ5.7～7.6mの矩形井筒が各ピアに5基ずつ配置されている。これら井筒基礎の底面標高は土砂吐部117～119m、堰部118～120mである。導流壁基礎の井筒基礎は、長さ3.4～2.1m、幅2.7m、深さ2.4～3.3mであり、底面標高は122～125mである。堰基礎のシートパイルは3列配置されており、その深さは上流2列では4.6m、最下流1列では6.1m、その下端の標高は、土砂吐部上流端122.5m、中央および下流端120m、堰部上流端123.4m、中央および下流端120.4mである。導流壁基礎には長さ6mのシートパイルが1列配置されており、その下端の標高は堰部分より深く、堰上流では119m、堰下流では118mである。堰の越流部とその上下流床版は、上流側では0.9m、越流部では最大約3m、下流部では揚圧力に応じて1.5～2.4m厚さのコンクリート製である。

(3) タウンサ堰基礎の安全性評価

基礎の安全に関して支持力、バイピング抵抗、揚圧力の点から検討した。

1) 支持力

堰基礎地盤は堰構造物を支持できるだけの地盤強度が必要である。地盤強度が不足すれば、過度の沈下や、構造物各部の不等沈下によって堰機能に障害が発生する。タウンサ堰の井筒基礎の底面が位置する標高EL.117～125mでは、N値は15以上となっている。井筒基礎を支持する基礎地盤の極限支持力 q_3 、許容支持力 q_4 はそれぞれ116 ton/sq.m、41 ton/sq.mとなる。一方、井筒基礎底面への応力は $p = 22$ ton/sq.mであるため、基礎地盤は鉛直支持力から見ると十分な強度を有しており、問題はないと判断される。

2) 基礎地盤のバイピング抵抗

バイピングの進行は粒度分布の異なる堆積層の境界面や、同一堆積層の堆積構造の僅かの差のような局部的条件の違いが影響し、時間の経過とともに拡大する進行性の内部侵食である。一般的にバイピングは構造物下流の拘束の少ない部分から発生し、構造物基礎へと拡大する。また、透水性砂層に不透水性のコンクリートが直接打設されたような場合には、この境界面に沿ってルーフィングが発生しやすい。

現設計条件（上下流水頭差： $H=9.2$ m）におけるブライ式のクリープ比は $H/L=0.091$ 、クリープ係数 $C=11$ と推定できる。クリープ係数を $C=15$ としたとき、土砂吐部では限界水頭 $H=7.0$ m、堰部では $H=6.7$ mとなり、現在、タウンサ堰で6.7 m (22 ft) に制限された上下流水位差は、基礎地盤をバイピング破壊から守るためには適当な処置と考えられる。

タウンサ堰左岸部は、各所で陥没がみられる。この部分は堰基礎の端部で浸透水が集中しやすい箇所にあたり、左岸導流壁の裏側にも下端標高を120 mとするシートパイルを配置したコンクリート擁壁が設置されている。その下流トランジション部ではコンクリートブロックの顕著な沈下がみられる。

同ブロックの沈下は標高 131.0 m を最低部とし、これより上部で著しい。標高 131.0 m より高位では、沈下したコンクリートブロック間の開口部を補修した跡が随所に見られた。左岸におけるこのような陥没は、トランジション部の裏込土の沈下に伴うコンクリートブロックの沈下、この沈下によるコンクリートブロック間の開口の発生、堰下流水位の変動による開口部からの裏込め土の吸い出し、裏込め土吸い出し部への浸透水の集中、これによる砂粒子の移動と流去による埋め戻し土の陥没、つまりパイピングの発生による土粒子の吸い出しの過程をへて、現在の状態に至ったものと推測される。まだ基盤の不攪乱部分にはパイピングは及んでいないと考えられるが、このまま地表の陥没を放置すれば、自然地盤へとパイピングが及ぶ可能性がある。

堰コンクリートは深部に位置するマスコンクリートの表面を、厚さ 30 cm のスキンコンクリートと呼ばれる鉄筋コンクリートで覆った構造となっている。42 番ゲート下流の堆積土砂を除去して、この部分の状況を調査した結果、スキンコンクリートは静水池中央部で剥離し、マスコンクリート打継目から湧水が見られた。コンクリートの打継目のうち止水版が配置されている箇所は収縮継目のみであり、施工継目はアスファルト処理のみである。これはスキンコンクリートにおいても同様である。この打継目はコンクリート打設時に沈下があり、漏水の存在したことが想定されることから、面状あるいはパイプ状となっていると考えられる。基礎地盤構成材料の粒度分布から見て、このような打ち継ぎ目からの砂粒子の吸い出しは否定できず、堰コンクリート下面に空洞が存在する可能性がある。

タウンサ堰の基礎地盤材料、地盤内クリープ比、堰下流エプロン端部の動水勾配、また左岸における陥没の状態、底版コンクリート打継目からの漏水などから見て、基礎地盤からの砂粒子の吸出し、これに伴うパイピングの発生の可能性は否定できない。

3) 揚圧力

浸透流による揚圧力は床版の各部に作用する浸透水圧により与えられる。均質な砂から構成されたタウンサ堰の基礎地盤では透水性はほぼ等方性であると考えられる。コスラの方法によって基礎地盤における水圧分布を検討した。一方、これを検証するための各ピアに設置された水圧測定パイプは、当初に設置された 579 本に対して、正確に水圧を示しているものは 20 本程度である。これらも水頭降下試験の結果、全てがゲートより上流に位置しており、ゲート下流のコンクリート構造部分についての揚圧力は測定できない。一方、42 番ゲート下流部分の調査の結果、スキンコンクリートは静水池中央部で剥離し、マスコンクリート打継目から湧水が見られた。スキンコンクリートが水密であるならば、この打継目からの漏水はスキンコンクリートに揚圧力として作用する。しかし、一方ではこのような漏水は基礎地盤内水圧を開放しており、砂粒子の連行を防止すれば、過剰な揚圧力を排除し、堰下流端部における限界動水勾配を緩和することになり、安全性の改善に寄与するものと考えられる。

4.3. タウンサ堰の堆砂にかかわる問題点

DGカーン水路は、計画水路床が7 mも上昇するような激しい堆砂によって断面閉塞がすすんでいる。このようなDGカーン水路における堆砂は、水路への導水の大きな障害となっている。

水路の堆砂の主要原因としては、インダス川からの掃流砂の侵入か、水路取水後の急激な流速の低下にともなう浮遊砂の沈降・堆積のいずれかが考えられるが、タウンサ堰管理事務所で長期的に且つ継続的に観測している右岸土砂吐付近の堆砂に関する蓄積データからも、また現地調査で実施した堆積土砂の粒径分析とそれらに基づく堆砂のメカニズム検討からも、DGカーン水路における堆砂問題はインダス川からの流入掃流砂が原因であることが明らかとなった。

本件調査での分析では、DGカーン水路の土砂移動能力は、現水路計画設計条件で23.9 kg/sec、水路底に堆砂が進んでいる現状では12.8 kg/secと推定できる。これに対して平水状態の右岸土砂吐には41.1 kg/secの土砂流入があり、右岸土砂吐ポケット部の堆砂がすすみDGカーン水路取水口クレスト部にまで達すれば、ほぼこの全量が水路内に流入することになる。この水路への流入土砂量と、前述の水路自体の土砂移動能力の差分が水路内へ堆積しているものと考えることができる。

このような過大な掃流砂の水路への流入も、老朽化にともなう土砂吐ゲートの機能阻害によって、土砂吐からの適切な土砂排除がなされないことに起因している。右岸側に極端に偏ったタウンサ堰上流域での河川流況も、このような堆砂問題を加速させている。DGカーン水路に流入した土砂は、RD 7,500位置とRD 20,800位置に設置されている2カ所のシルトイジェクターによって排除されるはずであるが、流入土砂があまりに多量であることと、土砂以外の雑木等のゴミ混入などから十分に機能しないことが多い。いずれにしても、土砂吐ゲートの早急な機能回復が求められる。

4.4. 水路システムにかかわる問題点

タウンサ堰水路システムは建設以来40年が経過しており、過酷な自然条件のもとで老朽化も認められる。特に問題となる主要な水路施設は以下の通りである。

通水施設： DGカーン水路の上流部、排砂管工 (Silt Ejector)

分水施設： 調整堰 (Head Regulator)、分水工 (Regulator)

保全施設： 放水工 (Escape)、奔流交差工 (Hill Torrent Crossing)

DGカーン水路の上流部には、タウンサ堰からの過度の掃流砂の流入が広く堆積し、通水を阻害している。最上流部の取水門からRD 7,500 (2,287 m) 迄の間の観測でも、平均40~45%の通水断面の減少が認められる。そこで現状の貯水位運用は、計画貯水位RL446.0を違反してRL448.0程度まで堰

揚げし、かろうじて計画取水を確保しているのが実態である。この緊急堰揚げは前述のように、堰上下流水位差を増大して堰体の安定を脅かすとともに、堰ゲートではゲート上端からの越流が発生しゲート老朽化に拍車をかけており、早急な対策が必要がある。このような水路の堆砂問題は、取水口からの掃流砂流入を軽減することが根本的な解決ではあるが、すでに水路に堆積して通水断面を阻害するなど通水機能に支障を及ぼしている堆砂の処理は、水路システムとして解決すべき問題である。

タウンサ堰水路システムでは、水路の過剰な流入砂に対してシルトイジェクターで排除する機構となっているが、現状のDGカーン水路では過剰過ぎる堆砂によって必ずしも計画どおりに機能していない。また、水路内堆砂の影響から過剰な水路水位が生まれ、シルトイジェクター部で破堤してシルトイジェクターが破損するなどの被害もでている。

本件調査対象水路受益地区であるDGカーン水路地区とムザファルガー水路地区では、自然条件の差異によるシステム形状の違い以上に、灌漑施設の設計思想そのものが異なっていると思われる。ムザファルガー水路システムでは、ゲート施設も堅牢であるとともに、水位調整工を数多く配置して各取水工での水位調整を可能にしている。一方のDGカーン水路システムでは、水位調整工の数を限定しており、基本的に常に設計流量通水を前提とした設計となっている。このため、DGカーン水路システムでは、タウンサ堰で何らかの事情により設計流量満水通水が不可能な場合は、各取水工での取水が不均一となり、コントロールが難しいという状況が発生している。水路の主要構造物を調査した結果、調査対象となった全50カ所の主要施設の中で、全く損傷の認められないものは4施設にすぎず、機能停止施設はみられないが、ほとんどは軽微なあるいは修理可能な故障がみとめられた。これらについては放置はできないが、施設の規模、損傷の程度からみて通常の維持管理の適正化、ゲート操作員(Regulation Belder)の訓練によって改善可能なものと判断できる。ただし、放水工施設の老化/被害は、スピンドルの屈曲等によるゲート操作不能、扉体の腐食、下流護岸の洗掘の進行等で緊急放流の機能が阻害されている状況で、水路システム全体の安全性に係わるものと考えられる。

DGカーン水路(ダジャール二次水路も含む)は、この西遠方で南北に走るスレーマン山脈からのヒルトレントと、20カ所の奔流交差工で立体交差する。その大半の交差工は標高差が少なく、灌漑水路がサイフォンとなって奔流の水路橋を潜っている。このサイフォン内に土砂が多量に堆積し、通水を阻害して堰揚げ背水を起こしている。他方、奔流の水路の上にも、上流の扇状地から選ばれた多量の土砂が堆積し、流積を減少させている箇所も見受けられる。これらは、通常の維持管理でも対応可能であり、適切な対処が望まれる。

4.5. 水利行政にかかわる問題点

インダス川の利水運用については、全体的にみて世界的にも有数な大きな規模で実施しており、その組織機能も概ね機能しているものと判断できる。しかし、このシステム運営には膨大な人員が係わり、支えている実態は大いに改善の余地がある。各水利施設で日々観測されている貴重な河川流量、利水関係情報も手書き文書、無線による口頭伝達であり、決して有効に活用されているとはいえない。受益者の利水量要望も、その集計、伝達、確認も多数の人間の手によっており、近代化の必要性が高い。

本件のタウンサ堰灌漑事業は、1959年に運用を開始している。この時点では、DGカーン水路のダジャーラ拡張工区は実現されず、暫定的な運用開始となった。その後、1991年に「インダス川水利権合意」が成されて、その時点の既存水利運用は既得水利権として水利権が認知されることとなったが、このダジャーラ拡張地区の水利権は認められないまま現在に至っている。現在でも、このダジャーラ拡張地区の水利権問題は解決しておらず、今後の見通しも立っていない。タウンサ堰灌漑事業既存地区としては、この新規事業の動向に大きな影響は受けないが、DGカーン水路管理の面からは大きな係わりが認められる。現在のDGカーン水路は暫定運用としての最大送水量(8,301 cusec)が許されているが、水路断面は最終計画を想定した規模(14,200 cusec)の大きなものとなっている。このため、流下流速はレジーム水路を想定した必要流速を下回っており、堆砂の面で不都合な状況が続いていることになる。この意味からも早期な問題解決が待たれる。

4.6. 維持管理にかかわる問題点

4.6.1. 堰灌漑システムの維持管理

タウンサ堰および関連水路施設は、3.3節でも述べた所定の管理組織によって、維持管理がなされている。それぞれの組織では、長い管理経験を有し、多くの職員を抱えて、過酷な自然条件の中で維持管理作業に従事していることは評価できる。

しかし、灌漑システムの維持運営を制定後100年に近い組織機構と執行規則に則り実施している灌漑電力局による施設の管理は、効率的な運営が行なわれているとはいえない。また、灌漑部門への予算は、1980年代半ば以降実質年4%で減少してきたことに加えて、プロジェクトの必要性、優先度、経済効果よりも、予算規模、社会的関心、政治的配慮が優先し、計画の不十分な事業でも実施されることが多い。このため、予算の不足から実施中の事業の進捗が遅れることが多く、さらに近年は水利費が低く押さえられ予算の不足に拍車をかけ、投下費用の回収は不可能となり運営費にも不足し、維持管理は不十分で、施設は劣化し灌漑システムの性能は低下の一方にある。これは、各作業担当者の

訓練不足による州灌漑電力局の技術力、維持管理能力の低下とともに、予算の不足が根本的に影響しているものと思われる。

このように管理運営、組織、技術、予算に関して政府の改善努力が欠如しており、堰灌漑システムの機能低下を防ぐため、州政府、連邦政府に対し、同国における利水事業の重要性と必要性の再認識と、それに基づいた適正な予算の確保とその確実な配分を強く勧告する。

4.6.2. ワークショップ

パンジャブ州灌漑電力局には、堰の維持管理のためにワークショップが作られている。タウンサ堰に関係するワークショップは、その業務内容に応じて、堰において直接軽度の修理を担当するタウンサ堰ワークショップ、地域内の堰、水路において必要な部品製作などを行うマルチンワークショップ、また灌漑電力局全体の堰を対象としてゲート製作などを実施するバルワールワークショップがある。

堰ワークショップは、定期的な整備に加え、応急修理も行うことを目的としている。ここでは機械設備は老朽化しているものの、技術者、技能職員約50名が所属している。しかし、年一回のクロージャージャー期間を除き業務のない状態が続き、一年の大半は人材、施設ともに遊休状態にある。一方、1カ月足らずのクロージャージャー期間に実施されるゲートの補修は作業が集中するため、民間業者の応援も得て実施されている。

マルチンワークショップは、SCARP において使用される深井戸用ポンプや土工機械の維持整備を目的として設置されたものである。技術者、技能職員約50名が所属し、機械設備も充実しており、水路ゲートの製作、ゲートの小規模な部品の製作が可能である。マルチンを中心とする地域にはタウンサを始め、トリム、パンジナッド、イスラムなどの堰から取水する灌漑システムがあり、堰ゲートのみならず水路ゲート修理を含めると、十分な業務量がある。

タウンサ堰のゲート製作を行ったバルワールワークショップは、パンジャブ州灌漑電力局の中心となるワークショップである。バルワールワークショップには、技術者約50名、技能員が約300名所属し、堰や中小規模ダムのゲート本体の製作など、大規模な製品の製作が可能な機械設備も保有している。パンジャブ州灌漑電力局は14カ所の堰、10数カ所の中小ダムを管理し、ダムは現在も建設が進められている。今後改修事業実施の必要性も高く、ある程度の事業量は見込まれる。しかし、画一的なスタイルではなく、そのワークショップごとの能力と機能の点から、堰に付随するもの、地域の中心となるもの、州全体を対象とするものに区分して今後の維持計画を検討する必要がある。

5. タウンサ堰灌漑システムの改修基本計画

5.1. タウンサ堰灌漑システムの現状評価および対処方針

5.1.1. タウンサ堰灌漑システムの現状評価

タウンサ堰灌漑システムは、タウンサ堰のみならず、送水システム、配水システム、さらには水管理システム等、灌漑利水のための様々なサブシステムより構成されている。タウンサ堰灌漑システムに関するそれぞれの分野での状況調査から、現状の障害、破損状況は以下のようにまとめられる。

表 5.1.1 タウンサ堰灌漑システムの障害、破損状況

改修箇所		現状の障害、破損
堰ゲート	扉体	<ul style="list-style-type: none"> -土砂吐ゲートは操作・管理の困難な二枚扉であり、開閉が困難なほど損傷 -土砂吐ゲートの扉体端部の損傷、下段扉トラスの腐食が顕著 -一部の洪水ゲート扉体トラスに変形
	ゲート支承部	<ul style="list-style-type: none"> -全ゲートにおいてトラックプレートが激しく磨耗 -全ゲートにおいてローラートレインの変形、戸溝との接触、ローラの脱落 -全ゲートにおいてロッカーアセンブリの低剛性による激しい磨耗、変形 -多くのゲートにおいてローラガードが破損・脱落
	ゲート水密部	<ul style="list-style-type: none"> -ゲート水密部シール金物の脱落 -扉体底部の腐食凹凸による水密性低下
	開閉装置	<ul style="list-style-type: none"> -ドラム、軸受けに顕著な緩みやクラックが発生 -中間ギヤフレームでの腐食進行 -不適切な装置構造が維持・管理に支障 -手動開閉による不便、開閉の遅れ
	ホイストデッキ	<ul style="list-style-type: none"> -木製デッキの老朽化により、載荷能力、安全性の低下
	点検通路	<ul style="list-style-type: none"> -不便な構造により、維持管理が不可能
水利構造物	堰グレース	<ul style="list-style-type: none"> -下流グレース部スキンコンクリート、同配合鉄筋の激しい磨耗 -シルビームに激しいピッチング
	下流フローア	<ul style="list-style-type: none"> -スキンコンクリートの部分的な剥離 -スキンコンクリートとマスコンクリートの脱接合、中間流発生 -コンクリート継ぎ目部からの湧水
	フリクションブロック	<ul style="list-style-type: none"> -相当数ブロックの転倒、変形 -フローア接着部の露出、変形鉄筋の露呈
	護床工	<ul style="list-style-type: none"> -護床工の変形、流去、沈下
基礎	堰体基礎	<ul style="list-style-type: none"> -下流部コンクリート継ぎ目部からの湧水 -堰上下水位差に制限を設ける必要を生じるほどの地下浸透流懸念
	堰アバット	<ul style="list-style-type: none"> -左岸アバットの地下浸透流による顕著な沈下
水路システム	水路	<ul style="list-style-type: none"> -DGカーン水路の激しい堆砂 -水路横断構造物直下の激しい護岸侵食
	水路構造物	<ul style="list-style-type: none"> -幾つかの主要水路構造物における堰体、ゲートの劣化 -エスケープ施設の劣化、個所数の不足によりエスケープ機能の不備

このような損傷、破損状況から、タウンサ堰灌漑システムは、特に堰システムの障害が顕著で放置できない状況にあると考えられる。

5.1.2. 堰崩壊のシナリオ

タウンサ堰の最も直接的な支障は、ロッカーアッセンブリーや、ローラートレインを含めた戸当たり部全体の損傷、磨耗が激しく、ゲートの開閉の困難さに現れてきている。開閉機構における各部分の損傷も複合的に加わって、堰の最も重要な機能である「適時における扉門の容易な開閉機能」が阻害されつつある状況にあると判断できる。

これらの諸問題は、総合的に「ゲート巻き上げの困難さ」という現象として現れてきている。このようなゲート操作の困難性は、戸当たり部分の損傷、磨耗といった進行性の劣化が原因している以上、日常的な維持管理では進行をくい止めることはできない。直接の障害部分の劣化は着実に進行するとともに、困難になったゲート操作状況下における無理な巻き上げ開閉がさらに関連部分の損傷を誘発して、今後の「ゲート巻き上げの困難さ」は指数関数的に増大していくものと考えられる。当初設計では4人操作（29kgm）での開閉を計画していたものが、現在では8～12人操作（平均41kgm）でかろうじて作動させており、今後は障害の進行に伴ってより過大な操作力が必要とされてくる。現状のホイスト機構では10人以上での操作は難しく、要求される操作力に追従できず操作不能に陥るか、過大な操作力によってある部分が破壊して可動不能に陥るか、将来においてはいずれかの理由によりゲート機能が終焉すると考えられる。

建設後39年経過した1997年時点で計測された各ゲート巻き上げ力値を参考に、今後の巻き上げ力値増大の将来予測を行ったものが下図である（これは、設計当初を設計巻き上げ力値として、前述の状況予測から指数関数系で表示したもの）。仮に12人操作（87kgm）が開閉の限界と想定すれば、2001年には操作不能ゲートが発生しだし、その後さみだれ的に可動不能が頻発してくる状況といえる。

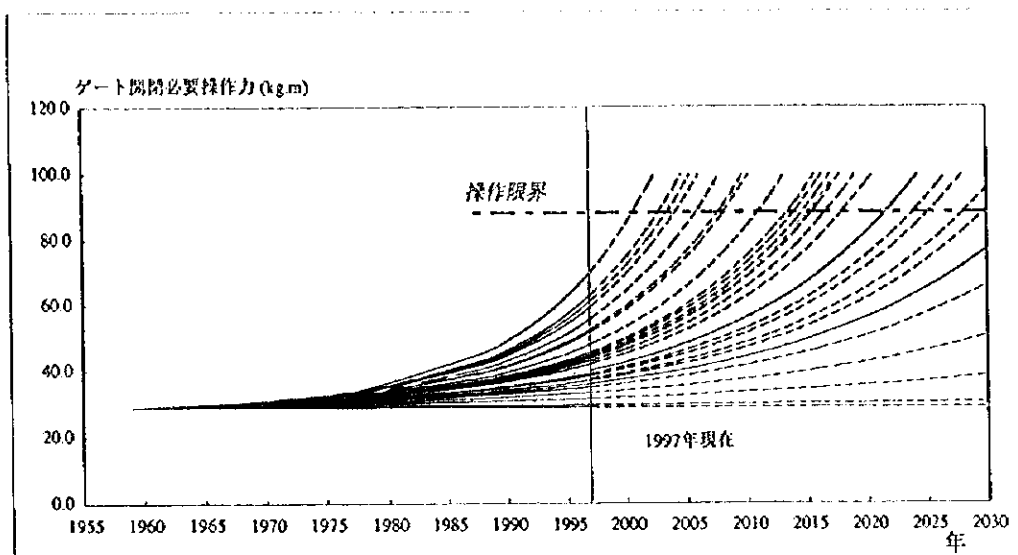


図 5.1.1 ゲート開閉必要操作力の推移

その他の特定ゲート扉体の改修、土木構造物の改修、堆砂対策など、本件改修計画の改修コンポーネントに加えられた各改修部分は、いずれも日常の維持管理修理対処ではその機能劣化をくい止めることができず、いずれも緊急を要する改修重要点である。それぞれも放置しておけば、劣化が進みそれぞれの機能停止というかたちで堰そのものを崩壊に導く要素である。したがって、改修重要度としてはいずれも最重要なコンポーネントであるが、特に戸当たりまわりの障害が現れやすく、時間的に最も早く現出すると判断されることから、それらの部分から堰崩壊が始まると考えられる。

5.1.3. タウンサ堰灌漑システム改修対処方針

これらの被害状況からみて、タウンサ堰システムは緊急な改修工事が必要と判断できる。本件改修計画は、これらの現状におけるタウンサ堰灌漑システムにおける諸障害の除去を第一目標とし、必要に応じて機能向上のための改善策を講じるものとする。改修計画策定に当たっての改修対処方針は、以下の通りとする。

- 1) タウンサ堰システムは、早急な改修工事着手を目指す
- 2) 改修の内容・方法は、実施機関および担当技術者全般の実施能力・実施容量に見合ったものとする
- 3) ゲート方式は、現状のストーニーゲートタイプを踏襲する
- 4) ゲートの取り替え、支承部の改造に関しては予備ゲートを活用する

- 5) 特にホイスト、スーパーストラクチャーに関する現設計の欠陥、不備内容は可能な限り改善に努める
- 6) タウンサ堰水利構造物において、現設計の前提となる水理条件の変化などに関しては、必要な最小限のリモデリングを考える
- 7) タウンサ堰の許容上下流水位差は、暫定制限值から本来設計値に回復させる
- 8) 改修工事は、ゲート主要工事を先行させて、各戸当たり水密が確保された後、逐次下流側水利構造物の改修を行う
- 9) 本件改修計画の事業目的は、灌漑用水供給に基づく農業効果を基本とする
- 10) 事業主体が異なる鉄道橋梁の改修は対象外とする
- 11) 輸送効果が中心となり、管理責任も複数部局にまたがるタウンサ堰道路橋梁は、その改修の緊急性も勘案して、別途フェーズでの実施とする

本件対象地域の灌漑は、夏期灌漑中心（ノンベレニアル灌漑）としている。これは、一面、非灌漑期の農業を規制し農業生産を制限しているように見えるし、全面的なベレニアル灌漑に移行できれば、飛躍的な農業生産の向上が望めるとも考えられがちである。しかし、これは水利権の改訂が難しいという理由以上に改訂できない理由がある。同地域では、水路灌漑によるウォーターロギングや塩害が起きやすく、灌漑の推進とともに地下水位の上昇を防ぐことは最重要の課題となっている。当地の灌漑が、ノンベレニアル形式とされているのもその観点からの強い制約による。したがって、その視点にたてば別途に地下水低下を保障するなどの対策を講じないかぎり、ベレニアル灌漑への完全な移行は難しいと考えられる。その対策としては、緻密な排水路網の整備、あるいは機械排水システムの完備が伴うが、対象面積の大きさから考えて現状では不可能と見てよい。このように、本件対象地域では基本的にノンベレニアルな地表水灌漑が当分の間踏襲されるべき自然環境にあり、本件改修計画における灌漑整備構想もこれに準じたものとする。

水路管理面からみれば、長大なシステムを供給主導型で運用する限界は幾つかの利水上の不便として現れている。例えば、幹線水路システムの始点から末端までの到達時間は2～3日に及び、需要側と供給側との不整合が生じた場合のバッファ施設もないため、場合によっては緊急措置として農地側へ水路内過剰水排出を行って水路システムへの被害を回避するなどが一般化している。また、このような水路システム保持のため、あるいは灌漑ローテーションの硬直性のために、取水当番の農民は不要であっても規程通りの無駄な取水を行っている。水管理面からいえば、簡略定比分水であることや、特にDGカーン幹線水路では適正な配置でチェックゲートシステムがないこともあって、末端へいくほど水が不足ぎみとなる。各灌漑地区の上流側では湛水するほどの状況でありながら、下流側では水

不足を訴えているという状況がみられる。これらはそれぞれ改良すべき余地はあるが、維持管理上の工夫で対処できるものが多く、全体的にみれば全面的かつ緊急な改修は必要ではないと判断できる。

5.2. 調査対象地域の将来の利水動向

仮に、タウンサ堰の現況水利用量が全く不十分で、水利権改訂調整の必要性・可能性が認められるならば、タウンサ堰システム改修にあわせて水利量を実状にあわせて増大させることも重要な課題となる。現況のタウンサ堰水利権量は、以下の通りである。

表 5.2.1 タウンサ堰水利権量

水路	灌漑面積 (ha)	カリフ期 (百万 cu.m)	ラビ期 (百万 cu.m)	通年 (百万 cu.m)
D Gカーン	385,000	2,586.7	926.0	3,512.7
ムザファルガー	314,000	2,581.7	924.2	3,505.9
小計	5,168.4	1,850.2	7,018.6	
TPリンク	597,000	4,193.9	1,874.9	6,068.8

これらを灌漑水深になおせば、1,004 mmに相当し、全国灌漑地区平均の約810 mmに比しても決して低い数値とはいえない。灌漑受益地域内では、局所的には灌漑水不足がみられることもあるが、その一方でウォーターロギングの発生を見るなど不均一な水配分が起こることがあり、これらは水管理面の課題と考えられる。今後節水灌漑の導入も考えられるとすれば、現行水利量に問題はないと考えられる。また、灌漑用水供給以外の他目的利水については、無視はできないものの今後飛躍的に増大する計画はなく、計画水利量改訂の要望は認められない。このようなことから、タウンサ堰の将来計画水利量（改修対象水利量）は、現行計画量と同一とする。

5.3. タウンサ堰改修目標

タウンサ堰灌漑システムを構造的に分解すれば、インダス川流下環境、タウンサ堰システム、水路システム（送水システム）、水路管理システム、灌漑農民組織、灌漑施設システム（配水・灌漑システム）、水管理システム、営農環境のように大別できる。これらは、単独に存在しているのではなく、それぞれの構成システムが有機的に機能して初めてタウンサ堰灌漑システムとしての効果が生まれる。また、それぞれはバランスして関連づいており、突出して高整備水準にあるものはその機能が活かされず、突出して低整備水準にあるものは逆に全体システムの機能をそのレベルに制限してしまう。全

体のバランスをみて、限られた部分システムだけを高水準に整備するのは無駄であるし、特に水準の低いものは他のシステム群の整備水準にまで緊急に整備し、機能回復を図らなければならない。

このような観点からみると、それぞれの部分システムは何かしらの問題点を抱えているが、概ね一次開発レベルの機能は保持していると判断される。ただし、図 5.3.1 および表 5.3.1 に示すように、堰システムだけは現状維持が難しく、現況復旧と基本レベルの改善を含む改修が必要と思われる。本件計画は、この意味における堰改修計画と位置づける。本件改修計画によって、タウンサ堰灌漑システム全体の基本レベルの保全が成された以降は、さらに全体のレベルアップをはかる段階的な整備計画もありうるが、それは本件以降の別途事業と考えられる。

(Condition)	Indus River System	Taunsa Barrage System	Canal System	Canal Management System	Irigators Association	Water Distribution System	Irigation Management System	Agriculture System	
Superior	Complete controlled river	Full automatic remote controlled system	Full remote controlled system	Complete demand irrigation system	Completely trained and organized association		Full-time completed irrigation management system	Developed perennial cultivation with full agricultural supports	Future Development Stage
Fair	Well controlled river	Half automatic system		Complete supply based irrigation system					
Normal		Well manually controlled system	Well manually controlled system		Well organized association	Well responsive system	Well rotational irrigation management	Non-perennial cultivation with certain agricultural supports	Target Stage of the Rehabilitation Project
Poor	Meandered, inundated river	Manually controlled with problems		Unresponsive system for incidents	Poor organized irrigators	Poor responsive and partly unfunctional system	Partly hampered rotational irrigation management		
Damaged		Partly unfunctional system						Hampered cultivation without any agricultural supports	
Collapsed		Unfunctional system	Unfunctional system	No management	Not organized	Unfunctional system	No irrigation management		

Present Situation

図 5.3.1 タウンサ堰灌漑システム改修計画基本方針概念図

表 5.3.1 タウンサ堰灌漑システム診断表

Indus River System	Taunsa Barrage System	Canal System	Canal Management System	Irrigators Association	Water Distribution System	Irrigation Management System	Agriculture System
河川水量は潤沢か	堰システムが存在するか	近代的な水路システムを形成しているか	水路維持管理組織は存在するか	水利者組合が存在するか	各農家まで分水口が設備されているか	伝統的な灌漑実績はあるか	農民の営農経験は十分か
○	○	○	○	○	○	○	○
古来からの河川管理の伝統があるか	堰管理組織はあるか	水源の供給信頼性は高いか	水路維持管理組織は十分機能しているか	水利者の利水重要度に関する意識は高いか	分水口の管理は農民自身で行われているか	農民全体に灌漑意欲はあるか	農民の営農意欲は高いか
○	○	○	○	○	○	○	○
河川管理に重要性は関係者に十分認識されているか	堰施設の耐久性は十分か	受益末端に至るまでの一環したシステムを構成しているか	利水運営は水源の利水可能性と十分調整されているか	水利者間の組織的活動がとられているか	分水口の管理は組織的に行われているか	農地条件は灌漑に適しているか	灌漑システムは完備しているか
○	×	○	○	○	○	○	○
河川堤防等の建設は進んでいるか	現水準でも、設計上の不備はないか	水路維持管理組織はあるか	基本スケジュールにしたがって計画的に運用されているか	水利費の徴収システムはあるか	ローテーション利水が行われているか	On-Farm整備は進んでいるか	農産物市場の問題はないか
○	×	○	○	○	○	○	○
河川管理組織はあるか	ゲート機械部分には損傷がみられないか	水利者組織との利水上の連係はとれているか	農民意向が反映しているシステムか	灌漑当局との連携活動はとられているか	ローテーション利水上の水管理が十分行き届いているか	灌漑水路システムは存在するか	農業労働力に不足はないか
○	×	○	○	○	○	○	○
洪水監視システムはあるか	ゲート機械部分損傷はケアされているか	水路の維持管理は組織的に行われているか	農民の水需要変化に対応できるシステムか	利水調整は行われているか	他目的利水の融通性を有するか	カリフ期の作物栽培は可能か	農業普及システムはあるか
○	×	○	○	○	○	○	○
河道、河床変動が十分管理できているか	水利構造物に損傷はみられないか	水路そのものの損傷が放置されていないか	水需要変化に十分対応できているか	営農栽培計画と対応した利水行為がとられているか	ウォーターロギングは発生していないか	水需要要請の受け入れシステムはあるか	一般農民が利用可能な農業信用制度はあるか
×	×	○	×	○	×	○	○
ヒルトレント等、支流のコントロールは十分できているか	水利構造物部分損傷はケアされているか	レジーム水路の思想が実現されているか	水供給対処が速やかに末端分水口まで行き渡るか	水利費の徴収率は十分か	塩害は発生していないか	水需要の要求は満足されているか	農業普及活動は十分か
×	×	×	×	×	×	×	×
堤防等の配置は最適か	堆砂問題等が顕著に現れないか	水路関連構造物の配置は問題ないか	利水農民の不満は解消されているか	農家規模によらず公平な利水が達成されているか	ウォーターロギング、塩害に対する対処は十分か	自由な需要主導システムか	農家規模の分布は適性か
×	×	×	×	×	×	×	×
管理システムの組織、予算は十分か	堰管理システムは十分機能しているか	水路関連構造物の機能に問題ないか	乾期における水源賦存量の問題はないか	灌漑知識、灌漑実施規範は徹底されているか	支線、副支線水路分水口の構造、機能に問題はないか	公平な水配分が達成されているか	農家経済は十分安定しているか
×	×	×	×	×	×	×	×
6	2	7	6	7	6	7	7

タウンサ堰が直面している諸問題点は明確になるにつれて、それらの問題間で図 5.1.2 に示すように互いに関連があることも明らかになってきた。タウンサ堰システム改修計画は、それらの関連性の理解に基づいて策定していくものとする。タウンサ堰の維持管理においては、方法の硬直性、使用機材の老朽化、最新技術の導入機会の不足等いくつかの問題はあるが、多数の関係者が忠実に職務を遂行しているのが確認できた。ゲートの管理方法も、経験的に培われた広大なインダス川の河川特質に則したもので大いに尊重すべきものがある。また、流量観測、土砂観測、堆砂面観測等、それぞれ方法は単純ではあるが、継続して得られているデータは非常に貴重なものである。これらは、もともと今後の管理に反映させるよう観測されているものであり、現在のようにほとんど活用されずに、ストックされて埋もれている状況は大いに改善の余地がある。簡単なデータ処理、保存システムの整備・活用が強く望まれており、モニタリングシステム整備の観点から、本件改修計画の整備内容に含めるものとする。

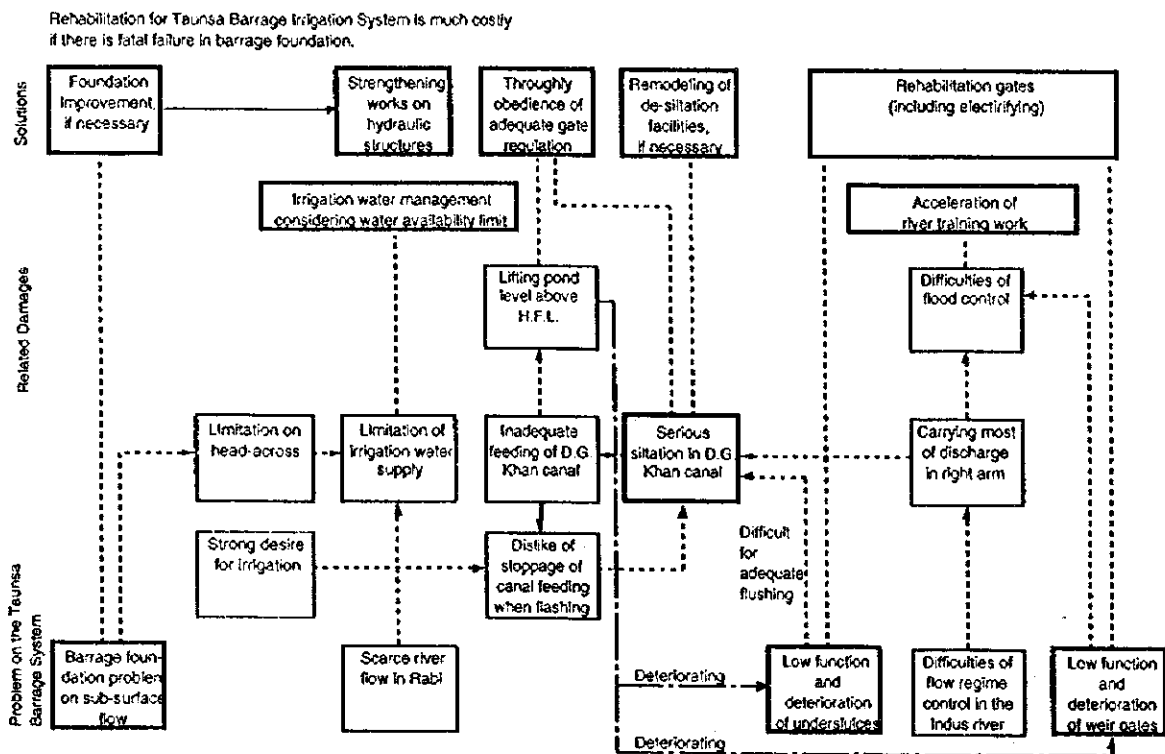


図 5.3.2 タウンサ堰灌漑システムの問題点とその対策方針に関する関係概要図

5.4. 最適改修工事規模の比較検討

改修計画を策定するうえで、いくつかの計画基本条件を予め設定されなければならない。それらは様々な選択の中から最も有利な条件として選定する必要があることから、可能な選択肢の比較検討をへて決定することとする。

(1) 最適工事規模の決定

タウンサ堰灌漑システムの現状評価とその対処方針にしたがえば、ゲート施設工事、水利施設土木工事などそれぞれの項目ごとに具体的な改修工種候補が想定できる。それらの対象工種は、その改修目的によって、「改良」と「修理」の性格に分類できることがわかる。「修理」工種とは、単純な部材老化などにより発現してきた故障、障害を単純に解消するもので、基本的には部品・部材の交換、更新に相当し、その改修内容・方法にはほとんど選択の余地がない。一方、「改良」工種は、障害の原因、今後の発生状況にも不明確・不確定な要因が介在していたり、場合によっては現行設計そのものに問題があるなど、その改修内容・方法にもいくつかの選択肢が考えられるものである。

本件改修計画における「修理」工種は、ゲートシール金物の脱落、カウンターウエイトの重量不足、スキンコンクリートやコンクリートブロックの水利構造物補修などにあたる。また、「改良」工種は、扉体、ゲート開閉装置の補修、ゲート支承部の改修工事などで、改修方法はいうまでもなく、その改修目標に対応した改修規模には、幾つかの比較案が考えられる。これらについては、本来の事業目標にも則った最適な選択が要求される。

たとえば扉体の改善においては、現状の障害度からみて土砂吐ゲート全門の取り替えは必要と判断される。しかし、洪水ゲート、取水口ゲートについては、目標とする品質信頼度によって取り替え・改良対象門数は異なってくる。整備水準を上げれば初期投資コストは増加する反面、品質信頼度は向上し操作コスト、維持管理コストは低減する。これらの改修整備目標・整備規模の決定は、最適化の観点から決定されなければならない。これらについては、各改修コンポーネント別に考えられる代替案について目標整備水準毎に構成して、最も有利な改修整備水準を決定した。それぞれの比較案、結果は、下表の通りである。

比較案Ⅰ 本川ゲートは全てローラーゲートに変更、それに伴う支承部、開閉機構等の構造改変。ゲート操作は全て電動化。水利構造物改修は必要部分の修理。ピアーは、ゲートタイプ変更に伴う改造など。

比較案Ⅱ 本川ゲートは全て現行ストーンゲートで更新、支承部、開閉機構等の更新。ゲート操作は全て電動化。水利構造物改修は必要部分の修理など。

比較案Ⅲ 本川ゲートは、土砂吐ゲートのみ更新、洪水ゲートは修理。支承部、開閉機構等の更新。ゲート操作は全て電動化。水利構造物改修は必要部分の修理など。

比較案Ⅳ 本川ゲートは全て現ゲートを修理利用。支承部、開閉機構等の構造改変。ゲート操作は手動。水利構造物改修は必要部分の修理など。

表 5.4.1 改修計画の比較案

項目	状態	比較案Ⅰ	比較案Ⅱ	比較案Ⅲ	比較案Ⅳ
ゲート施設					
扉体：土砂吐ゲート	<ul style="list-style-type: none"> 土砂吐ゲートは、操作・管理の困難な二枚扉であり、開閉が困難なほど損傷 土砂吐ゲートの扉体端部の損傷、下段扉トラスの腐食が顕著 	一枚扉、ローラーゲートにリモデル、全て取り替え	一枚扉にリモデル（ストーニーゲートタイプ踏襲）、全て取り替え	一枚扉にリモデル（ストーニーゲートタイプ踏襲）、全て取り替え	現二枚扉ゲートを継続利用、使用に耐えない Bay 2, 6, 64 のみ取替、その他下段扉は底部リップ部は切断して部分更新
扉体：洪水吐ゲート	一部の洪水吐ゲート扉体トラスに変形	ローラーゲートにリモデル、全て取り替え	全て取り替え（ストーニーゲートタイプ踏襲）	現ゲートを継続利用、底部リップ部は切断して部分更新	現ゲートを継続利用、底部リップ部は切断して部分更新
扉体：取水口ゲート	T P リンク取水口ゲート扉体に顕著な劣化	現行タイプを踏襲して新規更新	現行タイプを踏襲して新規更新	現行タイプを踏襲して新規更新	現行タイプを踏襲して新規更新
ゲート支承部	<ul style="list-style-type: none"> 全ゲートにてトラックプレートが激しく増耗 全ゲートにてローラトレインの変形、戸溝との接触、ローラの脱落 全ゲートにてロッカーアセンブリの低剛性による激しい増耗、変形 多くのゲートにてローラーガードが破損・脱落 	全面更新	全面更新	全面更新	全面更新
ゲート水密部	<ul style="list-style-type: none"> ゲート水密部シール金物の脱落 扉体底部の腐食凹凸による水密性低下 	-	-	ゲート底部に平型水密ゴムを設置	ゲート底部に平型水密ゴムを設置
開閉装置	<ul style="list-style-type: none"> ドラム、軸受けに顕著な緩みやクラックが発生 中間ギヤフレームでの腐食進行 不適切な装置構造が維持管理に支障 手動開閉による不便、開閉の遅れ 	全面取り替え（ローラーゲート対応）	全面取り替え（ローラーゲート対応）	異常、損傷部のみ調整、補修	異常、損傷部のみ調整、補修
ホイストデッキ	木製デッキの老朽化により、載荷能力、安全性の低下	グレーチングに更新	グレーチングに更新	グレーチングに更新	グレーチングに更新
スーパーストラクチャー		ゲートタイプ変更とともに補強、改修*			
点検通路	不便な構造により、維持管理が不可能	スーパーストラクチャー改修とともに改良	中間ギヤ一部に通路設置	中間ギヤ一部に通路設置	中間ギヤ一部に通路設置
ゲート電動化設備	劣悪な操作性、低い操作確実性、即応性	全門電動化、遠隔操作	全門電動化、機械操作	全門電動化、機械操作	全門手動操作

項目	状態	比較案Ⅰ	比較案Ⅱ	比較案Ⅲ	比較案Ⅳ
水利構造物					
堰グレース	-下流グレース部スキンコンクリート,同配合鉄筋の激しい磨耗 -シルピームに激しいピッチング	スキンコンクリートの全面補修	スキンコンクリートの全面補修	スキンコンクリートの全面補修	スキンコンクリートの全面補修
下流フローアー	-スキンコンクリートの部分的剥離 -スキンコンクリートとマスコンクリートの脱接合,中間流発生 -コンクリート継ぎ目部からの湧水				
フリクションブロック	-相当数ブロックの転倒,変形 -フローアー接着部の露出,変形鉄筋の露呈	フリクションブロックの全面補修	フリクションブロックの全面補修	フリクションブロックの全面補修	フリクションブロックの全面補修
護床工	-護床工の変形,流去,沈下	水理的状況変化に伴う一部リモデリング	水理的状況変化に伴う一部リモデリング	水理的状況変化に伴う一部リモデリング	水理的状況変化に伴う一部リモデリング
ピア-		ゲートタイプ変更にもなって改修**			
堰体基礎	-下流部コンクリート継ぎ目部からの湧水 -堰上下水位差に制限を設ける必要を生じるほどの地下浸透流懸念	グラクト施工	グラクト施工	グラクト施工	グラクト施工
堰アバット	-左岸アバットの地下浸透流による顕著な沈下	補強工事	補強工事	補強工事	補強工事
間隙水圧計設置	-ほとんど水圧パイプが機能停止	追加設置工事	追加設置工事	追加設置工事	追加設置工事
その他の施設					
安全施設 維持管理施設 モニタリング施設 その他付帯施設	-機材等の整備の遅れによる機能低下	機材整備	機材整備	機材整備	機材整備
水路施設					
水路	-DGカーン水路の激しい堆砂 -水路横断構造物直下の激しい護岸侵食	妥当水路巾に限定した浚渫	妥当水路巾に限定した浚渫	妥当水路巾に限定した浚渫	妥当水路巾に限定した浚渫
水路構造物	-幾つかの主要水路構造物における堰体,ゲートの劣化 -エスケープ施設の劣化,配置不足によりエスケープ機能の不備	エスケープゲートの改修工事	エスケープゲートの改修工事	エスケープゲートの改修工事	エスケープゲートの改修工事
経済性					
耐用年数		60年	60年	50年	30年
総直接工事費	現場施工期間を6.5年とした (百万円)	2,773.86	2,505.49	1,963.98	1,805.08
扉体取替		812.23	732.84	438.00	375.75
開閉装置		496.09	327.22	80.54	80.54
デッキ等		256.33	246.33	246.33	149.69
予備ゲート		268.26	268.26	268.26	268.26
水利構造物		464.94	454.82	454.82	454.22
その他		476.02	476.02	476.02	476.02
維持管理費	(百万円)	25.42	26.81	28.81	36.50
更新費 10年	(百万円)	22.18	22.18	22.18	11.30
純現在価値 12%	(百万円)	26,320	26,450	26,680	25,880

項目	状態	比較案Ⅰ	比較案Ⅱ	比較案Ⅲ	比較案Ⅳ
同定		不適 ピアーなどの改修を伴い、技術的に施工が困難* 初期投資額が大	不適 初期投資額が大	最適	適 ただし、30年後に追加改修工事を要し、純現在価値が小さい

* ローラーゲートへの変更に関するピアーの形状変更は、ゲート溝部幅幅にともなうピアー厚の大縮減などで、施工の難しさとともに構造的に許容されず、その技術的な対処が難しいという意味である。

上表の検討によって、比較案Ⅲが最も経済効率がよく、最適改修規模と策定される。

(2) 年間施工期間の決定

インダス川タウンサ堰地点の平均流況値によれば、低水量（250,000 cusec）を上回らない日数は年間313日と推定される。基本的にはこの低水期内であれば施工は可能であるが、水文事象の不確定性や経済的な仮設規模にも配慮しなければならない。

ゲート関連工事については、扉体の取り替えなど水際の工事は、施工の安全性に配慮して施工期間を決めなければならない。また、その他のゲート関連工事は、洪水発生等によるゲート操作繁忙期を避けることが重要となる。このような観点から、ゲート関連工事施工期間は200,000 cusecを上限とし（非超過日数：296日）、安全側に配慮して9カ月（9月から5月）を施工対象日数とする。

水利構造物関連工事は、仮締め切り工が必要で対象流量によって、その仮設規模も大きく変化する。現実的には、100,000 cusec以上の流量時には施工は難しく、この流量を上限とする。100,000 cusecにおける非超過日数は、227日であり、安全側に配慮して7カ月（10月から4月）を施工対象日数とする。

(3) 最適工期および予備ゲート門数の決定

前項で決定された年間施工期間に基づいて、所定の工事量を何カ年の工期で完了予定とするかは、投入資源の規模を大きく左右し、事業の経済評価にも大きな影響を及ぼす。また、本件改修計画の基本をなす扉体およびゲート支承部の改修作業には予備ゲートを活用することから、その運用台数は、工期全体を大きく左右する要因でもある。

本件改修計画の基本をなす扉体およびゲート支承部の改修工事、水利構造物の改修工事の実施工期（扉体製作期間を除く）については、以下のオプションが考えられる。

表 5.4.2 工事計画の代替案

Case	A	B	C	D	E	F	G	H	I
予備ゲート門数	4	4	4	6	6	6	8	8	8
年間あたり土木工事施工実施門数	12	11	10	17	13	11	17	13	11
全ゲート工事所要期間 (年)	5.7	5.7	5.7	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5
全土木工事所要期間 (年)	5.5	6.0	6.5	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0
総合所要工期 (年)	7.0	7.5	8.0	5.5	6.5	7.5	5.5	6.5	7.5

これらの各ケースについて、Case Eの工事費を100%、便益を100%として経済評価した結果は、下表のとおりである。

表 5.4.3 工事計画の代替案の検討結果

Case	総合所要工期	事業費比	便益比	IRR比	備 考
A	7.0年	1.011	0.991	0.980	
B	7.5年	1.011	0.983	0.972	
C	8.0年	1.019	0.976	0.957	
D	5.5年	-	1.018	-	土木工事ピーク時に1,500人を要し、物理的に不可能
E	6.5年	1.000	1.000	1.000	
F	7.5年	1.007	0.983	0.976	
G	5.5年	-	1.018	-	土木工事ピーク時は1,500人を要し、物理的に不可能
H	6.5年	1.015	1.000	0.985	
I	7.5年	1.020	0.983	0.963	

事業費比は、ゲート工事、土木工事の直接工事費で比較
 便益比は、プロジェクトライフ間のNPVで比較

これらの検討より、Case Eすなわち、全体実工期6.5年、予備ゲート6門案が最有利であることが明らかになった。

(4) 電動化の可否およびその基本構想

ゲート操作・管理において、現行の手動開閉が安全面、機能面で大きな制約になっていることは明らかである。ゲート開閉の電動化が達成されれば、操作機能性、至便性が向上するのはいうまでもない。しかし、コストの高騰、高度化・複雑化する維持管理への対応、給電システムの信頼性など様々な制約もあり、電動化の形態の選定、非常時の対応など慎重に検討されなければならない。

最も大きな要因は、停電が頻発するなど給電信頼性が低いことが挙げられる。現地においては、停電の発生頻度は高く、現状では、緊急で確実な電動ゲート操作には不安が残る。また、電気料金が維持管理上で及ぼす負担は増加し、電動化機構が故障した際の対応体制の整備も不可欠である。可搬式ゲート開閉機は、調査期間内に試験的に活用して大いに機動性が高いことが確かめられているが、少

数台で運用する場合は移動・開閉始動準備に時間がかかることも明らかになった。現在のゲート運用規定では、隣接するゲート間で2 m以上の開閉差をつけられないため、頻繁な移動・準備が必要で所要時間の多くがこの作業に費やされ、多門数の操作については全体的に見てあまり操作性の向上につながらない。

現在のゲート操作頻度を見ると、洪水ゲート1門あたり0.23回/日、土砂吐ゲート1門あたり0.09回/日、取水ゲート1門あたり0.22回/日となっており、全門でみれば毎日確実に何門かの開閉操作が行われていることになる。洪水ゲートと取水ゲートの操作頻度がとりわけ高いように見えるが、土砂吐ゲートは開閉の困難さから必要に対応できていない結果とみられ、開閉必要頻度は同様に高いものと考えてよい。この中で、取水ゲートについては、小型・軽量で操作が容易であることから現行の手動システムで十分であり、電動化の必要性は低いと判断される。洪水ゲート、土砂吐ゲートについては、電動化の必要性が高く、停電対策としての予備手動装置を付設した単純構造の電動化を提案する。

(5) プロジェクトライフの選定

本件改修計画のプロジェクトライフは、50年とする。通常のゲート施設の計画耐用年数は、20～30年が一般的であり、本件のような改修計画では当初建設部分の多くが存続するため、通常の新規灌漑事業より限定したプロジェクトライフを設定したほうが安全という見方もある。しかし、パンジャブ州の主要灌漑取水堰をみると、50年以上を経過した後も供用を続けているものが少なくない。

表 5.4.4 パンジャブ州の主要灌漑施設の供用年数

堰名	河川	建設完了年	経過年数
Rasul	Jhelum	1901	97
Marala	Chenab	1912	86
Kanki	Chenab	1892	106
Trimmu	Chenab	1939	59
Balloki	Ravi	1913	85
Suleimanke	Sutlej	1927	71
Islam	Sutlej	1928	70
Panjnad	Panjnad	1929	69
Indus	Jinnah	1947	51
Chashma	Indus	1971	27
Taunsa	Indus	1958	40

このことから、適切な維持管理を続けていけば100年近い供用寿命は確保でき、灌漑実施面からみればより長いプロジェクトライフを保障する事業計画が望まれることになる。これらのことに配慮し

て、本件改修計画は50年のプロジェクトライフを目標とする。

6. 改修計画

6.1. タウンサ堰の改修計画

6.1.1. ゲート改修計画

現状のタウンサ堰ゲートにかかわる問題点と、最適改修計画に関する検討結果を受けて、タウンサ堰ゲート改修計画は以下のように策定する。

(1) 支承部の改修

- 通常の維持管理作業では取替えが困難なトラックプレートとロッカーアッセンブリは高強度ステンレス鋼材に変更。
- ゲートローラーは、通常の維持管理作業で取替えが容易なことから、トラックプレートとロッカーアッセンブリの磨耗を軽減するために普通鋼材に変更。
- 磨耗したトラックプレート面は、鉛直切削機械を使用して当初のローラー踏み面より下部は15 mm、上部5 mmを切削し、鉛直面にトラックプレートをステンレス製皿ボルトにて取付け。
- 端桁と一体のロッカーアッセンブリは多点支承の構造を変更し、端桁ごと取替えT型断面連続支承のトラックプレートを端桁に取付け。
- 扉体端部の主桁と端桁を接合しているアングルは切断、既設端部を撤去の後、新たなアングルを打込み、高力ボルトにて主桁に取付け。
- 既設ローラーガードの多くは、ローラーガードとローラートレイン間への異物の噛込みなどによって脱落しているが、ローラーガードをより強固に取付けることは、堰柱の大幅な改造が必要で実施困難と判断される。したがって、ローラーガードは適切な対応策を講じて撤去するものとする。対応策としては、ローラートレインのフレームに鈎を設けローラートレイン単体で揚降時にガイドできる構造とすること、破損しているローラートレイン用ワイヤロープの取り替えを講じる。

(2) 土砂吐ゲート下段扉の改修

下段扉端桁ウェブに亀裂が進行している土砂吐ゲートは至急改修する必要がある。下段扉端桁ウェブに亀裂が発生する直接原因は、ロッカーアッセンブリ改造時の施工不良にある。もともと、ロッカーアッセンブリの改造要請は、放流に伴う異物混入によるロッカーアッセンブリ回転不良であり、特異な2重式ストーンゲートの形式自体が原因と判断される。本件改修計画では、根本的な原因解消を目標として、一枚扉に改修する。

改修一枚扉の扉体はガーダ構造とする。輸送および吊込みには、同ゲートを9分割して最大重量を約8tonとし、現地継手は溶接構造とする。一枚扉への改修に伴って、上段扉用の開閉装置は不要となるが、その駆動部のみを撤去し、中間ギヤ、カウンターシャフト、ドラム、カウンターバランスは改修後も扉体と連結し、開閉荷重の低減に益するものとする。扉体の吊上げ部は、既設下段扉に合わせるとともに、既設ワイヤロープは流用し、扉体とロープソケット間は既設と同様に金物にて連結する構造とする。上段扉用のカウンタバランスの重量は、取替え後の一枚扉重量に合わせて調整するものとする。

(3) 水密部の補修

ゲート側部水密部は、支承部の改修に伴って取替えられる端桁を利用して、L形水密ゴムを取付け止水する。側部の戸当り側水密面は、グラインダにて平滑に仕上げ凹凸部を除去するほか、底部水密部で腐食が進行している扉体底部リップは、切断、撤去し、ステンレス製のリップ金物を底部桁に溶接し、平形水密ゴムを取付け止水する。底部戸当りのシルビームは、コンクリート掘削、撤去後、表面にステンレス板を張ったI形鋼と取替える。底部I形鋼はコンクリート掘削面にケミカルアンカーを設置後、固定する。底部コンクリート掘削部は、同工事終了後、二次コンクリートにて埋め戻す。

(4) 開閉装置の改修

開閉装置の主要部品本体は致命的な損傷はなく、多くは移動、緩み、歯当たり不良を生じている状態で、調整、補修により原形復旧可能である。したがって、開閉装置の改修方法としては、以下の調整、補修を行うものとする。

- 径間方向に移動しているドラムは固定用ボルトを交換、当初位置に固定する。
- 噛みや歯当たり不良の歯車は、歯面修復後、歯当たり、噛みを調整する。
- 破損している軸受は交換し、緩みを生じている取付けボルトは増し締めを行う。
- 腐食が進行している中間ギヤ部フレームは切断撤去後、新たにフレームを設置する。
- ドラム部、中間ギヤ部は清掃、給油を行い、発錆を除去する。
- ワイヤロープのドラム巻取り位置を調整し、全開～全閉間を揚降可能とし、同時に扉体左右の開度差を調整する。

(5) 開閉装置の操作性向上

開閉装置の操作性を向上させるためには電動化や可搬式エンジン駆動装置を利用することが考えられる。可搬式エンジン駆動装置はフェーズ2の現地調査時に2台を現地に保管しており、ここでは電動化方法について検討する。開閉装置の電動化による改修内容は以下となる。

- 本川ゲート開閉装置の駆動部はデッキ天より上方は撤去し、電動機、ヘリカル減速機、

軸受、スプロケットより構成された電動駆動部と交換する。

- ヘリカル減速機は手動ハンドルや可搬式エンジン駆動装置を接続可能とする。
- 電動駆動部にはダイヤル式開度指示計を設置する。
- デッキ下の中間ギヤ部とは新たなチェーンにより連結する。
- デッキ下の開閉機構は現状通りとする。
- カウンターバランスには鋼材を添加し、扉体自重とのバランスを図る。
- 電動操作時の同時運転は10門以内とする。
- 電動化に伴う操作方式は機側押釦操作とする。

(6) 上部デッキの取替え

スーパーストラクチャー上部の老朽化している木製デッキは取替えが必要であり、取水口ゲートも含めたタウンサ堰全体を対象としてグレーチング（亜鉛メッキ）と取替えるものとする。

(7) 維持管理用点検通路の設置

タウンサ堰を今後共長期に渡り運用していくためには、維持管理用点検通路の設置は不可欠であり、以下の設備を設置する。

- スーパーストラクチャーのデッキ下のドラム部、中間ギヤ部には径間方向に幅約500mmの通路を設置し、維持管理作業を可能とする。
- 通路には上部デッキと同様に、グレーチング（亜鉛メッキ）を使用し、上部デッキより梯子にて、通路に揚降可能とする。
- 全閉時の扉体の維持管理用として、戸溝下流側の堰柱に梯子を設置し、河床迄揚降可能とする。

(8) スーパーストラクチャーの再塗装

建設以来再塗装されていないにもかかわらず、スーパーストラクチャーは、ほとんど健全であり、錆により塗膜が浮いている箇所のみ、タッチアップ塗装（下地処理後、錆止め塗装1回＋上塗り1回）を行い、全面には化粧塗り（上塗り1回）を行うものとする。

(9) メンテナンスゲートの設置

本川ゲート扉体の十分な維持管理や緊急的な補修工事を行うには、メンテナンスゲート（予備ゲート）を利用する。メンテナンスゲートの形式には角落し式、フローティングバルクヘッド式が考えられるが、タウンサ堰の場合、ゲート下流側には鉄道、高圧線が河川を横断しているおり角落し式では扉体の重機による吊込みが困難なため、上流側の貯水を利用したフローティングバルクヘッドを採用する。

メンテナンスゲートは、本件改修事業完了後、パキスタン国内の他の堰での改修工事や扉体の維持管理作業に活用することも念頭におく。パキスタン国内の本川ゲートはほとんどの堰で径間60ftで設置されているため寸法上の問題はなく、主に輸送容易性に配慮する。このため、メンテナンスゲートは上下2分割、径間方向3分割計6分割とし、1ブロックの最大重量は30tonで陸上輸送可能とする。

(10) メンテナンスゲート用格納設備の設置

メンテナンスゲートは常時陸上に保管するものとして、タウンサ堰左岸上流に幅115m、上下流方向70mの範囲に4門のメンテナンスゲートが格納可能なストックヤードを設置する。同ストックヤードには、ロープウィンチ、軌条、台車で構成されたインクライン設備、常時メンテナンスゲートを保管する休止台、メンテナンスゲート牽引用のタグボートなどを備えるものとする。

また、ストックヤードには、メンテナンスゲートの設置作業に必要な船やコンプレッサー設備、接続配管、繫留機器等の船積み作業に使用するトラッククレーンやトラックの停車スペース、クレーン台船や運搬台船の繫留保管スペースを確保する。さらに、同ストックヤードの全周はフェンス等で囲い、また、岸壁には防舷材や繫留設備を設置する。

本件改修工事には6台の予備ゲートを利用するが、工事完了後は基本的には2台をタウンサ堰係留地に据え置き維持管理に活用するほか、4台は必要な他堰に移動して改修工事、維持管理作業に活用する。この汎用予備ゲートは、待機時は最寄りのワークショップに保留・管理されるものとする。

(11) TPリンク取水口ゲート扉体の改修

余寿命が9年のTPリンク取水口ゲートの扉体は、本事業実施中に寿命を迎えることが予測されるので、以下の改修を行うものとする。

- 取り替え扉体は既設と同様ガーダ構造のローラーゲートとする。
- 上部および側部水密部はP形ゴム、底部水密部には平形ゴムを使用し、止水を図る。
- カウンターバランスは改修後も、扉体と連結し、開閉荷重を低減するものとする。
- カウンターバランス重量は改修後の扉体に合わせ増減するものとする。
- 扉体の吊上げ部は既設扉体に合わせ、ワイヤーロープは既設を使用するものとする。
- 開閉装置は既設を使用する。

6.1.2. 水利施設改修計画

現状の問題点でも指摘されているように、タウンサ堰下流部では顕著な河床低下による河川流の高速化、スキンコンクリート下の中間流による揚圧力などによって、フリクションブロック、スキンコンクリートに激しい損傷がみられる。これらの河床低下ひとつをとっても現行計画策定時の予想を超

えたものであることから、本件調査では現行計画のレビューが必要と判断し、現況の水利構造物主要諸元を再検討しその適合性を確認した。それらの結果は下表の通りである。

表 6.1.1 水利施設の現状分析

検討項目	適正值	現状値	判定*
設計洪水量 (100年確率)	823,000 cs	1,000,000 cs	妥当
堰長 (Lacey式)	799.4 m	1,321.3 m	妥当
上流洗堀水深			
洪水吐門	11.0 m 以上	10.97 m	やや過小
土砂吐門	13.0 m 以上	11.58 m	やや過小
下流洗堀水深			
洪水吐門	11.0 m 以上	14.94 m	やや過小
土砂吐門	13.0 m 以上	15.24 m	やや過小
全コンクリート床長			
洪水吐門	66.4 m 以上	69.19 m	妥当
土砂吐門	73.4 m 以上	72.54 m	やや過小
下流コンクリート床長			
洪水吐門	114.37 m	79.00 m	過小
土砂吐門	119.95 m	88.00 m	過小
下流護床ブロック長			
洪水吐門	46.83 m	54.08 m	妥当
土砂吐門	56.83 m	63.76 m	妥当
下流捨て石工 (Loose stone) 長			
洪水吐門	80.60 m	72.11 m	やや過小
土砂吐門	90.00 m	85.01 m	やや過小

* 現状値が、適正值 (要求値) を上回っていれば妥当と判断

これらの結果の中で、特に堰体下流に発生する跳水対処としてのコンクリート床長の不足が指摘できる。このまま放置すれば、大規模洪水の度に下流洗堀はさらに進行することが予想され、適切な対処が求められる。この対策としては、以下の方法が考えられる。

- 1) 堰下流のコンクリート床部を、跳水消散のための適切な減勢池 (Stilling Basin) を形成するよう、形状変更も含む改良
- 2) 下流捨て石工 (Loose stone) 末端部に、河川下流部水深の上昇を目指した副堰を設置
- 3) 堰下流部両岸より、水制堤を張り出し河川下流部水深の上昇を目指す
- 4) 下流コンクリート床端部の矢板工上にオジー縦断形状の堰を設置
- 5) 下流コンクリート床端部の捨て石堰を形成

これらを比較検討した結果、3) 案については、60年代にも実際に検討されたこともあるが、水制先端部の河床侵食と、高い維持管理負担から最適とはいえない。4) 案では、その位置選定は微妙で、

誤れば水理上の大きな不都合が発生する。5) 案は、4) 案と同様の問題の上に頻繁な維持管理対処が要求される。したがって上記の諸案の中では、1) 案及び2) 案がのいずれかが最適と考えられる。

経済性、施工性の面からみれば、1) 案の減勢池の強化が最も有利と判断できる。2) 案については、1) 案に次ぐものとして位置づけられるが、現段階で完全に棄却されるものではなく、次事業ステージにおいて水理モデル実験を踏まえて、1) 案と併用施工する必要性の最終決定がなされるべきである。この場合には、副堤下流部に転化された下流洗堀問題も解決されなければならない。

このような判断から、本件調査における水利施設改修計画としては、現状における損傷部の修理を含めて、以下の工事を考える。

- 1) 下流部堰グレース部スキンコンクリートの再施工
- 2) 下流コンクリート床部スキンコンクリートの再施工
- 3) マスコンクリート基礎地盤グラウティングおよびジョイント排水処理
- 4) フリクションブロックの再生、インタクト力の強化
- 5) 下流部護床ブロックの延長施工
- 6) 下流部護床工の新規施工

現在のタウンサ堰の構造物設計条件では、最大22ftまでの上下水位差が上限と判断されている。22ft以上の水位差が要求されるのは洪水期（ラビ期）であり、この時期には、例え22ft以上の水位差がつく貯水池水位を与えても、水利権の制限からそれに応じた取水が許されず、実質的には現行の22ft上下水位差制限の影響はほとんどない状況である。しかし、本来30ftの設計上下水位差が危険とされる現在の状況は正常とはいえず、本件改修計画では堰安全信頼性確保の観点から、当初の計画上下水位差回復を目標とする。対策としては、護床ブロック下部にジオテキスタイルを布設して河床砂の移動・流失を防止し、パイピング現象を阻止するものとする。ジオテキスタイルの布設長は、本来の30ftの上下水位差を許容するコンクリート床長以上とし（全護床ブロック下に布設）、当初の計画上下水位差時でもパイピングの危険がないよう配慮する。

さらに、現状では堰体揚圧力の観測に重要な水位観測パイプがほとんど機能していない状況である。観測・モニタリングとして必要不可欠な同施設の補修工事も本件改修計画の中で実施する。補修の方法としては、既設の埋設パイプがほとんど活用できないことから、新たに間隙水圧計を埋設する。

6.1.3. その他

タウンサ堰上に併設されている鉄道橋は、顕著な損傷が認められず、改修の必要はない。その管理・運用も、全面的にパキスタン国有鉄道（PNR）が担当しており、本件改修計画と直接の関連はもたな

い。ただし、工事期間中は、工事の便宜上、列車運行に影響を及ぼすこともあり、事前の調整が必要である。

タウンサ堰道路橋は、橋脚、スラブ部分に劣化の進行が認められ、現在の車両規模、交通量では当面の危険はないものの、今後の交通事情の逼迫を想定すれば、改修の必要性が認められる。本件改修計画では、改修コンポーネントには含めないが、本件改修工事期間中の交通事情の変化、構造物劣化の進展を見極めて、別フェーズでの改修を提案する。この場合の計画概要については、第10章で述べる。

6.2. 水路システムの改修計画

6.2.1. DGカーン取水部の水路改修計画

DGカーン水路の設計思想は、レジーム水路の実現にある。しかし、いかにレジーム水路であっても、始点での過大な土砂流入に対しては堆砂を防ぐことができない。現在の顕著な水路堆砂は、このような予想をはるかに超える土砂流入が第一原因であるといつてよい。しかし、水路自体として、本来期待されたレジーム水路の機能は保たれているかどうかは、また一つの疑問である。

タウンサ堰土砂吐機能の低下を度外視してもDGカーン水路のレジーム機能には問題がある。特に、取水直下導流区域(RD 0~40,000)は、設計どおりの形状にはない。まず、将来のダジャール水路拡張計画を考慮して、水路巾のみが最終計画値を取り、暫定的計画流量を設定した結果、全体的に流速が低下し掃流力を落としめている。そのため、タウンサ堰土砂吐機能の低下による過大な土砂流入とあいまって、水路底の堆砂が著しい。

現在、水利権問題も解決してダジャール水路拡張計画が実施され、すぐに計画流量(11,400 cusec)通水が可能となる見通しは今のところない。したがって、当分の間は、現在の暫定流量(8,301 cusec)が続くものと思われる。そのような状態で現在のような最終水路巾が確保されているとすれば、たとえ堆砂が激しくても、単純に水路底を前面浚渫することは推奨できない。堆砂の検討でも明らかなように、現況堆砂水路断面を浚渫して計画水路に断面復旧すれば、水路底摩擦速度は約85%に減少し、土砂輸送能力は半分以下に低下する(0.00484~0.00212)。このため、また速やかに現状に至る可能性が高い。この場合、ライニングの施工は全く検討はずれである。現在求められているのは、所定設計流速の確保であるが、過大な水路巾を有したままでライニングしても、等流にはならず現状の同様の緩い流速が保持されるままである。最も効果的なのは、流下断面を縮小することであり、このためには水路巾を狭めるのがよい。しかし、このためにはダジャール水路拡張計画実施の見通しと関係が深く、安易に工事を進めることができない。

土砂吐門の堆砂検討でも明らかになったように、土砂吐が良好に操作されておれば、掃流砂および河床付近の高濃度浮遊砂はDGカーン水路に流入するのは抑えられ、現在の水路流速でも大きな問題はないと考えられる。水路流入量を可能な限り計画流量上限を保持し、所定の水路流速を確保することが勧められる。過大な堆砂によって水路断面収縮が発生した場合には、暫定計画水路巾(180 ft; 54.86 m)に限り、浚渫することが勧められる。

6.2.2. その他水路システムの改修計画

現状の問題点でも明らかなように、主要水路構造物である水位調整工、取水工、放流工などにかかるの損傷が認められる。しかし、これらの損傷は現況でも使用不能というわけではなく、また、それぞれの規模も小さく通常の維持管理保守で対応すべきものと判断される。

ただし、本来、水路システムの緊急保安施設として重要な放水工の機能停止は、最悪の場合、水路の破堤をまねいて多大な復旧費用を必要とするばかりか、溢水により人家、農地に深刻な被害をもたらすことから、十分な保全が必要である。DGカーン水路RD 88500地点の左岸放流工はほとんど機能しておらず、ムザファルガー水路RD 246,000の右岸放流工も正常な機能に大きな障害があることから、本件改修計画の中で、改修整備を行う。

6.3. 灌漑施設にかかわる改修計画

有り余るほどのインダス川河川水を擁するカリフ期には、常時の設計流量満水取水が可能であるが、ラビ期の渇水時には取水量が限られ、特にDGカーン水路地区では灌漑用水量配分の不均衡が問題となることがある。このため、灌漑電力局DGカーン水路サークルでは、ラビ期には長期間わたる小水量の継続取水よりも、数回に限定した設計流量満水通水を希望する旨、タウンサ堰事務所に申し入れているが、水利権にかかわる問題であり対応策は見つからない。

この状況の中で、灌漑電力局DGカーン水路サークルでは、水路区間毎の利水ローテーション(Canal Warabandi)を設定して利水運用を行って暫定対処している。灌漑用水供給の時期的な遅れが許される場合は問題がないが、たとえば穀物の播種期など、数日を争って全水路灌漑地区への用水供給が必要な場合は大きな問題となる。ムザファルガー水路でも取水上の制約は同じであるが、水位調整工が完備されているため、各農地単位での利水ローテーションの余地があり、問題はDGカーン水路ほど深刻でないといわれている。

これらの問題の対処方法としては、利水調整機能を付与することが基本となろう。タウンサ堰で調整機能を持たせることは、構造的にも、水利権的にも不可能であるため、例えば幹線水路沿いに数カ

所のバッファ機能を有する調整池を建設することが考えられる。しかし、現状の用水供給状況は、全体からみれば、5.3「タウンサ堰改修目標」でいう第一次開発は達成されていると判断でき、一部の時期にみられる利水不都合の解消は、さらに高次元の開発に相当するものと考えることができる。特に水路調整池の計画には、今後解決しなければならない問題も多く、今後の高次開発フェーズにゆだねるとして、本件改修計画では対象としない。

6.4. 利水運営にかかわる改善計画

現在の取水計画は、水利権合意に基づく各水路アポーションメントを参考にインダス川水利委員会と調整しつつ、水文年の始まりに先立ちパンジャブ州灌漑電力局水利調整部で10日間単位の各水路配分基本計画を作成する。さらに各水路事務所では農民の水需要をまとめて、必要に応じてインデント（給水要求）をタウンサ堰事務所に必要な度に提出する。タウンサ堰事務所では、水路配分基本計画をもとに、提出されたインデントの実行可能性を検討して、可能な範囲で取水計画を立てる。

現行において、水路配分基本計画の策定・運用については問題は見られない。しかし、インデントの提出に関して、取水不足に対しては迅速な対応が見られるものの、取水超過についてはルーズな水路事務所もみられ、余水が農地に溢れ湛水することも多々ある。これらは、取水全量が限られていることからみれば、他地区の利水量を制約していることにもなり、利水配分の不均衡を生み出している。タウンサ堰事務所での対応は、問題なく対処されて、ゲート運用に反映されていると考えられる。

これらのことから、特に水路地区全体に係わる包括的な責任・監視機構の必要性が挙げられる。これは、各水路事務所の管理状況を水路全体の視野に立って監視し、タウンサ堰事務所との総合的なインターフェースを果たすものである。本件調査では、利水運営にかかわる改修計画としては、何等のハード的な整備提案の必要性は認められないが、このような水路システム全体の包括的責任・監視機構（あるいは、責任者の配置）が提案される。

6.5. 維持管理組織・運営にかかわる改善計画

(1) 維持管理組織

維持管理面の問題点を集約すれば、以下の通りである。

- － 不適切な人員配置（全体要員数、作業量と要員配置の不一致）
- － メカニック要員の不足
- － 作業能率の低迷

- 技能訓練の遅れ
- 管理業務における機械化の遅れ
- 維持管理予算の不足

現在のタウンサ堰管理事務所は、総勢 151 名にのぼり、堰の維持管理にかかわる直接的な作業から、事務所運営、ゲストハウスの維持管理にかかわる間接的な作業にいたるまで、包括的に担当している。本件改修計画では、ゲート施設の改善、電動化によってゲート操作要員は 3 分の 1 以下に減少できる。また、現在の事務所運営システムでは、もはや必要性の低い要員配置もある反面、ゲート管理に重要なメカニクに関する知識と経験を有する要員配置が新たに必要であるなど、人員構成の見直しが望まれる。

また適切な技能訓練が不足しているため操作・運用が十分でないものも見られ、タウンサ堰のみにかかわらず、州全体の多くの堰事務所を対象とした定期的な技能訓練コースの設置が望まれる。また、維持管理用の機具・機器材、観測・モニタリングのための機材、観測データ・管理記録の分析・保存のためのパーソナルコンピューター等の配備が著しく遅れており、早急な導入とその活用訓練が強く望まれる。

さらに、維持管理予算は必ずしも十分とはいえない。タウンサ堰灌漑システムの重要性と、事業効果の高さからみれば、より十分な維持管理予算配分が妥当と考えられる。しかし、今後の維持管理予算拡大の可能性が不確定である以上、本件調査では、今後の必要維持管理経費が現行予算額を上回らないような施設整備内容・水準とする。

(2) タウンサ堰の操作運用

堰の運用操作はタウンサ堰維持管理規定 (L.B. No.112, 1965 年制定) に基づいて実施されている。この維持管理規定は、土砂吐、洪水吐、閉門のゲート操作、貯水位の制御、ゲートの維持管理など細部まで定められており、堰の改修の完了後もこれに基づいて運用すべきと考える。改修後には堰ゲートは電動化され、ゲート操作は現在の手動ハンドルによる人力操作に加えて、可搬式エンジン駆動装置によるエンジン駆動、電動運転が可能になる。電動操作方法は開、閉、停止のみとなり、開運転時には 30 cm 毎に停止し、鉤操作は上部デッキにおいて行なう。このため、開度調整の見張り、合図の方法などは現在と変わらない。

6.6. ワークショップにかかわる改修計画

各ワークショップには、相当の機械設備と人材が整っている。これらのワークショップにおける最大の問題は、遊休化である。通常の維持管理状態では、水路ゲートの補修や、堰ゲート部品の修理が

散発的に発注されるにすぎない。大規模新規灌漑事業や大規模改修工事にあわせたワークショップの施設規模では、通常の維持管理状態において施設・設備の大部分が遊休化してしまうことになる。現在の各ワークショップでは、そのようなギャップによる時期的な遊休化がみられる。

今後、大規模新規事業が継続的に実行されていく保障が無い限り、現在のワークショップは、さらに設備・人員を拡充する方向ではなく、整理・縮小・効率化の方向を取ることが考えられる。各ワークショップの分担範囲を、通常の維持管理状態での仕事量を基準にし、より特殊な製作技能向上にむけ、一般的なものや作業量急増時には積極的に民間業者を活用することが勧められる。

本件改修計画においても、限られた工事期間内に多大な製作・修理作業が集中することから、ワークショップのみならず、民間業者に大きく依存した作業形態を採用する。タウンサ堰に付随するワークショップは、将来、日常の点検、注油などの管理要員のみを確保する方向で、整理縮小することが適切であると考えられる。地域の中心であるムルタンワークショップ、バルワールワークショップはタウンサ堰のみならず、地域あるいは州全体の水路、ダム、堰など灌漑システムに付随する機械部分の維持管理、補修を行うワークショップとして運営すべきと考えられる。ムルタンおよびバルワールワークショップでは、それらの分担範囲を既存の設備、人員によって可能な通常時の仕事量に限定し、将来は特殊な製作を中心として設備、人員の拡充は行わない方向とする。一般的な製作、補修作業、およびクロージャー期間に集中するような時期的に急増する作業は民間に委託できるように民間業者の育成を計ることが勧められる。本件改修計画においては、大規模な製造はバルワールワークショップにおいて実施し、特殊な製作・加工、あるいは大量生産部品は主に民間業者を活用する。

7. 施設改修計画および事業費

7.1. タウンサ堰ゲート施設改修工事

タウンサ堰ゲート施設工事は以下の通りである。

表 7.1.1 タウンサ堰ゲート施設工事数量 (本川ゲート65門)

工種	単位・重量トン					
	土砂吐ゲート (11門)		洪水ゲート (53門)		閘門ゲート (1門)	
	1門当たり 重量	全体重量	1門当たり 重量	全体重量	1門当たり 重量	全体重量
支承部の改修	4.148	45.628	3.561	188.733	4.148	4.148
扉体取り替え	45.986	505.846	-	-	14.978	14.978
水密部補修	1.609	17.699	1.599	84.747	0.601	0.601
開閉装置補修	4.317	47.487	1.516	80.348	1.516	1.516
開閉装置電動化	1.286	14.146	1.286	68.158	1.286	1.286
上部アッキ改良	1.431	15.741	1.431	75.843	0.610	0.610
点検通路整備	2.000	22.000	2.000	106.000	1.509	1.509
スロープキヤ整備	-	375.44	-	332.180	-	-
予備ゲート関連	3.746	41.206	2.260	119.780	-	-

表 7.1.2 タウンサ堰ゲート施設工事数量 (取水口ゲート19門)

工種	単位・重量トン					
	TPリンクゲート (7門)		DGカーンゲート (7門)		ムザフェルガーゲート (5門)	
	1門当たり 重量	全体重量	1門当たり 重量	全体重量	1門当たり 重量	全体重量
支承部の改修	-	-	-	-	-	-
扉体取り替え	8.200	57.400	-	-	-	-
水密部補修	-	-	-	-	-	-
開閉装置補修	-	-	-	-	-	-
開閉装置電動化	-	-	-	-	-	-
上部アッキ改良	0.498	3.486	0.498	3.486	0.498	2.490
点検通路整備	1.273	8.911	1.273	8.911	1.273	6.365
スロープキヤ整備	-	200.000	-	200.000	-	-

表 7.1.3 タウンサ堰ゲート施設工事数量 (予備ゲート6門)

工種	単位・重量トン		備考
	1門当たり 重量	全体重量	
予備ゲート作成	110.559	663.354	6分割とし、最重量部分は30ton.
格納設備	100.000	600.000	

7.2. タウンサ堰水利施設改修工事

本件タウンサ堰水利施設改修工事数量は、下表の通りである。

表 7.2.1 タウンサ堰水利施設改修工事数量

工 種	箇所数	一箇所あたり	全体数量	備 考
		cu.m	cu.m	
スキンコンクリート	-	-	10,400	撤去・再施工
フリクションブロック				
台形型ブロック	832	1.19	990	撤去後、マコンクリートに付着施工
正方形ブロック	896	2.75	2,464	撤去後、マコンクリートに付着施工
護床ブロック補強工	-	-	14,160	
護床ブロック	8,220	-	-	護床工撤去、ジオメトリック施工、再施工
護床ブロック流出防止	-	-	5,760	
護床工	-	-	19,600	延長施工
堰アバット部補強工				
土工	左右岸	8,880	17,760	
コンクリート工	左右岸	600	600	

さらに、13ピア（全体の20%）において、間隙水圧計を埋設する。1ピアあたり12個の水圧計を設置するものとし、それぞれは事務所における遠隔観測とする。

7.3. タウンサ堰体基礎強化工事

タウンサ堰体基礎強化を目的として、グラウト工を実施する。グラウト諸元は、下流グレース部に1門あたり10孔（口径45mm）をとり、400kg程度のセメントモルタルを注入する。

7.4. タウンサ堰堆砂抑制工事

DGカーン水路の利水性を向上させるため、DGカーン水路に堆積した土砂の浚渫を行う。浚渫区間は、堆積が特に激しい取水口ゲート直下のRD 000地点より、RD 40,000地点までの12.192 km区間にわたって、暫定水路水路巾（180ft; 54.86 m）に限って計画水路底までの浚渫を行う。この場合の浚渫土工量は、1,270,000 cu.mと見積もられる。

7.5. 水路施設改修工事

水路システムの改修工事対象としては、DGカーン水路放流工（RD 88,500）とムザファルガー水路放流工（RD 246,000）の2カ所を改修する。同工事の数量は下表の通りである。

表 7.5.1 水路施設改修工事数量

工種	D GK 水路放流工 (7 門)		M GH 水路放流工 (7 門)	
	1 門当たり	全体数量	1 門当たり	全体数量
機械工	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
支承部の改修	0.50	3.50	-	-
扉体取り替え	2.10	14.70	-	-
水密部補修	0.10	0.70	-	-
開閉装置補修	0.22	1.54	-	-
上部アッキ改良	1.20	8.40	-	-
土木工	(cu.m)	(cu.m)	(cu.m)	(cu.m)
堆砂浚渫	-	2,000	-	2,500
護岸工	-	150	-	700

7.6. 機材整備

本件改修計画では、洪水時防水対策、維持管理作業の効率化、モニタリング調査精度の向上を目指して、以下の機材整備を行う。

表 7.6.1 機材整備計画

機材項目	仕 様	単 位	数 量
水位計	フロート式	台	7
雨量計	転倒マス式	台	1
流速計	高速用	台	1
同	中・低速用	台	2
土砂サンプラー	浮遊砂採取用	台	1
同	掃流砂採取用	台	1
土砂粒径分析機器	砂、シルト分析用	式	1
作業ボート	23 ft 長	台	1
トランシーバー	中・近距離用	セット	2
コンピューター	データ分析・保存用	セット	3
小型トラック	2 ton 積、ロングボディー	台	2
ホイールローダー	1.5~2 cu.m 積み	台	2

7.7. 仮設工事

(1) ゲート工事

ゲート工事には、フローティング式予備ゲートを活用する。予備ゲートは、全ての工事に先立ち調達・製作を完了させ、分割して現地サイトへの輸送を完了する。予備ゲート組立、利用準備完了後は、各ゲート改修本格工事に入る。改修順序は、右岸土砂吐ゲート、左岸土砂吐ゲートと着手し、そのの

ち洪水ゲートを両岸側から中央部に向かって作業していく。

予備ゲートは既設堰柱の上流端に設置し、扉体天端標高は既設本川ゲートに合わせるものとする。既設堰柱上流端には同ゲート設置用のガイドレールおよび支圧板を設置し水圧荷重を分散させて堰柱に伝達させる。1号、9号、61号、62号、65号ゲート等河川端部やガイドバンクに隣接するゲートの予備ゲート設置用のガイドレールおよび支圧板は壁面にケミカルアンカーにて取付けるものとする。予備ゲート端部はフランジ継手により、中間堰柱用および端部堰柱用の支圧ガーグを交換可能とする。予備ゲート側部水密部は回転ヒンジ付きの水密板を壁面に押付け、水密板先端には平形水密ゴムを設置し、水密を図る。予備ゲート底部水密部は、扉体リップ部に平形水密ゴムを設置し、クレスト面に自重により押付け、水密を図るものとする。

予備ゲートには輸送用の分割位置を避けた6カ所に気密タンクを設置し、気密タンクには充排水用配管、送気管等を接続し、充排水操作により、予備ゲートの沈降、浮上、転向を可能とする。同ゲート上部は堰柱とロープにて固縛し、上流水位低下時の上流側への転倒を防止する。

土砂吐ゲートの施工は、予備ゲートで仮締め切り後、クレーン台船で旧扉体の撤去および新扉体の吊り込みを行う。この際、カウンターウエイトは最上部位置で仮吊りし、小物部材についてはタウンサ道路橋上にトラッククレーンを設置して吊り込み搬入して作業を進める。

洪水ゲートの施工は、予備ゲートで仮締め切り後、ゲートを最上段まで巻き上げ仮吊りしてタウンサ道路橋上にトラッククレーンを設置し端桁の取り替えを行う。それに引き続き、扉体を巻き上げて底部水平桁の取り替えを行う。開門の施工は、戸当たり部の改修をクロージャー期間に行うものとする。上流開門扉体は下流開門全閉状態で巻き上げ、タウンサ道路橋上にトラッククレーンを設置して端桁の取り替えを行う。その後、扉体を巻き上げた状態で、吊り足場を設置して底部水平桁の取り替えを行う。

これらのゲート関連の改修に要する工事延べ実働日数は、土砂吐ゲートで71日間、洪水ゲート50日間と見積られる。開閉装置の改修、上部デッキ・維持管理用点検通路の改修は、河川流況に影響されないため、緊急洪水対策必要時を除く全期間にわたって均等に進めていく。

ゲート工事（各門ごと）：

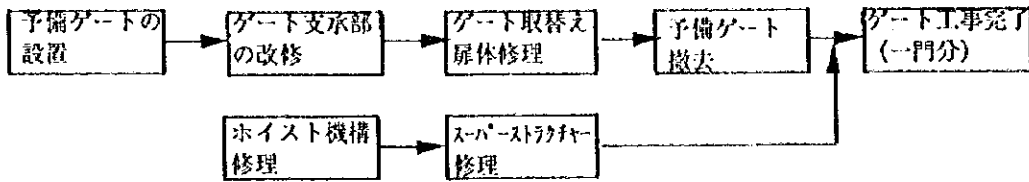


図 7.7.1 ゲート工事のフロー

(2) 水利構造物

水利構造物の改修にかかわる土木工事は、ゲート改修工事が完了して水密性が確保されたゲート群から作業を進めていく。まず、下流側に13門単位でコフファーダムを建設する。コフファーダムは、クレーン台船を利用して鉄鋼枠ユニット（4m x 6m x 4m）を搬入・配列し、逐次その内部に土嚢を設置して完成させる。

水利構造物の改修は、コフファーダムで止水を完了させた後、ドライ状態でのスキンコンクリート、フリクションブロックの破碎・撤去作業から開始する。一部のジオテキスタイルの施工、鉄筋配置の後、スキンコンクリート、フリクションブロックを完成させる。グレース部のスキンコンクリート施工時には、並行してグラウト工も実施する。その後、既存護床ブロックを撤去、ジオテキスタイルを付設して再び護床ブロックの設置を行う。さらに、既存護床工（ルーズストーン）を排除してジオテキスタイル付設等工事を施し、延長分護床ブロックを設置する。その時点でコフファーダムを撤去して、新たに護床工（ルーズストーン）を付設して同工区の工事を完了する。

タウンサ堰両岸の下流側トランシジョン壁の工事は、それぞれ最端部ゲートの水利構造物施工時でコフファーダム設置後に、そのコフファーダム機能を活用して並行的に進める。トランシジョン壁のブロック構成部分は撤去して、バットレス壁を施工する。その後、裏込土を施工等を念入りに行い、最端部ゲートの水利構造物施工期間内に完成させる。

水利構造物工事（13門ごと）：

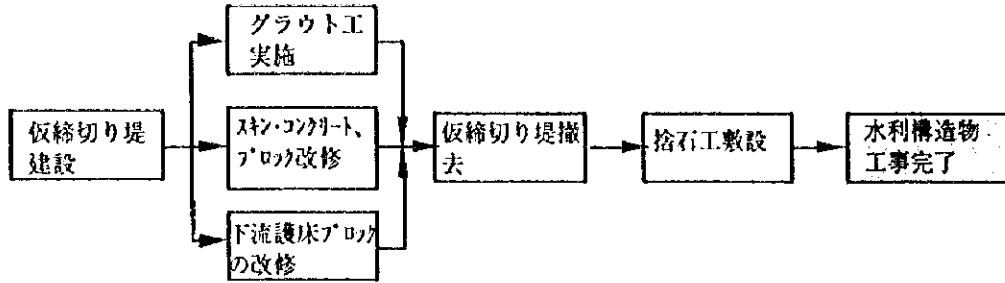


図 7.7.2 水利構造物工事のフロー

(3) その他

予備ゲート、ゲート工事資機材の保全、調整作業、仮置きのための約1haの作業面積を有する仮設・仮置きヤードを開設する。ヤード候補地は、水上作業が可能なこと、タウンサ堰導流堤システムに水理的な影響を及ぼさないことなどから、左岸タウンサ堰導流本堤（ガイドバンド）堤内地に埋めたてて建設することとする。土木工事の仮設・仮置きヤードとしては、タウンサ堰兩岸の公園用地を利用するとともに、必要に応じて右岸タウンサ堰導流本堤堤内地の遊休地を利用するものとする。

7.8. 改修事業費

7.8.1. 建設工事費

本件改修工事の直接工事費は1,964百万ルピー、間接費と工事数量予備費を加えた総工事費は2,610百万ルピーと見積もられる（内価分1,489百万ルピー、外価分1,121百万ルピー）。そ

建設工事費は、上記の総工事費に更に価格変動予備費、及び金利・財務費を加えたものとする、価格変動予備費は、総工事費の内貨分、外貨分のそれぞれについて事業実施期間中にわたり変動率を想定して算出した。本件調査においては、近年の変動実績を参考に、内価分は年率11.4%、外貨分は年率4.4%とし、11年間にわたり算定した。また、金利・財務費は同じく総工事費に対して、総率3%として算出した。

それぞれの内訳は、表7.8.1に示すとおりである。

表 7.8.1 建設工事費

費目	(千ルピー)		
	内貨分	外貨分	合計
I. Direct Construction Cost	1,108,601	855,375	1,963,976
1 <u>Rehabilitation of Gates</u>	<u>338,611</u>	<u>426,260</u>	<u>764,871</u>
a) Weir gates	227,794	274,593	502,387
b) Undersluice gates	87,901	118,701	206,602
c) Upstream lock gate	4,051	5,129	9,180
d) Downstream lock gate	1,837	2,369	4,206
e) D.G. Khan & Muzaffargarh canal regulator gate	9,468	14,604	24,072
f) T.P. link canal regulator gate	7,560	10,864	18,424
2 <u>Floating Bulkhead</u>	<u>130,706</u>	<u>137,553</u>	<u>268,259</u>
a) Fabricate and transportation	70,693	86,154	156,847
b) Construct jetty and stockyard	60,013	51,399	111,412
3 <u>Rehabilitation of Hydraulic Structure</u>	<u>375,612</u>	<u>76,431</u>	<u>452,043</u>
a) Rehabilitation of skin concrete	61,492	16,521	78,013
b) Reconstruction of friction block	21,478	6,367	27,845
c) Reconstruction of C.C. concrete	160,266	30,555	190,821
d) Extension of C.C. concrete	60,533	17,737	78,271
e) Construction of toe wall	23,422	1,141	24,563
f) Extension of loose stone	30,184	431	30,615
g) Reconstruction of flared out wall at left bank	7,445	1,834	9,279
h) Reconstruction of flared out wall at right bank	7,445	1,834	9,279
i) Grouting	3,346	11	3,357
4 <u>Extension of Right Guide Wall</u>	<u>5,191</u>	<u>5,788</u>	<u>10,979</u>
5 <u>Measure against Sedimentation in D.G. Khan Canal</u>	<u>33,666</u>	<u>1,204</u>	<u>34,870</u>
6 <u>Repair of Canal System</u>	<u>4,093</u>	<u>2,527</u>	<u>6,620</u>
a) Escape gate at D.G. Khan canal	3,055	2,514	5,569
- Rehabilitation of gate	2,821	2,510	5,331
- Dredging	11	1	12
- Slope protection	222	3	226
b) Escape gate at Muzaffargarh canal	1,038	13	1,051
- Slope protection	1,038	13	1,051
7 <u>Installation of Pressure Pipe</u>	<u>3,670</u>	<u>21,580</u>	<u>25,250</u>
8 <u>Procurement of Material & Equipment</u>	<u>142</u>	<u>1,423</u>	<u>1,565</u>
9 <u>Temporary Work</u>	<u>88,250</u>	<u>13,250</u>	<u>101,500</u>
a) Cofferdam made by steel cage and jute bags	80,000	10,500	90,500
b) Cofferdam made by jute bags	8,250	2,750	11,000
10 <u>Site Expense</u>	<u>56,133</u>	<u>113,400</u>	<u>169,533</u>
11 <u>Preliminary and General Items (7% to sum of 1 to 9)</u>	<u>72,526</u>	<u>55,959</u>	<u>128,485</u>
II. Indirect Construction Cost	114,349	180,248	294,597
a) Consultancy service (10% to Direct Cost)	58,919	137,479	196,398
b) Implementation cost (5% to Direct Cost)	55,430	42,769	98,199
III. Duty and Taxes	155,424	0	155,424
IV. Physical Contingency	110,860	85,538	196,398
Total Base Construction Cost	1,489,234	1,121,161	2,610,395
V. Price Contingency (Local 11.4%/year Foreign 4.4%/year)	1,635,026	348,785	1,983,811
VI. Interest and Service Charge	44,677	33,635	78,312
a) Interest during construction period			
b) Bank service charge (3%)	44,677	33,635	78,312
GRAND TOTAL COST	3,168,937	1,503,581	4,672,518

7.8.2. 施設更新費

本件改修工事実施後は、プロジェクトライフ期間内には大きな施設更新の要はない。ただし、耐用

年数の短い以下の設備、部品類の更新は必要である。

表 7.8.2 施設更新費

			(ルピー)
更新施設・部品	更新時期	更新数量	更新コスト
水密ゴム類	10年毎	全ゲート	8,700,000
電気設備	20年毎	本川ゲート	21,750,000
照明器具等	10年毎	一式	1,200,000
メンテナンス機器	10年毎	一式	1,400,000

7.8.3. 事業運営維持管理費

本件改修計画事業実施後は、維持管理体制を再構築して、メンテナンス機器の新規導入もはかり、効率的な維持管理作業を推進する。年ごとの維持管理費用は下表の通りである。

表 7.8.3 年間維持管理費用

			(ルピー)
維持管理項目	維持管理費用	備 考	
ゲート操作	950,000	10名で運営	
ゲート塗装	800,000		
ゲート等機械類修理	4,000,000		
水利構造物修理	500,000		
河川改修工事	5,000,000		
ゴミ撤去等	400,000		
モニタリング実施	1,610,000		
堤体保護、浚渫	6,000,000		
維持管理統括経費	760,000		
維持管理庶務経費	8,000,000		
電気代等	400,000	電気代および消耗部品の交換を含む	
その他経費	390,000		
合 計	28,810,000		

8. 事業実施計画

8.1. 事業実施上の制約

本件改修工事を実施する上での制約としては、1) 利水、洪水流下に係わる堰運営上の制約、2) 堰構造上の物理的制約、3) 堰周辺の土地利用、水面利用に関する制約、4) 道路規制搬入、5) 現地サイトでの資材、人員調達に関する制約、6) 遵守すべき法律、規制に関する制約、7) 環境配慮に関する制約、が挙げられる。

利水等に関する制約としては、利水目的として生活用水利用にも供しているため、工事期間中の取水全面停止は許されず、工事による取水率の低下も可能な限り抑えるものとする。また、特に洪水発生時には、洪水の流下を妨げる一切の行為は許されない。

堰構造上の制約としては、道路、鉄道、付設電話・電線などによって、資材の搬入方法、利用可能機材、作業時間帯に制約がある。

堰周辺での仮設ヤード等の用地確保には、面積、形状、サイトへの距離等の要望に対して、幾つかの制約が考えられる。また、仮設台船の利用に際しては、係船施設等が必要となるが、堰ガイドバンドの加工は一切許されないなどの制約がある。

本件改修工事では、予備ゲートなどの超重量貨物等の内陸輸送が必要となる。現地サイトまでの搬入経路には、道路幅員、許容荷重制限などで大きな制約がある。

現地で利用、徴収可能な資材、人員には量、質の面からみて制約がある。また、電気供給等の制約については、適切な仮給電設備によって確保しなければならない。

パキスタン国には、工事を実施するにあたって遵守すべき安全確保、労働管理、道路交通上の法律があり、これらに則った施工計画の策定が必要である。

タウンサ堰の直上流は、環境保護区に指定されている。工事实施にあたっては、必要な場合は十分な環境配慮対策を取らなければならない。

8.2. 事業実施工程計画

8.2.1. 事業実施体制

本件改修事業は、パンジャブ州灌漑電力局を事業実施主体とした、請負契約形態での実施とする。

PIDは、事業実施にあたり現地タウンサ堰サイトの事業実施事務所（Taunsa Barrage Irrigation System Rehabilitation Project Office）を設立する。事業実施事務所は、事業実施にかかわる、企画調整、設計監理、施工監理、用地準備、他部門間調整、請負監理、財務等を直接担当するもので、必要な事務所ス

ベース、人員、設備を有するものである。

事業実施事務所の陣容は、既存のタウンサ堰管理事務所（TBO）職員が核となり幾つかの分野においては兼務とするが、事業実施期間中にもタウンサ堰灌漑システムの供用サービスは継続していくため、それらの維持管理・運用作業に支障のない範囲とする。また、事業実施に関しては、ゲート機械部分、土木施工などに関するより専門的な判断、管理が必要となることから、それらの専門技術者も事業実施事務所員として配置する。それらの計画事務所陣容は、下表の通りである。

表 8.2.1 タウンサ堰事業実施事務所の人員配置計画

役 職	等級	TBO 兼任	工事期間任命	コントラクト
事務所長	BPS-18	1		
主任技師	BPS-17	1	1	
技師補	BPS-11	2	4	
主任図工	BPS-13		1	
図工	BPS-10		1	
トレーサー	BPS-5		1	
会計主任	BPS-13		1	
会計	BPS-7		1	
庶務主任	BPS-11		1	
庶務職	BPS-6	4	2	
庶務職補	BPS-5	4	2	
雑役	BPS-1	3	3	
専門技師				9
契約事務担当				3
技師補				9
助手				9
測量技師				2
測量助手				10

8.2.2. 事業実施工程

本作改修計画事業は、援助機関からの融資を受けて実施されるものと想定される。従って工事開始前には、融資契約、コンサルタントの選定、詳細設計、入札資格審査、工事契約などの工程を踏むことになる。工事開始までに3.5カ年を要する。

工事は第5章の比較検討から6台の予備ゲートを用いて実施する。この予備ゲートの製作に1.5カ年、現場工事に6.5年間の工期を要する。

全体の事業実施工程は図8.2.1に、また工事実施工程は図8.2.2に示す通りである。

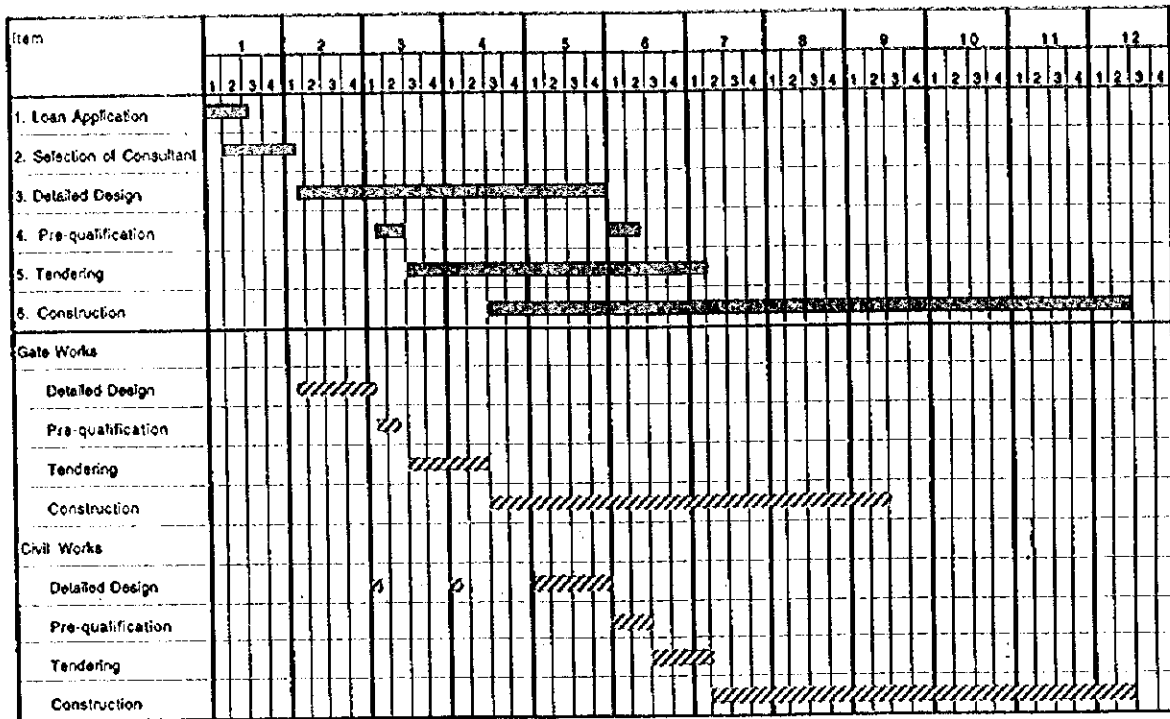


图 8.2.1 事業実施工程

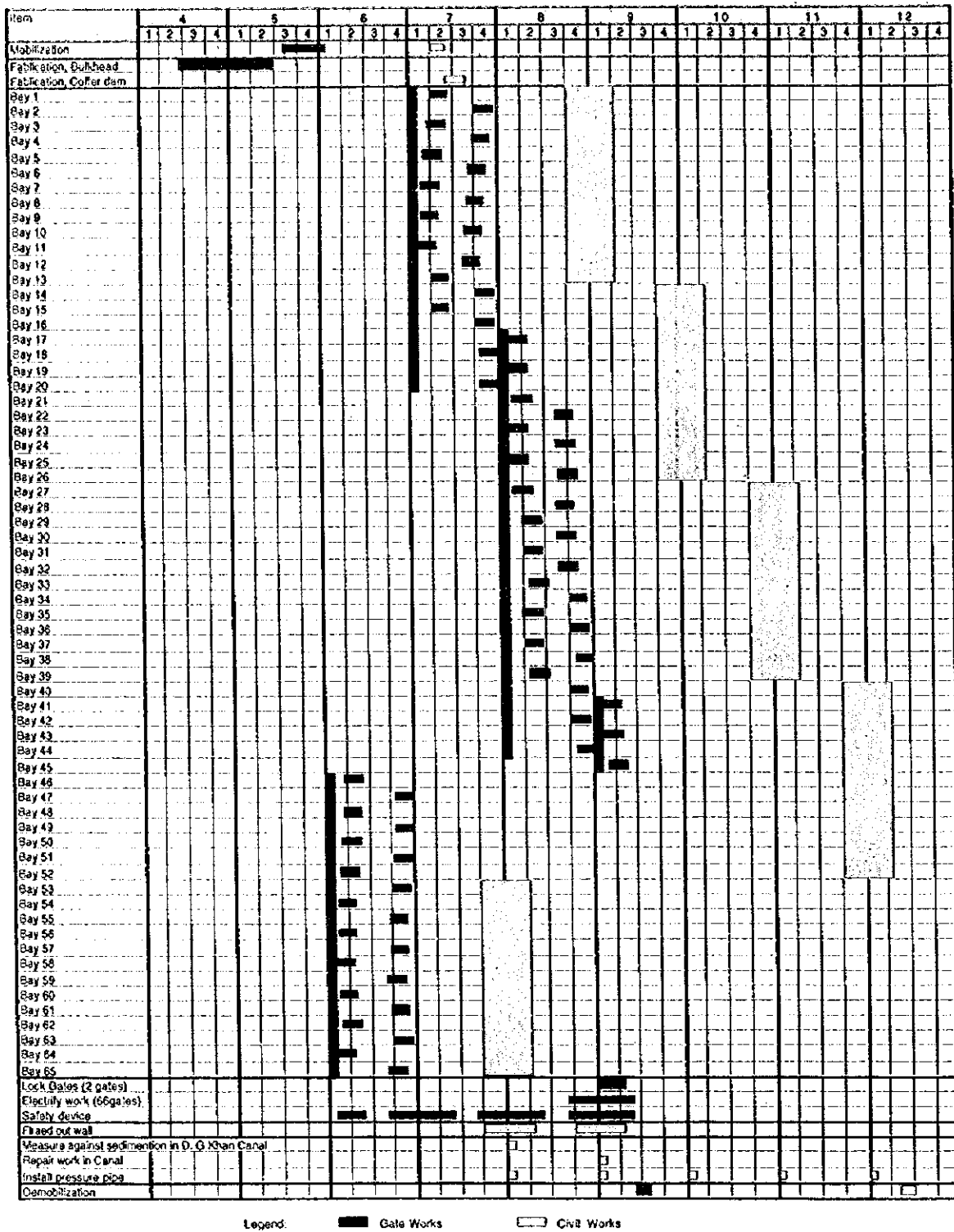


図 8.2.2 工事実施工程

8.3. 維持管理計画

改修工事完了後は、タウンサ環管理事務所 (TBO) によって適切な維持管理を推進していく。タウ

ンサ堰管理事務所は、既存の事務所・組織を基本に、改修事業によって生まれた実施作業と陣容との矛盾を調整して、より効果的な維持管理事務所組織に再構築する。新しいタウンサ堰管理事務所の組織としては、以下のものが提案される。

表 8.3.1 タウンサ堰管理事務所の人員配置計画

担当分野	現状人員	計画人員	変更理由
維持管理統括責任者	4	4	
ゲート操作要員	36	10	改修工事による電動化のため
ゲート塗装要員	1	1	
機械修理要員	1	1	
機械技師	0	1	機械部分管理の必要性から
モニタリング要員	17	17	
維持管理庶務	92	74	人員の適正化
合 計	151	108	

堰水位の観測、洗堀状況調査、堆砂状況調査、水圧観測パイプ調査等のモニタリング作業は、タウンサ堰の運用のために必要な情報供給、堰の安全にかかわる危険な兆候の監視、障害対処のための基礎情報の蓄積、のために必要不可欠なものである。現在も維持管理枠内のルーチン・ワークとして実施されているが、今後もより一層重要であることから、引き続き同様の調査を実施していくのはもちろんのこと、作業上の障害は改善されるべきである。現状では、観測機器の不備、整理・分析用コンピューターの不足などによって、適切な観測、分析、結果保存がなされていない。これらは、機器調達コンポーネントとして、本件改修計画内で整備し、を目指すものとする。

8.4. 実施契約

本件請負工事契約は、6種に分割される。それぞれの工事内容は以下の通りである。

表 8.4.1 請負工事契約

請負契約区分	契約形態	工事内容
詳細設計	国際公開競争入札	本件改修計画を構成する全ての工事コンポーネントの詳細設計、契約図書を作成
ゲートおよびゲート関連工事契約	国際公開競争入札	ゲート扉体、支承部、開閉装置、スーパーストラクチャー等にかかわる全てのゲート関連工事
予備ゲート調達契約	国際公開競争入札	予備ゲートの製作と調達、および係留施設工事
土木工事契約	国際公開競争入札	水利構造物改修工事、堰体基礎工事
資機材調達契約	国際公開競争入札	維持管理機器、モニタリング機材の調達
事務所等建設契約	国内公開競争入札	事務所、工事関係者宿舎等の建設、それらの関連工事

それぞれの請負契約の実施工程は、各工事の連係に配慮して図 8.4.1 のように設定する。それぞれの請負契約は、公開入札形式を採用し、請負業者の資格審査、入札手続きは、灌漑電力局の規約を基本として、契約工事の特殊性、専門性に配慮したものとする。

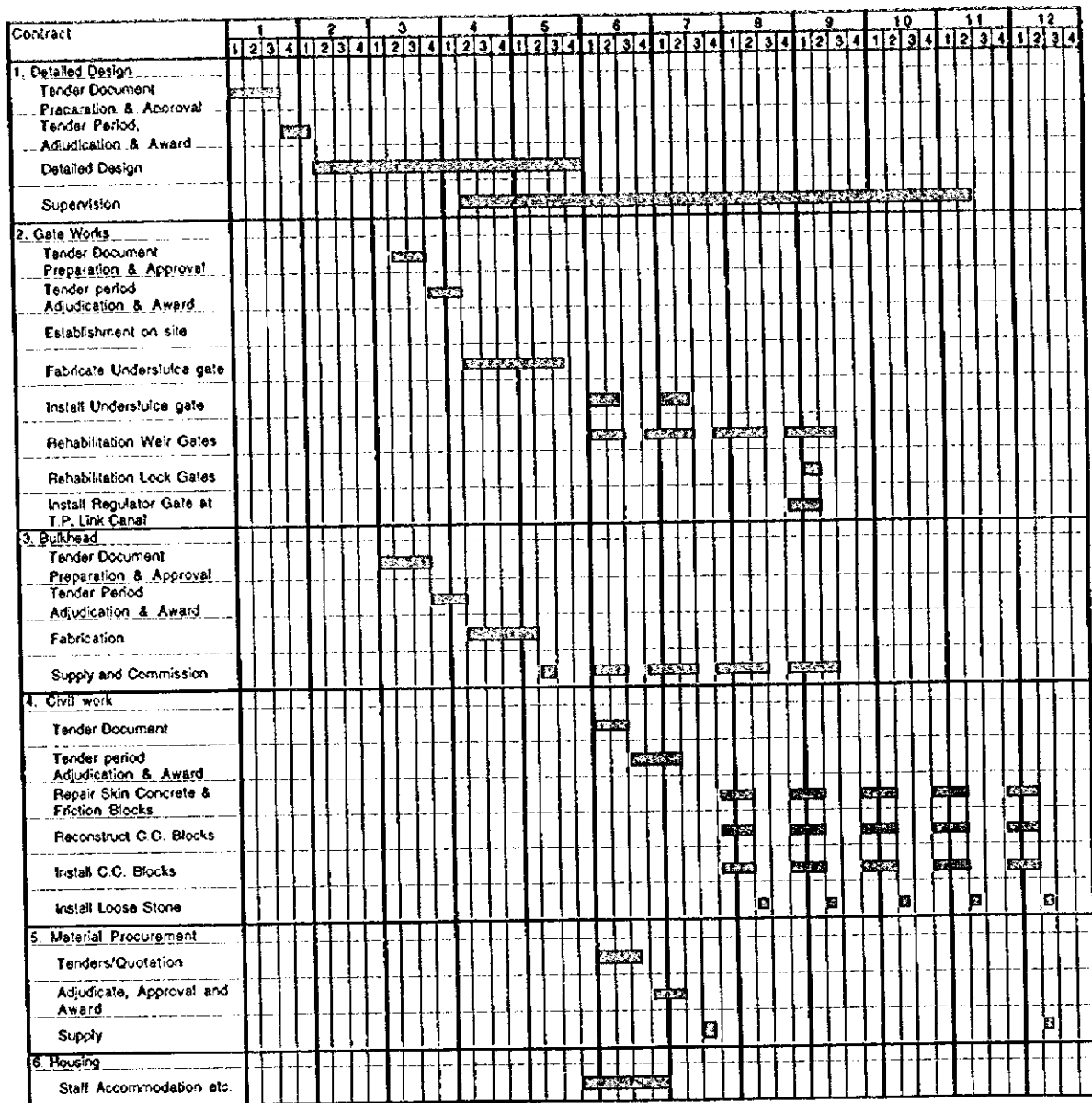


図 8.4.1 各請負契約毎の事業実施工程

8.5. 事業のモニタリング計画

事業が完了して維持管理ステージに入った後、適切な維持管理を継続して実施していくのはもちろんのこと、本件改修計画の事後評価と、今後に予定されている他既存河川堰改修計画策定の参考とするために、本件改修事業のモニタリング調査を、定期的を実施することを提案する。

同モニタリング調査は、各専門技術者チームで構成され、ラビ期に行われるアニュアルクロジャー期間に実施するものとする。同モニタリング調査結果は、速やかにタウンサ堰管理事務所に報告され、修理が必要と判断された損傷が認められた場合には、早急に適切な対処をするものとする。

9. 事業評価

9.1. 概要

本タウンサ堰灌漑システム改修事業は、老朽化しているタウンサ堰および関連施設について改修するものである。事業の内容は、代替案の検討の結果、堰ゲート施設改修工事、堰水利施設改修工事、堰体基礎強化工事、堆砂抑制工事、水路施設改修工事、機材整備、仮設工事とした。一部の工種については、施設の安全性や操作性などを考慮し、施設の耐用年数の延長や維持管理費の低減を図った。

この事業実施の基本目標は、現在の水路灌漑を健全に維持していくことである。もし、事業が実施されずに現行の維持管理状況が続いた場合は、タウンサ堰の機能が損なわれていき灌漑可能面積が経年的に減少していく。こうしたシナリオに基づいて、事業評価を実施した。

9.2. 経済評価

(1) 経済評価の前提条件

タウンサ堰灌漑システム改修事業の事業評価は、以下に示す前提条件のもとに経済評価を実施した。

- 事業の経済耐用年数は50年間とした。
- 価格は1998年1月時点の現地通貨パキスタンルピーで表示した。
- 1998年1月時点の外貨交換レート（US\$ 1.00 = Rs. 44.00 = Yen 132.00）を適用した。
- 経済評価上、費用は外貨費用と、租税、補助金、利子などの移転費用を除いた内貨費用を対象とした。
- 内貨費用の経済価格は、市場価格に標準変換係数0.87を乗じて算定した。
- 内貨費用のうち未熟練労働に対する経済賃金は、実勢賃金に労働換算係数0.75を乗じて算定した。
- 外貨費用については、価格の歪みがないものとして、換算係数は1.00とした。
- 便益の算定において、貿易財である肥料と農産物については、世界銀行の予測価格に基づいて求めた経済価格を用いた。

(2) 経済価格による事業費

事業評価の費用項目は、タウンサ堰灌漑システム改修にかかる建設費、施設の維持管理費、更新費用で構成される。これらの経済費用は、財務費用に対して前述の条件を適用して換算して、表 9.1.1

のように算定された。

表 9.2.1 タウンサ環灌漑システム改修事業の建設費、維持管理費、更新費

(Rs. million)

項 目	財務費用	経済費用
1 建設費 (初期投資費用)	2,455.0	2,150.5
直接工事費	1,964.0	1,711.3
間接工事費 (技術・管理費)	294.6	258.0
工事数量予備費	196.4	171.1
2 維持管理費 (年間費用)	- 3.2	- 2.8
3 更新費用		
水密ゴム類 (10年ごと)	8.7	7.6
電気設備 (20年ごと)	21.8	18.9
照明器具など (10年ごと)	1.2	1.0
メンテナンス機器 (10年ごと)	1.4	1.2

備考：維持管理費については、事業を実施しない場合 Rs. 32,000,000 /year に対し、事業を実施する場合は Rs. 28,810,000 /year と見込まれることから、その差し引き額をマイナスで計上した。

出典： JICA 調査団

(3) 経済価格による事業便益

本改修事業の便益は、将来堰の破損によって失われるであろう農業生産が、改修によって堰の機能が維持され農業生産が保たれることであるとして、算出された。

当該地域で作付される主要作物の単位面積当たりの純収益を、経済価格を用いて下表に示すように算出した。将来灌漑不能となることを想定し、天水栽培の収益についても検討した。

表 9.2.2 主要作物の純収益（経済価格）

作物	(Rs./acre)		
	粗収益	生産費	純収益
ワタ (Irrigated)	23,509	5,623	17,886
コメ (Irrigated)	2,253	2,190	64
カリフ飼料作物 (Irrigated)	4,118	1,518	2,600
カリフ飼料作物 (Un-Irrigated)	2,882	1,405	1,477
コムギ (Irrigated)	8,686	3,683	5,002
コムギ (Un-Irrigated)	4,570	3,683	887
油料作物 (Irrigated)	4,916	1,825	3,091
油料作物 (Un-Irrigated)	2,624	1,882	743
ラビ飼料作物 (Irrigated)	5,982	2,887	3,095
ラビ飼料作物 (Un-Irrigated)	4,187	2,660	1,527
サトウキビ (Irrigated)	9,113	4,178	4,934
果樹 (Irrigated)	40,425	28,648	11,779
果樹 (Un-Irrigated)	28,298	26,797	1,500

出典： JICA 調査団

このような便益の生じる受益地は、DGカーン水路、ムザファルガー水路、ラングプール下流水路灌漑地域とした。TPリンク水路は、元来チェナプ川の流量を増大させ下流側のパンジナッド水路灌漑地域の農業生産に寄与しているが、ここでは間接的な便益として評価の対象から除外した。また、ダジャール二次水路の延長計画については、その実施が不確実であるため、評価対象としない。

受益農地における作付体系は、事業を実施した場合は、基本的に将来も現在の体系が保たれるものとした。事業を実施しない場合は、本川ゲートが操作不能となり取水量が減少し灌漑面積が減少することとした。これは各ゲートの破壊時期は、操作力の設計値と測定値に基づいて推定した。灌漑不能となった農地では天水農業に転換され、さらに灌漑が必須の作物（コメ、ワタ、サトウキビ）は飼料作物に転換される。なお、改修工事期間中は、カリフ期とラビ期ともに灌漑取水量は50%に減少すると想定した。

便益（取水量あるいは灌漑面積）

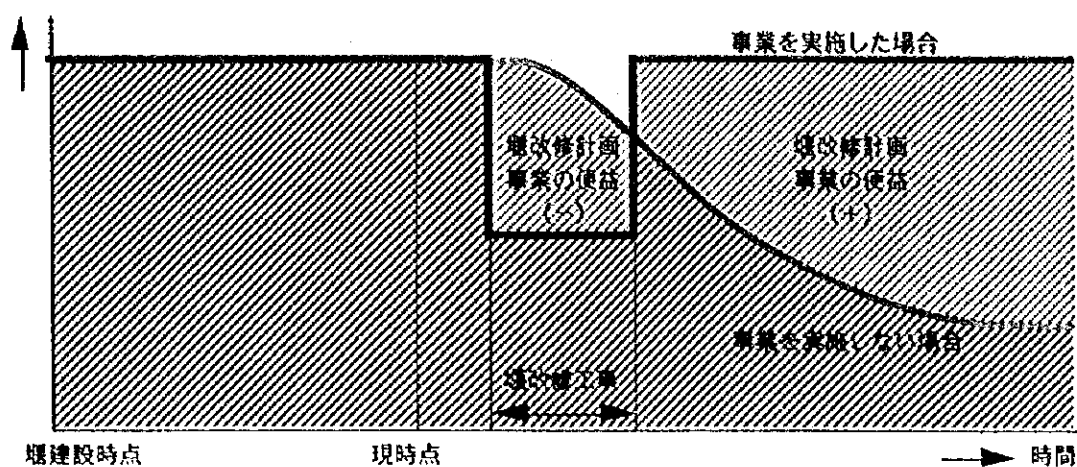


図 9.2.1 事業の便益概念図

表 9.2.3 事業の農業便益（経済価格）

作物	単位 純収益 (Rs./acre)	事業を実施した場合		事業を実施しない場合	
		面積 ('000 acre)	純収益 (Rs.million)	面積 ('000 acre)	純収益 (Rs.million)
ワタ (Irrigated)	17,886	646	11,574	148	2,656
コメ (Irrigated)	64	85	5	20	1
カリフ飼料作物 (Irrigated)	2,600	218	568	50	131
カリフ飼料作物 (Un-Irrigated)	1,477	0	0	749	1,106
コムギ (Irrigated)	5,002	623	3,118	0	0
コムギ (Un-Irrigated)	887	0	0	623	553
油料作物 (Irrigated)	3,091	23	70	0	0
油料作物 (Un-Irrigated)	743	0	0	23	17
ラビ飼料作物 (Irrigated)	3,095	130	401	0	0
ラビ飼料作物 (Un-Irrigated)	1,527	0	0	130	198
サトウキビ (Irrigated)	4,934	23	115	5	26
果樹 (Irrigated)	11,779	129	1,517	30	349
果樹 (Un-Irrigated)	1,500	0	0	99	149
合計		1,877	17,341	1,877	5,186
増加分				0	12,156

備考：事業を実施しない場合の農業生産については、最も取水量の低減する（現況の23%）年について示した。

出典：JICA調査団

(4) 経済評価

事業の経済評価指標として、割引率12%として本改修事業の純現在価値（NPV）と費用便益比率（B/C）を、また経済的内部収益率（EIRR）を算定した。これに必要な事業の費用と便益のキャッシュ

キャッシュフローは次の表のとおりである。

表 9.2.4 年次別キャッシュフロー

(Rs. million)

Year	Cost			Benefit			B-C
	Const.	O&M Replace.	Total	With	Without	W-WO	
1 2000	44		44	17,341	17,341	0	-44
2 2001	22		22	13,550	13,550	0	-22
3 2002	99		99	13,550	13,550	0	-99
4 2003	306		306	11,732	11,732	0	-306
5 2004	278		278	11,004	11,004	0	-278
6 2005	324		324	9,869	11,004	-1,135	-1,459
7 2006	413		413	9,869	9,792	77	-336
8 2007	239		239	9,869	9,792	77	-162
9 2008	149		149	9,869	8,095	1,774	1,625
10 2009	155		155	9,869	8,095	1,774	1,620
11 2010	121		121	9,869	8,095	1,774	1,653
12 2011		-3	-3	17,341	7,731	9,610	9,613
13 2012		-3	-3	17,341	7,731	9,610	9,613
14 2013		-3	-3	17,341	7,489	9,852	9,855
15 2014		-3	-3	17,341	6,155	11,186	11,189
16 2015		-3	-3	17,341	5,913	11,428	11,431
17 2016		-3	-3	17,341	5,792	11,550	11,552
18 2017		-3	9	17,341	5,792	11,550	11,544
19-20 2018-		-3	-3	17,341	5,671	11,671	11,674
21 2020		-3	1	17,341	5,671	11,671	11,672
22-24 2021-		-3	-3	17,341	5,549	11,792	11,795
25-27 2024-		-3	-3	17,341	5,428	11,913	11,916
28 2027		-3	28	17,341	5,428	11,913	11,888
29-30 2028-		-3	-3	17,341	5,343	11,998	12,001
31 2030		-3	1	17,341	5,343	11,998	12,000
32-37 2031-		-3	-3	17,341	5,343	11,998	12,001
38 2037		-3	9	17,341	5,343	11,998	11,992
39-40 2038-		-3	-3	17,341	5,186	12,156	12,158
41 2040		-3	1	17,341	5,186	12,156	12,157
42-47 2041-		-3	-3	17,341	5,186	12,156	12,158
48 2047		-3	28	17,341	5,186	12,156	12,131
49-50 2048-		-3	-3	17,341	5,186	12,156	12,158
51 2050		-3	1	17,341	5,186	12,156	12,157
52-57 2051-		-3	-3	17,341	5,186	12,156	12,158
58 2057		-3	9	17,341	5,186	12,156	12,150
59-61 2058-		-3	-3	17,341	5,186	12,156	12,158

出典： JICA 調査団

算定された事業の評価値は、NPVは267億ルピー、B/Cは26.1、EIRRは50.2%である。受益面積が広大であることから事業費に対し便益が大きく、非常に経済的効率の高い事業であることが明確となった。

表 9.2.5 事業の純現在価値、費用便益比率、経済的内部収益率

項 目	評価値
1 純現在価値 (NPV、割引率12%)	Rs. 26,681 million
2 費用便益比率 (B/C、割引率12%)	26.1
3 経済的内部収益率 (EIRR)	50.2 %

出典： JICA 調査団

(5) 感度分析

事業の評価において想定された条件が満たされない場合について、その影響の程度を測るために感度分析を行った。分析の対象は、1) 事業費が20%増大する場合、2) 便益が20%減少する場合、3) 事業の実施が1年間遅延される場合とした。次表に示した分析結果が得られたが、いずれも46%程度と高く、良好な経済性を示した。

表 9.2.6 事業の感度分析

条 件	NPV	B/C	EIRR
	Rs. million		
1 事業費が20%増大する場合	26,468	21.8	47.8
2 便益が20%減少する場合	21,133	20.9	47.2
3 事業の実施が1年間遅延される場合	22,110	24.3	46.9

出典： JICA 調査団

9.3. 財務評価

本改修事業の実施により、直接農家の費用負担を強いることはない。灌漑電力局の改組が行われな
いとすれば、農家は従来通り定められた水利費を州政府に支払うこととなる。現状の標準作付体系に
基づき単位農地面積当たりの財務的収入について検討すると、Rs. 7,518/acreとなる。事業を実施する
場合、この現況が維持され、支払うべき水利費はRs. 53 /acreで、農業収益の0.7%に過ぎない。事業
を実施しない場合は、作付体系が変わり収益と水利費はそれぞれRs. 5,672/acreとRs. 33/acre (0.6%)
となる。いずれにしても水路灌漑用水のために農家が支払う水利費は非常に小さいといえる。

表 9.3.1 単位面積当たり農業収入と水利費

条 件	(Rs./acre)	
	農業収入	水利費
1 事業を実施した場合	7,518	53 (0.7%)
2 事業を実施しない場合	5,672	33 (0.6%)
3 差し引き	1,846	

注： 市場価格に基づき、財務的評価を実施した。

出典： JICA 調査団

将来、独立採算性の灌漑排水公社が設立された場合は、水利費が上昇することが予想される。しかし、仮に水利費が増加したとしても、農家の負担は小さい。それよりも、水路灌漑施設の維持管理が効率化され安定した灌漑水量が得られることによるメリットの方がはるかに大きい。

9.4. 社会経済的波及効果

(1) バンジナッド堰灌漑システムの機能保持

インダス川の余剰水はタウンサ堰からTPリンク水路を経てチェナブ川に導水され、バンジナッド堰において取水利用されている。バンジナッド堰からはバンジナッド水路とアバシア水路により615,000 ha (GCA) の農地が灌漑されている。タウンサ堰を安定的に運営することは、このバンジナッド堰灌漑システムの安定にも大きく貢献するものである。

(2) 洪水被害の軽減

最近のタウンサ堰では一部のゲートの操作性が著しく低下し、洪水時にもそれらの隣接ゲートを含めて開放できないために、洪水流が水路に流入し周辺に洪水被害をもたらしている。改修しないで放置した場合はこのような洪水への対応が一層悪化し洪水被害の拡大が予想される。本改修事業を実施することによりスムーズなゲート操作が確保されると、洪水を安全確実に流下させ洪水被害を大幅に軽減させることが期待される。

(3) 安定的水供給による農業経営の改善

事業実施によりゲートの操作性が向上し水路流量が安定することは、農業収益の増大につながる。すなわち、水路灌漑受益地内の農家の多くはチューブウエルを併用していて、カリフ期においても期待する水量が水路から得られないときに揚水灌漑を行っている。従って、水路により期待通りの灌漑ができればポンプの運転時間が短縮される。そのために現在農家が追加的に支払っているポンプの運転経費あるいは地下水購入費が大幅に減少することとなる。

(4) ダジャールブランチ延長計画の実施可能性の保持

現在、DGカーン水路の末端にあるダジャールブランチ水路の延長計画（GCA: 132,000 ha）が実施されないままにある。これはタウンサ堰建設当時の計画であり、DGカーン水路はその実現を見込んだ設計になっている。インダス川の水利権が絡むため現在のところは実現困難であるが、将来水利権の調整など情勢が進展すれば、灌漑面積拡大の可能性がある。タウンサ堰を適正に運営管理していくことは、その可能性を保ち続けることにつながる。

(5) 灌漑以外の機能の保持

タウンサ堰は、その主機能である灌漑の他に、生活・産業用水の供給、道路橋、鉄道橋、石油パイプライン、電話通信ラインなどの機能を併せもつ。タウンサ堰の改修を実施しその安全性を確保することは、すなわちこれらの機能を将来にわたって保持することとなる。

9.5. 環境評価

本件改修事業は、既存タウンサ堰の今後のさらなる老朽化による機能低下を予防するための改修計画であり、新たな灌漑地域の拡張等は含まれていない。従って、堰本体の工事を除いては、本プロジェクトが環境に与える負のインパクトはほとんど考えられない。堰本体の工事に関しても、インダス川の流況に影響するような大工事ではないと考えられるので、基本的には環境に与える負のインパクトはほとんど考えられない。ただし、タウンサ堰周辺は野生動物保護区域に指定されており、貴重な生物種も生息しているため、このことを十分に配慮した工事実施が求められる。