

日本船舶振興会昭和53年度補助事業

研究資料 No. 324

## 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54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、その第2年度の調査研究は、フェロセメント船の材料強度に関する研究として、DnV ルール並びにフェロセメント船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、丸鋼及び織金網等を補強材としたフェロセメント板の強度試験、部分構造模型による強度試験、及び波浪外力は船体に大きな影響を及ぼすため、昨年度試作したパネルの水圧疲労試験装置を用いフェロセメント板の静的及び動的な水圧を負荷させた疲労試験を行い、また完成した船体の板厚、内部欠陥、鉄筋の配置を調べるため超音波による探傷の適用性を検討し、それらの研究成果をとりまとめたものである。

# はしがき

本報告書は日本船舶振興会の昭和53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）	金原 勲（東京大学）
委員	井上 鞍（船舶技術研究所）	熊野 厚（日本海事協会）
	熊沢 時寛（岡本造船所）	鈴木龍夫（日本舟艇工業会）
	小林佑規（船舶技術研究所）	寺田泰治（日本海事協会）
	滝本久雄（日本セメント）	新田顕（日本海事協会）
	戸村了三（日本小型船舶検査機構）	樋口芳朗（東京大学）
	服部陽一（日立造船）	藤井欽二郎（工業技術院）
	吹上紀夫（船舶技術研究所）	吉本誠佑（アイエッチアイクラフト）
	堀内浩太郎（ヤマハ発動機）	
	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）	熊野 厚（日本海事協会）
委員	井上 鞍（船舶技術研究所）	滝本久雄（日本セメント）
	小林佑規（船舶技術研究所）	新田顕（日本海事協会）
	寺田泰治（日本海事協会）	吹上紀夫（船舶技術研究所）
	服部陽一（日立造船）	渡辺嘉香（小野田セメント）
	堀内浩太郎（ヤマハ発動機）	工藤栄介（運輸省船舶局）
オブザーバー	石井和也（運輸省船舶局）	
	斉藤宗韶（水産庁）	
討議参加者	大西 寛（小野田セメント）	籠宗昭（ヤマハ発動機）
	小西 熙（日本海事協会）	高羽登（日本セメント）
	津島 聰（船舶技術研究所）	西純一（日本セメント）
	西靖哉（小野田セメント）	橋本睦雄（小野田セメント）
	一家惟俊（小野田セメント）	三宅武文（日本小型船舶検査機構）
	山本隆夫（日立造船）	

## 目 次

まえがき .....	1
1. 既存船の強度解析 .....	3
1.1 45'トローラー .....	3
1.1.1 本船の概要 .....	3
1.1.2 DnV ルールによる検討 .....	3
1.1.3 フェロセメント船暫定基準(案)による検討 .....	8
1.1.4 結論 .....	10
1.2 57'モーターセラー .....	10
1.2.1 本船の概要 .....	10
1.2.2 DnV ルールによる検討 .....	11
1.2.3 フェロセメント船暫定基準(案)による検討 .....	14
2. モルタルの強度・膨張試験 .....	21
2.1 目的 .....	21
2.2 実験方法 .....	21
2.3 試験結果 .....	23
2.4 考察 .....	24
2.5 まとめ .....	25
3. フェロセメント板の強度試験(疲労試験) .....	35
3.1 まえがき .....	35
3.2 試験体の構造 .....	35
3.3 使用材料 .....	35
3.4 モルタルの配合 .....	35
3.5 試験体の種類および試験体数 .....	35
3.6 試験体の成形と養生法 .....	36
3.7 試験 .....	36
3.8 試験結果 .....	37
3.9 試験結果の検討 .....	42
3.10 まとめ .....	44
付録：フェロセメント板の引張強度と曲げ強度の関係 .....	49
4. 部分模型の強度試験 .....	50
4.1 はじめに .....	50
4.2 試験模型 .....	50
4.3 静的曲げ試験 .....	50
4.4 曲げ疲労試験 .....	54
4.5 まとめ .....	54
5. パネルの水圧疲労試験 .....	71

5.1 目的	71
5.2 試験装置	71
5.3 試験体	71
5.4 試験方法	71
5.5 試験結果	72
5.6 考察	72
5.6.1 静的水圧試験	72
5.6.2 動的水圧試験	72
5.7 結論	73
6. 超音波による非破壊検査	103
6.1 目的	103
6.2 超音波による探傷原理	103
6.3 計測装置	104
6.4 試験方法	105
6.5 試験片	106
6.6 試験結果	106
6.7 考察	107
6.8 まとめ	107
7. 強度試験法の確立	118
7.1 フェロセメントのモルタル試験方法について	118
7.1.1 材料試験	118
7.1.2 モルタル試験	118
7.1.3 フェロセメントのモルタルに関する規則について	119
7.2 フェロセメント板の強度試験方法について	151
7.2.1 まえがき	151
7.2.2 フェロセメント板の強度試験方法(案)	151
(1) フェロセメント板の曲げ強度試験方法	151
(2) フェロセメント板の引張強度試験方法	154
あとがき	157
昭和52年度報告書(No.305)正誤表	158

## まえがき

本研究は、昭和52年度から3カ年計画で実施しているもので、フェロセメント船の建造基準を確立することを前提として、フェロセメントの材料の性質、フェロセメントを材料とした船体構造強度について研究を実施するものである。

第一年度においては、フェロセメント船に係る外国の諸基準を調査するとともに、現存するフェロセメント船の構造これら諸基準による要求値との比較検討を行い、一方において、モルタルの強度試験をはじめ、フェロセメント板および防撓材を有する板構造の静的試験や疲労試験を実施して、フェロセメントの基礎的強度について研究を行った。

本年度は、前年度の既存船の強度解析およびフェロセメント板の強度試験をさらに拡張し、新らしく2隻のフェロセメント船の強度解析を行うとともに、新らしい種類の試験材や試験方法によって強度試験を実施し、前年度の結果とともに併せ検討した。また、今年度から超音波を利用したフェロセメント板の非破壊検査法について実験を開始した。

本年度の研究結果から概ね次のような結論がえられた。

(1) 既存船として、カナダのSamson Marine Design Ltdにより設計された45'トローラーとニュージーランドのHartley社の設計による57'モーターセーラーの2隻について、現行のDnVルールおよびわが国の船舶局の暫定基準による要求値との比較を行った。この結果、両船ともDnVルールあるいは暫定基準による縦強度上の要求値に対してはほぼこれらを満足する構造寸法となっているが、外板、甲板および肋骨などの局部強度については、基準の要求値に対して両船の構造寸法はかなり不足していることがわかった。また、暫定基準の場合はDnVルールよりさらに要求値が厳しいので、2隻の既存船の構造寸法は基準に対して著しく構造寸法が不足することになる。

しかしながら、実船としてこれらの構造寸法の船が数多く就航しているとすれば、それらの既存船の就航実態についてさらに調査することが必要であり、その結果によっては基準についての再検討も必要となる。

(2) モルタルの強度については、特に膨脹材を混合した場合の強度への影響に着目して、圧縮および曲げ強度試験を実施したが、膨脹材の混和はフェロセメントの曲げ強度に有効であり、特にひび割れ応力の上昇に有効であり、プレーンとの応力比は1.5～1.6倍となる。

(3) フェロセメント板の強度試験は、本年度は曲げ疲労試験に重点をおいて実施した。この種の実験は、これまであまり行われていないので、繰り返し荷重の大きさの決定は難かしかったが、当面ひび割れ応力を生じる荷重を目安とした。ひび割れ幅25μを生じる荷重の繰返しでは、疲労破壊は生じないことがわかった。また、静的試験での最大荷重の50%以下の荷重では疲労強度は問題とならないと考えることができよう。

(4) パネルの中央に肋骨を有するフェロセメント板の静的曲げ試験および曲げ疲労試験を実施し、防撓材の有効幅を求めたが、数少ない試験片では十分な結論をうることは難かしかった。特に防撓材が引張り側にある場合と圧縮側にある場合とで板内の応力分布にかなりの差がみられる。

ひび割れ応力以上では、板の断面係数としては、モルタルの引張り強度を無視して求めた値を用いることが妥当である。曲げ疲労試験をひび割れ荷重で行ったが、 $10^6$ 回の繰返しでも破壊は生じなかった。

(5) 正方形パネルの水圧繰返し試験を実施し、ひび割れの発生と漏れとの関係などについて観察を行い、パネルのひび割れ発生の機構について種々の興味ある資料を求めた。疲労試験は5種の構成材の異なるフェロセメント板について行ったが、一般的に板厚の15%程度以下のたわみを生じる水圧の繰り返しに対しては $10^6$ 回程度迄十分な疲労寿命を有する。

(6) フェロセメント板の非破壊検査を目的として超音波検査方法を実施し、試験体および実船のフェロセメント板について内部の金網、鉄筋および欠陥などが検出可能かどうかを試験した。未だ技術的には検討すべき問題が指摘されるが、超音波による探傷方法が十分実用化できる見とおしがついた。

(7) フェロセメントの強度的挙動はかなり複雑であることから、各種の基準で示されている材料の基礎強度試験法についてはなお検討すべき問題があるが、現段階で最も合理的と考えられる基礎試験材の標準試験法について一つの提案を試みた。

## 1. 既存船の強度解析

前年度は、52'フェロセメント漁船の図面を購入し、Det norske Veritas (DnV) ルールおよびフェロセメント船暫定基準(案)をもとにして強度解析を行った。本年度も45'トローラーおよび57'モーターセーラーの図面を購入し、同様な検討を行ったので、その結果を報告する。

### 1.1 45' トローラー

#### 1.1.1 本船の概要

##### (1) 主要寸法

全長	53' 9" (16.38 m)
垂線間長さ	47' 10" (14.58 m)
幅	16' 0" (4.88 m)
深さ	8' 3" (2.51 m)
吃水	6' 9" (2.06 m)

##### (2) 構造配置の概要

図1.1.1および図1.1.2に示す。

#### 1.1.2 DnV ルールによる検討

##### (1) 外板

###### (a) 局部強度上の要求

(i) 船底外板 (SECT. 9 B 20)<sup>注)</sup>

次式の大なる方とする。

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

$$t_2 = C_1 (L + 1.5) \quad (\text{mm})$$

ここで  $s$  : 肋骨心距 ( $= 0.914 \text{ m}$ )

$D = 2.51 \text{ m}$

$L = 14.58 \text{ m}$

$F$  : 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 ( $= 1.0$ )

$C_1 = \sqrt{0.7 / \sigma_{bspr}}$  : 材料係数 (SECT. 8 B 21)

$\sigma_{bspr}$  : フェロセメントの曲げ試験によるひび割れ応力で、 $0.7 \text{ kg/mm}^2$ 以上でなければならない。

$\sigma_{bspr} (\text{kg/mm}^2)$	1.0	1.5	2.0	2.5	2.7
$C_1$	0.837	0.683	0.592	0.529	0.509
$t_1$ (mm)	31.5	25.7	22.3	19.9	19.2
$t_2$	24.8	20.2	17.5	15.6	15.1
要求板厚	31.5	25.5	22.5	20.0	19.0

図面上の船底外板は19mmであるので、 $\sigma_{bspr}$ が、 $2.7 \text{ kg/mm}^2$ 以上のフェロセメントを用いる必要がある。

注) DnV ルール Chapter II Section 9 B 20の意。以下同様。

PRINCIPAL DIMENSIONS

LENGTH OVERALL	53' - 9" ( 16.38 m)
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	47' - 10" ( 14.58 m)
BREADTH	16' - 0" ( 4.88 m)
DEPTH	8' - 3" ( 2.51 m)
DRAFT	6' - 9" ( 2.06 m)

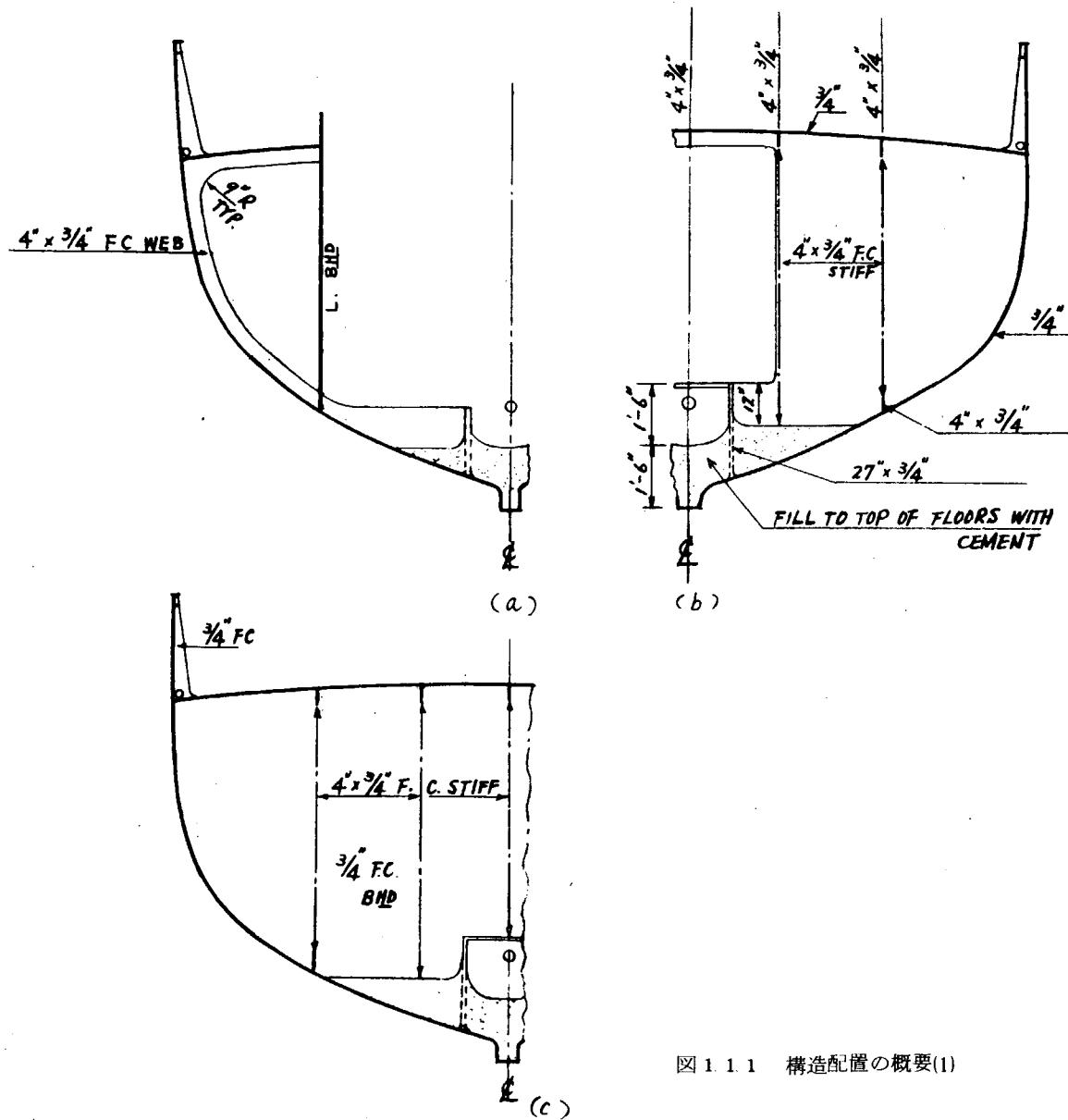
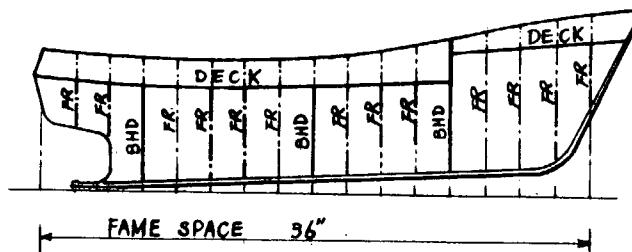
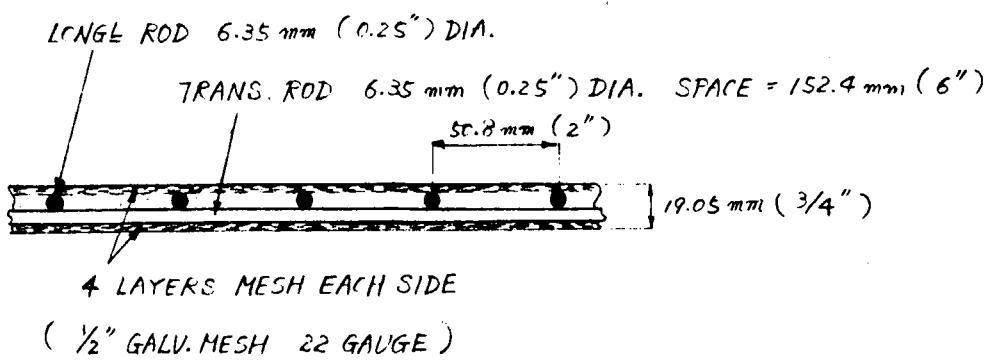
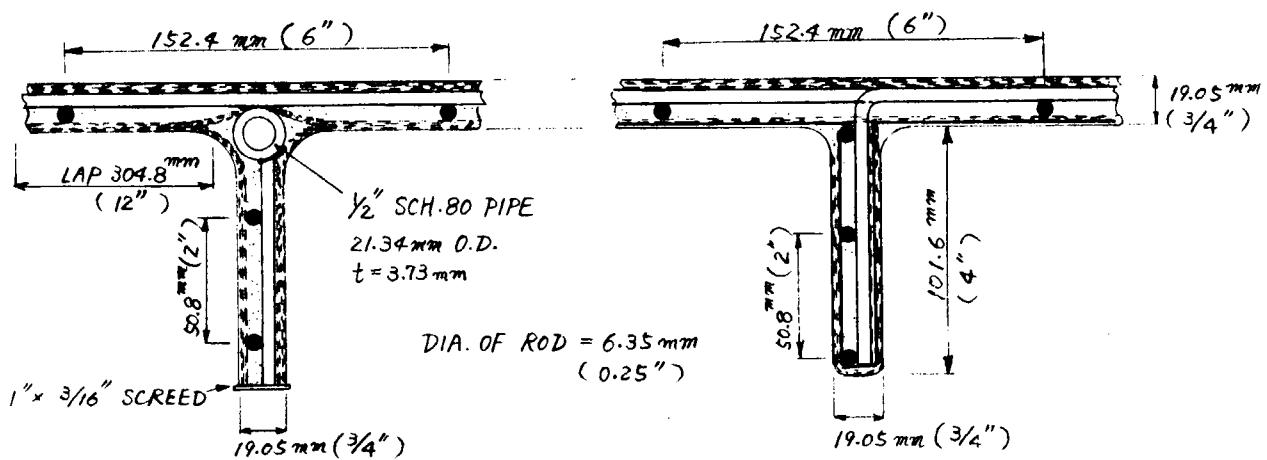


図 1.1.1 構造配置の概要(1)



(a) DECK & SHELL PLATE SECTION



(b) WEB FRAME SECTION

図 1.1.2 構造配置の概要(2)

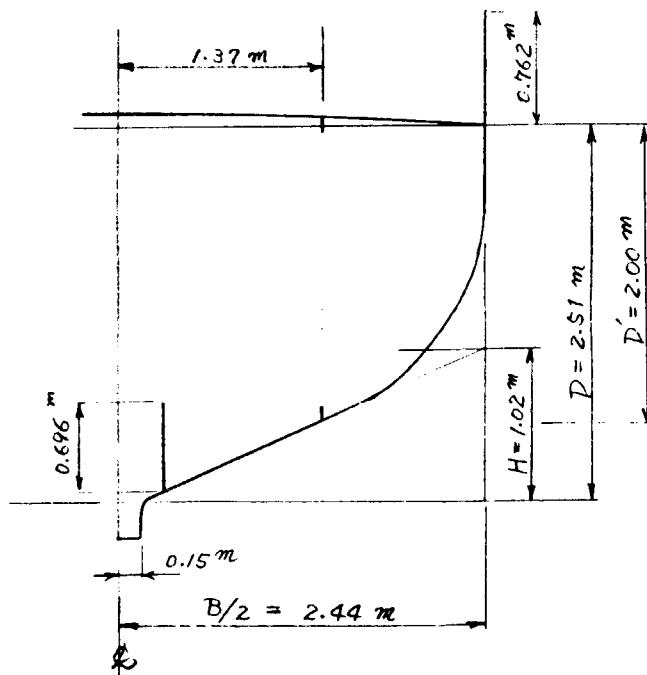


図 1.1.3

(ii) 船側外板 ( II SECT. 9 B 4 0 )

$$t = 0.95 t_b$$

ここで  $t_b : F = 1.0$  として計算した船底外板の板厚

$\sigma_{bspr}$ ( kg/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.5	2.0	2.4	2.5
$t_b$ ( mm )	31.5	25.7	22.3	20.3	19.9
0.95 $t_b$ ( mm )	29.9	24.4	21.2	19.3	18.9
要求板厚 ( mm )	30	24.5	21	19.5	19

図面上の船側外板は 19 mm であるので、 $\sigma_{bspr}$  が 2.5 kg/mm<sup>2</sup> 以上のフェロセメントを用いる必要がある。

(b) 縦強度上の要求 ( II SECT. 9 B 3 1 )

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強度部材の断面積は次式より大きくなること。

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

ここで  $B = 4.88 \text{ m}$

$L = 14.58 \text{ m}$

$D' = 2.51 - 1.02/2 = 2.00 \text{ m}$  ( 図 1.1.3 参照 )

$C_2 = 0.4 / \sigma_{sspr}$

$\sigma_{sspr}$  : 引張試験で求めたフェロセメントの亀裂応力 ( kg/mm<sup>2</sup> )

$\sigma_{sspr}$ ( kg/mm <sup>2</sup> )	0.5	0.7	0.8	1.0	1.5
$C_2$	0.8	0.571	0.5	0.4	0.267
$A_b$ ( cm <sup>2</sup> )	1842	1316	1151	921	615

図面から求めた船底部横断面積  $A_b$  は次の通りである。

$$A_b = ( 260 \text{ cm} \times 1.9 \text{ cm} + 10.2 \text{ cm} \times 1.9 \text{ cm} + 69.6 \text{ cm} \times 1.9 \text{ cm} ) \times 2$$

= 1291 cm<sup>2</sup> ……船体中央横断面にて。

したがって、 $\sigma_{sspr}$  が 0.72 kg/mm<sup>2</sup> 程度以上のフェロセメントを用いる必要がある。

(c) 補強材構造に対する要求 ( II SECT. 4 B, II SECT. 4 D )

図 1.1.2(a) に示すように、型式 C で副次的金網のない場合に相当する。

$$t = 19.05 \text{ mm}$$

$$D_1 = 6.35 \text{ mm}$$

$$s_1 = 50.8 \text{ mm}$$

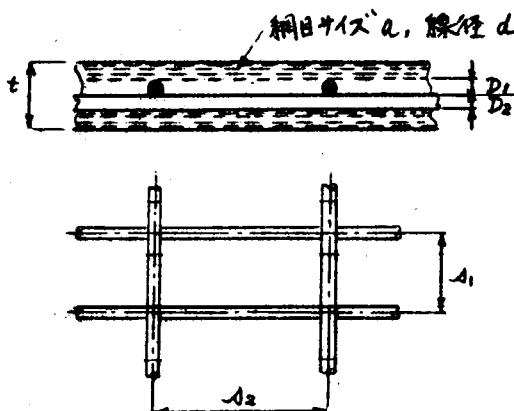
$$D_2 = 6.35 \text{ mm}$$

$$s_2 = 152.4 \text{ mm}$$

$$d = 0.7 \text{ mm}$$

$$a = 12.7 \text{ mm}$$

$$n = 8 \text{ ( 金網の層数 )}$$



$$K_n = 5.9 \frac{d}{a} \cdot \frac{n}{t - (D_1 + D_2)} = 4.10 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$K_t = 3.14 \frac{1}{t} \left( \frac{D_1}{s_1} + \frac{D_2}{s_2} \right) + K_n \left( 1 - \frac{D_1 + D_2}{t} \right) = 1.64 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$\mu_n = 1.25 d \cdot K_n = 3.59\%$$

$$\mu_t = 7.85 \frac{D^2}{s \cdot t} + \mu_n \cdot \left( 1 - \frac{D_1 + D_2}{t} \right) = \begin{cases} 4.47\% & \dots \text{縦方向} \\ 2.29\% & \dots \text{横方向} \end{cases}$$

II SECT. 4 D 2 0 によると、上記の値は次の範囲にあることが要求される。

$$1.8 \leq K_n \leq 4.0, \quad 1.6 \leq K_t \leq 4.0, \quad 2.0 \leq \mu_t \leq 6.5$$

$K_n$  はわずかに要求範囲をオーバーしているが、ほぼ Dn V ルールを満足している。

## (2) 甲板

### (a) 局部強度上の要求 ( II SECT. 9 D 5 0 )

次式の大なる方とする。

$$t_1 = 1.5 C_1 s (D - 0.45) F \quad (\text{mm})$$

$$t_2 = C_1 (0.9L + 1.4) \quad (\text{mm})$$

ここで  $s$  : 横梁心距 ( $= 0.914 \text{ m}$ )

$$L = 1.458 \text{ m}$$

$$D = 2.51 \text{ m}$$

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

$$F = 1.0$$

$\sigma_{bspr} (\text{kg}/\text{mm}^2)$	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6
$C_1$	0.837	0.764	0.707	0.683	0.661
$t_1 (\text{mm})$	23.6	21.6	20.0	19.3	18.7
$t_2 (\text{mm})$	22.7	20.7	19.2	18.5	17.9
要求板厚 (mm)	23.5	21.5	20	19.5	18.5

図面上の甲板の板厚は 19 mm であるので、 $\sigma_{bspr}$  が  $1.6 \text{ kg}/\text{mm}^2$  以上のフェロセメントを用いる必要がある。

### (b) 縦強度上の要求 ( II SECT. 9 B 6 0 )

甲板のガンウェル・コーナーより下方 0.15 D 範囲内の縦部材の断面積が次式による値より大なること。

$$Ad = C_2 \left[ \frac{4}{L - 1.2} + 2.0 \right] \cdot \frac{L^2 \cdot B}{D'} \quad (\text{cm}^2)$$

ここで

$$L = 1.458 \text{ m}, \quad B = 4.88 \text{ m}, \quad D' = 2.00 \text{ m}$$

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

$\sigma_{sspr} (\text{kg}/\text{mm}^2)$	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0
$C_2$	0.8	0.667	0.571	0.5	0.4
$Ad (\text{cm}^2)$	1473	1228	1052	921	737

実際の甲板部の断面積は次の通りである。

$$A_d = (244 \text{ cm} + 38 \text{ cm} + 76.2 \text{ cm}) \times 1.9 \text{ cm} \times 2 \\ = 1360 \text{ cm}^2$$

したがって、 $\sigma_{sspr}$ が  $0.55 \text{ kg/mm}^2$  以上のフェロセメントを用いればよい。

### (3) 肋骨 ( II SECT. 9 C 30, C 40 )

#### (i) 船側横肋骨

要求横断面係数は次の通り。

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

ここに

$$h = 2.5 \left( \frac{L}{100} + 0.5 \right) + D' = 3.61 \text{ m} \cdots \cdots \text{ 設計水頭}$$

$$\ell = 1.5 \text{ m}$$

$$s = 0.914 \text{ m}, \quad D' = 2.00 \text{ m}$$

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

$\sigma_{sspr}$  : 引張試験での亀裂応力で  $0.4 \text{ kg/mm}^2$  以上。

$\sigma_{sspr} (\text{kg/mm}^2)$	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0
$C_2$	1.0	0.667	0.571	0.5	0.4
$Z (\text{cm}^3)$	223	149	128	111	89

本船の肋骨の寸法は、 $102 \text{ mm} \times 19 \text{ mm}$  ( $4'' \times \frac{3}{4}''$ ) である。外板の有効幅  $0.8 s = 0.731 \text{ m}$  を考慮して横断面係数を求めると、 $Z = 123 \text{ cm}^3$  となる。したがって、 $\sigma_{sspr}$  が  $0.7 \text{ kg/mm}^2$  以上のフェロセメントを用いる必要がある。

### (4) まとめ

以上、DnV ルールを適用した結果、次に示す亀裂発生応力を満足するフェロセメントを用いる必要があることがわかった。

船底外板  $\sigma_{bspr} \geq 2.7 \text{ kg/mm}^2$ , 船側外板  $\sigma_{bspr} \geq 2.5 \text{ kg/mm}^2$

甲板  $\sigma_{bspr} \geq 1.6 \text{ kg/mm}^2$ , 船側肋骨  $\sigma_{sspr} \geq 0.7 \text{ kg/mm}^2$

しかし、外板に対して要求されているような高強度のフェロセメントは実際には存在しない。縦強度および補強材の配置は DnV ルールを満足している。

したがって、本船は外板以外はほぼ DnV ルールを満足しているようである。

## 1.1.3 フェロセメント船暫定基準(案)による検討

### (1) 船体縦強度

最大縦曲げモーメントは次の通り。

$$M = W \cdot L / 25 \quad (t - m)$$

ここに  $W = \text{満載排水量} (= 60 t)$

$$L = 14.58 \text{ m}$$

$$\therefore M = 35.0 \quad (t - m)$$

本船の船体中央部の横断面係数は次の通り。

$$Z_B = 1,900 \quad (\text{cm}^3 - \text{m})$$

$$Z_D = 2,110 \quad (\text{cm}^3 - \text{m})$$

したがって、作用応力は次の通り。

$$\sigma_B = 0.18 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_D = 0.17 \text{ kg/mm}^2$$

したがって、引張試験による亀裂発生応力が  $2 \times 0.18 = 0.36 \text{ kg/mm}^2$  以上、曲げ試験による亀裂発生応力が  $3.33 \times 0.18 = 0.6 \text{ kg/mm}^2$  以上のフェロセメントを用いればよい。

## (2) 船底外板

次式による板厚以上とすること。

$$t = 4.85 C_1 s \sqrt{hb} \quad (\text{mm})$$

$$\text{ここで } s = 0.914 \text{ m}$$

$$hb = 0.026 L + d \text{ または } 0.5 D \text{ の大きい方。 } d = 2.06 \text{ m, } D = 2.51 \text{ m}$$

$$= 2.44 \text{ m}$$

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

$$\sigma_{bspr} : \text{曲げ試験による亀裂発生応力 (kg/mm<sup>2</sup>)}$$

$\sigma_{bspr} (\text{kg/mm}^2)$	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
$C_1$	0.837	0.483	0.374	0.316	0.279
$t (\text{mm})$	5.80	3.34	2.59	2.19	1.93
要求板厚 (mm)	5.8	3.35	2.6	2.2	1.95

図面上の板厚は 1.9 mm であるので、 $\sigma_{bspr}$  が 9.5 kg/mm<sup>2</sup> 以上のフェロセメントを用いる必要がある。実際にはこのようなフェロセメントは存在しないので、暫定基準(案)を満足しない。

## (3) 船側外板

$$t = 0.95 \times (\text{船底外板})$$

船底外板と同様に暫定基準を満足しない。

## (4) 甲 板

次式による板厚以上とすること。

$$t = 5.0 C_1 s \sqrt{hd} \quad (\text{mm})$$

$$\text{ここで } s = 0.914 \text{ m}$$

$$hd = 0.022 L + 1.0 = 1.321$$

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

$\sigma_{bspr} (\text{kg/mm}^2)$	1.0	2.0	3.0	5.0	6.0
$C_1$	0.837	0.592	0.483	0.374	0.342
$t (\text{mm})$	4.39	3.11	2.54	1.97	1.79
要求板厚 (mm)	4.4	3.1	2.55	1.95	1.8

図面上の板厚は 1.9 mm であるので、 $\sigma_{bspr}$  が 5.5 kg/mm<sup>2</sup> 以上のフェロセメントを用いる必要がある。このようなフェロセメントは存在しないので、暫定基準(案)を満足しない。

## (5) 肋 骨

### (a) 船側横肋骨

次式による横断面係数以上とする。

$$Z = 8.0 C_2 \cdot s \cdot hb \ell^2 \quad (\text{cm}^3)$$

$$\text{ここで } hb = 2.44 \text{ m}$$

$$s = 0.914 \text{ m}$$

$$l = 1.5 \text{ m}$$

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

$\sigma_{sspr}$  : 引張試験による亀裂発生応力 (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{sspr}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	0.4	0.6	0.8	1.0	1.3
$C_2$	1.0	0.667	0.5	0.4	0.308
Z (cm)	401	268	201	161	124

本船の肋骨の横断面係数は、Z = 123 cmであるので、 $\sigma_{sspr}$  が 1.3 kg/mm<sup>2</sup> 以上のフェロセメントを用いる必要がある。

#### (6) まとめ

以上、フェロセメント船暫定基準(案)を適用した結果、次に示す亀裂発生応力を満足するフェロセメントを用いる必要があることがわかった。しかし、このような高強度のフェロセメントは実際には存在しないので、本船の各部材はフェロセメント船暫定基準(案)を満足していない。

船底および船側外板  $\sigma_{bspr} \geq 9.5 \text{ kg/mm}^2$ , 甲板  $\sigma_{bspr} \geq 5.5 \text{ kg/mm}^2$

船側肋骨  $\sigma_{sspr} \geq 1.3 \text{ kg/mm}^2$

船体縦強度はフェロセメント船暫定基準(案)を満足している。

#### 1.14 結論

本船に対して、DnVルールおよびフェロセメント船暫定基準(案)を適用した結果、本船はいずれのルールをも完全には満足していないことが分った。本船の航行海域、損傷実績の有無などは不明であるので、今のところルール要求値が過大であるかどうかの判断はできない。

DnVルールとフェロセメント船暫定基準(案)の差を明確にするために  $\sigma_{bspr} = 1.4 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_{sspr} = 0.8 \text{ kg/mm}^2$  として本船に対する両ルールの要求値を比較すると次のようになる。

	DnV ルール	暫定基準(案)
船底外板の板厚 (mm)	27	49
船側外板の板厚 (mm)	25.5	46.5
甲板の板厚 (mm)	20	37
船側肋骨の横断面係数 (cm <sup>3</sup> )	111	201

すべての部材について暫定基準(案)の要求値の方が大きい。この違いは設定外力または安全率の考え方の相違によるものと思われる。

#### 1.2 57' モーターセーラー

ニュージーランドのHARTLEY社より長さ57'フェロセメントモーターセーラーの図面を購入し、これの強度をDet Norske Veritas(以下DnV)ルールおよびフェロセメント船暫定基準(案)をもとにして解析した。その結果を以下に述べる。

##### 1.2.1 本船の概要

本船は次のような主要寸法を有するモーターセーラー(ヨット)で、その概要是図1.2.1および図1.2.2のごとくである。

全長 57' - 3" (17.45 m)

垂線間長さ 14.06 m : ただし、水線長の 96% より小

最 大 幅	※ 16' - 0" ( 4.88 m )
全 深 さ	3.81 m
深さ ( B L 上 )	2.90 m
喫水 ( キール下面から )	※ 8' - 0" ( 2.44 m )
喫水 ( B L 上 )	1.53 m
排 水 量	※ 38.6 t
水 線 長	14.78 m : 14.78 × 0.96 = 14.19 ( m )

※は入手図面記載の数値

### 1.2.2 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. 9 B 20 )

次の二つのうち大なる方

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

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

ここで

L : 垂線間長さ ( m ) ただし、水線長の 9.6% を最小値とする。

D : 船の深さ ( m )

S : 肋骨心距 ( m )

C<sub>1</sub> :  $\sqrt{0.7 / \sigma_{\text{b}}}$  : 材料係数

$\sigma_{\text{b}}$  : 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> )

$\sigma_{\text{b}}$  は 0.7 kg/mm<sup>2</sup> 以上でなければならない。

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

本船の場合

$$S = 0.965 \text{ m}, \quad L = 14.19 \text{ m}, \quad D = 2.90 \text{ m}$$

また、F = 1 と仮定する。 $\sigma_{\text{b}}$  はフェロセメント板の曲げ強度試験によって得られるが、図面上の船底外板の厚さは 29 mm であるから、この値から逆に必要な  $\sigma_{\text{b}}$  を求める。

$t_1$  および  $C_1$  の式から

$$\sigma_{\text{b}} = 0.7 \frac{400 S^2 ( D - 0.45 )^2}{t_1^2} = 1.86 \quad (\text{kg/mm}^2)$$

$t_2$  および  $C_1$  の式から

$$\sigma_{\text{b}} = 0.7 \frac{( L + 15 )^2}{t_2^2} = 0.71 \quad (\text{kg/mm}^2)$$

従って、 $\sigma_{\text{b}}$  が 1.86 kg/mm<sup>2</sup> 以上のフェロセメント板を用いねばならないが、これは相当高い要求値と考えられる。

##### (b) 縦強度上の要求 ( II sec. 9 B 30 )

キール上面上 0.15 D, または rise of floor のうちいずれか大なる範囲内の縦断面積 ( 両舷分 ) は次の値より大なること。

$$A_b = C_2 \left( \frac{5}{L - 1.2} + 2.5 \right) \frac{L^2 B}{D'} \quad (\text{cm}^2)$$

ここで

B : 船の幅

$C_2 = 0.4 / \sigma_{sspr}$  : 材料係数

$\sigma_{sspr}$  : フェロセメント板の引張試験によるひび割れ応力 (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{sspr}$  は 0.4 kg/mm<sup>2</sup> 以上でなくてはならない。

$D' = D - H/2$ , 最大 0.93 D

H : 船底勾配

本船の場合

$L = 14.19 \text{ m}$ ,  $B = 4.88 \text{ m}$ ,  $D' = 2.31 \text{ m}$  ( $H = 1.186$ ,  $D = 2.90$ )

実際の船底部断面積は  $2.9 \text{ cm} \times 311 \text{ cm} \times 2 = 1804 \text{ cm}^2$

$\sigma_{sspr}$  は フェロセメント板の引張試験によって得られるが、図面上の断面積は  $1804 \text{ cm}^2$  であるから、この値から逆に必要な  $\sigma_{sspr}$  を求める。

$A_b$  および  $C_2$  の式から

$$\sigma_{sspr} = 0.4 \frac{\left( \frac{5}{L-12} + 2.5 \right) \frac{L^2 B}{D'}}{A_b} = 0.45 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

従って、 $\sigma_{sspr}$  が  $0.45 \text{ kg/mm}^2$  以上であるようなフェロセメント板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. 4 B の型式 C で縦横補強鋼棒間に金網のない場合、図 1.2.3

$$t = 29 \text{ mm}$$

$$D_1 = 4 \text{ gauge} = 5.893 \text{ mm} \quad S_1 = 3'' = 76.2 \text{ mm} \cdots \text{縦方向}$$

$$D_2 = 6 \text{ gauge} = 4.887 \text{ mm} \quad S_2 = 3'' = 76.2 \text{ mm} \cdots \text{横方向}$$

ただし、diagonal

5 層金網 ( $\frac{1}{2}$ " Galv. Bird Netting) (両面)

$$d = 22 \text{ S.W.G} = 0.711 \text{ mm} \quad a = \frac{1}{2}'' = 12.7 \text{ mm} \quad n = 5 \times 2 = 10$$

II Sec. 4 D 2.1 より型式 C に対して

$$K_n = 5.9 \frac{d}{a} \frac{n}{t - (D_1 + D_2)} = 1.813 \text{ (cm/cm<sup>2</sup>)}$$

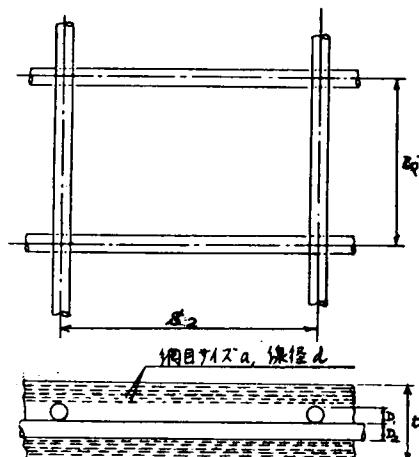


図 1.2.3

$$K_t = 3.14 \frac{1}{t} \left( \frac{D_1}{S_1} + \frac{D_2}{S_2} \right) + K_n \left( 1 - \frac{D_1 + D_2}{t} \right) = 1.292 \text{ (cm/cm<sup>2</sup>)}$$

$$\mu_n = 1.25 \quad d \quad K_n = 1.61 \text{ (%)}$$

$$\mu_t = 7.85 \frac{D^2}{st} + \mu_n \left( 1 - \frac{D_1 + D_2}{t} \right) =$$

$$\text{縦方向に対して } \mu_t = 2.25 \text{ (%)}$$

$$\text{横方向に対して } \mu_t = 1.86 \text{ (%)}$$

II Sec. 4 D 2.2 より  $K_n$ ,  $K_t$ ,  $\mu_t$  は次の範囲にあることが要求される。

$$1.8 \text{ cm}^2/\text{cm}^2 \leq K_n \leq 4.0 \text{ cm}^2/\text{cm}^2, \quad 1.6 \text{ cm}^2/\text{cm}^2 \leq K_t \leq 3.0 \text{ cm}^2/\text{cm}^2, \quad 2.0 \% \leq \mu_t \leq 6.5 \%$$

この場合、 $K_t$  および横方向の  $\mu_t$  が要求に達しない。

## (2) 甲板

### (a) 局部強度上の要求 ( II Sec. 9 D 5.0 )

次の二つのうち大なる方

$$t_1 = 1.5 C_1 S (D - 0.45) F \quad (\text{mm})$$

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

ここで

L, D, S, C<sub>1</sub>, F : 前出

本船の場合

$$S = 0.965 \text{ m}, L = 14.19 \text{ m}, D = 2.90 \text{ m} \quad (F = 1 \text{ と仮定})$$

図面上の甲板板厚は 2.85 mm であるから、これから逆に  $\sigma_{bspr}$  を求める。

$t_1$  および  $C_1$  の式から

$$\sigma_{bspr} = 0.7 \frac{1.5^2 \cdot S^2 (D - 0.45)^2}{t_2^2} = 1.08 \quad (\text{kg/mm}^2)$$

$t_2$  および  $C_2$  の式から

$$\sigma_{bspr} = 0.7 \frac{(0.9 L + 4)^2}{t_2^2} = 0.62 \quad (\text{kg/mm}^2)$$

従って、 $\sigma_{bspr}$  が 1.08 kg/mm<sup>2</sup> 以上 の フェロセメント板を用いねばならない。

### (b) 縦強度上の要求 ( II Sec. 9 B 6 0 )

甲板のガンネルコーナーより下方 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。

$$A_b = C_2 \left( \frac{4}{L - 1.2} + 2.0 \right) \frac{L^2 B}{D'} \quad (\text{cm}^2)$$

ここで

L, B, D', C<sub>2</sub> : 前出

本船の場合

$$L = 14.19 \text{ m}, B = 4.88 \text{ m}, D' = 2.31 \text{ m}$$

実際の甲板部断面積は

$$(2.85 \text{ cm} \times 8.8 \text{ cm} + 2.9 \text{ cm} \times 5.2 \text{ cm}) \times 2 = 80.3 \text{ cm}^2$$

$A_b$  および  $C_2$  の式から

$$\sigma_{sspr} = 0.4 \frac{\left( \frac{4}{L - 1.2} + 2.0 \right) \frac{L^2 B}{D'}}{A_b} = 0.21 \quad (\text{kg/mm}^2)$$

従って、 $\sigma_{sspr}$  が 0.21 kg/mm<sup>2</sup> 以上 である ような フェロセメント板を用いればよい。

### (3) 肋骨

II Sec. 9 C 4 0 によれば要求断面係数は次式で求められる。

$$Z = 3.0 C_2 \ell^2 S_h \quad (\text{cm}^3)$$

ここで

$$h = 2.5 \left( \frac{L}{100} + 0.5 \right) + D' \quad : \text{設計水頭 ( II Sec. 9 C 3 0 )}$$

$\ell$  : スパン長さ

S : 肋骨心距

L, D' : 前出

本船の場合

$$L = 14.19 \text{ m}, D' = 2.31 \text{ m}, S = 0.965 \text{ m}, \ell = 1.80 \text{ m}$$

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

$$h = 2.5 \left( \frac{14.19}{100} + 0.5 \right) + 2.31 = 3.91 \text{ m}$$

$$Z = C_2 \times 367 \text{ cm}^3$$

本船の肋骨の寸法は  $70 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  F, B。これに有効幅  $0.8 S = 0.772 \text{ m}$  (板厚  $2.9 \text{ mm}$ ) を付けて断面係数を求めるとき  $346 \text{ cm}^3$  となる。

この値と要求 Z の式から

$$\sigma_{sspr} = 0.4 \times \frac{367}{346} = 0.42 \text{ (kg/mm²)}$$

従って、 $\sigma_{sspr}$  が  $0.42 \text{ kg/mm}^2$  以上のフェロセメントを用いればよい。

#### (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、船底外板および甲板の局部強度が不足する懸念がある。これは肋骨の間隔を縮少することでルールに合致できると考えられる。横断面積は充分であるから板の厚さが不足していることはない。また、補強材構造については横方向が少し不足しているが、これは横補強鋼棒の間隔を少し縮少することによってルールをクリアーできるであろう。

本船はセーリングを目的としたモーター付きのヨットであり、外板を厚くして内部の肋骨の数を減らし、スペースを広くとって居住性を良くしようとした傾向のうかがえる船である。

### 1.2.3 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。

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

ここに

$$W : 満載排水量 \text{ (t)}$$

$$L : 垂線間長さ \text{ (m)}$$

これによる応力がひび割れ応力の  $\frac{1}{2}$  以下であることとしている。

本船の場合

$$W = 38.61 \text{ t} \quad L = 14.06 \text{ m} \quad \therefore M = 21.71 \text{ t m}$$

$$I = 890692 \text{ mm}^4 \quad Y_B = 1.512 \text{ m} \quad Y_D = 2.298 \text{ m}$$

$$Z_B = 589082 \text{ mm}^3 \quad Z_D = 387594 \text{ mm}^3$$

$$\text{船底部応力 } \sigma = M / Z_B = 21710 / 589082 = 0.037 \text{ kg/mm}^2$$

従って、引張試験による亀裂発生応力が  $2 \times 0.037 = 0.074 \text{ kg/mm}^2$  以上、曲げ試験による亀裂発生応力が  $3.33 \times 0.037 = 0.12 \text{ kg/mm}^2$  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。

$$t = 4.85 C_1 S \sqrt{hb} \text{ (mm)}$$

ここに

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

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

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

S : 肋骨心距

D : 船の深さ

d : 満載喫水

L : 前出

本船の場合

$$\begin{aligned} L &= 14.06 \text{ m} & D &= 2.90 \text{ m} & d &= 1.53 \text{ m} & S &= 0.965 \text{ m} & 0.5D &= 1.45 \text{ m} & h_b &= 0.026 \times 14.06 \\ &+ 1.53 & & & & & & & & &= 1.90 \text{ m} \end{aligned}$$

t および C<sub>1</sub> の式から

$$\sigma_{bc} = 0.7 \frac{48.5^2 S^2 h_b}{t^2} = 3.46 \text{ (kg/mm<sup>2</sup>)}$$

$\sigma_{bc}$  が 3.46 kg/mm<sup>2</sup> は極めて高い値である。実際には、このようなフェロセメント板は存在しないであろう。

### (3) 甲板

次式による板厚以上とすること。

$$td = 5.00 C_1 S \sqrt{hd} \quad (\text{mm})$$

ここで

$$hd = 0.022L + 1.0$$

L, C<sub>1</sub>, S : 前出

本船の場合

$$L = 14.06 \text{ m} \quad hd = 0.022 \times 14.06 + 1.0 = 1.309$$

td および C<sub>1</sub> の式から

$$\sigma_{bc} = 0.7 \frac{50.0^2 S^2 hd}{td^2} = 2.63 \text{ (kg/mm<sup>2</sup>)}$$

$\sigma_{bc}$  が 2.63 kg/mm<sup>2</sup> は極めて高い値。板厚を増すか、フレーム間隔を縮めるかせねばならぬ。

### (4) 肋骨(船側横肋骨)

次式による断面係数以上とすること。

$$Z_{f2} = K_{f2} C_2 S h_b \ell^2 \quad (\text{cm}^3)$$

ここで

$$K_{f2} = 160, 80$$

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

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

$\ell$  : 肋骨スパンの長さ

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<sup>2</sup>)

本船の場合

$$\ell = 1.80 \text{ m} \quad S = 0.965 \text{ m} \quad h_b = 1.90 \text{ m}$$

$$\therefore Z_{f2} = K_{f2} C_2 \times 0.965 \times 1.90 \times 1.80^2 = 5.94 K_{f2} C_2$$

$C_2$  が 1 の場合

$$Z_{f2} = 5.94 K_{f2} \quad K_{f2} = 160 \text{ の時 } \quad Z_{f2} = 950 \text{ cm}$$

$$K_{f2} = 80 \text{ " } \quad Z_{f2} = 475 \text{ cm}$$

実際の肋骨の断面係数は 346 cm<sup>3</sup> であるから満足しない。

#### (5) まとめ

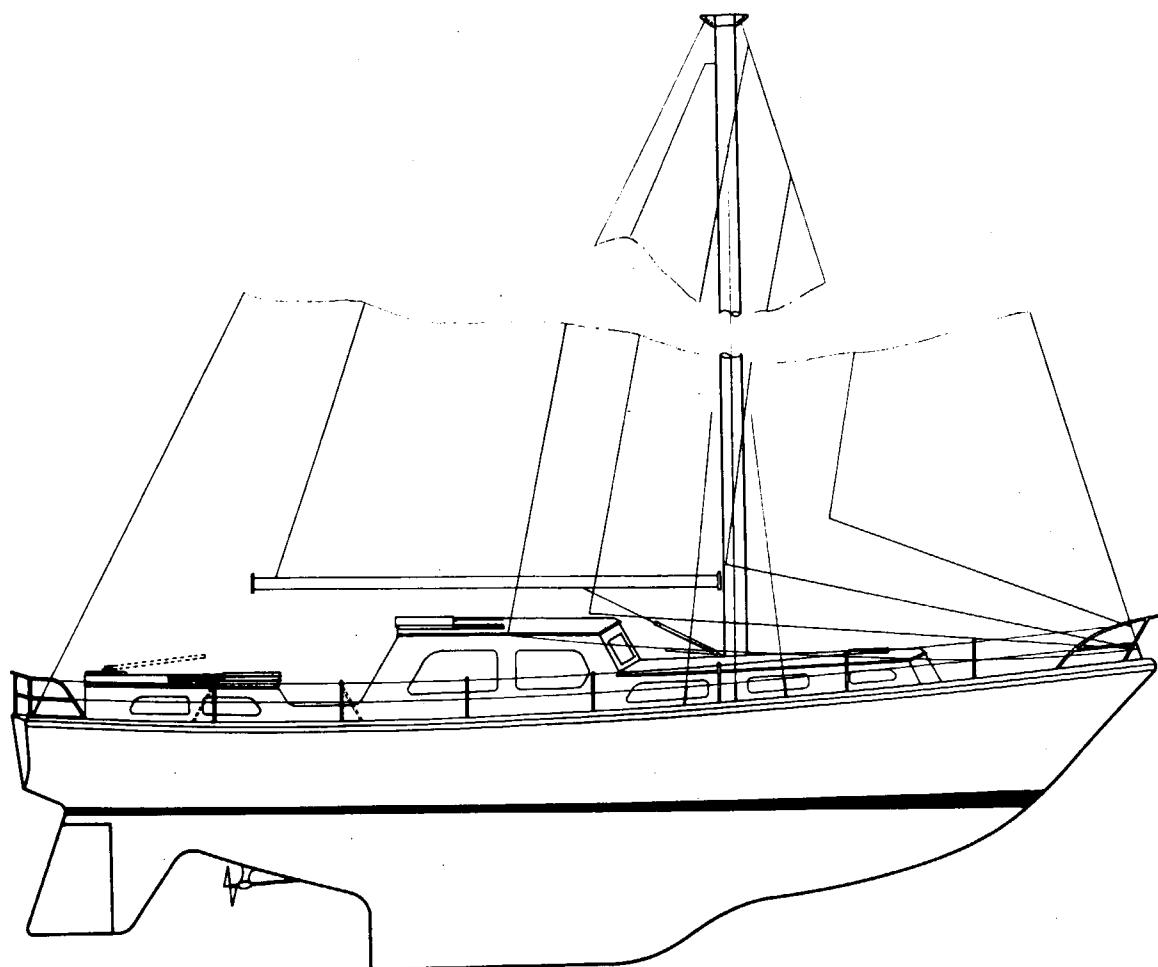
フェロセメント船暫定基準(案)をもとにして本船の強度を解析してみると、船体縦強度は要求を満足するが、局部強度から要求される外板および甲板の板厚が不足し、肋骨も不満足であることがわかる。

以上、DnV とフェロセメント船暫定基準(案)の適用結果を比較すると、概要次のようになると考えられる。

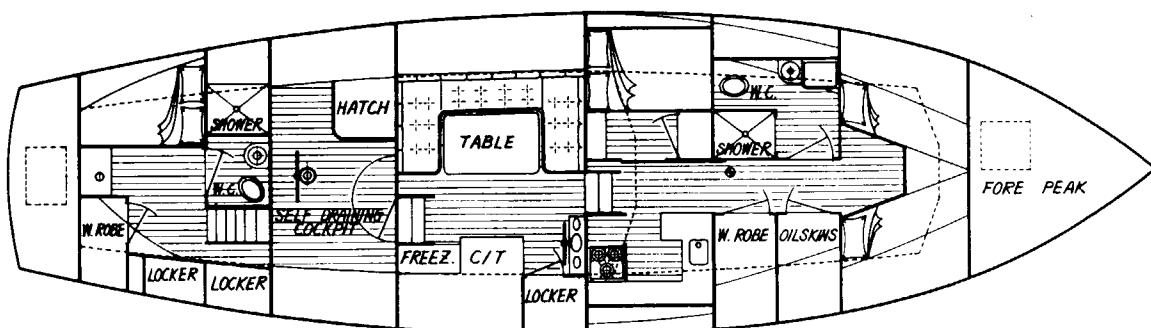
(a) 縦強度上の要求値は同程度か或いは暫定基準(案)の方が低くなることもある。

(b) 外板および甲板の板厚、肋骨等の要求値には大きな差があり、暫定基準案の方が大きい。

特に本船はブレジャー指向のヨットであり、船型が一般船と異なって居る上に肋骨の間隔が広いのでルールに及ばない所が多いとも考えられる。



ACCOMMODATION



DECK PLAN

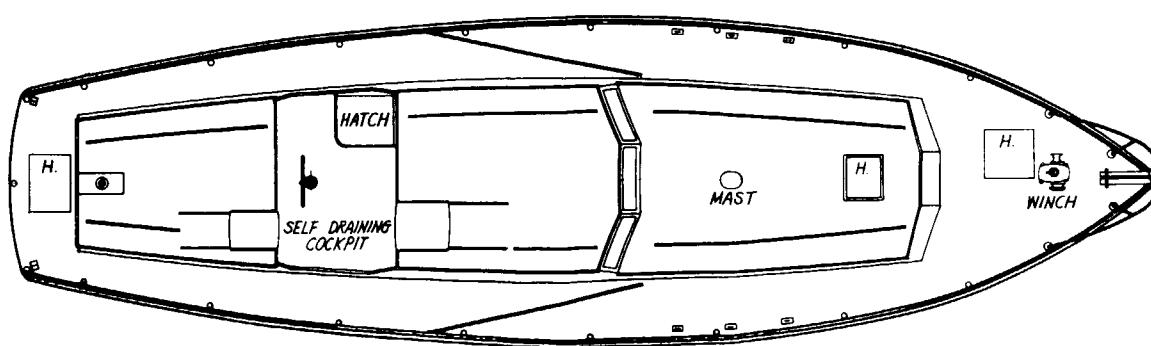


図 1. 2. 1

## STRINGERS AND MESH

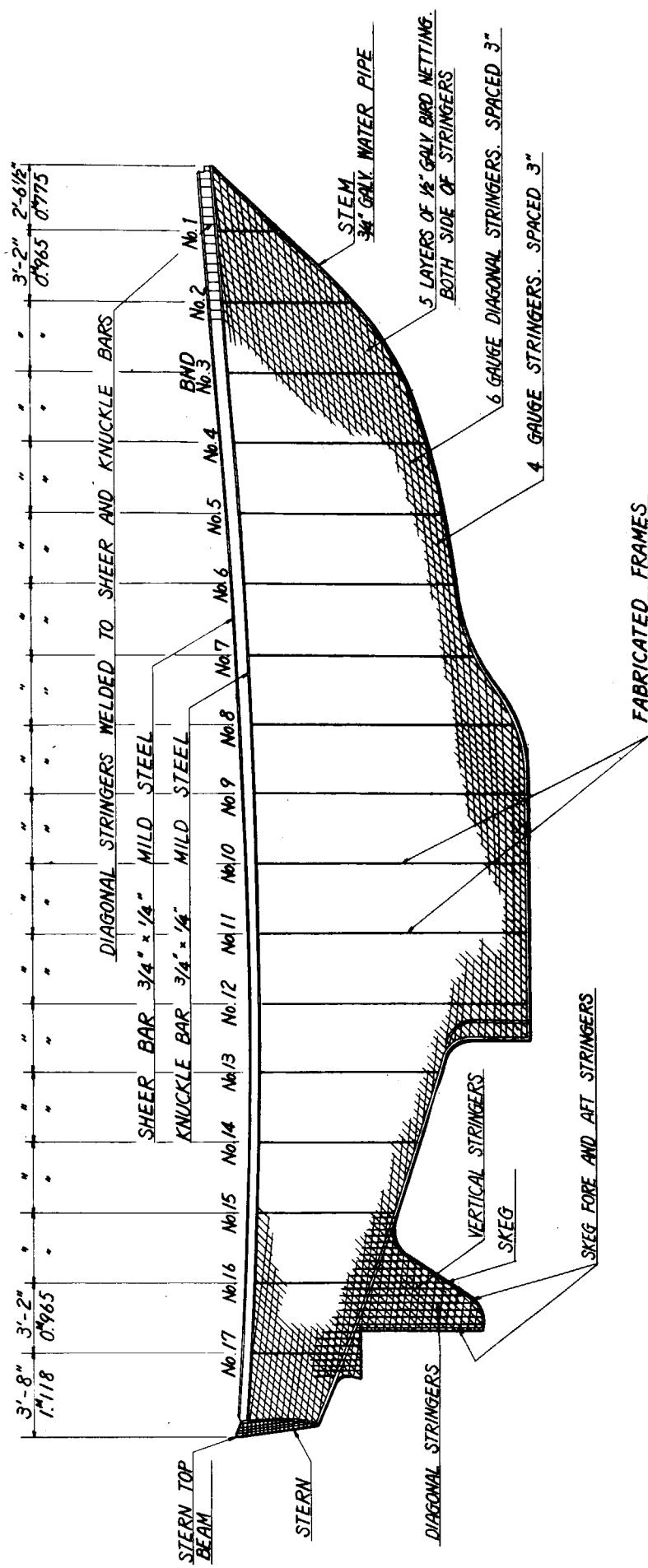


図 1.2.2 (a)

No. 9 FRAME

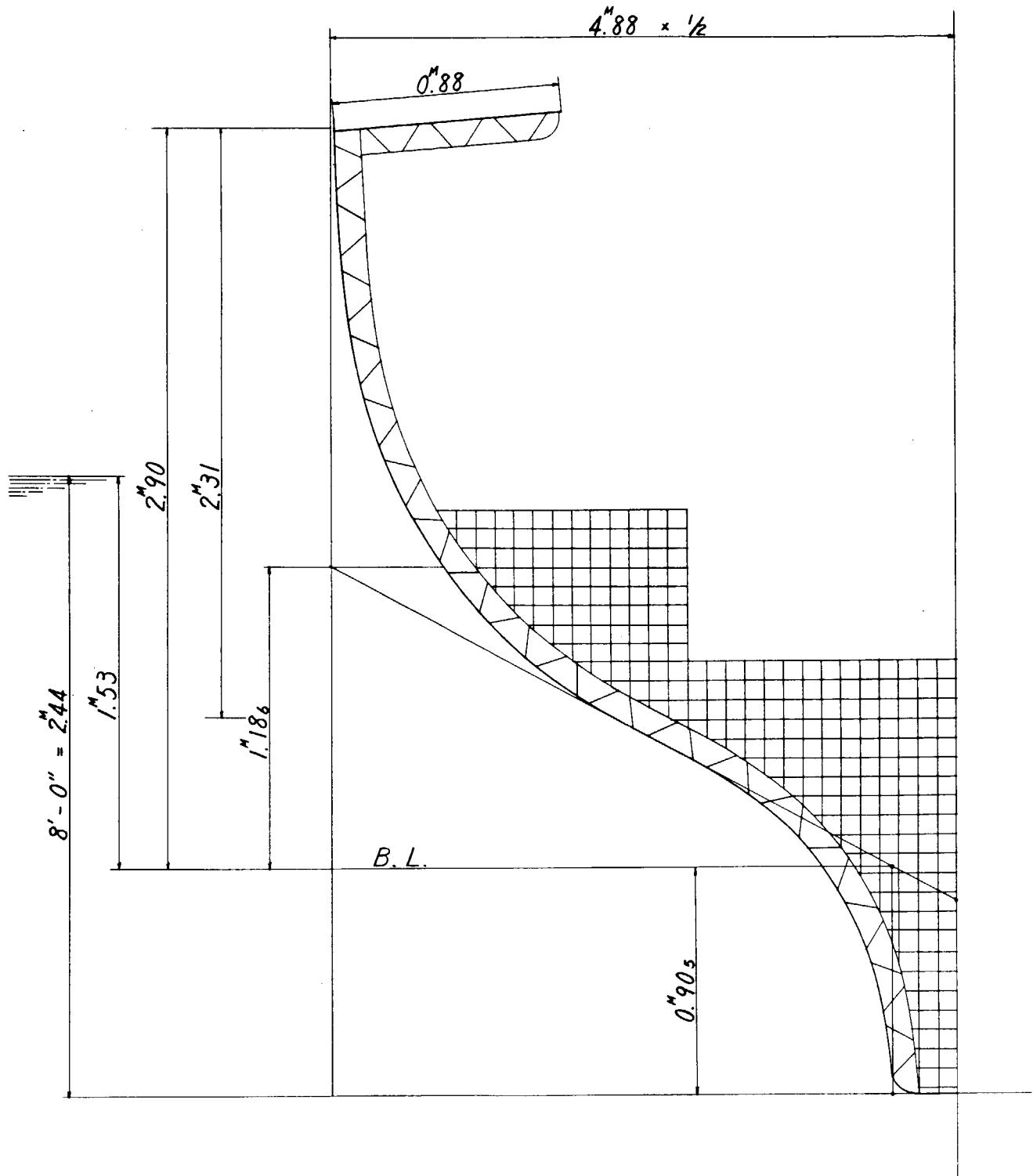


図 1. 2. 2 (b)

## TYPICAL CONSTRUCTION DETAIL

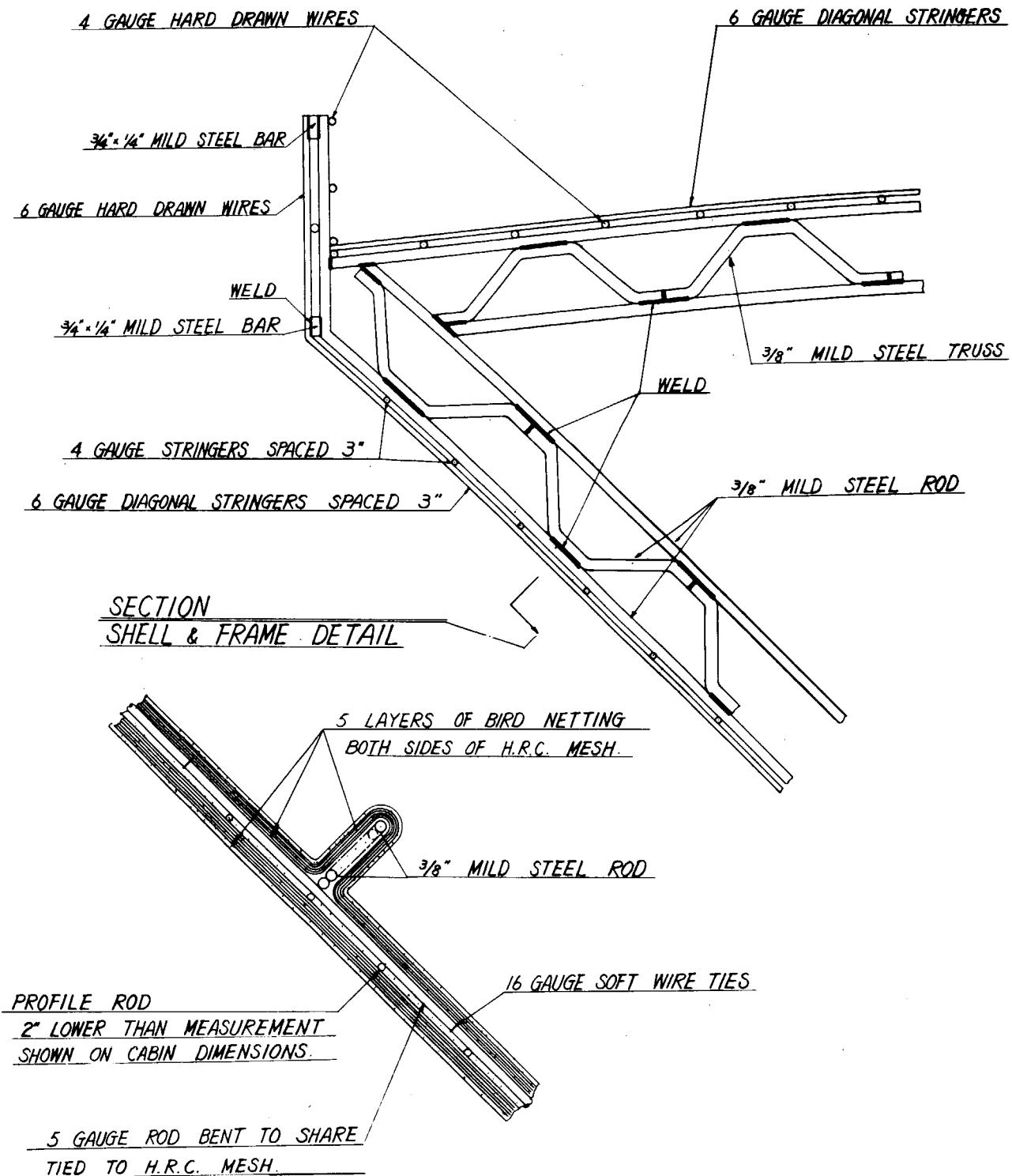


図 1. 2. 2 (c)

## 2. モルタルの強度・膨脹試験

### 2.1 目的

フェロセメントの曲げ強度増加、モルタル表面の微細クラックの防止を目的として膨脹材を適用し、その第一段階として膨脹材の混和量とモルタルの強度・膨脹率について検討した。また、フェロセメント板についても試験項目を追加し、一部検討を加えた。

### 2.2 実験方法

#### (1) 使用材料

本実験に使用した材料は以下の通りである。

セメント： 小野田普通ポルトランドセメント、比重 = 3.17  
細骨材： 鬼怒川産川砂、最大寸法 = 2.0 mm、表乾比重 = 2.63  
水： 水道水  
減水剤： マイティー150（花王石鹼製）  
膨脹材： 電化 CSA ( CSA 系 )  
小野田エクスパン（石灰系）  
鉄筋： 直系 5 mm PC 鋼線  
金網： 亀甲金網、線径 0.7 mm、網目 10 mm、亜鉛メッキ

#### (2) モルタルの強度・膨脹試験

##### (a) モルタルの配合

モルタルの配合は表 2.1 の通りである。

##### (b) 成型および養生方法

モルタルの成型は、JIS R 5201 セメントの物理試験方法に準じて行った。成型後 24 時間で脱型し、以後蒸気養生（昇温 15 °C/h、最高温度 65 °C、保持時間 3 時間、降温徐冷）を行った。その後所定の材令まで 20 °C の恒温水槽で養生した。

表 2.1 モルタルの配合

膨脹材	記号	水・セメント比 (%)	砂・セメント比	単位重量 (kg/m³)				
				セメント	膨脹材	水	細骨材	減水剤
無	P	3.7	2.0	650	0	241	1300	6.5
電化 CSA	C-40	3.7	2.0	610	40	241	1300	6.5
	C-50	3.7	2.0	600	50	241	1300	6.5
	C-60	3.7	2.0	590	60	241	1300	6.5
小野田エクスパン	E-40	3.7	2.0	610	40	241	1300	6.5
	E-50	3.7	2.0	600	50	241	1300	6.5
	E-60	3.7	2.0	590	60	241	1300	6.5

(c) 膨脹率試験

供試体の膨脹率は、CAJS H11 “モルタルの硬化乾燥による長さ変化測定試験方法”（資料No.1）に準じて行った。すなわち、脱型後を基長とし、蒸気養生終了時および水中7日、14日、28日における膨脹量を測定した。その後、供試体は温度20°C、湿度50%の恒温室にて乾燥させ収縮量を測定した。

(d) 強度試験

強度試験は、脱型後、蒸気養生終了時、水中28日における圧縮および曲げ強度試験を行った。

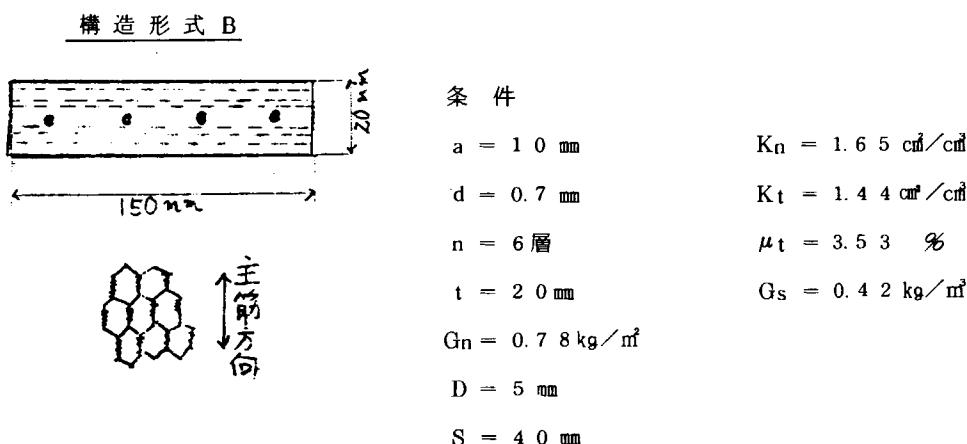
(3) フェロセメントの曲げ強度試験（追加試験）

(a) モルタル配合

モルタル配合は、表2.1におけるP, E-40, E-50, E-60の配合について行った。

(b) 構造形式

NV規則に示されているフェロセメント板の構造形式B型に基づいて配筋を決定した。フェロセメント板の比鋼材含有量( $G_s$ )全断面に対する全補強材係数( $\mu_t$ )、金網薄板および全薄板についての比付着係数( $K_n$ ,  $K_t$ )は次の通りである。（資料No.2）



ここで

$a$ : 金網の網目	$G_n$ : 金網一層の単位面積重量
$d$ : 金網の線径	$D$ : 鉄筋の直径
$n$ : 金網の層数	$S$ : 鉄筋の中心間距離
$t$ : 板 厚	

(c) 成型および養生方法

型枠(150mm×600×20)にパネルをセットし、強制練りミキサーで練り混ぜたモルタルをバイプレータを使用して、金網の中へ充分浸透させた。打ち込み数時間後にキャッピングを行い、以後翌日まで放置した。脱型後蒸気養生（条件はモルタルと同一）を行い、その後は20°Cの恒温水槽で養生をした。

(d) 曲げ強度試験方法

曲げ強度試験は、材令14日で行った。試験は図2.1に示すようにスパン510mmとする3等分点載荷(NVレポートよりスパン/厚さ比=25を採用)で行った。測定項目は、ひびわれおよび破壊荷重である。

本試験におけるひびわれ荷重は、可視ひびわれおよび50μひびわれに区別した。可視ひびわれとは、最初に観察されたひびわれであり、その幅は25μ前後であった。50μひびわれとはマイクロスコープでひびわれ幅50μと確認されたものをいう。

測定された各荷重より次式を用いて曲げ強度を求めた。

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$M = \frac{P \cdot \ell}{6} \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}) \quad Z = \frac{b h^2}{6} \quad (\text{cm}^3)$$

ここに

$\sigma$  : 曲げ強度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )      P : 荷重 ( $\text{kg}$ )

M : 曲げモーメント ( $\text{kg} \cdot \text{cm}$ )       $\ell$  : スパン長 (=51cm)

Z : 断面係数 ( $\text{cm}^3$ )      b : 供試体の幅 (=15cm)

h : 供試体の厚さ (cm)

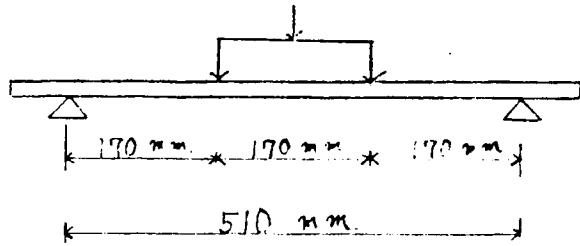


図 2.1 試験方法

## 2.3 試験結果

### (1) モルタルの膨脹

モルタルの膨脹および収縮は表 2.2 の通りである。

表 2.2 モルタルの膨脹および収縮

供試体	長さ変化率 ( $\times 10^{-4}$ )						
	蒸気養生直後	1W	2W	4W	6W	8W	10W
P	-0.86	0.12	0.38	0.50	-6.07	-8.50	-9.60
C-40	1.25	2.88	3.70	4.09	-2.14	-4.40	-5.21
C-50	1.22	4.10	4.62	4.88	-0.76	-3.12	-3.95
C-60	1.43	5.50	6.14	6.57	0.76	-1.02	-2.40
E-40	0.69	1.93	2.31	2.62	-1.31	-3.81	-4.73
E-50	1.32	3.14	3.41	3.71	-1.26	-3.64	-4.67
E-60	2.50	4.47	4.40	5.11	-0.71	-2.71	-3.41

基長：脱型直後

表 2.2において 4Wまでは水中 20°C, その後は温度 20°C, 湿度 50%の恒温室にて養生した。

### (2) モルタルの強度

モルタルの曲げ、圧縮強度は表 2.3 の通りである。

表 2.3 モルタル強度

供試体	フロー値 (mm)	曲げ強度 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )			圧縮強度 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )		
		脱型直後	蒸気養生直後	4W	脱型直後	蒸気養生直後	4W
P	19.3	0.47	0.65	0.95	2.16	4.68	6.96
C-40	18.9	0.62	0.74	0.90	2.68	4.95	6.69
C-50	18.6	0.57	0.72	0.89	2.85	5.12	6.90
C-60	18.4	0.55	0.75	0.91	2.82	4.92	6.62
E-40	18.8	0.55	0.72	0.95	2.59	4.78	6.50
E-50	19.1	0.60	0.75	0.96	2.68	4.89	6.50
E-60	18.6	0.56	0.69	0.93	2.66	4.85	6.46

(供試体: 4 × 4 × 16 cm)

### (3) フェロセメントの曲げ強度

フェロセメントの曲げ強度は表 2.4 の通りである。

表 2.4 フェロセメントの曲げ強度

供試体	荷重 (kg)			曲げ強度 (kg/mm)		
	可視ひびわれ	50μひびわれ	破壊	可視ひびわれ	50μひびわれ	破壊
P	105 (10)	137 (20)	386 (15)	0.80 (0.1)	1.03 (0.12)	2.93 (0.26)
E-40	151 (22)	198 (20)	453 (161)	1.18 (0.17)	1.54 (0.31)	3.51 (0.3)
E-50	152 (37)	217 (50)	458 (50)	1.24 (0.25)	1.77 (0.40)	3.75 (0.25)
E-60	152 (26)	210 (51)	447 (175)	1.26 (0.06)	1.74 (0.04)	3.67 (0.63)

(供試体: 150mm × 600 × 20)

注) 表の値は 3 個の平均値, ( ) 値は最大値と最小値の差

## 2.4 考 察

### (1) モルタルの膨脹および収縮

図 2.2, 2.3 に長さ変化率と材令の関係を示したが、膨脹材の種類、混和量にかかわらず、膨脹は水中 7 日までにはとんど終了し、それ以後 28 日までの伸びはわずかである。この事より膨脹材を使用したモルタルは、水和初期における養生が非常に重要であると言える。(資料 No.3)一方、室内養生後はすべて急激に収縮がはじまり、材令 10 週においても、なお継続している。既往の報告では、この収縮は室内養生(20°C, 50%)開始後 13 週程度まで続くと言われている。10 週後における膨脹材を混和したものの収縮量は、プレーンに比べ明らかに少なく、モルタル表面の収縮ひびわれの防止に役立つと思われた。

膨脹量および収縮量は混和量と比例関係にあるが、一方では、強度に与える影響も大きいので、混和量の決定については相互の関係を十分考慮しなければならない。

### (2) モルタル強度

#### (a) 圧縮強度

モルタルの圧縮強度は図 2.4 に示した通りであるが、膨脹材を混和したものは、プレーンと比べると、脱型直後および蒸気養生直後で強度は大きく、水中 28 日においては逆に小さくなつた。

この理由としては、本試験のような自由膨脹の場合、水和初期に於ける膨脹圧力がモルタルを圧密にし、内部空隙を減少させるいわゆるプレス効果を与えるが、プレーンよりも強度が大きくなつたものと思われる。しかし、その後の水中養生期間中にも膨脹が進行するため、膨脹圧がモルタルの拘束力以上となり、そのため硬化体の組織がルーズになり水中 28 日強度においては、プレーンよりも低下したと考えられる。

#### (b) 曲げ強度

モルタルの曲げ強度については図 2.5 に示した通りであるが、その傾向は圧縮強度の場合とほぼ同じである。電化 CSA の場合、水中 28 日強度が若干低下しているように思われるが、その強度差は小さく同程度と判断してよいと思われる。混和量による曲げ強度の差は、圧縮強度と同様、両方の膨脹材とも明確な傾向としては表われなかつた。

### (3) フェロセメントの曲げ強度

#### (a) 混和量と曲げ強度

混和量と曲げ強度との関係を図2.6に示したが、膨脹材の混和により、ひびわれ応力(可視および $50\mu$ )破壊強度ともプレーンに比べ増大した。これは、フェロセメント中の補強材が拘束体として作用し、ケミカルプレストレスが導入された結果と思われる。しかし、混和量による差は、明確には表われなかった。この事よりケミカルプレストレスとして導入される膨脹量は上限値があり、その値は、補強構成および補強材含有率により変化するものと思われる。(資料No.5)

#### (b) 応力度比率

応力度比率は表2.5に示した通りであるが、表よりプレーンの場合の各応力を基準とすると、膨脹材を混和したものは、可視ひびわれ応力では1.5～1.6倍、 $50\mu$ ひびわれ応力では1.5～1.7倍、破壊強度に対する応力度比をみると、膨脹材を混和したものは、プレーンに比較して可視ひびわれ応力では7%程度、 $50\mu$ ひびわれ応力では9～10%の増大をみた。

## 2.5 まとめ

今回の試験の結果、次のような事が判明した。

- (1) 膨脹材の混和は、その使用法を適切に行えば、モルタル表面の微細クラックの防止に役立つと思われる。
- (2) 膨脹材混和量 $4.0 \sim 6.0\text{ kg/m}^3$ で自由膨脹の場合、モルタルの圧縮および曲げ強度は、材令28日でプレーンと大差なく、強度の顕著な低下はみられなかった。
- (3) 膨脹材の混和は、フェロセメントの曲げ強度の改善に有効であると思われる。すなわち、膨脹材を混和したものはプレーンに比較して、平均可視ひびわれ応力では1.54倍、 $50\mu$ ひびわれ応力では1.64倍、破壊強度においては1.24倍増大した。しかし、混和量と曲げ強度の関係については、明確なものを導き出せなかった。
- (4) フェロセメントに導入されるプレストレス量は、モルタル配合、補強構成および補強材含有率等により異なると考えられ、本試験の結果は、その一例として受けとめるべきである。
- (5) 本試験において、膨脹材混和によりフェロセメントの短期的な性能向上が明確となったが、今後は、この効果が長期的な見地においても維持されるか否かを検討する必要がある。

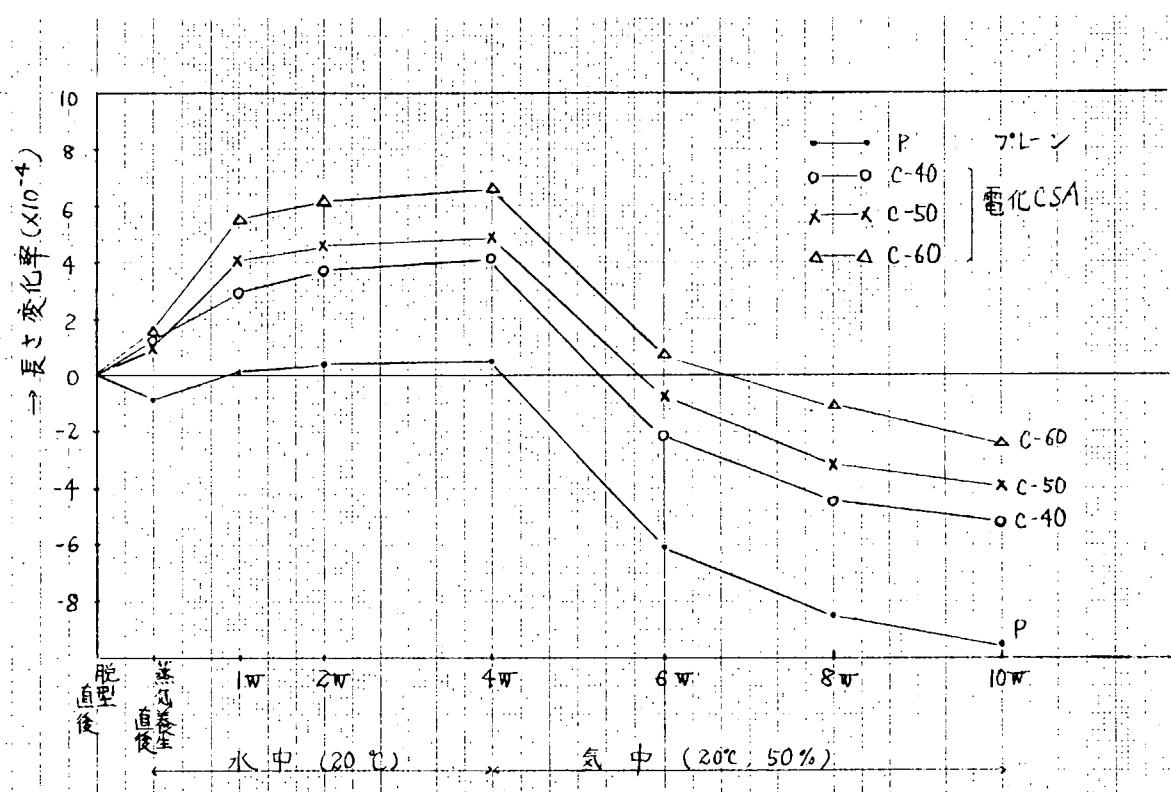


図 2.2 長さ変化率と材令の関係(電化 CSA)

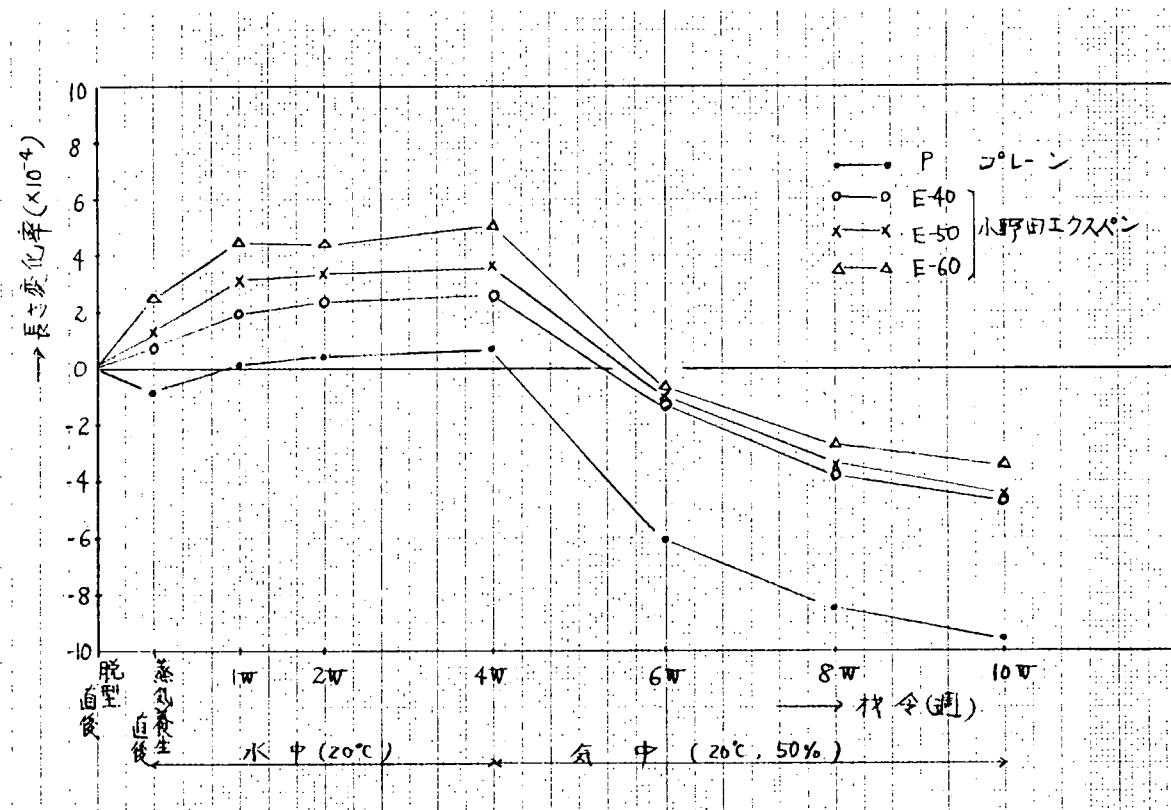


図 2.3 長さ変化率と材令の関係(小野田エクスパン)

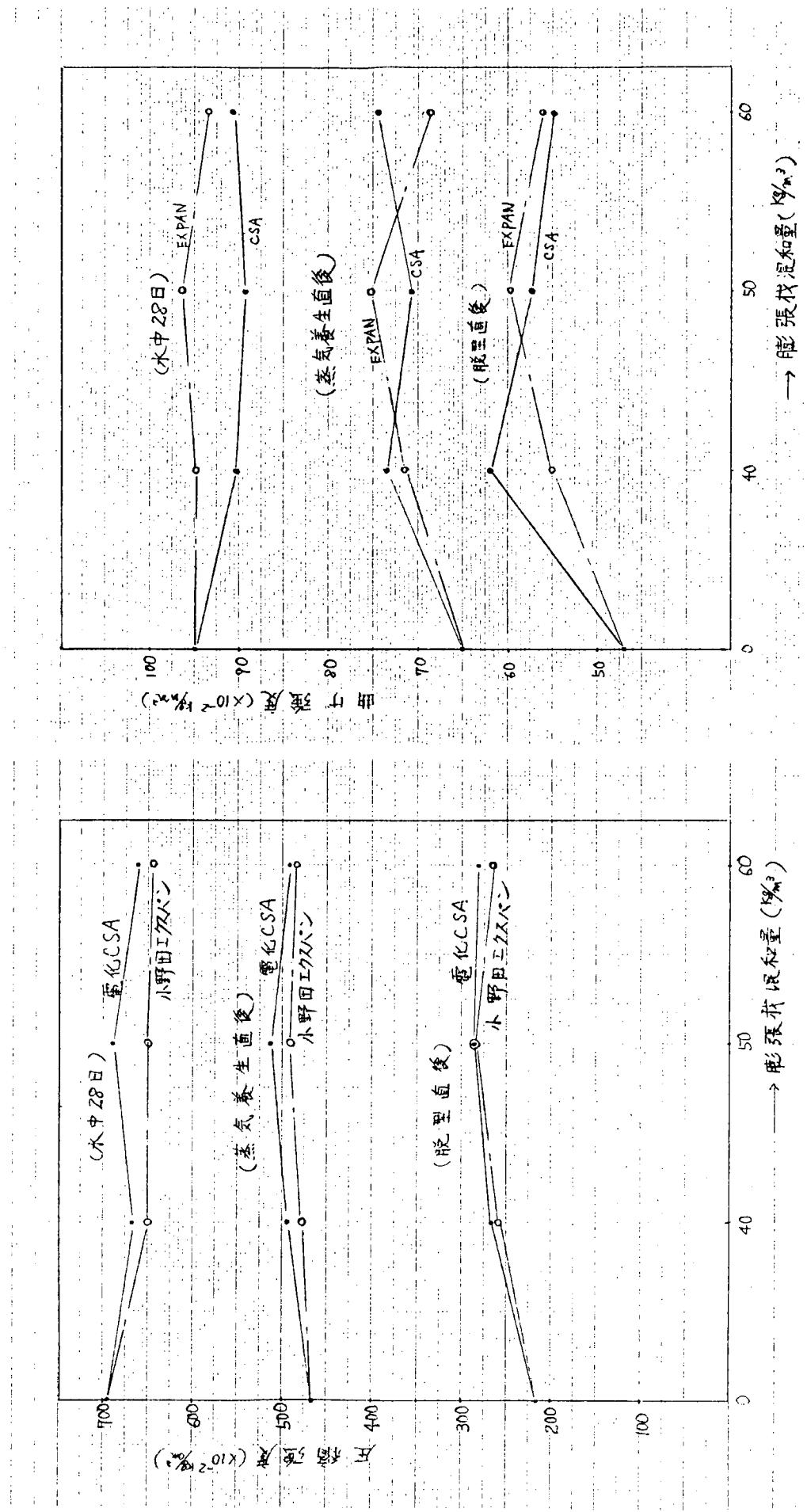
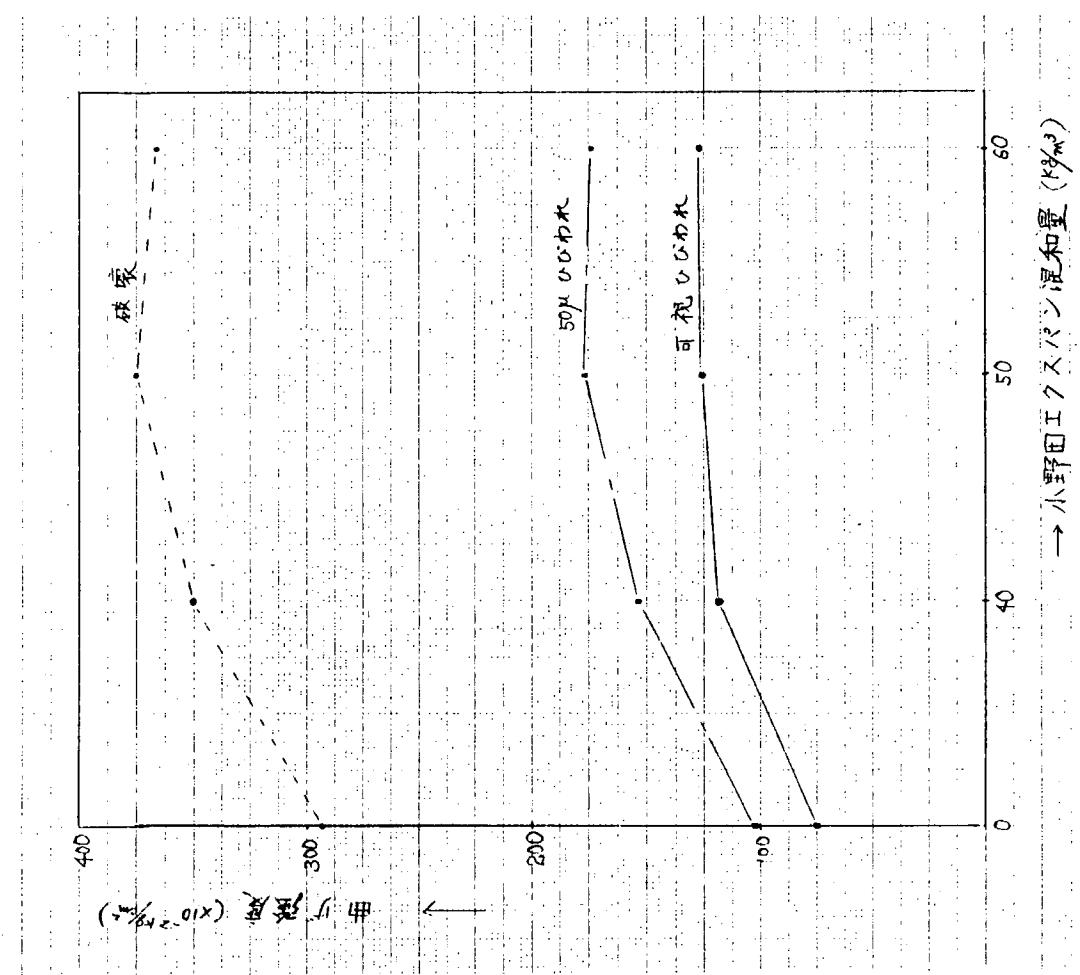


図 2.4 膨張材の混和量と圧縮強度の関係

図 2.5 膨張材の混和量と曲げ強度の関係

表 2.5 応 力 度 比 率

供試体 種類	応力度比 (P=1.00)			応力度比(破壊=1.00)	
	可視 ひびわれ	50μ ひびわれ	破壊	可視ひびわれ 破壊	50μひびわれ 破壊
P	1.00	1.00	1.00	0.27	0.35
E-40	1.48	1.50	1.20	0.34	0.44
E-50	1.55	1.72	1.28	0.33	0.47
E-60	1.58	1.69	1.25	0.34	0.47



## モルタルの硬化乾燥による長さ変化 H-11-1971

## 測定試験方法

## 1. 適用範囲

1.1 この方法はモルタルの硬化乾燥による長さ変化（以下長さ変化といふ）を顕微鏡付属の測定器（コンバレーター）を用いて試験する場合に適用する。

1.2 長さ変化は以下の規定によって試験した場合の供試体の有効長さといふを算出した長さ変化率で表わす（写真5参照）。

## 2. 試験用器具

## 2.1 成形型

JIS R 5201（セメントの物理試験方法）3.6に規定されたものを使用する。

## 2.2 標線用乳白ガラス

供試体に埋め込み、供試体の有効長さの測定用標線を刻線する乳白ガラスで、その縦、横の寸法は $10 \times 10\text{mm}$ 、厚さは $1 \sim 2\text{ mm}$ とし、表面は平滑で、裏面はなるべく粗とする。

## 2.3 刻線器

刻線器は供試体に埋め込んだ2枚の乳白ガラスの表面に、おのおの細い一直線を引き、それらがたかいにはほぼ平行で、その距離が $140 \pm 0.2\text{mm}$ になるように刻線することができるものでなければならない（写真1参照）。

刻線はなるべく細くきれいな直線とする。このためには刻線器のダイヤモンド先端の適切な向きを选定し、常にその状態で使うように目印をつけておく。また先端が乳白ガラスにおよびず圧力を適当にするため、付属のカウンターウェイトを加減する。

## 2.4 測定器

測定器はつきの要素を具備しなければならない（写真2参照）。

写真1 刻線器

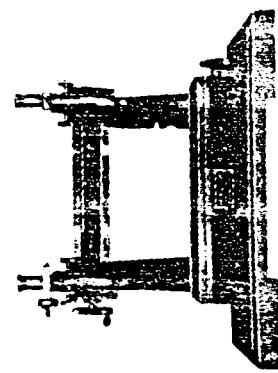
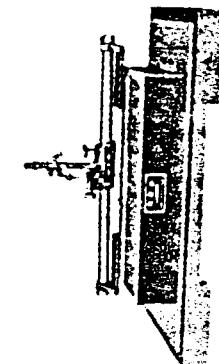


写真2 測定器



桿の像がくるようにし、ドラム上の込みをとつて伸縮を測定する。この際も測定の精度をじゅうぶんにすること肝要である。

## 2.5 突き棒

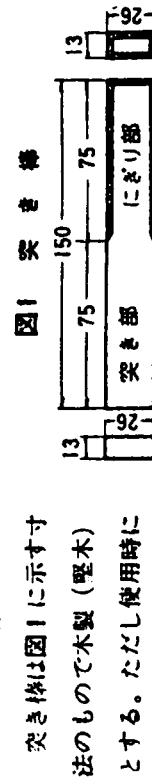


図1 突き棒

突き棒は図1に示す寸法のもので木製(堅木)とする。ただし使用時にモルタルの水分を吸収しないようにバラフィンで煮ておく。

## 3. 供試体の寸法および個数

3.1 供試体の寸法  
供試体は断面40×40mm、長さ160mmの角柱とし、標線間の距離は140±0.2mmのものとする。

## 3.2 供試体の個数

同一条件の試験に対して3個以上とする。

## 4. 試験方法

### 4.1 溫度および湿度

成形室および養生室の温度は $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度は70~80%を標準とする。

## 4.2 供試体の作り方

### 4.2.1 成形型の組立て

成形型を組立てるには、継ぎめに油土、またはかたいグリースを薄く塗り、内面には鉛物性の油を薄く塗る。

つぎに乳白ガラスを仕切わくの一方の内側面の中心線上で、成形型の両端型わくより乳白ガラスの中心線までの距離が $10 \pm 2\text{ mm}$ となるようにはりつける。はりつけるには乳白ガラスの平滑な面に油土を少量塗り所定の位置に軽く押し付ける。

### 4.2.2 モルタルの作り方

セメント520gと豊浦標準砂1040gとを正確にはかりとり、これをはちおびきさじ(JIS R 5201(セメントの物理試験方法)3.9に規定され

たもの)で2分間混ぜ、つぎに水312g(水セメント比=60%)を加えて3分間よく練り混ぜる。

## 2.6 突き棒

### 4.2.3 詰め方および突き方

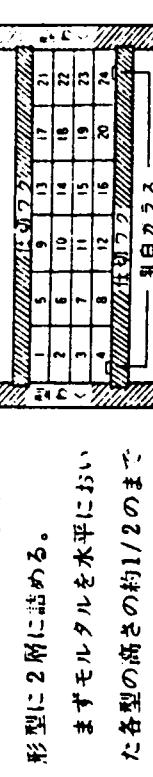


図2 モルタルの突き方

モルタルを各型の上端まで詰めて前と同様に突き、最後に残りのモルタルで2~3mmの盛り上げをする。

モルタルを詰めてから5時間以上を経たのち、供試体をいためないように注意して型の上の盛り上げを削り去り、押しつけないで軽く今までその上面を平滑にする。

供試体は成形型のまま $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の温潤状態に保ち、48時間経たのち脱型する。

## 4.3 基長の測定

4.3.1 供試体の脱型後ただちに刻線器で乳白ガラスに刻線する。そして第1回の測長を行なう。

刻線がはつきりするように、これと直角の方向に墨給筆で軽く乳白ガラスの面をなする。

4.3.2 第1回の測長後、供試体を $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中で養生し、供試体の材介が7日になつたとき、第2回の測長を行なう。このときの有効長さ、(4.5.2参照)を基長とする。

## 4.4 供試体の貯蔵

4.4.1 4.3.2の基長測定後供試体をただちに図3に示す寸法の貯蔵箱中に密封して貯蔵する。この場合貯蔵箱中の温度は $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度は温

度調整剤を用いて44%もしくは76%（20°Cにおける平衡湿度）に保つようにする。

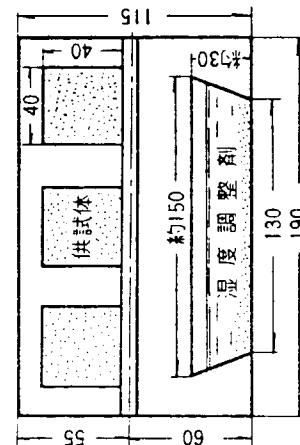
**4.4.2** 貯藏中の湿度を44%に保つためには、貯蔵箱中の容器に炭酸カリウム<sup>(1)</sup>飽和溶液250ccを入れ、さらに圓形の無水炭酸カリウム300gを入れておく。

貯藏中の湿度を76%保つためには、貯蔵箱中の容器に塩化ナトリウム<sup>(2)</sup>飽和溶液200ccを入れ、さらに圓形の塩化ナトリウム300gを入れておく。

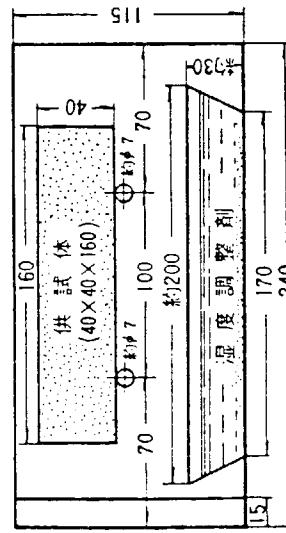
注<sup>(1)</sup> JIS K 8615に規定の試薬1級品を使用する。

<sup>(2)</sup> JIS K 8150に規定の試薬1級品を使用する。

図3 モルタル供試体貯蔵箱  
正面図



側面図



**4.4.3** 貯藏期間中供試体は乳白ガラスを埋め込んだ面を側面とし、おのおの2箇所で水平に支持しておき、各供試体の間隔は約10mm以上との間隔をとつておくものとする。各供試体の支持する箇所は供試体の両端から30mmとする。

この支持箇所の位置は、供試体を2箇所で支持したとき、供試体の直角によって供試体に生ずる正負の曲がりがほ等しくなるように決めたものである。

**4.4.4** 上記の貯藏期間（材料から7日を減じた期間）が1, 2, 3, 8, 13, 26, 39, および52週になったとき各供試体の測長を行なう。

#### 4.5 測長方法

**4.5.1** 供試体の測長はつきのように行なう。なお各測長時の室温は20±3°Cに保たなければならない。

供試体を取り出し、乳白ガラスに付着している異物をきれいにぬぐい取り、乳白ガラスの面を上にして、測定器の受台に静かに水平におく。この場合いすれの測長時ににおいても同一状態になるように供試体に目印を付けておき、その目印を毎回同一の向きにしなければならない。

**4.5.2** 水平において供試体の一方の標線の像をB頭微鏡のクロスワイヤーに正確に一致させる。これは測定器の受台を左右に動かして行なう。つきにA頭微鏡によってその視野内にある他の標線に正確に標準してえた像に、マイクロメーターのクロスワイヤーを動かすことによってこれを一致させ、マイクロメーターの読みみから両標線間の距離を測長し、これを供試体の有効長さとする。

#### 4.6 供試体重量の測定

各測長時における供試体の重量をひょう量2kg以下のてんびんで計量する。

## 5.1 長さ変化率の算出

長さ変化率はつきの式で計算する。

$$\text{長さ変化率} = \frac{(\text{有効長さ}) - (\text{原長})}{(\text{原長})} \times 100\%$$

$$\frac{\left\{ \text{各測定時のマイクロ} \right\} - \left\{ \text{基長測定時のマイクロ} \right\}}{\left\{ \text{メーターの読み} \right\} - \left\{ \text{基長} \right\}} \times 100\%$$

上式の分子が例えれば有効数字3けたである場合には、分母もこれと同程度にとする。

## 5.2 重量減少率の算出

供試体の重量減少率はつきの式で計算する。

$$\text{重量減少率} = \frac{\left\{ \text{基長測定時の供試体重量 (g)} \right\} - \left\{ \text{各測定時の供試体重量 (g)} \right\}}{\left\{ \text{基長測定時の供試体重量 (g)} \right\}} \times 100$$

重量減少率(%)は小数点以下2けたに丸める。

## 6. 告 告

試験結果の報告にはつきの事項を記載する。

- (1) セメントの種類
- (2) フロー値
- (3) 測定における室内の温度および湿度
- (4) 温度調節剤の名称
- (5) 各測定時の長さ変化率および重量減少率
- (6) 各測定時の長さ変化率および重量減少率との関係図
- (7) その他必要事項

- (1) 無水塩化バリウム  
浴中で恒量になるまで加熱して結晶水を除く。
- (2) フェノールフタレン指示薬  
フェノールフタレン1gをエチルアルコール100mlに溶かす。
- (3) グリセリン-アルコール溶液  
グリセリン1容とエチルアルコール5容とを混合し、この混合液1/

## 5. 遊離石灰の定量方法

1-01-1971

1. 適用範囲  
この方法は、ボルトランドセメントおよびクリンカート中の遊離石灰の定量に適用する。注(1)この方法では、遊離の酸化カルシウムとともに水酸化カルシウムも定量される。したがってセメントクリンカート中に最初から含まれている未反応カルシウムの定量を目的とする場合には、試料は新鮮なものでなければならぬ。

## 2. 試 薬

- 2.1 試薬の純度  
エチルアルコール (99.5容量%) JIS K 8101 特級  
塩化バリウム JIS K 8155 特級  
グリセリン JIS K 8295 特級  
酢酸アンモニウム JIS K 8359 特級  
水酸化ナトリウム JIS K 8576 一級  
炭酸カルシウム JIS K 8617 特級  
フェノールフタレン JIS K 8799 特級

- この分析では水分の存在をきらうから、試葉は取り扱い保存中に吸湿しないようにじゅうぶん注意しなければならない。

## 2.2 試薬の調製

- (1) 無水塩化バリウム  
浴中で恒量になるまで加熱して結晶水を除く。
- (2) フェノールフタレン指示薬  
フェノールフタレン1gをエチルアルコール100mlに溶かす。
- (3) グリセリン-アルコール溶液  
グリセリン1容とエチルアルコール5容とを混合し、この混合液1/

資料 №2 溶強材構成が同一の場合の  $K_n$ ,  $K_t$  と板厚の関係

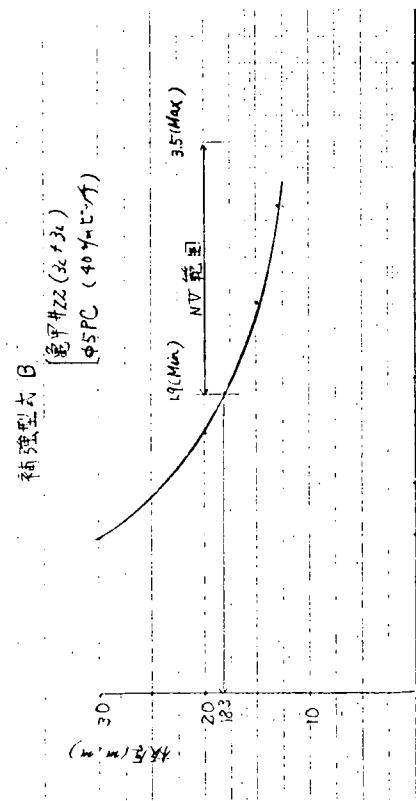


図13 水中養生およびゼラチン養生の影響

（中野・森セメント技術大会（1972））

資料 №3 養生方法による膨張量への影響

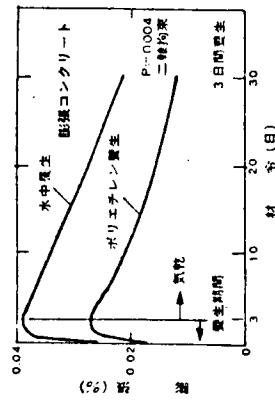


図13 水中養生およびゼラチン養生の影響

（中野・森セメント技術大会（1972））

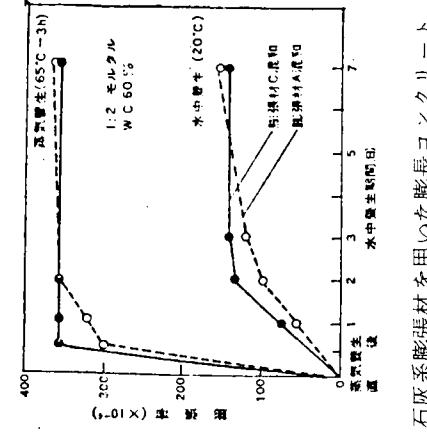
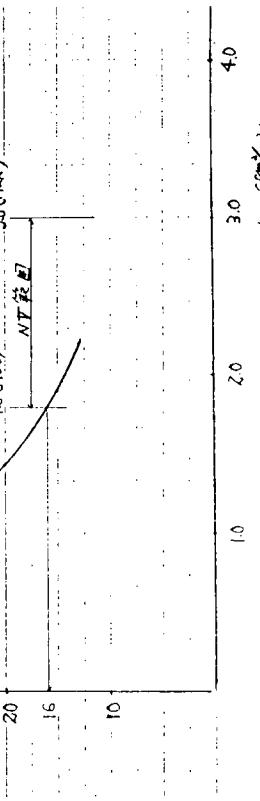


図13 水中養生(65°C-3h)

（中野・森セメント技術大会（1972））

"CaOによるセメントベーストの容積  
膨張およびその機構"  
By S. Chatterji Magazine of  
Concrete Research 15 [44],  
83-86 (1963)

資料 №4 膨張材混和率と強度との関係



本試験のような補強構成の場合、NVルールの  $K_n$ ,  $K_t$  値を面万満足させるには、板厚は 1.6 mm 以下としなければならぬ。

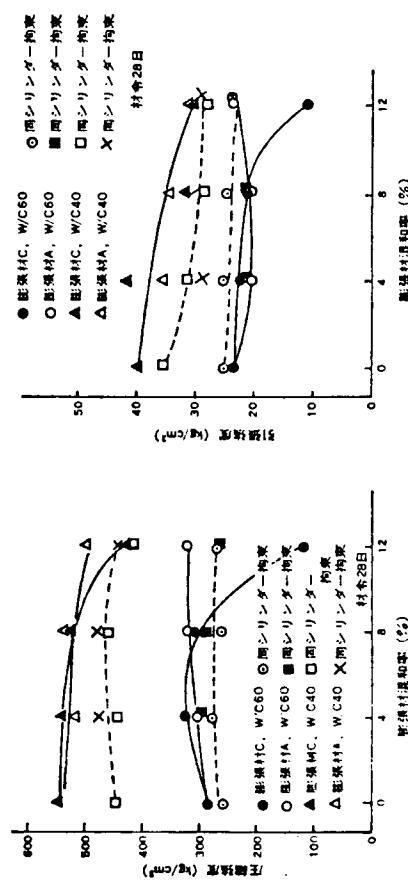


図22 膨張材混和率と圧縮強度との関係

"石炭系膨張材を用いた膨張コンクリートの一般性状"  
（中野・森セメント技術大会要旨案（1972））

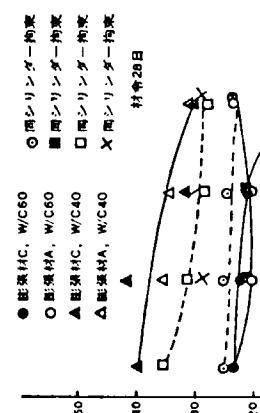


図23 膨張材混和率と引張強度との関係

資料 No.5 拘束度と圧縮強度、導入プレストレス量の関係

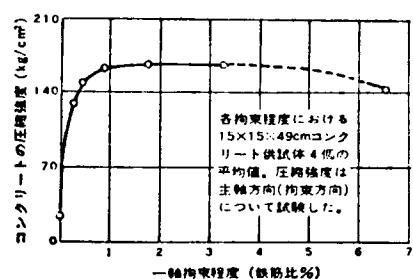


図2 拘束度(鉄筋比)と圧縮強度の関係

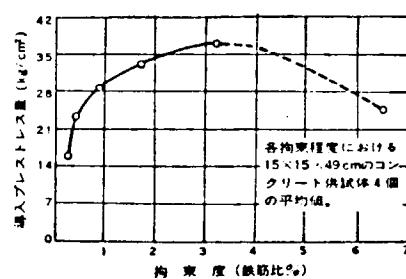


図3 拘束度(鉄筋比)と導入プレストレス量の関係

“ACI 223 委員会報告”

長瀬重義、コンクリートジャーナル、vol 10, №1~№5 (1972)

資料 No.6 膨張材混和コンクリートの耐久性

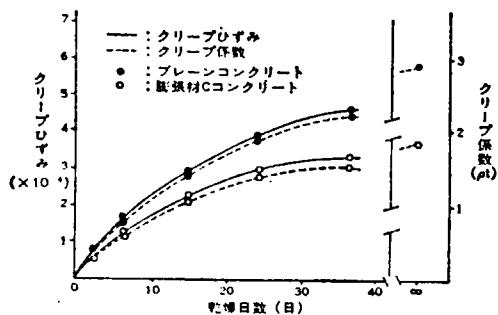


図29 膨張コンクリートのクリープ性状

“石灰系膨張材混和によるコンクリートのヒビワレ防止に関する研究”

河野、一家 セメント技術大会要旨集 (1972)

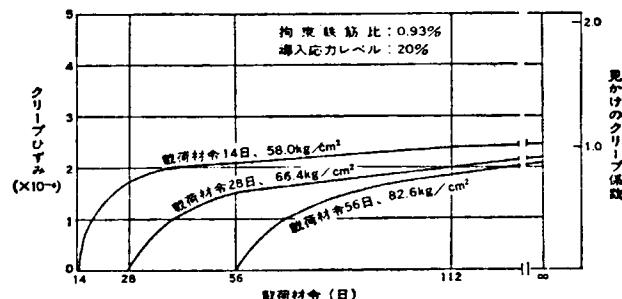


図30 膨張コンクリートの載荷材令とクリープひずみおよびクリープ係数との関係

“膨張コンクリートに関する 2,3 の実験”

岡田清 セメント技術年報 P. 152 (1971)

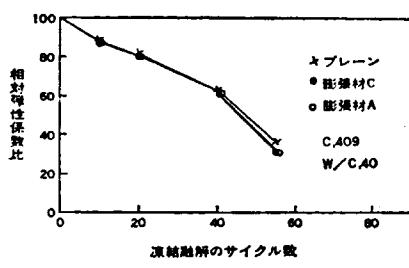
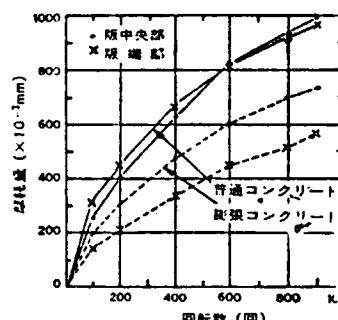


図26 コンクリートの凍結融解試験

“膨張材を用いたPCおよびRC試験舗装について”

長瀬重義他 セメント技術年報 (1970)



“石灰系膨張材を用いた膨張コンクリートの一般性状”  
中野、森 セメント技術大会要旨集 (1972)

### 3. フェロセメント板の強度試験（疲労試験）

#### 3.1 まえがき

本試験は、補強材として丸鋼および織金網を用いたフェロセメント板のうち、NVLルールに示されている構造形式A型とC型の一体構造板および板体中央部で幅方向に打継いだ板体について、疲労試験載荷重を5段階に変化させて疲労試験を実施して、フェロセメント板体の疲労性状を検討するために行ったものである。

#### 3.2 試験体の構造

静載荷試験と動載荷試験に用いた試験体の構造は図3.1のとおりである。なお、試験体の寸法は長さ1,200mm、幅300mm、厚さ30mmとし、メッシュの被りは3mmとした。

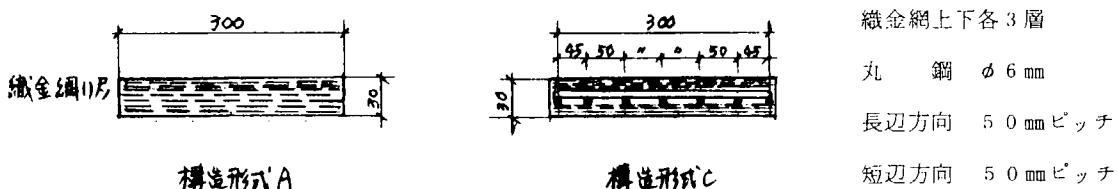


図3.1 試験板の構造（幅方向断面）

#### 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=2.5mm、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：直徑6mm丸鋼（SR24）  
織金網：線径1.0mm、網目10mm、亜鉛メッキ金網  
樹脂：ショーポンド202（エポキシ樹脂、ショーポンド建設品）

#### 3.4 モルタルの配合

本実験に用いたモルタルの配合は表3.1のとおりである。

表3.1 モルタル配合

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	1.296	4.86

#### 3.5 試験体の種類および試験体数

曲げ載荷法による静的試験体、疲労試験体の種類と数は表3.2のとおりである。なお、金網の結束は0.8mmのなまし鉄

筋を用いて、幅方向、長さ方向ともに100mmピッチで結束した。

表3.2 試験体の種類

構造形式	一體構造		打継構造		計
	静的試験	疲労試験	静的試験	疲労試験	
A	1	5	1	2	9
C	1	5	1	2	9
計	2	10	2	4	18

### 3.6 試験体の成形と養生法

#### (1) 一体構造フェロセメント板について

試験体の成形は構造形式C(6枚)、A(6枚)の順に分けて成形した。

成形方法については補強筋組立後、フェロセメント板の引張側被り厚さが3mmとなるようにスペーサーをつけて型枠にセットし、50ℓ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締固めた。試験体は上面を金ゴテで平滑に仕上げて後(20±3)℃の恒温室に一日静置し、翌日脱型して載荷試験時まで(20±3)℃の恒温室水中で標準水中養生した。

#### (2) 打継構造フェロセメント板について

試験体の成形は構造形式C(3枚)、A(3枚)の順に分けて成形した。

成形方法については補強筋を型枠にセット後、モルタルを試験体長さの1/2だけ打設して後、試験体の上面をコテ仕上し、(20±3)℃の恒温室に静置して脱型後モルタル打設部のみを1週間標準水中養生した。材令1週後に試験体を水中よりとり出して打継部のレイターンスを除去し、ドライヤーで乾燥後ショーボンド202をハケで塗布し、10分後に打継用モルタルを打設し、以後打継前の試験体と同様の工程で載荷試験まで標準水中養生した。

### 3.7 試験

#### (1) 試験装置

##### (a) 静的載荷試験

図3.2に示すとおり逆載荷試験装置を用いて試験した。

##### (b) 疲労試験

写真3.1に示す前川試験機社製のパルセーターに2ton用のハイドロジャッキを接合して4点曲げ疲労試験を実施した。なお、パルセーターのくりかえし速度は250cy/分である。

#### (2) 試験方法

##### (a) 静的試験

図3.2に示す逆載荷試験装置を用いて曲げスパン900mmとする4点曲げ載荷試験を実施した。なお、測定項目はスパン中央での圧縮ひずみ度、引張ひずみ度およびスパン中央でのたわみと、フ

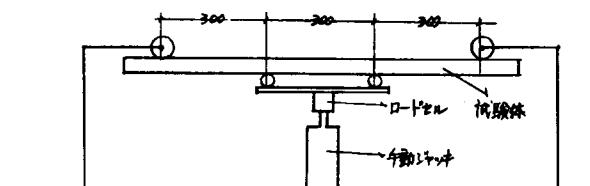


図3.2 静載荷装置

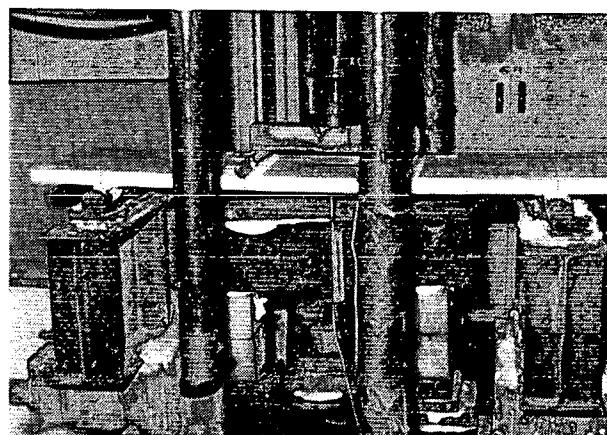


写真3.1 パルセーター

エロセメント板の引張側での可視ひびわれ、ひびわれ幅  $2.5 \mu$  の荷重および最大荷重を測定した。

#### (b) 疲労試験

疲労試験に先立って、静的載荷試験を実施して可視ひびわれ荷重 ( $P_{b1}$ )、ひびわれ幅  $2.5 \mu$  の荷重 ( $P_{b2}$ )、および次項(3)に示すとおり載荷重が  $P_{b2}$  より大きい場合  $P_{b2}$  の 1.25 倍または 1.5 倍まで載荷して圧縮ひずみ度およびたわみを測定した。

なお、疲労試験開始直後に動載荷でのフェロセメント板の性状を測定し、以降 100 万サイクルごとに 1 回動的性状を測定した。

なお、荷重の制御は試験機に附属するブルドン管で実施した。

また、載荷中の測定方法は表 3.3 のとおりとした。

表 3.3 検定方法

測定項目	使用した試験器具
圧縮ひずみ度 引張ひずみ度	ワイヤストレングージ (PL-60) → 動ひずみ計 → 電磁オッショ
スパン中央たわみ	変位計 (SDP-100R) → 動ひずみ計 → 電磁オッショ

#### (3) 疲労試験での荷重

疲労試験における上限載荷荷重はひびわれ幅  $2.5 \mu$  の荷重  $P_{b2}$  を基準として、 $P_{b2}$  の 0.5 倍 (可視ひびわれ  $P_{b1}$  に相当)、0.75 倍 ( $1.5 \times P_{b1}$ )、1 倍、1.25 倍、1.5 倍の 5 段階とした。また、下限荷重は機械容量の関係から一定値 100 kg とした。

### 3.8 試験結果

#### (1) モルタルの強さ

試験体に用いたモルタルの圧縮強度およびヤング係数は表 3.4 のとおりである。

表 3.4 モルタル強さ

構造形式	圧縮強度 (kg/mm <sup>2</sup> )			ヤング係数 ( $\times 10^3$ kg/mm <sup>2</sup> )
A型一体構造	5.60, 5.75, 5.90 (5.75)		2.56, 2.64, 2.70 (2.63)	
C型一体構造	6.69, 5.91, 5.71 (6.10)		2.75, 2.92, 2.70 (2.79)	
A型打継構造	前半	6.05, 6.15, 6.10 (6.10)	2.58, 2.49, 2.62 (2.56)	
	後半	5.70, 5.37, 5.29 (5.45)	2.84, 2.80, 2.71 (2.78)	
C型打継構造	前半	5.30, 5.40, 5.74 (5.48)	2.45, 2.55, 2.60 (2.53)	
	後半	5.70, 5.37, 5.29 (5.45)	2.84, 2.80, 2.71 (2.78)	

注) 括弧内は平均値を示す。

#### (2) 静載荷試験でのひずみ度とたわみの性状

静載荷試験でのフェロセメント板における荷重とひずみ度の関係、および荷重とたわみの関係は図 3.3 ～図 3.10 に示すとおりである。

(3) 疲労試験体の可視ひびわれ荷重  $P_{b1}$  とひびわれ幅  $2.5 \mu$  の荷重  $P_{b2}$ 、最大荷重  $P_{bbf}$  について、疲労試験に先立って実施した静載荷試験における  $P_{b1}$ 、 $P_{b2}$  および  $P_{bbf}$  の測定結果は表 3.5 のとおりである。

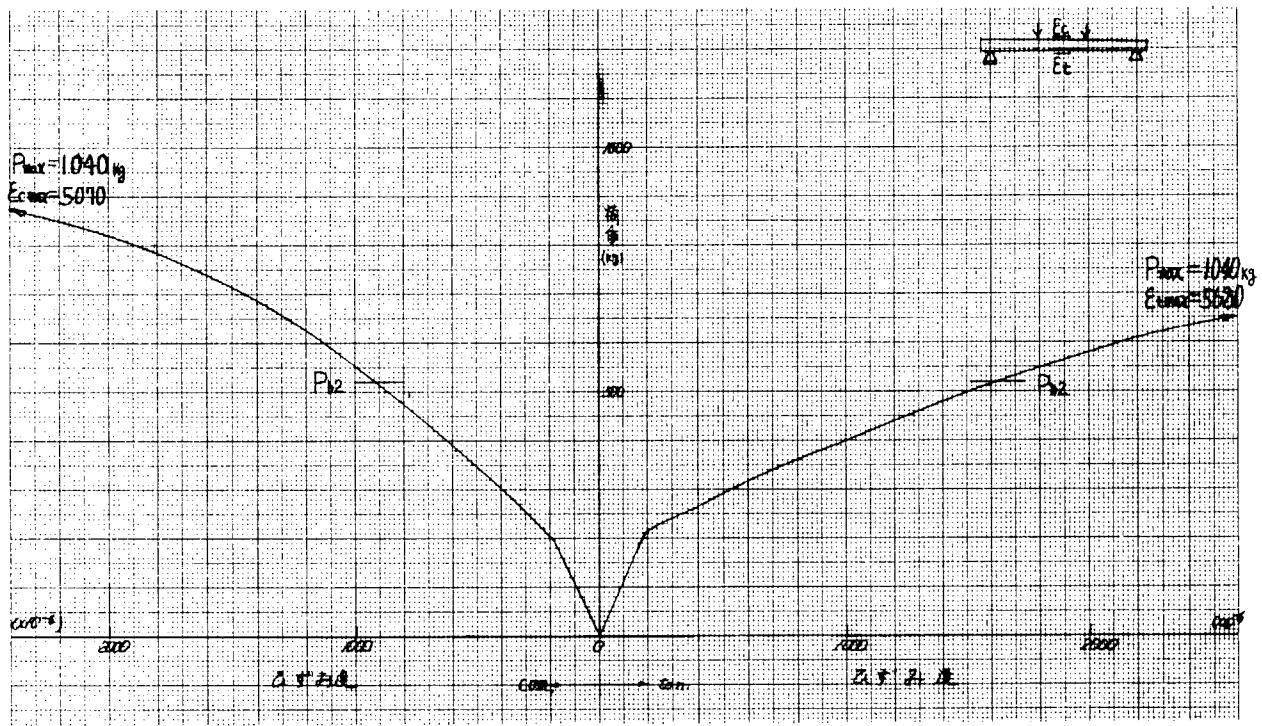


図 3.3 荷重 - ひずみ度の関係 構造形式 A ( 一体構造 ) 静載荷

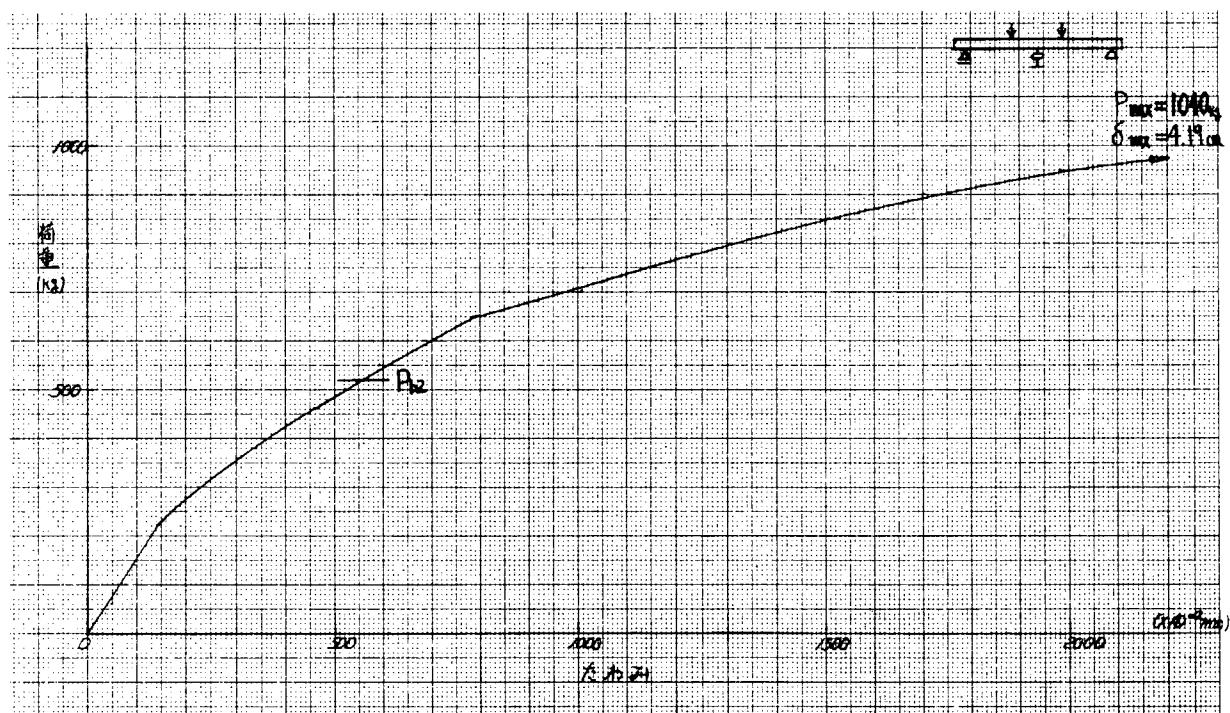


図 3.4 荷重 - たわみの関係 構造形式 A ( 一体構造 ) 静載荷

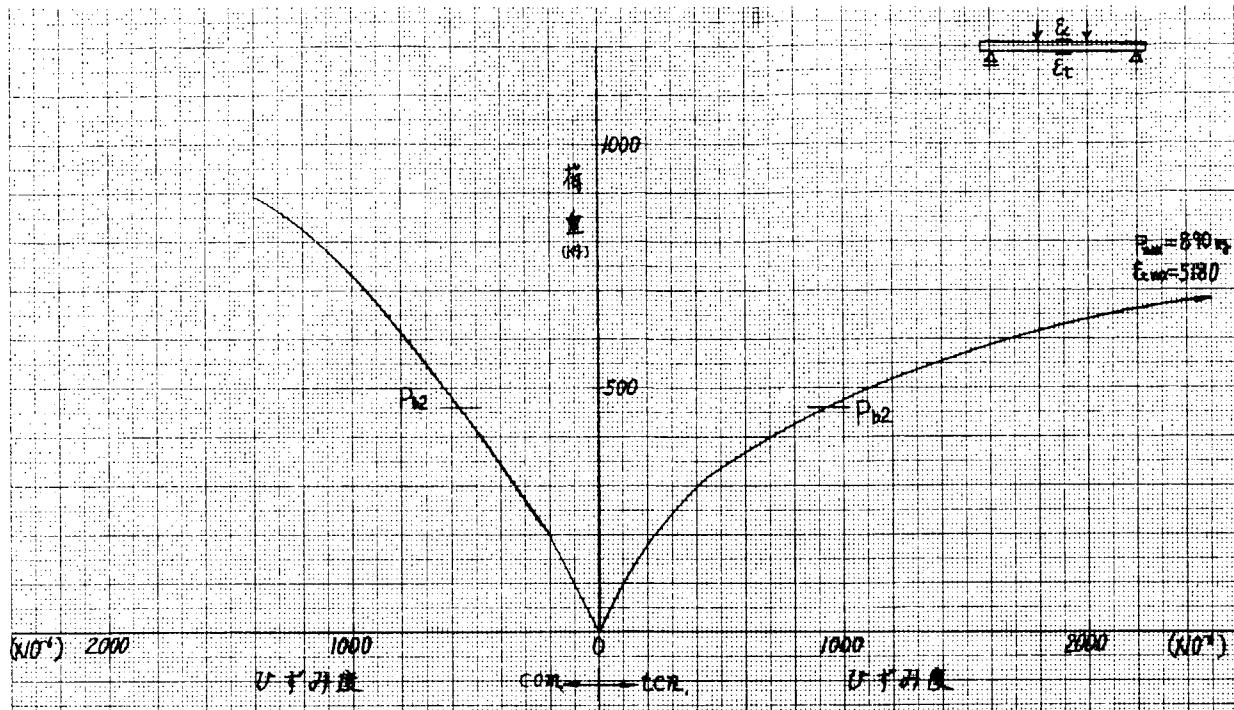


図 3.5 荷重 - ひずみ度の関係 構造形式 A (打継構造) 静載荷

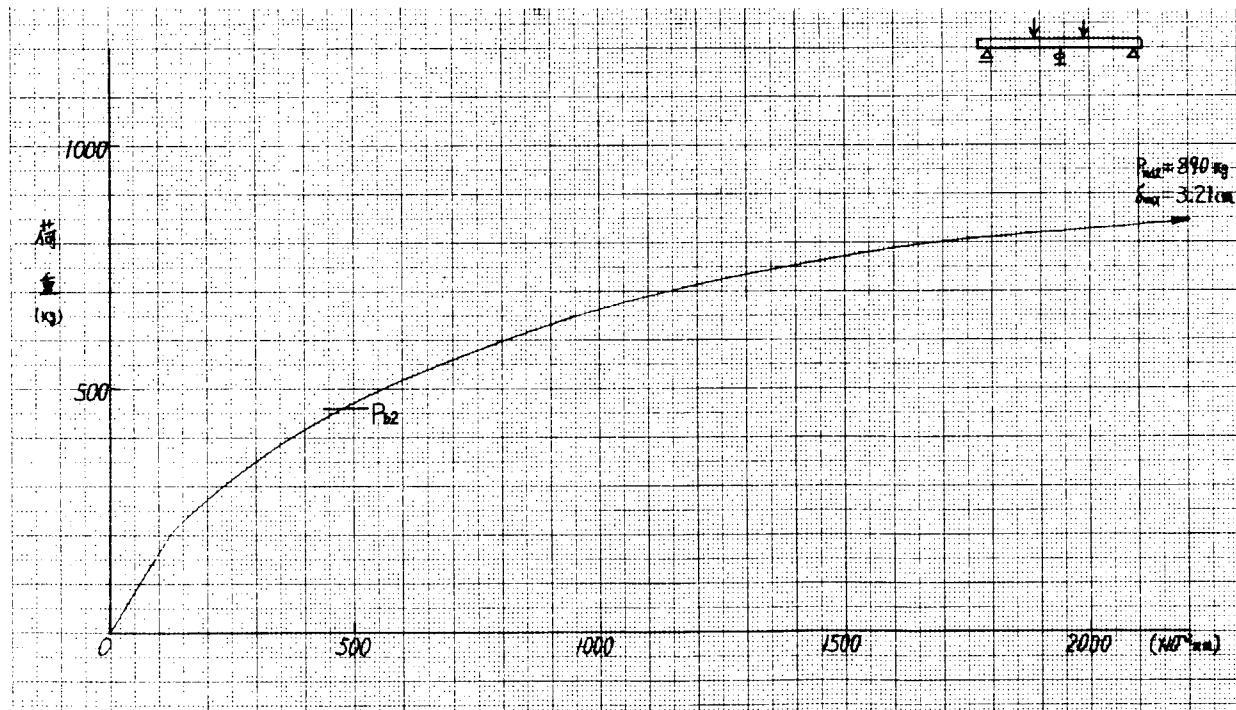


図 3.6 荷重 - たわみの関係 構造形式 A (打継構造) 静載荷

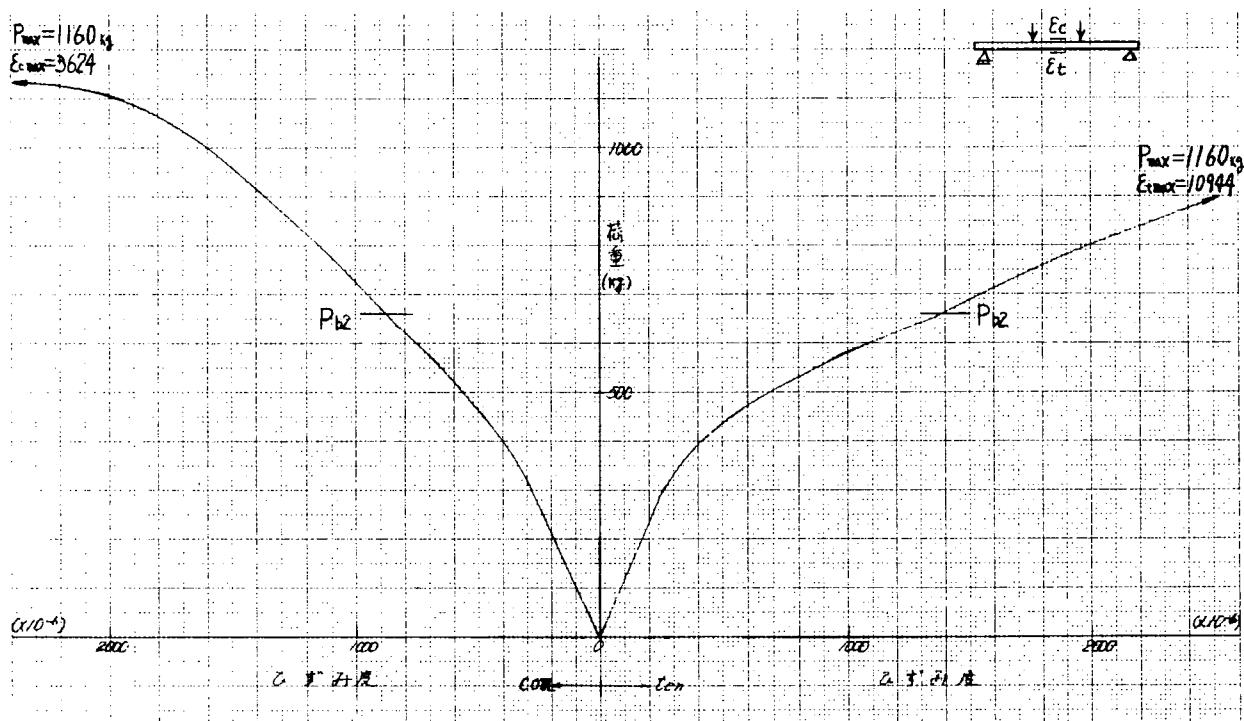


図 3.7 荷重 - ひずみ度の関係 構造形式 C ( 一体構造 ) 静載荷.

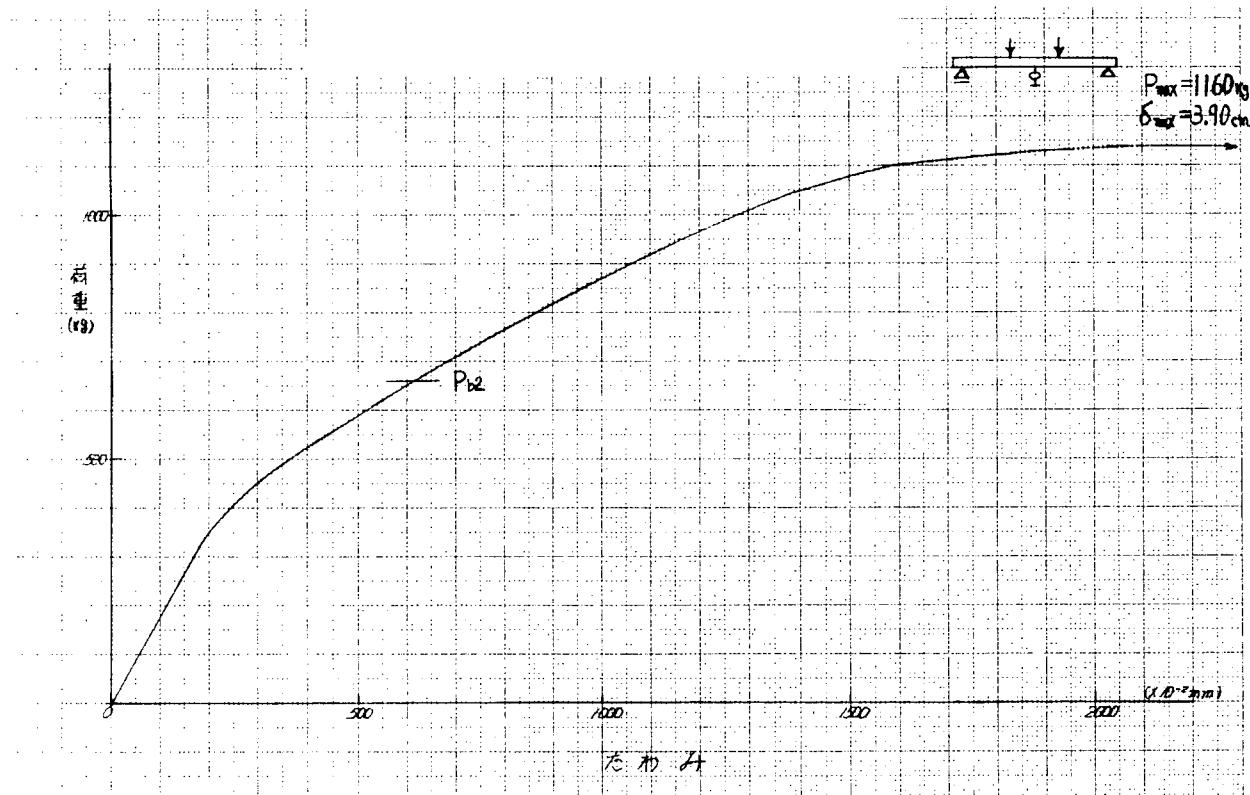


図 3.8 荷重 - たわみの関係 構造形式 C ( 一体構造 ) 静載荷

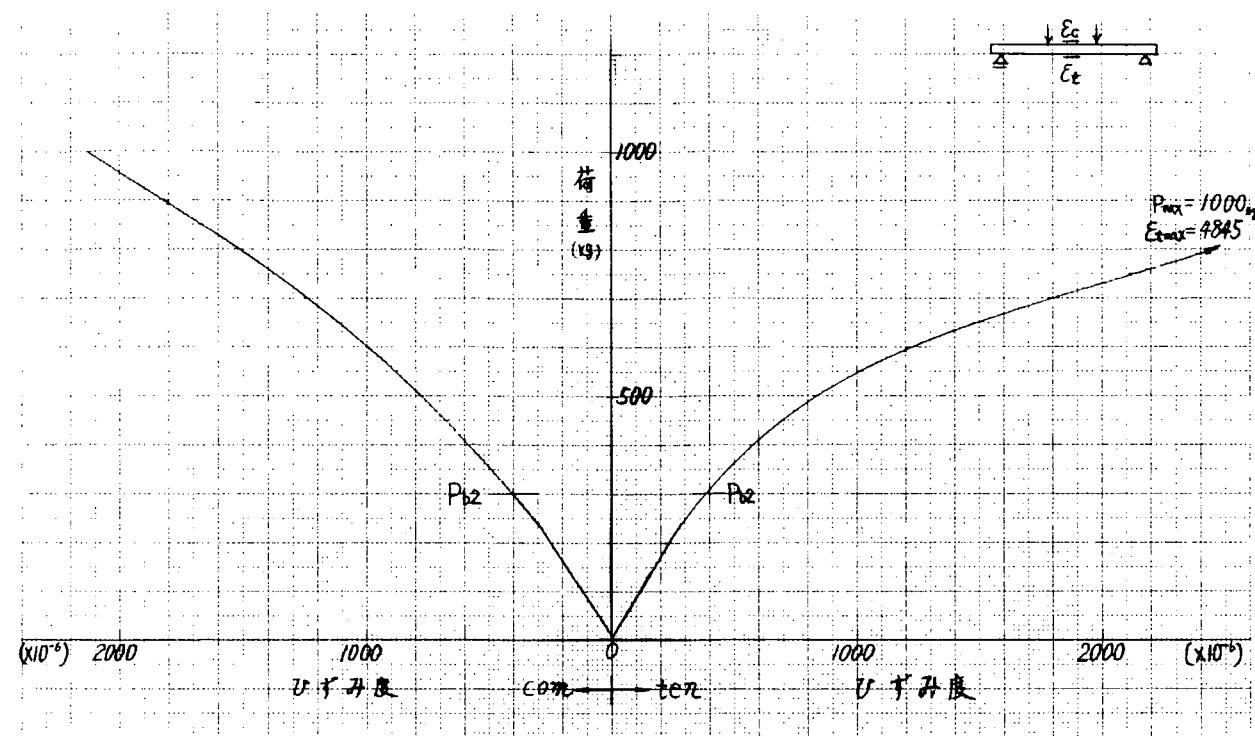


図 3.9 荷重 - ひずみ度の関係 構造形式 C (打継構造) 静載荷

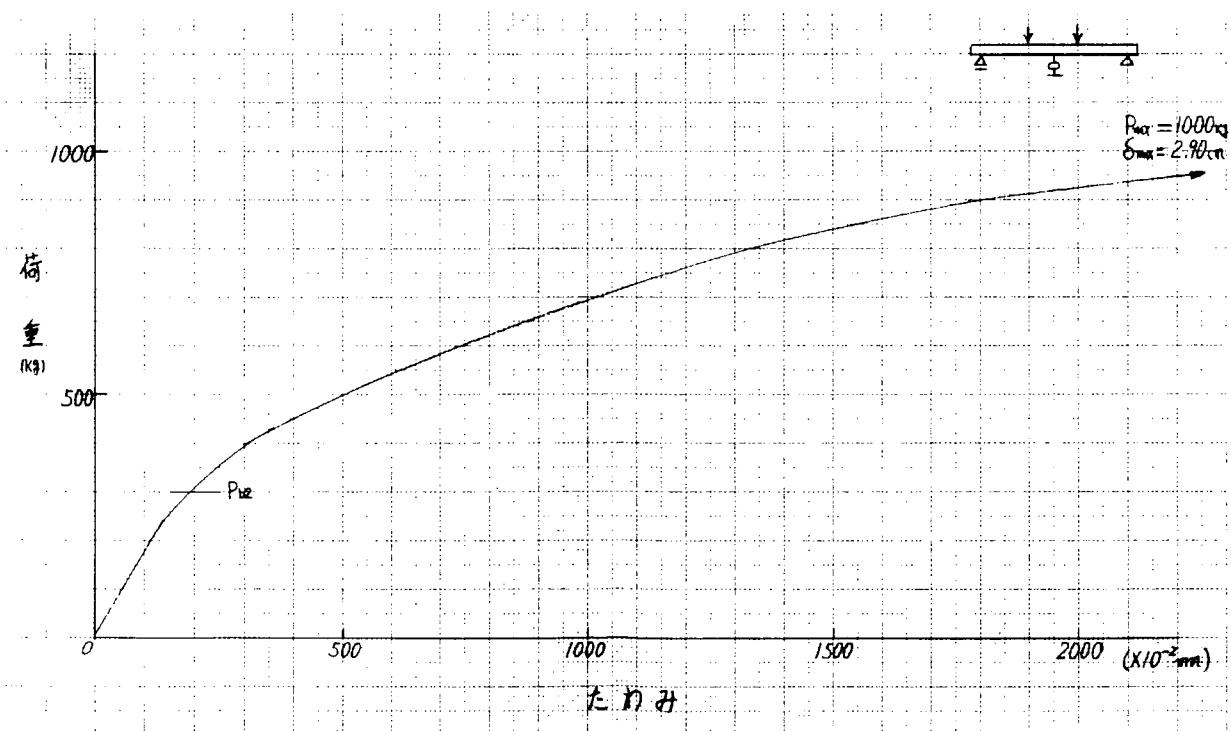


図 3.10 荷重 - たわみの関係 構造形式 C (打継構造) 静載荷

表 3.5 荷重

構造形式	試験体	荷重 (kg)		
		P <sub>b1</sub>	P <sub>b2</sub>	P <sub>bb</sub> r
A ( 一体構造 )	静載荷用	240	520	1050
	疲労用	1.5 P <sub>b2</sub>	240	510
		1.17 P <sub>b2</sub>	300	450
		1.0 P <sub>b2</sub>	270	450
		0.75 P <sub>b2</sub>	240	—
		0.5 P <sub>b2</sub>	270	—
C ( 一体構造 )	静載荷用	330	660	1160
	疲労用	1.67 P <sub>b2</sub>	340	540
		1.25 P <sub>b2</sub>	330	540
		1.0 P <sub>b2</sub>	360	640
		0.75 P <sub>b2</sub>	300	—
		0.57 P <sub>b2</sub>	410	—
A ( 打継構造 )	静載荷用	280	460	890
	疲労用	1.5 P <sub>b2</sub>	200	360
		1.25 P <sub>b2</sub>	220	340
C ( 打継構造 )	静載荷用	240	300	1000
	疲労用	1.5 P <sub>b2</sub>	320	460
		1.25 P <sub>b2</sub>	220	460

## (4) 疲労試験時におけるひずみ度およびたわみの変化

各種疲労試験体の疲労載荷重に対する、静載荷時、疲労載荷初期およびくりかえし100万サイクル以降の圧縮ひずみ度、引張ひずみ度、およびたわみの値は表3.6のとおりである。なお、疲労載荷時のひずみ度、たわみは静載荷試験での残留変形時を起点として累積して求めた値とした。たわみの算出例を示すと図3.11のとおりである。

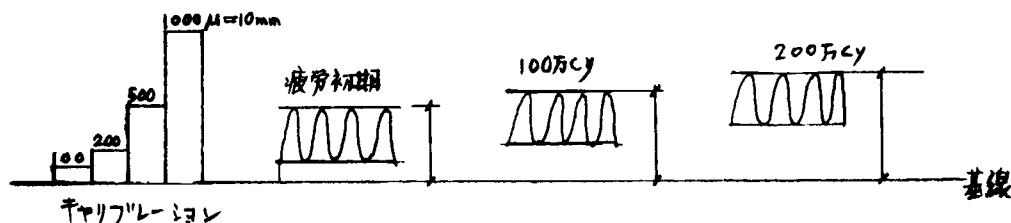


図3.11 たわみの算出例

## 3.9 試験結果の検討

(1) 可視ひびわれ荷重 (P<sub>b1</sub>) とひびわれ幅 2.5 μ の荷重 P<sub>b2</sub>について

表3.5より構造形式別にP<sub>b1</sub>、P<sub>b2</sub>の平均値および見掛け応力度(σ)を求める表3.7のとおりである。なお、断面係数を求める際、全断面有効として形のみで決定した。また、σは①式によって算出した。

$$\sigma = \frac{P\ell}{bh^2} \quad \dots \dots \dots \quad ①$$

ここに P : P<sub>b1</sub> または P<sub>b2</sub>

ℓ : 曲げスパン (900 mm)

b : 試験体の幅 (300 mm)

h : 試験体の厚さ (30 mm)

表 3.6 静載荷時、疲労載荷時のひずみ度、およびたわみの変化

構造形式	載荷重	静 載 荷			疲 労			載 荷			載荷サクル
		圧縮ひずみ度( $\times 10^{-6}$ )	引張ひずみ度( $\times 10^{-6}$ )	たわみ(ミリ)	圧縮ひずみ度( $\times 10^{-6}$ )	引張ひずみ度( $\times 10^{-6}$ )	たわみ(ミリ)	圧縮ひずみ度( $\times 10^{-6}$ )	引張ひずみ度( $\times 10^{-6}$ )	たわみ(ミリ)	
A	1.5 Pb2=765kg	1370	1980	15.40	2080	1190	4.65	—	—	—	1.8万
	1.17Pb2=525kg	870	1280	5.50	—	—	4.75	1000	—	9.29	1.00万
	1.0 Pb2=450kg	610	820	4.42	560	800	3.29	—	—	—	1.110 (170万サクル)
	0.75Pb2=360kg	480	660	3.08	480	630	2.46	1180	1380	6.17	1.70万
B	0.5 Pb2=270kg	270	280	1.75	310	300	1.00	1760	1570	—	2.00万
	1.67Pb2=900kg	1450	2410	12.58	1280	3000	11.79	—	—	—	1.00万
	1.25Pb2=675kg	1090	1860	8.61	940	1290	9.54	—	—	—	1000
	C 1.0 Pb2=640kg	810	1090	6.29	880	1120	7.91	—	—	—	2.1万
C	0.75Pb2=450kg	520	660	4.11	640	950	4.26	820	—	7.10 (207万サクル)	3.80万
	0.5 Pb2=410kg	430	550	2.97	640	1160	3.80	2205	—	—	2.2万
	A 1.25Pb2=425kg	690	880	6.05	690	830	5.60	—	—	—	1万
	B 1.5 Pb2=540kg	990	1520	8.03	913	1196	7.58	—	—	—	2.00万
D	1.25Pb2=575kg	880	1290	7.98	1100	1030	2.59	2230 (105万サクル)	—	2350	3.5万
	C 1.5 Pb2=690kg	1220	1540	8.51	1313	1698	6.91	—	—	—	※

(注) ※印は破壊サクルを示す。

表 3.7 可視ひびわれ時、ひびわれ幅 2.5 μ 時応力度

構造形式	可視ひびわれ		ひびわれ幅 2.5 μ のとき	
	荷重 (kg)	応力度 (kg/mm²)	荷重 (kg)	応力度 (kg/mm²)
A (一体)	260	0.87	483	1.61
C (一体)	345	1.15	595	1.98
A (打継)	233	0.78	386	1.29
C (打継)	260	0.87	407	1.36

表 3.7 よりひびわれ幅が 2.5 μ 時の見掛け応力度は構造形式 C の一体構造が 1.98 kg/mm² で最大となり、ついで構造形式 A の一体構造となる。一方、打継板では A, C とも約 1.30 kg/mm² の一定値となり、一体構造板より約 20 ~ 30 % 低下した。この理由は打継板体に用いたモルタルの圧縮強度が低かったためと思われる。

## (2) 破壊状況

静載荷試験および疲労試験における試験体の破壊状況は写真 3.2 のとおりである。

破壊状況の特徴として次のことがあげられる。

- 静的試験においては A 型, C 型の一体構造, 打継構造とともにひびわれは非常に多く分散し、また破壊後も荷重を除去すると若干復元性を示す。
- 疲労試験においては一体構造の A 型, C 型板の場合ひびわれ分散は多数認められ、A 型では静的破壊に近いが、C 型では 140 度に折曲り、破断後のひびわれ幅は 1.2 mm に達していた。
- 疲労試験において A 型打継板の場合、後打ちモルタルの強度が弱かったため、打継部をはずして破壊した。

## (3) 載荷荷重とくりかえし数の関係

一体構造および打継構造の疲労試験体について載荷荷重とくりかえし数の関係を示すと図 3.1-2 のとおりである。

フェロセメント板の場合、構造形式によって可視ひびわれ荷重 ( $P_{b1}$ ) およびひびわれ幅 2.5 μ の荷重 ( $P_{b2}$ ) に差が生じるため、本図においては一定の傾向は認められない。

## (4) S-N 曲線

縦軸に応力度比 S ( 載荷重 / 最大荷重 ), 横軸にくりかえし数 N をとって各種フェロセメント板のサイクル数をプロットすると図 3.1-3 のとおりである。

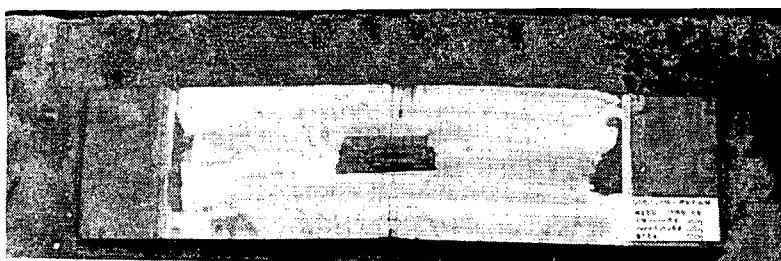
この図より構造形式の差、一体構造、打継構造の差に関係なくほぼ一定の S-N 曲線に乗るようであるが、応力度比が 0.25 ~ 0.45 近辺の試験体が多いこと、および 200 万サイクルでの破壊試験体が少ないとことなどから、フェロセメント板体についての明確な S-N 曲線は得られていない。

## 3.10 まとめ

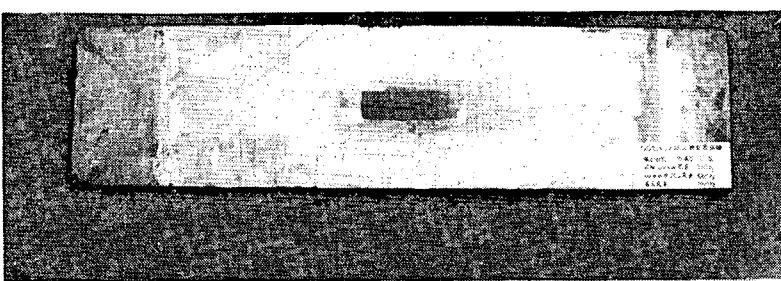
本実験の範囲内でまとめると次のとおりである。

- 静載荷試験においてひびわれ幅 2.5 μ となる応力度は一体構造の場合試験体 5 本の平均値で、構造形式 A で 1.61 kg/mm²、構造形式 C で 1.98 kg/mm² となった。一方、打継構造の場合 3 本の平均値で、構造形式 A で 1.29 kg/mm²、構造形式 C で 1.36 kg/mm² となった。従って、フェロセメント板の応力度は一体構造の方が望ましい。
- 疲労試験後の破断状況は、A 型では比較的静的破壊に近いが、C 型では 140 度に折曲り、破断後のひびわれ幅は 1.2 mm に達している。
- 構造形式による差および一体構造、打継構造による差に関係なく、ほぼ 1 本の S-N 曲線が得られるようであるが、応力度比が 0.25 ~ 0.45 近辺の試験体が多いため、フェロセメント板の 1,000 万サイクルでの疲労限界はまだ得られていない。

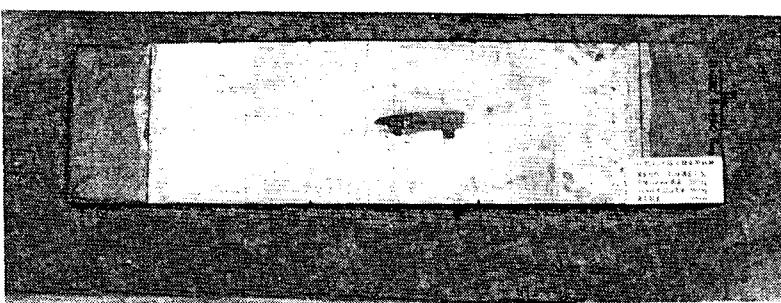
写真 3.2 試験体の破壊状況



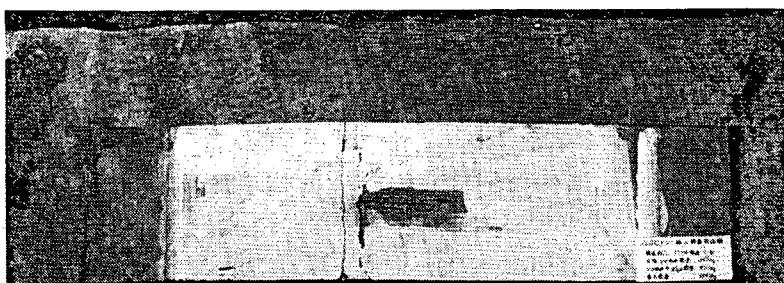
フェロセメント板の静載荷試験  
構造形式 一体構造 A型  
可視ひびわれ荷重 240 kg  
ひびわれ幅 25  $\mu$  荷重 520 kg  
最大荷重 1,050 kg



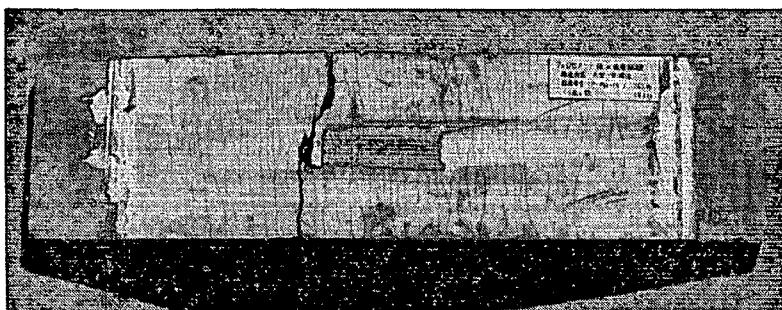
フェロセメント板の静載荷試験  
構造形式 一体構造 C型  
可視ひびわれ荷重 330 kg  
ひびわれ幅 25  $\mu$  荷重 660 kg  
最大荷重 1,160 kg



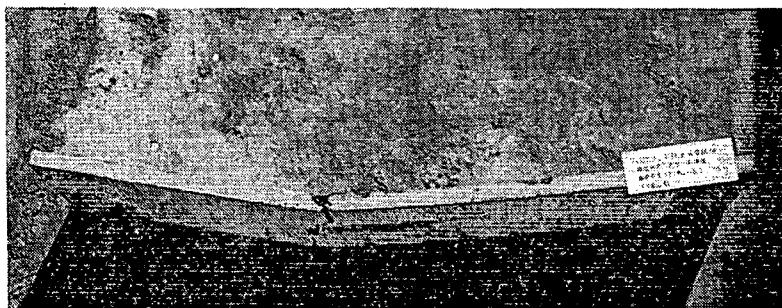
フェロセメント板の静載荷試験  
構造形式 打継構造 A型  
可視ひびわれ荷重 280 kg  
ひびわれ幅 25  $\mu$  荷重 460 kg  
最大荷重 890 kg



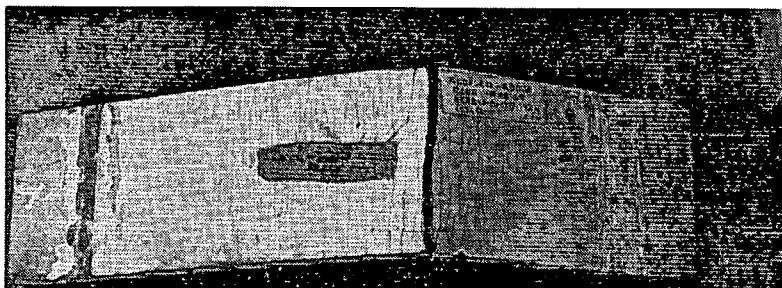
フェロセメント板の静載荷試験  
構造形式 打継構造 C型  
可視ひびわれ荷重 240 kg  
ひびわれ幅 25  $\mu$  荷重 300 kg  
最大荷重 1,000 kg



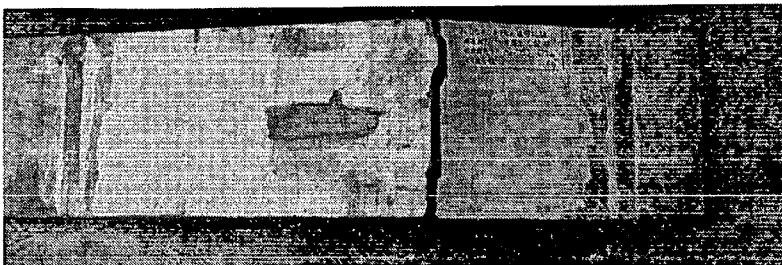
フェロセメント板の疲労試験  
構造形式 一体構造 A型  
載荷荷重 ( $P=P_{b2} \times 1.5$ )  
765 kg  
くり返し数 1.8 万 cy



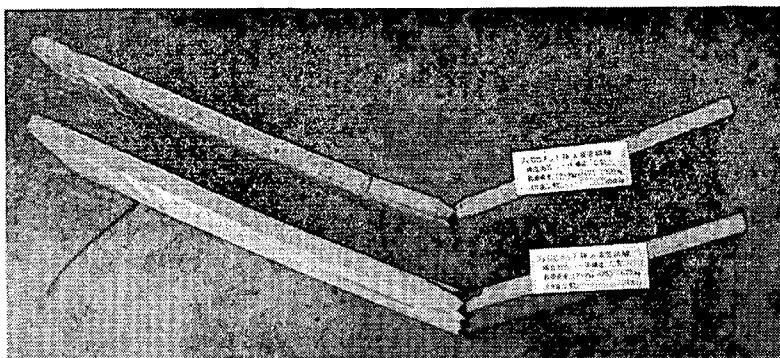
フェロセメント板の疲労試験  
構造形式 一体構造 A型  
載荷荷重 ( $P=P_{b2} \times 1.5$ )  
765 kg  
くり返し数 1.8 万 cy



フェロセメント板の疲労試験  
構造形式 一体構造 C型  
載荷荷重 ( $P=P_{b2} \times 1.67$ )  
900 kg  
くり返し数 100 cy



フェロセメント板の疲労試験  
構造形式 一体構造 C型  
載荷荷重 ( $P=P_{b2} \times 1.25$ )  
675 kg  
くり返し数 21 万 cy



フェロセメント板の疲労試験  
構造形式 一体構造 C型  
載荷荷重 ( $P = P_{b2} \times 1.67$ )

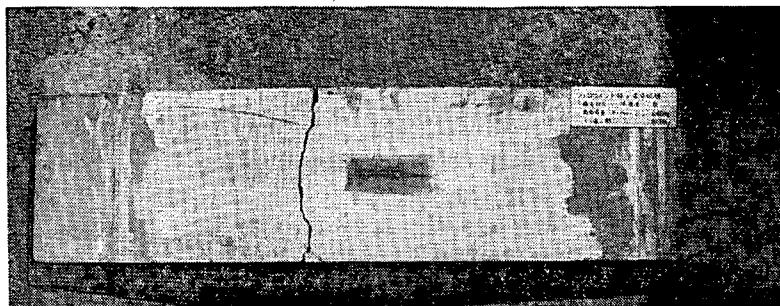
900 kg

くり返し数 1,000 cy

構造形式 一体構造 C型  
載荷荷重 ( $P = P_{b2} \times 1.25$ )

675 kg

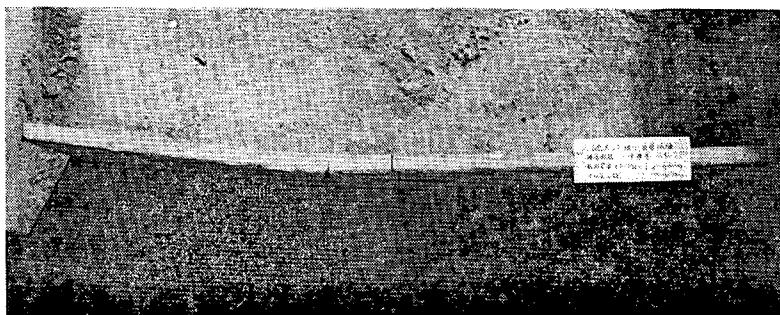
くり返し数 21万 cy



フェロセメント板の疲労試験  
構造形式 一体構造 C型  
載荷荷重 ( $P = P_{b2}$ )

640 kg

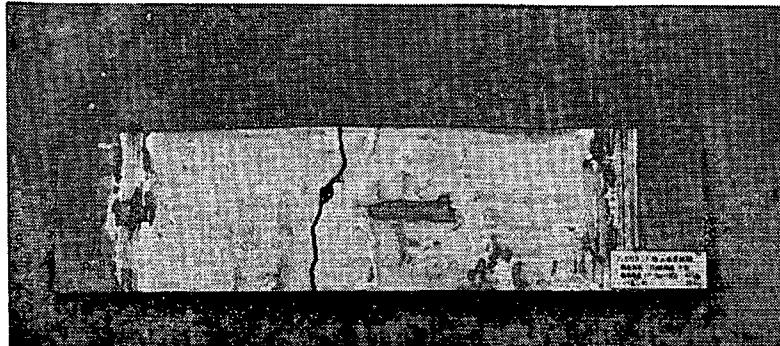
くり返し数 81.7万 cy



フェロセメント板の疲労試験  
構造形式 一体構造 C型  
載荷荷重 ( $P = P_{b2}$ )

640 kg

くり返し数 81.7万 cy



フェロセメント板の疲労試験  
構造形式 打継構造 A型  
載荷荷重 ( $P = P_{b2} \times 1.25$ )

42.5 kg

くり返し数 22万 cy

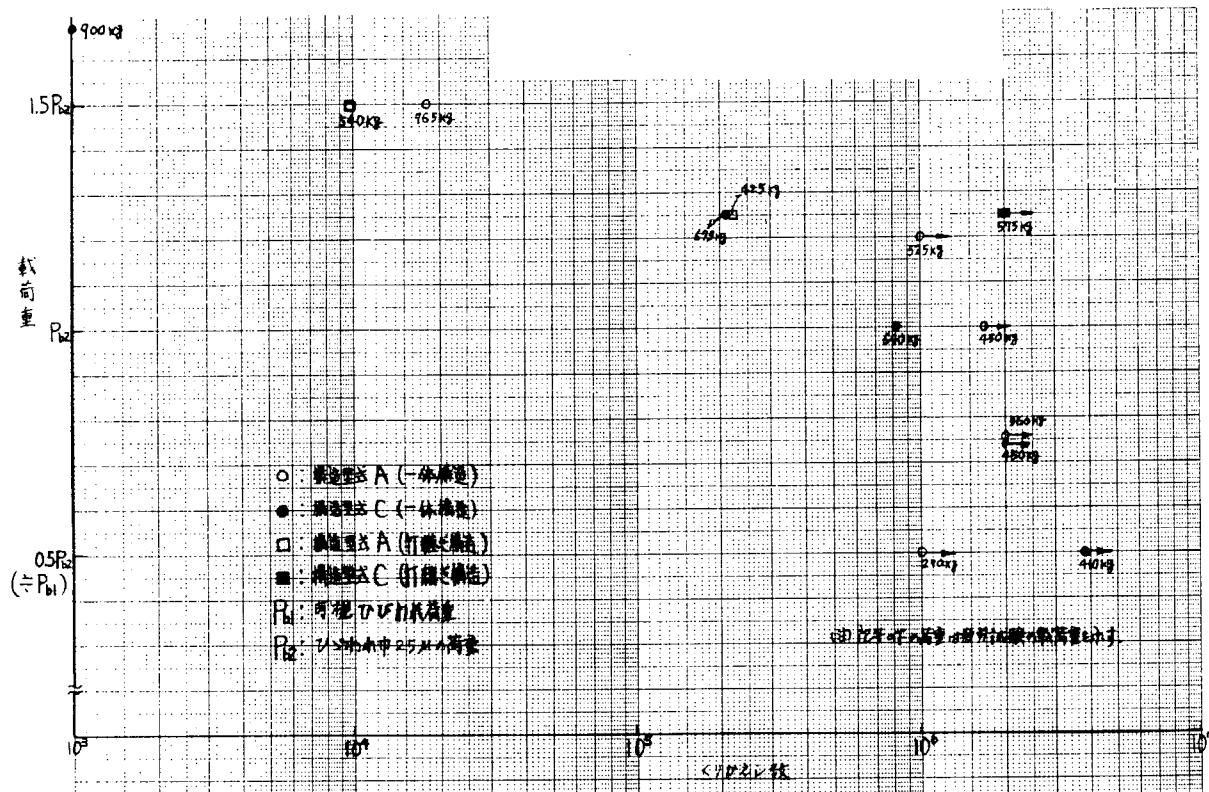


図 3.12 載荷荷重 - くりかえし数の関係

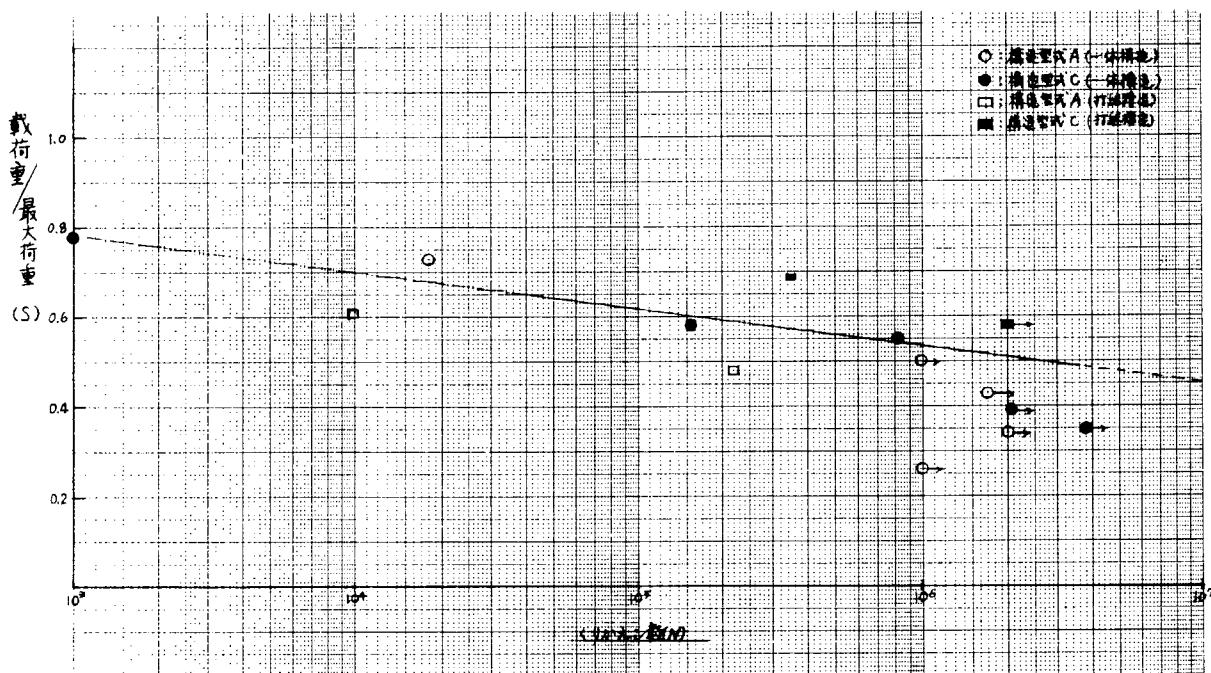


図 3.13 フェロセメント板の S - N 曲線

## 付録：フェロセメント板の引張強度と曲げ強度の関係

昭和52年度に実施したフェロセメント板のひびわれ時および破壊時の引張強度と曲げ強度は次表のとおりである。

### ① ひびわれ強度

構造形式	引張強度 (kg/mm <sup>2</sup> )		曲げ強度 (kg/mm <sup>2</sup> )		備 考
	きつ甲金網	織金網	きつ甲金網	織金網	
A	0.39	0.56	0.97	1.19	
B	0.62	0.77	0.83	1.47	水中養生
C	0.57	0.81	0.83	1.41	板厚30mm
D	0.91	1.12	0.90	1.34	

### ② 破壊強度

構造形式	引張強度 (kg/mm <sup>2</sup> )		曲げ強度 (kg/mm <sup>2</sup> )		備 考
	きつ甲金網	織金網	きつ甲金網	織金網	
A	0.70	1.04	2.38	3.21	
B	1.81	2.27	3.36	3.74	
C	1.62	1.77	2.95	3.55	
D	2.52	2.81	3.97	3.93	水中養生 板厚30mm

これらの表を用いて、ひびわれ時および破壊時における引張強度と曲げ強度の関係を図示すると図-1のとおりである。図-1から次の事が判明した。

- ひびわれ時については、引張強度と曲げ強度の間に明瞭な相関性が認められない。
- 破壊時については、引張強度と曲げ強度の間に相関性が認められ、その相関直線は次のとおりである。

$$\text{きつ甲金網} : \sigma_t = 1.10 \sigma_b - 1.82$$

$$\text{織金網} : \sigma_t = 2.45 \sigma_b - 6.85$$

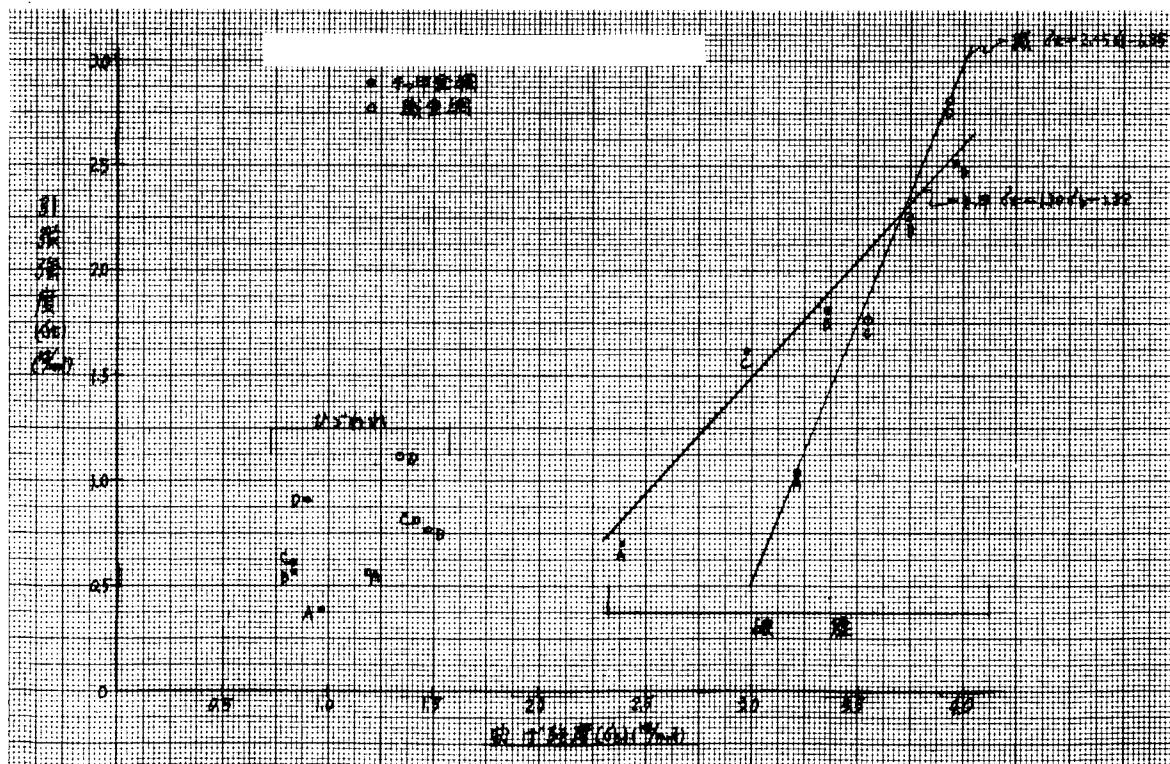


図-1 フェロセメント板の引張強度-曲げ強度

## 4. 部分模型の強度試験

### 4.1 はじめに

52年度に引き続き、フェロセメント船のフレーム部の構造強度の性状を把握するため、部分模型を作成して静的曲げ試験および曲げ疲労試験を実施し、その強度の検討を行った。

### 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はウェブフレーム付平板である。試験体番号と試験内容を表4.1に示す。ここでMタイプ試験体は52年度におけるAタイプ試験体と同じ構造のものである。試験体N-1の構造概略を図4.1に示す。Mタイプのフレーム板厚および平板部板厚はそれぞれ20mmと25mmであるが、Nタイプのそれらは30mmと30mmである。

#### (2) 製造法および養生条件

製造法および養生条件は52年度と同じであり、また、モルタルも同配合成分のものを用いた。モルタルの強度試験結果を表4.2に示す。

表4.2 モルタルの強度

試験体番号	圧縮強度 kg/mm <sup>2</sup>	曲げ強度 kg/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg/mm <sup>2</sup>
M-1			
M-2	5.86	0.94	
M-3			
M-4			
N-1	5.74		0.41

### 4.3 静的曲げ試験

#### (1) 試験方法および計測項目

スパン1800mmとする4点曲げ試験を行った。荷重は昨年度と同様に、手動ジャッキにより、ロードセル、H型鋼を組み合せて作成した加圧治具を介して試験体に加えた。片当たりを防ぐため、昨年度はH型鋼と試験体との間に木材およびゴムを挟み込んだが、今年度は丸鋼をH型鋼に固定し、片当たりは試験体の荷重線上に石こうを塗り付け硬化させることにより調整した。（図4.2参照）

昨年度の試験結果において、コンクリート表面のひずみデータにかなりバラツキがあることが判かったので、今年度は、コンクリート内部の鉄筋にゲージ長6mmのひずみゲージを貼付し、鉄筋のひずみを計測した。貼付方法及び貼付位置を図4.3に示す。

コンクリート表面のひずみ、および試験体のたわみは昨年度と同じ方法により計測した。

ひびわれの観察は、主として目視により行った。昨年度の報告書において述べたように、目視によるひびわれの発見が可能なひびわれ幅は、観察者の経験等により異なるが、今回の試験においては0.03mm～0.05mmであった。

## (2) 試験結果

各試験体のひびわれ ( $30\mu \sim 50\mu$ ) 発生荷重および最高荷重を表4.3に示す。なお、表中の試験体M-2, M-4の最高荷重値は繰返荷重負荷後行った静的曲げ試験による結果である。また、参考のため昨年度の試験結果も表に示した。

### (a) ひびわれ

試験体M-1においては、ひびわれはウェブフレーム側面の頂部にまず発生した。ひびわれ間隔に規則性はないと観察された。その後、荷重約1tonにおいて平板部にひびわれが発生した。平板部のひびわれは約50mm間隔にはほぼ規則的に発生した。ひびわれ幅はあまり増大せず(0.1mm以下)平板部全面にひびわれが発生した。その後ひびわれ幅が増大し、最終荷重付近では1mm以上のひびわれとなった。

表4.3 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
M-1	フレーム引張	340kg (102kg・m)	フレーム側面の頂部	3400kg (1020kg・m)	全断面塑性化
M-2		290kg (87kg・m)	フレーム側面の頂部	3300kg (990kg・m)	全断面塑性化
A-2		123kg (36.9kg・m)	フレーム側面全体	2000kg (600kg・m)	フレームのフェースの溶接部はく離
M-3	フレーム圧縮	780kg (234kg・m)	試験体辺部	2780kg (834kg・m)	フレーム部コンクリート圧壊 フレームのフェース座屈
M-4		1000kg (300kg・m)	試験体辺部	2900kg (870kg・m)	フレーム部のコンクリート圧壊 フレームのフェース座屈
A-1		500kg (150kg・m)	スパン中央付近 試験体辺部	1300kg (390kg・m)	フレーム部のコンクリート圧壊 フレームのフェース座屈
N-1	フレーム圧縮		試験前にひびわれ発生	1900kg (570kg・m)	フレーム部コンクリート圧壊

試験体M-3においては、ひびわれは平板部辺部に発生し、すぐに平板の幅中央部に伸展した。ひびわれ間隔はM-1と同様な規則性が見られた。ひびわれ幅はあまり増大せず、フレーム部コンクリートの圧壊およびフレームのフェースの座屈により最高荷重に達した。

試験体N-1は、試験体M-4の曲げ疲労試験終了が遅れたため室内に放置(4週間の養生後約3週間)しておいたため、乾燥収縮によるものと思われるひびわれが発生してしまったので、ひびわれ発生荷重の計測は出来なかった。

### (b) ひずみ、および、たわみ

図4.6～図4.8にたわみ荷重曲線を、図4.9～図4.20にひずみ荷重曲線を示す。図4.21～図4.28にひずみ分布を示す。

試験体M-1のひずみ荷重曲線で、フレーム部コンクリートのひずみ荷重曲線(図4.11)において、荷重がひびわれ荷重をこえた所でひずみが増加しなくなるのは、そのゲージ近傍にひびわれが発生し応力の伝達が出来なくなるためである。また、鉄筋のひずみ荷重曲線(図4.12)において、荷重2ton程度まで鉄筋のひずみは小さい。これ

は鉄筋の位置が中立軸に近いこと、そして、ひびわれの増大とともに中立軸がさらに近づくことによるものと思われる。

試験体M-3のひずみ荷重曲線で、平板部のひずみ荷重曲線（図4.14）において、ひびわれ荷重付近で圧縮ひずみから引張ひずみに急激に変化しているゲージがある、また、鉄筋のひずみ荷重曲線（図4.16）においても鉄筋のひずみに急激な増大と傾斜の変化があらわれている。これらは、ひびわれの進展による中立軸の移動が急激であることを示している。

### (3) 考察および解析

#### (a) 有効幅および曲げ剛性

図4.21～図4.28にひずみ分布を示す。ひびわれ発生前での平板部のひずみ分布（図4.22、図4.24、図4.25）によれば、試験体M-3を除くと、板幅方向においてひずみはほぼ一様に分布しており、全板幅が有効であると推定される。

次に昨年度と同様にして、たわみ荷重曲線、およびひずみ荷重曲線から曲げ剛性を求めた。それらを図4.29～図4.33に示す。ただし、たわみ荷重曲線からは、昨年度とは異なり次式から曲げ剛性を求めている。

$$EI_{\delta} = \frac{23}{48} \frac{P \ell^3}{\delta} \quad \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

一方、コンクリート内の鉄筋および金網を等価なコンクリートに置換えて理論的に求めた曲げ剛性も同図中に示す（52年度報告書P.62参照）。ただし、同図中において $EI_{c1}$ はコンクリートの引張剛性を考慮し、圧縮剛性と同じとして算出した曲げ剛性であり、 $EI_{c2}$ はコンクリートの引張剛性を無視して算出した曲げ剛性である。同図によればM-4を除いて、たわみから求めた曲げ剛性( $EI_{\delta}$ )とひずみから求めた曲げ剛性( $EI_{\epsilon}$ )はほぼ等しい。

荷重が小さいときは実測値に誤差があること、また1.0 ton～1.5 tonにおいてフレーム頂部鋼平板が降伏していることを考慮すると $EI_{c1}$ および $EI_{c2}$ は妥当な値と考えられる。しかしながら、これらの図から有効幅を読み取るのは困難であると思われる。

#### (b) 中立軸

中立軸の位置を検討するため、ひびわれ荷重近傍での圧縮引張ひずみ比を実測値から求めた。それと比較するため(a)で曲げ剛性を算出した方法により圧縮引張ひずみ比を求めた。これらを表4.4に示す。なお、コンクリートのひずみ $\epsilon_2$ は近傍の3点のひずみ値を平均したものとしている。ここでM-1、M-2ではひずみ( $\epsilon_2$ )が小さく計測値の誤差が大きい。そのため、ひずみ比が多少大きめになっていると思われる。

この表によれば、ひずみ比はどの試験体についても計算値( $\alpha=1.0$ )より大きい。即ち、計算モデルよりも板体の剛性は大きく曲げに寄与している。

表4.4 ひずみ比

試験体 番号	荷重 kg	ひずみ $\epsilon_2 (\times 10^{-6})$	ひずみ $\epsilon_1 (\times 10^{-6})$	ひずみ比 $\epsilon_1 / \epsilon_2$	ひずみ比(計算値)		
					$\alpha=1.0$	$\alpha=0.75$	$\alpha=0.5$
M-1	300	32	255	8.0			
M-2	256	37	250	6.8			
M-3	700	91	490	5.4	4.9	4.3	3.3
M-4	735	130	675	5.2			

注)  $\alpha = \frac{\text{有効幅}}{\text{板幅}}$

上記のことから有効幅は板幅に等しいとして良いと思われる。

(c) ひびわれ応力

昨年度報告書において、鉄筋および金網を等価なコンクリートに置き換えてひびわれ荷重からひびわれ応力を求めたが、今回も同様にしてひびわれ応力を求めてみた。そのひびわれ応力を表4.5に示す。ここで断面係数の算定において、全板幅が有効としている。

表4.5 ひびわれ応力

試験体番号	ひびわれモーメント kg・m	断面係数 $\times 10^5 \text{ mm}^4$	ひびわれ応力 kg/mm <sup>2</sup>
M-1	102	1.97	0.52
M-2	87		0.44
A-2*	36.9		0.19
M-3	234	9.55	0.25
M-4	300		0.31
A-1*	150		0.16

\* 昨年度の試験結果

表によれば、今年度のひびわれ応力は昨年度の2倍程度となっている。これはモルタルの引張強度が昨年度は0.24 kg/mm<sup>2</sup>であったのに對し、今年度のそれは0.41 kg/mm<sup>2</sup>となっていることによると思われる。

次に、次式を用いて平板部の平均ひびわれ応力 $\sigma_{mp}$ を求めた。それらを表4.6に示す。

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

$A_{cp}$  : 平板部コンクリート断面積

$A_{sp}$  : 平板部鋼部分の断面積

$\sigma_{cr}$  : 上記で求めたひびわれ応力

同表中に断面を一様なモルタルとして断面係数を求め、その断面係数 $Z_m$ を用いて求めたひびわれ応力 $\sigma_{crm}$ を示す。

表4.6 平均ひびわれ応力

試験体番号	平均ひびわれ応力 $\sigma_{mp}$ kg/mm <sup>2</sup>	断面係数 $Z_m$ mm <sup>4</sup>	ひびわれ応力 $\sigma_{crm}$ kg/mm <sup>2</sup>
M-2	0.34	$5.39 \times 10^5$	0.43
M-3	0.43	$5.39 \times 10^5$	0.56
A-1	0.22	$5.39 \times 10^5$	0.28

表によれば平均ひびわれ応力は、断面を一様として求めたひびわれ応力の約8割である。

#### 4.4 曲げ疲労試験

##### (1) 試験方法

試験体M-2およびM-4について、まず静的曲げ試験を行い、ひびわれ荷重を求めた。その後、図4.2に示すように油圧ジャッキを油圧変動装置により駆動し、試験体に変動荷重を加えた。M-2およびM-4ともに上限荷重はそれぞれのひびわれ荷重とし、下限荷重は安定した変動荷重が加えられる限り小さくした。また、荷重繰返周期は可能な限り短かくした。

##### (2) 試験結果

表4.7に試験結果を示す。

表4.7 疲労試験結果一覧表

試験体番号	上限荷重kg	下限荷重kg	周期sec	繰り返し回数	試験後試験体外観
M-2	300	75	1.2	$1 \times 10^6$	・フレーム側面にひびわれ数多い ・平板部にひびわれ数本 ・破壊せず
M-4	1100	150	2.0	$1 \times 10^6$	・平板部にひびわれ数多い ・圧縮側に貫通したひびわれ数本 ・破壊せず

##### (a) ひびわれ

試験体M-2において、ひびわれ試験時にはフレーム側面頂部のみにひびわれが現れている状態であった。しかし、変動荷重の繰り返しによりひびわれは伸展し約 $5 \times 10^5$ 回において平板部とフレームとの結合部まで達した。平板部には約 $7 \times 10^5$ 回においてひびわれがフレームとの結合部から辺部方向に発生した。静的曲げ試験において、ひびわれが最初に発生する試験体辺部には $1 \times 10^6$ 回後においてもひびわれは発生しなかった。

試験体M-4においては、ひびわれ試験時にはひびわれは試験体辺部に発生した。疲労試験中にそのひびわれは中央部に伸展したが、ひびわれ幅は増加しなかった。

試験体平板の側面にてひびわれの深さ方向への伸展を観察した結果約 $8 \times 10^5$ 回においてひびわれは圧縮側に貫通していた。

##### (b) 最高荷重および曲げ剛性

$1 \times 10^6$ 回変動荷重負荷した後、静的曲げ試験を行った。その結果を表4.3に示す。M-2及びM-4の最高荷重の影響は見られない。

4.3(3)(a)と同様に曲げ剛性をたわみ、およびひずみから求めた。それらを図4.2-2、4.3-3に示す。同図によれば剛性は、ひびわれ試験時のそれより低下している。その曲げ剛性は、コンクリートの引張剛性を無視して求めた曲げ剛性とほぼ等しいものとなっている。

#### 4.5 まとめ

今回実施した静的曲げ試験および疲労試験により次の結果を得た。

- (1) 昨年度報告書において有効幅と板幅の比は0.5としたが、今年度の試験結果およびその検討の結果1.0とした方が妥当であると思われる。
- (2) ひびわれ荷重の $1 \times 10^6$ 回の繰り返しでは、模型は破壊はしない。しかし、ひびわれの増大により曲げ剛性は小さくなる。また、疲労による最高荷重に対する影響はない。

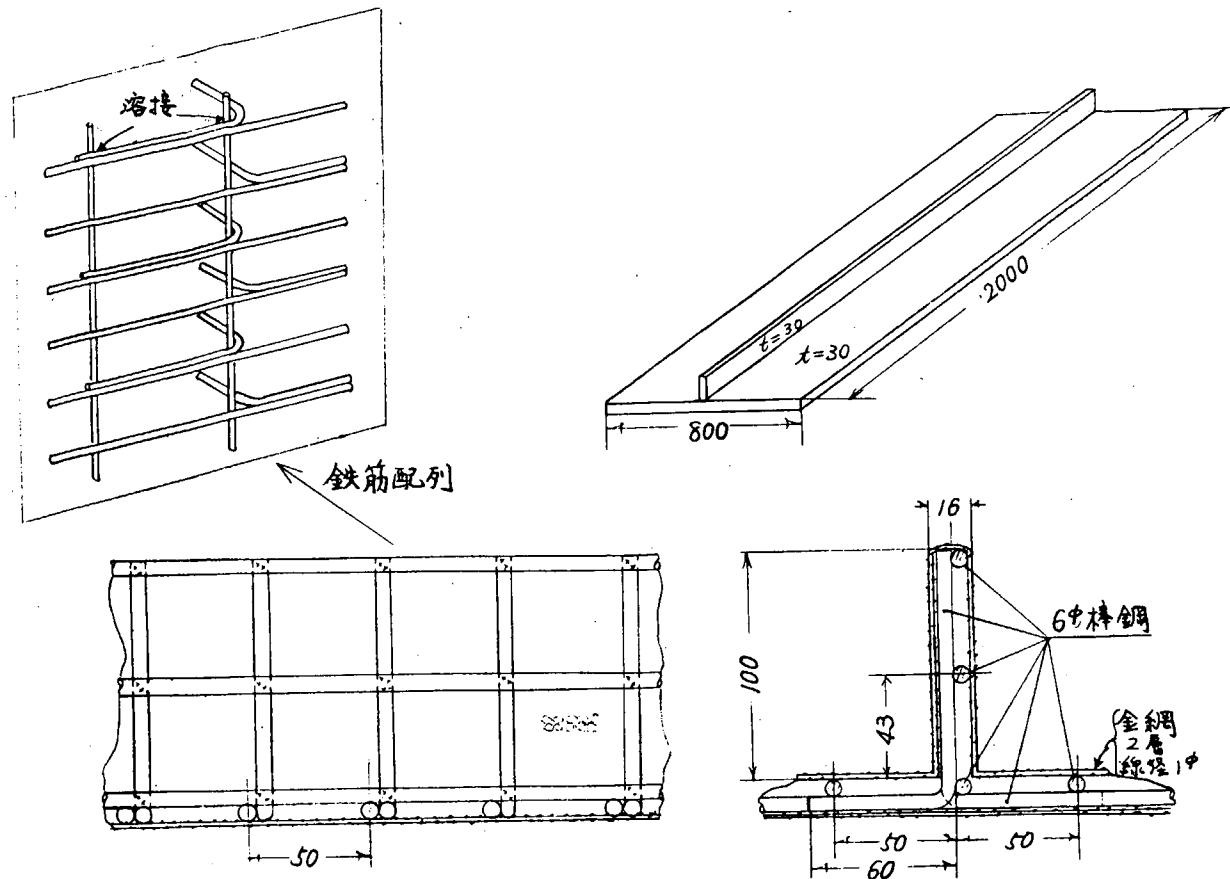


図 4.1 N-1 試験体構造図

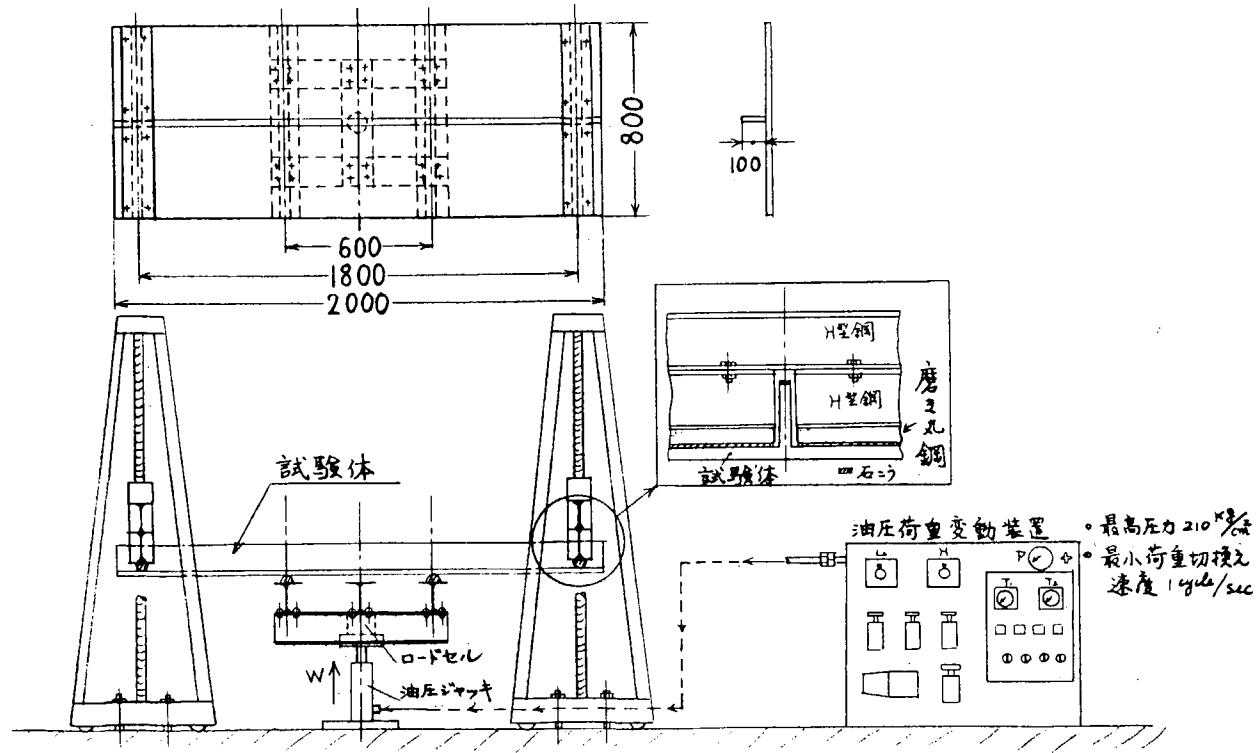


図 4.2 試験装置

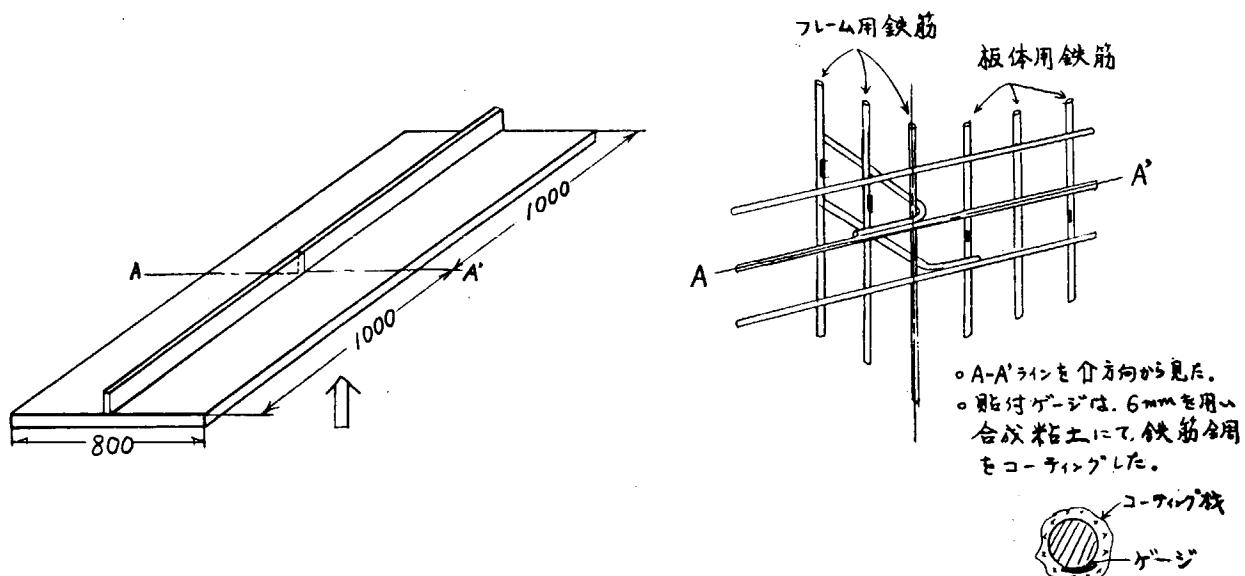


図 4.3 ひずみゲージ貼付位置

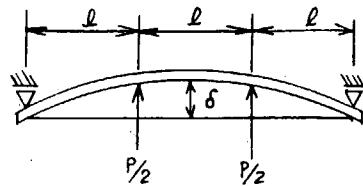


図 4.4

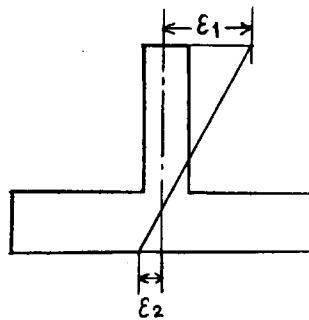
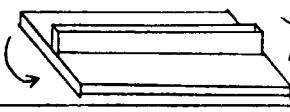
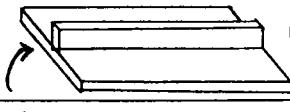
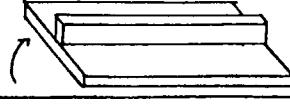


図 4.5

表 4.1

試験体番号	試験内容	曲げ 方 向
M - 1	静的曲げ	
M - 2	曲げ疲労	
M - 3	静的曲げ	
M - 4	曲げ疲労	
N - 1	静的曲げ	

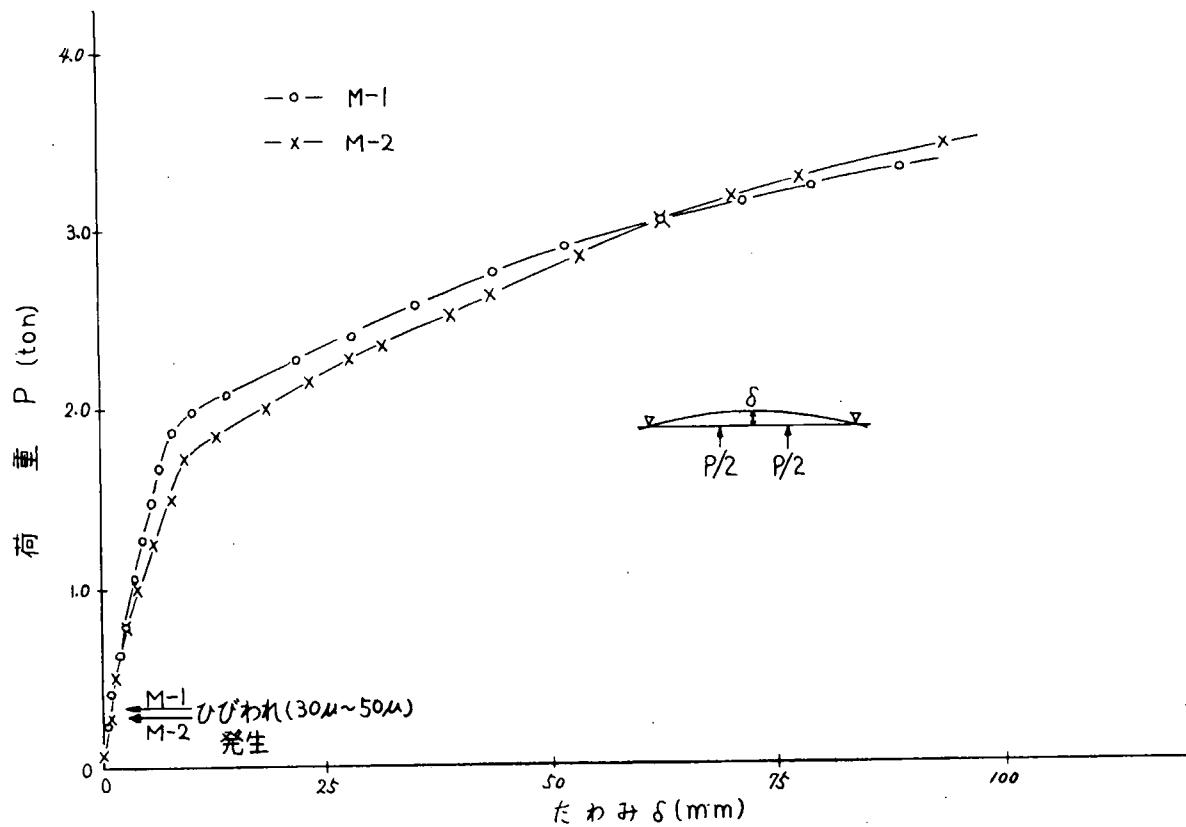


図 4.6 たわみ - 荷重曲線

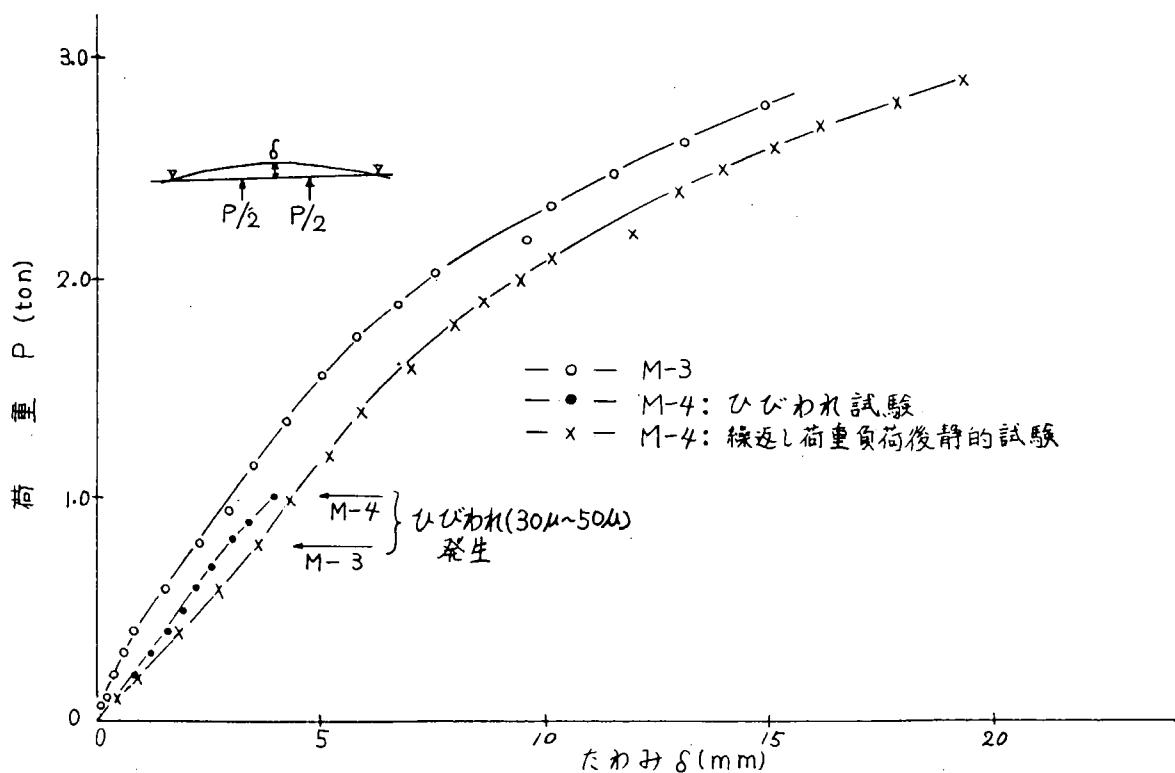


図 4.7 たわみ - 荷重曲線

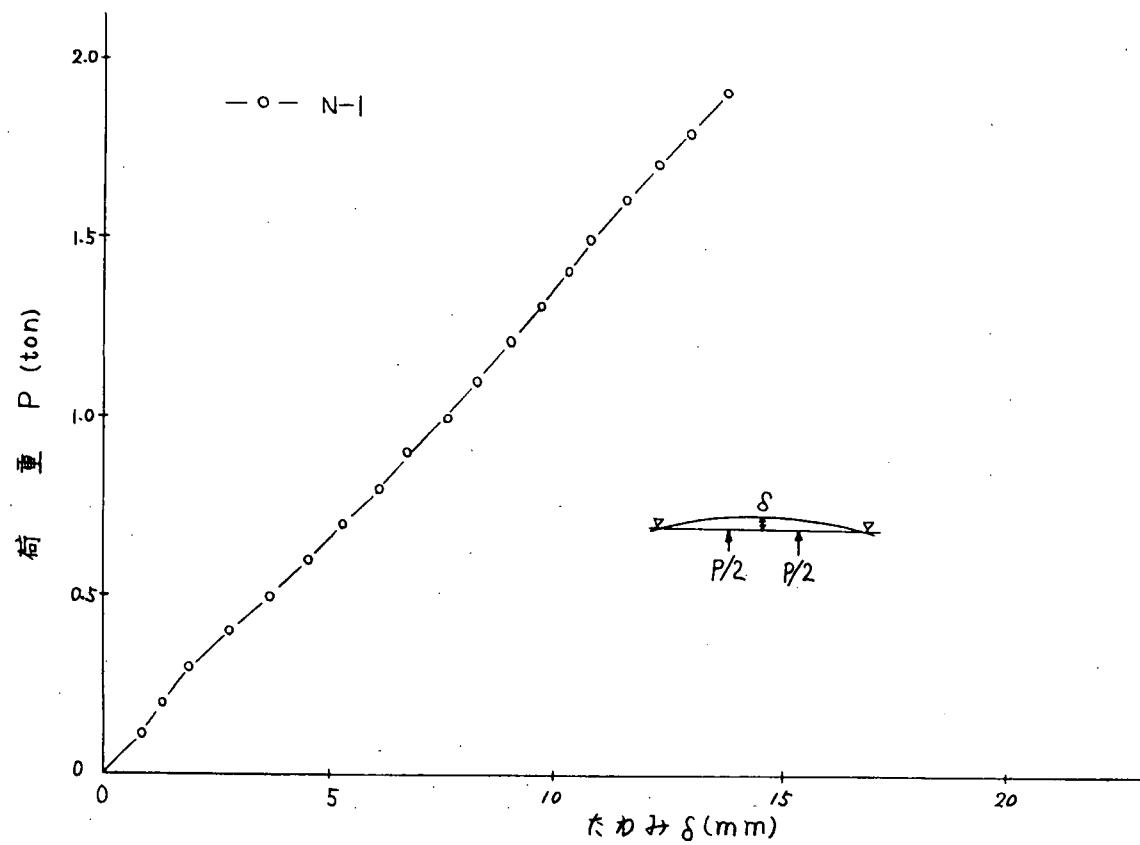


図 4.8 たわみ - 荷重曲線

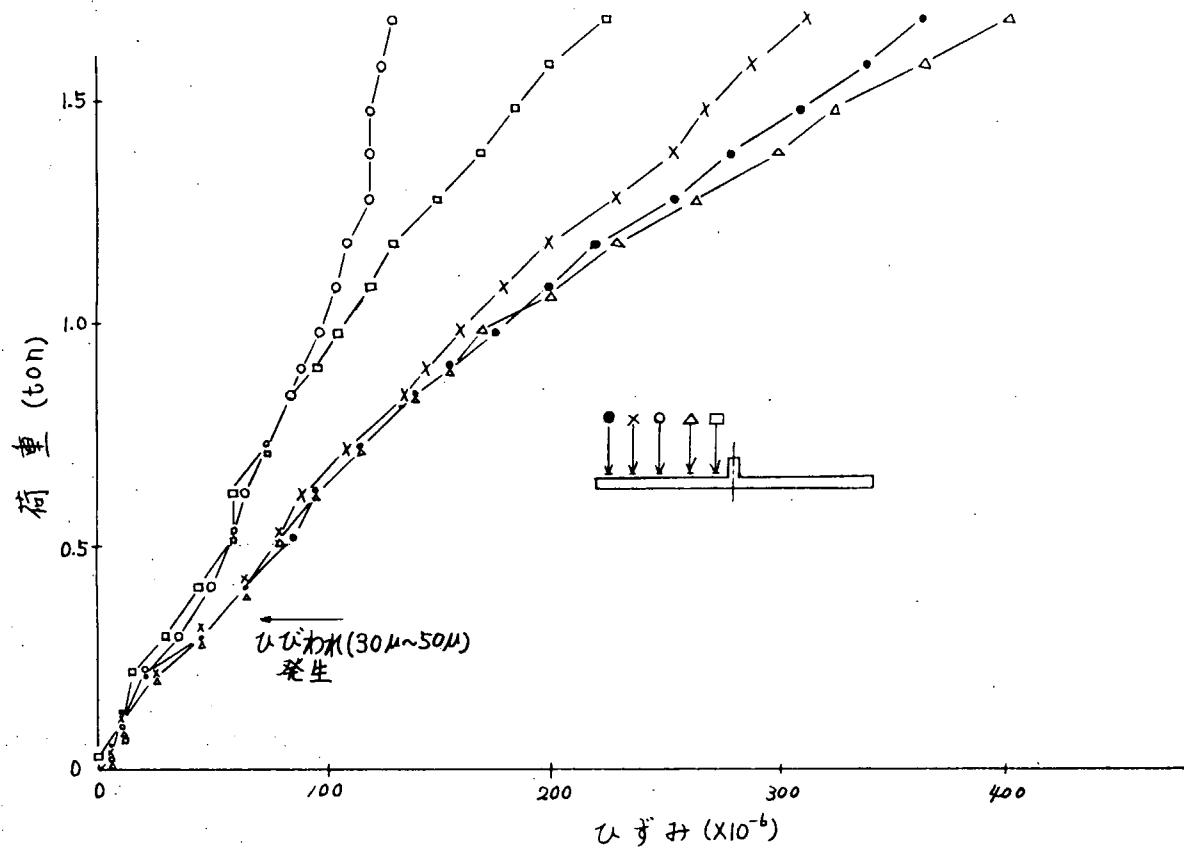


図 4.9 荷重 - ひずみ曲線 (M-1, 平板部コンクリート)

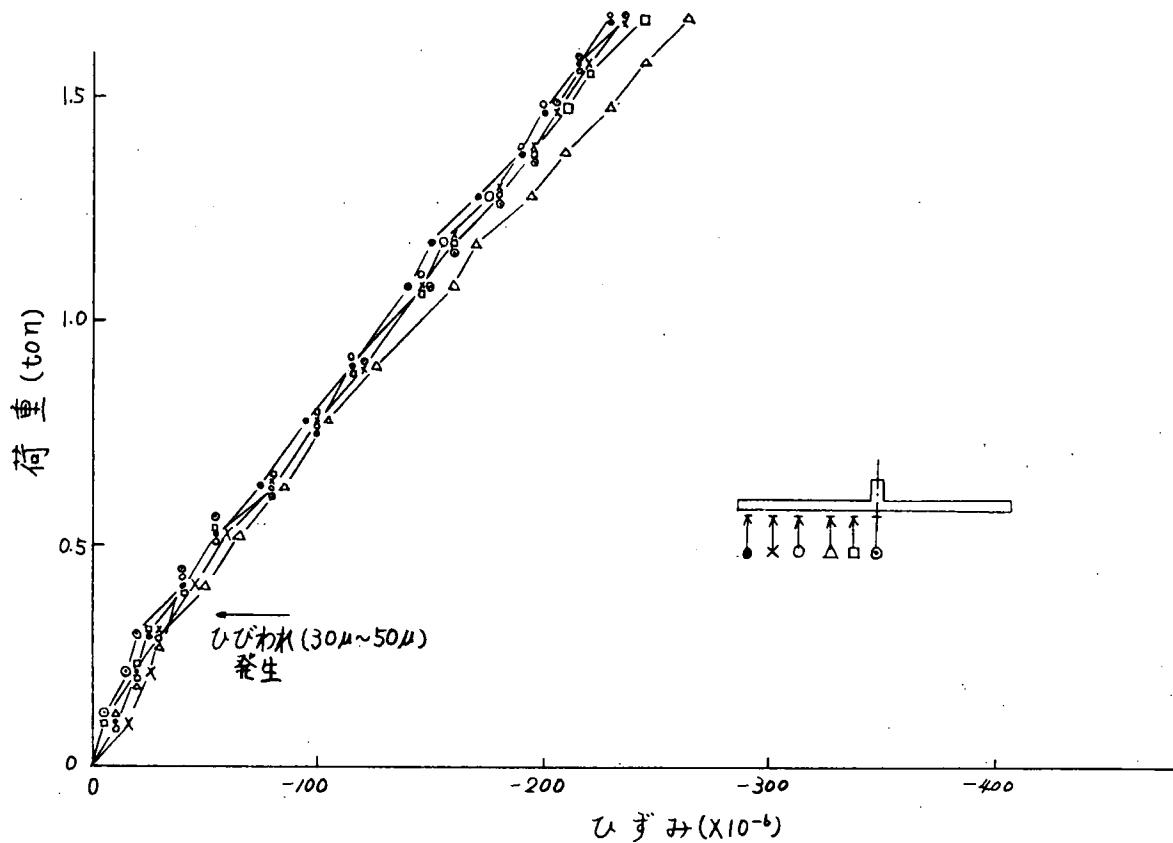


図 4.10 荷重 - ひずみ曲線 (M-1, 平板部コンクリート)

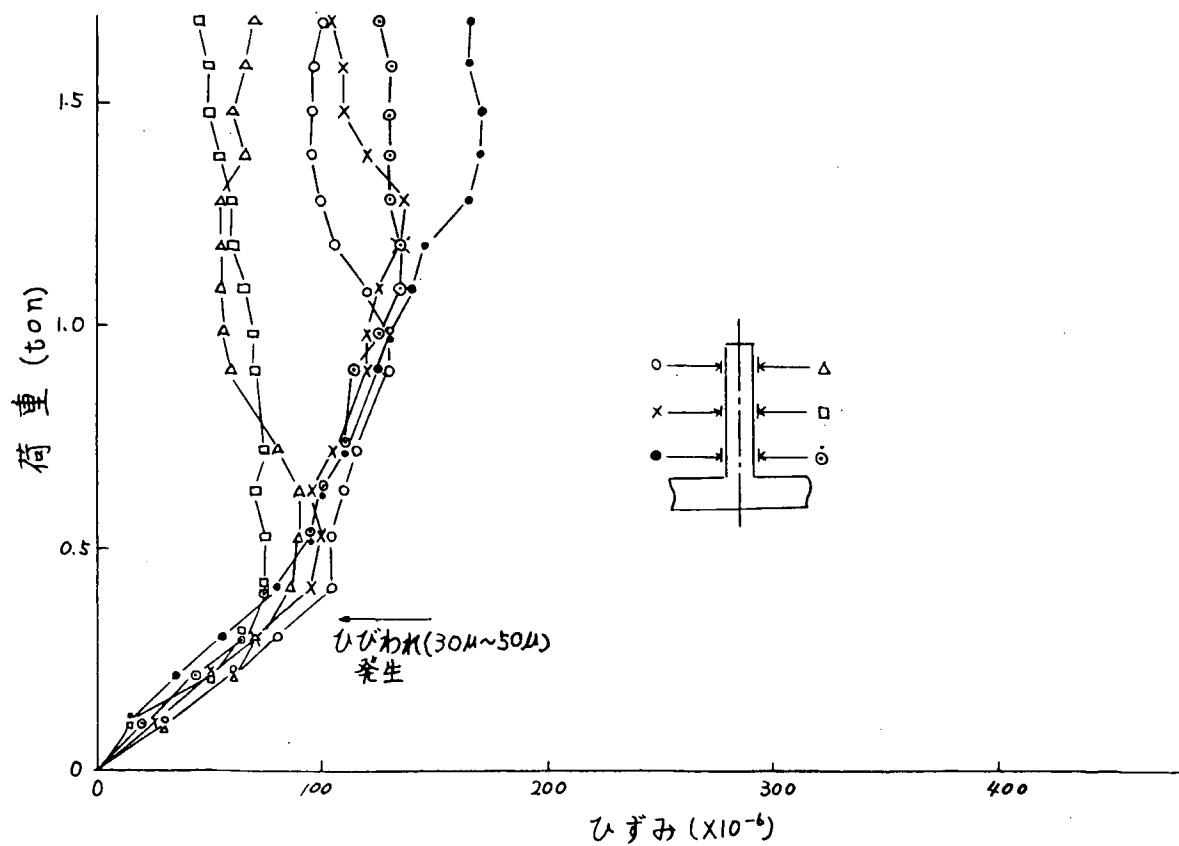


図 4.11 荷重 - ひずみ曲線 (M-1, フレーム部コンクリート)

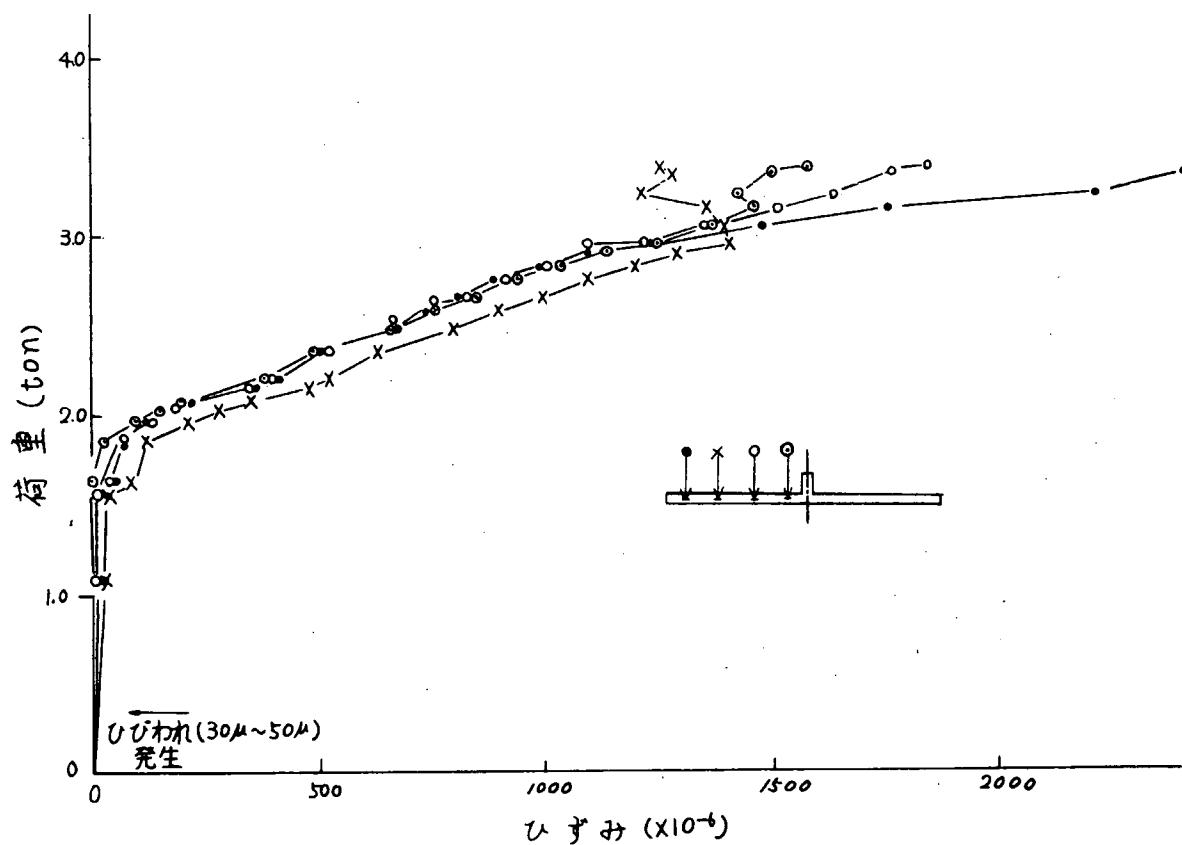


図 4.12 荷重 - ひずみ曲線 (M-1, 平板部鉄筋)

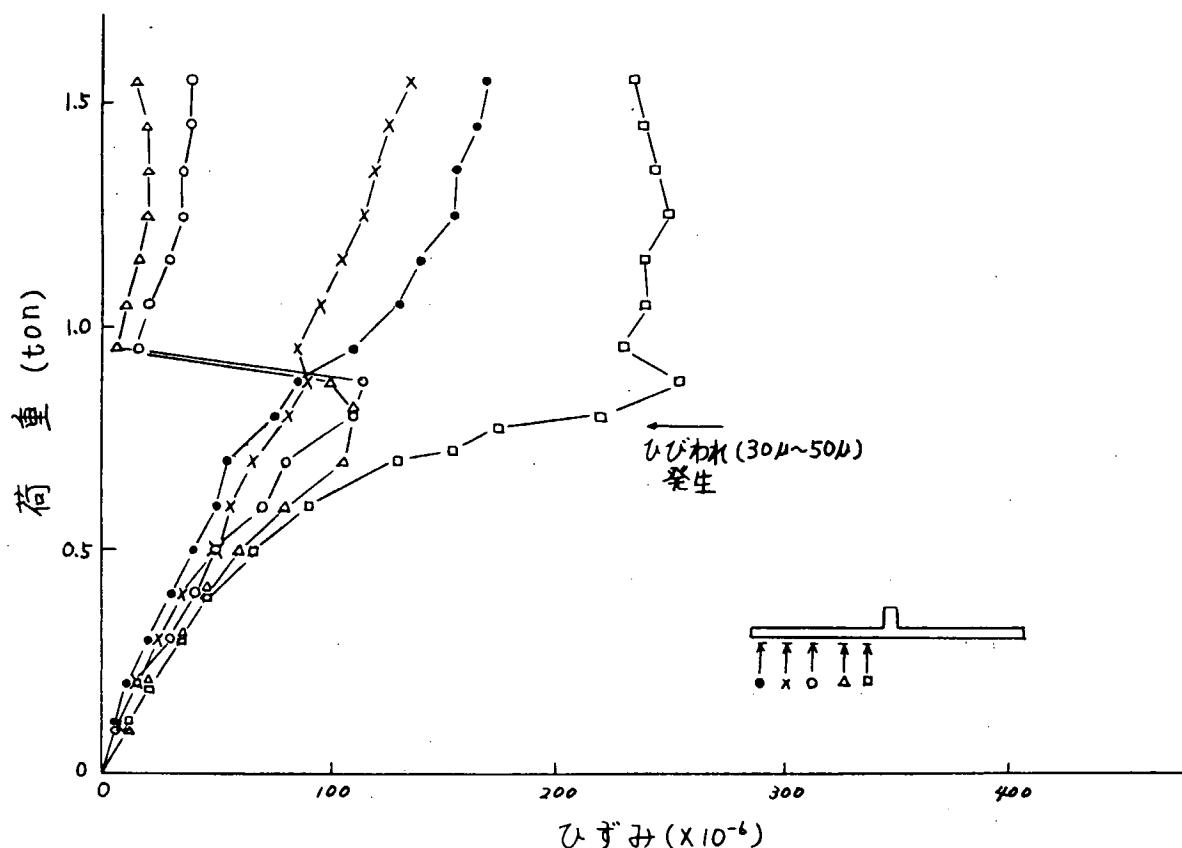


図 4.13 荷重 - ひずみ曲線 (M-3, 平板部コンクリート)

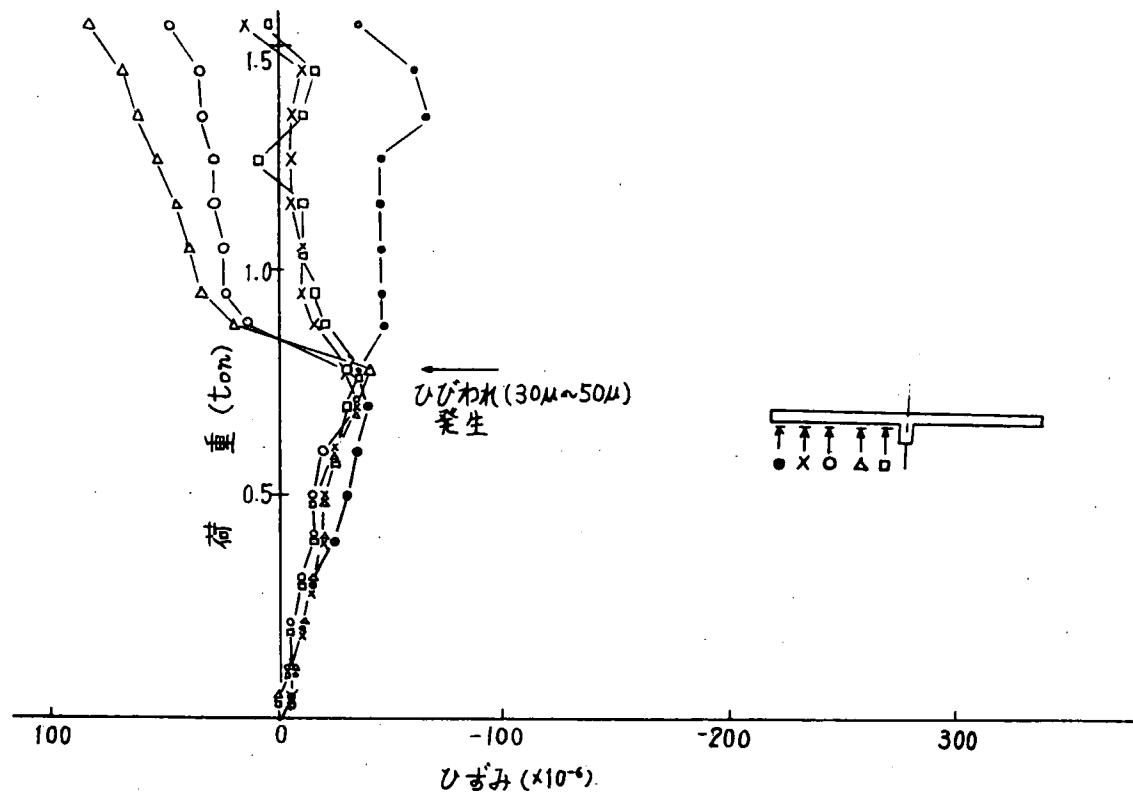


図 4.14 荷重 - ひずみ曲線 (M-3, 平板部コンクリート)

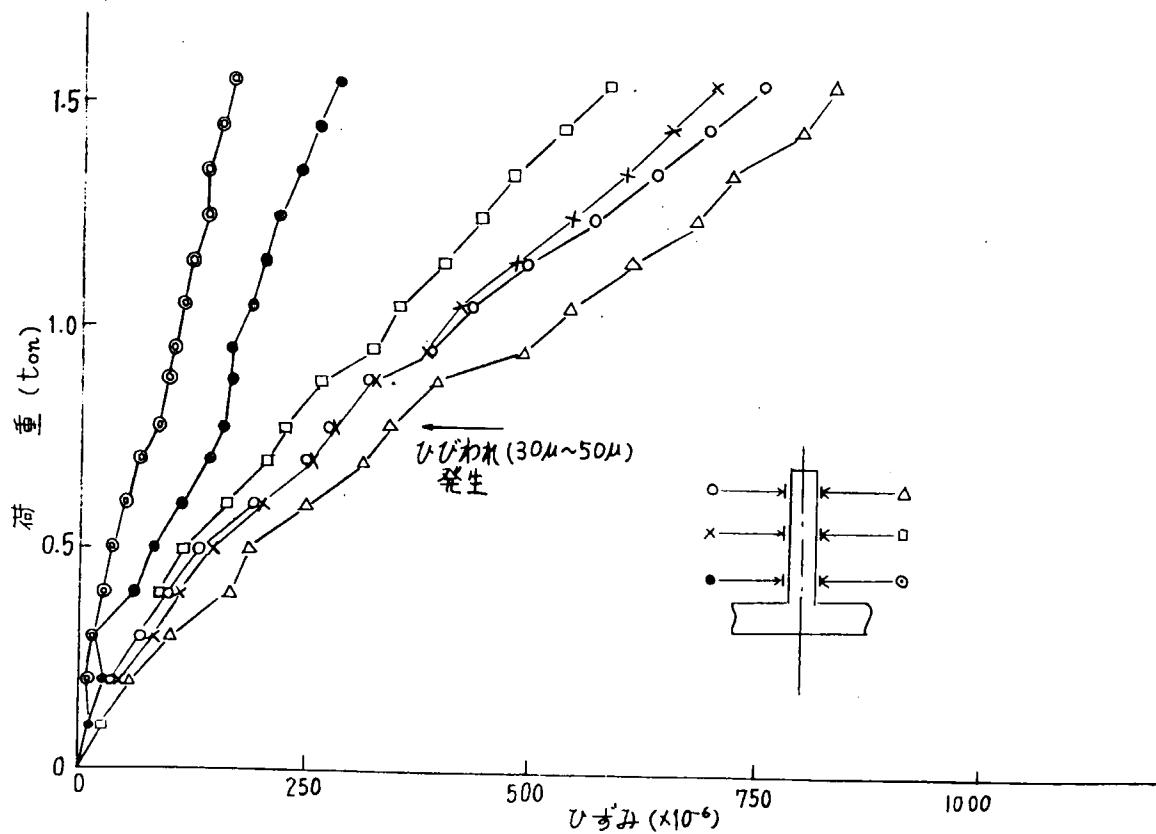


図 4.15 荷重 - ひずみ曲線 (M-3, フレーム部コンクリート)

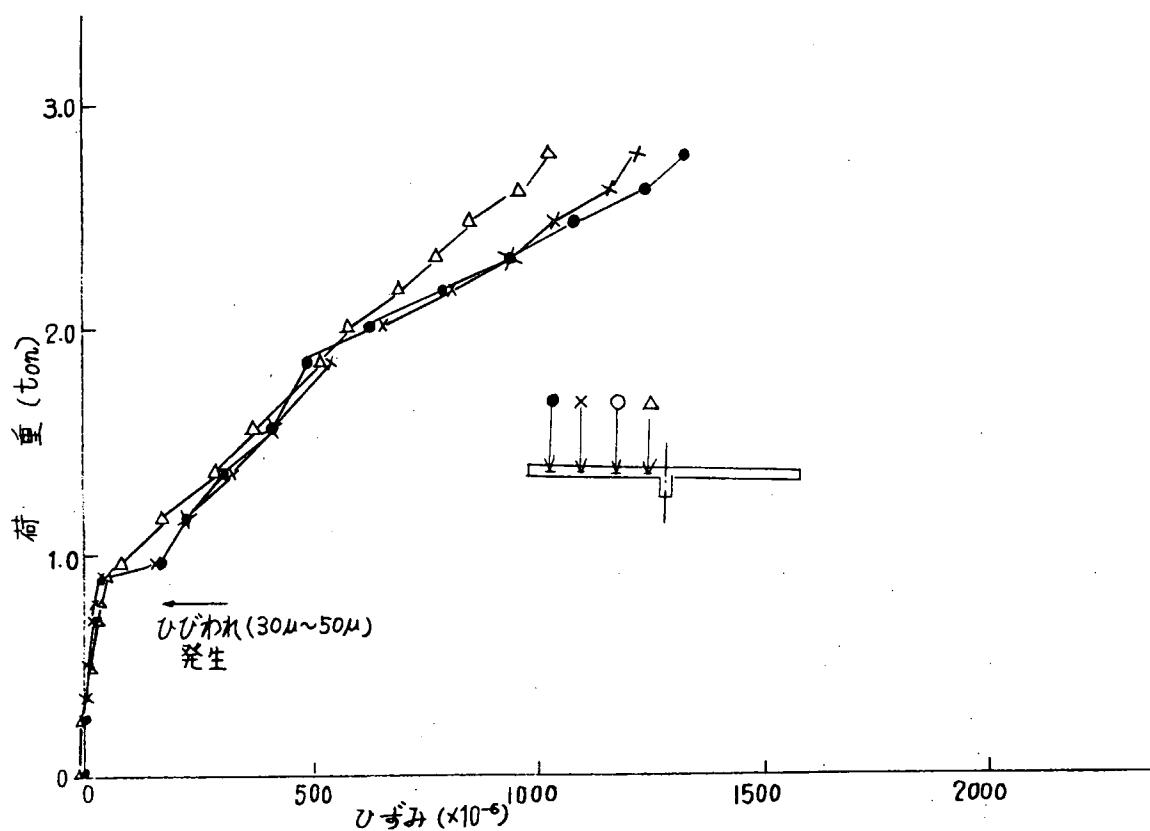


図 4.16 荷重 - ひずみ曲線 (M-3, 平板部鉄筋)

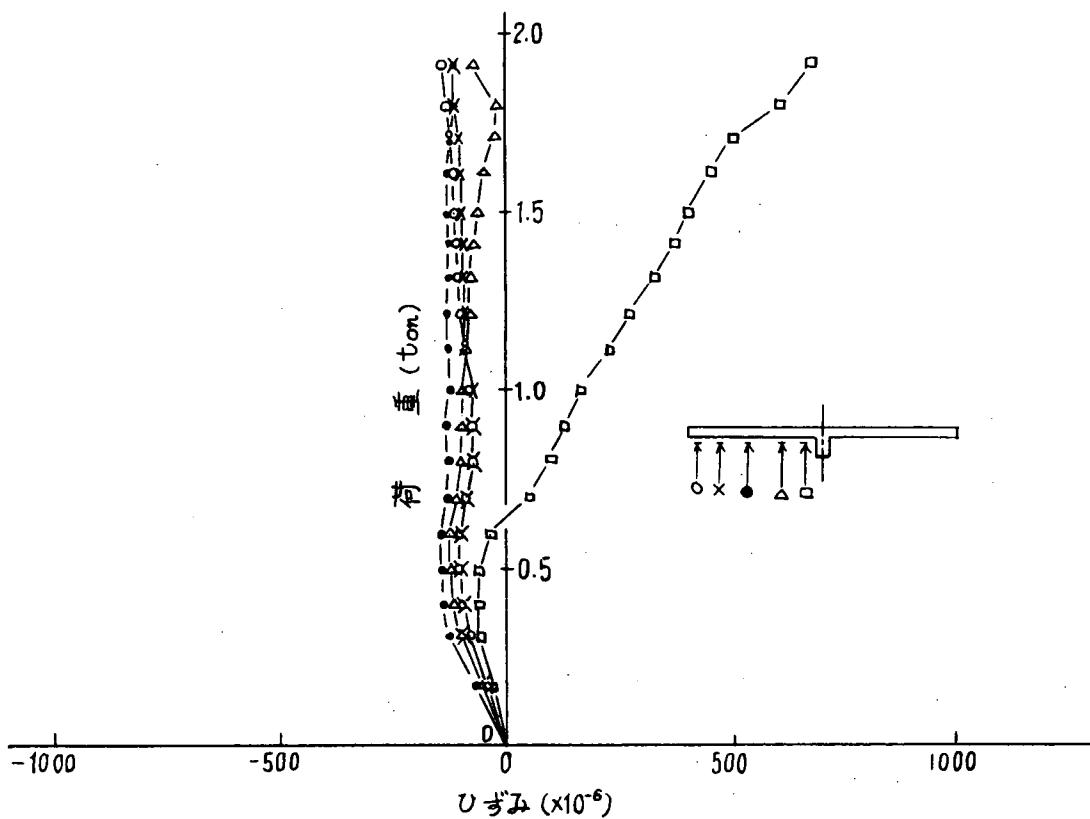


図 4.17 荷重 - ひずみ曲線 (N-1, 平板部コンクリート)

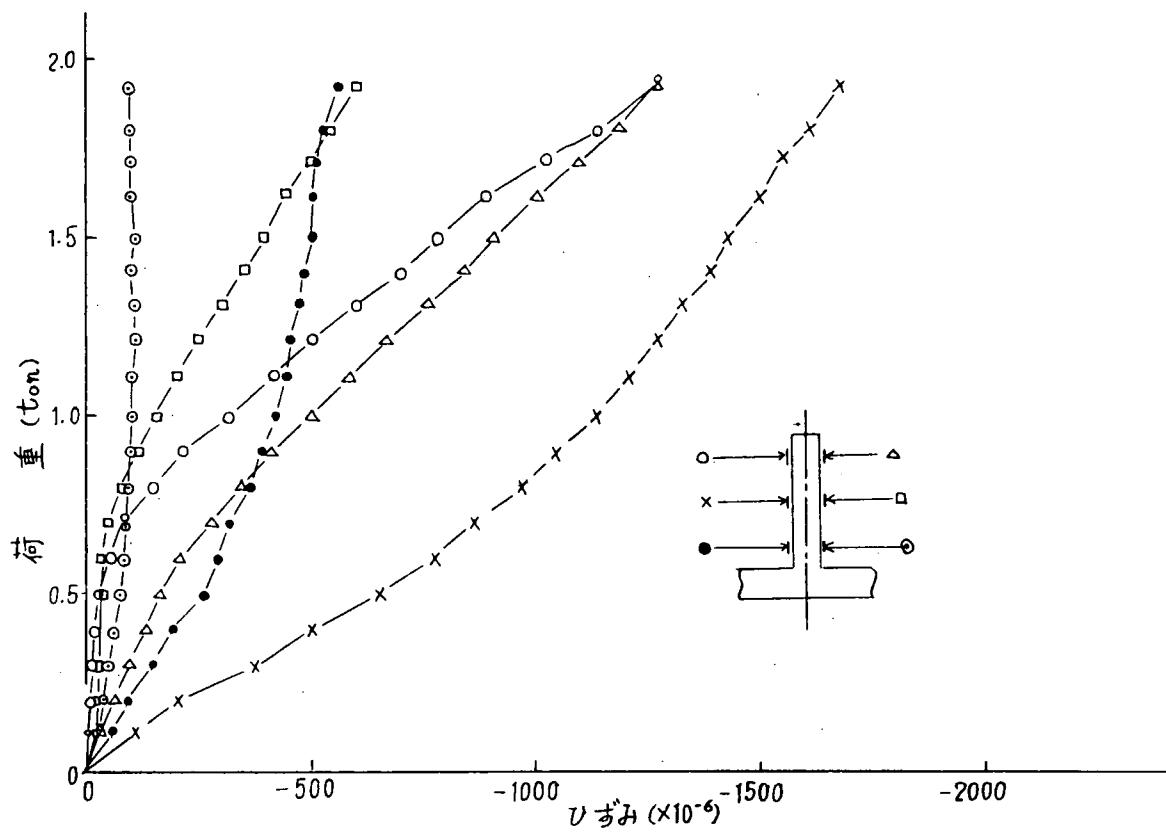


図 4.18 荷重 - ひずみ曲線 (N-1, フレーム部コンクリート)

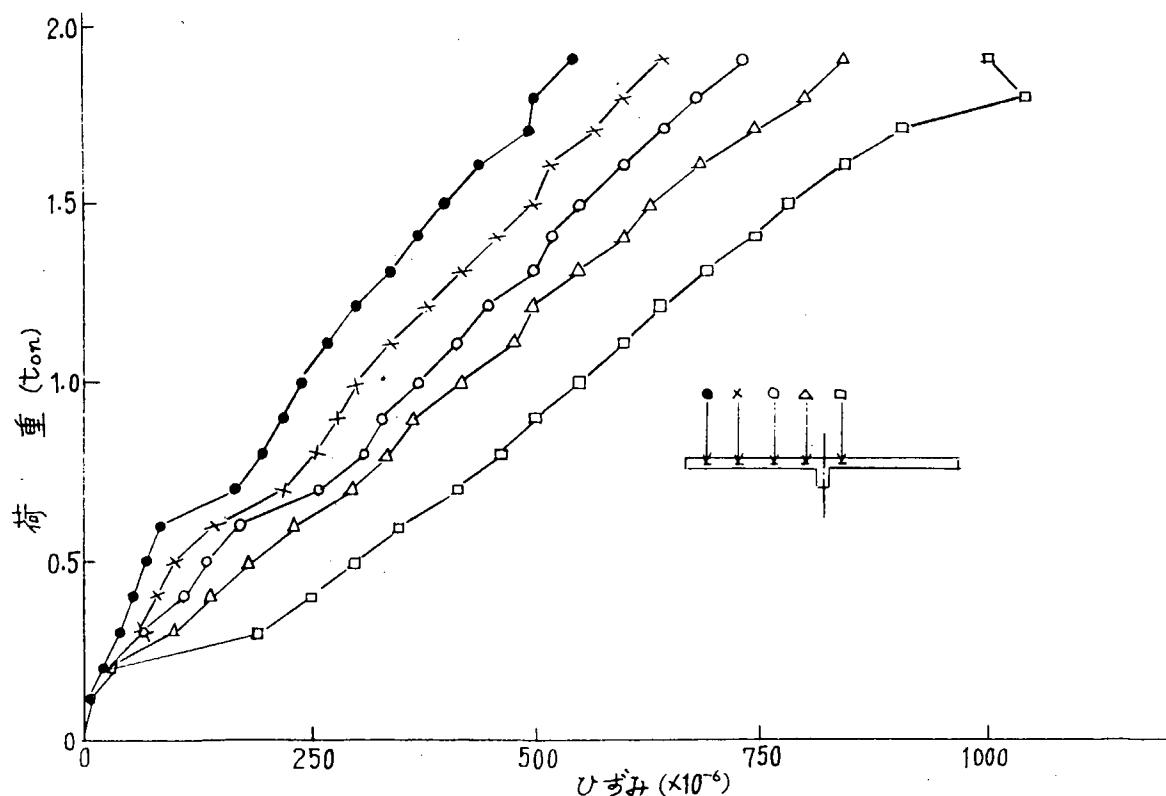


図 4.19 荷重 - ひずみ曲線 (N-1, 平板部鉄筋)

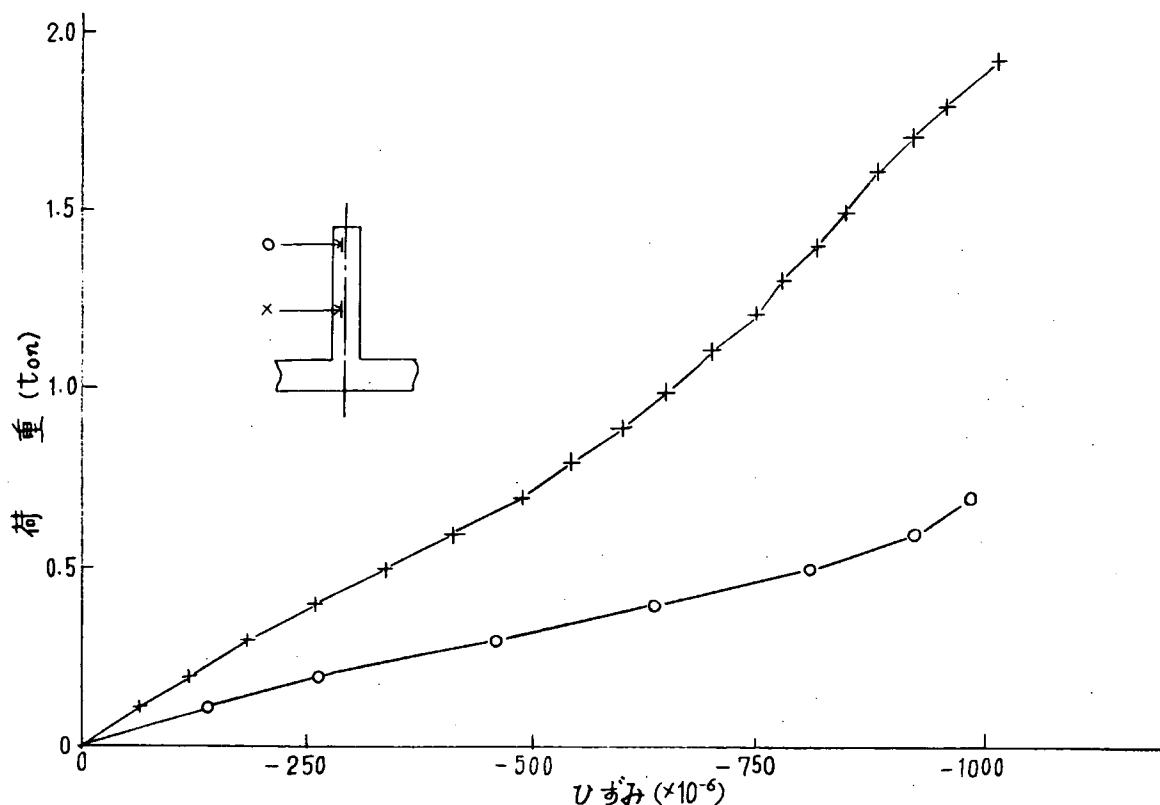


図 4.20 荷重 - ひずみ曲線 (N-1, フレーム部鉄筋)

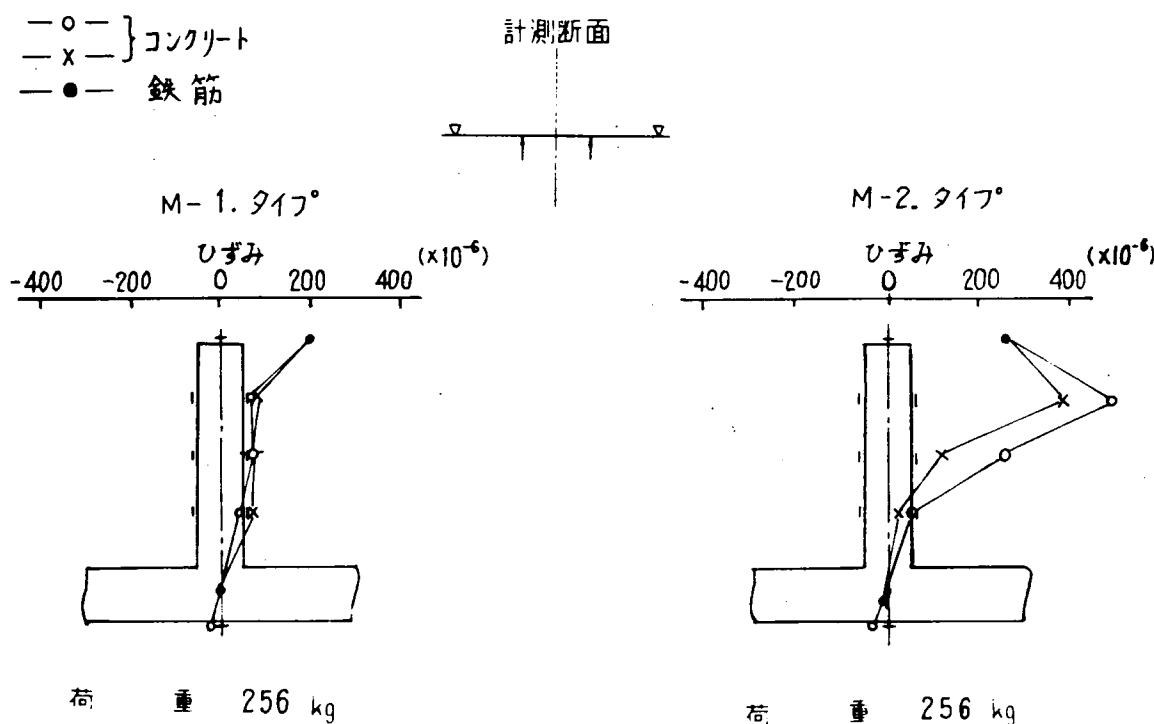


図 4.21 フレーム部ひずみ分布, M-1, M-2 タイプ

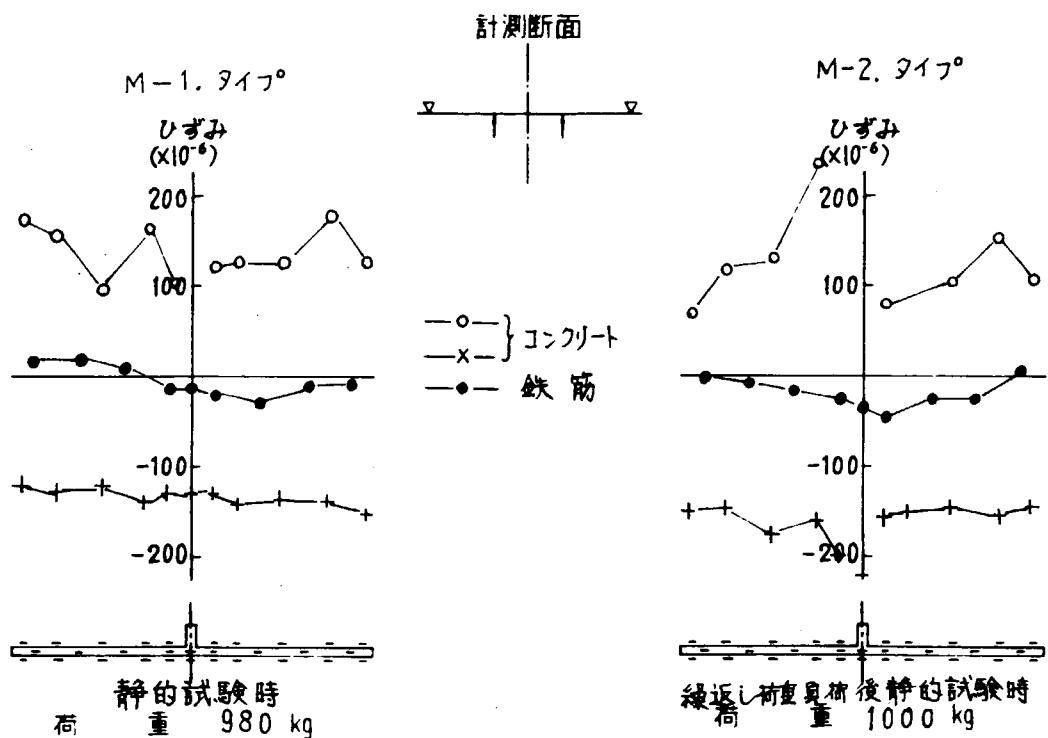


図 4.22 平板部ひずみ分布, M-1, M-2 タイプ

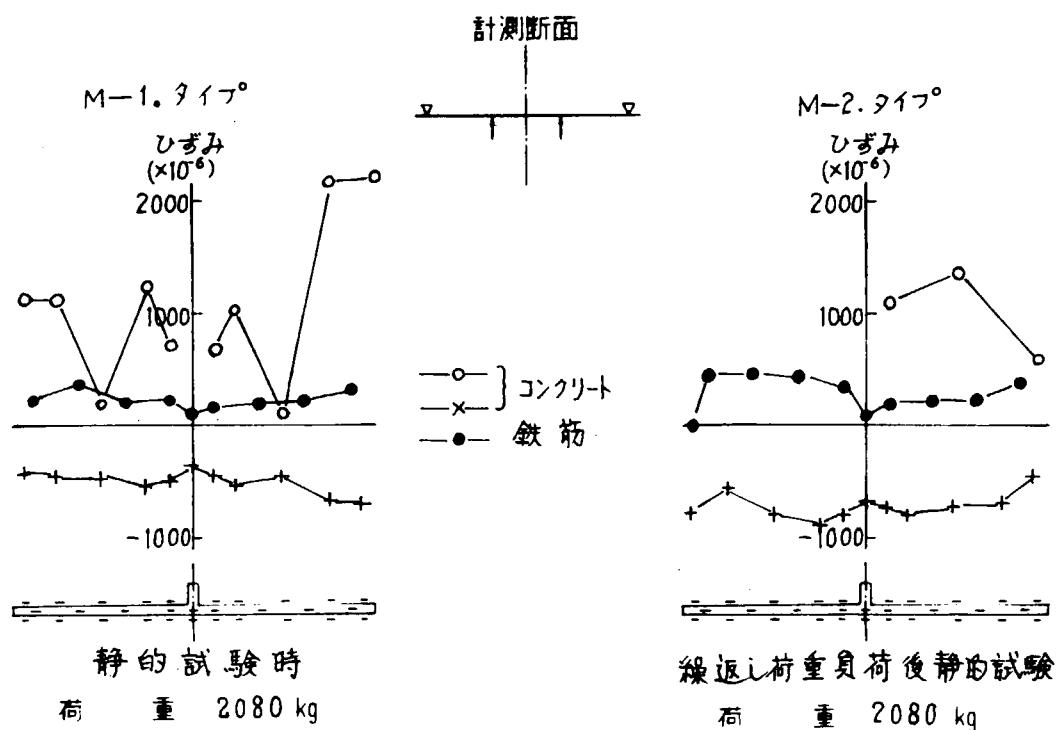


図 4.23 平板部ひずみ分布, M-1, M-2 タイプ

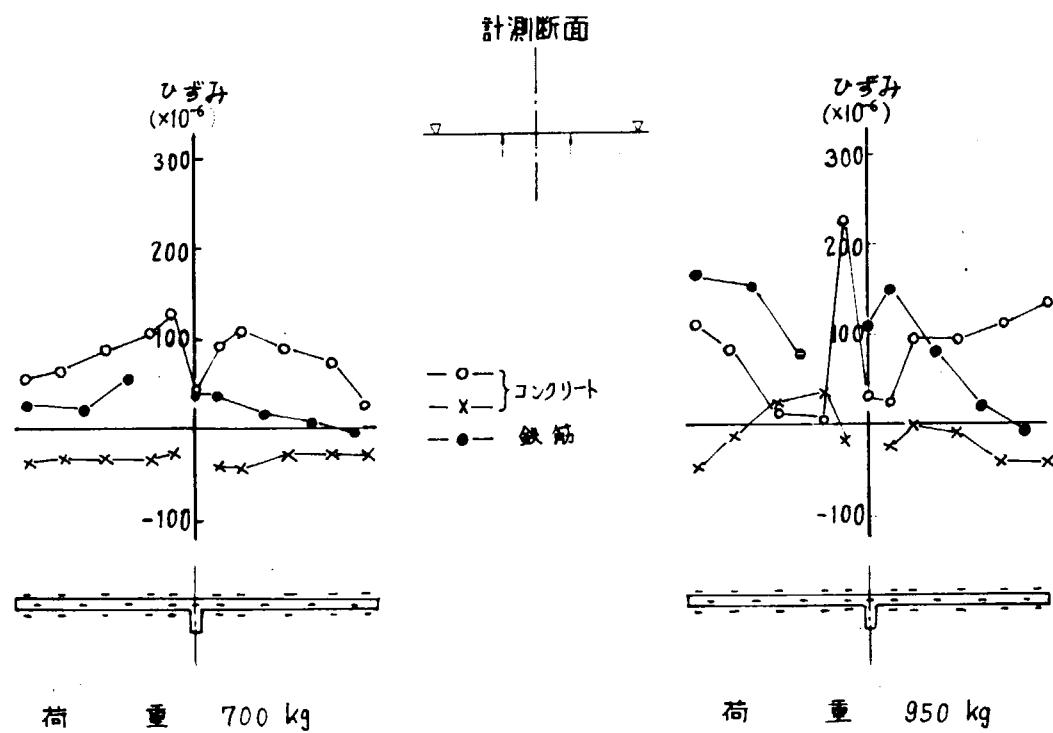


図 4.24 平板部ひずみ分布, M-3 タイプ

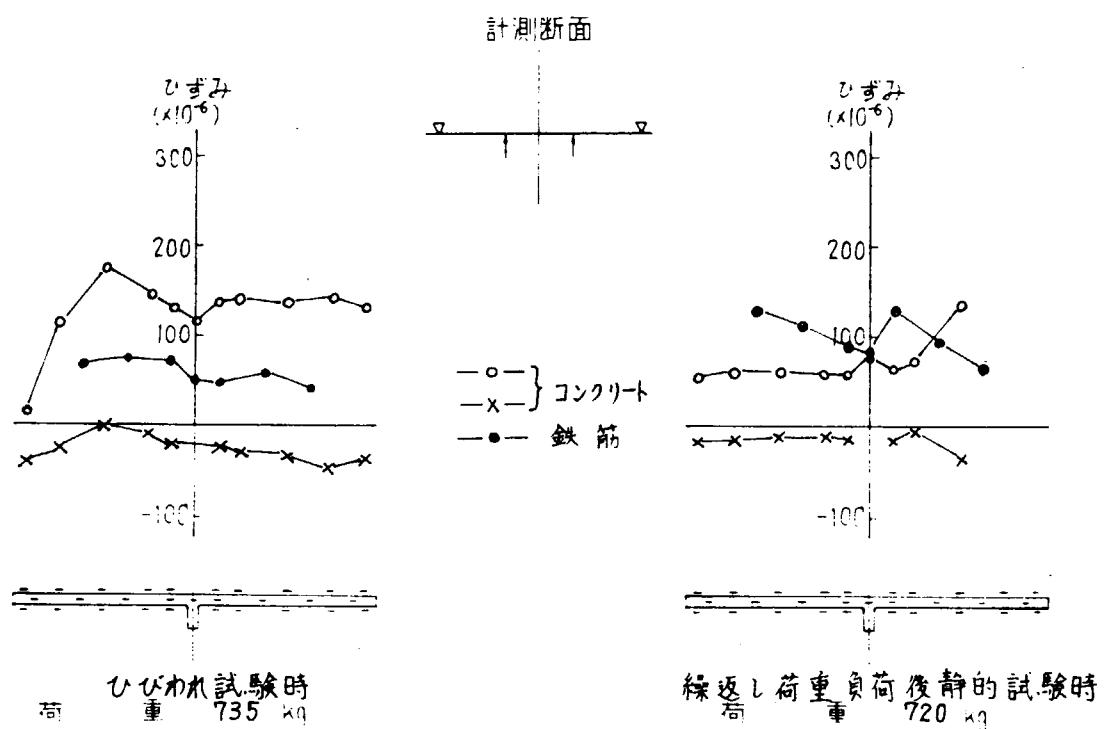


図 4.25 平板部ひずみ分布, M-4 タイプ

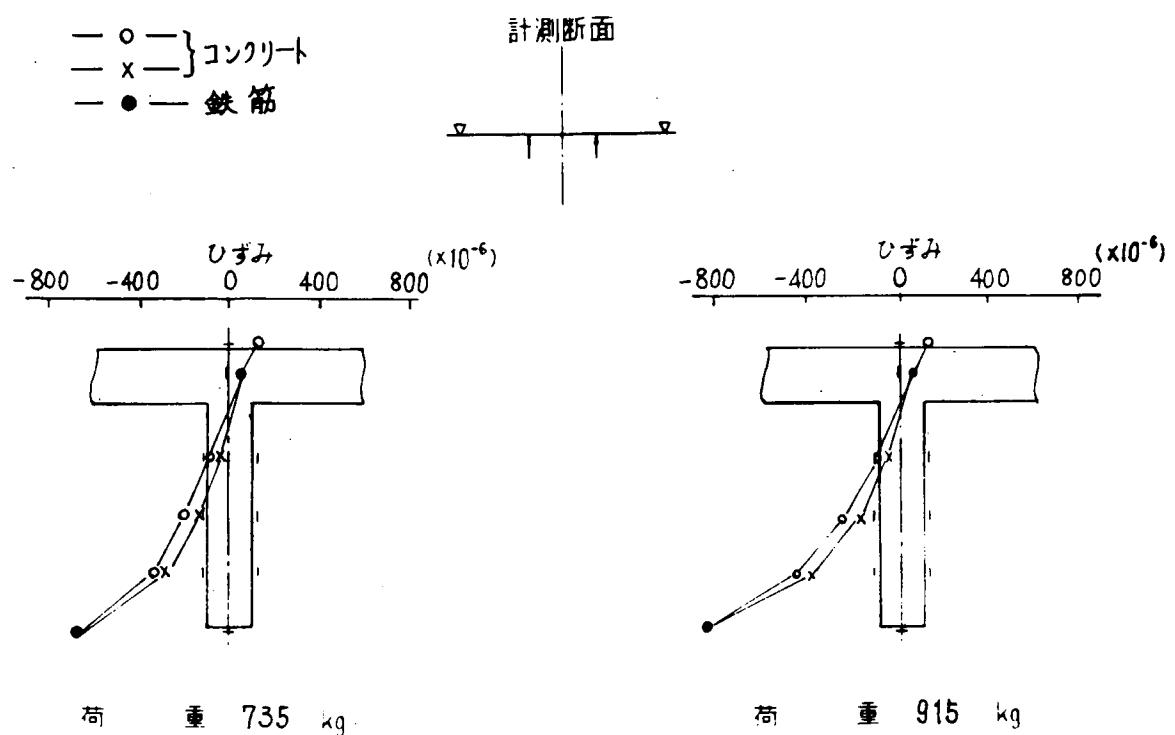


図 4.26 フレーム部ひずみ分布, M-4 タイプ(ひびわれ試験時)

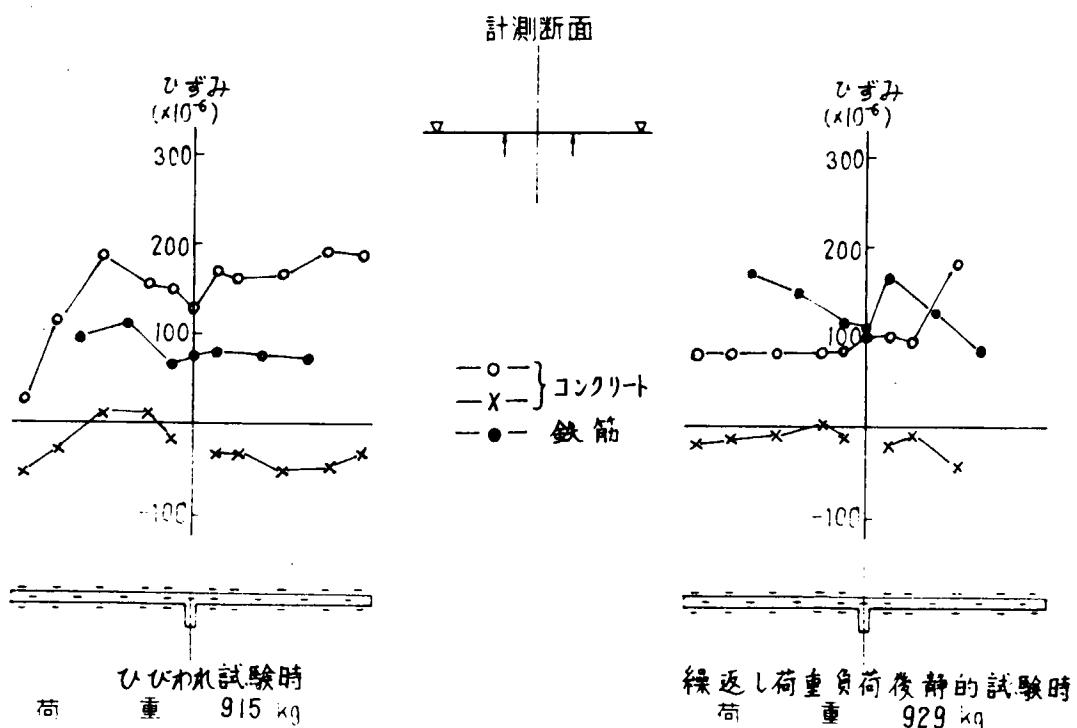


図 4.27 平板部ひずみ分布, M-4 タイプ

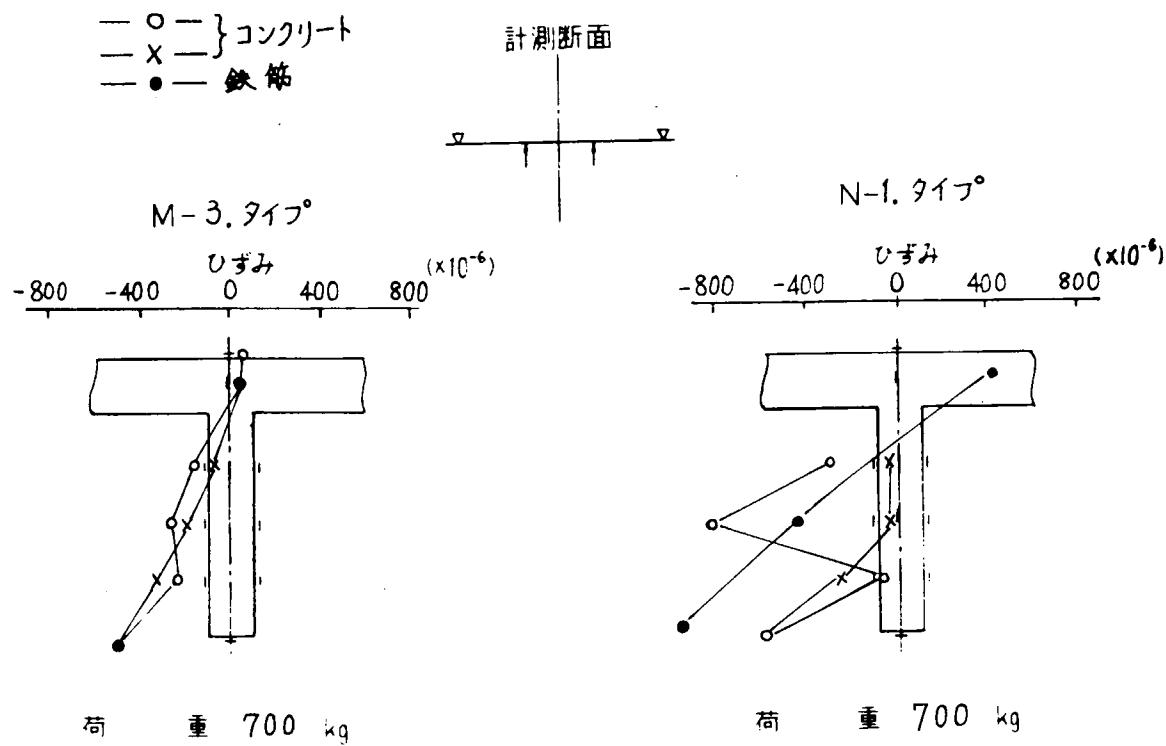
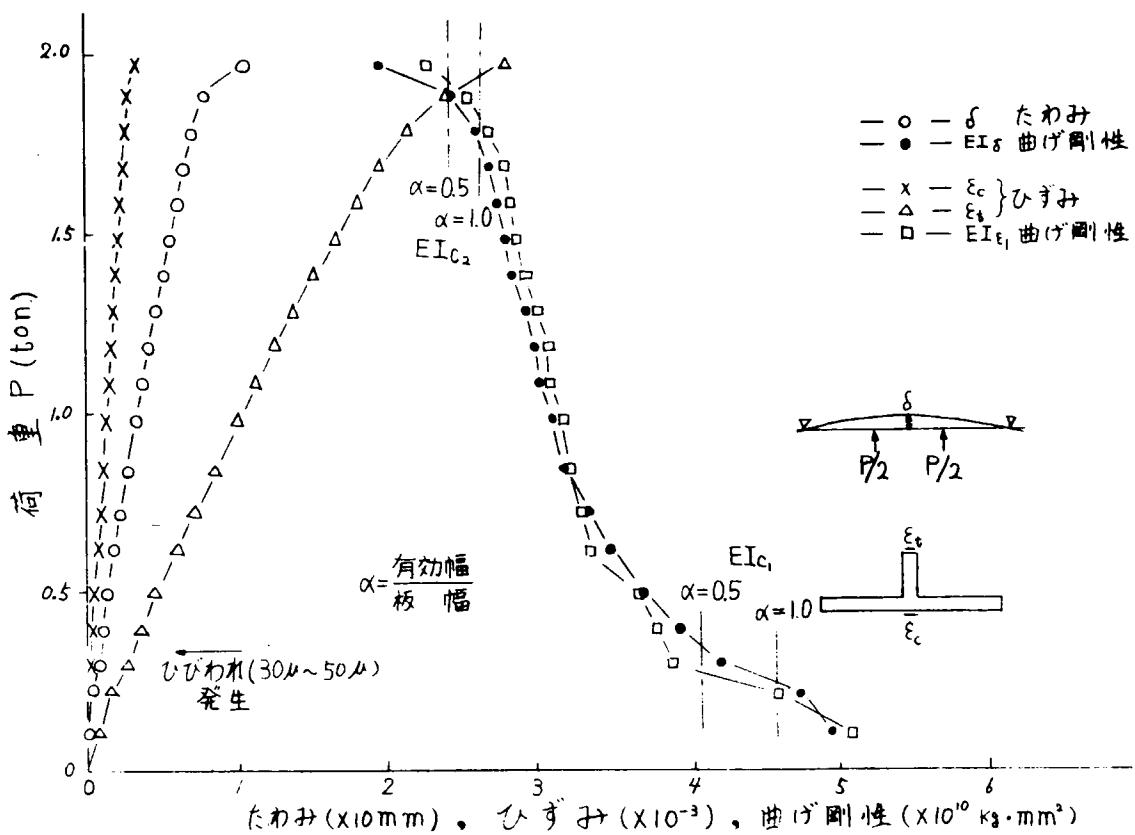


図 4.28 フレーム部ひずみ分布, M-3, N-1 タイプ



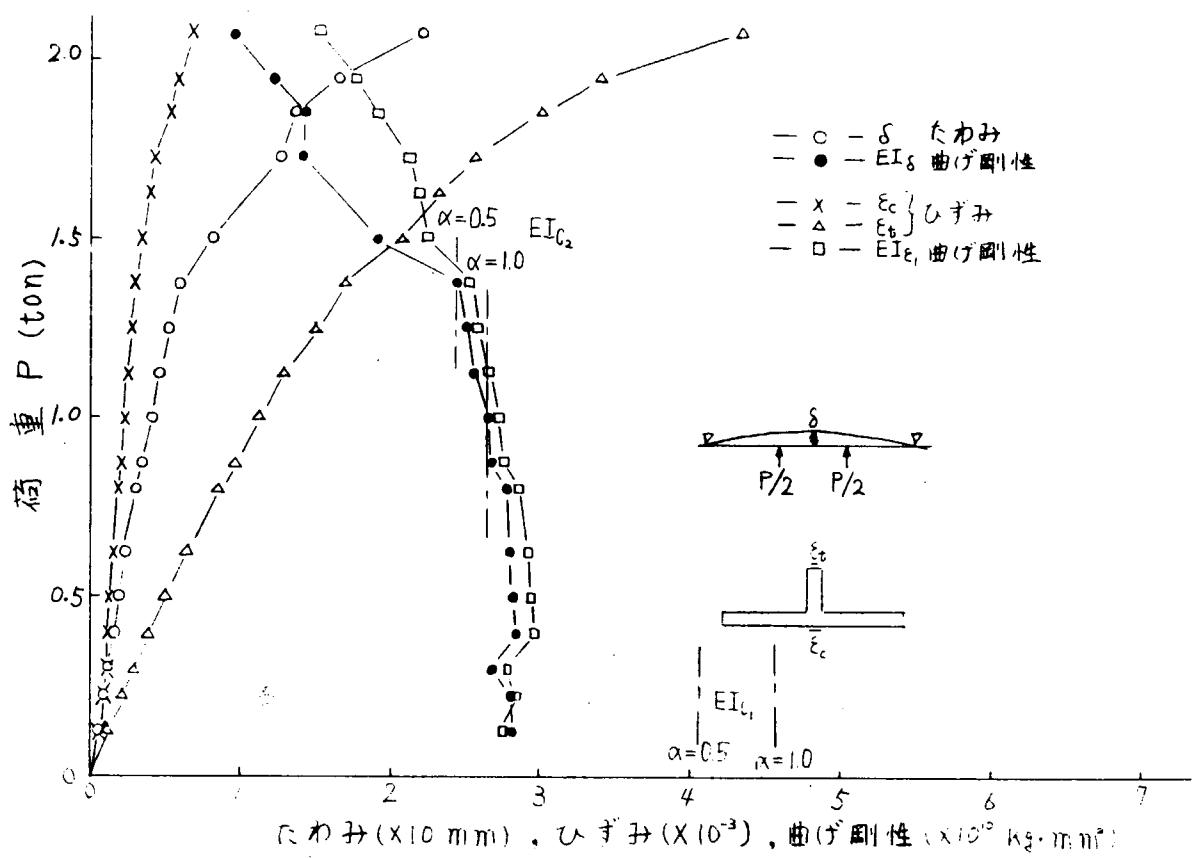


図 4.30 たわみおよびひずみと曲げ剛性 ( $M-2$ )

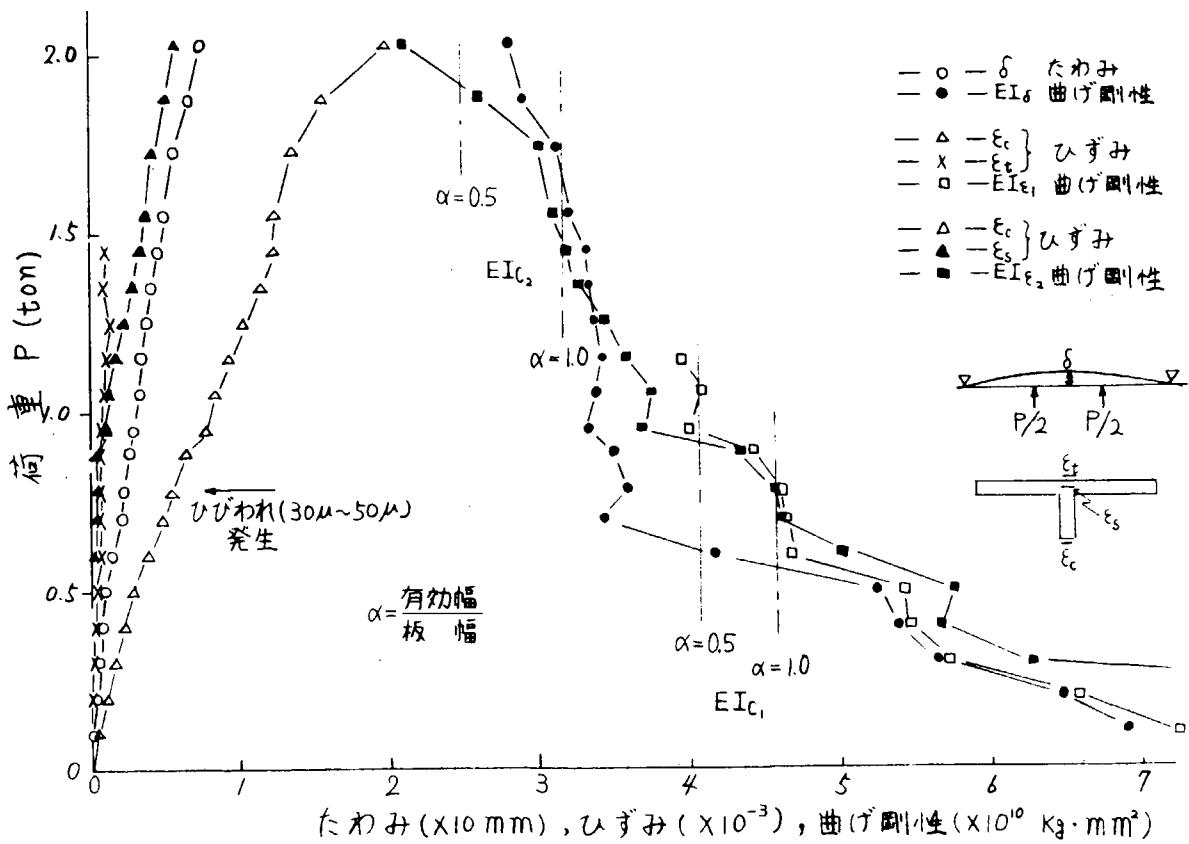


図 4.31 たわみおよびひずみと曲げ剛性 ( $M-3$ )

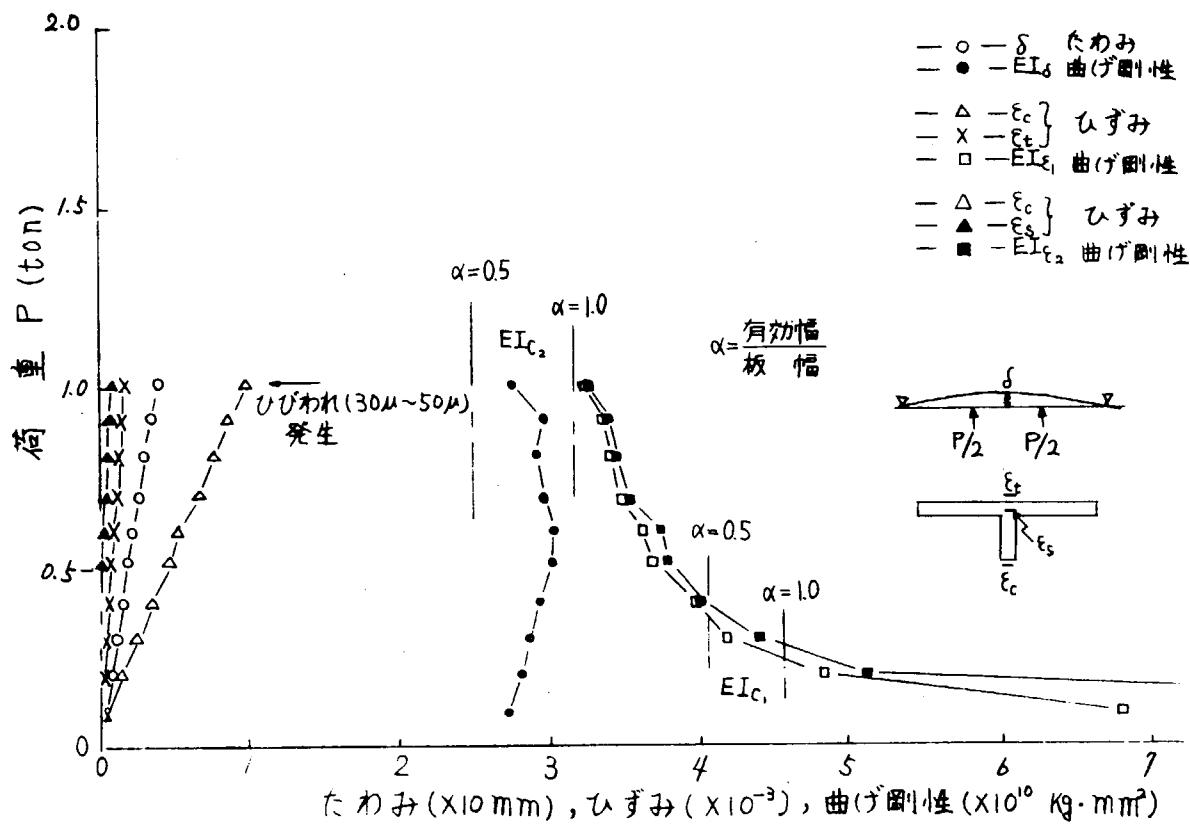


図 4.32 たわみおよびひずみと曲げ剛性 (M-4) (ひびわれ試験時)

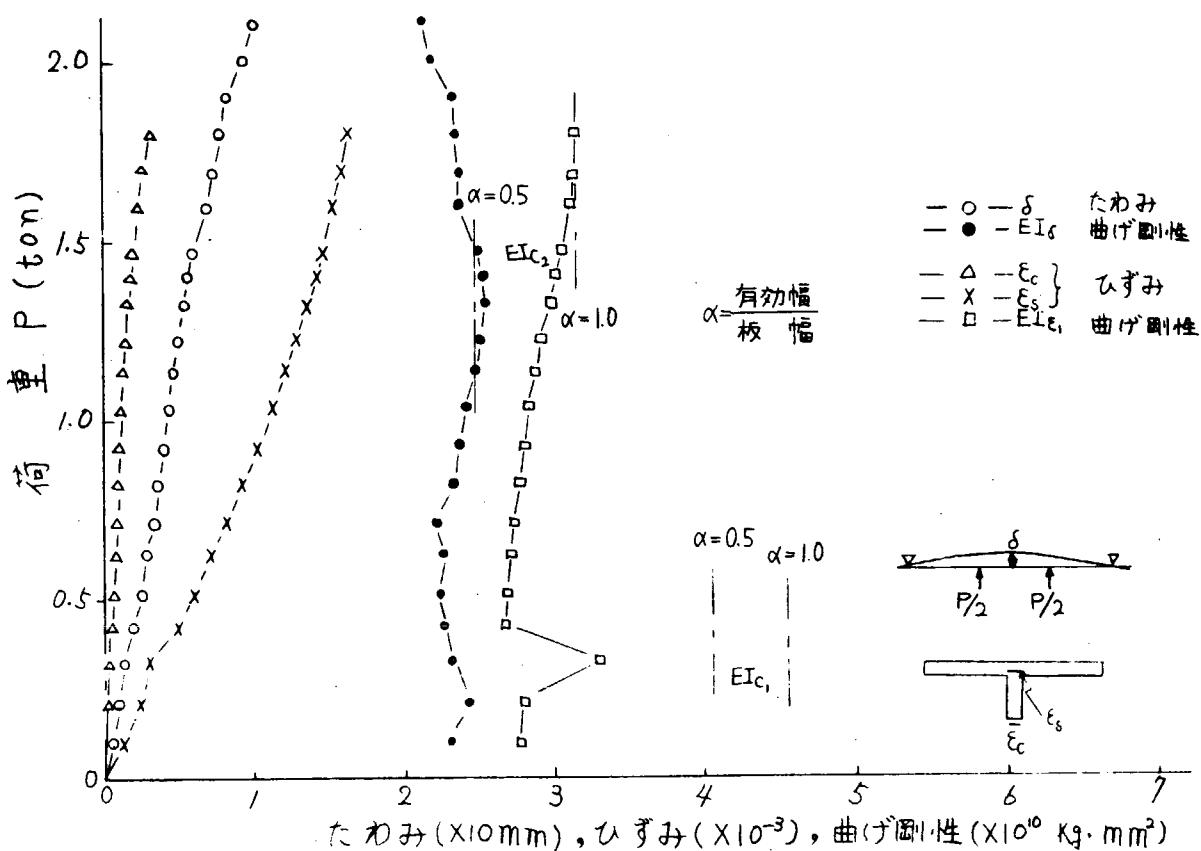


図 4.33 たわみおよびひずみと曲げ剛性 (M-4) (繰返し荷重負荷後静的試験時)

## 5. パネルの水圧疲労試験

### 5.1 目的

フェロセメントはモルタル、金網、鉄筋と強度特性の非常に異なる材料の複合材料であり、直交異方性が強く、外力に対する挙動は複雑である。したがって、強度試験は実際的な条件のもとで行うのが理想であるが、実験室では役割に応じた強度的評価が必要である。ここでは水圧を受けるパネルとしての評価を行うことを目的としている。前年度に試験装置を作成し、若干の予備試験を行ったのに引き続き、 $800\text{mm} \times 800\text{mm}$ の各種フェロセメントパネルに静的および動的な水圧を負荷させて、ひび割れ特性、変形挙動、水漏れの様子などを測定および観察した。

### 5.2 試験装置

試験は全て前年度に製作した最大水圧 $10\text{kg/cm}^2$ の水圧疲労試験装置で行った。作動原理は、まず小型のバルセータで単動油圧シリンダーを駆動させ、低圧の脈動を発生させる。脈動油圧はトランスファーバリヤアキュームレータで水圧の脈動に変換し、脈動水圧を試験盤に導き試験パネルの $700\text{mm} \times 700\text{mm}$ の部分に負荷として与える。なお、試験盤に取付けた水圧検出器で水圧を検出し、バルセータにフィードバックして制御を行う。

### 5.3 試験体

試験体は図5.1に示すように $800\text{mm} \times 800\text{mm}$ のパネルである。金網と鉄筋の配置によって、表5.1および図5.2に示すように、NV規格の板厚 $30\text{mm}$ のA型、B型、C型およびD型と板厚 $20\text{mm}$ のB型の合計5種類である。

使用した金網は直径 $1\text{mm}$ の軟鋼製、 $10\text{mm}$ 間隔の織金網であり、鉄筋は直径 $6\text{mm}$ の軟鋼製である。金網と鉄筋の仕様を表5.2に示す。

モルタル配合を表5.3に、強度試験結果を表5.4に示す。

試験体の打設には型枠を使用し、上面のみにて仕上げを行った。試験体の型枠側は比較的平面度が良いため、受圧面として使用し、シリコンシール剤で前年と同様にステンレス製の枠をとりつけ、試験盤のOリングとの間の水密を確保した。

### 5.4 試験方法

試験体の上面には図5.3または図5.4のように歪ゲージを配置し、静的あるいは動的な水圧負荷時の歪を計測した。図5.3は静的水圧試験に使用した配置であり、変位は5~7箇所で計測した。図5.4は主として動的水圧試験に使用したが、変位は中央のみ測定した。4隅の歪ゲージは試験体を試験盤に取付ける際の締付け状態のチェックに使用した。ただし、図5.4の右下の歪ゲージ(D2)は中央のゲージ(D1)とともに動的歪計に入力し、水圧繰返し時の歪の計測を試みた。

試験体に直接接触する圧力媒体は水道水であるが、試験体を試験盤に装着して水を注入すると、試験体下面と貯水槽の水面との水準差が $0.5\text{m}$ があるので、試験体には $0.05\text{kg/cm}^2$ の水圧がかかる。歪ゲージ、変位計および水圧計はこの $0.5\text{m}$ 水頭がかかった状態で0に設定した。

静的水圧試験の場合は、 $0.1$ ないし $0.2\text{kg/cm}^2$ 水圧を上げるごとに歪や変位を測定しながら、ひび割れ開始圧力、水漏れ開始水圧、全面水漏れ圧力、最高圧力などを求め、亀裂の発達情況、水漏れの様相などを観察した。

動的水圧試験、すなわち、水圧繰返し試験では、静的水圧試験とほぼ同様に観察および測定を行いながら、 $0.1$ ないし $0.2\text{kg/cm}^2$ づつ平均水圧まで圧力を上昇させて行った。平均水圧に到達してから、繰返し速度を $1\text{Hz}$ として水圧の振幅を徐々に上げて行き、所定の最大圧力と最小圧力になるよう調整した。この調整期間は $30\sim100$ サイクルであった。水圧繰返しを行うと、主として試験体からの水漏れのため、バルセータのストロークを使いきってしまうことがあり、場

合によってはストロークを再び作動範囲に調整しなおす作業を行ったが、その調整期間も初期の調整とほぼ同じであった。また、試験体は、繰返し水圧によって次第にパネ定数が変化する場合もあって適宜 P I D の調整を行って振幅などを一定に保つようにした。最小水圧  $P_{min}$  と最大水圧  $P_{max}$  の比、水圧比  $R$  は 1 例を除いて  $\frac{1}{3}$  とした。

## 5.5 試験結果

前年度（52年度）分も含め、全ての試験で得られた主な結果をとりまとめて表 5.5 に示す。表中の板厚は縦の 20 箇所程度で測定したものである。B 2 系列の標準偏差は他の系列に比較して、板厚が小さいにもかかわらず大きい。静的水圧試験の欄は、静的試験のみではなく動的試験で平均水圧まで水圧を上昇させて行く過程で測定したものも掲げてある。ひび割開始圧力は、肉眼でひび割れの存在を確認した時点での圧力であり、ひび割れの幅は 0.025 mm 程度である。ひび割れが最初に発見されるのは、中央と 4 隅の対角線付近であるが、場所による開始圧力の区別はしていない。水漏れも開始する場所は一定していないので、場所による圧力値の区別はしていない。最高水圧  $P_{ult}$  はパネルが耐えた最大の圧力を示す。動的水圧試験の  $P_{max}$  と  $P_{min}$  は繰返し水圧の最大値と最小値を示す。最終状態は負荷した水圧の繰返し数を示すが、 $N_f$  は  $P_{max}$  の水圧に耐えられなくなる。すなわち、試験体表面の割れ目からの水漏れが激しくなるまでの繰返し数を表わす。このような状態に達した場合は、水漏れは周辺部よりも中央で非常に激しいものがほとんどであった。 $n$  は試験を途中で中止した場合に、それまでにかけた水圧の繰返し数である。中止した時には静的に水圧をかけて残留強度を測定したものもある。

表 5.6 に静的水圧負荷時に計測した歪と変位の値を示す。圧力と歪あるいは変位の関係のプロットの例を図 5.5 および図 5.6 に示す。

表 5.7 は水圧繰返しによる変位の範囲（振幅の 2 倍）と最大変位を示す。変位の範囲は試験体中央の測定値であるが、 $n$  または  $N_f$  の半分程度の繰返し数での値を示し、最大変位は  $n$  または  $N_f$  付近での値である。

## 5.6 考察

### 5.6.1 静的水圧試験

表 5.8 に静的水圧試験の結果を系列ごとに総括して示す。B 2 系列は収縮割れのあった B 2-1 と、ピンホールのあった B 2-5 および 6 の 3 枚を入れない場合と入れた場合とを示している。

ひび割れ開始水圧は、B 2, B, A, C, D の順に高くなっている。水漏れ開始水圧は、B 2, C, B, A, D の順に、最高水圧は B 2, B, C, A, D の順にそれぞれ高い値となっている。B 2 が最も低く、D が最も高いことは共通している。概して、高い値のものほどバラツキは大きくなる傾向が見られるが、B 2 系列でバラツキで少ないので絶対値が小さいためと考えられる。

### 5.6.2 動的水圧試験

図 5.7 に繰返し水圧の最大値  $P_{max}$  と疲労寿命との関係を示す。実験点のバラツキが大きく、系列ごとの実験点も少ないため、個々の系列の関係曲線を決定するのは困難であるが、系列ごとの強度には明らかに差があり、B 2, B, A, C, D の順に高くなっている。この順は静的水圧負荷におけるひび割れ開始水圧の順と一致している。図中左側に系列ごとの最高水圧  $P_{ult}$  の水準をプロットした。C 系列の  $P_{ult}$  の水準が動的水圧試験の実験点に比べてかなり低いが、静的水圧試験に用いた試験体は動的試験の試験体とは別に打設したものであり、試験までに養生後約 2 カ月あったが、その間の保管状態が悪かったためと考えられる。

繰返し時の変位範囲、 $\delta_R/t$  を板厚で除した値、 $\delta_R/t$  を疲労寿命、 $N_f$  に対してプロットすると図 5.8 が得られる。B 2 と B の系列は外れるが、他の 3 系列はかなりまとまるので、この種の整理は妥当性があると考えられる。しかし、 $\delta_R/t$  vs  $N_f$  関係を決定するのは困難である。

変位の範囲、あるいはそれを板厚で除した値と繰返し水圧の範囲との関係を図 5.9 に示す。B 2 と B の系列は他の系

列と傾向が異なるのは、図5.8においてそれら2系列が外れていたことと関連しているものと思われる。すなわち、変位の範囲は、板厚等の試験体の寸法が変化しないかぎり、変位のモードに大差がなければ、試験体の圧縮側（水側）の歪の範囲と良い対応がある筈であり、材料一般について言われているように、歪範囲と疲労寿命との関係が良い相関関係を持つことを受け入れるならば、図5.8は一般性のある関係図と見なすことができる。B2とBの2系列が異った傾向を示すのは、他の系列よりも異方性がいちじるしいためと考えられる。

なお、試験体の水側に疲労亀裂が生じることについては、水圧の繰返しによって鉄筋や金網に動的クリープを引起し、試験体の変形が進行するため、裏面（水側）の応力状態に変化を起すことの影響も考えられるが、その効果は今後の問題の一つであろう。

今回の水圧繰返し試験においては、寿命の最少が $1 \times 10^4$ 回であり、 $7.62 \times 10^5$ サイクルまでの実験を行った。 $10^4$ サイクル台の寿命の場合はほとんど第1サイクルないしはごく初期に水漏れを生じたものであり、P<sub>max</sub>がP<sub>ult</sub>に近いものもある。したがって、この種の負荷形式では、最高水圧以下であれば、数千サイクルないしは $10^4$ サイクル程度の寿命があると考えられる。また、ひび割れは全て第1サイクルから生じており、水漏れ開始水圧以下のP<sub>max</sub>であれば $10^5$ 以上の寿命がある。

図5.10に最大変形と寿命の関係を示す。実験データのバラツキが今回は大きかったため、明確な判断は行いえないが、δ<sub>max</sub>は寿命がある程度長くなると増加し、最大値があり、それ以上の長寿命では下降する傾向があるように見える。この図から動的クリープの影響について直接的な議論を行うことはできない。

D-5試験体ほか1、2の試験体では水漏れが生じ、次第に水漏れが激しくなって行き、相当激しくなったあと水漏れが停止してしまうのが観察された。D-5の場合試験盤から取外して裏面を調べたところ、圧縮応力の繰返しによると思われる、長さ1～2mmの微細な亀裂が水漏れ箇所の裏面に多数生じており、亀裂には白い結晶状の物質が付着しているのが見られた。これは亀裂が形成された後、内部の水和反応の完了していないモルタル成分などが水の出入りにうながされて亀裂から流れ出し、亀裂の部分で水和反応を起したものと推察される。

## 5.7 結 論

静的水圧試験ではB2系列が最も弱く、D系列が最も強かった。その中間は判断基準によって多少順序が異っていた。動的水圧試験では強度の順は静的水圧試験の順と一致しており、B2、B、A、C、Dの順に強度が高かった。B2およびB系列を除くと、変位（撓み）範囲と疲労寿命との関係は系列間の差がほとんど見られなかった。B2およびB系列が外れるのは異方性が強いためと考えられる。

この種の片振水圧（R ≠ 0.3）の場合、最低寿命は数千回ないし $10^4$ 回程度と考えられ、水漏れ開始水圧程度の最大水圧であれば $10^5$ 回台の寿命があることが判明した。

表5.1 パネル試験体の構造

種類	N V 規格 による 形式	板厚 mm	金網			鉄筋					
						L 方向			C 方向		
			層数	直 径 mm	間 隔 mm	層数	直 径 mm	間 隔 mm	層数	直 径 mm	間 隔 mm
1	A	30	11	1.0	10	0	—	—	0	—	—
2	B	30	6	1.0	10	1	6	50	0	—	—
3	B	20	4	1.0	10	1	6	50	0	—	—
4	C	30	6	1.0	10	1	6	50	1	6	50
5	D	30	4	1.0	10	2	6	50	1	6	50

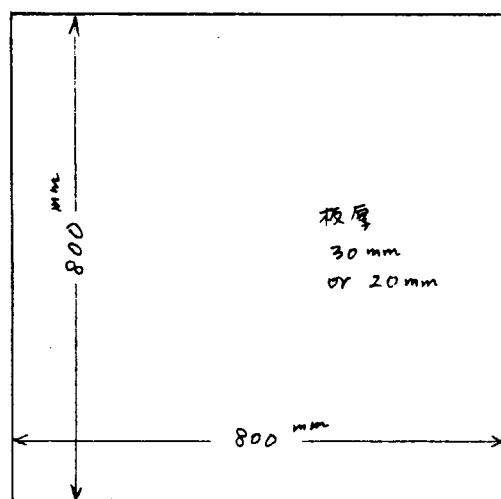


図5.1 試験体の外形

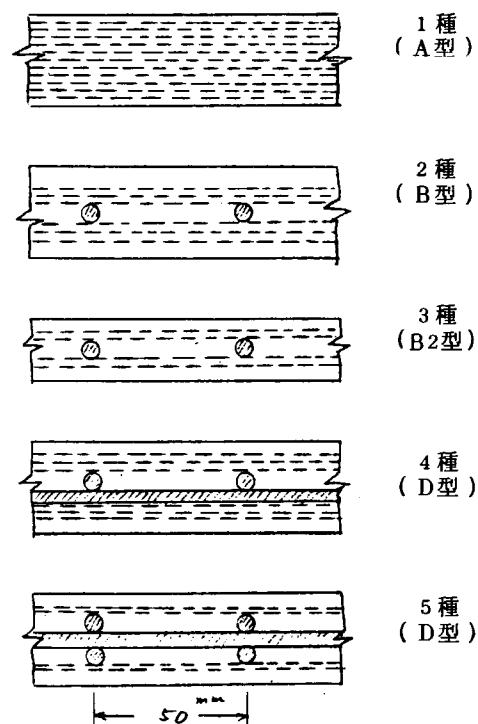


図5.2 試験体の構造

表 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 (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
38%	50%	205	242	498	648	242	1246	4.86

表 5.4 モルタルの強度

## (1) 材令 1 週強度

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
圧縮強さ (kg/cm²)	555	558	563	559
引張強さ (kg/cm²)	32	36	45	38
曲げ強さ (kg/cm²)	62	65	58	62

## (2) 材令 4 週強度

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
圧縮強さ (kg/cm²)	708	680	717	702
圧縮ヤング係数 (kg/cm²)	$2.84 \times 10^5$	$2.72 \times 10^5$	$2.76 \times 10^5$	$2.77 \times 10^5$
引張強さ (kg/cm²)	57	49	55	54
曲げ強さ (kg/cm²)	72	74	71	72
曲げヤング係数 (kg/cm²)	$2.91 \times 10^5$	$3.02 \times 10^5$	$2.95 \times 10^5$	$2.96 \times 10^5$

表 5.2 金網と鉄筋の仕様

金 網	織金網 JIS G 3555, 線径 1mm (No. 19), メッシュ 2.5 (網目間隔 10mm) 垂鉛メッキ
鉄 筋	鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G 3112 熱間圧延棒鋼 1種 S R 2 4, 6mmΦ 化学成分, P : 0.050%以下 S : 0.050%以下 機械的性質, $\sigma_y$ : 24 kg/mm²以上, $\sigma_b$ : 39 ~ 53 kg/mm² 伸び 20%以上 (2号) 24%以上 (3号), 曲げ角度 180° (R=3D)

表5.5 試験片の板厚と試験方法等

試験片番号	板 厚		静的水圧試験			動的水圧試験		試験方法 その他の
	平均 mm	標準偏差 mm	ひび割開始 kg/cm <sup>2</sup>	水漏開始 kg/cm <sup>2</sup>	最高水圧 P <sub>ult</sub> kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>max</sub> kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>min</sub> kg/cm <sup>2</sup>	
A-1	30.89		0.48	1.25	1.73	-	-	52年度静的
A-2	30.80		0.75	1.60	2.30	-	-	"
A-3	30.84	0.44	0.39	1.77	1.97	-	-	静的
A-4	31.40	0.64	0.49	-	-	1.78	0.60	$N_f = 2.44 \times 10^4$
A-5	30.67	0.48	0.49	-	-	1.48	0.48	$N_f = 7.0 \times 10^4$
A-6	31.28	0.98	0.60	-	-	1.34	0.44	$N_f = 9.13 \times 10^4$
A-7								
B-1	30.34	0.32	0.19	1.40	1.40	-	-	静的
B-2	29.78	0.68	0.50 (シール 1.20)	1.57	-	-	-	静的
B-3	31.70	1.31	(0.50)	-	-	0.60	0.17	$n = 7.62 \times 10^5$
B-4	30.88	0.90	0.39	-	-	0.90	0.27	$N_f = 2.5 \times 10^5$
B-5	30.59	0.59	0.60	-	-	0.99	0.24	$N_f = 1.76 \times 10^4$
B-6	30.88	1.16	0.39	-	-	0.89	0.29	$N_f = 1.1 \times 10^5$
B2-1	20.78	1.05	0.30	0.19	-	0.87	0.27	ストロークを3回ついで $N_f = 1.0 \times 10^4$ 収縮割れあり
B2-2								"
B2-3	20.91	1.12	0.30	0.49	1.24	-	-	静的
B2-4	20.86	1.18	0.30	0.60	1.00	-	-	静的
B2-5	19.64	1.01	0.30	0.69	0.99	-	-	静的(ビンホールあり)
B2-6	20.05	0.76	0.30	0.09	0.99	-	-	静的(ビンホールあり)
B2-7	20.56	1.47	0.30	0.40	-	0.60	0.20	$N_f = 2.5 \times 10^5$
B2-8	20.26	1.05	0.19	-	-	0.80*	0.40	$n = 4.31 \times 10^5$ 停止 * R = 0.5
C-1	30.90	0.77	(0.50)	0.50	1.19	-	-	静的
C-2	30.56	0.44	0.40	0.70	2.19	-	-	静的
C-3	30.67	0.53	0.68	-	-	1.50	0.53	$n = 4.67 \times 10^5$ 停止
C-4	30.75	0.67	0.60	-	-	2.71	0.67	$N_f = 2.0 \times 10^4$
C-5	31.35	0.74	0.68	-	-	2.38	0.78	$N_f = 1.0 \times 10^5$
C-6	30.69	0.70	0.59	-	-	2.53	0.84	$N_f = 6.9 \times 10^4$
D-1	31.12		0.69	1.05	2.81	-	-	52年度静的
D-2	32.85		0.78	1.33	2.35	-	-	"
D-3	33.10	0.88	0.39	2.18	3.15	-	-	静的
D-4	32.90	1.60	0.29	1.53	3.13	-	-	静的
D-5	31.49	0.80	0.60	-	-	2.08	0.68	$n = 3.26 \times 10^5$
D-6	31.09	0.61	0.49	-	-	3.00	1.00	$N_f = 8 \times 10^4$
D-7	30.61	0.72	0.69	0.69	-	2.68	0.90	$N_f = 6.16 \times 10^4$

表 5.6 傾計および変位計結果リスト

(1) 傾計および変位計の配置(その1)(図5.3)による計測

- (1) A - 3
- (2) B - 1
- (3) B - 2
- (4) B 2 - 3
- (5) B 2 - 4
- (6) C - 1
- (7) C - 2
- (8) D - 3
- (9) D - 4

(2) 傾計および変位計の配置(その2)(図5.4)による計測

- (10) A - 4
- (11) A - 5
- (12) A - 6
- (13) B - 3
- (14) B - 4
- (15) B - 5
- (16) B - 6
- (17) B 2 - 1
- (18) B 2 - 5
- (19) B 2 - 6
- (20) B 2 - 7
- (21) B 2 - 8
- (22) C - 3
- (23) C - 4
- (24) C - 5
- (25) C - 6
- (26) D - 5
- (27) D - 6
- (28) D - 7

表 5.6(1)-1 歪ゲージ測定結果(試験片A-3)

単位  $\times 10^{-6} \text{ mm}$ 

DIAL (div.)	500	490	480	475	470	460	450	440	430	420	410	400	(500)	
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.18	0.39	0.48	0.59	0.78	0.98	1.18	1.38	1.57	1.77	1.97	0.0	
ゲージ番号	1	0	155	145	145	180	390	445	410	400	410	460	490	120
	2	0	10	0	0	-10	-10	-20	-40	-50	-80	-95	-120	-180
	3	0	25	40	48	50	55	60	70	90	100	135	155	100
	4	0	20	30	30	30	-20	-45	-60	-75	-90	340	900	200
	5	0	30	35	40	40	55	35	20	20	50	500	1120	720
	6	0	22	-10	-5	-40	-50	-175	-220	-265	-310	-350	-360	-215
	7	0	40	40	10	-35	-90	-90	-60	-140	-185	-210	-210	-140
	8	0	-40	-140	-210	-300	-460	-615	-825	-1020	-1230	-1460	-1400	-270
	9	0	90	240	365	470	665	1000	1375	1590	1860	2150	2390	770
	10	0	100	40	35	40	20	10	0	10	5	0	0	0
	11	0	25	40	35	20	30	20	0	0	-20	-30	-40	-30
	12	0	50	135	170	280	1320	-40	-230	-620	-860	-190	-95	255
	13	0	140	120	120	90	-10	-50	-90	-110	-140	-175	-210	-225
	14	0	-40	-135	-175	-220	-260	-330	-420	-485	-500	-500	-475	-130
	15	0	152	310	365	420	410	410	410	420	430	380	365	260
	16	0	135	1070	1080	1125	1265	1305	840	420	380	345	290	160
	17	0	95	190	205	140	60	-60	-105	-130	-160	-190	-220	-195
	18	0	60	50	40	10	0	-15	-30	-25	-30	-30	-20	-160
	19	0	250	165	180	170	120	100	25	-25	-60	20	35	-70
	20	0	110	1230	1730	2375	2875	2790	2820	3150	3250	2840	2610	1500
	21	0	140	2080	2730	3275	4470	3485	5960	5820	5610	3850	3200	2080
	22	0	205	1830	1940	2200	2970	3720	3680	2980	2500	2010	2930	1300
	23	0	140	560	930	1485	2890	2540	3405	4460	5570	2975	3240	2320
	24	0	100	120	135	110	70	20	-25	-55	-95	-130	-90	-85

表 5.6(1)-2 振み測定結果(試験片A-3)

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.18	0.39	0.48	0.59	0.78	0.98	1.18	1.38	1.57	1.77	1.97	0.0	
Displacement (mm)	Gage 1	0	0.04	0.13	0.20	0.27	0.40	0.53	0.69	0.87	1.07	1.37	1.84	2.36
	3	0	0.03	0.12	0.19	0.26	0.38	0.50	0.65	0.82	1.01	1.28	1.68	2.40
	4	0	0.06	0.20	0.30	0.41	0.61	0.81	1.07	1.35	1.68	2.13	2.66	
	5	0	0.04	0.15	0.23	0.32	0.47	0.63	0.82	1.02	1.26	1.60	2.07	2.59
	6	0	0.05	0.15	0.23	0.31	0.47	0.63	0.82	1.02	1.27	1.61	1.79	
	7	0	0.04	0.13	0.19	0.20	0.39	0.52	0.82	0.84	1.04	1.34	1.53	

表 5.6(2)-1 歪ゲージ測定結果(試験片B-1)

単位  $\times 10^{-6} \text{ %}$ 

DIAL (div)	500	490	485	480	490	480	470	460	450	(500)
Pressure (kg/cm²)	0.0	0.19	0.30	0.38	0.19	0.38	0.6	0.8	1.00	0.0
ゲージ番号	1	0	105	170	235	505	720	—	—	—
	2	0	85	140	195	4080	—	—	—	—
	3	0	90	140	180	140	445	920	720	500
	4	0	80	130	175	150	3250	—	—	—
	5	0	75	120	190	1420	2640	3400	—	—
	6	0	105	175	290	3285	5830	—	—	—
	7	0	65	110	155	870	1500	2000	4470	—
	8	0	80	130	165	125	95	90	80	—
	9	0	70	110	150	2075	2755	—	—	—
	10	0	80	135	180	285	2640	—	—	—
	11	0	90	215	935	—	—	—	—	—
	12	0	75	130	175	160	390	1650	1500	1260
	13	0	70	110	150	145	190	270	270	360
	14	0	60	100	130	30	90	130	200	140
	15	0	50	80	110	15	80	80	20	-55
	16	0	105	170	230	320	465	490	380	205
	17	0	5	15	30	30	400	25	105	210
	18	0	65	110	—	80	240	430	230	1650
	19	0	70	130	—	440	760	800	1700	3440
	20	0	82	130	—	150	150	-180	-380	-410
	21	0	28	42	—	15	-85	-120	-150	-255
	22	0	70	110	—	-20	-60	-65	-110	-130
	23	0	-15	-20	—	-25	-50	-70	-110	-135
	24	0	10	20	—	18	-10	-20	-20	-30

表 5.6(2)-2 振み測定結果(試験片B-1)

Pressure (kg/cm²)	0	0.19	0.30	0.19	0.39	0.60	0.70	1.00	1.17	1.34	0.13	
Displacement(mm)	Gage 1	0	0.02	0.03	0.08	0.16	0.25	0.51	0.74	0.93	1.13	1.04
	3	0	0.02	0.03	0.08	0.15	0.24	0.52	0.77	0.97	1.18	1.10
	4	0	0.03	0.05	0.14	0.28	0.44	0.85	1.25	1.56	1.87	1.64
	5	0	0.02	0.04	0.09	0.19	0.31	0.59	0.89	1.13	1.39	1.29
	6	0	0.03	0.05	0.09	0.20	0.33	0.66	0.95	1.19	1.41	—
	7	0	0.03	0.04	0.08	0.18	0.28	0.54	0.78	0.98	1.19	1.06

表 5.6(3)-1 歪ゲージ測定結果(試験片B-2)

単位  $\times 10^{-6} \text{ %}$ 

DIAL (div)	500	490	485	480	475	470	465	460	450	440	(430)	(500)	
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20	$\frac{1.32}{1.10}$	0.0	
ゲージ番号	1	0	105	160	220	60	45	5	-10	-30	-40	40	85
	2	0	95	140	190	120	105	85	55	-5	-80	-350	-315
	3	0	85	120	165	240	265	230	215	175	110	60	55
	4	0	110	170	230	370	175	125	35	140	245	-300	-95
	5	0	100	150	220	320	195	180	210	180	110	10	15
	6	0	100	150	210	280	145	95	45	-140	-255	-320	-160
	7	0	85	140	225	220	160	180	155	150	90	-350	-20
	8	0	85	125	170	185	650	460	1800	2430	2800	2080	1110
	9	0	75	110	140	100	175	195	240	300	280	135	-140
	10	0	85	135	140	45	5	-5	0	-10	5	70	80
	11	0	60	85	105	175	180	240	255	650	-		
	12	0	75	100	125	140	20	55	50	45	30	45	-25
	13	0	60	85	110	160	180	230	280	340	185	130	50
	14	0	85	130	175	220	190	175	170	130	200	75	-150
	15	0	55	85	110	190	155	3850	-				
	16	0	115	180	140	410	410	-					
	17	0	5	5	5	-20	-20	245	360	510	495	360	145
	18	0	80	120	155	220	255	285	285	1440	2120	2510	855
	19	0	70	105	140	200	160	210	690	5350	-		
	20	0	25	30	40	40	20	-5	5	-25	-60	-135	-95
	21	0	45	60	80	250	330	355	375	220	80	-180	-70
	22	0	105	150	220	3650	5650	5420	5500	5160	4980	4720	3310
	23	0	-15	-30	-45	-70	-105	-65	-75	-160	-300	-460	-185
	24	0	20	30	40	45	30	25	5	-20	-30	-65	-65

表 5.6(3)-2 振み測定結果(試験片B-2)

Pressure(kg/cm <sup>2</sup> )		0	0.20	0.29	0.39	0.49	0.59	0.68	0.78	0.99	1.18	1.38	1.47	0
Displacement (mm)	Gage 1	0	0.02	0.03	0.05	0.15	0.27	0.41	0.52	0.73	0.93	1.13	1.27	0.58
	3	0	0.01	0.03	0.04	0.18	0.31	0.46	0.57	0.80	1.03	1.24	1.42	0.65
	4	0	0.03	0.05	0.07	0.26	0.48	0.72	0.91	1.28	1.62	1.92	2.15	0.98
	5	0	0.02	0.03	0.05	0.19	0.35	0.52	0.66	0.94	1.22	1.50	1.69	0.78
	6	0	0.03	0.03	0.04	0.11	0.19	0.28	0.35	0.49	0.62	0.78	0.85	0.39
	7	0	0.02	0.03	0.04	0.11	0.19	0.27	0.34	0.48	0.61	0.75	0.83	0.39

表 5.6(4)-1 歪ゲージ測定結果(試験片B2-3)

単位  $\times 10^{-6}$  %

DIAL (div)	500	495	490	485	480	475	470	465	460	(500)	(500)	
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.10	-0.08	
ゲージ番号	1	0	55	110	165	295	390	430	455	460	510	260
	2	0	67	150	240	410	2520	3410	5300	-		
	3	0	85	195	325	500	710	1010	1260	1450	1680	900
	4	0	115	290	515	935	1340	1510	1640	1680	1620	-140
	5	0	85	200	360	910	1425	1820	2320	2670	3400	1625
	6	0	115	305	540	1575	2330	2900	3480	3830	4320	1640
	7	0	55	120	220	485	790	1195	1530	1800	2260	510
	8	0	155	380	640	1250	1830	2420	2920	3500	4590	1660
	9	0	60	125	215	400	830	1370	1670	2030	2370	1300
	10	0	73	165	255	490	825	1140	1460	1750	2480	1075
	11	0	60	120	200	285	520	640	770	940	1050	260
	12	0	60	130	250	510	910	1240	1520	1930	2620	1080
	13	0	53	105	160	190	240	295	380	500	650	160
	14	0	53	110	190	260	310	340	450	560	2880	2570
	15	0	55	120	185	280	430	600	1140	1510	2040	1290
	16	0	135	275	500	1630	2500	3380	4350	5120	6600	-
	17	0	-20	-50	-80	-75	-120	-170	-200	-190	-260	-390
	18	0	63	135	243	520	640	860	1210	1500	1935	190
	19	0	60	125	210	410	830	1340	1720	2150	2750	2280
	20	0	10	10	10	0	-15	-30	-40	-55	-50	-5
	21	0	33	70	230	510	950	1530	1920	2220	2570	2440
	22	0	110	257	500	940	1595	2500	3210	3800	4950	4990
	23	0	-27	-65	-90	-120	-205	-290	-410	-500	-790	-590
	24	0	10	10	10	0	-10	-25	-20	5	75	-165

表 5.6(4)-2 振み測定結果(試験片B2-3)

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.09	0.19	0.29	0.39	0.49	0.59	0.69	0.78	0.88	0.98	1.08	1.00	-0.08	
Displacement (mm)	Gage 1	0	0.03	0.08	0.15	0.28	0.42	0.55	0.69	0.83	0.94	1.00	1.22	1.36	0.59
3	0	0.03	0.07	0.14	0.27	0.41	0.55	0.69	0.84	0.96	1.00	1.26	1.40	0.60	
4	0	0.06	0.14	0.24	0.44	0.67	0.89	1.10	1.33	1.49	1.71	1.89	2.05	0.85	
5	0	0.04	0.10	0.19	0.35	0.53	0.71	0.91	1.11	1.28	1.51	1.68	1.85	0.83	
6	0	0.05	0.12	0.20	0.36	0.54	0.71	0.89	1.06	1.20	1.38	1.52	1.53	0.63	
7	0	0.04	0.09	0.16	0.30	0.45	0.59	0.75	0.91	1.04	1.23	1.37	1.47	0.56	

表 5.6(5)-1 歪ゲージ測定結果(試験片B 2-4)

単位  $\times 10^{-6} \text{ } \mu$ 

DIAL (div)	500	495	490	485	480	475	470	465	460	455	450	(500)	
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.79	0.89	0.99	0.0	
ゲージ番号	1	0	70	150	60	5	-15	-20	-25	-30	-70	-95	-110
	2	0	70	145	240	225	165	65	10	-70	-245	-335	-255
	3	0	55	115	105	220	285	250	120	245	370	520	140
	4	0	70	140	240	250	185	170	500	2910	3720	5200	1635
	5	0	65	130	250	380	290	200	270	275	315	650	440
	6	0	75	160	135	165	100	55	85	170	155	100	-30
	7	0	55	105	180	250	280	510	570	750	865	900	420
	8	0	70	140	200	225	185	390	450	500	500	500	125
	9	0	60	124	145	170	180	50	20	-30	-155	-300	-320
	10	0	65	125	220	190	225	310	345	420	550	890	95
	11	0	70	135	175	125	3300						
	12	0	55	105	125	-70	-165	-180	-200	-210	-215	-160	-195
	13	0	47	90	105	155	165	230	280	320	330	370	20
	14	0	52	105	165	190	175	140	120	90	85	60	85
	15	0	40	90	75	160	135	640	530	450	260		
	16	0	80	165	235	2195	5500						
	17	0	0	0	0	130	150	140	180	190	370	735	360
	18	0	60	120	160	145	135	235	290	305	350	390	-55
	19	0	45	90	120	165	240	1560	2430	3390	6500		
	20	0	10	20	35	30	15	0	0	-20	-30	-50	-55
	21	0	20	40	0	1610	3115	4100	4840	4980	5275	6550	7600
	22	0	60	105	85	2210	4880						
	23	0	-10	-20	-15	20	5	-45	-90	-105	-185	-325	-95
	24	0	13	25	30	15	0	-20	-35	-35	-35	-20	-47

表 5.6(5)-2 挿み測定結果(試験片B 2-4)

Displacement (mm)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.10	0.19	0.30	0.40	0.49	0.60	0.69	0.79	0.89	0.99	1.07	0
Gage 1	0	0	0.01	0.04	0.08	0.24	0.43	0.60	0.74	0.88	1.00	1.19	1.32	0.47
	3	0	0.02	0.04	0.07	0.24	0.43	0.61	0.76	0.90	1.04	1.24	1.36	0.51
	4	0	0.02	0.07	0.13	0.39	0.71	1.00	1.24	1.46	1.65	1.93	2.11	0.75
	5	0	0.03	0.06	0.11	0.28	0.52	0.75	0.96	1.15	1.34	1.61	1.79	0.68
	6	0	0.03	0.06	0.11	0.28	0.51	0.73	0.92	1.10	1.25	1.47	1.52	0.55
	7	0	0.03	0.05	0.10	0.26	0.45	0.65	0.81	0.97	1.12	1.33	1.47	0.55

表 5.6(6)-1 歪ゲージ測定結果(試験片C-1)

単位  $\times 10^{-6} \text{ %}$ 

DIAL (div)	500	490	485	480	475	470	450	(500)	
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.99	0.0	
ゲージ番号	1	0	230	360	480	580	720	1230	1185
	2	0	50	100	135	200	235	375	335
	3	0	300	700	980	1270	1580	2960	1715
	4	0	1450	750	2050	2370	2680	4260	-
	5	0	230	390	540	690	820	1470	7250
	6	0	1330	1590	1800	2040	2250	3240	4870
	7	0	120	210	260	345	430	810	-
	8	0	300	490	640	850	1020	1790	-
	9	0	60	100	135	175	220	390	-405
	10	0	85	125	170	215	260	445	3325
	11	0	150	240	290	370	465	870	-860
	12	0	140	220	280	355	450	845	1330
	13	0	100	210	300	420	525	1015	3600
	14	0	250	420	600	810	1030	1995	-
	15	0	100	170	200	230	270	505	250
	16	0	140	220	320	370	470	855	1410
	17	0	30	40	40	50	55	110	560
	18	0	140	240	350	465	590	130	240
	19	0	80	140	200	265	335	570	205
	20	0	10	35	50	60	70	100	-330
	21	0	80	220	300	380	450	710	430
	22	0	160	290	410	565	690	1180	1850
	23	0	-15	55	70	80	60	15	-600
	24	0	5	20	25	40	45	70	-450

表 5. 6 (7) - 1 (1/2) 歪ゲージ測定結果(試験片 C - 2 )

単位  $\times 10^{-6} \text{ %}$ 

DIAL (div)	500	490	485	480	475	470	465	460	450	440	430	410	400	
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20	1.38	1.78	1.98	
ゲージ番号	1	0	80	140	235	500	1235	1750	2270	2970	3650	4140	4670	4860
	2	0	80	160	260	400	490	840	1310	2020	2630	3240	4260	4590
	3	0	110	250	500	780	1050	1350	1500	1720	1630	1720	1910	1880
	4	0	100	180	375	520	745	1120	1350	1945	2720	3460	4870	3950
	5	0	155	310	540	955	1460	1720	1980	2340	2620	2910	3260	3070
	6	0	135	240	425	670	1125	1450	1640	1920	2000	2100	2140	1850
	7	0	150	80	65	80	155	220	240	220	200	150	150	360
	8	0	90	170	295	585	1400	1915	2230	2895	3500	4090	5070	5060
	9	0	100	175	240	405	640	990	1260	1425	1490	1510	1310	1180
	10	0	135	170	125	110	90	320	500	530	680	970	1460	1560
	11	0	5	20	190	515	945	1520	1760	2180	2500	2810	3500	3600
	12	0	85	135	220	400	500	615	770	820	910	1030	1230	1320
	13	0	55	90	140	220	350	510	620	960	1280	1700	2430	2500
	14	0	60	90	125	195	275	460	630	1095	1500	1670	1800	1790
	15	0	65	120	180	340	480	490	820	1035	1150	1200	1500	1730
	16	0	120	215	365	500	700	930	1520	1880	2310	2620	3400	3820
	17	0	5	10	5	10	-20	-50	-30	-25	-30	-40	-25	40
	18	0	65	100	130	185	205	250	280	340	385	560		
	19	0	45	80	105	155	180	160	155	200	300	500	930	1270
	20	0	15	20	20	25	20	30	25	20	20	20	20	0
	21	0	43	70	100	170	360	460	540	1220	1420	1630	2340	2580
	22	0	85	140	200	340	580	700	900	1650	2070	2500	3480	3900
	23	0	-10	-15	-25	-30	-35	-45	-60	-50	-120	-200	-450	-520
	24	0	15	20	25	70	65	70	70	70	65	55	35	30

表 5.6(6)-2 損み測定結果（試験片 C-1）

Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.78	1.00	1.17	1.37	1.58	1.78	1.98	2.18	2.38	2.58	2.77	2.77	3.18	0
Gage 1	0	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.17	0.22	0.31	0.58	0.6	0.65	0.70	0.75	0.81	0.90	0.99	1.05	1.22	0.97
3	0	0.03	0.06	0.09	0.11	0.12	0.18	0.22	0.28	0.57	0.62	0.67	0.72	0.77	0.84	0.93	1.01	1.09	1.25	1.12
4	0	0.05	0.09	0.12	0.16	0.19	0.26	0.34	0.42	0.89	0.97	1.04	1.11	1.20	1.29	1.44	1.57	1.66	1.92	1.57
5	0	0.04	0.07	0.09	0.12	0.14	0.21	0.26	0.33	0.70	0.75	0.82	0.87	0.94	1.02	1.13	1.24	1.31	1.51	1.46
6	0	0.04	0.07	0.09	0.11	0.14	0.20	0.26	0.32	0.67	0.72	0.78	0.84	0.91	0.98	1.09	1.19	1.25	1.46	0.92
7	0	0.03	0.06	0.08	0.09	0.12	0.16	0.21	0.27	0.56	0.61	0.66	0.71	0.76	0.82	0.91	0.99	1.06	1.23	0.82

表 5.6(7)-1 (2/2)

(試験片 C-2)

D <small>isplacement</small> (mm)	0	0.19	0.29	0.39	0.49	0.59	0.69	0.79	0.89	0.99	1.09	1.19	1.39	1.59	1.78	1.98	2.18	2.38	2.58	2.76	2.70	0
Gage 1	0	0.02	0.03	0.04	0.07	0.09	0.14	0.19	0.23	0.29	0.34	0.49	0.59	0.71	0.82	0.90	1.00	1.12	1.22	1.27	0.49	
3	0	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.13	0.18	0.21	0.27	0.31	0.36	0.46	0.55	0.67	0.77	0.86	0.95	1.06	1.16	1.21	0.44
4	0	0.03	0.05	0.07	0.10	0.14	0.21	0.29	0.35	0.44	0.52	0.60	0.76	0.91	1.09	1.26	1.40	1.55	1.72	1.87	1.93	0.74
5	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.16	0.22	0.26	0.34	0.42	0.46	0.58	0.69	0.82	0.94	1.04	1.15	1.27	1.38	1.42	0.51
6	0	0.03	0.04	0.05	0.08	0.12	0.17	0.23	0.28	0.35	0.41	0.47	0.59	0.71	0.85	0.98	1.09	1.21	1.36	1.48	1.52	0.56
7	0	0.03	0.04	0.05	0.07	0.10	0.14	0.19	0.22	0.28	0.33	0.38	0.47	0.57	0.68	0.78	0.87	0.96	1.06	1.16	1.18	0.43

表 5.6(7)-2 損み測定結果（試験片 C-2）

D <small>isplacement</small> (mm)	0	0.19	0.29	0.39	0.49	0.59	0.69	0.79	0.89	0.99	1.09	1.19	1.39	1.59	1.78	1.98	2.18	2.38	2.58	2.76	2.70	0
Gage 1	0	0.02	0.03	0.04	0.07	0.09	0.14	0.19	0.23	0.29	0.34	0.49	0.59	0.71	0.82	0.90	1.00	1.12	1.22	1.27	0.49	
3	0	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.13	0.18	0.21	0.27	0.31	0.36	0.46	0.55	0.67	0.77	0.86	0.95	1.06	1.16	1.21	0.44
4	0	0.03	0.05	0.07	0.10	0.14	0.21	0.29	0.35	0.44	0.52	0.60	0.76	0.91	1.09	1.26	1.40	1.55	1.72	1.87	1.93	0.74
5	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.16	0.22	0.26	0.34	0.42	0.46	0.58	0.69	0.82	0.94	1.04	1.15	1.27	1.38	1.42	0.51
6	0	0.03	0.04	0.05	0.08	0.12	0.17	0.23	0.28	0.35	0.41	0.47	0.59	0.71	0.85	0.98	1.09	1.21	1.36	1.48	1.52	0.56
7	0	0.03	0.04	0.05	0.07	0.10	0.14	0.19	0.22	0.28	0.33	0.38	0.47	0.57	0.68	0.78	0.87	0.96	1.06	1.16	1.18	0.43

表 5.6 (8) - 1 (1/2) 歪ゲージ測定結果 (試験片D-3)

単位 × 10<sup>6</sup> %

DIAL (div)	500	495	490	485	480	475	470	465	460	455	450	445	440
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.09	0.19	0.29	0.39	0.49	0.59	0.69	0.78	0.88	0.98	1.08	1.18
グ 1	0	10	20	40	60	70	80	90	90	100	110	115	120
2	0	0	10	15	15	15	20	20	15	20	20	20	20
シ 3	0	25	60	120	240	480	810	1135	1640	2120	2270	2300	2510
番 4	0	- 15	- 25	- 40	- 85	- 145	- 150	- 160	- 210	- 280	- 305	- 350	- 420
号 5	0	25	50	90	140	165	210	270	340	435	500	565	670
6	0	20	50	70	130	185	320	535	700	990	1130	1265	1375
7	0	40	80	170	170	230	290	360	430	590	740	955	1545
8	0	- 10	- 10	- 30	- 20	- 55	- 70	- 95	- 110	- 125	- 140	- 160	- 220
9	0	45	95	570	1055	1180	1345	1500	1640	1880	2120	2700	3490
10	0	40	80	165	460	690	885	1040	1150	1290	1450	2770	1400
11	0	50	95	275	440	700	970	1090	1110	885	830	780	680
12	0	15	40	200	560	810	1070	1220	1350	1450	1530	1660	1770
13	0	70	75	70	405	890	1660	1960	2250	2540	2830	3185	3500
14	0	80	150	195	520	990	1420	1650	1845	2070	2290	2490	3720
15	0	45	80	345	1300	1820	2290	2690	3235	3820	4340	4920	5510
16	0	50	90	345	950	1230	1650	2035	2400	2780	3145	3520	4000
17	0	80	120	205	420	870	910	1040	1170	1400	1505	1690	1880
18	0	10	30	115	310	500	620	680	750	870	955	1040	1130
19	0	20	40	100	400	345	430	540	730	1030	1190	1385	1575
20	0	30	50	80	170	220	290	410	570	885	1030	1220	1410
21	0	20	50	85	130	205	430	655	1030	1180	1330	1460	1560
22	0	30	50	85	100	135	310	505	600	730	830	930	1030
23	0	10	15	20	25	30	35	35	40	70	80	70	60
24	0	15	20	40	55	160	55	60	50	35	40	40	50

表5.6(8)-1(2/2) 歪ゲージ測定結果(試験片D-3)

単位  $\times 10^6 \text{ %}$ 

DIAL (div)	430	420	410	400	390	380	370	360	350	(500)
Pressure (% $\Delta$ )	1.38	1.58	1.77	1.98	2.18	2.37	2.57	2.76	2.95	0.00
グ 1	130	160	235	280	390	450	500	560	590	615
2	5	0	- 10	- 30	- 20	- 55	- 195	- 120	- 130	- 270
シ 3	2890	3390	3810	4330	4990	5700	6580	7310	7300	3690
番 4	- 540	- 720	- 990	- 1220	- 1490	- 1770	- 2070	- 2375	- 2565	- 565
号 5	830	990	1150	1240	1430	1350	1210	840	780	235
6	1510	1640	1750	1830	1930	2040	2140	2260	2340	260
7	2110	2670	3270	3760	4360	4900	5440	6115	6840	4420
8	- 290	- 340	- 410	- 470	- 500	- 575	- 650	- 710	- 740	- 395
9	4530	5500	6490	6670	6570	5060	3560	3000	2300	1650
10	920	670	430	440	650	1330	1160	990	610	240
11	720	870	880	920	1000	1120	1340	2000	2820	500
12	1890	1930	1600	1340	1360	1390	1475	765	380	415
13	4610	5830	3270	3100	3130	2970	2460	1690	1840	1675
14	3860	3510	1540	1300	1240	1180	1240	1200	1065	730
15	6880	8660	—							
16	5210	6915	9400	8850	7040	6630	6270	5500	4920	3705
17	2280	2740	3110	3430	3960	4930	6215	7350	7650	4280
18	1280	1400	1430	1500	1745	2230	2790	3530	7650	4280
19	1880	2060	2290	2490	2650	2810	2920	3110	3500	1910
20	1680	1920	2140	2300	2450	2520	2610	2715	2670	1535
21	1840	2165	2560	3235	4115	4700	5360	6030	5680	3565
22	1255	1460	2780	2220	2190	1840	1710	1645	1570	955
23	60	75	80	70	85	70	50	70	230	35
24	50	65	70	95	145	185	215	235	285	395

表 5.6(8)-2 搾み測定結果(試験片D-3)

Pressure (%)	0	0.09	0.19	0.29	0.39	0.49	0.59	0.69	0.78	0.88	0.98	1.08	1.19	1.38	1.58	1.77	1.98	2.18	2.37	2.57	2.76	2.95	0	
Gage 1	0	0.0	0.01	0.03	0.05	0.09	0.12	0.16	0.19	0.23	0.26	0.29	0.33	0.40	0.48	0.58	0.67	0.79	0.91	1.06	1.25	1.43	1.87	
(mm)	3	0	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.13	0.17	0.20	0.24	0.26	0.30	0.34	0.41	0.49	0.59	0.68	0.80	0.92	1.06	1.25	1.44	1.88
Distribution	4	0	0.01	0.02	0.05	0.09	0.14	0.20	0.26	0.30	0.35	0.41	0.46	0.52	0.64	0.78	0.95	1.11	1.31	1.53	1.76	2.03	2.31	2.74
(mm)	5	0	0.01	0.02	0.04	0.07	0.12	0.16	0.21	0.24	0.29	0.32	0.37	0.42	0.51	0.61	0.73	0.84	0.98	1.15	1.32	1.56	1.79	2.11
Distribution	6	0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.10	0.16	0.21	0.24	0.29	0.33	0.37	0.42	0.51	0.61	0.74	0.87	1.02	1.18	1.36	1.43	1.72	2.08
(mm)	7	0	0.01	0.02	0.03	0.06	0.12	0.13	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30	0.34	0.41	0.50	0.59	0.69	0.86	0.94	1.08	1.22	1.42	1.97

表5.6(9)-1(1/2) 弯ゲージ測定結果(試験片D-4)

単位  $\times 10^{-6} \text{ %}$ 

DIAL (div)	500	495	490	485	480	475	470	465	460	455	450	445	430
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0	0.9	0.19	0.29	0.38	0.48	0.57	0.67	0.75	0.84	0.94	1.14	1.34
ゲ 1	0	5	10	10	15	20	20	20	20	30	30	30	30
1 2	0	5	5	5	10	10	10	10	20	25	25	40	40
ジ 3	0	15	35	65	500	540	620	755	1005	1080	1225	1520	1950
番 4	0	- 5	- 15	- 30	- 85	- 100	- 120	- 150	- 200	- 220	- 250	- 310	- 380
号 5	0	0	10	15	30	30	35	50	80	80	90	140	180
6	0	5	10	15	35	35	40	60	130	145	200	300	400
7	0	20	70	115	930	1040	1160	1160	1170	1255	1340	1600	1860
8	0	- 5	- 5	- 5	- 5	- 10	- 10	- 10	0	5	10	30	20
9	0	15	45	70	85	105	120	125	165	175	210	400	530
10	0	25	55	210	5140	7840	735	480	585	830	370	1900	2050
11	0	20	55	90	100	110	120	150	200	225	280	480	660
12	0	10	30	45	115	140	170	220	360	430	555	810	1080
13	0	30	70	115	205	230	260	300	335	370	410	510	630
14	0	25	65	115	1120	1260	1410	1600	2090	2250	2500	—	—
15	0	20	55	105	140	165	200	270	400	440	480	580	700
16	0	25	70	165	695	810	930	1110	435	1550	1770	2315	2890
17	0	15	40	65	440	500	560	640	785	870	970	1315	1715
18	0	15	55	100	520	610	720	870	1080	1165	1230	1430	1570
19	0	15	45	70	490	530	630	760	660	710	750	850	915
20	0	5	20	35	55	60	80	85	100	125	155	235	315
21	0	10	30	50	85	105	130	175	210	240	290	375	485
22	0	12	40	60	85	100	130	245	315	370	415	500	570
23	0	5	10	10	10	5	10	10	10	20	15	20	20
24	0	5	10	20	25	20	30	30	25	30	25	30	25

表5.6(9)-1(2/2) 歪ゲージ測定結果(試験片D-4)

単位  $\times 10^6 \text{ %}$ 

DIAL (div)	420	410	400	390	380	370	360	350	340	(500)
Pressure (kgf)	1.53	1.74	1.94	2.14	2.34	2.54	2.73	2.93	3.12	0.05
グ 1	40	40	50	50	65	70	80	90	120	125
2	45	40	40	35	35	30	30	15	10	- 140
ジ 3	2500	3080	3600	4900	4740	5380	5920	6480		6600
番 4	- 430	- 500	- 570	- 665	- 755	- 865	- 960	- 1055		- 80
号 5	220	260	310	370	440	500	585	580		275
6	480	520	595	660	710	780	890	1090		1080
7	2150	2535	3030	3570	4220	4800	5450	6115		4320
8	15	0	0	- 40	- 80	- 120	- 150	- 170		- 390
9	710	950	1200	1500	1700	1780	1785	1800		320
10	2050	2290	2360	2300	2380	2560	2870	3440		455
11	870	1100	1360	1590	1865	—				
12	1410	1720	1960	2035	2080	2180	2220	2120		480
13	760	910	1330	2095	3000	3920	4610	5150		2120
14										
15	830	960	1140	1290	1500	1955	2480	2660		1855
16	3520	4100	4925	6015	6460	7000	7240	7370		4070
17	2150	2550	3050	3570	3830	3970	4275	4685		890
18	1790	2055	2500	3300	4045	4570	4990	—		
19	1070	1290	1500	1755	1990	2250	2625	3125		—
20	435	560	740	915	1030	1130	1200	1315		- 50
21	590	740	880	1040	1135	1180	1200	1220		500
22	680	820	970	1130	1235	1335	1430	1500		450
23	20	30	35	45	40	40	45	65		30
24	45	45	50	80	90	110	135	170		270

表 5.6 (9)-2 摩み測定結果（試験片D-4）

Pressure (%)	0	0.9	0.19	0.29	0.38	0.48	0.57	0.67	0.75	0.84	0.94	1.14	1.34	1.53	1.74	1.94	2.14	2.34	2.54	2.73	2.93	0.0	
Gage 1	0	0.02	0.03	0.04	0.12	0.13	0.15	0.17	0.21	0.22	0.25	0.31	0.38	0.44	0.51	0.59	0.69	0.79	0.92	1.06	1.22	2.09	
Dia. (mm)	3	0	0.01	0.02	0.03	0.10	0.11	0.12	0.15	0.19	0.20	0.22	0.28	0.34	0.39	0.46	0.54	0.64	0.73	0.84	0.97	1.13	1.95
Dia. (mm)	4	0	0.01	0.04	0.05	0.15	0.16	0.19	0.23	0.29	0.31	0.35	0.44	0.54	0.65	0.75	0.87	1.04	1.21	1.41	1.64	1.89	
Dia. (mm)	5	0	0.02	0.04	0.05	0.13	0.14	0.16	0.19	0.23	0.26	0.28	0.36	0.43	0.51	0.59	0.68	0.79	0.92	1.07	1.23	1.42	2.17
Dia. (mm)	6	0	0.02	0.03	0.05	0.12	0.14	0.15	0.18	0.23	0.26	0.29	0.36	0.43	0.52	0.60	0.70	0.82	0.95	1.10	1.27	1.48	
Dia. (mm)	7	0	0.02	0.04	0.05	0.11	0.12	0.14	0.16	0.20	0.22	0.24	0.36	0.43	0.50	0.57	0.67	0.78	0.89	1.03	1.19		

表 5.6 (10) A - 4

圧力 kg/cm <sup>2</sup>	歪出力 μ %											変位 mm	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
0.0												0.0	
0.09	30	30	20	30	20	20	25	30	25	25	25	0.08	
0.19	55	55	40	60	40	30	50	55	50	45	45	0.14	
0.29	90	90	55	90	65	45	75	80	75	70	70	0.30	
0.39	135	90	95	140	75	35	20	95	120	105	110	0.50	
0.49	135	125	120	205	115	30	20	120	175	155	165	0.94	
0.59	110	25	155	210	105	15	10	175	2580	215	280	1.34	
0.78	-60	-85	160	--	1580	-45	20	-40	4595	3530	-10	4.26	
0.98	-95	20	410	--	2140	-45	-75	-40	5250	7740	175	6.60	
1.18	-105	440	1350	--	3000	-130	-95	-90	5960	--	240	9.54	
0.0	370	-1250	--	--	1885	-1670	270	1740	5160	--	--	12/25	

表 5.6 (11) A - 5

0.0												0.00	
0.09	20	25	20	30	20	15	25	27	20	20	25	0.00	
0.19	53	65	50	60	35	30	50	55	50	53	57	0.10	
0.29	80	98	80	87	55	50	80	90	80	80	85	0.24	
0.39	110	135	112	117	73	40	2190	240	123	127	125	0.60	
0.49	277	123	155	310	320	130	2420	325	153	157	157	0.68	
0.59	350	220	97	1820	1950	590	2400	390	280	193	228	1.76	
0.69	440	3870	590	1930	1670	500	2075	397	295	1810	80	3.60	
0.79	740	4150	850	2215	1895	455	2810	363	370	2010	73	5.44	
0.89	1210	4275	1075	2630	2230	450	3785	295	435	2540	0	5.36	
0.99	1695	6210	1625	3460	2800	360	4260	220	510	2890	-30	9.06	
0.00	--	3260	760	2110	975	150	1860	470	--	2440	180		

表 5.6 (12) A - 6

0.0												0.00	1/5
0.10	30	30	20	30	20	10	25	25	20	20	25		
0.19	60	55	45	65	45	20	50	45	40	35	45		
0.30	85	85	70	95	65	30	70	70	60	55	70		
0.40	115	110	90	125	85	40	90	93	75	70	97		
0.50	135	145	115	155	105	55	120	120	100	85	110	0.14	
0.60	195	130	155	205	180	20	97	160	160	130	175	0.46	
0.69	1380	135	185	35	-180	30	150	180	215	175	225	0.86	
0.79	2800	1550	570	-60	0	125	215	2660	255	335	440	2.70	
0.89	3920	2690	680	-80	55	170	135	3820	280	390	670	5.44	
0.00	--	--	-30	80	10	10	30	1125	-25	200	580	1/6	

表 5.6 (13) B - 3

0.02	25	125	105	70	170	130	210	90	--	3750	--	5.14	11/21
0.1	30	160	115	90	190	135	235	105		3800		5.70	7.62 × 10 <sup>5</sup>
0.2	30	180	130	100	220	135	255	110		3870		6.48	サイクル後
0.3	25	190	150	110	250	130	275	115		3910		7.14	測定
0.4	20	205	160	115	270	130	290	120		3980		7.92	
0.5	20	215	175	120	295	135	310	125		4040		8.66	
0.6	15	225	190	125	320	140	330	130		4110		9.54	
0.69	10	230	200	120	335	140	345	130		4190		10.34	
0.78	-5	240	205	105	340	140	360	130		4300		11.74	
0.89	-20	230	210	70	315	155	470	130		4070		13.60	
0.99	-25	215	205	50	280	150	2710	140		4030		15.40	
1.08	-10	200	190	30	235	140	4350	135		4000		17.56	
0.00	30	150	20	-3	70	70	1400	75		3730			

表 5.6 (14) B - 4

压力 kg/cm <sup>2</sup>	歪出力 $\mu \text{ % }$											変位 mm	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
0.0												0.0	
0.09	30	35	25	35	35	5	40	30	30	37	—	0.08	
0.18	930	60	45	95	70	20	85	40	70	83	—	0.30	
0.29	1350	95	80	165	100	10	95	85	145	140	—	0.70	
0.39	2020	120	105	260	135	-25	145	100	125	200	—	1.12	
0.49	2130	700	80	330	130	-15	210	140	150	260	—	1.56	
0.59	3270	930	130	3180	570	25	210	200	160	210	—	4.64	
-0.17	970	1110	125	—	—	-70	2210	30	-120	15	—	—	11/27
	1355	1785	150			125	—	380	160	365	—	—	

表 5.6 (15) B - 5

0.01	0	0	5	3	0	0	3	0	0	-3	0	0.00	
0.1	30	25	30	40	20	10	30	30	30	25	25	0.10	
0.2	65	55	60	80	50	20	55	65	60	55	50	0.14	
0.3	100	85	87	120	75	35	85	95	90	90	80	0.30	
0.4	135	120	120	165	105	50	115	130	125	120	110	0.36	
0.5	175	150	150	205	135	60	140	165	155	150	130	0.54	
0.6	35	170	105	305	135	-80	150	145	240	275	210	2.30	
0.7	35	200	130	95	-15	-100	140	205	720	1360	255	4.60	
0.79	-65	200	145	-85	-140	-130	185	210	670	1480	-90	7.80	
0.65	-60	160	120	-80	-135	-130	160	180	645	1370	-100	7.30	
0.0	-120	-5	-20	80	65	20	4500	—	—	—	-85	—	

表 5.6 (16) B - 6

0.0												0.00	
0.09	40	25	40	40	30	10	35	33	20	27	25	0.10	
0.19	75	55	75	75	50	25	60	65	50	55	50	0.16	
0.29	115	85	110	115	75	45	95	100	75	80	85	0.44	
0.39	160	115	140	160	100	60	125	130	105	130	130	0.60	
0.49	125	90	175	360	260	120	140	120	220	220	200	1.34	
0.59	3180	135	120	770	250	-30	320	35	180	205	210	3.80	
0.0	—	185	215	—	155	125	5900	75	120	155	125	—	12/4

表 5.6 (17) B 2 - 1

0.0												0.00	
0.10	70	40	0	410	40	195	15	135	160	155	160	0.64	
0.19	105	120	-80	725	-60	455	75	215	300	380	315	1.34	
0.30	260	205	-150	810	15	500	150	350	1950	3000	710	3.94	
0.40	490	220	-140	745	40	420	180	510	3440	5090	1055	6.50	
0.50	615	200	-115	760	55	405	340	745	3220	6900	1030	8.88	
0.60	750	185	-130	730	100	420	440	1070	3030	8730	925	11.20	

表 5.6 (18) B2 - 5

压力 %	歪出力 $\mu$ %											位移 mm	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
0.0												0.00	
0.09	6.5	30	25	85	35	10	15	50	65	65	65	0.50	
0.19	11.0	65	50	160	120	25	50	80	145	185	150	1.60	
0.3	9.5	170	20	250	85	20	20	215	480	300	2030	3.26	
0.4	15.5	1730	100	1930	1500	240	85	255	1380	300	2510	6.54	
0.5	12.0	2370	100	3340	2740	500	130	320	1840	635	3090	9.46	
0.59	45.0	3630	0	5450	4540	810	130	250	2450	900	3760	12.00	
0.69	65.0	4260	90	6700	5720	1090	120	230	3100	—	4410	14.32	
0.79	75.0	5630	100	7910	6940	1570	110	230	3470	—	5230	16.46	
0.89	77.0	7890	110	9320	8810	2800	100	230	3860	—	7200	18.87	
0.99	78.0	10300	40	—	10450	3780	90	210	4700	—	10200	20.80	
0.0	11.5	2650	-90	5680	5060	1140	-140	30	1880	—	5840		

表 5.6 (19) B2 - 6

0.0												0.00	1 / 10
0.09	-90	35	20	80	90	5	80	30	80	85	85	0.60	
0.19	-90	105	30	160	155	15	155	80	145	170	165	1.20	
0.30	0	60	55	245	255	-15	160	255	340	335	235	4.40	
0.40	-65	70	55	25	-10	-30	1720	2530	230	1290	260	7.80	
0.50	-120	105	5	-20	-25	-110	2150	3500	210	3430	260	11.24	
0.60	-130	170	-90	-30	85	-35	3020	4300	220	4150	260	13.70	
0.70	-140	190	-100	-45	95	0	3340	4950	210	5200	280	16.20	
0.79	-140	155	-90	-55	80	0	3120	5050	140	6360	—	18.60	
0.89	-115	7300	1000	-115	85	170	3040	5660	130	7830	—	20.66	
0.99	-130	9700	1400	-115	70	215	3350	6410	130	9800	—	23.10	
0.0	-170	4100	310	-135	10	25	1340	2035	0	6800	—	11.70	

表 5.6 (20) B2 - 7

0.0												0.00	
0.09	50	45	53	85	50	7	60	50	60	60	55	0.24	
0.19	45	50	130	180	60	-30	47	85	180	150	155	0.40	
0.30	135	105	100	280	140	-20	195	200	420	325	380	2.48	
0.40	305	200	90	3870	2390	-20	1680	350	2180	800	650	506	1 / 14
-0.03	520	-100	-50	2675	1750	-145	4500	320	4950	—	—	6.66	
0.09	560	-100	-40	3070	2135	-90	4740	410	—	—	—	7.85	
0.19	590	-100	-85	3470	3500	-40	5840	455	—	—	—	8.85	
0.30	610	-105	-25	3880	2880	-10	—	490	—	—	—	10.00	
0.40	650	-110	-20	4280	3235	20	—	500	—	—	—	11.10	
0.50	660	-125	-15	4650	3560	40	—	530	—	—	—	12.25	
0.60	670	-135	-10	5030	3930	65	—	580	—	—	—	13.4	
0.70	690	-155	-10	5400	4350	130	—	610	—	—	—	14.7	
-0.13	500	-125	-70	2500	1620	-145	—	290	—	—	—	6.6	

表 5.6 (21) B2 - 8

0.0												0.0	1 / 17
0.09	110	50	95	205	185	70	150	60	95	80	75	0.50	
0.19	450	135	90	470	350	135	225	135	325	230	190	1.70	
0.29	1050	1130	115	1320	1080	380	440	210	1950	1220	590	4.00	
0.39	1450	2180	370	2060	1610	500	980	480	3230	1550	1500	6.25	
0.49	1600	3160	630	2480	1845	580	1760	580	1980	2100	1980	8.26	
0.59	1760	4200	940	3000	2300	810	2500	690	4900	3030	2580	10.30	
0.60	590	—	—	1120	430	290	—	950	5150	1870	—	2500	
0.0	0	—	—	-540	-650	270	—	310	—	2140	—	max 1 / 22	

表 5.6 (22) C - 3

压力 kg/cm <sup>2</sup>	歪出力 μ %											変位 mm	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
0.0												0.0 0	
0.0 9	1 0	2 0	1 8	2 0	2 0	1 0	2 0	1 2	1 0	1 0	1 5	0.0 4	
0.1 9	3 0	5 0	4 0	5 5	4 0	2 0	5 0	3 5	4 0	3 7	4 0	0.1 4	
0.2 9	5 5	8 0	6 5	9 0	7 5	3 0	8 5	6 5	7 0	6 5	7 5	0.3 6	
0.3 9	8 5	1 0 5	9 5	1 3 5	1 0 0	3 5	1 2 0	9 5	1 0 5	1 0 0	1 1 0	0.5 2	
0.4 9	1 5 5	1 1 5	1 3 5	1 8 0	1 2 0	4 0	1 6 0	1 1 0	1 6 0	1 4 0	1 5 0	0.7 4	
0.5 9	4 2 0	1 3 0	1 7 0	2 4 0	1 3 5	4 0	1 9 0	1 2 5	2 1 0	2 0 0	2 2 0	1.0 0	
0.6 9	1 0 2 0	1 0 5	2 3 0	5 4 0	3 7 5	2 0 5	3 6 5	1 7 0	3 7 0	2 5 5	1 3 5 0	1.6 6	
0.7 8	1 7 5 0	1 1 5	2 2 0	7 4 0	6 6 0	3 3 0	6 1 0	6 3 0	2 3 0	8 9 0	1 4 0 0	1.5 0	
0.8 8	2 4 3 0	1 8 0	2 9 0	5 9 0	8 1 0	4 1 0	9 0 0	1 3 5 0	1 1 5	1 1 8 0	1 4 9 0	3.3 6	
0.9 8	3 1 0 0	1 5	3 9 0	1 0 1 0	9 0 0	5 4 0	1 2 0 0	1 6 7 0	1 2 0	1 5 1 0	1 7 0 0	4.0 6	
0.0 3	—	- 1 2 0	—	2 5	- 1 8 0	- 8 5	8 3 0	6 0	3 0	3 7 2 0	1 2 5	5.0 3	1 2 / 1 2
0.0 9	- 1 4 5		4 7 0	- 8 5	- 5 0	—	—	6 5	- 5 5	—	1 9 0	5.6 0	
0.1 9	- 1 4 0		9 0 0	- 3 0	- 2 5			1 2 0	- 5 0		2 7 0	5.9 2	
0.2 9	- 1 4 0		2 8 0 0	2 0	0			1 6 5	- 4 5		3 7 0	6.3 6	
0.3 9	- 1 4 0		—	7 0	3 0			2 1 5	- 4 5		4 8 0	6.9 4	
0.5 9	- 1 5 5			1 7 0	5 5			3 0 5	- 5 0		7 2 0	7.1 0	
0.7 8	- 1 5 5			2 7 0	8 0			3 8 5	- 5 0		9 5 5	9.0 0	
0.9 8	- 1 5 5			3 6 5	9 5			4 7 5	- 5 5		1 2 1 5	1 0.0 0	
1.1 9	- 1 5 5			4 6 0	1 2 5			5 5 0	- 6 0		1 4 7 5	1 1.1 0	
1.3 8	- 1 5 0			5 4 0	1 6 0			6 5 5	- 6 0		1 6 8 0	1 1.9 4	
1.5 8	- 1 5 0			6 1 0	2 0 5			7 5 5	- 6 5		1 8 9 0	1 2.8 0	
1.7 8	- 1 4 5			6 4 0	2 3 5			9 0 0	- 6 5		2 1 5 0	1 3.9 0	
1.9 8	- 1 4 0			6 5 0	2 8 0			8 8 0	- 7 5		2 4 7 0	1 5.0 0	
2.1 8	- 1 3 5			6 1 5	3 1 5			8 3 0	- 8 0		2 6 7 0	1 6.6 0	
2.3 8	- 1 3 5			6 1 0	3 6 5			1 0 0 0	- 6 5		2 8 3 0	1 7.9 4	
2.5 8	- 1 3 5			6 1 5	4 2 0			1 2 4 0	- 3 5		3 1 8 0	1 9.4 0	
2.7 8	- 1 4 0			6 2 0	4 8 0			1 5 1 0	- 3 0		3 5 8 0	2 0.9 0	
2.9 8	- 1 5 0			6 5 0	5 5 0			1 9 8 0	- 4 0		4 1 9 0	2 2.3	
3.1 7	- 1 5 0			7 2 0	6 4 5			2 6 3 0	- 5 0		4 9 0 0	2 3.9	
3.3 8	- 1 5 0			8 0 0	7 4 5			3 3 5 0	- 5 0		6 5 0 0	2 5.8	
0.0	- 1 3 5			1 8 0 5	1 0 3 5			2 9 9 0	- 2 1 5		4 2 4 0	2 7.7	
												3 1.9 0	max

表 5.6 (23) C - 4

0.0												0.0 0	1 2 / 1 3
0.0 9	3 0	2 5	2 0	3 5	2 0	1 0	2 5	4 0	2 0	2 0	2 0	0.1 4	
0.1 9	6 0	5 5	4 0	5 5	4 0	2 5	5 0	7 0	4 5	4 7	4 7	0.2 4	
0.4	1 3 5	1 1 0	9 5	1 1 0	8 0	4 5	7 5	1 6 0	1 1 0	1 1 0	1 0 5	0.5 0	
0.6	4 0 5	1 8 0	1 7 7	2 8 0	1 9 0	1 1 0	3 5 0	3 2 5	2 0 5	1 9 5	2 2 0	1.1 4	
0.7 9	1 1 5 5	6 8 0	8 2 0	1 2 7 0	8 8 0	2 1 5	8 3 0	4 1 0	3 3 0 0	4 3 0	5 9 0	2.4 4	
0.9 9	1 5 7 0	1 4 3 0	1 6 9 0	2 0 2 0	1 4 8 0	2 5 0	1 4 8 0	5 6 0	5 4 0 0	1 0 1 0	1 2 5 0	3.8 0	
1.1 9	1 7 9 0	1 7 4 0	2 9 0 0	2 5 0 0	1 9 8 0	2 9 0	2 0 3 0	8 0 0	—	1 2 4 0	1 4 8 0	5.3 6	
1.3 9	1 8 7 0	1 8 3 0	3 7 5 0	2 9 8 0	2 4 7 0	2 5 0	2 7 5 0	1 0 8 0		1 2 2 5	1 5 6 0	6.9 2	
1.5 9	1 9 8 0	2 0 0 0	4 6 2 0	3 3 6 0	2 7 8 0	2 5 5	3 6 0 0	1 4 3 0		1 3 5 0	1 9 2 0	8.4 4	
1.7 9	1 8 7 0	2 1 5 0	5 4 6 0	3 8 0 0	3 0 9 0	2 3 5	4 7 2 5	1 7 3 5		1 5 8 0	2 2 0 0	1 0 1 0	
0.0 9	2 3 0	7 3 5	3 4 2 0	2 1 2 0	1 3 4 0	2 1 0	1 8 8 0	3 9 0		1 5 3 5	4 2 3 5		

表 5.6 (24) C - 5

压力 %	歪出力 $\mu \text{ %}$											変位 $\text{mm}$	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
0.0												0.00	
0.09	30	25	25	35	35	10	25	20	25	20	25	0.14	
0.19	55	50	45	70	60	25	50	45	50	45	50	0.30	
0.39	120	105	95	150	130	60	105	95	105	95	110	0.50	
0.59	450	145	160	310	245	85	235	145	170	160	180	0.88	
0.69	420	170	190	2860	475	95	325	155	260	250	265	1.26	
0.78	465	220	245	3360	735	110	325	180	240	280	155	2.26	
0.98	610	1580	930	3550	965	130	450	70	110	1135	50	4.00	
1.18	1450	3050	2400	3700	1120	2010	1790	-40	130	1535	50	5.80	
1.38	2400	3970	3540	3900	1145	195	2050	-40	160	2800	45	7.84	
1.58	3250	4880	4570	4100	1180	180	2290	-35	230	4130	35	9.00	
0.0	1615	2035	1520	2365	540	500	—	430	—	—	6610		12/18

表 5.6 (25) C - 6

0.0												0.00	
0.09	30	30	30	25	25	15	25	30	30	20	25	0.14	
0.19	55	60	53	57	47	25	50	60	55	50	50	0.20	
0.29	87	90	80	90	75	40	80	93	85	80	80	0.26	
0.39	110	125	95	85	100	95	100	130	115	115	110	0.50	
0.49	155	255	95	195	170	135	130	170	155	160	150	0.72	
0.59	310	530	95	740	690	125	155	295	260	335	220	1.06	
0.69	1250	855	55	985	1010	160	80	790	150	3370	550	2.06	
0.78	1560	1140	30	1090	1130	215	70	1120	390	3870	1110	2.80	
0.99	2130	—	80	1500	1560	210	55	1420	2930	5130	1640	4.44	
1.19	2530	—	270	1800	1910	240	20	1500	2850	5680	2310	6.06	
1.38	2850	—	410	2220	2360	250	10	1550	3050	6070	2800	7.08	
1.58	3260	—	520	2710	2910	230	30	1610	2750	6720	3230	8.88	
1.68	3370	—	570	3210	3380	190	30	1600	3840	6900	3370	9.58	
0.0	610	2860	460	1080	1180	370	2650	1830	1920	—	—		12/22

表 5.6 (26) D - 5

0.0												0.00	
0.10	30	35	30	35	30	10	30	30	30	20	25	0.05	
0.20	60	70	55	75	60	25	55	50	60	45	55	"	
0.30	90	110	85	120	95	40	95	75	100	80	85	0.10	
0.40	110	160	105	160	125	50	140	90	135	110	120	0.20	
0.50	110	260	130	240	180	70	265	120	200	170	185	0.48	
0.60	90	500	135	270	260	135	450	290	305	1950	335	0.84	
0.69	155	1780	160	380	530	220	580	580	390	2500	2710	1.56	
0.79	1910	2710	300	450	740	240	870	930	460	3050	3310	2.00	
0.99	1630	4530	590	500	950	340	1400	1410	470	3730	4410	3.00	
1.19	2210	6080	865	610	1130	400	1875	1930	710	3900	5035	3.94	
1.38	2780	—	1110	800	1390	440	2120	2430	1090	4100	7280	5.08	
—	—	—	—	—	—	10	—	895	—	—	—	1/26	

表 5.6 (27) D - 6

压力 kg/cm <sup>2</sup>	歪出力 μ %											变位 mm	備 考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
0.0												0.00	
0.09	30	40	35	35	30	15	30	25	25	25	30	0.06	
0.19	70	85	85	75	60	25	55	50	55	53	60	0.12	
0.28	125	135	240	110	95	30	85	80	100	90	100	0.28	
0.39	210	175	390	165	145	45	130	105	150	140	145	0.50	
0.49	285	260	455	235	210	60	180	140	235	205	200	0.70	
0.59	580	430	490	185	245	150	245	220	770	250	315	1.30	
0.69	810	1035	450	550	595	170	460	430	1150	185	350	1.94	
0.78	875	1440	480	730	770	230	660	605	1040	235	420	2.32	
0.89	965	1895	590	1210	1290	365	840	825	1100	445	545	2.70	
0.99	1075	2290	760	1740	1770	480	1050	1025	1310	530	715	3.30	
1.19	1430	3220	1170	2400	2390	675	1650	1460	1440	880	1760	4.34	
1.39	1730	—	1470	3020	2980	880	2330	1730	1480	1620	2710	5.58	
1.59	2040	—	1605	3530	3400	1030	2850	2930	1620	2230	3230	6.20	
1.79	2410	—	1740	4070	3950	1200	3130	2050	1980	2790	4060	7.20	
1.98	2790	—	1830	4800	4570	1390	3410	2110	2320	3250	4840	8.20	
0.	1105	460	—	—	—	545	2690	1440	3750	2450	3050		

表 5.6 (28) D - 7

0.0												0.00	
0.09	35	30	35	25	5	30	30	30	30	30	30	0.10	
0.19	75	60	60	75	50	20	60	55	60	60	60	0.14	
0.29	135	90	90	115	70	35	95	90	90	90	90	0.20	
0.39	330	135	135	175	100	45	170	175	135	125	135	0.42	
0.49	500	185	195	255	160	50	260	270	185	180	190	0.60	
0.59	590	215	380	520	195	110	360	430	290	200	300	0.96	
0.69	725	415	520	835	235	280	840	810	185	1455	375	1.34	
0.78	860	665	600	980	380	350	1080	910	190	1450	655	1.50	
0.88	950	860	680	1000	410	400	1235	980	200	1530	840	2.30	
0.98	1070	1170	840	1040	440	460	1310	1035	240	1730	1150	2.94	
1.08	1190	1370	1010	1110	500	500	1380	1080	325	1850	1310	3.54	
1.18	1300	1540	1170	1180	540	540	1370	1080	690	1970	1540	4.06	
1.38	1540	1820	1590	1330	690	630	1300	1080	1370	2490	2100	5.00	
1.59	1820	1800	1970	1555	945	780	1320	1160	2080	3030	2440	5.34	
1.79	2160	1950	2280	2010	1255	915	1380	1240	2960	3560	2780		
0.0	1830	1825	905	—	260	190	75	400	—	—	7740		

表5.7 動的変位測定結果

試験片 番号	動的水圧		撓み		繰返し数 n or Nf	備考
	P <sub>max</sub> kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>min</sub> kg/cm <sup>2</sup>	δ <sub>R</sub> mm	δ <sub>max</sub> mm		
A-4	1.78	0.60	4.4	22.7	2.44 × 10 <sup>4</sup>	Nf
A-5	1.48	0.48	4.6	25.1	7.0 × 10 <sup>4</sup>	Nf
A-6	1.34	0.44	4.0	21.9	9.13 × 10 <sup>4</sup>	Nf
B-3	0.60	0.17	1.7	8.5	7.62 × 10 <sup>5</sup>	n
B-4	0.90	0.27	3.9		2.5 × 10 <sup>5</sup>	Nf
B-5	0.99	0.24	4.7	17.6	1.76 × 10 <sup>4</sup>	Nf
B-6	0.89	0.29	2.9	14.2	1.1 × 10 <sup>4</sup>	Nf
B2-1	0.87	0.27	4.4	18.6	1.0 × 10 <sup>4</sup>	Nf
B2-7	0.60	0.20	6.1	13.0	2.5 × 10 <sup>5</sup>	Nf
B2-8	0.80	0.40	2.9	16.5	4.31 × 10 <sup>5</sup>	n
C-3	1.50	0.53	4.1	12.4	4.67 × 10 <sup>5</sup>	n
C-4	2.71	0.87	5.1	22.0	2.0 × 10 <sup>4</sup>	Nf
C-5	2.38	0.78	5.0	24.2	1.0 × 10 <sup>5</sup>	Nf
C-6	2.53	0.84	5.1	21.1	6.9 × 10 <sup>4</sup>	Nf
D-5	2.08	0.68	4.6	19.6	3.26 × 10 <sup>5</sup>	n
D-6	3.00	1.00	5.1	22.2	8 × 10 <sup>4</sup>	Nf
D-7	2.68	0.90	4.6	27.0	6.16 × 10 <sup>4</sup>	Nf

表5.8 静的水圧試験結果のまとめ

(表5.5の数値に0設定時の水圧0.05kg/cm<sup>2</sup>を加えて)kg/cm<sup>2</sup>

試験系列	ひび割開始水圧		水漏れ開始水圧		最高水圧		備考
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
A	0.58	0.13	1.59	0.27	2.05	0.29	
B	0.48	0.14	1.35	0.14	1.54	0.12	
B2	0.31	0.06	0.55	0.10	1.17	0.17	B2-1, B2-5 B2-6 含む
	0.23	0.04	0.46	0.23	1.11	0.12	
C	0.63	0.11	0.65	0.14	1.74	0.71	
D	0.61	0.18	1.41	0.56	0.91	0.37	

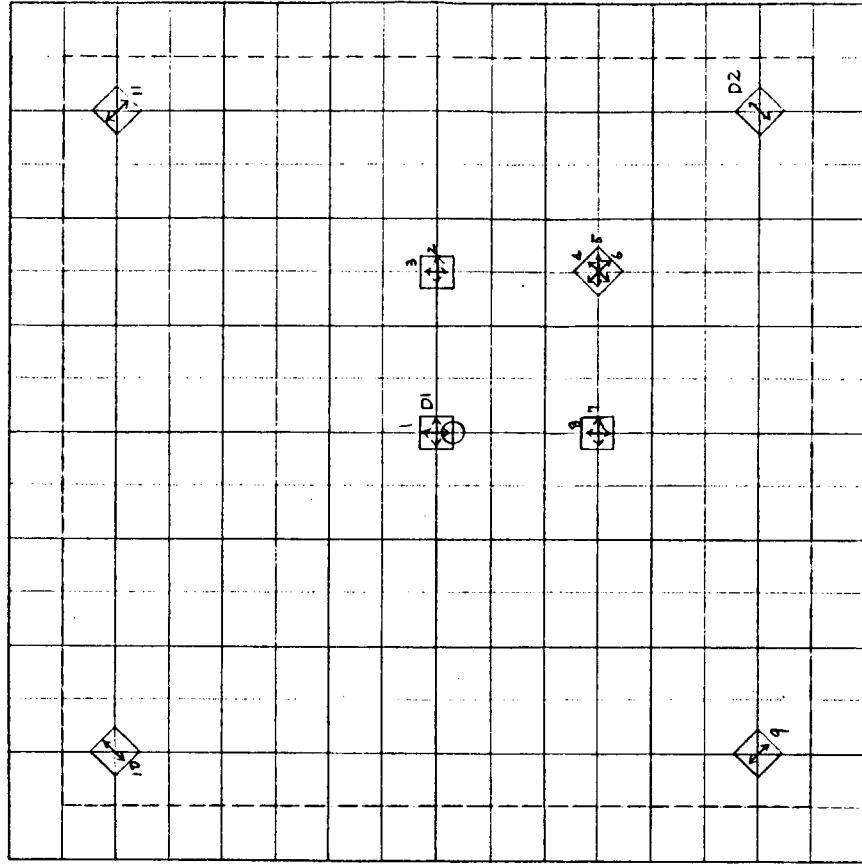


図 5.4 歪ゲージと変位計の配置(その2)

歪ゲージ、測定方向 G.L. = 10 mm  
1~11：静的歪測定器へ接続  
D1 および D2 動的歪測定器へ接続  
○ 变位計設置位置  
破線内受圧面

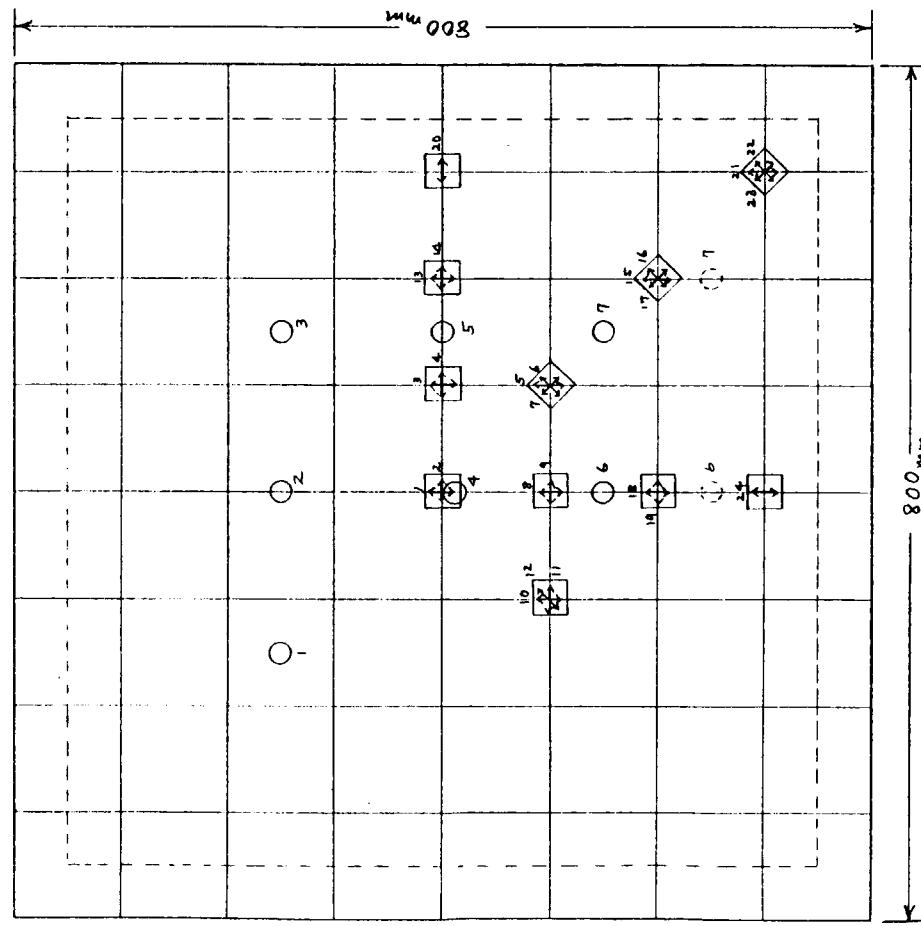


図 5.3 歪ゲージと変位計の配置(その1)

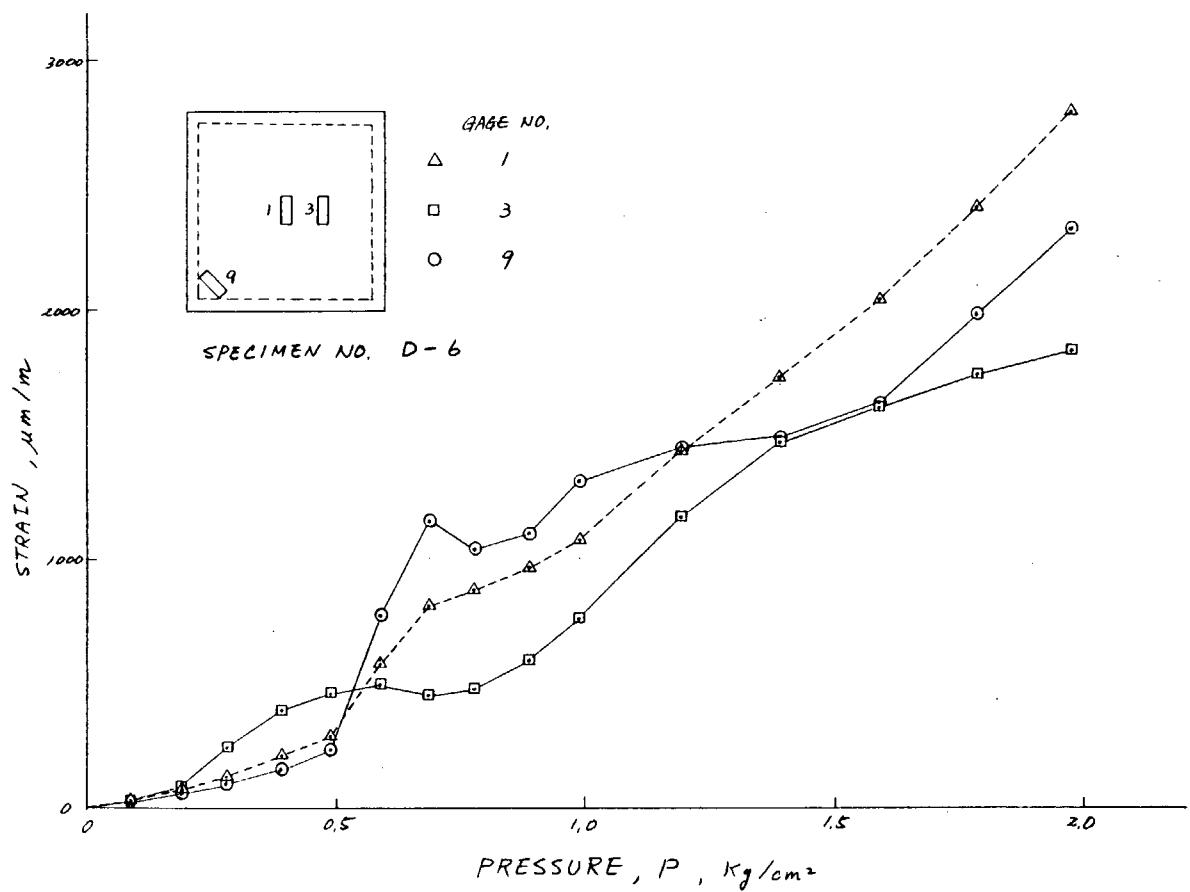


図 5.5 圧力と歪の関係

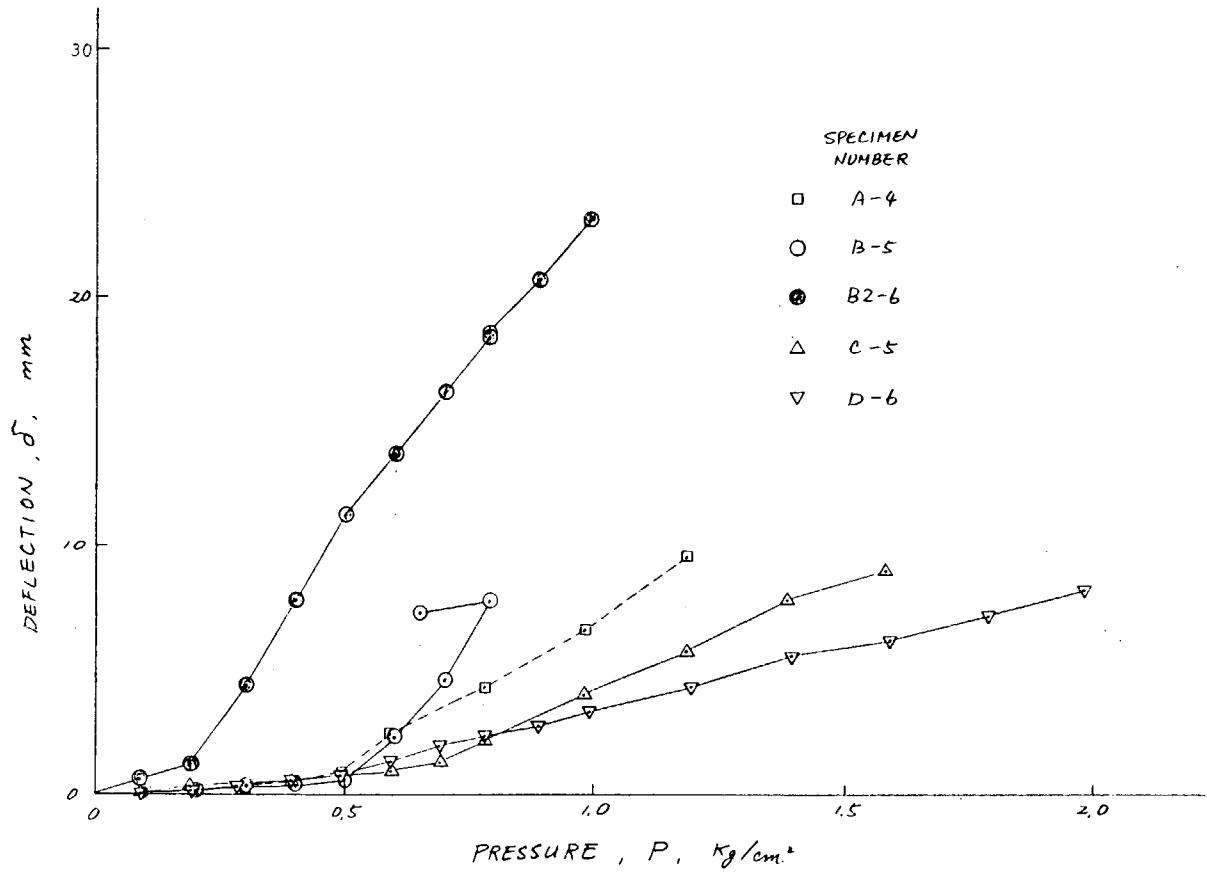


図 5.6 圧力と中央の変位の関係

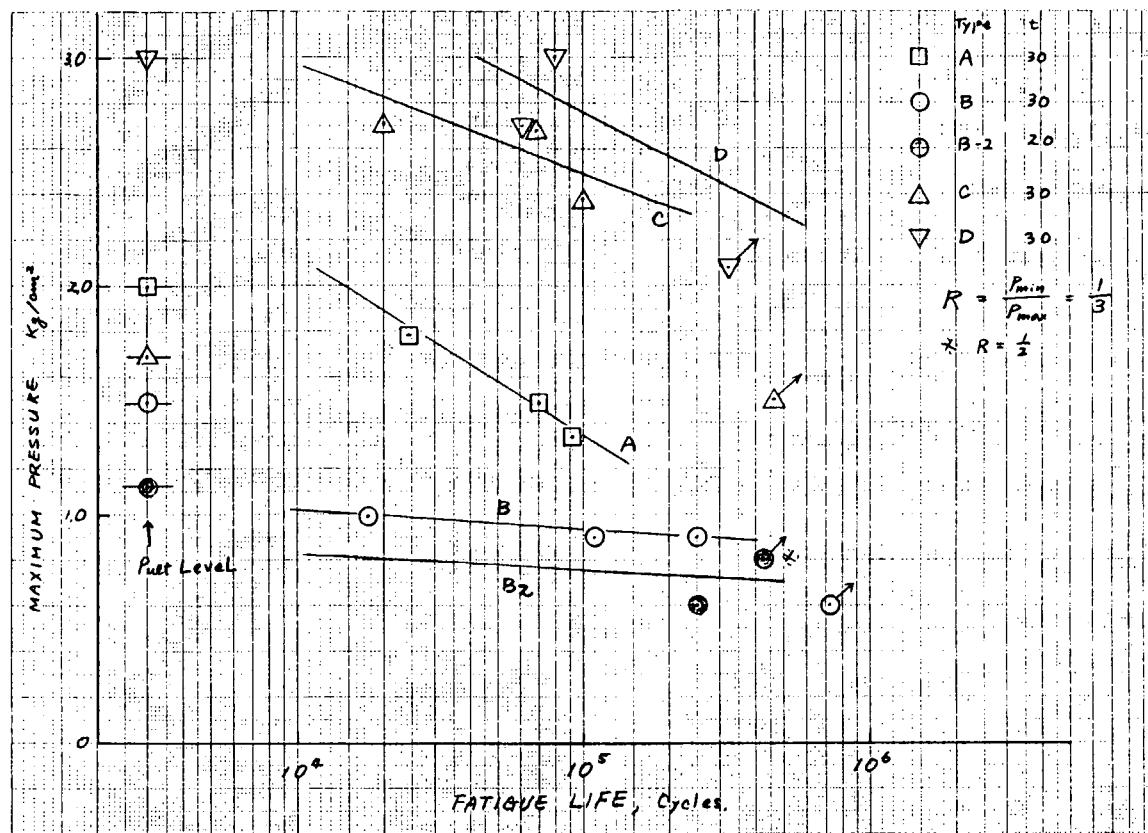


図 5.7 最大圧力  $P_{max}$  と疲労寿命の関係

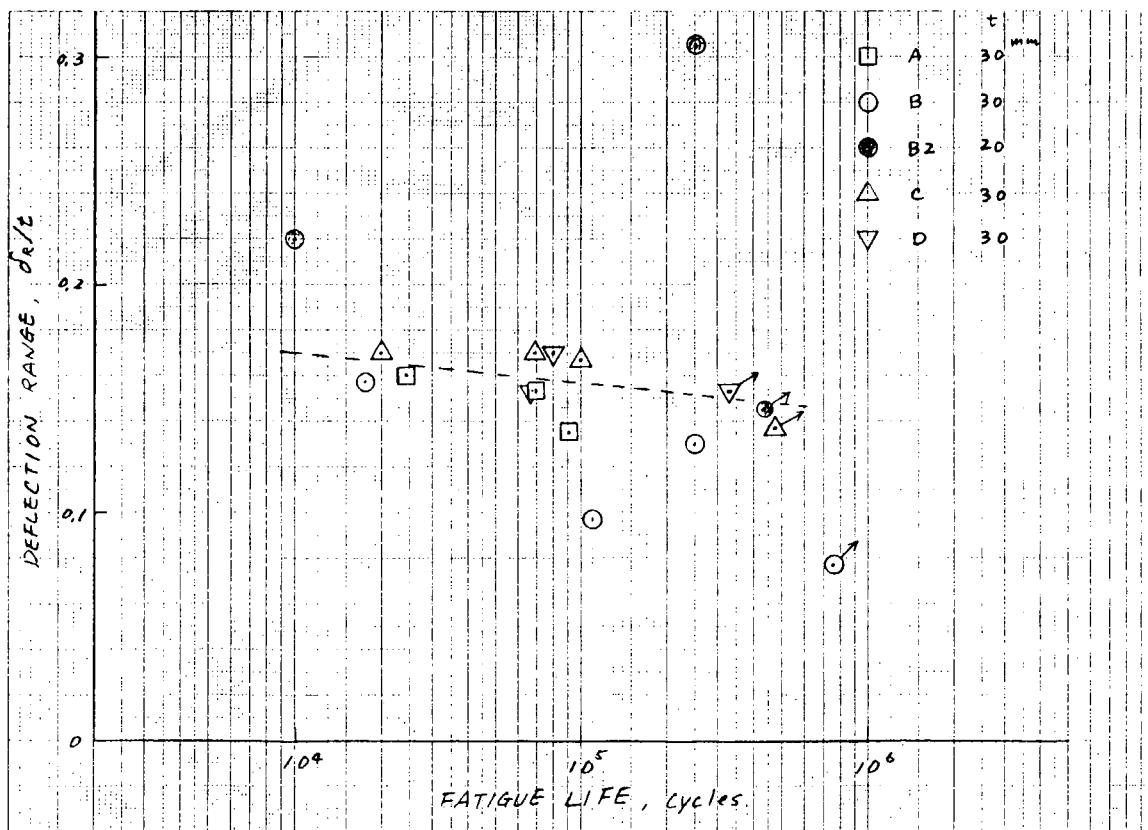


図 5.8 変位範囲と疲労寿命の関係

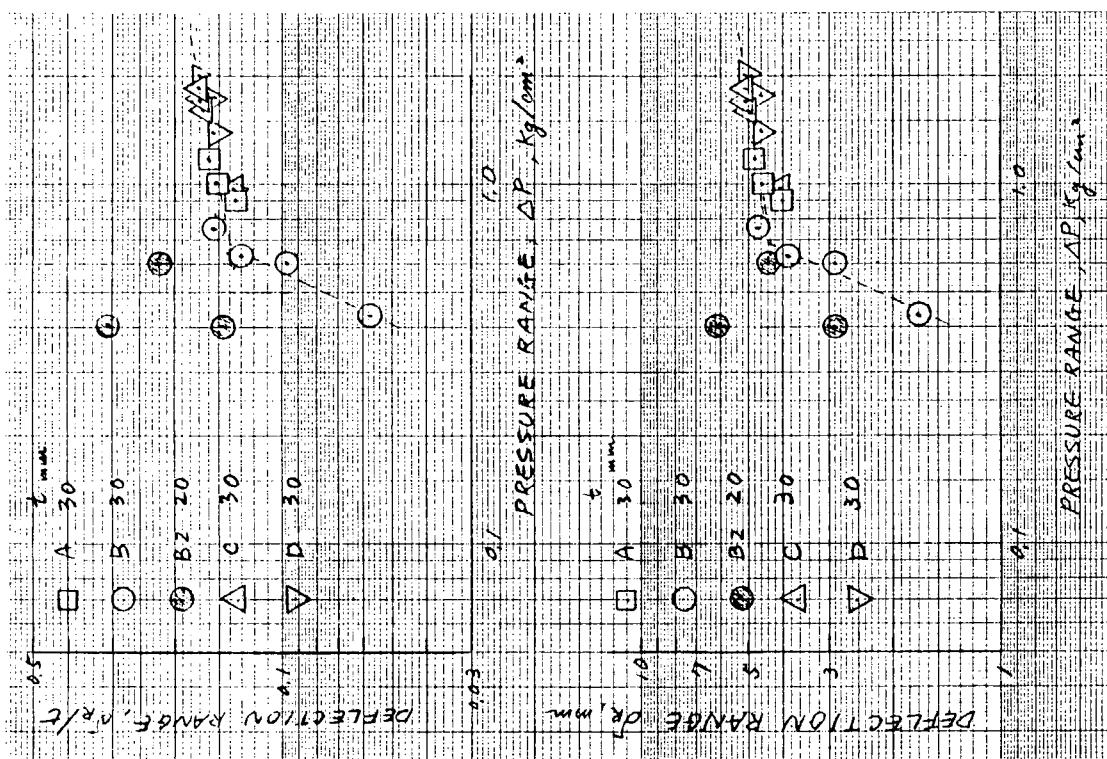


図 5.9 変位範囲と圧力範囲の関係

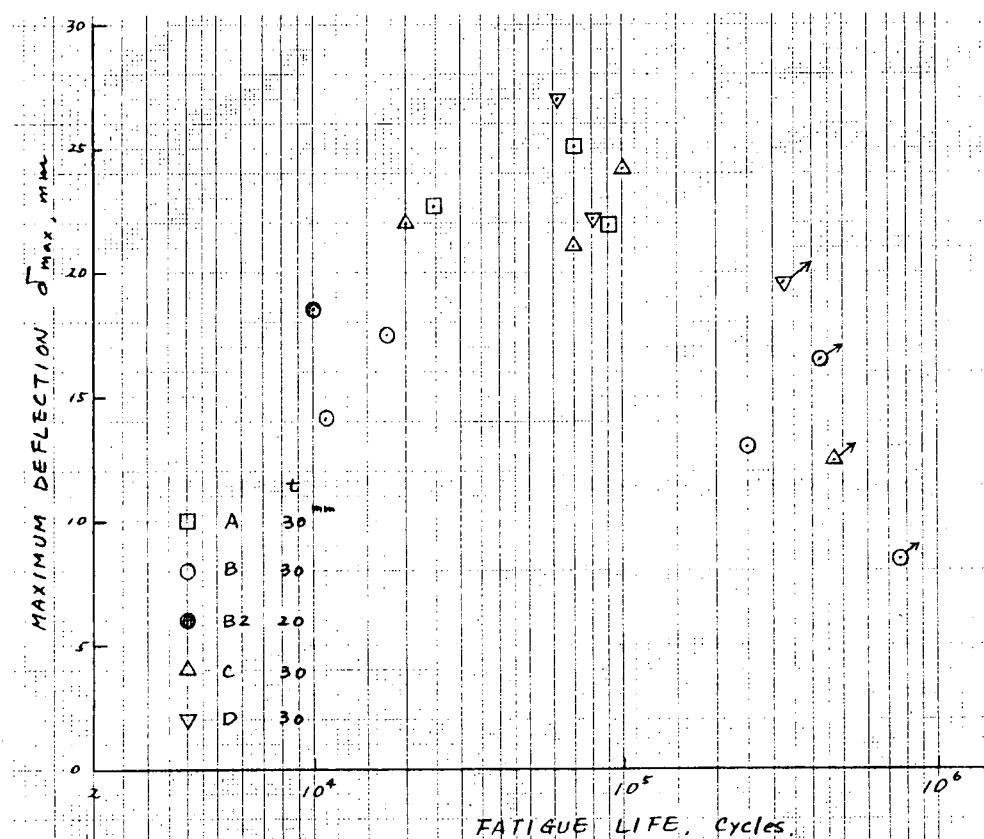


図 5.10 最大変位と疲労寿命の関係

## 6. 超音波による非破壊検査

### 6.1 目的

フェロセメント船はその形状と部材を同時に鋳込むように作るために完成した船体の信頼性を求める場合船体より部材を切出して、板厚測定や強度試験をしなければならないが、このような方法は船体に欠陥を作ることとなり、かえって強度を弱くさせることになりかねない。したがって、完成した船体の板厚、内部欠陥および鉄筋の配置等を破壊せずに検出する方法が必要である。超音波はこのような材料の非破壊検査方法として軽便で、かつ、安全性が高く最も適するものと考えられる。

本項は、フェロセメント材に対する超音波探傷の適用性を検討したものである。

### 6.2 超音波による探傷原理

探傷用の超音波周波数は一般に 100 KHz ~ 50 MHz ぐらいであり、金属および樹脂等異質物の少い材料では周波数の高い MHz が使用され、モルタルはセメントと砂が複合されたものであるため、材料内で音波が乱反射し減衰が大きく、このような場合には低周波数 ( KHz ) が適する。超音波が反射する欠陥の大きさはほぼ半波長以上といわれており、砂粒の 2 倍以上の波長の音波を用いれば音波の乱反射による減衰が少くなる。これらを考慮してフェロセメントに適する周波数は 500 KHz 以下であることが予測される。表 6.1 に各種材料の音速と使用周波数に対する波長を示す。

超音波は振動子を取付けた探触子で材料内に発信され受信されるが、その方法を大きくわけると一個の探触子で送受信を行う一探法と 2 個の探触子で送受信を行う二探法がある。フェロセメント材のように乱反射の多い材料では二探法が適している。図 6.1 および図 6.2 は本項で行った二探法の概要である。

#### (1) 超音波の速度と波形

固体中を伝播する音速は波動方程式より次式で表わされる。

$$\text{縦波速度 } C_D = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$\text{横波速度 } C_S = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\nu)}}$$

また、この 2 式より縦波と横波の関係は

$$\frac{C_D}{C_S} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}}$$

ただし、 $E$  = ヤング率、 $\rho$  = 密度、 $\nu$  = ポアソン比

上式よりモルタルおよび鋼材の音速を計算すると

$$\left. \begin{aligned} \text{モルタル} \quad E &= 2 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2 \\ \rho &= 2.14 \frac{\text{kg} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4} \\ \nu &= 0.2 \end{aligned} \right\} \text{とすると} \\ C_D = 3.23 \text{ km/sec}, \quad C_S = 1.97 \text{ km/sec}$$

$$\begin{aligned}
 \text{鋼} \quad E &= 2.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^4 \\
 \rho &= 0.786 \frac{\text{kg} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^4} \\
 \nu &= 0.3 \\
 C_D &= 6.00 \text{ km/sec}, \quad C_S = 3.21 \text{ km/sec}
 \end{aligned}
 \right. \text{ とすると}$$

## (2) 反射と屈折

超音波が異質な2つの固体を通過するとき一部はその境界面で反射される。その反射率Rは次式で表わされる。

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

ただし、 $Z_1 = \rho_1 C_1$ ， $Z_2 = \rho_2 C_2$ ， $\rho_1$ ， $\rho_2$  = 固体I，IIの密度， $C_1$ ， $C_2$  = 固体I，IIの音速

また、境界面に対し角度 $\theta_1$ （法線に対する角度）をもって通過する場合は境界面で屈折する。 $\theta_1$ と屈折角 $\theta_2$ は次式の関係がある。

$$C_1/C_2 = \sin \theta_1 / \sin \theta_2$$

これらの関係から各材質の反射率および屈折角を計算すると（表6.1の数値使用）

反射率 モルタル：鋼…………… 6.9%

アクリル：モルタル……… 4.4%  
(クサビ材)

屈折率 モルタル：鋼……………  $C_1/C_2 = 0.667$

アクリル：モルタル………  $C_1/C_2 = 0.680$

## 6.3 計測装置

計測装置の構成は超音波探傷器、波形記録器、探触子およびコイルボックスから成り、それぞれの主要性能は次のとおりである。

### (1) 超音波探傷器（試作品…神奈川電気製作）（図6.3参照）

- (a) 表示方式 … Aスコープ、DC表示
- (b) 測定範囲 … FULL SCALE 10~1000cm
- (c) 音速設定範囲 … 1.40~6.40 km/sec
- (d) 探傷周波数 … 0.05, 0.1~0.2, 0.4, 1, 2MHz
- (e) 利得調整範囲 … 総合70dB (0.5step×20+2step×20+20step×1)  
(ATT)
- (f) 遠距離分解能 … 2MHzでA級 (JIS-Z-2344)
- (g) 近 “ ” … 2MHzで14mm分離
- (h) 増幅直線性 … 60mm1級 (JIS-Z-2344) (Rej:off)
- (i) 時間軸の直線性 … 土1%以内
- (j) 探傷法 … 一探法および二探法
- (k) ゲート回路 … 2チャンネル
- (l) 電源 … AC 100V±10%，50/60Hz, 約80VA
- (m) 尺寸法 … 約225(幅)×320(高)×535(奥行)mm
- (n) 重量 … 18kg

### (2) 波形記録器

(a) ガルバノメーター

(1) 電流感度 …  $200 \text{ mA} / 20 \text{ mm}^{+5}_{-10} \%$  ( FULL SCALE )

(2) 内部抵抗 …  $32 \Omega \pm 10\%$

(3) ペン長さ …  $65 \text{ mm}$

(4) ペン抵抗 …  $25 \Omega \pm 15\%$

(5) 記録幅 …  $\pm 20 \text{ mm}$

(6) 記録方式 … 热ペン式

(b) 記録紙送り速度 …  $1, 2, 5, 10, 25, 50 \text{ mm/sec}$

(c) 入力抵抗 …  $0.02 \text{ V/cm}$  のレンジで  $100 \text{ K}\Omega$  最高  $10 \text{ M}\Omega$

(d) 最大感度 …  $0.02 \text{ V/cm}$

(e) 測定レンジ …  $0.02 \sim 20 \text{ V/cm}$  まで 10 段切換

(f) 利得調節 … 上記レンジ間で連続可変

(g) 直線性 …  $2\% \text{ 以下}$

(h) 電源 … AC :  $100, 115, 200, 220$  または  $240 \text{ V}, 50/60 \text{ Hz}$ , DC :  $2.5 \text{ V}$  内蔵電池

(i) 重量 …  $9 \text{ kg}$  (電池含む)

(3) 探触子 I (試作品…神奈川電気製作)

(a) 垂直探触子 : 数量 = 2 個 (二探で使用)

: 振動子 :  $\phi 20 \text{ mm}, 2 \text{ MHz}$  用

(b) " : 数量 = 2 個 (二探で使用)

: 振動子 :  $\phi 30 \text{ mm}, 2 \text{ MHz}$  用

(c) 斜角型探触子 : 数量 = 2 個 (二探で使用)

: 入射角 =  $5.8^\circ$

: 振動子 :  $20 \times 20, 2 \text{ MHz}$  用

(d) " : 数量 = 2 個 (二探で使用) ガイド付

: 入射角 =  $5.8^\circ$

: 振動子 :  $20 \times 20, 2 \text{ MHz}$  用

(e) 振動子 : ジルコン・チタン酸鉛系磁器

(4) 探触子 II (市販品)

(a) 分割型探触子 : 数量 = 1 個 ( $\phi 25 \text{ mm}$  の振動子を 2 分割し、それぞれで送受信を行う)

: 振動子 :  $\phi 25 \text{ mm}$  2 分割,  $0.4 \text{ MHz}$  用

(b) 振動子 : ジルコン・チタン酸鉛系磁器

(5) コイルボックス (試作品…神奈川電気製作)

内部に各周波数に同調するコイルを組込み、探触子の発信周波数を変換できるようにしたもの … 探触子 I 用

発信周波数 :  $0.2, 0.5, 1, 2, 5 \text{ MHz}$  の 5 段階

(6) 接触媒体

C M C (市販品), ソニコート (日合アセチレン), 水道水

## 6.4 試験方法

### (1) 垂直探傷 (図 6.1 (a)(b))

透過法は材料の音波伝播速度の計測に用い、反射法は材料の板厚、金網および鉄筋の探傷に用いた。また、実船の

探傷は 0.4 MHz ( 探触子 II ) とこれで不能な部分は 0.2 MHz ( 探触子 I ) を用いた。

## (2) 斜角探傷

平面方向の伝播距離および伝播経路を求めるため、伝播距離を長くすることができる透過法を用いた。また、材料内へ音波を入射する場合内部の鉄筋上に入射する場合と鉄筋を外した鉄筋間に入射した場合の伝播状態を求めた。

## 6.5 試験片

試験に用いたモルタルの成分等製作条件は次の通りである。

セメント : 大阪普通ポルトランドセメント、比重 = 3.16

細骨材 : 滋賀県愛知川産川砂、比重 = 2.6

粒度 … 2.5 mm 以下 = 99%

1.2 mm 以下 = 70%

配合 : 水 … 243 kg/m<sup>3</sup>

セメント … 692 "

細骨材 … 1388 "

混和剤 … 6.92 "

養生 : 打設後 1 週間 20 °C の水中で養生する。

試験片の金網、鉄筋および形状寸法は表 6.2 および図 6.4 の通りである。

## 6.6 試験結果

### (1) 打設後の養生と音速

打設後水中養生しながら試験片の音速を求めたのが図 6.5 である。測定は型枠を外してから行うため、打設後 24 時間経過してから開始した。探触子は 200 kHz 垂直探触子 I を用い、透過法で測定した。

### (2) 垂直探傷による鉄筋および欠陥検出

音波の乱反射が大きく減衰されやすいため、セメント材では金網、細い鉄筋および小さい欠陥から直接反射していく音波を検出することは困難である。しかし、板厚が薄く底面エコーが充分検出できる場合は、この底面エコーの減衰率より求めするのが有効である。図 6.6、図 6.7 は 200 kHz 垂直探触子 I を用い反射法(図 6.1(a)参照)によって底面エコーの減衰率を求めたものである。

C 型試験片は金網および鉄筋が入らない部分があるため、その位置での底面エコーを 100% として各部の値を求めた。また、D 型試験片ではモルタルのみの部分がないため最大反射量を 100% として各部の値を求めた。C 型試験片では φ 1 mm の鉄筋は充分検出できる。φ 5 mm は周囲のモルタルの状態が良く、音波の減衰が少ないので検出可能である。

### (3) 斜角探傷による平面方向の欠陥検出

垂直探傷は板を点で探傷するのに対し、斜角探傷は板の平面方向を線で探傷する。したがって、音波はできるだけ遠くまで伝播させるのが望ましい。試験に用いた D 型試験片は 200 kHz で 1 m まで伝播することが可能であった。そのときの音波の減衰率および伝播速度を図 6.8 ~ 図 6.11 に示す。音速 C ≈ 2.1 km/sec はモルタルの横波速度に近い値であり、C ≈ 2.5 km/sec は鋼の横波速度に近い値である。このことと受信波形の大きさからみて音波の多くはモルタル部を伝播してくるが、一部は鉄筋および金網を伝播してくることがわかる。

### (4) 実船の探傷例 I ( 図 6.12, 図 6.13 )

探傷したフェロセメント船は内田造船株式会社(社長: 内田文彦、本社: 三重県伊勢市)で作られた長さ 12 m の 5 ton 型漁船である。0.4 MHz の分割型探触子を用い中央横載面の板厚を計測した結果を図 6.12、図 6.13 に示す。

す。測定点の中には B エコーより F エコーの高いもの (No.⑦) もあったが概して音波の減衰が少く B エコーをよく検出できた。

#### (5) 実船の探傷例Ⅱ (図 6.1.4, 図 6.1.5, 表 6.3)

探傷したフエロセメント船は中国製の 3 ton 型農業作業船 (長さ 8 m) である。(4)項の実船 I に比べ音波の減衰がやや大きく、0.4 MHz と 0.2 MHz を併用して行った。

### 6.7 考 察

垂直探傷によって細い鉄筋および金網から直接反射するエコーの受信は困難であるが、底面エコーの減衰率から鉄筋や金網を探傷すると容易に検出することができる。C型試験片 (厚さ 50 mm) で周囲のモルタルの状態がよく音波の減衰が少い部分では  $\phi 5 \text{ mm}$  の検出ができた。板厚が薄くなれば更によく検出できるようになるが、逆に金網の層数が多くなると底面エコーの減衰が大きくなるため、探傷がやや困難となる。

斜角探傷では 200 KHz の音波で 1 m 伝播させることができた。また、その伝播状態からモルタル部を伝播する量が多いためモルタル部に亀裂が入った場合その検出が容易であることが推測できる。

実船の探傷例 I, II を比較すると II の方がやや探傷が困難であったが、200 KHz を用いればこの程度の厚さは容易に計測することが出来る。

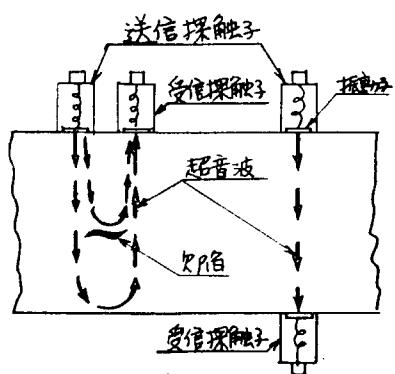
### 6.8 ま と め

船体のような広範囲を探傷するには垂直探傷のような点で探傷すると膨大な時間と労力を要するので斜角探傷によって、まず、線で探傷し、異状が検出されたとき垂直探傷で再検査するのが望ましいが、今回の試験でこのような探傷方法が充分可能であることが確認できた。次年度では斜角探傷の周波数を更に低くしてもっと長い距離を探傷出来るようにする予定である。

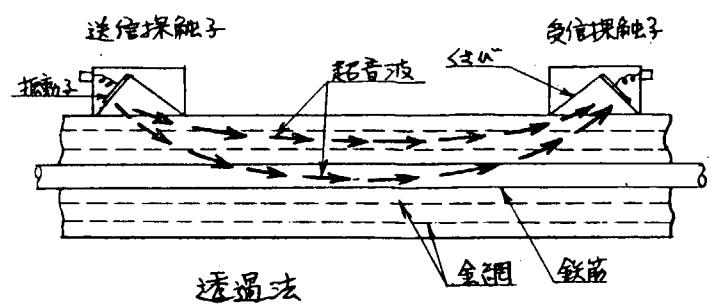
表 6.1 各種材料の音速および綫波長等

物 質	波 速 (M/CS)	横波速度 (M/S)	密 度 (G/CM <sup>3</sup> )	音響インピ ーダンス (G/GMS×10 <sup>5</sup> )	波 長 (mm)				
					P 波 度	音 度	音 度	音 度	音 度
アルミニウム	6,260	3,080	2.7	1.69	62.60	31.30	15.65	6.26	3.13
	5,900	3,230	7.7	4.50	59.00	29.50	14.75	5.90	2.95
鉄 錆	3,500		7.2	2.50	35.00	17.50	8.75	3.50	1.75
	~5,600		4.00	~56.00	~28.00	~14.00	~5.60	~2.80	~1.12
鋼 銅	5,850		7.7	4.53	58.50	29.25	14.63	5.85	2.93
	5,950	2,260	8.9	4.18	59.50	29.75	14.88	5.95	2.98
銅 鉛	4,700		700	11.4	47.00	23.50	11.75	4.70	2.35
	2,170			2.45	21.70	10.85	5.43	2.17	1.09
水 ガ	5,750		2.7	1.52	57.50	28.75	14.38	5.75	2.88
	5,570	3,515	2.7	1.45	55.70	27.85	13.93	5.57	2.79
コンクリート	3,900		2.0		39.00	19.50	9.75	3.90	1.95
	~4,100		~2.5		~41.00	~20.50	~10.25	~4.10	~2.05
G R C	3,400		1.8		38.00	19.00	9.50	3.80	1.90
	FRP (30~45%)	~2,400	1.4	0.39	24.00	12.00	6.00	2.40	1.20
ボリエステル		~2,600	~1.6	0.45	~26.00	~13.00	~6.50	~2.60	~1.30
	2,610		1.2	0.31	26.10	13.05	6.53	2.61	1.31
アクリル アクリート	2,720	1,460	1.2	0.32	27.20	13.60	6.80	2.72	1.36
	2,590		1.4	0.36	25.90	12.95	6.48	2.59	1.30
硬質ゴム	2,300		1.2	0.28	23.00	11.50	5.75	2.30	1.15
	1,430		1.0	0.14	14.30	7.15	3.58	1.43	0.72
硅 油	5,500	2,900	5.6	3.06	55.00	27.50	13.75	5.50	2.75

※印以外は非破壊検査便覧（日本非破壊検査協会編）より引用



(b) 反射法



(b) 透 過 法

図 6.1 垂直探傷

図 6.2 斜角探傷

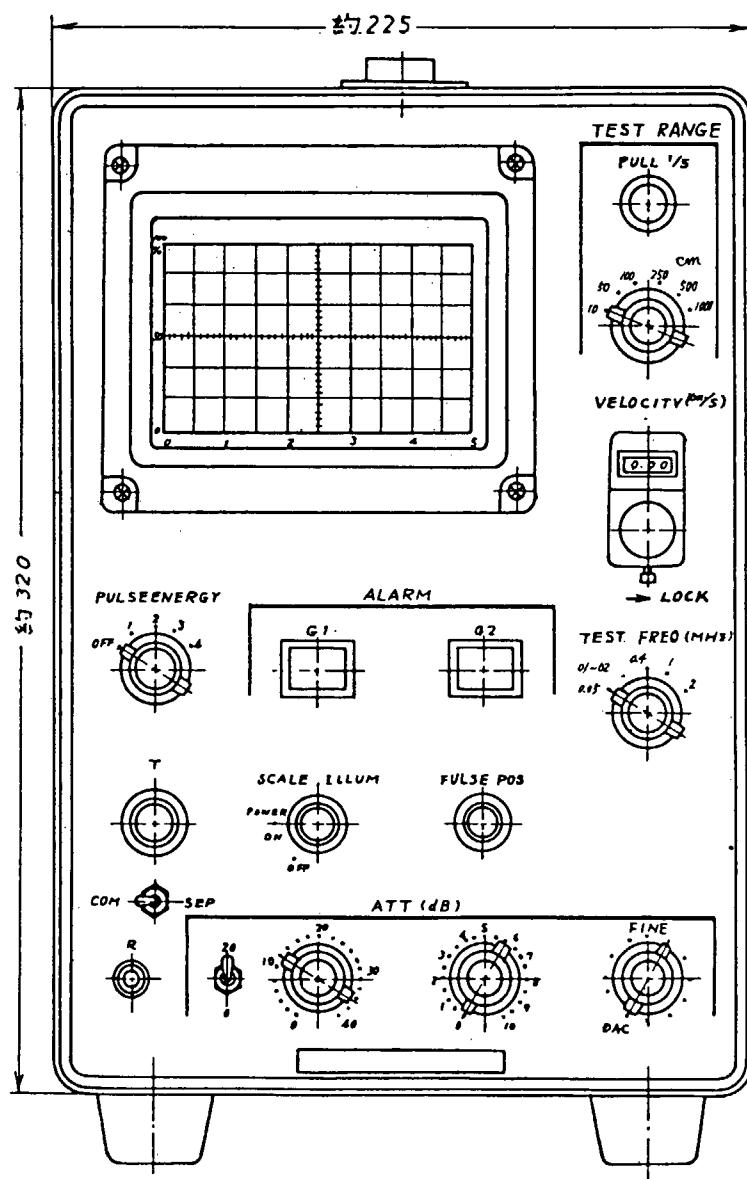


図 6.3 超音波探傷器

表 6.2 試験片一覧表

試験片番号	数量	種類	金網	鉄筋	備考
A ( $t=50$ ) 型					
A	1	なしおり	メッシュ枚数	0	0
A'	1	"	"	"	打設後 24 時間より音速計測
B	1	"	"	"	
B'	1	"	"	"	
C	1	きつ甲	5 mm	2	
C 1 1	1	"	"	"	
C 1 2	1	"	1 0	2	
C 2 1	1	"	5	4	$\varnothing 2.0$
C 2 2	1	"	1 0	4	$\varnothing 1.6$
C 3 1	1	平織	2.5	2	各 $\varnothing 1.6$
C 3 2	1	クリンブ	5	2	$\varnothing 1.0$
C 3 3	1	"	1 0	2	$\varnothing 0.5$
C 4 1	1	なしおり	"	"	
D	1	きつ甲	1 0	4	金網 4 層…… $t = 30$
D 1	2	"	"	"	
D 2	2	"	8	"	" 8 層…… $t = 44$
D 3	2	クリンブ	"	4	"
D 4	2	"	"	8	"

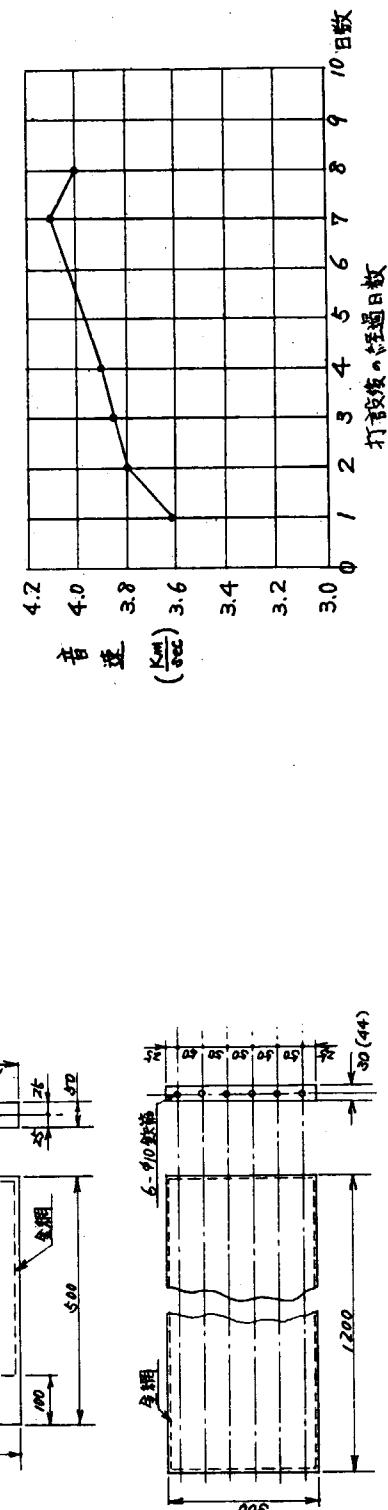
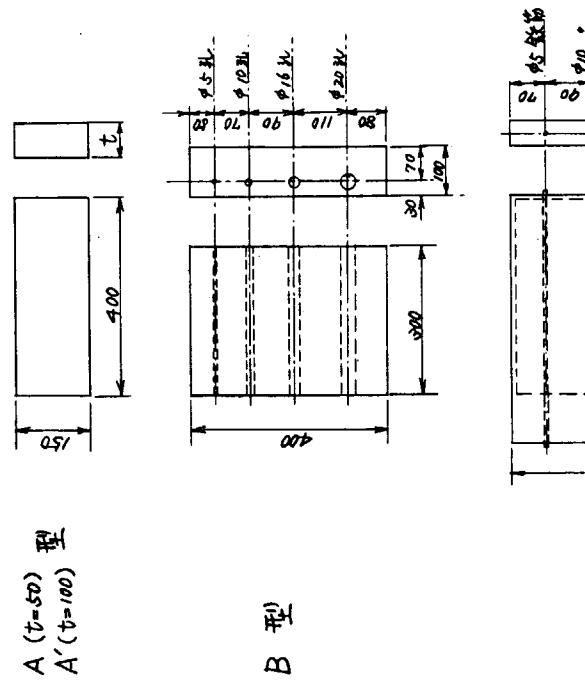


図 6.4 試験片の形状寸法

図 6.5 打設後の養生期間と音速の関係

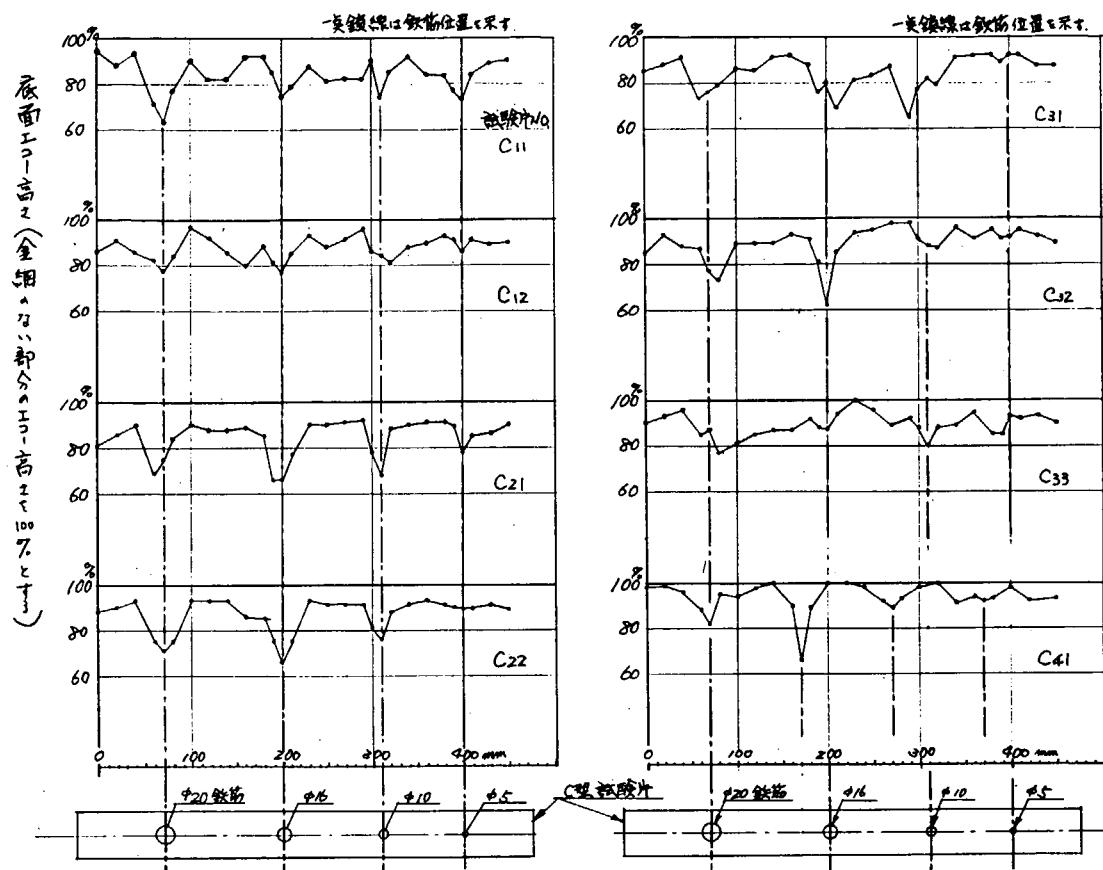


図 6.6 垂直探傷による底面エコーの減衰率 (C型試験片)

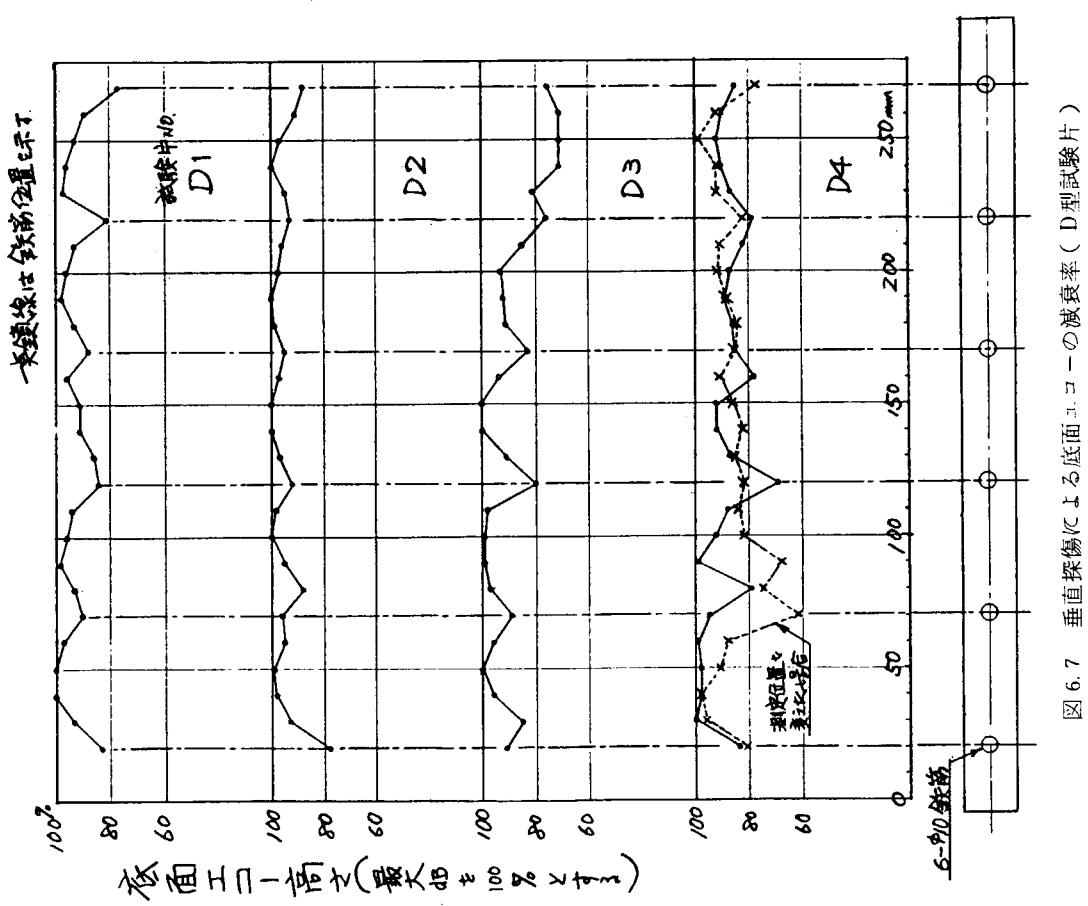


図 6.7 垂直探傷による底面エコーの減衰率 (D型試験片)

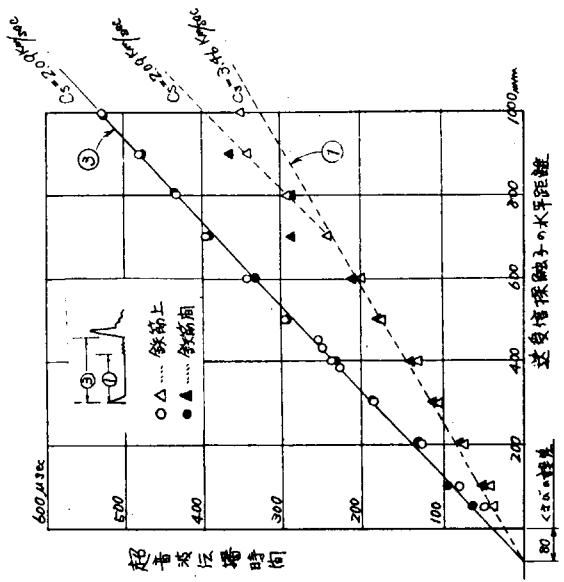
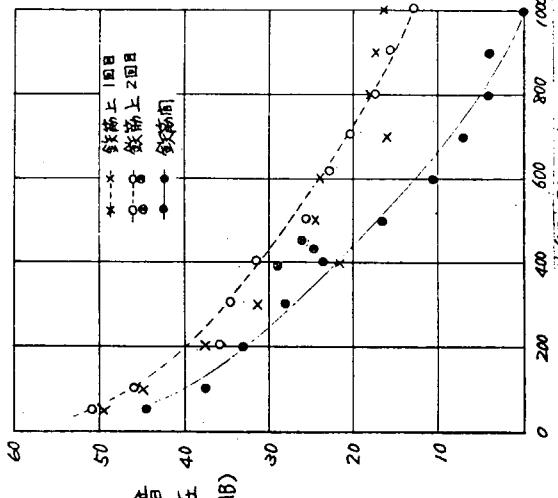


図 6.9 斜角探傷による音波の伝播と減衰(D.2)

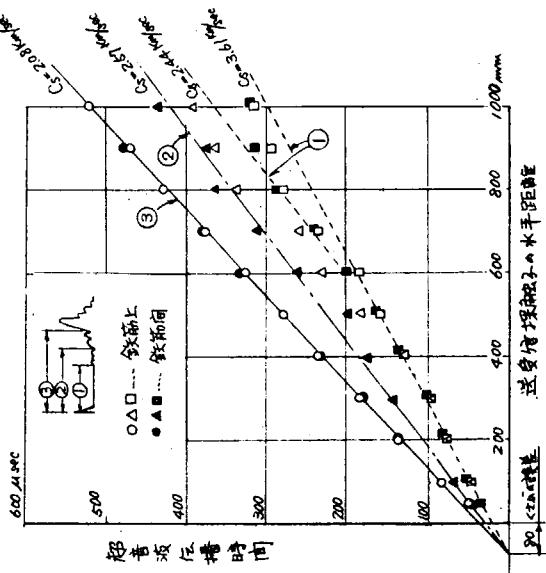
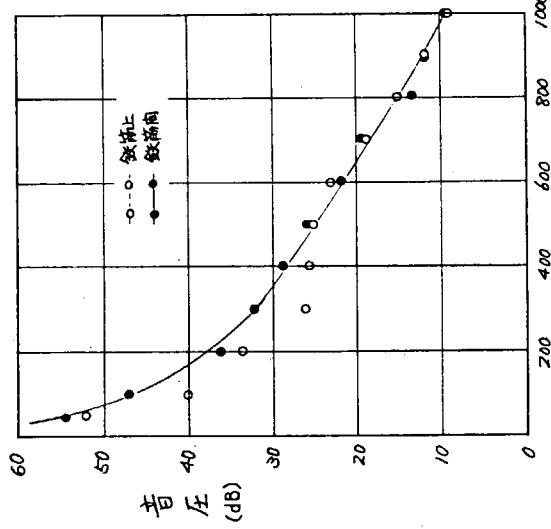


図 6.8 斜角探傷による音波の伝播と減衰(D.1)

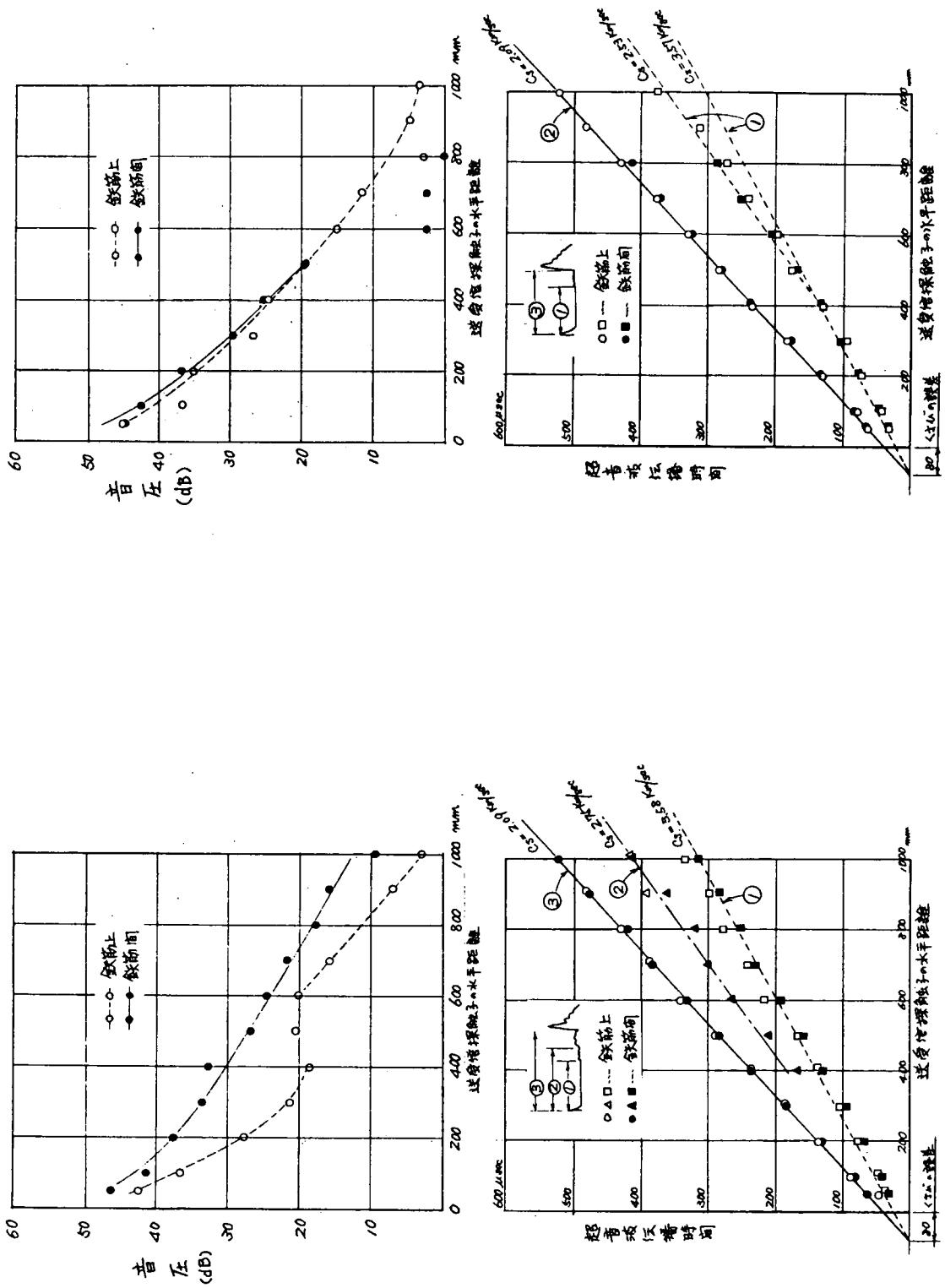


図 6.10 斜角探傷による音波の伝播と減衰 (D.3)

図 6.11 斜角探傷による音波の伝播と減衰 (D.4)

[使用周波数 400 KHz, 単位 mm.]

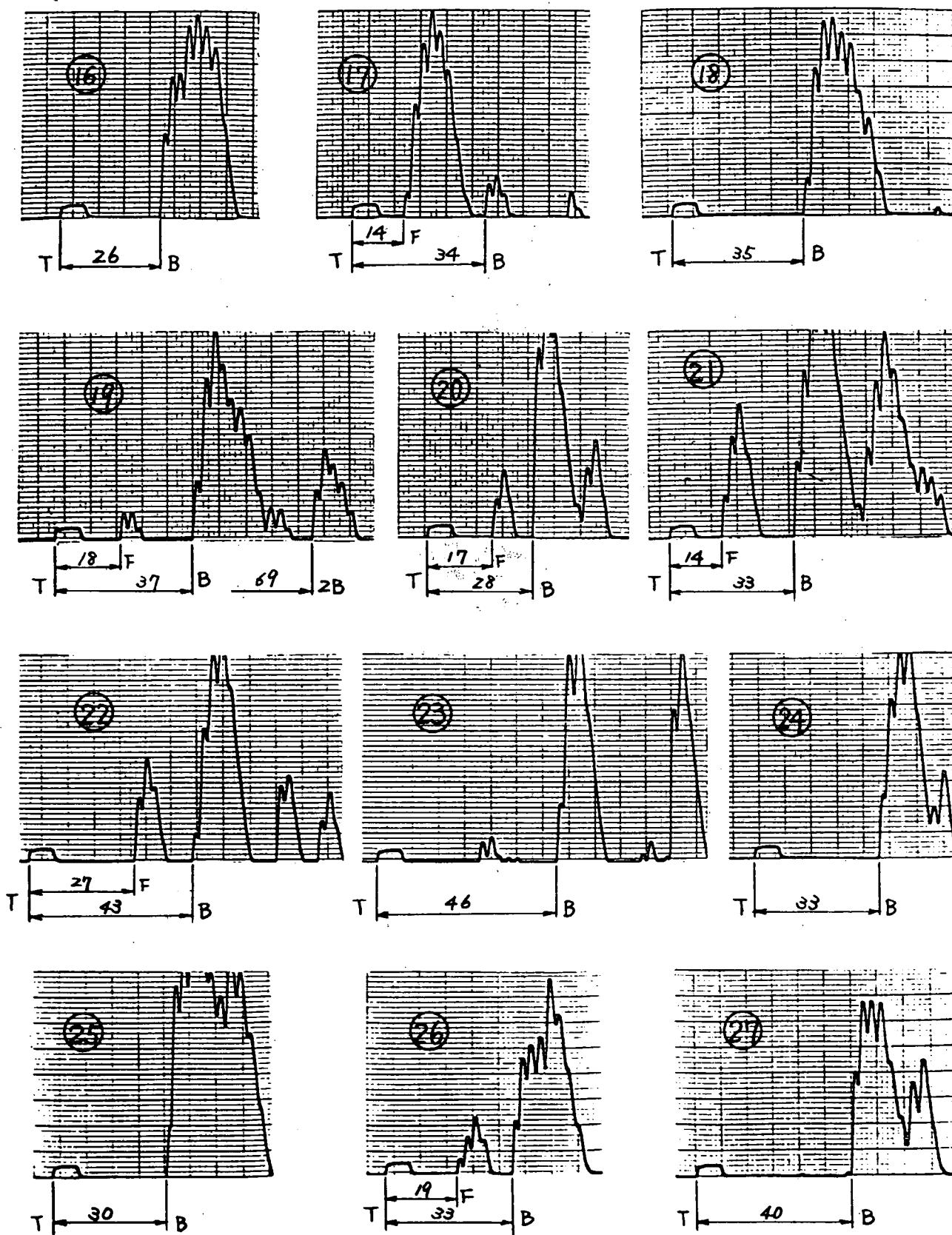


図 6.1.2 実船の板厚測定

(注) T : 入射点

B : 底面エコー

2 B : 底面 2 回エコー

F : 内部欠陥等エコー

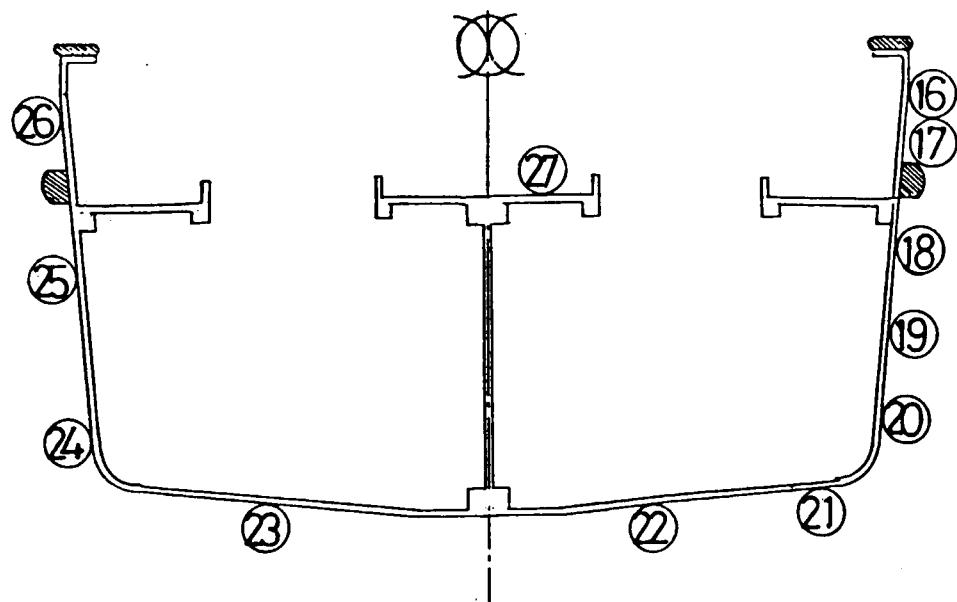


図 6.1.3 板厚計測位置  
(中央横断面)

表 6.3 使用周波数等一覧表

No	周 波 数	備 考	No	周 波 数	備 考
①	0.4 M Hz		⑫	0.4 M Hz	
①'	"	10φ程度の鉄筋ト推定	⑬	"	鉄筋上
①''	"	深さ 13.5 = F エコー	⑯	0.2 M	⑫ト同位置
②	"	F エコー大	⑭	0.4 M	
③	"	"	⑮	"	
④	"	"	⑯	0.2 M	隅肉寸法ノ可能性有
⑩	0.2 M		⑯	"	B エコー小
㉖	"		㉙	"	⑯ノ再計測
㉗	"		㉚	"	
㉘	"	①''ト同位置	㉛	"	
㉙	"	B エコー小	㉜	"	
㉚'''	0.4 M		㉝	"	
㉚'	0.2 M		㉞	"	
㉚''	0.4 M	B エコーガ不詳	㉟	0.4 M	
㉚'''	"	㉚''ト同位置	㉟	"	
㉛	0.2 M		㉙	"	
㉜	"	㉚ト同位置			
㉜'	"	㉚'ト" 50 後へ			
㉙	0.4 M				
㉙'	"				

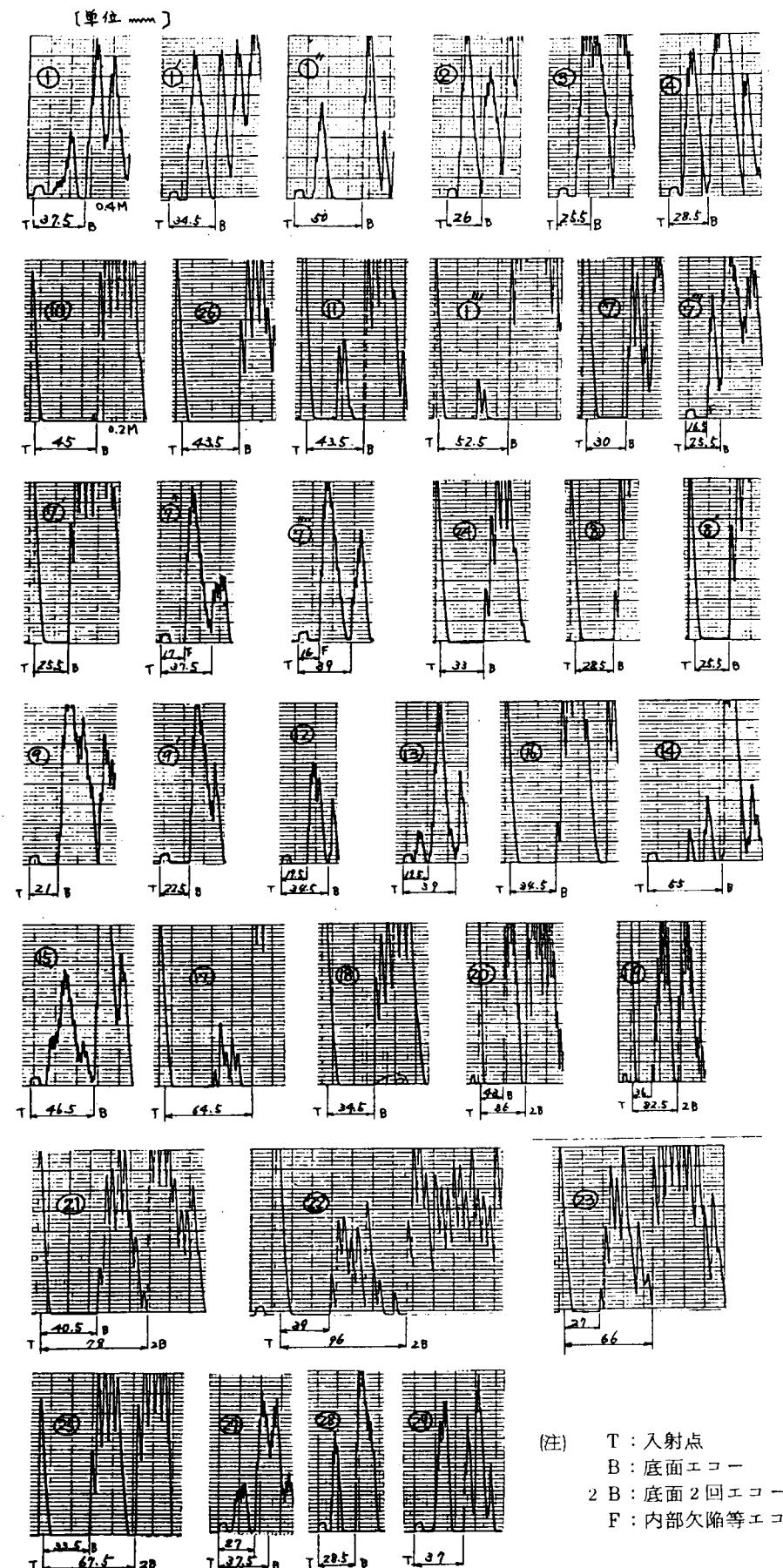


図 6.1.4 実船の板厚測定

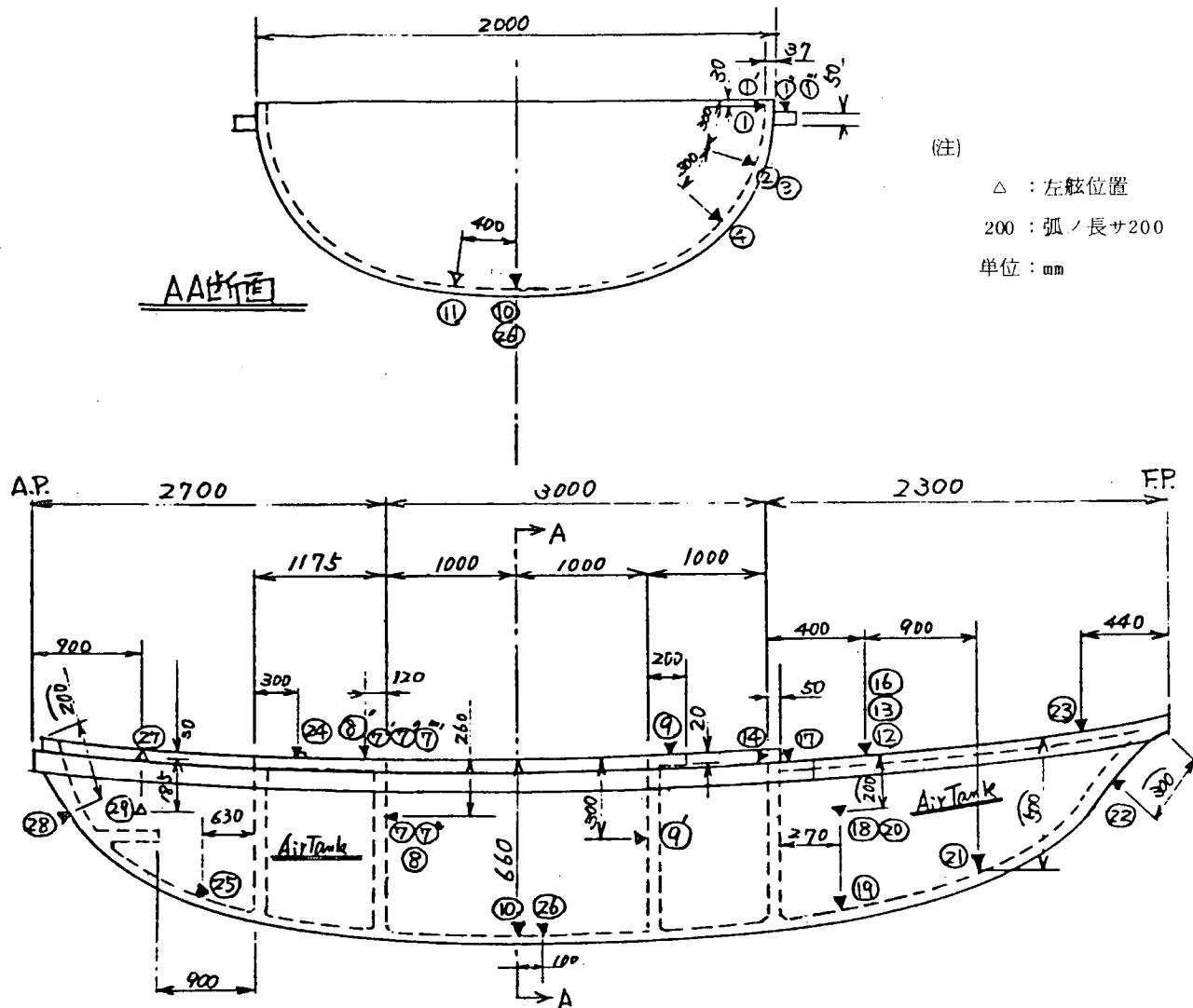


図 6.1.5 板厚計測位置

## 7. 強度試験法の確立

### 7.1 フエロセメントのモルタル試験方法について

#### 7.1.1 材料試験

モルタルに使用する材料としては、セメント、細骨材、水、表面活性剤などであるが、それらに関する試験方法をあげると以下のようになる。

##### (1) セメント

J I S R 5201 : セメントの物理試験方法

##### (2) 細骨材

J I S A 1102 骨材のふるい分け試験方法

J I S A 1109 細骨材の比重および吸水率試験方法

J I S A 1104 骨材の単位容積重量試験方法

J I S A 1105 細骨材の有機不純物試験方法

J I S A 1137 骨材中の粘土塊量試験方法

J I S A 1111 細骨材の表面水率試験方法

J A S S 5T 202 細骨材中の塩分含有量試験方法

J I S A 1122 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法

J I S A 1103 骨材の洗い試験方法

土木学会 骨材中の比重 1.95 の液体に浮く粒子の試験方法

##### (3) 水

土木学会 : モルタルの圧縮強度によるコンクリート用練り混ぜ水の試験方法

##### (4) 表面活性剤

J A S S 5T-401 コンクリート用表面活性剤の品質規準

フエロセメント用モルタルに使用する材料試験方法は、上記のものを採用してもさしつかえないと思われる。これ以外に若干検討を要すると思われるものに、<sup>\*</sup>細骨材の最大寸法があげられる。

#### 7.1.2 モルタル試験

モルタル試験については、J I S R 5201に準じてよいと思われるが、ここでは、J I S R 5201の内容と異なると思われる点について述べる。

##### (1) 試験器具

① 練り混ぜ機 : 現場で使用するミキサー

② 型枠および突き棒 : J I S R 5201のものを使用

③ 強さ試験機 : J I S R 5201のものを使用

④ モルタル軟度測定器 : J I S A 1101 "コンクリートのスランプ試験方法"に準じて、スランプコーン(大型または<sup>\*</sup>小型)を使用してさしつかえないと思われる。(添付資料)

##### (2) 温度と湿度

\*温度は10°C以上、湿度は50%以上に保持されるようにすべきである。(図7.1.1)

##### (3) 供試体の大きさ

① 供試体の大きさについては、J I S - R 5201に準じ4×4×16cmでよいと思われる。

(2) \*モルタルの配合

モルタル配合におけるW/C, S/Cは目的の構造物により選択されるべきであるが、強度や耐久性に及ぼす影響が大きいので、その性状について十分把握しておく必要がある。参考として従来の結果を図7.1.1～図7.1.11に示した。図においては、W/C, S/Cの因子の他に細骨材の形状、種類をも考慮されている。

(3) \*練り混ぜ方法

練り混ぜ方法については、JIS A 1138 “試験室におけるコンクリートの作り方”，フェロセメント船暫定基準案等を参考にし、ミキサーの容量形式を決定し、さらに試験練り結果などを参考にしながら、練り混ぜ時間を決定すべきである。

(4) 成形

成形方法はJIS R 5201に準じて行ってよいと思われる。フェロセメントの場合、W/C, S/CがかなりJISモルタルの場合と異なるので、\*キャッピングの時期はモルタルの硬化をみながら判断すべきである。

(5) \*養生

養生は、対象とする構造物と同一の養生をすべきである。特に蒸気養生の場合、条件により強度発現が異なるので注意を要する。（図7.1.8および図7.1.9）

(6) 強度試験

材令は原則として28日の強度を採用してよいと思われる。圧縮強度と曲げ強度との関係は、図7.1.10および7.1.11にみられるように、ある一定の関係をもつと思われる。

(7) その他

モルタル強度はフェロセメント板の強度に大きな影響を及ぼすので、この点注意すべきである。（図7.1.12）

### 7.1.3 フェロセメントのモルタルに関する規則について

フェロセメントのモルタルに関する規則のうち、DnV, A B, 暫定基準（案）についてその内容を概略表7.1.1に示した。

表7.1.1 フェロセメントのモルタルに関する規則

項目	規則	暫定基準（案）	DnV 規則	A B 規則
1. 材料				
セメント	JIS-R 5210	耐硫酸塩、普通、早強の各ポルトランドセメント	ASTM C 535-67 T 新鮮品を使用	
細骨材	有害な成分を含まないこと。 塩分：0.02%以下 安定性：1.2%以下 粘土塊：1.0%以下 有機不純物：合格 粒度分布：JIS-A 1102	塩分、粘土分、化学的に活性な物質を含まない。 最大寸法2.0m/mで5%以上の0.15m/mアンダーを含むこと。 所定の粒度曲線	適度な強度と耐久性を有すること。 化学的な有害成分を含まない。	
水	飲用水相当品	飲用水相当品	有害な物質を含まないこと。	
混和剤	性能基準を満足すること。	協会の承認を得ること。 電食防止の物質添加の規定	不明	
2. 配合				
W/C	3.0～5.0%	4.0%以下	可能なかぎり低くする。	
S/C	指定せず	1.67 < S/C < 2.5	不明	
3. 品質管理	強度、スランプ、空気量	強度（圧縮：350kg/cm <sup>2</sup> 以上）	強度（圧縮、引張）スランプ	
4. 養生	打ち込み温度（10℃以上）	養生水温度（10℃以上） 蒸気養生条件 打ち込み温度（10℃～30℃）	不明	
5. 表面処理	—	時期の規定	不明	

注）\*印 JISによる試験方法と相違する点

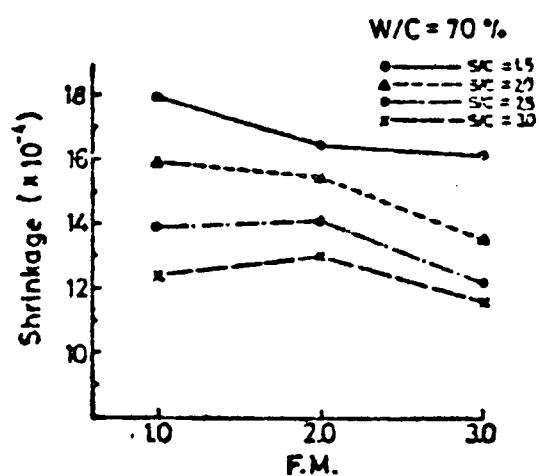


図 7.1.4 F. M. と乾燥収縮との関係

セメント技術年報 (S. 46. P105)

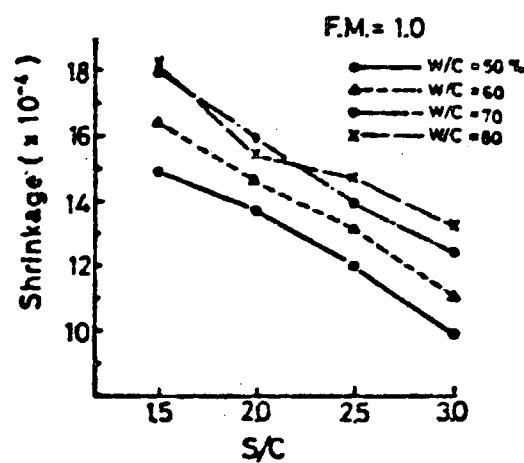


図 7.1.5 s/c と乾燥収縮との関係

セメント技術年報 (S. 46. P105)

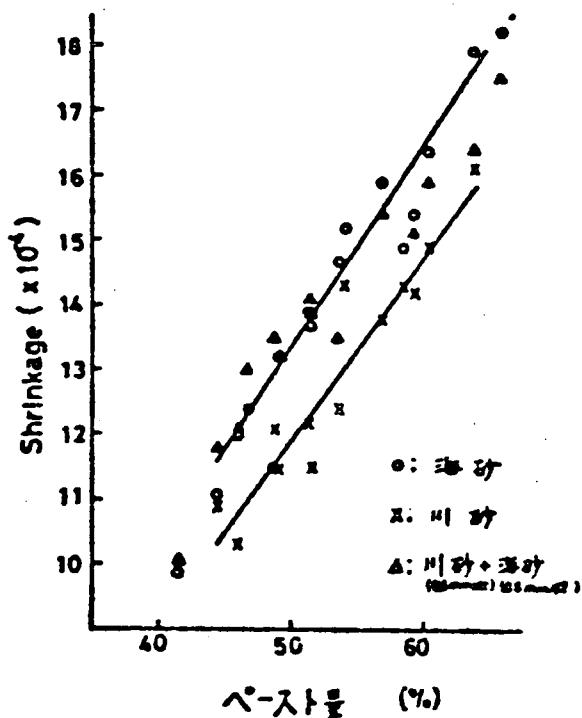


図 7.1.6 ベースト量と乾燥収縮との関係

セメント技術年報 (S. 46. P105)

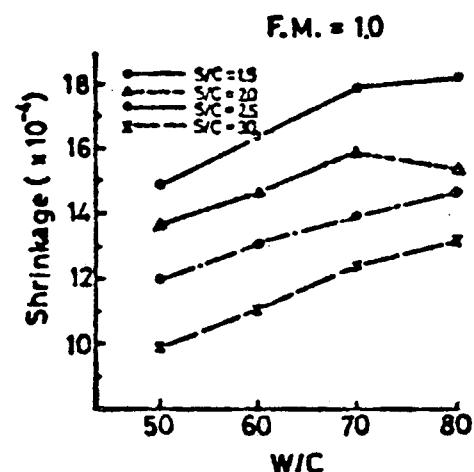


図 7.1.7 W/C と乾燥収縮との関係

セメント技術年報 (S. 46. P105)

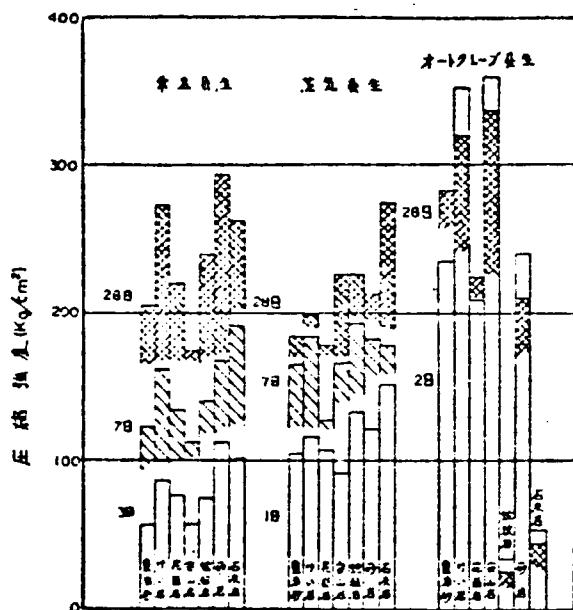


図 7.1.8 種々の養生条件における細骨材の種類とモルタル圧縮強度との関係

セメント技術年報 (S. 46. P111)

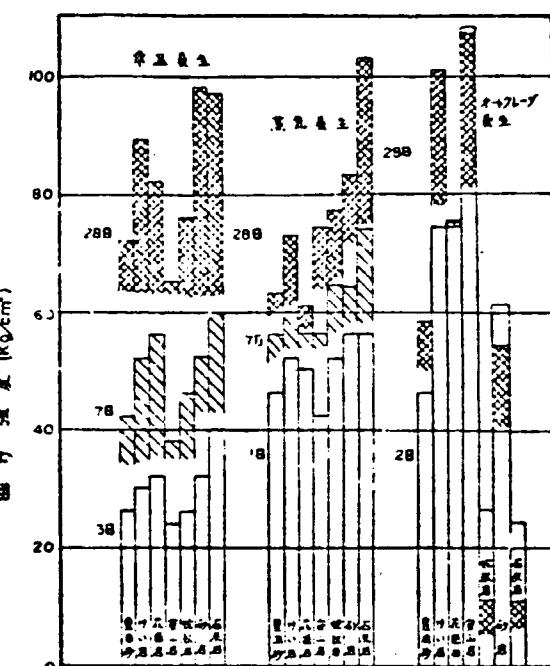


図 7.1.9 種々の養生条件における細骨材の種類とモルタル曲げ強度との関係

セメント技術年報 (S. 46. P111)

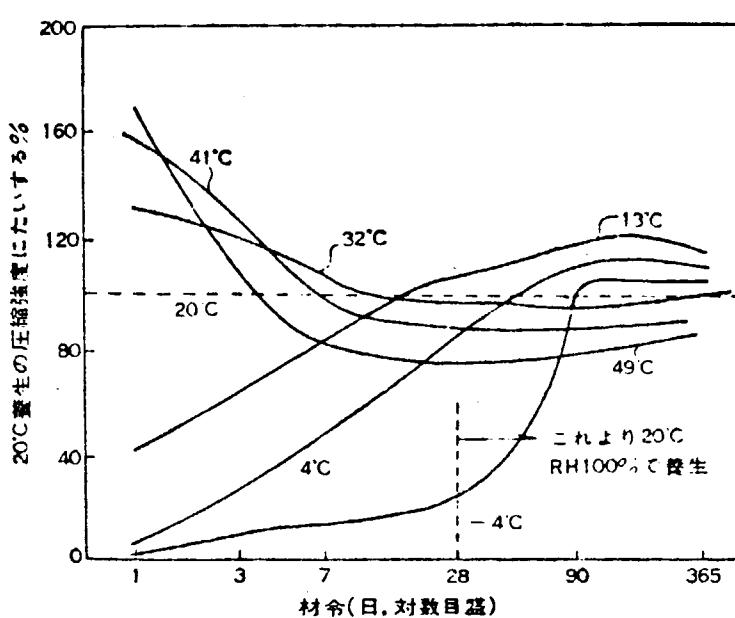


図 7.1.1 コンクリートの養生温度と圧縮強度(普通ポルトランドセメント (P. Klieger))

森 茂二郎 実用コンクリート技術(下)  
P249

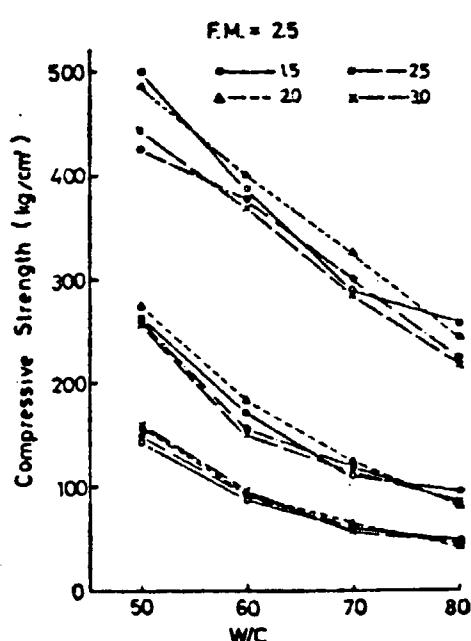


図 7.1.2 W/C と圧縮強度との関係  
セメント技術年報 (S. 46. P105)

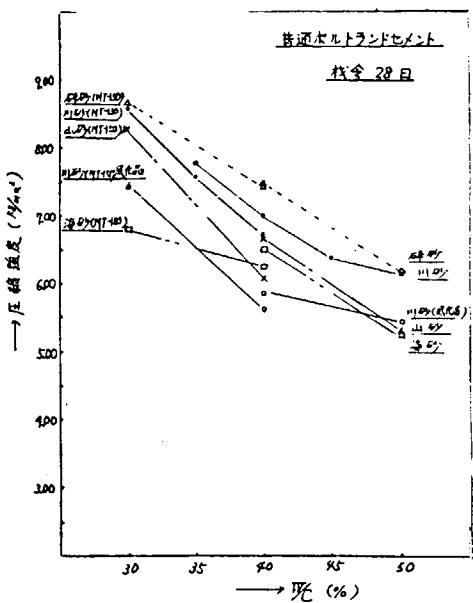


図 7.1.3 W/C と圧縮強度の関係

フェロセメント船に関する調査研究  
SR305 昭和52年度報告書

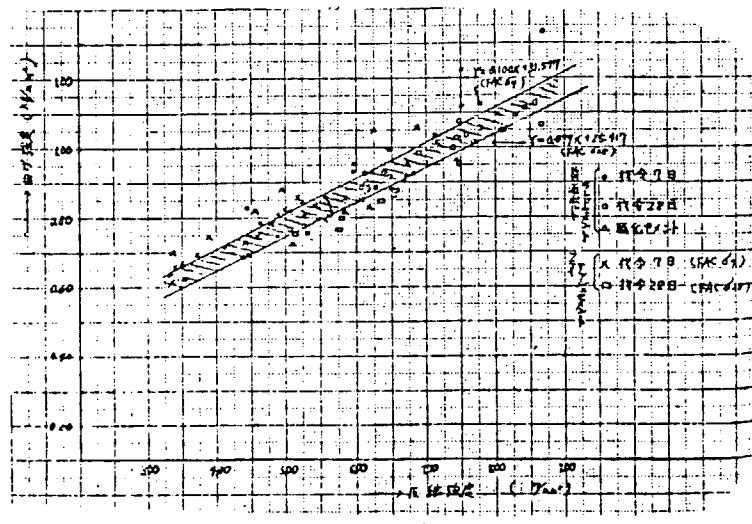


図 7.1.10 圧縮強度と曲げ強度との関係

フェロセメント船に関する調査研究  
SR305、昭和52年度報告書

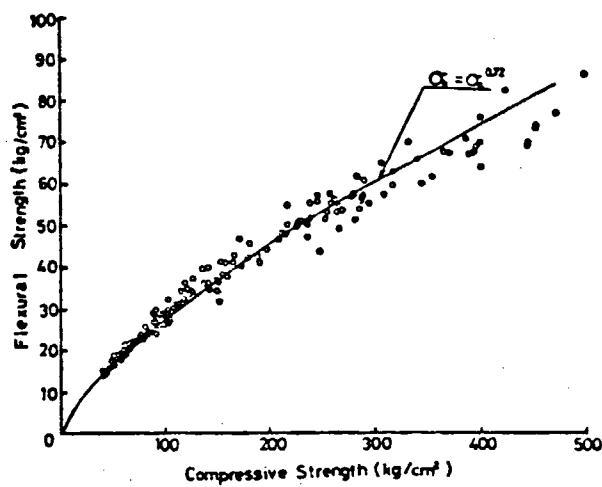


図 7.1.11 圧縮強度と曲げ強度との関係

セメント技術年報 (S. 46. P111)

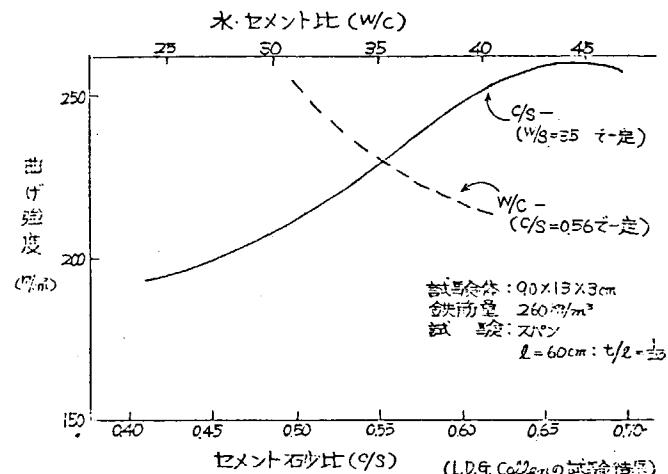


図 7.1.12 W/C, S/C とフェロセメントの曲げ強度

Civil Engineering and Public Works Review  
Vol. 54, No. 632, February 1959

<添付資料>

1. J I S A 1101 コンクリートのスランプ試験方法
2. J I S A 1102 骨材のふるい分け試験方法
3. J I S A 1103 骨材の先い試験方法
4. J I S A 1104 骨材の単位容積重量試験方法
5. J I S A 1105 細骨材の有機不純物試験方法
6. J I S A 1109 骨材の比重及び吸水率試験方法
7. J I S A 1111 細骨材の表面水率試験方法
8. J I S A 1122 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法
9. J I S A 1137 骨材中の粘土塊量試験方法
10. J I S A 1138 試験室におけるコンクリートの作り方
11. J I S S 5T 202 細骨材中の塩分含有量試験方法
12. J I S S 5T 401 コンクリート用表面活性剤の品質規準
13. J I S R 5201 セメントの物理試験方法
14. 土木学会 骨材中の比重1.95の液体に浮く粒子の試験方法
15. 土木学会 モルタルの圧縮強度によるコンクリート用練りませ水の試験方法  
第21巻第1冊、第76号(1969)
16. 小野田研究報告 モルタルのワーカビリチー測定方法

## 日本工業規格

JIS

## 1 スラブ試験方法

A 11O1-1950  
(1962 年版)

2. 各邊を突く鋼突き棒の突き入れは、その前間に漸く速する程度とする。
- 4.2 コンクリートを型ワクに詰めたのち、上面を型ワクの上端に合わせてならし、ただちに型ワクを静かに鉛直に引上げ、コンクリートの凹のサカリを測定する。

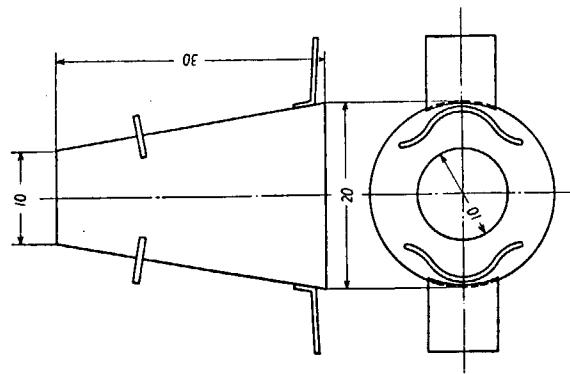
## 5. 観示

コンシスティエンシーは前条のサガリを cm で測定して、これをスランプ何 cm として表示する。

図 1 粗骨材の最大寸法が 40 mm 以上のコンクリートの場合には、コンクリートを標準版フルイ 40 でふるって、寸法 41 mm 以上の粗骨材を除去するか、または寸法 40 mm 以上の粗骨材を手でひろいで除去する。

1. ランプの測定を終ったのち突き棒でコンクリートの側面をすくにたき、コンクリートのようすを見ることは、コンクリートのウオーカビリチーを判断するのに非常にいい参考となる。
2. 型ワクは図のような上端内径 10 cm、下端内径 20 cm、高さ 30 cm の鉄製スランプコーンとし、適宜に足押えとトラ手とをつける。

寸法 cm



- 2.1 型ワクは図のような上端内径 10 cm、下端内径 20 cm、高さ 30 cm の鉄製スランプコーンとし、適宜に足押えとトラ手とをつける。
- 2.2 突き棒は 直径 16 mm、長さ 50 cm の丸鋼とし、その先端を鋭くとがらしたものとする。

- 2.2 突き棒は 直径 16 mm、長さ 50 cm の丸鋼とし、その先端を鋭くとがらしたものとする。

## 3. 試料

- 3.1 試料は混和したコンクリートからたいたいに採取する。ただし中央混合所で混和したコンクリートの場合は、工事現場で運搬車から取出したところを採取し、コンクリート道路ではコンクリートを路盤に移した直後に採取する。
- 3.2 採取したコンクリートは均一になるまでシャベルで混合しなければならない。

## 4. 試験

- 4.1 型ワクは 内面を湿布でふいて水密性平版上に置き、試料を 3 層に分けて詰める。その各層は突き棒でならしながら、25 回均等に突くか、あるいは 25 回突いて材料の分離を生ずる見通しが約 10 回均等につくものとする。
- A 1 (20×27)

## 日本工業規格

JIS

2. 骨材フルイ分ケ試験方法  
A 1102-1953  
(1962 補充)

2.

A 1102-1953

ルイに止まる百分率あるいは通過した各フルイの間に止まる百分率を報告する。

報告する百分率は、これに最も近い整数にしたものとする。

## 1. 適用範囲 この規格は、コンクリートに用いる骨材のフルイ分ケ試験について規定する。

## 2. 試験用器具

2.1 ハカリは、試料全重量の 0.1% 以上の精度を有するものとする。

2.2 フルイは、0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.5, 5 mm フルイおよび 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100 mm フルイを用いる。

注(1) これらのフルイは、それぞれ JIS Z 8801(標準フルイ)に規定する標準フルイ 149, 297, 590, 1190, 2399, 4761 μ および標準網フルイ 9.32, 15.9, 19.1, 25.4, 31.7, 38.1, 50.8, 63.5, 76.2, 101.6 mm である。

## 3. 試料

3.1 骨材の代表的試料は、4 分法または試料分取器によって採取し、その量は、乾燥後において下記の量を標準とする。

細骨材	1.2 mm フルイを 95% (質量比) 以上通過するもの	.....	100 g
1.2 mm フルイに	5% (重量比) 以上とまるものの	.....	500 g
粗骨材	最大寸法 10 mm 程度のもの	.....	1000 g
最大寸法 15 mm 程度のもの	.....	.....	2500 g
最大寸法 20 mm 程度のもの	.....	.....	5000 g
最大寸法 25 mm 程度のもの	.....	.....	10000 g
最大寸法 40 mm 程度のもの	.....	.....	15000 g
最大寸法 50 mm 程度のもの	.....	.....	20000 g
最大寸法 60 mm 程度のもの	.....	.....	25000 g
最大寸法 80 mm 程度のもの	.....	.....	30000 g
最大寸法 100 mm 程度のもの	.....	.....	35000 g

3.2 細骨材において 0.068 mm フルイ(2) を通過する量は、JIS A 1103(骨材分ケ試験方法)によつてきめる。

注(2) これは JIS Z 8801(標準フルイ)に規定する標準フルイ 88 μ である。

3.3 試料は、10°C をこえない温度で定重量となるまで乾燥する。

## 4. 試験

4.1 試料は、2.1 に規定するフルイのうち、骨材のフルイ分ケ試験の目的に合う 1 組のフルイを用いてふるい分けする。

4.2 ふるい分け作業は、フルイに上下動および手平動を与えて試料をやり取りし、試料が殆どフルイ面を均等に運動するようにし、1 分間に各フルイにとどまる試料の量の 1% 以上が、そのフルイを通過しなくなるまで作業を行なう。

4.3 ふるい分けた場合にはさらに手でふるい分け、1 分間の各フルイ通過量が上記の量より少なかったことを確かめなければならない。

4.4 ふるい分けを終ったのち、ハカリを用いて各フルイにとどまるは料の量を測定する。

5. 報告 ふるい分け量した結果は、試料全重量に対する百分率とする。各フルイを通過する百分率またはフ

## 3. 骨材の洗い試験方法 A 1103-1964

## Method of Test for Amount of Material

## Finer than Standard Sieve 0.088 in Aggregates

1. 適用範囲 この規格は、骨材に含まれる 0.088 mm フルイ<sup>(1)</sup>を通過するものの全量をきめる試験について規定する。

注 (1) これに、JIS Z 3801(標準フルイ)に規定する標準網フルイ 88 μである。

## 2. 試験用器具

2.1 フルイは、0.088 および 1.2<sup>(2)</sup> mm フルイを用いる。

注 (2) これに、JIS Z 3801(標準フルイ)に規定する標準網フルイ 1190 μである。

## 2.2 容器は、試料をはげしく洗う際、試料が飛び出さない程度にじゅうぶん大きいものを用いる。

3. 試料 骨材の代表的試料は、じゅうぶん混合した材料からこれを採取し、かつ、分離をおさない程度の混気がなければならない。

試料の採取量は、乾燥後において下記の量以上とする。

骨材の最大寸法 5 mm 程度のもの ..... 500 g

骨材の最大寸法 20 mm 程度のもの ..... 2500 g

骨材の最大寸法 40 mm 程度のもの ..... 5000 g

## 4. 試験

4.1 試料は、100~110°Cで定重量となるまで乾燥し、その重量を 0.1% まで正確に測定する。

4.2 乾燥して重量を測定した試料を入れ、試料をおおまでこれに水を加える。水中で試料をはげしくかきまわし、こまかい粒子をあらい粒子から分離させ。洗い水中の懸濁粒子をできるだけ流さないように注意しながら、ただちにこの洗い水を 0.088 mm フルイの上に 1.2 m<sup>2</sup> フルイを重ねた 2 個のフルイの上にあける。

4.3 あたたひ容器の中の試料に水を加え、かきまわし、洗い水を重ねた 2 個のフルイの上にあける。洗い水が混むまでの操作をくりかえす。

4.4 重ねた 2 個のフルイにとどまつたものは、洗い終わった試料中にもどす。

このようにした試料を 100~110°C で定重量となるまで乾燥し、この重量を 0.1% まで正確に測定する。

## 5. 結果の計算

5.1 試験結果は、つきの式によって 0.1% まで正確に計算する。

$$\frac{\text{沈り下りた試料の試験量}}{\text{沈り下りた試料の試験量} + \text{沈り下りた試料の試験量}} \times 100$$

0.088 mm フルイを通過する量の百分率 = 沈り下りた試料の試験量 / 沈り下りた試料の試験量 × 100

5.2 試験は、2 回これを行い、その平均値をもって試験値とする<sup>(3)</sup>。

注 (3) 2 回の試験値の差が、細骨材の場合 0.5 以上となつたときは、試験をさらにくり返す。  
備考 結果の検討を行いたい場合には洗い水を蒸発させ、乾燥した残りかかるの量を計る。

残りかかるの量の百分率 =  $\frac{\text{沈り下りた試料の試験量}}{\text{沈り下りた試料の試験量} + \text{沈り下りた試料の試験量}} \times 100$

## 6. 骨材の表面のならし方

(1) 細骨材の場合、骨材の表面を洗き水を洗浄としてかきとり、容器の上面をならす。

(2) 粗骨材の場合、骨材の表面を指または手で洗浄でならし、容器の上面からの粗骨材の突起が、上面からのへこみと同じ位になるとよろにする。

7. 容器中の試料の重量の測定<sup>(2)</sup>

(1) 容器に入れて重量を測定した試料から、十分な量は試料分取器によって含水率測定ための試料を採取す

A 4 (210 × 297)

## 4. 骨材の単位容積重量試験方法 A 1104-1964

## Method of Test for Unit Weight of Aggregates

1. 適用範囲 この規格は、コンクリートに用いる骨材の単位容積重量の試験について規定する。
2. 試験用器具

2.1 ハカリ ハカリは、試料全重量の 0.2% より過度<sup>(1)</sup>の負いものとする。

注 (1) 過度とは、ハカリの重量に対する骨材の量または骨材の変化量をいう。

## 2.2 容器 容器は、内面を機械仕上げた金属製の円筒で、水密でじゅうぶん強なものとする。容器には、取扱いに便利なようにとって手をつける。

容器の寸法は、つきの 3 種類とし、試験を行なう最大寸法に応じていずれか一つを選ぶ。

容器の容積は、これを満たすのに必要な水の重量を正確に測定してこれを算定する。

骨材の最大寸法 (mm)	内 径 (cm)	内 高 (cm)	およその容積 (l)
10 以下	11	13	2
10 をこえ 40 以下	21	22	10
40 をこえ 100 以下	35	31	30

容器の容積は、これを満たすのに必要な水の重量を正確に測定してこれを算定する。

2.3 窒き棒 窒き棒は、直徑 16 mm、長さ 50 cm の丸鋼とし、その先端を半球状にしたものとする。

3. 試料 試料の代表的試料は、4 分法または試料分取器によって採取し、気泡状態でじゅうぶん混合するものとする。

4. 試験方法

## 4.1 試料の詰め方

(1) 窒き試験の場合 骨材の最大寸法が 40 mm 以下のときは、棒突き試験による。この場合の試料の詰め方はつきによる。

詰料を容器の 1/6 まで入れ、上面を指でならし、突き棒で 25 回均等に突く。つきに容器の 2/3 まで詰料を

入れ、前と同様に 25 回突く。最後に容器からあふれるまで試料を入れ、前と同様に 25 回突く。

(2) ジッギング試験の場合 骨材の最大寸法が 40 mm をこえ 100 mm 以下のときはおよび骨材が輕石骨材であるときは、ジッギング試験による。この場合の試料の詰め方はつきによる。

容器をコンクリート床の上に置き、試料をほほ等しい 3 斤に分けて詰める。各容器に粗骨材の片側が約 5 cm 持ち上げて床をたたくようにならせる。つぎに、反対側を約 5 cm 持ち上げて落とさせ、各側を交互に 25 回、全体で 50 回落とさせてやりしめる。

## 4.2 骨材表面のならし方

(1) 細骨材の場合、骨材の表面を洗き水を洗浄としてかきとり、容器の上面をならす。

(2) 粗骨材の場合、骨材の表面を指または手で洗浄でならし、容器の上面からの粗骨材の突起が、上面からのへこみと同じ位になるとよろにする。

4.3 容器中の試料の重量の測定<sup>(2)</sup>

(1) 容器に充てて重量を測定した試料から、十分な量は試料分取器によって含水率測定ための試料を採取す

A 4 (210 × 297)

A 1104-1961

## 日本工業規格

JIS

A 1105-1953  
(1962 年版)

## 5. 砂の有機不純物試験方法

A 1105-1953

細骨材 500 g

粗骨材 最大寸法 25 mm 以下のもの 1000 g

最大寸法 25 mm をこえるもの 2500 g

(2) お取した試料の重量を正確にはかり、つぎに 100~110°C で定形量となるまで乾燥し、室温まで冷やし、その重量を再びはかる。

注 (2) 試料の含水量が 1% 以下の見込みの場合は、含水量の検定は省略してよい。

## 5. 結果の計算

## 5.1 骨材の単位容積質量は、つぎの式によつて算出し、有効数字 4 けたを JIS Z 8401 (数値の丸め方) によつて丸めて有効数字 3 けたまでとする。

$$\text{骨材の単位容積質量} (3) = \frac{\text{容器中の試料の重量}}{\text{容器の容積}} \times \frac{\text{含水品質測定のための試料の乾燥後の重量} (1)}{\text{含水品質測定のための試料の乾燥前の重量} (2)}$$

注 (3) 骨材の単位容積質量は、kg/m<sup>3</sup> または kg/l で表わす。

(4) 含水率の測定を行なわない場合はつきの式による。

$$\text{骨材の単位容積質量} = \frac{\text{容器中の試料の重量}}{\text{容器の容積}}$$

6. 精 度 試験は、3. に示す試料を用いて 2 回行ない、その差は 1% 以下でなければならない。

## 7. 告 告 報告には、つきの項目を記載する。

## (1) 単位容積質量

## (2) 試料の混沙方

## (3) 含水品質測定の有無

1. 適用範囲 この規格は モルタルおよびコンクリートに用いる自然砂中に含まれる有機不純物の有害量の検査をきらる試験に適用する。

2. 試 料 砂の代表的試料は 1 分量または試料分取器によって採取し、その量は約 500 g とする。

3. 濃度溶液 濃度溶液は 10% のアルコール液で 2% タンニン酸溶液をつくり、その 2.5 cc を 3% の水酸化ナト

リウム浴液 97.5 cc に加え、これを容置約 400 cc の無色ガラスビンに入れ、センをしてよくふりまぜてから 24 時間静置したものとする。

## 4. 試験方法

4.1 試料を目盛りのある 400 cc 入り無色ガラスビンに 125 cc のところまで入れこれに水酸化ナトリウム 3% の溶液を加え、砂と溶液との全量を 200 cc とする。

4.2 ビンにセンをしてよくふりまぜてから 24 時間静置したのち、砂の上部の溶液の色を標準色液とくらべる。

5. 試験の結果 試験溶液の色が標準色液より濃いときは、その砂の使用に先だち、その砂について骨材として他の試験をする必要があることを示す。

## 6. 細骨材の比重および吸水量試験方法 A 1109-1951 (1960 電気)

## 7. 細骨材の表面水量試験方法 A 1111-1951 (1960 電気)

1. この規格は細骨材の比重および吸水量試験に適用する。

### 2. 試験用器具

2.1 ハカリは容量 1000g 以上で、0.1g まで計量できるものとする。

2.2 フラスコは容量 500cc、20°C で 0.15cc まで測定したものと用いる。

2.3 細骨材の表面乾燥態和状態を試験するのに用いる金属製フローコーンの寸法は、上面内径 89mm、底面内径 89mm、高さ 74mm のものとする。

2.4 烈火棒は直徑 25mm の円板をもつものと用いる。

### 3. 試料

3.1 代表的な細骨材から、4 分または試料分取器で約 1000g の細骨材を探り、24 時間貯水させる。

3.2 吸水させた細骨材を平らな面上に薄く平らにひらく、緩い風を吹かせながら、均等に乾燥させる。ときどきかきまわす。

3.3 細骨材の表面にまだ幾分表面水があると思われるときに、細骨材をフローコーンにゆるくつめ、烈火棒で 25 回転くつき、つぎに、フローコーンを鉛直に引上げる。このとき表面水があれば細骨材のコーンはその形をだらつ。そのときはふたたび細骨材をひらくて乾燥し、上記の方法を繰り返し、フローコーンを引き上げたときに、細骨材のコーンが初めてスランプしたとき、表面乾燥態和状態であるとする(1)。

(注) (1)もし最初にコーンを振り落としたときに細骨材のコーンが、スランプしたら表面乾燥和状態を示しているのであるからそのときには少量の水を加えてよく混ぜ、おおいをして 30 分間おいたのち、前記の作業を行う。

3.4 表面乾燥態和状態の細骨材を約 500g 採り、試料とする。

### 4. 比重の試験方法

4.1 試料をフラスコに入れ、水を約 500cc の目盛りまで加える(1)。

(注) (1) 試料をフラスコに入れられるまえに少量の水を入れておけば、フラスコを断るおそれがない。

4.2 フラスコを平らな板の上でころがして、あわを追出したのも、20°C の定温の水槽の中につける。

4.3 約 1 時間 フラスコを水槽につけてから、さらに 500cc の目盛まで水を加える。

4.4 4.1 もよび 4.3 において フラスコに加える水は、えた全重量を 0.1g まではかかる。

5. 吸水量の試験方法 表面乾燥態和状態の試料 500g を 100~110°C で定温となるまで乾燥し、デシケータ内で室温までひやし、その重量をはかる。

6. 結果の計算 試験の結果はつきの式で計算する。

$$\text{比重}^{\prime \prime} = \frac{500 - (\text{フラスコに} + \text{加えた水の全重量})}{500}$$

$$\text{吸水量(重量百分率)} = \frac{500 - (\text{乾燥後の試料の重量})}{500 - (\text{乾燥後の試料の重量})} \times 100\%$$

(注) この比重大は表面乾燥態和状態の比重大である。

7. 精度 試験は 2 回これを行い、その差は比重試験の場合 0.02 以下、吸水量試験の場合 0.05% 以下でなければならぬ。

1. この規格は細骨材の表面水量試験に適用する。

### 2. 試験用器具

2.1 ハカリは容量 2000g 以上で、0.5g まで計量できるものとする。

2.2 容器はガラスまたは陶器のおそれのない金属性の適当なものとする。すなはち、ビクノメータ・メスフラスコ・目盛をしたフラスコあるいはくびの細い適當な容器でよい。

2.3 細骨材の表面乾燥態和状態を試験するのに用いる金属製フローコーンの寸法は、上面内径 38mm、底面内径 89mm、高さ 74mm のものとする。

2.4 烈火棒は直徑 340g、一端に直徑 25mm の円板をもつものと用いる。

### 3. 試料

3.1 代表的な細骨材から、4 分または試料分取器で約 1000g の細骨材を探り、24 時間貯水させる。

3.2 吸水させた細骨材を平らな面上に薄く平らにひらく、緩い風を吹かせながら、均等に乾燥させる。

### 4. 試験方法

4.1 重量法

(1) 容器にマークまで水を満たし、グラムまで計量してこれを  $V_C$  とする。

(2) 容器をからにし、試料をおおうに十分な水を入れ、試料と水をかり取つかず、またはかきまわして空気を十分においだす。さらに  $V_C$  をはかったときのマークまで水を入れ、容器・試料および水の重量をグラムまではかって  $W'$  とする。

(3) 試料でおきかえられた水の重量  $V_S$  は、つきの式で計算できる。

$$V_S = V_C + W_S - W'$$

### 4.2 容積法

(1) 試料をおおうに十分な水を  $V_1$  を cc まではかって容器に入れる。試料の重量  $W_S$  をはかって容器に入れる。試料と水をかり取つかず、またはかきまわして空気を十分においだす。

(2) 試料と水と一緒にしたった容器  $V_2$  (cc) を目盛で求める。ビクノメータあるいはメスフラスコを用いるときは、試料と水との一しょになった容器  $V_2$  (cc) は、容器のわかつてある水盤をマークまでみたして、この容量を容器の容皿から並引いてきめる。

(3) 試料でおきかえられた水の重量  $V_S$  は、つきの式で計算できる。

$$V_S = V_2 - V_1$$

5. 結果の計算 表面乾燥態和状態に対する試料の表面水の百分率  $P$  は、つきの式で計算する。

$$P = \frac{V_S - V_d}{V_S - V_s} \times 100\%$$

$$\text{ここで } V_d = \frac{V_s - V_s}{W_s}$$

注) 以上の内部が水で満たされていて、表面が乾燥している状態をいう。

(注) JIS A 1109 (細骨材の比重および吸水量試験方法) による。

6. 精度 試験は同じ試料につき 2 回ずつ行い、その差は 0.5% 以下でなければならない。

## 8. 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法 (JIS A 1122-1976)

1. 適用範囲 この規格は、硫酸ナトリウムの結晶性による破壊作用に対する抵抗性を判定する骨材の安定性試験について規定する。ただし、人工軽量骨材は除く。

### 2. 試験用器具

2.1 ふるいは、次のものを用いる。

細骨材を試験する場合：網ふるい0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.5, 5, 10 mm<sup>(1)</sup>。  
粗骨材を試験する場合：網ふるい5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80 mm<sup>(2)</sup>。

注(1) これらのふるいは、それぞれJIS Z 8801(標準ふるい)に規定する標準網あるいは149, 297, 350, 1190, 2380, 4970  $\mu\text{m}$  及び 9.52 mm である。

注(2) これらのふるいは、それぞれJIS Z 8801に規定する標準網あるいは4760  $\mu\text{m}$  及び 9.52, 15.9, 19.1, 25.4, 31.7, 38.1, 50.8, 63.5, 76.2 mm である。

2.2 骨材を入れる金網かご<sup>(3)</sup>は、3. に規定する試験用浴液におかされないもので、その網目は骨材粒がこぼれ落ちないように十分に細かいものとする。

注(3) 開面、底面などに穴を開けた骨材に付着している試験用浴液ができるようにした容器を用いてもよい。

2.3 骨材を試験用浴液に浸すために用いる容器は、浴液におかされないもので、5.2の操作ができるものとする。

2.4 はかりは、細骨材を試験する場合、ひょう量500 g 以上で、感量が0.1 g 及びこれよりよいものとし、粗骨材を試験する場合、ひょう量5 kg 以上で、感量が1 g 又はこれよりよいものとする。

2.5 乾燥器は、100～110 °C の温度に保持できるものとする<sup>(4)</sup>。

注(4) 空気かくはん機及びベンチレーターが付いているものがよい。

### 3. 試験用浴液

3.1 試験用浴液は次のようにしてついた硫酸ナトリウム飽和浴液とする。25～30 °C の清浄な水1 l に、硫酸ナトリウム(無水)<sup>(5)</sup>(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)を約350 g 又は硫酸ナトリウム(結晶)<sup>(6)</sup>(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O)を約750 g 加え、よくかき混ぜながら溶かし、約20 °C となるまで浴やす。浴液は48時間以上20±1 °C の温度に保ったのち、試験に用いる。試験に用いる場合には、容器の底に結晶が生じていなければならぬ<sup>(7)</sup>。

注(5) JIS K 9987(硫酸ナトリウム(無水)(試薬))に規定する特級を用いる。

注(6) JIS K 9986(硫酸ナトリウム(試薬))に規定する特級を用いる。

注(7) 試験に用いる場合の浴液の比重は、1.151～1.174(ボーメル 18.9～21.4)でなければならない。

3.2 試験用浴液の骨材への殘留の有無を調べるための塩化バリウム<sup>(8)</sup>(BaCl<sub>2</sub>) 溶液の濃度は5～10%とする。

注(8) JIS K 8155(塩化バリウム(試薬))に規定する特級を用いる。

## 4. 試料

### 4.1 細骨材<sup>(9)</sup>を試験する場合

(1) 試料は、代表的なもの約2 kg を採取する。  
(2) 試料の1部を用いて、JIS A 1102(骨材ふるい分け試験方法)によってふるい分け試験を行い、表1に示す粒径による群に分け、各群の百分率を求め、百分率が5%以上となつた群だけについて安定性の試験をする。

表 1

ふるいの開き(μm)	ばく合(%)
0.6	0.3にとどまる
1.2	0.6にとどまる
2.5	1.2にとどまる
5	2.5にとどまる
10	5にとどまる

- (3) ふるい分け試験に用いる試料をとった残りの試料に水をかけてよく洗いながら、網あるいは0.3 mm にとどまる粒を探り、100～110 ℃ の温度で定重量となるまで乾燥したのち、ふるい分け、(2)で規定する各群ごとに100 g を量り取って各群の試料としめ、別々に保存する。
- (9) 粗ふるい 10 mm にとどまるものは粗骨材として取り扱わない。
- (10) この見落の中でいう重量とは質量の意味である。
- (11) 粗骨材のふるい分けによって110 g を保り、これを更に入念にふるつたのち100 g の試料を計り取るとよい。
- (12) ふるいの目にはさまたれを試料に混ぜてはならない。

#### 4.2 粗骨材を試験する場合

- (1) 試料は代表的なものを採取し、その重量は骨材の最大寸法に応じて **表 2** に示す重量を標準とする。ただし、粗骨材では、この重量の  $\frac{1}{2}$  を標準とする。

**表 2**

骨材の最大寸法 mm	採取する試料の重量 kg
10	1
15	2.5
20	5
25	10
40	15
60	25
80	30

注 (9) この量が粗骨材できない場合は、代入的な試料であることを確かめる。

- (2) 試料を網あるいは5 mm でふるい、ふるいにとどまつたものについて、JIS A 1102 によって、ふるい分け試験を行い、**表 3** に示す粒径による群に分け各群の百分率を求め、百分率が 5% 以上となつた群だけについて安定性の試験をする。

- (3) 水をかけてよく洗った粗骨材を100～110 ℃ の温度で定重量となるまで乾燥したのち、各群ごとに**表 3** に規定する量を量り採って各群の試料としめ、別々に保存する。20 mm 以上の粒は、各群ごとにその数を数える。

**表 3**

ふるいの目がさまでく分した骨材の粒径の範囲 mm	骨材の数量は100 g
10 を通し 5 にとどまると	300
15 を通し 10 にとどまると	500
20 を通し 15 にとどまると	750
25 を通し 20 にとどまると	1,000
40 を通し 25 にとどまると	1,500
60 を通し 40 にとどまると	3,000
80 を通し 60 にとどまると	3,000

注 (9) 粗骨材の場合は  $\frac{1}{2}$  とする。

- (4) 岩石を試験する場合 岩石を試験する場合には、これをなるべく等形、等大で、1個の重量が約100 g となるよう碎く。碎いた粒を洗い、100～110 ℃ の温度で定重量となるまで乾燥したのち、5000 ± 100 g を採って試料とする。

#### 5. 試験方法

- 5.1 試験用溶液は、試験に用いるまえに、しばしばかき混ぜる。
- 5.2 試料を金網がごに入れ、試験用溶液の中に没す。<sup>注 9</sup> このとき、溶液の表面が試料の上面より 15 mm 以上高くなるようにする。<sup>注 10</sup>

- 溶液の蒸発及び異物の混入を防ぐため、適当なふたをする。溶液の温度は 20 ± 1 ℃ に保つ。
- 試料を溶液に浸しておく時間は 16 ～ 18 時間とする。

注 (9) これらの操作の間に試料をこぼさないように十分注意する。

- 5.3 試料を金網から取り出して、液がしたたらなくなつたのち、<sup>注 11</sup> 乾燥器内の温度を 1 時間約 40 ℃ (K) の割合で上げ、100～110 ℃ の温度で 4 ～ 6 時間<sup>注 12</sup> 乾燥する。<sup>注 13</sup>

- 5.4 乾燥した試料を室温まで冷やす。

- 5.5 5.2 ～ 5.4 の操作を所定の回数<sup>注 14</sup> だけ繰り返す。<sup>注 15</sup>
- 注 (10) 参照
- 5.6 所定回数の操作を終わった試料を清浄な水で洗う。<sup>注 16</sup> 洗った水に少量の塩化バリウム (BaCl<sub>2</sub>)<sup>注 17</sup> 溶液を加えても白く濁らないようになるまで洗う。洗った試料を 100～110 ℃ の温度で重量が一定となるまで乾燥する。

注 (11) 必要に応じて煮沸してもよい。

- 5.7 細骨材又は粗骨材の場合には、乾燥した各群の試料を、試験を行うまえに試料がとどまつたふるい、とどまつた試料の重量を量る。20 mm 以上の粒は、その破壊状況（崩壊、倒れ、はげ落ち、ひび割れ、その他）を入念に観察する。

- 5.8 岩石の場合には、試料を指で軽く押して試料の何箇が 3 片以上に碎けたかを数える。また粒の破壊状況（崩壊、倒れ、はげ落ち、ひび割れ、その他）を入念に観察する。

#### 6. 結果の計算

- 6.1 各群の試料の損失重量百分率 ( $P_1$ ) は次式によつて計算し、JIS Z 8401 (数値の丸め方) によって、小数点以下1けたに丸める。

$$P_1 = \left( 1 - \frac{W_2}{W_1} \right) \times 100$$

ここに  $P_1$  : 骨材の損失重量百分率 (%)  
 $W_1$  : 試験前の試料の重量 (g)

$W_2$  : 試験前に試料がとどまつたふるいに残る試験後の試料の重量 (g)

6.2 骨材の損失重量百分率は、試験した骨材の各群における粒の質量百分率と、各群における損失重量百分率との和の総和である。これの算出に当たっては、粒の百分率が 5% 未満の群における損失重量百分率は、その前後群で試験した損失重量百分率の平均値とする。前後の群における試験値のいずれかが欠けているときには、欠けない方の群の損失重量百分率とする。

なお、網あるいは 0.3 mm を通る粒の損失重量は 0 と仮定して計算する。

6.3 岩石の場合の損失重量百分率 ( $P_2$ ) は次式によって計算し、JIS Z 8401 によって小数点以下 1 けたに丸める。

$$P_2 = \left( 1 - \frac{W_4}{W_8} \right) \times 100$$

ここに  $P_2$  : 岩石の損失重量百分率 (%)

$W_8$  : 試験前の試料の重量 (g)

$W_4$  : 3 片以上に碎けた粒を除いたものの重量 (g)

7. 報告 報告には、次の事項のうち必要なものを記載する。

- (1) 骨材又は岩石の種類、大きさ、外観及び产地、ただし、人工軽量骨材の場合は名称
- (2) 試料を採取した位置及び日等
- (3) 試料のふるい分け試験結果
- (4) 試験における各群の試料の重量
- (5) 各群の試料の損失重量百分率
- (6) 骨材の損失重量百分率
- (7) 20 mm より大きい粒の試験前ににおける個数及び粒の破壊状況
- (8) 岩石の場合には、3 片以上に碎けた粒の数、損失重量百分率及び粒の破壊状況

注 ① 名称は商品名でもよい。

- 参考 (1) この試験の結果は、気象作用に対する骨材の安定性を判断するための 1 試料であって、適当な実例について調査することができない場合には、よい参考になる。
- (2) 試験の回数については次のような規定がある。
- |                          |     |
|--------------------------|-----|
| JIS A 5002 構造用軽量コンクリート骨材 | 5 回 |
| JIS A 5005 コンクリート用碎石     | 5 回 |
| 土木学会コンクリート標準示方書          | 5 回 |
| 日本建築学会建築工事標準示方書 (JASS 5) | 5 回 |

- (3) 試験の結果から、試料の損失重量百分率を算出する場合の例を次に示す。

### 参考例

とどまるふるい mm	通過する mm	各群の重さ/g kg	細骨材の安定性試験		骨材の損失重 量百分率/%
			試験前の各群 の重さ/g	各群の損失重 量百分率/%	
—	0.15	0.15	5.0	—	—(0)
0.3	0.3	0.3	11.4	—	—(0)
0.6	0.6	0.6	26.0	100	4.2 1.10%
1.2	1.2	1.2	25.2	100	4.8 1.24%
2.5	2.5	2.5	17.0	100	8.0 1.40%
5	5	5	10.8	100	11.2 0.54%
合計	10	4.6	—	—	11.2(2)
					5.4

- 注 (1) 0.3 mm より小さい粒では、損失重量百分率を 0 とした。  
 (2) 次に小さな重さの群の損失重さ百分率を採った。  
 (3) この場合は、最小量を保っているが、これより多く試料を保つてもよい。  
 (4) 各群の重さ百分率 × 各群の損失重量百分率である。  
 100

## 9. 木材中に含まれる粘土塊量の試験方法 (JIS A 1137-1976)

1. 適用範囲 この規格は、木材中に含まれる粘土塊量の試験方法について規定する。
2. 試験用器具
- 2.1 ばかりは、試料全質量の0.1%以上の精度をもつものとする。
- 2.2 ふるいは、網ふるい0.6 mm, 1.2 mm, 2.5 mm 及び 5 mm (1)とする。
- 注 (1) これらのは、それぞれ、JIS Z 8801 (標準ふるい) に規定する標準網あるいは590 μm, 1 190 μm, 2 380 μm 及び 4 760 μm である。

### 3. 試料

- 3.1 試験しようとするロットを代表するように木材を採取し、3.3に示す質以上となるように4分法又は試料分取器で分取する。その際、含まれている粘土塊を伴がないよう注意しなければならない。
- 3.2 分取した木材を常温で徐々に乾燥して乾燥状態とする。
- 3.3 細木材は網ふるい1.2 mm にとどまるもの、粗木材は網ふるい5 mm にとどまるものを試料とする。細木材の試料は1 000 g 以上とし、粗木材の試料は最大寸法によって、それそれ表に示す量以上とする。

表

粗木材の最大寸法 mm	試料の量 kg
10 以下 15	2
20 以上 25	6
30 以上 40	10
40 を超える場合	20

### 3.4 3.3の試料を2分し、それぞれ1回の試験の試料とする。

#### 4. 試験方法

- 4.1 3.4の試料を容器に入れ、100～110°Cで定質量となるまで乾燥した後、質量( $W_{D1}$ )<sup>(2)</sup>を0.1%まで正確に量る。
- 注 (2) 乾燥によって粘土塊が崩れて細粒又は粉末となつたのも含めて質量を量る。
- 4.2 試料を容器の底に薄く広げて、これを覆うまで水を加える。
- 4.3 24時間吸水させた後水をあけ、木材粒を指で押しながら粘土塊を調べる<sup>(3)</sup>。
- 指で押して細かく碎くことのできるものを粘土塊とする。

注 (3) 粗木材中の粘土塊をつぶすには、粗木材の最大寸法に応じて、いくつかの軽鉢に分けると作業がやりやすい。

- 4.4 すべての粘土塊をつぶしてから、細木材は網ふるい0.6 mm、粗木材は網ふるい2.5 mmの上で、水洗いする。

- 4.5 ふるいにとどまつた粒を100～110°Cで定質量となるまで乾燥し、その質量( $W_{D2}$ )を0.1%まで正確に量る。

#### 5. 結果の計算

- 5.1 粘土塊量は、次の式によつて計算し、JIS Z 8401(数値の丸め方)によつて小数点以下1けたに丸める。

$$C = \frac{W_{D1} - W_{D2}}{W_{D1}} \times 100$$

ここに C: 粘土塊量 (%)

$W_{D1}$ : 試験前の試料の乾燥質量 (g)

$W_{D2}$ : 試験後の試料の乾燥質量 (g)

- 5.2 試験は2回行い、その平均値をとる。

6. 精度 平均値からのは、0.2%以下でなければならない。

#### 7. 報告

報告には、次の事項のうち必要なものを記載する。

- (1) 木材の種類、大きさ、外観及び産地。ただし人工乾燥木材の場合は名稱<sup>(4)</sup>。
- (2) 試験した年月日
- (3) 粘土塊量 (%)
- (4) 木材の状態について試験に関係のある事項<sup>(5)</sup>

注 (4) 名稱は、商品名でもよい。

(5) 例えば、細木材中に粘土塊が散在していても、必ずしも採取した試料に含まれない場合がある。また、粗木材の表面に粘土分などが付着している場合は、それが試験結果に影響する。このような状態を記載する。



は (65 mm)・ビーカー (300 ml)・ガラス棒 (径 5~6 mm, 長さ約 15 cm)などを用意する必要がある。

試験は JIS 試験特級を用い、使用する水はすべて精製水とする。使用的な器は、すべて精製水でよく洗っておかなければならぬ。クロム酸カリウム指示薬 (5 w/v%) は、クロム酸カリウム 5 g を水に溶かして全量を 100 ml としたものであり、N/10 硝酸銀溶液は前記銀 16.988 g を 1 l のメスフラスコに入れて水を加えて溶解させ、全量を 1 l としたものであるが、実際には 16.988 g を正確にはかりとるのは困難であるから、これに近い量をとりそのグラム数を小数点以下 3 けたまで正しく読みとり、つぎの式によりファクター ( $f$ ) を算出しておく。

$$f = \frac{\text{はかりとった量(g)}}{16.988}$$

計算は小数点以下 4 けたまで算出し、小数点以下 3 けたに丸める。N/10 硝酸銀溶液は市販品を用いてもよい。この場合  $f$  の値は表示されている値を用いればよい。なおこの溶液は、光に対して不安定であるから、かつ (福) 色びんに入れておかなければならぬ。

### 3. 試験方法

細骨材はたい積しておくと、表層よりも深い部分のほうが塩分が多くなっている場合が多いので、試料はできるだけ中心部に近い所から採取するようにする。  
試料は、よく水洗いした抽出用の広口びん中で乾燥しなければならない。ほかの容器で乾燥して移しかえると、容器の底に塩分が付着して残るおそれがあるからである。  
滴定を急ぐ場合は、上澄液をろ紙でろ過してもよい。ろ液は多少濁っていても、かつ色を帶びていなければ滴定にはさしつかえない。抽出液にクロム酸カリを加えると、黄色を呈するが、硝酸銀を加えると塩素イオンと反応して塩化銀の白色沈殿を生成する。

溶液中の塩素イオンが全部塩化銀となつた後、さらに硝酸銀を加えると、余分の硝酸銀はクロムカリと反応してクロム酸銀の赤色沈殿を生成するから、この赤色沈殿が現われ始める点を滴定の終点とする。さらに、試験に使用したものと同様の三角フラスコを別に準備しておき、精製水を入れて空試験を行ひ、空試験のフラスコには、まったく塩化物は付着していないはずであるが、赤色沈殿が認められるまでに硝酸銀溶液 1~2 滴を煮やすのが普通であるから、補正のための空試験は必ず行わなければならない。

### 4. 結果の計算

N/10 硝酸銀溶液の 1 ml は、0.00584 g の塩化ナトリウムに相当する。本文の式はこれを用いて細骨材が含有する塩化物をすべて塩化ナトリウムと仮定し、純粋状態の細骨材に対する重量%で求めるものである。結果は小数点以下 3 けたまで求める。

硝酸銀溶液が正確に N/10 でない場合には、この値に  $f$  を乗じて補正すればよい。

## II. JASS 5 T-202 普通細骨材中の塩分試験方法

### 1. 適用範囲

この試験方法は、普通細骨材中の塩分試験に適用する。

### 2. 試験用器具および試薬

2.1 試験に用いる器具は、広口共せんびん 1 (1 l), ピペット 20 (1 ml および 5 ml), ピューレット 1(25 ml), 三角フラスコ 1(300 ml) およびはかり 1 (ひょうはかり 1 kg または 2 kg で 1 g まではかかるもの)とする。

### 2.2 試料の乾燥用具は、電気定温乾燥器の用いるものがよい。

〔注〕 (1) 空気がくはん機およびベンチレータのついているものがよい。

2.3 試験は、クロム酸カリウム指示薬 (5 w/v%), および N/10 硝酸銀溶液を用いる。

### 3. 試験方法

3.1 試料 1 000 g をはかりとり、広口びんに入れ 105~110°C で定重量となるまで乾燥し、試料の純粋重量  $W$  (g) を求める。

3.2 絶乾重量測定後の試料に精製水 (500 ml) を注ぎ、ふたをして 24 時間静置したのち、約 5 分間隔で 3 回軽く振とうを繰返し、塩化物を抽出する。しばらくこれを静置して上澄液 (50 ml) をピペットで三角フラスコにとる。

〔注〕 (2) 純潔水またはイオン交換樹脂で精製した水。

(3) 必要があれば、ろ紙 (5 種 B) を用いて上澄液をろ過する。

3.3 三角フラスコにとった試料に、クロム酸カリウム指示薬を 1 ml 加え、N/10 硝酸銀溶液を滴定し、より泥ぜても赤色が消えなくなったときを終点とし、そのときの N/10 硝酸銀溶液の消費量を  $A$  (ml) とする。

3.4 別に精製水 50 ml をとり、3.3 の方法で空試験を行い、そのときの N/10 硝酸銀溶液の消費量を  $B$  (ml) とする。

### 4. 結果の計算

4.1 値分は NaCl としての重量百分率で表わし、下式によって求める。

$$\text{当分} (\text{NaCl}) \text{として} = \frac{0.0058 \times (A-B) \times 10}{W} \times 100 (\%) \quad (1)$$

4.2 試験は 2 回以上行い、結果はその平均値で表わす。

### 1. 適用範囲

この試験方法は、細骨材中の塩素イオンをクロム酸カリウムを指示薬として、硝酸銀標準液で滴定するもので、その化学反応はつきのとおりである。



### 2. 試験用器具および試薬

器具は本文に示されるもののほか、指示薬側に用いる上ざらはかり (ひょうはかり 100 g 程度)・メスシンダー (500 ml)・試料貯蔵用細口共せんびん (120 ml, 1 l)・ピューレット台・漏斗台・化学分析用ろ紙 (5 種 B、直徑 11 cm または 12.5 cm)・ガラス漏斗 (60 mm また

## 17.コンクリート用表面活性剤の品質規準 JASS 5T-401 1975

1. 適用範囲 この規定は、コンクリート用表面活性剤の品質規格および試験方法に適用する。

### 2. 表面活性剤の種類 表面活性剤の種類は、下記による。

- AE剤
- 減水剤

減水剤標準形  
減水剤促進形  
減水剤標準形  
(3) AE減水剤

AE減水剤標準形  
AE減水剤促進形  
AE減水剤促進形

### 3. 表面活性剤の品質 表面活性剤の品質は、下記4によって試験し、スランプが7.5 cm および18 cm のいずれのコンクリートに対しても、表1に示す品質規格に適合しなければならない。

#### 4. 試験方法

4.1 試験に用いるコンクリート  
骨材の粒度は、表2および表3に示す範囲内になければならない。  
水は水道水とする。

#### 4.2 水

骨材の粒度は、表2および表3に示す範囲内になければならない。

#### 4.3 調合

調合は、標準コンクリートおよび表面活性剤を用いたコンクリートについて、下記4.3.1～4.3.5に示す条件に適合するように定める。

4.3.1 単位セメント量 單位セメント量は、スランプが7.5 cm のコンクリートでは $280 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ 、スランプが18 cm のコンクリートでは $300 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ とする。

4.3.2 單位水量 單位水量は、スランプが7.5

表1 表面活性剤の品質規格

項目	表面活性剤の種類		AE剤	減水剤		促進形	標準形	AE減水剤
	減水率 (%)	アリーシング比 (%)		4以上	4以上			
圧縮強度比 (%)	3日 90以上	115以上	110以上	130以上	115以上	110以上	110以上	130以上
圧縮強度比 (%)	7日 90以上	110以上	110以上	120以上	110以上	110以上	110以上	120以上
曲げ強度比 (%)	28日 90以上	110以上	105以上	110以上	105以上	105以上	105以上	110以上
曲げ強度比 (%)	7日 90以上	105以上	100以上	110以上	105以上	100以上	100以上	110以上
長さ変化比 (%) (乾燥期間6ヵ月)	95以上	95以上	95以上	95以上	95以上	95以上	95以上	95以上
長さ変化比 (%) (乾燥期間6ヵ月)	120以下	120以下	120以下	120以下	120以下	120以下	120以下	120以下

[注] 1) 参考試験項目

表2 細骨材の粒度

ふるいの呼び寸法 (mm)	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	粗粒率
ふるいを通しての 重量(%)	100	85~95	60~80	30~50	15~25	2~10	2.40~3.08

表3 粗骨材の粒度

ふるいの呼び寸法 (mm)	25	20	10	5	2.5	粗粒率
重量(%)	100	65~85	25~45	0~2	0	6.68~7.10

cm および18 cm のコンクリートについて、練り上がり時のスランプがそれぞれ $7.5 \pm 1 \text{ cm}$  および $18 \pm 1 \text{ cm}$  となるよう調整とする。

#### 4.3.3 空気量

a. 標準コンクリートの空気量は、0.2%以下とする。

b. 減水剤を用いたコンクリートの空気量は、そのコンクリートと同等のスランプの標準コンクリートの空気量に、1.0%を加えたものとすることはならない。

c. AE剤およびAE減水剤を用いたコンクリー

トの空気量は、 $4.0 \pm 0.5\%$ とする。をが、AE 減水合は、全試験を無効として試験をやり直しする。

#### 4.6 まだ固まらないコンクリートの試験

4.6.1 スランプ テストの試験は、JIS A 1101 (スランプ試験方法)により、各パッチごとに測定する。ただし、コンクリートの頂の下からは 1 mm まで測定する。

#### 4.6.2 空気量 空気量の試験は、JIS A 1126

(まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法 (空気室圧力方法))、または JIS A 1118 (まだ固まらないコンクリートの空気量の容積による試験方法 (容積方法))により。

#### 4.6.3 単位セメント量および単位水槽

セメント量および単位水槽は、JIS A 1116 (コンクリート中のモルタルの差が 5% 以下となるものとする。

#### 4.6.4 梱りませ

ミキサは、JIS A 1119 (ミキサで練りこなしたコンクリート中のモルタルの差および粗骨材量の差の試験方法)によつて試験し、3 分間練りこなしたとき、

コンクリート中のモルタルの単位容積質量が 0.8 % 以下、コンクリート中の単位粗骨材量の差が 5 % 以下となるものとする。

#### 4.6.5 梱りませの方法

練りこなす方法は、練りこなす場合の少量化のコンクリートをあらかじめ練りこなせ、ミキサ内部および板

板上にモルタル分がついた状態とする。

#### 4.6.6 梱りませ量 1 構造のコンクリートは、

少なくとも 2 パッチで練りこなせる。1 パッチの練りこなす量は試験に必要な量より、少なくとも 5 倍となるようにし、かつ、ミキサの公称容量の 1/2 以上とする。

#### 4.6.7 減水率 減水率は、スランプが 7.5 cm,

または 18 cm の標準コンクリートの単位水槽と、それと同等のスランプの表面活性剤を用いたコンクリートの単位水槽との差の、単位水槽に対する比である。それをコンクリートの単位水槽の単位水槽の平均値とする。

#### 4.6.8 リーシング量の比 アリーシング量の

比は、スランプが 7.5 cm または 18 cm の標準コンクリートのアリーシング量に対する、それと同等のスランプの表面活性剤を用いたコンクリートのアリーシング量の比である。

#### 4.6.9 試料の乗用および再試験

##### 4.6.9.1 まだ固まらないコンクリートの試料

4.4 により練りこなした各パッチのコンクリートに対して、4.6.1~4.6.3 の試験を行い、単位セメント量、単位水槽および空気量を求める。求めた値が 4.3.1

~4.3.3 の規定に適合しないパッチのコンクリートは棄却し、さらにパッチを追加する。

##### 4.6.9.2 硬化したコンクリート供試体

4.4 により練められる供試体は、棄却する。1 構造のコンクリートに対して 2 個以上の供試体を棄却した場

合は、全試験を無効として試験をやり直しする。

たコンクリートの連結時間から引いた差として求め時間：分で表わす。それと同様に製作し、その数は各材につき 3 個とする。

#### 4.7.3 長さ変化比 長さ変化比は、スランプコンクリートの連結時間試験法により、1 構造のコンクリートについて、異なるパッチから採取した 2 個の試料で試験した結果の平均値とする。それと同等のスランプの表面活性剤を用いたコンクリートの同一材令における長さ変化比は、JIS A 1124 (モルタルコンクリートの長さ変化比試験法)により

測定する。ただし、コンクリートの頂の下からは 1 mm まで測定する。

4.7 硬化したコンクリートの試験

4.7.1 圧縮強度比 圧縮強度比は、スランプが 7.5 cm または 18 cm の標準コンクリートの各材令における圧縮強度の比率として求め、それと同等のスランプの表面活性剤を用いたコンクリートの同一材令における圧縮強度の比率として求め、百分率で表わす。

#### 4.7.2 曲げ強度比 曲げ強度比は、スランプ

が 7.5 cm または 18 cm の標準コンクリートの各材令における曲げ強度に対する、それと同等のスランプの表面活性剤を用いたコンクリートの同一材令における曲げ強度を、ASTM C 666-73 (A 法：水中における急激連結解に対するコンクリートの長さ変化比試験)により測定し、表面活性剤を用いたコンクリートの曲げ強度を、ASTM C 666-73 (A 法：水中における急激連結解に対するコンクリートの長さ変化比試験)により測定して求めることとする。

#### 4.7.3 表面活性剤の使用量 表面活性剤の使用量

供試体は、JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方)により製作し、その数は各材令の各材令で試験して求めることとする。

#### 4.7.4 滅菌試験 滅菌試験は、各パッチのコンクリートに対する強度試験

供試体は、JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法)により、3 日、7 日、28 日の各材令で試験して求めることとする。

#### 4.7.5 ボンソン比試験 ボンソン比試験

供試体は、JIS A 1125 (モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法)によって製作し、脱型後 21±3°C の水中で養生する。また、滅菌解消のサイクルは、材令 14 日に開始する。

#### 4.7.6 ポアソン比試験 ポアソン比試験

供試体は、JIS A 1106 (コンクリートの曲げ強度試験方法)により測定し、表面活性剤を用いたコンクリートの曲げ強度を、JIS A 1127 (共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数・動せん断弾性係数および動

クルにおけるコンクリートの動弾性係数)により試験して求めることとする。

#### 4.7.7 リーチング量の比 リーチング量の

比は、JIS A 1123 (コンクリートのアリーシング量の比試験)により 1 構造のコンクリートのアリーシング量に対する比である。

#### 4.7.8 リーチング量の比 リーチング量の

比は、JIS A 1126 (モルタルおよびコンクリートの表面活性剤を用いたコンクリートのアリーシング量の比試験)により 1 構造のコンクリートのアリーシング量に対する比である。

#### 4.7.9 リーチング量の比 リーチング量の

比は、JIS A 1127 (モルタルおよびコンクリートの表面活性剤を用いたコンクリートのアリーシング量の比試験)により 1 構造のコンクリートのアリーシング量に対する比である。

#### 4.7.10 リーチング量の比 リーチング量の

比は、JIS A 1128 (モルタルおよびコンクリートの表面活性剤を用いたコンクリートのアリーシング量の比試験)により 1 構造のコンクリートのアリーシング量に対する比である。

（ 20 ）

## 13. セメントの物理試験方法

R 5201-1977

## Physical Testing Methods of Cement

備考 比重試験中の水タンクの水温の±0.2°Cを超えてはならない。

1. 适用範囲 この規格は、セメントの物理試験方法について規定する。  
備考 この規格の中で(1)を付けて示してある数値及び単位は、国際単位系(SI)によるものであって、参考として併記したものである。

2. 試験項目 この規格で規定する試験項目は、次のとおりとする。

比重試験  
粉末試験  
安定性試験  
吸水試験  
(正縮量及び曲げ強さ)

## 3. 試料

- 3.1 試料は、検査部位について平均品質を表すように、適当量(1)のセメントを採取し分離する。  
その採取方法及び細分方法は、当事者間の協議により定める。

- 3.2 実験した試料は、JIS Z 8801(標準ふるい)の標準網あるいは840 µmであるつて繊物を除去し、防湿性の気密な容器に密封して保存する。試験には、あらかじめ試験室内に入れ、空温と等しくなるようにする。

注 (1) 適当量とは、漏分後の試料が5kg以上になる量をいい。

## 4. 試験用水 試験用水上は、すべて淡水とする。

## 5. 比重試験

## 5.1 試験用機械器具

## 5.1.1 ルシャテリエ比重びん(参考図1参照) ガラス製とし、20°Cにおける容積は次のとおりとする。

目盛0と29との間の容積	40 ± 0.05 単位ml
目盛0以下の容積	29 ± 0.05

1目盛間の容積は、すべて0.025 ml以上の誤差があつてはならない。

目盛0以下の容積 250 ± 5

5.1.2 はかりひょう量200 gで、感度100 mgのものを標準とする。

5.2 瓶油 瓶油は、JIS K 2203(石油)の燈油又はJIS K 2204(石油)の軽油を完全に脱水して使用する。

5.3 操作 比重びんの目盛0～1 mlの間まで燈油を入れ、比重びんを水タンク中に静置して、燈油の液面がほとんど変化しなくなつたとき、その液面の目盛を読み出す。

次に試料100 gをはかりとり、少しづつ静かに比重びんに入れると、全部の試料を入れ終わつたならば、適当に振動して空気を十分に追い出し、再び比重びんを水タンク中に静置して、燈油の液面がほとんど変化しなくなつたとき、その

引用規格: JIS K 2203 瓶油

JIS K 2204 軽油

JIS P 3801 紙(化学分析用)

JIS Z 8801 標準ふるい

関連規格: JIS Z 8203 國際単位系(SI)及びその他の方

均質化試験は、次の場合はその都度行う。

$$\rho = \frac{w}{v}$$

ここに  $\rho$ : 試料の比重

v: 燃油液面の読みの差(ml)

w: はかりとった試料の質量(g)

比重試験は、2回以上行い、0.01以内で一致したものの中の平均値をとって小数点以下2けたに丸める。

## 6. 粉末度試験 粉末度は、比表面積試験又は開孔率試験によつて求められる。

## 6.1 比表面積試験

## 6.1.1 試験用機械器具 試験用機械器具は次による。

## (1) アーレーン空気透過装置(参考図2参照)

## (a) アーレーン空気透過装置の寸法は、次のとおりとする。

单位 mm

A標線とB標線間の距離 40 ± 1

B標線とC標線間の距離 55 ± 0.2

C標線とD標線間の距離 15 ± 1

セルの内径 12.7 ± 0.7

セルの上端と突起座上端間の距離 50 ± 3

セルの内径とブランジャーの外径との差 0.1以下

ブランジャー側面の通気孔の幅 3 ± 0.5

有孔金属板の厚さ 0.9 ± 0.1

有孔金属板の直径とセルの内径との差 0.5以下

穴の直径 1 ± 0.2

なお、つまは下面からのブランジャーの長さは、ヘッドの高さを15 ± 1 mmに作ることができるようにとする。

(b) セル、ブランジャー及び有孔金属板の材質は、セメントにおかきれない金属とする。

(c) セルの内面にはみがき仕上げとし、セルとマノメーターとは、すりあわせ仕上げで密接させる。

(d) 行孔金属板の穴の数は25～35とし、円板の全面に均等に穴をあける。

(e) 紙は、JIS P 3801(ろ紙(化学分析用))に規定する5種Aを使用し、その大きさは、セルの内径と等しくする。

(f) マノメーター液は、ジブチルフタレート又は、柱管底部のものを燃焼とする。

(2) はかりひょう量100 gで、燃量1 mgのものを燃焼とする。

## 6.1.2 装置の標準化は、表1の標準化試験は次のとおり行う。

## (1) 装置の標準化試験には、粉末度測定用標準試料を使用する。

標準試料の比重は3.15、ペードのボロシリケートは0.500 ± 0.005として試験を行つ。

操作の項に記し、6.1.4 計算の項の(1)を表める。測定は毎回新しくペードを作り、その平

均値を求める。

(2) 燃料化試験は、次の場合はその都度行う。

均質化試験は、次の場合はその都度行う。

(2) 燃料化試験は、次の場合はその都度行う。

(2) 燃料化試験は、次の場合はその都度行う。

(a) セル、フランジャーが摩耗したとき。

(b) マノメーター底の汚染及び壊滅があつたとき。

(c) 測定用ろ紙の大きさ、又は品質に変化があつたとき。

(d) 測定用の試料及び装置の温度があらかじめ行った標準化試験時の温度と±3°C以上の差があつたとき。

### 6.1.3 操作 試料約10gを約50mlのびんにとり、密せんし、約1分間激しくふり動かしてよくほぐす。

この中から次のようにして取出された試料を0.005gまで正確にはかりとする。

$$w = \rho v(1-\epsilon)$$

ここに  $w$ : ばかりとする試料の質量(g)

$$\rho$$
: セメントの比重

$$v$$
: セル中のセメントベッドの占める体積(cm<sup>3</sup>)

$$\epsilon$$
: セメントのベッドのガロシチー

	$\rho$	$\epsilon$
普通ポルトランドセメント	3.15	0.500 ± 0.005
早強ポルトランドセメント	3.12	0.520 ± 0.005
超早強ポルトランドセメント	3.11	0.540 ± 0.005
中耐熱ポルトランドセメント	3.20	0.500 ± 0.005
高炉セメント(A種、B種、C種)		0.510 ± 0.005
シリカセメント(A種、B種、C種)		0.510 ± 0.005
フライアッシュセメント(A種、B種、C種)		0.510 ± 0.005

注 (f) 比重( $\rho$ )はJIS R 5201の5.によって決定する。

セルをマノメーターから取りはずし、その底部に有孔金属板及びろ紙を正しくおき、その上にはかりとった試料を入れ、セルの側面を壓くたいで試料をならす。更に別のろ紙を試料の上面においてブランジャーで静かに押し、そのつばをセルの上部に密着させた後、ブランジャーを静かに抜きとる。次にセルをマノメーターに密着させ、コックを開きゴム栓を用いてU字管内のマノメーター液の液面をA標線まで上げ、コックを閉じる。液面がB標線まで降下する時間をストップウォッチを用いて0.5秒まで正確に測定する。

6.1.4 計算 比表面積は、次の式によつて算出する。

$$S = S_0 \frac{\rho_0}{\rho} \sqrt{\frac{t}{t_0}} \frac{1 - \epsilon_0}{\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\sqrt{C}}{1 - \epsilon}$$

ただし、次のセメントについては、それぞれ次の式によつて算出する。

#### (1) 普通ポルトランドセメントの場合

$$S = S_0 \sqrt{\frac{t}{t_0}}$$

#### (2) 早強ポルトランドセメントの場合

$$S = 1.115 S_0 \sqrt{\frac{t}{t_0}}$$

#### (3) 超早強ポルトランドセメントの場合

$$S = 1.236 S_0 \sqrt{\frac{t}{t_0}}$$

#### (4) 中耐熱ポルトランドセメントの場合

$$S = 0.984 S_0 \sqrt{\frac{t}{t_0}}$$

(5) 細かセメント、シリカセメント及びフライアッシュセメントの場合

$$S = 3.310 \frac{S_0}{\rho} \sqrt{\frac{t}{t_0}}$$

ここに  $S$ : 試料の比表面積(cm<sup>2</sup>/g)

$S_0$ : 細かセメントの比表面積(cm<sup>2</sup>/g)

$t_0$ : 傷や試料をベッドとして使用したときにマノメーター液面がB標線からC標線まで下降する時間(s)

$t$ : 試料をベッドとして使用したときにマノメーター液面がB標線からC標線まで下降する時間(s)

$w$ : ばかりとする試料の質量(g)

$\rho$ : 燃焼試料の比重(3.15とする)

$\rho_0$ : 燃焼試料の比重(0.50とする)

比表面積試験は、毎回新しくベッドを作り、2回以上行い、2%以内で一致したものの平均値をとり、整数1位を九

めて0とする。

## 6.2 織ふるい試験

### 6.2.1 試験用機械器具 試験用機械器具は次による。

(1) 織進ふるい 88μm 様度ふるい 88μm (±, JIS Z 8801 (標準ふるい)に規定するものを用い、あるいは

くは直径150mm又は200mmで、深さ60mmとする。

(2) はかり ひょう盤100gで、感量50mgのものを標準とする。

(3) はかり ひょう盤100gで、精度±0.1g回転させる。粉末の被覆したものは指サックを

150回の遠ざでふるいわくをたく。5回たにくごとにふるいを約1/6回転させる。粉末の被覆したものは指サックを

はめた指でふるいわくすりつけてつぶす。このようにして1分間のふるい通過量が0.1g以下となつたとき、ふ

るうのをやめて、ふるい上の残分をはかる。

ふるい分け試験は織版ふるいを使用してもよいが、ふるい終わりは手ふるい方法によらなければならぬ。

6.2.3 計算 ふるい分け残分は次の式によつて算出し、小数点以下1けたに丸める。

$$f = \frac{w_t}{w_i} \times 100$$

ここに  $f$ : 試料の粉未度(%)

$w_t$ : 試料の質量(g)

$w_i$ : ふるい上残分の質量(g)

## 7. 織結試験

### 7.1 試験用機械器具

7.1.1 ピカーニ装置 ピカーニ装置は次による(参考図3参照)

(1) ピカーニ装置の寸法は、次のとおりとする。

単位 mm
織密度の直径
始発用標準針の直径
終結用標準針の直径
終結用標準針の端から穴の突出長さ
セメントペースト容器上部の内径
セメントペースト容器下部の内径
セメントペースト容器の高さ
セメントペースト容器の直径

10 ± 0.2

1.13 ± 0.05

1.13 ± 0.05

3 ± 0.2

0.3 ± 0.05

75 ± 3

85 ± 3

40 ± 0.5



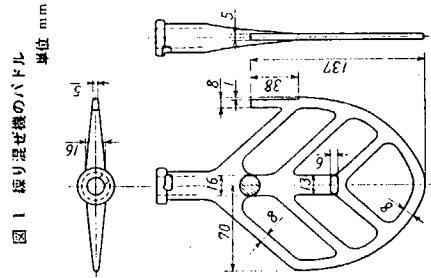


図 1 梨り混せ機のハドル

単位 mm

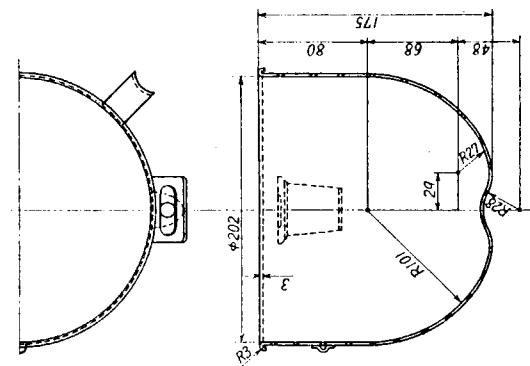


図 2 練り混せ機の練りは

単位 mm

(9) 練器の両部には直角にも、また直角上にも直角とする。

(10) 凹凸のくびれと化切くのくぼみ部分とは、よく接触する構造とする。

(11) 供試体成形用突き棒の材質は、軟鋼とする。

(12) 突き棒の寸法及び質量は、次のとおりとする。

突き棒の総長の寸法  
35 ± 1 mm質量  
1000 ± 5 g

(13) 突き棒の各かどは、直角とする。

(14) 突き棒にはみがき仕上げ、彫り部分はななこめ仕上げとする。

## • 9.1.3 強さ試験機 並び試験機は次による。

## (1) 壓縮強さ試験機

- (1.1) 圧縮強さ試験機は、その呼び容量を次の4種類に変更できる油圧式ベンチュラム・ダイナモーター形を標準とする。
- 20t, 10t, 5t, 2t
- (1.2) 目標の許容差は、呼び容量 20t, 10t, 5t の場合は、それぞれの呼び容量の  $\pm 1/100$ , 2t の場合は、その呼び容量の  $\pm 1/200$  とする。

(1.3) 試験機の圧縮板は焼入硬鋼にみがき仕上げを施したものとし、その硬さは Hs(?) 70 以上とする。

(1.4) 圧縮板には球面座を付け、荷重のとき上下両圧縮面が平行となる構造とする。

(1.5) 圧縮板又は荷重用加圧板は供試体に  $(40 \pm 0.1 \text{ mm})^2$  の面積で正しく荷重できるものとする。

(1.6) 荷重用加圧板は、焼入硬鋼にみがき仕上げを施したものとし、その硬さは Hs 70 以上とする。

注 (1) Hs は、シア硬度を示す。

## (2) 曲げ強さ試験機 (参考図 6 参照)

(2.1) 曲げ強さ試験機は、ミハエリス二重てこ形を標準とする。

(2.2) 曲げ強さ試験機の容量は 500 kgf ( $4.9 \text{ kN}$ ) とし、許容差はその容量の  $\pm 1/500$  とする。

(2.3) 荷重用及び支承ロールの材質は、焼入硬鋼とし、その硬さは Hs 70 以上とする。

(2.4) 荷重用及び支持用アッチャメントの寸法は、次のとおりとする。

単位 mm

荷重用ロールの直径  
8 ± 0.5支持用ロールの直径  
8 ± 0.5支持用ロールの中心距離  
100 ± 0.2支持用フレームの厚さ  
25 ± 1支持用フレームの幅  
20 ± 1

- (2.5) 荷重用及び支承ロールは互いに平行とし、荷重用ロールは、左右の支持用ロールから等しい距離にあるものとする。
- (2.6) 支持用フレームの上部支持点の材質は、焼入硬鋼とする。
- (2.7) 曲げ強さ試験機は、供試体の切断と同時に荷重を止めような装置とする。
- (2.8) 曲げ強さ試験機のすえつけは、てこと直角に力がはたらくように支柱を直立させ、てこの中心位置を水平とする。

## 9.1.4 フローテーブル、フローコーン及び突き棒 フローテーブル、フローコーン及び突き棒は次による (参考図 7 参照)。

(1) テーブル、支柱及びコーンの材質は軟鋼とする。織輪ロール及びカムの材質は焼入硬鋼とし、その硬さは Hs 70 以上とする。

(5) 縫付け用金具の先端は、ソケット端子で取り付け、縫め付けるとき回転しない構造とする。

(6) 縫付け用金具の心は、型わくを直角に押さえ構造とする。

(7) 支柱はその下面にリブを付ける。リブの下面には、がたつかないよう仕上げる。

(8) 底板の上面及び組立後の型わく上面は、水平となる構造とする。

(2) テーブル及びコーンの寸法は次のとおりとし、テーブルの質量(総軸を含む)は、 $8600 \pm 30$  gとする。

単位	mm
テーブルの高さ	300 ± 1
総軸の直径	24 ± 1
総軸の長さ	103 ± 2
総軸のロールの外径	22 ± 0.5
総軸のロールの軸径	10 ± 0.5
カムの偏心	12 ± 0.5
テーブルの落差	10 ± 0.5
支柱の高さ	280 ± 3
コーンの上部内径	70 ± 0.5
コーンの下部内径	100 ± 0.5
コーンの高さ	60 ± 0.5

(3) テーブル上面とコーン下面とは、なりあわせて密接させ、総軸はみがき仕上げとする。

(4) テーブルの上面にはコーンすえつけの位置を指示するため、コーンの外縁に相当する位置に長さ 10 mm の 4 本の接着剤を刻む。

(5) テーブルの下面と支柱の上面とは密接することを要する。

(6) 総軸のはめこみは容易に難いようにし、かつ、テーブルの上面と直角をなすことを要する。

(7) カムの形体は、有効接触角度を  $270^\circ$  とし、 $36^\circ$  を起点とし  $27^\circ$  ごとに  $1\text{ mm}$  ずつ半径を増す。

(8) ハンドルは、外径 250 mm のもの、握りは、外径 25 mm のものを用いる。

(9) テーブルのすえつけは、その上面を水平にし、基盤を確実に固定することを要する(1)。

注 (1) テーブルは、150 kg 以上のオショックリート台上に、ネジ付用基盤ボルトで一体となるよう固定する(参考図 7 参照)。

(10) フロー試験用ヨウ素漆の材質は、軽鋼とする。

(11) 突き棒の寸法及び質量は、次のとおりとする。

直 径	質 量
20 ± 1 mm	500 ± 3 g

(12) 突き棒の底面は、その側面と直角をなすものとする。

(13) 突き棒部分は、みがき仕上げ、墨り部分はななこめ仕上げとする。

9.1.5 はかりひょう量 2 kg で、感量 1 g のものを標準とする。

9.2 燃 烧 砂 強さ試験には、燃浦焼砂を用いる。燃浦焼砂は、山口県豊浦郡豊前町産の天然けい砂からさくり雜物を除き去り、次の粒度である。

標準燃砂:  $297 \mu\text{m}$  刃分

9.3 温 度 供試体の底面から汲み水までの室温は  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  とし、水タンクの水温は  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  とする。溝入前の室温は  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  とし、温度は  $80^\circ\text{C}$  以上とする。

#### 9.4 供試体の作り方

9.4.1 供試体の大きさ 曲げ試験の供試体は断面 40 mm 半方、長さ 160 mm の角柱を用い、圧縮試験用の供試体は曲げ試験に用いた供試体の両折片を用いる。

9.4.2 モルタルの配合 モルタルの配合は貿易セメント 1、標準砂 2、セメント比 0.65 とする。1 回に標準砂を用いてモルタルを成形したときの両側面を加压面とし、荷重用加压板を用いて供試体中央部に、毎秒 80 kgf [7.85 N] の割合で載荷して最大荷重を求める。

#### 9.5 計 算

9.5.1 壓縮強さ 前項で求めた最大荷重から次の式によって、圧縮強さを算出しながる。

$$c = \frac{w}{16}$$

ここに  $c$ : 圧縮強さ [ $\text{kN}/\text{cm}^2$  (MPa)]  
 $w$ : 最大荷重 [kgf (N)]

なお、これは供試体 3 個分はフロー試験後回折のモルタル底に相当する。

セメント 標準砂	水	520 R
1010 g	338 g	

#### 9.4.3 繰り混ぜ方法 繰り混ぜ方法は次による。

(1) 機械繰りによる方法 9.1.1 で規定した繰り混ぜ機を使用する。せりはち及びハンドルを混台立面上に固定し規定量の水を入れる。次に繰り混ぜ機を始動させハドルを回転させながら 30 秒間に規定量のセメントと入れる。繰り混ぜを終けながら底の 30 秒間で規定量の標準砂を入れる。引続いて 60 秒間繰り混ぜたのも 20 秒間停止する。休止のあいだにさじ(2)でせりはち及びハンドルに付着したモルタルをかき落とす。更にせりはちの底のモルタルをかき上げるように 2 ないし 3 回かき混ぜる。(休止が終わったら再び始動させ 120 秒間繰り混ぜる。

繰り混ぜが終わったらせりはちを碟り渡せ機から取りはずし、10 回さじでかき混ぜる。

注 (1) さじは、7.1.2 に規定されているものを用いる。

(2) 手繰りによる方法 セメント標準砂用のはち及びさじは、7.1.2 に規定されているものを用いる。はちに規定量のセメントと標準砂を入れ、さじで 2 分間よく混ぜ、次に規定量の水を加え、さじで 3 分間十分によく練り混ぜる。

9.4.4 成 形 モルタルは、型わくに 2 層に詰める。モルタルを型わくの高さの  $\frac{1}{2}$  まで詰め、突き杵を用いてその先端がモルタル中に約 4 mm 入る程度に、全面にわたって突く。次に型わくの上端まで詰め、前と同様に突き杵を用いて突き、最後に残りのモルタルをもつて約 5 mm 盛り上げをし湿気缶に入れる。突き数は、9.7 のフロー試験の結果によつて、次の表に示す回数を標準とする。

フロー試験回数	169 以下	170 ~ 179	200 ~ 209	210 以上
突き数	20	15	10	5

モルタルを詰めてから 5 時間以上を経た後、供試体をいためないように注意して型の上の盛り上げを削りとり、押しつけないで軽くねじてその上面を平滑にする。型詰めを終わってから 20 時間以上を経た後、ていねいに型わくから取りはずし水そうに入れ完全に水中に浸す。

備考 1. 型わくは、水離れのないようグリースを塗布して捺付ける。

2. 供試セメント、標準砂及び水は、室温と等しくなるよう、あらかじめ試験室内に準備しておおく。

9.5 測 定 逃さ試験の供試体は、成形後 1 日(湿気缶中 24 時間)、3 日(湿気缶中 24 時間)、7 日(湿気缶中 24 時間)、14 日(湿気缶中 24 時間)、21 日(湿気缶中 24 時間)、28 日(湿気缶中 24 時間)を経たのち、曲げ試験は、各材令とも 3 個の供試体について行い、圧縮強度は、各材令とも曲げ試験によって切削された 6 個の供試体の折片について行う。曲げ試験は、供試体を水中から取り出した直後を行うものとし、支点間の距離を 100 mm とし、供試体を成形したときの側面の中央に、毎秒 5 kgf [49 N] の割合で載荷して最大荷重を求める。圧縮試験は曲げ試験の直後に行うものとし、供試体を成形したときの両側面を加压面とし、荷重用加压板を用いて供試体中央部に、毎秒 80 kgf [7.85 N] の割合で載荷して最大荷重を求める。

#### 9.6 計 算

9.6.1 圧縮強さ 前項で求めた最大荷重から次の式によって、圧縮強度を算出しながる。

图 1-1-1 工业生产率数据  
图 2-1-1 市场数据

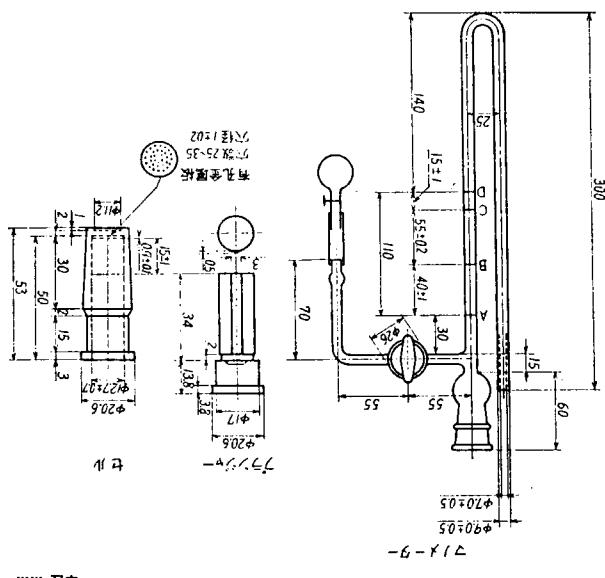
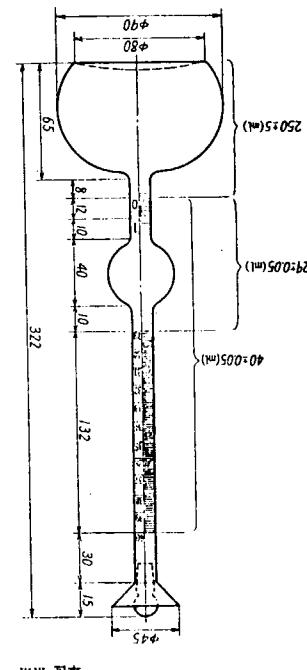


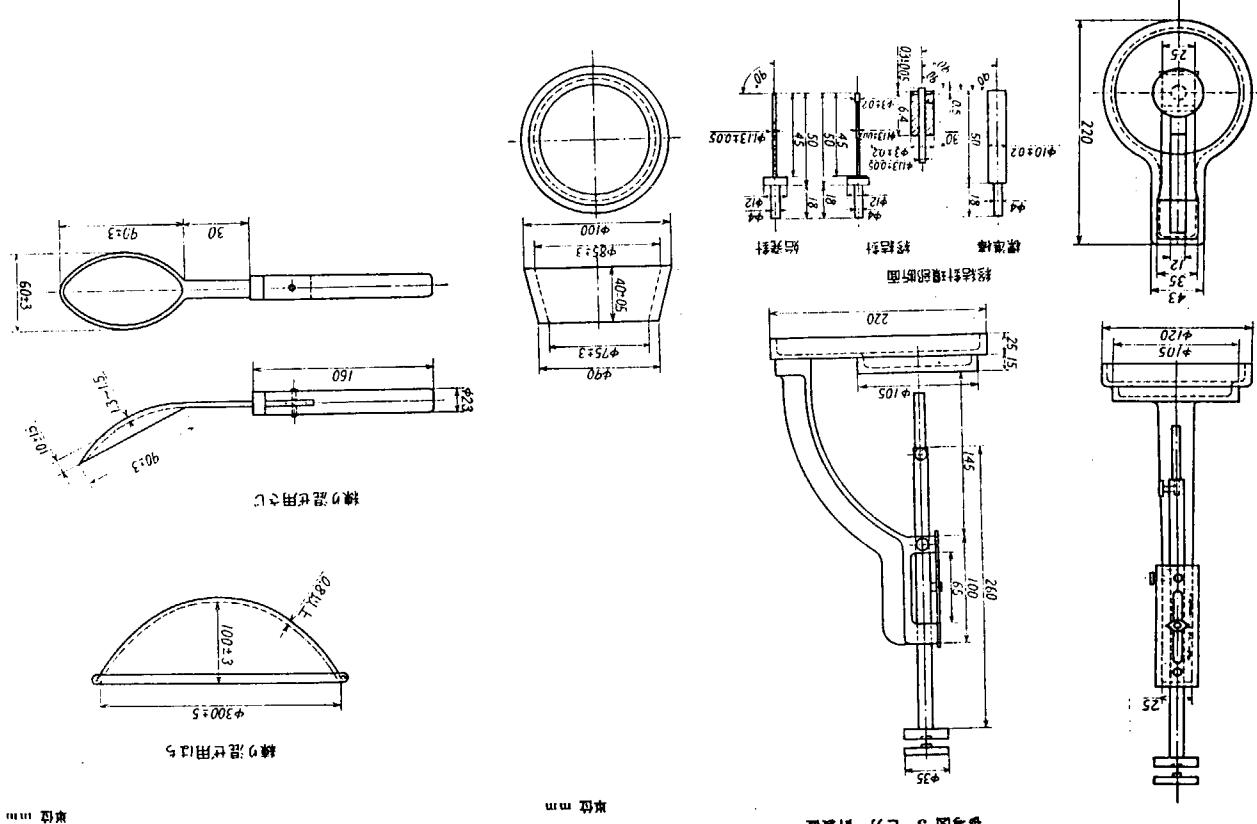
图 3-3-1-1 轴套  
图 3-3-1-2 轴套



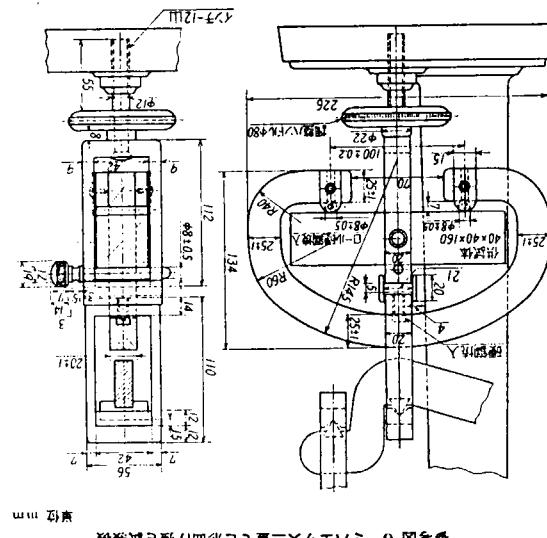
中華書局影印

新編國語辭典-16 組合類

www.ymca.org



圖三一力一對裝置



## 14. 骨材中の比重 1.95 の液体に浮く粒子の試験方法（土木学会）

## 4.2 粗骨材を試験する場合

代表的な粗骨材は四分法その他適当な方法で採取し、その量は 2500g とする。試料は 105~110°C で定重量となるまで乾燥したのち、0.5g まで計量する。

## 5. 試験方法

2. 試験用器具  
2.1 粗骨材の場合

- (1) はかりは容量 1000g 以上で 0.1g まで計量できるものとする。
- (2) フルイは 0.6mm フルイを用いる。
- (3) 小形こし網は、0.6mm 目以下の金網でこれをつくり、2 個以上用意する。
- (4) ガラスビーカーは容量 1000cc のものを 3 個用意する。

## 2.2 粗骨材の場合

- (1) はかりは容量 5000g 以上で 0.5g まで計量できるものとする。
- (2) 試験用溶液を入れる容器および骨材を入れる金網かごは溶液に侵されないもので、その容器は試料が浸されたとき、溶液の表面が試料の上面より 5cm 以上高くなるようなものとする。
- (3) 小形こし網は 2.5mm 目以下の金網でこれをつくり、2 個以上用意する。
- (4) かくはん用のさじは適當な大きさのものを用いる。

3. 試験用溶液 試験に用いる溶液は 21~27°C で比重が 1.95±0.02 の塩化亜鉛 ( $ZnCl_2$ ) 溶液とする。

注意 この濃度の塩化亜鉛は皮膚に刺戟や火傷を生じるから、注意して取り扱わなければならぬ。皮膚に触れたときはただちに多量の水で洗えば、十分解毒することができる。

## 4. 試料

## 4.1 粗骨材を試験する場合

代表的な細骨材は四分法または試料分取器で採取し、その量は 0.6mm フルイにとどまるので砂利度に応じて 100~200g とする。試料は 105~110°C で定重量となるまで乾燥したのち、0.6mm フルイでふるい、フルイにとどまつたものを 0.1g まで計量する。

## 4.2 粗骨材を試験する場合

骨材中に含まれる比重大きい粒子を近似的に測定する試験に適用する。

備考 この試験は粗骨材に対するものではない。骨材によって取り除くことができる。

## 5. 試験方法

## 5.1 細骨材を試験する場合

- (1) 約 600cc の試験用溶液を 1000cc のガラスビーカーに入れ、試料を溶液中に加えながら溶液を澈しくかきませる。
- (2) 試料が全部浮遊状態になったとき、かくはんをやめて浮遊している軽い粒子と細骨材との間に明確な境界面ができるまで約 30 秒間試料を静置する。

- (3) 沈降した砂がビーカーの底からこぼれないようにし、浮遊粒子のみが溶液とともにに注がれるよう注意して、溶液をこし網に注ぐ。

- (4) 軽い粒子を多量に含む試料の場合には、さらには溶液を試料に加え、(2), (3) の操作を行なう。
- (5) このとき試料は試験中塩化亜鉛溶液に 2.5 分以上接触させておいてはならない。
- (6) こし網にとどまつた粒子は清浄な水で十分に洗い、塩化亜鉛を除き、その後 105~110°C で定重量となるまで乾燥し、0.1g まで計量する。乾燥した粒子には砂粒子が存在するかどうかを肉眼で検査し、もしわれば、これを取り除く。

## 5.2 粗骨材を試験する場合

- (1) 試料を金属かごに入れ、試験用溶液の入った容器中に浸し、試料および溶液を大きな混合させじで 1 分間激しくかくはんする。
- (2) かくはんを止めながら 1 分以内に浮遊粒子をこし網でくい取る。
- (3) こし網ですくい取った粒子は清浄な水で十分洗い、塩化亜鉛を除き、その後 105~110°C で定重量となるまで乾燥し、0.5g まで計量する。

## 6. 結果の計算 軽い粒子の百分率近似値は次式によつて計算する。

$$\text{軽い粒子の百分率} = \frac{\text{こし網に残った粒子の重量}_{(1)}}{\text{乾燥試料の重量}_{(1)}} \times 100\%_{(2)}$$

注(1) 細骨材の場合 0.6mm フルイにとどまつた試料の重量である。

(2) この試験方法では 0.6mm 以下のものは完全には分離ができないのである。

## 15 織りませ水の試験方法

土木学会  
1976

1. 適用範囲
  - 1.1 この試験方法は、モルタルの圧縮強度によるコンクリート用織りませ水の試験に適用する。
  - 1.2 試験する水を用いたモルタルと、比較用としての基准水を用いたモルタルとの圧縮強度を比較する。
  2. 試験用器具
    - 2.1 ばかりは、容積2kg以上で0.5kgまで計量できるものとする。
    - 2.2 ミキサは、練りはちの公称容量4.7L以上、ハンドルが回転運動をする電動ミキサーで、ハンドルに自動おさげそれと逆方向に公転運動を生えるものとし、ハンドルの回転数は、低速の場合、公転は140±5 rpm、公転は28 rpm、高速の場合、公転は285±10 rpm、公転は約125 rpmとする。
- 2.3 型わくは、内径5cm、高さ10cmの金属製

円筒とする。  
2.4 突き棒は、直径9mmの丸鋼とし、その先端をぶくとがらせたものとする。  
3. 試験に用いる材料
 

- 3.1 セメントは、JSR S210(ポルトランドセメント)の普通ポルトランドセメントとする。
- 3.2 細骨材は、清浄、強硬で、ごみ、どろ、有機不純物、塩分等の有害性を含まない、粒度が無筋および鉄筋コンクリート標準示方書に規定する粒度の標準に合うものを用いる。

細骨材は、表面乾燥水状態に於ける、細骨

材を表面乾燥水状態に於ける、細骨

織りませ水および吸水率試験方法)の3.3による。いたモルタルは供試体の成形には使用しないものとする。

注 1. 自然な細骨材が入ってない場合にはシリカサンドを用いる。シリカサンドは530~840μと840~1190μの2種類の粗度と密度標準値をそれぞれ当社に配合して用いて下さい。

### 5.3 供試体の成形

4. 試料
 

- 4.1 試験用清水は、代表的なものが得られるよう採り、その量は約4Lとし、採取場所、日時、水温、その他必要事項を記録する。
- 4.2 比較用としての基准水は蒸留水または上水道水とする。

### 5. 試験方法

5.1 モルタルの配合の定め方 モルタルの配合割合の定め方として定める。練りはちおよびドルをセメントに水400gを入れ、セメント800gを加え、低速で40秒間練りませる。この間に砂の混入量を徐々に投入する。ついで20秒間休止する。一回にきじて練りはちおよびドルに付着したモルタルをかき落す。さらには高速で2分間練りませた後、モルタルのフローが190±5になるような細骨材の重量を定める。

注1 この種の重ねめやすとしては、通常の川砂の混合比2000~2600g程度である。

5.2 モルタルのフローおよび空気量の測定 モルタルのフロー試験はJIS R 5201(セメントの物理試験)の10.5による。空気量は、JIS A 6701(ラバーブッシュ)の7.3によるモルタルの単位容積重量を求め、JIS A 1116(コンクリートの単位容積重量試験方法および空気量の重量による試験方法)式5.5によって算出する。なお、アローおよび六角の測定は各繰りませ水について行ない、これを用

いたモルタルは供試体の成形には使用しないものとする。

注2 管状試験管は、本管に用いた方が、洗剤、油類、ワニン格などて汚染されているかどうかを判断する。

### 5.3.1 モルタルの練りませは5.1による。それ

ぞれの水について2バッチ練りませ、各バッチから供試体を4個つくる。

### 5.3.2 モルタルは2層に分けて型わくに詰める。

その各層は突き棒で25回突く、突き孔がなくなる

ようにする。

5.3.3 型わくに詰めてから4時間以後にキャップシケし、24時間以後に型わくを取りはずし、試験のときまで保管する。キャップシケおよび養生は、JIS A 1132(コンクリートの強度試験用供試体の作り方)の4.4および7.7による。モルタルは(コンクリートの圧縮強度試験)による。正規に供する供試体の数は各条件とも4個とし、付合は7日および28日とする。

### 6. 結果の計算

試験用清水と基准水を用いたモルタルの材合7

注 1. 28日の圧縮強度からつきの式に

よって各条件の圧縮強度を算出し、小数点以下1

けたをJIS Z 8001(数値の丸め方)によって丸めて整数とする。

### 圧縮強度比

$$= \frac{\left( \frac{\text{試験水を用いたモルタルの材合7}}{\text{日 (または28日) の圧縮強度}} \right)}{\left( \frac{\text{基准水を用いたモルタルの材合7}}{\text{日 (または28日) の圧縮強度}} \right)} \times 100$$

## 16. モルタルのワーカビリチー測定方法

川 小 稲 美 \*  
尾 野 洋 \*

### A New Method for Measuring the Workability of Plastering Mortars.

Inahide Tanaka \*  
Hirosi Kajino \*

多い、この方法は上台をしつかりさせ、テープルを水平に固定しないと異なった値を示すので、現場塗装モルタルの作業には操作が簡便で、現場塗装モルタルのワーカビリチーが十分で、なおかつモルタルのワーカビリチーが十分測定できるものが必要である。このため、著者らは小型スランプコーンによるスランプ試験方法を採用し、種々検討した結果、本方法が信頼度も高く現場モルタルの作業に適した方法であることをつきとめたので、ここにその方法を提案する。

Workability is perhaps one of the most important properties of a plastering mortar. Proper workability determines efficiency of the work and cost of the masonry construction.

Workability is rather elusive and we can only judge the workability by the measurement of consistency.

The method for measuring the consistency with flow table described in JIS R 5201 (method of test for strength of hydraulic cement) is not suitable to measure workability of field plastering mortar.

It is necessary, therefore, to use a test method sensitive to change in workability of plastering mortar, having flows widely ranging approximately from 160 mm to 240 mm. Therefore, a small slump cone (modification of concrete slump cone) has been developed. The slump cone is made of cast iron, 50 mm in upper diameter, 100 mm in bottom diameter, 150 mm in height, weight is about 2 kg.

In this paper, especially, a new method for measuring the consistency of plastering mortar and the effect of such factors influence on consistency of plastering mortar's as the mixing ratio, mortar, grading of sand, water-cement ratio, kinds of sand, air-content, content of admixture etc., have been investigated.

### はじめに

塗装するモルタルがワーカブルであるかどうかは塗装モルタルの仕事量(モルタルボンブ施工の場合)は正送りし易さおよび圧送量、手塗りの場合は塗り易さおよび塗装した面積)および左官工事全體のコストを決定つけるので、モルタルのワーカビリチーは塗装モルタルの最も大切な性質の1つである。ワーカビリチーは多分に経験的なものであり、まだ非常に標準的な性質でもある。したがって、1つの

JIS R 5201 セメントモルタルの塗装試験のフローテーブルによるモルタルのスランプ試験結果に用いたモルタルの調合は Table 3 に示す。

\* 中央研究所 Central Research Laboratory.

II 試験方法

1. 使用材料

(1) セメント：小野川普通セメント  
(2) 水：川砂および人工鮮性骨材(アサライト)，その性質を Table 1 に示す。  
(3) 混和材：電気機子火材ライアッシュ，性質を Table 2 に示す。  
(4) 混合剤：小野川 NNN (小野川ユニロン社製)，メトロローズ 4000 箱(計越洋社製)

Table 1. Properties of fine aggregates grading of sand

Fine aggregate	Percentage of passing sieve (%)					Fineness modulus	Specific gravity	Coefficient of water absorption (%)
	5 mm	2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.15 mm			
River sand A	100	76	48	25	9	2	3.40	2.65
" B	100	87	70	49	21	2	2.71	2.64
" C	100	88	75	59	39	10	2.31	2.64
" D	100	88	77	70	57	17	1.91	2.64
" E	100	100	98	83	42	3	1.74	2.62
Artificial light weight ag.	100	75	43	33	16	6	3.28	1.80
" B	100	87	54	34	18	9	2.95	1.84
" C	100	96	68	47	26	13	2.50	1.91

注：In saturated surface-dry condition.

Table 2. Physical properties of fly ash

Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (residue %)	Specific gravity	Total water content (%)	0.15
3600	0.7	2.25	

### 2. モルタル

(1) 試験器

小型スランプコーンによるモルタルのスランプ試験方法

小野川N.N.N. (小野川ユニロン社製)



19	River sand D	1 : 2	9.4	3.2	103	145	166	186	216	232	204	232	fly ash 30
20			8.4	8.0	132	113	163	180	181	142	114	142	
21			3.7	12.3	215	145	195	218	236	191	162	191	
22		1 : 3	13.5	2.5	101	100	132	156	175	124	115	124	191
23			11.6	6.1	118	107	144	195	216	176	150	174	218
24			8.3	11.6	218	127	195	224	242	167	128	140	176
25	River sand E	1 : 2	13.1	3.1	105	105	135	157	174	116	106	140	methyl cellulose 0.1
26			9.3	7.3	126	108	157	189	205	165	116	169	204
27			3.7	11.8	218	136	189	213	230	152	118	156	NN 0.1
28		1 : 3	14.5	5.7	110	104	157	185	205	174	111	156	NN 0.1
29			12.3	7.0	120	107	162	193	212	190	137	177	NN 0.1
30			8.2	11.2	206	139	189	217	235	152	111	156	NN 0.1
31	Artificial light weight agg. A	1 : 1	4.7	8.2	—	113	160	184	201	218	202	184	
32			2.5	12.9	215	146	197	220	235	191	175	191	
33			0.8	10.0	159	114	159	183	200	237	175	191	
34			0.0	11.8	182	146	193	220	237	191	175	191	
35			0.0	11.5	150	104	136	166	173	226	173	191	
36			0.0	11.5	181	130	182	208	226	226	173	191	
37			1.8	3.3	108	104	136	166	173	226	173	191	
38			0.7	7.5	150	110	153	176	193	226	173	191	
39			0.0	11.5	181	130	182	208	226	226	173	191	
40			3.8	5.0	192	103	128	147	165	224	173	191	
41			1.5	8.0	122	110	150	176	194	210	173	191	
42			0.3	11.7	250	133	184	210	224	224	173	191	
43	Artificial light weight agg. B	1 : 2	0.6	6.5	120	108	149	161	177	213	173	191	
44			0.1	10.0	159	109	150	174	191	213	173	191	
45			0.0	11.8	182	121	175	195	213	213	173	191	
46			16.0	3.2	105	109	141	165	182	213	173	191	
47			14.9	11.2	225	144	192	216	233	213	173	191	
48			13.9	12.0	125	109	141	165	182	213	173	191	
49	Artificial light-weight agg. C	1 : 2	0.9	7.7	131	114	143	188	205	228	173	191	
50			0.3	10.5	180	134	185	210	230	246	173	191	
51			0.0	11.5	224	165	208	230	250	268	173	191	
52			11.3	5.7	121	114	157	180	197	228	173	191	
53			10.3	8.8	140	116	162	186	205	230	173	191	
54			10.0	11.6	209	138	185	213	230	230	173	191	
55	Artificial light-weight agg. A	1 : 3	12.5	9.0	124	118	171	195	211	222	173	191	
56			11.9	11.2	194	130	185	206	223	223	173	191	
57			15.2	8.5	136	111	148	169	184	205	173	191	
58			13.4	10.2	152	117	173	190	205	223	173	191	
59			21.9	8.0	135	112	150	168	182	205	173	191	
60			20.8	11.3	200	154	192	208	223	223	173	191	
61			15.2	6.5	137	109	153	175	190	205	173	191	
62			6.8	11.3	180	140	193	216	232	232	173	191	
63			16.1	4.3	107	140	161	177	190	215	173	191	
64			14.8	10.7	178	125	175	200	215	215	173	191	
65			32.7	5.8	130	110	155	174	190	215	173	191	
66			27.7	11.4	180	123	175	200	214	214	173	191	
67			5.9	4.4	100	109	147	169	186	213	173	191	
68			5.6	10.5	171	118	169	195	213	213	173	191	
69			0.0	6.0	123	110	150	170	188	200	173	191	
70			0.0	10.5	183	124	174	200	218	218	173	191	

Fig. 4. Relation between Stump and diameter of Stump

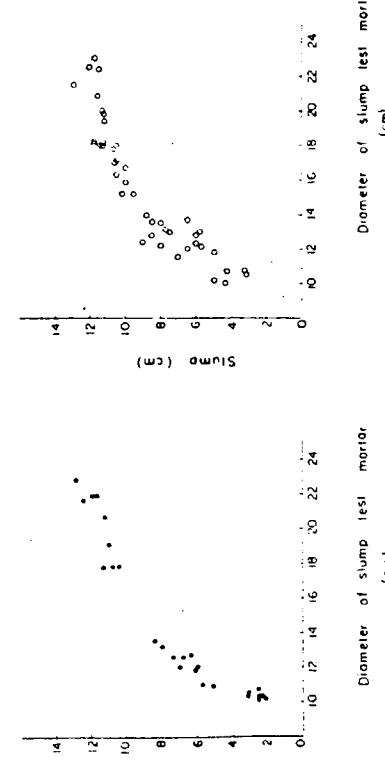


Table 5. Flow test results

No.	Mix	River sand		Artificial light-weight aggregate		No drop		to five drops		from zero drop		Flow (mm)	
		Fine aggregate	No. drops to ren	Fine aggregate	No. drops to ren	no drop	from five drops	no drop	from five drops	no drop	from five drops	no drop	from five drops
1	1:2	0	19	11	43	1:2	6	21	36	24	41	21	16
2	"	5	42	16	44	"	9	24	54	21	54	20	18
3	1:3	7	24	16	45	1:3	9	24	52	21	49	25	19
4	"	9	20	16	46	"	9	24	52	21	49	25	19
5	1:4	5	20	16	47	"	9	24	52	21	49	25	19
6	7	21	53	18	48	1:2	14	44	48	24	49	25	18
7	"	2	32	20	49	1:2	14	44	48	24	49	25	18
8	"	7	50	25	50	1:2	14	44	48	24	49	25	18
9	"	7	50	25	50	1:2	14	44	48	24	49	25	18
10	"	25	21	13	52	1:3	14	43	43	23	43	23	17
11	1:3	1	26	22	23	1:3	14	43	43	23	43	23	17
12	"	7	53	27	18	1:3	14	43	43	23	43	23	17
13	"	28	52	30	17	1:3	14	43	43	23	43	23	17
14	"	7	58	25	14	1:3	14	43	43	23	43	23	17
15	"	18	58	28	14	1:3	14	43	43	23	43	23	17
16	1:3	1	32	21	15	1:3	14	43	43	23	43	23	17
17	"	7	54	27	17	1:3	14	43	43	23	43	23	17
18	"	49	56	25	19	1:3	14	43	43	23	43	23	17
19	1:2	13	50	26	17	1:2	14	44	44	23	44	23	16
20	"	13	50	26	17	1:2	14	44	44	23	44	23	16
21	"	45	50	23	18	1:3	14	43	43	23	43	23	16
22	1:3	0	50	24	19	1:3	14	43	43	23	43	23	16
23	"	7	57	24	19	1:3	14	43	43	23	43	23	16
24	"	27	57	24	19	1:3	14	43	43	23	43	23	16
25	"	5	57	22	17	1:3	14	43	43	23	43	23	16
26	"	5	51	32	16	1:3	14	43	43	23	43	23	16
27	"	56	53	24	17	1:3	14	43	43	23	43	23	16
28	"	56	53	28	17	1:3	14	43	43	23	43	23	16
29	"	7	55	31	19	1:3	14	43	43	23	43	23	16
30	"	50	59	27	18	1:3	14	43	43	23	43	23	16
31	1:1	13	47	24	17	1:1	10	40	40	24	40	24	17
32	"	24	54	24	17	1:1	10	40	40	24	40	24	17
33	1:2	10	51	25	15	1:2	7	34	34	20	34	20	16
34	"	14	41	24	16	1:2	7	34	34	20	34	20	16
35	"	14	46	23	17	1:2	7	34	34	20	34	20	16
36	"	46	47	24	17	1:2	7	34	34	20	34	20	16
37	1:3	4	32	39	16	1:3	11	45	45	21	45	21	16
38	"	10	43	39	16	1:4	3	25	25	18	25	18	16
39	"	30	52	39	17	1:4	3	25	25	18	25	18	16
40	"	3	25	39	17	1:4	3	25	25	18	25	18	16
41	"	10	40	51	26	1:4	3	25	25	18	25	18	16
42	"	33	51	51	26	1:4	3	25	25	18	25	18	16

シップで伝達し易いモルタルの軟らかさを知ることができる。また、Fig. 2 はモルタルの調合、砂の粒度、混和料および粗骨材の添加量を変えたものについてプロットしている。

なお、参考のためにコンクリート用スランプコーンを用いたときのスランプ値と小型スランプコーンによるスランプ値の関係は Fig. 3 のようになり、いずれの方法でもモルタルのコンステンシーを表わすことができる。

2. スランプ値とスランプの広がりの関係

スランプ値とスランプの広がりの関係は、Fig. 4 に示すようにスランプ値が大きくなると、それにつれて広がり値も次第に大きくなつた。また、スランプの値は約 12.0cm 程度で、それ以上モルタルが軟らかくなつてもスランプ値は大きくならないが、スランプの広がり値だけが大きくなることがわかつた。したがつて、非常に軟らかいモルタルの場合はスランプ値とスランプの広がり値の両者の管理が必要である。

なお、小型スランプ試験で管理できるモルタルの軟らかさの範囲はスランプ値で 3~12cm といえよう。

### 3. 落下回数 6 回ごとのフロー値の変化

(フロー試験の内容調査)

78種類のモルタルについて落下回数 5 回ごと

のフロー値を測定した。その結果 Table 5 に示したように、フロー値の違いは最初の落下回数 5 回までの値に關係し、それ以後の落下による変形量は殆んどどんなモルタルでも同じであることがわかり、モルタルの軟らかさが変わつてもその後は一定の割合でふえることがわかる。したがつて、Fig. 2 に示すように落下降数 5 回と 15 回の時の直線関係の勾配は変わらない。また、フロー試験は古きの低いコースランプ試験を行なつた後、その間を落下降により広げていく方式であるため、フローコーンを取り除いた時の変形量を落下降により広げているにすぎない、したがつて、フロー試験は要則的なランプ試験といえる。この場合、落下降運動は軟らかいモルタルに分離を起こさせ、硬いモルタルの空気量を減少させる。したがつて、Fig. 5 に示すようにフローコーンを取り除いた直後のフロー値とスランプの広がり値の関係は直線的則性を示すが、その後の落下降数がふえると直線的関係はくずれる。このため、フロー試験は真的モルタルのフローカビリティーを測定しないといえよう。

### 4. モルタル中の空気量とスランプの関係

モルタル中の空気量とスランプの関係は Fig. 6 に示すように、スランプ値の大きい軟らかいモルタルほど、当然ながらモルタル中の空気量

Fig. 5. Relation between slump of mortar and diameter of slump test mortar  
River sand      Artificial light-weight aggregate

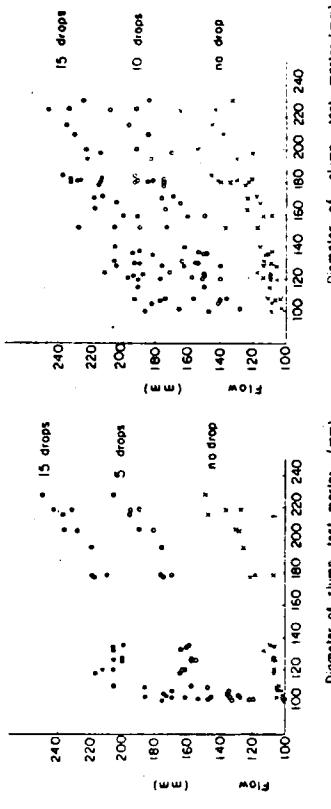
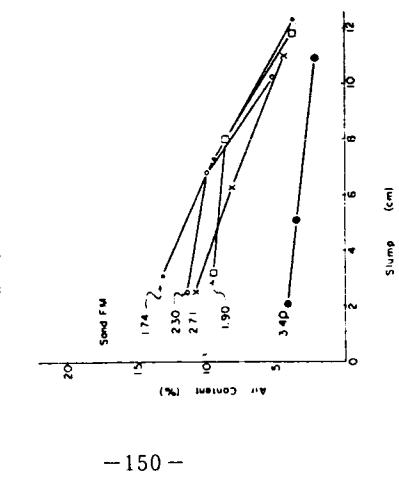


Fig. 6. Relation between slump and air content of mortar



は少ない、また、砂の粒度が粗いほどモルタル中の空気量は少くなり、細かい粒度の砂ほど多くなった。

## IV スランプ値によるモルタルの管理

以上の結果、モルタルのスランプ値はフロー値と同様にモルタルのコンシステンシーの測定値に役立つことがわかったので、どの程度の粒度でモルタルの粒度を粗くすると、か、水セメント比を1～2%きざみにし、砂の粒度を変えて検討した。

その結果、今迄は砂の粒度が粗いほど同一軸度のモルタルにするための水が少なくてすむ。

Fig. 7. Relation between slump of mortar and mixing ratio, grading of sand, and water-cement ratio

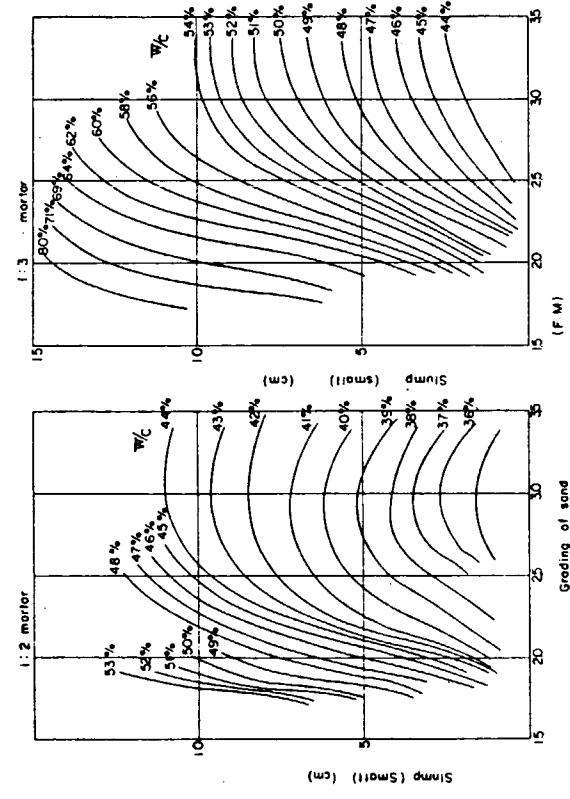


Fig. 7. Relation between slump of mortar and mixing ratio, grading of sand, and water-cement ratio

た、したがって、落下回数5回と15回の時の直線関係の勾配は変わらない。

(6) フロー試験は高さの低いコーンでスランプ試験を行なったのち、その円を落すより抜げていく方式である。したがって、落下運動は軽かいモルタルの分離を起こさせ、硬いモルタルの空気泡を減少させる。このため、フロー試験は貯のモルタルのワーカビリティーを測定していない。

(7) モルタル中の空気量はスランプ値の大きさからモルタルほど少ない。また、砂の粒度があらはほど少なく、細かいほど多い。

(8) スランプ値によれば1:2モルタルの場合の粒度は変わらない。したがって、広範囲にモルタルの粒度ができる。

(9) スランプ値が大きくなると、それに伴って広がり値も次第に大きくなること、またスランプ値は大は約12.0cmでそれ以上ではスランプの伸びが大きくなることがわかってきた。したがって、モルタルの添加量が変わるとフロー値の粒度が変わらない。したがって、広範囲にモルタルの粒度ができる。

(10) 小形スランプ試験で作用できるモルタルの粒度がヤツカナなるとスランプ値と広がり値の両者の粒度が必要である。

(11) フロー値は最初の落下回数5回までの値に則りし、それ以後の落下による変形は殆んどどんなモルタルでも同じであることがわかつた。

わった場合、Fig. 7に示すようにスランプ値では砂の粒度の差によるモルタルの粒度の粒度は大きいつきとめることができる。1:2モルタルの場合、砂のFM 3.00附近にて落水（水セメント比）の少なくなるところがあること、それ以上砂が粗くなると、逆に水はがくことえていくことをみいたした。また、水セメント比が1～2%変わるとスランプ値は0.7～1.5cm動くことがわかり、スランプ値はモルタルの粒度が變化を非常に敏感につかれてることがわかった。

したがって、スランプ試験は精度もよく、その上広範囲のモルタルの粒度をキャッチできるので、モルタルの調合および粒度を粗めかさの粒度に適した試験方法といふよう。

## Vまとめ

現場で使用するモルタルのは適切な粒度およびセメント比におけるモルタルの最適粒度の管理などに操作が簡便で、なおかつ精度の高い試験方法が要求されていた。このため、著者たちはコンクリート用のスランプコーンのほかのスケールのスランプコーンを採用して、78軸筋のモルタルのコンシステンシーを測定した結果、この方法が現場の要求に適した方法であることをつきとめた。次に試験結果を要約すると、

(1) 小形スランプコーンによるモルタルのスランプ値とフロー値には荷重の相間関係がある。また、モルタルのコンシステンシーが変わるとモルタルの粒度が少くことが多いが、スランプ値は0.7～1.5cm 到くことである。

(2) フロー値は最初の落下回数5回までの値に則りし、それ以後の落下による変形は殆んどどんなモルタルでも同じであることがわかつた。

## 文 献

- 1) Leo Kampf : Materials Research & Standard, 1 (1) 7~8 (1961)
- 2) J. E. Isenburg : ibid, 5 (7) 358~361 (1965)
- 3) R. Shalon and I. Soroka : ibid, 4 (9) 405~471 (1964)
- 4) M. papadakis : Rev materiaux construct et trav publ, No. 531 285~302 (1959)
- 5) 岡田：セメント技術年報, 2, 223~229 (1948)
- 6) 松尾, 尾山：セメント技術年報, 5 293~298 (1951)
- 7) 山崎：セメント技術年報, 11, 288~293 (1957)
- 8) 木村：セメント技術年報, 14, 260 (1960)
- 9) P. S. Roller : J. phy. chem, 43, 457~489 (1939)
- 10) G. C. Wilsmack : Rock products, Oct, 111 (1951)
- 11) 大沢：セメント技術年報, 15, 146~150 (1961)
- 12) 左右田ほか：セメント技術年報, 15, 159~163 (1961)
- 13) 木村：セメント技術年報, 16, 219~226 (1962)
- 14) G.H. Tattersall : Brit. jour. of appl. physics 6, 165~167 (1955)
- 15) V. Saretok : Bulletin Rilm No. 5 Dec, 49~58 (1959)
- 16) 大沢：セメント技術年報, 16, 231~235 (1962)
- 17) Maron, S. H., Krieger, L. M., Sisko, A. W : J. Applied phys 25, 971 (1954)
- 18) 木村：セメント技術年報, 18, 220~223 (1964)

## 7.2 フェロセメント板の強度試験方法について

## 7.2.1 まえがき

昭和52年度および昭和53年度の造研第305研究部会「フェロセメント船に関する調査研究」において、フェロセメント板の強度試験（曲げ強度試験、引張強度試

験および曲げ疲労試験）を実施してきた結果、次に述べる試験方法（案）を提案することができる。

なお、この試験方法（案）には、まだ問題点がいくつか残されているので、これらについては各項目ごとに注記することにする。そして、それら問題点の検討は今後の課題としたい。

## 7.2.2 フェロセメント板の強度試験方法（案）

## (1) フェロセメント板の曲げ強度試験方法

## (a) 適用範囲

この試験方法は、3等分点荷重によるフェロセメント板の曲げ強度試験の方法について規定する。

## (b) 試験用機械器具

3等分点荷重を載荷するための装置は、3等分点荷重を垂直にかつ偏心しないように加えることができ、また、供試体を設置したときに安定がよく、しかも十分な剛性をもつものでなければならない。図7.2.1は適当な試験装置の一例を示したものである。

(注) フェロセメント板の曲げ強度を試験するにあたり、ひびわれ荷重を測定する際のひびわれの観測を安定、正確かつ容易に行うためには、供試体上面でフェロセメント板の引張側のひびわれを観測できる方法が便利

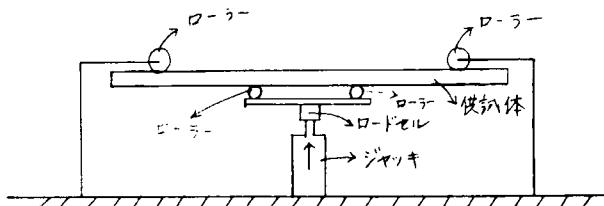


図 7.2.1 曲げ試験装置

である。そこで図 7.2.1 に示すようなジャッキによる突き上げ方式がよいと考える。

#### (c) 供試体

- (i) 供試体は船殻に使用するフェロセメント板と同一構造とし、同一工法で製作する。

供試体の寸法は幅：300 mm, 長さ：1,200 mm, 厚さ：船殻と同一厚さとする。

供試体の養生方法は船殻と同一とする。

供試体の試験材令は4週とする。

- (ii) 供試体は所定の養生が終った直後の状態で試験する。

#### (注) 供試体寸法

##### ① エー・ビー協会法

幅：12 in. (305 mm), 長さ：約4 ft (約1,219 mm), 厚さ：船殻と同一厚さとする。

##### ② ノルスケベリタス法

幅：供試体の長さの方向に主補強棒鋼がある場合は主補強棒鋼の公称間隔の2倍以上とし、供試体の長さ方向に主補強棒鋼がない場合は厚さの4倍以上とする。長さ：厚さの20倍以上とする。

フェロセメント型船の船殻の主補強棒鋼の公称間隔が50～80 mm, 船殻厚さが20～25 mmの場合の供試体寸法は、幅：供試体の長さ方向に主補強棒鋼がある場合は100～160 mm, 供試体の長さ方向に主補強棒鋼がない場合は80～100 mm, 長さ：400～500 mmとなる。

上述のとおり両法の間で供試体寸法がかなり異なる。

本試験方法はエー・ビー協会法に準じている。

#### (d) 試験方法

- (i) 供試体の幅は、図 7.2.2 に示すごとく

3等分点載荷の場合の中央載荷スパンの  
3箇所において、0.2 mmまで測定し、そ  
の平均値を有効数字3桁まで求める。

- (ii) 供試体の厚さは、図 7.2.2 に示すごと

く、上記(i)の供試体幅の測定箇所のおの  
おの2箇所合計6箇所において0.2 mmま  
で測定し、その平均値を有効数字3桁ま  
で求める。

- (iii) 供試体は支承幅の中央に置き、スパンの3等分点に下部加圧装置を接触させる。この場合、載荷装置のローラー部と供試体の面との間にどこにもすき間が認められないようにする。

- (iv) スパンは900 mmとし、3等分点載荷を行う。

- (v) 供試体に衝撃を与えないよう一様に荷重を加える。

- (vi) 供試体が破壊するまでに、可視ひびわれ荷重( $P_{b1}$ )、ひびわれ幅( $W_{b1cr}$ )、ひびわれ幅0.05 mm(50ミクロン)での荷重( $P_{b2}$ )、および破壊荷重( $P_{bbr}$ )を読む。なお、荷重については有効数字3桁まで読む。

#### (注) 試験方法

##### ① エー・ビー協会法

A S T M C 78-64 (3等分点載荷) のような適当な試験方法に従い、均等荷重を与えるよう  
な載荷方法とし、測定はひびわれ時と破壊時に行う。

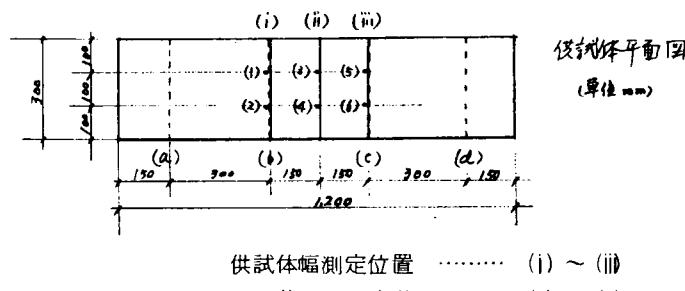


図 7.2.2 供試体幅、厚さ測定位置

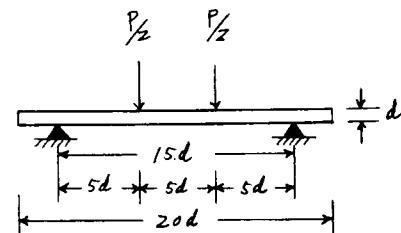


図 7.2.3  
ノルスケベリタス法の曲げ載荷法

## ② ノルスケベリタス法

供試体厚さの1.5倍のスパンを取り、3等分点載荷で行い、測定はひびわれ時（ひびわれ幅0.01～0.02mm）と破壊時に行う（図7.2.3参照）。

フェロセメント小型船の船殻厚さが20～25mmの場合のスパンは、300～375mmとなる。

上述のとおり両法の間でスパンが異なる。

本試験方法はエー・ビー協会法に準じている。

スパンの差が試験結果に影響することが考えられるので、スパンと可視ひびわれ荷重（P<sub>b1</sub>）、ひびわれ幅0.05mm（50ミクロン）での荷重（P<sub>b2</sub>）、および破壊荷重（P<sub>bbr</sub>）との関係を確認したうえで、適切なスパンおよび供試体寸法を決定する必要がある（昭和54年試験予定）。

（注）可視ひびわれ荷重（P<sub>b1</sub>）とひびわれ幅0.05mm（50ミクロン）での荷重（P<sub>b2</sub>）について

造研第305研究部会の昭和52年度のフェロセメント板の強度試験では、載荷時の初期ひびわれ荷重、第2ひびわれ荷重（ひびわれ幅が0.025mmのときの荷重）、および破壊荷重を測定した。ところが本試験方法では、より一層明確な用語を用いることとし、初期ひびわれ荷重も可視ひびわれ荷重（P<sub>b1</sub>）と変更した。初期ひびわれ荷重も可視ひびわれ荷重（P<sub>b1</sub>）も実質的に同一のものであり、載荷時に供試体表面に可視ひびわれが発生したときの荷重（測定時に、荷重一たわみのデータを探っていくとき、荷重の増加割合に比較してたわみの増加が大きくなった時、供試体表面を注意深く観察することにより可視ひびわれを発見できる。そしてその時点の荷重）を可視ひびわれ荷重（P<sub>b1</sub>）とした。さらに、第2ひびわれ荷重のひびわれ幅0.025mmの観測には、かなりの熟練を要し、個人差を伴う恐れがあることから、本試験方法では、より一層明確に観測できるひびわれ幅として、0.05mmを採用し、このひびわれ時の荷重を、ひびわれ幅0.05mm（50ミクロン）での荷重（P<sub>b2</sub>）とした。

荷重、たわみおよびひびわれ幅との関係の一例を図7.2.4に示す。

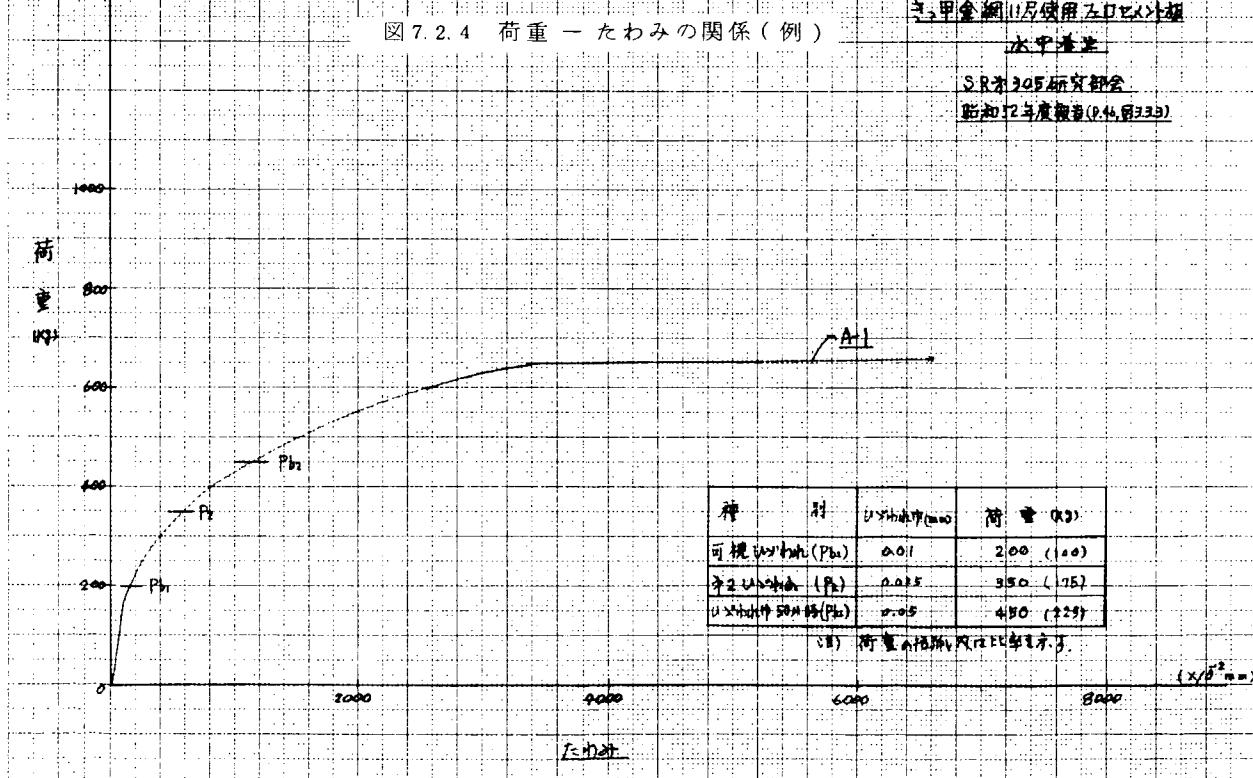
図7.2.4 荷重 - たわみの関係（例）

ヨウ金鋼山房使用スロヒート板

水平溝

SR第305研究部会

昭和52年度報告(P-14,頁333)



(e) 結果の計算

供試体が引張表面のスパン方向の中心線の3等分点の間での曲げ強度は、次式で計算し、有効数字3桁まで求めよ。

$$\sigma_b = \frac{P}{b} \frac{\ell}{d^2}$$

ここで  $\sigma_b$  = 曲げ強度 ( $kg/mm^2$ )

$P$  = 可視ひびわれ荷重 ( $P_{b1}$ )、ひびわれ幅  $0.05 mm$  (50ミクロン)での荷重 ( $P_{b2}$ )、

および破壊荷重 ( $P_{b\text{br}}$ ) ( $kg$ )

$\ell$  = スパン ( $mm$ )

$b$  = 供試体の幅 ( $mm$ )

$d$  = 供試体の厚さ ( $mm$ )

(f) 報告

報告には、次の事項のうち必要なものを記載する。

- (i) 供試体の番号
  - (ii) 材令
  - (iii) 供試体の幅 ( $mm$ )
  - (iv) 供試体の厚さ ( $mm$ )
  - (v) スパン ( $mm$ )
  - (vi) 可視ひびわれ荷重 ( $P_{b1}$ )、ひびわれ幅  $0.05 mm$  (50ミクロン)での荷重 ( $P_{b2}$ )、および破壊荷重 ( $P_{b\text{br}}$ )
  - (vii) 曲げ強度 ( $kg/mm^2$ )
  - (viii) 養生方法および養生温度 ( $^\circ C$ )
  - (ix) 供試体の破壊状況
  - (x) その他
- (2) フェロセメント板の引張強度試験方法
- (a) 適用範囲
- この試験方法は、フェロセメント板の引張強度試験の方法について規定する。
- (注) 本試験は、一般には省略してさしつかえない試験とし、必要に応じて行う試験方法とする。

(b) 試験用機械器具

- (i) 試験機は JIS B 7721 (引張試験機) に規定するものとする。
- (ii) 引張試験治具

図 7.2.5 に一例を示す。

(注) 引張試験のために治具をつくる必要がある。図 7.2.5 に示す方法を用いる場合、取付金具を供試体と一体化するためのボルトを挿入する場合、供試体にひびわれが発生し易いので注意を要す。他にノルスケベリタス法があるが、供試体が大きいので、大型の引張試験機が必要となる。

(c) 供試体

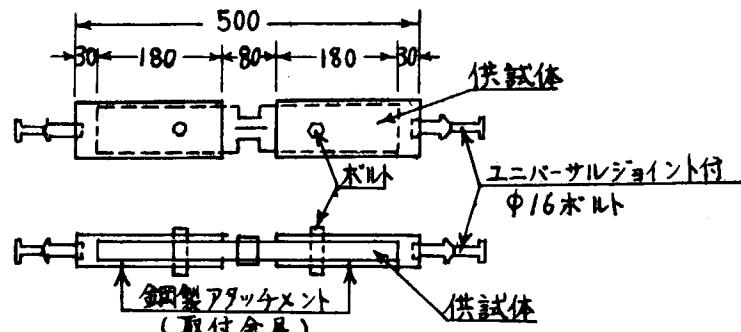


図 7.2.5 引張試験治具

(i) 供試体は船殻に使用するフェロセメント板と同一構造とし、同一工法で製作する。

供試体の寸法の一例を図 7.2.6 に示す。この例では、幅 : 70 mm, 長さ : 440 mm, 厚さ : 船殻と同一厚さとする。

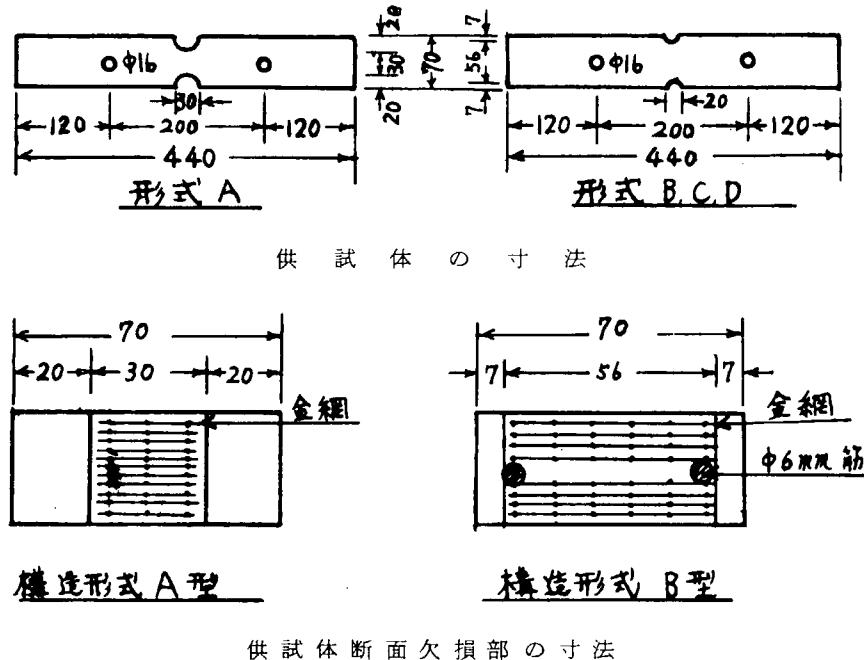


図 7.2.6 供試体の寸法および供試体断面欠損部の寸法

供試体の養生方法は船殻と同一とする。

供試体の試験材令は 4 週とする。

(ii) 供試体は所定の養生が終った直後の状態で試験する。

#### (d) 試験方法

- (i) 供試体断面欠損部の幅は、図 7.2.7 に示すごとく断面欠損部の 3 箇所において、0.02 mmまで測定し、その平均値を有効数字 3 術まで求めること。
- (ii) 供試体断面欠損部の厚さは、図 7.2.7 に示すごとく上記(i)の供試体断面欠損部の幅の測定箇所のおおの 2 箇所合計 6 箇所において、0.02 mmまで測定し、その平均値を有効数字 3 術まで求める。

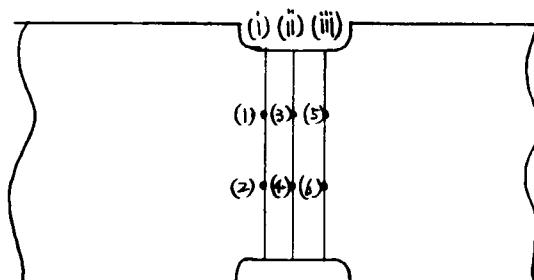
(iii) 供試体に取付金具、取付金具を供試体と一体化するためのボルトおよびユニバーサルジョイント付ボルトを取り付ける。

(iv) 供試体の両側に取り付けたユニバーサルジョイント付ボルトを引張試験用チャックにはさみつける。

(v) 試験体に衝撃を与えないように一様に荷重を加える。

(vi) 供試体が破壊するまでに、可視ひびわれ荷重 (P<sub>t1</sub>)、ひびわれ幅 (W<sub>t cr</sub>)、ひびわれ幅 0.05 mm (50 ミクロン) での荷重 (P<sub>t2</sub>)、および破壊荷重 (P<sub>t br</sub>) を読む。なお、荷重については有効数字 3 術まで読む。

供試体断面欠損部平面図



供試体断面欠損部の幅測定位置……(i)～(iii)

供試体断面欠損部の厚さ測定位置…(1)～(6)

図 7.2.7

供試体断面欠損部の幅、厚さ測定位置

(注) 可視ひびわれ荷重 ( $P_{t1}$ )、ひびわれ幅  $0.05\text{mm}$  ( $50\text{ミクロン}$ ) での荷重 ( $P_{t2}$ ) については曲げ強度試験方法に準じた用語である。

(e) 結果の計算

供試体断面欠損部における引張強度を次式で計算し、有効数字 3 衔まで求める。

$$\sigma_t = \frac{P}{A}$$

ここで  $\sigma_t$  = 引張強度 ( $kg/\text{㎟}$ )

$P$  = 可視ひびわれ荷重 ( $P_{t1}$ )、ひびわれ幅  $0.05\text{mm}$  ( $50\text{ミクロン}$ ) での荷重 ( $P_{t2}$ )、  
および破壊荷重 ( $P_{t\text{br}}$ ) ( $kg$ )

$A$  = 供試体断面欠損部の断面積 ( $\text{㎟}$ )

= 供試体断面欠損部の幅 ( $\text{mm}$ ) × 供試体断面欠損部の厚さ ( $\text{mm}$ ) ( $\text{㎟}$ )

(f) 報告

報告には、次の事項のうち必要なものを記載する。

- (i) 供試体の番号
- (ii) 材令
- (iii) 供試体の幅 ( $\text{mm}$ )
- (iv) 供試体の厚さ ( $\text{mm}$ )
- (v) 可視ひびわれ荷重 ( $P_{t1}$ )、ひびわれ幅  $0.05\text{mm}$  ( $50\text{ミクロン}$ ) での荷重 ( $P_{t2}$ )、および破壊荷重 ( $P_{t\text{br}}$ )
- (vi) 引張強度 ( $kg/\text{㎟}$ )
- (vii) 養生方法および養生温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
- (viii) 供試体の破壊状況
- (ix) その他

## あ と が き

第2年度の研究は、主として第1年度の延長線上にあるものであって、研究は比較的順調に進めることができた。一般的にいって、当初期待していたよりもフェロセメント板の強度的諸性能はバラツキが多いことが一層認識させられた。さらに2つ以上の材料から構成される複合材であるため、解析も一筋縄では進められぬ問題がある。現段階ではあまり精度の高い解析を望むよりも、むしろ実用性の見地からマクロ的に合理的な解析法を求めることが必要であろう。各項目ごとの研究は、それぞれ第3年度も引続いて実施する予定であり、これまでの研究成果と総合して最終的に合理的なフェロセメント船の建造基準の作成を行いたいと考える。

## S R 3 0 5 昭和 5 2 年度報告書 ( No. 3 0 5 ) 正誤表

頁	行 数	誤	正
P. 5	1 4 行	$a = \dots\dots$	$d = \dots\dots$
P. 8	下から 1 4 行	混って	湿って
P. 10	下から 1 8 行	円筒型試験による	円筒型試験による
P. 10	下から 1 1 行	$C_1 = \sqrt{\frac{70}{\sigma_b, spr}}$	$C_1 = \sqrt{\frac{0.7}{\sigma_b, spr}} \quad (\sigma_b, spr : kg/mm^2)$
P. 10	下から 9 行	$C_2 = \sqrt{\frac{40}{\sigma_s, spr}}$	$C_2 = \frac{0.4}{\sigma_s, spr} \quad (\sigma_s, spr : kg/mm^2)$
P. 11	下から 7 行	$C_2 = 0.04 / \sigma_s, spr$	$C_2 = 0.4 / \sigma_s, spr$
P. 12	1 1 行	$(15m \geq L \leq 30m)$	$(15m \leq L \leq 30m)$
P. 12	2 0 行	前首部	船首部
P. 12	2 1 行	$s_f = 0.75$	$s_f = 0.75 s$
P. 13	下から 1 3 行	$2 - 4051 \ell$	$2 - 40f / \ell$