既設ダムへの選択取水設備の新設

APPLICATION OF A NEW TYPE OF CYLINDER GATE TO AN EXISTING DAM

谷口祐豪*・見並善巳**
Hirotaka TANIGUCHI* and Yoshimi MINAMI**

In recent years, a growing number of dams older than 40 years have been renovated to install additional water intake and river outlet facilities for improvement of the downstream river ecological environment . In such cases, it is desirable that the reservoir water level not be lowered during construction. To maintain the reservoir level, a large steel caisson is generally applied around the intake construction area so that the new facilities can be installed under dry conditions. However, such a large caisson was going to be too costly for construction of a planned new intake for the Miyagawa dam, so an innovative method was required. A steel chamber was applied to form a temporary coffer dam around the bottom portion of the cylinder gate during construction. As a result, we accomplished more than 40% cost reduction compared to the conventional method.

Key Words : *dam renovation, selective water withdrawal equipment, erection underwater, cylinder gate*

1. はじめに

近年、既設ダムに新たに取水放流設備を設置し、ダム下流河川の清流回復、人と河川の豊かなふれあいの確保など河川環境の保全を試行する事業が増えてきている。一般に、このような事業では、減電補償費との関係から貯水位を下げずに、取水設備設置箇所周辺を巨大な鋼製仮締切設備で囲って内部をドライにし、取水放流設備を建設する工法が採用されている。

宮川ダムの選択取水設備の場合も、発電停止に伴う減電補償費を賄いきれないため、貯水位を維持したまま選択取水設備を設置する必要があった。しかし、過大な仮締切を用いる従来工法を採用すると、大幅な建設費が必要となるため、新たなゲート構造と工法の開発が求められた。

その対策工として、選択取水設備底部をチャンバー構造とし、放流管用トンネル掘削時にはチャンバーを仮締切として利用する工法を考案した。この考案により、従来工法に比べ工事費を40％以上削減することが可能となった。今後の参考とするため、その概要を紹介する。

2. 検討対象の概要

(1) 宮川ダムの概要

宮川ダムは、三重県多気郡宮川村大字久豆に位置し、治水・灌漑・発電を目的として、一級河川宮川をせき止めて昭和32年に竣工した堤高88.5mの重力式コンクリートダムである(写真ー1)。また、宮川上流は、国土交通省が実施する一級河川の水質調査において、常に全国トップクラスの水質を維持する清流として名を馳せている。一方、三重県では、下流は生活廃水などで汚濁化が進んでおり、流域全体の水質改善・水環境の保全を提唱した「宮川流域ルネッサンス・ビジョン」を策定し、県民とともに豊かで清らかな川の流れを甦らせ、自然環境と調和した魅力ある流域作りを目指している。

写真ー1　宮川ダム下流側の眺め

*　プラント事業部　機械情報通信技術部
**　名古屋支店　技術部

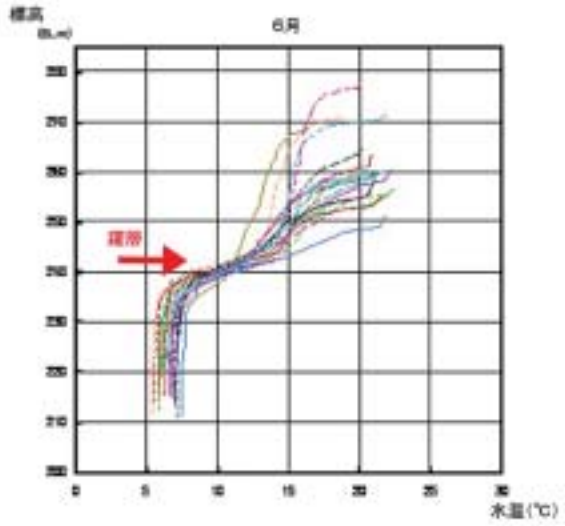
宮川ダムには、既設の放流設備がある。しかし、放流管呑口は、常時満水位（EL.280.0m）より40m低い最低水位EL.240.0mにあり、貯水池下層部からの冷水放流が下流河川に生息しているアユやアマゴなどの生態系に多大な影響を与えていると指摘されてきた。また、ダムからの濁水放流の懸念もあり、貯水池上部の温水取水と濁水放流の軽減を目的とした対策設備として、新たに選択取水設備を設置することとなった。宮川ダムの諸元を表ー1に示す。

表ー1　宮川ダム諸元

形式		直線重力コンクリート式
目的		治水、灌漑、発電
竣工		昭和32年5月
堤高		88.5m
堤体積		388,600m³
流域面積		125.6km²
貯水池運用水位	サーチャージ水位	EL.283.0m
	常時満水位	EL.280.0m
	制限水位	EL.270.0m（7/21～8/20）
		EL.276.0m（8/21～9/30）
		EL.278.0m（10/01～10/15）
取水放流	灌漑	5.12m³/s
	河川維持流量	0.50m³/s
	発電	24.0m³/s　（流域変更）

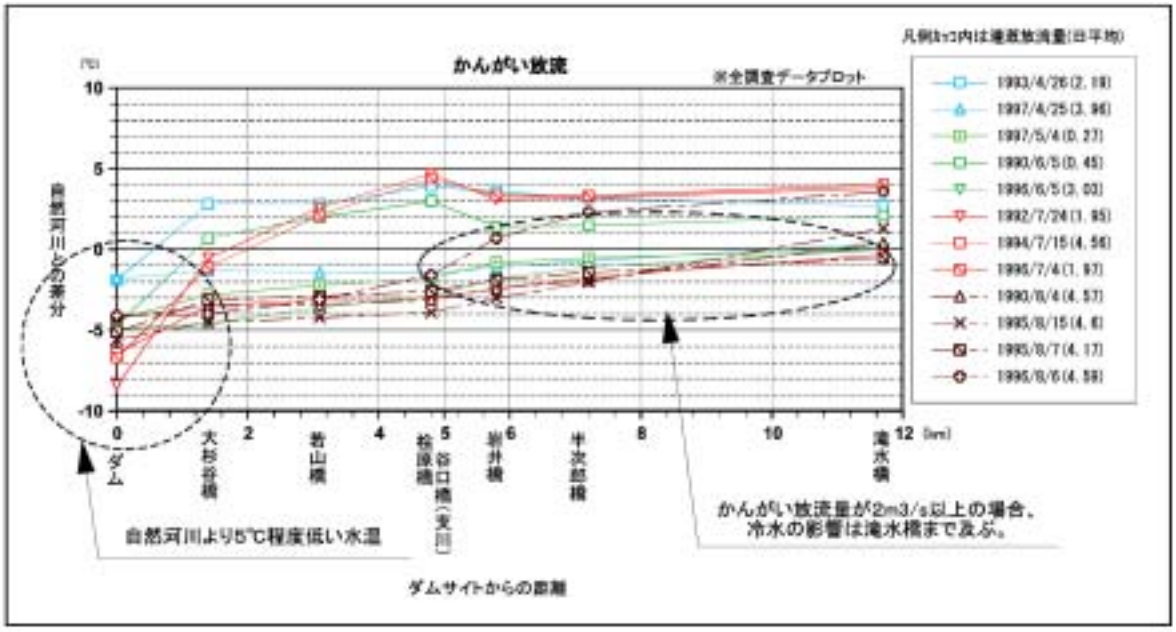
（2）水質状況

貯水池およびダム下流河川においては、水温、濁度、浮遊物質量（SS）、pHの4項目の水質について定期的に観測されている。この測定結果の内、水温観測データを見ると、ダムからの放流水は、自然河川水温と考えられる貯水池流入地点における水温と比較して約5℃低い水温となっていることがわかる（図ー1）。



図ー1　貯水池水温分布（6月）

各観測点のデータをダムからの距離をx軸としてプロットすると、放流時の河川での水温変化を見ることができる（図ー2）。このことから、ダムより河川維持流量（0.50m3/s）程度を放流する場合には、ダム下流約2km程度で自然河川温度に回復するが、灌漑放流量（5.12m3/s）の放流を行うと、ダム下流12km地点においても冷水の影響が残ることがわかる。



図ー2　灌漑放水時の下流側の水温変化

3. 取水設備設計条件

宮川流域ルネッサンス事業との絡みもあり、宮川ダムからの冷水・濁水放流の改善策として、任意標高から取水可能な選択取水設備を設置することとなった。選択取水設備の設計条件は以下のとおりである。

(1) 放流量

設計放流量は、灌漑用に5.12m³/s、河川維持流量として0.50m³/sである。なお、これらの放流は、表ー2に示す新設および既設放流設備によって行う計画である。

表ー2　設計放流量

放流設備	放流量(m³/s)	放流時の基準水位
放流主バルブ	0.5～5.12	EL.250.0～EL.280.0
維持放流バルブ	0.50	EL.245.0～EL.283.0
維持放流発電設備	0.50	EL.245.0～EL.283.0

(2) 選択取水範囲

選択取水範囲は、常時満水位より4m低いEL.276.0m(上限)から最低水位より5m高いEL.250.0m(下限)とした(表ー3)。これは、過去20ヶ年間の実績データから、貯水位がEL250mより低下したのは2回のみであり、これが生じたのは貯水池水温分布が鉛直方向にほぼ一定となる1月～2月のことであったので、この水位以下での選択取水設備の効果はほとんどないと判断し、経済性を考慮したことによる。ちなみに、上記選択取水範囲では、冷水問題の対策が必要な期間(4月～10月)の貯水位の98%以上をカバーできる。

また、既設放流設備から最低水位の取水が可能なことから、貯水位EL.250m以上の場合には新規の選択取水設備を利用し、EL.250m以下の場合にはEL.240mに設置されている既設放流設備を利用する計画とした(表ー4)。

表ー3　取水範囲

選択取水上限水位	EL.276.0m	
選択取水下限水位	EL.250.0m	
	維持放流	灌漑放流
対象流量	0.50m³/s	5.12m³/s
運用期間	通年	4月初旬～8月末

表ー4　施設運用計画

貯水位	利用施設	取水形態
EL.283m～EL.276m	選択取水設備	EL.276m より中間取水
EL.276m～EL.250m	選択取水設備	選択取水
EL.250m～EL.240m	既設放流管	EL.240m より低部取水

(3) 工事中の水位

取水設備据付期間中は、施工の安全性と経済性の面から貯水位は低いほど好ましい。しかし、洪水期間中の貯水位維持が困難なこと、減電補償が不要な発電最低水位を厳守しなければならないことから、貯水位の変動が発電に影響を及ぼさないようにするために非洪水期(11月1日～翌年5月31日)に貯水位を発電最低水位より5m高いEL.250mとした。この結果、EL.250m以深の作業は水中施工となる。

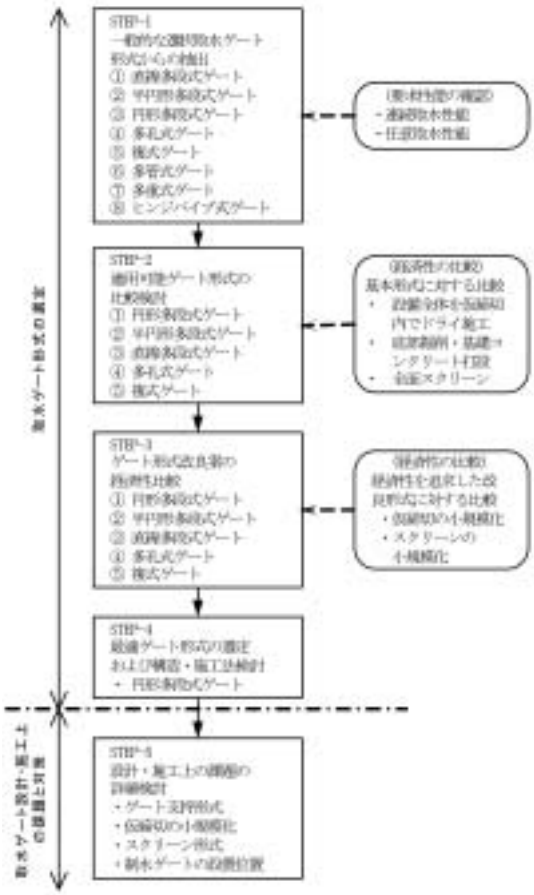
また、洪水期(6月1日～10月31日)は、施工の安全性を重視し、貯水池水位を通常運用に戻す計画とした。

4. 最適ゲート形式の選定

本検討業務においては、学識経験者および有識者からなる宮川ダム設計施工検討委員会（委員長：鈴木徳行名城大学教授）において、最適ゲート形式と設計・施工上の課題に対する対策を検討・審議・決定した。

(1) 選定手順

新しいゲート構造を模索する上で、その基本となるゲート形式を選定する必要がある。本検討業務においては、図ー3に示す手順で最適ゲート形式を選定した。



図ー3　ゲート形式選定と検討のフロー

ステップ－1として、一般的な選択取水ゲート8形式から、本設備の要求性能を判断基準として5形式を抽出した。ステップ－2では、後述する一般的な構造・施工法によるこれらの5形式の経済比較を行い、基本形での順位付けを行った。しかし、ここで最適とされたゲート形式は、同規模の新設設備に比べ高価であるが、経済性比較の基準となるものである。

ステップ－3では、経済性追求のため、工事費に大きな割合を占める仮締切とスクリーン構造を見直し、比較5形式の構造改良を試みた。ステップ－4では、改良5形式での経済性比較と最適ゲート形式の選定を行った。ステップ－5では、最適ゲート形式の細部構造について、課題の抽出と対策の検討を実施した。

以下に比較検討の詳細を述べる。

(2) 最適ゲート形式

1) 要求性能による抽出(ステップ－1)

選択取水ゲートとして一般的に採用されているゲート8形式から、本設備に要求される機能、連続取水性能および任意取水性能を満足する5形式、①円形多段式ゲート、②半円形多段式ゲート、③直線多段式ゲート、④多孔式ゲート、⑤複式ゲートを選定した。

2) 経済性による選定(ステップ－2)

これら5形式に対して、一般的な構造・施工法での最適なゲート形式を選定する。ここでの目的は、本工事の特有条件に合わせた改良を加える原案を選定すること、および経済性の向上効果を確認するための基準工事費の算定である。なお、ここでいう「一般的な構造・施工法」とは、以下の条件を表している。

- 取水設備全体を鋼製の仮締切で覆い、設備の周辺をドライにして施工する。
- 取水設備基礎部は、直接岩着させる形式とし、必要な基礎掘削と基礎コンクリート打設を行う。
- 取水ゲート周辺全面にスクリーンを設ける。ただし、多孔式ゲートは呑口スクリーンとする。

これら条件の下で比較検討した結果、半円形多段式ゲートが経済性で最も優位となったが、その工事費は約35億円となった。

3) コスト縮減の観点からの改良(ステップ－3)

宮川ダム取水設備特有の設計・施工条件を考慮に入れて、原案の改良を検討することである。ステップ－2において算出した工事費に大きな割合を占めている仮締切工とスクリーンに改良の余地があることがわかった。したがって、改良案作成は、次の2点に絞り考案した。

(a)仮締切工の小規模化

(b)スクリーンの小規模化

「仮締切の小規模化」については、以下のように考えた。すなわち、従来仮締切は、放流管トンネル掘削時の貯留水の流入防止(トンネル閉塞)と取水設備自体のドライ施工を目的としている。しかし、橋脚や海洋構造物などに着目すれば、必ずしもすべての構造物をドライ施工しているわけではない。そこで、仮締切をトンネル閉塞のみを目的とし、ゲート自体は水中施工すると仮定すれば、選択取水ゲートを鋼製チャンバーとする構造が考えられる。このことにより、改良案の第一の前提条件は、底部構造を仮締切兼用のチャンバー形式としてゲート構造の改良とした。

「スクリーンの小規模化」は、ゲート自体に比べてスクリーンの重量が大きいことから、選択取水設備の設計においては常々問題とされることである。宮川ダムの場合、スクリーンを全面に設置すれば、堤体上流部のフーチングを越え堤体下部まで施工することになり、基礎工の施工量が著しく増大することもあり、選択取水ゲート呑口にのみスクリーンを設置する案が浮上した。経済性の追及と流木による目詰まりによる維持管理費の増大の可能性とのトレードオフが考えられるが、経済性の追求を念頭に入れた改良の検討を進めた。

なお、ステップ－2で最適となった半円形多段式ゲートのみに絞って改良を加えるのではなく、他の4形式についても改良案が考えられることから、5形式すべての改良案を考案して比較検討した。

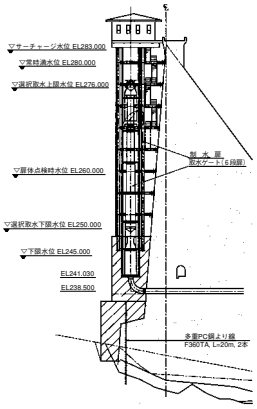
まず**表－5**に示すように、それぞれのゲート形式について、仮締切の大小、スクリーンの大小の掛け合わせによる4ケースの比較案を作成し、それを5形式の各案に適用した工事費の比較を行った(**表－6**)。この結果、底部チャンバー構造で呑口にスクリーンを設置した円形多段式ゲートが最も経済性で優位となり、原案の半円形多段式と比較して40％以上のコスト縮減が可能であることが判明した。

表―5　仮締切およびスクリーンを小規模化した場合の構造上の相違（円形多段式ゲートの例）

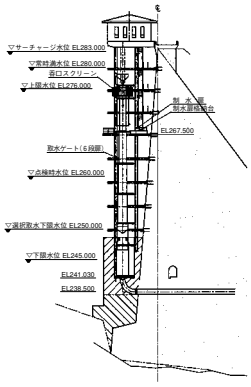
スクリーン形式（全面スクリーン → 呑口スクリーン）

切の規模（大仮締切 ↓ 小仮締切）

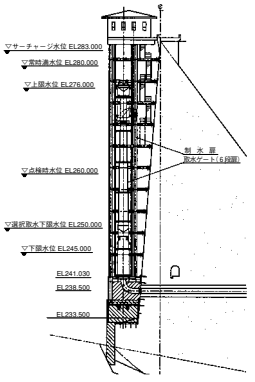
A1：基本形式（大仮締切・全面スクリーン）

概要図	構造概要
	・ゲート設備全体を仮締切で囲いドライ施工する。 ・仮締切には、ポンプで排水可能な程度の漏水を許容する水密性が要求される。（施工時のみ） ・固定式スクリーンを、取水塔全面4面にゲート底部から設計洪水位＋余裕高まで設置する。 諸元 ・仮締切寸法：高 35m×幅 10m×奥行 9m ・取水塔構造：堤体付 4 本支柱構造、全高 36m ・ゲート段数：6 段 ・スクリーン：固定全面スクリーン、全高 36 m ・基礎工：EL.248.5 以下は、コンクリート構造とする。多重 PC より線による施工時（大仮締切による）浮力対策を実施

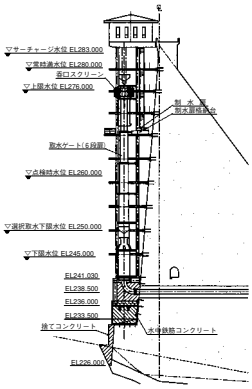
B1：大仮締切・呑口スクリーン形式

概要図	構造概要
	・ゲート設備全体を仮締切で囲いドライ施工する。 ・仮締切には、ポンプで排水可能な程度の漏水を許容する水密性が要求される。（施工時のみ） ・固定式スクリーンを取水ゲート呑口部のみに設置する。 諸元 ・仮締切寸法：高 35m×幅 10m×奥行 9m ・取水塔構造：堤体付 3 本支柱構造、全高 36m ・ゲート段数：6 段 ・スクリーン：固定呑口スクリーン、全高 1.5m ・基礎工：EL.248.5 以下はコンクリート構造とする。多重 PC より線による施工時（仮締切による）浮力対策を実施

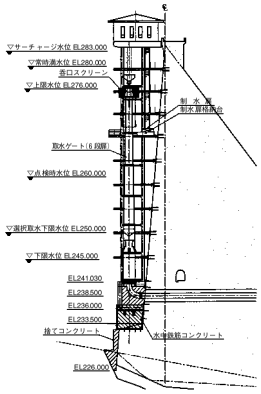
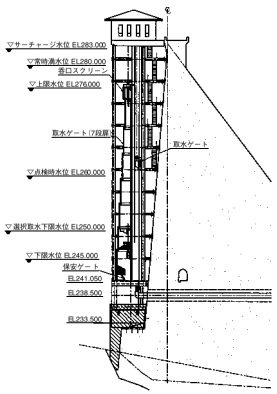
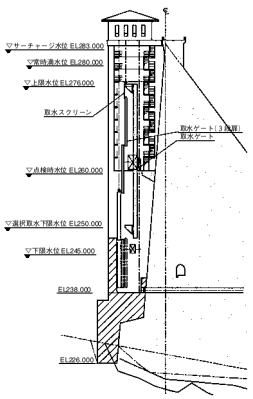
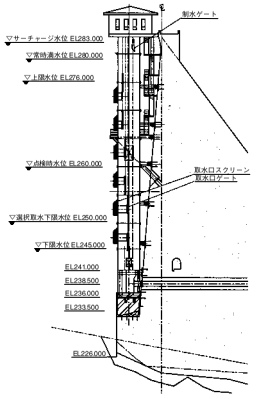
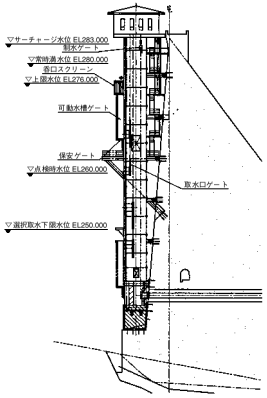
A2：小仮締切・全面スクリーン形式

概要図	構造概要
	・取水ゲート下部をチャンバー構造とし、施工時には仮締切として利用する。施工時の上部からの進入・搬入用に、チャンバー上部には仮設連結管を取り付ける。 ・取水ゲート底部に溶接構造の曲管を放流管に接続することで、完全水密を図る。したがって、チャンバーには、通常の仮締切と同様にポンプで排水可能な程度の漏水を許容する水密性が求められる。 ・固定式スクリーンを、取水塔全面4面にゲート底部から設計洪水位＋余裕高まで設置する。 諸元 ・仮締切寸法：高 5m×幅 6.5m×奥行 6.4m（チャンバー寸法） ・取水塔構造：堤体付 4 本支柱構造、全高 43m ・ゲート段数：6 段 ・スクリーン：固定全面スクリーン、全高 43 m ・基礎工：EL.236.5 以下に基礎コンクリート打設、浮力は自重で抗抗する。

B2：小仮締切・呑口スクリーン形式

概要図	構造概要
	・取水ゲート下部をチャンバー構造とし、施工時には仮締切として利用する。施工時の上部からの進入・搬入用に、チャンバー上部には仮設連結管を取り付ける。 ・取水ゲート底部に溶接構造の曲管を放流管に接続することで、完全水密を図る。したがって、チャンバーには、通常の仮締切と同様にポンプで排水可能な程度の漏水を許容する水密性が求められる。 ・固定式スクリーンを取水ゲート呑口部のみに設置する。 諸元 ・仮締切寸法：高 5m×幅 6m×奥行 5m ・取水塔構造：堤体付戸当りのみ、全高 36m ・ゲート段数：6 段 ・スクリーン：固定呑口スクリーン、全高 1.5m ・基礎工：EL.236.5 以下に基礎コンクリート打設、浮力は自重で抗抗する。

表—6　ゲート形式改良によるコスト縮減効果

項目	① 円形多段式ゲート	② 半円形多段式ゲート	③ 直線多段式ゲート	④ 多孔式ゲート	⑤ 複式ゲート
A1案：基本形式 ・大仮締切 ・全面スクリーン	103% ・取水設備 : 36% ・放流設備 : 5% ・仮締切 : 40% ・土木工事費 : 22%	100%（基準値） ・取水設備 : 28% ・放流設備 : 5% ・仮締切 : 44% ・土木工事費 : 23%	104% ・取水設備 : 26% ・放流設備 : 5% ・仮締切 : 44% ・土木工事費 : 29%	124% ・取水設備 : 33% ・放流設備 : 5% ・仮締切 : 49% ・土木工事費 : 37%	130% ・取水設備 : 37% ・放流設備 : 5% ・仮締切 : 50% ・土木工事費 : 38%
B1案： ・大仮締切 ・呑口スクリーン	91%（▼12%） ・取水設備 : 23% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 40% ・土木工事費 : 22%	91%（▼9%） ・取水設備 : 21% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 42% ・土木工事費 : 22%	102%（▼2%） ・取水設備 : 25% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 44% ・土木工事費 : 27%	124%（削減なし） 基本形式でのコスト比較ですでに採用している。	118%（▼12%） ・取水設備 : 30% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 46% ・土木工事費 : 36%
A2案： ・小仮締切 ・全面スクリーン	77%（▼26%） ・取水設備 : 50% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 3% ・土木工事費 : 18%	90%（▼10%） ・取水設備 : 62% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 2% ・土木工事費 : 20%	削減はなし	適用外	72%(▼58%) ・取水設備 : 46% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 2% ・土木工事費 : 18%
最も経済的な案　形式	B2案（小仮締切・呑口スクリーン）	B2案（小仮締切・呑口スクリーン）	B1案（大仮締切・呑口スクリーン）	B2案（小仮締切・呑口スクリーン）	B2案（小仮締切・呑口スクリーン）
概要図					
コスト比率	・取水設備 : 34% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 3% ・土木工事費 : 16% 計 : 59%（▼44%） ◎	・取水設備 : 49% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 3% ・土木工事費 : 20% 計 : 78%（▼22%） △	・取水設備 : 26% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 44% ・土木工事費 : 26% 計 : 102%（▼2%） ×	・取水設備 : 40% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 2% ・土木工事費 : 16% 計 : 64%（▼60%） ○	・取水設備 : 40% ・放流設備 : 6% ・仮締切 : 2% ・土木工事費 : 16% 計 : 64%(▼66%) ○

注）　各ゲート形式および内訳に示された数値（%）は、半円形多段式ゲートのA1案の工事費を100%とした場合の比率を示す。（▼：減額　△：増額）
括弧内に示された数値（%）は、各ゲート形式のA1案に示された値からの減額分（半円形多段式ゲートのA1案を100%とした場合の比率）を示す。

まとめ：　宮川ダム選択取水設備としての要求性能を満足する5形式の内、円形多段式ゲートが最も経済的となるので、**円形多段式ゲートを選定する。**

5. 設計・施工上の課題の詳細検討

(1) 設計・施工上の課題の抽出

上記にて最適と判断された改良型円形多段式ゲートは、実施設計において、以下の細部構造の検討を行った。

・扉体支持方法
・開閉装置室支持方法
・チャンバーの水中施工
・呑口スクリーン

(2) 扉体支持方法

選択取水ゲート底部をチャンバー構造とする場合、施工中の支持方法として以下の3通りが考えられる。

A案：堤体抱込方式
B案：支柱支持方式
C案：基礎コンクリート方式

これらの支持方式は、ダム堤体に引張応力が常時発生するケースや扉体空虚時の浮力対策、水密性の要求度、水中工事を含む施工法に関して大きな差異が生じる。比較検討の結果を表ー7に示す。

比較検討の結果、下記理由よりC案の基礎コンクリート支持方式を選定した。

・A案は、斜材を通じて常時堤体にコンクリート引張荷重が作用して堤体への応力的影響が懸念される。一方、C案は、堤体に引張応力を発生させることもなく、堤体安定上最も望ましい形式である。
・C案のチャンバーは仮設備の扱いと考えられるため、50％の応力度割増が適用可能となり、チャンバー重量が軽減でき経済性で最も優位となる。

一般には水中作業を極力少なくすることが経済的となるが、当該設備においては、底部チャンバー抜水時の浮力対策として必要な鋼材が過大となり、経済性の面でC案が他案よりも有利となった。

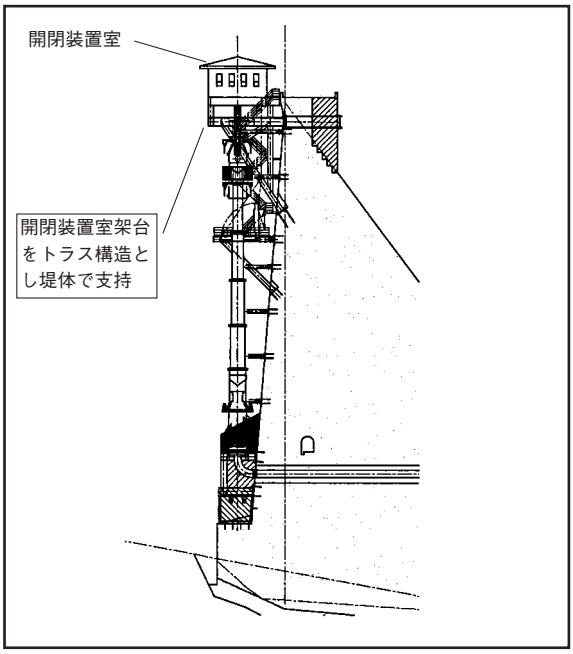
(3) 開閉装置支持方法

開閉装置室の設置位置は、ダム軸より上流側か下流側かの2通りが考えられる。宮川ダムでは、サーチャージ水位がダム天端に近いので、ダム軸下流側に開閉装置室を設置してワイヤロープを引き回す配置が、ゲート上部に設置する上流案よりも経済性の面ではるかに劣ることがわかった。

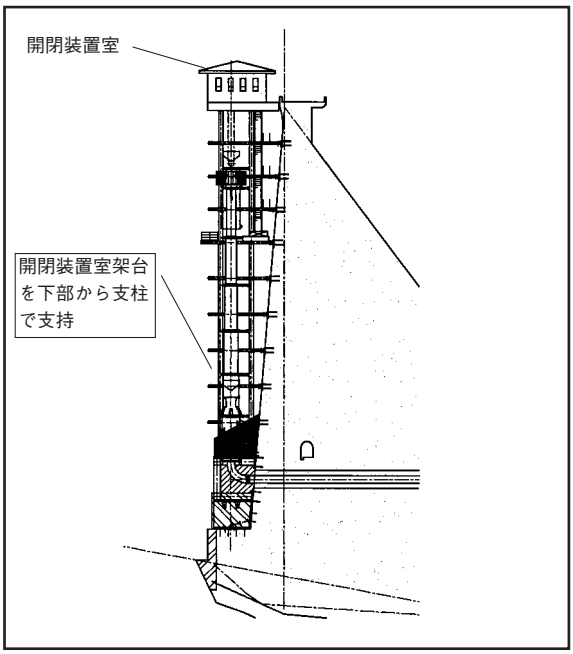
ゲート上部の開閉装置室の支持方式は、以下の2案が考えられる。

A案：堤体支持方式(アンカー支持)
B案：支柱方式

堤体支持方式の概略図を図ー4に、支柱支持方式の概略図を図ー5に示す。



図ー4　堤体支持方式

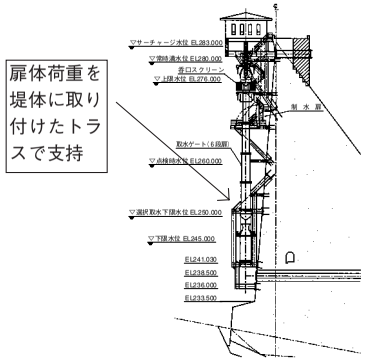
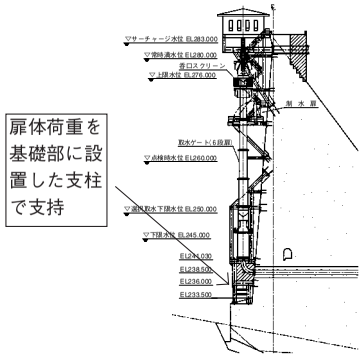
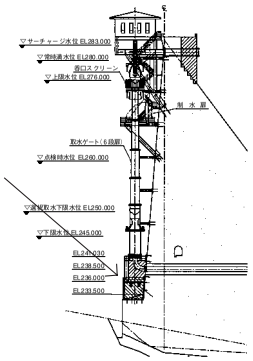


図ー5　支柱支持方式

支持方式の選定にあたっては、構造性、施工性、地震時挙動特性の観点から比較検討した。その結果、B案が堤体に与える力学的影響の面で多少優位ではあるものの、A案の方が施工性・経済性において優位であると判明した。

特にB案ではゲート中心がA案よりも0.7mダム軸から離れ、フーチング上流の堤体下部まで基礎工事作業が増加し、施工工程がA案より約1ヶ月延び、洪水期工事との兼ね合いから工事期間が1年間延びる。この理由からも、貯水池水位に影響されず、すべての作業が気中で可能であるA案の堤体支持方式を採用することとした。

表－7　扉体支持方式の比較

項　　目	A案　堤体抱き込み方式	B案　支柱支持方式	C案　基礎コンクリート支持方式
概要図			
構造概要	①　取水ゲート底部を鋼製チャンバー構造とし、放流管呑口部に沈埋・設置・抜水することで、放流管用トンネルの仮締切ゲートを兼用する。工事期間中、チャンバー上部には円筒を設置し、取水ゲート底部及び側部戸当りの据付調整を気中にて行う。 ②　扉体、戸当り、チャンバーにかかる浮力、重力、地震荷重等を斜材および水平材を通し、堤体に取付けた部材とアンカーで支持する。横荷重支持のためチャンバー戸当りを堤体に埋め込む。 ③　自重を軽くするため、チャンバー内部に曲管は設置しない。強度部材となるため、チャンバーは、永久構造物の設計となる。 ④　チャンバーと堤体との水密対策として、チャンバー戸当りを小仮締切（ケーソン）によるドライ施工として、据付精度を高める。ただし、チャンバー自体は、ボルトナットによる水中施工とする。 チャンバー外周に配置した水密ゴムにより仮水密を施し、内部よりシールド溶接をして永久水密対策を施す。 ⑤　EL.250.0以上の鋼製取水塔用アンカーは、気中作業で行う。	①　仮締切としての構造は、A案①と同様。 ②　チャンバーにかかる下向き荷重は、4本の円筒支柱で支持する。チャンバー上部には、左案と同様に斜材、水平材を配置し、浮力による上向き力を支持する。横荷重を支持するため、チャンバー戸当りを堤体に埋め込む。 ③　チャンバー内部に曲管を設置し水理性を高めるとともに、内部にコンクリート充填し、浮力を最小限に押える。チャンバーの部材を通して荷重が伝達されるため、チャンバーは永久構造物として設計される。 ④　溶接構造の曲管が設置されるため、チャンバー自体には高い水密性を要求されない（コンクリート充填までの工事期間中は、ポンプを用いて排水する）。 ⑤　EL.250.0以上の鋼製取水塔用アンカーは、気中作業で行う。	①　仮締切としての構造は、A案①と同様。 ②　チャンバーを基礎コンクリート上に設置し、下向き荷重を支持する。チャンバーと基礎コンクリート自重が浮力に勝っているため、上向き力（浮力）は作用せず、斜材などの支持部材は不要となる。チャンバー戸当りを堤体に埋め込む必要はない。 ③　チャンバー内部に曲管を設置し水理性を高めるとともに、内部にコンクリート充填する。チャンバーは、仮締切とコンクリート打設型枠の代用が目的となり、仮設構造物として設計される。 ④　チャンバーの要求水密性能については、B案④と同様。 ⑤　EL.250.0以上の鋼製取水塔用アンカーは、気中作業で行う。 ⑥　基礎コンクリートを水中で打設するため、水深20m程度での型枠作業等の水中作業をする必要がある。
構造の安全性	・　チャンバーは、ロックボルトを堤体に埋め込んで固定する。ただし、斜材部分において、堤体コンクリートには常時引張応力が発生する。 ・　地震による横荷重を支持するため、堤体を掘削して支持桁を埋め込む必要がある。 ・　永久構造物として設計されるため、許容応力の割増はしない。	・　施工中に発生する浮力に対しては斜材による圧縮力、自重に対しては支柱による圧縮力が支配的になり、堤体コンクリートに大きな引張応力は働かない。斜材寸法は、A案と同様となる。 ・　地震による横荷重を支持するため、堤体を掘削して支持桁を埋め込む必要がある。 ・　永久構造物として設計されるため、許容応力の割増はしない。	・　堤体コンクリートに浮力、自重による引張応力は働かない。 ・　地震による横荷重は小さいので、アンカーにより対応可能である。 ・　チャンバーは、施工期間中のみ強度部材として使用されるため、仮締切として許容応力の割増が可能である（施工時最大水位に対し100%、設計洪水位に対し降伏点応力の90%）。
施工性	・　水中最深部での基礎工工事が省略できる。 ・　チャンバー戸当りは、小仮締切によりドライ状態で施工する。 ・　チャンバー自体は水中施工となる。施工時の水密が完全でないと、シールド溶接が困難になる。 ・　取水ゲート戸当りの据付は、円筒仮締切によるドライ施工となる。	・　水中最深部での基礎工工事は、C案よりも作業が少ないが、フーチング切削、支柱底部据付などの工事が必要である。 ・　チャンバー戸当りは、小仮締切によりドライ状態で施工する。 ・　チャンバー自体は、水中施工となるが、水密性を要求されるのは施工時のみなので通常の仮締切と同程度の施工性となる。 ・　取水ゲート戸当りの据付は、A案と同様ドライ施工となる。	・　水中最深部（水深20m近辺）での基礎作業が3案の中で最も多く、土木工事の難易度が高い。 ・　チャンバー戸当り、チャンバー共に通常の仮締切と同様に水中施工となる。 ・　取水ゲート戸当りの据付は、A案と同様ドライ施工となる。
水密性	・　施工時は、気中施工による戸当りと水密ゴムにより、通常の仮締切よりも高い水密性を保つことができる。 ・　完成後は、チャンバー内面をシールド溶接により完全水密する。	・　施工時は、気中施工による戸当りと水密ゴムにより、通常の仮締切よりも高い水密性を保つことができる。 ・　完成後は、溶接構造の曲管があるため、完全水密となる。	・　施工時は、水中施工による戸当りのため、通常の仮締切と同程度の水密性となる。（漏水は、常時ポンプを起動して排水する。） ・　完成後は、B案と同様に完全水密が期待できる。
経済性	1.15 機械設備工事費：0.88、土木工事費：0.27	1.16 機械設備工事費：0.89、土木工事費：0.27	1.00 機械設備工事費：0.70、土木工事費：0.30
評価	△ ・　堤体コンクリートに常時引張応力が作用するため、構造の長期安全性にリスクを残す。 ・　チャンバー戸当りはドライ施工となるので水密性は、通常のゲートと同様である。完成時にはチャンバー水密部にシールド溶接をするので完全水密が期待できる。 ・　チャンバー支持桁に高い剛性が要求され、構造物としての経済性に劣る。	△ ・　施工中に大きな浮力が発生するため、チャンバーの支持金物が必要となり、チャンバー支持金物自体はA案と同寸法となる。 ・　溶接構造の曲管を放流管呑口に接続するため、完成後はゲート底部以降で完全水密が期待できる。 ・　A案に加えて、チャンバー底部の支柱、基礎掘削などの工事があり、経済性の面でA案よりも劣る。	○ ・　構造的には最も安定している。 ・　水深20m程度での基礎工作業が3案の中で最も多いが、全体の工程・工事費に及ぼす影響は少ない。 ・　経済性において3案の中で最良案となる。

(4) チャンバーの水中施工

宮川ダムの取水放流設備の施工手順の概要を図ー6に示す。施工手順から明らかなように、ゲート底部チャンバーを仮締切として利用し、チャンバー上部には仮設連結管を取り付け、チャンバー内部のアクセスと給排気用として利用する。また、仮締切を小規模化するため、底部チャンバーは水中施工とせざるを得ない。水中施工上の問題点は、以下のことが考えられる。

・施工中の水密確保
・戸当りの据付精度の確保
・水中接合部の品質確保

1) 施工中の水密確保

堤体コンクリートには、打設精度の関係から3～5cm程度の不陸が存在する。チャンバー戸当りと堤体との水密の確保が第一の課題となる。水中作業となるチャンバーとチャンバー戸当りの水密確保の方法が第二の課題となる。さらに、同じく水中作業となるチャンバーと仮設連結管との水密方法が第三の課題といえる。

堤体との水密については、関東地方整備局の五十里ダムなどでの仮締切工法を調査した結果、モルタルコンクリートを使用して堤体コンクリートの不陸を調整し、膨潤ゴムの使用により対処可能と判断した。仮締切工法の事例から1分間に10 ℓ 程度の漏水が予想されるが、他の事例と同様に水中ポンプを設置することで対応可能である。

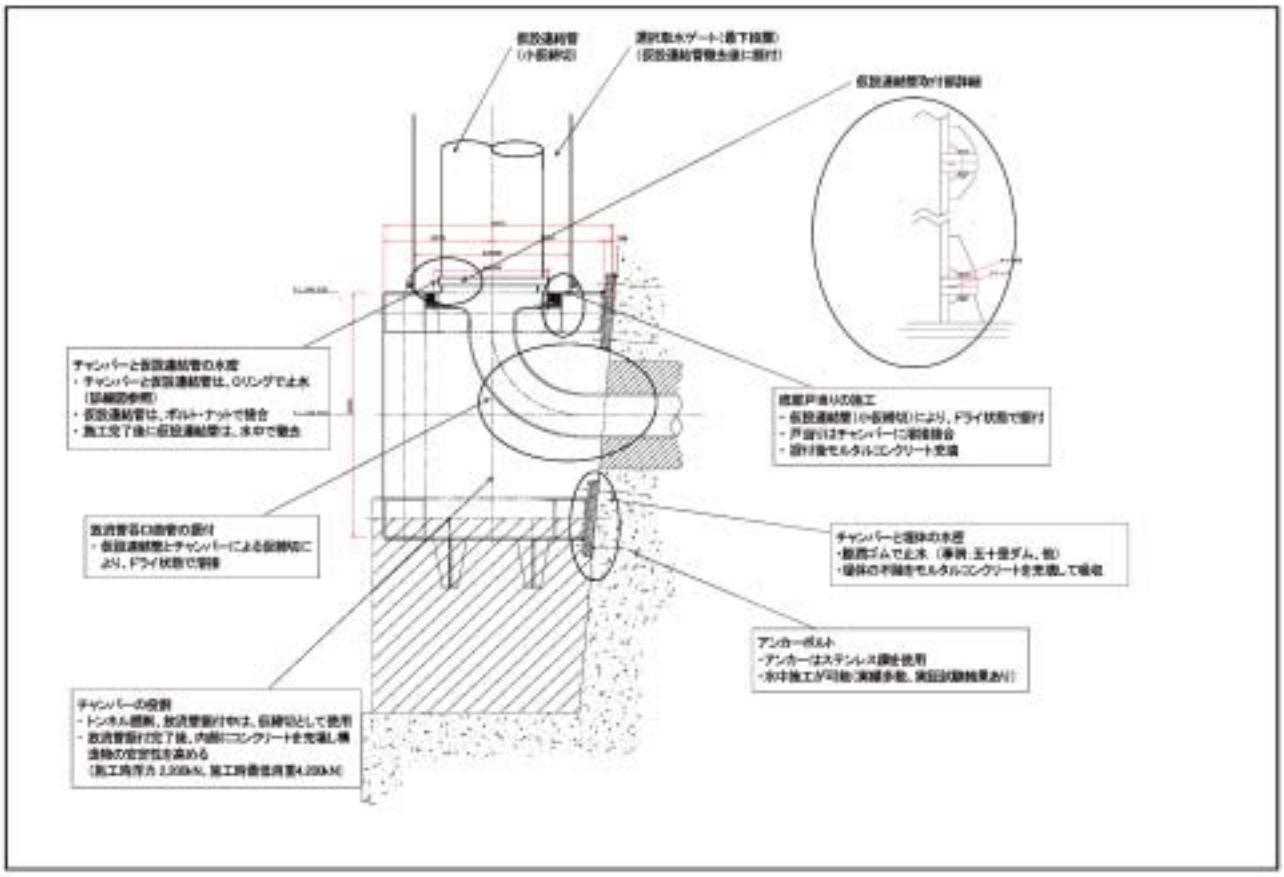
また、チャンバーとチャンバー戸当りとの水密については、台船上でチャンバーと戸当りを仮組して調整する方式とした。チャンバーと仮設連結管とは、図ー7に示すようにフランジ接合の中にOリングを挿入することで水密を保つ方式とした。

なお、最終的にはチャンバー内部には曲管を据え付け、その周りを高流動コンクリートで充填することとし、鋼管の溶接接合により、永久構造物としての水密確保は容易である。

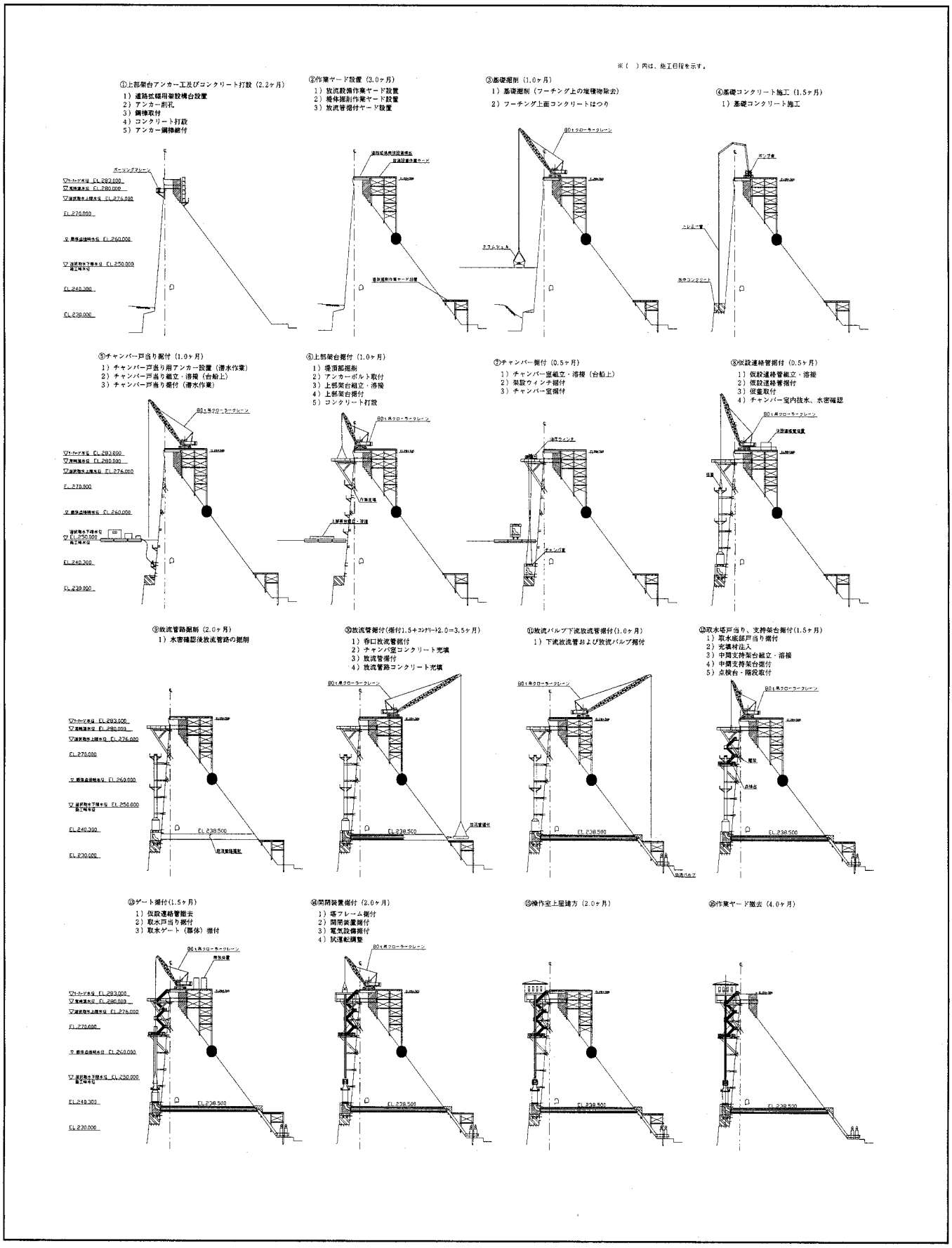
2) 戸当りの据付精度の確保

水密を必要とする戸当りは、チャンバー戸当りとゲート底部の水密板であり、水密の確保には戸当りの据付精度の確保が肝要である。

チャンバー戸当りは、前述のように台船上でチャンバーと一体物として組み立てるので精度の確認が可能である。



図ー7　チャンバー施工上の留意点と対策



図ー6　取水放流設備の施工手順

一方、永久構造物としての水密の確保が要求される底部水密板は、精密な据付精度が要求されるのでドライ施工が望ましい。そのため、作業員が底部水密板の据付調整ができる程度まで仮設連結管下部の内径を広げることとした。

3）水中接合部の品質確保

施工時貯水位を確保するため、底部チャンバーおよび仮設連結管の施工が水中作業とならざるを得ない。このため、水中での接合が必須となる。最近では水中溶接も可能となりつつあるが、必ずしも高い品質が期待できるわけではない。そのため、溶接箇所は気中作業を基本とし、水中部での接合はできる限りボルト締めとする方針で設計した。

最大の施工ピースとなる底部チャンバーは、図ー6に示すように、台船上で溶接し、その据付は開閉装置架台上に設置した架設ウインチで吊り下げることで水中溶接を回避した。

水中作業となる底部チャンバーとチャンバー戸当りとの接合は、ステンレス鋼製のボルト接合とした。最終的にはチャンバー内をコンクリート充填するので、導水路トンネルなどと同様の止水対策を施せばよい。また、チャンバー戸当りと堤体との固定には、海洋構造物で実績の多いアンカーボルトを使用することとした。底部止水板は、上述のようにドライ施工とし、チャンバーには水密溶接を施す計画である。

このように水中溶接を避けることで、接合部の品質確保に努めた。

(5) 呑口スクリーン

1）スクリーン設置形式の比較

スクリーンを呑口のみに設置すると、スクリーンパネルの小型化と塔体支柱の削減（合わせて約200トン）に加え、底部チャンバーの小形化、基礎工にかかる土木工事費の削減も可能となり、経済性で有利となる。この点と本ダムは比較的流木が少ないことに着目し、選択取水ゲートに取り付けるスクリーンを従来のゲート全面を囲う形式から変更して、上段ゲート呑口にのみ設置した場合の問題点と対策を検討する。

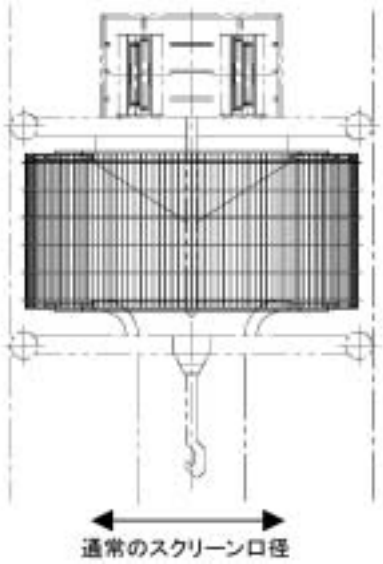
比較案として、全面スクリーン案、呑口スクリーン案、折衷案として粗めのスクリーンを全面に設置して呑口スクリーンを設置する案、呑口スクリーンに加えてネットスクリーンを取り付けた防塵浮標を設置する案が考えられる。

経済性は、呑口スクリーン案に比べどの案も20～30％程度のコスト増となる。これは、スクリーン用に鋼製支柱やガイドレール（防塵浮標案）を設置することが重量増に繋がるためである。

2）スクリーンの目詰まり対策

呑口スクリーンとした場合、全面スクリーンに比較して接近流速が速くなる。また、表面積が小さいため、一旦ごみ詰まりが始まると接近流速が速まり、加速度的に目詰まりを引き起こす恐れがある。

その対策として、全面スクリーンと同等の接近流速とすればごみ詰まりを起こしにくいことから、図ー8に示すように取水盆よりも呑口スクリーン径を大きくとり、接近流速を落とすこととした。



図ー8　呑口スクリーン構造図

なお、呑口スクリーン径は、取水塔寸法を変更しない程度までに最大限に大きく取り、接近流速をできる限り抑えることとした。表ー8にスクリーン接近流速の比較を示す。

表ー8　スクリーン接近流速の比較

取水量 (m^3/s)	呑口 (m/s)	全面 (m/s)	備考
5.12	0.25	0.19	灌漑時最大
3.03	0.15	0.11	灌漑時平均
0.50	0.02	0.01	維持放流

3）まとめ

当該ダムの取水特性を考慮すると、呑口スクリーン寸法を扉体構造から決まる最大寸法程度とすれば、下記の理由から目詰まり問題は発生しないと考える。

・実績から灌漑時最大取水量5.12m^3/sを2日間以上取水することはないと判断される。灌漑時平均取水量3.03m^3/sでは、接近流速は0.15m/sとなり、流木がスクリーンに吸い付く可能性は低い。

・年間を通じての常時取水は、維持放流0.50m^3/sのための取水であり、接近流速は0.02m/sとなる。この場合、ごみは、スクリーンに目詰まりする前に沈降する可能性が高い。

・流木が流れてくる洪水時には灌漑放流を行わないので、取水ゲートに流木が寄ってくる可能性は低い。
・スクリーン側部が目詰まりしても、スクリーン下部からの取水が可能である。下部面積（20％増加）を考慮すると全面スクリーンの場合の接近流速に近い。
・事例から一般に呑口部の接近流速は0.4～1.0m/s程度であり、本案のスクリーン接近流速はそれよりも遅い。

6. 対策工のコスト縮減効果

(1) 主要諸元

宮川ダムに新規に設置する選択取水設備の配置は、連続取水設備および任意取水の要求性能を満足する設備で、コスト縮減を目指した設計として検討した結果、下記のとおり決定された。

・設置型式：　ダム上流面に直接設置
・ゲート型式：　円形多段式ゲート　1門
・ゲート径：　ϕ1.15m～ϕ2.15m、　6段扉
・ゲート支持方式：　直接基礎支持方式
・開閉装置室支持方式：　堤体アンカー支持方式
・スクリーン：　呑口スクリーン、下部スクリーン
・制水ゲート：　制水蓋方式
・取水量：　0.50～5.12m^3/s

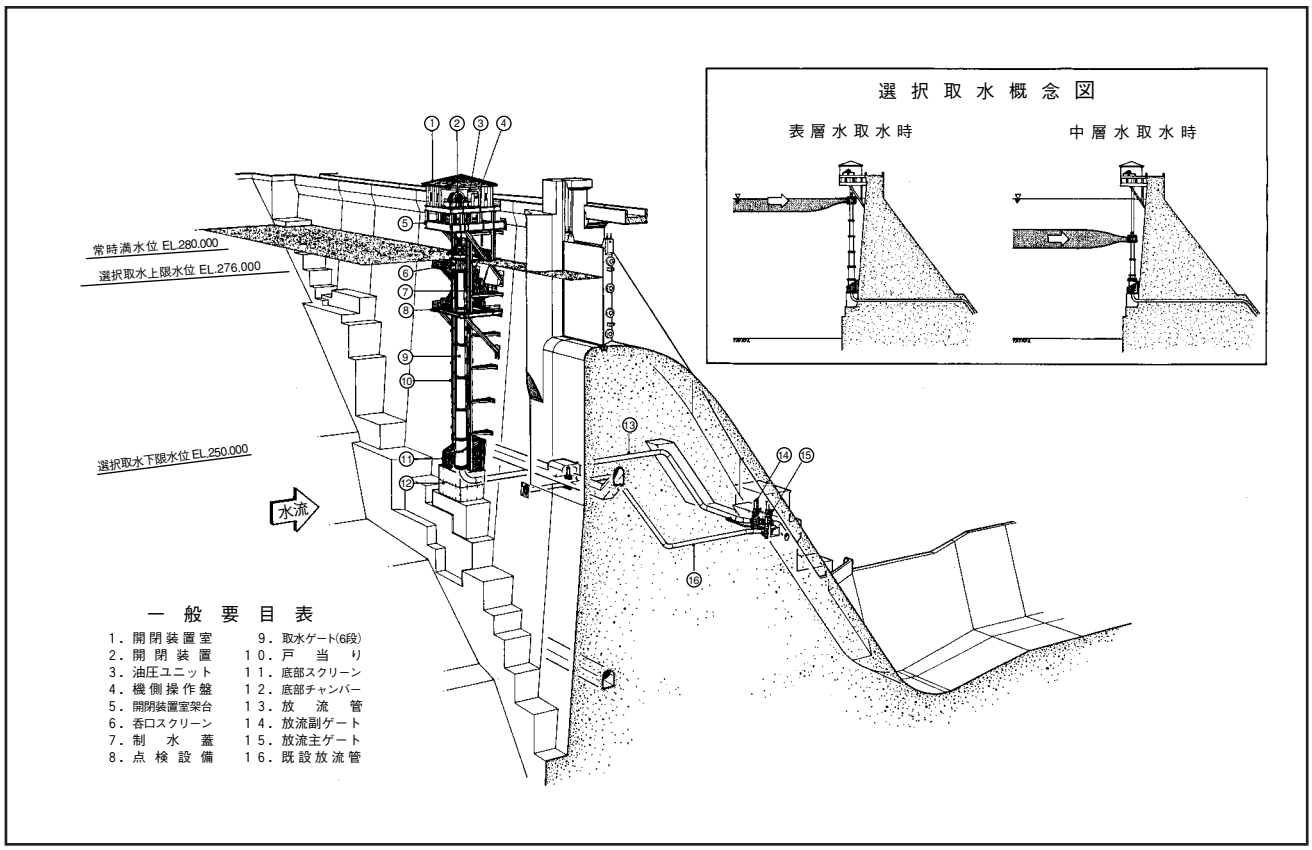
(2) コスト縮減効果

既設ダムに選択取水設備を新設する場合、従来工法ではダム上流面に鋼製大型仮締切工を設置して完全ドライ状態でゲートを施工する。しかし、この工法を用いると、工事費は、新設ダムに同規模の設備を設置する場合に比べてはるかに大きなものとなる。

当業務においては、直接基礎コンクリート方式による小規模仮締切工法の採用で、工事費を40％以上縮減することを可能とした。

7. おわりに

昭和30年代以前に建設された治水・利水ダムにおいては、当ダムのように放流設備呑口が貯水池低部に固定されているものが多い。また、発電用ダムにおいては河川維持放流設備が設置されていないダムも多い。一方、河川法の改正で河川環境の保全・改善が謳われており、今後当ダムのように既設ダムに選択取水設備の新設の必要性が増大すると予想される。公共工事投資が削減される昨今、当ダムで考案した工法が他ダムの選択取水設備設置工事の参考になれば幸いである。



図―9　宮川ダム選択取水・放流設備鳥瞰図

謝辞：本業務の遂行にあたり、貴重なご意見を賜った宮川ダム設計施工検討委員会の委員の方々、事務局として丁寧なご指導を戴いた財団法人ダム技術センターの関係者および三重県松阪地方県民局建設部ならびに三重県県土整備部河川チームの関係者に深く感謝の意を表します。

参考文献

1） 三重県松阪土木事務所、株式会社開発土木コンサルタント：宮川ダム選択取水設備概略設計委託報告書、平成8年3月

2） 松阪地方県民局建設部、財団法人ダム技術センター：平成11年度国補堰堤改良第1－分2003号一級河川宮川 宮川ダム国補堰堤改良選択取水設備概略施工計画検討評価業務報告書、平成12年3月

3） http：//www2.mint.or.jp/~miyagawa/inpaku/outline/confere/seminar/h13/no01.html

4） 星徳義ほか：取水口設備の水中工事、石川島播磨技報、別冊第7号、pp.52-57、1985

5） 中田光治ほか：王泊ダム表面取水設備工事報告、水門鉄管、No.163、pp.39-50、1990

6） 門馬博ほか：仮締切設備、取水と制水、No.19、pp.11-15、1992

7） 和歌山県土木部監理課、日本工営株式会社：平成5年度ダム水環境改善放流設備設計委託報告書、平成6年3月

8） 谷水克俊ほか：内場ダム堰堤改良事業工事報告、水門鉄管、No.185、pp.44-62、1996

9） 日立造船株式会社：田瀬ダム施設改良締切設備工事現場説明会資料、平成9年

10） 家入龍太：五十里ダム施設改良本体工事（栃木県）、日経コンストラクション、2000.12.22、pp.24-29、2000