

リングロックセグメント実証実験  
報告書

平成 9 年 3 月

株式会社 フジタ

## 目 次

1. 実験目的	1
2. 試設計	2
2.1 設計条件	2
2.1.1 設計断面	2
2.1.2 土質条件	3
2.1.3 許容応力度	4
2.2 解析条件・解析モデル	4
2.2.1 荷重の組み合わせ	4
2.3 試設計結果	5
3. 継手曲げ実験	9
3.1 実験目的	9
3.2 実験方法	9
3.3 実験ケース	10
3.4 供試体	11
3.5 載荷方法	12
3.5.1 導入軸力	12
3.5.2 載荷荷重	12
3.5.3 載荷ピッチ	14
3.6 計測項目および目的	15
4. リング継手せん断実験（半径方向）	17
4.1 実験目的	17
4.2 実験方法	17
4.3 実験ケース	18
4.4 供試体	18
4.5 載荷方法	19
4.6 計測項目および目的	19

5. リング継手せん断実験（接線方向）	-----	22
5.1 実験目的	-----	22
5.2 実験方法	-----	22
5.3 実験ケース	-----	23
5.4 供試体	-----	23
5.5 載荷方法	-----	24
5.6 計測項目および目的	-----	24
6. リング載荷実験	-----	27
6.1 実験目的	-----	27
6.2 供試体	-----	27
6.3 実験方法	-----	29
6.3.1 概要	-----	29
6.3.2 軸力の導入	-----	31
6.3.3 曲げモーメントの載荷	-----	31
6.3.4 内水圧の載荷	-----	32
6.3.5 実験ケース	-----	33
6.3.6 載荷方法	-----	36
6.4 計測システム	-----	37
6.4.1 計測項目および目的	-----	37
7. 実験結果	-----	44
7.1 継手曲げ試験	-----	44
7.1.1 変形性状	-----	44
7.1.2 ひびわれ性状	-----	47
7.2 リング間継手せん断実験（半径方向）	-----	49
7.2.1 強度性状	-----	49
7.2.2 変形性状	-----	51
7.2.3 ひびわれ性状	-----	52

7.3 リング間継手せん断実験（接線方向）	54
7.3.1 強度性状	54
7.3.2 変形性状	55
7.3.3 ひびわれ性状	56
7.4 リング載荷実験	58
7.4.1 強度性状	58
7.4.2 変形性状	62
7.4.3 ひびわれ性状	66
8. まとめ	68

## 1. 実験目的

本検討は、主に内圧対応型セグメントとして提案したリングロックセグメント（インターロッキングセグメント）の強度，変形性能および設計方法を確認することを目的として要素実験ならびにリング載荷実験を行う。

また、（財）先端建設技術センターのワーキングの検討に答えるために、

- ① 継手曲げ実験
- ② 半径方向継手せん断実験
- ③ 接線方向継手せん断実験
- ④ リング載荷実験

を行うものとする。

## 2. 試設計

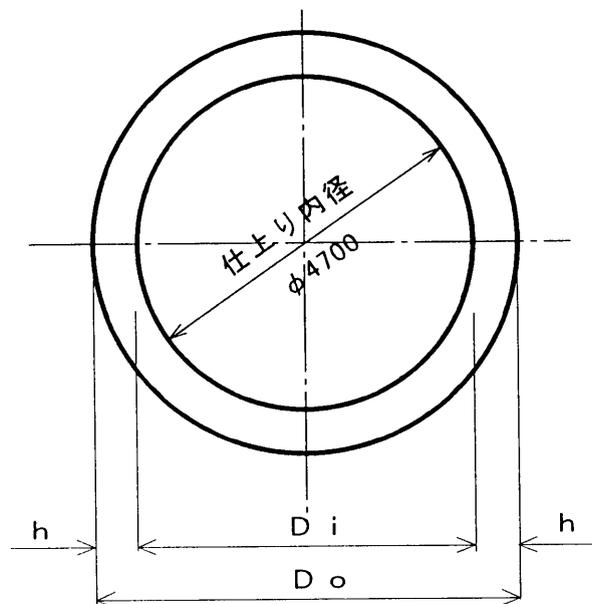
### 2.1 設計条件

#### 2.1.1 設計断面

本設計は、リングロックセグメント実証実験供試体の配筋等を決定するために首都圏外郭放水路の土質条件を用いて試設計を行った。試設計はセグメントのみで内・外圧を負担し、二次覆工は設けないものとして設計を行った。

なお、設計にあたっては、『地下河川内圧トンネル覆工構造設計要領（案）』（財団法人、先端建設技術センター：平成7年3月）\*<sup>-1</sup>に準拠している。

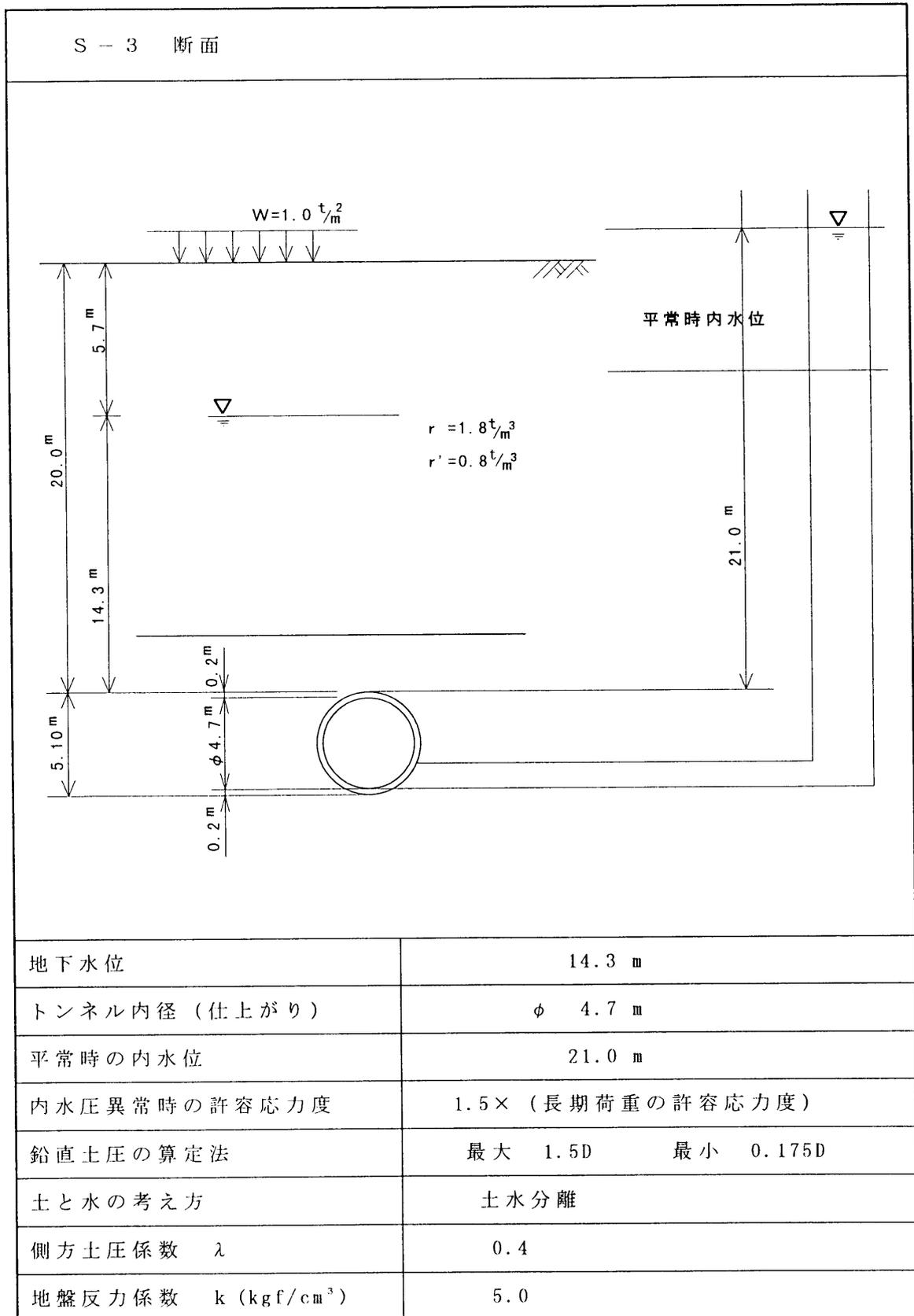
\*-1:以下、「要領（案）」と略す。



セグメント内径	$D_i = 4700 \text{ mm}$
セグメント外径	$D_o = 5100 \text{ mm}$
セグメント桁高	$h = 200 \text{ mm}$
セグメント幅	$B = 1000 \text{ mm}$

図2.1.1 断面形状

2.1.2 土質条件



### 2.1.3 許容応力度

(1) コンクリート	設計基準強度	$f'_{ck} = 480$	$\text{kgf/cm}^2$
	弾性係数 <sup>*-2</sup>	$E_c = 3.9 \times 10^5$	$\text{kgf/cm}^2$
	許容曲げ圧縮強度	$\sigma_{ca} = 170$	$\text{kgf/cm}^2$
	許容せん断強度	$\tau_a = 5.5$	$\text{kgf/cm}^2$

(2) 鉄筋材質 (SD345)	許容引張強度	$\sigma_{sa} = 2000$	$\text{kgf/cm}^2$
------------------	--------	----------------------	-------------------

(3) シェアーストリップ\*

(4) トランсмисシヨンストリップ\*

## 2.2 解析条件・解析モデル

### 2.2.1 荷重の組み合わせ

荷重の組み合わせは、「要領（案）, 4.2 荷重の組合せ」により、表2.2.1 に示すとおりとする。

表2.2.1 荷重の組み合わせ

荷重 ケース	管内の状態	土圧		地下水圧		内水圧		自重	地盤 反力	許容応力度 の割増し
		大	小	高	低	平常	異常			
1	空水時	○			○			○	○	1.0
2	平常時	○			○	○		○	○	1.0
3	平常時		○		○	○		○	○	1.0

2.3 試設計結果

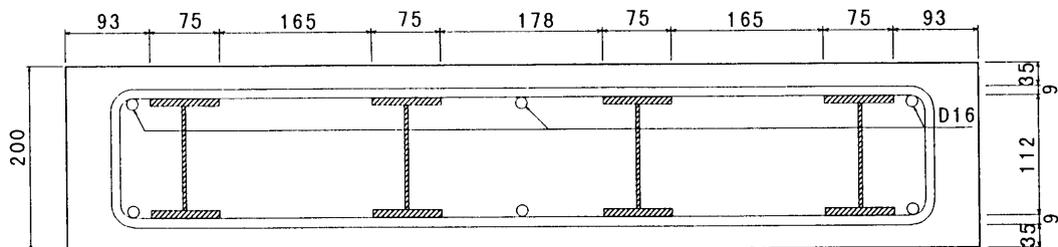
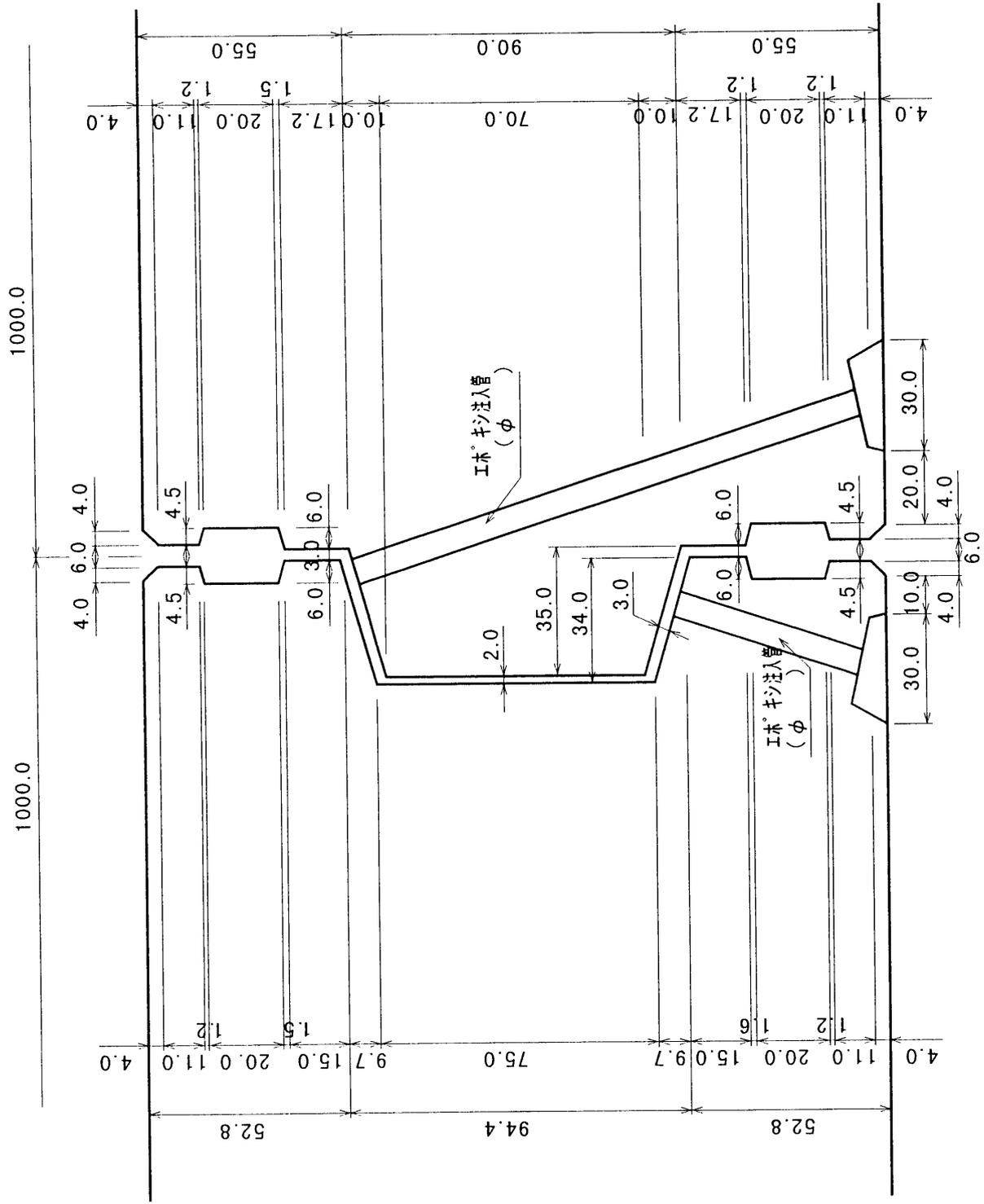


表 2.3.1 試設計結果

幅	(cm)	99.4		
厚さ	(cm)	20.0		
圧縮鉄筋かぶり	(cm)	4.3		
引張鉄筋かぶり	(cm)	4.3		
圧縮鉄骨かぶり	(cm)	3.5		
引張鉄骨かぶり	(cm)	3.5		
圧縮側フランジ幅	(cm)	30.0		
圧縮側フランジ厚	(cm)	0.9		
引張側フランジ幅	(cm)	30.0		
引張側フランジ厚	(cm)	0.9		
ウェブ厚	(cm)	0.0		
圧縮鉄筋量	(cm <sup>2</sup> )	5.958		
引張鉄筋量	(cm <sup>2</sup> )	5.958		
ケース		1	2	3
曲げモーメント	(tf・m)	4.75	5.552	5.322
軸力	(tf)	46.289	-11.172	-22.952
コンクリート応力度	(kgf/cm <sup>2</sup> )	-72	-71	-65
圧縮鉄骨応力度	(kgf/cm <sup>2</sup> )	-655	-503	-402
圧縮鉄筋応力度	(kgf/cm <sup>2</sup> )	-732	-376	-274
引張鉄筋応力度	(kgf/cm <sup>2</sup> )	442	1424	1552
引張鉄骨応力度	(kgf/cm <sup>2</sup> )	519	1550	1680
中立軸	(cm)	11.1	6.7	6.0





E-E断面

図2.3.2 リング継手詳細図

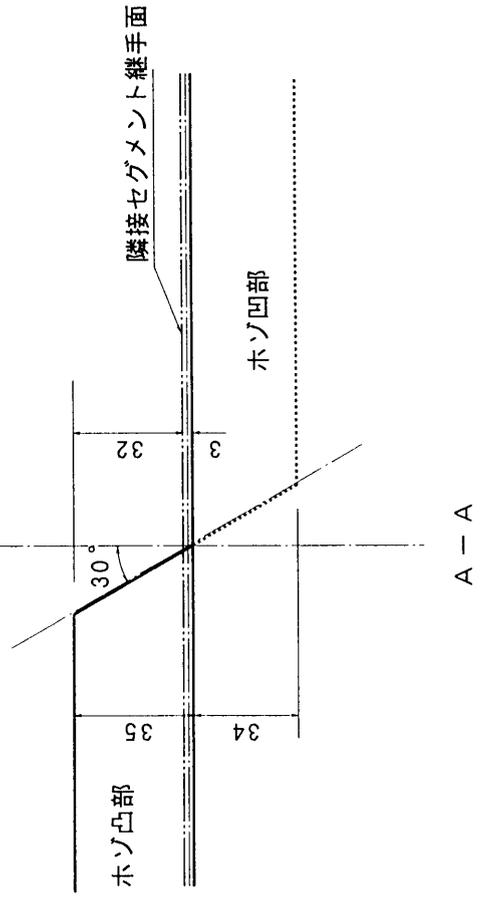
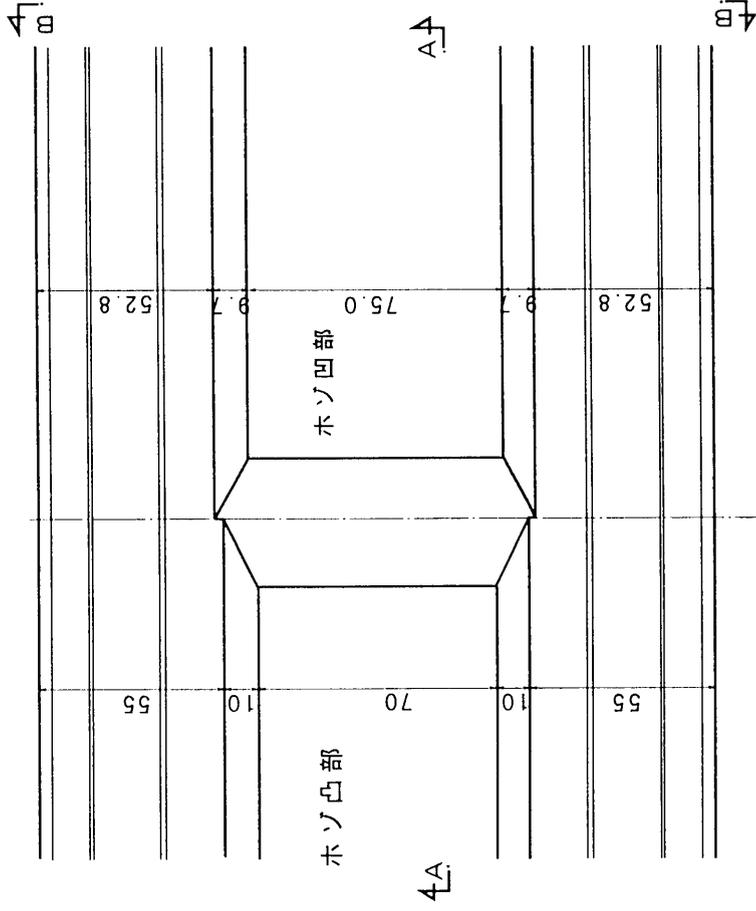
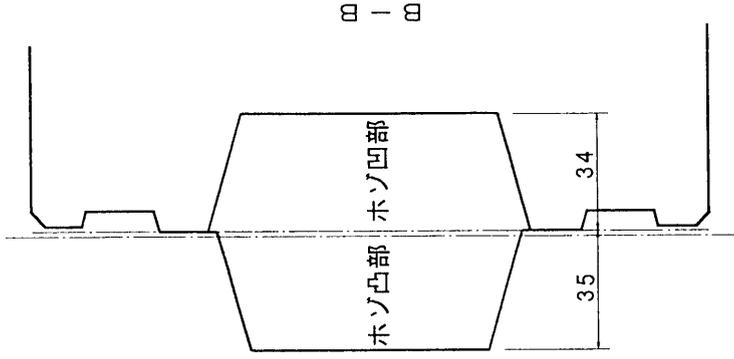


図2.3.3 ロック部ホソ詳細図

### 3. 継手曲げ実験

#### 3.1 実験目的

本実験は、セグメント継手の回転ばね定数を求め、レオンハルトのコンクリートヒンジの式が適用性を確認することを目的として行う。

#### 3.2 実験方法

実験は、図3.2.1 に示すように、直線はり供試体を持ちいて供試体の両端から軸力を導入し、単純曲げ載荷を行う方法とする。

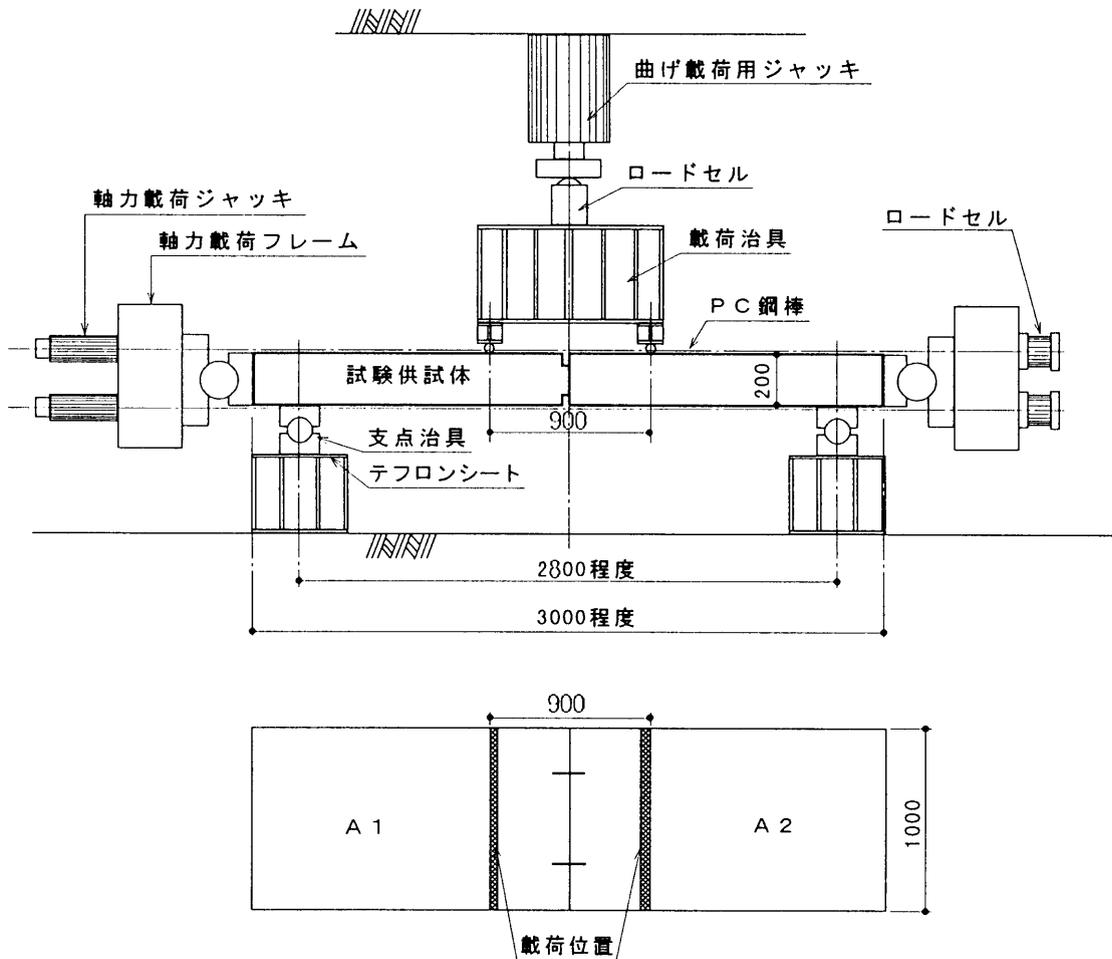


図3.2.1 実験方法

### 3.3 実験ケース

実験ケースは、表3.3.1 に示すように、導入軸力をパラメータとした5ケースとした。

なお、要領（案）では、軸引張り力を導入した実験が必要になっているが、本セグメントは、その特徴から軸圧縮力をパラメータとした実験のみ行うものとした。

表3.3.1 継手曲げ実験ケース

曲げ方向	No	軸力	載荷重	載荷順序	備考
正曲げ	1	-50.0	弾性	①	試設計による軸圧縮力
	2	-62.5	弾性	②	軸力変動による影響確認
	3	-37.5	弾性	③	軸力変動による影響確認
	4	-25.0	弾性	④	軸力変動による影響確認
	5	-50.0	弾性	⑤	再現性の確認

注) ・軸力は、+ (プラス) を引張、- (マイナス) を圧縮とした。

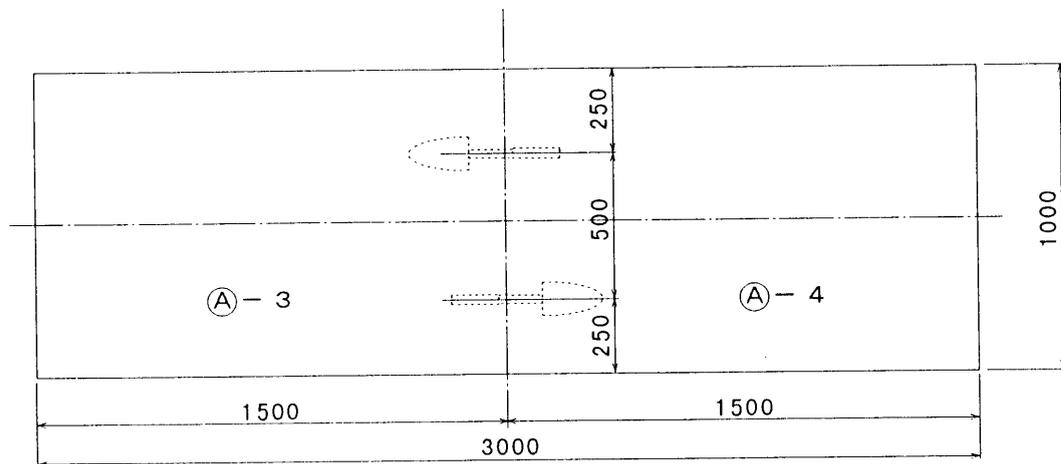
・軸力の単位はtf/m

### 3.4 供試体

供試体は表3.4.1 に示す通りである。

表3.4.1 供試体数量

厚さ	継手形式	セグメント種類	数
200mm	突き合わせ方式	A 1 セグメント	1
	斜めボルト	A 2 セグメント	1



注) 表裏対象継手構造である事から負曲げ実験は行わない。

### 3.5 載荷方法

#### 3.5.1 導入軸力

本実験で使用する供試体の継手は、軸引張力を伝達しない構造となっている。したがって、軸圧縮力作用時の回転ばね定数を確認することを目的として以下に示すような軸圧縮力をパラメータとして設定する。

$$N = -50.0 \text{ t f / m} \quad (\text{試設計結果 } 46.3 \text{ t f}) \text{ に対応}$$

$$N = -62.5 \text{ t f / m}$$

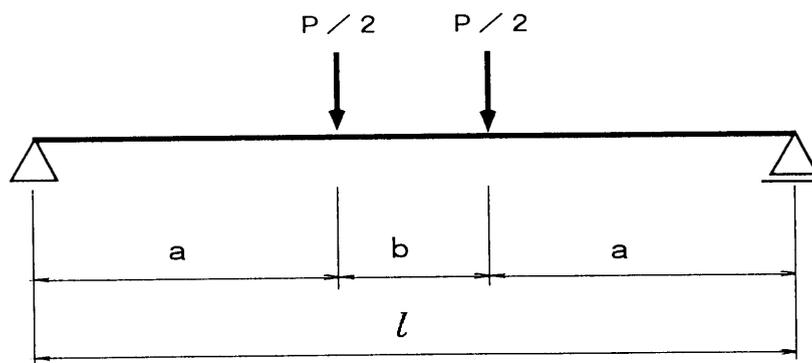
$$N = -37.5 \text{ t f / m}$$

$$N = -25.0 \text{ t f / m}$$

#### 3.5.2 載荷荷重

載荷荷重計算は、図3.5.1の通りであり、何れの軸力においてもレオンハルトのコンクリートヒンジの考え方における荷重偏心率  $m=0.5$  (理論上ヒンジとなる荷重) まで載荷することとする。以下にレオンハルトのコンクリートヒンジの考え方を示す。

また、これらをまとめた、載荷曲げモーメント (荷重) を表3.5.1に示す。



$$l = 2.8 \text{ m}$$

$$P = 2 \times M / a$$

$$a = 0.95 \text{ m}$$

$$b = 0.9 \text{ m}$$

図3.5.1 載荷荷重系

Betongelenkeによると、図3.5.2の幾何学的関係から継手部の回転角( $\alpha$ )は次式で与えられる。

$$\alpha = \frac{\Delta S}{r} = \frac{1}{r} \cdot \frac{S \cdot \sigma'_k}{E_o} \quad (1)$$

ここで、式(2)で示される圧縮応力の影響範囲( $S$ )はほぞの幅( $a$ )と同一と仮定している。

$$S = \frac{\Delta S \cdot E_o}{\sigma'_k} \quad (2)$$

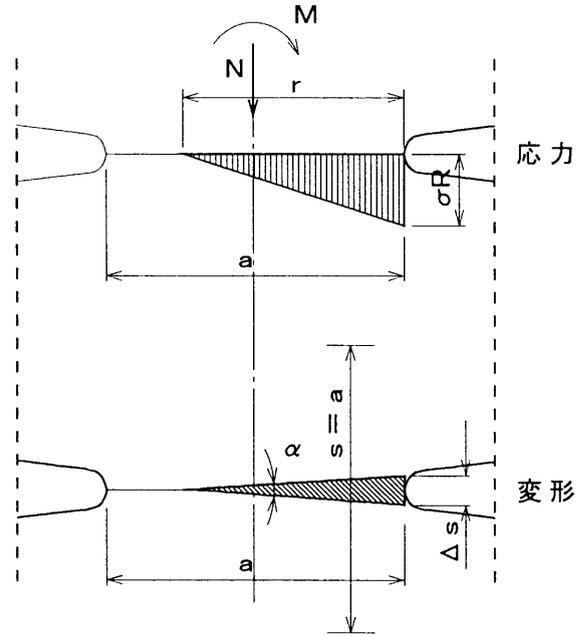


図3.5.2 継手モデル

また、セグメント継手の回転ばね定数( $K_\theta$ )は、図3.5.2の力の釣合条件から次式を導いている。

$$K_\theta = \frac{M}{\alpha} = \frac{9a^2 b E_o}{8} m(1-2m)^2 \quad (3)$$

ここに、 $K_\theta$  : 回転ばね定数 (tf・m/rad)

$\alpha$  : 圧縮力の作用範囲

$K$  : 軸圧縮ひずみ

$m$  : 荷重偏心率

$$m = e/a = M/(Na)$$

$e$  : 荷重偏心量

$S$  : 圧縮応力の影響範囲

$\sigma'_k$  : 圧縮縁応力度

$\Delta S$  : 圧縮縁変形量

$N$  : 軸力 (tf)

$M$  : 曲げモーメント (tf・m)

$a$  : ほぞの幅 (m)

$$a = 0.08m$$

$b$  : ほぞの長さ (m)

$$b = 1.0m$$

$E_o$  : コンクリートの弾性計数 (tf/m<sup>2</sup>)

$$E_o = 3,900,000 \text{tf/m}^2$$

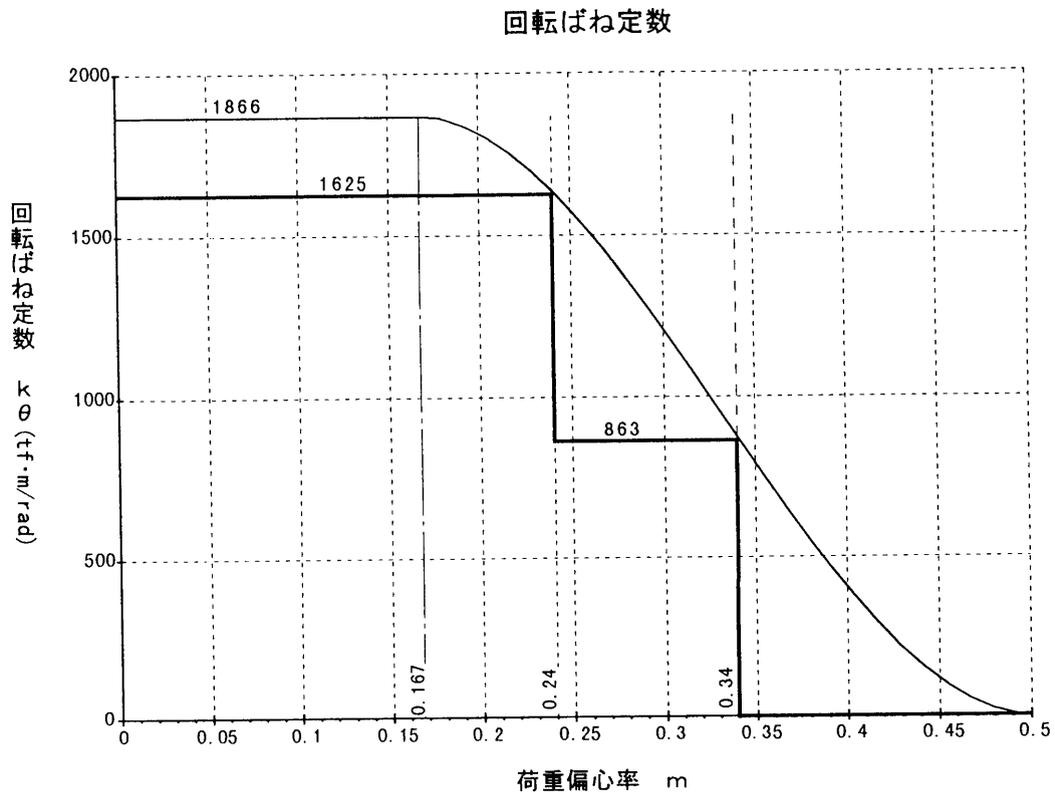


図3.5.3 回転ばね定数と荷重偏心率の関係

### 3.5.3 載荷ピッチ

荷重の載荷は、軸力を所定の値まで載荷し、軸力を一定に保った状態で、鉛直荷重を徐々に載荷した。

載荷荷重ピッチは、各実験とも最低10測点計測できるように設定した。その載荷荷重ピッチを表3.5.1に示す。

表3.5.1 載荷荷重一覧表 (正曲げ)

	N=-62.5		N=-50.0		N=-37.5		N=-25.0		N=	
	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P
載荷荷重	2.50	5.26	2.00	4.21	1.50	3.16	1.00	2.11		
荷重ピッチ		0.40		0.3		0.2		0.15		

### 3.6 計測項目および目的

計測項目および計測目的を、表3.6.1 に示す。

また、計測位置図を図3.6.1 に示す。

表3.6.1 継手曲げ試験計測項目および目的

計測項目	計測目的	計測機器	数量
荷重	・ 曲げモーメントの算定 ・ 載荷荷重の確認	圧力計	1
軸力	・ 導入軸力の確認	圧力計	1
継手目開き量	・ 継手の回転ばね定数の算定	$\Omega$ ゲージ	10
たわみ量	・ たわみ量から回転ばね定数を算定	変位計	4
支点水平変位	・ 曲げモーメントの補正を行う。	変位計	4
支点鉛直変位	・ たわみ量の補正を行う。	変位計	4
ボルト軸力	・ ボルト締め付け力の管理	ボルトゲージ	2
コンクリートひずみ	・ 破壊モードの確認	ひずみゲージ	4
鉄筋および 鋼材ひずみ	・ 破壊モードの確認	ひずみゲージ	12
PC鋼棒ひずみ	・ 実験の安全管理上からの軸力管理	ひずみゲージ	4
ひびわれ	・ ひびわれ進展状況を確認	目視	

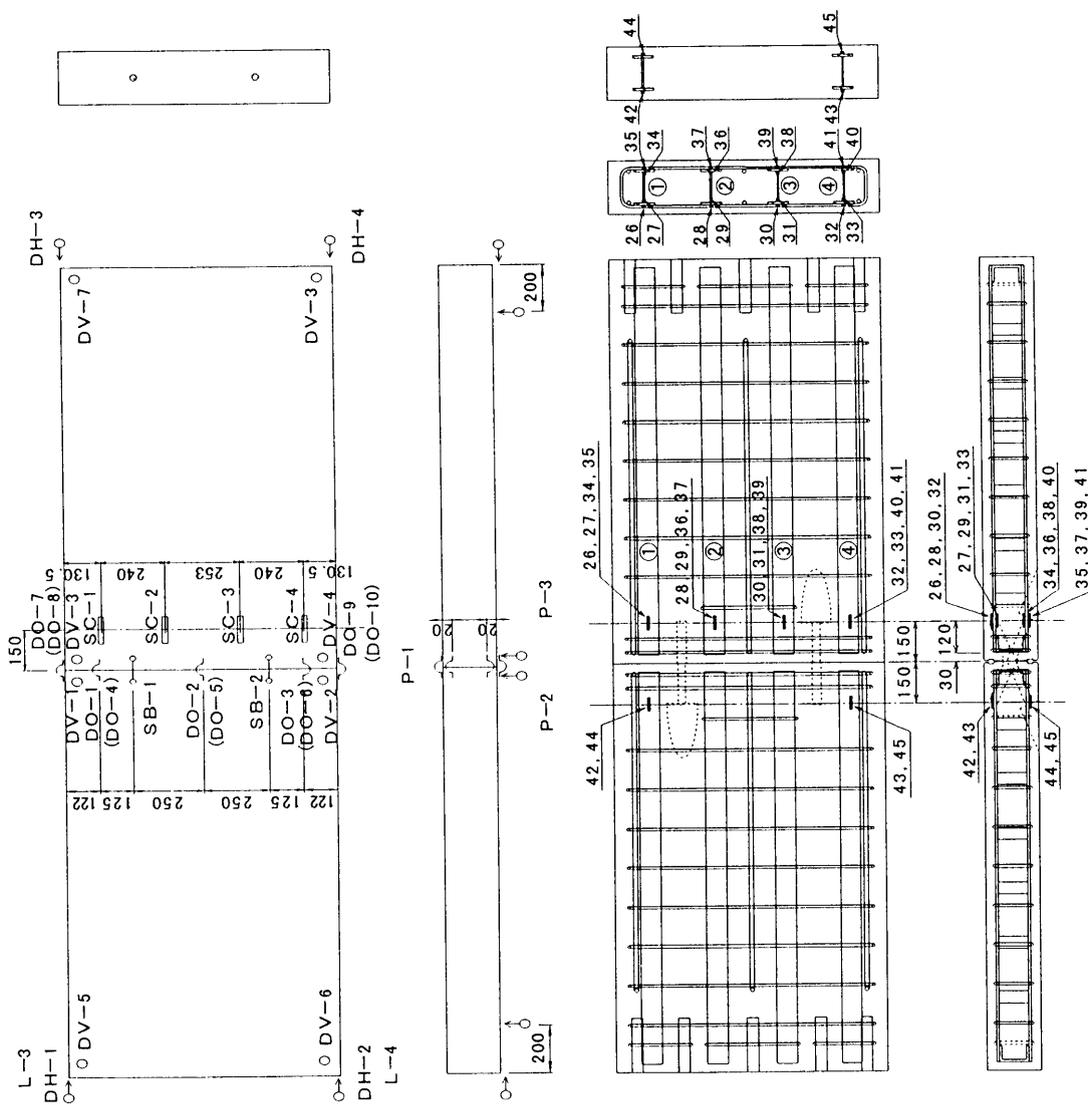


図3.6.1 継手曲げ実験計測位置図

#### 4. リング継手せん断実験（半径方向）

##### 4.1 実験目的

本実験は、リング継手の半径方向せん断ばね定数および強度性能を確認し、理論的な検討を行うことを目的とする。

##### 4.2 実験方法

実験は、図4.2.1に示すように、リング継手を介した3つの供試体の両端を固定し、中央部のセグメントを押し抜く方法で行うこととする。また、試験の安定性を考え平板形状供試体を用いることとする。

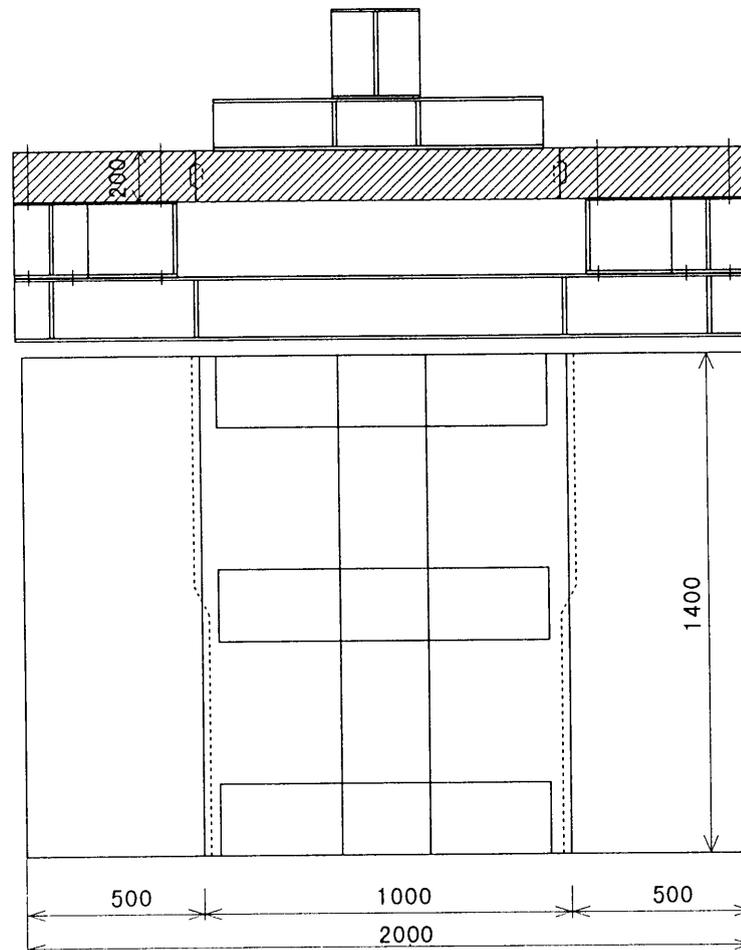


図4.2.1 実験方法

#### 4.3 実験ケース

実験ケースは、表4.3.1 に示す2ケースとする。

表4.3.1 実験ケース

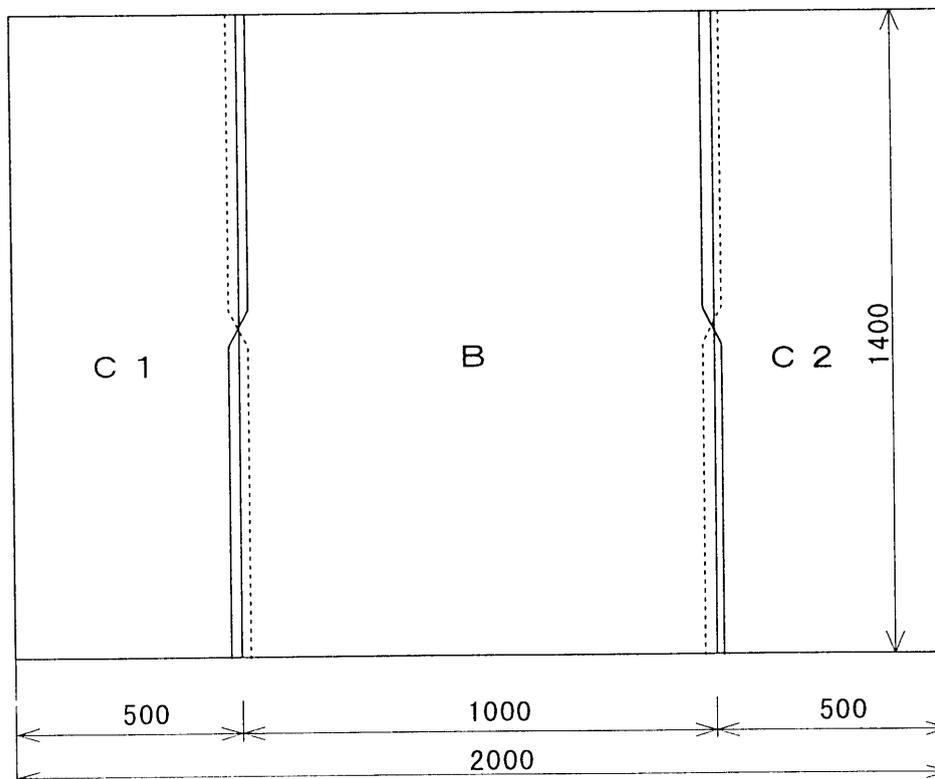
ケース	備考
1	エポキシ樹脂注入無し，破壊まで載荷
2	エポキシ樹脂注入有り，破壊まで載荷

#### 4.4 供試体

供試体数は、表4.4.1 に示す通りである。

表4.4.1 供試体数

桁高	供試体種類	数	
200mm	Bセグメント	1	エポキシ注入なし
	C1セグメント	1	
	C2セグメント	1	
200mm	Bセグメント	1	エポキシ注入有り
	C1セグメント	1	
	C2セグメント	1	



#### 4.5 載荷方法

載荷は、次ぎの手順で行うものとする。

① 先ず、ジャッキ推力相当軸力（100 t f）によりリング継手面に貼り付けたシェアーストリップおよびトランスミッションストリップを潰す。

② 次ぎに、その状態で、C 1，C 2 供試体を実験治具に固定する。

ロック部にエポキシ樹脂を注入するケースでは、②の後に注入し、48時間養生する。

③ 最後に鉛直方向荷重を2 t f ピッチで破壊まで載荷する。

#### 4.6 計測項目および目的

計測項目および計測目的を、表4.6.1 に示す。また、計測位置図を、図4.6.1, 図4.6.2 に示す。

表4.6.1 半径方向せん断試験計測項目および目的

計測項目	計測目的	数量
荷 重	ロードセルにより荷重を測定し継手に作用するせん断力を求める。また、せん断力と各種計測項目との相関を求める。	1
軸 力	導入軸力の管理と確認	1
継手目違い量	せん断力と目違い量の関係からリング継手のせん断ばね定数を求める。	10
鉛直変位量	供試体のたわみを考慮したせん断ばね定数を求める。	4
水平変位量	固定側供試体の移動が無いことを確認する。	4
目開き量	実験管理（目開きの確認）	4
コンクリートひずみ	強度性能の確認	?
補強筋ひずみ	強度性能の確認	20
配力筋ひずみ	強度性能の確認	16
P C 鋼棒歪み	安全管理	4

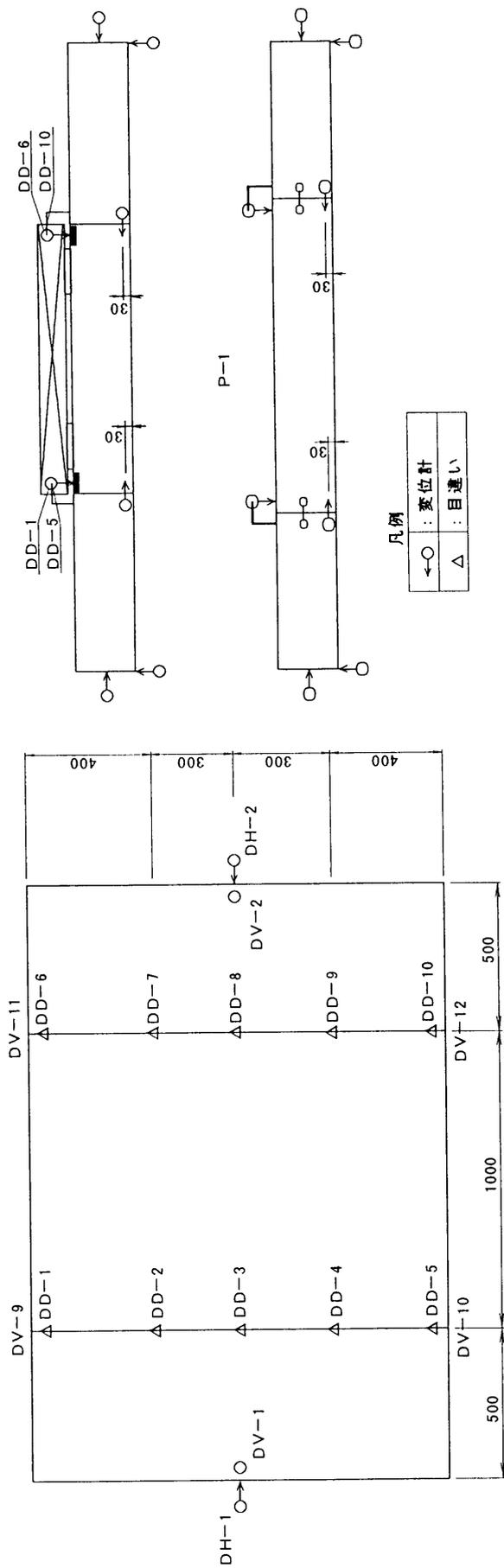


図4.6.1 リング継手せん断実験 (半径方向) 計測位置図 (その1)

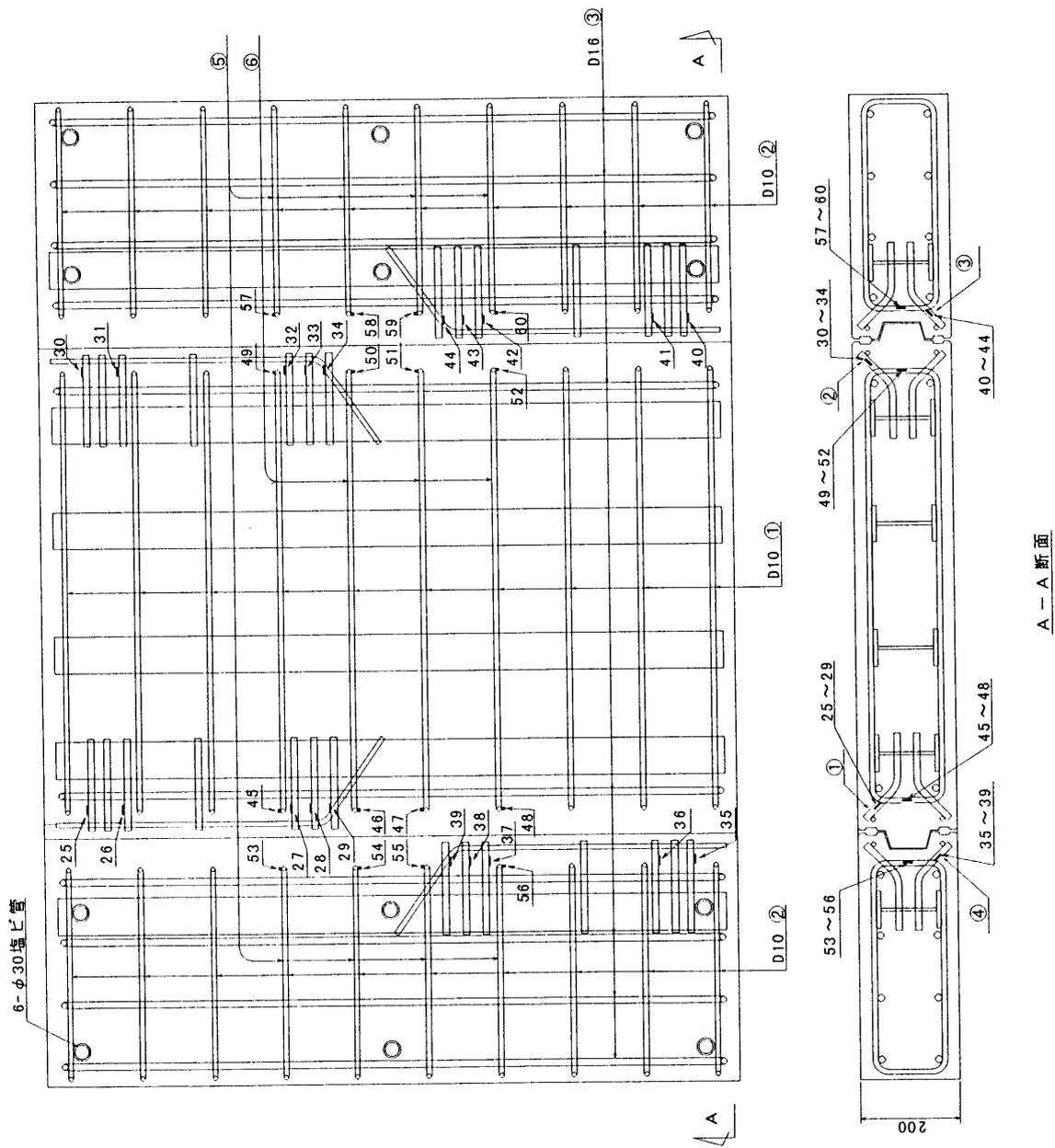


図4.6.2 リング継手せん断実験（半径方向）計測位置図（その2）

## 5. リング継手せん断実験（接線方向）

### 5.1 実験目的

本実験は、リング継手の接線方向せん断ばね定数および強度性能を確認し、理論的な検討を行うことを目的とする。

### 5.2 実験方法

実験は、図5.2.1 に示すように、平板状のセグメントを1/2幅 + 1/1幅 + 1/2幅で組立て、両側（1/2幅）のセグメントを固定した状態で中央部（1/1幅）のセグメントを押し抜く方法で行うものとする。

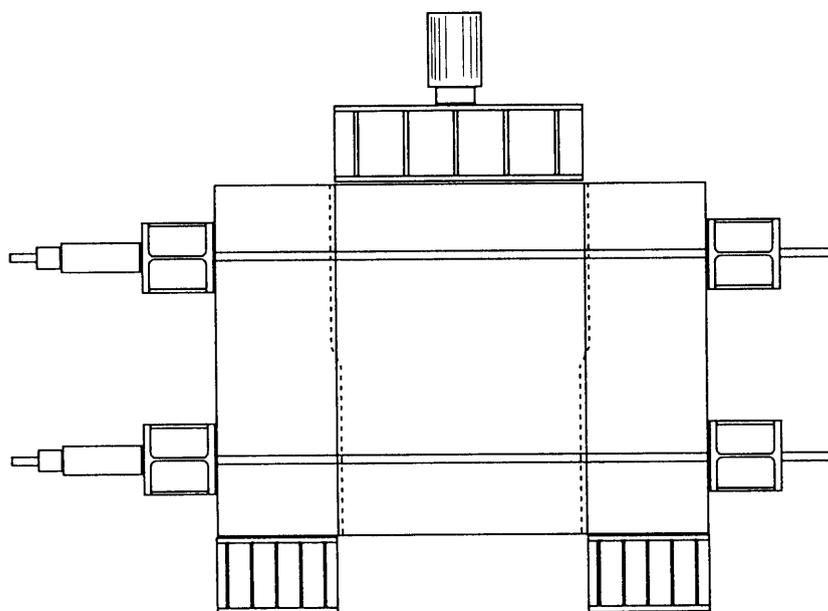


図5.2.1 実験方法（その1）

### 5.3 実験ケース

実験ケースは、表5.3.1 に示す1ケースとする。

表5.3.1 実験ケース

ケース	備考
1	エポキシ樹脂注入有り，破壊まで載荷

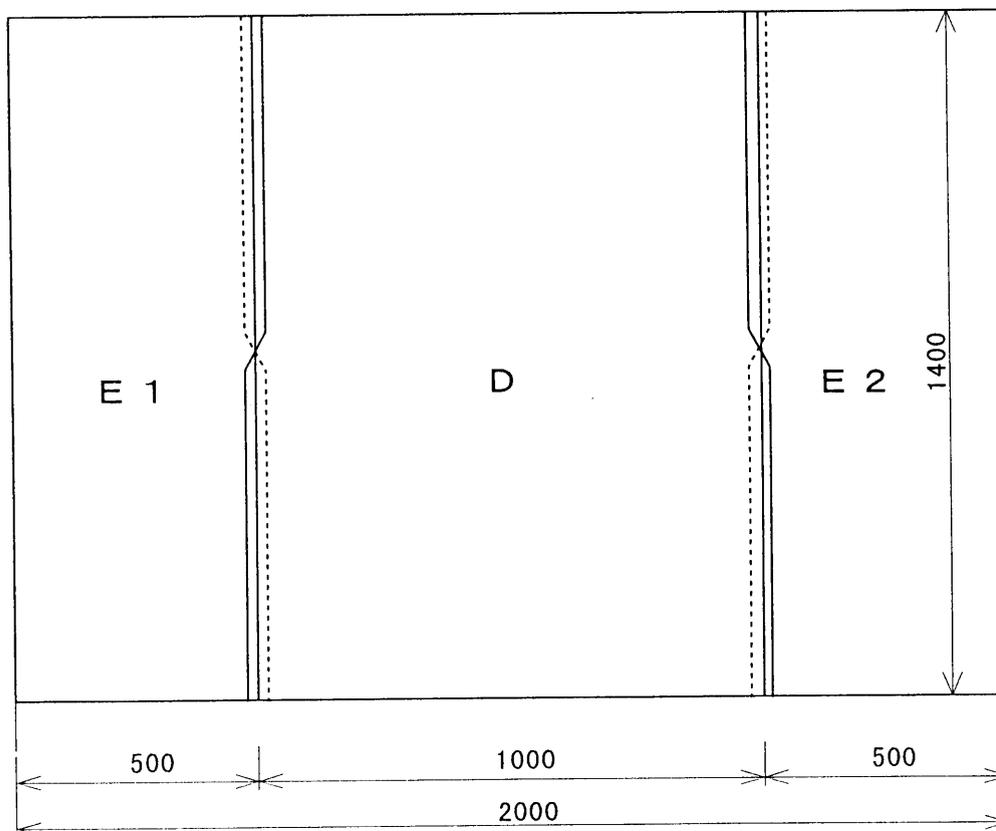
先端センターの実験でも、1ケースのみ破壊まで行っているのので、準拠した。

### 5.4 供試体

供試体数は、表5.4.1 に示す通り、であり、形状は、半径方向せん断実験と同一である。

表5.4.1 供試体数

桁高	セグメント種類	数	備考
200mm	D セグメント	1	エポキシ注入有り
	E 1 セグメント	1	
	E 2 セグメント	1	



### 5.5 載荷方法

載荷は、次ぎの手順で行うものとする。

- ① 先ず、ジャッキ推力相当軸力（100 t f）によりリング継手面に貼り付けたシェアーストリップおよびトランスミッションストリップを潰す。
- ② ロック部にエポキシ樹脂を注入し、〇〇時間養生する。
- ③ 最後に鉛直方向荷重を2 t f ピッチで破壊まで載荷する。

### 5.6 計測項目および目的

計測項目および計測目的を、表5.6.1 に示す。また、計測位置図を図5.6.1, 図5.6.2 に示す。

表5.6.1 接線向せん断試験計測項目および目的

計測項目	計測目的	数量
荷 重	ロードセルにより荷重を測定し継手に作用するせん断力を求める。また、せん断力と各種計測項目との相関を求める。	1
軸 力	導入軸力の管理と確認	1
継手目違い量	せん断力と目違い量の関係からリング継手のせん断ばね定数を求める。	8
目開き量	実験管理（目開きの確認）	8
コンクリートひずみ	強度性能の確認	?
鋼材ひずみ	強度性能の確認	4 8
P C 鋼棒歪み	安全管理	8
ロック部圧力	応力状況の確認	2

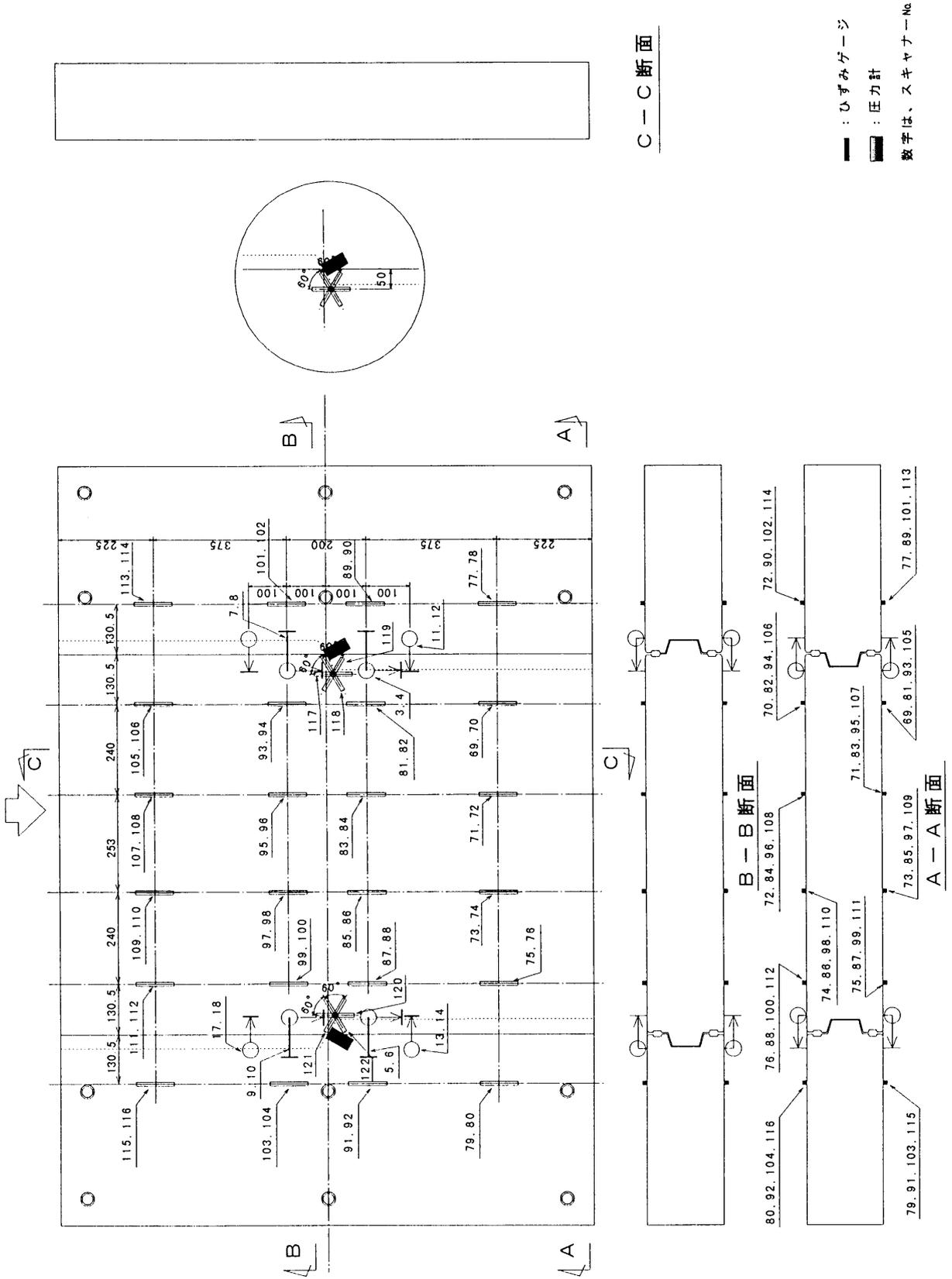


図5.6.1 リング継手せん断実験（接線方向）計測位置図

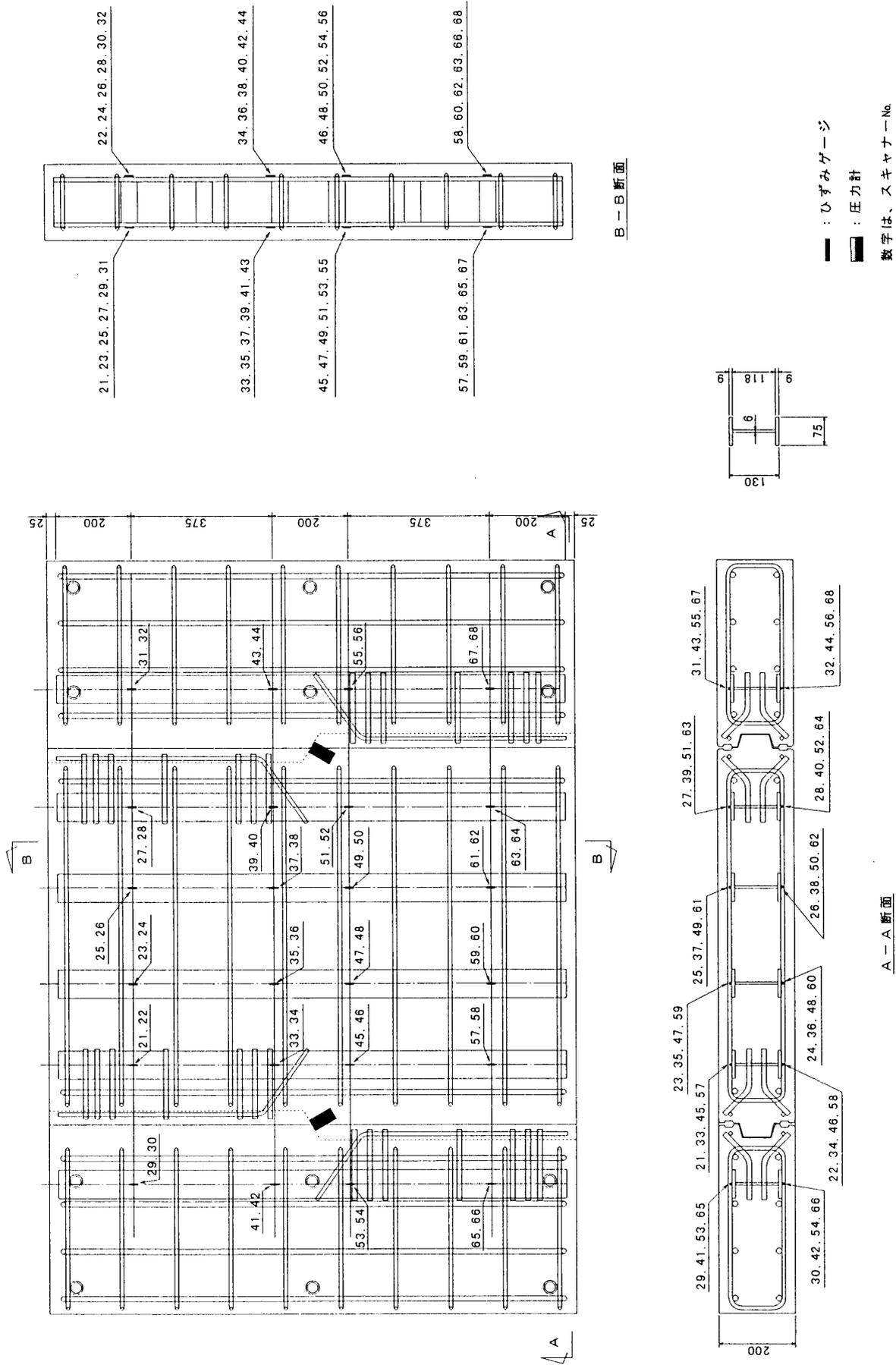


図5.6.2 リング継手せん断実験（接線方向）計測位置図

## 6. リング載荷実験

### 6.1 実験目的

本実験は、リングロックセグメントのリング構造としての強度・変形性能を調べ、構造解析モデル（はりばねモデル）の適用性を確認することを目的とする。

### 6.2 供試体

実験に用いる供試体は、実際に使用されるセグメントを用いることが望ましいが、本実験結果により解析モデルが検証でき、実構造系が表現可能であることを確認できれば良いので、実物大の寸法で実験を行う必要はないと考えられる。

そこで、本実験に用いるセグメント供試体は平成6年度に（財）先端建設技術センターで行われたリング実験と同一寸法として表6.2.1に示すような形状寸法とする。

表6.2.1 供試体寸法

セグメント幅	1 0 0 0 m m
セグメント厚さ	2 0 0 m m
外 径	5 1 0 0 m m
分 割	6 分割

セグメントリングは、図6.2.1に示すように2リング1サイクル千鳥組とし、  
1/2リング+1リング+1/2リングの平組とする。

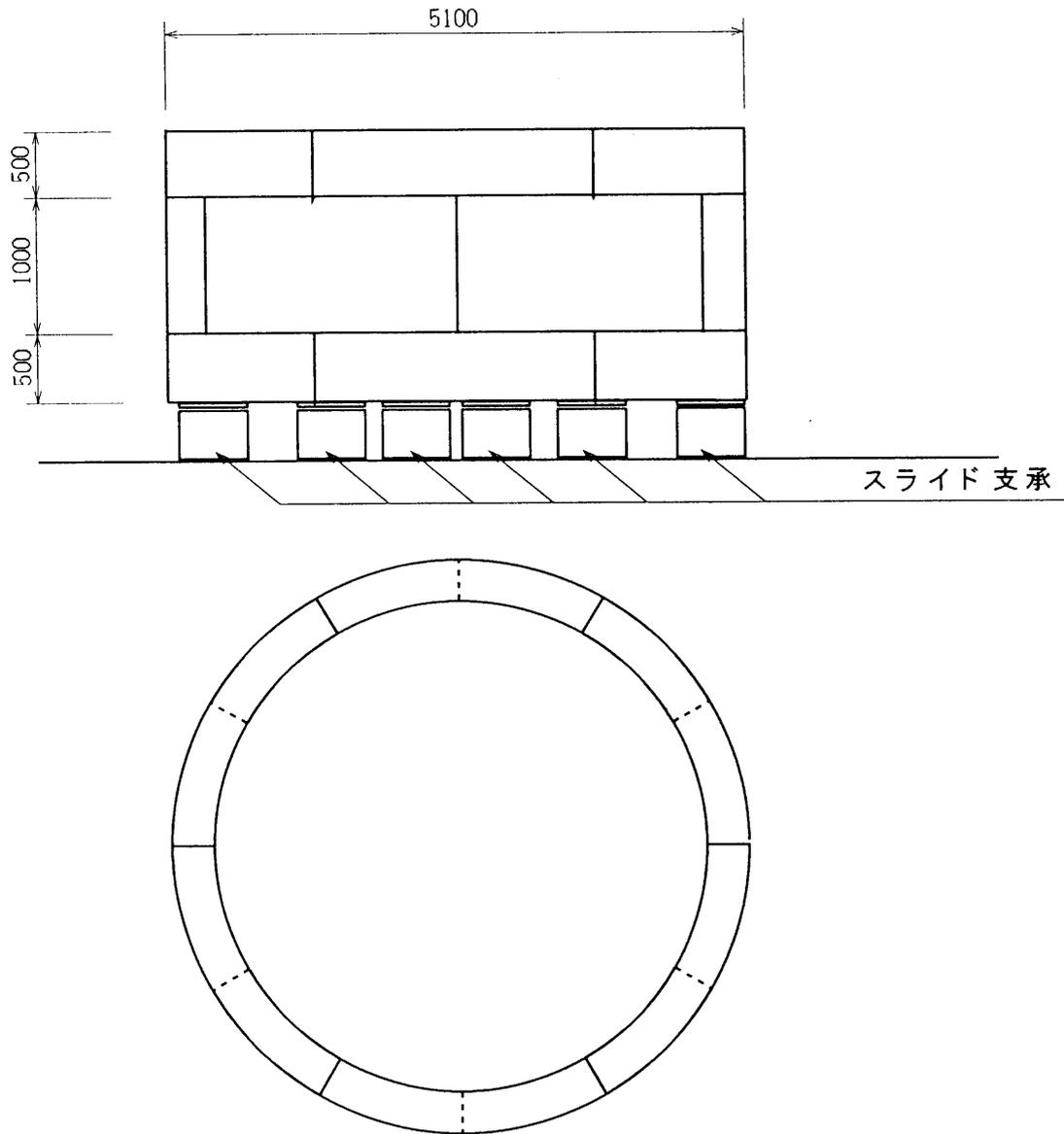


図6.2.1 セグメントリング組立概要図

## 6.3 実験方法

### 6.3.1 概要

本実験では、軸力および曲げモーメント、内水圧の3種類の荷重を載荷する。

このとき曲げモーメントを加えるための集中荷重および内水圧は、次の理由により中央部リングのみに載荷する。

- ① 中央部リングのみに荷重を加えた方が力の伝達が解り易い。
- ② 集中荷重を3リングに同一載荷板で載荷するとリング間の目違いを拘束する。
- ③ 解析モデルでも同じように荷重を加えれば実験を再現できる。

ただし、回転ばね定数を3リングとも同一にするために軸力は3リングに導入する。また、実験を水平平組で行うため、

- ① セグメントリングの自重に相当する荷重は載荷しない。
- ② 内水圧は、トンネルクラウン部よりインバート部の方が大きいのが現実であるが、等圧として実験を行う。

なお、本実験では地盤反力が無い場合を想定して行う。

実験の各荷重の載荷方法と断面力の概念を以下に示す。

# リング 載荷試験

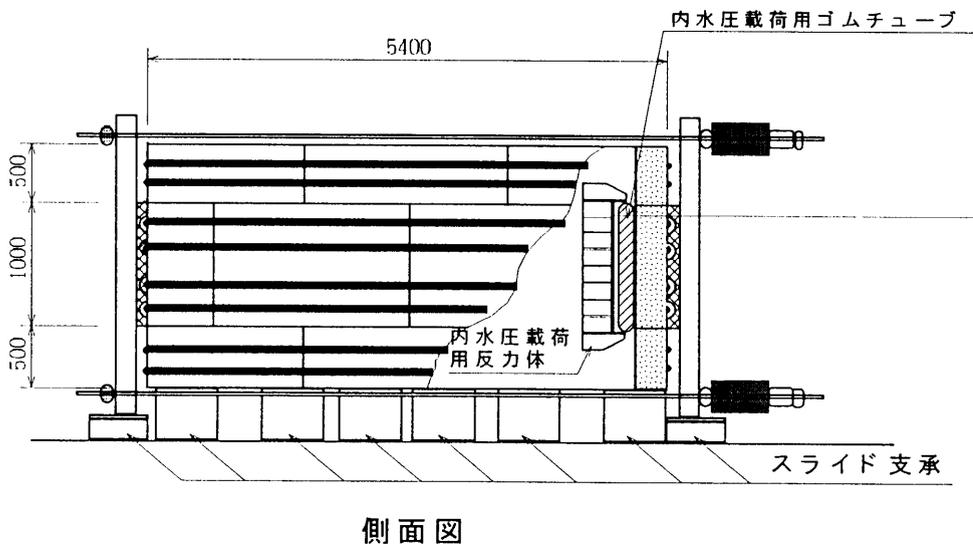
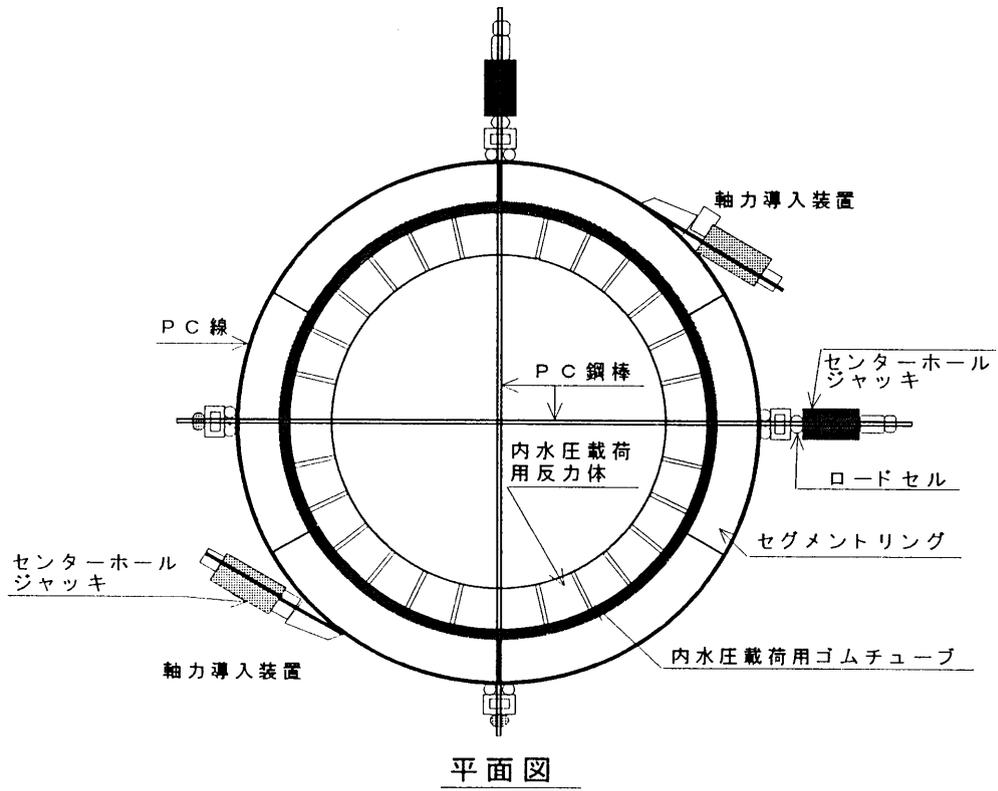


図 6.3.1 実験方法

### 6.3.2 軸力の導入

軸力はセグメント外周にP C鋼線を巻き付け、油圧ジャッキにより緊張し、導入する。軸力は全てのリングに導入する。

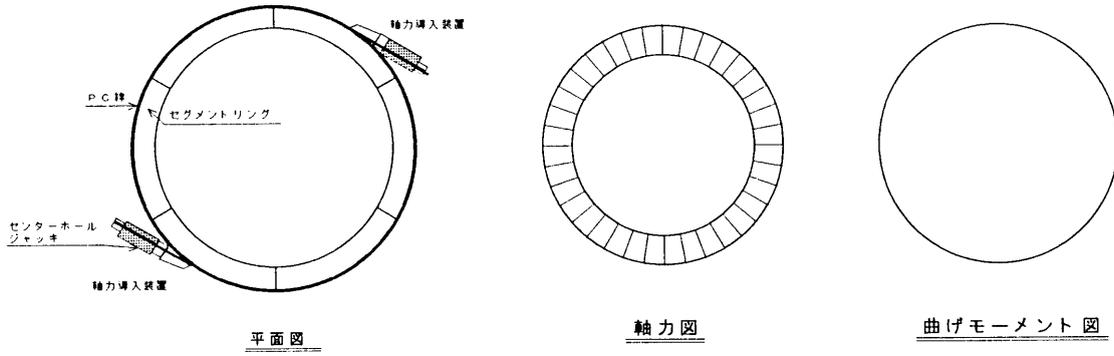


図6.3.2 軸力導入方法と断面力概念

### 6.3.3 曲げモーメントの載荷

曲げモーメントの載荷は、P C鋼棒をタイロッドとした載荷梁を用いて集中荷重により行う。実験では2方向からの集中荷重も載荷できるようにする。

集中荷重は、中央部のリングのみに載荷する。

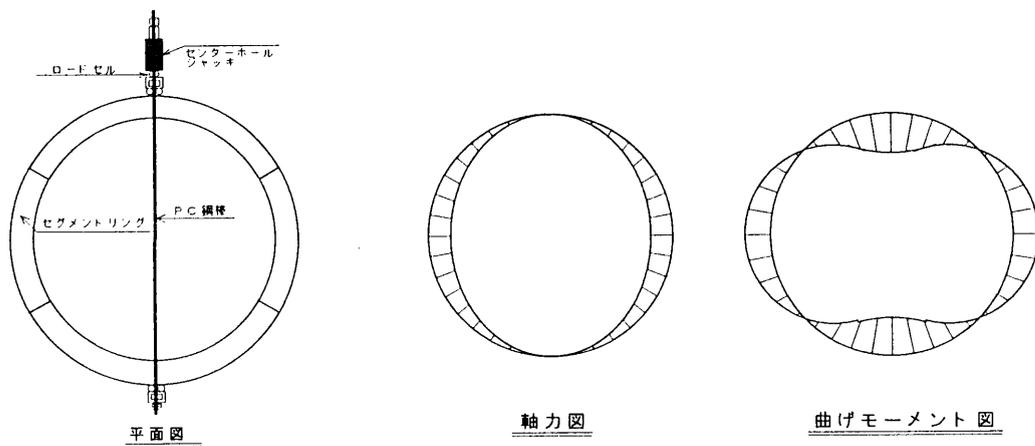


図6.3.3 曲げモーメント導入方法と断面力概念

#### 6.3.4 内水圧の載荷

内水圧の載荷は、セグメントリングの内側にドーナツ状のゴムチューブを設置し、ゴムチューブに水圧を加える方法で載荷する。内水圧は中央部リングにのみ載荷する。

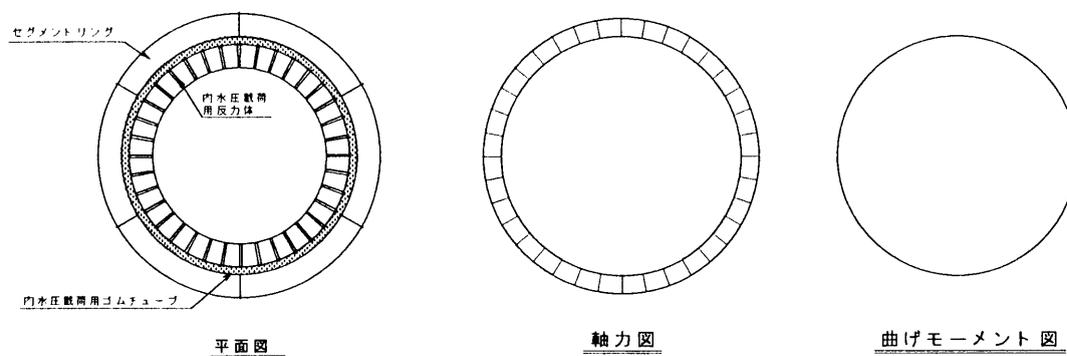


図 6.3.4 内水圧載荷方法と断面力概念

### 6.3.5 実験ケース

載荷ケースは、各載荷パターンの応力の重ね合わせの検討および載荷順序の影響が検証できるように考えた。

リング載荷実験の実験ケースを表6.3.1に示す。また、各実験ケースの載荷パターンを図6.3.5～図6.3.6に示す。

これらの載荷ケースにより以下の検討を行う。

#### ① 外荷重のみによる影響

図6.3.5の載荷パターンにおける2-2の結果

#### ② 内水圧のみの影響

図6.3.6の載荷パターンにおける9-1の結果

#### ③ 載荷順序の影響

図6.3.5, 図6.3.6の載荷パターンにおける6-3と10-3の結果の比較

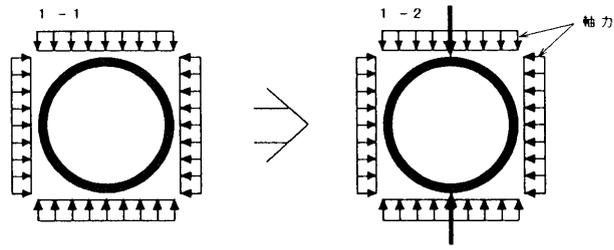
#### ④ 重ね合わせの確認

図6.3.5の載荷パターンにおける6-2と10-1の重ね合わせ結果と6-3および10-3の比較

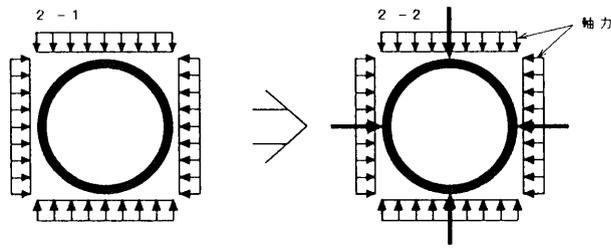
表6.3.1 実験ケース

ケース	軸力	P V	P H	水圧	備考
1	①	②	—	—	1 方向曲げ (軸力レベル 1)
2	①	②	②	—	2 方向曲げ (軸力レベル 1)
3	①	②	②	—	2 方向曲げ (軸力レベル 2)
4	①	②	②	—	2 方向曲げ (軸力レベル 3)
5	①	②	—	③	外荷重先行 1 方向曲げ (軸力レベル 1)
6	①	②	②	③	外荷重先行 2 方向曲げ (軸力レベル 1)
7	①	②	②	③	外荷重先行 2 方向曲げ (軸力レベル 2)
8	①	②	②	③	外荷重先行 2 方向曲げ (軸力レベル 3)
9	③	②	—	①	内水圧先行 1 方向曲げ (軸力レベル 1)
10	③	②	②	①	内水圧先行 2 方向曲げ (軸力レベル 1)
11	—	①	—	—	破壊実験

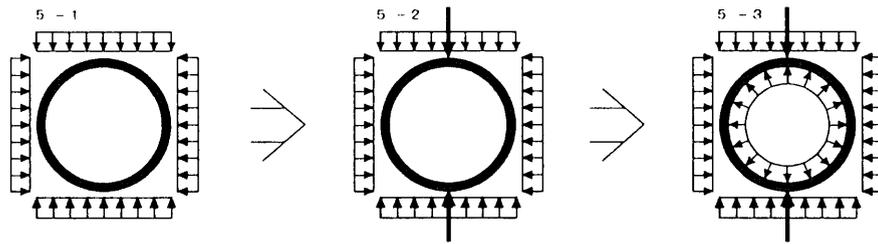
○ 囲み数字は、載荷順番を示す。



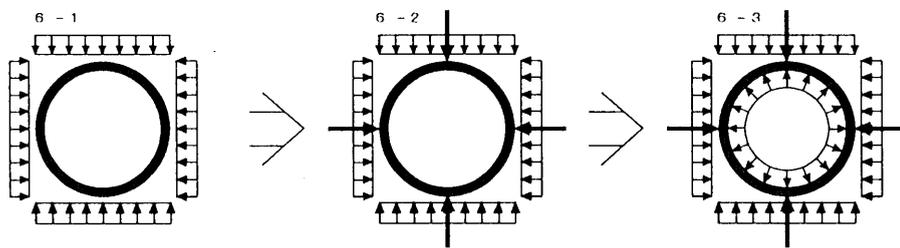
ケース1 1方向曲げ(軸力先行)



ケース2~4 2方向曲げ(軸力先行)



ケース5 外筒優先1方向曲げ



ケース6~8 外筒優先2方向曲げ

図6.3.5 载荷パターン(ケース1~8)

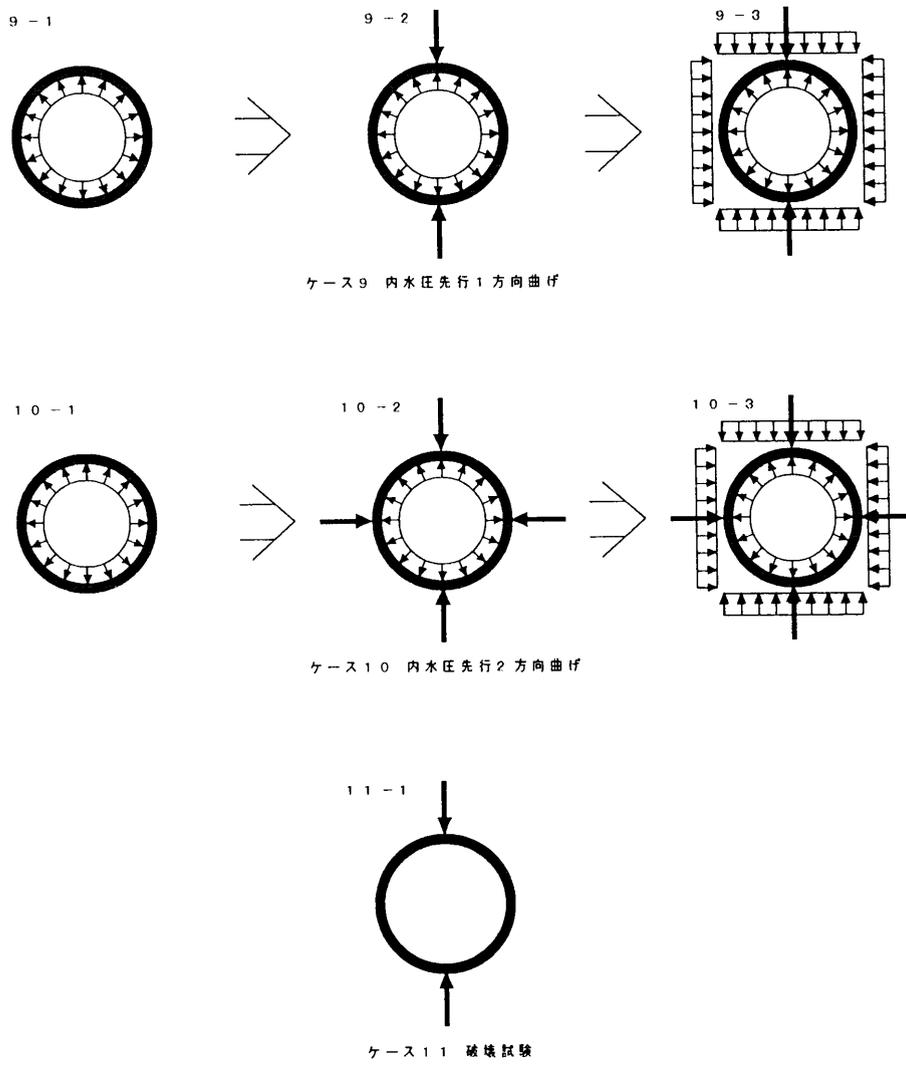


図6.3.6 載荷パターン（ケース9～11）

### 6.3.6 載荷方法

#### (1) 載荷荷重

載荷荷重は、事前解析結果を基に各ケース毎に表6.3.2 に示す荷重まで載荷することとする。

表 6.3.2 載荷荷重表

	軸力 (tf)	PV (tf)	Ph (tf)	水圧 (tf/m <sup>2</sup> )
1-1	50.0	0.0	0.0	0.0
1-2	50.0	* <sup>1</sup> 22.0	0.0	0.0
2-1	50.0	0.0	0.0	0.0
2-2	50.0	* <sup>1</sup> 29.2	* <sup>1</sup> 14.6	0.0
3-1	37.5	0.0	0.0	0.0
3-2	37.5	* <sup>1</sup> 27.0	* <sup>1</sup> 13.5	0.0
4-1	25.0	0.0	0.0	0.0
4-2	25.0	* <sup>1</sup> 24.8	* <sup>1</sup> 12.4	0.0
5-1	50.0	0.0	0.0	0.0
5-2	50.0	* <sup>1</sup> 22.0	0.0	0.0
5-3	50.0	22.0	0.0	* <sup>2</sup> 22.7 (55.5)
6-1	50.0	0.0	0.0	0.0
6-2	50.0	* <sup>1</sup> 29.2	* <sup>1</sup> 14.6	0.0
6-3	50.0	29.2	14.6	* <sup>2</sup> 23.0 (56.3)
7-1	37.5	0.0	0.0	0.0
7-2	37.5	* <sup>1</sup> 27.0	* <sup>1</sup> 13.5	0.0
7-3	37.5	27.0	13.5	* <sup>2</sup> 19.8 (48.6)
8-1	25.0	0.0	0.0	0.0
8-2	25.0	* <sup>1</sup> 24.8	* <sup>1</sup> 12.4	0.0
8-3	25.0	24.8	12.4	* <sup>2</sup> 17.1 (41.8)
9-1	0.0	0.0	0.0	* <sup>1</sup> 20.3 (49.8)
9-2	0.0	* <sup>2</sup> 7.4	0.0	20.3 (49.8)
9-3	50.0	7.4	0.0	20.3 (49.8)
9-4	50.0	7.4	0.0	22.7 (55.5)
9-5	50.0	* <sup>2</sup> 22.0	0.0	22.7 (55.5)
10-1	0.0	0.0	0.0	* <sup>1</sup> 20.3 (49.8)
10-2	0.0	* <sup>2</sup> 10.8	* <sup>2</sup> 5.4	20.3 (49.8)
10-3	50.0	10.8	5.4	20.3 (49.8)
10-4	50.0	10.8	5.4	23.0 (56.3)
10-5	50.0	* <sup>2</sup> 29.2	* <sup>2</sup> 14.6	23.0 (56.3)
11	0.0	* <sup>3</sup> 30.1	0.0	0.0

( )内の数値は、水圧による発生軸力を示す。

また、表中の※はそれぞれ、※1：許容応力度

※2：許容応力度の1.5倍

※3：終局

まで載荷することを示す。

## 6.4 計測システム

### 6.4.1 計測項目および目的

計測項目および目的を表6.4.1～図6.4.1に、計測位置図を図6.4.2～図6.4.6に示す。

表6.4.1 計測項目および目的

計測項目	計測目的	計測機器	数
軸力	導入軸力の管理と確認	ロードセル	16
曲げ荷重	載荷荷重の確認と曲げモーメントの算定	ロードセル	4
内水圧	内水圧の管理と確認	圧力計	1
直径変化量	構造体の変形性能の確認	変位計	24
セグメント 継手目開き量	目開き量の確認	Ωゲージ	20
リング継手 目違い量 (半径方向)	リング間目違い量の確認	変位計	12
(接線方向)			12
セグメント 本体ひずみ	強度性能の確認と力の伝達の把握	コンクリートゲージ	60
		鉄筋ゲージ	160

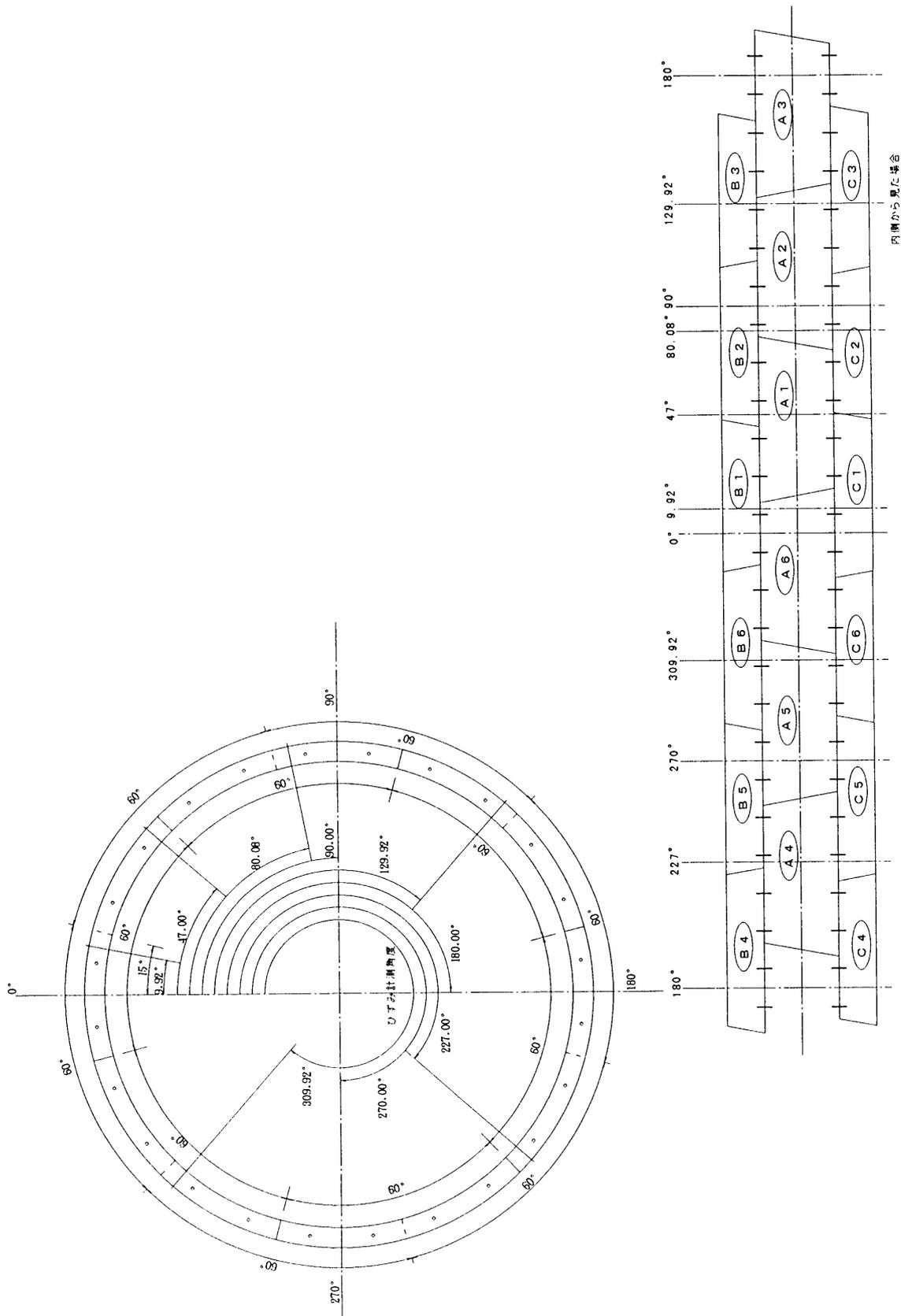
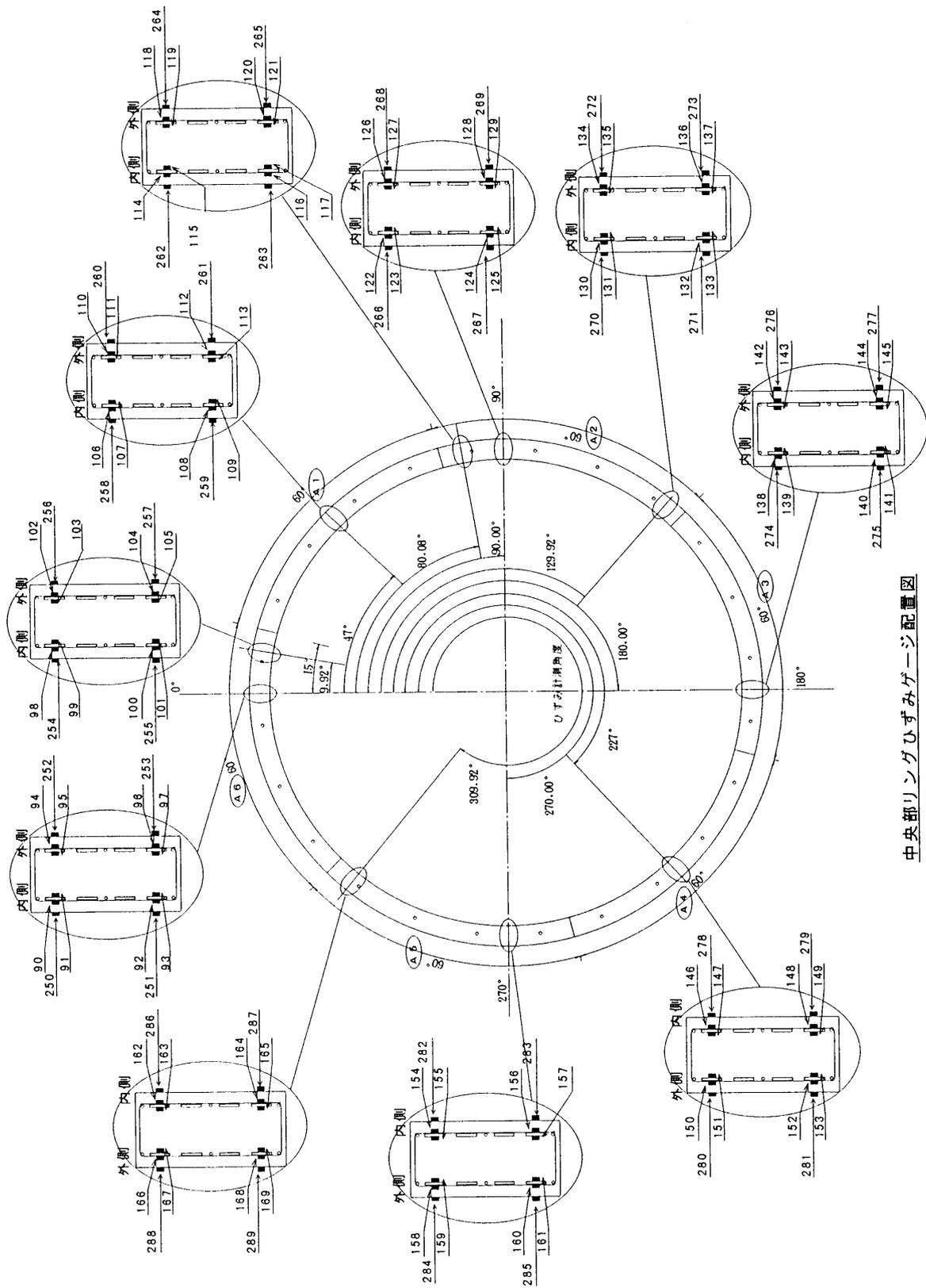
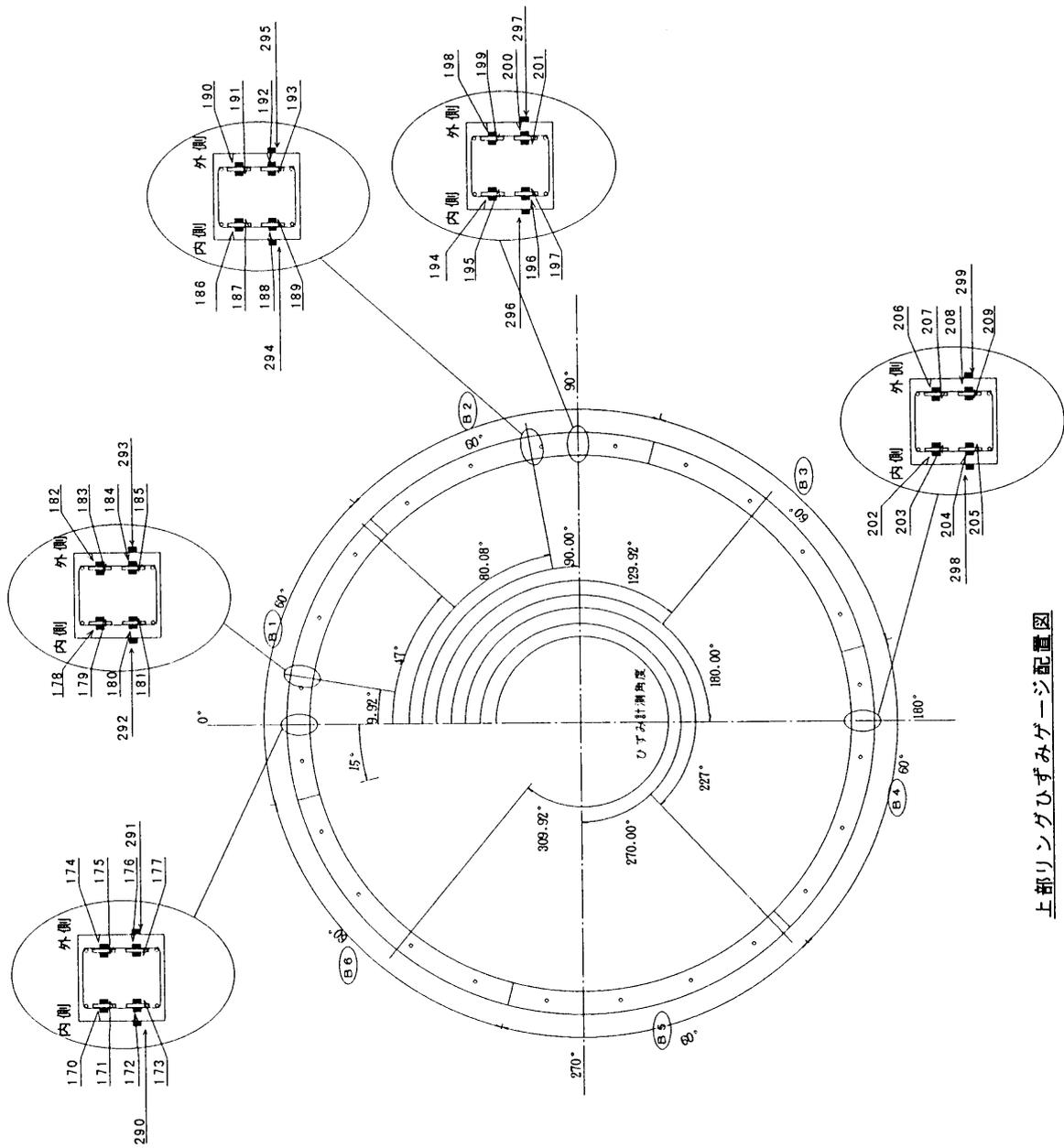


図 6. 4. 1 組立図



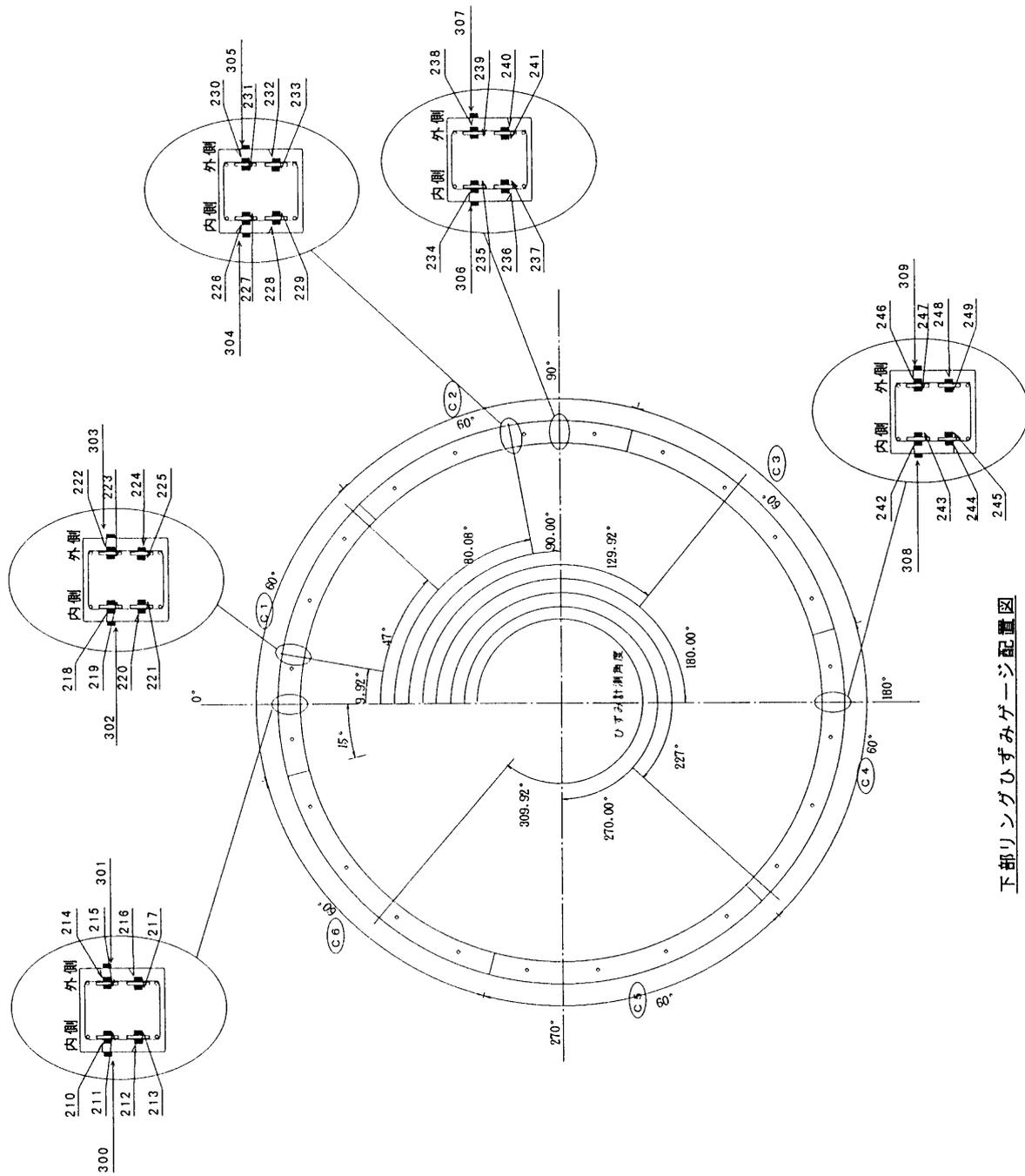
中央リングひずみゲージ配置図

図6.4.2 中央リングひずみゲージ配置図



上部リングひずみゲージ配置図

図6.4.3 上部リングひずみゲージ配置図



下部リングひずみゲージ配置図

図 6.4.4 下部リングひずみゲージ配置図

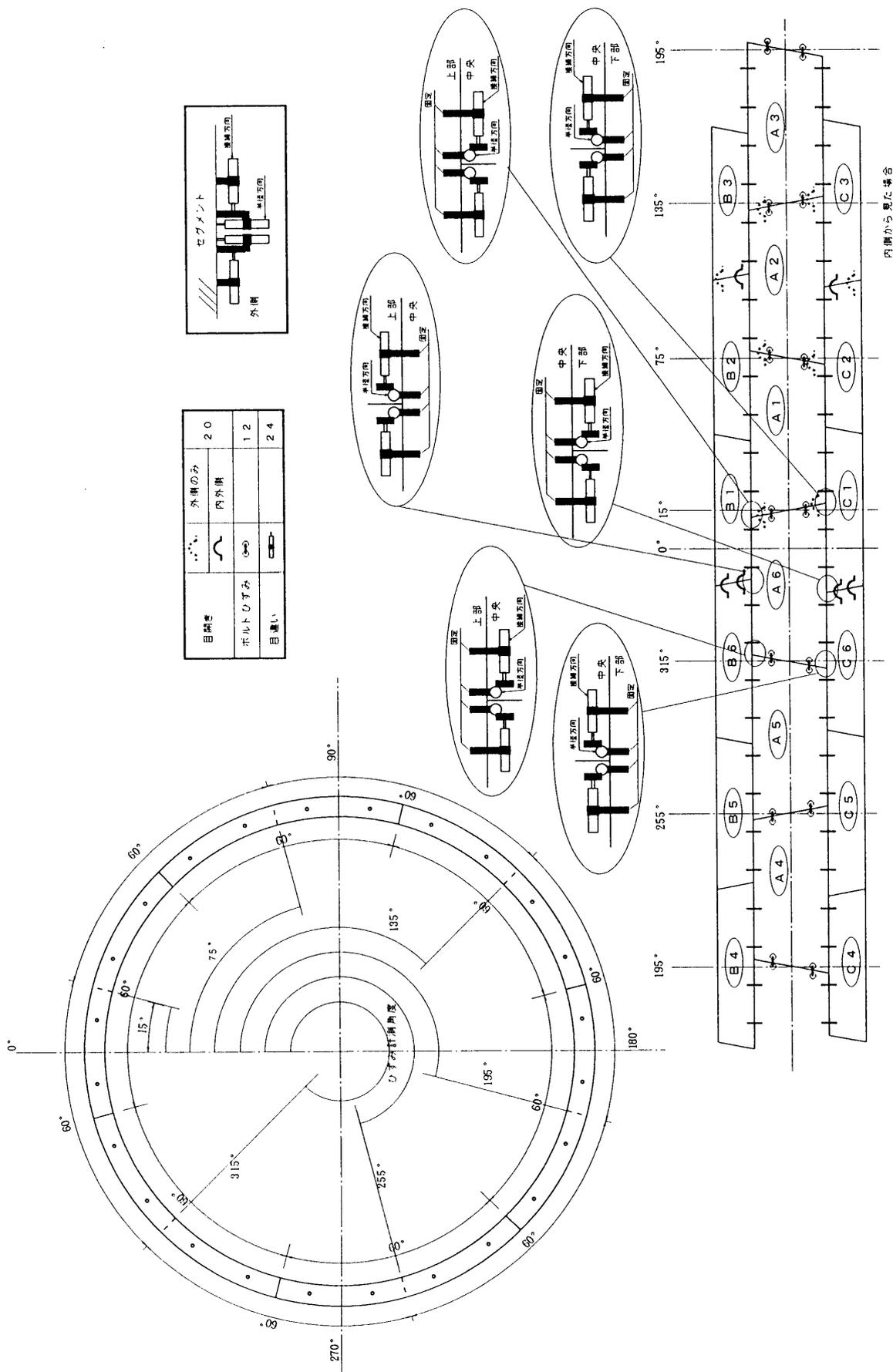


図6.4.5 目開き，目違い，ボルト計測位置図

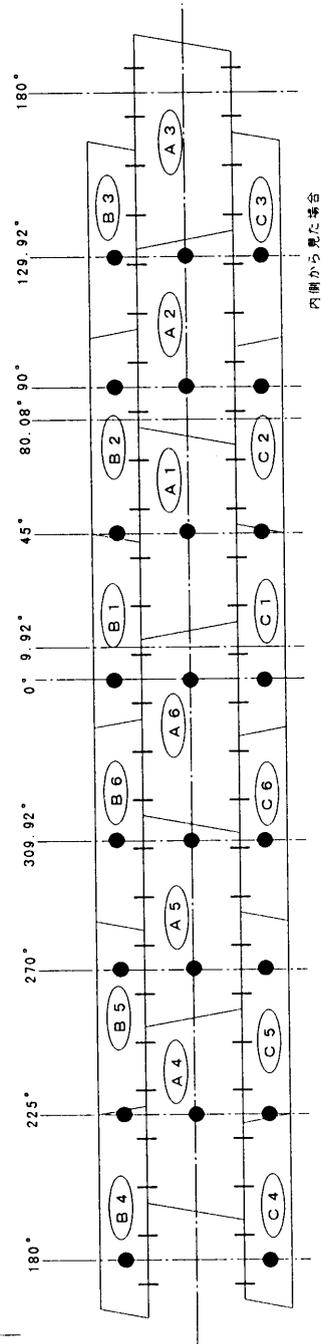
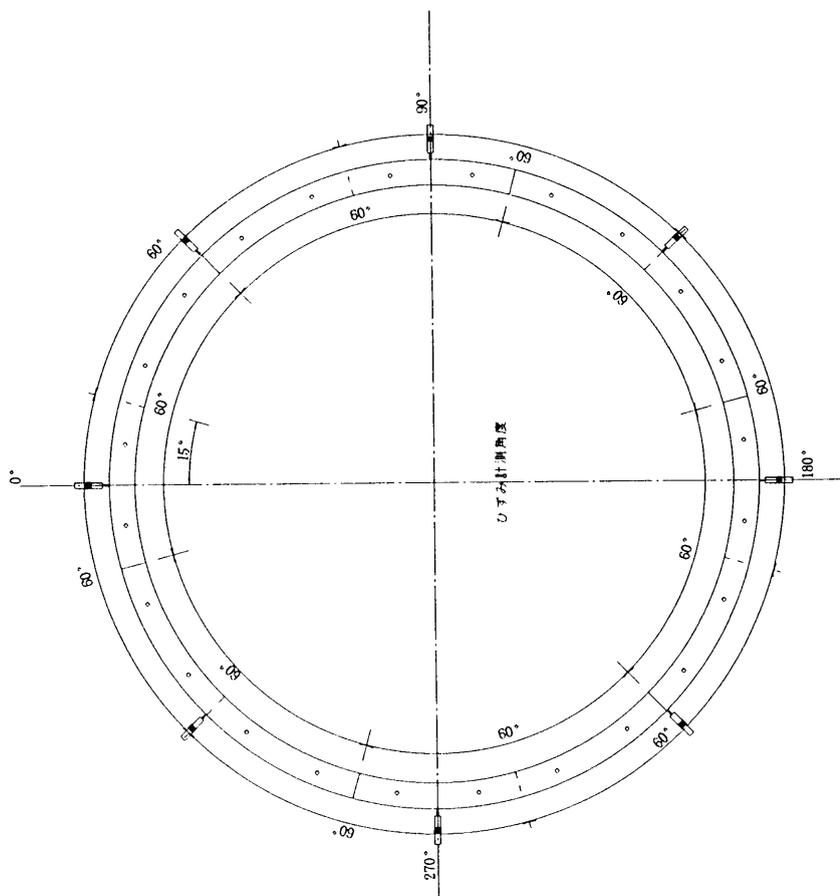


図6.4.6 直径変化量計測位置図

## 7. 実験結果

### 7.1 継手曲げ試験

#### 7.1.1 変形性状

実験結果における、継手部の曲げモーメント  $M$  と継手回転角  $\theta$  の関係をまとめたものを図 7.1.1 に示す。

また、回転ばね定数  $k_{\theta}$  と荷重偏心率  $m$  の関係を 7.1.2 に示す。

これらの図の実線が、レオンハルトのコンクリートヒンジの考え方を基にした理論値である。

これらの結果、継手部の曲げモーメント  $M$  と継手回転角  $\theta$  の関係は、レオンハルトのコンクリートヒンジで考えた結果と近似していることがわかる。

図 7.1.2 を見ると、実験結果の回転ばね定数は、導入軸力が大きい方が大きくなる傾向にあるが、一般に回転ばね定数の変動が 1 オーダー以内であれば断面力に与える影響は、少ないといわれており、レオンハルトのコンクリートヒンジの考え方に基づいて回転ばね定数を求めても事実上問題ないものと考えられる。

レオンハルト等によるコンクリートヒンジの考え方

$$k_{\theta} = \frac{9 a^2 b E}{8} \cdot \frac{a}{S} \cdot m (1 - 2 m)^2$$

$$m = \frac{M}{N a} = \frac{e}{a}$$

ここで、

$m$  : 荷重偏心率

$M$  : 作用曲げモーメント

$N$  : 作用軸力

$a$  : 継手接触部高さ

$b$  : 継手接触部幅

$E$  : コンクリートの弾性係数

$s$  : 圧縮応力の影響範囲 ( $s = 2 a$  とした)

注) オリジナルは、 $s = a$  である

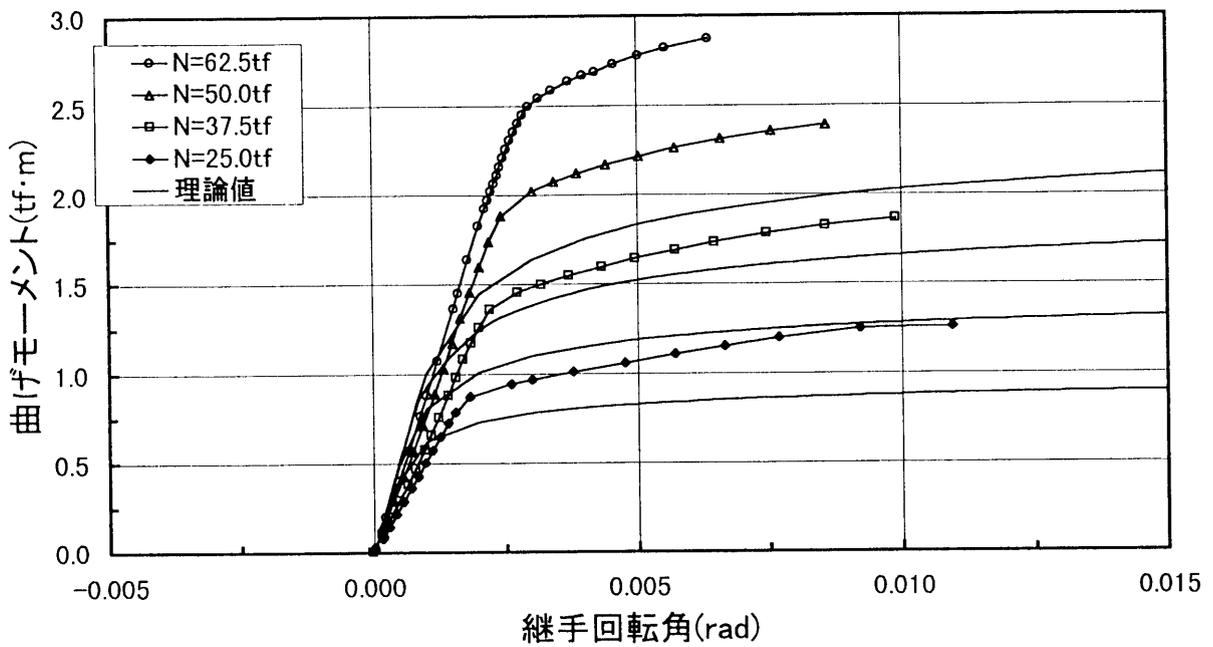


図 7.1.1 曲げモーメントと継手回転角の関係

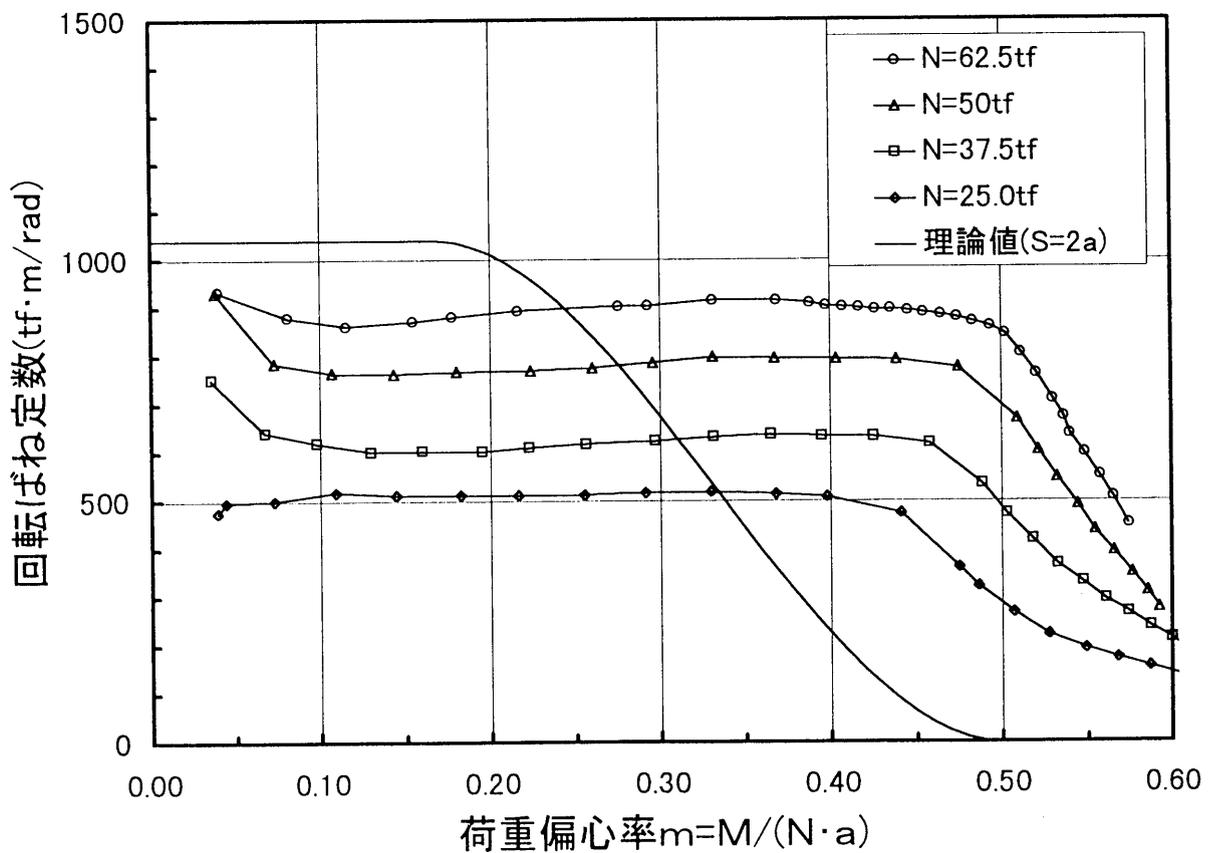


図 7.1.2 回転ばね定数と荷重偏心率の関係

リングロックセグメントでは、セグメント継手のボルトは、組立ボルトと位置づけ構造部材と考えない事を基本としている。そこで、ボルトがある場合と無い場合についての曲げモーメントと回転角の関係を図7.1.3および図7.1.4に示す。

これらの結果、ボルトは、継手がヒンジ的挙動に移行するのを少し遅らせる傾向はあるが、この図の傾きである、回転ばね定数には、全く影響しないことがわかる。したがって、継手変形挙動からは、ボルトを組立ボルトと位置づけ、構造部材として考慮しなくても差し支えないと言える。

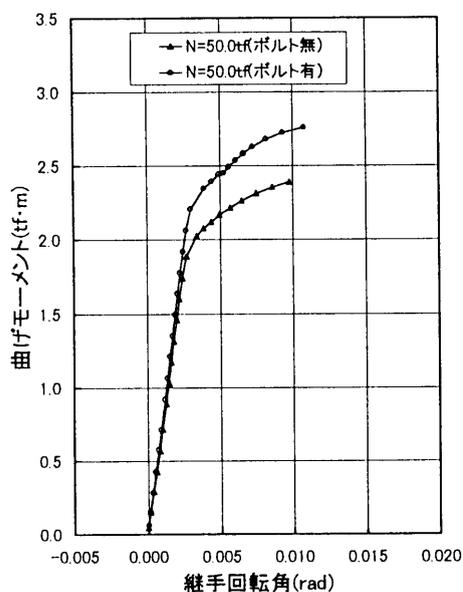


図7.1.3 曲げモーメントと回転角の関係 (N=50tf)

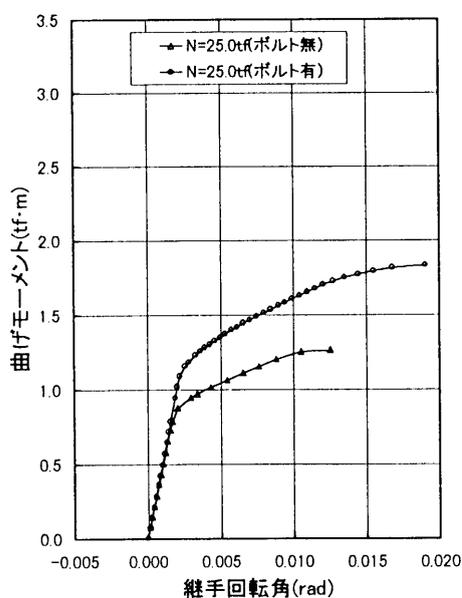


図7.1.4 曲げモーメントと回転角の関係 (N=25tf)

### 7.1.2 ひびわれ性状

継手曲げ実験における供試体のひびわれ状況図を図7.1.5に示す。これより、実験供試体には、ほとんどひびわれが発生せず、繰り返し実験を行ったにも関わらず供試体が健全であることが確認された。

また、ひび割れ図において、継手ボックス周辺に発生したひびわれは、ボルト有りの実験時に発生したものであり、先に行ったボルト無しの場合では、ひびわれの発生は認められなかった。

したがって、ひびわれ状況からもボルトがない方が、セグメントのためには良いという結果が得られた事になる。

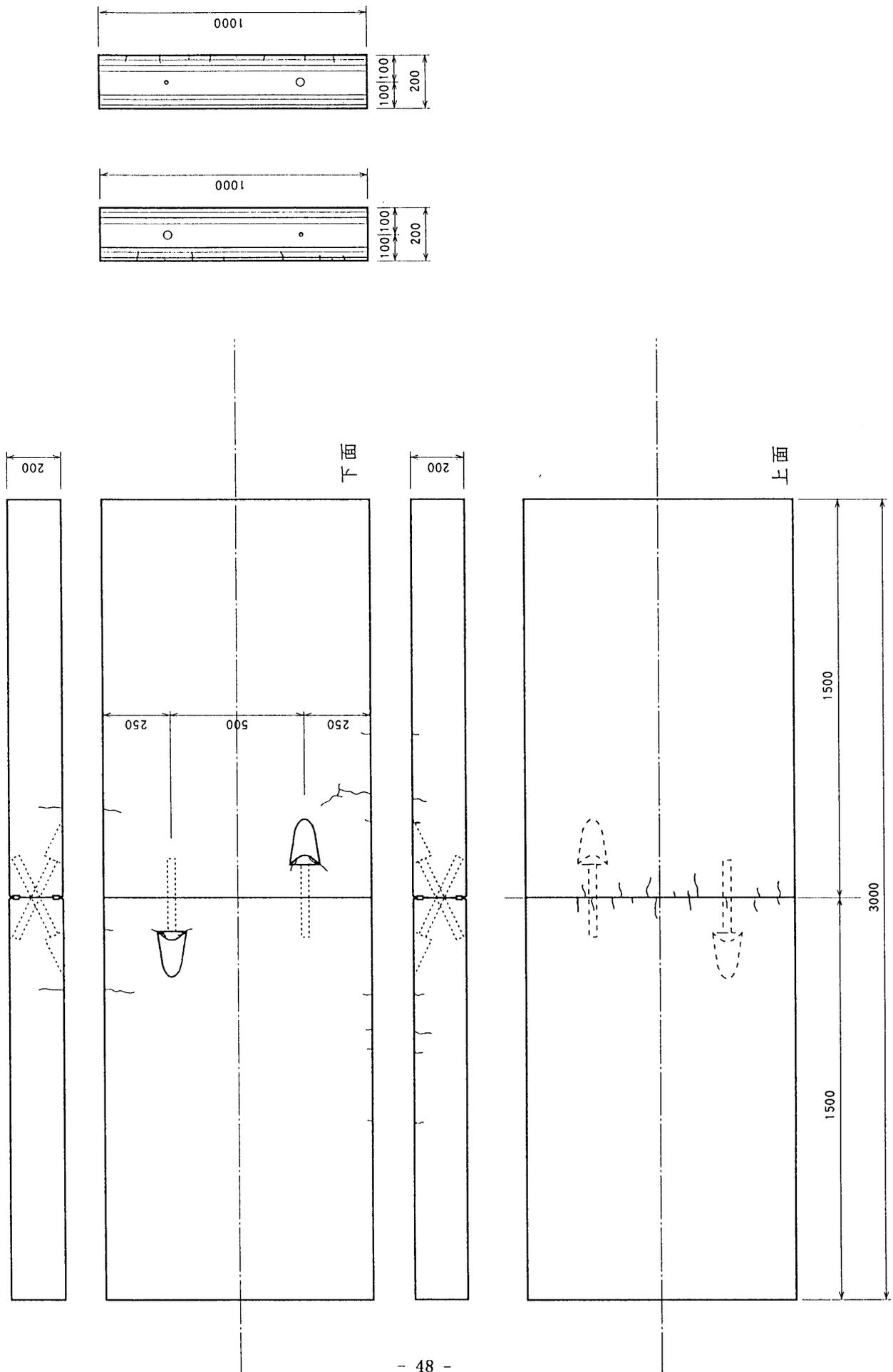


図7.1.5 継手曲げ実験ひびわれ状況図

## 7.2 リング間継手せん断実験（半径方向）

### 7.2.1 強度性状

せん断力と目違い量の関係を図7.2.1に、また、せん断力とほぞ補強筋ひずみ関係の例を図7.2.2に示す。

これらの図からもわかるように、最大荷重は、 $P_{max}$ は、123.8tfであった。これは、設計荷重レベル $P_d=15.7tf$ に対して約7.8倍の安全率を有している事になる。

目視によるひびわれ発生荷重 $P_{cr}$ は、約74tfであり、これは、ほぞ部コンクリートの斜め引張強度（無筋）で求めた64tfとほぼ同等であった。

また、補強筋ひずみから見るとひびわれ発生荷重は、概ね60tf程度と考えられるが、ひびわれ発生後に補強筋が十分に働いていることが確認された。

載荷荷重と目違い量の関係

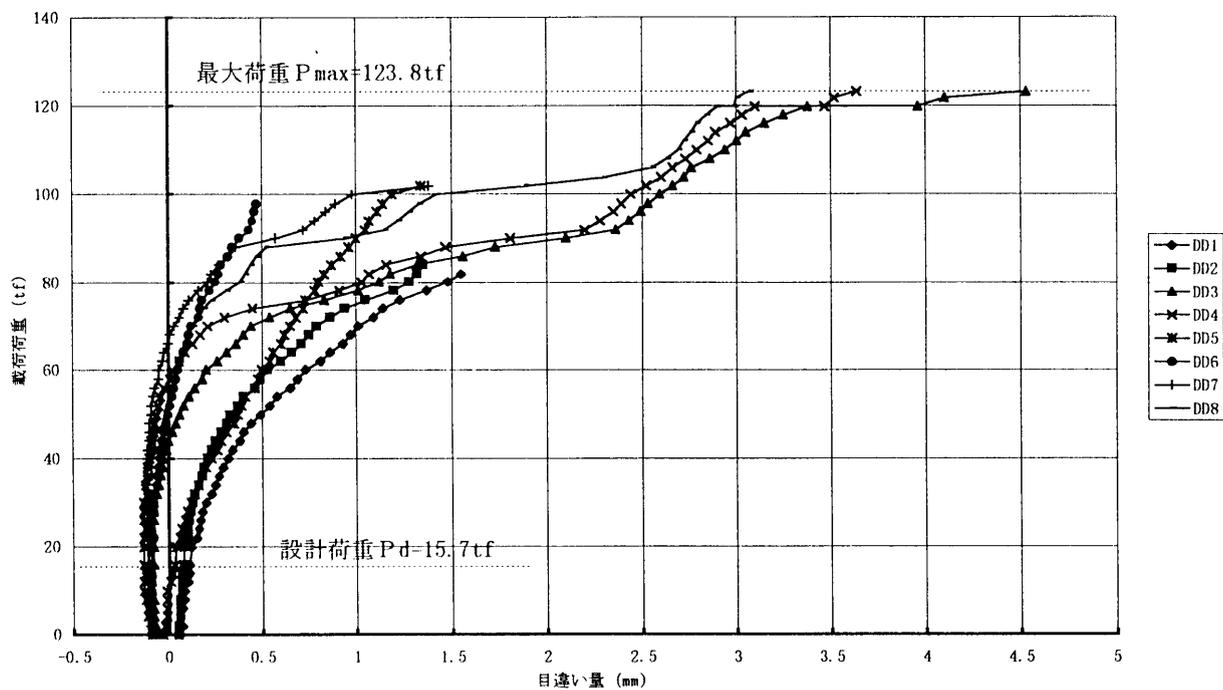


図 7.2.1 荷重と目違い量の関係

載荷荷重と補強筋ひずみの関係 (R25~R29)

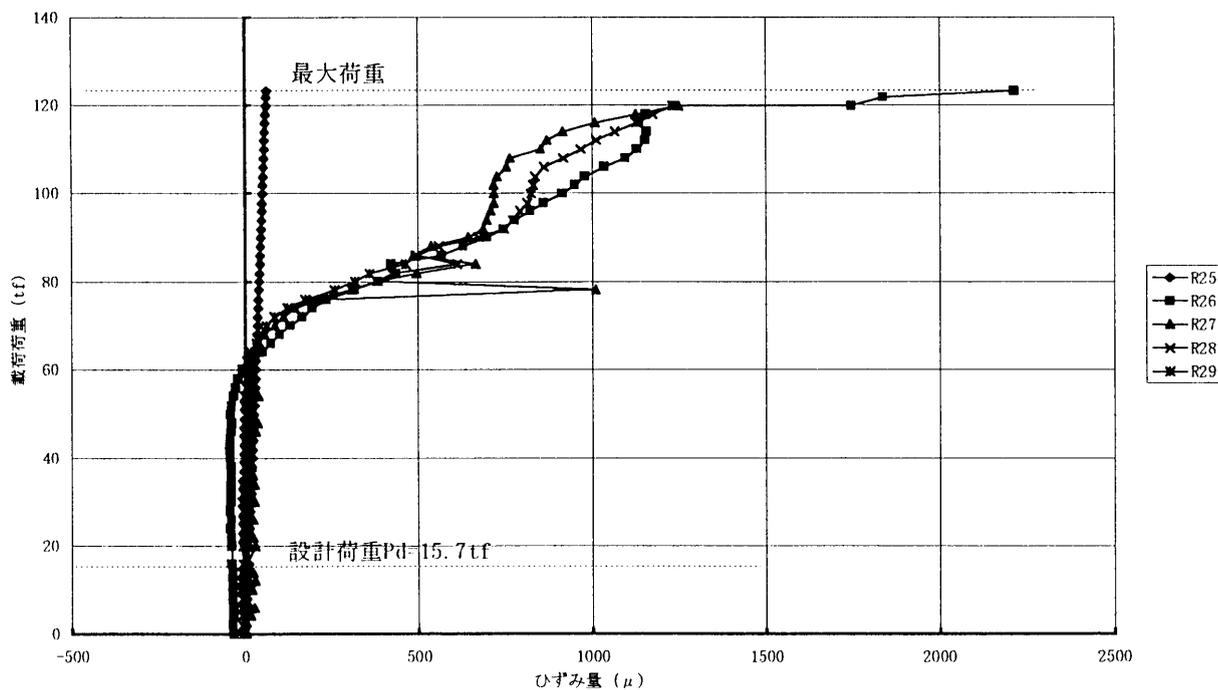


図 7.2.2 荷重とほぞ補強筋ひずみの関係

### 7.2.2 変形性状

荷重とリング継手相対変位の関係を図7.2.3に示す。この図で、実験結果は、約20tfまで摩擦による抵抗区間を示し、その後滑るような挙動を示しているが、この実験結果を最小二乗法により直線に近似したものが破線で示している直線である。また、実線は使用したシアストリップの圧縮剛性から求めた計算値である。

この結果、リング継手のせん断ばね定数は、この図の傾きで表され実験結果と計算値が良い一致を示している事がわかる。

したがって、リング継手の半径方向せん断ばね定数は、使用するシアストリップの圧縮剛性から求めて良いものと判断される。

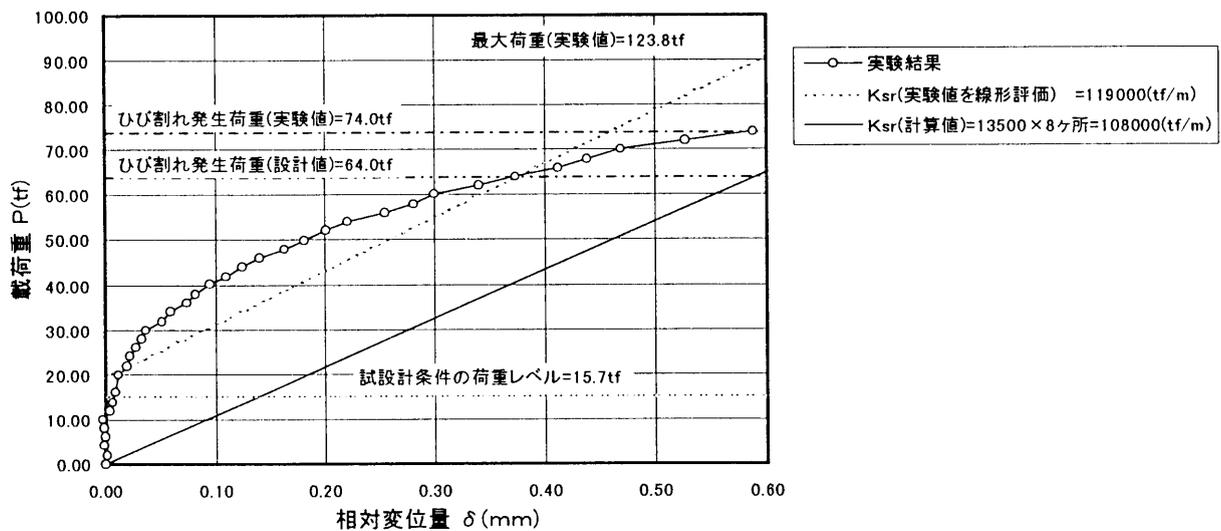


図 7.2.3 載荷重と継手部相対変位の関係

### 7.2.3 ひびわれ性状

図7.2.4に破壊時のひびわれ状況を示す。

この図より、ひびわれは、ほぞ雌側に斜め45度程度で発生し最終的に、シアストリップを中心に押し抜かれるような形状で進行し、破壊に至っているようすが伺える。

セグメント本体には、曲げひびわれが発生しているが、これは、破壊近い状況で発生したものであり、これが強度に影響したようなことはないものと考えられる。

最終破壊状態では、雌側ほぞ全てが抜け落ちている場所もあり、この状況から考えると、雌側ほぞ全体に主筋方向に配筋した補強筋取り付け部材と補強筋が一体となって補強効果を上げているように思われる。

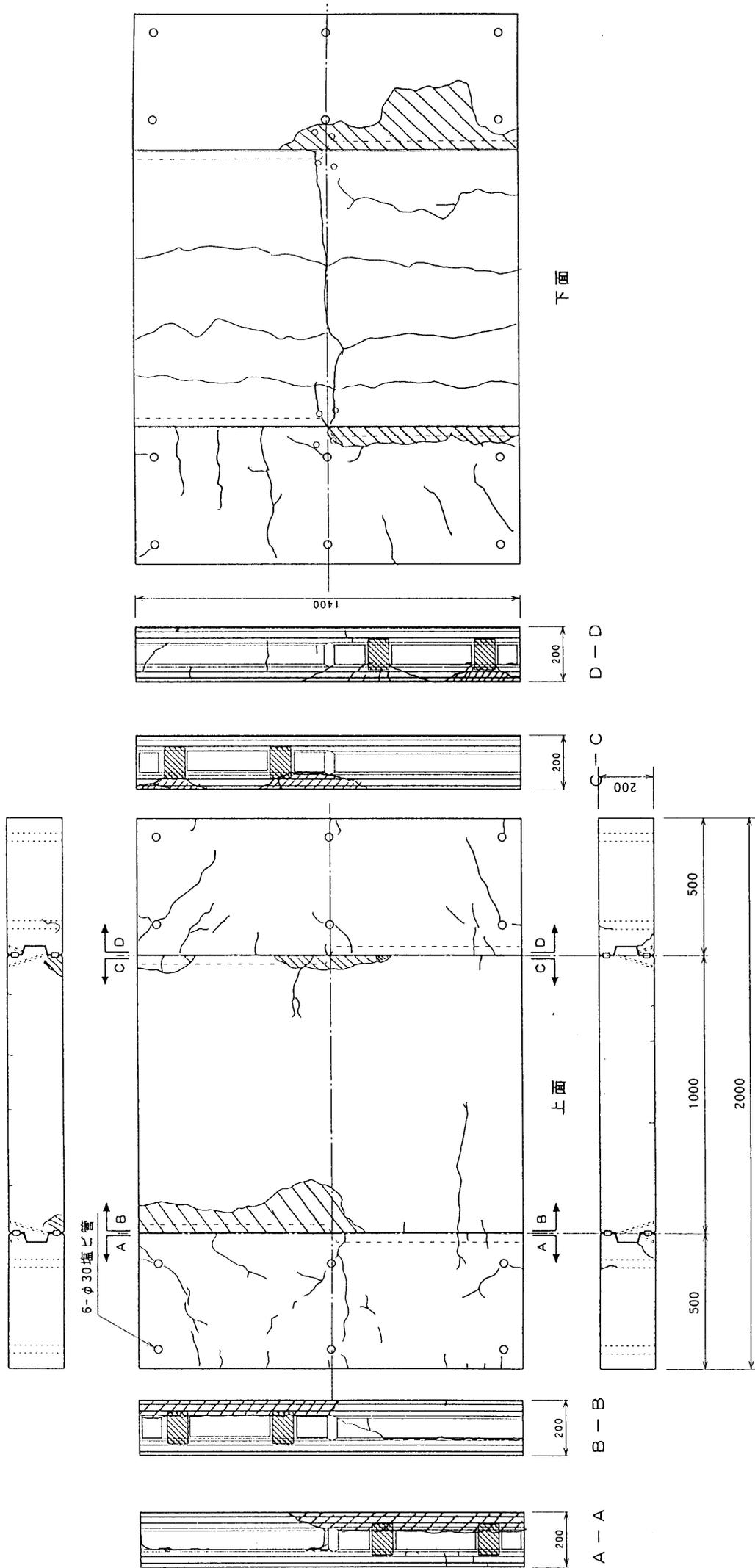


図7.2.4 半径方向リング継手せん断実験ひびわれ状況図

### 7.3 リング間継手せん断実験（接線方向）

#### 7.3.1 強度性状

荷重と目違い量の関係を図7.3.1に示す。

本実験は、図7.3.1の通り安全上最大120tfまで荷重を打ち切ったが、供試体には何ら異常は見られず健全であった。この荷重は、設計条件の荷重レベルに対して約6倍の荷重を載荷したことになる。また、荷重120tf時のロック部応力は、ロック部の断面積から単純に考えると、約 $1070\text{kgf/cm}^2$ （ロック部断面積約 $56\text{cm}^2$ ）となる。使用したコンクリートの実圧縮強度が約 $700\text{kgf/cm}^2$ であることを考えると既に破壊に至っているはずであるが、実際には、健全であることが確認されている。この要因として、

- ① リング継手の摩擦によるロック部の荷重低減
  - ② 組み立てられた状態でのロック部は、コンクリートに囲まれているため、3軸状態となり、見かけのコンクリート強度が増加した。
- ことが考えられるが、その確認をするには至らなかった。

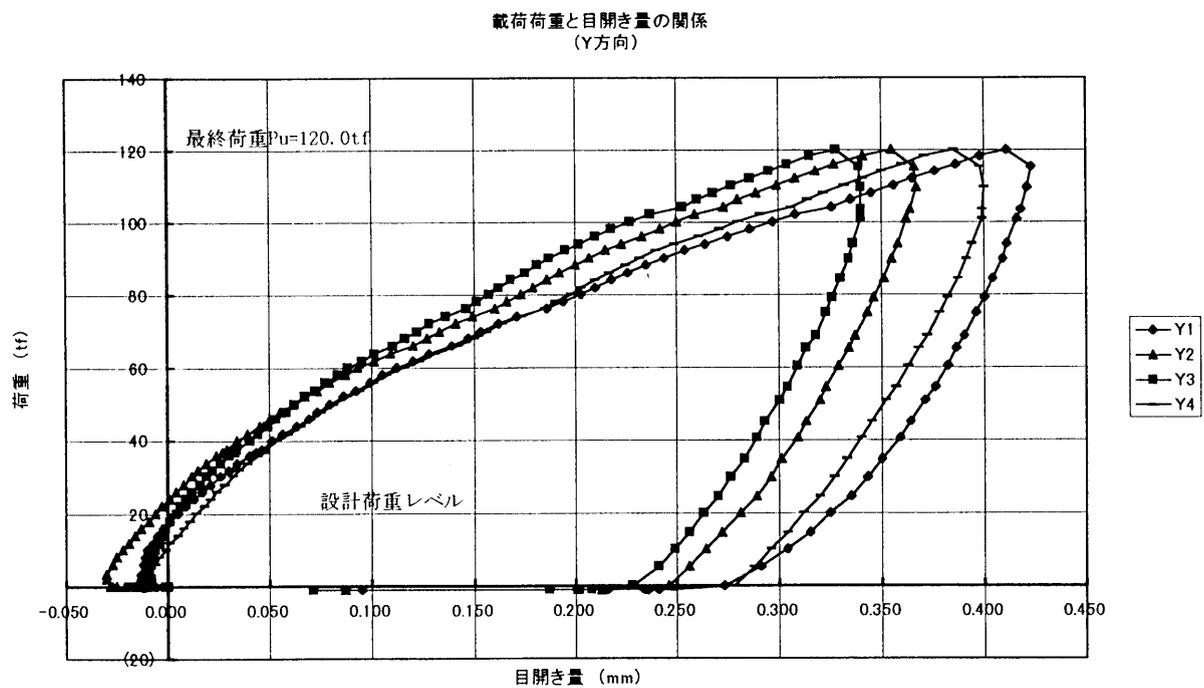


図7.3.1 荷重と目違い量の関係

### 7.3.2 変形性状

荷重とリング継手相対変位の関係を図7.3.2に示す。この図で実験結果を最小二乗法により直線に近似したものが破線で示している直線である。また、実線は使用した注入エポキシ樹脂の弾性係数から求めた計算値である。

この結果、ロック部の接線方向せん断ばね定数は、この図の傾きで表され実験結果と計算値が良い一致を示している事がわかる。

したがって、ロック部の接線方向せん断ばね定数は、使用するエポキシ樹脂の弾性係数から求めて良いものと判断される。

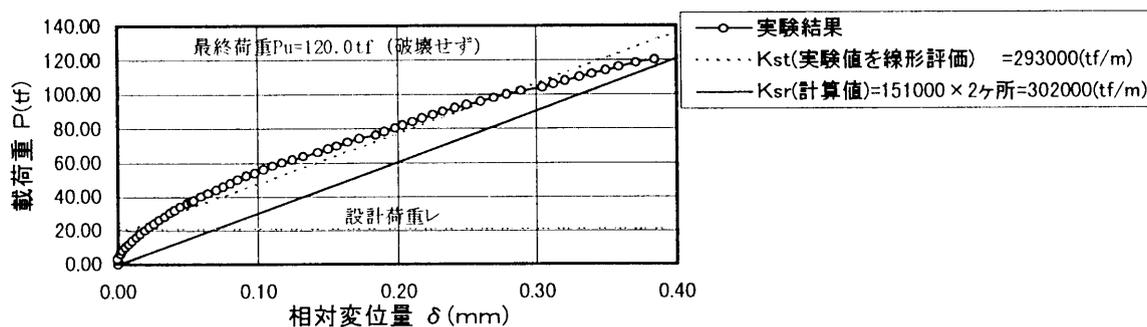


図 7.3.2 載荷重と継手部相対変位の関係

### 7.3.3 ひびわれ性状

図7.3.3に最終ひびわれ状況図を示す。ロック部周辺に多少ひびわれが見られるが、これは、載荷重110tfを越えてから発生したものである。また、ロック部内の剥離は、継手部を取り外した時にエポキシ樹脂の接着効果によって剥離したものであり、載荷によるものではなかった。このことから、ロック部のエポキシ樹脂およびコンクリートは、その接着力が十分残っているほど健全で有ったと考えられる。

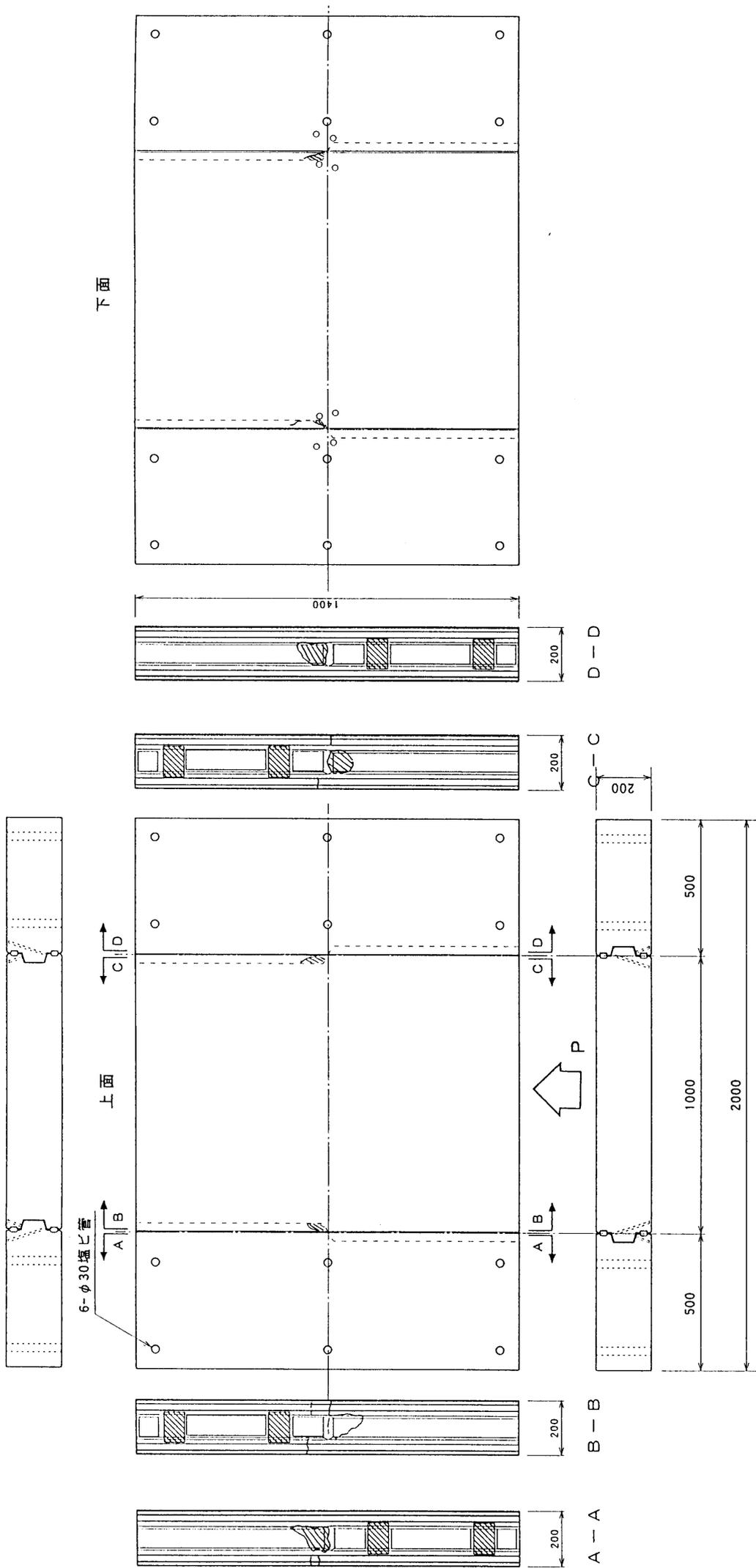


図7.3.3 接線方向リング継手せん断実験ひびわれ状況図

## 7.4 リング載荷実験

### 7.4.1 強度性状

リング載荷実験結果のうち代表的なケースとして

実験ケース1：外荷重のみ

実験ケース5：外荷重先行＋内水圧載荷

実験ケース9：内水圧先行＋外荷重載荷

の曲げモーメント図を図7.4.1から7.4.3に示す。この図の実線は、先に行った要素実験から得られた各種ばね定数を用いたはり－ばねモデルによる解析値である。これらの図より明らかなように、実験結果と解析結果は良い一致を示し、リングロックセグメントは、はり－ばねモデルでその断面力を評価できることが確認された。

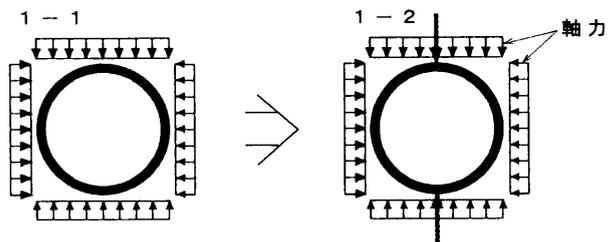
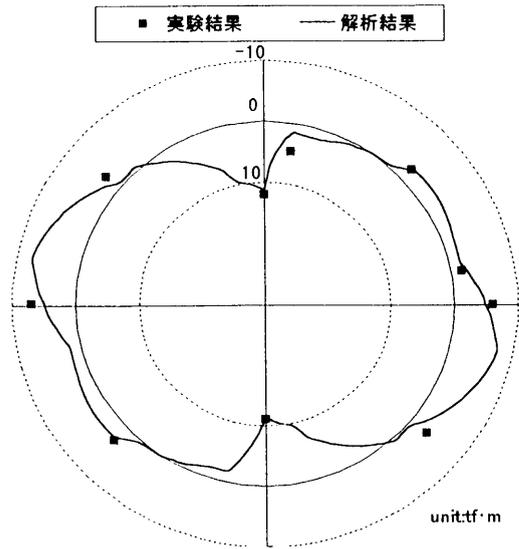


図 7.4.1 曲げモーメント図 (ケース 1)

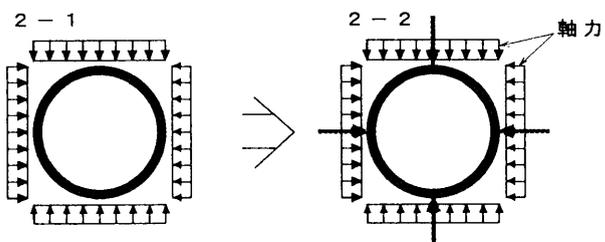
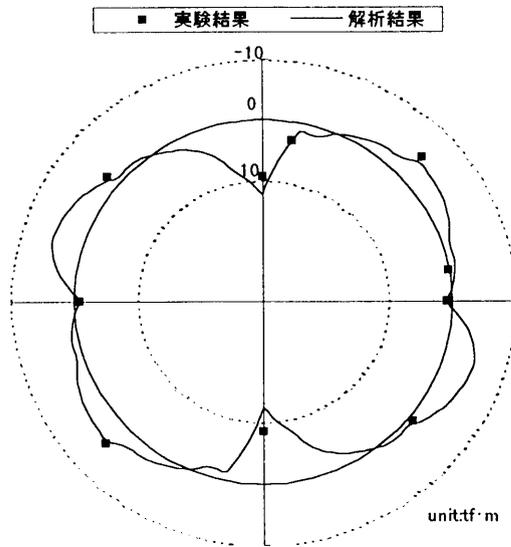


図 7.4.2 曲げモーメント図 (ケース 2)

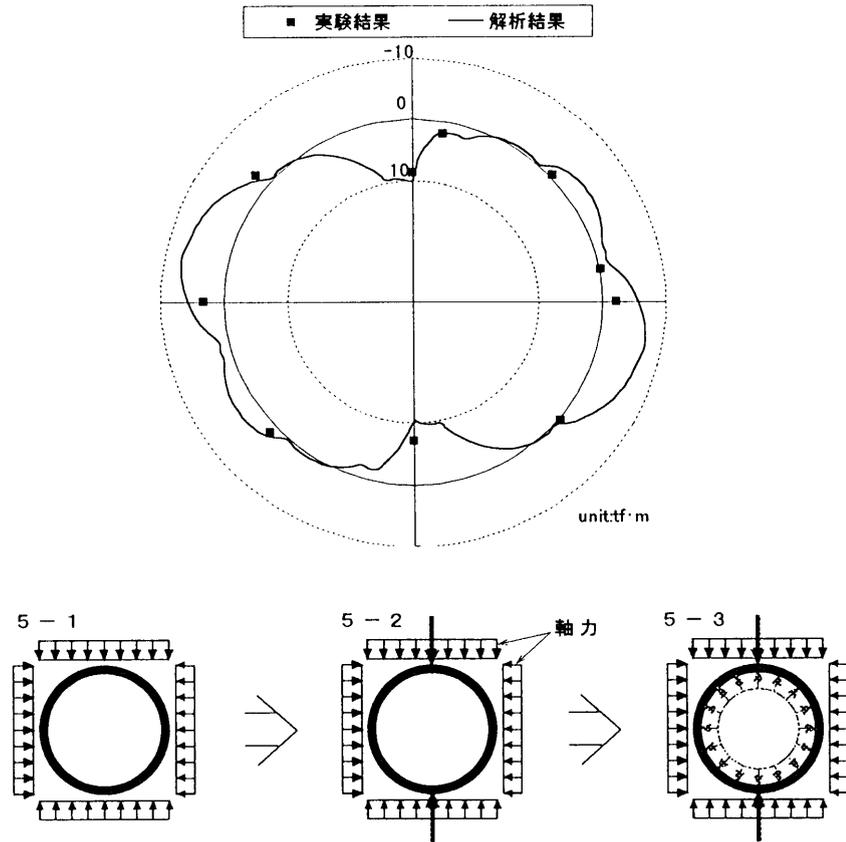


図 7.4.3 曲げモーメント図 (ケース 5)

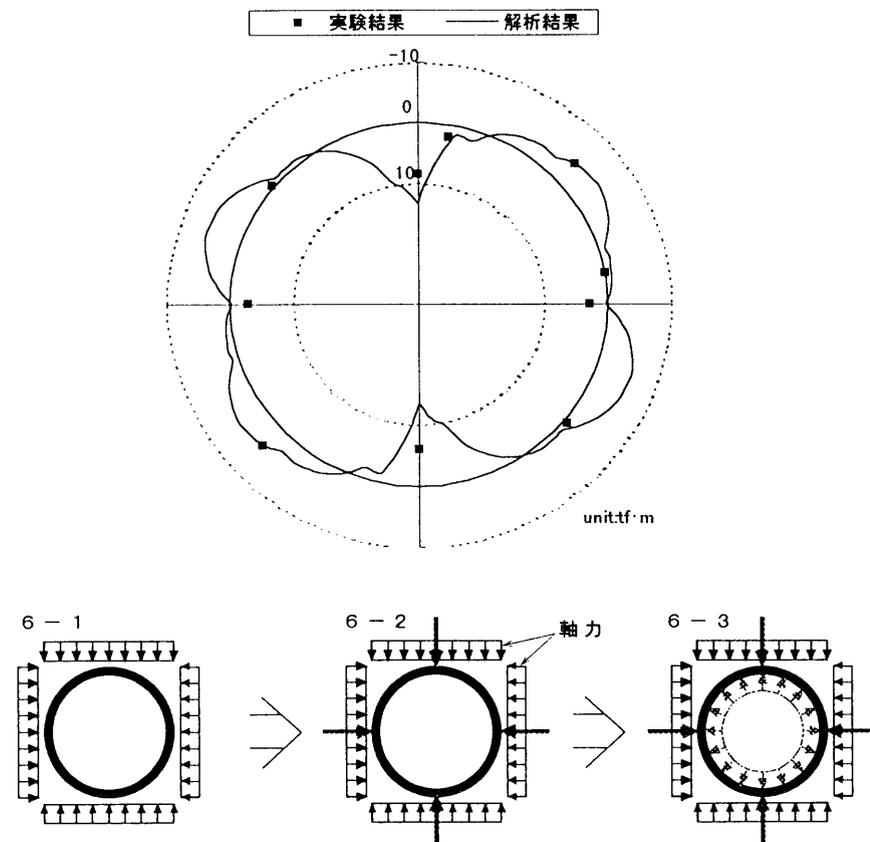


図 7.4.4 曲げモーメント図 (ケース 6)

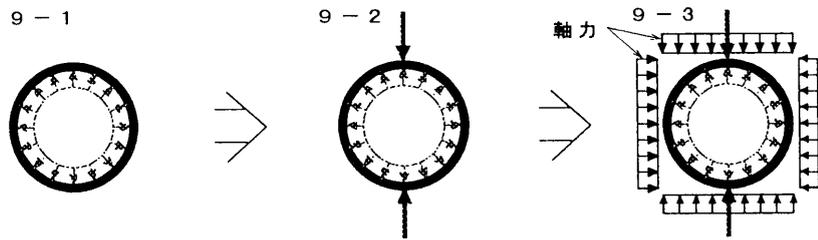
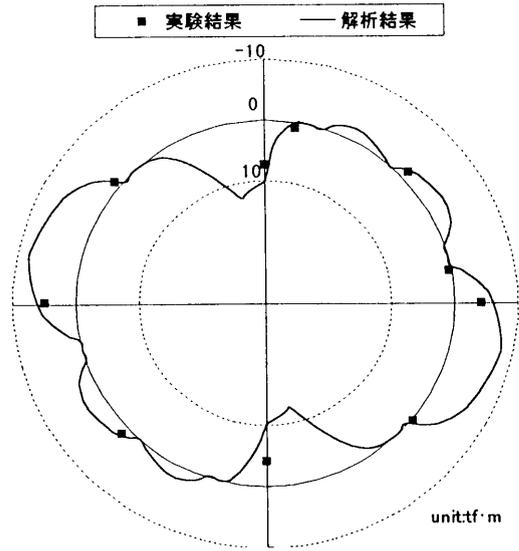


図 7.4.5 曲げモーメント図 (ケース 9)

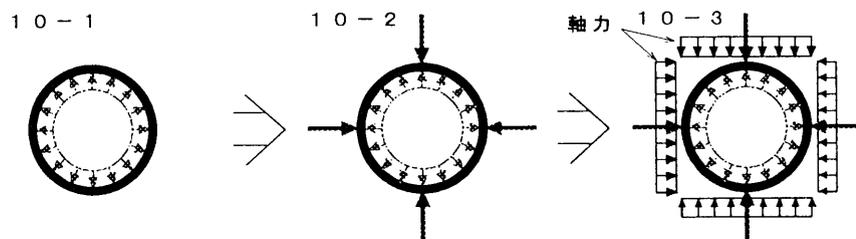
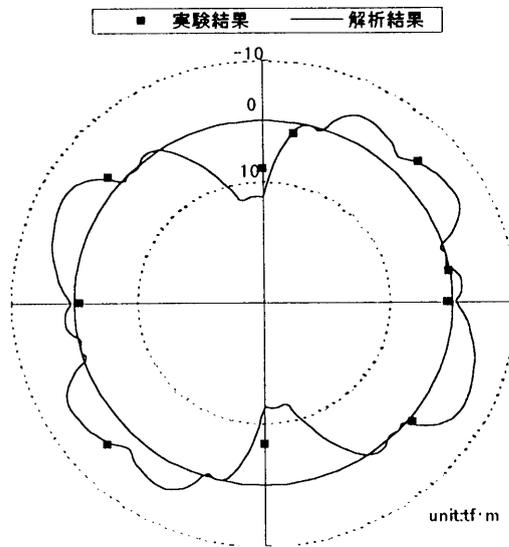


図 7.4.6 曲げモーメント図 (ケース 10)

#### 7.4.2 変形性状

強度性状と同様にケース 1, 5, 9 について変形図を図 7.4.4~7.4.6 に示す。この結果も強度性状どうように、解析結果と実験結果は、良い一致を示し、はり-ばねモデルにてリングロックセグメントの変形性状を評価できることが確認された。

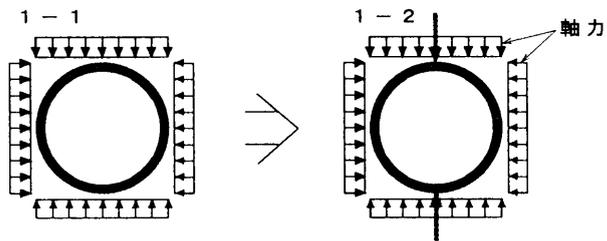
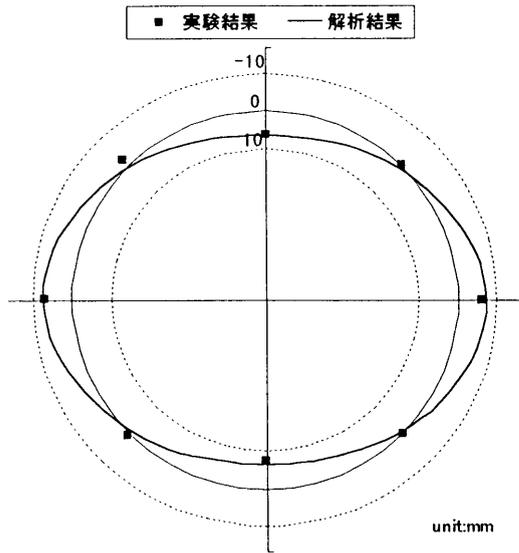


図 7.4.7 変形図 (ケース 1)

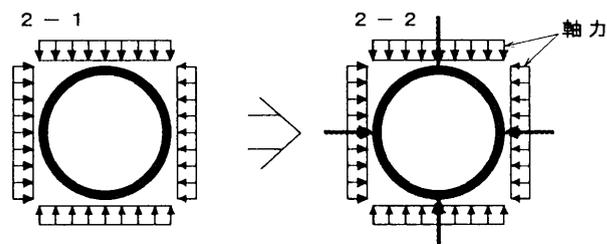
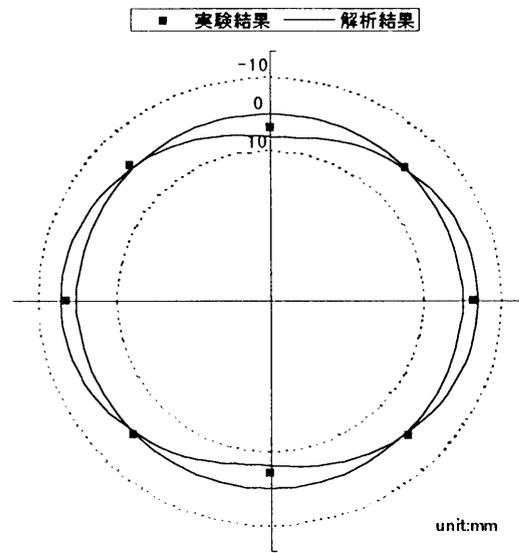


図 7.4.8 変形図 (ケース 2)

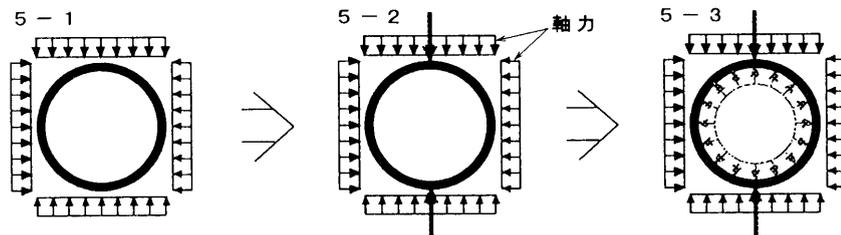
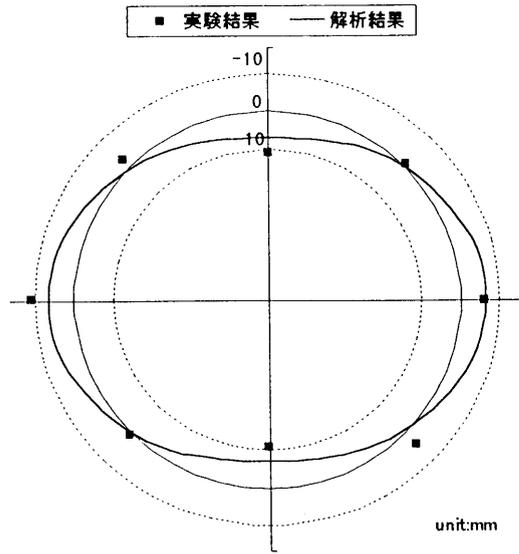


図 7.4.9 変形図 (ケース 5)

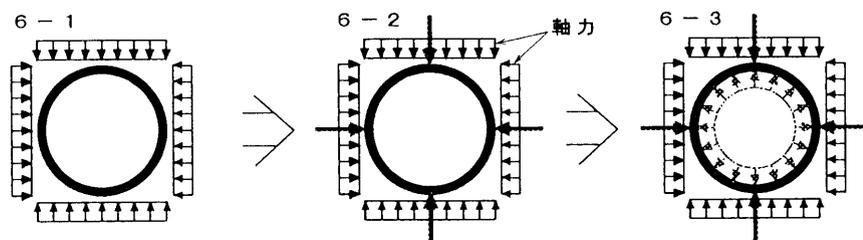
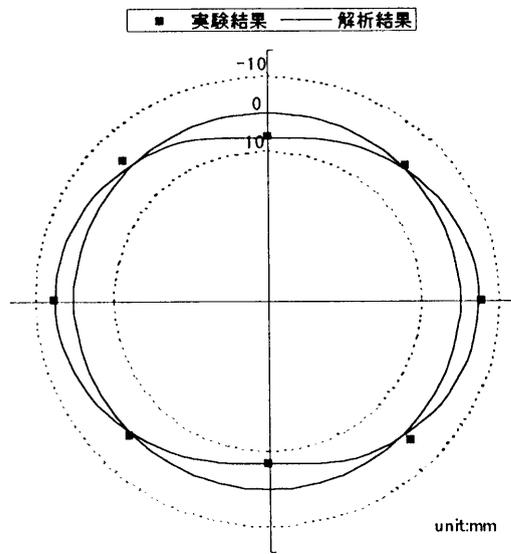


図 7.4.10 変形図 (ケース 6)

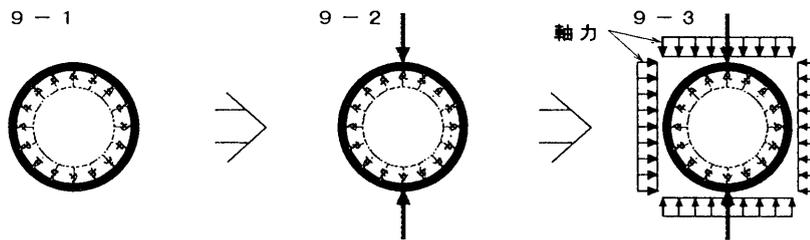
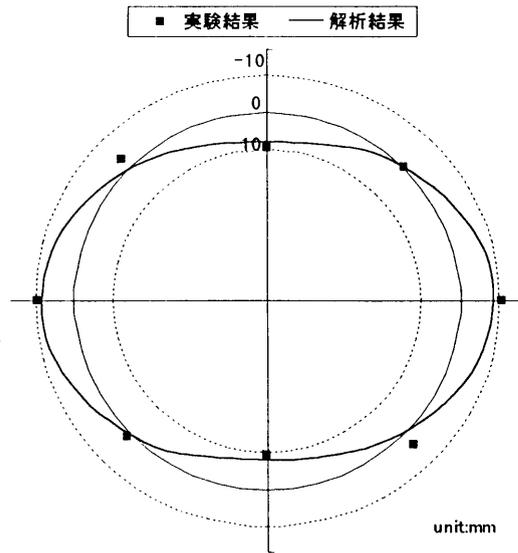


図 7.4.11 変形図 (ケース 9)

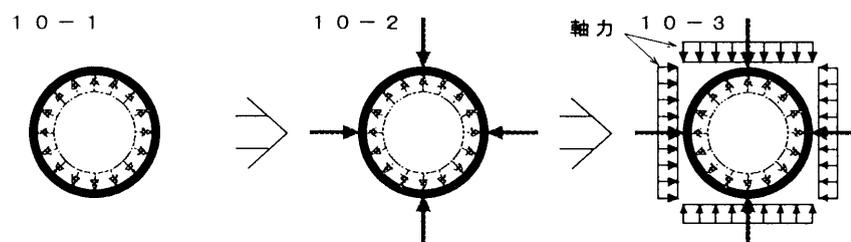
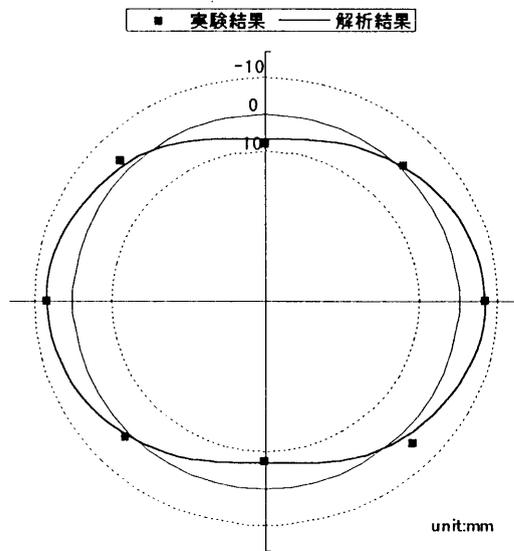


図 7.4.12 変形図 (ケース 10)

### 7.4.3 ひびわれ性状

図7.4.13 に最終状態のひびわれ図を、図7.4.14 に0度位置における鉄筋応力とひびわれ幅の関係を示す。

図7.4.13 を見るとひびわれは、集中することなく分散している事がわかる。その間隔は、約16cm間隔となっている。これは、配力筋間隔と概ね一致している。

また、図7.4.14 を見ると、鉄筋応力度とひび割れ幅の関係は、概ね直線的な関係を示している。

本実験供試体の鉄筋かぶりは、35mmであるので、腐食環境が一般の環境の場合の許容ひびわれ幅は

$$w_a = 0.005 * c = 0.005 * 35 = 0.175 \text{ mm}$$

となる。

実験結果から許容ひび割れ幅相の鉄筋応力度を見ると1500kgf/cm<sup>2</sup>程度であり、許容応力度を下げる必要性があるが、今回の実験では、実験供試体の厚さ（先端建設技術センターで行われたものと同じにする）の関係から、ひびわれ幅を考慮したかぶりを設定していないためである。したがって、かぶりを十分にとることが可能であれば、ひびわれ幅が問題になることは無いと考えられる。

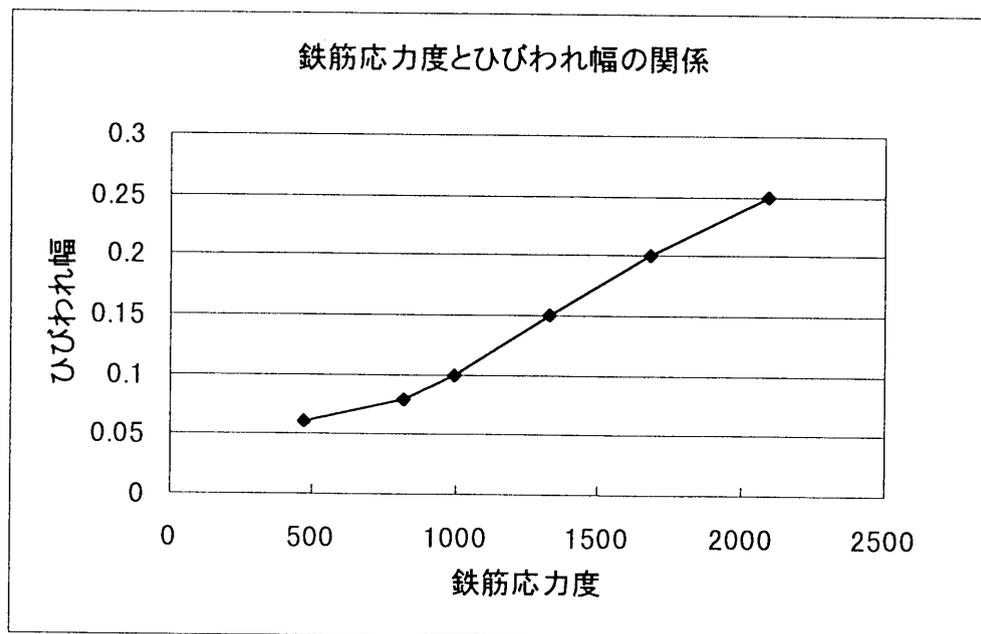
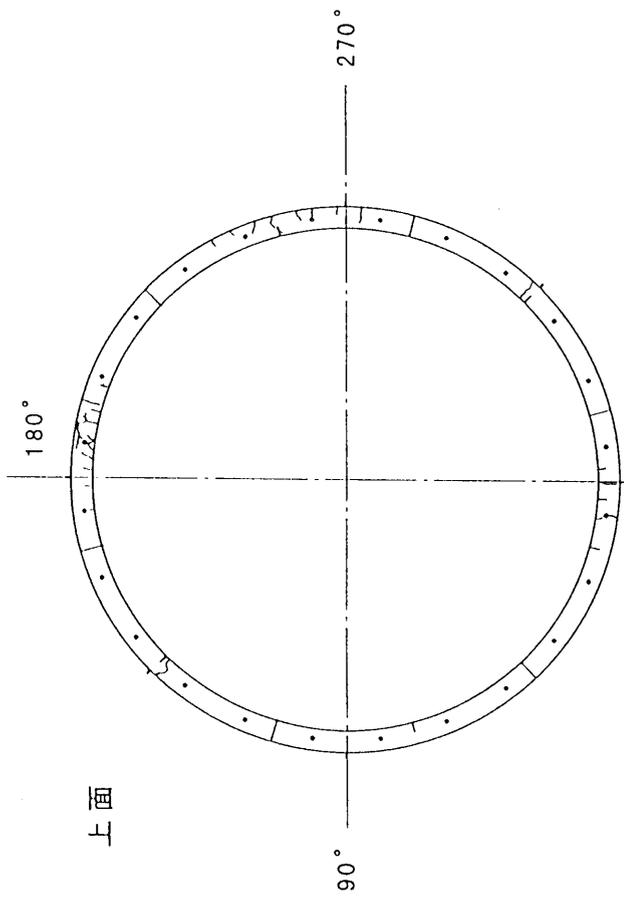


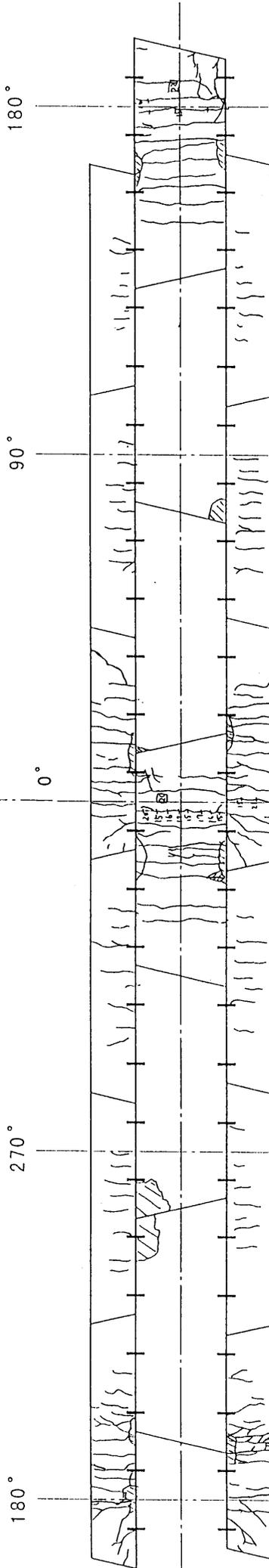
図7.4.14 鉄筋応力とひび割れ幅の関係

クラック状況図 (破壊後)

上面



内側



外側

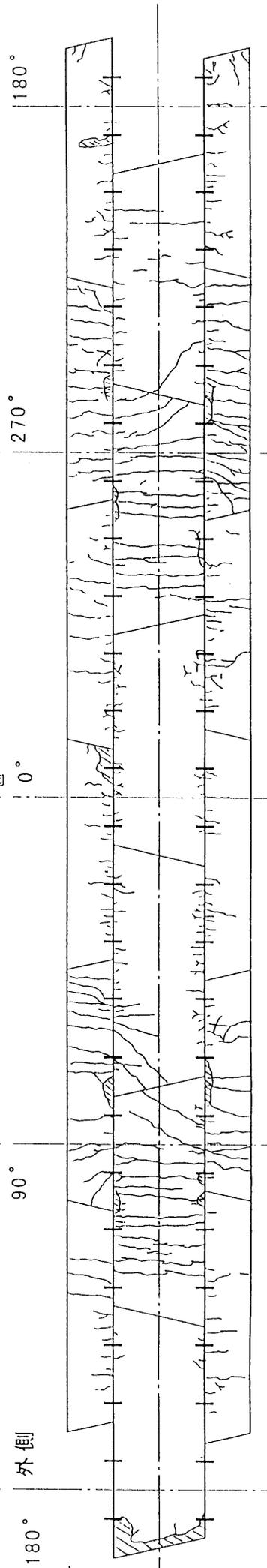


図7.4.13 リング載荷実験ひびわれ状況図 (破壊後)

## 8. まとめ

リングロックセグメントに関する一連の実験および解析を行って以下のことがわかった。

- ① リングロックセグメントに使用するセグメント突き合わせ継手剛性は、レオンハルトのコンクリートヒンジの理論に基づいて求められる。
- ② リングロックセグメントの半径方向せん断ばね定数は、使用するシアストリップの剛性から求めることができる。
- ③ リングロックセグメントの接線方向せん断ばね定数（ロック部のせん断ばね定数）は、ロック部に注入するエポキシ樹脂の弾性係数から求めることができる。
- ④ リングロックセグメントは、はり-ばねモデルを用いて設計できる。
- ⑤ リングロックセグメントの半径方向ほぞは、使用荷重に対して十分な安全性を有している。
- ⑥ リングロックセグメントの接線方向ほぞは、使用荷重に対して十分な安全性を有している。
- ⑦ 継ぎ合わせ継手の剛性に斜めボルトは影響しない。したがって、テール脱出後、必要に応じて斜めボルトを抜いても問題はない。

## 添付資料 実験写真集

### 写真集目次

- 写真 - 1 継手曲げ実験供試体鉄筋籠（ゲージ貼付）
- 写真 - 2 継手曲げ実験供試体打設状況
- 写真 - 3 継手曲げ実験供試体
- 写真 - 4 継手曲げ実験状況
- 写真 - 5 継手曲げ実験目開き状況
- 写真 - 6 継手曲げ実験ひびわれ状況
- 写真 - 7 継手せん断実験供試体鉄筋籠（半径方向：ゲージ貼付）
- 写真 - 8 継手せん断実験供試体鉄筋籠（半径方向：ゲージ貼付，1/2 サイズ）
- 写真 - 9 継手せん断実験供試体鉄筋籠（接線方向：ゲージ貼付）
- 写真 - 10 継手せん断実験供試体鉄筋籠（接線方向：ゲージ貼付，1/2 サイズ）
- 写真 - 11 継手せん断実験供試体打設状況
- 写真 - 12 継手せん断実験供試体
- 写真 - 13 継手せん断実験供試体（1/2 サイズ）
- 写真 - 14 継手せん断実験状況（半径方向）
- 写真 - 15 継手せん断実験目違い状況（半径方向）
- 写真 - 16 継手せん断実験破壊状況（半径方向）
- 写真 - 17 継手せん断実験エポキシ注入状況（接線方向）
- 写真 - 18 継手せん断実験状況（接線方向）
- 写真 - 19 継手せん断実験破壊状況（接線方向）
- 写真 - 20 リング載荷実験供試体鉄筋籠
- 写真 - 21 リング載荷実験供試体打設状況
- 写真 - 22 リング載荷実験供試体
- 写真 - 23 リング載荷実験供試体（ロック部）
- 写真 - 24 リング載荷実験エポキシ注入状況
- 写真 - 25 リング載荷実験状況
- 写真 - 26 リング載荷実験ひびわれ状況 1（内面：0 度付近）
- 写真 - 27 リング載荷実験ひびわれ状況 2（内面：0 度付近）
- 写真 - 28 リング載荷実験ひびわれ状況 3（内面：180 度付近）
- 写真 - 29 リング載荷実験ひびわれ状況 4（内面：180 度付近）
- 写真 - 30 リング載荷実験ひびわれ状況 5（外面：90 度付近）
- 写真 - 31 リング載荷実験ひびわれ状況 6（外面：90 度付近）
- 写真 - 32 リング載荷実験ひびわれ状況 7（外面：270 度付近）
- 写真 - 33 リング載荷実験ひびわれ状況 8（外面：270 度付近）



写真 - 1 継手曲げ実験供試体鉄筋籠（ゲージ貼付）



写真 - 2 継手曲げ実験供試体打設状況



写真 - 3 継手曲げ実験供試体



写真 - 4 継手曲げ実験状況

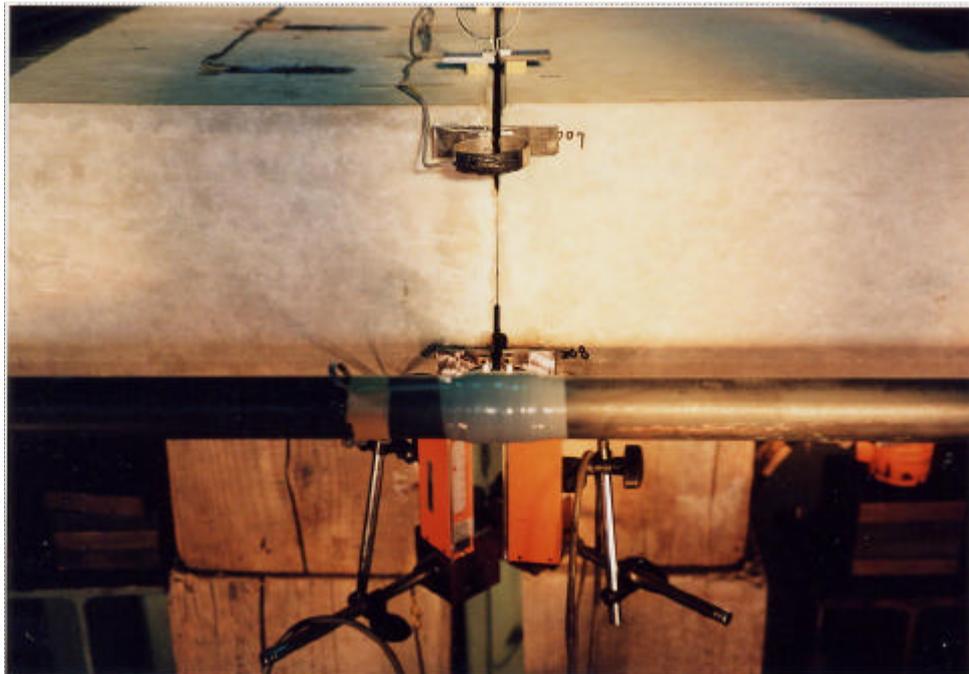


写真 - 5 継手曲げ実験目開き状況

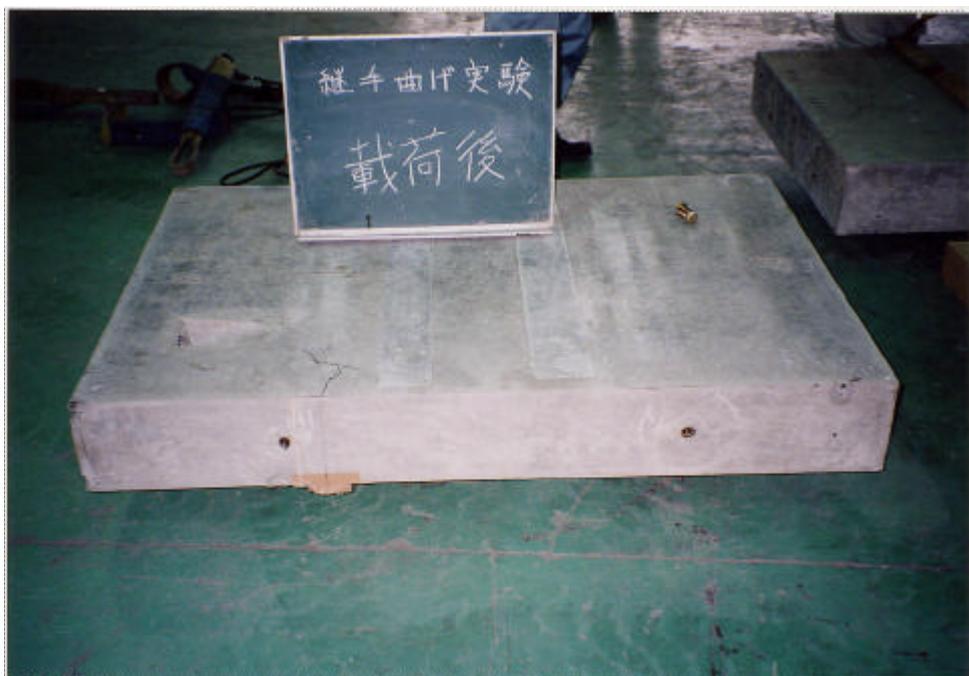


写真 - 6 継手曲げ実験ひびわれ状況

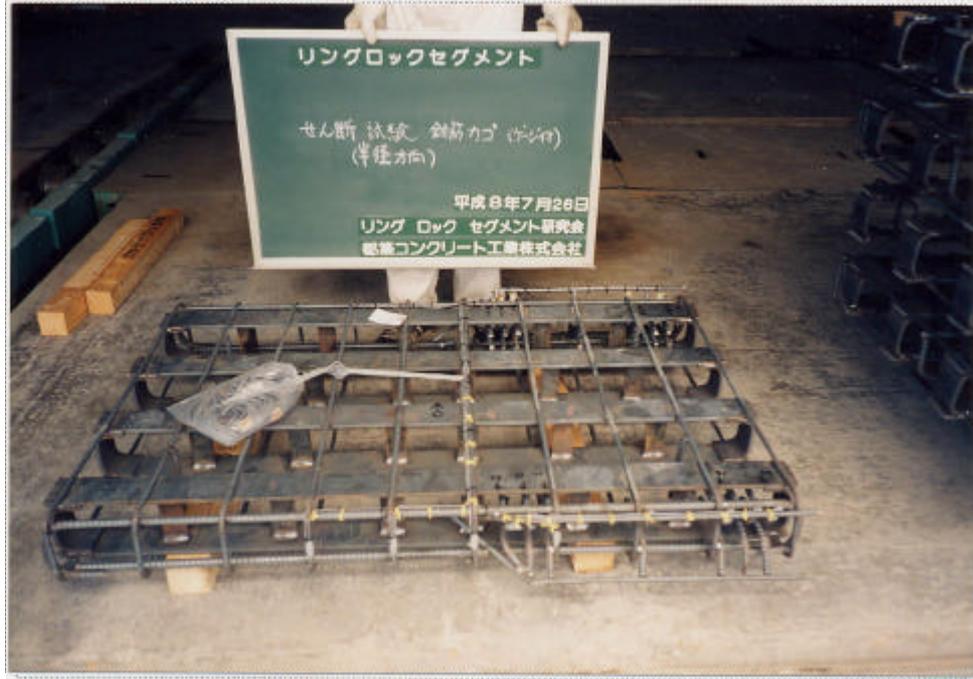


写真 - 7 継手せん断実験供試体鉄筋籠（半径方向：ゲージ貼付）

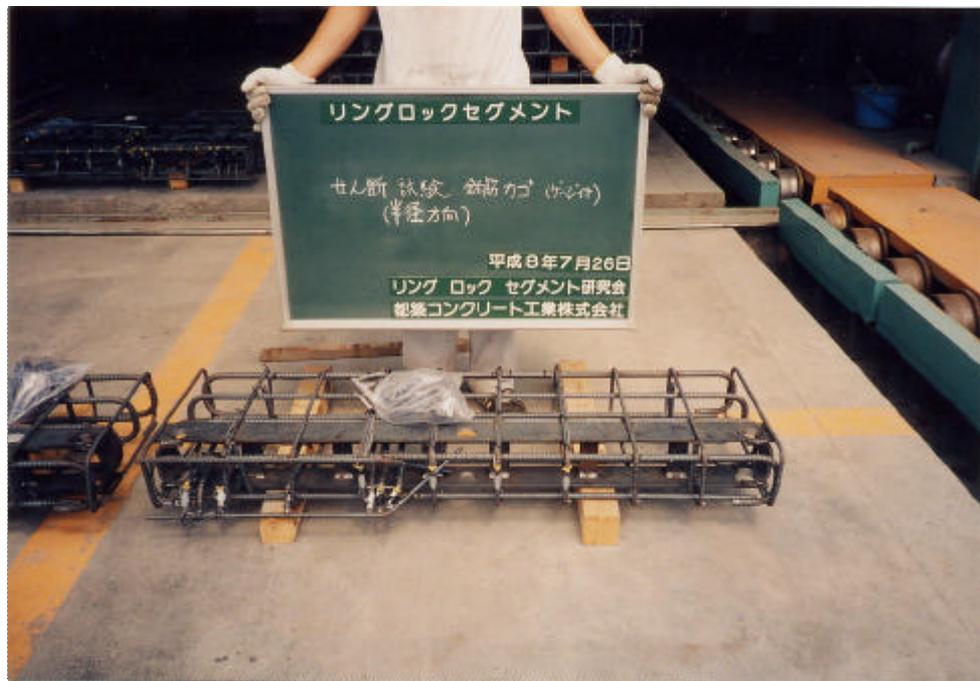


写真 - 8 継手せん断実験供試体鉄筋籠（半径方向：ゲージ貼付，1/2 サイズ）



写真 - 9 継手せん断実験供試体鉄筋籠（接線方向：ゲージ貼付）

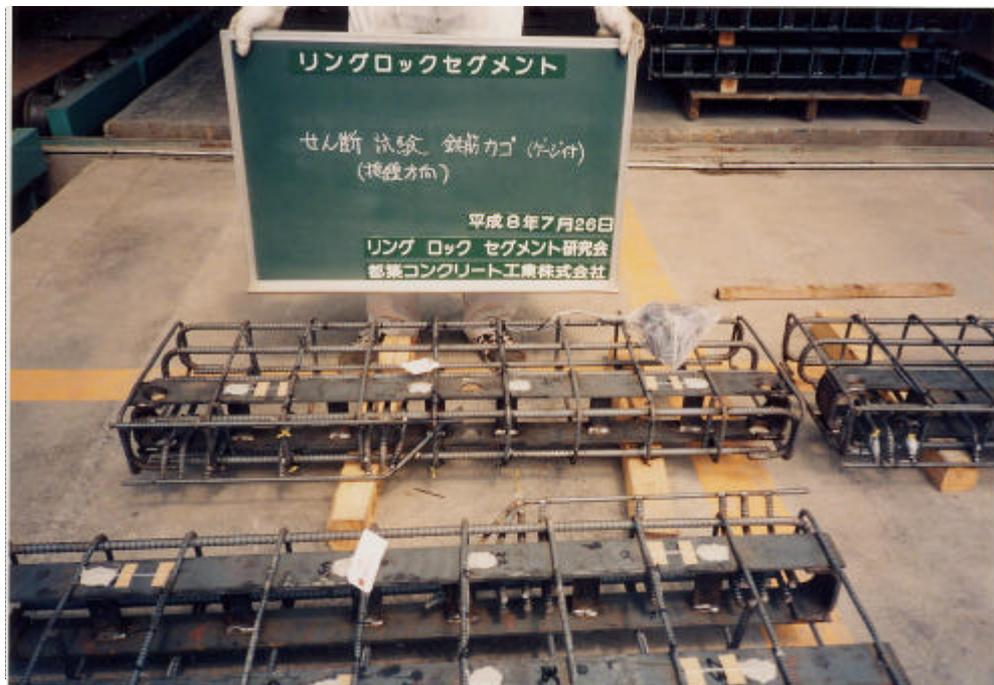


写真 - 10 継手せん断実験供試体鉄筋籠（接線方向：ゲージ貼付，1/2 サイズ）



写真 - 1 1 継手せん断実験供試体打設状況



写真 - 1 2 継手せん断実験供試体



写真 - 1 3 継手せん断実験供試体 (1/2 サイズ)

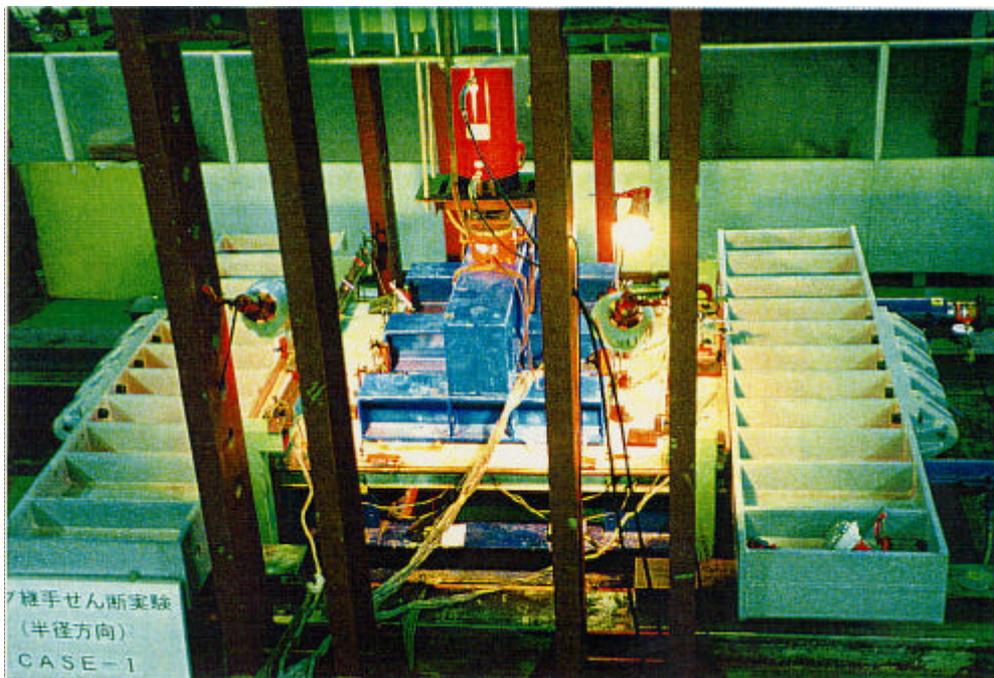


写真 - 1 4 継手せん断実験状況 (半径方向)

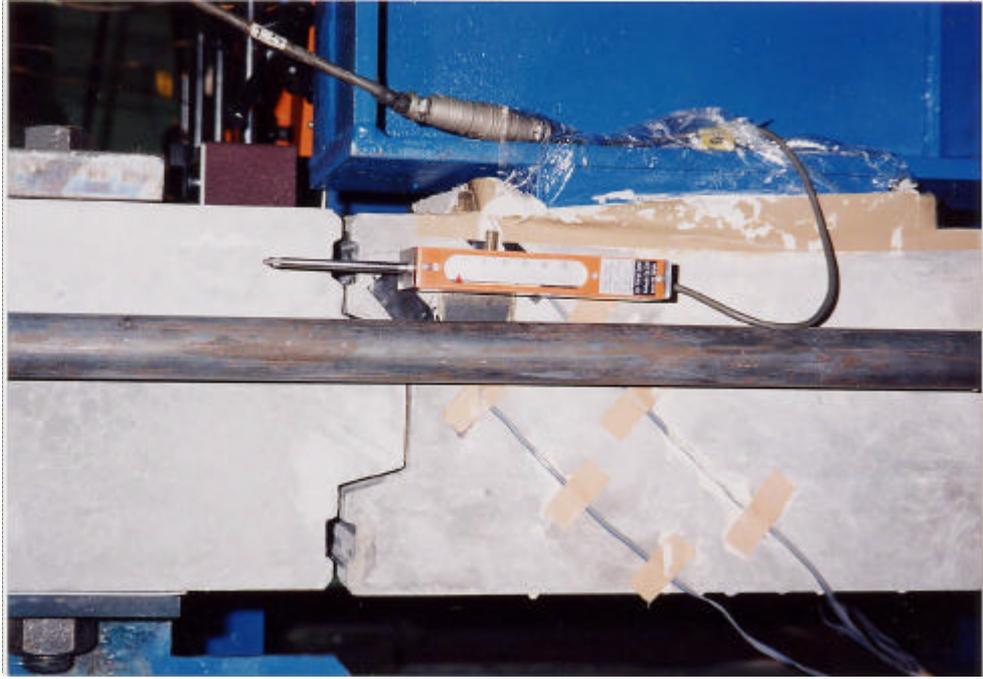


写真 - 1 5 継手せん断実験目違い状況（半径方向）



写真 - 1 6 継手せん断実験破壊状況（半径方向）



写真 - 17 継手せん断実験工ポキシ注入状況（接線方向）

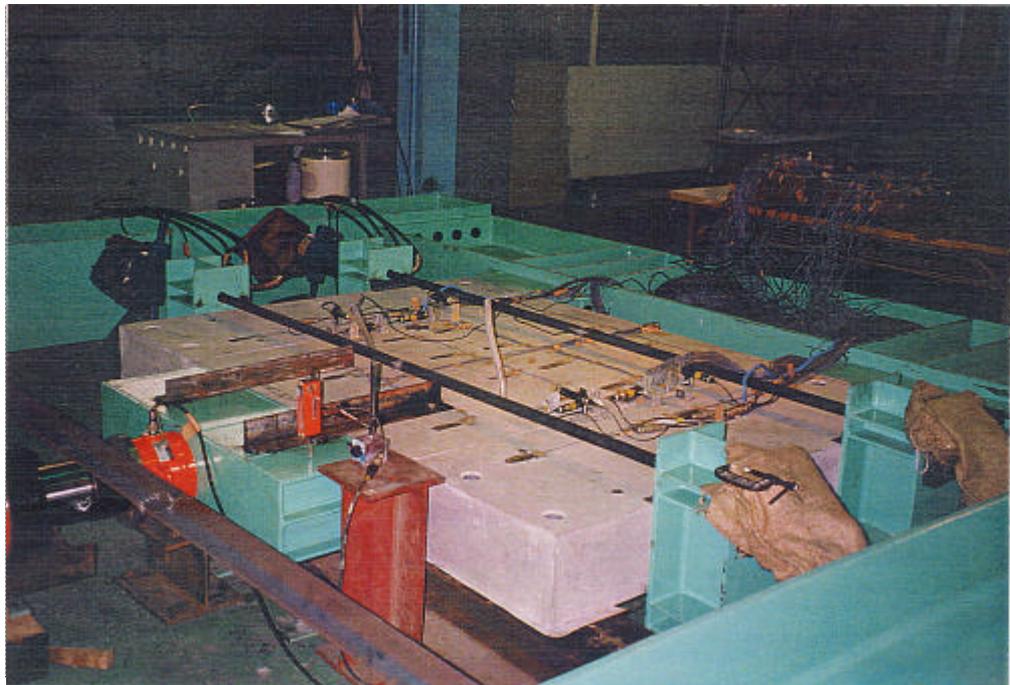


写真 - 18 継手せん断実験状況（接線方向）



写真 - 19 継手せん断実験破壊状況（接線方向）



写真 - 20 リング載荷実験供試体鉄筋籠

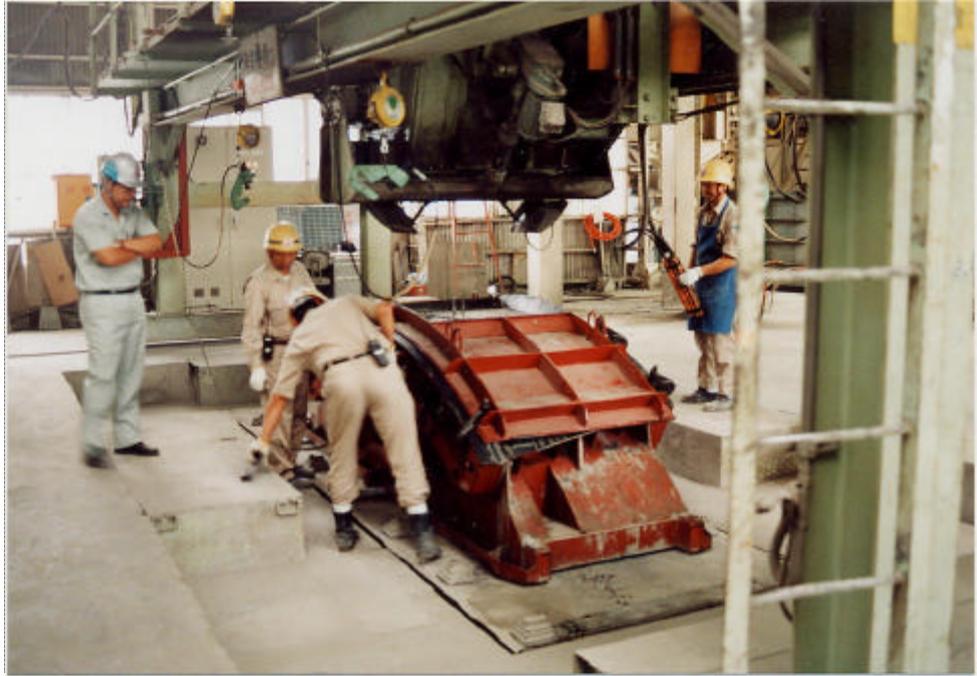


写真 - 2 1 リング载荷実験供試体打設状況



写真 - 2 2 リング载荷実験供試体



写真 - 2 3 リング載荷実験供試体（ロック部）



写真 - 2 4 リング載荷実験エポキシ注入状況



写真 - 2 5 リング載荷実験状況

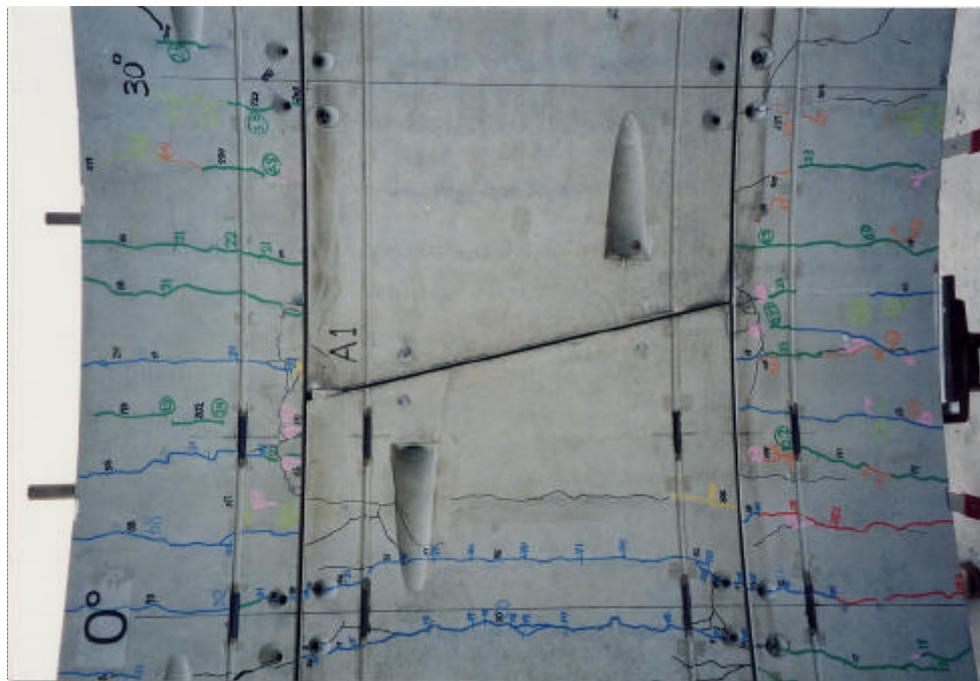


写真 - 2 6 リング載荷実験ひびわれ状況 1 (内面: 0 度付近)

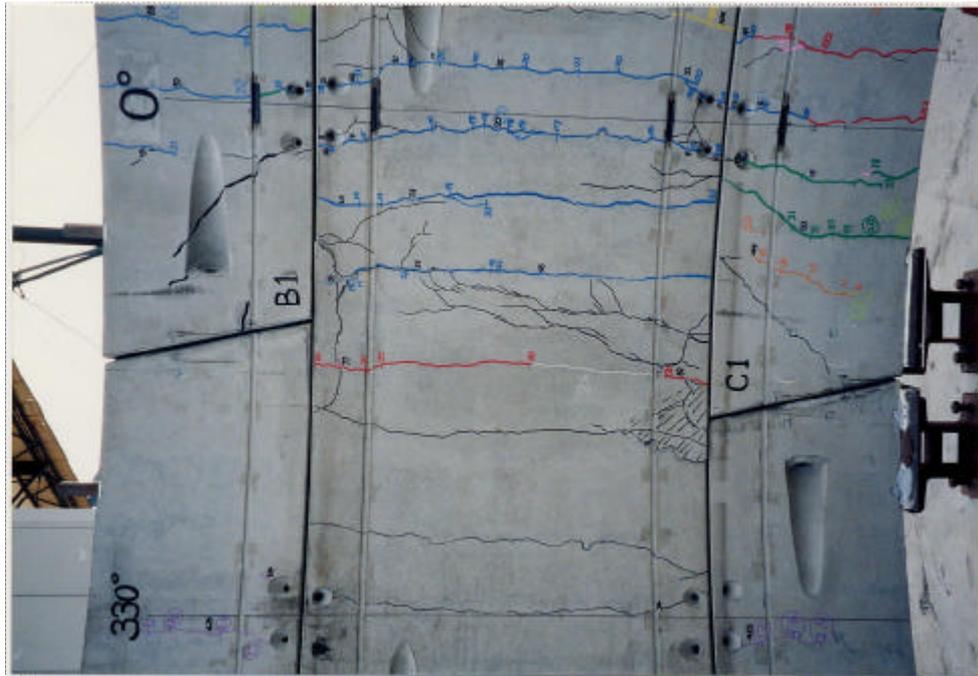


写真 - 27 リング載荷実験ひびわれ状況 2 (内面: 0 度付近)

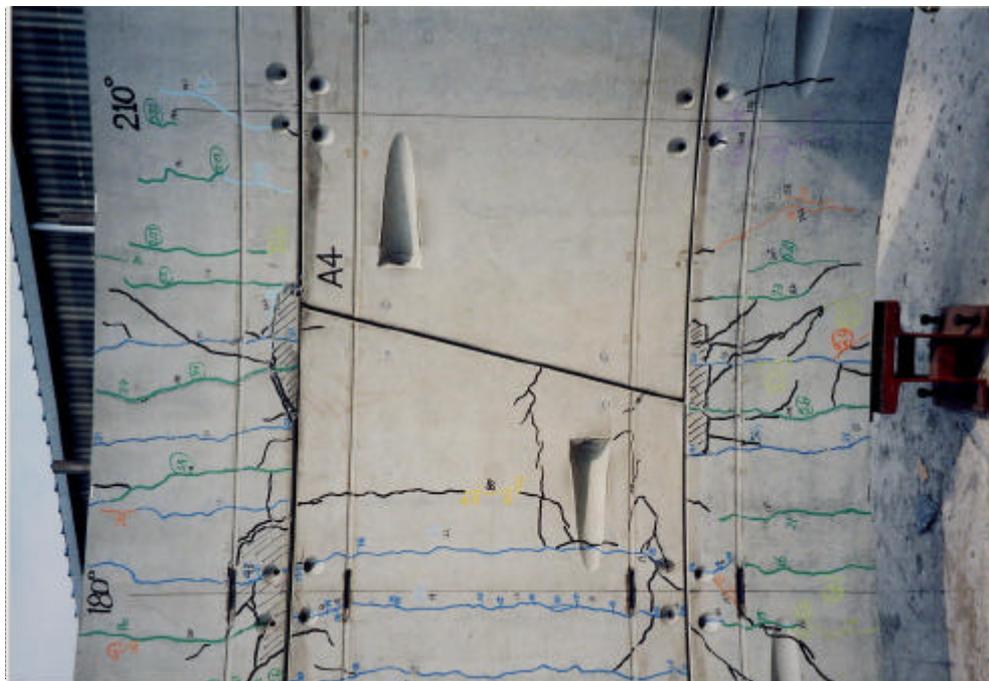


写真 - 28 リング載荷実験ひびわれ状況 3 (内面: 180 度付近)

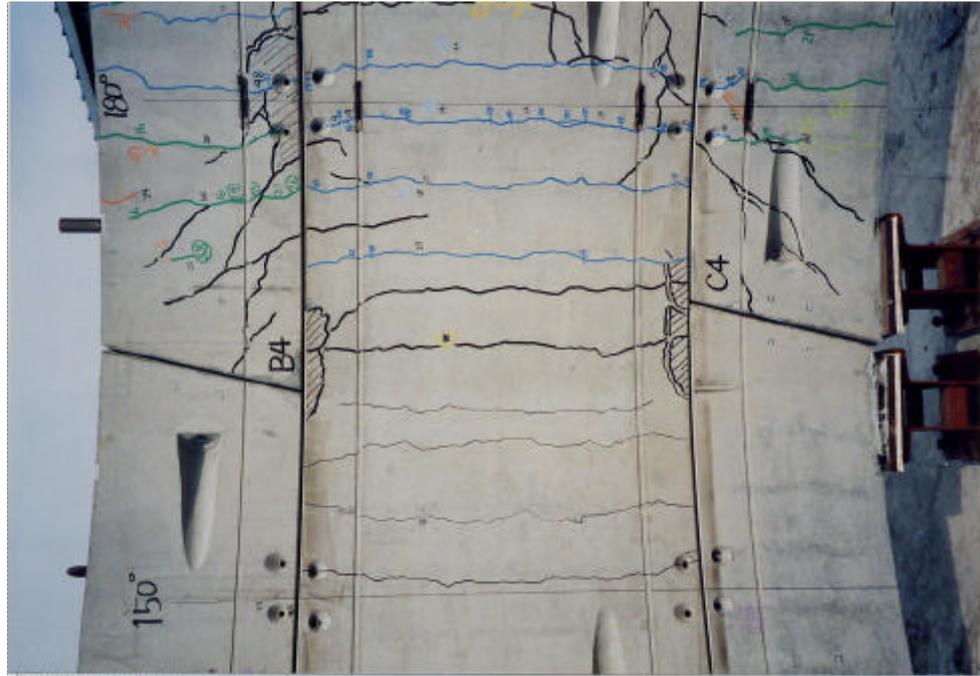


写真 - 29 リング載荷実験ひびわれ状況4 (内面: 180度付近)



写真 - 30 リング載荷実験ひびわれ状況5 (外面: 90度付近)



写真 - 3 1 リング載荷実験ひびわれ状況 6 (外面 : 90 度付近)



写真 - 3 2 リング載荷実験ひびわれ状況 7 (外面 : 270 度付近)

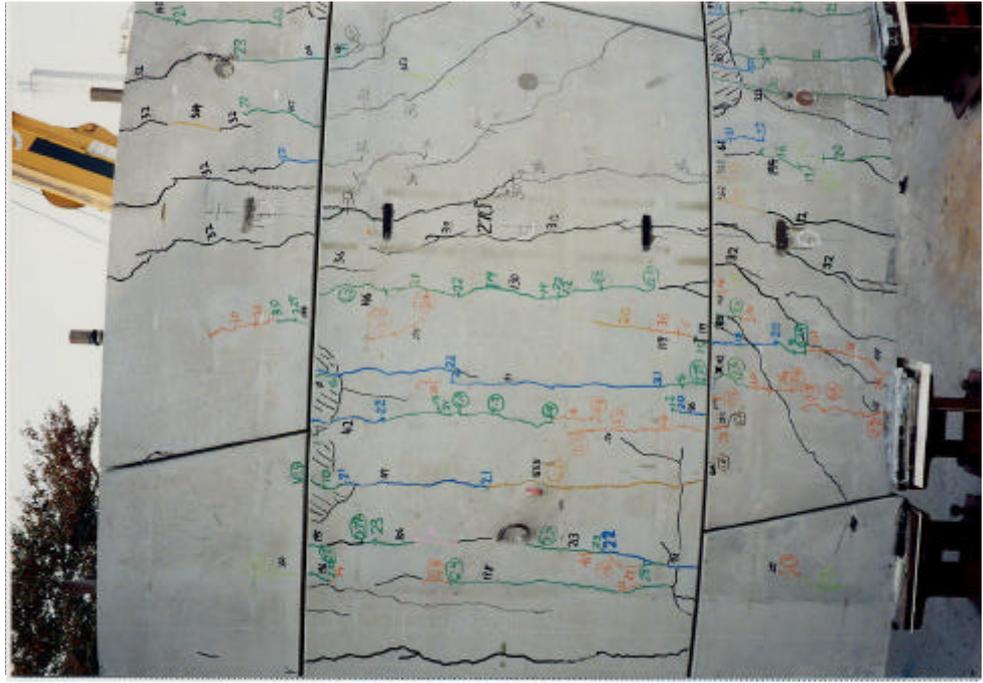


写真 - 3 3 リング載荷実験ひびわれ状況 8 (外面 : 270 度付近)