

4 土木施設の点検、保守及び補修

4.1 水文気象状況の監視及び記録

(1) 監視目的

水力発電所及びその関連水路工作物の適切な運用・保守に当たっては、水力発電所周囲の水文気象状況の把握は欠くことができない。水文気象情報は降雨及び水位の監視を通じて得られる。蓄積されたデータは、常時及び洪水時における貯水池や調整池の水位予測、さらには水力発電所の効率的運用に活用される。

- 水文気象状況の把握に当たって、下記事項の監視が実施されることが望ましい。

1) 発電所及び取水口近辺での降雨

2) 貯水池水位（流れ込み式発電所の調整池水位を含む）及び放水路下流での河川水位

- 水力発電所及びその関連水路工作物の効果的な運用・保守の達成には、運用・保守規則に準拠した降雨及び水位についての監視結果の記録・報告・保管が欠かせない。

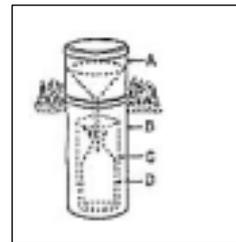
(2) 降雨の監視

降雨の日観測

- 降雨の日観測は発電所及び取水口近辺で実施することが望ましい。
- 普通雨量計による降雨の観測は、毎日午前9時又は他に定められた定時に行うこととする。
- 降水量は所定時間内に受水口を通った降水を同面積の水平面に溜まったときの水深で表し、読み取り単位はmmとする。
- 最小読み取り単位は、0.1 mmとする。

洪水時の降雨の時間観測

- 洪水時の降雨の時間観測データは、貯水池及び調整池における将来の洪水時水位の予測に活用される。しかしながら、洪水時に降雨の時間観測を行った場合に観測要員が被るかも知れない危険性を考慮して、その実施は自動雨量計が設置されている場合に限る。



Source: Manual of Hydrological Analysis, Nippon Koei Co., Ltd.

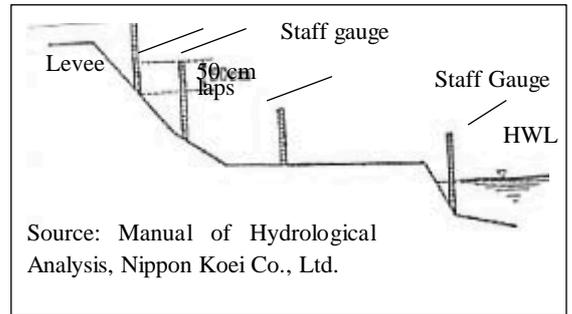
図 4.1.1 普通雨量計

(3) 水位の監視

水位の日観測

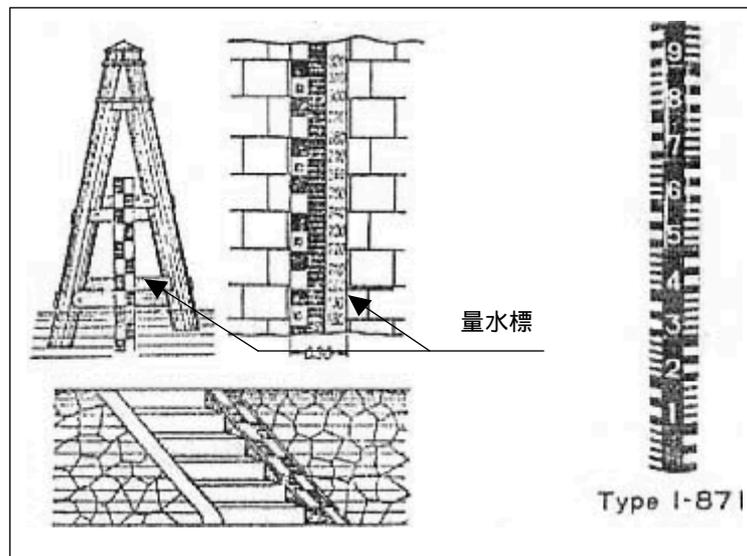
- 水位の日観測を貯水池式および流れ込み式発電所の調整池で実施することが望ましい。

- さらに、放水路下流での河川水位の日観測は河川流量を把握する観点から望ましい。
- 普通水位標は河川の背水影響を受けない位置に取り付け、その水位観測は毎日午前10時又は他に定められた定時に行うこととする。



- 量水板仕様の一例は下記の通りである。

- 1) 最小目盛：1 cm
- 2) 寸法：長さ.....1,000 mm, 幅.....130 mm



Source: Manual of Hydrological Analysis, Nippon Koei Co., Ltd

図 4.1.3 量水標の詳細

- 水位が常時変動するような調整池水位の観測には、自記水位計の設置が有効である。

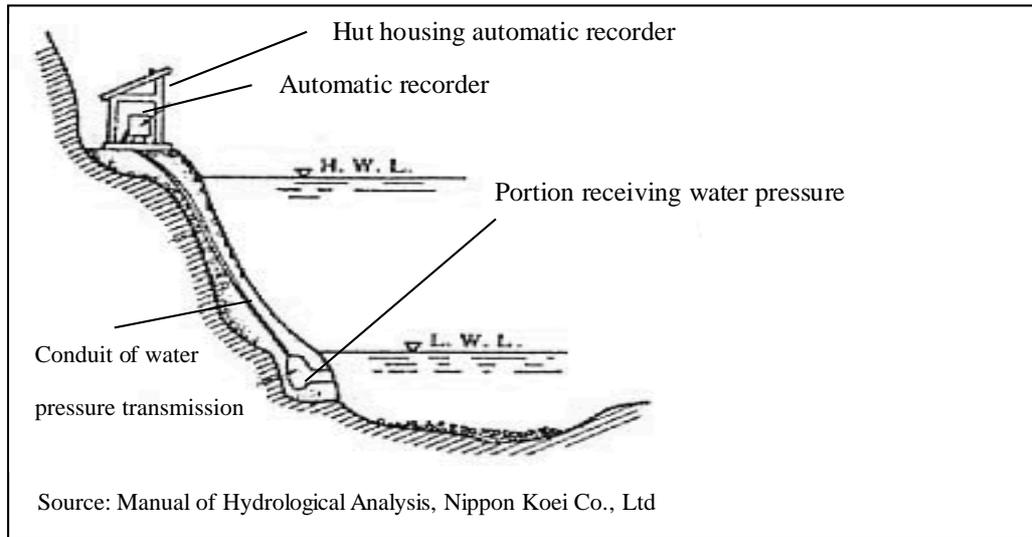


図 4.1.4 水圧式自記水位計の設置図

洪水時の水位の時間観測

- 洪水時水位の時間観測データは、貯水池及び調整池における将来の洪水時水位の予測に活用される。さらに、放水路下流での洪水時の河川水位の時間観測データは有益である。しかしながら、洪水時に水位の時間観測を行った場合に観測要員が被るかも知れない危険性を考慮して、その実施は自動水位計が設置されている場合に限る。
- 洪水時に放水路下流河川の時間水位記録のなかで、特に最高水位の記録をとることは、水力発電所関連施設の安全性を確認するうえで有益である。

4.2 水力発電施設点検の分類

水力発電施設（下図参照）の破壊やその部分破壊は、その施設運用を危機に陥れ、住民及び職員の生命・安全を危険にさらし、さらには決定的な財産損害を引き起こしかねない。

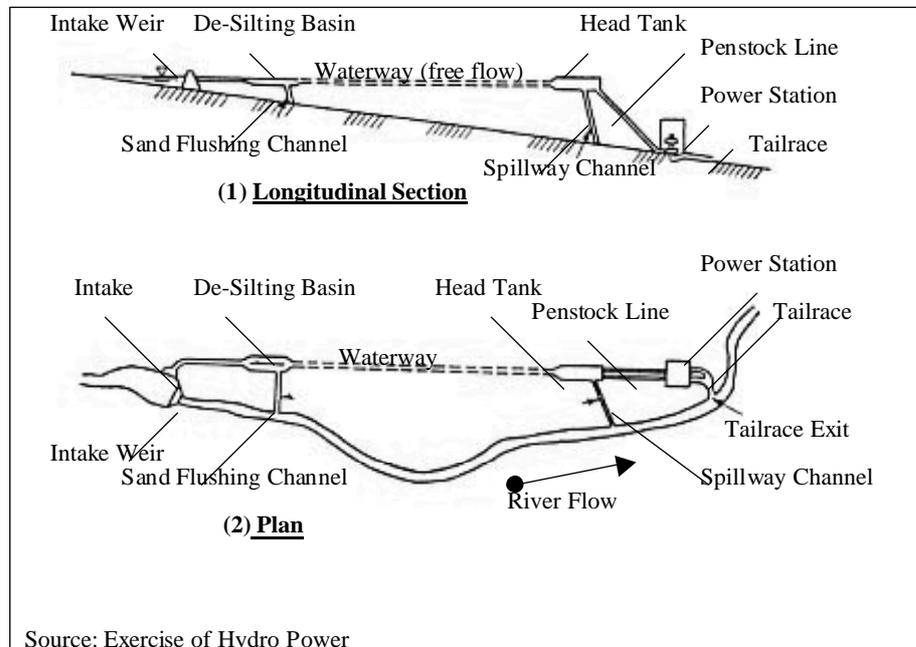
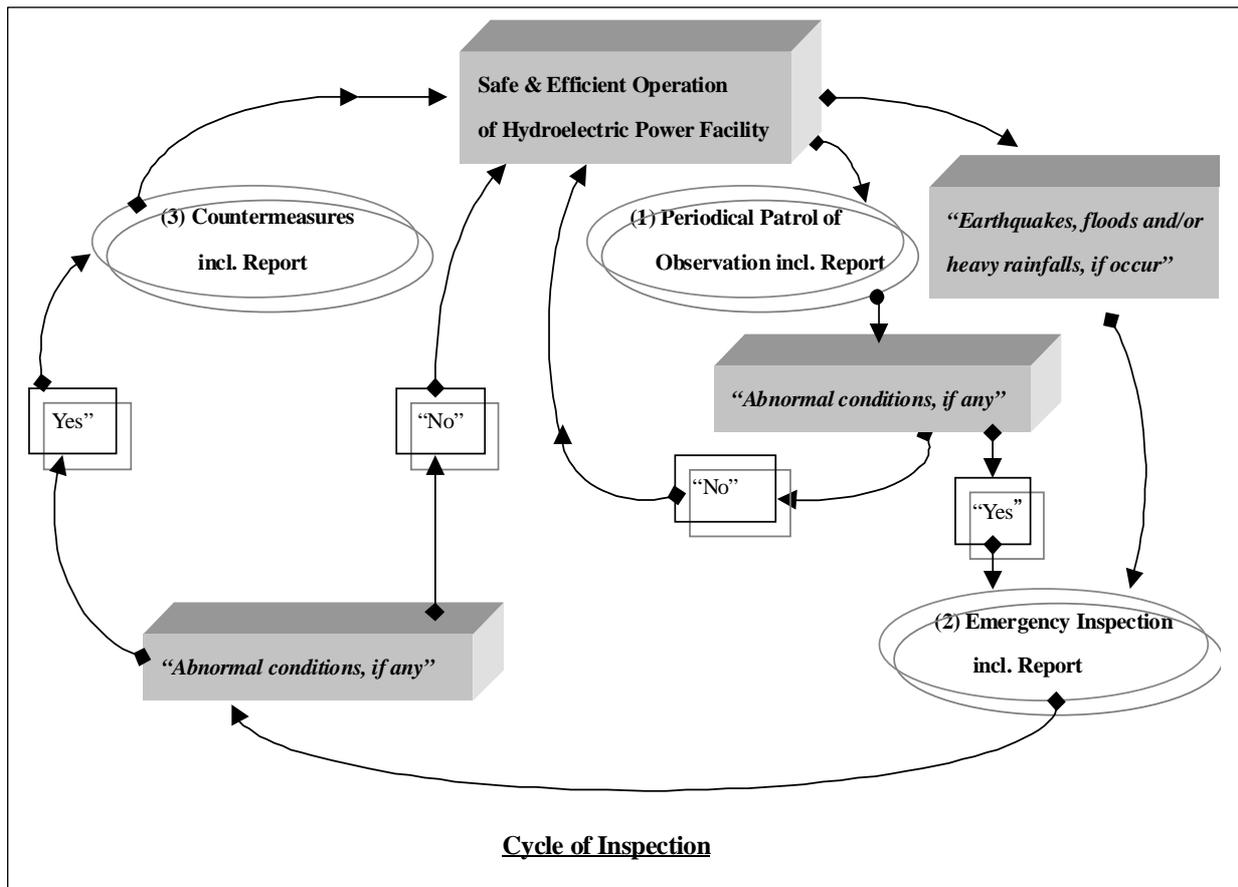


図 4.2.1 流れ込み式水力発電施設の配置図

従って、発電機器の安定した運用を確保しその安全かつ効率的運用を保證するうえで、定期点検、すなわち定期的巡視により発電施設周辺状況を継続して評価することは最も重要である。

さらに、臨時点検は施設の異常確認、又は地震・洪水、・豪雨の発生後に実施し (i) 発電施設及びその周辺状況の安全性の確認、(ii) 個々の施設の安定・安全の維持、(iii) 個々の施設の老化・劣化程度の数量的評価を行う。

評価結果は、施設の異常状況に対し補修を含む対策工の実施に活用する（下図の点検サイクル参照）。



Source: JICA Study Team

図 4.2.2 点検サイクル

(1) 定期巡視

- 定期巡視は、(i) 発電施設に異常状況の発生があるか、(ii) 発電施設はその機能を果たしているかどうか等の把握を目的とする。

(2) 臨時点検

- 臨時点検は定期巡視の結果に基づき必要に応じて実施する。
- さらに、臨時点検は必要に応じて地震・洪水・豪雨の発生後に実施する。
- 臨時点検は、放水後導水路に異常状況があるか、更に機能を果たしているか等の導水路内部状況に関する点検・確認を含むものとする。この導水路放水後の内部点検は、他の出来事に係わらず5年に1回の頻度で行うものとする。

4.3 土木施設

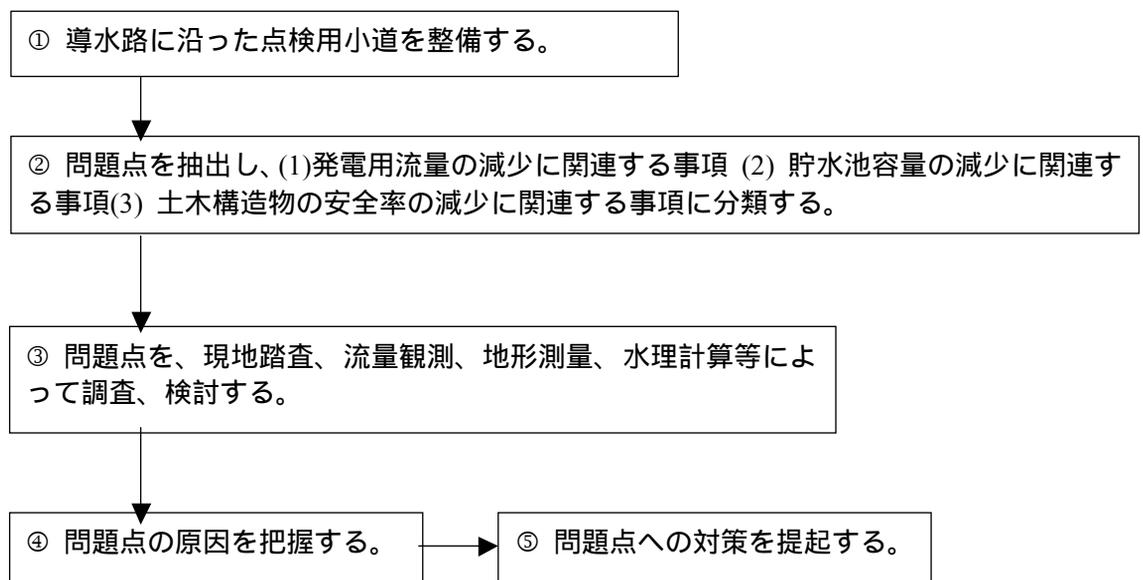
4.3.1 土木施設の点検項目

- 土木施設に於ける点検項目は、表4.3.1に示す通りである。

4.3.2 土木施設の点検

- 上記の点検項目に引き続いて、土木施設のモニタリング・点検の手順を以下に示す。これは、問題点の抽出、その原因の把握、その対策の提起を行う手法である。

土木施設のモニタリング・点検の手順



①～⑤の段階については、第7次及び第8次現地調査中に行われたジーチャウン水力発電所土木施設の点検例を図4.3.1 (1/5)～(5/5) に示す。

この点検に於いて、機電関係の点検が重要であると同様に、土木構造物の点検も必要不可欠であることが再確認された。特に、発電使用流量が実際にはいくらかという量的確認が重要である。例えば、ジーチャウン発電所の土木構造物点検時に実施した流量観測によると、発電使用流量は取水口における流入量の69.5%に減少していることが判明した。これは、導水路の漏水が原因である。詳細は第6巻サポーティングレポート、パート6-1、アペンディクス1-14に示す。

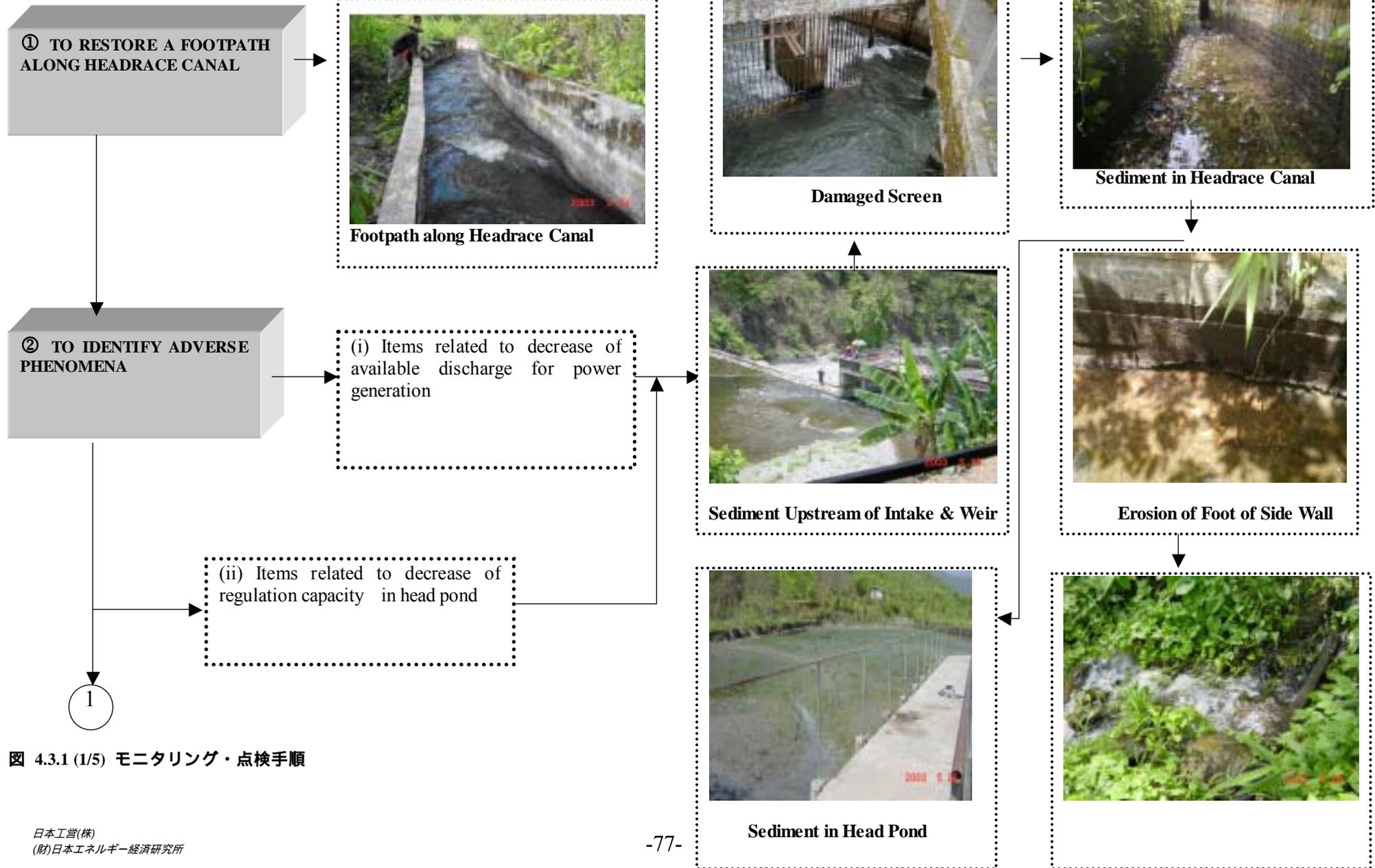


図 4.3.1 (1/5) モニタリング・点検手順

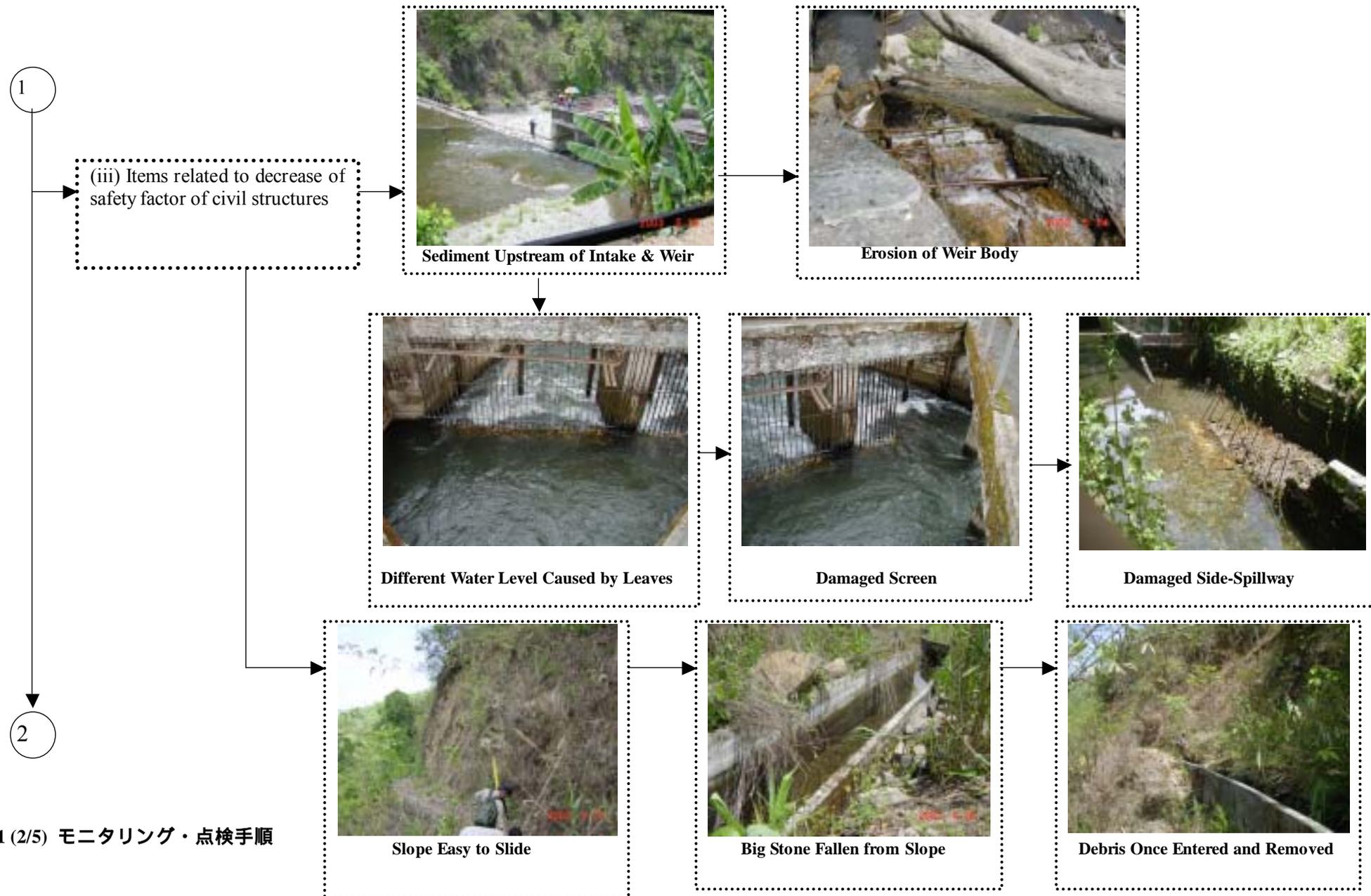


図 4.2.1 (2/5) モニタリング・点検手順

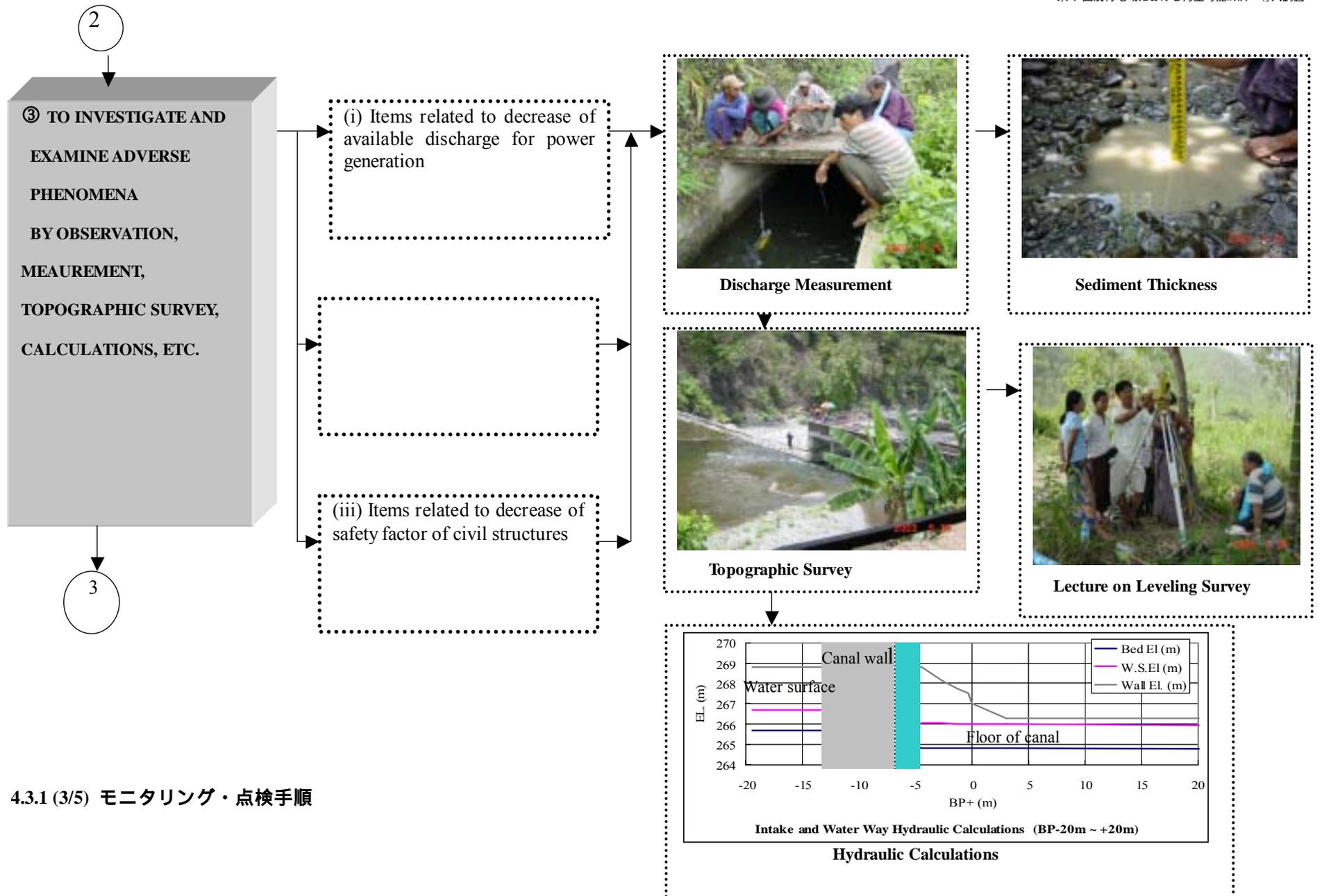


図 4.3.1 (3/5) モニタリング・点検手順

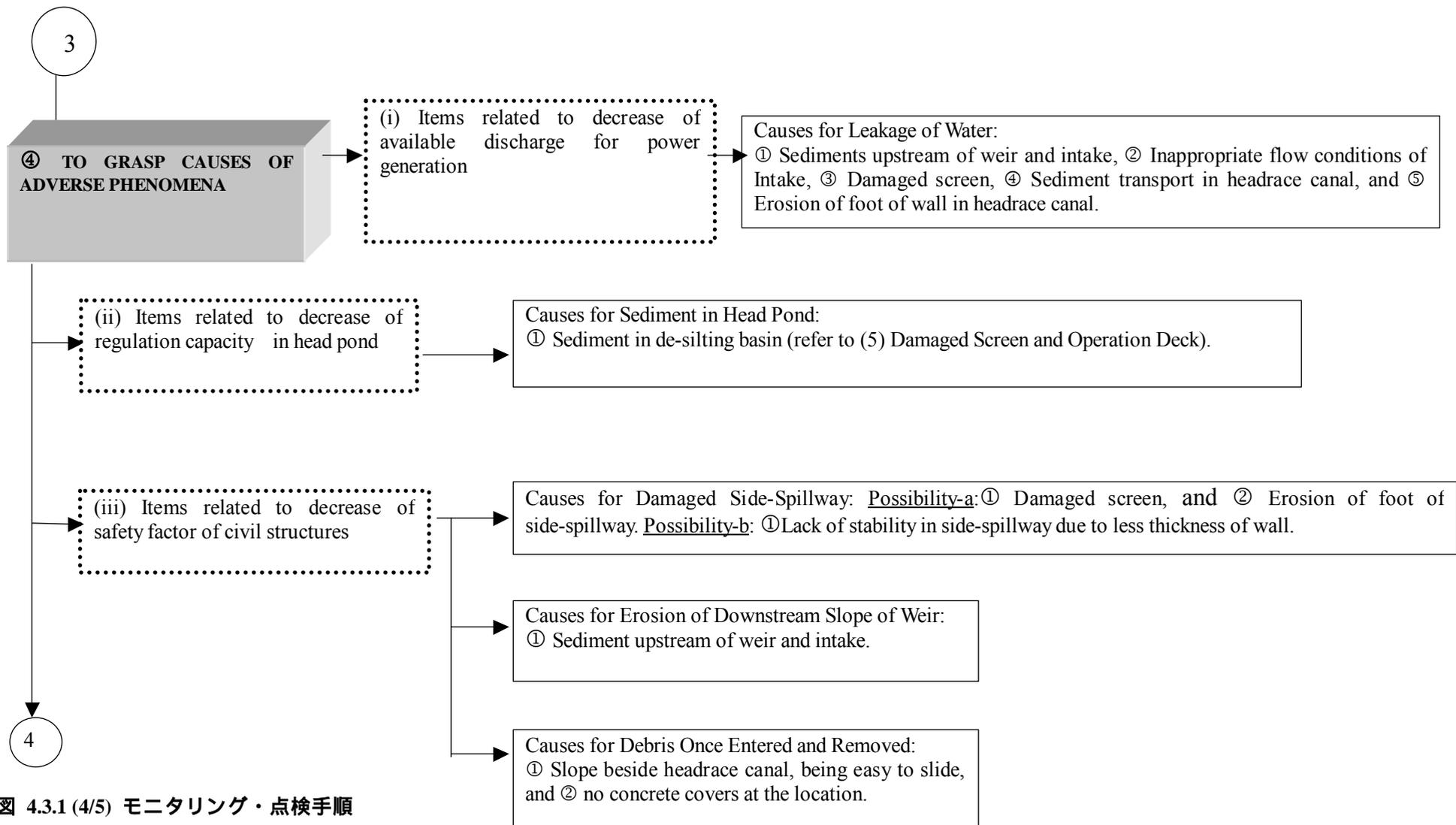
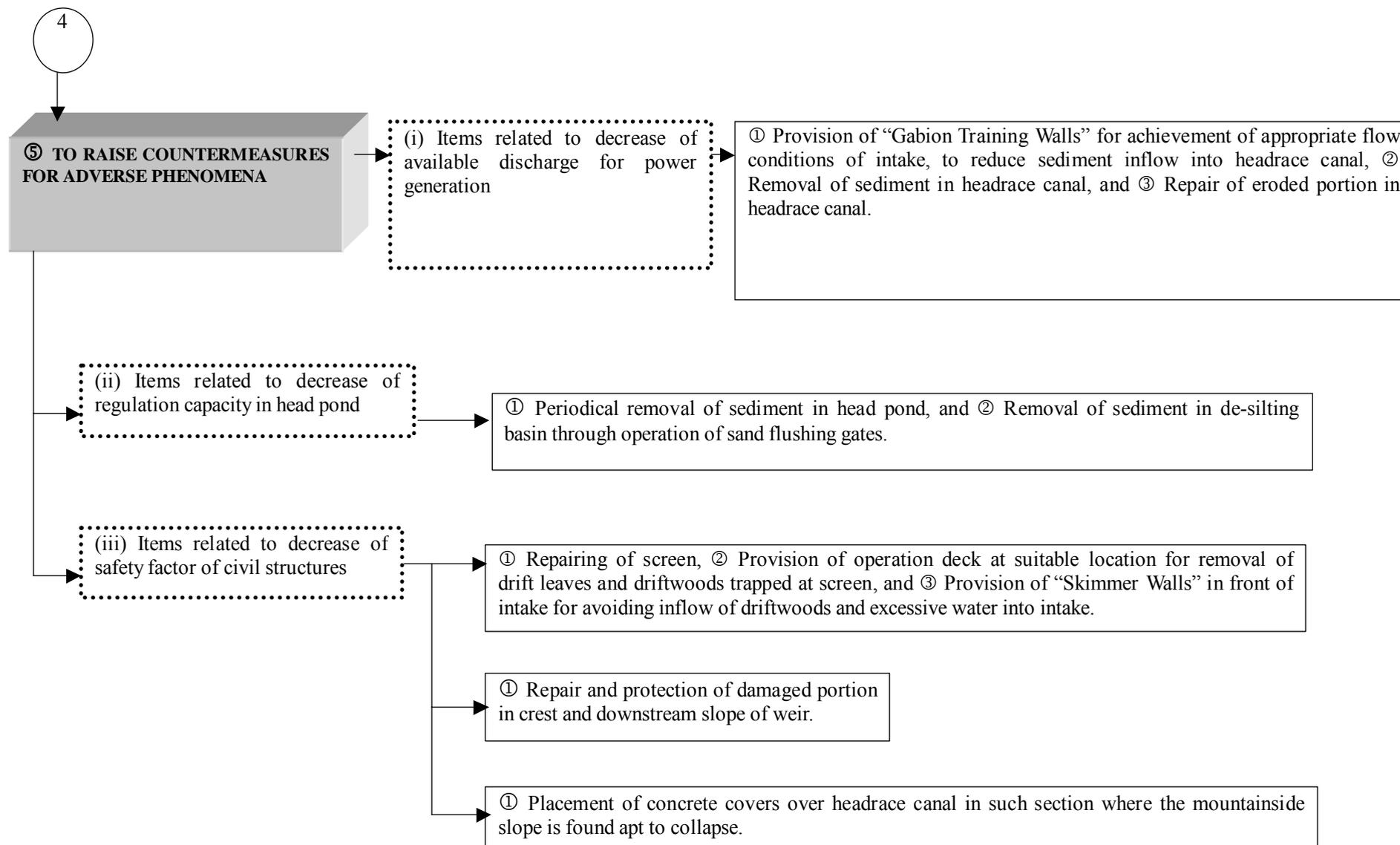


図 4.3.1 (4/5) モニタリング・点検手順



Source: JICA Study Team

図 4.3.1 (5/5) モニタリング・点検手順

表 4.3.1 土木構造物の点検項目

Civil Works structures	Locations	Items to Be Inspected							
		Damage	Crack	Water leakage	Displacement	Erosion/ Scoring	Clogging	Sediment	Land slide
1. <u>Intake weir</u>	(a) Body of intake weir	○	○	○					
	(b) Surrounding areas of intake weir		○	○		○			○
	(c) Related structures		○		○				
	(d) Other facilities such as water level gauges, staff gauges, safety fences and lighting facilities	○							
2. <u>Waterway</u>									
(1) Intake	(a) Intake body	○	○		○	○			
	(b) Screen	○					○		
(2) De-silting basin	(a) Inside of de-silting basins							○	
(3) Headrace channel	(a) Surrounding areas of headrace channel							○	○
	(b) Inside of headrace channel		○	○		○			
(4) Head tank and spillway channel	(a) Body of head tanks/ spillway channels, water level gauges and staff gauges	○	○		○	○			
	(b) Surrounding areas								○
(5) Foundations of penstock	(a) Body of penstock foundations	○			○				
	(b) Surrounding areas								○
(6) Power station	(a) Foundations of powerhouses and related structures		○		○				
(7) Tailrace	(a) Body of tailraces, water level gauges and staff gauges	○	○		○	○			
3. <u>Inspection and insitu roads</u>	(a) Road surfaces, side ditches, retaining walls, bridges, etc.	○	○		○				

Note: The mark denoted as “ ○ ” means a item to be inspected.

Source: JICA Study Team

ジーチャウン水力発電所の土木構造物点検時に於ける主要課題を以下に述べる。

(1) 流量観測と水路の漏水

延長3.6 kmにわたる導水路（幅6.5インチ及び高さ5.5インチの矩形断面、すなわち、幅1.981m及び高さ1.676mの矩形断面）の点検に先立って、点検用小道を塞ぐ藪の伐採、点検用小道を横切る小川への竹製仮設橋の設置、水路コンクリート壁沿いの必要箇所への竹製手摺の設置などの、導水路点検用小道の整備を行った。

取水口、横越流余水吐き、導水路、沈砂地、貯水池からなる導水路の4箇所において、第8次現地調査では発電使用可能流量を確認するためにプライス式流量計を用いて流量観測を行った。結果を以下に要約する。（詳細は第6巻サポータィングレポート、パート6-1、アペンディクス1-14に示す。）

表 4.3.2 流量観測結果

No.	Location	Discharge (m^3/s)	Leakage (m^3/s)	Percentage (%)
(1)	Downstream face of 2nd concrete cover about 100 m downstream of intake	1.74	-	
(2)	Upstream face of the concrete cover about 200 m downstream of intake	1.74	-	
(3)	Upstream of de-silting basin	1.35	-	
(4)	Just upstream of inlet of head pond (Available discharge of power generation)	1.21	-	69.5
(5)	Water leakage to upstream of de-silting basin	-	0.39	22.4
(6)	Total of water leakage: (Water leakage to just upstream of inlet of head pond)	-	0.53	30.5

Source: Measured by JICA Study Team

上表は、発電使用可能流量は1.21 m^3/s であり、取水口での流入量1.74 m^3/s が69.5%に減少したことを示す。その流量減少は導水路の漏水に起因することが読み取れる。さらに漏水量は0.53 m^3/s であり、取水口での流入量の30.5%に相当することが読み取れる。

- この事実から点検時には下記事項に留意することが重要である。

- 導水路沿いの点検用小道は、いつでも点検に使えるように保守すること。
- 漏水は発電量の損失を意味する。従って、プライス式流量計などを用いた流量観測により、取水口での流入量と発電使用可能流量を確認すること。

(2) 導水路内の堆砂と浸食

第8次現地調査（2003年5月25日）では、ジーチャウン発電所の水車内部点検のために取水ゲートを閉鎖した。その導水路排水の機会を利用して点検用小道沿いに導水路点検を実施した。次頁の写真が示すとおり、予想を越える堆砂が導水路内に見られた。例えば、横越流余水吐き直下流に於ける導水路内の堆砂厚は約35 cmであった。



図 4.3.2 導水路内の堆砂と堆砂深さの測定

次に導水路抜水時に実施した水路点検の結果を以下に示す。

基礎の浸食

水路の基礎が漏水によって浸食されているように見える。



図 4.3.3 漏水箇所のスラブと基礎の浸食状況

水路の底スラブと壁との付け根の浸食状況

水路の床スラブと壁との付け根の浸食状況は以下に示すとおりである。



図 4.3.4 水路の床スラブと壁との付け根の浸食状況

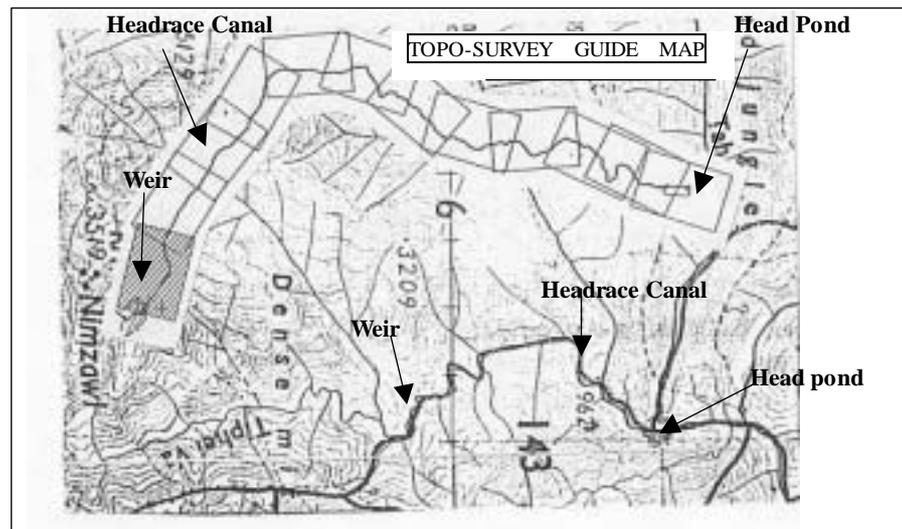
- 漏水の原因が、床スラブの浸食、壁との付け根の浸食、又は水路基礎の浸食等によるものかその原因に応じて幾つかの漏水防止対策を求め、その中での最適対策案を選択し、流入量の最大限の利用を図らなければならない。

(3) 水路縦断測量と水理計算

水路縦断測量

発電使用流量は取水口から横越流余水吐きまでの水路断面がもつ通水能力に依存することから、その通水能力の確認が大きな課題となった。このため、導水路モニタリング・点検では下記の2ケースに対して水理計算を行い、通水能力の確認を行った。

- 導水路に堆砂が無い状態であり、設計時と同一条件のケース
 - 導水路に堆砂がある状態であり、測量結果と同一条件のケース
- 水理計算に先立ち全長約3,400 mをもつ導水路全体の水準測量を行った。下図から明らかのように、導水路は全般にわたってジーチャウン川に沿う形で建設されている。

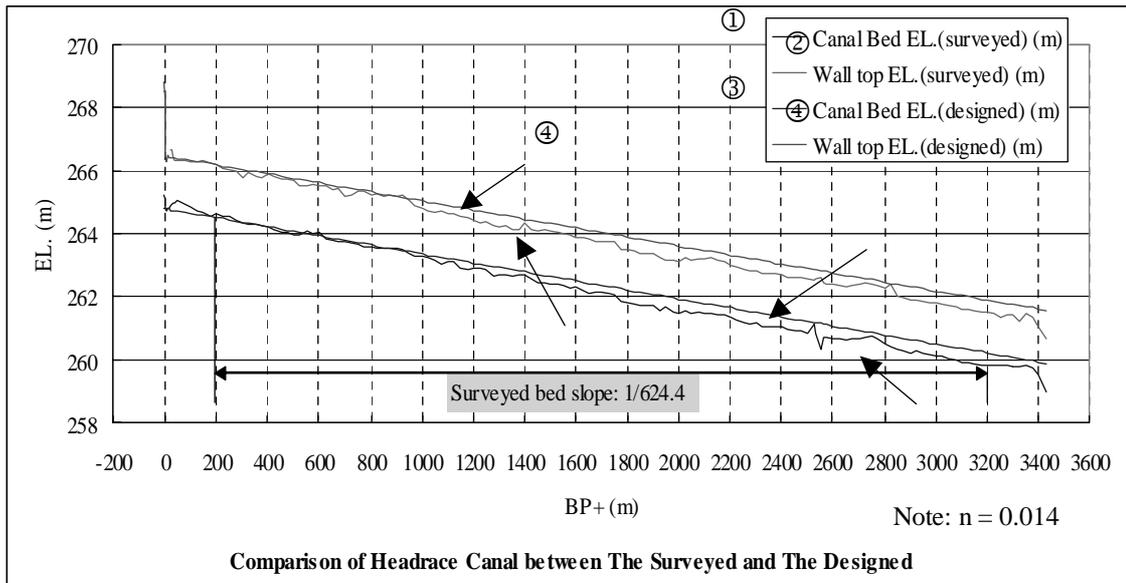


Source: JICA Study Team

図 4.3.5 導水路縦断測量ガイドマップ

水路床レベルの比較

設計条件に基づくケース（堆砂前の状態）と測量結果に基づくケース（堆砂後の状態）の水路縦断について水路床レベルの比較を次に示す。



Source: Measured by JICA Study Team

図 4.3.6 導水路の設計と測量結果の比較

水路始点から200 m下流地点までの水路上流断面について、その水路床高さの設計値と測量値の差を以下に示す。この差は、堆砂厚を意味する。

表 4.3.3 設計と測量結果に基づく水路床高さの比較

Item	Location (Distance from Sta 0)						
	0 m	25 m	50 m	75 m	100 m	150 m	200 m
(i) Designed floor level (EL.. (m))	264.757	264.721	264.685	264.650	264.614	264.542	264.471
(ii) Surveyed floor level (EL.. (m))	264.948	265.017	264.926	264.833	264.764	264.544	264.557
(iii) Balance: (ii)-(i)/ (Corresponding to: Thickness of sediment (m))	0.191	0.296	0.241	0.183	0.150	0.002	0.086

(n=0.014)

Source: Measured by JICA Study Team

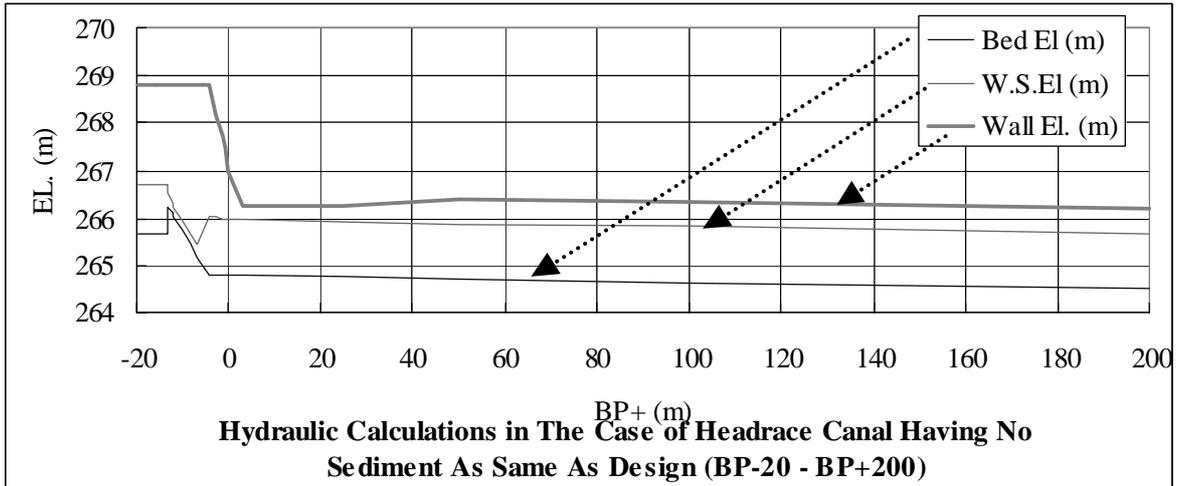
設計時と同一条件のケース（導水路に堆砂が無い状態）についての水理計算

堆砂のない設計時と同一条件のケースに対し、流量4.0 m³/sを流したときの水理計算を行った（表4.3.4参照）。下表によれば水路最小余裕高は30 cmであり、十分な余裕高を保っている。従って、取水口開始地点から横越流余水吐きまでの区間は、設計条件に定められた通水能力(4.0 m³/s)を持つことを確認した。

表 4.3.4 設計時と同一条件のケース（堆砂のない状態）の水理計算結果

Location (BP+)	Floor Level	Water Surface	Top of Wall	Free Board	Velocity	Fr
(m)	(EL. - m)	(EL. - m)	(EL. - m)	(EL. - m)	(m/s)	
-19.4	265.66	266.69	268.80	2.11	0.5	0.16
-13.2	265.66	266.69	268.80	2.11	0.5	0.16
-4.5	264.80	266.03	268.80	2.77	1.31	0.38
0.0	264.80	265.98	267.00	1.02	1.58	0.46
3.0	264.80	265.97	266.27	0.30	1.77	0.52
25.0	264.76	265.91	266.27	0.36	1.77	0.53
50.0	264.72	265.88	266.40	0.52	1.77	0.52
100.0	264.65	265.81	266.33	0.52	1.77	0.52
200.0	264.51	265.66	266.18	0.52	1.77	0.53

Source: Calculated by JICA Study Team

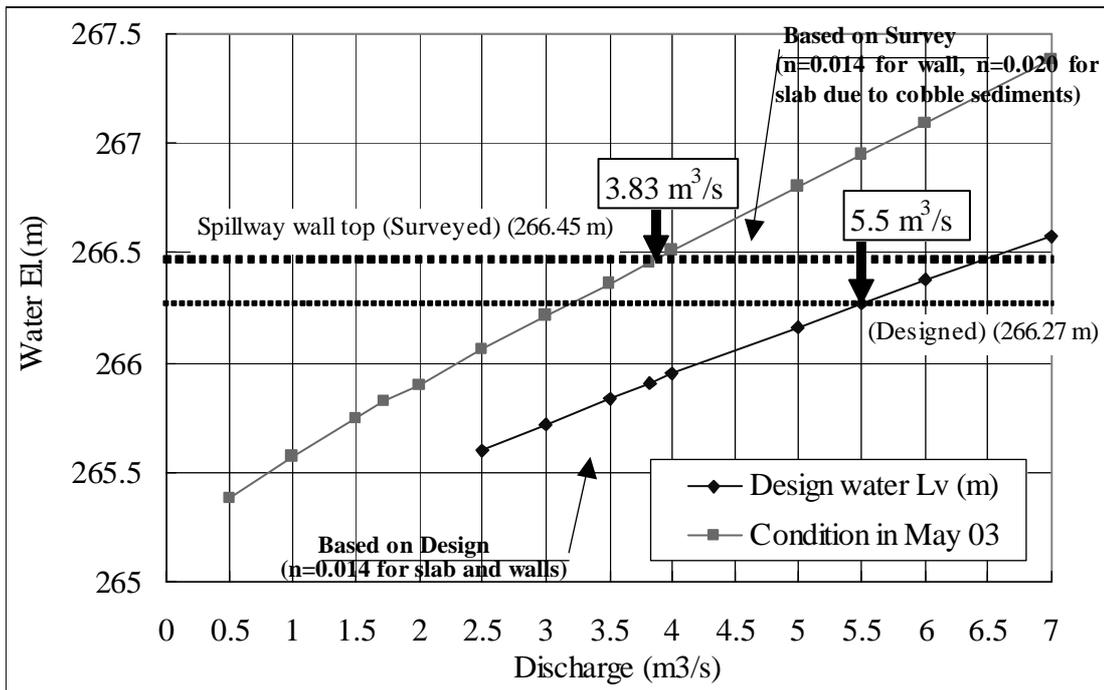


Source: Calculation by JICA Study Team

図 4.3.7 設計時と同一条件のケース（堆砂のない状態）の導水路水面形

測量結果と同一条件のケース（導水路に堆砂がある状態）についての水理計算

堆砂がある測量結果と同一条件のケースに対し水理計算を行い、取水口開始地点から横越流余水吐きまでの区間は、設計流量（4.0 m³/s）の96%に相当する3.8 m³/s の通水能力を持つことを確認した。計算結果を下図に示す。



Source: Calculation by JICA Study Team

図 4.3.8 取水口開始地点から横越流余水吐きまでの導水路区間の水位-流量曲線

取水口開始地点から横越流余水吐きまでの導水路区間の粗度係数と余裕高の確認

粗度係数は表面の粗さを示す経験的な値である。上記水理計算では粗度係数をそれぞれ、コンクリート巻き立て水路に堆砂のない場合は0.014、堆砂のある場合は0.020とした。すなわち、堆砂のない設計時と同一条件の導水路水理計算ケースに対しては、床スラブ及び壁コンクリートに粗度係数として0.014を用いた。一方、堆砂のある測量結果に基づい

た条件の導水路水理計算ケースに対しては、床スラブ及び壁コンクリートに粗度係数として0.020及び0.014をそれぞれ用いた。上図に示すように、堆砂のない設計時と同一条件の水理計算ケースでは、横越流余水吐きは、流量 $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ で越流を開始する。これは、設計流量の $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ の135%である。一方、堆砂のある測量結果に基づいた条件の水理計算ケースでは、設計流量以下の $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ で越流を開始する。

そこで、堆砂のない設計時と同一条件の導水路に対して、種々の粗度係数を適用し水理計算を行ったところ、 $n = 0.019$ とした場合に横越流余水吐きが、設計流量と同一の $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ で越流を開始することを確認した。この時の水路の余裕高は、設計余裕高0.75フィート（22.8 cm）とほぼ同じであった。

粗度係数を0.019は、バルーチャン水力発電所の設計基準に採用されたものである。これは、水草や水虫の付着を考慮した値である。バルーチャン水力発電所は、かつてマンマー全国の電力需要の80%をカバーしていたことから、排砂のために、導水路を抜水して発電を停止することは許されない事情があったため、このような大きい粗度係数0.019を採用した。通常の水理構造物ではコンクリートの標準的な粗度係数は0.014を適用することから、ジーチャウン水力発電所のような小水力発電所の設計に粗度係数0.019を適用することは合理的ではない。1997年に完成したジーチャウン水力発電所の設計に、MEPEは粗度係数0.018を採用したことを確認した。しかし、現在では電力省のDHP (Department of Hydroelectric Power)は通常の水理構造物に粗度係数0.013を採用している。

(4) ギャピオン導流壁

図4.3.10に示すように、取水口は越流堰に隣接して設けられ、河川の流れ方向と同じである。図4.3.9に示されている「推奨される取水口位置」を参照すると、この取水口位置が、河川からの導水路への土砂流入の主要な原因となっていることが分かる。

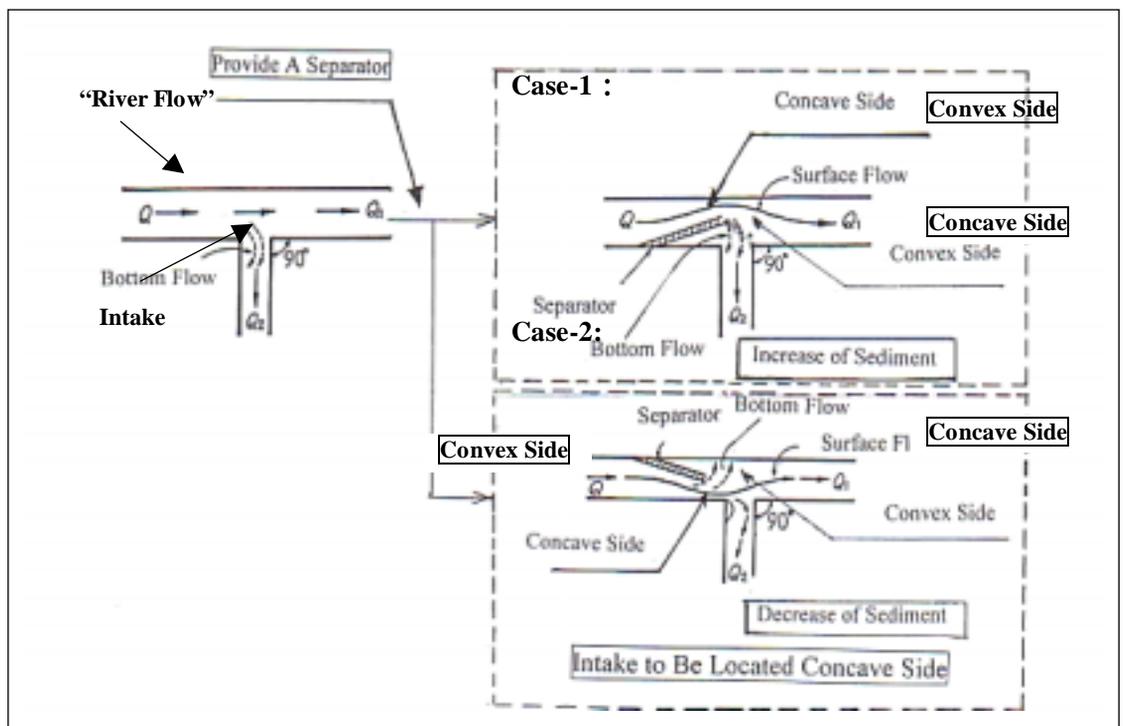


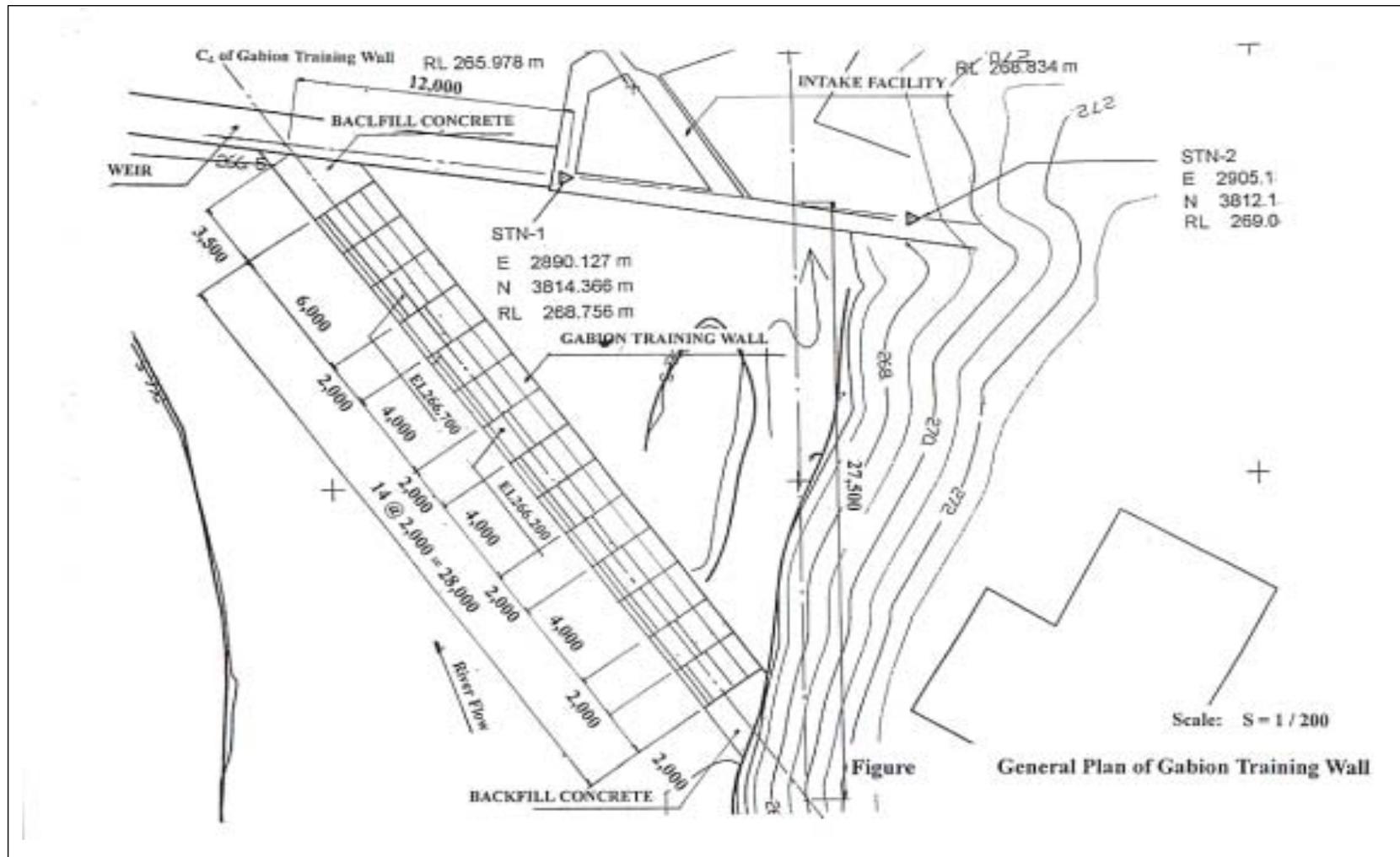
図 4.3.9 推奨される取水口位置

上図において、支線水路は、河川流れ方向に対して直角方向に接続されている。一見、良好な接続に見えるが、それでも河川から支線水路へ土砂が流れ込むのは避けられない。このような条件下で、セパレータを使って流入土砂量の低減を図る実験が、上図に示すケース1とケース2に分けて行われた。ケース1では流入土砂は増え、ケース2では減少した。

- 従って、取水口は流水の凸部にあたる場所に設けることが推奨される。

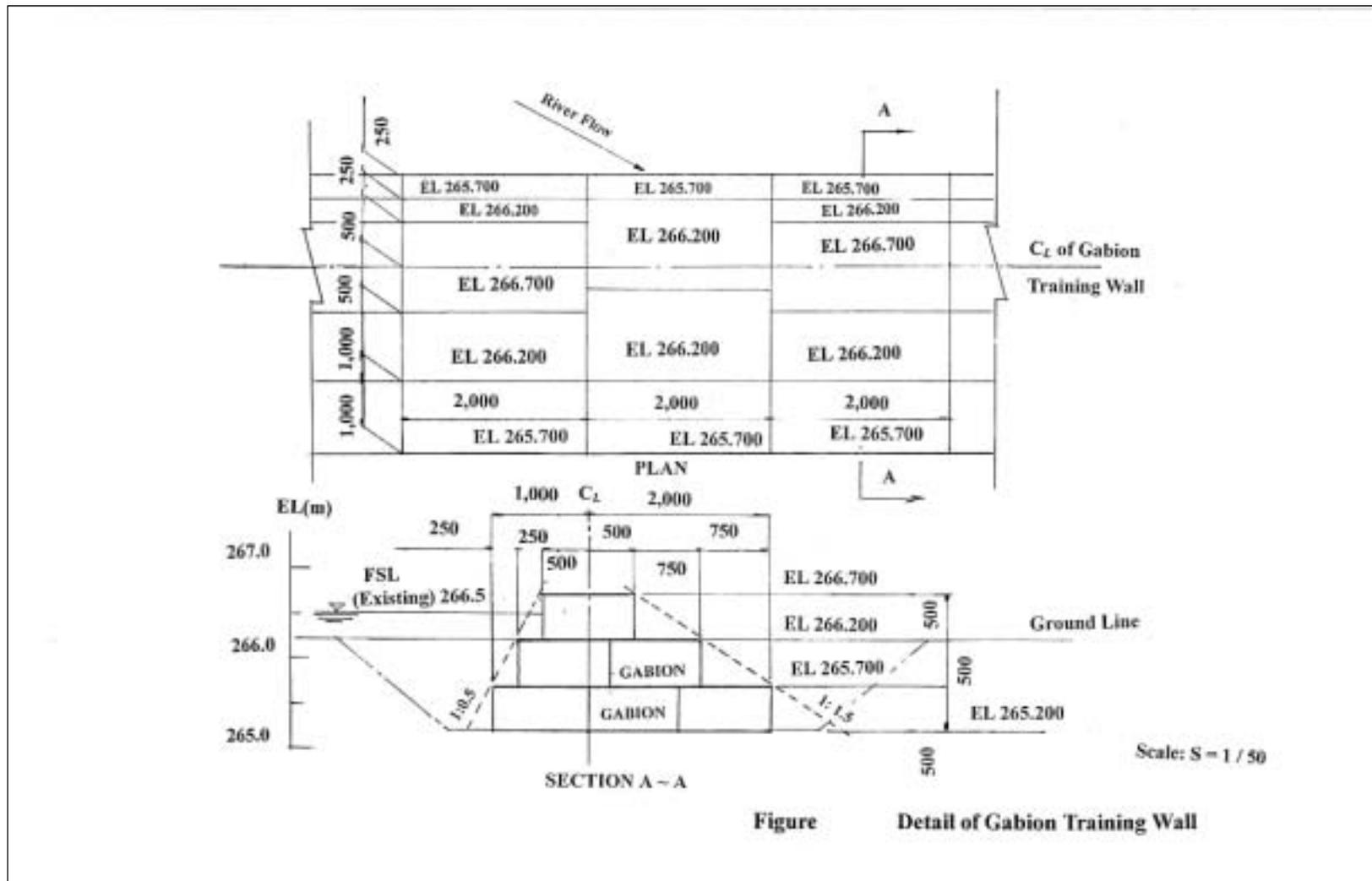
図4.3.12はジーチャウン発電所の取水口の縦断図であり、堆砂の可能最大高さは5.974 m (取水口敷き高：標高265.633 m – 原河床高：標高259.659 m)である。測量結果によると、堰付近の河床は標高266.200 mまで土砂で埋まり、取水口までの「水みち」を残すだけの状況であることが判明した。

このような状況に対しては、流入土砂量の減少が期待されるような取水口への適切な河川流況を得るためには、図4.3.10と図4.3.11に示すギャビオン導流壁の採用が推奨される。なお、ギャビオン導流壁の検討に先立って、第8次現地調査に於いて取水口上流域、約1.5 haの地形測量を実施した。



Source: JICA Study Team

図 4.3.10 ギャピオン導流壁一般図



Source: JICA Study Team

図 4.3.11 ギャビオン導流壁詳細図

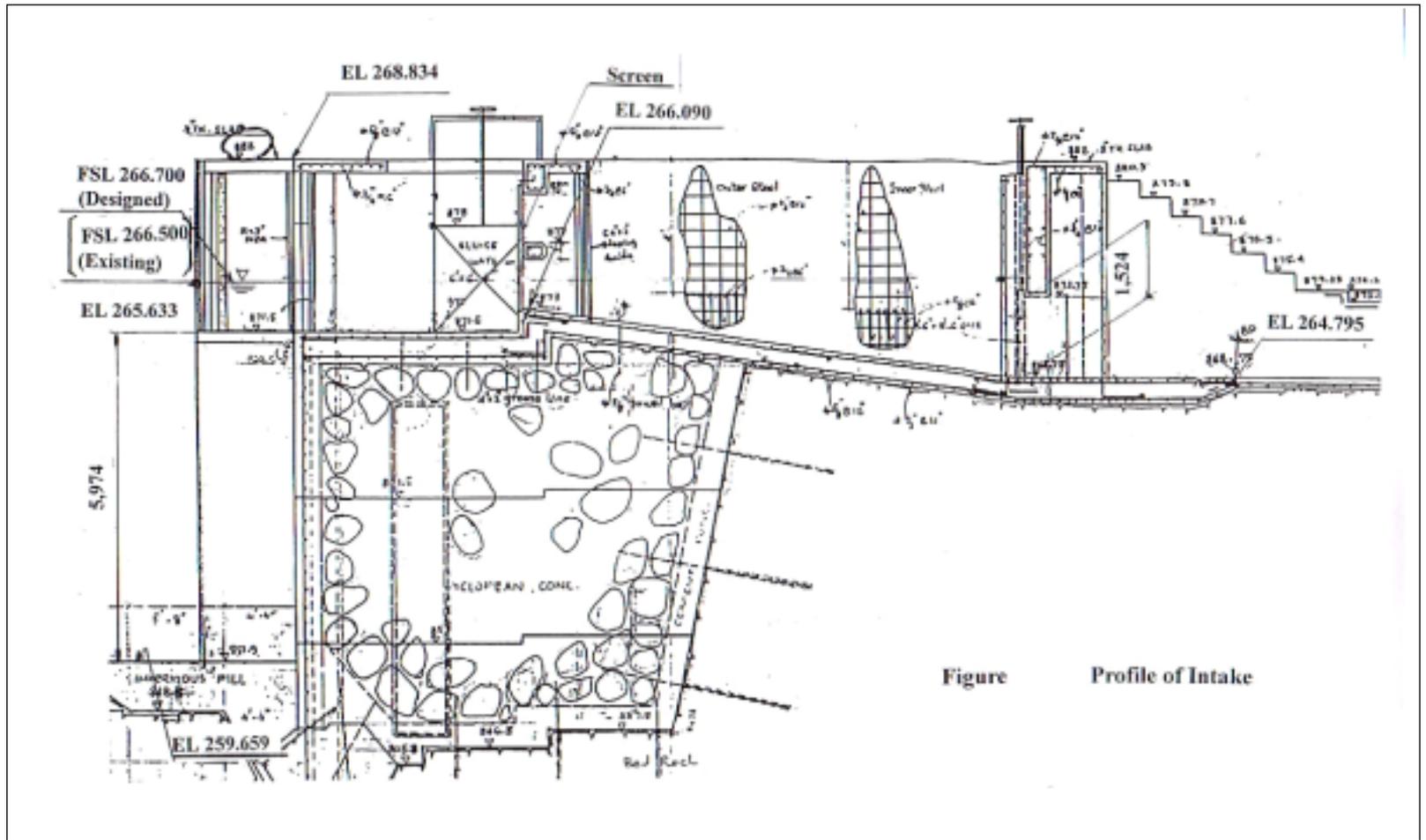


Figure Profile of Intake

Source: MEPE

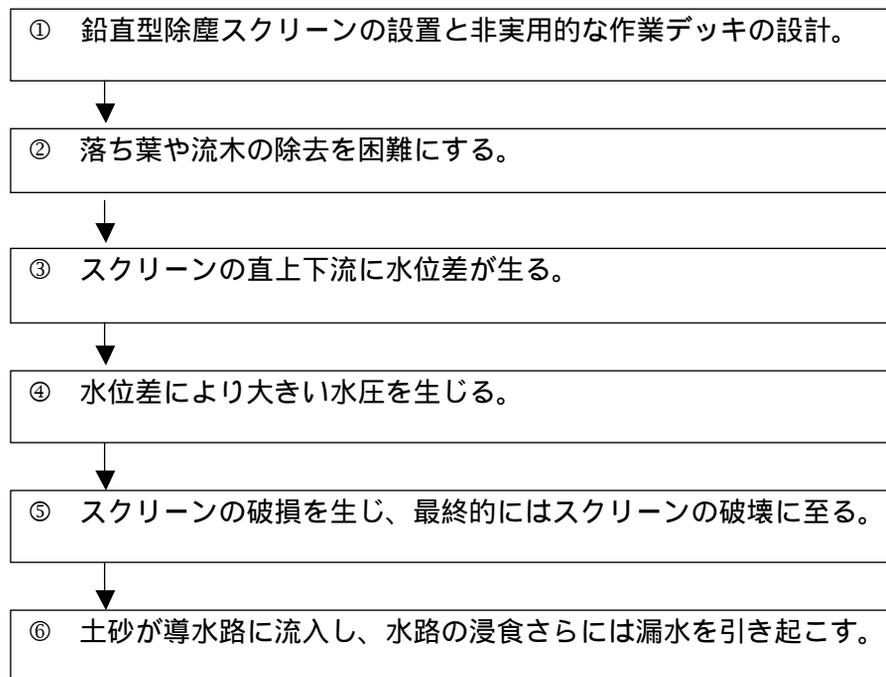
図 4.3.12 取水口縦断面図

(5) 除塵スクリーンの破損及び作業デッキ

除塵スクリーンの破損

- 落ち葉や流木除去に用いる除塵スクリーンとしては、一般的に鉛直型除塵スクリーンよりも傾斜型除塵スクリーンが適している。

しかしながら、ジーチャウン発電所の取水口には鉛直型除塵スクリーンが設置され、その結果、人力による落ち葉や流木の除去を困難にしている。さらに、作業用デッキはスクリーンから落ち葉や流木を除去する上で実用的な設計になっておらず、落ち葉や流木の除去を殆ど不可能とした。その結果として、必然的に水圧の上昇を生じスクリーンの破損を招いた。このスクリーンの破損は、以下のフローチャートに示すように、導水路への小石や砂利、砂などの流入を招き、水路の浸食の原因となっている。

作業デッキ

非実用的な作業デッキの不具合を改善するため、落ち葉や流木除去作業に適した作業デッキの改善案を図4.3.14に示す。

流木防御対策

スクリーンの補修と作業デッキの改善に加えて、落ち葉や流木の防御対策としては、図4.3.15に示すような50 cm間隔に配置された鉄筋を利用した対策が考えられる。

スキマーウォール

次図に示すように、取水口デッキスラブの橋脚にスキマーウォールを設置する流木対策は、除塵スクリーンと排砂ゲートを保護する。



Source: JICA Study Team

図 4.3.13 取水口のスキマーウォール

(6) 堰の天端と背面の保護

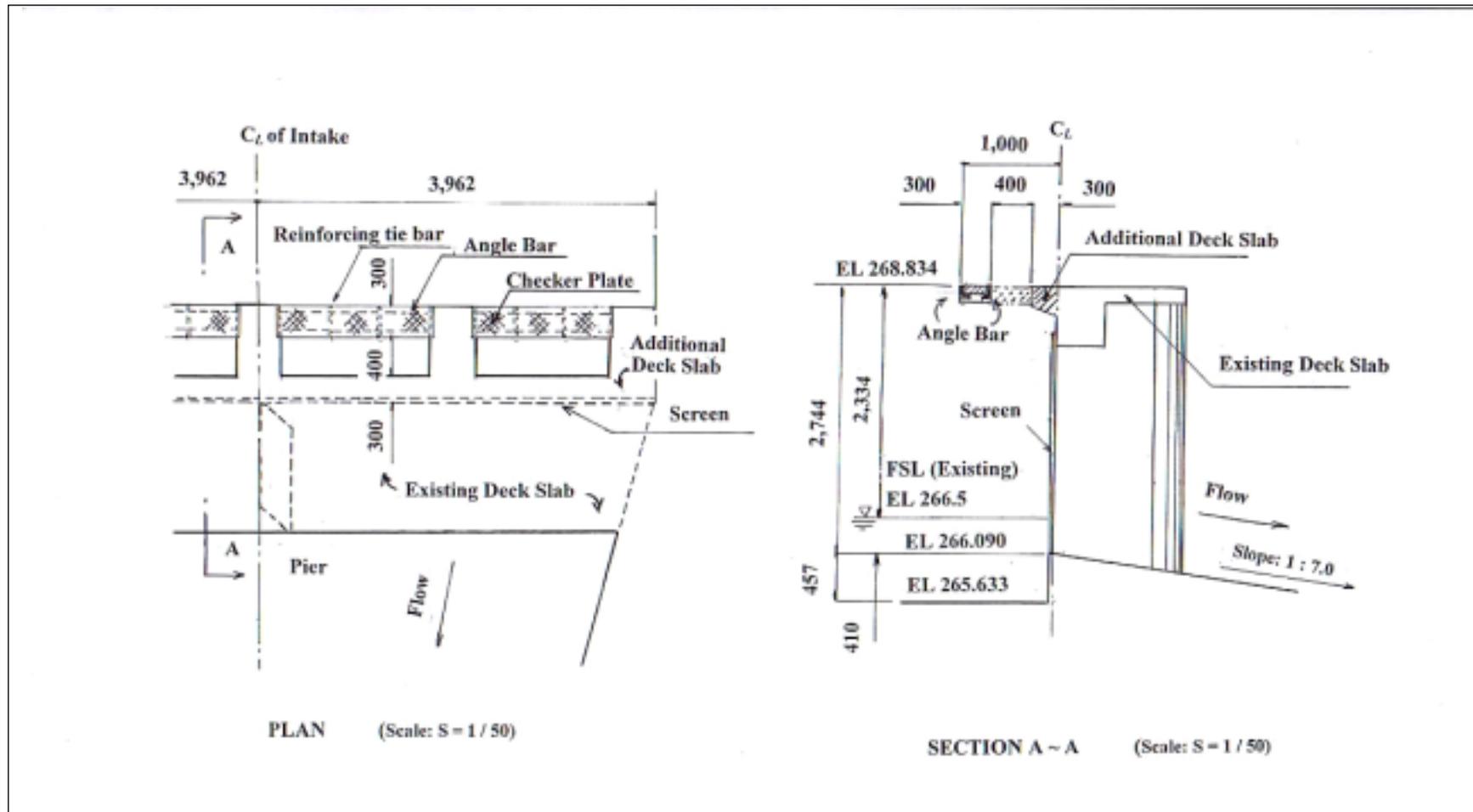
- 越流水が運搬する岩、石、小石等の浸食から、堰の天端と背面を保護する方法の決定基準は、例え破損してもその部分は将来補修され得るか否かである。

例えば、図4.3.16は日本のダムの排砂設備例である。土砂から排砂設備を保護するためにSUS304を用いたライニングの例である。排砂設備は、ダム堤体より上流に位置し補修困難なため、ライニングの耐久性は100年間を保つように設計された。

ジーチャウン発電所の堰の天端と背面の保護については、破損箇所を補修すること以外に、以下の対策案が考えられる。

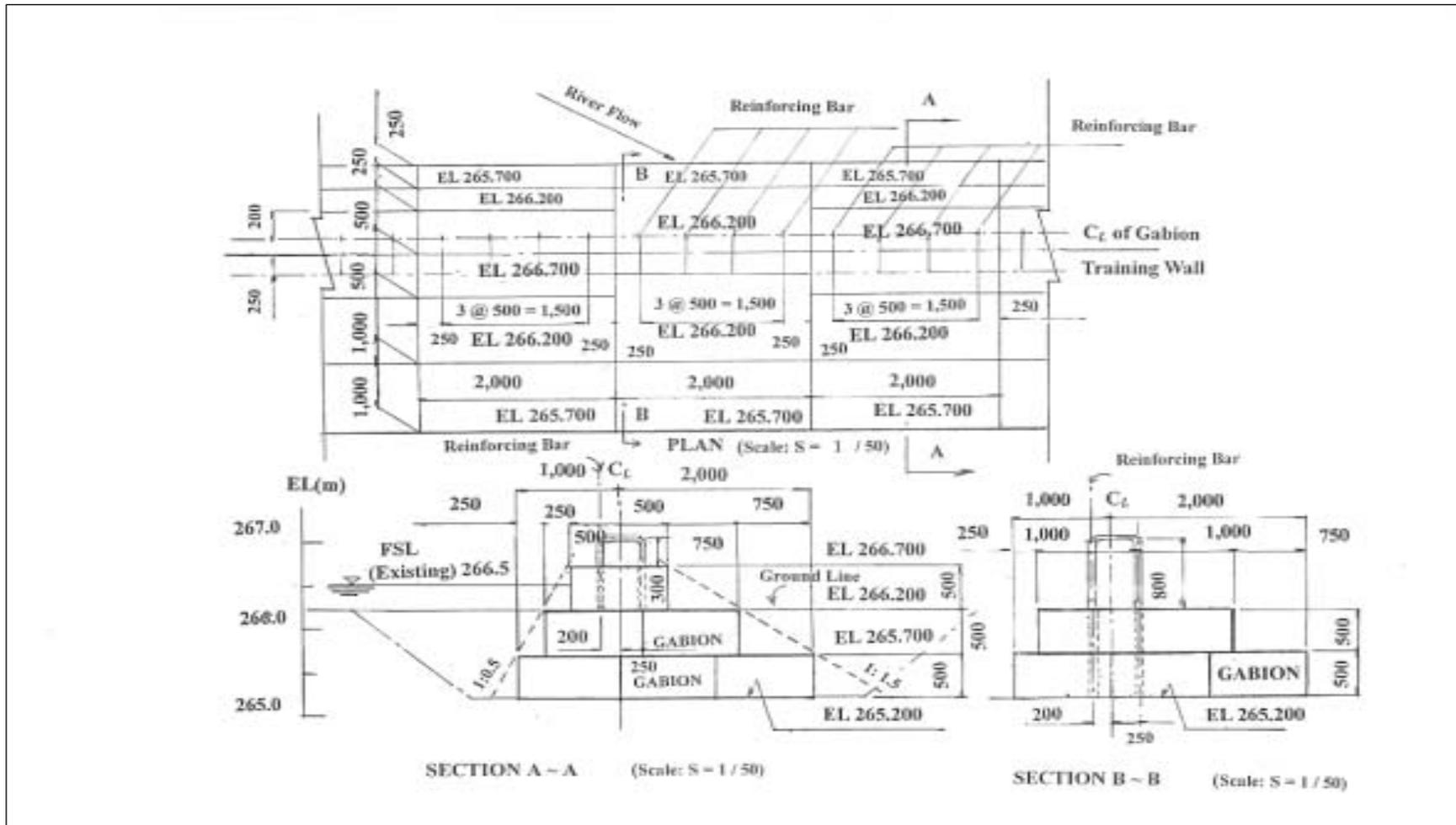
- ギャビオン導流壁（図4.3.10参照）に用いたものと類似のギャビオン、鋼製枠ギャビオン（図4.3.18参照）、コンクリート中詰めギャビオン等を用いたギャビオン製のチェックダムを建設し、河川が運搬する砂利及び堆砂の減少を図る。
- 鉄筋コンクリートの追加打設（図4.3.17参照）により、堰堤体コンクリートの将来の浸食に備える。

ジーチャウン発電所の堰に対する補修計画及び設計を実施する際は、電力省のDHP (Department of Hydroelectric Power) に相談することが推奨される。



Source: JICA Study Team

図 4.3.14 作業デッキ改善案



Source: JICA Study Team

図 4.3.15 流木防御対策案

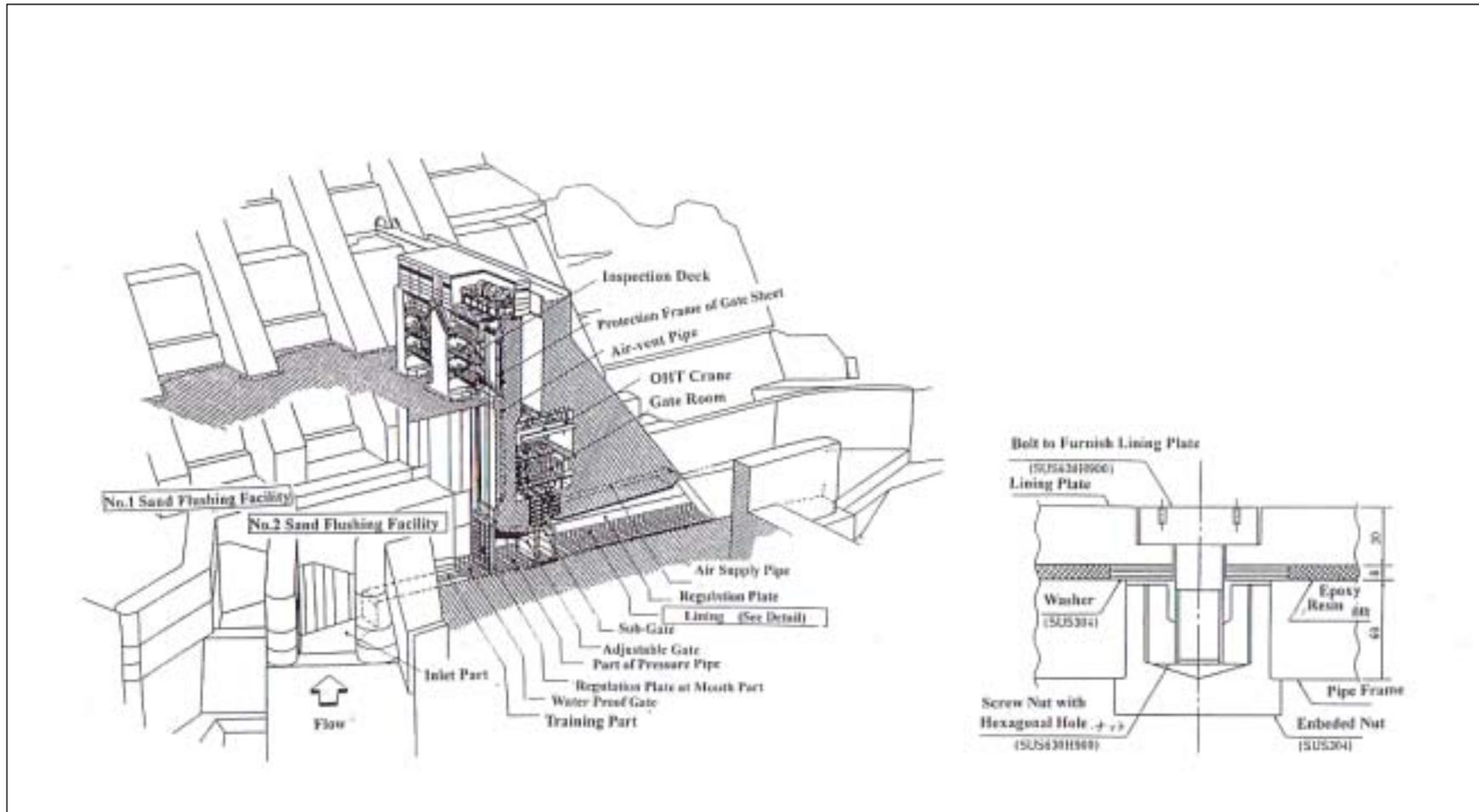
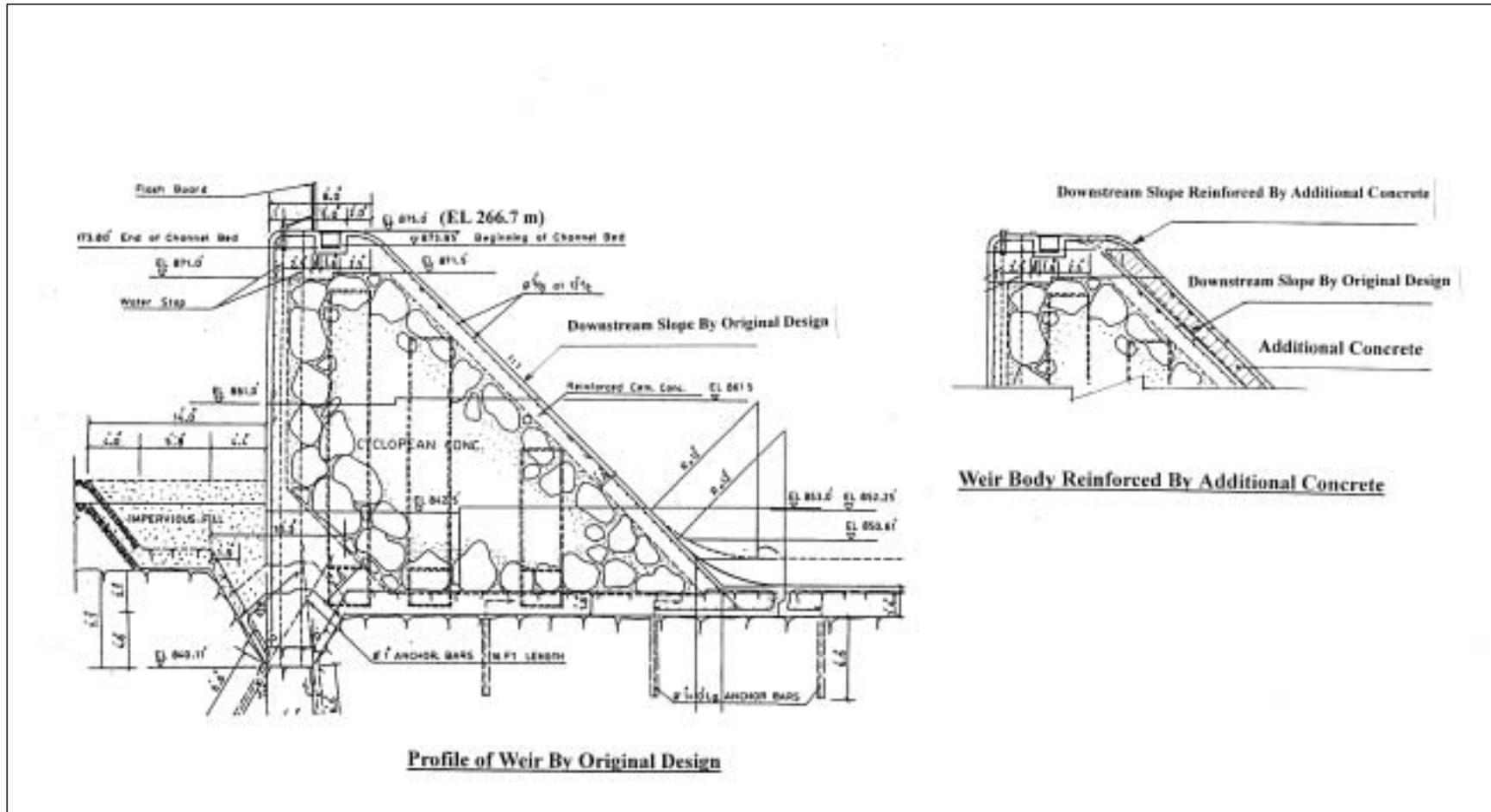
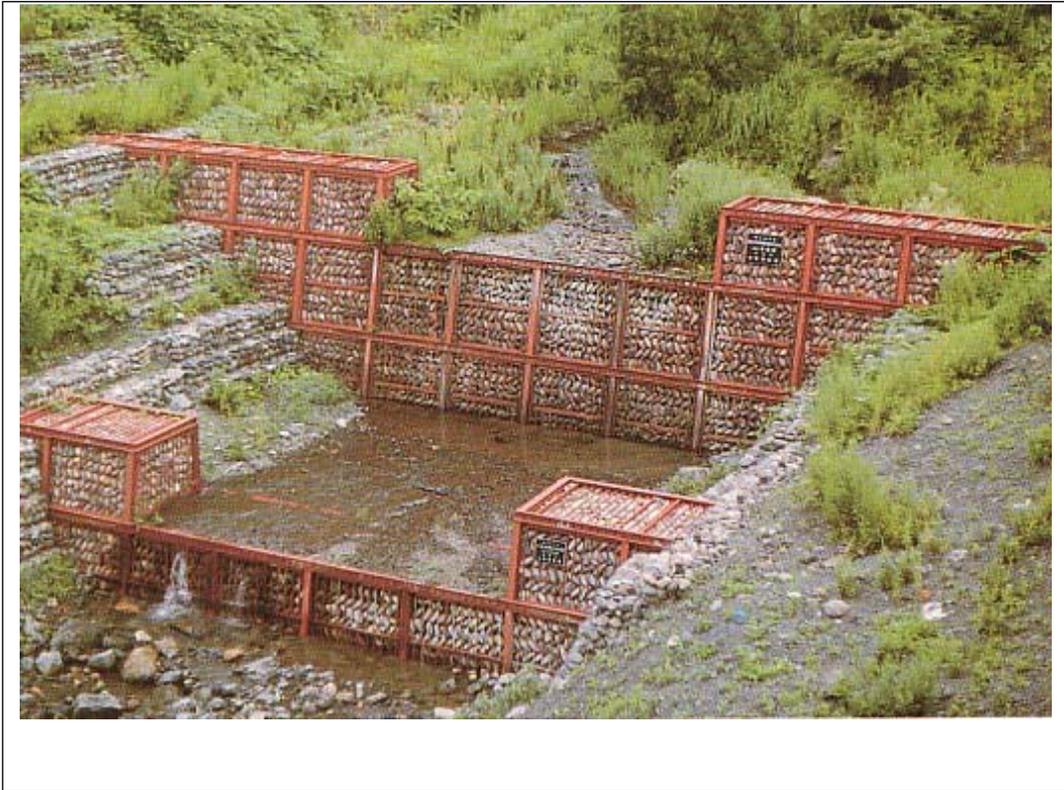


図 4.3.16 コンクリート表面保護用のライニング案



Source: MEPE

図 4.3.17 追加鉄筋コンクリートによる堰堤体の補強案



Source: JICA Study Team

図 4.3.18 鋼製枠ギャビオン