

・堰設置式発電施設設計例

1. 施設形状

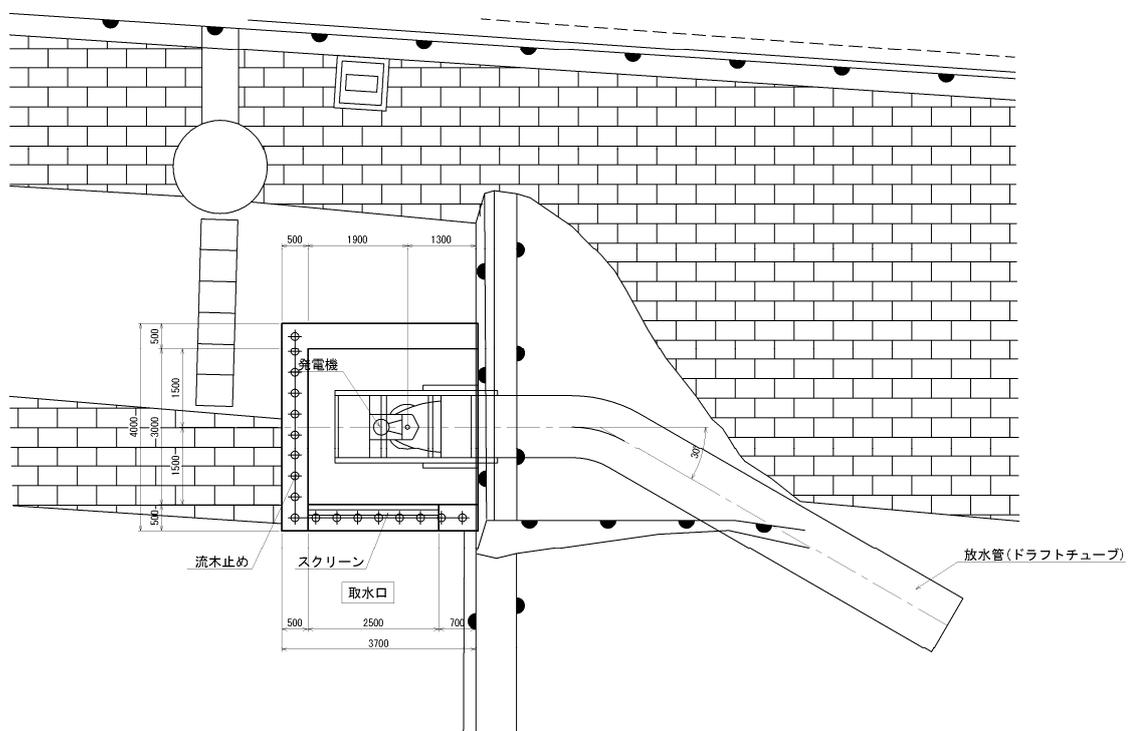
【施設概要】

本例で取り上げる発電施設は、下図のような既設固定堰にサイフォン式プロペラ水車を設置した発電所である。施設は取水口、水車・発電機、ドラフトチューブで構成され、河川区域内に発電施設を設置することから、常時は基より洪水に対しても安全な構造とする必要がある。

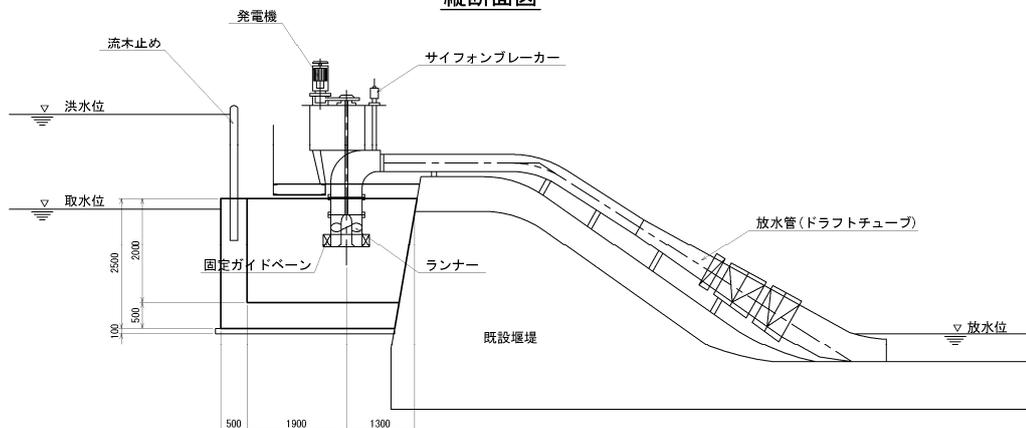
本施設の例では、以下の項目について検討を行い、安全性の確認を行う。

- ①、施設レイアウトの確認
- ②、取水口の安定計算及び構造計算
- ③、水車・発電機の安定計算(流水圧に対する安定)
- ④、ドラフトチューブの安定計算(洪水時の浮上がりに対する安定)
- ⑤、既設堰堤の安定計算

平面図



縦断面図



・堰設置式発電施設設計例

1.施設レイアウト等(発電機設置位置)

対象施設は、計画高水位（高潮区間にあつては、計画高潮位）以下の水位の流水の作用に対して安全な構造とするものとする。

発電機は水車発電機の構造上、河川区域内に設置することとなるため、河川の洪水位より高い位置に設置する。

本計画においては、本河川の洪水位 WL83.430m に対応するため発電機ベースを追加し、発電機標高を洪水位以上とする。

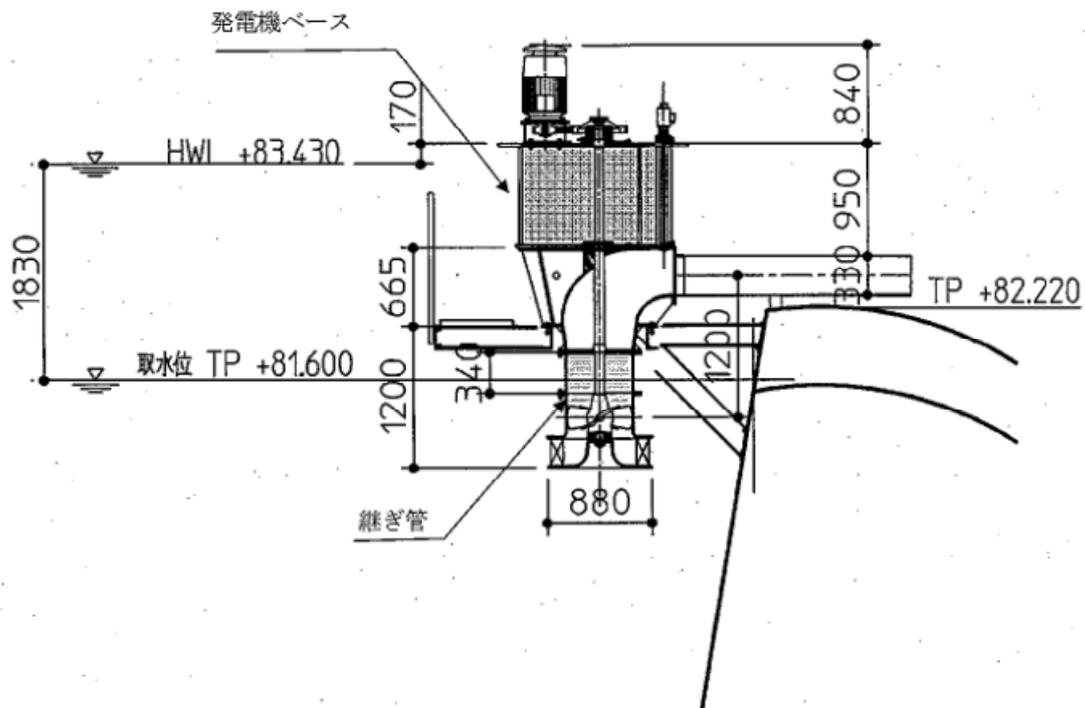
サイフォン式タービンはシリーズ化されて設計されているため堰に適用出来る様改造を行う必要がある以下に改造部分の内容を整理する。

堰形状及び取水位に対する改造

・取水位 WL81.600 とタービン底部 EL80.755 の高さ及びドラフト管底部と堰非流水部天場 EL82.220 の高さを確保するために継ぎ管を高さ 355mm として追加改造する。

・洪水位に対する改造

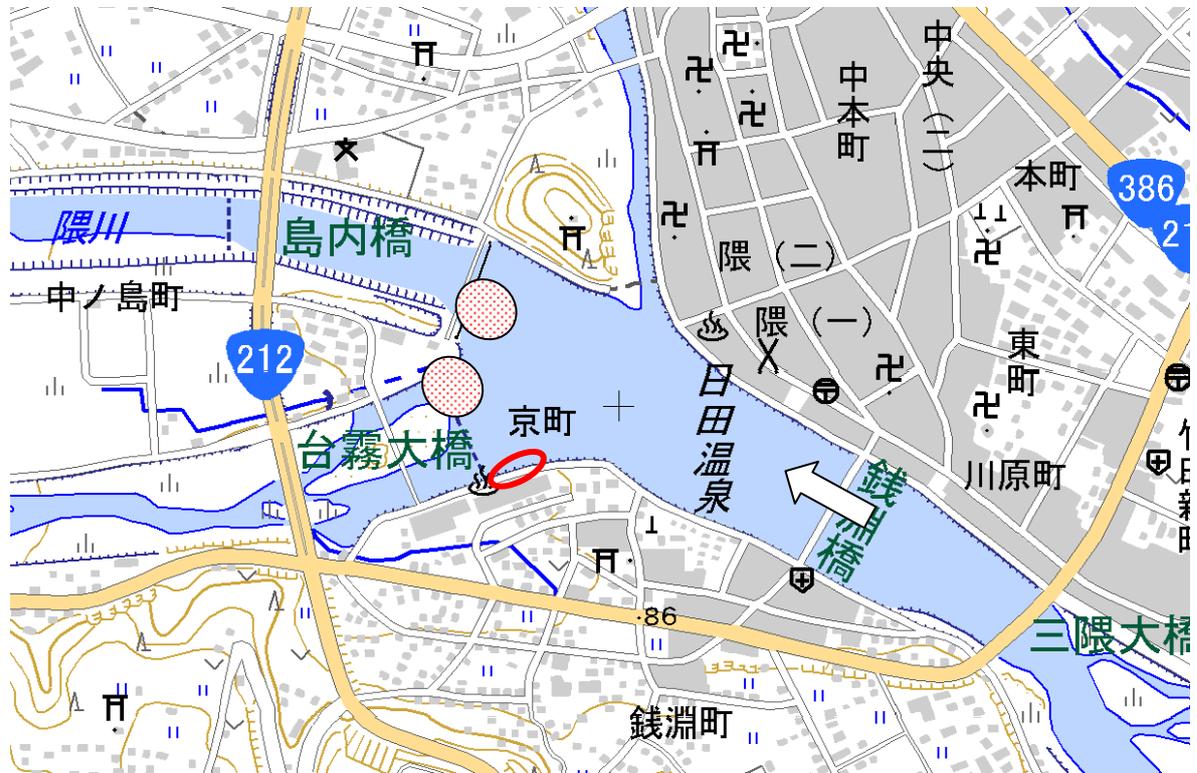
本河川の洪水位 WL83.430 に対応するため高さ 850mm の発電機ベースを追加する。



・堰設置式発電施設設計例

1.施設レイアウト等

狭窄部（山間狭窄部は除く）、水衝部、支派川の分合流部は、洪水の安全な流下を阻害する可能性があることから、設置を避けるか又は適切な対策を講じることが必要である。本計画地点は分流の流況を受けにくい位置にあることなどから、施設設置位置としては問題ない。



洪水の安全な流下を阻害または水衝部可能性があることから、設置を避けるか又は適切な対策を講じる必要がある箇所



発電所設置箇所

・堰設置式発電施設設計例

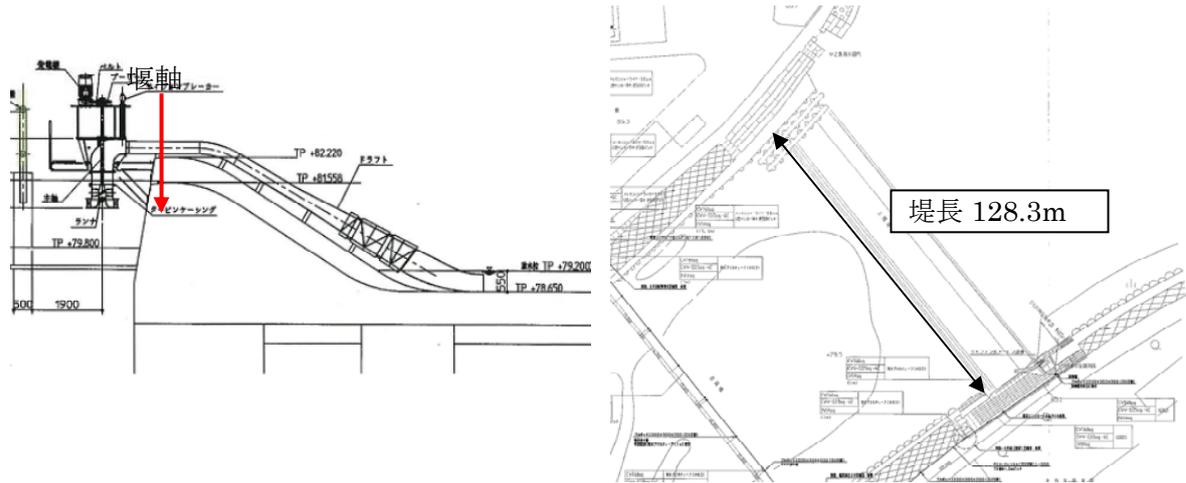
1.施設レイアウト等

【ガイドライン】

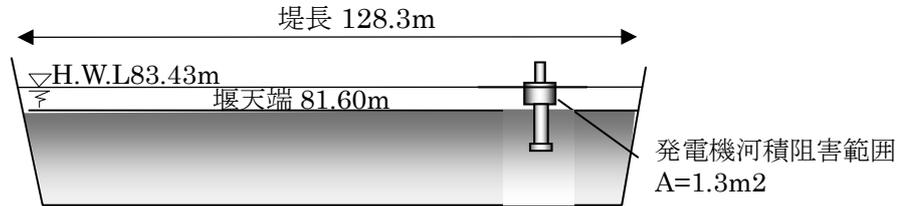
対象施設は、計画高水位以下の水位の洪水の流下を妨げず、付近の河岸及び河川管理施設の構造に著しい支障を及ぼさず、並びに対象施設に接続する河床及び高水敷の洗掘の防止について適切に配慮された構造とするものとする

【設計例】

堰堤に発電施設を設置するが、現行の流下能力に余裕があり、かつ発電施設の流下断面の阻害率が小さいことから、設置に関して問題は無い。また、今後固定堰を撤去する場合には、発電施設は自費にて撤去を行なう。



流下能力 2,540m³/s > 2,300m³/s 設計洪水流量



堰上部流下断面 A=238.14m²

発電機河積阻害面積 A=1.30m²

阻害率 = 1.30m²/238.14m² = 0.0055 × 100 = 0.55%

・堰設置式発電施設設計例

1.施設レイアウト等

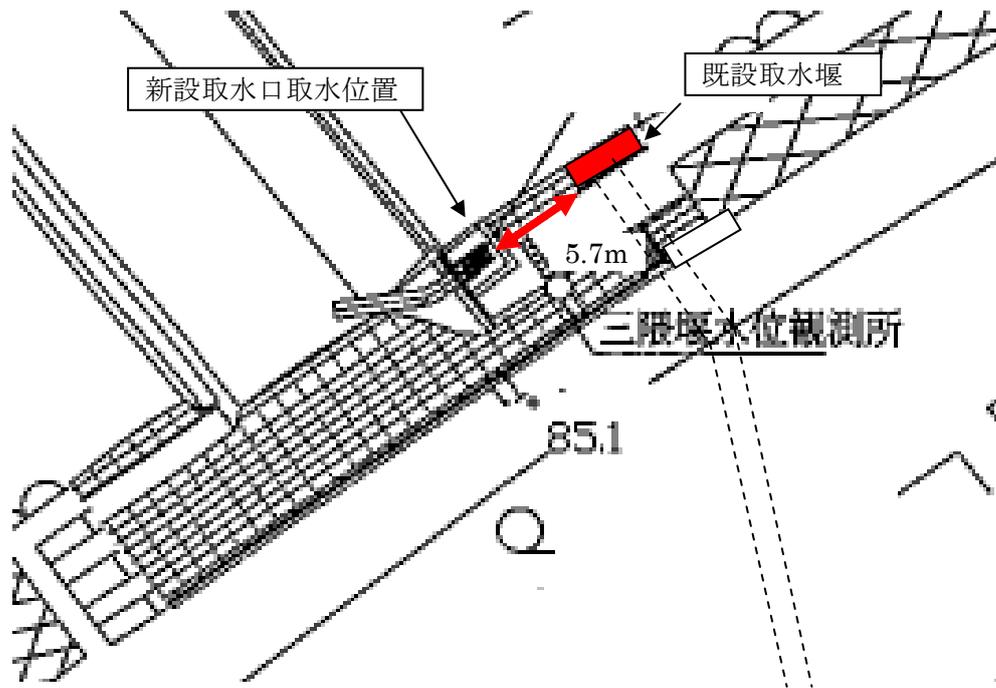
【概要】

発電所を設置することにより、当該施設周辺の既得利水者の取水に対し、影響を与えない構造とするものとする。

【設計例】

既設取水口との離隔距離は、下図の通り 5.7m となる。

一方、最大使用水量が 0.7m³/s であることから、「小水力発電を行うための河川区域内に設置する場合のガイドライン（案）」より必要離隔は 2.4m となり、離隔距離は必要離隔より十分大きいことから、既設利水者への影響はない。



・堰設置式発電施設設計例

1.施設レイアウト等

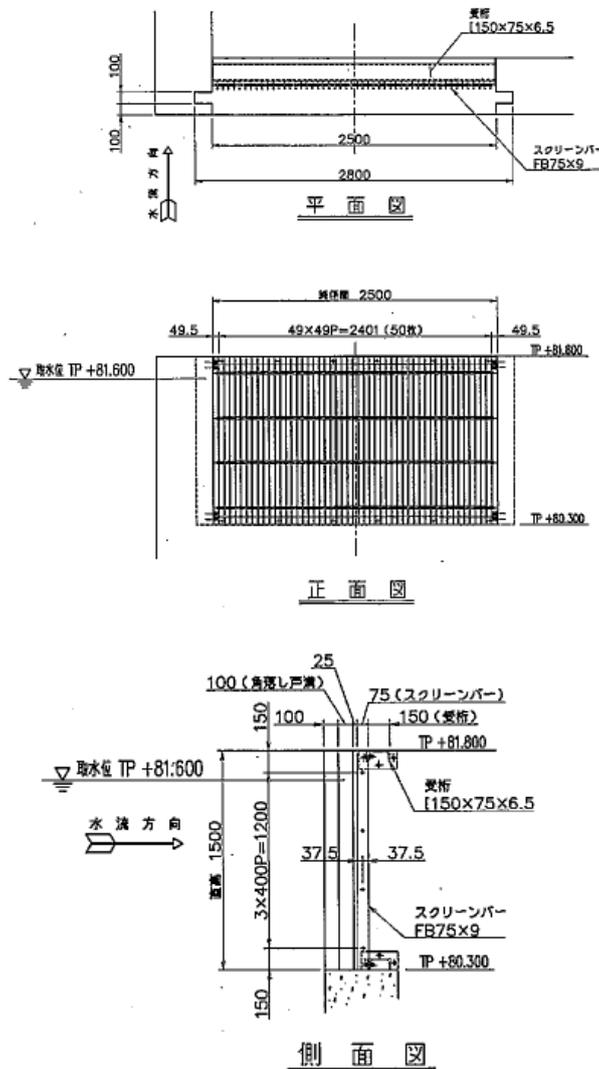
【概要】

河川水は通常取水口より水が入り込みタービンへ吸い込まれる。ここで吸い込まれたゴミ等はタービンの出力低下やタービン停止になることが想定される。これを防止するため取水口にスクリーンを設置し、ゴミの流入を止めることが必要となる。

【設計例】

このスクリーンの純間隔については、既設置発電所（京都・嵐山）の例で、タービン、ランナの間隙とほぼ同じ直径の空き缶により詰まる例が多く見受けられており、スクリーンのバー純間隔を40mmとし設計を行う。

また、その内側にはタービンメンテナンス時に使用する角落し戸溝を付けるものとする。



留意する点：

設置後、スクリーンにより空き缶等のゴミの進入は確認されていない。

しかし、水車が停止する一要因として、土砂の進入により水車に負荷を掛け、水車が停止する一要因となっていることから、地形等を考慮し土砂が入りにくい箇所を選定した方が良い。

また、土砂撤去における維持管理についても考慮した設計を行った方が良い。

・堰設置式発電施設設計例

1.施設レイアウト等

発電施設は、水没時や故障時に河川環境に悪影響を及ぼさない施設とする必要がある。
本設備は、故障等により取水できない場合、発電所設置前と同様の流下状況となり、河川への影響が少ない。また、水没・故障時に河川環境へ影響を与えないよう、オイルレス化を図る。

・堰設置式発電施設設計例

1.施設レイアウト等

【概要】

発電所設置時には、取水口ならびに放水口からの魚類の迷入・吸い込み防止に配慮した構造とする必要がある。

【設計例】

発電所は左岸側に設置するが、魚道は右岸側に配置されている。

河川の10年平均最小流量は $15.0\text{m}^3/\text{s}$ であり、発電使用水量は $0.7\text{m}^3/\text{s}$ 、魚道流量は $1.0\text{m}^3/\text{s}$ であることから、常時固定堰から $13.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上は流下する状況となる。

よって、発電所を設置することによる流況の変化は僅かであり、魚類が誘引される可能性は低いものと考えられる。

取水口・放水口まで到達した魚類に対しては、当該河川に生育する魚類のうち、最も小さいカジカの迷入を防止するため、 3cm 間隔のスクリーンを取水口・放水口に設置するものとする。

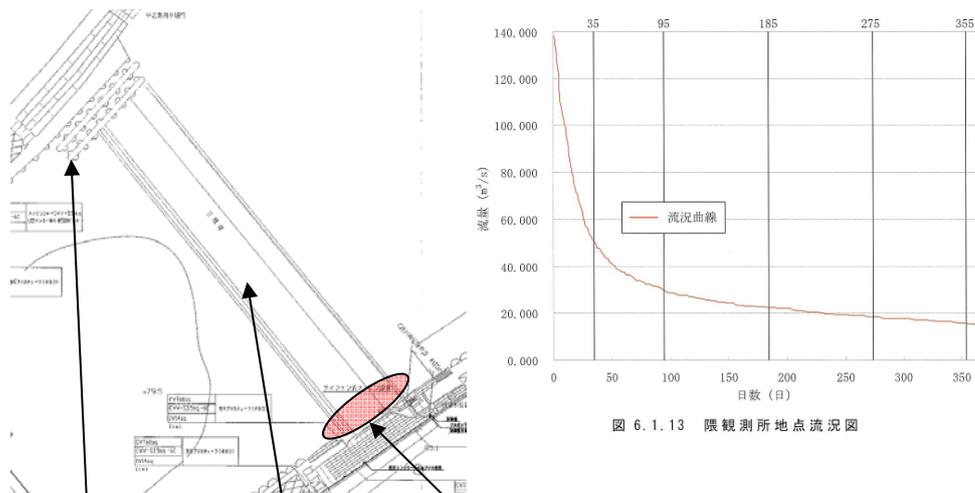


図 6.1.13 隈観測所地点流況図

既設魚道 固定堰 発電所設置予定箇所



・堰設置式発電施設設計例

1.施設レイアウト等

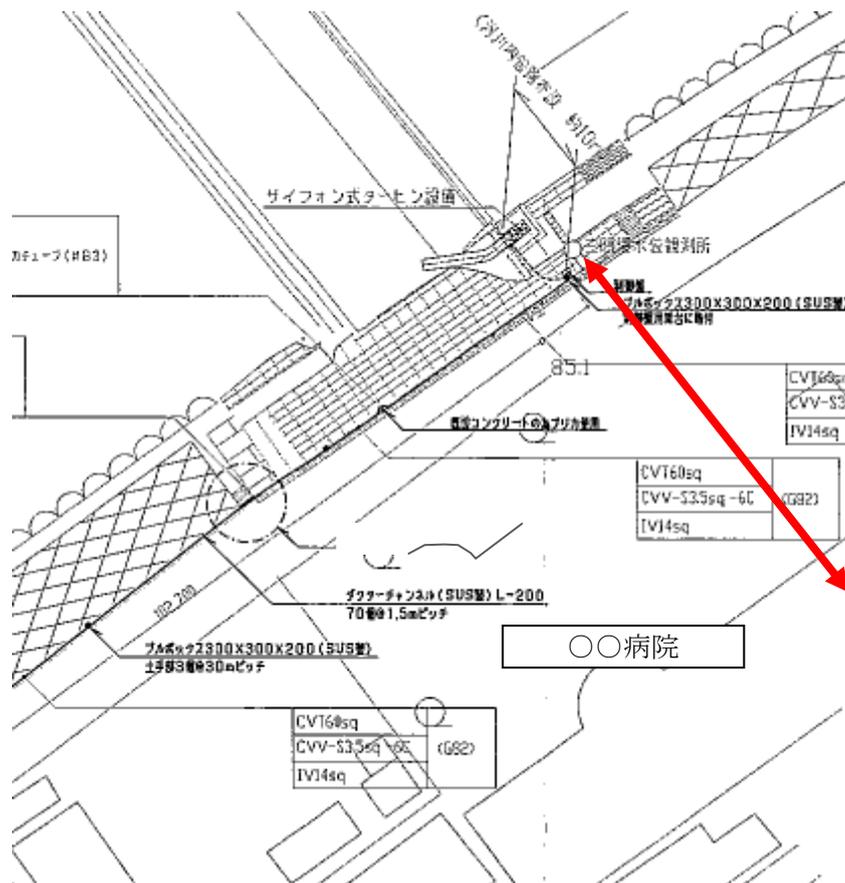
【概要】

発電施設周辺に住宅地等が近接する場合は、設置後の騒音・低周波・振動により周辺住民とトラブルが発生する可能性があるので、影響について検討した上で、必要に応じて対策を行うとともに近隣の自治体や住民に対して事前に説明しておくことが望ましい。

【設計例】

計画中の水車発電機は、80dBの騒音を発生することが予想される。最も近傍にある居住施設は〇〇病院であり、発電所から50mの距離にあることから騒音振動対策について検討した。

なお、今後の確認が必要な範囲となるため、発電所設置前・運用後に騒音・振動測定を行い、必要に応じて更なる対策を実施する。



2. 取水口の安定計算(1)

(1) 準拠基準

河川内施設のため、主に以下の基準を使用すれば良い。

- ①「建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編」 (社)日本河川協会
- ②「土木構造物マニュアル(案)一樋門編」 国土交通省
- ③「コンクリート標準示方書」 土木学会
- ④ その他

(2) 安定計算

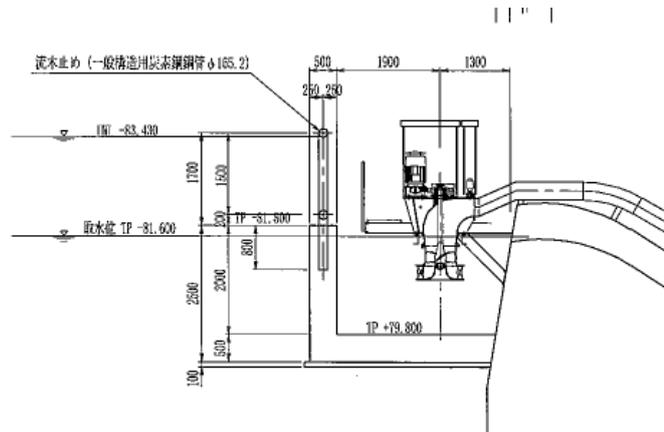
本施設のように既設堰堤に腹付けした場合、転倒および滑動に対する安定は特に問題とならない。問題となるのは、メンテナンス時等に角落しを設置した場合、取水口内と河川水位に水位差が発生し、躯体に浮力が作用する時の浮上がりに対する安定である。

1). 計算方法

浮上がりの検討は、次式で求まる所要安全率 F_s が許容値以内に収まっていることを確認することで行なう。通常、確実に見込むことができる自重と浮力のバランスで評価し、壁側面のせん断抵抗等は無視するのが安全側である。

$$F_s = \frac{W}{U} \geq 1.1$$

ここに、 W ; 自重(kN)
 U ; 浮力(kN)
 F_s ; 安全率



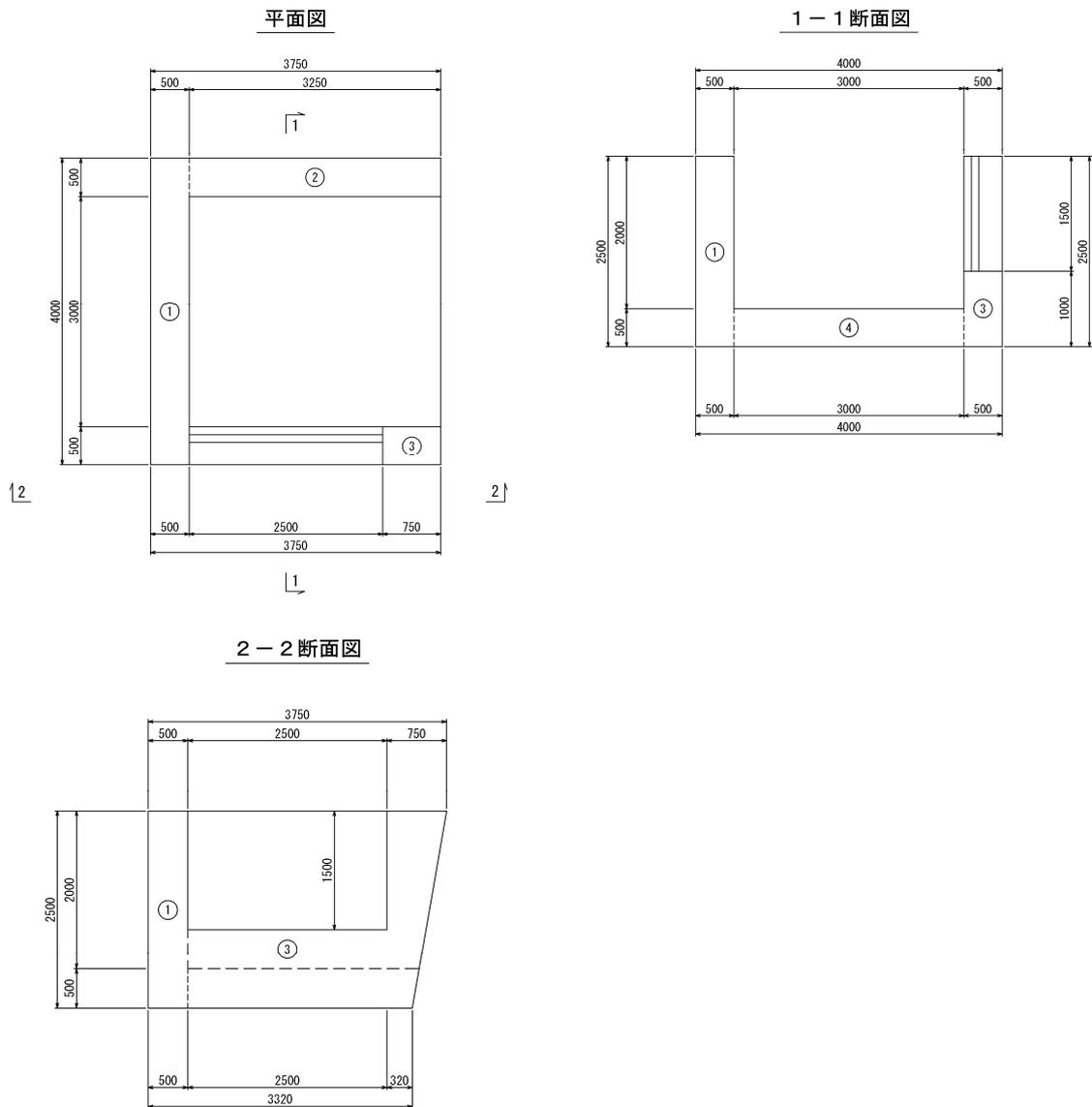
2). 計算例

(a) 自重の計算

符号	計算式	体積 (m^3)	単位体積重量 (kN/m^3)	自重 (kN)
①	$4.00 \times 2.50 \times 0.50 =$	5.00	24.5	122.50
②	$1/2 \times (2.82 + 3.25) \times 0.50 \times 2.50 =$	3.79	24.5	92.86
③	$1/2 \times (2.82 + 3.25) \times 0.50 \times 2.50 =$	3.79	24.5	92.86
	$-2.50 \times 1.50 \times 0.50 =$	-1.88	24.5	-46.06
④	$2.82 \times 0.50 \times 3.00 =$	4.23	24.5	103.64
合計		14.93		365.79

注) 符号は次頁の図参照

2. 取水口の安定計算(2)



(b) 浮力の計算

$$U = 1/2 \times (3.32 + 3.72) \times 2.30 \times 4.00 \times 9.8 = 317.36 \text{ kN}$$

(c) 安全性の検討

$$F_s = \frac{W}{U} = \frac{365.79}{317.36} = 1.15 \geq 1.1 \rightarrow \text{OK}$$

以上のように、本施設は浮上がりに対して安全である。計算例では確実に抵抗力となり得る自重のみで評価しているが、流木止めやスクリーン等を設置して確実に抵抗力となると判断される場合は、これを抵抗力に加算できる。

3. 取水口の構造計算(1)

(1) 構造計算の手順

構造計算は、以下の手順で行なわれる。

- ①形状の仮定
- ②構造フレームおよび解析方法の決定
- ③作用荷重の設定
- ④応力計算
- ⑤設計図の作成

(2) 形状の仮定

断面形状を決定するにあたり、基本となる諸元を仮定したうえで部材断面の妥当性を検討し、最終断面とする。

(3) 構造フレームの決定

構造フレームの決定は、①構造的特徴、②基礎形式、③作用荷重、④解析手法の難易等を勘案して決定する。一般的に以下に示す2方法が用いられる。

1) 骨組構造(ラーメン構造)

部材を線部材に置き換え、荷重を作用させて断面力を求める方法、壁及び底版を一緒にモデル化が可能のため、モーメントの回り込みが考慮できる。

2) 版構造

版の長辺と短辺の比が2.5:1以下の場合、スラブは2方向版として扱うことができるため、ラーメン構造に比べ発生断面力が小さく有効である。

(4) 作用荷重の設定

1) 設計荷重

設計に用いる荷重の主なものは、自重、静水圧、泥圧、揚圧力(浮力)、地震時慣性力、地震時動水圧、温度荷重、波圧、残留水圧、土圧、風荷重、雪荷重、および自動車荷重等であるが、施設のおかれる環境や構造特性を考慮して、適宜設定する必要がある。

2) 本施設で考慮する設計荷重

本施設の場合は、これらの内、自重、静水圧、土圧及び浮力を考慮すれば良い。施設の規模が大きくなると、地震による影響等を考慮する場合もある。

(5) 応力計算

計算例は、(3)に示す方法の両方について次頁以降に紹介するが、施設の特徴、規模、その他を勘案して、設計者が適宜選択することになる。

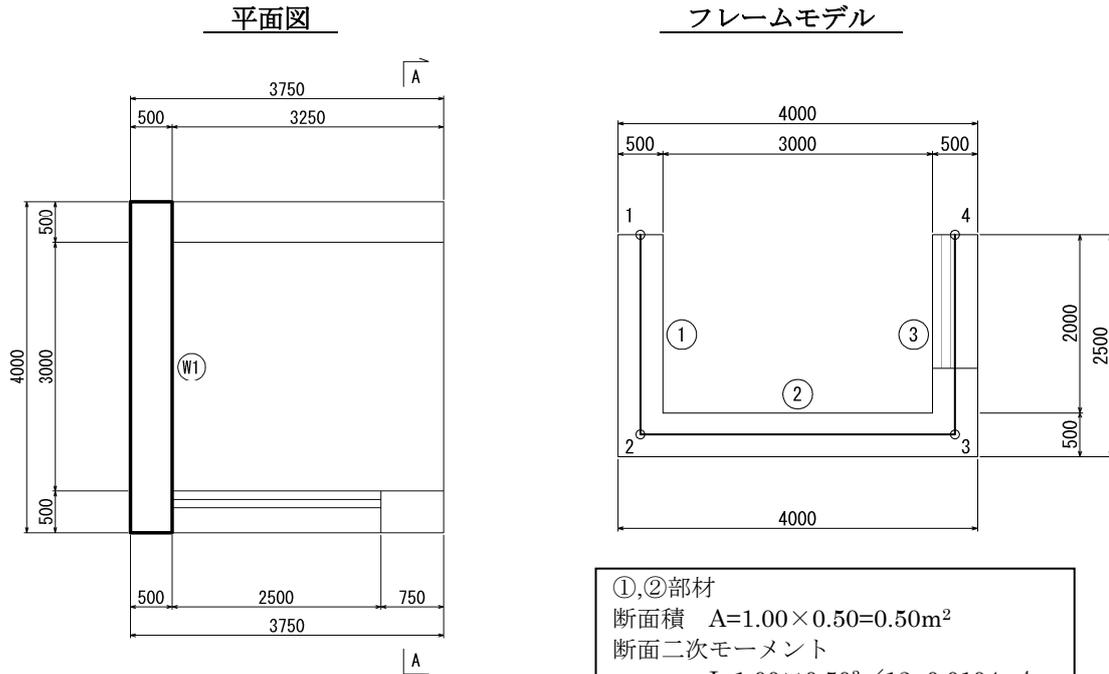
3. 取水口の構造計算(2)

【計算例-1】骨組構造(ラーメン構造)

(1) モデル作成

取水口の部材構成は壁と底版であるため、これらの部材応力を同時に検討できるA-A断面について下図のようにモデル化する。なお、W1壁については別途、版構造として解析するのも良いが、A-A断面で求められた壁と同様の配筋をすれば安全側といえるため、特に計算の必要はない。

フレームモデルは部材厚の中心線を結んだ線部材で構成され、各々の部材の断面積A、断面二次モーメント及びヤング係数が解析には必要である。



①,②部材
 断面積 $A=1.00 \times 0.50=0.50\text{m}^2$
 断面二次モーメント
 $I=1.00 \times 0.50^3 / 12=0.0104\text{m}^4$
 ヤング係数
 $E=2.5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

(2) 荷重計算

1) 自重

壁自重 $W_1 = t \cdot \gamma_c = 0.50 \times 24.5 = 12.25 \text{ kN/m}$

2) 静水圧

$P_w = \gamma_w \cdot h_w = 9.8 \times 2.05 = 20.09 \text{ kN/m}$

3) 土圧

$P_1 = K_0 \cdot \gamma_s \cdot h_1 = 0.5 \times 19.0 \times 0.20 = 1.90 \text{ kN/m}$

$P_2 = K_0 \cdot (\gamma_s \cdot h_1 + \gamma_s' \cdot h_2) = 0.5 \times (19.0 \times 0.20 + 10.0 \times 2.05) = 12.15 \text{ kN/m}$

4) 底面反力

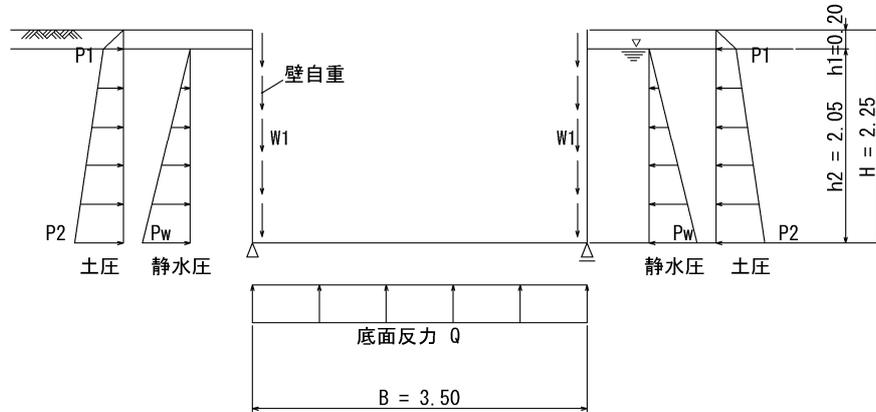
$Q = 2 \cdot W_1 \cdot H/B = 2 \times 12.25 \times 2.25 / 3.50 = 15.75 \text{ kN/m}$

注) 底版自重は、分布が等しく底面反力と逆向きに作用する相殺荷重であるため、表現していないが、合計荷重は等しくなる。

3. 取水口の構造計算(3)

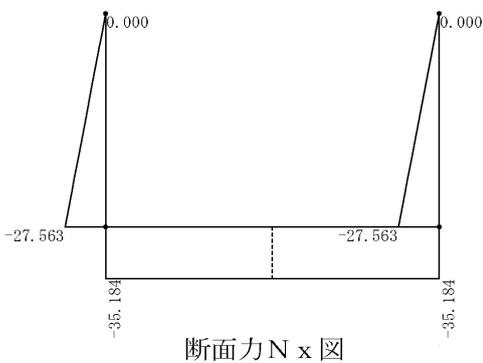
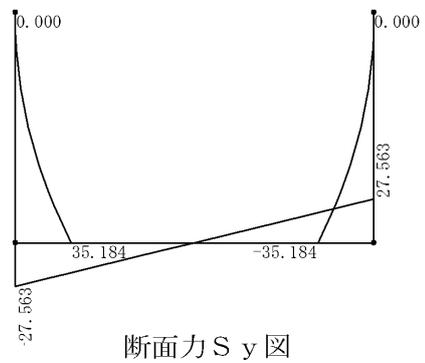
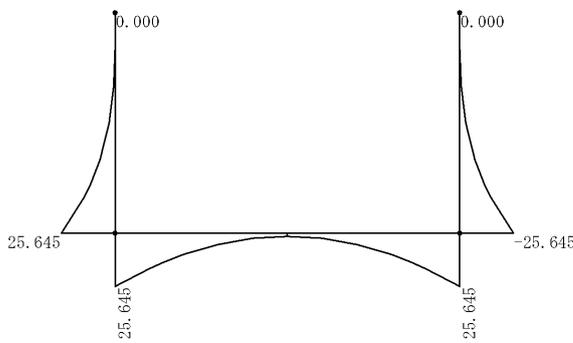
(3) 荷重載荷状態

(2)で求めた荷重を(1)で設定したフレームに下図のとおり作用させた状態で解析を行う。



(3) 断面力の計算結果

断面力の計算は市販のソフトウェアを使用して行う、ソフトウェアは数種販売されているが、任意形骨組み解析のものであれば、どのソフトウェアでも解析結果に違いはない。ここでは、解析結果の断面力図のみ記載するものとする。



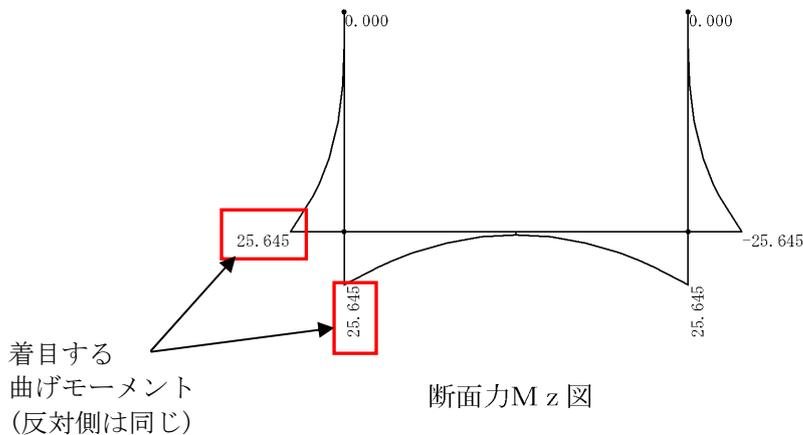
3. 取水口の構造計算(4)

(3) 断面算定

配筋は、本例では壁下端及び底板端部の最大曲げモーメントに着目して決定すれば良い。

照査位置				壁下端	底板端部
				外側	下側
断面寸法	幅	b	m	1.000	1.000
	高さ	h	m	0.500	0.500
断面力	曲げモーメント	M	kN・m	25.645	25.645
	軸力	N	kN	—	—
	せん断力	S	kN	35.184	27.563
配筋	有効高	d1	m	0.380	0.350
	鉄筋量	As1	cm ²	4-D16 (ctc250) 7.944	4-D16 (ctc250) 7.944
	最小鉄筋量		cm ²	7.600	7.000
応力度	圧縮応力度	σ_c	N/mm ²	1.7	2.0
	引張応力度	σ_s	N/mm ²	91.7	99.9
	せん断応力度	τ	N/mm ²	0.10	—
許容 応力度	圧縮応力度	σ_{ca}	N/mm ²	9.0	9.0
	引張応力度	σ_{sa}	N/mm ²	176	176
	せん断応力度	τ_a	N/mm ²	0.45	0.45

注) 圧縮軸力を考慮した場合、引張応力度が小さくなるため、ここでは安全側に軸力を無視するものとした。



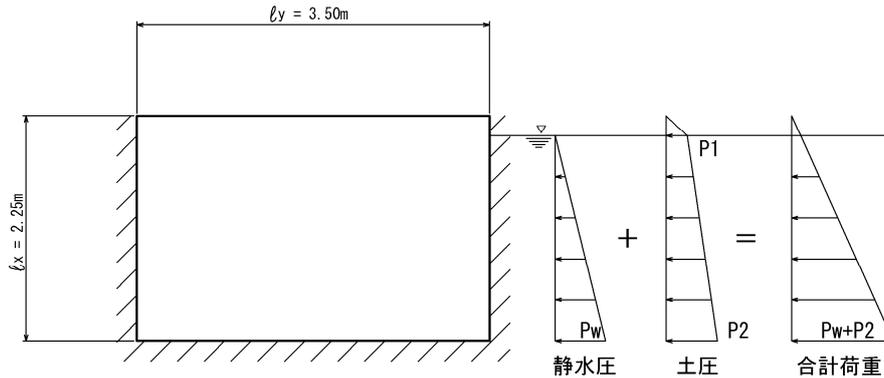
3. 取水口の構造計算(5)

【計算例-2】版構造

(1) モデル作成および荷重計算

壁および底版を各々別のモデルとして計算する。作用荷重は【計算例-1】と同様に計算する。

1) 壁の計算モデル



静水圧

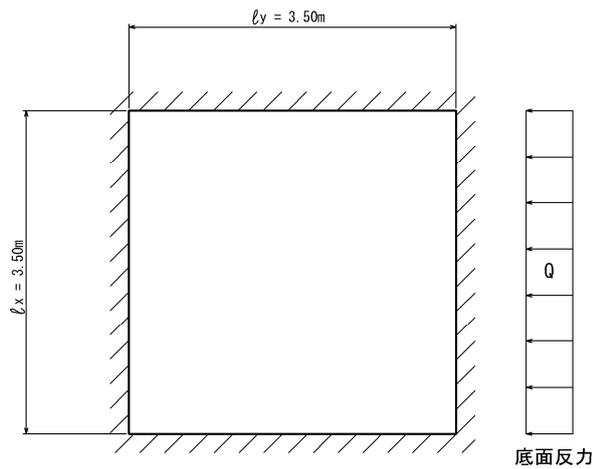
$$P_w = \gamma_w \cdot h_w = 9.8 \times 2.05 = 20.09 \text{ kN/m}$$

土圧

$$P_1 = K_0 \cdot \gamma_s \cdot h_1 = 0.5 \times 19.0 \times 0.20 = 1.90 \text{ kN/m}$$

$$P_2 = K_0 \cdot (\gamma_s \cdot h_1 + \gamma_s' \cdot h_2) = 0.5 \times (19.0 \times 0.20 + 10.0 \times 2.05) = 12.15 \text{ kN/m}$$

2) 底版の計算モデル



底面反力

$$Q = 2 \cdot W_1 \cdot H/B = 2 \times 12.25 \times 2.25 / 3.50 = 15.75 \text{ kN/m}$$

3. 取水口の構造計算(6)

(2) 断面力の計算

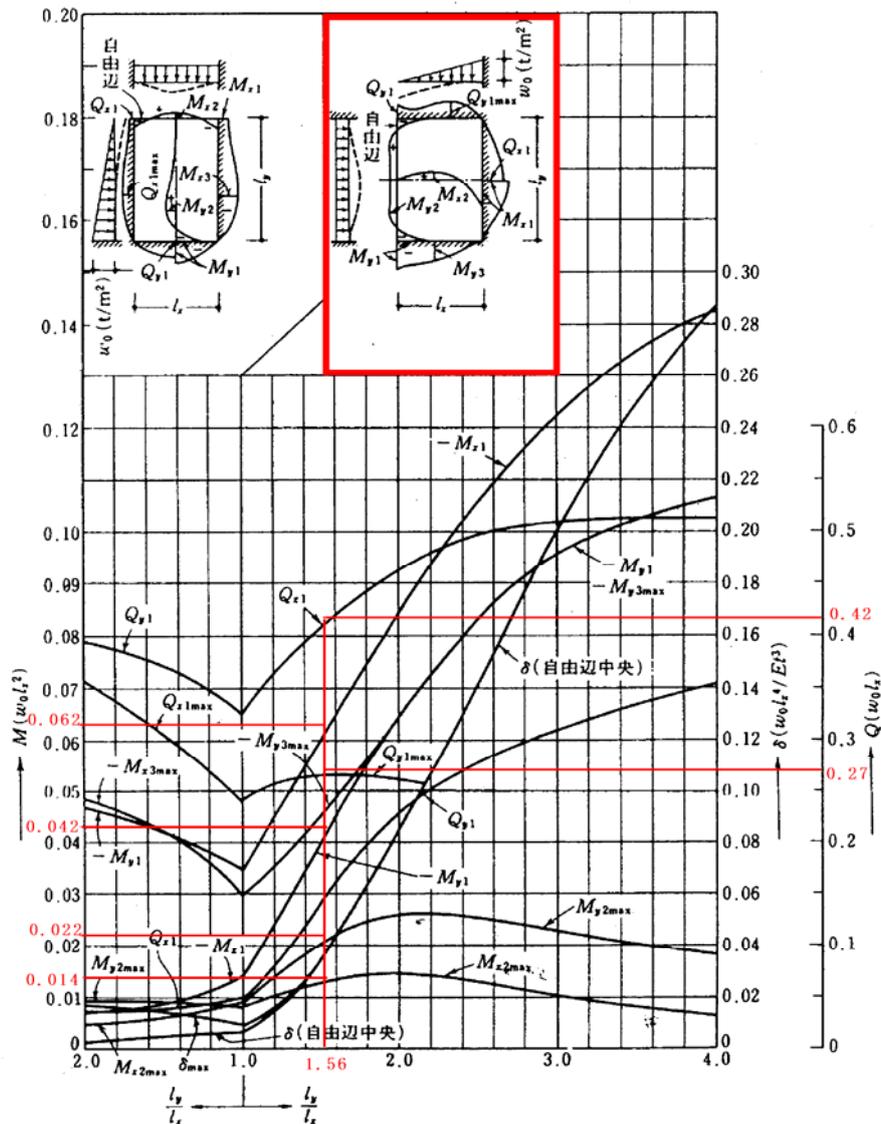
断面力の計算は、【計算例-1】のようにソフトウェアなどは使用せずとも、図表を用いて簡単に行うことができる。使用する図表は、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 1988 日本建築学会編」に記載されている。計算の手順は以下のとおりである。

- ① モデル化した版と作用荷重の形状が一致する図表を選ぶ。
- ② 長辺/短辺= l_y/l_x を算出し、図表から曲げモーメント及びせん断力の係数を読み取る。
- ③ 次式にて断面力の算出を行う。
- ④ 断面算定を行い配筋を確定する。

以下に、壁及び底板について計算例を示す。

1) 壁

壁は、3辺固定1辺自由版で三角形荷重の図表を使用し、 $l_y/l_x=3.50/2.25=1.56$ の点に関する係数を読み取ることにより曲げモーメント及びせん断力が計算される。



3. 取水口の構造計算(7)

曲げモーメント

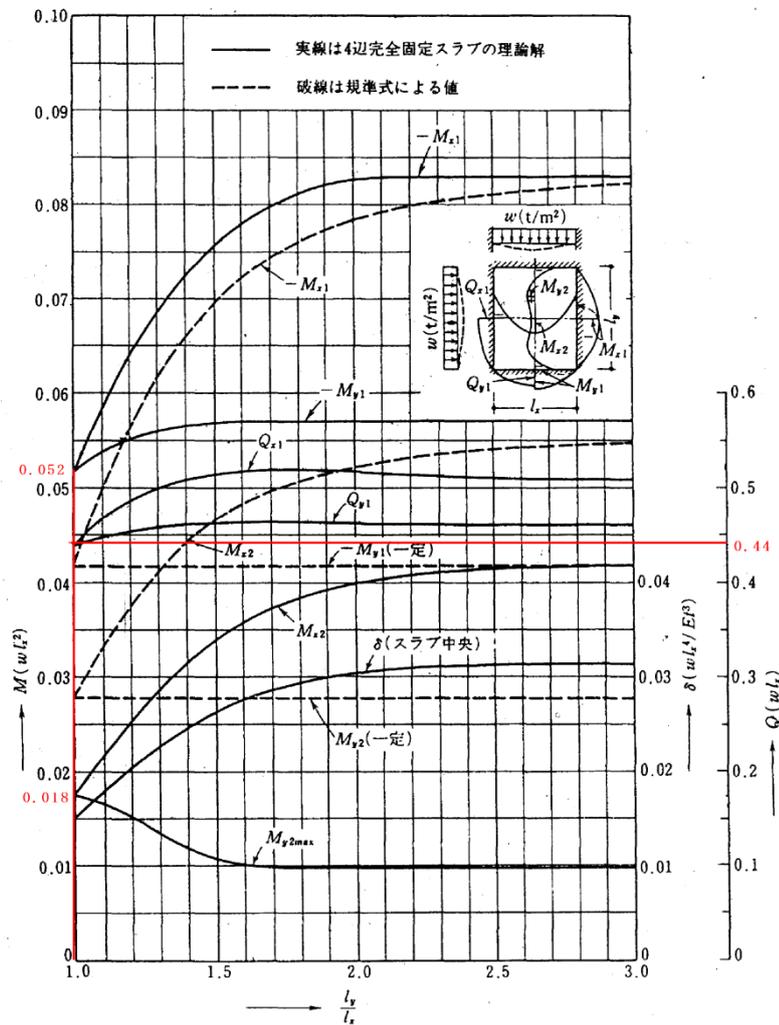
$$\begin{aligned}
 -M_{x1} &= -a \cdot W \cdot \ell_x^2 = -0.062 \times 32.24 \times 2.25^2 = -10.12 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 M_{x2} &= b \cdot W \cdot \ell_x^2 = 0.014 \times 32.24 \times 2.25^2 = 2.29 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 -M_{y1} &= -c \cdot W \cdot \ell_x^2 = -0.048 \times 32.24 \times 2.25^2 = -7.83 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 M_{y2} &= d \cdot W \cdot \ell_x^2 = 0.022 \times 32.24 \times 2.25^2 = 3.59 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

せん断力

$$\begin{aligned}
 Q_{x1} &= e \cdot W \cdot \ell_x = 0.42 \times 32.24 \times 2.25 = 30.47 \text{ kN} \\
 Q_{y1} &= f \cdot W \cdot \ell_x = 0.15 \times 32.24 \times 2.25 = 10.88 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2) 底版

底版は、4辺固定版で等分布荷重の図表を使用し、 $\ell_y/\ell_x=3.50/3.50=1.0$ の点に関する係数を読み取るにより曲げモーメント及びせん断力が計算される。



曲げモーメント

$$\begin{aligned}
 -M_{x1} &= -M_{y1} = -a \cdot W \cdot \ell_x^2 = -0.052 \times 15.75 \times 3.50^2 = -10.03 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 M_{x2} &= M_{y2} = b \cdot W \cdot \ell_x^2 = 0.018 \times 15.75 \times 3.50^2 = 3.47 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

せん断力

$$Q_{x1} = Q_{y1} = c \cdot W \cdot \ell_x = 0.44 \times 15.75 \times 3.50 = 24.26 \text{ kN}$$

※ 断面算定は、【計算例-1】と同様に行えば良いため、ここでは省略する。

3. 取水口の構造計算(8)

【考察】

計算例の結果の一覧表を以下に示す。

				① 計算例-1 骨組構造	② 計算例-2 版構造	断面力 の比較
曲げモーメント	壁下端	M	kN・m	25.645	10.120	①>②
	底版端部	M	kN・m	25.645	10.030	①>②
せん断力	壁下端	S	kN	35.184	30.470	①>②
	底版端部	S	kN	27.563	24.260	①>②

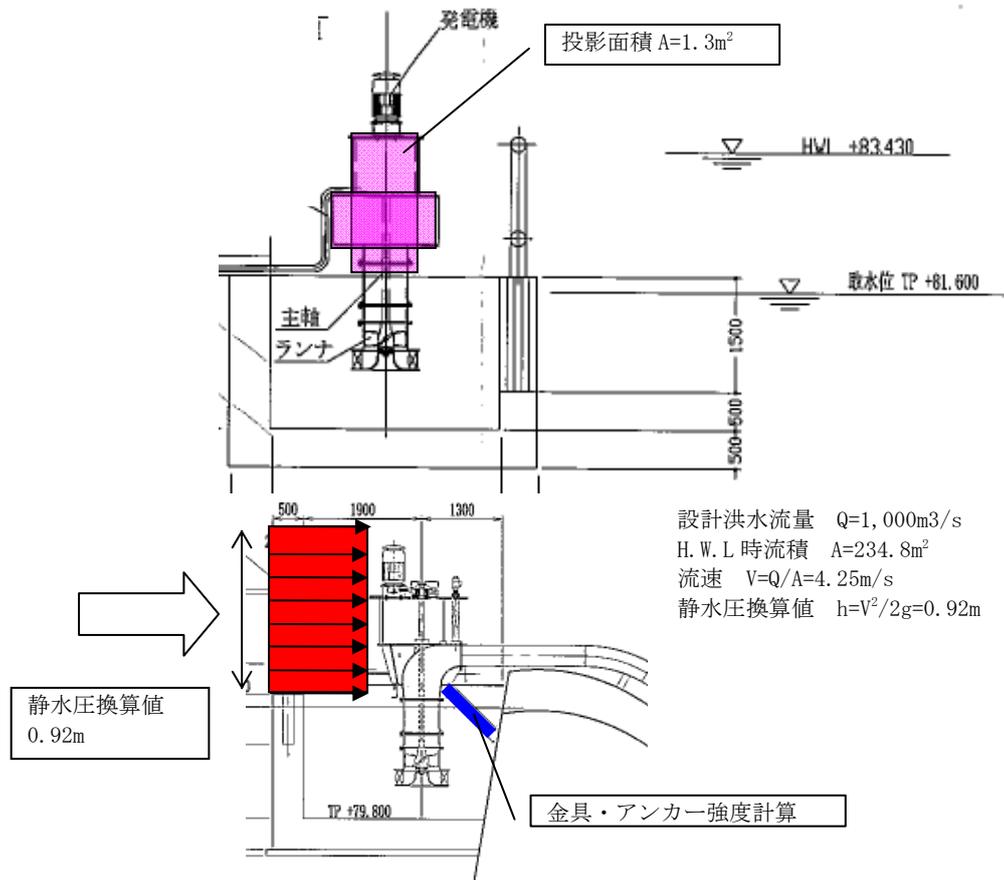
本例の場合、版の長辺と短辺の比が2.5:1以下であるため、スラブは2方向版として扱うことができるため、版構造として設計した場合発生断面力が小さくなる。

鉄筋コンクリート部材では、最小鉄筋量が規定されていて計算上不要でも引張鉄筋比を0.2%以上とするため、注意が必要である。本例の場合骨組み解析結果で必要な鉄筋は、ほぼ最小鉄筋量となるため、版構造として解析した場合でも同配筋となる。

4. 水車・発電機の安定計算(1)

(1) 概要

本施設は、露出しているため洪水時には流水圧を直接受けることになる。水車・発電機は取付金物で既設堰堤に固定されているが、この固定金具強度が流水圧の作用に対して安全な構造とする必要がある。



(2) 作用荷重の設定

考慮する作用荷重は、流水圧および水車・発電機自重である。流水圧の作用状態および受圧面積等の考え方を上図に示す。なお、静水圧は両側から作用してバランスしているため考慮しない。

(3) 安定計算方法

洪水時の流水圧による水車・発電機を後方に転倒させようとする転倒モーメント M_0 および抵抗力である水車・発電機自重による抵抗モーメント M_r を求め、次式により安全性を確認する。

$$F_s = \frac{M_r}{M_0} \geq 1.2$$

ここに、 M_0 ; 転倒モーメント (kN・m)

M_r ; 抵抗モーメント (kN・m)

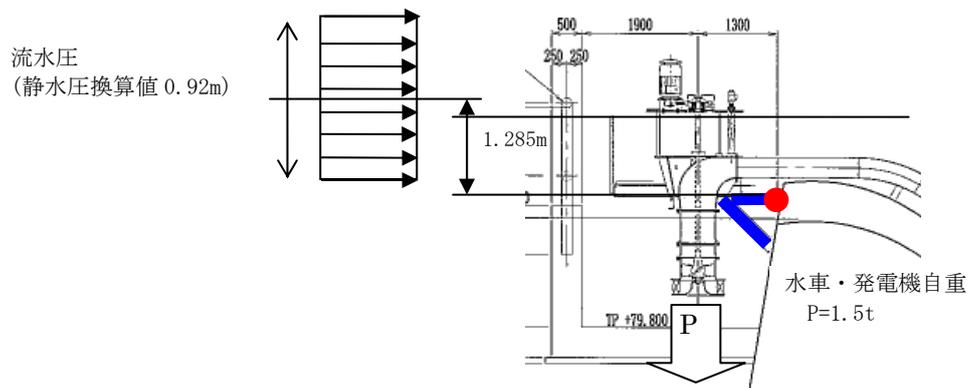
F_s ; 安全率

なお、安全率が不足する場合は金具を固定するアンカーに引抜き力が発生することになるためアンカーの検討が必要になる。

4. 水車・発電機の安定計算(2)

【計算例】

(1) 荷重図



(2) 安定計算

安定計算は、上図赤丸点の回りのモーメントを求めることにより行う

転倒モーメント

$$M_0 = (1.0 \times 9.8 \times 0.92 \times 1.30 \text{m}^2) \text{kN} \times 1.285 \text{m} = 15.06 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

抵抗モーメント

$$M_r = (1.5 \times 9.8) \text{kN} \times 1.30 \text{m} = 19.11 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

安全率

$$F_s = \frac{M_r}{M_0} = \frac{19.11}{15.06} = 1.27 \geq 1.2 \rightarrow \text{OK}$$

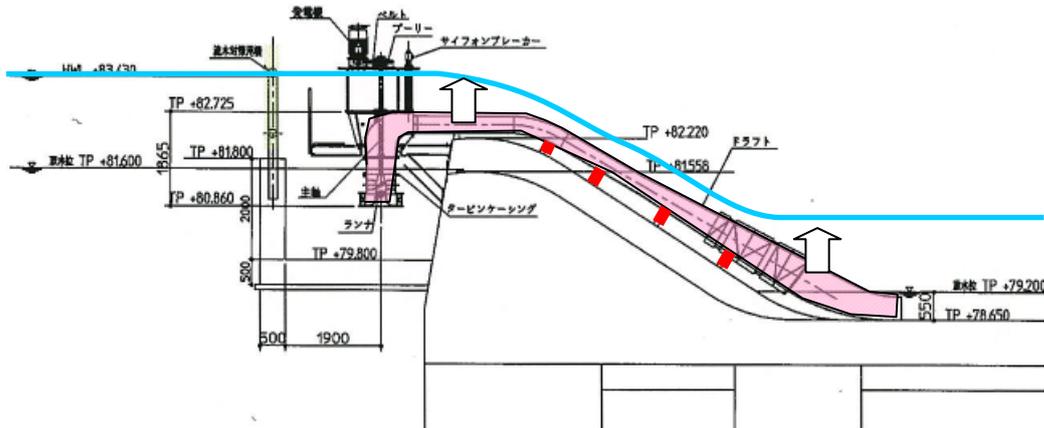
ゆえに、流水圧に対して安定である。本例では、抵抗側のモーメントが卓越するため、特にアンカーの検討は不要である。

5. ドラフトチューブの安定計算(1)

(1) 概用

下図のように、ドラフトチューブ及び水車・発電機は、洪水時には水没する。運転停止時などで、ドラフトチューブ内が充水されていない場合に洪水を受けた場合、管胴自重より浮力が勝ることがある。

管胴は固定金具で既設堰堤に固定されるため、浮力が勝る場合は固定金具に作用する引上げ力に対して固定金具本体及び定着の検討が必要である。



(2) 作用荷重の設定

浮上りの検討で考慮する設計荷重としては、自重及び浮力を考慮すれば良い。静水圧は作用しているが、実質の浮力は管外径体積と同体積の水の重さであるため、考慮しても結果は同じとなる。

1) 自重の計算(単位長あたり)

$$P = (0.009 \times \pi \times 0.50 \times 1.00) \times 77 \text{ kN/m}^3 = 1.09 \text{ kN/m}$$

*鋼材の単位体積重量

2) 浮力の計算

$$U = \pi \times 0.25^2 \times 9.8 \text{ kN/m}^3 = 1.92 \text{ kN/m}$$

*水の単位体積重量

(3) 浮上りに対する安定

浮上りの検討は、次式で求まる所要安全率 F_s が許容値以内に収まっていることを確認することで行なう。

$$F_s = \frac{W}{U} \geq 1.1$$

ここに、 W ; 自重 (kN)

U ; 浮力 (kN)

F_s ; 安全率

$$F_s = \frac{P}{U} = \frac{1.09}{1.92} = 0.57 < 1.1 \rightarrow \text{NG}$$

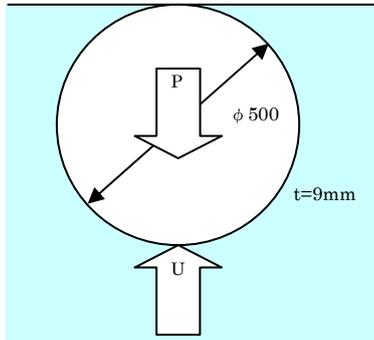
よって、浮上りに対する安全率が不足する。よって、固定金具の検討を以下に行うものとする。

5. ドラフトチューブの安定計算(2)

(4) 固定金具の検討

1) 作用荷重の計算

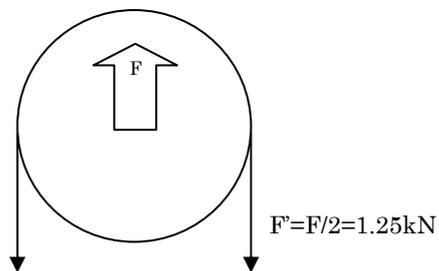
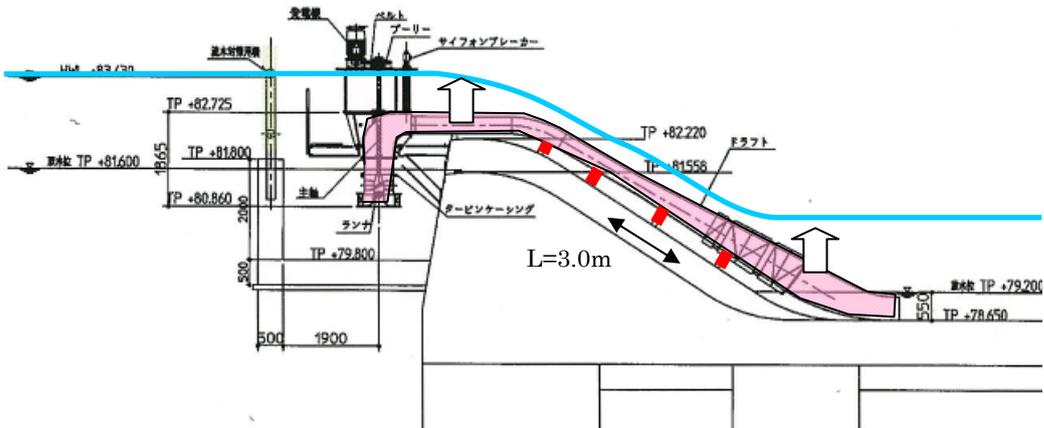
引上げ力 $F=U-P=1.92-1.09=0.83\text{kN/m}$



U : 浮力
P : 自重

最大支持間隔=3.0m であることから、支持金物に作用する荷重は

$F=0.83\text{kN/m} \times 3.0 = 2.49\text{kN}$



支持金物 1 本に作用する引上げ力は、上図のように 1.25kN となる。

5. ドラフトチューブの安定計算(3)

2) 支持金物の検討

使用する支持金物は、等辺山型鋼(L-100×100×7)とすると、支持金物の応力度は、

$$\sigma_s = \frac{F}{A} = \frac{1.25 \times 10^3}{13.62 \times 10^2} = 0.92 < \sigma_a = 140 \times 1.5 = 210 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

ここに、 σ_s ; 鋼材の引張応力度 (N/mm²)

F ; 鋼材に作用する引上げ力 (N)

A ; 鋼材の断面積 (mm²)

σ_a ; 鋼材の許容引張応力度 (N/mm²) で洪水時の短期割増しとして 1.5 倍する。

3) 取付アンカーの検討

既設堰堤への定着のため、アンカーボルトはあと施工アンカー(接着系アンカー)を使用するものとする。あと施工アンカーの許容引張力は次式で求められる。

$$(Ta)_a = \min[(Ta1)_a, (Ta2)_a, (Ta3)_a]$$

$$\text{ただし、} (Ta1)_a = \phi 1 \cdot \sigma_y \cdot a_0, (Ta2)_a = \phi 2 \cdot 0.23 \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c, (Ta3)_a = \phi 3 \cdot 10 \sqrt{\sigma_B / 21} \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_e$$

ここに、(Ta)_a ; アンカー1本当りの許容引張力(N)で、(Ta1)_a, (Ta2)_a, (Ta3)_aの最小値

(Ta1)_a ; 鋼材の降伏より決まる場合のアンカー1本当りの許容引張力(N)

(Ta2)_a ; 定着した既存コンクリートのコーン状破壊により決まる場合のアンカー1本当りの許容引張力(N)

(Ta3)_a ; 付着力より決まる場合のアンカー1本当りの許容引張力(N)

σ_y ; アンカー本体の降伏点強度

a_0 ; アンカー筋の有効断面積

σ_B ; 既存部コンクリートの圧縮強度

A_c ; コーン状破壊面のアンカー1本当りの有効投影面積

d_a ; アンカー軸部の直径

ℓ_e ; アンカーの有効定着長

$\phi 1, \phi 2, \phi 3$; 低減係数

$\phi 1 = 2/3$ (長期), 1.0 (短期), $\phi 2 = 0.4$ (長期), 0.6 (短期), $\phi 3 = 0.4$ (長期), 0.6 (短期)

【計算例】

使用アンカーD13(SD345), $\ell_e = 160\text{mm}$, $a_0 = 126.7\text{mm}^2$, $\sigma_B = 18 \text{ N/mm}^2$, $d_a = 13\text{mm}$

$$(Ta1)_a = \phi 1 \cdot \sigma_y \cdot a_0 = 1.0 \times 345 \times 126.7 = 43,712 \text{ N}$$

$$(Ta2)_a = \phi 2 \cdot 0.23 \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c = 0.6 \times 0.23 \sqrt{18} \times 86,959 = 50,913 \text{ N}$$

$$A_c = \pi \times 160 \times (160 + 13) = 86,959 \text{ mm}^2$$

$$(Ta3)_a = \phi 3 \cdot 10 \sqrt{\sigma_B / 21} \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_e = 0.6 \times 10 \sqrt{18 / 21} \times \pi \times 13 \times 160 = 36,298 \text{ N}$$

以上より、

アンカー1本の許容引張力 = 36,298 N = 36.3kN/本 \geq 1.25kN/本 \rightarrow OK

本例では、アンカー(D13)を使用しているが、許容値に対して十分余裕がある結果である。アンカーの計算は煩雑であるため、簡略化を考えるなら3項目の内1項目、例えば(Ta1)_aについて計算し、使用アンカーに若干余裕を持たせておけば良い。

6. 既設堰堤の安定計算

(1) 概用

発電施設を既設堰堤に設置した場合、その荷重が作用した時の既設堰堤の安定が問題になることがある。ここでは、簡単に既設堰堤の安定の判定をする一方法を紹介する。

1) 安定条件

堰堤の安定条件は、以下の3項目である。

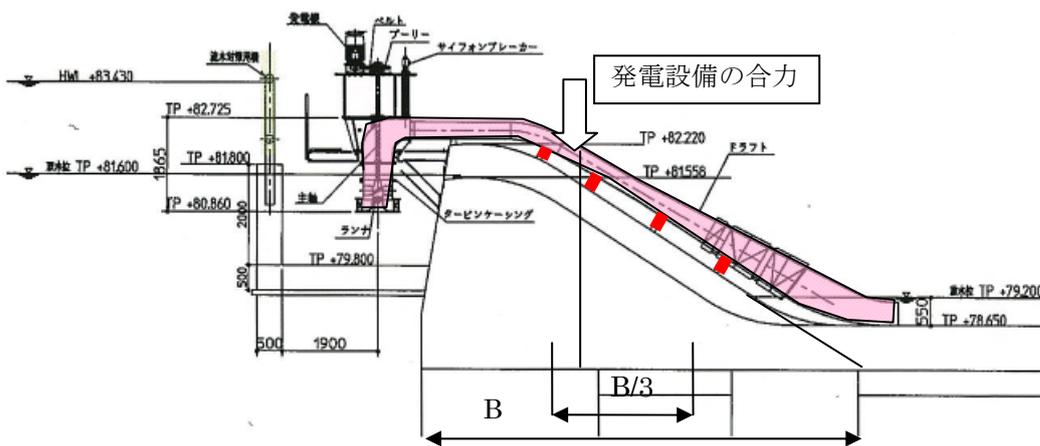
- ① 転倒に対する安定
- ② 滑動に対する安定
- ③ 支持力に対する安定

2) 簡易判定方法

既設堰堤は通常、新たに設置される小水力発電設備に比べて十分大きな重量を有していることが多いため、極度に偏った位置等に発電設備を設置しない限り、安定を欠くことはないと考えられる。

安定条件の内、転倒に対する安定は、堤体の中央 1/3 以内に合力の作用点があること(ミドルサード)が条件であるため、新たに設置する発電設備の自重の重心がミドルサードに入っていれば、全体としてもミドルサードに入っていると考えて差し支えない。検討手順は以下のように行えば良い。

1. 既設堰堤の底面を3等分する。
2. 発電設備の合力の位置を算定する。
3. 下図のように中央 B/3 の範囲(ミドルサードの条件)に発電設備の合力が納まっていれば安定と判定する。



なお、滑動は、外力(流水圧等)が変わるわけではないため特に検討の必要はない。また、支持力に関しても、堰堤の重量に比べ発電施設重量は小さく、影響は少ないため、検討が必要となるケースはあまりないであろう。