

鋼橋技術研究会

設計部会W / G (Cグループ)

調査研究報告書

長大橋の構造詳細に関する調査

平成7年5月

目 次

はじめに	-----	3
第一編 斜張橋ケーブル定着構造設計例	-----	4
1.1 主桁側ケーブル定着部	-----	5
1.1.1 ケーブル定着構造一覧	-----	6
1.1.2 アンカーガーダー形式（鶴見航路橋）	-----	7
1.1.3 パイプアンカー形式（生口橋）	-----	21
1.1.4 ブラケット形式（横浜ベイブリッジ）	-----	33
1.1.5 アンカーブロック形式（東神戸大橋）	-----	42
1.2 塔側ケーブル定着部	-----	55
1.2.1 ケーブル定着構造一覧	-----	56
1.2.2 サドル形式（鶴見航路橋）	-----	57
1.2.3 支圧板形式（荒津大橋）	-----	83
1.2.4 アンカーガーダー形式（かつしかハープ橋）	----	95
第二編 吊橋特殊構造部事例図集	-----	104
2.1 サドル構造	-----	105
2.1.1 概 要	-----	106
2.1.2 構造図集	-----	110
2.2 ステイ構造	-----	130
2.2.1 ステイ構造一覧	-----	131
2.2.2 構造図集	-----	134

はじめに

当ワーキンググループでは、当初次の3項目をサブテーマとして発足した。

1. 斜長橋ケーブル定着構造設計例
2. 吊橋特殊構造部事例図集
3. 長大橋の試設計

1. については、前設計部会で実施された斜長橋ケーブル定着構造例を一步進めて、設計計算の参考とすることを目的として厘めたものである。設計計算書から読み取れる範囲で厘めたもので評価は加えていない。

2. については、個々の橋梁における資料を参考にすれば良いが、一覧として参照できれば便利と考えたものである。

3. については、海外の長大橋計画をサンプルとして試設計或いは試検討を実施しながら勉強することを考えたが、作業ボリューム等から厘めきれないと判断され文献収集段階で断念した。

従って関連のない複数のテーマでの報告書となり、奇異な感じもあるが、部会員多忙の中で集めたものであり報告書として取り厘めた。

第一編

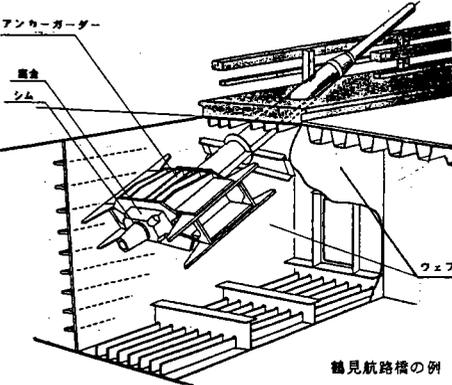
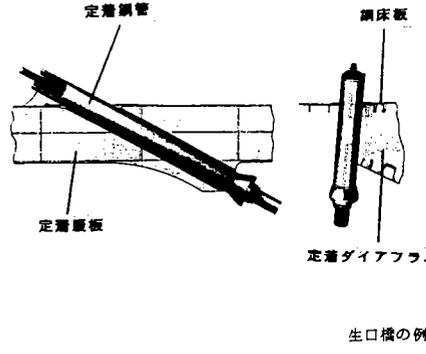
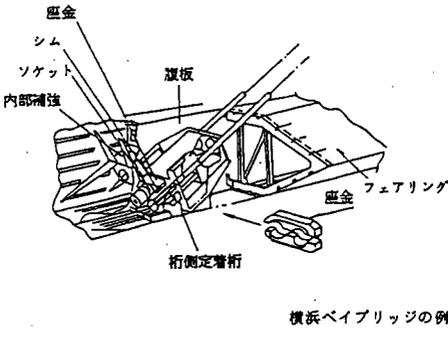
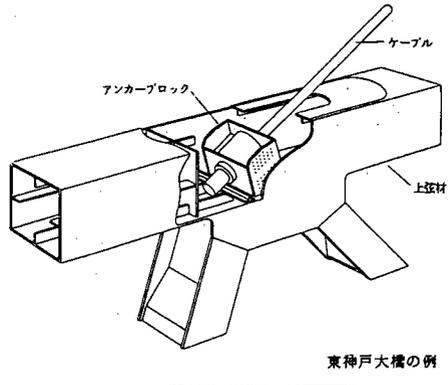
斜張橋ケーブルル定着構造

設計例

1.1 主桁側ケーブル定着部

1.1.1 ケーブル定着構造一覽

斜張橋ケーブル定着部構造(桁側)一覽表

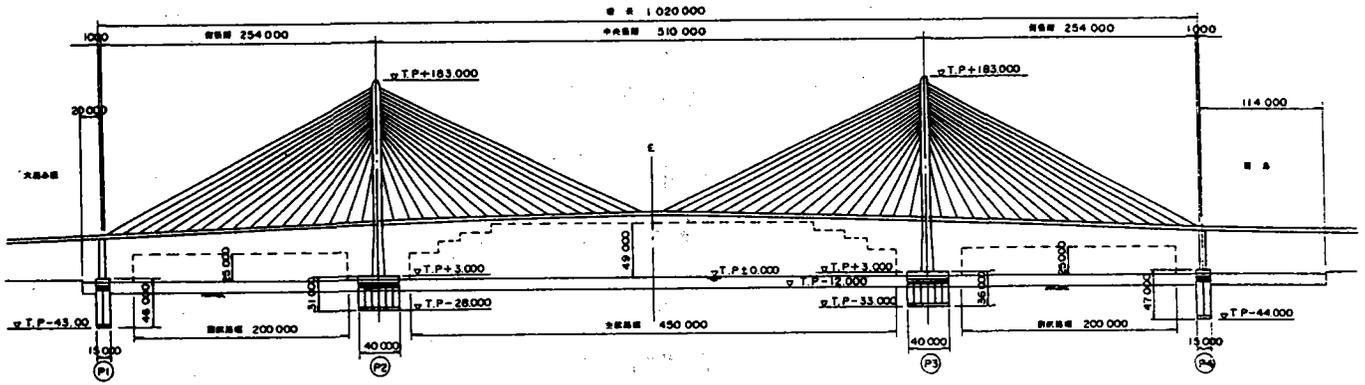
形式名	アンカーガーダー形式	パイプアンカー形式	ブラケット形式	アンカーブロック形式
構造図	 <p>アンカーガーダー 座金 ソケット ウェブ 鶴見航路橋の例</p>	 <p>定着鋼管 鋼床板 定着鋼板 定着ダイアフラム 生口橋の例</p>	 <p>座金 ソケット 内部補強 鋼板 座金 フェアリング 桁側定着桁 横浜ベイブリッジの例</p>	 <p>ケーブル アンカーブロック 上弦材 東神戸大橋の例</p>
留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・1面ケーブル対応形式として用いられる。 ・桁内設置となるので、定着構造が見えない。 ・定着位置をデッキ側に寄せられる。 ・縦桁形式では偏心曲げに留意して設計する必要がある。 ・ウェブに板曲げ応力が生じる。 ・ケーブル引き込み作業は桁内部になるが、下フランジに開口を設ける必要がある場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2面ケーブル対応形式として用いられる。 ・桁外ウェブに設置されるため、定着構造が見える。 ・外ウェブに大きなフィレットが必要となる。 ・パイプは遠心力鋼管を使用することが多い。 ・ケーブル定着部の止水構造が比較的容易。 ・デッキ貫通部の開先施工精度が必要となる。 ・引き込み作業が桁外面での作業となる。 ・特別なケーブルガイド装置を必要としない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2面ケーブル対応形式として用いられる。 ・桁外部の設置となるが、フェアリングにより隠すことが出来る。 ・ウェブに板曲げ応力が生じる。 ・定着位置をデッキ側に寄せられる。 ・引き込み作業が桁外面での作業となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2面ケーブル対応形式として用いられる。 ・桁内設置となるので、定着構造が見えない。 ・力は全てせん断力として伝達できる。 ・一般的に内部補強が不要。 ・構造がコンパクト。 ・トラス構造に使用されることが多い。よって、格点の位置に設置される。 ・アンカーブロックの設置時期が問題となる。 ・铸造品が用いられる。 ・一般的にボルト止め構造となる。 ・桁側での引き込みが困難となる。
力の流れ	<p>ケーブル → ソケット → 座金</p> <p>→ アンカーガーダー → ウェブまたは縦桁 縦シャイブ</p> <p>→ 主桁</p>	<p>ケーブル → ソケット → 座金</p> <p>→ 定着鋼管 → 主桁</p>	<p>ケーブル → ソケット → 座金</p> <p>→ アンカーブラケット → 主桁</p>	<p>ケーブル → ソケット → 座金</p> <p>→ アンカーブロック → 上弦材 又は縦桁</p> <p>→ 主桁</p>
実績	<p>かもめ大橋(1975)、かつしかハーブ橋(1987)、鳥飼仁和寺大橋(1987)、Rama大橋(1987)、菅原城北大橋(1989)、幸魂橋(1991)、とよみ大橋(1993)、鶴見航路橋(1994)</p>	<p>名港西大橋(1985)、神津大橋(1990)、エアーサイド(1990)、生口橋(1992)</p>	<p>永歳橋(1977)、合掌大橋(1979)、Luling(1982)、高梨大橋(1984)、秩父橋(1985)、弥栄大橋(1987)、仲良い橋(1987)、十勝中央大橋(1989)、不動窟橋(1989)、天保山大橋(1989)、西羽賀橋(1989)、横浜ベイブリッジ(1989)</p>	<p>榎石島橋(1988)、岩黒島橋(1988)、荒津大橋(1988)、東神戸大橋(1994)</p>

1.1.2 アンカーガーダー形式（鶴見航路橋）

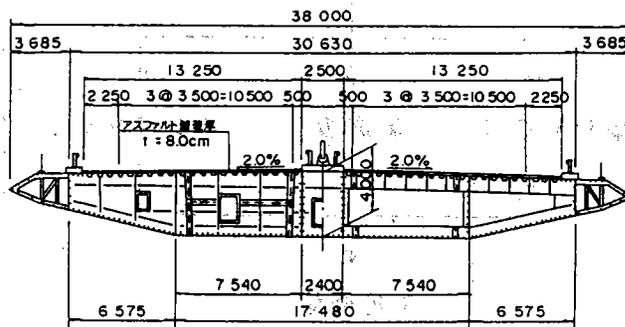
§ 1 一般図・定着構造図

1. 一般図

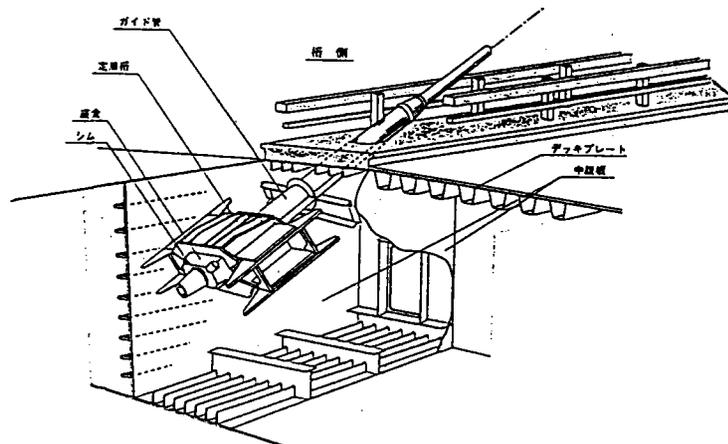
(1) 全橋側面図



(2) 標準断面図

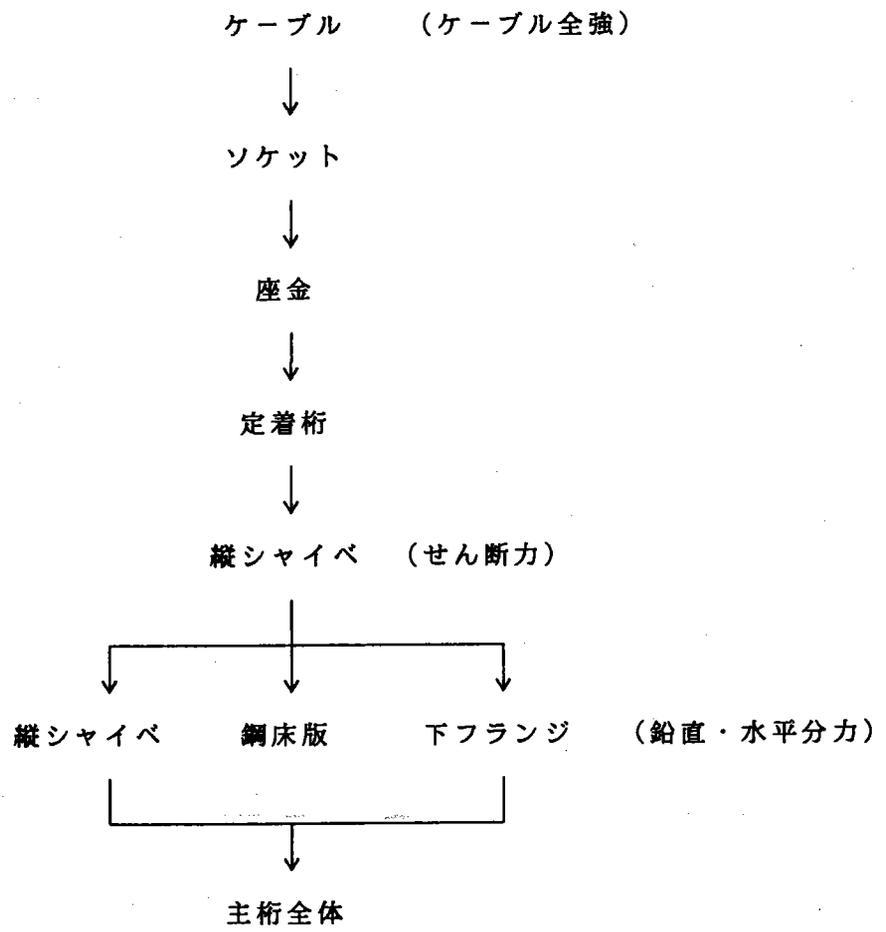


2. 定着構造図

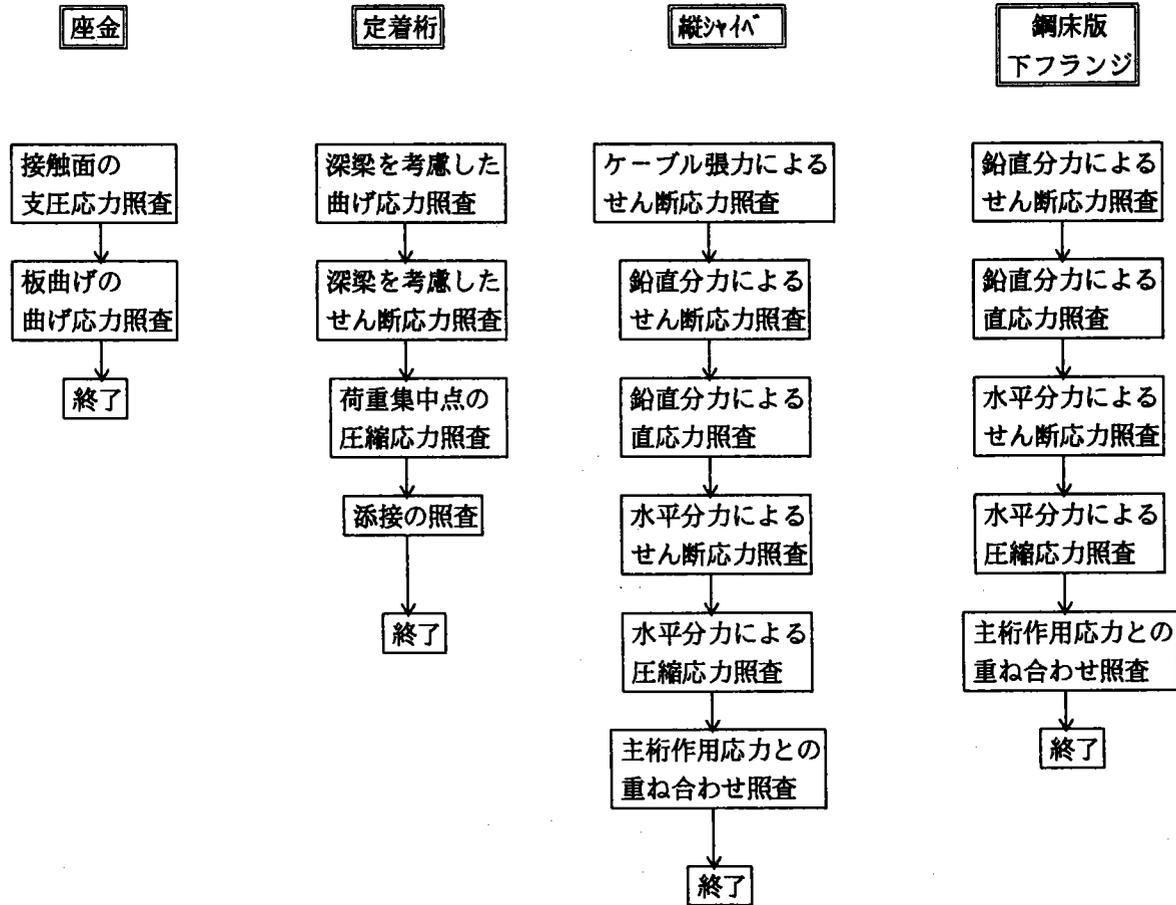


§ 2 設計手順

1. 作用力の伝達フロー



2. 設計フロー

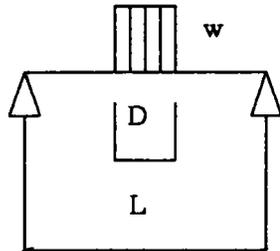


§ 3 座金の設計

1. 設計方法

- ・ 定着桁腹板で単純支持された梁とする。
- ・ ケーブル貫通による欠損部は、「応力集中」により集中係数を考慮する。

2. 設計断面力の算定



$$w = \frac{P}{D}$$

D : ソケット径

L : 定着桁腹板間隔

P : ケーブル張力

3. 応力度の照査

$$\sigma = \alpha \cdot \sigma_0 < \sigma_a$$

ここで

$$\sigma_0 = \frac{M}{W}$$

α : 応力集中係数 (1.72 ~ 1.76)

W : 欠損を考慮した断面係数

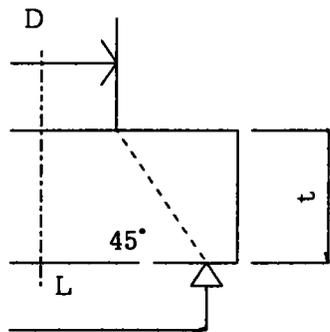
$$\tau = \frac{P/2}{A_n} < \tau_a$$

ここで

A_n : 欠損を考慮した断面積

4. 板厚の決定要因

ソケット端から 45° の荷重分布をした時に、支持点まで届くために必要な板厚を最低板厚とする。



t : 座金厚

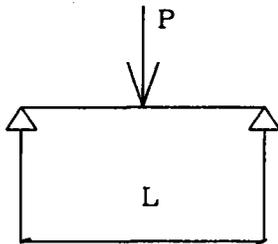
$$t = \frac{L - D}{2}$$

§ 4 定着桁の設計

1. 設計方法

- ・ 縦シャイベで支持された単純桁とする。
- ・ 深梁の影響を考慮し、FEM予備解析による初等梁理論との応力比を上・下フランジ直応力、腹板のせん断応力について考慮する。

2. 設計断面力の算定



L : 縦シャイベ間隔

3. 応力度の照査

$$\sigma = \alpha \cdot \sigma_0 < \sigma_a$$

α : 深梁の集中係数 (上下フランジ)

$$\sigma_0 = \frac{M}{W}$$

W : 開孔を控除したフランジ中での断面係数

β : 深梁の集中係数 (ウェブ)

$$\tau = \beta \cdot \frac{P/Z}{A_w} < \tau_a$$

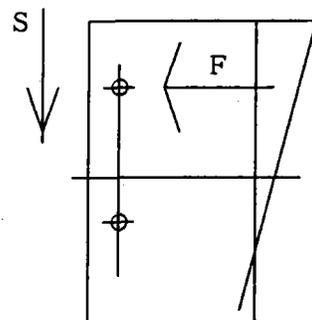
A_w : 腹板断面積

4. 連結計算

FEMで算出した直応力とせん断に対して設計する。

$$\rho = \sqrt{F^2 + \left[\frac{S}{n} \right]^2} < \rho_a$$

n : ボルト本数



5. 荷重集中点

- ・ 一般のプレートガーターと同様に、軸方向圧縮力を受ける柱として設計する。
- ・ 溶接部は、せん断が三角形分布するものとして設計し、さらに1.5の不均等を考慮する。

§ 5 縦シャイベ取り付け部の設計

1. 設計方法

- ・ 定着桁添接部より 45° 分布でせん断が伝達するものとする。
- ・ せん断力の配分は、てこ法則による。
- ・ FEMにより照査する。

2. 各桁に作用するせん断力

$$Q_{uG1} = QG \frac{HL1}{HW} \quad (\text{分布幅: } BG1)$$

$$Q_{uG2} = QG \frac{HL2}{HW} \quad (\text{分布幅: } BG2)$$

ここで、

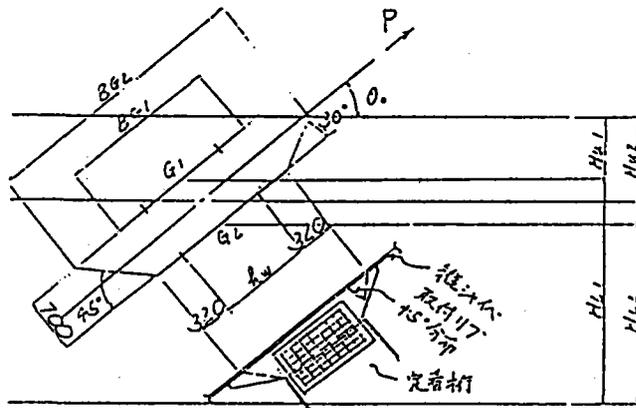
$$QG = \frac{T}{4} \quad (T: \text{ケーブル全強})$$

3. せん断応力度

$$\tau = \left[\frac{Q_{uG1}}{BG1} + \frac{Q_{uG2}}{BG2} \right] / t_s$$

ここで、

t_s : 縦シャイベ板厚

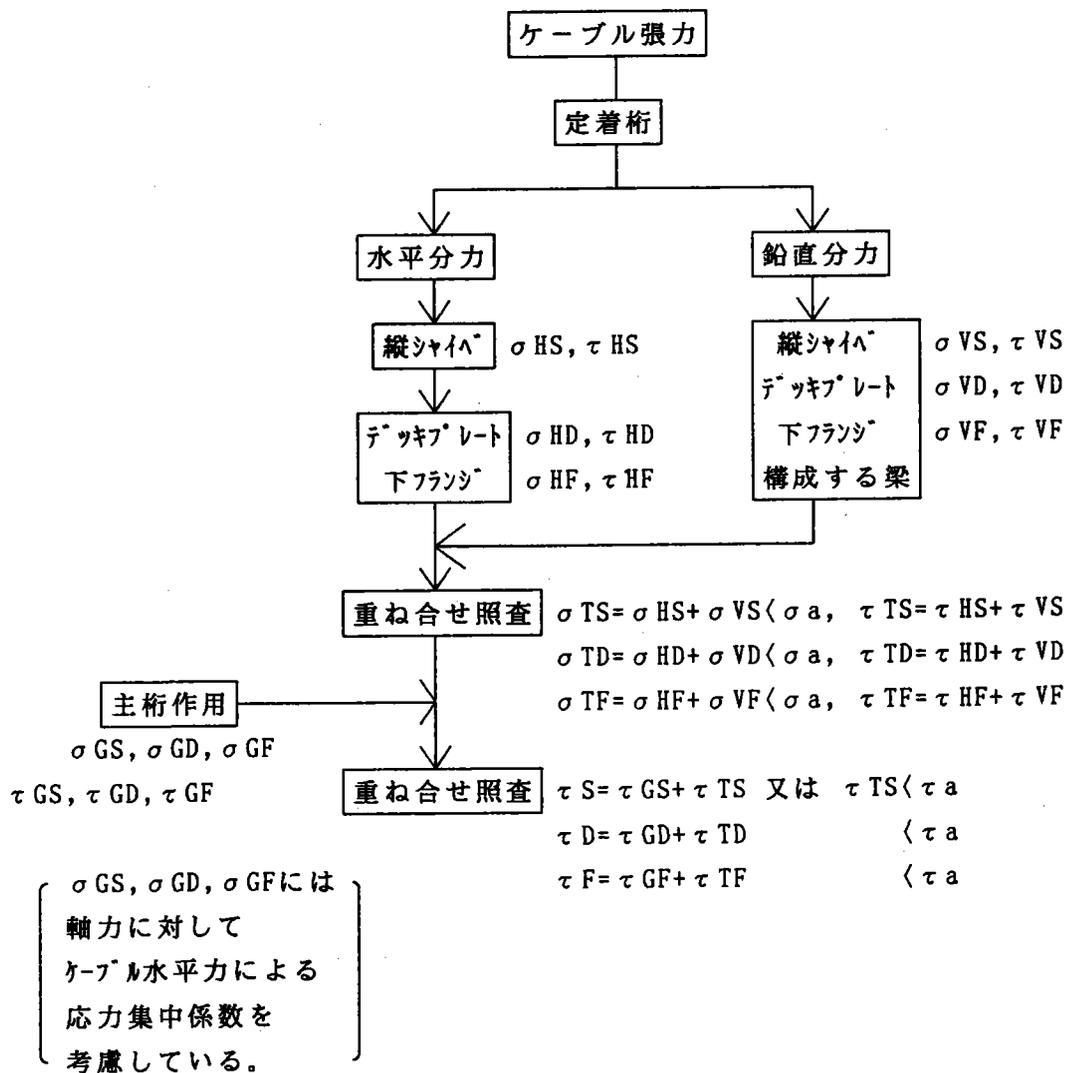


§ 6 主桁の設計

1. 設計方法

- ・「鋼橋Ⅱ」（設計編）の簡易計算法により設計する。
- ・水平分力は、縦シャイベより上下フランジに、圧縮応力・せん断応力として、断面積比により伝達される。応力の分布角度は、前方 30° 、後方 45° とする。
- ・鉛直分力は、縦シャイベと上下フランジにより構成される箱桁に作用するものとする。
- ・分布幅の範囲内にあるケーブル相互の干渉を考慮する。
- ・設計断面は、FEMにより照査する。

2. 応力度の照査要領



3. 水平分力 (P_H) による応力度の照査

(1) ケーブル水平力の分担率 η

水平分力は {縦シャイベ} と {縦シャイベを除いた主桁断面 (鋼床版+下フランジ+腹板)} に断面積比により伝達されるものとする。

$$\eta_1 = \frac{A_1}{A_1 + A_2}, \quad \eta_2 = \frac{A_2}{A_1 + A_2}$$

ここで、

η_1 : 縦シャイベへの分担率

η_2 : 縦シャイベ以外の主桁断面への分担率

A₁ : 縦シャイベへの断面積

A₂ : 縦シャイベ以外の主桁断面断面積

(2) 縦シャイベの圧縮応力度

1) 定着桁近傍の圧縮応力度

鋼床版・下フランジの 24 t を有効幅とみなした I 断面が全水平力に抵抗するものとして算定する。

$$\sigma_c = \frac{P_H / 2}{A_I} \quad A_I : I \text{ 断面の断面積}$$

2) 均等圧縮応力度

縦シャイベ断面のみで、縦シャイベ分担率に応じた水平力に抵抗するものとして算定する。

$$N = P_H \cdot \eta_1 / 2$$
$$\sigma_c = \frac{N}{A_s} \quad A_s : \text{縦シャイベの断面積}$$

(3) 縦シャイベ上下縁の応力度

定着桁 1 主桁・片側シャイベ当たりの、縦シャイベ以外の主桁断面に伝達される水平力 P は、

$$P = P_H \cdot \eta_2 / 4$$

これがそれぞれの定着桁腹板から 上下フランジにてこの法則で分配されるものとする。

「鋼床版側の水平力」

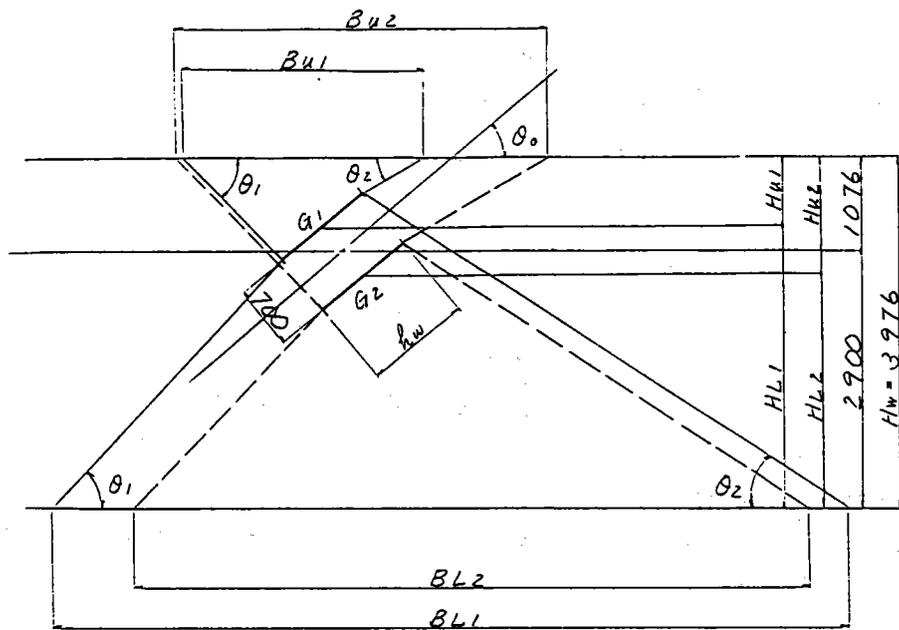
$$P_{U1} = P \cdot \frac{P_{HL1}}{H_w} \quad (\text{分布幅: } B_{U1})$$

$$P_{U2} = P \cdot \frac{P_{HL2}}{H_w} \quad (\text{分布幅: } B_{U2})$$

「下フランジ側の水平力」

$$P_{L1} = P \cdot \frac{P_{HU1}}{H_w} \quad (\text{分布幅: } B_{L1})$$

$$P_{L2} = P \cdot \frac{P_{HU2}}{H_w} \quad (\text{分布幅: } B_{L2})$$



$\theta_1 = 45^\circ$ (定着桁後方応力分布)
 $\theta_2 = 30^\circ$ (前方)

1) 鋼床版、下フランジ境界のせん断応力度

$$\tau = \Sigma \frac{P_i}{B_i \cdot t_s}$$

ここで、

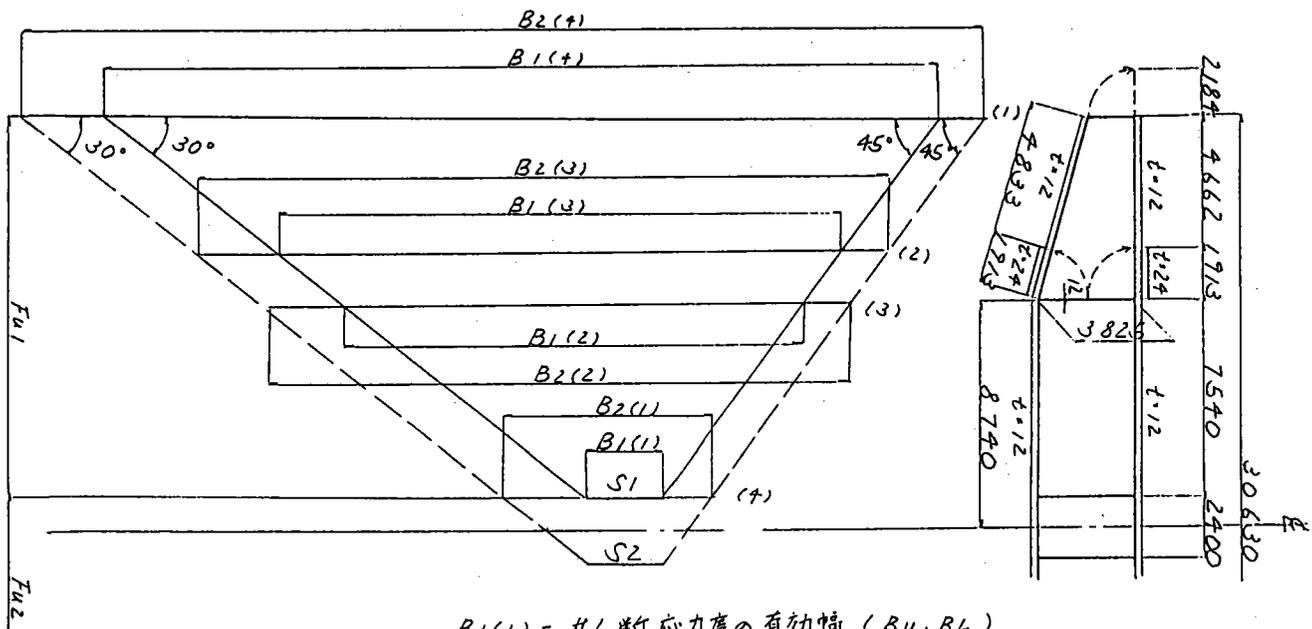
P_i : 各定着桁腹板からの水平力 (P_{Li} 、 P_{Ui})

B_i : 分布幅 (B_{Ui} 、 B_{Li})

t_s : 縦シャイベ板厚

(3) 鋼床版、下フランジのせん断応力度

鋼床版、下フランジに伝達されたせん断力の、縦シャイベ位置から橋軸直角方向への分配は、腹板の断面を図のように鋼床版、下フランジに展開して重ね、縦シャイベ位置を境にして橋軸直角方向左右の断面積比によって分配されるものとする。



$B_1(1) = \text{せん断応力度の有効幅 (} B_u, B_L \text{)}$

「任意断面におけるせん断応力度」

$$\tau = \Sigma S_i \left\{ \frac{1}{F_u \cdot t} \left(\frac{F_{u1}}{B_1} + \frac{F_{u2}}{B_2} \right) \right\}$$

ここで、

- ΣS_i : 各縦シャイベからのせん断力
($P_{u1} + P_{u2}$ または $P_{L1} + P_{L2}$)
- F_u : 鋼床版または下フランジの断面積
- F_{u1}, F_{u2} : 縦シャイベを境にした鋼床版または下フランジの断面積
- t : 鋼床版または下フランジの板厚
- B_1, B_2 : 各縦シャイベから分布幅を考えた場合の着目ラインの分布幅

(4) 鋼床版、下フランジの垂直応力度

鋼床版、下フランジに伝達されたせん断力による垂直応力度は、以下の仮定で算定する。

- ・ 分布形状は、分布角度 $\alpha = 30^\circ$ の線上で極大値、 $\beta = 45^\circ$ の線上で0となるような放物線とする。
- ・ 抵抗断面は、腹板を鋼床版、下フランジにそれぞれ展開した断面とする。
- ・ 左右に分配されたせん断力 Q_1, Q_2 が、分布角度 α 線と自由端の交点となる断面上で均等化された垂直応力に分散されるとすると、等分布圧縮応力度 $\sigma_{1(i)}$ (1), $\sigma_{1(i)'}'$ は以下の通りとなる。

$$\sigma_{1(i)} = \frac{Q_1}{\sum F_i} \quad \left[\begin{array}{l} \text{ただし、} \\ Q_j = \frac{F_{Uj}}{F_U} \cdot \sum S_j \end{array} \right]$$

$$\sigma_{1(i)'} = \frac{Q_1}{\sum F_i}$$

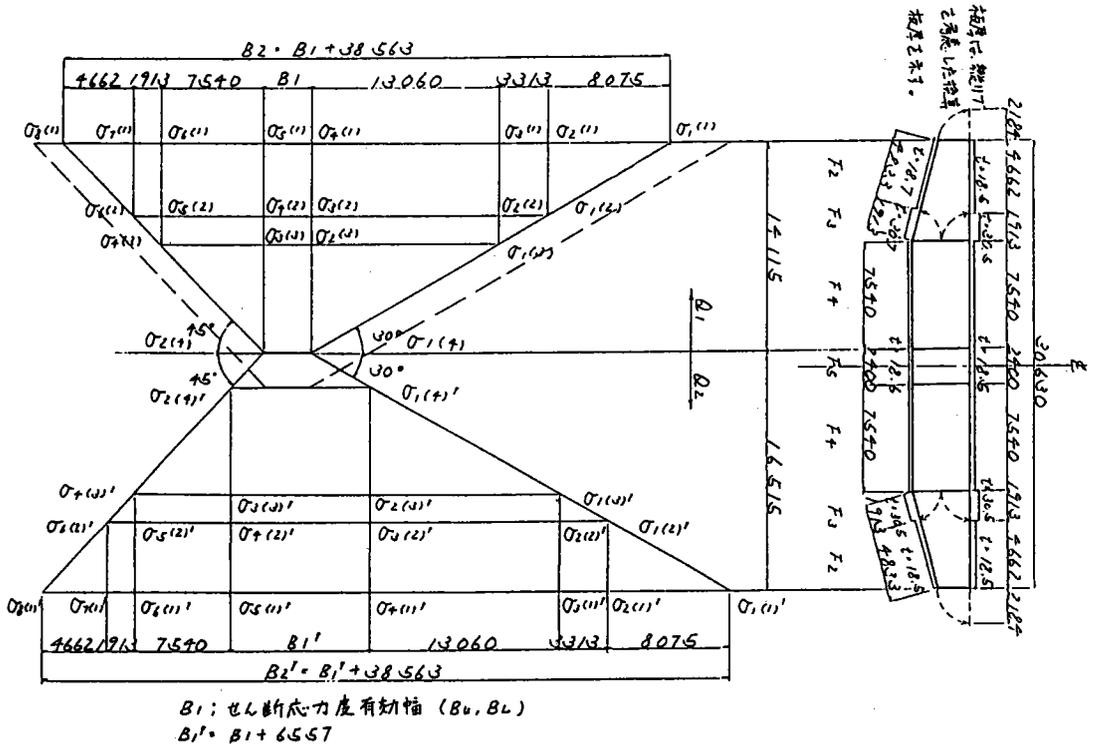
- ・ 分布角 α 線上の垂直応力度 $\sigma_{1(i)}$ は、橋軸に直角な断面上での橋軸方向の力の釣り合いより、次式で表される。

1

$$\sigma_{1(i)} = \frac{F_i + 2(F_{i+1} + \dots + F_n)}{2Q_1 - (\sigma_{1(i)} F_2 + \sigma_{1(i-1)}(F_2 + F_3) + \dots + \sigma_{2(i-1)}(F_{i-1} + F_i))}$$

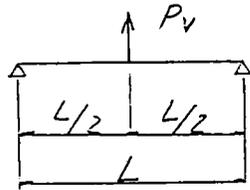
ただし、 $i \geq 2$

なお、 F_i に作用する鉛直応力は $\sigma_{(i)}$ と $\sigma_{(i-1)}$ の平均である。



4. 鉛直分力 (P_v) による応力度の照査

鉛直分力による応力度は、ダイアフラム間隔を支間とした、縦シャイベと鋼床版・下フランジで構成される単純梁として算定する。



L : ダイアフラム間隔

P_v : 鉛直分力

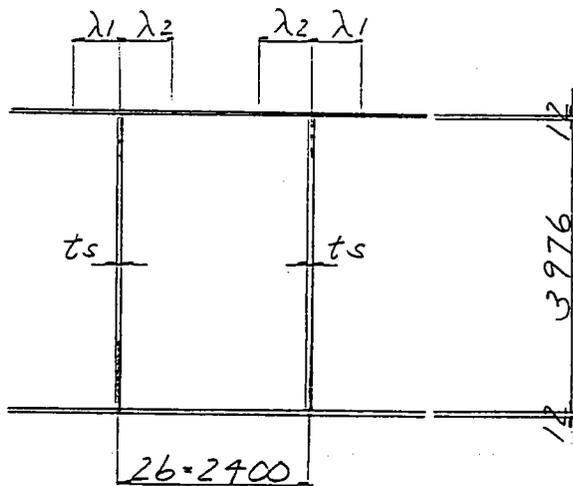
$$M = \frac{P_v \cdot L}{4}$$

$$S = \frac{P_v}{2}$$

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

ここで、

I : 下図の有効幅を考慮した断面の断面二次モーメント



λ₁, λ₂ : フランジ有効幅

$$\lambda_1 = 0.15 L$$

$$\begin{cases} \lambda_2 = \left\{ 1.1 - 2 \left(\frac{b}{L} \right) \right\} b & \left(\frac{b}{L} > 0.05 \right) \\ \lambda_2 = 0.15 L & \left(\frac{b}{L} < 0.30 \right) \\ & \left(\frac{b}{L} > 0.30 \right) \end{cases}$$

$$B = 2(\lambda_1 + \lambda_2)$$

ts = 縦シャイベ厚

5. 主桁応力度との重ね合わせ

計算で得られた定着部の応力は、着目ケーブルの影響を含まない定着格点手前の位置での主桁応力度と重ね合わせを行い、合計応力度の照査を行った。このとき、応力度の割増しは行わない。

§ 7 定着桁の溶接設計

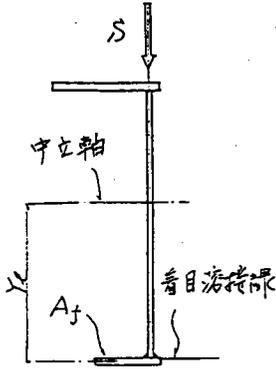
1. 腹板と非定着側フランジの溶接

溶接線に作用する水平せん断力で計算し、1.5倍の割増しを考慮する。

「必要溶接サイズ a req」

$$a_{req} = \frac{H \times 1.5}{\tau_a} = \frac{S \cdot Q}{I} \times 1.5 \times \frac{1}{\tau_a}$$

ここで、



H : 水平せん断力

I : 断面2次モーメント

Q : 着目溶接線から外側断面の中立軸
に対する断面1次モーメント

$$Q = A_f \cdot y_1$$

S : 作用せん断力

τ_a : 溶接部の許容せん断応力度

2. 腹板・ダイアフラム・補剛材と定着側フランジとの溶接

支圧応力度を伝えられる溶接量とし、所要寸法の1.5倍以上の溶接サイズとする。

「必要溶接サイズ a req」

$$a_{req} = \frac{\sigma_b \times t}{\tau_a} \times 1.5$$

ここで、

σ_b : 支圧応力度

t : 母材板厚

τ_a : 溶接部の許容せん断応力度

3. 縦シャイベと腹板の溶接

せん断応力度を伝えられる溶接量とし、所要寸法の2倍以上の溶接サイズとする。

「必要溶接サイズ a req」

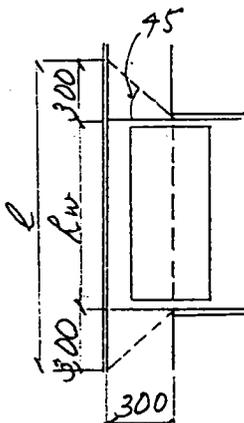
$$a_{req} = \frac{S}{\tau_a \times l} \times 2$$

ここで、

S : 作用せん断力

l : 連結部の長さ

τ_a : 溶接部の許容せん断応力度

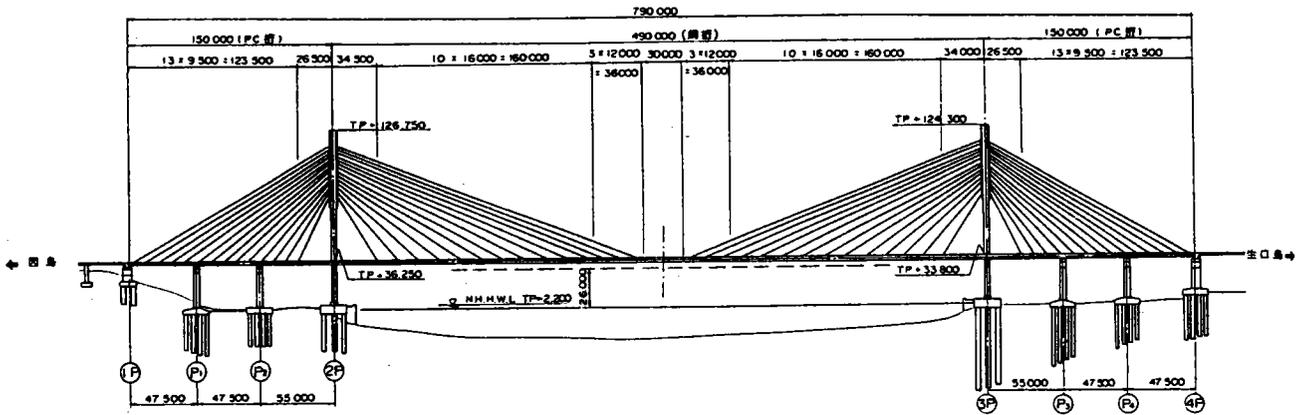


1.1.3 パイプアンカー形式（生口橋）

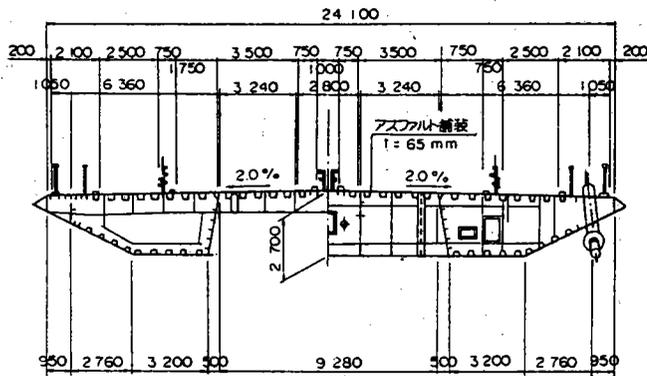
§ 1 一般図・定着構造図

1. 一般図

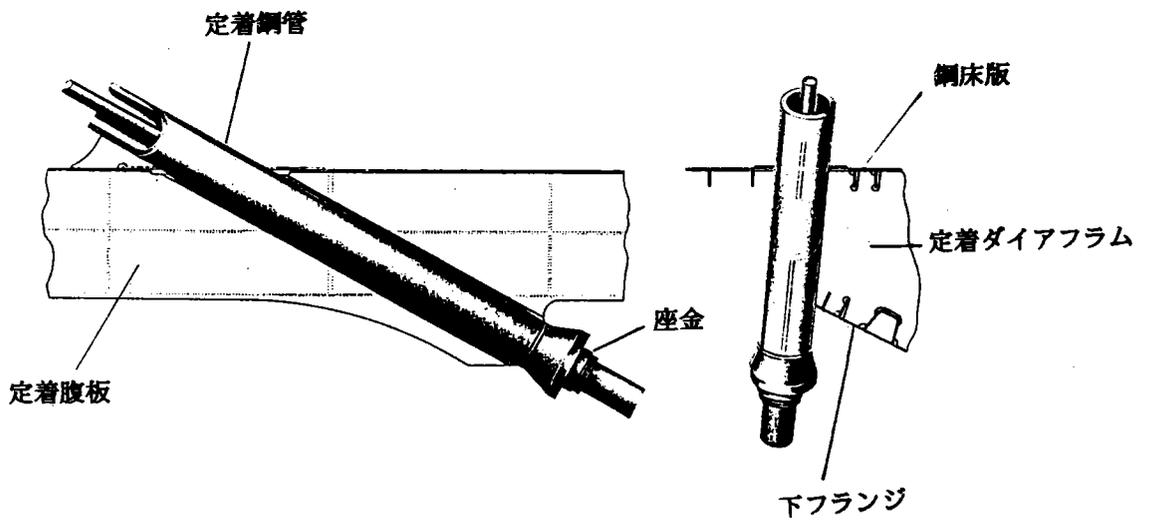
(1) 全橋側面図



(2) 標準断面図

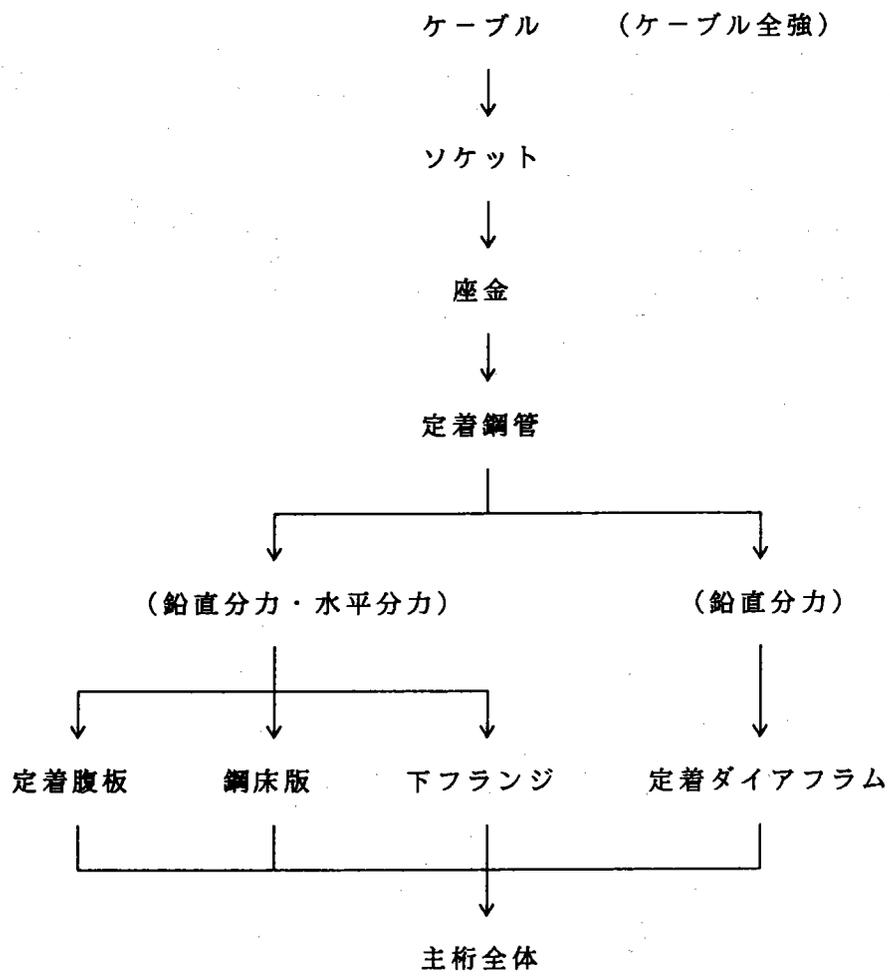


2. 定着構造図

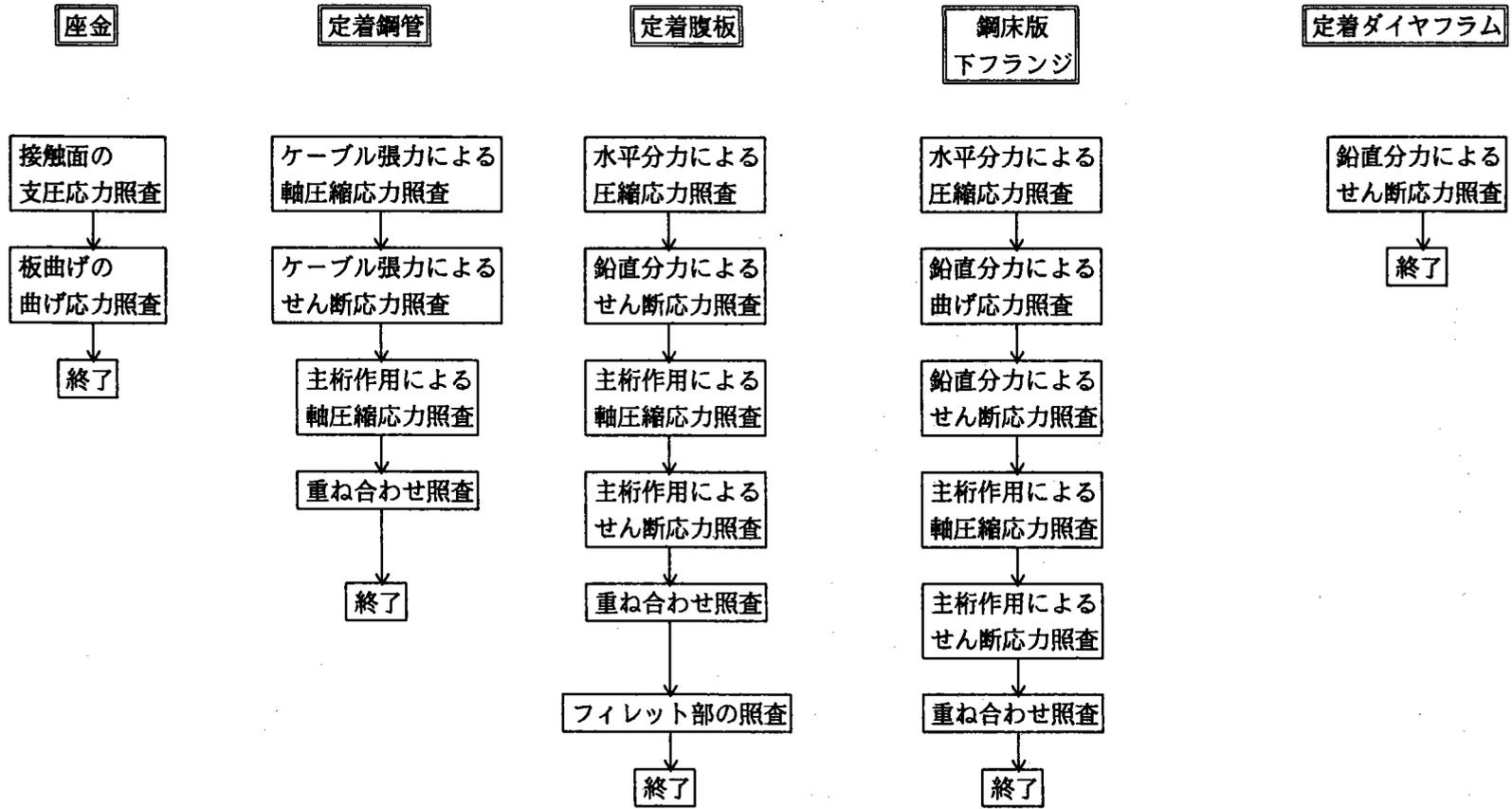


§ 2 設計手順

1. 作用力の伝達フロー



2. 設計フロー



§ 3 座金の設計

1. 設計方法

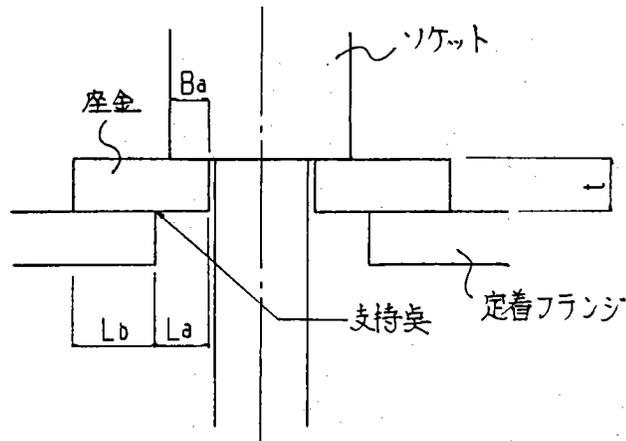
定着フランジの貫通孔位置で支持された単位幅の片持ち梁とする。

2. 設計断面力の算定

以下の2通りのうち大きな方を用いる。

$$M_a = B_a \times \sigma_a \times \left[L_a - \frac{B_a}{2} \right]$$

$$M_b = \frac{L_b^2 \times \sigma_b}{2}$$



3. 応力度の照査

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

ここで

$$W = \frac{t^2}{6}$$

$$\tau = \frac{B_a \times \sigma_a}{t} = \frac{L_b \times \sigma_b}{t} < \tau_a$$

§ 4 定着鋼管の設計

1. 設計方法

鋼管の設計は、鋼管方向の圧縮応力度とせん断応力度を考慮する。これらの応力度に対しては、応力集中係数を考慮する。

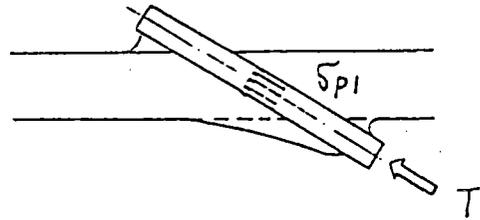
2. 鋼管方向圧縮応力度 σ_p

(1) ケーブル張力による圧縮応力度: σ_{p1}

$$\sigma_{p1} = \rho_{p1} \cdot \frac{T}{A_p}$$

A_p : 鋼管の断面積

ρ_{p1} : 応力集中係数 (= 1.1)

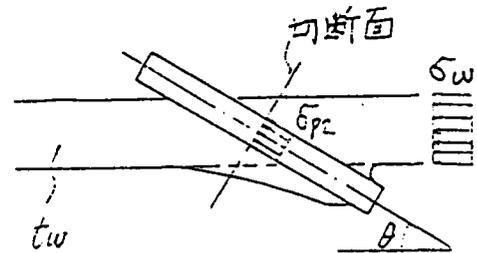


(2) 主桁作用による圧縮応力度: σ_{p2}

$$\sigma_{p2} = \rho_{p2} \cdot \sigma_w \cdot \cos^2 \theta \cdot \frac{t_w}{t_p}$$

ρ_{p2} : 応力集中係数 (= 1.3)

σ_w : 腹板厚 (補強後)



(3) 重ね合せ照査

$$\sigma_p = \sigma_{p1} + \sigma_{p2} \leq \sigma_p$$

3. せん断応力度: τ

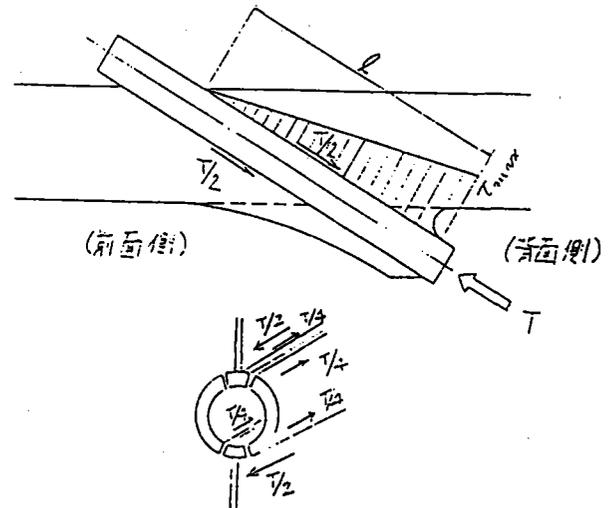
ケーブル張力によるせん断力 τ を考慮する。

$$\tau = \rho \cdot \frac{T}{2 \cdot l \cdot t_p}$$

ρ : 応力集中係数 (= 1.3)

l : 鋼管の定着長 (背面側)

t_p : 鋼管の肉厚



4. 合成応力度の照査

合成応力度の照査は、鋼管の下端部で行う。

$$\left[\frac{\sigma_p}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_a} \right]^2 \leq 1.2$$

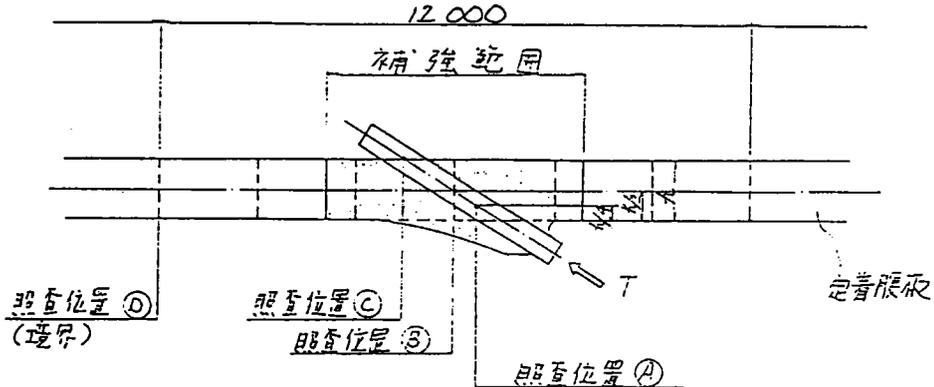
§ 5 定着腹板の設計

1. 設計方法

定着腹板の設計は、ケーブル張力の水平分力による橋軸方向圧縮応力度と鉛直分力による付加応力度と主げた作用による応力度とを合成して照査する。また、鋼管方向せん断応力度の照査も同時に行う。

2. 定着部の設計範囲

定着部の設計範囲、補強範囲及び定着腹板の照査位置は下図とする。



3. 橋軸方向圧縮応力度

(1) ケーブル張力の水平分力による圧縮応力度： σ_i

$$\sigma_i = \frac{H(x)}{A_0'}$$

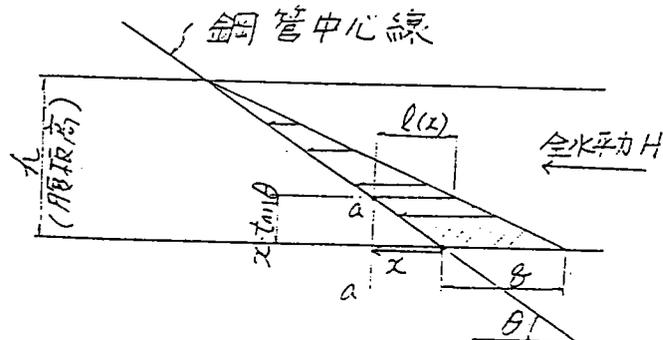
$H(x)$: 任意断面に作用する仮定水平力

A_0' : 任意断面における有効断面積 (補強後)

1) 任意断面に作用する仮定水平力の算出： $H(x)$

任意の照査断面 a-a に作用する仮定水平力 $H(x)$ は、全水平力 H を下図に示すような鋼管中心線に沿った三角形分布とした時の面積とする。

つまり全水平力は三角形面積と等しいとする。



$$H = 1/2 \cdot q \cdot h \quad \therefore q = \frac{2 \cdot H}{h} \quad \text{--- ①式}$$

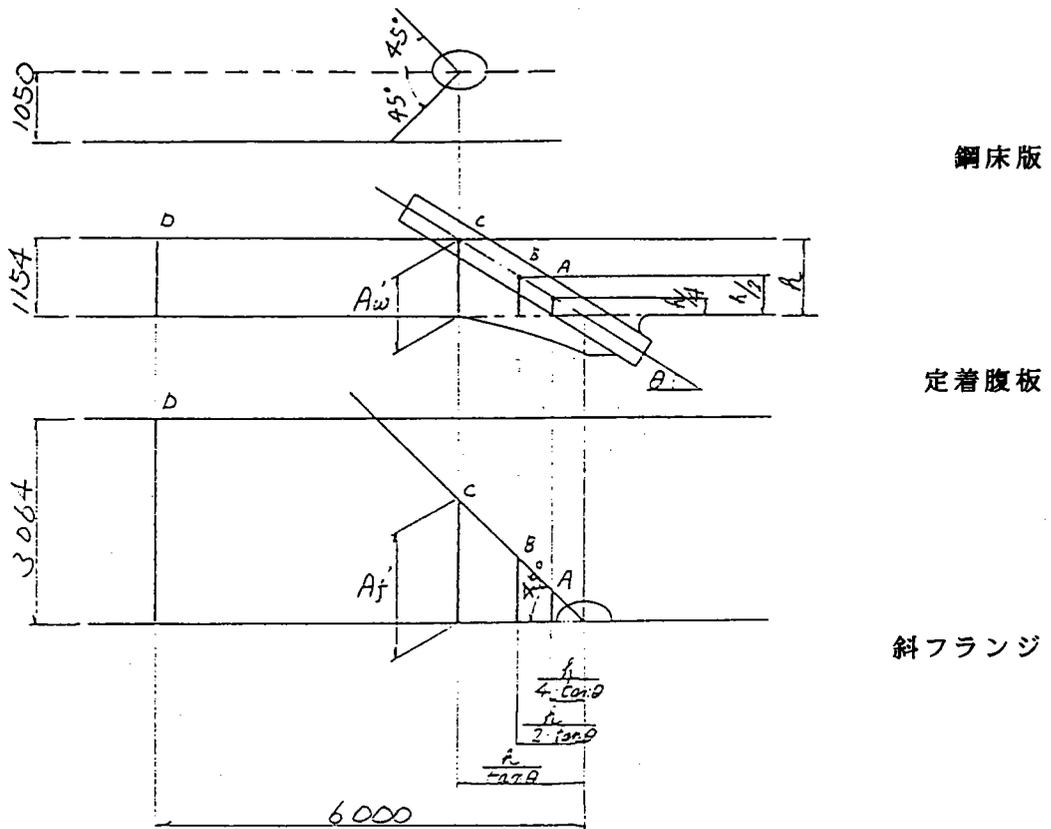
$$l(x) = \frac{(h - x \cdot \tan \theta)}{h} q \quad \text{--- ②式}$$

①、②式より斜線部の合計面積を仮定水平力 $H(x)$ とする。

$$H(x) = \frac{l(x) + q}{2} \cdot x \cdot \tan \theta = \frac{H \cdot x \cdot \tan \theta}{h^2} \cdot (2h - x \cdot \tan \theta)$$

2) 有効断面積の算出: A_e 。

任意断面の有効断面は、下図に示すように定着腹板では、フィレット部及び鋼管背面を無視した部分で、鋼管中心から 45° 分布するものとして求める。



注) A、B、C、Dは応力照査位置

$$A_e' = A_w' + A_f'$$

A_w' : 定着腹板の有効断面積 (補強後)

A_f' : 斜フランジの有効断面積 (補強後)

(2) 主桁作用による応力度は、有効断面積比により低減を行う。

$$\sigma_o = \sigma_w \cdot \frac{A_o}{A_e'}$$

σ_w : 主桁作用応力度

A_o : 補強前有効断面積

A_e' : 補強後有効断面積

(3) 重ね合せ照査

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_0 \leq \sigma_a$$

4. せん断応力度の照査

(1) ケーブル張力によるせん断応力度

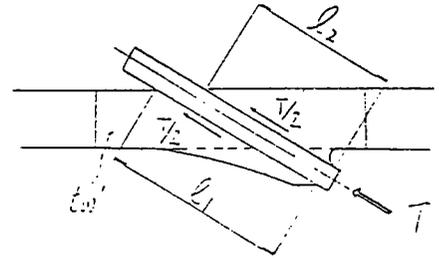
ケーブル張力によるせん断応力度は、鋼管軸方向のせん断応力度と鉛直分力によるせん断応力度を考慮する。

1) 鋼管軸方向せん断応力度： τ_{ti}

照査位置は、鋼管前面と背面の2箇所とする。

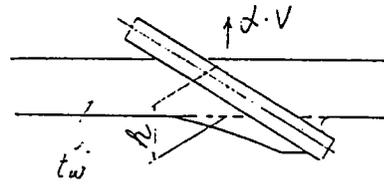
$$\tau_{ti} = \rho_{ti} \cdot \frac{T/2}{l_i \cdot t_w}$$

$$\rho_{ti} : \text{応力集中係数} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{前面} = 1.3 \\ \text{背面} = 1.3 \end{array} \right.$$



2) 鉛直方向せん断応力度： τ_{ti}'

$$\tau_{ti}' = \frac{\alpha \cdot V}{h \cdot t_w'}$$



α : ケーブル張力の鉛直分力による腹板への分担率 (= 0.4)

(2) 主桁作用によるせん断応力度： τ_0

主桁作用による応力度は、板厚比により低減を行う。

$$\tau_0 = \tau_w \cdot \frac{t_w}{t_w'}$$

t_w : 定着腹板厚

(3) せん断応力度の重ね合せ

$$\tau = \tau_{ti}' + \tau_0 \leq \tau_a$$

5. 合成応力度の照査

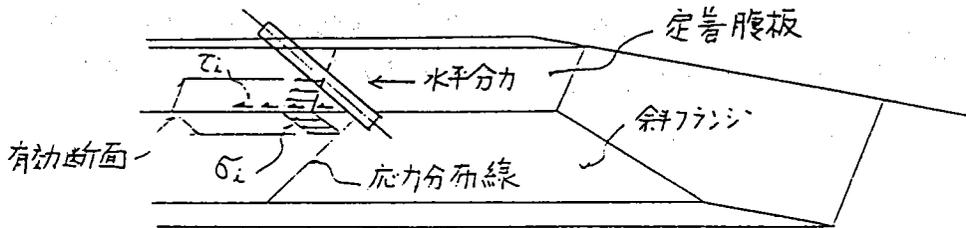
$$\left[\frac{\sigma}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_a} \right]^2 \leq 1.2$$

§ 6 斜フランジ・鋼床版の設計

1. 設計方法

斜フランジの設計は、ケーブル張力の水平分力による橋軸方向付加応力度と主桁作用による応力度を合成して行う。またケーブル張力の鉛直分力による橋軸直角方向応力度についても考慮し、橋軸方向との二軸応力度の検算も行う。

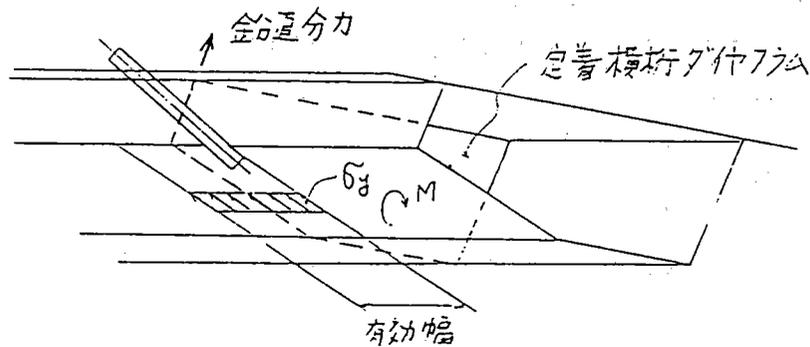
・水平分力による応力度



σ_i : 橋軸方向圧縮応力度

τ : せん断応力度

・鉛直分力による応力度



σ_y : 橋軸直角方向曲げ応力度

2. 橋軸方向圧縮応力度

(1) ケーブル張力の水平分力による圧縮応力度 : σ_i

定着腹版の設計手法と同様な考え方とする。

$$\sigma_i = \frac{H(x)}{A_e'}$$

$H(x)$: 任意断面に作用する仮定水平力

A_e' : 任意断面における有効断面積 (補強後)

照査についても定着腹版と同様とする。

(2) 主桁作用による圧縮応力度 : σ_0

主桁作用による応力度は、有効断面積比により低減を行う。

$$\sigma_0 = \sigma_f \cdot \frac{A_0}{A_e'}$$

- σ_f : 主桁作用応力度
- A_0 : 補強前有効断面積
- A_0' : 補強後有効断面積

(3) 重ね合せ照査

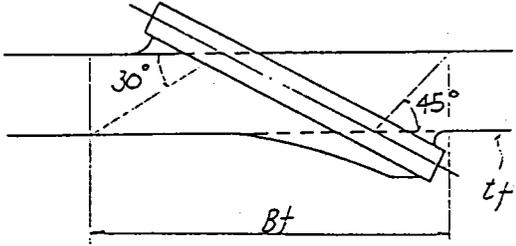
$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_0 \leq \sigma_a$$

3. せん断応力度の照査

(1) ケーブル張力によるせん断応力度： τ_1

定着腹板と斜フランジの境界上には、ケーブル張力の水平分力によるせん断応力が作用する。せん断分布幅は、FEM解析結果から下図の通りとする。

$$\tau_1 = \frac{H}{B_f \cdot t_f}$$



ここに H : ケーブル張力による水平分力
 B_f : 有効分布幅
 t_f : 斜フランジ板厚

(2) 主桁作用によるせん断応力度

主桁作用による応力度は、増厚補強を行った板厚比により低減を行う。

$$\tau_0 = \tau_f \cdot \frac{t_f}{t_f'}$$

(3) 重ね合せ照査

$$\tau = \tau_1 + \tau_0 \leq \tau_a$$

せん断力の符号については安全側とするため、各々の絶対値を加算する。

4. 橋軸直角方向曲げ応力度

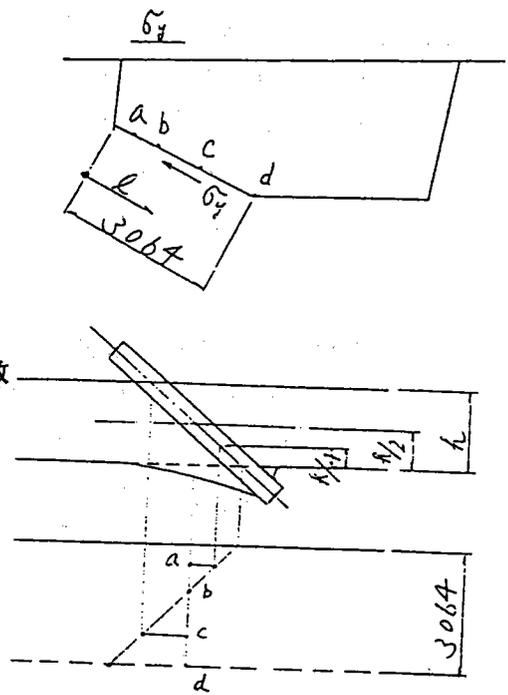
曲げ応力度の算出は、定着横桁ダイアフラム位置で行いフランジの有効幅は、道示 8.

3. 4に準じる。

$$\sigma_v = \frac{M}{W} = \frac{\alpha \cdot V \cdot l}{W}$$

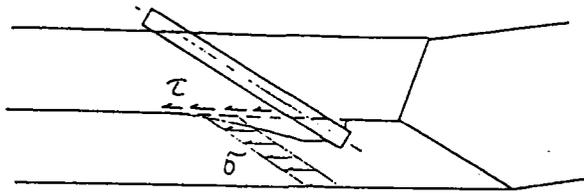
- ここに M : 照査位置曲げモーメント
- $M = \alpha \cdot v \cdot l$
- α : 鉛直分力による分担率 (= 0.4)
- l : 照査位置までの距離
- W : 鋼床板、斜フランジの有効断面積を考慮したダイアフラムの断面定数

右図 a、b、c、d は応力度照査位置



5. 合成応力度の照査

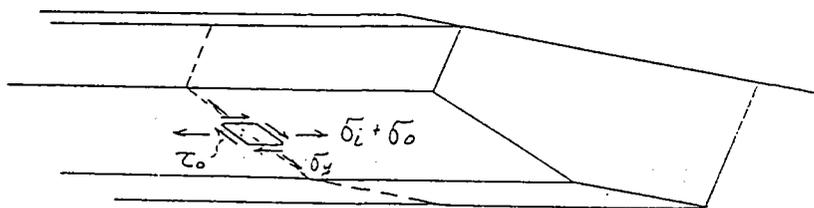
定着腹板と斜フランジの境界線上で合成応力度の照査を行う。



$$\left[\frac{\sigma}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_a} \right]^2 \leq 1.2$$

6. 二軸応力度の照査

水平分力による橋軸方向の付加応力と主桁作用による応力を重ね合せ、鉛直分力による橋軸直角方向の垂直応力との二軸応力度の検算を行う。



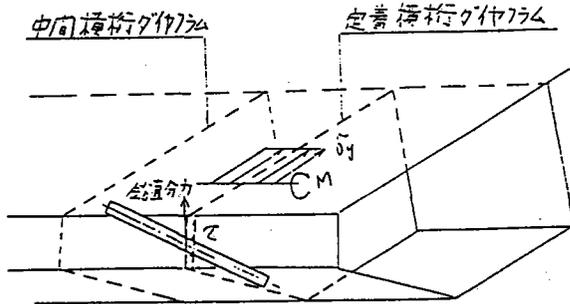
$$\left[\frac{\sigma_i + \sigma_0}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\sigma_y}{\sigma_a} \right]^2 - \left[\frac{\sigma_i + \sigma_0}{\sigma_a} \right] \cdot \left[\frac{\sigma_y}{\sigma_a} \right] + \left[\frac{\tau_0}{\tau_a} \right]^2 \leq 1.2$$

§ 7 横桁ダイアフラムの設計

1. 設計方法

定着横桁ダイアフラムの設計は、ケーブル張力の鉛直分力によるせん断応力度及び橋軸直角方向垂直応力度を考慮する。なお、せん断力は、ケーブル張力の鉛直分力に対し、格子分配を考慮して算出する。せん断力における鉛直力の分担率は、次の通りとする。

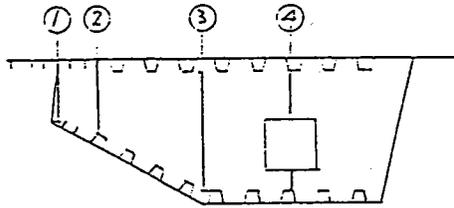
- ・ 定着横桁ダイアフラム $S = 0.6 \cdot V$
- ・ 中間横桁ダイアフラム $S = 0.25 \cdot V$



τ : せん断応力度
 α : 橋軸直角方向曲げ応力度

2. せん断応力度の照査

$$\tau = \frac{\alpha \cdot V}{h_d \cdot t_d}$$



①～④は応力度照査位置

ここに α : 鉛直分力の分担率

定着横桁ダイアフラム = 0.6

中間横桁ダイアフラム = 0.25

t_d : ダイアフラム板厚

h_d : 応力照査位置の高さ

3. 橋軸直角方向曲げ応力度

鋼床板、斜フランジと同様に求める。

$$\alpha_v = \frac{M}{W} = \frac{\alpha \cdot V \cdot l}{W}$$

ここに M : 照査位置曲げモーメント

$$M = \alpha \cdot V \cdot l$$

α : 鉛直分力の分担率 (= 0.4)

l : 照査位置までの距離

W : 断面係数

4. 合成応力度の照査

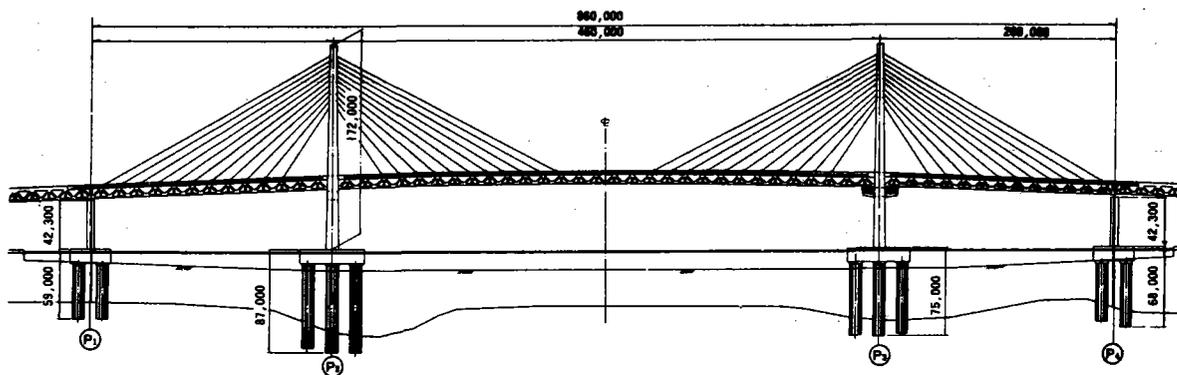
合成度の照査位置は、せん断応力度の算出点とする。

$$\left[\frac{\sigma_v}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_a} \right]^2 \leq 1.2$$

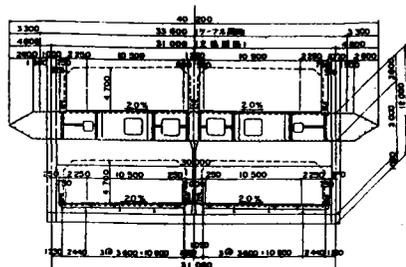
1.1.4 ブラケット形式（横浜ベイブリッジ）

§ 1. 一般図・定着構造図

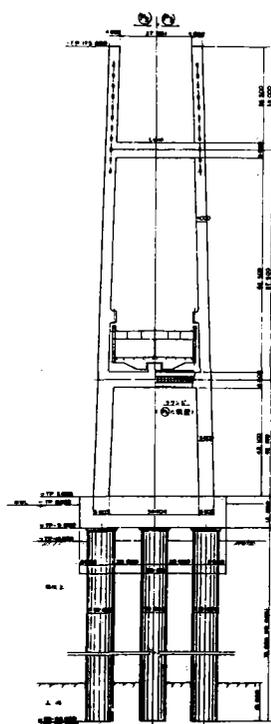
1. 一般図



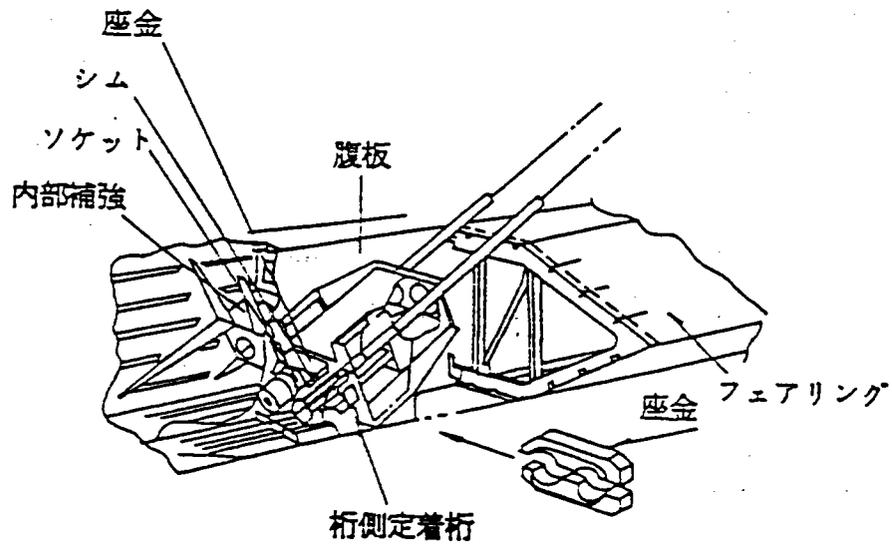
【主桁断面図】



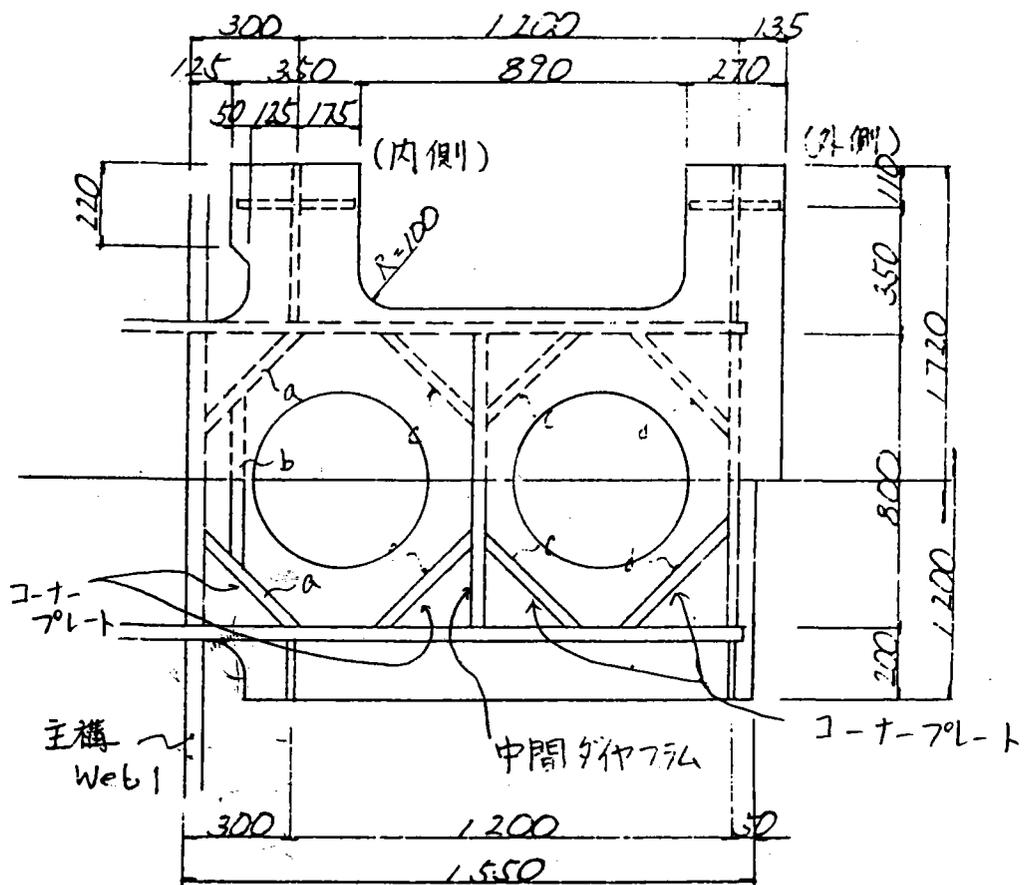
【塔】



2. 定着桁構造図

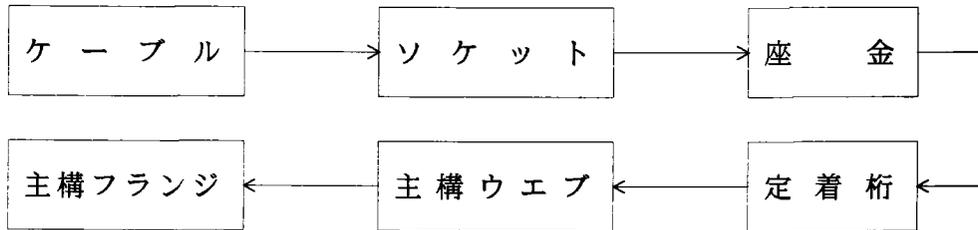


定着桁断面図

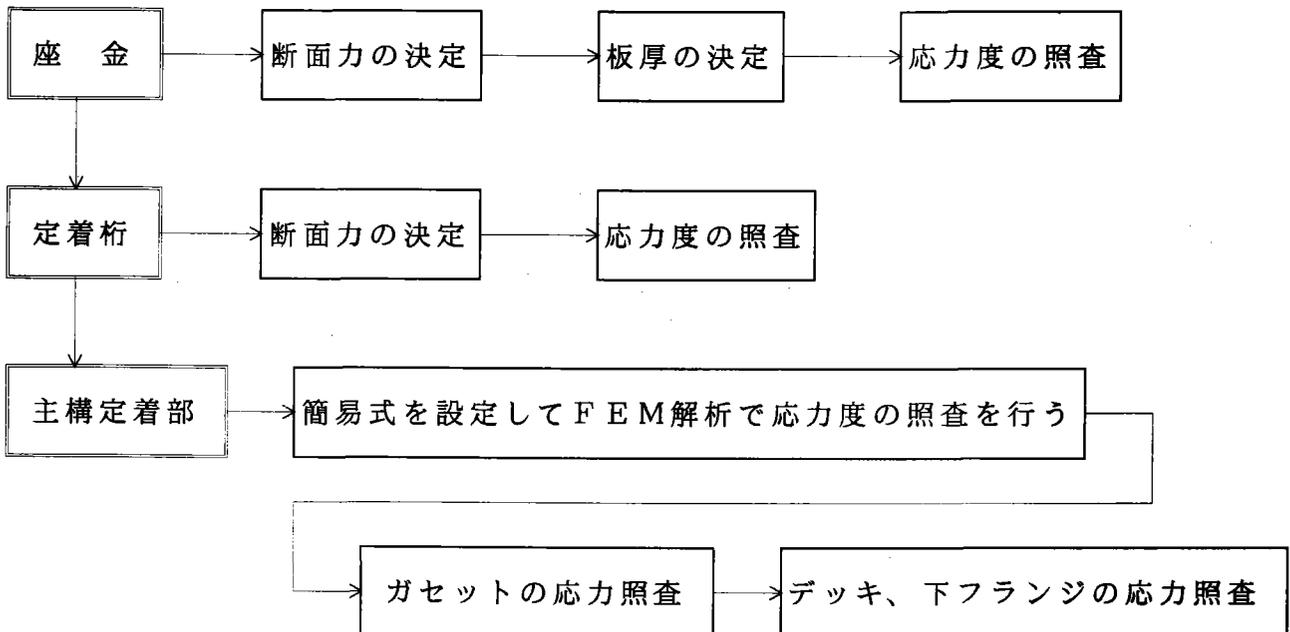


§ 2. 設計手順

1. 力の伝達



2. 設計フロー

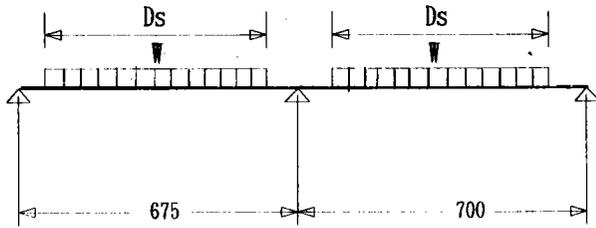


§ 3. 座金の設計

1) 設計方法

- ・コーナプレートが無視し、座金端及び中間ダイヤフラムで支持された2径間連続梁として計算する。
- ・応力度は欠損部と中間支点上で照査する。
- ・欠損部は西田著「応力集中」により集中係数を考慮する。

2) 設計断面力の算定



D_s : ソケット径

P : ケーブル張力 (一本分)
とすると

$$W = \frac{P}{D_s} \quad (\text{t/m})$$

3) 応力度の照査

a) 欠損部 (a-a断面)

$$\sigma = \alpha \cdot \sigma_0 \leq \sigma_a$$

ここで

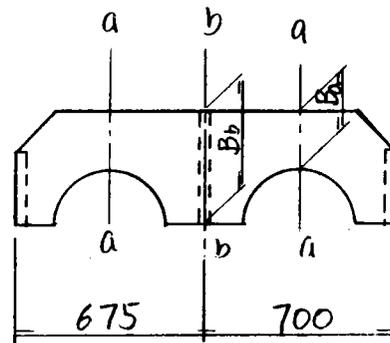
α : 応力集中係数

$$\sigma_0 : \frac{6M_a}{B_a \cdot t^2}$$

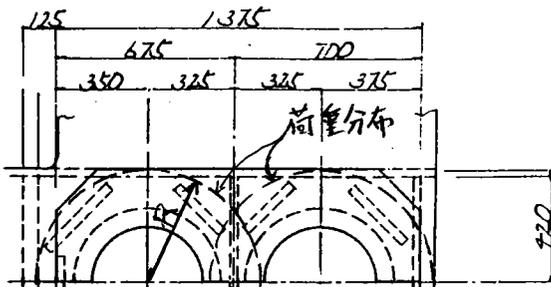
b) 中間支点上 (b-b断面)

全幅有効とする。

$$\sigma = \frac{6M_b}{B_b \cdot t^2} \leq \sigma_a$$



4) 板厚



コーナプレートや定着桁ウェブ、ダイヤフラムに荷重を伝達するため、 $R \geq 420 \text{ mm}$ とする。
荷重分布角度を 45° とすると

$$D_{s \cdot \min} = 390 \text{ mm}$$

$$t \geq 420 - D_{s \cdot \min} \times 1/2 = 225 \text{ mm}$$

よって最小板厚は 230 mm とする。

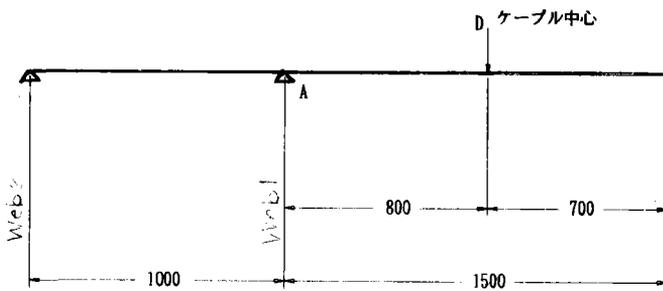
§ 4. 定着桁の設計

1) 設計方法

- ・桁のウェブを支点とする引出し梁とし、軸力は無視して曲げとせん断をうける部材として設計する。
- ・上下フランジの板厚は同一とし、ウェブは水平補剛材を必要としない板厚とする。
- ・ケーブル貫通による欠損部は「応力集中」により集中係数を考慮する。

2) 設計断面力

梁根元断面力



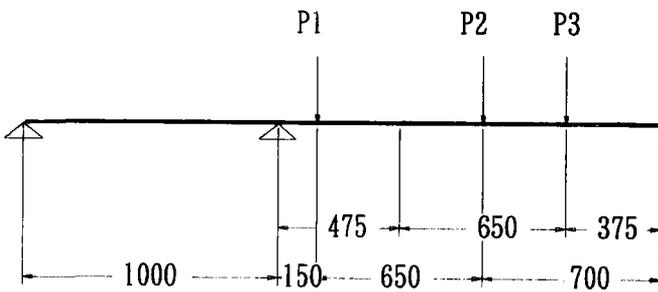
$$M_A = 0.800P$$

$$S_A = P$$

ここで

P : ケーブル張力 (2本分)

欠損部照査用断面力



$$M_B = 0.325P_2 + 0.650P_3$$

ここで

$$P_3 = P/2$$

$$P_1 = 0.32 \times P/2 \quad \text{座金計算時の反力分担率で、安全側の}$$

$$P_2 = 0.68 \times P/2 \quad \text{値を採用している。}$$

$$\therefore M_B = 0.4355P$$

3) 応力度の照査

a) 梁根元の応力度照査

$$\cdot \sigma = K_{\sigma} \times \sigma_{\circ} \leq \sigma_a$$

垂直応力度

$$\sigma_{\circ} = \frac{M_A}{I} y$$

$$\cdot \tau = \frac{S_A}{A_w} \leq \tau_a$$

σ : ディープビームの影響を考慮した

k_{σ} : ディープビームの影響による係数

σ_{\circ} : 有効幅を考慮した垂直応力度

b) 貫通孔位置での応力度照査

$$\cdot \sigma = \alpha \times \sigma_{\circ} \leq \sigma_y / \nu$$

$$\alpha = 2 + \frac{b - \rho}{b}$$

$$\sigma = \frac{M_B}{I} \times y$$

b : フランジ幅 (2 b) の半分

ρ : 貫通孔の半径

σ_y : 降伏応力度

ν : 安全率

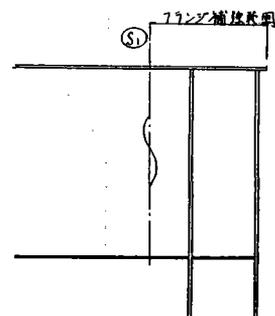
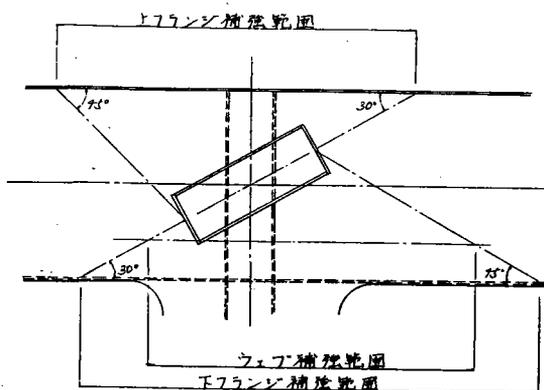
4) 連結部

定着桁と本体ウェブとの交差部は完全溶込み溶接とする。

§ 5. 主構定着部の設計

1) 設計方法

- ・ 応力度を把握するため簡易式を設定し、F E M解析で照査する。簡易式で計算された応力度がF E Mと比べて危険でなく、またそれほど不経済でなければ、その簡易式は有効と考える。
- ・ 定着部の板厚は、下記の項目に対しておのこのの応力度を簡易式によって評価し、これを組合せて局部応力度の照査及び全体応力度（二軸応力状態）の照査を適用し決定する。
 - ① 隅角部応力度
 - ② ケーブル定着による付加応力度
 - ③ ガセットとしての橋軸方向応力度
- ・ 簡易式を用いる際は以下の条件を考慮する。
 - ① 応力度の算出に用いる部材力は荷重組合せの同時性を考慮する。すなわち、D + Lの照査では上路箱桁、床ラーメン、ケーブル張力ともにD + Lを用いる。ただし、荷重の同時性をもたないため、D + Lでは着目点に対して最も不利な応力度をピックアップする。
 - ② 定着部ウェブの板厚、材質はウェブ1、2共に同一とする。
 - ③ デッキ及び下フランジの板厚は、前後の板厚構成を考え逆テーパーとならないような板厚とする。
 - ④ 定着部として決定された板厚、材質の補強範囲は下図の通り。



2) 応力度の照査

a) ガセット

・局部応力度の照査

$$\sigma_M = \sigma_o + \sigma_{TH} < \sigma_a \quad \text{①}$$

$$\sigma_v = \sigma_R + \sigma_{TV} < \sigma_a \quad \text{②}$$

$$\tau < \tau_a \quad \text{③}$$

ここで

σ_o : 上路箱桁弦材部応力度

σ_{TM} : ケーブル水平分力による橋軸方向応力度

σ_R : 隅角部計算による鉛直方向応力度

σ_{TV} : ケーブル鉛直分力による鉛直方向応力度

τ : ケーブル定着桁の取付位置のせん断応力度

・全体応力度の照査

$$\sigma_H = \sigma_o \cdot \frac{A_o}{A_g} + \frac{\alpha \cdot T_M}{H \cdot t_g}$$

$$\sigma_v = \sigma_R$$

$$\tau = \left(\tau_o + \frac{\alpha \cdot T_H}{B_1 \cdot t_g} \right), \tau_k \quad \text{max}$$

より、照査式は

$$\left[\frac{\sigma_H}{\sigma_a} \right]^2 - \left[\frac{\sigma_H}{\sigma_a} \right] \left[\frac{\sigma_v}{\sigma_a} \right] + \left[\frac{\sigma_v}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_a} \right] \leq 1.4 \quad \text{④}$$

ただし

A_o : 弦材部断面積

A_g : ガセット部断面積

T_H : ケーブル水平力

H : ガセット高

t_g : ガセット厚

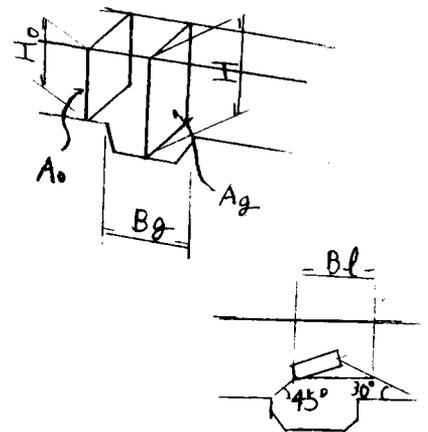
α : M_H を考慮した係数

σ_R : 隅角部計算による鉛直方向応力度

τ_o : 上路箱桁としてのせん断応力度

B_1 : せん断抵抗幅

τ_k : 斜材軸力によってガセットに流れるせん断応力度



以上 ①～④の照査式でガセット板厚を決定する。

b) デッキ、下フランジ

ガセットにケーブル張力が流れ、この力がガセットを通じてデッキ、下フランジに伝達される。このことから照査式としては局部応力度の照査は不必要となる。

$$\sigma_H = \sigma_o \times \frac{A_o}{A_g}$$

σ_o --- 上路箱桁弦材部応力度
 A_o --- 弦材部断面積
 A_g --- ガセット部断面積

$$\sigma_v = \sigma_R$$

σ_R --- 隅角部計算による橋直角方向応力度 (せん断遅れ無視)

$$\tau = \tau_o + \tau_H = \tau_o + \frac{\alpha \cdot T_H}{B_f \cdot t_f} \times \frac{1}{2}$$

τ_o --- 上路箱桁としてのせん断応力度

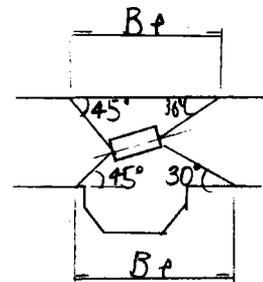
T_H --- ケーブル水平力

B_f --- デッキ or 下フランジ側せん断抵抗幅

t_f --- デッキ or 下フランジ板厚

α --- 係数

$$\alpha = \frac{a + 1/2}{1} = 1.3$$



以上により照査式は

$$\left[\frac{\sigma_H}{\sigma_a} \right]^2 - \left[\frac{\sigma_H}{\sigma_a} \right] \left[\frac{\sigma_v}{\sigma_a} \right] + \left[\frac{\sigma_v}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_a} \right]^2 \leq 1.2$$

ただし

σ_R : 隅角部計算による橋直方向応力度

B_f : デッキ or 下フランジ側せん断力

t_f : デッキ or 下フランジ板厚

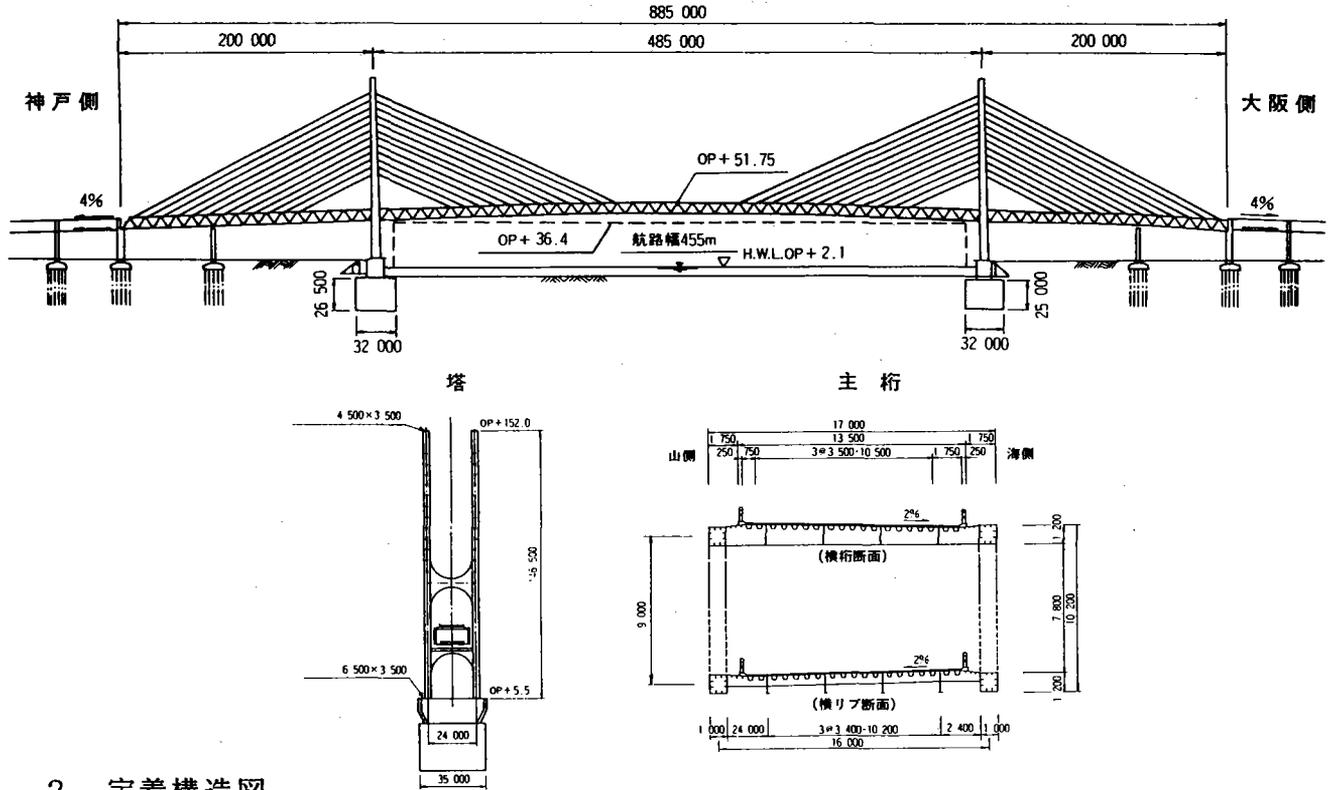
α : 係数

この式を用いて板厚を決定する。

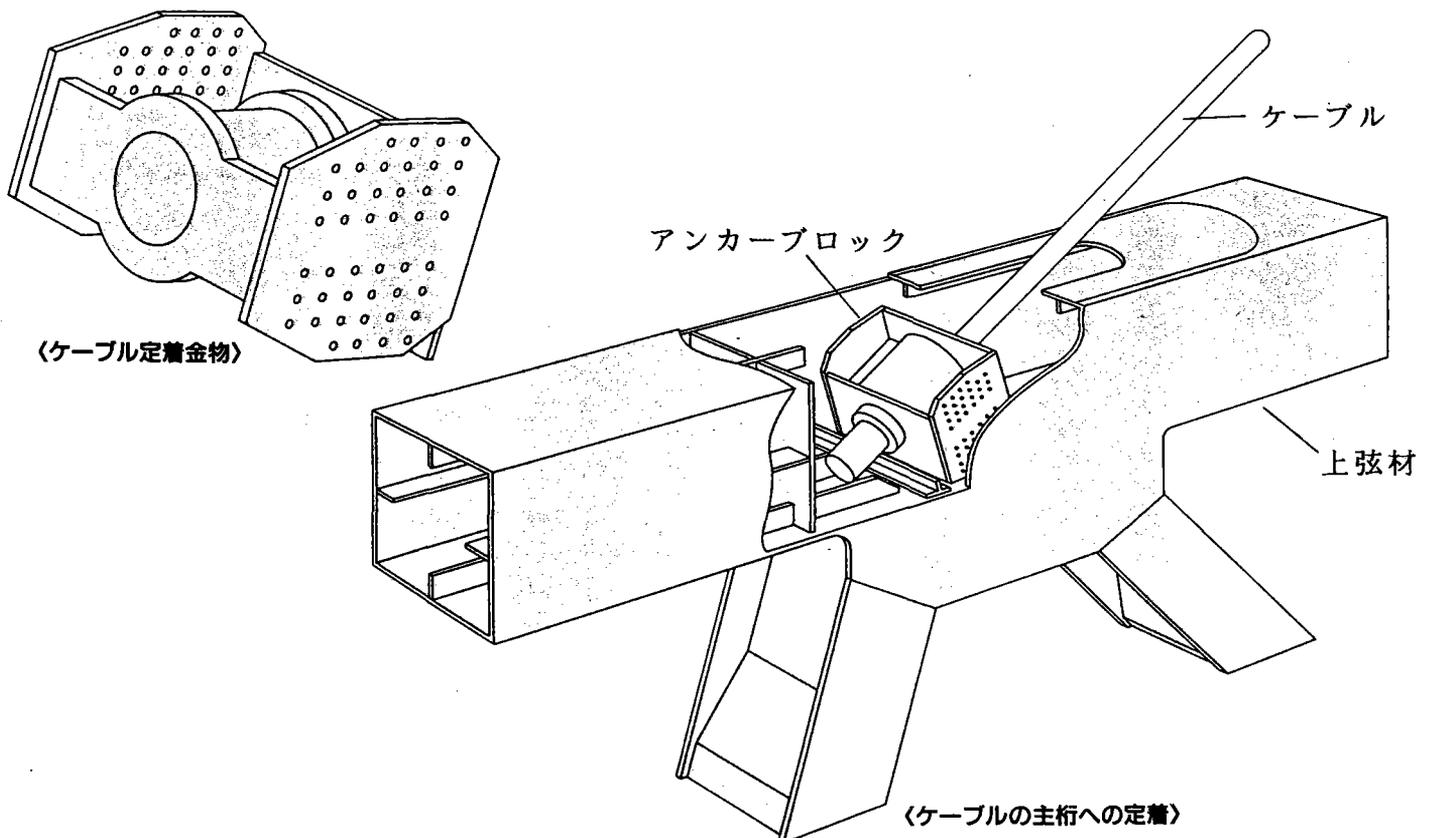
1.1.5 アンカーブロック形式（東神戸大橋）

§ 1. 一般図・定着構造図

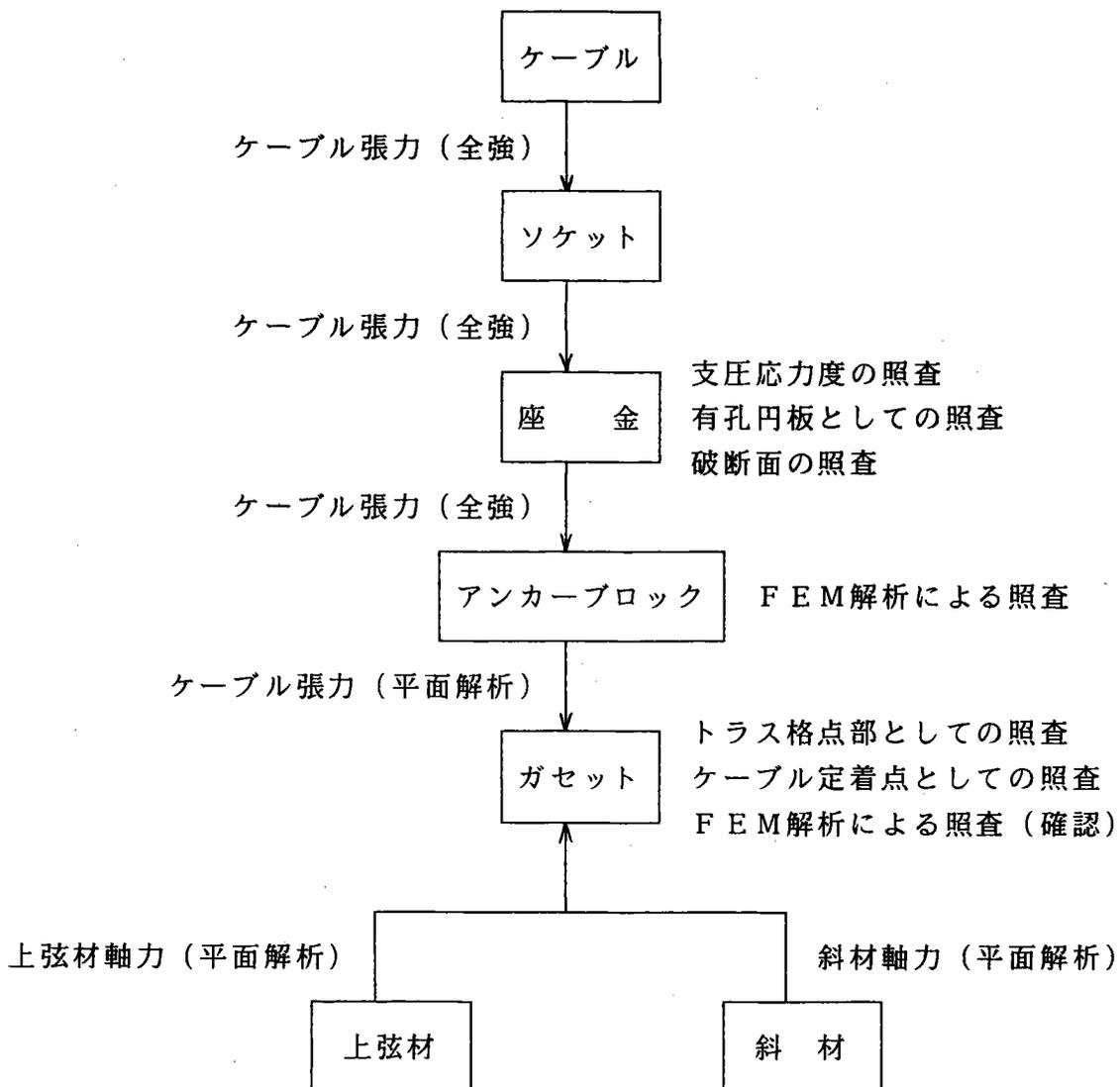
1. 一般図



2. 定着構造図



§ 2 . 設計手順



§ 3. 座金の設計

1. 設計方針

- ・ケーブルソケット引き込み後、所定の位置にセットするため、および支圧面の均等性を考慮して、半割れ構造とする。
- ・ケーブルの傾斜に対処するため、ソケット接触面にテーパ加工を施す。
- ・セット時のガイドとして、円形座金の外側に長方形のツバを設ける。
- ・厚さ115mm～145mmの鋳鋼品とする。
- ・設計作用力は、ケーブル全強とする。

2. 応力度の照査

(1) 支圧応力度の照査

1) ソケット接触面 $\sigma_{BS} = T / A_1 < \sigma_{Ba}$

2) アンカーブロック接触面 $\sigma_{BB} = T / A_2 < \sigma_{Ba}$

T : 設計作用力

A₁・A₂: 接触面積

σ_{Ba} : 許容支圧応力度

ソケット $\sigma_{Ba} = 2\,800 \text{ kg/cm}^2 \text{ (S45C)}$

アンカーブロック $\sigma_{Ba} = 2\,500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SC49)}$

(2) 等分布荷重を受ける有孔円板としての照査

DW0 : 座金外径

DW1 : 座金孔径

DA : アンカーブロック径

DS : ソケット外径

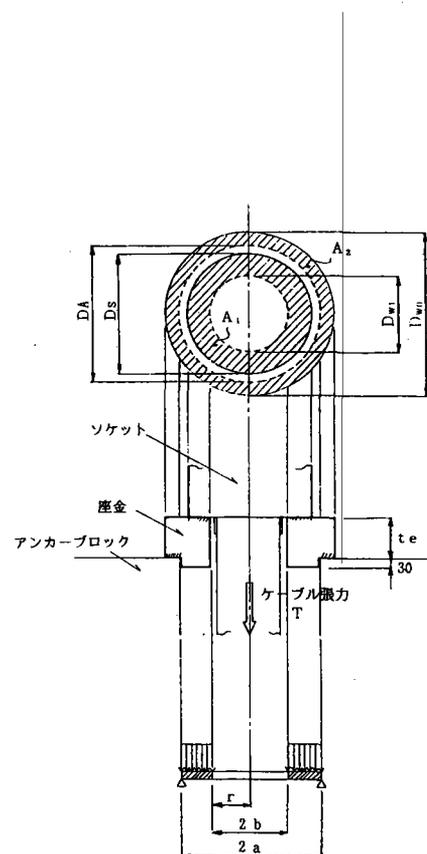
T : ケーブル張力 (全強)

te : 座金厚

A1 : ソケット-座金受圧面積

A2 : 座金-アンカーブロック受圧面積

d : 口金径



内周上 ($r = DW1/2$) の曲げ応力度 $\sigma_c = \frac{Mr}{te^3/6} < \sigma_a$

外周上 ($r = DA / 2$) の曲げ応力度 $\sigma_o = \frac{Mr}{te^3/6} < \sigma_a$

// のせん断応力度 $\tau = \frac{T}{\pi \cdot DA \cdot te} < \tau_a$

// の合成応力度 $(\sigma_o / \sigma_a)^2 + (\tau / \tau_a)^2 < 1.2$

Mr : 中心に関して対称な境界条件および荷重をもつ有孔円板のモーメント
(構造力学公式集 土木学会 より)

(3) 破断面の照査

曲げ応力度 $\sigma = \frac{\sigma_b \cdot b \cdot L}{W} < \sigma_a$

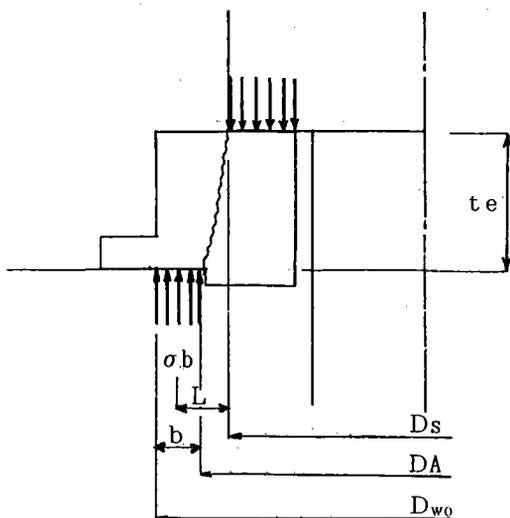
$b = DW1 - DA$

$L = (DW1 + DA) / 2$

$W = 1.0 \times te^2 / 6$

せん断応力度 $\tau = \frac{T}{D_s \cdot \pi \cdot te} < \tau_a$

合成応力度 $F = (\sigma / \sigma_a)^2 + (\tau / \tau_a)^2 < 1.2$



§ 4. アンカーブロックの設計

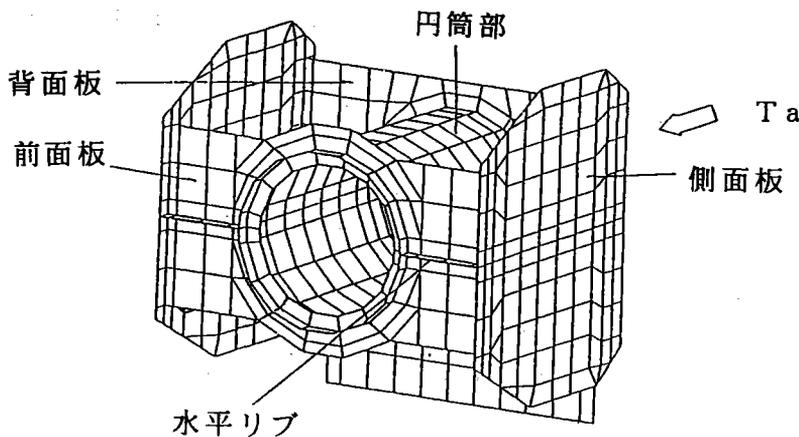
1. 設計方針

- ・円筒に I 断面を取り付けた形状の鋳鋼品 (SC49) とする。
- ・設計作用力はケーブル全強とする。
- ・ガセットプレートとは所要本数の H T B M30 (F10T) で連結する。
- ・設計は、特殊な形状のため応力性状を把握しかねることから、立体 F E M 解析による。

2. F E M 解析

(1) 解析モデル

解析モデルの境界条件は、弦材箱断面までをモデル化し、これを支持している。要素は全て曲げを考慮した集成板要素である。



(2) 解析結果

- ① 前面板・背面板は、円筒接合部で板曲げ応力度が集中する。
その他の箇所では、概ね梁のフランジとしての作用を呈している。
- ② 円筒部は、ケーブル張力作用点近傍である背面板側に応力が集中する。
前面側にもフープテンションにより、円筒周辺方向の板曲げが発生する。
- ③ 水平リブは、せん断応力度が卓越する一様応力状態である。

3. 応力度の照査

各部の応力度の照査は、主応力度 σ_p 、最大せん断応力度 τ_{max} 、合成応力度 σ_v について、以下の要領で行う。

- ① 比較的広範囲におよぶ応力度に対して、

$$\sigma_p \leq \sigma_a = 1700 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SC49)}$$

$$\sigma_v \leq \sigma_a = 1700 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SC49)}$$

$$\tau_{max} \leq \tau_a = 1000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SC49)}$$

- ② 局所的な応力集中にたいして、

$$\sigma_p \leq 1.2 \sigma_a = 2040 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SC49)}$$

$$\sigma_v \leq 1.2 \sigma_a = 2040 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SC49)}$$

$$\tau_{max} \leq 1.2 \tau_a = 1200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SC49)}$$

§ 5. ガセットプレートの照査

1. 照査方針

- ・ケーブル張力水平成分が、上弦材に伝達される場合と斜材に伝達される場合のガセットプレート内における応力状態を以下のように考える。
 - ① ケーブル張力が上弦材に流れる場合
ケーブル張力水平成分に対する仮想支持点を上弦材断面に、ケーブル張力鉛直成分に対する仮想支持点を上弦材とガセットプレートとの接合線と仮定する。
評価応力度は、アンカーブロック前面の弦材方向垂直応力度 (σ_x) とする。
 - ② ケーブル張力が斜材に流れる場合
ケーブル張力水平成分、鉛直成分の仮想支持点を上弦材とガセットプレートとの接合線と仮定する。
評価応力度は、アンカーブロック直下、もしくはガセットプレート接合線上のせん断応力度 (τ_{xy}) とする。
- ・ケーブル張力は上弦材および斜材に同時に伝達されるが、その割合を全体解析において与えられる下記断面力の大小関係により、4つのパターンに分類し、照査応力度を決定する。
 - ① ケーブル最大張力水平成分 TH
 - ② 上弦材軸力差 ΔN (TH に釣り合う方向の max)
 - ③ 斜材軸力水平成分の和 DH (TH に釣り合う方向の max)
- ・応力度照査ケースは下記の4つのケースとする。
 - ケース1 $TH > \Delta N$ の場合 - ΔN による σ_x の照査
 - ケース2 $TH < \Delta N$ の場合 - ΔN および $(\Delta N - TH)$ による σ_x の照査
 - ケース3 $TH > DH$ の場合 - DH による τ_{xy} の照査
 - ケース4 $TH < DH$ の場合 - DH および $(DH - TH)$ による τ_{xy} の照査
- ・FEM解析によりガセット設計法の妥当性を確認。

2. 応力度の算定方法

(1) σ_x の算定方法

ケーブル定着格点における σ_x を以下の4つに分離して考える。

1) ケーブル張力水平成分による応力度 σ_{x1}

(a) 算定要領

- ・アンカーブロック前面の応力度を評価する。
- ・ケーブル張力は2枚のガセットプレートおよび各ボルトに均等に分担されるものとする。
- ・各ボルトに分担されたケーブル張力は、ガセットプレート内にて分散するが、前面側と背面側に等分に分担される。
- ・ボルト群からの応力分散角度は 30° とする。

(b) 評価式

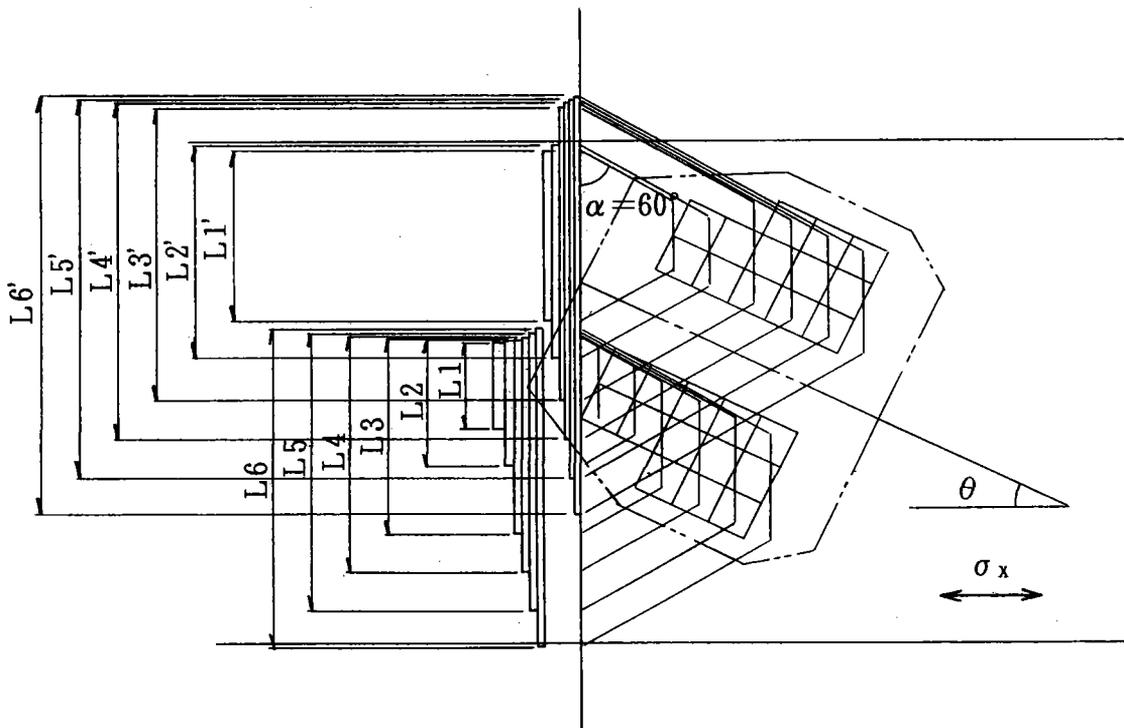
$$\sigma_{x1} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{t_G} \times \sum_i \frac{n_i P_i}{L_i}$$

ここに、 t_G : ガセットプレート厚

n_i : 1ボルト群におけるボルト本数

P_i : ボルト1本当り負担力 (= TH /ボルト本数)

L_i : 1ボルト群の有効幅



2) 弦材軸力による応力度 σ_{x2}

(a) 算定要領

- ・弦材軸力による応力度は、当該格点における背面パネルの鋼床版部応力度 σ_{CD} を採用する。
- ・一般断面に対し、ガセットによる増厚を考慮して σ_{CD} を補正する。ただし、ガセットによる腹板高の増加は考慮しない。

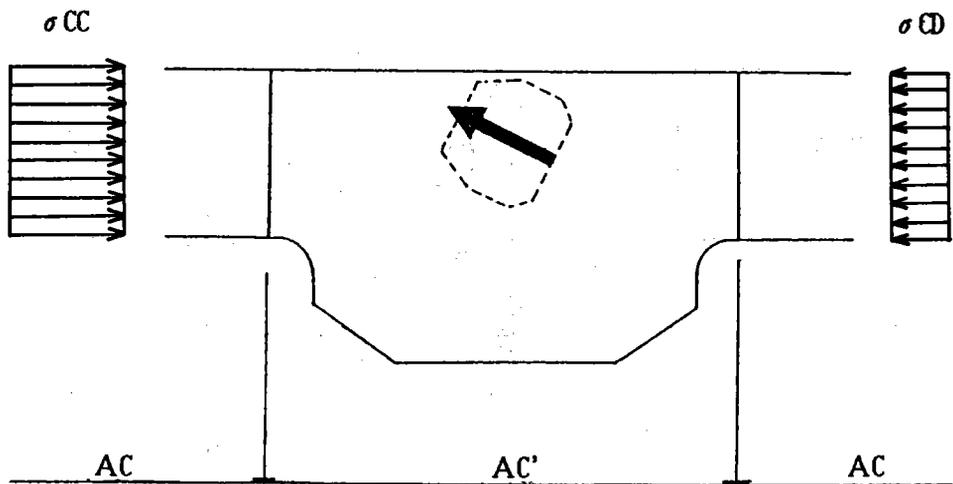
(b) 評価式

$$\sigma_{x2} = \sigma_{CD} \times \frac{A_c}{A_{c'}}$$

ここに、 σ_{CD} ：ケーブル張力導入点背後パネルの一般断面計算による鋼床版部
応力度

A_c ：一般断面弦材断面積

$A_{c'}$ ：格点部弦材断面積



3) 格点曲げモーメントによる応力度 σ_{x3}

(a) 算定要領

- ・格点曲げモーメントによる応力度は、一般断面計算による弦材曲げモーメントによる応力度 σ_B を採用する。（格点の左右で不利な方を採用する。）
- ・一般断面に対し、ガセットによる増厚を考慮して σ_B を補正する。ただし、ガセットによる腹板高の増加は考慮しない。

(b) 評価式

$$\sigma_{x3} = \sigma_B \times \frac{A_c}{A_{c'}}$$

ここに、 σ_B ：一般断面計算による弦材曲げモーメントによる応力度

4) 斜材力による応力度 σ_{x4}

(a) 算定要領

- ・上弦材軸力差 ΔN もしくは斜材軸力水平成分の和 DH がケーブル張力水平成分 TH と逆方向を向き、かつ ΔN または DH の絶対量が、 TH の絶対量よりも大きい場合には、これらの差により軸方向力が生ずる。

(b) 評価式

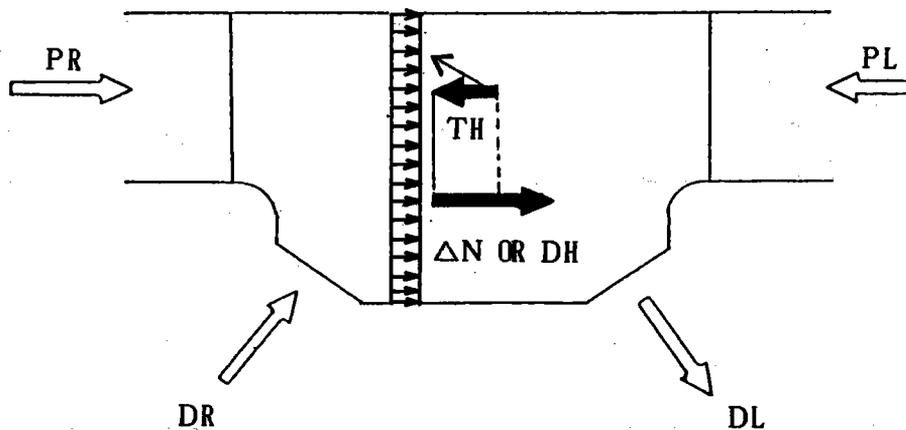
$$\sigma_{x4} = \frac{(|\Delta N| \text{ or } |DH|) - |TH|}{2 A c'}$$

ここに、 ΔN : 上弦材軸力差

DH : 斜材軸力水平成分の和

TH : ケーブル張力水平成分

$A c'$: 格点部弦材断面積



(2) σ_y の算定方法

ケーブル定着格点における σ_y は、横桁からの曲げモーメントによる応力度を考慮する。

ケーブル鉛直分力による σ_y は考慮しない。

(3) τ_{xy} の算定方法

ケーブル定着格点における τ_{xy} を以下の2つに分離して考える。

1) ケーブル張力水平成分による応力度 τ_{xy1}

(a) 算定要領

- ・アンカーブロック下面の応力度を評価する。
- ・ケーブル張力は2枚のガセットプレートおよび各ボルトに均等に分担されるものとする。
- ・各ボルトに分担されたケーブル張力は、ガセットプレート内にて分散するが、その応力分散角度は A-A 断面で 30° 、B-B 断面で 45° とする。

(b) 評価式

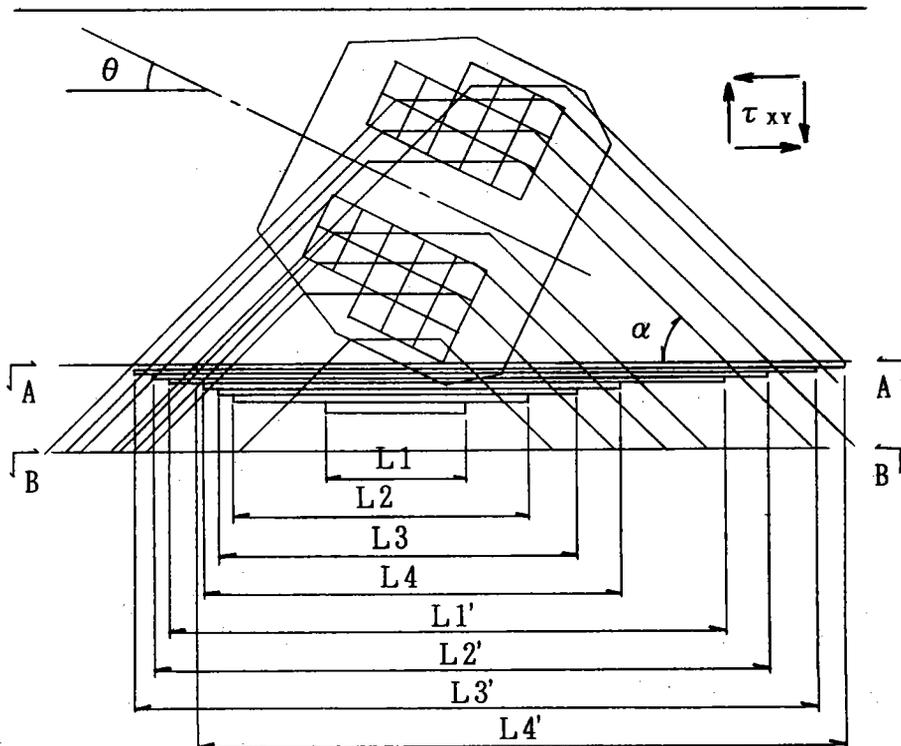
$$\tau_{xy1} = \frac{1}{t_g} \times \sum_i \frac{n_i P_i}{L_i}$$

ここに、 t_g : ガセットプレート厚

n_i : 1 ボルト群におけるボルト本数

P_i : ボルト1本当たり負担力 (= TH/ボルト本数)

L_i : 1 ボルト群の有効幅



2) 斜材力による応力度 τ_{xy2}

(a) 算定要領

- ・上弦材軸力差 ΔN もしくは斜材軸力水平成分の和 DH がケーブル張力水平成分 TH と逆方向を向き、かつ ΔN または DH の絶対量が、 TH の絶対量よりも大きい場合には、これらの差によりせん断応力が生ずる。

(b) 評価式

$$\sigma_{x4} = \frac{(|\Delta N| \text{ or } |DH|) - |TH|}{2 B \cdot tG} \times k \tau$$

ここに、 ΔN : 上弦材軸力差

DH : 斜材軸力水平成分の和

TH : ケーブル張力水平成分

$A c'$: 格点部弦材断面積

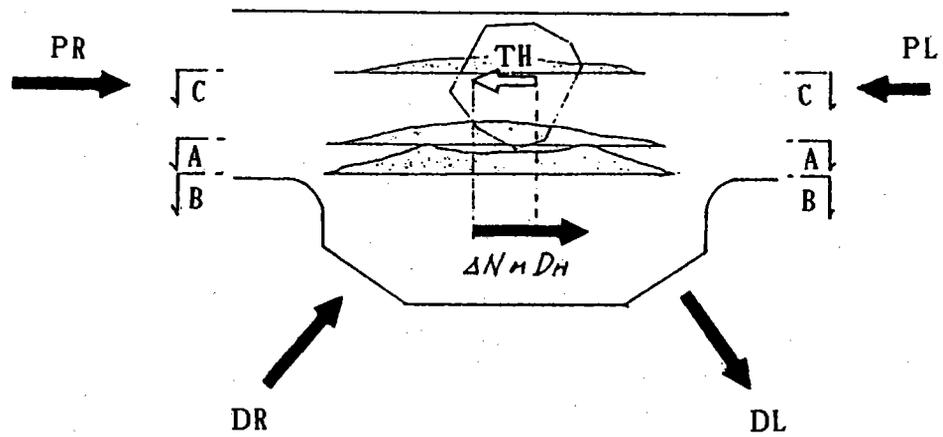
B : ガセットプレート幅

tG : ガセットプレート厚

$k \tau$: 係数 A-A 断面で 1.30

B-B 断面で 1.75

C-C 断面で 1.00



3) 横桁曲げに伴う応力度 τ_{xy3}

3. 応力度の照査

- ・垂直応力度の照査

$$\sigma < \sigma_a$$

- ・せん断応力度の照査

$$\tau_{xy} < \tau_a$$

- ・合成応力度の照査

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 - (\sigma_x \cdot \sigma_y) + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} < 1.2\sigma_a$$

ここに、 σ_x は弦材軸方向（X軸）垂直応力度

$$\sigma_x = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4$$

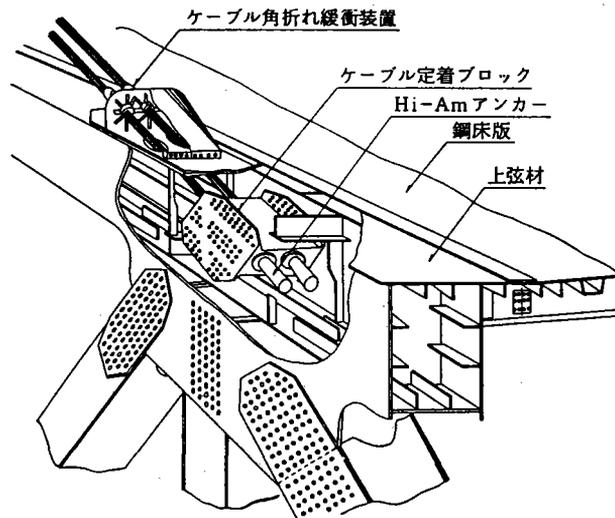
σ_y は鉛直方向（Y軸）垂直応力度

τ_{xy} はせん断応力度

$$\tau_{xy} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

付. 簡易計算によるアンカーブロックの設計例 (櫃石・岩黒島橋)

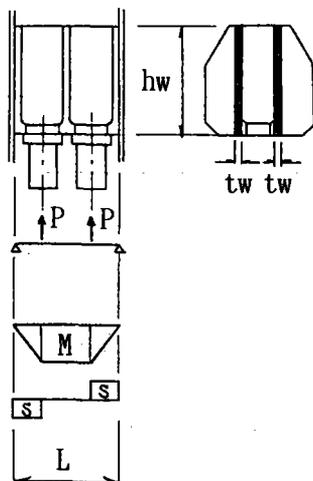
1. 定着構造図



2. 設計方針

- ・設計作用力 (P) はケーブル全強とする。
- ・腹板 (ガセット) 間で単純支持された梁とする。
- ・主桁腹板とは所要本数の H T B M30 (F10T) で結合。
- ・F E M解析による照査。

3. 設計断面力の算定



注) 着色部が有効部

L : 腹板間隔

4. 応力度の照査

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2$$

$$1.5 \tau \leq \tau_a$$

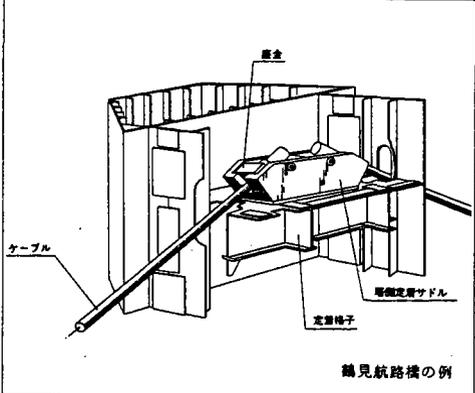
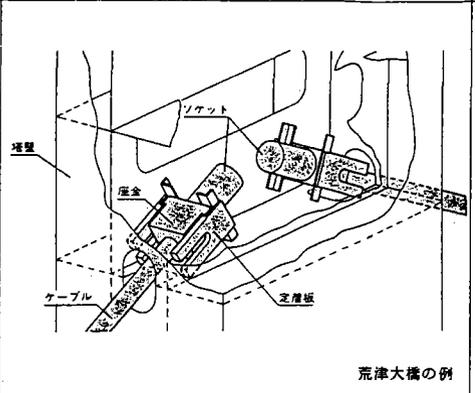
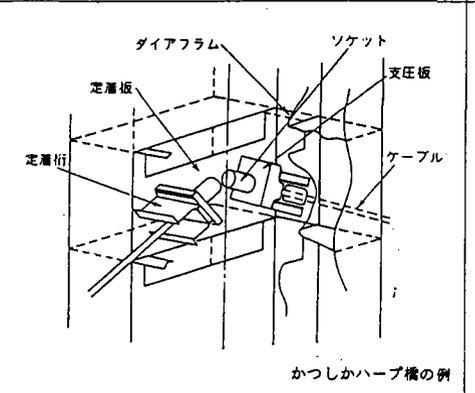
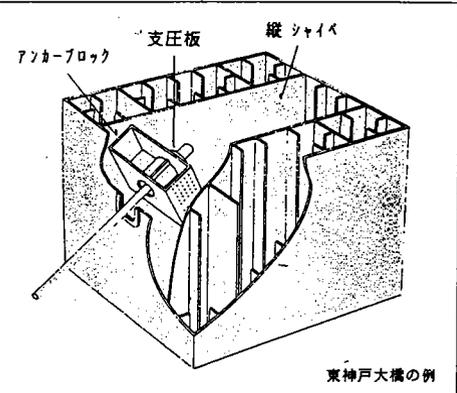
材質 S C 46 $\sigma_a = 1\,400 \times 0.9 = 1\,260 \text{ kg/cm}^2$

$\tau_a = 800 \times 0.9 = 720 \text{ kg/cm}^2$

1.2 塔側ケーブル定着部

1.2.1 ケーブル定着構造一覽

斜張橋ケーブル定着部構造（塔側）一覽表

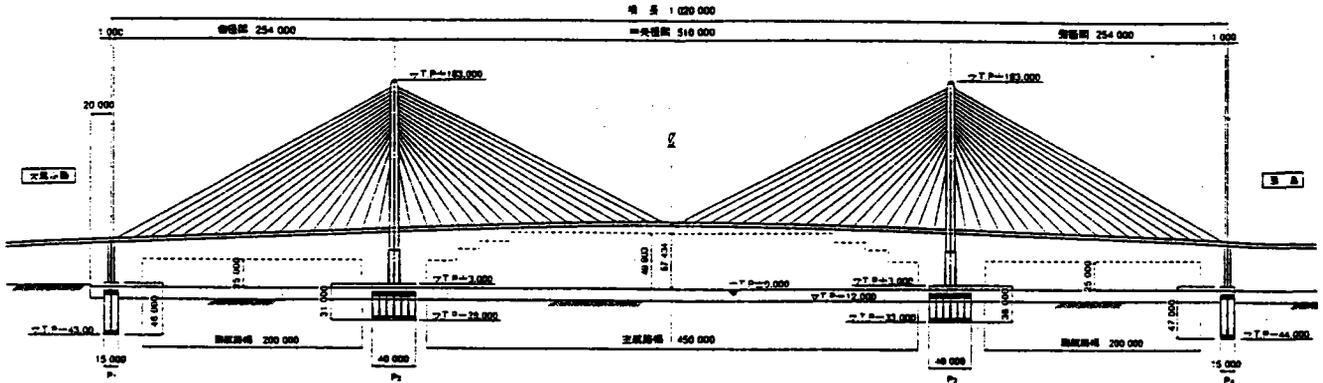
形式名	サドル形式	支圧板形式	アンカーガーダー形式	アンカーブロック形式
<p>構造図</p>				
<p>留意点</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・大型の鋳造品を用いることとなる。 ・架設時の搬入時期と方法に考慮する必要がある。 ・塔内昇降階段設備との配置関係に留意する必要がある。 ・水平力のバランスは、サドル内で処理できる。 ・架設時にサドルの転倒や滑動の配慮が必要。 ・サドルを受けるための梁が必要となる。 ・一般的に固定側アンカーに利用される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・内部補強が少ない形式である。 ・シャイベの面外曲げに留意が必要。 ・座金が大きくなりやすい。 ・定着部を塔壁側に近付けられる。 ・支圧板2枚の製作精度管理が重要。 ・一般的に固定側アンカーに利用される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・定着部を塔壁側に近付けられる。 ・シャイベの面外曲げに留意が必要。 ・塔側の引き込みが可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造がコンパクト。 ・力は全てせん断力として伝達できる。 ・一般的に内部補強が不要。 ・一般的に鋳造品が用いられる。 ・架設時の搬入時期と方法に考慮する必要がある。 ・一般的にボルト止め構造となる。 ・塔側の引き込みが可能である。
<p>力の流れ</p>	<p>ケーブル → ソケット → 座金 → サドル前面 → サドル側面 → 塔</p> <p>↓</p> <p>サドル底面 → ダイヤフラム → 塔</p>	<p>ケーブル → ソケット → 座金 → 支圧板</p> <p>↓</p> <p>シャイベ → 塔（フランジ → 腹板）</p>	<p>ケーブル → ソケット → 座金</p> <p>↓</p> <p>アンカーガーダー → シャイベ → 塔</p>	<p>ケーブル → ソケット → 座金</p> <p>↓</p> <p>アンカーブロック → シャイベ → 塔</p>
<p>実績</p>	<p>尾道大橋(1968)、石狩河口橋(1972)、六甲大橋(1976)、永歳橋(1977)、仲良橋(1987)、菅原城北大橋(1989)、横浜ベイブリッジ(1989)、鶴見航路橋(1994)</p>	<p>かもめ大橋(1975)、鳥飼仁和寺大橋(1987)、荒津大橋(1988)、花畔大橋(1989)、幸魂橋(1991)</p>	<p>藤戸橋・日の浦橋(1980)、名港西大橋(1985)かつしかハーブ橋(1987)、弥栄大橋(1987)、不洞窟橋(1989)、天保山大橋(1989)、西羽賀橋(1989)、八田原橋(1992)</p>	<p>檀石島橋(1988)、岩黒島橋(1988)、東神戸大橋(1994)</p>

1.2.2 サドル形式（鶴見航路橋）

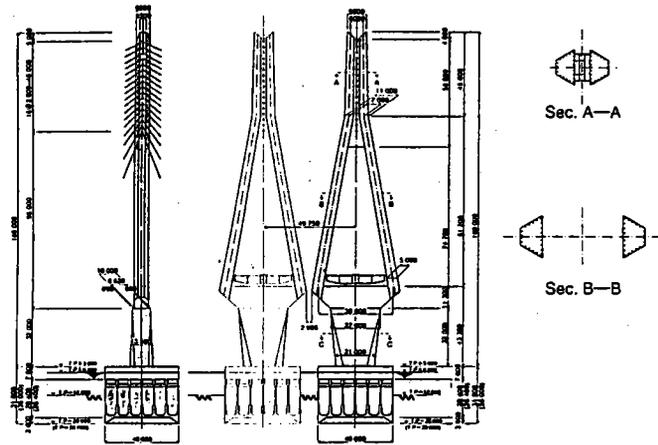
§ 1. 一般図及び定着構造図

1. 一般図

(1) 全橋側面図

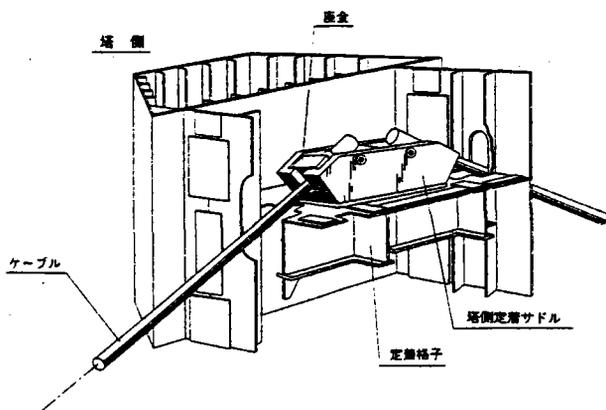


(2) 主塔側面図及び正面図

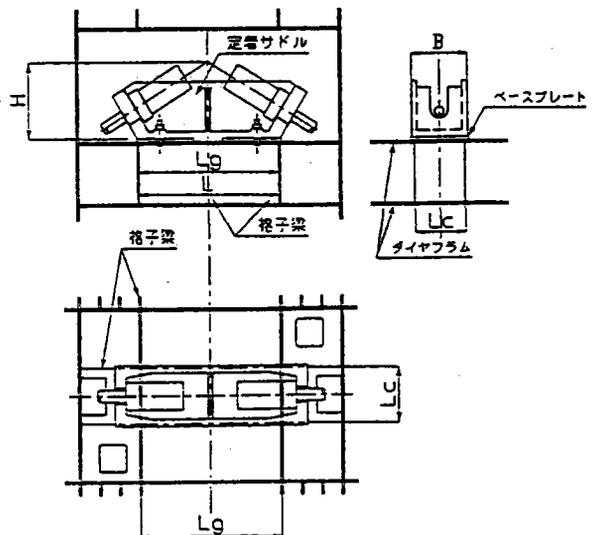


2. 定着構造図

(1) 構造概要図

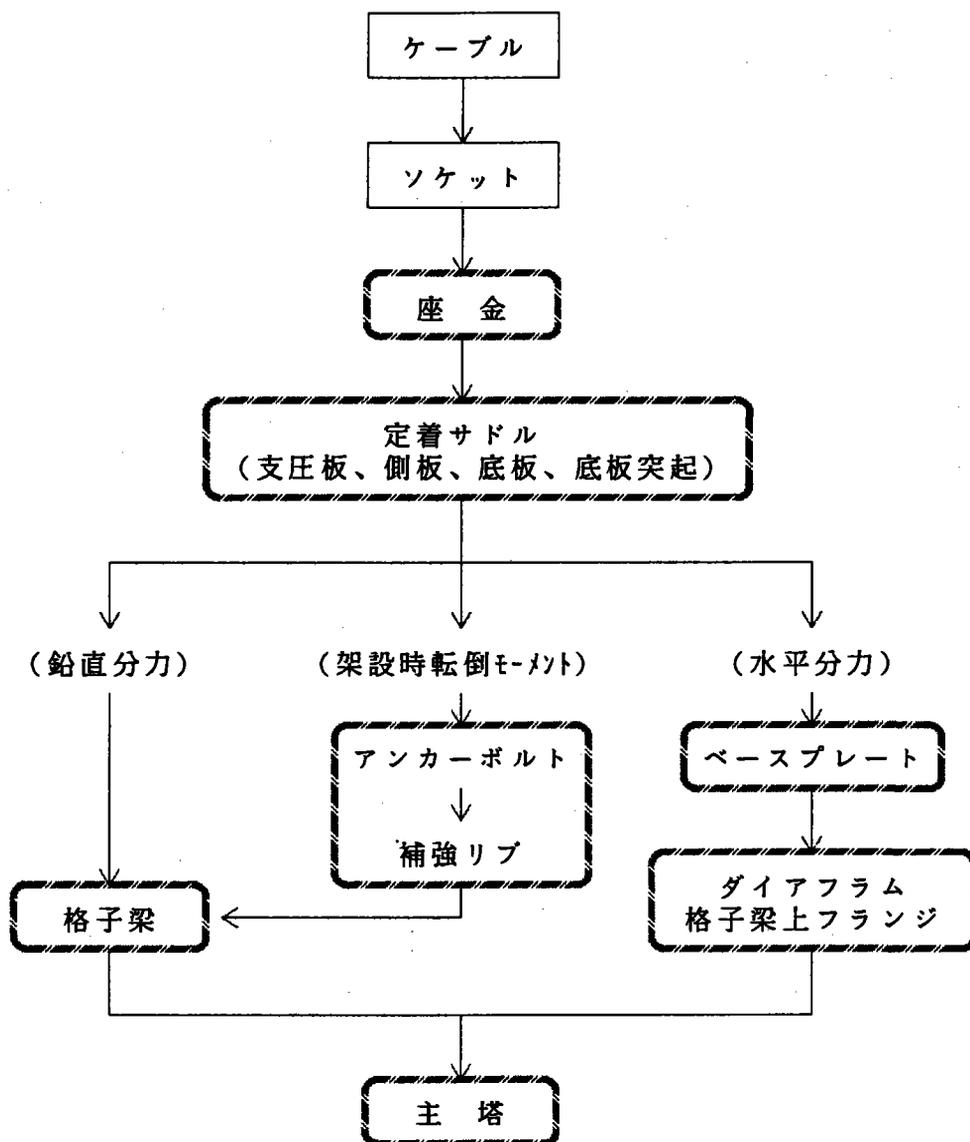


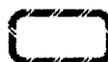
(2) 一般構造図



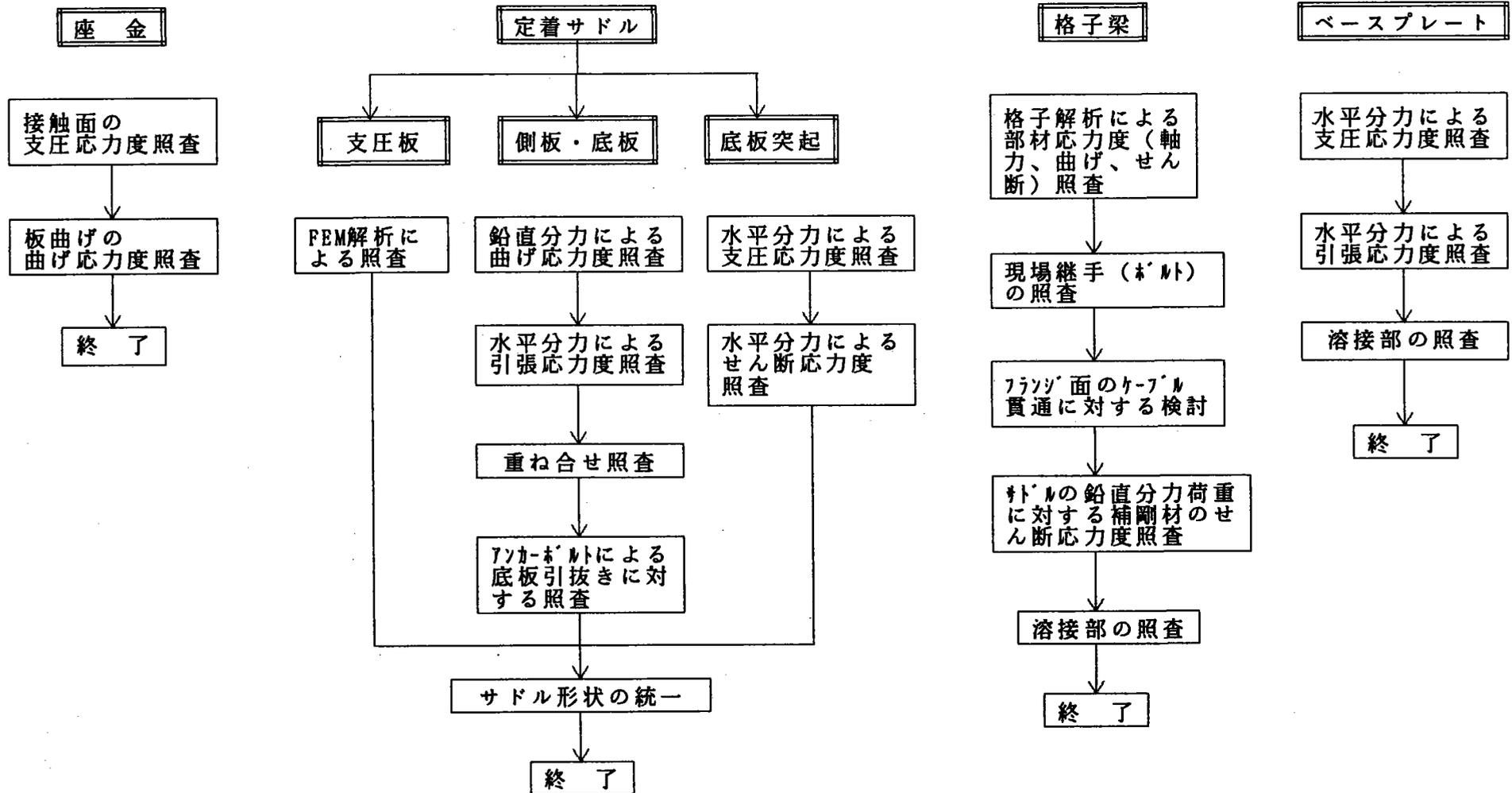
§ 2. 設計手順

1. 荷重の伝達フロー



 : 本書に含まれるもの

2. 設計フロー



アンカーボルト

定着部¹の転倒モーメントに対する引張応力度照査

補強リブのせん断
応力度照査

溶接部の照査

終了

ダイヤフラム

主塔中²の横リブとしての剛性照査

水平継手の照査

終了

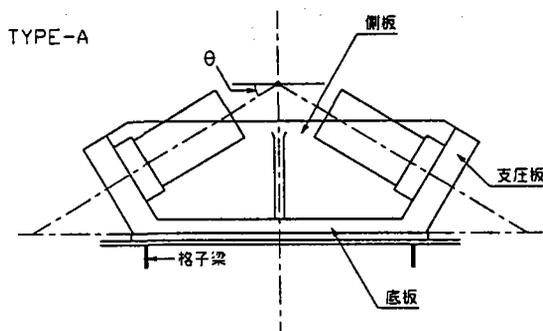
§ 3. 座金の設計

1. 設計方法

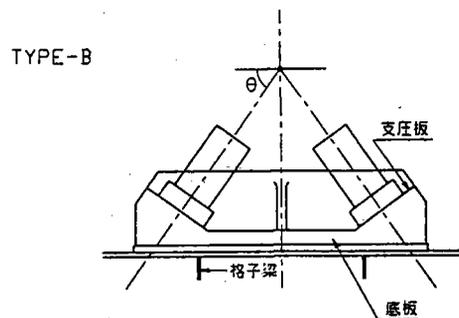
- (1) 座金板厚中心位置でのソケットからの支圧応力と、定着サドルからの反力のつり合より、座金に発生する曲げモーメントを求めて板厚を決定する。
- (2) 設計荷重はケーブルの許容張力とする。
- (3) 応力状態のより厳しい上側の定着部に対して座金の設計を行う。

2. 設計断面力の算定

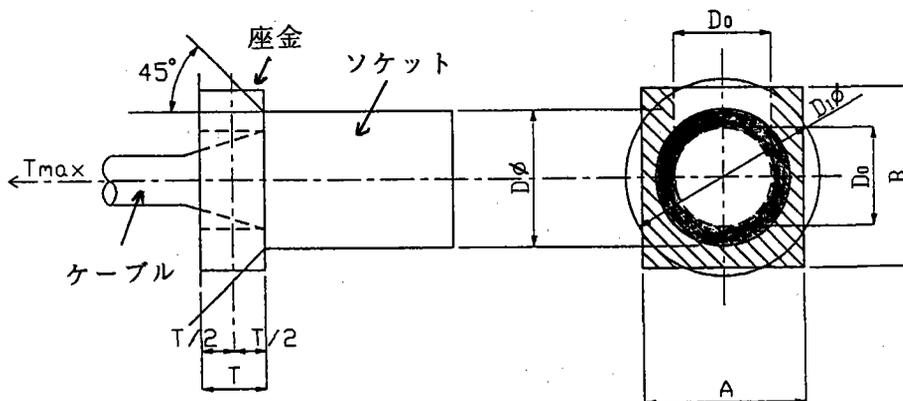
- (1) 下図式により算定する。



$$\theta = 26.1^\circ \sim 51.1^\circ$$

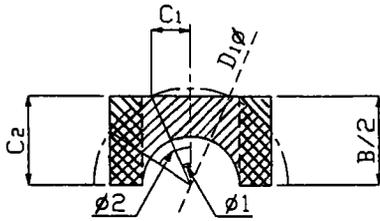


$$\theta = 54.5^\circ \sim 69.5^\circ$$



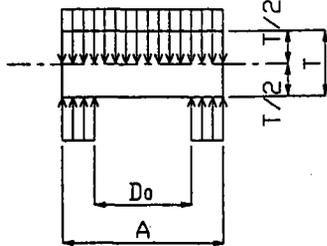
- ▨ ... 座金と定着サドルの接触面
- ... ソケットと座金の接触面

- A, B ; 座金寸法
- T ; 座金厚
- D ; ソケット径
- D₀ ; 座金の開口寸法
- D₁ ; 45° 分布で力が伝わるとした場合の座金中立軸での仮想支圧面(径)
- T_{max} ; 設計荷重 (ケーブルの許容張力)



$$\begin{aligned}\phi_1 &= \cos^{-1} B/D_1 \\ \phi_2 &= \sin^{-1} A/D_1 \\ C_1 &= \sin \phi_1 \cdot D_1/2 \\ C_2 &= \cos \phi_2 \cdot D_1/2\end{aligned}$$

・ 仮想支圧面積 (A1)



$$\begin{aligned}A_1 &= 2 \int_0^{D_1/2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} dA + \frac{1}{2} (BC_1 + AC_2) - \frac{\pi}{8} D_0^2 \\ &= 2 \int_0^{D_1/2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} r d\theta dr + \frac{1}{2} (BC_1 + AC_2) - \frac{\pi}{8} D_0^2 \\ &= \frac{D_1^2}{4} (\phi_2 - \phi_1) + \frac{1}{2} (BC_1 + AC_2) - \frac{\pi}{8} D_0^2\end{aligned}$$

・ 定着ブロックと座金の接触面積 (A2)

$$A_2 = (A - D_0) \times B/2$$

・ 各面での支圧応力度

$$\sigma_1 = \frac{T_{\max}/2}{A_1}, \quad \sigma_2 = \frac{T_{\max}/2}{A_2}$$

・ 座金中央での曲げモーメント

σ_1 による曲げモーメント

$$\begin{aligned}M_1 &= \left[\int_0^{D_1/2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} r \cdot \sin \theta \cdot r d\theta \cdot dr + \frac{BC_1}{4} \cdot \frac{C_1}{3} + \frac{AC_2}{4} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{A}{2} \right. \\ &\quad \left. - \int_0^{D_0/2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} r \cdot \sin \theta \cdot r d\theta \cdot dr \right] \sigma_1 \\ &= \left\{ \frac{D_1^3}{24} (\cos \phi_1 - \cos \phi_2) + \frac{1}{12} (BC_1^2 + A^2 C_2) - \frac{D_0^3}{24} \right\} \sigma_1\end{aligned}$$

σ_2 による曲げモーメント

$$\begin{aligned}M_2 &= -\sigma_2 \cdot \frac{A - D_0}{2} \cdot \frac{B}{2} \cdot \frac{A + D_0}{4} \\ &= -\frac{\sigma_2}{16} \cdot B (A^2 - D_0^2)\end{aligned}$$

曲げモーメントの合計

$$\Sigma M = M_1 + M_2$$

3. 応力度照査

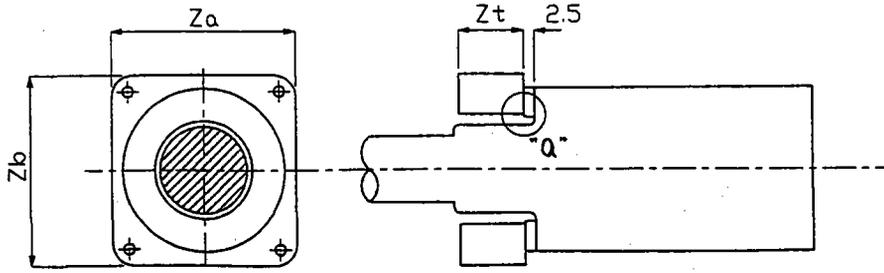
$$\sigma = \frac{\Sigma M}{W} \leq \sigma_a$$

$$\left\{ W = \frac{B - D_0}{2} \cdot \frac{T^2}{6} \right.$$

$\left. \sigma_a : \text{許容曲げ応力度 (SCM}_{n2A}: 1900 \text{ Kgf/cm}^2\right)$

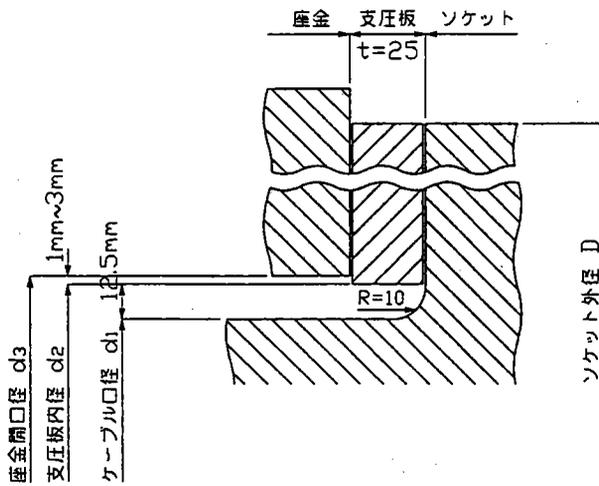
4. 座金寸法の決定

座金厚以外の寸法は下図の要領で決定する。



座金平面図

座金断面図



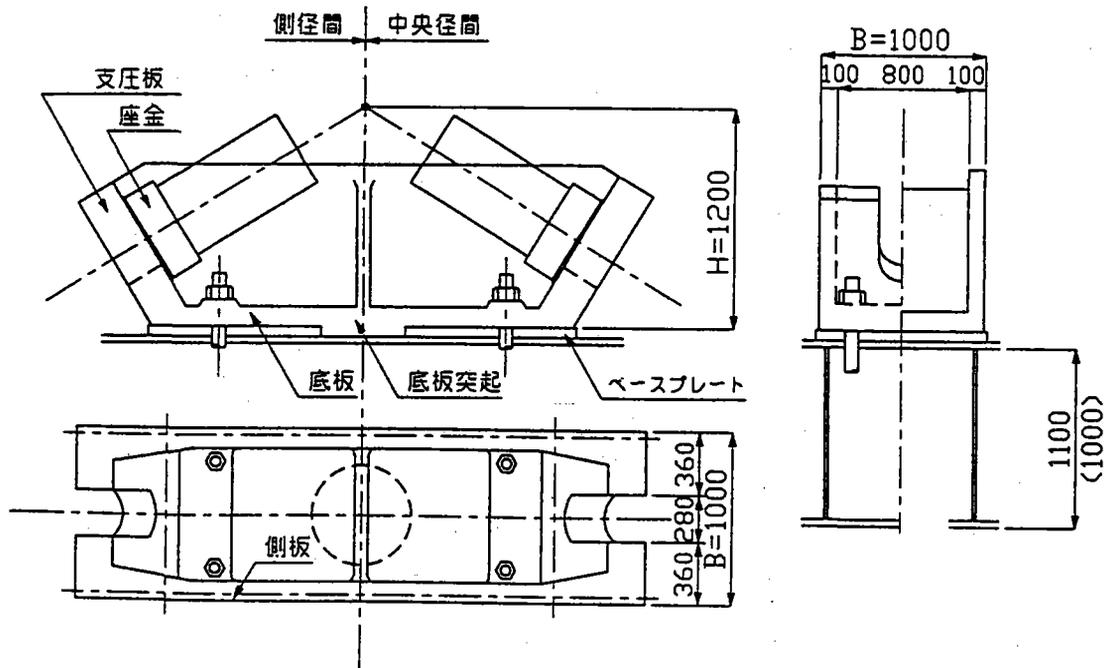
"a"部詳細図

§ 4. 定着サドルの設計

1. 設計上の分類

定着サドルは以下に分類して各々で断面を決定する。

- (1) 支圧板
- (2) 側板・底板
- (3) 底板突起

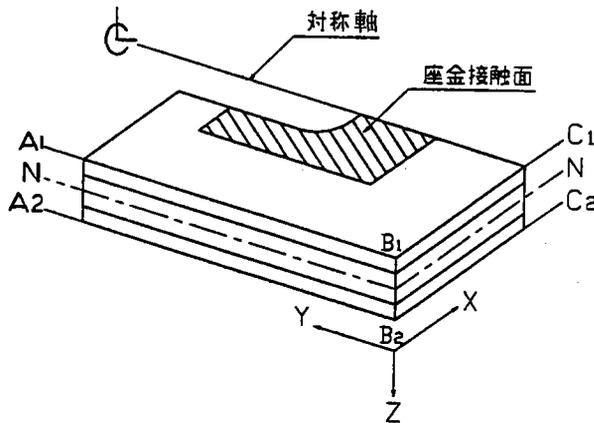


一般構造図

2. 支圧板の設計

(1) 設計方法

- 1) 開口部を有する板が、一辺自由で二辺単純支持（側板側）、一辺固定（底板側）されているものとし、FEM解析により板厚を決定する。

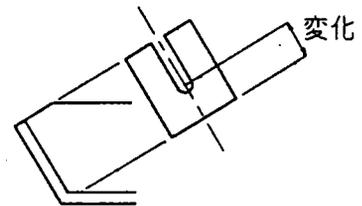


NN面 : X,Y,Z拘束
 A_1B_1
 A_2B_2 } Y,Z拘束
 B_1C_1
 B_2C_2 } X,Z拘束

- 2) 要素中心のフォン・ミーゼスの応力度が降伏値の80%を越えないこととする。

$$\sigma \leq 0.8 \sigma_y = 0.8 \times 3500 = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

(材質 : SCMn2A)

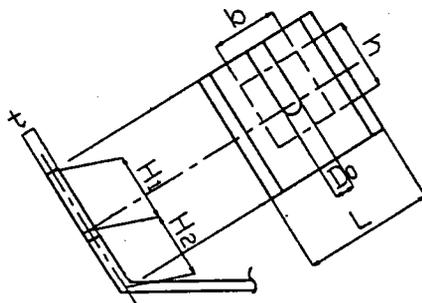


- 3) 設計荷重はケーブルの許容張力とする。

- 4) ケーブル角度は全て異なる（底板からの離れが全て異なる）が、原則として同断面のケーブルに対しては支圧板厚を同厚とする。

- 5) 定着サドルの側径間側と中央径間側の支圧板厚は同厚とする（ケーブル張力は大きく変わらない）。

(2) 設計荷重の算定



・ 分布面積

$$A = b \cdot h - \left(\frac{1}{2} D_0 h + \frac{\pi}{8} D_0^2 \right)$$

・ 分布荷重

$$P = \frac{T_a}{A} \quad T_a : \text{ケーブルの許容張力}$$

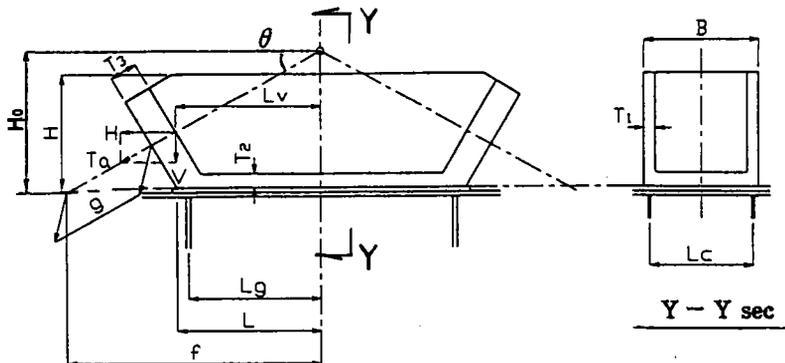
3. 側板・底板の設計

(1) 設計方法

- 1) ケーブルの鉛直分力と格子梁からの分布反力によりサドル中央断面に作用する曲げモーメントに対して照査を行う。
- 2) ケーブルの水平分力による引張応力度と曲げ応力度との重ね合せ照査を行う。
- 3) 設計荷重はケーブルの許容張力とする。

(2) 設計断面力の算定

ケーブルの鉛直分力 V 及び格子梁からの分布反力 q は下図のように作用するものとする。

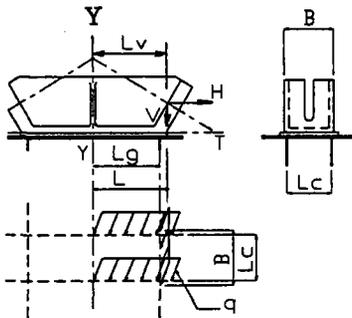


$$f = \frac{H_0}{\tan \theta}$$

θ : ケーブル水平角度

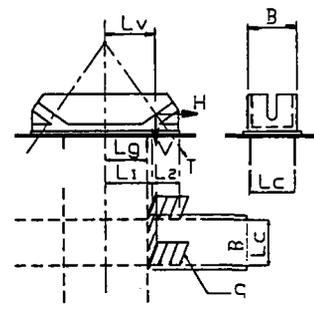
$$g = (f - L) \times \cos \theta$$

$$L_v = f - (g + T_3) \times \cos \theta$$



$$q = \frac{V}{(2 \times L + B)}$$

$$M = V \cdot L_v - 2 \cdot \frac{L^2}{2} \cdot q - B \cdot L_g \cdot q$$



$$q = \frac{V}{2(L_1 + L_2 - L_g) + B}$$

$$M = V \cdot L_v - 2 \cdot (L_1 + L_2 - L_g) \cdot \left(\frac{L_1 + L_2 + L_g}{2} \right) \cdot q - B \cdot L_g \cdot q$$

(3) 応力度照査

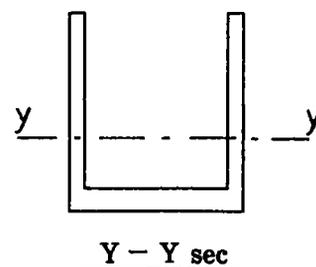
$$\sigma_M = \frac{M}{W} \leq \sigma_a$$

W : y - y 軸に関する断面係数

$$\sigma_H = \frac{H}{A} \leq \sigma_a$$

A : Y - Y 断面積

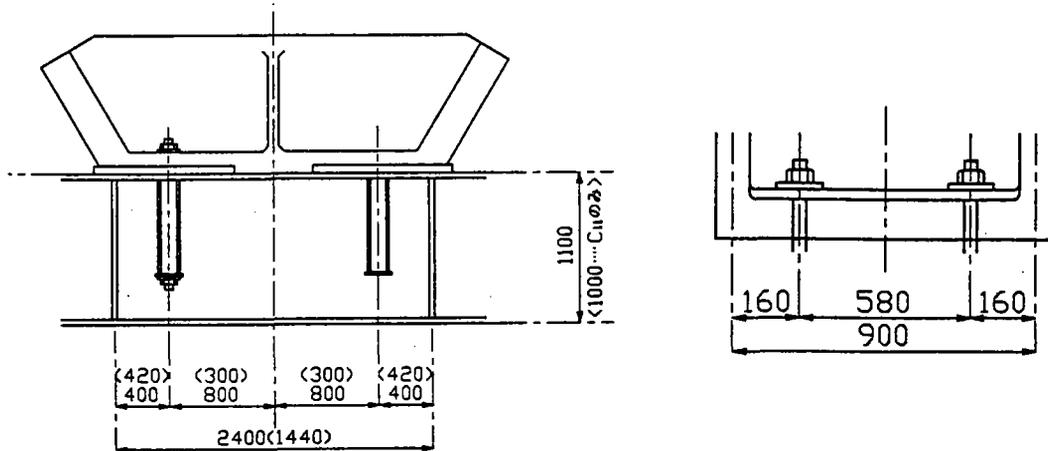
$$\Sigma \sigma = \sigma_M + \sigma_H \leq \sigma_a$$



4. 底板の引抜き力に対する照査

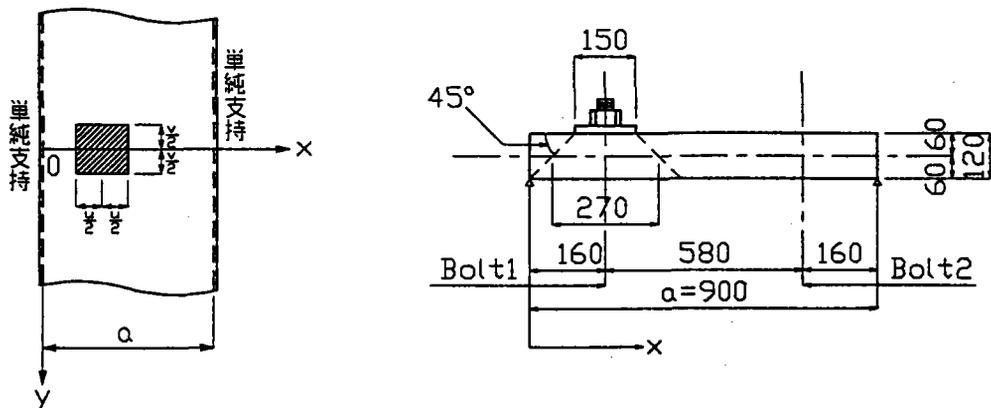
(1) 設計方法

- 1) 定着サドルはアンカーボルトにより格子梁上に連結されており、ケーブル引込時の転倒モーメントに抵抗する。定着サドルの底板はその際のアンカーボルトの引抜き力に対して照査する。
- 2) 設計荷重はアンカーボルトの設計荷重（ボルト引張力）とする。
- 3) 許容応力度の割増しは、 $f = 1.25$ とする



(2) 設計断面の算定

- 1) 2 辺単純支持の無限板の中央に部分等分布荷重が載荷されるとして板曲げモーメントを算出する。（一般式として「構造力学公式集（土木学会）」を参照）
- 2) 下図のように座金より45°分布した板厚中心面において載荷面積を考える。



(3) 応力度照査

$$\sigma = \frac{M}{\omega} \leq 1.25 \sigma_a \quad \omega : \text{単位幅当たりの断面係数} \left(= \frac{t^2}{6} : t = \text{底板厚} \right)$$

$$\tau = \frac{P}{A} \leq 1.25 \tau_a \quad A : \pi \cdot z_b \cdot t \quad (z_b : \text{座金径})$$

5. 底板突起の設計

(1) 設計方法

- 1) 主塔の水平せん断力 (ΔS) に対して設計する。
- 2) 架設時のケーブル張力の水平分力に対して照査する。
 なお、許容応力度の割増しは、 $f = 1.25$ とする

(2) 設計荷重の算定

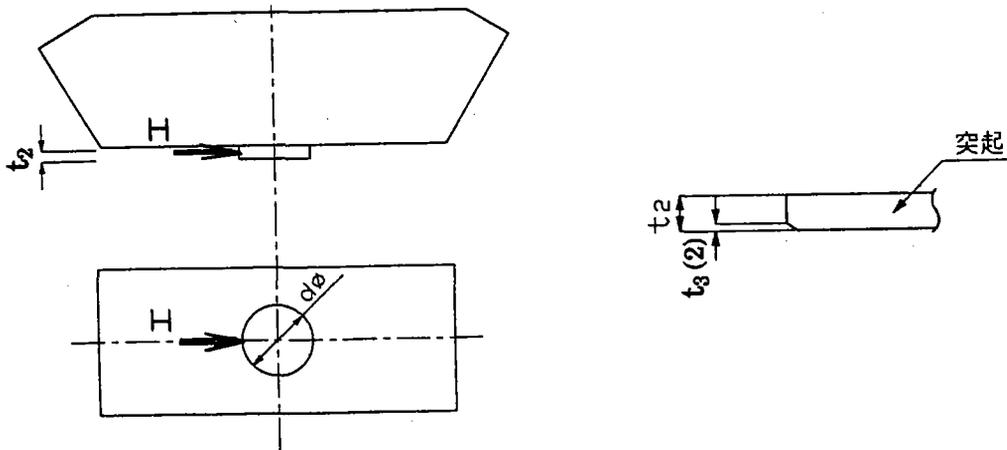
格子梁設計荷重の水平力を引用する。

(3) 応力度照査

$$\sigma_b = \frac{H}{d(t_2 - t_3)} \leq \alpha \sigma_{ba}$$

$$\tau = \frac{H}{\pi/4 \times d^2} \leq \alpha \tau_a$$

H : 水平力
 σ_b : 作用支圧応力度
 τ : 作用せん断応力度
 σ_{ba} : 許容支圧応力度
 τ_a : 許容せん断応力度
 α : 許容応力度の割増し
 常時 $\alpha = 1.00$ 、架設時 $\alpha = 1.25$
 t_2 : 底辺突起高さ
 t_3 : 面取り深さ (=2mm)



6. サドル形状の統一

- (1) ケーブル角度はサドル位置により異なる（上段から下段に向け漸変する）。このため各段のケーブルに対してサドル形状を決定すると、種類が多く製作上不経済かつ煩雑となる。よって支圧板の角度と高さをグルーピングすることによりサドルの種類を減らす。
- (2) ケーブル角度（支圧板角度）の変化およびケーブルサグによる角変化に対しては、支圧板上に調整板（厚さ20～40mm）を設け対応する。

§ 5. 格子梁の設計

1. 設計方法

- (1) 主塔への取付点で弾性支持された格子桁として設計する。
- (2) 設計荷重はケーブル張力の鉛直分力と、左右張力（側径間側と中央径間側のケーブル張力）のアンバランスにより生じる曲げモーメントとする。
- (3) 鉛直分力、及び曲げモーメントを格子梁腹板上の分布荷重に換算し、格子解析を行い断面を決定する。

2. 設計荷重の算定

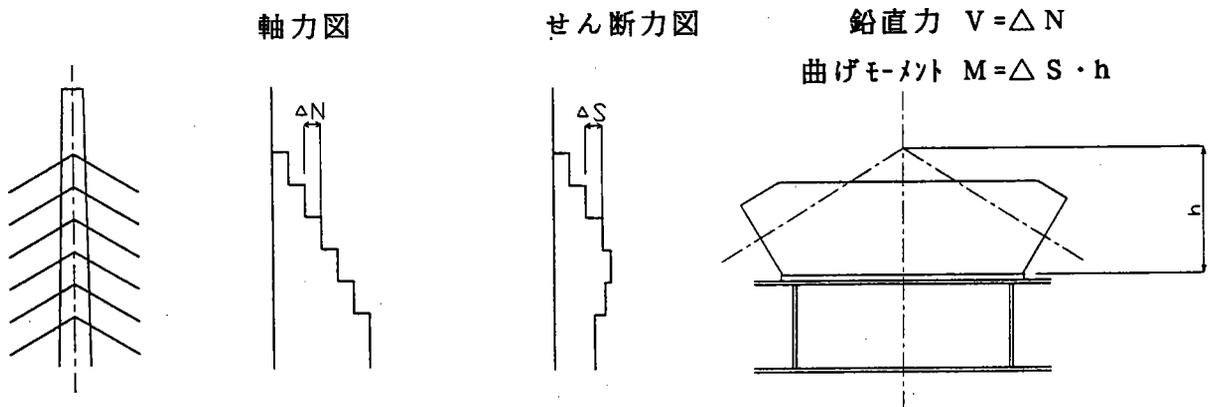
- (1) 鉛直分力、及び曲げモーメントは、完成時については全体解析結果より主塔部材に作用する軸力、せん断力の差分により求める。また、架設時については解体計算結果よりケーブル張力から求める。

全体解析結果の抽出ケースは以下の通りとする。なお、衝撃を考慮して設計断面力を補正する。

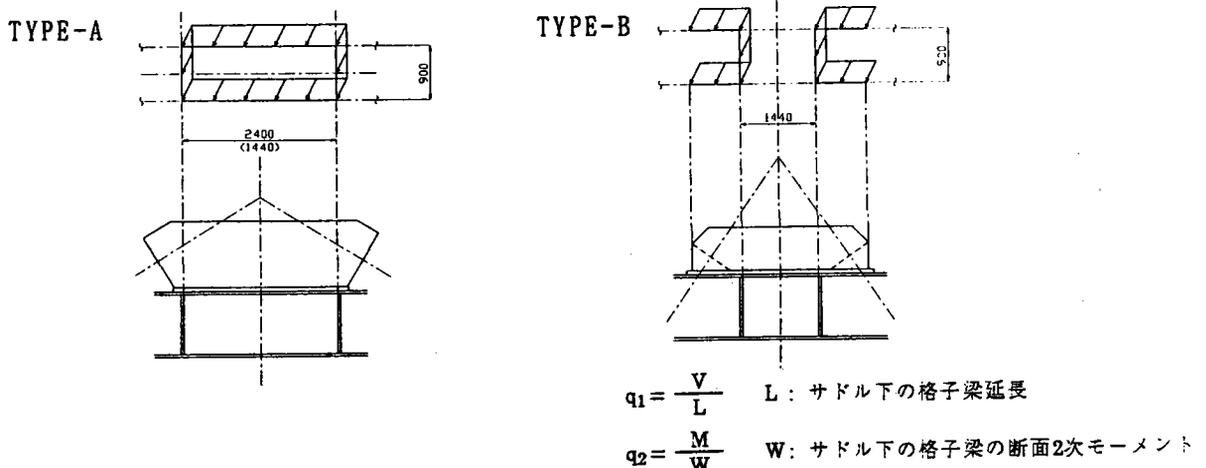
- a. 軸力最小時
- b. せん断力最小時
- c. せん断力最大時

$$\text{設計断面力} = (\text{活荷重による設計断面力}) \times i_1 / i_3$$

$$\text{衝撃係数} \begin{cases} \text{格子梁} & i_1 = 0.250 \\ \text{側径間} & i_2 = 0.131 \\ \text{中央径間} & i_3 = 0.071 \end{cases}$$



- (2) 鉛直分力、及び曲げモーメントによる分布荷重は、格子梁上に下図のように作用すると仮定する。



分布荷重の算出例

	骨 組	鉛 直 分 力	曲 げ モ ー メ ン ト																				
上 段		<p>サドル下の格子梁延長 $L = 2.4 \times 2 + 0.9 \times 2 = 6.60\text{m}$</p>	<p>サドル下の格子梁の断面2次モーメント</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>J</th> <th>AJ²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2×2.4</td> <td>: 4.8</td> <td></td> <td>2.3040</td> </tr> <tr> <td>2×0.9</td> <td>: 1.8</td> <td>1.2</td> <td>2.5920</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6.6</td> <td></td> <td>4.8960</td> </tr> </tbody> </table> $W = \frac{4.896}{1.2} = 4.080$		A	J	AJ ²	2×2.4	: 4.8		2.3040	2×0.9	: 1.8	1.2	2.5920		6.6		4.8960				
	A	J	AJ ²																				
2×2.4	: 4.8		2.3040																				
2×0.9	: 1.8	1.2	2.5920																				
	6.6		4.8960																				
中 段		<p>サドル下の格子梁延長 $L = 1.44 \times 2 + 0.9 \times 2 = 4.68\text{m}$</p>	<p>サドル下の格子梁の断面2次モーメント</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>y</th> <th>Ay²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2×1.44</td> <td>: 2.88</td> <td></td> <td>0.4977</td> </tr> <tr> <td>2×0.9</td> <td>: 1.80</td> <td>0.72</td> <td>0.9331</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4.68</td> <td></td> <td>1.4308</td> </tr> </tbody> </table> $W = \frac{1.4308}{0.72} = 1.987$		A	y	Ay ²	2×1.44	: 2.88		0.4977	2×0.9	: 1.80	0.72	0.9331		4.68		1.4308				
	A	y	Ay ²																				
2×1.44	: 2.88		0.4977																				
2×0.9	: 1.80	0.72	0.9331																				
	4.68		1.4308																				
下 段		<p>サドル下の格子梁延長 $L_4 = 4 \times 0.6215 + 2 \times 0.900 = 4.286\text{m}$</p>	<p>サドル下の格子梁の断面2次モーメント</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>y</th> <th>Ay²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2×2.683</td> <td>: 5.366</td> <td></td> <td>3.2189</td> </tr> <tr> <td>-2×1.440</td> <td>: -2.880</td> <td></td> <td>-0.4977</td> </tr> <tr> <td>2×0.9</td> <td>: 1.800</td> <td>0.45</td> <td>0.3645</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4.286</td> <td></td> <td>3.0857</td> </tr> </tbody> </table> <p> Q_2 に対し $W = \frac{3.0857}{2.683/2} = 2.300$ Q_3 に対し $W = \frac{3.0857}{0.72} = 4.286$ </p>		A	y	Ay ²	2×2.683	: 5.366		3.2189	-2×1.440	: -2.880		-0.4977	2×0.9	: 1.800	0.45	0.3645		4.286		3.0857
	A	y	Ay ²																				
2×2.683	: 5.366		3.2189																				
-2×1.440	: -2.880		-0.4977																				
2×0.9	: 1.800	0.45	0.3645																				
	4.286		3.0857																				

注) 格子解析のモデルは左右対象とし、1/2モデルとする。

3. 設計断面力の算定

(1) 格子解析により断面力を算定する。

(2) 解析モデルの支点バネ定数は以下の通り求める。

$$K_i = \frac{1}{\sum_i \frac{L_i}{E A_i}} \qquad K_i = \frac{K_i}{n}$$

{	K _i : 主塔軸方向i段における全断面 のバネ定数	k _i : i段における格子梁1支点当たり バネ定数
	L _i : 主塔軸方向分割長さ	n: 格子梁支点数
	A _i : 主塔分割位置の全断面積	

4. 応力度の照査（許容応力度の割増しはない）

$$\sigma = \frac{M}{W} < \sigma_a \qquad \left\{ \begin{array}{l} M, S: \text{格子解析結果の曲げモーメント、せん断力} \\ W, A: \text{格子梁部材の断面係数、断面積} \end{array} \right.$$

$$\tau = \frac{S}{A} < \tau_a$$

$$\left[\frac{\sigma}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_a} \right]^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

$$\left[\frac{\sigma_x}{\sigma_a} \right]^2 - \left[\frac{\sigma_x}{\sigma_a} \right] \cdot \left[\frac{\sigma_y}{\sigma_a} \right] + \left[\frac{\sigma_x}{\sigma_a} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_a} \right]^2 \leq 1.2 \quad (\text{二軸応力度})$$

5. 断面決定要因

(1) 格子梁の総高：ケーブルソケット引込時の空間及びサドル高さを考慮する。

（総高約1000mm）

(2) フランジ断面：幅は現場継手のボルト配置を考慮する。（幅380mm）

板厚は上フランジ面へのベースプレートの溶接を考慮し、ある程度
の剛性をもたせる。

（板厚 25mm以上）

上下フランジ厚は同厚とする。

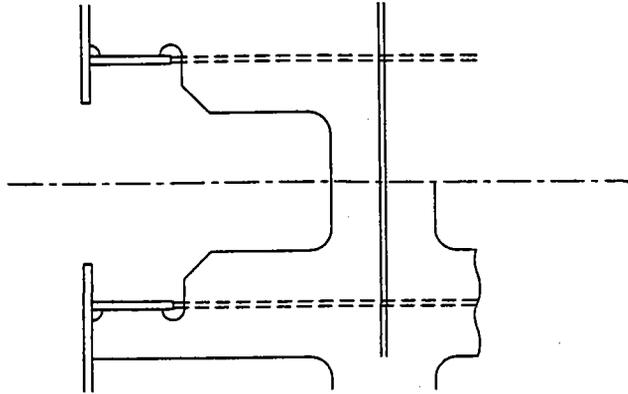
(3) 腹板断面：狭あいな箇所での作業性を考慮し、垂直補剛材を必要としない板厚とする。

6. 現場継手（ボルト）の照査

(1) 道示・鋼橋編4.3.5に従って照査する。

7. フランジ面のケーブル貫通に対する検討

- (1) ケーブル引込み時にソケットがフランジ面を貫通するので、フランジの形状を照査する。なお、ソケット外径には100mmの余裕を見込むものとする。
- (2) 完成時にはケーブル本体がフランジ面を貫通するので、フランジ縁端部との離れを求める。



8. 腹板の補剛

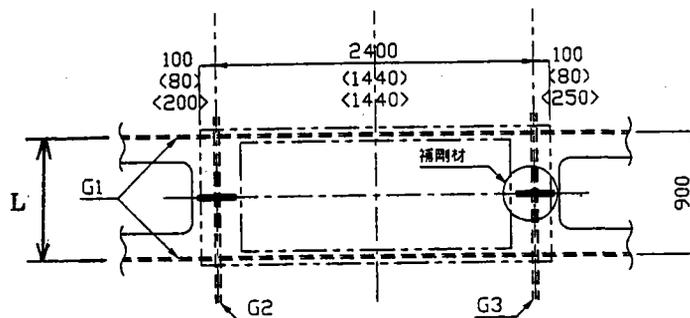
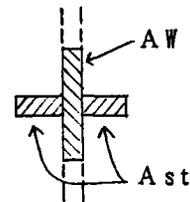
(1) 設計方法

- 1) 格子梁設計における鉛直分布荷重は、格子梁腹板上に分布するものと仮定しているが、実際の場合下図のG2 (G3) 桁上ではある程度分散して分布すると考えられる。一方、ケーブル開口部があり、フランジ縁は自由端になっている。これに対して、垂直補剛材を設ける。
- 2) 補剛材板厚は腹板と同厚とする。
- 3) 補剛材と腹板の溶接はすみ肉溶接とし、せん断応力度は三角形分布とする。

(2) 設計荷重の算定

下図の■部に作用する荷重を腹板と補剛材で構成される柱として負担するものとし、断面積比で作用荷重を算出する。

$$P = q_{\max} \times L \times \frac{A_{st}}{A_w + A_{st}}$$



§ 6. ベースプレートの設計

1. 設計方法

サドル底板突起から伝達される水平荷重により断面を決定する。

2. 設計荷重の算定

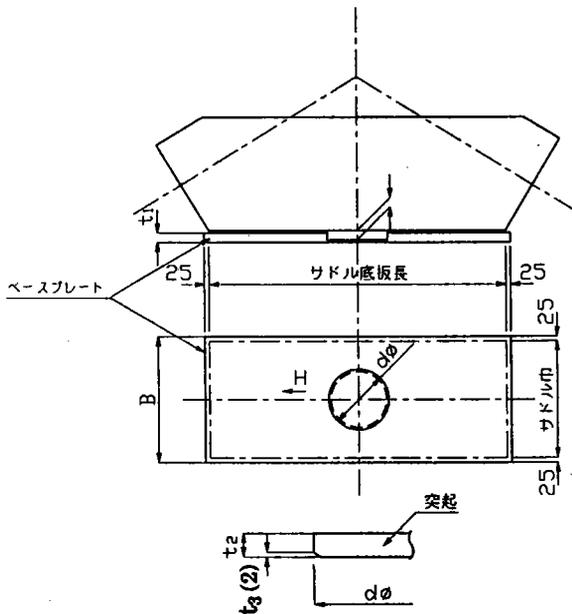
設計荷重は格子梁設計荷重の水平力を引用する。

3. 応力度照査

$$\sigma_t = \frac{H}{(B-d) \times t_1} \leq \alpha \sigma_a$$

$$\sigma_b = \frac{H}{d(t_2-t_3)} \leq \alpha \sigma_a$$

σ_t : 作用引張応力度
 σ_t : 作用支圧応力度
 σ_a : 設計引張応力度
 σ_{ba} : 設計支圧応力度
 α : 許容応力度の割増し
 常時 : $\alpha = 1.00$
 架設時 : $\alpha = 1.25$
 t_1 : ベースプレート板厚
 t_2 : 底板突起高さ
 t_3 : 面取り深さ (= 2mm)



§ 7. アンカーボルトの設計（補強リブを含む）

1. 設計方法

- (1) ケーブル架設時の定着サドルの転倒モーメントに抵抗する引張ボルトとして設計する。
- (2) 下記の2通りでボルト断面を照査する。

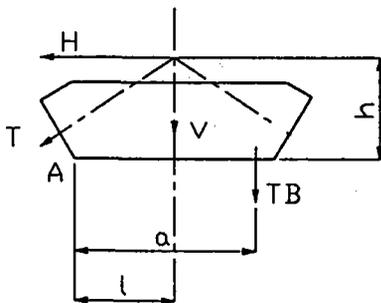
- 計算法-1
定着サドルが下端を支点として回転すると仮定する。
- 計算法-2
定着サドルの下面を単鉄筋断面と仮定する。

2. 設計荷重の算定

設計荷重は架設時（片側ケーブル引込み）ケーブル張力の鉛直分力及び水平分力とする。

3. 設計断面力の算定

a. 計算法-1



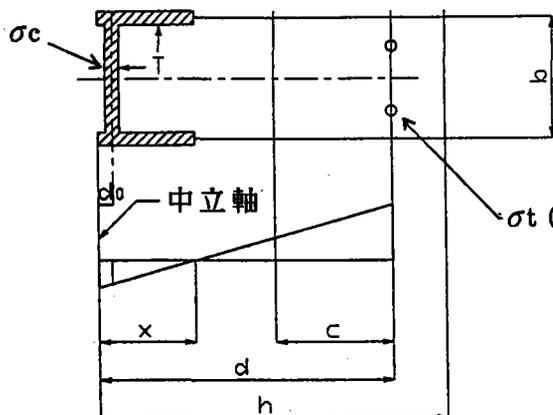
A点のまわりの曲げモーメント割合を考える。

$$H \cdot h = V \cdot l + T_B \cdot a \text{ より}$$

$$T_B = \frac{H \cdot h - V \cdot l}{a}$$

$$= \frac{M - V \cdot l}{a}$$

b. 計算法-2



中立軸まわりの力のつり合い式より
アンカーボルトの作用引張力を求める。

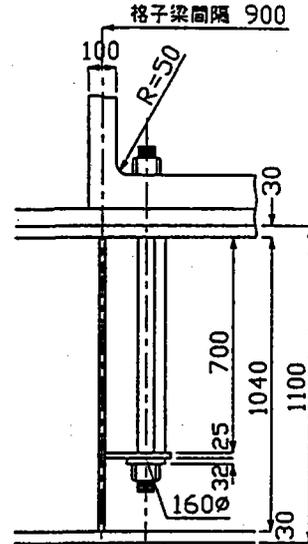
4. 応力度照査

(1) アンカーボルト

$$A = \frac{\pi}{4} d_1^2$$

$$\sigma_t = \frac{T}{n \cdot A} < \alpha \sigma_a$$

- d_1 : アンカーボルトの谷径
- T : 作用引張力
- σ_t : 作用引張応力度
- σ_a : 許容引張応力度
- n : 引張り側アンカーボルト数
- α : 許容応力度の割増し (=1.25)



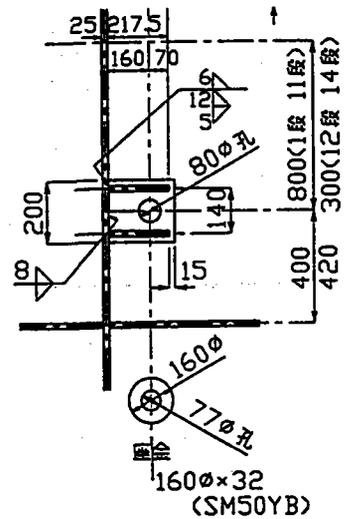
($\sigma_a = 4400 \text{Kgf/cm}^2$: ニッケルクロムモルブデン鋼 (JIS G4103))

(2) 補強リブ

せん断応力度は三角形分布と仮定する。

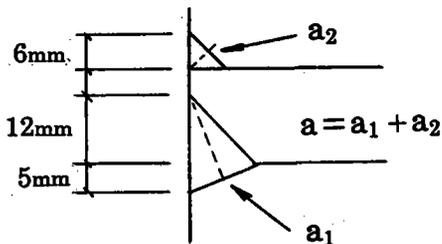
$$\tau = \frac{2T}{A} < \alpha \tau_a$$

- τ : 作用せん断応力度
- τ_a : 許容せん断応力度
- A : リブのせん断面積



(3) 溶接設計 (例)

1) 使用サイズ (例)



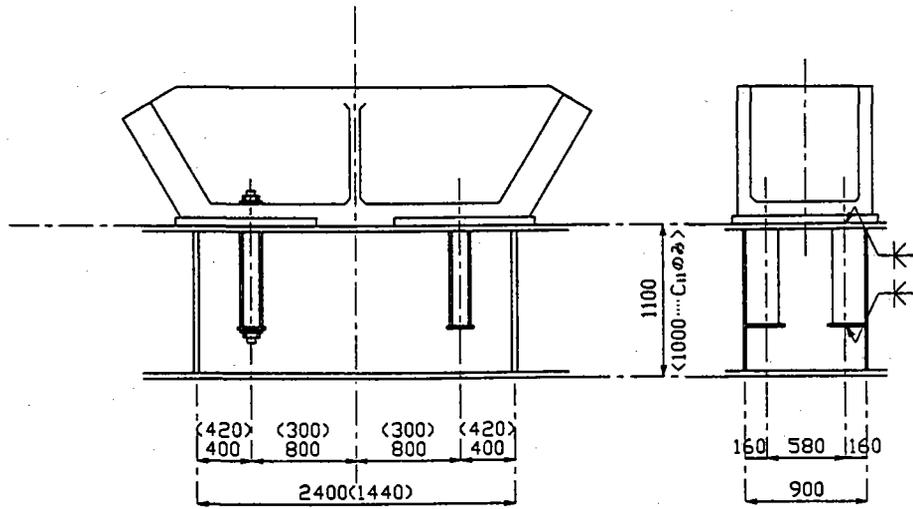
2) 有効のど厚 (a)

$$\begin{aligned} a &= 1.2 \times \sec 45^\circ \times \cos 22.5^\circ - 0.3 \\ &\quad + 0.6 \cos 45^\circ \\ &= 1.69 \text{cm} \end{aligned}$$

3) 余盛 (b)

$$b = (\sec 45^\circ - 1) \times 1.2 = 0.49 \text{cm} \rightarrow 5 \text{mm}$$

4) 格子梁とサドルの連結図 (例)



§ 8. ダイヤフラム

1. 設計方法

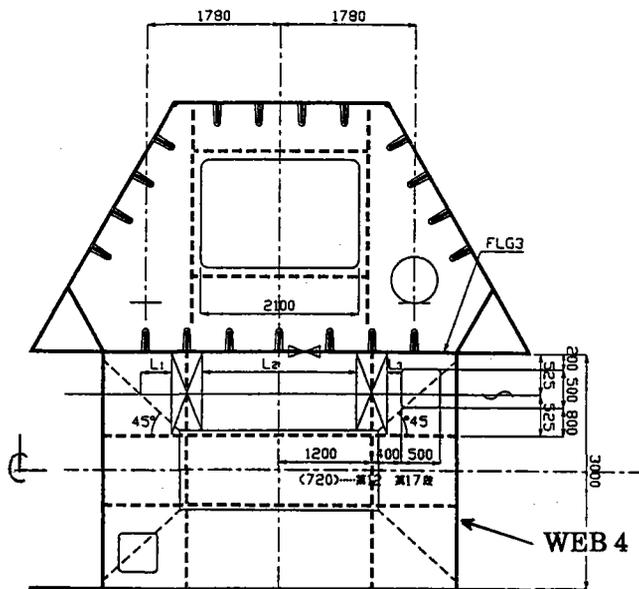
- (1) ダイヤフラム（格子梁の上フランジ）には、主塔中セルの横リブとして「WEB4」を補剛する機能を持たせる。剛性の照査は道示・鋼橋編3.2.4による。
- (2) ケーブル水平力は定着サドルよりダイヤフラムを介して主塔外セルの「FLG3」に伝達されるよう水平継手を決定する。継手は高力ボルト2面摩擦接合とする。

2. 設計断面力の算定

- (1) 設計水平力はベースプレートの設計水平荷重を引用する。但し、架設時荷重は安全率 α で割戻した常時換算値とする。

$$H' = \frac{1}{\alpha} \cdot H \quad H': \text{使用荷重} \quad H: \text{架設時水平力} \quad \alpha: \text{安全率}(=1.25)$$

- (2) 継手位置でのダイヤフラム有効長は下図の通りベースプレート端部より45°分布で荷重が伝達されるものとするが、格子梁のフランジ幅（下フランジ幅）とマンホール開口巾は除外する。



伝達長

$$\Sigma L = L_1 + L_2 + L_3$$

ダイヤフラム位置における主塔断面図

4. ボルト必要本数

$$N_{\text{req}} = i \times \frac{H'}{2 \times P}$$

↑
両側の継手

i : 応力集中係数 (=1.5)

P : 1 ボルト許容力

§ 9. 主塔部材の応力度照査

1. 照査方法

- (1) 軸力に対しては、主塔全断面を有効とする。ただし、ケーブル定着格子桁の取付く FLG-3、WEB-4 は、応力集中係数を設定し、全体解析結果より得られる軸力を係数倍した応力度に対して照査する。
- (2) 応力集中係数は、簡易な FEM 解析を行い、着目する格子桁取付け部の上下に位置する他の格子桁取付け部からの影響も考慮して算定式を設定する。
- (3) 応力集中係数は、全体解析結果から得られる断面力（軸力）のうち、D + L 荷重での軸力最小時の軸力を用いて算定し、全解析ケースの照査に適用する。

2. 応力集中係数（鶴見航路橋の例）

- (1) 応力集中係数算定式（ケーブル定着点 i に対する式）

1) FLG-3

$$f_i = \frac{\sum_{k=1}^i \Delta N_k + 0.2 \times \Delta N(i-3) + 0.3 \times \Delta N(i-2) + 0.7 \times \Delta N(i-1) + 2.5 \times \Delta N_i - 1.3 \times \Delta N(i+1) - 0.3 \times \Delta N(i+2)}{\sum_{k=1}^i \Delta N_k}$$

2) WEB-4

$$f_i = \frac{\sum_{k=1}^i \Delta N_k + 0.1 \times \Delta N(i-3) + 0.2 \times \Delta N(i-2) + 0.3 \times \Delta N(i-1) + 0.6 \times \Delta N_i - 0.3 \times \Delta N(i+1) - 0.1 \times \Delta N(i+2)}{\sum_{k=1}^i \Delta N_k}$$

f_i : 定着点 i における応力集中係数

N_i : 定着点 i における軸力増分

3) その他断面

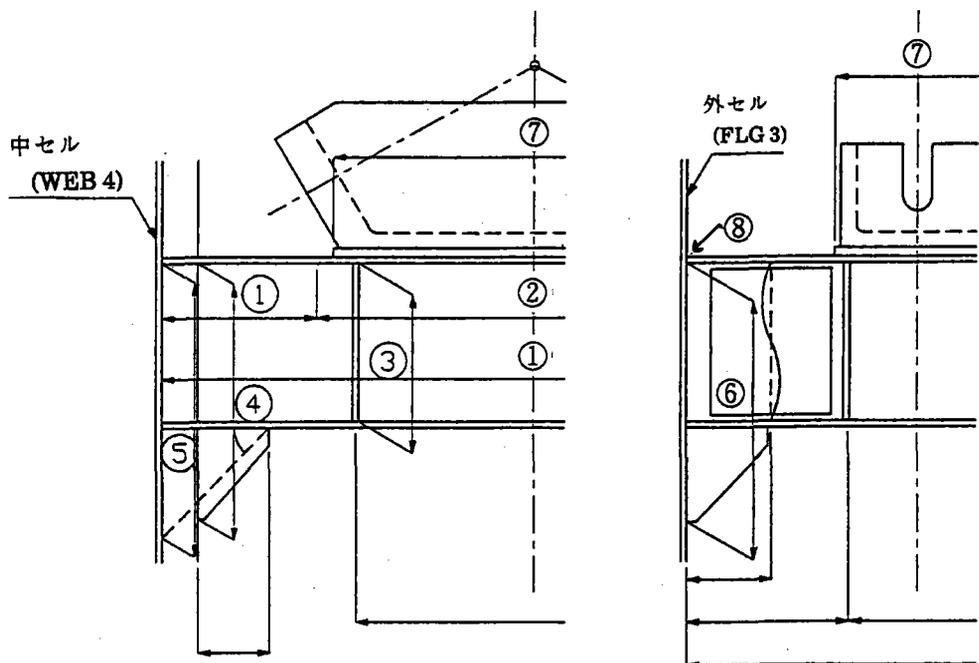
その他の断面においては平均応力にて照査するものとする。

§ 10. 溶接設計

1. 主要溶接箇所

主要溶接箇所は以下の通りである。

- ① 上下フランジと腹板
- ② ベースプレート直下の上フランジと腹板
- ③ 腹板と腹板の交差部（・・・完全溶込み溶接：計算略）
- ④ 腹板と縦リブ
- ⑤ 縦リブと中セル（WEB 4）
- ⑥ 腹板と外セル（FLG 3）
- ⑦ ベースプレートと上フランジ
- ⑧ 上フランジ（横リブ）と外セル（FLG 3）



2. 上下フランジと腹板

(1) 設計方法

- 1) すみ肉溶接として設計する。
- 2) 設計荷重は格子梁設計荷重のうち最大水平せん断力とする
- 3) すみ肉溶接の脚長は $\sqrt{2t}$ (t : フランジ厚) 以上とする。

(2) 計算式

$$s_{req} = \frac{S_{max} \cdot Q}{I} \times \frac{1}{\tau_a} \times \frac{1}{2 \times 0.707}$$

ここに、 s_{req} : 必要すみ肉脚長

S_{max} : 最大水平せん断力

I : 格子梁全断面の断面2次モーメント

Q : 格子梁片側フランジの断面1次モーメント

τ_a : 溶接部許容せん断応力度

3. ベースプレート直下の上フランジと腹板

(1) 設計方法

- 1) 部分溶込み溶接として設計する。ただし、ルートフェースが2mm以上確保できない場合は完全溶込み溶接とする。
- 2) 設計荷重は格子梁設計荷重(N_{min} 、 S_{max} 、 S_{min} 、架設時)のうち最大分布荷重とする。
- 3) 荷重分布は均一ではないものとし、荷重係数を1.5とする。

(2) 計算式

$$s_{req} = 1.5 \times \frac{q}{2 \times \sigma_{ba}} + 0.3 \text{ (cm)}$$

ここに、 q : 最大分布荷重

σ_{ba} : 許容支圧応力度

0.3 : 不溶着深さ (3mm)

4. 腹板と縦リブ

(1) 設計方法

- 1) 部分溶込み溶接として設計する。ただし、ルートフェースが 2mm 以上確保できない場合は完全溶込み溶接とする。
- 2) 設計荷重は、格子梁端部に作用する最大せん断力とする。
- 3) せん断力は三角形分布するものとする。
- 4) 有効溶接長はスカーラップを考慮する。

5. 縦リブ中セル (WEB 4)

(1) 設計方法

「4. 腹板と縦リブ」と同様とするが、すみ肉溶接として設計する。

6. 腹板と外セル (FLG 3)

(1) 設計方法

「4. 腹板と縦リブ」と同様とするが、すみ肉溶接として設計する。

7. ベースプレートと上フランジ

(1) 設計方法

- 1) 部分溶込み溶接として設計する。なお、有効せん断長はベースプレートの両側面とする。
- 2) 設計荷重はベースプレートに作用する最大水平せん断力とする。
- 3) 応力集中を考慮して、荷重係数を 1.5 とする。

(2) 計算式

$$a_{req} = \frac{1.5 \times H}{2 \times L \times \tau_a}$$

ここに、 H : 最大水平せん断力
 τ_a : 溶接部許容せん断応力度

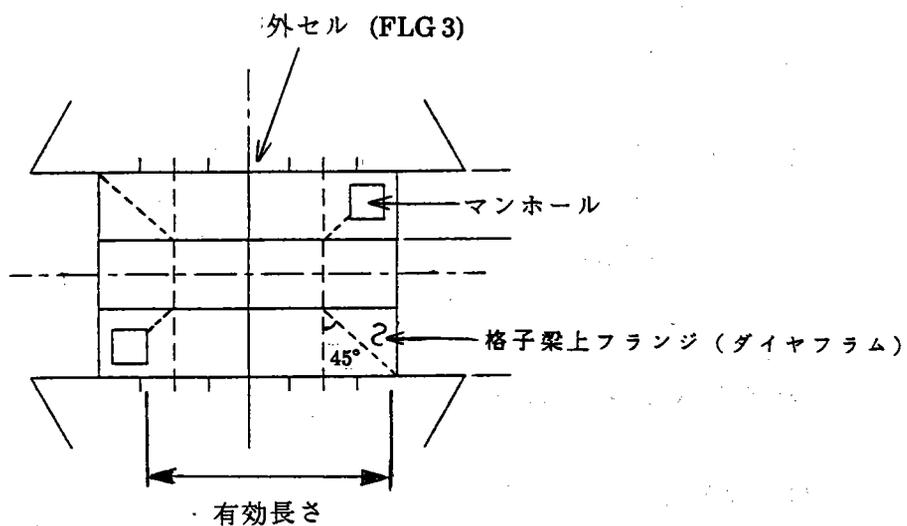
開先深さ $a_D = a_{req} + 0.3$ (cm)

余盛量 $s_1 = (\sec 45^\circ - 1) \times a_D$

8. 上フランジと外セル (FLG 3)

(1) 設計方法

- 1) すみ肉溶接として設計する。
- 2) 設計荷重はベースプレートに作用する最大水平せん断力とする。
- 3) 荷重は下図のようにベースプレート端部より 45° 分布するものとし、有効溶接長を求める。ただし、マンホールより外側は無効とする。

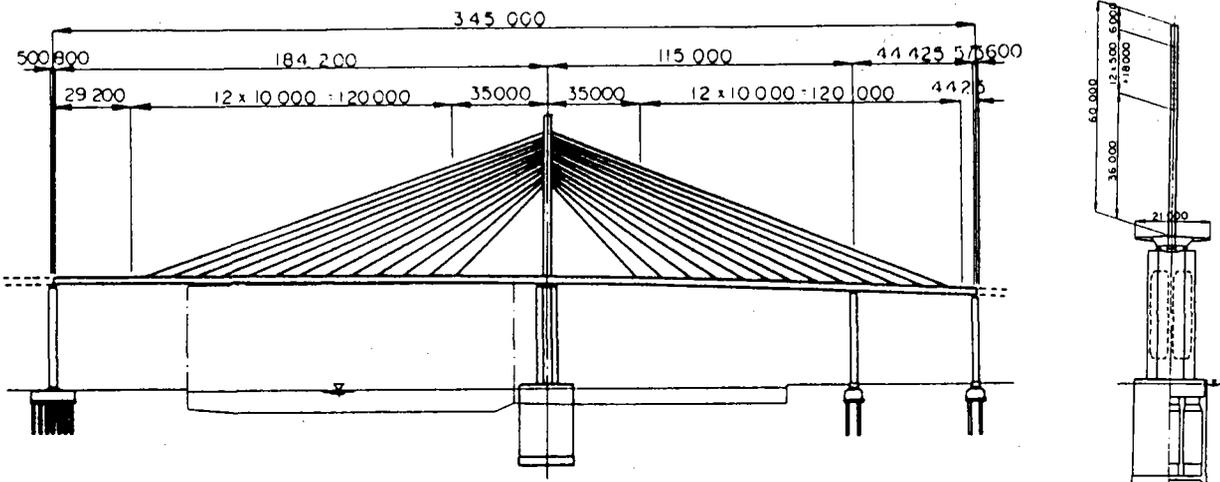


1.2.3 支圧板形式 (荒津大橋)

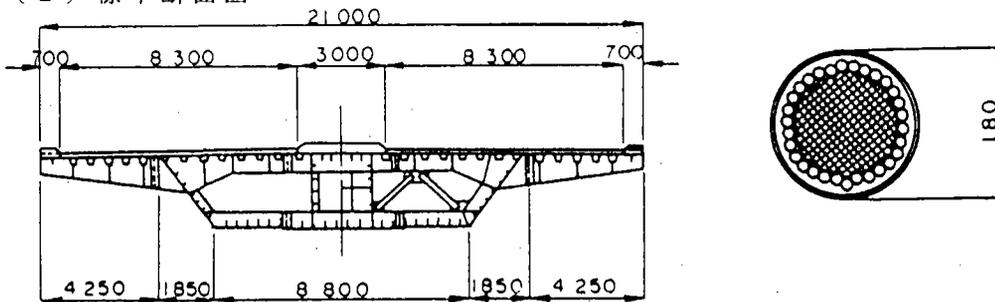
§ 1 一般図・定着構造図

1. 一般図

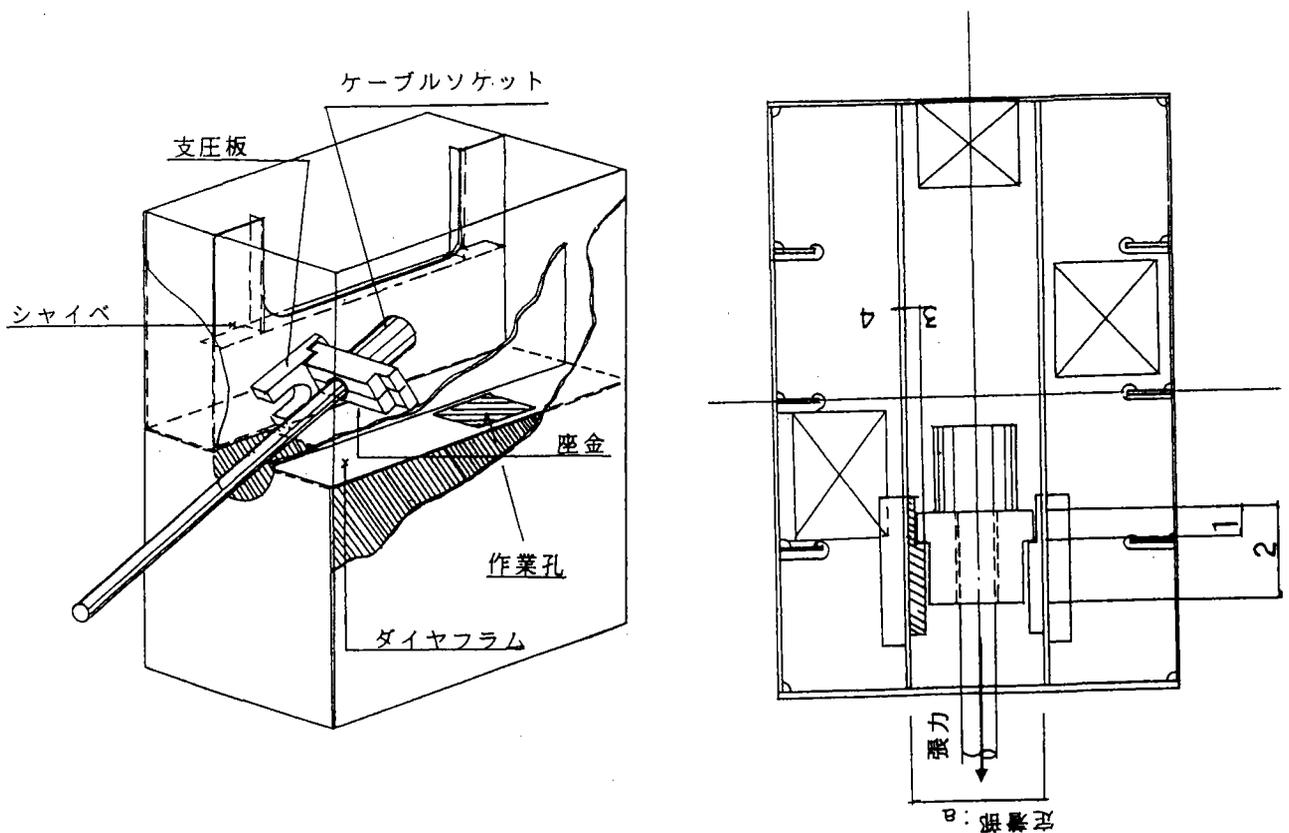
(1) 全橋側面図



(2) 標準断面図

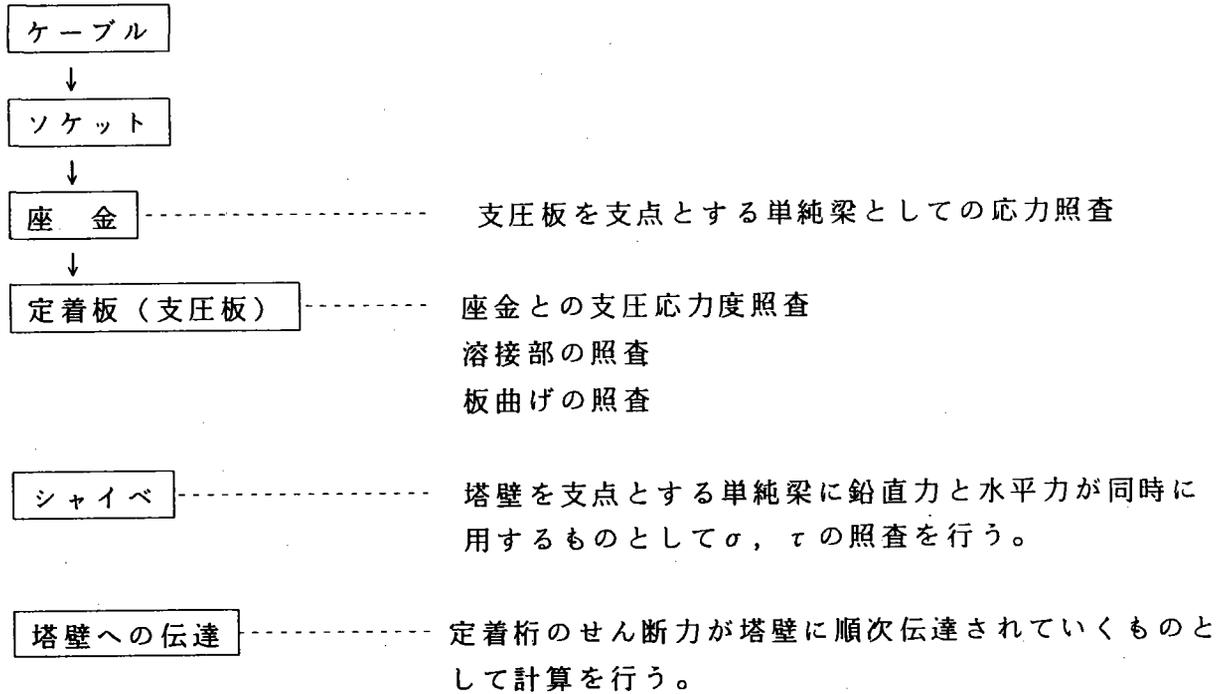


2. 定着構造図



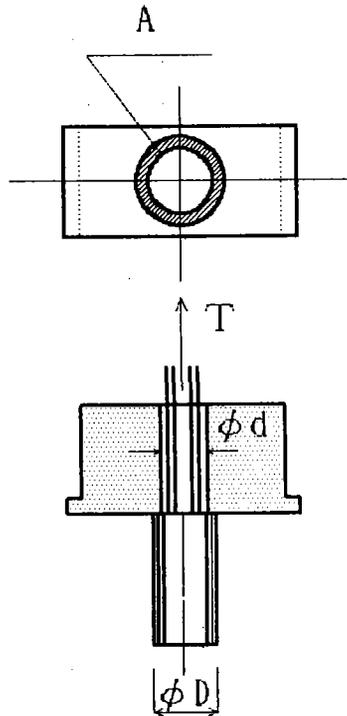
§ 2 設計手順

慣用計算で設計を行なった後、F E M解析を行った。



§ 3 座金の設計

1. ソケットと座金の支圧応力度



$$\sigma_b = \frac{T}{A} < \sigma_{ba}$$

T: 設計張力

A: 有効支圧面積

ϕD : ソケット径

ϕd : 座金孔径

座金: SCMn2A

ケーブル $\phi 7 \times 241$ に対して: $510^t f$

ソケット $\phi D = 32.5^{cm}$

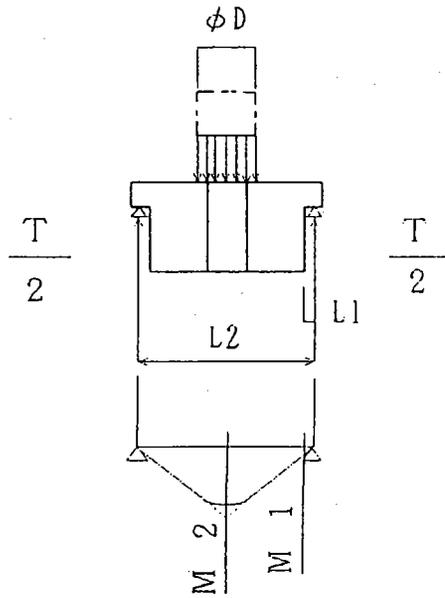
座金 $\phi d = 21.0^{cm}$

$$A = \frac{\pi}{4} (32.5^2 - 21.0^2) = 483.2^{cm^2}$$

支圧応力度 σ_b

$$\sigma_b = \frac{T}{A} = \frac{510 \times 10^3}{483.2} = 1055 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ba} = 2800 \text{ kgf/m}^2$$

2. 単純梁としての応力度



$$M_1 = \frac{T}{2} L_1$$

$$M_2 = \frac{T}{4} L_2 - \frac{qD^2}{8}$$

$$S = \frac{T}{2}$$

ここに $q=T/D$

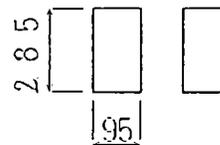
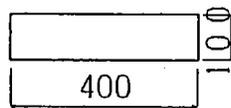
$\sigma_i = \frac{M_i}{Z_i} < \sigma_a \quad (i=1,2)$ $\tau_i = S_i/A_i < \tau_a$ $(\sigma_i/\sigma_a)^2 + (\tau_i/\tau_a)^2 \leq 1.2$
--

ここに Z_i : 断面係数 (孔を控除)

A : 断面積

SEC. 1

SEC. 2



$$L_1 = 3.25 \text{ cm}, L_2 = 53.5 \text{ cm}$$

$$M_1 = 510 \times 10^3 / 2 \times 3.25 \text{ cm} = 828750 \text{ kgf/cm}$$

$$M_2 = 510 \times 10^3 / 4 \times 53.5 - 15692 \times 32.5^2 / 8$$

$$= 4749375 \text{ kgf/cm}$$

$$\text{ここに } q = 510 \times 10^3 / 32.5 = 15692 \text{ kgf/cm}$$

$$A_1 = 400 \text{ cm}^2$$

$$Z_1 = 667 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = 1243 < \sigma_a = 1900 \text{ kgf/cm}^2, \sigma = 1847 < \sigma = 1900$$

$$\tau = 638 < \tau_a = 1100,$$

$$\text{合成応力度 } 0.76 < 1.3$$

$$A_2 = 541.5$$

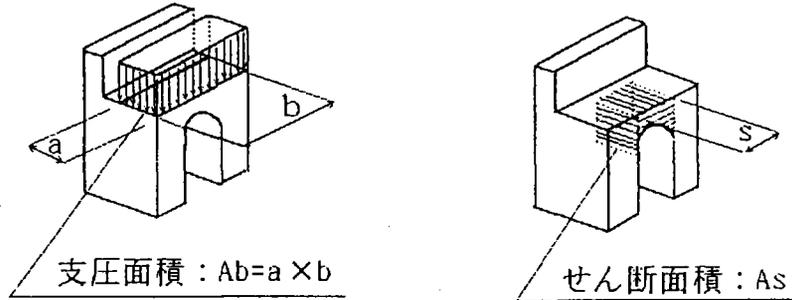
$$Z_2 = 2572 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = 1847 < \sigma = 1900$$

$$\tau = 471 < 1100$$

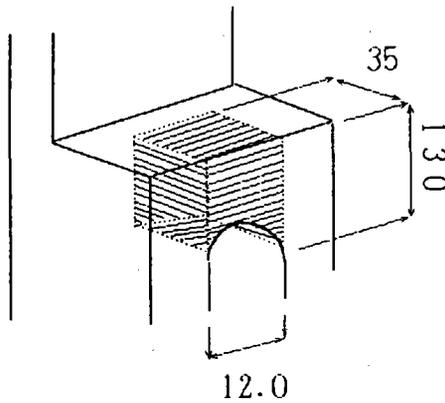
$$1.13 < 1.2$$

§ 4 支圧板の照査



① 支圧応力度 : $\sigma_b = \frac{T/2}{A_b} < \sigma_{ba}$

② せん断応力度 : $\gamma = \frac{\sigma_b \cdot a \cdot l}{A_s} < \tau_a$



$a = 3.5 \text{ cm}, b = 40.0 \text{ cm}$

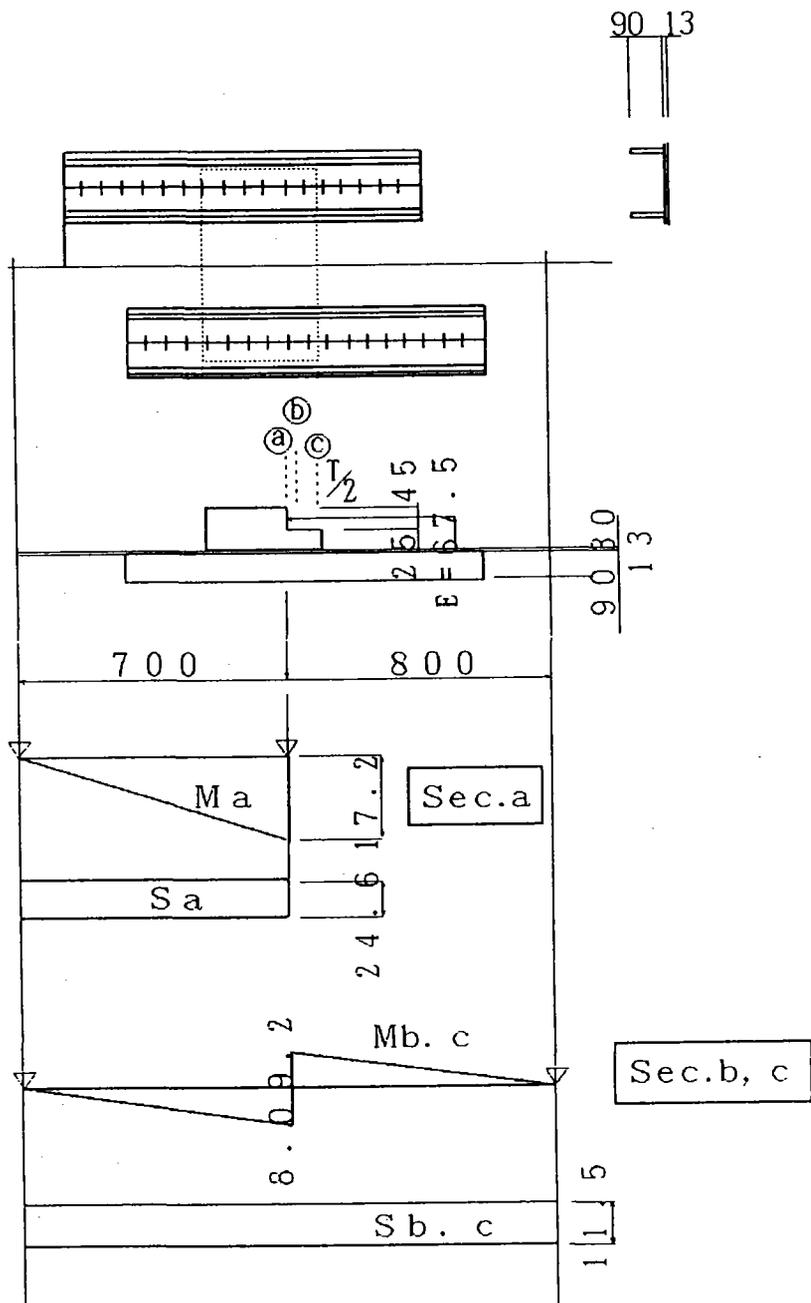
支圧応力度

$\sigma_b = \frac{510 \times 10^3 / 2}{3.5 \times 40.0} = 1821 \text{ ksf/cm}^2 < \sigma_{ba} = 2800 \text{ ksf/cm}^2$

せん断応力度

$\tau = \frac{1821 \times 3.5 \times 12.0}{13.0 \times 3.5 \times 2 + 12 \times 13} = 310 \text{ ksf/cm}^2 < \tau_a = 1100 \text{ ksf/cm}^2$

③ 板曲げの照査



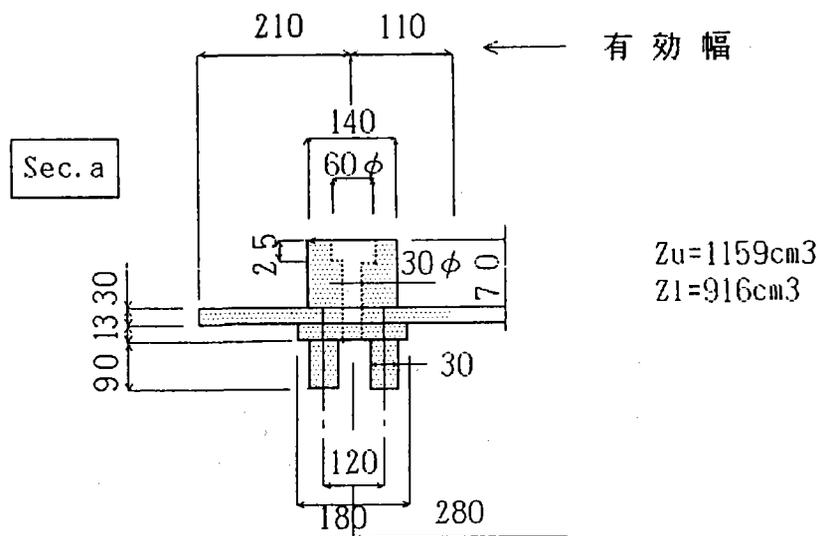
板曲げに対し、左図のように仮想支点を考え
 sec a ~ c を照査する。

$$M_a = \frac{T}{2} \cdot E = 510^{tf} / 2 \times 0.0675^m = 17.2^{tf \cdot m}$$

$$S_a = 17.2 / 0.7 = 24.6^{tf}$$

$$M_{b,c} = \frac{0.8}{0.7+0.8} \times M_a = 9.2^{tf \cdot m}$$

$$S_{b,c} = M_a / (0.7+0.8) = 11.48^{tf}$$



注) 板曲げの断面力算定に当っては、適当なモデル化を行う。

板曲げの断面係数算定に当っては、有効幅を考慮する。

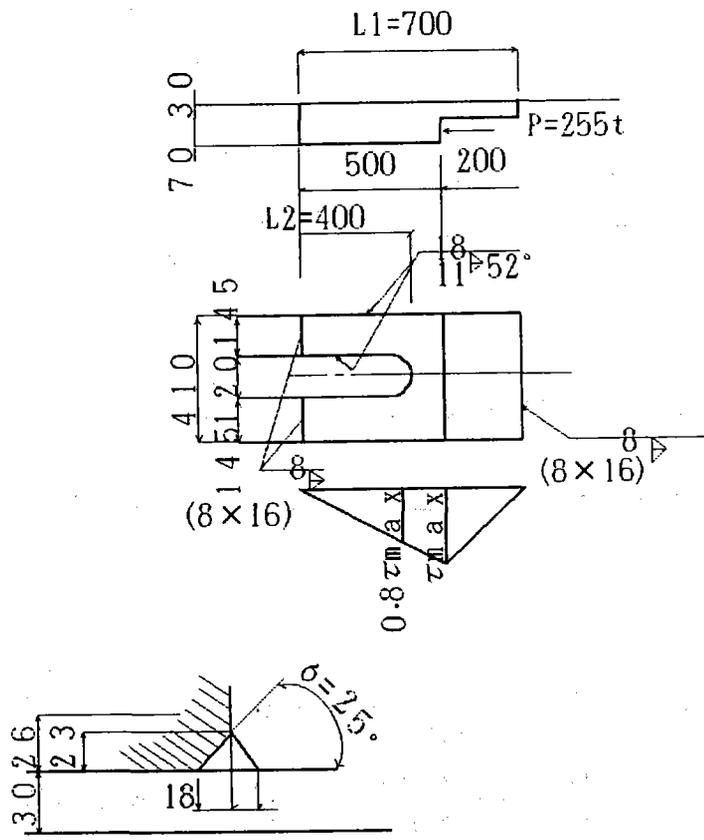
$$\tau_u = \frac{Ma}{Z_e} = \frac{17.2 \times 10^5}{1159} = 1484 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_a = 1900 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{Ma}{Z_e} = \frac{17.2 \times 10^5}{916} = 1878 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_a = 2100 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{24600}{2 \times 3.0 \times 9.0 \times 2} = 228 \text{ kgf/cm}^2 < 0.45 \tau_a$$

sec b, sec c についても同様に計算する。

④ 溶接の照査



有効のど厚 $a = 18 \cdot \sec 52^\circ \cdot \cos 26^\circ - 3 = 23.3^{mm}$

溶接部の応力分布を三角形と仮定すると

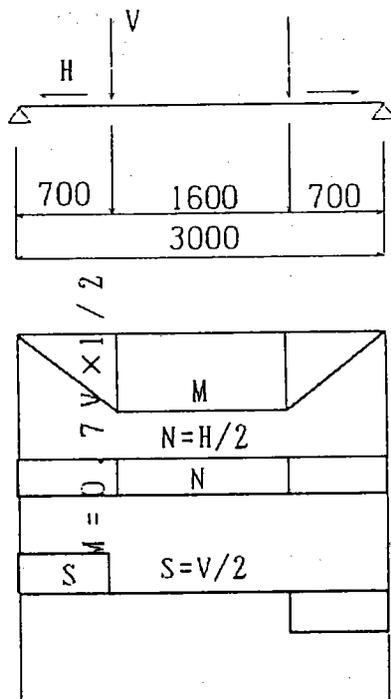
$$\begin{aligned}
 2l_1 \cdot \tau_{max} \times 1/2a + 2l_2 \times 0.8 \tau_{max} \times 1/2a &= p \\
 \tau_{max} (l_1 \cdot a + 0.8 \cdot l_2 a) &= p \\
 \tau_{max} &= p / \{ (l_1 + 0.8 \cdot l_2) \cdot a \} \\
 &= \frac{255 \times 10^3}{(70.0 + 0.8 \times 40.0) \times 2.33} = 1073 \text{ kgf/cm}^2 < \tau_a = 1200 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

補強リブ及び取付ボルトの計算省略する。

§ 5 シャイベ

シャイベの応力度

V : ケーブル鉛直成分
H : ケーブル水平成分



上段ケーブル(7φ×223, 7φ×241)に対して

$$V_{MAX} = 261 \text{ t f}$$

$$H_{MAX} = 446 \text{ t f}$$

したがって

$$M = 91.4 \text{ t f} \cdot \text{m}$$

$$N = 223.0 \text{ t f}$$

$$S = 130.5 \text{ t f}$$

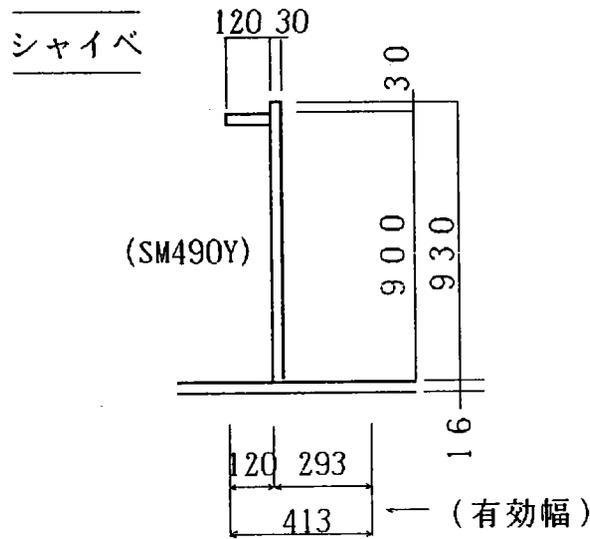
シャイベ断面諸元(上図より)

$$A = 375.1 \text{ cm}^2, I = 369890 \text{ cm}^3$$

$$Z_u = 7202 \text{ cm}^3, Z_e = 9178 \text{ cm}^3$$

$$A_w = 279.0$$

$$\sigma_{ca} = 2100 - 22 \left(2.77 \frac{150}{12} - 7 \right) 1493 \text{ ksf/cm}^2$$



$$\begin{aligned} \sigma_u &= M/Z_u < \sigma_a \text{ (軸力を無視する)} \\ \sigma_e &= M/Z_e + N/A_w < \sigma_a \\ \tau &= S/A_w < \tau_a \\ (\tau/\tau_a)^2 + (\sigma/\sigma_a)^2 &\leq 1.2 \end{aligned}$$

$$\sigma_u = 91.4 \times 10^5 / 7202 = 1269 < \sigma_{ca}$$

$$\sigma_e = \frac{91.4 \times 10^5}{9178} + \frac{223000}{279.0} = 1795 \text{ ksf/cm}^2$$

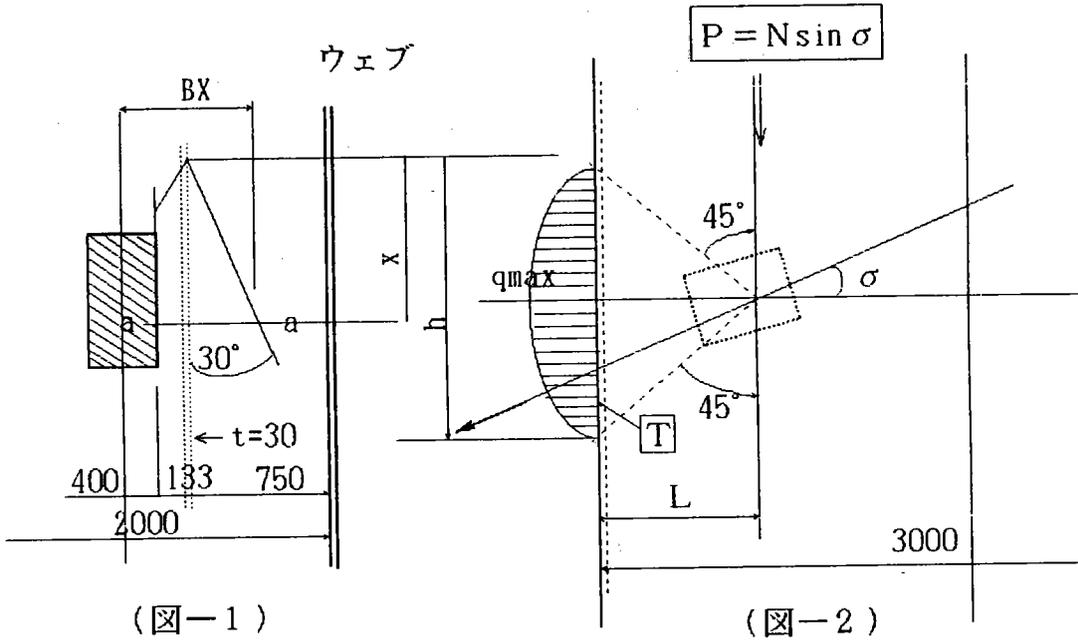
$$< \sigma_a = 2100 \text{ ksf/cm}^2$$

以下省略

σ_e に於ける、軸力による応力度を求める場合、安全側に腹板のみを有効とした。

86 塔壁への伝達

1. 鉛直力



せん断応力度の照査

・荷重 p が 45° 分布でウェブに伝達され q の分布は、放物線と仮定する。

$$l = 52.0 \text{ cm}, h = 104.0 \text{ cm}$$

$$\downarrow$$

$$x = 85.5, B\lambda = 62.7, N' = 63.5 q_{\max}$$

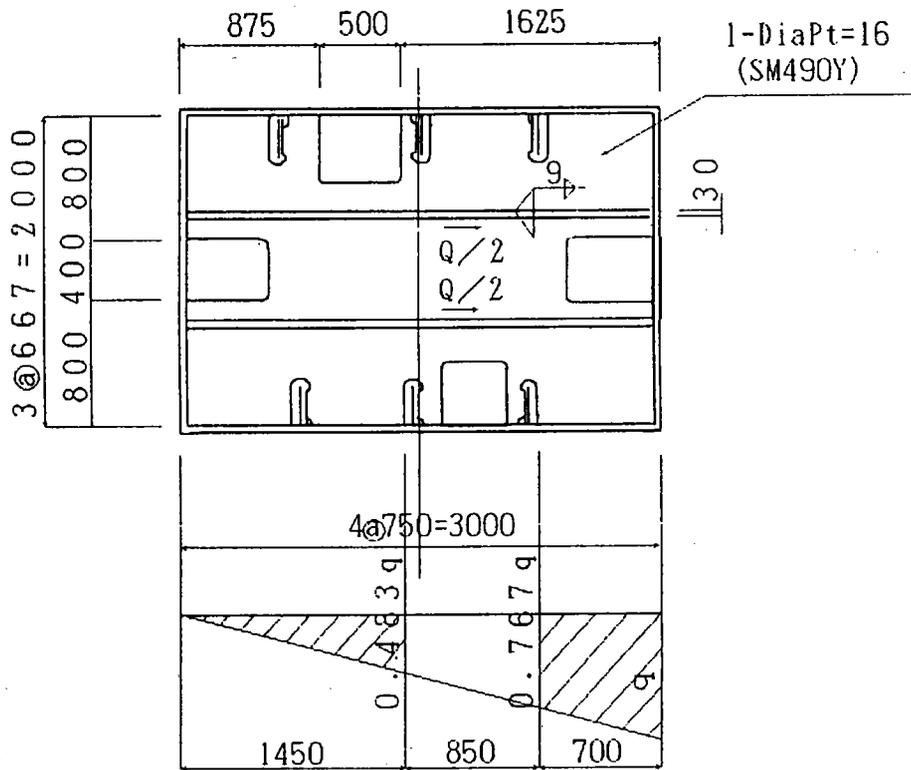
$$\sigma_x = 1.014 q_{\max}$$

$$q_{\max} = \tau t = \frac{3p}{2h} \implies \tau_{\max} = \frac{3p}{2h \cdot t} < \tau_a$$

N(tf)	510 ^t	
Q(deg)	25.524	
P(tf)	219.8	
qmx	3170	
t	528	<1200
tw ^{mm}	30	
σ_{a-a}	536	
σ_c	1344	タワー本体応力度より
$\Sigma \sigma$	1880	<1965

2. 水平力

ケーブル水平分力は、定着梁からダイヤフラムを分して塔壁に伝わるものとする。



ダイヤフラムのせん断応力度
(三角形分布を仮定する。)

$$\tau = \frac{q}{\tau D} < \tau a$$

ダイヤフラムの溶接

$$\tau = \frac{q}{a} < \tau$$

$$Q=285.9^t$$

$$F=2 \{145 \times 0.438q \times 1/2 + 70 \times (0.767q+q) \times 1/2\}$$

$$=193.7q=285.9 \times 10^{3\text{k}\epsilon\text{f}}$$

したがって

$$q=1476^{\text{k}\epsilon\text{f}/\text{cm}}$$

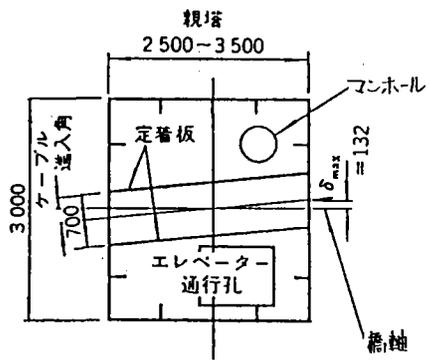
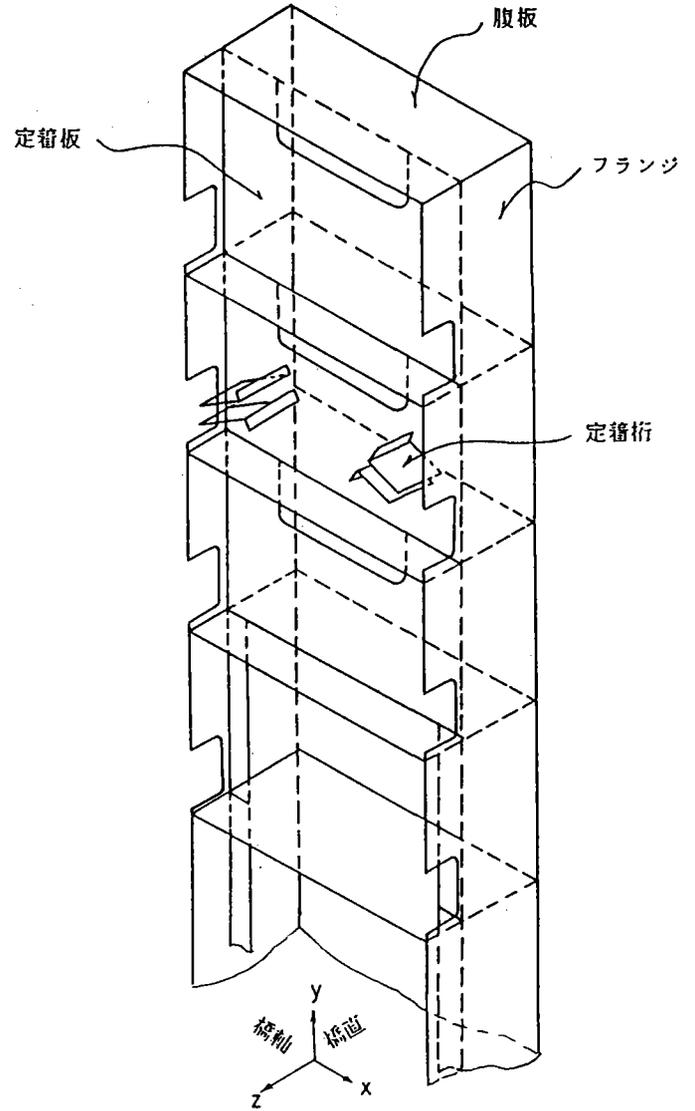
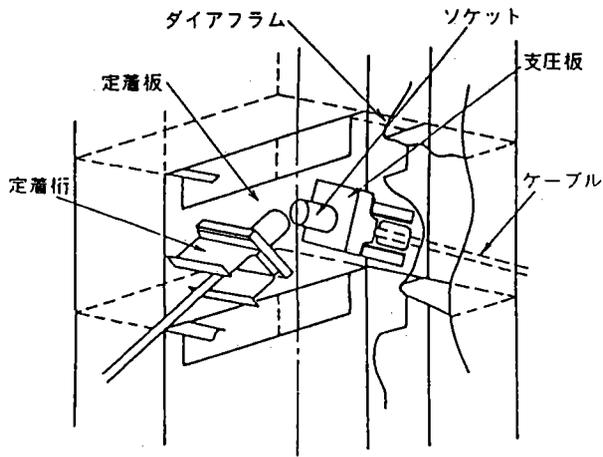
$$\langle \text{せん断応力} \rangle \tau = 1476 / \lambda 6 = 922^{\text{k}\epsilon\text{f}/\text{cm}^2} < \tau a = 1200^{\text{k}\epsilon\text{f}/\text{cm}^2}$$

(溶接部) g とする。

$$a = 2 \times 0.707 \times 0.9 = 1.273^{\text{cm}}$$

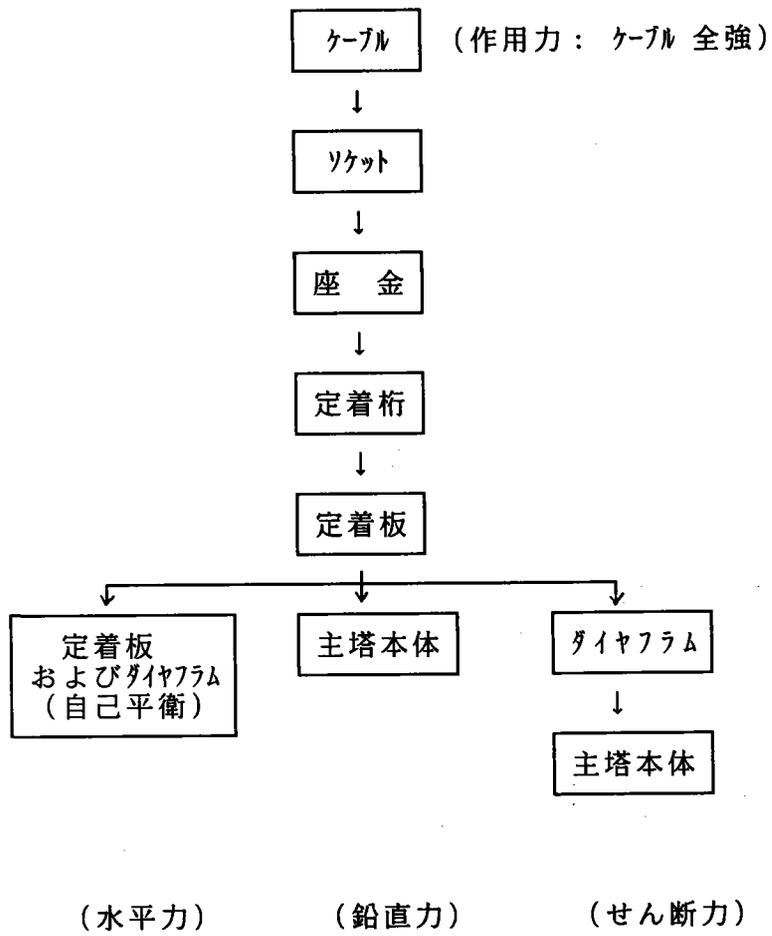
$$\tau = 1476 / 1.273 = 1159 < \tau a = 1200^{\text{k}\epsilon\text{f}/\text{cm}^2}$$

2. 定着構造図

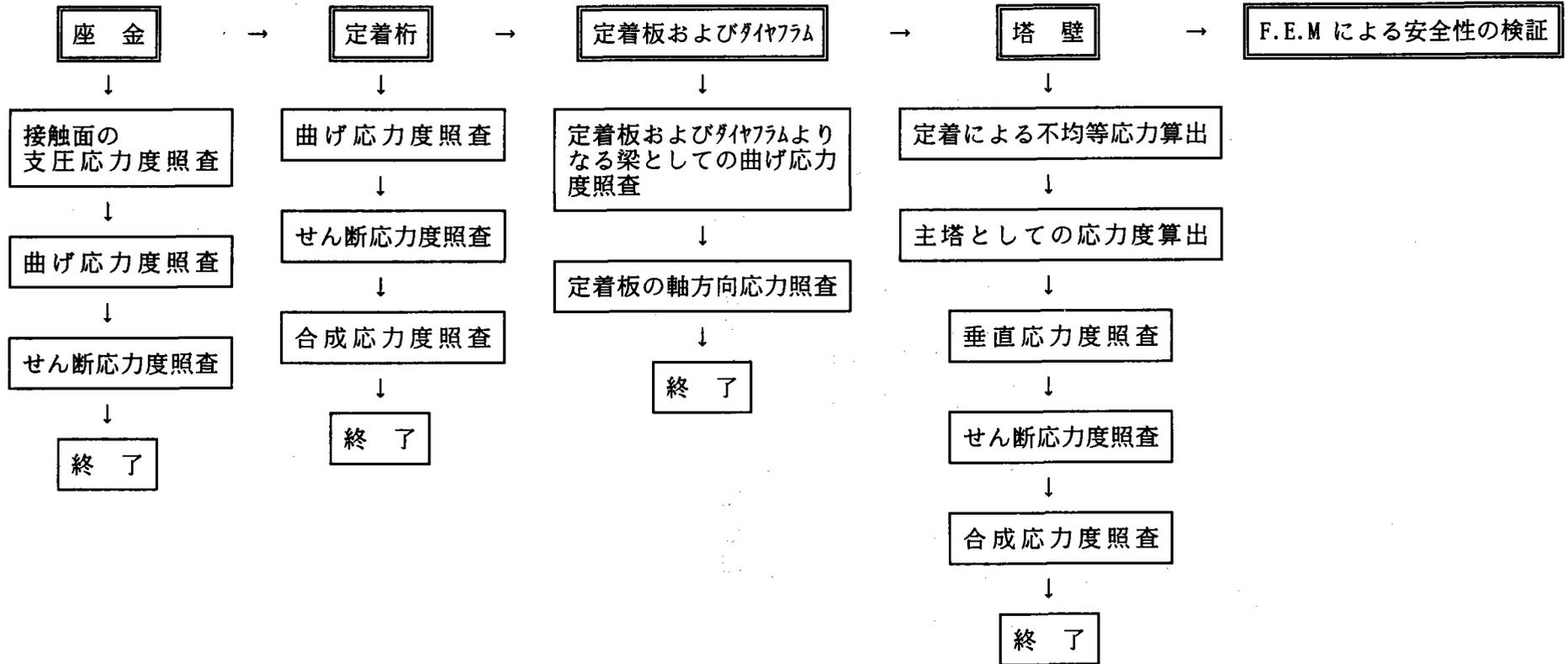


§ 2 設計手順

1. 作用力の伝達フロー



2. 設計フロー



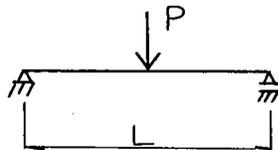
§ 3 座金の設計

1. 設計方法

- ・ 座金－定着桁間の接触面の支圧応力度の照査及び定着桁で支持された梁としてのせん断・曲げ応力度の照査を行う。
- ・ ケーブル貫通による欠損部および定着桁支持点近傍は応力集中を考慮する。

2. 設計断面力の算定

- ・ 定着桁の腹板中心間を支間とする単純桁の中央に集中荷重 P が作用するものとして算定する。



L : 定着桁腹板間隔

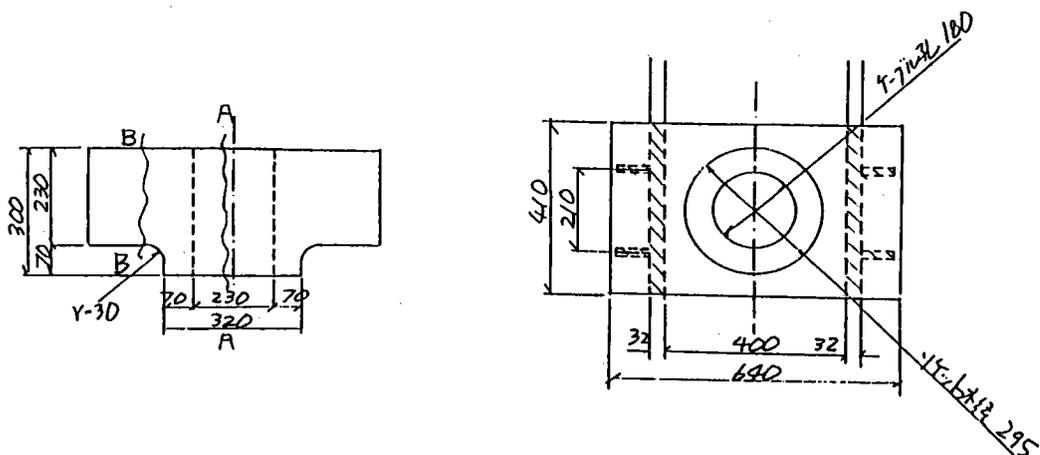
3. 応力度の照査

・ 支圧応力度

有効支圧面は図の着色部に示す定着板の腹板とリップの合計面積とする。但し、応力の分布形状を考慮し、応力集中係数 $\alpha = 1.5$ とし照査する。

・ 曲げ応力度およびせん断応力度

ケーブル孔による断面欠損がある中央部 (A-A) と、座金支持位置である端部 (B-B) の照査を行う。応力集中係数 α はいずれも 1.5 とし照査する。



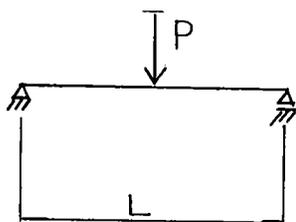
§ 4 定着桁の設計

1. 設計方法

- ・ 定着板で支持される単純梁として設計する。
- ・ フランジに有効巾を考慮する。

2. 設計断面力の算定

- ・ 定着板の腹板中心間を支間とする単純桁の中央に集中荷重 P が作用するものとして算定する。



L : 定着支持間隔

3. 応力度の照査

- ・ 曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度について通常のプレートガーダーと同様の手法で照査する。

§ 5 定着板

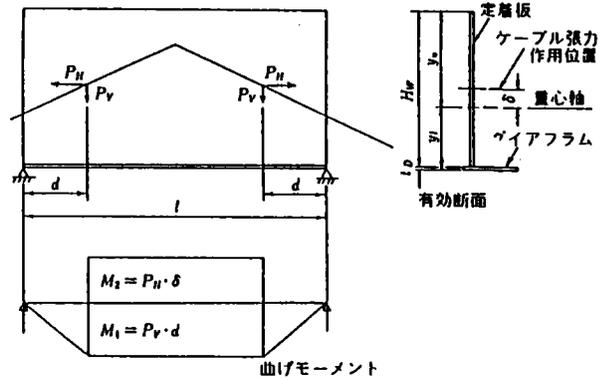
1. 設計方法

定着桁より伝達されるケーブル張力に対し、定着板とダイアフラムで構成する工形断面で抵抗するものとして計算する。また、以下の条件のもとに計算を行う。

- 1) 定着板上のケーブル張力の作用点は定着桁腹板中心とする。
- 2) 定着板の高さはマンホールを考慮して（ダイアフラム間隔 - 500mm）とする。
- 3) ダイアフラムには有効巾を考慮する。

2. 断面力の算定

$$\begin{aligned} \text{水平力 } P_H &= \frac{1}{2} P \cos \theta \\ \text{鉛直力 } P_V &= \frac{1}{2} P \sin \theta \\ \text{曲げモーメント } M_1 &= \frac{1}{2} P_V \cdot d \\ M_2 &= P_H \cdot \delta \end{aligned}$$



3. 応力度の照査

定着板上縁

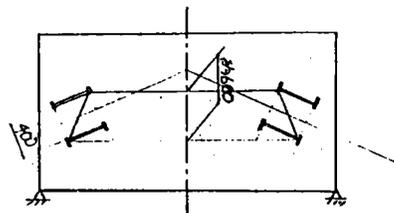
$$\begin{aligned} \sigma_u &= \frac{P_H}{A} - \frac{M_1 - M_2}{Z_u} \quad \text{----- 中央部} \\ \sigma_u &= \frac{M_1}{Z_u} \quad \text{----- 端部} \end{aligned}$$

ダイアフラム

$$\sigma_1 = \frac{P_H}{A} + \frac{M_1}{Z_1}$$

定着板中央部

$$\sigma_m = \frac{P_H}{A}$$



塗りつぶし部分(600mm)に全水平成分を受けると仮定。

§ 6 塔 壁

1. 設計方法

ケーブル定着による付均等応力度 σ_{st} 、 τ_{st} を慣用計算法により求め
 全体系として求めた軸力と2軸曲げに重ね合わせる。

2. 応力度の照査

1) 垂直応力度の照査

$$\sigma = \sigma_{st} + \sigma_c + \frac{\sigma_{by}}{1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}} + \frac{\sigma_{bz}}{1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eaz}}} \leq \sigma_{cal}$$

ここに σ_c 、 σ_{by} 、 σ_{bz} -- 軸力，面内曲げ，面外曲げによる垂直応力度
 σ_{cal} ----- 局部座屈を考慮した塔フランジの許容応力度

2) せん断応力度の照査

$$\tau = \tau_{st} + \tau_y + \tau_z \leq \tau_a$$

ここに

τ_{st} ----- 塔フランジの定着桁取付け位置のせん断応力度

τ_y 、 τ_z ----- 塔フランジの曲げせん断応力度

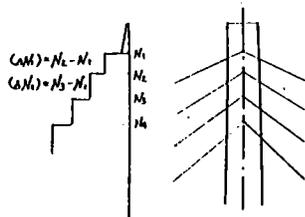
3) 合成応力度の照査

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{ta}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2$$

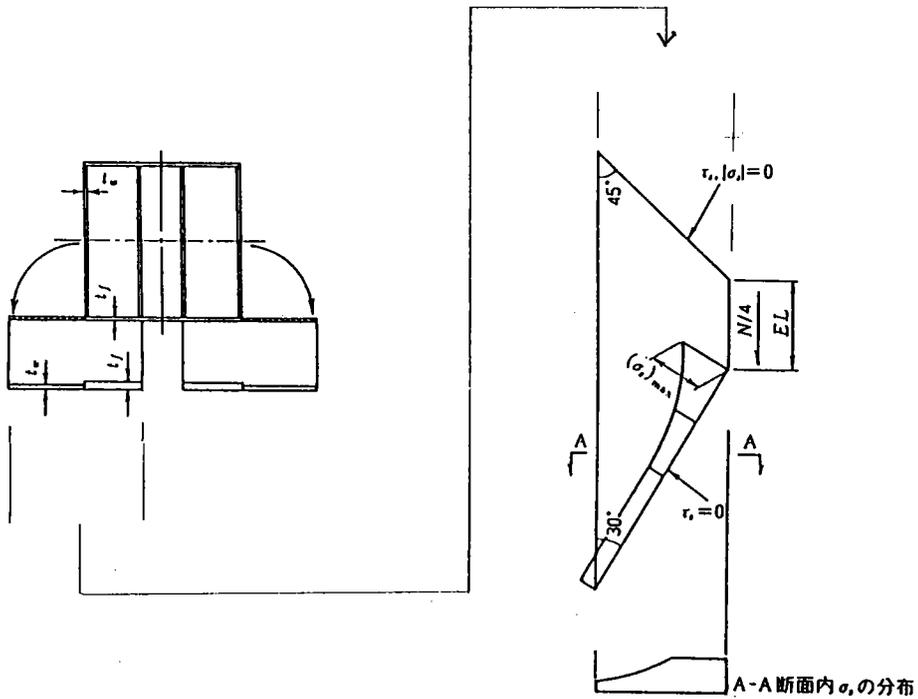
3. 不均等応力度の算出

慣用計算法の適用に際しては以下を仮定する。

- 1) 作用力はケーブル定着点での主塔軸力の増加量 (ΔN) をとる。尚、
 ケーブル定着部断面は常時で決まるので ΔN は常時の値を使用する。

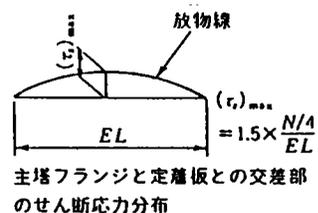
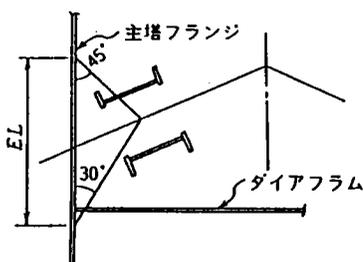


- 2) 定着応力に対し有効な断面は主塔のフランジとウェブのみとし、安全側を期して縦リブによる応力伝達は計算上期待しない。
- 3) ケーブル孔がある定着板間のフランジ (700^{mm} 巾) は定着応力を伝達しないものとし有効断面に含めない。
- 4) 定着応力の分布は次図のように仮定する。
主塔断面を4分割し、各部分で作用力 (ΔN) の1/4 を各々分担すると仮定する。



- 5) 定着板 - 主塔フランジ交差線上のせん断応力分布長は右図のように定着桁の中央 (点A) より45°, 30°の直線を境界にせん断応力が分布すると考える。

せん断応力分布長の範囲内のせん断応力の分布は放物線分布とし、両端のせん断応力度を0と考える。従って最大せん断応力度 (中央部) は平均せん断応力度の1.5倍とする。



第二編

吊橋特殊構造部事例図集

2.1 サドル構造

2.1.1 概要

1. サドルの役割と種類

サドルは、塔頂および橋台上で主ケーブルを直接支持し、主ケーブルからの荷重を塔および橋台に伝達させるもので、その設置箇所によって、塔サドル、ベントサドル、アンカーサドルがある。

塔サドルは塔頂部にあって、ケーブルからの荷重を下へ伝える。

ベントサドルは、中間塔、橋台部ベントなどに設けるサドルで、ケーブルの方向を変えるのがおもな目的である。

アンカーサドルは、ケーブルをアンカー部に分散する位置に設けられる。

2. サドルの設計方法

サドルを設計する場合に重要なことは、ケーブル支承面のケーブル軸方向の曲率半径 R で、これはケーブルの曲げ応力およびケーブルとサドルの接触圧力に関係する。ケーブルの曲げによる二次応力については、ケーブルの形状変化に伴う曲げ応力が半径 R に反比例するため、この値が実用上さしつかえないかどうかを検討しておく必要がある。またケーブル架設中には塔頂の両端のたわみ角が大きくなることがあるが、この場合の曲げ応力は、 R が極端に小さくないかぎり問題ではない。

ケーブルとサドルの接触圧力も R に反比例し（ケーブル単位長当りの接触圧＝ケーブル張力／ R ）、接触圧が大きくなるとケーブルの張力強度が減少する。したがってサドルの半径はケーブルの強さに実用上影響のない程度以上とすべきである。平行線ケーブルの接触圧については、ケーブルの素線とサドルの接触圧は約 0.5 t/cm 以下とする。またケーブルは最悪の状態においてもサドル支承面の端部で折れ曲がることのないように、支承面は十分長くしなければならない。その他支承面はケーブルと接触面積をできるだけ大きくするよう配慮することが望ましい。サドルのケーブル支承面の曲率半径は以上のほか、たの構造物との関連も考慮して決定されるが、大体的見当はケーブル直径の約 $8 \sim 10$ 倍以上にすればよいといわれている。

塔サドルはケーブルの鉛直力および橋軸方向、橋軸直角方向の水平力に対して設計される。ケーブルの橋軸方向水平力は、主塔が橋軸方向に自由にたわみ得る（フレキシブル塔）と考えられるので、サドルにはほとんどこの力は作用しない。橋軸直角方向水平力は主として風荷重および地震荷重によるもので、サドルの中央径間側と側径間側の横荷重反力の差異により、横方向のほかに塔をねじろうするトルクが生ずる。また中央径間側と側径間側とではケーブルの勾配に差異があり、したがってケーブルの軸方向張力は不均等となるが、この不均等力に対してケーブルがサドル上を滑らないよう検討しておく必要がある。

塔サドルに作用する鉛直荷重は、リブを伝わって底板に分散される。リブはこの鉛直荷重に対して設計されるが、その応力分布の状態は極めて複雑で厳密に計算することは困難である。

そこで、これを簡単な方法で計算するために、底板の反力を等分布と考えこの反力による曲げに対して設計しているが、サドルの形状から判断してリブにこのような曲げ変形を期待することは無理がある。リブに生ずる応力は鉛直荷重による圧縮応力が支配的であるため、圧縮応力の集中性を考慮したリブの有効断面を求める方法が、むしろ適切であるといえる。この場合、ケーブルの軸線上のリブおよび横リブの一部が圧縮に対して有効に働くと考えるのも一つの方法である。応力集中係数はサドルの形状により異なるため、実験的方法を用いて決定することが望ましい。

底板の役割は主として横荷重をアンカーボルトに伝えることと、リブの圧縮による座屈変形を拘束することである。前者に対してはアンカーボルトの径に等しい板厚があればよいが、後者についてはリブの境界条件を剛端とみなし得るために、ある程度の板厚を必要とする。この点も実験的方法によるのが望ましいが、単純に考えるならば主要リブの板厚以上とするのがよいであろう。

横方向に作用する荷重に対してサドルを塔頂に固定するためにアンカーボルトを使用する。サドル底面と塔頂面との間は極力摩擦を小さくして、架設を容易にするよう考慮されるが、 $\mu = 0.05$ 程度の摩擦はさけられない。一方ケーブルからの鉛直力が一般には非常に大きいので、この摩擦力が横荷重に対してかなり有効に働く。ケーブルからの横荷重反力は前述のように、横方向力 U とトルク U' がある。今中央径間および側径間の横荷重反力をそれぞれ U_c 、 U_s とし、サドルの長さ L_1 と幅 L_2 とすれば

$$U = U_c + U_s$$

$$U' = (U_c - U_s) L_1$$

これらの外力に対して、一般には底板の摩擦応力だけで十分安全であると思われるが、摩擦応力度の分布の計算が困難であるため便宜上トルクによって生ずる最大せん断応力と、摩擦応力度を比較し、横方向力 U に対してはアンカーボルトのせん断力で抵抗させるものと考えればよい。

U' による最大せん断応力 τ_{max} は、

$$\tau_{max} = \frac{3U'}{L_1 L_2 \sqrt{L_1^2 + L_2^2}}$$

ケーブルからの鉛直力Vによる摩擦応力度 τ_v は

$$\tau_v = \mu_1 V / L_1 L_2$$

Uに対する所要ボルト本数nは

$$n = U / A \tau_a$$

ここで、Aはボルトの有効断面積、 τ_a はボルトの許容せん断力である。

サドルの両端でのケーブル張力に差があるとき、ケーブルは支承面上で張力の大きい方向へすべろうとする。この力に対してケーブルとサドル間の摩擦力が抵抗するわけであるが、すべりに対して安全な摩擦係数 μ_0 、円周角 α_0 は、次のように求まる。

$$T = T_s e^{-\mu_0 \theta}$$

$$\theta = \alpha_0 \quad \text{のとき} \quad T = T_c$$

$$T_c = T_s e^{-\mu_0 \alpha_0}$$

$$\mu_0 \alpha_0 = \log \frac{T_s}{T_c}$$

いま、摩擦係数を μ_2 、円周角を α とすれば、滑動に対する安全率 ν は、

$$\nu = \frac{\mu_2 \alpha}{\log (T_s / T_c)}$$

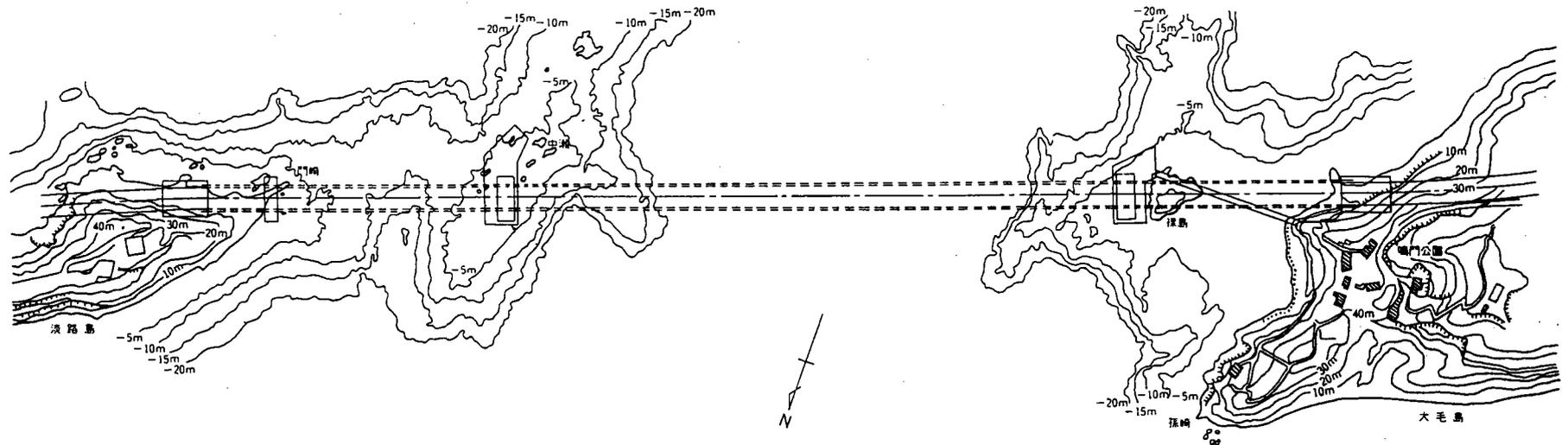
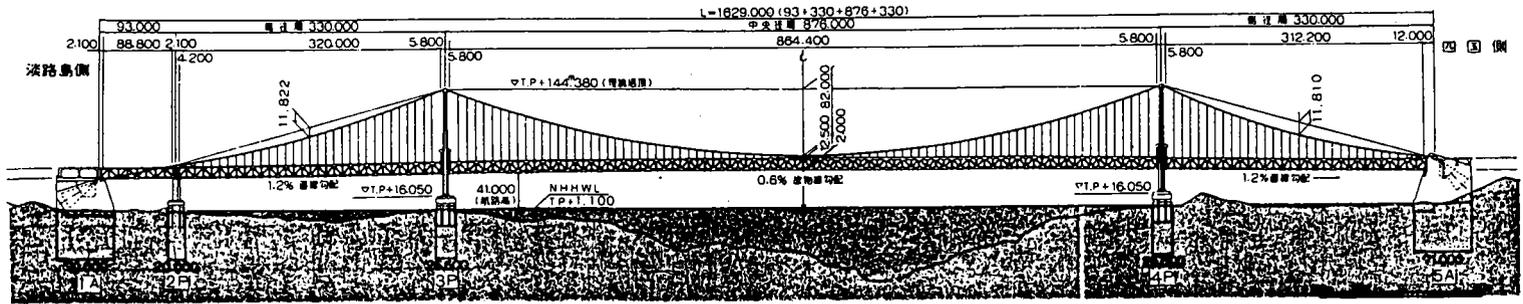
で与えられる。この安全率が2以上であればケーブルとサドル間の摩擦力で相対的な移動を止め得るに十分であると考えられる。したがって塔サドルのように α が大きい場合は、ケーブルを支承上にのせることによってケーブルを固定し得る。また安全率が2以下の場合、サド

ルのケーブル支承面と上蓋とでケーブルを挟み、ボルトで締め付け、その摩擦力で相対的な移動を止めるように考慮しなければならない。ベントサドルおよびスプレーサドルなどで α が小さい場合にはこの方法が用いられる。

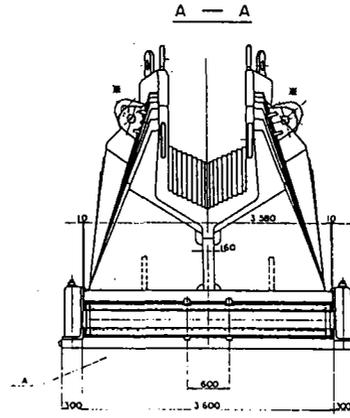
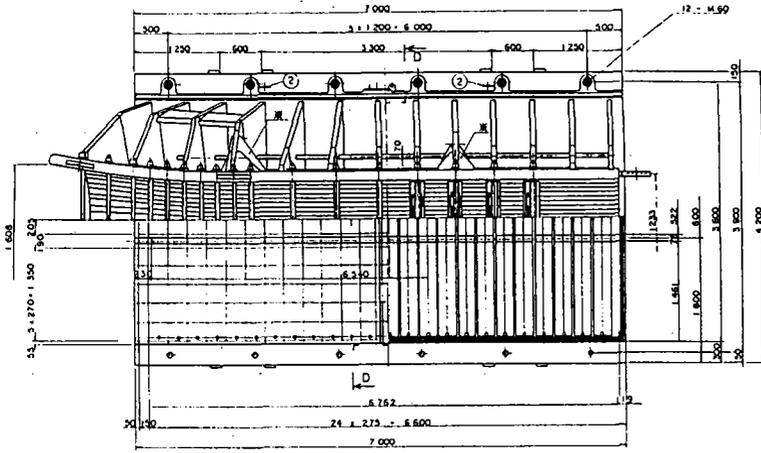
吊橋の径間長が長くなり、サドルが大型のものになると、製作架設面から制約を受けサドルを分割することが必要になってくる。サドルを二つに分割する方法としては橋軸直角方向に分割する場合と、橋軸方向に分割する場合が考えられる。前者は、分割面の結合力が消滅して分割面が分離することがあるとしても、ケーブルからの摩擦力を考慮すると、分割面はケーブルの伸び量以上には分離できない。もしそれ以上分離しようとする方向に働いて分離することを阻止する。したがってサドルは安定している。一方、橋軸方向に分割する場合には、結合力に打ち勝っていったんケーブルが分割面にめり込みはじめると、このめり込みを阻止する力が新しく発生することはない。すなわち、このような分割方法は不安定であるといえる。以上のことからサドルは橋軸直角方向に分割するのがよいといえる。

補剛桁の架設中、または床版打設中に塔サドルは塔頂板上を移動し、スプレーサドルは橋台上を移動する。この移動のためサドル底面にはローラーを設けるか、すべり面とする必要がある。この場合のサドルの移動抵抗はケーブルの鉛直反力の約3%（ローラー構造）、あるいは約7%（すべり面構造）である。ローラーにするかすべり面構造にするかは、サドルの大きさ、ケーブル反力の大きさなどによって異なるが、長径間でサドルが大型のものになるときは、移動の確実なローラー構造を採用するのがよく、支間 1,000mまでのサドルは、構造の簡単なすべり面構造が適当であるといえる。ただしこれはフレキシブル塔に設置された場合で、スプレーサドルでは橋軸方向水平力を吸収できるようなサドル基部の変形がないため、スプレーサドルと基部との間の摩擦を小さくし、サドル自体が荷重方向に移動できるようにローラーまたはロッカー構造を採用すべきである。

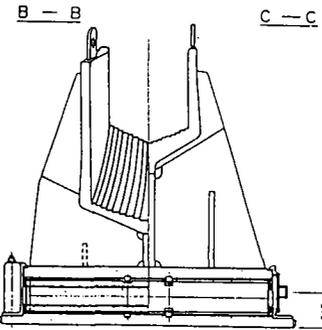
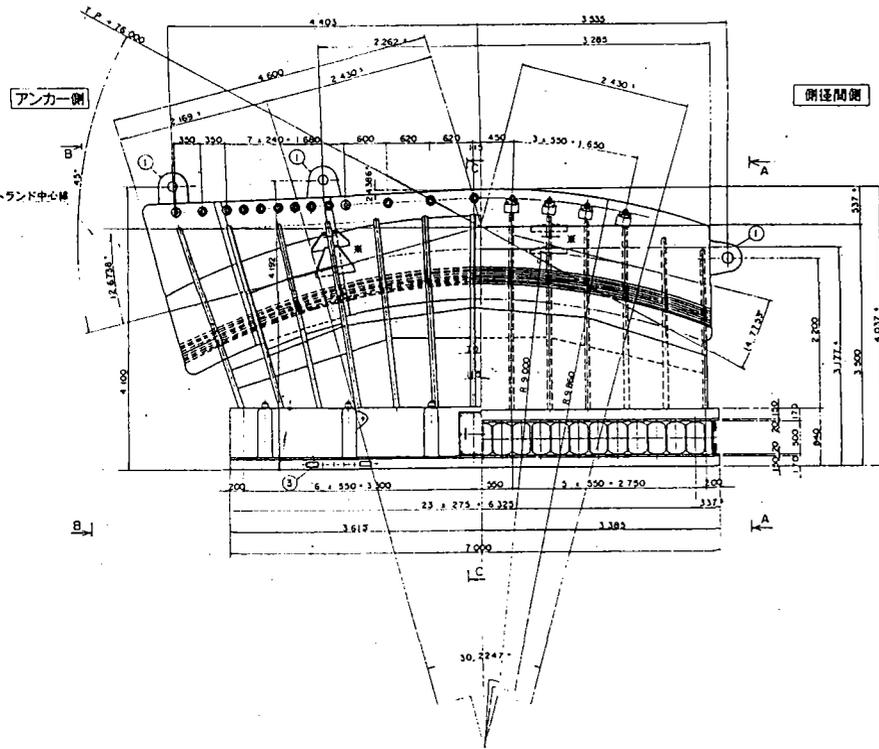
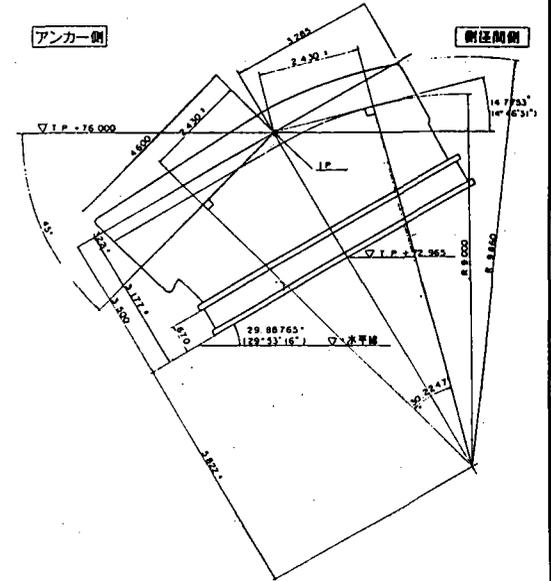
大鳴門橋 一般図



北備讃瀬戸大橋 1Aスプレ-ヤル

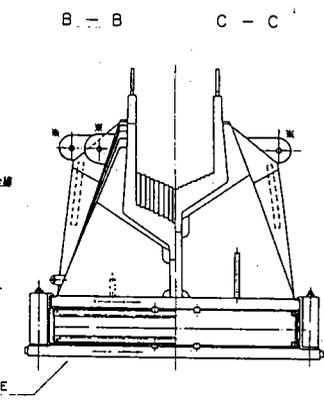
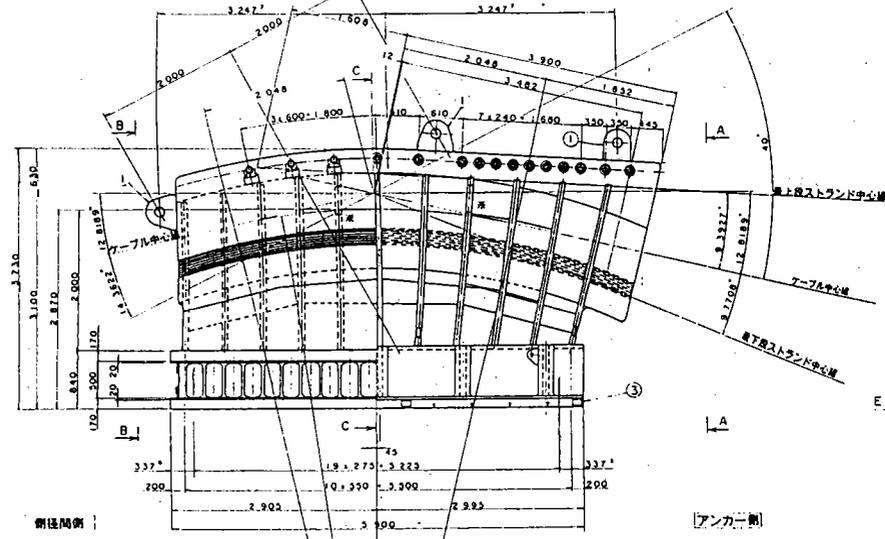
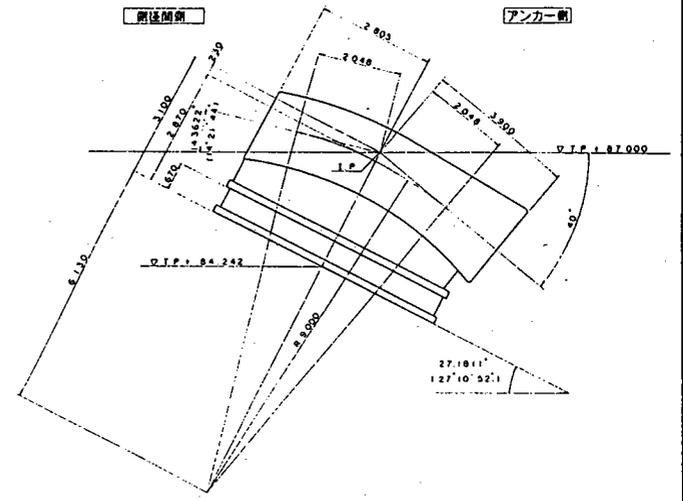
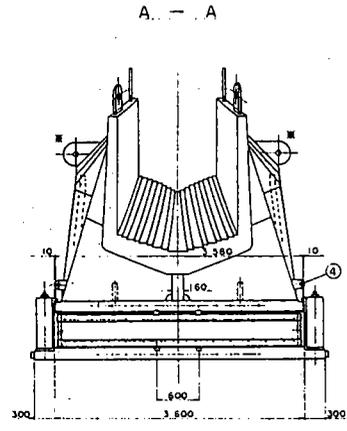
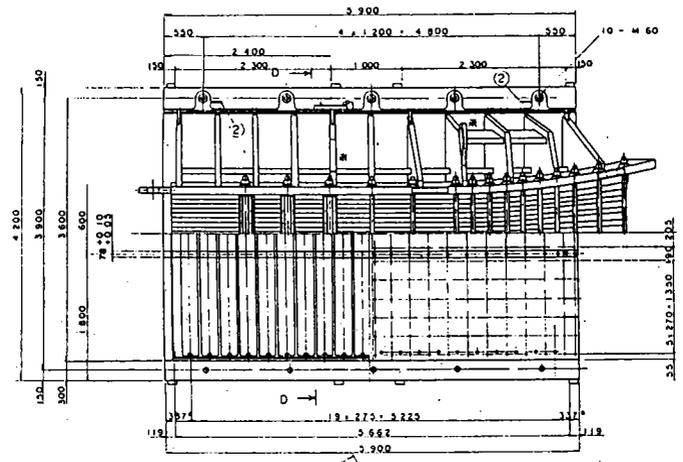


基本寸法図



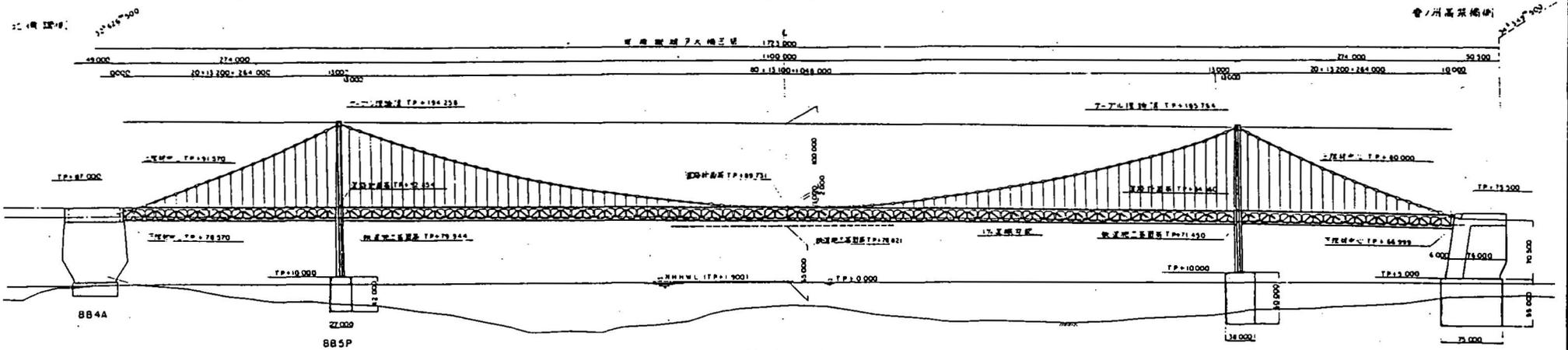
北備讃瀬戸大橋 4Aスプーサル

基本寸法図

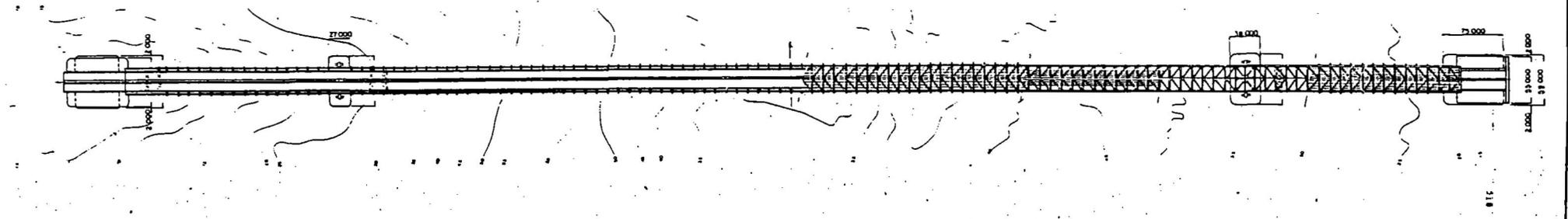


南備讃瀬戸大橋 一般図

側面図 5:1/2000

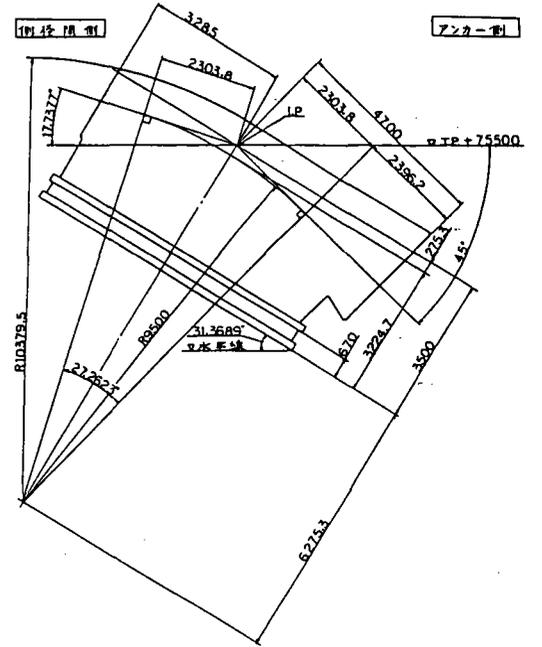
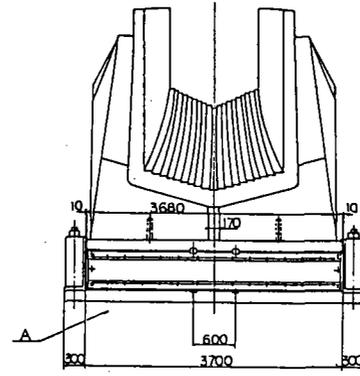
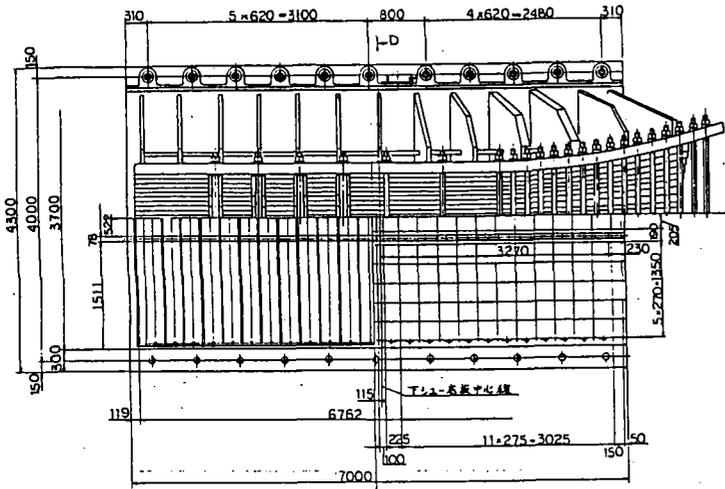


平面図 5:1/2000

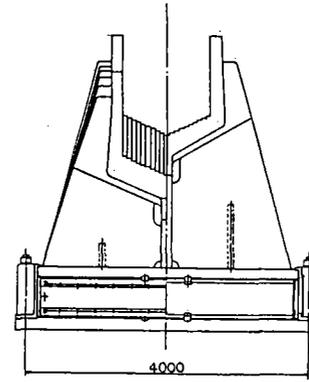


C-120

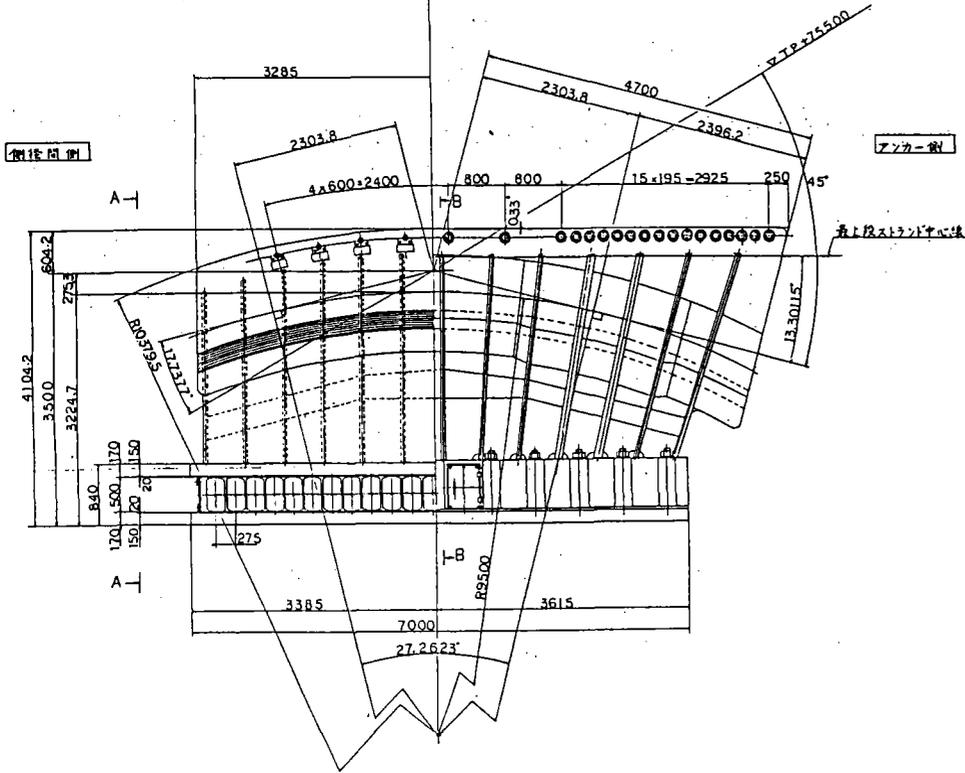
南備讃瀬戸大橋 7Aスプレードル



基本寸法図

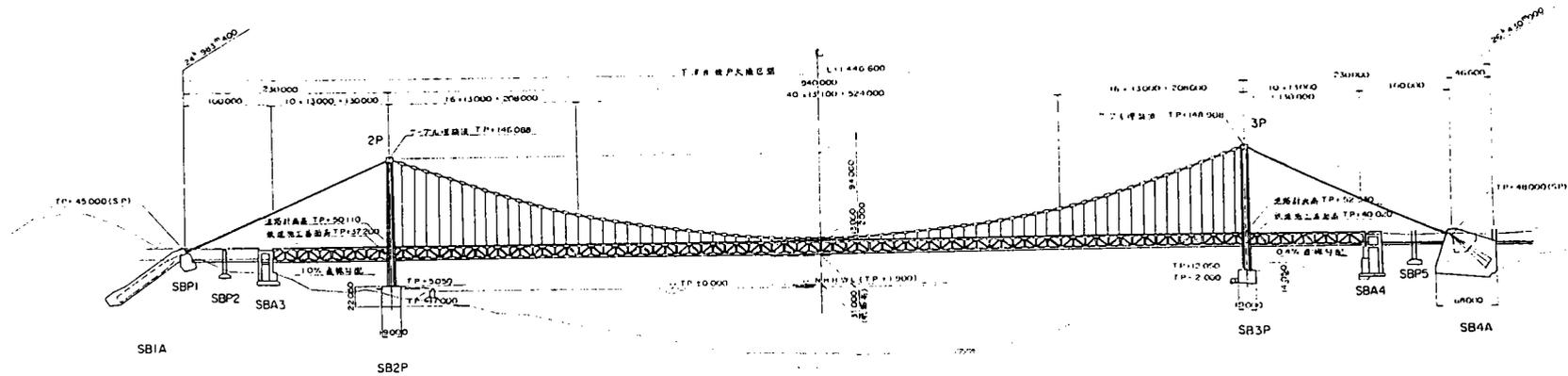


A-A大横断面 B-B

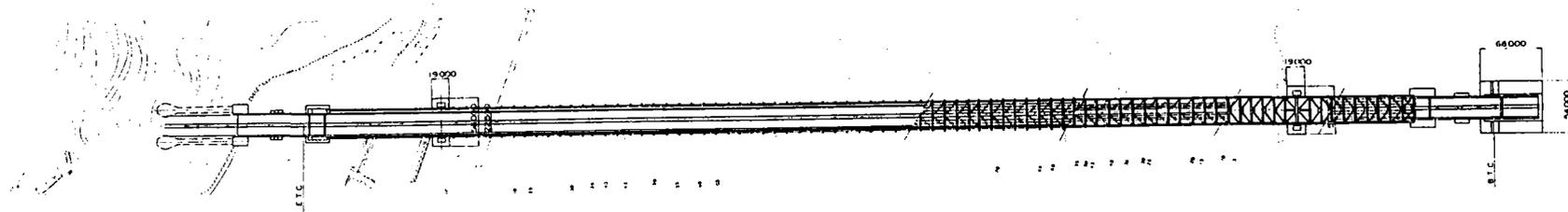


下津井瀬戸大橋 一般図

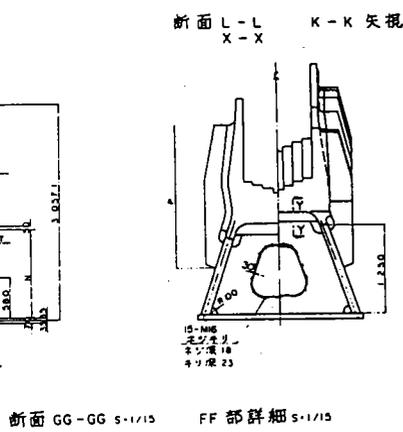
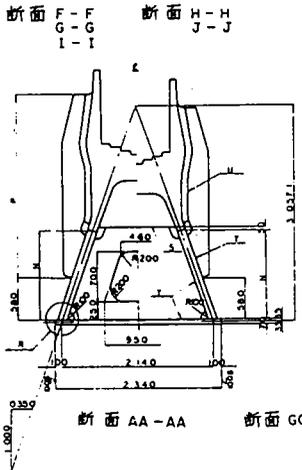
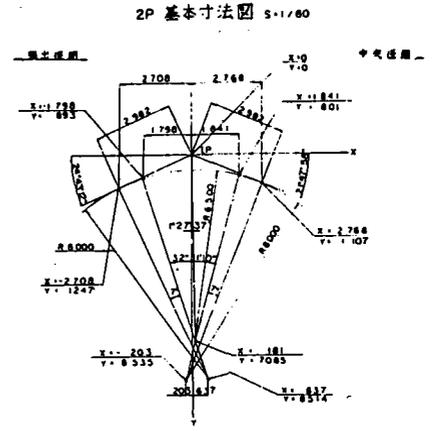
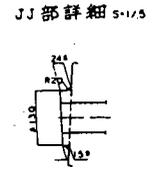
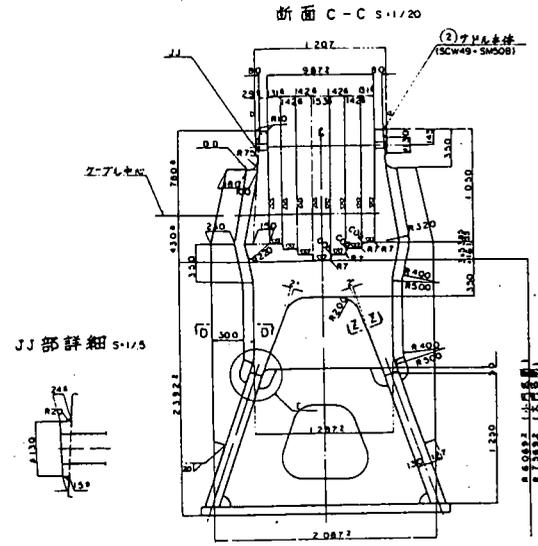
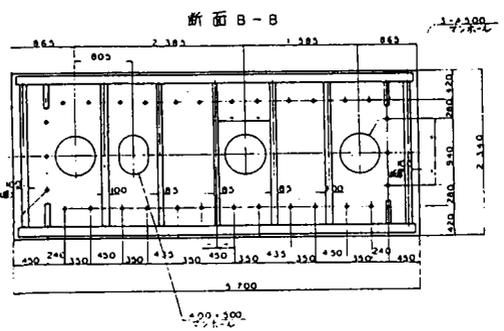
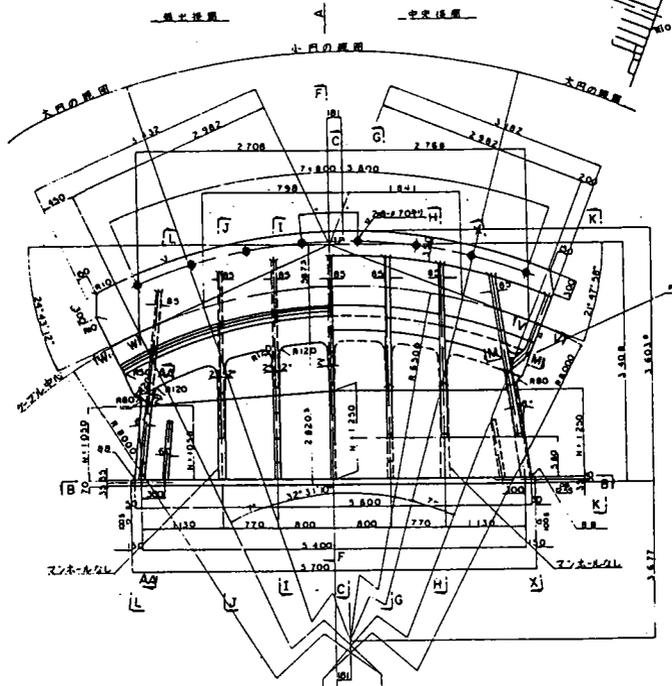
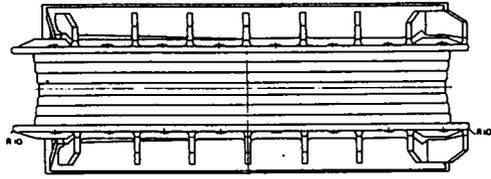
側面図 S-1/2000



平面図 S-1/2000

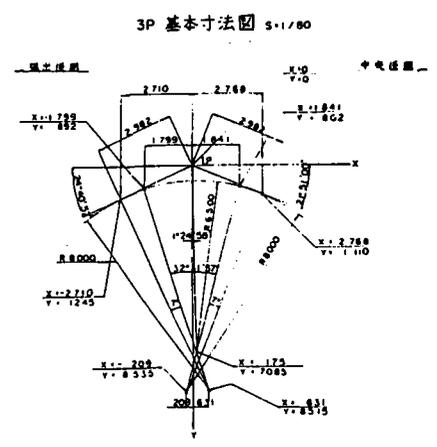
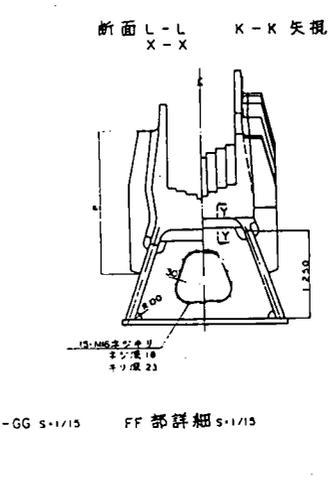
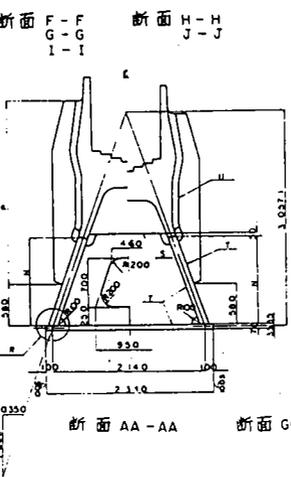
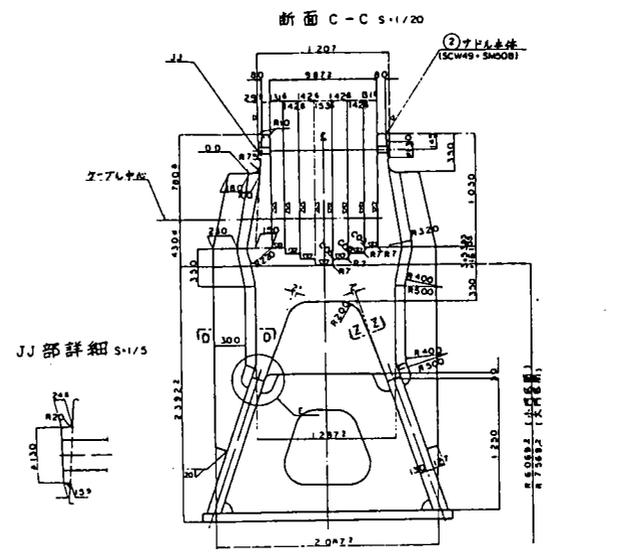
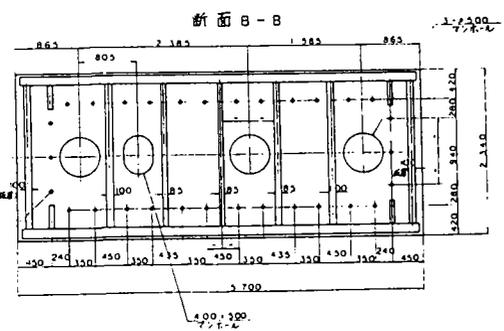
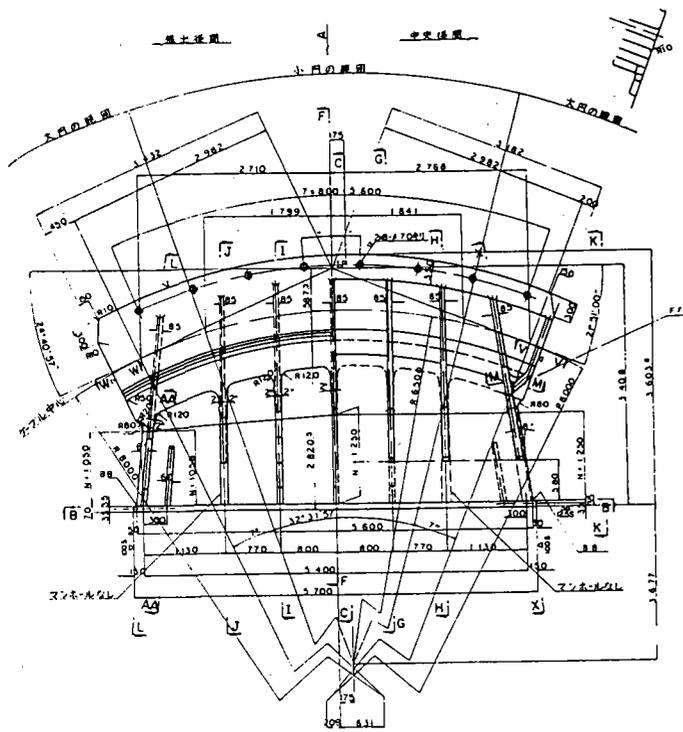
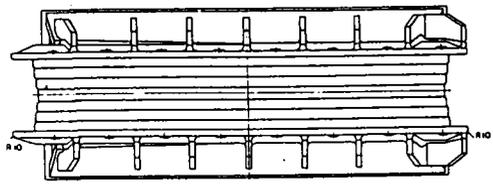


下津井瀬戸大橋 2P塔頂外観



断面番号	H	B
F-F	2402	
C-C	2376	
H-H	2463	
I-I	2334	
J-J	2379	
K-K	2115	塔中心線
X-X	2298	

下津井瀬戸大橋 3P塔頂サドル



断面記号	H	B
F-F	2402	
G-G	1250	2378
H-H		2482
I-I	1190	2335
J-J	1133	2380
L-L	図中尺表示 2116	
K-K		2296

2.2 ステイ構造

2.2.1 スティ構造一覽

スティ構造一覽表 (その1)

橋名	関門橋		平戸大橋		因島大橋		大鳴門橋	
形式	3径間 2ヒンジ吊橋		単径間 2ヒンジ吊橋		3径間 2ヒンジ吊橋		3径間 2ヒンジ吊橋	
竣工年	1973		1977		1983		1985	
施工主	道路公団		長崎県		本四公団		本四公団	
支間割	178.0 + 712.0 + 178.0		465.4		250.0+770.0+250.0		330.0 + 876.0 + 330.0	
設置位置・タイプ	<p>中央径間 1山 スティ</p>		<p>中央径間 1山 スティ</p>		<p>中央径間 1山 ストッパー スティ ストッパー</p>		<p>側径間 2山 中央径間 3山 側径間 2山 スティ スティ スティ</p>	
設置目的	橋軸方向変位の制御 補剛の変形及び振動の制御		橋軸方向変位の制御		端ハンガーの疲労防止対策		桁の下部工への衝突防止対策	
設計計算法 (ロープとロッド)	スティ破断荷重 170t		スティ破断荷重 52.7t		破断安全率 3.0 以上 (VD54.9m/s) 再現期間20年で破断しない。		破断安全率 3.0 以上 破断しない ($\sigma < 0.85 \sigma_y$) 破断しない ($\sigma < 0.85 \sigma_b$)	
プレストレス導入量	Ps = 10t / 片側		Ps = — t / 片側		Ps = 8t		Ps = 20t	
スティ材料	ロックドコイルロープ 44φ		IWRC 28φ		2-L. C. R. B型 30φ		2-C. F. R. C 70φ	
バンドのすべり安全率	常時 2.0 以上		常時 2.0 以上		2.0 以上		1.5 以上	
スティバンド長さ	2400 mm		930 mm		2980 mm		4300 mm ~ 4500 mm	
設計移動量	中央径間	側径間	中央径間	側径間	中央径間	側径間	中央径間	側径間
	塔+343mm-351mm	橋台+78mm-69mm	主塔部 + 260mm - 200mm		± 800mm	± 500mm	± 740mm	± 450mm
スティ破断後の制御方法	—		—		ストッパー		—	
スティロープ定着方法	ソケット		ソケット		側面にソケット定着		鞍掛け	
摘要	導入張力は、常時荷重による変形時に、ロープ張力が0とにならない程度とした。		ロープの曲がりによる強度の低下を避ける為に、直線で構成出来る定着構造とした。					

ス テ イ 構 造 一 覧 表 (その 2)

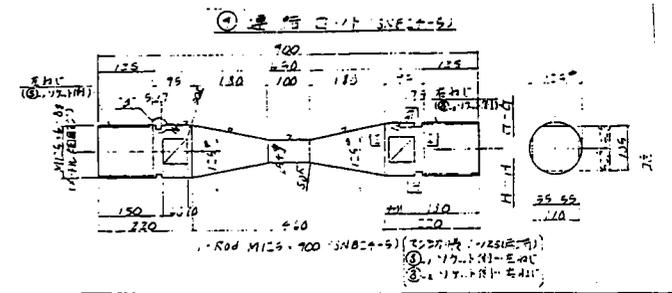
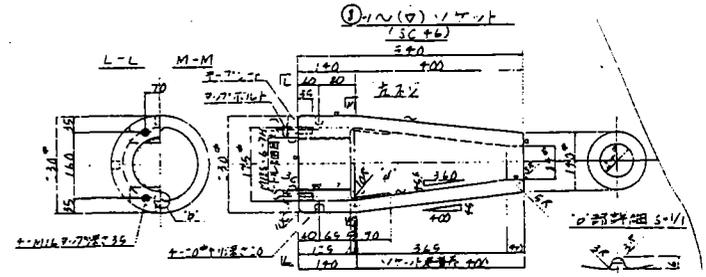
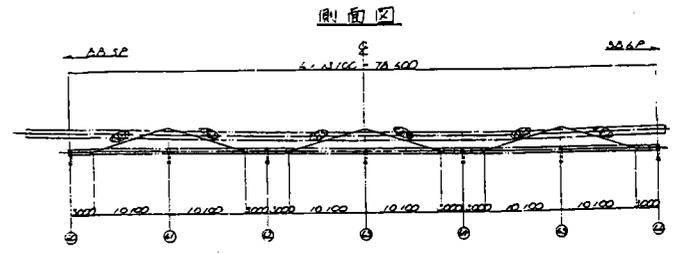
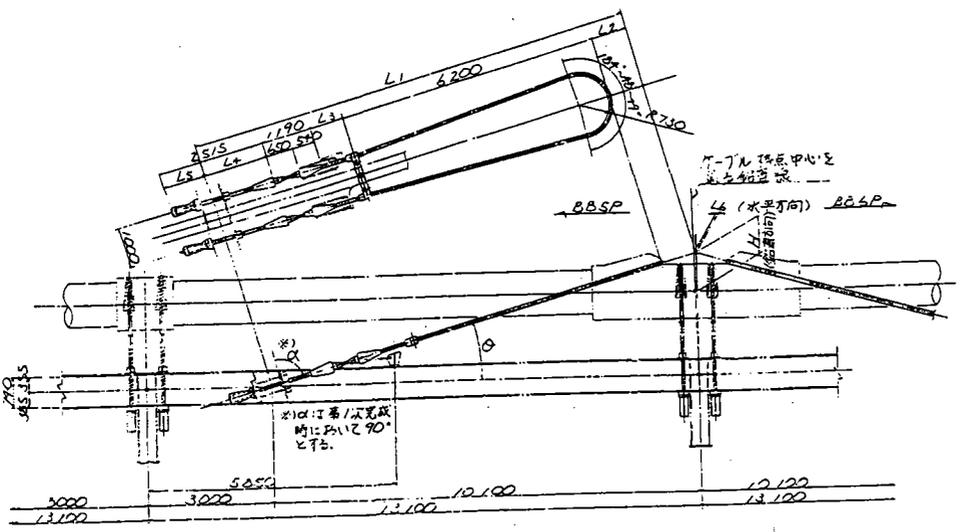
橋 名	南備讃瀬戸大橋		北備讃瀬戸大橋		下津井瀬戸大橋		大島大橋	
形 式	3 径間 連続吊橋		3 径間 連続吊橋		引出し径間付き単径間吊橋		単径間吊橋	
竣 工 年	1988		1988		1988		1987	
施 主	本 四 公 団		本 四 公 団		本 四 公 団		本 四 公 団	
支 間 割	274.0 + 1100.0 + 274.0		274.0 + 990.0 + 274.0		130.0 + 940.0 + 130.0		560.0	
設置位置・タイプ								
設置目的	橋軸方向荷重による残留変位を残さない。		橋軸方向荷重による残留変位を残さない。		橋軸方向変位の制御。 橋軸方向荷重による残留変位を残さない。		橋軸方向の復元効果を期待 逆対称振動モードでの全体剛性の向上 短ハンガーの疲労防止対策	
設計計算法 (ロープとロッド)	破断安全率 2.4以上 (VD33.2m/s) 再現期間20年でロッド破断。 ワイヤーロープ $\sigma < \sigma_y / 1.2$ ワイヤーロープ $\sigma < \sigma_b / 1.6$		破断安全率 2.4以上 (VD33.2m/s) 再現期間20年でロッド破断。 ワイヤーロープ $\sigma < \sigma_y / 1.2$ ワイヤーロープ $\sigma < \sigma_b / 1.6$		破断安全率 2.4以上 (VD48.8m/s) 再現期間20年でロッド破断。 ワイヤーロープ $\sigma < \sigma_y / 1.2$ ワイヤーロープ $\sigma < \sigma_b / 1.6$		破断安全率 3.0以上 (VD52.4m/s) 暴風時で安全率2.0以上でロッド破断 ワイヤーロープ $\sigma < \sigma_y$	
プレストレス導入量	P s = 45t		P s = 45t		P s = 40t		P s = 20t	
ス テ イ 材 料	2-C. F. R. C 74φ PB = 379t		2-C. F. R. C 74φ PB = 379t		2-C. F. R. C 72φ PB = 358t		2-C. F. R. C 46φ PB = 144t	
バンドのすべり安全率	常時 3.0 以上 異常時 1.5 以上		常時 3.0 以上 異常時 1.5 以上		常時 3.0 以上 異常時 1.5 以上		常時 3.0以上 暴風時 2.0以上 地震時 1.5以上	
ステイバンド長さ	4900 mm		5300 mm		4400 mm		2580 mm	
設計移動量	中央径間	側径間	中央径間	側径間	中央径間	側径間	中央径間	側径間
	主塔位置±650mm	橋台 ±750mm	主塔位置±650mm	橋台 ±750mm	主塔位置±650mm	橋台 ±750mm	支承 ±620mm	伸縮 ±630mm
ステイ破断後の制御方法	ストッパー		ストッパー		ストッパー		ストッパー	
ステイロープ定着方法	鞍掛け		鞍掛け		鞍掛け		鞍掛け	
摘 要	*ストッパーが作用した場合 ストッパー遊間 ±610mm		*ストッパーが作用した場合 ストッパー遊間 ±610mm		*ストッパーが作用した場合 ストッパー遊間 ±610mm		* Wによる移動 ** E Qのみ移動	

ス テ イ 構 造 一 覧 表 (その 3)

橋 名	レインボーブリッジ	白鳥大橋	明石海峡大橋
形 式	3径間 2ヒンジ吊橋	3径間 2ヒンジ吊橋	3径間 2ヒンジ吊橋
竣 工 年	工 事 中	工 事 中	工 事 中
施 主	首都公団	北海道開発局	本四公団
支 間 割	114.0 + 570.0 + 114.0	330.0 + 720.0 + 330.0	960.0 + 1990.0 + 960.0
設置位置・タイプ	<p>側径間 1山 中央径間 2山 側径間 1山 ステイ ステー ステー ストップバー</p>	<p>側径間 1山 中央径間 1山 側径間 1山 ステイ ステー ステー</p>	<p>側径間 3山 中央径間 5山 側径間 3山 ステイ ステー ステー ストップバー</p>
設 置 目 的	常時・暴風時に対し橋軸方向微小振動をステイの弾性で吸収	橋軸方向残留変位に対し復元力を持たせる。 センター: 逆対称一次モードの発現制御 エンド: 通常荷重での短ハガー疲労防止	橋軸方向変位の制御
設 計 計 算 法 (ロープとロッド)	地震時破断。 常時 $\sigma \leq \sigma_b / 3.0$ ロープ $\sigma \leq \sigma_b / 2.3$ ロッド 暴風時 $\sigma \leq \sigma_b / 2.0$ $\sigma \leq \sigma_b / 1.5$ 地震時 $\sigma \leq \sigma_y / 1.0$ $\sigma \leq \sigma_b / 1.0$	再現期間20年相当の地震について破断させない。 ロープ $\sigma < \sigma_b / 1.5$ ロッド $\sigma < \sigma_b / 1.0$	センター 破断安全率 3.0 暴風時安全率 2.0 破断しない エンド 破断安全率 2.4 暴風時安全率 1.6 暴風=24m/s以上でロッド破断
プレストレス導入量	$P_s = 30t/\text{片側}$	$P_s = 15t/\text{片側}$	
ス テ イ 材 料	CFRC	CFRC	センター 4-CFRC82φ PB 483t エンド 4-CFRC70φ PB 339t
バンドのすべり安全率	常時 3.0以上 地震時 1.5以上 暴風時 2.0以上	1.3 以上	常時 3.0 以上 暴風時 1.5 以上
ステイバンド長さ		センター 2280 mm エンド 2355 mm	4500 mm ~ 5000 mm
設 計 移 動 量	中央径間 側 径 間	中央径間 側 径 間	中央径間 側 径 間 中央径間 側 径 間
		風±1000地±1200 風±450地±1200	
ステイ破断後の制御方法		ストップバー	ストップバー
ステイロープ定着方法	鞍掛け	ピン定着	鞍掛け
摘 要			

橋 名 南 備 讃 瀬 戸 大 橋 ①

導 線 区



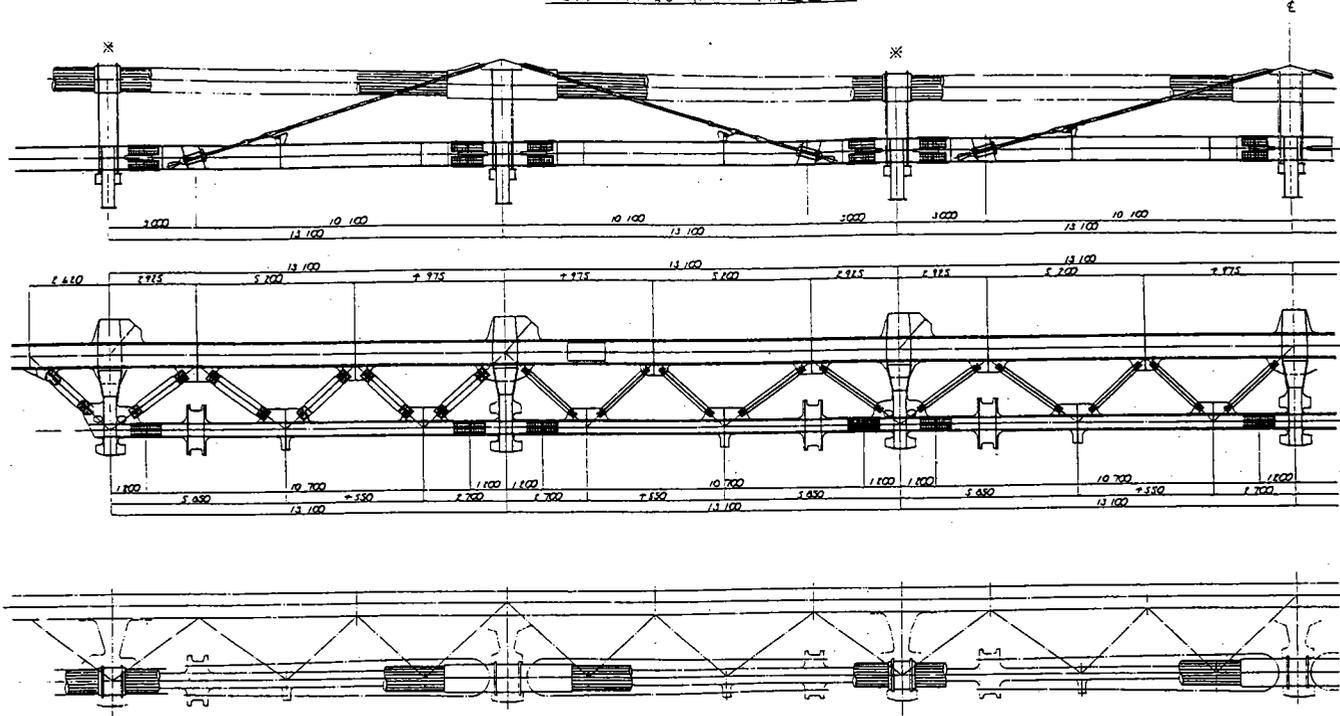
摘 要



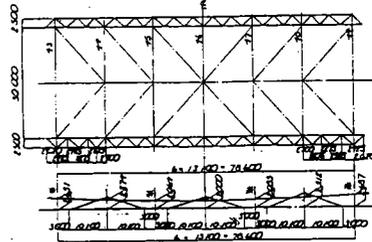
橋名

下津井瀬戸大橋 ②

センターピラー及び水平トラス構造図



配置図 3-1/100

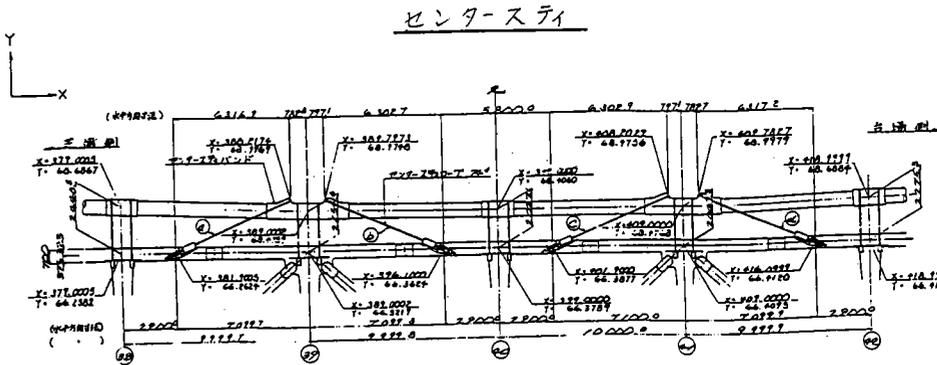
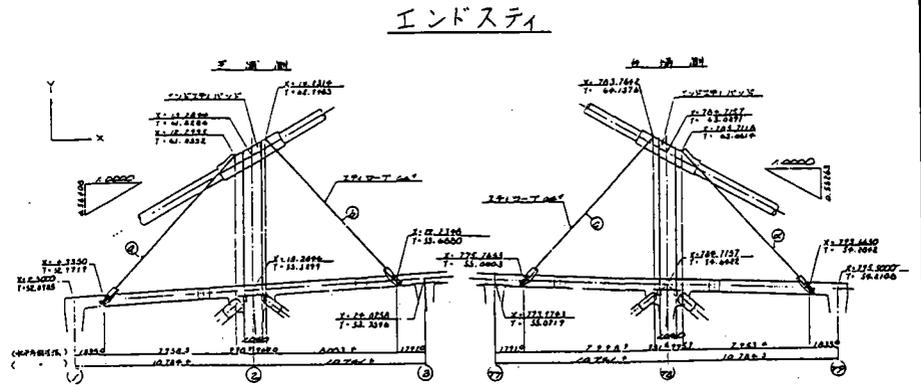
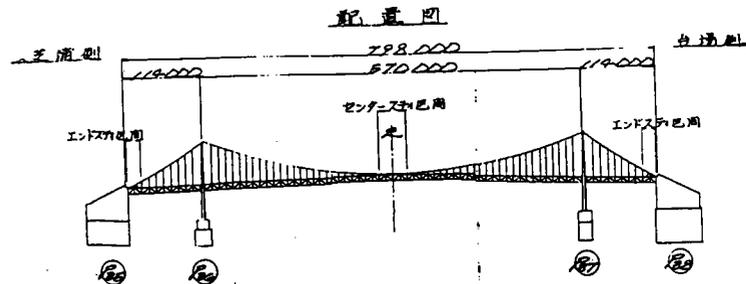


注記 図中の75%、75.7%は対称構造の
可動部である。(※詳部)

図

概

構 造 図

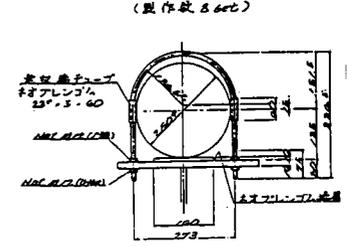
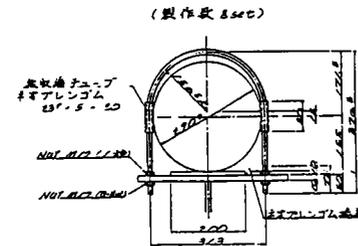


センタースティ図

エンドスティ図

ソケット取付部 60x

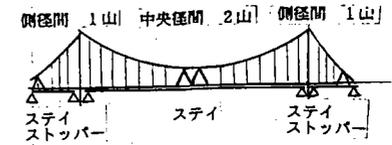
ソケット取付部 60x



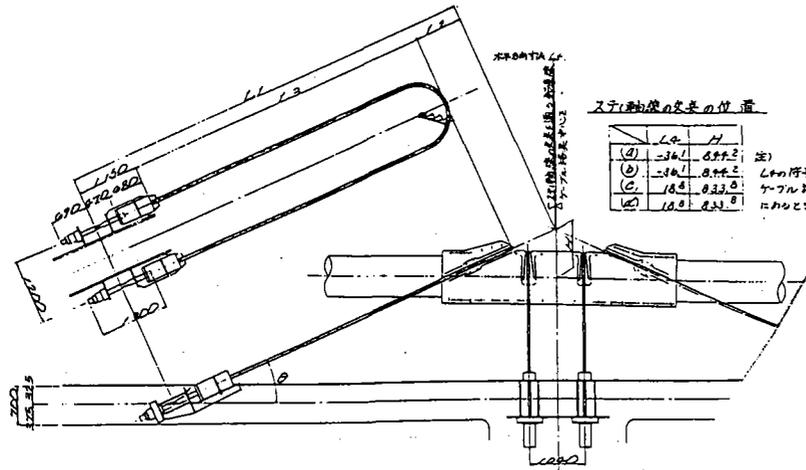
- 1- 6B 13° - 870
- 2- M12 (1.28)
- 2- M12 (U-M12)
- 2- 3A 23° - 8.80 (147705)

- 1- 6B 13° - 870
- 2- M12 (1.28)
- 2- M12 (U-M12)
- 2- 3A 23° - 8.80 (147705)

構 造



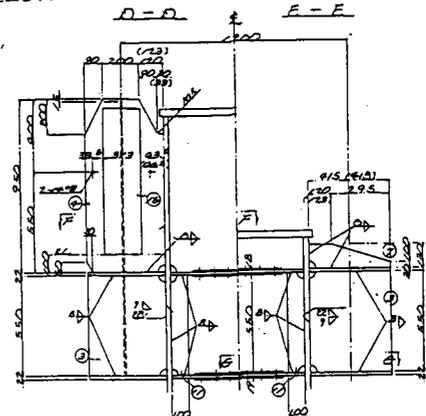
図解



ステイ軸線の位置

	Ca	H
(a)	34.1	8.99.2
(b)	34.1	8.99.2
(c)	18.2	8.33.9
(d)	18.2	8.33.9

注) Caの符号はステイ軸線位置のケーブル端長中心の符号であり、Hはケーブル径とす。

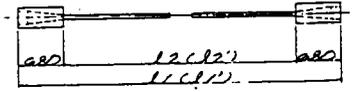


基本寸法表

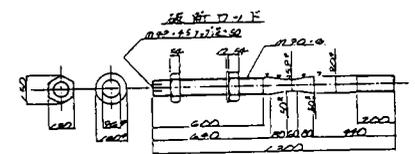
	L1	L2	L3	B
(a)	7677.0	813.7	5733.4	22°55'37.1"
(b)	7724.4	701.7	5670.7	22°50'25.1"
(c)	7675.1	802.0	5663.5	22°08'53.5"
(d)	7651.4	825.4	5676.0	22°16'57.1"

ステイD-D寸法表

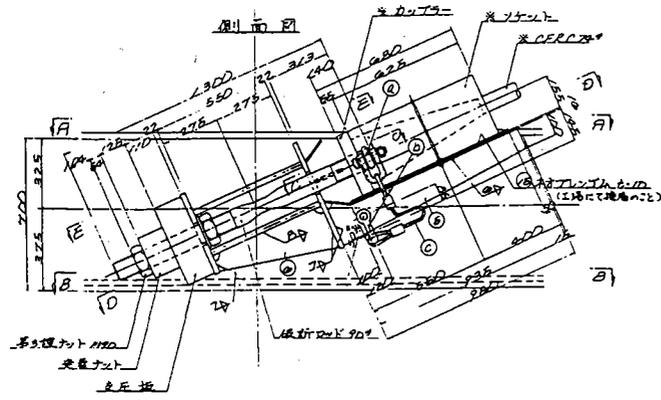
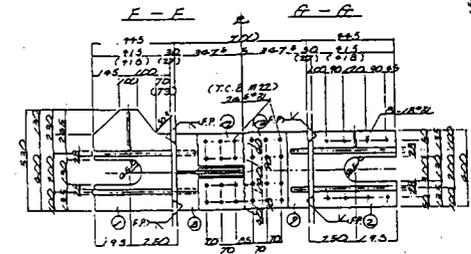
	L1	L2	L1'	L2'
(a)	13 512	12 152	13 503	12 143
(b)	13 330	12 030	13 381	12 021
(c)	13 372	12 012	13 363	12 003
(d)	13 377	12 037	13 388	12 028



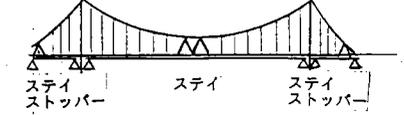
()内は耐力降



- 1-20φ 190 × 1300 (SNC#25)
- 2-10φ 190 (3本)
- 1-20φ 190



側径間 1山 | 中央径間 2山 | 側径間 1山 |

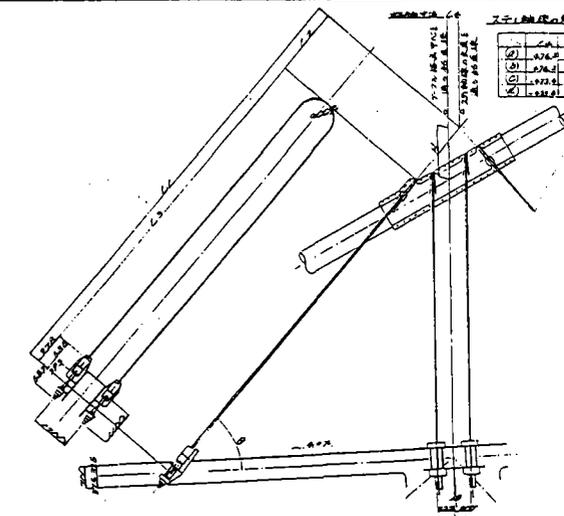


橋脚

橋名

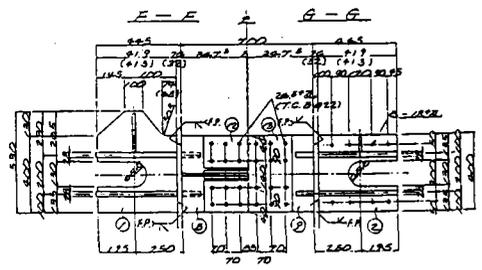
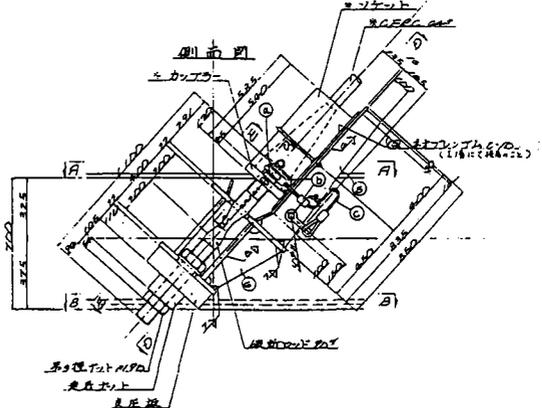
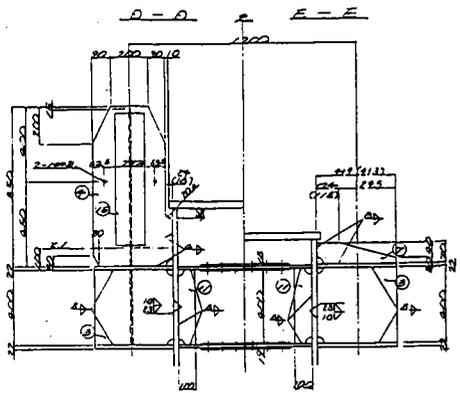
レインボーブリッジ ③(エンドステイ)

構造図



スチール構架の寸法表

部材	寸法
①	200x200x10
②	200x200x10
③	200x200x10
④	200x200x10
⑤	200x200x10

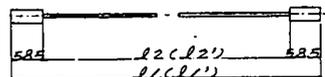


基本寸法表

	L1	L2	L3	θ
①	19,125.7	2,190.0	10,240.9	45° 51' 00.1"
②	12,959.8	719.0	11,240.4	51° 27' 19.0"
③	12,069.7	725.3	11,345.0	51° 05' 30.1"
④	14,033.4	2,180.7	10,846.7	45° 31' 41.3"

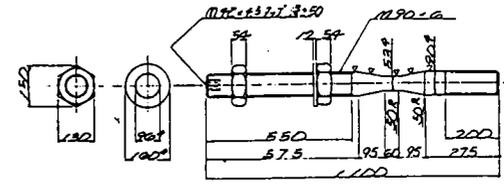
スチールブ寸法表

	L1	L2	L'	L2'
①	23,753	22,583	23,790	22,560
②	24,370	23,208	24,355	23,185
③	24,187	23,017	24,164	22,994
④	23,580	22,410	23,566	22,486



()内は無応力時

破断ロッド



- 1- Rod 90°・1100 (SNCM25)
- 2- Nut M90 (3種)
- 1- Washer M90

摘要