

ミャンマー国
農村地域における再生可能エネルギー導入調査

最終報告書

主報告書

第4巻 持続型小水力マニュアル

| | |
|-----------------|-------------------|
| Part 4-1 | 小水力運転保守マニュアル |
| Part 4-2 | 小水力設計マニュアル |
| Part 4-3 | 村落水力設計マニュアル |
| Part 4-4 | 制度・財務面 |

ミャンマー国 農村地域における再生可能エネルギー導入調査
最終報告書
第4巻 持続型小水力マニュアル
Part 4-2 小水力設計マニュアル

目次

| | | |
|-----|------------------|----|
| 1 | 調査と計画..... | 1 |
| 1.1 | 電力需要予測..... | 1 |
| 1.2 | 流量測定と落差の測量..... | 5 |
| 1.3 | 発電使用可能流量..... | 12 |
| 1.4 | 地形・地質調査..... | 14 |
| 1.5 | 発電設備の配置..... | 18 |
| 1.6 | 水力発電計画..... | 21 |
| 2 | 土木設備設計..... | 26 |
| 2.1 | 頭首工..... | 26 |
| 2.2 | 沈砂池..... | 36 |
| 2.3 | 導水路..... | 38 |
| 2.4 | ヘッドタンク（上水槽）..... | 44 |
| 2.5 | 調整池..... | 48 |
| 2.6 | 水圧鉄管..... | 51 |
| 2.7 | 発電所..... | 57 |
| 3 | 発電機器設計..... | 58 |
| 3.1 | 水車..... | 58 |
| 3.2 | 発電機..... | 69 |
| 3.3 | 制御装置..... | 71 |
| 3.4 | 入口弁..... | 73 |

付表リスト

| | | |
|---------|---------------|----|
| 表 1.1.1 | 電力需要の予測例..... | 3 |
| 表 1.6.1 | 最小水車流量..... | 20 |
| 表 2.1.1 | 取水堰の形式..... | 26 |
| 表 2.1.2 | 取水口の形式..... | 30 |

| | | |
|---------|----------------------|----|
| 表 2.1.3 | 横取水口の水利的必要条件 | 32 |
| 表 2.3.1 | 水路設備 | 37 |
| 表 2.3.2 | 無巻水路の流速 | 38 |
| 表 2.5.1 | サクソフォン・ヘッド型排砂装置の排砂容量 | 48 |
| 表 2.6.1 | 水圧鉄管の形式 | 50 |
| 表 3.1 | 水車の形式と適応範囲 | 57 |

付図リスト

| | | |
|----------|---------------------------|----|
| 図 1.1.1 | ミャンマー国電力系統 | 1 |
| 図 1.1.2 | 電力需要の分類 | 1 |
| 図 1.2.1 | 流量測定の例 | 5 |
| 図 1.2.2 | 流量計による流量測定 | 5 |
| 図 1.2.3 | 流量計による流速測定 | 6 |
| 図 1.2.4 | 流速と河川断面積の計測 | 6 |
| 図 1.2.5 | 深さと流速 | 6 |
| 図 1.2.6 | フロートによる測定 | 6 |
| 図 1.2.7 | 堰を用いた流量測定 | 6 |
| 図 1.2.8 | 量水標 | 7 |
| 図 1.2.9 | 水位 流量曲線の例 | 7 |
| 図 1.2.10 | 流量測定記録用紙 | 8 |
| 図 1.2.11 | 流量と落差の計測 | 9 |
| 図 1.2.12 | 流量と落差に基づいた発電施設配置の予備計画 | 9 |
| 図 1.2.13 | カーペンターズ・レベルを用いた落差の計測 | 9 |
| 図 1.2.14 | 圧力計を用いた落差の計測 | 9 |
| 図 1.2.15 | 落差測定のための道具 | 10 |
| 図 1.3.1 | 水利用 | 11 |
| 図 1.3.2 | 発電使用可能流量の例 | 12 |
| 図 1.4.1 | GPS による地図作成例 | 14 |
| 図 1.4.2 | 試掘坑 | 15 |
| 図 1.4.3 | 試掘坑の調査記録の例 | 15 |
| 図 1.5.1 | 距離と落差の関係 | 16 |
| 図 1.5.2 | 自然の落差や滝を利用したミニ又はマイクロ小水力発電 | 16 |
| 図 1.5.3 | 小水力発電の一般的な配置図 | 17 |
| 図 1.5.4 | 開水路の一般的な縦断図 | 17 |

| | | |
|----------|--------------------------|----|
| 図 1.5.5 | 鉄管路の標準的縦断図 | 18 |
| 図 1.6.1 | 小水力発電開発・パターン 1 | 19 |
| 図 1.6.2 | 小水力発電開発・パターン 2 | 20 |
| 図 1.6.3 | 衝動式水車の有効落差 | 21 |
| 図 1.6.4 | 反動式水車の有効落差 | 21 |
| 図 1.6.5 | 流況曲線 | 22 |
| 図 2.1.1 | 頭首工 | 24 |
| 図 2.1.2 | 取水口位置 | 24 |
| 図 2.1.3 | チロリアン式取水口写真 | 25 |
| 図 2.1.4 | チロリアン式取水口縦断図 | 25 |
| 図 2.1.5 | 排砂ゲート | 25 |
| 図 2.1.6 | 堰正面図 | 27 |
| 図 2.1.7 | 堰断面図 | 27 |
| 図 2.1.8 | 水位 流量曲線 | 27 |
| 図 2.1.9 | 取水口流入量推定のフローチャート | 28 |
| 図 2.1.10 | 取水口平面図の例 | 31 |
| 図 2.1.11 | 取水口設備の概略縦断図 | 31 |
| 図 2.1.12 | 取水口入口に取り付けたスキマー・ウォールの正面図 | 32 |
| 図 2.1.13 | トラシュラック | 33 |
| 図 2.2.1 | 沈砂池 | 34 |
| 図 2.2.2 | 横越流余水吐き | 34 |
| 図 2.2.3 | 排砂ゲート | 34 |
| 図 2.2.4 | 越流量及び横越流余水吐きの水面形 | 35 |
| 図 2.3.1 | 導水路 | 36 |
| 図 2.3.2 | 水路と斜面崩壊 | 36 |
| 図 2.3.3 | 横越流余水吐き | 36 |
| 図 2.3.4 | 水路に利用できる既存の小道 | 37 |
| 図 2.3.5 | 既存設備を利用した水路の省略 | 37 |
| 図 2.3.6 | 石積水路 | 38 |
| 図 2.3.7 | 水路の設計 | 38 |
| 図 2.3.8 | 横越流余水吐き | 39 |
| 図 2.3.9 | 等流状態の水路水面形 | 39 |
| 図 2.3.10 | 等流計算 | 41 |
| 図 2.3.11 | 水路巻立ての形式 | 41 |
| 図 2.3.12 | 導水路下部を横断する排水設備 | 41 |
| 図 2.3.13 | 導路上部を横断する排水設備 | 41 |
| 図 2.4.1 | ヘッドタンク | 42 |
| 図 2.4.2 | 余水吐き付きヘッドタンク | 42 |

| | | |
|---------|-------------------------|----|
| 図 2.4.3 | ヘッドタンク | 44 |
| 図 2.5.1 | 調整池容量 | 46 |
| 図 2.5.2 | 流入量の推定 | 47 |
| 図 2.5.3 | サクソフォン・ヘッド型排砂装置 | 47 |
| 図 2.6.1 | 水圧鉄管 | 49 |
| 図 2.6.2 | 水撃圧解析 | 51 |
| 図 2.6.3 | 損失水頭 | 52 |
| 図 2.6.4 | トラシュラックによる損失水頭 | 52 |
| 図 2.6.5 | ペンストック入り口に於ける損失係数 | 53 |
| 図 2.7.1 | 発電所 | 55 |
| 図 3.1 | ペルトン水車の構造 | 57 |
| 図 3.2 | ターゴインパルス水車の水の作用 | 59 |
| 図 3.3 | ターゴインパルス水車の構造 | 59 |
| 図 3.4 | ターゴインパルス水車の内部 | 59 |
| 図 3.5 | ターゴインパルス水車の据付と放水路 | 60 |
| 図 3.6 | クロスフロー水車の構造 | 61 |
| 図 3.7 | クロスフロー水車内の流れ | 61 |
| 図 3.8 | クロスフロー水車の特性 | 61 |
| 図 3.9 | ランナ径とランナ幅 | 62 |
| 図 3.10 | クロスフロー水車の吸出し高さ | 62 |
| 図 3.11 | 横軸単輪単流渦巻フランシス水車 | 63 |
| 図 3.12 | 横軸単輪複流渦巻フランシス水車 | 63 |
| 図 3.13 | パッケージ式バルブ水車構造図 | 64 |
| 図 3.14 | S型チューブラ水車構造図 | 65 |
| 図 3.15 | 水中ポンプ型水車 | 66 |
| 図 3.16 | 水車選定図 | 67 |
| 図 3.17 | ダミーロードガバナ原理図 | 70 |
| 図 3.18 | AVR を採用した励磁回路 | 71 |
| 図 3.19 | 蝶形弁構造図 | 72 |
| 図 3.20 | 複葉弁構造図 | 73 |
| 図 3.21 | スルース弁構造図 | 73 |

添付資料リスト(第 6 巻 Part 6-2 に収録)

| | |
|------------|--|
| Appendix 1 | Nomograms |
| Appendix 2 | Computer Programs |
| Appendix 3 | Sample of Design Criteria |
| Appendix 4 | Project Drawings |
| Appendix 5 | Sample Specifications (included in Database) |
| Appendix 6 | Sample of Cost Estimate for Nam Lan Hydropower Project |
| Appendix 7 | Principal Dimensions of Turbines |
| Appendix 8 | Principal Dimensions of Generators |
| Appendix 9 | Unit Conversion Table of Weights and Measures |

1 調査と計画

1.1 電力需要予測

(1) 電力需要予測の必要性

ミャンマー国人口の大部分を占める人々が居住する地方部には、多数の無電化村が散在しており、その電化率は 8% に満たない。国家電力系統の発電力が十分ではないために、系統からの配電線延伸による地方電化は当面難しい。

このような状況下で地方電化を進めるためには、分散型の電源を設置することが現実的である。山岳地方において大きなポテンシャルを有する小水力発電・マイクロ水力発電は、それらの地方では最も効率的な電力源であり、地方部における技術もある程度のレベルに達している。

小水力発電による電化事業を行う際、対象地域の電力需要を適切に予測することが必要である。水力発電は地点固有のエネルギーである。地域の電力需要を満たすような水力ポテンシャルの特定作業が、地方電化計画の基本となる。独立系統に於ける電力供給の場合、発生電力は系統の負荷よりも大きく保たなければならない。それが無理な場合は、以下の代替案が採られることになる。

- 1) ディーゼル発電機などによる予備電力
- 2) 電力需要の調整

(2) 電力需要の検討

ミャンマーにおける農村地方の電力需要は、JICA 調査団が 2001 年 6 月に実施した村落社会調査によると、以下に分類される。

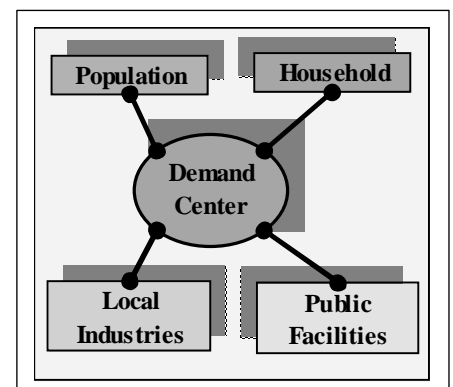
- | | | |
|--------|---|---------------------|
| 一般家庭需要 | : | 照明、テレビ、ラジオ、冷蔵庫、炊飯器等 |
| 公共施設需要 | : | 街灯、寺院・僧院、診療所・病院、学校等 |
| 産業需要 | : | 地域産業等 |



Source: MEPE

図 1.1.1

ミャンマー国電力系統



Source: JICA Study Team

図 1.1.2 電力需要の区分

電力需要予測の初期段階で、村落社会調査を実施する必要がある。調査項目は、以下にまとめられる。

- a) 村落の世帯数、人口
- b) 家庭、公共、産業の各用途における電気器具の数、ワット数、時間帯
- c) 現存する発電設備と現在の電化率
- d) 将来的な需要の増加

計画に必要となる一般的な情報は、以下の通りである。

- 電化対象タウンシップの行政範囲
- 対象地域の位置、面積、道路状況
- 主要産業
- 住民の電化への意欲
- 収入と電気料金支払能力
- 既存発電施設のリハビリの可能性、および系統からの配電線延長による給電の可能性
- 流域の土地利用と農作物の種類
- 土地収用
- 村落地図

季節及び時間変動に対する電力需要曲線は、隣接する発電所の既存記録を参照し、電力施設、電気器具の使用状況、それらが現在使用されている割合などを考慮して、予測する。

- 季節変動 : 農産物加工、モンスーン地域における乾燥作業
- 時間変動 : 夜間の照明、昼間の地方産業による電力使用
- 電力を使用する工場に給電する場合、それらの設備の総電力需要(P_d)は、起動時の過電流に対応するために、適切な範囲内に収められなければならない。
- $P_d < (\text{総出力} - \text{他の需要}) \times 40\%$

一般家庭における主要な電化需要の優先順位は、電灯、テレビ、ラジオ、冷蔵庫である。2002年6月に行われたJICA調査団の村落調査では、家庭電力需要の平均は120W、炊飯器導入を仮定すると160Wであった。

地方の手工業は昼間電力需要の主要な部分を占め、電気料金制度、地域開発、VECの持続的な運営上重要な要素となる。既存手工業の生産機器の所要電力、運転状況、ディーゼル燃料消費量などの調査が必要である。

(3) 電気需要の予測例

電気需要の予測例として、北シャン州の 2,082 世帯の村で行ったものを次に示す。

表 1.1.1 電力需要予測例

| Customer | Number of Customer | Step | Night | | | | | | Daytime | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------|-------------------------------|----------------|------------------|-----------------|------------------------|-----------|------------------------|----------------|------------------|-----------------|------------------------|-----------|
| | | | Unit Consumption | Simultaneous % | Unit Consumption | Accessibility % | Estimated Power Demand | Sub-total | Unit Consumption | Simultaneous % | Unit Consumption | Accessibility % | Estimated Power Demand | Sub-total |
| | | | Watt | | Watt | % | kW | kW | Watt | | Watt | % | kW | kW |
| 1. Household | 2,082 | 1-1 | 130 | 90% | 120 | 93 | 232.4 | 232.4 | 130 | 15% | 20 | 93 | 38.7 | 38.7 |
| | | 1-2 | 220 | 70% | 160 | 93 | 309.8 | 309.8 | 220 | 20% | 50 | 93 | 96.8 | 96.8 |
| 2. Public | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Street Light | 16 | | 400 | 50% | 200 | 100 | 3.2 | | 400 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | |
| 2.2 Temple & Pagoda | 11 | | 2,000 | 30% | 600 | 100 | 6.6 | | 2,000 | 40% | 800 | 100 | 8.8 | |
| 2.3 Hospital | 1 | | 230 | 70% | 160 | 100 | 0.2 | | 230 | 50% | 120 | 100 | 0.1 | |
| 2.4 Clinic | 1 | | 310 | 70% | 220 | 100 | 0.2 | | 310 | 50% | 160 | 100 | 0.2 | |
| 2.5.1 H.School | 1 | | 6,200 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 6,200 | 20% | 1,240 | 100 | 1.2 | |
| 2.5.2 M.School | 0 | | 1,640 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 1,640 | 20% | 330 | 100 | 0.0 | |
| 2.5.3 P.School | 9 | | 380 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 380 | 20% | 80 | 100 | 0.7 | |
| Sub-total | | | | | | | | 10.2 | | | | | | 11.0 |
| 3. Business | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 Restaurant | 3 | | 3,185 | 30% | 960 | 100 | 2.9 | | 3,185 | 30% | 960 | 100 | 2.9 | |
| 3.2 Guest House | 2 | | 4,905 | 50% | 2,450 | 100 | 4.9 | | 4,905 | 30% | 1,470 | 100 | 2.9 | |
| Sub-total | | | | | | | | 7.8 | | | | | | 5.8 |
| 4. Industry | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 Rice Mill | 18 | | 5,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 5,000 | 80% | 4,000 | 100 | 72.0 | |
| 4.2 Oil Mill | 6 | | 5,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 5,000 | 80% | 4,000 | 100 | 24.0 | |
| 4.3 Powder Mill | 0 | | 5,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 5,000 | 80% | 4,000 | 100 | 0.0 | |
| 4.4 Sugarcane Processing | 0 | | 5,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 5,000 | 80% | 4,000 | 100 | 0.0 | |
| 4.5 Saw Mill | 2 | | 10,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 10,000 | 80% | 8,000 | 100 | 16.0 | |
| 4.6 Paper Mill | 0 | | 5,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 5,000 | 80% | 4,000 | 100 | 0.0 | |
| 4.7 Tofu Mfg | 3 | | 4,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 4,000 | 80% | 3,200 | 100 | 9.6 | |
| 4.8 Noodle Mfg | 3 | | 7,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 7,000 | 80% | 5,600 | 100 | 16.8 | |
| 4.9 Furniture | 5 | | 5,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 5,000 | 80% | 4,000 | 100 | 20.0 | |
| 4.10 Iron Work | 5 | | 4,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 4,000 | 80% | 3,200 | 100 | 16.0 | |
| 4.11 BCS | 2 | | 1,500 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 1,500 | 80% | 1,200 | 100 | 2.4 | |
| 4.12 Weaving | 0 | | 5,000 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 5,000 | 80% | 4,000 | 100 | 0.0 | |
| 4.13 Water Pump | 25 | | 200 | 0 | 0 | 100 | 0.0 | | 200 | 80% | 160 | 100 | 4.0 | |
| Sub-total | | | | | | | | 0.0 | | | | | | 180.8 |
| 5. Total | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 1-1+2,3,4 | | | | | | | | 250.3 | | | | | | 236.4 |
| 5.2 1-2+2,3,4 | | | | | | | | 327.8 | | | | | | 294.5 |
| 6. Gross Total | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 1-1+2,3,4 | | | Including 5% of transfer loss | | | | | 270 | Incl. 5% transfer loss | | | | | 250 |
| 6.2 1-2+2,3,4 | | | Including 5% of transfer loss | | | | | 350 | Incl. 5% transfer loss | | | | | 310 |

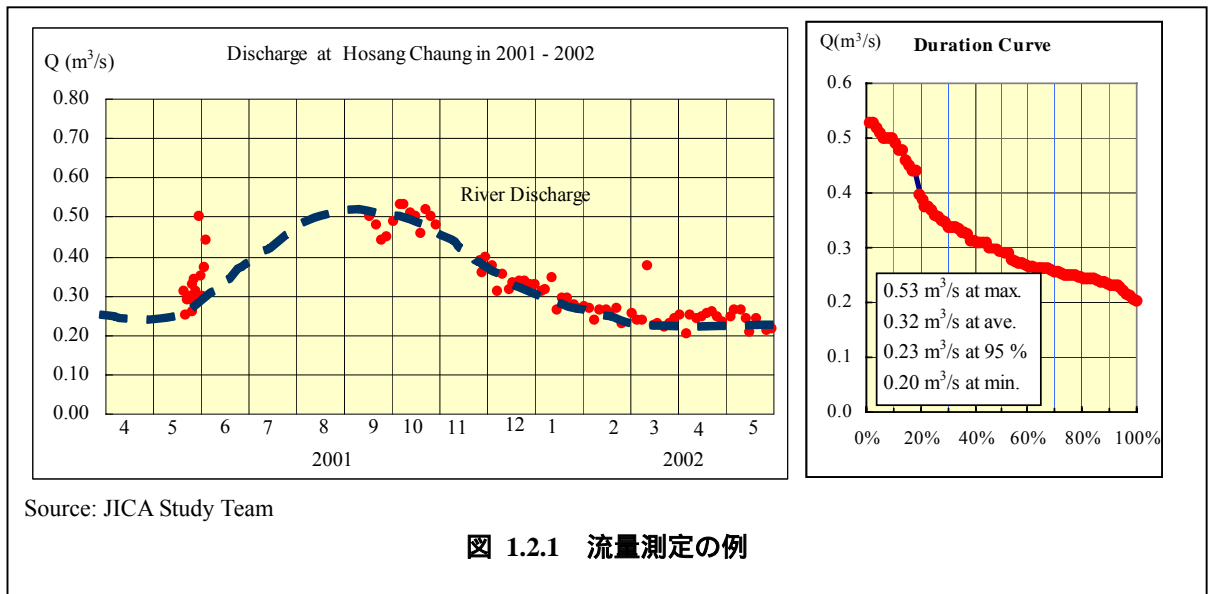
Source: JICA Study Team

- Population : 12,229
 - Household : 2,082
 - Existing electrification ratio : 13.6 %
 - Willingness to pay for initial fee : K 23,000
 - Willingness to pay for monthly fee : K 680/month
- (surveyed in June 2001)

1.2 流量測定と落差の測量

ミャンマーの村落部では、小水力候補地点における流量測定記録や水位観測は、通常実施されていない。小水力地点が特定されたら、年間を通して流量測定・水位観測を行うことが望ましい。最低限、計画のために以下について実行することが必要である。

- 1) 取水口地点における流量持続曲線を得るため、適度な間隔をおいた 10 回以上の流量測定
- 2) 水位計の設置。特に乾期において、できるだけ多くの水位測定。作業は現地の住民に依頼しても良い。



ミャンマーでは、乾期の河川流量は雨季に比べ相当減少する。よって、分散型の小水力により、安定した電力供給を計画するためには、特に乾期流量を把握する必要がある。

以下の方法が河川流量の測定に利用できる。

1) 流量計

流れが一定で常流であるとき、流速を測定する方法として最も一般的な方法である。測定地点は、河川が直線状に伸びている場所を選ぶ。小水力発電計画には、一般に以下の簡略な測定で十分であろう。

- i) 2点法 $V_m = 1/2 \times (V_{0.2} + V_{0.8})$ 深さ > 1 m
- ii) 1点法 $V_m = V_{0.6}$ 深さ < 1 m



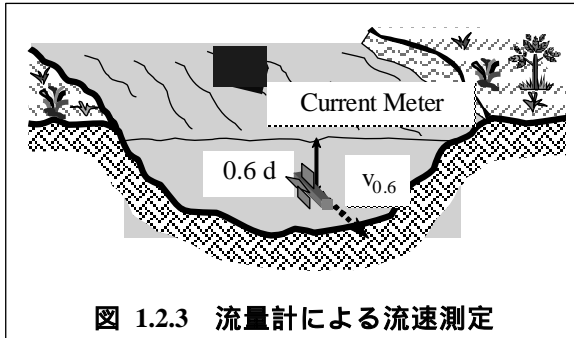


図 1.2.3 流量計による流速測定

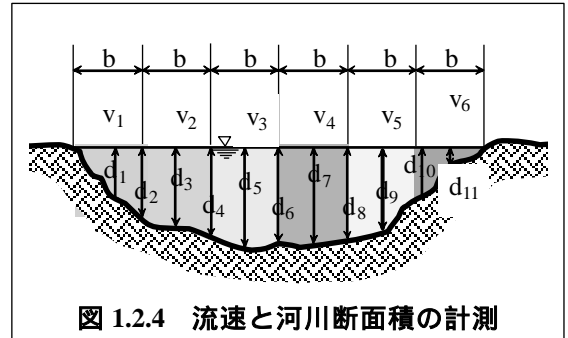


図 1.2.4 流速と河川断面面積の計測

ここで、 V_m : 平均流速、 $V_{0.6}$: 水面より60%深さにおける流速

流量は以下の式によって得られる。

$$Q = V \cdot A$$

ここで Q : 流量 (m^3/s)
 V : 平均流速 (m/s)
 A : 断面積 (m^2)

2) フロート法

流速を測定するのに専用の道具を使用しない、最も簡単な方法である。しかし、流れが一様でなく、幅が大きい場合や深さが浅い場合は、精度は期待できない。流量は以下の式で与えられる。

$$Q = c \cdot V \cdot A$$

ここで、 $c = 0.85$ コンクリート水路
 0.80 安定した流れ
 0.65 浅い流れ

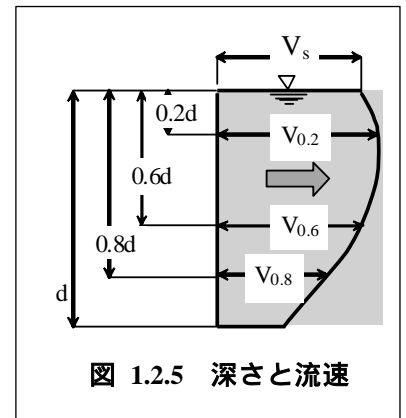


図 1.2.5 深さと流速



図 1.2.6 フロートによる測定

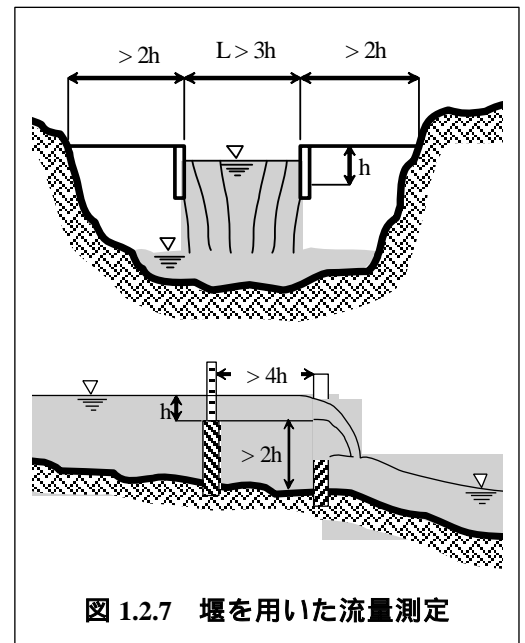


図 1.2.7 堰を用いた流量測定

Source (図 1.2.3 ~ 1.2.7) JICA Study Team

3) せき法

この方法により流量を測定するためには、河川を横断して建設したせきを必要とする。流量は以下の式により与えられる。

$$Q = 1.84 \cdot (L - 0.2 \cdot h) \cdot h^{1.5}$$

ここに Q : 流量 (m^3/s)
 L : せき長さ (m)
 h ; せき越流高さ (m)

4) 水位 流量曲線法

この方法は以下の手順により行われる。

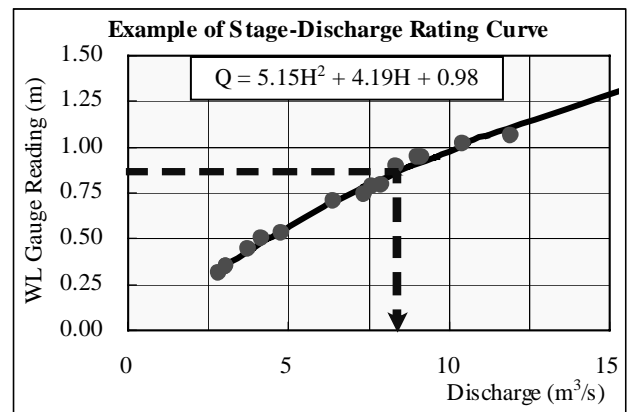
- 流量曲線が作成可能である、適当な水位範囲内の 10 回以上の流量測定
- 量水標上での水位の観測

水位と流量の関係は、一般的に二次方程式で現される。水位-流量曲線は定期的に校正されねばならない。特に、洪水期の後は、堆砂や侵食などで河川断面形状が変化していることに、注意をする。

流量観測用紙の書式を、以下に示す。



図 1.2.8 量水標



Source: JICA Study Team

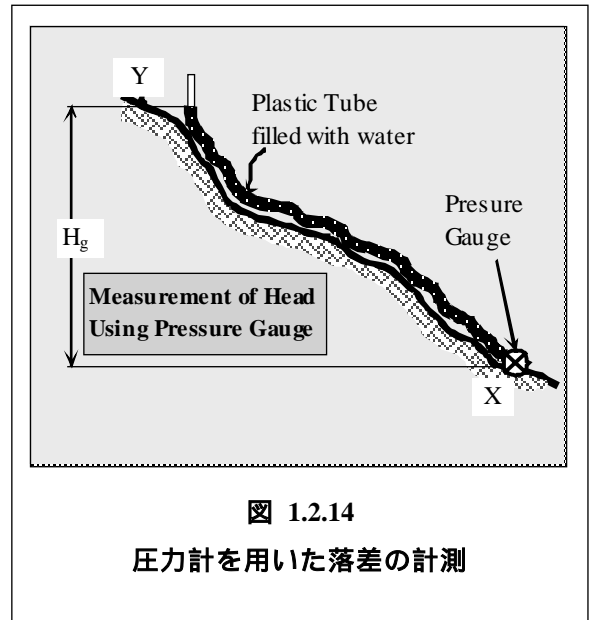
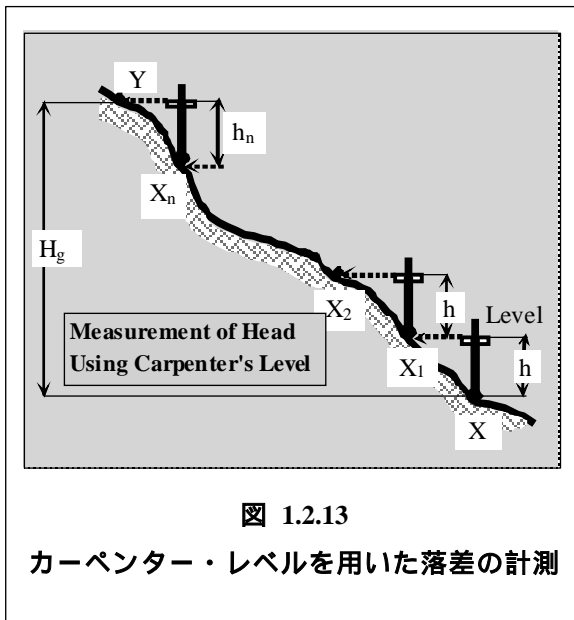
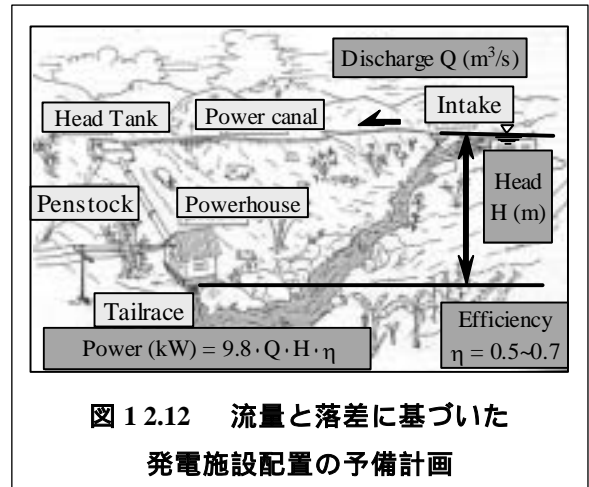
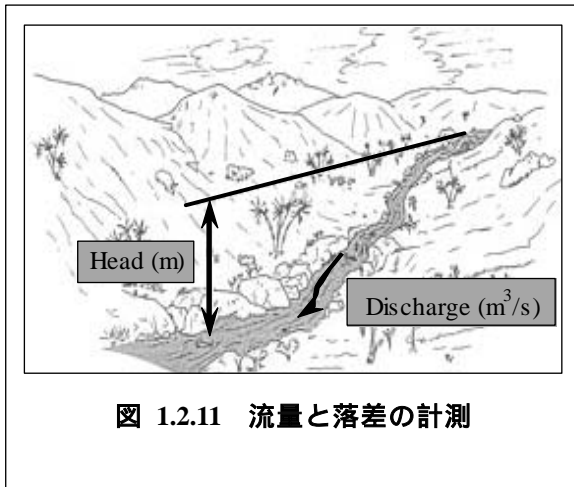
図 1.2.9 水位 流量曲線の例

| DISCHARGE MEASUREMENT SHEET | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|--------------|-----------|-----|-----|--------------------------|----------------|-----|-------------------------------|----------------------|--------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------|
| Outside Work | | | | | | | Inside Work | | | | | Measurement No. | | | | | |
| No. | Distance (m) from | | Depth (m) | | | Velocity | | | Area | | | | Discharge (m ³) | Date | | | |
| | right bank | left bank | 1st | 2nd | Ave | Measurement depth (m) | Velocity (m/s) | | Average discharge (m/s) | Average depth (m) | Width (m) | Area (m ²) | | Total (m ²) | Observer | / / | |
| | | | | | | | 1st | 2nd | | | | | | | | Ave | Measured by |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | Condition | Weather | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | Wind direction | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | Wind force | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | Time | Start | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | End | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | Ave | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | Water level (m) | Gauge | Record | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | Start | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | End | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | Current meter | Type | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | Coefficient | V= | N± |
| | | | | | | | | | | | | | | | Measured by | Rod / Wire / Weight | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | Calculated by | Boat / Bridge / Foot | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | Calc'd | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | Calc Result | Checked | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | Discharge (m ³ /s) | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | Area (m ²) | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | Ave velocity (m/s) | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Note: | | | |

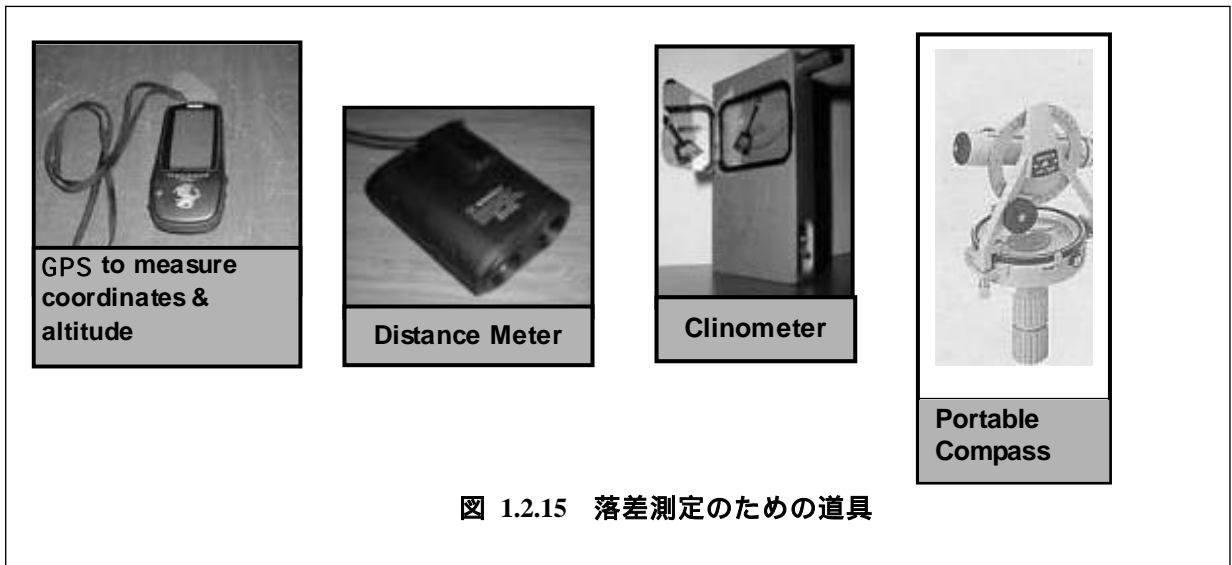
図 1.2.10 流量測定記録用紙

(1) 落差の測量

詳細な計画と設計は、縮尺 1/500 あるいはそれ以上に詳しい測量図を用いて行う。しかし、基本計画の段階では、落差の測量には、より簡便で費用のかからない方法を用いる。



以下の道具が、基本計画段階の落差測定に利用できる。



Source: (Figure 1.2.11~1.2.15) JICA Study Team

1.3 発電使用可能流量

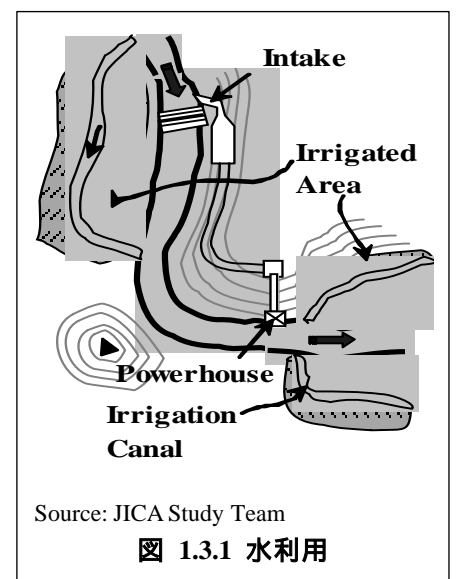
発電用水の取水地点の上流域において、一期作の稲作が行われている場合、かんがい用水の取水は通常乾期の終りであり、河川流量が最小になる5月に始まる。よって、これらの状況下では、5月に発電に取水可能な流量が最小になる。

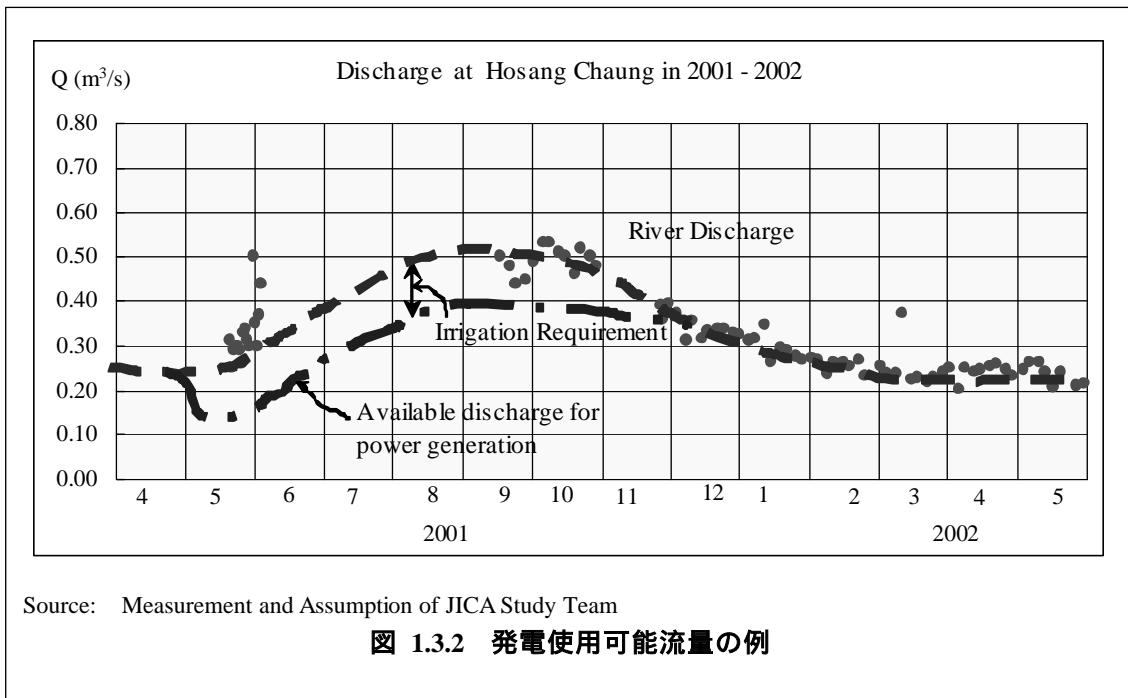
ミャンマーの村落において、水利用で最優先されるのは、通常かんがい用水である。したがって、発電使用可能流量を調べるためには、河川流量だけではなく、現在の水利用状況、かんがいシステム、降雨特性などを検討することが必要である。計画段階での検討項目を以下に示す。

- 発電用取水で影響を受ける下流河川区間の土地利用と取水状況
- かんがい区域、作物分布、かんがい用水量
- 将来のかんがい計画
- 住民の水利用に関する慣習と基本方針

水利用について、かんがいと発電間の需要を調整することができない場合、以下の考慮が必要である。

- 1) 発電設備の位置は、取水口と放水路の間の河川周辺の河川水利用における、かんがい用と発電用の水需要の対立を最小化するように、注意深く選定する。
- 2) 水力発電により影響される区域の河川流量とかんがい需要は、現行かんがい用水を考慮した上での、利用可能な発電流量を推定するため、1年間にわたって調査されなければならない。
- 3) 水田には、一般的に1,000ヘクタールにつき平均1.0 m³/sのかんがい用水が必要となる。面積、作物分布、かんがい水路系、河川復帰流量、降水量、河川から取水して補給が必要なかんがい水量、かんがい需要予測の主要素である。





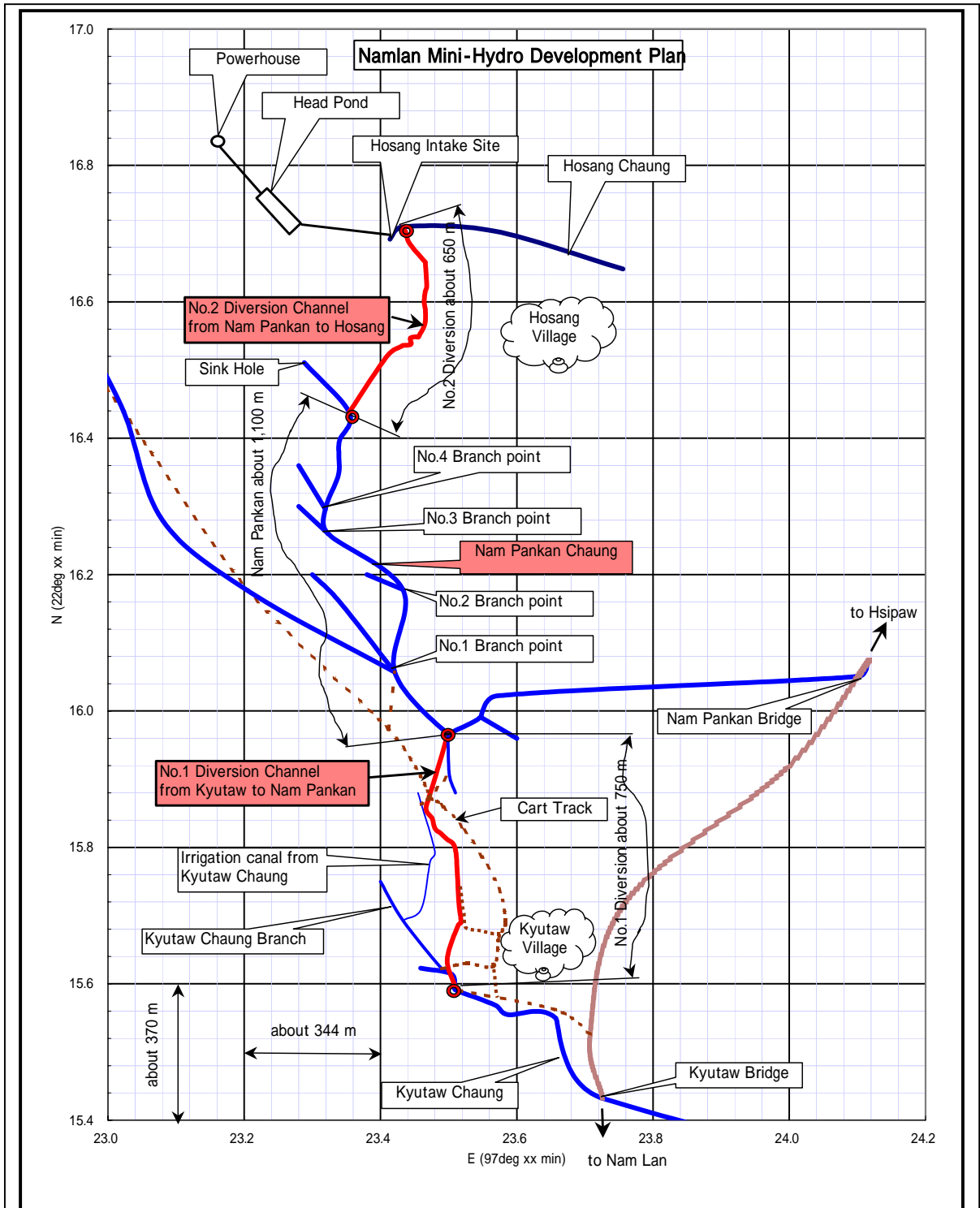
1.4 地形・地質調査

(1) 地形

ミャンマーで水力発電計画地点特定の初期段階において、需要地等へのアクセスを検討するためには、インチ-マイル地図(縮尺 1/63,360)が利用可能である。

ハンディ GPS は、初期計画段階において、プロジェクト地域内とその周辺について、容易かつ正確に特定の位置を得るための強力なツールである。GPS による地図製作例を次ページの図に示す。

詳細設計および建設においては、取水口、沈砂池、貯水池、そして発電所などの土木構造物の区域を含めて、現地測量に基づいて、縮尺 1/500 あるいはそれ以上詳細な地形図を作成することが不可欠となる。導水路の設計に関しては、縦断形状と断面の検討で十分であろうが、水路を横断する沢などの排水路、横越流せき、サイフォンなどの付帯構造物地点については、周辺の地形図の作成が必要となる。



Source: Field Study of JICA Study Team

図 1.4.1 GPS による地図作成例

(2) 地質

小水力発電計画の主要構造物の基礎地質を確認するため、試験坑(テスト・ピット)を掘削する。実用的なピットの大きさは、縦 1.8 m × 幅 1.2 m × 深さ 5.0 m 程度である。重機を必要とせず、スコップで掘り、ロープとバケツと人力で、土を搬出することが可能である。

全てのピットについて、ピット番号、位置、地層境界と深度、地質状態の記述、帯水層、あれば岩盤面、および、関連情報について、試験ピット記録を作成する必要がある。

試験ピット記録の例を以下に示す。また、試験ピットの仕様例を Appendix-5 に添付する。



図 1.4.2 試験坑

| LOG OF TEST PIT OR AUGER HOLE FOR BORROW AND FOUNDATION INVESTIGATIONS | | | |
|---|-------------------------------|--|---------------------------------|
| Feature | Flat Plane, Right bank | | Project Heho Hydropower Project |
| Designation | Intake Area | Coordinates | Ground Elevation 1138 (?) |
| Method of Excavation | Manual | Approx; Dimension of Hole 4*6*14.5 ft | Dates of Excavation 19/21-12-01 |
| DEPTH (FEET) | SIZE AND TYPE OF SAMPLE TAKEN | CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL (SEE CHART "UNITED SOIL CLASSIFICATION" FOR GEOLGIC AND SURFACE DESCRIPTION FOR FOUNDATION INVESTIGATIONS) | |
| 0-1.5 | | Dark grey, silty clayey soil with shell pieces, and vegetation roots. Moist, little cohesive. | |
| 1.5-2.3 | | Whitish yellow, calcareous sand, derived from tuffa, Loose, moist. | |
| 2.3-2.5 | | Grey, ashy color, silty Palco-soil layer, slightly plastic, moist, with pieces of tuffa | |
| 2.5-4.5 | | Whitish yellow - calcareous sand, derived from tuffa, with pieces of tuffa, moist, soft, easy to excavate with hand tools. | |
| 4.5-4.9 | | 2 nd layer of paleo-soil, Grey ashy color, slightly plastic, moist. | |
| 4.9-6.3 | | Whitish yellow - tuffaceous sand with pieces of tuff. | |
| 6.3-6.5 | | 3 rd layer of paleo-soil grey, slightly plastic, moist. | |
| 6.5-7.7 | | Yellowish white - tuffaceous sand, soft, moist. | |
| 7.7-8.0 | | 4 th layer of grey paleo-soil, slightly plastic, moist. | |
| 8.0-14 | | Yellowish white - tuffaceous sand with pieces of tuffa, soft, moist. | |
| 14-14.5 | | 5 th layer of grey paleo-soil, saturated, soft | |

Source: JICA Study Team

図 1.4.3 試験坑の調査記録の例

1.5 発電設備の配置

サイト選定

分散型・独立系統の小水力発電の計画では、以下の点について注意が必要である。

- 1) 乾期においても所要発電流量を確保できること。
- 2) 比流量 ($\text{m}^3/\text{sec} / 100\text{km}^2$) が大きいこと。
- 3) 河川勾配(H/L) が大きい(急な)こと。
- 4) 需要地からの距離(送電線延長)が短いこと。

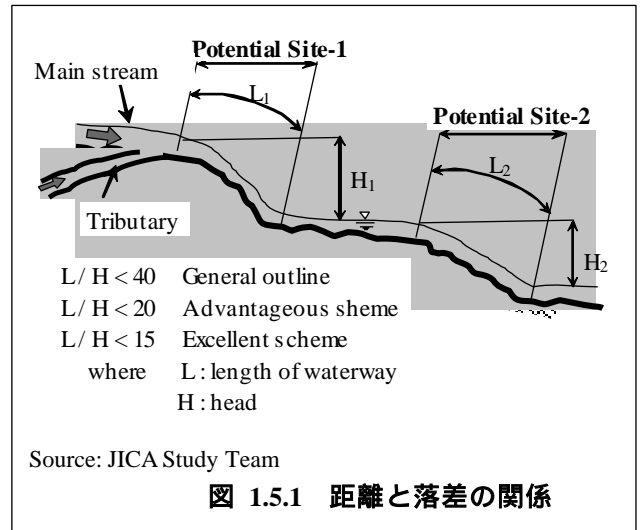


図 1.5.1 距離と落差の関係

基本配置

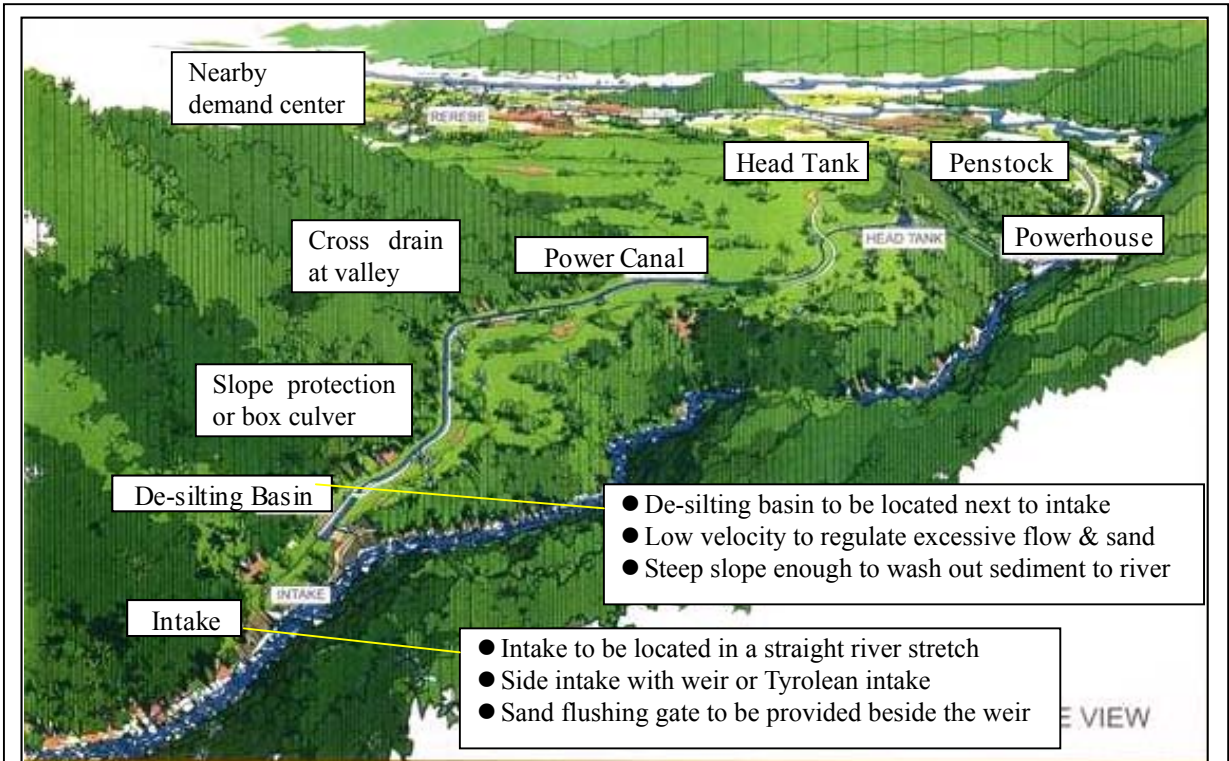
主要な土木設備は、堰、取水口、沈砂池、導水路、ヘッドタンク・調整池、水圧鉄管、発電所、および放水路である。小水力発電においては、ダム式やトンネル型水路を使用する例は少ない。既存のかんがいダムには、小水力発電による再開発計画を適用できよう。

落差工を有する既存かんがい水路では、発電用水路を建設することなく、取水口や沈砂池に水圧鉄管を接続し、小水力に利用できることがある。この場合、かんがい用水の全てあるいは一部が発電に使用されるため、かんがい期と非かんがい期のかんがい流量の変動を確認する必要がある。



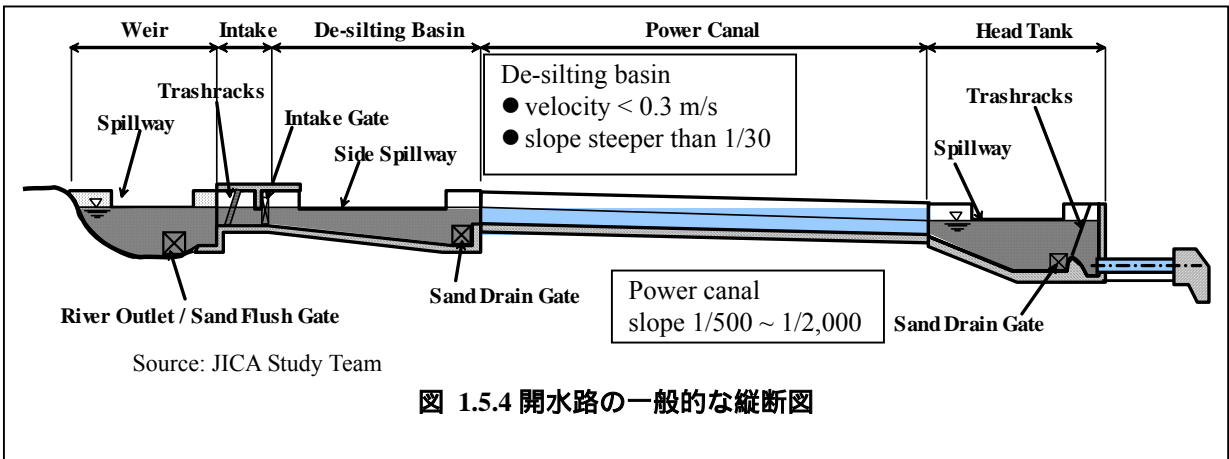
図 1.5.2
自然の落差や滝を利用したミニ又は
マイクロ小水力発電

自然条件と設計条件により、設備の組み合わせは変わりうる。多くの小水力発電の建設例に見られる主な課題は、堆砂と、洪水時の水理特性の 2 点である。したがって、地点条件をよく考慮した適切な配置と組み合わせを、設計に活かすことが必要である。典型的な小水力発電の配置と縦断図を、技術的留意点と共に下図に示す。



Source: JICA Study Team

図 1.5.3 小水力発電の一般的な配置図



Source: JICA Study Team

図 1.5.4 開水路の一般的な縦断図

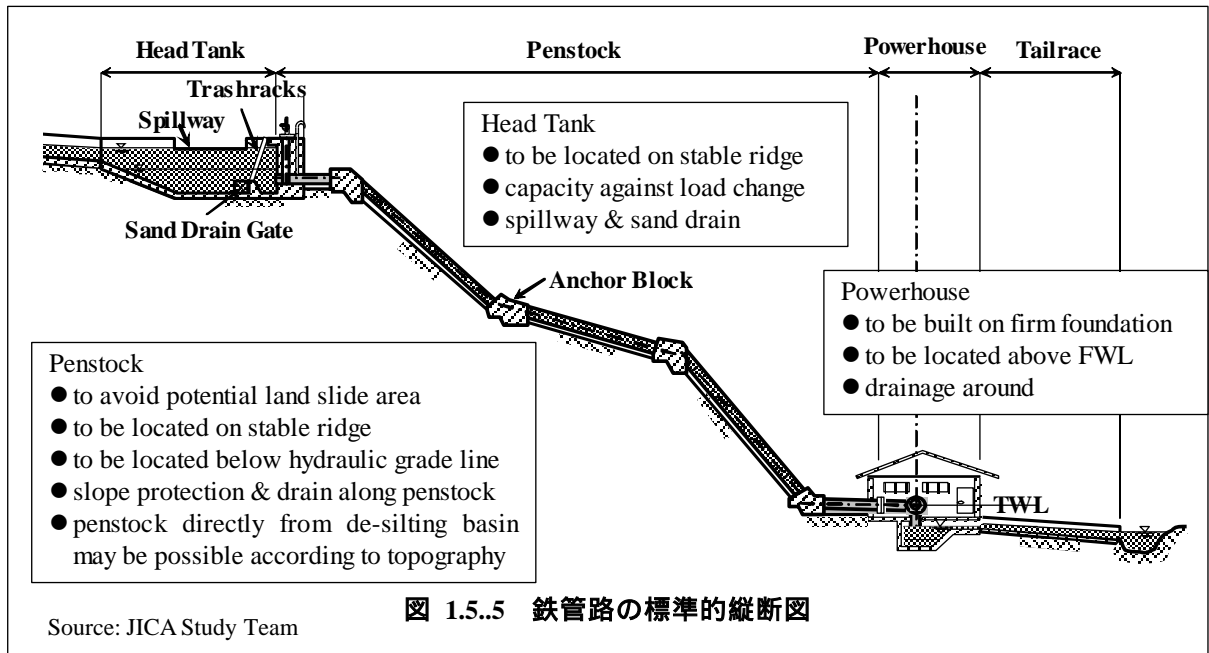


図 1.5..5 鉄管路の標準的縦断図

1.6 水力発電計画

(1) 設計流量

独立系統の小水力で、かつ予備電源がない場合、その常時出力は需要負荷以上である必要がある。それらの小水力発電計画の要点は以下に集約される。

- 1) 発電に使用可能な年間の河川流量に基づいた、常時使用水量の決定（通常、超過確率 90～95%の流量を採用する）。
- 2) 負荷需要ピークと雨季利用可能流量に基づいた、発電所の最大使用水量の決定。

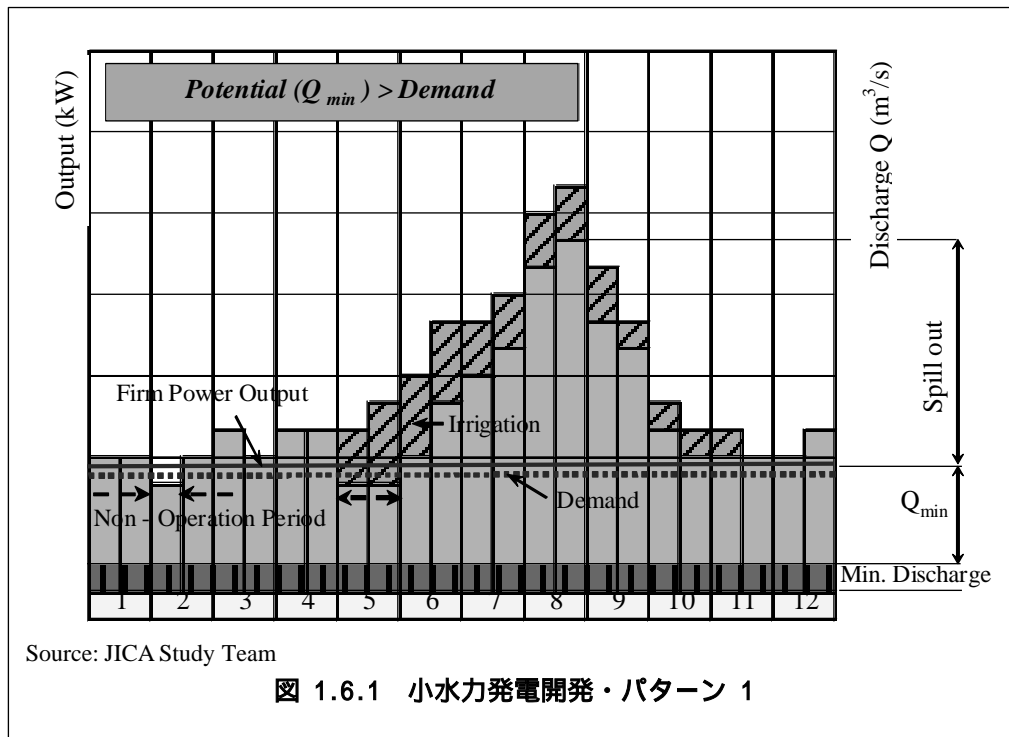


図 1.6.1 小水力発電開発・パターン 1

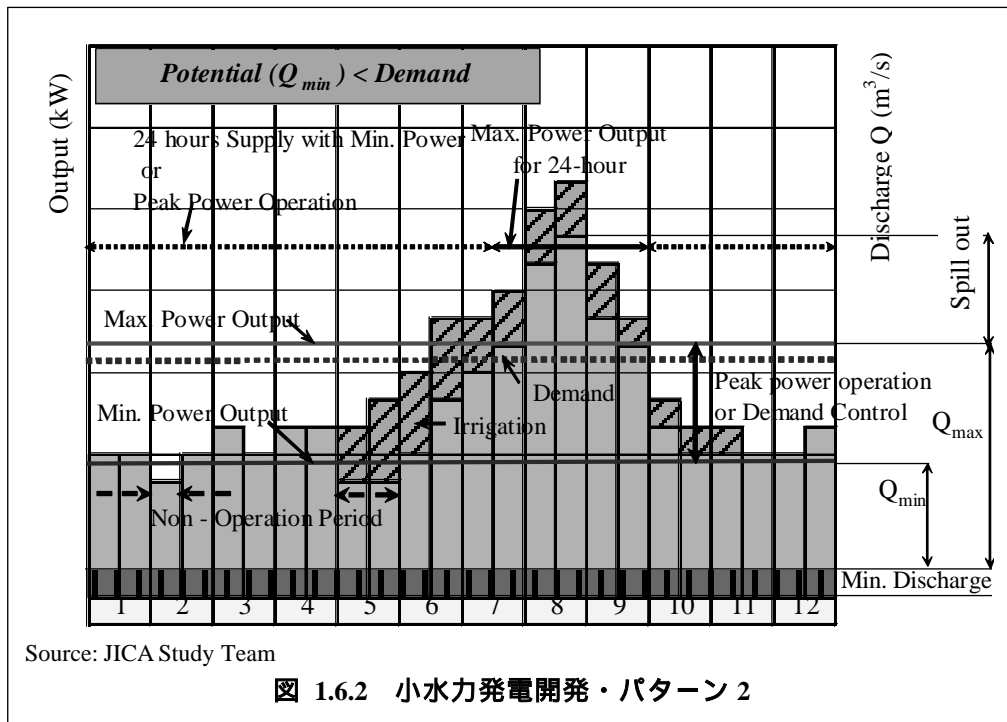


図 1.6.2 小水力発電開発・パターン 2

代表的な水車の最小水車流量と最大水車流量の比と、最小効率と最大効率を下表に示す。

| Type | (Q_{min} / Q_{max}) | $(\eta_{min} / \eta_{max})$ | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Francis with horizontal shaft | 30 ~ 40% | 0.70 | |
| Pelton with horizontal shaft | 15% | 0.75 | 2-nozzle |
| Pelton with horizontal shaft | 30% | 0.90 | 1-nozzle |
| Cross flow | 15% | 0.75 | guidevane divided |
| Cross flow | 40% | 0.75 | guidevane not divided |
| Turgo impulse | 10% | 0.75 | 2-nozzle |
| Turgo impulse | 20% | 0.75 | 1-nozzle |
| Reversed Pump | 100% | | |

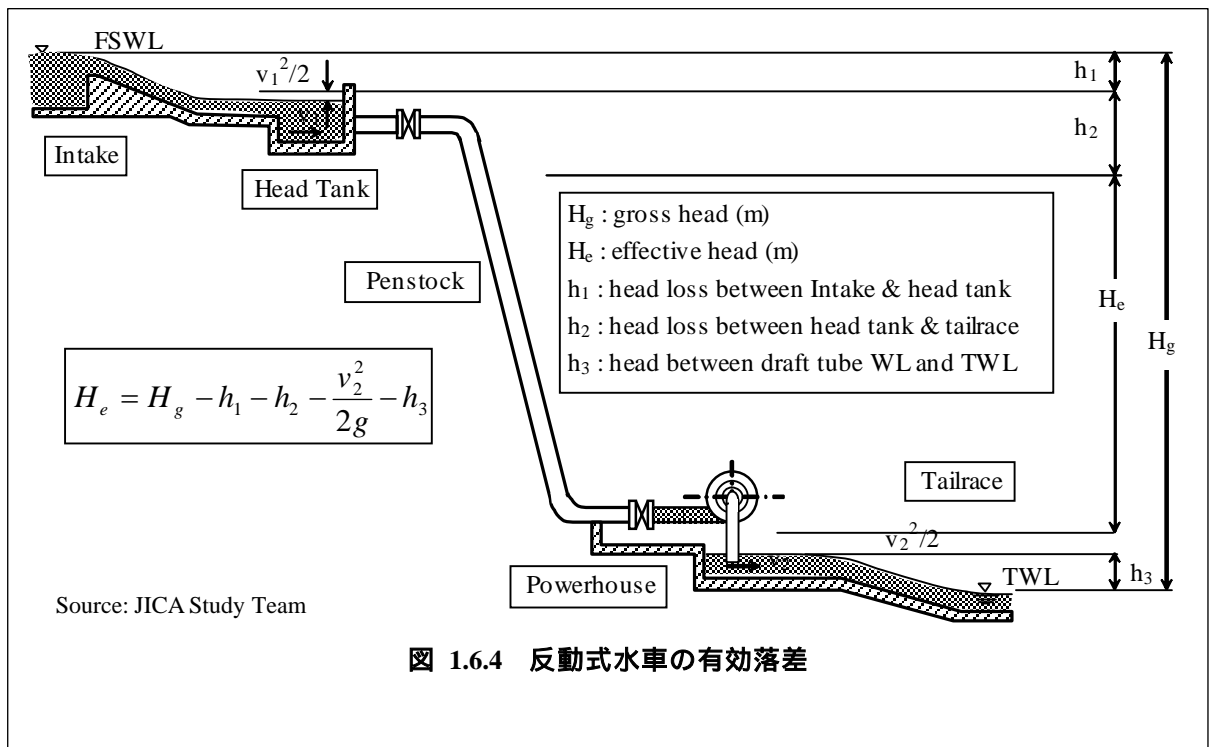
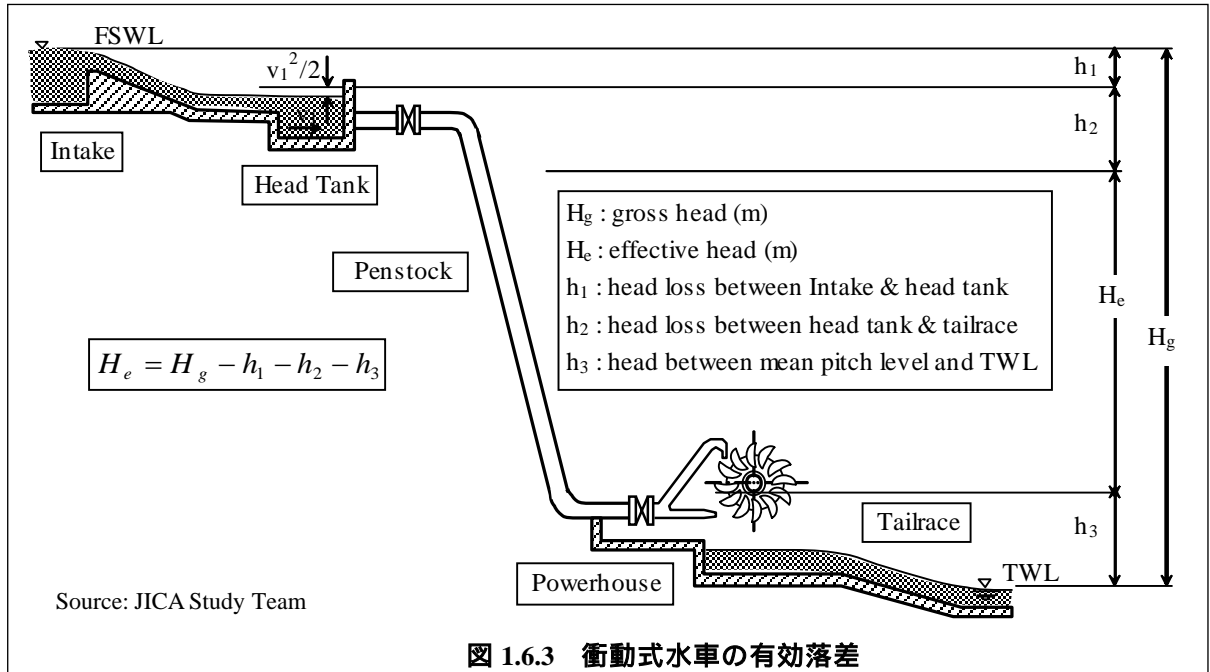
Source: Estimation by JICA Study Team

表 1.6.1 最小水車流量

小水力発電の水車台数は 1 台、あるいは、流量変動に対応するために 2 台設置が必要となる場合もある。逆転ポンプ水車のように流量調節機構を持たない水車の場合、雨季・乾期の水量変動に対応するため、数台の水車設置が必要となることもある。水車の所要台数は、後述する水車形式と密接な関連がある。

(2) 有効落差

有効落差は、取水口と放水路の総落差から損失水頭を差し引いて計算する。しかし、衝動式水車(ペルトン、ターゴインパルス、クロスフロー)の有効落差と、反動式水車(フランス、プロペラ、チューブラ)では、以下のとおり算出方法が異なる。



(3) 出力と年間発生電力量

発電出力は以下の式で与えられる。

$$P = 9.8 \cdot \eta \cdot Q \cdot H$$

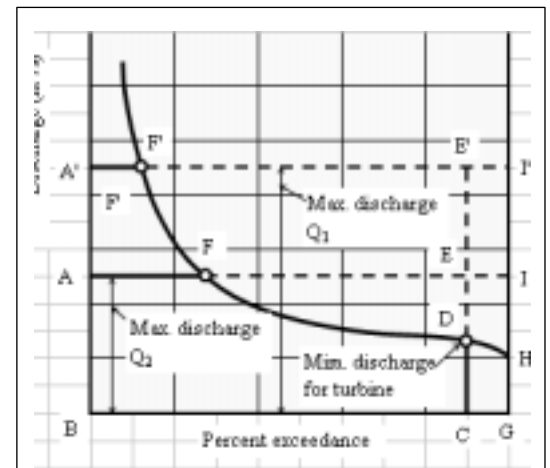
ここで, P : 出力 (kW)

η : 水車・発電機合成効率

Q : 使用水量 (m³/s)

H : 有効落差 (m)

流れ込み式発電所の最大使用水量を、常時使用水量より大きく設定する場合、その年間発生電力量を算定するには、以下に示すように流況曲線が便利である。



Source: JICA Study Team

図 1.6.5 流況曲線

最大使用水量が Q_1 の場合:

$$PlantFactor(\xi_1) = \frac{area(A'BCDF')}{area(A'BGI')}$$

$$年間発生電力量 E_1 = \xi_1 \cdot P \cdot 8,760$$

ここに, E_1 : 年間発生電力量 (kWh)

P : 最大出力 (kW)

最大使用水量が Q_2 の場合:

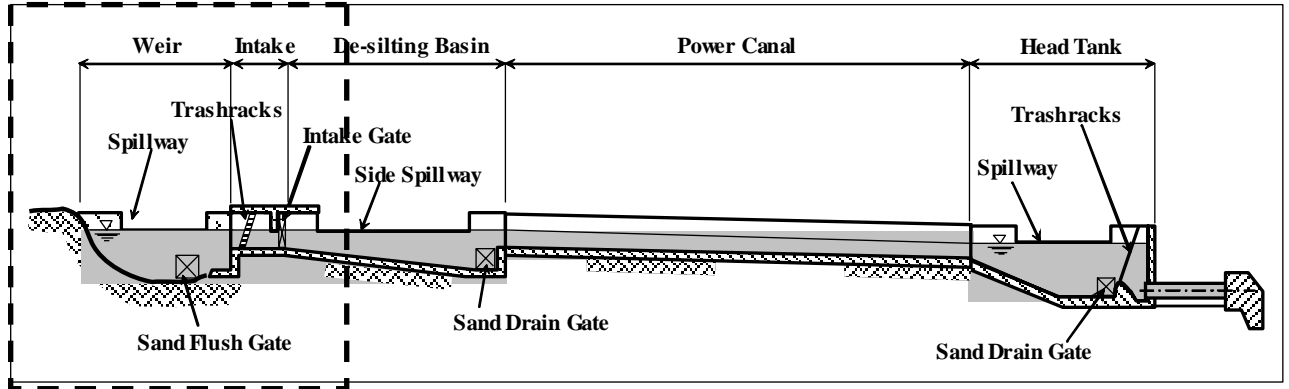
$$PlantFactor(\xi_2) = \frac{area(ABCDF)}{area(ABGI)}$$

$$年間発生電力量 E_2 = \xi_2 \cdot P \cdot 8,760$$

大流量側の Q_1 を選択すると、より規模の大きい発電所が必要になり、設備利用率 (Plant Factor) が低くなる。逆に、小流量側の Q_2 を選択すると、小規模の発電設備となり、設備利用率は高くなる。火力を含む系統に接続する発電所の場合、最大使用水量は、電気料金が適切に設定されるならば、発電事業による収益と必要な経費を考慮して、一般的には最大純便益を得るように選定される。(ミャンマーでは、単独系統でも、雨季中は全出力で発電し、乾季には夜間のピーク時だけ発電している例が多い。)

2 土木設備設計

2.1 頭首工



Source: JICA Study Team

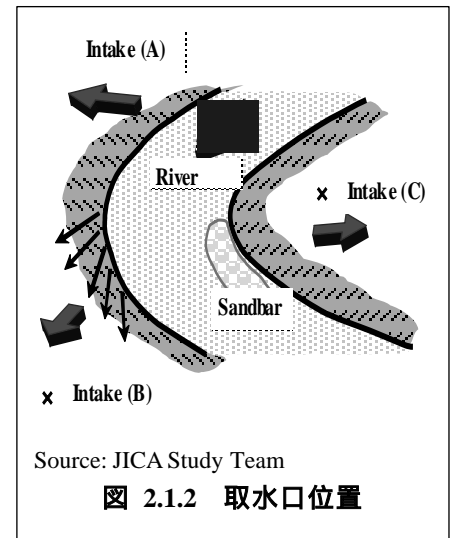
図 2.1.1 頭首工

サイト選定

- この章では、ダム建設ではなく、川を横断する堰、あるいは分水設備を伴う流れ込み式の計画を取り扱う。
- 小水力・マイクロ水力・ミニ水力発電における共通課題の一つは取水設備の洪水被害であり、もう一つは上流から取水口や水路に流入し、生じる堆砂である。

以下、河川の屈曲部における小水力発電の取水口設備の位置について、留意事項を示す。

- 1) 取水口(A)：直進する河川に比較的沿う場所で、最も望ましい位置である
- 2) 取水口(B)：洪水、瓦礫、浸食等について、甚大な被害が及ぶ可能性がある。
- 3) 取水口(C)：取水口の正面で堆砂が起こり、取水口入口を閉塞する可能性が高い。



Source: JICA Study Team

図 2.1.2 取水口位置

堆砂対策

- 小石や玉石を含んだ急峻な河川においては、チロリアン式取水口がミニ・マイクロ水力発電に適應できる。チロリアン式取水口の特徴を以下に示す。
- 1) 取水口設備が最小限に抑えられる。

- 2) 洪水時には特に多量の土砂が流入する。したがって、十分な水理勾配と排砂能力を伴った排砂設備が不可欠となる。定期的な排砂作業が必要である。
- 3) スクリーンの空隙に噛みこんだ流木や枝を取り除く作業が必要である。
- 4) 一般的には、取水量は $0.1 \sim 0.3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ 、スクリーンの勾配は 30° 以下、スクリーンバーの間隔は $20 \sim 30 \text{ mm}$ である。

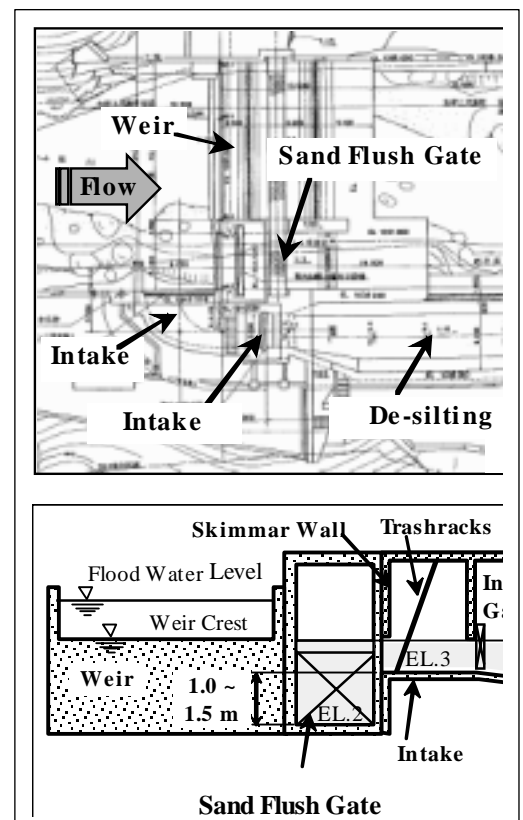


- 堰上流から流れてきた土砂を除くため、取水口の隣に排砂ゲートを備える。取水口は、堰のすぐ上流の河川の脇に設置し、取水口に流入する土砂の堆積を最小に抑える。排砂ゲートの敷き標高は、一般的に河床標高より $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ 高く、取水口敷き標高より $1.0 \text{ m} \sim 1.5 \text{ m}$ 低く設定する。
- 入口にスキマー・ウォールを設けると、流木や過剰な流量が取水口に流入するのを防止する上で、一般的に有効である。
- 河川勾配が不足していたり、堆砂量が確認されていたりする場合は、石積布団籠(ギャビオン)導流壁などによる防護が、土砂流入対策として有効となる。
- 取水口における流速は、土砂の水路流入を防ぐため、 $0.5 \sim 1.0 \text{ m/s}$ に制限する。




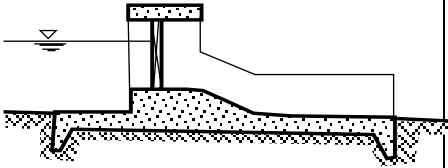
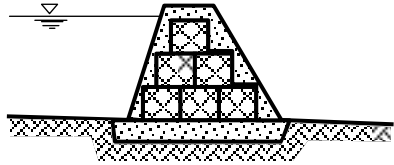

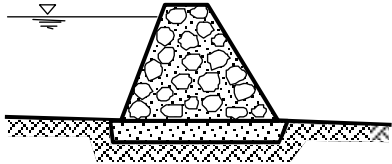
取水堰

- 取水堰の種類は以下にまとめられる。



Source: JICA Study Team

表 2.1.1 取水堰の種類

| せきの種類 | 特徴 | 一般的な様相 |
|--|--|---|
| コンクリート重 力式 | <ul style="list-style-type: none"> ● 岩盤の基礎に適応可 ● 最も一般的 ● 耐性が大きく、せき堤体の浸透水がない ● 比較的成本高 |  |
| 浮きコンクリート式 (Floating concrete weir) | <ul style="list-style-type: none"> ● 砂利の基礎に適応可 ● 十分な浸透路長が必要 ● 耐性が大きい ● 比較的成本高 |  |
| 石積フトン籠+ コンクリート巻 きたて工(Gabion covered with concrete) | <ul style="list-style-type: none"> ● 砂利の基礎に適用可 ● 表面をコンクリートで防護 ● 比較的成本低 |  |
| 石積フトン籠工 | <ul style="list-style-type: none"> ● 砂利の基礎に適用可 ● 柔軟性がある ● 低コスト、補修が容易 |  |
| 練り石工 | <ul style="list-style-type: none"> ● 砂利の基礎に適用可 ● 低コスト、維持が容易 |  |

Source: JICA Study Team

適用する堰の形式は、発電規模、重要性、洪水流量、基礎の状態、補修方式などを考慮して決定する。材質が高品質で、建設技術が高度であれば、使用全期間にわたる維持・補修にかかる作業量を少なくすることができる。

- 堰の越流頂標高は、通常、最大使用水量時の常時水位(FSWL)と等しく設定する。
- 取水口と堰は、水路に適切な流量が流入するよう、適切な水理設計が必要である。流れ込み式発電所では、河川からの取水量は一般に調整しないため、設計流量以上の過剰流入水は、余水吐きから安全に排水することが必要である。堰の越流頂標高を、最大使用水量の取水時の常時水位と等しく設定する場合、取水口から流入する流量は次の2とおりに分類される。

1) 河川流量 < 最大使用水量

- 全河川流量が取水口から流入
- 水位は常時水位(EL.1)と取水口敷き標高の間で、流量により変化する。
- 最大使用水量(設計流量)が河川を流下している時には、その全量が、せき下流へ越流することなく、常時水位で取水口から流入する
- 下流への流量が必要な場合、放水口より放流する。

2) 河川流量 > 最大使用水量

- 水位が常時水位 (EL.1)より上であれば、流量の一部がせきの上部から越流し、水位が常時水位より高いことから、最大使用水量より多い流量が水路に流入する。
- 取水口より流入する過剰な流量は、水路の適当な位置に設置する横越流型余水吐きから放流する。
- 洪水時には、水路への土砂流入を避けるため、取水ゲートを閉鎖する。

- 取水口近辺に設置された水位計により水位を

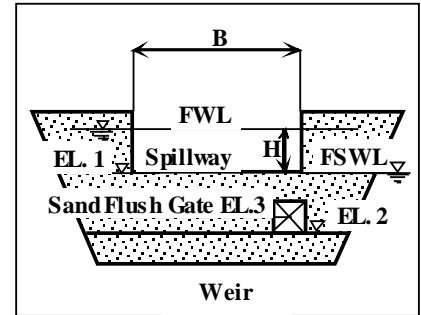


図 2.1.6 堰正面図

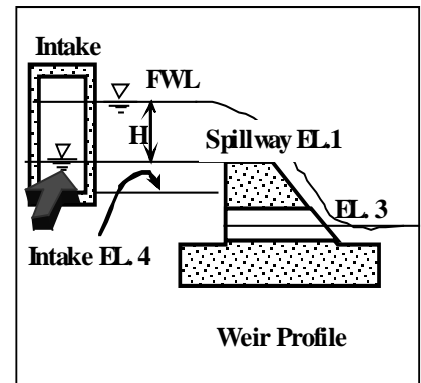


図 2.1.7 堰断面図

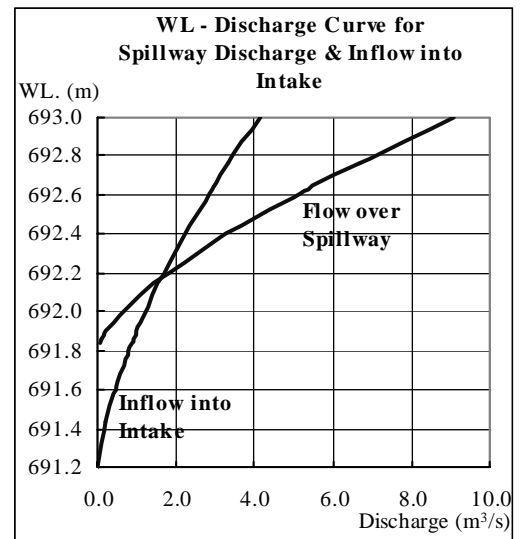
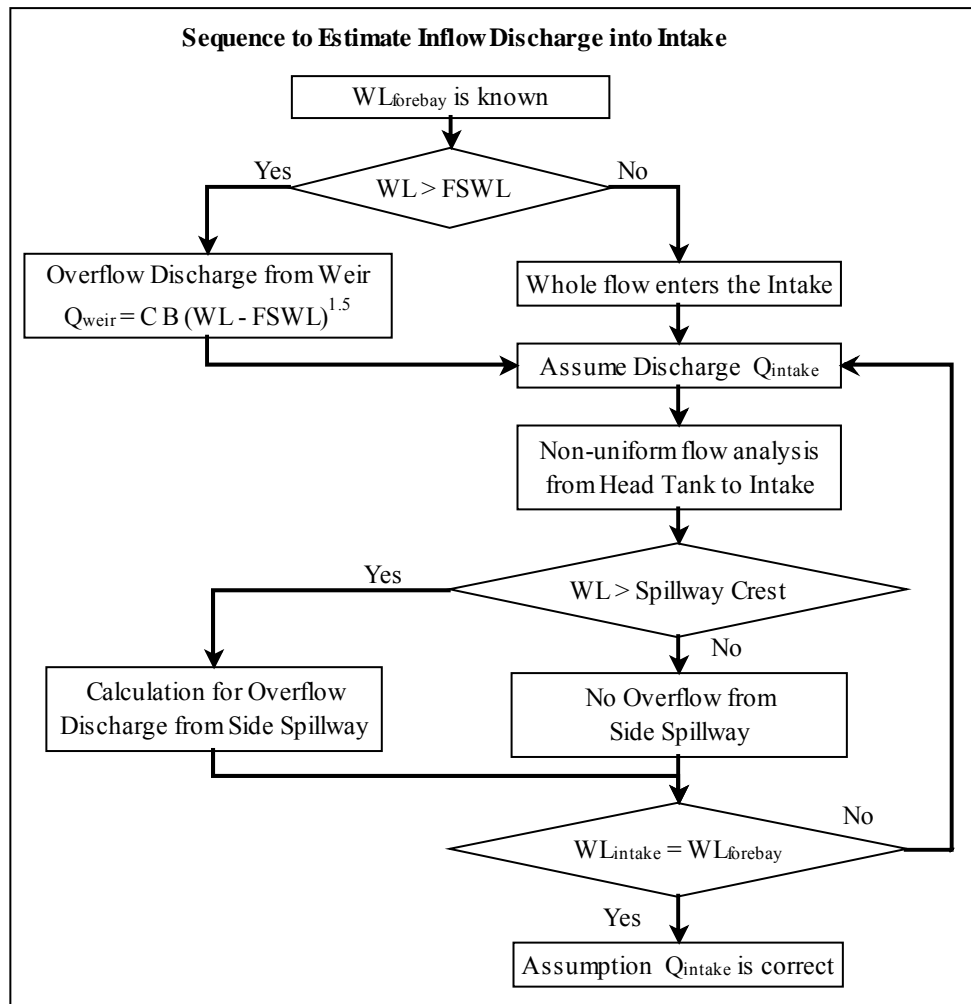


図 2.1.8 水位 流量曲線

Source (図 2.1.6 ~ 2.1.8) : JICA Study Team

観測できる場合、余水吐きからの越流量および水路への流入量は前ページ図のカーブのようになる。このような水位-流量曲線 (H-Q カープ) を作成する必要がある。



Source: JICA Study Team

図 2.1.9 取水口流入量推定のフローチャート

- 余水吐きからの越流量と排砂ゲートからの流出量は、以下の式を用いて計算する。

余水吐きからの流出 ここに Q_{spill} : 越流頂からの流量(m^3/s)

$$Q_{spill} = 1.84 \cdot B \cdot H^{1.5}$$

B : 越流頂幅(m)

H = WL - 越流頂標高 (m)

排砂ゲートからの流出

- 1) オリフィス流の場合

$$Q = 0.6 \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Q : ゲート流量(m^3/s)

A : 流積 (m^2)

H = WL - オリフィス中心標高 (m)

2) 管路流の場合

$$Q = A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + f_e + f}}$$

f_e : 入口損失係数(0.1 ~ 0.5)

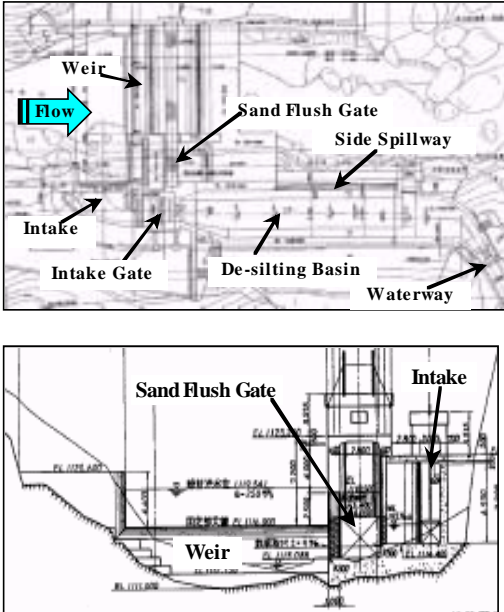


f : 摩擦損失係数 = $124.5n^2 L/D^{(4/3)}$

- 特別な調整池を設けずに、乾季にピーク発電を行うためには、せきにゲートを設置した河川流路内の貯水が有効となろう。ゲートは雨季には開放し、洪水のない乾期には閉鎖する。

取水口

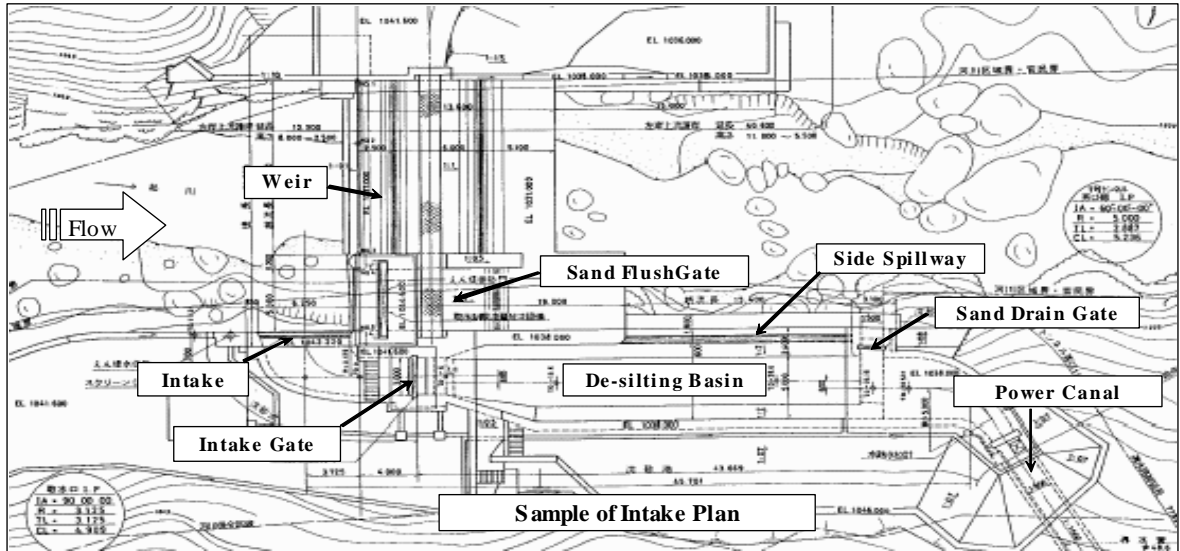
- 取水口の形式は以下にまとめられる。

表 2.1.2 取水口の形式

| 取水口形式 | 特質 | 一般的な形 |
|-------------------|--|--|
| <p>堰に設置した横取水口</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 流れ込み式発電所で最も一般的に用いられる。 ● 上流から流れてきた土砂を流すための排砂ゲートをせきの脇部に設置。 ● 取水口は堰、排砂ゲートの直上流に設ける。 ● 取水ゲートは沈砂池の上流に設け、排砂操作や水路の保守の際には閉鎖する。 |  |
| <p>チロリアン式取水口</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 玉石を含んだ急峻な河川に適する ● 堰を必要としない ● スクリーン空際に噛みこんだ流木や枯枝を除去する必要がある ● 取水口から流入して沈砂池へ堆積した砂を定期的に排出する必要がある。 |  |
| <p>貯水池式取水口</p> | <p>自然・人工の池からの水を利用して発電する。</p> |  |

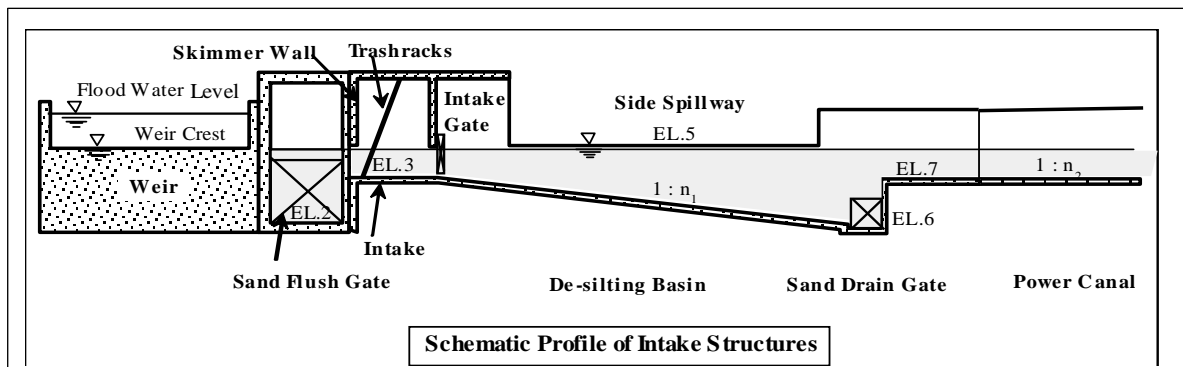
Source: JICA Study Team

- 取水設備に選ばれるサイトは、基礎が安定し、堅固である必要がある。過剰な水や河川からの堆積物流入を最小限に止めるように設計する必要がある。洪水時における河川堆積物の流入は、水路や水圧鉄管に入る前に河川に戻すように設計する。
- コンクリート堰を備えた横取水口における水理的な必要条件は、一般的に次のようにまとめられる。



Source: JICA Study Team, arranged from DHP drawing.

図 2.1.10 取水口平面図の例



Source: JICA Study Team

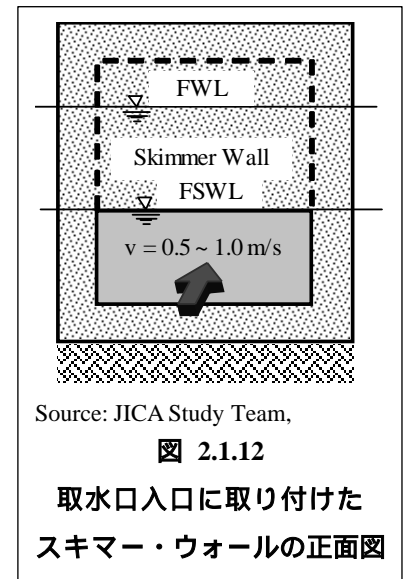
図 2.1.11 取水口設備の概略縦断図

表 2.1.3 横取水口の水利的必要条件

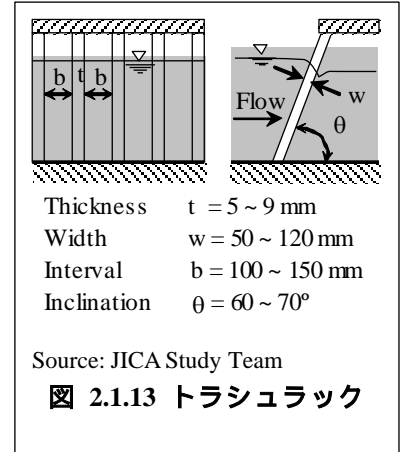
| 項目 | 一般的な適用 | 記号 |
|---------------|--|-------|
| 取水堰の天端高さ | = 常時水位 | EL. 1 |
| 排砂ゲート敷き標高 | = 河床標高 + (0.5m ~ 1.0m) | EL. 2 |
| 取水口敷き標高 | = EL.2 + (1.0m ~ 1.5m) | EL. 3 |
| 取水口流入流速 | 約 0.5 ~ 1.0 m/sec | |
| 取水口敷き標高 | = 洪水位+ 余裕高 (> 1.0m) | EL. 4 |
| 取水口天端標高 | = FSWL | |
| 取水ゲート部流速 | 約 1.0 ~ 1.5 m/sec | |
| 横越流型余水吐の越流頂標高 | = FSWL - (0 ~ 10cm) | EL. 5 |
| 沈砂池勾配 | 1 : 10 ~ 1 : 30 | |
| 沈砂池内流速 | < 0.3 m/sec | |
| 沈砂池長さ | (2 ~ 3) x depth x velocity / sedimentation rate = (2 ~ 3) x depth x 0.3 / 0.1 = (6 ~ 9) x depth | |
| 排砂路標高 | (排砂流出口高さ) > (河川水位) | EL. 6 |
| 導水路床標高 | = EL. 3 | EL. 7 |
| 導水路勾配 | 1 : 1,000 ~ 1 : 2,000 | |
| 導水路流速 | 巻き立て水路で、最大 < 2 m/s | |

Source: JICA Study Team

- 取水口入口のスキマー・ウォールは、取水口への流木や土砂の流入を防ぐだけでなく、洪水時に河川水位が常時水位を超えた際、オリフィス流れを形成することにより、過剰な水の流入を制限する(越流や開水路流なら $H^{1.5}$ から $H^{2.0}$ に比例して流入量が増加するが、オリフィス流れが形成されると流入量増加割合が $H^{0.5}$ に比例となり、増加速度を限定できる)。



- 取水ゲートは、排砂作業や水路保守時に閉鎖するため、沈砂池の上流側に設置する。洪水時には、過剰な流量の流入や土砂流入を防ぐため、ゲートは閉鎖する。取水ゲート部の通過流速は 1.0 m/s 以下とする。
- 塵、落ち葉、浮遊砂などが水路に流入するのを防ぐため、取水口に除塵装置(トラッシュラック)を設置する。スクリーンバーは、一般的に 5 ~ 9 mm の厚みと 50 ~ 120 mm のバー幅の鉄材を 100 ~ 150mm の間隔で水平面からの仰角 60 ~ 70° で設置する。



2.2 沈砂池

- 沈砂池は、砂粒子の沈降速度 0.1 m/s 程度で直径 0.5 ~ 1.0 mm 以上の砂を沈殿させることができるよう設計する。沈砂池における平均流速は一般的に 0.3 m/s で、水路勾配は、1/10 ~ 1/30 とする。沈砂池の長さは以下の経験式で与えられる。

$$L = (2 \sim 3) \cdot \frac{v}{u} h_s$$

ここに

L : 沈砂池長さ(m)

h_s : 沈砂池深さ (m)

v : 沈砂池内平均流速(m/s) = $Q / (B \times h_s) = 0.3$ m/s

u : 対象砂粒子の沈降速度 (m/s) = 0.1 m/s for sand grains of 0.5 ~ 1.0 mm

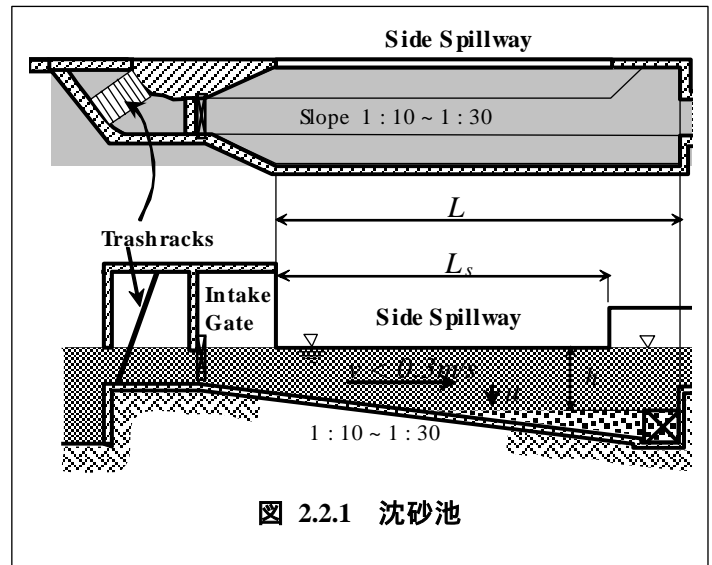


図 2.2.1 沈砂池

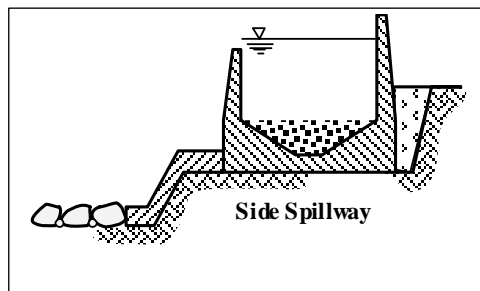


図 2.2.2 横越流余水吐き

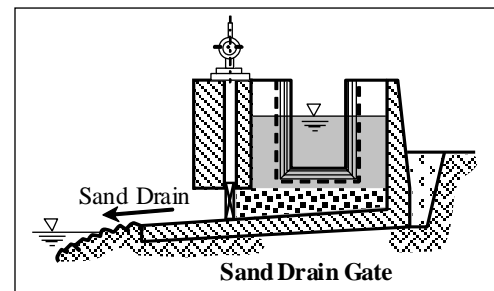
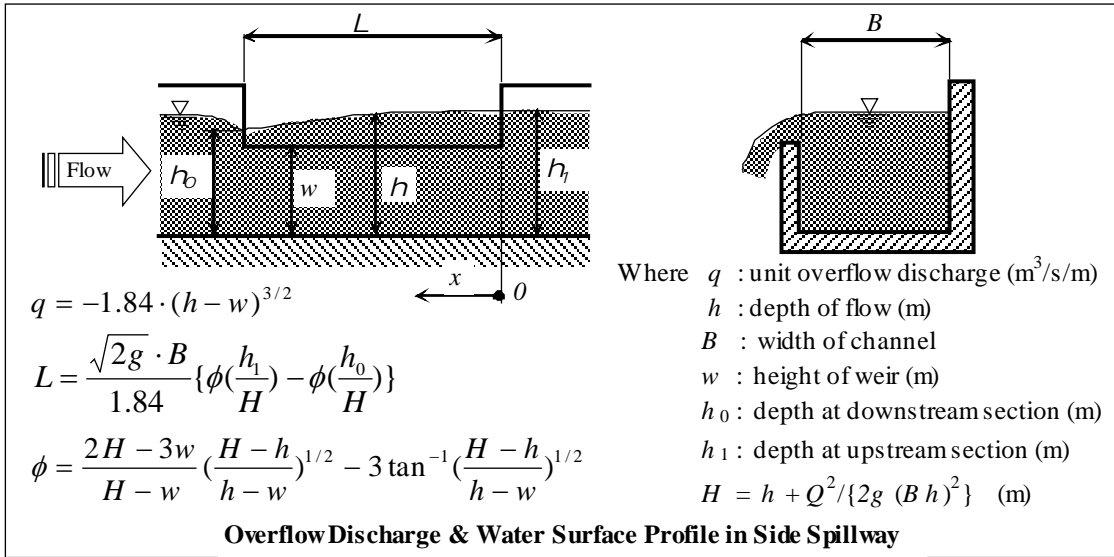


図 2.2.3 排砂ゲート

- 洪水時に水路内に流入した過剰水を排出するため、沈砂池には横越流型余水吐きを設置する。過剰流量を流出させるのに必要な長さ水面形は、以下の De-Marchi の式により計算する。

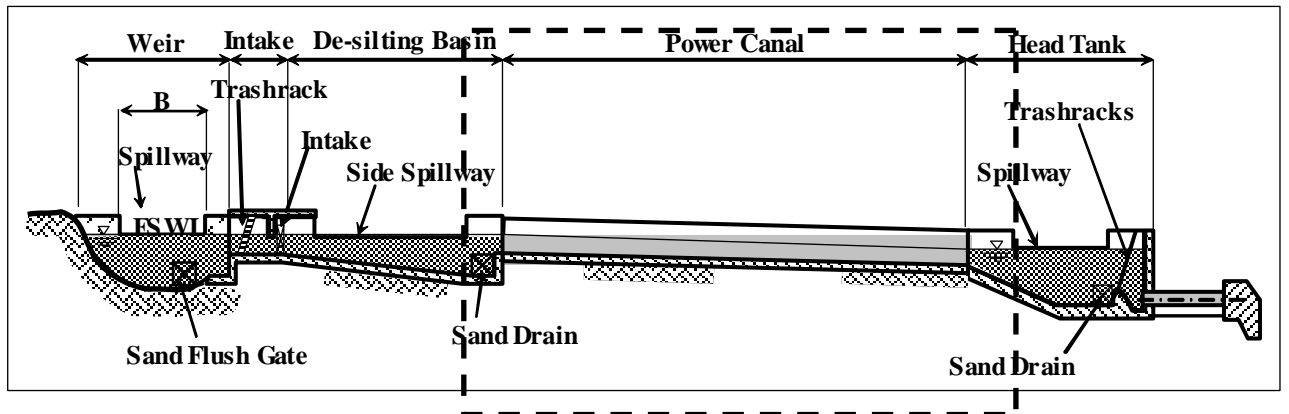


Source(図 2.2.1 ~ 2.2.4): JICA Study Team

図 2.2.4 越流量及び横越流余水吐きの水面形

排砂路は、磨耗に対する保護対策が必要であることを注意を要する。

2.3 導水路

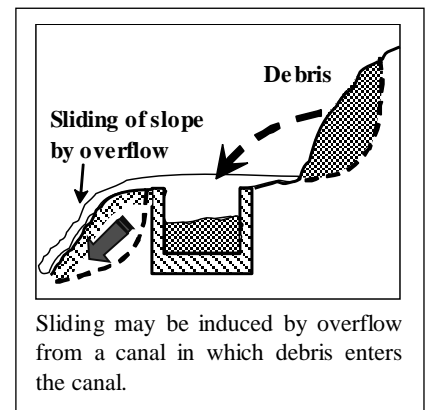


Source: JICA Study Team

図 2.3.1 導水路

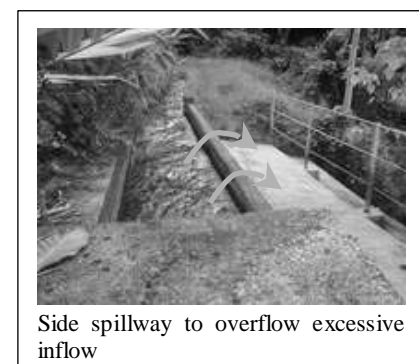
水路の選定

- ここでは、ミャンマーにおいて小水力・ミニ水力・マイクロ水力発電に一般的に用いられている開水路を対象とする。
- 導水路線形は以下について、水路沿いの地形を考慮して選定する。
 - 1) 水路の山側・谷側斜面の安定性
 - 2) 流れ、道、交差する既設構造物などの条件
- 水路のルート選定と水路設計は、水路内の水位が以下の原因で上昇することを考慮に入れて実施する。
 - 1) 斜面崩壊・すべりや下流側ゲート閉鎖による水路内の流れの遮断
 - 2) 洪水時の過剰流入
 - 3) 豪雨時の周辺雨水の水路への流入
- 上記条件に対応するため、以下の設備を水路設計時に検討する。



Source: JICA Study Team

図 2.3.2 水路と斜面崩壊



Side spillway to overflow excessive inflow

Source: JICA Study Team

図 2.3.3 横越流余水吐き

表 2.3.1 水路設備

| | |
|-------------|--|
| 地すべりの可能性 | ボックスカルバート、水路蓋（コンクリート、木材） 斜面安定補強工による斜面保護、緩勾配斜面化、芝張りや植林 |
| 沢や谷との交差 | 洪水や土砂流に対する防護策となる水路橋 沢の下を通過する逆サイフォン 流域の流水を集め、安全に排水し、流水と土砂による侵食を保護するための排水設備、落差工 |
| 交差する道や既設構造物 | 水路を横断する既存道路を連結するためのボックスカルバートや水路上の橋 既設構造物の下部に埋設する鉄管あるいはコンクリート暗渠 |
| 過剰流入水 | 設計流量以上の過剰流入水が、横越流型余水吐き越流頂から越流し、その落水水が引き起こす侵食に対しては、適切な防護工が必要である。 水路への過剰流入を防ぐための排水設備が必要である。 |

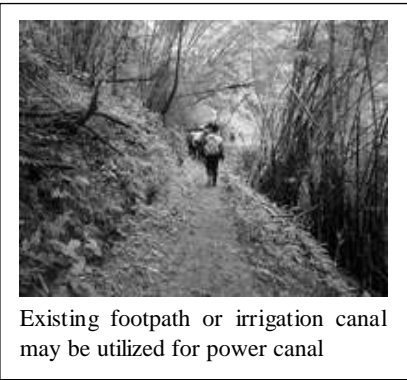
Source: JICA Study Team

- 水路ルートを選定する際は、建設コストを最小限に抑えるため、既存の歩道やかんがい水路などを利用したり、それをアクセス路に用いたりすることを考える。
- 地形条件により、導水路を省いたり、水圧鉄管を直接沈砂池やヘッドタンクから敷設することもある。

水路の寸法

- 導水路は 1) 通水能力、2) 流速、3) 粗度、4) 水路床勾配、5) 断面形状、6) ライニング(必要か又は不必要、またその材質)、7) 維持管理などを考慮して設計する。
- 水路内流速は、水路の侵食防止のため低く抑える。特にライニング(巻き立て)を行わない場合、低く抑える。また有効落差をできるだけ大きく保つよう設計する。
- 水路内流速は、堆砂を防ぐ程度に大きくすることが必要である。特に巻き立てを行わない土水路の場合には水草繁茂を防ぐ程度に大きくすることが必要である。

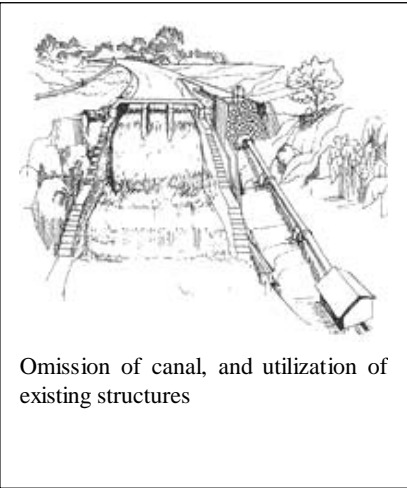
$V_{min} = 0.3 \text{ m/s}$ シルト分を含む流水の堆砂防止
 $V_{min} = 0.3 \sim 0.5 \text{ m/s}$ 細砂分を含む流水の堆砂防止
 $V_{min} = 0.7 \text{ m/s}$ 水草繁茂対策



Existing footpath or irrigation canal may be utilized for power canal

Source: JICA Study Team

図 2.3.4 水路に利用できる既存の小道



Omission of canal, and utilization of existing structures

図 2.3.5 既存設備を利用した水路の省略

- 水路の侵食防止のため、無巻水路の許容最大流速は下表とする。

表 2.3.2 無巻水路の流速

| 材質 | n | V_{max} (m/s) | 浸透率 ($\times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$) |
|--------|---------------|--------------------|--|
| 細砂 | 0.020 - 0.025 | 0.3 - 0.4 | > 8.3 |
| 砂質ローム | 0.020 - 0.025 | 0.4 - 0.6 | 2.8 - 8.3 |
| 粘土質ローム | 0.020 - 0.025 | 0.6 - 0.8 | 1.4 - 2.8 |
| 粘土 | 0.020 - 0.025 | 0.8 - 2.0 | 0.3 - 1.4 |

- 巻き立て水路でも、磨耗防止のために最大流速を制限する。清澄水の場合、10 m/s の流速でもコンクリート巻き立ての磨耗は生じないが、砂や砂利を含んでいる水は 4 m/s の流速でもコンクリート巻き立てを激しく摩滅することがある。
- 水路の勾配が急であるほど、必要な断面積は小さくなるが、有効落差は小さくなる。水路の大きさと勾配の最適な組み合わせを、適切な許容範囲内の流速について検討する。
- 巻き立て水路の最大許容流速は 2.0 m/s である。
- 水路勾配は、地形条件によるが、一般的に以下を標準とする。

1/500 ~ 1/1,000 : 水頭の大きい発電所において、水路断面を最小にしたい場合。

1/1,000 ~ 1/1,500: 一般的な勾配。

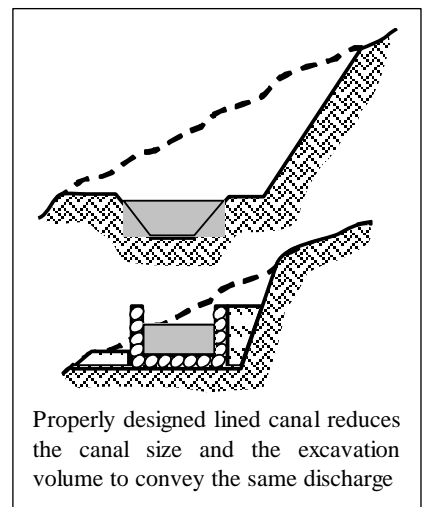
1/1,500 ~ 1/2,000: 水頭の小さい発電所で水頭損失を最小限に抑えたい場合。

| |
|--|
| $V_{min} = 0.3 \text{ m/s}$ シルト分を含む流水の堆砂防止 |
| $V_{min} = 0.3 \sim 0.5 \text{ m/s}$ 細砂分を含む流水の堆砂防止 |
| $V_{min} = 0.7 \text{ m/s}$ 水草繁茂対策 |



Stone-masonry canal with screen

図 2.3.6 石積水路



Properly designed lined canal reduces the canal size and the excavation volume to convey the same discharge

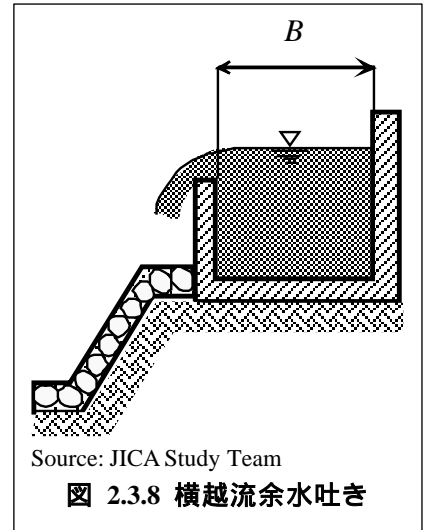
Source: JICA Study Team

図 2.3.7 水路の設計

- 粗度係数 “n”は水路の粗さを与える経験的手法である。通常、以下の値が与えられる。

| | | |
|--------|---|---------------|
| 鉄管 | : | 0.012 ~ 0.013 |
| コンクリート | : | 0.014 ± 0.001 |
| 石工 | : | 0.016 ~ 0.020 |

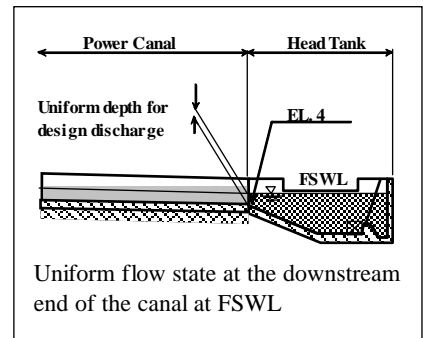
- 無巻水路の場合、台形断面が最も一般的である。水路の側壁勾配は、岩盤で 1.0(縦) : 0.5(横)、砂質ローム基礎で 1.0(縦) : 2.0(横) とされている。
- 巻き立て水路では、石積工の場合には矩形あるいは台形断面を、コンクリート巻き立てでは矩形断面を一般的に用いる。

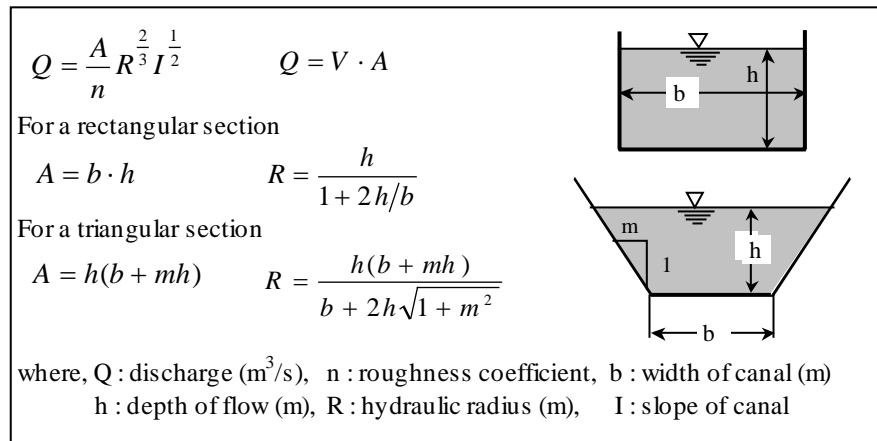


- 沈砂池とヘッドタンクには横越流型余水吐きを一般に設けるが、設計条件によって、導水路の適切な場所にも設置する必要がある。越流水の排水路は摩滅に対する保護を要する。

水面形追跡

- 導水路下流端の水路床標高(図の EL. 4)は、一般的にヘッドタンクあるいは調整地の満水位(FSWL)時に、水路内を設計流量が等流で流下し、その水位が満水位と等しくなるように設定する。この条件で水路の勾配が一定であれば、水深は水路全体にわたり一様となる。
- ヘッドタンク・調整池から取水口に至る水路区間全体にわたり、流量、粗度係数及びヘッドタンクでの初期水位などをパラメータとして、不等流計算を実施する。側壁の高さは、水路内を最大流量が流下する時のエネルギー線が、側壁天端を越えないように設計する。
- 等流水深は、以下のマンニングの公式により算出する。





Source: JICA Study Team

図 2.3.10 等流計算

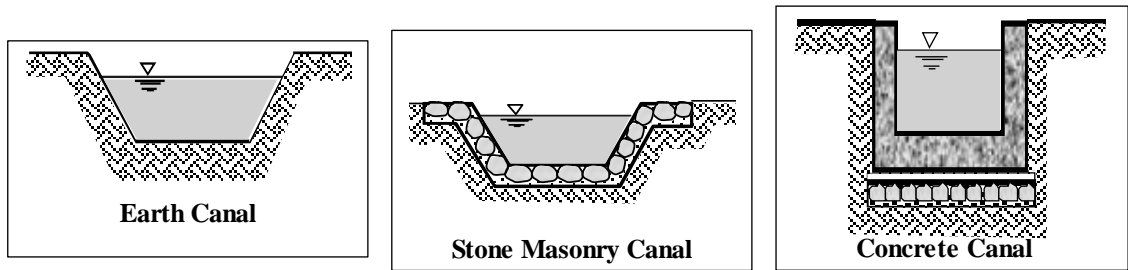
- 不等流計算は、以下の微分方程式を解く数値計算により求める。

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial b} \frac{\partial b}{\partial x} - \frac{n^2}{R^{4/3}} \left(\frac{Q}{A}\right)^2}{1 - \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \frac{\alpha A}{\partial h}}$$

これら、等流水深と不等流計算については、第 6 巻、パート 2 の Appendix 2-1、Appendix 2-2 に添付するプログラムにより解析することもできる。

巻き立ての種類

- 土水路は次の特徴を持つ：(a) 建設と維持が容易、(b) 低コスト、(c) 浸透性が高く、侵食し易い基礎には適さない、(d) 流速 < 0.3 m/s、(e) 平均粗度係数 n = 0.014、(f) 浸透損失 = 1.0 x 10⁻⁶ m³/s/m² (粘土) ~ 8.0 x 10⁻⁶ m³/s/m² (砂)
- 石積み水路は次の特徴を有する：(a) 建設と補修作業が容易、(b) 流速 < 1.5 m/s (空石積み dry stone masonry)、< 2.0 m/s (練り石積み wet stone masonry)、(c) 粗度係数 n = 0.032 (空石積み)、n = 0.025 (練り石積み)



Source: JICA Study Team

図 2.3.11 水路巻立ての形式

- コンクリート巻立て水路は次の特徴を持つ：(a) 耐久性がある、(b) 比較的高コスト、(c) 流速 $< 3.0 \text{ m/s}$ 、(d) 平均粗度係数 $n = 0.015$

水路横断排水設備 (cross drain)

導水路が、いくつかの小流域を持つ沢を通過する場合、降雨時に礫を含む流水から水路設備を保護するために、導水路の上部または下部を横断する排水設備を設置する。下部設置型の排水路としては、ボックスカルバート、コンクリートパイプ、ポリエチレンパイプ等を用いる。上部設置型の排水施設としては、開水路を用いる。下部排水路は、堆積物や土砂などによる閉塞の可能性があるため、十分な流水面積を確保する。人力による土砂除去作業のため、最低 60 cm の内部空間があることが望ましい。

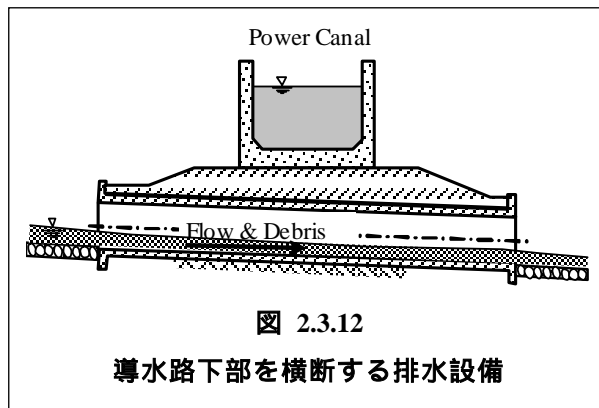


図 2.3.12

導水路下部を横断する排水設備

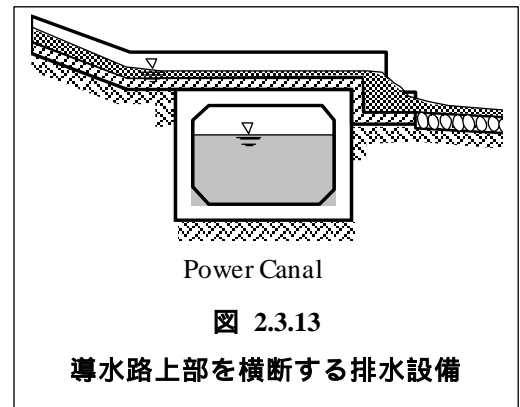


図 2.3.13

導水路上部を横断する排水設備

- 1/50 以上の急勾配
- 60 cm 以上の断面
- 閉塞を防ぐための十分な面積
- 閉塞を防ぐための保守

Source (図 2.3.12 ~ 2.3.13): JICA Study Team