

道路事業調査
特殊大規事業調査
耐震調査
調査資料 No 6

土木研究所資料

第182号

吊橋上部構造全橋模型による振動実験

A-概算設計 L1500M

A-1 模型設計計算及び実験計画

昭和41年5月

建設省土木研究所

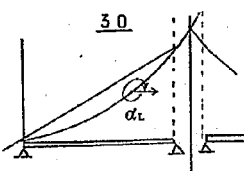
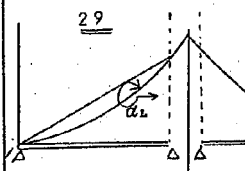
土木研究所資料 第182号

吊橋上部構造全橋模型による振動実験

A-概算設計 L 1500 M

A-1 模型設計計算及び実験計画

正 誤 表

ページ	位置	誤	正
表紙	右上	特殊大規模事業調査	特殊大規模事業調査
目次	下から5行		
-1-	図-1		
-1-	図-1	$f_M \max$	$f_M \max$
-1-	図-1下の表中	$M(x'_1, x_2)$	$M(x'_1, x_2)$
-2-	表-1最下行	ν_L, ν_E, ν_M	ν_L, ν_E, ν_M^2
-4-	上から5行	$\dots(x_{M_L})\} \} x = x_{M_L}$	$\dots(x_{M_L})\} \} x = x_{M_L} \downarrow \text{付}$
-4-	上から6行	$\dots(x_{M_R})\} \} x = x_{M_R}$	$\dots(x_{M_R})\} \} x = x_{M_R} \downarrow$
-5-	表-3	$P_L(x)$	$P_L(x)$
-5-	表-3	$P_M(x)$	$P_M(x)$
-12-	表-7Ka 欄	A_p/A_m	A_p/A_m
-14-	表-8Ka c 欄	5.265×10^2	5.265×10^2
-18-	表-12 斜材17欄V	25% "	25% "
-26-	上から4行	然るに $H_w = 1278.75 \times \frac{8 \times 136.363}{1500}$ $= 929.9 \text{ (Kg)}$ 一方主塔の……	然るに $H_w = 1278.75 \text{ Kg}$ $V_w = 1278.75 \times \frac{8 \times 136.363}{1500}$ $= 929.9 \text{ (Kg)}$ 一方主塔の……
-35-	下から4行式中	$\dots \times (1 - 0.950) \times 0.950 \times 0.5 \times \dots$	$\dots \times (1 - 0.950) \times 0.5 \times \dots$ $\times 0.950$ を抹消する。
-35-	下から1行式中	0.15	0.51
-37-	上から2行	……次頁に……	……4.5頁に……

23 上から6行

表-16

17

24 上から2行

表-17

8

" 下から1行

不足重量

2

ま え が き

本資料は、本州四国連絡架橋調査の一環として行なっている耐震調査における三径間吊橋模型による検証実験に関する一資料として、現在までに実施されてきた実験について、下記の項目に関する検討結果を要約したものである。

(1) 三径間吊橋上部構造の模型

(2) 実験の方法

対象とした実物は、昭和39年7月付の建設省本州四国連絡道路調査事務所によつて作成された。吊橋試算設計調査概要検討に示されたものである。

今後引き続いて実験結果を本資料として取りまとめる予定であるが、実験手法は従来見られない大規模かつ、高振動数領域の振動の応用などの新手法であるために、逐次実験手法を改善しつつ実験を進めている状況であり実験手法の定着及び体系化が同時により精度の高い実験結果の提出ということになるので、今後更に実験の積重ねから実験手法の改善を行い、具体的成果を報告して行く予定である。

栗 林 栄 一

小山田 欣 裕

目 次

1	模型相似律	1
1.1	緒 言	1
1.2	運動の微分方程式	1
〔1〕	構造主系面内の振動	3
〔2〕	構造主系面に直交する振動	6
1.3	模型相似律	7
〔1〕	構造主系面内の振動の相似律	9
〔2〕	構造主系面に直交する振動の相似律	12
1.4	相似比の数値計算	14
2.	実橋諸元	15
3.	模型の設計	19
3.1	主塔の設計	19
3.2	補剛桁の設計	22
3.3	ケーブルの設計	24
3.4	模型重量	25
3.5	質量平衡装置	25
3.6	主塔振動板吊上装置	26
4.	応力照査	28
4.1	主索及び吊索	28
〔1〕	主 索	28
〔2〕	吊 索	29
4.2	主 塔	30
〔1〕	座屈に対する安全性	31
〔2〕	曲げに対する安全性	32
Ⅰ)	構造主系面内振動時の曲げ応力	32
Ⅱ)	構造主系面に直交する振動時の曲げ応力	34

4.3	補剛桁	35
[1]	構造主系面内振動時の曲げ応力	35
[2]	構造主系面に直交する振動時の曲げ応力	36
5.	実験計画	37
6.	設計図	45

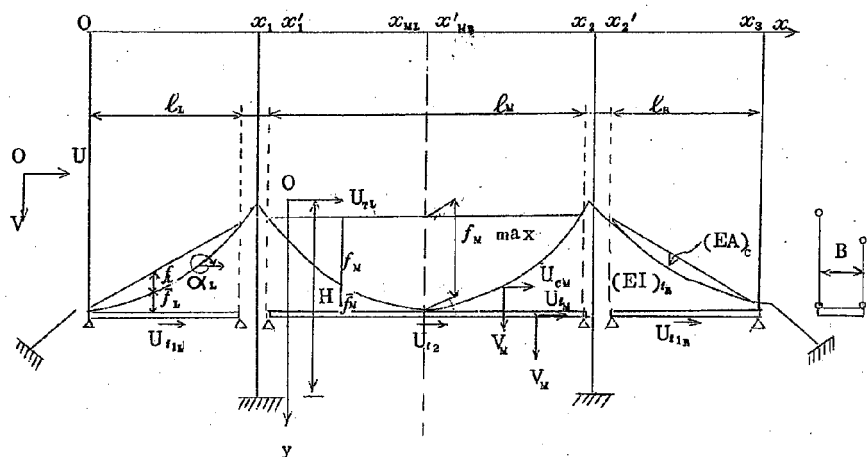
1. 模型相似律

1.1 緒 言

本設計々算に於ては、吊橋上部構造全体に対する運動の微分方程式をたて、これを
実物と模型で比較することにより断面及び断面力諸量の間の相似律を決定し、実物に
対する模型の所要数値を計算する方法を採用した。

1.2 運動の微分方程式

対象とする実物は、図-1に示すような三径間補剛吊橋である。



	$L (0 \sim x_1)$	$M (x'_1, x_2)$	$R (x'_2 \sim x_3)$
曲げ剛性	$(EI)_{tL}$	$(EI)_{tM}$	$(EI)_{tR}$
単位重量	w_c, w_{tL}	w_c, w_{tM}	w_c, w_{tR}
ケーブル傾斜角	α_L	α_M	α_R

図 - 1

図-1に於ける諸記号の説明は次の通りである。

記 号	単 位	説 明
L		左岸側径間を示す添字
R		右岸 " "
M		中央径間を "
x, x_1, x_1' x_2, x_2', x_3 x_{ML}, x_{MR}' y	m " " "	橋軸方向座標 鉛直方向座標
l_L, l_R, l_M f_L, f_R, f_M $\bar{f}_L, \bar{f}_R, \bar{f}_M$ $f_{M=1}$ H B $\alpha^1)$	m " " " " " $rad.$	各径間の径間長 " ケーブル、サグ長 " ハンガー長 中央径間中央点のケーブル、サグ長 主塔高 主塔の主柱間隔 各径間のケーブル傾斜角
w_c w_T w_{L}, w_{R}, w_{M}	t/m " "	ケーブル単位長さ当り重量(全径間一定) 主塔 " 補剛桁 "
A_c	m^2	ケーブル断面積(全径間一定)
I_{TL}, I_{TR} I_{L}, I_{R}, I_{M}	m^4 "	主塔断面二次モーメント 補剛桁 "
E_c E_f E_T	t/m^2 " "	ケーブル縦弾性係数 補剛桁 " 主塔 "
u_{cL}, u_{cR}, u_{cM} u_{fL}, u_{fR}, u_{fM} u_{TL}, u_{TR} v_L, v_R, v_M	m " " "	ケーブル橋軸方向変位 補剛桁 " 主塔 " ケーブル及び補剛桁の鉛直方向変位

表 - 1

(註)

- 1) α は任意点より x の正方向に引いた直線から時計方向に測る。
- 2) 各径間毎に $v_c = v_f = v$ と考える。
- 3) 橋軸直角水平方向の場合は、変位を w ，単位体積重量を γ で表わす。

〔1〕 構造主系面内の振動

$$\frac{w_{TL}}{g} \frac{\partial^2 u_{TL}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} (E_{TL} I_{TL} \frac{\partial^2 u_{TL}}{\partial y^2}) + P_w \frac{\partial^2 u_{TL}}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{w_{CL} + w_{IL}}{g} \frac{\partial^2 u_L}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (E_{IL} I_{IL} \frac{\partial^2 u_L}{\partial x^2}) - H_w \frac{\partial^2 u_L}{\partial x^2} - \frac{\partial P_L(x)}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{w_{CM} + w_{IM}}{g} \frac{\partial^2 v_M}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (E_{IM} I_{IM} \frac{\partial^2 v_M}{\partial x^2}) - H_w \frac{\partial^2 v_M}{\partial x^2} - \frac{\partial P_M(x)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{w_{CL}}{g} \frac{\partial^2 u_{CL}}{\partial t^2} + \frac{w_{IL}}{f_L} (u_{CL} - u_{IL}) - \frac{\partial h_L(x)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{w_{CM}}{g} \frac{\partial^2 u_{CM}}{\partial t^2} + \frac{w_{IM}}{f_M} (u_{CM} - u_{IM}) - \frac{\partial h_M(x)}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{W_{IL}}{g} \frac{\partial^2 u_{IL}}{\partial t^2} + \int_0^{x_1} \frac{w_{IL}}{f_M} (u_{IL} - u_{CL}) dx = 0 \quad (6)$$

$$\frac{W_{IM}}{g} \frac{\partial^2 u_{IM}}{\partial t^2} + \int_{x_1}^{x_M} \frac{w_{IM}}{f_M} (u_{IM} - u_{CM}) dx + \int_{x_M}^{x_2} \frac{w_{IM}}{f_M} (u_{IM} - u_{CM}) dx + \Delta h_M = 0 \quad (7)$$

上式に於て

$$P_w = H_w \{ \tan \alpha_M (x_1') - \tan \alpha_L (x_1) \}$$

$$H_w = \frac{w_{CL} + w_{IL}}{8 f_{Lmax}} \ell_L^2 = \frac{w_{CM} + w_{IM}}{8 f_{Mmax}} \ell_M^2$$

$$p_L(x) = E_C A_C \cos \alpha_L(x) \sin \alpha_L(x) \left\{ \frac{\partial u_{CL}}{\partial x} \cos \alpha_L(x) + \frac{\partial v_L}{\partial x} \sin \alpha_L(x) \right\}$$

$$p_M(x) = E_C A_C \cos \alpha_M(x) \sin \alpha_M(x) \left\{ \frac{\partial u_{CM}}{\partial x} \cos \alpha_M(x) + \frac{\partial v_M}{\partial x} \sin \alpha_M(x) \right\}$$

$$h_L(x) = E_C A_C \cos^2 \alpha_L(x) \left\{ \frac{\partial u_{CL}}{\partial x} \cos \alpha_L(x) + \frac{\partial v_L}{\partial x} \sin \alpha_L(x) \right\}$$

$$h_M(x) = E_C A_C \cos^2 \alpha_M(x) \left\{ \frac{\partial u_{CM}}{\partial x} \cos \alpha_M(x) + \frac{\partial v_M}{\partial x} \sin \alpha_M(x) \right\}$$

$$v_{CL} = v_{IL} = v_L, \quad v_{CM} = v_{IM} = v_M$$

$$W_{IL} = \int_0^{x_1} w_{IL} dx$$

$$W_{IM} = \int_{x_1'}^{x_2'} w_{IM} dx + \int_{x_{ML}}^{x_{MR}} w_{CM} dx$$

$$\begin{aligned} \Delta h_M = & [E_C A_C \cos^2 \alpha_M(x_{ML}) \left\{ \frac{\partial u_{CM}}{\partial x} \cos \alpha_M(x_{ML}) + \frac{\partial v_{CM}}{\partial x} \sin \alpha_M(x_{ML}) \right\}]_{x=x_{ML}} \\ & - [E_C A_C \cos^2 \alpha_M(x_{MR}) \left\{ \frac{\partial u_{CM}}{\partial x} \cos \alpha_M(x_{MR}) + \frac{\partial v_{CM}}{\partial x} \sin \alpha_M(x_{MR}) \right\}]_{x=x_{MR}} \end{aligned}$$

構造主系面内の振動時の吊橋上部構造各部の運動方程式は式(1)~(7)迄となり、各微分方程式の説明は次表の通りである。

方程式	説 明
1	左岸主塔の橋軸方向曲げ振動
2	左岸側径間の補剛桁及びケーブルの鉛直方向振動
3	中央径間の " " "
4	左岸側径間ケーブルの橋軸方向振動
5	中央径間 " "
6	左岸側径間補剛桁の橋軸方向振動
7	中央径間 " "

表 — 2

又、式中に使われている記号の説明は、次の通りである。

記 号	単 位	説 明
P_w	t	塔 頂 に 於 ける ケーブル 張 力 の 鉛 直 方 向 成 分
H_w	"	ケー ブ ル 張 力 の 水 平 方 向 成 分
$p_L(x)$	"	左 岸 側 径 間 任 意 点 の ケーブル 張 力 増 分 の 鉛 直 成 分
$p_M(x)$	"	中 央 径 間 " " "
$h_L(x)$	"	左 岸 側 径 間 任 意 点 の ケーブル 張 力 増 分 の 水 平 成 分
$h_M(x)$	"	中 央 径 間 " " "
W_{tL}	"	左 岸 側 径 間 補 剛 桁 の 全 重 量
W_{tM}	"	中 央 径 間 " "
Δh_M	"	中 央 径 間 中 央 点 両 側 の $h_M(x)$ の 差

表 - 3

構造は、左右対称とし、左岸側径間及び中央径間のみを考え、式(1)に於て、塔自重による軸方向力を省略した。又ハンガーの伸びを無視し、ケーブル及び補剛桁の鉛直方向変位は等しいと仮定した。

ここで、構造の対称性と、運動方程式の類似性から前述の運動方程式を単純化すると次のようになる。

$$\frac{w_T}{g} \frac{\partial^2 u_T}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} (E_T I_T \frac{\partial^2 u_T}{\partial y^2}) + P_w \frac{\partial^2 u_T}{\partial y^2} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{w_C + w_I}{g} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (E_I I_I \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}) - H_w \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{w_C}{g} \frac{\partial^2 u_C}{\partial t^2} + \frac{w_I}{f} (u_C - u_I) - \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{W_{tL}}{g} \frac{\partial^2 u_{tL}}{\partial t^2} + \int_0^{x_1} \frac{w_{tL}}{f_L} (u_{tL} - u_{CL}) dx = 0 \quad (11)$$

$$\frac{W_{tM}}{g} \frac{\partial^2 u_{tM}}{\partial t^2} + \int_{x_1'}^{x_{M1}} \frac{w_{tM}}{f_M} (u_{tM} - u_{CM}) dx + \int_{x_{M2}}^{x_2} \frac{w_{tM}}{f_M} (u_{tM} - u_{CM}) dx + \Delta h_M = 0 \quad (12)$$

(2) 構造主系面に直交する振動

$$\frac{\nu_{TL}}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_{TL}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} (E_{TL} I_{TL} \frac{\partial^2 w_{TL}}{\partial y^2}) + P_w \frac{\partial^2 w_{TL}}{\partial y^2} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\nu_{CL}}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_{CL}}{\partial t^2} - H_w \frac{\partial^2 w_{CL}}{\partial x^2} - \frac{\nu_{TL}}{f} (w_{TL} - w_{CL}) = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\nu_{CM}}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_{CM}}{\partial t^2} - H_w \frac{\partial^2 w_{CM}}{\partial x^2} - \frac{\nu_{TM}}{f} (w_{TM} - w_{CM}) = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\nu_{TL}}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_{TL}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (E_{TL} I_{TL} \frac{\partial^2 w_{TL}}{\partial x^2}) + \frac{\nu_{CL}}{f} (w_{TL} - w_{CL}) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\nu_{TM}}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_{TM}}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (E_{TM} I_{TM} \frac{\partial^2 w_{TM}}{\partial x^2}) + \frac{\nu_{CL}}{f} (w_{TM} - w_{CL}) = 0 \quad (17)$$

式は(13)~(17)の意味は次表の通りである。

方程式	説明
13	左岸主塔の橋軸直角水平方向振動
14	左岸側径間ケーブルの "
15	中央径間ケーブルの "
16	左岸側径間補剛桁の "
17	中央径間補剛桁の "

表 - 4

前述と同じ理由で上記の式を単純化すると次の如くなる。

$$\frac{\nu_T}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_T}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} (E_T I_T \frac{\partial^2 w_T}{\partial y^2}) + P_w \frac{\partial^2 w_T}{\partial y^2} = 0 \quad (18)$$

$$\frac{\nu_C}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_C}{\partial t^2} - H_w \frac{\partial^2 w_C}{\partial x^2} - \frac{\nu_T}{f} (w_T - w_C) = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\nu_T}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_T}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (E_T I_T \frac{\partial^2 w_T}{\partial x^2}) + \frac{\nu_C}{f} (w_T - w_C) = 0 \quad (20)$$

(註)

主塔の鉛直方向地震による振動は、省略する。

1.3 模型相似律

相似律を見出す手段として、次表の如き特性的な量を考える。

これらの諸量は、吊橋の各位置に於ける諸量を代表するものと考え
ることできる。

特性量	単位	内 容
T	sec	時間を表わす特性的量
L	m	長さを "
w	t/m	重量を "
A	m ²	断面積を "
I	m ⁴	断面二次モーメントを "
U	m	変位
E	t/m ²	弾性係数
P	t	ケーブル張力の鉛直方向成分
H	"	" 水平 "
p	"	" 増分の鉛直方向分力
h	"	" " 水平 "

表 - 5

表-5の如き特性的諸量を使つて、運動方程式中の諸量を（無次元量）×（特性量）の
形で表現すると次表の如くなる。表中<~>を付してゐるのは無次元量である。

構造主系面内の振動	構造主系に直交する振動
$w_T = \tilde{w}_T \cdot w$ $w_C = \tilde{w}_C \cdot w$ $w_I = \tilde{w}_I \cdot w$ $(w_{TL} = \tilde{w}_{TL} \cdot w, w_{TM} = \tilde{w}_{TM} \cdot w)$	$v_T = \tilde{v}_T \cdot w$ $v_C = \tilde{v}_C \cdot w$ $v_I = \tilde{v}_I \cdot w$
$u_T = \tilde{u}_T \cdot U$ $u_C = \tilde{u}_C \cdot U$ $u_I = \tilde{u}_I \cdot U$ $(u_{TL} = \tilde{u}_{TL} \cdot U, u_{TM} = \tilde{u}_{TM} \cdot U,)$ $(u_{CL} = \tilde{u}_{CL} \cdot U, u_{CM} = \tilde{u}_{CM} \cdot U)$ $v = \tilde{v} \cdot U$	$w_T = \tilde{w}_T \cdot U$ $w_C = \tilde{w}_C \cdot U$ $w_I = \tilde{w}_I \cdot U$
$x = \tilde{x} \cdot L$ $y = \tilde{y} \cdot L$ $x_1 = \tilde{x}_1 \cdot L$ $x_2 = \tilde{x}_2 \cdot L$ $x'_1 = \tilde{x}'_1 \cdot L$ $x_{ML} = \tilde{x}_{ML} \cdot L$ $x_{MR} = \tilde{x}_{MR} \cdot L$	同 左
$f = \tilde{f} \cdot L$ $f_L = \tilde{f}_L \cdot L$ $f_M = \tilde{f}_M \cdot L$ $l = \tilde{l} \cdot L$	同 左
$E_T = \tilde{E}_T \cdot E$ $E_C = \tilde{E}_C \cdot E$ $E_I = \tilde{E}_I \cdot E$	同 左 同 左
$A_C = \tilde{A}_C \cdot A$	同 左
$I_T = \tilde{I}_T \cdot I$ $I_I = \tilde{I}_I \cdot I$	同 左
$P = \tilde{P} \cdot P$ $H = \tilde{H} \cdot H$ $p = \tilde{p} \cdot p$ $h = \tilde{h} \cdot h$	同 左
$t = \tilde{t} \cdot T$	同 左

表 - 6

又，特性量の実物と模型の相似比を次の如く表わす。

$$\begin{aligned} K_T &= T_F / T_m, & K_P &= P_F / P_m \\ K_L &= L_F / L_m, & K_H &= H_F / H_m \\ K_w &= w_F / w_m, & K_P &= P_F / P_m \\ K_A &= A_F / A_m, & K_h &= h_F / h_m \\ K_I &= I_F / I_m, \\ K_U &= U_F / U_m, & \text{但し, } P \text{ は実物を, } m \text{ は模型を表わす} \\ K_E &= E_F / E_m, & \text{添字である。} \end{aligned}$$

(1) 構造主系面内の振動の相似律

表一5 の関係式を式(8)~(12)に代入して整理すると

$$\frac{\tilde{w}_\tau}{g} \cdot \frac{\partial^2 \tilde{w}_\tau}{\partial \tilde{t}^2} + \frac{E I T^2}{w L^4} \frac{\partial^2}{\partial \tilde{y}^2} \left(\tilde{E}_\tau \tilde{I}_\tau \frac{\partial^2 \tilde{w}_\tau}{\partial \tilde{x}^2} \right) + \frac{P T^2}{w L^2} \cdot \tilde{P} \frac{\partial^2 \tilde{w}_\tau}{\partial \tilde{y}^2} = 0 \quad (21)$$

$$\frac{\tilde{w}_c + \tilde{w}_i}{g} \cdot \frac{\partial^2 \tilde{v}}{\partial \tilde{t}^2} + \frac{E I T^2}{w L^4} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \tilde{x}^2} \left(\tilde{E}_i \tilde{I}_i \frac{\partial^2 \tilde{v}}{\partial \tilde{x}^2} \right) - \frac{H T^2}{w L^2} \cdot \tilde{H} \frac{\partial^2 \tilde{v}}{\partial \tilde{x}^2} - \frac{P T^2}{w U L} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{x}} = 0 \quad (22)$$

$$\frac{\tilde{w}_c}{g} \cdot \frac{\partial^2 \tilde{w}_c}{\partial \tilde{t}^2} + \frac{T^2}{L} \frac{\tilde{w}_i}{f} (\tilde{w}_c - \tilde{w}_i) - \frac{h T^2}{w U L} \frac{\partial \tilde{h}}{\partial \tilde{x}} = 0 \quad (23)$$

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial^2 \tilde{w}_{iL}}{\partial \tilde{t}^2} \int_0^{x_1} \tilde{w}_{iL} d\tilde{x} + \frac{T^2}{L} \int_0^{x_1} \frac{\tilde{w}_{iL}}{f} (\tilde{w}_{iL} - \tilde{w}_{cL}) d\tilde{x} = 0 \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{g} \left(\int_{x'_1}^{x_2} \tilde{w}_{iM} d\tilde{x} + \int_{x_{ML}}^{x_{M^*}} \tilde{w}_{cM} d\tilde{x} \right) \frac{\partial^2 \tilde{w}_{iM}}{\partial \tilde{t}^2} + \frac{T^2}{L} \int_{x'_1}^{x_{ML}} \frac{\tilde{w}_{iM}}{f_M} (\tilde{w}_{iM} - \tilde{w}_{cM}) d\tilde{x} \\ + \frac{T^2}{L} \int_{x_{M^*}}^{x_2} \frac{\tilde{w}_{iM}}{f_M} (\tilde{w}_{iM} - \tilde{w}_{cM}) d\tilde{x} + \frac{h T^2}{w L U} \Delta \tilde{h}_M = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

実物と模型で同じ現象が生ずるためには、無次元定数の積で表わされる諸量は実物と模型で等しくなるので、特性量の積で表わされた諸量が実物と模型で等しくならねばならない。更に式(21)~(25)の各々に生ずるこれらの条件が同時に成立しなければならない。従つて次のような関係式が同時に成立しなければならない。

$$\left(\frac{EIT^2}{wL^4} \right)_p = \left(\frac{EIT^2}{wL^4} \right)_m \quad (a)$$

$$\left(\frac{PT^2}{wL^2} \right)_p = \left(\frac{PT^2}{wL^2} \right)_m \quad (b)$$

$$\left(\frac{EIT^2}{wL^4} \right)_p = \left(\frac{EIT^2}{wL^4} \right)_m \quad (c)$$

$$\left(\frac{HT^2}{wL^2} \right)_p = \left(\frac{HT^2}{wL^2} \right)_m \quad (d)$$

$$\left(\frac{pT^2}{wUL} \right)_p = \left(\frac{pT^2}{wUL} \right)_m \quad (e)$$

$$\left(\frac{T^2}{L} \right)_p = \left(\frac{T^2}{L} \right)_m \quad (f)$$

$$\left(\frac{hT^2}{wUL} \right)_p = \left(\frac{hT^2}{wUL} \right)_m \quad (g)$$

$$\left(\frac{T^2}{L} \right)_p = \left(\frac{T^2}{L} \right)_m \quad (h)$$

$$\left(\frac{T^2}{L} \right)_p = \left(\frac{T^2}{L} \right)_m \quad (i)$$

$$\left(\frac{hT^2}{wUL} \right)_p = \left(\frac{hT^2}{wUL} \right)_m \quad (j)$$

(a) ~ (j) までの諸関係式は次のように整理される。

i) $U_p/U_m = L_p/L_m$ ($K_u = K_L$) とする。

ii) (f)(h)(i) は重複しているので、(f) だけでよい。

iii) p, h は各々 E_c, A_c によつて決められる量であり (e)(g)(j) は重複しているので (e) だけでよい。

iv) P, H は w, L によつて決まり (b)(d) は (f) の関係を使いと自から満足されるので省略してよい。

v) (a), (c) は重複しているので (a) だけで良い。

かくして、(a) ~ (j) までの関係は、相似比 K を使つて以下の如く表わされる。これらが同時に成立しなければならない。

$$\left\{ \begin{array}{l} K_u = K_L \\ \frac{K_E K_I K_T^2}{K_w K_L^4} = 1 \\ \frac{K_p K_T^2}{K_w K_u K_L} = 1 \\ \frac{K_T^2}{K_L} = 1 \end{array} \right.$$

ここで単位体積重量の特性量を $\bar{p}$ とし、更に $K_T = K_E \cdot K_L$ であることを考えて上記式を整理すると

$$K_u = K_L \quad (26)$$

$$K_I = \frac{K_T \cdot K_L^5}{K_E} \quad (27)$$

$$K_A = \frac{K_T \cdot K_L^3}{K_E} \quad (28)$$

$$K_T = \sqrt{K_L} \quad (29)$$

(26)~(29)を使つて、他の物理量の相似比を出すことができる。これらを一覧表にすると次の通りである。

K		内 容	相 似 比
K_L	L_p / L_m	長 さ	
K_r	r_p / r_m	単位体積重量	
K_E	E_p / E_m	弾性係数	
K_A	A_p / A_m	断 面 積	$K_r \cdot K_L^3 / K_E$
K_I	I_p / I_m	断 面 二次モーメント	$K_r \cdot K_L^5 / K_E$
K_w	W_p / W_m	重 量	$K_r \cdot K_L^3$
K_u	U_p / U_m	変 位	K_L
K_v	V_p / V_m	速 度	$\sqrt{K_L}$
K_A	A_p / A_m	加 速 度	1
K_F	F_p / F_m	外 力	$K_r \cdot K_L^3$
K_T	T_p / T_m	時 間	$\sqrt{K_L}$

表 - 7

〔2〕 構造主系面に直交する振動の相似律

表-5の関係式を式(18)~(20)に代入すると

$$\frac{\tilde{v}_r}{g} \frac{\partial^2 \tilde{w}_r}{\partial \tilde{y}^2} + \frac{EIT^2}{wL^4} \frac{\partial^2}{\partial \tilde{y}^2} (\tilde{E}_r \tilde{I}_r \frac{\partial^2 \tilde{w}_r}{\partial \tilde{y}^2}) + \frac{PT^2}{wL^2} \cdot \tilde{P} \frac{\partial^2 \tilde{w}_r}{\partial \tilde{y}^2} = 0 \quad (30)$$

$$\frac{\tilde{v}_c}{g} \frac{\partial^2 \tilde{w}_c}{\partial \tilde{x}^2} - \frac{HT^2}{wL^2} \cdot \tilde{H} \frac{\partial^2 \tilde{w}_c}{\partial \tilde{x}^2} - \frac{T^2}{L} \frac{\tilde{v}_r}{\tilde{I}} (\tilde{w}_r - \tilde{w}_c) = 0 \quad (31)$$

$$\frac{\tilde{v}_f}{g} \frac{\partial^2 \tilde{w}_f}{\partial \tilde{x}^2} + \frac{EIT^2}{wL^4} \frac{\partial^2}{\partial \tilde{x}^2} (\tilde{E}_f \tilde{I}_f \frac{\partial^2 \tilde{w}_f}{\partial \tilde{x}^2}) + \frac{T^2}{L} \frac{\tilde{v}_r}{\tilde{I}} (\tilde{w}_r - \tilde{w}_c) = 0 \quad (32)$$

従つて次の諸関係が、同時に成立しなければならない。

$$\left(\frac{E I T^2}{w L^4}\right)_p = \left(\frac{E I T^2}{w L^4}\right)_m \quad (k)$$

$$\left(\frac{P T^2}{w L^2}\right)_p = \left(\frac{P T^2}{w L^2}\right)_m \quad (l)$$

$$\left(\frac{H T^2}{w L^2}\right)_p = \left(\frac{H T^2}{w L^2}\right)_m \quad (m)$$

$$\left(\frac{T^2}{L}\right)_p = \left(\frac{T^2}{L}\right)_m \quad (n)$$

$$\left(\frac{E I T^2}{w L^4}\right)_p = \left(\frac{E I T^2}{w L^4}\right)_m \quad (o)$$

$$\left(\frac{T^2}{L}\right)_p = \left(\frac{T^2}{L}\right)_m \quad (p)$$

(k)~(p)の諸式は、前記の(a)~(j)までの諸式と全く同形であり、 K_L 、 K_Y 、 K_z を橋軸方向地震による振動と同じにとれば、その他の諸量も全く同じ相似比となり、表-6の関係は橋軸直角方向にも適用できる。

1.4 相似比の数値計算

K_L , K_r , K_E , を与えて, 諸量の相似比を計算すると, 表-7の如くなる。これは構造主系面に直交する方向の振動と共通である。

(K_L , K_r , K_E を等しくとる。)

K_L	100
K_r	$\sqrt{20}$
K_E	1
K_{E^*}	0.950
K_i	5×100^4
K_{A^*}	$5,265 \times 100^2$
K_w	5×100^2
K_u	100
K_v	10
$K_{\bar{A}}$	1
K_f	5×100^2
K_s	10
K_{α^*}	$\sqrt{10}$

表 - 8

表-8で

K_{EC} : ケーブル弾性係数の相似比

$$\frac{\text{実物}}{\text{模型}} = \frac{19 \times 10^9 \text{ t/m}^2}{20 \times 10^6 \text{ t/m}^2} = 0.950$$

K_{AC} : ケーブル断面積の相似比

K_n : 振動数相似比

2. 実橋諸元

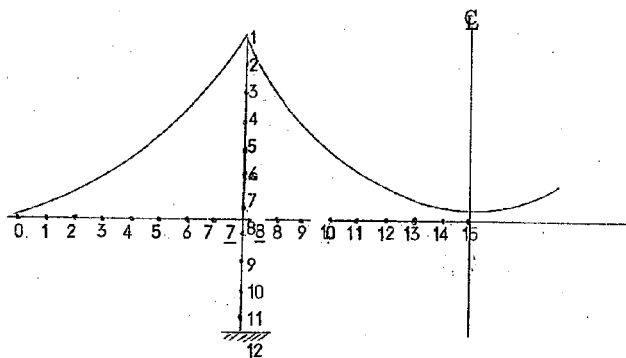
図一 1 に於ける三径間補剛吊橋の一般
的諸元は表一 9 の通りである。

又主塔及び補剛桁の I , W は図一 2 に
示す各点に於て示す。

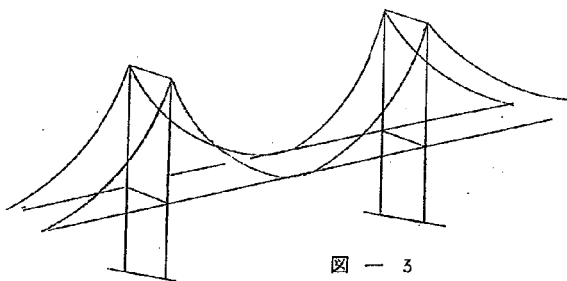
A_c はケーブル片側あたり。

記 号	諸 元
l_L	7 5 0 m
l_H	1,5 0 0 "
H	2 1 0 "
$f_{H \max}$	1,3 6.3 6 "
f_t	3 4.0 9 "
B	3 6 "
A_c	0.6 8 9 m ²
E_c	1.9×10^7 t/m ²
E	2.1×10^7 "

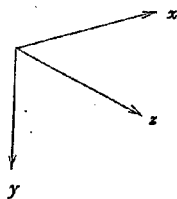
表一 9



図一 2



図一 3



図一三 に於て

x : 橋軸水平方向座標

y : 鉛直方向座標

z : 橋軸直角水平方向座標

	$I_z(y)$		$W(y)$
1	1 1.9	m^4	4 0 5 t
2	1 4.2	"	4 5 6 "
3	1 6.7	"	4 9 7 "
4	1 8.8	"	5 3 4 "
5	2 1.5	"	5 7 6 "
6	2 4.1	"	6 0 9 "
7	2 6.7	"	6 3 6 "
8	2 9.4	"	6 5 7 "
9	3 3.1	"	6 7 4 "
10	3 4.8	"	6 8 6 "
11	3 7.6	"	3 4 9 "
12	3 9.3	"	0 "
Σ			6, 0 7 9 "

表一 10 $H/R_k = 6.2$ タイプ 主塔諸元

		$I_z(x)$	$W(x)$
側 径 間	0 — 1	1 3 1 m^4	
	1 — 2	2 2 5 "	
	2 — 3	3 3 0 "	
	3 — 7	4 3 3 "	
	7 — <u>7</u>	3 0 0 "	
中 央 径 間	<u>8</u> — 8	3 1 1 "	
	8 — 12	4 1 2 "	
	12 — 13	3 3 8 "	
	13 — 14	2 3 6 "	
	14 — 15	1 3 1 "	
Σ			5 7, 9 0 0 t

表一 11 補剛桁諸元

(註) 補剛トラスを同じ断面二次モーメントを有する桁に換算する。換算法は次に述べる。

補剛桁断面二次モーメントの算定法；

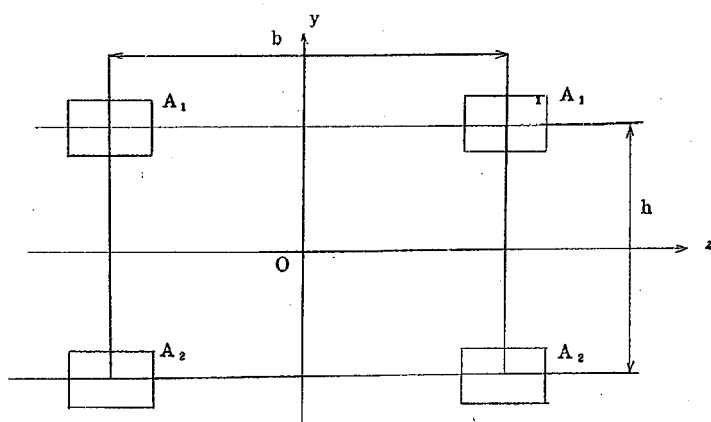


図 — 4

A_1 , A_2 は主構上弦材・下弦材の断面積である。垂直材，横構の y , z 軸に関する断面二次モーメント及び弦材断面の中立軸に関する断面二次モーメントは小さいので省略する。

従つて I_y , I_z は各々

$$I_z = A_1 \left(\frac{h}{2} \right)^2 \times 2 + A_2 \left(\frac{h}{2} \right)^2 \times 2 = \frac{h^2}{2} (A_1 + A_2)$$

$$I_y = A_1 \left(\frac{b}{2} \right)^2 \times 2 + A_2 \left(\frac{b}{2} \right)^2 \times 2 = \frac{b^2}{2} (A_1 + A_2)$$

$A_1 = A_2 = A$ とすると

$$\begin{cases} I_z = A h^2 & (33) \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_y = A b^2 & (34) \end{cases}$$

主塔斜材及び水平材の断面積は次表の通りである。

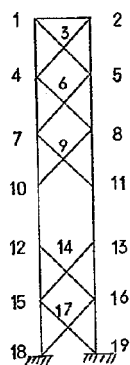


図 - 5

部材	A_d	V
1-2	1 6 1 m^2	4 1.0 m^3
斜材 3	0 5 8 "	1 4.8 "
6	0 7 9 "	2 0.1 "
9	0 9 2 "	2 3.4 "
14	0 9 9 "	2 5.2 "
17	1 0 0 "	2 5 9. "
Σ		2 5 9. "

表 - 1 2

又，ケーブル総重量は $W_c = 3 5, 1 0 0 t$ である。

3. 模型の設計

実橋諸元で与えられた諸数値を，相似比で割り模型の所要数値を決定する。

3.1 主塔の設計

表-8 から $K_1 = 5 \times 100^4$, $K_w = 5 \times 100^2$ である。

位置	模型所要値		塔柱設計値					
	I_z	W	a	b, t	A	I_z	W	不足重量
1	238 cm ⁴	810 Kg	2900 mm	b=25 mm t=2.3 mm	227 cm ²	261 cm ⁴	036 Kg	Kg
2	284	912	3062		235	299	038	
3	334	994	3224		242	339	039	
4	386	1068	3386		250	381	040	
5	430	1152	3548		257	430	041	
6	482	1218	3910		265	480	042	
7	534	1272	3871	t=2.3 mm	272	534	043	
8	588	1314	4033		279	591	044	
9	642	1345	4195		287	652	046	
10	696	1372	4357		294	717	047	
11	752	698	4519		302	794	024	
12	786	0	4600		305	830	0	
Σ		122					5	117

表 - 13

上表に於ける記号は次図に示す通りである。

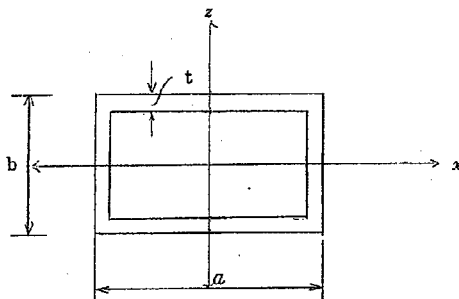


図 - 6

設計した主塔の基本構造は次図の通りである。

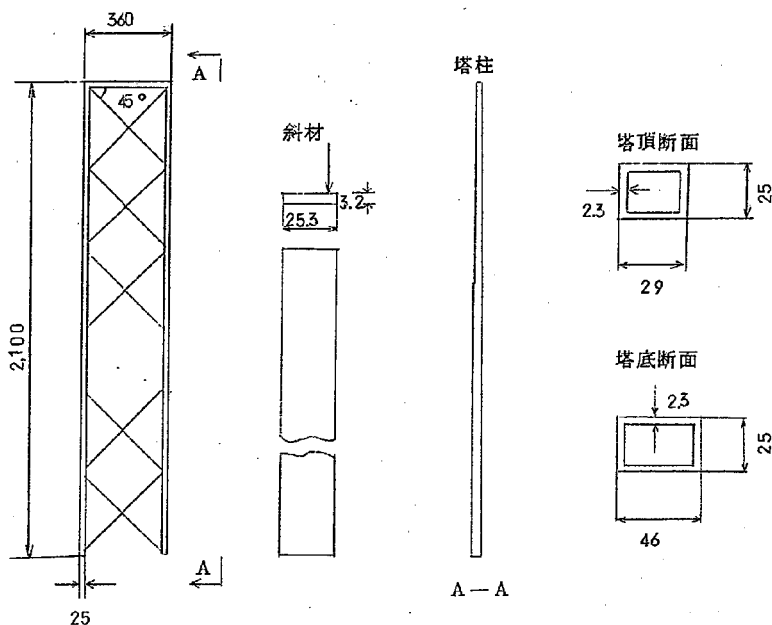


図 一 7

全橋当りの主塔重量は表一 13 の如くなる。

部材	重量
塔 柱	2 0 Kg
斜材・水平材	7. 5 "
その他副材類	2. 5 "
計	3 0 "

表 一 1 4

(註) 副材とは、塔頂サドル、重錘取付ブラケット等である。

設計した主塔重量は、表一 13 に示す所要重量に満たないので、不足分を重錘を付加して補う。

所 要 重 量 $4 \times 122 = 488 \text{ Kg}$

設計主塔重量 $30 \text{ \#}$

$458 \text{ \#}$

重錘の配置は図一 8 の如く行う。

	位 置	重 量
A	8 6.5 %	6.5 Kg
B	28 6.5	18
C	57 5.0	"
D	92 5.0	"
E	127 5.0	"
F	162 5.0	"
G	195 0.0	"

表 一 15

(註) 重量は 1 個当りの重さである。

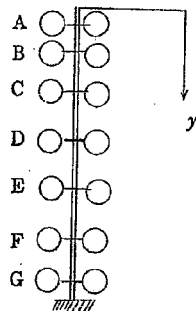


図 一 8

主塔の材料は下表の通りである。

部 材	材 料
塔 柱	SS 41
斜材水平材	"
塔頂サドル	"
ブラケット	"
付加重錘	FC 20

表 一 16

3.2 補剛桁の設計

表一 8 から $K_i = 5 \times 100^4$, $K_w = 5 \times 100^2$ である。

		模型所要重量		設 計 値			
	区間	I_z	W	h	b	A	W
側 径 間	0—1	0.262 cm ⁴		10.1 mm	30.3 mm	3.08 cm ²	2.25 Kg
	1—2	0.450		11.6	34.8	4.04	2.97
	2—3	0.666		12.7	38.2	4.87	3.58
	3—7	0.866		13.7	41.0	5.59	16.44
	7—7	0.600		12.4	37.0	4.64	3.42
中 央 径 間	8—8	0.622		12.5	37.6	4.70	3.46
	8—12	0.824		13.5	40.4	5.44	16.00
	12—13	0.676		12.8	38.4	4.91	3.61
	13—14	0.472		11.7	35.1	4.11	3.02
	14—15	0.262		10.1	30.3	3.06	2.25
Σ			1,158 Kg				57.00

全橋当り重量は $57.00 \times 2 = 114 \text{ Kg}$

表一 17

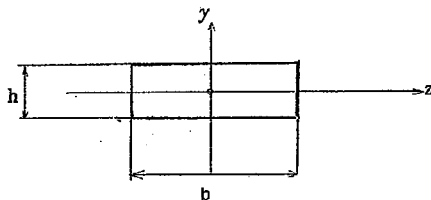


図 一 9

b , h の計算は、所要の断面二次モーメント (I) を使用して次のように行う。
或る代表点の断面高さ、巾、断面二次モーメントを h_0 , b_0 , I_0 とし任意点の

それを $h(x)$, $b(x)$, $I(x)$ とすると

$$\begin{cases} b/h = 36/12 = 3 \\ I_0 = \frac{1}{12} \cdot b_0 \cdot h_0^3 = \frac{h_0^4}{4} \\ I(x) = \frac{1}{12} \cdot b(x) \cdot h(x)^3 = \frac{h(x)^4}{4} \end{cases}$$

$$\therefore h(x) = h_0 \sqrt[4]{\frac{I(x)}{I_0}} \quad (35)$$

h_0 , b_0 , I_0 を最大断面区間の値にとると表-16の如くなる。

全橋当りの補剛部重量は

補 剛 桁	1 1 4 Kg
補剛桁支持材	3 3 "
	1 4 7 "

付加重錘の重量 = $1,158 - 147 = 1,011 \text{ Kg}$

重錘の配置は次図の通りである。

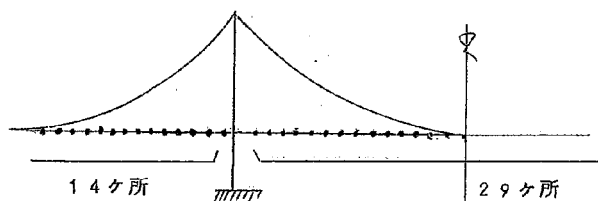


図 - 10

補剛桁付加重錘は、中心線間隔 50 cm 毎に配置し 1ヶ所 4個ずつ 57個所に取付ける。

1個当り重量は 4.420.7 分である

補剛部の各部材々料は次表の通りである。

部 材	材 料
補 剛 桁	S S 4 1
同上支持材	"
付 加 重 錘	F C 2 0

表 - 18

3.3 ケーブルの設計

表-7 から $K_{Ae} = 5.265 \times 100^2$

$$A_{ca} = \frac{0.689 \times 100^2}{5.265 \times 100^2} = 0.13 \text{ cm}^2 \quad (\text{但し, ケーブル片側あたり})$$

$\phi 2\%$, 4本のピアノ線を使用すると

$$A = \frac{3.14}{4} \times \left(\frac{2}{10}\right)^2 \times 4 = 0.13 \text{ cm}^2$$

従つて片側4本のピアノ線を使用し, 又吊索には $\phi 0.7\%$ ピアノ線を使用する。

ハンガー間隔は50cmである。

$$\text{ケーブル所要重量は} \frac{35.100 \times 1,000}{5 \times 100^2} = 702 \text{ (kg)}$$

$$\begin{array}{r} \text{吊索を含めたケーブル重量は} \\ \hline \text{不足重量} \quad 698 \text{ "} \end{array}$$

不足重量は付加重錘960個及びノンスリップ114個で補う。

部 材	材 料
ケ ー ブ ル	SWPA $\phi 2\%$
ハ ン ガ ー	" $\phi 0.7\%$
重錘及びノンスリップ	S S 4 1

表 - 19

3.4 模型重量

	実橋重量	模型重量
主 塔	24,400 t	488 Kg
補剛桁	5,7900 "	1,158 "
主 索	35,100 "	702 "
Σ	117,400 "	2,348 "

表 - 20

3.5 質量平衡装置

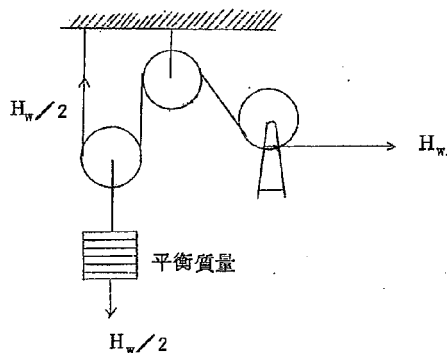


図 - 11

ケーブル張力に見合う重錘を吊下

げてケーブルを支える。

補剛桁重量 1,158 Kg

主 索 " 702

1,860

従つて中央径間吊構造部重量は

$$W = 1,860 / 2 = 930 \text{ Kg}$$

$$H_w = \frac{w \cdot l^2}{8 \cdot f} = \frac{W \cdot l}{8 \cdot f}$$

$$= \frac{930 \times 11}{8} = 1278.75 \text{ Kg}$$

図-11の如く動滑車を1個配置すると平衡質量は半減され、640 Kgとなる。

詳細は設計図を参照の事。製作及び組立の際、多少の H_w の増減が見込まれるので、

これは組立の際調整する。

3.6 主塔振動板吊上装置

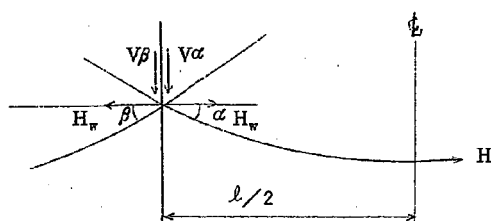


図 - 12

塔頂に作用する鉛直反力はケーブルが二次放物線であると仮定すると

$$V_w = V_\alpha + V_\beta = H_w \cdot (\tan \alpha + \tan \beta) = 8 \frac{f}{l} H_w$$

$$\text{然るに } H_w = 1278.75 \times \frac{8 \times 136.363}{1500} = 929.9 \text{ (kg)}$$

一方主塔の一基当り自重は244 Kgであるから、振動板には

$$\frac{1}{2} \times 929.9 + 244 = 709.0 \text{ Kg}$$

の鉛直力が作用し、この鉛直力をロックナット付の3本の吊材で支持し、加振機の負担を軽減する。

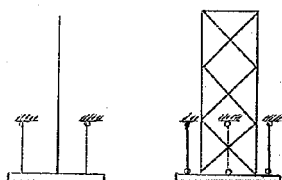
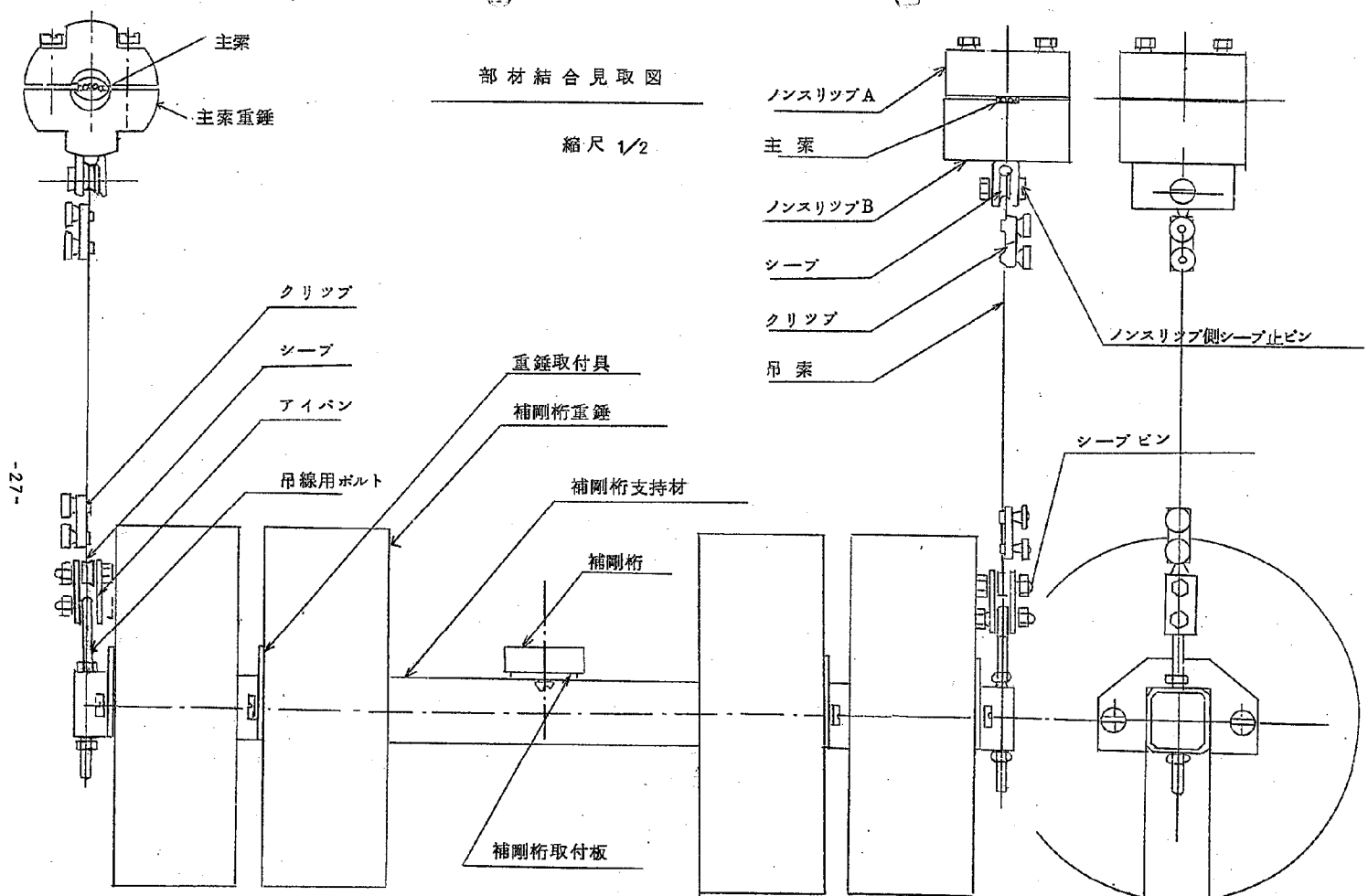


図 - 13



部材結合見取図

縮尺 1/2

4. 応力照査

4.1 主索及び吊索

(1) 主索

ケーブル張力の最大値は塔頂に於ておこり、振動時に約40%の張力の増加を見込むと作用引張応力強度は次式で表わされる。

$$\sigma_{\max} = \frac{1.4 \times T_{\max}}{A_c} = \frac{1.4 \times H_w \sqrt{1 + 16n^2}}{A_c}$$

但し n はサグ比である。

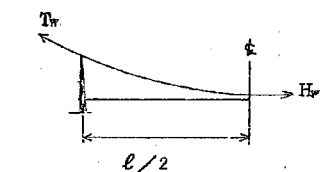
従つて

$$\sigma_{\max} = \frac{1.4 \times 1278.75 \times \sqrt{1 + 16 \times (1/11)^2}}{0.13 \times 2}$$

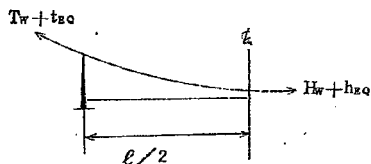
$$= 6469.23 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 64.69 \text{ Kg/mm}^2 < \sigma_a = 185 \text{ Kg/mm}^2$$

故に主索は十分安全である。なお、SWPA $\phi 2\text{m/m}$ のピアノ線の抗張力は $185 \sim 205 \text{ Kg/mm}^2$ である。



(I) 静止時



(II) 振動時

t_{2Q} , h_{2Q} : 地震による
応力の増分

図-15

(2) 吊 索

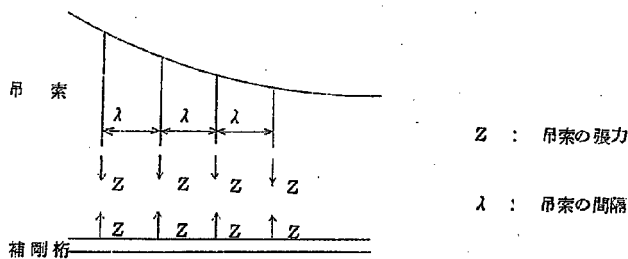


図-16

吊索に作用する引張荷重は

$$Z = 8n \frac{\lambda}{\ell} H_w$$

但し n はサグ比 (f/ℓ) で, H_w はケーブル片側当りの値である。上式から, 吊索に作用する引張応力度は

$$\sigma = \frac{8n\lambda}{A\ell} H_w$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n = 1/11, \lambda = 500\%, \ell = 15,000\% \\ A = \frac{3.14}{4} \times 0.7^2 = 0.385 \text{ cm}^2 \\ H_w = \frac{1.4 \times 1,278.75}{2} = 895.1 \text{ kg} \end{array} \right.$$

を代入すると

$$\sigma = \frac{8 \times 1/11 \times 500}{0.385 \times 15,000} \times 895.1 = 5.64 \text{ kg/cm}^2$$

$$< \sigma_s = 20.5 \text{ kg/cm}^2$$

吊索は十分安全である。

4.2 主 塔

座屈安全性及び橋軸方向曲げに対する安全性は, 図-17のように塔頂及び塔底に於ける断面二次モーメントの算術平均の値を有する等断面梁に置きかえ, 更に塔頂に於てヒンジ結合, 塔底に於て固定された1次不静定梁として応力を照査する。

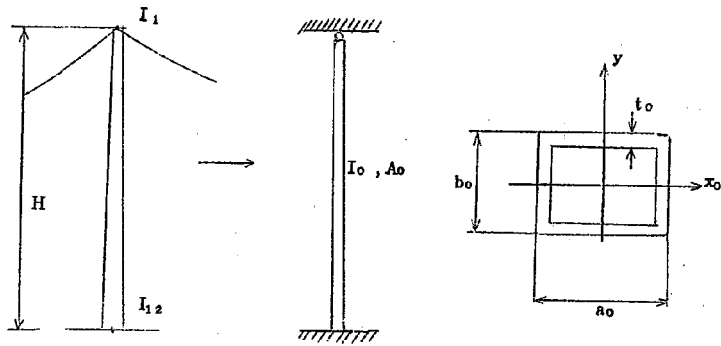


図-17

橋軸直角水平方向の曲げに対しては、次図の如き斜材水平材の剛性を無視した片持梁と考える。

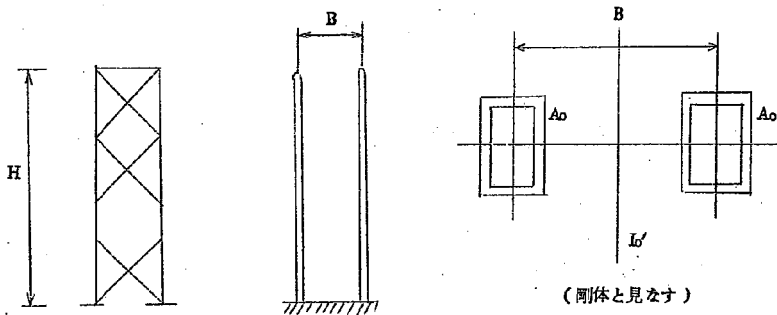


図-18

上記仮定により

$$I_0 = \frac{1}{2} (I_1 + I_{12}) \quad (3.6)$$

$$I_0' = \frac{1}{2} \cdot A_0 \cdot B^2 \quad (3.7)$$

但し

I_0 : 換算断面二次モーメント (z 軸に関する)

I_0' : " " (x 軸に関する)

A_0 : 換算断面積

置換された系の諸量は次表の通りである。

A_o	I_o	I_o'
2.66 cm^2	5.12 cm^4	1723.7 cm^4

表-21

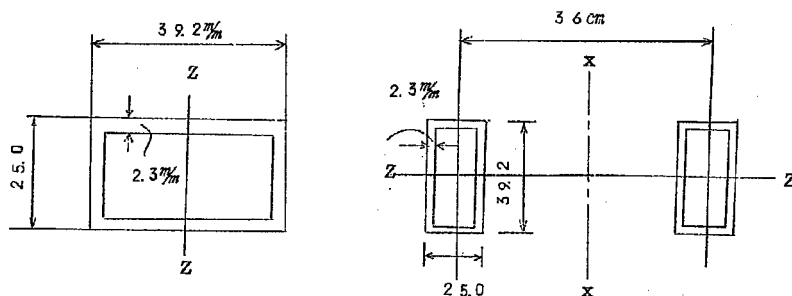


図-19

(1) 座屈に対する安全性

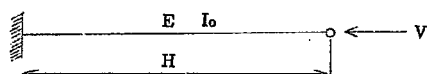


図-20

図の如き系における座屈荷重は Euler の式より算定することができる。

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{(H/r)^2} \quad (38)$$

$$r = \sqrt{\frac{I_o}{A_o}} \quad (39)$$

但し、 $H/r > 100$ の範囲でしか適用できない。

ここで

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi = 3.1415 \\ E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \\ H = 210 \text{ cm} \\ r = \sqrt{5.12/2.66} = 13.85 \text{ cm} \\ H/r = 210/13.85 = 15.15 (>100) \end{array} \right.$$

を式(38)に代入すると

$$\sigma_k = \frac{3.1415 \times 2.1 \times 10^6}{(1515)^2} = 903.0 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

従つて

$$\sigma = \frac{1.4V}{A_0} = \frac{1.4 \times 465.0}{266} = 245.3 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_k = 903.0 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

故に座屈に対しては安全である。

(2) 曲げに対する安全性

1) 構造主系面内の振動時の曲げ応力

図-21のような荷重状態について考え、その際塔頂に作用するケーブルからの鉛直反力による付加曲げモーメントを無視する。計算は塔柱1本について行い、便宜上自重の50%が外力として作用すると考える。

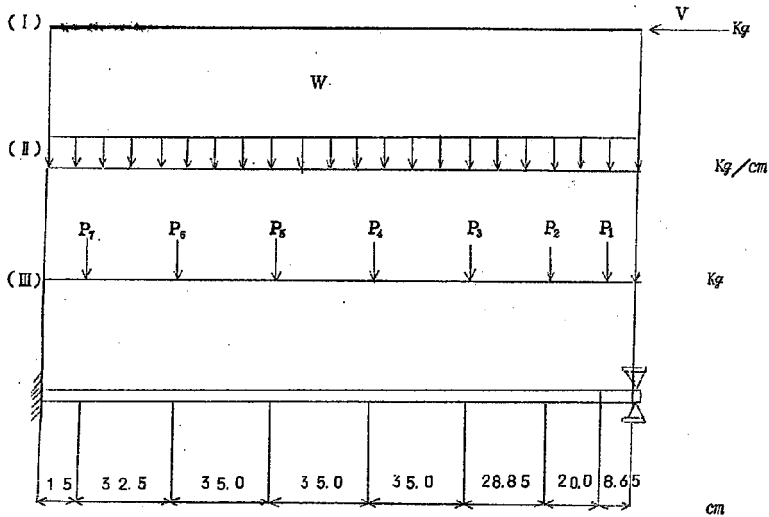


図-21

記 号	単 位	荷 重	適 用
V	Kg	465.0	塔頂に於けるケーブルからの鉛直反力
W	Kg/cm	001425	塔柱・斜材・水平材による慣性力
P ₁	Kg	2.6	付加重錘による慣性力
P ₂	"	7.2	"
P ₃	"	"	"
P ₄	"	"	"
P ₅	"	"	"
P ₆	"	"	"
P ₇	"	"	"

表-22

荷重状態(II), (III)について, 各点の曲げモーメントを計算すると次図の如くなる。

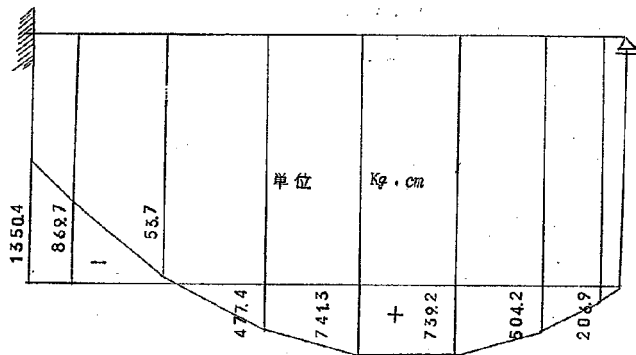


図-22

図-21より

$$M_{\max} = 1350.4 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

故に

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= \frac{V}{A_0} + \frac{M_{\max}}{I_0} \cdot \frac{a_0}{2} \\
 &= \frac{465.0}{2.66} + \frac{1350.4}{5.12} \times 1.98 \\
 &= 687.0 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 1300 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\sigma_1 = \frac{V}{A_0} - \frac{M_{max}}{I_0} \cdot \frac{a_0}{2}$$

$$= \frac{465.0}{2.66} - \frac{1,350.4}{5.12} \times 1.98$$

$$= -347.2 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 1,400 \text{ Kg/cm}^2$$

従つて構造主系面内曲げ振動に対しては安全である。

II) 構造主系に直交する振動時の曲げ応力

橋軸直角方向曲げ振動時の荷重状態は図-22の如く片持梁と考える。荷重は表-23の通りである。但し自重の10%が外力として主塔一基に作用すると考える。

記号	単位	荷重
H	Kg	13.3
V	"	465.0
W	Kg/cm	0.0072
P ₁	Kg	1.3
P ₂	"	3.6
P ₃	"	"
P ₄	"	"
P ₅	"	"
P ₆	"	"
P ₇	"	"

表-23

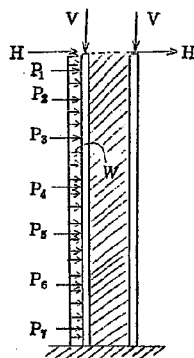


図-23

$$M_{max} = 4,763.9 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{2V}{2A_0} + \frac{M_{max}}{I_{c1}} \times \frac{B}{2}$$

$$= \frac{465.0}{2.66} + \frac{4,763.9}{1,723.7} \times 18.0$$

$$= 224.6 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 1,300 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{min} = \frac{2V}{2A_0} - \frac{M_{max}}{I_{c1}} \times \frac{B}{2}$$

$$= \frac{465.0}{2.66} - \frac{4,763.9}{1,723.7} \times 18.0$$

$$= 125.1 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = 1,300 \text{ Kg/cm}^2$$

従つて橋軸直角水平方向曲げ振動に対して安全である。

4.3 補剛桁

(1) 鉛直方向振動時の曲げ応力

弾性理論により、補剛桁の全径間に荷重が等分布した場合の任意点の曲げモーメントは

$$M_x = \frac{1}{2} W_{s0} \ell^2 (1-r) k (1-k) \quad (40)$$

但し $r = \frac{8}{5N}$, $k = \frac{x}{\ell}$

$$N = \frac{8}{5} + \frac{3I}{Ac f^2} \cdot \frac{E}{Ec} \cdot \frac{\ell'}{\ell} (1+8n^2) + \frac{6I}{Ac f^2} \cdot \frac{E}{Ec} \cdot \frac{\ell_s}{\ell} (1+16n^2)$$

上式に用いられた記号の意味及び数値は

記号	単位	説 明	数 値
W_{s0}	Kg/cm	自重による慣性力：自重の20%と仮定	0.124
ℓ'	cm	主塔間隔	1510
ℓ_s	"	側径間長	750
I	cm ⁴	補剛桁平均断面二次モーメント	0.747
n		サグ比	1/11

表-24

便宜的に中央径間中央点で応力を照査するため表-24及び次に示す諸数値を使つて r を計算する。

$$\begin{cases} \ell = 1,500 \text{ cm} \\ f = 13.64 \\ Ac = 0.13 \text{ cm}^2 \\ E/E_c = 1.105 \\ r = 0.950 \end{cases}$$

$$M_x = \frac{1}{2} \times 0.124 \times 1,500^2 \times (1-0.950) \times 0.950 \times 0.5 \times (1-0.5)$$

$$= 172.37 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

故に

$$\sigma = \frac{172.37}{0.747} \times 0.15 = 117.68 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_s = 1,400 \text{ Kg/cm}^2$$

(2) 構造主系面に直交する振動時の曲げ応力

便宜的に式(40)を適用し、 W_{20} 、 I は次のようにとる。

$$W_{20} = 0.248 \text{ Kg/cm}$$

$$I = 6.72 \text{ cm}^4$$

従つて

$$r = 0.936$$

$$\therefore M_x = \frac{1}{2} \times 0.248 \times 1500^2 \times (1 - 0.936) \times 0.5 (1 - 0.5)$$

$$= 4,464.0 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$\therefore \sigma = \frac{4,464.0}{6.72} \times 1.51 = 1,003.1 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_s = 1,400 \text{ Kg/cm}^2$$

(註)

土木研究所資料第135号によると、橋軸及び橋軸直角方向の吊構造部の地震荷重の載荷法及び地震荷重の大きさは、図-24及び表-25の通りであるが、ここでは便宜的に全径間にわたり等分布の地震荷重がかゝると考え、荷重を土木研究所資料第135号の値より大きくとり応力を照査した。大きく見積つた理由は正弦波による共振実験の際の安全性を考慮したためである。

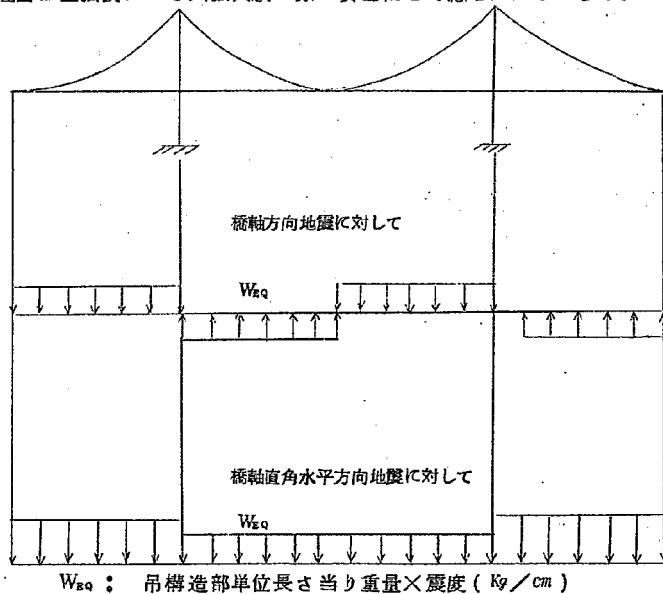


図 - 24

	橋軸方向地震	橋軸直角方向地震
中央径間	0 0 1 1	0 0 2 1
	0 2 0 0	0 2 0 0
側 径 間	0 0 1 2	0 0 4 2
	0 4 0 0	0 4 0 0

(註) 上段が土研資料第135号による値

下段が応力照査に用いた値

表-25

5. 実験計画

実験は、大略次図の如き工程で行われる。cの実験については次頁に工程表をかゝげた。

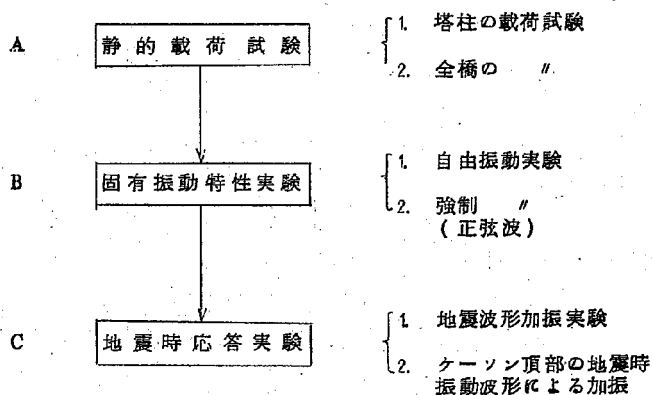


図-25

又B, Cの実験は、次表の如きケースについて行われる。

振動系による分類

(a)	1	構造主系面内の振動
	2	構造主系面に直交する振動

対称性による分類

(b)	1	対称振動
	2	逆対称振動

表-26

重量 総 括 表

名称	部 材 名	部 品 名	図番	材質	数 計 数	製 作 数	単位重量	設計重量	検査重量	計画重量	備 考
主 索 関 係	主 索	主 索		WP	8	8	7589 ^g	6079 ^g	6079 ^g		
	主 索 重 錘	主 索 重 錘 M4 × 30 平小ホジ 4φスプリングワッシャ	SS41		960	960	58851	564,970	559,710		
			"		3840	4032	213	27,379			
			SUP		"	"	104	3,994	31,484		
							小 計	602,422	597,273		
吊 索 関 係	ノンスリッパ	ノンスリッパ A	SS41		114	114	550,661	39,975			
		" D	"		"	"	477,949	54,486	94,374		
	M4 × 42 ボルト	M4 × 42 ボルト	"		456	576	5487	2502			
		4φスプリングワッシャ	SUP		"	"	03	157	2,662		
	ノンスリッパ側ピン	ノンスリッパ側ピン	SS41		114	150	3386	386			
		M 4 ナ ッ ト	"		"	144	14	160			
	4φスプリングワッシャ	4φスプリングワッシャ	SUP		"	"	03	34			
									576		
	レ ー プ	吊 線 用 レー プ	SS41		96	120	111	106			
			"		368	400	0739	272			
ク リ ツ プ 関 係	クリツプ	クリツプ ボルト	"		184	200	3116	573			
		クリツプ 座 金	BS		368	400	1849	680	1,963		
	クリツプ ナット	クリツプ ナット	"		"	"	"	"			
吊 索	吊 索	吊 線 (1)	WP		88	88					
		吊 線 (2)	"		8	8					
		吊 線 用 バ ー	SS41		"	"					
							小 計	99,660	99,575	kg	kg
							合 計	702,082	696,848	702,000	-5,152
補 剛 桁 関 係	側 径 間 補 剛 桁	側 径 間 補 剛 桁	SS41		2	2	28490	56,980			
		M4 × 12 丸 ビ ス	"		64	72	16	102			
	4φスプリングワッシャ	4φスプリングワッシャ	SUP		"	"	03	19			
									113,585		
	中央 径 間 補 剛 桁	中央 径 間 補 剛 桁	SS41		2	2	28170	56,340			
		M4 × 12 丸 ビ ス	"		62	72	16	99			
	4φ × 16 皿 リ ベ ッ ト	4φ × 16 皿 リ ベ ッ ト	Ou		6	10	20	12			
		4φスプリングワッシャ	SUP		62	144	03	19			
補 剛 桁 付 加 重 錘	補 剛 桁 重 錘	補 剛 桁 重 錘	FC20		228	228	44,207	1,007,920	1,002,900		
		M4 × 12 平小ホジ 4φスプリングワッシャ	SS41		456	576	15	684	826		
			SUP		"	"	03	157			
							小 計	1,122,312	1,117,311		
補 剛 桁 支 持 材 関 係	補 剛 桁 支 持 材	補 剛 桁 支 持 材 A	SS41		6	6	3916	2349			
		" B	"		5	5	5996	1,998			
		" C	"		52	52	4136	21,507			
	補 剛 桁 支 持 ハ ヱ ー	補 剛 桁 支 持 ハ ヱ ー A	SS41		12	12	32101	385			
		" B	"		2	2	33859	68			
		" C	"		8	8	38785	310			
	補 剛 桁 支 持 材 スライドピン	補 剛 桁 支 持 材	SS41		12	12	28	34			
		M 4 ナ ッ ト	"		"	20	14	17			
		4φスプリングワッシャ	SUP		"	20	03	4			
	吊 線 用 ボ ル ト	吊 線 用 ボ ル ト	SS41		104	110	77	801			
		M 4 ナ ッ ト	"		208	288	14	291			
		4φスプリングワッシャ	SUP		"	"	03	62			
	支 持 桁 重 錘 取 付 具	支 持 桁 重 錘 取 付 具	SS41		228	228	156	3557			
		補 剛 桁 取 付 板	SS41		63	63	30869	1,945			
		吊 線 用 アイ バ ー	SS41		208	220	50	1,040			
	吊 線 用 レー プ	吊 線 用 レー プ	SS41		208	220	24	499			
		M 4 ナ ッ ト	"		416	432	14	582			
		4φスプリングワッシャ	SUP		"	432	03	125			
	吊 線 用 レー プ	吊 線 用 レー プ	SS41		96	120	111	106			
							小 計	35,680	35,887	kg	kg
							合 計	1,157,992	1,153,198	1,156,000	-4,812

名称	部 材 名	部 品 名	図番	材質	設計数量	製作数量	単位重量	設計重量	検査重量	計画重量	備考
主 塔 関 係	ボ ス ト	ボ ス ト		SS41	4	4	4,166 ^g	16,664 ^g	29,444 ^g	kg 488,000	kg -0.638
	重錘ブラケット	重錘ブラケット		SS41	56	56	429	24,02			
	補剛桁支持 ブラケット	補剛桁支持 ブラケット		SS41	12	12	77.573	931			
	塔 頂 サ ド ル	塔 頂 サ ド ル		SS41	4	4	465	1,860			
		ワイヤー止メ		"	16	16	22	352			
		M6 x 16 ボルト		"	16	20	20	320			
		M6 x 22 ボルト		"	16	20	21	336			
		6φスプリングワッシャ		SUP	32	50	03	10			
	ストラット	ストラット		SS41	2	2	562	1,124			
	ブレーシング	ブレーシング		SS41	20	20	301	6,020			
	主 塔 重 錘 A	主 塔 重 錘 A		SS41	24	24	8,933.8	214,411			
		W1/2 ナ ッ ト		"	"	30	260	624			
		W1/2φ丸ワッシャ		"	48	60	150	720			
		W1/2φスプリングワッシャ		SUP	24	30	98	235			
	主 塔 重 錘 B	主 塔 重 錘 B		FC20	24	30	8,964	215,136			
		セットボルト		SC20	48	48	18	864			
主 塔 重 錘 C	主 塔 重 錘 C		SS41	4	4	3,168	12,672				
	W1/2 ナ ッ ト		"	"	10	26	104				
	W1/2φ丸ワッシャ		"	12	20	15	180				
	W1/2φスプリングワッシャ		SUP	4	10	10	40				
主 塔 重 錘 D	主 塔 重 錘 D		SS41	4	4	3,232	12,928				
	セットボルト		"	8	8	8	64				
						合 計	487,997	487,362			
ヘ ン ド 関 係	ケーブル・バンド	ケーブル・バンド		SS41	2	2	633.00	126,600			
		M4 x 20 平小ネジ		"	40	144	2.0	80			
		4φスプリングワッシャ		SUP	40	144	03	12			
	ケーブルバンド用蓋	ケーブルバンド用蓋		SS41	4	4	110.7	443			
	ヘンズプレート	ヘンズプレート		SS41	2	2					
	補剛桁支持 ブラケット	補剛桁支持ブラケット		SS41	4	4	56	224			
						合 計					

材料及重量表
(2 基分)

- 40 -

質量平衡装置

材料及び重量表
(2 区分)

部 品 名	個数	断 面	長 さ	防銹重量	単位重量	総 重 量	備 考
□	8	125×45×6 %	1,930 %	134 kg	25862 kg	206.9 kg	斜 柱
"	2	"	600	"	80.4	161	オ 2 ブーリー受
"	2	"	"	"	80.4	161	パ ネ 取 付
"	2	"	100	"	134	27	下 ガ イ ド
"	4	100×50×5	800	956	7,488	300	横 継
"	2	"	900	"	8,424	168	中 継
"	4	75×40×5	935	692	647	259	上 張 出
"	2	"	500	"	346	69	張 出 継
"	4	"	1,850	"	12,802	512	前 柱
"	2	"	600	"	4,152	83	オ 1 ブーリー受
□	4	180×10	280		3,956	158	ガ セ ッ ト 品
"	4	150×10	150		1,766	71	"
"	8	170×10	220		2,936	235	"
"	4	180×10	200		2,826	113	"
"	8	80×10	225		1,413	113	オ 1 ブーリー受
"	8	100×10	150		1,178	94	オ 2 "
"	8	50×10	80		634	25	ク リ ッ プ 外
"	4	50×8	80		325	10	ク リ ッ プ 中
"	4	50×8	174		1,413	22	ケーブル調整ボルト
"	4	135×6	460		2,925	117	支 持 梁
"	2	60×8	506		1,907	38	オ 3 ブーリー受
"	2	86×6	900		3,646	73	中 継
"	2	600×32	600		90,432	1809	重 継 シヤフト
"	2	100×10	200		157	31	パ ネ 調整部品
"	4	30×10	105		324	10	"
φ	8	254 φ	80		6318	25	① 荷ブーリー用軸
"	4	20 φ	70		1,173	07	" ピン
"	4	19 φ	185		1,561	62	調 整 ボ ル ト
"	2	254 φ	70		6278	06	オ 3 ブーリー用ピン
"	2	15 φ	91		6126	03	ア イ バ ー
"	2	30 φ	700		3,882	78	重 継 シヤフト
"	36	16 φ	300		4,473	170	取 手
"	72	6 φ	22		6,005	04	" 止 ピン
"	2	19 φ	400		689	18	パ ネ 調整部品
"	2	66 φ	105		2,818	56	"
"	4	67 φ	20		6,559	22	"
					計	7179 kg	
FO20	18	600 φ	356		72,436	1,3038	重 継
FO20	8	216 φ	30		2,911	633	ブ ー リ ー
FO20	4	70 φ	30		831	83	WP 線端止用ブーリー
					計	13,704 kg	

部 品 名	個数	断 面	長 さ	防錆重畳	単位重畳	総 重 量	備 考
Bolt	8	W 1/2"	40 %				オ 1 プーリー受
"	16	W 3/8"	45				ク リ ッ プ
"	8	W 5/8"	30				パネ調整部品
Nut	8	W 1/2"					オ 1 プーリー受
"	16	W 3/8"					ク リ ッ プ
"	8	W 5/8"					パネ調整部品
"	4	W 3/4"					"
"	8	W 3/4"					調 整 ボ ル ト
SW	8	W 1/2"					オ 1 プーリー受
"	16	W 3/8"					ク リ ッ プ
"	8	W 5/8"					パネ調整部品
"	8	W 3/4"					調 整 ボ ル ト
割 ピ ン	16	4 φ	40				①番プーリー用軸
"	8	"	"				停止用プーリー
"	4	"	"				オ 1 プーリー用
ワ イ ヤ ー	2	10φオ6号6×37	1,000				重錘吊ワイヤー
ワイヤークリップ	8	10 φ					" 止 メ
鋼 索 車	2	ワイヤー径10φ車径200φ					鋼 索 車
アイボルト	2		5/8				
シ ン プ ル	4	ワイヤー径 10φ					

あ と が き

本設計々算に於て振動中何らかの影響を模型本体に与える可能性があると思われるのは次の二点である。

- 1) 主塔振動板吊上げ装置の主塔への影響
- 2) 質量平衡装置の吊構造部への影響

上記の点については、実験の積重ねにより更に改善すべき部分を残しており、今後の実験工程の中で逐次改良を施す予定である。

吊橋模型設計の妥当性については、静的載荷試験及び固有振動特性試験で確かめ、次いで地震時応答実験を行う計画である。

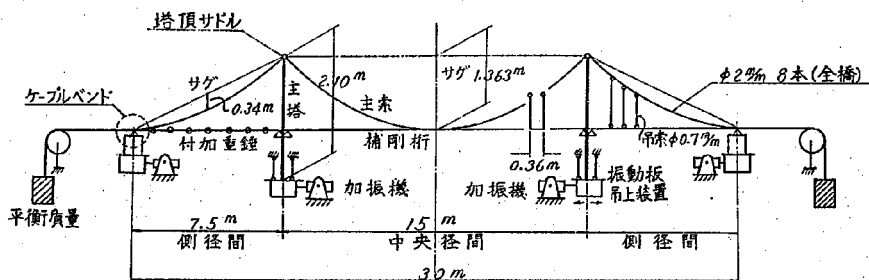
静的載荷試験の結果は、土木研究所資料第183号に報告する。

昭和41年5月1日

参 考 資 料

- 1) 吊橋試算設計概要検討 ,
建設省本州四国連絡道路調査事務所 ,
昭和 39 年 7 月。
- 2) 三徑間吊橋の地震応答 (案) ,
建設省土木研究所構造研究室 ,
昭和 40 年 8 月。
- 3) 土木研究所資料第 58 号 , 地震荷重による調査 (其ノ二) ,
建設省土木研究所 ,
昭和 39 年 10 月。
- 4) 土木研究所資料第 135 号 ,
地震荷重による吊橋上部構造の応力算出について ,
建設省土木研究所 ,
昭和 41 年 1 月。
- 5) Physical Similarity and Dimensional Analysis ,
W. J. Duncan , 1952
(Edward Arnold & Co.)

吊橋上部構造全橋模型 - 振動実験の流れ工程表



相似比

長さ	1/100
重量	1/50,000
EAC	1/5 × 100 ³
EI	1/5 × 100 ⁴
単重	20/1
時間	1/10

模型/実物

重量

部材	実物	模型	設計
主塔	28,400 ³	488 ³	28 ³ 460 ³
橋剛桁	57,900 ³	1,158 ³	147 ³ 1,011 ³
主索	35,100 ³	702 ³	6 ³ 696 ³
総重量	117,400 ³	2,348 ³	181 ³ 2,167 ³

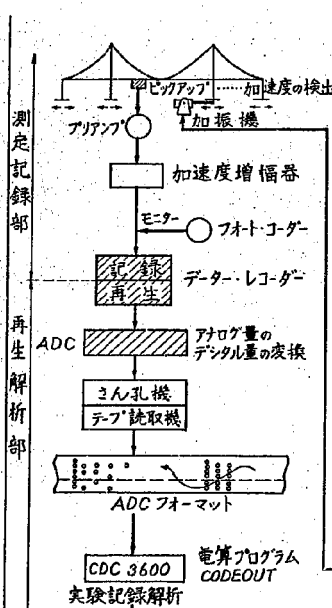
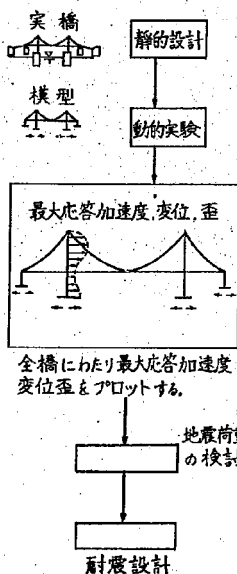
模型のその他諸元

ケーブル張力	1,300 ³
振動板主塔位置	710
ケーブル位置	120
平衡質量	1,300

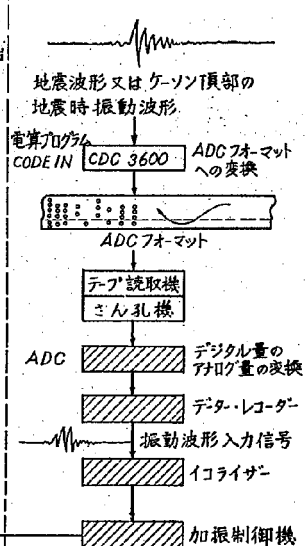
(註) ケーブル張力、平衡質量は全橋あたり、他は各位置に於ける値

(註)
想定実橋諸元は
昭和39年7月付
本州四国連絡道路調査事務所
吊橋試算設計調査概要検討
による。

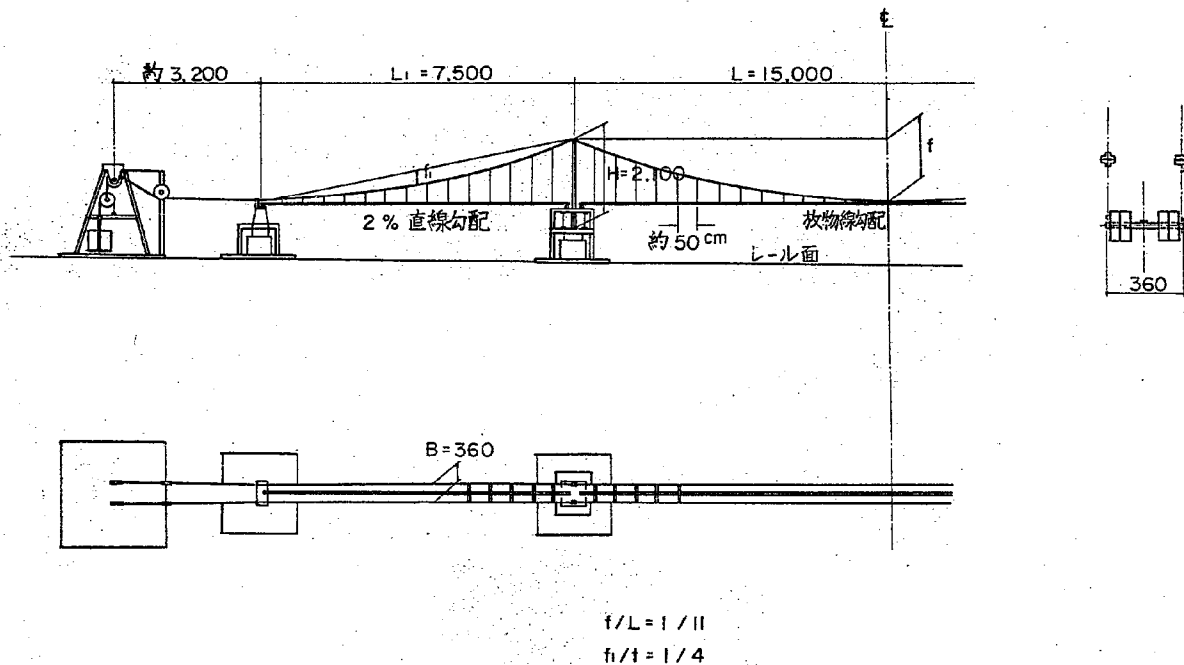
実験概要



(振動命令部)

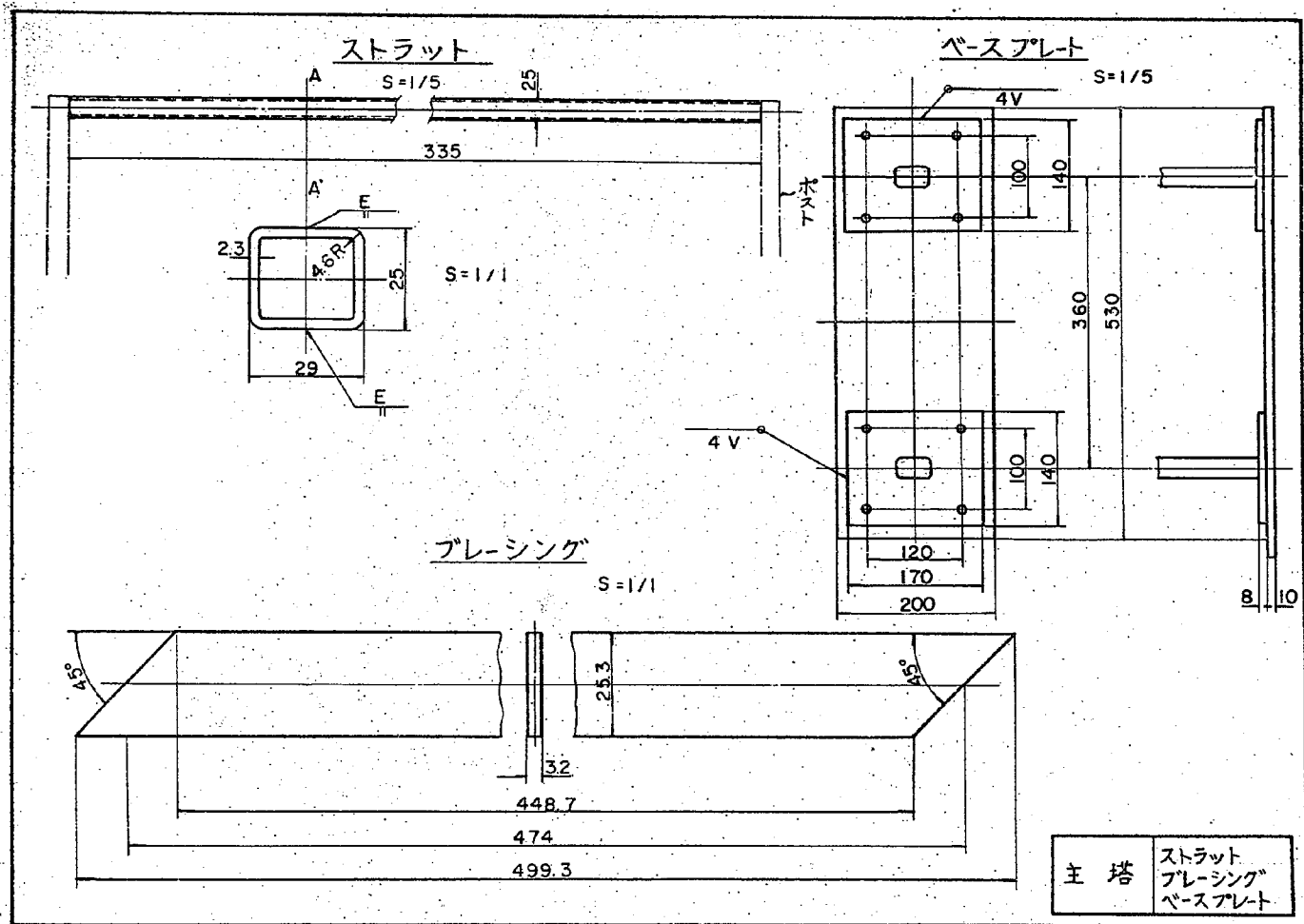


一般図



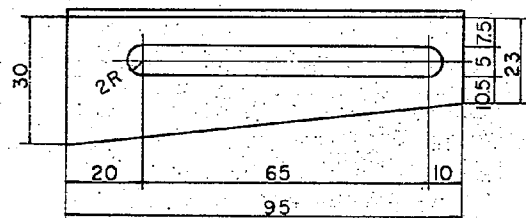
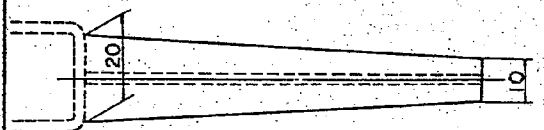
一般図	正面図
	側面図

ポスト組立図



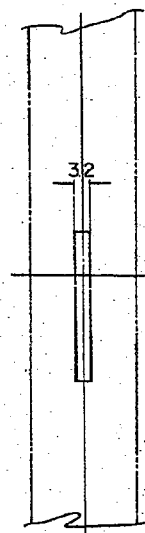
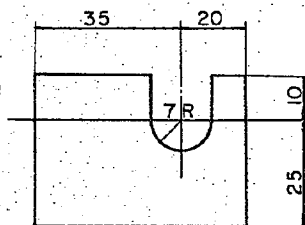
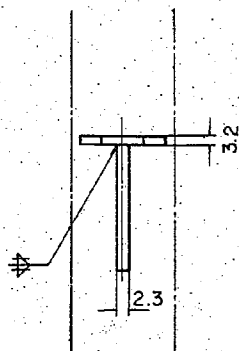
補剛桁支持ブラケット

S = 1/1



重錘ブラケット

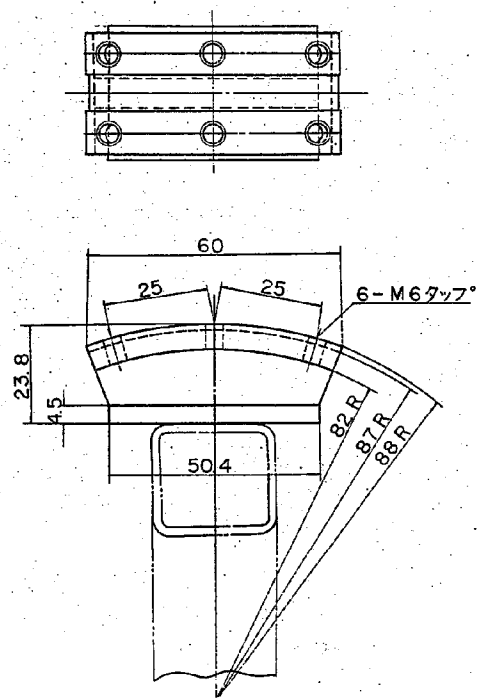
S = 1/1



主 塔	補剛桁支持ブラケット
	重錘ブラケット

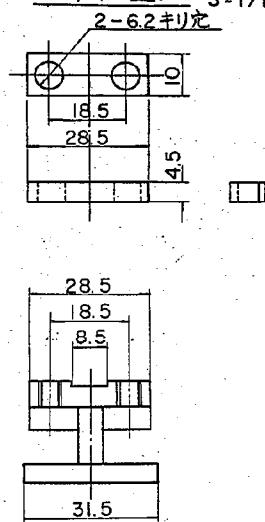
塔頂サドル

S=1/1



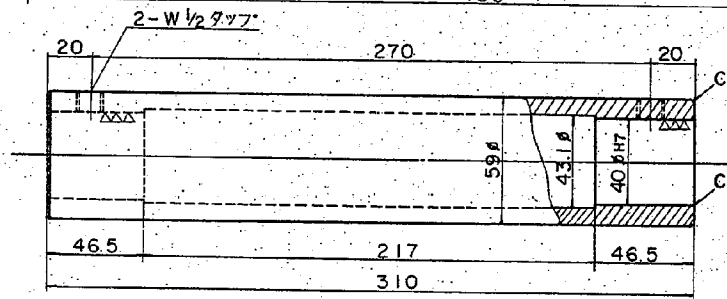
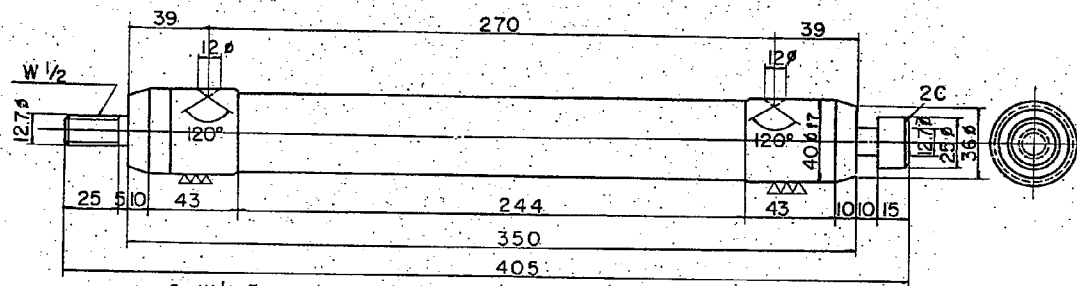
ワイヤー止め

S=1/1



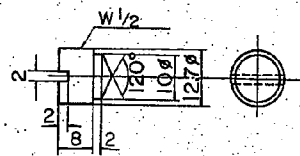
主 塔	塔頂サドル
	ワイヤー止め

主塔重錘 C $S=1/2$



主塔重錘 D $S=1/2$

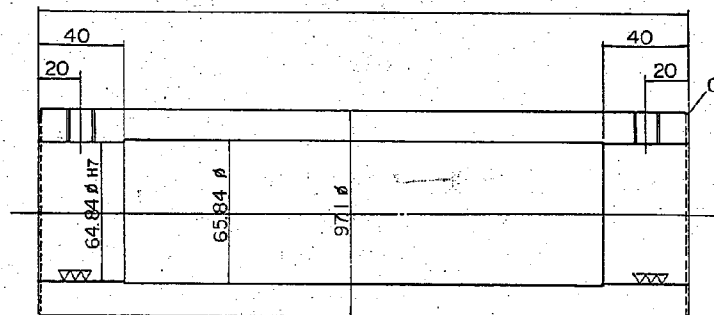
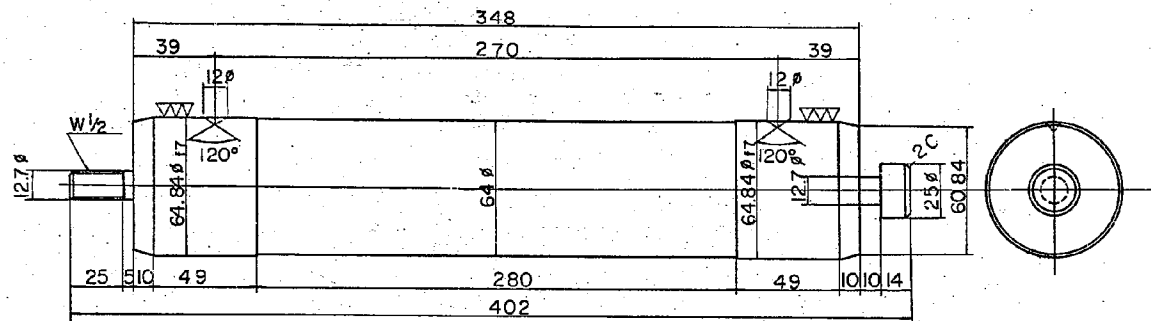
セットホルスト $S=1/1$



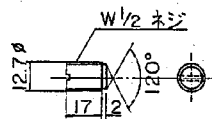
主塔	主塔重錘 C
	セットホルスト

主塔重錘 A

S = 1/2

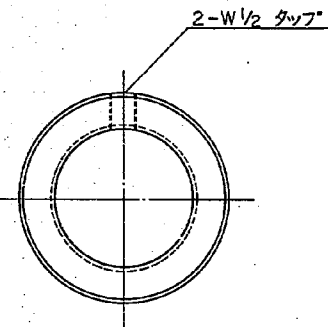


セットボルト S = 1/2



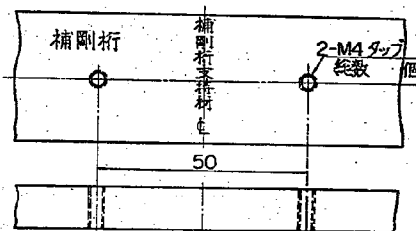
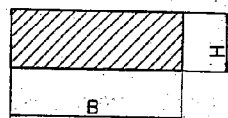
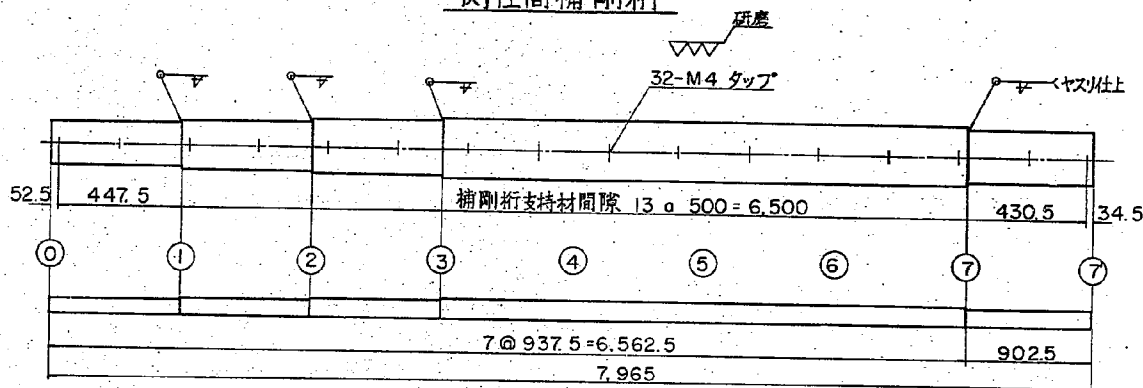
主塔重錘 B

S = 1/2



主 塔	主塔重錘 A
	主塔重錘 B
	セットボルト

側径間補剛桁

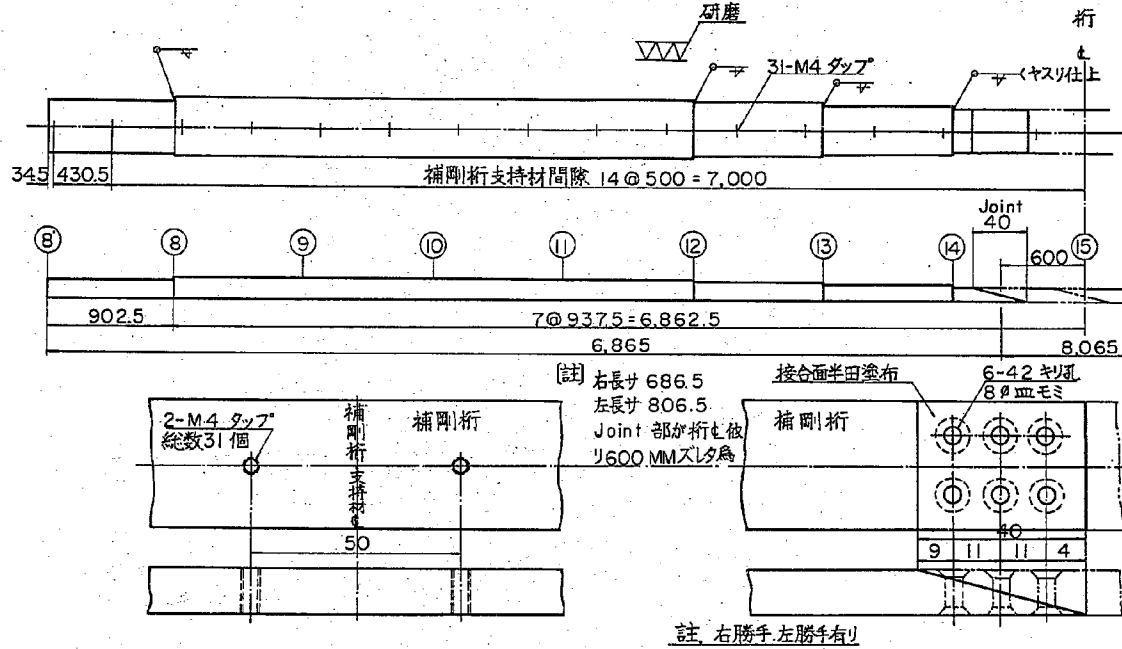


側径間補剛桁断面寸法表

	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~7'
B	30.3	34.8	38.2	41.0	"	"	"	31.3
H	10.1	11.6	12.7	13.7	"	"	"	12.4

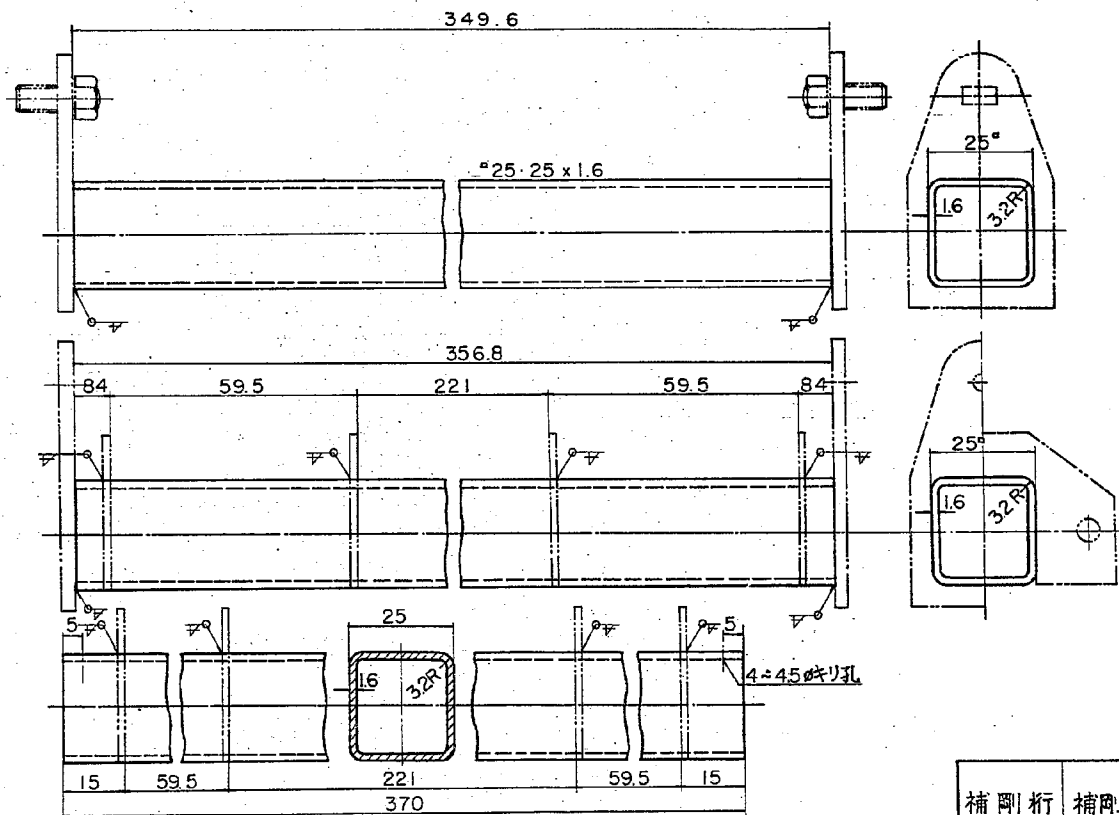
補剛桁 側径間補剛桁

中央径間補剛桁



補剛桁 中央径間補剛桁

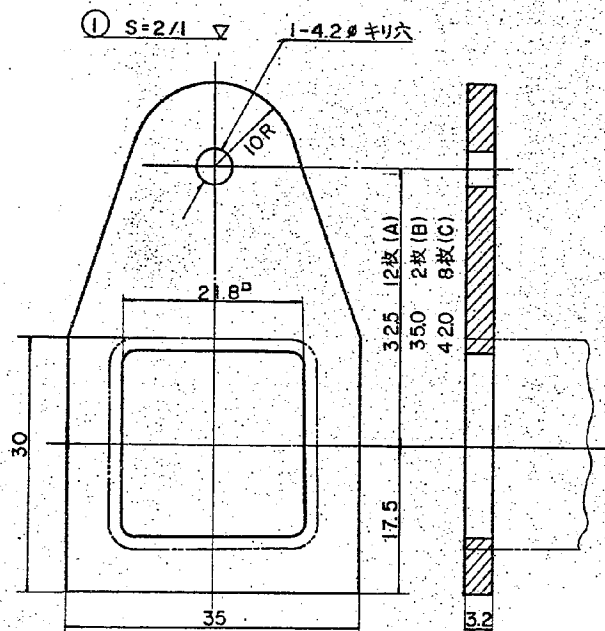
補剛桁支持材



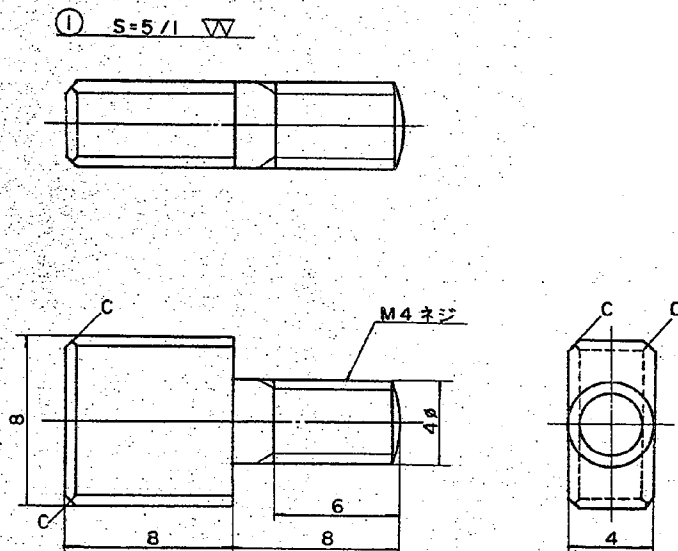
補剛桁

補剛桁支持材

補剛桁支持材ハンガー



補剛桁支持材スライテン

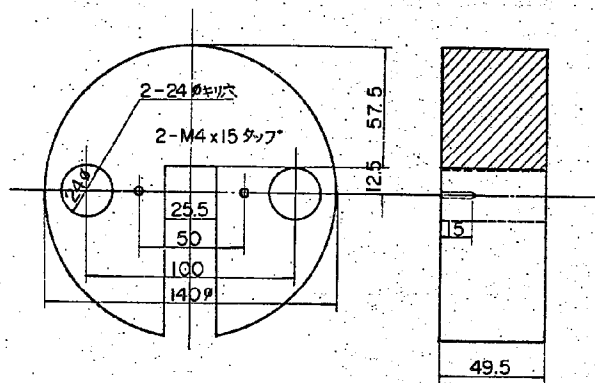


補剛桁

補剛桁支持材ハンガー
補剛桁支持材スライテン

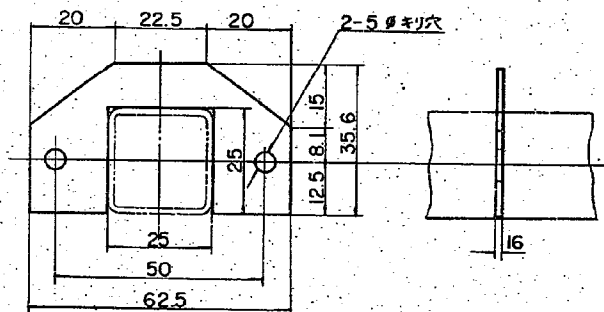
補剛桁重錘

① S=1/2 ▽



支持桁重錘取付具

① S=1/1

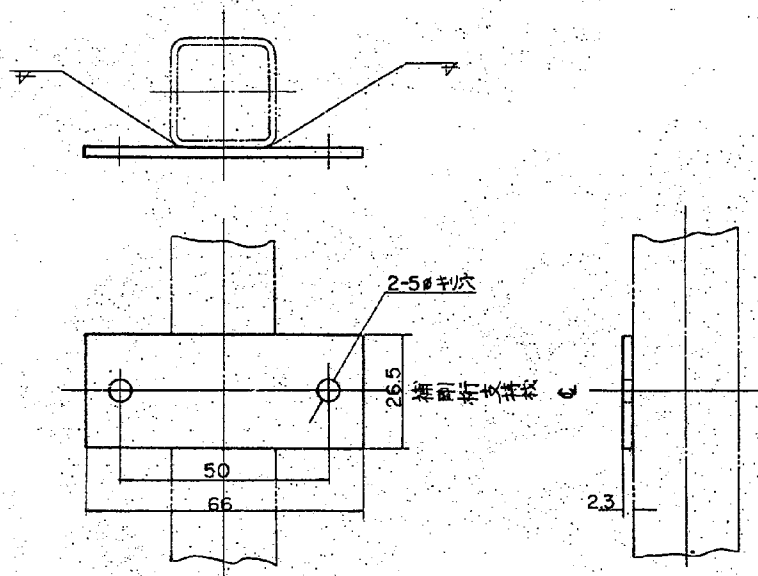


補剛桁

補剛桁支持材重錘
支持桁重錘取付具

補剛桁取付板

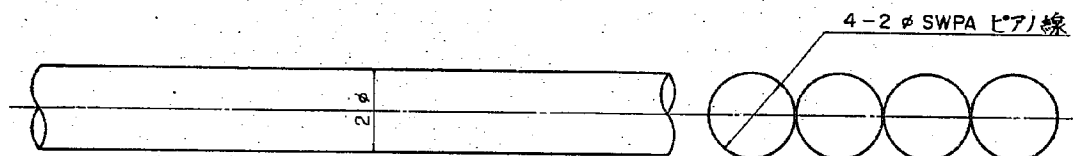
① $S = 1/1$



補剛桁

補剛桁取付板

主 索

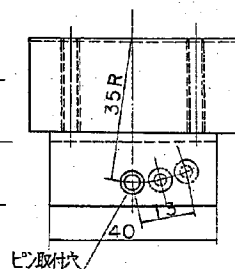
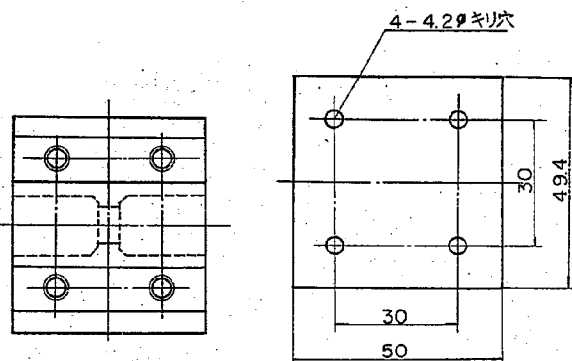


全橋当り8本使用

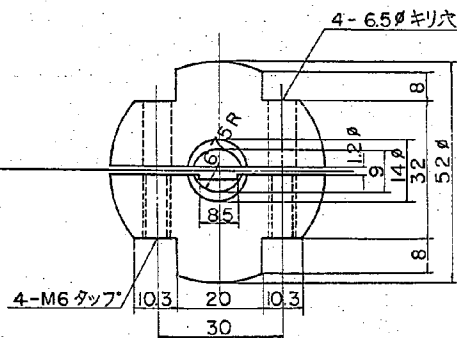
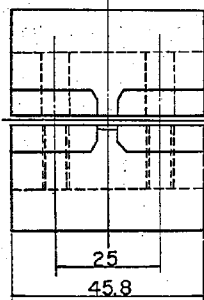
主 索	主索ピアノ線
-----	--------

ノンスリップ°A S=1/1

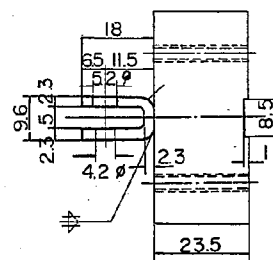
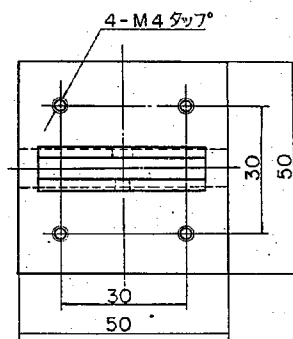
ノンスリップ°B S=1/1



ピン取付穴は左端の明けた物	34
中央に	40
右端に	40

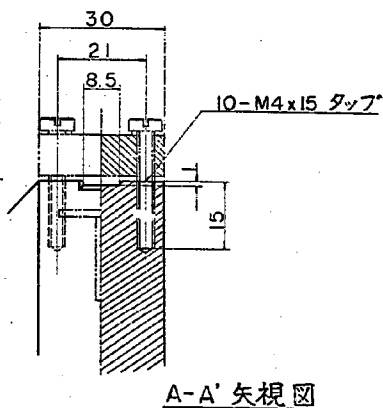
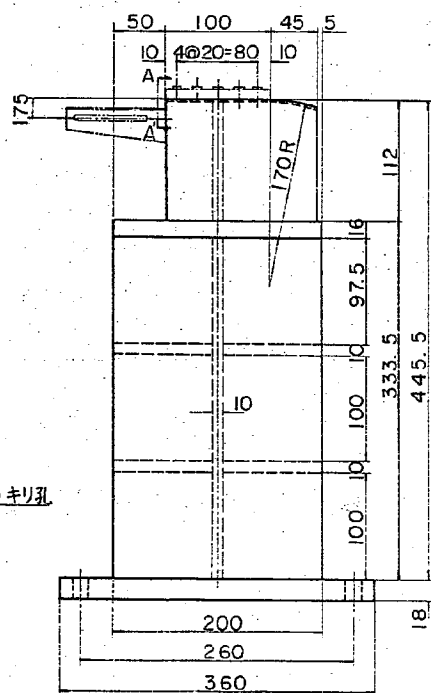
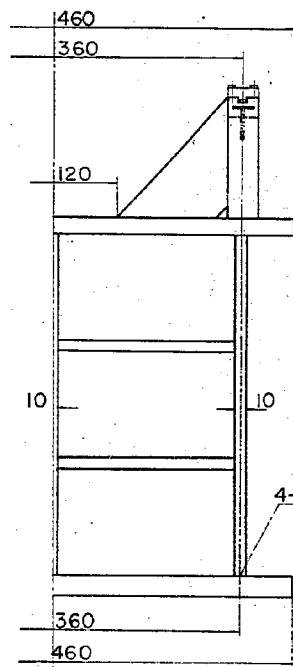


主索重錘 S=1/1



主 索	ノンスリップ°A
	主索重錘 B

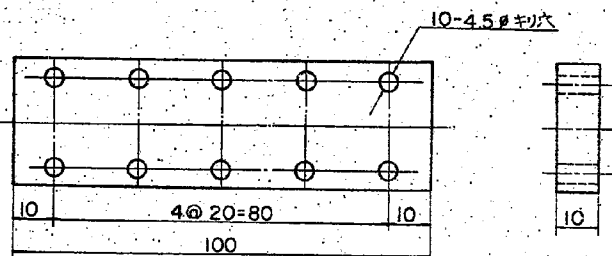
ケーブル・ベント



主 索 ケーブル・ベント

ケーブルバンド用蓋

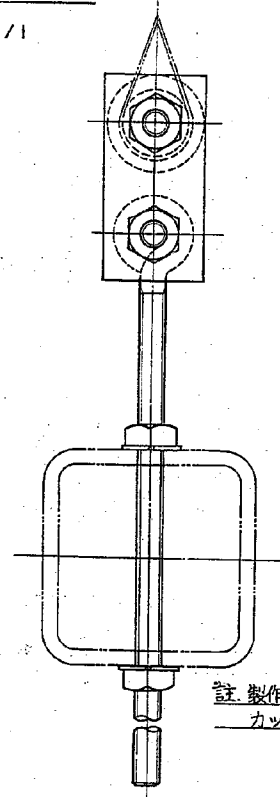
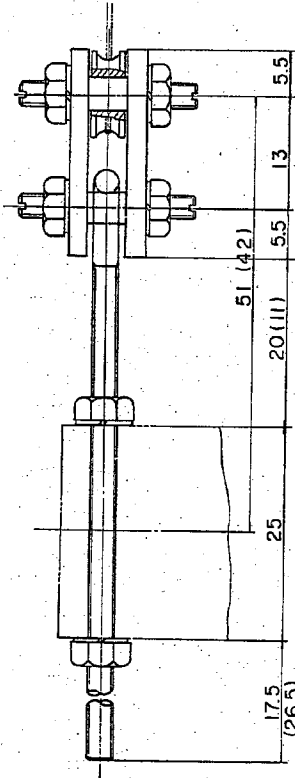
S = 1/1



主	索	ケーブルバンド用蓋
---	---	-----------

吊金具組立図

S= 2/1

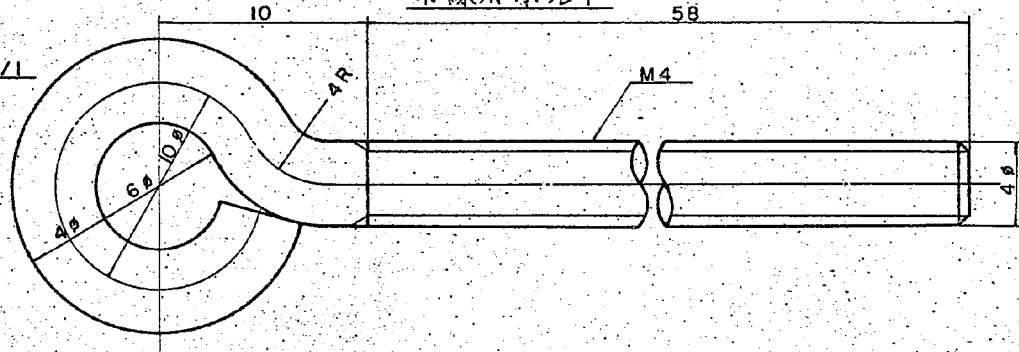


註. 製作数カッ内寸法の物 8 組
カッコの無き寸法の物 96 組

吊 索 吊金具組立図

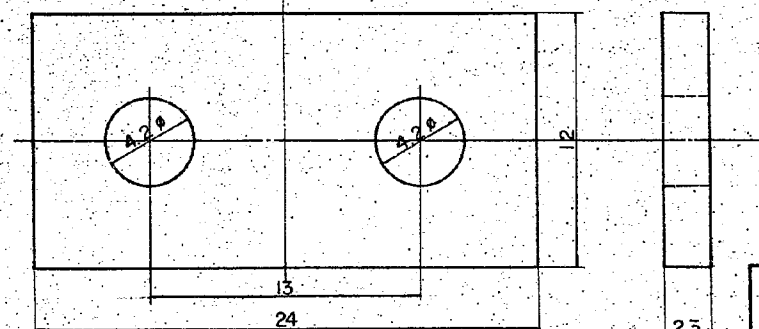
吊線用ボルト

① S=5/1



吊線用アイバー

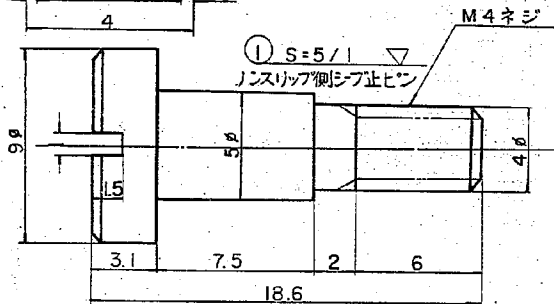
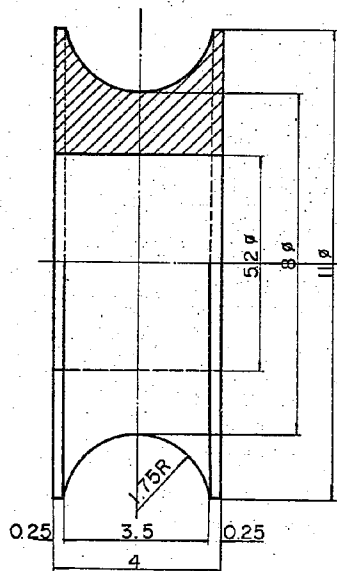
① S=5/1



吊 索	吊線用ボルト 吊線用アイバー
-----	-------------------

① S=10 / 1 ▽

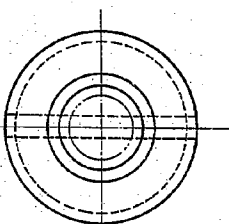
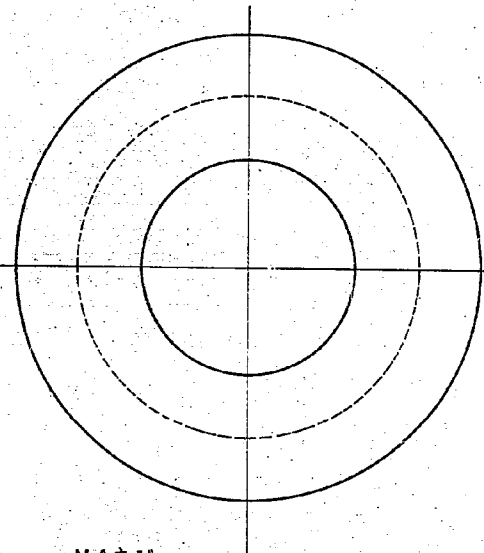
吊線用シーブ



① S=5 / 1 ▽

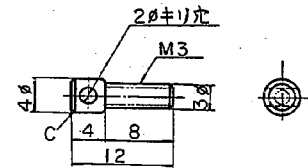
ノンスリップ側シーブ止ピン

M4ネジ



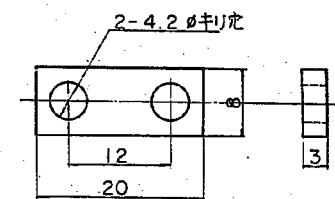
クリップボルト

① S=2 / 1 ▽



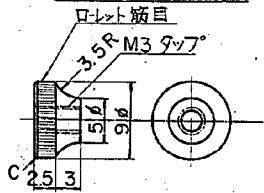
クリップ座金

② S=2 / 1 ▽



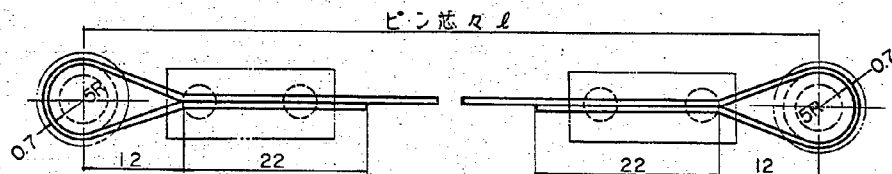
クリップナット

③ S=2 / 1 ▽



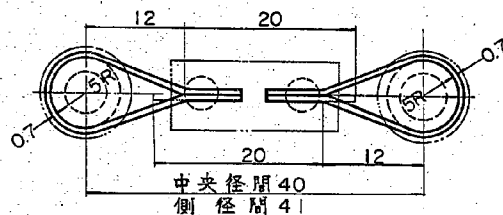
吊	吊線用シーブ
索	ノンスリップ側シーブ止ピン
	クリップボルト
	クリップ座金
	クリップナット

吊線(1) $S=2/1$

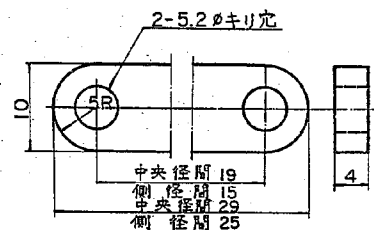


吊線(2) $S=2/1$

必要吊線長さ
中央径間 132
側径間 133



吊線用バ(3) $S=2/1$



ピン芯丸寸法長 WP必要長さ計15.495

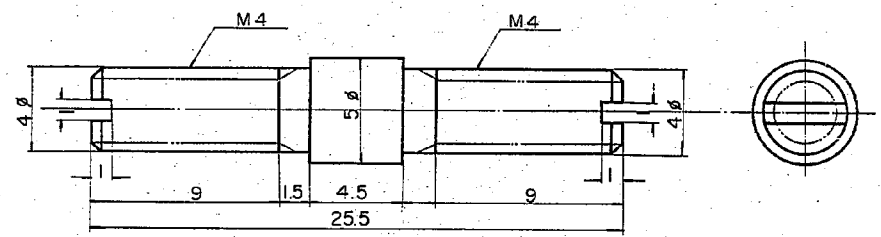
側径間pt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ピン芯丸	バンド	支持板	(3)	(2)	96	160	235	323	423	535	659	795	943	1103	1276	塔柱
WP必要長さ	取付	取付			216	280	355	443	543	655	779	915	1063	1223	1396	

中央径間pt	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ピン芯丸	塔柱	1270	1093	729	779	640	516	404	306	220	149	89	(2)	(3)	支持板	支持板
WP必要長さ		1390	1213	1049	899	760	636	524	426	340	269	209			取付	取付

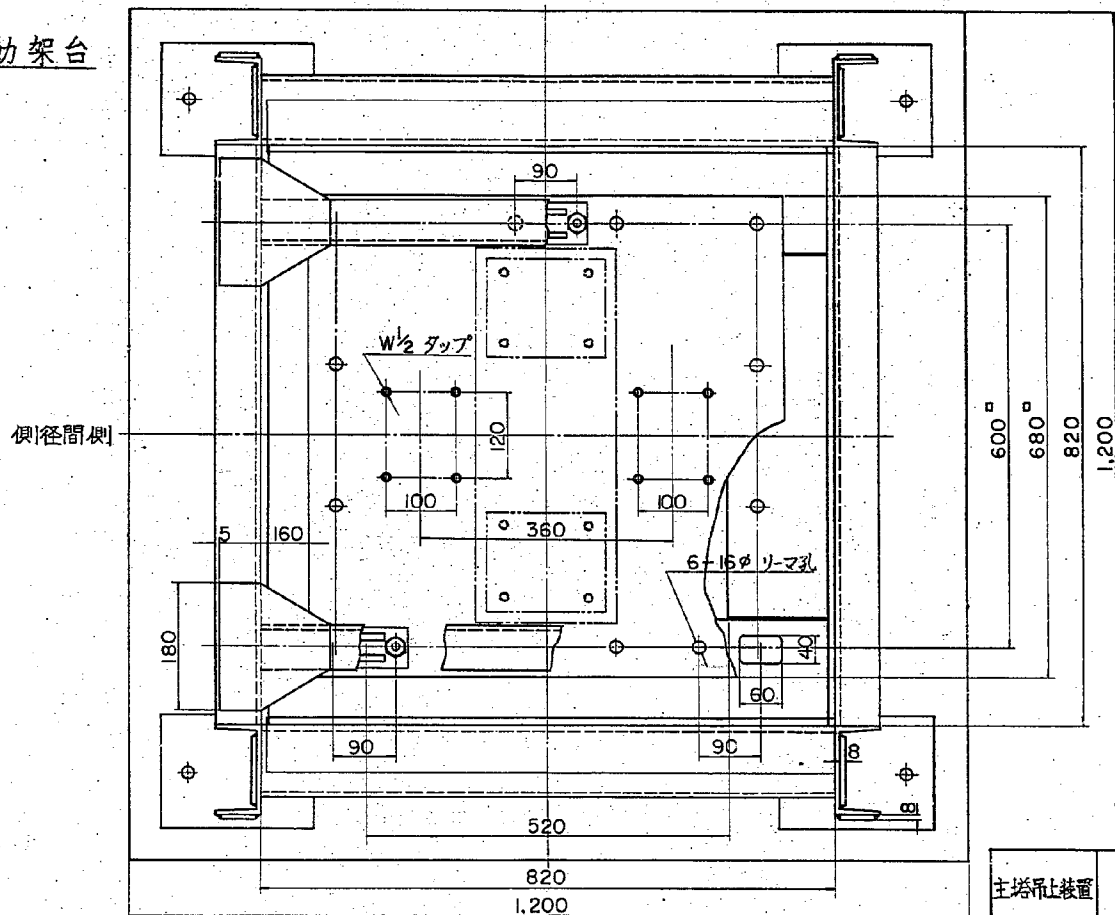
吊索

吊線(1)
吊線(2)
吊線用バ

吊線用シーブピン s=5/1



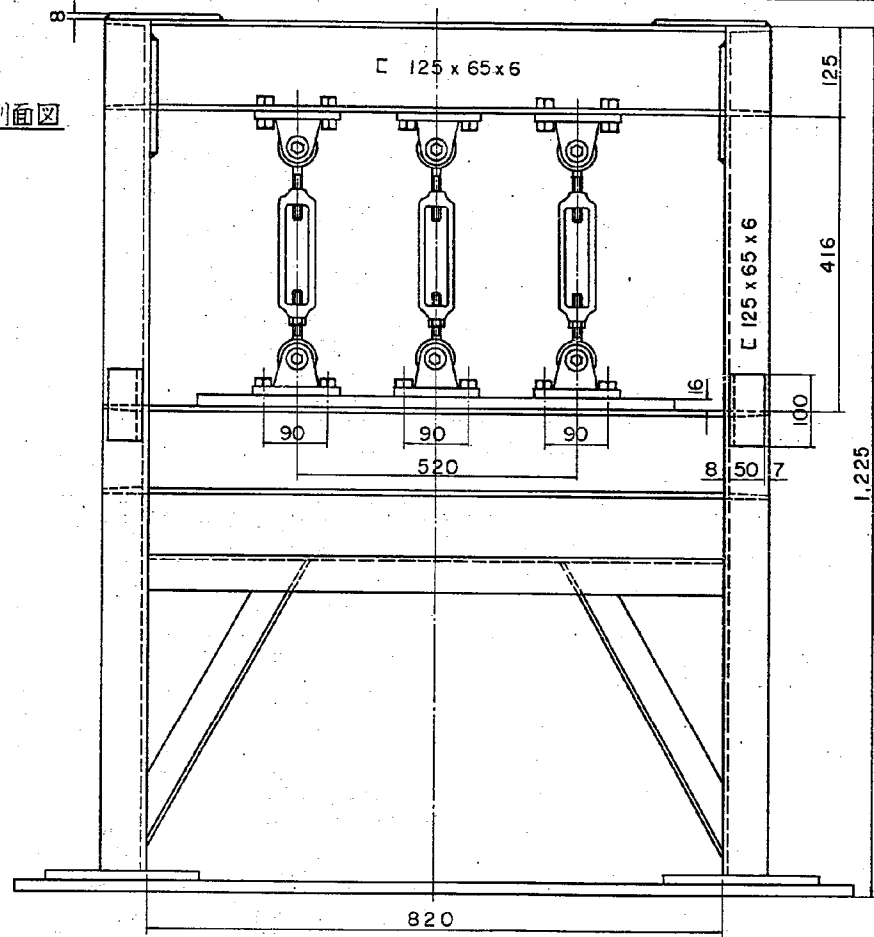
吊 索	吊線用シーブピン
-----	----------



主塔吊上裝置

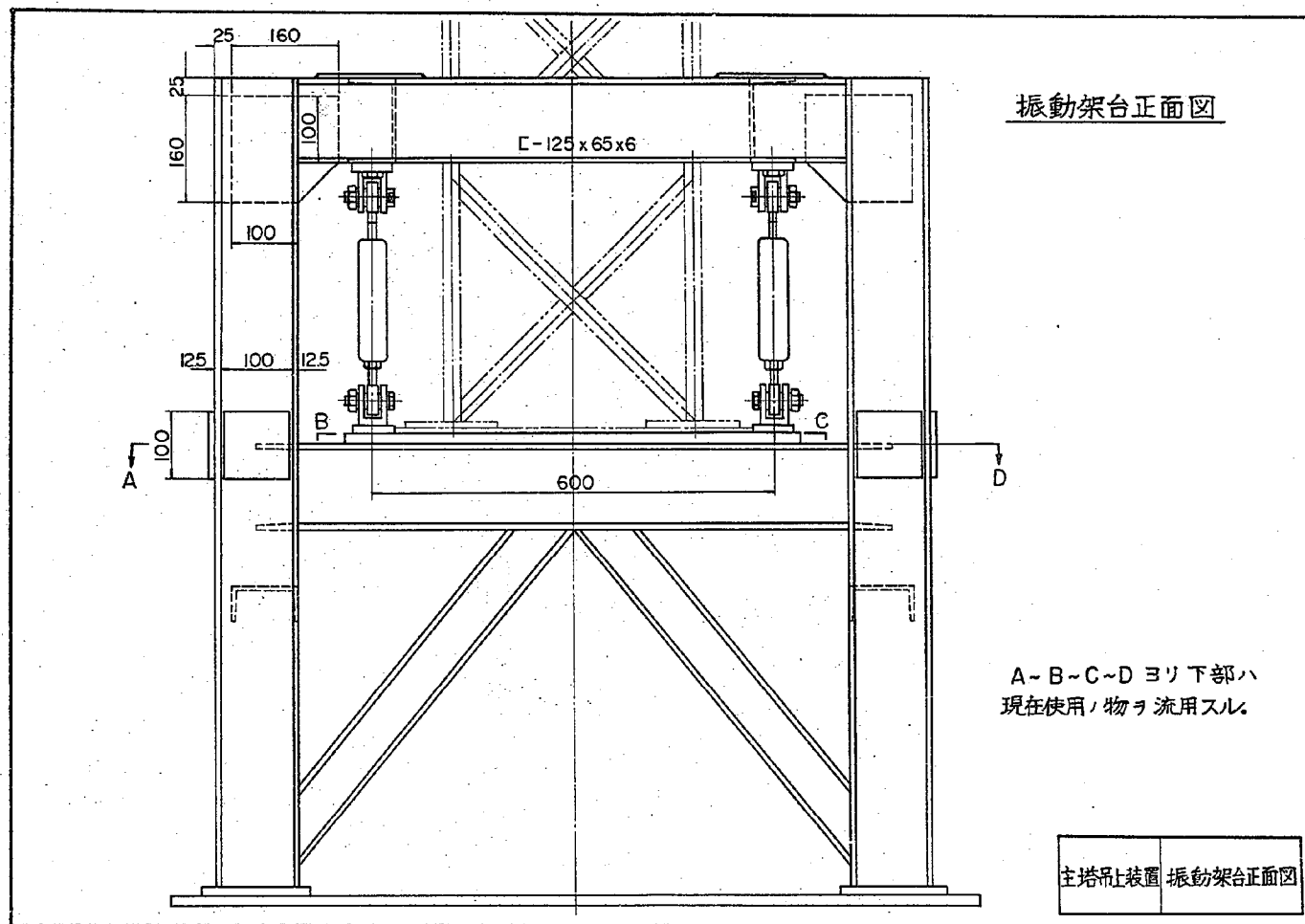
振動架台
(平面図)

振動架台側面圖

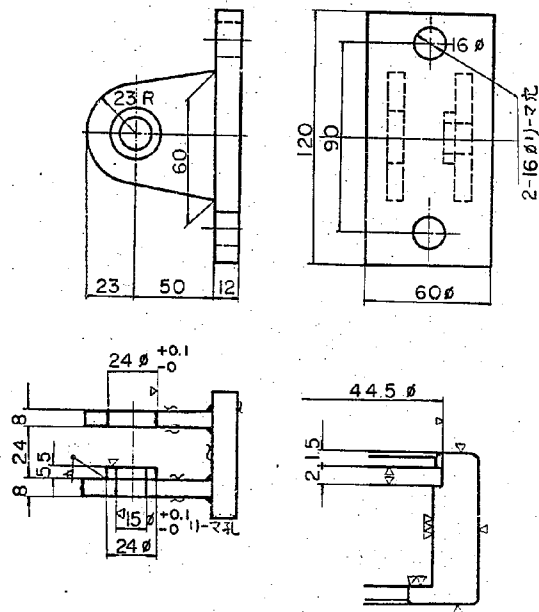


主塔吊裝置

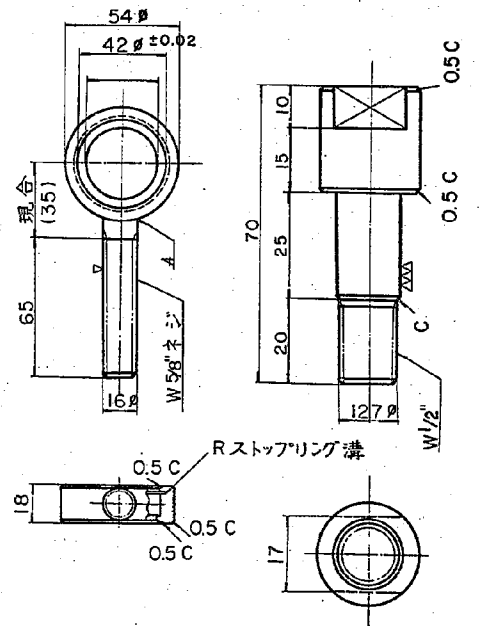
振動架台
(側面圖)



⑥ 軸受 S=1/2



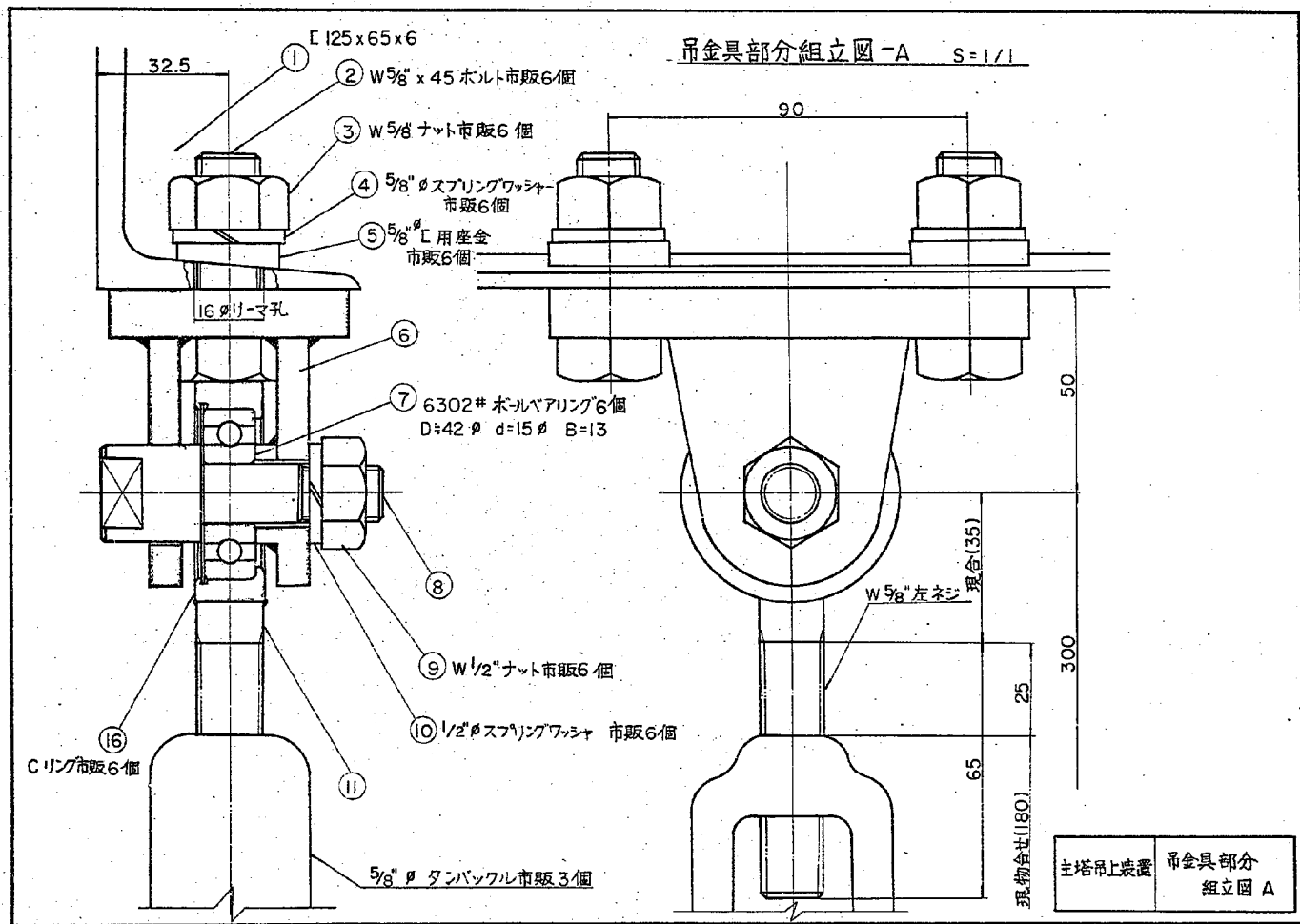
⑪ Rストップリング溝詳細図



⑪ 吊ボルト S=1/2

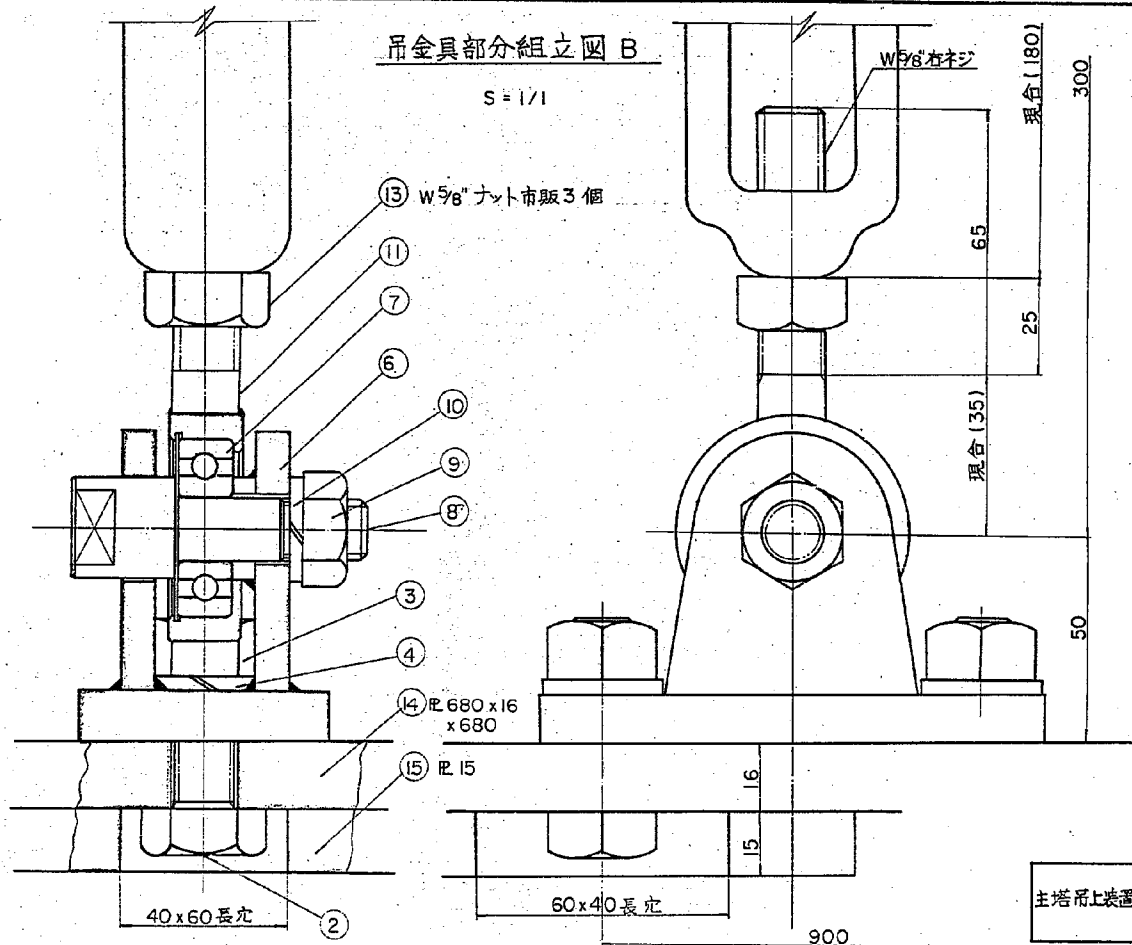
⑧ ピン S=1/1

主塔吊上装置	軸受
	吊ボルト
ピン	Rストップリング溝詳細図
	ピン



吊金具部分組立図 B

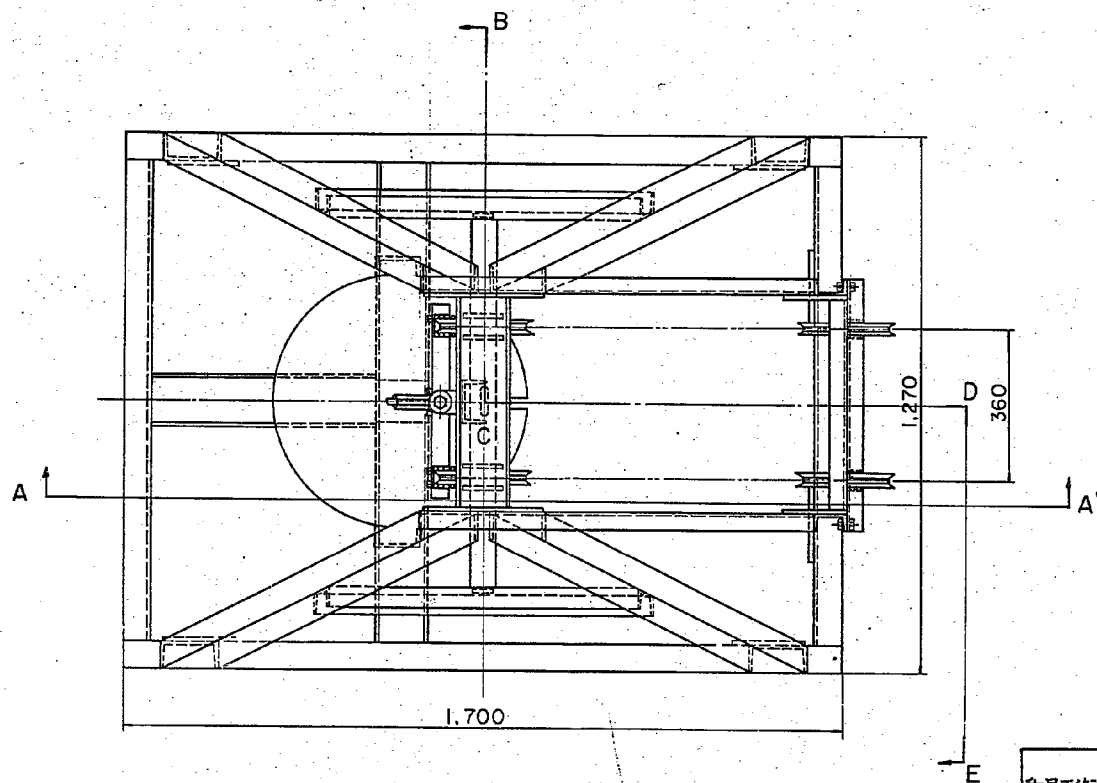
S = 1/1



主塔吊上装置

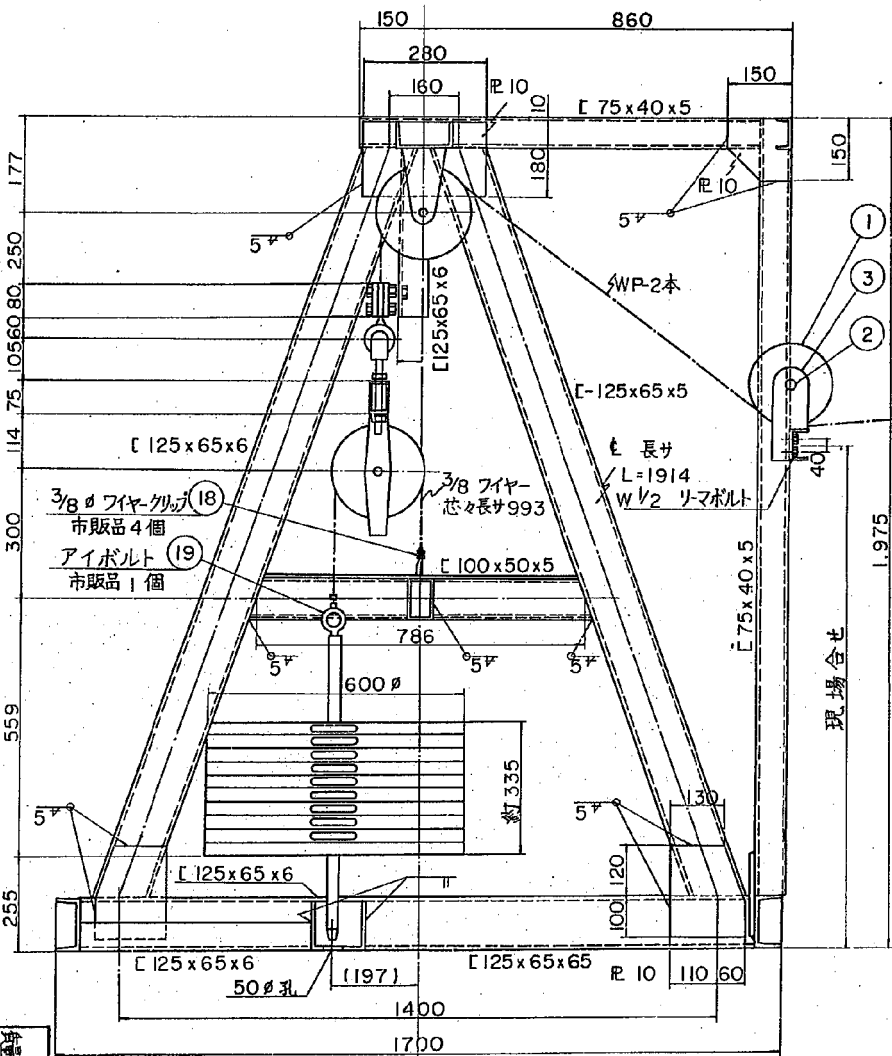
吊金具部分
組立図 B

ケーブルアンカー 一般図



質量平衡装置	ケーブルアンカー 平面図
--------	-----------------

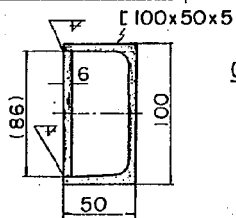
A-A' 矢視圖



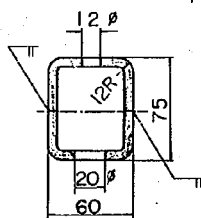
質量平衡裝置

ケーブルアンカー
側面図

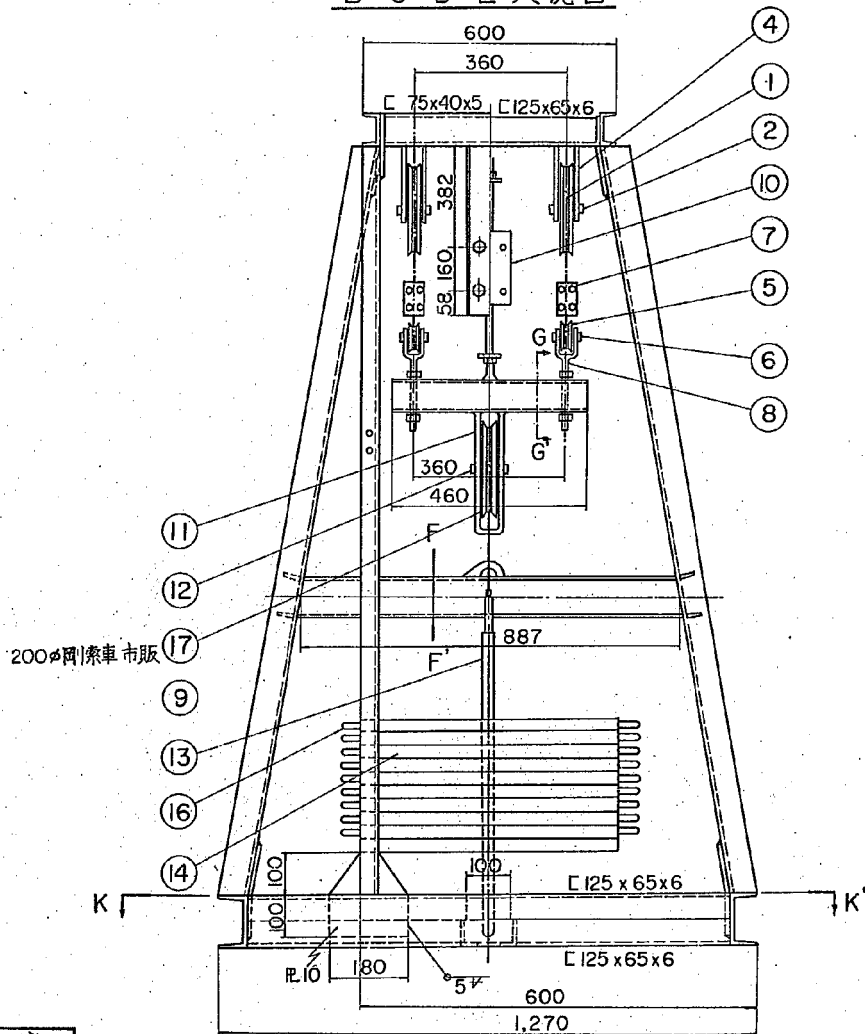
F-F' 断面



G-G' 矢視



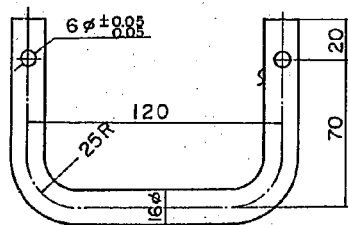
B~C~D~E 矢视图



重量平衡装置
正面図

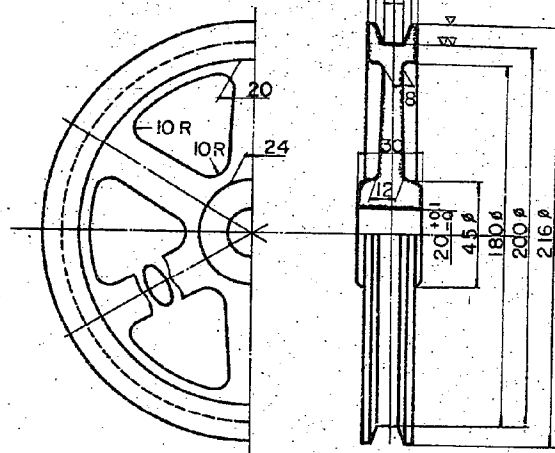
(16) 取手

個



① フリー S=1/2 市販品加工 24

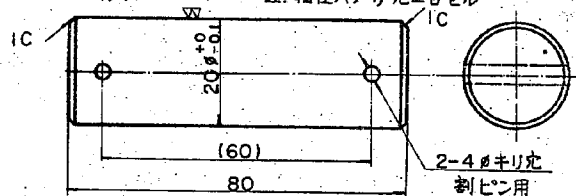
個数 4 FC 20



② オープリ用軸 S=1/1

個数 4

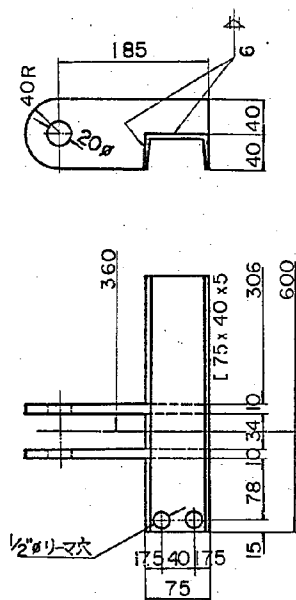
註: 軸径ハフリー穴ニ合セル



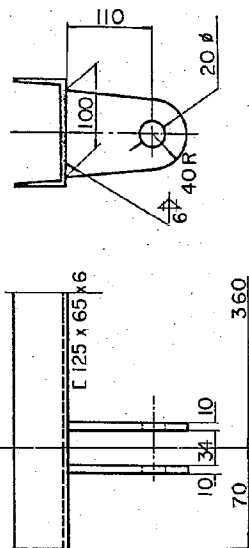
質量平衡装置

フリー
オープリ用軸

③ オープリー受 $S=1/5$

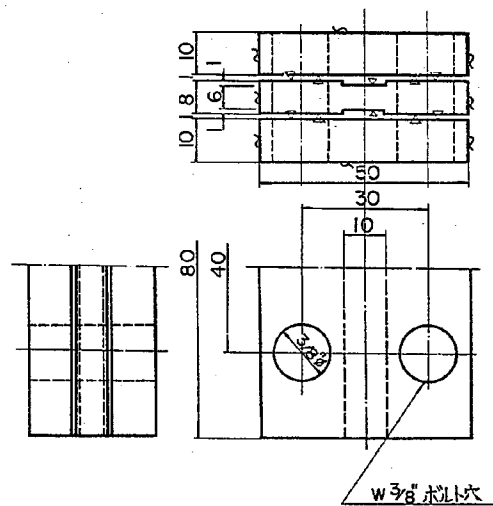


④ オニフリー受 $S=1/5$



⑦ WP 線クリップ $S=1/1$

個数 2

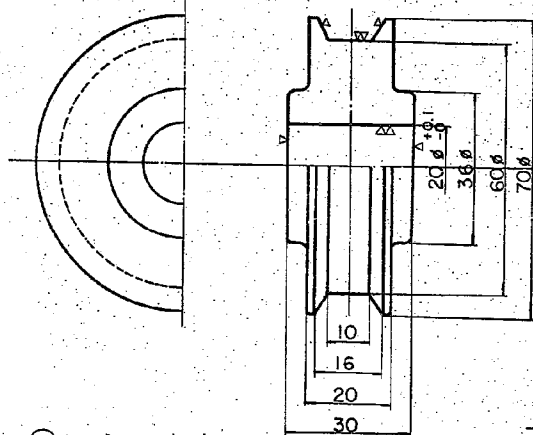


質量平衡装置

オニフリー軸受
オニフリー
線クリップ

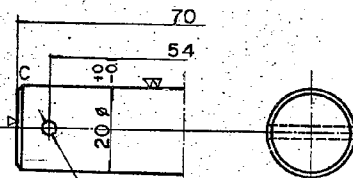
⑤ WP線端止用フーリ-S=1/1

個数2 FC 20



⑥ WP線端止用フーリ-S=1/1

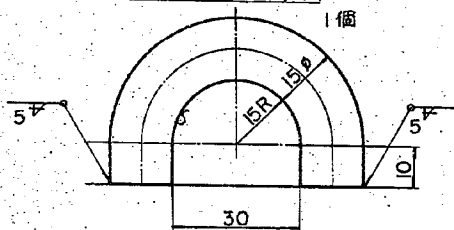
2個



2-4φキリ穴
割ピン用

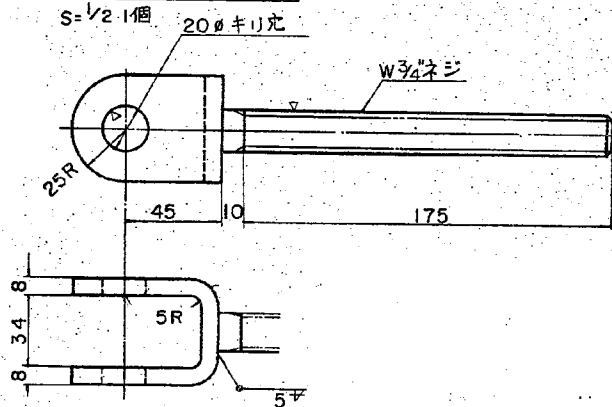
⑨ アイバー-S=1/1

1個



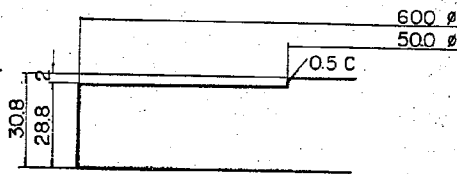
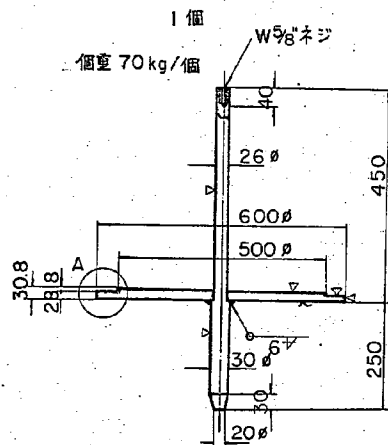
⑧ ケーブル長さ調整ボルト

S=1/2 1個



質量平衡装置	WP線端止用フーリ フーリ ケーブル長さ調整ボルト アイバー
--------	---

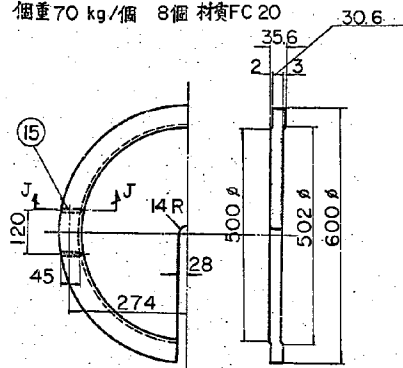
⑬ 重錘取付用シャフト S=1/10



A 部詳細

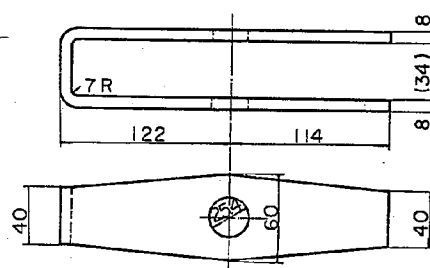
⑭ 重錘 S=1/10

個重 70 kg/個 8個 材質FC 20

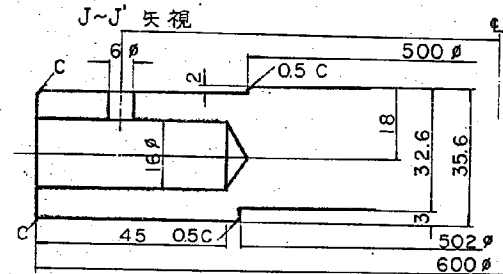
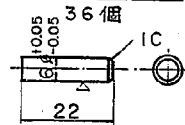


⑪ オープリー受 S=1/3

1 個



⑮ 取手止ピン S=1/1



質量平衡装置	オープンリー受 重錘取付用シャフト 重錘 取手止ピン
--------	-------------------------------------

バネ調整用部品
オ3ブリー用ピン