

鋼製スリットビーム  
設計マニュアル

2005 年 12 月

JFE 建材 株式会社

## 目次

1. はじめに.....	1
2. 適用条件.....	1
3. 対象とする粒径.....	2
4. 横棧（鋼管）の間隔.....	2
5. 鋼管の検討.....	5
5.1. 土石流に対する検討.....	5
5.2. 礫の衝突に対する検討.....	7
6. アンカーボルトの検討.....	8
6.1. 土石流に対する検討.....	8
6.2. 鋼管の凹み変形荷重に対する検討.....	10
7. 仕様.....	11
7.1. 標準タイプ.....	11
7.2. 表面処理.....	11

## 1. はじめに

流す砂防の展開により、多くの透過型砂防えん堤が設計・計画されており、鋼製スリット砂防えん堤やコンクリートスリット砂防えん堤が実施されてきました。ところが、土石流の捕捉を目的としたコンクリートスリット砂防えん堤では、土石流先頭部の到達前に先行流などで堰上げを起し、えん堤上流側に湛水が生じることが確認されました。この場合、土石流先頭部の巨礫がスリット部まで到達せず、スリット部を閉塞しないまま、後続流がスリット部を通過する危険性があります。また、一旦捕捉された土砂の一部が減水時に流出する可能性も指摘されています。

鋼製スリットビームは、そのような再流出等の問題点を防止するために、コンクリートスリット砂防えん堤に設置される部材です。

### 参考文書

- 事務連絡「透過型砂防えん堤の計画・設計上の留意点」, 国土交通省砂防部保全課, 平成 15 年 5 月 7 日
- 事務連絡「透過型砂防えん堤の計画・設計上の留意点」に関する参考資料, 国土交通省砂防部保全課, 平成 15 年 11 月 20 日

## 2. 適用条件

鋼製スリットビームの基本原則。

- 鋼製スリットビームは、原則として既設のコンクリートスリット砂防えん堤に使用するものとします。
- 鋼製スリットビームはあくまで補助部材であり、壊れたら取り替えることを前提に考えます。

### 【解説】

鋼製スリットビームは、既設のコンクリートスリット砂防えん堤に対して、土砂を確実に捕捉するための補助部材です。さらに、外力はコンクリートスリット砂防えん堤本体で負担する設計となっていますので、鋼製スリットビームは壊れたら取り替えるということを基本原則と考え設計します。

### 3. 対象とする粒径

対象とする粒径Dは、95%粒径  $D_{95}$  とします。

#### 【解説】

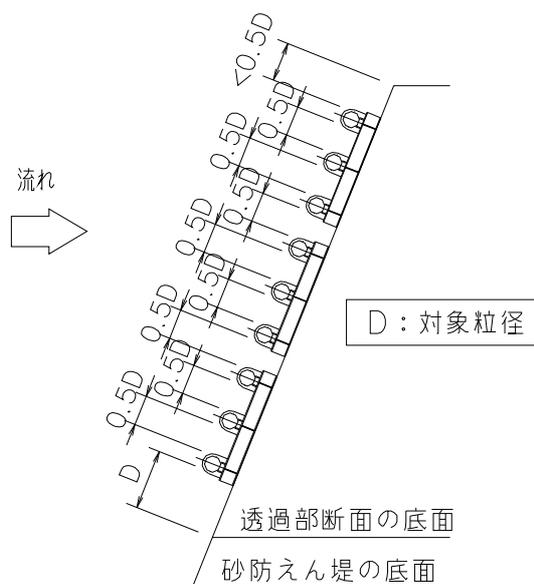
対象粒径は、えん堤を通過して下流域に被害を生じさせないと推定される礫径と同程度とします。よって、当面は95%粒径以下と考えます。

### 4. 横棧（鋼管）の間隔

横棧（鋼管）の間隔は、対象粒径Dに応じ、下記の通りとします。

- 最下段： $1.0 \times D$
- 2段目以上： $0.5 \times D$
- 最上段と水通し肩とは、 $0.5 \times D$  以下になるようにします。
- ただし、コンクリートスリット砂防えん堤の上流法が緩い場合など、スリットビームの構成部材が水通し高さよりはみ出す場合は、横棧（鋼管）間隔を調整し、はみ出さないようにします。

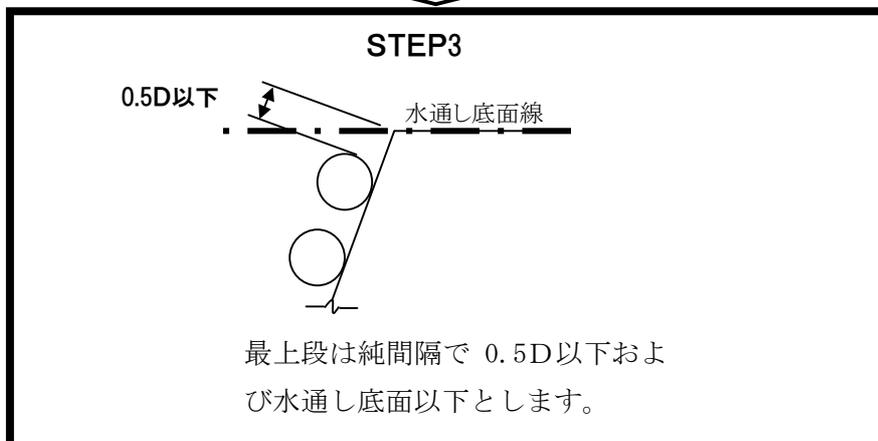
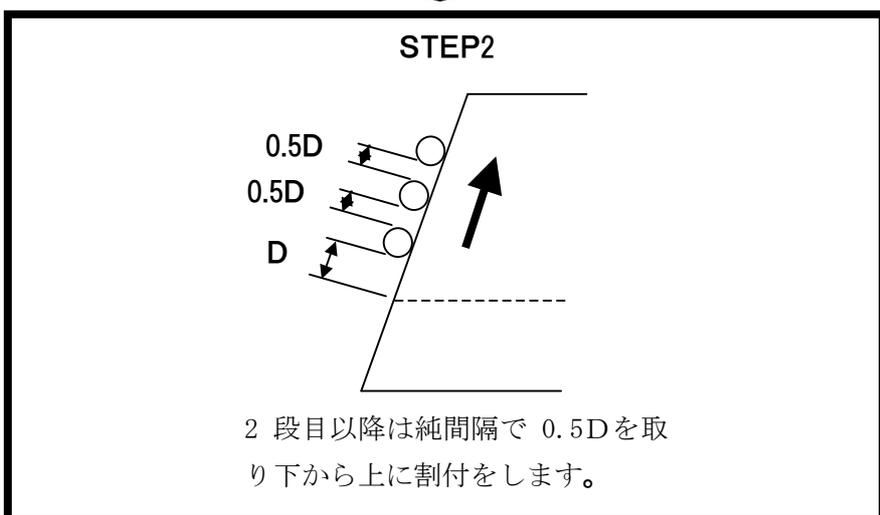
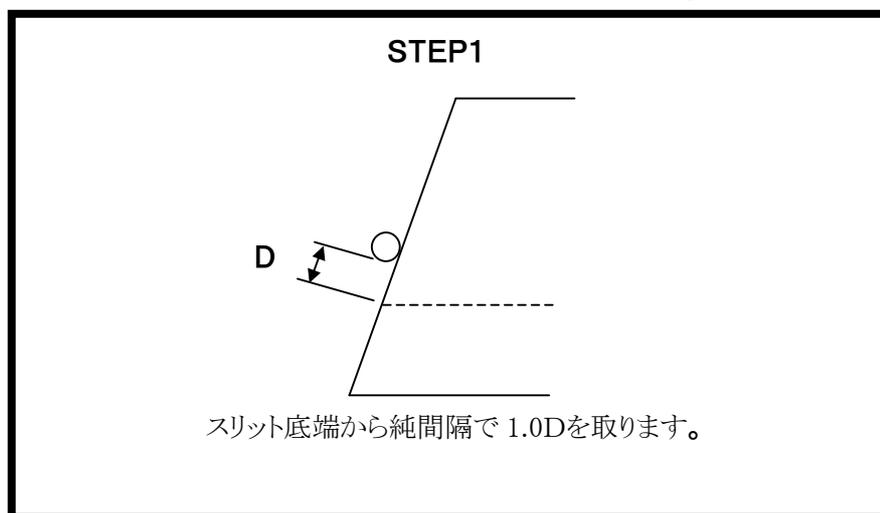
#### 【解説】



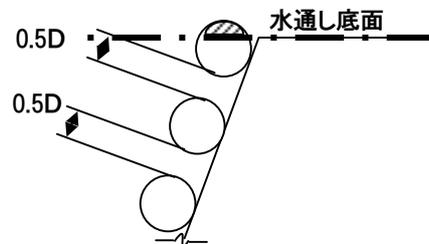
図－1 横棧（鋼管）の間隔

### [割付の手順]

スリットビームの割付方法の概要を以下のとおりとします。

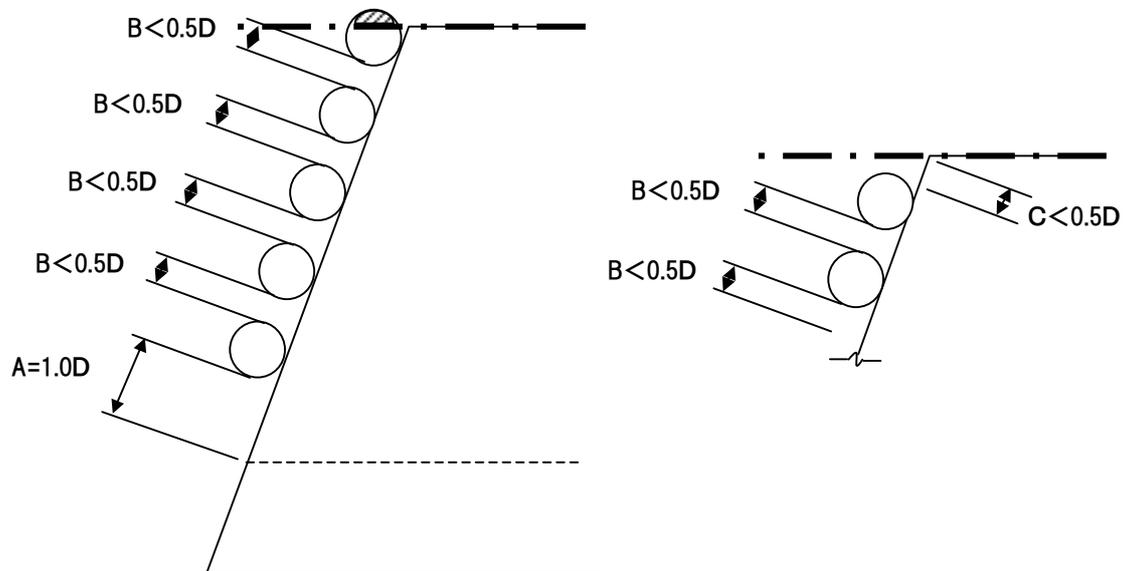


## 水通し底面から出た場合の処理



水通し底面から鋼管が飛び出した場合の処理方法は以下のように考えます。

寸法A(最下段間隔)はそのままとし、2 段目以降の寸法Bを 5.0mmピッチに短くし、最上段の鋼管が水通し底面から飛び出ないように調整します。



## 5. 鋼管の検討

- 1、鋼管は、①土石流流体力に対する検討、②礫の衝突に対する検討の両者に対し安全となるサイズとします。
- 2、鋼管の磨耗しろおよび錆しろは、取替えを前提とするため、磨耗しろ 0.0mm、錆しろ 1.5mmとして考えます。

### 【解説】

適用条件にも記述したように鋼製スリットビームはあくまで補助部材であり、外力はコンクリートスリット砂防えん堤本体で負担する設計です。したがって、鋼管サイズを決定する際の荷重は、最低限の荷重と考えます。

### 5.1. 土石流に対する検討

鋼管の荷重分担範囲は、鋼管径（D）に横棧の配置間隔（W）を加算した値と土石流水深（h）を比較して小さい方の値とします。

#### 鋼管に作用する最大曲げモーメント

$$M = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$\text{ここに、} q = \frac{F}{h} \times H$$

q : 等分布荷重（土石流流体力）

L : スパン長

F : 土石流流体力

h : 土石流の水深

H : 鋼管の荷重分担範囲

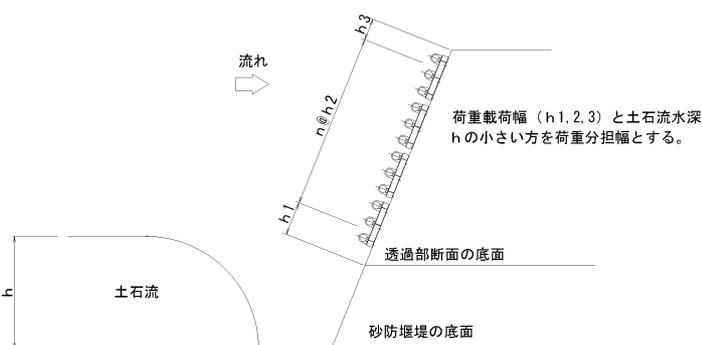


図 2 荷重図

#### 錆しろを考慮した鋼管の断面係数

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\{D^4 - (D - 2 \cdot t_1)^4\}}{D}$$

#### 鋼管に発生する曲げ応力度

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

#### 安定条件

$$\sigma < \sigma a$$

ここに、 $\sigma a$  : 鋼管の許容曲げ応力度（短期）

## [横棧（鋼管）の荷重分担幅]

横棧（鋼管）の荷重分担幅は、以下のように考えます。

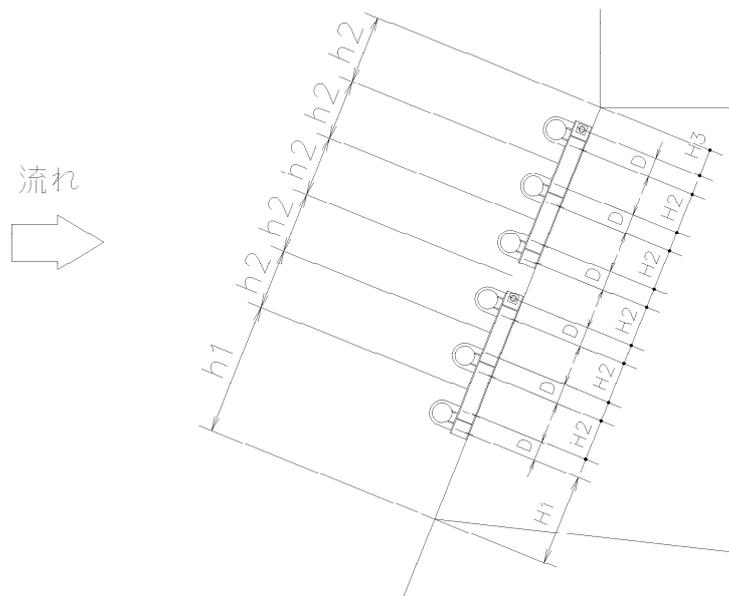


図3 荷重分担幅

最下段

$$h1 = H1(\text{最下段純間隔}) + D(\text{使用鋼管径}) + \frac{H2(2\text{段目以降の純間隔})}{2}$$

2段目以降

$$h2 = H2(2\text{段目以降の純間隔}) + D(\text{使用鋼管径})$$

最上段

$$h2 = \frac{H2(2\text{段目以降の純間隔})}{2} + D(\text{使用鋼管径}) + H3(\text{最上段間隔})$$

## 5.2. 礫の衝突に対する検討

鋼管に礫が衝突する時の、へこみ変形による吸収エネルギーを照査します。

鋼管は降伏応力まで許容するものとし、修正エリナス式で 40%凹む場合について計算するものとします。なお、ここでは簡略化のため凹みのみを考慮し、梁のたわみは考慮しないものとします。

### 衝突する礫の運動エネルギー

$$E_R = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

ここに、m：礫の質量

V：礫の速度

### 凹みによる吸収エネルギー

$$E_d = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \sigma_y \cdot t^2 \cdot \frac{\delta_d^{1.8}}{1.8 \cdot D^{0.8}}$$

$$\text{ただし、} K = 161 \cdot \left( \frac{D_0}{D} \right)^{0.11}$$

$\sigma_y$ ：鋼管の降伏応力度

$D_0$ ：礫の直径

D：鋼管の外径

t：鋼管の板厚

$\delta d$ ：鋼管の凹み量 (=0.4×D)

### 安定条件

$$E_d > E_R$$

## 6. アンカーボルトの検討

アンカーボルトの決定は、①土石流流体力に対する検討、②礫の衝突に対する検討の両者に対し安全となるサイズとします。

### 【解説】

アンカーボルトのサイズ及び本数を決定する際の荷重は、鋼管サイズを決定する際の荷重と同一とします。また、**アンカーボルトは、最低サイズをM20とし、鋼管1本に対し最低2(左右)本とします。**

### 6.1. 土石流に対する検討

アンカーボルトに作用するせん断力は、ユニットに作用する土石流流体力のせん断方向成分とユニットの自重のせん断方向成分との和になりますが、両者は逆方向成分であるので、ここでは安全側を見込んで両者の値の大きい方の値を採用します。

#### ユニットの自重によるせん断力

$$S_{u1} = W_u \times \cos \theta$$

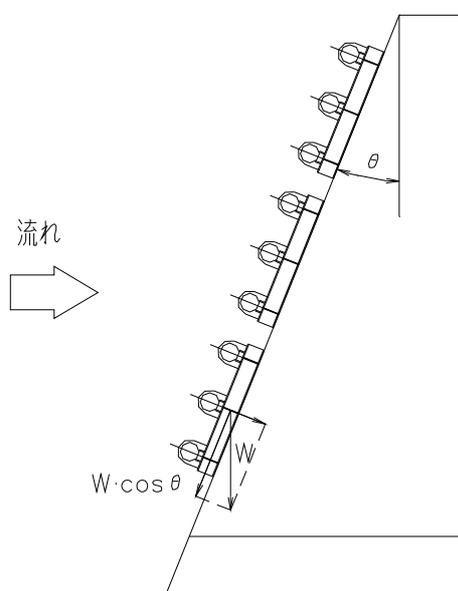


図-4 ユニットの自重によるせん断力

### 土石流流体力によるせん断力

ユニットの荷重負担高さは、土石流の水深とユニットの荷重負担垂直高さの小さい方の値を採用します。

$$S_{u2} = \frac{F}{h} \times \text{荷重負担高さ} \times L \times \sin \theta$$

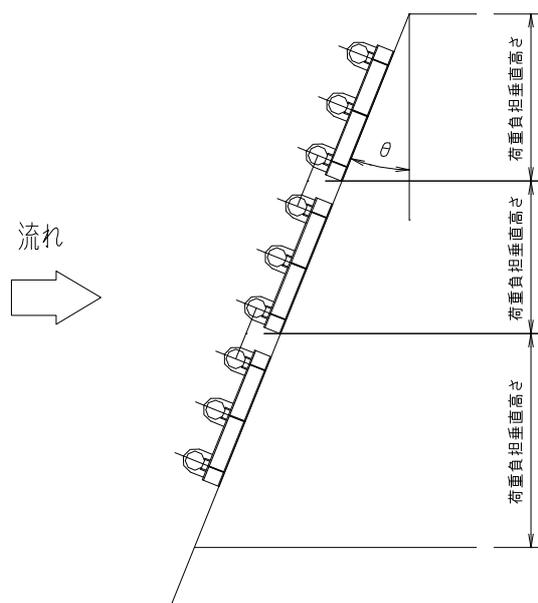


図-5 ユニットの荷重負担垂直高さ

### アンカーボルトに発生するせん断応力度

アンカーボルトに作用するせん断応力  $S_u$  は、 $S_{u1}$  と  $S_{u2}$  の大きい方とします。また、ユニットの全てのアンカーボルトで負担するものと考えます。

$$S_a = \frac{S_u}{A_s \times N_b}$$

ここに、 $A_s$  : ボルトの有効断面積

$N_b$  : 1ユニットのボルト本数

### 安定条件

$$S_a < \tau b$$

ここに、 $\tau b$  : ボルトの許容せん断応力度

## 6.2. 鋼管の凹み変形荷重に対する検討

鋼管に礫が衝突する時の衝突エネルギーに対応する、凹み変形に対する荷重に対して照査します。

凹み変形に対する荷重のせん断方向成分に対して、ユニットのアンカーボルト全体で負担するものとして検討します。

### 衝突する礫の運動エネルギー

$$E_R = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

ここに、m：礫の質量

V：礫の速度

### 凹みによる吸収エネルギー

$$E_d = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \sigma_y \cdot t^2 \cdot \frac{\delta_d^{1.8}}{1.8 \cdot D^{0.8}}$$

$$\text{ただし、} K = 161 \cdot \left( \frac{D_0}{D} \right)^{0.11}$$

$\sigma_y$ ：鋼管の降伏応力度

$D_0$ ：礫の直径

D：鋼管の外径

t：鋼管の板厚

ここで、 $E_R = E_d$ とおいた時の、 $\delta_d$ を求め下記式に代入します。

### 鋼管の凹み変形に対する荷重

$$P = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \sigma_y \cdot t^2 \cdot \left( \frac{\delta_d}{D} \right)^{0.8}$$

せん断方向成分

$$P_t = P \times \sin \theta$$

### アンカーボルトに発生するせん断応力度

$$S_a = \frac{P_t}{A_s \times N_b}$$

### 安定条件

$$S_a < \tau b$$

## 7. 仕様

### 7.1. 標準タイプ

標準タイプを 200 型、300 型、400 型の 3 種類とし、それぞれ下表の鋼管を使用します。

表-1 標準タイプ

タイプ	サイズ	1mあたり重量 (kg/m)	(参考) 礫径 50cm の場合 40%凹み吸収エネルギー
200 型	φ 216.3× 8.2 (STK400)	42.1	10.6(kJ)
300 型	φ 318.5×10.3 (STK400)	78.3	26.0 (kJ)
400 型	φ 406.4×12.7 (STK400)	123.0	52.3 (kJ)

なお、作用外力が大きく上記サイズ以上の鋼管を使用する場合は、別途検討の上、使用材を決定します。

### 7.2. 表面処理

(1) 構成部材は、下記塗装を施します。

(1)-1 ブラストによる素地調整後、下塗塗装を行います。

(1)-2 下塗塗装は、JIS K 5625 「シアナミド鉛さび止めペイント」又は相当品を 2 回塗りとします。(目標膜厚 ; 35 μ m / 回)

# 設計例

① 構造計算書

② 設計図

設計No.

半透過型えん堤  
鋼製スリットビーム  
構造計算書

殿

工事名 :

作成年月日 : 2004年12月

J F E 建 材 株 式 会 社

目次

1. 検討条件	…(1)
2. 鋼管の検討*	…(3)
2-1. 土石流流体力に対する検討	…(3)
2-2. 礫の衝突に対する検討	…(5)
3. アンカーボルトの検討	…(6)
3-1. 土石流流体力に対する検討	…(6)
3-2. 鋼管の凹み変形に対する荷重に対する検討	…(7)

【参考文献】

\* 「透過型砂防えん堤の計画・設計上の留意点」に関する参考資料, 国土交通省砂防部保全課, 平成15年11月.

## 1. 設計条件

・溪流の最大礫径	$D_{95} =$	0.65 (m)
・礫の密度	$\sigma =$	25.50 (kN/m <sup>3</sup> )
・土石流の流速	$U =$	5.20 (m/s)
・土石流の水深	$h =$	1.83 (m)
・土石流流体力	$F =$	80.20 (kN/m)
・透過部断面の幅	$b =$	1.00 (m)
・鋼管サイズ		$\phi 216.3 \times 8.2$ (STK400)
・鋼管の降伏応力度	$\sigma_y =$	235 (N/mm <sup>2</sup> )
・鋼管の許容曲げ応力度	$\sigma_{ba} =$	140 (N/mm <sup>2</sup> )
・腐食しろ	$\Delta =$	1.5 (mm)
・腐食しろを考慮した鋼管径	$D_1 =$	213.3 (mm)
・腐食しろを考慮した鋼管板厚	$t_1' =$	6.7 (mm)
・スパン長	$L =$	2.00 (m)
・鋼管最下段の荷重分担幅	$h_1 =$	1.024 (m)
・鋼管2段目以上の荷重分担幅	$h_2 =$	0.531 (m)
・アンカーボルトサイズ		M20
・ボルトの有効断面積	$A_s =$	2.45 (cm <sup>2</sup> )
・ボルトの許容せん断応力度	$\tau_b =$	60 (N/mm <sup>2</sup> ) (長期)
・ボルトの許容せん断応力度	$\tau_b =$	90 (N/mm <sup>2</sup> ) (短期)
・1ユニットの最小ボルト本数	$N_b =$	6 (本)

表-1 鋼材の許容応力度

(N/mm<sup>2</sup>)

鋼種	SS400,SM400	SM490,STK490	SM490Y,SMA490
応力度の種類	SMA400,STK400		
軸方向引張応力度 (純断面積につき)	140	185	210
軸方向圧縮応力度 (総断面積につき)	$\frac{l}{r} \leq 18$ 140 $18 < \frac{l}{r} \leq 92$ $140 - 0.82(\frac{l}{r} - 18)$ $\frac{l}{r} > 92$ $\frac{1,200,000}{6,700 + (l/r)^2}$	$\frac{l}{r} \leq 16$ 185 $16 < \frac{l}{r} \leq 79$ $185 - 1.2(\frac{l}{r} - 16)$ $\frac{l}{r} > 79$ $\frac{1,200,000}{5,000 + (l/r)^2}$	$\frac{l}{r} \leq 15$ 210 $15 < \frac{l}{r} \leq 75$ $210 - 1.5(\frac{l}{r} - 15)$ $\frac{l}{r} > 75$ $\frac{1,200,000}{4,400 + (l/r)^2}$
曲げ引張応力度 (純断面積につき)	140	185	210
曲げ圧縮応力度 (総断面積につき)	140	185	210
軸方向力及び曲げモーメントを受ける部材	(1) 軸方向力が引張の場合 $\sigma_t + \sigma_{bt} \leq \sigma_{ta}$ かつ $-\sigma_t + \sigma_{bc} \leq \sigma_{ba}$ (2) 軸方向力が圧縮の場合 $\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}} \leq 1.0$		
せん断応力度 (総断面積につき)	80	105	120

記号は次のとおりである。

l : 部材の有効座屈長(cm)

r : 部材総断面積の断面二次半径(cm)

$\sigma_t, \sigma_c$ : 断面に作用する軸方向引張力による引張応力度及び軸方向圧縮力による圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bt}, \sigma_{bc}$ : 断面に作用する曲げモーメントによる最大引張応力度及び最大圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{ta}, \sigma_{ca}$ : 許容引張応力度及び弱軸に関する許容軸方向圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)

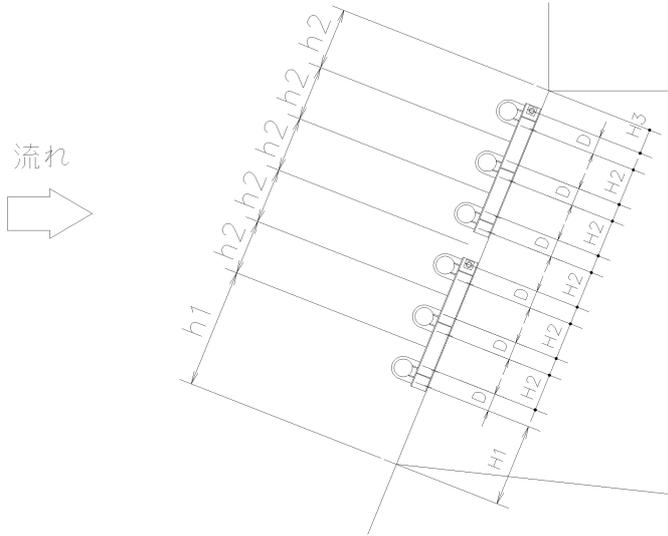
$\sigma_{ba}$ : 許容曲げ圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)

## 2. 鋼管の検討

## 2-1. 土石流流体力に対する検討

## 1) 最下段

## ①荷重分担範囲



$$h1 = H1 + D + \frac{H2}{2} \quad (\text{最下段})$$

$$h2 = H2 + D \quad (2 \text{ 段目以降}) \quad \text{式 1}$$

$$h2 = H3 + D + \frac{H2}{2} \quad (\text{最上段}) \quad \text{式 2}$$

注) 2 段目以降の検討は式 1, 2 の内、大きい方にて検討する。

$$h1 = 1.024 \quad (\text{m})$$

$$h2(\text{最上段}) = 0.668 \quad (\text{m})$$

横棧の荷重分担幅( $h1=1.024\text{m}$ ) < 土石流水深( $h=1.83\text{m}$ ) より  
横棧の荷重分担幅を用いる

## ②最大曲げモーメント(M1)

最大曲げモーメントM1は、鋼管のスパン中央で発生し、

$$M1 = \frac{q \times L^2}{8}$$

ここに、  $q$ : 等分布荷重  $q = F/h \times h1 = 80.20/1.83 \times 1.024 = 44.88 \text{ (kN/m)}$

よって、  $M1 = 22.44 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$

③断面係数(W1)と曲げ応力度( $\sigma 1$ )

錆しるを考慮した鋼管の断面係数は、

$$W1 = \frac{\pi \times \{D1^4 - (D1 - 2 \cdot t1)^4\}}{32 \times D1} \times 10^{-3}$$

よって、  $W1 = 217.8 \text{ (cm}^3)$

曲げ応力度は、

$$\sigma 1 = \frac{M1}{W1} \times 10^3$$

よって、  $\sigma 1 = 103.0 \text{ (N/mm}^2) < \sigma_{ba} = 140 \text{ (N/mm}^2) : \text{OK}$

## 2) 2段目以上 (最上段)

## ①荷重分担範囲 1)①の図より

横棧の荷重分担幅( $h_2=0.668\text{m}$ ) < 土石流水深( $h=1.83\text{m}$ ) より  
横棧の荷重分担幅を用いる

②最大曲げモーメント( $M_2$ )

最大曲げモーメント $M_2$ は、鋼管のスパン中央で発生し、

$$M_2 = \frac{q \times L^2}{8}$$

ここに、  $q$ : 等分布荷重  $q = F/h \times h_2 = 80.20/1.83 \times 0.668 = 29.27 \text{ (kN/m)}$

よって、  $M_2 = 14.64 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$

③曲げ応力度( $\sigma_2$ )

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{W_1} \times 10^3$$

よって、  $\sigma_2 = 67.2 \text{ (N/mm}^2) < \sigma_{ba} = 140 \text{ (N/mm}^2) \text{ : OK}$

## 2-2. 礫の衝突に対する検討

鋼管に礫が衝突する時の、へこみ変形による吸収エネルギーを照査する。  
 鋼管は降伏応力まで許容するものとし、修正エリナス式で40%凹む場合について計算する。なお、ここでは簡略化のため凹みのみを考慮し、梁のたわみは考慮しないものとする。

1) 衝突する礫の運動エネルギー $E_R$ 

$$E_R = 1/2 \cdot m \cdot V^2$$

ここに、  $m$ : 礫の質量

$$m = 4/3 \cdot \pi \cdot (D_{95}/2)^3 \cdot (\sigma \cdot 10^3/g) = 374 \text{ (kg)}$$

$V$ : 礫の速度 (= 土石流の流速  $U$ )

よって、  $E_R = 5,056 \text{ (J)}$

2) 凹みによる吸収エネルギー $E_d$ 

$$E_d = \frac{K \cdot \sigma_y \cdot t_1'^2 \cdot \delta_d^{1.8}}{4 \cdot 1.8 \cdot D_1^{0.8}}$$

ただし、  $K = 161 \cdot (D_{95}/D_1)^{0.11}$

$\sigma_y$ : 鋼管の降伏応力度

$\delta_d$ : 鋼管の凹み量 (=  $0.4 \cdot D$ )

よって、  $E_d = 10,926 \text{ (J)} > E_R = 5,056 \text{ (J)}$  : OK

3. アンカーボルトの検討

3-1. 土石流流体力に対する検討

アンカーボルトに作用するせん断力は、ユニットに作用する土石流流体力のせん断方向成分とユニットの自重のせん断方向成分との和になるが、両者は逆方向成分であるので、ここでは安全側を見込んで両者の値の大きい方とする。

1) ユニットの自重によるせん断力

$$Su1 = Wu \times \cos \theta$$

ここに、 Wu: ユニットの自重  
 $\theta$ : 堰堤の上流側法勾配(1:n=1:0.4) (=21.80°)

2) 土石流流体力によるせん断力

ユニットの荷重負担高さは、土石流の水深と、ユニットの荷重負担垂直高さを比較して、小さい方とする。

$$Su2 = F/h \times \text{荷重負担高さ} \times L \times \sin \theta$$

3) アンカーボルトに発生するせん断応力度

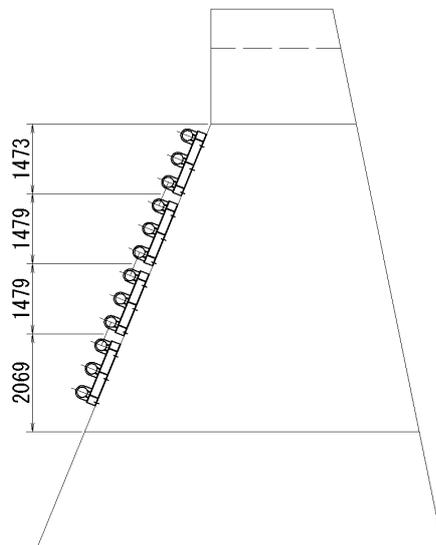
アンカーボルトに発生するせん断力Suは、Su1とSu2の大きい方とする。

$$Sa = \frac{Su}{As \cdot Nb}$$

計算結果を下表に示す。

使用アンカーボルトサイズ M20

ユニットの質量 (Kg)	ユニット	荷重負担垂直高さ (m)	ユニット自重のせん断成分(N)	流体力せん断成分 (N)	ボルト本数 (本)	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	判定
555	①	2.069	5,055	59,571	6	40.5	90	OK
555	②	1.479	5,055	48,145	6	40.5	90	OK
555	③	1.479	5,055	48,145	6	40.5	90	OK
555	④	1.473	5,055	47,950	6	40.5	90	OK
	⑤	-	-	-	-	-	-	-
	⑥	-	-	-	-	-	-	-



## 3-2. 鋼管の凹み変形に対する荷重に対する検討

鋼管に礫が衝突する時の、凹み変形に対する荷重に対して照査する。  
凹み変形に対する荷重のせん断方向成分に対して、ユニットのアンカーボルト  
全体で負担するものとして検討する。

## 1) 礫の運動エネルギーによる凹み量

$$\delta_d = \left( \frac{4 \cdot 1.8 \cdot D1'^2 \cdot ER}{K \cdot \sigma_y \cdot t1'^2} \right)^{(1/1.8)} = 55.6 \text{ mm}$$

ER: 礫の運動エネルギー      ER=5,056 (J)

## 2) 鋼管の凹み変形に対する荷重\*\*

$$P = \frac{K \cdot \sigma_y \cdot t1'^2 \cdot \delta_d^{0.8}}{4 \cdot D1^{0.8}}$$

ただし、 $\delta_d$ : 鋼管の凹み量 ( = 55.6/213.3  $\approx$  0.261  $\cdot$  D )

よって、 $P=163,886$ (N)

堰堤上流側の勾配に対して、平行成分 $P_t = P \times \sin \theta = 60,866$ (N)

## 2) アンカーボルトに作用するせん断応力度

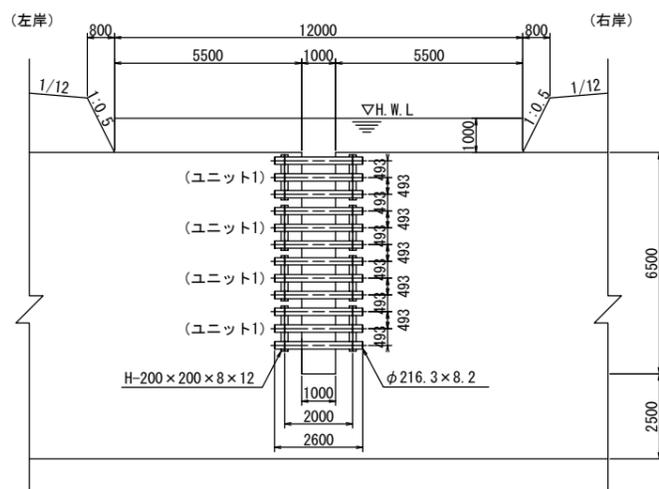
$$Sa2 = \frac{P_t}{As \cdot Nb}$$

よって、 $Sa2=41.4$ (N/mm<sup>2</sup>) <  $\tau_b = 90$  (N/mm<sup>2</sup>) : OK

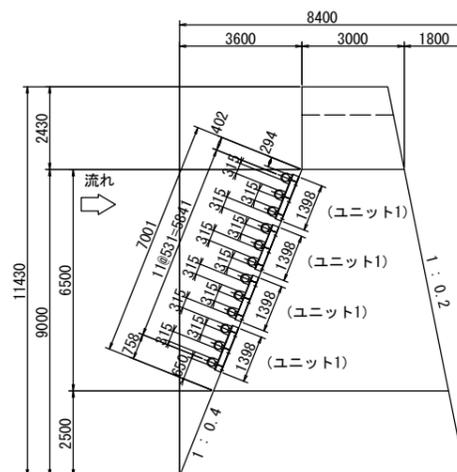
半透過型スリット砂防堰堤  
S=1/100

②設計図

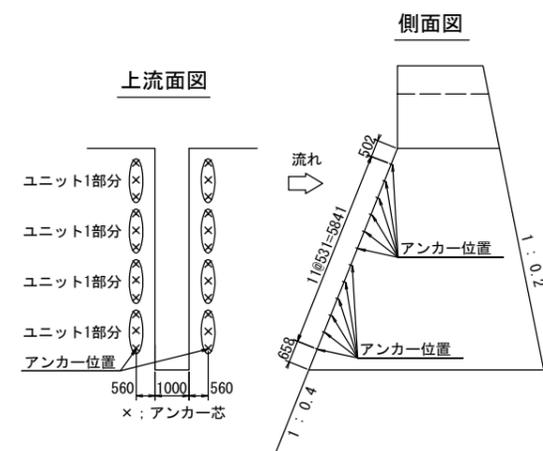
正面図(上流側)



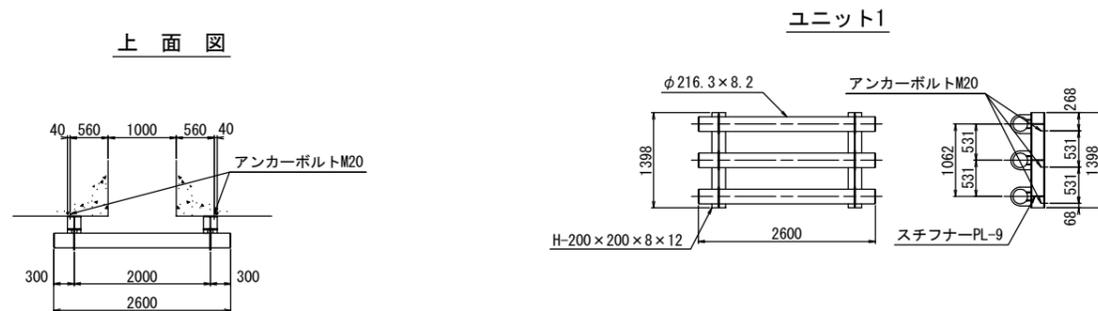
側面図



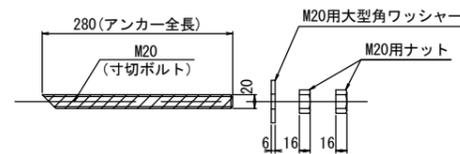
アンカー位置図



詳細図  
S=1/50



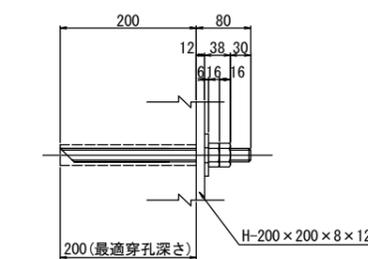
アンカー詳細図(参考図)



鋼材質量

部品名	単位質量 (kg)	数量	質量 (kg)
ユニット1	555	4	2,220
合計			2,220

アンカーボルトM20 (SS400相当、HDZ35) 24本



\*最適穿孔深さは、ケミカルアンカー (R-19) 使用時の値です。