

日本船舶振興会昭和52年度補助事業

研究資料 No. 305

## 第305研究部会

フェロセメント船に関する調査研究

### 報告書

昭和53年3月

社団法人

日本造船研究協会

本研究は、昭和52年度より3カ年計画で、船舶建造に対するフェロセメント材料並びに構造強度等の設計基準を確立しようとするものであり、その初年度の調査研究として、1) フェロセメント船に係る諸資料、諸基準等の調査、2) フェロセメント船に関する解析及び試験として、DnVルール並びに暫定基準案による既存船の強度解析、モルタル板の強度試験、丸鋼、亀甲金網及び織金網等を補強材としたフェロセメント板、部分構造模型による強度試験、また波浪外力は船体に大きな影響を及ぼすため、パネルの水圧疲労試験装置を試作し、フェロセメント板の静的並びに動的な強度試験を行ったものである。

## はしがき

本報告書は、日本船舶振興会の昭和52年度補助事業「フェロセメント船に関する調査研究」として日本造船研究協会の第305研究部会においてとりまとめたものである。

### 第305研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部会長	長 沢 準（船舶技術研究所）	
委 員	井 上 鑑（船舶技術研究所）	金 原 繁（東京大学）
	熊 沢 時 寛（岡本造船所）	鈴 木 龍 夫（日本舟艇工業会）
	滝 本 久 雄（日本セメント）	寺 田 泰 治（日本海事協会）
	戸 村 了 三（日本小型船舶検査機構）	新 田 順（日本海事協会）
	服 部 陽 一（日立造船）	樋 口 芳 朗（東京大学）
	藤 井 鉄二郎（工業技術院）	堀 内 浩太郎（ヤマハ発動機）
	吉 本 誠 佑（アイエッチアイクラフト）	渡 辺 嘉 香（小野田セメント）

### 小委員会委員名簿（敬称略、順不同）

主 査	長 沢 準（船舶技術研究所）	
委 員	井 上 鑑（船舶技術研究所）	滝 本 久 雄（日本セメント）
	寺 田 泰 治（日本海事協会）	新 田 順（日本海事協会）
	服 部 陽 一（日立造船）	渡 辺 嘉 香（小野田セメント）
オブザーバー	辻 栄 一（運輸省船舶局）	藤 井 弘 道（運輸省船舶局）
	齊 藤 宗 韶（水 产 序）	

# 目 次

1. まえがき	1
2. フェロセメント船に係る諸資料、諸基準等の調査	2
2.1 Tentative Rules For The Construction and Classification of Ferrocement Vessels, 1974, Det Norske Veritas	2
2.2 Guidance For The Construction of Ferro-Cement Vessels, A. B. 19 August 1969	16
3. フェロセメント船に関する解析及び試験	20
3.1 既存船の強度解析	20
3.1.1 本船の概要	20
3.1.2 DnV ルールによる検討	20
3.1.3 フェロセメント船暫定基準(案)による検討	24
3.2 モルタルの強度試験	26
3.2.1 まえがき	26
3.2.2 用語の説明	26
3.2.3 実験方法	27
3.2.4 結 果	29
3.2.5 結果の考察	30
3.2.6 まとめ	31
3.3 フェロセメント板の強度試験	41
3.3.1 目 的	41
3.3.2 フェロセメント板の構造形式	41
3.3.3 使用材料	43
3.3.4 モルタル	43
3.3.5 曲げ強度試験	43
3.3.6 引張強度試験	53
3.3.7 まとめ	59
3.4 部分模型の強度試験	60
3.4.1 はじめに	60
3.4.2 試験模型	60
3.4.3 強度試験	61
3.4.4 考察及び解析	62
3.4.5 まとめ	64
3.5 パネルの水圧疲労試験	75
3.5.1 目 的	75
3.5.2 試験装置	75
3.5.3 試験片	75
3.5.4 試験方法	75
3.5.5 試験結果	76
3.5.6 考 察	76
3.5.7 結 論	77

## 1. まえがき

フェロセメント船は施工方法が比較的簡単であるため、現在ではヨット、漁船をはじめバージや一般船舶への開発利用が進められている。

フェロセメント船はヨーロッパ諸国、米国をはじめ、オーストラリア、ニュージラント等、諸外国においては既に多数の船舶が実際に使用されているが、わが国での実績はまだ極めて少ない。

しかし、最近においてわが国においてもフェロセメント船専門工場が発足し、また、一般の造船所においても小型のフェロセメント船の建造が進められるなど、今後ますますこの種船舶の建造が増加するものと考えられる。

しかしながら、船舶はその受ける波浪外力及び水密性などの特殊の問題があり、陸上におけるコンクリート材料の基準をそのまま応用することは困難であり安全上の見地から船舶に対するフェロセメント材料についての基準を早急に確立する必要が望まれている。

このため、フェロセメント船の建造基準に関する内外諸文献を調査するとともに、フェロセメント船の構造、材料等についての各種実験を行って、上記の目的に対して参考となる資料を求めたものである。

## 2. フェロセメント船に係る諸資料、諸基準等の調査

ノルウェー船級協会のフェロセメント船構造に関する暫定基準

" Tentative Rules For The Construction and Classification of Ferrocement Vessels " 1974 Det Norske Veritas, 及び米国船級協会のフェロセメント船の構造についての指針 " Guidelines For The Construction of Ferro-Cement Vessels " 19 August 1969, American Bureau of Shippingについて調査を行ったが、その要点は次の通りである。

### 2.1 Tentative Rules For The Construction and Classification of Ferrocement Vessels, 1974, Det Norske Veritas

#### 第一章 一般的な規則

船級協会の規則に関する一般的な事項が述べられている。

#### 第二章 フェロセメント船構造に関する暫定規則

##### 第一節 総則と定義

###### A. 船 級

本章の規則に従って設計及び建造したフェロセメント船は第1章、第2章にて述べた追加表示をつけて船級A1を認定される。

###### B. 参 照

ポンプ、配管等をもつ機械、電気設備、舵、舵取り装置及び機器（アンカー、アンカーチェイン及びウインドラス）については適用しうる限りにおいて鋼船に関する規則を参照すること。

###### C. 定 義

船の長さLは、船首、船尾の垂線間距離であるが、夏期フリーボードに対する水線長の96%以上とすること。

F.P.は船首材前面と夏期満載吃水線との交点を通り、この吃水線に対する垂直線である。A.P.は、ラダーポストの後端と夏期満載吃水線との交点を通り、この吃水線に対する垂直線である。

ラダーポストのない船については、ラダーストックの中心線と夏期満載吃水線との交点にA.P.をとる。

船の幅Bは、外板上の最大幅である。

船の深さDは、船底薄板の下端から側面での上部甲板の上端までを、長さLの中央部で測定した垂直距離である。

###### D. 承認用の図面と資料

セメント、砂、混和材、補強材等のすべてのデータ、一般配置図、船体中央断面、縦通材断面、甲板図、船首、船尾、船首材、船尾骨材、隔壁、タンク、機関等の台座、甲板室と昇降口、ハッチとハッチボード、デリック、マストと静索、舵、アンカー、ウィドラス等。

##### 第二節 建造条件

###### 建造用及び貯蔵用建物

協会により承認された会社によって建造すること。

建造場所は、直射日光や風にさらされない場所か、あるいは十分な覆いを備えていること。

モルタルのねり混ぜや塗装時は最低+10℃に保持できるよう気温を調節する。また、工程期間中、相対湿度を最低50%に保持すること。

##### 第三節 原 材 料

###### A. セメント

次の型式のセメントを使用すること。

耐硫酸塩ボルトランドセメント（P C 300-S R）

普通ポルトランドセメント( PC 300 )

早強ポルトランドセメント( PC 375 )

ポルトランドセメントの型式は、ノルウェー標準 3050 または英國標準 12 の要求を満足すること。

#### B. 砂

砂はフェロセメントに有害の影響を与えるような量の硫酸塩、黄鉄鉱、磁硫鉄鉱または化学的活性物質を含有しないこと。もし海砂を使う場合は、塩分を含まぬよう洗浄すること。

砂の粒子に付着したりする片岩、ぼろぼろの粘土、または粘土を含有せぬこと。

フェロセメントに有害な影響を与えると思われる量の腐植酸や有機物を含有せぬこと。

粒径は 2 mm をこえないこと。少なくとも砂の 5 重量パーセントは 0.15 mm より小さい粒径を含むこと。

粒度曲線は定められた範囲内のものであること。

砂の貯蔵はできるだけ乾燥した場所に、水分を維持し汚さないような方法で行う。

#### C. 水及び混和剤

水は飲料水を使用し、清潔で有害塩を含まぬこと。

モルタルに使用する混和材の型式と量は協会の承認をうけること。必要と考えられる場合、補強材構造の電食と材料自身中のガス生成を防止するため、物質を添加することを規定する。

#### D. 金網

方形溶接金網、亀甲金網を使用する。

構造材が薄板の平面に対し、垂直の引張応力を受けないときは、織方形金網、縞金網を使ってよい。

#### E. 補強鋼

無地の棒鋼と異形棒鋼を使用してよい。

鋼の等級と最低降伏点の要求値は採用する建造法による。

#### F. フェロセメント中に含まれない材料

木材は DnV の木船の規則を満足すること。

アルミニウムは鋼船用規則の規定にしたがう。

鋼板と圧延形鋼は鋼船用規則の要求を満足すること。

プラスチックは、DnV の FRP 船の建造及び船級用暫定規則にしたがうこと。

### 第四節 フェロセメント板の構造

#### A. 定義

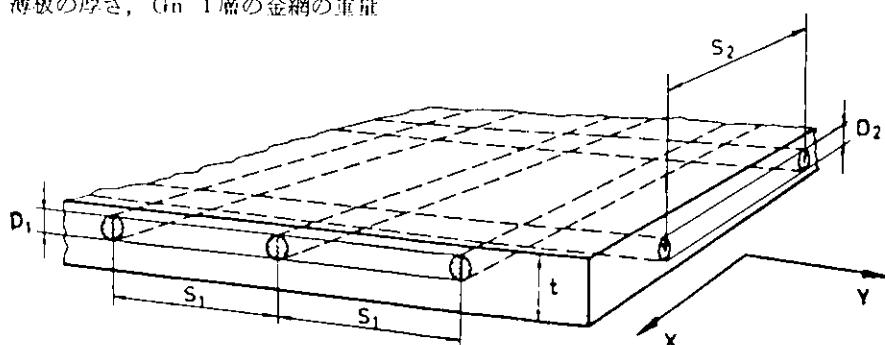
寸法 d 金網の線径、a 網目の幅 ( mm ), n 薄板中の金網層数

D 補強棒鋼直径 ( mm ), D<sub>1</sub> X 方向に配筋した補強棒鋼の直径 ( mm )

D<sub>2</sub> Y 方向に配筋した補強棒鋼の直径 ( mm ), S 同一平面の補強棒鋼の中心間距離 ( mm )

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> X 方向及び Y 方向に配筋した補強棒鋼の中心間距離 ( mm )

t 薄板の厚さ, Gn 1 層の金網の重量



### 補強材構造の特性

$K_n$  金網薄板の比付着係数  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ,  $K_t$  全薄板についての全比付着係数  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$

$\mu_n$  金網薄板の断面についての補強材係数 %,  $\mu_t$  全断面に対する全補強材係数 %,

G s フ ロセメント材料の比鋼材含有量  $\text{kg}/\text{dm}^3$

### B. 補強材構造の型式

#### ○型式 A 構造 - 金網補強薄板

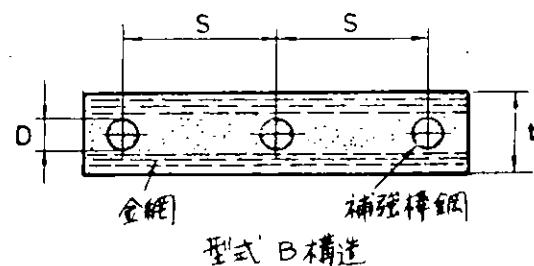
同型式の金網数層あるいは 2 またはそれ以上の型式の金網の組み合せからなる。



金網 型式 A 構造

#### ○型式 B 構造 - 補強棒鋼一層と金網

補強棒鋼一層と同一型式の金網あるいは 2 またはそれ以上の型式の金網の組み合せ数層からなる。

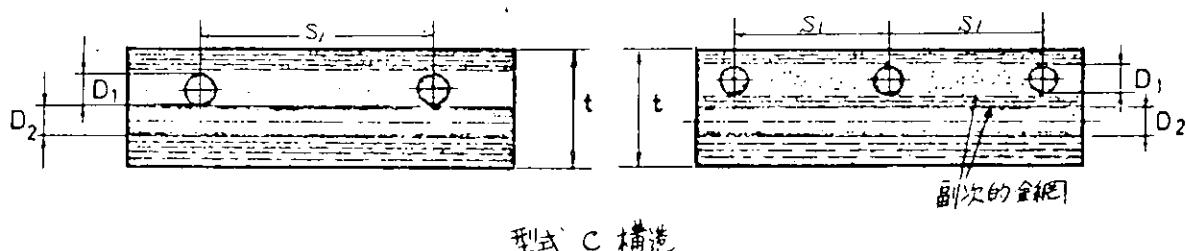


型式 B 構造

#### ○型式 C 構造 - 補強棒鋼 2 層と金網

補強棒鋼 2 層と金網からなる。

補強棒鋼 2 層と副次的金網をもつ薄板も型式 C とみなす。



型式 C 構造

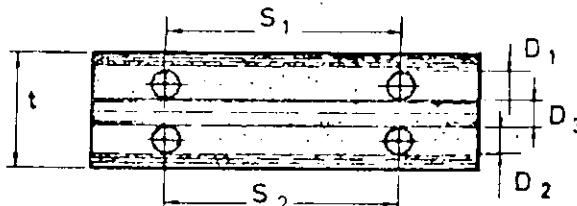
#### ○型式 D 構造 - 補強棒鋼 3 層と金網

補強棒鋼 3 層と金網とから成る。補強棒鋼 3 層と副次的金網をもつ薄板は型式 D 構造とみなす。

この他の構造については協会の承認をうけること。

### C. 補強材構造の選択

補強材構造の構造と型式は荷重をうまく吸収できる  
石こうの構造をつくる積りで選ぶこと。



型式 D 構造

建造上必要がなければ、2 軸方向に対して  $\mu_t$  が同一になるように補強材構造を選ぶこと。しかし、最小の  $\mu_t$  値をもつ方向は表 1 の最小値を満足すること。

外板の  $\mu_t$  値が、長さ L が 15m をこえる船で縦、横方向で異なるときは、補強材は最大の  $\mu_t$  値が縦方向にあるよう配筋すること。

他の要求がなければ、補強棒鋼の各側の金網薄板が同一特性、同一厚さとなるようにすること。他の要求がなければ、補強材構造は、補強棒のない型式 A 構造のような場合では全断面同一の特性をもち、また、棒鋼補強板中の金網は全断面で同一の特性をもつようすること。

フェロセメント材料が亀裂応力と最大応力の要求値を満足するよう補強材構造を選ぶこと。

塗装中に完全にモルタルが浸透し、材料に空洞ができるような補強材構造とすること。

### D. 補強材構造に対する要求

構造型式 A, B, C, D は表 1 に示す最小要求値を満たすこと。

副次的金網を挿入する構造は、表 1 の要求と同様に次の要求を満たすこと。すなわち、板の各側の表面で、金網の重量の 25% 以上を配筋すること、たとえば薄板が 8 層の金網をもつならば、そのうち少なくとも 2 層を最外部に配筋すること。

### 副次的金網を使用し各側の主要な金網

層が等しくない幅である場合、薄板層  $h$  は次の要求を満たすこと。  $h$  に対する  $K_t$  は、  $h$  が  $\frac{1}{2}$  より小さいか等しい場合  $1.8 \text{ cm}^2/\text{cm}$  以上であること。

薄板中の金網層が同一型式で同一方向にあれば、構造のパラメータは表 2 により求められる。

方向の異なるいくつかの型式の金網を使用する場合は平均値を次のように計算する。すなわち、網目幅  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  をもつ  $n$  層の金網に対し、表 2 の式に挿入する  $a$  の値は

$$a = \frac{1}{n} (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n) \text{ mm}$$

とすると

厚さ  $d_1, d_2, \dots, d_n$  をもつ  $n$  層の金網に対して、表 2 の式に挿入する  $d$  の値は

$$d = \frac{1}{n} (d_1 + d_2 + \dots + d_n) \text{ mm}$$

表 1

構造型式	比鋼材含有量		補強材係数		比付着係数 $\text{cm}^2/\text{cm}$			
	$G_s$	$\text{kg}/\text{dm}^3$	$\mu_t$	%	$K_n$		$K_t$	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
A	0.33	0.60	1.75	2.8	2.0	3.0	2.0	3.0
B	0.35	0.65	2.0	4.0	1.9	3.5	1.8	3.0
C	0.38	0.65	2.0	6.5	1.8	4.0	1.6*	3.0
D	0.38	0.65	2.0	6.5	1.8	4.0	1.4*	

\*)  $h \leq \frac{1}{2}$  に対しては 1.8、最大値は指針とする。

$K_n, K_t, \mu_t$  に対する最小要求値を船殻の一部については無視してもよい。これは建造上特殊の補強材構造が必要な場合に適用する。例：キール、船首材、フロア、エンジン台座等。

しかし、これらの構造は、その機能を満足できるような強度をもつよう設計すること。

表 2 構造パラメータ検討式

型式 A

$K_a \text{ cm}^2/\text{cm}$	$K_a = 59 \cdot \frac{d}{a} \cdot \frac{n}{t}$
$K_t \text{ cm}^2/\text{cm}$	$K_t = K_a$
$\mu_t \%$	$\mu_t = 1.25 \cdot d \cdot K_a$
$\mu_t \%$	$\mu_t = \mu_t$
$G_s \text{ kg}/\text{dm}^3$	$G_s = \frac{n \cdot G_n}{t}$

型式 B

$K_a \text{ cm}^2/\text{cm}$	$K_a = 59 \cdot \frac{d}{a} \cdot \frac{n}{t-D}$
$K_t \text{ cm}^2/\text{cm}$	$K_t = 31.4 \cdot \frac{D}{s \cdot t} + K_a \left(1 - \frac{D}{t}\right)$
$\mu_t \%$	$\mu_t = 1.25 \cdot d \cdot K_a$
$\mu_t \%$	$\mu_t = 78.5 \cdot \frac{D^2}{s \cdot t} + \mu_t \left(1 - \frac{D}{t}\right)$ 補強棒鋼の方向において
$G_s \text{ kg}/\text{dm}^3$	$G_s = \frac{n \cdot G_n}{t} + 6.18 \frac{1}{t} \cdot \frac{D^2}{s}$ 補強棒鋼の方向に対して垂直

型式 C

$K_n \text{ cm}^2/\text{cm}^3$	$K_n = 59 \cdot \frac{d}{a} \cdot \frac{n}{t - (D_1 + D_2)}$
$K_t \text{ cm}^2/\text{cm}^3$	$K_t = 31.4 \frac{1}{t} (\frac{D_1}{s_1} + \frac{D_2}{s_2}) + K_n (1 - \frac{D_1 + D_2}{t})$
$\mu_n \%$	$\mu_n = 1.25 \cdot d \cdot K_n$
$\mu_t \%$	$\mu_t = 7.85 \frac{D_2}{s \cdot t} + \mu_n (1 - \frac{D_1 + D_2}{t})$ X方向IC対して : $D = D_1, s = s_1$ Y方向IC対して : $D = D_2, s = s_2$
$G_s \text{ kg/dm}^3$	$G_s = \frac{n \cdot G_n}{t} + 6.18 \frac{1}{t} (\frac{D_1^2}{s_1} + \frac{D_2^2}{s_2})$

型式 D

$K_n \text{ cm}^2/\text{cm}^3$	$K_n = 59 \frac{d}{a} \cdot \frac{n}{t - (D_1 + D_2 + D_3)}$
$K_t \text{ cm}^2/\text{cm}^3$	$K_t = 31.4 \frac{1}{t} (\frac{D_1}{s_1} + \frac{D_2}{s_2} + \frac{D_3}{s_3}) + K_n (1 - \frac{D_1 + D_2 + D_3}{t})$
$\mu_n \%$	$\mu_n = 1.25 \cdot d \cdot K_n$
$\mu_t \%$	$\mu_t = 78.5 \frac{1}{t} (\frac{D_1^2}{s_1} + \frac{D_2^2}{s_2} + \frac{D_3^2}{s_3}) + K_n (1 - \frac{D_1 + D_2 + D_3}{t})$ $\mu_t = 78.5 \frac{1}{t} (\frac{D_3^2}{s_3} + \mu_n (t - \frac{D_1 + D_2 + D_3}{5}))$ 各方向に対し一つの $\mu_t$ - 値
$G_s \text{ kg/dm}^3$	$G_s = \frac{n \cdot G_n}{5} + 6.18 \frac{1}{t} (\frac{D_1^2}{s_1} + \frac{D_2^2}{s_2} + \frac{D_3^2}{s_3})$

## 第五節 補強材建造法

### A. 一般 略

#### B. 補強棒鋼

局部加熱や溶接欠陥により補強材の変形を生じなければ補強棒鋼の溶接を認める。

同一平面での補強棒鋼のかさなりについての、かさね長さ  $\ell$  は次式以上とすること。

$$\ell_{min} = 30 D$$

かさねは少なくとも 3箇所でスポット溶接すること。

隣接する補強鋼のかさなりは同一断面にこないようにしてすること。

プレハブパネルを接合する場合には、補強棒鋼のかさねは連続溶接とし、かさねの長さは次式以上とし、その位置は承認をうけること。

$$\ell_{min} = 12 D$$

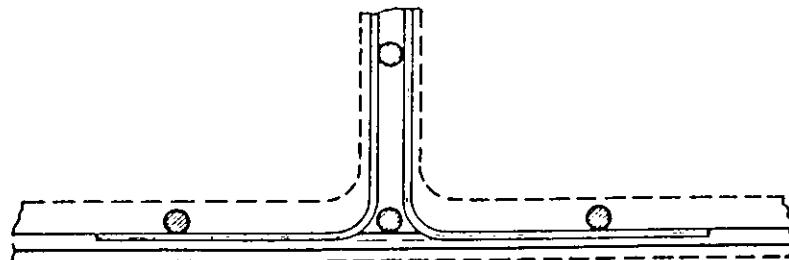
#### B. 針金結束材による結束と接合

補強棒鋼のかさなり結束は補強棒鋼がずれないようにすること。

同一平面での補強棒鋼のかさなりの長さは 60 D 以上とすること。

十字接続における補強棒鋼の固着において、すべての二次的結合棒は同一方向に重ねて曲げること。

棒鋼を2本づつ配筋する場合は、つなぎは図に示すように実施することができる。

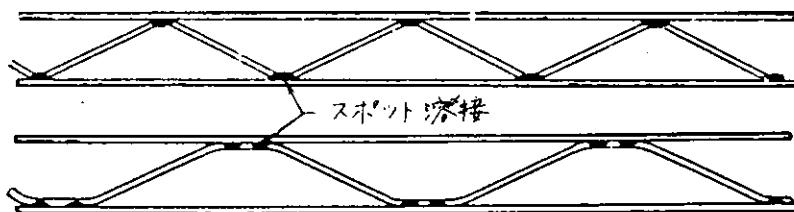


十字接続で補強棒鋼を重ねる場合、重ねをスポット溶接できるが、その場合重ね長さは20D以上とすること。針金で固着する場合は、重ね長さを30D以上とすること。

交差する補強棒鋼間の結合は、作業中にずれないよう溶接又は針金で互に固着すること。

補強材にパイプを用いた場合、溶接によって焼けないよう注意すること。

フレーム、ビーム、ガーダウェブの骨組補強材は次図のごとくスポット溶接すること。



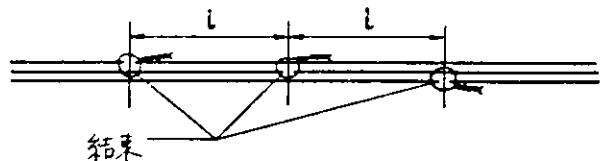
### C. 金網

同一平面で金網を重ねる場合、重ねの長さは5cm以上であること。

板の同一断面では2つ以上の重ね接合はできるだけされること。

金網の突き合わせ接合は断面が2層以上の金網を有し、かつ承認がえられた場合のみ認められる。

突き合わせ接合は、鋼線結束またはスポット溶接で固着すること。接合点に沿った固定点間距離は10cm以下とすること。



同方向の隣接した接合点間の距離 $l$ は25cm以上とすること。

同一断面で2以上の突き合せ接合の使用を認めるのは、反対方向に接合がある場合である。

補強棒鋼に金網を固定するとき、金網はひっぱってのばすこと。金網は補強棒鋼と密着するように引っ張り、スポット溶接か結束で固着すること。

金網をしいている間、必要によりゆるい結束を使用すること。

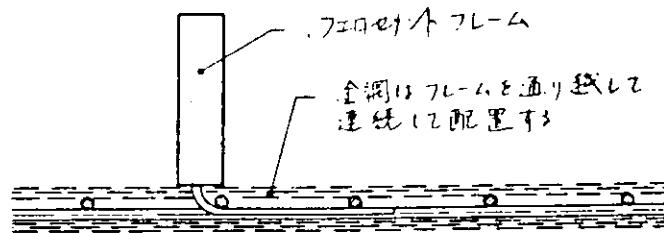
形の変る場所では、できるだけ滑らかに金網を配置すること。

結束針金間の距離は15cmをこえないこと。

#### 15mを超える長さの船のフレームの金網

外板はフレームを通りこしてできるだけ連続して配置すること。これが困難な場合は外板の内側の金網層をフレームの下で突き合せ接合することができる。フレームの補強棒鋼を外板のそれとしっかりと固定すれば、フレーム金網と外板金網のかさなりは不要である。

フレームと外板を結ぶフレーム固定棒鋼間の距離は10cm以下とする。

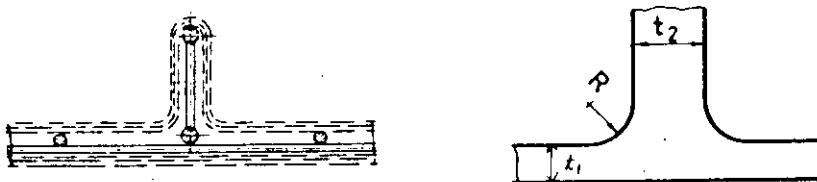


#### 15 m 以下の長さの船のフレームの金網

フレーム付近の外板の金網にならうこと。建造上において困難があれば、金網層の 50 % までをフレーム上または回りに配置してよい。

金網は内側のコーナーで最大 10 cm の間隔で結束すること。

厚さ  $t_1$  の薄板の内側に二次的金網を用いない十字接合では、隅部に曲率が  $t$  ( $t_1, t_2$  のうち小のもの) 以上であるように最外層を設けること。



#### D. 開口部と貫通

開口部の補強、裸の金属部の保護、各種貫通部の問題、スタンチューブとかじ軸受について規定

##### 第六節 モルタルと塗装

###### A. モルタル

あらかじめ材料を秤量し、混合物が常に正しい重量割合であるようにすること。

セメント／砂比（重量）C/S は 0.4 以上、0.6 以下とすること。

混った砂を使用するときは水分に補正をすること。砂の水分の管理が保持できなければ、使用前に砂を乾燥させること。

水／セメント比（重量）W/C は 0.4 以下とし、水分は満足な塗装ができる軟かさとする。

砂が混っていれば、実際の W/C が 0.4 以下になるよう水分の補正をすること。

混和材をモルタルに使用することができる。

ねり混ぜは、コンクリートに経験をもつ熟練者が監督すること。

混合物が最低 10 °C になるよう材料に多少熱を加える。ただし 30 °C をこえてはならない。

ねり混ぜは協会が承認する強制攪拌つきモーター・ミキサーを使用し、10 °C 以上の温度で行うこと。

モルタルのすべての成分をミキサーに供給したとき、少なくとも 4 分間ねり混ぜること。

###### B. 塗装

熟練者の管理のもとに行い、塗装前に金網と補強棒鋼は、錆、ミルスケール、グリース、油などの汚れを除去すること。

塗装中に補強材の変形を防止できるよう補強材を固定させること。

10 °C 以上の温度で塗装するとき、空気の相対湿度は 50 % 以上であること。ねり混ぜ後は、できるだけ早く塗装すること。ミキサー中に水分を加えた後、1.5 時間以内に塗装やモルタル作業を完了すること。

モルタルのこて押え、仕上げはこの後において行ってもよい。

ミキサー中で水を加えてから 1 時間以上未使用で放置したモルタルは使用しないこと。

人手による塗装の場合、補強材を通して、一方からモルタルを押しつけるか、作業を行い、完全な浸透や充填を

確保するよう注意すること。必要によりバイブレーターを使用すること。

吹付けモルタル技術は協会の承認をうけること。

吹付けモルタル技術は船殻を型で成形したり、板、フレーム、梁を型でプレハブにするに使用することができる。

型を使用しない場合、適当な可動の押え板を反対側に使用し、浸透を完全にすること。

まだ固まらないモルタルと硬化したコンクリートの接合には、まず、すべてのぼろぼろのモルタルを除去し、接合部をきれいにする。塗装の前に、接合部表面にセメントグラウト1層を使用することが望ましい。エボキシの使用については協会の承認を要する。

補強材のかぶりは、表面に最も近い金網層の針金の径以上で3mm以下とし、できるだけ一様にすること。

## 第七節 凝結、養生及び表面処理

### A. 凝結

初期凝固期間では温度を最低10°Cに保持すること。

水養生を使用する場合、初期凝固期間は

早強ポルトランドセメントに対して 約8時間。

普通ポルトランドセメント、耐硫酸塩ポルトランドセメントに対し 約12時間。

蒸気養生を使用する場合、初期凝固期間は

早強ポルトランドセメントに対して 最低3時間。

普通ポルトランドセメント、耐硫酸塩ポルトランドセメントに対し最低5時間。

初期凝固期間、周辺の空気はできるだけ湿分を保つこと、しかし直接水をかけてはいけない。日光や風をさえぎり、期間中動かさないこと。

### B. 養生

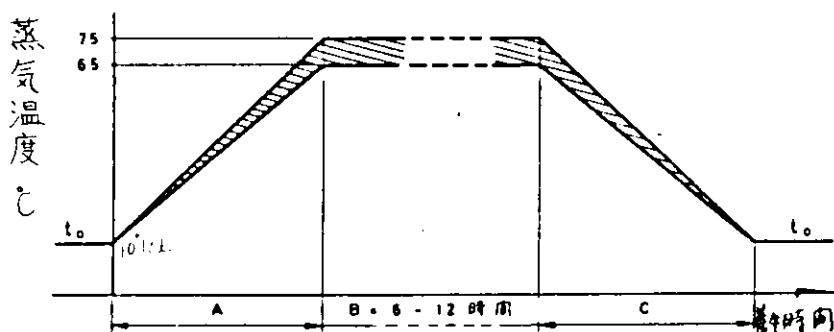
初期凝固期間が終了すれば直ちに水あるいは蒸気養生を開始できる。

水養生は少なくとも次の期間続けること。

早強ポルトランドセメント14日、普通ポルトランドセメント、耐硫酸塩ポルトランドセメント28日  
期間中温度はなるべく10°C以上に保つこと。構造物は静置し、周期的水スプレーと覆いをするか、微細な水噴霧による連続スプレーで十分湿らすこと。養生水の温度は10°C以上であること。

蒸気養生はプラスチックテントまたは相応の装置によって船殻や構造物を完全に覆い、中に湿った低圧蒸気を充満させる。船殻やすべての構造を同一養生条件にすること。養生中蒸気の供給はできるだけ一様にすること。

養生開始後、蒸気温度を次図のハッチ部に入るようにすること。蒸気温度は構造物の表面で測ること。



蒸気温度は10°C/hより大きくなれば昇温または下降させず、温度変化をできるだけ一様とする。

温度の上昇と下降は、次式以上の持続時間で行うこと。

$$A = C = (t - t_0) / 10 \text{ 時間}$$

t 定常養生中の蒸気養生 °C

#### 1. 初期温度／最終温度

65 ℃～75 ℃間の一定温度の養生は6～12時間、蒸気養生の完了後12時間は静置すること。

#### C. 仕上げ及び研磨

表面の仕上げとなでつけは、できるだけ材料が固まる前に行うこと。

水養生を使用する場合、塗装の完成後約7日で表面の研磨が行える。蒸気養生ならば養生の完了後研磨を開始できる。

研磨によってかぶりが規定より小にならぬよう注意し、もし規定より薄くなる場合は、表面をきれいにして新しいモルタルを塗る前にエポキシ樹脂一層を用いること。

#### D. ベンキ塗装 略

### 第八節 材料試験及び材料品質

#### A. 材料試験

フェロセメントの材料試験を実施しなければならない。特別な場合には、事前に実施した試験から亀裂応力を計算によって求めてもよい。連続建造の場合は、試験の頻度を別に協会がきめることができる。

材料試験のサンプルは船殻と同一条件のモルタルでつくること。

圧縮強度試験は無補強材料で実施し、国で定められた標準的な方法で実施する。

補強材料についての引張及び圧縮試験を行い、引張応力と伸びとの関係、圧縮と圧縮応力との関係を求める。

補強材料は曲げ試験を行い、曲げモーメント、曲げ引張応力及び伸びとの関係を求める。

#### B. 材料強度

モルタル圧縮強度  $\sigma_t$  は  $3.5 \text{ Kg/mm}^2$  以上であること。圧縮強度の関係式は

$$\sigma_t = 0.85 \sigma_{t,s} = 0.68 \sigma_{t,1}$$

$\sigma_t$ ：モルタルの圧縮強度、 $\sigma_{t,s}$ ：円筒型試験により圧縮強度、 $\sigma_{t,1}$ ：立方体試験により求める圧縮強度

最初の可視き裂が表面に  $0.01\sim0.02 \text{ mm}$  の幅で現れるとき、これを材料のき裂応力と定義する。

外板、甲板材料のフェロセメントの曲げ試験におけるき裂応力  $\sigma_{b,spr}$  は  $0.7 \text{ Kg/mm}^2$  以上、最終応力  $\sigma_{b,br}$  はその1.25倍以上であること。

外板、甲板とフレームにおけるフェロセメントについては、引張試験でのき裂応力  $\sigma_{s,spr}$  は  $0.4 \text{ Kg/mm}^2$  以上。

最終応力  $\sigma_{s,br}$  はその1.25倍以上であること。

板の厚さについての補正係数は

$$C_1 = \sqrt{\frac{70}{\sigma_{b,spr}}}$$

断面係数についての補正係数は

$$C_2 = \sqrt{\frac{40}{\sigma_{s,spr}}}$$

材料試験を必要としない構造物の部材寸法を決める場合、き裂応力を推定して使用することができる。

き裂応力の近似は次式にて行う。

$$\sigma_{spr} = 15 + (\sigma_{s,prm} - 15) K_t / K_{tm} \text{ Kg/cm}^2$$

$\sigma_{s,prm}$  曲げまたは引張における未知のき裂応力

$\sigma_{s,prm}$  未知のき裂応力をもつ構造物と同一モルタル成分の材料サンプルに対する曲げまたは引張における既知のき裂応力。

$K_t$  未知のき裂応力をもつ構造物について計算した付着係数

$K_{tm}$  既知のき裂応力をもつ材料サンプルに対し計算した全付着係数。

未知のき裂応力をもつ構造物と試験サンプルについてモルタルの成分と養生条件が同一であれば、上式にしたがって計算した設計応力をそのまま採用できる。

### 第九節 船殻寸法

#### A. 一般

$L \leq 30\text{ m}$  の船に適用する。

特別な計算あるいは他の方法によつて応力が承認されれば、必らずしもこのルールの要求によらなくてもよい。

材料の特性として圧縮強度が引張強度より大きいということを十分に考慮すること。

縦横方向の外板の補強については、船底外板及び船側外板の曲面部には外圧によって圧縮応力が膜応力として働くので考慮する必要がある。

外板板厚の曲面に対する修正係数  $F$  は

$$F = \left( 1 - \frac{f_1 + f_2}{2 s_1} \right) \left( 1 - \frac{f_3 + f_4}{2 s_2} \right)$$

最小値は 0.70 とする。

#### B. 外 板

船底、船側及び甲板の板構造は第四節により、その材料は第八節によること。

船底外板は、次の 2 つのうち大きい方の高さまで一定の厚さとすること。

1) 船体中央においてビルジわん曲部

2) 竜骨上  $0.15 D$  の高さ

船底外板の厚さは、次の 2 つのうち大きい方とすること。

$$t_1 = 20 C_1 s (D - 0.45) F \quad (\text{mm})$$

$$t_2 = C_1 (L + 15) \quad (\text{mm})$$

ここで

$s$  : 横肋骨心距

$$C_1 = \sqrt{0.7 / \sigma_{b,p,r}} \quad , \text{ 材料係数}$$

$\sigma_{b,p,r}$  : 曲げ試験で求めたフェロセメントのき裂応力 ( $\text{kg/mm}^2$ )、 $\sigma_{b,p,r}$  は  $0.7 \text{ kg/mm}^2$  以上でなければいけない。

船底の横断面積は中央部  $0.4 L$  間において

$$A_b = C_2 \left( \frac{5}{L - 12} + 2.5 \right) \frac{L^2 B}{D'} \quad (\text{cm}^2), \quad (15 \text{ m} \leq L \leq 30 \text{ m})$$

$$C_2 = 0.04 / \sigma_{s,p,r} \quad , \text{ 材料係数}$$

$\sigma_{s,p,r}$  : 引張試験で求めたフェロセメント

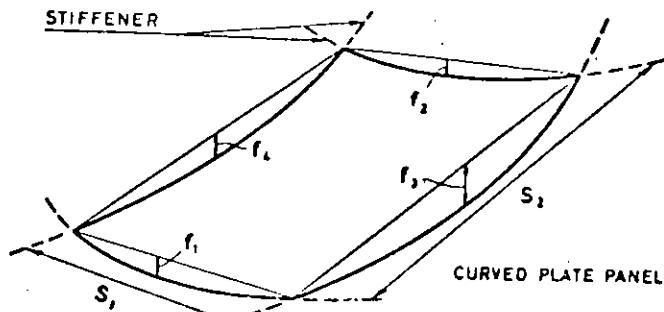
のき裂応力 ( $\text{kg/mm}^2$ )

$\sigma_{s,p,r}$  は  $0.4 \text{ kg/mm}^2$  以上でなければならぬ。

#### B 船の幅

$$D' = D - H / 2, \text{ 最大 } 0.93 D$$

$H$  : 船底勾配



## C<sub>2</sub> , 第八節による。

船底の断面積 A<sub>b</sub> の中には、竜骨上 0.15 D または船底勾配がこれより大きいときはその高さまでの縦通肋骨、及び竜骨の最上部の縦通棒までの竜骨の断面積を含めるものとする。

船側外板の厚さは  $t = 0.95 t_b$ ,  $t_b$  は  $F = 1$  として求めた前記船底外板の厚さ。

曲面がある場合その修正ができる。船底外板の場合と同じ。ただし  $t_{\text{min}} = 0.85 t$

甲板の厚さは次の 2 つのうち大なる方とする。

$$t_1 = 15 C_1 s (D - 0.45) F \quad (\text{mm})$$

$$t_2 = C_1 (0.9 L + 14) \quad (\text{mm})$$

ここに s は横置梁心距

甲板の断面積は、中央部 0.4 L 間で

$$A_d = C_2 \left( \frac{5}{L - 12} + 2.0 \right) \frac{L^2 B}{D'} \quad (\text{cm}^2), \quad (15 \text{ m} \geq L \leq 30 \text{ m})$$

甲板の断面積としては次の部分が含まれる。

- 1) 倉口から舷側までの連続した縦通甲板梁と甲板
- 2) 舷側から下 0.15 D までの船側外板と船側縦通肋骨
- 3) 甲板下の倉口側桁及び縦通桁で、船の長さの 0.4 以上連続のもの。

甲板をフェロセメント以外の材料でつくる場合は、それぞれ適当な規則によって設計すること。

## C. 肋骨

肋骨の心距は標準として

$$s = 1520 + L (0.7 L - 54) \quad (\text{mm})$$

前首部では次の心距より大きくしてはならない。

$$s_f = 0.75$$

肋骨の板の構造は第四節の要求を満足し、材料は第八節に示した材料によること。

設計荷重は

$$\text{F. P. から } 0.2 L \text{ より後方} \quad h = 2.5 (0.01 L + 0.50) + D' \quad (\text{m})$$

$$\text{F. P. から } 0.2 L \text{ 間} \quad h + 0.05 L \quad (\text{m})$$

ここで  $D' = H/2$  最小値  $2/3 D$

H rise of floor (船体中央断面)

ビルジコーナーより下方の横肋骨の断面係数は

$$Z = 30 C_2 \ell^2 s h \quad (\text{cm})$$

s 肋骨心距  $(\text{cm})$

$\ell$  測り方の詳細は次図に示す。

凹形の船底肋骨では  $\ell = \ell_0 - 3f + 0.3 R$

$\ell_0$  は船底の直線部分、ビルジの半径が一定のときは、 $\ell_0$  は次図のごとくとること。

R はビルジの半径

S 字型の船底肋骨では断面係数は上記 Z で与えられ、 $\ell$  は A-A 断面からビルジ部まで

$$\ell = \ell_0 + 0.3 R$$

肋骨の Floor あるいは竜骨端の B-B 断面係数は  $\ell$  に  $\ell_0'$  を用いる。

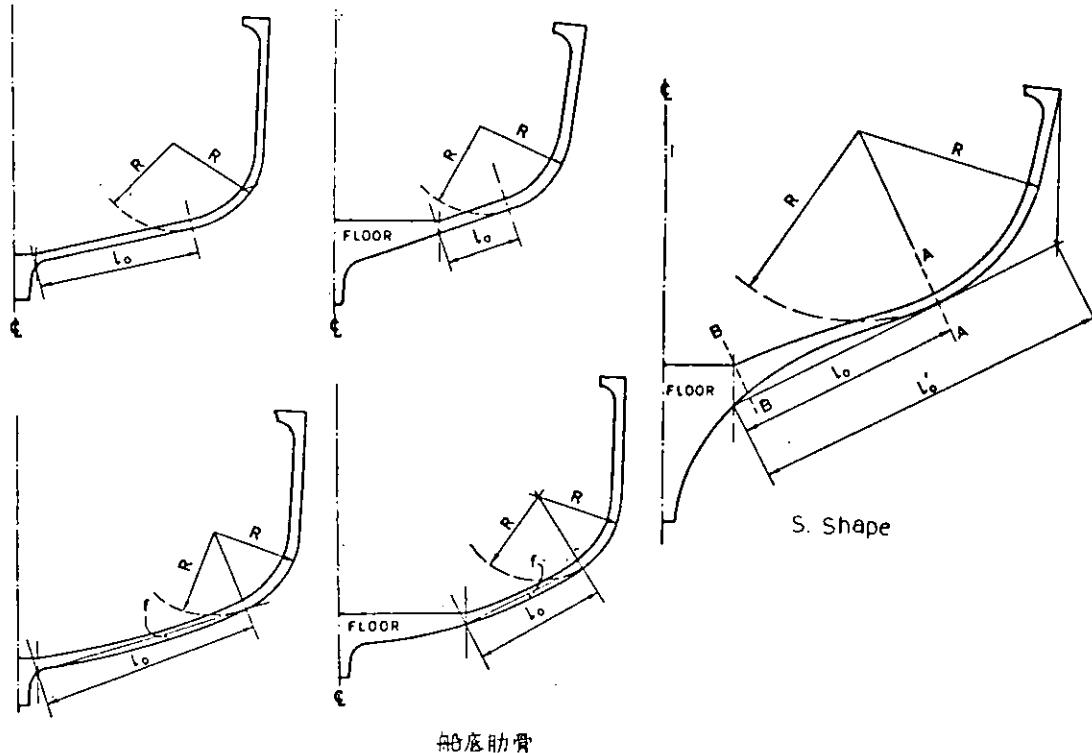
A-A と B-B 断面の中間は一様に変化させる。

ビルジより上方では断面係数は 40 % 減にしてよい。ただし、一定の最小値（略）を下回ってはならない。

船首部の肋骨の断面係数は

$$Z = 30 k_1 C_2 \ell^2 s h \quad (\text{cm}^3)$$

ここで  $k_1$  は肋骨が S 字型か内側に曲っているか、外側に曲っているかによって定まる係数で、外側に曲っている（外に向って凸）の場合は、S 字型や内側に曲っている場合より  $k_1$  が小さい。



縦通肋骨の断面係数は、竜骨上面上 0.15 D の範囲では

$$Z = 30 k_1 k_2 C_2 \ell^2 s h \quad (\text{cm}^3)$$

ここで  $k_1$  は船体中央部 0.4 L で 2 - 4 0 5 1  $\ell$ 、最小値は 1.0

この値は船の端部に向って  $k_1 = 1.0$  へ直線的に減じる。

$k_2$  は船体中央部 0.4 L で 0.15 L + 1.0、船の端部では  $k_2 = 1.0$  まで減じる。

$\ell$  肋骨心距 (m)、横置桁あるいは横隔壁の中心から中心まで、

$s$ 、縦肋骨心距 (m)

$C_2$ 、第八節による。

船側最上部の縦通肋骨の断面係数は前式の 65%，中間の肋骨は断面係数を直線的に減じる。

縦通肋骨はできるだけ船の全長にわたって連続されること。

D. 床板の設計及び寸法は一般的な算式を与えないが、船の条件に応じてそれぞれ承認をうること。

E. 縦通桁の寸法は船ごとに承認を必要とする。center girder あるいは center girder の働きをする bar keel が必要である。さらに必要に応じて side girder も要求する。

機関室の構造寸法は機関の出力に対して十分なものとし、機関の seat は縦横に防撃し、その補強棒や支えのボルトキャストなどは隣接する床板や桁板に固定すること。

F. 縦肋肋骨を支える横桁あるいは横隔壁の間隔は

$$S_t = 5 - s \quad (m)$$

$s$  は  $c$  による肋骨心距

横桁の設計及び寸法は船級協会に承認をうること。

G. 甲板の補強

船の幅の  $1/50$  以上の round beam を設け  
けた方がよい。

鋼製の形のものを使用するときはその寸法は  
別途考える。

甲板梁及び甲板桁に対する設計荷重  $h$  は、貨  
物を甲板に積まないときは  $h = 0.175 B \quad (m)$

で  $h = 0.5 \text{ m}$ , 貨物を甲板に積むときは  $h = 0.175 B + P \quad (m)$

$P$  は甲板貨物の荷重  $(t/m^2)$

横置梁の積層は第四節を満足し、その断面係数は

$$Z = 45 k_1 C_2 \ell^2 s h \quad (cm^3)$$

ここで

$$k_1 = 2 - 40 \frac{f}{\ell}$$

甲板縦通梁は第四節の積層構成とし、船の全長にわたって連続とすること。

断面係数は

$$Z = 60 k_2 C_2 \ell^2 s h \quad (cm^3)$$

ここで

$$k_2 = 0.015 L + 1.0 \quad \text{船体中央部} \quad 0.4 L$$

船の端部で順次減少して  $k_2 = 1.0$  としてもよい。

甲板桁は第四節の積層構成とし、その構造寸法等は船の条件に応じてかわり、それぞれ承認を必要とする。

H. 隔 壁

水密隔壁としては、collision bhd, aft peak bhd 及び機関室の前後端の隔壁をもつこと。機関室の後端隔壁と aft peak bhd はかねてよい。

隔壁の寸法はそれぞれの船の条件による。

水密隔壁の高さは freeboard deck までとする。

collision bhd 及び aft peak bhd は peak tank に船の水深面までの水をはって試験をする。

tank の周辺の隔壁は tank に要求される水圧で試験を行う。

水密隔壁はホーステストを行う。

I. タンク

貨物、燃料油、潤滑油、清水タンクなどの構造は出来るだけ単純の構造とすること。

マンホールを必要とする。置タンクは乾燥し、通風のよいところにおくこと。

タンクの構造寸法はそれぞれの構造による。

タンクの試験は最も苛酷な条件での水圧で行う。承認をえれば水圧の試験に代えて空気圧試験を行うことができる。

第十節 機関室

機関室と居住区の仕切りの隔壁がフェロセメントかアルミでない場合は隔壁は水密の不燃性材料でカバーすること。

cargo pump room と居住区の隔壁についても同じ。

床張りは、フェロセメント、鋼、アルミのいずれかとすること。

排ガス管が可燃性材料の甲板または甲板屋根を貫通する場合は、次のいずれかの断熱を行うこと。

1) 最低厚さ 10 cm 以上の石綿を煙突と可燃性材料との間におり、石綿の外側にはふさぎ板をつけること。

2) 径が煙突より 6 cm 以上大きいパイプを外側におき、空気がこの中を流れるようのこと。

外側のパイプと可燃性材料の間には 2 cm 以上の石綿もしくは石綿の断熱材をおくこと。

冷い外気による結露をさけるため、外側のパイプ全体を断熱すること。パイプは甲板上 100 cm 以上とし、出口にカバーを施すこと。

煙突が隔壁に沿っているときは、隔壁を亜鉛メッキ鋼またはアルミ板で覆うこと。

煙突は断熱された隔壁から 10 cm 以上離すこと。もし煙突が 1 cm 以上の石綿またはそれと同等の断熱材で断熱されている場合は、隔壁との距離を 5 cm にできる。

排気管及びマニホールドは、表面温度が 220 °C をこえないように水冷もしくは十分断熱されること。排気等はオイルパイプまたはタンクからの漏洩した油と接触しないよう配置すること。

油を吸収する断熱材を使用する場合は、容易に損傷しない密油性の材料で断熱材を覆うこと。

機関室と燃料タンクは十分換気すること。

#### 第十一節 開口隔壁及び甲板室

船楼及び甲板室のフェロセメントの板厚及び防撓材の間隔は、個々に協会の承認をうること。

FRP、鋼またはアルミの船楼、甲板室の設計及び構造寸法はこれらの材料を用いた構造に関する協会の規則にしたがうこと。

#### 第十二節 船殻に設ける開口、閉鎖設備、倉口隔壁及びハッチカバー、甲板排水

この規則は満載吃水線条約を満たすものである。

倉口、昇降口、出入口及び通風筒についての要求は場所により異なる。

1. 暴露乾舷甲板、暴露低船尾樓及び船首から 0.25 Lまでの暴露船樓甲板

2. 0.25 L から後ろの暴露船樓甲板

水密のハッチカバーを有するハッチのコーミングの高さは 1 に対し 600 mm 以上、2 では 450 mm 以上

フェロセメントを用いたコーミングは第四、八節の材料を用い、その場所の甲板より厚くすること。

鋼製の場合のコーミングの厚さは 7 mm 以上、アルミでは 8 mm 以上とすること。

600 mm 以上の高さのコーミングは、その上端から 250 mm 以内に取りつけた十分な水平防撓材及び最大 3 m の間隔でつけた肘板または防撓材で補強すること。

#### 第十三節 鋼及びアルミの接合

略

#### 第十四節 漁船

長さ 20 m 以上の漁船で“鋼船規則 chapter X III B section B and C 100 ”の中でフェロセメント船も適用可能な要求を満たすものは、船級符号 DEEP SEA FISHING も与えられる。

船級符号 DEEP SEA FISHING に該当しない船で、“鋼船規則 chapter X III B sec 26 B and C 200 ”の中でフェロセメント船に適用可能な要求項目を満たす船は船級符号 FISHING も与えられる。長さ 20 cm 以下の船にも適用できる。

FISHING の船級をもつ船は、沿海及び沿岸から 90 海里まで航行可能である。

船級符号 DEEP SEA FISHING もしくは FISHING を有する船については永久倉内隔壁の補強を要し、個々に協会の承認をうけること。

### 第三章 最近の船級船の管理

#### 第一節 検査

##### A. 一般規則

船級を維持するために、規定した期日に検査をうけること。

船級検査に含まれる船体、機関及び機器が、指定事項となると思われる損傷をうけた場合、協会の指示に従って最初の寄港地で検査をうけること。

修理を行う際には、船主は修理が行われる港の検査員に報告すること。

工事は検査員の監督のもと、新造の際の規則の中で適用可能なものに従って行うこと。

船級船が改造される場合は、新造の場合と同様に前もって図面及び技術資料を協会に提出すること。

改造は新造と同様に検査員の監督のもとに行われる。

##### B. 定期検査

船級符号 A 1 を有する船については、定期検査は建造もしくは前回の検査の 4 年後に行う。A 2 の場合は 2 年後に行う。

定期検査は、乾ドックもしくは船架上にて行う。船体の内部及び外部から検査する。

水線上のバルブ、コック付き海水吸排水管は分解すること。

舵及びラダーストック及び軸受けの間隙の検査、閉鎖装置を有する甲板室、倉口、昇降口等の検査、機関の検査については、鋼船規則の chapter X I に規定されたフェロセメントに適用出来るものについて行う。

##### 中間検査

船級符号 A 1 を有する船については、建造もしくは前回の定期検査後 2 年以内に行う。

船級符号 A 2 を有する船については 1 年以内に行う。

中間検査は乾ドックもしくは船架上にて行う。船体、甲板室、倉口、昇降口、換気筒の検査を行う。検査員が必要でないとした場合には、海水吸排水管の分解は省略できる。舵の軸受けの間隙の計測も行う。

##### 定期的検査の期限

定期的検査の期限は、建造もしくは登録、または前回の検査の行われた月から定める。

検査の申込み及び寄港は期限内に行うこと。船令は建造された月から計算する。

協会の監督なしに建造されたときは、造船所から引き渡された月からとする。

期限内に検査が完了するならば、検査を分割して行える。ただし 6 カ月以前に行なうことはできない。6 カ月以内であれば検査の延期が認められる。

検査が終了すれば検査終了の年月が登録簿に記入される。

## 2.2 Guidance For The Construction of Ferro-Cement Vessels ,

### A. B. 19 August 1969 .

#### 第 1 章 一般条件

1. 1 一部あるいは全部がフェロセメントで建造され、協会の指針によるかあるいは同等の基準によってつくられ、検査員の監督のもとにつくられた船に対しては、船級+A 1 " 年次検査 " がつけられる。

1. 2. 検査官は技術者の資格及び設備等が船級をうるに十分であるかどうかをしらべること。

1. 3 建造中は定期的に検査を行い、検査に必要な記録を準備すること。検査官は建造の主要な段階で立会うこと。

1. 4 建造後は乾ドックで年次検査をうけること。

船殻の内、外面、全フレーム、船首尾構造、甲板室、隔壁等の検査を行う。

年次検査は十分な実績をもてば、その期間をもっと長くすることができる。

- 1.5 建造にあたっては船の配置、要目と船殻構造の主要部の詳細図を提出し承認をうける。
- 1.6 設計者は船殻等の強度計算を行い、計算には第四節の試験によってえられた数値を用いる。

## 第2章 要目と建造

- 2.1 フェロセメントで建造された船殻あるいは構造についての定義は、補強用の鋼材がコンクリートの中に広く分布している。薄肉の高密度に補強されたコンクリートである。したがって、応力が加われば均質な材料としての働きをするものである。

材料の強度は第四章に示すように代表的なパネルの試験片による十分な数の試験結果によって求める。

- 2.2 フェロセメントの鋼含有量はできるだけ高くし、モルタルで十分な浸透されるような方法に配筋し、空隙のないようにすること。

補強棒鋼、パイプ、金網は一様に分布し、形に適していること。

横肋骨や隔壁は十分な横強度を有すること。

補強材は、モルタル打設時に動かないよう密接またはその他の方法でしっかりと固定すること。

縦強度部材や床板などに鋼構造との組み合せを考えてもよい。しかし、モルタルの浸透や骨組と金網間の適当な固着を確保できるよう配慮すること。

補強材は船殻がやせている構造の端部に向って少しずつ減らしてゆくが、しかし、不連続が生じないようにすること。

金網の重なるところは、補強材の一様な分布、モルタルの浸透のために互い違いにすること。

補強材中の突合せ接手は、不連続をさけるため適当に互い違いにすること。

### 2.3 型

内部または外部に型を用いる建造法では、モルタルの浸透、補強材の固定を十分に行うこと。

型の表面はなめらかにし、モルタル打設前に完全に掃除すること。

### 2.4 コンクリート

コンクリートのねり混ぜ、運搬、打設、養生の方法は堅実で高品質のえられるものであること。

モルタルはねり混ぜ後できるだけ早く打設すること。待ち時間中は混合物は一定の攪拌を行うこと。もし水の分離があれば、モルタル打設前に再ねり混ぜを行うこと。

モルタル運搬のための容器は清潔であること。

モルタル打設中、補強材の回りや隅に空隙が残らないよう注意すること。

厚い部分にモルタルを打設する場合は、パイプレーターや突き棒を使用すること。

かぶりの厚さは最小にし、かつ完全にすること。

養生は散水か、蒸気養生か、被膜養生による。養生はモルタル打設後約3～4時間あるいはモルタルの始発終了までは開始しないこと。

養生期間は大気温度が低い場合長くとり、温度はほぼ一定に保つこと。

型を使う場合は養生期間はできるだけ長くすること。

## 第3章 材 料

### 3.1 セメント

普通はASTM C 535 - 67 T の規格のようなポルトランドセメントである。

セメントの貯蔵は乾燥状態で行い、セメントは新鮮なものを使う。

在庫のセメントは積み替えを行うこと。セメントに固結がある場合はふるい分けること。

### 3.2 骨材

適切な強度と耐久性をもち、化学的な塩等他の物質を含まぬこと。普通シリカ質の清浄な洗浄された砂であるこ

と…(ASTM C 330 - 68 T)

### 3.3 水

モルタル強度や抵抗性をそこなう他の物質を含まぬこと。塩を含まぬこと。

### 3.4 ねり混ぜ

混合物の割合は重量によって行うこと。水セメント比はできるだけ低くすること。

スランプ試験により管理すること。

### 3.5 補強材

補強材(棒鋼、パイプ、伸張金物、金網)は十分な引張強度、降伏強度、韌性をもつこと。

補強材はASTM A 615 - 68, 185 - 64及びA 390 - 66の規格を満足すること。

ミルスケール、グリースその他よごれのないものであること。

軽い腐食は問題ないが、ぼろぼろの酸化物はブラシで除去すること。

黒またはメッキされた補強材は使用してもよい。

## 第4章 試験

### 4.1 機械的特性試験

標準試験片による予備試験(ASTM C 192 - 68)(モルタル配合、配筋決定、養生は加速で行う)

建造中使用されるモルタルバッチから採取した試験片による試験

各50立方フィートまたはその端数ごとに試験

試験の種類は、引張り、圧縮、曲げ、衝撃試験のうち少なくとも3つの試験を各々の船殻または構造物に対して行う。

さらに大きい船殻または構造物に対しては、10立方ヤードのバッチまたはその端数ごとに一組の試験を行い、全体で少なくとも6組の試験を行うこと。

これらの試験では、補強試験片の破壊係数、弾性係数、衝撃係数、きれつ時と破壊時の引張り、圧縮強度を確実に求めること。

建造時の試験における養生はASTM C 31 - 66によること。

#### a) 圧縮試験

4 in  $\phi$  × 8 in の無配筋試験片

ASTM C 39 - 66による。

#### b) 引張試験

圧縮試験の類似の試験装置を使用し、割裂円筒形試験による。

ASTM C 496 - 66による。

圧縮試験と同一寸法で無配筋の試験片

真の引張り強度は割裂引張強度の50～70%となっている。

#### c) 曲げ試験

長さ約4 ft、幅12 in、厚さは船殻と同一で、船殻と同一型式の補強材の試験片、

ASTM C 293 - 68, ASTM C 78 - 64による(均等負荷)。

測定はき裂時と破壊時について行うこと。

#### d) 衝撃試験

約2 ft × 2 ft、厚さは船殻と同一で、船殻と同一の型式の補強材の試験片

試験片のほぼ中央を横切って幅1/25"(1 mm)、深さ1/12"(2 mm)の2つの互いに垂直のVノッチ

をつけること。ノッチは端に対して直角であること。

落錘方式の試験によること。破損はホーステスト等により漏水がおこったことで決める。

試験報告には次の項目を示すこと。

確認番号、試験片の全寸法、破壊したときの荷重、養生履歴と試験時の試験片の湿分状態、試験片のきずと材  
令、周囲の条件。

### 3. フェロセメント船に関する解析及び試験

#### 3.1 既存船の強度解析

本年度は米国 Jay R. Benford & Associates Inc より長さ 52 ft フェロセメント漁船の図面を購入し、これの強度を Det norske Veritas ( 以下 DnV ) ルール<sup>1)</sup> 及びフェロセメント船暫定基準(案)<sup>2)</sup> をもとにして解析した。その結果を以下に述べる。

##### 3.1.1 本船の概要

本船は次のような主要寸法を有する漁船で、その概要是図 3.1.1 及び図 3.1.2 のごとくである。

全長 52' - 9" ( 16.078 m )

垂線間長さ 48' - 5" ( 14.757 m )

幅 14' - 6" ( 4.420 m )

深さ 8' - 8 1/8" ( 2.645 m )

満載喫水 6' - 0" ( 1.829 m )

図 3.1.2 の [ ] は入手図面では不明確の点があるので、当委員会で一部想定した寸法を示す。

#### 3.1.2 DnV ルールによる検討

##### (1) 船底外板

(a) 局部強度上の要求 ( II Sec. 9B20 ) <sup>注</sup>

次の二つのうち大なる方

$$t_1 = 20 C_1 s ( D - 0.45 ) F$$

$$t_2 = C_1 ( L + 15 ) \quad ( \text{mm} )$$

ここで、

L : 垂線間長さ ( m )。但し、水線間長さの 96% を最小値とする。

D : 船の深さ ( m )

s : 横肋骨心距 ( m )

$C_1 = \sqrt{0.7/\sigma_{b,p,r}}$  : 材料係数 ( II Sec. 8B21 )

$\sigma_{b,p,r}$  : フェロセメントの曲げ試験によるひび割れ応力 ( Kg/mm<sup>2</sup> )

$\sigma_{b,p,r}$  は 0.7 Kg/mm<sup>2</sup> 以上でなければならない ( II Sec. 8B13 )。

F : 板が湾曲していることによる強度増加を考慮した修正係数 ( II Sec. 9A31 )

本船の場合

$$s = 0.813 \text{ m}, \quad L = 14.757 \text{ m}, \quad D = 2.645 \text{ m}$$

また F = 1 と仮定する。 $\sigma_{b,p,r}$  は 3.3 に述べるフェロセメント板の曲げ強度試験によって得られるが ( 例えば図 3.3.8 )、値がばらついているので  $\sigma_{b,p,r} = 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 \text{ Kg/mm}^2$  と 5 通りに変えて要求を求める表 3.1.1 のようになる。

表 3.1.1 DnV ルールによる船底外板要求板厚

$\sigma_{b,p,r} (\text{Kg/mm}^2)$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
$C_1$	0.837	0.764	0.707	0.661	0.624
$t_1 (\text{mm})$	29.9	27.3	25.2	23.5	22.3
$t_2 (\text{mm})$	24.9	22.7	21.0	19.7	18.6
要求板厚 (mm)	30	27.5	25.0	23.5	22.5

注) DnV ルール Chapter II Section 9B20 の意。本報告書では 2.1 第二章第九節 B。以下同様。

PRINCIPAL DIMENSIONS

LENGTH OVERALL	5' 2" - 9" (16.078 m)
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	4' 8" - 5" (14.757 m)
BREADTH	1' 4" - 6" (4.420 m)
DEPTH	8' - 8 $\frac{1}{8}$ " (2.645 m)
DRAFT	6' - 0" (1.829 m)

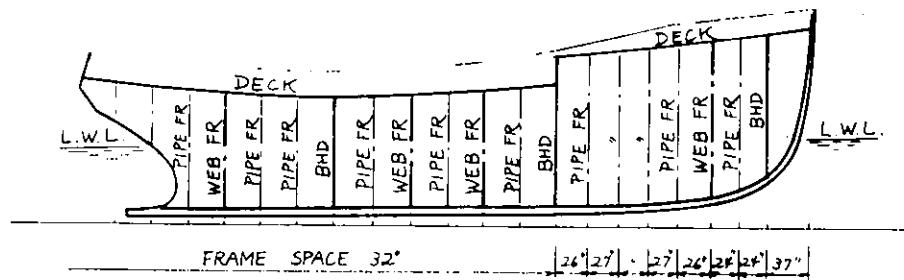


FIG 3.1.1

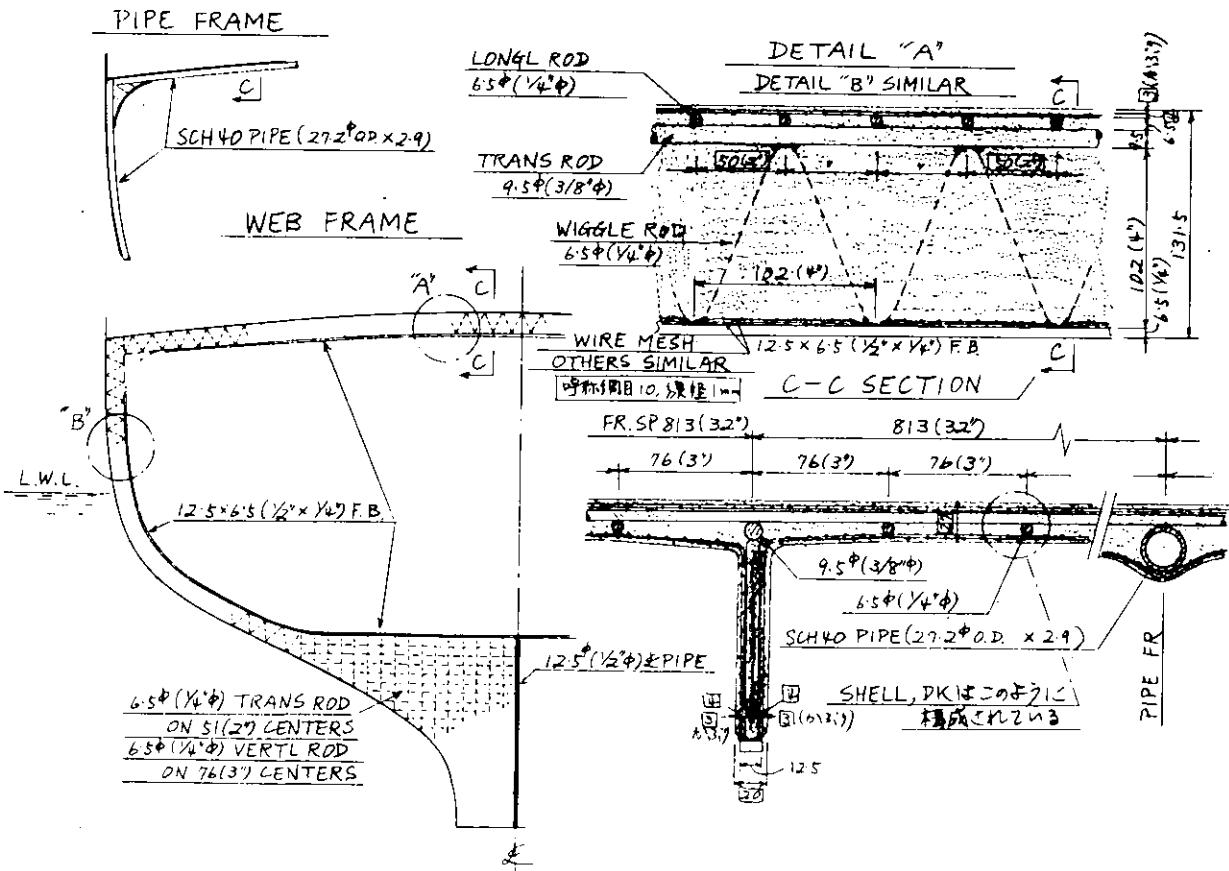


FIG 3.1.2

図面上の船底外板の板厚は 27 mm であるから、 $\sigma_{app}$  が  $1.25 \text{ Kg/mm}^2$  以上であるようなフェロセメントを用いればよいことになる。

(b) 縦強度上の要求 ( II Sec. 9B 30 )

竜骨上面上  $0.15 D$  または rise of floor のうちいずれか大なる範囲内の縦部材の断面積(両玄分)は、次式による値より大なること。

$$A_b = C_2 \left( \frac{5}{L - 12} + 2.5 \right) \frac{L^2 B}{D'} \quad (\text{cm}^2)$$

ここで、

B : 船の幅 ( m )

$C_2 = 0.4 / \sigma_{app}$  : 材料係数 ( II Sec. 8B 22 )

$\sigma_{app}$  : フェロセメントの引張試験によるひび割れ応力 ( $\text{Kg/mm}^2$ )

$\sigma_{app}$  は  $0.4 \text{ Kg/mm}^2$  以上でなければならない ( II Sec. 8B 14 )。

$D'$  : 図 3.1.3 参照 ( m )

L, D : 前出

本船の場合

$D' = 2.0 \text{ m}$  また  $\sigma_{app}$  は 3.3 に述べるフェロセメント板の引張試験によって得られるが( 例えば図 3.3.15 ) 値がばらつくので  $\sigma_{app} = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 \text{ Kg/mm}^2$  と 4 通りに変えて要求断面積を求める表 3.1.2 のようになる。

表 3.1.2 DnV ルールによる船底部要求断面積

$\sigma_{app} (\text{Kg/mm}^2)$	0.4	0.6	0.8	1.0
$C_2$	1.000	0.667	0.500	0.400
$A_b (\text{cm}^2)$	2,076	1,384	1,038	830

実際の船底部断面積は

$$2.7 \text{ cm} \times 247 \text{ cm} \times 2 = 1,334 \text{ cm}^2$$

従って  $\sigma_{app}$  が  $0.65 \text{ Kg/mm}^2$  以上であるようなフェロセメントを用いればよいことになる。

(c) 補強材構造に対する要求

II Sec. 4B の型式 C で縦横補強鋼棒間に金網のない場合

$$t = 27 \text{ mm}$$

$$D_1 = 6.5 \text{ mm}, s_1 = 50 \text{ mm}, \cdots \text{縦方向}$$

$$D_2 = 6.5 \text{ mm}, s_2 = 76 \text{ mm}, \cdots \text{横方向}$$

4 層金網

$$d = 1 \text{ mm}, a = 10.9 \text{ mm}, n = 4 \text{ ( 4 層 )}$$

II Sec. 4D 21 より型式 C に對して

$$K_a = 59 \frac{d}{a} \frac{n}{t - (D_1 + D_2)} = 1.55 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$K_t = 31.4 \frac{1}{t} \left( \frac{D_1}{s_1} + \frac{D_2}{s_2} \right) + K_a \left( 1 - \frac{D_1 + D_2}{t} \right) = 1.07 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$\mu_a = 1.25, d = 1.93 \%$$

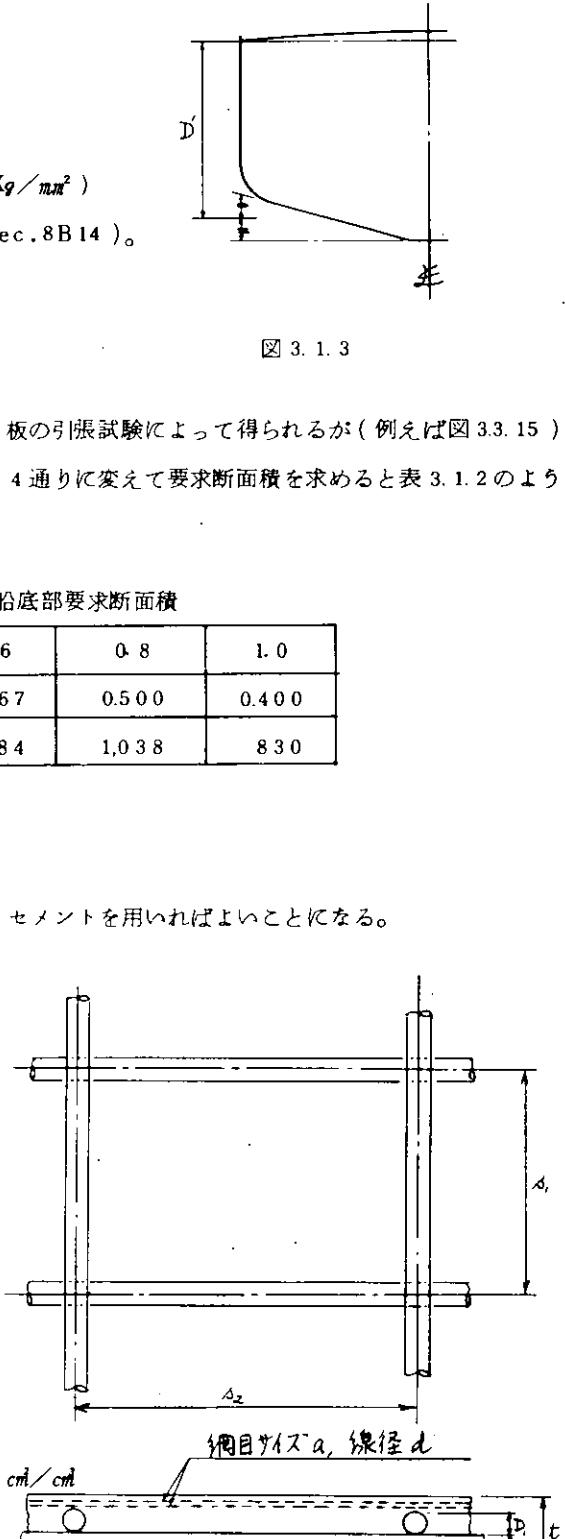


図 3.1.3

$$\mu_t = 78.5 \frac{D^2}{st} + \mu_a \left( 1 - \frac{D_1 + D_2}{t} \right)$$

$$= \begin{cases} 3.46\% \cdots \text{縦方向} \\ 2.62\% \cdots \text{横方向} \end{cases}$$

II Sec. 4D 22 より  $K_a, K_t, \mu_t$  は次の範囲にあることが要求される。

$$1.8 \text{ cm}^3/\text{cm} \leq K_a \leq 4.0 \text{ cm}^3/\text{cm}, \quad 1.6 \text{ cm}^3/\text{cm} \leq K_t \leq 3.0 \text{ cm}^3/\text{cm}, \quad 2.0 \% \leq \mu_t \leq 6.5 \%$$

この場合  $K_a$  及び  $K_t$  が要求を満足しない。

## (2) 甲板

### (a) 局部強度上の要求 ( II Sec. 9D 50 )

次の二つのうち大なる方

$$t_1 = 15 C_1 s (D - 0.45) F \quad (\text{mm})$$

$$t_2 = C_1 (0.9 L + 14) \quad (\text{mm})$$

ここで、

$L, D, s, C_1, F$  : 前出

本船の場合

$s = 0.813 \text{ m}$  (1)と同様  $F = 1$  と仮定し、 $\sigma_{b,p,r} = 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 \text{ Kg/mm}^2$  と 5通りに変えて要求板厚と表 3.1.3 のようになる。

表 3.1.3 DnV ルールによる甲板の要求板厚

$\sigma_{b,p,r} \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
$C_1$	0.837	0.764	0.707	0.661	0.624
$t_1 \text{ (mm)}$	2.24	2.05	1.89	1.77	1.67
$t_2 \text{ (mm)}$	2.28	2.08	1.93	1.80	1.70
要求板厚 (mm)	2.3	2.1	1.95	1.8	1.7

図面上の甲板の板厚は 27 mm であるから、 $\sigma_{b,p,r}$  が  $0.7 \text{ Kg/mm}^2$  以上であるコンクリートなら満足する。

### (b) 縦強度上の要求 ( II Sec. 9B 60 )

甲板のガスケットコーナーより下方  $0.15 D$  の範囲内の縦部材の断面積は次式による値より大なること。

$$A_b = C_2 \left( \frac{4}{L - 12} + 2.0 \right) \frac{L^2 B}{D'} \quad (\text{cm}^2)$$

ここで、

$L, B, D', C_2$  : 前出

本船の場合(1)と同様  $\sigma_{s,p,r}$  を  $0.4, 0.6, 0.8, 1.0 \text{ Kg/mm}^2$  と 4通りに変えて要求断面積を求めるとき表 3.1.4 のようになる。

表 3.1.4 DnV ルールによる甲板部要求断面積

$\sigma_{s,p,r} \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$	0.4	0.6	0.8	1.0
$C_2$	1.000	0.667	0.500	0.400
$A_b \text{ (cm}^2\text{)}$	1.661	1.107	0.830	0.664

実際の甲板部断面積は

$$2.7 \text{ cm} \times 261 \text{ cm} \times 2 = 1,410 \text{ cm}^2$$

従って  $\sigma_{bop}$  が  $0.50 \text{ Kg/mm}^2$  以上であるようなフェロセメントを用いればよい。

### (3) 肋骨

II Sec. 9C 40 によれば要求断面係数は次式で求められる。

$$Z = 30 C_2 L^2 s h \text{ ( cm )}$$

ここで、

$$h = 2.5 \left( \frac{L}{100} + 0.5 \right) + D' : \text{設計水頭 ( II Sec. 9C 30 )}$$

L : スパン長さ ( m )

s : 肋骨心距 ( m )

L, D' : 前出

本船の場合

$L = 1.5 \text{ m}$ ,  $s = 0.813 \text{ m}$ ,  $C_2$  は  $\sigma_{bop}$  によってきまるが、最も大きい場合で 1. ここでは  $C_2 = 1$  とすると、 $Z = 199 \text{ cm}$

実際の肋骨寸法は  $102 \times 20 \text{ F.B.}$  これに有効幅  $0.8s = 0.65 \text{ m}$  の外板 ( 板厚  $27 \text{ mm}$  ) を付けて断面係数を求めるとき  $664 \text{ cm}$  となり十分満足する。

### (4) まとめ

以上 DnV ルールをもとにして本船の強度を解析してみると  $\sigma_{bop}$  が  $1.25 \text{ Kg/mm}^2$  以上、 $\sigma_{bop}$  が  $0.65 \text{ Kg/mm}^2$  以上であるようなフェロセメントを用いればよく、これは今回の実験結果 ( 図 3.3.8 及び 3.3.15 ) より見てあまりむずかしい要求ではないと思われる。ただ補強材の構造配置は DnV ルールを満足していない。これを満足するためには金網の層数を増すなどの変更が必要と思われる。

## 3.1.3 フェロセメント船暫定基準(案)による検討

### (1) 船体縦強度

船体に働く縦曲げモーメントを次のように想定する。

$$M = W L / 25 \text{ ( t m )}$$

ここで、

W : 満載排水量 ( t )

L : 垂線間長さ ( m )

これによる応力がひび割れ応力の  $1/2$  以下であることと規定している。

本船の場合

$$W = 80 \text{ t}, \quad L = 14.757 \text{ m} \quad \therefore M = 47.22 \text{ t m}$$

$$I = 2,346 \text{ cm}^4 \text{ - m}^2, \quad y_s = 1.82 \text{ m}, \quad y_d = 0.825 \text{ m}$$

$$Z_s = 1,289 \text{ cm}^3 \text{ - m}, \quad Z_d = 2,844 \text{ cm}^3 \text{ - m}$$

$$\text{船底部応力 } \sigma = M / Z_s = 0.0366 \text{ t/cm} = 0.366 \text{ Kg/mm}^2$$

従ってひび割れ応力が  $2 \times 0.366 = 0.73 \text{ Kg/mm}^2$  より大きいフェロセメントを使えばよいことがわかる。

### (2) 船底外板

次式による板厚以上とすること。

$$t = 48.5 C_1 s \sqrt{h_b} \text{ ( mm )}$$

ここで、

$$C_1 = \sqrt{0.7 / \sigma_{bc}}$$

$\sigma_{bc}$  : フェロセメントの曲げ試験によるひび割れ応力 ( $\text{Kg/mm}^2$ )

$$h_b = \max \{ 0.026 L + d, 0.5 D \}$$

s : 肋骨心距 (m)

D : 船の深さ (m)

d : 満載喫水 (m)

L : 前出

本船の場合

$$L = 14.757 \text{ m}, D = 2.645 \text{ m}, d = 1.829 \text{ m}, s = 0.813 \text{ m}$$

$\sigma_{bc}$  は 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 Kg/mm<sup>2</sup> と 5通りに変える。

表 3.1.5 暫定基準(案)による船底外板要求板厚

$\sigma_{bc}$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
C <sub>1</sub>	0.837	0.764	0.707	0.661	0.624
t <sub>b</sub> (mm)	49.1	44.8	41.5	38.8	36.6

本船の船底外板の板厚は 27 mm であるから暫定基準(案)を満足しないことがわかる。

### (3) 甲板

次式による板厚以上すること

$$t_d = 5.00 C_1 s \sqrt{h_d} \quad (\text{mm})$$

ここで、

$$h_d = 0.022 L + 1.0$$

L, C<sub>1</sub>, s : 前出

本船の場合

$$L = 14.757 \text{ m}, h_d = 1.325$$

$\sigma_{bc}$  を 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 Kg/mm<sup>2</sup> と 5通りに変える。この場合の甲板板厚の要求値は表 3.1.6 のようになる。

表 3.1.6 暫定基準(案)による甲板要求板厚

$\sigma_{bc}$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
C <sub>1</sub>	0.837	0.764	0.707	0.661	0.624
t <sub>d</sub> (mm)	39.2	35.7	33.1	30.9	29.2

本船の甲板の板厚は 27 mm であるから暫定基準(案)を満足しないことがわかる。

### (4) 肋骨

次式による断面係数以上とすること。

$$Z_{tb} = 113 C_2 s h_b \ell^2 \quad (\text{cm}^3)$$

ここで、

$$C_2 = 0.4 / \sigma_{tc}$$

$$h_b = \max \{ 0.026 L + d, 0.5 D \}$$

$\ell$  : 肋骨のスパン長さ

L, D, d, s : 前出

$\sigma_{tc}$  : フェロセメントの引張試験によるひび割れ応力 ( $Kg/mm^2$ )

本船の場合

$$L = 1.5 \text{ m}, \quad s = 0.813 \text{ m}, \quad h_b = 2.213 \text{ m}$$

$$\therefore Z_{tb} = 457.3 \text{ cm}^3$$

$C_2$  は  $\sigma_{tc}$  によってきまるが、最も大きい場合で 1. ここでは  $C_2 = 1$  とする。

$$\therefore Z_{tb} = 457 \text{ cm}^3$$

実際の肋骨の断面係数は  $664 \text{ cm}^3$  であるから十分満足する。

#### (5) まとめ

以上フェロセメント船暫定基準(案)をもとにして本船の強度を解析してみると船体縦強度及び肋骨の強度は要求を満足するが、局部強度から要求される外板及び甲板の板厚が不足していることがわかる。

### 参考文献

- 1) Det norske Veritas Tentative Rules for the Construction and Classification of Ferrocement Vessels, 1974
- 2) フェロセメント船暫定基準(案) 昭和53年3月

## 3.2 モルタルの強度試験

### 3.2.1 まえがき

フェロセメントは、モルタルをマトリックスとし、補強材としてワイヤメッシュ及びスチールロッドを使用した複合材料である。マトリックスとして使用されるセメントは、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントなどがあり、耐久性、水密性、ワーカビリティーなどを向上させるために、混和材や表面活性剤を添加することもある。細骨材については、最大寸法が  $2.5 \text{ mm}$  あるいは  $2.0 \text{ mm}$  が使われるが、いずれにしても適度の強度と耐久性を有し、モルタルに有害な影響を与える物質を含んでいてはならない。

水・セメント比( $W/C$ )は、 $30 \sim 50\%$ 、セメント・砂比( $C/S$ )は、 $0.5 \sim 0.66$ 程度が一般的に使用され、適度のワーカビリティー、強度を有することが望まれる。

マトリックスとしてのモルタルの性状を把握することは、フェロセメントを追求してゆく中で、基本的な問題の一つである。

本実験は、各種細骨材(川砂、砕砂、山砂、海砂)を使用し、セメント(3種類)、水・セメント比(セメント・砂比は0.5で一定)を $30 \sim 50\%$ の範囲で変えた場合のモルタル強度をJIS-R5201 "セメントの物理試験方法"に準じて行い、曲げ強度と圧縮強度について、比較検討したものである。

### 3.2.2 用語の説明

- (1) 水・セメント:  $W/C$ と略、水とセメントとの重量百分率
- (2) セメント・砂比:  $C/S$ と略、セメントと砂との重量百分率
- (3) セメントの風化: セメントが運搬、貯蔵中に空気中の水分や炭酸ガスを吸収し、品質が低下すること。
- (4) 強熱減量: セメントを $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ 電気炉で強熱した時の減量。セメントの風化の程度を表わすのに使用される。
- (5) 粉末度: セメント粒子の細かさを示す値。一般的には、ブレーン方法による比表面積( $\text{cm}^2/\text{g}$ )で表わす。
- (6) 薄層風化: セメントを促進風化させる方法。
- (7) フロー値: モルタルの軟度、流動性を示す値。
- (8) ワーカビリティー: まだ固まらないモルタルの作業性の難易の程度。
- (9) 凝結時間: セメントがかたまるまでの時間。規格では、凝結の始まり(始発)と終り(終結)が規定されている。

- (10) 偽凝結：練り混ぜの途中またはその直後に急速に流動性を失い、凝固する異常現象。
- (11) 表面活性剤：表面活性作用によって、コンクリートのワーカビリチーなどをよくするために用いる混合剤。
- (12) 混合剤：薬品的に少量用いる混合材料
- (13) 減水剤：所定の流動性を得るのに必要な単位水量を減少させ、ワーカビリチーなどを向上させるために用いる混合剤。
- (14) ベースト：セメントに水を加えて練り混ぜたもの。
- (15) モルタル：セメントに砂と水を加えて練り混ぜたもの。
- (16) 細骨材：5mmふるいに重量で85%以上とどまる骨材。

### 3.2.3 実験方法

#### (1) 使用材料

##### (a) セメント

使用したセメントは、普通ポルトランドセメント（新鮮品と風化品）、フライアッシュセメントA種（新鮮品）の3種類である。普通ポルトランドセメントの風化品は、新鮮品を薄層風化により作成した。フライアッシュセメントA種は、新鮮な普通ポルトランドセメントにフライアッシュを内割で10%混入して作成したものを使用した。使用セメントの物理試験の結果を表3.2.1に示す。

表3.2.1 セメントの物理試験

種類	比重	粉末度 cm <sup>2</sup> /g	強熱 減量 %	凝結時間		フロー値 mm	曲げ強度( $\times 10^{-2}$ kg/mm <sup>2</sup> )			圧縮強度( $\times 10^{-2}$ kg/mm <sup>2</sup> )		
				始発 時・分	終結 時・分		3日	7日	28日	3日	7日	28日
普通ポルトランドセメント(新鮮品)	3.17	3,250	0.7	2-20	3-28	242	35.6	51.6	74.8	134	247	442
普通ポルトランドセメント(風化品)	3.12	3,140	2.2	3-10	4-20	244	28.5	44.2	64.9	108	186	317
フライアッシュセメントA種(新鮮品)	3.06	3,230	0.9	2-48	3-58	245	34.5	50.1	70.7	130	240	431

注) フライアッシュ：常盤火力共同(株)製(比重2.10)

##### (b) 細骨材

使用した細骨材（川砂、砕砂、山砂、海砂各1種類）の性質を表3.2.2、図3.2.1に示す。なお、モルタル配合には2.5mmのフルイを通過したものを使用した。

##### (c) 水

水は水道水（飲料水）を20℃にしたものを使用した。

表3.2.2 細骨材の試験結果

種類	産地	フルイ分け試験(通過量%)					比重量 (表乾)	吸水率 (%)	単位容積量 (kg/m <sup>3</sup> )	実積率 (%)	洗い試験 (%)	有機物 不純物 (%)	粘土塊 (%)	塩含有量 (%)
		5	2.5	1.2	0.6	0.3								
川砂	栃木県塩谷郡氏家町 (鬼怒川)	1.00	8.8	7.0	4.4	2.1	7	2.70	2.63	1.49	1,675	6.4	4.3	合格
砂砂	神奈川県津久井郡城山町	1.00	8.7	6.3	4.1	2.3	7	2.79	2.64	0.56	1,700	6.4	3.0	合格
山砂	京都府上陽市	1.00	9.2	7.7	5.3	1.6	3	2.59	2.56	1.25	1,660	6.5	2.8	合格
海砂	愛媛県松山市沖	1.00	9.7	8.2	5.1	2.0	4	2.46	2.51	2.18	1,530	6.1	2.2	合格
														1.4
														0.002

注) 試験方法は下記による。

- (1) 骨材のフルイ分け試験方法 JIS A 1102
- (2) 細骨材の比重及び吸水率試験方法 JIS A 1109
- (3) 骨材の単位容積重量試験方法(突き棒) JIS A 1104
- (4) 骨材の洗い試験方法 JIS A 1103
- (5) 骨材中の粘土塊量試験方法 JIS A 1137
- (6) 細骨材の有機物不純物試験方法 JIS A 1105
- (7) 細骨材中の塩分含有量試験方法 JASS 5T-202

(d) 減水剤

一部の配合については減水剤マイティー150（MT-150と略称）〔花王石鹼製〕をセメント重量に対して1.2%混入した。

この減水剤は空気非連行のものである。

(2) モルタル配合

(a) セメント・砂比

セメント・砂比(C/S)

は0.5で一定とした。

(b) 水・セメント比

水・セメント比(W/C)

は30～50%の範囲で5  
水準とった。

(c) 使用材料と水・セメント  
比の組合せ

使用材料と水・セメント  
比の組合せによるモルタル  
配合を表3.2.3に示す。

(3) モルタルの成型及び養生

モルタルの成型及び養生は  
JIS R5201“セメントの物  
理試験方法”に準じて行った。  
供試体は4cm×4cm×16cm  
である。

(4) モルタルの強度試験

材令7日及び28日で強度  
試験(曲げ、圧縮強度)を行  
った。試験方法はJIS R5201  
“セメントの物理試験方法”  
に準じた。

3.2.4 結果

(1) 各種細骨材の強度試験結果

強度試験結果の一覧表を

表3.2.4、表3.2.5に示す。

(2) 水・セメント比とフロー値  
との関係

普通ポルトランドセメント  
(新鮮品と風化品)を使用し  
た時の各細骨材の水・セメン  
ト比とフロー値の関係を図3.

表3.2.3 モルタルの配合

水準	セメント	細骨材	水・セメ ント比 (W/C) %	セメント (C) kg/m <sup>3</sup>	水 (W) kg/m <sup>3</sup>	砂 (S) kg/m <sup>3</sup>	MT-150 C×1.2%
1	普通 ボルト ラント セメント	川 砂	50	609	304	1218	—
2			45	629	282	1257	—
3			40	650	260	1300	—
4			35	672	236	1344	—
5			40	637	255	1274	混入
6			35	658	231	1316	混入
7			30	683	204	1366	混入
8		碎 砂	50	610	305	1220	—
9			40	652	261	1304	—
10			40	639	256	1278	混入
11			30	685	206	1371	混入
12		山 砂	50	601	300	1202	—
13			40	641	256	1282	—
14			40	628	251	1256	混入
15			30	673	202	1346	混入
16		海 砂	50	595	298	1190	—
17			40	634	254	1268	—
18			40	622	248	1244	混入
19			30	666	200	1332	混入
20	普通 ( 通 風 ボ セ ル メ ト ン 品 ラ ト )	川 砂	50	607	304	1214	—
21			40	648	259	1296	—
22			40	635	254	1270	混入
23			30	681	204	1262	混入
24		川 砂	50	604	302	1208	—
25			45	624	281	1248	—
26			40	645	258	1290	—
27			35	667	234	1334	—
28		碎 砂	40	632	253	1264	混入
29			35	654	229	1308	混入
30			30	678	203	1356	混入
31			50	606	303	1212	—
32			40	646	323	1292	—
33			40	633	317	1266	混入
34			30	679	204	1358	混入

2.2 フライアッシュセメント

(A種)のそれを図3.2.3に示す。

### (3) 水・セメント比と強度との関係

セメントの種類、細骨材の種類が変わった時の水・セメント比と強度(曲げ圧縮)との関係をセメントの種類及び材令ごとに図3.2.4～図3.2.9に示す。

水準	セメント	細骨材	水・セメント比(W/C)%	セメント(C)kg/m³	水(W)kg/m³	砂(S)kg/m³	MT-150C×1.2%
3.5	フセラメインアトッ(AS種)	山砂	50	597	299	1194	—
3.6			40	637	255	1274	—
3.7			40	624	250	1248	混入
3.8			30	668	200	1336	混入
3.9		海砂	50	591	296	1182	—
4.0			40	630	252	1260	—
4.1			40	617	247	1234	混入
4.2			30	661	198	1322	混入

### (4) 細骨材の比重、単位容積重量とモルタル強度との関係

使用細骨材の比重及び単位容積重量とモルタル強度(曲げ、圧縮)との関係を図3.2.10に示す。

## 3.2.5 結果の考察

### (1) 細骨材

使用細骨材の試験結果を各項目ごとに学会規準(表3.2.6)に照しあわせてみると、海砂の粘土塊を除き満足すべき品質であった。海砂の塩分が少ないので、一度水洗いしてあるためである。総体的に骨材の品質は、それぞれの種類における平均的なものといえる。

### (2) モルタルのフロー値

#### (a) セメントの影響

セメントの違いがフロー値に及ぼす影響については、一部の例外を除くとフライアッシュセメントの方が大きい。これはフライアッシュ混入による流動性の向上によるものと考える。普通ポルトランドセメントの風化品については、新鮮品と同等もしくは大きい結果となった。

#### (b) 骨材の影響

セメントの種類に関係なく、フロー値は川砂>碎砂>山砂>海砂

表3.2.6 細骨材の学会規準

特性値	学 会 規 準	
比 重	建 築 学 会	I級 2.5以上(絶乾状態) II級 2.5以上(吸水率3.5%以下)
吸 水 率	建 築 学 会	I級: 3.0%以下 II級: 3.5%以下
洗い試験で失われるもの	土 木 学 会	コンクリートの表面がすりへり作用を受ける場合 3.0%以下 コンクリートの表面がすりへり作用を受けない場合 5.0%以下
	建 築 学 会	I級: 2.0%以下 II級: 3.0%以下
粘 土 塊	土 木 学 会	1.0%以下
	建 築 学 会	I級 1.0%以下 II級 1.0%以下
安定性試験損失重量	土 木 学 会	1.0%以下
塩 分 含 有 量	土 木 学 会	0.1%以下(鉄筋コンクリート)
	建 築 学 会	I級: 0.02%以下 II級: 0.1%以下
比重1.95の液体に浮くもの	土 木 学 会	コンクリートの外観が重要な場合 0.5%以下 その他の場合: 1.0%以下
有機不純物	土木・建築学会	標準色よりも薄くなければならない

の順になった。これについては、モルタルのフロー値と骨材の粒度及び実積率との間に密接な関係があるためである。すなわち、粒度が粗いほど、実積率が大きくなるほどフロー値は大きくなるといえる。

### (3) モルタルの強度

#### (a) セメントの影響

普通ポルトランドセメントは、細骨材、水・セメント比の値にかかわらずフライアッシュセメントの強度（曲げ、圧縮）を上回っているが、その差は細骨材の種類、水・セメント比により異なっている。

普通ポルトランドセメントの新鮮品と風化品との差は明確であり、曲げ強度、圧縮強度とも風化品はかなり低下している。すなわち、新鮮品の強度を 100 とすると材令 7 日においては、圧縮強度 86、曲げ強度 87、材令 28 日では圧縮強度 85、曲げ強度 87 となり、圧縮強度の低下は曲げ強度のそれより大きい。風化セメントの強度低下は、曲げ強度より圧縮強度の方が大きいという従来の報告と同じであった。

#### (b) 細骨材の影響

普通ポルトランドセメントの場合は、水・セメント比の値により一部異なる点もあるが、材令 7 日、28 日とも圧縮強度は砕砂 > 川砂 > 山砂 > 海砂の順となり、曲げ強度は水・セメント比 50% を除くと圧縮強度と同じ傾向となった。

フライアッシュセメントにおいては、圧縮強度は材令にかかわらず、水・セメント比が小さいほど骨材の種類による差が大きく現われている。概略的な見方をすれば、砕砂、川砂 > 山砂 > 海砂の順となった。曲げ強度については、圧縮強度とほぼ同じような傾向が見られたが、水・セメント比 30% においては砕砂が川砂を上回った。セメントの要因を除いても細骨材の品質がモルタル強度（曲げ、圧縮）に与える影響は大きい。特に、骨材の比重、単位容積重量実積率とモルタル強度との間には、高い相関関係があるといわれているが本実験においてもこの傾向が現われている。

#### (c) 水・セメント比の影響

水・セメント比が小さくなるほど、モルタル強度は材令に関係なく細骨材の種類による差が大きく現われている。これは水・セメント比が小さくなるほどペースト強度も大となり、モルタル強度は骨材強度、ペーストとの付着力により左右されてくるためと考えられる。水・セメント比 40% の配合において、マイティー 150 の混入の有無により圧縮、曲げ強度とも差を生じた。すなわち、マイティー 150 を添加した配合の方が強度は小さかった。この原因としては、モルタル（特にフェロセメントのように最大寸法が 2.0 ~ 2.5 mm の場合）はコンクリートに比較して混練時に空気が混入しやすい傾向があるためと考えられる。したがって、強度の低下は空気量が増加した結果によるものと判断される。

#### (d) 圧縮強度と曲げ強度との関係

本実験の強度（曲げ、圧縮）範囲においては、各要因が変化しても圧縮強度と曲げ強度との関係は図 3.2.11 に示すように一定と考えられる。しかし、本実験の強度範囲以外の低強度及び高強度領域においても、この関係が保持されるか否かは明確ではない。

### 3.2.6 まとめ

フェロセメントに使用する各種モルタル（セメント 3 種類、細骨材 4 種類）の実用範囲における水・セメント比（30 ~ 50%）と強度（曲げ、圧縮）との関係について実験した結果、次のようなことが判明した。

- (1) フライアッシュセメントは、普通ポルトランドセメントに比較し、強度（曲げ、圧縮）は低下するが、モルタルのワーカビリチーはすぐれている。風化セメントは、偽凝結によるワーカビリチーの低下、強度低下などが考えられ、施工時におけるトラブルが十分予想される。したがって、風化セメントの使用は極力避けるべきである。
- (2) 細骨材の種類がモルタルの強度、ワーカビリチーに及ぼす影響は大きく、強度は普通ポルトランドセメントにおいては砕砂 > 川砂 > 山砂 > 海砂の順となり、フライアッシュセメントでは川砂、砕砂 > 山砂 > 海砂の順となった。

本試験においては上記の結果となつたが、実際の使用においては、同種類の細骨材でも品質のバラツキがかなりあると思われる所以十分注意すべきである。

- (3) 細骨材の比重、単位容積重量実積率とモルタル強度との間には高い相関関係があると思われる。
- (4) 圧縮強度と曲げ強度との関係は、本実験の強度範囲では各要因が変化しても一定の関係があると考えられる。
- (5) ワーカビリチーを考えた場合、水・セメント比が40%以下の場合、施工が難しいと考えられるので適当な減水剤の使用を考える必要がある。

### 参考文献

- 1) JIS-R 5201 セメントの物理試験方法
- 2) JIS-A 1102 骨材のふるい分け試験方法
- 3) JIS-A 1103 骨材の洗い試験方法
- 4) JIS-A 1104 骨材の単位容積重量及び実積率試験方法
- 5) JIS-A 1105 細骨材の有機不純物試験方法
- 6) JIS-A 1109 細骨材の比重及び吸水率試験方法
- 7) JIS-A 1137 骨材中に含まれる粘土塊量の試験方法
- 8) JASS 5T 202 普通細骨材中の塩分試験方法
- 9) セメントの風化がその物理的性質に及ぼす影響  
セメント技術年報 (1956)
- 10) セメントの風化に及ぼす諸要因の研究  
セメント技術年報 × VII (1963)
- 11) セメントの風化について  
小野田セメント技術情報 No.16
- 12) 細骨材の粒形及び粒度がモルタルの性質に及ぼす影響  
セメント、コンクリート (No.286)
- 13) 斧粒細砂をもじいたモルタルの諸性質について  
種 セメント技術年報 (1971)
- 14) 種々の養生条件における細骨材の種類とモルタル強度との関係  
セメント技術年報 (1971)
- 15) モルタルの透水、吸水性に及ぼす2,3の影響について  
セメント技術年報 (1965)
- 16) モルタルの圧縮、曲げ、引張強度間の関係について  
セメント技術年報 (1960)
- 17) 砂の粒度配列とモルタルの性質について  
セメント技術年報 (1960)
- 18) 細骨材の粒子形状とそのモルタル強度への影響  
セメント技術年報 (1965)
- 19) フライアッシュセメントに関する文献集  
小野田セメント研究所、技術年報 (No.18)
- 20) コンクリート専門委員会報告 (F-28、細骨材の品質調査報告)  
(社)セメント協会 (1976)

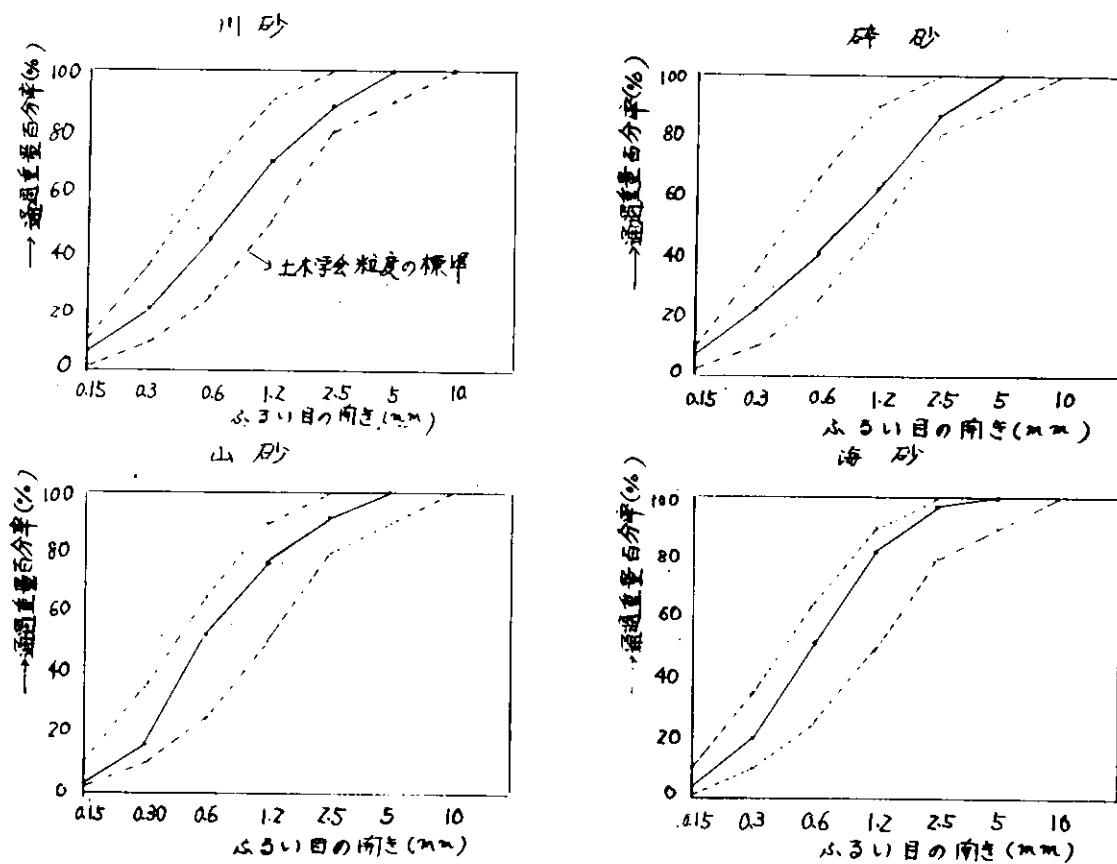


図 3.2.1 使用細骨材の粒度曲線

表 3.2.4 各種細骨材のモルタル強度試験結果

## 普通ポルトランドセメント

水準	セメント	細骨材 (種類)	MT-150 C×1.2%	W/C (%)	フロー値 (mm)	圧縮強度( $\times 10^{-2} \text{Kg/mm}^2$ )		曲げ強度( $\times 10^{-2} \text{Kg/mm}^2$ )	
						7日	28日	7日	28日
1	普通 ポルト ランド セメン ト	川 砂	—	50	230	412	614	71.1	92.5
2			—	45	207	461	639	78.4	92.4
3			—	40	172	528	700	79.8	95.6
4			—	35	132	617	758	87.9	103.1
5		混入 砂	混入	40	238	546	674	79.3	91.6
6			混入	35	176	668	779	90.3	105.2
7			混入	30	118	774	856	112.1	112.9
8		碎 砂	—	50	220	443	644	82.6	99.9
9			—	40	156	597	748	95.0	107.4
10			混入	40	213	596	745	93.7	102.2
11			混入	30	113	749	866	122.5	133.7
12		山 砂	—	50	215	373	534	69.4	75.8
13			—	40	157	525	671	84.6	91.5
14			混入	40	218	506	607	81.9	88.4
15			混入	30	117	712	829	103.5	108.7
16		海 砂	—	50	205	358	528	62.8	76.5
17			—	40	136	491	650	80.6	87.7
18			混入	40	200	490	626	74.6	88.6
19			混入	30	102	554	681	85.9	92.5
20	普通 ポルト ランド セメント 化 ルメ トント 品 ラト	川 砂	—	50	228	334	543	63.9	83.1
21			—	40	184	441	585	68.8	81.1
22		混入 砂	混入	40	252	511	563	72.1	82.0
23			混入	30	115	673	744	95.4	96.0

表 3.2.5 各種細骨材のモルタル強度試験結果

## フライアッシュセメント( A 種 )

水準	セメント	細骨材 (種類)	MT-150 (C×1.2%)	W/C (%)	フローアーチ (mm)	圧縮強度( $\times 10^{-2} \text{kg/mm}^2$ )		曲げ強度( $\times 10^{-2} \text{kg/mm}^2$ )	
						7日	28日	7日	28日
24	フライアッシュセメント(A種)	川砂	—	50	227	337	557	70.0	84.0
25			—	45	211	390	608	74.8	87.2
26			—	40	180	518	738	86.3	99.3
27			—	35	146	624	809	105.1	105.3
28			混入	40	246	454	653	81.9	87.9
29		砕砂	混入	35	206	584	745	85.7	95.3
30			混入	30	153	715	865	101.6	107.3
31			—	50	229	339	561	65.7	81.9
32		山砂	—	40	172	495	688	88.3	98.2
33			混入	40	228	495	651	82.3	86.6
34			混入	30	114	685	841	106.2	112.5
35			—	50	220	353	513	67.2	75.2
36		海砂	—	40	160	477	633	78.2	84.8
37			混入	40	211	443	576	72.8	79.7
38			混入	30	110	618	766	82.9	101.7
39		A種	—	50	211	336	504	61.2	76.5
40			—	40	133	459	604	74.4	85.4
41			混入	40	192	445	575	68.9	76.7
42			混入	30	102	556	612	79.6	89.2

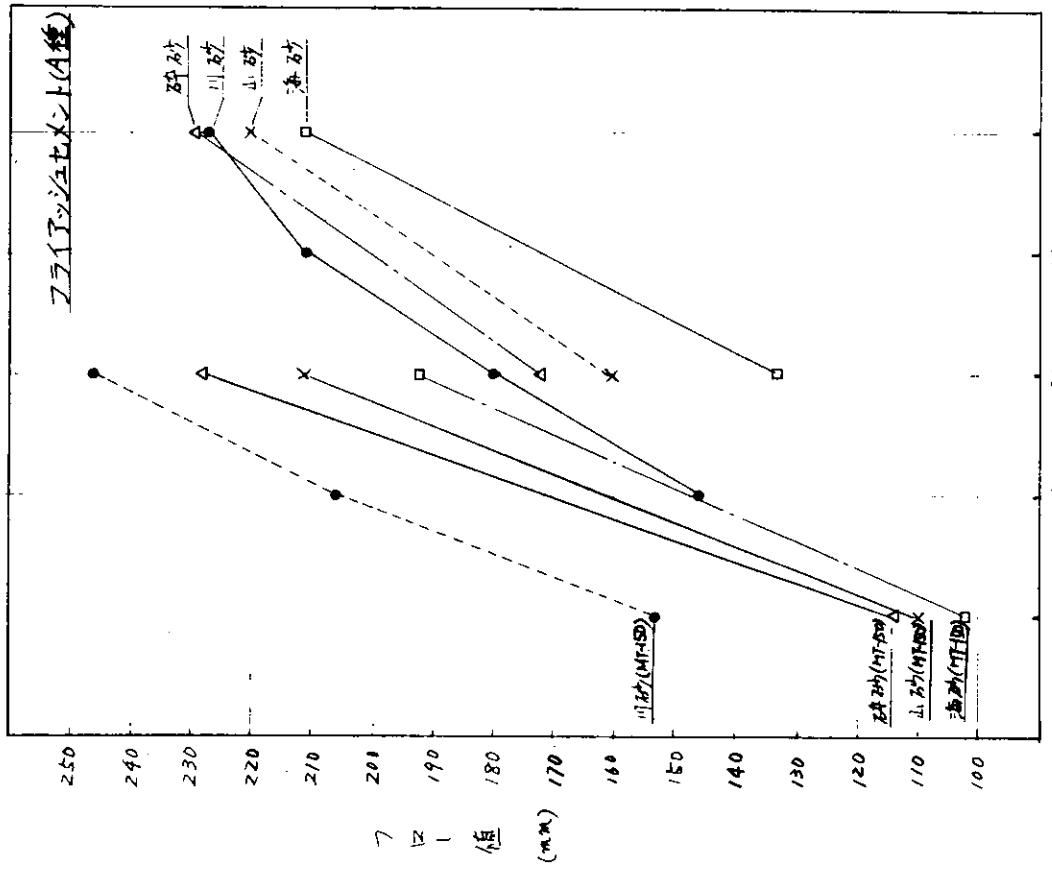


図 3.2.3 W/C とフロー値との関係

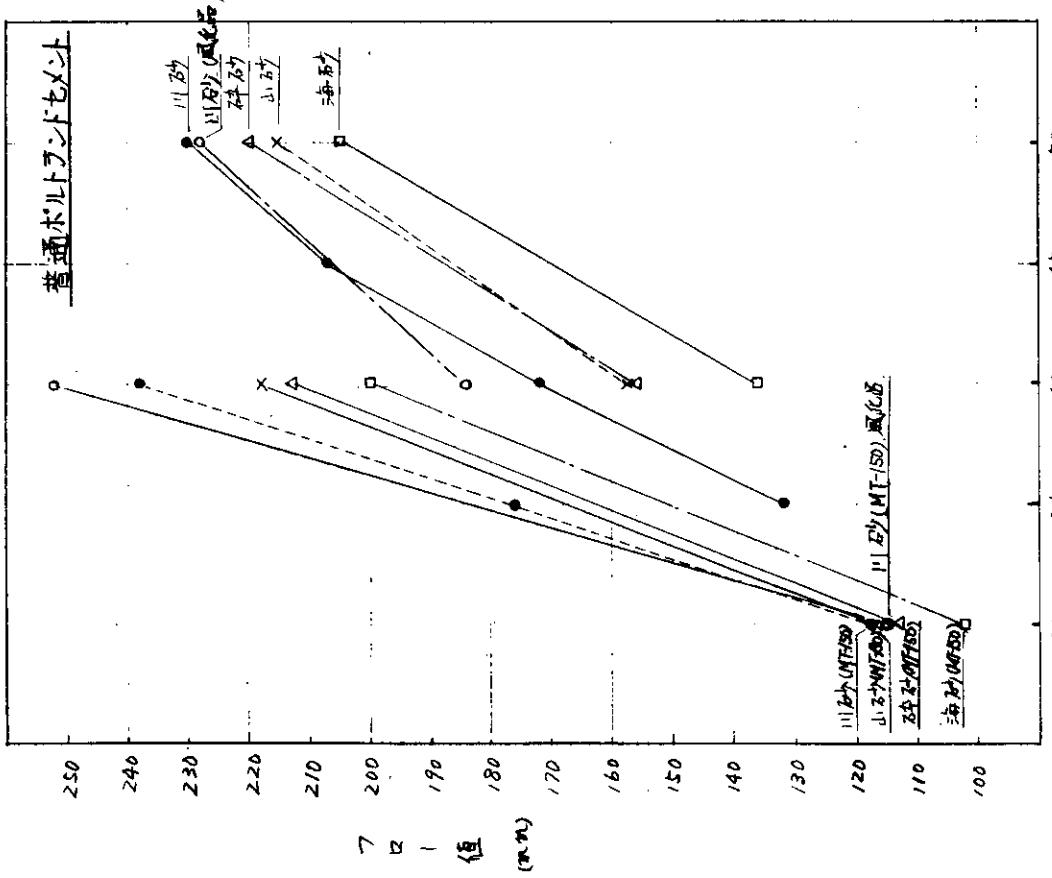


図 3.2.2 W/C とフロー値との関係

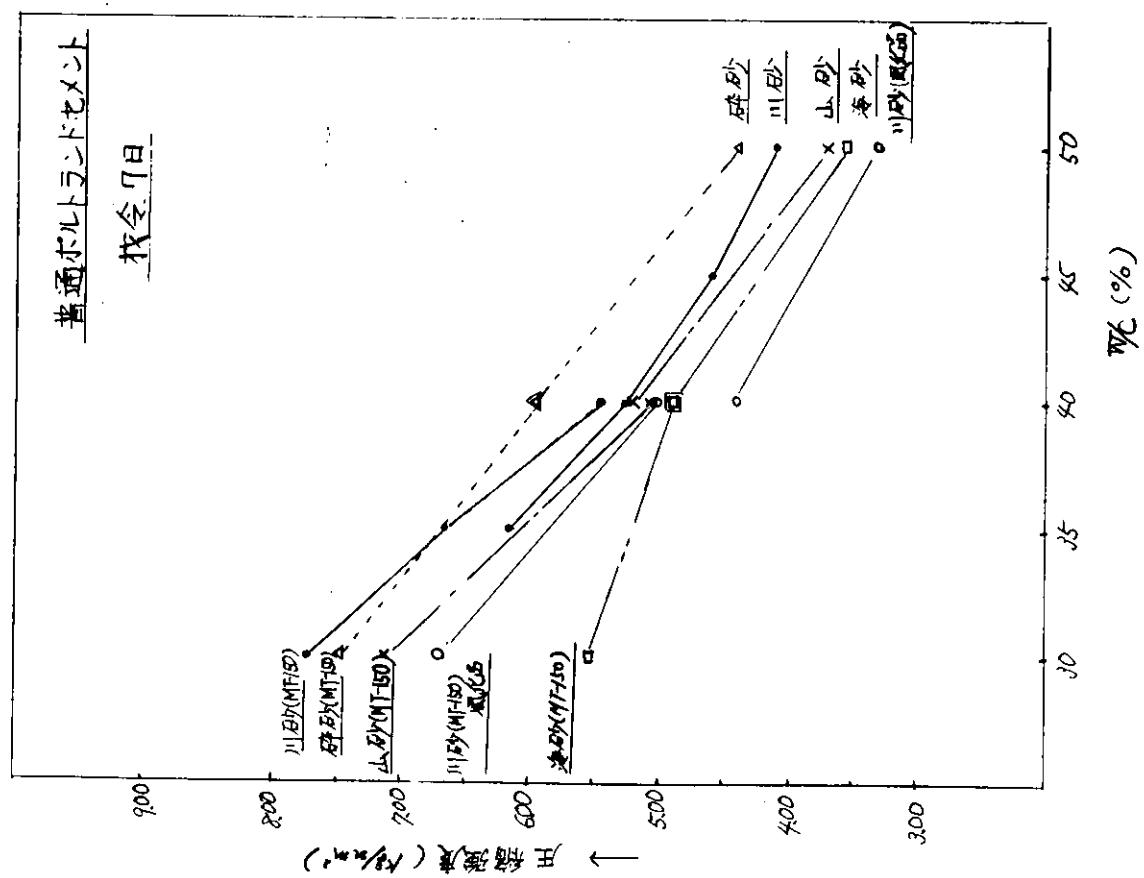


図 3.2.4 W/C と圧縮強度の関係

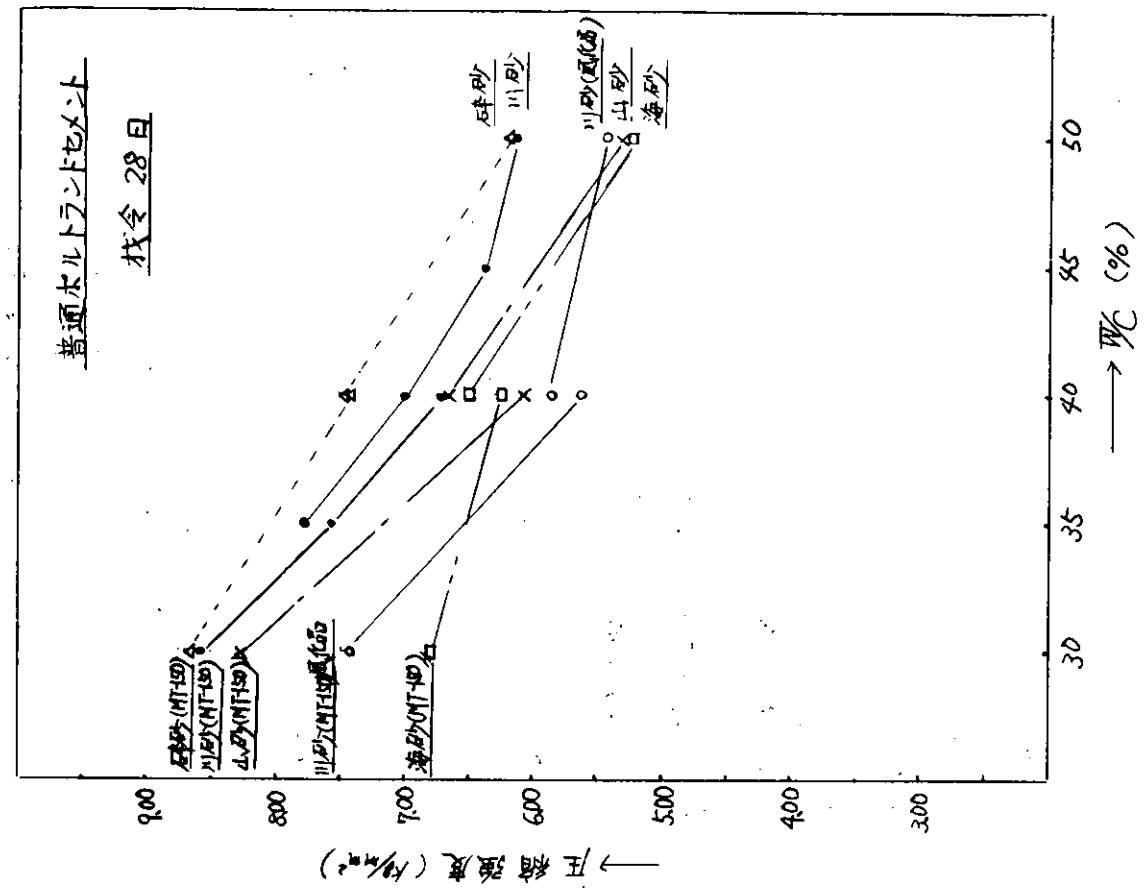


図 3.2.5 W/C と圧縮強度の関係

普通ボルトランナードセメント  
材令 7 日

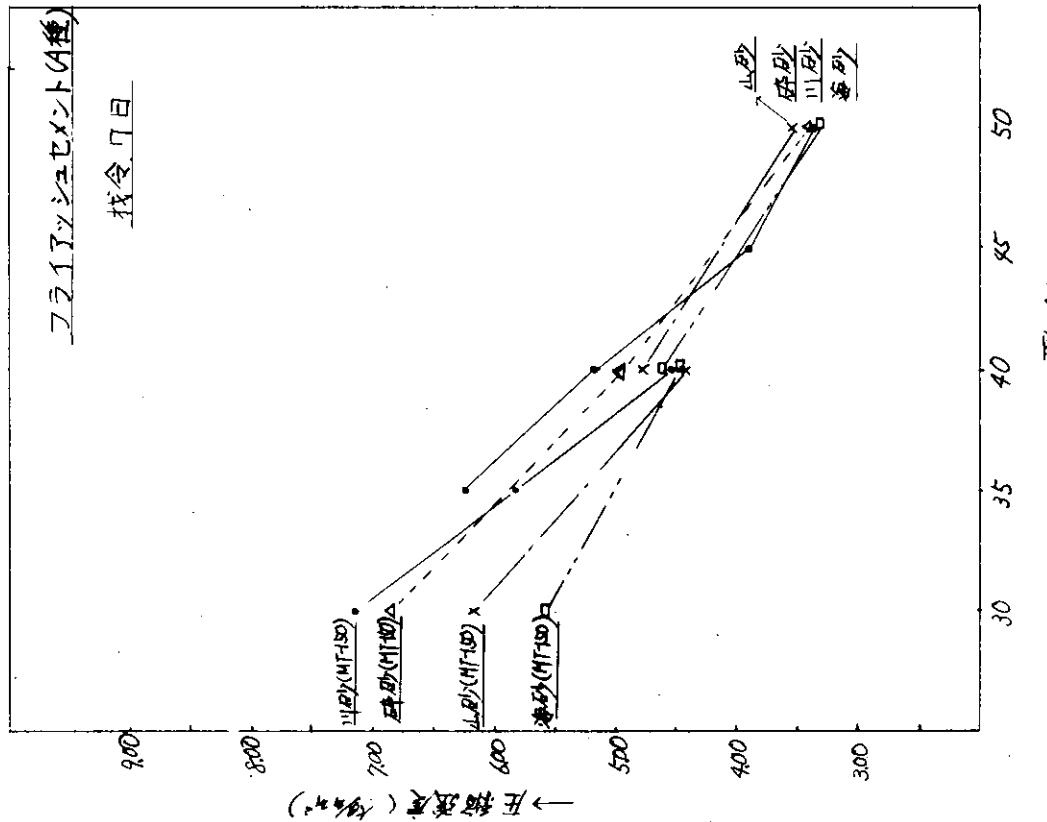
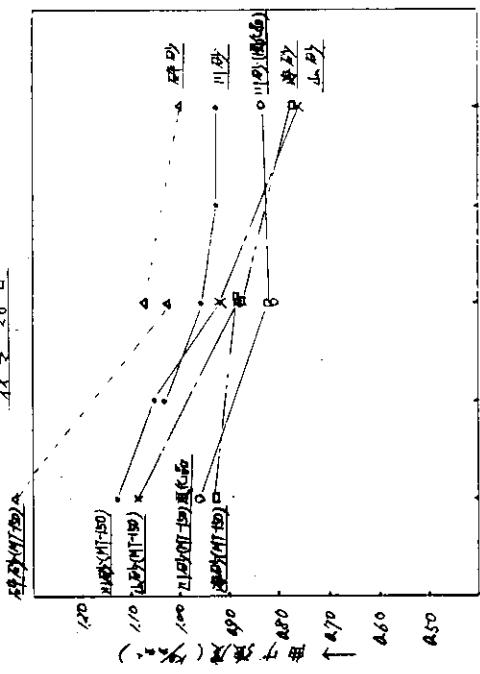
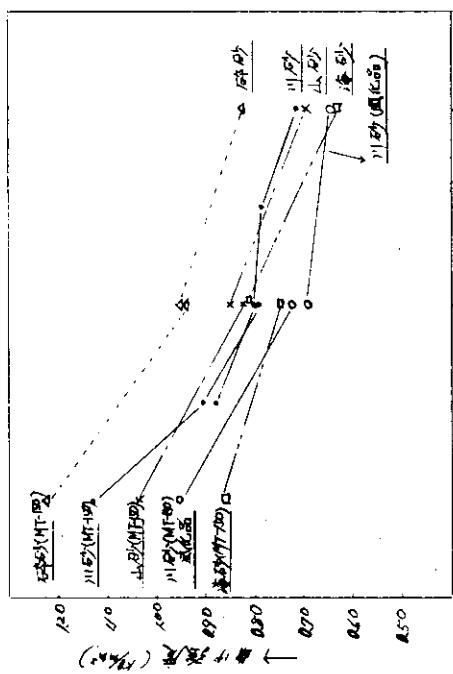


図 3.2.6 W/C と曲げ強度の関係

図 3.2.7 W/C と圧縮強度の関係

図 3.2.8 W/C と圧縮強度の関係

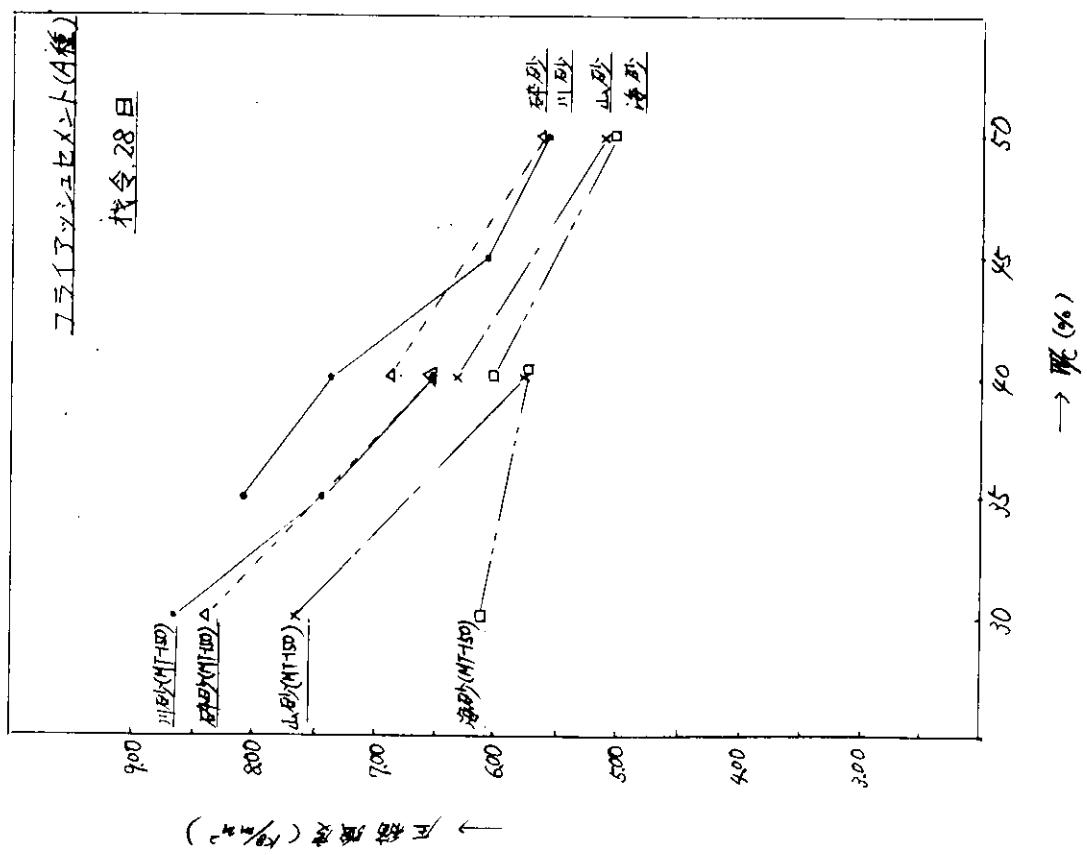
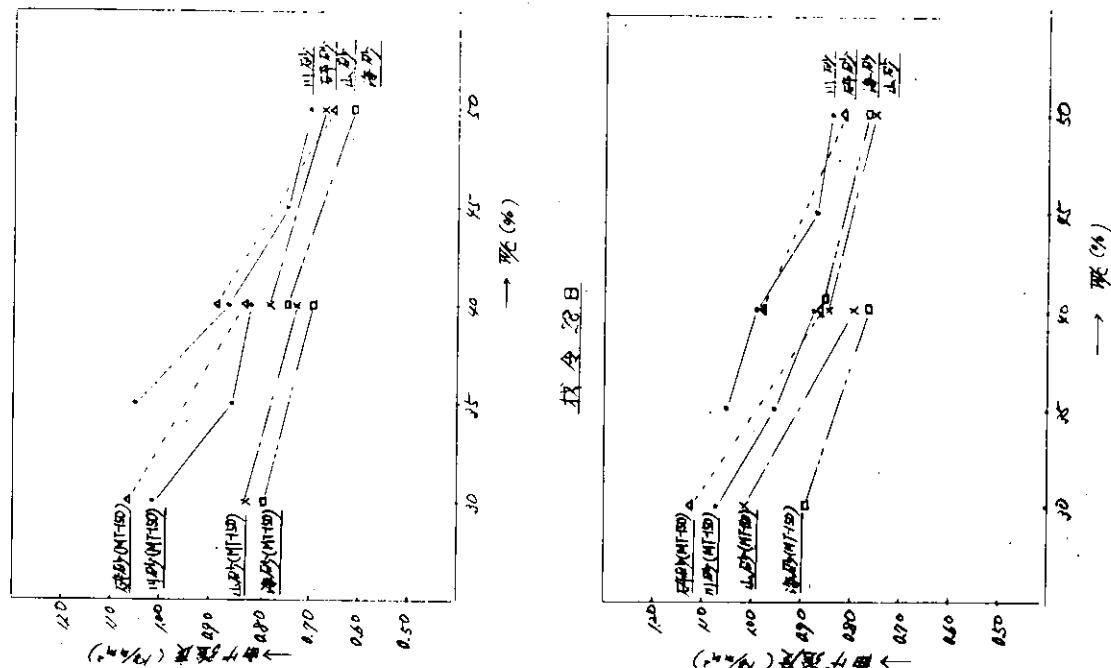


図 3.2.9 W/C と曲げ強度の関係



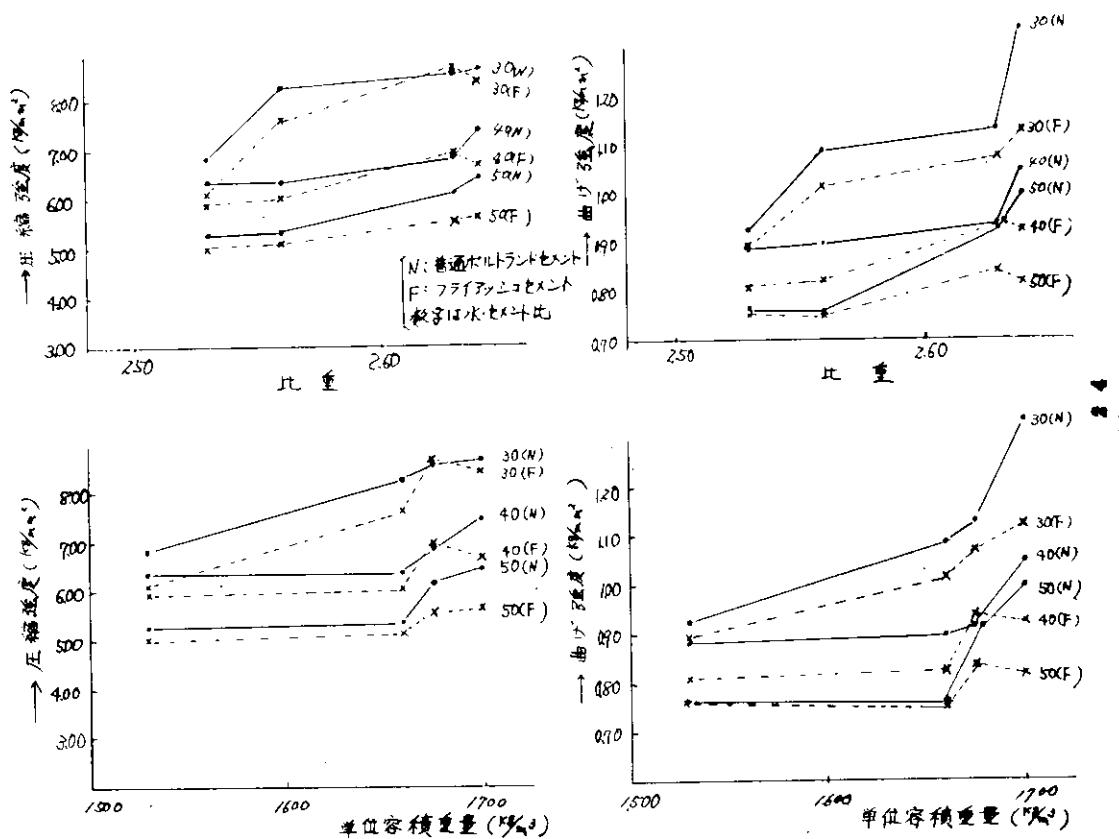


図 3.2.10 モルタル強度と骨材の比重及び単位容積重量との関係（材令 28 日）

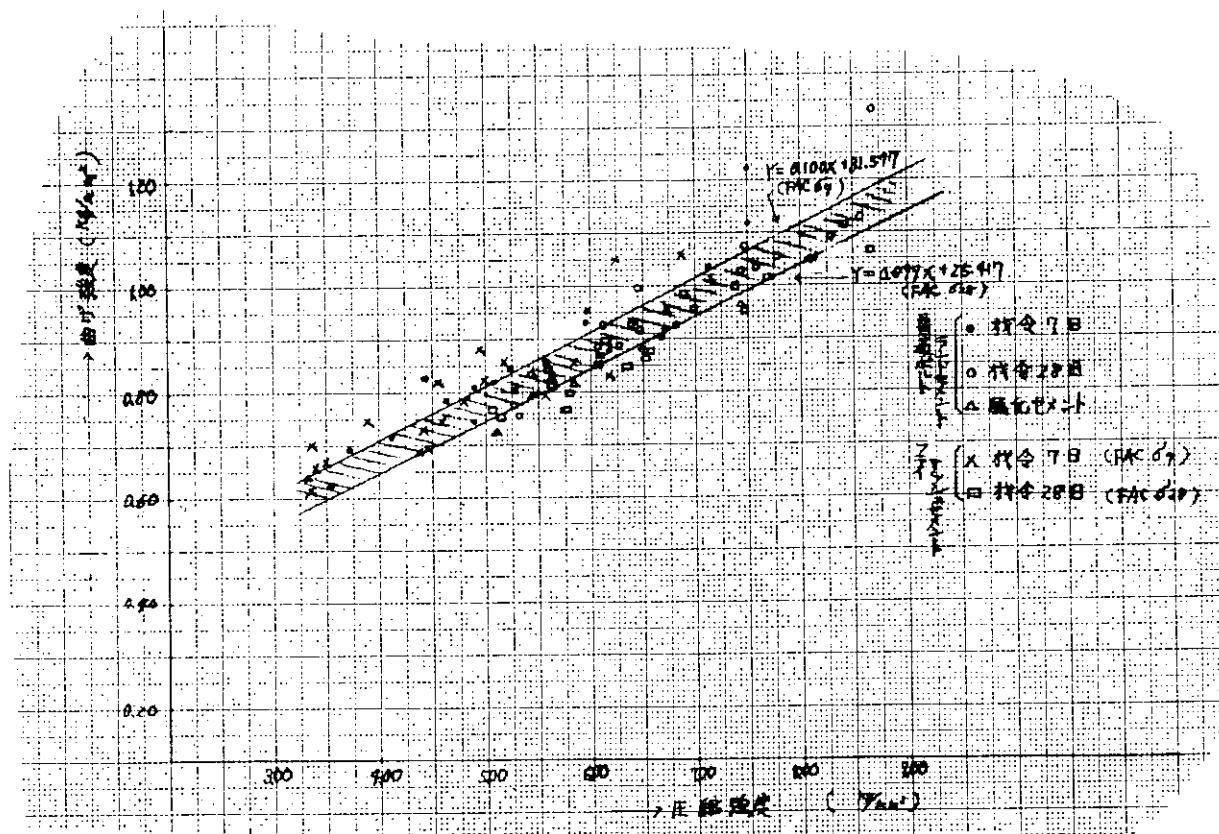


図 3.2.11 圧縮強度と曲げ強度との関係

### 3.3 フェロセメント板の強度試験

#### 3.3.1 目的

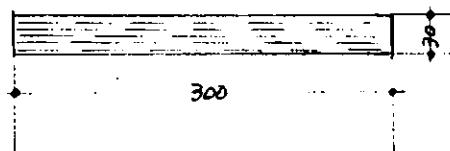
フェロセメントを使用した船体の各部材寸法の設計における資料を得るために、補強材として丸鋼及びきつ甲金網、織金網を用いて、NVルール(Det Norske Veritas)に示されている構造形式A型、B型、C型、D型の4種類のフェロセメント板体を作成し、曲げ強度試験及び引張強度試験を実施してその強度性状を検討した。

#### 3.3.2 フェロセメント板の構造形式

NVルールに示されているフェロセメント板の構造形式A型～D型に基づいて、本実験に用いるフェロセメント板の配筋を決定した。織金網及びきつ甲金網を用いた場合のフェロセメント材料の比鋼材含有量( $G_s$ )、全断面に対する全補強材係数( $\mu_t$ )、金網薄板及び全薄板についての比付着係数( $K_n$ ,  $K_t$ )は次のとおりである。ただし、断面寸法は曲げ試験体について示し引張試験体については幅を70mmとした。

##### (1) 織金網を用いたフェロセメント板の形式

構造形式 A



##### 条件

$$\begin{aligned} a &= 10 \text{ mm} & K_n = K_t &= 2.2 \text{ cm}^2/\text{cm} \\ d &= 1.0 \text{ mm} & \mu_t &= 2.8 \% \\ n &= 11 \text{ 層} & G_s &= 0.45 \text{ Kg}/\ell \\ t &= 30 \text{ mm} & & \\ G_n &= 1.24 \text{ Kg/m}^2 & & \end{aligned}$$

ここに a : 金網の網目

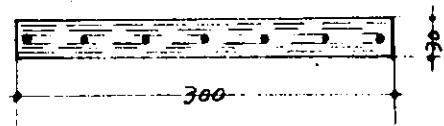
d : 金網の線径

n : 金網の層数

t : 板厚

$G_n$  : 金網一層の単位面積重量

構造形式 B (板厚 30 mm)



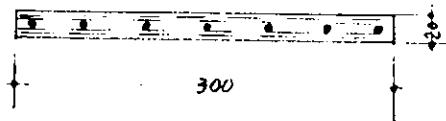
##### 条件

$$\begin{aligned} a &= 10 \text{ mm} & K_n &= 2.0 \text{ cm}^2/\text{cm} \\ d &= 1.0 \text{ mm} & K_t &= 1.7 \text{ cm}^2/\text{cm} \\ n &= 8 \text{ 層} & \mu_t &= 3.8 \% \text{ (補強方向)} \\ D &= 6 \text{ mm} & \mu_t &= 2.0 \% \text{ (補強直角方向)} \\ s &= 50 \text{ mm} & G_s &= 0.48 \text{ Kg}/\ell \\ t &= 30 \text{ mm} & & \end{aligned}$$

ここに D : 鉄筋の直径

s : 鉄筋の中心間距離

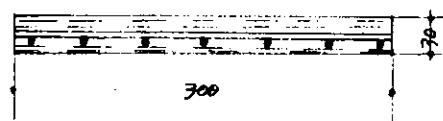
構造形式 B (板厚 20 mm)



##### 条件

$$\begin{aligned} a &= 10 \text{ mm} & K_n &= 1.7 \text{ cm}^2/\text{cm} \\ d &= 1.0 \text{ mm} & K_t &= 1.4 \text{ cm}^2/\text{cm} \\ n &= 4 \text{ 層} & \mu_t &= 4.3 \% \text{ (補強方向)} \\ D &= 6 \text{ mm} & \mu_t &= 1.5 \% \text{ (補強直角方向)} \\ s &= 50 \text{ mm} & G_s &= 0.43 \text{ Kg}/\ell \\ t &= 20 \text{ mm} & & \end{aligned}$$

構造形式 C



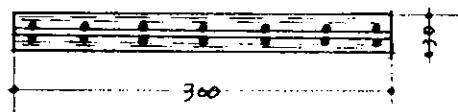
##### 条件

$$\begin{aligned} a &= 10 \text{ mm} & K_n &= 2.0 \text{ cm}^2/\text{cm} \\ d &= 1.0 \text{ mm} & K_t &= 1.4 \text{ cm}^2/\text{cm} \\ n &= 6 \text{ 層} & \mu_t &= 3.4 \% \\ D_1 &= D_2 = 6 \text{ mm} & G_s &= 0.54 \text{ Kg}/\ell \\ s_1 &= s_2 = 50 \text{ mm} & & \\ t &= 30 \text{ mm} & & \end{aligned}$$

ここに  $D_1$ ,  $D_2$  : 鉄筋の直径

$s_1$ ,  $s_2$  : 縦筋, 横筋の中心間距離

## 構造形式 D



### 条件

$a = 10 \text{ mm}$	$K_n = 2.0 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$d = 1.0 \text{ mm}$	$K_t = 1.2 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$n = 4 \text{ 層}$	$\mu_t = 4.6 \% \text{ (補強方向)}$
$D_1 = D_2 = D_3 = 6 \text{ mm}$	$\mu_t = 2.5 \% \text{ (補強直角方向)}$
$s_1 = s_2 = s_3 = 50 \text{ mm}$	$G_s = 0.61 \text{ Kg}/\ell$
$t = 30 \text{ mm}$	

### (2) きつ甲金網を用いたフェロセメント板の形式

きつ甲金網を用いたときの配筋は、織金網の場合と同じとした。各種係数を求めるときのとおりである。

### 構造形式 A

#### 条件

$a = 10 \text{ mm}$	$K_n = 2.2 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$d = 1.0 \text{ mm}$	$\mu_t = 2.7 \%$
$n = 11 \text{ 層}$	$G_s = 0.55 \text{ Kg}/\ell$
$t = 30 \text{ mm}$	
$G_n = 1.5 \text{ Kg}/\text{m}^2$	

### 構造形式 B (板厚 30 mm)

#### 条件

$a = 10 \text{ mm}$	$K_n = 2.0 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$d = 1.0 \text{ mm}$	$K_t = 1.7 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$n = 8 \text{ 層}$	$\mu_t = 3.8 \% \text{ (補強方向)}$
$D = 6 \text{ mm}$	$\mu_t = 2.0 \% \text{ (補強直角方向)}$
$s = 50 \text{ mm}$	$G_s = 0.55 \text{ Kg}/\ell$
$t = 30 \text{ mm}$	

### 構造形式 B (板厚 20 mm)

#### 条件

$a = 10 \text{ mm}$	$K_n = 1.7 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$d = 1.0 \text{ mm}$	$K_t = 1.4 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$n = 4 \text{ 層}$	$\mu_t = 4.3 \% \text{ (補強方向)}$
$D = 6 \text{ mm}$	$\mu_t = 1.5 \% \text{ (補強直角方向)}$
$s = 50 \text{ mm}$	$G_s = 0.52 \text{ Kg}/\ell$
$t = 20 \text{ mm}$	

### 構造形式 C

#### 条件

$a = 10 \text{ mm}$	$K_n = 2.0 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$d = 1.0 \text{ mm}$	$K_t = 1.4 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$n = 6 \text{ 層}$	$\mu_t = 3.4 \%$
$D_1 = D_2 = 6 \text{ mm}$	$G_s = 0.60 \text{ Kg}/\ell$
$s_1 = s_2 = 50 \text{ mm}$	
$t = 30 \text{ mm}$	

### 構造形式 D

#### 条件

$a = 10 \text{ mm}$	$K_n = 2.0 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$d = 1.0 \text{ mm}$	$K_t = 1.2 \text{ cm}^2/\text{cm}$
$n = 4 \text{ 層}$	$\mu_t = 4.6 \% \text{ (補強方向)}$
$D_1 = D_2 = D_3 = 6 \text{ mm}$	$\mu_t = 2.9 \% \text{ (補強直角方向)}$
$s_1 = s_2 = s_3 = 50 \text{ mm}$	$G_s = 0.64 \text{ Kg}/\ell$
$t = 30 \text{ mm}$	

### 3.3.3 使用材料

本実験に用いた材料は次のとおりである。

セメント：アサノ普通ポルトランドセメント、比重=3.16

細骨材：富士川産川砂、骨材最大寸法=2.5 mm、表乾比重=2.60

水：水道水

混和剤：マイティ150（花王石鹼社品）

鉄筋：直径6 mm丸鋼

きつ甲金網：線径1.0 mm、網目10 mm、亜鉛メッキ金網

織金網：線径1.0 mm、網目10 mm、亜鉛メッキ金網

### 3.3.4 モルタル

本実験に用いたモルタルの配合は表3.3.1のとおりである。

表3.3.1 配合

水セメント比 (%)	セメント砂比 (%)	絶対容積(ℓ/m³)			単位重量(Kg/m³)			
		セメント	水	細骨材	セメント	水	細骨材	混和剤
3.8	5.0	20.5	24.2	49.8	64.8	24.2	129.6	4.86

### 3.3.5 曲げ強度試験

#### (1) 試験体の補強方法

試験体の補強方法は3.3.2に述べたとおり構造形式A型～D型の4種とした。なお、織金網については、強度は縦方向、横方向とも同じであるため問題はないが、きつ甲金網は方向によって強度は異なるので図3.3.1に示すとおり、金網の強い方向をフェロセメント板の主筋方向に合せた。

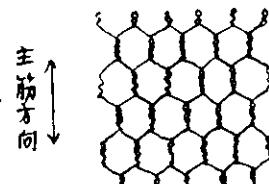


図3.3.1 きつ甲金網の補強方向

#### (2) 試験体の種類

曲げ強度試験体の種類は表3.3.2に示すとおりである。なお、金網の結束は0.8 mmのなまし鉄線を用いて、幅方向、長さ方向ともに100 mmピッチで結束した。

表3.3.2 試験体の種類

種類	養生法	試験体種別				金網結束有	金網結束無	厚さを変化(*)	計
		A	B	C	D				
織金網使用	標準水中	2	2	2	2	2	2	2	14
フェロセメント板	空中	—	2	—	—	—	—	—	2
きつ甲金網使用	標準水中	2	2	2	2	2	2	2	14
フェロセメント板	空中	—	2	—	—	—	—	—	2

注) (\*) 試験体の厚さは20 mmとした。

(3) 試験体の寸法

試験体は幅 300 mm, 長さ 1,200 mm, 厚さ 30 mm とし, 形式 B のみ参考として厚さ 20 mm のフェロセメント板を作成した。

(4) 試験体の成形と養生

補強筋を組立て, モルタルの被り厚さが 3 mm となるようスペーサーをつけて型枠へセットし, 50 ℥強制練りミキサーで混練したモルタルを流しこみ, テーブルバイブレーターで十分しめかためた。試験体は型枠のまま一日静置して, 翌日脱型し, 標準水中養生の場合は (20 ± 3) °C の恒温室水中で, 空中養生の場合は (20 ± 3) °C の恒温室で試験時まで養生した。

(5) 試験方法及び測定項目

試験体成形後 28 日で強度試験を実施した。試験は図 3.3.2 のとおり, スパン 900 mm とする 3 等分載荷試験法とした。

測定項目はスパン中央でのひずみ度 (4 点), 載荷点下のたわみ (2 点), スパン中央たわみ (1 点), フェロセメント板下面でのひびわれ幅, ひびわれ荷重及び破壊荷重である。

(6) 試験結果

(a) モルタルの強さ

本実験に用いたモルタルの圧縮強さ, 引張強さ, 曲げ強さ及び静弾性係数は表 3.3.3 のとおりである。

表 3.3.3 モルタル強度

養生法	各種強度 (Kg/mm <sup>2</sup> )			
	圧縮強さ	静弾性係数	引張強さ	曲げ強さ
標準水中	6.49	$2.83 \times 10^3$	0.33	0.71
空中	4.16	$2.23 \times 10^3$	0.35	0.47

(b) フェロセメント板の強度

載荷時の初期ひびわれ荷重, 第 2 ひびわれ荷重 (きれつ幅が 0.025 mm のときの荷重), 及び破壊荷重は表 3.3.4 のとおりである。

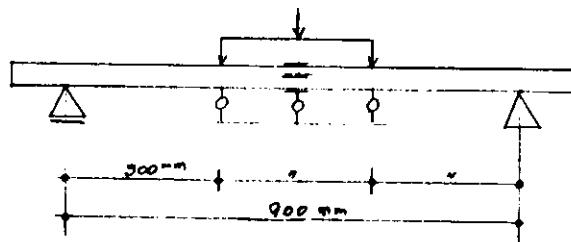


図 3.3.2 試験方法

表 3.3.4 ひびわれ荷重、破壊荷重

金網結束の有無	養生法	形式	きつ甲金網使用板			織金網使用板			備考	
			初期ひびわれ荷重(Kg)	第2ひびわれ荷重(Kg)	破壊荷重(Kg)	初期ひびわれ荷重(Kg)	第2ひびわれ荷重(Kg)	破壊荷重(Kg)		
有	標準水中	A-1	200	280	655	220	350	947	板厚 30 mm	
			2	220	300	770	240	360		
			平均	210	290	713	230	355		
		B-1	200	260	1020	220	480	1165		
			2	160	240	995	200	400	1080	
		平均	180	250	1008	210	440	1123		
		C-1	180	260	990	220	400	1065		
			2	180	240	780	200	440	1065	
		平均	180	250	885	210	420	1065		
		D-1	160	220	1170	240	440	1200		
			2	140	280	1210	200	360	1155	
		平均	150	250	1190	220	400	1178		
		B-1	80	90	345	90	180	430	板厚 20 mm	
			2	80	140	420	80	100		
			平均	80	115	383	85	140		
		空中	B-1	100	180	1000	100	220	970	
			2	140	220	970	80	260	1130	
			平均	120	200	985	90	240	1050	
無	標準水中	A-1	220	300	615	260	440	880	板厚 30 mm	
			2	220	300	595	320	460		
			平均	220	300	605	290	450		
		B-1	220	320	805	300	420	1040		
			2	220	380	1015	280	420	1045	
		平均	220	350	910	290	420	1043		

## (7) 試験結果の検討

## (a) フェロセメントの剛性と静弾性係数

標準水中養生した30mm厚さのきつ甲金網使用板について荷重一たわみの関係及び荷重一ひずみの関係の一例を示すと、それぞれ図3.3.3、図3.3.4のようになり、織金網使用板について荷重一たわみの関係及び荷重一ひずみの一例を示すと、それぞれ図3.3.5、図3.3.6のようになる。

一般に弾性体における荷重とたわみの関係式は式(3.3.1)で示される。

$$\delta = \frac{23}{1296} \frac{P\ell^3}{EI} \quad \dots \quad (3.3.1)$$

ここで  $\delta$ :たわみ、  $P$ :荷重、  $\ell$ :載荷スパン、  $E$ :静弾性係数、

$I$ :断面二次モーメント

式(3.3.1)より

$$EI = \frac{23}{1296} \frac{P\ell^3}{\delta} \quad \dots \quad (3.3.2)$$

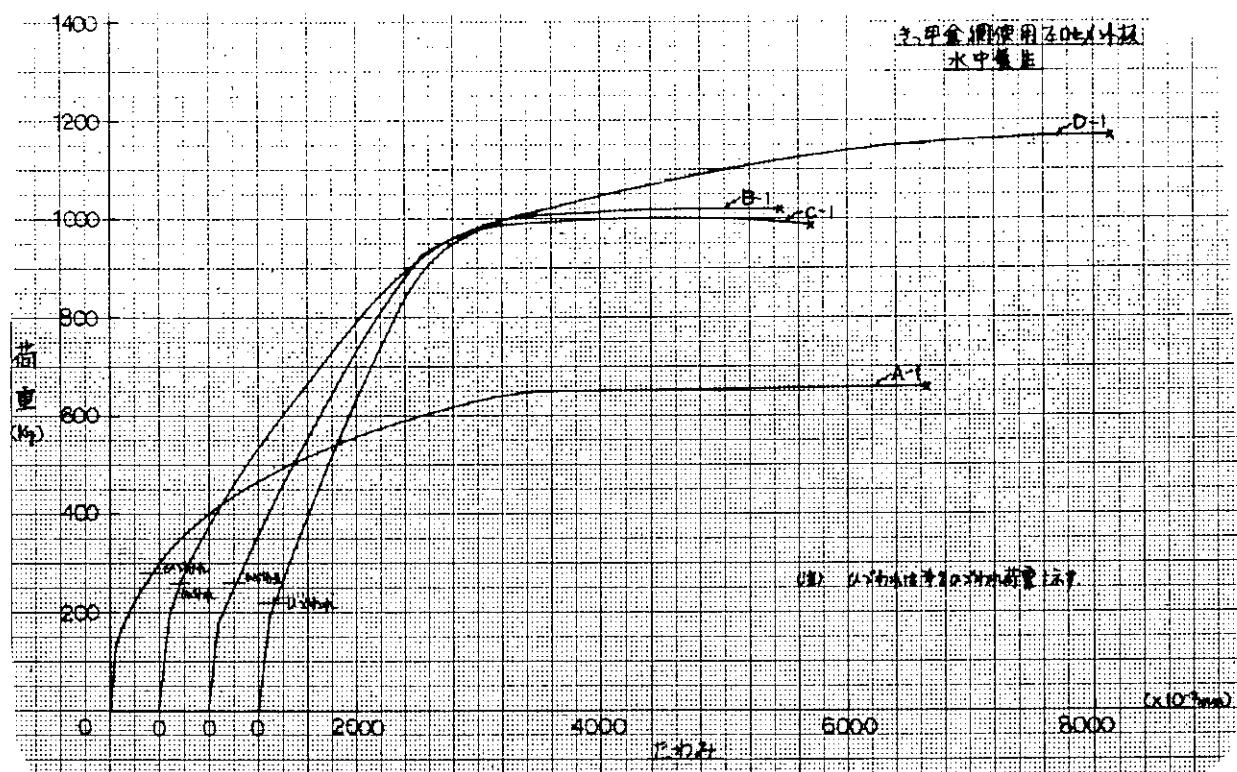


図 3.3.3 荷重 - たわみ

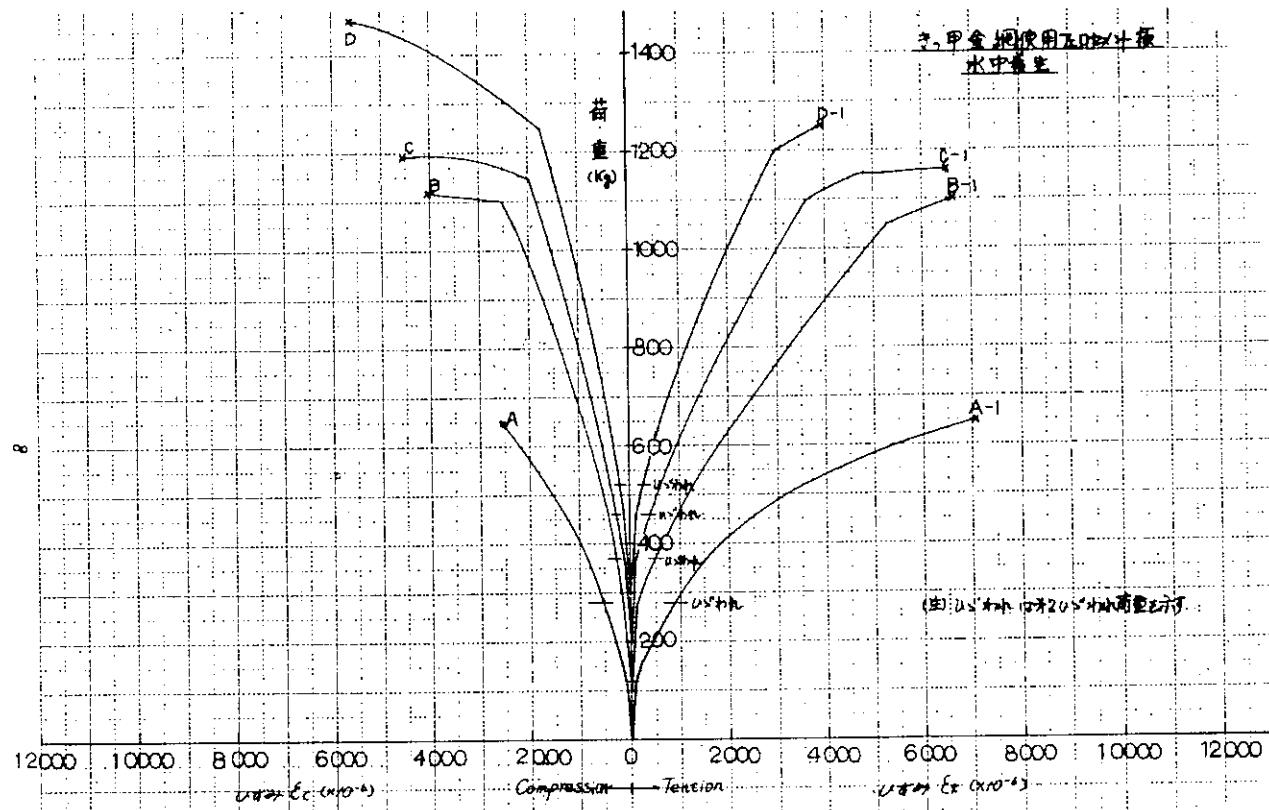


図 3.3.4 荷重 - ひずみ度

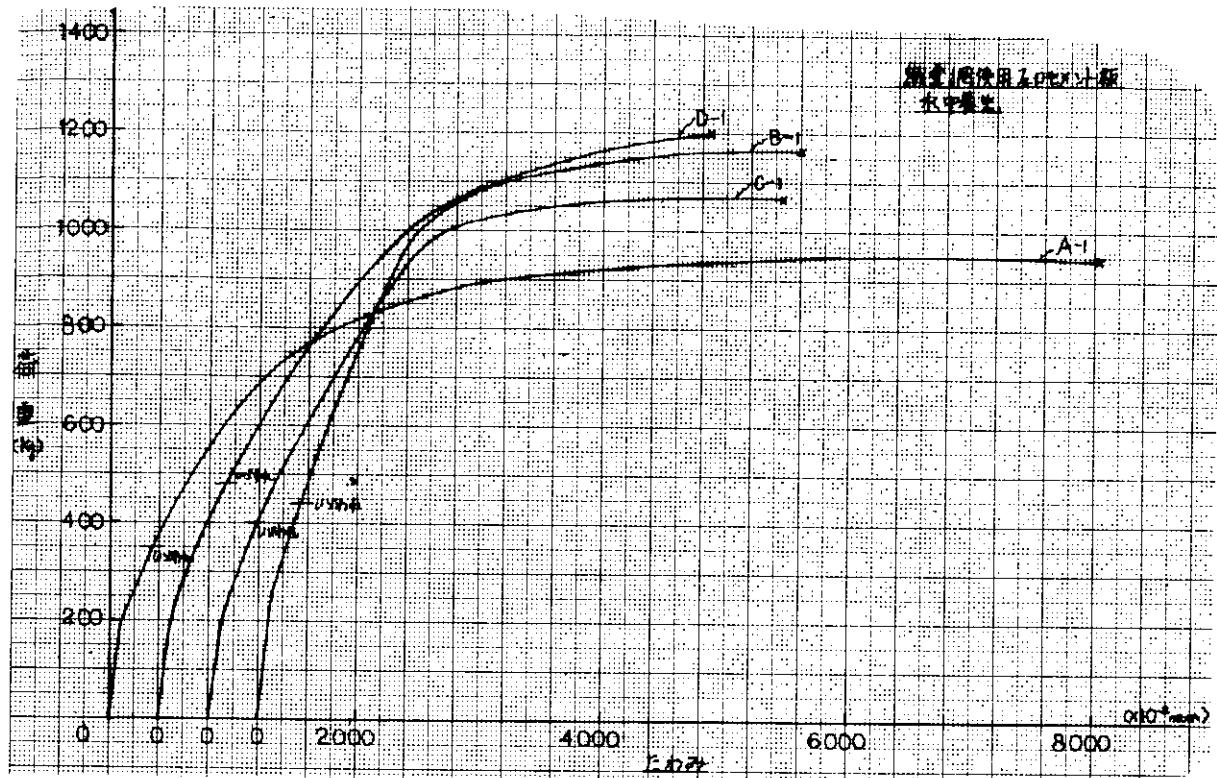


図 3.3.5 荷重 - たわみ

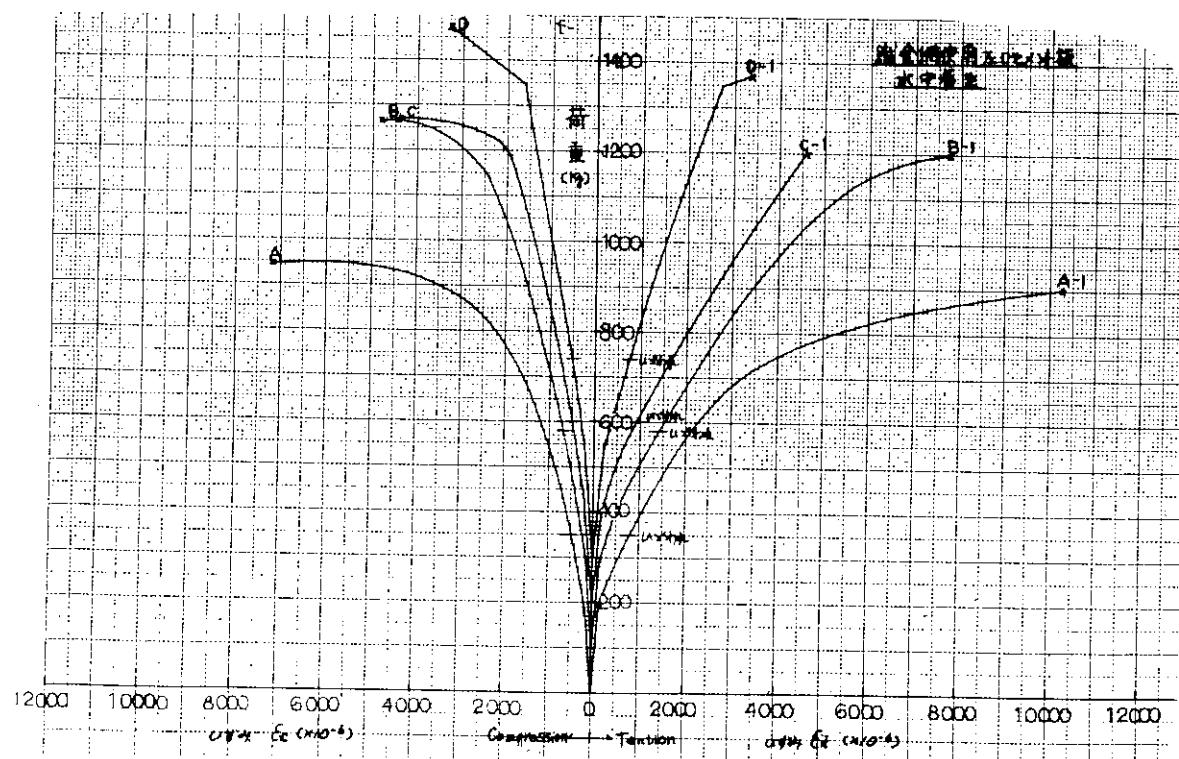


図 3.3.6 荷重 - ひずみ度

初期ひびわれ発生前の各種フェロセメント板の剛性 ( $EI$ ) を式 (3.3.2) を用いて求め、 $I$ を形状のみから決定した値として静弾性係数を求める表 3.3.5 のとおりである。

表 3.3.5 剛性と静弾性係数

金網結束 の有無	養生法	形式	きつ甲金網使用板			織金網使用板			備考
			補強筋含有率 $0/vol$	剛性 ( $\times 10^9 \text{Kg} \cdot \text{m}^2$ )	静弾性係数 ( $\times 10^3 \text{Kg} \cdot \text{m}^2$ )	補強筋含有率 $0/vol$	剛性 ( $\times 10^9 \text{Kg} \cdot \text{m}^2$ )	静弾性係数 ( $\times 10^3 \text{Kg} \cdot \text{m}^2$ )	
有	標準水準	A - 1 2 平均	6.1	2.3 2	3.4 4	6.0	2.7 7	4.1 0	板厚 30 mm
				2.8 4	4.2 1		2.3 3	3.4 5	
					3.8 3			3.7 8	
		B - 1 2 平均	6.5	2.9 1	4.3 1	6.4	2.6 7	3.9 6	
				2.4 5	3.6 3		2.3 1	3.4 2	
					3.9 7			3.6 9	
		C - 1 2 平均	7.2	2.7 4	4.0 6	7.0	2.7 0	4.0 0	
				2.4 6	3.6 4		2.2 2	3.2 9	
					3.8 5			3.6 5	
		D - 1 2 平均	8.0	3.0 2	4.4 7	8.0	3.0 9	4.5 8	
				2.7 7	4.1 0		2.8 4	4.2 1	
					4.2 9			4.4 0	
	空中	B - 1 2 平均	6.4	0.6 9	3.4 5	6.3	0.4 4	2.2 0	板厚 20 mm
				0.6 2	3.1 0		0.5 2	2.6 0	
					3.2 7			2.4 0	
無	標準水準	B - 1 2 平均	6.5	2.0 7	3.0 7	6.4	1.4 4	2.1 3	板厚 30 mm
				1.8 7	2.7 7		1.7 3	2.5 6	
					2.9 2			2.3 5	
		A - 1 2 平均	6.1	1.5 8	2.3 4	6.0	2.4 2	3.5 9	
				1.7 8	2.6 4		2.4 1	3.5 7	
					2.4 9			3.5 8	
		B - 1 2 平均	6.5	2.0 4	3.0 2	6.4	2.4 6	3.6 4	
				1.9 7	2.9 2		1.9 4	2.8 7	
					2.9 7			3.2 6	

一方、複合則による静弾性係数は式 (3.3.3) に示すとおりである。

$$E = E_s V_s + (1 - V_s) E_M \quad \dots \quad (3.3.3)$$

ここに  $V_s$ : 補強筋の体積含有率,  $E_s$ : 鉄筋の静弾性係数,  $E_M$ : モルタルの静弾性係数

式 (3.3.3) を用いて各構造形式に対する静弾性係数を求める表 3.3.6 のとおりである。

表 3.3.6 複合則による静弾性係数

養生法	形式	きつ甲金網板	織金網板	備考
		静弾性係数 ( $\times 10^3 \text{ Kg/mm}^2$ )	静弾性係数 ( $\times 10^3 \text{ Kg/mm}^2$ )	
標準水中	A	3.94	3.92	板厚 30 mm
	B	4.02	3.99	
	C	4.14	4.10	
	D	4.28	4.28	
	B	3.99	3.97	
空中	B	3.46	3.43	板厚 20 mm 板厚 30 mm

表 3.3.5, 表 3.3.6 より補強筋含有率と静弾性係数の関係を図示すると図 3.3.7 のとおりである。

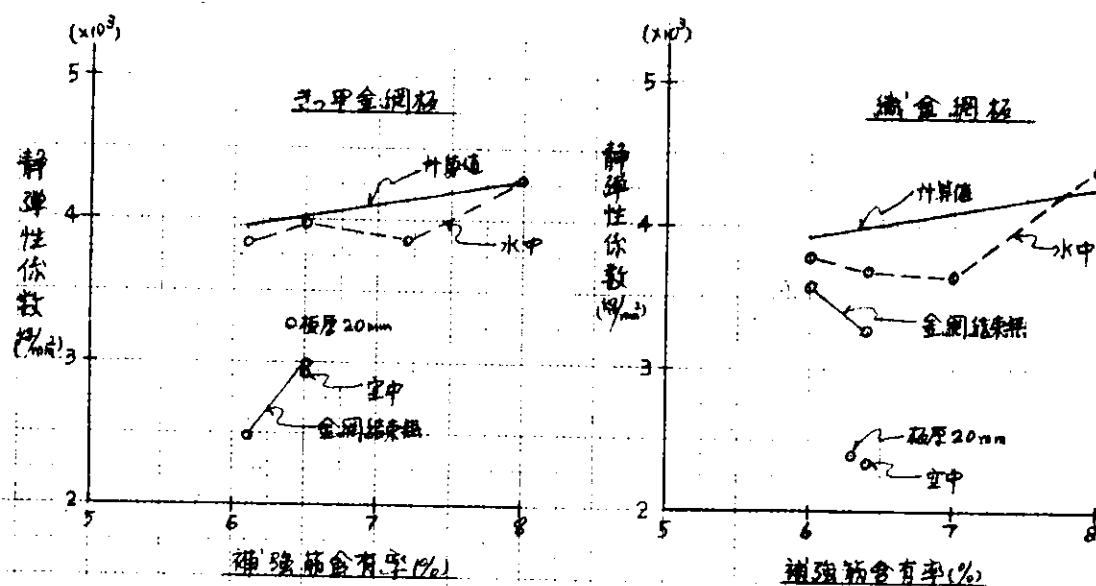


図 3.3.7 補強筋含有率 - 静弾性係数

図 3.3.7 より次のことがわかる。

- 板厚 30 mm で水中養生したフェロセメント板の静弾性係数の実験値と計算値は比較的よく一致し、その差は最大で 10 % となる。
- 空中養生した場合、水中養生したものより静弾性係数はきつ甲金網板で 26 %、織金網板で 36 % 低下する。
- 金網を結束しない板の静弾性係数は、結束した場合よりきつ甲金網板で 30 %、織金網板で約 10 % 低下する。

#### (b) 中立軸

ひびわれ幅が 0.025 mm の時の中立軸比( $k$ )及び中立軸( $n$ )の位置を式(3.3.4)及び式(3.3.5)より求めると表 3.3.7 のとおりである。

$$k = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_t} \quad \dots \dots \dots \quad (3.3.4)$$

ここで  $\epsilon_c$ : 壓縮縁辺ひずみ,  $\epsilon_t$ : 引張縁辺ひずみ

$$n = k_t \dots \dots \dots (3.3.5)$$

ここで  $n$  : 中立軸,  $k$  : 中立軸比,  $t$  : 板厚

表 3.3.7 中立軸比と中立軸

金網結束の有無	養生法	形 式	きつ甲金網板		織金網板		備考
			k	n	k	n	
有	標準水中	A - 1	0.38	1.14	0.40	1.20	板厚 30 mm
		2	0.39	1.17	0.39	1.17	
		平均	0.39	1.16	0.40	1.19	
		B - 1	0.38	1.14	0.35	1.05	
		2	0.44	1.32	0.34	1.12	
		平均	0.41	1.23	0.35	1.09	
		C - 1	0.38	1.14	0.36	1.08	
		2	0.41	1.23	0.37	1.11	
		平均	0.40	1.19	0.37	1.10	
		D - 1	0.43	1.29	0.42	1.26	
		2	0.39	1.17	0.44	1.32	
		平均	0.41	1.23	0.43	1.29	
空中		B - 1	0.30	0.60	0.33	0.66	板厚 20 mm
		2	0.33	0.66	0.39	0.78	
		平均	0.32	0.63	0.36	0.72	
		B - 1	0.37	1.11	0.39	1.17	
		2	0.38	1.14	0.40	1.20	
		平均	0.38	1.13	0.40	1.19	
無	標準水中	A - 1	0.39	1.17	0.35	1.05	板厚 30 mm
		2	0.43	1.29	0.39	1.17	
		平均	0.41	1.23	0.37	1.11	
		B - 1	0.38	1.14	0.43	1.29	
		2	0.39	1.17	0.41	1.22	
		平均	0.39	1.16	0.42	1.26	

表 3.3.7 より中立軸比(k)の値はきつ甲金網板の時、板厚 20 mm の板で 0.32 となり、板厚 30 mm の板では構造形式が変化しても大差がなく、ほぼ 0.38 ~ 0.41 の範囲となる。

一方、織金網板の時、板厚 20 mm の板で 0.36、板厚 30 mm の板で 0.35 ~ 0.43 の範囲となる。

#### (c) ひびわれ応力度

ひびわれ幅が 0.025 mm となった時の荷重をひびわれ荷重として式 (3.3.6) を用いてひびわれ応力度を求める

表 3.3.8 のとおりである。

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{M}{I} y \dots \dots \dots (3.3.6)$$

ここで  $\sigma$  : ひびわれ応力度,  $M$  : ひびわれモーメント,  $Z$  : 断面係数,  $I$  : 断面二次モーメント

$y$  : 中立軸から引張縁辺までの距離

ただし、 $Z$ としては次の 3通りの方法で求めた値を使用した。

$\sigma_1, Z_1$  : { I は全断面有効で補強筋は考慮せず、中立軸は板厚の中央として算定  
y は板厚の  $1/2$

$\sigma_2, Z_2$  : { I は全断面有効で補強筋は考慮せず、中立軸は板厚の中央として算定  
y は表 3.3.7 による中立軸から引張縁辺までの距離

$\sigma_3, Z_3$  : { I は全断面有効で補強筋は考慮せず、中立軸は表 3.3.7 による値を用いて算定  
y は表 3.3.7 による中立軸から引張縁辺までの距離

表 3.3.8 ひびわれ応力度

金網結束 の有無	養生法	形 式	きつ甲金網板			織金網板			備 考	
			補強筋 含有率 (0/vol)	応力度 ( $Kg/mm^2$ )		補強筋 含有率 (0/vol)	応力度 ( $Kg/mm^2$ )			
				$\sigma_1$	$\sigma_2$		$\sigma_1$	$\sigma_2$		
有	標準水 中	A-1	6.1	0.94	1.16	0.99	6.0	1.17	1.40	1.25
		2		1.00	1.22	1.07		1.20	1.46	1.28
		平均		0.97	1.19	1.03		1.19	1.43	1.27
		B-1	6.5	0.86	1.07	0.92	6.4	1.60	2.08	1.64
		2		0.80	0.90	0.86		1.33	1.67	1.28
		平均		0.83	0.99	0.89		1.47	1.88	1.46
		C-1	7.2 (5.4)	0.86	1.07	0.92	7.0 (5.3)	1.34	1.71	1.38
		2		0.80	0.94	0.86		1.47	1.85	1.54
		平均		0.83	1.01	0.89		1.41	1.78	1.46
		D-1	8.0 (6.4)	0.87	0.99	0.79	8.0 (6.2)	1.47	1.70	1.58
		2		0.93	1.14	0.99		1.20	1.34	1.29
		平均		0.90	1.07	0.89		1.34	1.52	1.44
		B-1	6.4	0.68	0.95	0.63	6.3	1.35	1.81	1.34
		2		1.05	1.41	1.04		0.75	0.92	0.80
		平均		0.87	1.18	0.84		1.05	1.37	1.07
		B-1	6.5	0.67	0.84	0.63	6.4	0.73	0.89	0.78
		2		0.73	0.91	0.78		0.87	1.04	0.93
		平均		0.70	0.88	0.71		0.80	0.97	0.86
無	標準水 中	A-1	6.1	1.01	1.23	1.07	6.0	1.47	1.91	1.50
		2		1.01	1.15	1.08		1.53	1.87	1.63
		平均		1.01	1.19	1.08		1.50	1.89	1.57
		B-1	6.5	1.06	1.32	1.13	6.4	1.39	1.59	1.51
		2		1.26	1.54	1.35		1.40	1.66	1.51
		平均		1.16	1.43	1.24		1.40	1.63	1.51

(注) 補強筋含有率の括弧内は横筋を考慮しない場合

各板体のひびわれ応力度の平均値について  $\sigma_2/\sigma_1$ ,  $\sigma_3/\sigma_1$  の値を求めると表 3.3.9 のとおりである。

表 3.3.9 応力度比率

金網結束 の有無	養生法	形 式	きつ甲金網板			織金網板			板 厚 (mm)	
			補強筋 含有率 (0/vol)	応力度比		補強筋 含有率 (0/vol)	応力度比			
				$\sigma_2/\sigma_1$	$\sigma_3/\sigma_1$		$\sigma_2/\sigma_1$	$\sigma_3/\sigma_1$		
有	標準水中	A	6.1	1.23	1.02	6.0	1.20	1.07	30	
		B	6.5	1.19	1.07	6.4	1.28	0.99		
		C	7.2	1.22	1.07	7.0	1.26	1.04		
		D	8.0	1.19	0.99	8.0	1.13	1.07		
		B	6.4	1.36	0.97	6.3	1.30	1.02	20	
	空中	B	6.5	1.26	1.01	6.4	1.21	1.08	30	
無	標準水中	A	6.1	1.18	1.07	6.0	1.26	1.05		
		B	6.5	1.23	1.07	6.4	1.16	1.08		

表 3.3.9 より  $\sigma_2/\sigma_1$  の値はきつ甲金網板で 1.18 ~ 1.36, 織金網板で 1.13 ~ 1.30 となり, また,  $\sigma_3/\sigma_1$  の値はきつ甲金網板で 0.97 ~ 1.07, 織金網板で 0.09 ~ 1.08 となる。すなわち, ひびわれ応力度は, 中立軸の移動を考慮したときと, 考慮しないときで約 10%異なることがわかる。

次に補強筋含有率とひびわれ応力度 ( $\sigma_3$ ) の関係を図示すると図 3.3.8 のとおりである。

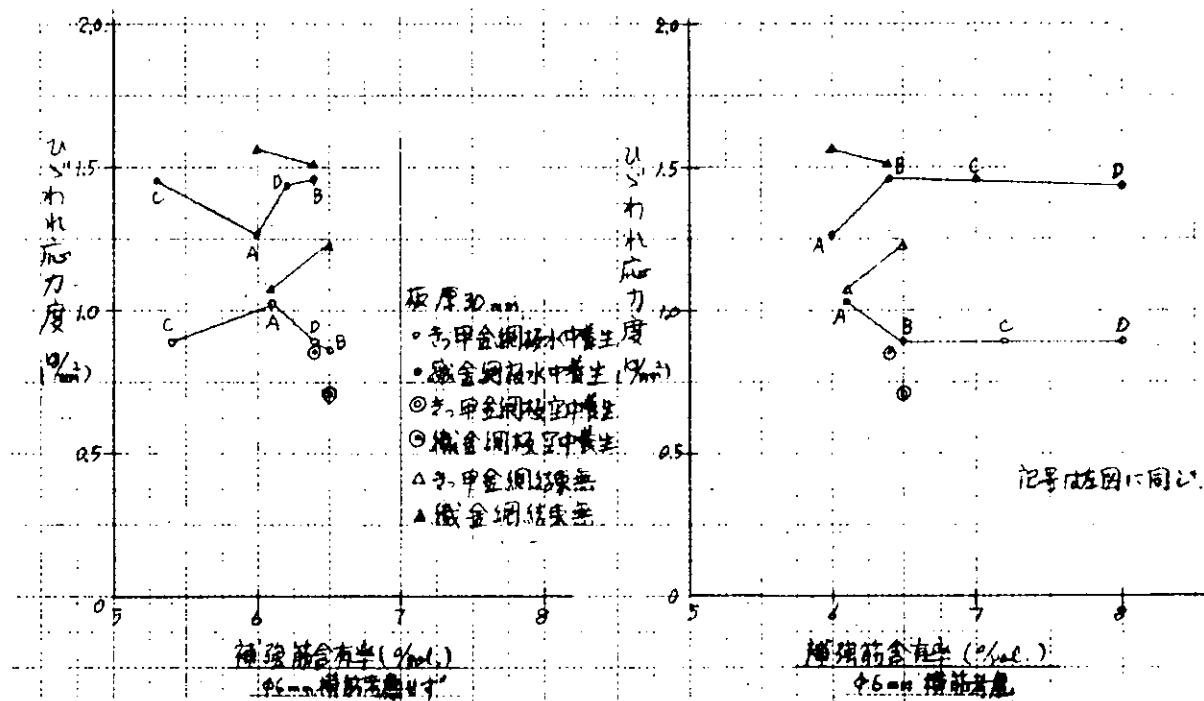


図 3.3.8 補強筋含有率 - ひびわれ応力度

図 3.3.8 より次のことがわかる。

・水中養生したきつ甲金網板では補強筋含有率が増大してもひびわれ応力度はほぼ一定でその値は約  $0.9 \frac{kg}{mm^2}$  である。

- 水中養生した織金網板では補強筋含有率とひびわれ応力度の間に顕著な関係は存在せず、ひびわれ応力度の最低値は  $1.2 \text{ Kg/mm}^2$  となる。
- 空中養生した場合、ひびわれ応力度は金網の種類に関係なくほぼ一定で、その値は約  $0.7 \text{ Kg/mm}^2$  となる。
- 金網を結束しない場合も、ひびわれ応力度の低下は認められない。

(d) ひびわれ荷重及び破壊荷重について

補強筋含有率とひびわれ荷重、破壊荷重の関係を図示すると図 3.3.9 のとおりである。

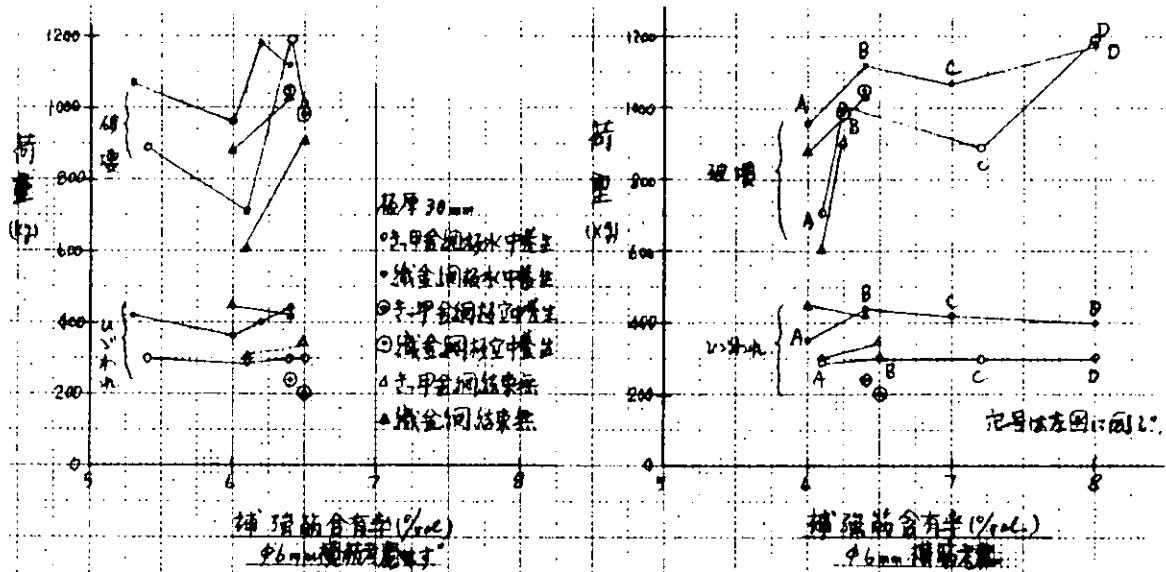


図 3.3.9 補強筋含有率 - ひびわれ荷重、破壊荷重

(i) ひびわれ荷重について

- 金網を結束し水中養生した場合、ひびわれ荷重はきつ甲金網板で  $250 \text{ Kg} \sim 290 \text{ Kg}$ 、織金網板で  $360 \text{ Kg} \sim 440 \text{ Kg}$  となり、織金網板の方がひびわれ荷重が大きい。
- 水中養生と空中養生の板を比較すると、水中養生の方がひびわれ荷重が大きく、きつ甲金網板で 1.25 倍、織金網板で 1.83 倍となる。
- 金網を結束しない場合もひびわれ荷重の低下は認められない。

(ii) 破壊荷重について

- 金網を結束して水中養生した板では、きつ甲金網板、織金網板ともに補強筋含有率（ $\phi 6 \text{ mm}$  横筋を考慮したとき）が増すと破壊荷重も大となる傾向がある。
- フェロセメント板の破壊耐力は補強筋の構造で決定し、空中養生した場合も破壊荷重の低下はほとんど認められない。
- 金網を結束しない板では破壊近辺で補強筋が屈曲はくり起すため、きつ甲金網板で  $10 \sim 15\%$ 、織金網板で  $7 \sim 9\%$ 、金網を結束した板より破壊荷重が低下する。

### 3.3.6 引張強度試験

(1) 試験体の補強方法

試験体の補強方法は曲げ試験体と同じく構造形式 A型～D型の 4種類とした。

(2) 試験体の種類

引張強度試験体の種類は表 3.3.9 に示すとおり、織金網使用フェロセメント板 14枚、きつ甲金網使用フェロセメン

ト板 14枚の合計 28枚である。

表 3.3.9 試験体の種類

種類	養生法	試験体種別				金網結束無	計
		A	B	C	D		
織金網使用	標準水中	2	2	2	2	2	12
	空中	-	2	-	-	-	2
きつ甲金網使用	標準水中	2	2	2	2	2	12
	空中	-	2	-	-	-	2

### (3) 試験体の寸法及び配筋

試験体は幅 70mm, 長さ 440mm, 厚さ 30mm とし、図 3.3.10 に示すとおり、試験体中央で欠損断面とした。また、構造形式 A型及び B型の配筋は図 3.3.11 のとおりである。すなわち、荷重方向での金網本数は A型で 3本、B型～D型で 6本とした。

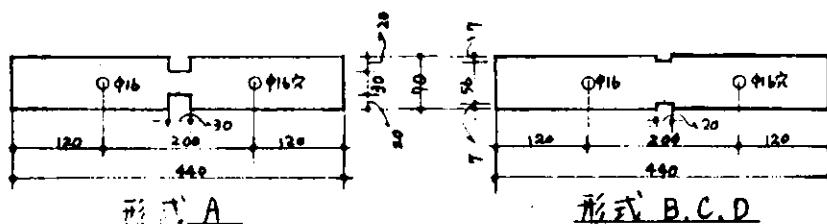


図 3.3.10 引張試験体

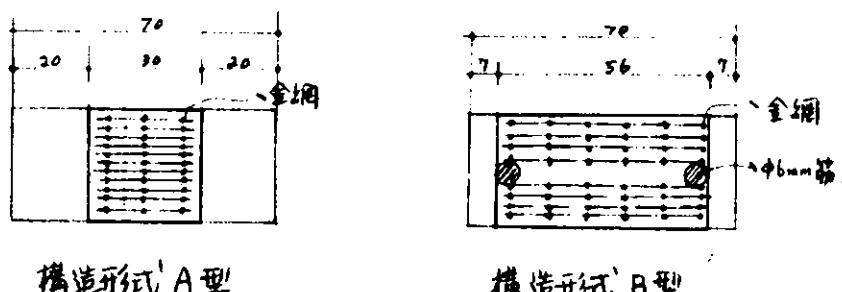


図 3.3.11 試験体配筋図

### (4) 試験体の成形と養生

試験体の成形と養生方法は曲げ試験体の場合と同じとした。

### (5) 試験方法及び測定項目

試験体成形後材令 28 日で強度試験を実施した。試験は図 3.3.12 のとおり試験体に鋼製アタッチメントを接着材（ショーボンド FC）でとりつけ、さらにアタッチメントと試験体を Ø 16 ボルトで固定し、アタッチメント両端にユニバーサルジョイントを有する Ø 16 ボルトをとりつけ、50t アムスラー万能試験機でこのボルトを引張って試験を実施した。

測定項目は試験体中央（断面欠損部）でのひずみ度（2点）、ひびわれ荷重及び破壊荷重である。

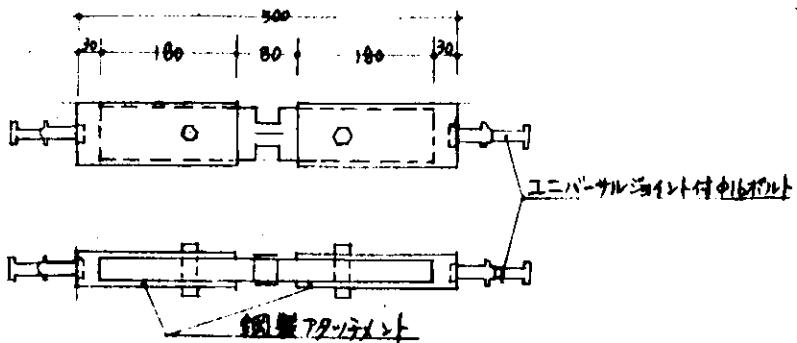


図 3.3.12 引張試験用鋼製アタッチメント取付図

#### (6) 試験結果

##### (a) モルタルの強さ

本実験に用いたモルタルの圧縮強さ、引張強さ、曲げ強さ及び静弾性係数は表 3.3.10 のとおりである。

表 3.3.10 モルタル強度

養生法	各種強度 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )			
	圧縮強さ	静弾性係数	引張強さ	曲げ強さ
標準水中	6.62	$2.60 \times 10^3$	0.39	0.84
空中	4.63	$2.34 \times 10^3$	0.34	0.60

##### (b) フェロセメント板の強度

試験体の断面寸法、初期ひびわれ荷重、ひびわれ幅が  $0.025\text{mm}$  の時の荷重（第2ひびわれ荷重）、及び破壊荷重は表 3.3.11 のとおりである。

また、応力度 - ひずみ度曲線の一例を示すと図 3.3.13 及び図 3.3.14 のとおりである。

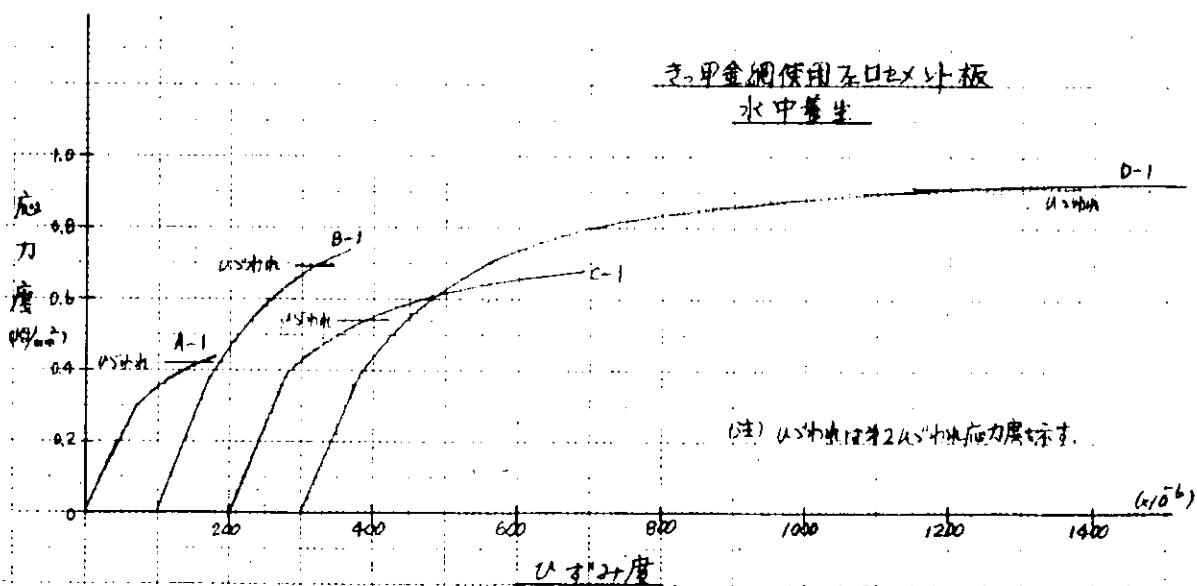


図 3.3.13 応力度 - ひずみ度

表 3.3.11 ひびわれ荷重、破壊荷重

金網結束の有無	養生法	形式	きつ甲金網使用板				織金網使用板			
			断面寸法 (mm)	初期ひびわれ荷重 (Kg)	第2ひびわれ荷重 (Kg)	破壊荷重 (Kg)	断面寸法 (mm)	初期ひびわれ荷重 (Kg)	第2ひびわれ荷重 (Kg)	破壊荷重 (Kg)
有	標準水中	A-1	30.6×31.2	360	400	690	33.7×30.0	520	560	1060
		2	32.5×31.6	320	360	700	31.5×31.5	480	560	1010
		平均		340	380	695		500	560	1035
		B-1	59.0×32.0	1100	1300	3450	58.1×31.2	1100	1300	4130
		2	57.1×31.7	700	1000	3230	59.1×32.1	1100	1500	4020
		平均		900	1150	3340		1100	1400	4075
		C-1	59.3×34.3	900	1100	3000	55.0×32.7	1000	1300	3160
		2	57.8×32.3	800	1100	3280	58.3×32.8	1100	1700	3410
		平均		850	1100	3140		1050	1500	3285
		D-1	58.7×33.8	800	1800	4740	57.6×32.6	1700	2200	5300
		2	58.0×32.6	1200	1700	5000	60.6×33.7	1400	2200	5700
		平均		1000	1750	4870		1550	2200	5500
空中	空中	B-1	58.9×31.6	700	1000	3090	58.0×32.6	900	1100	3760
		2	57.9×31.4	1100	1200	3240	59.4×30.8	1000	1300	3810
		平均		900	1100	3165		950	1200	3785
無	標準水中	A-1	31.6×32.7	320	400	650	31.9×33.6	600	670	1140
		2	31.6×31.9	320	400	680	33.2×32.0	560	610	1190
		平均		320	400	665		580	640	1165
		B-1	59.5×32.3	1300	1500	3240	59.6×32.6	1600	1700	4620
		2	58.9×31.4	1100	1400	3320	56.6×31.0	1000	1300	3630
		平均		1200	1450	3280		1300	1500	4125

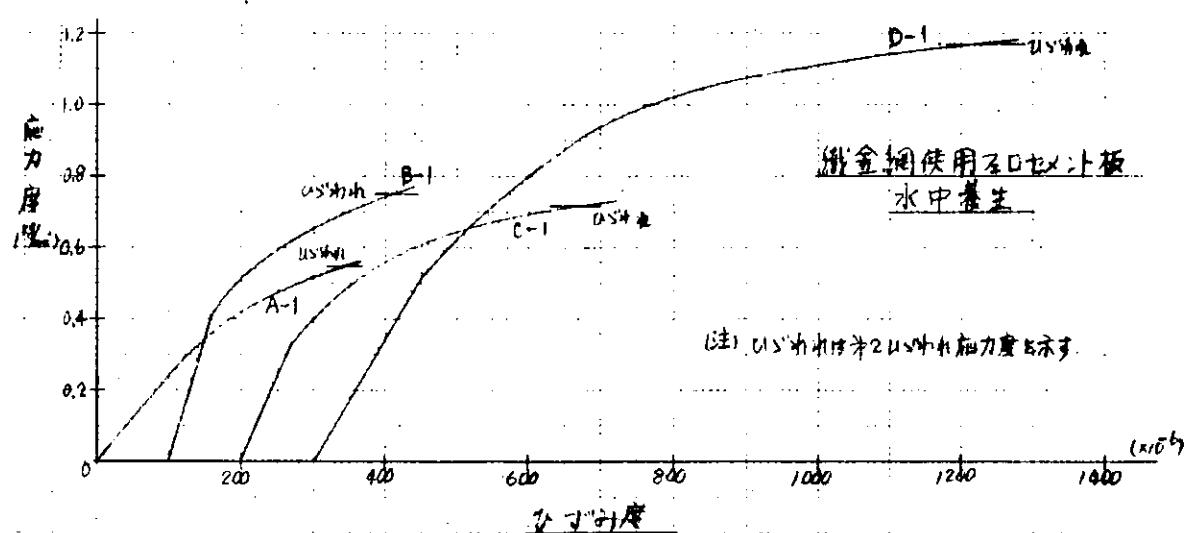


図 3.3.14 応力度 - ひずみ度

(7) 試験結果の検討

(a) ひびわれ応力度及び破壊強度

試験体の欠損断面部分での断面積(A)を求める表3.3.12のとおりである。

表3.3.12 断面積

金網結束 の有無	養生法	形 式	きつ甲金網使用板		織金網使用板	
			補強筋含有率 (0/vol)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	補強筋含有率 (0/vol)	断面積 (mm <sup>2</sup> )
有	標準水中	A-1	5.4	955	5.9	1011
		2		1027		992
		B-1	6.6	1888	7.0	1713
		2		1810		1897
		C-1	5.7	2034	5.9	1799
		2		1867		1912
		D-1	7.4	1984	7.6	1878
		2		1891		2042
		B-1	6.6	1861	7.0	1891
		2		1818		1830
無	標準水中	A-1	5.4	1033	5.9	1072
		2		1008		1062
		B-1	6.6	1922	7.0	1943
		2		1849		1755

また、ひびわれ応力度及び破壊強度を式(3.3.7)及び式(3.3.8)より求めると表3.3.13のとおりである。

$$\sigma_e = P_e / A \quad \dots \dots \dots (3.3.7) \quad \sigma_{max} = P_{max} / A \quad \dots \dots \dots (3.3.8)$$

ここで  $\sigma_e$  : ひびわれ応力度,  $P_e$  : ひびわれ荷重,  $\sigma_{max}$  : 破壊強度,  $P_{max}$  : 破壊荷重

(i) ひびわれ応力度について

各種フェロセメント板の補強筋含有率とひびわれ応力度(きれつ幅0.025mmのとき)の関係は図3.3.15のとおりで、同図より次のことがわかる。

- 水中養生したとき、きつ甲金網板、織金網板ともに補強筋含有率が増大するとひびわれ応力度も増大する。
- 金網を結束しない場合を結束した場合と比較すると、ひびわれ応力度の低下は認められない。
- 空中養生した板と水中養生した板を比較すると、きつ甲金網板ではほとんど強度は変化しないが、織金網板では約16%空中養生した板の強度が低下する。
- ひびわれ応力度  $0.4 \frac{kg}{mm^2}$  (N Vルールに規定している値)をうるためには、補強筋含有率として、きつ甲金網板、織金網板ともに  $5.5 \frac{\%}{vol}$  以上のものを用いればよい。

(ii) 破壊強度について

各種フェロセメント板の補強筋含有率と破壊強度の関係は図3.3.16のとおりで同図より次のことがわかる。

- 水中養生した時、きつ甲金網板、織金網板ともに補強筋含有率に比例して破壊強度は増大し、いずれの金網を

表 3.3.13 ひびわれ応力度と破壊強度

金網結束の有無	養生法	形式	きつ申金網使用板				織金網使用板			
			補強筋含有率(0/vol)	初期ひびわれ応力度(Kg/mm²)	第2ひびわれ応力度(Kg/mm²)	破壊強度(Kg/mm²)	補強筋含有率(0/vol)	初期ひびわれ応力度(Kg/mm²)	第2ひびわれ応力度(Kg/mm²)	破壊強度(Kg/mm²)
有	標準水中	A-1	5.4	0.38	0.42	0.72	5.9	0.51	0.55	1.05
		2		0.31	0.35	0.68		0.48	0.56	1.02
		平均		0.35	0.39	0.70		0.50	0.56	1.04
		B-1	6.6	0.58	0.69	1.83	7.0	0.64	0.75	2.41
		2		0.39	0.55	1.78		0.58	0.79	2.12
		平均		0.49	0.62	1.81		0.61	0.77	2.27
		C-1	5.7 (7.0)	0.44	0.54	1.47	5.9 (7.3)	0.61	0.72	1.76
		2		0.43	0.59	1.76		0.58	0.89	1.78
		平均		0.44	0.57	1.62		0.60	0.81	1.77
	空中	D-1	7.4 (8.8)	0.40	0.91	2.39	7.6 (9.0)	0.91	1.17	2.82
		2		0.63	0.90	2.64		0.69	1.08	2.79
		平均		0.52	0.91	2.52		0.80	1.12	2.81
無	標準水中	B-1	6.6	0.38	0.54	1.66	7.0	0.48	0.58	1.99
		2		0.61	0.66	1.78		0.55	0.71	2.08
		平均		0.50	0.60	1.72		0.52	0.65	2.04
		A-1	5.4	0.31	0.39	0.63	5.9	0.56	0.63	1.06
		2		0.32	0.40	0.67		0.53	0.57	1.12
		平均		0.32	0.40	0.65		0.55	0.60	1.09
		B-1	6.6	0.68	0.78	1.69	7.0	0.82	0.87	2.38
		2		0.59	0.76	1.80		0.57	0.74	2.35
		平均		0.64	0.77	1.75		0.70	0.81	2.37

注 補強筋含有率の括弧内はΦ 6 mmの横筋を考慮したとき

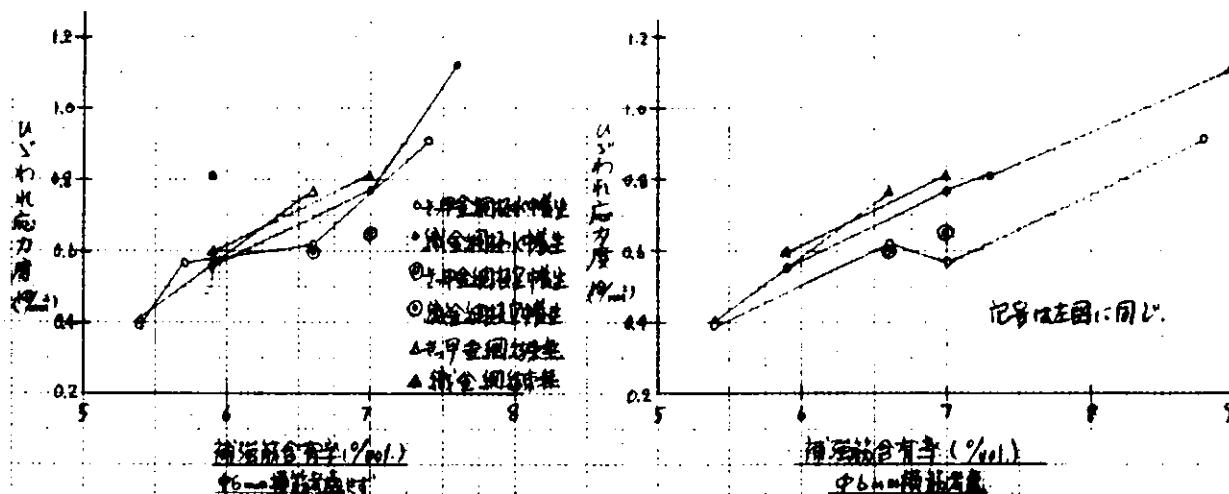


図 3.3.15 補強筋含有率 - ひびわれ応力度

用いてもほぼ同じ直線上にある。

○金網を結束しない場合も破壊強度は金網を結束しない場合と同じとなる。

○空中養生した板の破壊強度は水中養生した板の破壊強度とほとんど同じとなる。

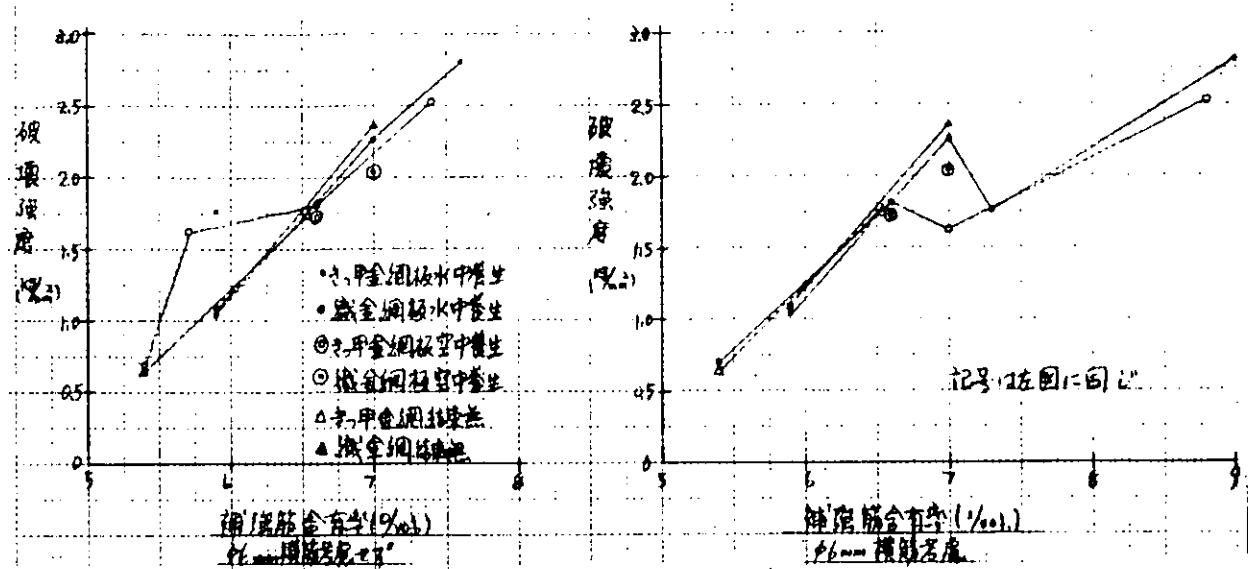


図 3.3.16 補強筋含有率－破壊強度

### 3.3.7 まとめ

#### (1) 曲げ強度性状について

- 水中養生したフェロセメント板の静弾性係数の実験値は複合則によって計算した静弾性係数とかなりよく一致する。
- 空中養生したフェロセメント板の静弾性係数は、水中養生した場合より 30~40% 低下する。すなわち、フェロセメント板を成形した後の湿潤養生、ないしは水中養生が強度発現に大きく寄与していることを示している。
- 水中養生したきつ甲金網板のひびわれ応力度は約  $0.9 \text{ Kg/mm}^2$ 、織金網板のひびわれ応力度は約  $1.2 \text{ Kg/mm}^2 \sim 1.4 \text{ Kg/mm}^2$  となる。
- 破壊耐力はきつ甲金網板より織金網板の方が約 15% 大きくなる。
- 金網を結束しない板の破壊荷重は結束した板より、きつ甲金網板で 10~15%，織金網板で 7~9% 低下する。すなわち、金網の結束はフェロセメント板補強材の形状を保持することの他に、破壊荷重の増加に寄与していることを示している。

#### (2) 引張強度性状について

- 水中養生したとき、きつ甲金網板、織金網板ともに補強筋含有率が増大すると、ひびわれ応力度も増大する。
- 金網を結束しても結束しなくてもひびわれ強度はほとんど同じ値となる。
- きつ甲金網板、織金網板ともに破壊強度は補強筋含有率に比例して増大し、いずれの金網を用いてもほぼ同一直線上にある。
- 水中養生した板、空中養生した板、金網を結束しない板の破壊強度は補強筋含有率が同一の場合、ほとんど同じ値となる。すなわち、フェロセメント板の破壊強度はモルタルの強さに関係なく、補強筋の構造によって決定される。

### 3.4 部分模型の強度試験

#### 3.4.1 はじめに

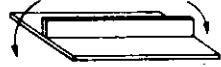
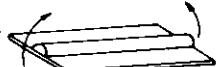
本委員会において、現存するフェロセメント製漁船のフレーム部の強度を検討し、その構造強度上の性状を把握するため、部分模型を作成して曲げ強度試験を実施し、さらに強度解析を行った。

#### 3.4.2 試験模型

##### (1) 模型形状

今回実施した試験に使用した模型を表3.4.1に示す。

表3.4.1 試験体一覧表

試験体番号	試験体構造	曲げ方向	
A - 1	リブ(フレーム)つき板	リブ圧縮	
A - 2		リブ引張	
B - 1	パイプ(フレーム)つき板	パイプ引張	
B - 2		パイプ圧縮	
C	リブ+パイプ(フレーム)つき板	リブ, パイプ圧縮	

また、供試模型の構造詳細を図3.4.1～図3.4.3に示す。試験体の板部分の構造は全て同一であり、その鉄筋含有量( $G_s$ )、補強材係数( $\mu_t$ )、比付着係数( $K_n$ ,  $K_t$ )は次の通りである。

$$G_s = 0.60\%, \quad \mu_t = 3.43\%, \quad K_n = 1.8 \text{ cm}^2/\text{cm}^3, \quad K_t = 1.24 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

##### (2) 製造法及び養生条件

###### (a) 製作法

補強筋を組立て、型枠中へセットの後、混練したモルタルを流し込み、テーブルバイプレーターを用いて締め固めた。

###### (b) モルタル

モルタルの配合成分を表3.4.2に示す。

試験体と同一の養生をしたモルタルについて圧縮、引張及び曲げ試験をそれぞれ3体について実施した。

表3.4.3にモルタルの強度試験結果を示す。なお、同表の値は、上記、圧縮、引張及び曲げ試験における。それ

表 3.4.2 モルタルの配合

水とセメント比	セメントと砂比	絶対容量 ( $\ell/m^3$ )			単位重量 ( $Kg/m^3$ )			
		セメント	水	細骨材	セメント	水	細骨材	混和剤
38%	50%	205	242	498	648	242	1246	4.86

表 3.4.3 モルタルの強度試験結果

試験体番号	圧縮強度 ( $Kg/mm^2$ )	圧縮弾性係数 ( $Kg/mm^2$ )	引張強度 ( $Kg/mm^2$ )	曲げ強度 ( $Kg/mm^2$ )	曲げ弾性係数 ( $Kg/mm^2$ )
A-1	5.40	$2.32 \times 10^3$	0.24	0.807	$3.10 \times 10^3$
A-2	5.37	$2.12 \times 10^3$	0.24	0.870	$3.00 \times 10^3$
B-1	5.60	$2.17 \times 10^3$	0.25	0.650	$3.37 \times 10^3$
B-2	5.03	$2.06 \times 10^3$	0.28	0.946	$3.14 \times 10^3$
C	5.11	$2.08 \times 10^3$	0.26	0.765	$2.92 \times 10^3$
平均	5.30	$2.15 \times 10^3$	0.25	0.808	$3.11 \times 10^3$

それ 3 体についての試験結果の平均値である。

### (c) 養生条件

1週間室外にて湿布養生し、その後 3 週間室外にて空中養生した。表 3.4.3 においてモルタルの引張強度がフェロセメント板の強度試験結果（3.3 参照）に比べて低い値を示しているのは、この養生法の差に原因があると思われる。

## 3.4.3 強度試験

### (1) 試験方法及び計測項目

図 3.4.4 に示すように、スパン 1800 mm とする 4 点曲げ試験を行った。荷重は手動ジャッキにより、ロードセル、H型鋼を組合せて作成した加圧治具を介して試験体に加えた。荷重が片当りすることを防ぐため、試験体と H 型鋼との間に木材及びゴムを挟み込む方法をとったが、試験体の幅方向の初期変形が予想以上にあったため片当りが生じたので、さらに試験体の荷重線上に石こうを塗り付け硬化させ荷重の当りが均一になるようにした。リブ付き試験体においてはリブに荷重が加わるよう配慮した。パイプフレーム試験体においては、石こうを荷重線上に盛り付けパイプ部と平板部を均一の高さにして荷重を加えた。

スパン中央部及び荷重点におけるたわみをダイヤルゲージにより測定し、スパン中央部においてゲージ長 20mm のひずみゲージにより数十点のひずみを計測した。また、最高荷重点付近では荷重が安定しないので、スパン中央部に変位計 (TCL) を取り付け、ロードセルの出力と共に X-Y レコーダに記録し、最高荷重を読み取った。

20倍の目盛付拡大鏡により、ひびわれの観察をした。しかし、試験体が幅広のため、拡大鏡の利用できない場所においては目視により観察した。目視によるひびわれの発見が可能なひびわれ幅は、観察者の経験により異なるが、今回の実験においては 0.03 mm ~ 0.05 mm であった。

### (2) 試験結果

図 3.4.5 ~ 図 3.4.8 に試験体のスパン中央部におけるひずみ分布を示す。また、図 3.4.9 ~ 図 3.4.13 にたわみ荷重曲線を示す。それぞれの試験体のひびわれ発生荷重、最高荷重を表 3.4.4 に示す。

表 3.4.4 試験結果一覧表

試験体番号	曲げ方向	ひびわれ発生荷重Kg (モーメントKg·m)	ひびわれ発生箇所	最高荷重Kg (モーメントKg·m)	最高荷重状態	備考
A-1	リブ圧縮	500Kg (150Kg·m)	スパン中央付近 試験体辺部	1300Kg (390Kg·m)	リブのフェース 座屈, 溶接部はく離	ひびわれ発生後幅はあまり増さない。
A-2	リブ引長	123Kg (36.9Kg·m)	リブ側面	2000Kg (6000Kg·m)	リブのフェース 溶接部はく離	A-1と同じ
B-1	パイプ引張	180Kg (54Kg·m)	スパン中央付近 試験体辺部パイ プ上にも	1550Kg (465Kg·m)	パイプ上部コン クリートはく離 全塑性	
B-2	パイプ圧縮	96Kg (28.8Kg·m)	試験体辺部	750Kg (225Kg·m)	パイプ上部コン クリートはく離 全塑性	
C	リブ及びバ イブ圧縮	1190Kg (357Kg·m)	試験体辺部	3420Kg (1026Kg·m)	リブのフェース 座屈 溶接部はく離	A-1と同じ

注 試験体B-1, B-2においては、ひびわれは初め荷重点上に発生したが、中央荷重点間にひびわれが発生したときの荷重をひびわれ発生荷重とした。

### 3.4.4 考察及び解析

#### (1) 有効幅及び曲げ剛性

図3.4.5～図3.4.8のひずみ分布において、試験体A-1, Cについては計測値がかなりバラッキがあるため有効幅を読み取れないが、A-2, B-1, 及びB-2については、そのひずみ分布から有効率（有効幅／板幅）を求める、A-1は0.5, B-1及びB-2は1.0である。

次に、たわみ荷重曲線及びひずみ荷重曲線から、次のようにして曲げ剛性を求める。すなわち、曲げ剛性をEIとし、図3.4.20に示すように、荷重Pによる中央たわみをδとする、次式によりたわみ荷重曲線から曲げ剛性がえられる。

$$EI = \frac{P\ell^3}{16 \cdot \delta} \quad (3.4.1)$$

式(3.4.1)を用いて求めた曲げ剛性を、図3.4.9～図3.4.12に示す。

また、試験体圧縮側ひずみ $\epsilon_c$ 、引張側ひずみ $\epsilon_t$ 及び、曲げモーメントMとの間には、図3.4.21により次式の関係がある。

$$M/EI = -\frac{1}{\rho} \quad (3.4.2)$$

$\rho$ ：曲率

$$EI = \frac{hM}{\epsilon_t - \epsilon_c} \quad (3.4.3)$$

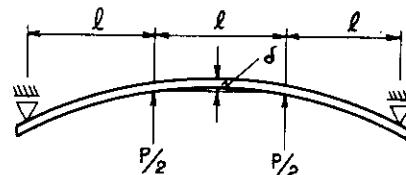


図 3.4.20

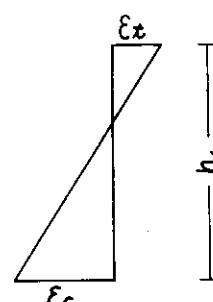


図 3.4.21

$$EI = \frac{hP\ell}{2(\epsilon_t - \epsilon_c)} \quad (3.4.4)$$

式(3.4.4)を用いて求めた曲げ剛性を図3.4.14～図3.4.19に示す。

次に、コンクリートの引張剛性を無視して、計算により曲げ剛性を求めた。

このときコンクリートの圧縮剛性  $E_c$  は、表3.4.3から  $2.15 \times 10^3 \text{ Kg/mm}^2$  とし、一方、鉄筋及び金網部分については、等価な断面積  $A_e$  をもつコンクリートと見做して曲げ剛性を求めた。なお、 $A_e$  は次式から算出した。

$$A_e = \frac{E_s}{E_c} \times A_s \quad (3.4.5)$$

$E_s$  : 鋼のヤング率 ( $2.10 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2$ )

$A_s$  : 鉄筋あるいは金網の断面積

有効率は、試験体A-1, A-2について0.5とし、試験体B-1, B-2については1.0とした。これらをたわみあるいはひずみから求めた曲げ剛性と比較のため、図3.4.9～図3.4.17に示す。また、参考のため試験体A-1, A-2については有効率1.0の値も同図に示す。

## (2) ひびわれ応力

ひびわれが発生するまでは、コンクリートの引張剛性を無視できないので、ここではコンクリートの引張剛性を圧縮剛性と同じと見なして断面係数を求め、ひびわれ応力を求めた。このようにして求めたひびわれ応力を表3.4.5に示す。ここで鉄筋及び金網は、フェロセメント板体においては無視できるが、今回の実験模型であるフレーム付き平板においては無視できないので、(1)と同様に実際の面積の  $E_s/E_c$  倍の面積をもつコンクリートとして取扱った。また、試験体A-1及びA-2については有効率0.5とし、試験体B-1, B-2については1.0とした。試験体Cについては、2本のリブはそれぞれ試験体Aと同じ有効幅の板付きとし、パイプ部は、この場合、引張応力状態となるので、曲げが主であった試験体Bとは同じ有効幅を持つとは考えられないで、ここでは試験体Aと同じ有効幅の板付きとした。

表3.4.5 ひびわれ応力

試験体番号	ひびわれモーメント $\text{Kg} \cdot \text{m}$	断面係数 $\text{mm}^4$	ひびわれ応力 $\text{Kg/mm}^2$
A-1	150.0	$6.74 \times 10^5$	0.22
A-2	36.9	$1.83 \times 10^5$	0.20
B-1	54.0	$5.14 \times 10^5$	1.05
B-2	28.8	$1.27 \times 10^5$	0.23
C	357.0	$1.51 \times 10^5$	0.24

ひびわれ応力は、試験体B-1を除いて約  $0.22 \text{ Kg/mm}^2$  であり、セルタルの引張強度とほぼ同じである。次にA-1及びC試験体においては平板部が引張り応力状態になる。そのときの平板部の平均応力  $\sigma_{mp}$  は次式から求められる。

$$\sigma_{mp} = \frac{\frac{E_s}{E_c} + A_{sp}}{A_{cp} + A_{sp}} \cdot \sigma_{cp}$$

$A_{cp}$  : 平板部コンクリート断面積

$A_{sp}$  : 平板部鋼部分の断面積

$\sigma_{cp}$  : 平板部板厚中心におけるコンクリートの応力

このようにして求めたひびわれ平均応力は A - 1 では  $0.29 \text{ Kg/mm}^2$ , C では  $0.31 \text{ Kg/mm}^2$  であり, 3.3におけるC型試験片の引張試験によるひびわれ応力は  $0.57 \text{ Kg/mm}^2$  であるのと比べて, かなり低い値となっている。

また, 3.3におけるC型試験体の曲げ試験によるひびわれ応力は  $0.83 \text{ Kg/mm}^2$  であり, パイプ付き板試験体 B - 1, B - 2 のそれはそれぞれ  $1.05 \text{ Kg/mm}^2$ ,  $0.23 \text{ Kg/mm}^2$  である。

### (3) 最終強度

表 3.4.6 崩壊モーメント

試験体番号	崩壊モーメント $\text{Kg} \cdot \text{m}$ (実験値)	塑性断面係数 $\text{mm}^3$	全塑性モーメント $\text{Kg} \cdot \text{m}$ (理論値)	実験値／理論値
A - 1	390	$1.39 \times 10^5$	737	0.53
A - 2	600	$8.40 \times 10^4$	445	1.35
B - 1	465	$5.84 \times 10^4$	310	1.50
B - 2	225	$4.74 \times 10^4$	251	0.90
C	1026	$3.51 \times 10^5$	1860	0.55

コンクリートは, その圧縮強度の応力で全塑性になるとし, また, 鉄筋及び金網はその降伏応力で塑性化するとし, 試験体の全塑性モーメントを求めた。その結果を表 3.4.6に示す。このとき有効幅は, (2)におけるものと同一とし, また, コンクリートの圧縮強度  $\sigma_{cy}$  は表 3.4.3より  $5.3 \text{ Kg/mm}^2$  とし, 鉄筋及び鉄網部分については, 等価な断面積  $A_e$  を持つコンクリートと見做して全塑性モーメントを求めた。ここで  $A_e$  は次式から算出した。

$$A_e = \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{cy}} \cdot A_s \quad \dots \dots \dots \quad (3.4.6)$$

$\sigma_{sy}$ : 鋼の降伏応力

$A_s$ : 鉄筋あるいは金網の断面積

なお, 鋼の降伏応力は  $28 \text{ Kg/mm}^2$  とした。

試験体 A - 1, B - 2 及び C では, 実験による崩壊モーメントは塑性解析によるそれより低い値を示しているが, これは試験体 A - 1 及び C ではリブのフェースが座屈したこと, また, 試験体 B - 2 については, パイプ上のコンクリートが圧縮崩壊してはく離したことによるものと思われる。

### 3.4.5 まとめ

今回実施した 5 本の防撓板についての模型実験により次の結果を得た。

- (1) 有効幅と板幅との比は, リブ型フレーム (A - 1, A - 2) の場合は約 0.5, パイプ型フレームの場合は約 1.0 であった。これらの値は, 試験体のひずみ分布及び曲げ剛性についての試験結果を参考にしてきたものである。
- (2) ひびわれ応力については, モルタルの引張強度よりやや低い程度であった。
- (3) 試験体の最終強度については, フレームが圧縮側となる場合には, その座屈あるいはコンクリートのはく離などの影響により塑性解析による崩壊荷重よりかなり低い値をとる。一方, フレームが引張になる場合には上記計算と比べて高い値をとる。

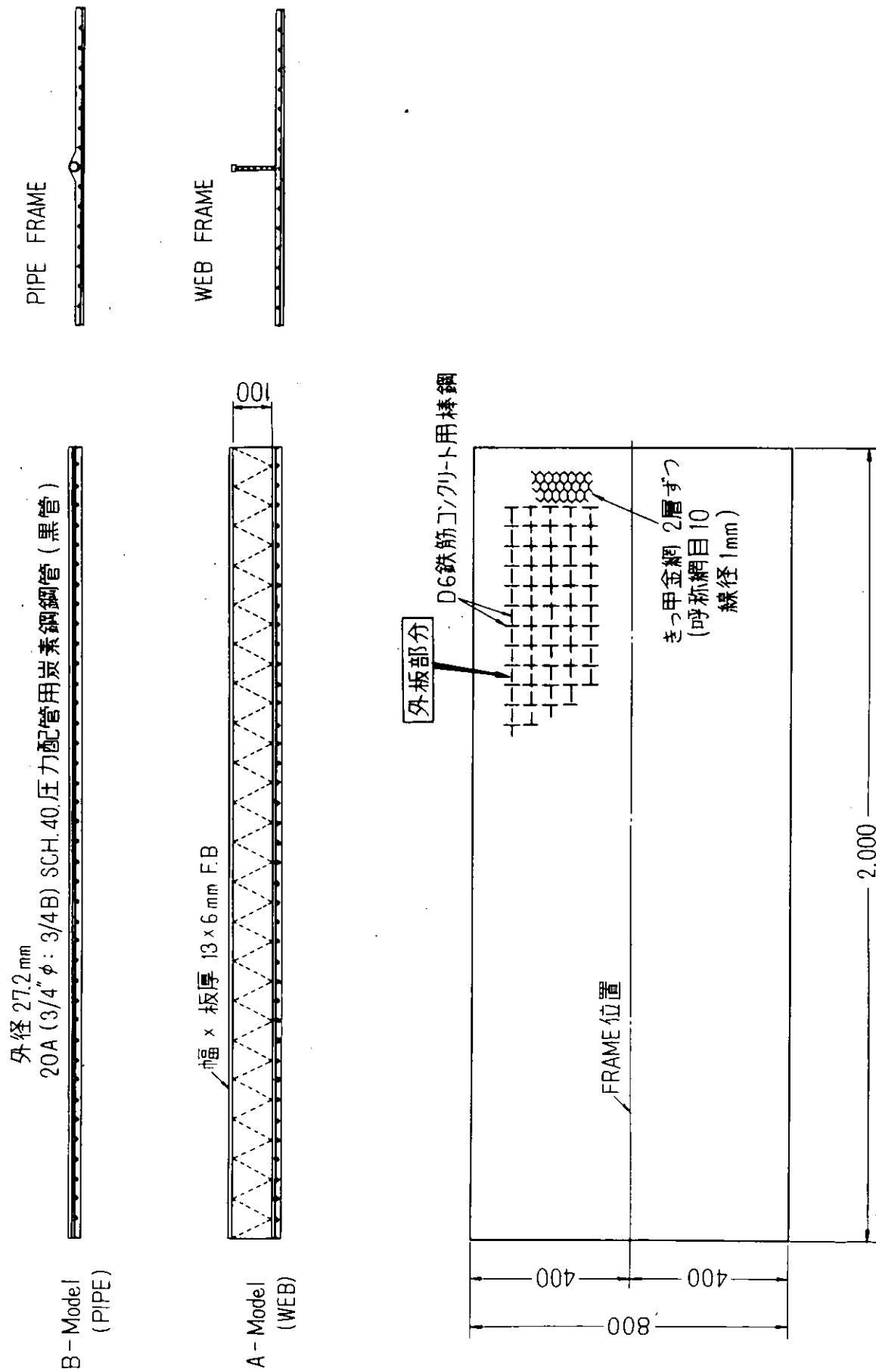
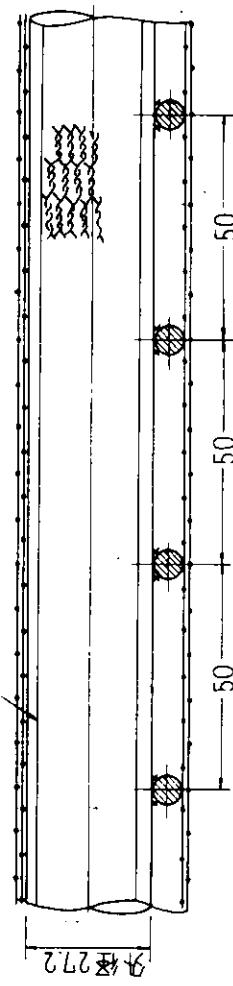


図 3.4.1 試験模型 A 及び B ~ Model 概略図

B-Model : PIPE FRAME

20A SCH 40 壓力配管用炭素鋼鋼管 黒管 (JIS G3454)



A-Model : WEB FRAME

13 x 6 F.B (SS41)

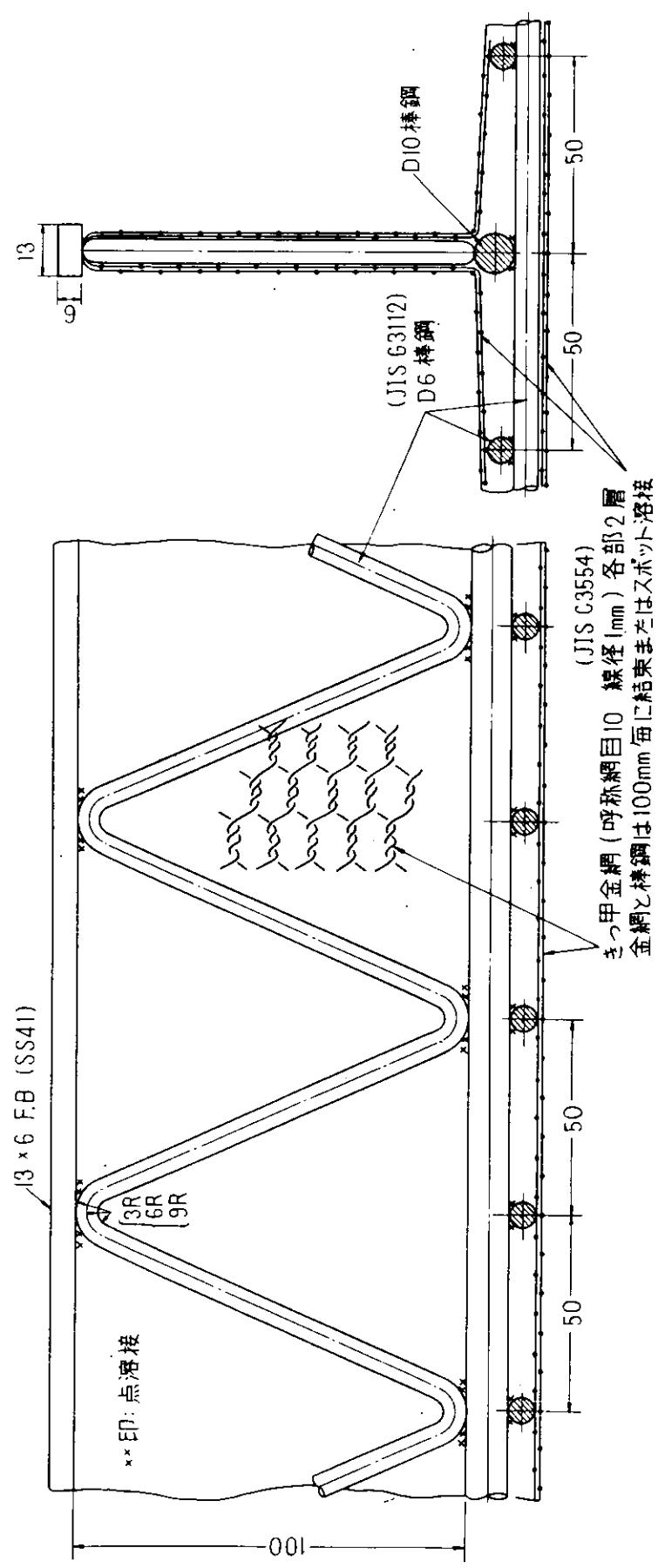
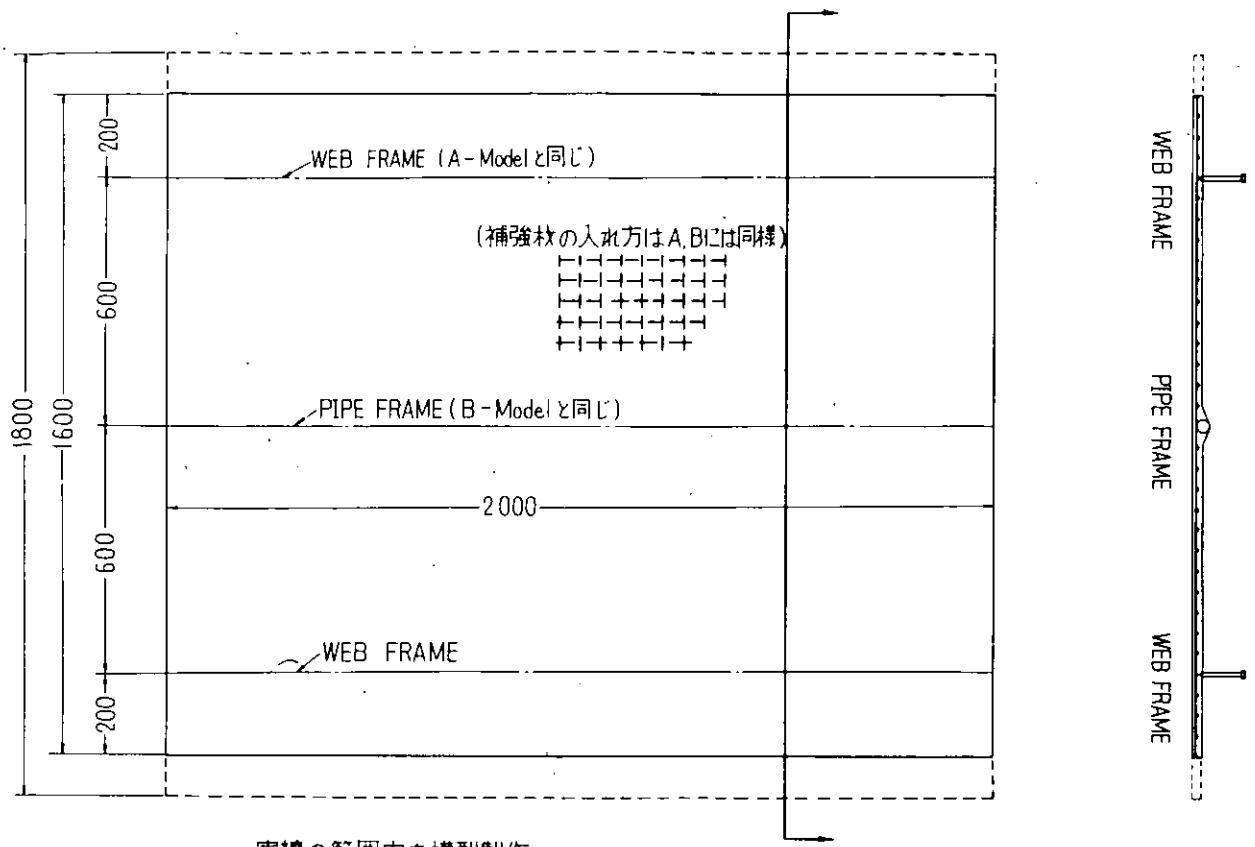


図 3.4.2 A 及び B - Model 詳細図



実験の範囲内を模型製作

図 3.4.3 C - Model 概略図

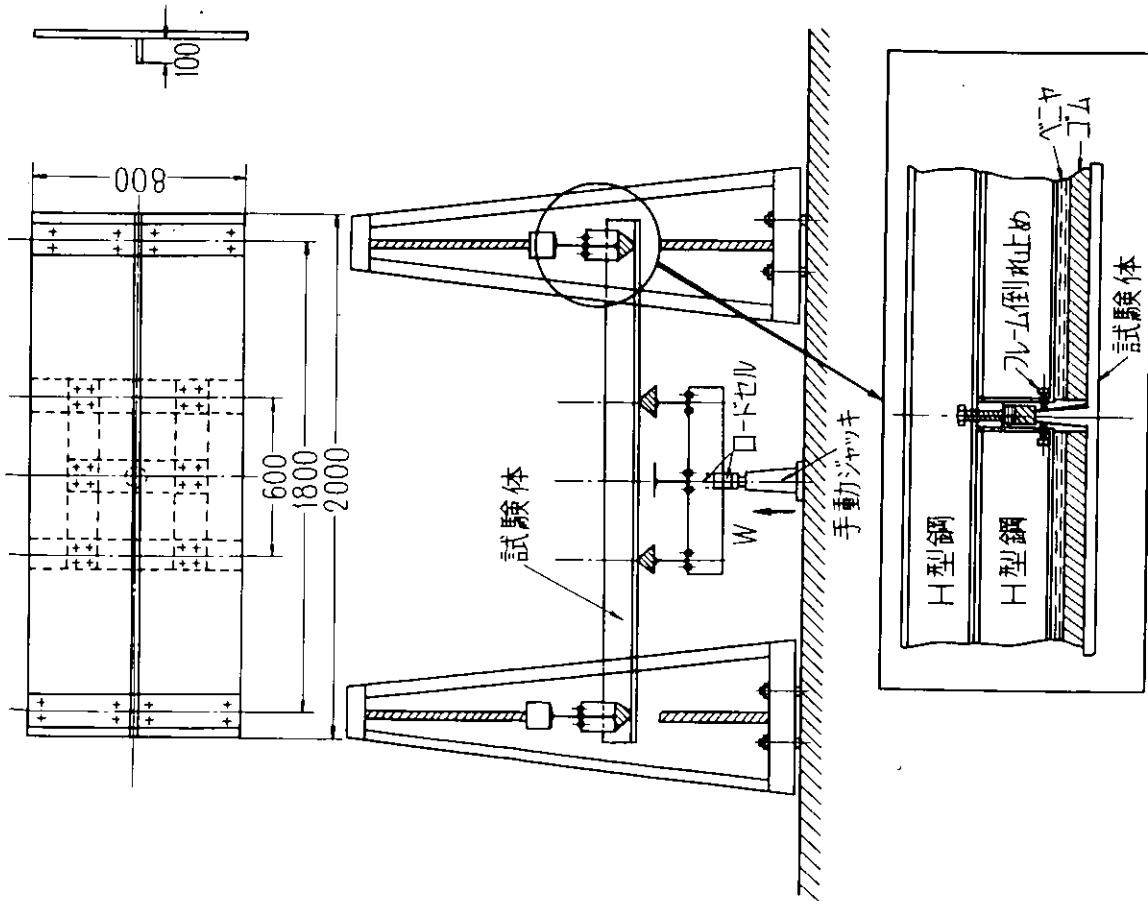


図 3.4.4 試験方法概略図

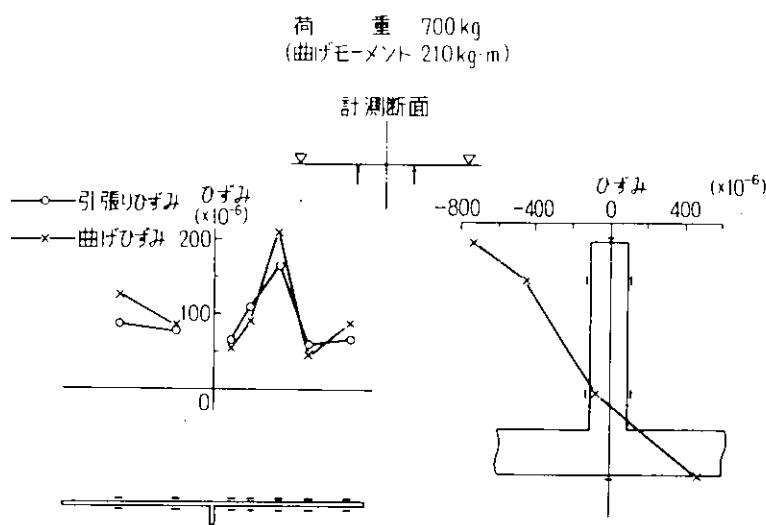


図 3.4.5 ひずみ分布 (A-1)

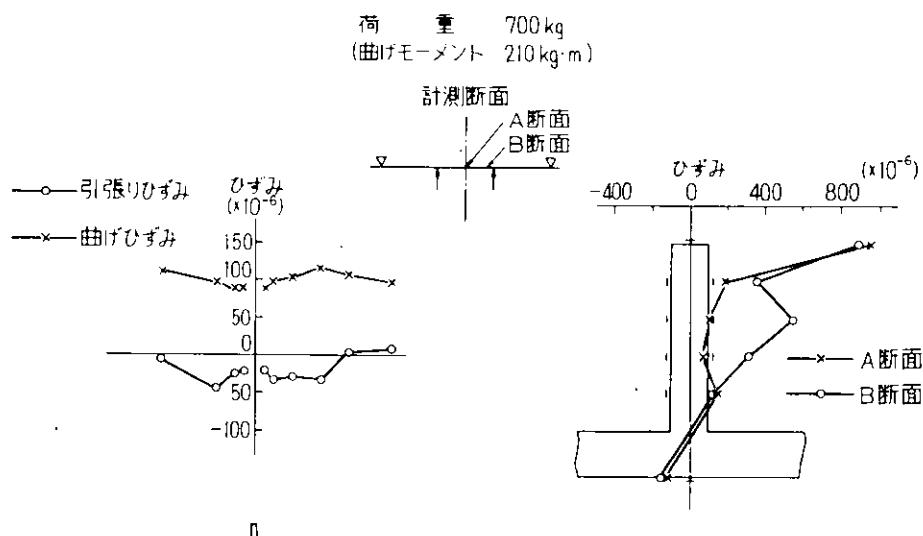


図 3.4.6 ひずみ分布 (A-2)

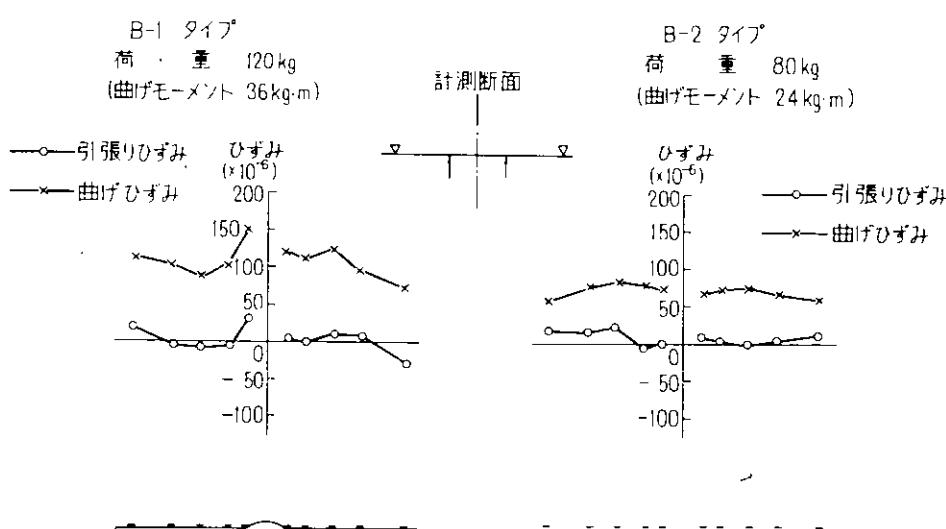


図 3.4.7 ひずみ分布 (B)

図 3.4.8 ひずみ分布 (C)

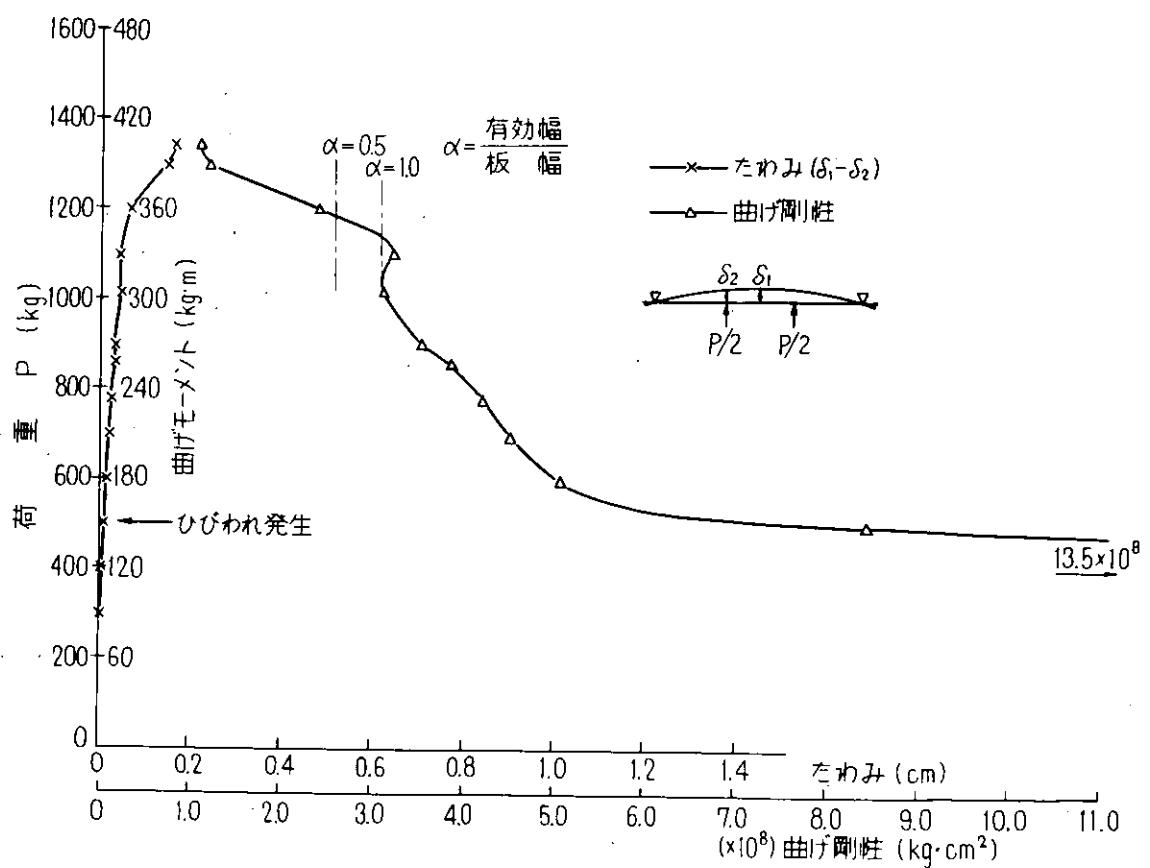
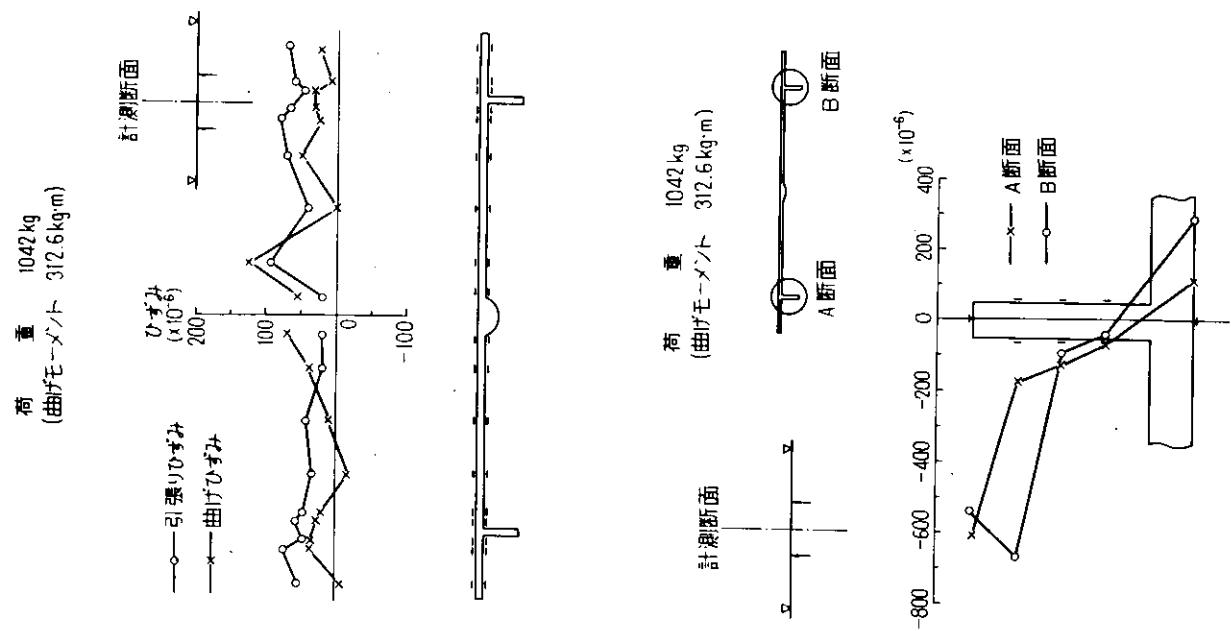


図 3.4.9 たわみと曲げ剛性 (A-1)

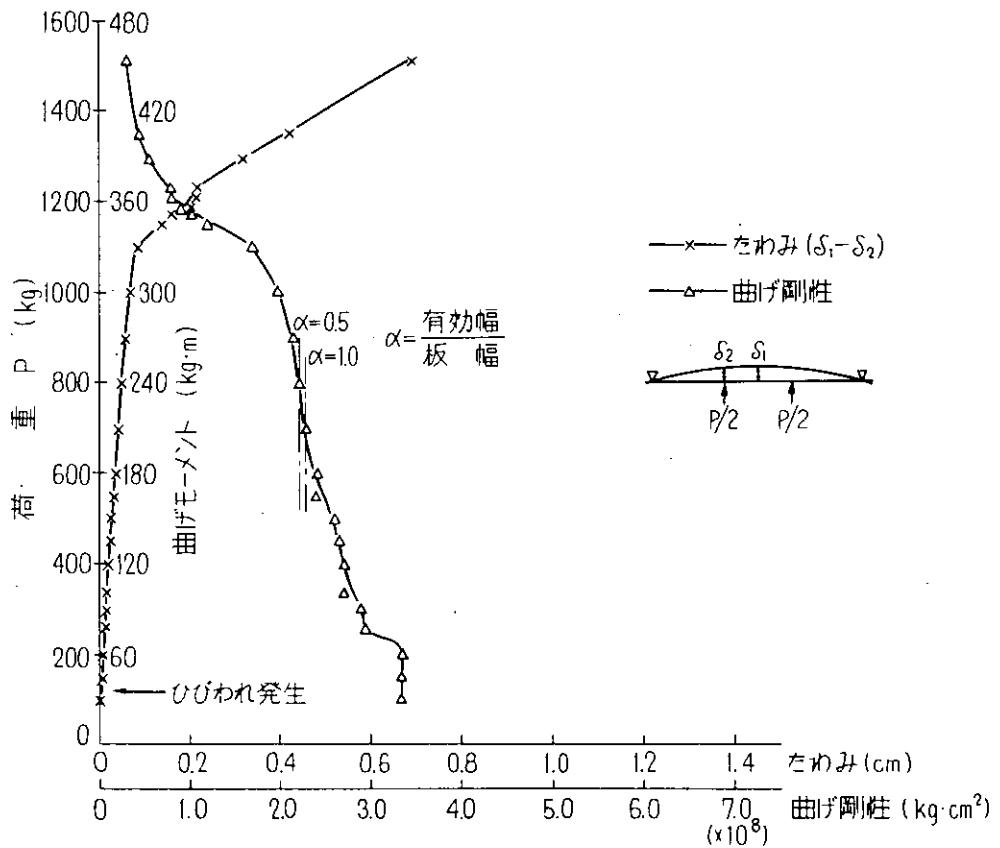


図 3.4.10 たわみと曲げ剛性 (A-2)

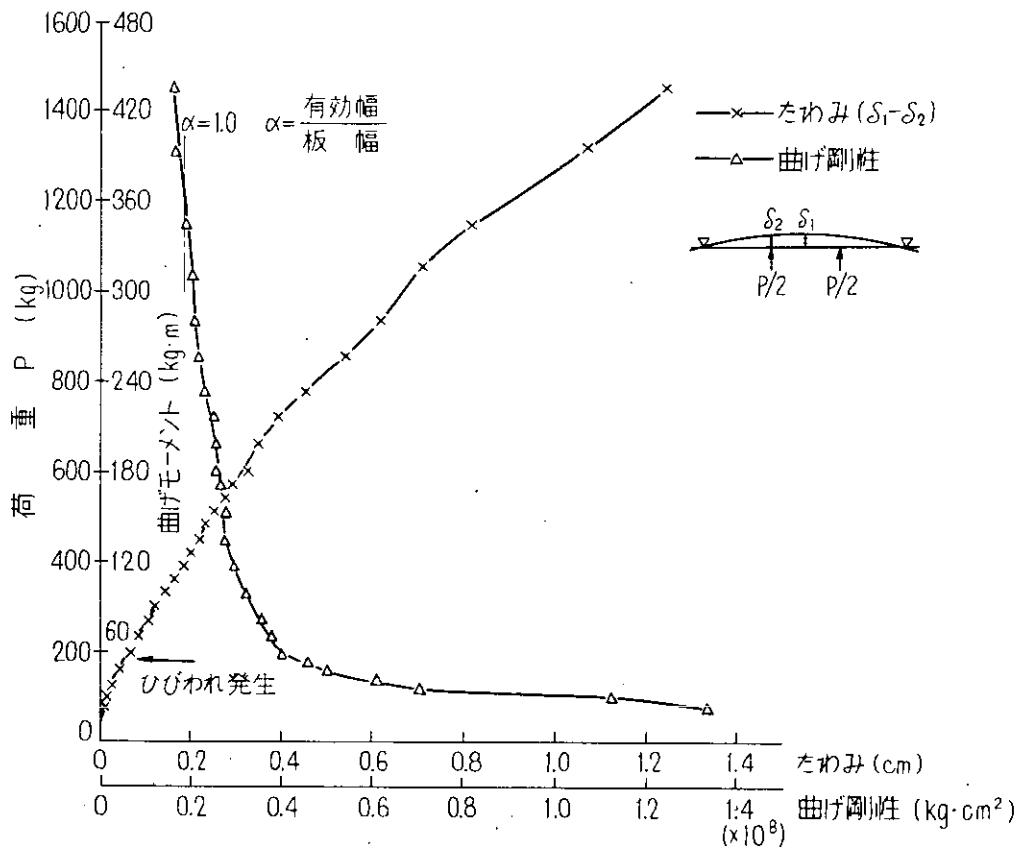


図 3.4.11 たわみと曲げ剛性 (B-1)

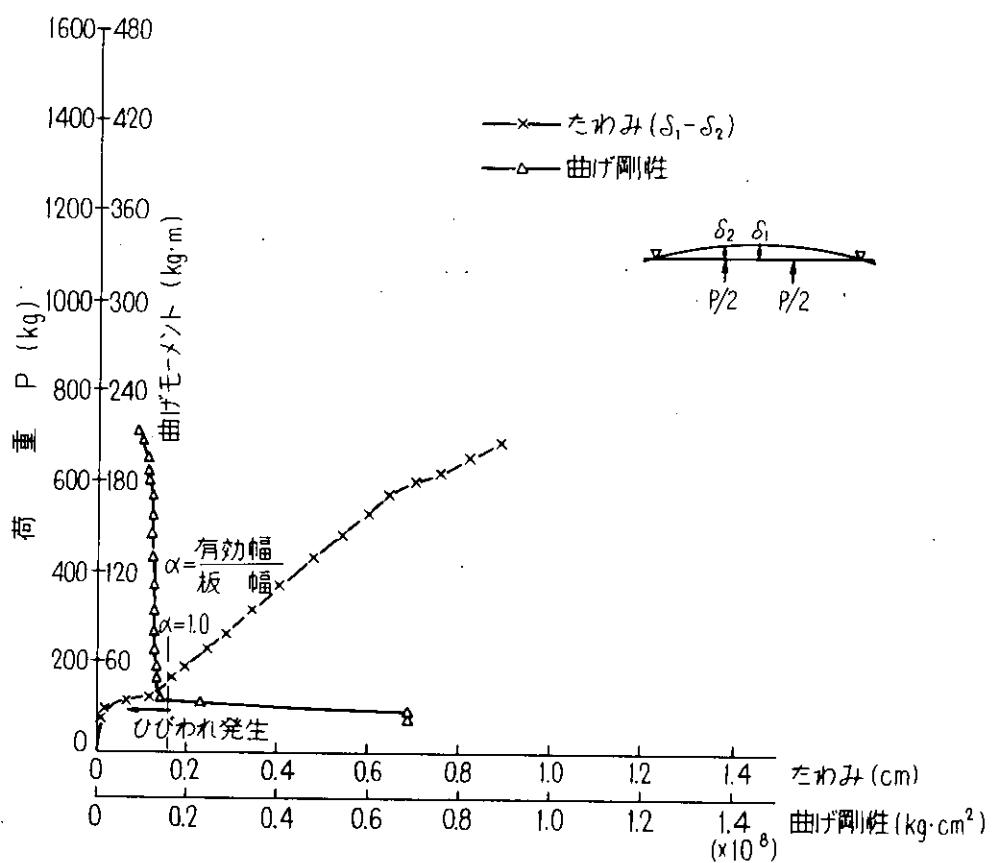


図 3.4.12 たわみと曲げ剛性 (B-2)

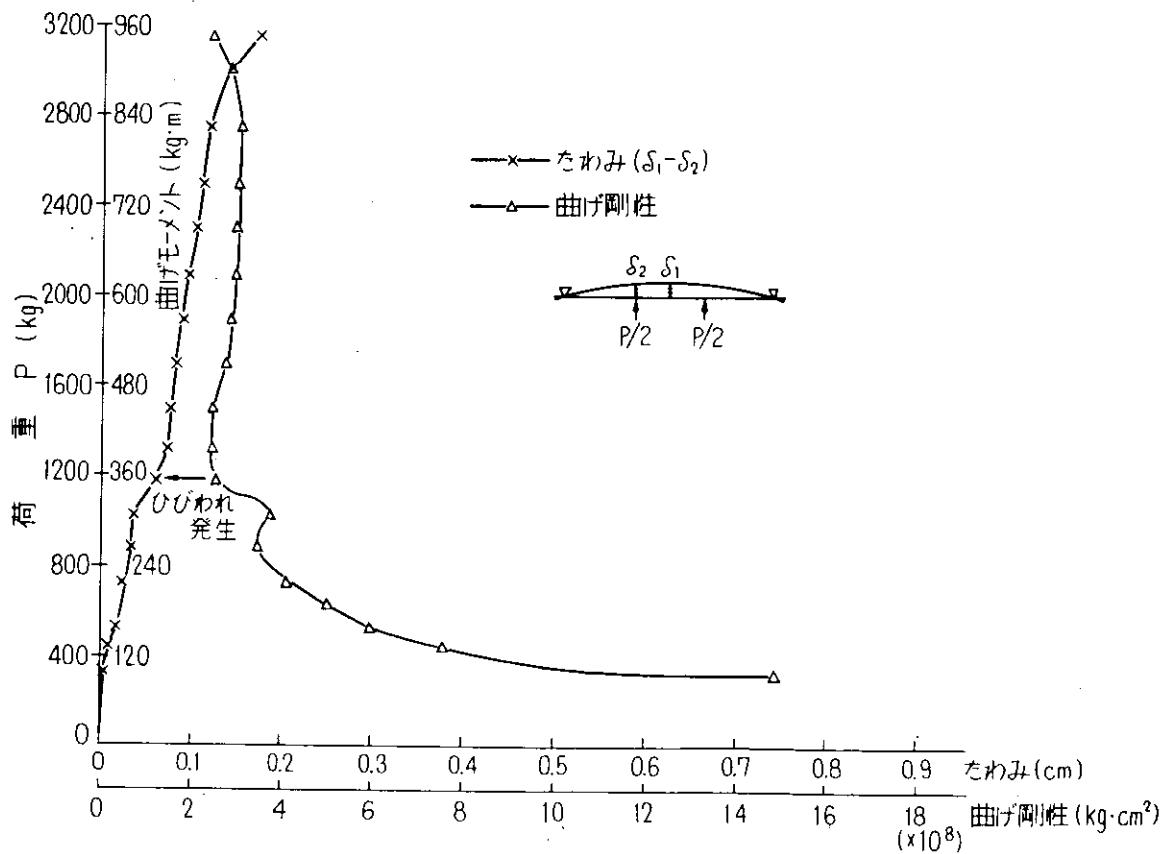


図 3.4.13 たわみと曲げ剛性 (C)

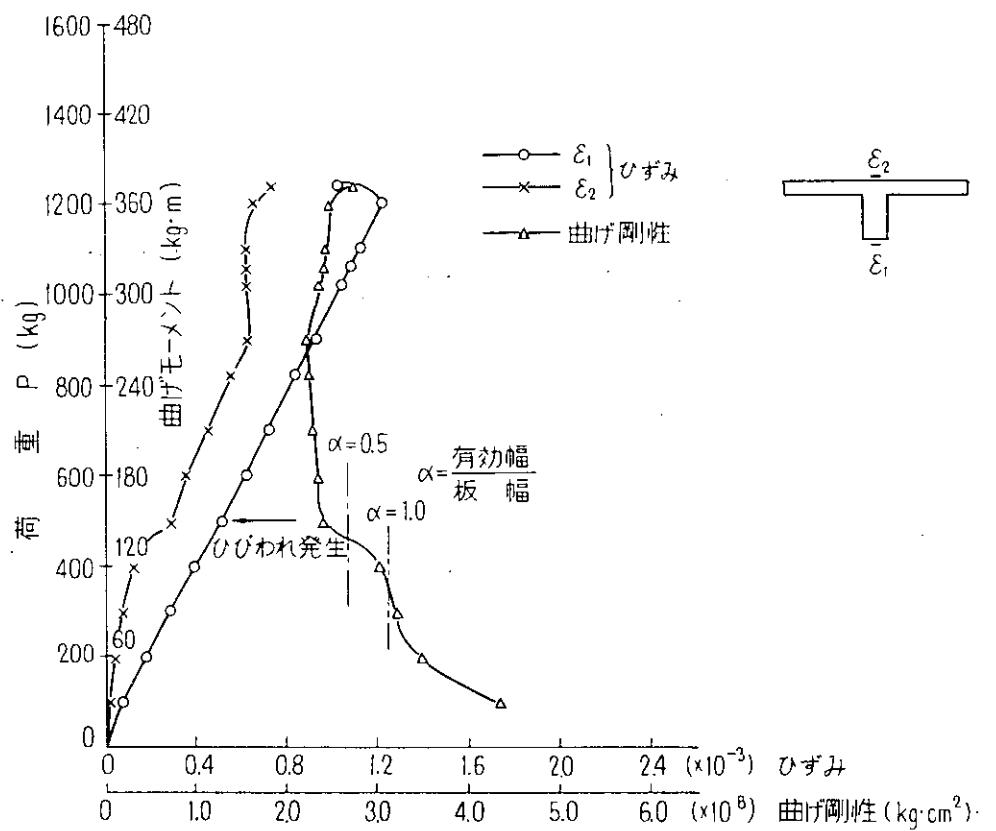


図 3.4.14 ひずみと曲げ剛性 (A-1)

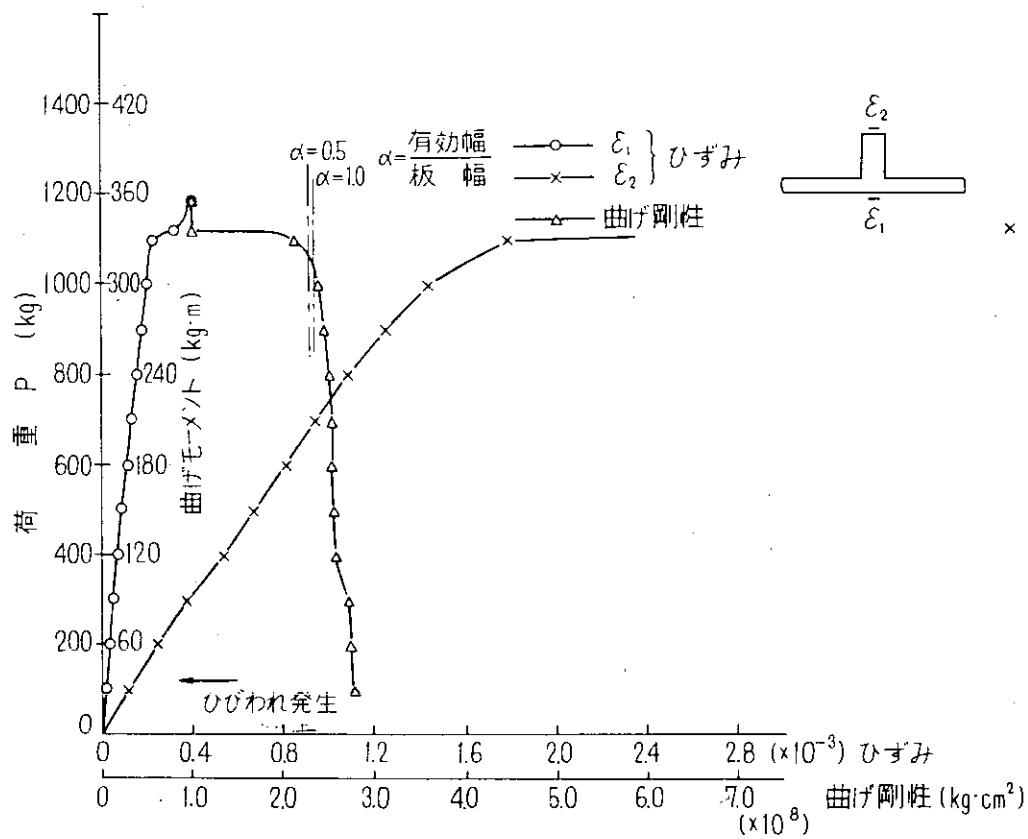


図 3.4.15 ひずみと曲げ剛性 (A-2)

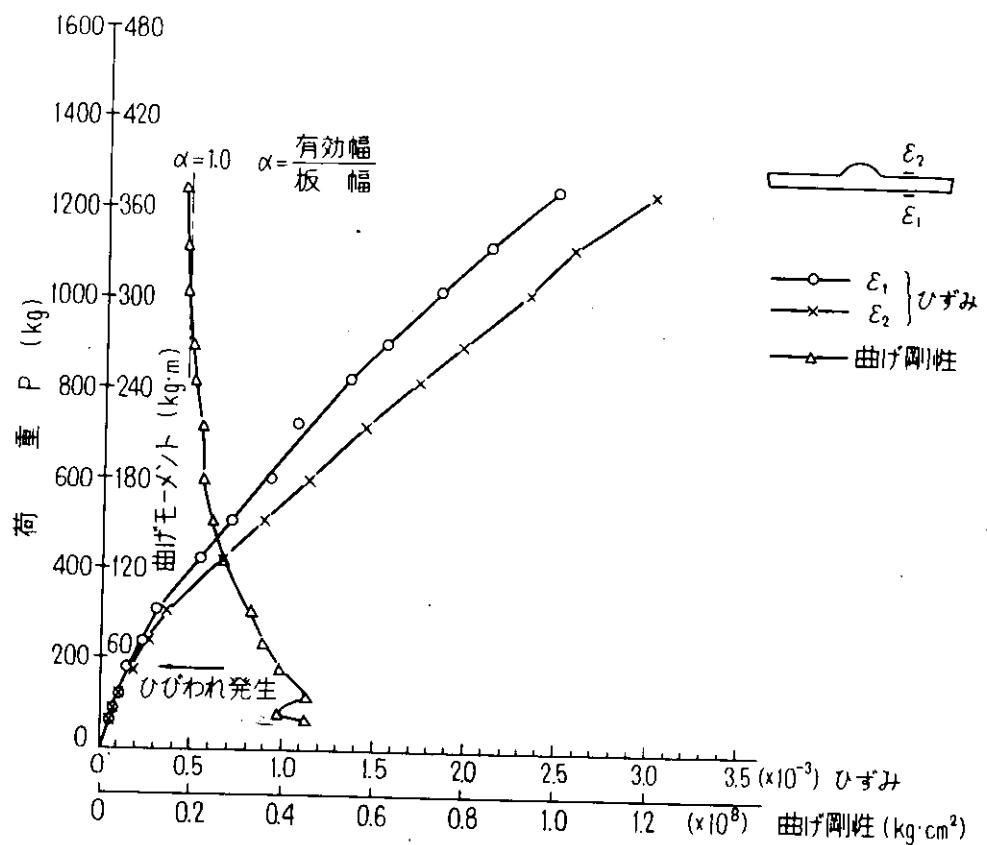


図 3.4.16 ひずみと曲げ剛性 (B-1)

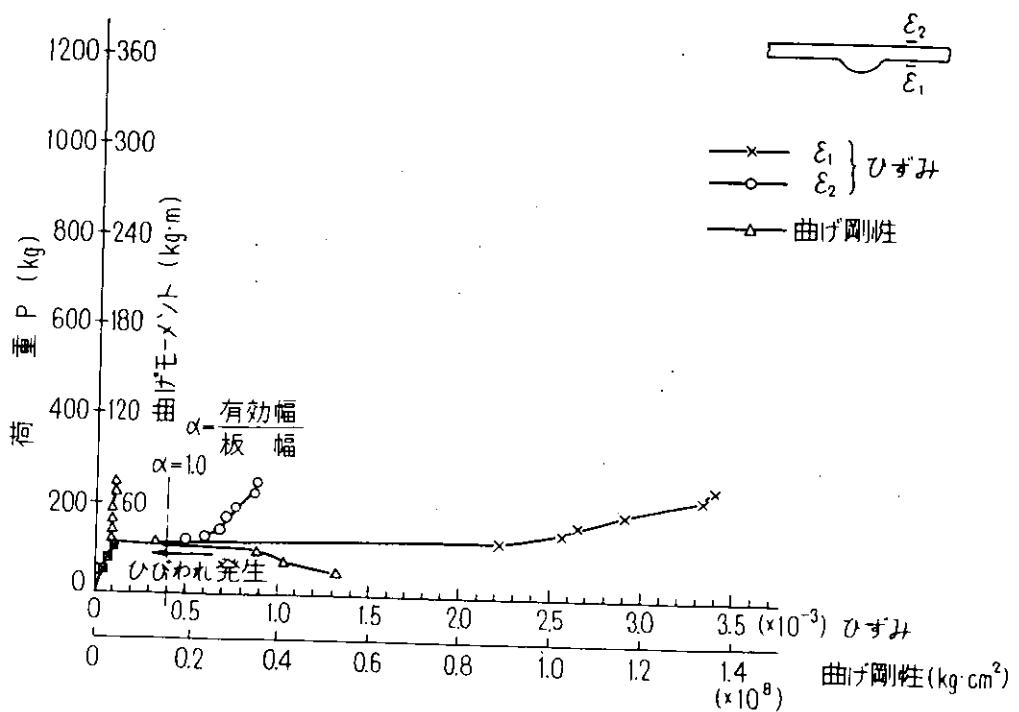


図 3.4.17 ひずみと曲げ剛性 (B-2)

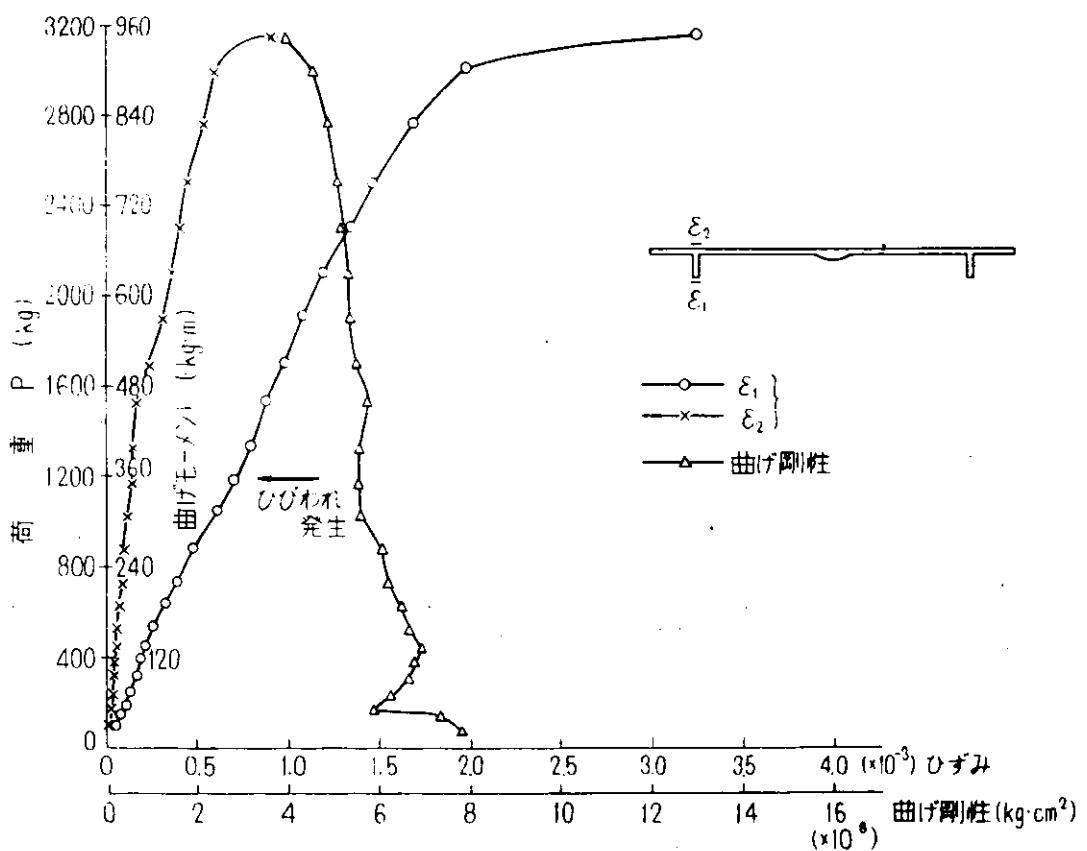


図 3.4.18 ひずみと曲げ剛性( C )

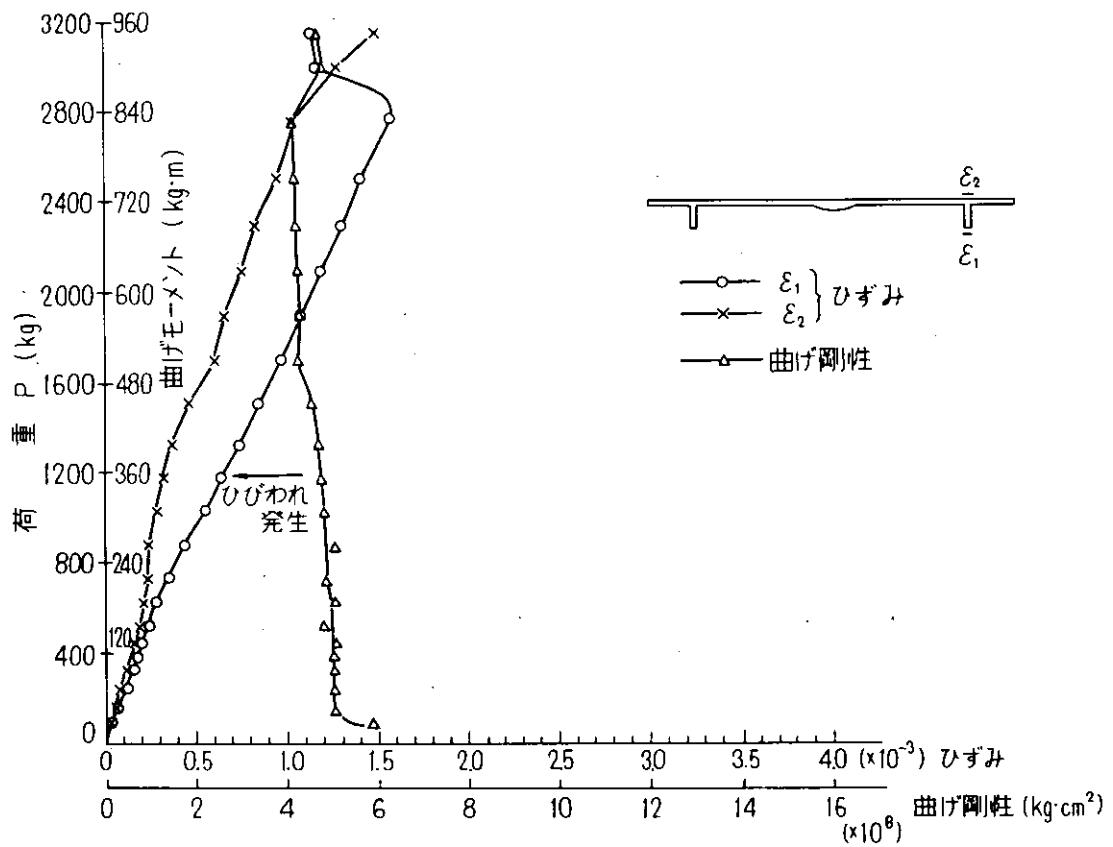


図 3.4.19 ひずみと曲げ剛性( C )

### 3.5 パネルの水圧疲労試験

#### 3.5.1 目的

実船の船底あるいは船側外板のようなパネル部材には、面外の水圧と周辺から伝達される面内力やモーメントが作用し、かなり多軸性の高い応力状態となっている。

フェロセメント板は、船体を構成するにあたり、縦強度や横強度を考慮するため、一般には配筋が方向によって異なる。このような異方性のあるパネルは、例えばN V規則にあるような4点曲げでは一方の鉄筋が遊ぶことになるので、相互の鉄筋の相乗効果などを含めた総合的な評価は行いにくい。

さらに、コンクリートは水に接触している場合、内部で水和反応が進行する。したがって、水圧を使ったフェロセメント板の試験は、実際的なデータを提呈すると期待される。

本研究の目的は、実際に近い条件のもとで静的ならびに動的な強度試験を行って、設計、検査等に有益な資料を得るとともに、従来、簡便に行われている四点曲げ試験等の試験結果との相関について考察することにある。

今年度は試験装置の試作を行い、合せてN V規則のA型とD型のフェロセメント板について各2体の試験を行ったので、ここに報告する。

#### 3.5.2 試験装置

図3.5.1に試験装置の概念図を示す。小型の油圧サーボ疲労試験機を用い、低圧シリンダで静的あるいは動的な油圧を発生させる。発生した油圧は、油圧水圧変換器（トランスファーバリアアキュームレータ）により水圧に変換され、水圧は耐圧ホースにより試験盤に導かれて試験片に作用する。写真3.5.1に低圧シリンダ、写真3.5.2に油圧水圧変換器及び貯水槽など、写真3.5.3に試験盤を示す。

試験盤は図3.5.2に示すように、厚さ50mmの普通鋼板にステンレス鋼製のワクを溶接した構造である。底部には制御用あるいは測定用の水圧ピックアップが取付けられている。

800mm×800mmの試験片の中央ほぼ700mm×700mmの部分に水圧をかけるが、周辺条件をなるべく単純支持に近い状態にするため、試験盤の支持部は次のような構造を採用した。試験盤の試験片との接触点には溝を設けてOリングを取りつけた。コンクリート試験片は平面度が期待できないため、試験片を直接Oリングに当てず、試験片のOリングに当る部分にシリコンシール剤によってステンレス製の枠をとりつけた。そして写真3.5.4に示すように、シャコ万力の形式の治具でOリングの部分を上下から押えたが、周辺での試験片の撓み角を許し、モーメントを逃がすため、円弧状断面の金具とペアリングローラーとを用いた。支持部の水密性に関しては結果は良好で、50mm厚の鋼板を用い、10kg/cm<sup>2</sup>までの水圧試験を行ったが、充分試験圧に耐えた。

表3.5.1に本試験装置の主な性能を示す。本装置の水圧計の校正結果を表3.5.2に示す。

#### 3.5.3 試験片

試験片はN V規則のA型とD型の2種類である。すなわち、A型は板厚30mmの中に1mmφ、ピッチ10mmの織金網を11層入れたものであり、D型は同じく30mmの板厚の中に6mmφ軟鋼鉄筋を3層、その上下に上と同じ織金網を各2層計4層入れたものである。図3.5.3にN V規則の諸係数とともに形状と設計寸法を示す。

使用したモルタルの配合を表3.5.3に、4週間強度を表3.5.4に示す。試験片の板厚等の実測寸法を表3.5.5に示す。

A型D型とも試験片は各2体製作したが、A型の1号（A-1）とD型の2体（D-1及びD-2）は鋼製型枠にビニールシートを張って打設したため、下側にビニールシートのしわで深さ3～5mmのへこみがかなりあった。A-2は型枠に直接打設したので、表面は多少荒いがかなり良い平面となっている。

#### 3.5.4 試験方法

試験片の上面に、A型については図3.5.4に、D型については図3.5.5に示すように24点に歪ゲージを貼付し、それぞれ5点に撓み計を置いて、下面から水圧をかけながら計測を行った。

歪ゲージはコンクリートの透水性に対する考慮から防水型を用い、歪分布を測定するため、コンクリートとしてはき

わめて短い 10 mm のゲージ長さのものを採用した。

約 30 cm 水頭の圧力で歪計等の 0 点をとり、圧力指示値を 0 とするよう試験機の調整を行った。以下の圧力値はこの試験機の指示値である。

試験水圧を徐々に上昇させ、途中適当な圧力を保持しながら歪と変位の測定を行った。ある程度以上に水圧が上昇するとひび割れが生じ、さらに水圧が上ると割れから漏水が起る。漏水は圧力が上昇するに従い、だいぶひどくなり、ついには圧力の保持が困難になるので、そこで試験を終了させた。一部の試験片については漏水がひどくなつてから繰返し水圧をかけて、破壊の進行を観察した。

### 3.5.5 試験結果

歪ゲージと撓み計の測定結果をそれぞれ表 3.5.6 と表 3.5.7 に示す。歪ゲージと撓み計の番号は図 3.5.4 及び図 3.5.5 に示す通りである。

表 3.5.8 に各試験片のひび割れ発生圧力、漏水開始圧力などをとりまとめて示す。

### 3.5.6 考 察

#### (1) 周辺支持条件

図 3.5.6～9 に周辺の支持部付近に貼った歪ゲージの出力と圧力の関係を図示する。試験片 A-1 と A-2 に関しては、対角線上にある歪ゲージ以外は、ひび割れ圧力をこえて漏水が開始する圧力近くまであまり大きな歪値は生じておらず、少なくともひび割れ圧力程度までは良くモーメントを逃していると言える。漏水を開始するところから圧縮歪が生じており、かなり大変形になってしまっても周辺部の膜応力は小さいものと考えられる。それに対し、D-1 及び D-2 の場合、中央の 4 番は終始ほとんどゼロに近いものの、2 番と 3 番はひび割れ圧力付近から引張歪が現われている。これは A 型よりも D 型が大きな曲げ剛性を有しているためと考えられる。1 番に関しては、D-1 では引張歪であったのに対し、D-2 では圧縮歪であった。この点に関しては後に再びふれるが、打設した時のビニールのしわの差によって、破壊形式が変わったためと考えられる。

#### (2) 撓み

図 3.5.10～13 に測定した各点の撓みと圧力との関係を示す。いずれも中央が当然大きく、対角線上の 4 番が最も小さい値を示している。A-1 と A-2 は打設方法が異ったため、ひび割れ圧力や漏水開始圧力に差があり、撓みの挙動も  $0.30 \text{ Kg/cm}$  以下では異っているのが、 $1 \text{ Kg/cm}$  程度より高い圧力では測定した範囲内できわめて撓み量がよく一致している。一方、D-1 と D-2 についても、圧力が  $1 \text{ Kg/cm}$  付近以上では各点の撓み量が非常によく一致している。D 型の  $1 \text{ Kg/cm}$  における中央の撓みは約 4 mm であり、A 型の約 6 mm よりもかなり少ない。

撓みの分布図を図 3.5.14～17 に示す。最初に中央にひび割れを生じた A-1 では 5 番あたりに変曲点があるように見える。対角線上の分布ではいずれも周辺条件の影響を受けて、変曲点を持つ曲線分布をしている。

D 型は配筋の異方性が特徴であるが、今回の実験では 2, 3 及び 5 番の撓み量にはほとんど差が見られず、分布図の上でも異方性は明らかではない。

撓み量の測定結果は、ひび割れ圧力を超えた圧力に対してはバラツキが少なく、配筋の差による相違も明らかに生ずるので、構造設計のパラメータとして撓み量は有用なものである。配筋の異方性による差は明らかではなかったが、今後さらに検討して行くつもりである。

#### (3) 歪

歪の測定には抵抗線歪計を用いたが、一般にかなりバラツキが大きかった。図 3.5.18 及び 3.5.19 の比較では、前者では中央の 17 番と 12 番とが非常に他よりも高い値を示しているのに對し、後者では同じ A 型でありながら中央部がほぼ一様に歪を生じている。D 型についても図 3.5.20 及び 3.5.21 の比較でも、前者は中央だけが非常に大きな歪を生じているのに、後者では 11 番と 12 番がほぼひび割れ圧力あたりから同じ値となっている。このことは、相当低い圧力ですでにひび割れを生じていたことを示すもので、歪値の物理的な意義が少なくなっている。

試験片の対角線上の歪についても図 3.5.22～3.5.25 に見るように、全体を通しての一貫した傾向を見出すことができない。ただし、図 3.5.23 の A-2 試験片については、ひび割れ圧力あたりから 17 番と 10 番が急に大きな値を示し、ひび割れ圧力との対応を示しているように思われる。

従って、歪測定はごく低圧の場合についてのみ詳細に行われるべきものである。また、設計の際の指標としてはかなり使用が限定される。

#### (4) ひび割れ圧力と最大圧力

A型は A-1 と A-2 とで打設方法が異なるため、強度差が現われている。今回の実験では微細な幅 0.025 mm 程度の亀裂はとらえることができず、肉眼で見出しうる幅約 0.2 mm の亀裂の発生を観察した。A-1 の場合は、最初にパネルの中央に亀裂が  $0.48 \text{ Kg/cm}^2$  で発見され、 $0.72 \text{ Kg/cm}^2$  で 4 隅の対角線に沿った亀裂の発生を見た。A-2 では、 $0.75 \text{ Kg/cm}^2$  で 4 隅の対角線に沿った亀裂と中央の亀裂とが同時に発見された。

D型の場合、亀裂はいずれも隅部の対角線付近に最初に発生した。最初の亀裂は配筋の影響があまり明確には表わされてはいなかったが、後に中央部に生じた亀裂は直下の鉄筋の上に集中して発生した。ひび割れが発生した水圧は約  $0.7 \text{ Kg/cm}^2$  であり、A-1 と比較すると約 50 % 高い。

試験片の上面に水が漏れるのは全て隅部からであって、最初に試験片中央に亀裂を発生した A-1 の場合も例外ではなかった。表 3.5.8 の A-2 の項で支持部水漏れとあるのは試験片の変形に、シリコンシール剤でとりつけた枠の変形が追隨せず、シールの一部が破れたためであった。試験片の上面に水が漏れた箇所は、その下面にも大きな亀裂またはモルタルのはがれがあったところであった。亀裂の場合は写真 3.5.5 に示すように、対角線と直交する方向に走っていた (D-2)。モルタルのはがれは写真 3.5.6 に見るよう、対角線上に起つており、局部的な応力が圧縮強度を超えたためと考えられる。亀裂が生ずる型の下面の破壊は D-2 のみであり、D-1 は亀裂とはがれの両方が見られた。A型はほとんど全部がはがれ型であった。水漏れ発生圧力は A-2 が  $1.8 \text{ Kg/cm}^2$  であったのに対し、他は  $1.05 \sim 1.33 \text{ Kg/cm}^2$  であったが、この差は打設時の下面のくぼみによって生じたものと考えられる。試験片の 4 隅全部から水漏れする全面水漏れは D型が A型よりも優れていた。

最終試験圧力は、その試験片にかけた最大の圧力であるが、D型は A型よりも高い値を示している。また、その時の撓み量は一貫した傾向があったとは言いかたいが、A-2 型が最も大きな変形を示していた。

今回の実験結果を他の試験の結果と比較するのは、負荷方法が異なるために困難であるが、ひび割れ発生時の歪値について較べてみた。表 3.5.9 は 3.3 節の報告からひろった値であるが、4 点曲げ試験で  $750 \times 10^{-6} \text{ m/m}$ 、引張り試験で  $430 \sim 930 \times 10^{-6} \text{ m/m}$ 、3.4 節では約  $100 \times 10^{-6} \text{ m/m}$  程度のことが多かった。本節の場合、ひび割れの生じた付近の歪値は  $1500 \sim 2000 \times 10^{-6} \text{ m/m}$  であつて、歪の測定結果が示すように、それよりかなり以前に微小なひび割れが生じていたものと思われる。

### 3.5.7 結論

NV 規格の A型及び D型のフェロセメント板の静的水圧試験を行い、次の結論を得た。

- (1) 片面にひび割れを生じても、他の面が破壊しなければ水漏れは起らない。
- (2) 撓み量の測定結果は安定し、かつ一貫性があるので、設計資料としての有用性が期待される。
- (3) 歪量は、微小なひび割れの影響を受けやすく、試験結果を直接利用するについては注意が必要である。
- (4) D型は A型よりも強度的に優れているが、打設方法によっても大きな影響を受ける。
- (5) D型の強度的な異方性は認められなかった。
- (6) 試作した試験装置は、今回の試験で満足すべき性能を持つものであった。周辺支持条件はほぼ単純支持を実現することができた。

表3.5.1 水圧疲労試験機の性能

低圧 シリンダ	発生水圧	0 ~ 10 Kg/cm <sup>2</sup> G
	最大ストローク	140 mm ( 6.8 l )
油圧 - 水圧変換器	長大吐出量	10 l × 2
試験盤	使用圧力	最大 10 Kg/cm <sup>2</sup>
貯水槽	容量	110 l
安全装置		油混入, 偏差过大, 油温上昇, 油圧低下
駆動装置		
長柱型ユニバース		
容量	静的	最大 ± 10 tf
	動的	最大 ± 8 tf
静的ラムストローク		100 mm
試験周波数		0.01 ~ 50 Hz
制御波形		三角波, 正弦波, 方形波, 台形波
制御方式		荷重, ストローク
荷重検出	容量	10 tf
	感度	1 mV/V
ストローク検出	ストローク	100 mm
ポンプ	最大吐出量	14 l/min
	消費電力	11 kW

表3.5.2 圧力指示値の校正結果

測定範囲	基準圧力 <sup>*</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	基準指示値 (V)	指示値 (V)	誤差 (V)
Range × 1 ( 0 ~ 20 Kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.00	0.00	0.0
	2	-1.00	-1.01	0.01
	4	-2.00	-1.99	-0.01
	6	-3.00	-2.99	-0.01
	8	-4.00	-3.99	-0.01
	10	-5.00	-5.00	0.0
	12	-6.00	-6.00	0.0
	14	-7.00	-7.00	0.0
	16	-8.00	-8.00	0.0
	18	-9.00	-9.00	0.0
	20	-10.00	-10.00	0.0
Range × 1/2 ( 0 ~ 10 Kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.00	0.00	0.0
	2	-2.00	-1.98	-0.02
	4	-4.00	-3.96	-0.04
	6	-6.00	5.96	-0.04
	8	-8.00	7.95	-0.05
	10	-10.00	9.95	-0.05
Range × 1/5 ( 0 ~ 4 Kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.00	0.00	0.0
	2	-5.00	-5.02	0.02
	4	-10.00	-9.97	-0.03
Range × 1/10 ( 0 ~ 2 Kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.00	0.00	0.0
	2	-10.00	-10.36	0.36

\* 校正されている基準圧力を圧力ピックアップに与えて、試験機の表示を読んだ。低圧シリンダに圧縮を与える方向で圧力を発生させるので、指示計の値は負の値となる。

誤差 = 基準指示値 - 指示値

表 3.5.3 モルタルの配合

水 セメント 比	セメント 砂 比	絶対容積 ( $\ell/m^3$ )			単位重量 ( $Kg/m^3$ )			
		セメント	水	細骨材	セメント	水	細骨材	混和剤
38%	50%	205	242	498	648	242	1246	4.86

混和剤：花王石鹼：マイティ 150

表 3.5.4 モルタルの強度

	圧縮強度 ( $Kg/mm^2$ )	圧縮弾性係数 ( $Kg/mm^2$ )	引張強度 ( $Kg/mm^2$ )	曲げ強度 ( $Kg/mm^2$ )	曲げ弾性係数 ( $Kg/mm^2$ )
1	4.10	$2.09 \times 10^3$	0.34	0.70	$2.59 \times 10^3$
2	4.47	2.18	0.21	0.72	3.13
3	3.67	2.13	0.26	0.72	3.13
平均	4.08	$2.13 \times 10^3$	0.27	0.71	$2.95 \times 10^3$

表 3.5.5 試験片の寸法

Specimen Number		A-1	A-2	D-1	D-2
Side Length mm	Side 1, $a_1$	800	803	802.0	800.5
	Side 2, $a_2$	799	801	801.5	799.0
	Side 3, $a_3$	790	802	801.0	794.5
	Side 4, $a_4$	798	801	795.0	798.0
Thickness of Specimen at Side mm	Side 1	Ave.	31.21	30.13	29.68
		max	31.95	30.3	30.4
		min	30.75	29.95	29.1
		No. of Mesuren	9	3	3
	Side 2	Ave.	30.33	30.78	31.83
		max	30.58	30.9	32.00
		min	29.98	30.6	31.6
		No. of Mesuren	9	3	3
	Side 3	Ave.	31.01	30.75	30.82
		max	31.56	30.9	31.05
		min	30.52	30.65	30.5
		No. of Mesuren	9	3	4
	Side 4	Ave.	31.01	31.52	32.15
		max	31.82	32.45	32.5
		min	30.45	30.4	31.6
		No. of Mesuren	9	3	4
	Average	30.89	30.80	31.12	32.85

表 3.5.6 (1) 歪ゲージ測定結果(試験片 A-1)

単位  $\times 10^{-6} \text{ m/m}$ 

DIAL (div)	500	481	475	470	462 <sup>☆</sup>	450	442	433	420	410 <sup>※</sup>	410	380	500	
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.01	0.16	0.30	0.48	0.72	0.85	1.04	1.28	1.42	1.34	1.73	0.0	
ゲ 1 ジ 番 号	1	0	13	105	225	290	390	360	372	385	420	400	680	1,940
	2	0	-3	-15	-35	-65	-90	-95	-140	-230	-300	-270	-360	-290
	3	0	-7	-5	0	0	10	10	0	-100	-180	-190	-220	-260
	4	0	5	5	10	5	20	15	5	5	0	40	25	540
	5	0	7	5	10	5	20	-70	-110	-150	-200	-130	-210	-160
	6	0	33	25	20	-25	-58	-85	-20	-80	-190	-210	-315	-340
	7	0	50	490	1,040	1,580	2,360	2,215	2,030	1,500	1,240	700	1,500	1,000
	8	0	57	360	650	1,110	1,710	2,140	2,870	3,950	4,560	4,860	6,035	2,035
	9	0	23	280	530	895	1,430	1,880	2,900	4,100	4,625	4,490	5,380	970
	10	0	6	100	245	410	615	840	1,600	3,520	4,550	4,580	6,500	3,425
	11	0	20	60	125	150	280	380	430	100	20	-65	-55	-70
	12	0	5	15	25	22	35	30	0	-50	-100	-120	-160	-140
	13	0	75	500	960	1,515	2,370	2,800	3,780	5,780	7,450	6,075	8,170	-
	14	0	33	150	315	485	700	870	1,170	1,670	2,010	2,105	2,570	775
	15	0	7	15	25	30	10	0	-20	-40	-50	-60	-30	900
	16	0	13	0	0	-10	-10	-10	-35	-65	-90	-40	-80	890
	17	0	118	620	1,345	2,145	3,370	4,220	5,870	10,100	-	-	-	-
	18	0	7	10	10	0	0	-8	-30	-45	-72	-80	-110	-60
	19	0	14	70	145	250	405	495	630	940	1,100	1,315	1,550	580
	20	0	20	40	60	80	110	120	140	140	140	510	490	490
	21	0	18	30	62	80	135	160	170	170	140	180	120	-155
	22	0	5	-20	-40	-70	-105	-165	-325	-440	-470	-470	-350	-1,750
	23	0	-3	-40	-80	-160	-230	-285	-410	-510	-575	-1,610	-1,720	-100
	24	0	17	10	0	-10	-15	-20	-50	-60	-85	-55	-110	-90

※水もれ開始 ☆ひび割れ

表 3.5.6(2) 歪ゲージ測定結果(試験片A-2)

単位×10<sup>-6</sup> m/m

DIAL (div)	500					☆					※			※※ 500	
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.22	1.41	1.60	180	201	00	00	
ゲ ジ 番 号	1	0	0	15	230	490	520	600	1,010	1,220	1,330	1,410	1,365	1,250	660
	2	0	20	35	-15	-130	-190	-200	440	960	1,360	1,585	1,770	160	125
	3	0	10	10	30	0	-30	-50	-100	-140	-190	-240	-300	-260	-270
	4	0	5	-5	-20	-35	-50	-70	-120	-150	-200	-245	-300	-400	-380
	5	0	-5	10	35	25	10	10	500	600	770	935	980	345	310
	6	0	-5	10	20	-20	120	130	140	125	15	-70	-140	-150	30
	7	0	100	265	350	325	225	140	40	20	15	15	0	-180	130
	8	0	50	135	250	270	700	900	1,520	1,620	1,700	1,780	1,930	-190	720
	9	0	40	80	0	25	45	60	60	70	95	130	170	-50	-60
	10	0	90	240	380	360	1,500	3,050	5,200	6,640	8,200	9,850	10,550	7,300	7,080
	11	0	40	105	200	315	735	1,070	1,330	1,770	1,980	1,940	1,880	-520	-500
	12	0	60	740	1,100	1,530	2,215	3,000	3,750	3,620	3,720	4,020	4,450	3,350	2,650
	13	0	120	210	155	200	190	195	260	430	520	700	—	420	455
	14	0	40	-15	30	50	75	110	225	300	420	500	530	-70	-50
	15	0	10	10	0	-20	-15	-45	-95	-125	-150	-140	-135	-75	-30
	16	0	20	25	25	15	5	0	-50	-80	-120	-160	-210	-240	-210
	17	0	95	440	510	570	1,750	2,450	2,980	3,350	3,290	3,610	3,750	1,660	1,390
	18	0	480	1,040	1,540	2,120	2,090	2,400	3,200	3,700	4,170	4,700	4,970	1,400	1,560
	19	0	30	140	1,020	1,500	1,700	1,900	2,450	2,830	3,290	3,600	3,920	1,530	1,500
	20	0	20	40	60	80	100	130	145	170	215	260	340	460	445
	21	0	-40	-50	-80	-100	-150	-235	-350	-420	-480	-500	-380	-300	715
	22	0	-10	-25	-40	-45	-55	-45	-70	-70	-75	-105	-120	20	100
	23	0	-25	-70	-140	-180	-235	-300	-500	-690	-930	-1,240	-1,490	130	260
	24	0	0	-5	-20	-30	-40	-50	-100	-130	-170	-220	-270	-420	-445

☆ひび割れ, ※水漏れ, ※※30時間後

表 3.5.6(3) 歪ゲージ測定結果(試験片D-1)

単位×10<sup>-6</sup> m/m

DIAL (div)	500		☆			*										※※
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	00	056	069	080	093	105	112	126	144	161	183	199	220	0	0	
ゲージ番号	1	0	860	995 (1,025)	1,200	1,330	1,360	1,450	1,590	1,830	2,240	2,690	3,080	3,010	500	55
	2	0	350	440	510	510	500	550	650	770	910	1,080	1,390	1,470	530	500
	3	0	-25	-25	-25	-20	0	15	45	230	360	440	460	510	30	-50
	4	0	0	10	15	25	30	35	15	15	20	25	15	0	-350	-365
	5	0	-350	-415	-515	-580	-690	-800	-980	-1,220	-1,480	-1,730	-1,950	-2,260	-540	-420
	6	0	570	740	935	1,235	1,390	1,515	1,660	1,860	2,050	2,275	2,440	2,380	220	60
	7	0	-130	-170	-200	-215	-240	-270	-310	-370	-420	-490	-500	-510	220	360
	8	0	750	920	1,110	1,310	1,500	1,720	2,180	2,815	3,540	4,910	5,070	2,190	-	-
	9	0	30	35	40	40	40	40	45	45	55	50	50	50	32	50
	10	0	710	820	900	1,080	1,250	1,400	1,630	1,868	2,065	2,420	2,720	3,250	3,480	3,620
	11	0	540	730	1,045	1,340	1,520	1,700	2,020	2,470	2,960	3,775	3,155	3,640	4,320	4,220
	12	0	1,440	1,720	2,120	2,730	3,450	4,030	5,120	-	-	-	-	-	-	-
	13	0	840	1,080	1,390	1,670	1,910	1,890	1,775	1,940	2,105	2,460	2,640	3,035	1,900	1,840
	14	0	875	1,060	1,280	1,480	1,600	1,730	1,955	2,150	2,230	2,350	2,450	2,670	-	-
	15	0	690	830	1,000	1,145	1,250	1,350	1,480	1,530	1,550	1,520	1,430	1,200	-420	-480
	16	0	0	10	15	20	25	25	22	-2	-30	-52	-70	-110	-310	-290
	17	0	550	590	640	660	750	1,800	1,960	1,170	1,430	1,875	2,410	3,010	2,450	2,300
	18	0	325	400	500	560	640	1,700	1,830	1,970	1,125	1,350	1,530	1,645	1,620	490
	19	0	1,340	1,520	1,720	1,950	2,170	2,360	2,630	3,125	3,540	4,380	5,225	4,090	2,090	1,985
	20	0	700	990	1,230	1,440	1,560	1,710	1,960	2,150	2,290	2,330	2,350	1,835	1,700	1,755
	21	0	10	-5	10	270	370	450	500	640	765	850	940	1,165	760	790
	22	0	30	40	40	5	10	30	70	125	275	375	445	530	360	330
	23	0	120	140	160	190	210	220	230	250	260	280	300	330	360	380
	24	0	1,350	1,640	2,015	2,340	2,530	2,690	3,015	3,460	3,800	4,325	4,780	5,530	2,130	650

☆ひび割れ、※水漏れ、※※4日後

表 3.5.6(4) 歪ゲージ測定結果(試験片 D-2)

単位  $\times 10^{-6} \text{ m/m}$ 

DIAL (div)	500						☆				※						※※	
Pressure (kg/cm²)	0.0	0.19	0.30	0.41	0.54	0.66	0.78	0.89	1.00	1.22	1.33	1.53	1.75	2.07	2.23	0	0	
ゲ イ ジ 番 号	1	0	0	0	25	-40	-80	-105	-160	-200	-300	-340	-400	-510	-690	-860	-220	15
	2	0	60	235	420	380	360	375	485	580	870	1,060	1,350	1,570	2,180	2,460	1,175	1,080
	3	0	10	12	30	50	30	35	60	105	270	425	515	800	1,260	1,500	650	640
	4	0	0	-10	-15	-20	-20	-20	-25	-25	-30	-25	-30	-40	-48	-45	-90	-25
	5	0	0	10	15	-70	-90	-190	-305	-390	-535	-660	-830	-1,055	-1,240	-1,400	1,020	675
	6	0	200	385	590	885	1,045	1,280	1,485	1,660	2,010	2,260	2,520	2,735	2,845	2,760	820	660
	7	0	-40	-50	-70	-105	-140	-140	-170	-180	-245	-290	-355	-450	-500	-570	-500	-375
	8	0	300	520	670	800	1,500	1,895	2,220	2,250	3,050	3,030	2,500	2,170	2,310	1,921	965	910
	9	0	35	35	55	72	90	100	120	135	150	200	235	265	350	400	275	330
	10	0	195	375	515	590	700	855	1,000	1,180	1,500	1,625	1,850	2,080	2,445	2,570	1,300	1,075
	11	0	185	400	570	900	1,140	1,450	1,600	2,000	2,500	2,915	3,380	4,000	5,550	-	-	-
	12	0	25	45	135	510	950	1,330	1,600	1,980	2,490	2,750	3,180	3,185	3,010	2,740	1,320	1,120
	13	0	150	260	400	848	1,180	1,560	1,815	2,115	2,600	2,950	3,285	3,500	8,000	-	5,840	5,520
	14	0	95	130	340	410	520	690	980	1,330	2,085	2,500	2,790	3,170	3,525	2,840	760	580
	15	0	85	300	475	610	770	975	1,200	1,380	1,515	1,670	1,875	2,120	2,320	2,315	520	485
	16	0	10	0	0	-15	-20	-20	-25	-30	-40	-50	-65	-100	-150	-195	-720	-235
	17	0	200	295	520	920	1,140	1,410	1,690	2,070	2,720	3,270	3,940	5,070	-	-	-	-
	18	0	30	195	140	200	260	330	375	435	1,610	1,710	1,015	1,500	2,140	2,430	1,165	1,085
	19	0	110	180	200	275	550	950	1,030	1,125	1,300	1,410	1,610	2,115	2,860	3,380	1,970	1,890
	20	0	53	295	420	460	500	605	690	740	810	780	770	800	820	730	270	275
	21	0	25	35	80	125	180	210	315	355	325	235	150	210	160	-125	-45	-90
	22	0	55	110	190	260	325	520	585	630	725	760	810	865	1,420	1,500	895	845
	23	0	100	170	250	290	320	340	370	390	390	400	410	410	420	420	310	300
	24	0	240	520	760	1,190	1,520	1,765	2,090	1,485	3,030	3,500	3,975	5,050	6,910	6,960	3,730	3,670

※水もれ, ☆ひび割れ, ※※3時間後

表 3.5.7 携み測定結果(試験片 A-1)

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.16	0.23	0.3	0.4	0.48	0.6	0.72	0.78	0.83	0.85	0.84	0.86	0.88	0.9	0.95	1.02	1.04	1.05
(Gage 1) Displacement (mm)	0	0.35		1.2		2.2		3.6		4.62									
2	0	0.3		1.0		1.73		2.76		3.47									4.85
3	0	0.3		0.8		1.6		2.6		3.27									4.7
4	0	0.38		0.82		1.18		1.47		2.35		2.56		2.85		2.9			4.03
5	0	0.48		0.8		1.02		1.43		1.77		2.3		2.8		3.05			4.85

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	1.1	1.3	1.25	1.42	1.35	1.2	1.41	1.33	1.34	1.24	1.74	1.66	0					
(Gage 1) Displacement (mm)	9.38	9.48	11.45				12.1	12.07	12.0	11.95	15.92	16.2	11.45					
2	6.8	6.92	8.4				8.72	8.65	8.59	8.55	13.45	13.52	11.15					
3	6.73	6.87	8.4				8.75	8.72	8.7	8.7	13.7	13.8	9.95					
4	4.28	5.6	6.7	6.73	6.38	6.95				6.82	9.13	9.25	7.82					
5	5.13	6.7	8.06	8.08	7.62	8.4				8.13	10.98	11.03	8.72					

表 3.5.7(2) 携み測定結果(試験片 A-2)

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.22	1.41	1.60	1.80	2.01	0.0	0.0				
(Gage 1) Displacement (mm)	0	0.03	0.72	1.5	2.44	3.25	5.06	8.63	11.20	14.18	17.75	21.4	27.5					
2	0	0.13	0.57	1.2	1.98	2.78	3.87	6.57	8.38	10.48	12.90	15.7	22.3					
3	0	0.15	1.18	1.95	2.75	3.85	6.50	8.25	10.15	12.50	14.85	27.0	20.0					
4	0	0.14	0.50	1.18	1.65	2.40	3.37	5.53	7.12	8.89	11.00	13.65	21.45					
5	0	0.02	0.67	1.40	2.50	3.58	6.41	8.60	10.81	13.59	16.85							

※※ 30 hours later.  
最大 2.3kg/cm<sup>2</sup>で上昇

表 3.5.7 (3) 損み測定結果（試験片 D 1）

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.5.7	0.6.9	0.8.0	0.9.3	1.0.5	1.1.3	1.2.7	1.6.2	1.8.3	1.9.9	2.0.0	2.1.5	2.4.0	2.4.9	2.4.7	2.8	2.4	0.0
Gage 1	2.0	2.25	3.05	3.6	4.3	4.8	5.7	8.2	10.1	11.25	11.6	14.2	16.35	17.3	18.5	21.25	—	15.7	
Displacement (mm)	2	1.6	2.1	2.6	3.15	3.6	3.9	4.6	6.6	7.9	8.7	9.0	10.8	12.3	13.05	14.05	16.5	19.6	11.8
Displacement (mm)	3	1.5	1.9	2.5	3.0	3.4	3.8	4.5	6.25	7.5	8.75	—	—	—	13.4	—	—	—	—
Displacement (mm)	4	1.1	1.7	2.1	2.5	2.9	3.2	3.65	5.2	6.1	6.95	7.05	7.8	—	10.25	11.0	14.6	15.3	9.3
Displacement (mm)	5	1.3	2.1	2.6	3.1	3.6	3.95	4.6	6.45	7.7	8.7	8.85	9.9	—	12.7	13.6	17.8	18.8	11.0

4 日後

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0																		
Gage 1	15.0																		
Displacement (mm)	2	11.25																	
Displacement (mm)	3	11.0																	
Displacement (mm)	4	8.95																	
Displacement (mm)	5	10.4																	

表 3.5.7(4) 搪み測定結果(試験片D-2)

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.19	0.30	0.41	0.54	0.66	0.78	0.89	1.00	1.22	1.35	1.53	1.75	2.07	2.23	2.16	2.33	2.35	2.32	
Gage 1 (E)	0	0.2	0.63	1.05	1.75	2.37	2.92	3.5	4.22	5.3	6.2	7.48	9.5	12.58	14.25	14.35	15.68	15.9	16.0	
Displacement	2	0	0.27	0.6	0.97	1.5	1.97	2.38	2.87	3.45	4.4	5.12	5.96	7.47	9.8	11.0	11.1	12.05	12.33	12.4
Gage 1 (D)	3	0	0.29	0.56	0.93	1.43	1.95	2.35	2.8	3.4	4.2	4.9	5.8	7.4	9.6	—	10.9	11.85	12.0	—
Displacement	4	0	0.12	0.4	0.67	1.1	1.45	1.8	2.2	2.65	3.4	3.95	4.75	5.85	7.7	8.7	8.8	9.38	9.5	—
Gage 1 (D)	5	0	0.25	0.6	0.95	1.45	1.9	2.35	2.8	3.4	4.35	4.95	5.97	7.35	9.55	10.6	10.7	11.35	11.6	—

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.0	36 hrs later
Gage 1 (D)	7.55	6.6	
Displacement (mm)	2	5.55	4.9
Displacement (mm)	3	5.4	4.85
Displacement (mm)	4	4.33	4.15
Displacement (mm)	5	5.12	4.7

表 3.5.8 ひび割れ圧力及び漏水圧力

(kg/cm<sup>2</sup>)

試験片	A-1	A-2	D-1	D-2
※ ひび割れ発生	0.48	0.75	0.69	0.78
水 漏 れ	※※ 水漏れ発生	1.25	1.80	1.05
	※※※ 全面水漏	1.42	1.80	2.00
	支持部水漏		1.60	
最終試験圧力	1.73	2.30	2.81	2.35

※ 最初のひび割れは、A-1のみ中央、A-2は中央と隅とが同時、D-1, 2はいずれも4隅に発生。

※※ 試験片表面に最初に水がしみ出した圧力。いずれも4隅のいずれか。

※※※ 4隅から漏水がはじまった圧力。

表 3.5.9 4点曲げ試験及び引張試験の結果の摘要(3.3節)

	4点曲げ試験			引張試験
	ひび割れたわみ(mm)	ひび割れ応力(kg/mm)	ひび割れ歪( $\times 10^{-6}\%$ )	ひび割れ歪( $\times 10^{-6}\%$ )
標準水中養生A-1	1.70	1.16	750	430
標準水中養生D-1	1.70	0.99	750	930

ひび割れは第2ひび割れを表わす(0.025mm開口)

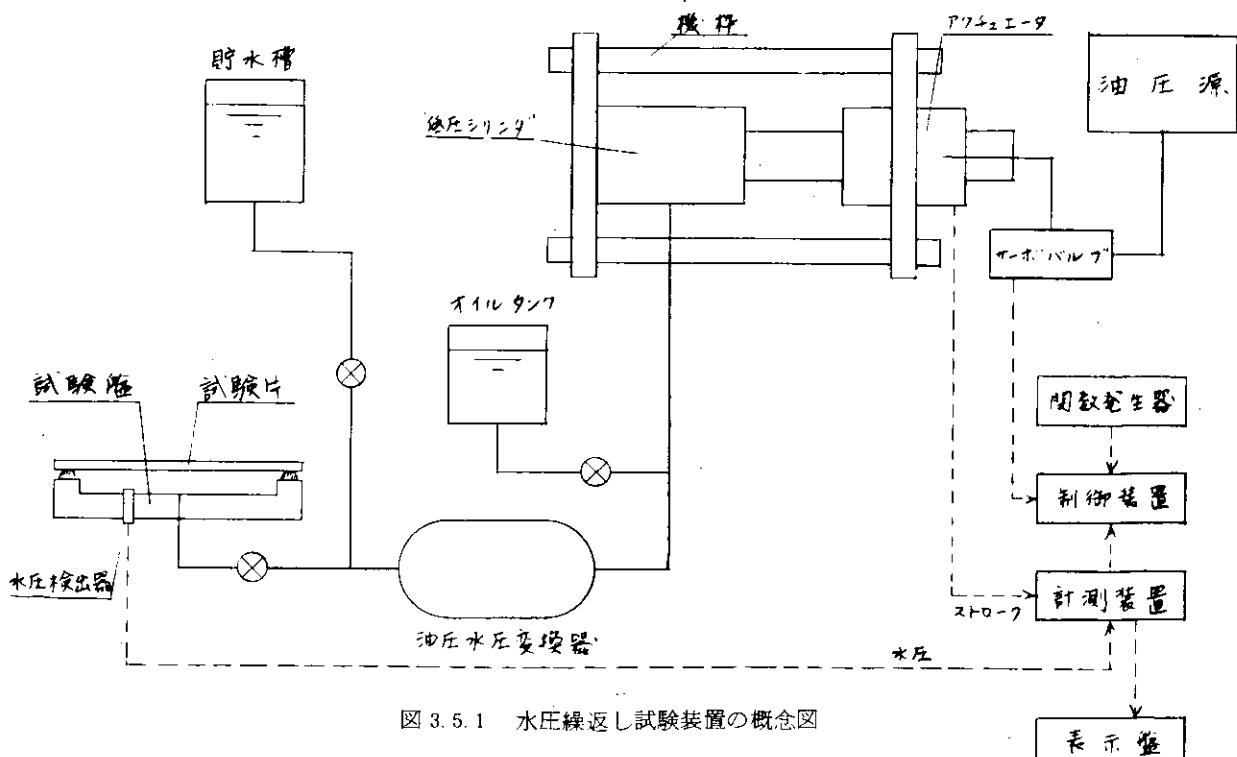


図 3.5.1 水圧繰返し試験装置の概念図

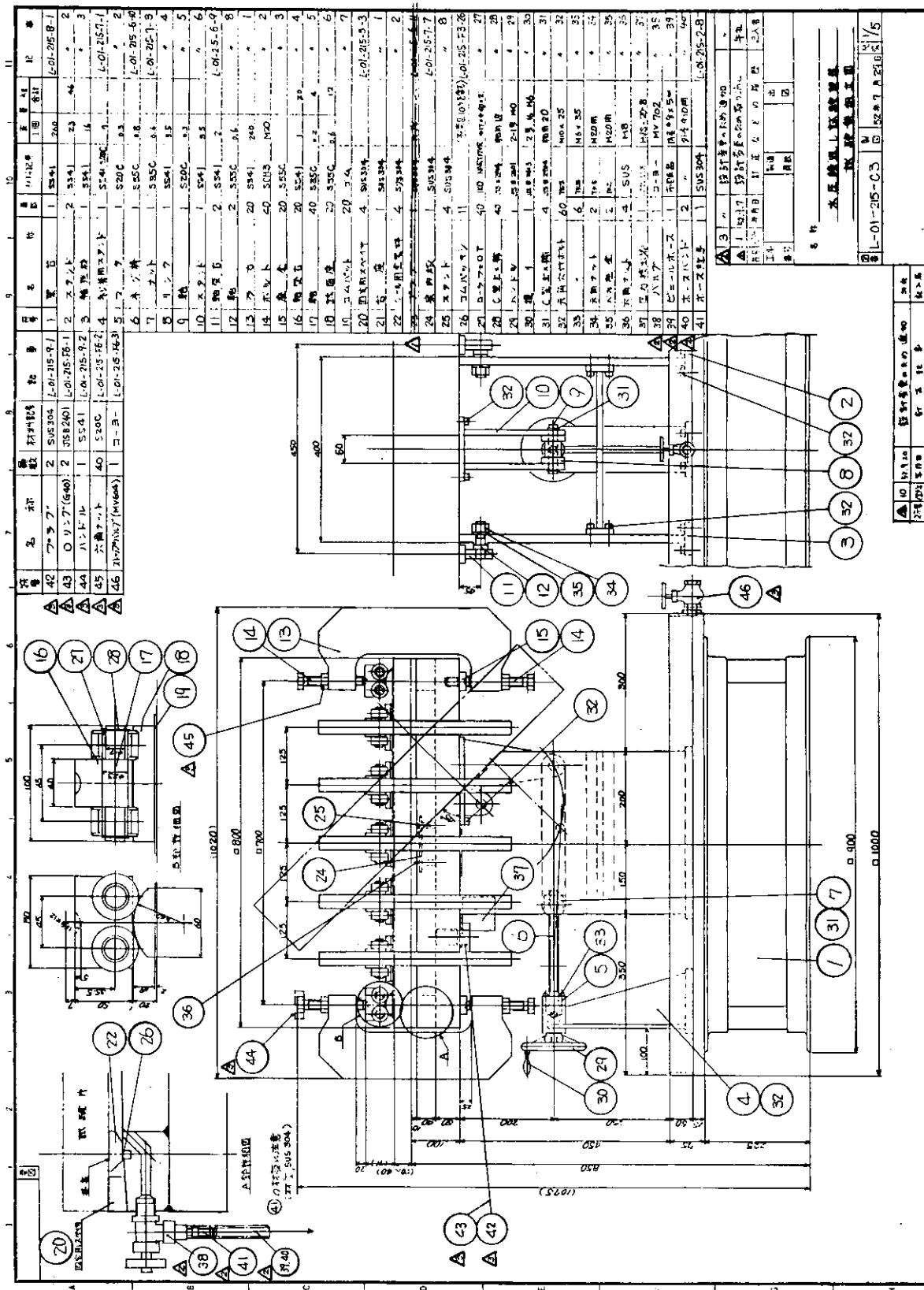
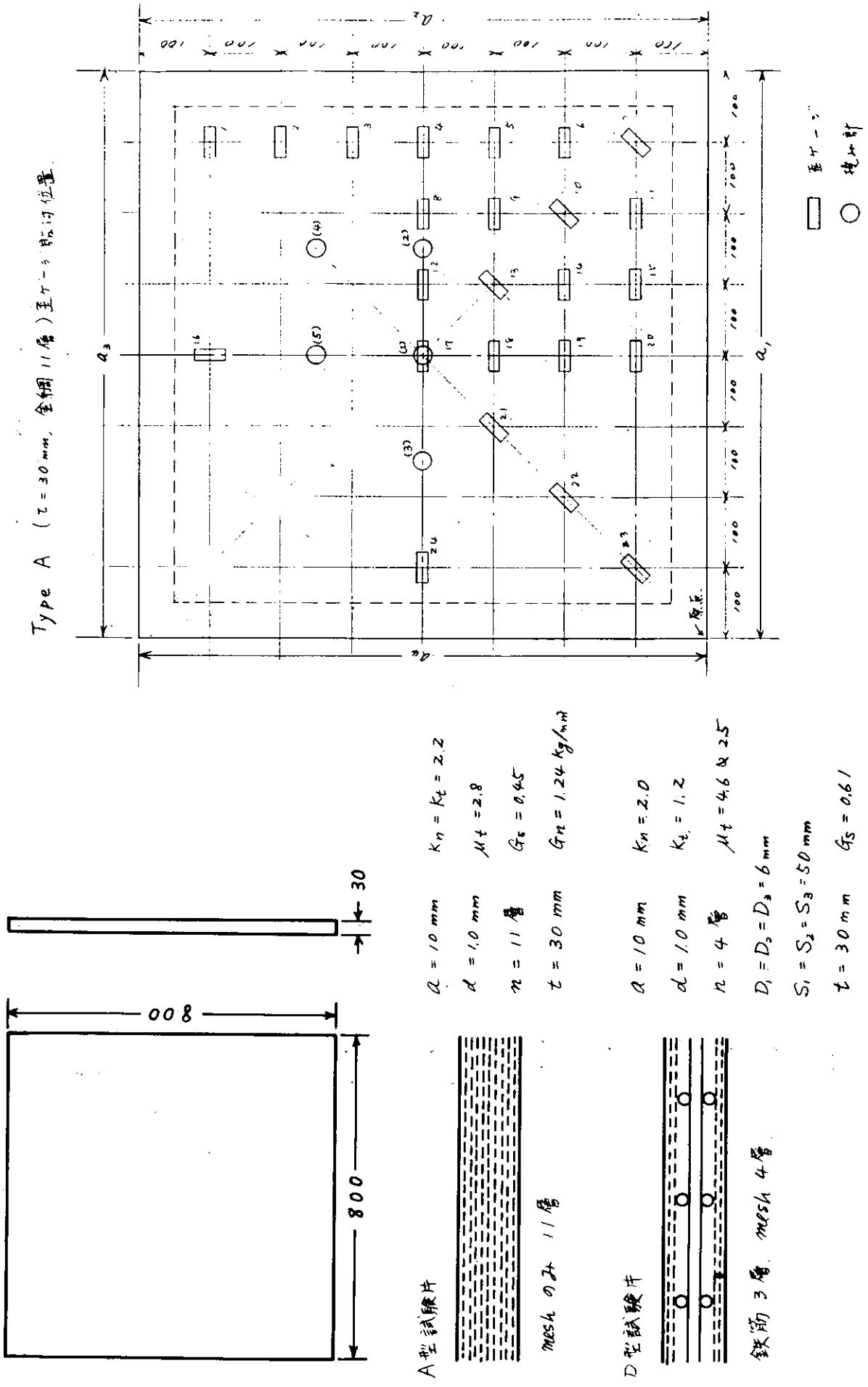


図 3.5.2 試験盤



Type D ( $t = 30\text{mm}$ , 鋼筋3箇金網4層) 歪ゲージ・荷重計位置

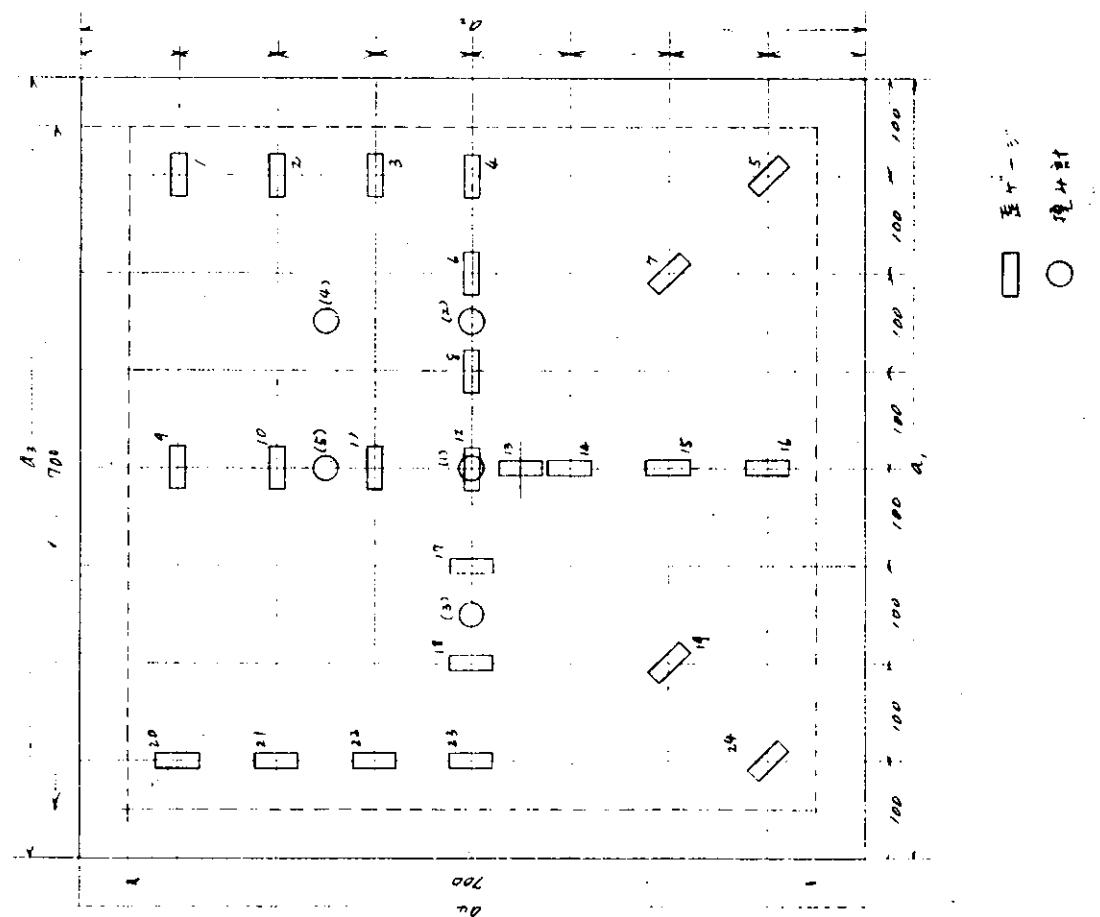


図 3.5.5 歪ゲージと荷重計の位置 (D型)

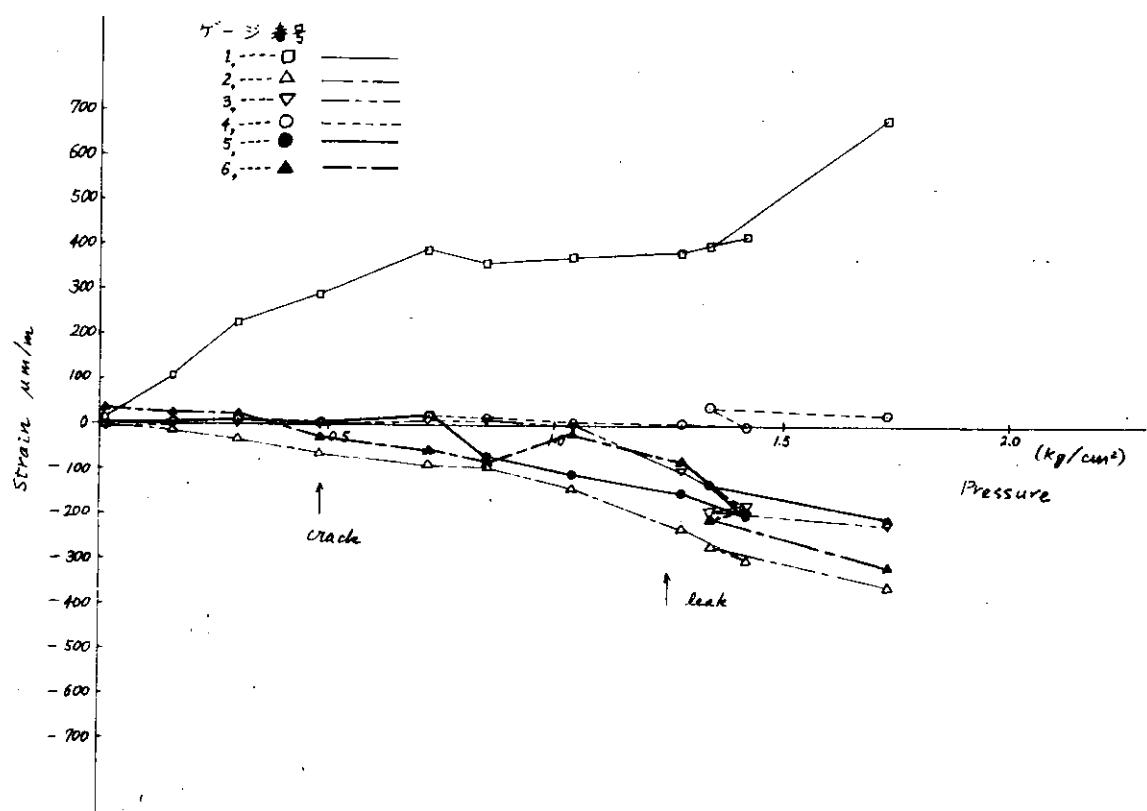


図 3.5.6 支持部附近の歪値 (試験片A-1)

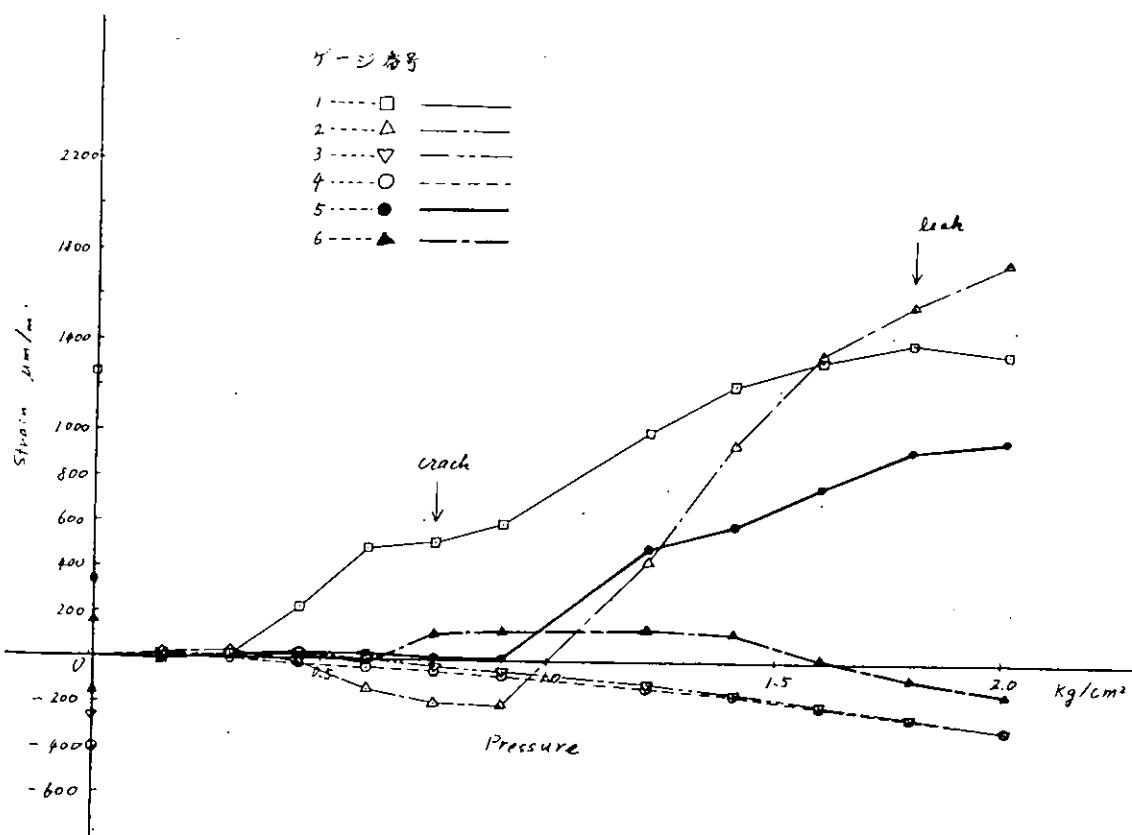


図 3.5.7 支持部附近の歪値(試験片A-2)

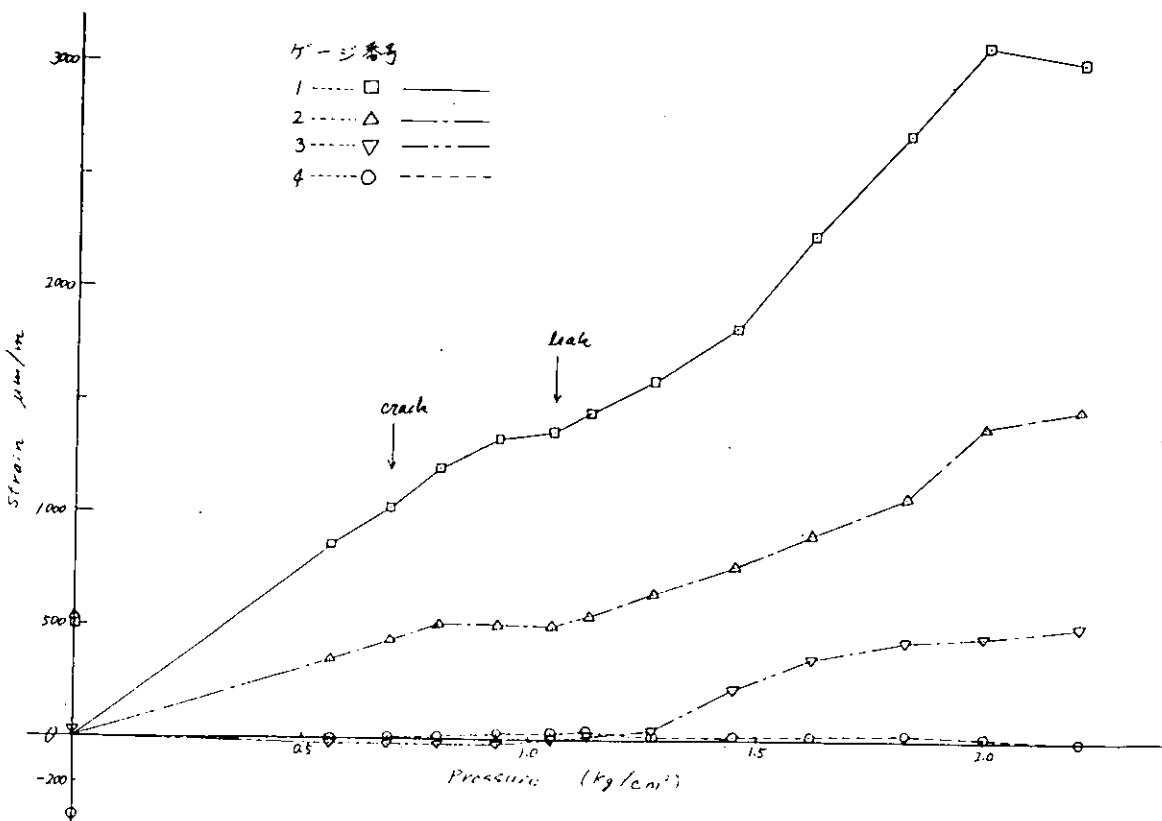


図 3.5.8 支持部附近の歪値(試験片D-1)

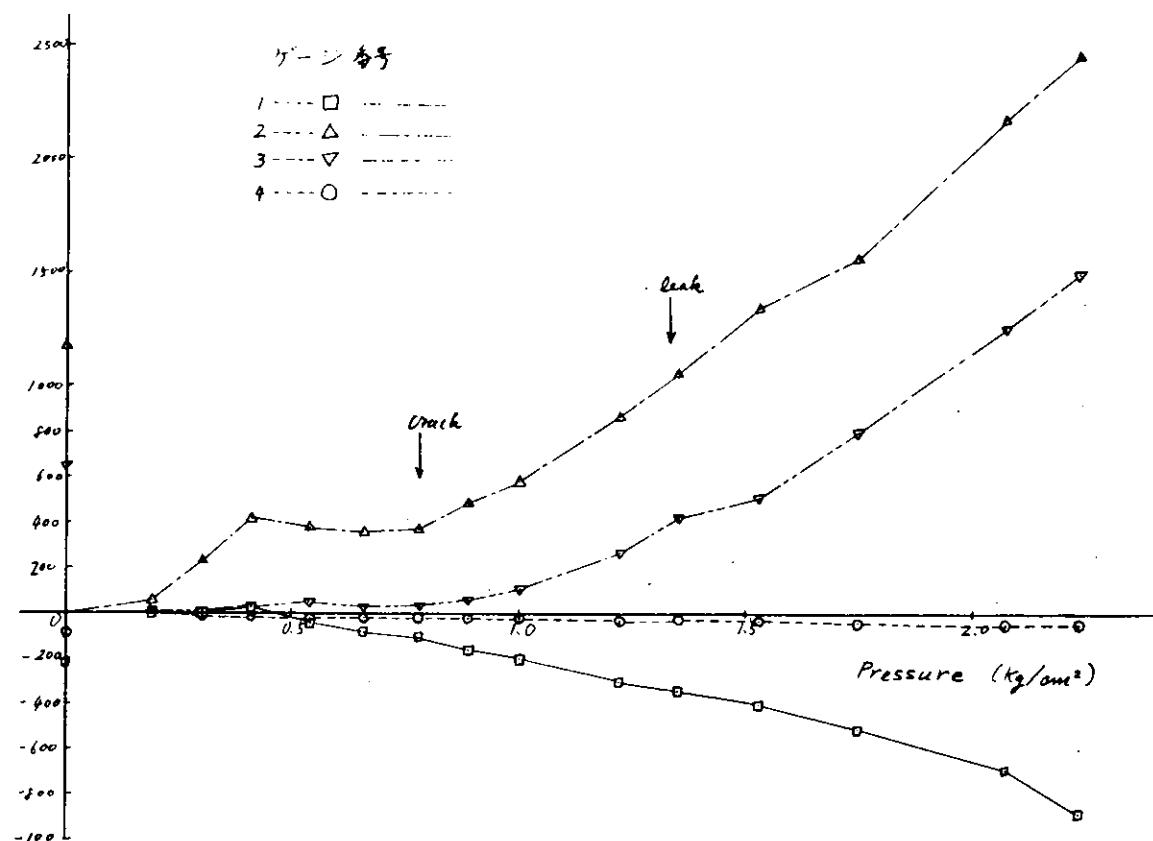


図 3.5.9 支持部附近の歪値(試験片D-2)

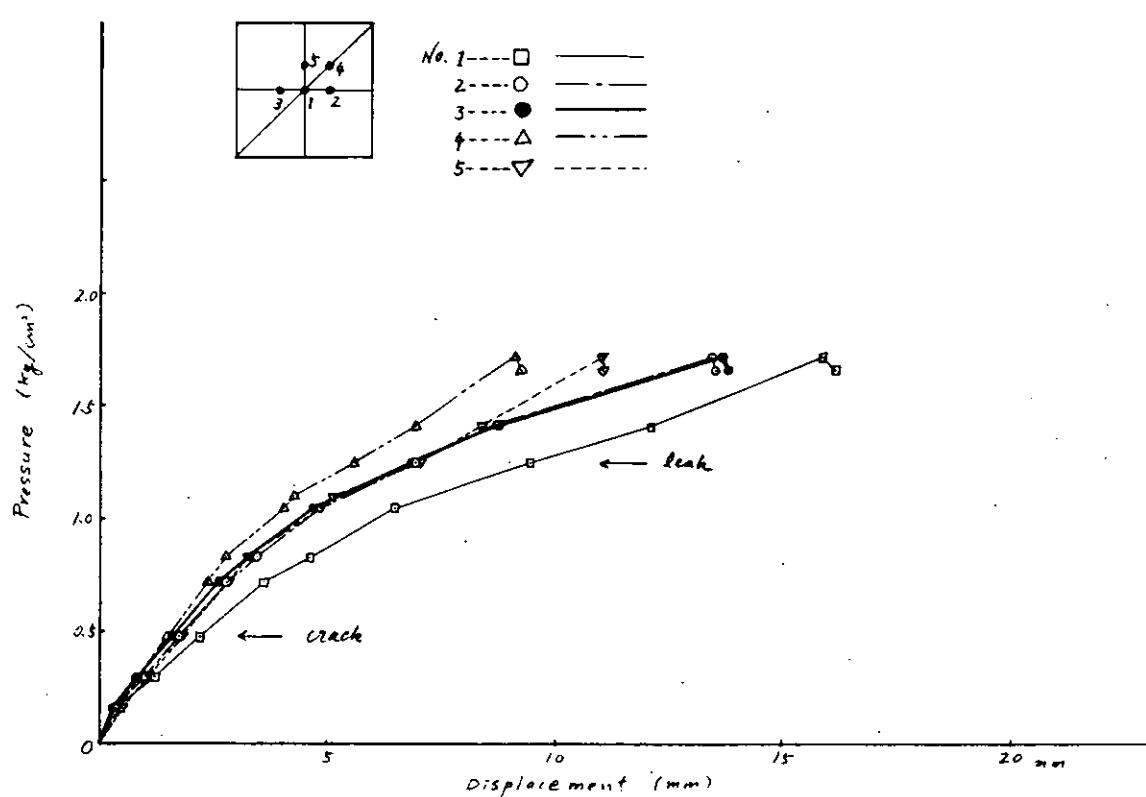


図 3.5.10 圧力 - 挿み関係(試験片A-1)

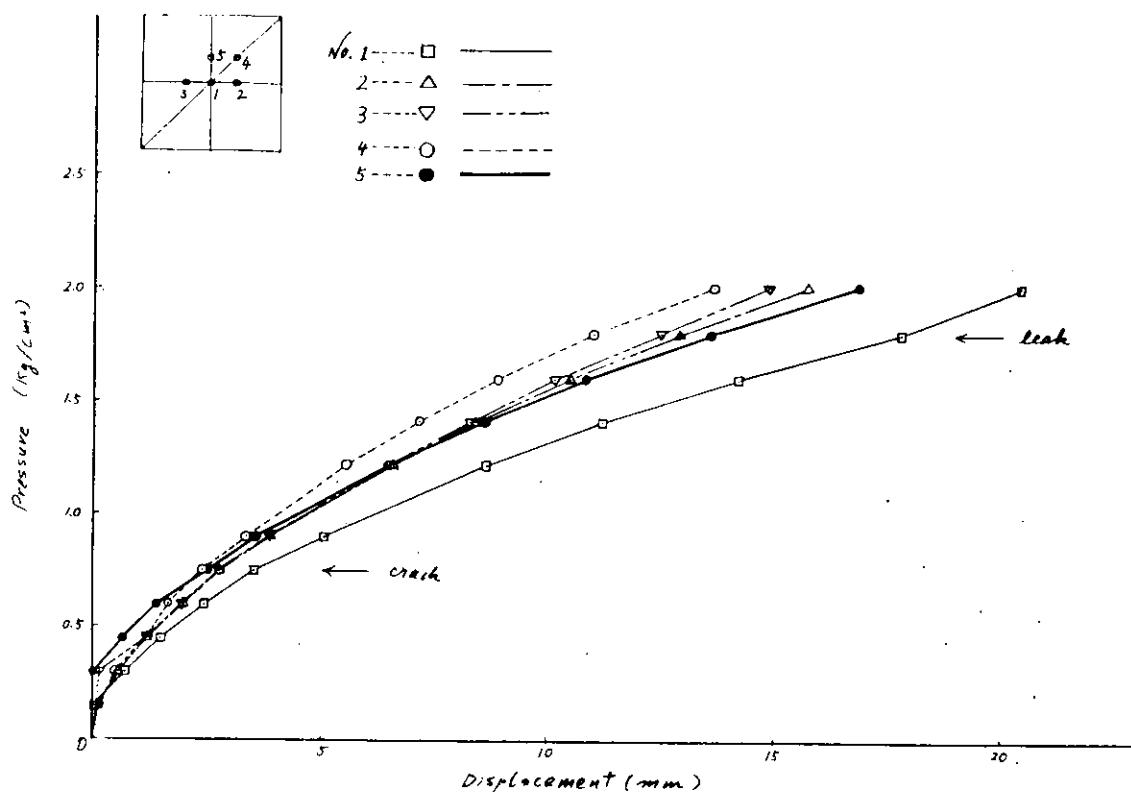


図 3.5.11 圧力 - 挾み関係(試験片 A-2)

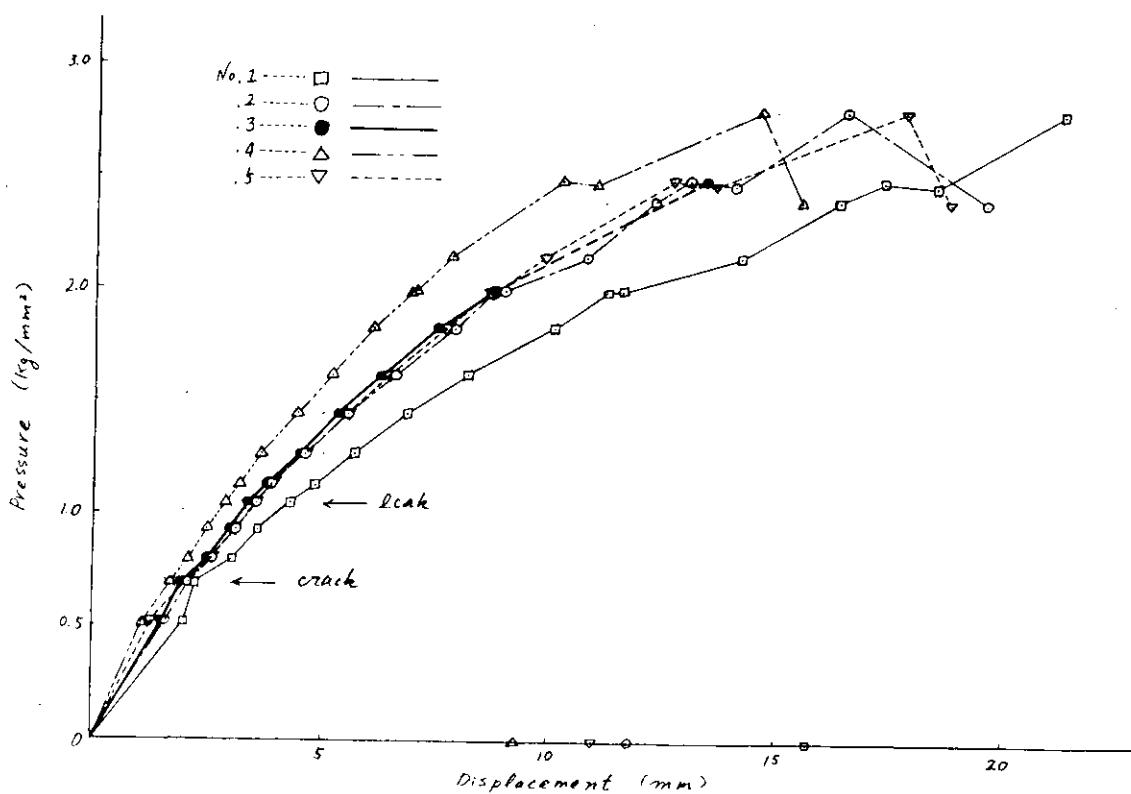


図 3.5.12 圧力 - 挟み関係(試験片 D-1)

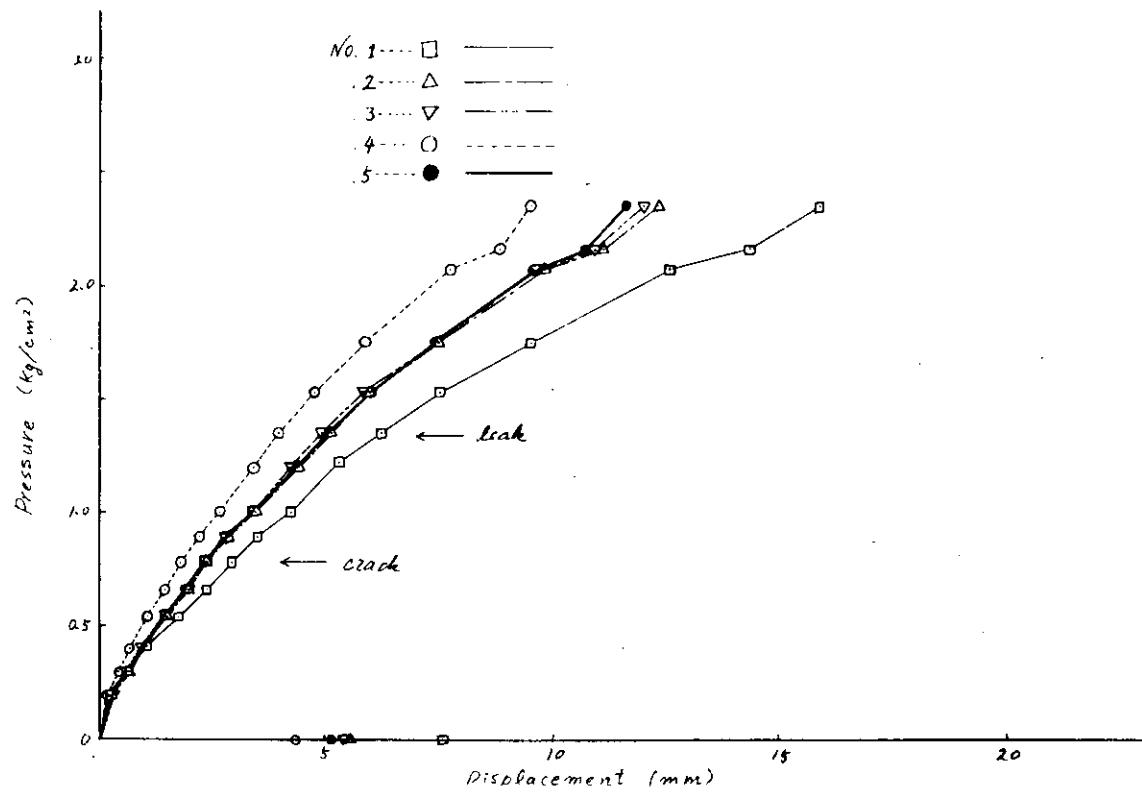


図 3.5.13 圧力 - 振み関係(試験片D-2)

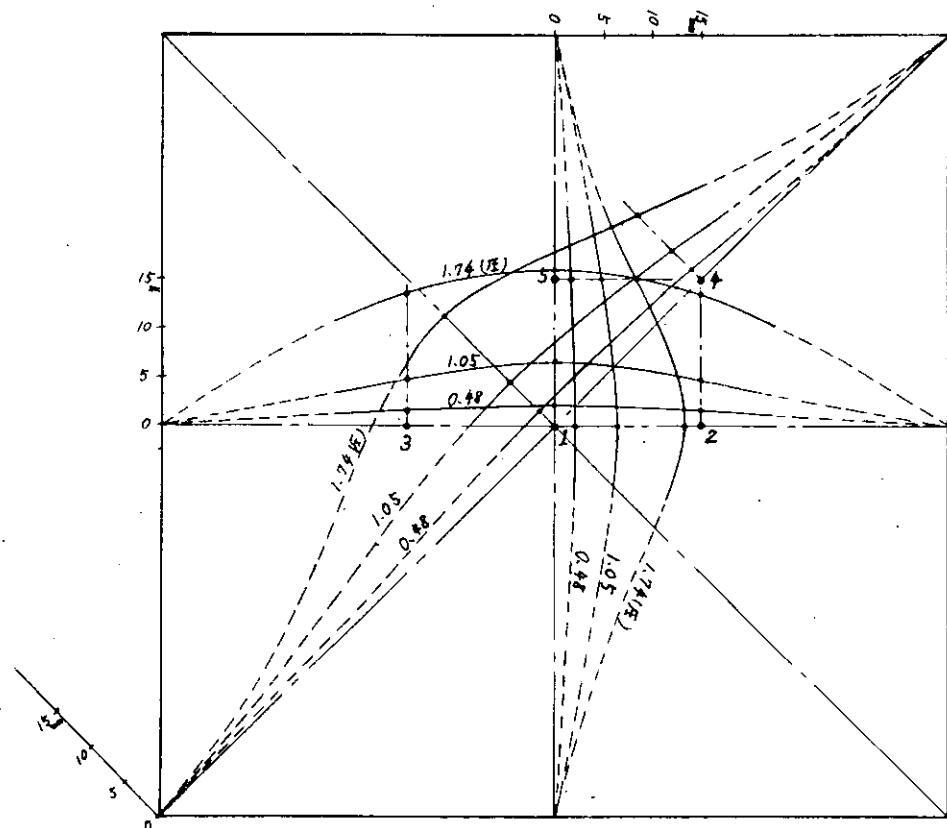


図 3.5.14 振み分布図(A-1)

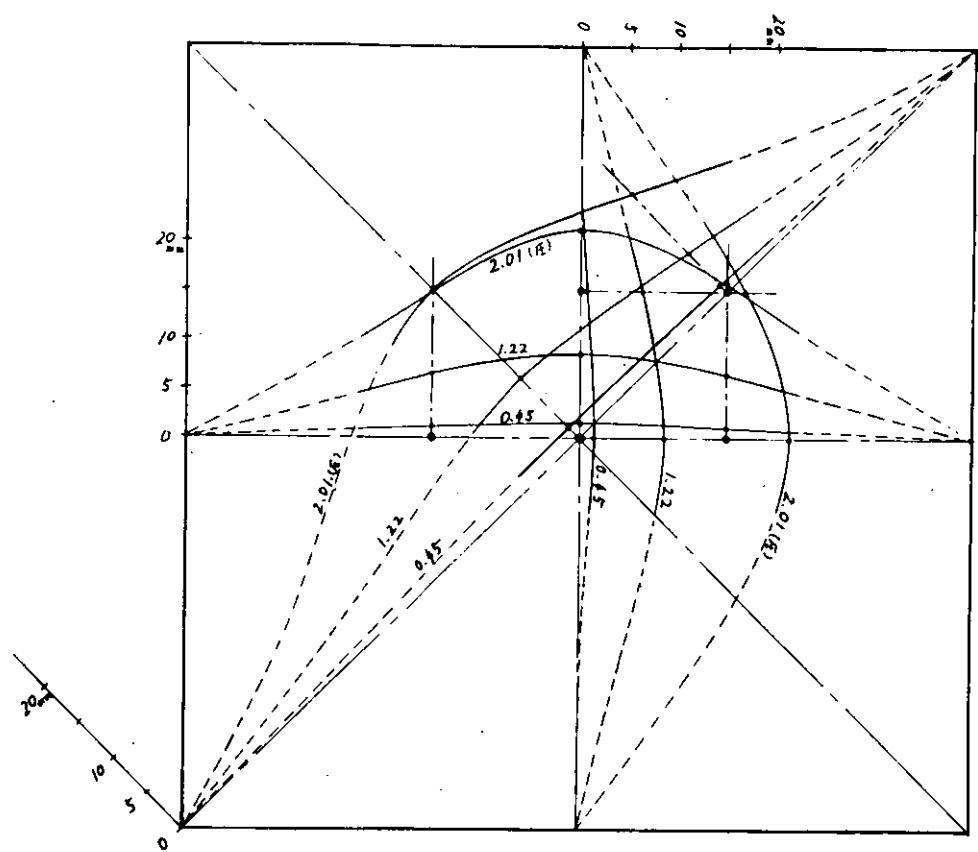


図 3.5.15 摶み分布図(A-2)

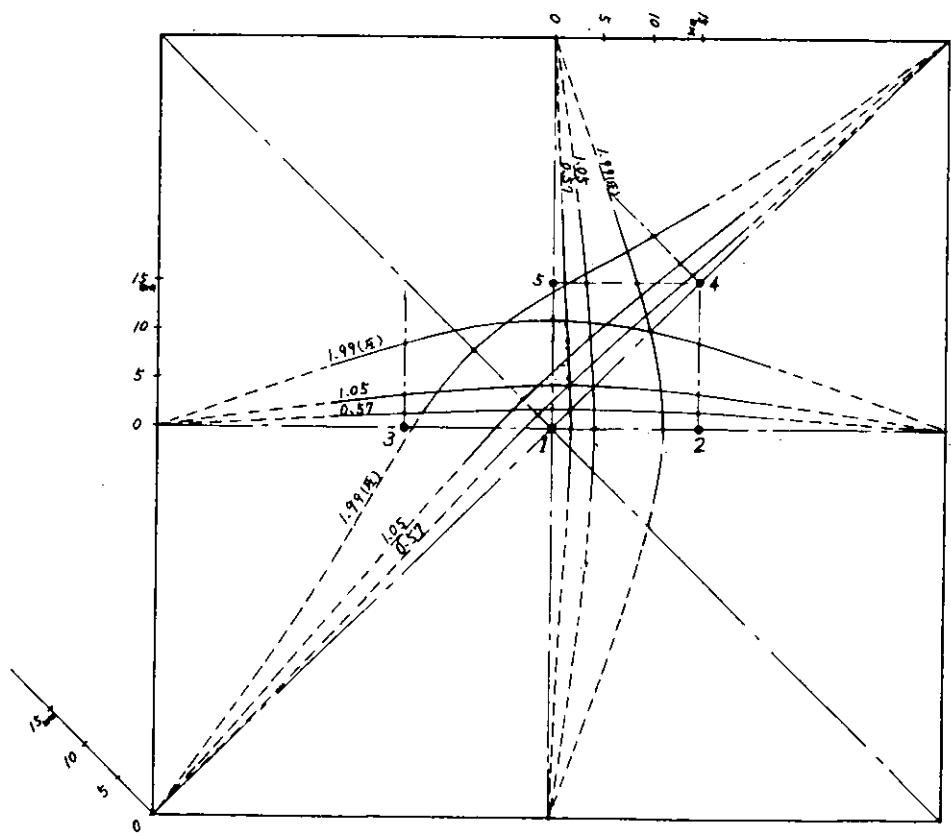


図 3.5.16 摶み分布図(D-1)

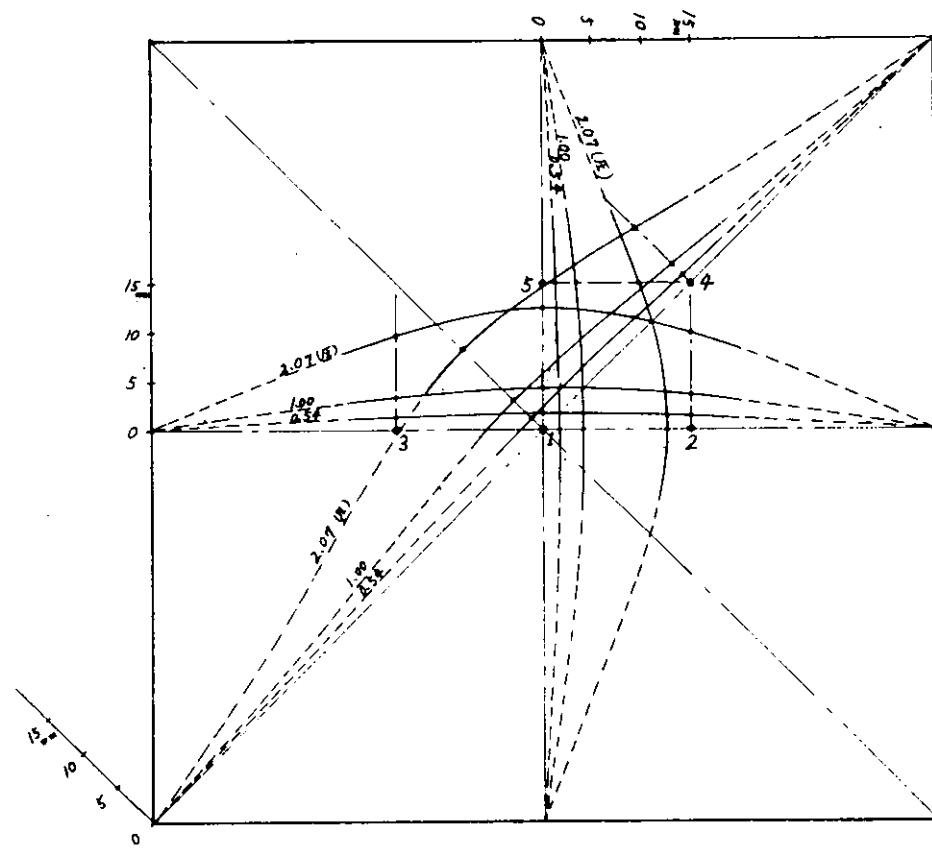


図 3.5.17 摩み分布図(D-2)

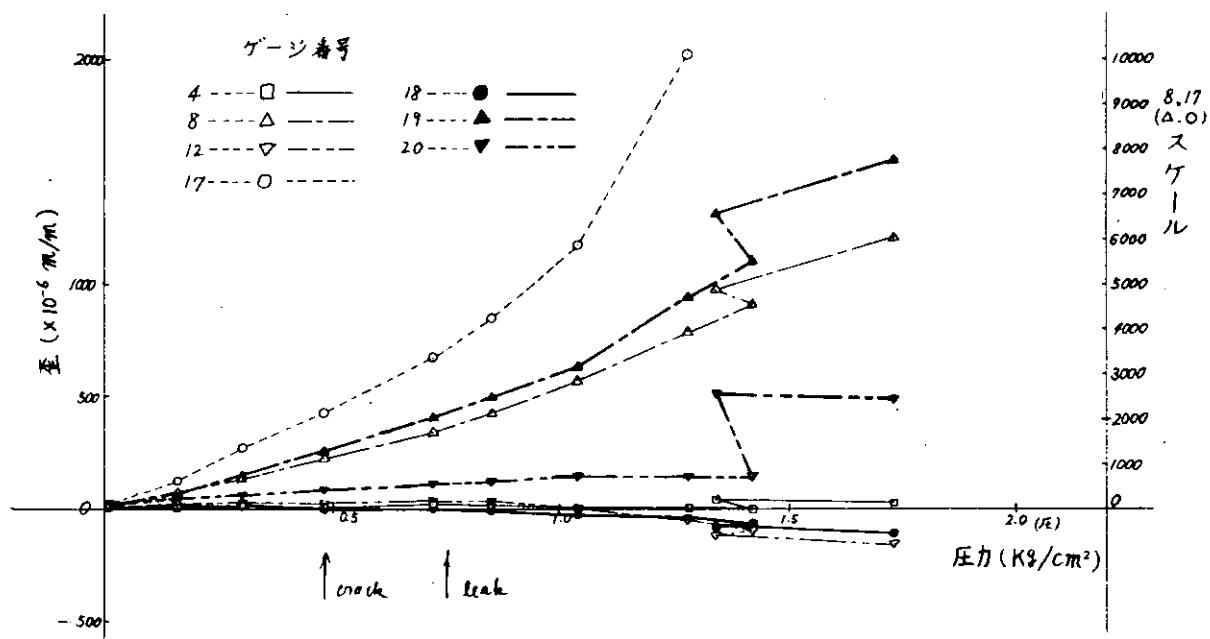


図 3.5.18 圧力 - 歪関係(A-1, 中央線)

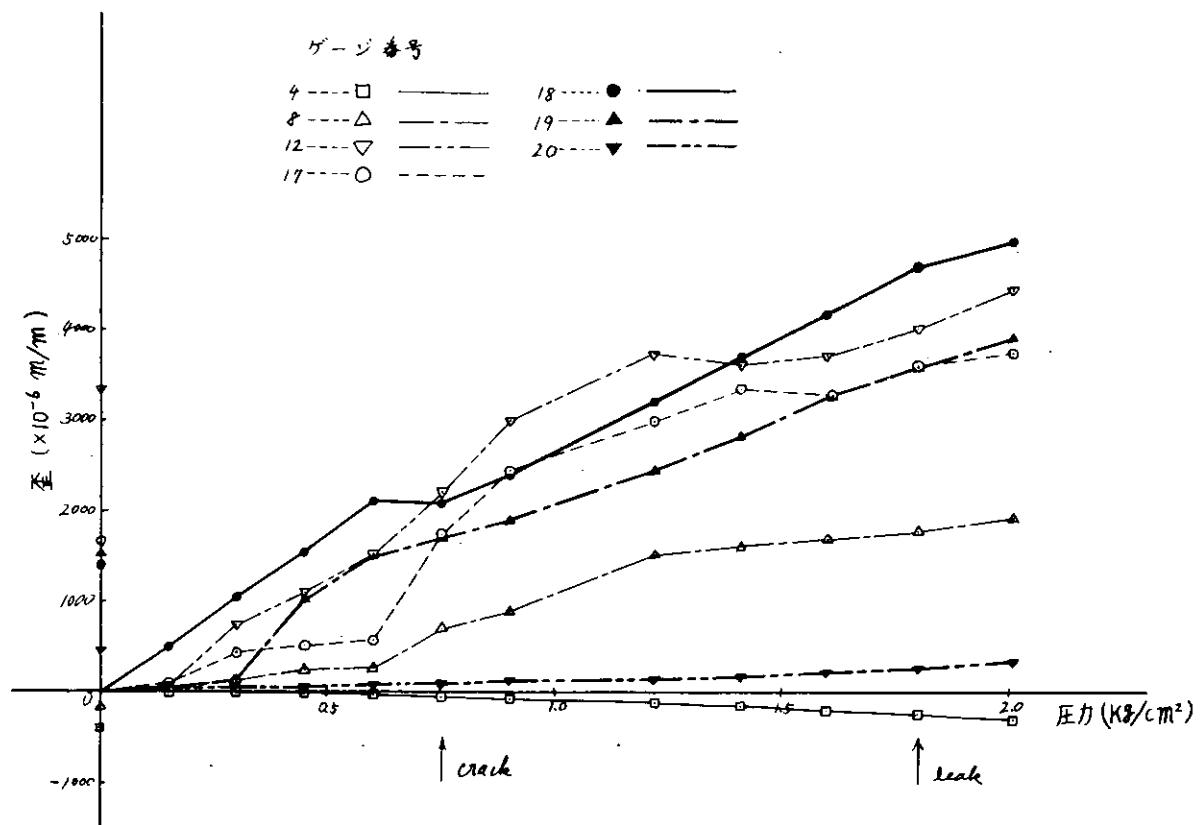


図 3.5.19 圧力 - 歪関係(A-2, 中央線)

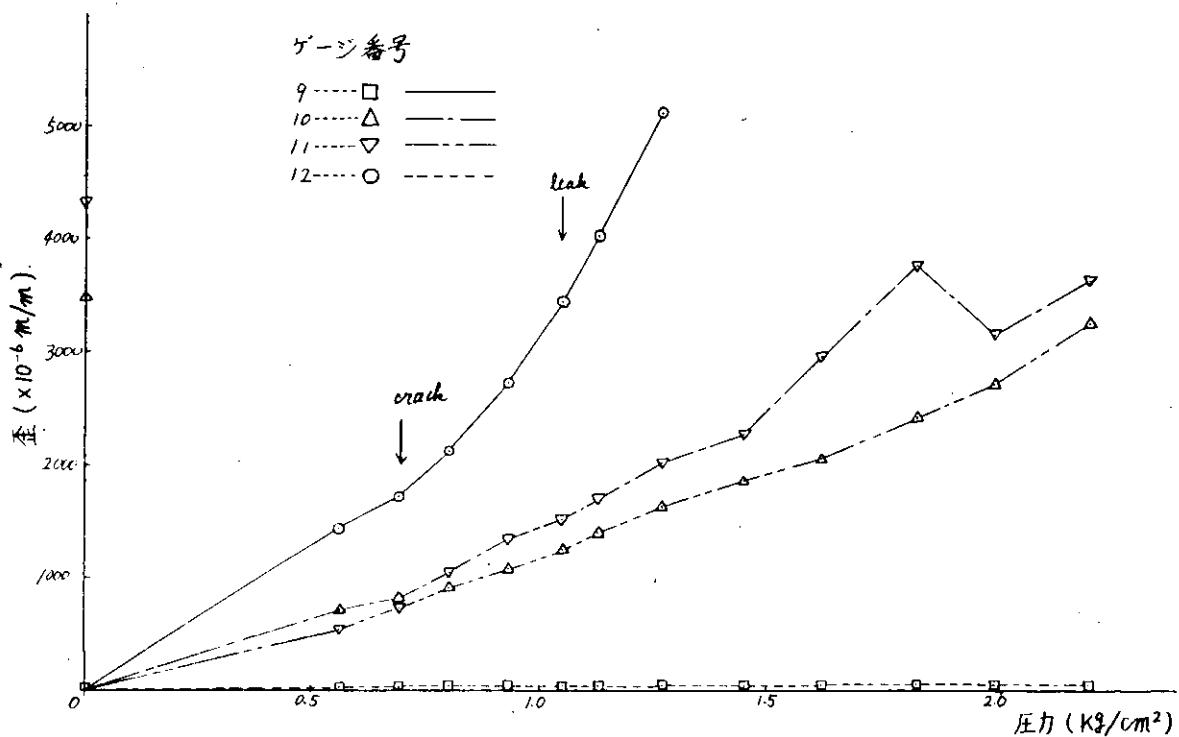


図 3.5.20 圧力 - 歪関係(D-1, 中央線)

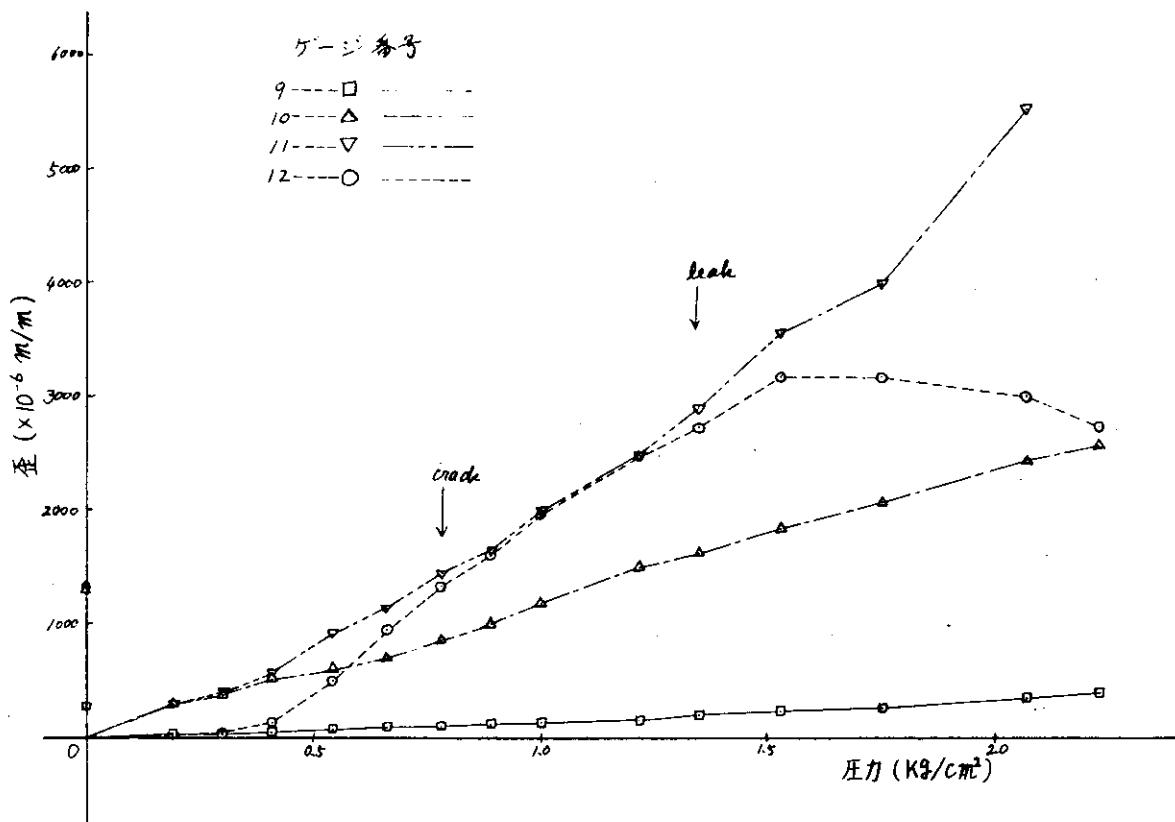


図 3.5.2.1 圧力 - 歪関係 (D-2, 中央線)

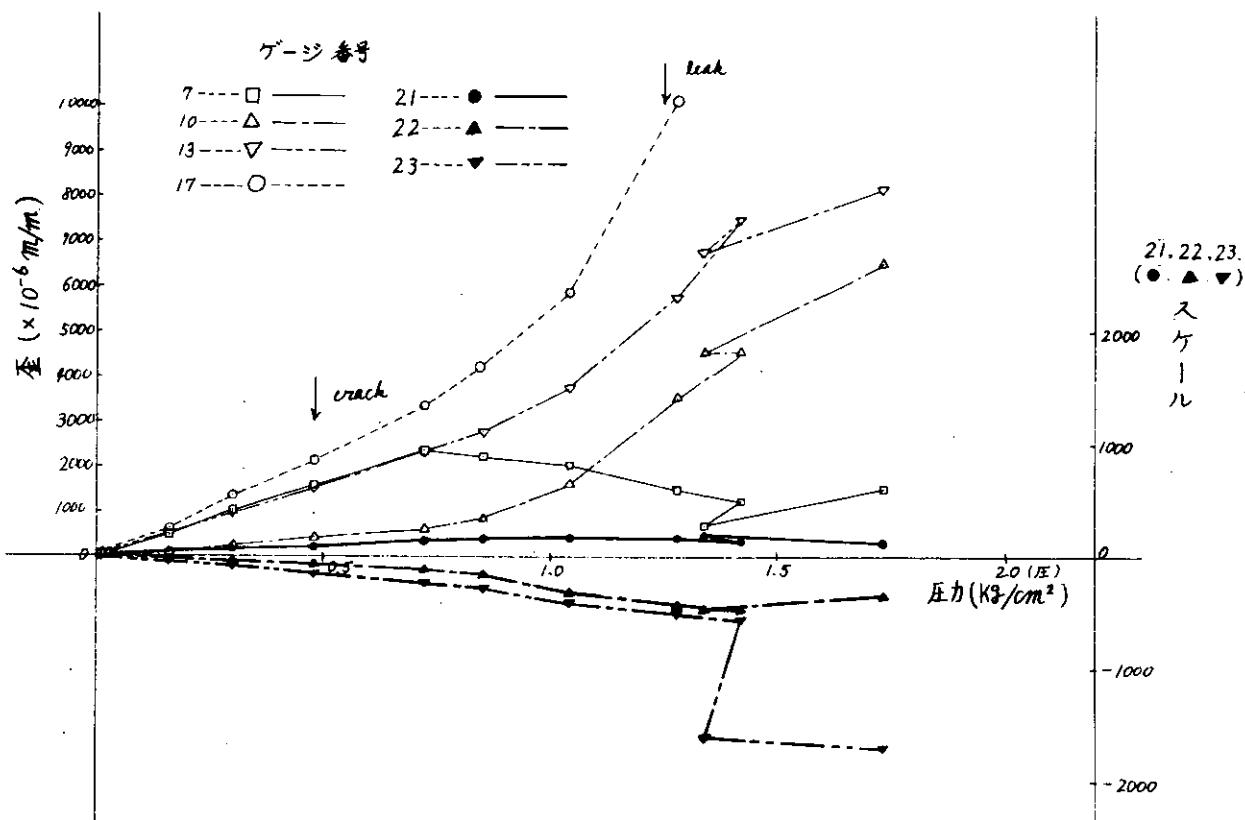


図 3.5.2.2 圧力 - 歪関係 (A-1, 対角線)

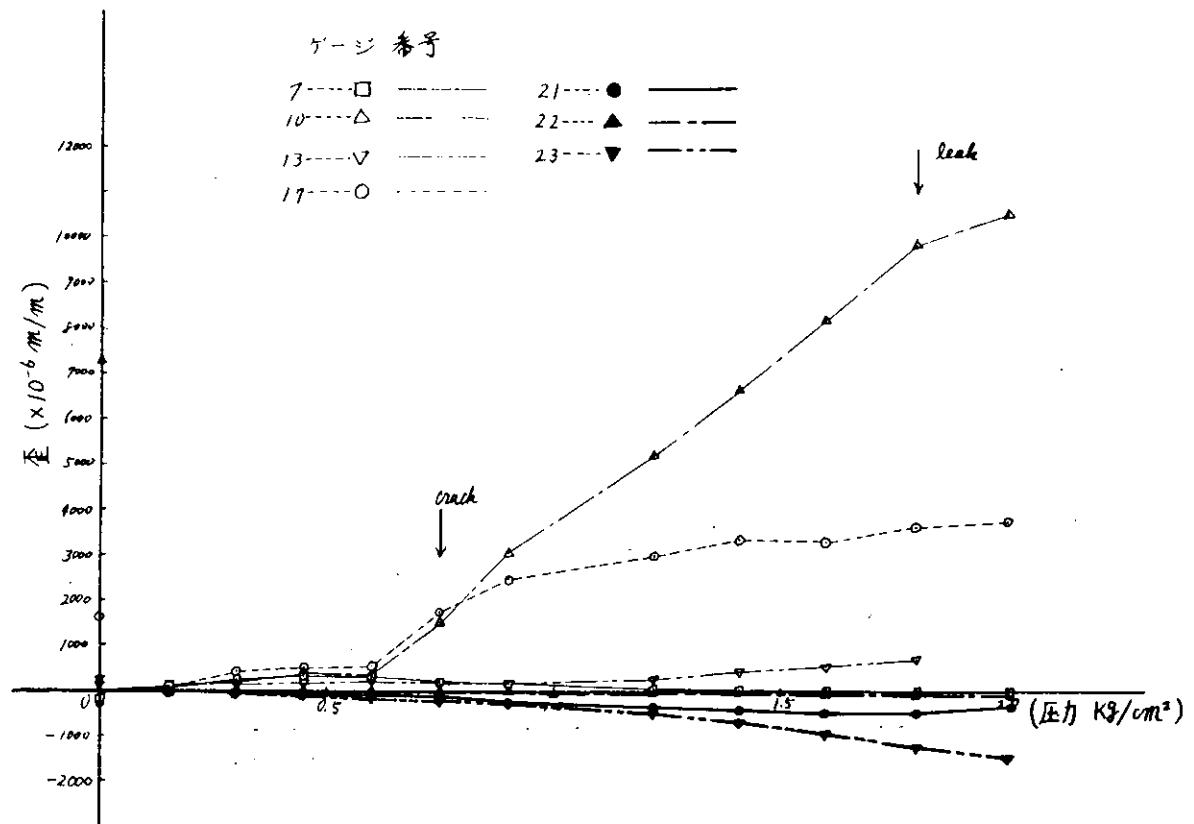


図 3.5.23 壓力 - 歪関係 (A-2, 対角線)

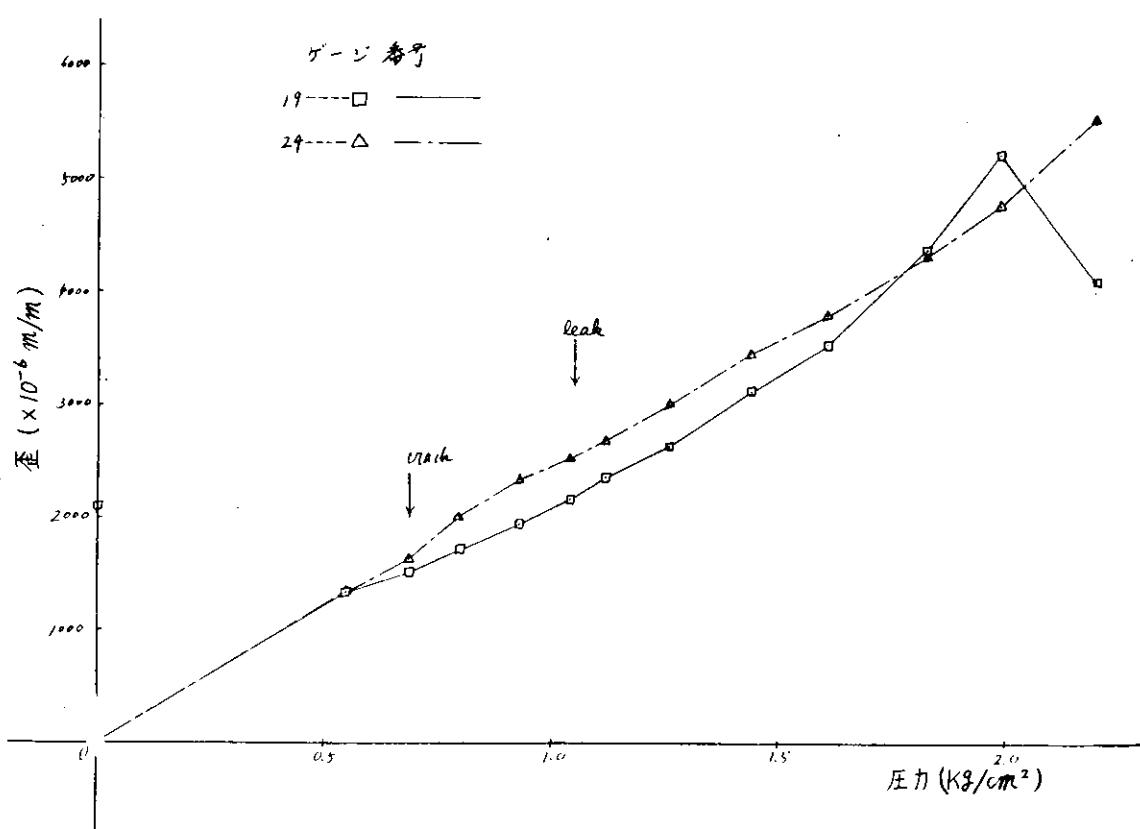


図 3.5.24 壓力 - 歪関係 (D-1, 対角線)

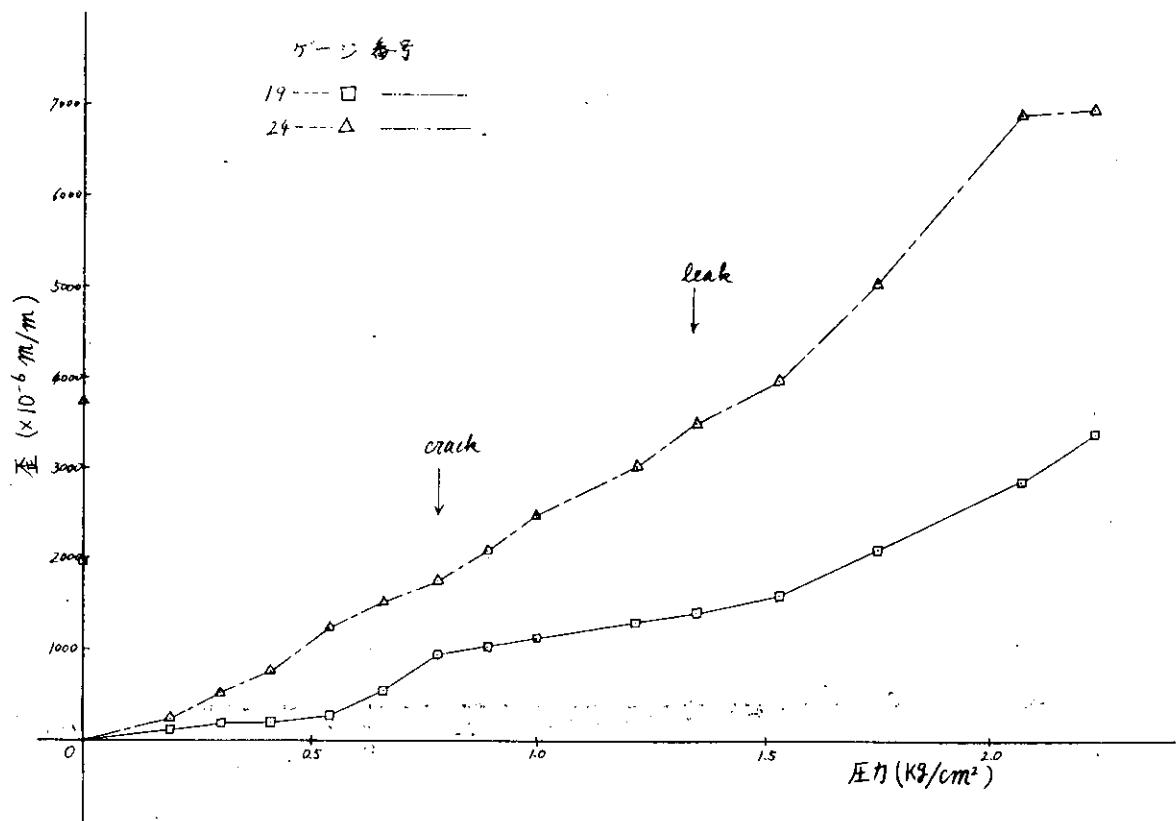


図 3.5.25 圧力 - 歪関係 (D-2, 対角線)

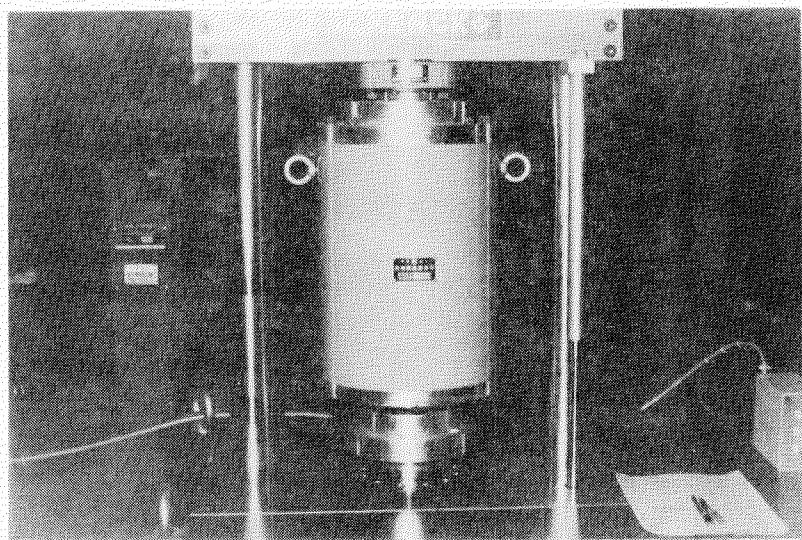


写真 3.5.1 低圧シリンダ

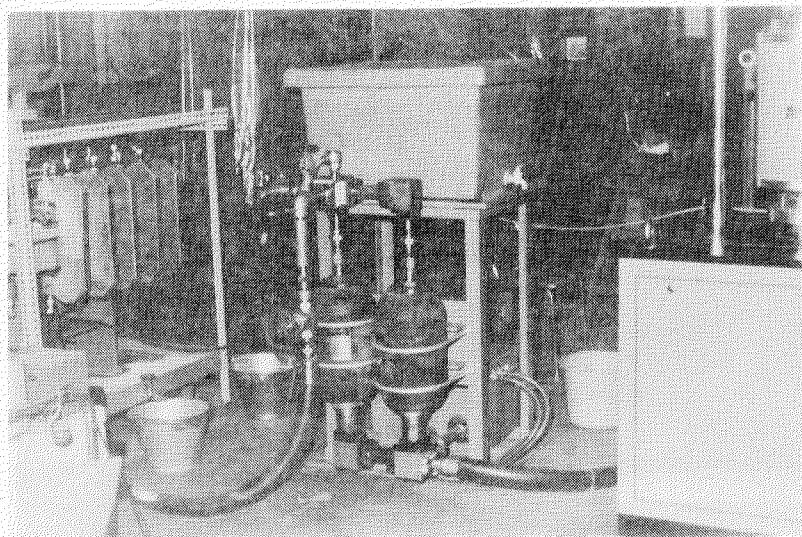


写真 3.5.2 油圧／水圧変換器及び貯水槽

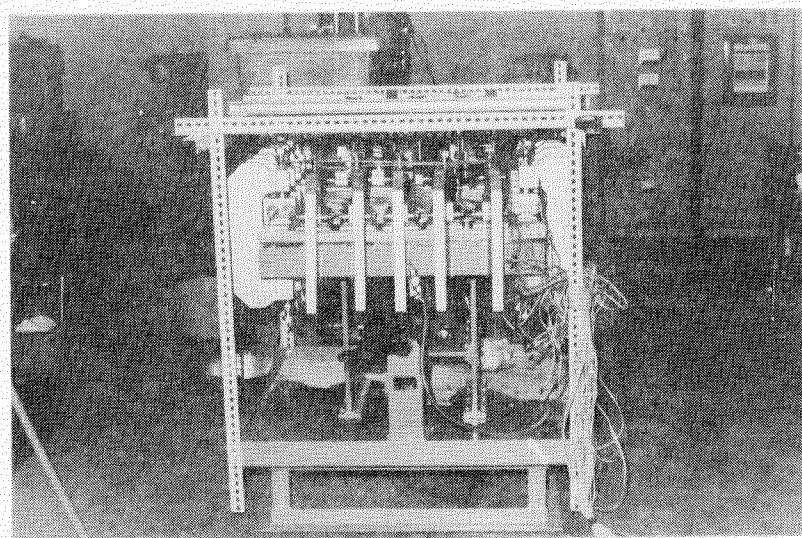


写真 3.5.3 試験盤、試験片をとりつけたところ

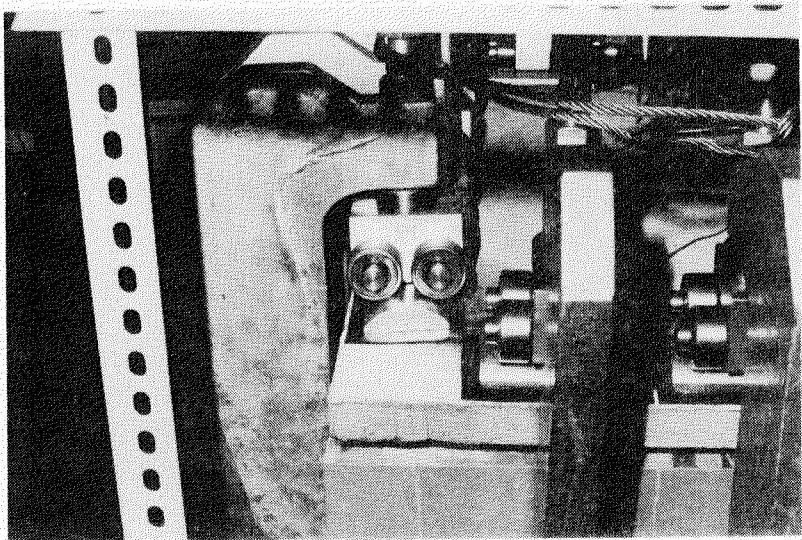


写真 3.5.4 押え治具

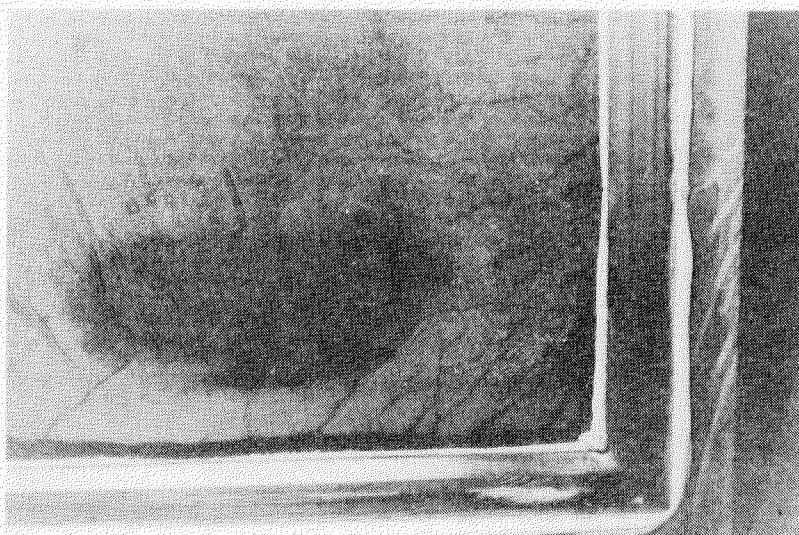


写真 3.5.5 裏面のひび割れ

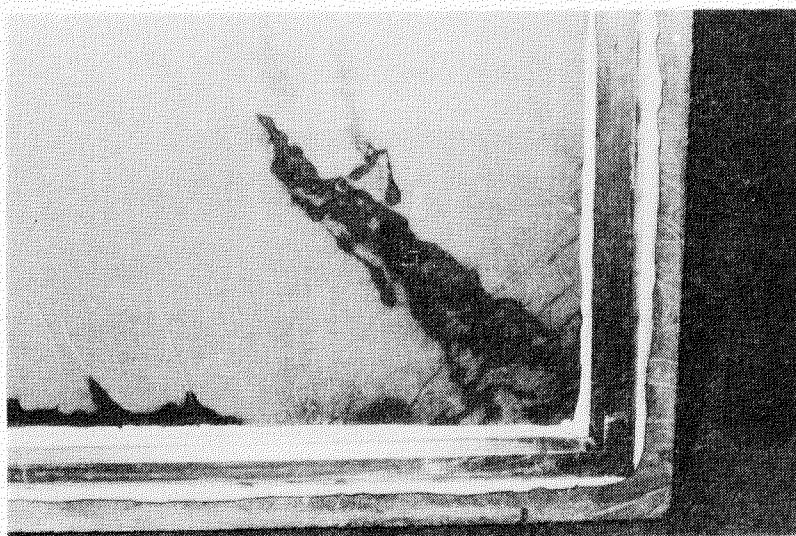


写真 3.5.6 裏面のはがれ