

土木研究所資料

長大水底トンネルのための
水中換気塔の構造の検討

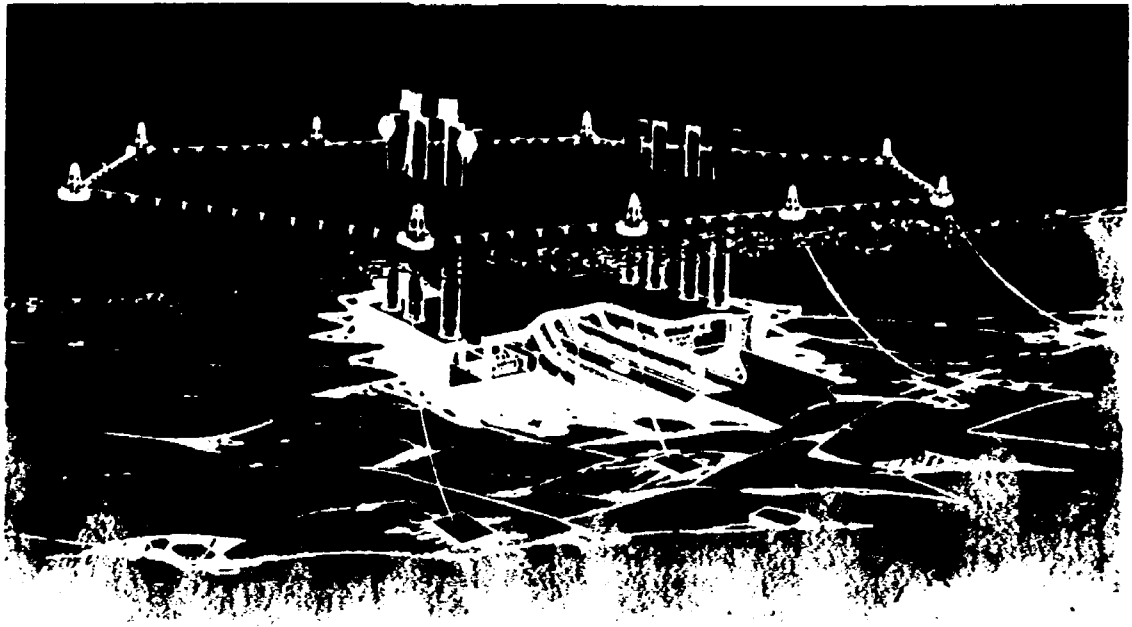
昭和57年3月

建設省土木研究所
道路部トンネル研究室

Copyright © 1982 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。



ま え が き

本資料は、湾岸の大都市周辺の道路網整備で計画される長大な水底トンネルにおいて必要となる中間の換気所を、人工島に建設する方法に替えて、水底の換気所及び水中換気塔を建設する方法を提案し、東京湾横断道路トンネルに適用した場合の構造設計、周辺施設の設計についてまとめたものである。この工法は、船舶の衝突による災害を回避あるいは小さくできる点で従来の人工島より優れているといえることができ、水底トンネルの適用範囲を拓けるものと考えられる。

トンネル研究室 前 室 長	今 田	徹
室 長	水 谷	敏 則
主任研究員	島 田	巖 乃
	木 村	美 知 秋
	富 田	敦 子

目 次

1. 換気所の形式に関する予備検討	1
2. 柔構造形式の換気塔及び換気所の設計示方	10
3. 換気塔の設計	17
3.1 自然条件	17
3.2 設計荷重	17
3.3 波力による疲労	22
3.4 管の設計	25
3.5 リングビームの設計	26
3.6 破断継手の設計	27
3.7 破断継手の耐力	29
3.8 施工継手の設計	31
3.9 アンカー部の設計	32
4. 換気所の構造検討	34
4.1 送排風機の概略設計	34
4.2 換気所の構造検討	35
4.3 換気所の安定検討	41
5. 止水装置の概略検討	42
5.1 フラップゲートの検討	42
5.2 スキンプレートの検討	43
6. 対船舶ガードシステム	44
6.1 ガードケーブル式防衝工	44
6.2 船舶の衝突と監視システム	57
資料 水中換気塔継手の模型実験	59

1. 換気所の形式に関する予備検討

長大な水底トンネルの建設においては、中間の換気所が必要となるが、湾岸地域などの海上交通の頻繁なところでは、換気塔を含めた換気所の設計は、船舶の航行の安全性を第一義とした理念に基くべきである。

水底トンネルの換気所の形式は、船舶が衝突したときに、換気塔及び船舶に与える被害の大小を観点にとれば、剛構造のものと柔構造のものに分けることができる。ここでいう剛構造形式の換気所とは、換気塔と換気所を一体とした沈埋函やケーソンをいい、柔構造形式の換気所とは、換気所と換気塔が前者のように一体となっておらず、水上に突出した換気塔が受ける衝突力は、換気塔に予め設けられた弱点によって低減されて換気塔に伝えられ、前者のように船舶が受ける被害を小さくする構造となっているものをいう。

剛構造の換気所では、船舶の大きな衝突力に対して安全な抵抗力をもたせるにも、自ずと限界があり、これを補うために大規模な防衛工が必要となり、人工島などの大規模な構造物と比較されるべき範疇にはいるだろう。

したがって、いま、過去に検討された剛構造の沈埋函方式及びケーソン方式の換気所を例にとって、それらがどの程度の衝突力に耐えられるのかを検討してみる。

(1) 沈埋函方式

図-1.1に示した換気所に対して、トンネル軸直角方向に $T.P \pm 0$ の位置に水平力 H を作用させて安定計算を行うと、

1. 合力の作用位置が、基礎縁端から $1/6$ になる条件によって、図-1.2 (a) から、 $H \leq 36,000t$,
2. 受働反力に対する安全率が 1.1 以上である条件によって、図-1.2 (b) から、 $H \leq 46,000t$,
3. 底面の滑動安全率が 1.2 以上である条件によって、図-0.2 (b) から、 $50,000t < H < 100,000t$,
4. 支持力の安全率が 2.0 以上である条件によって、図-1.2 (c) から、 $H \leq 48,000t$,

となる。したがって、許容水平力は $36,000t$ となり、このときの地盤反力は図-1.2 (a) から、 $38t/m^2$ である。

(2) ケーソン方式

図-1.3に示した換気所に対して、沈埋函方式と同様の条件を与えると、図1.4 (a)~(c)から、許容水平力は $66,000t$ となり、このときの地盤反力は $180t/m^2$ となる。

以上の結果を示すと表-1.1のようになる。一方、船舶が半無限剛体に衝突するときの、船舶の大きさ、衝突速度、衝突力の関係は図-1.5のようであるから、東京湾内の主航路の制限航行速度である12ノット (約 $6m/s$) の衝突速度のときは、沈埋函方式で約 $65,000t$ 、ケーソン方式で約 $130,000t$ の船舶の衝突に対して安全であるといえることができる。

しかしながら、剛構造の換気所といっても、船舶によって加えられる衝突力は集中荷重に近く、換気所としての安定よりも集中荷重による局部的な破壊による換気塔の機能損失が十分考えられるため、換気所の各構造部材は通常概念を超えたものとなろう。このようにして、換気所の剛度が高くなるにつれ、衝突した船舶が受ける被害も大きくなり、航行不能による航路閉塞、原油等の流出による環境汚染、火災の危険などが予測されるため、剛構造の換気所は、船舶の航行の頻繁な湾を横断するトンネルとし

ての適切な設計概念からはずれたものであるということが出来る。

一方、柔構造の換気塔においては、換気塔の対船舶防衛施設との組合わせによって、小型船舶に対しても衝突による被害を相当小さくでき、また、換気所も衝突の被害を安全に回避することができるため、航路を横断するトンネルの換気所の形式として望ましいものである。

柔構造形式の換気塔には、換気塔底部に船舶の衝突力によって破断そうになっている継手（破断継手）を設けた鋼殻あるいは RC 構造のもの、図-1.6 に示したゴム膜構造のもの、あるいは、図-1.7 に示したようにゴムチューブを積重ねた構造のものが考えられる。

しかしながら、ゴム膜あるいはゴムチューブ形式の換気塔は概念としては非常に優れたものであるが、次に述べるような設計施工技術上の問題点を抱えているため、現時点での適用は困難であると考えられる。

1) 波力の大きさ

構造物が水中に固定されている場合の波力の計算法は一応示されているが、ゴム膜やゴムチューブの場合のように剛性の小さい構造物の場合の計算法は未だないようである。剛性が低い場合には、振動周期が大きくなって波のそれに近づくため、剛体の場合より波力がかなり増巾されることになるため、実験的、理論的な解明が必要である。

2) 製作技術

現存設備において直径数メートルのゴム膜やチューブを製造することができず、また、補強用の鋼線や合成繊維を大量に埋込む技術が十分ではない。

3) 換気塔の取替え

換気塔が破壊した場合、水中での取替えとなるが、定着部がかなり複雑になっているため現実的ではない。

4) 換気塔の設計上の構造

ゴム膜形成の場合はリングビームと結合されており、チューブ形式のものはチューブが定着用ベルトに固定されていて、構造形式として複雑で、機構が明解ではない。

以上のような予備的な検討の結果、現状では、通常の土木構造物として、設計法が確立されているといえる鋼殻あるいは RC 構造の換気塔を採用するのが妥当である。したがって、以後、これらのうちの鋼殻構造形式の換気塔を例にとりて、その設計の概要を示すこととする。

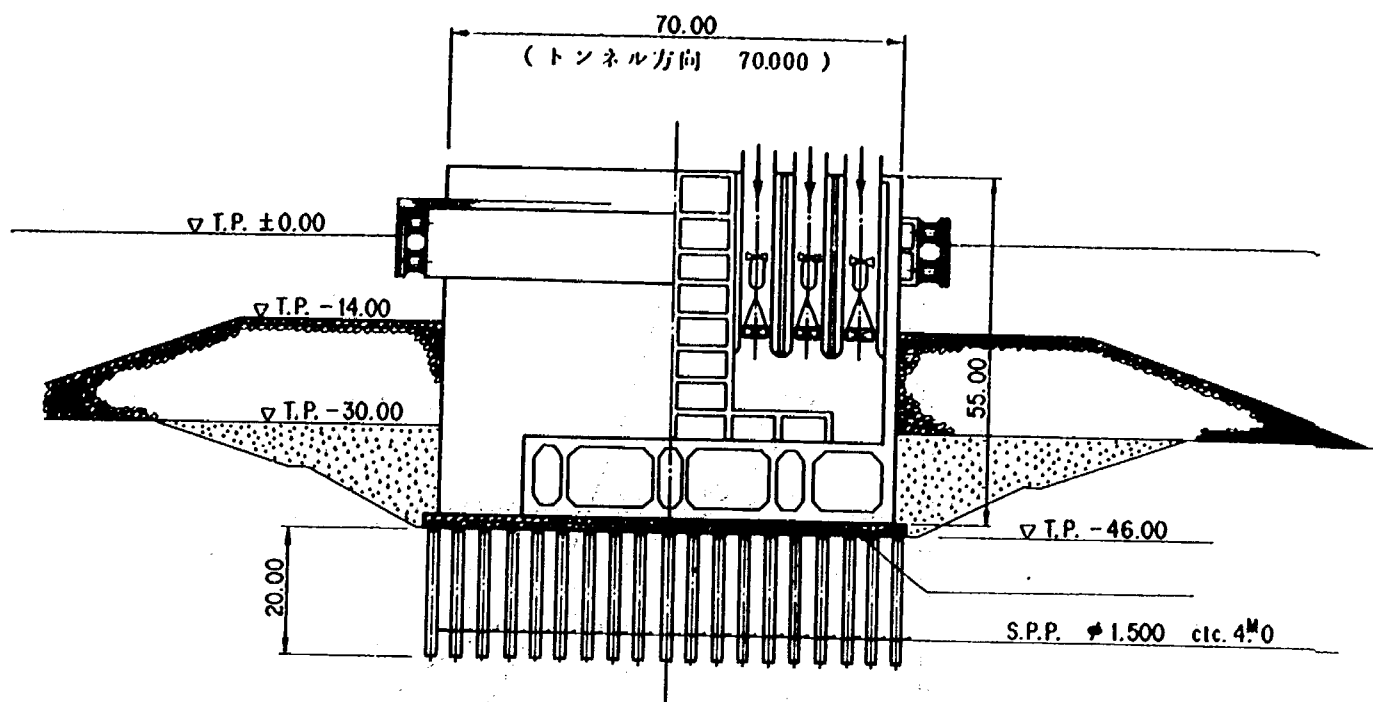


図-1.1 沈埋函方式の換気所

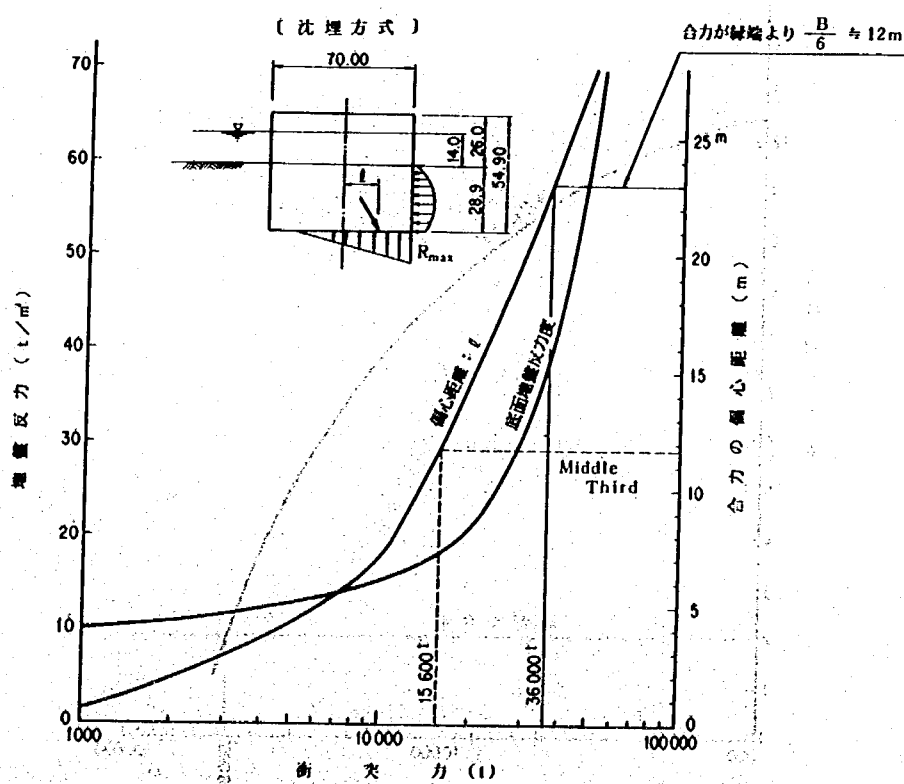


図-1.2 (a) 船舶の衝突力と地盤反力

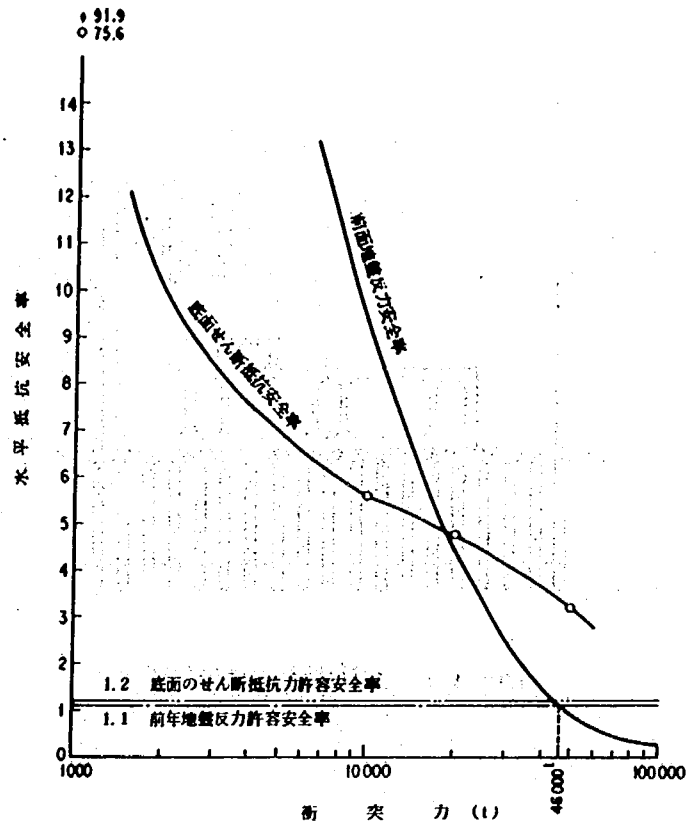


図-1.2 (b) 船舶の衝突力と換気塔の水平抵抗安全率

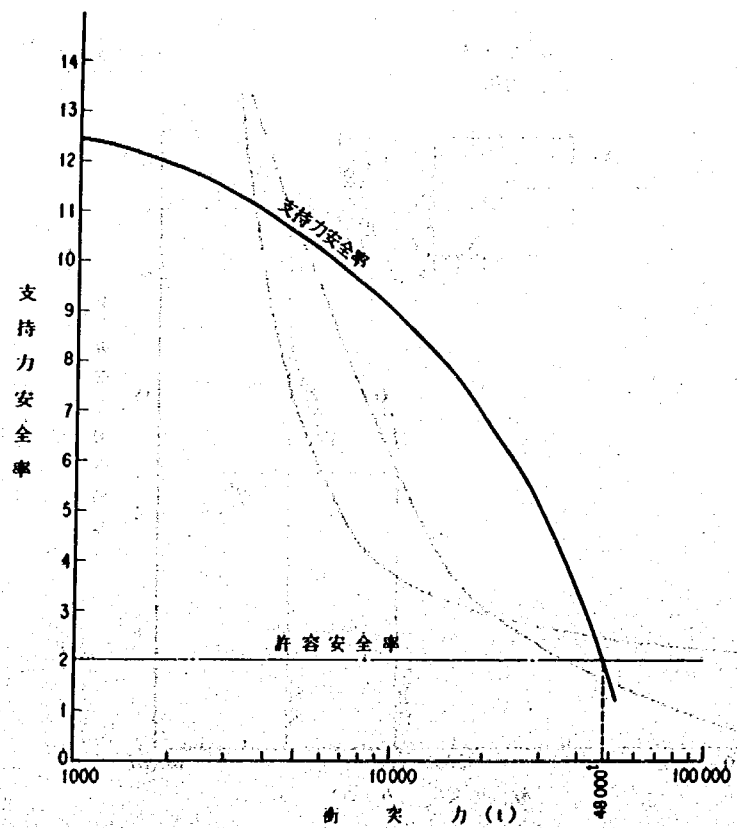


図-1.2 (c) 船舶の衝突力と地盤の支持力安全率

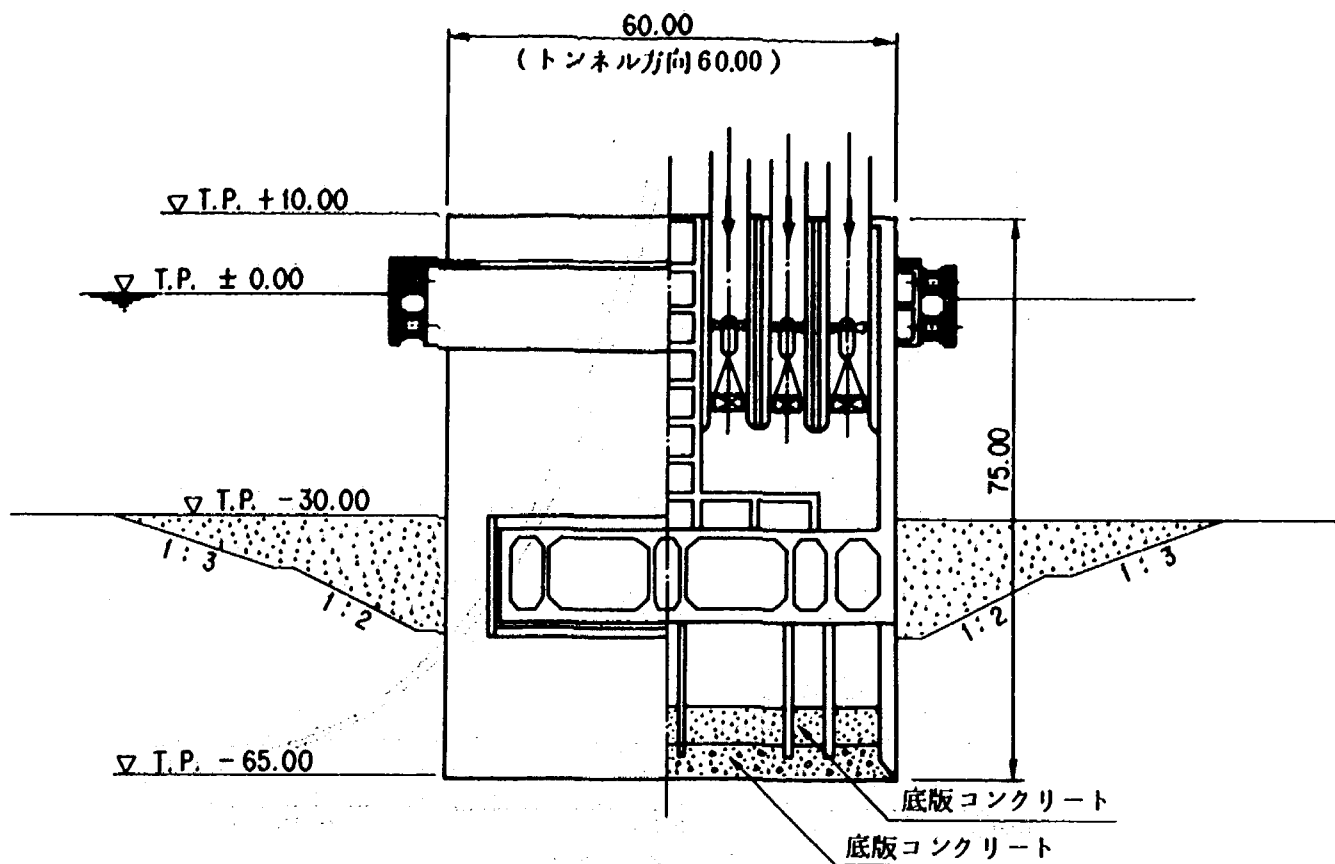


図-1.3 ケーソン方式の換気所

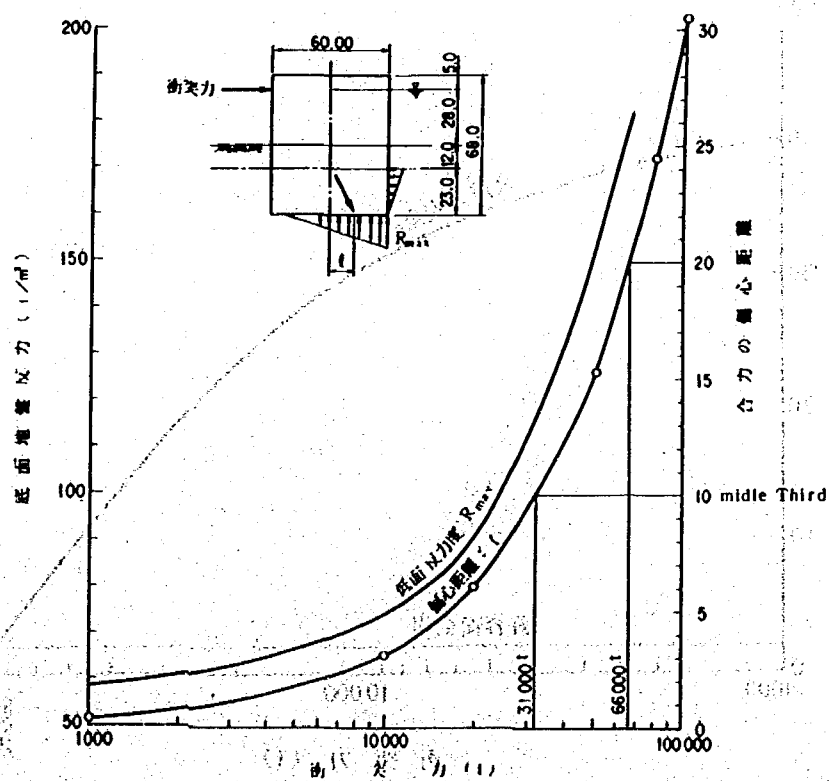


図-1.4 (a) 船舶の衝突力と地盤反力

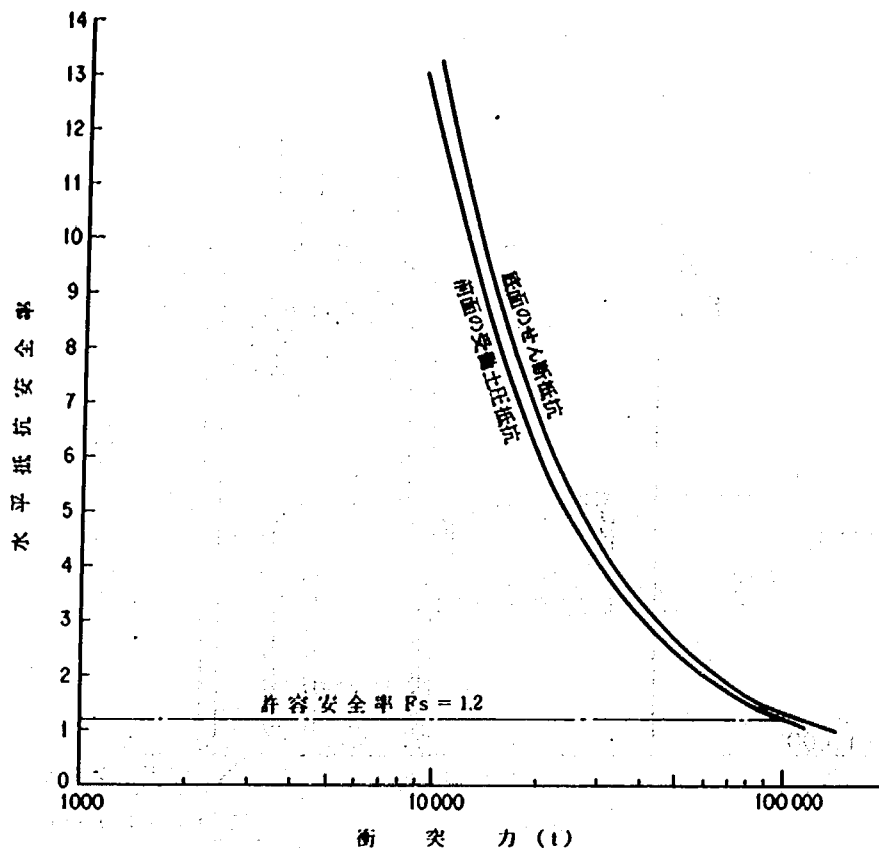


図- 1.4 (b) 船舶の衝突力と水平抵抗安全率

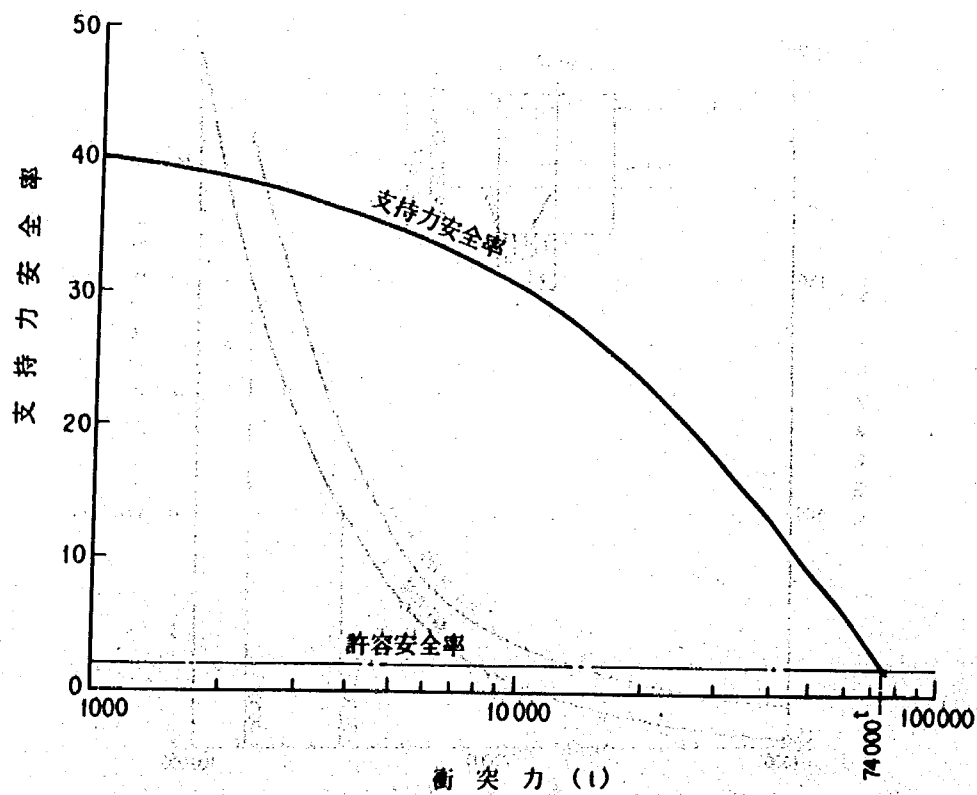


図- 1.4 (c) 船舶の衝突力と地盤の支持力安全率

表- 1.1 許容水平力計算結果

決定要素	沈埋函方式	ケーソン方式	備 考
基礎縁端との距離	36,000t	66,000t	直接基礎指針より B/6 以下
前面の受働土圧	46,000t	100,000	$F_s \geq 1.1$
底面の滑動	— t	100,000 <	$F_s \geq 1.2$
支持力安全率	48,000t	74,000	$F_s = 2.0$
地盤反力度	38t/m ²	$\approx 180\text{t/m}^2$	上記4項目の内の最小水平反に關しての値
計 算 方 法	ケーソン方式	直接基礎方式	

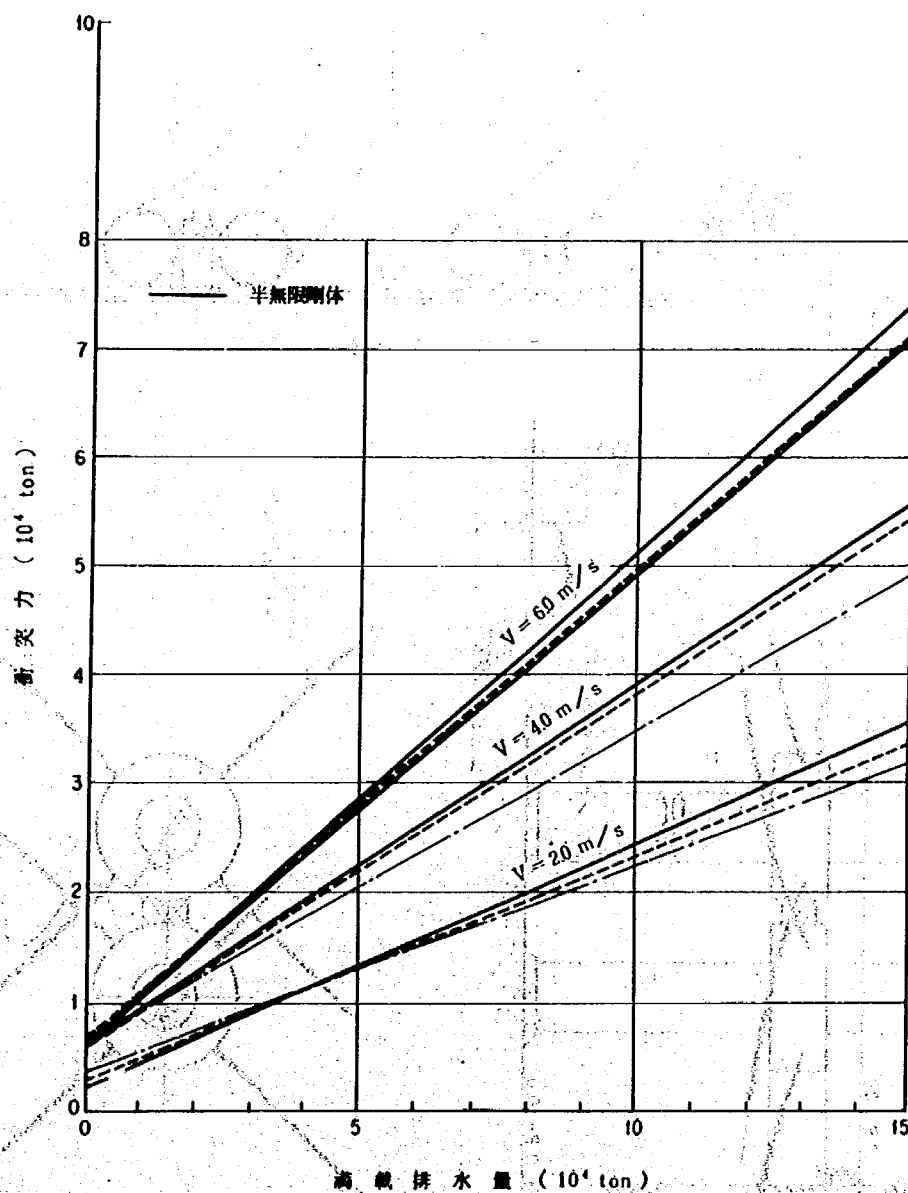
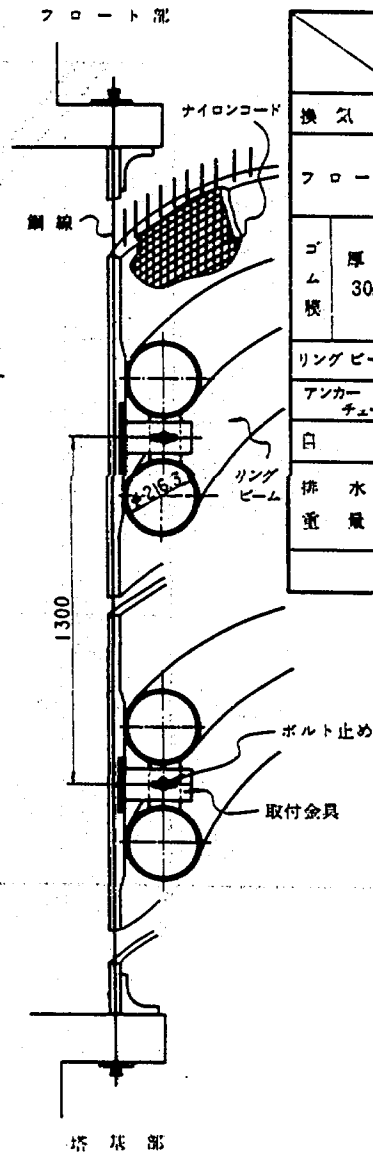
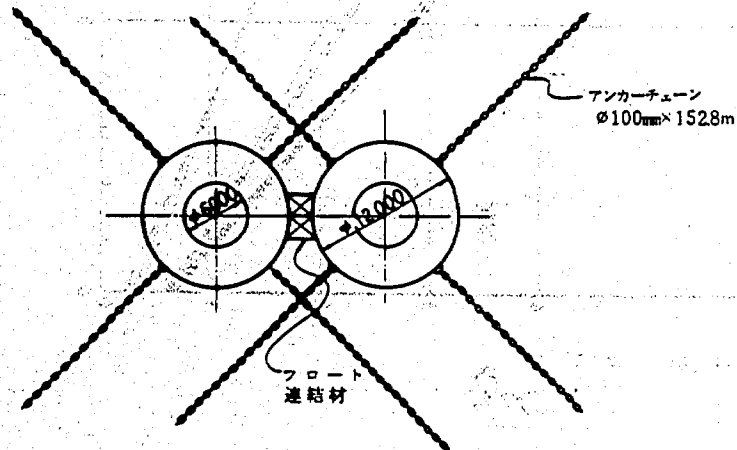
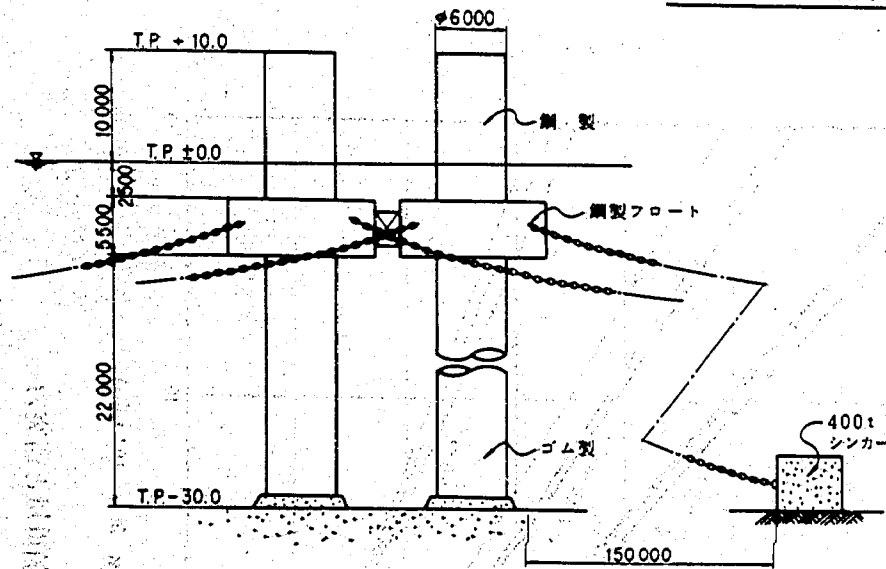


図- 1.5 船舶重量と衝突力

ゴム膜構造水中換気塔一般図 1/400



諸元表

		外 径	内 径	高 さ		
				ゴム膜部	フロート部	鋼管部
換 気 塔		60m	54m	22m	5m	13m
フ ロ ー ト		130m	54m	5m		
		鋼 製	SS41材	φ13mm×5.5mm		t=10mm
ゴ ム 膜	厚 さ 30mm	スチール PCコード	PCより強 (SWPR7A) 降伏点応力 10.4 ton			
		ナイロン コードシート	厚さ 1.1mm 4枚 使用引張強さ 70kg/cm ²			
		表面ゴム	厚さ 7.4mm			
リングビーム		一般構造用鋼管 (SS41) φ216.3mm × 8.9mm				
アンカー チェーン		φ100mm × 1528mm 初期水平張力 8.0 ton				
自 重		90ton				
排 水 重 量	塔 部	870ton			合 計 1460ton	
	フロート部	590ton				

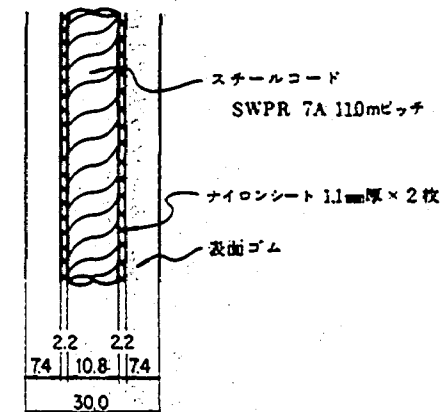


図-1.6 ゴム膜構造の換気塔

ゴム膜構造換気塔

ゴムチューブ案（アンカーチェーン方式）

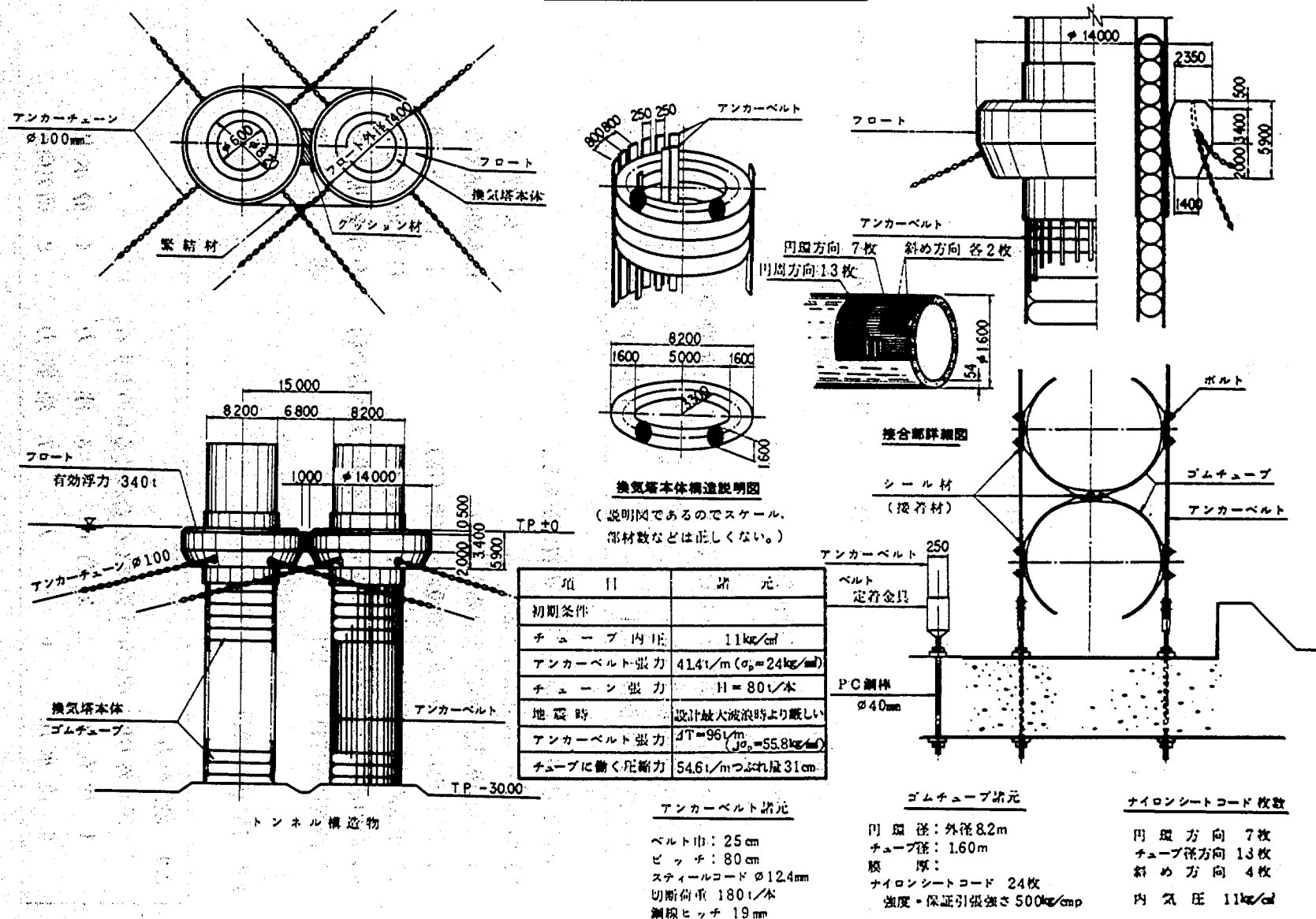


図-1.7 積層ゴムチューブ構造の換気塔

2. 柔構造形式の換気塔及び換気所の設計示方

換気所の形式についての予備的な検討においてすでに述べたように、ここでは、鋼殻構造の柔構造形式の換気塔、換気所、及び関連施設設備の設計について述べる。

2.1 設計示方

§1 総 則

1.1 適用範囲

この示方は、水底トンネルの沈埋函式換気所、鋼殻構造の換気塔、及び関連施設設備の設計に適用する。

1.2 適用示方書等

この示方書に示されていない事項についてはつぎの関連示方書等によるものとする。

- | | |
|-------------------|--------|
| 1) 道路橋示方書 | 日本道路協会 |
| 2) 道路橋下部構造設計指針 | 〃 |
| 3) コンクリート標準示方書 | 土木学会 |
| 4) 東京湾横断道路設計基準(案) | 日本道路協会 |
| 5) 道路橋耐震設計指針 | 〃 |
| 6) 港湾構造物設計指針 | 日本港湾協会 |

上記示方書等のほかに、以下の資料がある。

- | | |
|-----------------------------|---------|
| 1) 海洋構造物設計指針(案) | 土木学会 |
| 2) 日本鋼構造協会疲労設計指針(案) | 日本鋼構造協会 |
| 3) 本州四国連絡橋下部構造設計示方書(案) | 本 四 公 団 |
| 4) 東京湾横断道路技術調査報告書付属資料 | 日本道路協会 |
| 5) 海中基礎への船舶衝突力に関する調査委託報告書要約 | 海洋鉄構協会 |
| 6) 港湾技術資料 No. 101 | 運 輸 省 |

§2 換気塔の設計

2.1 設計外力

設計外力は、次に示す荷重を組合わせるものとする。

- | | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| 1. 死 荷 重 | 2. 風 荷 重 | 3. 浮 力 | 4. 静 水 圧 |
| 5. 流 水 圧 | 6. 波 力 | 7. 地 震 力 | 8. 衝突荷重 |

2.2 死 荷 重

死荷重は、構造物の自重とし、その実重量を用いるものとする。

2.3 風 荷 重

風荷重は次式によって算定する。

$$P_w = \frac{1}{1.6 \times 10^4} C_D \cdot V_D^2 \cdot A_n$$

ここで、 P_w ：構造物の風向に直角な方向の単位長さあたりの風荷重 (t/m)

C_D ：抗力係数

V_D ：風速 (m/s)

A_n ：風向に直角な面に投影した構造物の単位長さあたりの面積 (㎡/m)

抗力係数 C_D は、風洞実験による以外は、下表の値を標準とする。

構 造		C_D	条 件
角柱, 充腹構造部		1.8	
円 柱		0.7	
4 面トラス	角形部材	$1.1 \sqrt{1.5 \phi}$	$0.1 < \text{充実率} \phi < 0.5$
	円形部材	1.5	$0.2 < \phi < 0.4$
設 備 機 械		2.0	

また、風速 V_D は次式によって算定する。

$$V_D = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot V_{10}$$

ここで、 ν_1 ：高度による補正係数

$$\nu_1 = (z/10)^{1/7}$$

ただし、 z は構造物の水面上の高さ (m) で、 $z < 10$ のときは 10 とする。塔状構造物を 1 体として考える場合は全高の 65 % とする。

ν_2 ：構造物の水面上の鉛直長さ h (m) による補正係数

$$h \leq 30 \text{ に対して } \nu_2 = 1.50$$

$$30 < h \leq 60 \text{ に対して } \nu_2 = 1.68 - 0.006h$$

V_{10} ：基本風速 (m/s)

構造物架設地点の水面上 10m の高さにおける所定の再現期間に対する最大 10 分間平均風速で観測資料に基く推定ができない場合は 再現期間を 100 年として次の値を用いるものとする。

- 北緯 30°以南の海域 $V_{10} = 55$
- 紀伊、四国、九州の外洋に面した南海岸及びその沖合 $V_{10} = 50$
- 房総以西の関東、東海の海岸及びその沖合 $V_{10} = 45$
- その他の海岸及び沖合 $V_{10} = 40$

2.4 流水圧

流水圧は次式によって算出する。

$$F = K \cdot w \cdot A \cdot V^2$$

ここで、 F ：全流水圧(t)，作用高さは海底から水深の0.6倍の位置とする。

K ：形状係数

断面が円形の場合 0.064

矩形の場合 0.107

w ：海水の単位重量 (1.03 t/m³)

A ：構造物の流れに直角な面への投影面積 (m²)

V ：流速 (m/s)

2.5 静水圧

静水圧は次式によって算定する。

$$p = w \cdot h$$

ここで、 p ：静水圧 (t/m²)

w ：海水の単位重量 (1.03 t/m³)

h ：水深 (m)

2.6 波力

波力は次式によって算定する。

$$dF = \frac{w}{2g} \cdot C_D \cdot u \cdot |u| \cdot dA + \frac{w}{g} \cdot C_M \cdot u \cdot dV$$

ここで、 dF ：構造物の単位長さあたりの波力 (t/m)

w ：海水の単位重量 (1.03 t/m³)

g ：重力の加速度 (9.8 m/s²)

C_D ：抗力係数 (円柱に対して1.0)

C_M ：質量係数 (円柱に対して2.0)

u ：微小振幅波理論による波の粒子速度 (m/s)

$\dot{u}$ ：微小振幅波理論による波の粒子加速度 (m/s²)

dA ：構造物の単位長さあたりの流水方向の投影面積 (m²/m)

dV ：構造物の単位長さあたりの体積 (m³/m)

微小振幅浅水進行波の水粒子の水平速度 u ，及び水平加速度 $\dot{u}$ は次式で表わされる。

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \sin \left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right)$$

$$\dot{u} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right)$$

ここで, H: 波高

z: 静水面からの高さ

L: 波長

h: 水深

T: 周期

したがって, Morrison らによって提案された波力の計算式の第1項(波の粒子速度による抗力)と第2項(水粒子の加速度による力)は, 位相が $\pi/2$ だけずれている。しかし, 合成波力の最大値を求めるときは次式によって求めることができる。

$$dF_{\max} = dF_D + \frac{dF_M^2}{4dF_D} \quad (2dF_D > dF_M \text{ のとき})$$

$$dF_{\max} = dF_M \quad (dF_M > 2dF_D \text{ のとき})$$

$$\text{ここで, } dF_D = \frac{1}{2} \cdot \frac{w}{g} \cdot C_D \cdot u_{\max}^2 \cdot dA$$

$$dF_M = \frac{w}{g} \cdot C_M \cdot u_{\max} \cdot dV$$

2.7 地震力

地震力は慣性力と動水圧とする。

慣性力の算定に使用する水平方向設計震度は, 道路橋耐震設計指針によるものとする。

動水圧は次式によって算定する。

$$\frac{b}{h} \leq 2.0 \text{ に対して } P_{ew} = \frac{3}{4} \cdot Kh \cdot w \cdot b^2 \cdot h \left(1 - \frac{b}{4h}\right)$$

$$\frac{b}{h} > 2.0 \text{ に対して } P_{ew} = \frac{3}{8} \cdot Kh \cdot w \cdot b^2 \cdot h$$

ここで, P_{ew} : 動水圧(t)

Kh : 水平方向震度

h: 水深(m)

b: 構造物の地震力に直角方向の水平巾(m)

w: 海水の単位重量(1.03 t/m³)

ただし, 動水圧の作用位置は水面から 0.5 h の位置とする。

2.8 衝突荷重

船舶の衝突荷重は破断継手の破壊荷重に対応する水面上の水平力とする。

2.9 鋼 材

主要部材は、特別の場合を除き、溶接構造用圧延鋼材 (JIS G 3106)、あるいは、溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 (JIS G 3114) の規格に適合するもののうち、40 ～ 50 キロ鋼を使用するものとする。

上記以外の鋼材で、海洋構造物に最も多く使用されているものは、船舶構造用鋼材で、その規格には、AB 船級協会規格、日本海事協会船体構造規格、造船用高張鋼規格がある。

これらの規格材を使用する場合は十分な溶接技術が必要である。また、海洋構造物は、波浪による疲労が重要な設計要因であるため、疲労強度の低下の小さい低強度材の使用が望ましいといえる。

2.10 防 食

構造物の海上部は塗覆によって、海中部は電気防食または腐食代を見込んで防食しなければならない。

鋼構造の海上部分には、海塩粒子による腐食に強く、塗装性のよい耐候性鋼材を使用し、海中及びスプラッシュゾーンには、耐海水性鋼材を使用するのが望ましい。

鋼材の腐食代を見込んだ防食法は通常用いられる方法であるが、腐食の進行速度は、港湾構造物設計基によれば、つぎのとおりである。

腐 食 環 境		腐食速度 (mm/年)
海 中	HWL 以上	0.3
	HWL 以下海底以上	0.2
	海底泥層中	0.05
土 中	残留水位以上	0.05
	残留水位以下	0.03

2.11 許容応力度

鋼材の許容応力度は、道路橋示方書に示すとおりとする。

2.12 疲 労

繰返し荷重を受ける部材は疲労に対する設計を行わなければならない。

波浪や潮流によって繰返し荷重を受ける部材は疲労による材料強度の低下を考慮して設計しなければならない。

疲労に対する許容応力度の推定は、3 年以上の波浪観測資料から、波高別、周期別の出現回数を推定し、波高一周期一潮流と作用力の振幅から耐用期間中に部材に発生する応力と繰返し回数から推定する。

2.13 許容応力度の割増し

荷重の組合せによる許容応力度の割増しは下表によるものとする。

荷重の種類		完 成 時			
		常 時	暴風時	地震時	船舶衝突時
死	荷 重	○	○	○	○
風	荷 重	○※	○	○※	○
水 圧	静 水 圧	○	○	○	○
	流 水 圧	○	○	○	○
	波 圧	○※	○	○※	○
地 震 力				○	
衝 突 荷 重					○
許容応力度の割増し率		0	50	70	70

※ 基本風速を 10 m/s とする。

施工時の各段階における荷重の組合と対応する許容応力度は別途検討する。

2.14 破断継手

船舶の衝突力が換気塔を介してそのまま換気所に伝えられるのを防ぐため、換気塔下部に破断継手を設ける。

破断継手は、2.1 に示した外力のうち衝突荷重を除く外力に対して設計を行うものとする。

§ 3 換気所の設計

3.1 設計外力

設計外力は、次に示す荷重を組合わせるものとする。

1. 死荷重 2. 静水圧 3. 土 圧 4. 地震力
5. 換気塔耐力に対応する外力

3.2 死 荷 重

死荷重は構造物の自重及び上載土重量とする。

3.3 静 水 圧

2.5 参照

3.4 土 圧

土圧は、均質地盤で等変分布とし、クーロンまたはランキンの土圧理論によって求めるものとする。

3.5 地震力

地震力は慣性力及び地震時土圧とする。

水平方向設計震度の算定は、道路橋耐震設計指針によるものとする。

3.6 構造材料

換気所の主要構造は鉄筋コンクリート構造とする。

3.7 許容応力度

鉄筋コンクリートの許容応力度は、土木学会の鉄筋コンクリート標準示方書に示すとおりとする。

3.8 許容応力度の割増し

2.13 参照

ただし、施工時常時の割増し率は50%とする。

§4 船舶の衝突に対する安全システムの設計

4.1 安全システム

水中換気塔の対船舶衝突安全システムとしてつぎの施設設備を設けるものとする。

1. 感知装置
2. 防衝工
3. 止水ゲート

3. 換気塔の設計

3.1 自然条件

東京港横断道路トンネルの計画地点の自然条件はつぎのとおりである。

H.W.L.	T.P. + 0.931 m
L.W.L.	T.P. - 1.176 m
潮流	$V = 0.4 \text{ m/s}$
波浪	波高 $H = 8.24 \text{ m}$ 周期 $T = 9.16 \text{ s}$
風速	$V_{10} = 41 \text{ m/s}$
基盤水平震度	$K_0 = 0.15$

3.2 設計荷重

(1) 死荷重

換気所建屋の寸法を、図-3.1に示すように、 $B 120 \text{ m} \times H 17 \text{ m} \times L 70 \text{ m}$ とし、その重量を 1.13 t/空 とする。また、換気塔重量を 1000 t/本 とすると、その重量は

換気塔	$1000 \times 8 = 8,000 \text{ t}$
バラスト	$4,000 \text{ t}$
換気所	$120 \times 17 \times 70 \times 1.13 = 161,400 \text{ t}$
計	$173,400 \text{ t}$

となる。

(2) 風荷重

換気塔を径 6 m の円柱とすると抗力係数 $C_D = 0.7$ で、風速 $V_D = 41 \text{ m/s}$ であるから、T.P. ± 0 のときの海上突出部を 32.5 m とすると、風荷重は

$$P_w = \frac{1}{1.6 \times 10^4} \times 0.7 \left[\left(\frac{0.65 \times 32.5}{10} \right)^{1/7} \times (1.68 - 0.006 \times 32.5) \times 41 \right]^2 \times 6$$

$$\times 32.5 = 39.2 \text{ t}$$

となり、その作用位置は高さの 65% 、T.P. $+ 21.1 \text{ m}$ とする。したがって、破断継手に作用するモーメントは、破断継手位置を T.P. $- 23 \text{ m}$ として

$$M_w = 39.2 \times (23.0 + 21.1) = 1729 \text{ t} \cdot \text{m}$$

また、換気所に作用するモーメントは、T.P. $- 30 \text{ m}$ の位置で

$$M_{wy} = 39.2 \times (30 + 21.1) = 2003 \text{ t} \cdot \text{m}$$

である。

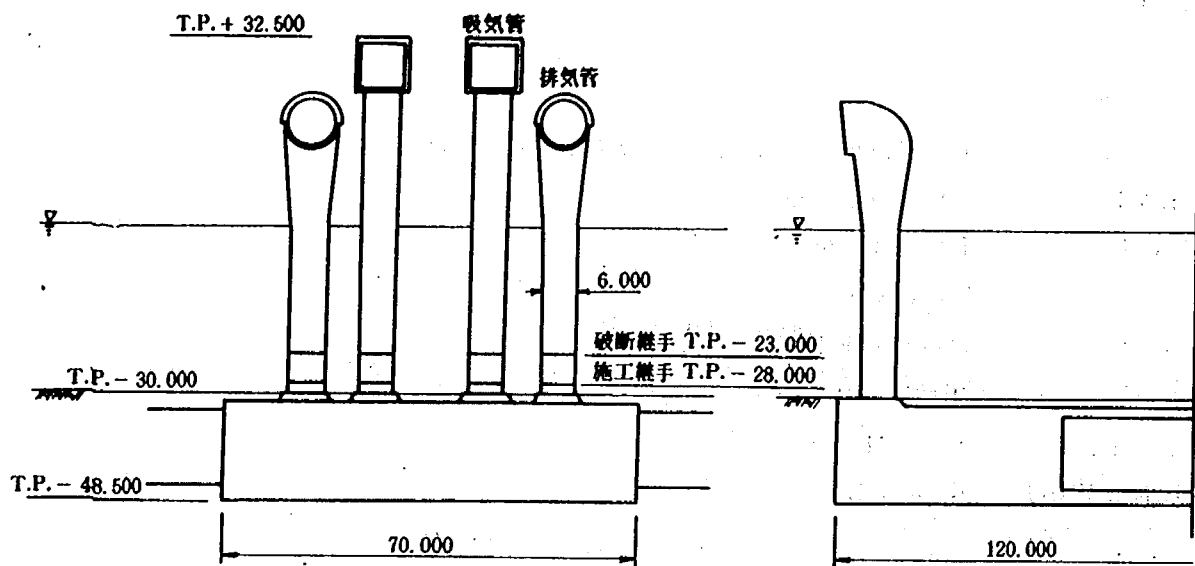


図-3.1 換気所一般図

(3) 浮 力

換気塔の体積	$\frac{\pi}{4} \times (6.0)^2 \times 31.5 =$	890 m ³
換気所の体積	$120 \times 17 \times 70 =$	142800 m ³
換気塔の浮力	$890 \times 1.03 \times 8 =$	7334 t
換気所の浮力	$142800 \times 1.03 =$	147084 t
計		154400 t

(4) 流 水 圧

T.P. - 30.0	$F = 0.064 \times 1.03 \times (6 \times 30.0)^2 = 1.90 \text{ t}$
	$F' = 0.064 \times 1.03 \times [(6 \times (30 - 23))] \times (0.4)^2 = 0.44 \text{ t}$
T.P. - 23.0	$F = 1.90 - 0.44 = 1.46 \text{ t}$
作用位置	T.P. - 30.0 $- 30.0 + (0.6 \times 30) = \text{T.P.} - 12.0$
	T.P. - 23.0 $- 30.0 + \frac{1.90 \times 18 - 0.44 \times 4.2}{1.90 - 0.44} = -7.8 \text{ m}$

破断継手位置の曲げモーメント (T.P. - 23.0)

$$M_{fj} = 1.46 \times (23.0 - 7.8) = 22 \text{ t} \cdot \text{m}$$

換気所に作用する曲げモーメント (T.P. - 30.0)

$$M_{fv} = 1.9 \times (30.0 - 12.0) = 34 \text{ t} \cdot \text{m}$$

(5) 静水圧	水 面	T.P. ± 0	0
	破断継手	- 23.0 m	23.7 t/m ²
	継 手	- 28.0 m	28.8 t/m ²
	換気所天端 (海底)	- 30.0 m	30.9 t/m ²
	換気所底面	- 48.5 m	50.0 t/m ²

(6) 浮 力

水深 30 m, 波高 8.24 m, 周期 9.24

吸気管に対して 波 力

重心位置

排気管に対して 波 力

重心位置

となる。したがって、換気塔の設計に

(7) 地震時の慣性力

換気所の設計震度 K_h を、東京港横断

$$K_h = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot \nu_3 \cdot K_0$$

ここで、 ν_1 : 地域別補正係

ν_2 : 地盤別補正係

ν_3 : 重要度別補正

K_0 : 設計基盤面

とすると、 $K_h = 0.22$ となる。

したがって、換気所の慣性力 H_v は

$$H_v = 0.22 \times 161,400 = 35,500 \text{ t}$$

となり、その重心位置は T.P. - 40.0 m

換気塔の設計震度は、応答を考慮した

$$\frac{b}{h} = \frac{6}{30} = 0.2 < 2.0$$

したがって、水の付加質量 W_w は

$$W_w = \frac{3}{4} w b^2 h \left(1 - \frac{b}{4h}\right)$$

$$= \frac{3}{4} \times 1.03 \times (6.0)^2 \times 30.0 \times \left(1 - \frac{6.0}{4 \times 30.0}\right) = 793 \text{ t}$$

換気塔の自重は 1000 t であるから、換
高さを 62.5 m として、

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0.3(W_t + W_w)h^3}{3EI\eta}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{0.3 \times (1000 + 793) \times 62.5^3}{3 \times 2.1 \times 10^7 \times 2.6 \times 9.8}} = 1.80 \text{ 秒}$$

3 種地盤に対する β -T 図 (図-3.2)

$$K_{hm} = \nu_1 \cdot \nu_2 \cdot \nu_3 \cdot \beta \cdot K_0$$

$$= 1.0 \times 1.47 \times 1.0 \times 1.1 \times 0.15 = 0.24$$

となる。

秒として、2.6 に示した式で計算を行うと、

29 t

2

T

2

T

しては、排気管の値を採用する。

道路技術調査報告書に従って、

数 (1.0)

数 (1.47)

係数 (1.0)

の水平震度 (0.15)

0 t

である。

修正震度法を用いる。換気塔の水中部分が 30 m であるから、

気塔の振動の固有周期 T は、断面二次モーメントを 2.6 m^4 、

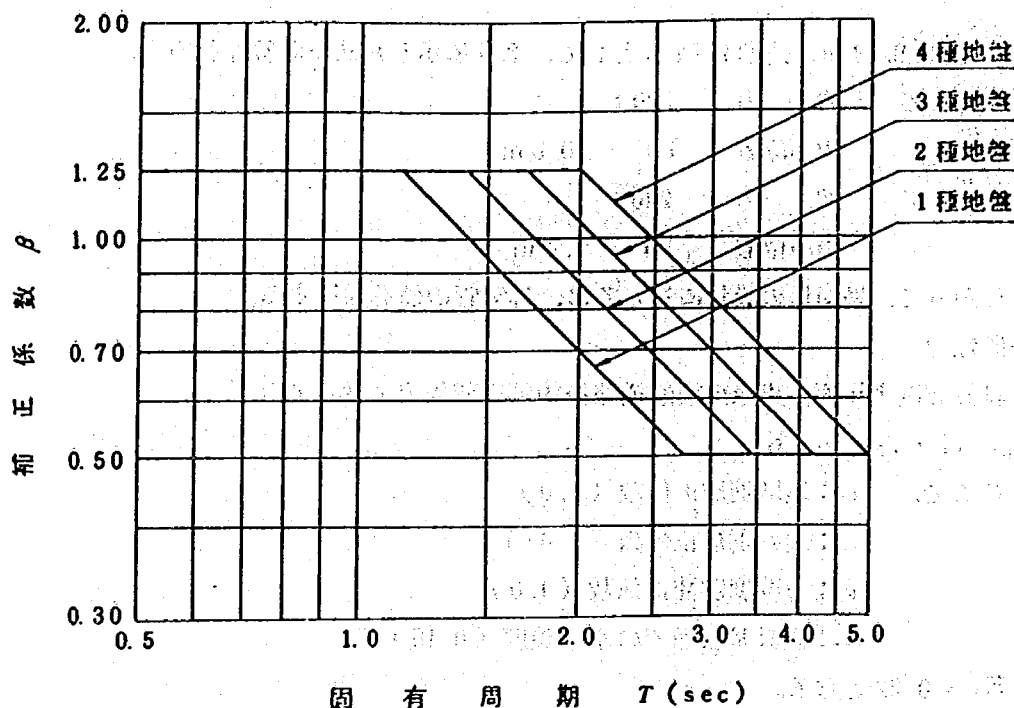


図-3.2 設計震度の補正係数

いま、T.P. = 23.0 mの断面に対して、それ以高の換気塔の地震力を求めると、鋼部材によって、

$$S_s = 332 \times 0.24 = 79.7 \text{ t}$$

$$M_s = 79.7 \times (23.0 + 2.6) = 2040 \text{ t} \cdot \text{m},$$

また、充填モルタルによって

$$S_c = 435 \times 0.24 = 104.4 \text{ t}$$

$$M_c = 104.4 \times (23.0 - 9.0) = 1462 \text{ t} \cdot \text{m}$$

であるから、

$$S_{ej} = 78.7 + 104.4 = 184 \text{ t}$$

$$M_{ej} = 2040 + 1462 = 3502 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$e = -23 + \frac{3502}{184} = \text{T.P.} - 4.0 \text{ m}$$

となる。

また、換気所に作用する地震力は、

$$M_{ev} = 240 \times (30.0 - 9.3) = 4968 \text{ t} \cdot \text{m}$$

である。

(8) 動水圧

$K_h = 0.24$, $b/h = 6/30 = 0.2 < 2.0$ であるから、動水圧 P_e は、

$$P_{ej} = \frac{3}{4} \times 0.24 \times 0.03 \times (6.0)^2 \times (23.0)^2 \times \left(1 - \frac{6}{4 \times 23}\right) = 143 \text{ t}$$

$$P_{ev} = \frac{3}{4} \times 0.24 \times 1.03 \times (6.0)^2 \times 30.0 \times \left(1 - \frac{6}{4 \times 30}\right) = 190 \text{ t}$$

となり、その作用位置はそれぞれ、T.P. - 11.5 m 及び T.P. - 15.0 m となる。

また、動水圧によって、破断継手及び換気所に作用する曲げモーメントは、それぞれ、

$$M_{pj} = 143 \times (23.0 - 11.5) = 1645 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$M_{pv} = 190 \times (30.0 - 15.0) = 2850 \text{ t} \cdot \text{m}$$

となる。

以上の結果をまとめると、表-3.1 のようになる。また、完成時の常時、暴風時、地震時、及び船舶衝突時の荷重の組合わせを考えて、おのおの場合の、破断継手位置での断面力を求めると表-3.2 のようになる。

表-3.1 破断継手及び換気所に作用する力

断面 断面力 荷重の種類		T.P. - 23 m						T.P. - 30 m						備考
		荷重 (t)	作用位置 (T.P.)	V (t)	S (t)	M (t・m)	P (t/m ²)	荷重 (t)	作用位置 (T.P.)	V (t)	S (t)	M (t・m)	P (t/m ²)	
死 荷 重		767	-23.0	767				1000	-30.0	1000				
風 荷 重		39.2	+21.1		39.2	1729		39.2	+21.1		39.2	2003		
水 圧	浮 力													
	静 水 圧						23.7						30.9	
	流 水 圧	1.5	-7.8		1.5	22		1.9	-12.0		1.9	34		
	波 力	240	-7.4		240	3744		240	-7.4		240	5424		
地 震 力	慣 性 力	184	-4.0		184	3502		240	-9.3		240	4968		
	動 水 圧	143	-11.5		143	1645		190	-15.0		190	2850		
衝 突 力														

表- 3.2 破断継手のせん断力及び曲げモーメント

条件 荷重の種類		常 時		暴 風 時		地 震 時		船舶衝突時	
		S (t)	M (t・m)	S (t)	M (t・m)	S (t)	M (t・m)	S (t)	M (t・m)
死 荷 重		(767)		(767)		(767)		(767)	
風 荷 重		2.3	90	39.2	1729	2.3	90	39.2	1729
水 圧	静 水 圧								
	流 水 圧	1.5	22	1.5	22	1.5	22	1.5	22
	波 力	28	610	240	3744	28	610		
地 震 力						327	5147		
衝 突 荷 重								1397	32123
計		31.8	722	280.7	5495	358.8	5869	1473	33874
常 時 換 算				187.1	3663	211.1	3452	866	19926

- 1) 常時及び地震時の風荷重は $V_{10} = 10 \text{ m/s}$ として求めた。
- 2) 常時及び地震時の波力は $H = 1.0 \text{ m}$, $T = 3.0 \text{ sec}$ として求めた。
- 3) 衝突荷重は 3.7 参照。

3.3 波力による疲労

換気塔はたえず波力を受けるため疲労に対する検討が必要となるが、ここでは、木更津沖の波高調査データをもとに、統計的な検討を加える。

(1) 1年間の波高別出現回数

昭和43年3月から昭和46年2月までの、木更津沖の波高観測データは表- 3.3 に示すとおりである。

表- 3.3 木更津沖の波高観測データ

(1968.3-1971.2)

波高(m) 周期(sec)	-39	40-59	60-79	80-99	100-119	120-139	140-159	169-179	180-199	200-	計
-0.9											
1.0-1.9	87	108	22	2	1						220
2.0-2.9	1129	1282	606	191	75	18	6	2	2	1	3312
3.0-3.9	449	457	392	214	112	84	29	19	5	11	1772
4.0-4.9	5	5	15	11	20	11	11	8	7	7	100
5.0-										1	1
計	1670	1852	1035	418	208	113	46	29	14	20	5405

これらのデータのうち、出現頻度の高い周期 2 ～ 4 秒、波高 0 ～ 1.4 m の波の出現回数はずぎのとおりである。

波高 (cm) \ 周期 (秒)	0 - 59	60 - 99	100 - 139	計
2 - 4	3317	1043	289	5009

したがって、1 年間の総出現回数はつぎのようにして求めることができる。

いま、観測波群の波高の分布が Rayley 分布で、 $H_{1/3} = 1.60 \bar{H}$ ($\bar{H}$: 平均波高) とすると、 H_k と H_{k+1} の間の波数は次式で求められる。

$$M_{kj} = N_{ij} \cdot n_j \cdot \{ \text{Pi}(H_k) - \text{Pi}(H_{k+1}) \}$$

ここで、

$$\begin{aligned} \text{Pi}(H) &= \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H}{H_{1/3}} \right)^2 \right] \\ &= \exp \left[-2.011 \frac{H^2}{(H_{1/3})^2} \right] \end{aligned}$$

であり、 N_{ij} は 1 年間の出現回数で、 $N_{ij} = \text{出現回数} \times 1/3$ であるから

$H_{1/3}$	0.3 m	0.8 m	1.2 m
N_{ij}	1106	468	96

である。また、 n_j は観測時間間隔 t_0 における波数で、

$$t_0 = \frac{3 \times 365 \times 24}{5405} = 4.86 \text{ 時間}$$

また、平均周期 $\bar{T}_j$ を

$$\bar{T}_j = \frac{(\bar{T}_{1/3})_j}{1.1} = \frac{3.0}{1.1} = 2.73 \text{ sec}$$

とすると、

$$n_j = \frac{t_0}{\bar{T}_j} = \frac{4.86 \times 3600}{2.73} = 6409$$

となる。

$\text{Pi}(H_k)$ 、及び $\text{Pi}(H_k) - \text{Pi}(H_{k+1})$ の計算値は表-3.4 に示すとおりであるから、1 年間の総出現回数 M_{kj} は各バンドに対して、表-3.5 のようになる。

表- 3.4

$H_{1/3}$	0.3 m		0.8 m		1.2 m	
	$P_i(\%)$	$\Delta P_i(\%)$	$P_i(\%)$	$\Delta P_i(\%)$	$P_i(\%)$	$\Delta P_i(\%)$
H = 0.m	1.000		1.000		1.000	
0.5	0.004	0.996	0.456	0.544	0.705	0.295
1.0	0	0.004	0.043	0.413	0.247	0.458
1.5	0	0	0.001	0.042	0.043	0.204
2.0	0	0	0	0.001	0.004	0.039
2.5	0	0	0	0	0.0002	0.0038
3.0		0		0		0.0002

表- 3.5 1年間の総出現回数

H	$H_{1/3}$	0.3 m	0.8 m	1.2 m	ΣM_{Kj}
0 - 0.5 m		7060000	1642000	182000	8.9×10^6
0.5 - 1.0		28400	1239000	282000	1.5×10^6
1.0 - 1.5		0	126000	126000	2.5×10^5
1.5 - 2.0		0	3000	24000	2.7×10^4
2.0 - 2.5		0	0	2300	2.3×10^3
2.5 - 3.0		0	0	123	1.2×10^2

(2) 等価繰返し回数 (Nd)

等価繰返し回数とは、構造物の耐用期間中に作用すると考えられる任意の大きさの荷重の載荷による疲労が、その部材に設計荷重を繰返し載荷した場合の疲労に等しいときの設計荷重の繰返し載荷数をいう。

構造物の耐用期間中に P_i なる荷重が N_i 回作用するとき、設計荷重 P_d に対応する等価繰返し回数 N_d は次式によって求められる。

$$N_d = \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{P_d} \right)^K N_i$$

ここで、 K : S-N曲線の勾配 (0.18)

いま、構造物の耐用年数を50年とすると、波力による荷重と耐用期間中の繰返し回数との関係は波高別に次表のようになる。

波 高 H(m)	M_{wj} (T.P.-23.0)	M_{wv} (T.P.-30.0)	ΣM_{Kj}	Ni
0.5	310	410	8.9×10^6	4.5×10^8
1.0	610	810	1.5×10^6	7.5×10^7
1.5	980	1290	2.5×10^5	1.3×10^7
2.0	1420	1870	2.7×10^4	1.4×10^6

したがって、破断継手位置における等価繰返し回数は、破断継手の設計荷重を地震時 5896 t・m と
して、

$$\begin{aligned}
 Nd &= \left(\frac{310}{5896} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 4.5 \times 10^8 + \left(\frac{610}{5896} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 7.5 \times 10^7 \\
 &\quad + \left(\frac{980}{5896} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 1.3 \times 10^7 + \left(\frac{1420}{5896} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 1.4 \times 10^6 \\
 &= \left(\frac{980}{5896} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 1.3 \times 10^7 + \left(\frac{1420}{5896} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 1.4 \times 10^6 \\
 &= 36 + 259 + 624 + 528 = 1447 \text{ 回}
 \end{aligned}$$

また、換気塔を介して換気所に伝えられる最大モーメントは、破断継手が破断するときのモーメントに対応しているから

$$M_{\max} = 1473 \times 30 = 44190 \text{ t・m}$$

となり、等価繰返し回数は

$$\begin{aligned}
 Nd &= \left(\frac{410}{44200} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 4.5 \times 10^8 + \left(\frac{810}{44200} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 7.5 \times 10^7 \\
 &\quad + \left(\frac{1290}{44200} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 1.3 \times 10^7 + \left(\frac{1870}{44200} \right)^{\frac{1}{0.18}} \times 1.4 \times 10^6 \\
 &= 0 + 0.02 + 0.04 + 0.03 = 0.09 \text{ 回}
 \end{aligned}$$

疲労強度の低下は等価繰返し回数が 10^3 回を上回るときに現われることから、疲労の影響を考慮するのは破断継手のみでよいことになる。

3.4 管の設計

換気塔の構造部材のうちの管を、T.P.-30 mの断面で設計する。最大の外力は、破断継手が破壊するときの荷重、すなわち、船舶衝突時の最大曲げモーメント及びせん断力であるから、それぞれ、

$$S = 1473 \text{ t}, \quad M = 33874 + 1473 \times (30.0 - 23.0) = 44200 \text{ t・m}$$

いま、管の内径を 47 mm、管を厚さ 40 mm の SM 50 材、リブを 500 × 32 の SM 50 材とすると、断面二次モーメントは、

$$\begin{aligned}
 \text{管} : I_t &= \frac{\pi}{64} [(478)^4 - (470)^4] = 1.67 \times 10^8 \text{ cm}^4 \\
 \text{リブ} : I_r &= \{ 4 \times 50 \times 3.2 \times (256.5)^2 + 4 \times 2 \times 15 \times 3.2 \times (274)^2 \} \times \sum_{n=1}^7 \sin 12n = 2.48 \times 10^8 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

計 : $I_x = 4.15 \times 10^8 \text{ cm}^4$

また、断面積は、

管 : $A_t = \frac{\pi}{4} [(478)^2 - (470)^2] = 5956 \text{ cm}^2$

リブ : $A_r = 28 \times 50 \times 3.2 + 28 \times 2 \times 15 \times 3.2 = 7168 \text{ cm}^2$

計 : $A = 13124 \text{ cm}^2$

したがって、応力度は自重と衝突荷重を重ね合わせて、

管 : $\sigma = \frac{1000 \times 10^3}{13124} \pm \frac{44200 \times 10^5}{4.15 \times 10^8} \times 239 = \begin{cases} -2621 \text{ kg/cm}^2 \\ +2469 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} < \pm 3230$

$= 1900 \times 1.7 = \sigma_a$

$\tau = \frac{1473 \times 10^3}{5956} = 247 \text{ kg/cm}^2 < 1870 = 1100 \times 1.7 = \tau_a$

リブ : $\sigma = -\frac{1000 \times 10^3}{13124} \pm \frac{44200 \times 10^5}{4.15 \times 10^8} \times 289 = \begin{cases} -3155 \text{ kg/cm}^2 \\ +3002 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} < 3230$

$= 1900 \times 1.7 = \sigma_a$

また、水圧に対して

管 : $\sigma = \frac{-3.09 \times 300}{1 \times 4} = -232 \text{ kg/cm}^2 < 3230 = \sigma_a$

したがって、管に対するこれらの合成応力に対しては、道路橋示方書によって、

$(\frac{-232}{3230})^2 - (\frac{-232}{3230})(\frac{2469}{3230}) + (\frac{2469}{3230})^2 + (\frac{247}{1870})^2 = 0.66 < 1.2$

となり、示方を満足する。

他の断面、T.P. - 23 m、及び T.P. - 15 mの断面についても、同様の計算によって応力度の検討を行い設計することができるので、計算は省略する。

3.5 リングビームの設計

リングビームは静水圧に対して設計する。T.P. - 30 mの位置における水圧は 30.9 t/m^2 であるから、いま、リングビームを図-3.3に示すような構造とすると、リングビームにかかる荷重は

$Q = q \cdot r \cdot \ell = 30.9 \times 3.0 \times 3.0 = 278 \text{ t}$

となり、リングビームの諸元はつぎのようになる。

	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$y \text{ (t} \cdot \text{m)}$	Ay	Ay^2
1 - P 1. 250 × 12	30.0	30.1	-903	27200
1 - P 1. 590 × 9	53.1	10.0	531	15400
1 - P 1. 960 × 40	384.0	31.5	12096	381024
計	467.1		11193	423624
$e_y = \frac{11193}{467.1} = 23.96$			$-Ae_y^2 = -268154$	
$A_n = 467.1 - 0.9 \times 40.0 = 431.1 \text{ m}^2$			$I = 155470$	

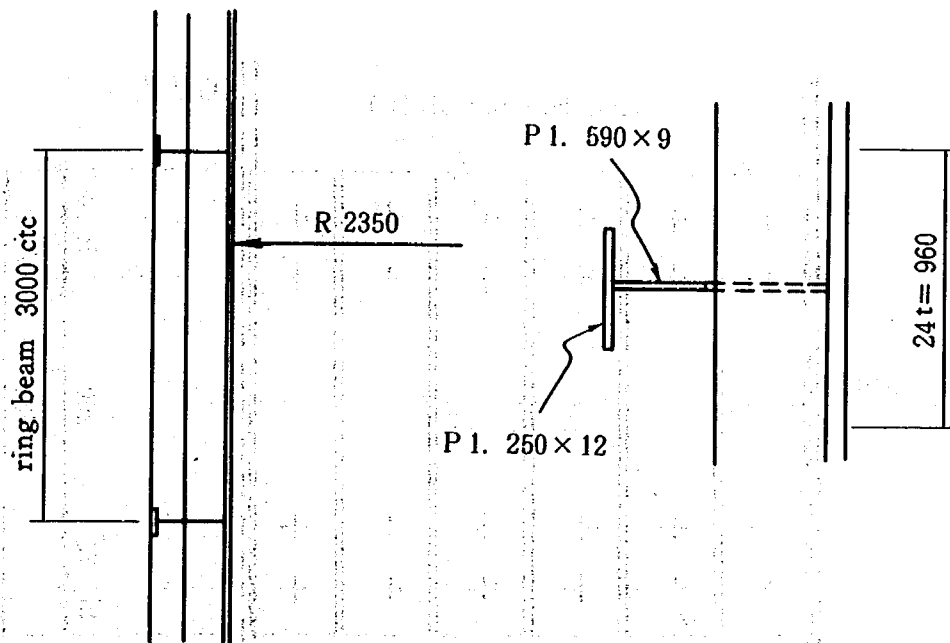


図-3.3 リングビーム

したがって、軸方向圧縮力は

$$\sigma = \frac{278 \times 10^3}{431.1} = 645 \text{ kg/cm}^2 < 1400 = \sigma_a \text{ for SM 41}$$

また、リングビームの等分布荷重に対する座屈荷重は

$$q_{cr} = \frac{3EI}{r^3}$$

で与えられるから、

$$q_{cr} = \frac{3 \times 2.1 \times 10^6 \times 155470}{(300)^3} = 36276 \text{ kg/cm}^2 = 3628 \text{ t/m} > q$$

となり安定である。

3.6 破断継手の設計

破断継手位置における縦リブの間隔は 12° であるから、継手板を図-3.4のように設計する。

継手ボルトの断面二次モーメントは、継手板1対あたりのセン断面を m として、

$$\begin{aligned} \sum y^2 &= 4m \sum_{k=1}^{45} \left(r \sin k \cdot \frac{2\pi}{180} \right)^2 \\ &= 4mr^2 \sum_{k=1}^{45} \left[\frac{1 - \cos 2k \left(\frac{2\pi}{180} \right)}{2} \right] \\ &= 4mr^2 \cdot \frac{45}{2} = 2 \times 4 \times (235)^2 \times 45 = 19.88 \times 10^6 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

[3.6.3.1] 継手板の断面二次モーメントは、図-3.4に示す継手板の断面二次モーメントを m とし、

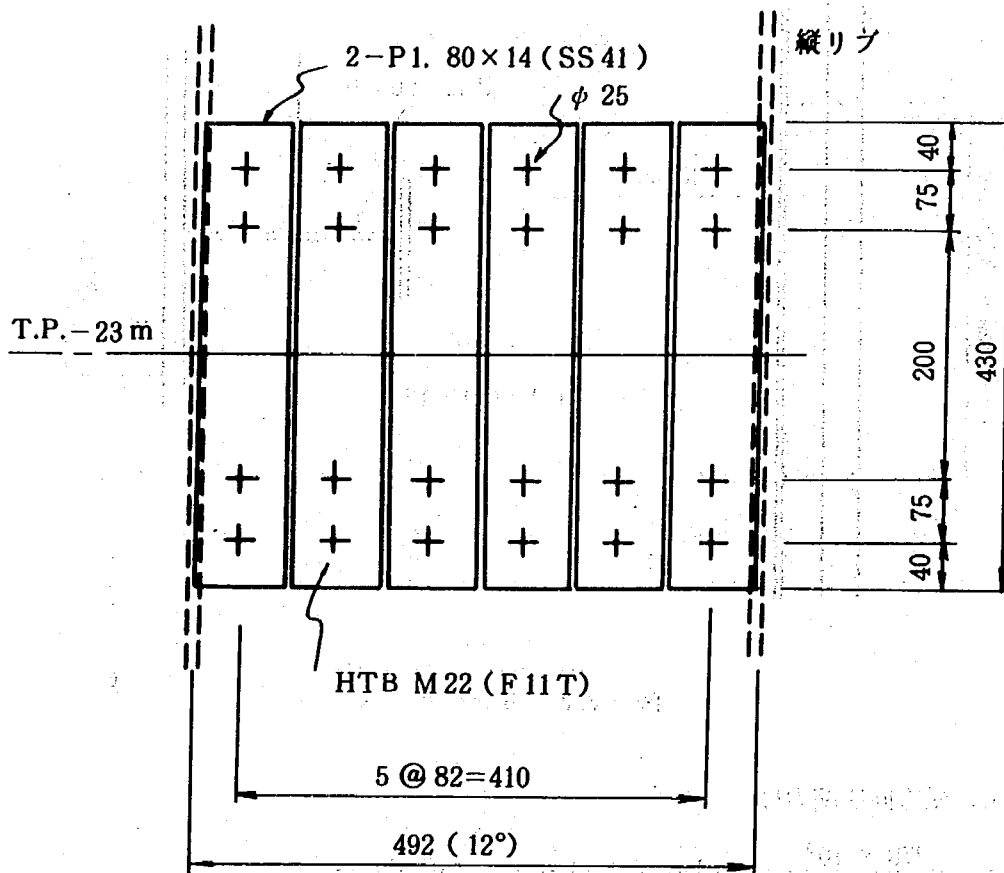


図- 3.4 破断継手

(3) 許容応力範囲

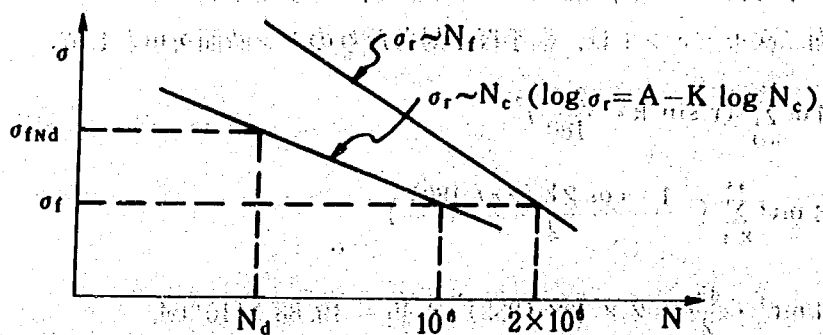
任意の繰返し回数 N_d に対する疲労度 N_f は次式で表わせる。

$$\sigma_{fNd} = \sigma_f \left[\frac{10^6}{N_d} \right]^K$$

σ_f : 基本疲労強度

(σ_f が 10^6 回作用したときの亀裂発生確率が5%であることを目標にした値)

K : $\sigma_r - N_c$ 線図の勾配



[$\sigma_r \sim N_f$ 図の 2×10^6 回に相当する強度が $\sigma_r \sim N_c$ 図の 10^6 回の強度に等しいと仮定]

つぎに、許容応力範囲を、日本鋼構造協会疲労設計指針（案）から、

$$\sigma_{al} = \frac{\sigma_f N_d}{\alpha_w \alpha_r \alpha_s} = \frac{\sigma_f}{\alpha_w \alpha_r \alpha_s} \left[\frac{10^6}{N_d} \right]^K$$

α_w : 重要度係数 (1.0 ~ 1.2)

α_r : 応力比係数

α_s : 信頼度係数

ここで、すべての係数を1とし、上記指針から $\sigma_f = 18 \text{ kg/cm}^2$ とすると継手の疲労許容応力度は

$$\sigma_{al} = \frac{18}{1.0} \times \left[\frac{10^6}{1447} \right]^{0.18} = 58$$

となるが、 $\sigma_{al} \geq \sigma_f$ 、すなわち $N_d \leq 10^6$ の場合には

$$\left[\frac{10^6}{N_d} \right]^{0.18} = 1$$

と考へて $\sigma_{al} = 1800 \text{ kg/cm}^2$ とする。

継手に作用する外力は、地震時のそれをとって、

$$S = 359 \text{ t}$$

$$M = 5869 \text{ t} \cdot \text{m}$$

であるから、縁ボルトのせん断力は

$$\rho = \frac{M}{\sum y^2} r = \frac{5869}{1988} \times 2.35 = 6.938 \text{ t}$$

となる。いま、高張力ボルト H.T.B. M 22 (F 11 T) を使用すると、

$$\rho_a = 5.09 \times 1.5 = 7.64 \text{ t} > \rho$$

となる。また、縁継手板の応力度は、

$$A_g = 8.0 \times 1.4 \times 2 = 22.4 \text{ cm}^2$$

$$A_n = (8.0 - 2.5) \times 1.4 \times 2 = 15.4 \text{ cm}^2$$

であるから、

$$\sigma = \frac{4\rho}{A_n} = \frac{4 \times 6.938}{15.4} = 1802 \text{ kg/cm}^2 \approx 1800 = \rho_a$$

$$\tau = \frac{S}{nA_g} = \frac{359 \times 10^3}{180 \times 22.4} = 89 \text{ kg/cm}^2 < 1200 = 800 \times 1.5 = \tau_a$$

3.7 破断継手の耐力

破断継手の継手板の寸法は図-3.4に示した。JISによるSS 41の最小降伏応力及び最大引張強度は、それぞれ、 25 kg/mm^2 、 55 kg/mm^2 であるから、引張りに対する継手板の降伏荷重及び耐力は、それぞれ

$$P_y = A_n \sigma_y = 15.4 \times 2.5 = 38.50 \text{ t}$$

$$P_B = A_n \sigma_B = 15.4 \times 5.2 = 80.08 \text{ t}$$

一方、圧縮に対する破壊は継手板の座屈、継手ボルトのせん断、管の座屈が考えられる。

溶接板の座屈荷重は $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 1.1 \times 10^6}{(1.4)^2} = 1.1 \times 10^6 \text{ kg}$

$$P_c = 2 \times \frac{\pi^2 EI}{\ell^2} = 2 \times \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6 \times 8.0 \times (1.4)^3}{(20)^2 \times 12} = 189.4 \text{ t}$$

また、継手ボルトのせん断は

$$\tau_B = \frac{\sigma_B}{\sqrt{3}} = \frac{110}{\sqrt{3}} = 63.5 \text{ kg/mm}^2$$

$$S = 4 A_e \tau_B$$

$$= 4 \times 380 \times 63.5 \times 10^{-3} = 96.5 \text{ t}$$

また、継手板 1 枚分の巾の管の圧縮抵抗力は

$$P_c = 8.2 \times 4.0 \times 6.2 = 203.4 \text{ t}$$

したがって、破断継手部の圧縮部では継手板の座屈、継手ボルトのせん断管の座屈の順に抵抗が大きくなり、圧縮域の抵抗力は $203.4 \text{ t}/82 \text{ mm}^2$ と考えられる。

したがって、破断継手の耐力は、引張域での継手板の引張強度と圧縮域での管の座屈強度によって決定される。いま、引張域のすべての継手板が引張強度に達し、圧縮域の管が座屈強度に達しているとすると、その荷重状態は図-3.5 のようになる。

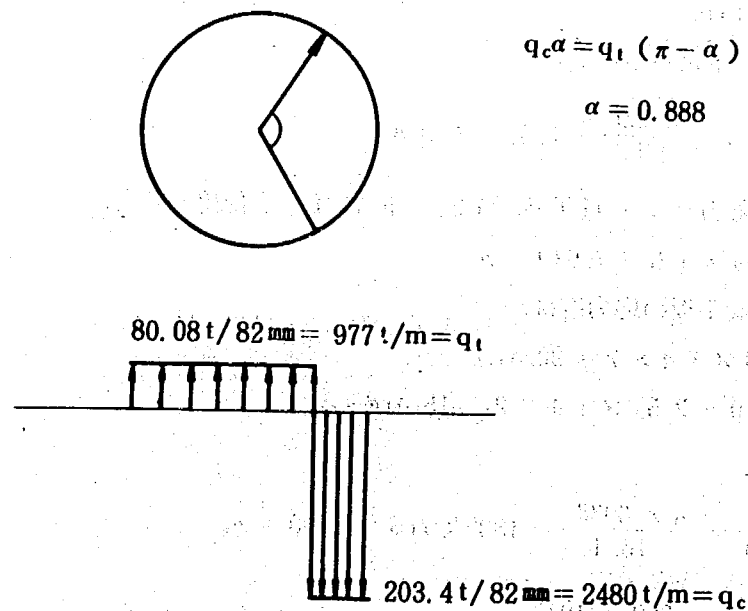


図-3.5 破断継手の荷重分布

いま、簡単のため、図に示すように、圧縮域、引張域とも等分布応力が働いているものとする、破断継手の抵抗モーメントは)

$$Mu = 2 r \alpha q_c (e_c + e_t)$$

$$= 2 r \alpha q_c \left(\frac{\int_0^\alpha r^2 \cos \theta d\theta}{r \alpha} + \frac{\int_0^{\pi-\alpha} r^2 \cos \theta d\theta}{r (\pi - \alpha)} \right)$$

$$= 2 \times 2.35 \times 0.888 \times 2480 \times (2.053 + 0.809) = 29600 \text{ t} \cdot \text{m}$$

となる。

しかしながら、設計図に示すように、管にはコンクリートが充填されているため、圧縮部では破壊が生じないで、継手板がすべて引張域にはいることが考えられ、これが最も危険側の耐力を与えることになる。すなわち、

$$\begin{aligned} Mu &= n \cdot p \cdot r \\ &= 180 \times 80.08 \times 2.35 = 33874 \text{ t} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

となり、T.P. ± 0 mにおける換算水平力は

$$Fu = \frac{33874}{23.0} = 1473 \text{ t}$$

となる。

3.8 施工継手の設計

施工継手 (T.P. -28 m) は破断継手の耐力に対して設計する。したがって、船舶衝突時の荷重を設計荷重として

$$S = 1473 \text{ t}$$

$$M = 33874 + 1473 \times (28.0 - 23.0) = 41240 \text{ t} \cdot \text{m}$$

をとる。

いま、継手部を図-3.6のように設計すると、継手ボルトのセン断面の断面二次モーメントは

$$\sum y^2 = \frac{1}{2} \times 30 \times 2 \times 60 \times (235)^2 = 9.94 \times 10^7 \text{ cm}^4$$

であるから、縁ボルトのセン断力は

$$\rho = \frac{41240 \times 10^6}{9.94 \times 10^7} \times 235 = 9750 \text{ kg} < 5910 \times 1.7 = 10047 = \rho_a$$

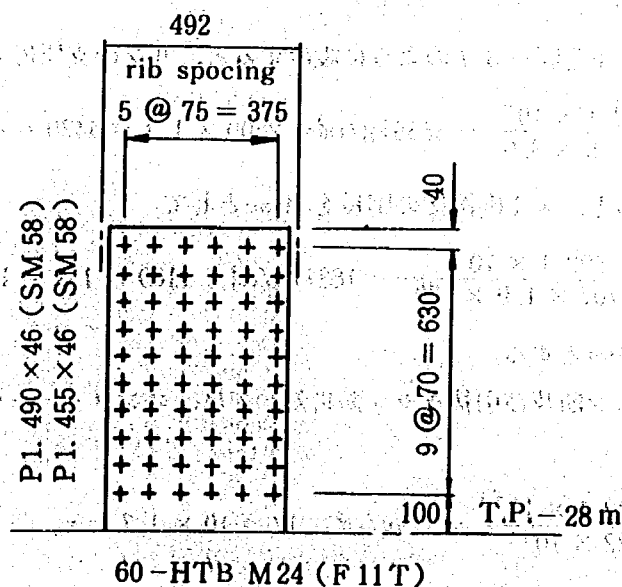


図-3.6 施工継手

また、縁添接板の応力は

$$\rho = \frac{9750 \times 60}{(45.5 - 2.7 \times 6) \times 4.6} = 4340 < 4420 = 2600 \times 1.7 = \rho_a$$

継手部の母材は $t = 50$ (SM 58) を使用する。

$$1900 \times 4.0 \times 49.2 = 374 \times 10^3 < 2600 \times 5.0 \times (49.2 - 2.7 \times 6) = 429 \times 10^3$$

3.9 アンカー部の設計

換気塔のアンカー部の設計外力は、表-3.2 から

$$S = 1473 \text{ t}$$

$$M = 33874 + 1473 \times (30 - 23) = 44200 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$V = 1000 \text{ t}$$

アンカーボルトは、S 35 CN の径 150 mm のものを 12° 間隔で、 $r = 2550$ 及び 2800 の位置にダブル設置すると、

$$n = 60 \text{ 本}$$

$$A = 60 \times \frac{\pi}{4} \times (15.0)^2 = 60 \times 176.7 \text{ cm}^2$$

$$\Sigma y^2 = \frac{1}{2} \times 30 \times [(2.55)^2 + (2.80)^2] = 215.1 \text{ m}^2$$

したがって、縁ボルトの軸力は

$$P = \frac{w}{n} \pm \frac{M}{\Sigma y^2} y = \frac{-1000}{60} \pm \frac{44200}{215.1} \times 2.8 = \begin{cases} -592.1 \text{ t} \\ +558.7 \text{ t} \end{cases}$$

ボルトの応力は

$$\sigma = \frac{558.7 \times 10^3}{176.7} = 3162 \text{ kg/cm}^2 < 3230 = \sigma_a$$

また、アンカーボルト座を図-3.7 のように設計すると、リブの支圧応力は、

$$\sigma_b = \frac{592.1 \times 10^3}{2 \times 22.5 \times 3.6} = 3655 \text{ kg/cm}^2 < 2600 \times 1.7 = 4420 = \sigma_{ba}$$

リブ高を 120 cm とすると、スミ肉溶接の脚長を 19 mm として

$$\sigma = \frac{2 \times 592.1 \times 10^3}{4 \times 0.707 \times 1.9 \times 120} = 1837 \text{ kg/cm}^2 < 1100 \times 1.7 = 1870 = \tau_a$$

となるのでリブ高を 120 cm とする。

アンカー部の押抜きせん断及び引抜きせん断に対しては、コンクリート強度を $\sigma_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ とすると、

$$\tau = \frac{2 \times 592.1 \times 10^3}{3.822 \times 10^4} = 31 \text{ kg/cm}^2 > 17 = 10 \times 1.7 = \tau_a$$

$$\tau = \frac{2 \times 558.7 \times 10^3}{3.822 \times 10^4} = 29 \text{ kg/cm}^2 > \tau_a$$

となり、押抜きに対しても引抜きに対しても、斜引張セン断に対する斜引張鉄筋が必要となるが、ここでは、その計算を省略する。

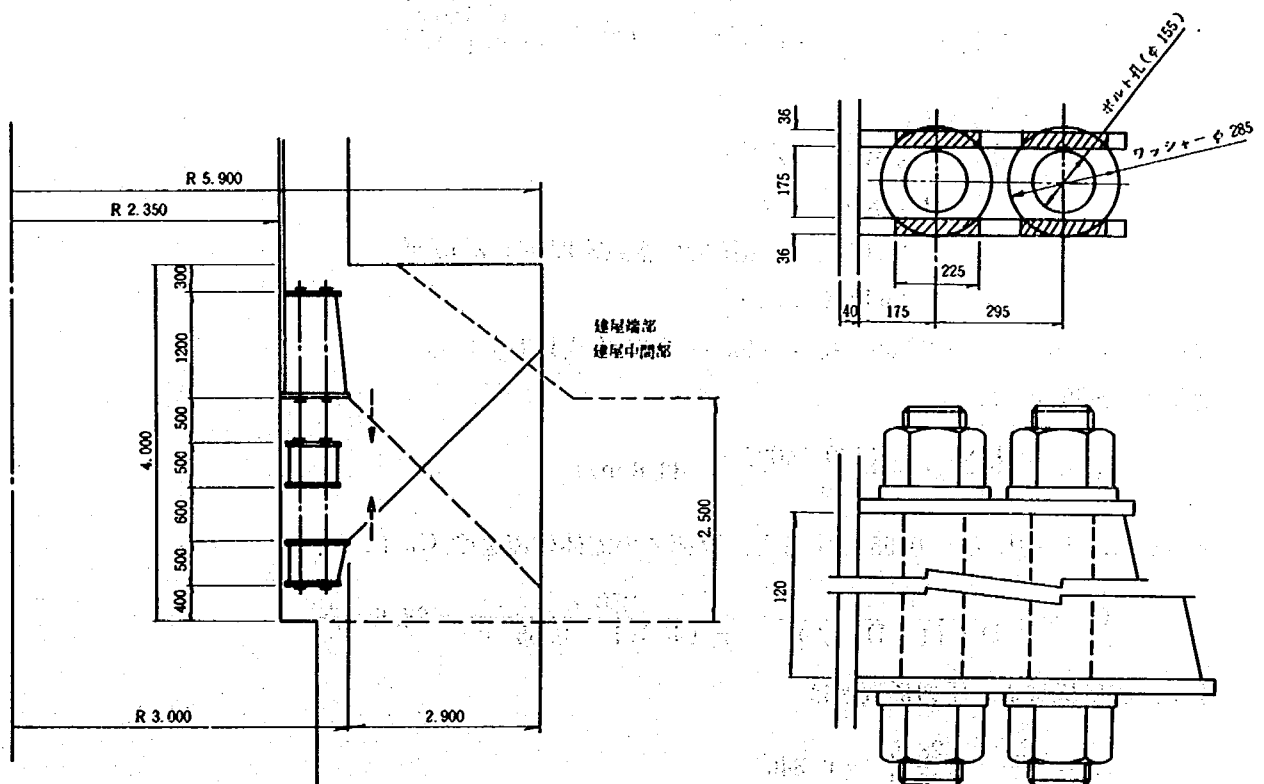


図-3.7 換気塔アンカー

4. 換気所の構造検討

4.1 送排風機の概略設計

図-3.1に示したように、1本の換気塔に2台の換気機を入れて送排気を行うとすると、1台の換気機の風量は約250 m³/sで全風圧は約100 mmAqとなるから、換気機の吸込み風速を20 mとするとその口径は4000 mmとなる。したがって回転数を400 rpmとすると、比速度 N_s は

$$N_s = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{(P/r)^{3/4}} = 400 \times \frac{\sqrt{15000}}{(100/1.2)^{3/4}} \\ = 1776$$

ここに、 Q : 風量 (m³/min)

H : 水頭 = P/r

r : 20℃, 1気圧での空気密度 = 1.2 kg/m³

N : 回転数 (rpm)

となり、軸流送風機の適用範囲 $N_s = 1400 \sim 1800$ を満足している。

動翼先端速度 u_0 は

$$u_0 = \frac{\pi D_0 N}{60} = \frac{\pi (4.0)(400)}{60} = 83.8 \text{ m/s}$$

であるから、ボス比 $D = 0.55$ とすると、翼部での流体軸流速度 C_m は

$$C_m = \frac{Q}{\pi D_0^2 (1 - D^2)/4} = \frac{250 \times 4}{\pi (4^2)(1 - 0.55^2)} = 28.5 \text{ m/s}$$

また、流量係数 ϕ 、圧力係数 ψ は

$$\phi = \frac{C_m}{u_0} = \frac{28.5}{83.8} = 0.340$$

$$\psi = \frac{H}{u_0^2/2g} = \frac{100}{1.2 \cdot \frac{2(9.8)}{83.8^2}} = 0.233$$

であるが、これらの数値は軸流送風機の並列運転に対する条件を満足している。

容積効率 η_v は動翼先端とケーシングのギャップ h_c によって決められ、 h_c/h ($h = (D_0 - D_1)/2$) が 0.02 以下の場合効率低下はほとんどないが、いま、 $h_c = 7 \text{ mm}$ とすると

$$\alpha \frac{h_c}{h} = \frac{7}{900} \times 1.5 = 0.012 \quad (\alpha : \text{加工安全率})$$

で2%以下であるので、実験値から $\eta_v = 0.975$ とする。

動翼、静翼を含むハネ効率 η_b は生井の図表から、 $\phi = 0.340$ 、 $\psi = 0.233$ 、 $D = 0.55$ に対し、 $\eta_b = 0.91$ である。

送風機管路の圧力損失 ΔP は、吸込み口損失 ΔP_1 とボス部損失の和として求められるから、吸込み損失係数を0.03、異形管部を含んだ2重円筒の損失係数を0.25とすると

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 \\ = \frac{\sigma}{2} V^2 (\xi_1 + \xi_2) = \frac{0.1224}{2} (19.9)^2 (0.03 + 0.25) = 6.79 \text{ mmAq}$$

となる。

断熱効率 η_{ad} はハネ効率と圧力損失から

$$\eta_{ad} = \eta_b \cdot \frac{P}{P + \Delta P} = 0.91 \cdot \frac{100}{100 + 6.79} = 0.852$$

軸受け、歯車等による損失を表わす機械効率 η_m は 0.97 とする。

したがって、送風機の効率 η は

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_{ad} \cdot \eta_m = (0.975)(0.852)(0.97) = 0.81$$

となり、送風機軸動力 S'_{kw} は

$$S'_{kw} = \frac{A_{kw}}{\eta} = \frac{QP}{102 \eta} = \frac{(250)(100)}{(102)(0.81)} = 303 \text{ KW at } 20^\circ\text{C}$$

通気温度が 0°C のときは

$$S_{kw} = S'_{kw} \frac{273 + t}{273} = 303 \frac{273 + 20}{273} = 325 \text{ KW}$$

となるが、軸動力には通常 10% の安全を見込むので、ここでは 360 KW を所要軸動力とする。

低速回転時 (300 rpm) のときの軸動力は 5% の効率低下を見込んで

$$S_{kw} = 360 \times \left(\frac{300}{400}\right)^3 \times 1.05 = 160 \text{ KW}$$

したがって、換気機の仕様はつぎのようになる。

形 式	横型歯車減速、電動機内装軸流送風機
口 径	4000 mm
風 量	250 m ³ /s
全風圧	100 mmAq (20°C)
回転数	400/300 rpm
電動機出力	360/160 Kw
電動機極数	6/8 P
電動機周波数	50 Hz

4.2 換気所の構造検討

換気所に設置する換気機は、1本の換気塔に対して2台設置するため、換気塔1本あたりのトンネル軸方向の巾は約 12 m となるので、以下の計算は 12 m を奥行きとして行なう。

いま、換気所断面を図-4.1に示すようなラーメン構造とした部材の諸元を計算すると表-4.1のようになる。

換気所函体周辺の地盤の支承条件をバネとみなして、鉛直地盤反力係数 (K_v)、水平方向せん断バネ定数 (K_s)、及び水平地盤反力係数の3つを考える。

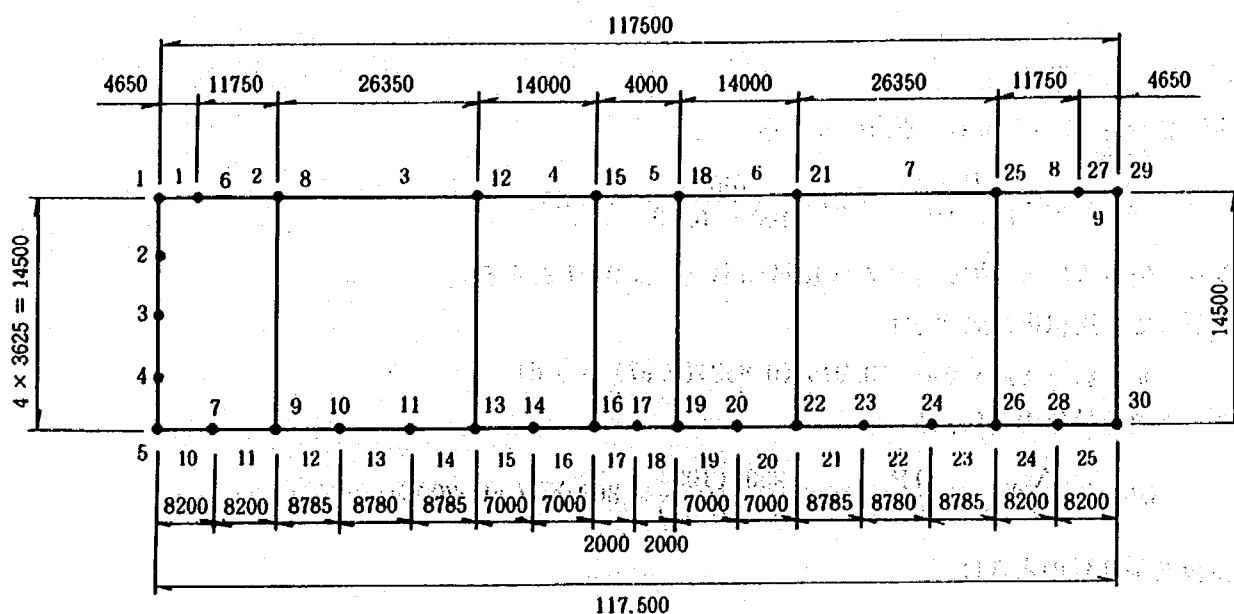


図-4.1 換気所断面寸法 (mm)

表-4.1 各部材の諸元

№	節 点	b (m)	h (m)	I (m ⁴)	A (m ²)	№	節 点	b (m)	h (m)	I (m ⁴)	A (m ²)
①	1-6	12.0	5.4	157.5	64.8	⑲	19-20	12.0	2.5	15.6	30.0
②	6-8	"	"	"	"	⑳	20-22	"	"	"	"
③	8-12	"	2.5	15.6	30.0	㉑	22-23	"	"	"	"
④	12-15	"	"	"	"	㉒	23-24	"	"	"	"
⑤	15-18	"	"	"	"	㉓	24-26	"	"	"	"
⑥	18-21	"	"	"	"	㉔	26-28	"	"	"	"
⑦	21-25	"	"	"	"	㉕	28-30	"	"	"	"
⑧	25-27	"	5.4	157.5	64.8	㉖	1-2	"	5.4	157.5	64.8
⑨	27-29	"	"	"	"	㉗	2-3	"	"	"	"
⑩	5-7	"	2.5	15.6	30.0	㉘	3-4	"	"	"	"
⑪	7-9	"	"	"	"	㉙	4-5	"	"	"	"
⑫	9-10	"	"	"	"	㉚	29-30	"	"	"	"
⑬	10-11	"	"	"	"	㉛	8-9	"	1.5	3.4	18.0
⑭	11-13	"	"	"	"	㉜	25-26	"	1.5	"	"
⑮	13-14	"	"	"	"	㉝	12-13	"	0.7	0.34	8.4
⑯	14-16	"	"	"	"	㉞	21-22	"	"	"	"
⑰	16-17	"	"	"	"	㉟	15-16	"	"	"	"
⑱	17-19	"	"	"	"	㊱	18-19	"	"	"	"

コンクリートの弾性係数 $E_c = 3.0 \times 10^4 \text{ t/m}^2$ ($\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$)

線膨張係数 $\epsilon = 1.0 \times 10^{-5}$

(1) 鉛直地盤反力係数 (K_v)

$$K_{v0} = \frac{1}{30} \alpha E_0 = \frac{1}{30} \times 8 \times 10 = 2.67 \text{ kg/cm}^3$$

$$K_v = 12.8 K_{v0} B_v = 12.8 \times 2.67 \times 3795 = 0.071 \text{ kg/cm}^3 = 71 \text{ t/m}^2$$

$$B_v = \sqrt{A_v} = \sqrt{120 \times 12} = 37.95 \text{ m} = 3795 \text{ cm}$$

A_v : 換気所断面積

(2) 水平方向せん断バネ定数 (K_s)

$$K_s = \frac{1}{3} K_v = \frac{1}{3} \times 71 = 23.7 \text{ t/m}^2$$

(3) 水平方向地盤反力係数 (K_H)

埋戻し土の内部摩擦角 ϕ 35° , 単位体積重量を 2.0 t/m^3 とすると,

$$\sigma'_v = (2.0 - 1.03)z = 0.97z$$

$$\tau_f = \frac{1 + 0.5}{2} \times 0.97z \sin \phi = 0.417z \text{ t/m}^2$$

$$E_H = 100 \tau_f = 41.7z$$

$$K_{H0} = \frac{1}{30} \times 8 \times 41.7z \times \frac{1}{10} = 1.11z \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$K_H = 12.8 K_{H0} B_H^{-\frac{3}{4}} = 12.8 \times 1.11z \times 1428^{-\frac{3}{4}} = 0.061 = 61z \text{ t/m}^2$$

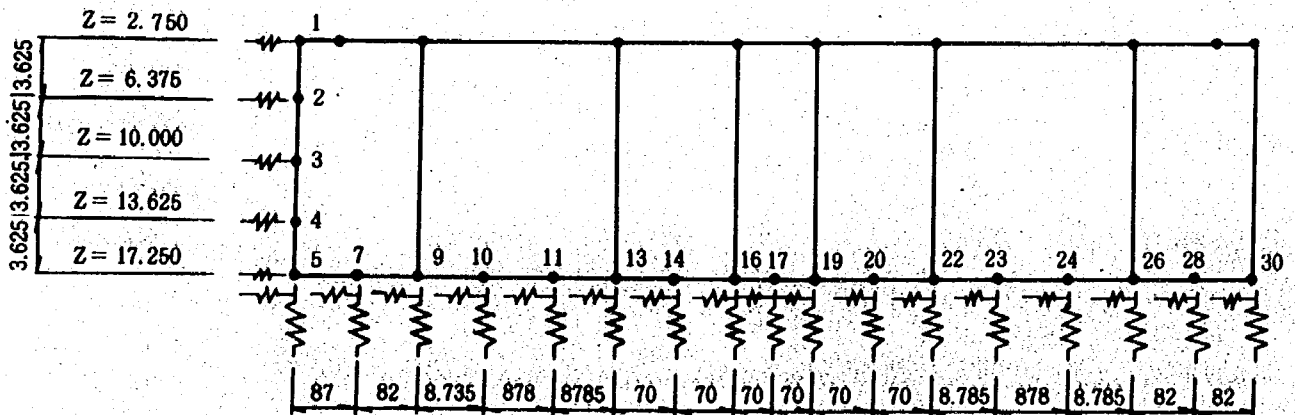
B_H : 函体端面の面積 ($17 \text{ m} \times 12 \text{ m}$) の平方根

したがって, 各節点のバネ定数は表-4.2 のようになる。

24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160	164	168	172	176	180	184	188	192	196	200	204	208	212	216	220	224	228	232	236	240	244	248	252	256	260	264	268	272	276	280	284	288	292	296	300	304	308	312	316	320	324	328	332	336	340	344	348	352	356	360	364	368	372	376	380	384	388	392	396	400	404	408	412	416	420	424	428	432	436	440	444	448	452	456	460	464	468	472	476	480	484	488	492	496	500	504	508	512	516	520	524	528	532	536	540	544	548	552	556	560	564	568	572	576	580	584	588	592	596	600	604	608	612	616	620	624	628	632	636	640	644	648	652	656	660	664	668	672	676	680	684	688	692	696	700	704	708	712	716	720	724	728	732	736	740	744	748	752	756	760	764	768	772	776	780	784	788	792	796	800	804	808	812	816	820	824	828	832	836	840	844	848	852	856	860	864	868	872	876	880	884	888	892	896	900	904	908	912	916	920	924	928	932	936	940	944	948	952	956	960	964	968	972	976	980	984	988	992	996	1000
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

表-4.2 各節点のバネ定数

支持	Z (m)	Z (m)	鉛直バネ(t/m)	せん断バネ(t/m)	水平バネ(t/m)	備 考
1	21.750	2.750	—	—	3649.	水平バネは衝突時のみにかかる。
2	43.500	6.375	—	—	16916.	〃
3	〃	10.000	—	—	26535.	〃
4	〃	13.625	—	—	36154.	〃
5	21.750 49.200	17.250	3493.	1166.	22886.	$K_H = 24052$
7	98.400	〃	6986.	2332.	—	
9	101.910	〃	7236.	2415.	—	
10	105.390	〃	7483.	2498.	—	
11	〃	〃	7483.	2498.	—	
13	94.710	〃	6724.	2245.	—	
14	84.000	〃	5964.	1991.	—	
16	54.000	〃	3834.	1280.	—	
17	24.000	〃	1704.	569.	—	
19	54.000	〃	3834.	1280.	—	
20	84.000	〃	5964.	1991.	—	
22	94.710	〃	6724.	2245.	—	
23	105.390	〃	7483.	2498.	—	
24	〃	〃	7483.	2498.	—	
26	101.910	〃	7236.	2415.	—	
28	98.400	〃	6986.	2332.	—	
30	49.200	〃	3493.	1166.	—	



一方、ラーメンにかかる荷重はつぎのとおりである。

1) 死荷重

換気塔

1000 t/基

頂版上載土 $0.8 \text{ t/m}^2 \times 1.5 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 14.4 \text{ t/m}$

軀体 $1.13 \text{ t/m}^2 \times 17 \text{ m} \times \frac{1}{2} \times 12 \text{ m} = 115.3 \text{ t/m}$

$q_1 = 129.7 \text{ t/m}$

底版軀体 $1.13 \text{ t/m}^2 \times 17 \text{ m} \times \frac{1}{2} \times 12 \text{ m} = 115.3 \text{ t/m}$

バラスト $4000 \text{ t} \div (120 \text{ m} \times 70 \text{ m}) \times 12 \text{ m} = 5.7 \text{ t/m}$

$q_2 = 121.0 \text{ t/m}$

2) 水圧

$w_1 = 1.03 \text{ t/m}^2 \times 31.5 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 389.3 \text{ t/m}$

$w_2 = 1.03 \text{ t/m}^2 \times 48.5 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 599.5 \text{ t/m}$

3) 土圧 静止土圧係数 $K_0 = 0.5$ とする。

$p_1 = 0.5 \times (2.0 - 1.03) \text{ t/m}^2 \times 1.5 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 8.7 \text{ t/m}$

$p_2 = 0.5 \times (2.0 - 1.03) \text{ t/m}^2 \times 18.5 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 107.7 \text{ t/m}$

$p_3 = 0.5 \times (2.0 - 1.03) \text{ t/m}^2 \times 5.75 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 33.5 \text{ t/m}$

$p_4 = 0.5 \times (2.0 - 1.03) \text{ t/m}^2 \times 10.0 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 58.2 \text{ t/m}$

$p_5 = 0.5 \times (2.0 - 1.03) \text{ t/m}^2 \times 14.25 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 82.9 \text{ t/m}$

4) 衝突荷重

$H = 1473 \text{ t}$

$M = 1473 \times 31.5 = 46400 \text{ tm}$

コンクリートの弾性係数を $3.0 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ として解析すると、各部材の曲げモーメント、軸力、せん断力は図-4.3のようになる。

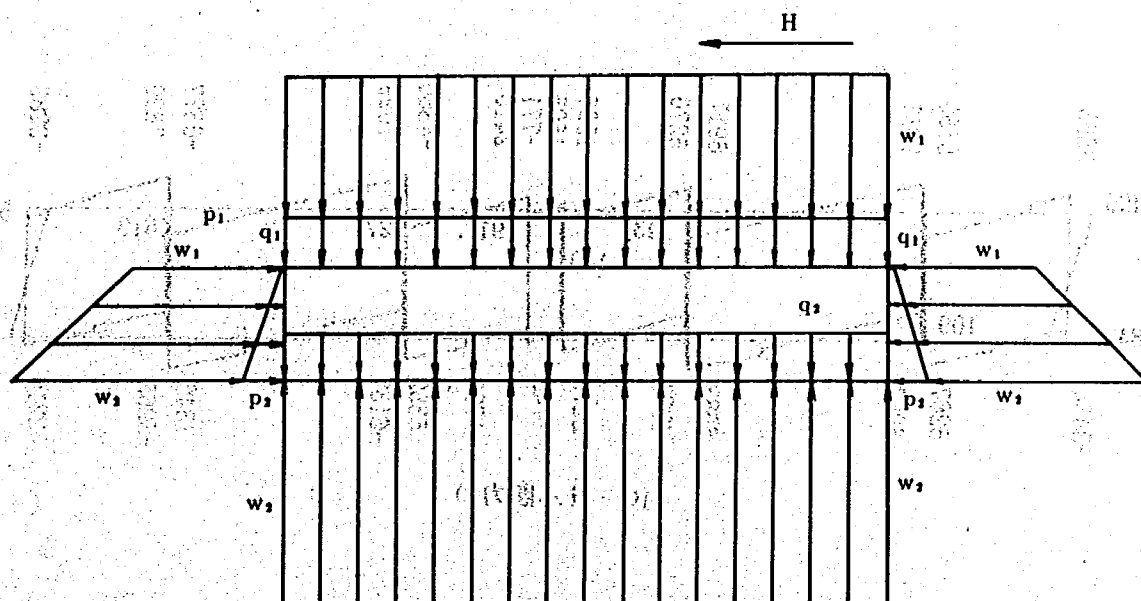


図-4.2 換気所函体にかかる力

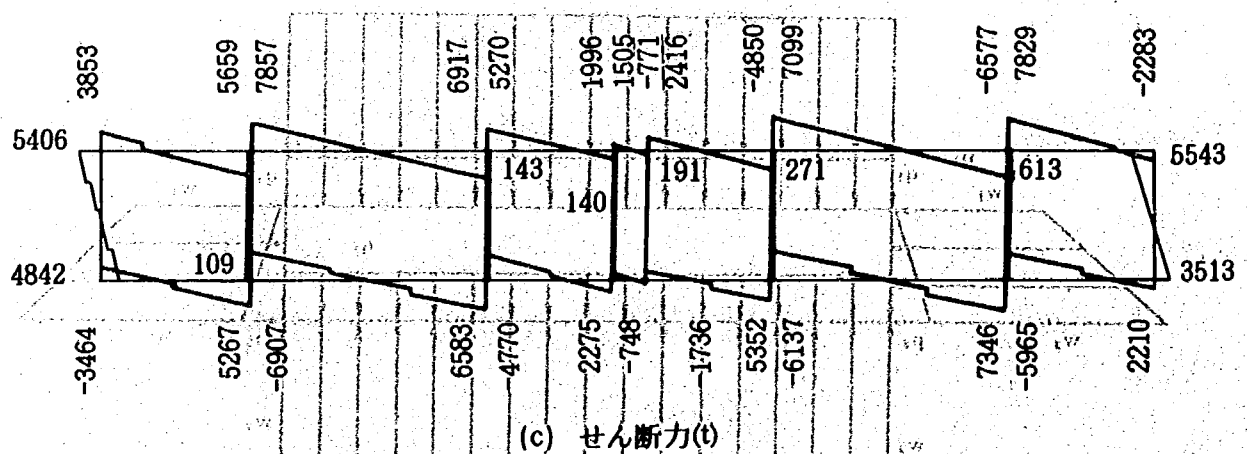
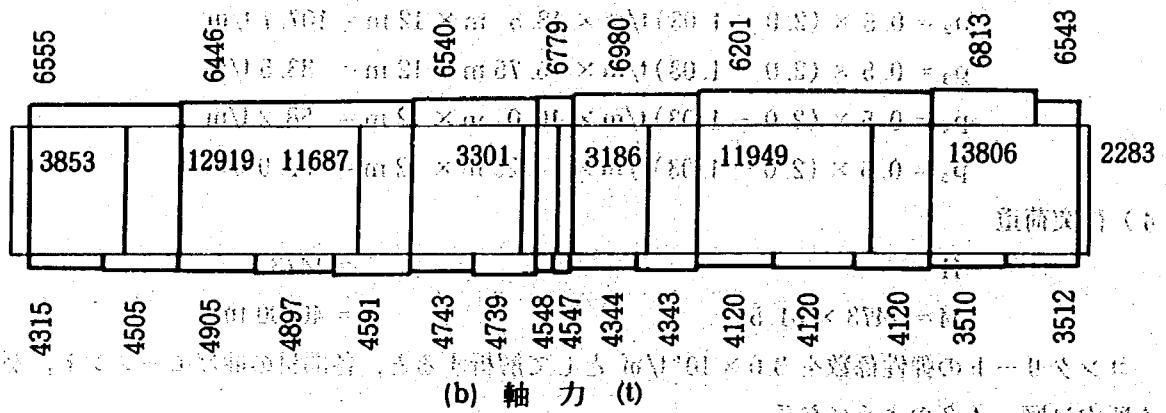
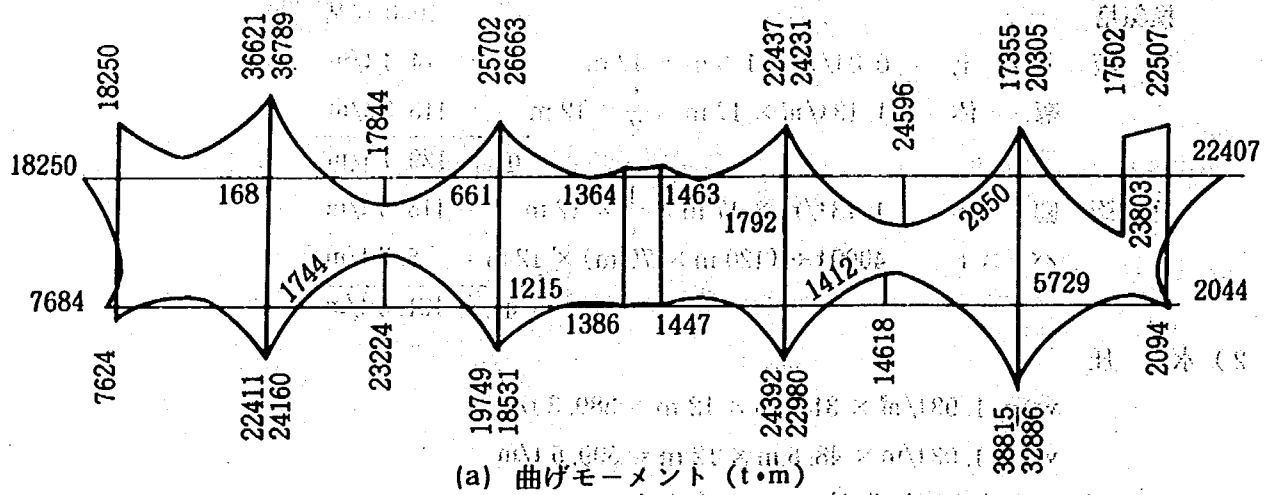


図4-31 換気所函体断面力図

4.3 換気所の安定検討

(1) 浮力に対する安定

換気塔を含めた換気所の総重量は 173,000t で、浮力は 154,400t であるから、浮力に対する安全率は

$$F = \frac{173,400}{154,400} = 1.12 > 1.1$$

換気所函体上部には上載土があり、また函体の側面には摩擦力が働くので実際には安全率はさらに高くなる。

(2) 転倒に対する安定

換気塔の T.P. ± 0 の位置に、破断継手が曲げ破壊を生じる水平力 1473t を片側 4 本に同時に作用させるとそのモーメントは

$$M = 4 \times 1743 \times (31.5 + 18.5) = 348,600 \text{ t} \cdot \text{m}$$

であり、一方、上載土を含めた換気所の水中重量は 31,200t であるから荷重の偏心量は

$$e = \frac{M}{V} = \frac{348,600}{31200} = 11.2(\text{m}) < \frac{B}{6} = \frac{120}{6} = 20$$

となり、荷重点は Middle Third にはいっている。

(3) 地盤反力

地盤反力は $e = 11.2 \text{ m}$ であるから

$$q = \frac{V}{A} \left(1 \pm \frac{e}{B} \right) = \frac{31200}{120 \times 70} \left(1 \pm \frac{11.2}{120} \right) = \begin{cases} 4.06 \\ 3.37 \end{cases} < q_a = \frac{q_d}{2} = 12.0 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$q_d = 5.3 C + r D_f$$

$$= 5.3 \frac{q_u}{2} + r D_f = 5.3 \frac{0.3 z}{2} + r D_f$$

$$= 5.3 \times \frac{0.3 \times 17.5 \text{ m}}{2} + (1.6 - 1.03) \text{ t/m}^2 \times 17.5 \text{ m}$$

$$= 23.9 \text{ t/m}^2$$

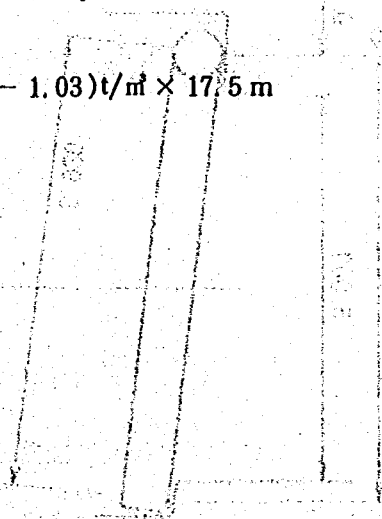


図 4-10 換気所の安定検討

5. 止水装置の検討

船舶の衝突などによって換気塔が倒壊する前に、これらの危険を察知するシステムと連動するようにした止水装置を換気機と換気塔の間に設置する必要があるが、ここでは、ガーダー構造のフラップゲートを考える。

止水装置のフラップゲートは、非常時には重力によって短時間に閉じ、常時には油圧装置によって開閉できる機構とし、油圧回路は2系統として安全性を高めるようにしなければならない。

5.1 フラップゲートの検討

フラップゲートの設計における許容応力度及び安全率は「水門鉄管技術基準」によるものとする。なお、鋼材の許容応力度はこの中の「常時使用状態にあるもの」を適用するものとする。

いま、ダクト及びフラップゲート寸法、位置を図-5.1に示すようにとり、主桁の配置及び断面を図-5.2のようにすると、ゲート上下止水位置における水圧は、それぞれ 38 t/m^2 、 44.1 t/m^2 であるから、桁に生じる最大曲げモーメントは上部支点から 3 m の位置で、 $179 \text{ t} \cdot \text{m/m}$ である。したがって、桁に生じる曲げ応力は、

$$\sigma = \frac{179 \times 10^6}{943300} \times 50 = 949 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ca}$$

$$\sigma_{ca} = 1100 - 0.5 \left(\frac{\ell}{b} \right)^2$$

$$= 1100 - 0.5 \left(\frac{592}{50} \right)^2 = 1030 \text{ kg/cm}^2$$

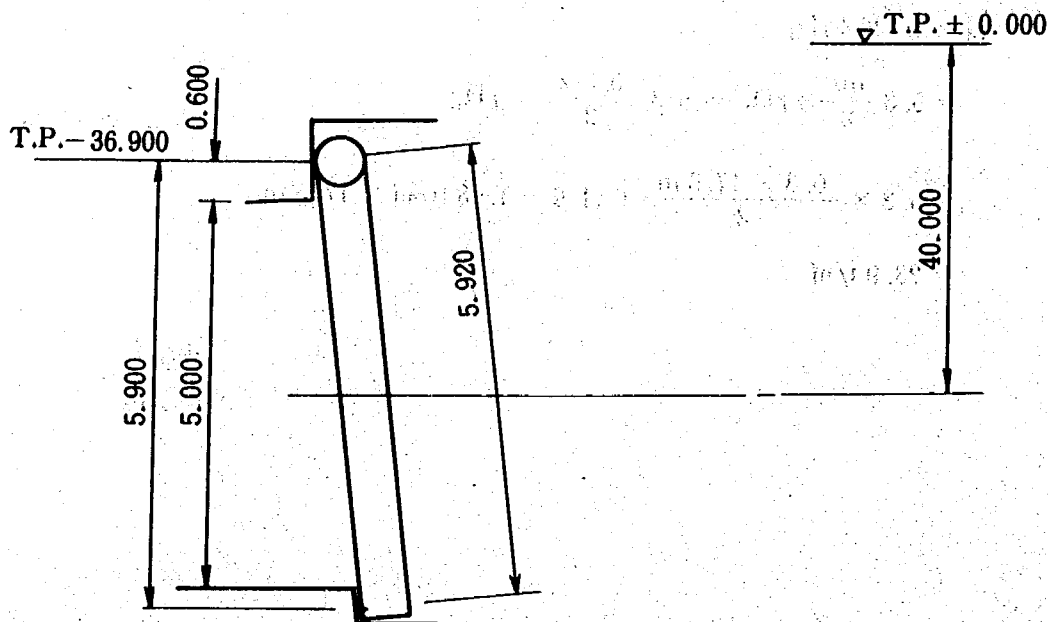


図-5.1 フラップゲート断面位置図

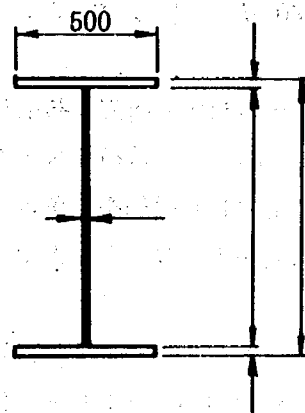
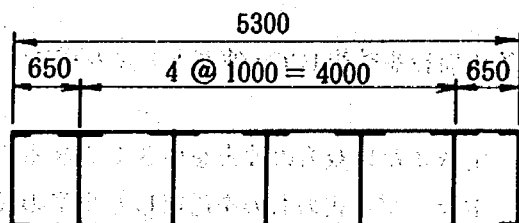


図-5.2 フラップゲート桁配置及び桁断面

5.2 スキンプレート

スキンプレートに生じる最大曲げ応力度は、固定された長辺の中央に生じ、次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{1}{100} k a^2 \frac{p}{t^2}$$

ここに k : b/a によって与えられる係数

a : プレートの短辺 (cm)

b : プレートの長辺 (cm)

p : 水圧 (kg/cm²)

t : プレート厚 (cm)

$b/a \leq 3.0$ に対して $k=50$ であるから、 $t=2.3$ とすると

$$\sigma = \frac{1}{100} \times 50 \times (50)^2 \times \frac{4.41}{(2.3)^2} = 1042 < \sigma_a = 1100$$

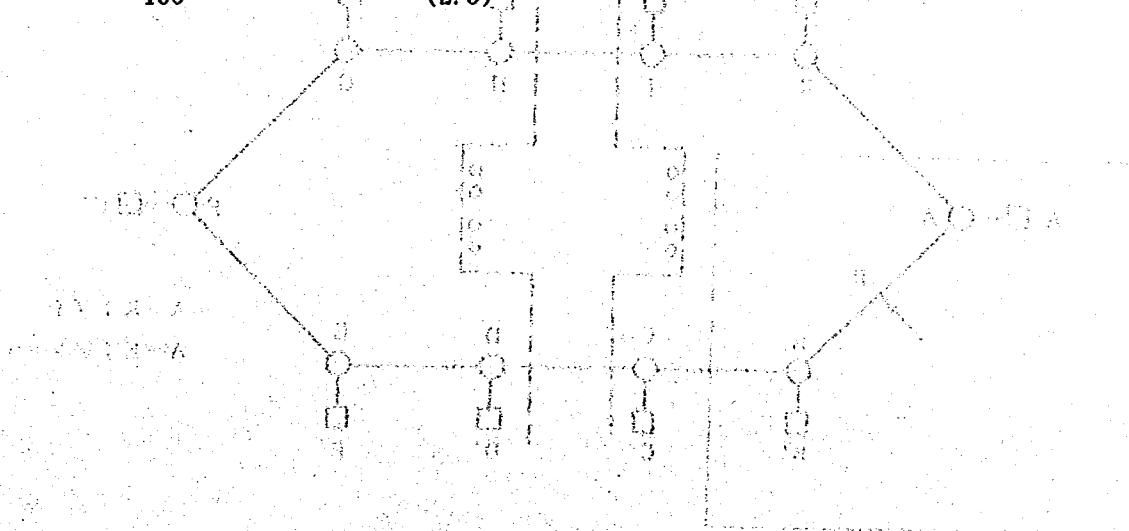


図-5.3 フラップゲート構造図

6. 対船舶ガードシステム

水中換気塔への船舶の衝突を防止し、また、常時船舶の航行を監視して、水底トンネルの安全を確保するためには、防衛工と監視システムが必要である。

防衛工は、衝突した船舶を転覆させたりしないこと、できるだけ双方の被害を小さくできること、防衛工の設置撤去が容易なことなどから、ここでは、ガードケーブル式のものを選定して概略の設計を行った。

一方、監視システムについては、航海用レーダーを主として、2重3重の安全策を講ずるとともに、特にレーダー監視用のソフトウェアは、監視の確実さや非常時の各種設備の作動との関連を十分考慮したものである必要があることを示した。

6.1 ガードケーブル式防衛工

ガードケーブル式防衛工は、図-6.1のように、8本の換気塔を囲んで亀甲形にアンカーのついたブイを配置し、長手方向を航路方向に合わせた形とする。

いま、例えば、図-6.1の点Pに船舶が衝突すると、点Pの船舶の進行方向への移動につれ、ブイA、Bは点Pとアンカーを結ぶ線に近づく方向に移動し、全てのケーブルの張力が増加する。すなわち、この防衛工のエネルギー吸収率は、図-6.1の枠で囲んだ2組のブイアンカーシステムの吸収率より高いため、後者の方が換気塔の安全に対しては安全側となる。また、全体系の解析は非常に複雑となるため、ここでは、簡単のため、まず、1組のブイアンカー系の特性を調べた後、図-6.1の枠内に示した2組のブイアンカー系において、ガードケーブルABの中点にABに直角に船舶が衝突した場合について解析することとする。

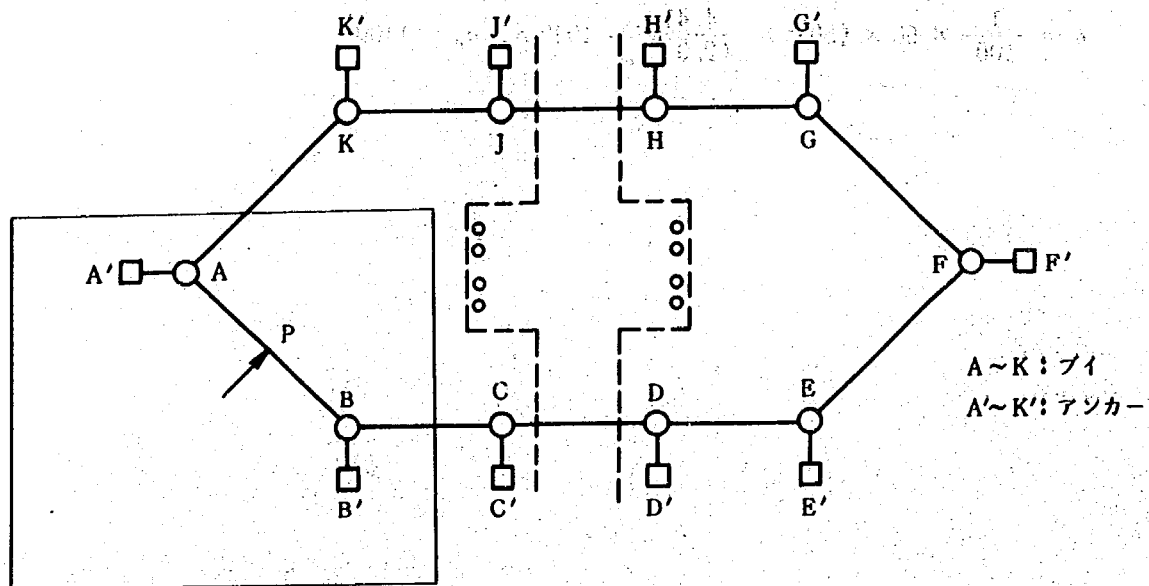


図-6.1 ガードケーブル式防衛工

いま、ブイを円筒形とし、その断面積を A 、重量を W_b 、アンカーケーブルの単位長さあたりの海中重量を w 、長さを ℓ 、海水の単位体積重量を γ_w 、水深を h_0 としたとき、ガードケーブルの張力 H_b によって、各要素に働く力を図-6.2のように表わすと、1組のブイ-アンカーシステムによる力のつり合いは、

$$\text{ブイ: } V_b - W_b - T_b \sin \beta = 0$$

$$T_b \cos \beta - H_b = 0$$

$$\text{アンカー: } W_a - T_a \sin \alpha = 0$$

$$T_a \cos \alpha - H_a = 0$$

$$\text{ケーブル: } T_b \cos \beta - T_a \cos \alpha = 0$$

$$w\ell + T_a \sin \alpha - T_b \sin \beta = 0$$

$$\text{システム: } M_a - (V_b - W_b)(x_2 - x_1) + H_b(y_2 - y_1) = 0$$

ここに、 M_a : A点まわりのケーブルのモーメント

$$M_a = \int_{x_1}^{x_2} w(x - x_1) ds$$

$$= wa \left(x_2 \sinh \frac{x_2}{a} - x_1 \sinh \frac{x_1}{a} \right)$$

$$- wa^2 \left(\cosh \frac{x_2}{a} - \cosh \frac{x_1}{a} \right)$$

$$- wax_1 \left(\sinh \frac{x_2}{a} - \sinh \frac{x_1}{a} \right)$$

$$V_b = \gamma_w A [h_0 - (y_2 - y_1)]$$

また、

$$\ell = \int_{x_1}^{x_2} ds = a \left(\sinh \frac{x_2}{a} - \sinh \frac{x_1}{a} \right)$$

であるから、これを連立して解いて主要な値を示すと表-6.1のようになる。また、表の d 、 V_b 、 W_a 、 T_b をグラフで表わしたのが図-6.4~6.6である。

この計算にはケーブルの伸びは考慮されないが、いずれにしても、表-6.1からわかるとおり、ガードケーブルの張力が50トン前後になると、アンカーケーブルのたるみはほとんどなくなり、直線とみなせる。

表-6.1で x_1 の値の変化をみると、外挿ではあるが、ガードケーブル張力が約0.8トンで0となる。波浪や潮汐に対する余裕からするとケーブル張力は小さい方がよいが、小さな波圧や潮流力によってブイの位置が変わるのは好ましいことではないから、ケーブルは少なくとも1トン以上の張力をかけておくのが望ましいと考えられる。

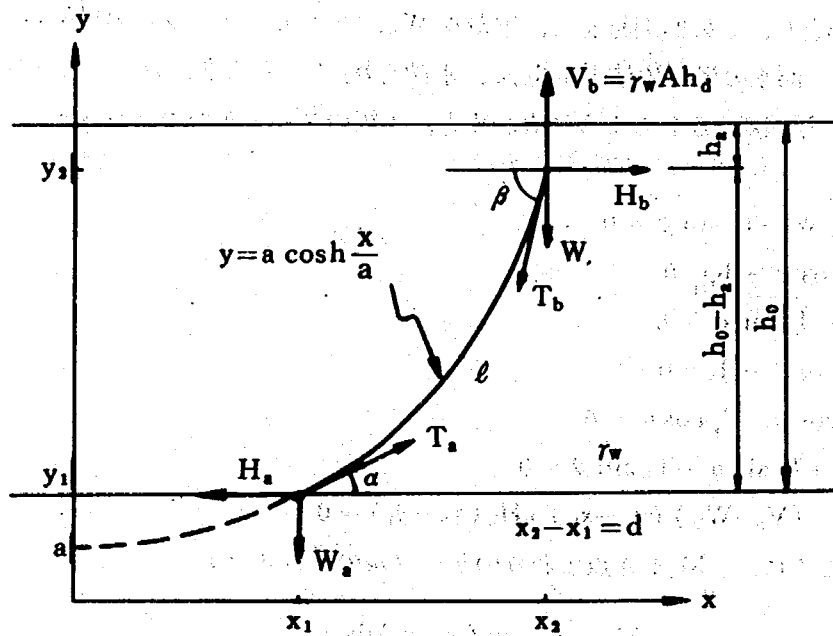


図-6.2 ブイ及びアンカーに作用する力

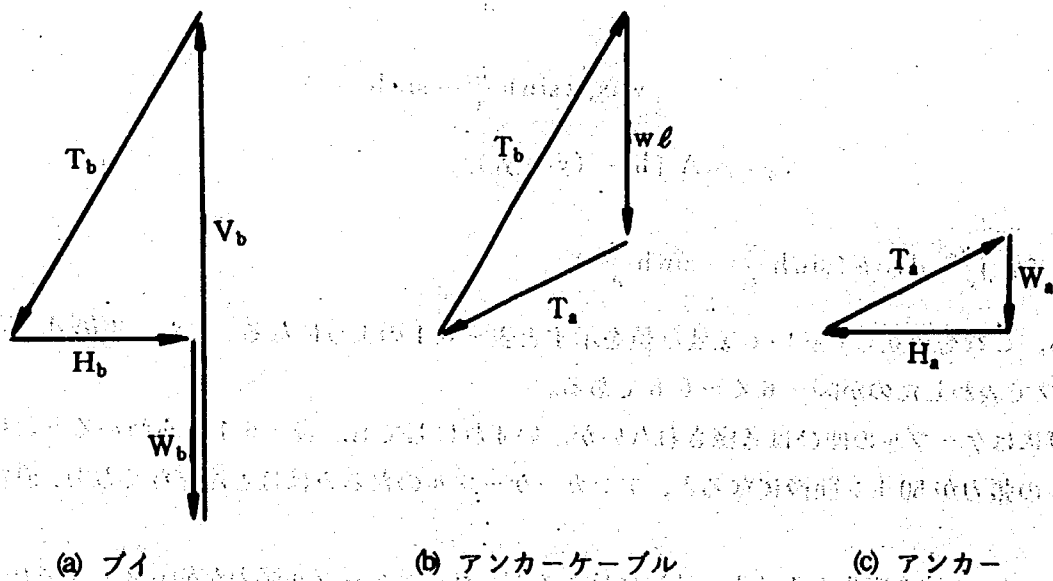


図-6.3 ブイ、アンカーケーブル、及びアンカーに作用する力

表-6.1 ブイアンカーシステムのガードケーブル張力と主要な値

H_b	(t)	1.0	1.1	1.5	2	4	6	8	10	15
x_1	(m)	3.609	5.040	11.012	18.74	50.31	82.01	113.67	145.27	223.99
x_2	(m)	28.298	30.056	36.837	45.04	77.12	108.94	140.65	172.29	251.08
d	(m)	24.69	25.02	25.83	26.30	26.81	26.93	26.98	27.02	27.09
h_b	(m)	0.45	0.45	0.46	0.46	0.48	0.50	0.51	0.53	0.58
V_b	(t)	52.6	52.7	53.1	53.7	55.7	57.8	59.9	62.1	67.5
W_a	(t)	0.2	0.3	0.7	1.2	3.3	5.4	7.6	9.7	15.1
T_a	(t)	1.0	1.1	1.6	2.3	5.2	8.1	11.0	14.0	21.3
T_b	(t)	2.8	2.9	3.4	4.1	6.9	9.8	12.8	15.7	23.0
α	(°)	—	—	—	30.36	39.30	42.12	43.47	44.25	45.23
β	(°)	—	—	—	60.59	54.70	52.43	51.22	50.47	49.39
θ	(°)	50.1	49.7	48.8	48.3	47.8	47.6	47.5	47.5	47.4
L	(m)	38.51	38.72	39.24	39.55	39.88	39.95	39.97	39.98	39.99

H_b	(t)	20	50	100	150	200	300	400	500	600
x_1	(m)	302.30	763.79	1503.44	2210.23	2887.87	4167.16	5359.66	6478.52	7533.60
x_2	(m)	329.44	791.23	1531.33	2238.52	2916.54	4196.51	5389.61	6508.99	7564.55
d	(m)	27.14	27.44	27.89	28.29	28.67	29.35	29.95	30.47	30.95
h_b	(m)	0.63	0.89	1.32	1.73	2.11	2.82	3.48	4.09	4.66
V_b	(t)	72.9	104.2	154.0	201.1	245.7	329.0	405.4	476.3	542.5
W_a	(t)	20.5	51.9	101.7	148.7	193.4	276.6	353.1	424.0	490.2
T_a	(t)	28.6	72.0	142.6	211.2	278.2	408.0	533.5	655.5	774.8
T_b	(t)	30.4	73.8	144.3	212.9	279.8	409.6	535.1	657.1	776.3
α	(°)	45.66	46.04	45.47	44.75	44.03	42.67	41.43	40.30	39.25
β	(°)	48.80	47.33	46.13	45.21	44.38	42.92	41.62	40.45	39.38
θ	(°)	47.3	46.7	45.8	45.0	44.2	42.8	41.5	40.4	39.3
L	(m)	39.99	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00

H_b	(t)	700	800	900	958	1000
x_1	(m)	8532.62	9481.72	10385.95	10891.52	11249.50
x_2	(m)	8564.00	9513.49	10418.08	10923.84	11281.96
d	(m)	31.38	31.77	32.13	32.32	32.46
h_b	(m)	5.19	5.69	6.17	6.44	6.62
V_b	(t)	604.7	663.3	718.8	749.6	771.4
W_a	(t)	552.3	610.9	666.4	697.3	719.1
T_a	(t)	891.6	1006.6	1119.9	1184.9	1231.7
T_b	(t)	893.1	1008.0	1121.3	1186.3	1233.1
α	(°)	38.27	37.37	36.52	36.05	35.72
β	(°)	38.39	37.47	36.61	36.14	35.81
θ	(°)	38.3	37.4	36.6	36.1	35.8
L	(m)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00

$$\ell = 40 \text{ m}$$

$$w = 0.0594 \text{ t/m}$$

$$r_w = 1.03 \text{ t/m}^2$$

$$h_n = 30 \text{ m}$$

$$A = 113.1 \text{ m}^2$$

$$W_b = 50 \text{ t}$$

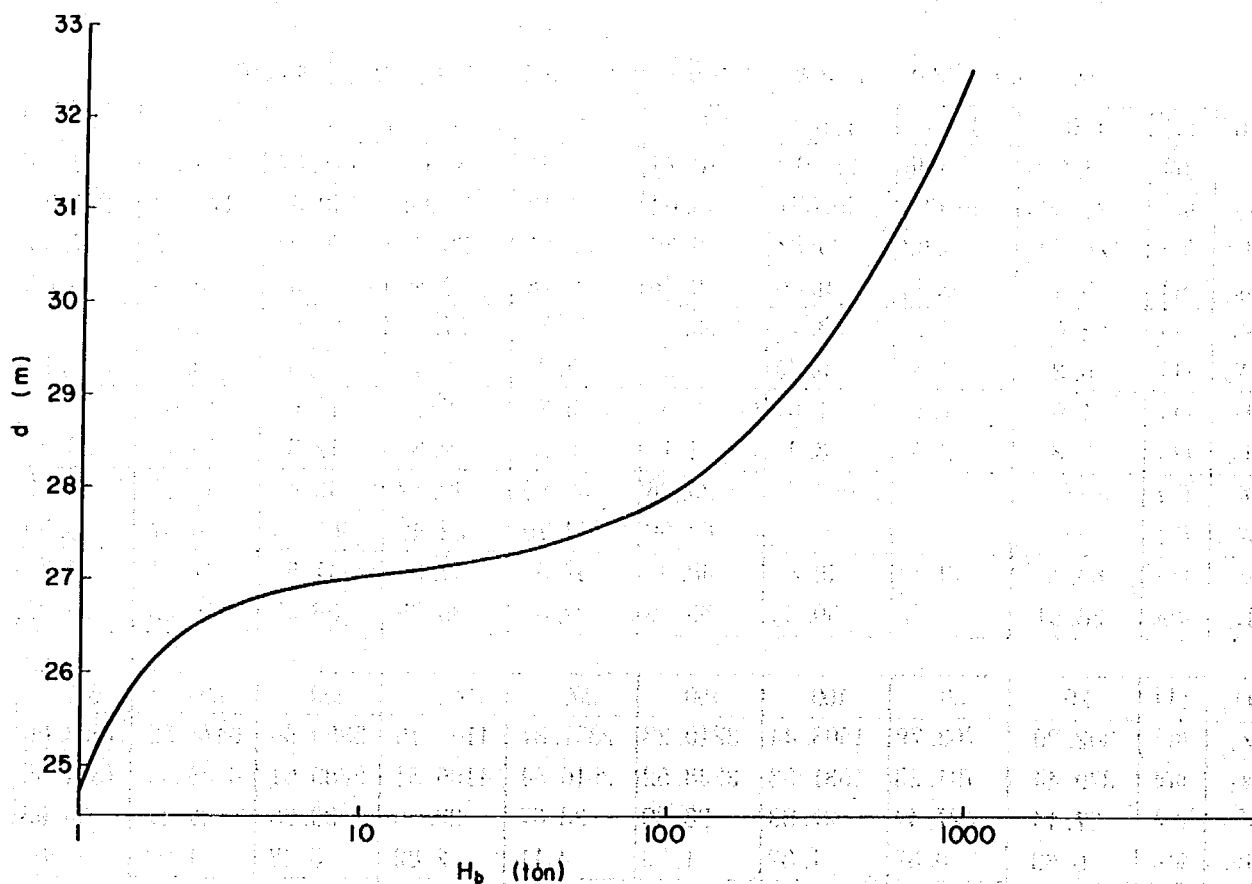


図-6.4 ガードケーブル張力とアンカーケーブル水平長

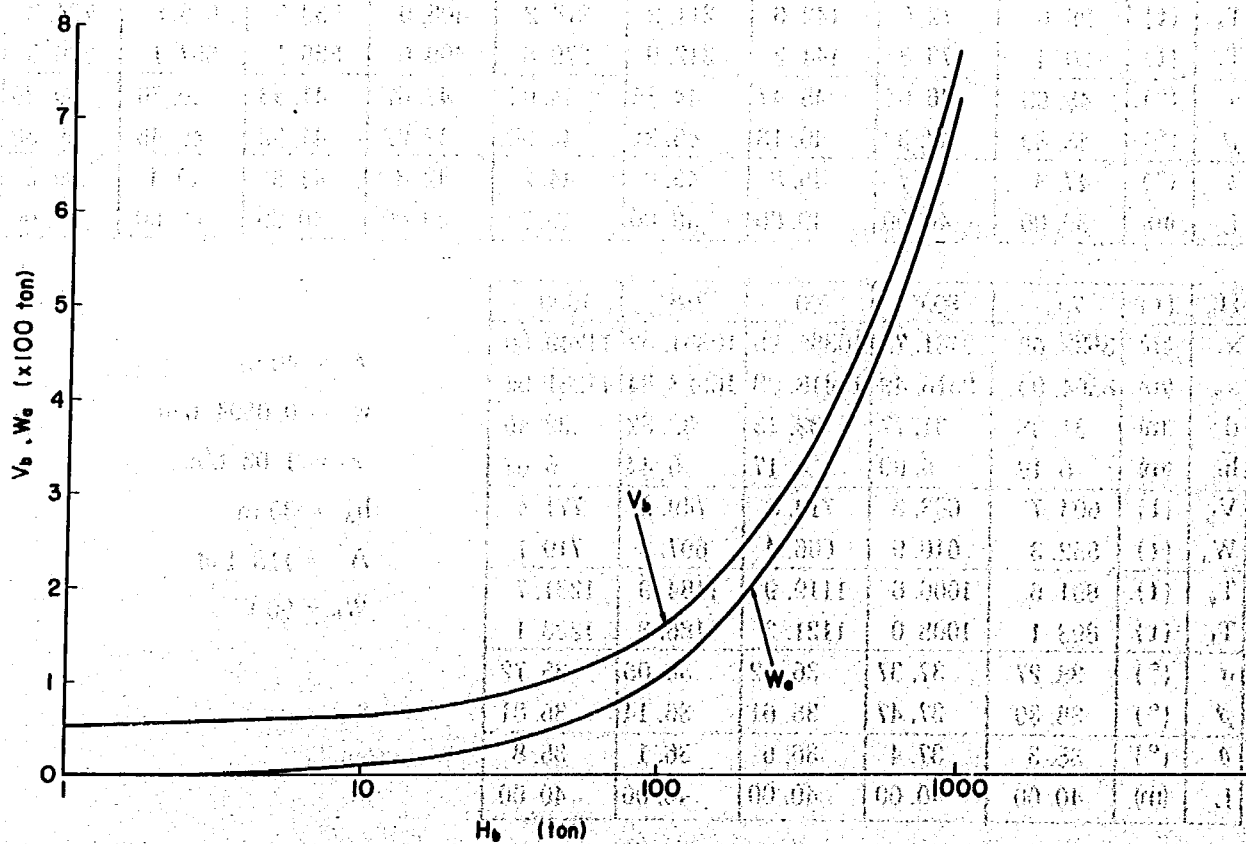


図-6.5 ガードケーブル張力と浮力及びアンカーの重量

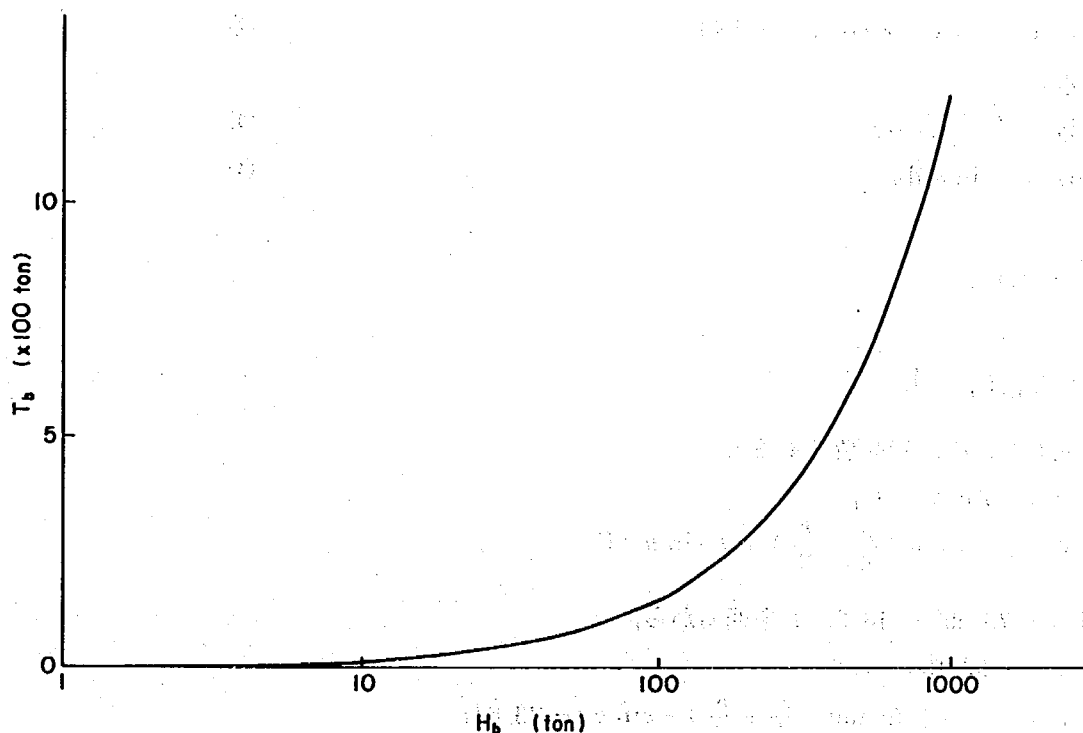


図-6.6 ガードケーブル張力とアンカーケーブル最大張力

つぎに、図-6.1の枠で囲まれた2組のブイーアンカーシステムを少し変形して対称形に簡略化した図-6.7に示すシステムについて調べる。

図-6.7に示すように、ブイ A_0, B_0 を x 軸にとり、船舶が衝突する $A_0 B_0$ の2等分点 P_0 を原点にとると、2組のブイーアンカーシステムは y 軸に対して対称となり、点 P は y 軸上を動くことになる。いま、両ブイとも2トンの水平力でアンカーと反対方向に引張られていたとすると、ガードケーブル A, B の初期張力は、2.828トンとなり、 $A_0 A_0' (B_0 B_0')$ は26.30 mである。

船舶が $A_0 B_0$ の線を越えて侵入すると、ただちにケーブルの張力は増加しはじめ、ブイ A, B は主に造波抵抗を受けて遅れながら PA_0 に近づくように動き、 P がある位置にきたときにこの直線上にあるようになるが、ここでは、簡単のために P, A, A_0 は常に直線上にあり、船舶が P に達した瞬間に A は $P_0 A_0$ 上にきているものとする。また、ケーブルの伸びを無視し、 $A_0 B_0$ を120 mとすると、ケーブル張力が1トンになるとき P の位置は $P_1 (0, 12.945 \text{ m})$ となる。点 P がさらに移動するときの P の y 座標と船舶がガードケーブルからうける反力の関係を示すと図-6.8のようになる。

ガードシステムとしては、ブイが沈まず、ガードケーブルが破断せずに船舶がアンカーを曳航するようにするのが最もエネルギーを吸収するから、いまかりに、ケーブルの破断強度を958トンとして、アンカーの把駐力係数を $\mu = 1.0$ とすると、表-6.1から、アンカーの水中重量を1566.4トンとすれば、ケーブル張力が900トンに達したとき、アンカーは曳航されはじめることになる。このとき、図-6.9において、点 P は P_0 に達し、 $P_0 B_0'$ は92.13 m、 $\theta_0 = 31.448^\circ$ 、 $y_0 = 29.470$ である。

いま、点 P が P_0 をこえて αdy 進んだとき、アンカー B_0' は P_0 の方向に $[(dx)^2 + (dy)^2]^{\frac{1}{2}}$ だ

け曳航され B' に達する。したがって、PB' の長さを ℓ とすると、図-6.9 から

$$\begin{cases} \ell \sin \theta + (\alpha - 1) dy = \ell \sin (\theta + d\theta) & \text{①} \\ \ell \cos \theta - dx = \ell \cos (\theta + d\theta) & \text{②} \end{cases}$$

上式を整理すると

$$\begin{cases} dy = \frac{\ell \cos \theta}{\alpha - 1} d\theta & \text{③} \\ dx = \ell \sin \theta d\theta & \text{④} \end{cases}$$

しかるに

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta$$

であるから

$$\alpha = \frac{1}{\tan^2 \theta} + 1$$

これを③に代入して、③、④を積分すると

$$\begin{cases} x = -\ell \cos \theta + C_1 \\ y = \ell \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) - \ell \sin \theta + C_2 \end{cases}$$

この曲線は B₀ (-78.597, -18.597) を通るから、

$$\begin{cases} x = -92.130 \cos \theta \\ y = 92.130 \left[\ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) - \sin \theta \right] - 23.847 \end{cases}$$

したがって、点 P の移動量は

$$y_p = -x \tan \theta + y_0$$

となる。これらの式から求めたのが表-6.3 及び図-6.10 である。また、図-6.10 を積分して、船舶の侵入距離とガードシステムによって吸収されるエネルギーとの関係を示したのが図-6.11 である。

いま、速度 12 ノット (6.2 m/s) のタンカーについて調べると総トン数と運動エネルギーの関係は表-6.4 のようであるが、図-6.11 から、アンカーを曳航しないのは約 800 トン未満のものであり、10,000 トンの場合にはアンカーを曳航し、約 65 m 侵入することになる。

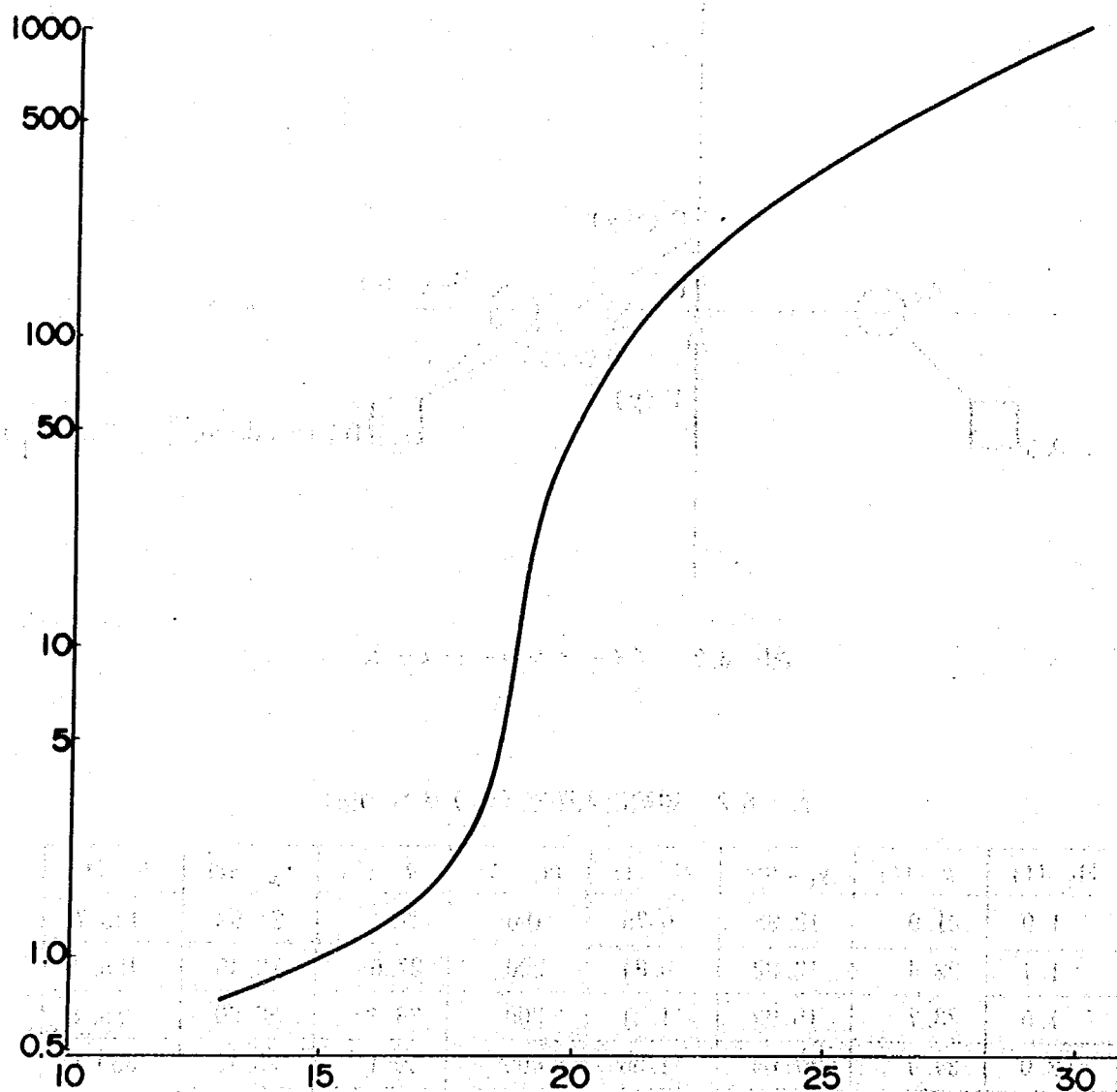


図- 6.8 船舶侵入距離 (y_p) と反力 F (ton)

1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

表- 6.2 ブイ A の軌跡, 船舶侵入距離 (y_p), 及び反力 (F)

θ (°)	x (m)	y (m)	y_p (m)	F (ton)	θ (°)	x (m)	y (m)	y_p (m)	F (ton)
31	-78.97	-18.82	28.63	927	61	-44.67	20.17	100.75	1574
32	-78.13	-18.31	30.51	954	62	-43.25	22.77	104.12	1589
33	-77.27	-17.76	32.42	980	63	-41.83	25.52	107.60	1604
34	-76.38	-17.17	34.75	1007	64	-40.39	28.40	111.21	1618
35	-75.47	-16.55	36.30	1032	65	-38.94	31.44	114.94	1631
36	-74.55	-15.88	38.27	1058	66	-37.47	34.66	118.82	1644
37	-73.58	-15.17	40.27	1083	67	-36.00	38.05	122.85	1657
38	-72.60	-14.42	42.30	1108	68	-34.51	41.64	127.06	1669
39	-71.60	-13.62	44.36	1133	69	-33.02	45.43	131.44	1680
40	-70.58	-12.78	46.44	1157	70	-31.51	49.46	136.04	1691
41	-69.53	-11.89	48.56	1181	71	-30.00	53.74	140.86	1702
42	-68.47	-10.95	50.70	1204	72	-28.47	58.30	145.92	1712
43	-67.38	-9.95	52.88	1228	73	-26.94	63.17	151.27	1721
44	-66.27	-8.90	55.10	1250	74	-25.39	68.38	156.94	1730
45	-65.15	-7.79	57.35	1273	75	-23.85	73.96	162.96	1739
46	-64.00	-6.63	59.65	1295	76	-22.29	79.99	169.38	1747
47	-62.83	-5.40	61.98	1316	77	-20.73	86.50	176.27	1754
48	-61.65	-4.10	64.36	1338	78	-19.16	93.59	183.70	1761
49	-60.44	-2.74	66.79	1358	79	-17.58	101.34	191.77	1767
50	-59.22	-1.31	69.27	1379	80	-16.00	109.87	200.64	1773
51	-57.98	0.20	71.80	1399	81	-14.41	119.36	210.36	1778
52	-56.72	1.78	74.38	1418	82	-12.82	130.01	221.25	1782
53	-55.45	3.44	77.02	1438	83	-11.23	142.14	238.58	1787
54	-54.15	5.19	79.72	1456	84	-9.63	156.19	247.82	1790
55	-52.84	7.02	82.49	1474	85	-8.03	172.86	264.64	1793
56	-51.52	8.95	85.33	1492	86	-6.43	193.31	285.22	1796
57	-50.18	10.98	88.25	1510	87	-4.82	219.74	311.74	1798
58	-48.42	13.11	91.24	1526	88	-3.22	257.03	349.11	1799
59	-47.45	15.35	94.32	1543	89	-1.61	320.86	412.97	1800
60	-46.47	17.70	97.48	1559	90	0	—	—	1800

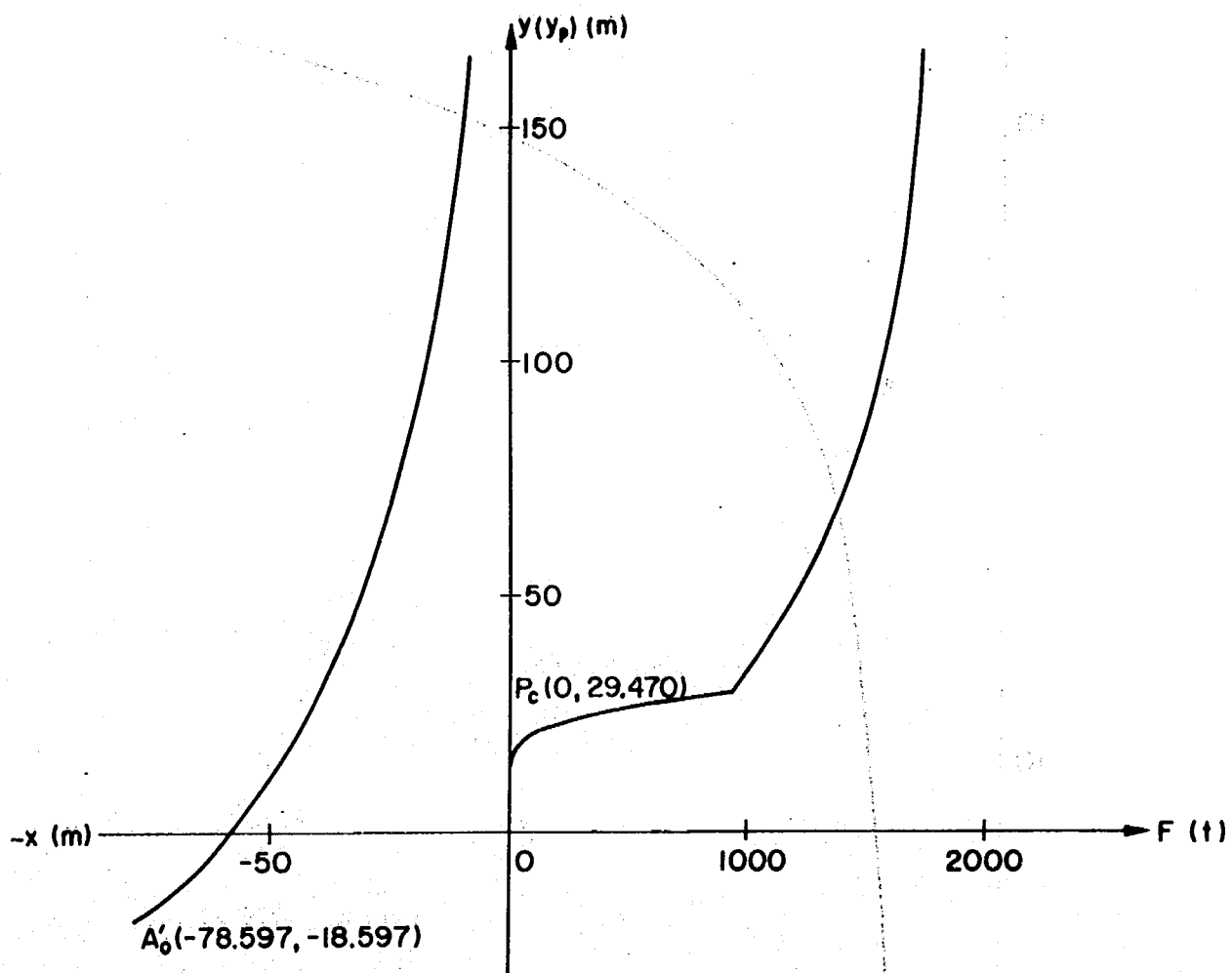
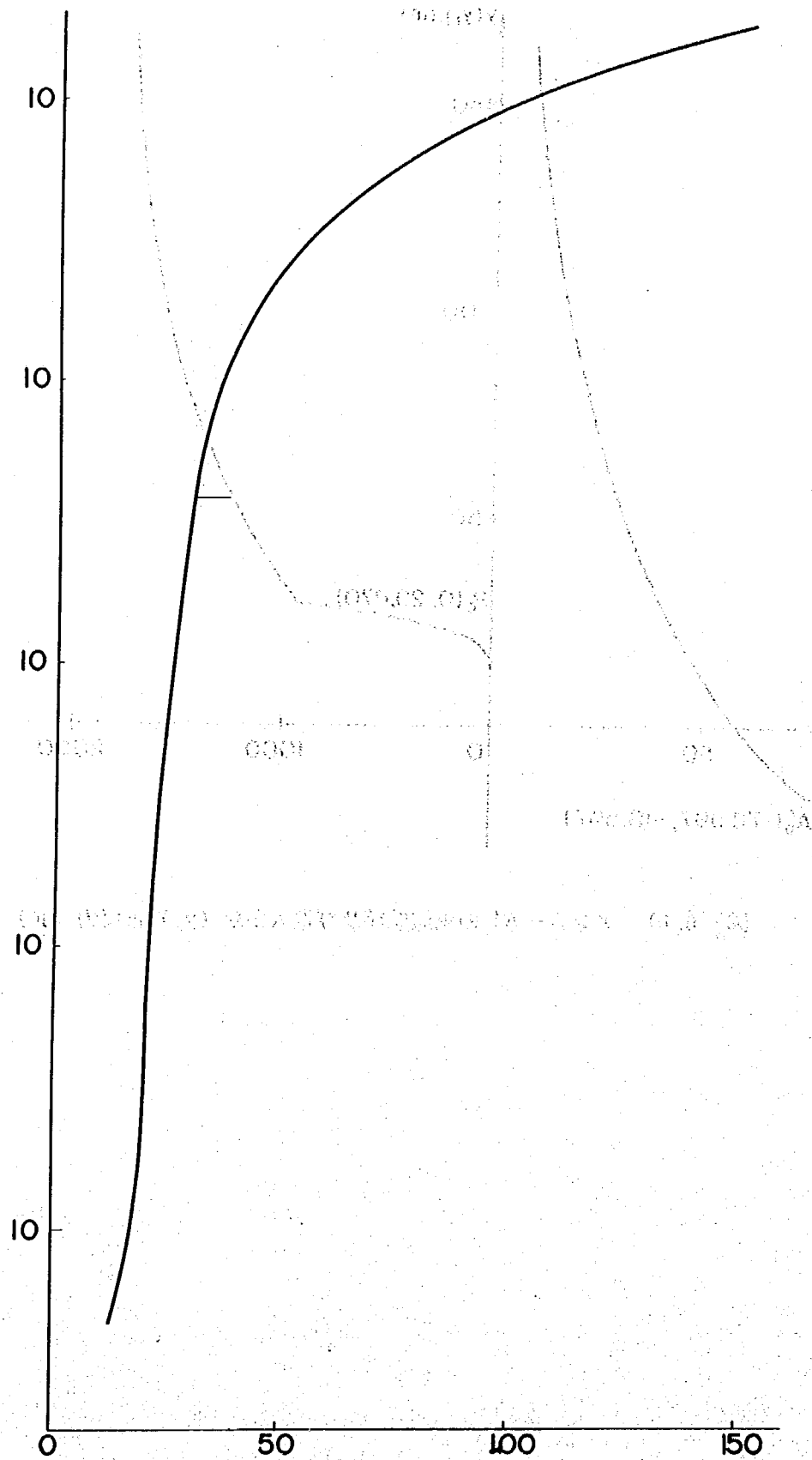


図-6.10 アンカー A'_0 の曳航航跡及び進入距離 (y_p) と反力 (F)



図一 6.11 船舶侵入距離と吸収エネルギー

表-6.4 船速12ノット(6.2 m/s)のタンカーの運動エネルギー

総トン数 G.T	重量トン数 D.W.T	満載排水量 D.T	質量 m	付加重量 m ₀	m+m ₀	船速 v	エネルギー E
500	778	1,115	114	11	125	6.2	2,403
1,000	1,575	2,198	224	22	246	"	4,728
1,500	2,380	3,270	334	33	367	"	7,054
2,000	3,189	4,335	442	44	486	"	9,341
2,500	4,001	5,394	550	55	605	"	11,628
3,000	4,816	6,449	658	66	724	"	13,915
4,000	6,454	8,548	872	87	959	"	18,432
5,000	8,099	10,637	1,085	109	1,194	"	22,949
10,000	16,393	20,976	2,140	214	2,354	"	45,244

6.2 船舶の衝突と監視システム

(1) 船舶の衝突

海底トンネルの換気のための給排気管を海上に突出させる場合、船舶の衝突に対する対策が必要になる。

船舶の衝突事故に関する報告書¹⁾によると、大型船舶が海中構造物に衝突する場合の原因として、つぎのようなものがあげられている。

- (1) 舵の故障
- (2) 機関または推進機の故障
- (3) 舵および機関(推進機)の故障
- (4) 視程不良
- (5) 緊急回避
- (6) 操船ミス

このうち、(1)、(2)は機関(推進機)あるいは舵によって衝突を回避でき、(3)による衝突は確率は非常に小さいと考えられるが、考慮しなければならない。(4)は、総トン数500トン以上の船舶は航行用レーダーの装備が義務づけられているので、衝突の原因としては、小型船の緊急回避と、操船ミスが考えられる。文献²⁾によると、海難事故1303件のうち、船舶の岸壁などの固定物への衝突件数は2%となっており、この中には接岸しようとして失敗したものも含まれているから、海洋構造物に接岸を意図せずに衝突した例は非常に低い率になると思われる。また、1970～1975年の6年間の救助を要した海難事故の統計³⁾によれば、15428件の事故のうち90%以上が500トン未満の小型船舶となっている。

1) 海中基礎への船舶衝突力に関する調査委託(その1)報告書要約、海洋鉄構協会(1973.3)

2) 海難審判庁裁決にかかる海難船舶隻数(1969)

3) 交通安全白書、昭和51年版、総理府

本四連絡橋の計画は、明石海峡や備讃瀬戸での5年間の統計や交通安全法の実施から推定して、主航路に面した基礎の場合20,000総トンを採用しているが、通常の航行を考えた場合の衝突の原因は誤操船であり、10,000トン未満の小型船舶の率が高いものと推定している。

一方、東京湾横断道路の計画では副航路に面した基礎に対して1,500トンの船舶の衝突を考えている。

漂流時の衝突については、船級協会に入級している船舶（推進機関をもつ全鋼船）は、潮流8ノット、風速30mの外力に耐える係留設備を装備することになっているため、もし、漂流したとしても走錨することになるため、その速度は非常に小さいと考えられる。

(2) 船舶監視システム

換気塔の周辺を船舶に換気塔の位置を知らせたり、逆に、船舶の位置を知って適当な処置を講ずるために、船舶監視システムが必要となる。

航行中の船舶がレーダーを使用しているときは、防衛工にとりつけたコーナリフレクター、あるいは、レーダートランスポンダーによって換気塔の位置をよりの確に知ることができる。しかし、これらは換気塔の管理者に情報を与えるわけではないから、管理者は換気塔への船舶の接近を監視する設備をもつ必要がある。監視設備の簡単なものは、換気塔周辺にいくつか設置して超音波や磁気によって船舶の接近を知る方法がある。前者は送受信器間を伝播する超音波が船舶によって遮断されると警報を出したり、他の関連設備を連動させることができる装置であり、後者は船舶の接近による磁場の変化を検出して、同様のシステムとできる装置である。

これらのほかに、最も一般的な監視装置としてレーダーをあげることができる。レーダーによる監視を行う場合には、その映像を出力するだけでなく、監視水域内での船舶の航跡も出力できるようにするとともに、警戒水域、危険水域を設定して、これらに向かいつつある船舶や、これらの中を航行中の船舶は別々の色で表示したり、音声、あるいは音信号を併用するなどの工夫が必要である。

いずれにしても、換気塔は水底トンネルにとって重要な海洋構造物であるから、監視システムにはこれらの何種類かを組合わせたものとする必要がある。

参考文献 (1)

船舶監視装置 (2)

水底トンネル (3)

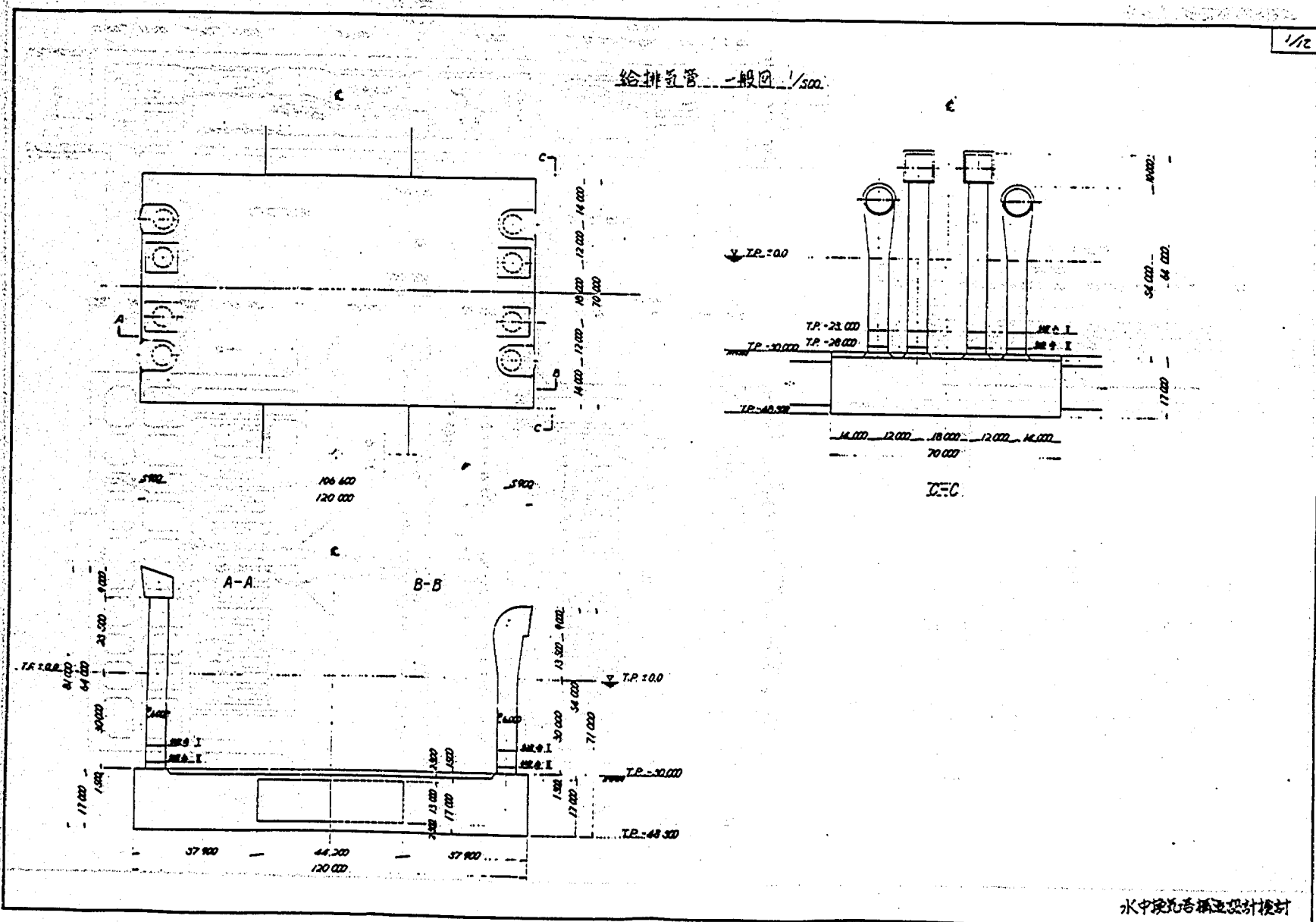
本四連絡橋の計画は、明石海峡や備讃瀬戸での5年間の統計や交通安全法の実施から推定して、主航路に面した基礎の場合20,000総トンを採用しているが、通常の航行を考えた場合の衝突の原因は誤操船であり、10,000トン未満の小型船舶の率が高いものと推定している。

一方、東京湾横断道路の計画では副航路に面した基礎に対して1,500トンの船舶の衝突を考えている。

漂流時の衝突については、船級協会に入級している船舶（推進機関をもつ全鋼船）は、潮流8ノット、風速30mの外力に耐える係留設備を装備することになっているため、もし、漂流したとしても走錨することになるため、その速度は非常に小さいと考えられる。

参考文献 (1) 船舶監視装置 (2) 水底トンネル (3)

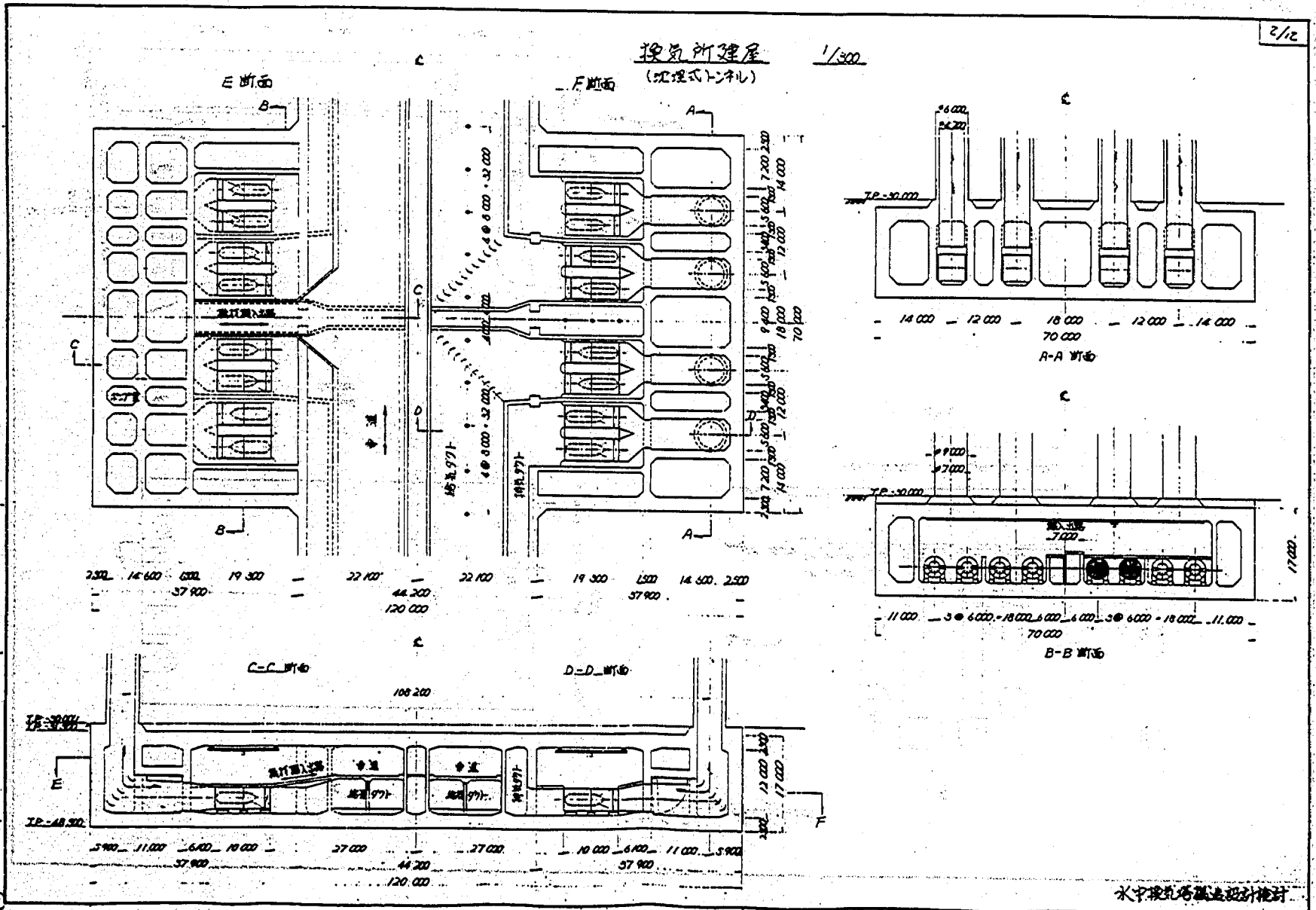
给排水管一般图 1/500



附 1

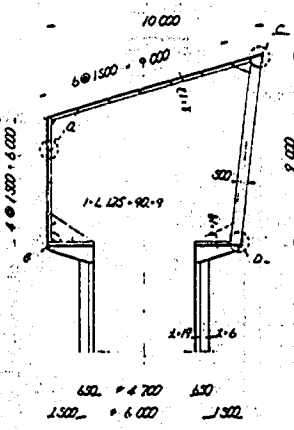
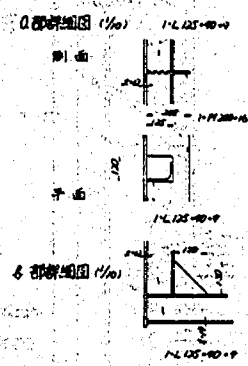
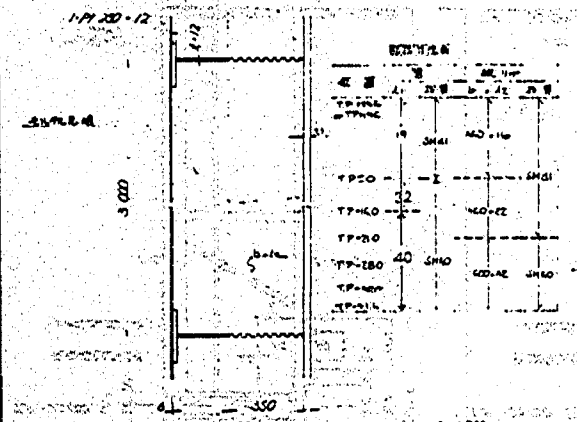
換気所建屋
(埋立式トンネル)

1/300

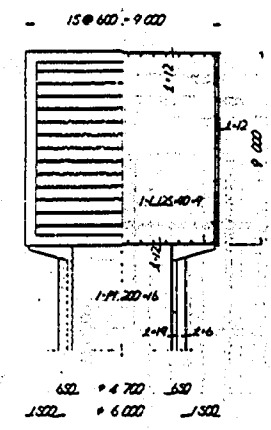
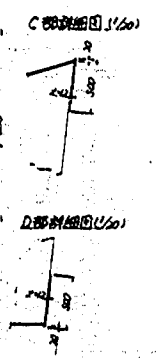


給排水管 1/10 1/20 1/100

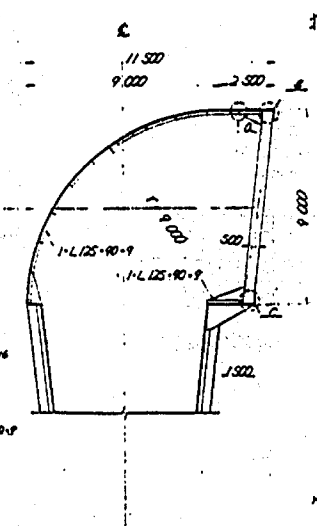
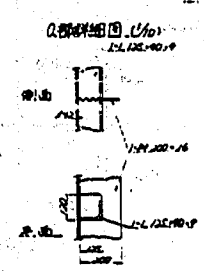
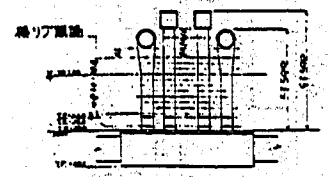
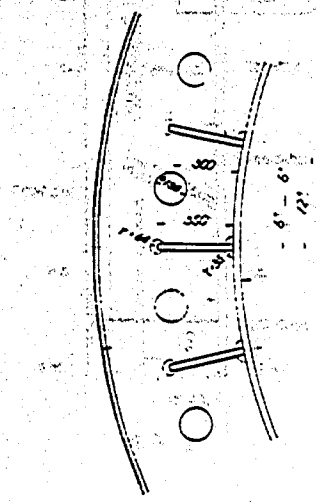
管型 1/10



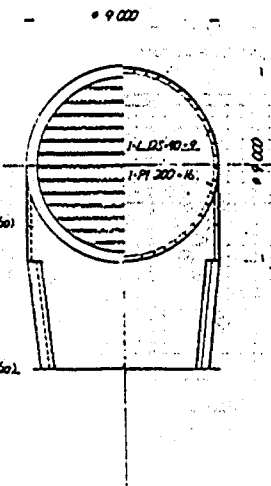
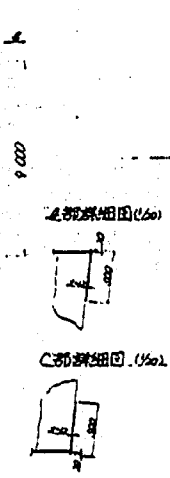
給排水口 1/100



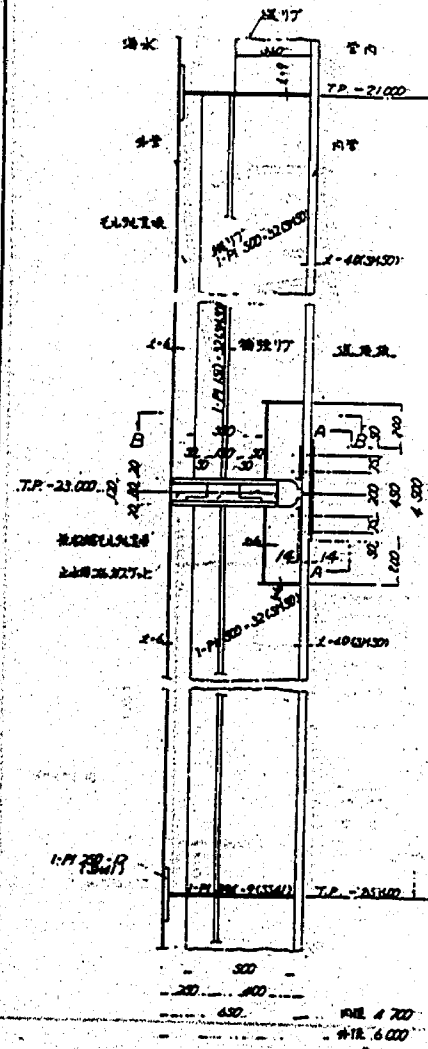
附3



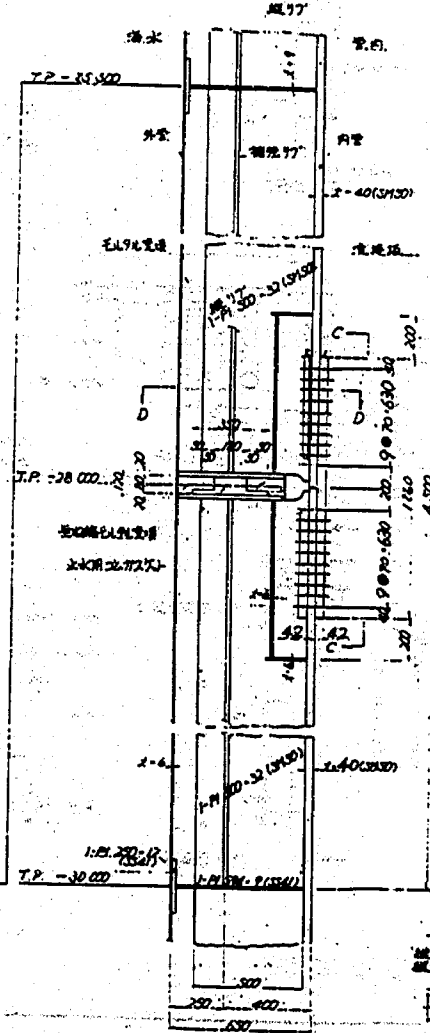
排水口 1/100



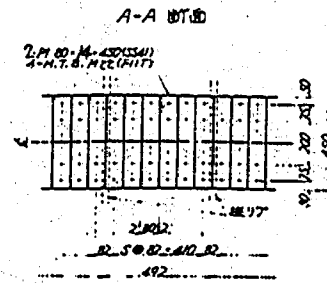
継手 I



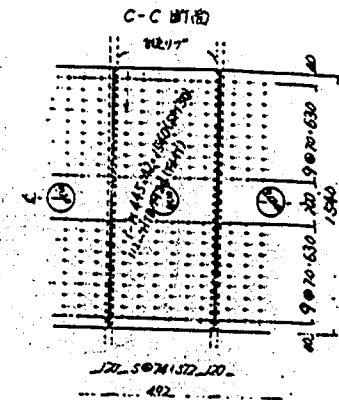
継手 II



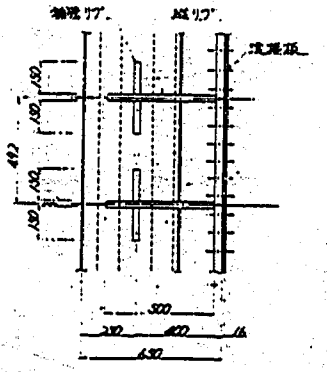
継手 I



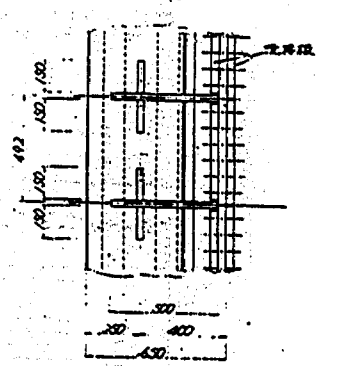
継手 II



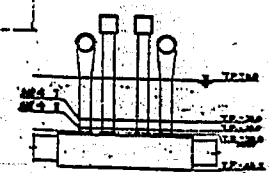
B-B 断面



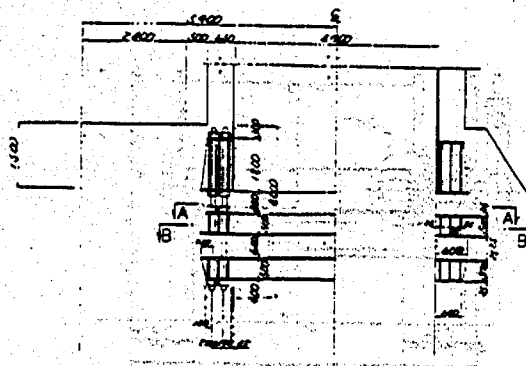
D-D 断面



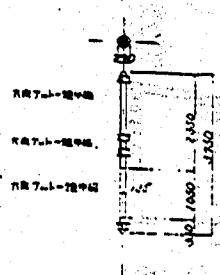
2-2 断面



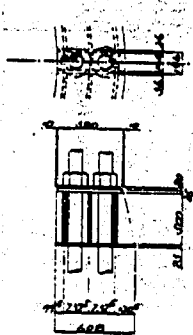
給排水管取付図 S=1:50 1:20



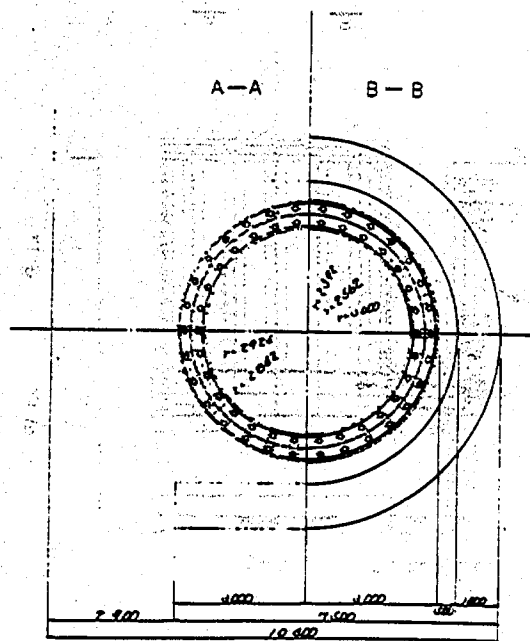
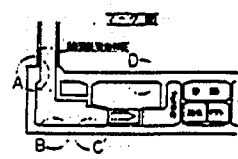
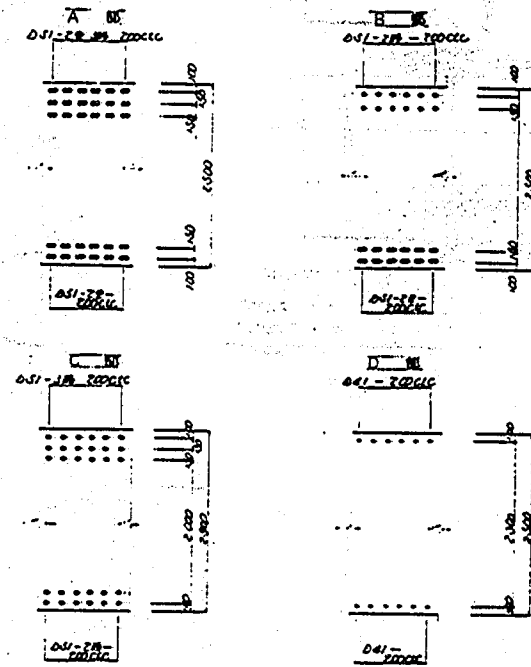
丁字リブ取付図 S=1:50

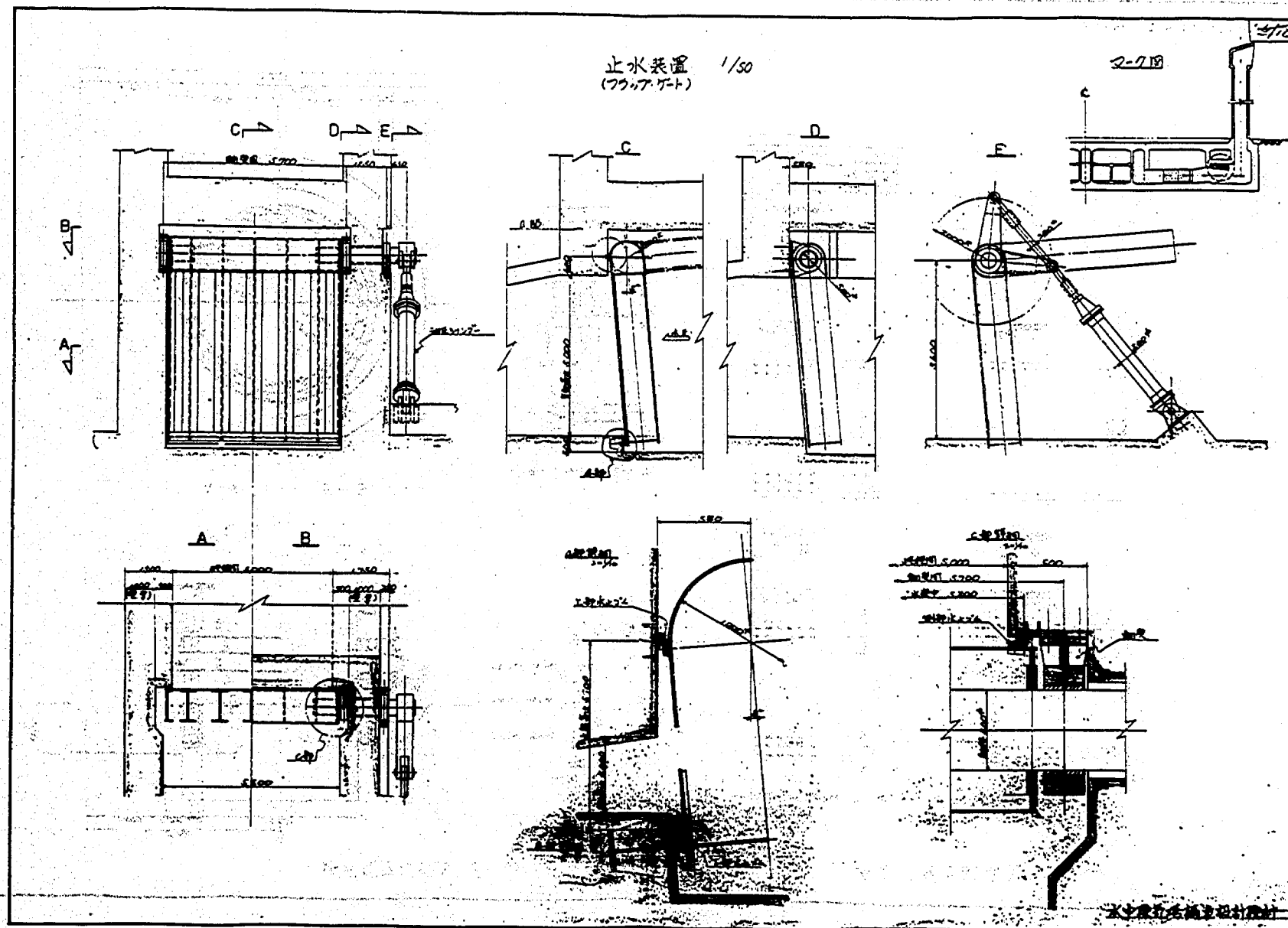


足金ヒリリア詳細 S=1:20

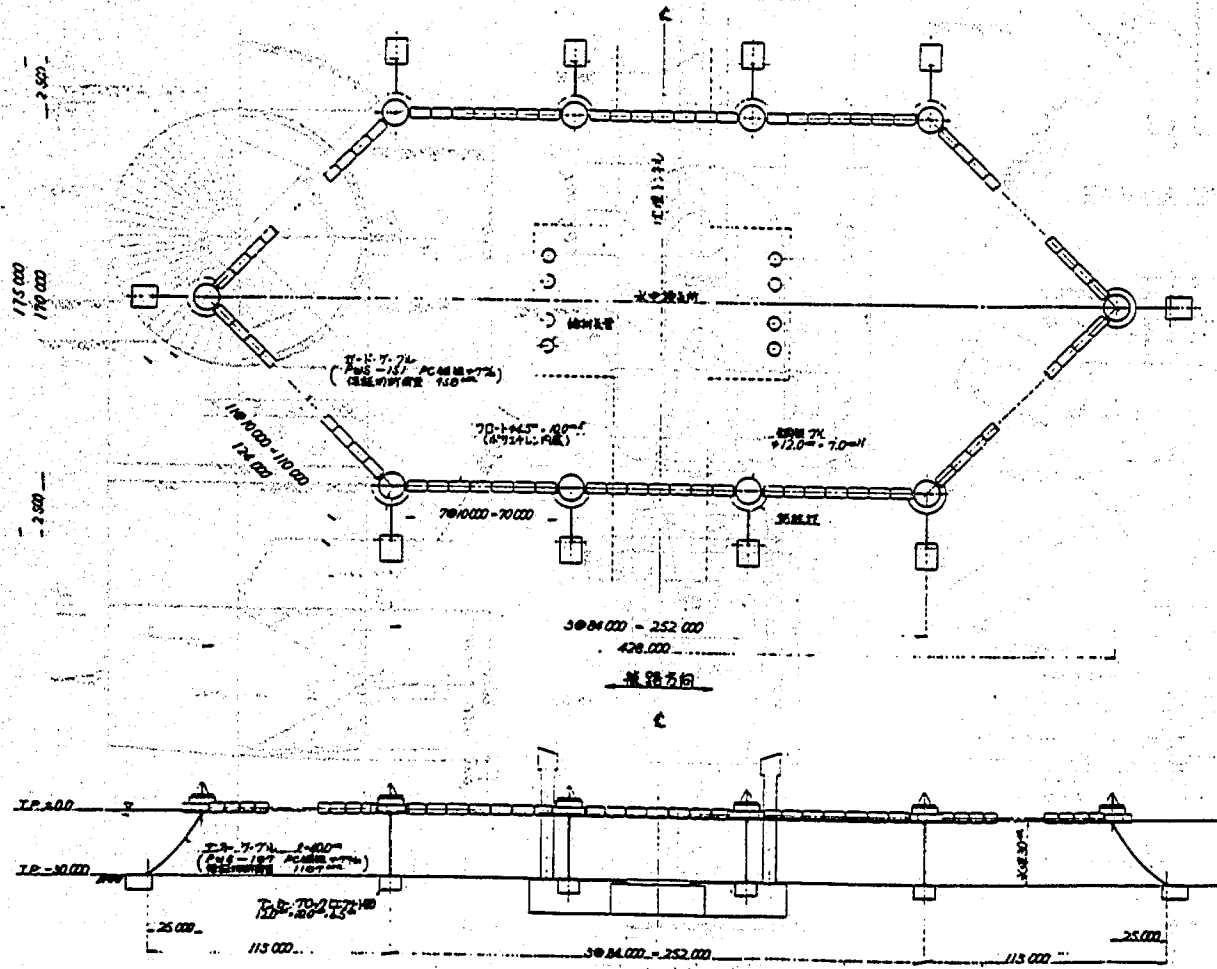


換気所配管取付図 S=1:50



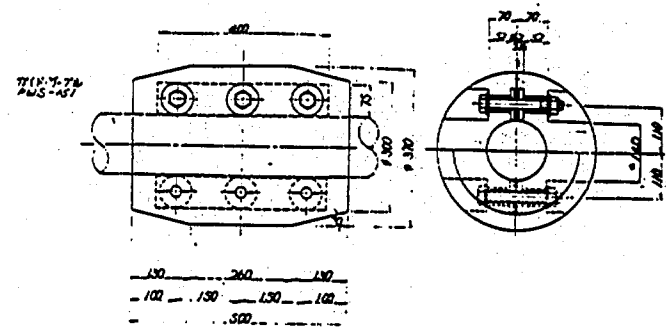
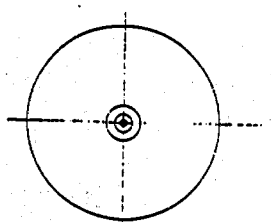
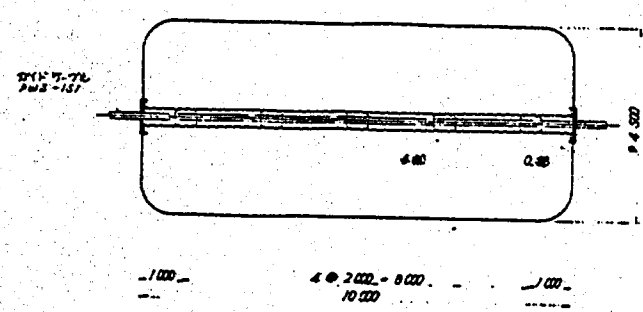


ガード・ケーブル型式防衛工 一般図 1/1000

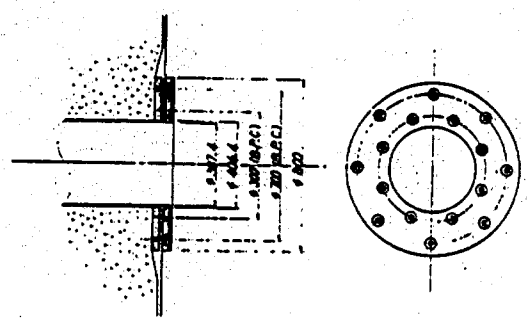




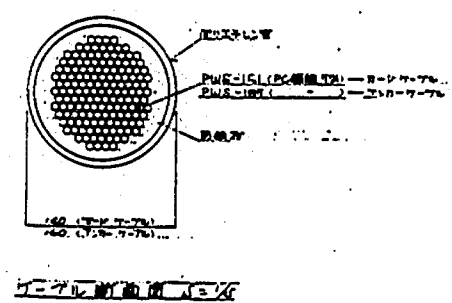
ガード・ケーブル型式防衛工
 フロート詳細図 1/50



ケーブル詳細図 1/5



ケーブル詳細図 1/10



ケーブル詳細図 1/10

資

料

水中換気塔継手の模型実験

目 次

1. 実験の目的	59
2. 実験の概要	59
3. 実験の内容	59
3.1 供試体	59
3.2 実験方法	67
4. 実験結果と考察	69

1. 実験の目的

長大トンネルに、破断継手をもつ水中換気塔という新しい構造形式をもつ水中換気所を適用する場合、船舶の衝突、波浪および地震などの外力条件に対する継手の設計のために、継手の力学的性状を明らかにしておく必要があるため模型実験と解析を行うものである。

2. 実験の概要

構造用圧延鋼材 SS 41 を用いて、JIS Z 220 に示す 1 号試験片の引張試験、高張力ボルトを使った継手の引張及び圧縮試験、面内及び面外せん断試験、並びに、継手をもつ管の曲げ及びせん断試験を実施した。

3. 実験の内容

3.1 供試体

供試体の設計図を図-3.1~7 に、また、各供試体の継手板の実測寸法を表-3.1 に示す。継手に使用したボルトは、すべて HTBF 10TM 16 で、トルクレンチによって 11.7t の軸力を導入している。

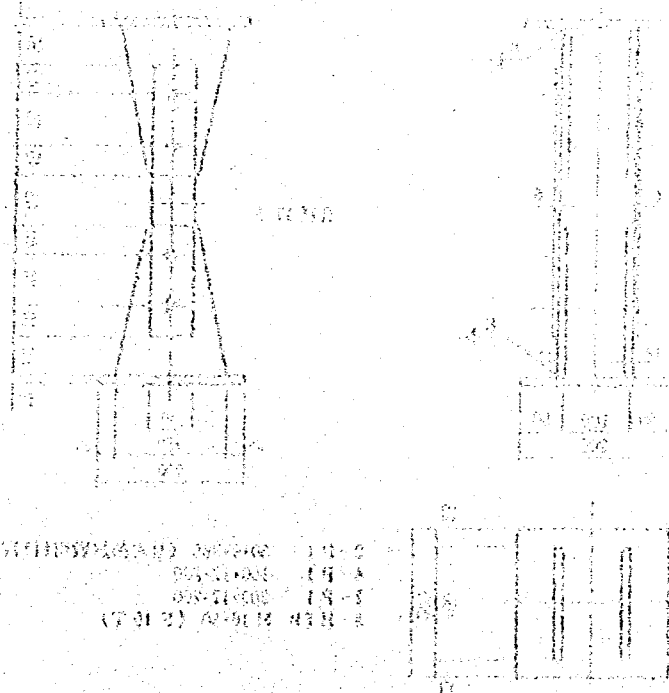


図-3.1 供試体の設計図

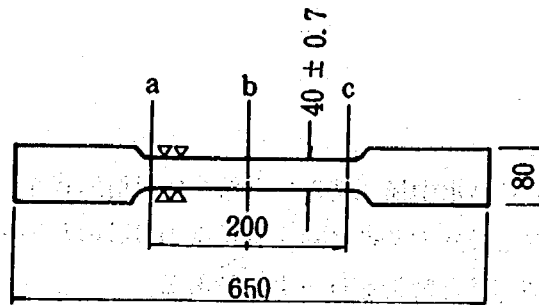
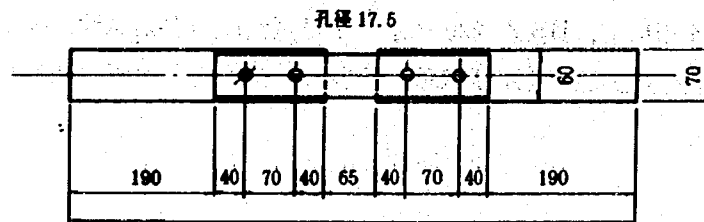


図-3.1 引張試験用供試体 (1号試験片)



- 1-P1 60・6・365 (せん断試験用材料と回転機より切り出す事、ミルシート付)
 2-P1 70・12・340
 4-HTB M16×50 (F10T)

図-3.2 継手引張試験供試体 (T)

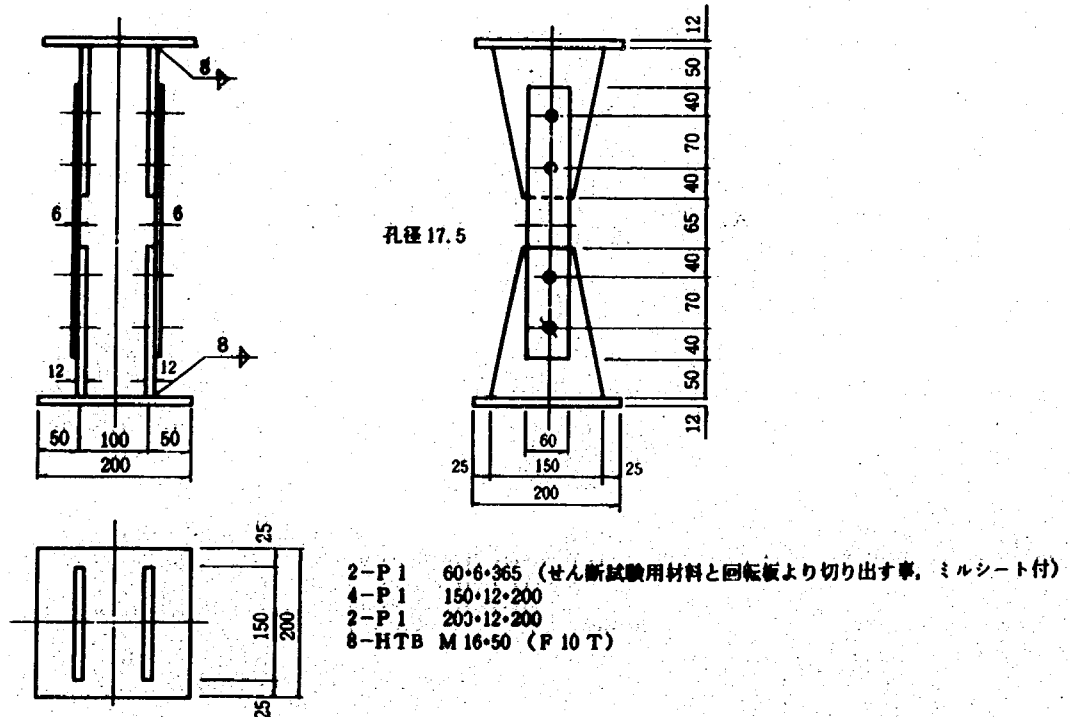
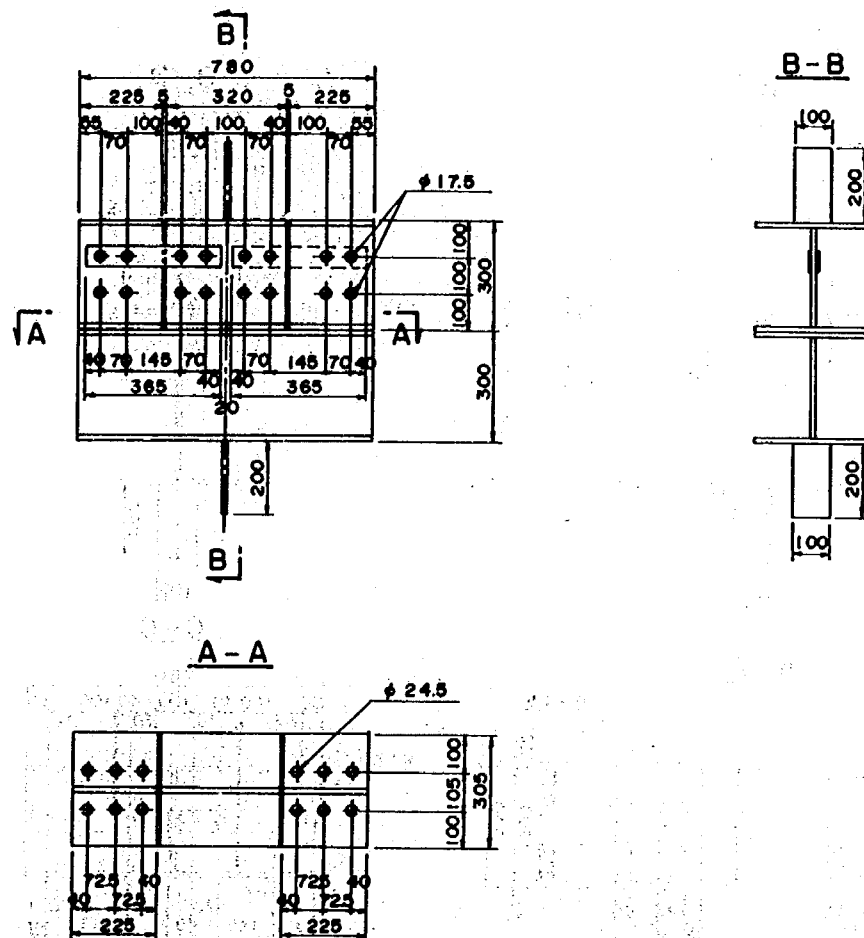
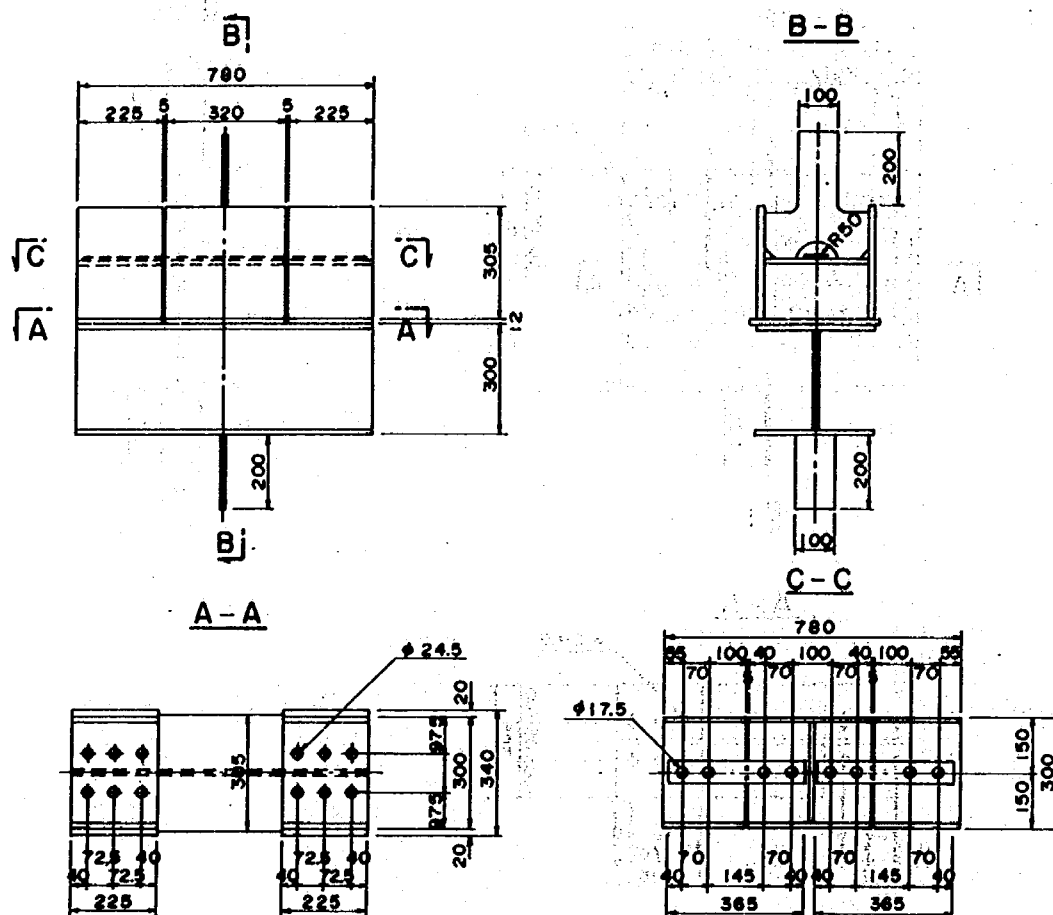


図-3.3 継手圧縮試験用供試体



種 別	断 面	長さ(mm)	単位重量 (kg/mm)	数量	重量(kg)	材 質	摘 要
P 1	60・6	365		2・3	6	SS 41	添 接 板
HTB	M 16	55	0.217	8・3	5	F 10 T	
H	300・305・15・15	320	106	1・2	68	SS 41	
P 1	100・12	200		1・2	4	"	
H	300・305・15・15	225	106	2・2	45	"	
H	300・305・15・15	780		1	83	"	
P 1	100・12	200		1	2	"	3 回 転 用
HTB	M 22	70	0.555	12	7	F 11 T	
計					270		
総鋼量 270 kg							

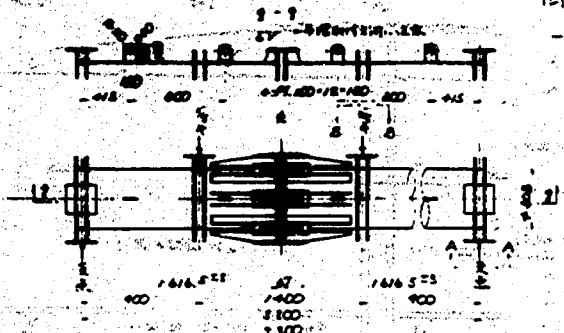
図-3.4 面内せん断試験用供試体



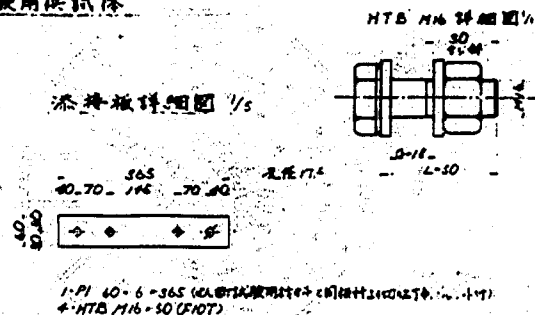
種 別	断 面	長さ(mm)	単位重量 (kg/mm)	数量	重量(kg)	材 質	適 要
P 1	60・6	365		2・3	6・3	SS 41	
HTB	M 16	55		8・3	5・3	F 10 T	
H	300・305・15・15	320	106	1・3	102・3	SS 41	
P 1	270・12	345		1・3	26・3	SS 41	
H	300・305・15・15	225	106	2・3	143・3	SS 41	
HTB	M 22	70	0.555	12	7・3	F 11 T	
総鋼量					289 kg		

図- 3.5 面外せん断試験用供試体

图-110



曲丁試驗用供試体



計 算 表				(11月)	
項目	品 名	計 算 式	計 算 式	計 算 式	計 算 式
PL	208-12.7	1 400	1.55	2	280
	708-16	704		1	140
	150-16	150		1	30
	708-16	704		2	140
		704		2	140
	150-16	150		2	30
	690-16	690		1	140
	98-12	165		32	161
	140-12	140		16	80
	160-16	165		6	30
NTB		50		32	160
End		140		2	40
	M10	15		35	175
5-A	100-12	100		1	20
PI	100-12	100		1	20
	25-16	25		1	5

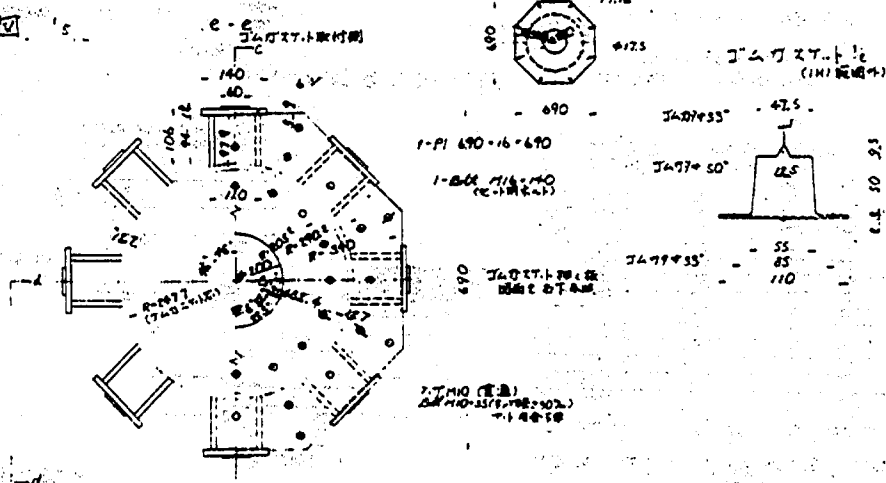
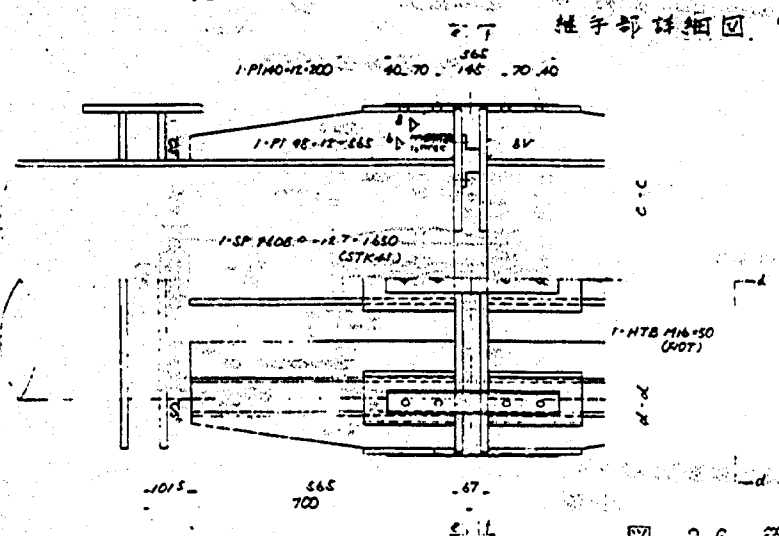
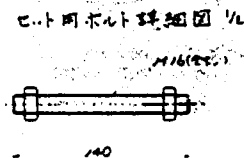
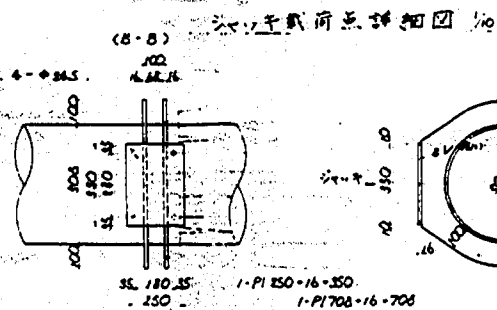
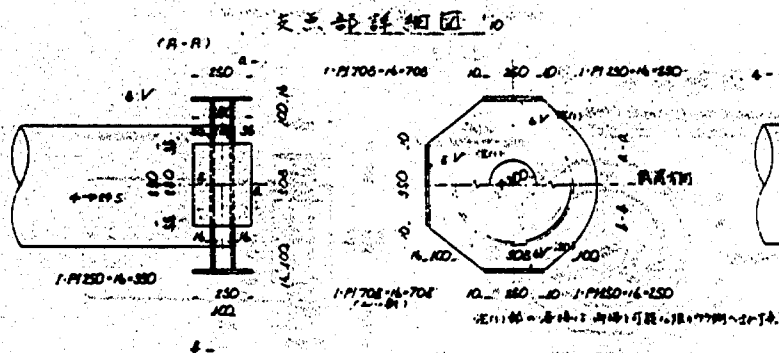
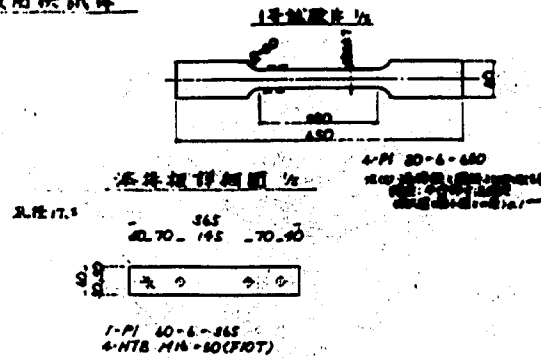
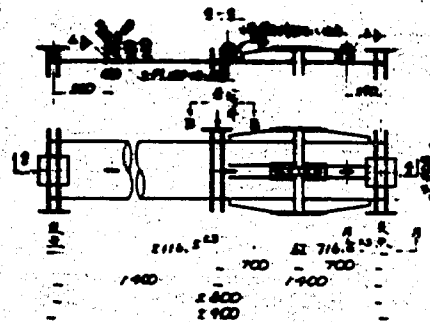
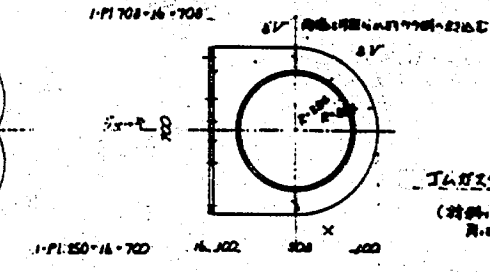
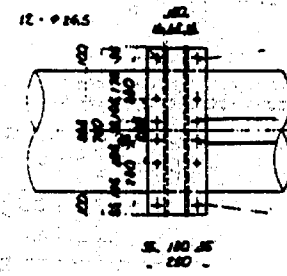
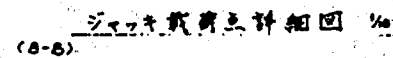
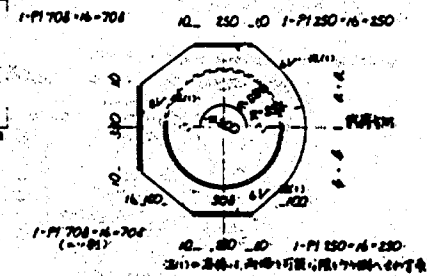
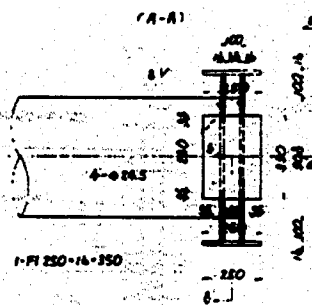
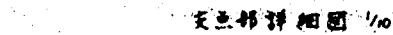


図-3.6 管曲げ試験用供試体

[illegible]

丁ムガスケト押と製
(材料は銀座1:2で作り)
月2回取り出す(市販1ヶ月分)

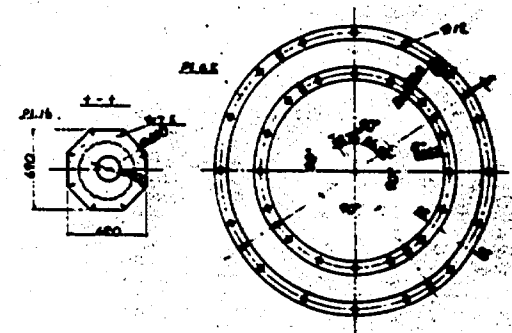
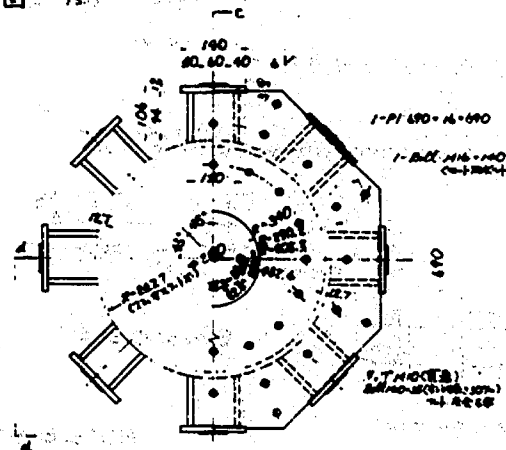
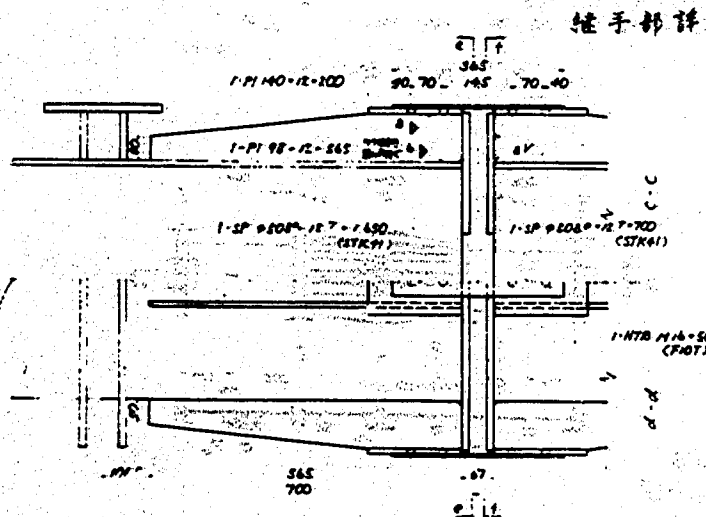


図-3.7 管せん断試験用供試体

表- 3.1 (a) 継手板等実測寸法

記号	試 験 種 別	供試体番号	平 均 寸 法 (mm)	平均断面積 (mm ²)	
				A _g	A _n
1	引 張 試 験 JIS Z 220 1号試験片	1-1	39.88 × 5.95	237.3	—
		1-2	39.88 × 5.85	233.3	—
		1-3	39.77 × 5.95	236.6	—
T	引 張 試 験	T-1	59.50 × 5.83	346.9	244.9
		T-2	59.50 × 5.90	351.1	247.8
		T-3	61.17 × 5.80	354.8	253.3
C	圧 縮 試 験	C-1	60.27 × 5.93	357.4	253.6
			61.10 × 5.83	356.2	254.2
		C-2	59.67 × 5.80	346.1	244.6
			60.10 × 5.80	348.6	247.1
		C-3	62.20 × 5.90	367.0	263.7
			59.93 × 5.93	355.4	251.6
S _i	面内せん断試験	S _i -1	59.60 × 5.92	352.8	249.2
			60.65 × 5.82	353.0	251.1
		S _i -2	59.27 × 5.82	345.0	243.1
			60.67 × 5.92	359.2	255.6
		S _i -3	59.58 × 5.93	353.3	249.5
			60.57 × 5.85	354.3	252.0
S _o	面外せん断試験	S _o -1	60.00 × 5.95	357.0	262.9
			60.50 × 5.97	301.2	256.7
		S _o -2	59.93 × 5.93	355.4	251.6
			60.83 × 5.97	363.2	258.7
		S _o -3	60.53 × 5.90	357.1	253.9
			61.20 × 5.97	365.4	260.9

〔註〕 表中の平均寸法は下図の a, b, 及び c の断面の寸法の平均値である。

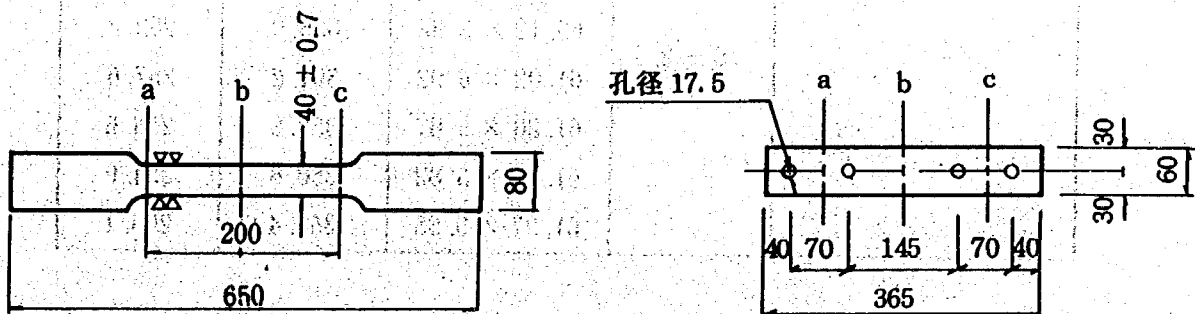


表- 3.1 (b)

記号 試 験 種 別	供試体番号	平 均 寸 法 (mm)	平均断面積 (mm ²)	
			A _g	A _n
M 管 曲 げ 試 験	M-1	59.47 × 5.97	355.0	250.6
		60.07 × 5.95	357.4	253.3
		61.57 × 5.90	363.3	260.0
		60.33 × 5.95	359.0	254.8
		60.67 × 5.92	359.2	255.6
		60.50 × 5.95	360.0	255.9
		59.10 × 5.95	351.6	247.5
		60.60 × 5.93	359.4	255.6
	M-2	60.43 × 5.88	355.3	252.4
		60.47 × 5.87	355.0	252.2
		60.32 × 5.95	358.9	254.8
		60.82 × 5.93	360.7	256.9
		60.67 × 5.92	359.2	255.6
		60.57 × 5.92	358.6	255.0
		60.07 × 5.93	356.2	252.4
		60.70 × 5.95	361.2	257.0
S 管 せん断試験	S-1	60.83 × 6.00	365.0	260.0
		59.22 × 5.92	350.6	247.0
		60.38 × 5.95	359.3	255.1
		60.25 × 5.88	354.3	241.4
		59.85 × 6.00	359.1	254.1
		60.55 × 6.00	363.3	258.3
		59.08 × 5.97	352.7	248.2
		60.52 × 5.98	361.9	257.3
	S-2	60.32 × 5.98	360.7	256.1
		60.00 × 5.92	355.2	251.6
		59.28 × 5.92	350.9	247.3
		60.12 × 5.92	355.9	252.3
		61.02 × 5.92	361.2	257.6
		61.20 × 5.87	359.2	256.5
		61.30 × 5.82	356.8	254.9
		61.27 × 5.85	358.4	256.1

3.2 実験方法

表-3.1 (a)に示した引張試験、圧縮試験、及びせん断試験は、図-3.8に示したように 200 t アムスラー試験機で JIS Z 2241 金属材料引張試験方法によって、また、表-3.1 (b)に示した管の曲げ試験及びせん断試験は、図-3.8 (b)に示したように、ピット内で水平载荷した。

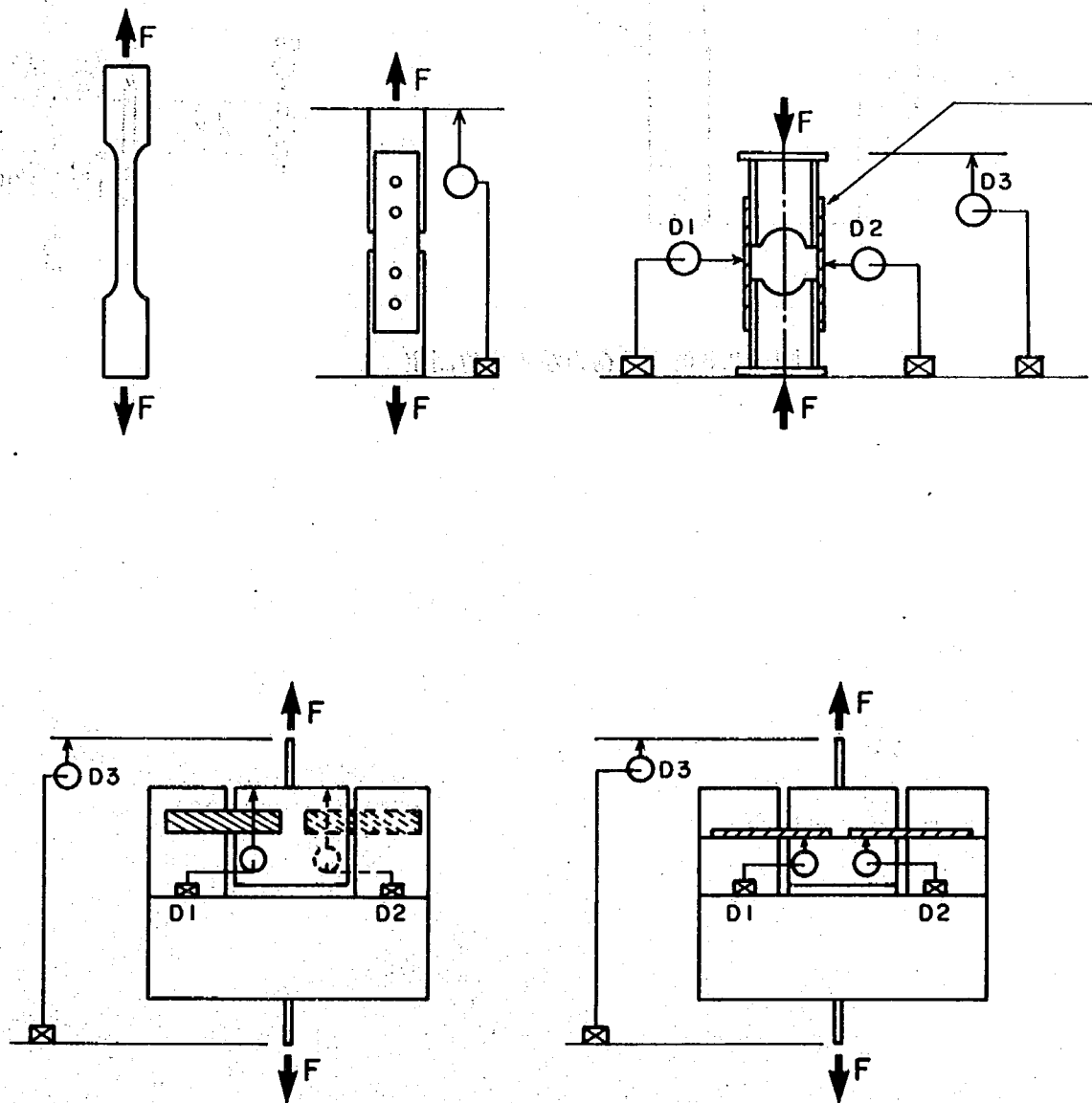


図-3.8 (a) 载荷方法と変位測定

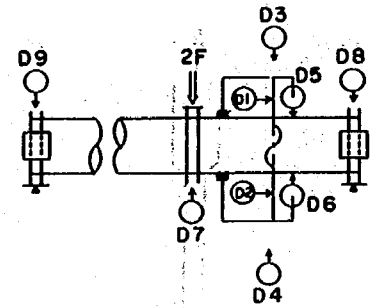
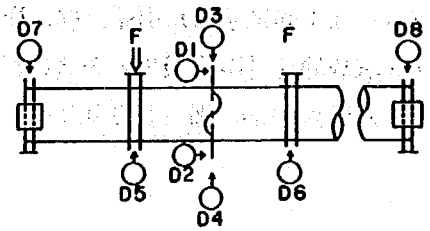
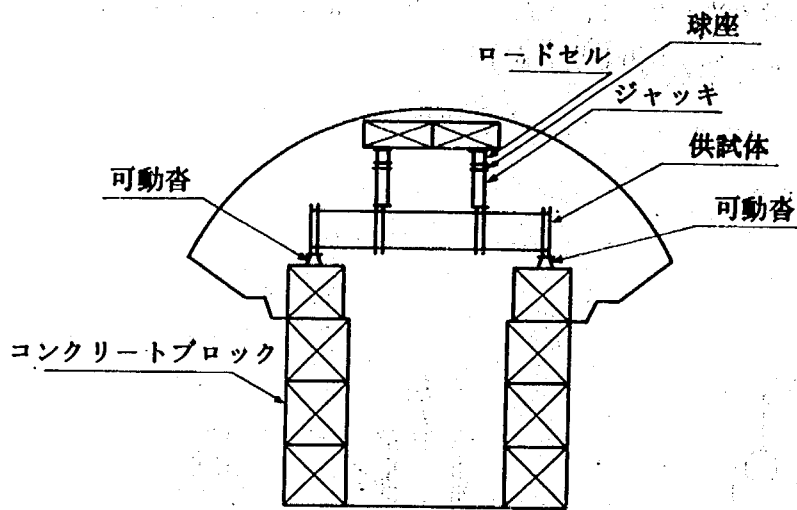
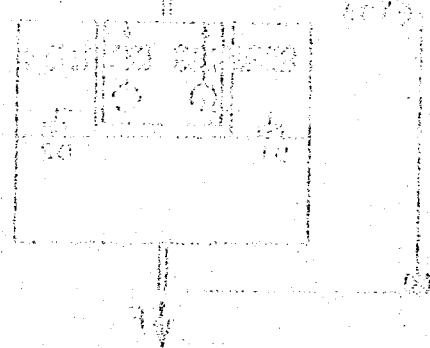
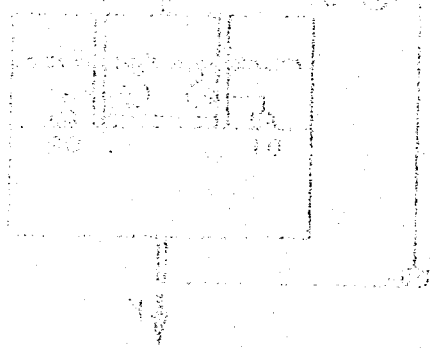


図-3.8(b) 載荷方法と変位測定



4. 実験結果と考察

4.1 1号試験片引張試験

表-4.1及び図-4.1に試験結果と荷重変形曲線を示す。次節以降の考察においては、表中の平均降伏応力及び平均極限応力を使用することとする。

表-4.1 1号試験片引張試験結果

供試体 番号	断面積 A (cm ²)	降伏荷重 F _y (ton)	極限荷重 F _u (ton)	降伏応力 σ_y (kg/mm ²)	極限応力 σ_u (kg/mm ²)	伸び率 (%)
1-1	237.3	8.00	11.10	33.7	46.8	27
1-2	233.3	7.65	11.12	32.8	47.7	26
1-3	236.6	7.75	10.87	32.8	45.9	28
平均	235.7	7.80	11.03	33.1	46.8	27

4.2 継手引張試験

継手単体の引張試験結果を表-4.2, 及び 図-4.2及び3に示す。また, 1号試験片引張試験結果の平均値, 及び, ボルト軸力を11.7t, 継手板のすべり摩擦抵抗係数を0.4として求めた計算値と実測値の比較を表-4.3に示す。

表-4.2 継手引張試験結果

供試体番号	純断面積 A _n (mm ²)	すべり荷重 F _s (ton)	極限荷重 F _u (ton)	極限応力 σ_u (kg/mm ²)
T-1	244.9	7.82	11.96	48.8
T-2	247.8	7.15	12.50	50.4
T-3	253.3	7.15	12.25	48.4
平均	248.7	7.37	12.24	49.2

表-4.3 継手引張試験結果と計算値の比較

供試体番号	すべり荷重		極限荷重	
	F_s (ton)	比 率	F_u (ton)	比 率
T-1	$\frac{7.82}{9.36}$	0.84	$\frac{11.96}{11.46}$	1.04
T-2	$\frac{7.15}{9.36}$	0.76	$\frac{12.50}{11.60}$	1.08
T-3	$\frac{7.15}{9.36}$	0.76	$\frac{12.25}{11.85}$	1.03
平 均	$\frac{7.37}{9.36}$	0.79	$\frac{12.24}{11.64}$	1.05

上段：実測値，下段：計算値

供試体番号	すべり荷重 (ton)	比 率	極限荷重 (ton)	比 率
T-1	7.82	0.84	11.96	1.04
T-2	7.15	0.76	12.50	1.08
T-3	7.15	0.76	12.25	1.03
平 均	7.37	0.79	12.24	1.05

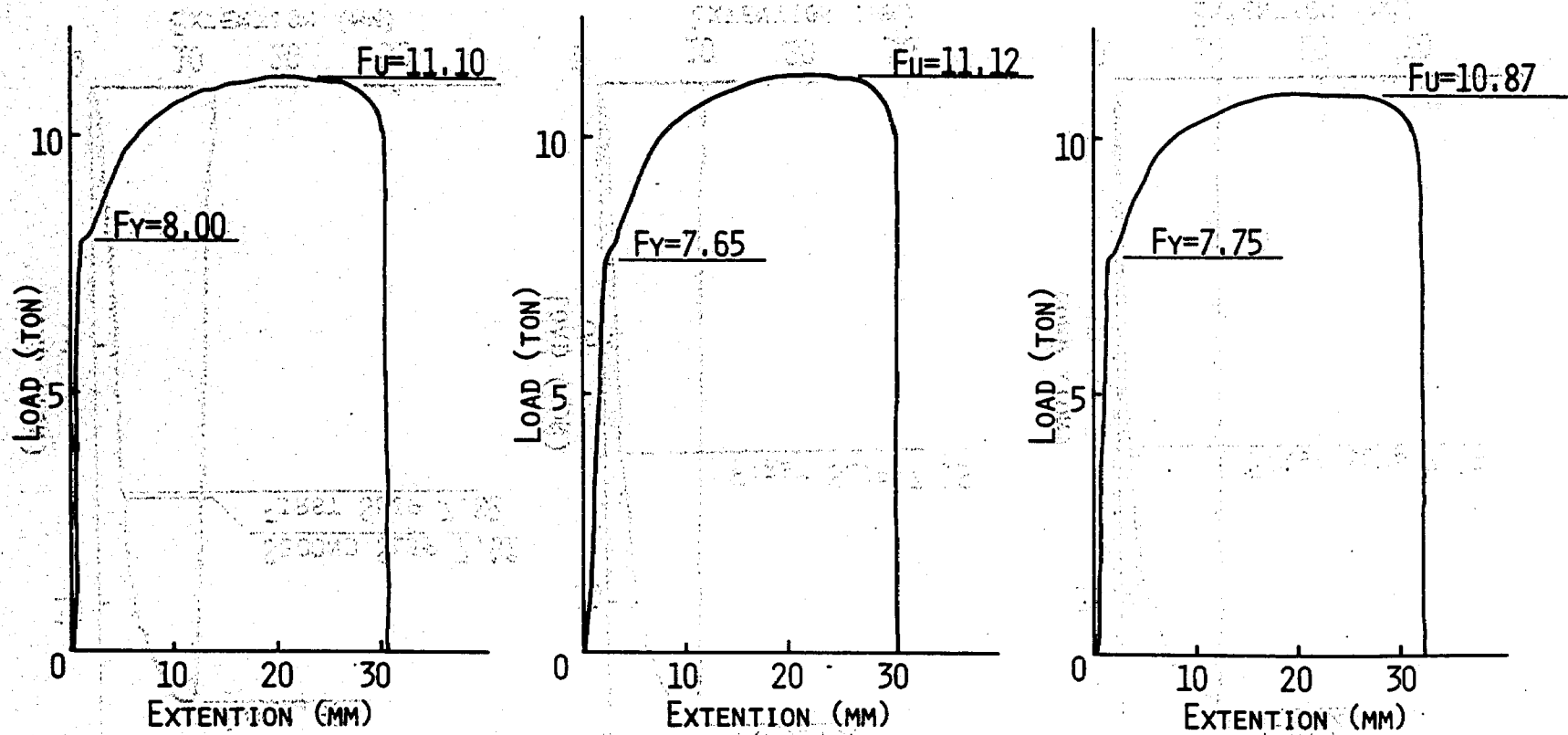


Fig. 4.1 LOAD-EXTENSION CURVE FOR NO.1 TENSION TEST SPECIMENS

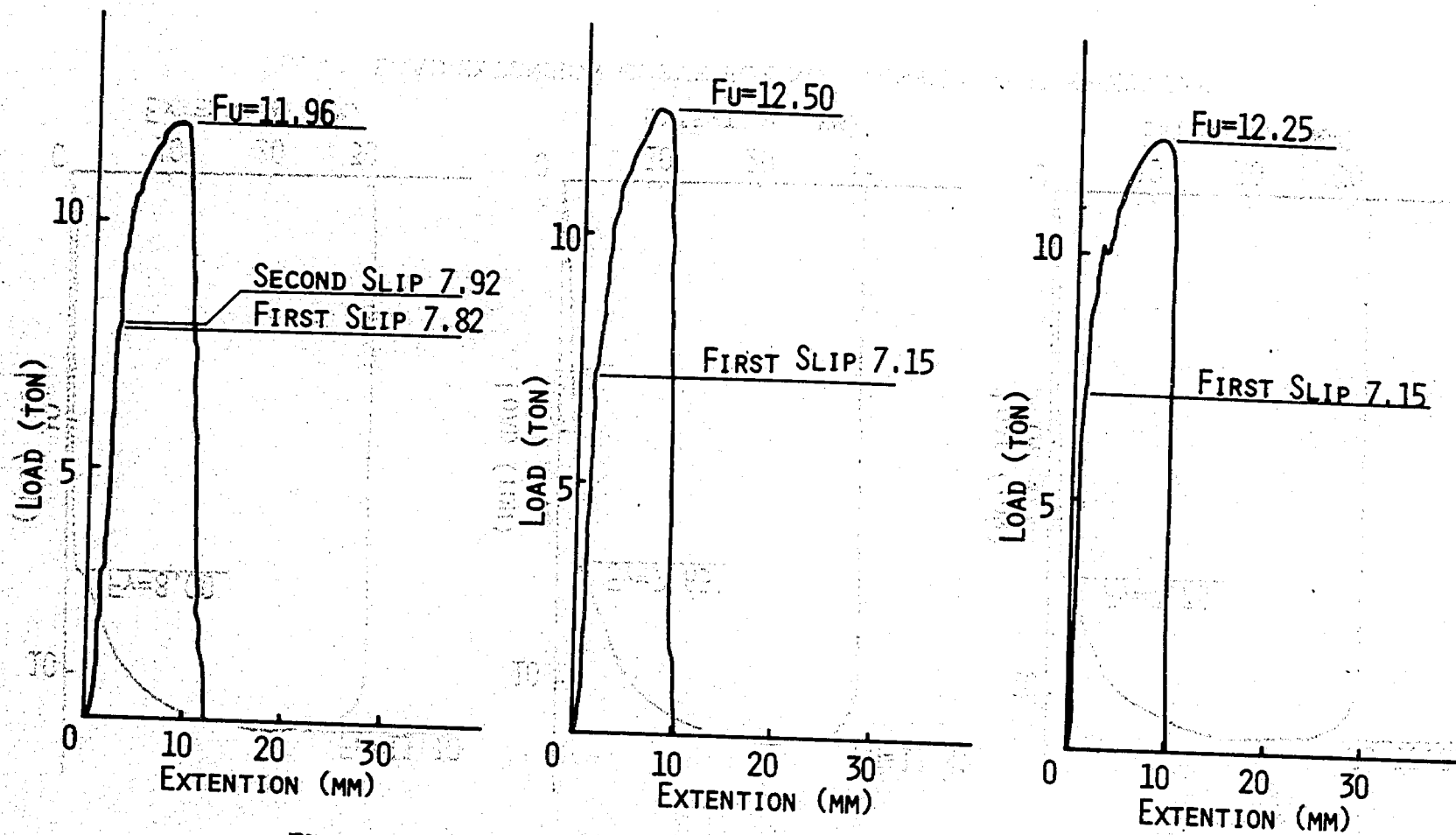


Fig. 4.2 LOAD-EXTENSION CURVE FOR SPLICE PLATES

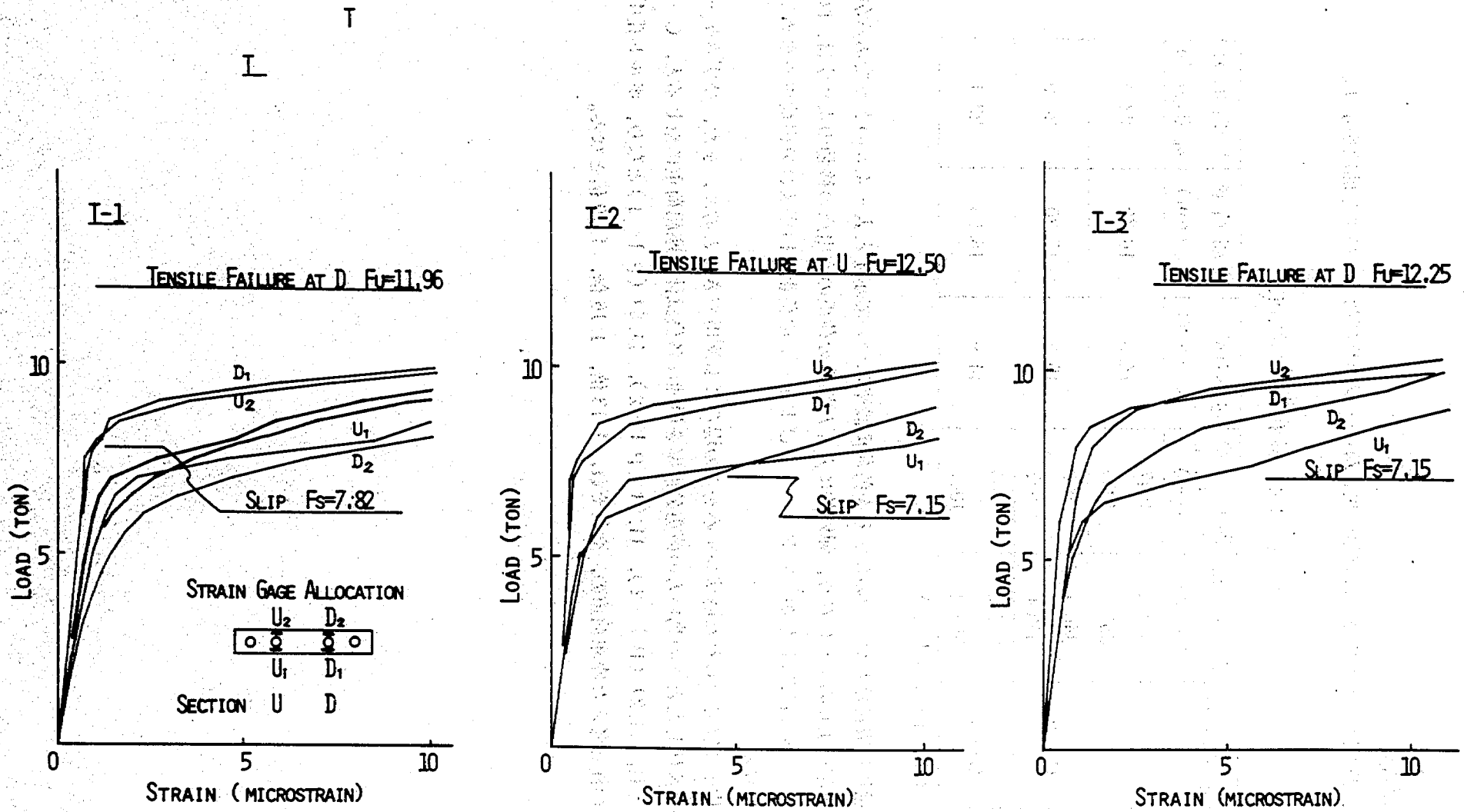


Fig. 4.3 LOAD-STRAIN CURVE FOR SPLICE PLATES (TENSION TEST)

4.3 継手圧縮試験

表-4.4, 及び図-4.4 及び 5 に試験結果と荷重—変形及び荷重—ひずみ曲線を示す。

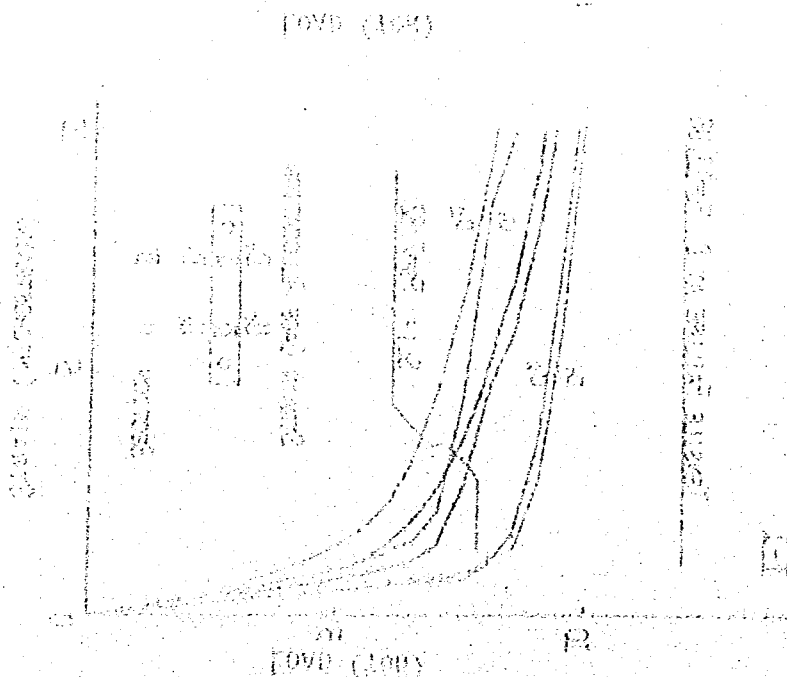
表-4.4 継手圧縮試験結果

供試体番号	断面積 A (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	すべり荷重 F_s (ton)	座屈荷重 F_B (ton)	座屈応力 σ_B (kg/mm^2)
C-1	357.4	1047	14.5	16.70	23.4
	356.2	1009			
C-2	346.1	970	15.3	17.30	24.9
	348.6	977			
C-3	367.0	1065	14.9	15.95	22.1
	355.4	1041			

(註) 1) $\sigma_B = F_B / A$

いま、試験片に取付けたゲージのひずみを各荷重段階について示すと表-4.5 のようであるが、これを図示すると図-4.6 のようになり、弾性的に考えた場合の荷重の作用点の移動のようすは、図-4.7 のようになる。この軌跡にしたがって P 1-1 及び P 1-2 の荷重分担率及び分担荷重を求めると表-4.6 のようになる。

1号試験片の試験で得られた降伏ひずみをこの場合にも適用できると考え、また、ひずみゲージのどれかひとつが降伏したときの高い方の荷重分担率を単純に各供試体の座屈荷重に乗じると、C-1, 2, 3 では、それぞれ、11.2t (P 1-2), 11.2t (P 1-2), 11.5t (P 1-1) となり、ボルト孔中心間長のピン支持の柱と考えた座屈荷重の、それぞれ、1.13 倍、1.16 倍、1.10 倍となる。



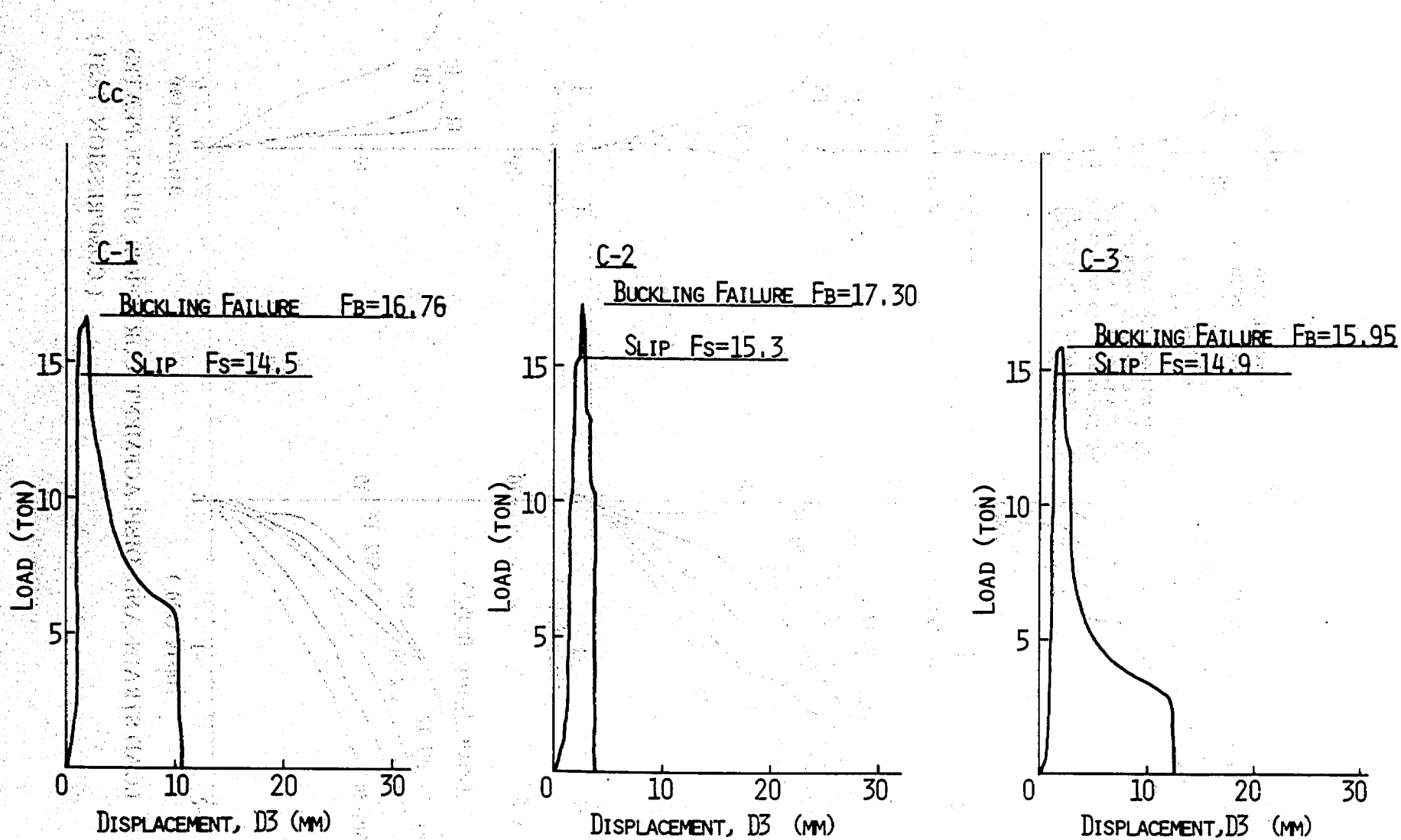


Fig. 4.4 LOAD-DISPLACEMENT CURVE FOR SPLICE PLATES (COMPRESSION TEST)

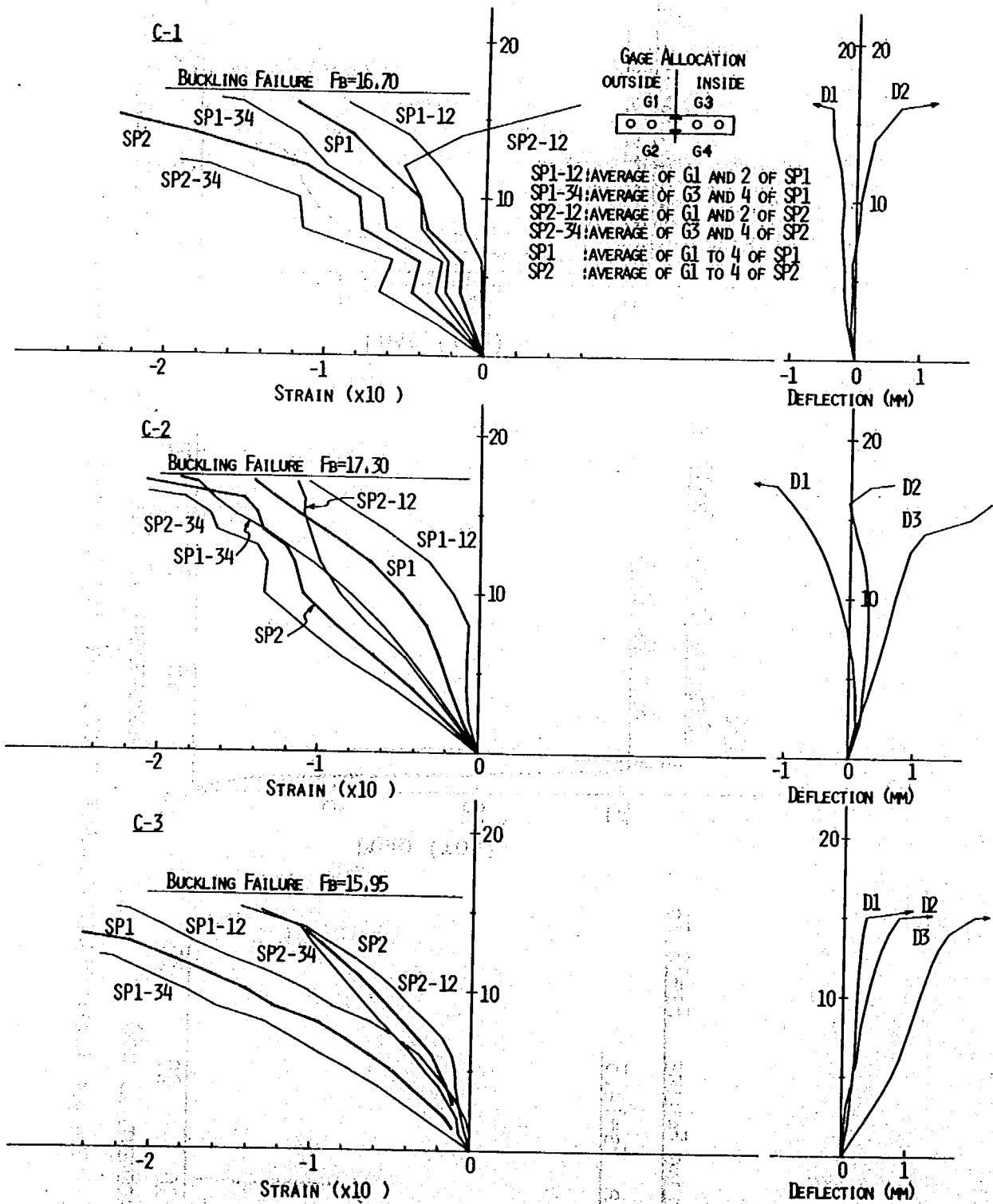
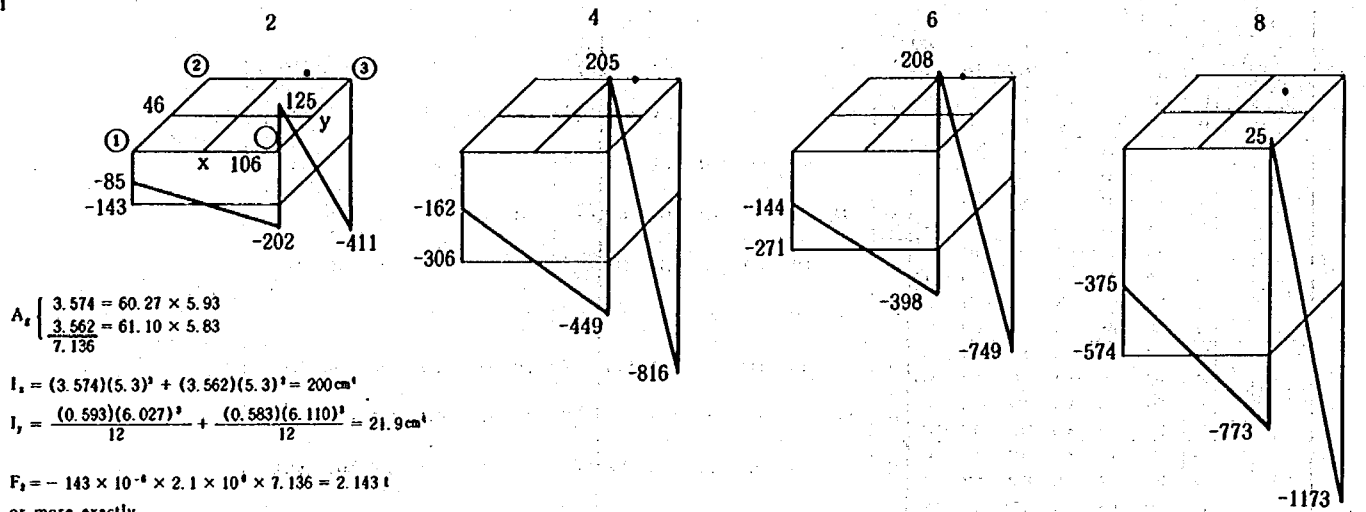


Fig. 4.5 LOAD-STRAIN AND DISPLACEMENT CURVE FOR SPLICE PLATES
(COMPRESSION TEST)

表-4.5

	PI	gage	No.	21	4	6	8	10	12	Ave	2	4	6	8	10	12	$\frac{①+②}{2}$	2	4	6	8	10	12	ave.	2	4	6	8	10	12														
				21	4	6	8	10	12		2	4	6	8	10	12		2	4	6	8	10	12																					
C-1	1	表	8	230	451	424	430	401	306	①	172	326	316	201	170	-37	$\frac{①+②}{2}$	-85	-162	-144	-375	-401	-649	ave.	-143	-306	-271	-574	-595	-886														
			9	-264	-496	-466	-687	-707	-889																																			
	裏	10	113	201	207	-28	-62	-379	②	-341	-650	-603	-951	-971	-1260	$\frac{②+③}{2}$	-202	-449	-398	-773	-789	-1124	①								-143	-306	-271	-574	-595	-886								
		11	-417	-803	-740	-1214	-1234	-1631																																				
	2	表	20	-363	-718	-663	-944	-941	-1074	③	-480	-981	-895	-1394	-1402	-1790	$\frac{③+④}{2}$	125	205	207	25	-3	-247								①	-143	-306	-271	-574	-595	-886							
			21	138	233	229	144	126	34																																			
裏		22	-597	-1244	-1127	-1844	-1862	-2506	④	77	83	100	-151	-176	-457	$\frac{④+⑤}{2}$	-411	-816	-749	-1173	-1187	-1525	②	-143	-306	-271	-574	-595	-886															
		23	16	-67	-29	-446	-478	-947																																				
C-2	1	表	8	-62	-120	-165	-196	-317	-486	①	-92	-212	-333	-451	-619	-818	$\frac{①+②}{2}$	-96	-179	-257	-335	-485	-688	ave.	-153	-300	-455	-618	-799	-979														
			9	-58	-25	10	64	-6	-153																																			
		裏	10	-121	-303	-500	-705	-921	-1149	②	-100	-145	-181	-218	-350	-558	$\frac{②+③}{2}$	-209	-420	-652	-901	-1112	-1270								①	-153	-300	-455	-618	-799	-979							
			11	-142	-254	-371	-499	-694	-962																																			
	2	表	20	-184	-291	-412	-581	-721	-788	③	-228	-409	-612	-840	-1051	-1204	$\frac{③+④}{2}$	-141	-322	-513	-706	-896	-1077								①	-153	-300	-455	-618	-799	-979							
			21	-141	-305	-505	-786	-1031	-1213																																			
		裏	22	-271	-526	-811	-1098	-1380	-1620	④	-190	-431	-692	-961	-1172	-1335	$\frac{④+⑤}{2}$	-164	-277	-397	-529	-701	-881															②	-153	-300	-455	-618	-799	-979
			23	-238	-556	-878	-1136	-1312	-1456																																			
C-3	1	表	8	220	333	496	493	455	420	①	171	236	249	136	-60	-295	$\frac{①+②}{2}$	-163	-372	-631	-965	-1412	-1875	ave.	-118	-261	-440	-689	-1006	-1348														
			9	-290	-656	-1131	-1755	-2510	-3421																																			
		裏	10	121	139	2	-222	-574	-1009	②	-497	-980	-1510	-2065	-2764	-3454	$\frac{②+③}{2}$	-73	-151	-250	-414	-600	-821								①	-118	-261	-440	-689	-1006	-1348							
			11	-704	-1303	-1889	-2374	-3017	-3486																																			
	2	表	20	-379	-689	-935	-1191	-1464	-1738	③	-402	-774	-1107	-1370	-1585	-1754	$\frac{③+④}{2}$	214	355	429	340	163	-92								①	-118	-261	-440	-689	-1006	-1348							
			21	259	497	691	656	529	281																																			
		裏	22	-425	-858	-1278	-1548	-1706	-1769	④	257	473	608	543	385	112	$\frac{④+⑤}{2}$	-450	-877	-1309	-1718	-2175	-2604															②	-118	-261	-440	-689	-1006	-1348
			23	254	449	525	430	240	-57																																			



$$A_x \begin{cases} 3.574 = 60.27 \times 5.93 \\ 3.562 = 61.10 \times 5.83 \\ 7.136 \end{cases}$$

$$I_x = (3.574)(5.3)^2 + (3.562)(5.3)^2 = 200 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{(0.593)(6.027)^2}{12} + \frac{(0.583)(6.110)^2}{12} = 21.9 \text{ cm}^4$$

$$F_x = -143 \times 10^{-8} \times 2.1 \times 10^8 \times 7.136 = 2.143 \text{ t}$$

or more exactly

$$F_x' = (-85 \times 3.574 - 202 \times 3.562) \times 2.1 = 2.149$$

almost equal → take F_x method

$$e_x = \frac{M_x}{F_x} y = e_y$$

$$M_x = e_y F_x = F_x e_y$$

$$e_y = \frac{e_x I_x}{F_x y} = \frac{(143 - 85)(2.1)(200)}{(2143)(5.3)} = 2.14 \text{ cm}$$

$$e_x = \frac{e_y I_y}{F_x x} = \frac{(411 - 143)(2.1)(21.9)}{(2143)(2.3)} = 2.50$$

$$F_x = 4.586$$

$$e_y = \frac{(306 - 162)(2.1)(200)}{(4586)(5.3)} = 2.49$$

$$e_x = \frac{(816 - 306)(2.1)(21.9)}{(4586)(2.3)} = 2.22$$

$$F_x = 4.061$$

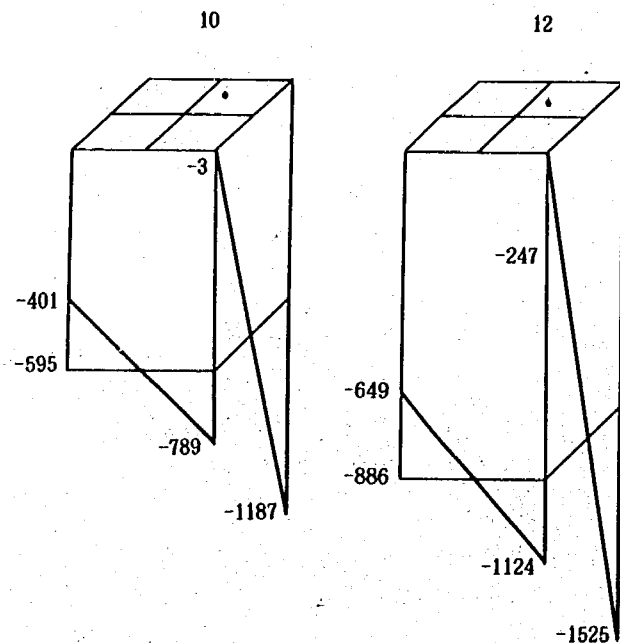
$$e_y = \frac{(271 - 144)(2.1)(200)}{(4061)(5.3)} = 2.48$$

$$e_x = \frac{(749 - 271)(2.1)(21.9)}{(4061)(2.3)} = 2.35$$

$$F_x = 8.602$$

$$e_y = \frac{(574 - 375)(2.1)(200)}{(8602)(5.3)} = 1.83$$

$$e_x = \frac{(1173 - 574)(2.1)(21.9)}{(8602)(2.3)} = 1.39$$



$$F_{10} = 8.916$$

$$e_y = \frac{(595 - 401)(2.1)(200)}{(8916)(5.3)} = 1.72$$

$$e_x = \frac{(1187 - 595)(2.1)(21.9)}{(8916)(2.3)} = 1.33$$

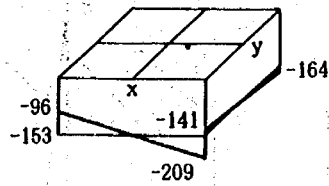
$$F_{12} = 13.277$$

$$e_y = \frac{(886 - 649)(2.1)(200)}{(13277)(5.3)} = 1.42$$

$$e_x = \frac{(1525 - 886)(2.1)(21.9)}{(13277)(2.3)} = 0.96$$

Fig. 4.6 ひずみ分布の変化

2



$$A_x = \begin{cases} 3.461 = 59.67 \times 5.80 \\ 3.486 = 60.10 \times 5.80 \\ 6.947 \end{cases}$$

$$I_x = (3.461)(5.3)^2 + (3.486)(5.3)^2 = 195 \text{ cm}^4$$

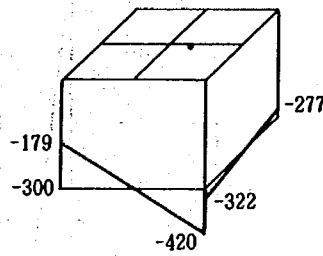
$$I_y = \frac{(0.580)(5.967)^3}{12} + \frac{(0.580)(6.010)^3}{12} = 20.8$$

$$F_x = (-153)(2.1)(6.947) = 2232 \text{ kg}$$

$$e_y = \frac{(153 - 96)(2.1)(195)}{(2232)(5.3)} = 1.97$$

$$e_x = \frac{(164 - 153)(2.1)(20.8)}{(2232)(2.3)} = 0.09$$

4

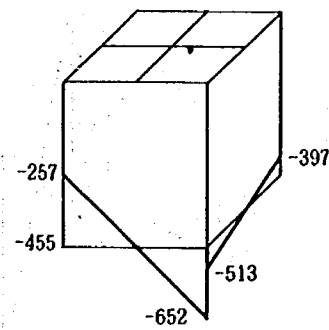


$$F_x = 4377$$

$$e_y = \frac{(300 - 179)(2.1)(195)}{(4377)(5.3)} = 2.14$$

$$e_x = \frac{(322 - 300)(2.1)(20.8)}{(4377)(2.3)} = 0.10$$

6

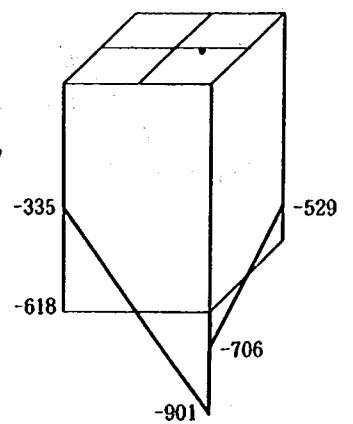


$$F_x = 6638$$

$$e_y = \frac{(455 - 257)(2.1)(195)}{(6638)(5.3)} = 2.31$$

$$e_x = \frac{(513 - 455)(2.1)(20.8)}{(6638)(2.3)} = 0.17$$

8

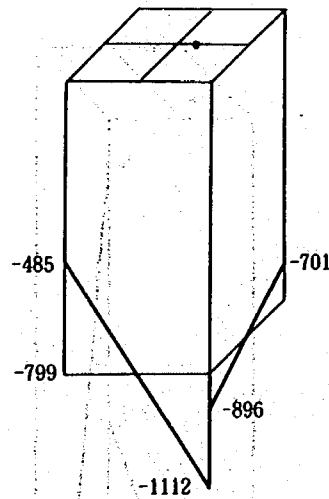


$$F_x = 9016$$

$$e_y = \frac{(618 - 335)(2.1)(195)}{(9016)(5.3)} = 2.43$$

$$e_x = \frac{(706 - 618)(2.1)(20.8)}{(9016)(2.3)} = 0.19$$

10

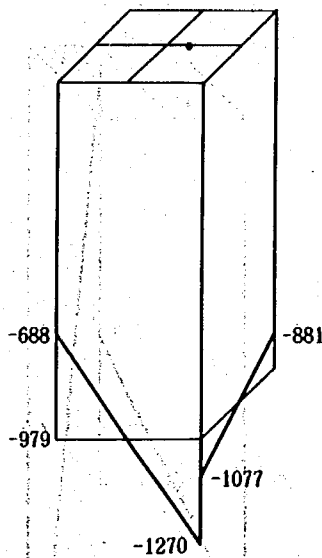


$$F_x = 11656$$

$$e_y = \frac{(799 - 485)(2.1)(195)}{(11656)(5.3)} = 2.08$$

$$e_x = \frac{(896 - 799)(2.1)(20.8)}{(11656)(2.3)} = 0.16$$

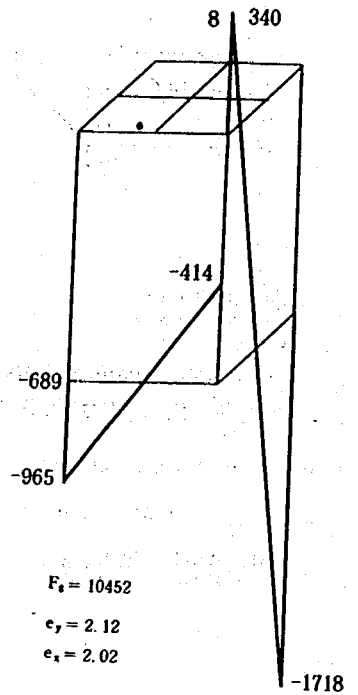
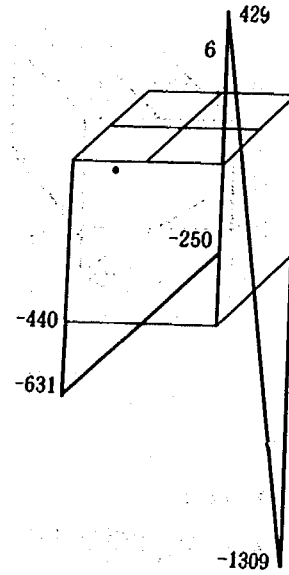
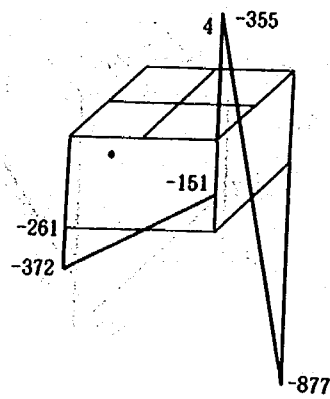
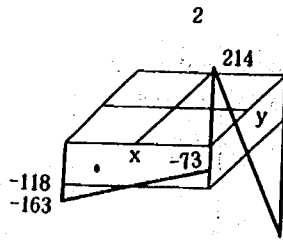
12



$$F_x = 14282$$

$$e_y = \frac{(979 - 688)(2.1)(195)}{(14282)(5.3)} = 1.57$$

$$e_x = \frac{(1077 - 979)(2.1)(20.8)}{(14282)(2.3)} = 0.13$$



$$A_s \begin{cases} 3.670 = 62.20 \times 5.90 \\ 3.554 = 59.93 \times 5.93 \\ \hline 7.224 \end{cases}$$

$$I_1 = (3.670)(5.3)^3 + (3.554)(5.3)^3 = 203$$

$$I_1 = \frac{(0.59)(6.220)^3}{12} + \frac{(0.593)(5.993)^3}{12} = 22.5$$

$$F_2 = (118)(2.1)(7.224) = 1790$$

$$e_f = \frac{(163 - 118)(2.1)(203)}{(1790)(5.3)} = 2.02$$

$$c_1 = \frac{(450 - 118)(2.1)(22.5)}{(1790)(2.3)} = 3.81$$

$$F_1 = 3959$$

$$e_1 = 2.26$$

$$e_1 = 3.20$$

$$F_0 = 6675$$

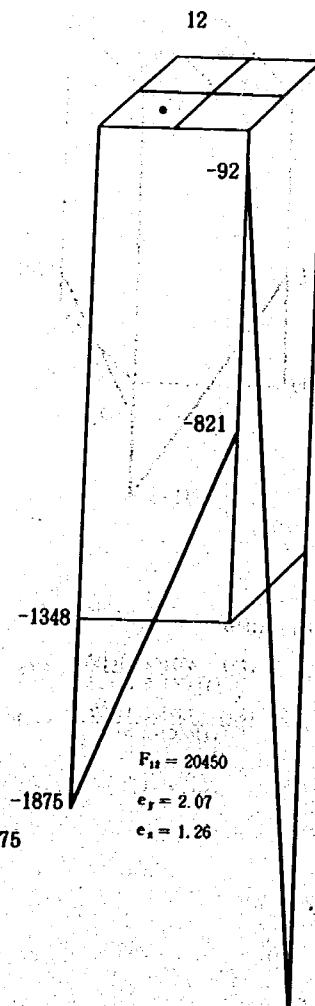
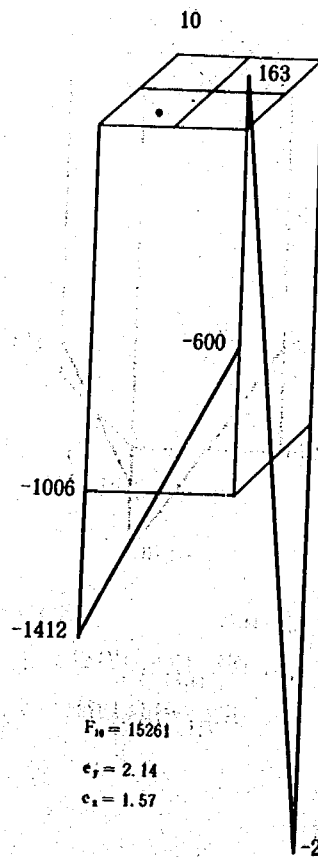
$$e_f = 2.30$$

$$e_1 = 2.67$$

$F_s = 10452$

$$c_7 = 2.12$$

$$e_x = 2.02$$



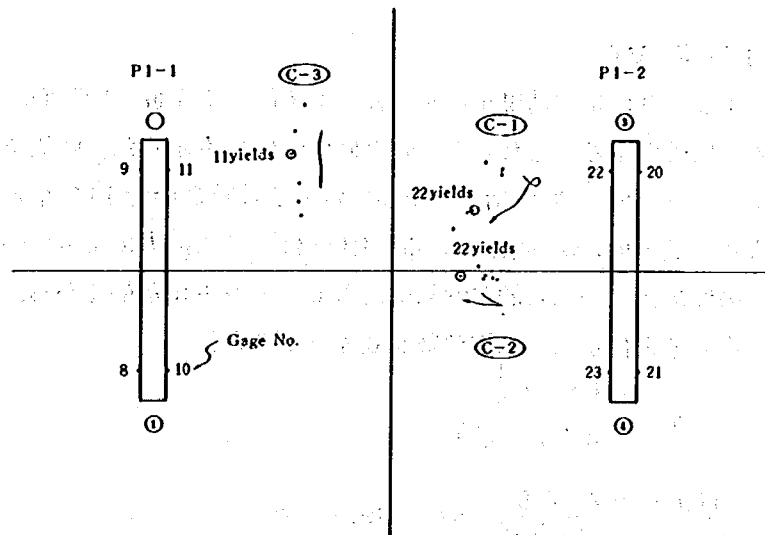
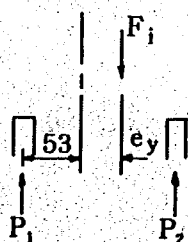


Fig. 4.7 荷重の増加と作用点の移動

表-4.6 荷重分担率

		2 t		4		6		8		10		12	
		F _{ey}	kg (%)	F _{ey}	kg (%)	F _{ey}	kg (%)	F _{ey}	kg (%)	F _{ey}	kg (%)	F _{ey}	kg (%)
C-1	P1-1	2143	639	4586	1216	4061	1080	8602	2816	8916	3011	13277	4860
		2.14	(30)	2.49	(27)	2.48	(27)	1.83	(33)	1.72	(34)	1.42	(37)
	P1-2	1504	(70)	3370	(73)	2981	(73)	5786	(67)	5905	(66)	8417	(63)
C-2	F	2232	701	4377	1305	6638	1872	9016	2441	11656	3541	14282	5026
	P1-1	1.97	(31)	2.14	(30)	2.31	(28)	2.43	(27)	2.08	(30)	1.57	(35)
	P1-2	1531	(69)	3072	(70)	4766	(72)	6575	(73)	8115	(70)	9256	(65)
C-3	F	1790	554	3959	1135	6675	1889	10452	3136	15261	4550	20450	6231
	P1-2	2.02	(31)	2.26	(29)	2.30	(28)	2.12	(30)	2.14	(30)	2.07	(31)
	P1-1	1236	(69)	2824	(71)	4786	(72)	7316	(70)	10711	(70)	14219	(69)



$$P_1 = \frac{5.3 - e_y}{10.6} F_1$$

$$P_2 = \frac{5.3 + e_y}{10.6} F_1$$

4.4 継手の面内方向せん断試験

表-4.7, 及び図-4.8, 9に試験結果を示す。表-4.7には継手板の純断面, あるいは全断面が曲げによって降伏, あるいは破壊するとしたときの計算値についても示した。降伏荷重及び極限荷重とも, 実測値は純断面に対する計算値の約20%増, 全断面に対する計算値の約10%増となっている。

図-4.10に示すように, 継手板の断面②, ③の間の部分は, せん断力によって回転する。②-③区間と, ③-④区間の治具の間にはこの相対的な回転によるモーメント m が働くから, ボルトの締付け力が径6cmの円に等分に分布すると仮定し, 摩擦係数を0.4とすると,

$$m = \int_{r_1}^{r_2} \pi r^2 \tau_n dr = \frac{T \cdot \mu \cdot \frac{1}{2}}{\pi (r_2^2 - r_1^2)}$$

$$= \int_{0.875}^{3.0} \frac{(11700)(0.4)(0.5)}{(3.0)^2 - (0.875)^2} r^2 dr = 2494 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

となり, 継手板1枚あたりの降伏荷重及び破壊荷重は純断面に対して次式で求められる。

$$S = 0.138 m + 0.138 M$$

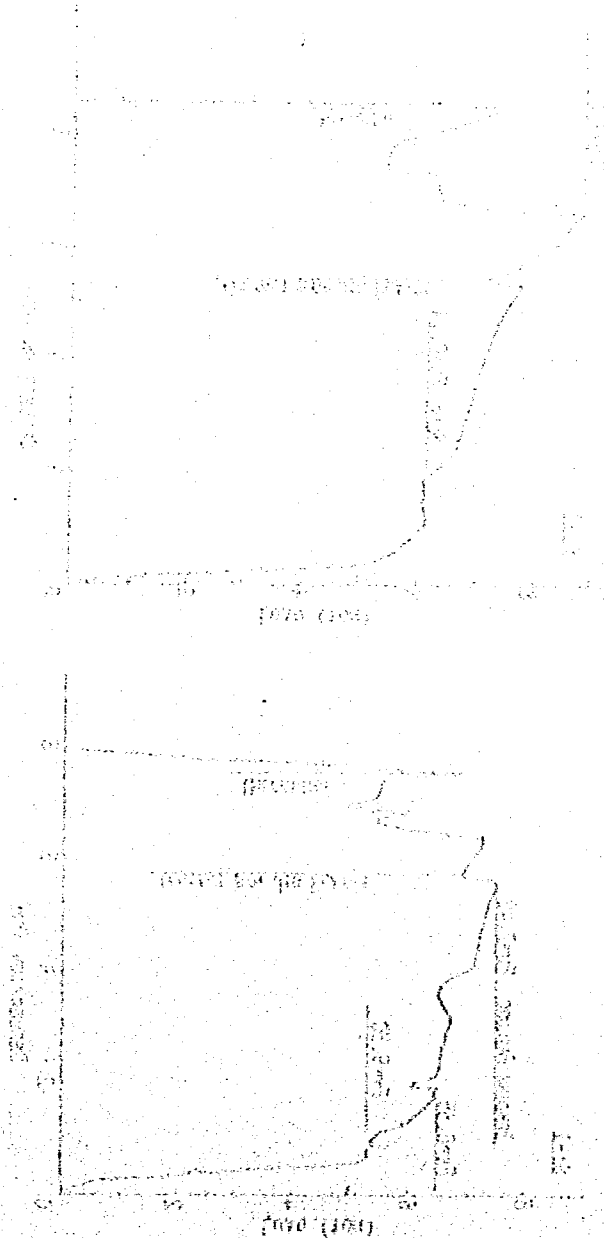
この式によって計算した値を表-4.8に示す。降伏荷重についてはほぼ実験値に近い値となっており, 仮定の妥当性がうかがえるが, 破壊荷重については, なお, 10%程度低い値となっている。これは, 図-4.8に示したように, 各供試体とも破壊時に55mm前後のせん断変形をしており, 継手板には平均的にかなりの引張りが働いて, 中立軸が圧縮側へ移動し, この引張力と圧縮力の和が, 図-4.8に示した荷重 S と釣合っているという考え方を提起させるが, ひずみ分布が明らかでないので検証はできない。

表-4.7 継手の面内せん断試験結果

供試体 番 号	断面積 A_n (cm^2) A_g	降 伏 荷 重 (ton)			極 限 荷 重 (ton)		
		実験値	計算値	実験値/計算値	実験値	計算値	実験値/計算値
S _I -1	5.003	5.30	4.44	1.19	7.49	6.27	1.20
	7.058		4.85	1.09		6.85	1.09
S _I -2	4.987	5.15	4.41	1.17	7.81	6.24	1.25
	7.042		4.82	1.07		6.82	1.15
S _I -3	5.015	5.20	4.44	1.17	7.50	6.28	1.19
	7.076		4.86	1.07		6.86	1.09
平 均		5.22	4.43	1.18	7.60	6.26	1.21
			4.84	1.08		6.84	1.11

表-4.8 継手のせん断耐力等の計算値

供試体 番 号	実 験 値		P 1 番号	降 伏 荷 重			破 壊 荷 重		
	降伏荷重 (kg)	破壊荷重 (kg)		1 枚 あたり (kg)	計(kg)	実験値 計算値	1 枚 あたり (kg)	計(kg)	実験値 計算値
S _i -1	5300	7490	P 1-1	2539	5124	1.03	3447	6960	1.08
			P 1-2	2585			3513		
S _i -2	5150	7810	P 1-1	2475	5101	1.01	3358	6928	1.13
			P 1-2	2626			3570		
S _i -3	5200	7500	P 1-1	2541	5132	1.01	3450	6970	1.09
			P 1-2	2591			3520		



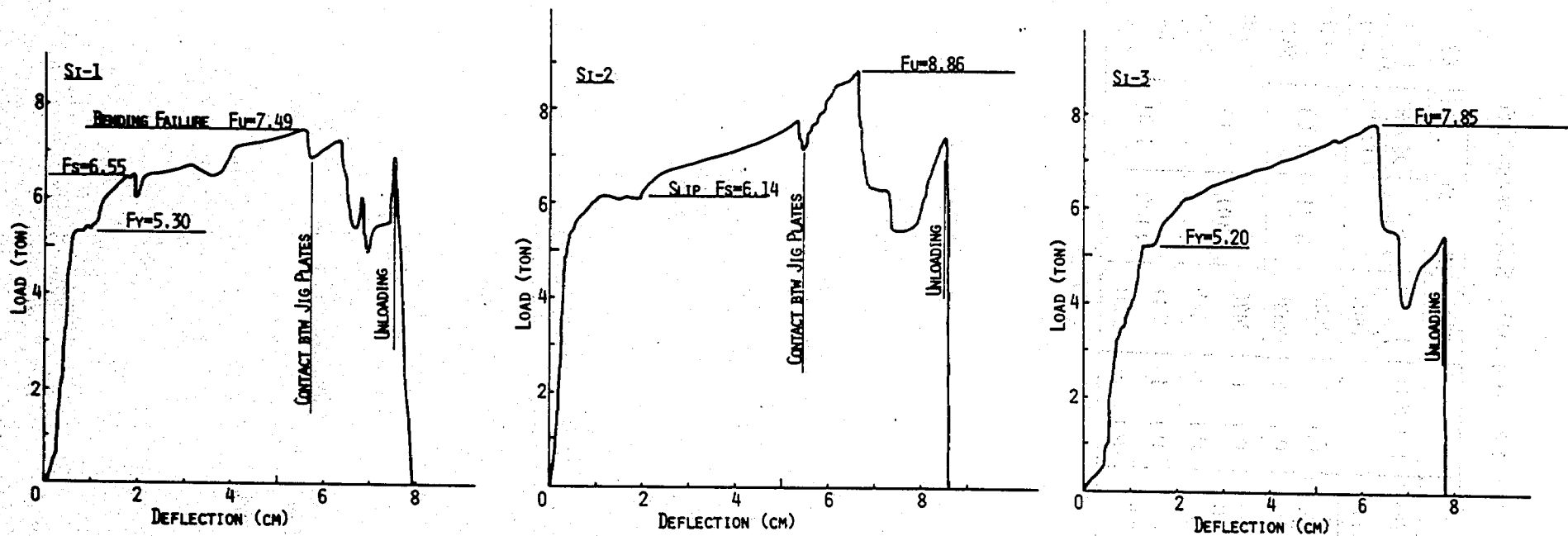


Fig. 4.8 LOAD-DEFLECTION CURVE FOR SPLICE PLATE PLATES (IN-PLANE SHEAR TEST)

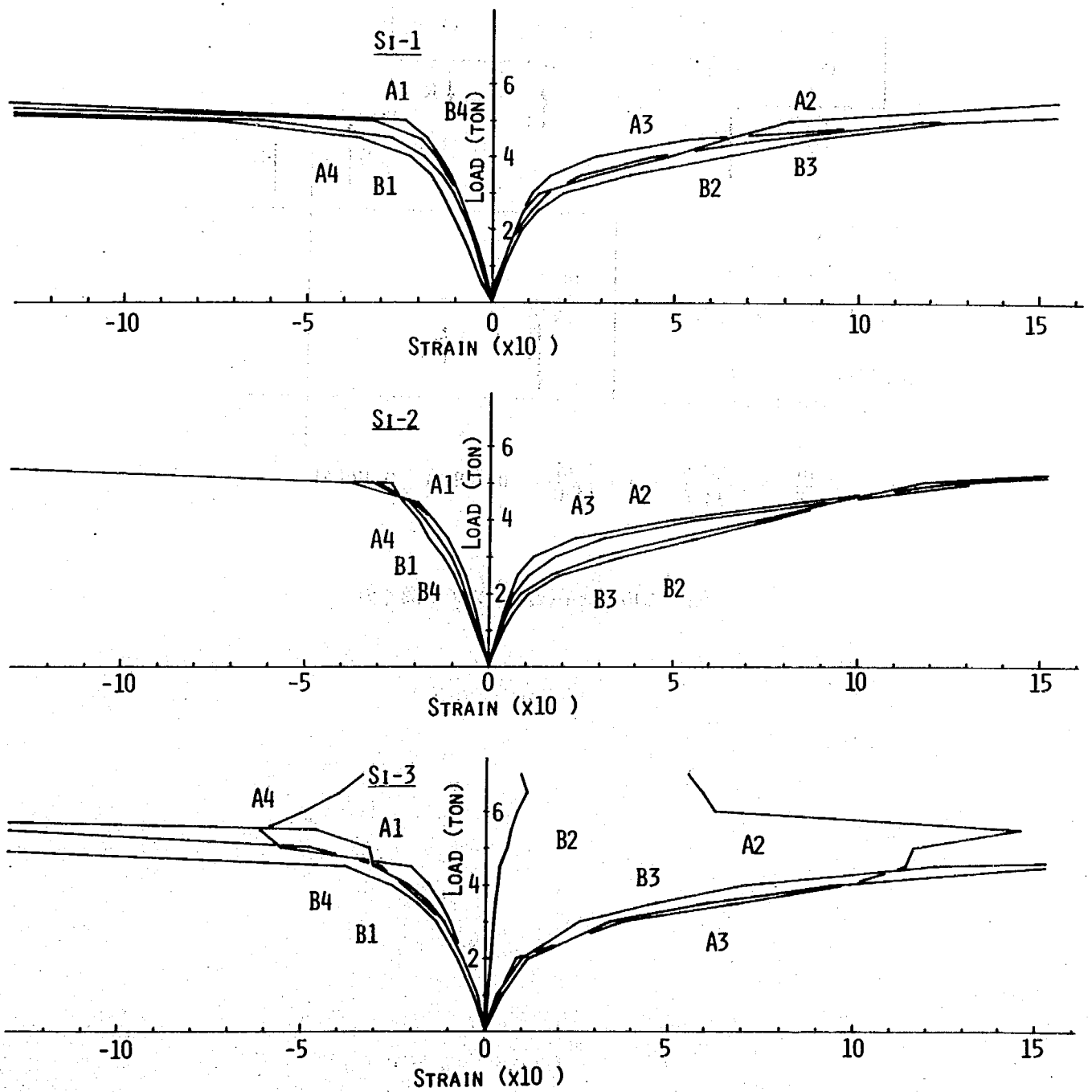
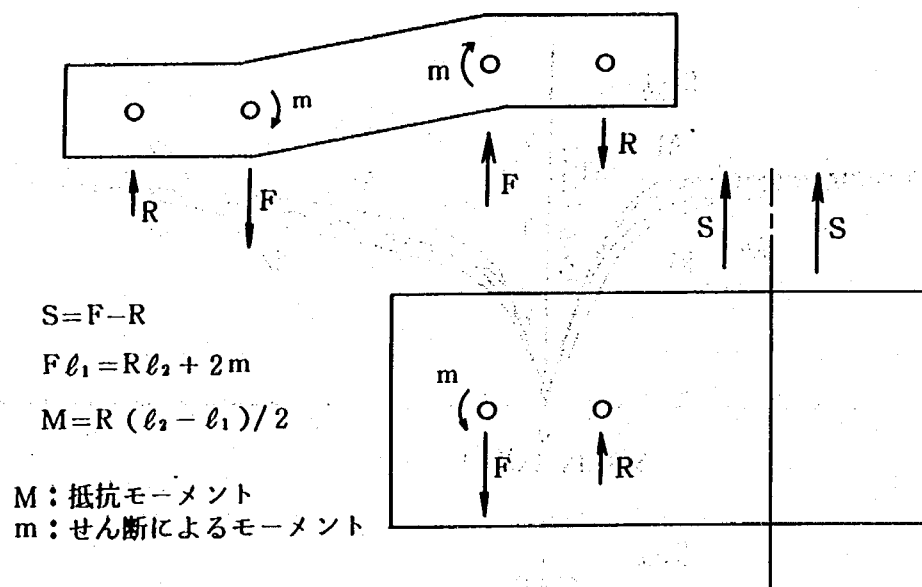
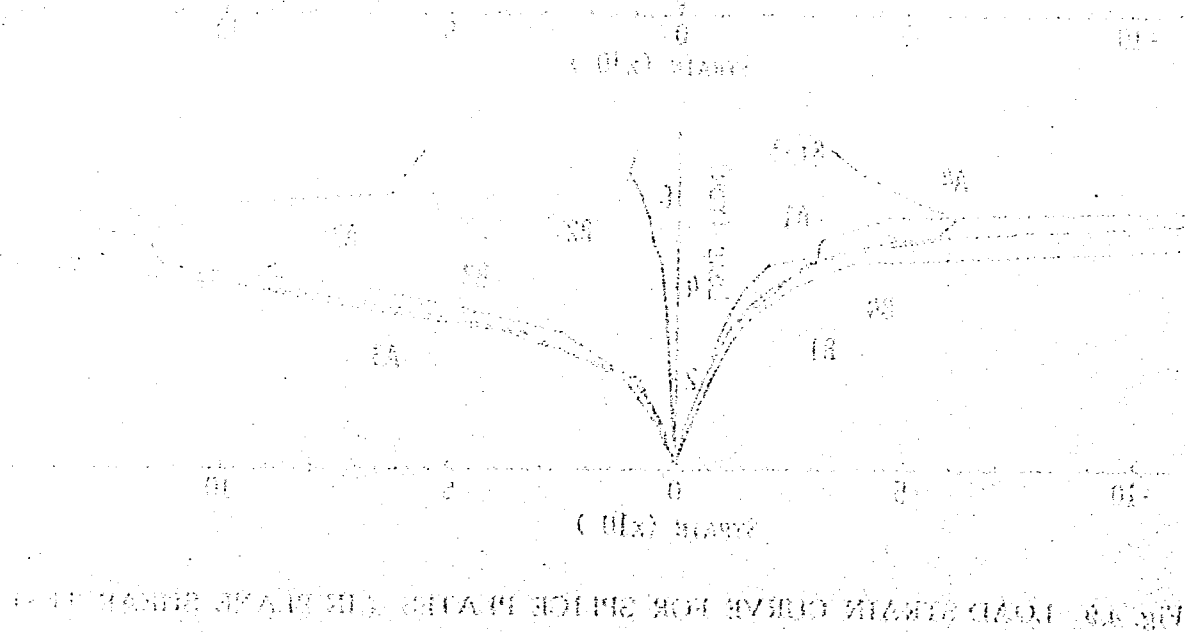


Fig. 4.9 LOAD-STRAIN CURVE FOR SPLICE PLATES (IN-PLANE SHEAR TEST)



$$S = \frac{2m}{14.5} + \left(\frac{28.5}{14.5} - 1 \right) \frac{2M}{14.0} = 0.138m + 0.138M$$

図-4.10 継手板及びジグに働く力



4.5. 継手の面外方向せん断試験

表-4.9及び図-4.11,12に試験結果を示す。表には計算によって求めた降伏荷重及び極限荷重について示した。降伏荷重は、縁応力が降伏応力に達したときの値であり、極限荷重は、板のせん断変形が、図-4.11に示すように、それぞれ、最大荷重を示す7.2cm, 6.7cm, 6.8cmになったとき、ボルト孔断面が引張強度の応力に達しているとしたときの値である。

表-4.9 継手板の面外せん断試験結果

供試体 番 号	P1.番号	断 面 積	断面係数	降伏荷重 (kg)		極 限 荷 重 (kg)		
		A_n (cm ²)	(cm ³)	計	算 値	①実験値	②計算値	① / ②
S ₀ -1	1	2.529	0.251	79	159	14,000	13,490	1.04
	2	2.567	0.255	80				
S ₀ -2	1	2.516	0.249	78	159	14,910	12,850	1.16
	2	2.587	0.257	81				
S ₀ -3	1	2.539	0.250	79	161	14,000	13,100	1.07
	2	2.609	0.260	82				

図-4.11 面外せん断試験の荷重-変位関係曲線 (OUT-OF-PLANE SHEAR TEST)

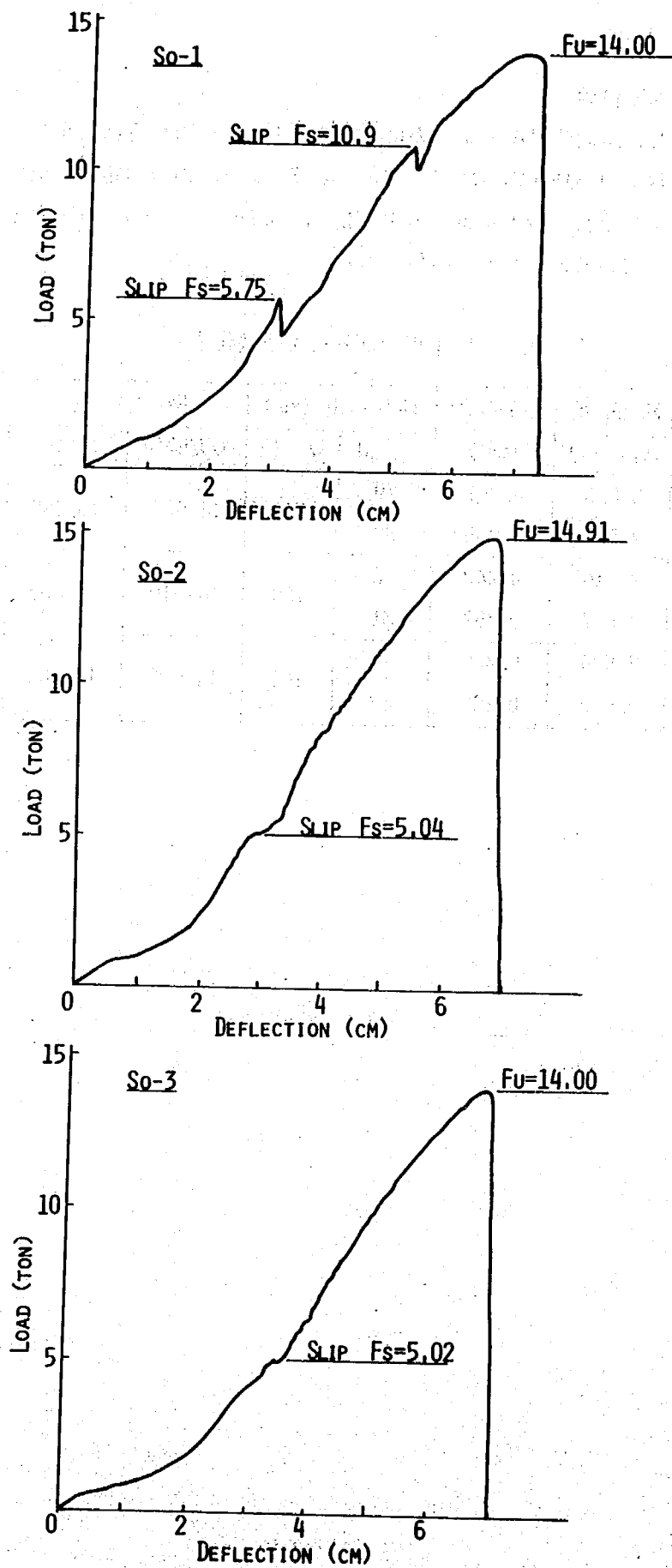


Fig. 4.11 LOAD-DEFLECTION CURVE FOR SPLICE PLATES
(OUT-OF-PLANE SHEAR TEST)

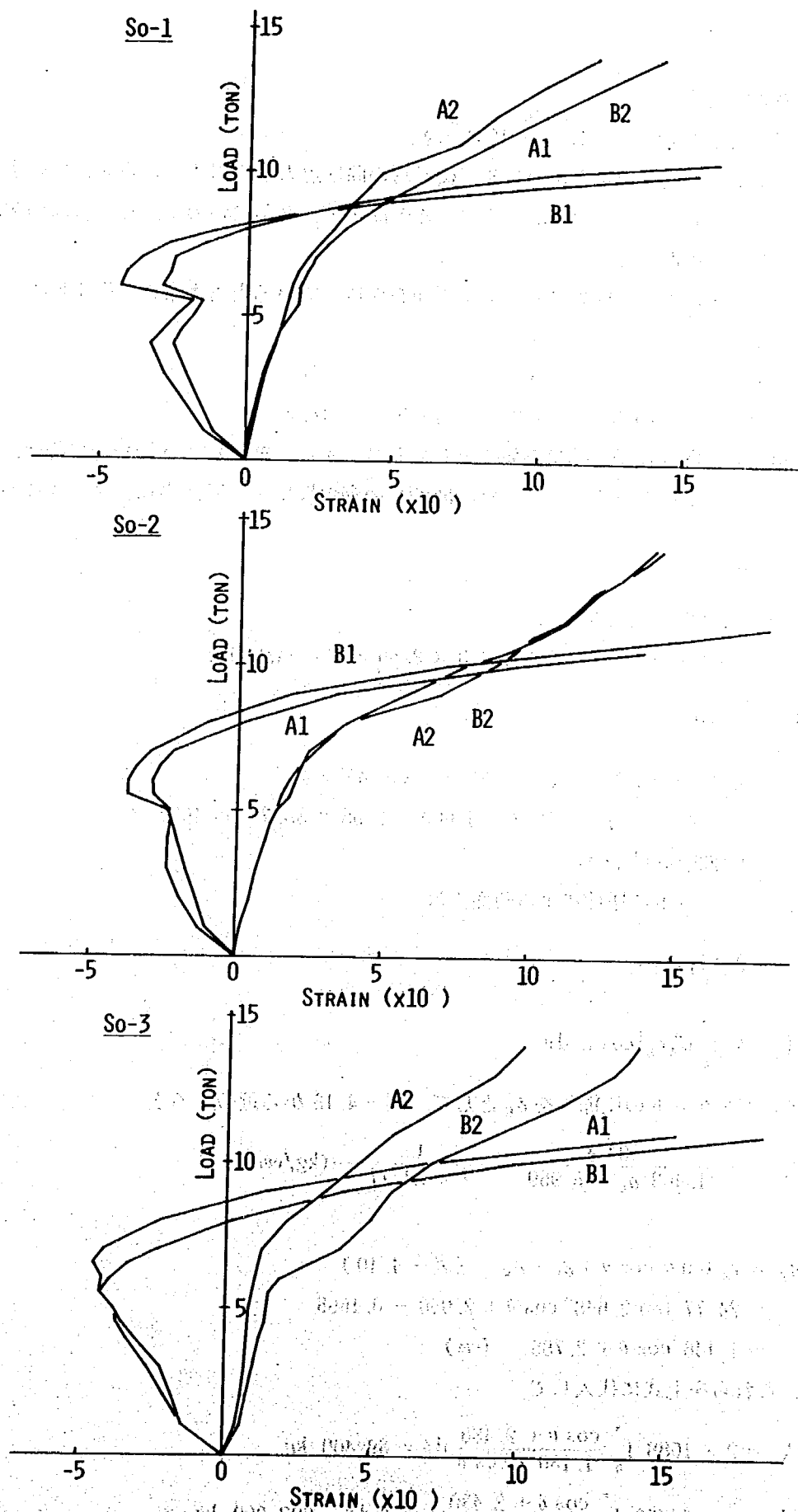


Fig. 4.12 LOAD-STRAIN CURVE FOR SPLICE PLATES (OUT-OF-PLANE SHEAR TEST)

4.6. 接続管の曲げ試験

接続管の曲げ試験結果を図-4.13～4.16に示す。

先に行った継手単体の試験結果と合わせて、接続管の曲げ耐力を検討する。供試体はいずれも26.55 t・mの曲げモーメントで破壊しているが、このときの測定データがないので、その直前の26.1 t・m (F = 29.0 t) のときを対象とする。

いま、ガスケットをはさむ2枚のプレートが平面を保持していると考え、継手板①～⑤の伸びは F = 29.0 t のとき

①	②	③	④	⑤
-14.9 mm	-10.0	1.7	13.0	18.2

となる。したがって、継手板①、②は座屈破壊しており、また、継手板③は純断面で降伏、④、⑤は純断面で引張強度に達していると考え、継手断面での継手板による断面力は、図-4.4を参考にして、

$$\begin{aligned}
 P_p &= \sum_1^8 \sigma A_n \\
 &= -3,000 - 2,500 \times 2 \\
 &\quad + 4,680 \times 2.55 \times 3 + 3,310 \times 2.55 \times 2 = 44,680 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= \sum_1^8 \sigma A_n r_p \\
 &= 3,000 \times 35.7 + 2,500 \times 35.7 \times \cos 45^\circ \times 2 \\
 &\quad + 4,680 \times 2.55 \times 35.7 + 4,680 \times 2.55 \times 35.7 \cos 45^\circ \times 2 \\
 &= 1,262,000 \text{ kg} \cdot \text{cm}
 \end{aligned}$$

となる。また、ガスケットの圧縮による断面力は

$$P_g = 2 \int_0^\pi p_g r_g d\theta$$

$$M_g = 2 \int_0^\pi p_g r_g^2 \cos \theta d\theta$$

となる。いま、ガスケットの圧縮量を δ_g として、図-4.15から近似すると

$$P_g = \frac{10^4 \delta_g}{-1.463 \delta_g + 5.969} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 24.77} \text{ (kg/cm)}$$

また、

$$\begin{aligned}
 \delta_g &= r_g \tan \alpha \cos \theta + \delta_0 - \delta_c \quad (\text{表-4.10}) \\
 &= 24.77 \tan 2.648^\circ \cos \theta + 2.950 - 0.1655 \\
 &= 1.146 \cos \theta + 2.785 \quad (\text{cm})
 \end{aligned}$$

であるから、これらを上式に代入して

$$P_x = 2 \times 1088 \int_0^\pi \frac{\cos \theta + 2.430}{1.130 - \cos \theta} d\theta = 39,400 \text{ kg}$$

$$M_g = 2 \times 26950 \int_0^\pi \frac{\cos \theta + 2.430}{1.130 - \cos \theta} \cos \theta d\theta = 692,000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

したがって、継手断面の抵抗モーメント M_r は

$$M_r = M_p + M_g = 1,954,000 \text{ kg cm}$$

となり、外力 F は

$$F = \frac{M_r}{90} = 21,700 \text{ kg}$$

となるが、これは実験値より 25 % も低い値を与えている。

いま、継手板①、②、⑧に座屈荷重を、③、⑦に引張降伏荷重を、また、④、⑤、⑥に引張破壊荷重を与えると

$$P_p = -3 \times 8,325 + 2 \times 3,310 \times 2.55 + 3 \times 12,240 = 28,600 \text{ kg}$$

$$M_p = 8325 \times 35.7 + 2 \times 8,325 \times 35.7 \times \cos 45^\circ + 2 \times 12240 \times 35.7 \times \cos 45^\circ + 12240 \times 35.7 = 1,772,000 \text{ kg cm}$$

となるから、抵抗モーメント M_r は

$$M_r = M_p + M_g = 692,000 + 1,772,000 = 2,464,000 \text{ kg cm}$$

したがって、荷重は

$$F = \frac{M_r}{90} = 27,400 \text{ kg}$$

となり、約 7 % 低い破壊荷重を与えている。

いま、これら 2 つの計算結果を比較すると、前者では $P_p > P_g$ となっているのに対し、後者ではその逆になっている。これは、継手部が破壊するときの変位では、図-4.4 から推測できるように、継手板①、②、⑧による断面力は、すでに座屈荷重よりずっと小さくなっていることを示している。そうすると P_g は計算値より大きくなければならないが、 $(M_p + M_g)$ がいずれの場合も荷重から求めた M_r よりも小さいことと合わせて考えると、圧縮側のガasketによる断面力が先に示した実験式より大きくなければならないことを示している。しかし、図-4.15 に示したように、圧縮量が 36 mm 以上については実験結果が得られないため、正確な検討はできない。

RE. 1001A

DEFLECTION IN (CM)

FOR THE DEFLECTION CURVE FOR TUBE WITH SLITTED JOINT (BENDING TEST)

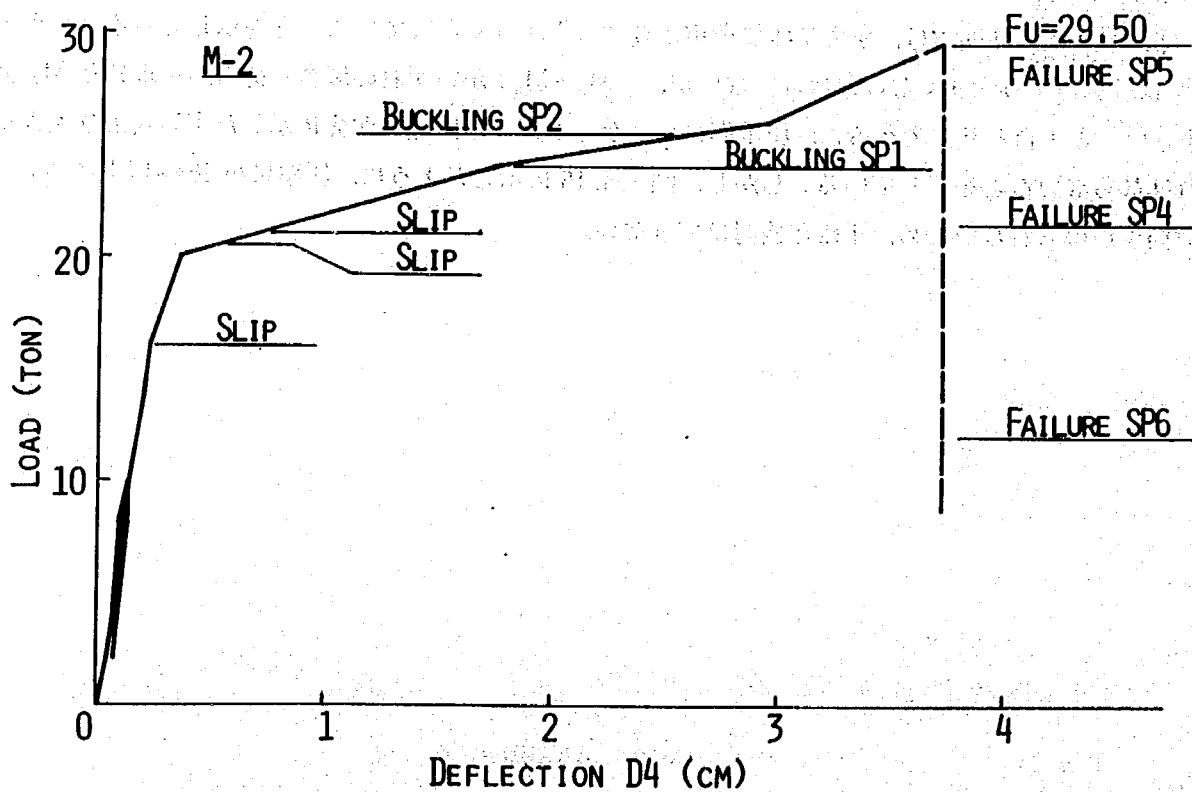
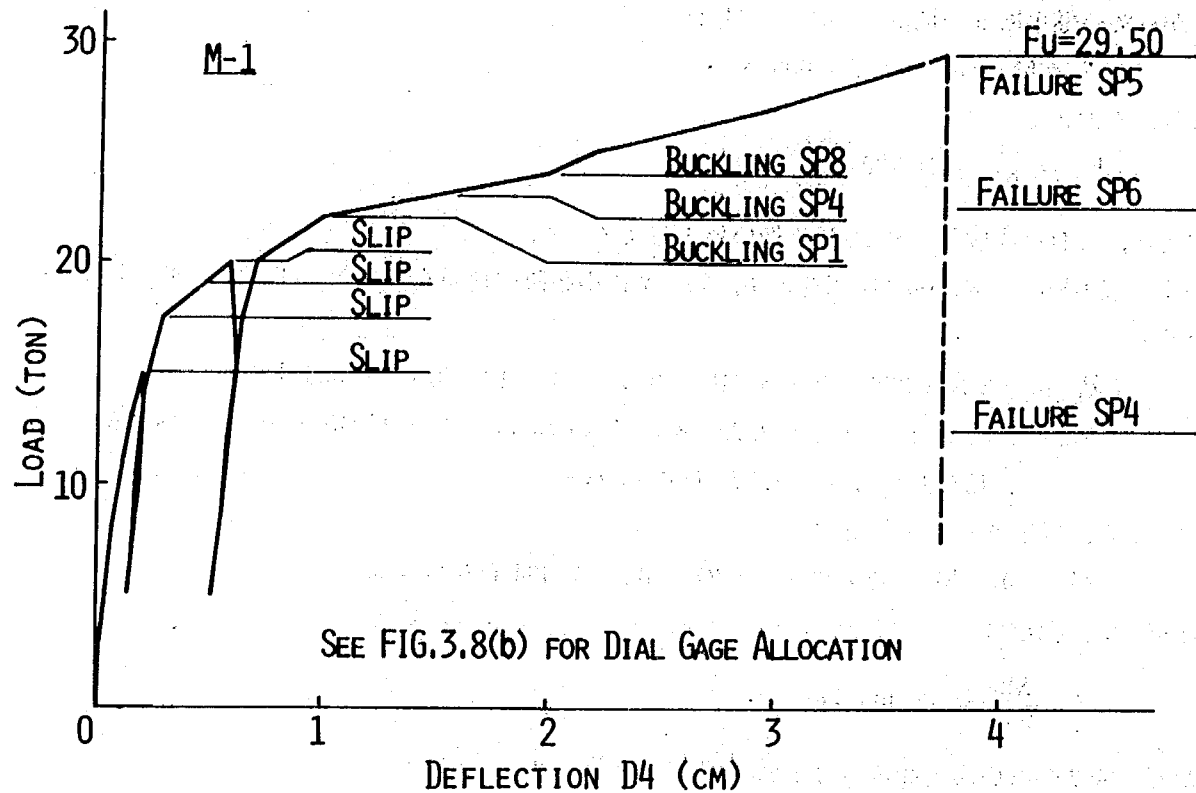


Fig. 4.13 LOAD-DEFLECTION CURVE FOR TUBE WITH SPLICED JOINT (BENDING TEST)

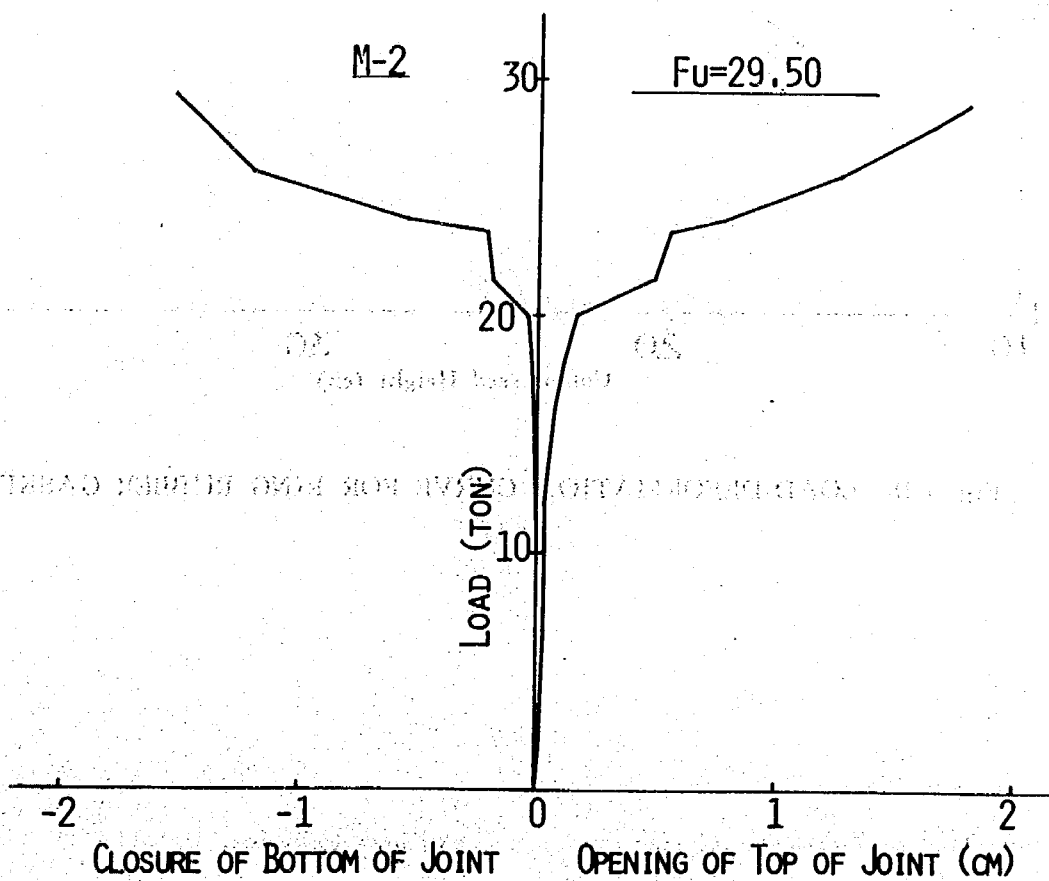
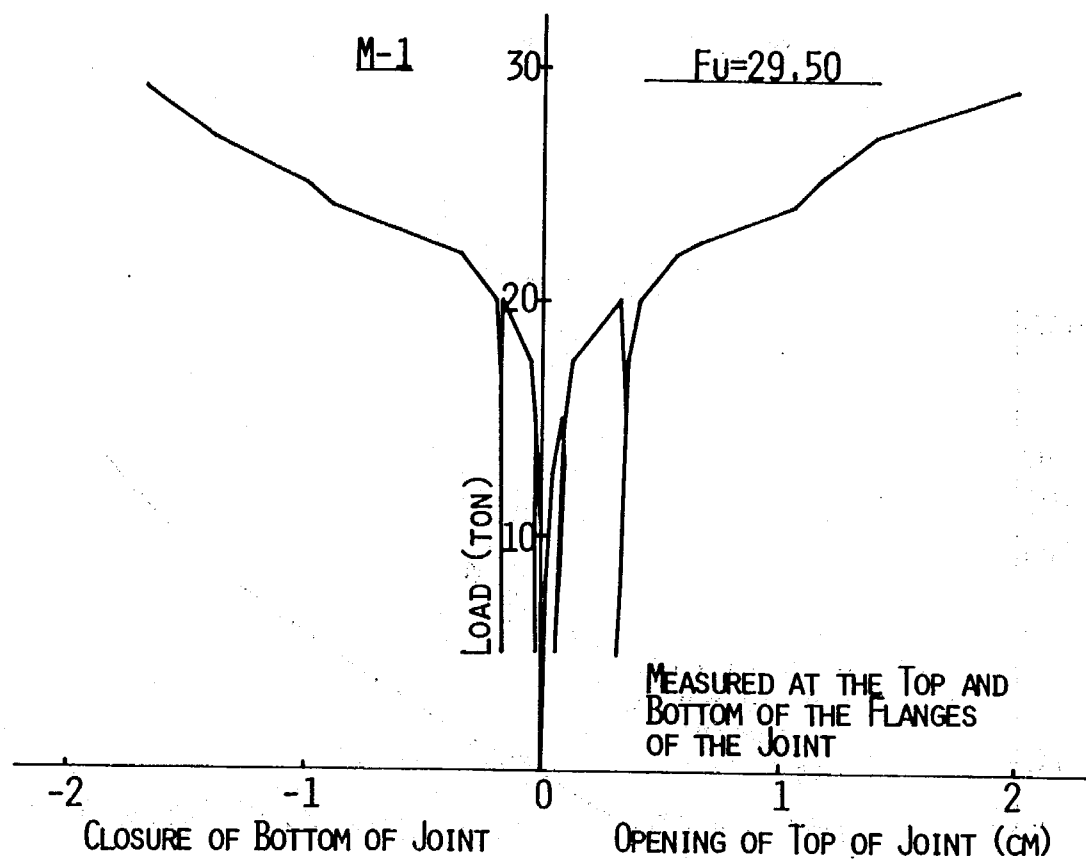


Fig. 4.14 LOAD-DEFORMATION CURVE FOR SPLICED JOINT OF TUBE (BENDING TEST)

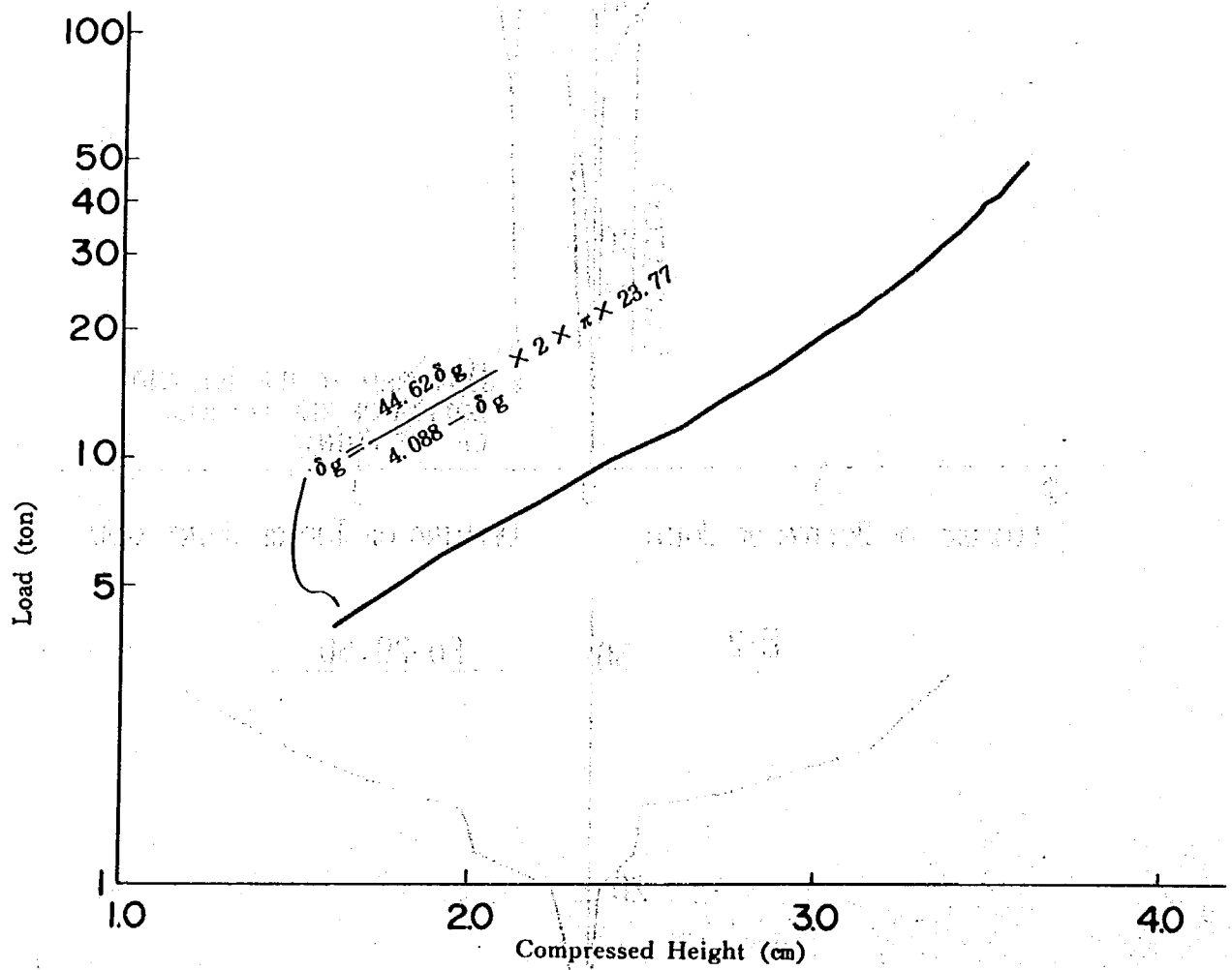


Fig. 4.15 LOAD-DEFORMATION CURVE FOR RING RUBBER GASKET

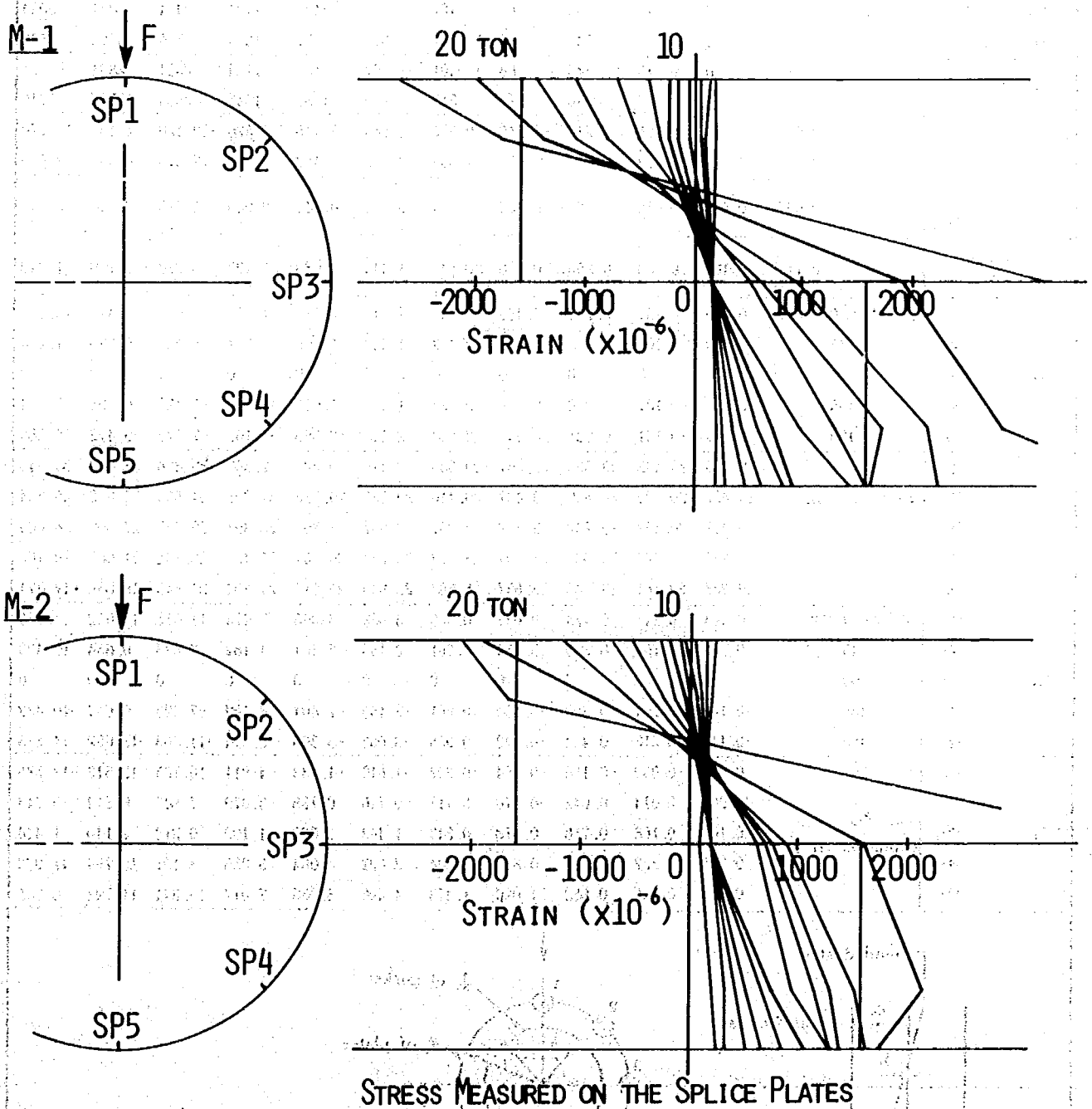
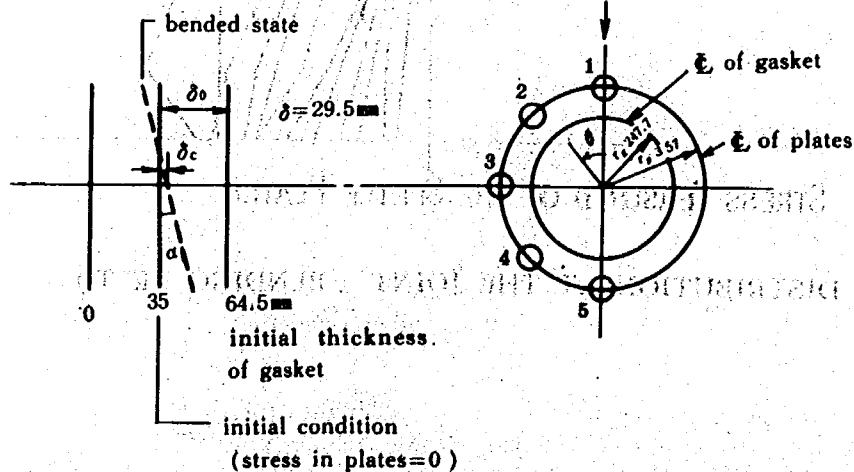


Fig. 4.16 LOAD-STRESS DISTRIBUTION AT THE JOINT (BENDING TEST)

Dial No.	Gage No.	bolted ②	unbolted	6.0	10.0	16.0	18.0	20.0	21.5	23.5	24.0	26.0	28.0	29.0
① D ₁	170	0	13	0	-15	-43	-68	-101	-397	-435	-1104	-2424	-2831	-3034
D ₂	171	-1	32	64	81	145	218	317	969	1087	1544	2534	3286	3609
② ①-②			13	0	-15	-43	-68	-101	-397	-435	-1104	-2424	-2831	-3034
			33	65	82	146	219	318	970	1088	1545	2535	3287	3610
③ ③ × 0.005	D ₁	0.065	0	-0.075	-0.215	-0.340	-0.505	-1.985	-2.175	-5.520	-12.120	-14.155	-15.170	
	D ₂	0.165	0.325	0.410	0.730	1.095	1.590	4.850	5.440	7.725	12.675	16.435	18.050	
$\alpha = \text{TAN}^{-1} \frac{D_1 - D_2}{800}$		0.007	0.023	0.035	0.068	0.103	0.150	0.490	0.545	0.949	1.775	2.190	2.378	
$\delta_c = \frac{D_1 + D_2}{2}$		0.115	0.163	0.168	0.258	0.378	0.543	1.443	1.633	1.103	0.278	1.140	1.440	
δ_g	①	247.7 $\cos 0^\circ \tan \alpha$	0.099	0.151	0.294	0.445	0.648	2.118	2.356	4.103	7.676	9.472	10.286	
	②	45	0.070	0.107	0.208	0.315	0.459	1.498	1.666	2.901	5.428	6.698	7.274	
	③	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	④	135	-0.070	-0.107	-0.208	-0.315	-0.459	-1.498	-1.666	-2.901	-5.428	-6.698	-7.274	
	⑤	180	-0.099	-0.151	-0.294	-0.445	-0.648	-2.118	-2.356	-4.103	-7.676	-9.472	-10.286	
δ_s	①	29.5 - $\delta_c + \delta_g$	29.436	29.483	29.536	29.567	29.605	30.175	30.223	32.500	36.898	37.812	38.346	
	②		29.427	29.439	29.450	29.437	29.416	29.555	29.533	31.298	34.650	25.058	35.334	
	③		29.337	29.332	29.242	29.122	28.957	28.057	27.367	28.397	29.222	27.360	28.060	
	④		29.267	29.225	29.034	28.807	28.498	26.559	26.201	25.496	23.794	21.662	20.786	
	⑤		29.238	29.181	28.948	28.677	28.309	25.939	25.511	24.294	21.546	18.888	17.774	
δ_p	①	357 $\cos 0^\circ \tan \alpha$	0.143	0.218	0.424	0.642	0.935	3.053	3.396	5.914	11.063	13.652	14.825	
	②	45	0.121	0.154	0.300	0.454	0.661	2.159	2.401	4.182	7.823	9.654	10.483	
	③	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	④	135	-0.141	-0.154	-0.300	-0.454	-0.661	-2.159	-2.401	-4.182	-7.823	-9.654	-10.483	
	⑤	180	-0.143	-0.218	-0.424	-0.642	-0.935	-3.053	-3.396	-5.914	-11.063	-13.652	-14.825	
δ_p	①	$\delta_c - \delta_p$	0.020	-0.050	-0.166	-0.264	-0.392	-1.610	-1.733	-4.811	-10.785	-12.512	-13.385	
	②		0.062	0.014	-0.042	-0.076	-0.118	-0.716	-0.738	-3.079	-7.545	-8.514	-9.043	
	③	extension ⊕	0.163	0.168	0.258	0.378	0.543	1.443	1.663	1.103	0.278	1.140	1.440	
	④		0.264	0.322	0.558	0.832	1.204	3.602	4.064	5.285	8.101	10.794	11.923	
	⑤		0.306	0.386	0.682	1.020	1.478	4.496	5.059	7.017	11.341	14.792	16.265	



Dial No.	gage No.	bolted ②	unbolted	5.0 ton	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.0	24.0	25.0	27.0	29.0
①	D ₁ 170	-1	9	-2	-21	-32	-60	-105	-344	-715	-1787	-2022	-2840	-3370
	D ₂ 171	0	-21	20	58	79	171	266	661	1135	2117	2307	2798	4031
②	D ₁			-1	-20	-31	-59	-104	-343	-714	-1786	-2021	-2839	-3369
①-②	D ₂			20	58	79	171	266	661	1135	2117	2307	2798	4031
③	D ₁			-0.005 mm	-0.100	-0.155	-0.295	-0.520	-1.715	-3.570	-8.930	-10.105	-14.195	-16.845
②×0.005	D ₂			0.100 mm	0.290	0.395	0.855	1.330	3.305	5.675	10.585	11.535	13.990	20.155
④	D ₂ - D ₁			0.105 mm	0.390	0.550	1.150	1.850	5.020	9.245	19.515	21.640	28.185	37.000
⑤	$\alpha = \text{TAN}^{-1}$			0.008°	0.028	0.039	0.082	0.132	0.360	0.662	1.397	1.549	2.018	2.648
⑥	$\frac{1}{6} (3D_2 + 3D_1) = \delta_c$			0.048 mm	0.095	0.120	0.280	0.005	0.795	1.053	0.828	0.715	-0.103	1.655
δ_{α} for p1-	①	247.7 cos 0° tan α	0.035 mm	0.121	0.169	0.355	0.571	1.556	2.862	6.041	6.698	8.728	11.456	
	②	247.7 cos 45° tan α	0.024	0.086	0.119	0.251	0.404	1.101	2.024	4.271	4.736	6.171	8.101	
	③	247.7 cos 90° tan α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	④	247.7 cos 135° tan α	-0.024	-0.086	-0.119	-0.251	-0.404	-1.101	-2.024	-4.271	-4.736	-6.171	-8.101	
	⑤	247.7 cos 180° tan α	-0.035	-0.121	-0.169	-0.355	-0.571	-1.556	-2.862	-6.041	-6.698	-8.728	-11.456	
$\delta_o - \delta_c$	①		29.487	29.526	29.549	29.575	29.666	30.261	31.309	34.713	35.483	38.331	39.301	
+ δ_{α}	②	total	29.476	29.491	29.499	29.471	29.499	29.806	30.471	32.943	33.521	35.774	35.946	
= δ_s	③	compression	29.452	29.405	29.380	29.220	29.095	28.705	28.447	28.672	28.785	29.603	27.845	
	④		29.428	29.319	29.261	28.909	28.691	27.604	26.423	24.401	24.049	23.432	19.744	
	⑤		29.417	29.284	29.211	28.865	28.524	27.149	25.585	22.631	22.087	20.875	16.399	
δ_{op}		357 cos 0° tan α	0.050	0.174	0.243	0.511	0.822	2.243	4.125	8.706	9.654	12.579	16.511	
(mm)		cos 45°	0.035	0.123	0.172	0.361	0.582	1.586	2.917	6.156	6.826	8.895	11.675	
		cos 90°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		cos 135°	-0.035	-0.123	-0.172	-0.361	-0.582	-1.586	-2.917	-6.156	-6.826	-8.895	-11.675	
		cos 180°	-0.050	-0.174	-0.343	-0.511	-0.822	-2.243	-4.125	-8.706	-9.654	-12.579	-16.511	
p1①			-0.002	-0.079	-0.123	-0.231	-0.417	-1.448	-3.072	-7.878	-8.939	-12.682	-14.856	
δ_p	②	extension	0.013	-0.028	-0.052	-0.081	-0.177	-0.791	-1.864	-5.328	-6.111	-8.998	-10.020	
= $\delta_c - \delta_{op}$	③	of plates	0.048	0.095	0.120	0.280	0.405	0.795	1.053	0.828	0.715	-0.103	1.655	
extension	④		0.083	0.218	0.292	0.641	0.987	2.281	3.970	6.984	7.541	8.792	13.330	
(mm)	⑤		0.098	0.269	0.363	0.791	1.227	3.038	5.179	9.534	10.369	12.476	18.166	

4.7. 接続管のせん断試験

接続管のせん断試験結果を図-4.17～4.19に示す。

曲げ試験の場合と同じように、S-2供試体について、外力 $F = 26 \text{ t}$ のとき、すなわち、継手断面におけるせん断力 $S_j = 13 \text{ t}$ 、モーメント $M_j = 9.1 \times 10^6 \text{ kg cm}$ のときの検討を行う。

表-4.12から継手断面のモーメントが $M_j = 9.1 \times 10^6 \text{ kg cm}$ のとき、ガスケットの圧縮力による断面力 P_g 、 M_g は、ガスケットの圧縮力 $P_g (\text{kg/cm})$ はガスケットの圧縮力を $\delta_g (\text{cm})$ として

$$P_g = \frac{10^4 \delta_g}{-1.463 \delta_g + 5.969} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 24.77}$$

$$\delta_g = 24.77 \tan 2.088^\circ \cos \theta + 2.950 - 0.165$$

$$= 0.903 \cos \theta + 2.785$$

であるから、

$$P_g = 2 \times 1088 \int_0^\pi \frac{\cos \theta + 3.084}{1.434 - \cos \theta} d\theta = 23,200 \text{ kg}$$

$$M_g = 2 \times 26,950 \int_0^\pi \frac{\cos \theta + 3.084}{1.434 - \cos \theta} \cos \theta d\theta = 302,000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

一方、継手板については、①が座屈破壊、②、⑧が面内せん断と面外せん断の中間、③、⑦が面内せん断、④、⑤、⑥が面外せん断破壊していると考え、継手断面のせん断変位は、表-4.12から $\delta_s = 37.9 \text{ mm}$ であるから

$$P_p = -3,000 + 3 \times 12,240 = 33,720$$

① ④,⑤,⑥

$$S_p = \frac{1}{2} (5.35 + 6.85) \frac{1}{2} \times 2 + 6.85 \times \frac{1}{2} \times 2 + 12240 \sin [\tan^{-1} \frac{37.9}{105}]$$

②,⑧ ③,⑦ ④,⑤,⑥

$$= 25,420 \text{ kg}$$

となり、いずれも P_g あるいは S_j よりもかなり大きい値を与えている。

継手板の破壊の状況を、①は座屈破壊、②、⑧は面外せん断（変形量 37.9 mm 、図-4.19）、③、⑦は面内せん断（〃）、④、⑤、⑥は面外せん断破壊していると考えても

$$P_p = -3000 + 3 \times 12,240 \cos [\tan^{-1} \frac{37.9}{105}] = 31,500 \text{ kg}$$

① ④,⑤,⑥

$$S_p = 5.35 \times \frac{1}{2} \times 2 + 6.85 \times \frac{1}{2} \times 2 + 3 \times 12,240 \sin [\tan^{-1} \frac{37.9}{105}] = 24,670 \text{ kg}$$

②,⑧ ③,⑦ ④,⑤,⑥

となり、前と同様に、いずれも P_g あるいは S_j よりも大きな値を与えている。

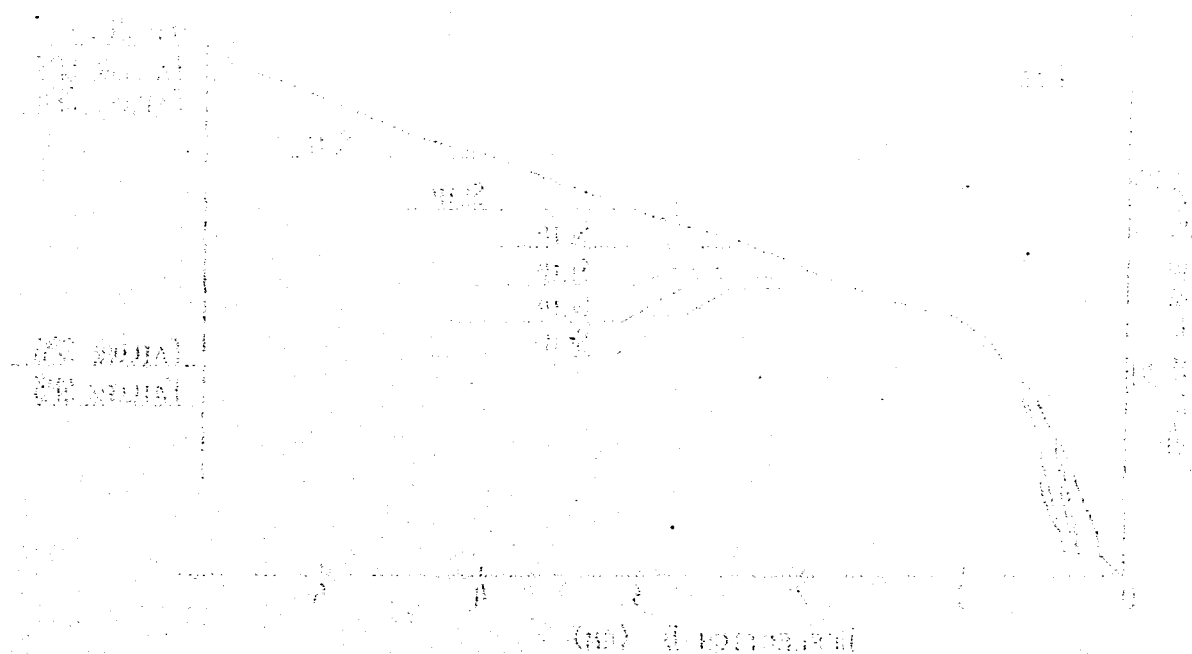
抵抗モーメント M_r については

$$M_p = 3000 \times 35.7 + 2 \times 12240 \times 25.2 + 12240 \times 35.7 = 1,162,000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

① ④, ⑥ ⑤

$$M_r = M_g + M_p = 302,000 + 1,162,000 = 1,464,000 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

で、荷重 $F = 53 \text{ t}$ に対するモーメント $M_f = 18.55 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ の 79% であり、曲げの場合と同様、圧縮側のガスケットの反力が小さく見積られているためであると考えられる。



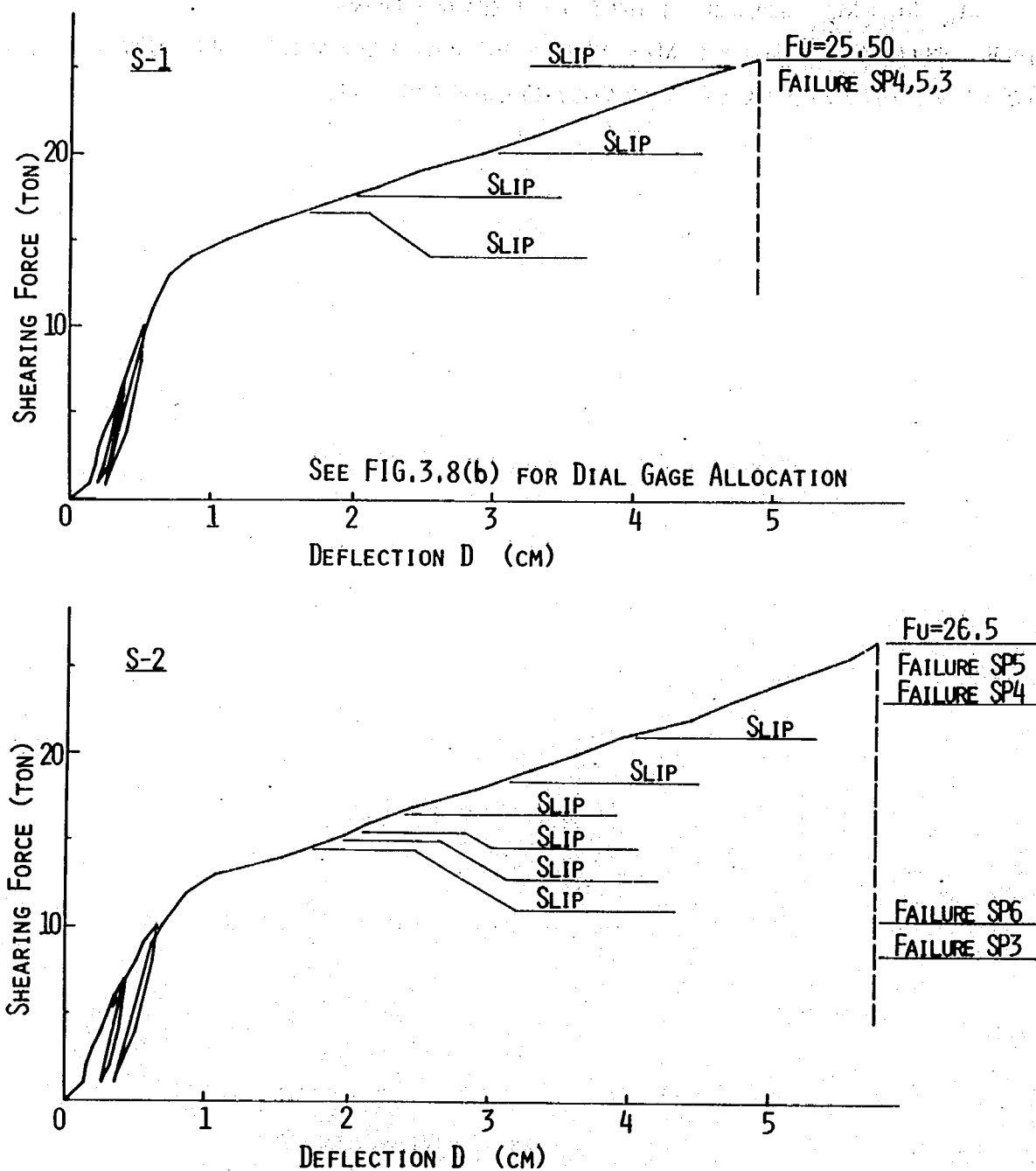


Fig. 4.17 LOAD-DEFLECTION CURVE FOR TUBE WITH SPLICED JOINT
(SHEARING TEST)

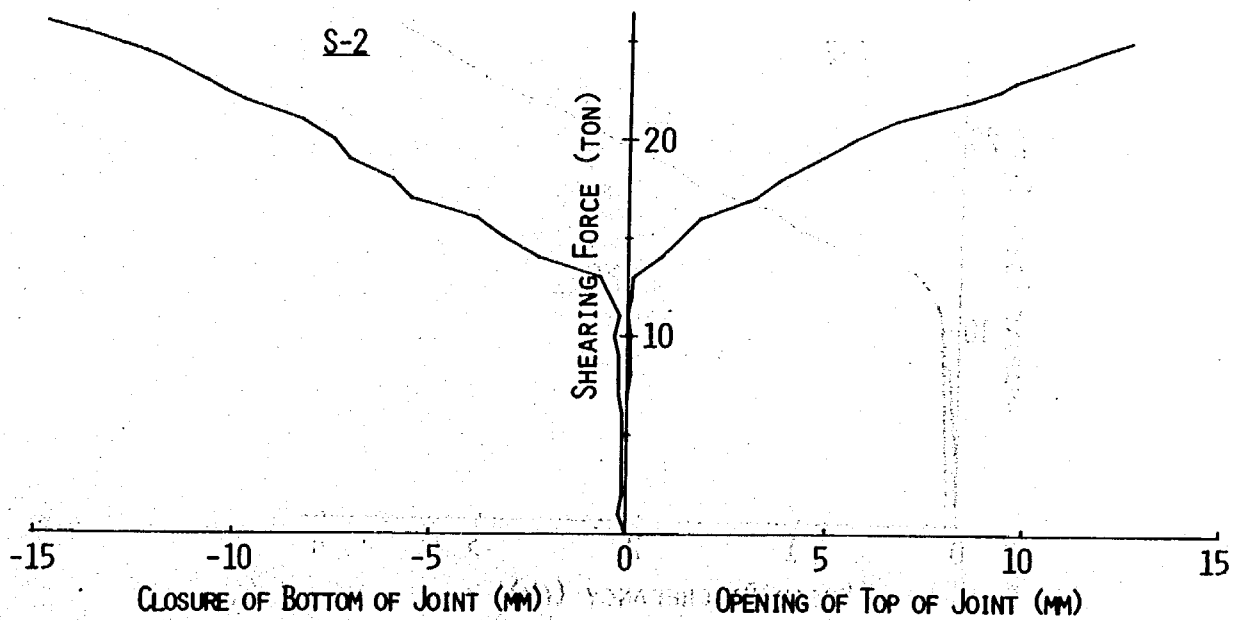
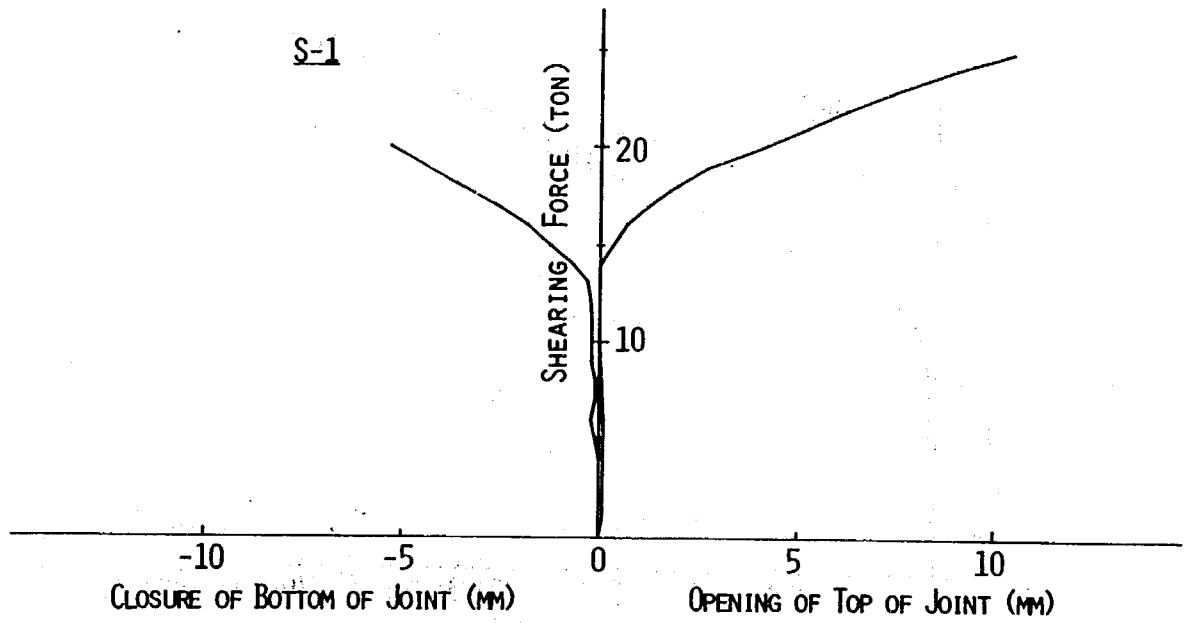


Fig. 4.18 LOAD-DEFORMATION CURVE FOR SPLICED JOINT OF TUBE
(SHEARING TEST)

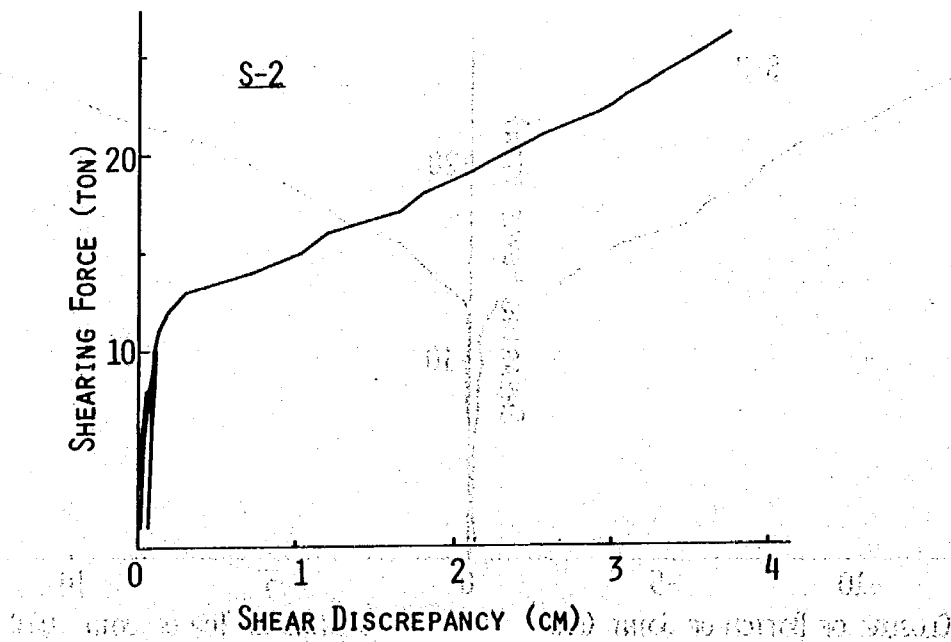
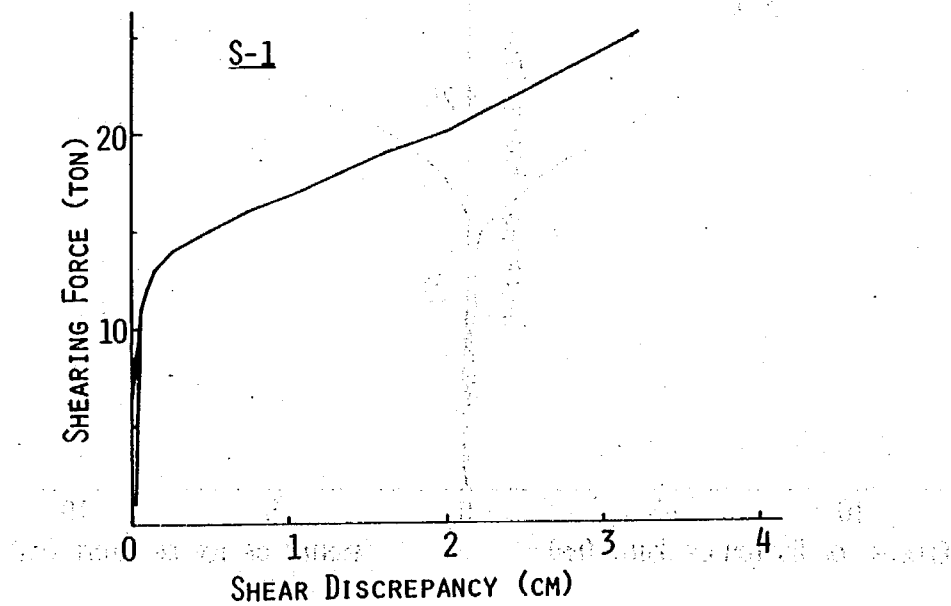


Fig. 4.19 LOAD-SHEAR DISCREPANCY BETWEEN JOINT FLANGES ((SHEAR TEST)
(UNIT ORIGIN)

S-2

表-4.12

	bolted ②	imbolted	7	10	13	15	20	26	26.5	
① D_1	0	4	-8	-19	-31	-2.65	-1148	-2883	—	
D_2	1	4	31	56	141	623	1501	2950	—	
② ①-a	0	4	-8	-19	-31	-265	-1148	-2883	—	
	0	3	30	55	140	622	1500	2949	—	
③ $② \times 0.005$ (mm)	0	0.020	-0.040	-0.095	-0.155	-1.325	-5.740	-14.415	—	
	0	0.015	0.150	0.275	0.700	3.110	7.500	14.745	—	
④ $D_2 - D_1$	0	-0.005	0.190	0.370	0.855	4.435	13.240	29.160	—	
⑤ $\tan^{-1} \frac{④}{800} = 2$	0	-0.0004	0.014	0.026	0.061	0.318	0.948	2.088	—	
⑥ $\frac{1}{2}(D_2 + D_1) = \delta_c$ (mm)	0	0.018	0.055	0.090	0.273	0.893	0.880	0.165	—	
⑦ D_3 174	0	2	96	205	566	2020	4569	7398	—	shear distrepancy
D_4 175	0	4	-96	-217	-618	-2129	-4789	-7771	—	
⑧ $(D_3 - D_4) \frac{0.005}{2}$ (mm)	0	-0.005	0.480	1.055	2.960	10.373	23.395	37.923	—	

Ext. of plates at 26.0 ton

$$\delta_p = \delta_c - r_p \cos \theta \tan \alpha$$

$$= 0.0165 - 35.7 \times \tan 2.088^\circ \cos \theta$$

$$= 0.0165 - 1.302 \cos \theta$$



写真1 JIS1号試験片破断状況

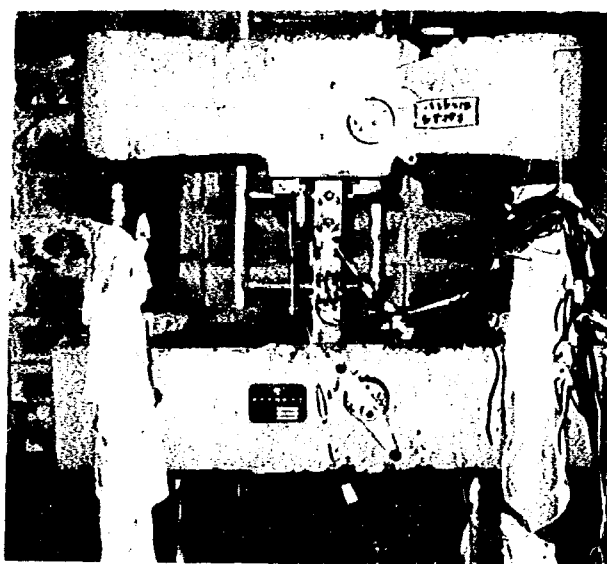


写真2 継手単体引張試験

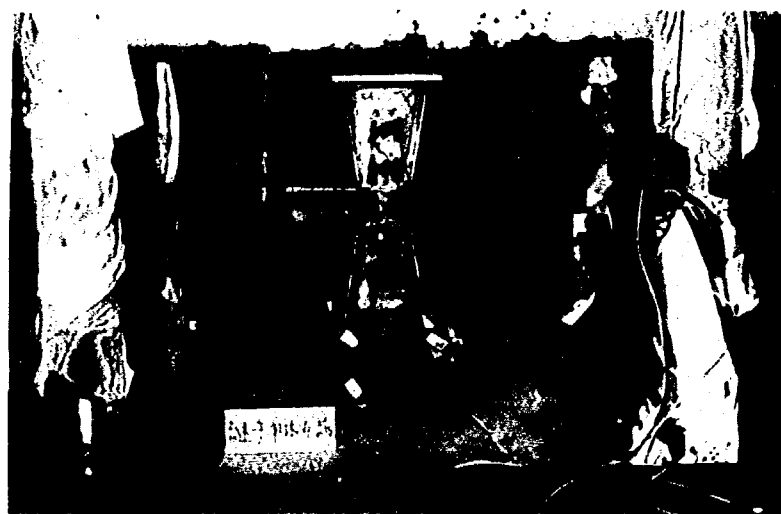


写真3 継手単体圧縮試験

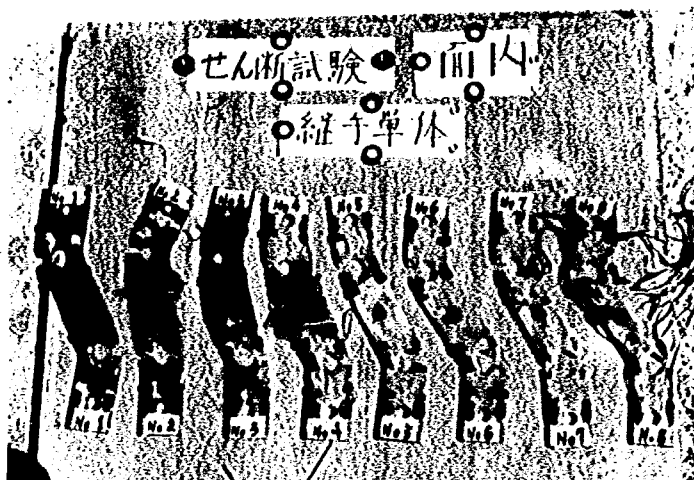
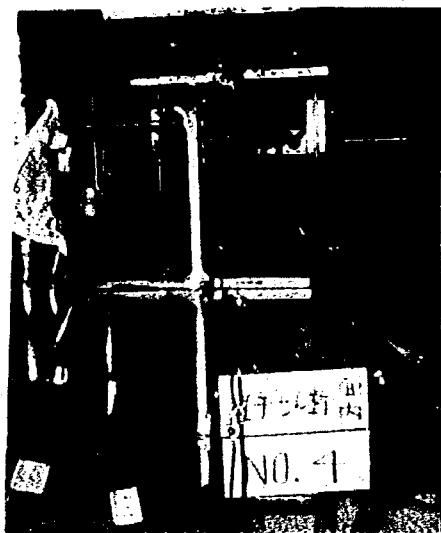


写真4 継手単体面内せん断試験

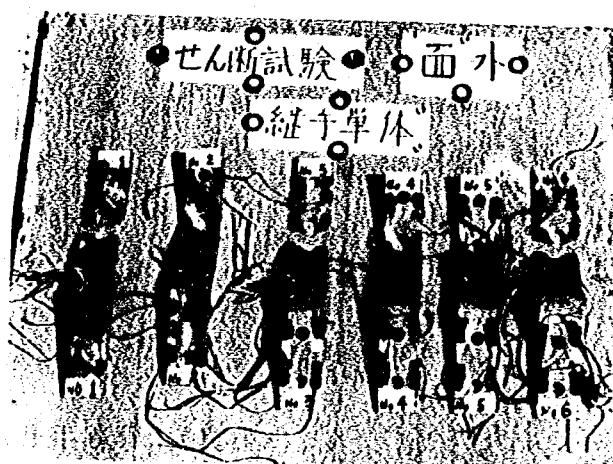
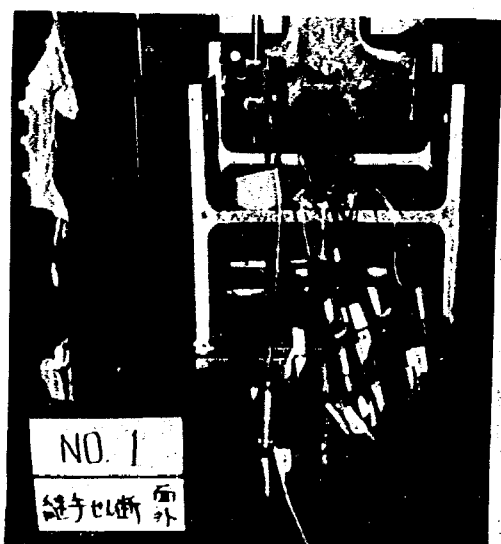


写真5 継手単体面外せん断試験

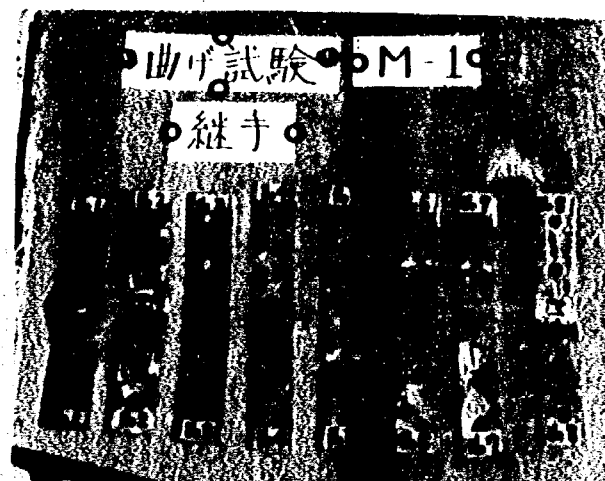
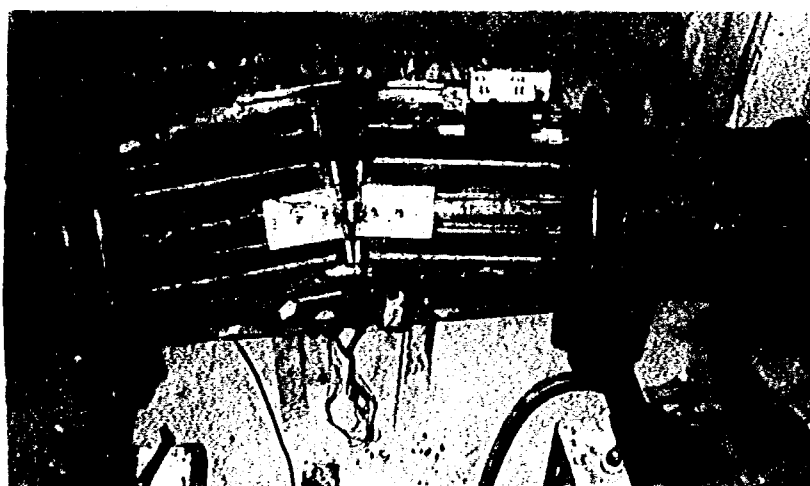


写真6 管継手曲げ試験

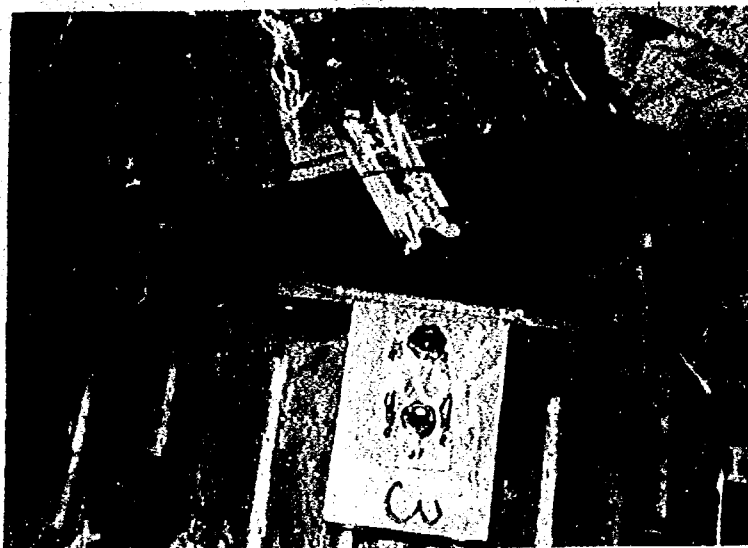


写真7 管継手せん断試験

長大水底トンネルのための水中換気塔の
構造の検討

土研資料第1794号
昭57年3月(1982)

キーワード 水底トンネル
換気設備

今田 徹 木村 美知秋
水谷 敏 則 富田 敦子
島田 巖 乃

要 旨 波浪や地震力に対して塔を設計し、大型船舶の衝突時には継手が破断するようになった構造の換気塔の設計手法を示した。 ○

郵便はがき

40円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所

トンネル研究室 御中

No. 48

No. 48

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第1794号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住 所)

氏 名

⑩

○