保存用

共同研究報告書
整理番号第178号


# 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書（Ⅰ）

## —鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験—

平成9年4月

建設省土木研究所
首都高速道路公団
阪神高速道路公団
名古屋高速道路公社
㈱鋼材倶楽部
㈱日本橋梁建設協会

Copyright©(1997) by P.W.R.I.

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

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第178号1997年4月
26

# 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書（Ⅰ）

## —鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験—

建設省土木研究所
首都高速道路公団
阪神高速道路公団
名古屋高速道路公社
㈳鋼材倶楽部
㈳日本橋梁建設協会

**要　旨**

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震では，都市内高速道路橋における多数の鋼製橋脚に座屈，変形，われ等の被害が生じた。こうした被災状況を踏まえ，地震以降既設橋脚の補強方法および新設橋脚の耐震設計法に関する調査研究を進めているところであるが，その検討の一環として鋼製橋脚の耐力および変形性能を確認するために大型供試体を用いた二軸正負交番繰返し載荷実験を行っている。本報告書は，平成7～8年度上半期に行った大型供試体29体の実験結果についてとりまとめたものである。

**キーワード：鋼製橋脚，変形性能，じん性，耐力，繰返し載荷実験，角補強，隙間あけ鋼板巻立て補強，コンクリート充填補強，耐震設計法**

# ま え が き

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、道路橋においても橋脚の倒壊や落橋等の多くの被害が生じた。都市内高架橋の鋼製橋脚についても、我が国では初めて大きな被害を受け、その被害は橋脚を構成する補剛板や鋼管の局部座屈、変形、われ等であり、そのうち2基は倒壊に至っている。

平成7年2月には、こうした状況を踏まえ、建設省より関係機関に「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」[1)]が通知され、当面の措置として、鋼製橋脚については、コンクリートを充填すること等により必要なじん性を確保するものとし、コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力法が示された。しかしながら、鋼製橋脚の大地震時における応答、抵抗メカニズムおよびじん性の評価等については未解明な部分が多く、これらの特性を明らかにし早急に既設橋脚の補強方法および新設橋脚の耐震設計法を確立していく必要がある。

このような観点から、鋼製橋脚の耐震設計法の確立のための基礎的データを得ることを目的として、建設省土木研究所、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、名古屋高速道路公社（平成8年度から）、(社)鋼材倶楽部、(社)日本橋梁建設協会の6者において、地震以降、平成7年度～9年度の予定で鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験を中心とした検討を行っている。

本報告書は共同研究において、平成7年度から8年度上半期に土木研究所構造橋梁部橋梁研究室が実施した正負交番繰返し載荷実験についてとりまとめたものである。

# 共同研究担当者名簿

（平成７～８年度）

建設省土木研究所
構造橋梁部
藤城　泰行
橋梁研究室
西川　和廣
村越　潤
山本　悟司（～H7.10）
上仙　靖
高橋　実
耐震技術研究センター
（H8.5以前は地震防災部）
横山　功一
耐震研究室
大塚　久哲（～H8.9）
運上　茂樹
寺山　徹
長屋　和宏
佐藤　貴志

首都高速道路公団
山崎　和夫（～H9.1）
小坂　寛巳
高野　晴夫
柄川　伸一（～H8.5）
半野　久光
田嶋　仁志
川田　成彦

阪神高速道路公団
中島　裕之
鈴木　巖
長沼　敏彦
南荘　淳
西岡　敬治
堀江　佳平
小林　寛

名古屋高速道路公社
吉田　守孝
深田　清明
岡本　真悟
柴田　昌弘

(社)鋼材倶楽部
大田　孝二
安波　博道
寺田　昌弘
橋本　修身
中村　聖三
篠原　敏雄
水谷　慎吾
小林　洋一
関　崇彦
下畑　隆司
中川　知和

(社)日本橋梁建設協会
高久　達将
熊谷　洋司
輿　守
石毛　立也
塚原　弘光
岡本　隆
池田　茂
安藤　紘三
川井　豊
森下　泰光

## 共同研究報告書の主担当および内容

| 報告書番号 | 主担当 | 内容 |
|---|---|---|
| (Ⅰ)<br>第178号 | 建設省土木研究所<br>構造橋梁部<br>橋梁研究室 | ・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験 |
| (Ⅱ)<br>第179号 | 建設省土木研究所<br>耐震技術研究センター<br>耐震研究室 | ・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験<br>・鋼製橋脚の擬似動的載荷実験 |
| (Ⅲ)<br>第180号 | 首都高速道路公団 | ・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験 |
| (Ⅳ)<br>第181号 | 阪神高速道路公団 | ・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験 |
| (Ⅴ)<br>第182号 | 名古屋高速道路公社 | ・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験 |
| (Ⅵ)<br>第183号 | (社)鋼材倶楽部 | ・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験 |
| (Ⅶ)<br>第184号 | (社)日本橋梁建設協会 | ・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験<br>・有限要素法による弾塑性有限変位解析<br>・ハイブリッド地震応答実験<br>・非線形動的解析 |

## はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、道路橋においても橋脚の倒壊や落橋等多くの被害が生じた。鋼製橋脚については、我が国では初めて大きな被害を受け、その被害は橋脚を構成する補剛板や鋼管の局部座屈、変形、割れ等であり、うち矩形断面橋脚2基では倒壊に至っている。

こうした被災状況を踏まえ、平成7年2月に建設省より通知された「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」[1)]（以下、復旧仕様）では、当面の措置として、鋼製橋脚においては中埋めコンクリートを充填する等により必要なじん性を確保するものとし、コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査法が示されている。平成7年6月には『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)』[2)]が出版され、新設橋梁の設計や既設橋梁の補強をできるだけ円滑に行うことができるように設計計算例とこれを行う際に参考となる補足事項が示された。

しかしながら、鋼製橋脚の大地震時における応答、抵抗メカニズムおよびじん性の評価等については未解明な部分が多く、これらの特性を明らかにし早急に既設橋脚の補強方法および新設橋脚の耐震設計法を確立していく必要がある。

コンクリートを充填した鋼製橋脚については、既に提案されている地震時保有水平耐力照査法について、実験データの蓄積を図ることにより妥当性の検証を行っていく必要があると考えられる。一方、コンクリートを充填する補強方法に関しては、変形性能の向上とともに必然的に耐荷力が増加するため、基礎やアンカー部に負担がかかり、特にアンカー部や基礎の補強の困難な既設橋脚においてはその適用の難しいケースが生じることが指摘されている。したがって、コンクリートを充填せずに、耐力上昇を極力抑え変形性能のみを向上させるような鋼断面の補強方法についても検討していく必要がある。

以上の点を踏まえ、兵庫県南部地震以降、鋼製橋脚の耐力および変形性能の向上策を中心とした各種調査研究を進めているところであるが、その一環として以下の補強が耐力および変形性能に及ぼす影響を評価するために大型供試体を用いた二軸正負交番繰返し載荷実験を行っている。

①矩形断面橋脚

・角部にコーナープレートを溶接または高力ボルトにて取り付ける補強方法（角補強）

・コンクリートを充填する補強方法

②円形断面橋脚

・母材の鋼板の外側に隙間をあけて鋼板を巻立てる補強方法

・コンクリートを充填する補強方法

本報告書は、これら一連の実験の中から、平成7～8年度上半期に行った29体の鋼製橋脚大型供試体の繰返し載荷実験結果についてとりまとめたものである。

# 目　次

まえがき
共同研究担当者名簿
共同研究報告書の主担当および内容

はじめに
1．鋼製橋脚の被災事例と補強の考え方……1
1.1　鋼製橋脚の被災状況……1
1.2　鋼製橋脚の補強の考え方……1
1.2.1　橋脚の耐震設計に必要な条件……1
1.2.2　提案する補強方法……2

2．実験概要……4
2.1　供試体……4
2.1.1　形状・寸法・諸元……4
2.1.2　材料試験結果……8
2.1.3　製作および溶接条件……8
2.2　載荷方法……9
2.3　計測項目と計測位置……9
2.3.1　荷重……9
2.3.2　供試体の変位……10
2.3.3　供試体のひずみ……10
2.3.4　載荷フレームの変位……10
2.3.5　変形状況……10

3．実験結果……11
3.1　矩形断面……11
3.1.1　実験結果一覧表……11
3.1.2　水平荷重—水平変位関係（ヒステリシスループ）……12
3.1.3　包絡線……12
3.1.4　水平荷重—鉛直変位関係……12
3.1.5　水平変位の鉛直方向分布……12
3.1.6　エネルギー吸収量……12
3.1.7　等価減衰定数……13
3.1.8　ひずみ分布……13
3.1.9　載荷サイクルと供試体の変形状況……13
3.1.10　フランジおよびウェブの面外変位等高線……13
3.1.11　変形状況写真（外面と内面）……13

3.2 円形断面……14
3.2.1 結果一覧表……14
3.2.2 水平荷重一水平変位関係（ヒステリシスループ）……14
3.2.3 包絡線……14
3.2.4 水平荷重一鉛直変位関係……14
3.2.5 水平変位の鉛直方向分布……14
3.2.6 エネルギー吸収量……14
3.2.7 等価減衰定数……14
3.2.8 ひずみ分布……14
3.2.9 載荷サイクルと供試体の変形状況……14
3.2.10 面外変位……15
3.2.11 変形状況写真（外面と内面）……15

4．考察……16
4.1 基本断面……16
4.2 角補強……16
4.3 隙間あけ鋼板巻き立て補強……17

参考文献……18

鋼製橋脚の耐震設計法に関する研究会の委員名簿と研究体制……19

図表……21

参考資料……315
1．実験データ……317

# 1．鋼製橋脚の被災事例と補強の考え方

## 1.1　鋼製橋脚の被災状況

地震直後に設置された兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会（委員長：岩崎敏男）の調査報告[3]による、鋼製橋脚における被災度の区分と被災度を表-1.1.1および表-1.1.2に示す。対象は、直轄国道（2，43，171，176号）、高速自動車国道（名神、中国）、阪神高速道路（3号神戸線、5号湾岸線）の橋梁であり、鋼製橋脚は355基である。このうち、比較的被災度の高いB以上と判定された橋脚は51基（全数の14%）となっている。

倒壊した鋼製橋脚は2基であり、いずれも矩形断面橋脚である。写真-1.1.1，1.1.2はその状況を示したものであり、補剛板の角溶接部付近に生じた割れにより、4面すべてが板状に折り曲げられている。図-1.1.1，1.1.2に推定された被災メカニズムを示す。本橋脚の場合、設計で想定した以上の地震力の作用を受け、ウェブおよびフランジの局部座屈の進展に伴い角溶接部が縦方向に裂け4面の補剛板がはがれたことが、鉛直方向の支持力を失うきっかけになったものと推定されている。

一方、円形断面橋脚については、倒壊に至った事例はないが、被災度の大きい橋脚の中には、写真-1.1.3，1.1.4に示すように、局部座屈による変形の進展に伴い橋脚が大きく傾斜した事例や、局部座屈に伴う変形の進展により円周方向に破断した事例が報告されている。

その他の被災した橋脚の多くは、橋脚基部や断面変化部において、鋼材の降伏により塗装が剥がれたり、局部座屈により面外方向に変形するといった部分的な損傷を受けているが、倒壊には至っておらず、設計時の想定をはるかに超えた地震力が加わったことを考えると、一定の耐震性能を有していたことを示したものと考えられる。座屈事例を写真-1.1.5～1.1.7に示す。

## 1.2　鋼製橋脚の補強の考え方

コンクリートを充填した鋼製橋脚の補強効果については、既に復旧仕様にも示されているところであり、ここではコンクリートを充填しない鋼製橋脚について補強の基本的な方向と提案する補強方法について述べる。

### 1.2.1　橋脚の耐震設計に必要な条件

1.1で述べたように大部分の鋼製橋脚は、設計で想定した以上の地震力の作用に対しても、局部座屈や変形が部分的に生じたものの倒壊に至らず、落橋という最悪の状況を回避するという最小限の機能は果たしたと考えられる。しかしながら、水平地震力により補剛板の角溶接部に割れが生じたり鋼管の提灯座屈による変形の集中が生じると、上載荷重に対する耐力が低下したり、剛性の低下が著しく、履歴吸収エネルギーを期待しにくい場合もある。

鋼製橋脚の終局限界状態については今後も議論を要するところであるが、少なくとも今回のような大きな地震力に対して局部座屈を終局限界とすることは適当とは考えにくい。被災状況を踏まえると、鋼製橋脚として構造面から次の条件を満たしていることが必要と考えられる。

①ぜい性的破壊モードの防止

矩形および円形断面鋼製橋脚について、それぞれ次のような状態になると、上部構造等の死荷重に対する鉛直方向の耐力を失い、じん性の乏しいぜい性的な破壊に至るので、このような破壊モード（ここではぜい性的破壊モードと呼ぶ）を避けるような構造とすることが必要である。

(a)矩形断面橋脚

矩形断面を構成する補剛板の角溶接部が縦方向に裂け、補剛板が分離する結果、上部構造等の死荷重に対する鉛直方向の耐力を失う状態。

(b)円形断面橋脚

最初に発生した一箇所の局部座屈にその後の変形が集中し、それに伴って橋脚が傾斜したり、変形の進展により円周方向に割れが生じた状態。

ぜい性的破壊モードのイメージを図-1.2.1に示す。

矩形断面の場合には橋脚基部に衝突時の変形防止を目的とした中埋めコンクリートが充填されることが多いが、この場合、充填部において補剛板がすべて外側にはらみ出す変形モードが発生しやすい状態になる。このような状態で角割れが生じ鋼中空断面部分に進展すると上記(a)の状態に至る可能性がある。

鋼製橋脚においてはこれらのぜい性的破壊モードを防ぐことが必要である。逆にこのような状態を防ぐことができれば、耐力を急に失い倒壊に至ることは少ないものと考えられる。

②じん性の向上

鋼製橋脚については、これまでの道路橋示方書[4]において座屈または降伏を終局状態と想定した震度法レベルの設計のみが行われており、鉄筋コンクリート橋脚のように非線形域においてじん性を考慮した設計は行われていなかった。「復旧仕様」に示されるとおり橋全体系の変形性能を向上させるため、震度法による設計に加えて、鋼製橋脚においても所要のじん性を確保できる設計が必要となっている。すなわち、最大耐力付近において安定した履歴曲線が得られる構造とすることが必要である。

③残留変位への配慮、および④基礎、アンカー部に対する配慮

本報告書では触れないが、地震後の復旧工事の難易度や過度にじん性に頼った設計とならないようにするために残留変位の制限や、アンカー部や基礎への負担を考慮しできる限り耐力上昇を抑えた補強方法を提案していく必要がある。

### 1.2.2 提案する補強方法

矩形断面橋脚の場合、倒壊を免れた橋脚では角部が座屈することなく健全であったことに着目し、角部の補強を考えた。これは補剛板の局部座屈後も、角部が構成する4本柱と座屈した補剛板がブレーシングとして働く安定な構造へ移行することにより、じん性の向上を図ることを期待したものである。

一方、円形断面橋脚では、局部座屈発生後の変形の集中やわれを回避し、変形領域を広げることをねらって、隙間を設けた鋼板巻立てによることとした。これは、局部座屈変形が一定量を超えると外側の鋼板に接触し拘束効果が発揮され、座屈波形を多段化させ変形領域を分散化させることによりじん性の向上を期待したものである。

図-1.2.2に補強のイメージ図を示す。図-1.2.3, 図-1.2.4にそれぞれ矩形断面橋脚と円形断面橋脚の場合の補強効果のイメージを示す。

## 2．実験概要

### 2.1 供試体

#### 2.1.1 形状・寸法・諸元

表-2.1.1に供試体断面の一覧表を示す。表-2.1.2(1)～(2)に各供試体の主なパラメータを示す。内訳は矩形断面橋脚供試体20体(供試体No.2～5, 10～14, 17～20, 22～28)、円形断面供試体9体(No.6～9, 15～16, 29～31)である。また、供試体の諸元を表-2.1.3(1)～(2)に示し、矩形断面供試体の形状・寸法を図-2.1.1(1)～(16)に，円形断面供試体の形状・寸法を図-2.1.2(1)～(9)に示す。供試体No.1については実験中に試験機の動作不良があったため、本報告書では載せていない。また、No.21は欠番である。なお、No.2とNo.20は同じ諸元の供試体であるが、実験場所が異なる。補強方法については、1.2で述べた考え方に基づくものである。供試体の種類を以下に示す。

①矩形断面

- 基本供試体(中詰めコンクリートを高さ450mmまで充填した供試体2体を含む)　：６体
- 角部にコーナープレートを溶接にて取り付けた補強供試体(以下、角溶接補強と呼ぶ)　：５体
- 角部にコーナープレートを高力ボルトにて取り付けた補強供試体(以下、角ボルト補強と呼ぶ)：６体
- コンクリート充填した補強供試体(中詰め高さが2,700mmの供試体であり、以下、コンクリート充填補強と呼ぶ)　：２体
- 新たに縦方向補剛材を基本断面の補剛材間に設けた供試体　：１体

②円形断面

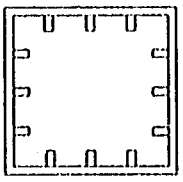
- 基本供試体　：３体
- 隙間をあけて鋼板を巻立てた補強供試体(以下、隙間あけ鋼板巻立て補強と呼ぶ)　：４体
- コンクリート充填補強供試体(中詰め高さが2,700mmの供試体)　：２体

以下に基本供試体、角補強および隙間あけ鋼板巻立て補強供試体について説明する。

**（1）基本供試体**

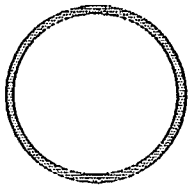
矩形断面については、実構造物における溶接品質の再現性などを考慮してできるだけ大きな断面を与えることとし、実橋脚の1/3程度（900mm×900mm断面）とした。高さは載荷フレームの制約上約3,500mmとした。断面との関係を踏まえると、実橋脚に対して比較的細長比が小さいものとなっている。

矩形断面を構成する補剛板の板厚は9mmまたは10mm、縦方向補剛材の板厚は6mmとし、使用材質はともにSM490とした。供試体基部から900mm間隔で板厚6mmの横リブあるいはダイヤフラムを設置した。補剛板の座屈に対する主要なパラメータについては、公称降伏点に対する$R_F$を0.51、$\gamma/\gamma^*$を0.91とし、このパラメータを基にして供試体を製作した。なお、これらのパラメータについては、既設鋼製橋脚の構造諸元[5) 6)]を参考として決定したため、必ずしも平成6年の道路橋示方書の補剛板の規定を満足していない。



基本断面
(No.2, No.20, No.18, No.19)

円形断面については、鋼管の板厚を9mmまたは16mmとした。使用材質は板厚が9mmの供試体についてSS400、16mmの供試体についてSM490である。板厚が9mmの供試体は、供試体基部から900mm間隔で板厚6mmのダイヤフラムを設置した。



基本供試体
(No.6, No.8, No.29)

（２）角ボルト補強供試体

角ボルト補強供試体は、既設鋼製橋脚の耐震補強を想定したものであり、下図に示すように角部の補強材としてコーナープレートを用いた構造と角部の補強材としてアングル部材を用いた構造とした。角部にコーナープレートを用いた構造については、角部が補強材によって閉断面となり、角部の軸剛性とねじり剛性の増加が期待できる。供試体No.11は、角部の補強材として内側に曲げ加工を施したコーナープレートを用いており、供試体No.25は、このNo.11に更に角部の外側に鋼板を取り付けている。No.11は比較的柔に補強した供試体であり、No.25は比較的剛に補強した供試体である。一方、角部にアングル部材を用いた構造については、角部の軸剛性の増加が期待できる構造であり、供試体No.5,No.12は、角部の補強材としてアングル材を内側に取り付けており、構造上、補剛板とアングル材の間にフィラープレートを挟み込んでいる。No.12は比較的柔に補強した供試体であり、No.5は比較的剛に補強した供試体である。

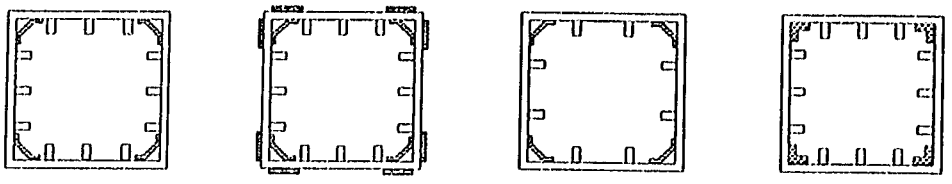
供試体No.28は、基本供試体No.2およびNo.20と比較して幅厚比を大きくした断面の供試体M8(首都高速道路公団にて実施）に対して、角部にコーナープレートを用いて補強した構造である。

角ボルト補強に用いる補強材(コーナープレートやアングル部材および外側の鋼板)については、横リブ位置およびダイヤフラム位置に置いて断続する構造とし、呼び径22mmのトルシア形高力ボルトにより接合した。No.5とNo.12ではアングル材と角溶接の内面すみ肉溶接との干渉を回避するために、アングル材と補剛板との間にフィラープレートを挟んだ。

このように角部にコーナープレートなどの補強材をトルシア形高力ボルトによって接合する補強方法は、矩形断面内部での補強作業の容易さを配慮し、横リブ位置とダイヤフラム位置において補強材を断続させた構造であり、溶接を一切用いず高力ボルトによって補強材を接合する補強方法である。なお、接合にト

ルシア形高力ボルトを使用したのは、美観などへの配慮から補強に伴う橋脚外面への突出量やその範囲を極力少なくするためである。

補強高さはいずれの供試体も、座屈が発生し損傷を受ける部分を十分にカバーできると考えられる供試体基部から2番目のダイヤフラムの高さである1,800mmまでとした。



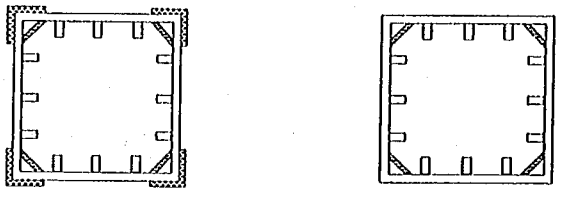
コーナプレートを用いた場合 (No. 11)　コーナプレートと鋼板を用いた場合 (No. 25)　コーナプレートを用いた場合 (No. 28)　アングル部材を用いた場合 (No. 5, No. 12)

ボルトによる角補強断面イメージ図

### （3）角溶接補強

角溶接補強は新設鋼製橋脚の耐震設計を想定したものであり、下図に示すように角部にコーナープレートを用いて補強した構造である。これは、コーナープレートを用いた角ボルト補強と同じように、角部の軸剛性とねじり剛性の増加が期待できる構造である。検討した供試体は、角部の外側に鋼板をアングル状に形成した補強部材をすみ肉溶接し、内側には角部と隣接する縦補剛材間にコーナープレートをすみ肉溶接した供試体(No. 4)と、角部の内側に角部と隣接する縦補剛材間にコーナープレートをすみ肉溶接した供試体(No. 10, No. 22, No. 23, No. 24)である。No. 10が比較的柔に補強した供試体であり、No. 22, No. 23, No. 24が比較的剛に補強した供試体である。

No. 4の角部の外側のアングル相当部材については、補強材高さ1,800mmの全長を連続した一部材で補強することとし、すみ肉溶接により補剛板の角部に接合し、アングル相当部材と供試体基部のベースプレートとはすみ肉溶接により接合した。角部の内側コーナープレートについては、横リブ位置とダイヤフラム位置において断続する部材とし、コーナープレートと横リブまたはダイヤフラム間は、すみ肉溶接により接合することにより、一体化を図った構造とした。コーナープレートの補強高さについても、外側のアングル相当部材と同様に、座屈が発生し損傷を受ける部分を十分にカバーできると考えられる供試体基部から2番目のダイヤフラムの高さである1,800mmまでとした。

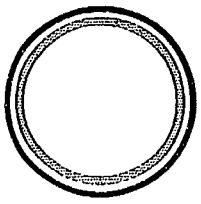


アングル相当部材とコーナプレートを用いた場合 (No. 4)　コーナプレートを用いた場合 (No. 10, No. 22, No. 23, No. 24)

溶接による角補強断面イメージ図

### （4）隙間あけ鋼板巻立て補強

隙間あけ鋼板巻立て補強供試体は、既設鋼製橋脚の耐震補強および新設鋼製橋脚の耐震設計を想定したものであり、下図に示すように鋼管の外側に隙間をあけて鋼板を巻立てる構造である。巻立て鋼板の高さは、座屈が発生する部分を十分にカバーできると考えられる600mmまでとした。また、巻立て鋼板は、ベースプレートおよび母材の鋼管とは接合されていないが、鋼管と外側巻立て鋼板との隙間を確保するために、その間にくさび形のゴムを挿入した。

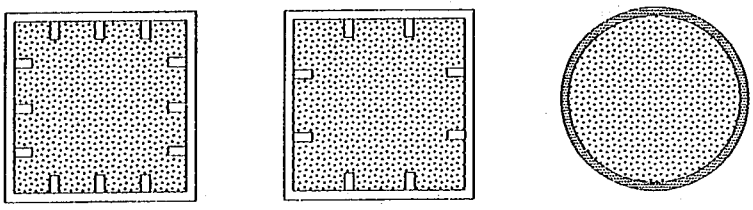


(No. 7, No. 9, No. 15, No. 31)

隙間あけ鋼板巻立て補強断面イメージ図

### （5）コンクリート充填補強供試体

コンクリート充填補強供試体No. 26, No. 27, No. 16, No. 30は、既設鋼製橋脚の耐震補強および新設鋼製橋脚の耐震設計を想定したものであり、供試体内部に「復旧仕様」[1]に従って基部から所要の高さまでコンクリートを中詰めした構造である。更に、No. 26は角部の補剛板の溶接サイズを大きくしたものである。No. 27は、供試体M8(首都高速道路公団が実験を実施）に対してコンクリート充填したものである。

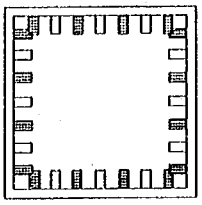


(No. 26)　(No. 27)　(No. 16, No. 30)

コンクリート充填補強断面イメージ図

### （6）縦リブ補強供試体

矩形断面供試体No. 3において新たに追加した縦方向補剛材（補強材）については、実構造物の補強における施工性を考慮し、横リブ位置とダイヤフラム位置で追加した補強材を断続させ、すみ肉溶接により横リブおよびダイヤフラムに接合した。



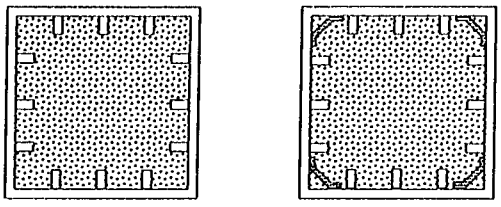
(No. 3)

縦リブ補強断面イメージ図

（7）コンクリートを中詰めした供試体

矩形断面供試体No. 13, No. 14, No. 17は、いわゆるコンクリート充填柱ではなく、車両が衝突した際に橋脚の変形を防ぐためにコンクリートが橋脚基部に中詰めされた橋脚を想定したものであり、供試体基部から高さ450mm（ダイヤフラム高さの1/2）までコンクリートを充填した供試体である。コンクリート充填部分においては、角部を構成するウェブ・フランジはともに外側にはらみ出すように変形し、変形状態によっては溶接部が縦方向に割れの発生しやすいモードとなる。この変形が中詰めコンクリートの部分と鋼断面部の境界部に生じる場合は、割れが鋼断面部に伝播し、鉛直方向の耐力を失い、ぜい性的破壊モードに至る可能性がある。本供試体は、そのような条件を再現させることを意図した供試体である。

なお、供試体No. 13とNo. 17は同じ諸元の供試体であり、異なる点はコンクリートと鋼材との境界面の付着の処理である。No. 13はコンクリート充填柱と同様な方法によりコンクリートを充填した供試体である。これに対してNo. 17は、コンクリートの充填前に供試体内面にグリースを塗布している。これは、当初の供試体No. 13では、比較的境界面が付着しており膨らみモードにならなかったため、 No. 17では、実験脚での供用後の乾燥収縮による境界面のはく離を想定し、意図的に境界面の付着を切ったものである。



(No. 13, No. 17)　　(No. 14)

コンクリートを中詰めした断面のイメージ図

### 2.1.2 材料試験結果

供試体テストパネル部の各鋼部材の材料試験の結果とコンクリートの材料試験結果を表-2.1.4(1)～(3)に示す。

### 2.1.3 製作および溶接条件

角部の溶接にあたっては、外側については開先を取り、内側については開先は取っていない。供試体製作上のすべての溶接は$CO_2$半自動溶接によって行った。

供試体の上ベースプレートから頂部まで(3,151mm)の橋脚本体部の間は熱処理等によるひずみ取りは行っていない。

## 2.2 載荷方法

載荷実験は建設省土木研究所構造力学実験施設にある載荷フレームとA社（新日本製鐵㈱鉄鋼研究所）所有の載荷フレームを使用して行った。載荷フレームをそれぞれ写真-2.2.1，2.2.2に示し、載荷フレームの形状寸法をそれぞれ図-2.2.1，2.2.2に示す。載荷装置の能力を表-2.1.5，表-2.1.6に示す。また供試体の設置状況を写真-2.2.3と写真-2.2.4に示す。

載荷は、まず供試体に既設橋脚の死荷重に相当する軸力$N$を載荷した後、その軸力を一定に保持した状態で、図-2.2.3に示すように水平変位制御による水平繰返し漸増載荷を行った。軸力$N$は、鋼材の公称降伏点を用いて計算した公称降伏軸力の15％を基本とした。繰返しの基本水平変位$\delta_{yo}$は次式で与えられる。

$$\delta_{yo} = \frac{P_{yN} h^3}{3EI} \qquad \cdots (2.2.1)$$

$$P_{yN} = \left( \delta_{yN} - \frac{N}{A} \right) \frac{Z}{h} \qquad \cdots (2.2.2)$$

ここで、$P_{yN}$は公称降伏水平荷重(kgf)、$h$は供試体基部の上ベースプレートから水平荷重載荷点までの載荷高さ(cm)、$EI$は曲げ剛性(kgf･cm²)、$\sigma_{yN}$は鋼材の公称降伏応力であり、SS400では2400kgf/cm²、SM490では3200kgf/cm²である。また、$N$は軸力(kgf)、$A$は供試体の断面積(cm²)、$Z$は断面係数(cm³)である。

実験は、先ず、2.3.2に述べる供試体の補正後水平変位$DLT$が$+1\delta_{yo}$に達するように補正前変位$DC$を制御しながら載荷し、次に同様に補正後水平変位$DLT$が$-1\delta_{yo}$に達するように補正前変位$DC$を制御しながら漸増載荷した。１回目の正側の漸増載荷の補正後水平変位$DLT$を$(DLT)_{n=+1}$とし、１回目の正側の漸増載荷の補正前水平変位$DC$を$(DC)_{n=+1}$すると、$+1\delta_{yo} = (DLT)_{n=+1} > (DC)_{n=+1}$となる。２回目以降（３回目、４回目・・・）の漸増載荷の場合には、制御時間を短縮させるために１回目の載荷方法は行わずに、１回目の漸増載荷の時の変位$DC$を基準にとり、補正前変位$DC$が2倍（3倍、4倍・・・）となるようにして載荷した。なお、修正後の各$\delta_{yo}$については、本報告書の図中では便宜上$n\ \delta_y$と表記している。

水平変位の載荷は、約0.2mm/secの速度で行った。載荷実験は水平荷重が公称降伏水平荷重$P_{yN}$以下に低下するまで行った。

## 2.3 計測項目と計測位置

以下に示す2.3.1～2.3.4の計測項目の計測間隔は、ヒステリシスループ１ループ(１回の交番載荷によって得られるループ)につき約40点を基準とした。計測は、水平変位の載荷速度をゼロにしてから行った。停止時間は測定チャンネルが約150チャンネルで10秒程度であった。

### 2.3.1 荷重

軸力載荷用ジャッキおよび水平力載荷用アクチュエータの荷重は、それぞれ容量が300tonfのロードセ

ル（A社では容量が200tonfのロードセル）により計測した。水平荷重載荷時の鉛直荷重のばらつきは±2tonf程度である。

### 2.3.2 供試体の変位

供試体の変位計取付位置を図-2.3.1, 図-2.3.2に示す。変位計は載荷フレームとは別に、床上に設置したスタンドに固定した。変位量は、変位計（ひずみゲージ式一般変位計、ワイヤ巻取り式変位計）により計測した。供試体が水平力を受けると供試体基部（ベース部）に回転と水平力方向の変位が生じる。供試体頂部における水平変位を把握するためには、基部の回転量と水平方向の変位量について補正する必要があるので、供試体基部の鉛直方向変位についても計測した。水平荷重載荷位置における供試体の補正後水平変位$DLT$は、基部の回転量と水平移動量を補正することにより次式により与えられる（図-2.3.3参照）。

$$DT = DC - \frac{DS1 + DS2}{2} - \frac{(DR1 - DR2)}{L} HM \qquad \cdots (2.3.1)$$

$$DLT = \frac{HL}{HM} DT \qquad \cdots (2.3.2)$$

ここで、$DT$は供試体天端の水平変位計測点の補正変位である。

### 2.3.3 供試体のひずみ

供試体のひずみ量はひずみゲージ（ゲージ長5mmの弾性ゲージと塑性ゲージ）を添付して計測した。矩形断面供試体のひずみゲージ貼付位置を図-2.3.4(1)～(9)に示し、円形断面供試体のひずみゲージ貼付位置を図-2.3.5(1)～(6)に示す。

### 2.3.4 載荷フレームの変位

土木研究所の実験では、供試体載荷フレームの変位量を変位計（ひずみゲージ式一般変位計、パイ型変位計）により計測した。載荷フレーム変位計取付位置を図-2.3.6に示す。

### 2.3.5 変形状況

矩形断面供試体の面外変形量を定規により計測した。図-2.3.7に面外変位の測定位置を示し、写真-2.3.1に面外変位の測定状況を示す。

円形断面供試体の面外変形量を形取りゲージにより計測した。図-2.3.8に面外変形の測定位置を示し、写真-2.3.2に面外変位の測定状況を示す。また、面外変形を目視により用紙に観察記録し、写真撮影を行った。計測、記録、写真撮影は、水平変位が$\pm n\,\delta_{yo}$に達したときに載荷を一旦停止して行った。

## 3．実験結果

### 3.1 矩形断面

#### 3.1.1 実験結果一覧

表-3.1.1に実験結果一覧を示す。

表中の降伏変位$\delta_{yEN}$は、以下のように実験より得られる水平荷重－変位関係（正側載荷の包絡線）の初期勾配と降伏荷重$P_{yM}$を用いて求めた。まず、材料試験結果の下降伏点を用いて式(2.2.2)により、降伏荷重$P_{yM}$を求める。荷重－変位の実験結果（正側載荷の包絡線）において、基本的に荷重が$P_{yM}$の約20～40%の値のときに計測された少なくとも5点以上の荷重－変位データの割線勾配を最小二乗法によって求めたものを実験初期勾配とし、$P_{yN}$をこの実験初期勾配で除算した値を$\delta_{yEN}$とした。実験初期勾配を求める際に荷重の範囲を$P_{yM}$の約20～40%としたのは、荷重が低いと荷重が低いことによる誤差を含みやすいこと、逆に荷重が高いと変位量が座屈等の幾何学的非線形の影響を受けやすいことを考慮したものである。また、初期勾配の計算には、基本的に＋1$\delta_{yo}$載荷時までのデータを用いた。なお、$\delta_{yEN}$は2.2で述べた$\delta_{yo}$とは異なる。

理論初期勾配は、式(2.2.1)を用いて求めた$P_{yM}$を式(2.2.2)を用いて求めた$\delta_{yo}$で除算したものであり、原点を通る直線である。

塑性率$\mu$を評価する場合、正規化するための降伏水平変位$\delta_y$の設定が重要となる。

降伏水平変位$\delta_y$を算定する場合の重要な要素として、①水平荷重 変位関係における初期勾配（初期剛性）と②材料降伏点$\sigma_y$の２つがあげられ、今回の実験結果によればそれぞれ理論値（公称値）と実験値の間に差があり、設定にあたっては次の点に留意する必要がある。

①初期勾配について

初期勾配については曲げ剛性を考慮した理論値よりも実験値の方が傾きが大きくなる傾向にあり、実験値を基本に塑性率を求めると安全側の評価となってしまう可能性がある。

②材料降伏点$\sigma_y$について

材料降伏点の公称値と実験値の間には、今回の矩形断面供試体（鋼種SM490）を例にすると17～30%程度の差が見られる。

部材の座屈強度の評価においては、材料降伏点$\sigma_y$による実験データの正規化が妥当であることがわかっている。

図-3.1.1(a),(b)は今回の矩形断面の基本供試体(No.20)を対象として、同一の鋼種・寸法諸元を有し、材料降伏点$\sigma_y$のみが異なる２供試体について、正負交番載荷時を想定したFEM解析を試行的に行い、結果を比較したものである。荷重軸側について、正規化された両者の最大耐力はほぼ一致しており、材料降伏点（実験値）を基本とした正規化が概ね妥当であることがわかる。

一方、変位軸側については、材料降伏点により正規化すると最大耐力以降の変形性能に大きな差が見られ、このような変形が進行した状態では幾何学的非線形性の影響も大きくなると考えられ、材料降伏点（実験値）を正規化のためのパラメータとして用いることは適当とは言い難い。

降伏水平変位$\delta_y$の与え方としては、初期勾配と材料降伏点の組み合わせにより図-3.1.1(c)に示す４ケ

ースが考えられ、適用の際にはそれぞれ用途に応じて選択されれば良いと考えられる。このうち塑性率が最も過小評価されるのは、材料降伏点(実験値)と初期勾配(実験値)より求められる降伏水平変位$\delta_{yEM}$により正規化する場合である。

本研究では、実務に供することを踏まえ、変形性能についていたずらに安全側の評価をねらうことを避け現実的な値を与えることとした。ここでは降伏水平変位として$\delta_{yEN}$、すなわち初期勾配として実験勾配を、材料降伏点として上述の解析結果を参考に公称値を用いることとした。

### 3.1.2 水平荷重－水平変位関係（ヒステリシスループ）

図-3.1.2(1)～3.1.2(20)に荷重と載荷点における水平変位の関係(ヒステリシスループ)を示す。

### 3.1.3 包絡線

図-3.1.3(1)～3.1.3(20)に図-3.1.2のヒステリシスループに対する包絡線を正側載荷、負側載荷それぞれ区分して示す。

### 3.1.4 水平荷重－鉛直変位関係

図-3.1.4(1)～3.1.4(20)に水平荷重と鉛直変位との関係を示す。

### 3.1.5 水平変位の鉛直方向分布

図-3.1.5(1)～3.1.5(20)に各$\delta_{yo}$時の水平変位の鉛直方向分布を示す。水平変位が各$\delta_{yo}$に到達したときの水平変位の鉛直方向分布とする。

### 3.1.6 エネルギー吸収量

図-3.1.6(1)～3.1.6(20)に各サイクルにおける正側と負側の水平変位の平均値（平均水平変位と呼ぶ）とエネルギー吸収量の関係を示す。エネルギー吸収量は次のとおり算出した。

1サイクルの吸収エネルギーは、ヒステリシスループと変位軸とで囲まれる面積で表すことができ、図-3.1.7(a),(b)の斜線部分のようになる。これを図-3.1.7(c)のように台形積分により求めた。

1サイクルの始点・終点（水平変位が0mmの点）において変位やひずみ等を計測するようにしたが、計測誤差によって正確に始点・終点において計測できていないのが一般的である。そこで、各サイクルでの吸収エネルギーをそれぞれ正確に計算するため、水平変位が0mmである点（1サイクルの始点・終点）の水平荷重の値を把握するために内挿により1サイクルの始点・終点を求めることとした。1サイクルでのエネルギー吸収量$\Delta W$は次式によって求められる。

$$\Delta W = \frac{1}{2}\left\{\sum_{i=1}^{n-1}(h_{i+1}+h_i)\cdot(d_{i+1}-d_i)\right\}+\frac{1}{2}\left\{(h_1+h_s)\cdot(d_1-d_s)+(h_e+h_n)(d_e-d_n)\right\} \quad \cdots(3.1.1)$$

ここで、$h_i$、$d_i$はそれぞれ計測した水平荷重および載荷点真変位であり、$n$は1サイクル内に含まれ

る計測数（図-3.1.7(c)の四角形で表した点の数）、$s$は内挿により求めた1サイクルの始点（同図の$s$点）、$e$は同様に求めた1サイクルの終点（同図の$e$点）を表す。任意のサイクルの$e$点とその次のサイクルの$s$点は同一の点である。

### 3.1.7 等価減衰定数

図-3.1.8(1)～(20)に各サイクルにおける平均水平変位と等価減衰定数$h_e$の関係を示す。

ここで、等価減衰定数$h_e$は次式で与えられる。

$$h_e = \frac{1}{2\pi}\frac{\Delta W}{W} \qquad \cdots(3.1.2)$$

ここに、$W$は図-3.1.9に示される三角形OACと三角形OBDの面積の和で表されるエネルギーである。但し、この2つの三角形は以下のとおりとした。1サイクルのループにおいて絶対変位が最大となるA点とB点の水平荷重の平均を求め、この平均水平荷重の値に対して載荷点変位軸に平行な直線Lを描く。点Aと点Bから直線Lに下ろした垂線の足をそれぞれ点C、点Dとし、点Aと点Bとを結んだ線分と直線Lとの交点を点Oとした。参考として図-3.1.9におけるA点とB点を結んだ直線の勾配は等価剛性に相当する。

### 3.1.8 ひずみ分布

図-3.1.10(1)～(20)に代表的な荷重ステップ（降伏時、最大荷重時）における供試体基部から450mm(ダイヤフラムの高さの1/2)の位置におけるひずみ分布を示す。降伏時におけるひずみとは、水平荷重が$P_{yM}$に到達した時に計測したひずみの値であり、最大荷重時におけるひずみとは、水平荷重が$P_u$に到達した時に計測したひずみの値である。

### 3.1.9 載荷サイクルと供試体の変形状況

図-3.1.11(1)～(16)に最大荷重を超えた点および実験終了時付近における供試体の外面と内面の変形状況の目視観察記録を示す。なお、変形状況は、ヒステリシスループにおける変位折返し点（水平変位が$+n\,\delta_{yo}$に到達した点）において計測したものである。

### 3.1.10 フランジおよびウェブの面外変位等高線

図-3.1.12(1)～(16)に降伏時を超えた点、最大荷重時を超えた点および実験終了時付近の各段階における供試体のフランジおよびウェブの面外変位計測結果を等高線分布として示す。なお、面外変位は、ヒステリシスループにおける変位折返し点（水平変位が$+n\,\delta_{yo}$に到達した点）において、定規により0.5mm単位で計測したものである。

### 3.1.11 変形状況写真（外面と内面）

写真-3.1.1(1)～(20)に最大荷重を超えた点および実験終了時付近の供試体の外面の状況、および実験終了時の内面の変形状況の写真を示す。なお、ここに示す実験終了時以外の写真は、ヒステリシスループにおける変位折返し点（水平変位が$+n\,\delta_{yo}$に到達した点）において撮影したものである。

## 3.2 円形断面

### 3.2.1 実験結果一覧

表-3.2.1に実験結果一覧を示す。実験結果のまとめ方は3.1矩形断面と同じである。

### 3.2.2 水平荷重－水平変位関係（ヒステリシスループ）

図-3.2.1(1)～3.2.1(9)に荷重と載荷点における水平変位の関係(ヒステリシスループ)を示す。

### 3.2.3 包絡線

図-3.2.2(1)～3.2.2(9)に図-3.2.1のヒステリシスループに対する包絡線を正側載荷、負側載荷それぞれ区分して示す。

### 3.2.4 水平荷重－鉛直変位関係

図-3.2.3(1)～3.2.3(9)に水平荷重と鉛直変位との関係を示す。

### 3.2.5 水平変位の鉛直方向分布

図-3.2.4(1)～3.2.4(9)に各$\delta_{y0}$時の水平変位の鉛直方向分布を示す。

### 3.2.6 エネルギー吸収量

図-3.2.5(1)～3.2.5(9)に各サイクルにおける正側と負側の水平変位の平均値（平均水平変位）とエネルギー吸収量の関係を示す。エネルギー吸収量は3.1矩形断面と同じ方法により算出した。

### 3.2.7 等価減衰定数

図-3.2.6(1)～(9)に各サイクルにおける平均水平変位と等価減衰定数$h_e$の関係を示す。

### 3.2.8 ひずみ分布

図-3.2.7(1)～(5)に代表的な荷重ステップ（降伏時、最大荷重時）における供試体基部から450mm(ダイヤフラムの高さの1/2)の位置におけるひずみ分布を示す。降伏時におけるひずみとは、水平荷重が$P_{yM}$に到達した時に計測したひずみの値であり、最大荷重時におけるひずみとは、水平荷重が$P_u$に到達した時に計測したひずみの値である。

### 3.2.9 載荷サイクルと供試体の変形状況

図-3.2.8(1)～(9)に最大荷重を超えた点および実験終了時付近における供試体の外面と内面の変形状況の目視観察記録を示す。なお、変形状況は、ヒステリシスループにおける変位折返し点（水平変位が$+n\delta_{y0}$に到達した点）において計測したものである。

### 3.2.10 面外変位

図-3.2.9(1)～(7)に降伏時を超えた点、最大荷重時を超えた点および実験終了時付近の各段階における供試体の面外変位計測結果を示す。なお、面外変位は、ヒステリシスループにおける変位折返し点（水平変位が$+n\delta_{y0}$に到達した点）において計測したものである。

### 3.2.11 変形状況写真（外面と内面）

写真-3.2.1(1)～(9)に最大荷重を超えた点および実験終了時付近の供試体の外面の状況、および実験終了時の内面の変形状況の写真を示す。なお、ここに示す実験終了時以外の写真は、ヒステリシスループにおける変位折返し点（水平変位が$+n\delta_{y0}$に到達した点）において撮影したものである。

## 4．考察

### 4.1 基本断面

基本断面供試体を対象として、最大耐力付近と最大耐力を超えた位置での耐力比較を行ったものを 表-4.1.1に、各供試体のヒステリシス曲線と包絡線を図-4.1.1に示す。図(b)より、片振り載荷(No.19)と繰り返し回数１回(No.20)では、最大耐力までの挙動はほとんど変わらないことがわかる。しかしながら最大耐力以降については、下り勾配の大きさは繰り返し回数1回の方がきつくなっており、繰り返し回数が耐力低下に及ぼす影響が大きい傾向にある。また、供試体No.18は、基本供試体No.20と比較して軸力比の影響(図(c)、(d)参照)により最大耐力が低下している。

### 4.2 角補強

図-4.2.1、図-4.2.2に角ボルト補強供試体および角溶接補強供試体のヒステリシスループを示す。図中の破線はそれぞれの供試体の補強していない基本断面の包絡線を表している。図-4.2.3、図-4.2.4に両者の包絡線を示す。ここでは参考値として供試体No.20をプロットしている（注：No.4、No.5の基本供試体はNo.2、No.28の基本供試体はM8である）。

角ボルト補強供試体について考察を行う。図-4.2.1における供試体No.5、No.11、No.12に見られるように、ボルト補強のねらいは大幅な耐力増加をさせずに、変形性能を向上させることである。しかしながら角補強材が相対的に大きい供試体No.25(基本断面に対する角補強材を含めた断面の中立軸回りの断面2次モーメントの比は、No.11、No.12で1.2、No.5で1.4、No.25で1.9程度である)、あるいは供試体No.28のように基本断面M8(首都高速道路公団にて実施)が極端に弱く($R_F$=0.869、$R_R$=0.669)、角補強を施すことによってその性状が改善されるものについては、耐力増加の割合が大きくなる傾向にある。包絡線比較(図-4.2.3)からは以下のことがわかる。供試体No.11が最大耐力付近で非常に安定した挙動を示している。また、供試体No.5とNo.12ではアングルの大きさが耐力と変形性能の差になって表れている。供試体No.25については他の供試体と比較して、変形性能は向上しているが大幅な耐力増加となっている。また、極端に大きい補強材を有したために耐力が増加し、最大耐力を迎えた後、供試体基部の溶接部を起点とした破断により耐力が急に低下した。

次に角溶接補強供試体について考察を行う。角溶接補強供試体の特徴は、供試体No.4、No.22に見られるように耐力と変形性能の両方を改善する点にある(図-4.2.2)。供試体No.10についてはコーナープレートの板厚が薄かったため、両縁支持板の座屈パラメータが小さく比較的早い段階で座屈が生じてしまったことが耐力の低下につながり、十分な性能が発揮できなかった。結果としてNo.22では剥がれなかったのに対してNo.10では+7$\delta_y$で溶接部の剥がれが生じた。また、図-4.2.4より以下のことが分かる。No.22の補強構造ではボルト補強構造と比較しても最大耐力以降の劣化はゆるやかであり、優れた変形性能を有しているといえる。繰り返し回数3回の供試体No.24と、繰り返し回数１回の供試体No.22を比較すると、最大耐力までの挙動は全く同じであり、それ以降の劣化領域において挙動の違いがみられる。軸力比を17%とした供試体No.23については、軸力比を基準値(11%)とした供試体No.22と比較すると最大耐力が若干低下しており、さらにそれ以降の劣化も大きいことがわかった。

### 4.3 隙間空け鋼板巻立て補強

円形断面供試体のヒステリシスループを図-4.3.1に、包絡線を図-4.3.2に示す。

図-4.3.1によると、補強前の基本供試体と外側鋼板巻立て補強後の供試体(No.6とNo.7、No.8とNo.15、No.29とNo.31)をそれぞれ比較すると、最大耐力の増加は見られず変形性能が向上していることがわかる。メカニズムとしては、外側巻立て鋼板は隙間があるがゆえに母材に座屈変形が生じ、最大耐力に達した付近より効きはじめ、その後の耐力低下を抑える働きをしている。ここで供試体No.9については図(d)中に包絡線のみを示している。隙間を5mmとした供試体No.15に対し、供試体No.9は、隙間が10mmと若干大きかったため、最大耐力を若干超えて耐力が低下する付近まで母材が外側巻立て鋼板に接触せず、基本供試体No.8と同様な挙動を示した。以上の傾向により隙間量としては母材の1/2程度が適当と考えられる。また、$R/t$=28のグループと$R/t$=50のグループでは耐力および変形性能に大きな違いがあり、径厚比(径厚比パラメータ)の影響が大きいことが理解される。

【参考文献】


1) 日本道路協会:「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案), pp. 参-1～参-25, 1995年6月(但し、「兵庫県南部地震による被災した道路橋の復旧に係る仕様」は1995年2月27日に通知された).

2) 日本道路協会:「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案), 1995年6月.

3) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会:兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書, 1995年12月.

4) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 1994年2月.

5) 中井博, 河井章好, 吉川紀, 北田俊行, 酒造敏廣:鋼製ラーメン橋脚の実績調査(上), 橋梁と基礎, 82-6, pp. 35-40, 1982年6月.

6) 中井博, 河井章好, 吉川紀, 北田俊行, 酒造敏廣:鋼製ラーメン橋脚の実績調査(下), 橋梁と基礎, 82-7, pp. 43-49, 1982年7月.

7) 西川和廣, 山本悟司, 名取暢, 寺尾圭史, 安波博道:既設鋼製橋脚の耐震性能改善方法に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 42A, pp. 975-986, 1996年3月.

8) 西川和廣, 山本悟司, 上仙靖, 安波博道, 名取暢:鋼製橋脚の耐震補強に関する実験, 土木学会, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp. 583-590, 1996年1月.

9) 西川和廣, 村越潤, 上仙靖:鋼製橋脚供試体の繰返し載荷実験, 橋梁と基礎, Vol. 30, No. 8, pp. 131-134, 1996年8月.

10) 高橋実, 西川和廣, 村越潤, 上仙靖, 中嶋浩之, 岡田淳:角補強を施した鋼製橋脚の耐震補強に関する実験, 土木学会, 第51回年次学術講演会講演概要集, I-B291, pp. 582-583, 平成8年9月.

11) 上仙靖, 西川和廣, 村越潤, 高橋実, 橋本修身:円形断面鋼製橋脚の隙間あけ鋼管巻立て補強に関する実験的検討, 土木学会, 第51回年次学術講演会講演概要集, I-B292, pp. 584-585, 平成8年9月.

12) 西川和廣, 山本悟司, 高橋実:鋼製橋脚の補強に関する実験的検討, 日本道路協会, 第21回日本道路会議論文集, pp. 876-877, 1995年10月.

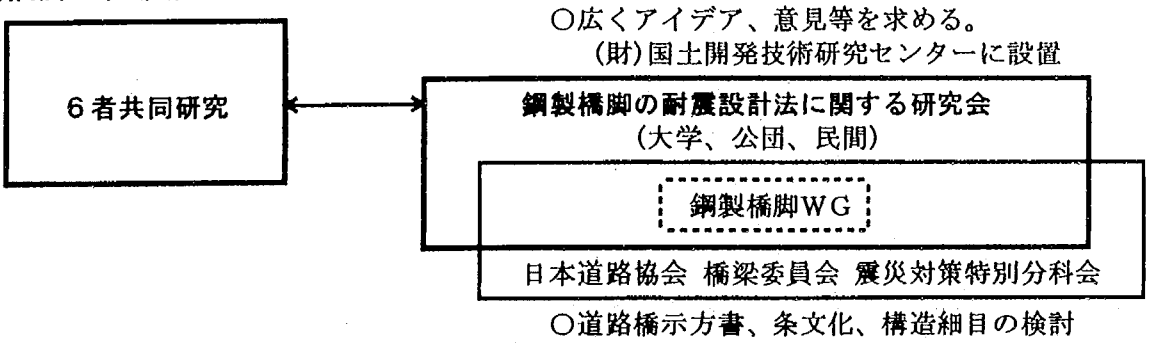
## 鋼製橋脚の耐震設計法に関する研究会の委員名簿

〔第1回研究会（平成7年8月1日）、第2回研究会（平成7年11月14日）時点〕

本研究を進めるにあたり、委員の方々から貴重なご意見を賜った。ここに記して謝意を表します。

| | | |
|---|---|---|
| 座　長 | 横山　功一 | 建設省土木研究所構造橋梁部長 |
| 委　員 | 青木　徹彦 | 愛知工業大学工学部土木工学科教授 |
| | 家村　浩和 | 京都大学工学部土木工学科教授 |
| | 宇佐美　勉 | 名古屋大学工学部土木工学科教授 |
| | 北田　俊行 | 大阪市立大学工学部土木工学科助教授 |
| | 後藤　芳顕 | 名古屋工業大学工学部社会開発工学科教授 |
| | 崎元　達郎 | 熊本大学工学部土木環境工学科教授 |
| | 杉浦　邦征 | 京都大学工学部土木工学科助教授 |
| | 中井　博 | 大阪市立大学工学部土木工学科教授 |
| | 長井　正嗣 | 長岡技術科学大学工学部建設系助教授 |
| | 福本　啸士 | 大阪大学工学部土木工学科教授 |
| | 藤野　陽三 | 東京大学工学部土木工学科教授 |
| | 藤原　稔 | 東北大学工学部土木工学科教授 |
| | 増田　陳紀 | 武蔵工業大学工学部土木工学科教授 |
| | 三木　千寿 | 東京工業大学工学部土木工学科教授 |
| | 依田　照彦 | 早稲田大学理工学部土木工学科教授 |
| | 渡邊　英一 | 京都大学工学部土木工学科教授 |
| | 西川　和廣 | 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室長 |
| | 大塚　久哲 | 〃　地震防災部耐震研究室長 |
| | 運上　茂樹 | 〃　地震防災部耐震研究室主任研究員 |
| | 寺山　徹 | 〃　地震防災部耐震研究室主任研究員 |
| | 村越　潤 | 〃　構造橋梁部橋梁研究室主任研究員 |
| | 山本　悟司 | 〃　構造橋梁部橋梁研究室研究員 |
| | 上仙　靖 | 〃　構造橋梁部橋梁研究室研究員 |
| | 岩城　達思 | 〃　構造橋梁部橋梁研究室交流研究員 |
| | 三百田健治 | 日本道路公団技術部構造技術課課長代理 |
| | 緒方　辰男 | 〃　技術部構造技術課 |
| | 柄川　伸一 | 首都高速道路公団工務部設計技術課課長補佐 |
| | 田嶋　仁志 | 〃　工務部設計技術課設計基準班長 |
| | 堀江　佳平 | 阪神高速道路公団工務部設計課設計係長 |
| | 乙黒　幸年 | 〃　保全施設部保全技術課 |
| | 大橋　治一 | 本州四国連絡橋公団設計第二課課長代理 |
| | 安波　博道 | 新日本製鐵㈱鉄鋼研究所鋼構造研究開発センター主任研究員 |
| | 名取　暢 | ㈱横河ブリッジ技術本部研究所研究課長 |
| 事務局 | 植野　芳彦 | (財)国土開発技術研究センター研究第二部上席主任研究員 |
| | 大場　敦史 | 〃　研究第二部研究員 |

## 鋼製橋脚の耐震設計法に関する研究体制



# 図　　表

# 1．鋼製橋脚の被災事例と補強の考え方

表-1.1.1　鋼製橋脚の被災度の区分[3)]

| 被災度 | 定義 |
|---|---|
| As | 倒壊したもの，損傷変形が著しく大きなもの |
| A | 亀裂，座屈等の損傷，または変形が大きなもの |
| B | 鋼材の座屈や部材の変形が部分的にみられるもの |
| C | 鋼材の座屈や変形が局部的かつ軽微なもの |
| D | 損傷がないか，あっても耐荷力に影響のない極めて軽微なもの |

表-1.1.2　鋼製橋脚の被災度[3)]　(橋脚数)

| 被災度 | | | | | 計 |
|---|---|---|---|---|---|
| As | A | B | C | D | |
| 4 | 11 | 36 | 138 | 166 | 355 |
| (1%) | (3%) | (10%) | (39%) | (47%) | (100%) |

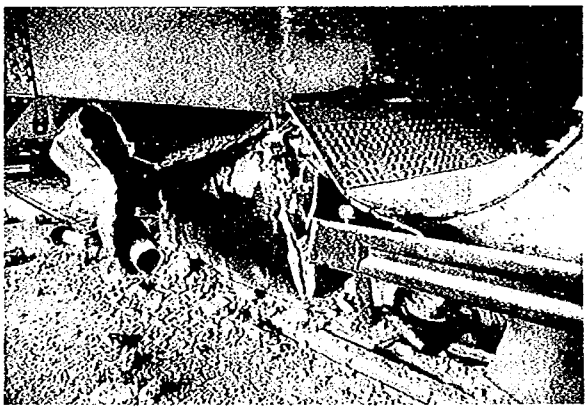


写真-1.1.1　角溶接部の破断による橋脚の倒壊
(阪神高速道路３号神戸線・西宮市
市庭町建石交差点) [3)]

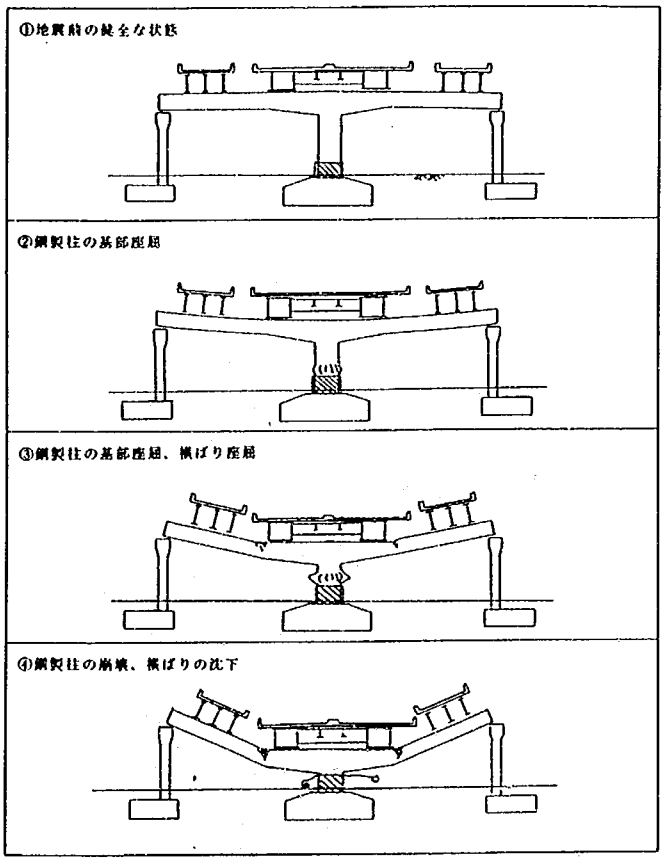



図-1.1.1　被災メカニズム
(阪神高速道路３号神戸線・西宮市
市庭町建石交差点) [3)]

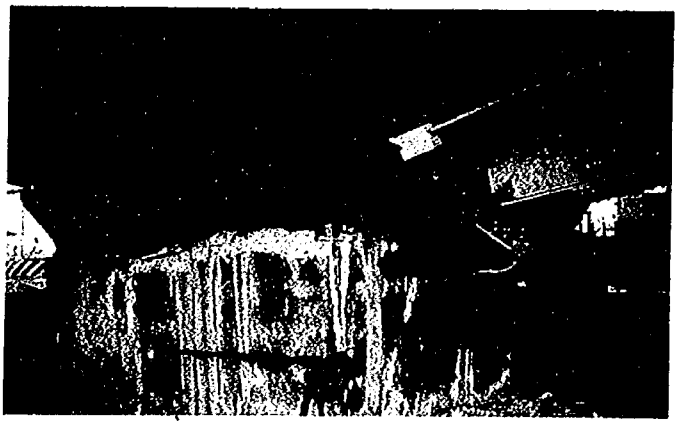
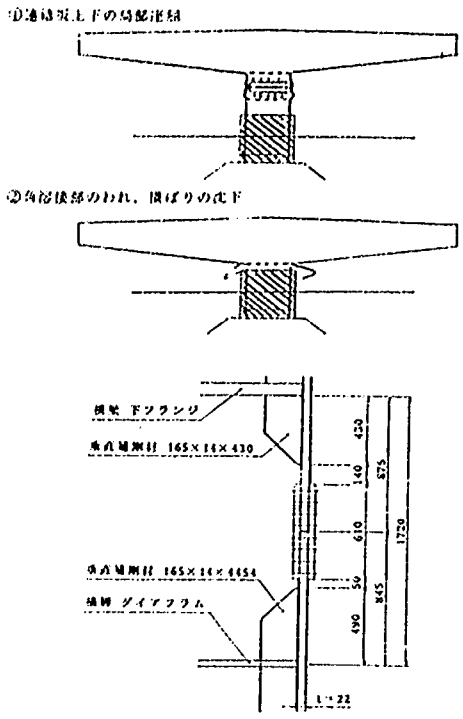


写真-1.1.2　角溶接部の破断による橋脚の倒壊
(一般国道43号岩屋高架橋) 3)



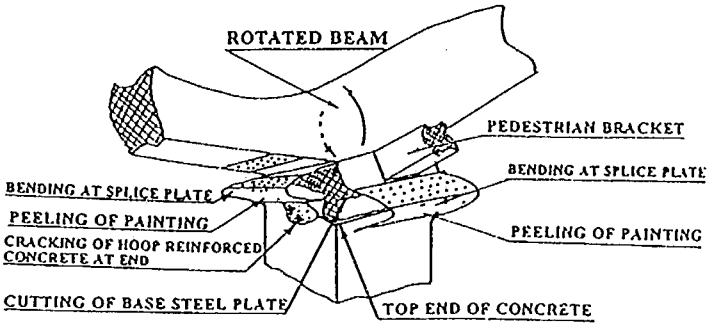



図-1.1.2　被災メカニズム
(一般国道43号岩屋高架橋) 3)

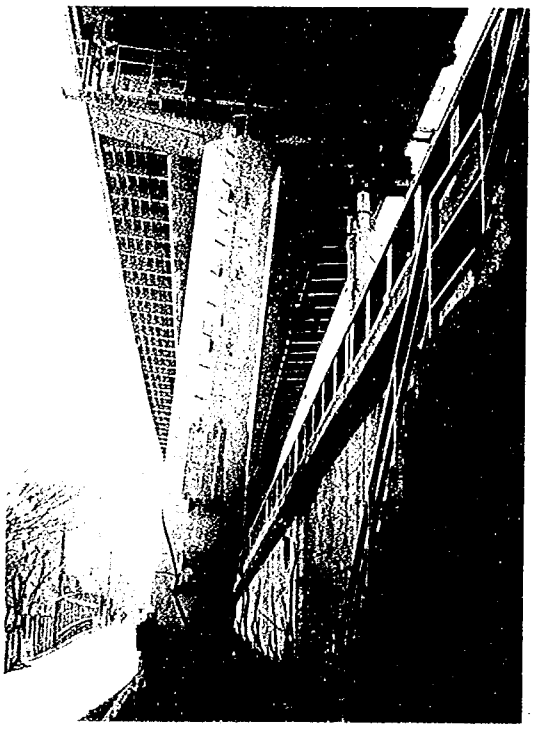


写真-1.1.3　局部座屈による円形断面橋脚の傾斜
(阪神高速道路3号神戸線・JR和田岬線跨線橋)



写真-1.1.4　提灯座屈部の割れ
(阪神高速道路3号神戸線・
JR和田岬線跨線橋)

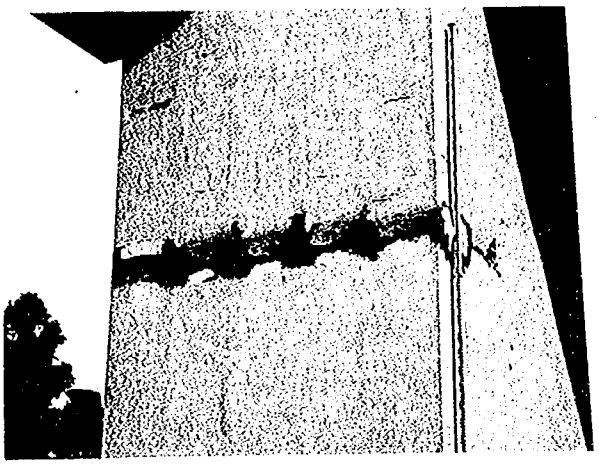


写真-1.1.5　鋼製橋脚柱中間での局部座屈
(一般国道2号浜手バイパス) [3)]

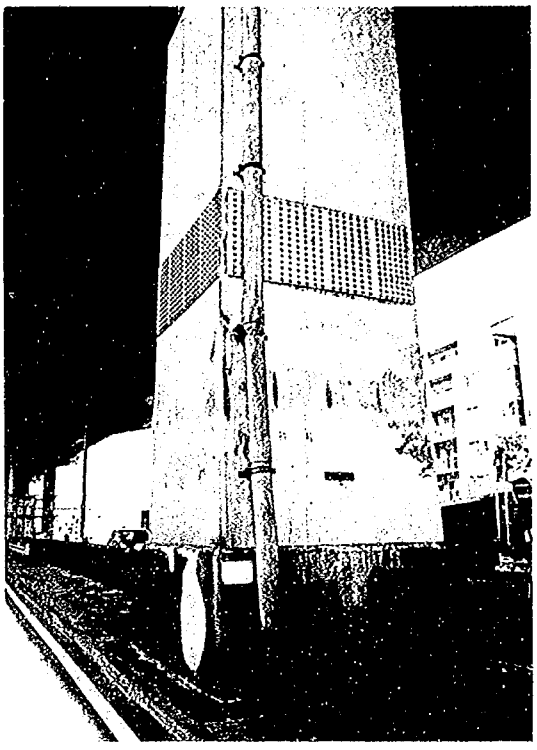


写真-1.1.6　矩形断面橋脚における補剛板の局部座屈
(阪神高速道路3号神戸線・二葉町)

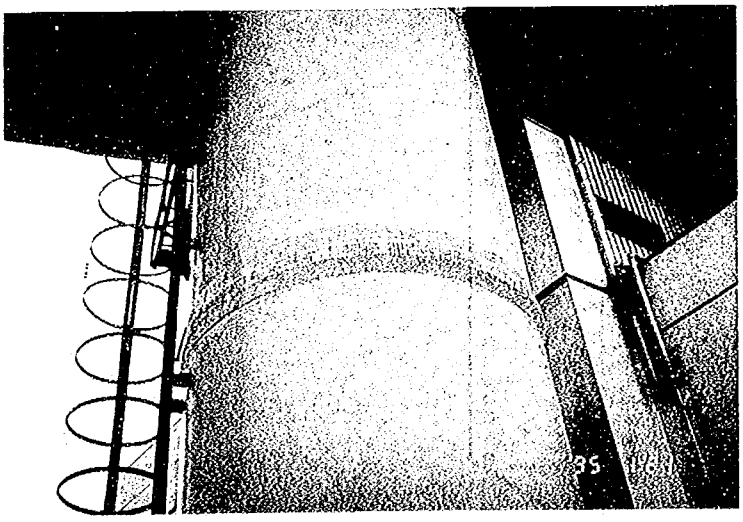
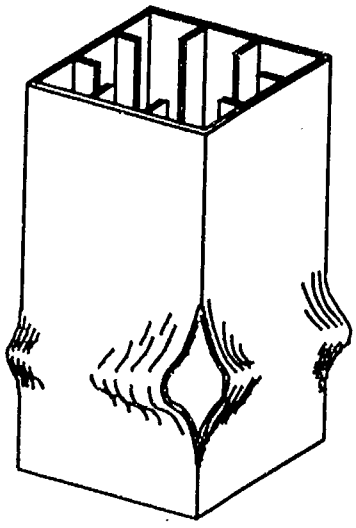
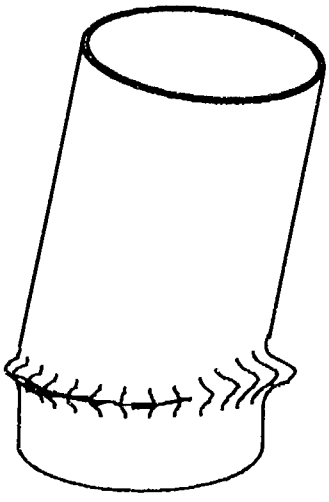


写真-1.1.7　円形断面橋脚における局部座屈(提灯座屈)
(一般国道2号浜手バイパス)

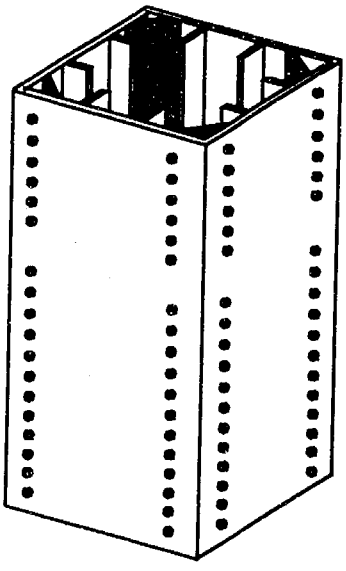


(1)矩形断面橋脚における
角割れ

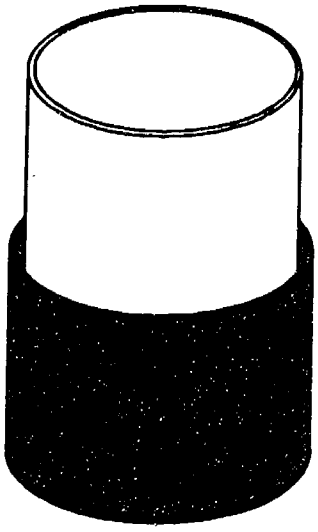


(2)円形断面橋脚における
変形の集中，傾斜，割れ

図-1.2.1　鋼製橋脚のぜい性的破壊モードのイメージ



(1)矩形断面橋脚における
角補強



(2)円形断面橋脚における
隙間あけ鋼板巻立て補強．

図-1.2.2　鋼製橋脚の補強イメージ

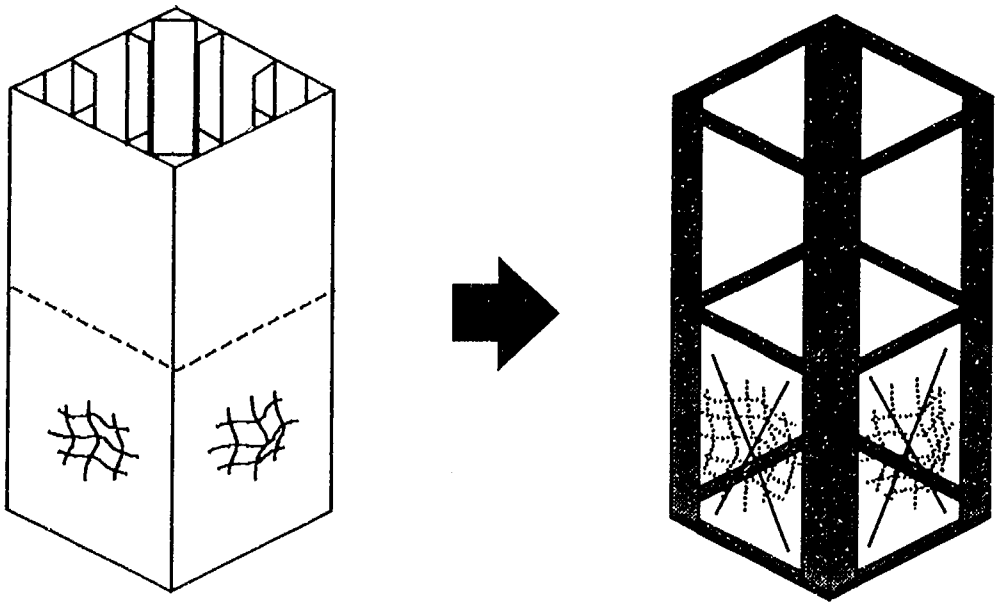


図-1.2.3　4本柱構造への移行

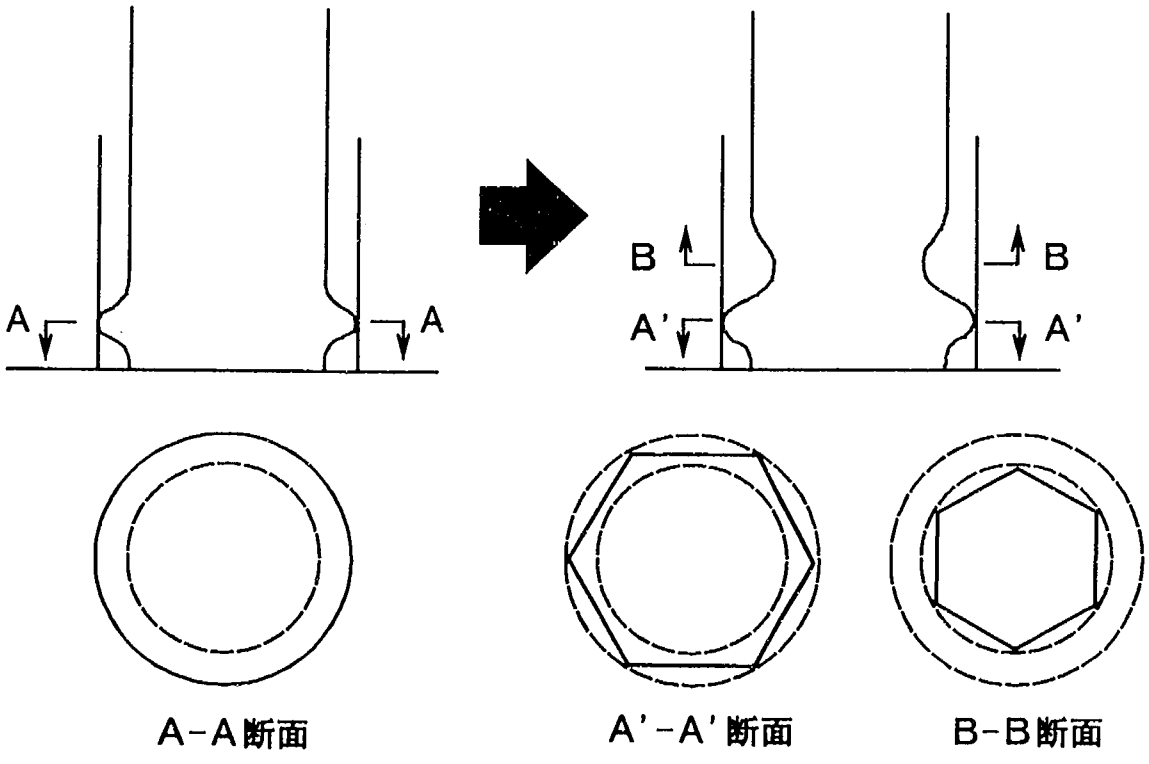
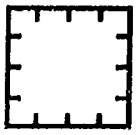
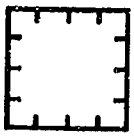
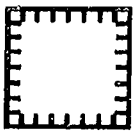
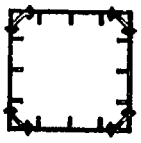
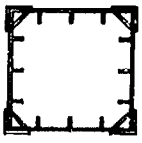
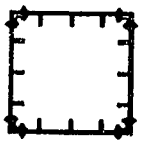
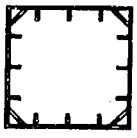
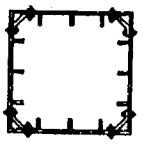
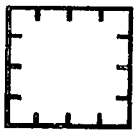
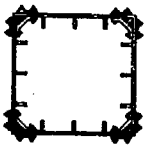
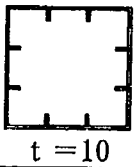
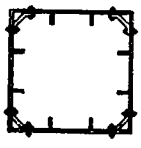



図-1.2.4　座屈変形の多段化

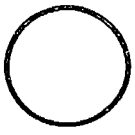
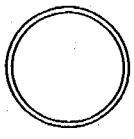
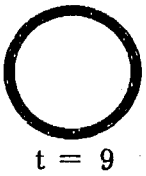
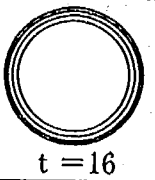
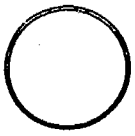
# 2. 実験概要

表-2.1.1 供試体断面一覧

**矩 形 断 面**

| No. | 断 面 | 内 容 | No. | 断 面 | 内 容 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2<br>20<br>18<br>19 |  <br>t = 9 | $R_F$=0.54, $R_R$=0.51<br>$\gamma/\gamma^*$=0.91<br>軸力増<br>片振幅載荷 | 13<br>17 |  | 中埋めコンクリート<br>$h_c$=450<br>(付着切り) |
| 3 |  | 縦リブ増設<br>$R_F$=0.42, $R_R$=0.26<br>$\gamma/\gamma^*$=0.37 | 14 |  | 中埋めコンクリート<br>$h_c$=450<br>角ボルト補強 閉断面<br>軸力増 |
| 4 |  | 角溶接補強 閉断面<br>外側補強板 | 5<br>12 |  | 角ボルト補強 L形(大)<br>補強材は SS400<br>角ボルト補強 L形(小)<br>補強材は SS400 |
| 10<br>22<br>23<br>24 |  | 角溶接補強 補強材 t =6<br>補強材 t =9<br>軸力増<br>3回繰返し載荷 | 11 |  | 角ボルト補強 閉断面 |
| 26 |  | コンクリート充填<br>$h_c$=2,700 | 25 |  | 角ボルト補強 閉断面<br>外側補強板 |
| 27 |  <br>t =10 | コンクリート充填<br>$h_c$=2,700<br>$R_F$=0.80, $R_R$=0.62<br>$\gamma/\gamma^*$=0.55 (M8の補強) | 28 |  | 角ボルト補強 閉断面<br>(M8の補強) |

**円 形 断 面**

| No. | 断 面 | 内 容 | No. | 断 面 | 内 容 |
|---|---|---|---|---|---|
| 8<br>29 |  <br>t = 9 | R/t =50<br>SS400 軸力増 | 6 |  <br>t =16 | R/t =28 |
| 9<br>15<br>31 |  <br>t = 9 | R/t =50, Gap=10<br>R/t =50, Gap= 5<br>SS400 軸力増 | 7 |  <br>t =16 | R/t =28, Gap=10 |
| 16<br>30 |  <br>t = 9 | コンクリート充填<br>$h_c$=2,300<br>SS400 軸力増 | 備考 | 特記なき材質は SM490<br>t ：板厚(mm)<br>$h_c$：コンクリート充填高さ(mm)<br>Gap：隙間の大きさ(mm) | |

表－2.1.2(1)　主なパラメータ(矩形断面)

| 供試体 | 種類 | 角補強における補強材*1)の断面形状寸法　(mm) | 載荷方法*2) | 軸力比 $N/N_{yM}$*3) | 幅厚比 $R_R$*4) | 幅厚比 $R_F$*5) | リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_l$*6) | リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_{l\cdot req}$*7) | 中詰めｺﾝｸﾘｰﾄの高さ (mm) | 実験年度 | 実験場所 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 20 | 基本 | — | 1 | 0.125 | 0.585 | 0.611 | 0.914 | 0.914 | — | H８ | 土研 |
| No. 18 | 基本 | — | 1 | 0.197 | 0.567 | 0.591 | 0.914 | 0.914 | — | H８ | 土研 |
| No. 19 | 基本 | — | 片振り | 0.119 | 0.577 | 0.602 | 0.914 | 0.914 | — | H８ | 土研 |
| No. 2 | 基本 | — | 1 | 0.125 | 0.564 | 0.588 | 0.914 | 0.914 | — | H７ | A社 |
| No. 13 | 基本 | — | 1 | 0.128 | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | 450 | H７ | 土研 |
| No. 17 | 基本 | — | 1 | 0.118 | 0.580 | 0.605 | 0.914 | 0.914 | 450 | H７ | 土研 |
| No. 3 | 縦リブ | なし(縦リブ増設補強:80×6:板ﾊﾟﾈﾙ当たり4本) | 1 | 0.107 | 0.278 | 0.454 | 0.368 | 1.220 | — | H７ | A社 |
| No. 4 | 角溶接 | 外側アングル:130×130×6<br>内側CP:170×6 | 1 | 0.100 | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | — | H７ | A社 |
| No. 10 | 角溶接 | 内側CP:170×6 | 1 | 0.110 | 0.569 | 0.594 | 0.914 | 0.914 | — | H７ | 土研 |
| No. 22 | 角溶接 | 内側CP:170×9 | 1 | 0.106 | 0.567 | 0.591 | 0.914 | 0.914 | — | H８ | 土研 |
| No. 23 | 角溶接 | 内側CP:170×9 | 1 | 0.169 | 0.567 | 0.592 | 0.914 | 0.914 | — | H８ | 土研 |
| No. 24 | 角溶接 | 内側CP:170×9 | 3 | 0.103 | 0.575 | 0.600 | 0.914 | 0.914 | — | H８ | 土研 |
| No. 5 | 角ボルト | 内側アングル:90×90×9<br>内側フィラー:90×9 | 1 | 0.128 | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | — | H７ | A社 |
| No. 12 | 角ボルト | 内側アングル:75×75×6<br>内側CP:75×4.5 | 1 | 0.128 | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | — | H７ | 土研 |
| No. 11 | 角ボルト | 内側CP:295×6 | 1 | 0.128 | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | — | H７ | 土研 |
| No. 14 | 角ボルト | 内側CP:295×6 | 1 | 0.204 | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | 450 | H７ | 土研 |
| No. 25 | 角ボルト | 外側補強板:200×12<br>内側CP:170×9 | 1 | 0.118 | 0.578 | 0.603 | | | — | H８ | 土研 |
| No. 28 | 角ボルト | 内側CP:295×6 | 1 | 0.134 | 0.669 | 0.869 | 0.549 | 0.549 | — | H８ | 土研 |
| No. 26 | 充填 | — | 1 | 0.193 | 0.582 | 0.608 | 0.914 | 0.914 | 2700(充填柱) | H８ | 土研 |
| No. 27 | 充填 | — | 1 | 0.193 | 0.680 | 0.883 | 0.549 | 0.549 | 2700(充填柱) | H８ | 土研 |

ここに、*1)　CP:コーナープレートを意味する。

*2)　"数字"は正負交番繰返し載荷における繰返し回数をさす(図-2.2.3参照)。"片振り"については、図-2.2.3(c)の載荷方法をさす。

*3)　$N$：軸力(tf)，$N_{yM}$：材料降伏軸力(tf)$\left(=A\cdot\sigma_{yM}\right)$，$A$：断面積(cm²)，$\sigma_{yM}$：材料試験結果に基づく下降伏点(kgf/cm²)

*4)　$R_R$：補剛材間のパネルの幅厚比パラメータ$\left(=\dfrac{b}{t}\sqrt{\dfrac{\sigma_{yM}}{E}\dfrac{12\left(1-\mu^2\right)}{\pi^2 k_R}}\right)$

$t$：板厚(cm)

$b$：補剛板の全幅[4](cm)，$E$：ヤング係数($2.1\times10^6$ kgf/cm²)，$\mu$：ポアソン比(=0.3)

$k_R$：座屈係数($=4n^2$)，$n$：縦方向補剛材によって区切られるパネル数($n\geqq2$)

*5)　$R_F$：補剛板全体の幅厚比パラメータ$\left(=\dfrac{b}{t}\sqrt{\dfrac{\sigma_{yM}}{E}\dfrac{12\left(1-\mu^2\right)}{\pi^2 k_F}}\right)$

$k_F$：座屈係数　$k_F=\dfrac{(1+\alpha^2)^2+n\gamma_l}{\alpha^2\left(1+n\delta_l\right)}$　$(\alpha\leqq\alpha_0)$

$$k_F=\frac{2\left(1+\sqrt{1+n\gamma_l}\right)}{1+n\delta_l}\quad(\alpha>\alpha_0)$$

$\gamma_l$：縦方向補剛材の剛比$\left(=\dfrac{I_l}{\dfrac{bt^3}{11}}\right)$

$\delta_l$：補剛材断面積比$\left(=\dfrac{A_l}{bt}\right)$

$\alpha$：補剛板の縦横寸法比[4]，$\alpha=\dfrac{a}{b}$

$\alpha_0$：限界縦横寸法比，$\alpha_0=\sqrt{1+n\gamma_l}$

$I_l$：縦方向補剛材１個の断面二次モーメント(cm⁴)

$A_l$：縦方向補剛材１個の断面積(cm²)

*6) $\gamma_l^*$：補剛材の限界剛比(弾性座屈理論による)

$$\gamma_l^* = \begin{cases} 4\alpha^2 n(1+n\delta_l) - \dfrac{(1+\alpha^2)^2}{n} & (\alpha < \sqrt[4]{1+n\gamma_l}) \\ \dfrac{1}{n}\left[\left\{2n^2(1+n\delta_l)-1\right\}^2 - 1\right] & (\alpha \geq \sqrt[4]{1+n\gamma_l}) \end{cases}$$

*7) $\gamma_{l\cdot req}$：補剛材の必要剛比[4]

表－2.1.2(2)　主なパラメータ(円形断面)

| 供試体 | 種類 | 鋼板巻き立て補強の仕様　(mm) | 軸力比 $N/N_{yM}$ | 径厚比 $R/t$ | 径厚比パラメータ $Rt$ *8) | 中詰めコンクリートの高さ (mm) | 実験年度 | 実験場所 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 6 | 基本 | -- | 0.137 | 28.1 | 0.0763 | — | H7 | A社 |
| No. 8 | 基本 | — | 0.122 | 50.0 | 0.115 | — | H8 | A社 |
| No. 29 | 基本 | — | 0.199 | 50.0 | 0.123 | — | H8 | 土研 |
| No. 7 | 巻立て | 隙間:10, 補強板厚:9 | 0.136 | 28.1 | 0.0769 | — | H8 | A社 |
| No. 9 | 巻立て | 隙間:10, 補強板厚:9 | 0.126 | 50.0 | 0.111 | — | H7 | A社 |
| No. 15 | 巻立て | 隙間: 5, 補強板厚:9 | 0.115 | 50.0 | 0.122 | — | H7 | 土研 |
| No. 31 | 巻立て | 隙間: 5, 補強板厚:9 | 0.199 | 50.0 | 0.123 | — | H7 | 土研 |
| No. 16 | 充填 | — | 0.114 | 50.0 | 0.123 | 2600 | H7 | 土研 |
| No. 30 | 充填 | — | 0.199 | 50.0 | 0.123 | 2600 | H8 | 土研 |

ここに、*8)　$Rt = \left(\dfrac{(R-t/2)}{t}\right)\cdot\dfrac{\sigma_{yM}}{E}\sqrt{3(1-\mu^2)}$

$R$：円形断面の中心から板厚外縁までの半径

表-2.1.3(1)　矩形断面供試体の諸元

| 供試体番号 | No. 2 | No. 3 | No. 4 | No. 5 | No. 10 | No. 11 | No. 12 | No. 13 | No. 14 | No. 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外形寸法 (mm) | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 |
| 板厚 $t$ (mm) | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 縦リブ寸法 (mm) | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 |
| 横リブ間隔 $a$ (mm) | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| 補剛板の全幅 $b$ (mm) | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| 縦リブで区切られるﾊﾟﾈﾙ数 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 鋼種 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 |
| 鋼材下降伏点 $\sigma_{yM}$ (kgf/cm$^2$) | 3,860 | 3,760 | 3,770 | 3,770 | 3,930 | 3,770 | 3,770 | 3,770 | 3,770 | 4,080 |
| 断面積 $A$ (cm$^2$) | 378.4 | 455.2 | 481.6 | 378.4<br>(504.7) | 419.2 | 378.4<br>(447.0) | 378.4<br>(439.9) | 378.4 | 378.4<br>(447.0) | 378.4 |
| 断面2次ﾓｰﾒﾝﾄ $I$ (cm$^4$) | 480,500 | 566,500 | 652,800 | 480,500<br>(692,600) | 539,700 | 480,500<br>(584,200) | 480,500<br>(587,100) | 480,500 | 480,500<br>(584,200) | 480,500 |
| 断面 2次半径 $r$ (cm) | 35.6 | 35.3 | 36.8 | 35.6<br>(37.0) | 35.9 | 35.6<br>(36.2) | 35.6<br>(36.5) | 35.6 | 35.6<br>(36.2) | 35.6 |
| 載荷点高さ $h$ (cm) | 340.3 | 340.3 | 340.3 | 340.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 |
| 有効座屈長 $l$ (=2$h$) (cm) | 680.6 | 680.6 | 680.6 | 680.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 |
| 細長比ﾊﾟﾗﾒｰﾀ $\bar{\lambda}$ | 0.261 | 0.260 | 0.249 | 0.258<br>(0.248) | 0.263 | 0.259<br>(0.255) | 0.259<br>(0.253) | 0.259 | 0.259<br>(0.255) | 0.270 |
| 幅厚比ﾊﾟﾗﾒｰﾀ $R_R$ | 0.564 | 0.278 | 0.557 | 0.557 | 0.569 | 0.557 | 0.557 | 0.557 | 0.557 | 0.580 |
| 幅厚比ﾊﾟﾗﾒｰﾀ $R_F$ | 0.588 | 0.454 | 0.581 | 0.581 | 0.594 | 0.581 | 0.581 | 0.581 | 0.581 | 0.605 |
| 縦リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_l^*$ | 0.914 | 0.368 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 |
| 縦リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_{l\cdot req}$ | 0.914 | 1.220 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 |
| 軸力 $N$ (tf) | 182 | 182 | 182 | 182 | 182 | 182 | 182 | 182 | 291 | 182 |
| 軸力比 $N/N_{yN}$ | 0.150 | 0.125 | 0.118 | 0.150<br>(0.113) | 0.136 | 0.150<br>(0.127) | 0.150<br>(0.129) | 0.150 | 0.240<br>(0.203) | 0.150 |
| 軸力比 $N/N_{yM}$ | 0.125 | 0.107 | 0.100 | 0.128<br>(0.0957) | 0.110 | 0.128<br>(0.108) | 0.128<br>(0.110) | 0.128 | 0.204<br>(0.173) | 0.118 |
| ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮強度 $\sigma_c$ (kgf/cm$^2$) | – | – | – | – | – | – | – | 206 | 263 | 285 |

| 供試体番号 | No. 18 | No. 19 | No. 20 | No. 22 | No. 23 | No. 24 | No. 25 | No. 26 | No. 27 | No. 28 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外形寸法 (mm) | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 | 900×900 |
| 板厚 $t$ (mm) | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 |
| 縦リブ寸法 (mm) | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× 6 | 80× | 80× 6 | 80× 6 |
| 横リブ間隔 $a$ (mm) | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| 補剛板の全幅 $b$ (mm) | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| 縦リブで区切られるﾊﾟﾈﾙ数 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 鋼種 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 | SM490 |
| 鋼材下降伏点 $\sigma_{yM}$ (kgf/cm$^2$) | 3,900 | 4,040 | 4,160 | 3,900 | 3,910 | 4,010 | 4,060 | 4,120 | 3,900 | 3,780 |
| 断面積 $A$ (cm$^2$) | 378.4 | 378.4 | 378.4 | 439.6 | 439.6 | 439.6 | 378.4<br>(639.0) | 378.4 | 387.2 | 387.2<br>(455.8) |
| 断面2次ﾓｰﾒﾝﾄ $I$ (cm$^4$) | 480,500 | 480,500 | 480,500 | 569,300 | 569,300 | 569,300 | 480,500<br>(901,400) | 480,500 | 499,500 | 499,500<br>(603,200) |
| 断面 2次半径 $r$ (cm) | 35.6 | 35.6 | 35.6 | 36.0 | 36.0 | 36.0 | 35.6<br>(37.6) | 35.6 | 35.9 | 35.9<br>(36.4) |
| 載荷点高さ $h$ (cm) | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 |
| 有効座屈長 $l$ (=2$h$) (cm) | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 |
| 細長比ﾊﾟﾗﾒｰﾀ $\bar{\lambda}$ | 0.264 | 0.268 | 0.272 | 0.261 | 0.261 | 0.265 | 0.269<br>(0.255) | 0.271 | 0.261 | 0.257<br>(0.254) |
| 幅厚比ﾊﾟﾗﾒｰﾀ $R_R$ | 0.567 | 0.577 | 0.585 | 0.567 | 0.567 | 0.575 | 0.578 | 0.582 | 0.680 | 0.669 |
| 幅厚比ﾊﾟﾗﾒｰﾀ $R_F$ | 0.591 | 0.602 | 0.611 | 0.591 | 0.592 | 0.600 | 0.603 | 0.608 | 0.883 | 0.869 |
| 縦リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_l^*$ | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.549 | 0.549 |
| 縦リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_{l\cdot req}$ | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.914 | 0.549 | 0.549 |
| 軸力 $N$ (tf) | 291 | 182 | 196 | 182 | 291 | 182 | 182 | 182 | 291 | 196 |
| 軸力比 $N/N_{yN}$ | 0.240 | 0.150 | 0.162 | 0.129 | 0.207 | 0.129 | 0.150<br>(0.0890) | 0.150 | 0.235 | 0.158<br>(0.134) |
| 軸力比 $N/N_{yM}$ | 0.197 | 0.119 | 0.125 | 0.106 | 0.169 | 0.103 | 0.118<br>(0.0702) | 0.117 | 0.193 | 0.134<br>(0.114) |
| ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮強度 $\sigma_c$ (kgf/cm$^2$) | – | – | – | – | – | – | – | 243 | 206 | – |

表-2.1.3(2)　円形断面供試体の諸元

| 供試体番号 | No.6 | No.7 | No.8 | No.9 | No.15 | No.16 | No.29 | No.30 | No.31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外形寸法 (mm) | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| 半径 $R$ (mm) | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 |
| 板厚 $t$ (mm) | 16 | 16 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 径厚比 $R/t$ | 28.1 | 28.1 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| 径厚比パラメータ $R_t$ | 0.076 | 0.077 | 0.115 | 0.111 | 0.122 | 0.123 | 0.123 | 0.123 | 0.123 |
| 横リブ間隔 (mm) | – | – | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| 鋼種 | SM490 | SM490 | SS400 | SS400 | SS400 | SS400 | SS400 | SS400 | SS400 |
| 鋼材下降伏点 $\sigma_{yM}$ (kgf/cm$^2$) | 3,610 | 3,540 | 2,960 | 2,850 | 3,130 | 3,150 | 3,150 | 3,150 | 3,150 |
| 断面積 $A$ (cm$^2$) | 444.3 | 444.3 | 251.9 | 251.9 | 251.9 | 251.9 | 251.9 | 251.9 | 251.9 |
| 断面2次モーメント $I$ (cm$^4$) | 434,200 | 434,200 | 250,000 | 250,000 | 250,000 | 250,000 | 250,000 | 250,000 | 250,000 |
| 断面2次半径 $r$ (cm) | 31.3 | 31.3 | 31.5 | 31.5 | 31.5 | 31.5 | 31.5 | 31.5 | 31.5 |
| 載荷点高さ $h$ (cm) | 340.3 | 340.3 | 340.3 | 340.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 | 342.3 |
| 有効座屈長 $l$ (=2$h$) (cm) | 680.6 | 680.6 | 680.6 | 680.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 | 684.6 |
| 細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ | 0.283 | 0.285 | 0.258 | 0.253 | 0.267 | 0.268 | 0.268 | 0.268 | 0.268 |
| 軸力 $N$ (tf) | 213 | 213 | 90.7 | 90.7 | 90.7 | 90.7 | 158 | 158 | 158 |
| 軸力比 $N/N_{yN}$ | 0.150 | 0.150 | 0.150 | 0.150 | 0.150 | 0.150 | 0.261 | 0.261 | 0.261 |
| 軸力比 $N/N_{yM}$ | 0.137 | 0.135 | 0.122 | 0.126 | 0.115 | 0.114 | 0.199 | 0.199 | 0.199 |
| 鋼板巻き立て補強における隙間の大きさ (mm) | – | 10 | – | 10 | 5 | – | – | – | 5 |
| 中埋めコンクリート高さ (mm) | – | – | – | – | – | 2,600 | – | 2,600 | – |
| コンクリート圧縮強度 $\sigma_c$ (kgf/cm$^2$) | – | – | – | – | – | 285 | – | 219 | – |

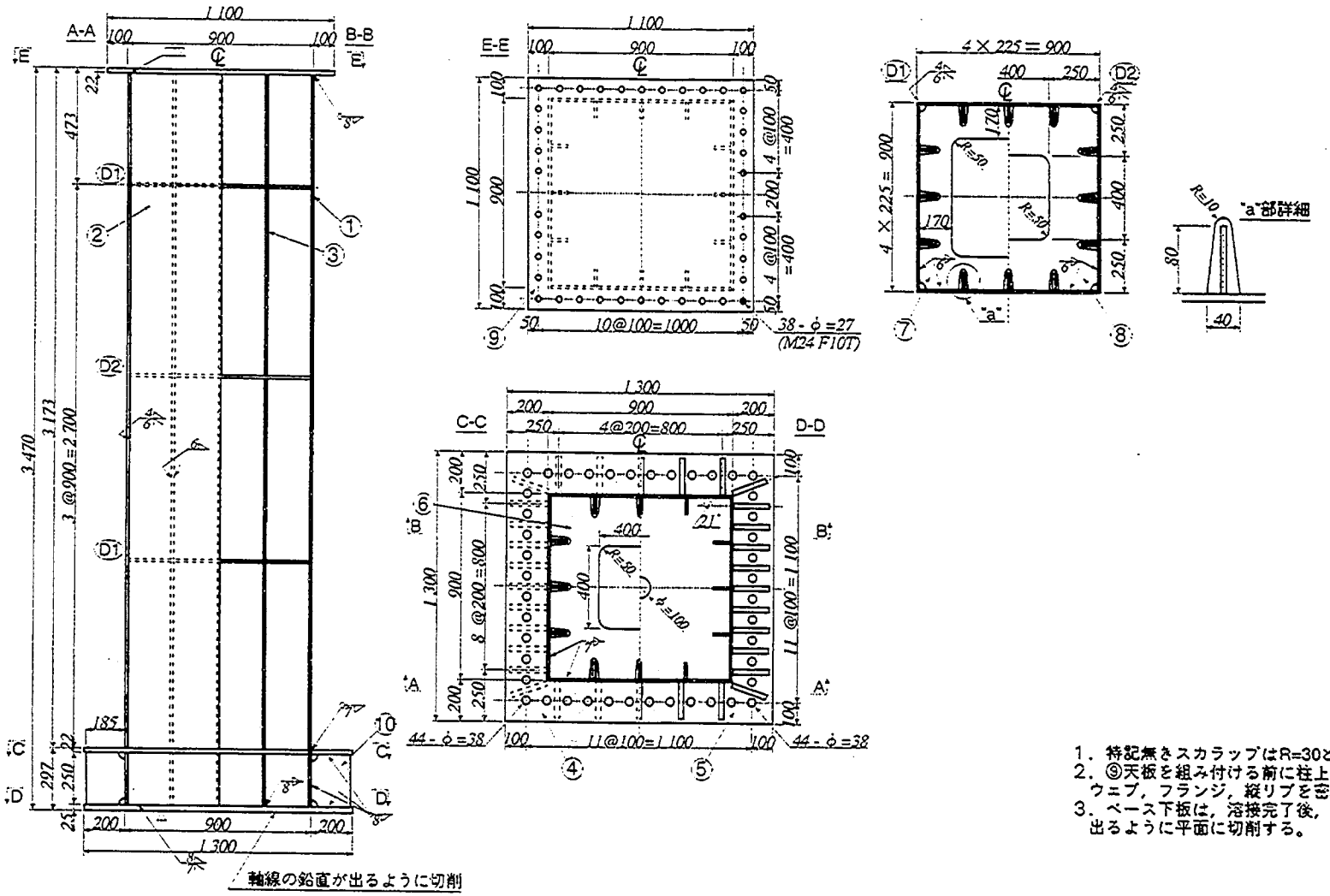
ここに、$\bar{\lambda} = \dfrac{1}{\pi}\sqrt{\dfrac{\sigma_y}{E}}\cdot\dfrac{l}{r}$　, $(l = 2h)$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$N_{yN}$：公称降伏軸力(tf) $(= A\cdot\sigma_{yN})$

$A$：断面積(cm$^2$)

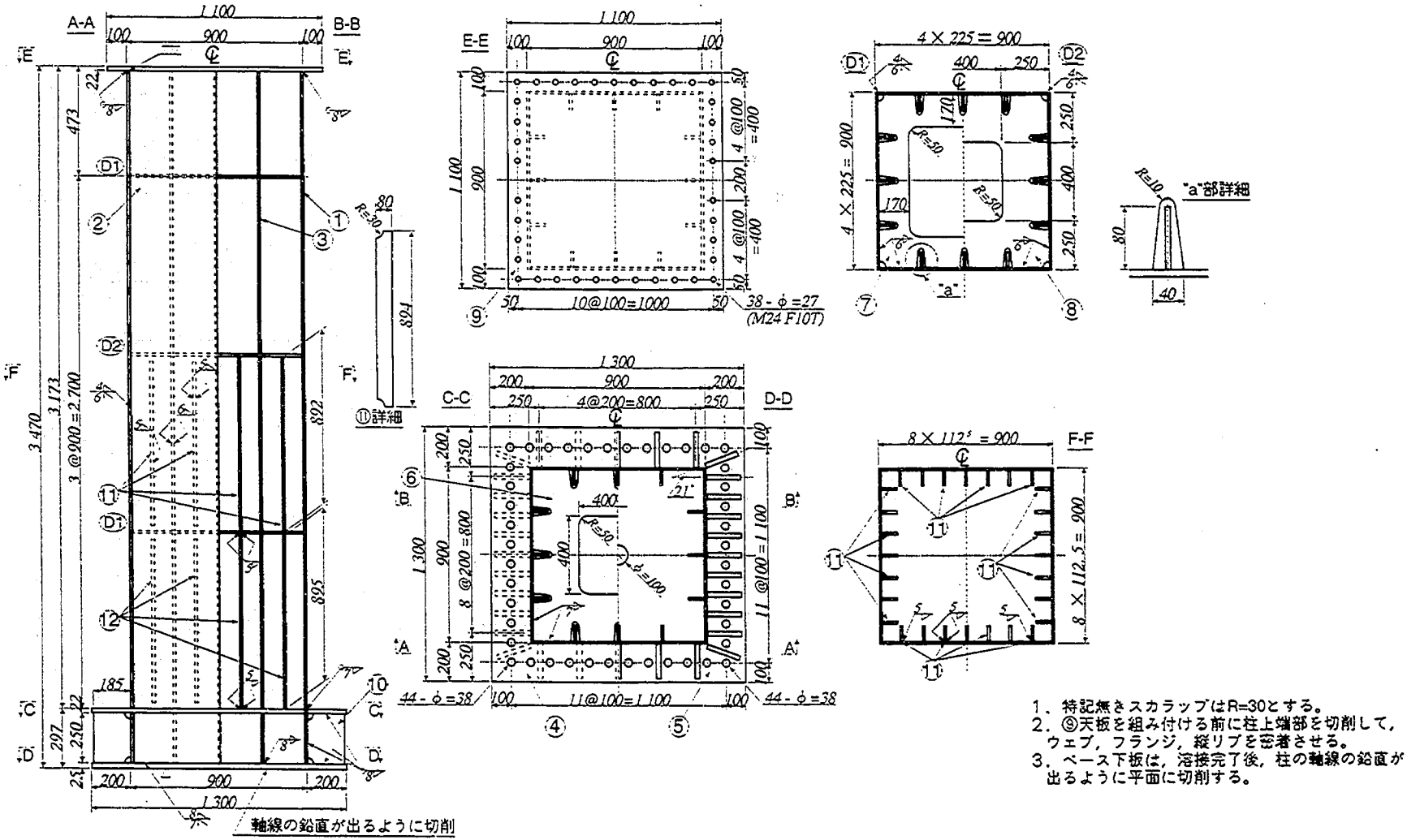
$\sigma_{yN}$：公称降伏点(kgf/cm$^2$)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL 900×9×3423 (SM490A) | ⑤ベース部ダイアフラム | 1-PL 882×22×882 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑦横リブ | 2-PL 882×6×882 ( 〃 ) |
| ③縦リブ | 12-PL 80×6×3423 ( 〃 ) | ⑧ダイアフラム | 1-PL 882×6×882 ( 〃 ) |
| ④ベース上板 | 1-PL 1300×22×1300 (SS400) | ⑨天板 | 1-PL 1100×22×1100 ( 〃 ) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL 1300×28×1300 (SM400A) | ⑩ベース補強板 | 32-PL 185×25×250 (SM400A) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | | |

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。

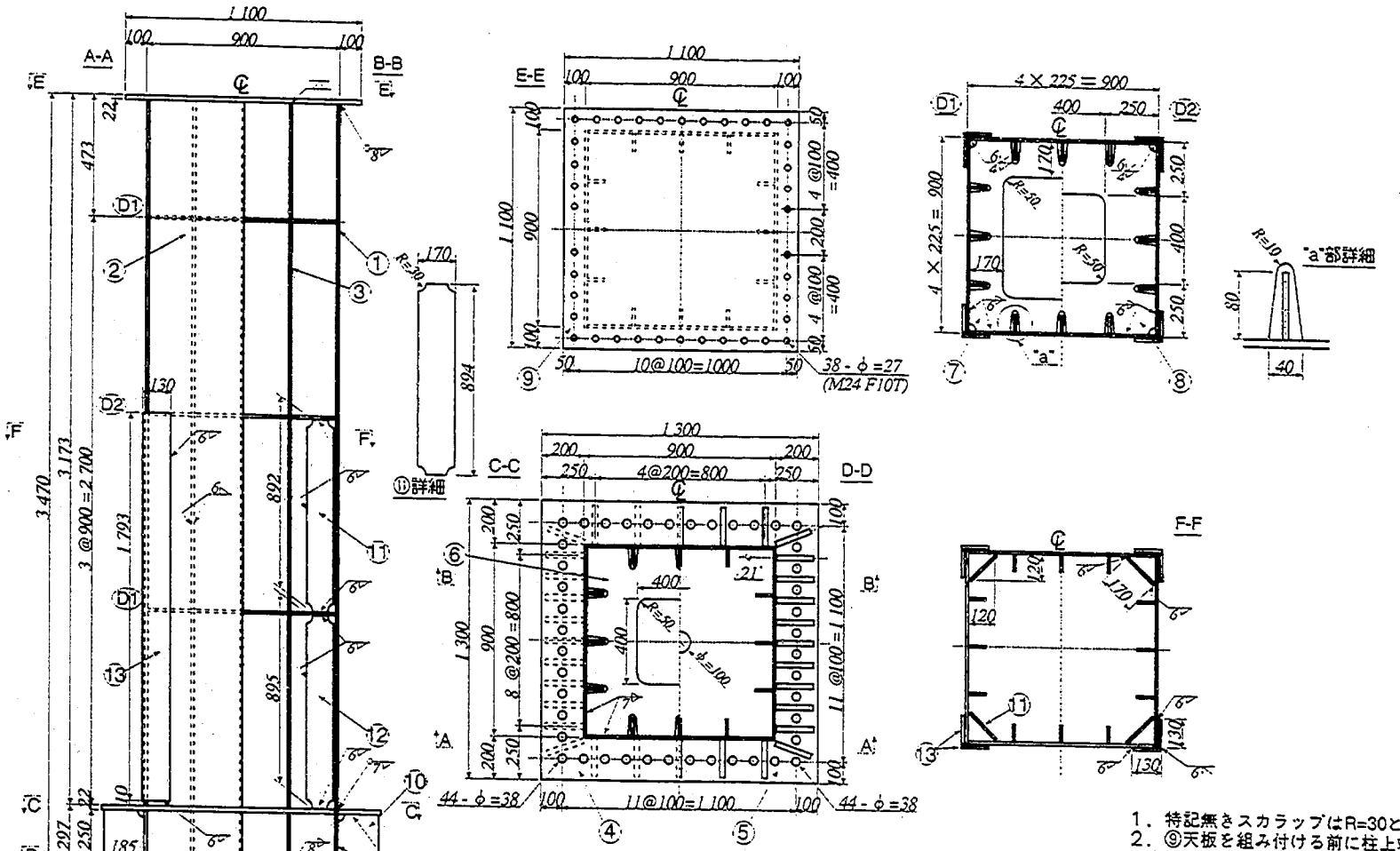
図-2.1.1(1)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No.2)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑦横リブ | 2-PL. 882×6×882 ( 〃 ) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | ⑧ダイアフラム | 1-PL. 882×6×882 ( 〃 ) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1300 (SS400) | ⑨天板 | 1-PL. 1100×22×1100 ( 〃 ) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1300 (SM400A) | ⑩ベース補強板 | 32-PL. 185×25×250 (SM400A) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | ⑪補強材 | 12-PL. 80×6×892 (SM490A) |
| | | ⑫補強材 | 12-PL. 80×6×895 (SM490A) |

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。

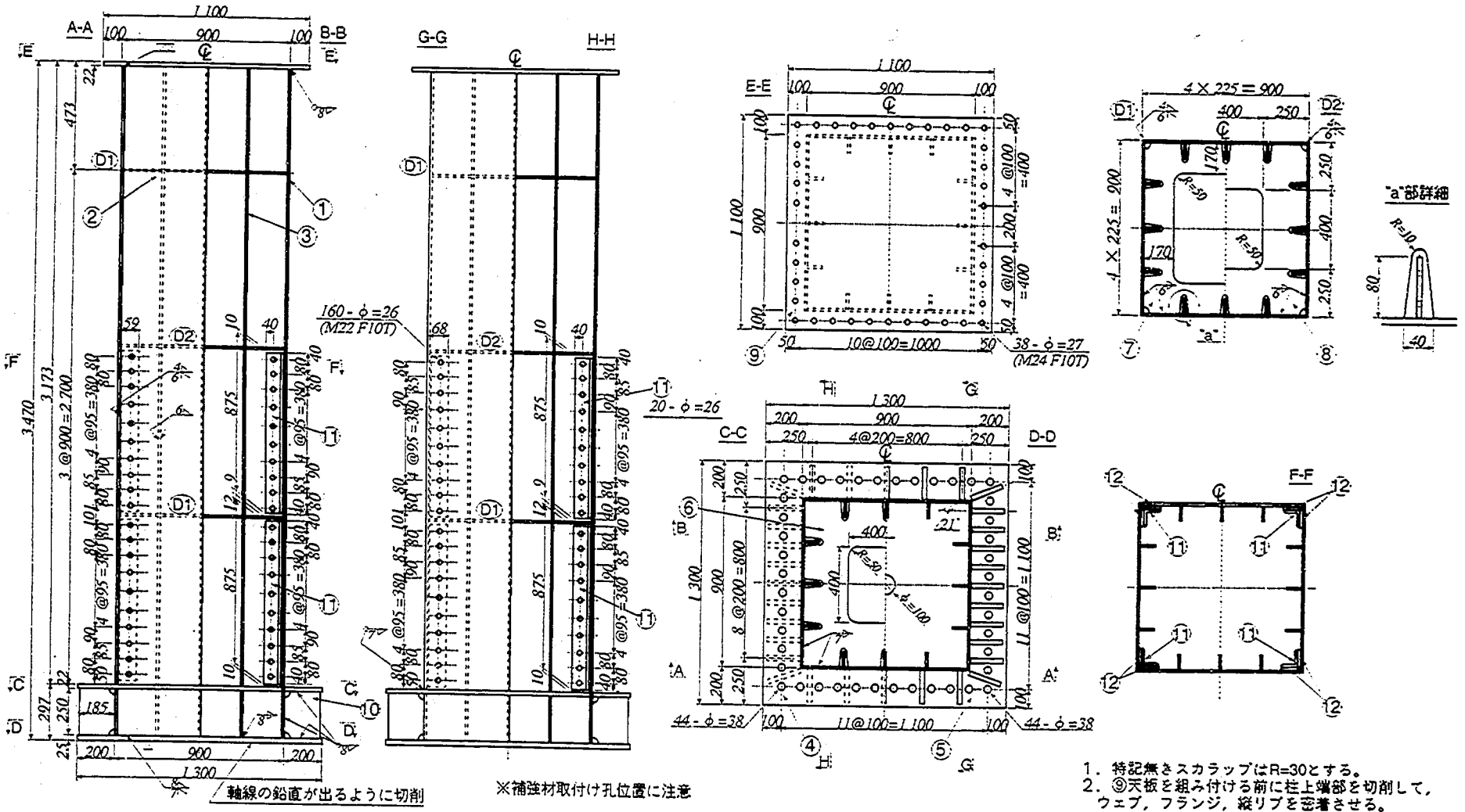
図-2.1.1(2)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No.3)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑦横リブ | 2-PL. 882×6×882 ( 〃 ) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | ⑧ダイアフラム | 1-PL. 882×6×882 ( 〃 ) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1300 (SS400) | ⑨天板 | 1-PL. 1100×22×1100 ( 〃 ) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1300 (SM400A) | ⑩ベース補強板 | 32-PL. 185×25×250 (SM400A) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | ⑪補強材 | 4-PL. 170×6×892 (SM490A) |
| | | ⑫補強材 | 4-PL. 170×6×895 (SM490A) |
| | | ⑬補強材 | 8-PL. 130×6×1793 (SM490A) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. ⑩の補強板は，供試体角部外面のビードを平坦に仕上げてから組み付ける。

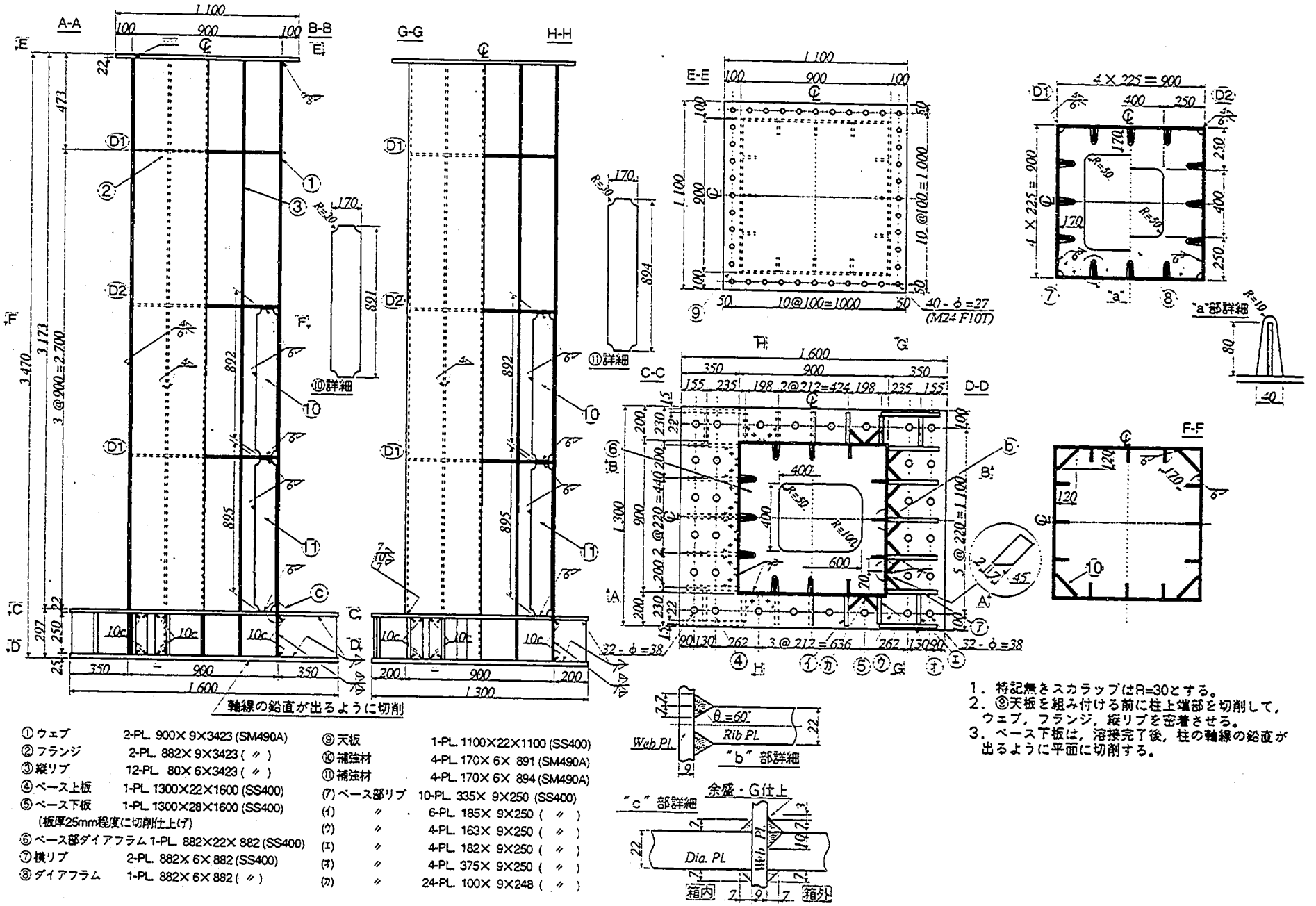
図-2.1.1(3)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No.4)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑦横リブ | 2-PL. 882×6×882 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑧ダイアフラム | 1-PL. 882×6×882 ( 〃 ) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | ⑨天板 | 1-PL. 1100×22×1100 ( 〃 ) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1300 (SS400) | ⑩ベース補強板 | 32-PL. 185×25×250 (SM400A) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1300 (SM400A) | ⑪補強材 | 8-L. 90×90×9×875 (SS400) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | ⑫補強材 | 16-PL. 90×9×875 (SS400) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | H.T.B. | 160-M22×65 (F10T) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. ⑫は⑪のフィラープレートとして用いる。

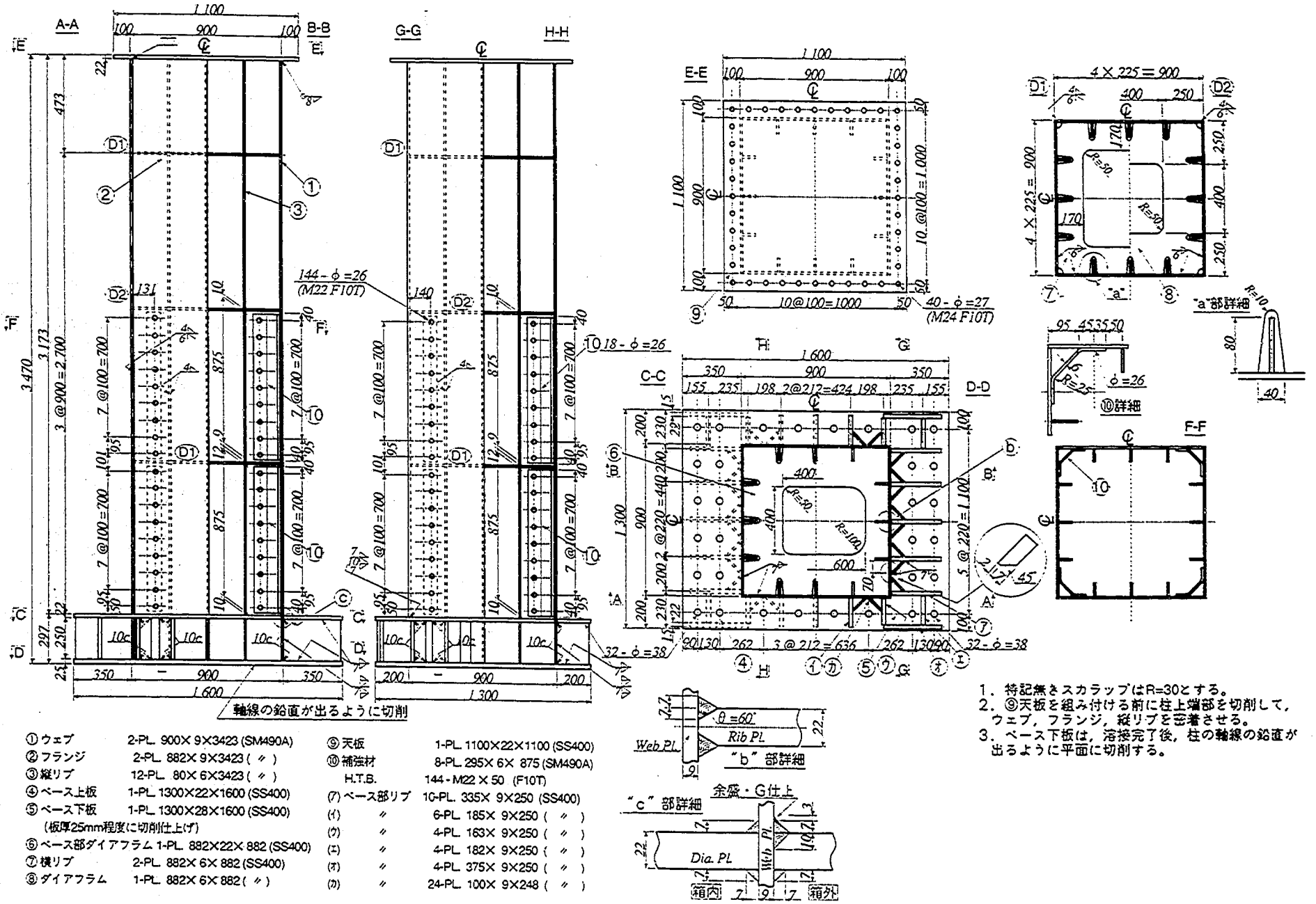
図-2.1.1(4)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No.5)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑨天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑩補強材 | 4-PL. 170×6× 891 (SM490A) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | ⑪補強材 | 4-PL. 170×6× 894 (SM490A) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×9×250 (SS400) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (イ) 〃 | 6-PL. 185×9×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×9×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (エ) 〃 | 4-PL. 182×9×250 ( 〃 ) |
| ⑦横リブ | 2-PL. 882×6×882 (SS400) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×9×250 ( 〃 ) |
| ⑧ダイアフラム | 1-PL. 882×6×882 ( 〃 ) | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。

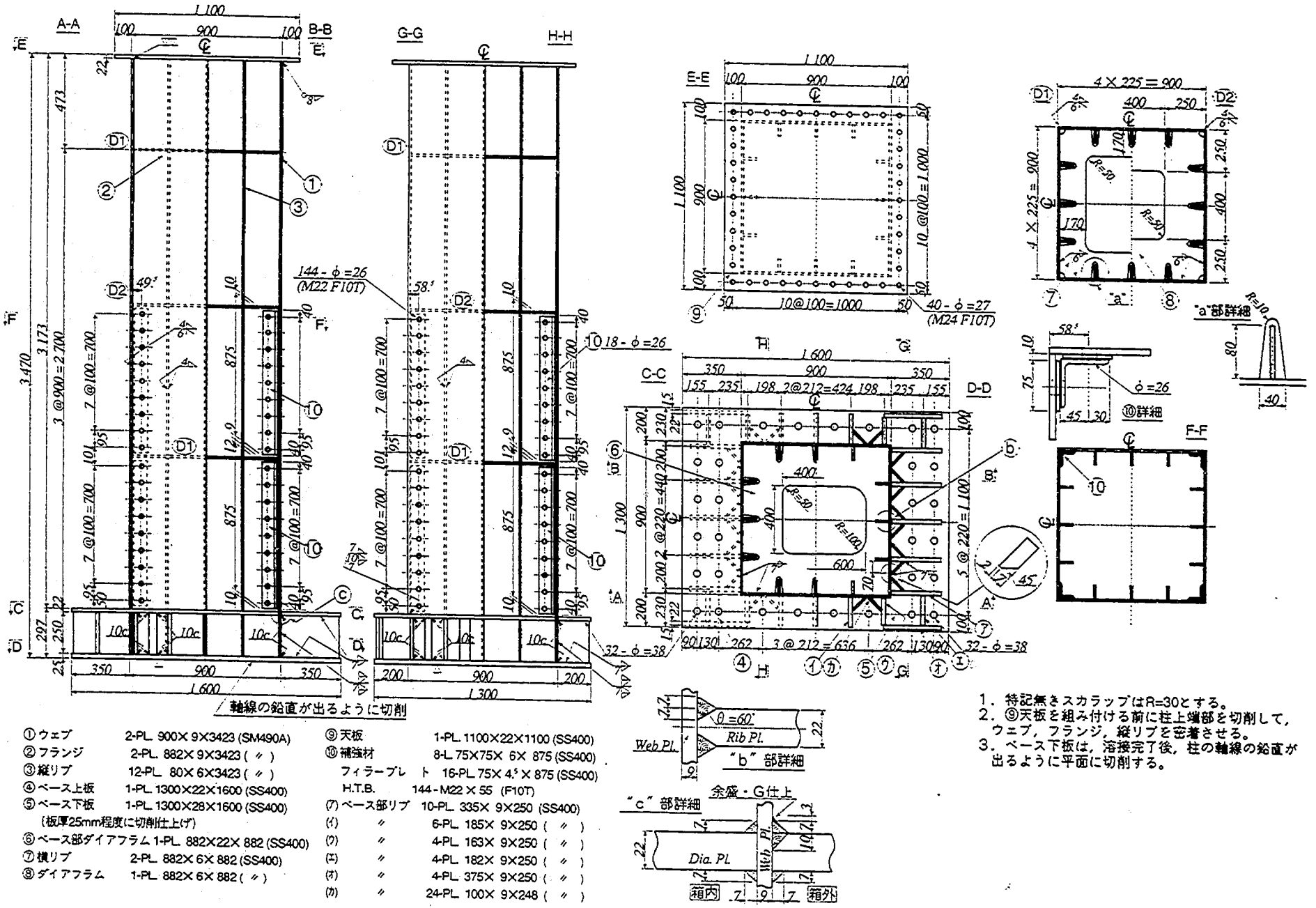
図-2.1.1(5)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No. 10)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑨天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑩補強材 | 8-PL. 295×6×875 (SM490A) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | H.T.B. | 144-M22×50 (F10T) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (ア) ベース部リブ | 16-PL. 335×9×250 (SS400) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (イ) 〃 | 6-PL. 185×9×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×9×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (エ) 〃 | 4-PL. 182×9×250 ( 〃 ) |
| ⑦横リブ | 2-PL. 882×6×882 (SS400) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×9×250 ( 〃 ) |
| ⑧ダイアフラム | 1-PL. 882×6×882 ( 〃 ) | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。

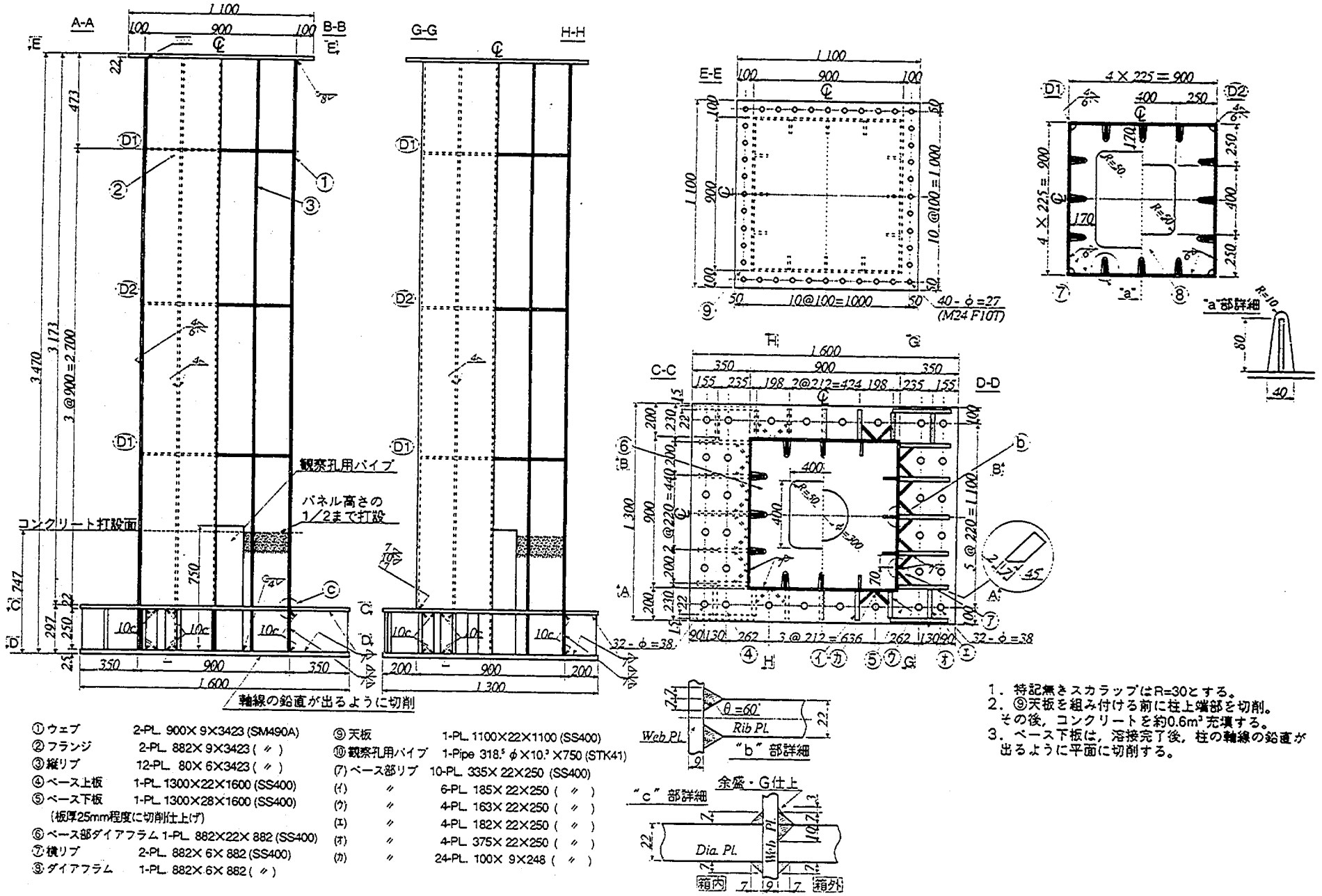
図-2.1.1(6)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No. 11)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑨天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑩補強材 | 8-L. 75×75×6× 875 (SS400) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | フィラープレート | 16-PL. 75×4.5×875 (SS400) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | H.T.B. | 144-M22×55 (F10T) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×9×250 (SS400) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (イ) 〃 | 6-PL. 185×9×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×9×250 ( 〃 ) |
| ⑦横リブ | 2-PL. 882×6×882 (SS400) | (エ) 〃 | 4-PL. 182×9×250 ( 〃 ) |
| ⑧ダイアフラム | 1-PL. 882×6×882 ( 〃 ) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×9×250 ( 〃 ) |
| | | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。

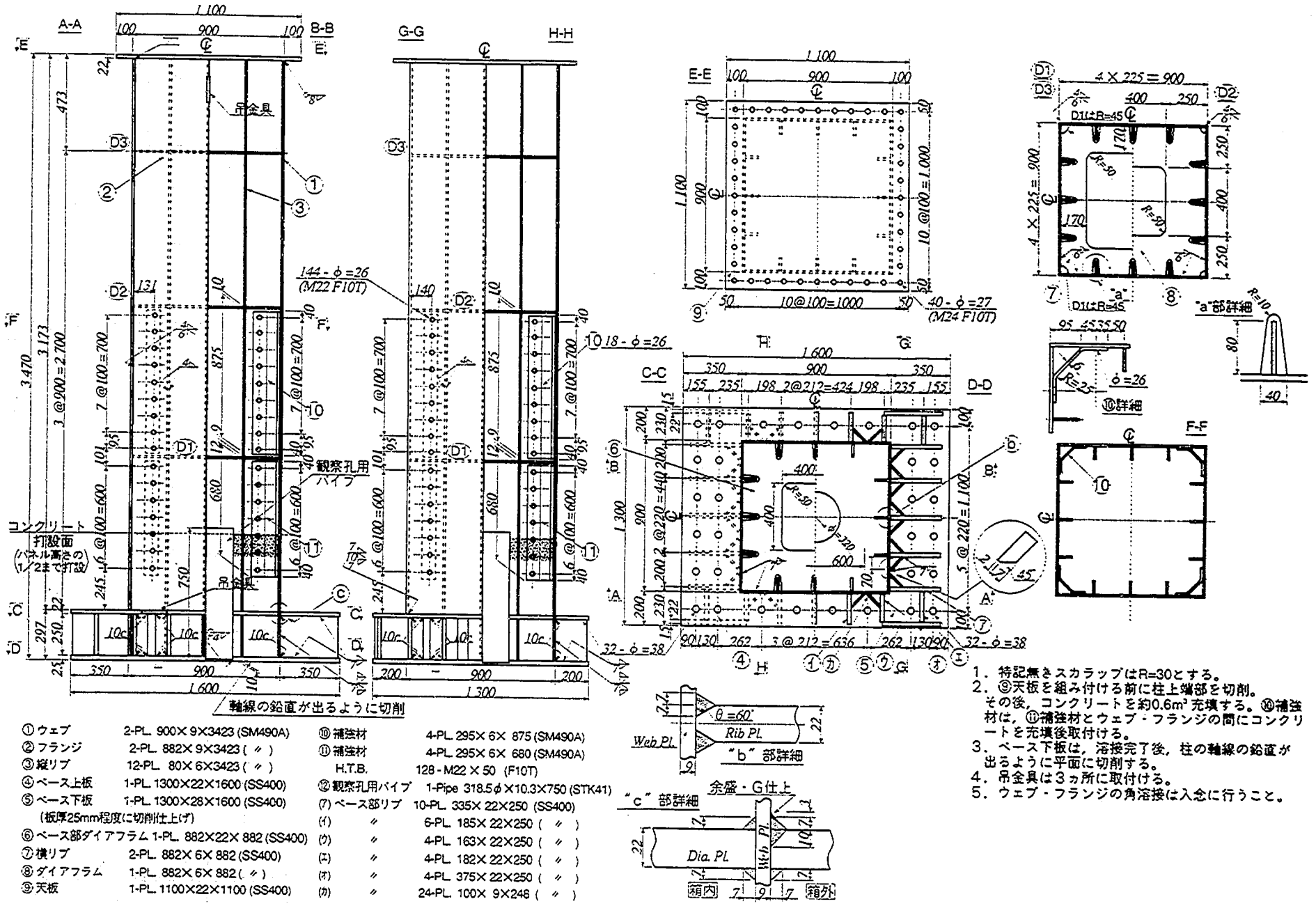
図-2.1.1(7)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No. 12)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑨天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑩観察孔用パイプ | 1-Pipe 318.5 φ×10.3×750 (STK41) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×22×250 (SS400) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (イ) 〃 | 6-PL. 185×22×250 ( 〃 ) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×22×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (エ) 〃 | 4-PL. 182×22×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×22×250 ( 〃 ) |
| ⑦横リブ | 2-PL. 882×6×882 (SS400) | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |
| ⑧ダイアフラム | 1-PL. 882×6×882 ( 〃 ) | | |

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削。
その後，コンクリートを約0.6m³充填する。
3．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。

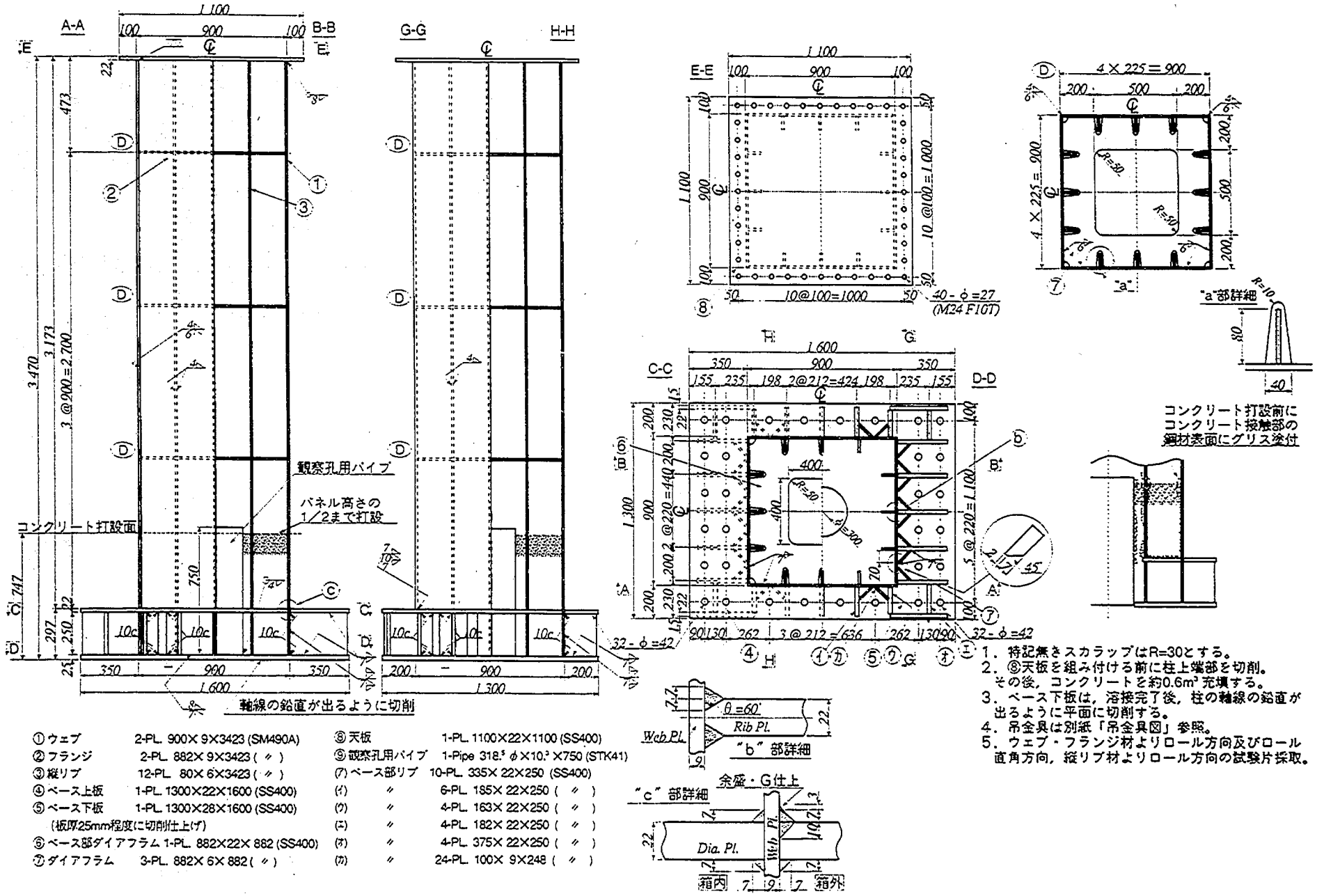
図-2.1.1(8)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No.13)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑩補強材 | 4-PL. 295×6× 875 (SM490A) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑪補強材 | 4-PL. 295×6× 680 (SM490A) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | H.T.B. | 128 - M22 × 50 (F10T) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | ⑫観察孔用パイプ | 1-Pipe 318.5φ×10.3×750 (STK41) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335× 22×250 (SS400) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (イ) 〃 | 6-PL. 185× 22×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22× 882 (SS400) | (ウ) 〃 | 4-PL. 163× 22×250 ( 〃 ) |
| ⑦横リブ | 2-PL. 882× 6× 882 (SS400) | (エ) 〃 | 4-PL. 182× 22×250 ( 〃 ) |
| ⑧ダイアフラム | 1-PL. 882× 6× 882 ( 〃 ) | (オ) 〃 | 4-PL. 375× 22×250 ( 〃 ) |
| ⑨天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) | (カ) 〃 | 24-PL. 100× 9×248 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑨天板を組み付ける前に柱上端部を切削。その後，コンクリートを約0.6m³充填する。⑩補強材は，⑪補強材とウェブ・フランジの間にコンクリートを充填後取付ける。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. 吊金具は3ヵ所に取付ける。
5. ウェブ・フランジの角溶接は入念に行うこと。

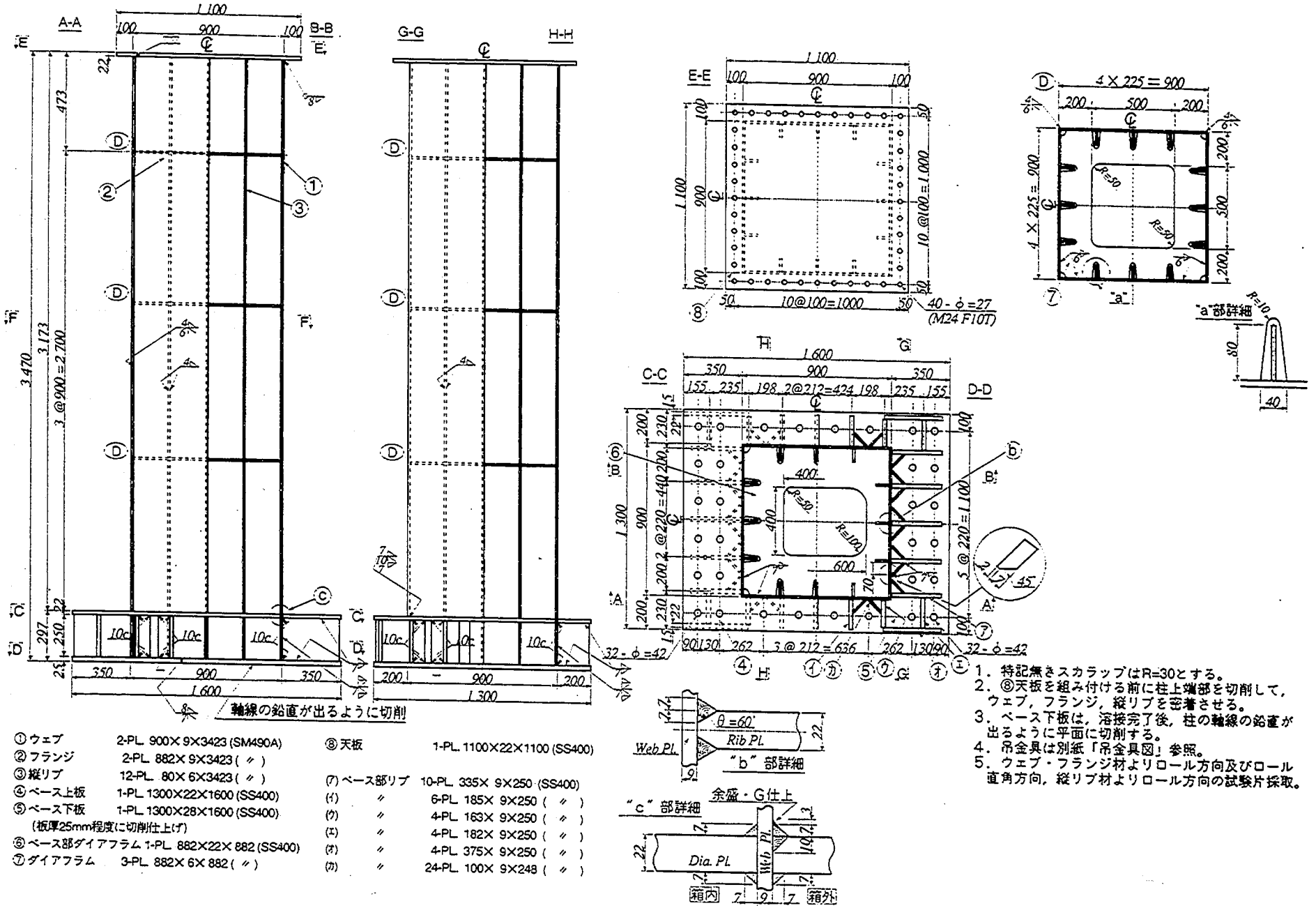
図-2.1.1(9)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No. 14)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑧天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑨観察孔用パイプ | 1-Pipe 318.5 φ×10.3×750 (STK41) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×22×250 (SS400) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (イ) 〃 | 6-PL. 185×22×250 ( 〃 ) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×22×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (エ) 〃 | 4-PL. 182×22×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×22×250 ( 〃 ) |
| ⑦ダイアフラム | 3-PL. 882×6×882 ( 〃 ) | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．⑧天板を組み付ける前に柱上端部を切削。
その後，コンクリートを約0.6m³充填する。
3．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4．吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5．ウェブ・フランジ材よりロール方向及びロール直角方向，縦リブ材よりロール方向の試験片採取。

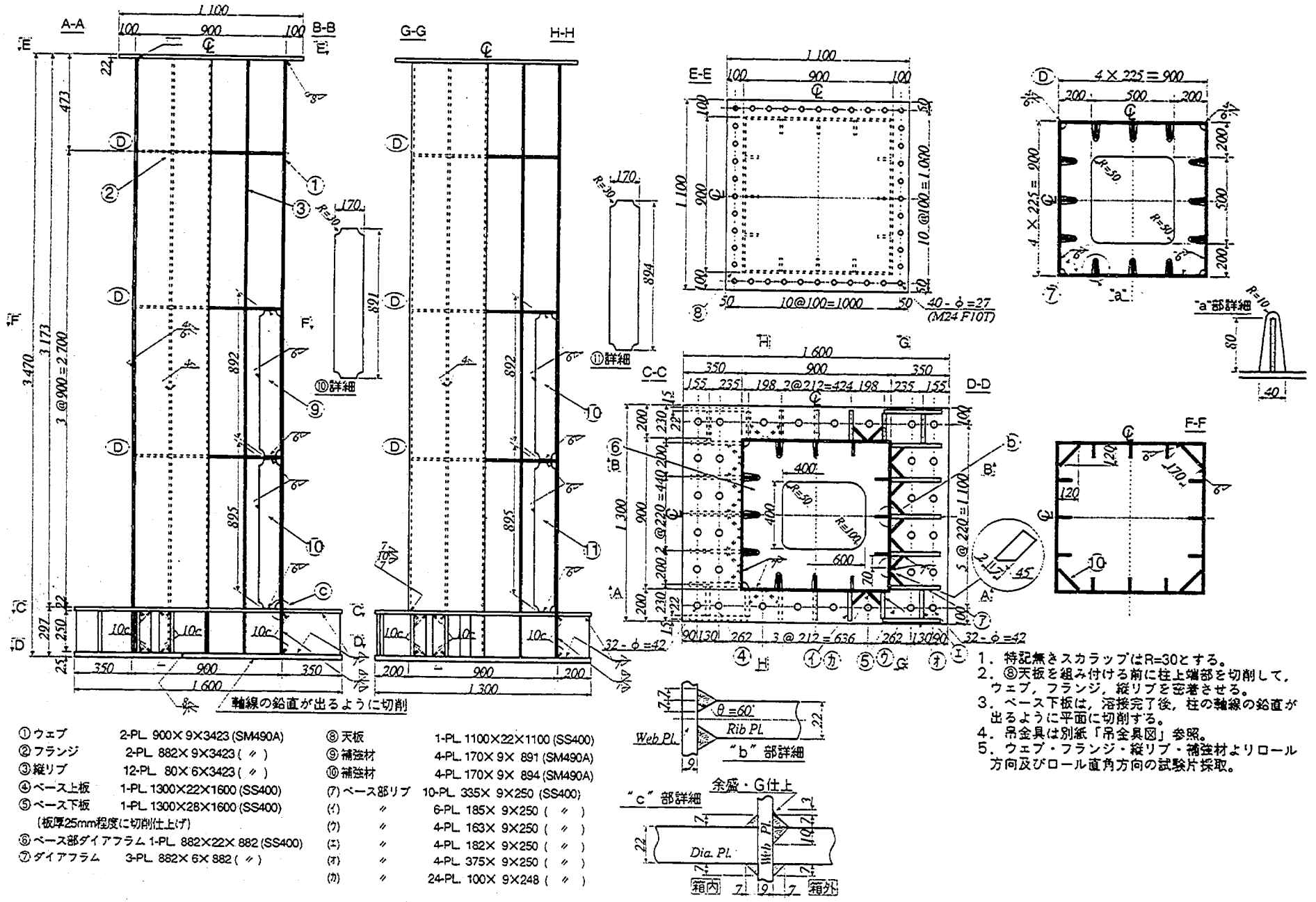
図-2.1.1(10)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No.17)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑧天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | | |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×9×250 (SS400) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (イ) 〃 | 6-PL. 185×9×250 ( 〃 ) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×9×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (エ) 〃 | 4-PL. 182×9×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×9×250 ( 〃 ) |
| ⑦ダイアフラム | 3-PL. 882×6×882 ( 〃 ) | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑧天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. 吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5. ウェブ・フランジ材よりロール方向及びロール直角方向，縦リブ材よりロール方向の試験片採取。

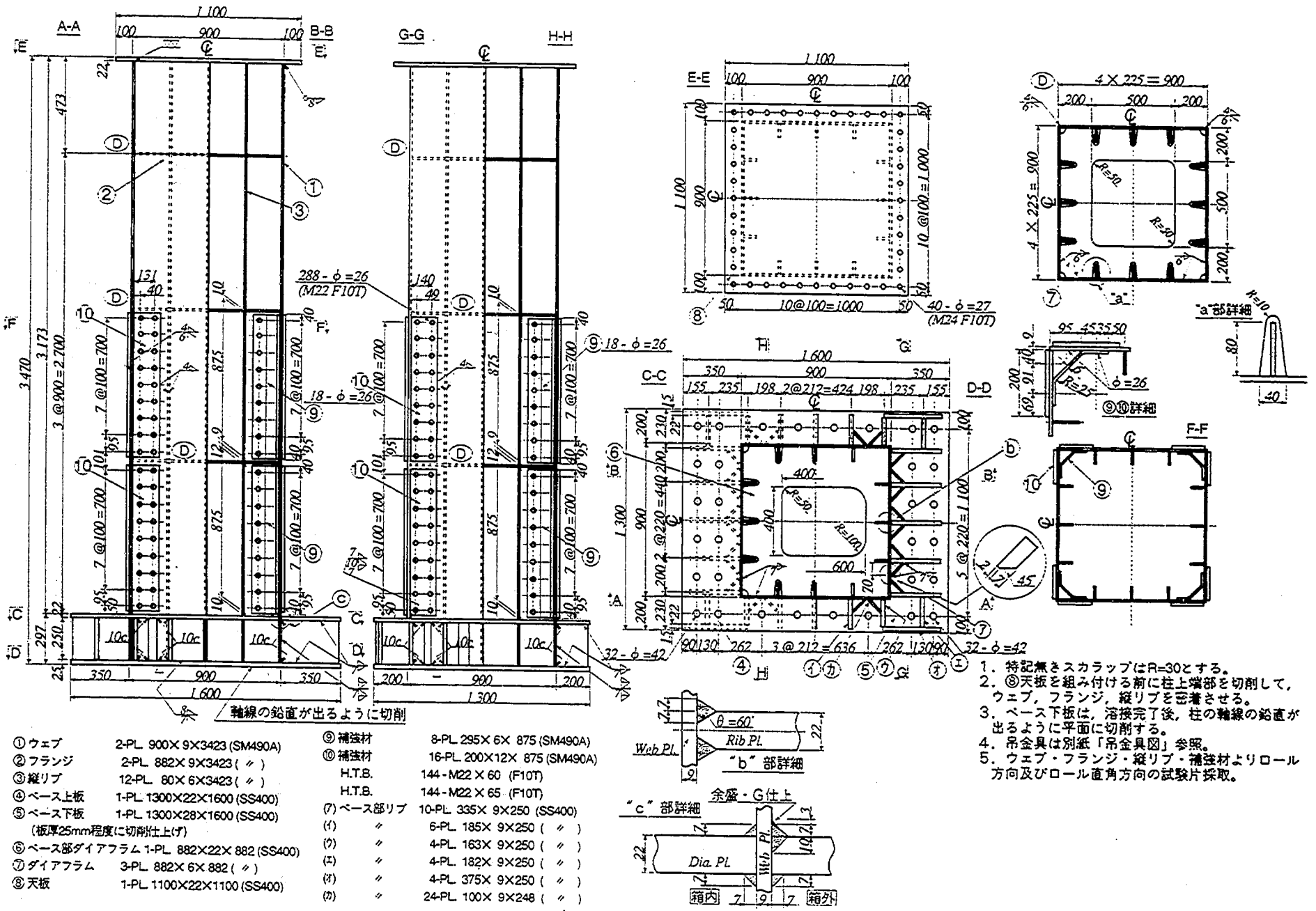
図-2.1.1(11)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No. 18, No. 19, No. 20)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑧天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑨補強材 | 4-PL. 170×9× 891 (SM490A) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | ⑩補強材 | 4-PL. 170×9× 894 (SM490A) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×9×250 (SS400) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (イ) 〃 | 6-PL. 185×9×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×9×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (エ) 〃 | 4-PL. 182×9×250 ( 〃 ) |
| ⑦ダイアフラム | 3-PL. 882×6×882 ( 〃 ) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×9×250 ( 〃 ) |
| | | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑧天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. 吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5. ウェブ・フランジ・縦リブ・補強材よりロール方向及びロール直角方向の試験片採取。

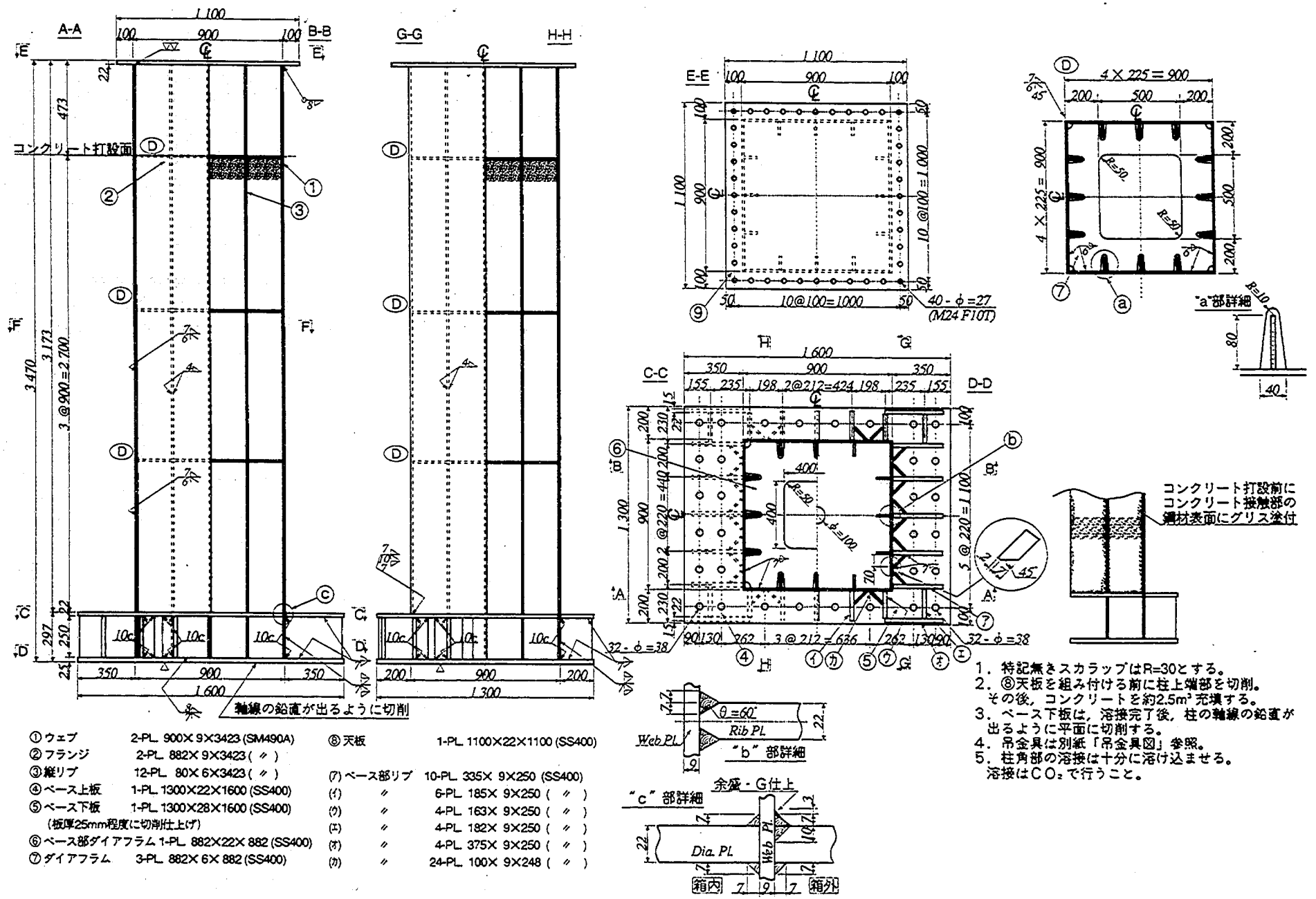
図-2.1.1(12)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No. 22, No. 23, No. 24)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑨補強材 | 8-PL. 295×6× 875 (SM490A) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | ⑩補強材 | 16-PL. 200×12× 875 (SM490A) |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | H.T.B. | 144-M22×60 (F10T) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | H.T.B. | 144-M22×65 (F10T) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×9×250 (SS400) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (イ) 〃 | 6-PL. 185×9×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×9×250 ( 〃 ) |
| ⑦ダイアフラム | 3-PL. 882×6×882 ( 〃 ) | (エ) 〃 | 4-PL. 182×9×250 ( 〃 ) |
| ⑧天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×9×250 ( 〃 ) |
| | | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑧天板を組み付ける前に柱上端部を切削して，ウェブ，フランジ，縦リブを密着させる。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. 吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5. ウェブ・フランジ・縦リブ・補強材よりロール方向及びロール直角方向の試験片採取。

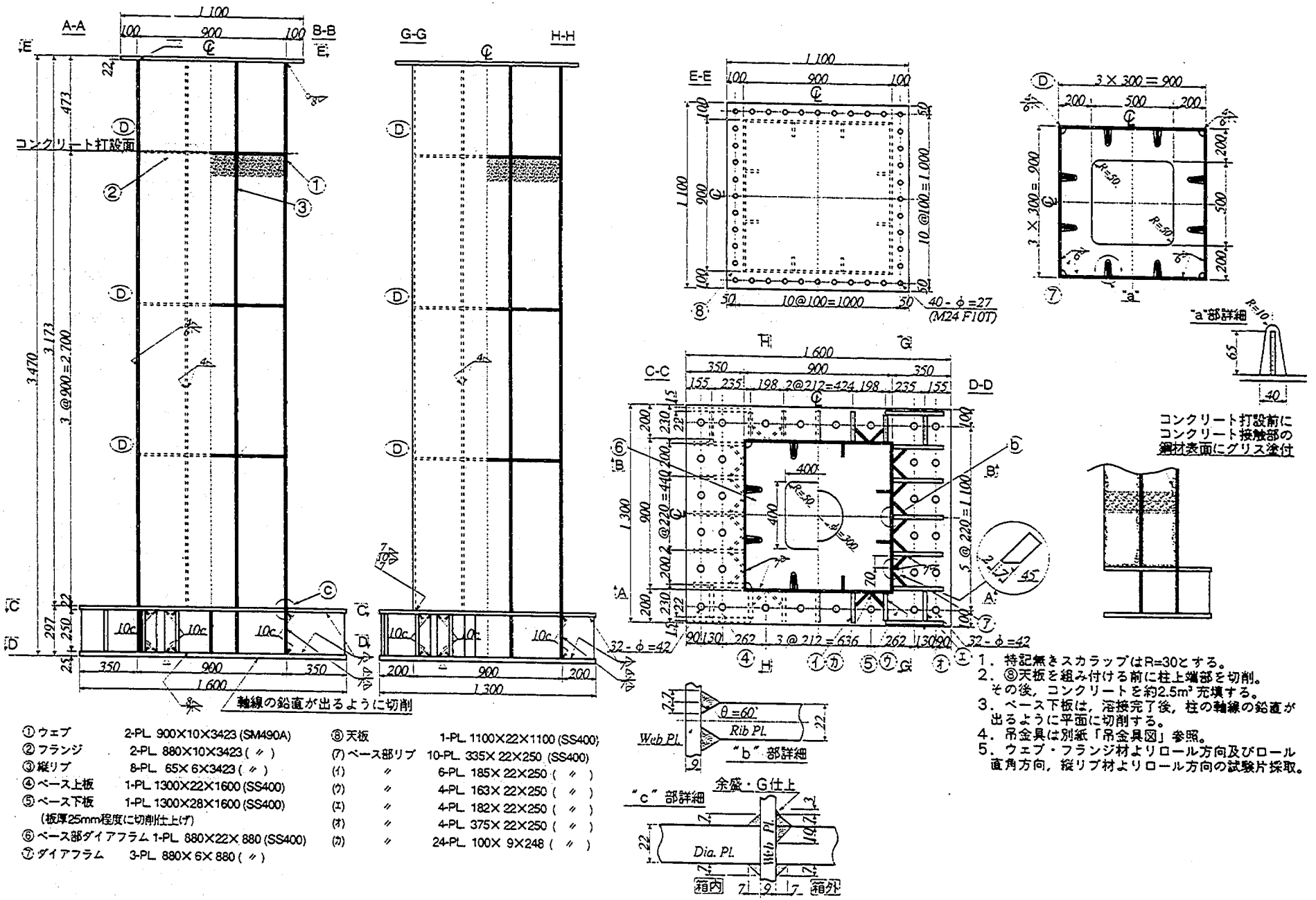
図-2.1.1(13)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No. 25)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×9×3423 (SM490A) | ⑧天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 882×9×3423 ( 〃 ) | | |
| ③縦リブ | 12-PL. 80×6×3423 ( 〃 ) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×9×250 (SS400) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (イ) 〃 | 6-PL. 185×9×250 ( 〃 ) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×9×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (エ) 〃 | 4-PL. 182×9×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882×22×882 (SS400) | (オ) 〃 | 4-PL. 375×9×250 ( 〃 ) |
| ⑦ダイアフラム | 3-PL. 882×6×882 (SS400) | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑧天板を組み付ける前に柱上端部を切削。その後，コンクリートを約2.5m³充填する。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. 吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5. 柱角部の溶接は十分に浴け込ませる。溶接は$CO_2$で行うこと。

図-2.1.1(14)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No. 26)

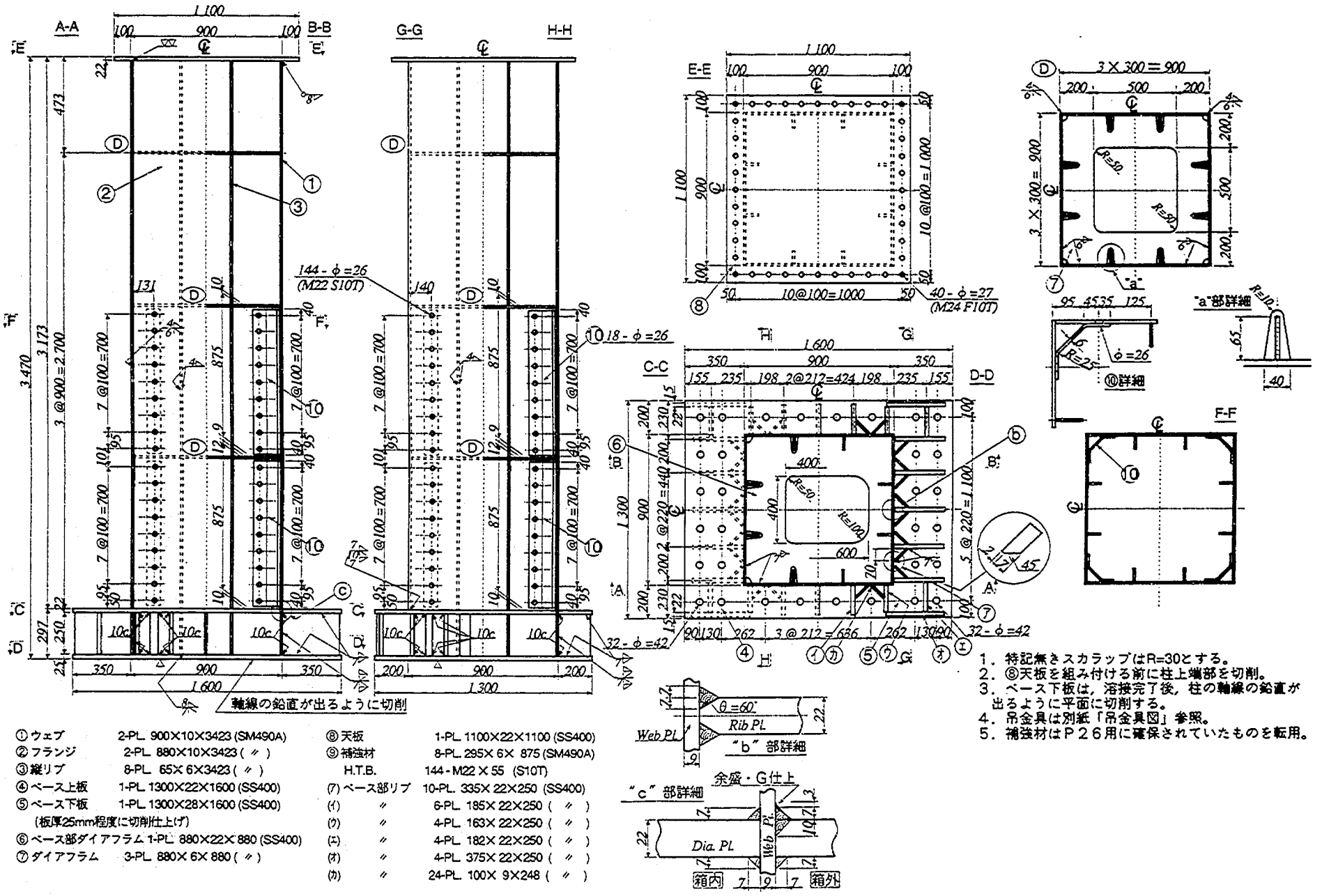



| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×10×3423 (SM490A) | ⑧天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 880×10×3423 ( 〃 ) | (ア)ベース部リブ | 10-PL. 335×22×250 (SS400) |
| ③縦リブ | 8-PL. 65×6×3423 ( 〃 ) | (イ) 〃 | 6-PL. 185×22×250 ( 〃 ) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (ウ) 〃 | 4-PL. 163×22×250 ( 〃 ) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (エ) 〃 | 4-PL. 182×22×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (オ) 〃 | 4-PL. 375×22×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 880×22×880 (SS400) | (カ) 〃 | 24-PL. 100×9×248 ( 〃 ) |
| ⑦ダイアフラム | 3-PL. 880×6×880 ( 〃 ) | | |

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．⑧天板を組み付ける前に柱上端部を切削。
その後，コンクリートを約2.5m³充填する。
3．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4．吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5．ウェブ・フランジ材よりロール方向及びロール直角方向，縦リブ材よりロール方向の試験片採取。

コンクリート打設前にコンクリート接触部の鋼材表面にグリス塗付

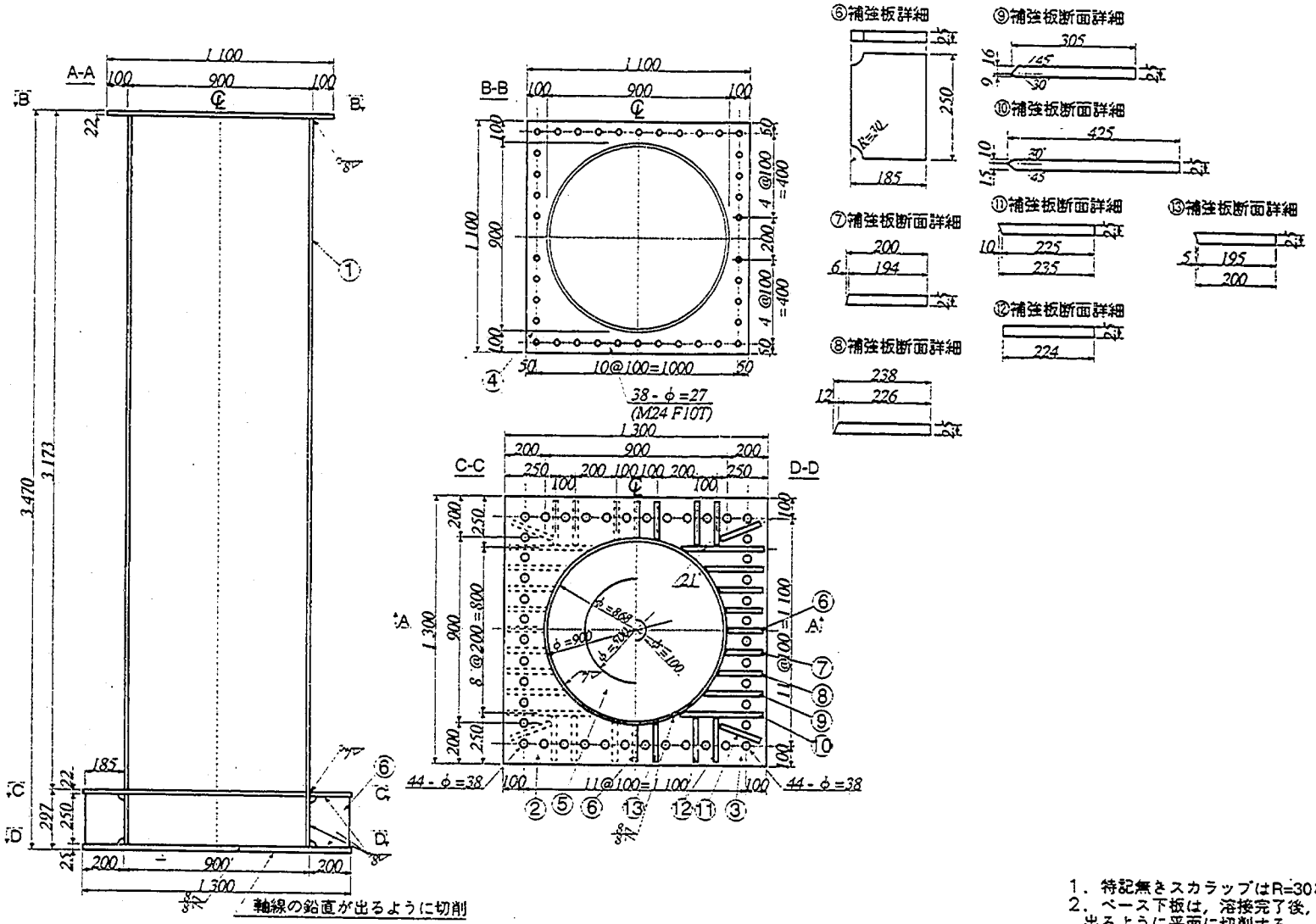
図-2.1.1(15)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No.27)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 2-PL. 900×10×3423 (SM490A) | ⑧天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (SS400) |
| ②フランジ | 2-PL. 880×10×3423 ( 〃 ) | ⑨補強材 | 8-PL. 295× 6× 875 (SM490A) |
| ③縦リブ | 8-PL. 65× 6×3423 ( 〃 ) | H.T.B. | 144-M22×55 (S10T) |
| ④ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | (ア) ベース部リブ | 10-PL. 335× 22×250 (SS400) |
| ⑤ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | (イ) 〃 | 6-PL. 185× 22×250 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | (ウ) 〃 | 4-PL. 163× 22×250 ( 〃 ) |
| ⑥ベース部ダイアフラム | 1-PL. 880×22×880 (SS400) | (エ) 〃 | 4-PL. 182× 22×250 ( 〃 ) |
| ⑦ダイアフラム | 3-PL. 880× 6× 880 ( 〃 ) | (オ) 〃 | 4-PL. 375× 22×250 ( 〃 ) |
| | | (カ) 〃 | 24-PL. 100× 9×248 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ⑧天板を組み付ける前に柱上端部を切削。
3. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. 吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5. 補強材はＰ２６用に確保されていたものを転用。

図-2.1.1(16)　矩形断面供試体の形状・寸法 (No.28)

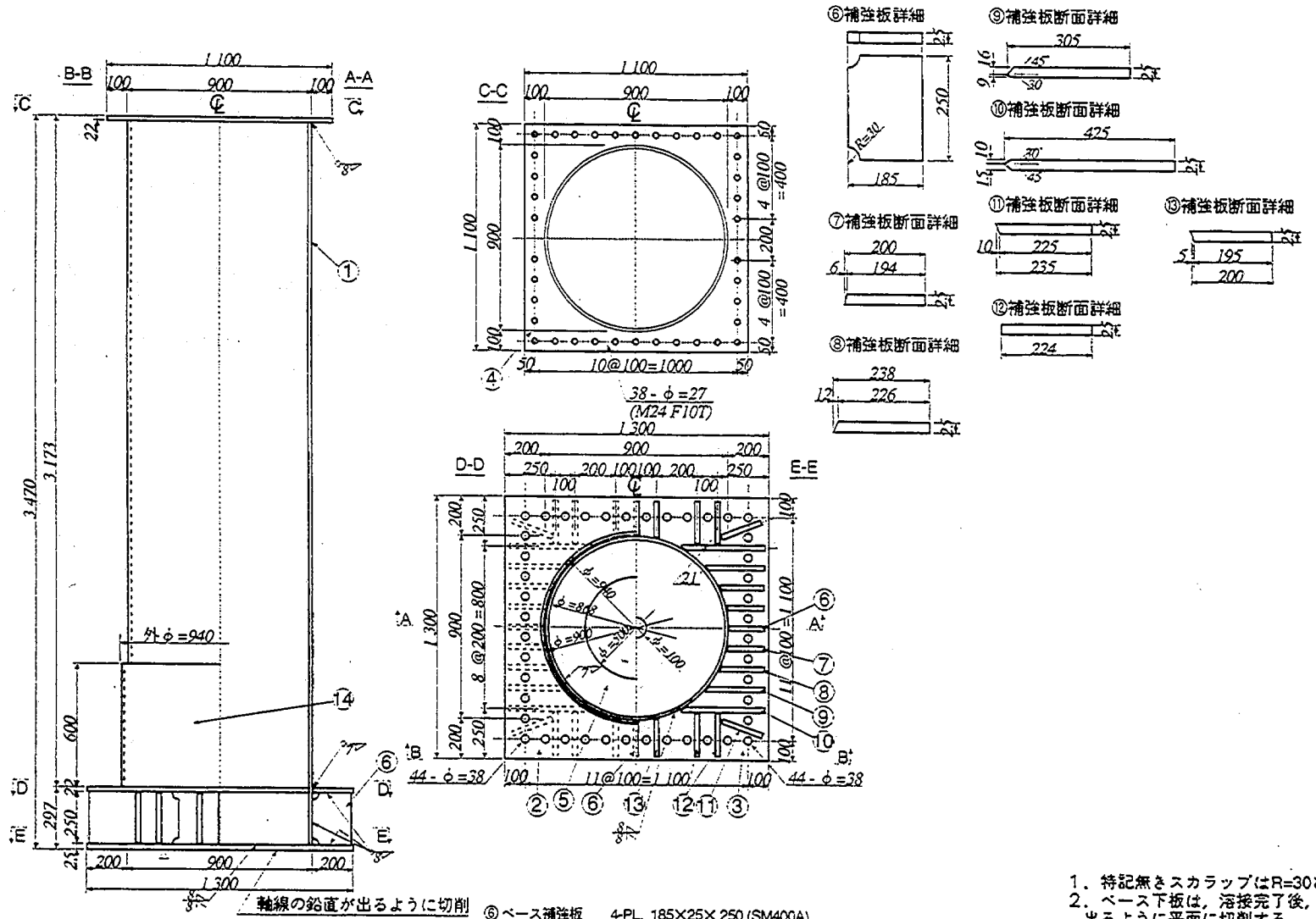



①パイプ（外径φ=900） 1-PL. 2827×16×3423 (SM490A)
②ベース上板 1-PL. 1300×22×1300 (SS400)
③ベース下板 1-PL. 1300×28×1300 (SM400A)
（板厚25mm程度に切削仕上げ）
④天板 1-PL. 1100×22×1100 (SS400)
⑤ベース部ダイアフラム 1-PL. 868φ×22 (SS400)

⑥ベース補強板 4-PL. 185×25×250 (SM400A)
⑦ベース補強板 4-PL. 200×25×250 (SM400A)
⑧ベース補強板 4-PL. 238×25×250 (SM400A)
⑨ベース補強板 4-PL. 250×25×305 (SM400A)
⑩ベース補強板 4-PL. 250×25×425 (SM400A)
⑪ベース補強板 4-PL. 235×25×250 (SM400A)
⑫ベース補強板 8-PL. 224×25×250 (SM400A)
⑬ベース補強板 4-PL. 200×25×250 (SM400A)

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。

図-2.1.2(1)　円形断面供試体の形状・寸法（No.6）

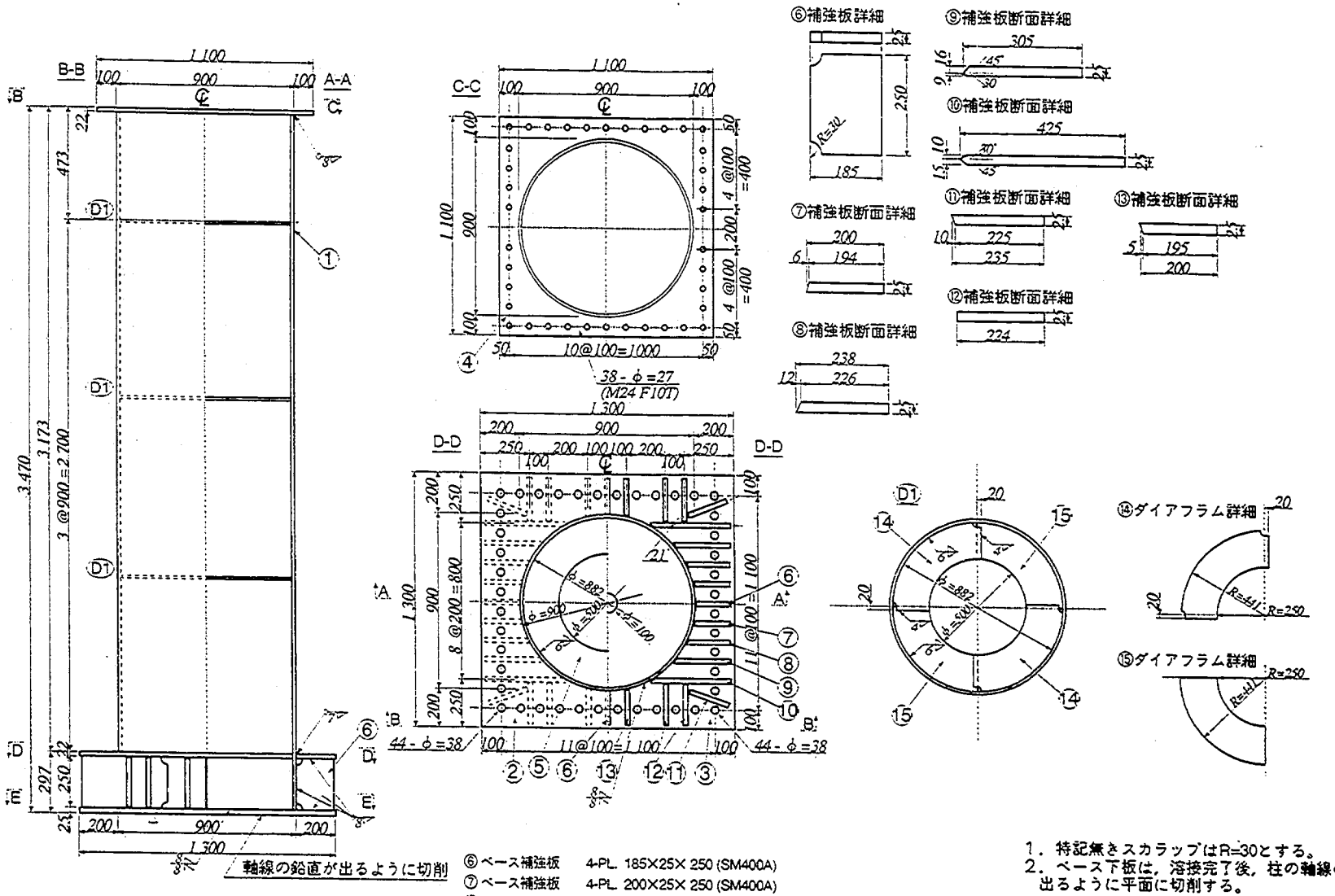



①パイプ（外径φ=900） 1-PL. 2827×16×3423 (SM490A)
②ベース上板 1-PL. 1300×22×1300 (SS400)
③ベース下板 1-PL. 1300×28×1300 (SM400A)
（板厚25mm程度に切削仕上げ）
④天板 1-PL. 1100×22×1100 (SS400)
⑤ベース部ダイアフラム 1-PL. 868φ×22 (SS400)

⑥ベース補強板 4-PL. 185×25×250 (SM400A)
⑦ベース補強板 4-PL. 200×25×250 (SM400A)
⑧ベース補強板 4-PL. 238×25×250 (SM400A)
⑨ベース補強板 4-PL. 250×25×305 (SM400A)
⑩ベース補強板 4-PL. 250×25×425 (SM400A)
⑪ベース補強板 4-PL. 235×25×250 (SM400A)
⑫ベース補強板 8-PL. 224×25×250 (SM400A)
⑬ベース補強板 4-PL. 200×25×250 (SM400A)
⑭補強材 1-PL. 600×9×2953 (SS400)

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
3．⑭補強材は，ベース部には溶接しない。
（供試体との隙間は約10mm程度となる）

図-2.1.2(2) 円形断面供試体の形状・寸法 (No.7)

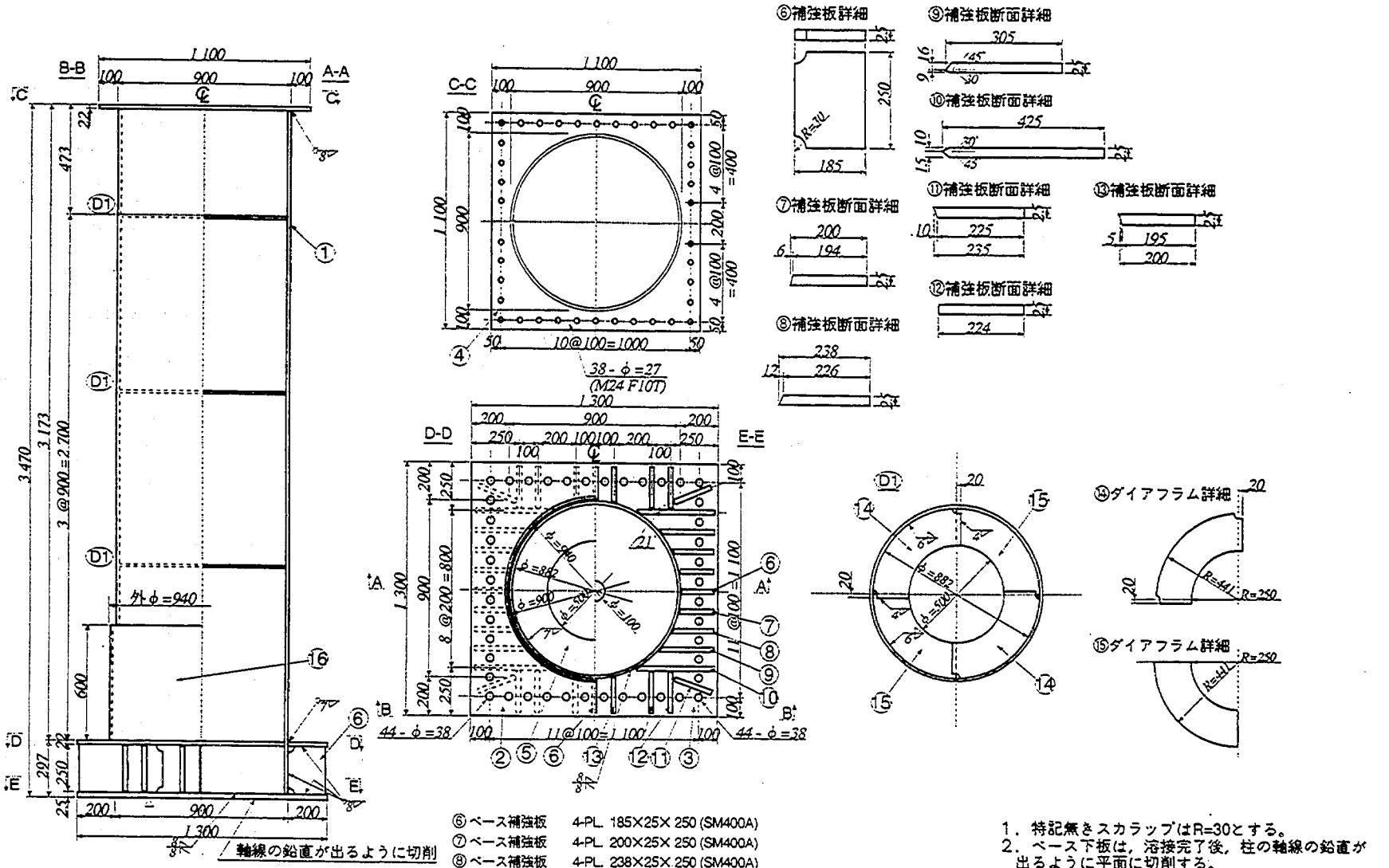



① パイプ（外径φ＝900） 1-PL. 2827× 9×3423 (SS400)
② ベース上板 1-PL. 1300×22×1300 (SS400)
③ ベース下板 1-PL. 1300×28×1300 (SM400A)
〔板厚25mm程度に切削仕上げ〕
④ 天板 1-PL. 1100×22×1100 (SS400)
⑤ ベース部ダイアフラム 1-PL. 882φ×22 (SS400)

⑥ ベース補強板 4-PL. 185×25× 250 (SM400A)
⑦ ベース補強板 4-PL. 200×25× 250 (SM400A)
⑧ ベース補強板 4-PL. 238×25× 250 (SM400A)
⑨ ベース補強板 4-PL. 250×25× 305 (SM400A)
⑩ ベース補強板 4-PL. 250×25× 425 (SM400A)
⑪ ベース補強板 4-PL. 235×25× 250 (SM400A)
⑫ ベース補強板 8-PL. 224×25× 250 (SM400A)
⑬ ベース補強板 4-PL. 200×25× 250 (SM400A)
⑭ ダイアフラム 2-PL. 461× 6×461 (SS400)
⑮ ダイアフラム 2-PL. 441× 6×441 (SS400)

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。

図-2.1.2(3)　円形断面供試体の形状・寸法 (No. 8)

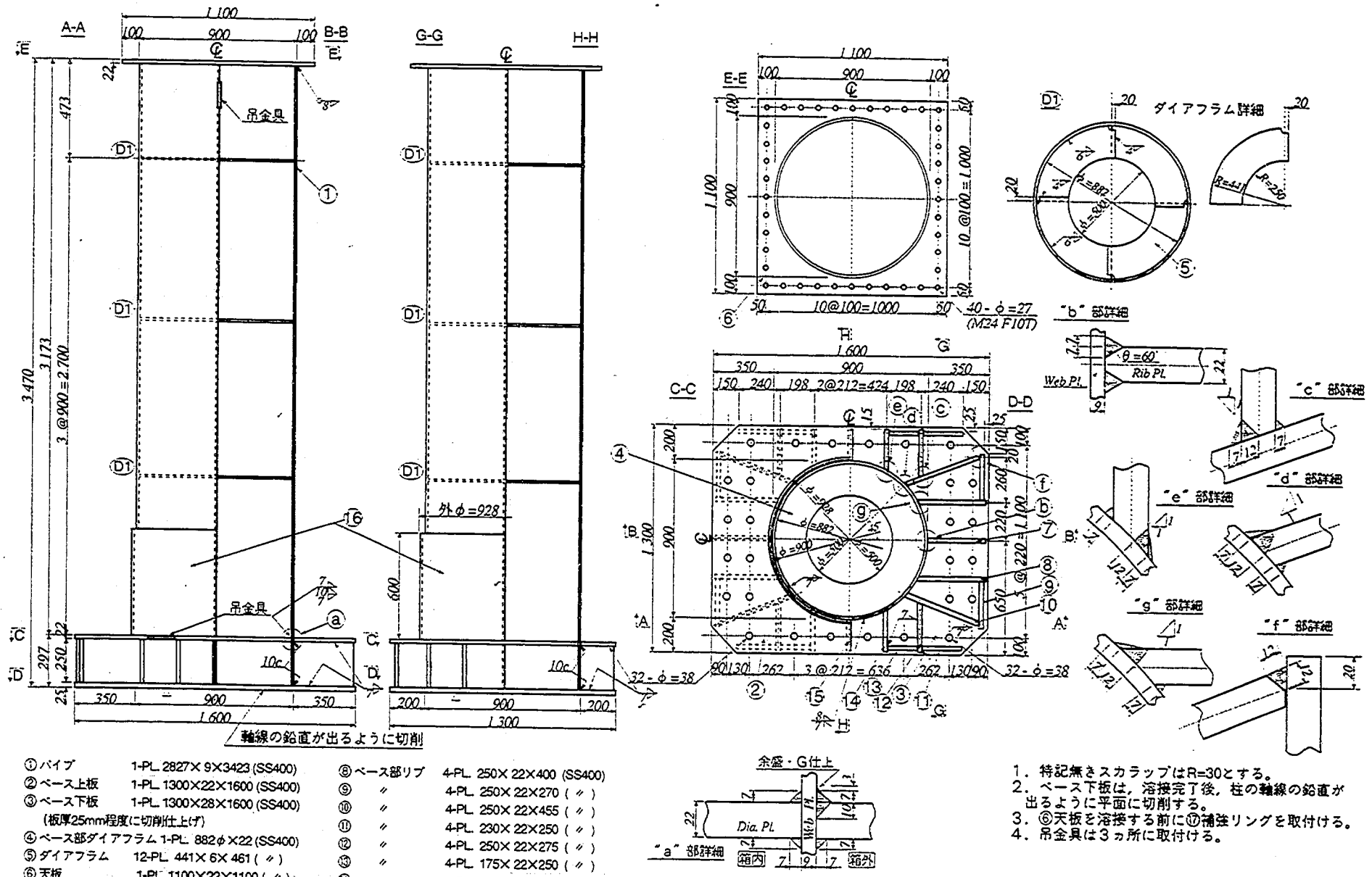



①パイプ（外径φ=900）1-PL. 2827×9×3423 (SS400)
②ベース上板　1-PL. 1300×22×1300 (SS400)
③ベース下板　1-PL. 1300×28×1300 (SM400A)
（板厚25mm程度に切削仕上げ）
④天板　1-PL. 1100×22×1100 (SS400)
⑤ベース部ダイアフラム　1-PL. 882φ×22 (SS400)

⑥ベース補強板　4-PL. 185×25×250 (SM400A)
⑦ベース補強板　4-PL. 200×25×250 (SM400A)
⑧ベース補強板　4-PL. 238×25×250 (SM400A)
⑨ベース補強板　4-PL. 250×25×305 (SM400A)
⑩ベース補強板　4-PL. 250×25×425 (SM400A)
⑪ベース補強板　4-PL. 235×25×250 (SM400A)
⑫ベース補強板　8-PL. 224×25×250 (SM400A)
⑬ベース補強板　4-PL. 200×25×250 (SM400A)
⑭ダイアフラム　2-PL. 461×6×461 (SS400)
⑮ダイアフラム　2-PL. 441×6×441 (SS400)
⑯補強材　1-PL. 600×9×2953 (SS400)

1．特記無きスカラップはR=30とする。
2．ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
3．⑯補強材は，ベース部には溶接しない。
（供試体との隙間は約10mm程度となる）

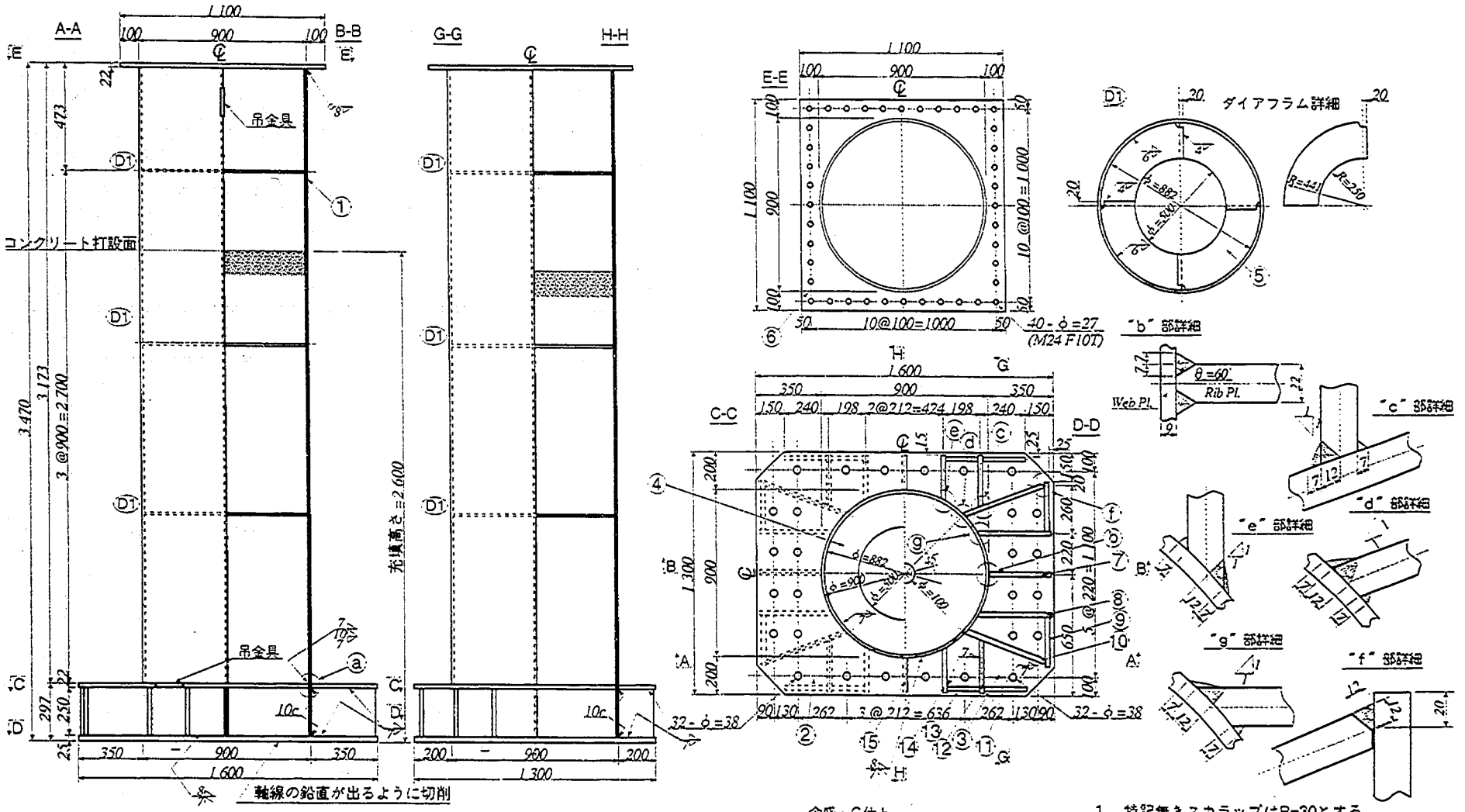
図-2.1.2(4)　円形断面供試体の形状・寸法 (No.9)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①パイプ | 1-PL. 2827×9×3423 (SS400) | ⑧ベース部リブ | 4-PL. 250×22×400 (SS400) |
| ②ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | ⑨ 〃 | 4-PL. 250×22×270 ( 〃 ) |
| ③ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | ⑩ 〃 | 4-PL. 250×22×455 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | ⑪ 〃 | 4-PL. 230×22×250 ( 〃 ) |
| ④ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882φ×22 (SS400) | ⑫ 〃 | 4-PL. 250×22×275 ( 〃 ) |
| ⑤ダイアフラム | 12-PL. 441×6×461 ( 〃 ) | ⑬ 〃 | 4-PL. 175×22×250 ( 〃 ) |
| ⑥天板 | 1-PL. 1100×22×1100 ( 〃 ) | ⑭ 〃 | 4-PL. 250×22×250 ( 〃 ) |
| ⑦ベース部リブ | 2-PL. 250×22×335 (SS400) | ⑮ 〃 | 2-PL. 185×22×250 ( 〃 ) |
| | | ⑯補強リング | 1-PL. 600×9×2915 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
3. ⑥天板を溶接する前に⑰補強リングを取付ける。
4. 吊金具は3ヵ所に取付ける。

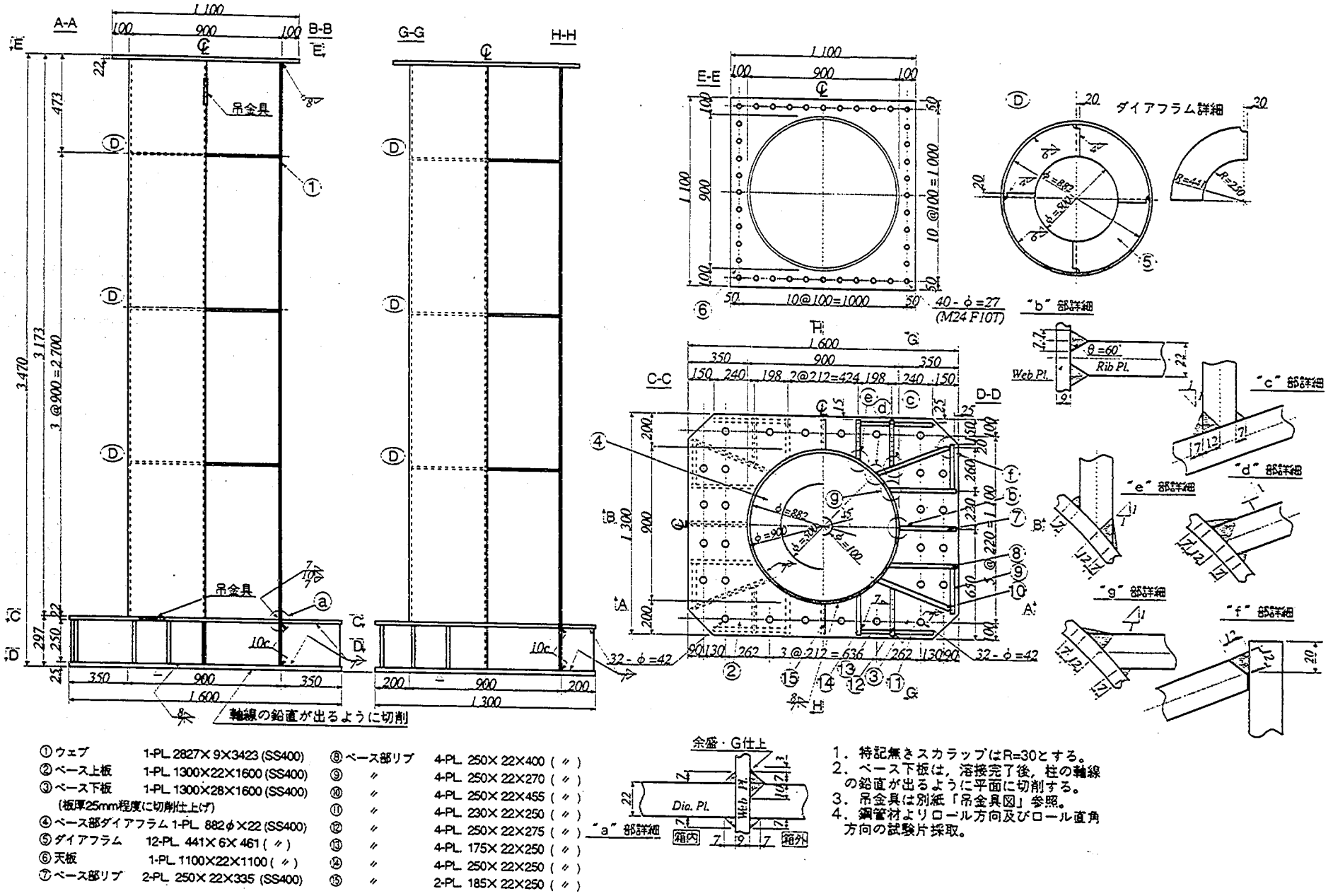
図-2.1.2(5)　円形断面供試体の形状・寸法 (No. 15)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 1-PL. 2827×9×3423 (SS400) | ⑧ベース部リブ | 4-PL. 250×22×400 (〃) |
| ②ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | ⑨ 〃 | 4-PL. 250×22×270 (〃) |
| ③ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | ⑩ 〃 | 4-PL. 250×22×455 (〃) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | ⑪ 〃 | 4-PL. 230×22×250 (〃) |
| ④ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882φ×22 (SS400) | ⑫ 〃 | 4-PL. 250×22×275 (〃) |
| ⑤ダイアフラム | 12-PL. 441×6×461 (〃) | ⑬ 〃 | 4-PL. 175×22×250 (〃) |
| ⑥天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (〃) | ⑭ 〃 | 4-PL. 250×22×250 (〃) |
| ⑦ベース部リブ | 2-PL. 250×22×335 (SS400) | ⑮ 〃 | 2-PL. 185×22×250 (〃) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
3. ⑥天板を溶接する前にコンクリートを約1.6m³充填する。
4. 吊金具は3ヵ所に取付ける。

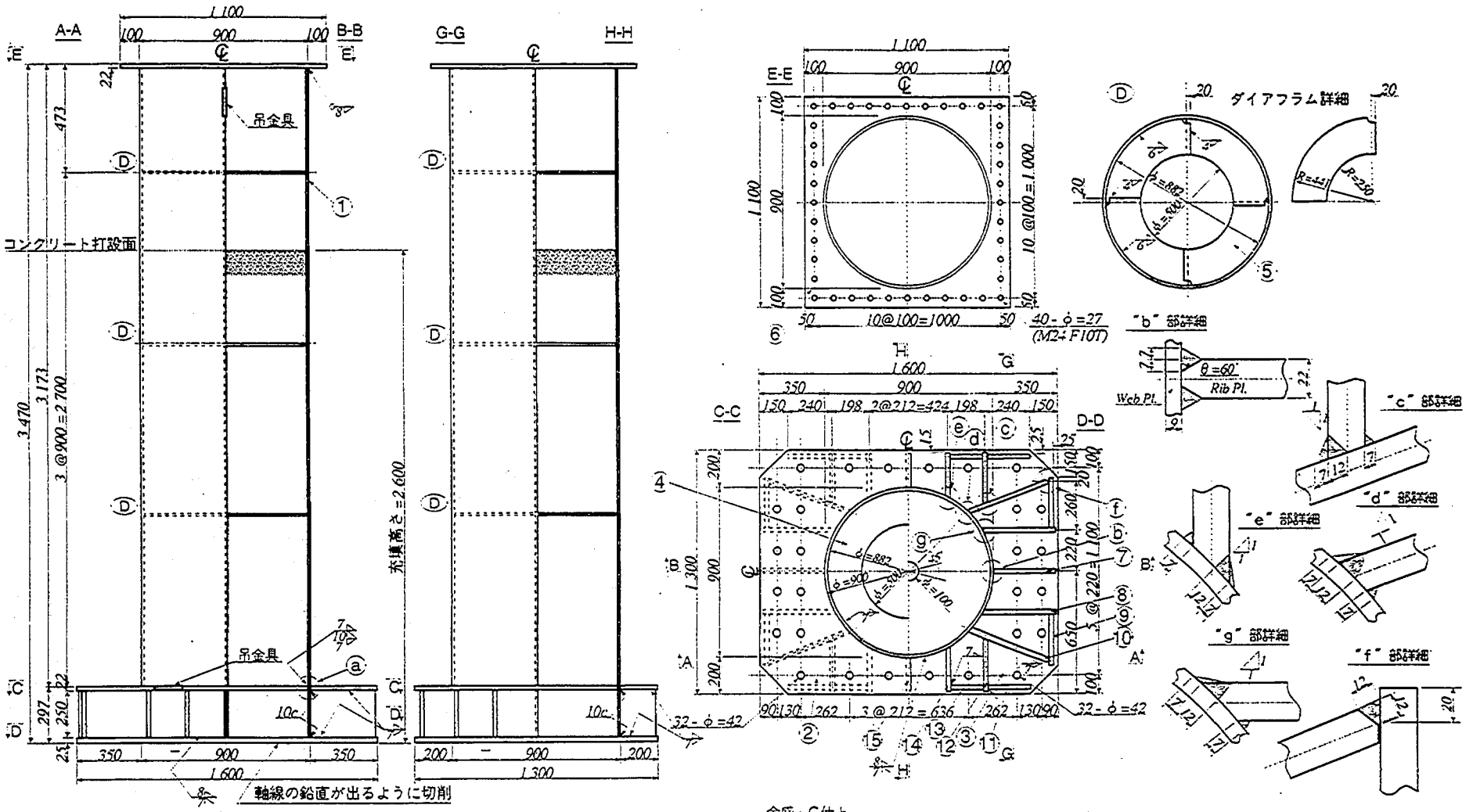
図-2.1.2(6)　円形断面供試体の形状・寸法 (No. 16)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 1-PL. 2827×9×3423 (SS400) | ⑧ベース部リブ | 4-PL. 250×22×400 (〃) |
| ②ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | ⑨ 〃 | 4-PL. 250×22×270 (〃) |
| ③ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | ⑩ 〃 | 4-PL. 250×22×455 (〃) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | ⑪ 〃 | 4-PL. 230×22×250 (〃) |
| ④ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882φ×22 (SS400) | ⑫ 〃 | 4-PL. 250×22×275 (〃) |
| ⑤ダイアフラム | 12-PL. 441×6×461 (〃) | ⑬ 〃 | 4-PL. 175×22×250 (〃) |
| ⑥天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (〃) | ⑭ 〃 | 4-PL. 250×22×250 (〃) |
| ⑦ベース部リブ | 2-PL. 250×22×335 (SS400) | ⑮ 〃 | 2-PL. 185×22×250 (〃) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
3. 吊金具は別紙「吊金具図」参照。
4. 鋼管材よりロール方向及びロール直角方向の試験片採取。

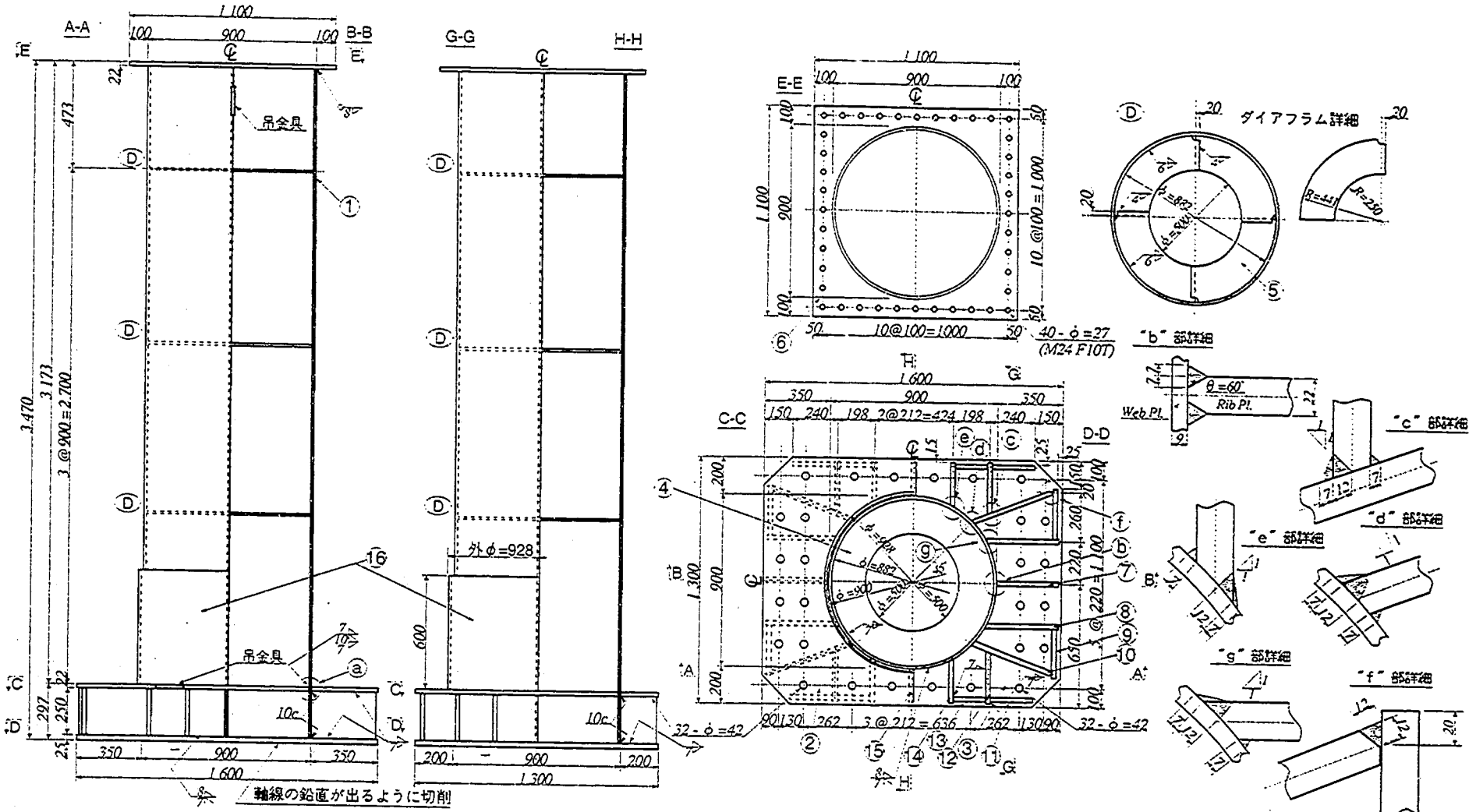
図-2.1.2(7)　円形断面供試体の形状・寸法 (No. 29)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 1-PL. 2827×9×3423 (SS400) | ⑧ベース部リブ | 4-PL. 250×22×400 ( 〃 ) |
| ②ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | ⑨ 〃 | 4-PL. 250×22×270 ( 〃 ) |
| ③ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | ⑩ 〃 | 4-PL. 250×22×455 ( 〃 ) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | ⑪ 〃 | 4-PL. 230×22×250 ( 〃 ) |
| ④ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882φ×22 (SS400) | ⑫ 〃 | 4-PL. 250×22×275 ( 〃 ) |
| ⑤ダイアフラム | 12-PL. 441×6×461 ( 〃 ) | ⑬ 〃 | 4-PL. 175×22×250 ( 〃 ) |
| ⑥天板 | 1-PL. 1100×22×1100 ( 〃 ) | ⑭ 〃 | 4-PL. 250×22×250 ( 〃 ) |
| ⑦ベース部リブ | 2-PL. 250×22×335 (SS400) | ⑮ 〃 | 2-PL. 185×22×250 ( 〃 ) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
3. ⑥天板を溶接する前にコンクリートを約1.7m³充填する。
4. 吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5. 鋼管材よりロール方向及びロール直角方向の試験片採取。

図-2.1.2(8)　円形断面供試体の形状・寸法 (No.30)




| | | | |
|---|---|---|---|
| ①ウェブ | 1-PL. 2827×9×3423 (SS400) | ⑧ベース部リブ | 4-PL. 250×22×400 (〃) |
| ②ベース上板 | 1-PL. 1300×22×1600 (SS400) | ⑨ 〃 | 4-PL. 250×22×270 (〃) |
| ③ベース下板 | 1-PL. 1300×28×1600 (SS400) | ⑩ 〃 | 4-PL. 250×22×455 (〃) |
| (板厚25mm程度に切削仕上げ) | | ⑪ 〃 | 4-PL. 230×22×250 (〃) |
| ④ベース部ダイアフラム | 1-PL. 882φ×22 (SS400) | ⑫ 〃 | 4-PL. 250×22×275 (〃) |
| ⑤ダイアフラム | 12-PL. 441×6×461 (〃) | ⑬ 〃 | 4-PL. 175×22×250 (〃) |
| ⑥天板 | 1-PL. 1100×22×1100 (〃) | ⑭ 〃 | 4-PL. 250×22×250 (〃) |
| ⑦ベース部リブ | 2-PL. 250×22×335 (SS400) | ⑮ 〃 | 2-PL. 185×22×250 (〃) |
| | | ⑯補強リング | 1-PL. 600×9×2915 (〃) |

1. 特記無きスカラップはR=30とする。
2. ベース下板は，溶接完了後，柱の軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
3. ⑥天板を溶接する前にコンクリートを約1.6m³充填する。
4. 吊金具は別紙「吊金具図」参照。
5. 鋼管材よりロール方向及びロール直角方向の試験片採取。

図-2.1.2(9)　円形断面供試体の形状・寸法 (No.31)

表-2.1.4(1) 材料試験結果（矩形断面）

| 供試体番号 | 板取方向 | 試験片番号 | 板厚 (mm) | 幅 (mm) | 断面積 ($mm^2$) | 上降伏点 ($kgf/cm^2$) | 下降伏点 ($kgf/cm^2$) | 引張強度 ($kgf/cm^2$) | 破断伸び (mm) | 破断伸び (%) | 材質 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 2 | L | P7 | 9.06 | 24.99 | 226.41 | 4045 | 3884 | 5625 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P8 | 9.05 | 25.00 | 226.25 | 4048 | 3887 | 5620 | 18 | 36 | SM490 |
| | L | P9 | 9.03 | 25.00 | 225.75 | 4102 | 3873 | 5633 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.05 | 25.00 | 226.14 | 4065 | 3882 | 5626 | 18 | 36 | |
| | C | P10 | 9.09 | 25.00 | 227.25 | 4039 | 3814 | 5577 | 19 | 39 | SM490 |
| | C | P11 | 9.09 | 25.01 | 227.34 | 4047 | 3846 | 5584 | 21 | 42 | SM490 |
| | C | P12 | 9.04 | 25.01 | 226.09 | 4005 | 3867 | 5678 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.07 | 25.01 | 226.89 | 4030 | 3842 | 5613 | 19 | 39 | |
| | | 総平均 | 9.06 | 25.00 | 226.52 | 4050 | 3860 | 5620 | 19 | 38 | |
| No. 3 | L | P13 | 9.06 | 24.99 | 226.41 | 3928 | 3716 | 5616 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P14 | 9.07 | 25.01 | 226.84 | 3866 | 3697 | 5587 | 18 | 36 | SM490 |
| | L | P15 | 9.00 | 24.99 | 224.91 | 4099 | 3854 | 5608 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.04 | 25.00 | 226.05 | 3964 | 3755 | 5604 | 18 | 36 | |
| | C | P16 | 9.08 | 25.00 | 227.00 | 3908 | 3762 | 5583 | 19 | 37 | SM490 |
| | C | P17 | 9.08 | 25.01 | 227.09 | 3925 | 3761 | 5590 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P18 | 9.03 | 25.01 | 225.84 | 3847 | 3725 | 5594 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.06 | 25.01 | 226.64 | 3894 | 3749 | 5589 | 18 | 36 | |
| | | 総平均 | 9.05 | 25.00 | 226.35 | 3930 | 3750 | 5600 | 18 | 36 | |
| No. 4 | L | P19 | 9.08 | 24.99 | 226.91 | 3982 | 3752 | 5613 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P20 | 9.08 | 25.01 | 227.09 | 4015 | 3749 | 5590 | 18 | 36 | SM490 |
| | L | P21 | 9.03 | 25.00 | 225.75 | 4120 | 3851 | 5605 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.06 | 25.00 | 226.58 | 4039 | 3784 | 5603 | 18 | 36 | |
| | C | P22 | 9.10 | 24.99 | 227.41 | 3973 | 3766 | 5591 | 19 | 37 | SM490 |
| | C | P23 | 9.10 | 24.99 | 227.41 | 3946 | 3778 | 5600 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P24 | 9.04 | 24.98 | 225.82 | 3911 | 3748 | 5631 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.08 | 24.99 | 226.88 | 3943 | 3764 | 5608 | 18 | 36 | |
| | | 総平均 | 9.07 | 24.99 | 226.73 | 3990 | 3770 | 5610 | 18 | 36 | |
| No. 5 | L | P25 | 9.05 | 25.00 | 226.25 | 3948 | 3763 | 5602 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P26 | 9.05 | 24.99 | 226.16 | 3977 | 3799 | 5622 | 18 | 36 | SM490 |
| | L | P27 | 9.03 | 25.02 | 225.93 | 4072 | 3825 | 5573 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.04 | 25.00 | 226.11 | 3999 | 3796 | 5599 | 18 | 36 | |
| | C | P28 | 9.08 | 25.00 | 227.00 | 3962 | 3717 | 5574 | 19 | 37 | SM490 |
| | C | P29 | 9.08 | 25.01 | 227.09 | 3934 | 3761 | 5581 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P30 | 9.01 | 25.00 | 225.25 | 3885 | 3735 | 5608 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.06 | 25.00 | 226.45 | 3927 | 3737 | 5588 | 18 | 36 | |
| | | 総平均 | 9.05 | 25.00 | 226.28 | 3960 | 3770 | 5590 | 18 | 36 | |
| No. 10 | L | P73 | 9.23 | 24.98 | 230.57 | 4201 | 4002 | 5537 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P74 | 9.27 | 24.98 | 231.56 | 4183 | 3908 | 5504 | 18 | 36 | SM490 |
| | L | P75 | 9.23 | 25.07 | 231.40 | 4153 | 3922 | 5521 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.24 | 25.01 | 231.18 | 4179 | 3944 | 5521 | 18 | 36 | |
| | C | P76 | 9.20 | 25.07 | 230.64 | 4145 | 3979 | 5508 | 19 | 37 | SM490 |
| | C | P77 | 9.19 | 24.98 | 229.57 | 4109 | 3931 | 5498 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P78 | 9.18 | 24.97 | 229.22 | 3915 | 3826 | 5471 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.19 | 25.01 | 229.81 | 4056 | 3912 | 5493 | 18 | 36 | |
| | | 総平均 | 9.22 | 25.01 | 230.49 | 4120 | 3930 | 5510 | 18 | 36 | |
| No. 11～14 | L | P79 | 9.10 | 25.08 | 228.23 | 4110 | 3865 | 5495 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P80 | 9.10 | 24.97 | 227.23 | 4128 | 3826 | 5501 | 18 | 36 | SM490 |
| | L | P81 | 9.11 | 24.97 | 227.48 | 4037 | 3799 | 5477 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.10 | 25.01 | 227.64 | 4092 | 3830 | 5491 | 18 | 36 | |
| | C | P82 | 9.08 | 24.97 | 226.73 | 3935 | 3710 | 5455 | 19 | 37 | SM490 |
| | C | P83 | 9.07 | 25.08 | 227.48 | 3956 | 3743 | 5455 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P84 | 9.08 | 24.97 | 226.73 | 3901 | 3688 | 5455 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.08 | 25.01 | 226.98 | 3931 | 3714 | 5455 | 18 | 36 | |
| | | 総平均 | 9.09 | 25.01 | 227.31 | 4010 | 3770 | 5470 | 18 | 36 | |
| No. 17 | L | P130 | 8.89 | 25.06 | 222.78 | - | 4119 | 5818 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P131 | 8.88 | 25.07 | 222.62 | 4157 | 4122 | 5693 | 18 | 36 | SM490 |
| | L | P132 | 8.91 | 25.08 | 223.46 | - | 4050 | 5764 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 8.89 | 25.07 | 222.96 | 4157 | 4097 | 5758 | 18 | 36 | |
| | C | P133 | 8.92 | 25.07 | 223.62 | - | 4081 | 5805 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P134 | 8.94 | 25.07 | 224.13 | - | 4072 | 5801 | 18 | 35 | SM490 |
| | C | P135 | 8.93 | 25.04 | 223.61 | - | 4013 | 5833 | 16 | 33 | SM490 |
| | | 平均 | 8.93 | 25.06 | 223.79 | - | 4055 | 5813 | 17 | 35 | |
| | | 総平均 | 8.91 | 25.07 | 223.37 | 4160 | 4080 | 5790 | 18 | 36 | |

但し、材料試験片は、フランジおよびウェブに用いる供試体製作前の鋼板であり、縦リブや補強材等は含まれていない。また、L：ロール方向、C：クロス方向を意味する。

表-2.1.4(1) 材料試験結果（矩形断面）

| 供試体番号 | 板取方向 | 試験片番号 | 板厚 (mm) | 幅 (mm) | 断面積 ($mm^2$) | 上降伏点 ($kgf/cm^2$) | 下降伏点 ($kgf/cm^2$) | 引張強度 ($kgf/cm^2$) | 破断伸び (mm) | 破断伸び (%) | 材質 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 18 | L | P136 | 8.94 | 25.04 | 223.86 | - | 3895 | 5615 | 20 | 40 | SM490 |
| | L | P137 | 8.94 | 25.07 | 224.13 | - | 3924 | 5719 | 19 | 39 | SM490 |
| | L | P138 | 9.03 | 25.06 | 226.29 | - | 3886 | 5655 | 20 | 39 | SM490 |
| | | 平均 | 8.97 | 25.06 | 224.76 | - | 3902 | 5663 | 20 | 39 | |
| | C | P139 | 8.96 | 25.05 | 224.45 | - | 3918 | 5757 | 19 | 38 | SM490 |
| | C | P140 | 8.96 | 25.08 | 224.72 | 4038 | 3948 | 5750 | 20 | 39 | SM490 |
| | C | P141 | 8.97 | 25.05 | 224.70 | 4027 | 3857 | 5750 | 19 | 37 | SM490 |
| | | 平均 | 8.96 | 25.06 | 224.62 | 4033 | 3908 | 5752 | 19 | 38 | |
| | | **総平均** | **8.97** | **25.06** | **224.69** | **4030** | **3900** | **5710** | **19** | **39** | |
| No. 19 | L | P142 | 8.86 | 25.07 | 222.12 | 4132 | 4109 | 5789 | 20 | 40 | SM490 |
| | L | P143 | 8.87 | 25.07 | 222.37 | - | 4012 | 5644 | 20 | 39 | SM490 |
| | L | P144 | 8.84 | 25.07 | 221.62 | - | 4060 | 5802 | 20 | 40 | SM490 |
| | | 平均 | 8.86 | 25.07 | 222.04 | 4132 | 4060 | 5745 | 20 | 40 | |
| | C | P145 | 8.88 | 25.06 | 222.53 | 4147 | 4067 | 5788 | 18 | 37 | SM490 |
| | C | P146 | 8.87 | 25.05 | 222.19 | - | 3993 | 5778 | 18 | 35 | SM490 |
| | C | P147 | 8.86 | 25.06 | 222.03 | - | 3984 | 5764 | 18 | 35 | SM490 |
| | | 平均 | 8.87 | 25.06 | 222.25 | 4147 | 4014 | 5776 | 18 | 36 | |
| | | **総平均** | **8.86** | **25.06** | **222.14** | **4140** | **4040** | **5760** | **19** | **38** | |
| No. 20 | L | P148 | 9.07 | 25.06 | 227.29 | - | 4172 | 5829 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P149 | 9.05 | 25.04 | 226.61 | 4185 | 4140 | 5828 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P150 | 9.03 | 25.04 | 226.11 | - | 4149 | 5814 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 9.05 | 25.05 | 226.67 | 4185 | 4154 | 5824 | 18 | 37 | |
| | C | P151 | 9.09 | 25.08 | 227.98 | - | 4137 | 5794 | 21 | 41 | SM490 |
| | C | P152 | 9.10 | 25.05 | 227.96 | 4250 | 4194 | 5803 | 19 | 39 | SM490 |
| | C | P153 | 9.10 | 25.07 | 228.14 | - | 4157 | 5816 | 20 | 39 | SM490 |
| | | 平均 | 9.10 | 25.07 | 228.02 | 4250 | 4163 | 5804 | 20 | 40 | |
| | | **総平均** | **9.07** | **25.06** | **227.35** | **4220** | **4160** | **5810** | **19** | **38** | |
| No. 22 | L | P154 | 8.88 | 25.06 | 222.53 | - | 3895 | 5732 | 21 | 41 | SM490 |
| | L | P155 | 8.89 | 25.05 | 222.69 | - | 3915 | 5654 | 20 | 41 | SM490 |
| | L | P156 | 8.88 | 25.08 | 222.71 | - | 3915 | 5719 | 19 | 39 | SM490 |
| | | 平均 | 8.88 | 25.06 | 222.65 | - | 3908 | 5702 | 20 | 40 | |
| | C | P157 | 9.01 | 25.07 | 225.88 | - | 3927 | 5629 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P158 | 8.89 | 25.06 | 222.78 | 3982 | 3868 | 5698 | 18 | 37 | SM490 |
| | C | P159 | 8.88 | 25.04 | 222.36 | 3955 | 3898 | 5728 | 18 | 36 | SM490 |
| | | 平均 | 8.93 | 25.06 | 223.67 | 3969 | 3898 | 5685 | 18 | 36 | |
| | | **総平均** | **8.91** | **25.06** | **223.16** | **3970** | **3900** | **5690** | **19** | **38** | |
| No. 23 | L | P160 | 8.89 | 25.08 | 222.96 | 3979 | 3922 | 5721 | 19 | 39 | SM490 |
| | L | P161 | 8.91 | 25.04 | 223.11 | 4056 | 3862 | 5773 | 19 | 37 | SM490 |
| | L | P162 | 8.92 | 25.08 | 223.71 | 4136 | 3897 | 5738 | 19 | 39 | SM490 |
| | | 平均 | 8.91 | 25.07 | 223.26 | 4057 | 3894 | 5744 | 19 | 38 | |
| | C | P163 | 8.87 | 25.03 | 222.02 | - | 3904 | 5773 | 19 | 38 | SM490 |
| | C | P164 | 8.88 | 25.04 | 222.36 | - | 3955 | 5774 | 19 | 38 | SM490 |
| | C | P165 | 8.86 | 25.06 | 222.03 | - | 3927 | 5764 | 18 | 37 | SM490 |
| | | 平均 | 8.87 | 25.04 | 222.13 | - | 3929 | 5770 | 19 | 38 | |
| | | **総平均** | **8.89** | **25.06** | **222.70** | **4060** | **3910** | **5760** | **19** | **38** | |
| No. 24 | L | P166 | 8.97 | 25.04 | 224.61 | - | 3938 | 5743 | 19 | 38 | SM490 |
| | L | P167 | 8.95 | 25.05 | 224.20 | - | 4002 | 5790 | 19 | 39 | SM490 |
| | L | P168 | 8.97 | 25.08 | 224.97 | - | 3966 | 5761 | 20 | 39 | SM490 |
| | | 平均 | 8.96 | 25.06 | 224.59 | - | 3969 | 5765 | 19 | 39 | |
| | C | P169 | 8.97 | 25.07 | 224.88 | 4194 | 3968 | 5727 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P170 | 8.98 | 25.09 | 225.31 | 4299 | 4051 | 5725 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P171 | 8.95 | 25.10 | 224.65 | - | 4108 | 5751 | 18 | 35 | SM490 |
| | | 平均 | 8.97 | 25.09 | 224.94 | 4247 | 4042 | 5735 | 18 | 36 | |
| | | **総平均** | **8.97** | **25.07** | **224.77** | **4250** | **4010** | **5750** | **19** | **37** | |
| No. 25 | L | P172 | 9.12 | 25.03 | 228.27 | - | 4043 | 5687 | 20 | 40 | SM490 |
| | L | P173 | 9.08 | 25.11 | 228.00 | - | 4059 | 5748 | 19 | 38 | SM490 |
| | L | P174 | 9.12 | 25.10 | 228.91 | - | 4042 | 5743 | 19 | 39 | SM490 |
| | | 平均 | 9.11 | 25.08 | 228.39 | - | 4048 | 5726 | 19 | 39 | |
| | C | P175 | 9.09 | 25.04 | 227.61 | - | 4065 | 5766 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P176 | 9.10 | 25.05 | 227.96 | - | 4104 | 5749 | 18 | 36 | SM490 |
| | C | P177 | 9.10 | 25.06 | 228.05 | - | 4047 | 5747 | 17 | 35 | SM490 |
| | | 平均 | 9.10 | 25.05 | 227.87 | - | 4072 | 5754 | 18 | 36 | |
| | | **総平均** | **9.10** | **25.07** | **228.13** | **-** | **4060** | **5740** | **19** | **37** | |

表-2.1.4(1) 材料試験結果（矩形断面）

| 供試体番号 | 板取方向 | 試験片番号 | 板厚 (mm) | 幅 (mm) | 断面積 ($mm^2$) | 上降伏点 ($kgf/cm^2$) | 下降伏点 ($kgf/cm^2$) | 引張強度 ($kgf/cm^2$) | 破断伸び (mm) | 破断伸び (%) | 材質 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No.26 | L | P178 | 8.91 | 25.03 | 223.02 | - | 4138 | 5812 | 19 | 38 | SM490 |
| | L | P179 | 8.90 | 25.05 | 222.95 | 4059 | 4002 | 5731 | 20 | 40 | SM490 |
| | L | P180 | 8.90 | 25.04 | 222.86 | 4107 | 4072 | 5807 | 19 | 38 | SM490 |
| | | 平均 | 8.90 | 25.04 | 222.94 | 4083 | 4071 | 5783 | 19 | 39 | |
| | C | P181 | 8.93 | 25.05 | 223.70 | 4194 | 4169 | 5803 | 17 | 34 | SM490 |
| | C | P182 | 8.98 | 25.05 | 224.95 | - | 4170 | 5808 | 17 | 34 | SM490 |
| | C | P183 | 8.96 | 25.05 | 224.45 | - | 4180 | 5866 | 16 | 33 | SM490 |
| | | 平均 | 8.96 | 25.05 | 224.36 | 4194 | 4170 | 5826 | 17 | 34 | |
| | 総平均 | | 8.93 | 25.05 | 223.65 | 4120 | 4120 | 5800 | 18 | 36 | |
| No.27 | L | P184 | 10.05 | 25.08 | 252.05 | - | 3944 | 5672 | 21 | 41 | SM490 |
| | L | P185 | 10.06 | 25.02 | 251.70 | - | 3879 | 5688 | 20 | 40 | SM490 |
| | L | P186 | 10.06 | 25.08 | 252.30 | - | 3890 | 5699 | 21 | 41 | SM490 |
| | | 平均 | 10.06 | 25.06 | 252.02 | - | 3904 | 5686 | 21 | 41 | |
| | C | P187 | 10.05 | 25.04 | 251.65 | - | 3930 | 5722 | 18 | 37 | SM490 |
| | C | P188 | 10.05 | 25.09 | 252.15 | - | 3892 | 5718 | 20 | 39 | SM490 |
| | C | P189 | 10.06 | 25.04 | 251.90 | - | 3866 | 5724 | 19 | 38 | SM490 |
| | | 平均 | 10.05 | 25.06 | 251.90 | - | 3896 | 5721 | 19 | 38 | |
| | 総平均 | | 10.06 | 25.06 | 251.96 | - | 3900 | 5700 | 20 | 40 | |
| No.28 | L | P190 | 9.95 | 25.07 | 249.45 | 3904 | 3843 | 5649 | 20 | 40 | SM490 |
| | L | P191 | 9.98 | 25.10 | 250.50 | 3765 | 3735 | 5535 | 21 | 42 | SM490 |
| | L | P192 | 9.97 | 25.04 | 249.65 | 3931 | 3809 | 5686 | 21 | 42 | SM490 |
| | | 平均 | 9.97 | 25.07 | 249.86 | 3867 | 3795 | 5623 | 21 | 41 | |
| | C | P193 | 9.94 | 25.12 | 249.69 | - | 3726 | 5635 | 20 | 40 | SM490 |
| | C | P194 | 9.93 | 25.09 | 249.14 | - | 3806 | 5648 | 20 | 40 | SM490 |
| | C | P195 | 9.94 | 25.08 | 249.30 | 3804 | 3763 | 5652 | 19 | 39 | SM490 |
| | | 平均 | 9.94 | 25.10 | 249.38 | 3804 | 3765 | 5645 | 20 | 40 | |
| | 総平均 | | 9.95 | 25.08 | 249.62 | 3850 | 3780 | 5630 | 20 | 40 | |

表-2.1.4(2) 材料試験結果（円形断面）

| 供試体番号 | 板取方向 | 試験片番号 | 板厚 (mm) | 幅 (mm) | 断面積 ($mm^2$) | 上降伏点 ($kgf/cm^2$) | 下降伏点 ($kgf/cm^2$) | 引張強度 ($kgf/cm^2$) | 破断伸び (mm) | 破断伸び (%) | 材質 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No.6 | L | P37 | 16.12 | 25.01 | 403.16 | 3625 | 3433 | 5466 | 23 | 46 | SM490 |
| | L | P38 | 16.11 | 24.99 | 402.59 | 3605 | 3451 | 5469 | 23 | 45 | SM490 |
| | L | P39 | 16.03 | 25.00 | 400.75 | 3744 | 3499 | 5483 | 23 | 46 | SM490 |
| | | 平均 | 16.09 | 25.00 | 402.17 | 3658 | 3461 | 5473 | 23 | 46 | |
| | C | P40 | 16.12 | 25.01 | 403.16 | 3635 | 3509 | 5491 | 22 | 44 | SM490 |
| | C | P41 | 16.11 | 25.00 | 402.75 | 3731 | 3570 | 5482 | 22 | 43 | SM490 |
| | C | P42 | 16.02 | 25.01 | 400.66 | 3745 | 3614 | 5480 | 22 | 43 | SM490 |
| | | 平均 | 16.08 | 25.01 | 402.19 | 3704 | 3564 | 5484 | 22 | 43 | |
| | | 総平均 | 16.09 | 25.00 | 402.18 | 3680 | 3510 | 5480 | 22 | 45 | |
| No.7 | L | P43 | 16.29 | 24.99 | 407.09 | 3696 | 3507 | 5509 | 22 | 44 | SM490 |
| | L | P44 | 16.27 | 24.98 | 406.42 | 3692 | 3500 | 5498 | 22 | 44 | SM490 |
| | L | P45 | 16.19 | 25.01 | 404.91 | 3736 | 3620 | 5498 | 22 | 44 | SM490 |
| | | 平均 | 16.25 | 24.99 | 406.14 | 3708 | 3542 | 5501 | 22 | 44 | |
| | C | P46 | 16.26 | 24.98 | 406.17 | 3654 | 3452 | 5536 | 21 | 43 | SM490 |
| | C | P47 | 16.23 | 25.00 | 405.75 | 3764 | 3575 | 5522 | 22 | 44 | SM490 |
| | C | P48 | 16.11 | 25.01 | 402.91 | 3749 | 3606 | 5505 | 21 | 43 | SM490 |
| | | 平均 | 16.20 | 25.00 | 404.95 | 3722 | 3544 | 5521 | 22 | 43 | |
| | | 総平均 | 16.23 | 25.00 | 405.54 | 3720 | 3540 | 5510 | 22 | 44 | |
| No.8 | L | P49 | 8.77 | 25.01 | 219.34 | 3198 | 3022 | 4497 | 20 | 41 | SS400 |
| | L | P50 | 8.77 | 25.01 | 219.34 | 3282 | 3022 | 4488 | 20 | 40 | SS400 |
| | L | P51 | 8.64 | 25.03 | 216.26 | 3073 | 2947 | 4467 | 21 | 41 | SS400 |
| | | 平均 | 8.73 | 25.02 | 218.31 | 3184 | 2997 | 4484 | 20 | 41 | |
| | C | P52 | 8.70 | 25.03 | 217.76 | 3164 | 2927 | 4408 | 22 | 43 | SS400 |
| | C | P53 | 8.72 | 25.04 | 218.35 | 3231 | 3000 | 4518 | 21 | 42 | SS400 |
| | C | P54 | 8.60 | 25.03 | 215.26 | 3011 | 2842 | 4506 | 20 | 40 | SS400 |
| | | 平均 | 8.67 | 25.03 | 217.12 | 3135 | 2923 | 4477 | 21 | 42 | |
| | | 総平均 | 8.70 | 25.03 | 217.72 | 3160 | 2960 | 4480 | 21 | 41 | |
| No.9 | L | P55 | 9.01 | 25.01 | 225.34 | 3067 | 2862 | 4432 | 21 | 43 | SS400 |
| | L | P56 | 8.97 | 25.00 | 224.25 | 3118 | 2876 | 4472 | 21 | 42 | SS400 |
| | L | P57 | 8.81 | 24.98 | 220.07 | 2842 | 2722 | 4482 | 20 | 40 | SS400 |
| | | 平均 | 8.93 | 25.00 | 223.22 | 3009 | 2820 | 4462 | 21 | 42 | |
| | C | P58 | 8.95 | 24.98 | 223.57 | 3073 | 2794 | 4449 | 22 | 44 | SS400 |
| | C | P59 | 8.93 | 25.02 | 223.43 | 3268 | 3035 | 4544 | 22 | 43 | SS400 |
| | C | P60 | 8.81 | 25.02 | 220.43 | 2968 | 2787 | 4513 | 20 | 41 | SS400 |
| | | 平均 | 8.90 | 25.01 | 222.48 | 3103 | 2872 | 4502 | 21 | 42 | |
| | | 総平均 | 8.91 | 25.00 | 222.85 | 3060 | 2850 | 4480 | 21 | 42 | |
| No.6 | 部材軸方向 | P61 | 16.16 | 24.98 | 403.68 | - | 3574 | 5534 | 22 | 45 | SM490 |
| | 部材軸方向 | P62 | 16.16 | 24.96 | 403.35 | - | 3577 | 5544 | 22 | 44 | SM490 |
| | 部材軸方向 | P63 | 16.07 | 24.98 | 401.43 | - | 3512 | 5413 | 22 | 45 | SM490 |
| | | 平均 | 16.13 | 24.97 | 402.82 | - | 3550 | 5500 | 22 | 45 | |
| No.7 | 部材軸方向 | P64 | 16.26 | 24.96 | 405.85 | - | 3662 | 5565 | 22 | 44 | SM490 |
| | 部材軸方向 | P65 | 16.25 | 24.96 | 405.60 | - | 3633 | 5558 | 22 | 45 | SM490 |
| | 部材軸方向 | P66 | 16.19 | 24.98 | 404.43 | - | 3574 | 5585 | 23 | 45 | SM490 |
| | | 平均 | 16.23 | 24.97 | 405.29 | - | 3620 | 5570 | 22 | 45 | |
| No.8 | 部材軸方向 | P67 | 8.93 | 24.98 | 223.07 | 3108 | 2834 | 4513 | 21 | 42 | SS400 |
| | 部材軸方向 | P68 | 8.94 | 24.97 | 223.23 | 3060 | 2912 | 4518 | 21 | 42 | SS400 |
| | 部材軸方向 | P69 | 8.86 | 24.96 | 221.15 | 2767 | 2743 | 4561 | 21 | 42 | SS400 |
| | | 平均 | 8.91 | 24.97 | 222.48 | 2980 | 2830 | 4530 | 21 | 42 | |
| No.9 | 部材軸方向 | P70 | 8.84 | 24.98 | 220.82 | 2886 | 2851 | 4568 | 20 | 41 | SS400 |
| | 部材軸方向 | P71 | 8.83 | 24.97 | 220.49 | 3122 | 2948 | 4556 | 21 | 43 | SS400 |
| | 部材軸方向 | P72 | 8.73 | 24.96 | 217.90 | 2901 | 2819 | 4582 | 21 | 41 | SS400 |
| | | 平均 | 8.80 | 24.97 | 219.74 | 2970 | 2870 | 4570 | 21 | 41 | |

但し、材料試験片は、供試体本体に用いる供試体製作前の平鋼板であり、補強板等は含まれていない。
また、L：ロール方向、C：クロス方向、部材軸方向：円形に曲げ加工を施した試験片
(供試体製作後に採取した)の橋脚軸方向を意味する。

表-2.1.4(2) 材料試験結果（円形断面）

| 供試体番号 | 板取方向 | 試験片番号 | 板厚 (mm) | 幅 (mm) | 断面積 ($mm^2$) | 上降伏点 ($kgf/cm^2$) | 下降伏点 ($kgf/cm^2$) | 引張強度 ($kgf/cm^2$) | 破断伸び (mm) | 破断伸び (%) | 材質 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 15 | L | P94 | 9.00 | 25.07 | 225.63 | 3333 | 3107 | 4608 | 21 | 43 | SS400 |
| | L | P95 | 9.02 | 25.05 | 225.95 | 3249 | 3103 | 4574 | 21 | 43 | SS400 |
| | L | P96 | 9.02 | 25.04 | 225.86 | 3217 | 3047 | 4585 | 22 | 43 | SS400 |
| | | 平均 | 9.01 | 25.05 | 225.81 | 3266 | 3086 | 4589 | 21 | 43 | |
| | C | P97 | 9.11 | 25.04 | 228.11 | 3241 | 3040 | 4630 | 21 | 43 | SS400 |
| | C | P98 | 9.12 | 25.03 | 228.27 | 3239 | 3015 | 4627 | 21 | 43 | SS400 |
| | C | P99 | 9.12 | 25.01 | 228.09 | 3241 | 3018 | 4631 | 21 | 41 | SS400 |
| | | 平均 | 9.12 | 25.03 | 228.16 | 3240 | 3024 | 4629 | 21 | 42 | |
| | | 総平均 | 9.07 | 25.04 | 226.99 | 3253 | 3055 | 4609 | 21 | 43 | |
| | L | P100 | 9.02 | 25.08 | 226.22 | 3381 | 3245 | 4669 | 21 | 41 | SS400 |
| | L | P101 | 9.01 | 25.08 | 225.97 | 3429 | 3249 | 4692 | 21 | 42 | SS400 |
| | L | P102 | 9.01 | 25.07 | 225.88 | 3408 | 3273 | 4703 | 21 | 41 | SS400 |
| | | 平均 | 9.01 | 25.08 | 226.02 | 3406 | 3256 | 4688 | 21 | 41 | |
| | C | P103 | 9.10 | 25.06 | 228.05 | 3354 | 3186 | 4712 | 19 | 39 | SS400 |
| | C | P104 | 9.11 | 25.06 | 228.30 | 3462 | 3149 | 4698 | 20 | 40 | SS400 |
| | C | P105 | 9.10 | 25.05 | 227.96 | 3523 | 3187 | 4696 | 20 | 41 | SS400 |
| | | 平均 | 9.10 | 25.06 | 228.10 | 3446 | 3174 | 4702 | 20 | 40 | |
| | | 総平均 | 9.06 | 25.07 | 227.06 | 3426 | 3215 | 4695 | 20 | 41 | |
| | | 全総平均 | 9.06 | 25.05 | 227.02 | 3340 | 3135 | 4652 | 21 | 42 | |
| No. 16 | L | P106 | 9.02 | 25.06 | 226.04 | 3327 | 3068 | 4636 | 22 | 43 | SS400 |
| | L | P107 | 9.02 | 25.06 | 226.04 | 3361 | 3135 | 4609 | 22 | 43 | SS400 |
| | L | P108 | 9.02 | 25.04 | 225.86 | 3318 | 3115 | 4585 | 22 | 43 | SS400 |
| | | 平均 | 9.02 | 25.05 | 225.98 | 3335 | 3106 | 4610 | 22 | 43 | |
| | C | P109 | 9.12 | 25.04 | 228.36 | 3349 | 3126 | 4634 | 22 | 43 | SS400 |
| | C | P110 | 9.12 | 25.05 | 228.46 | 3348 | 3102 | 4614 | 22 | 44 | SS400 |
| | C | P111 | 9.11 | 25.05 | 228.21 | 3441 | 3128 | 4646 | 20 | 40 | SS400 |
| | | 平均 | 9.12 | 25.05 | 228.34 | 3379 | 3118 | 4631 | 21 | 42 | |
| | | 総平均 | 9.07 | 25.05 | 227.16 | 3357 | 3112 | 4621 | 21 | 43 | |
| | L | P112 | 9.02 | 25.02 | 225.68 | 3445 | 3231 | 4652 | 21 | 42 | SS400 |
| | L | P113 | 9.01 | 25.06 | 225.79 | 3477 | 3218 | 4650 | 21 | 41 | SS400 |
| | L | P114 | 9.01 | 25.06 | 225.79 | 3443 | 3218 | 4668 | 21 | 41 | SS400 |
| | | 平均 | 9.01 | 25.05 | 225.75 | 3455 | 3222 | 4657 | 21 | 41 | |
| | C | P115 | 9.10 | 25.02 | 227.68 | 3471 | 3157 | 4639 | 20 | 41 | SS400 |
| | C | P116 | 9.11 | 25.03 | 228.02 | 3410 | 3186 | 4659 | 21 | 41 | SS400 |
| | C | P117 | 9.12 | 25.05 | 228.46 | 3392 | 3124 | 4623 | 21 | 42 | SS400 |
| | | 平均 | 9.11 | 25.03 | 228.05 | 3424 | 3156 | 4640 | 21 | 41 | |
| | | 総平均 | 9.06 | 25.04 | 226.90 | 3440 | 3189 | 4649 | 21 | 41 | |
| | | 全総平均 | 9.07 | 25.05 | 227.03 | 3398 | 3151 | 4635 | 21 | 42 | |
| No. 29～31 | L | P196 | 9.10 | 25.01 | 227.59 | 3483 | 3080 | 4444 | 23 | 45 | SS400 |
| | L | P197 | 9.11 | 25.03 | 228.02 | 3438 | 3102 | 4440 | 22 | 44 | SS400 |
| | L | P198 | 9.08 | 25.00 | 227.00 | 3453 | 3156 | 4451 | 22 | 45 | SS400 |
| | | 平均 | 9.10 | 25.01 | 227.54 | 3458 | 3113 | 4445 | 22 | 45 | |
| | C | P199 | 9.05 | 25.03 | 226.52 | 3612 | 3123 | 4443 | 21 | 43 | SS400 |
| | C | P200 | 9.08 | 25.01 | 227.09 | 3463 | 3233 | 4436 | 22 | 43 | SS400 |
| | C | P201 | 9.11 | 25.02 | 227.93 | 3512 | 3187 | 4415 | 22 | 44 | SS400 |
| | | 平均 | 9.08 | 25.02 | 227.18 | 3529 | 3181 | 4431 | 22 | 43 | |
| | | 総平均 | 9.09 | 25.02 | 227.36 | 3494 | 3147 | 4438 | 22 | 44 | |

但し、No. 15とNo. 16は2枚の平鋼板から製作したので、供試体製作前にそれぞれの平鋼板から採取した試験片に対してL方向とC方向を試験した。

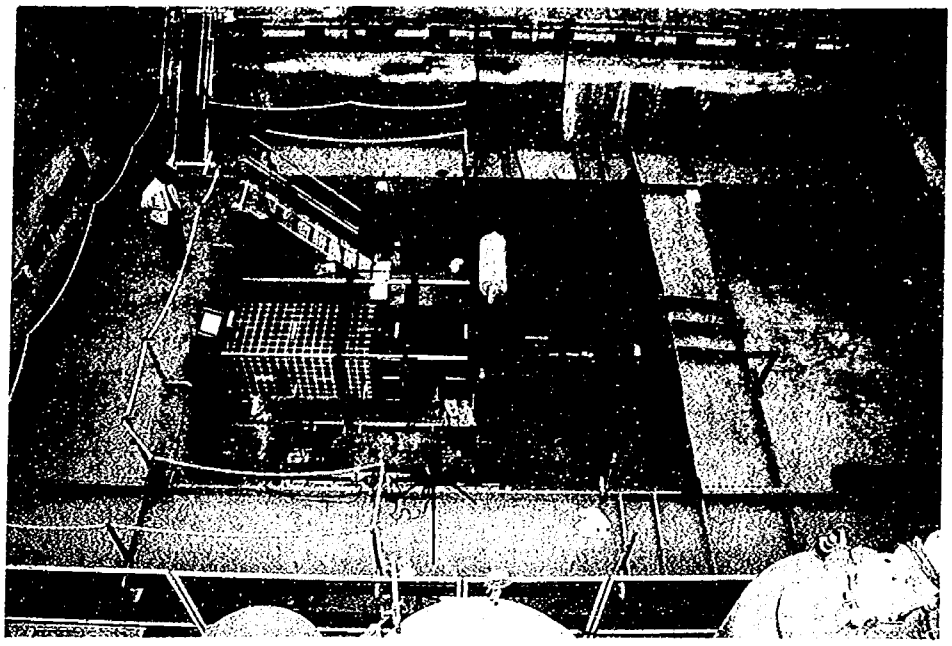


写真-2.2.1　土木研究所の載荷フレーム

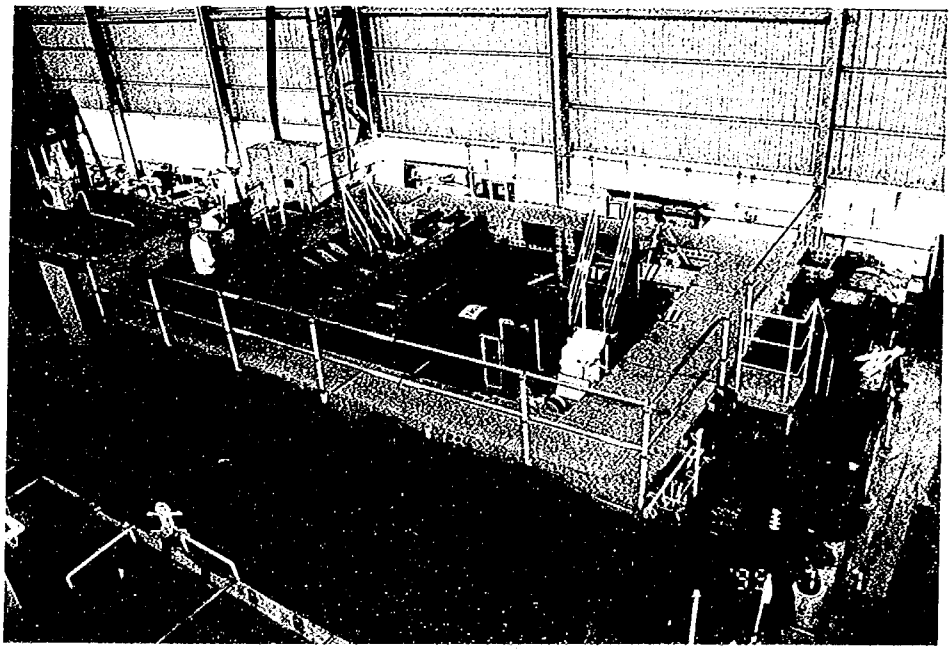


写真-2.2.2　A社の載荷フレーム

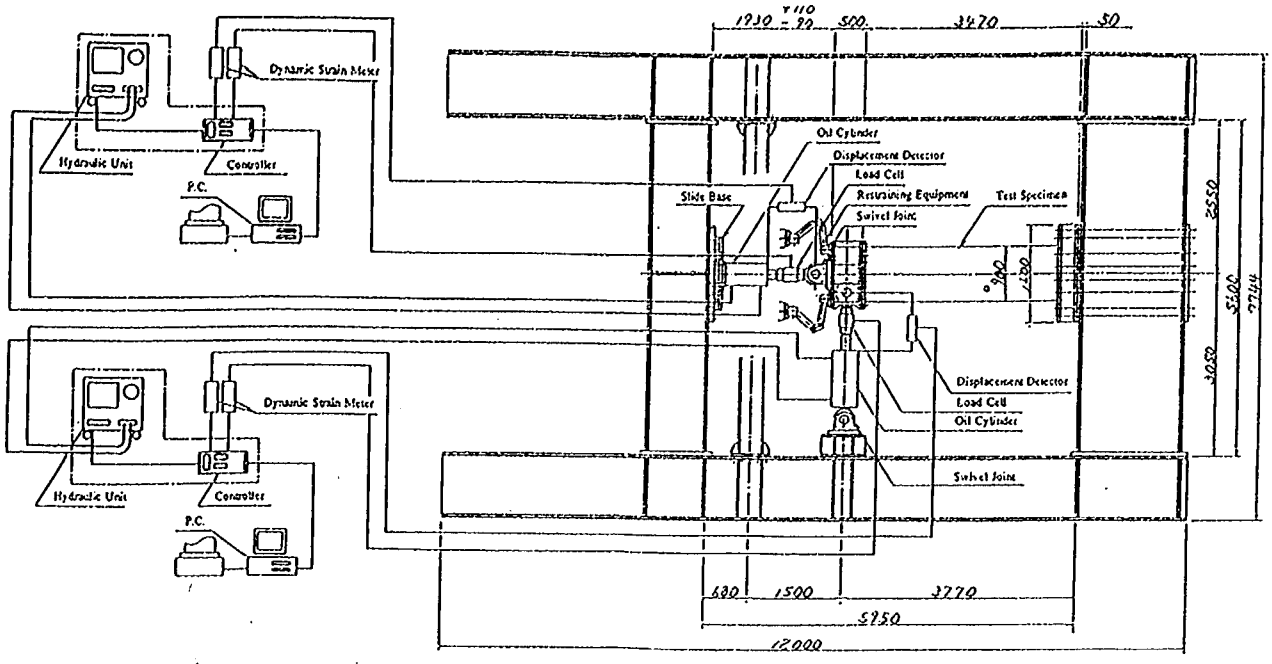



図-2.2.1　土木研究所の載荷フレームの形状・寸法

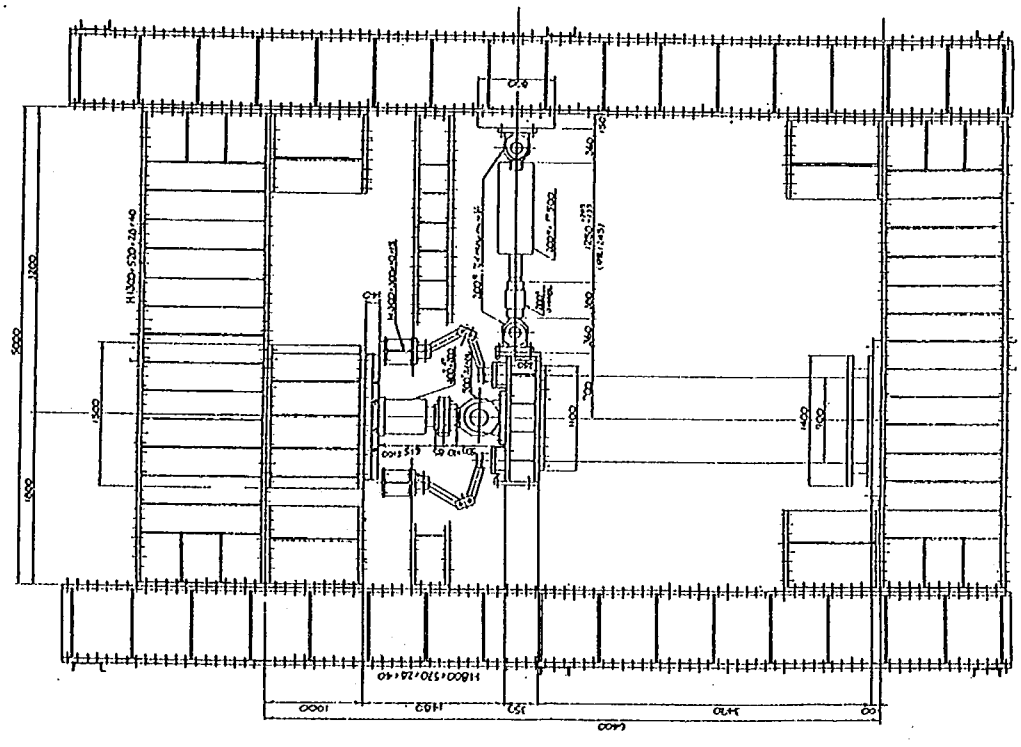


図-2.2.2　A社の載荷フレームの形状・寸法

表-2.1.5　土木研究所の載荷装置の能力

| Items | | Specification and Performance | |
|---|---|---|---|
| Type | | Horizontal type, bi-axial loading | |
| Specimen Size | | Max. height | ; 3,470mm |
| Loading Capacity (Static) | | Axial force | ; Compression ≦ 3,000kN<br>Stroke ± 100mm |
| | | Horizontal force | ; Compression ≦ 3,000kN<br>Tension ≦ 3,000kN<br>Stroke ± 250mm |
| Control Mode | | Automatic mode | ; Load control, Displacement control |
| | | Manual mode | ; |
| Main Components | Oil Cylinder | Oil pressure | ; ≦ 70MPa |
| | Swivel Joint | Endurable load | ; 3,000kN |
| | Slide Base | Endurable load<br>Stroke<br>Friction coefficient | ; 5,000kN<br>; ≦500mm<br>; ≦0.005 |
| | Restraining Equipment | Restraining force<br>Restraining range | ; ≦100kN<br>; Axial ± 100mm<br>Horizontal ± 250mm |

表-2.1.6　A社の載荷装置の能力

| Items | | Specification and Performance | |
|---|---|---|---|
| Type | | Horizontal type , bi-axial loading | |
| Specimen Size | | Max. height | ; 3,470mm |
| Loading Capacity(Static) | | Axial force | ; Compression ≦4,000kN<br>; Stroke ±100mm |
| | | Horiaontal force | ; Compression ≦3,000kN<br>; Tension ≦2,000kN<br>; Stroke ±250mm |
| Control Mode | | Automatic mode<br>Manual mode | ; Load control, Displacement control |
| Main Components | Oil Cylinder | Oil pressure | ; ≦70MPa |
| | Swivel Joint | Endurable load | ; V:5,000kN, H:2,000kN |
| | Slide Base | Endurable load<br>Stroke<br>Friction coefficient | ; 5,000kN<br>; ≦500mm<br>; ≦0.005 |
| | Restraining Equipment | Restraining force<br>Restraining range | ; ≦100kN<br>; Axial ±100mm<br>; Horizontal ±250mm |

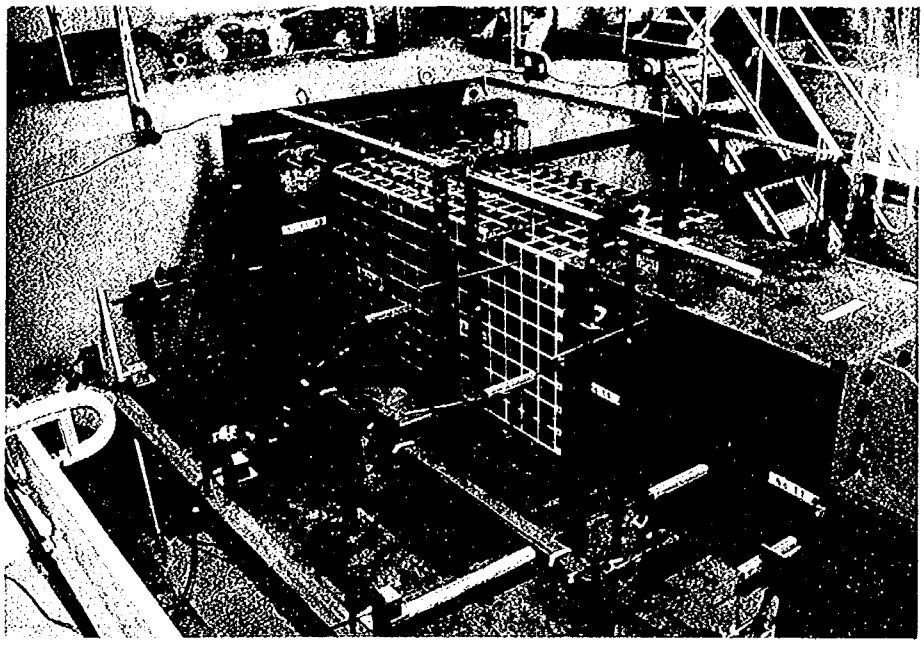


写真-2.2.3　供試体設置状況（土木研究所の載荷フレーム）

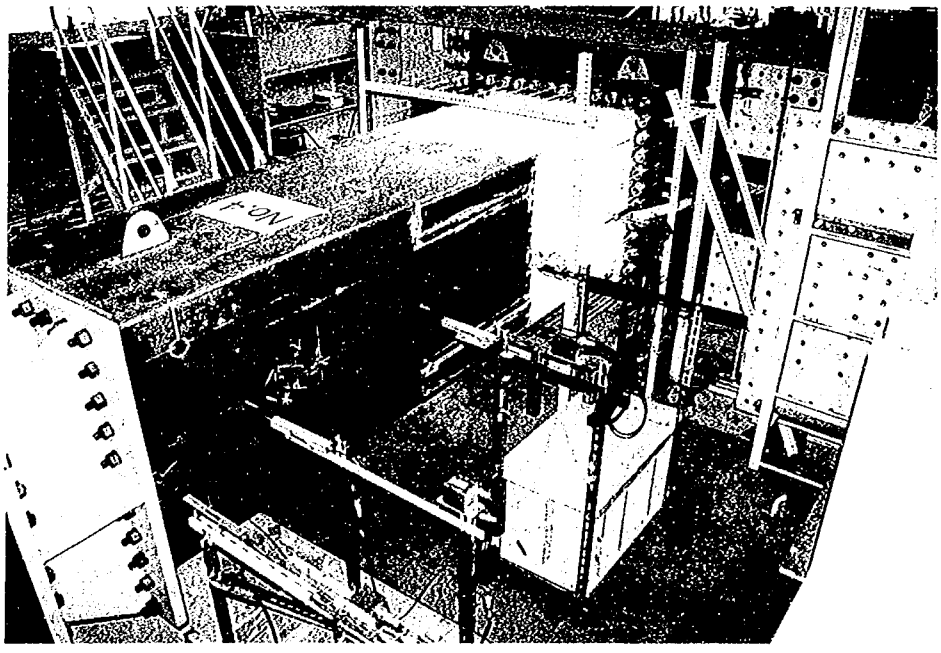
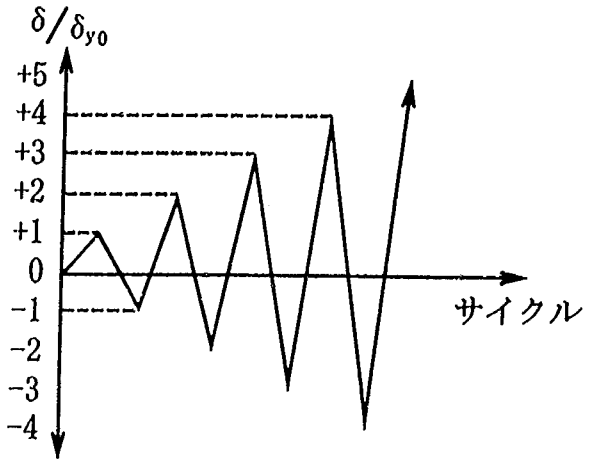
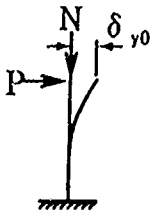
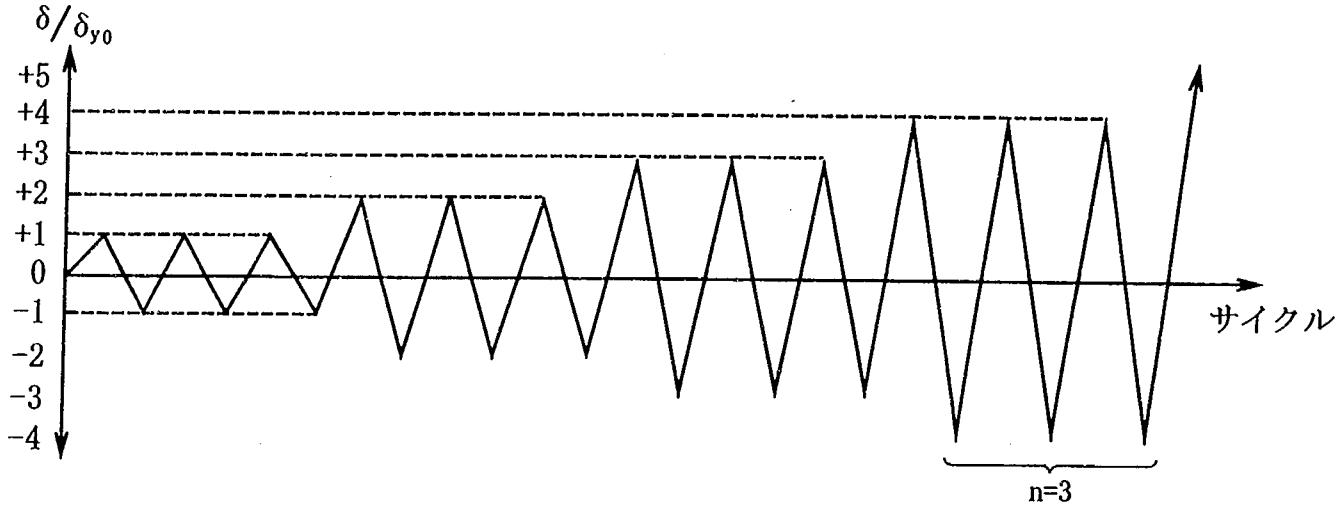



写真-2.2.4　供試体設置状況（A社の載荷フレーム）

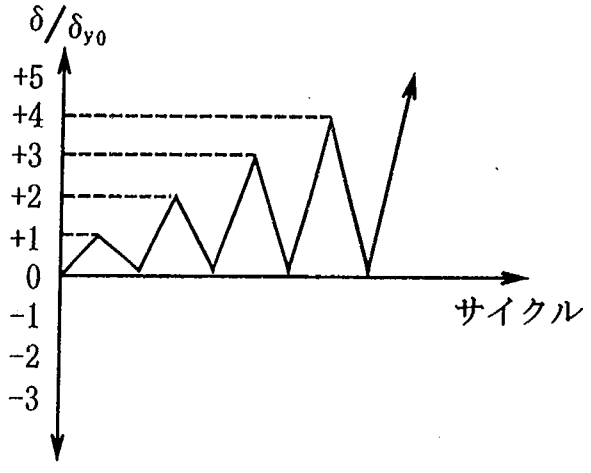



(a) 漸増両振り載荷(n=1)




(b) 漸増両振り載荷(n=3)




(c) 漸増片振り載荷

図-2.2.3 載荷方法

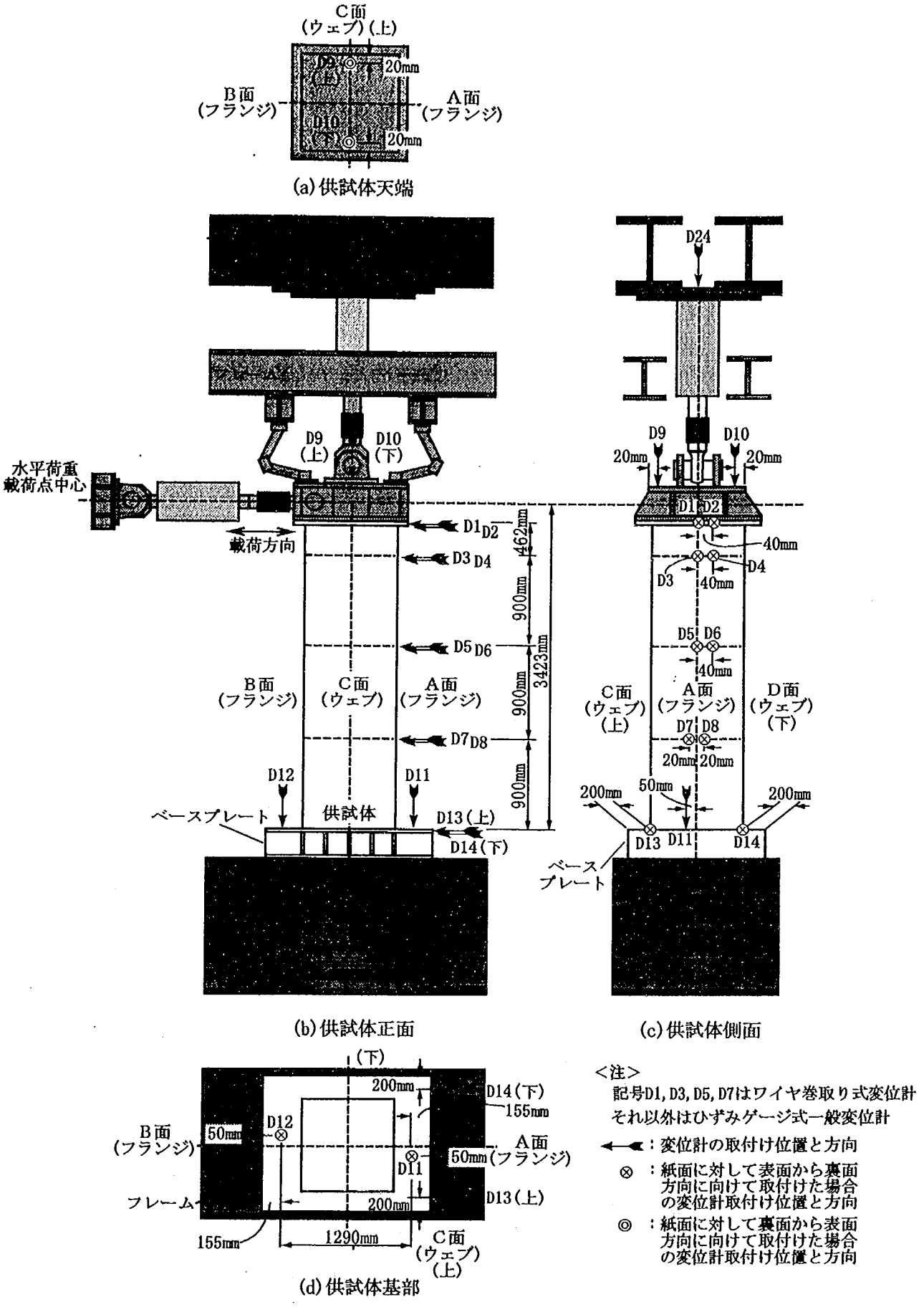



**図-2.3.1 供試体の変位計取付け位置**
**(土木研究所における実験，供試体No. 10以降)**

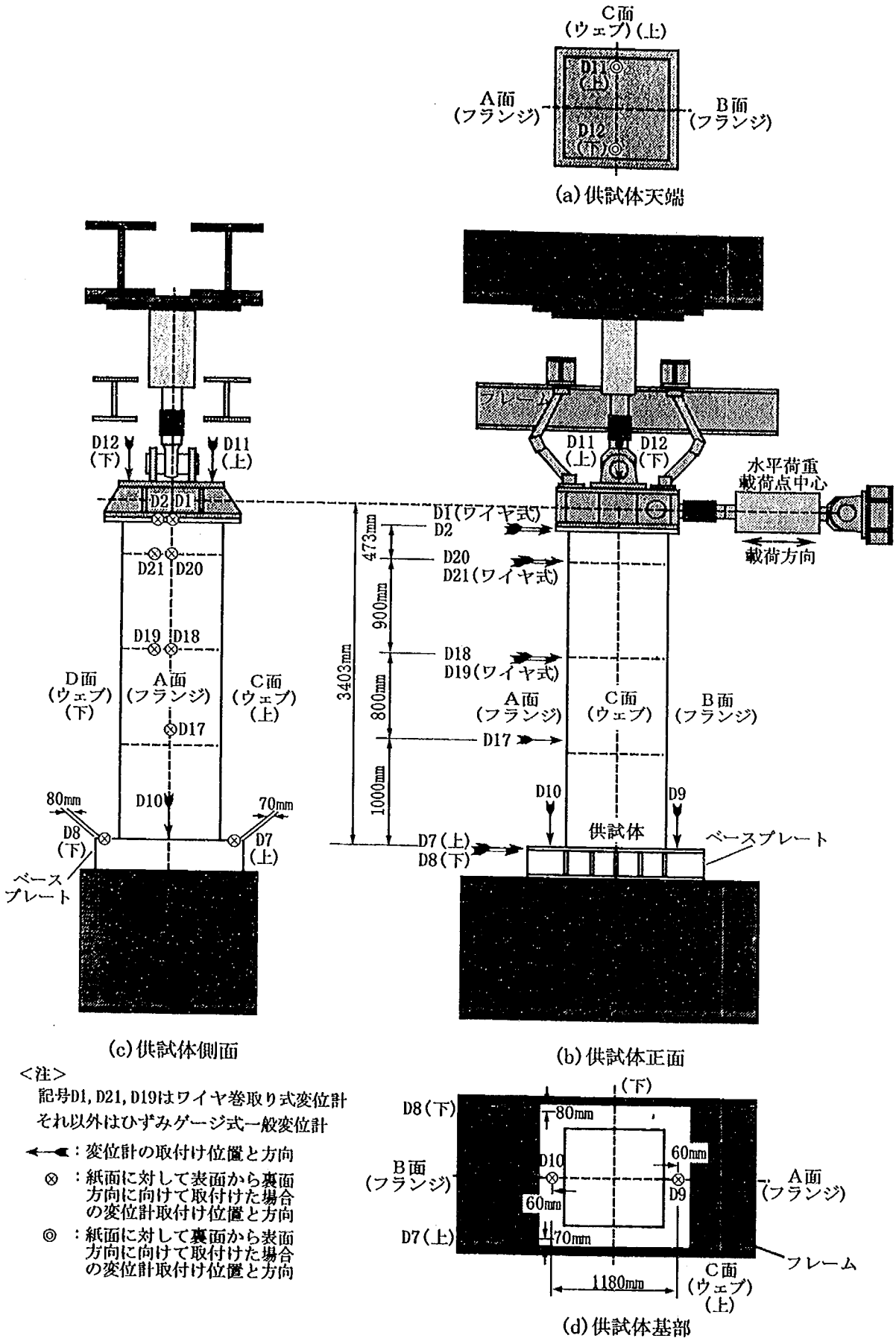



図-2.3.2　供試体の変位計取付け位置
（A社における実験，供試体No. 2～9）

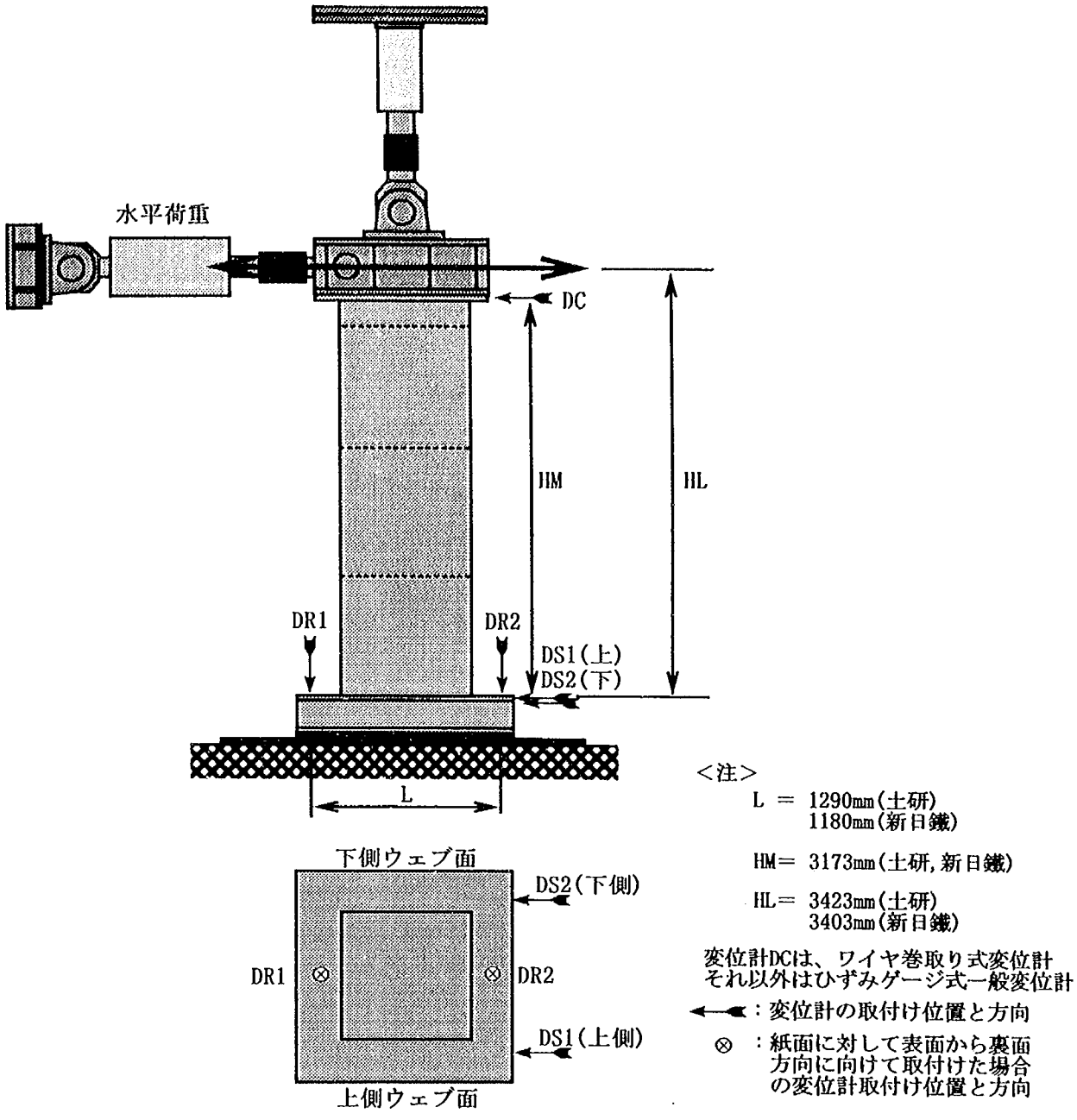



図-2.3.3　供試体の水平変位の補正

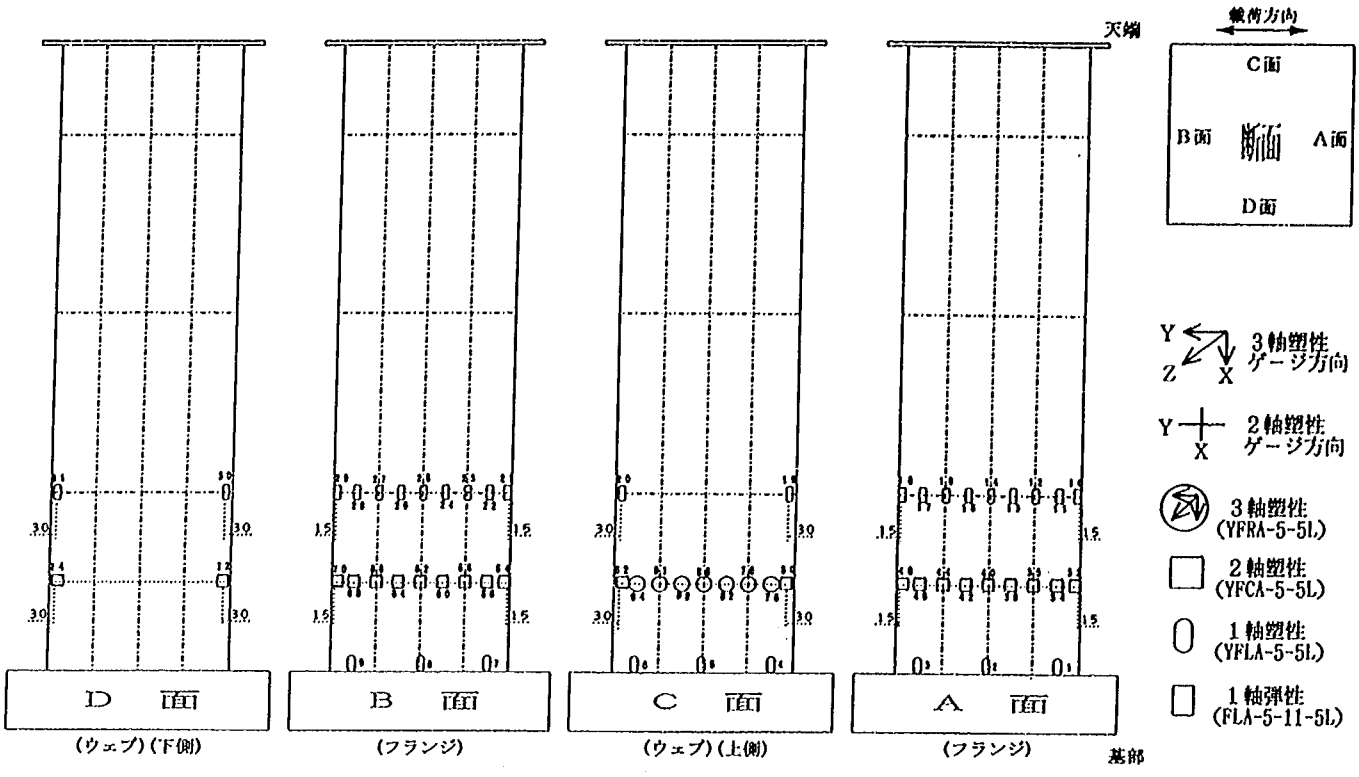



図-2.3.4(1) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No. 10, No. 12, No. 14,
No. 18, No. 19, No. 22, No. 23, No. 20, No. 24)

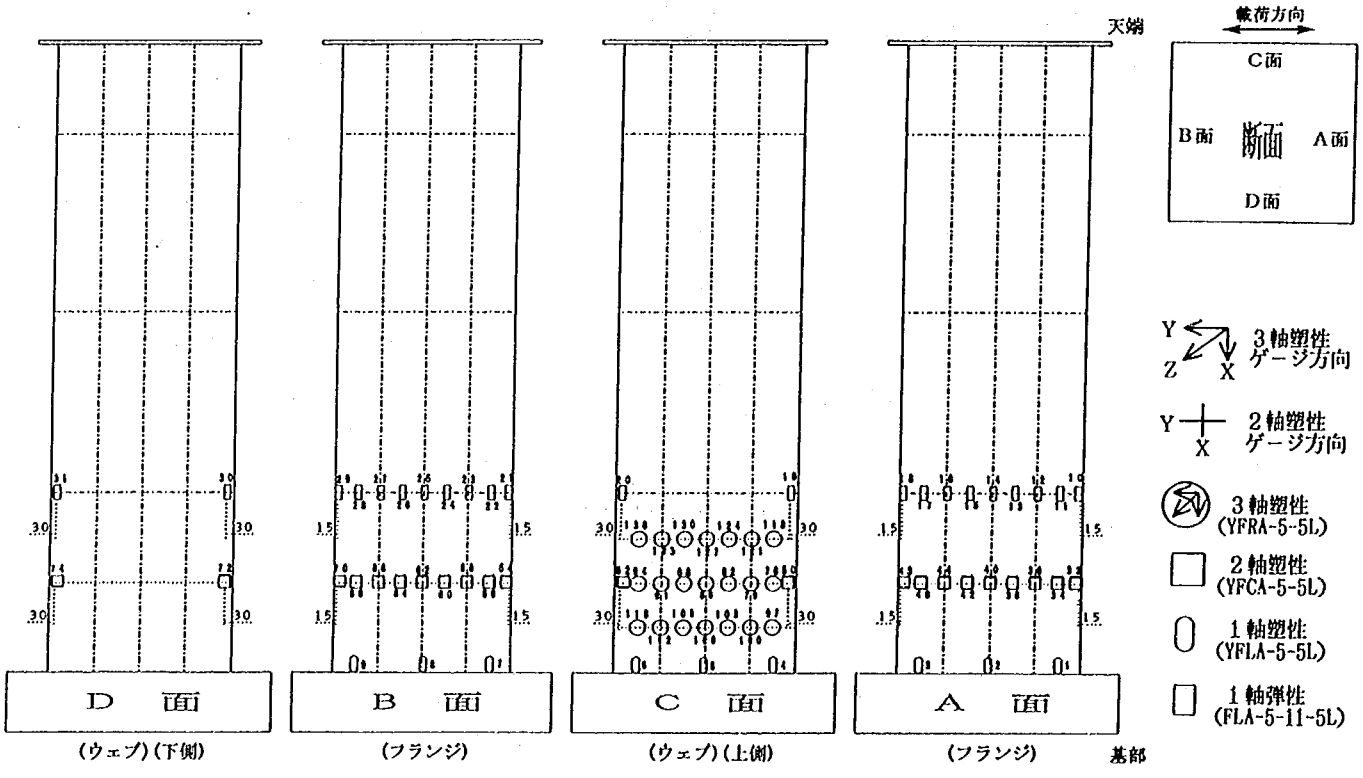



図-2.3.4(2) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No. 11)

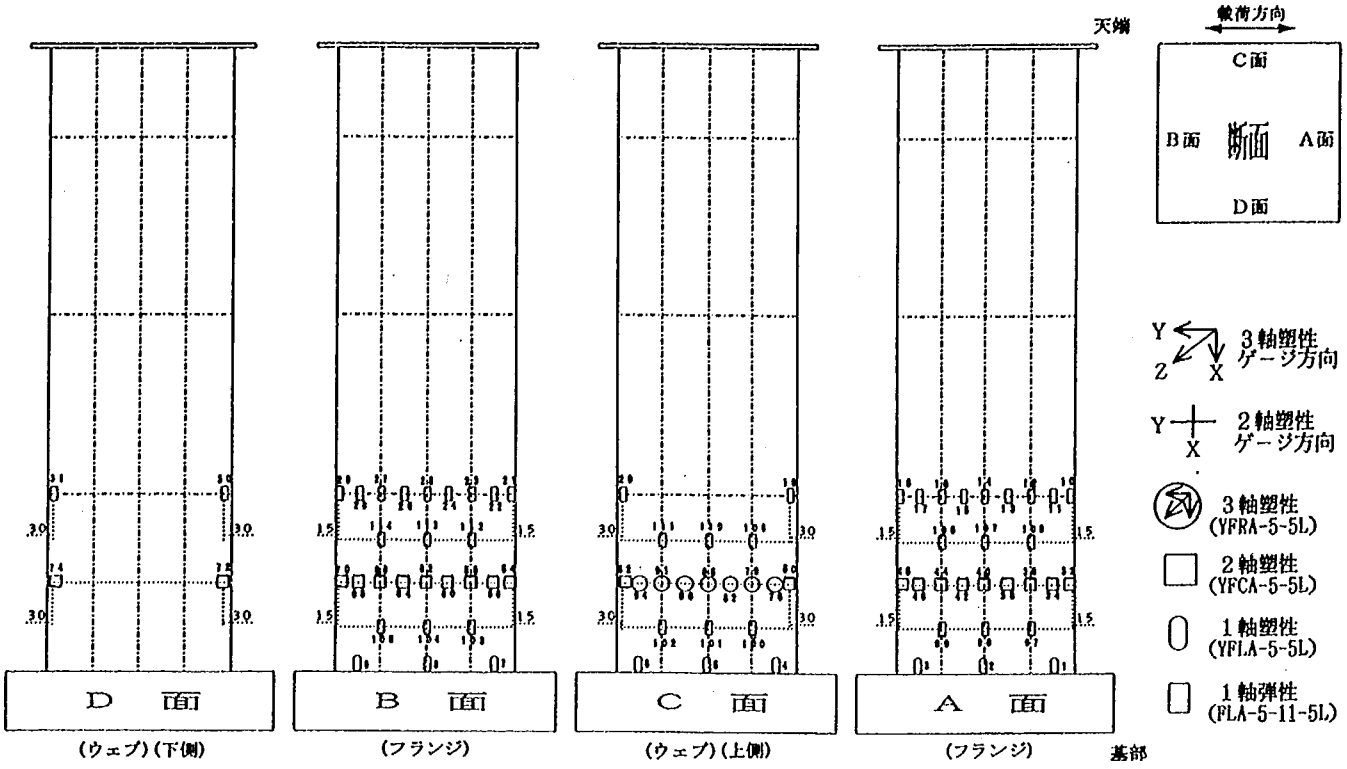



図-2.3.4(3) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No.13, No.17)

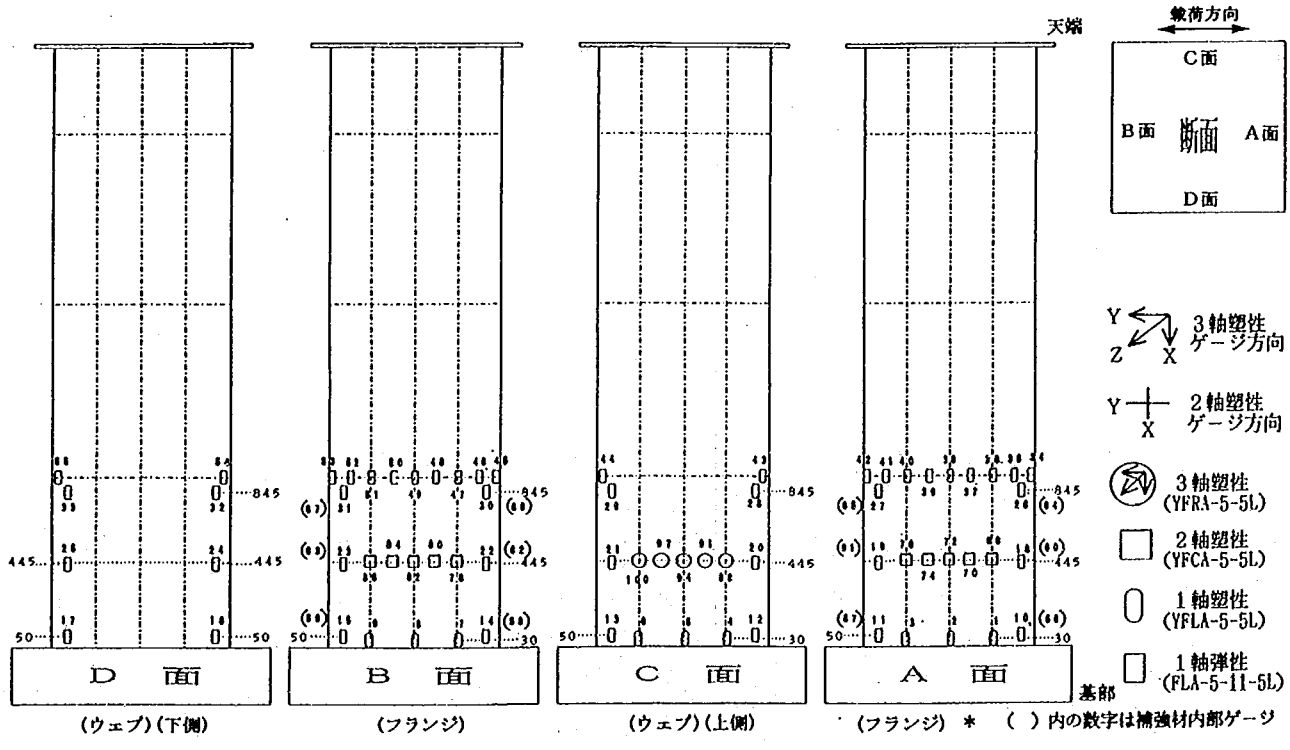



図-2.3.4(4) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No.25)

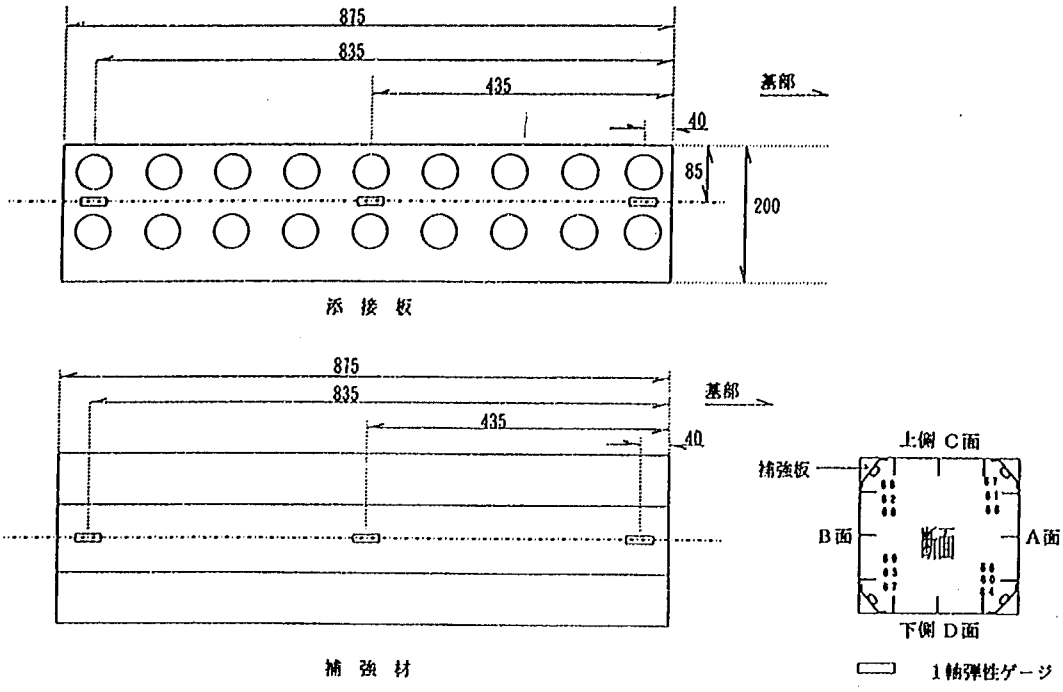



図-2.3.4(4) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No. 25)

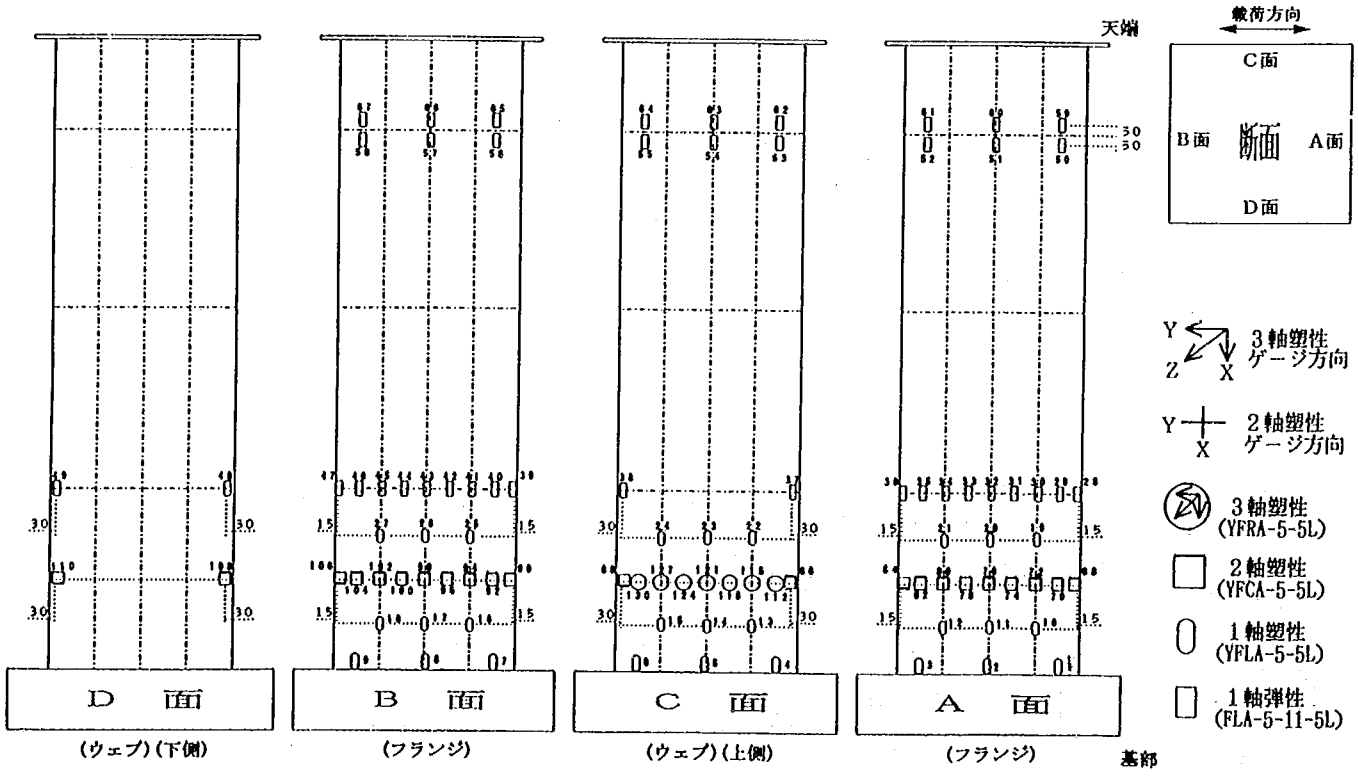



図-2.3.4(5) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No. 26)

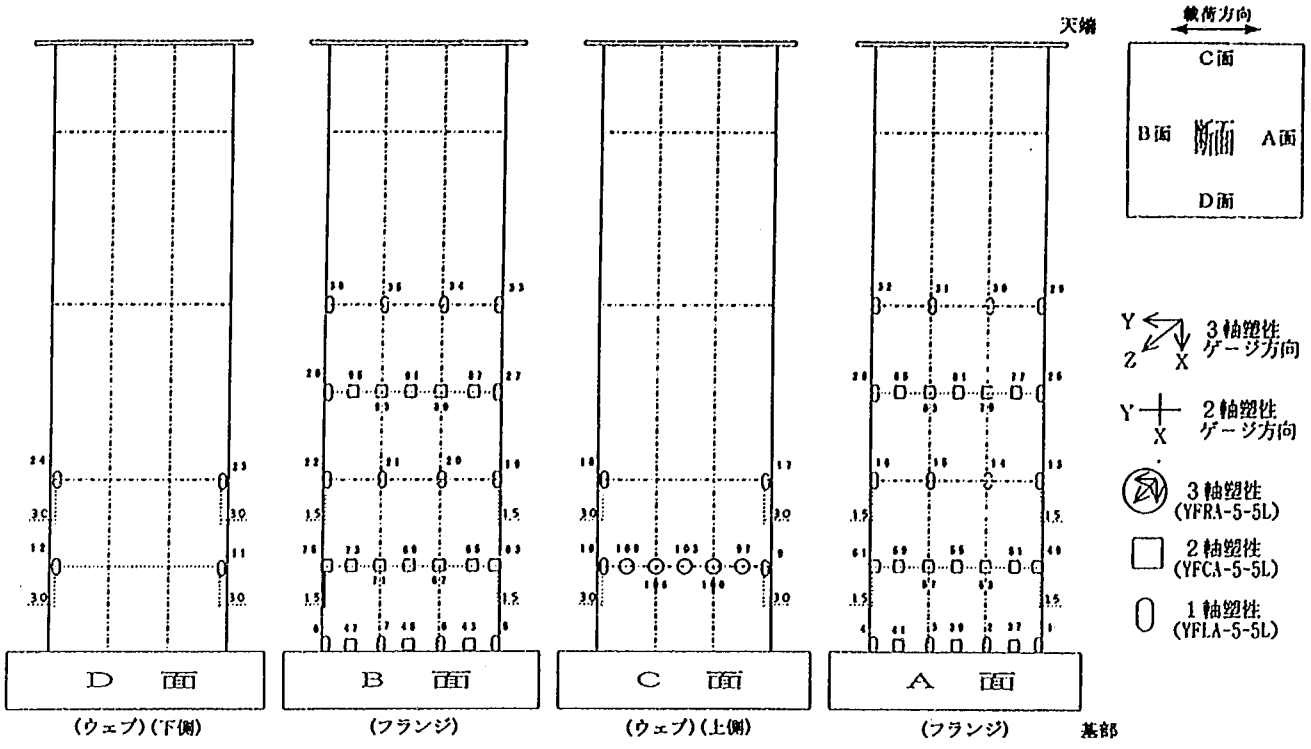



図-2.3.4(6) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No. 27)

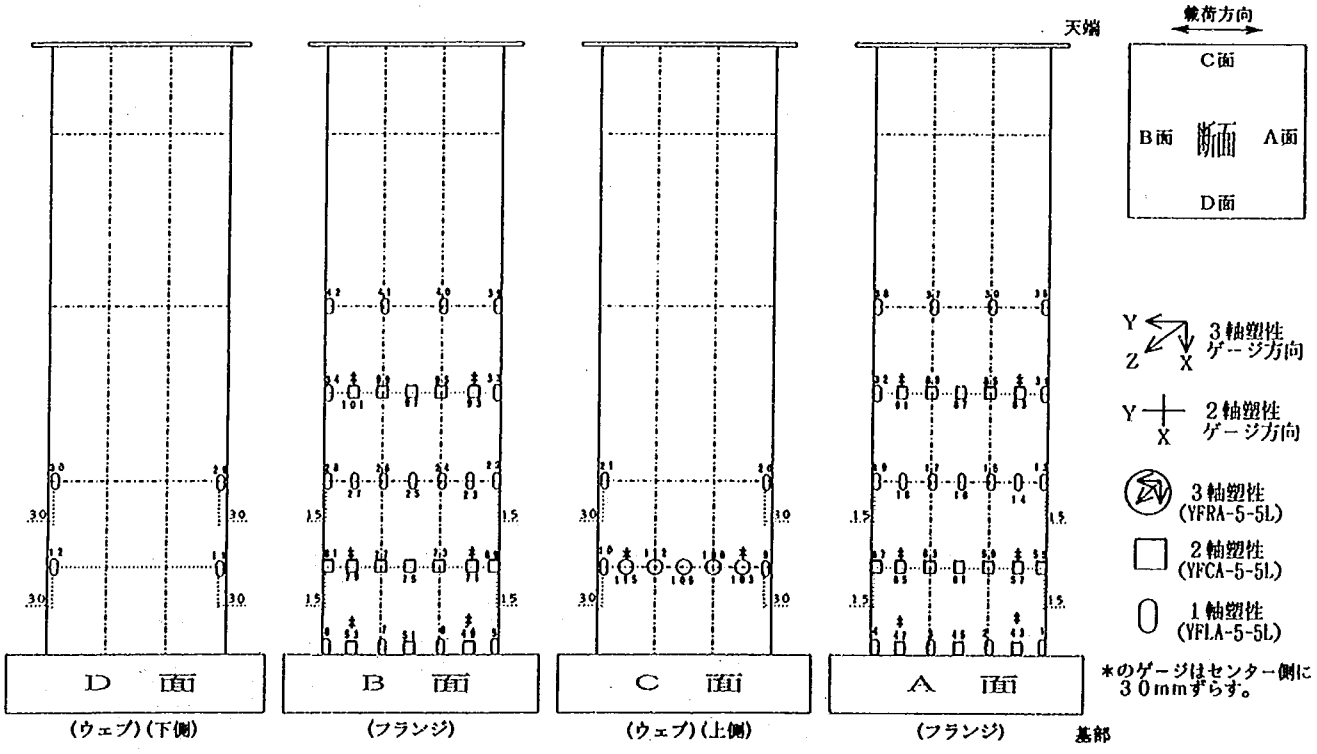



図-2.3.4(7) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No. 28)

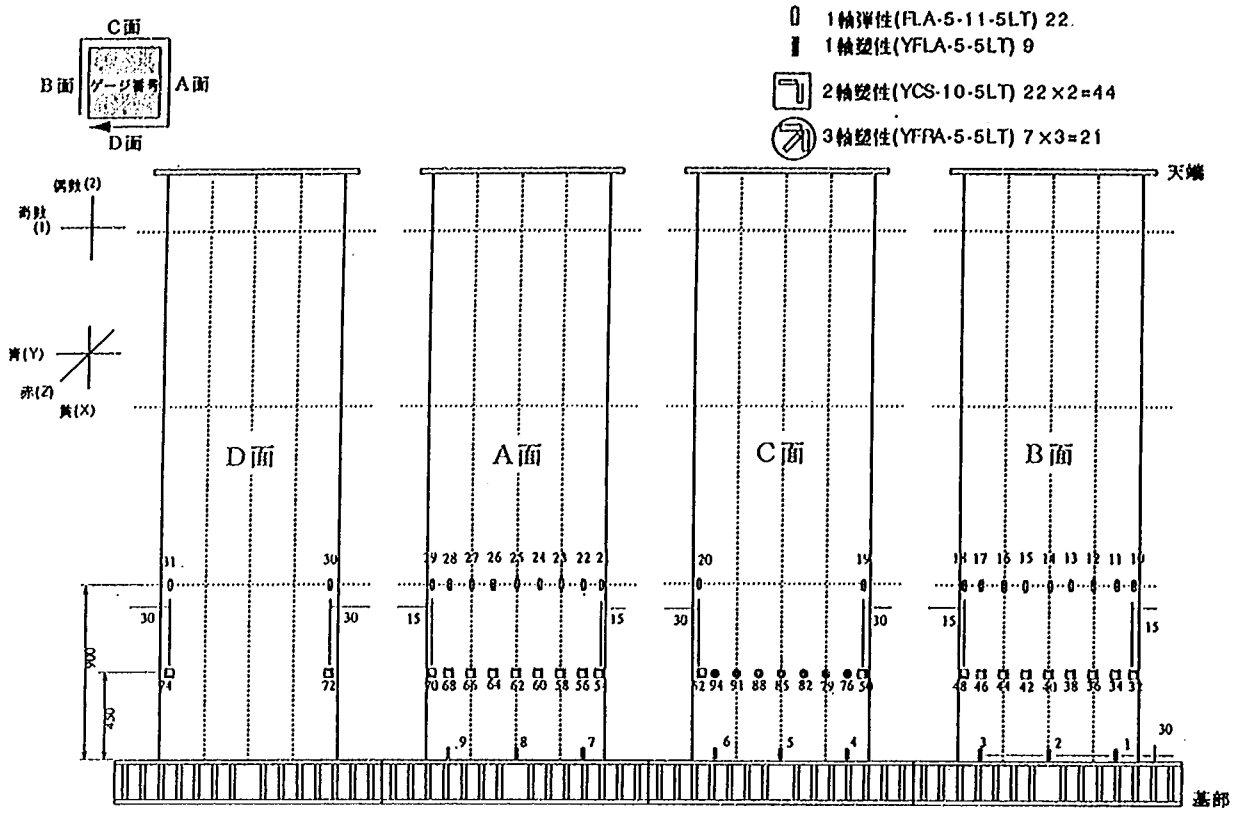



図-2.3.4(8) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(A社における実験、No. 2, No. 3, No. 5)

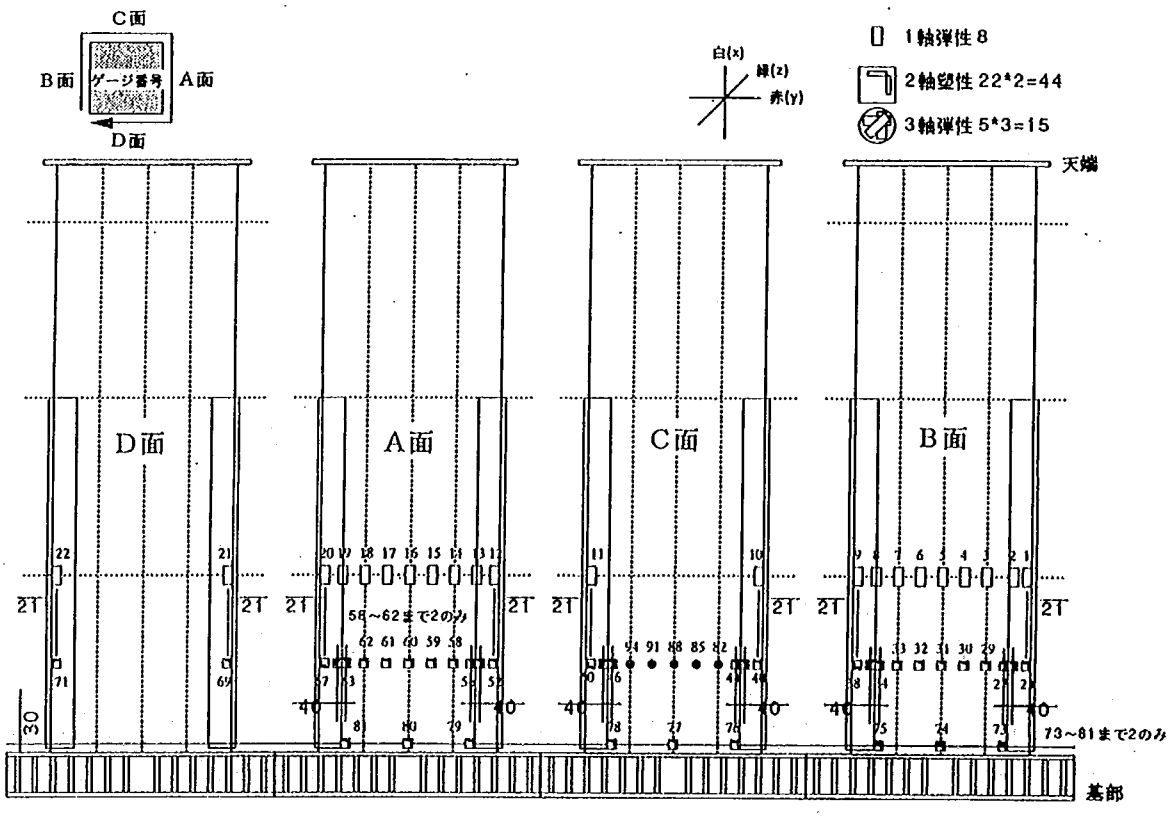



図-2.3.4(9) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(A社における実験、No. 4)

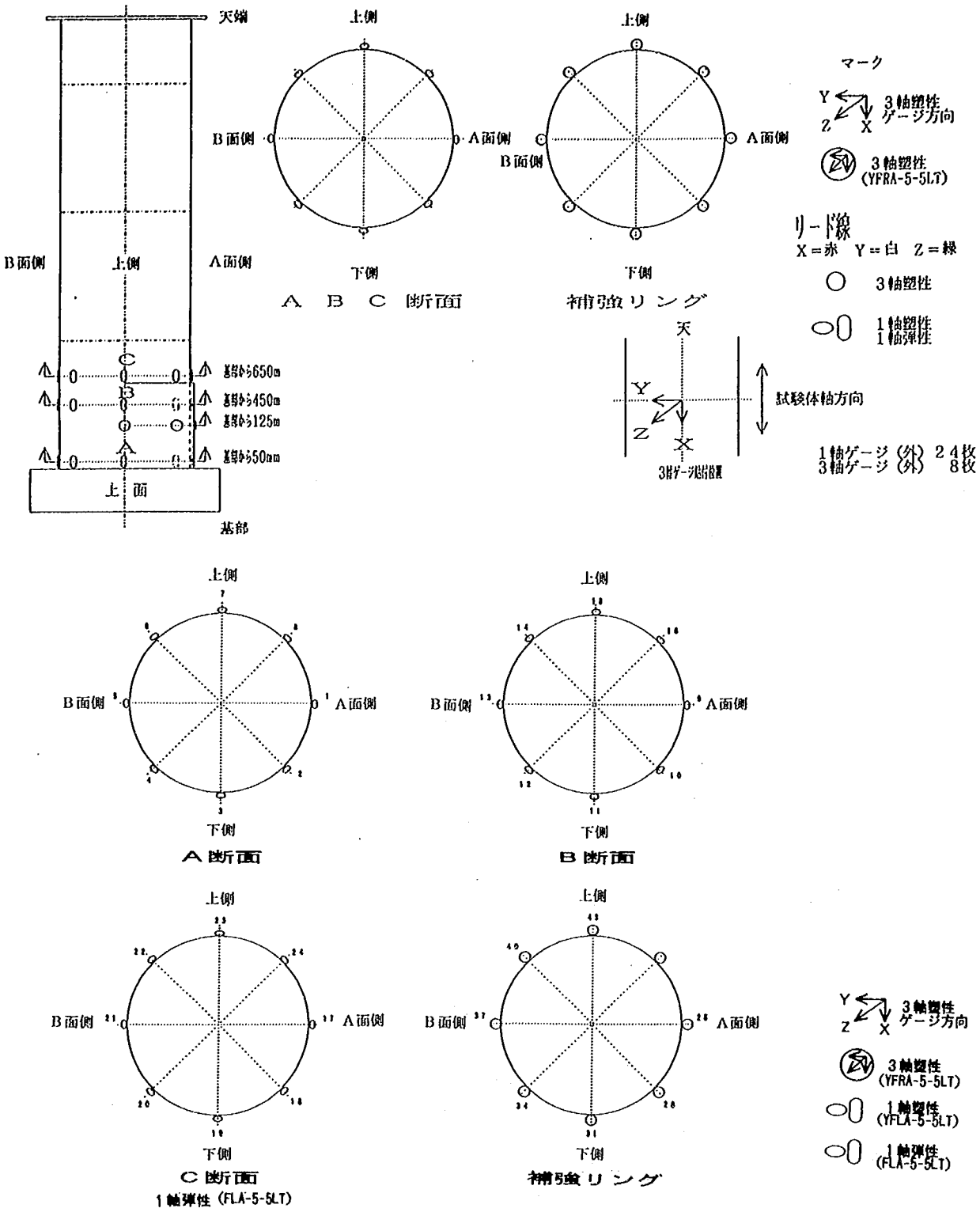



図-2.3.5(1) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No. 15, No. 31)

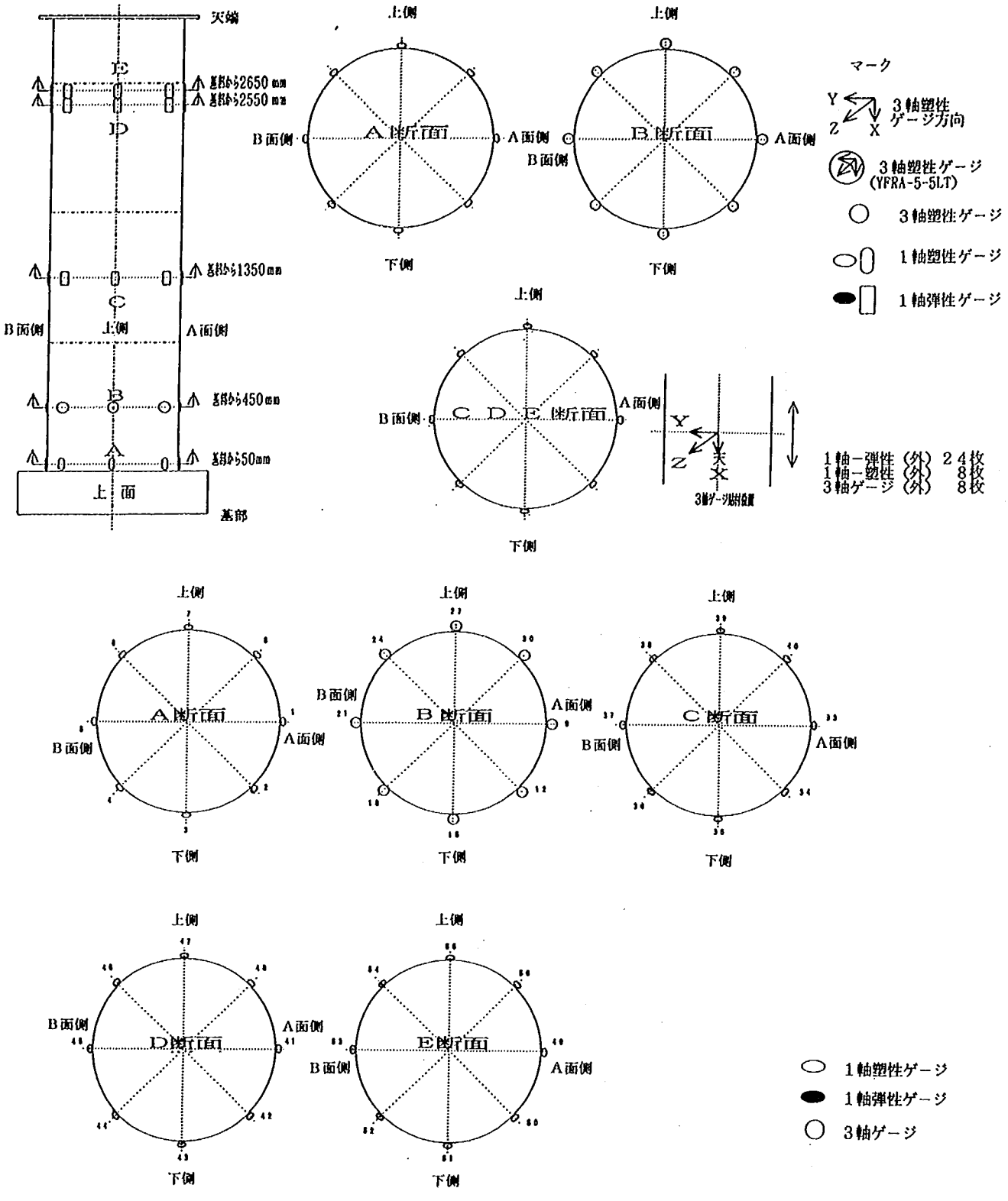



図-2.3.5(2) 供試体のひずみゲージ貼付位置
（土木研究所における実験、No. 16, No. 30）

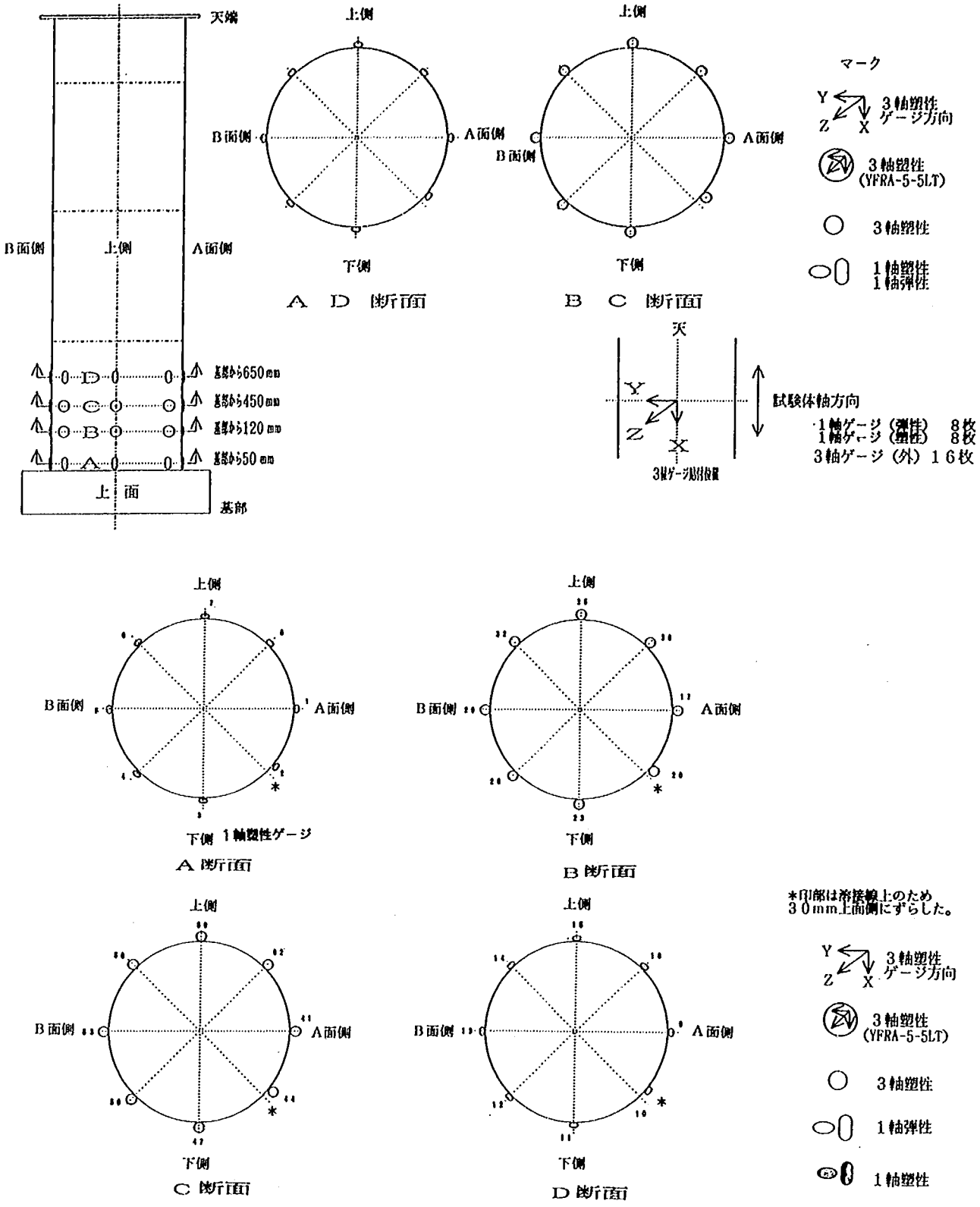



図-2.3.5(3) 供試体のひずみゲージ貼付位置
(土木研究所における実験、No. 29)

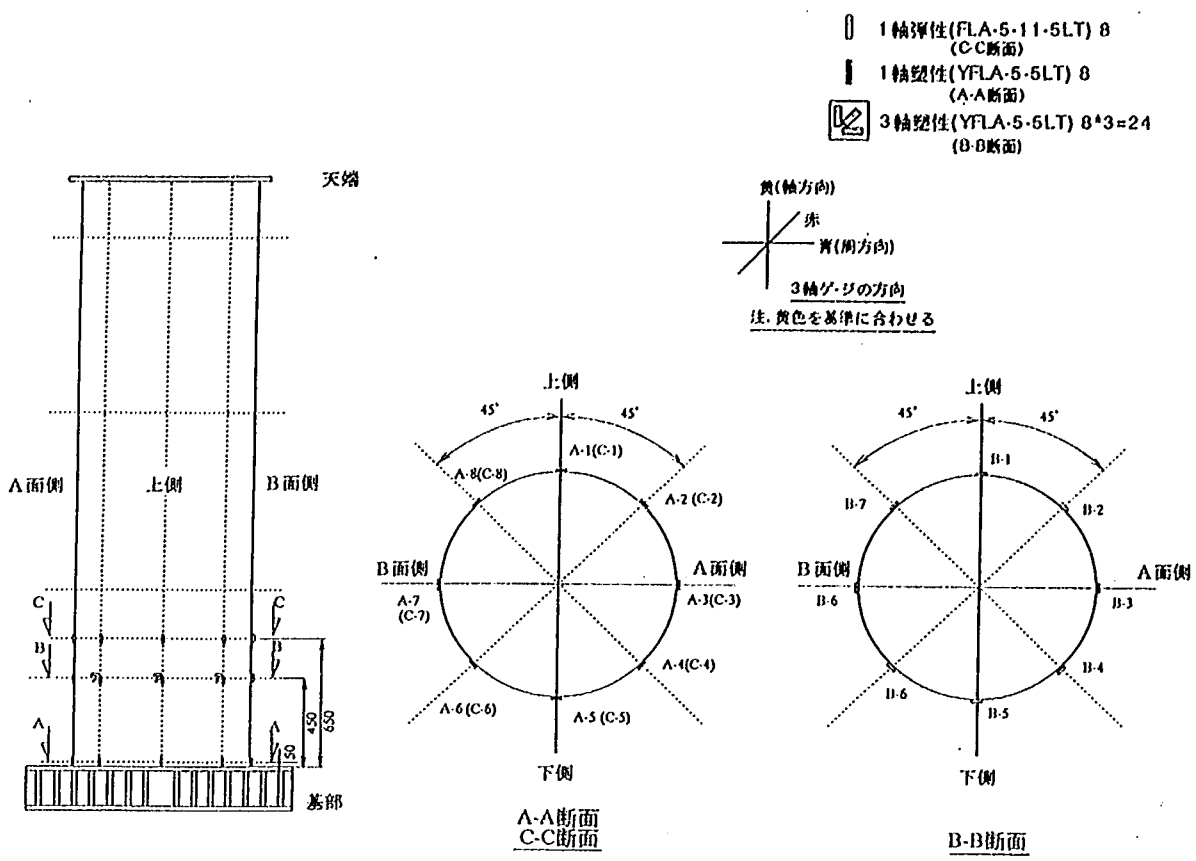



図-2.3.5(4) 供試体のひずみゲージ貼付位置
（A社における実験、No. 6, No. 8）

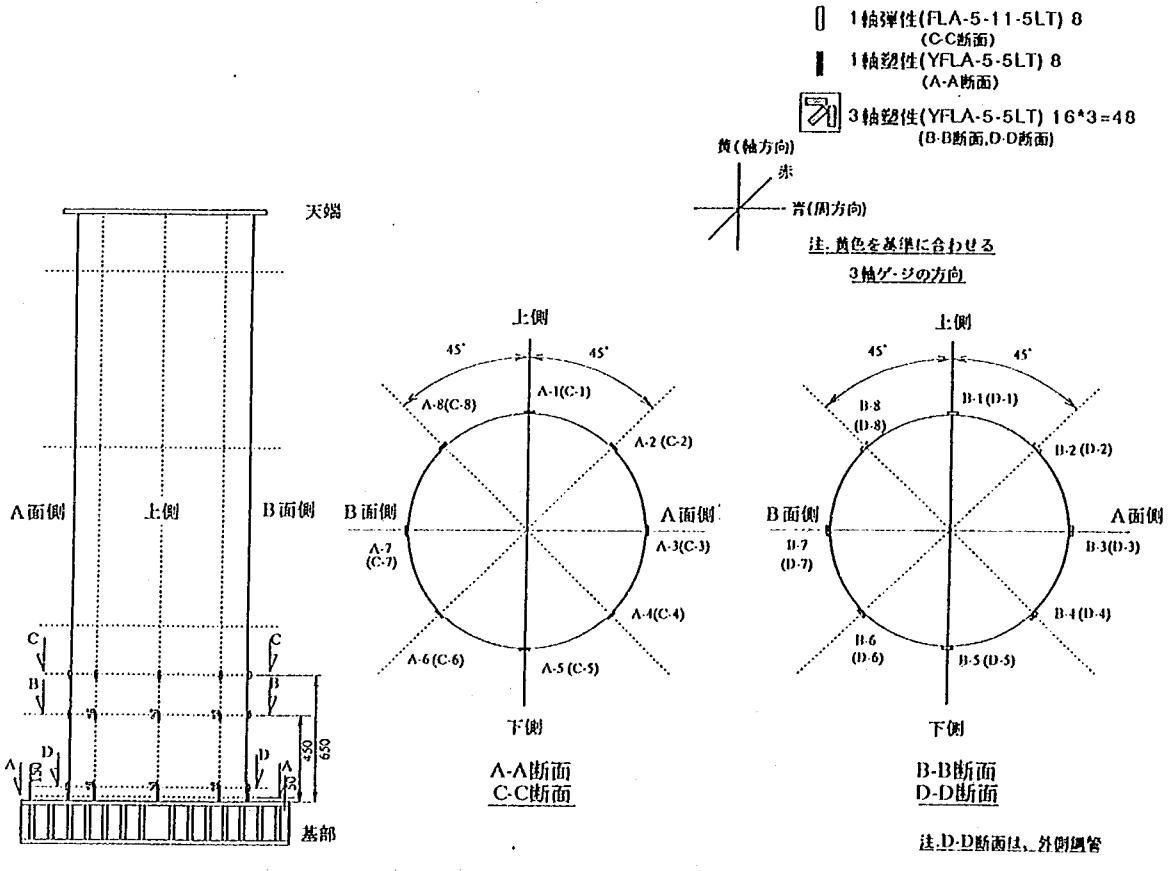



図-2.3.5(5) 供試体のひずみゲージ貼付位置
（A社における実験、No. 7）

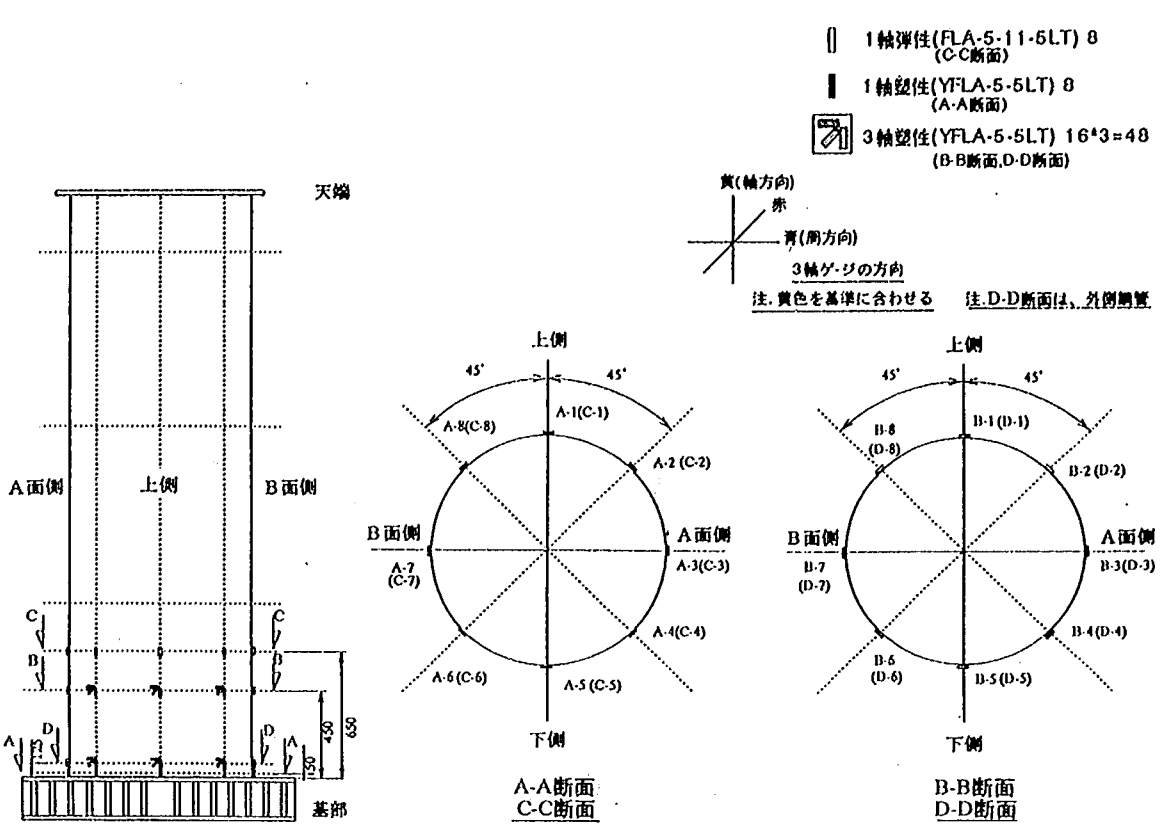
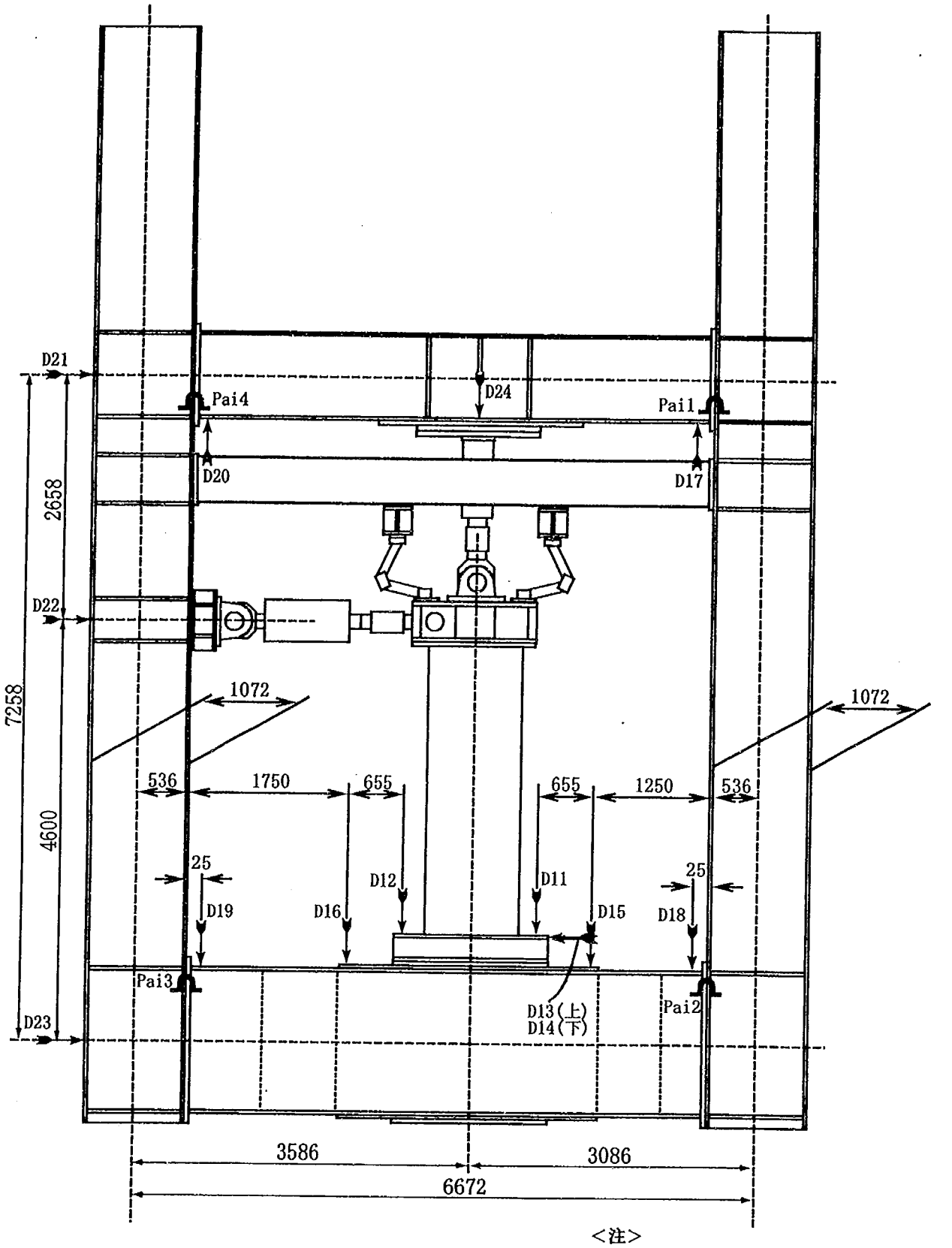



図-2.3.5(6) 供試体のひずみゲージ貼付位置
（A社における実験、No. 9）




<注>
記号D11～D24はひずみゲージ式一般変位計
記号Pai1～Pai4はパイ型変位計
←■→：変位計の取付け位置と方向

図-2.3.6 土木研究所の載荷フレームの変位計取付け位置

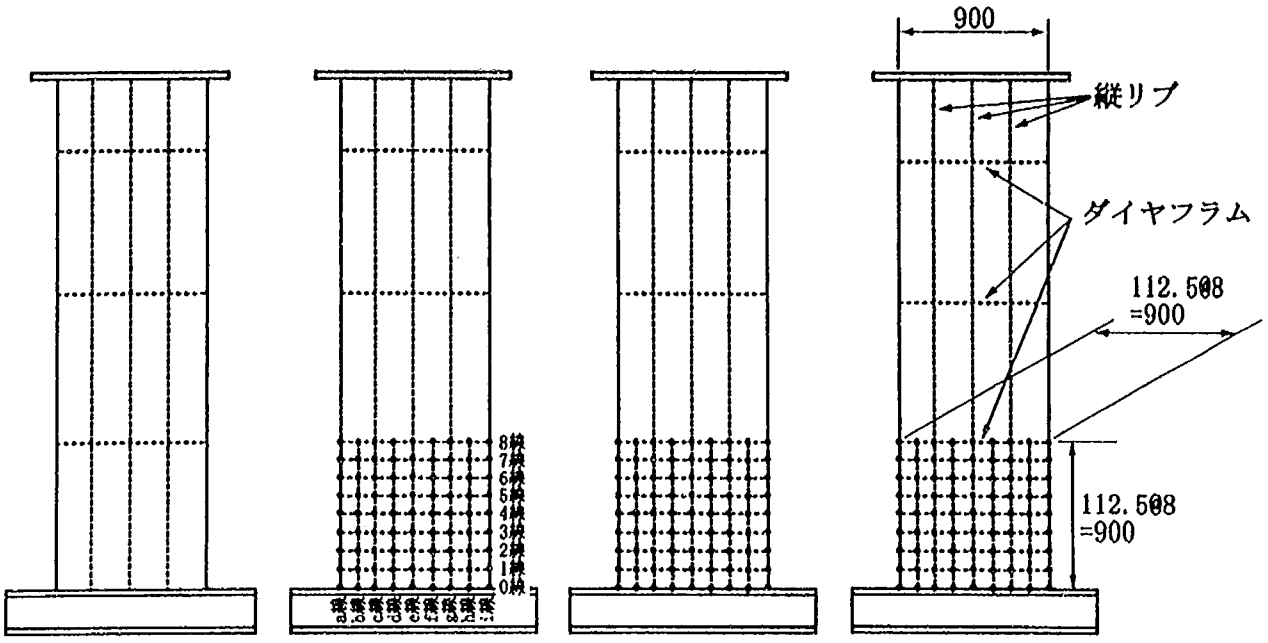



図-2.3.7 面外変位の測定位置

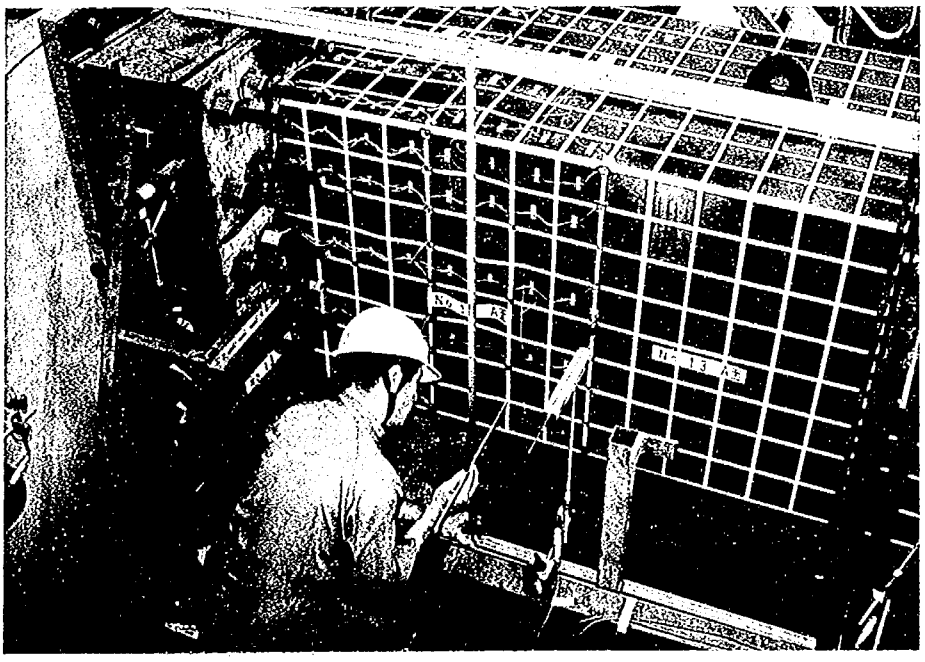


写真-2.3.1 面外変位測定状況

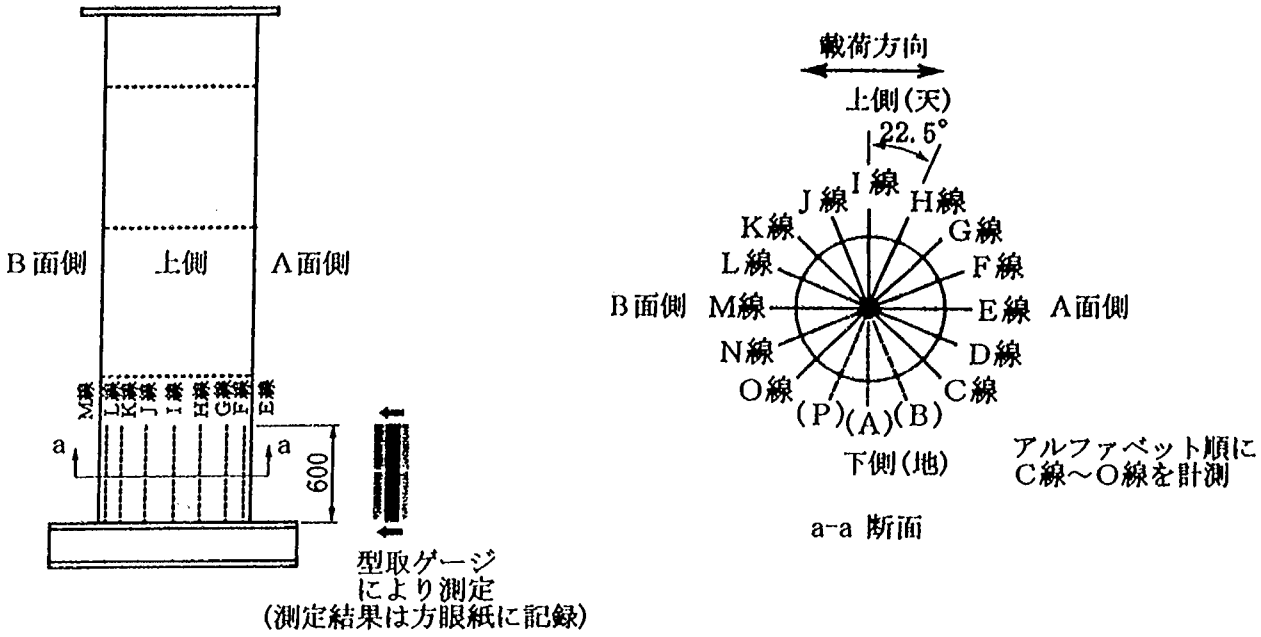



図-2.3.8 面外変位の測定位置

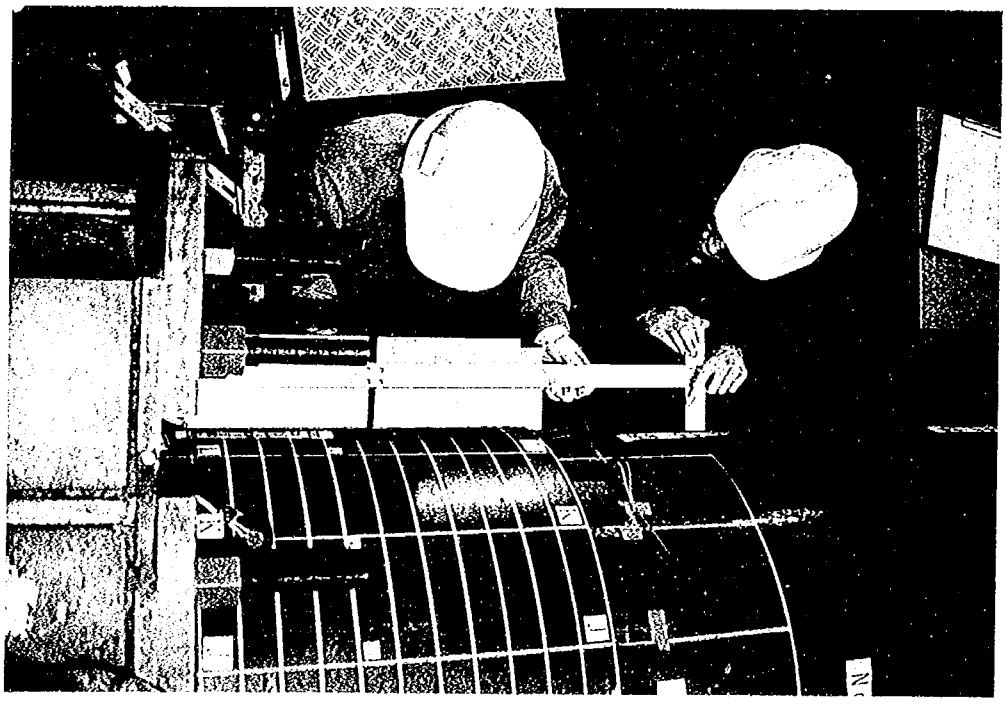


写真-2.3.2 面外変位測定状況

# 3. 実験結果

## 3.1 短形断面

## 表-3.1.1 実験結果一覧

| 矩形断面 供試体 | 外形寸法 $b \times b$ (mm) | 板厚 $t$ (mm) | 縦リブ寸法 (mm) | 横リブ間隔 $a$ (mm) | パネル数 | 鋼種 | 鋼材降伏点 $\sigma_y$ (kgf/cm$^2$) | 断面積 $A$ (cm$^2$) | 断面2次モーメント $I$ (cm$^4$) | 断面2次半径 $r$ (cm) | 有効長 $l$ (=2$h$) (cm) | 細長比 $\lambda$ | 幅厚比パラメータ $R_R$ | 幅厚比パラメータ $R_F$ | リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_l^*$ | リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_{l\text{-req}}$ | 軸力 $N$ (tf) | 軸力比 $N/N_{yN}$ | 軸力比 $N/N_{yM}$ | 供試体 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 20 基本 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 4,160 | 378.4 | 480,500 | 35.6 | 684.6 | 0.272 | 0.585 | 0.611 | 0.914 | 0.914 | 196 | 0.162 | 0.125 | No. 20 |
| No. 18 基本 軸力増 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,900 | 378.4 | 480,500 | 35.6 | 684.6 | 0.264 | 0.567 | 0.591 | 0.914 | 0.914 | 291 | 0.240 | 0.197 | No. 18 |
| No. 19 基本 片振幅 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 4,040 | 378.4 | 480,500 | 35.6 | 684.6 | 0.268 | 0.577 | 0.602 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150 | 0.119 | No. 19 |
| No. 2 基本 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,860 | 378.4 | 480,500 | 35.6 | 680.6 | 0.261 | 0.564 | 0.588 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150 | 0.125 | No. 2 |
| No. 13 中埋め有 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,770 | 378.4 | 480,500 | 35.6 | 684.6 | 0.259 | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150 | 0.128 | No. 13 |
| No. 17 中埋め有(付着切) | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 4,080 | 378.4 | 480,500 | 35.6 | 684.6 | 0.270 | 0.580 | 0.605 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150 | 0.118 | No. 17 |
| No. 3 縦リブ追加 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 8 | SM490 | 3,750 | 455.2 | 566,500 | 35.3 | 680.6 | 0.260 | 0.278 | 0.454 | 0.368 | 1.220 | 182 | 0.125 | 0.107 | No. 3 |
| No. 4 角補強(◿-EW) | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,770 | 481.6 | 552,800 | 36.8 | 680.6 | 0.249 | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.118 | 0.100 | No. 4 |
| No. 10 角補強(◿-EW)CP6mm | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,940 | 419.2 | 539,700 | 35.9 | 684.6 | 0.263 | 0.569 | 0.594 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.136 | 0.110 | No. 10 |
| No. 22 角補強(◿-EW)CP9mm | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,900 | 439.6 | 569,300 | 36.0 | 684.6 | 0.261 | 0.567 | 0.591 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.129 | 0.106 | No. 22 |
| No. 23 角補強(◿-EW) 軸力増 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,910 | 439.6 | 569,300 | 36.0 | 684.6 | 0.261 | 0.567 | 0.592 | 0.914 | 0.914 | 291 | 0.207 | 0.169 | No. 23 |
| No. 24 角補強(◿-EW)n=3 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 4,010 | 439.6 | 569,300 | 36.0 | 684.6 | 0.265 | 0.575 | 0.600 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.129 | 0.103 | No. 24 |
| No. 5 角補強(L-HTB) | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,770 | 378.4<br>(504.7) | 480,500<br>(692,600) | 35.6<br>(37.0) | 680.6 | 0.258<br>(0.248) | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150<br>(0.113) | 0.128<br>(0.0957) | No. 5 |
| No. 12 角補強(L-HTB) | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,770 | 378.4<br>(439.9) | 480,500<br>(587,100) | 35.6<br>(36.5) | 684.6 | 0.259<br>(0.253) | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150<br>(0.129) | 0.128<br>(0.110) | No. 12 |
| No. 11 角補強(◿-HTB) | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,770 | 378.4<br>(447.0) | 480,500<br>(584,200) | 35.6<br>(36.2) | 684.6 | 0.259<br>(0.255) | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150<br>(0.127) | 0.128<br>(0.108) | No. 11 |
| No. 14 角補強(◿-HTB)<br>+中埋め有 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 3,770 | 378.4<br>(447.0) | 480,500<br>(584,200) | 35.6<br>(36.2) | 684.6 | 0.259<br>(0.255) | 0.557 | 0.581 | 0.914 | 0.914 | 291 | 0.240<br>(0.203) | 0.204<br>(0.173) | No. 14 |
| No. 25 角補強(◿-HTB)<br>+補強板 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 4,060 | 378.4<br>(639.0) | 480,500<br>(901,400) | 35.6<br>(37.6) | 684.6 | 0.269<br>(0.255) | 0.578 | 0.603 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150<br>(0.0890) | 0.118<br>(0.0702) | No. 25 |
| No. 28 M8+角補強(◿-HTB) | 900×900 | 10 | 65×6 | 900 | 3 | SM490 | 3,780 | 387.2<br>(455.8) | 499,500<br>(603,200) | 35.9<br>(36.4) | 684.6 | 0.257<br>(0.254) | 0.669 | 0.869 | 0.549 | 0.549 | 196 | 0.158<br>(0.134) | 0.134<br>(0.114) | No. 28 |
| No. 26 コンクリート充填No. 2溶込 | 900×900 | 9 | 80×6 | 900 | 4 | SM490 | 4,120 | 378.4 | 480,500 | 35.6 | 684.6 | 0.271 | 0.582 | 0.608 | 0.914 | 0.914 | 182 | 0.150 | 0.117 | No. 26 |
| No. 27 M8+コンクリート充填 軸力増 | 900×900 | 10 | 65×6 | 900 | 3 | SM490 | 3,900 | 387.2 | 499,500 | 35.9 | 684.6 | 0.261 | 0.680 | 0.883 | 0.549 | 0.549 | 291 | 0.235 | 0.193 | No. 27 |

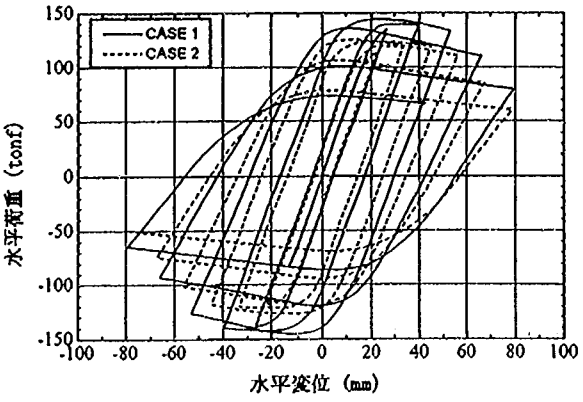
注1) 供試体の説明欄において、Lは角補強材にアングル部材を用いたことを意味し、◿は角補強材に角部が閉断面となるようなコーナープレートを用いたことを意味する。次の記号EWは角溶接補強を意味し、HTBは角ボルト補強を意味する。

注2) HTBによる補強材の断面等は既設橋脚の補強を想定したので考慮していない。なお、参考までに補強材の断面等を考慮した値をカッコ内に示す。

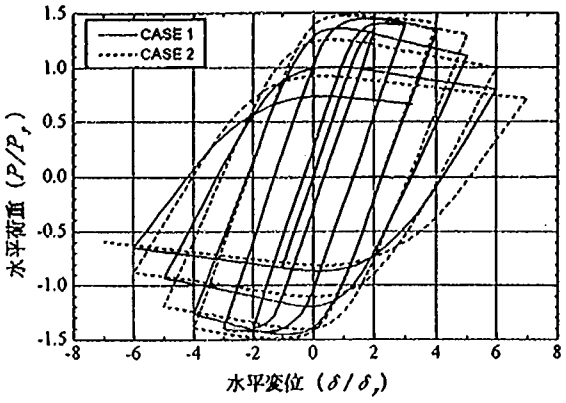
## 表-3.1.1 実験結果一覧

| 矩形断面 供試体 | | 実験場所 | $P_{yN}$ (tf) | $P_{yM}$ (tf) | $P_u$ (tf) | $\frac{P_u}{P_{yM}}$ | $\delta_{yTN}$ (mm) | $\delta_{yTM}$ (mm) | $\delta_{yEN}$ (mm) | $\delta_{yEM}$ (mm) | $\delta_m$ (mm) | $\delta_{97}$ (mm) | $\delta_{95}$ (mm) | $\delta_{lim}$ (mm) | $\delta_u$ (mm) | $\frac{\delta_m}{\delta_{yEN}}$ | $\frac{\delta_{97}}{\delta_{yEN}}$ | $\frac{\delta_{95}}{\delta_{yEN}}$ | $\frac{\delta_{lim}}{\delta_{yEN}}$ | $\frac{\delta_u}{\delta_{yEN}}$ | 供試体 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 20 | 基本 | 土研 | 83.7 | 114 | 140 | 1.23 | 11.1 | 15.1 | 14.0 | 19.0 | 37 | 42 | 45 | − | 55 | 2.6 | 3.0 | 3.2 | − | 3.9 | No. 20 |
| No. 18 | 基本 軸力増 | 土研 | 75.8 | 97.7 | 130 | 1.33 | 10.0 | 12.9 | 12.6 | 16.2 | 28 | 36 | 38 | − | 51 | 2.2 | 2.9 | 3.0 | − | 4.0 | No. 18 |
| No. 19 | 基本 片振幅 | 土研 | 84.8 | 111 | 138 | 1.24 | 11.2 | 14.7 | 14.2 | 18.6 | 42 | 49 | 51 | − | 66 | 3.0 | 3.5 | 3.6 | − | 4.6 | No. 19 |
| No. 2 | 基本 | A社 | 85.3 | 106 | 156 | 1.47 | 11.1 | 13.8 | 16.0 | 19.9 | 38 | 41 | 43 | − | 64 | 2.4 | 2.6 | 2.7 | − | 4.0 | No. 2 |
| No. 13 | 中埋め有 | 土研 | 84.8 | 103 | 151 | 1.47 | 11.2 | 13.6 | 13.4 | 16.2 | 56 | 60 | 67 | 66 | 88 | 4.2 | 4.5 | 5.0 | 4.9 | 6.6 | No. 13 |
| No. 17 | 中埋め有(付着切) | 土研 | 84.8 | 112 | 157 | 1.40 | 11.2 | 14.9 | 12.5 | 16.5 | 47 | 57 | 60 | 68 | 78 | 3.8 | 4.6 | 4.8 | 5.4 | 6.2 | No. 17 |
| No. 3 | 縦リブ追加 | A社 | 104 | 124 | 197 | 1.59 | 11.4 | 13.7 | 17.2 | 20.6 | 54 | 65 | 69 | 62 | 101 | 3.1 | 3.8 | 4.0 | 3.6 | 5.9 | No. 3 |
| No. 4 | 角補強(∠-EW) | A社 | 120 | 145 | 219 | 1.51 | 11.5 | 13.9 | 15.6 | 18.8 | 58 | 77 | 78 | 77 | 102 | 3.7 | 4.9 | 5.0 | 4.9 | 6.5 | No. 4 |
| No. 10 | 角補強(∠-EW)CP6mm | 土研 | 96.9 | 123 | 155 | 1.26 | 11.4 | 14.5 | 15.1 | 19.1 | 45 | 67 | 72 | 67 | 90 | 3.0 | 4.4 | 4.8 | 4.4 | 6.0 | No. 10 |
| No. 22 | 角補強(∠-EW)CP9mm | 土研 | 103 | 129 | 173 | 1.34 | 11.5 | 14.4 | 14.7 | 18.4 | 59 | 78 | 83 | 82 | 106 | 4.0 | 5.3 | 5.6 | 5.6 | 7.2 | No. 22 |
| No. 23 | 角補強(∠-EW) 軸力増 | 土研 | 93.8 | 120 | 162 | 1.35 | 10.5 | 13.4 | 14.3 | 18.3 | 44 | 57 | 63 | 70 | 86 | 3.1 | 4.0 | 4.4 | 4.9 | 6.0 | No. 23 |
| No. 24 | 角補強(∠-EW)n=3 | 土研 | 103 | 133 | 172 | 1.29 | 11.5 | 14.9 | 15.6 | 20.1 | 62 | 67 | 69 | 66 | 83 | 4.0 | 4.3 | 4.4 | 4.2 | 5.3 | No. 24 |
| No. 5 | 角補強(L-HTB) | A社 | 85.3 (128) | 103 (154) | 175 | 1.70 (1.13) | 11.1 (11.6) | 13.4 (13.9) | 11.4 (17.1) | 13.8 (20.5) | 50 | 62 | 64 | 61 | 97 (69) | 4.4 (2.9) | 5.4 (3.6) | 5.6 (3.7) | 5.4 (3.6) | 8.5 (4.0) | No. 5 |
| No. 12 | 角補強(L-HTB) | 土研 | 84.8 (106) | 103 (128) | 150 | 1.46 (1.17) | 11.2 (11.5) | 13.6 (13.9) | 12.5 (15.7) | 15.1 (18.9) | 45 | 53 | 56 | 50 | 82 (69) | 3.6 (2.9) | 4.2 (3.4) | 4.5 (3.6) | 4.0 (3.2) | 6.6 (4.4) | No. 12 |
| No. 11 | 角補強(∠-HTB) | 土研 | 84.8 (106) | 103 (128) | 153 | 1.49 (1.20) | 11.2 (11.5) | 13.6 (13.9) | 12.7 (16.0) | 15.4 (19.3) | 60 | 72 | 77 | 66 | 107 (91) | 4.7 (3.8) | 5.7 (4.5) | 6.1 (4.8) | 5.2 (4.1) | 8.4 (5.7) | No. 11 |
| No. 14 | 角補強(∠-HTB) +中埋め有 | 土研 | 75.8 (97) | 93.6 (118) | 154 | 1.65 (1.30) | 10.0 (10.5) | 12.4 (12.9) | 11.5 (14.7) | 14.2 (18.0) | 54 | 73 | 77 | 70 | 103 (94) | 4.7 (3.7) | 6.3 (5.0) | 6.7 (5.2) | 6.1 (4.8) | 9.0 (6.4) | No. 14 |
| No. 25 | 角補強(∠-HTB) +補強板 | 土研 | 84.8 (171) | 112 (221) | 193 | 1.73 (0.874) | 11.2 (12.0) | 14.8 (15.6) | 10.7 (21.6) | 14.1 (28.0) | 76 | 83 | 85 | 79 | 119 − | 7.1 (3.5) | 7.8 (3.8) | 7.9 (3.9) | 7.4 (3.7) | 11.1 − | No. 25 |
| No. 28 | M8+角補強(∠-HTB) | 土研 | 87.4 (108) | 106 (131) | 153 | 1.44 (1.17) | 11.1 (11.4) | 13.5 (13.8) | 13.3 (16.5) | 16.2 (20.0) | 44 | 55 | 57 | 55 | 78 (91) | 3.3 (2.7) | 4.1 (3.3) | 4.3 (3.5) | 4.1 (3.3) | 5.9 (5.5) | No. 28 |
| No. 26 | ｺﾝｸﾘｰﾄ充填No. 2溶込 | 土研 | 84.8 | 114 | 192 | 1.69 | 11.2 | 15.0 | 9.00 | 12.0 | 76 | 101 | 106 | − | 157 | 8.4 | 11.2 | 11.8 | − | 17.4 | No. 26 |
| No. 27 | M8+ｺﾝｸﾘｰﾄ充填 軸力増 | 土研 | 79.4 | 102 | 213 | 2.09 | 10.1 | 13.0 | 6.80 | 8.7 | 56 | 75 | 86 | − | 171 | 8.2 | 11.0 | 12.6 | − | 25.1 | No. 27 |

注3) 記号の説明については、図-3.1.1を参照。



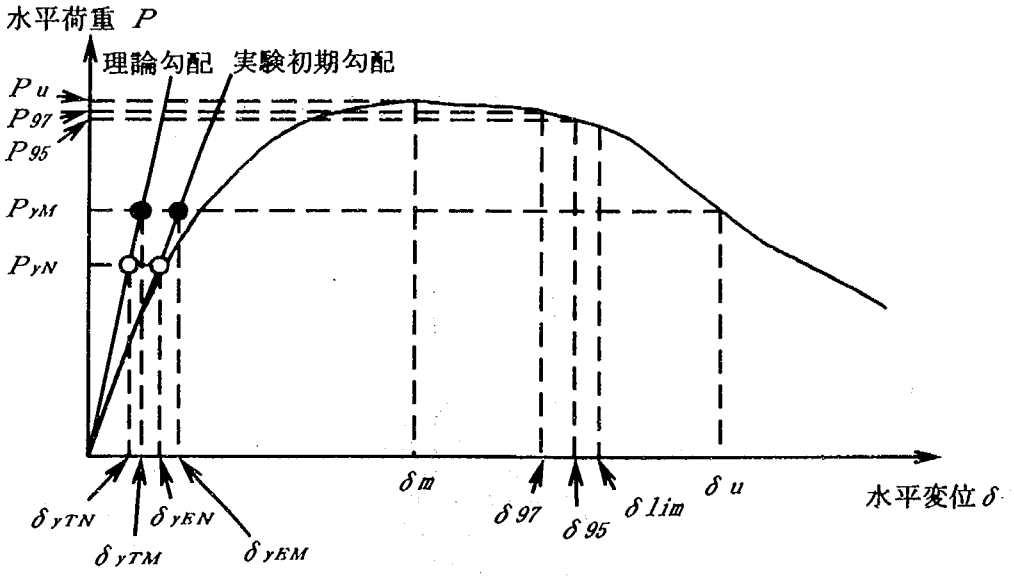

(a) FEM解析結果(正規化前)




(b) FEM解析結果(正規化後)

CASE 1 : $\sigma_y$ =3,765 kgf/cm2, $N/N_{yM}$ =0.15, $N$ =213.7 tonf,
$\delta_y$ =13.22 mm, $P_y$ =99.86 tonf

CASE 2 : $\sigma_y$ =3,200 kgf/cm2, $N/N_{yM}$ =0.15, $N$ =181.6 tonf,
$\delta_y$ =11.24 mm, $P_y$ =84.87 tonf




図中の記号の説明:

$Pu$ : 最大水平荷重

$P97$ : $Pu$の97%の荷重

$P95$ : $Pu$の95%の荷重

$$P_{yM} = \left(\sigma_{yM} - \frac{N}{A}\right)\frac{Z}{h}$$

$$P_{yN} = \left(\sigma_{yN} - \frac{N}{A}\right)\frac{Z}{h} \quad \cdots式(2.2.2)$$

$$\delta_{yTN} = \frac{P_{yN}\, h^3}{3EI} = \delta_{yo} \quad \cdots式(2.2.1)$$

$$\delta_{yTM} = \frac{P_{yM}\, h^3}{3EI}$$

$\delta_{yEN}$ : 実験初期勾配において水平荷重が$P_{yN}$の時の水平変位

$\delta_{yEM}$ : 実験初期勾配において水平荷重が$P_{yM}$の時の水平変位

$\delta m$ : 包絡線において水平荷重が$Pu$ の時の水平変位

$\delta 97$ : 包絡線において水平荷重が$P97$ の時の水平変位

$\delta 95$ : 包絡線において水平荷重が$P95$ の時の水平変位

$\delta 1im$ : ヒステリシスループのそれぞれの変位の折り返し点において、この点と同じ水平変位における次の繰返し載荷のループの水平荷重が$Pu$の2%以上低下(劣化)していない最大の変位折り返し点の水平変位。

$\delta u$ : 包絡線において水平荷重が$P_{yN}$の時の水平変位

(c) 記号説明

**図-3.1.1 水平荷重－水平変位関係**

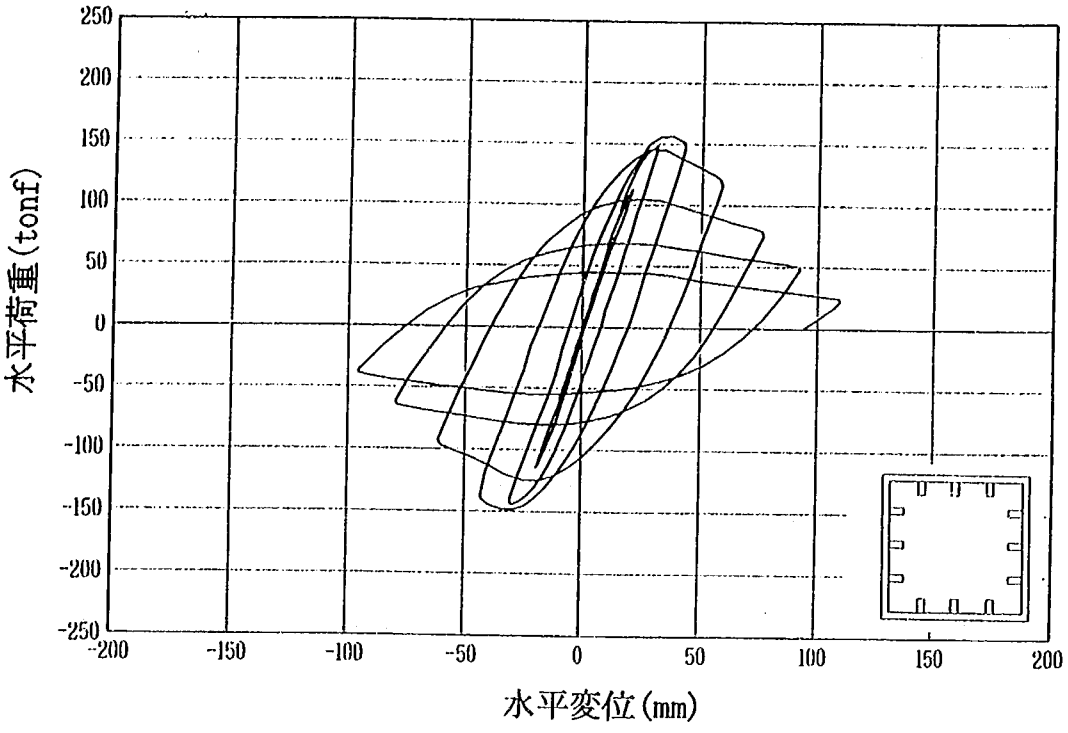



図-3.1.2(1)　水平荷重－水平変位関係 (No.2)

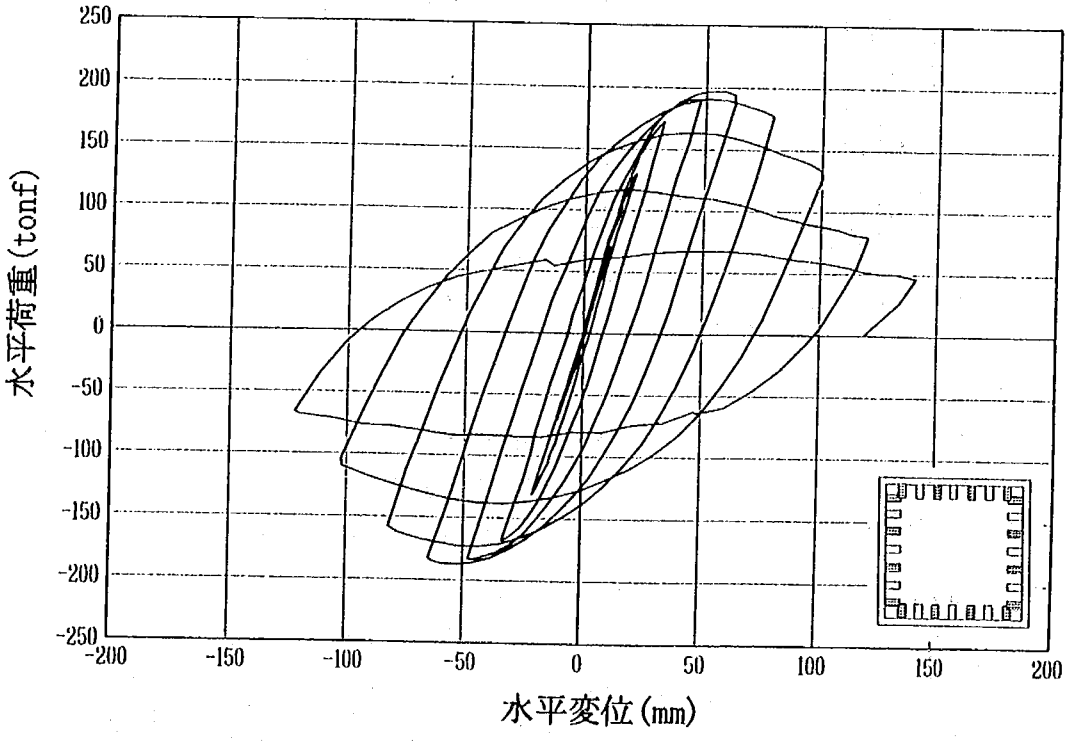



図-3.1.2(2)　水平荷重－水平変位関係 (No.3)

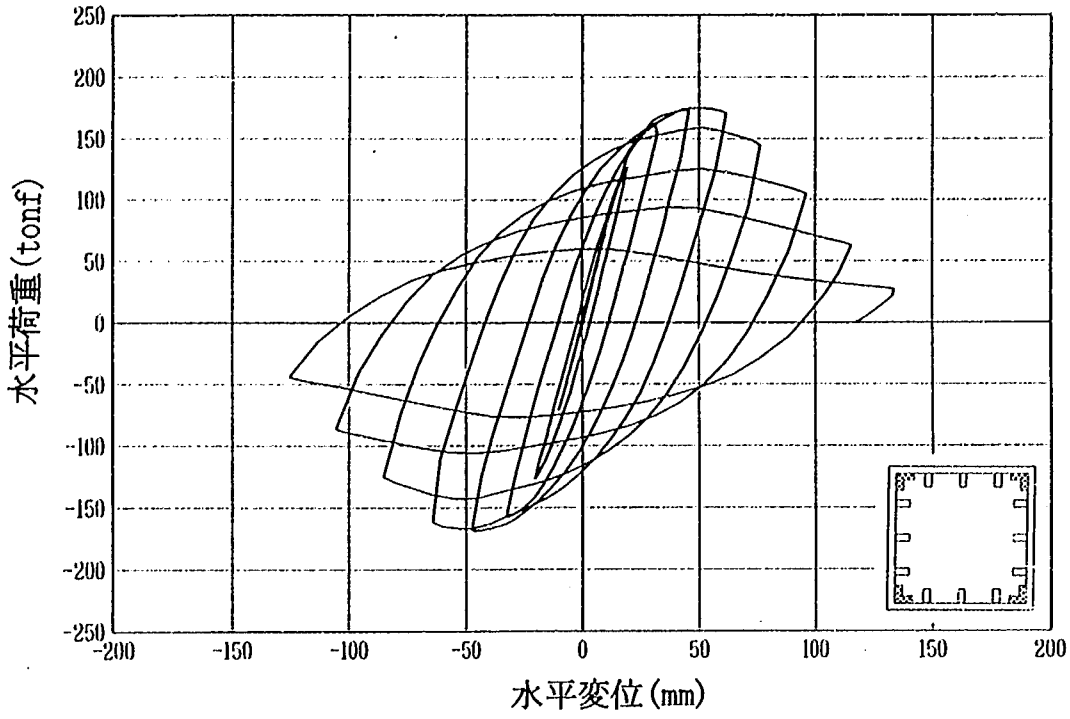



図-3.1.2(3)　水平荷重－水平変位関係（No.4）

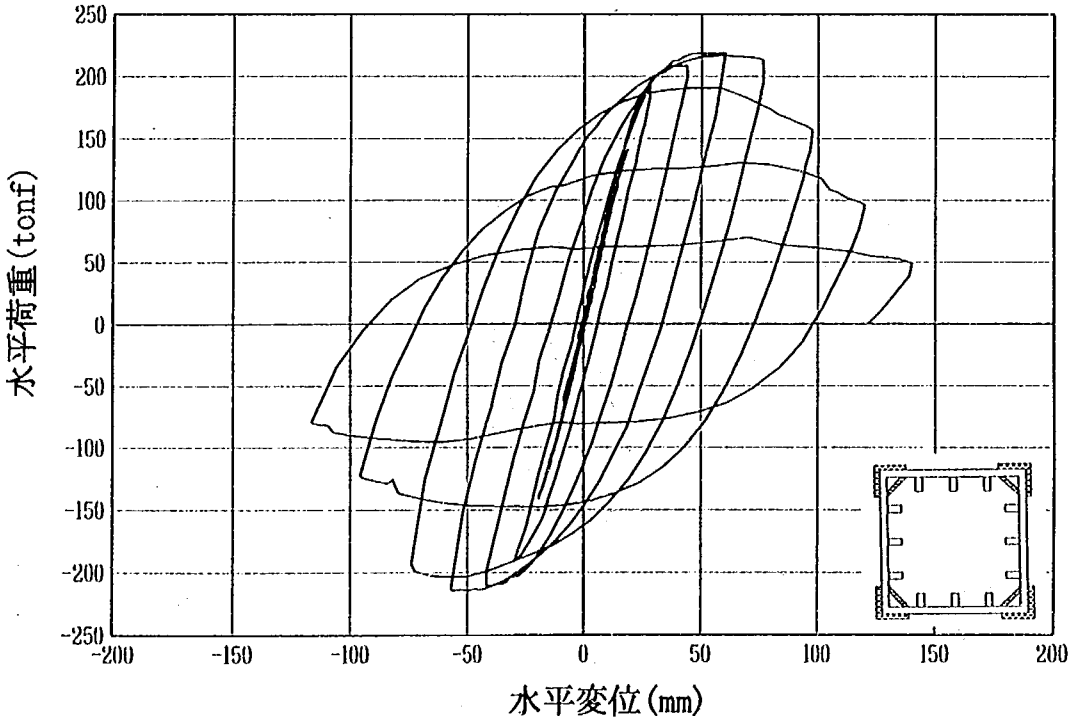



図-3.1.2(4)　水平荷重－水平変位関係（No.5）

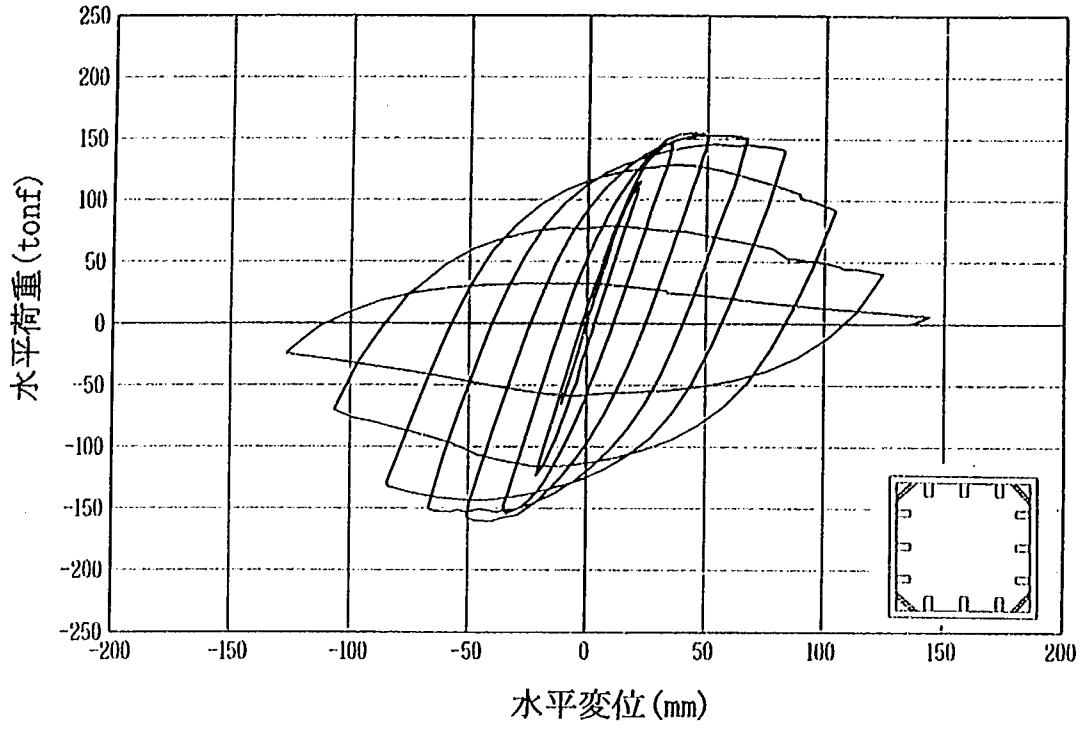



図-3.1.2(5)　水平荷重－水平変位関係（No.10）

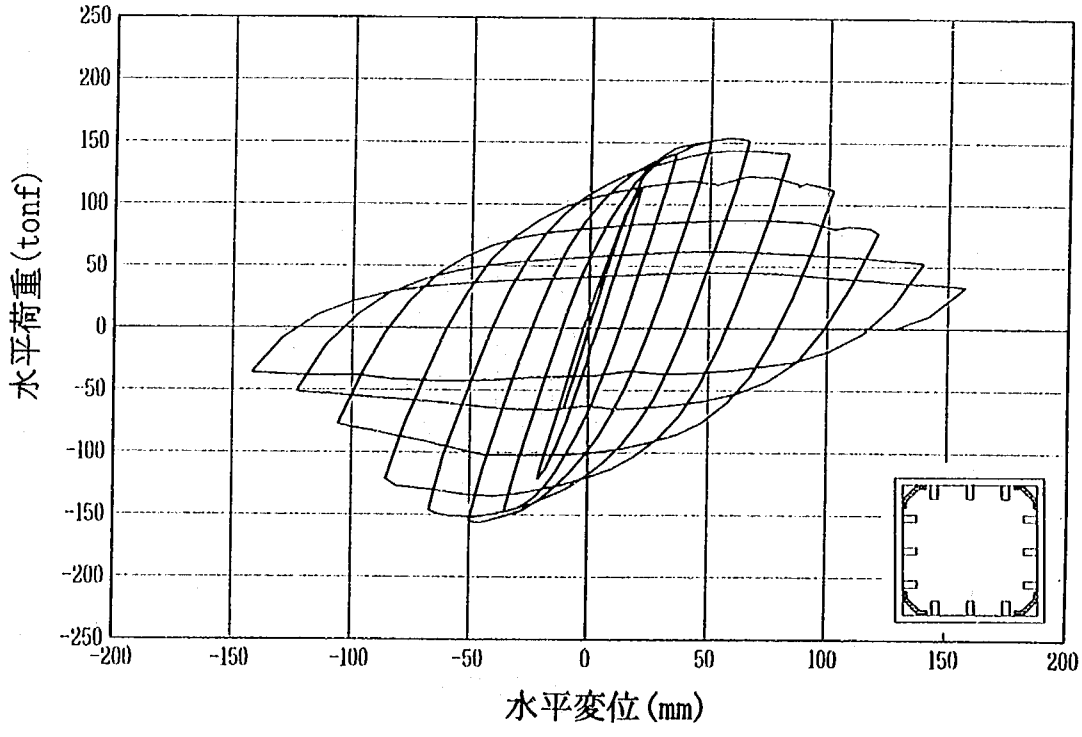



図-3.1.2(6)　水平荷重－水平変位関係（No.11）

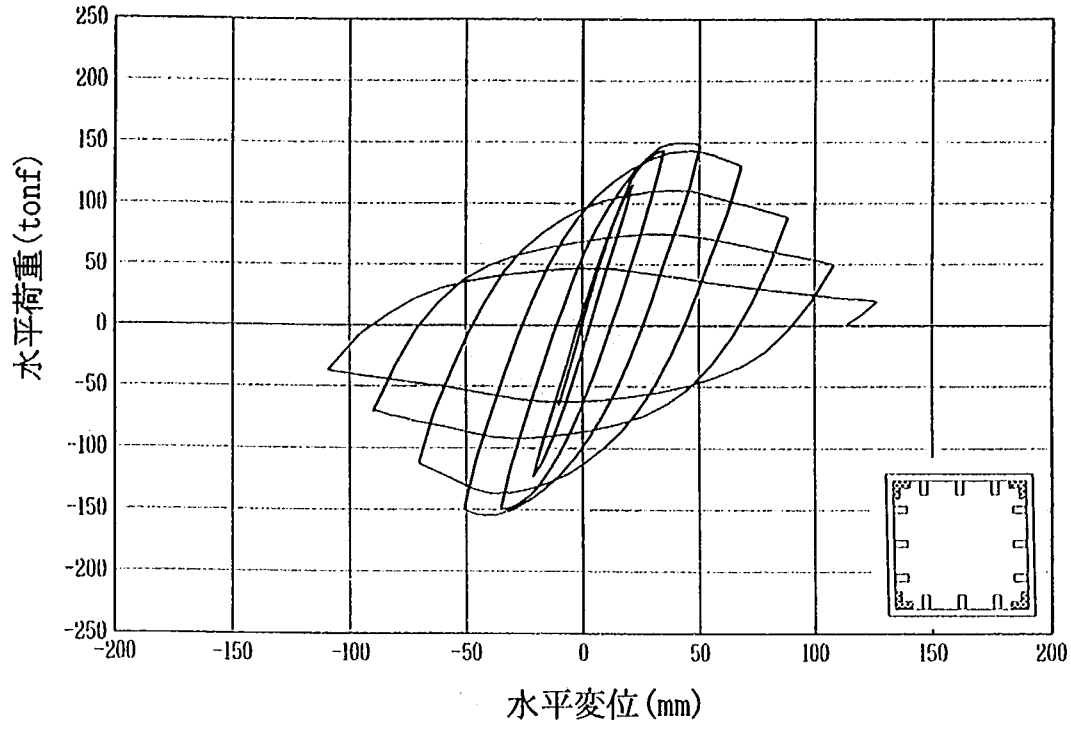



図-3.1.2(7)　水平荷重－水平変位関係（No.12）

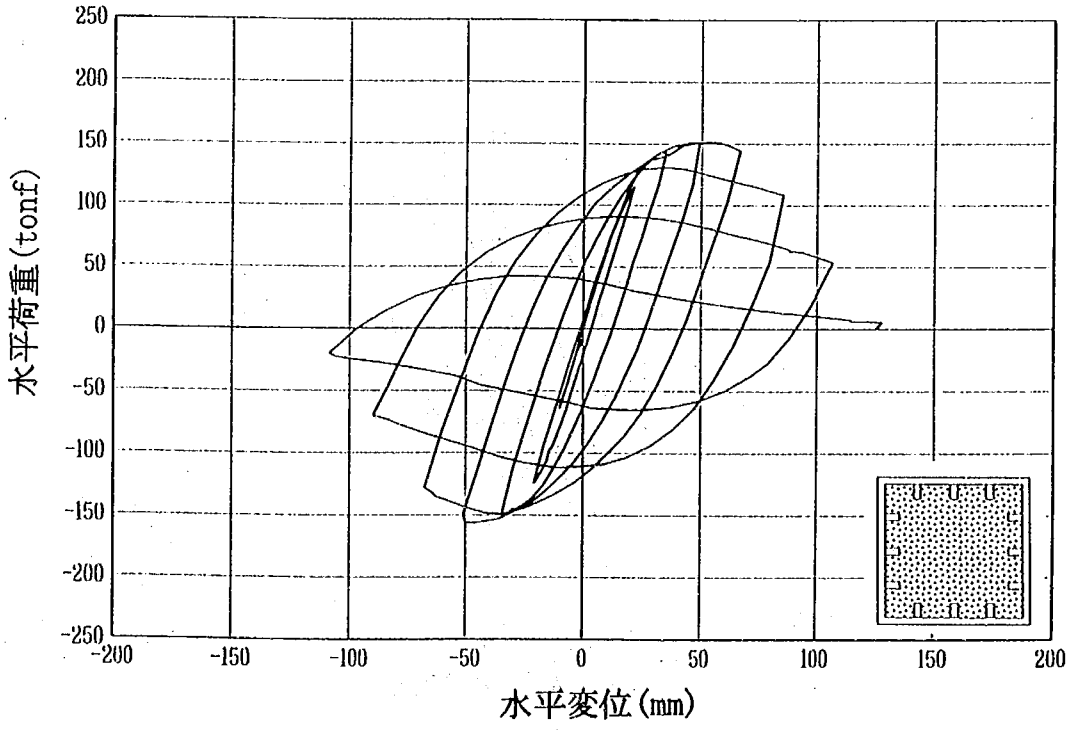



図-3.1.2(8)　水平荷重－水平変位関係（No.13）

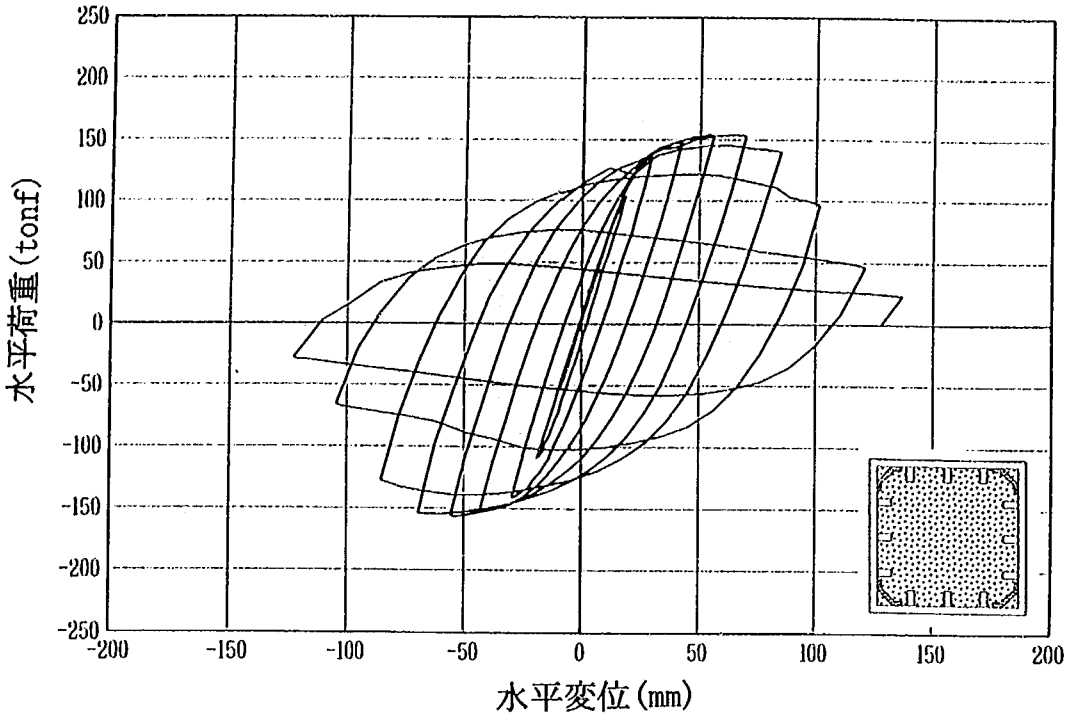



**図-3.1.2(9)　水平荷重－水平変位関係（No.14）**

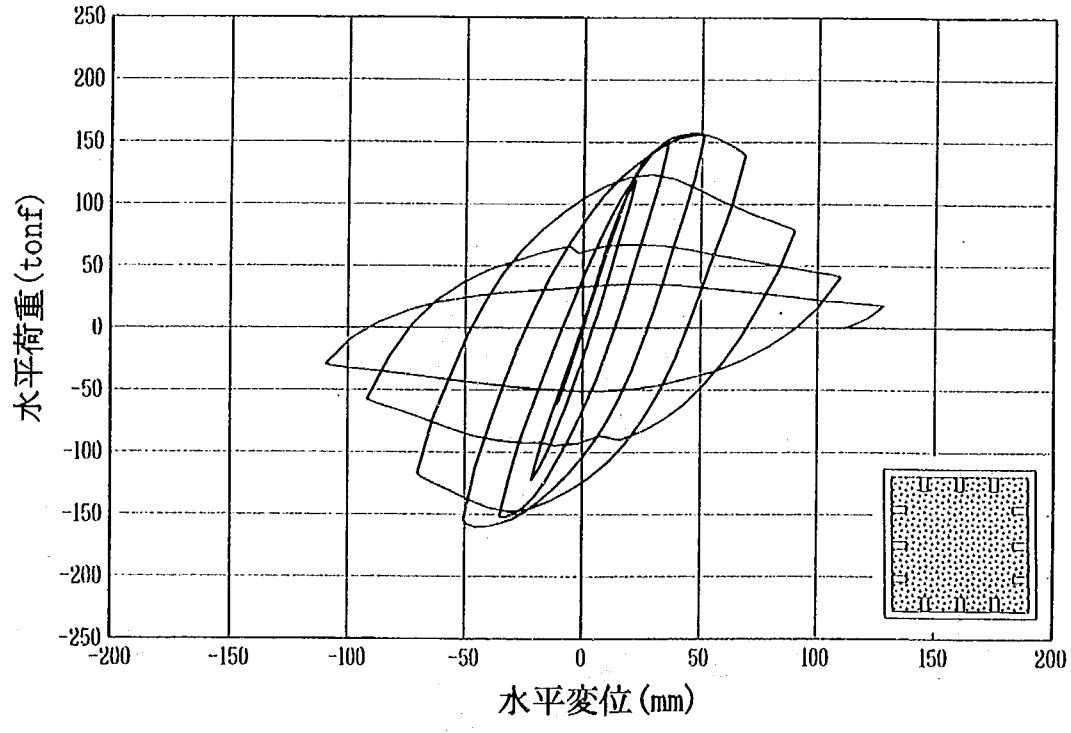



**図-3.1.2(10)　水平荷重－水平変位関係（No.17）**

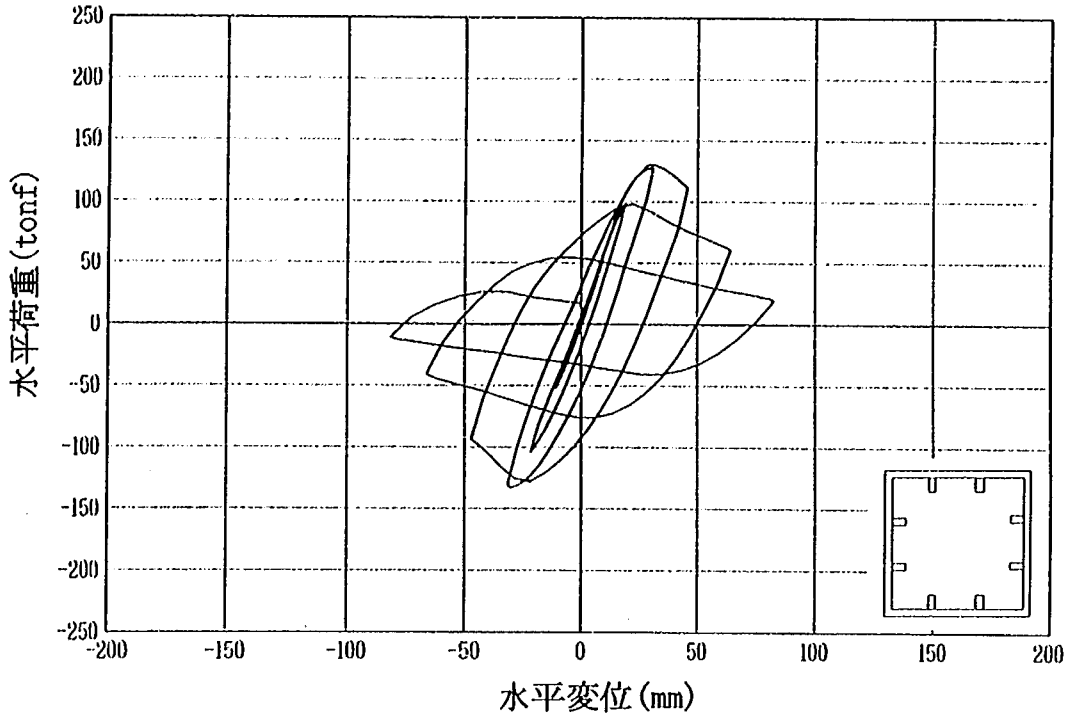



図-3.1.2(11)　水平荷重－水平変位関係 (No.18)

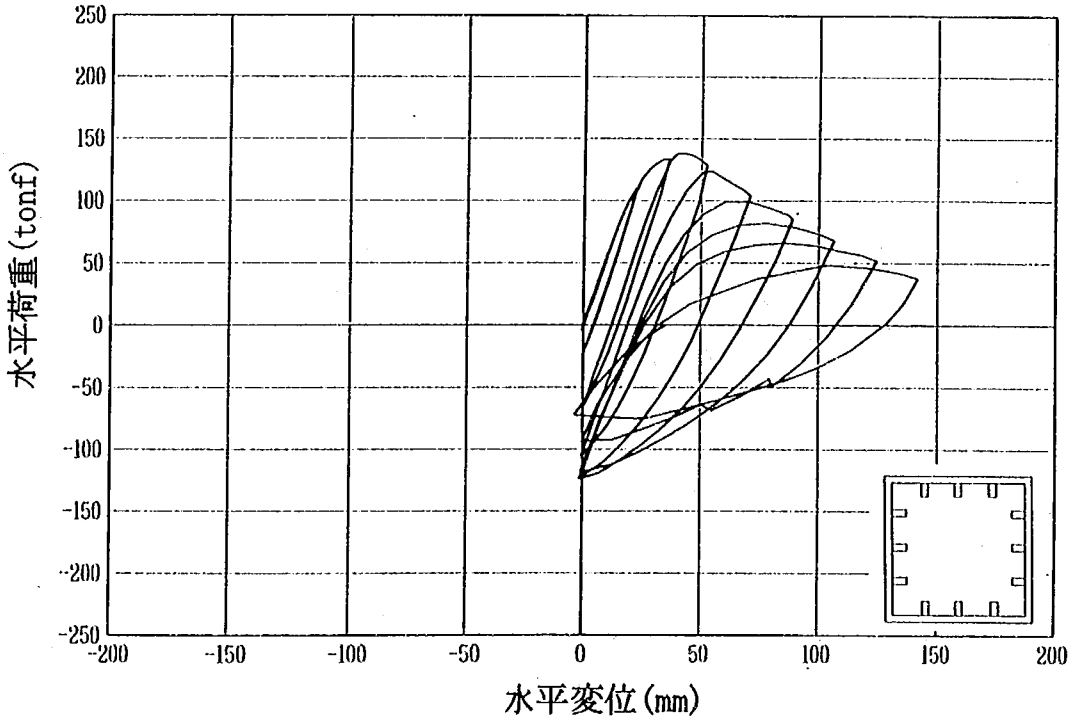



図-3.1.2(12)　水平荷重－水平変位関係 (No.19)

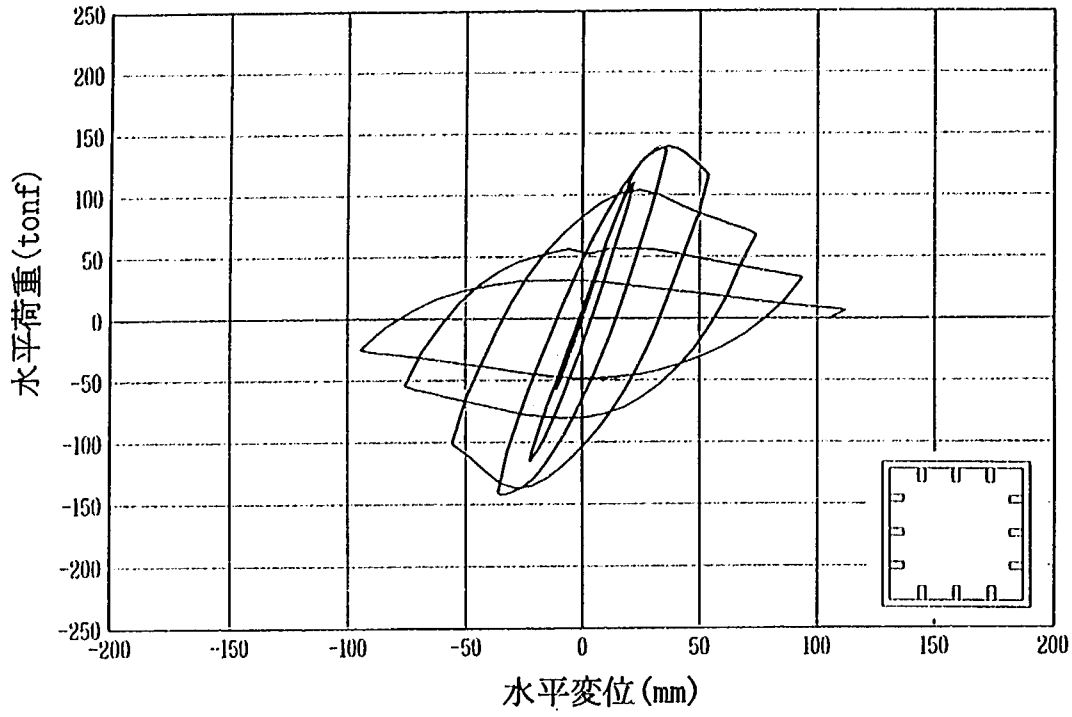



図-3.1.2(13)　水平荷重－水平変位関係（No.20）

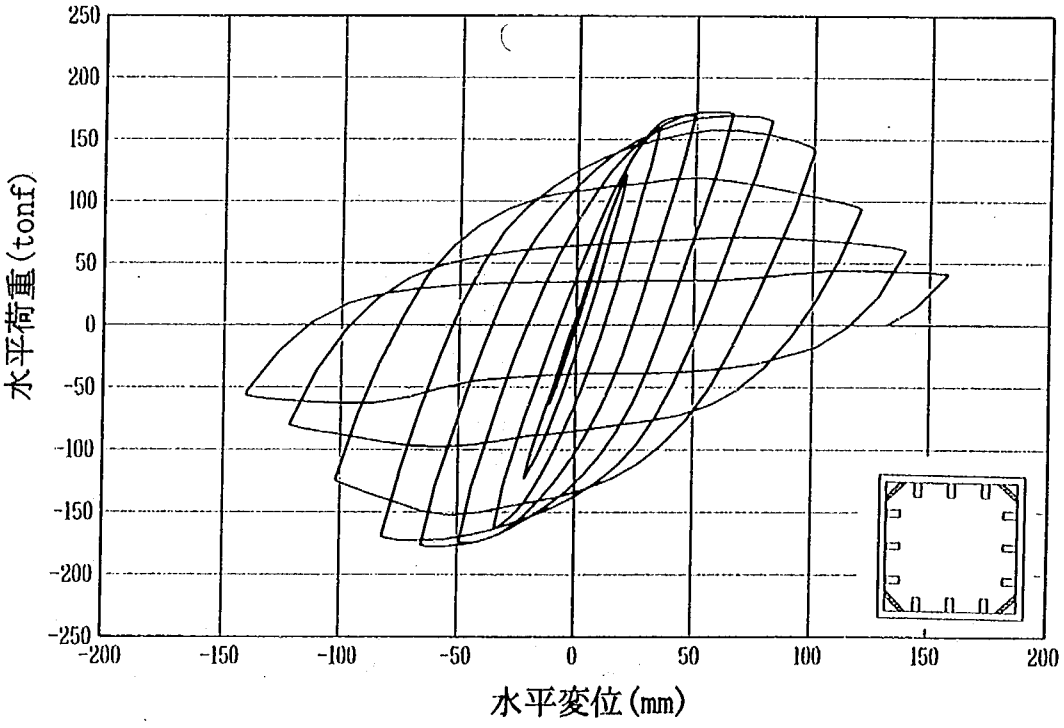



図-3.1.2(14)　水平荷重－水平変位関係（No.22）

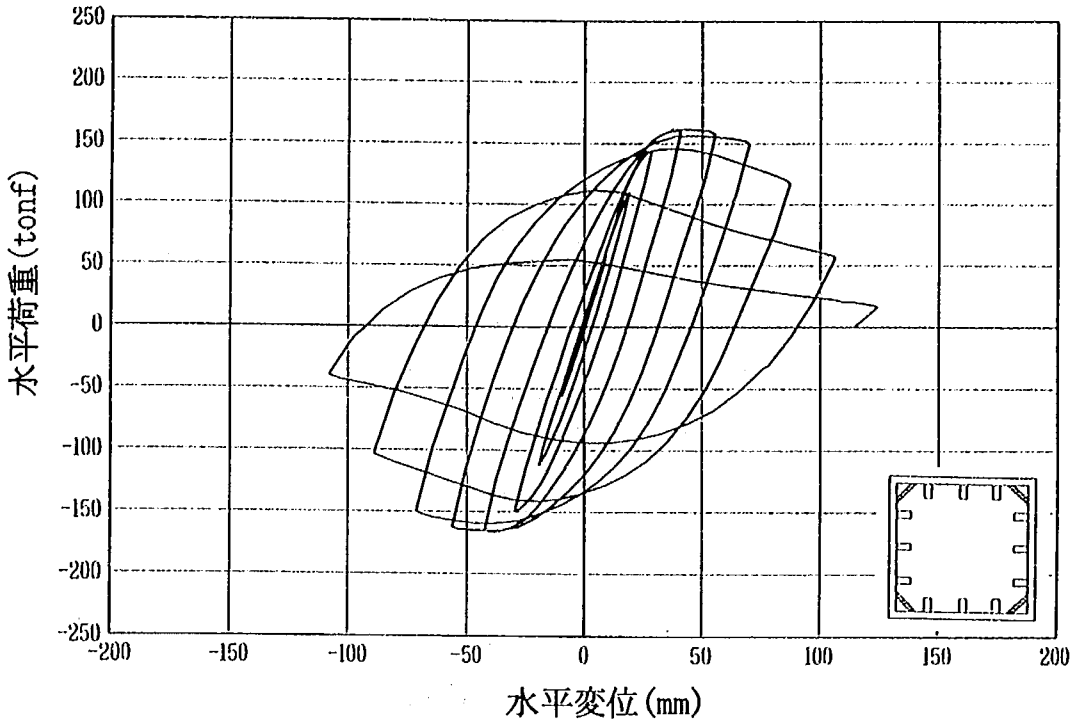



図-3.1.2(15)　水平荷重－水平変位関係（No.23）

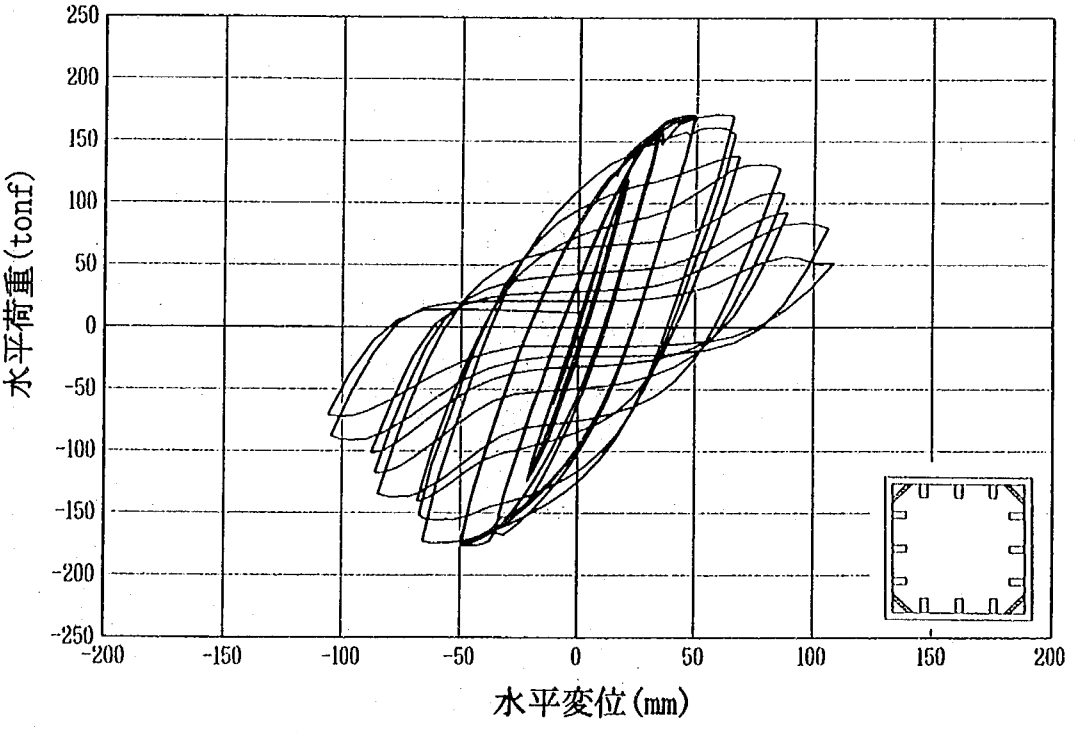



図-3.1.2(16)　水平荷重－水平変位関係（No.24）

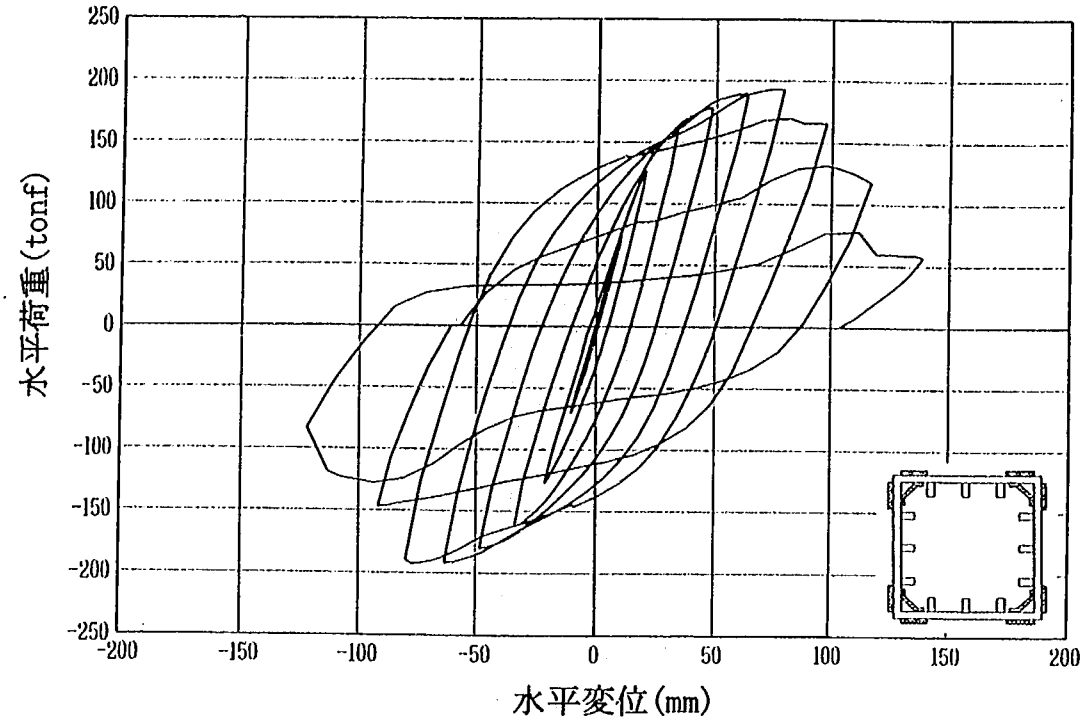



図-3.1.2(17)　水平荷重－水平変位関係（No.25）

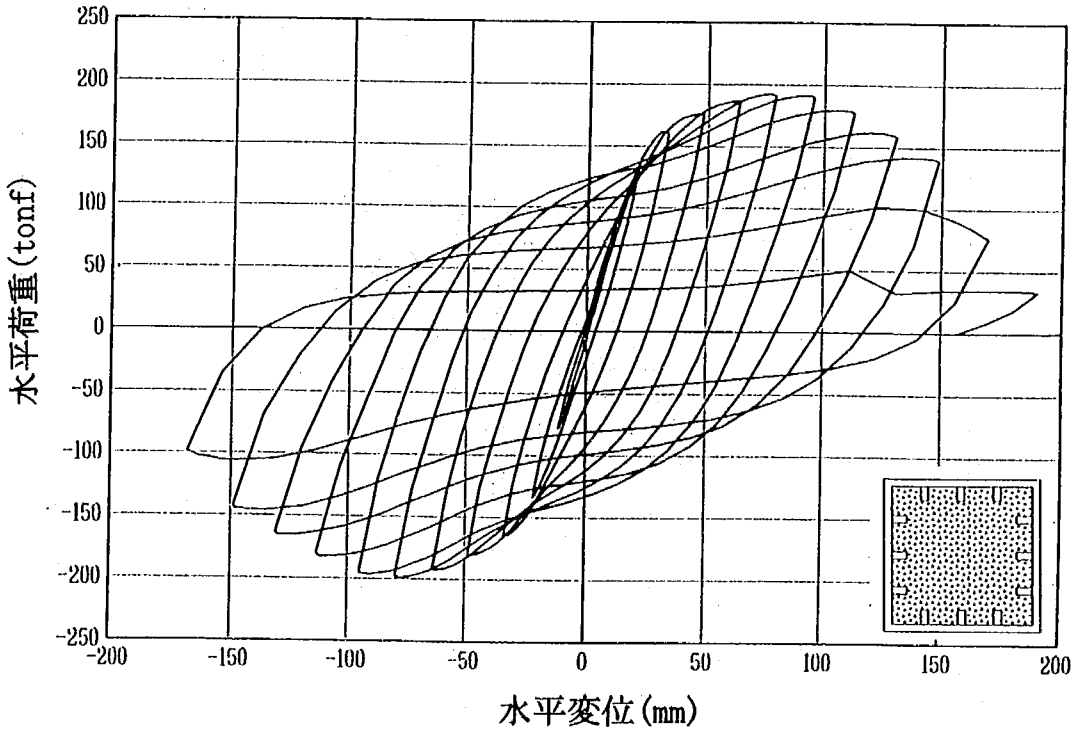



図-3.1.2(18)　水平荷重－水平変位関係（No.26）

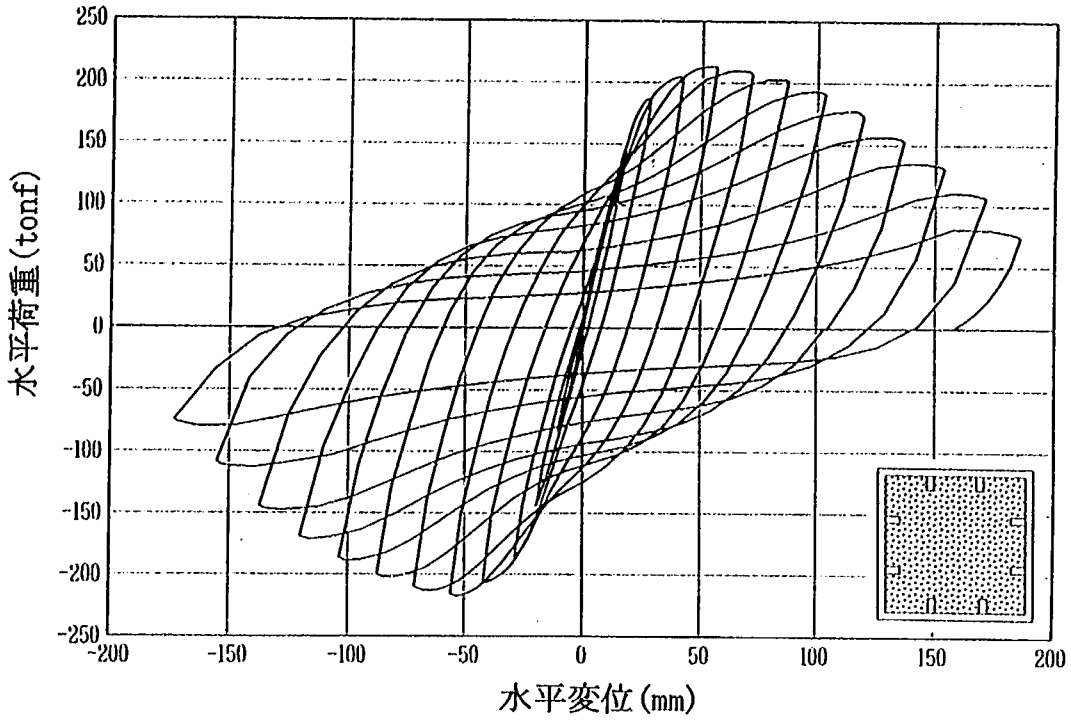



図-3.1.2(19)　水平荷重－水平変位関係（No.27）

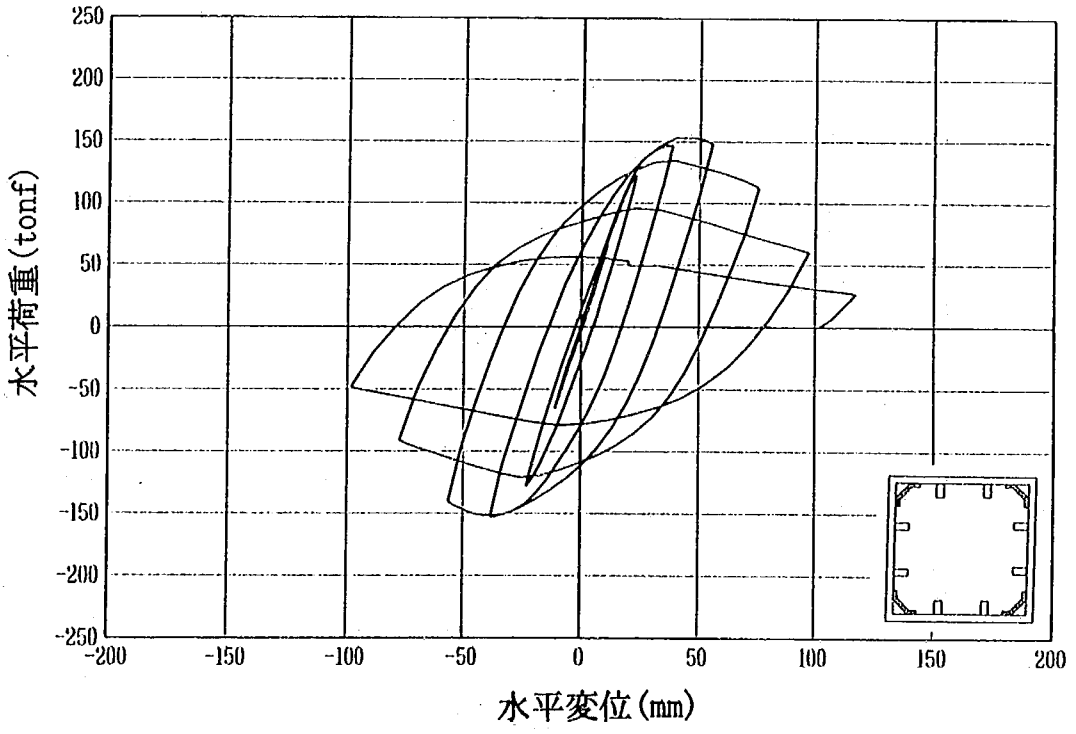



図-3.1.2(20)　水平荷重－水平変位関係（No.28）

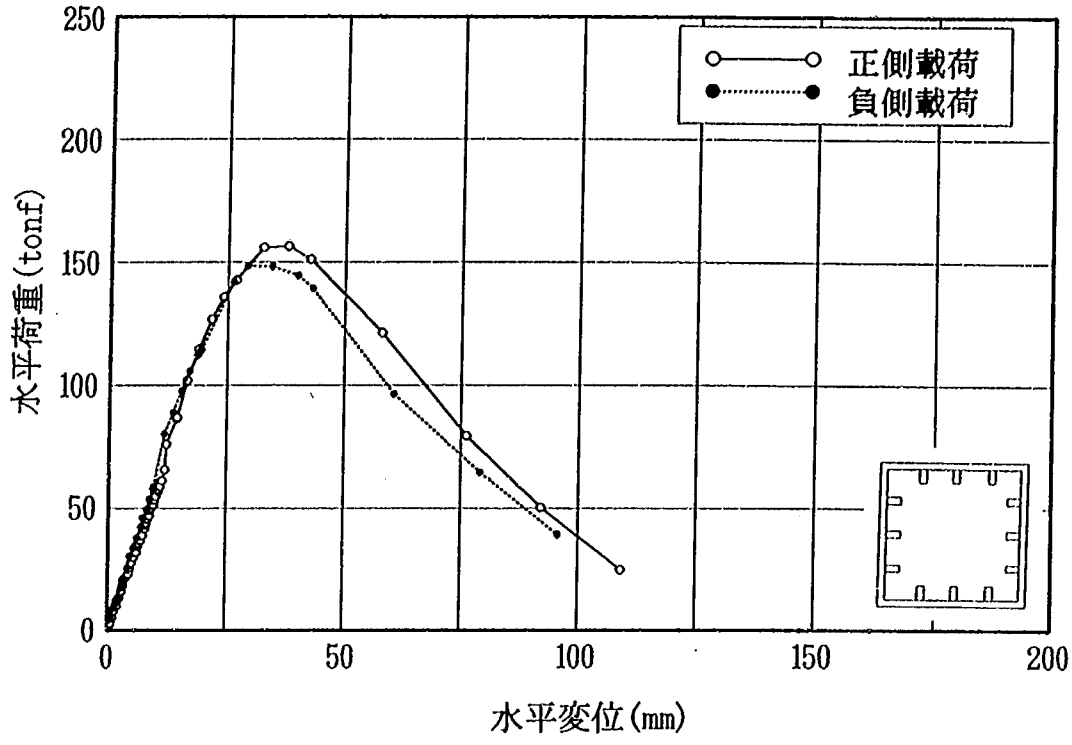



図-3.1.3(1)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.2）

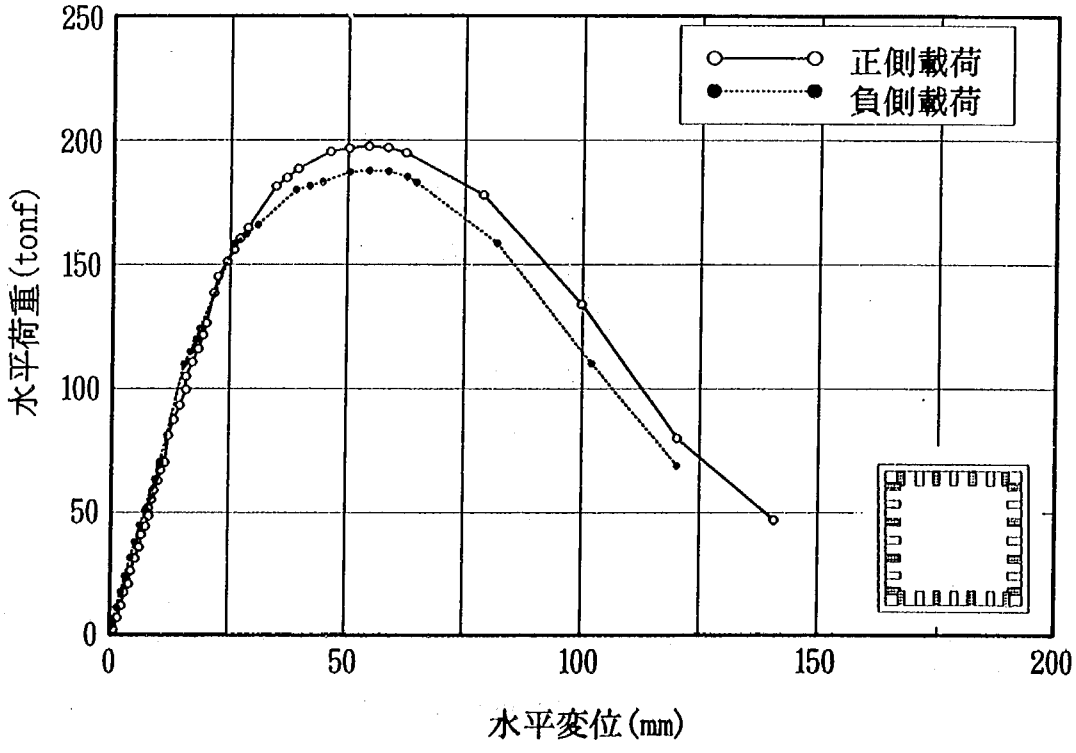



図-3.1.3(2)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.3）

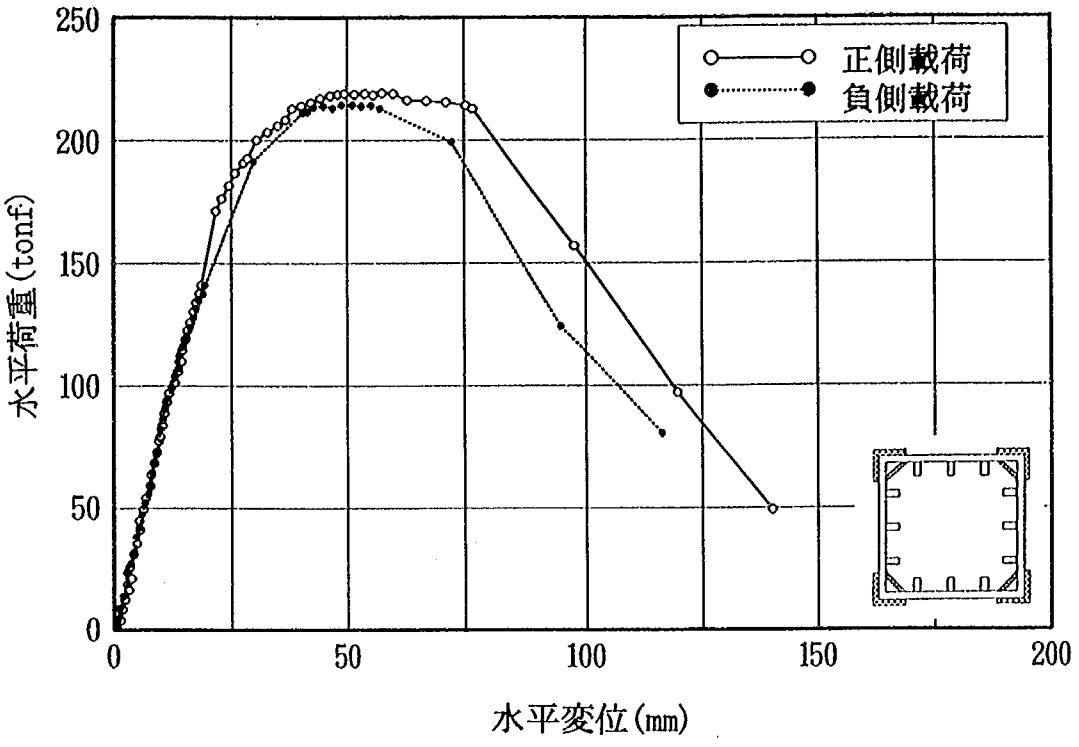



図-3.1.3(3)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.4）

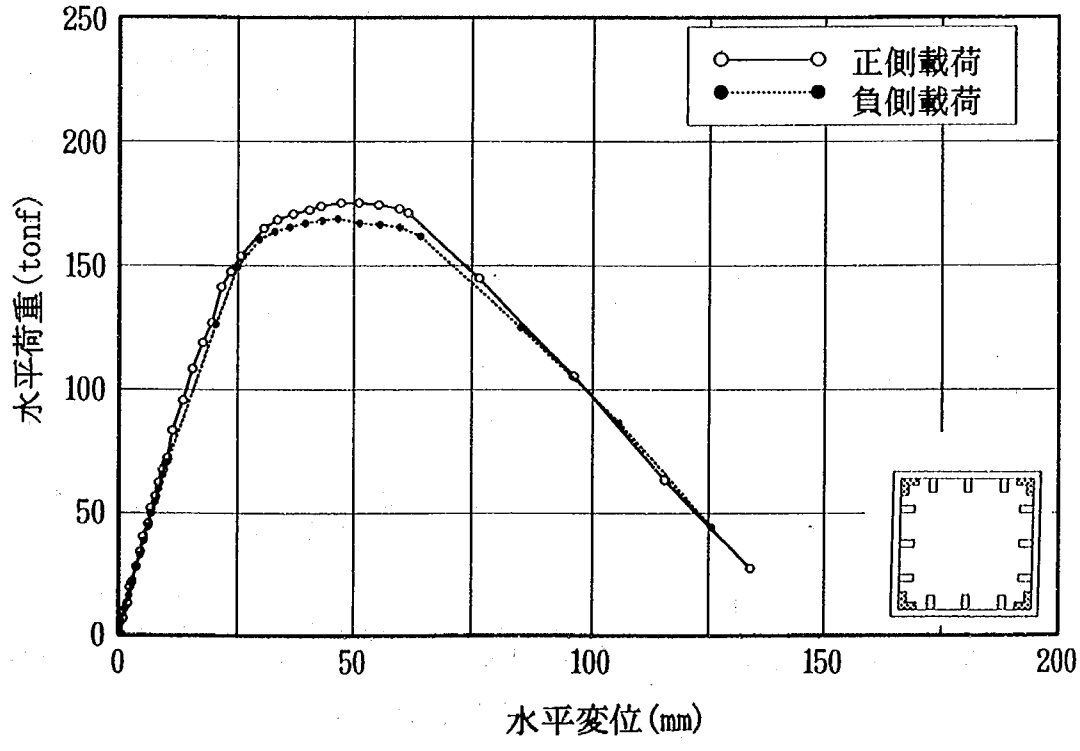



図-3.1.3(4)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.5）

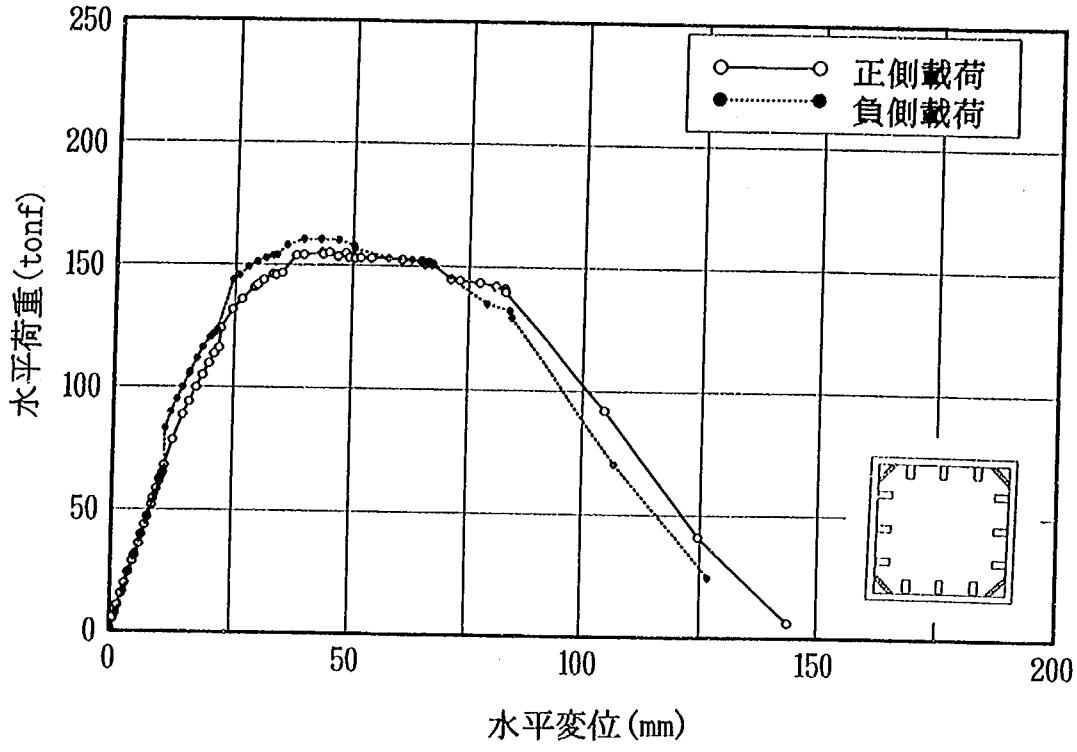



図-3.1.3(5)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.10）

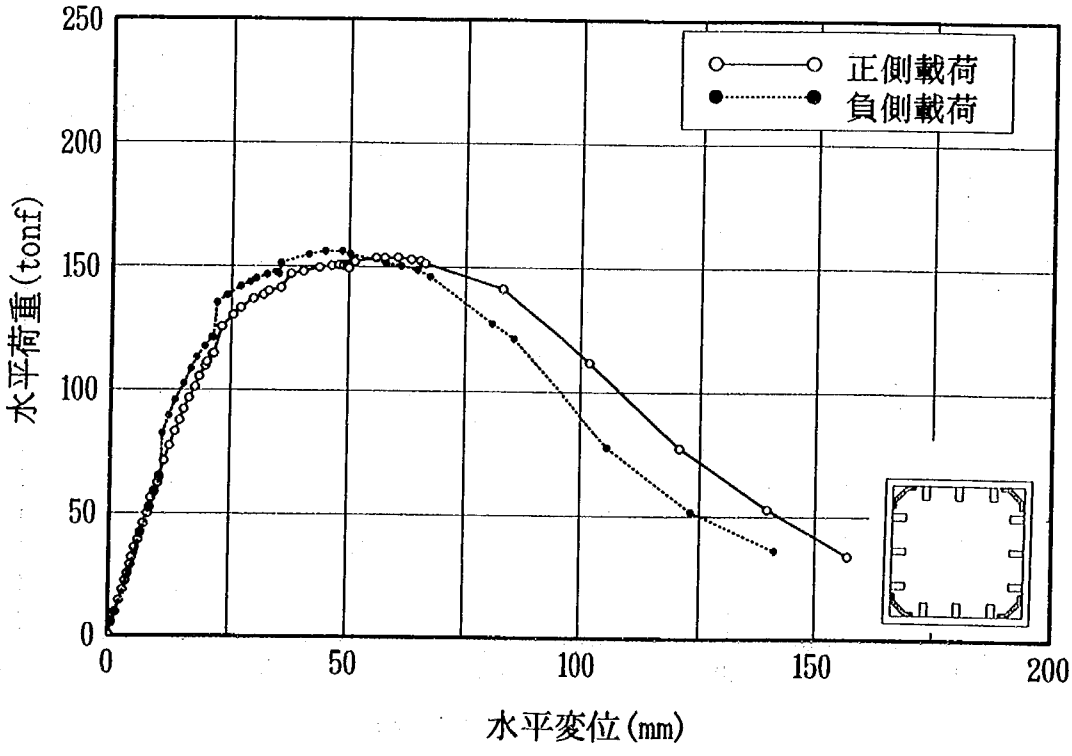



図-3.1.3(6)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.11）

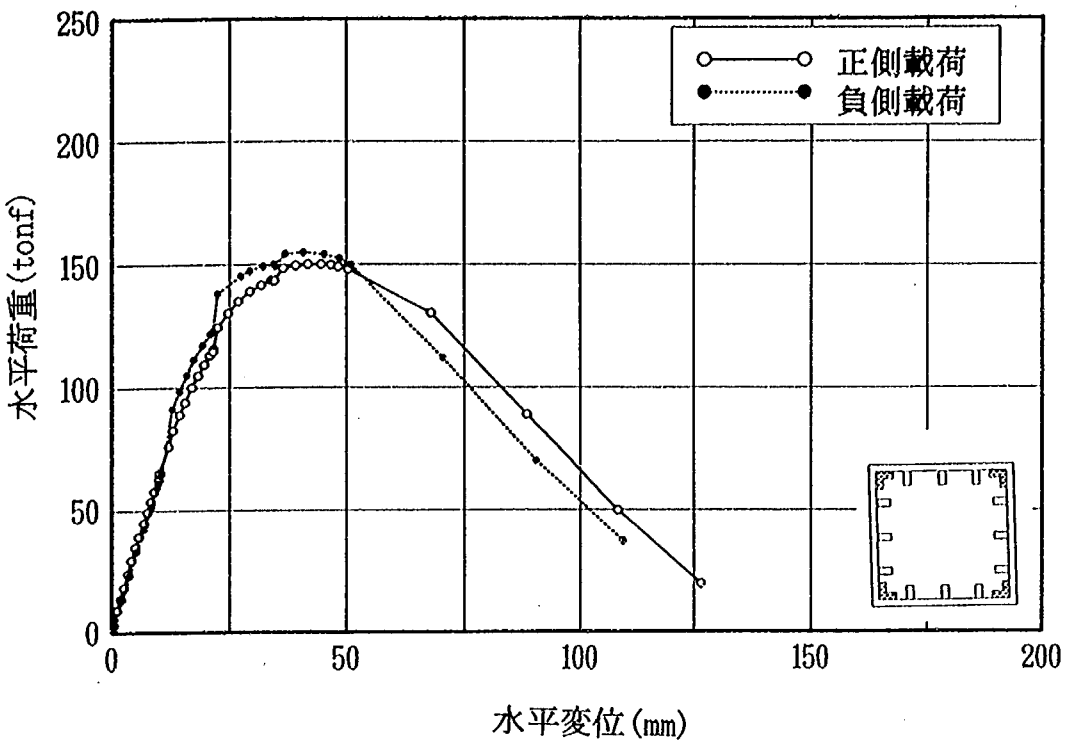



図-3.1.3(7)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.12）

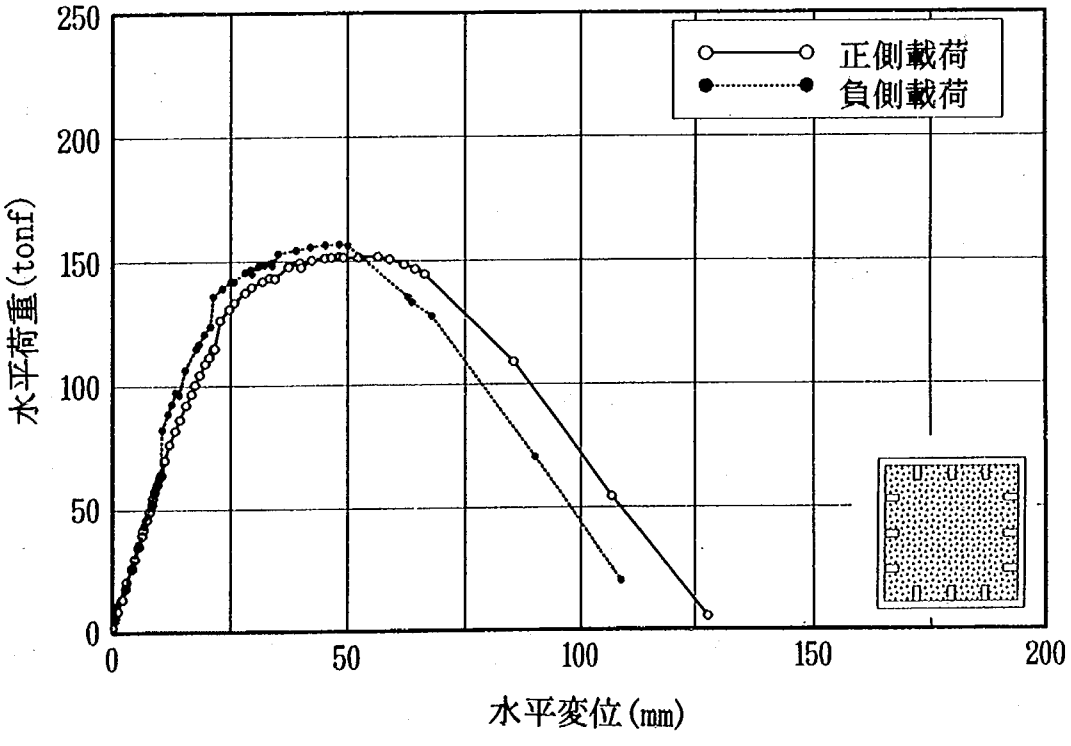



図-3.1.3(8)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.13）

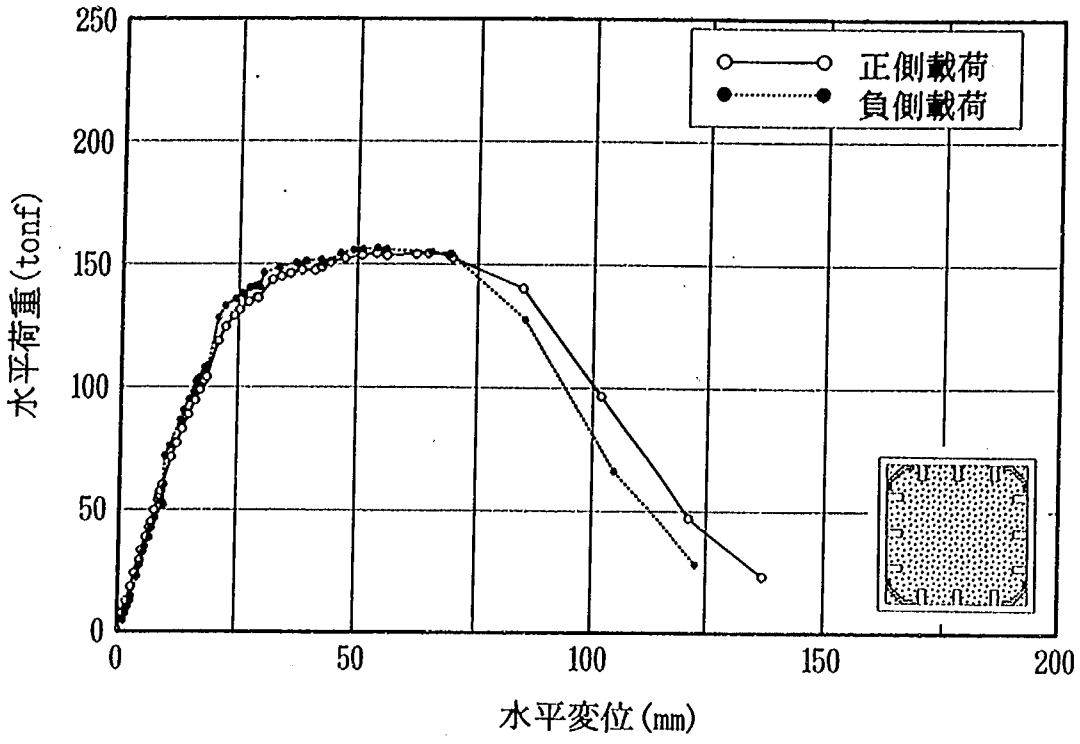



図-3.1.3(9)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.14）

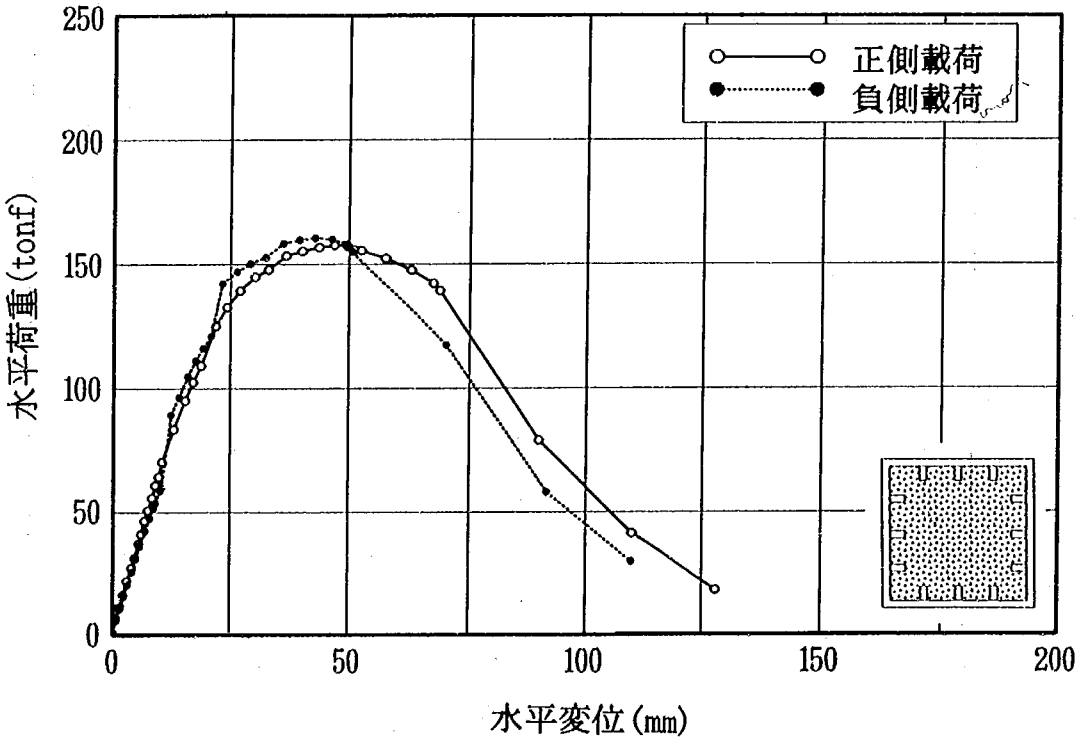



図-3.1.3(10)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.17）

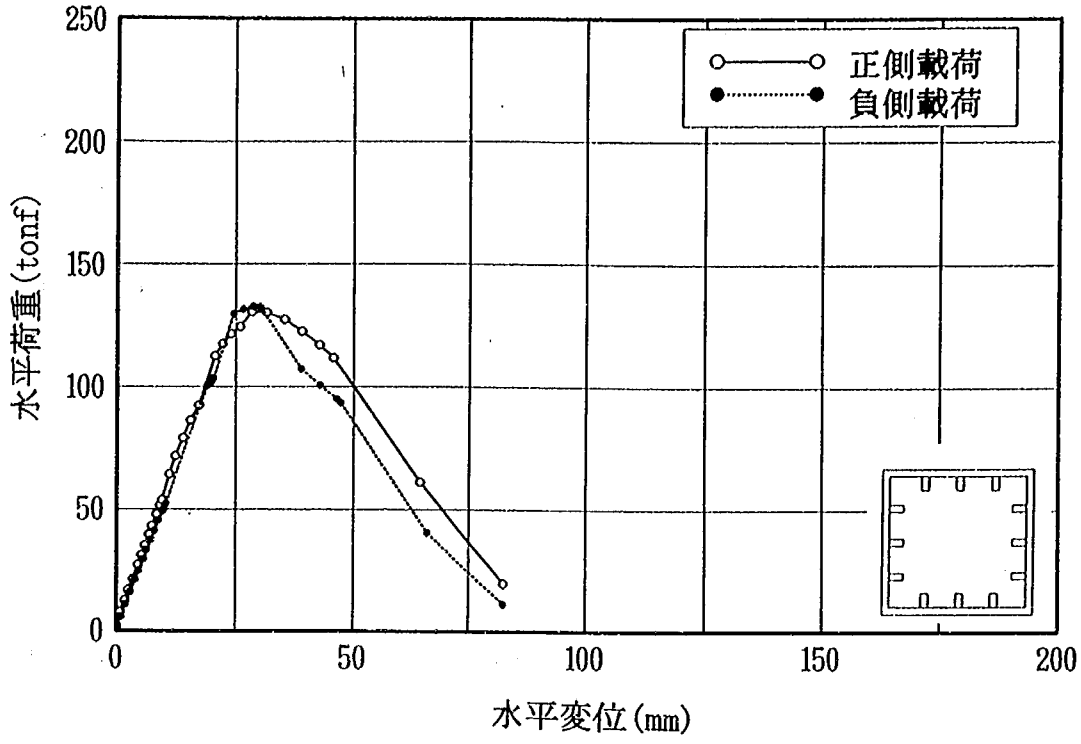



図-3.1.3(11)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.18）

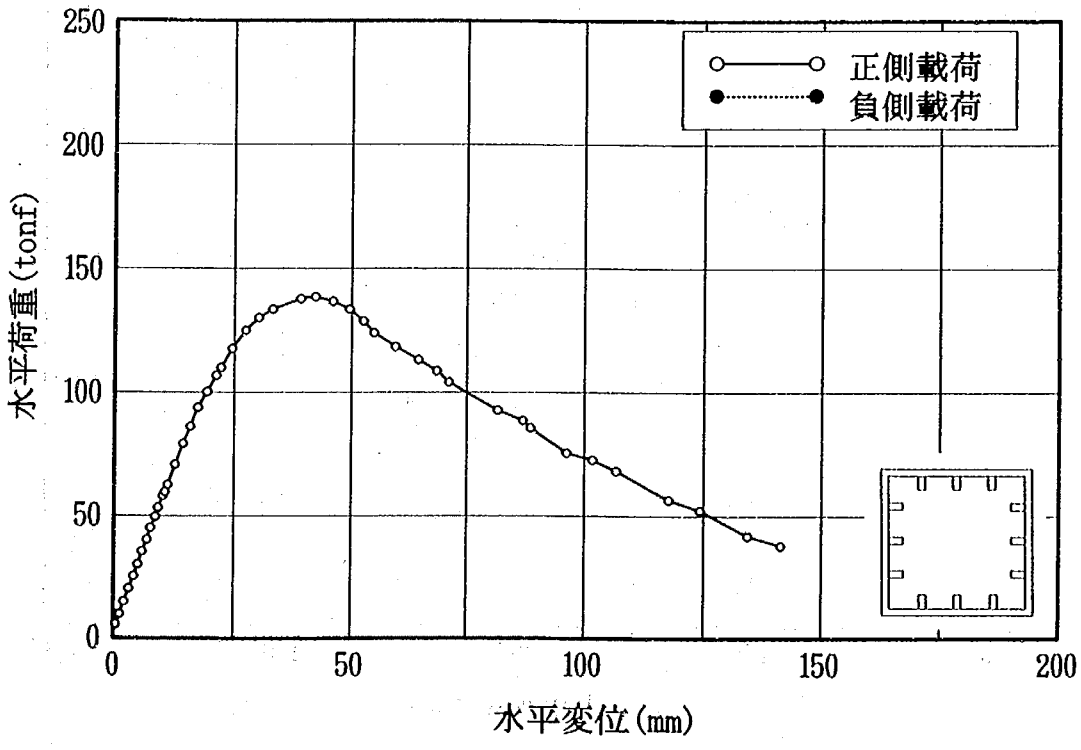



図-3.1.3(12)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.19）

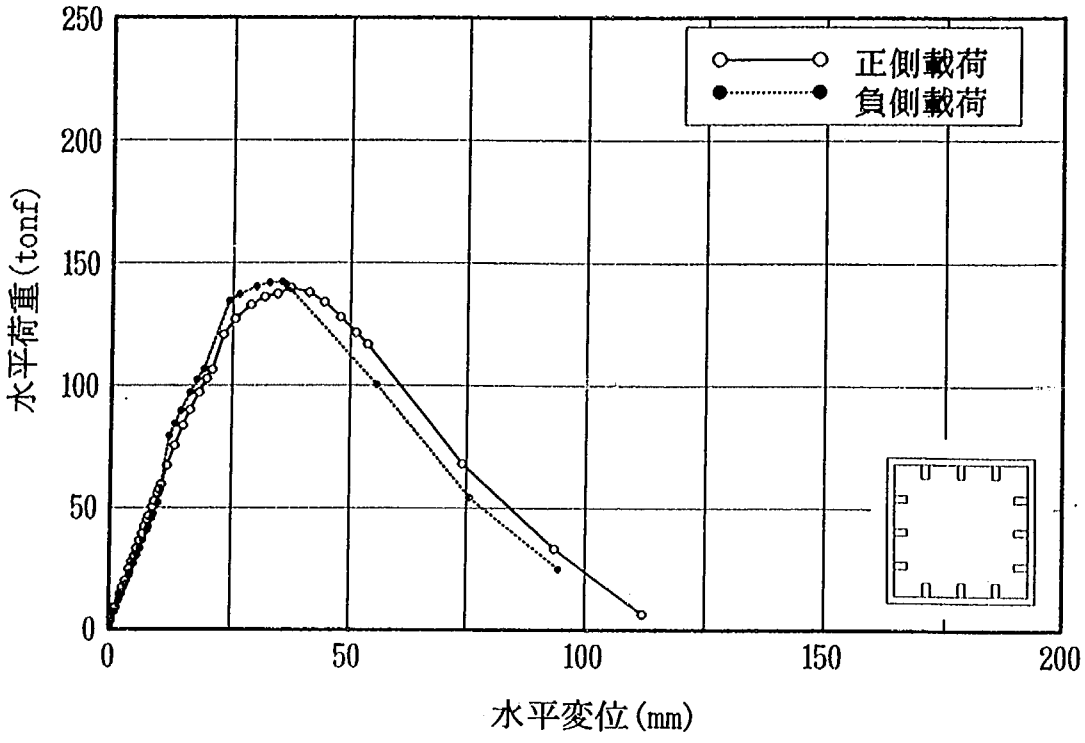



図-3.1.3(13)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.20）

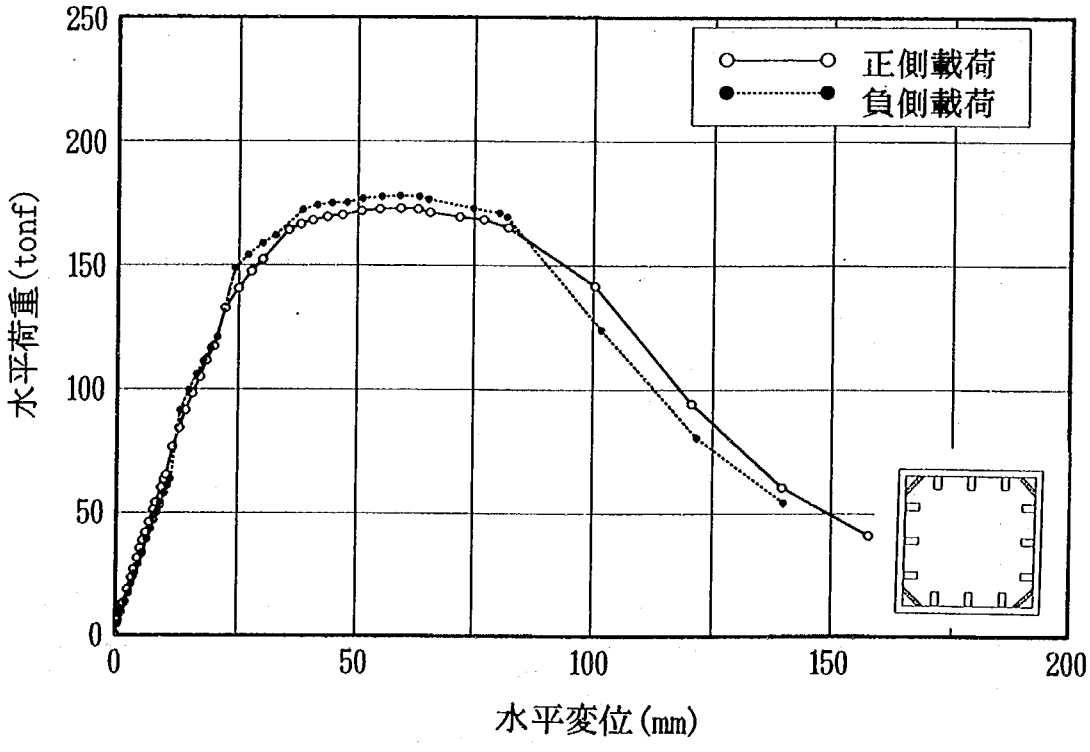



図-3.1.3(14)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.22）

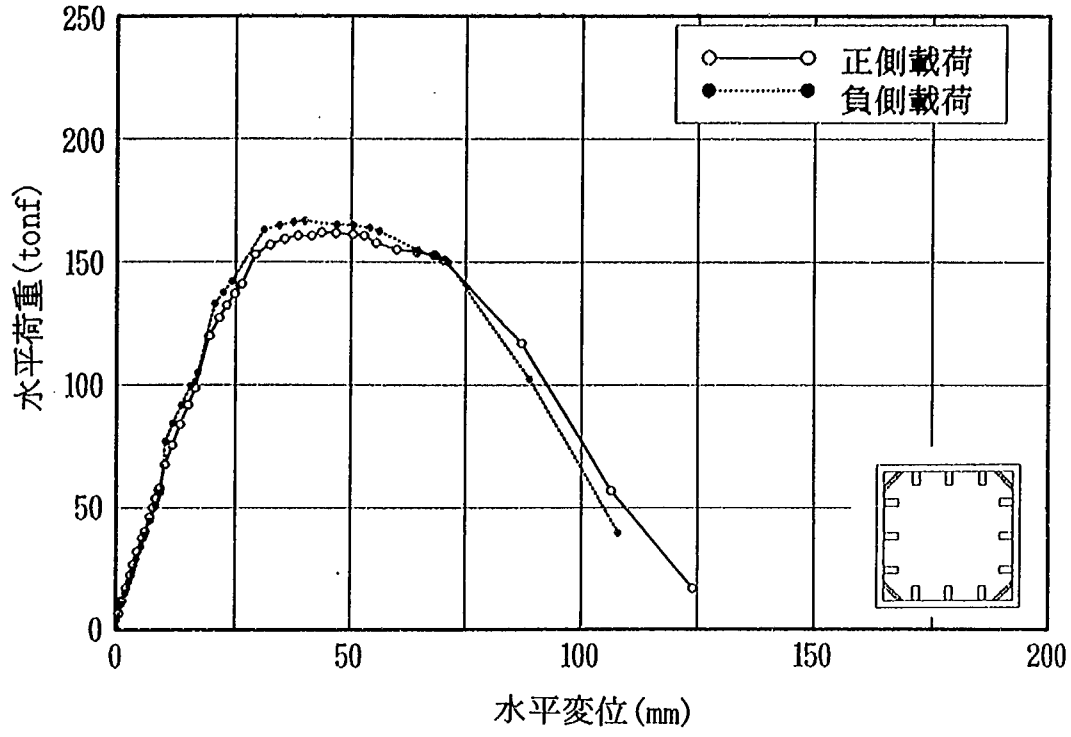



図-3.1.3(15)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.23）

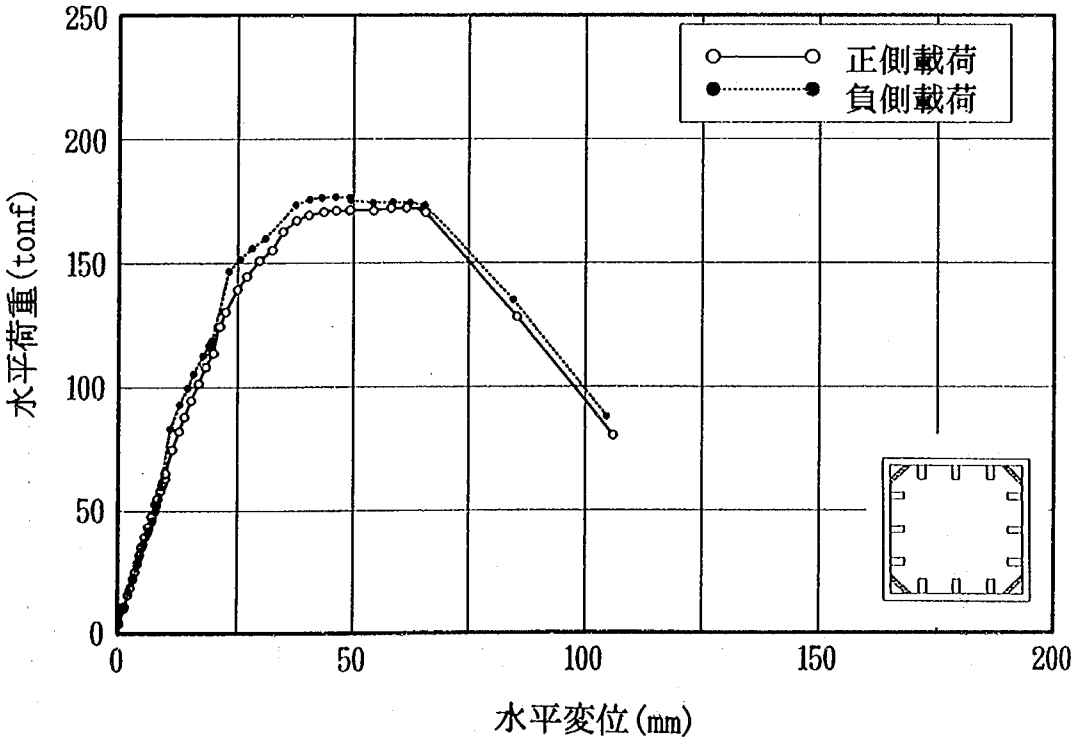



図-3.1.3(16)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.24）

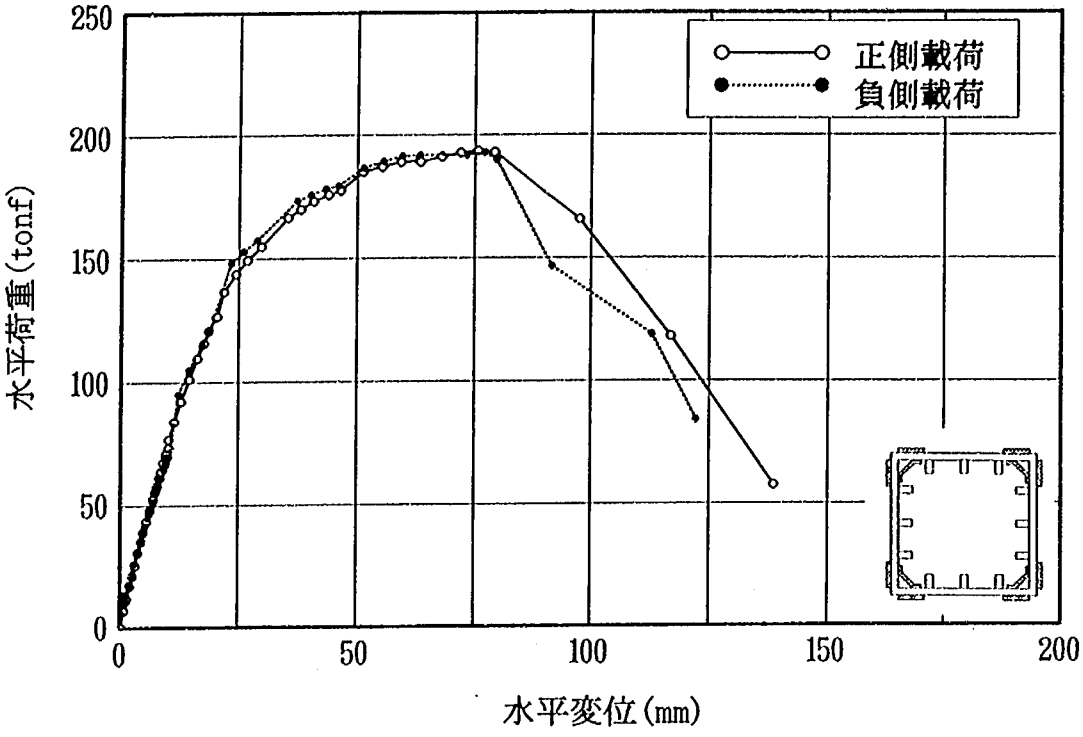



図-3.1.3(17)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.25）

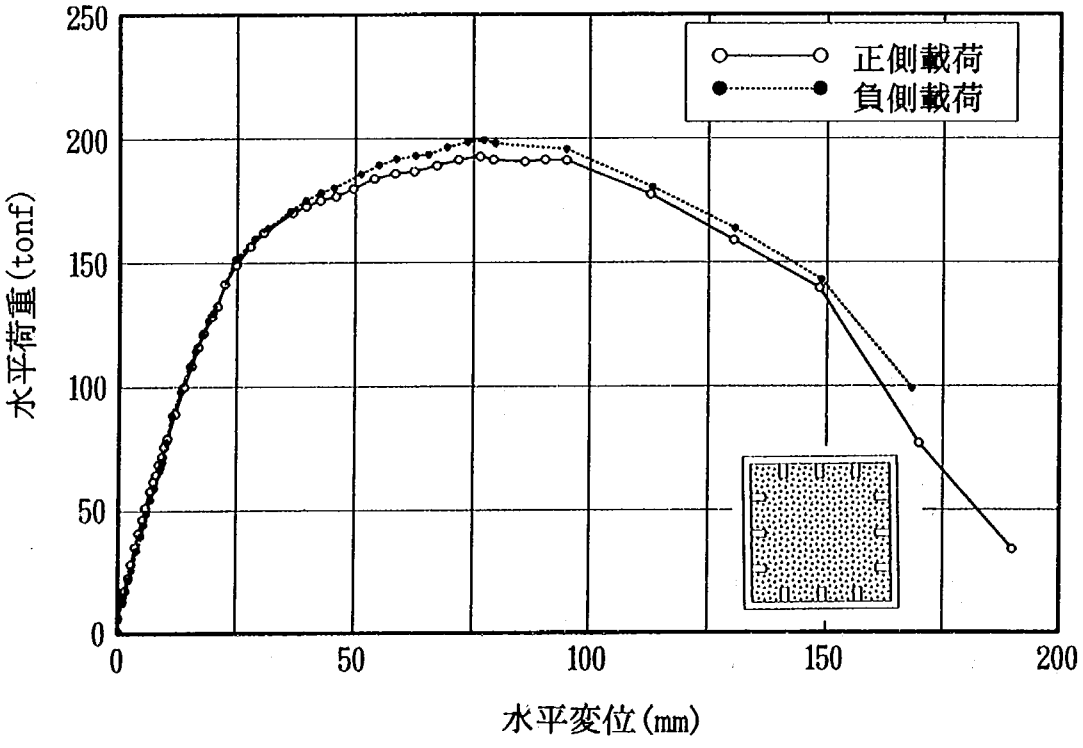



図-3.1.3(18)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.26）

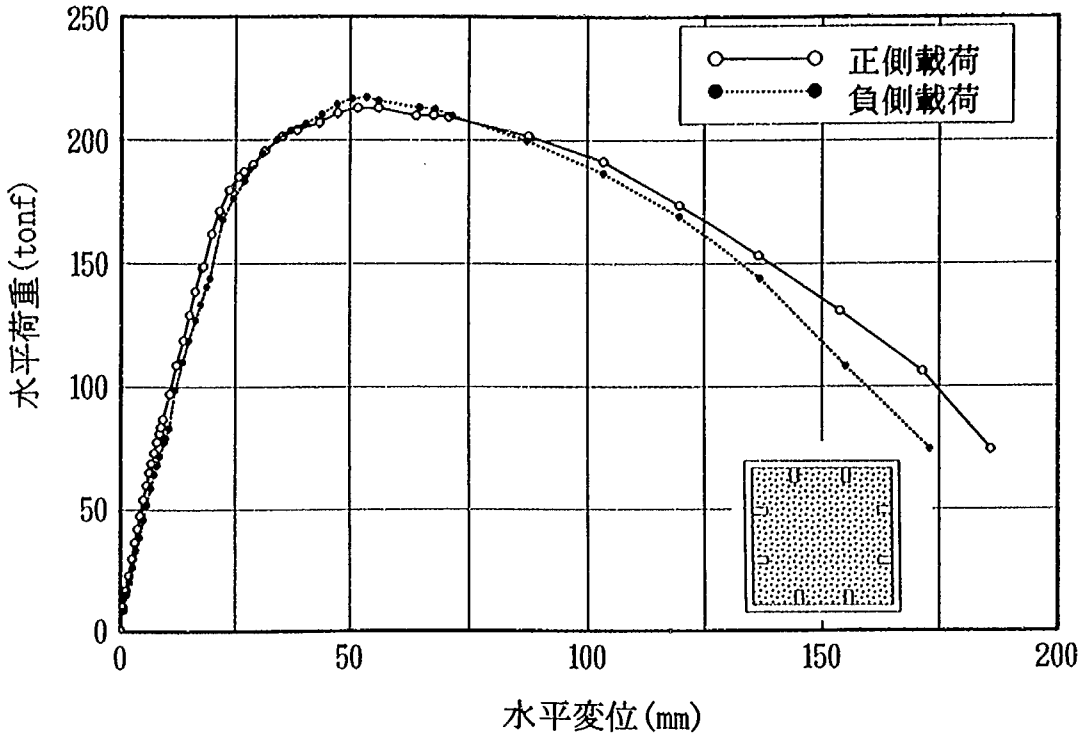



図-3.1.3(19)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.27）

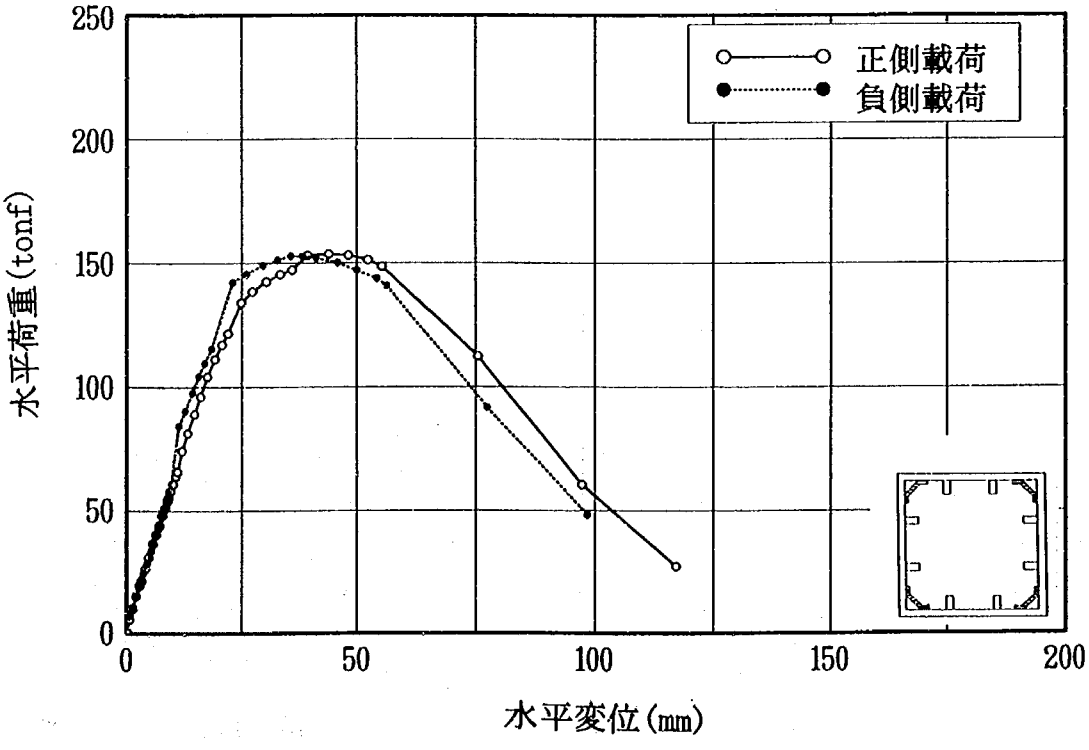
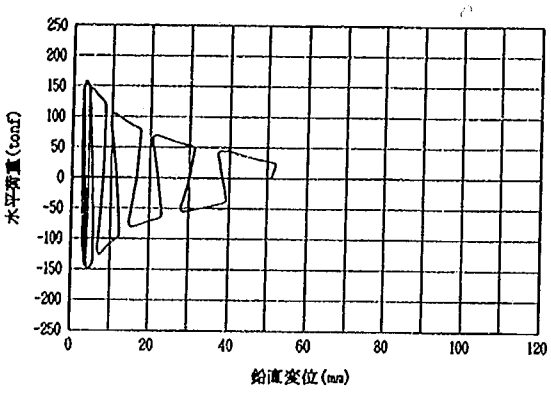
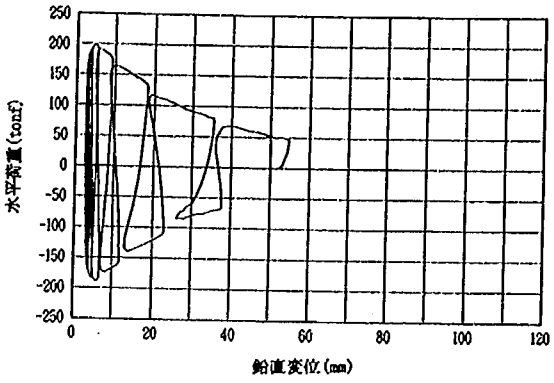


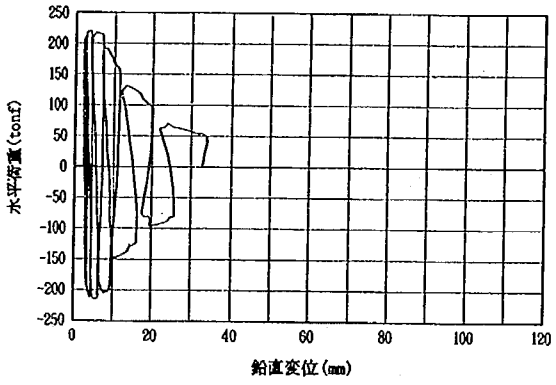

図-3.1.3(20)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No.28）



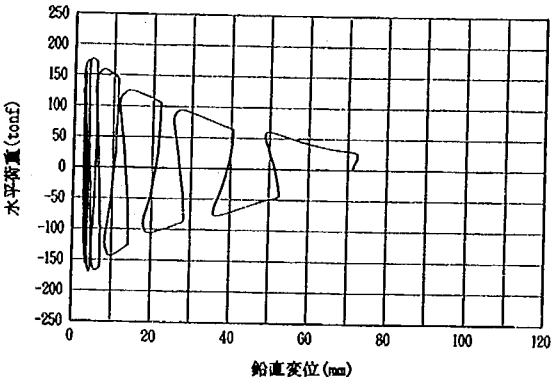

(1) No.2



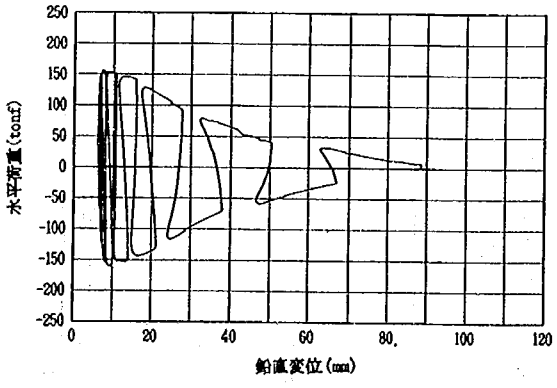

(2) No.3



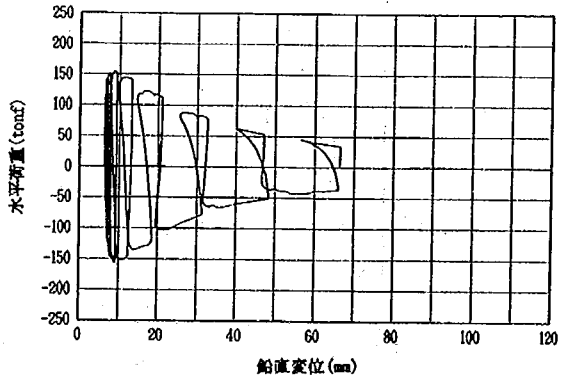

(3) No.4




(4) No.5

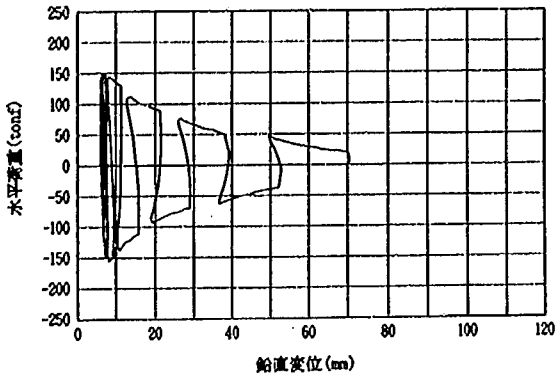



(5) No.10

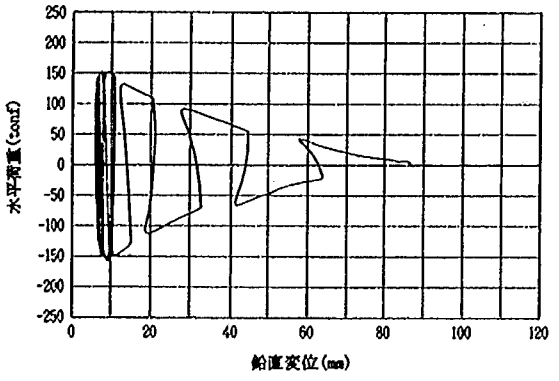



(6) No.11

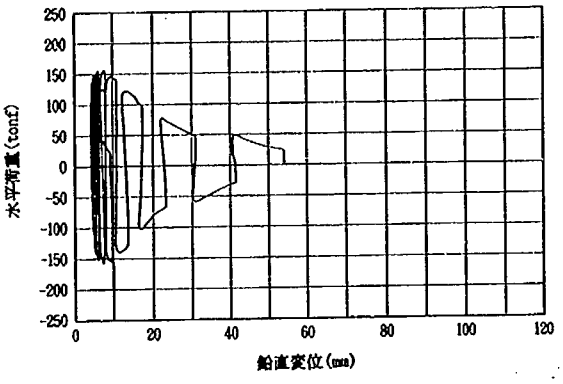
**図-3.1.4 水平荷重－鉛直変位関係**



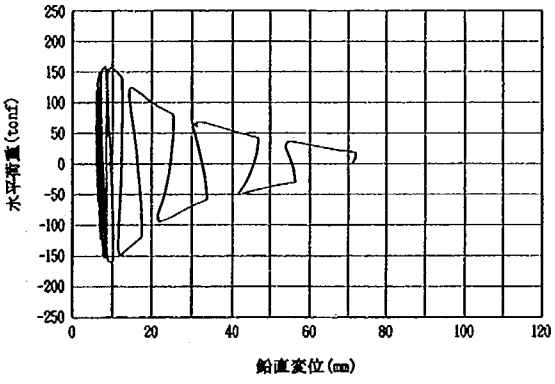

(7) No.12



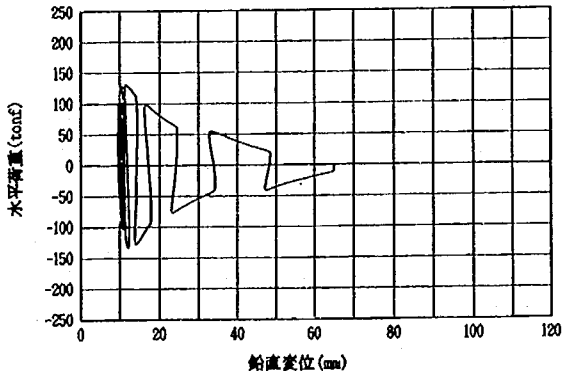

(8) No.13



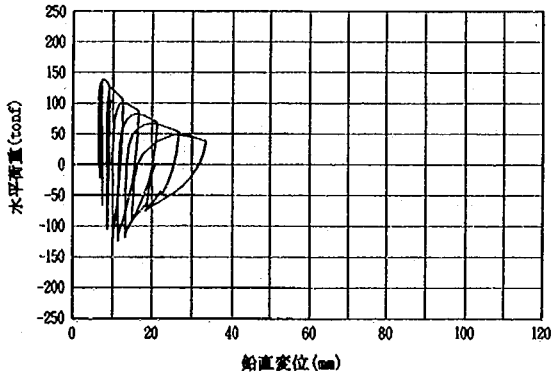

(9) No.14




(10) No.17

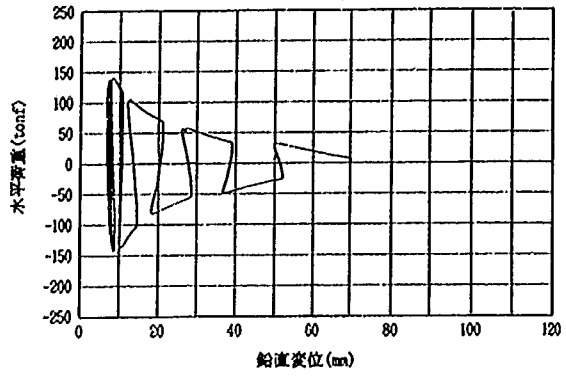



(11) No.18

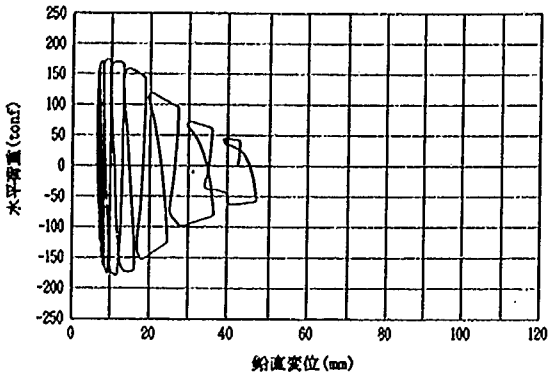



(12) No.19

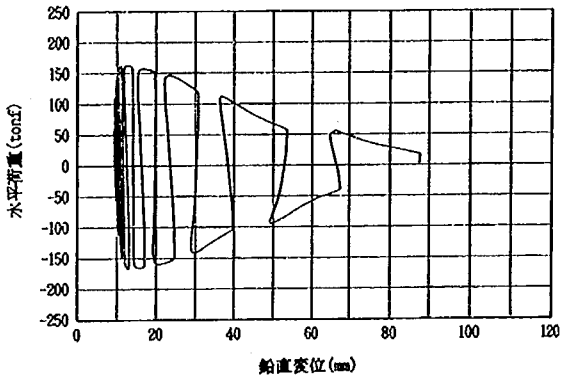
**図-3.1.4 水平荷重－鉛直変位関係**



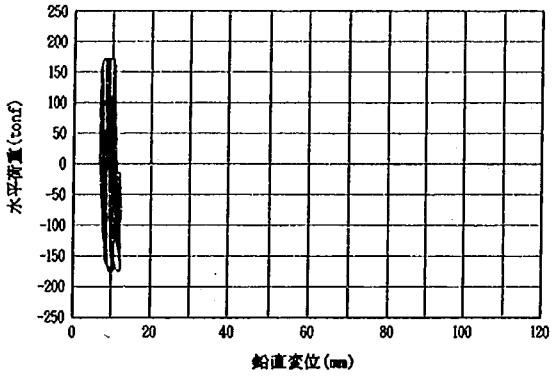

(13) No.20



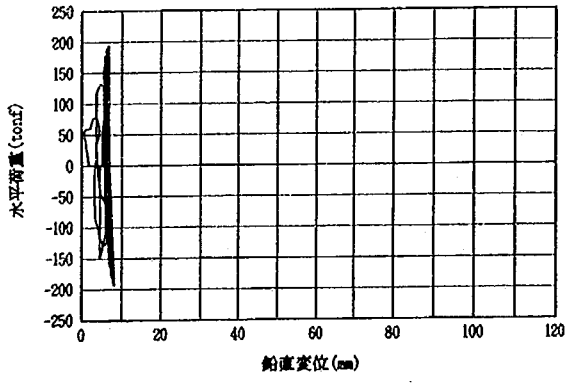

(14) No.22



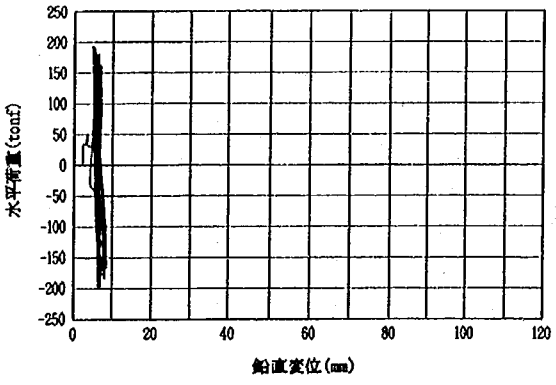

(15) No.23




(16) No.24

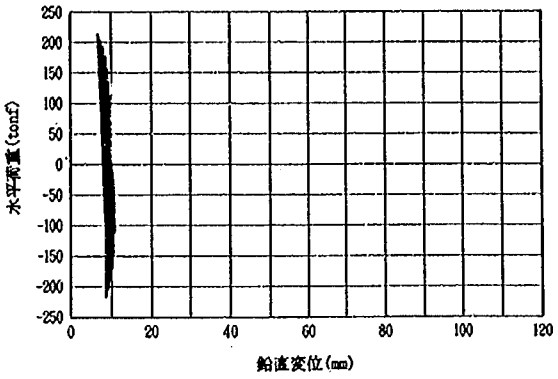



(17) No.25

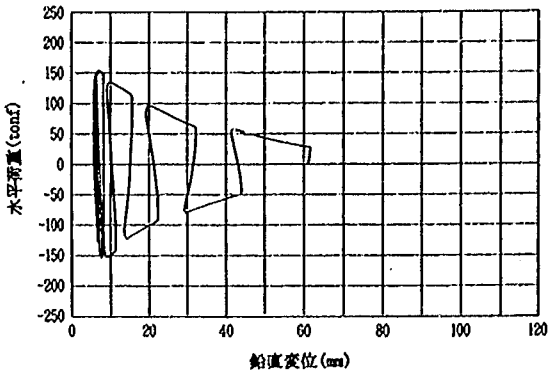



(18) No.26

図-3.1.4 水平荷重－鉛直変位関係

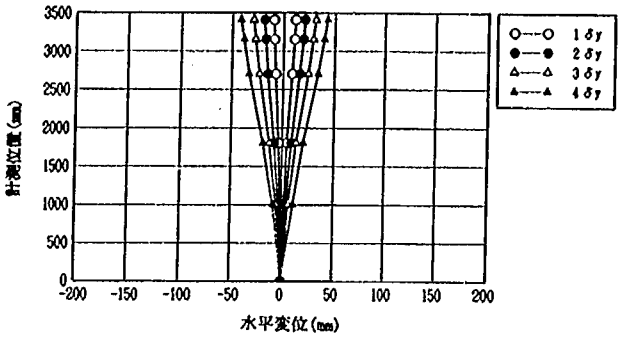



(19) No.27

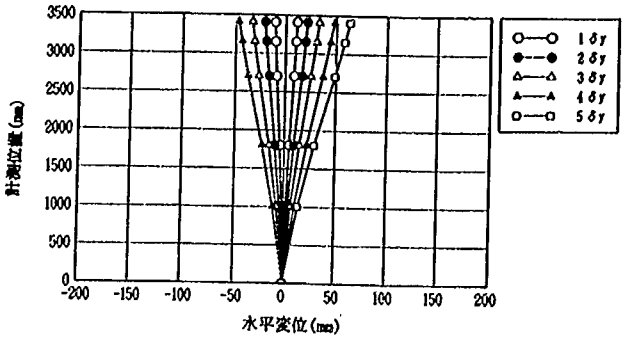



(20) No.28

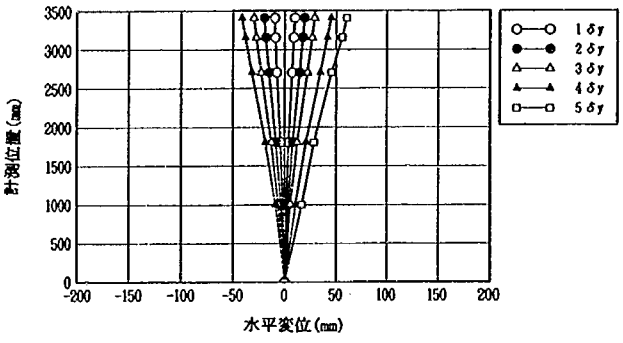
図-3.1.4 水平荷重－鉛直変位関係



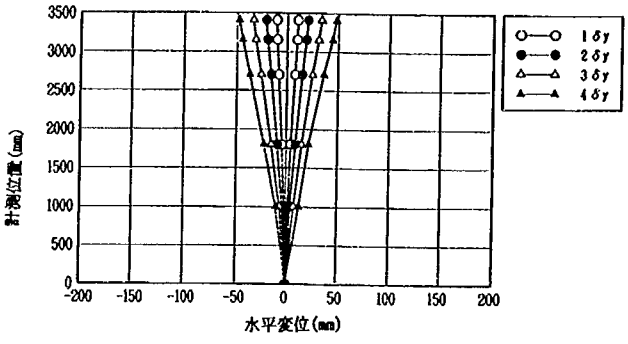

(1) No.2



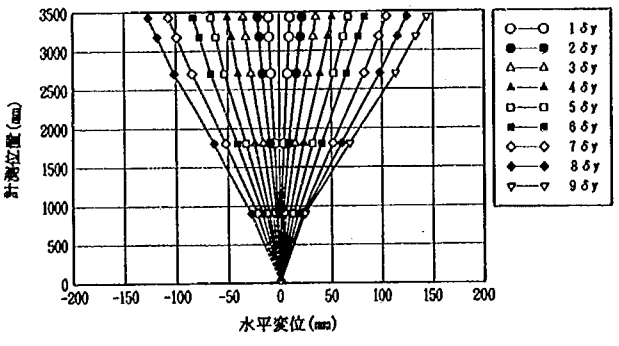

(2) No.3



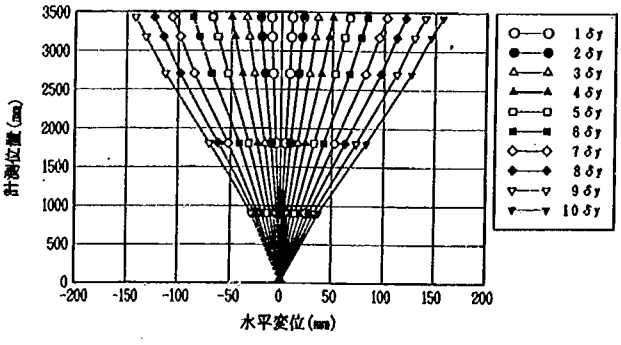

(3) No.4




(4) No.5

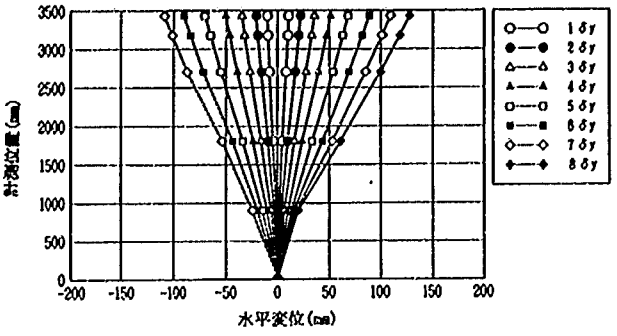



(5) No.10

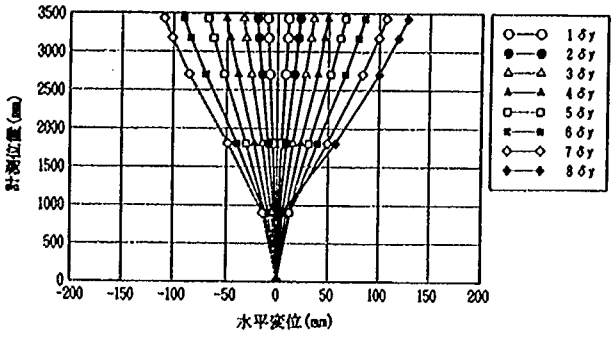



(6) No.11

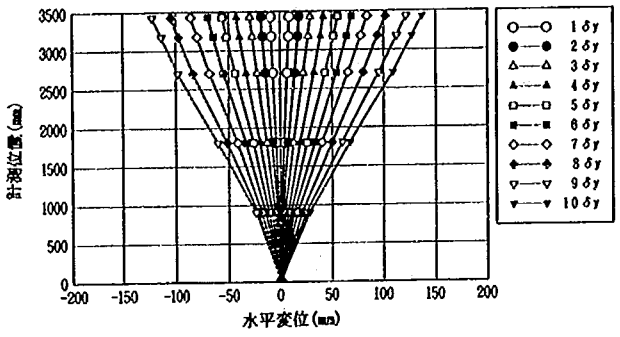
図-3.1.5 水平荷重の鉛直方向分布



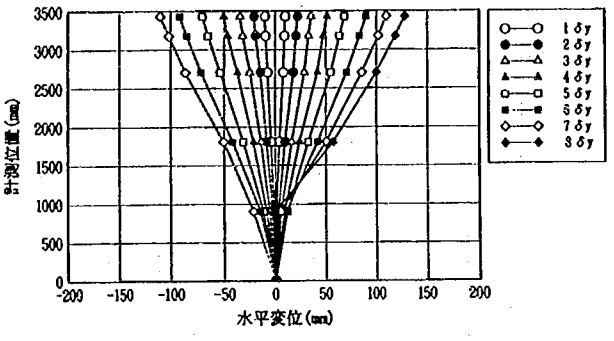

(7) No.12



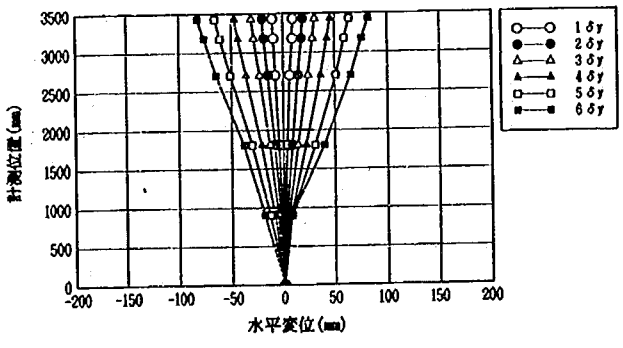

(8) No.13



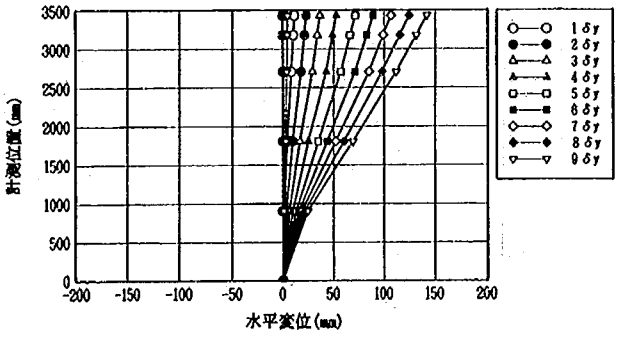

(9) No.14




(10) No.17

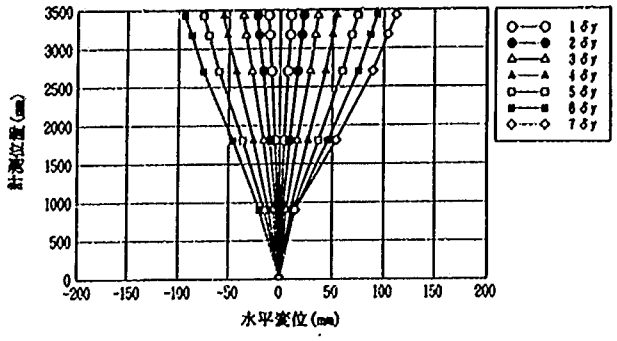



(11) No.18

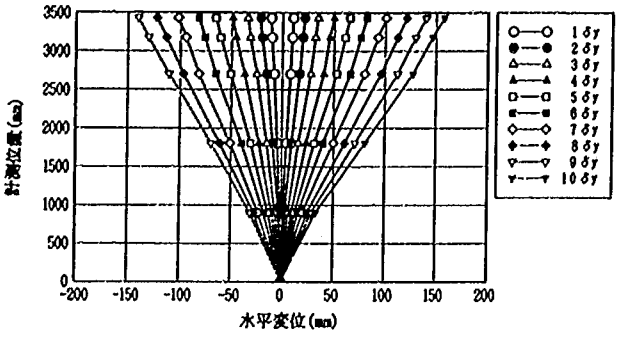



(12) No.19

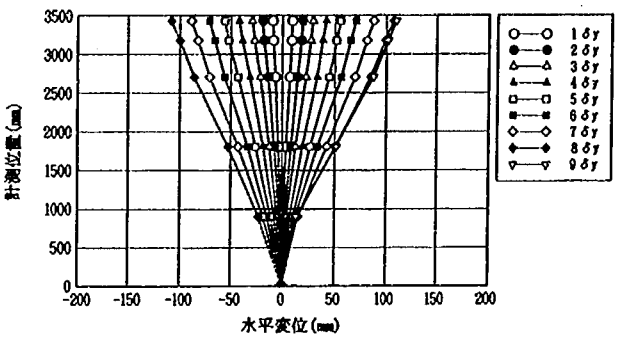
図-3.1.5 水平荷重の鉛直方向分布



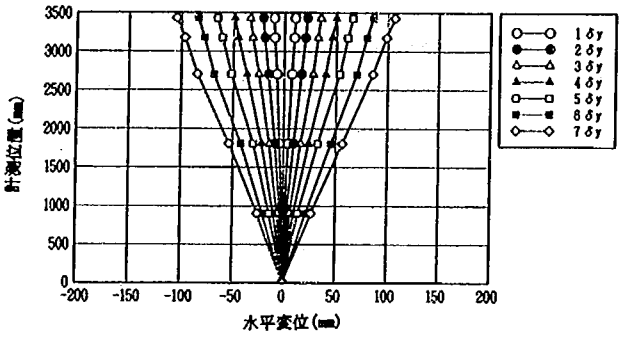

(13) No.20



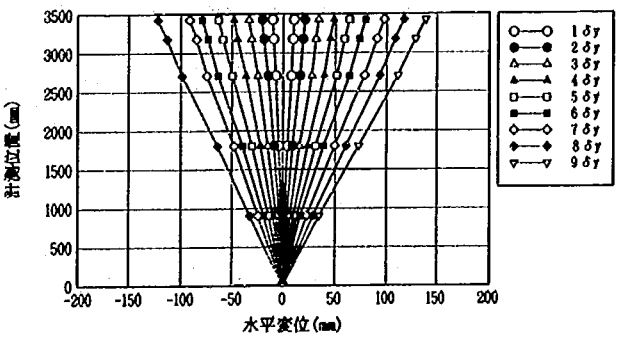

(14) No.22



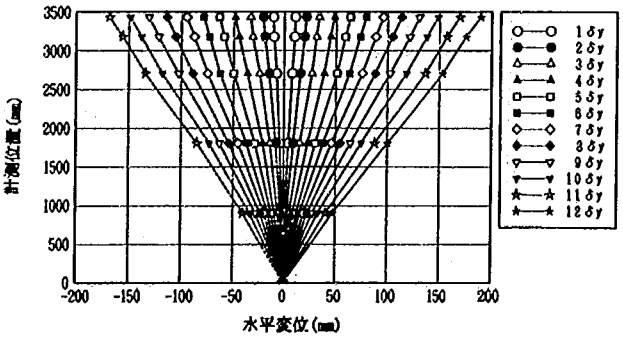

(15) No.23




(16) No.24

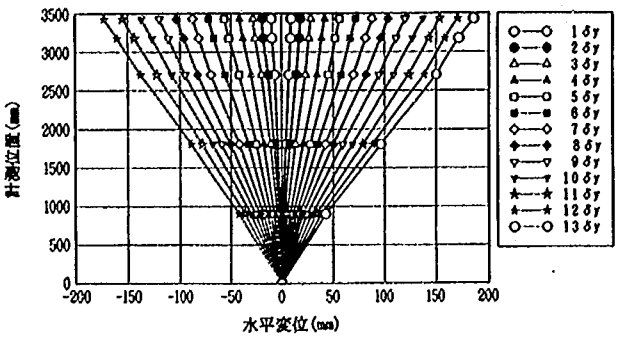



(17) No.25

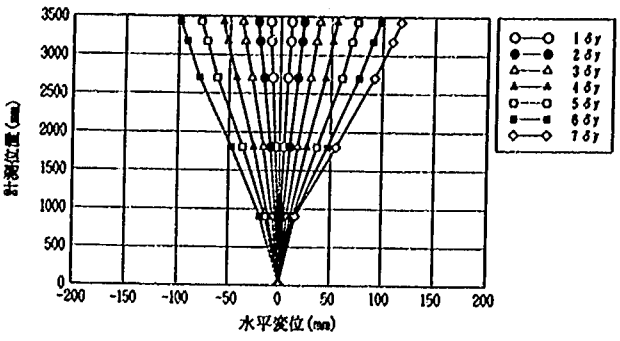



(18) No.26

図-3.1.5 水平荷重の鉛直方向分布

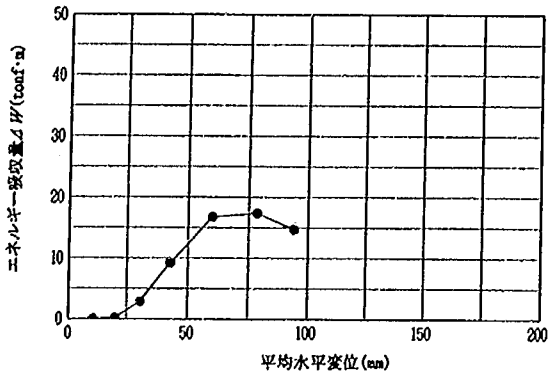



(19) No.27

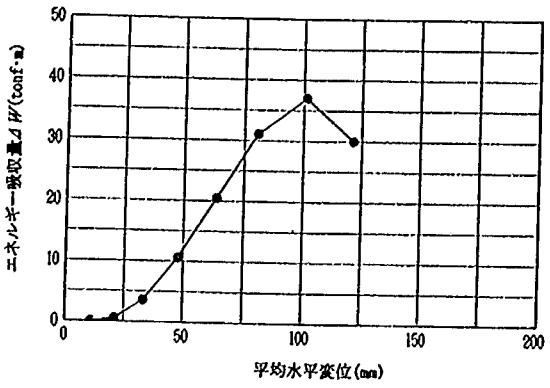



(20) No.28

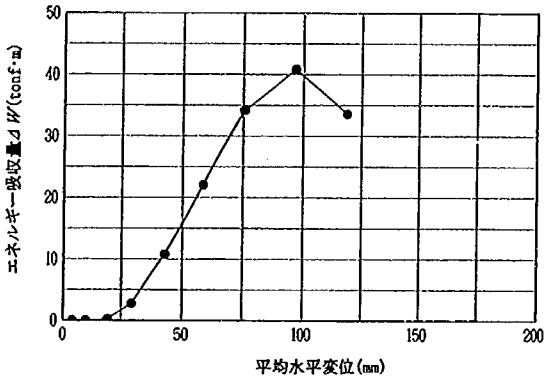
図-3.1.5 水平荷重の鉛直方向分布



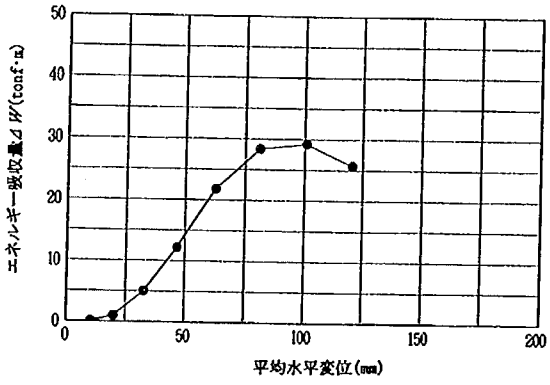

(1) No.2



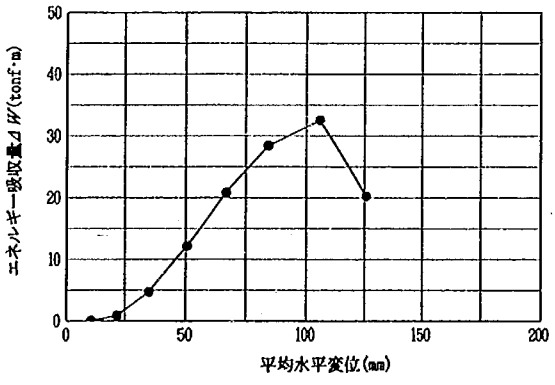

(2) No.3



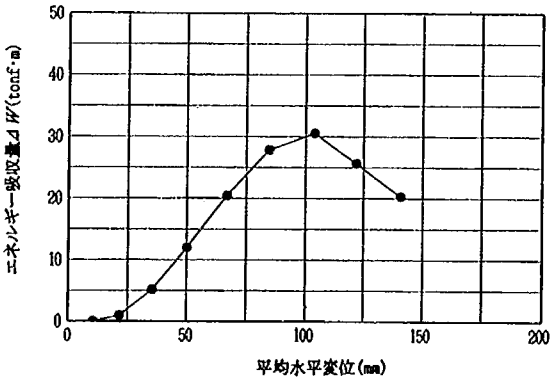

(3) No.4




(4) No.5

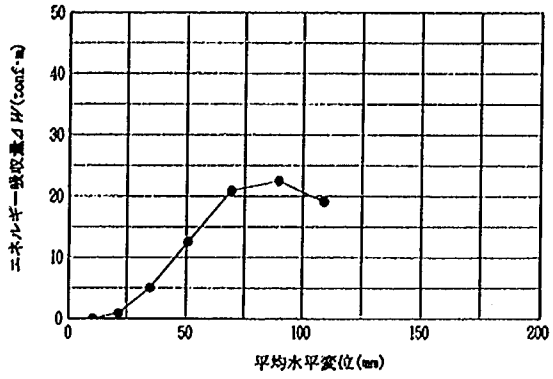



(5) No.10

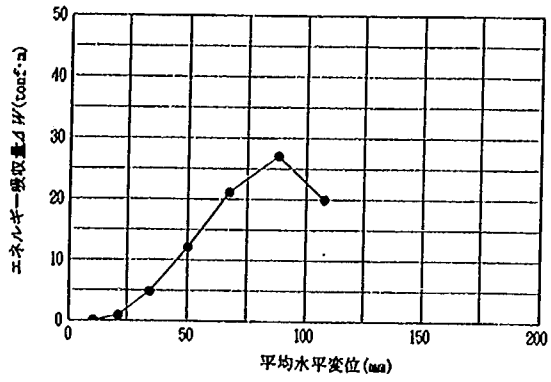



(6) No.11

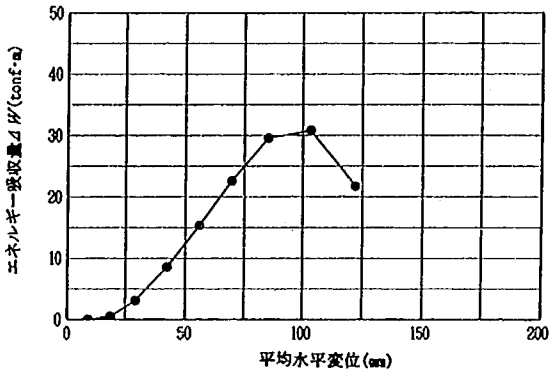
図-3.1.6 エネルギー吸収量



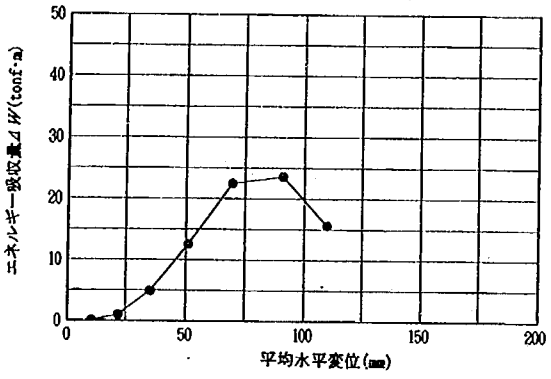

(7) No.12



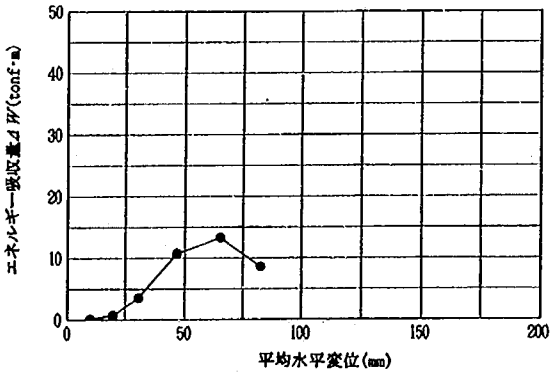

(8) No.13



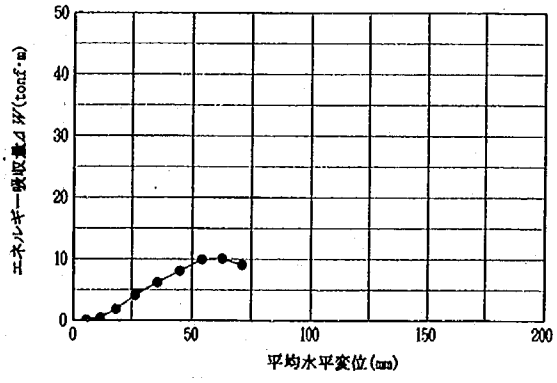

(9) No.14




(10) No.17

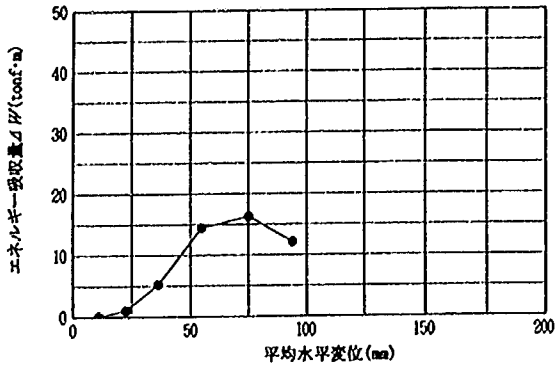



(11) No.18

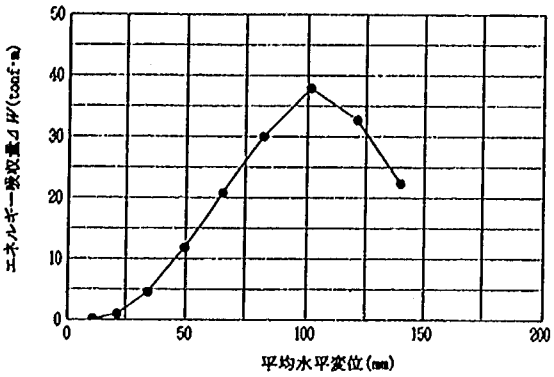



(12) No.19

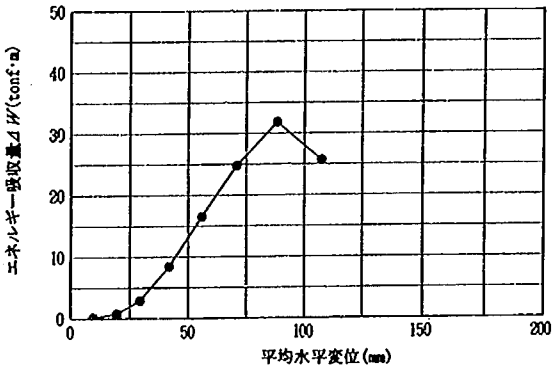
**図-3.1.6 エネルギー吸収量**



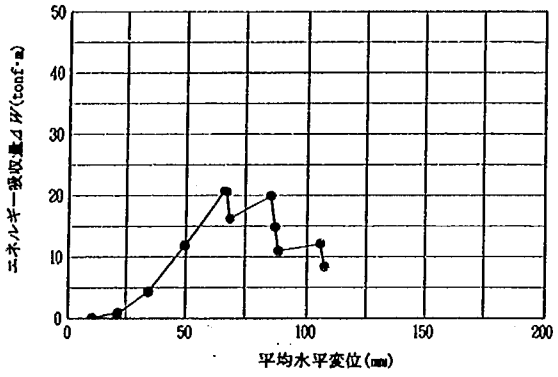

(13) No.20



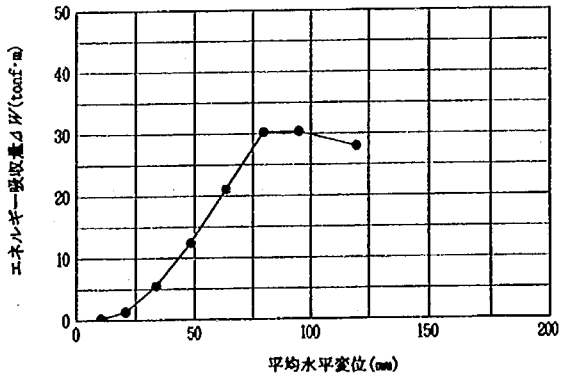

(14) No.22



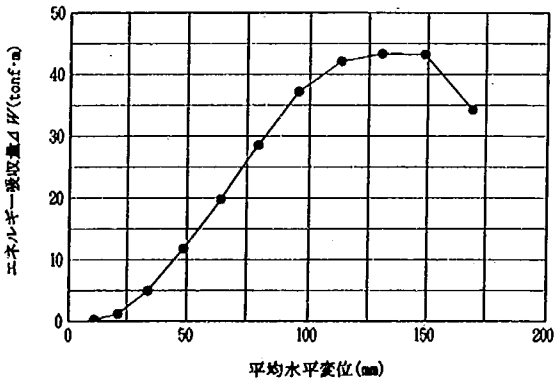

(15) No.23




(16) No.24

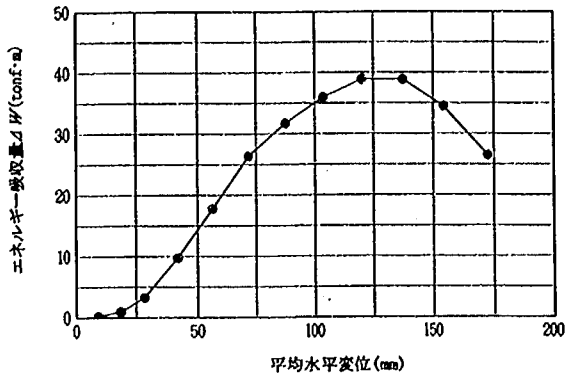



(17) No.25

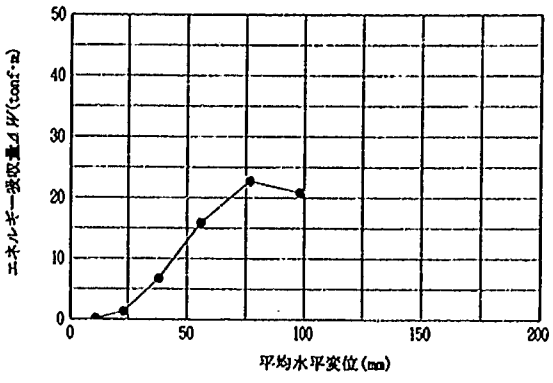



(18) No.26

**図-3.1.6 エネルギー吸収量**

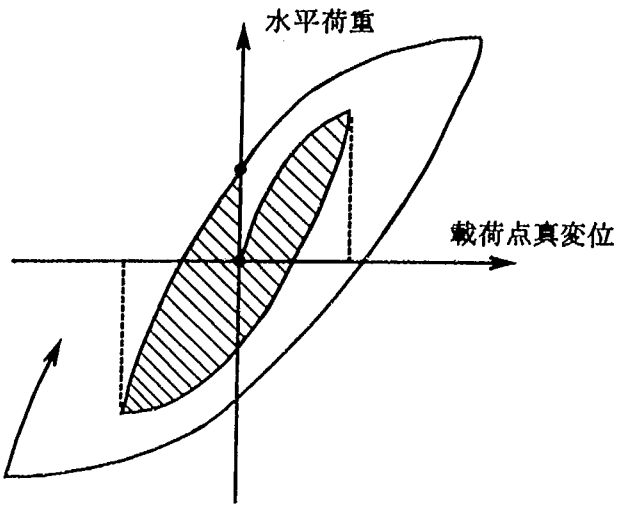



(19) No.27

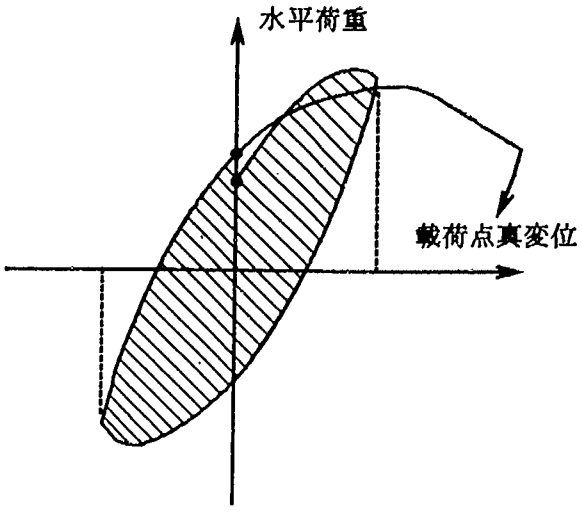



(20) No.28

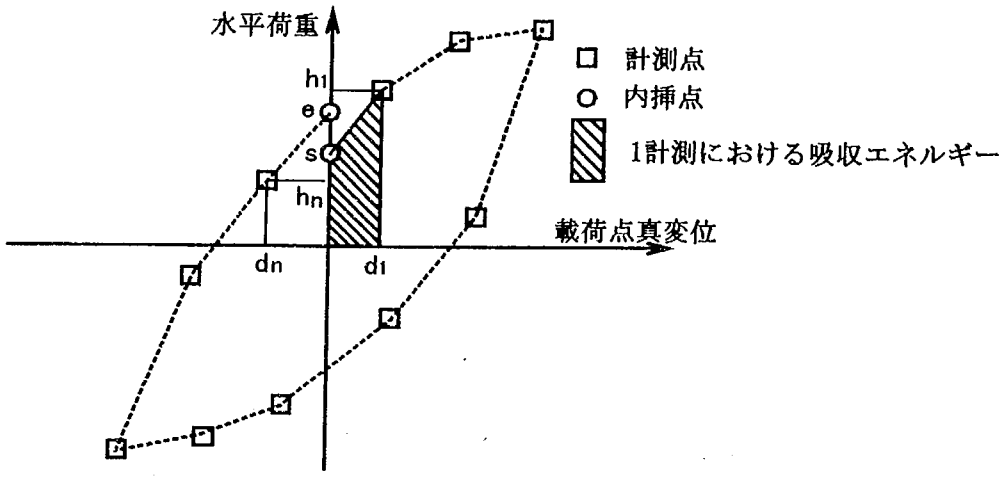
図-3.1.6 エネルギー吸収量



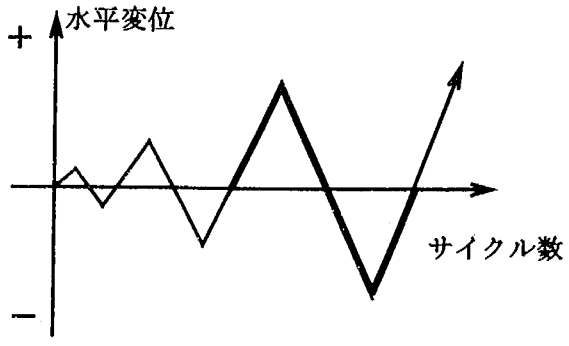

(a) 初期の場合の
吸収エネルギーの定義




(b) 強度低下を起こした場合の
吸収エネルギーの定義

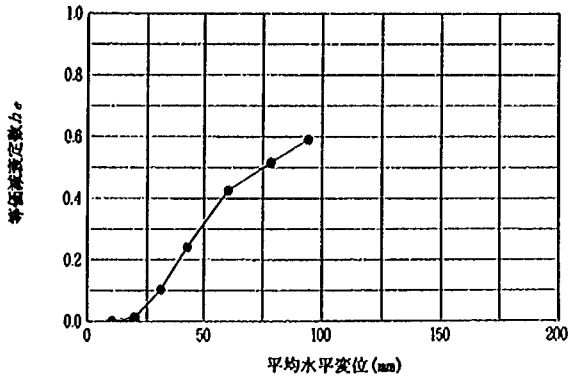



(c) 吸収エネルギーの計算方法

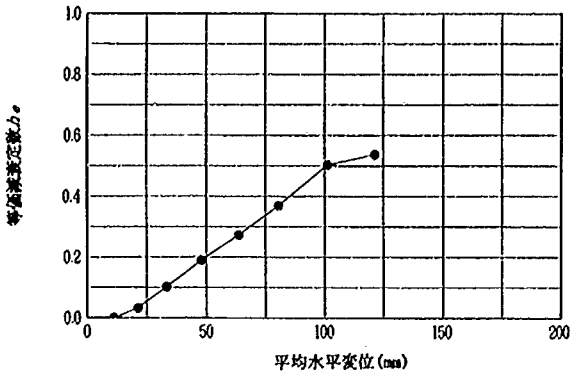



(d) 1サイクルの定義

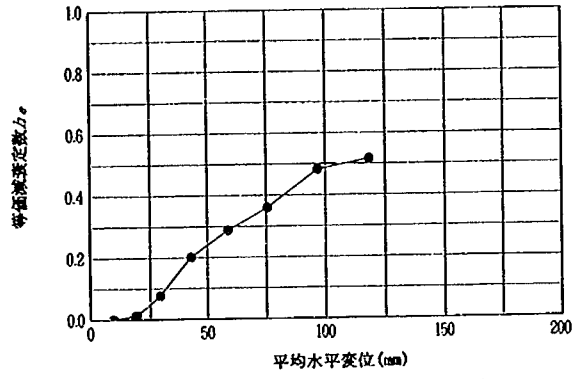
図-3.1.7 エネルギー吸収量の算出方法



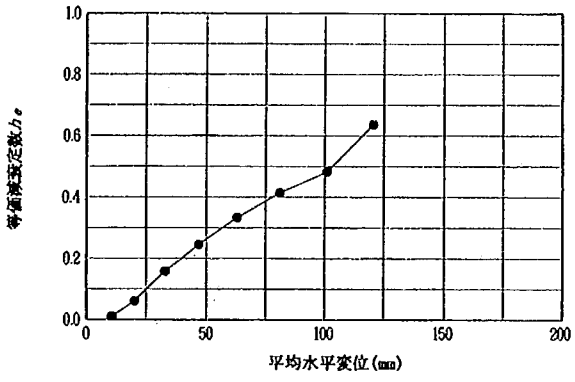

(1) No.2



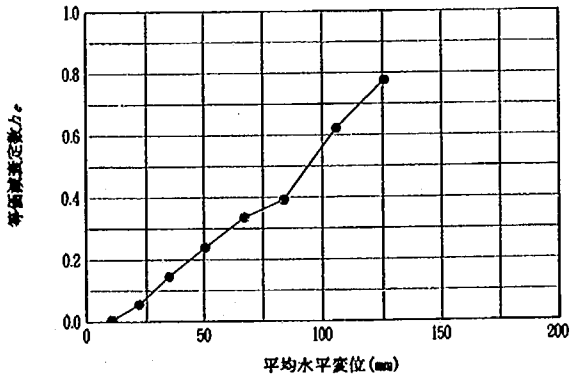

(2) No.3



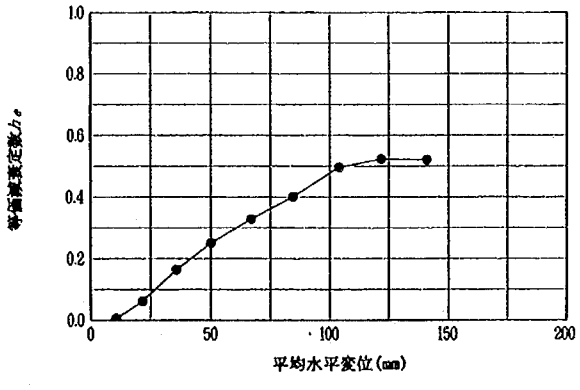

(3) No.4




(4) No.5

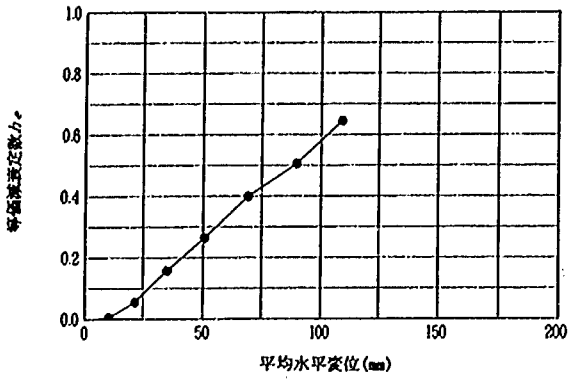



(5) No.10

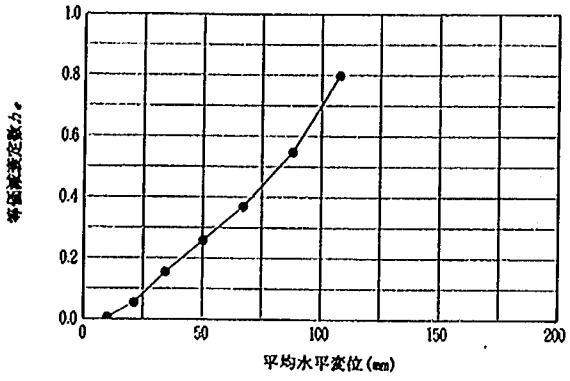



(6) No.11

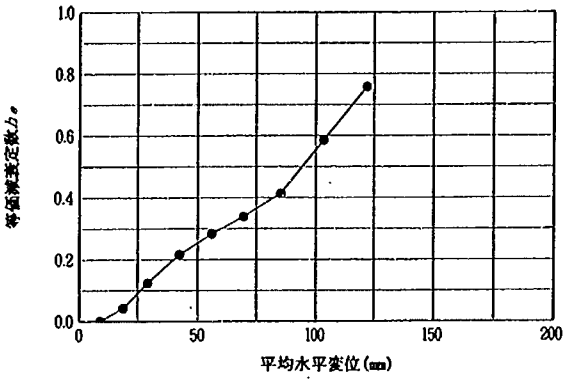
**図-3.1.8 等価減衰定数**



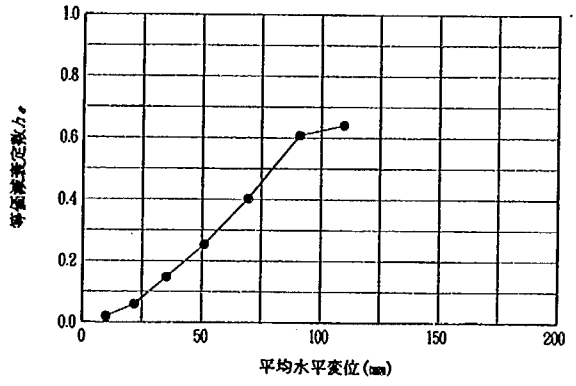

(7) No.12



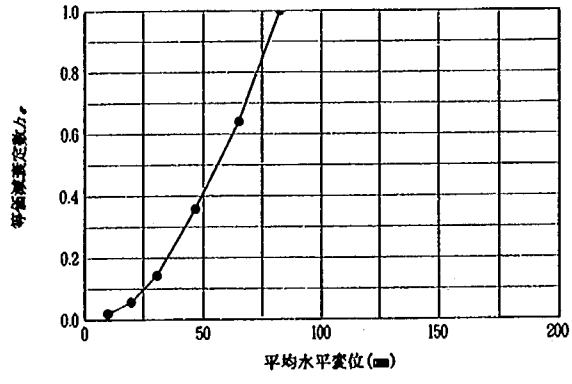

(8) No.13



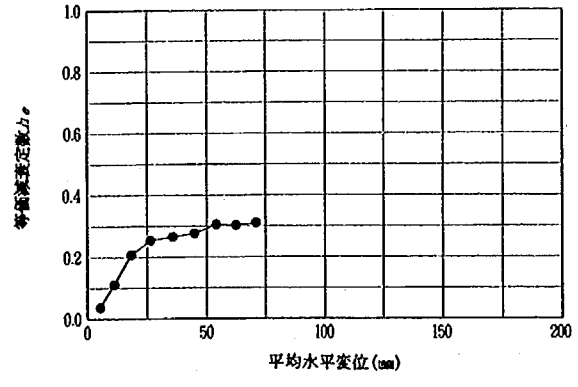

(9) No.14




(10) No.17

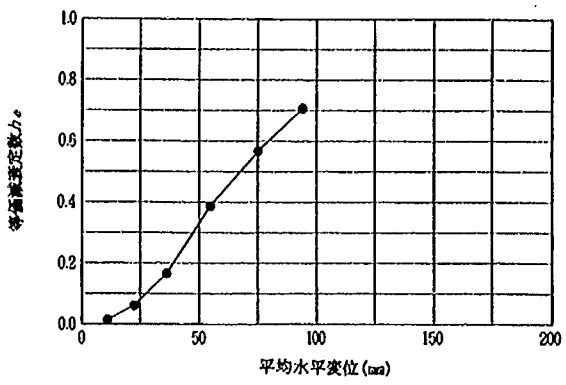



(11) No.18

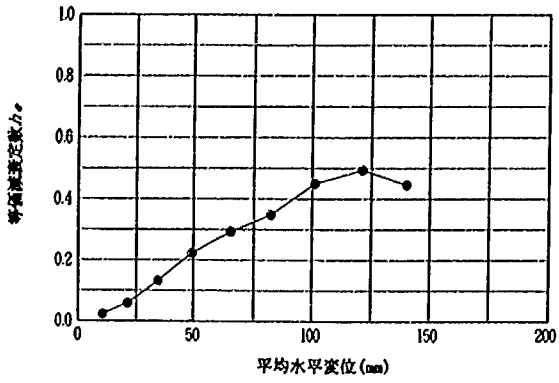



(12) No.19

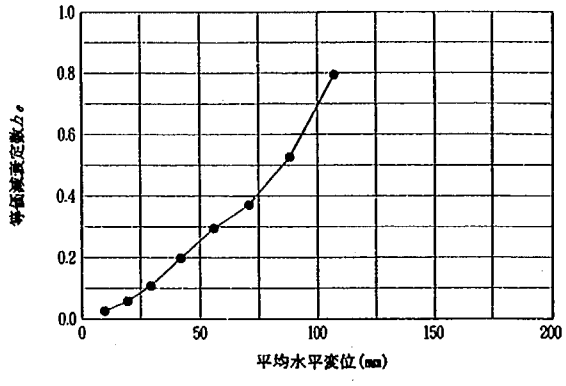
**図-3.1.8 等価減衰定数**



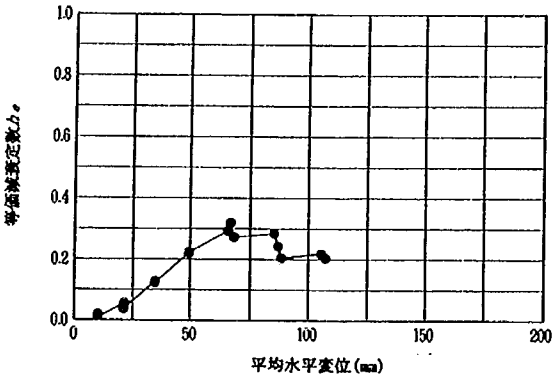

(13) No.20



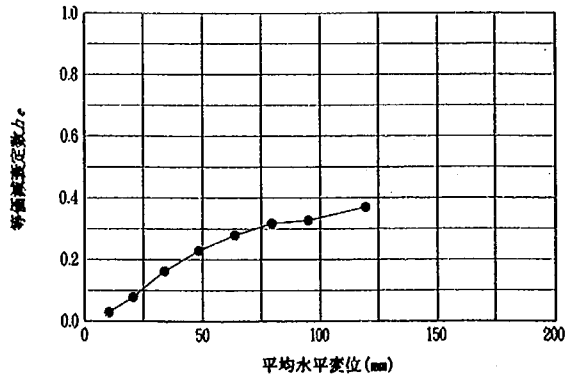

(14) No.22



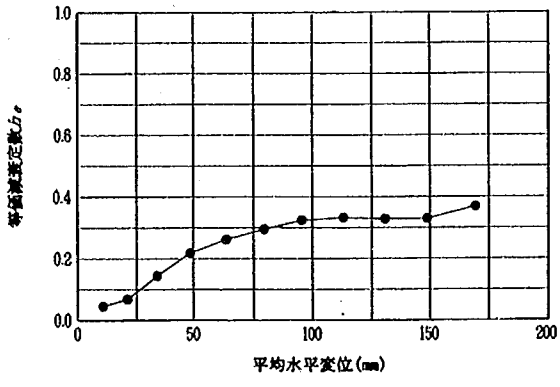

(15) No.23




(16) No.24

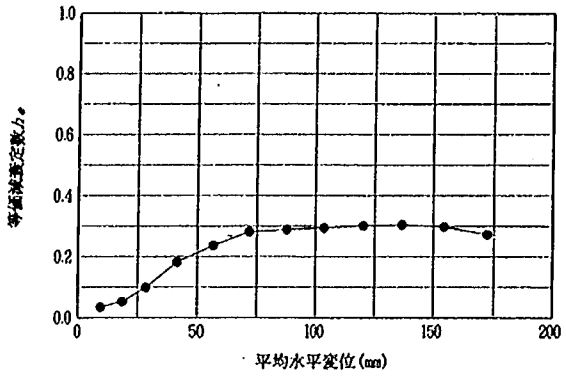



(17) No.25

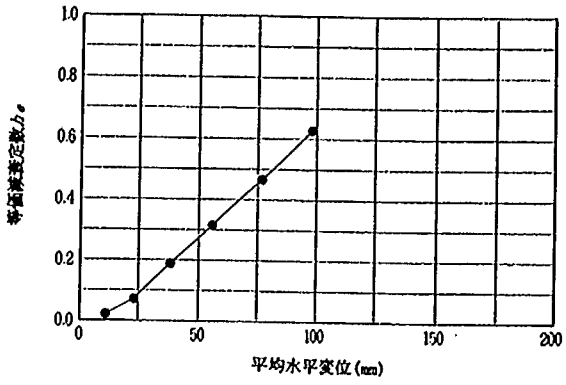



(18) No.26

**図-3.1.8 等価減衰定数**




(19) No.27




(20) No.28

図-3.1.8 等価減衰定数

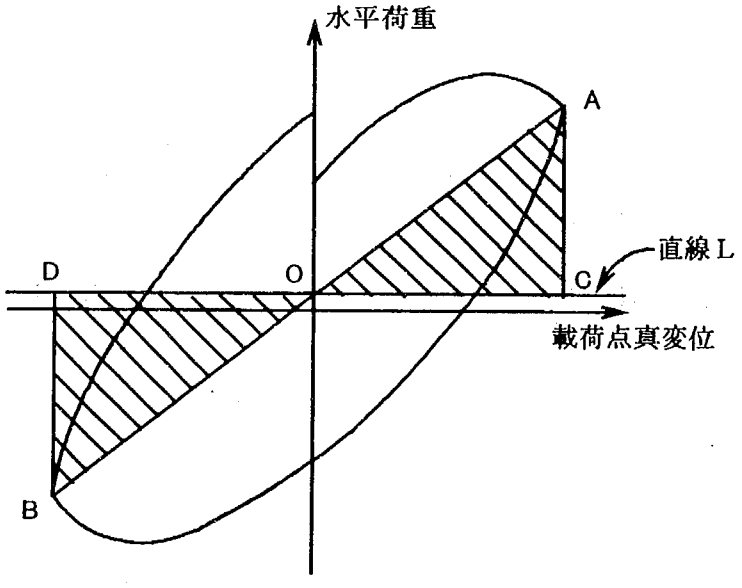
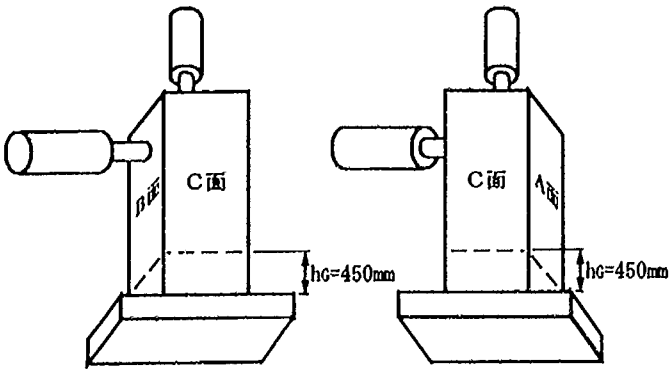
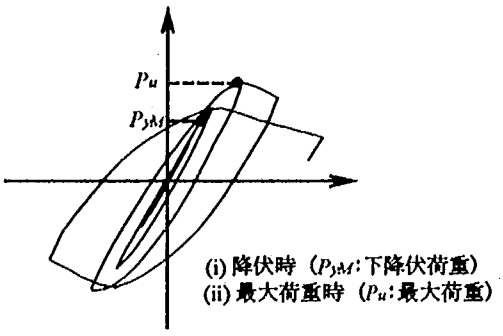
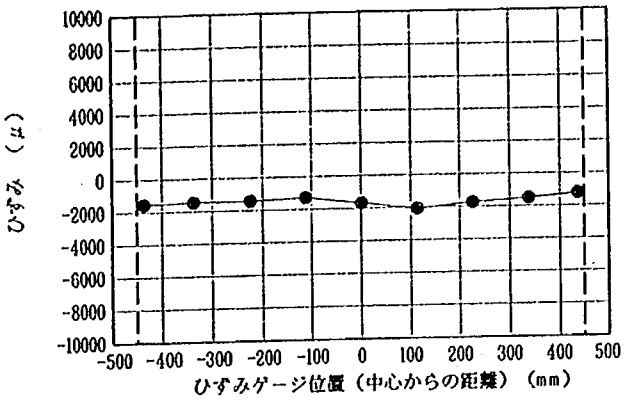


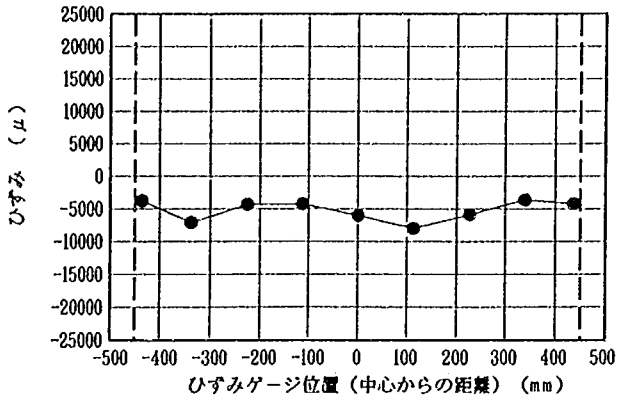

図-3.1.9 等価減衰定数と等価剛性の定義



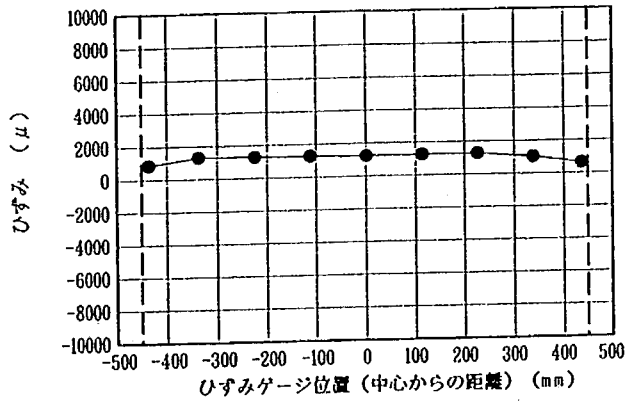



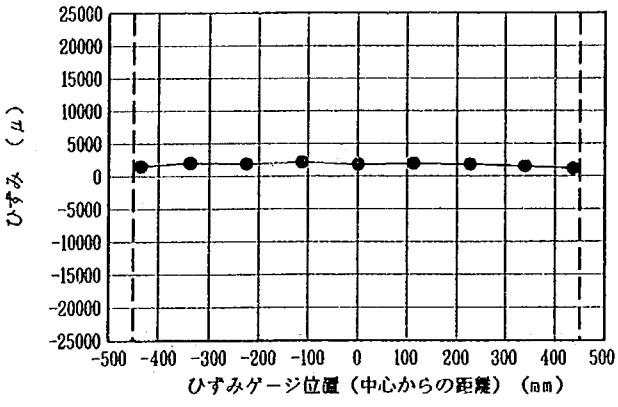

(a) フランジ（A面）



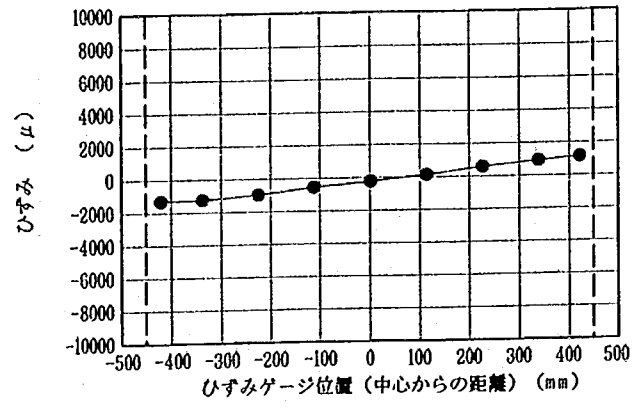

(a) フランジ（A面）




(b) フランジ（B面）

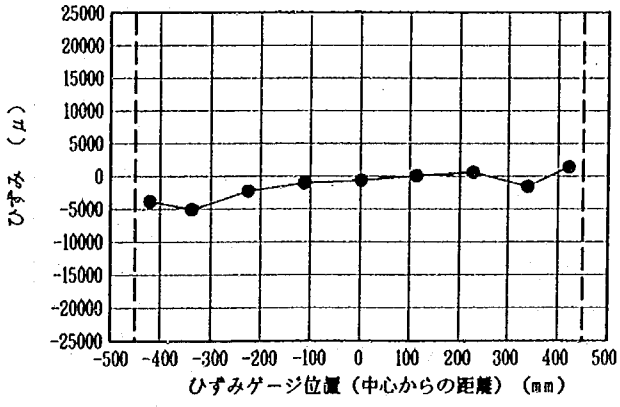



(b) フランジ（B面）




(c) ウェブ（C面）

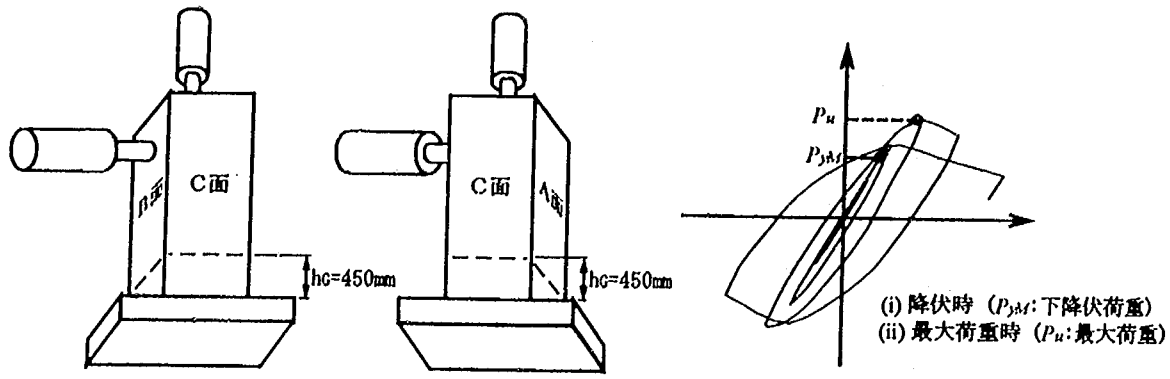
(i) 降伏時

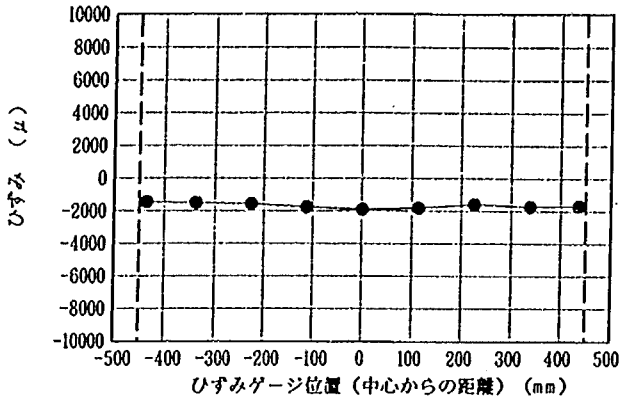



(c) ウェブ（C面）

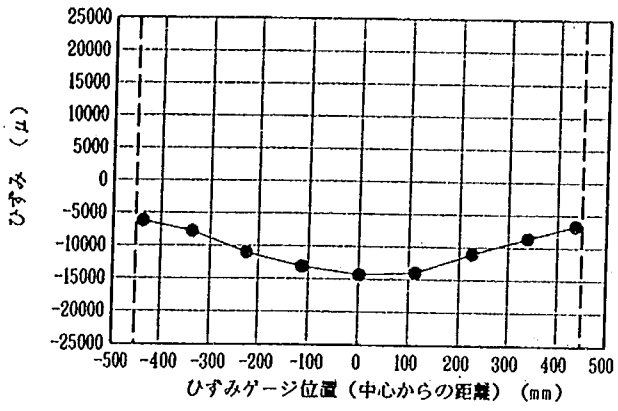
(ii) 最大荷重時

図-3.1.10(1) ひずみ分布(No.2) (hc=450mm)
(ひずみゲージ貼付高さhc)

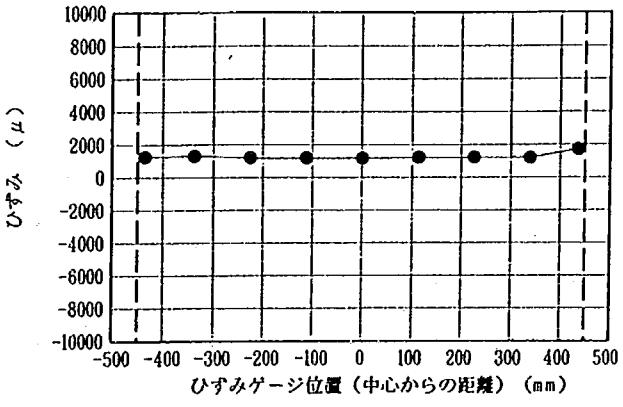


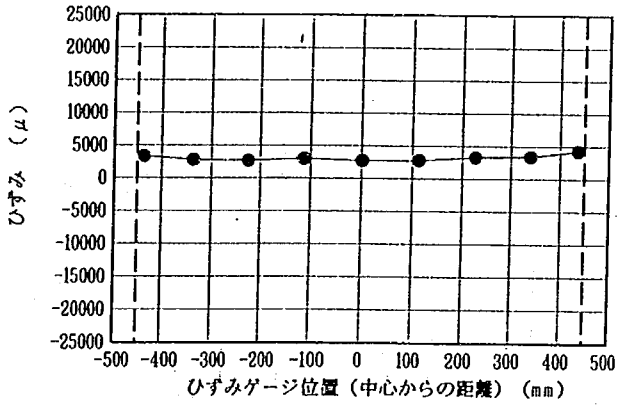

(a) フランジ（A面）



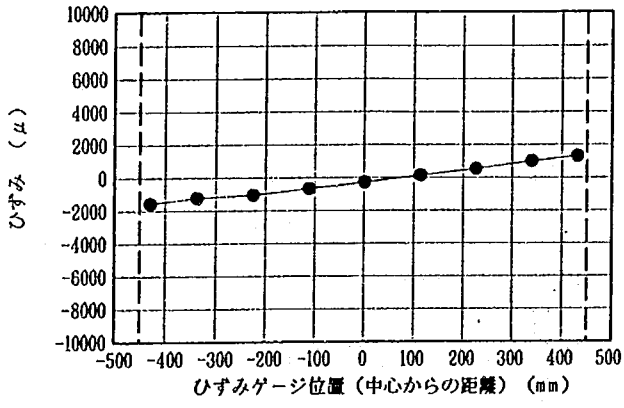

(a) フランジ（A面）



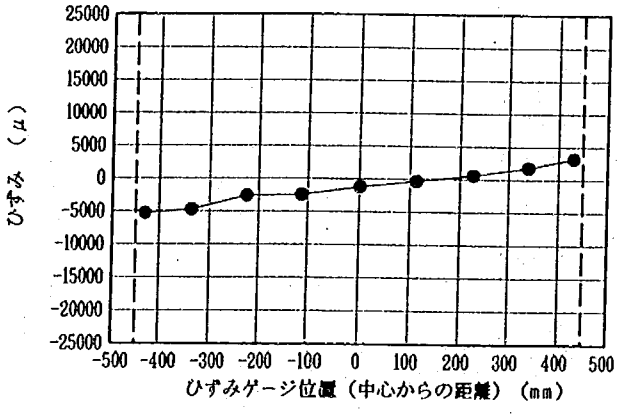

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

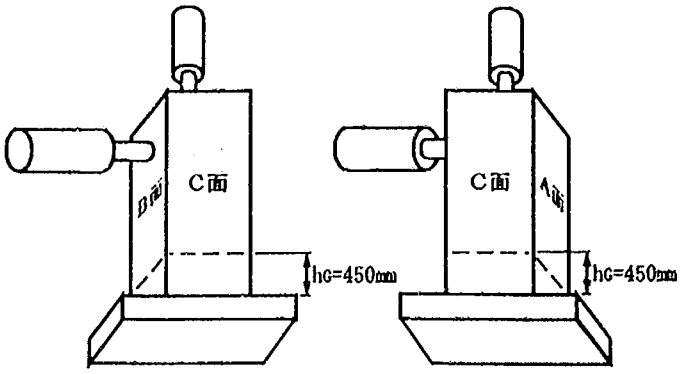


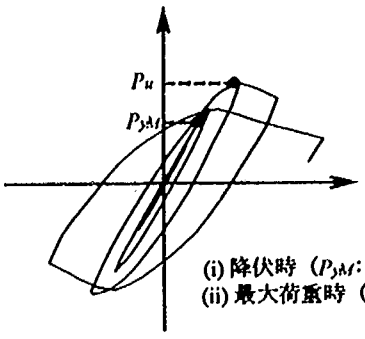

(c) ウ ェ ブ（C面）
(i) 降　伏　時



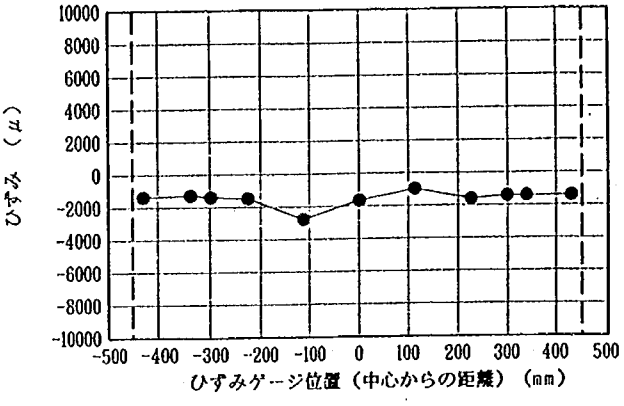

(c) ウ ェ ブ（C面）
(ii) 最大荷重時

図-3.1.10(2) ひずみ分布(No.3) (hc=450mm)

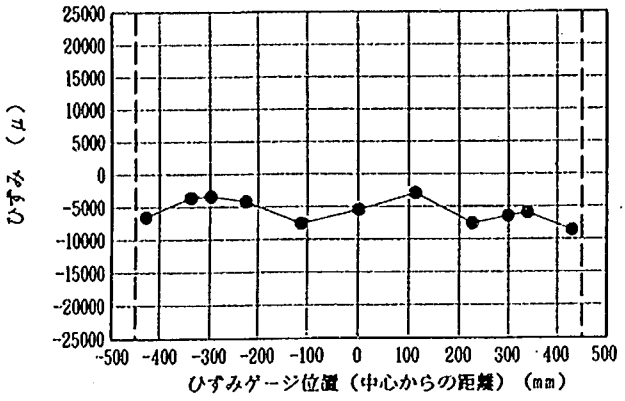


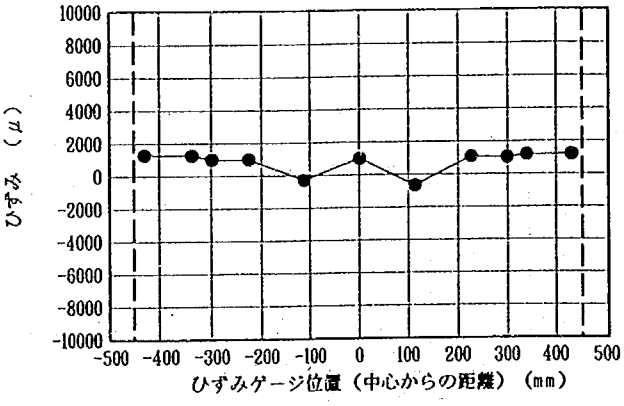

(i) 降伏時 ($P_{yAf}$:下降伏荷重)
(ii) 最大荷重時 ($P_u$:最大荷重)



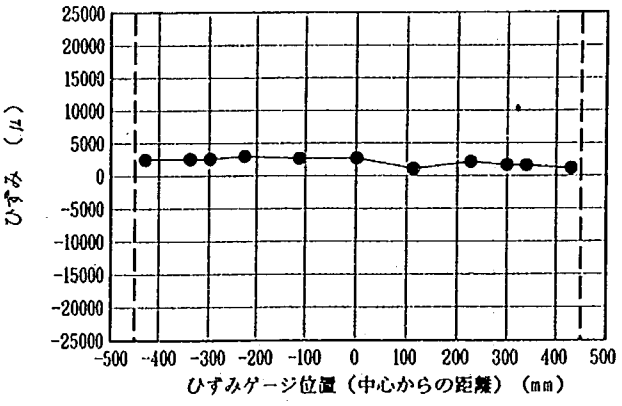

(a) フランジ（A面）



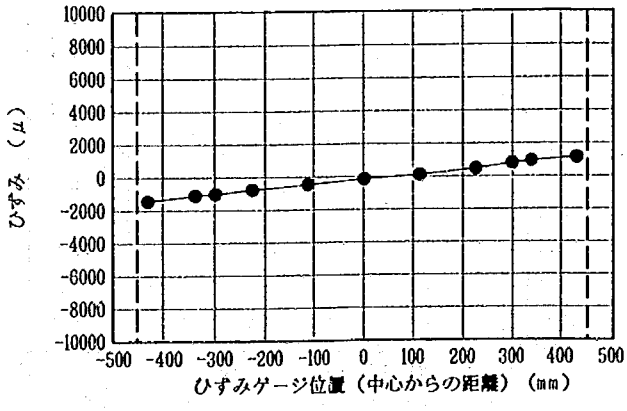

(a) フランジ（A面）



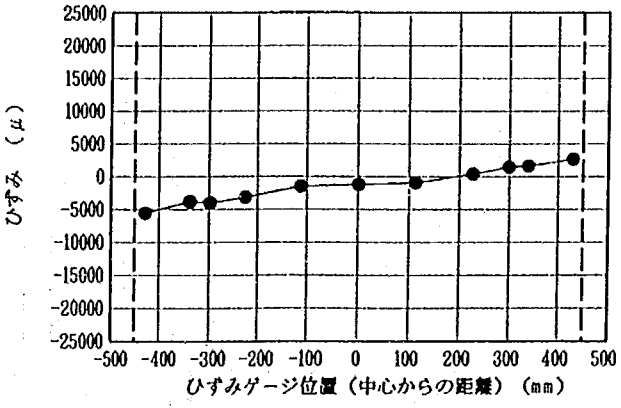

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

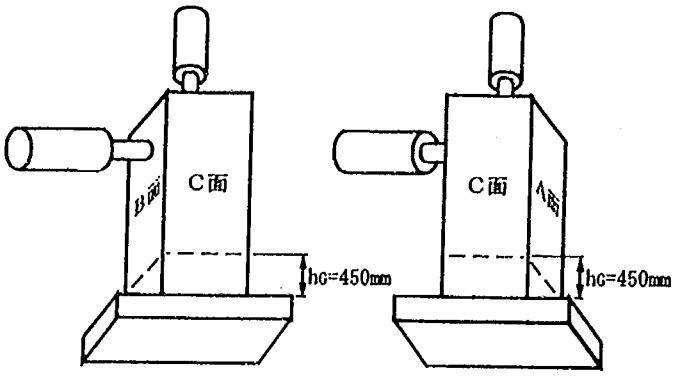


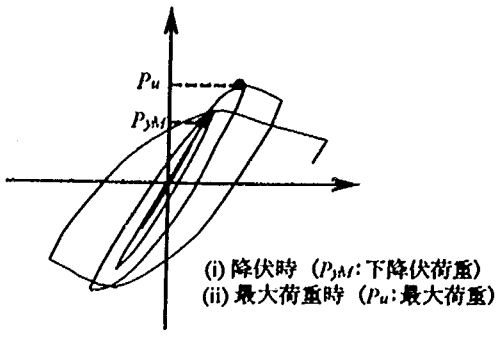

(c) ウ ェ ブ（C面）
(i) 降 伏 時



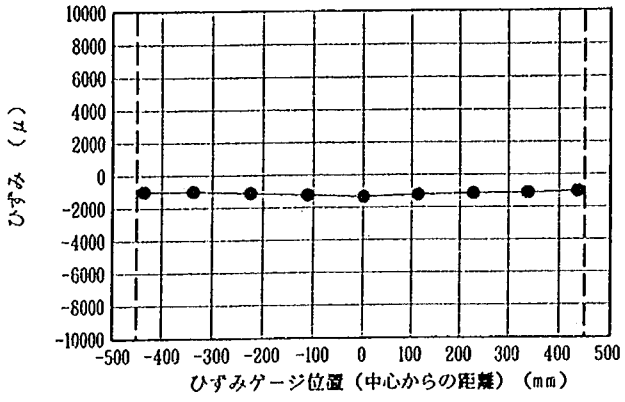

(c) ウ ェ ブ（C面）
(ii) 最大荷重時

**図-3.1.10(3)** ひずみ分布(No.4) (hc=450mm)

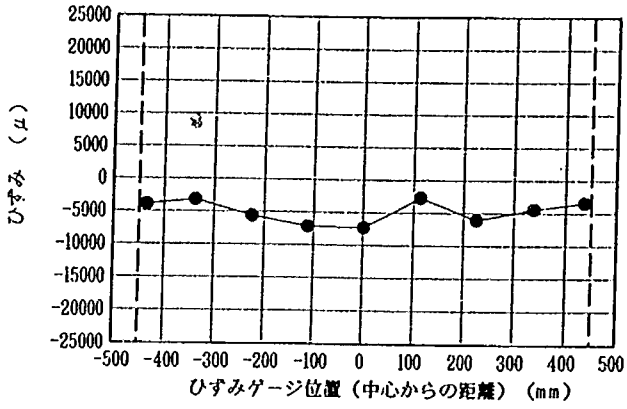


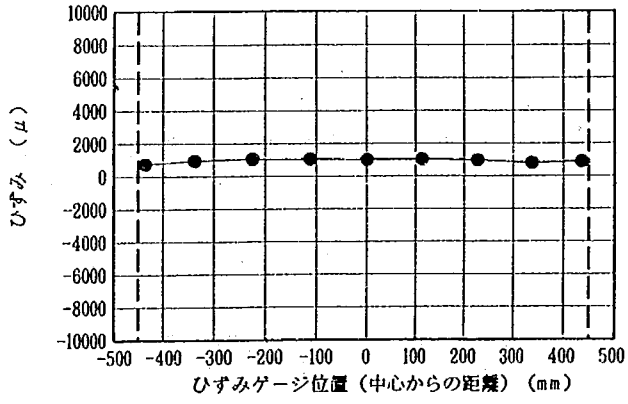

(i) 降伏時 ($P_{yAf}$:下降伏荷重)
(ii) 最大荷重時 ($P_u$:最大荷重)



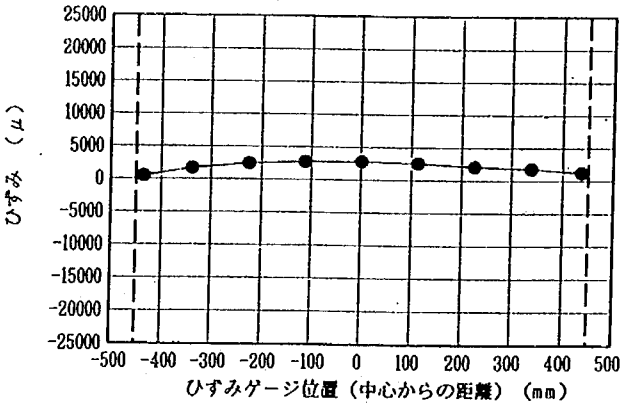

(a) フランジ（A面）



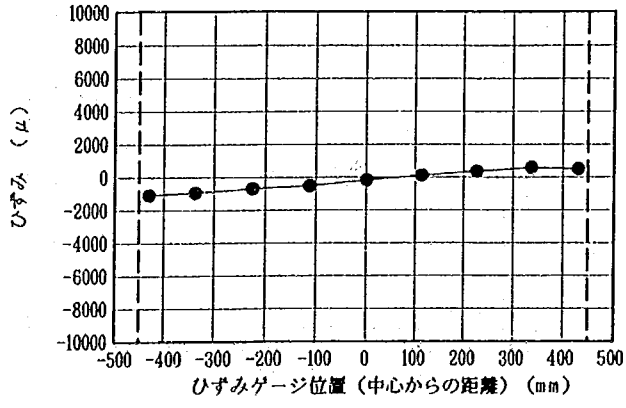

(a) フランジ（A面）



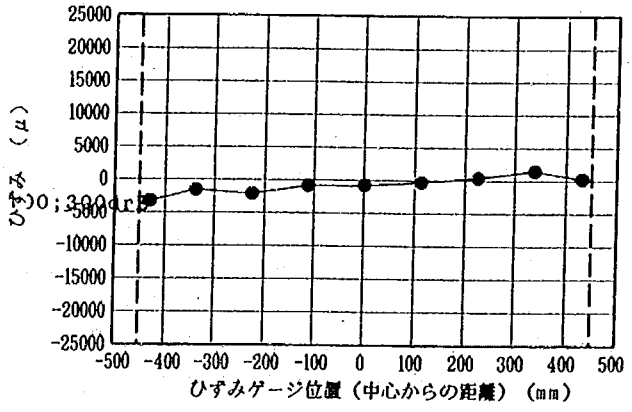

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

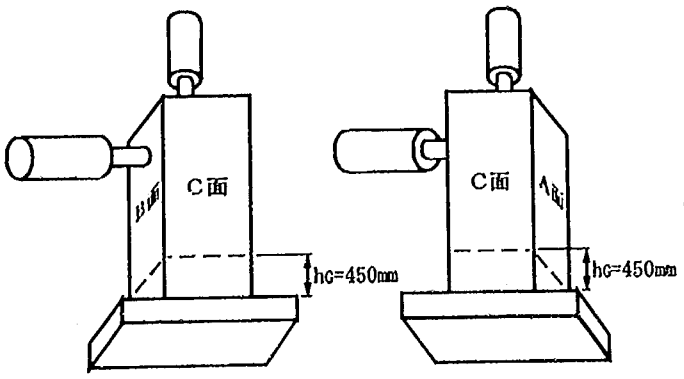


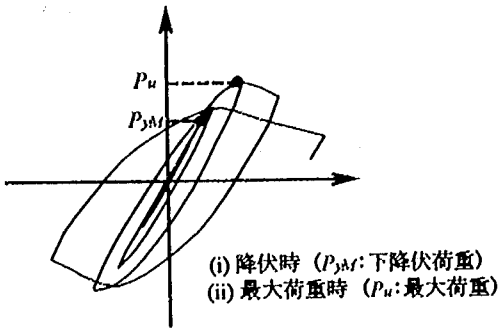

(c) ウェブ（C面）
(i) 降　伏　時

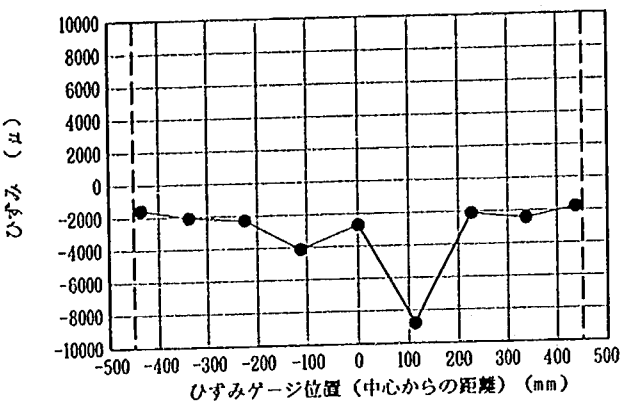



(c) ウェブ（C面）
(ii) 最大荷重時

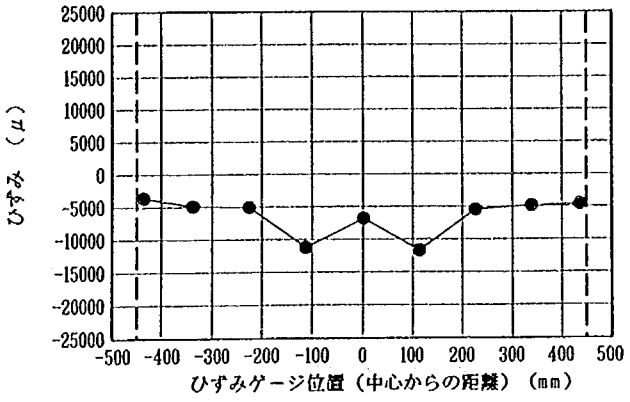
図-3.1.10(4) ひずみ分布(No.5) (hc=450mm)



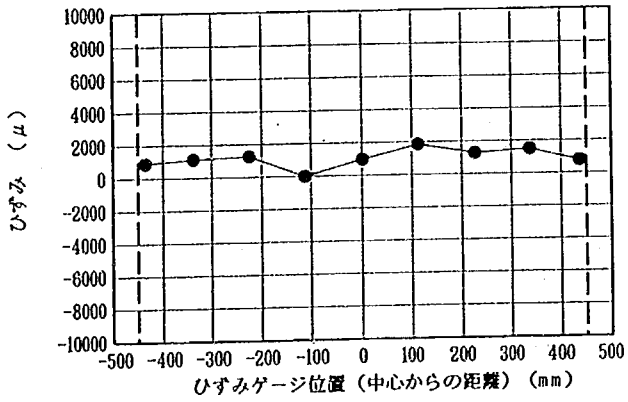



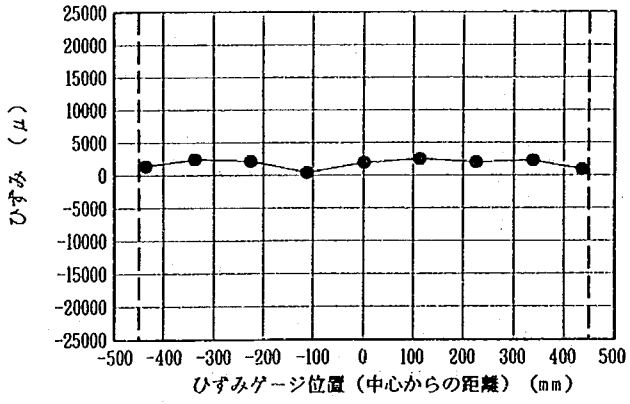

(a) フランジ（A面）



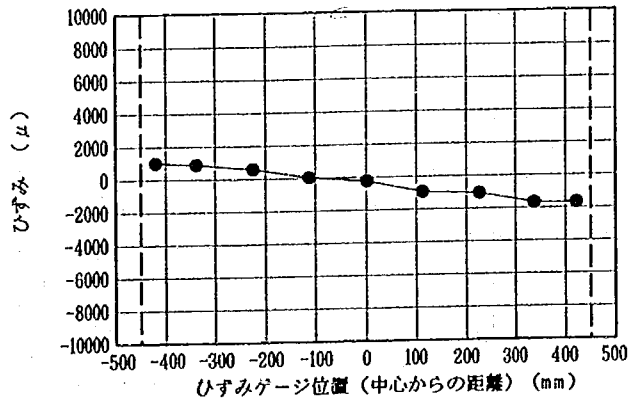

(a) フランジ（A面）




(b) フランジ（B面）

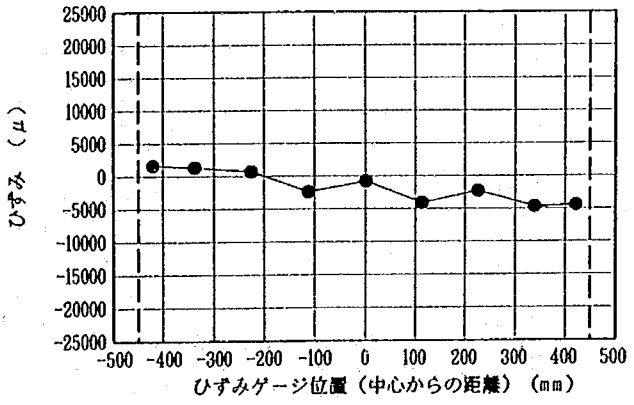



(b) フランジ（B面）




(c) ウ ェ ブ（C面）

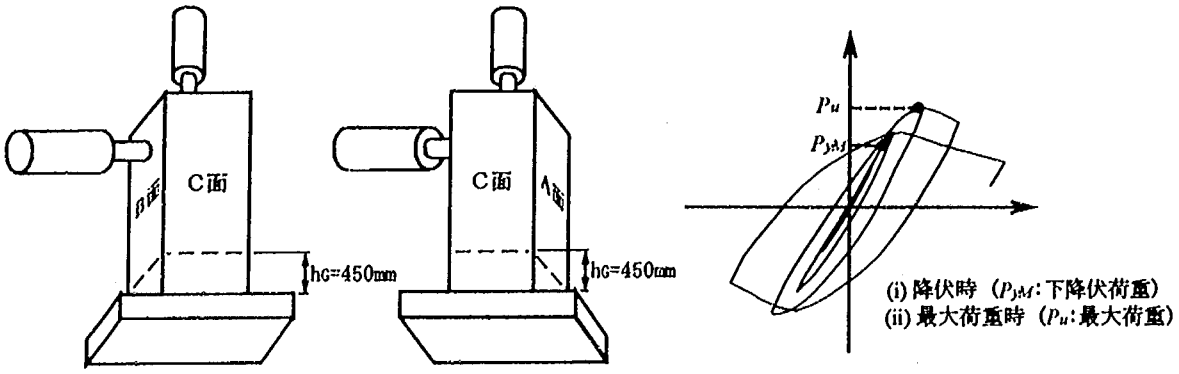
(i) 降　伏　時

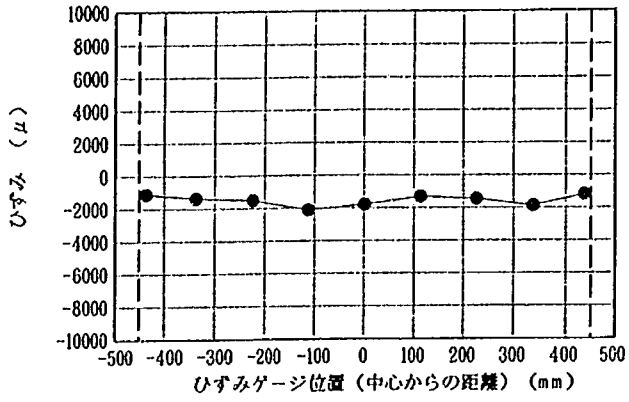



(c) ウ ェ ブ（C面）

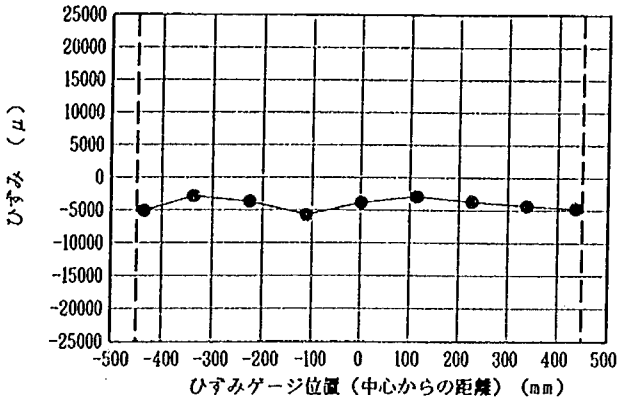
(ii) 最大荷重時

図-3.1.10(5) ひずみ分布(No.10) ($h_c$=450mm)

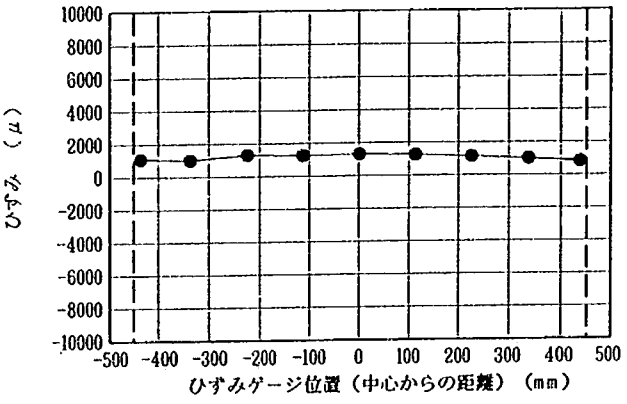


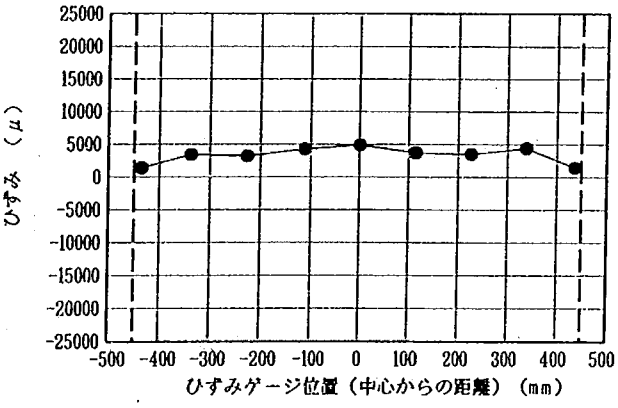

(a) フランジ（A面）



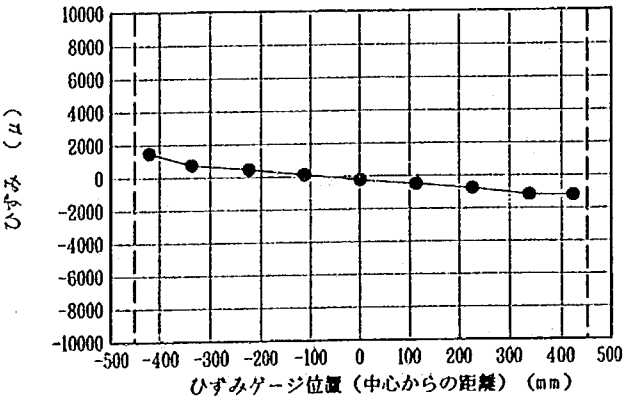

(a) フランジ（A面）




(b) フランジ（B面）

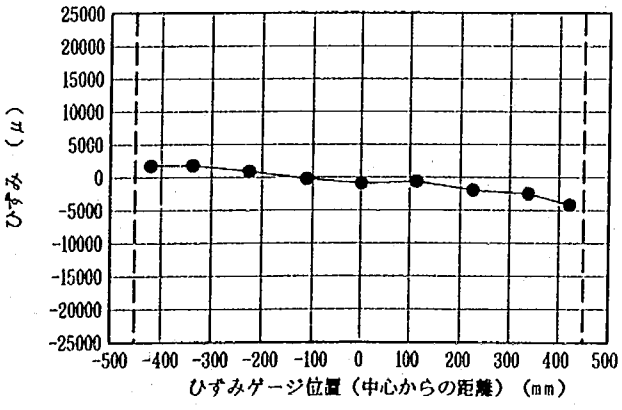



(b) フランジ（B面）




(c) ウ ェ ブ（C面）

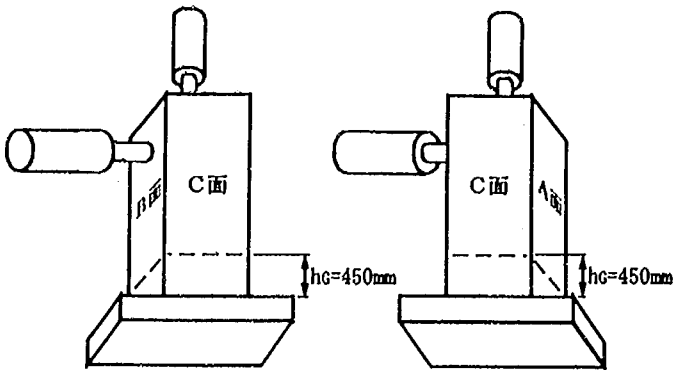
(i) 降 伏 時

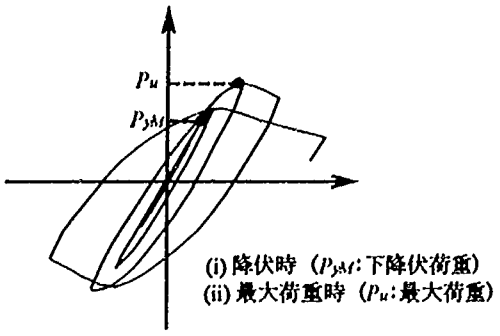


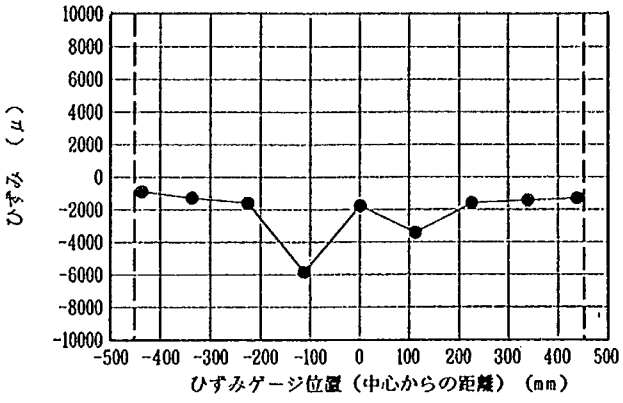

(c) ウ ェ ブ（C面）

(ii) 最大荷重時

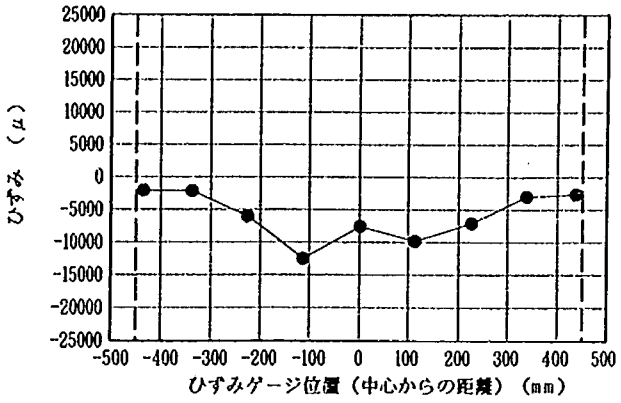
図-3.1.10(6) ひずみ分布(No.11) ($h_c$=450mm)



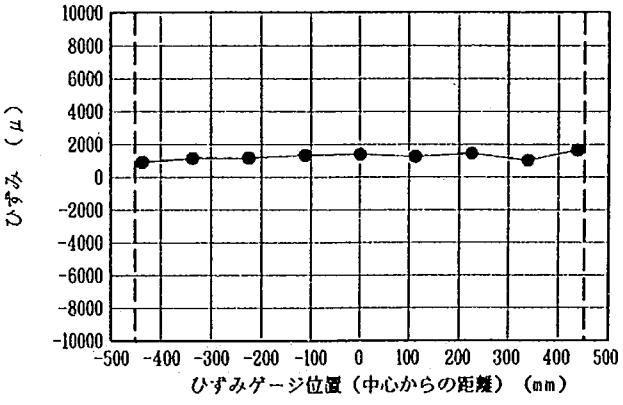



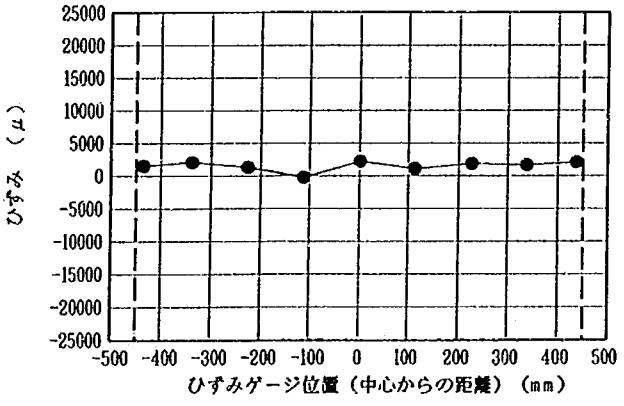

(a) フランジ（A面）



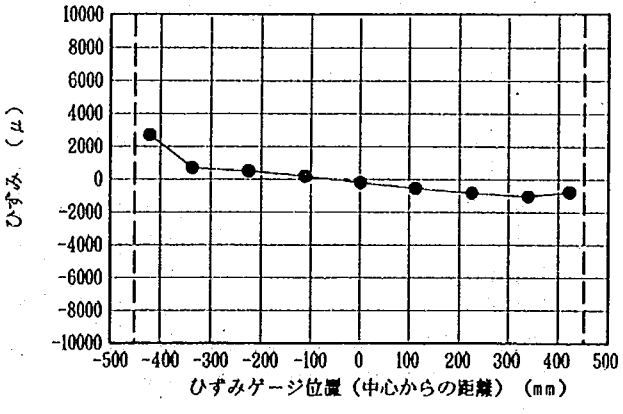

(a) フランジ（A面）




(b) フランジ（B面）

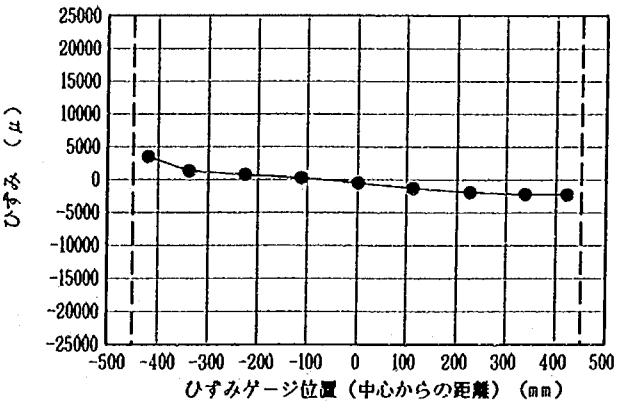



(b) フランジ（B面）




(c) ウェブ（C面）

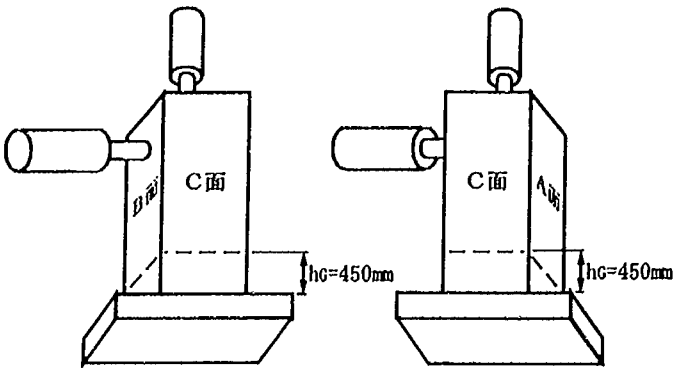
(i) 降　伏　時

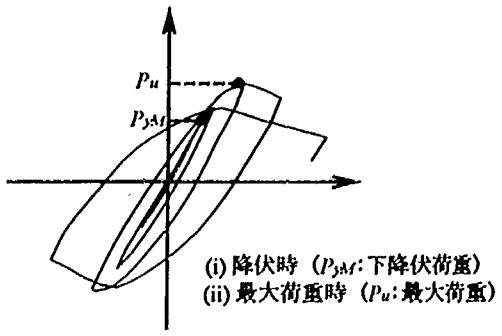


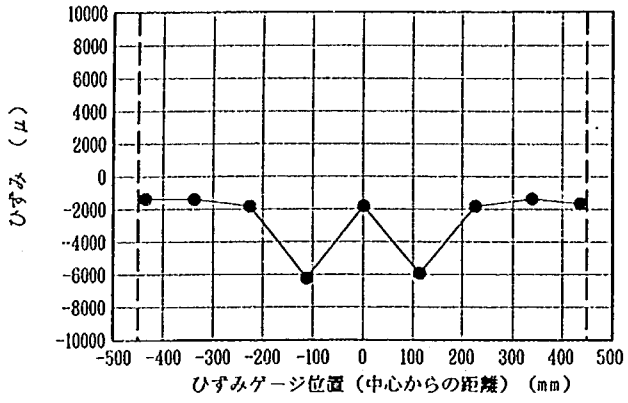

(c) ウェブ（C面）

(ii) 最大荷重時

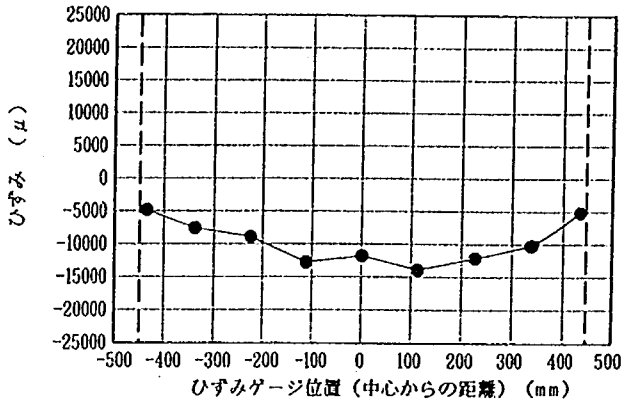
図-3.1.10(7)　ひずみ分布(No. 12)　($h_c$=450mm)



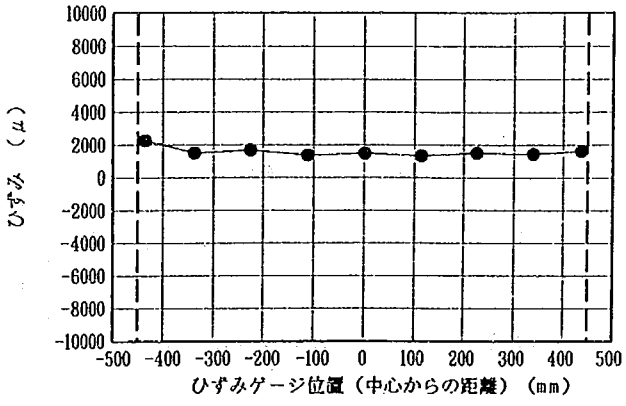



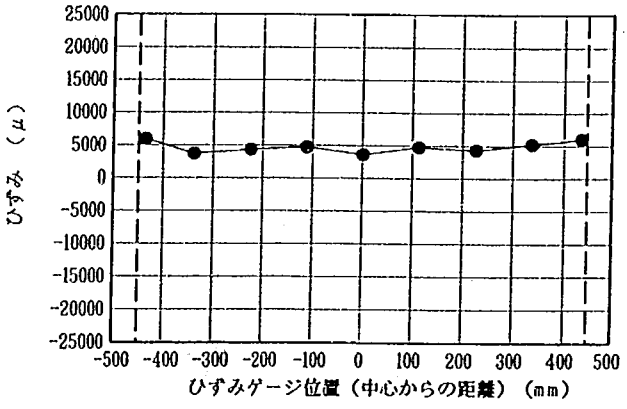

(a) フランジ（A面）



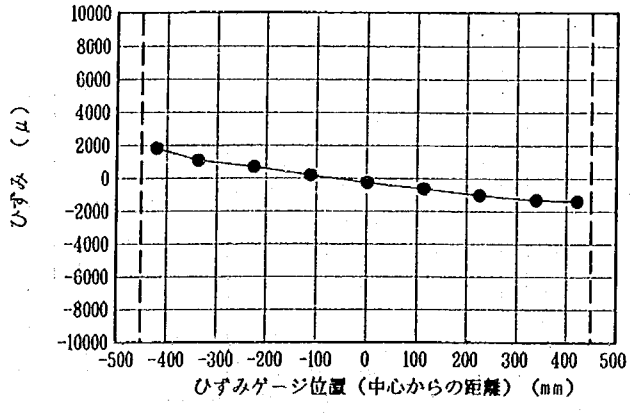

(a) フランジ（A面）



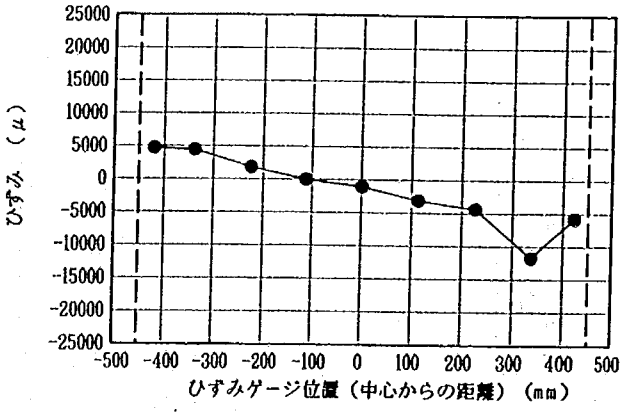

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

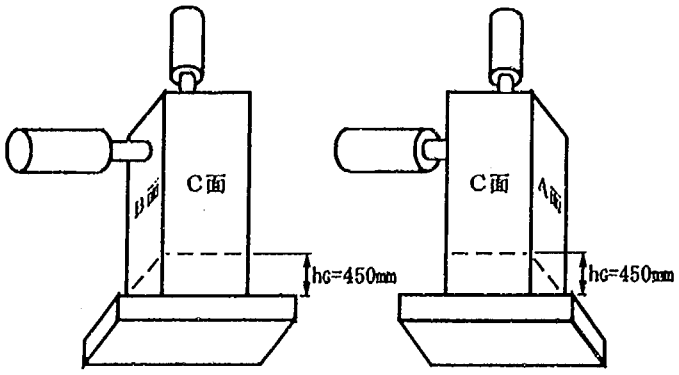


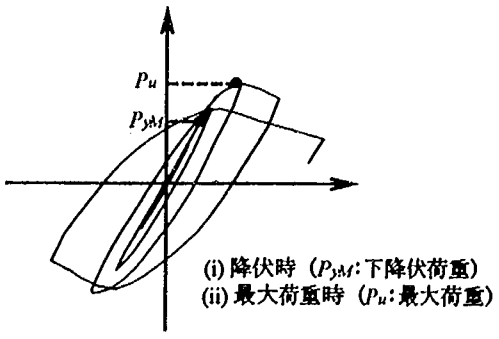

(c) ウェブ（C面）
(i) 降伏時

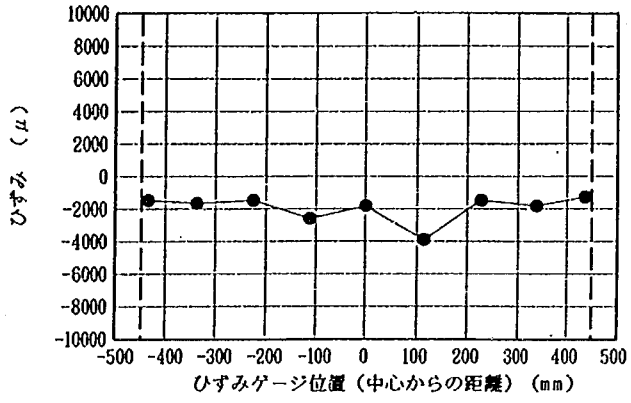



(c) ウェブ（C面）
(ii) 最大荷重時

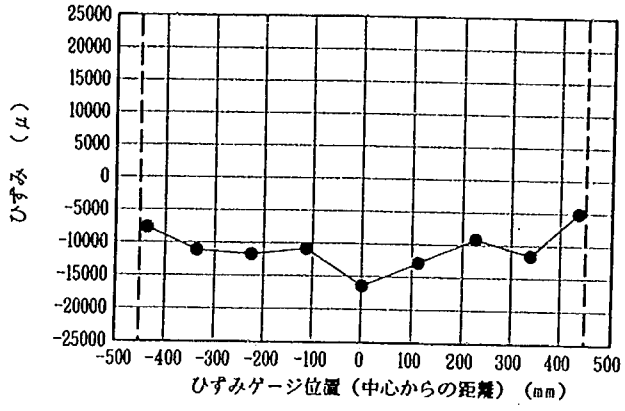
図-3.1.10(8) ひずみ分布(No.13) ($h_G$=450mm)



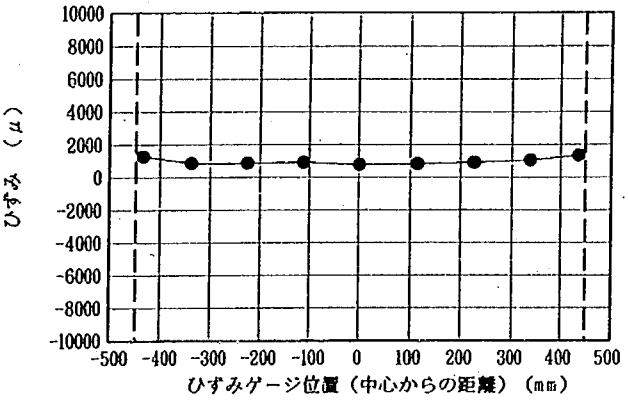



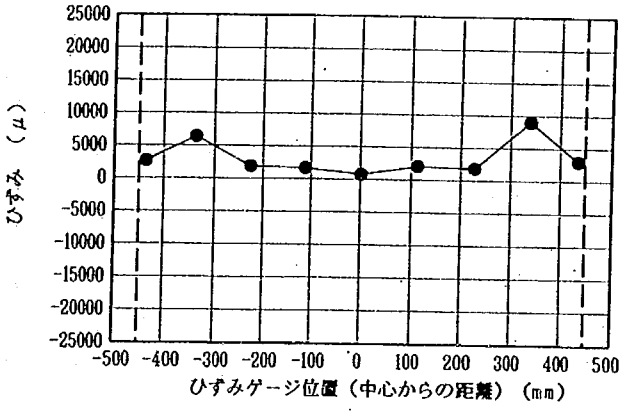

(a) フランジ（A面）



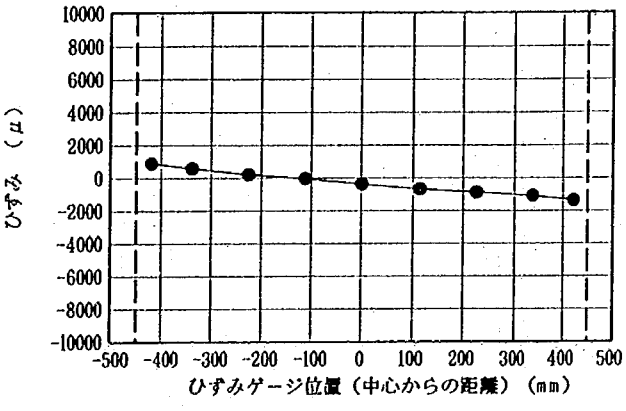

(a) フランジ（A面）



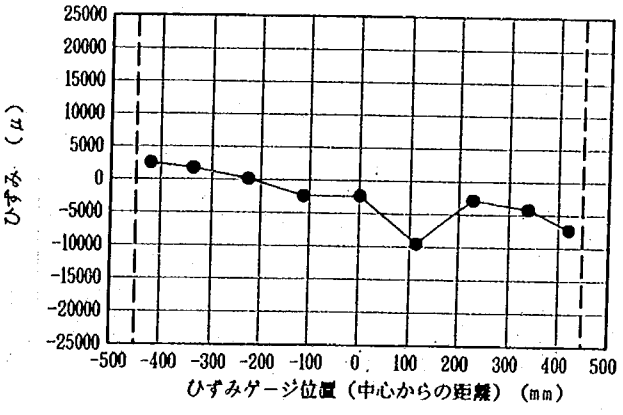

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

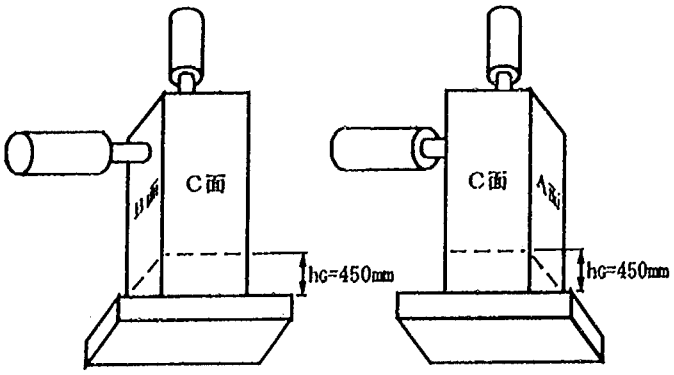


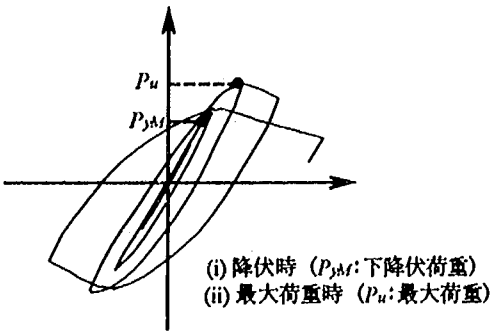

(c) ウェブ（C面）
(i) 降伏時

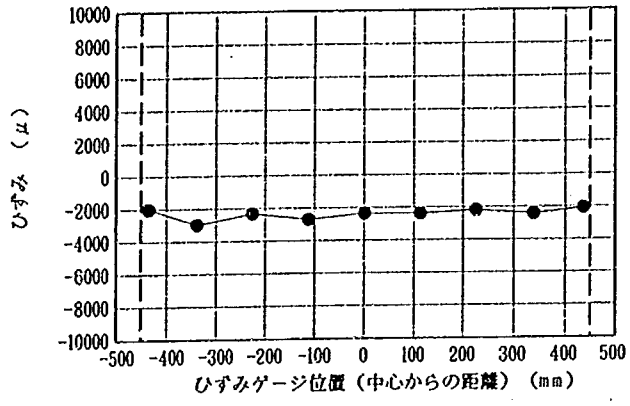



(c) ウェブ（C面）
(ii) 最大荷重時

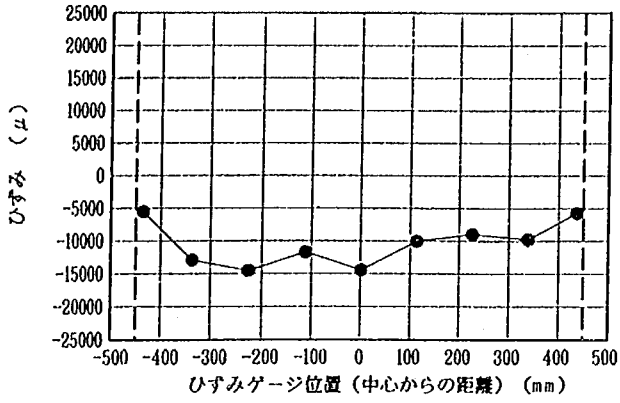
図-3.1.10(9) ひずみ分布(No.14) ($h_c$=450mm)



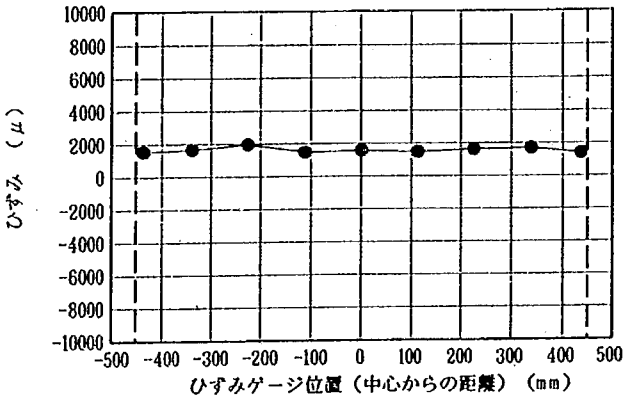



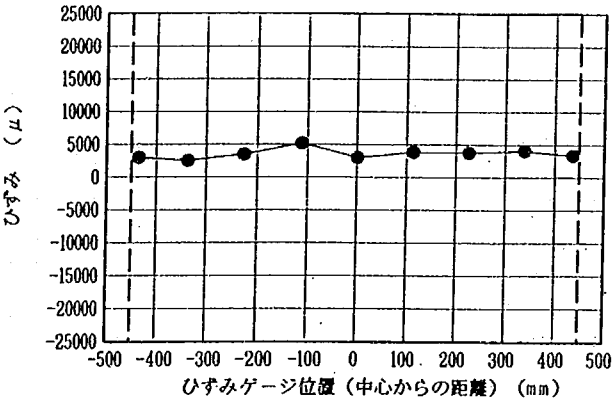

(a) フランジ（A面）



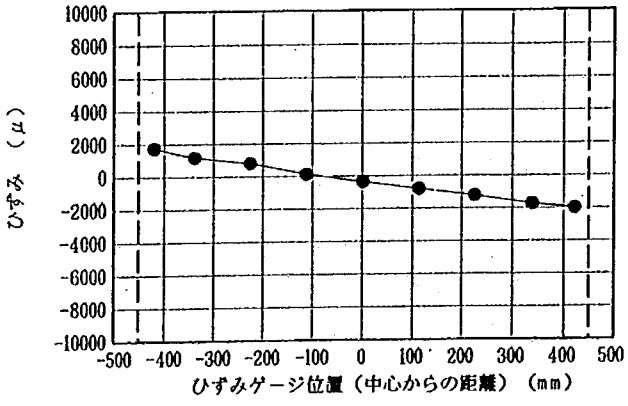

(a) フランジ（A面）




(b) フランジ（B面）

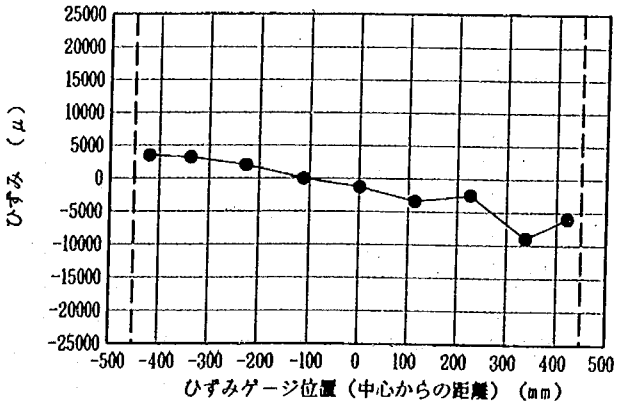



(b) フランジ（B面）




(c) ウェブ（C面）

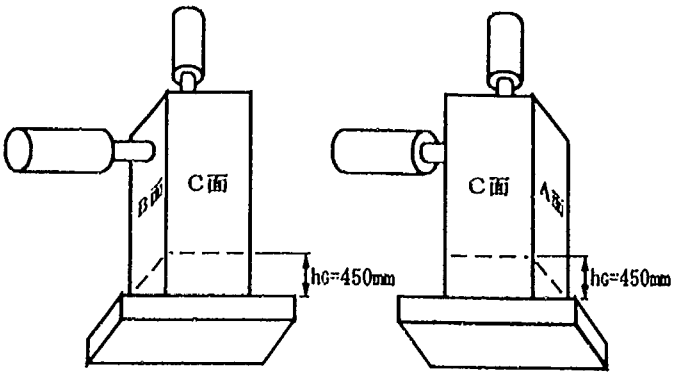
(i) 降　伏　時

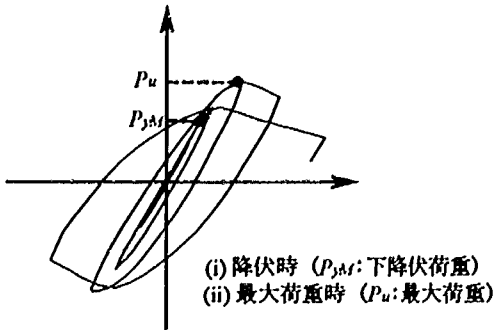



(c) ウェブ（C面）

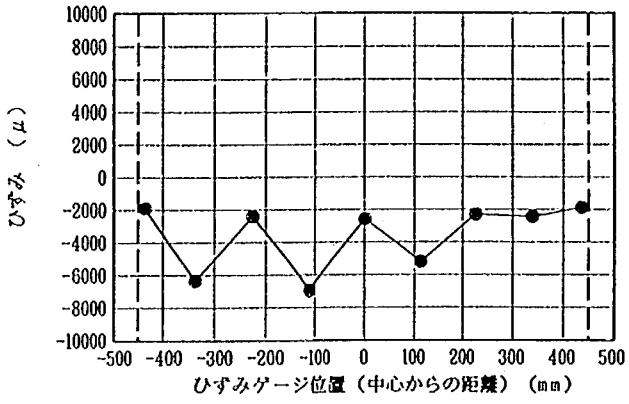
(ii) 最大荷重時

図-3.1.10(10) ひずみ分布(No. 17) (hG=450mm)

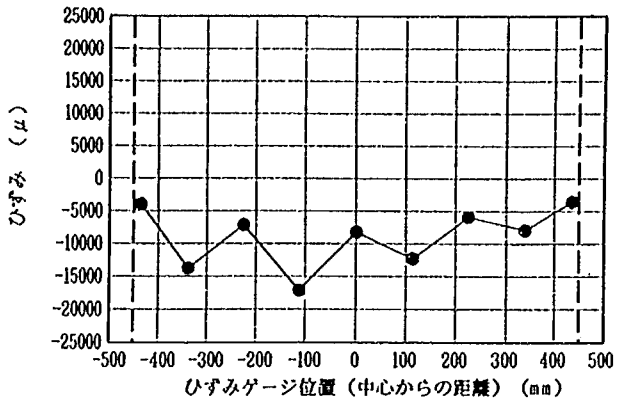


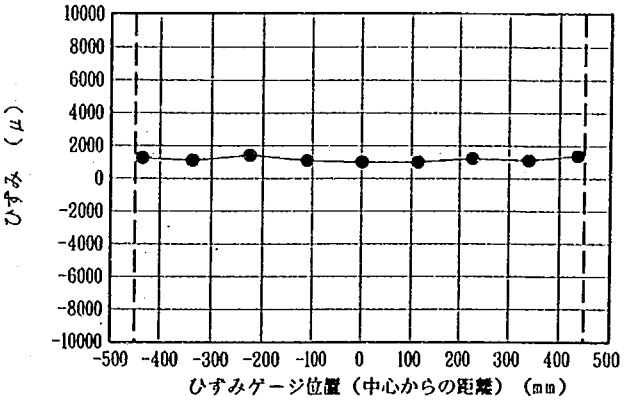

(i) 降伏時 ($P_{yAf}$:下降伏荷重)
(ii) 最大荷重時 ($P_u$:最大荷重)



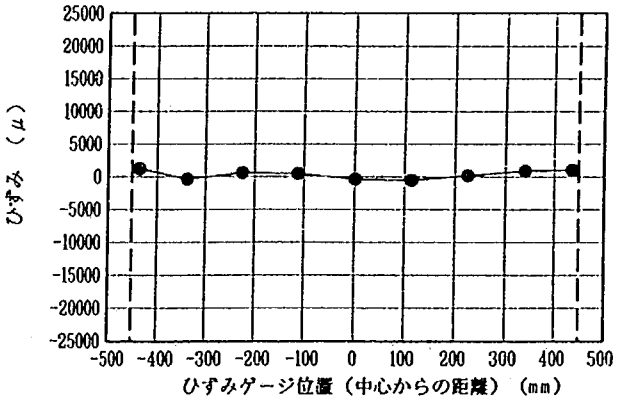

(a) フランジ（A面）



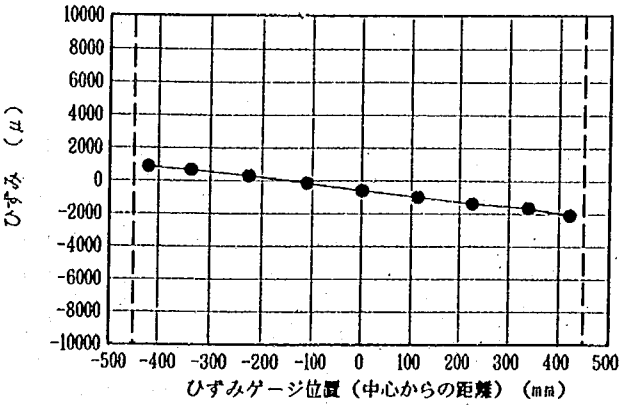

(a) フランジ（A面）



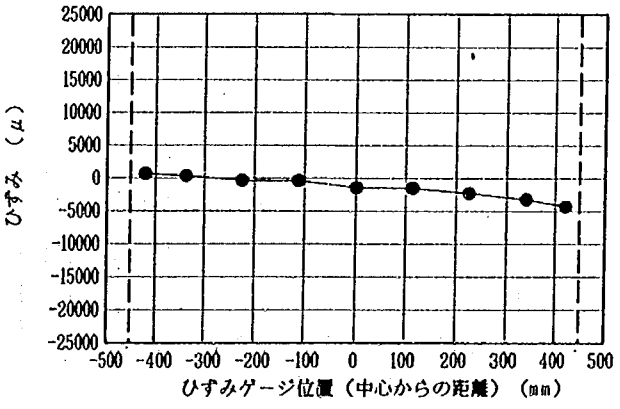

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

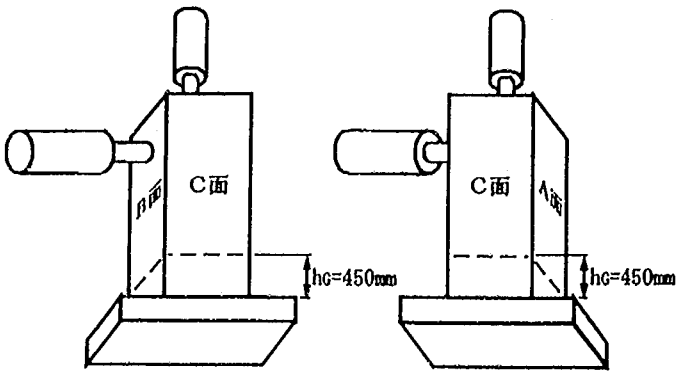


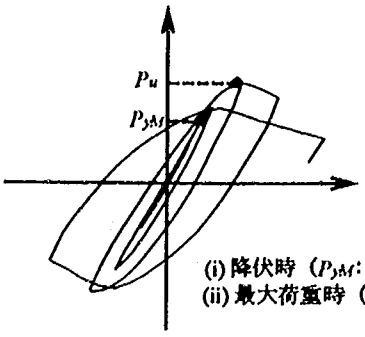

(c) ウ ェ ブ（C面）
(i) 降 伏 時



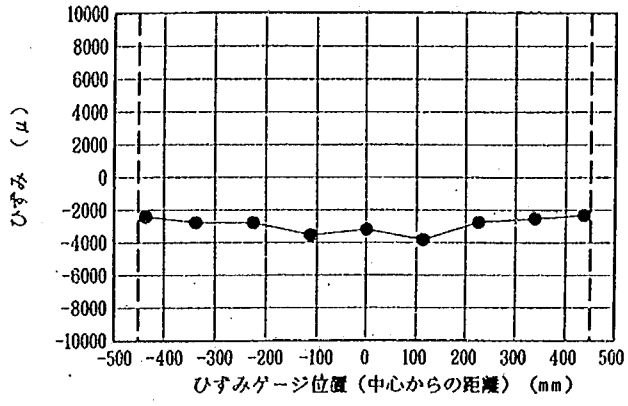

(c) ウ ェ ブ（C面）
(ii) 最大荷重時

図-3.1.10(11) ひずみ分布(No.18) ($h_c$=450mm)

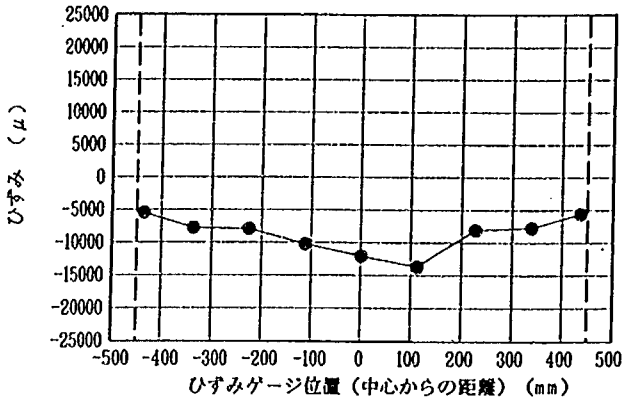


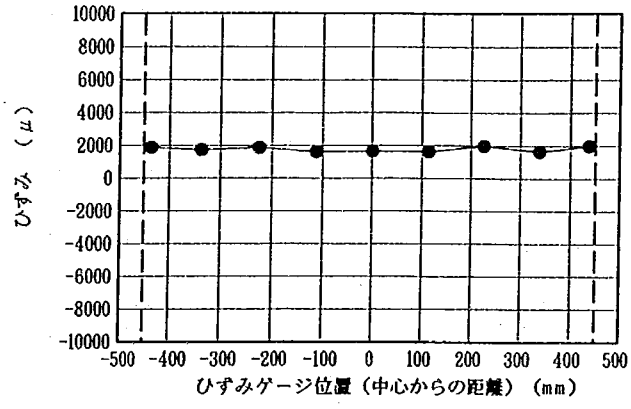

(i) 降伏時 ($P_{yM}$: 下降伏荷重)
(ii) 最大荷重時 ($P_u$: 最大荷重)



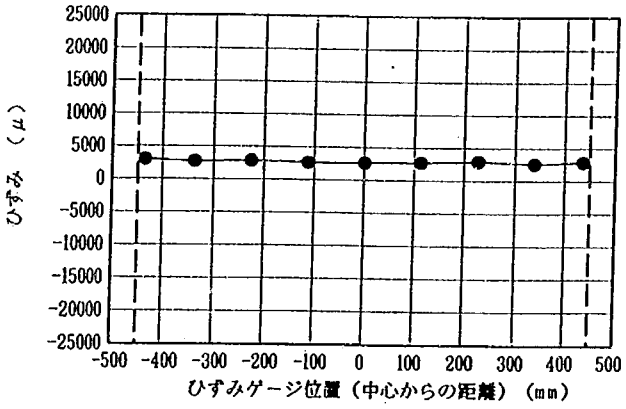

(a) フランジ（A面）



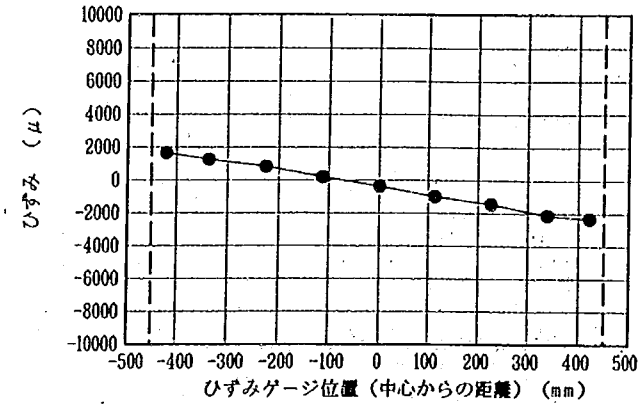

(a) フランジ（A面）



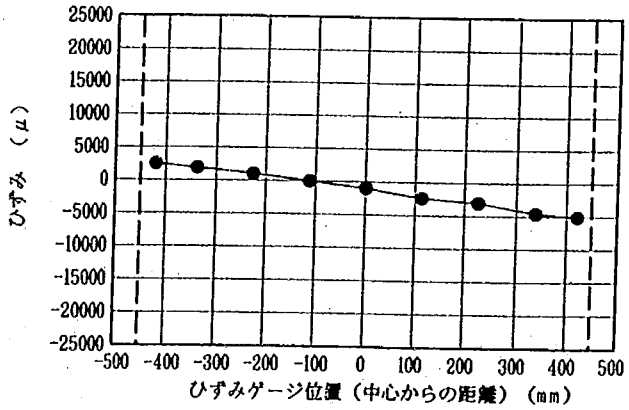

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

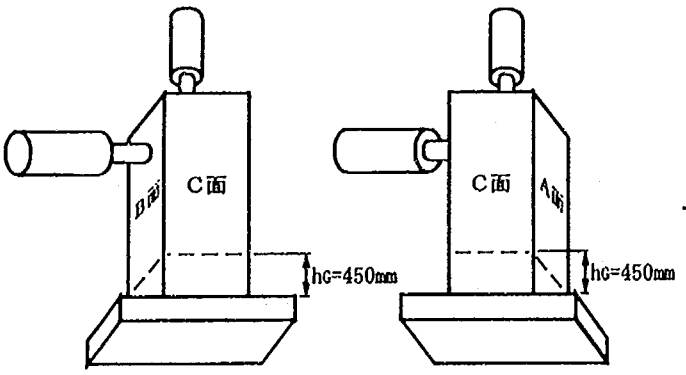


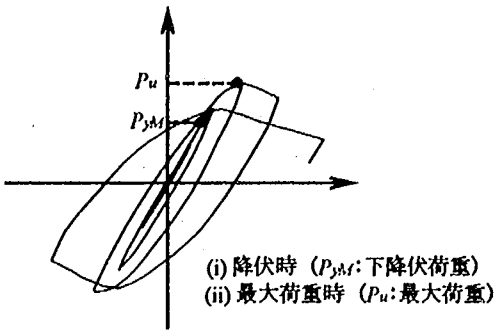

(c) ウェブ（C面）
(i) 降　伏　時

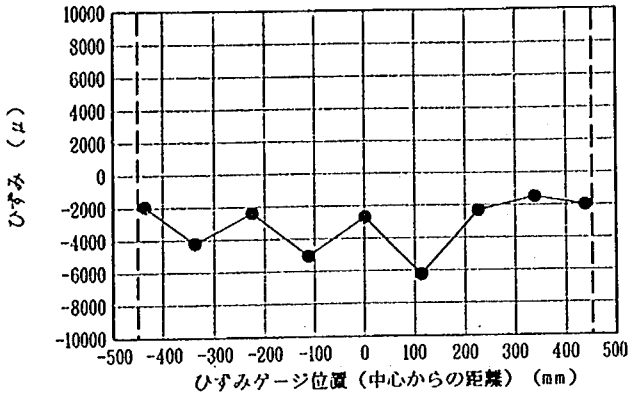



(c) ウェブ（C面）
(ii) 最大荷重時

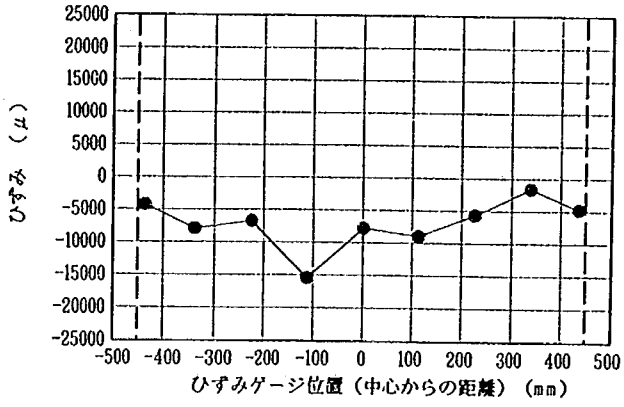
図-3.1.10(12) ひずみ分布(No. 19) ($h_c$=450mm)



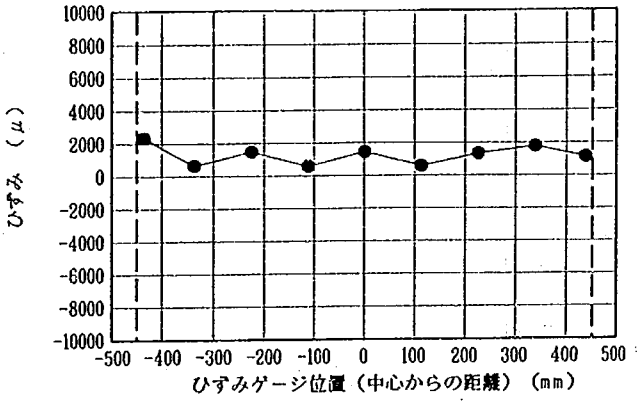



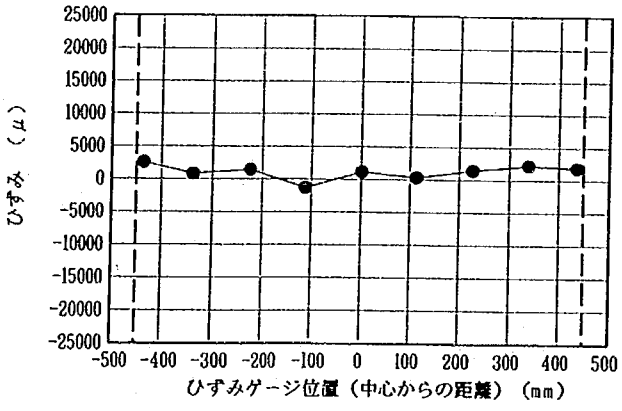

(a) フランジ (A面)



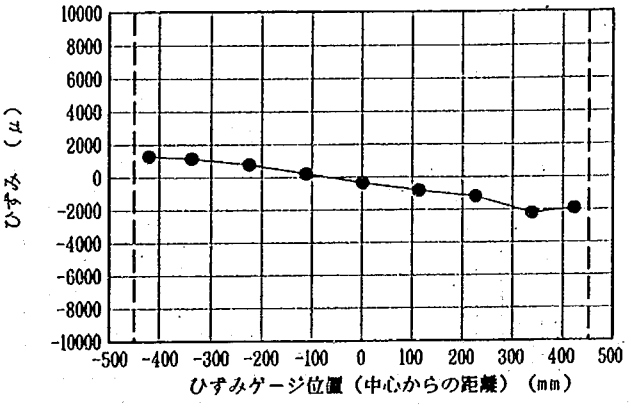

(a) フランジ (A面)



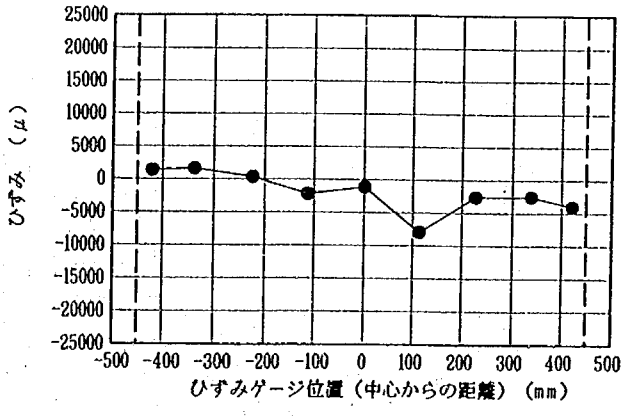

(b) フランジ (B面)




(b) フランジ (B面)

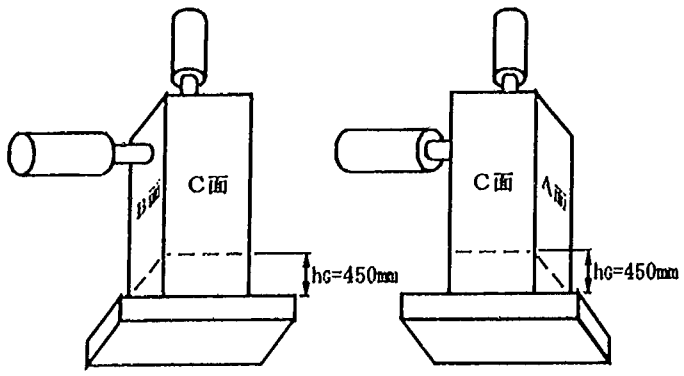


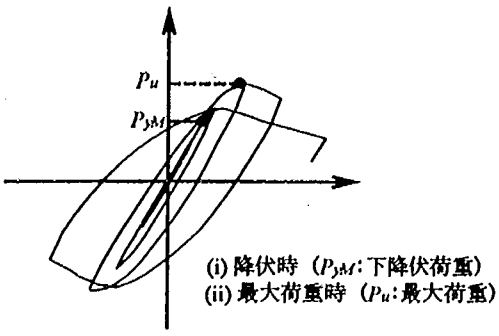

(c) ウ ェ ブ (C面)
(i) 降 伏 時

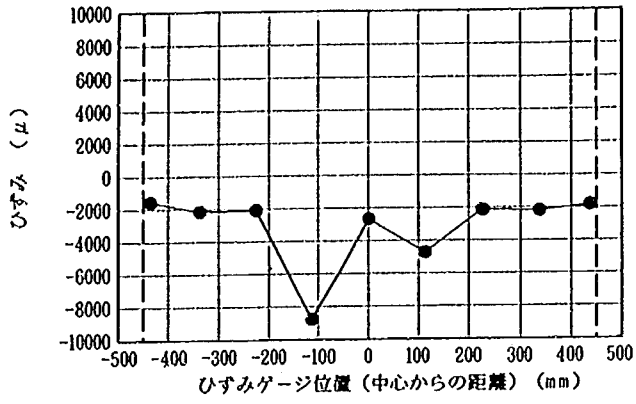



(c) ウ ェ ブ (C面)
(ii) 最大荷重時

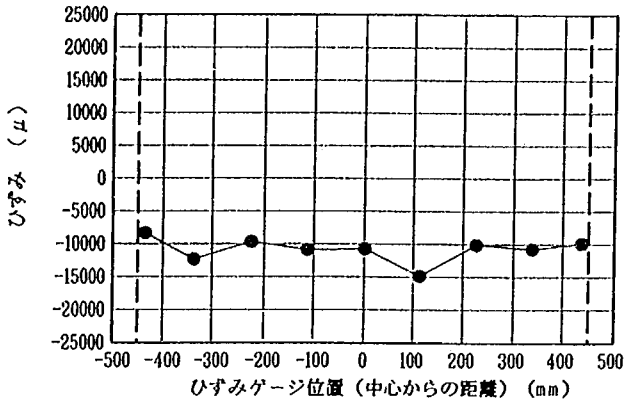
図-3.1.10(13) ひずみ分布(No. 20) (hc=450mm)



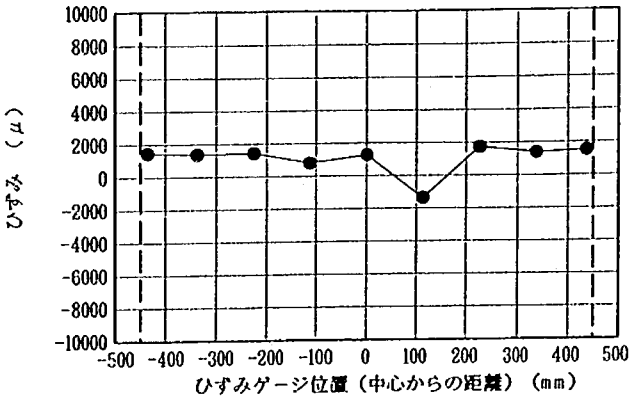



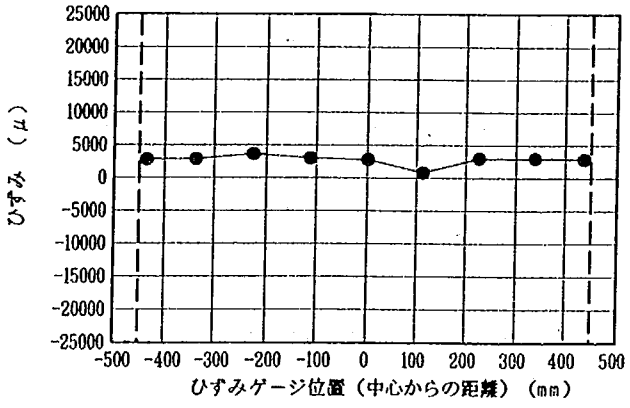

(a) フランジ（A面）



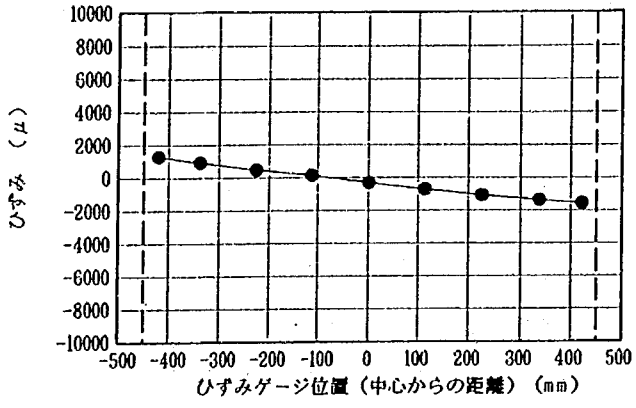

(a) フランジ（A面）



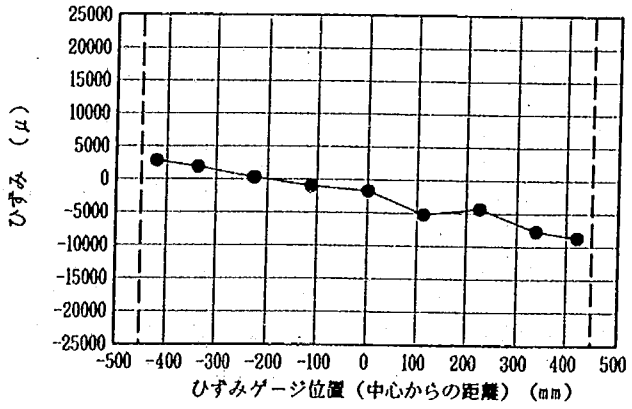

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

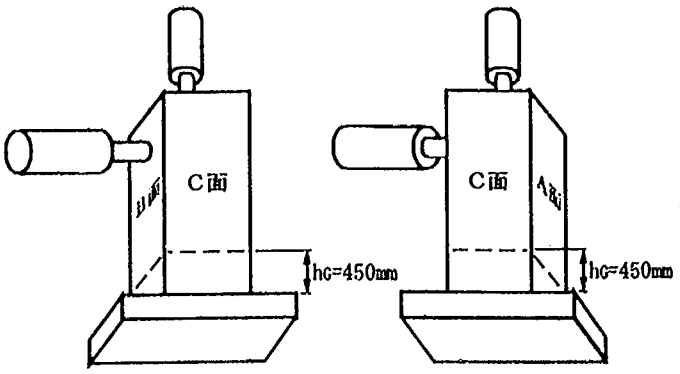


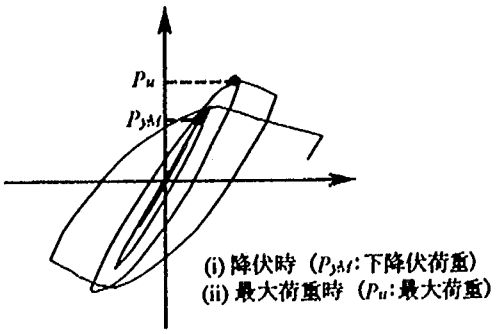

(c) ウェブ（C面）
(i) 降伏時

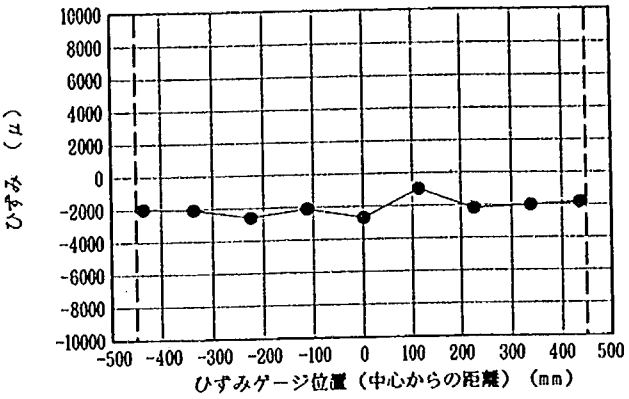



(c) ウェブ（C面）
(ii) 最大荷重時

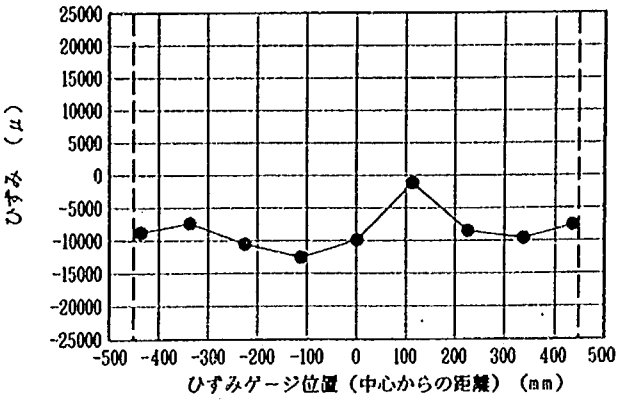
図-3.1.10(14) ひずみ分布(No. 22) (hc=450mm)



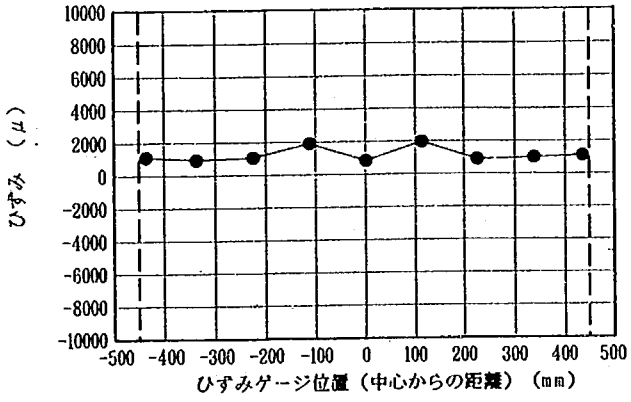



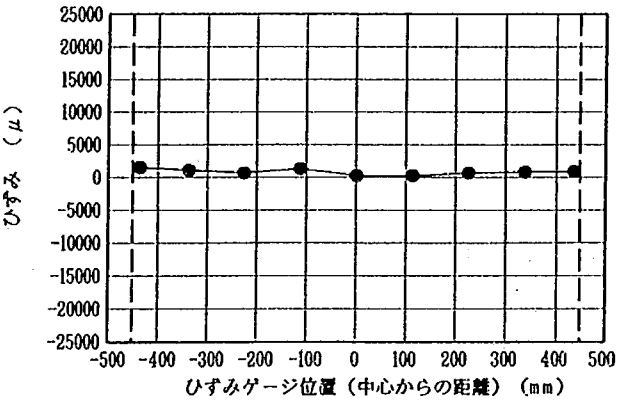

(a) フランジ（A面）



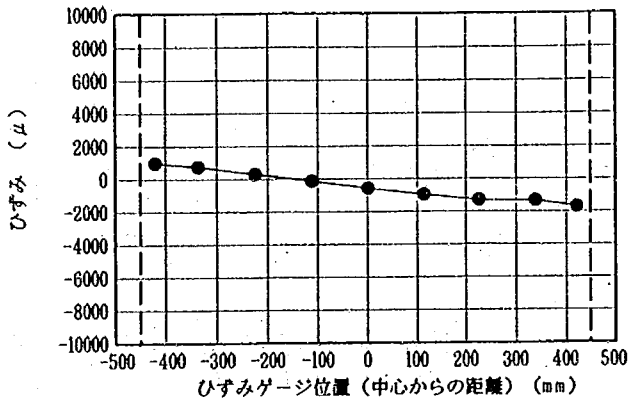

(a) フランジ（A面）




(b) フランジ（B面）

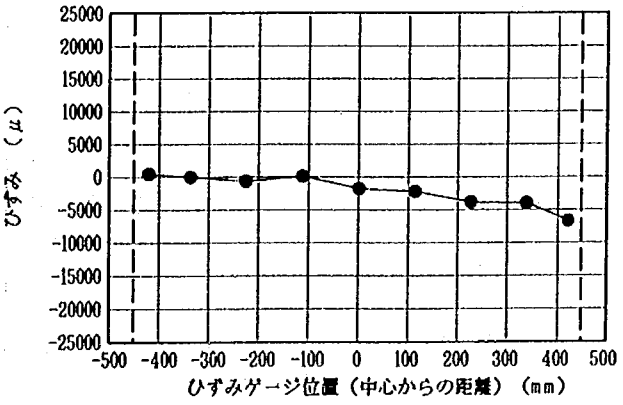



(b) フランジ（B面）




(c) ウ ェ ブ（C面）

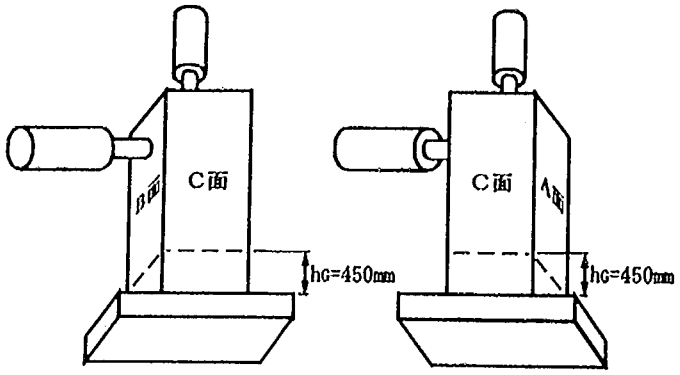
(i) 降 伏 時

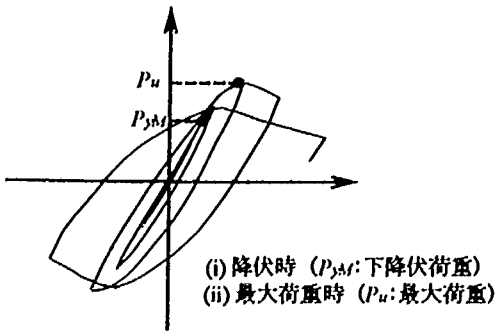


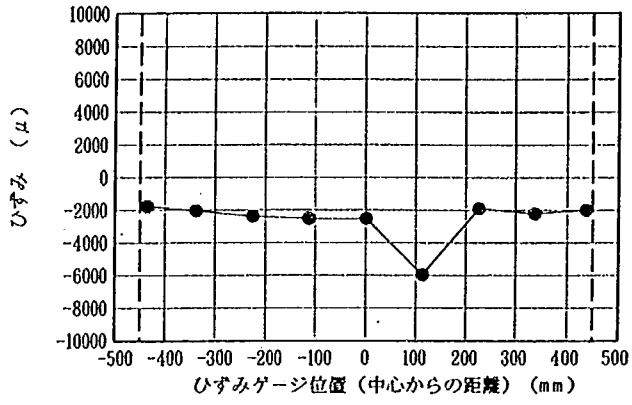

(c) ウ ェ ブ（C面）

(ii) 最大荷重時

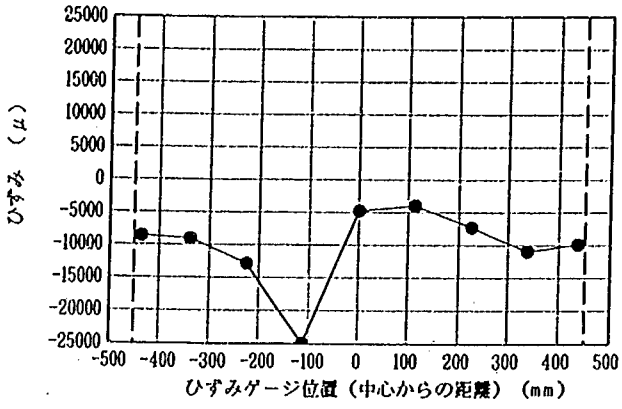
図-3.1.10(15) ひずみ分布(No.23) ($h_c$=450mm)



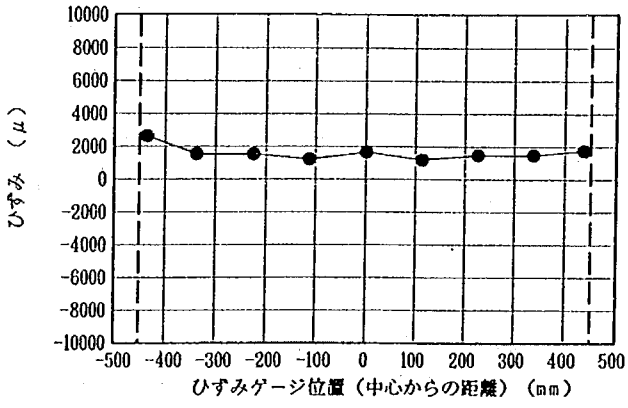



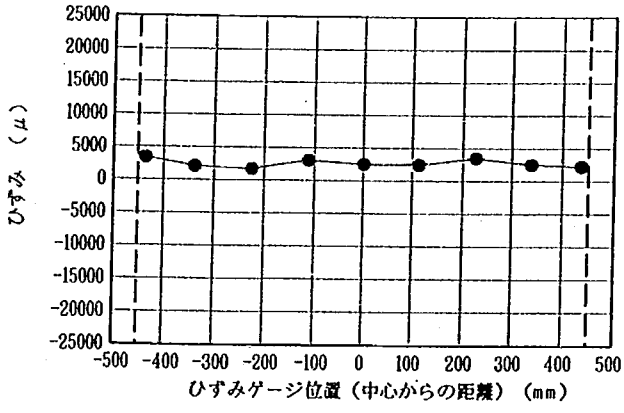

(a) フランジ（A面）



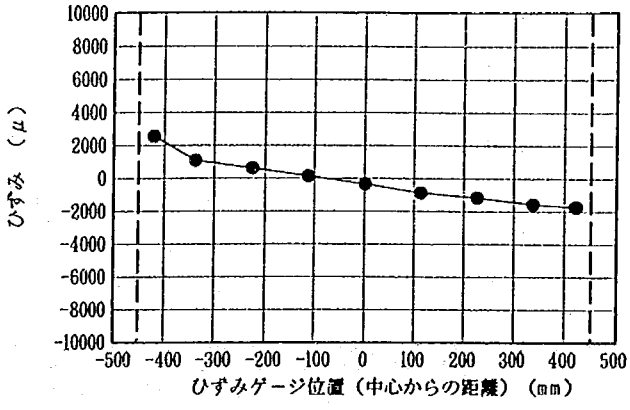

(a) フランジ（A面）



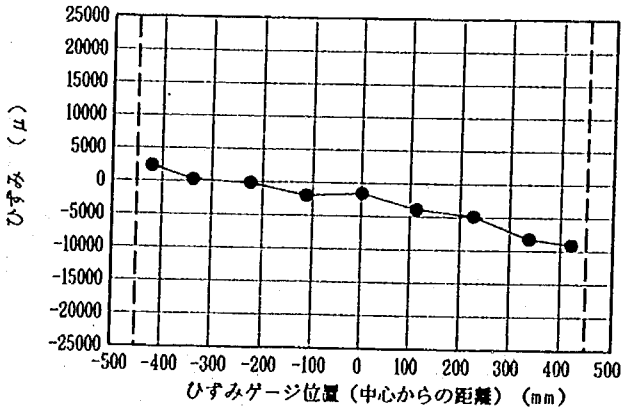

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

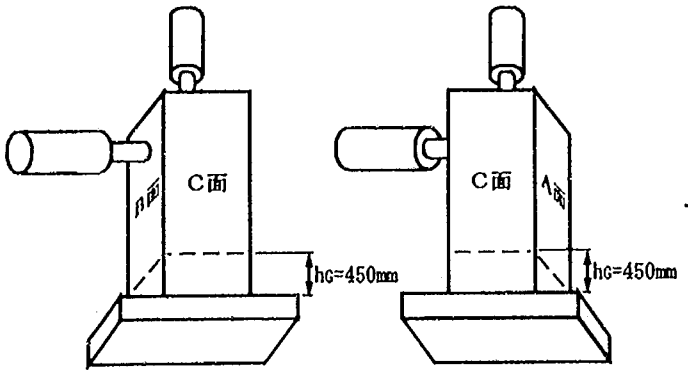


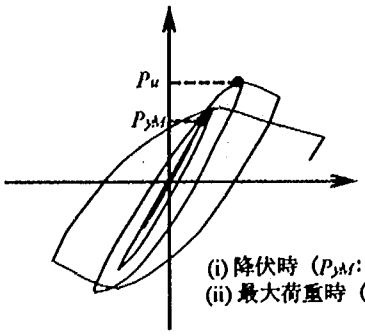

(c) ウ ェ ブ（C面）
(i) 降 伏 時



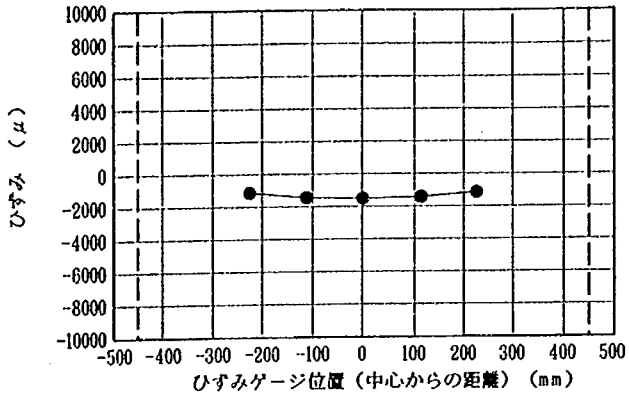

(c) ウ ェ ブ（C面）
(ii) 最大荷重時

図-3.1.10(16) ひずみ分布(No.24) (hG=450mm)

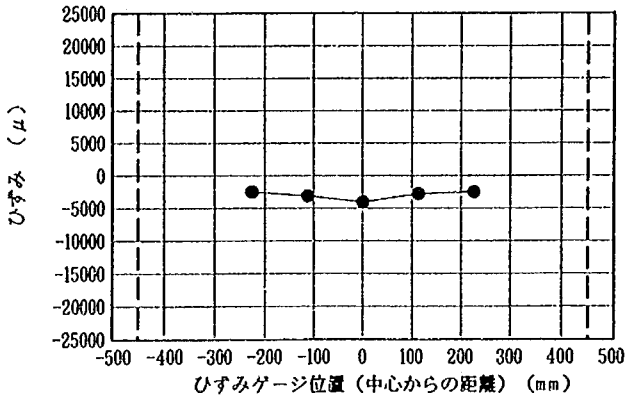


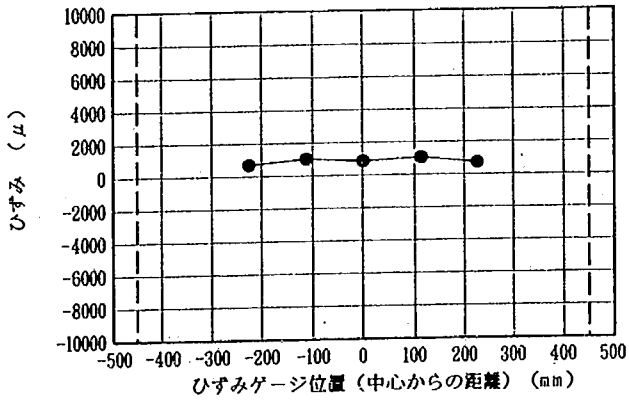

(i) 降伏時 ($P_{yM}$:下降伏荷重)
(ii) 最大荷重時 ($P_u$:最大荷重)



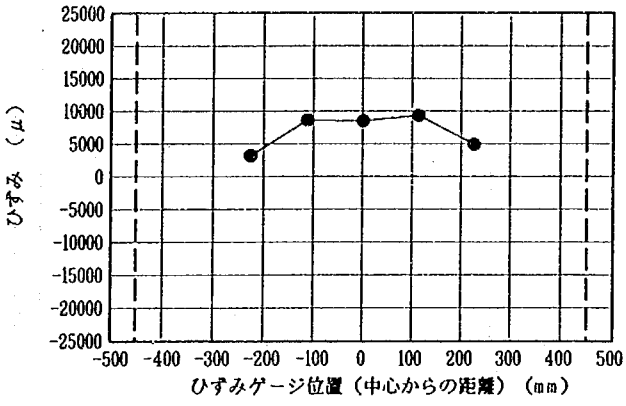

(a) フランジ（A面）



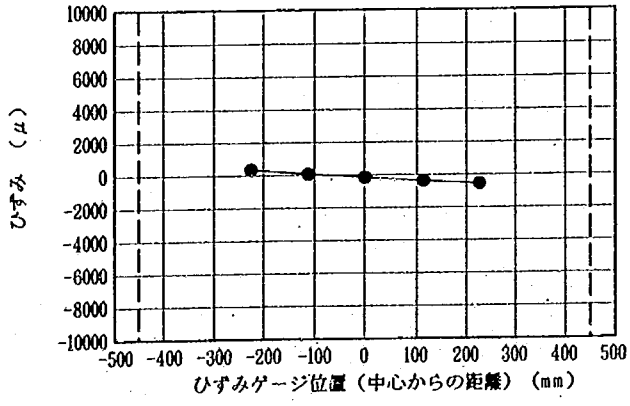

(a) フランジ（A面）



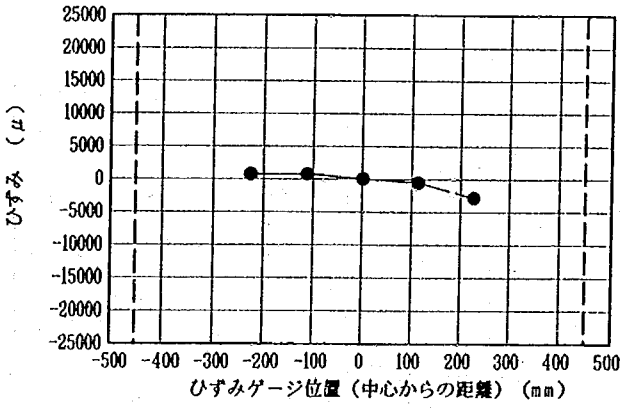

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

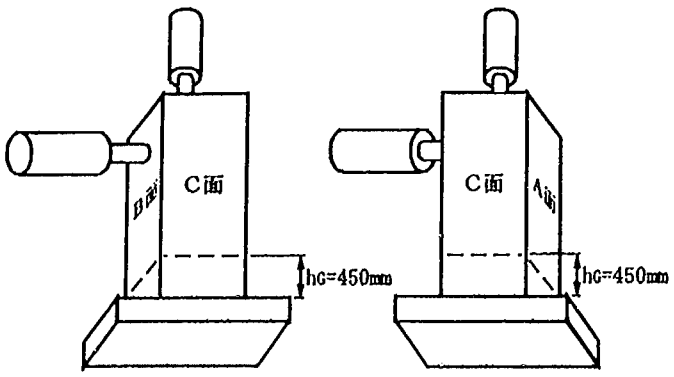


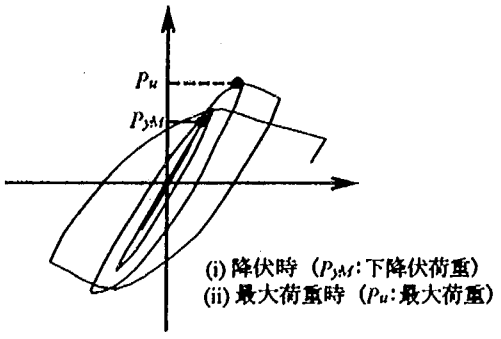

(c) ウェブ（C面）
(i) 降　伏　時

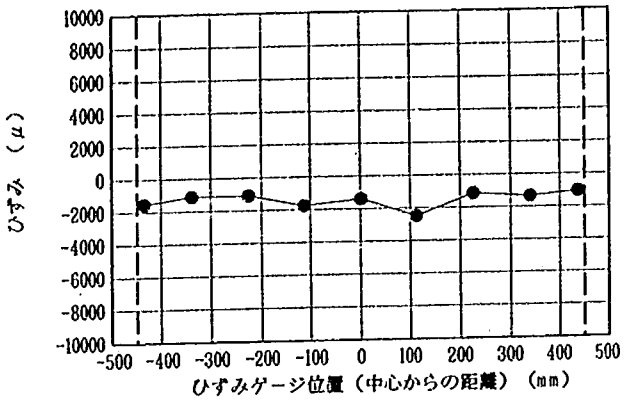



(c) ウェブ（C面）
(ii) 最大荷重時

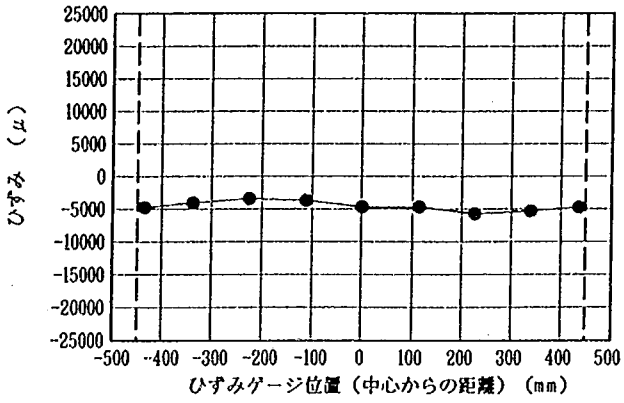
図-3.1.10(17) ひずみ分布(No.25) (hc=450mm)



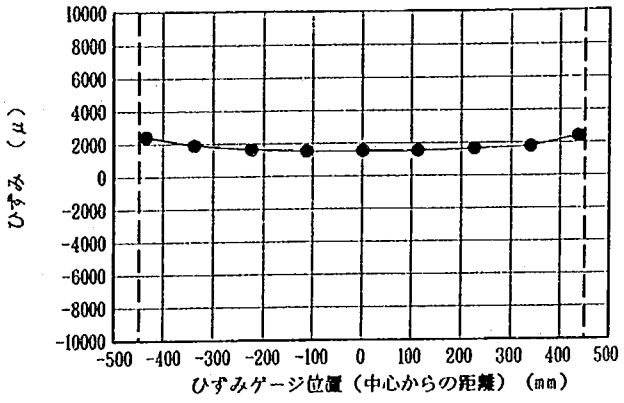



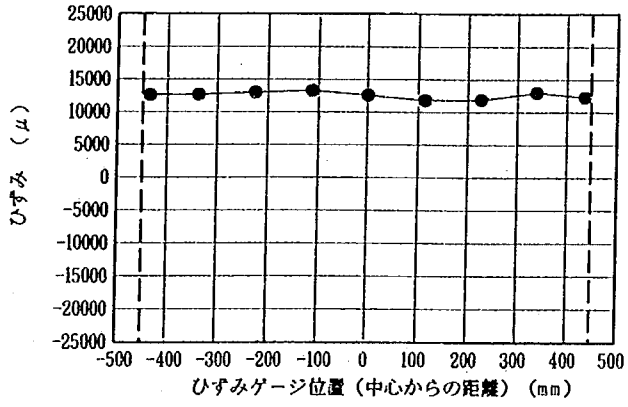

(a) フランジ（A面）



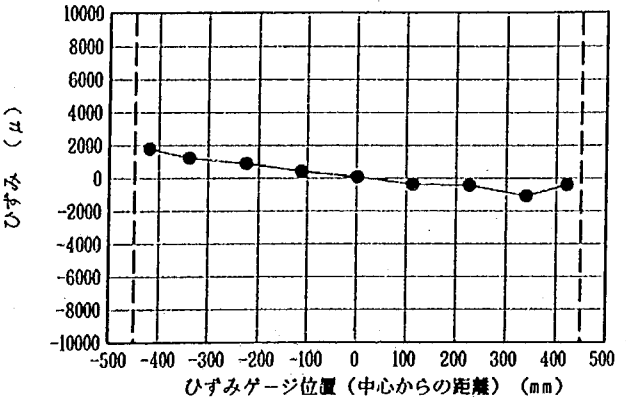

(a) フランジ（A面）



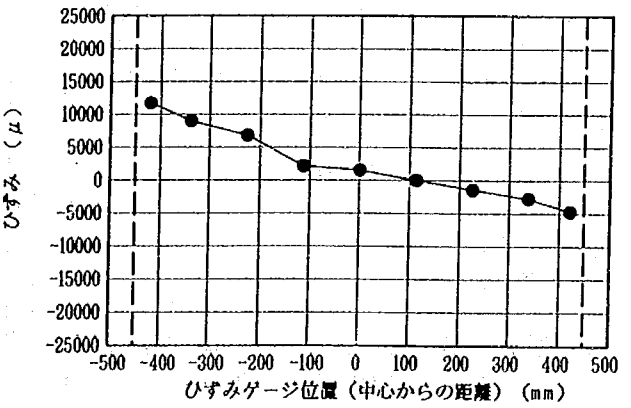

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

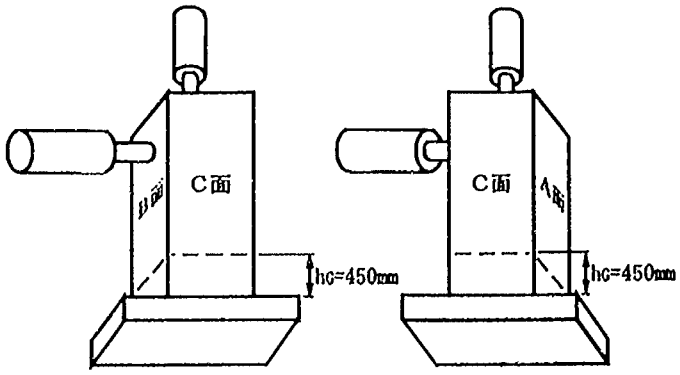


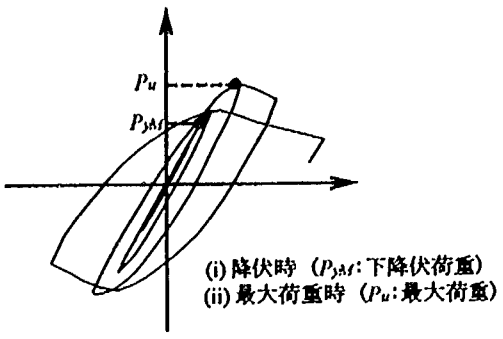

(c) ウェブ（C面）
(i) 降伏時

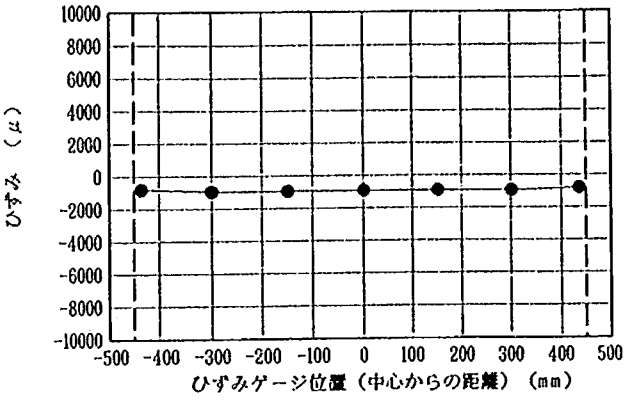



(c) ウェブ（C面）
(ii) 最大荷重時

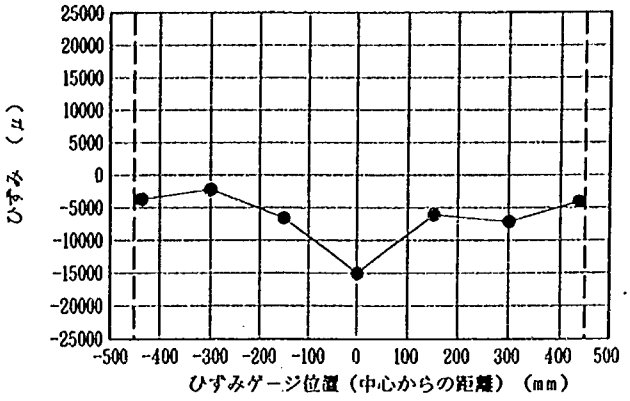
図-3.1.10(18) ひずみ分布(No.26) ($h_c$=450mm)



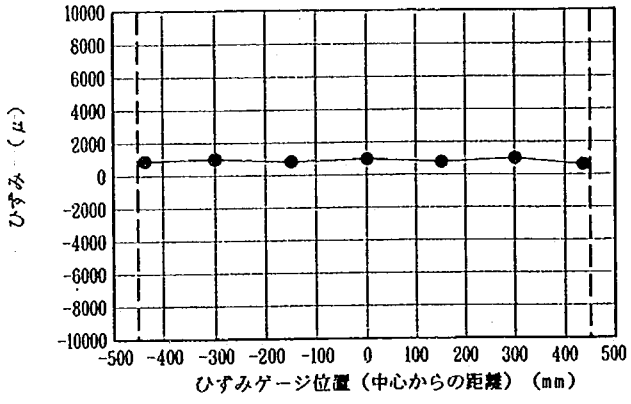



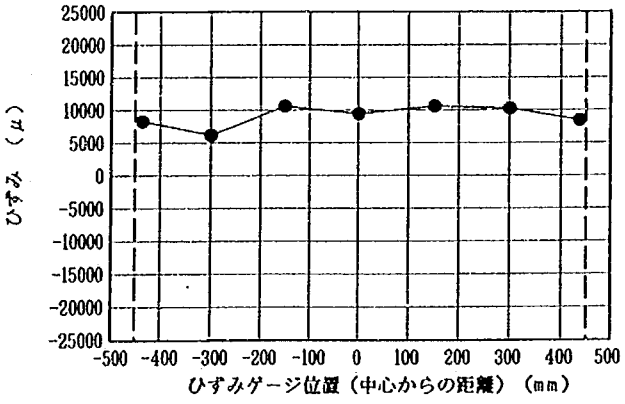

(a) フランジ（A面）



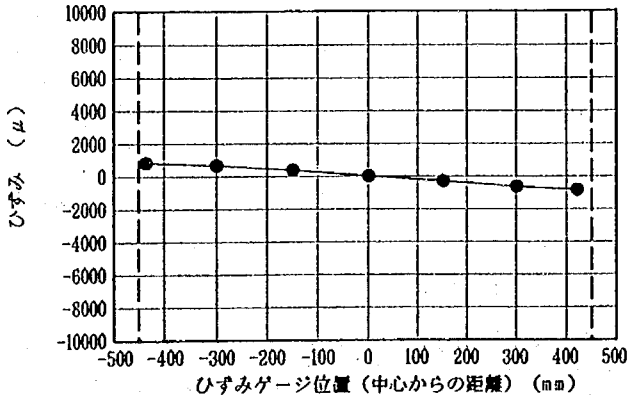

(a) フランジ（A面）



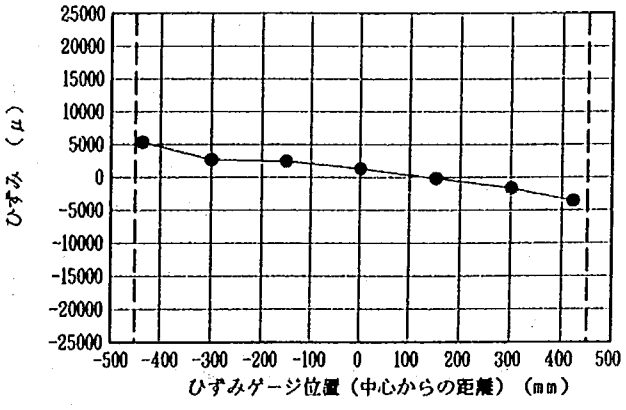

(b) フランジ（B面）




(b) フランジ（B面）

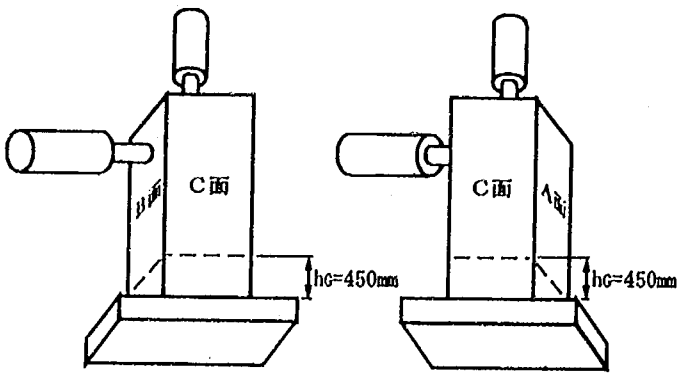


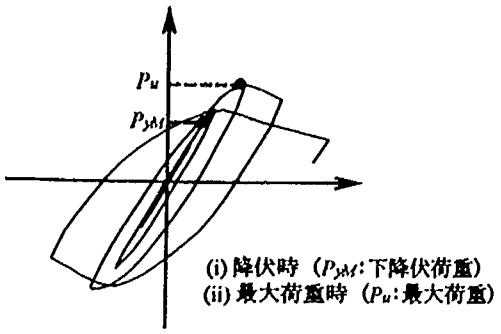

(c) ウ ェ ブ（C面）
(i) 降 伏 時

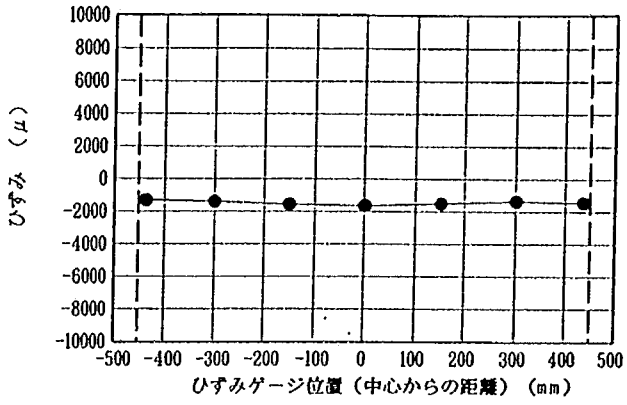



(c) ウ ェ ブ（C面）
(ii) 最大荷重時

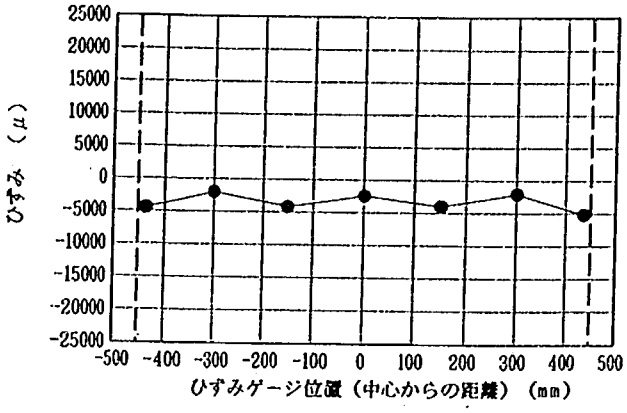
図-3.1.10(19) ひずみ分布(No.27) (hc=450mm)



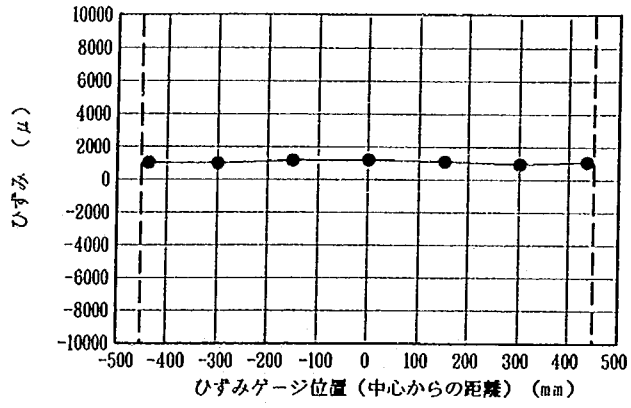



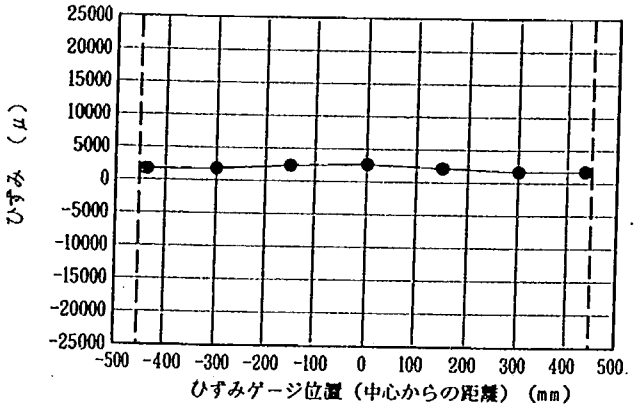

(a) フランジ（A面）



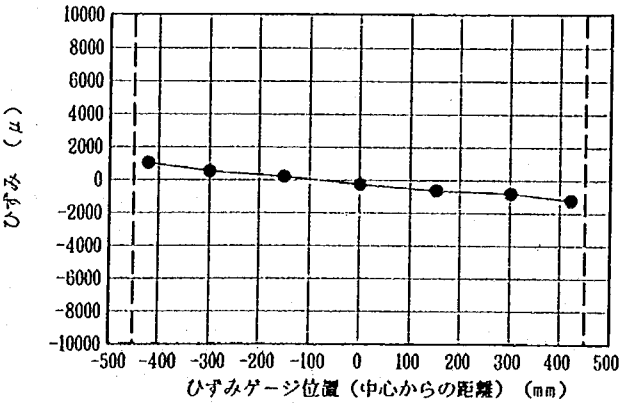

(a) フランジ（A面）




(b) フランジ（B面）

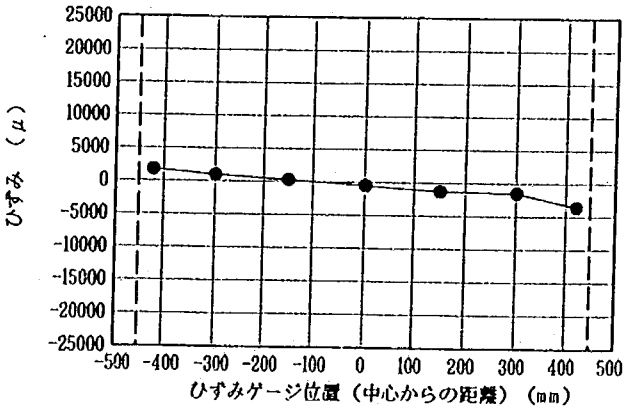



(b) フランジ（B面）




(c) ウ ェ ブ（C面）

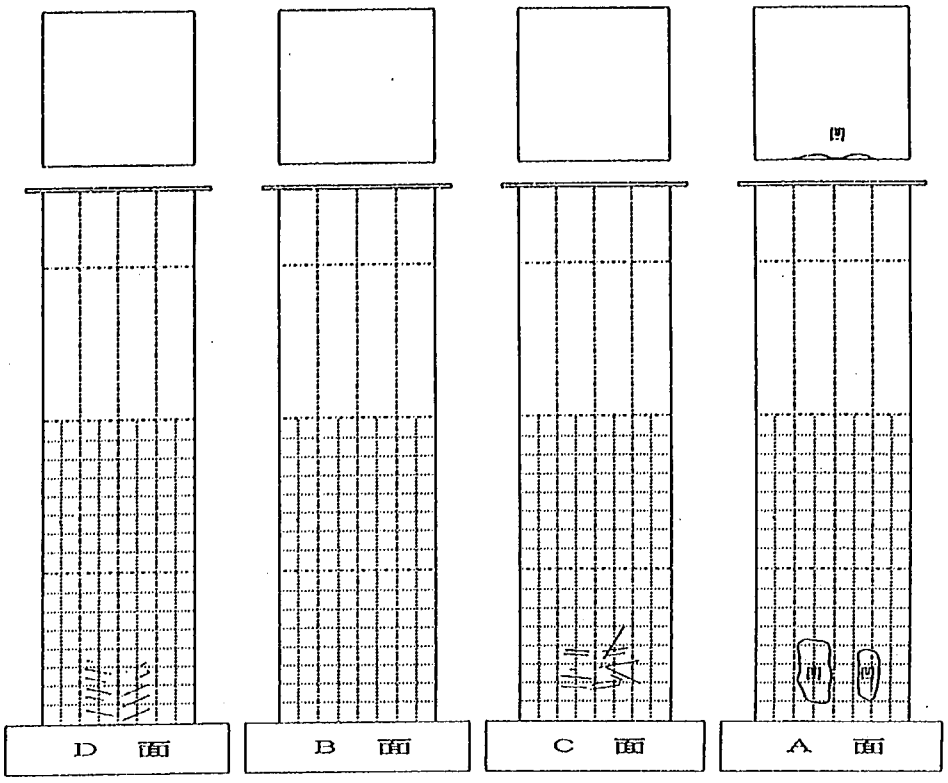
(i) 降　伏　時




(c) ウ ェ ブ（C面）

(ii) 最大荷重時

図-3.1.10(20) ひずみ分布(No.28) (hc=450mm)




(a) 外面

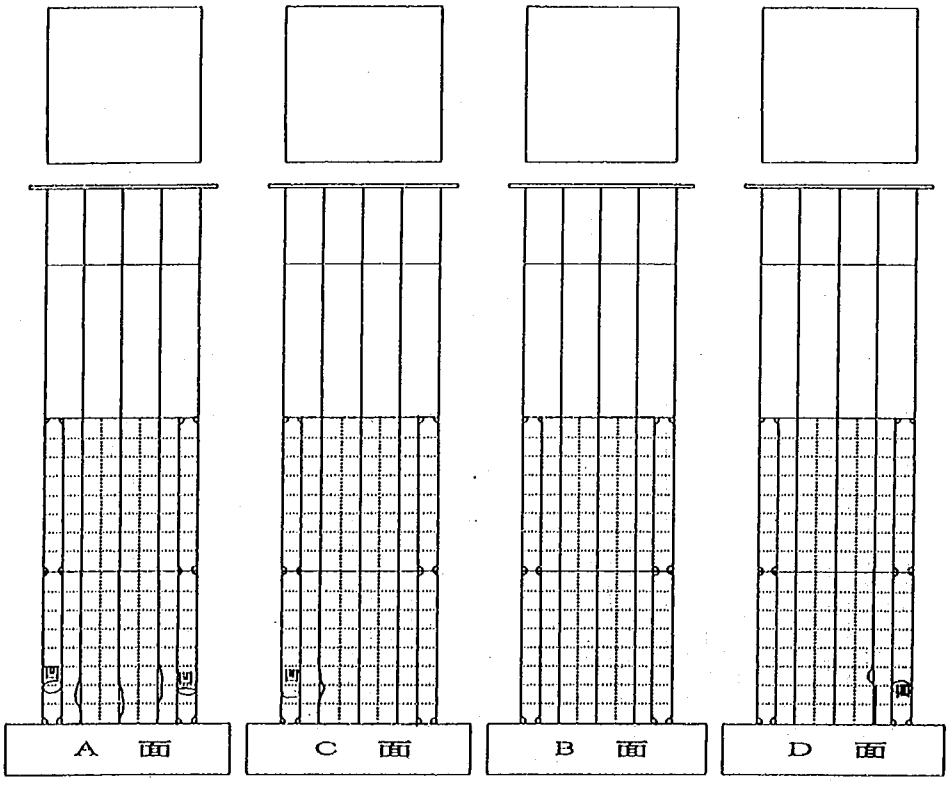
4δy

目標変位　60.00mm
水平荷重　152.6ton

A面側の垂直補剛材間のパネルが内面に凹んできたのが視認できるようになりその部分の黒皮が一層浮き上がってきた。

B面は－3δy時と目視では大差なく垂直補剛材間の黒皮が浮き上がっている程度である。

C，D面では黒皮のひび割れが僅かに傾きを見せてきたと同時に剥離の度合いが大きくなってきた。




(b) 内面

4δy

目標変位　60.00mm
水平荷重　152.6ton

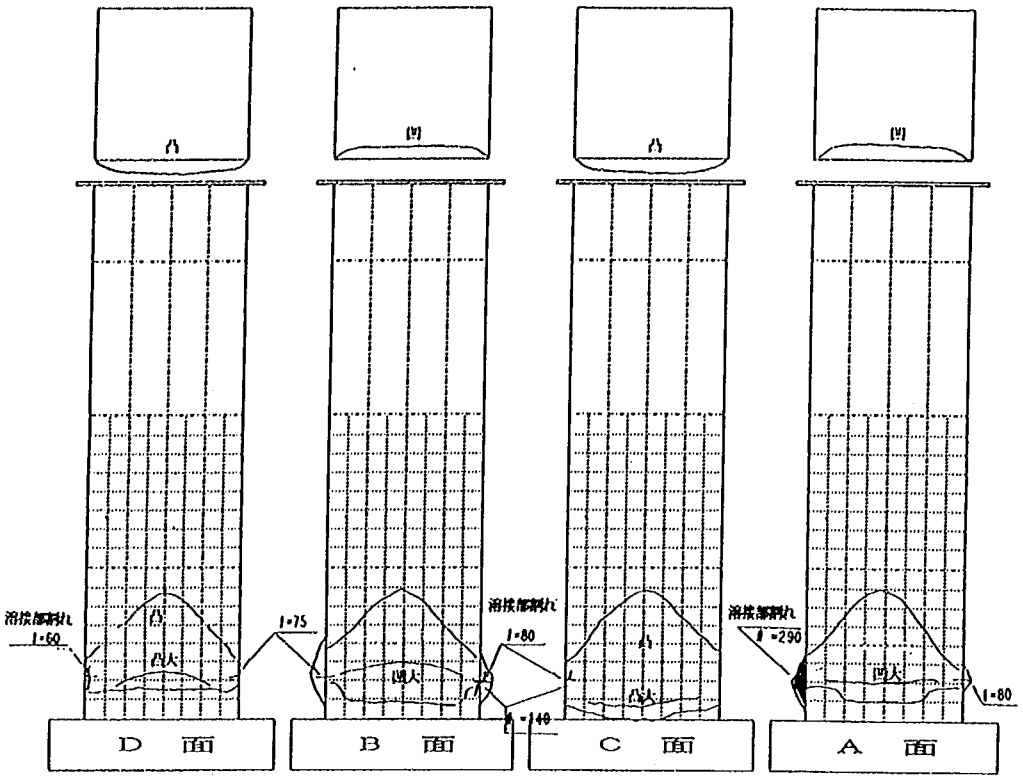
A面が圧縮されてコーナー補強材の基部から20～25cmの部分で凹みが発現した。

さらに垂直補剛材の基部寄り10～25cm間で3本ともコバ面が曲がってきたのが明瞭に視認された。

C面およびD面のA面寄りの垂直補剛材のコバ面も同様に曲がってきた。

(i)　最大荷重を超えた点（＋4δy）

**図-3.1.11(1)　供試体の変形（No. 10）**




(a) 外面

9 δ y

目標変位　135.00mm
水平荷重　6.1ton

各面、各部とも極めて大きな変形と損傷を受ける。

A面ではC面との角部の溶接部割れは290mm にもおよんだ。

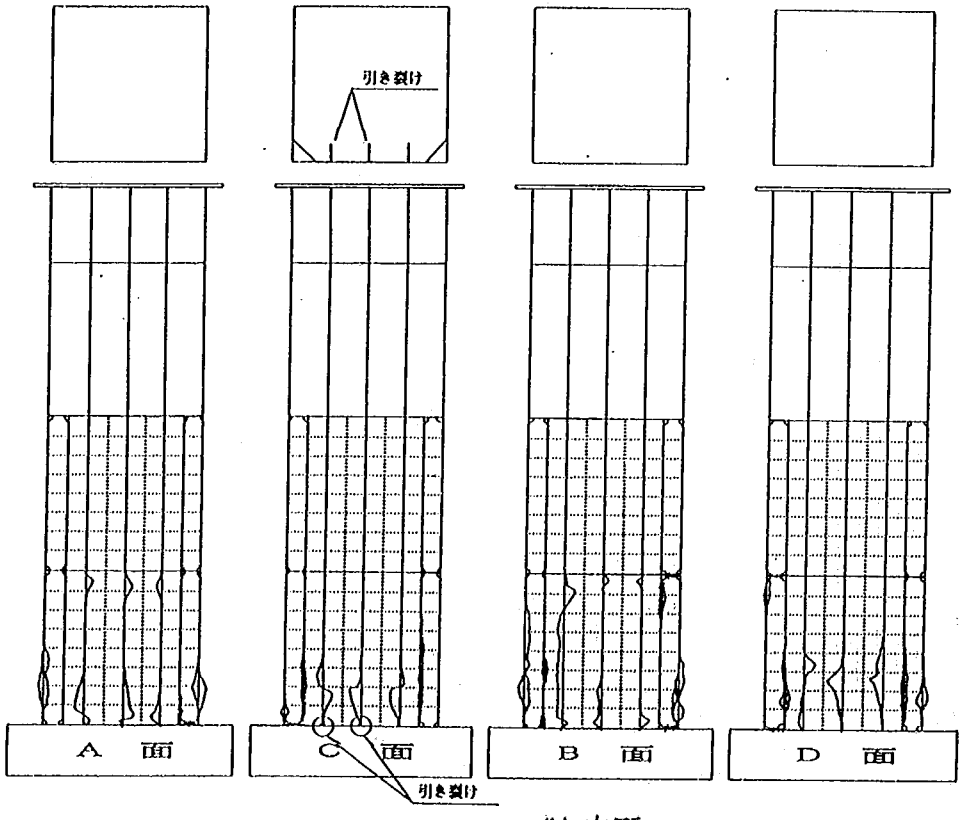
D面寄りの亀裂は全長80mmに進展した。

凹みは12cmを最大に基部から23cm付近で大きく曲げられている。

B面もA面同様極端な変形をしていてC面寄り亀裂は全長140mm、D面寄り亀裂は全長75mmとなった。

C面では基部から10cmをピークに紙を折り曲げたように鋭角的な変形をしている。

D面では30cmあたりをピークに同様な変形をしている。




(b) 内面

9 δ y

目標変位　135.00mm
水平荷重　6.1ton

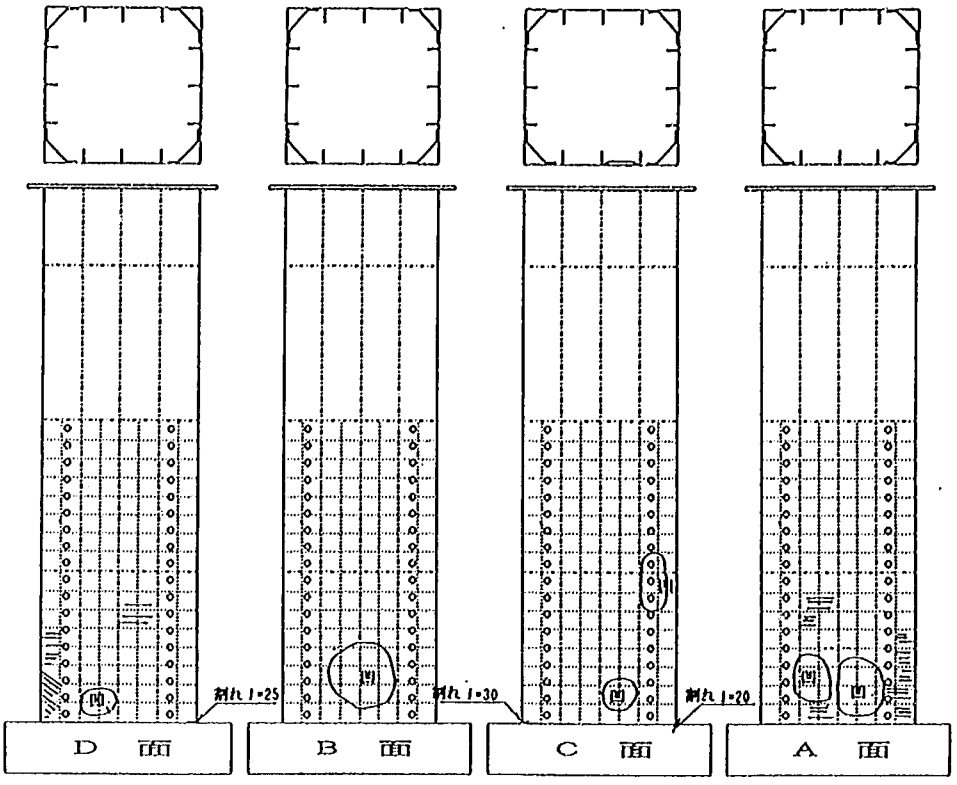
A面では垂直補剛材がパネルと平行になるほど曲がっている。

C面の垂直補剛材が基部プレートとの交差部でスカーラップに阻まれて横倒れができずにコバ面側から1/3 幅程裂けている。

他の面でも変形が著しくパネルの大変形部では補剛材も局部的に45° くらいに傾いている。

(ii) 実験終了時付近（＋9 $\delta_y$）

図-3.1.11(1)　供試体の変形（No. 10）

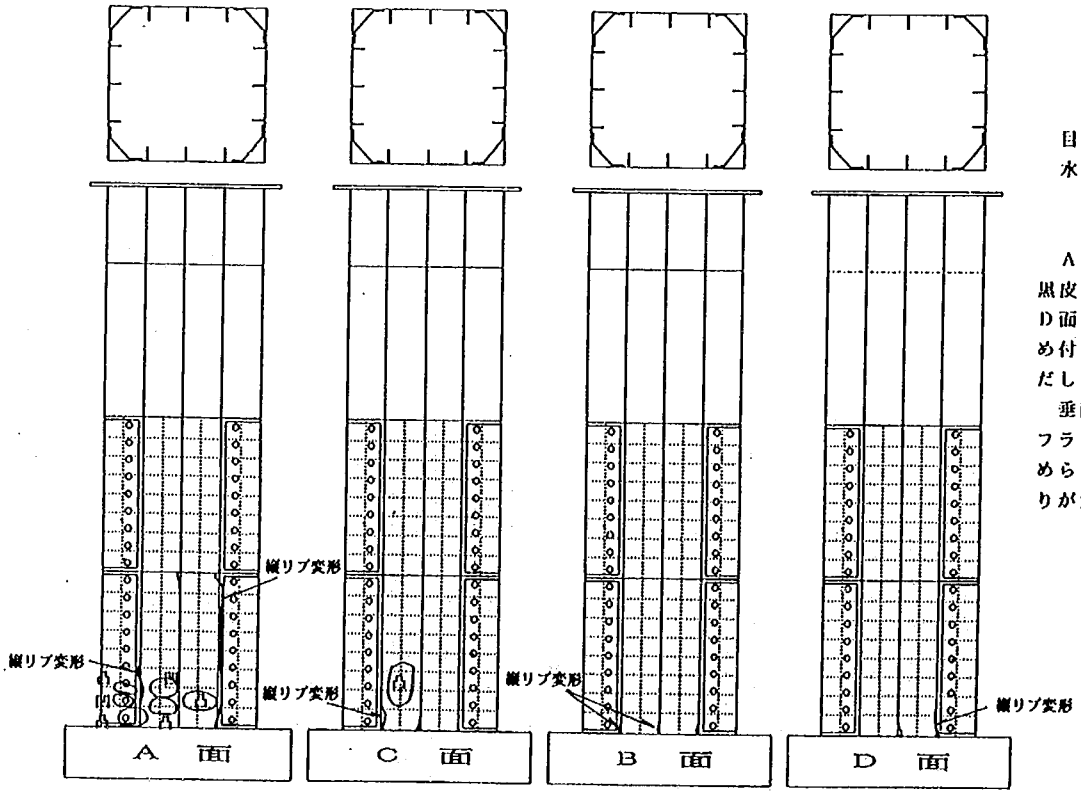



5 δ y

目標変位　75.00mm
水平荷重　151.3ton

A面が基部から45cmの範囲で凹み、凹みの基部寄り部分は黒皮が剥落して黒い地肌が現れた。
B面はコーナー補強材部分以外のパネル45cmまでの範囲でごく僅かに凹みが残っている。
C面、D面のA面寄りの部分で少し凹んできた。
また、C面のA面寄り1段目ダイアフラムを挟んで上下のコーナー補強材締め付けボルト付近が少し凹んできたほか、A－C面角部の付根付近でビード横割れが発生した。

(a) 外面




5 δ y

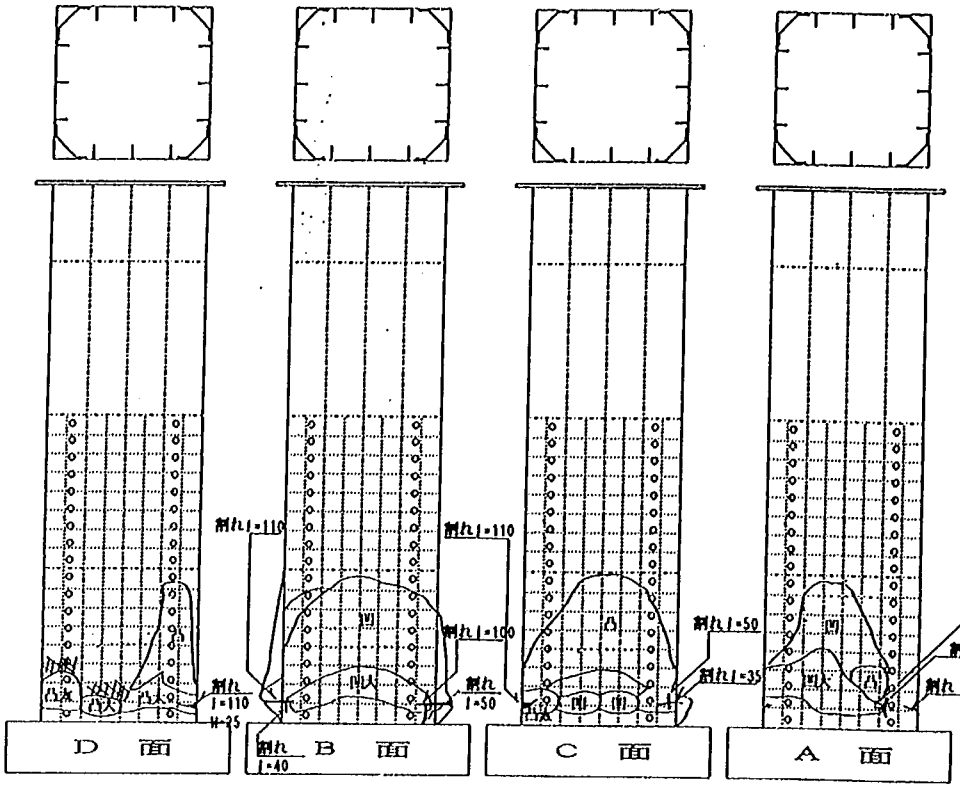
目標変位　75.00mm
水平荷重　151.3ton

A面が圧縮されて基部付近の黒皮が剥落しだした。
D面寄りのコーナー補強材の締め付けボルト周辺が若干波打ちだした。
垂直補剛材が1段目のダイアフラムとの交差部でも曲りが認められ特にC面側の補剛材の曲りが大きい。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋5 $\delta_y$）

図-3.1.11(2)　供試体の変形（No. 11）




１０δｙ

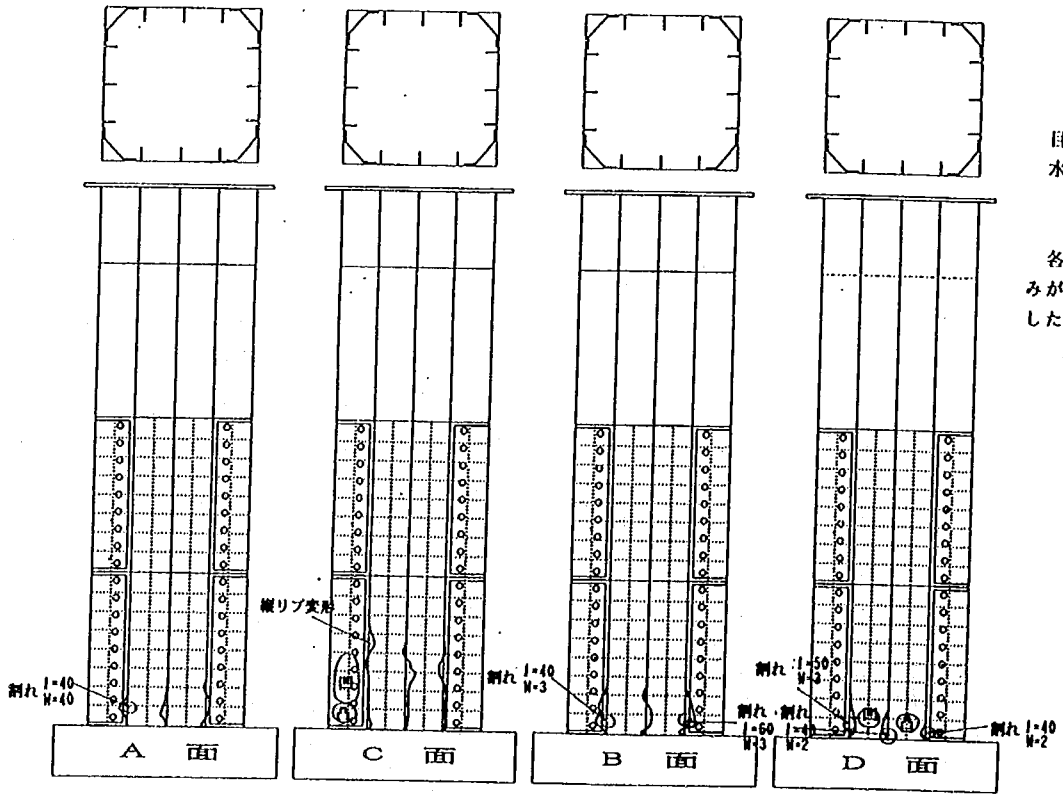
目標変位　150.00㎜
水平荷重　33.6ton

Ａ面は－９δｙで発生したパネルの軸方向亀裂が25㎜に進展し付根の座屈部の起伏が極端になった。

Ｂ面は左右対称で25cm付近をピークに大きく凹んでいる。

Ｃ，Ｄ面は付根部から10～15cmの角部の膨らみが極端でその部分の亀裂が20～25㎜もの開口をしている。

(a) 外面




１０δｙ

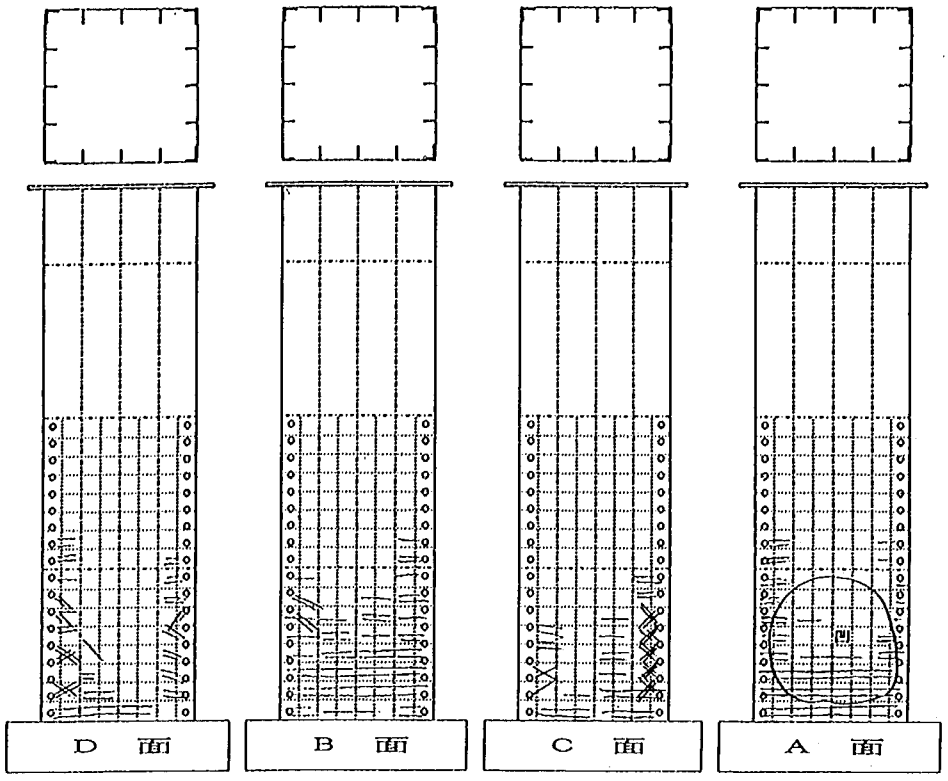
目標変位　150.00㎜
水平荷重　33.6ton

各面とも基部近傍での損傷のみが拡大し、亀裂が大きく進展した。

(b) 内面

(ii)　実験終了時付近（＋10 δｙ）

図-3.1.11(2)　供試体の変形（No. 11）




4 δ y

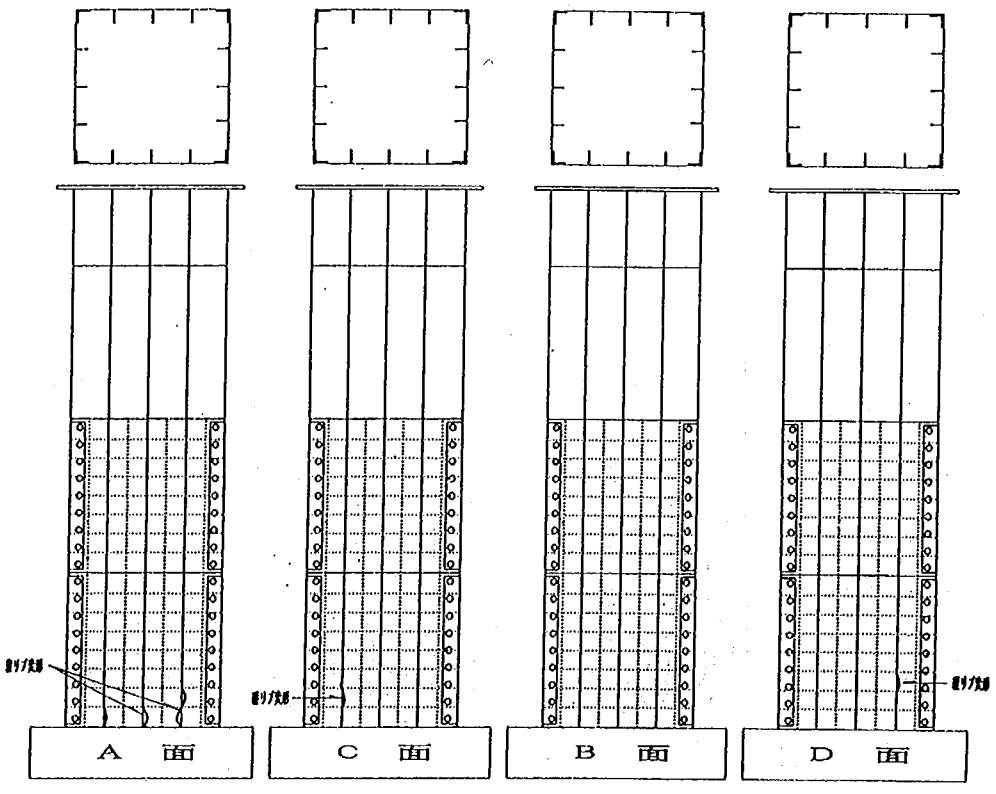
目標変位　60.00mm
水平荷重　147.7ton

A面垂直補剛材間のパネルに目で確認できる程の凹みが現れた。黒皮のひび割れは第1パネル全体に広がった。

B面は第1パネル全体に黒皮のひび割れが広がった。

CD面は共に基部付近とボルト付近に黒皮のひび割れが出てきた。ボルト付近では斜め方向にひび割れが出ている。

(a) 外面




4 δ y

目標変位　60.00mm
水平荷重　147.7ton

A面が圧縮されて全体的に内面にせり出してきた。

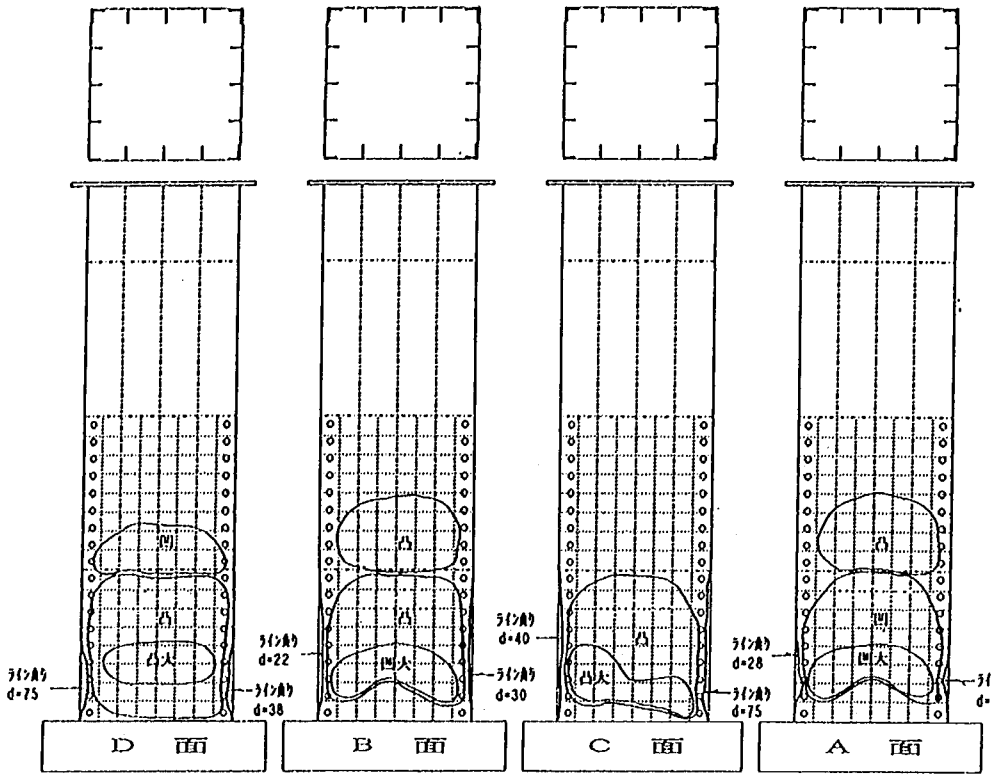
垂直補剛材が3本とも10～20cmの間でS字またはくの字形に曲がってきた。

C面とD面のA面寄り垂直補剛材も15～25cmと比較的基部から離れた部分で曲り始めた。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋4 $\delta_y$）

図-3.1.11(3) 供試体の変形（No. 12）




(a) 外面

8 δ y

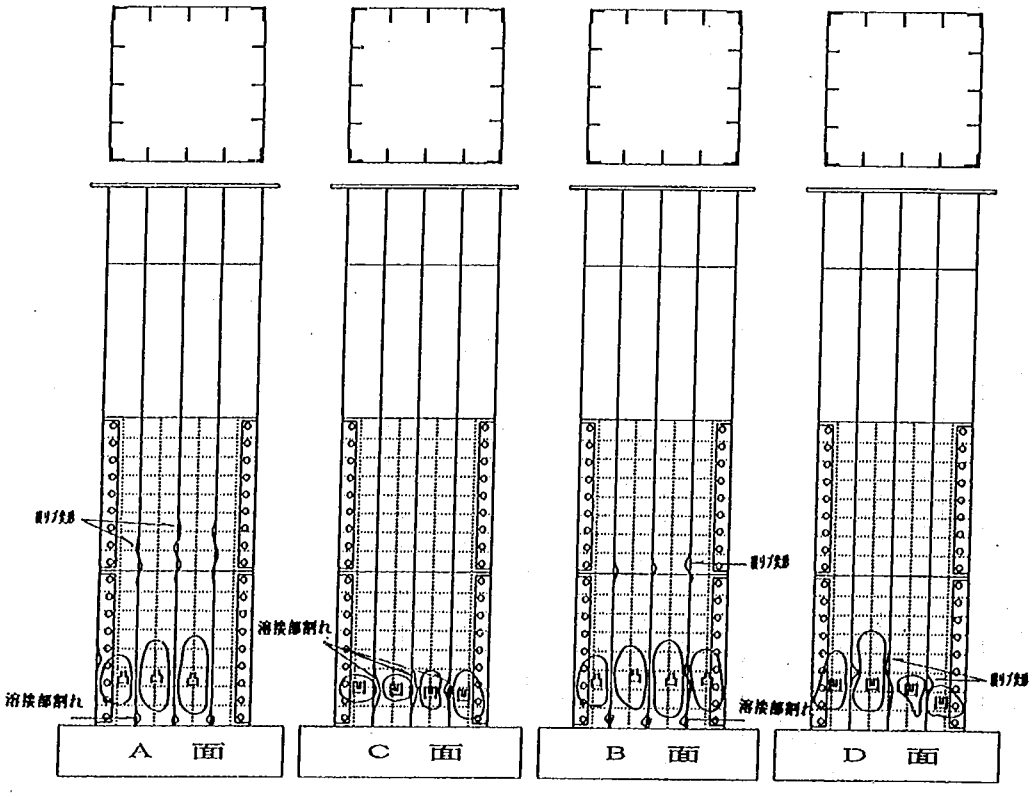
目標変位　120.00mm
水平荷重　19.6ton

A面は第2パネル下部から中央付近まで僅かに膨らんだ。

B面もA面同様の変形をしている。

CD面第1パネルの変形は少し進んだ程度である。

D面の第2パネル下部は少し凹み、D－A，D－B面角部もパネル中央付近まで変形している。




(b) 内面

8 δ y

目標変位　120.00mm
水平荷重　77.1ton

A面の基部近くの変形が著しくなりD面側の垂直補剛材の基部直近で変形に追従しきれず3本ともパネルとの溶接部分に長さ30mmの亀裂が生じた。

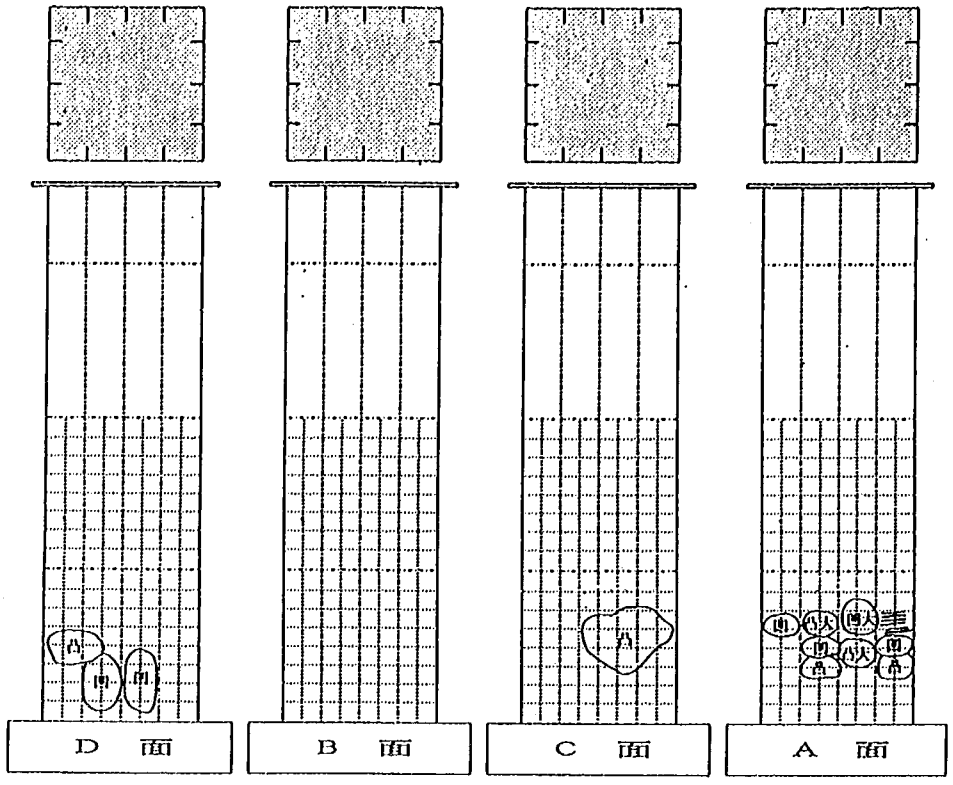
B面も同様に垂直補剛材3本とパネルの溶接部が長さ30mmにわたって引き千切られてコバ面はC面側へ倒れてきた。

C面では基部から23cm辺でやはり変形に追従できずに30mm長の亀裂が発生している。

D面は基部から25～35cmの辺できわめて大きな曲り方を強いられているものの亀裂にまでは進展していない。

(ii) 実験終了時付近（＋8 $\delta_y$）

図-3.1.11(3)　供試体の変形（No. 12）

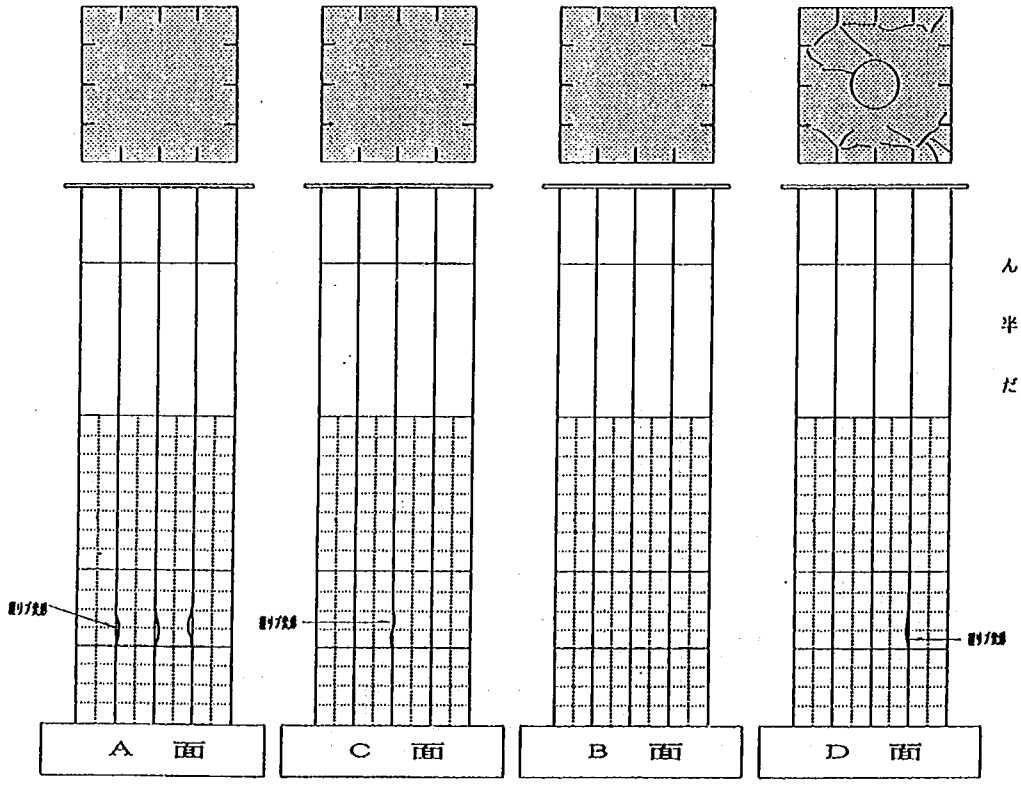



5 δ y

目標変位　75.00mm
水平荷重　144.3ton

A面第1パネル中央付近で凹凸が増えてきた。
B面の凹凸は確認できない。
C面第1パネル中央付近で僅かに膨らみが確認できるようになった。
D面では第1パネルのコンクリートが充填されている部分で縦リブを挟んで僅かに凹みが見られる。

(a) 外面




5 δ y

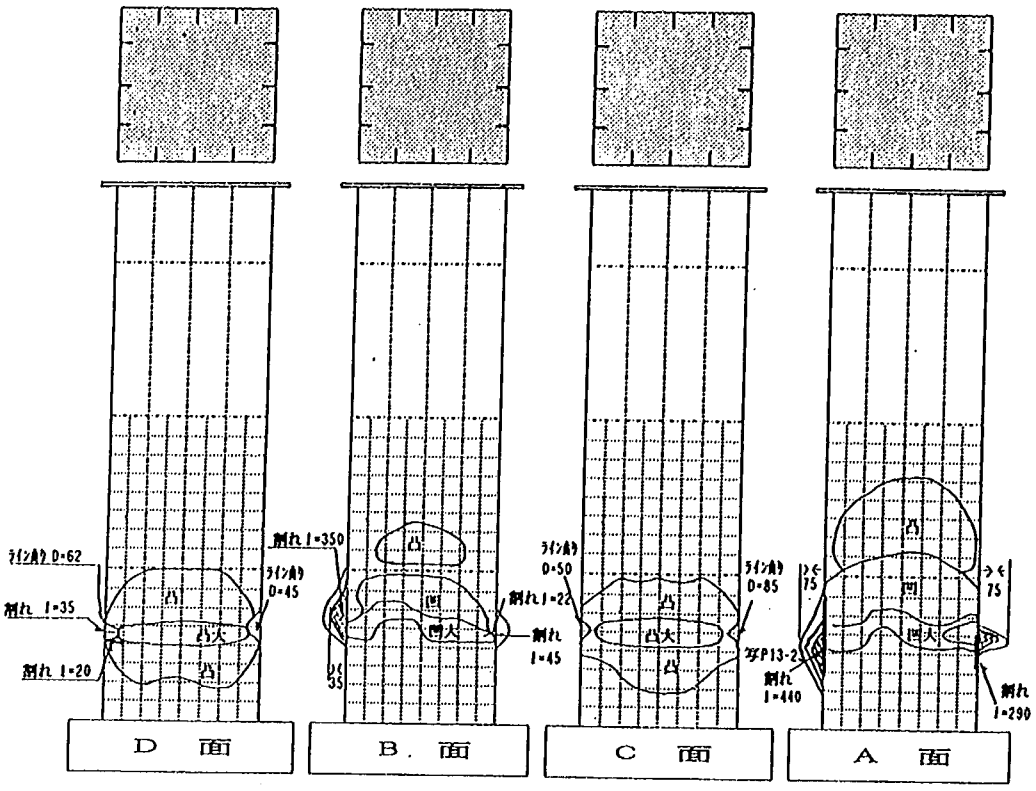
目標変位　75.00mm
水平荷重　144.3ton

コンクリート上面の割れは進んでいる。
A面第1パネルの縦リブは大半が変形している。
CD面も縦リブの変形が進んだが、A面程ではない。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋5 $\delta_y$）

図-3.1.11(4)　供試体の変形（No. 13）

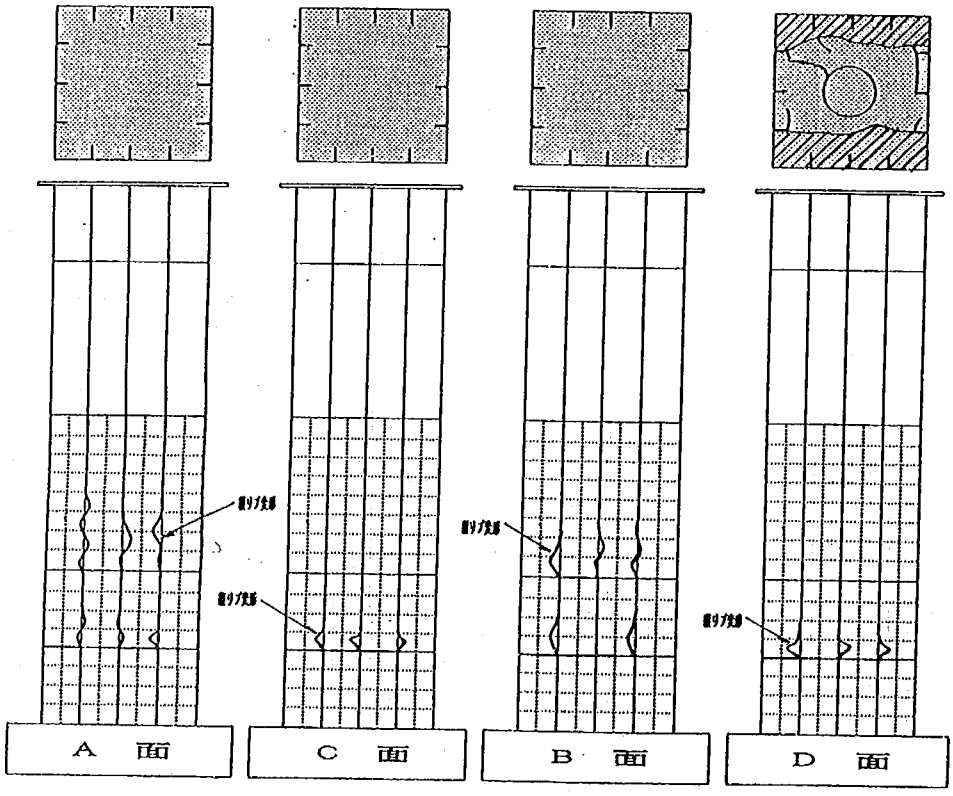



8δy

目標変位　120.00mm
水平荷重　5.2ton

A－C面角部の割れは長さ440mmまで広がり、第2パネルの膨らみも大きくなった。
C面は第1パネル中段付近両端の割れが広がった。

(a) 外面




8δy

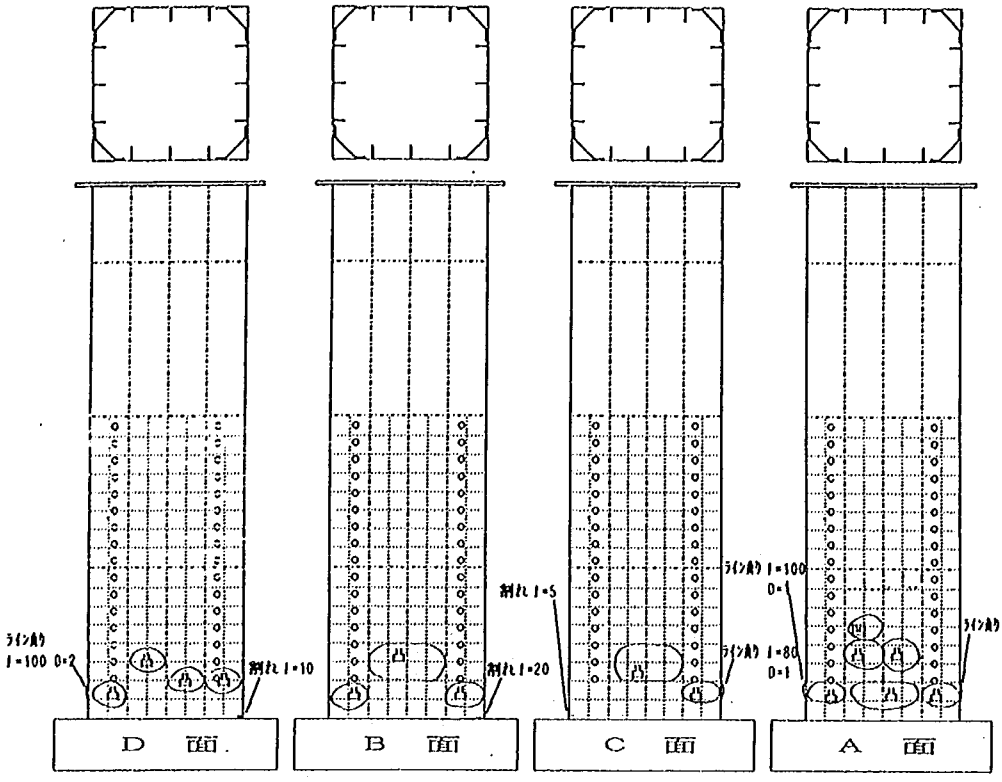
目標変位　120.00mm
水平荷重　5.2ton

4面共、縦リブの変形が進み、AB面では、第2パネル下部でも大きく変形している。

(b) 内面

(ii) 実験終了時付近 (+8δy)

図-3.1.11(4)　供試体の変形 (No. 13)



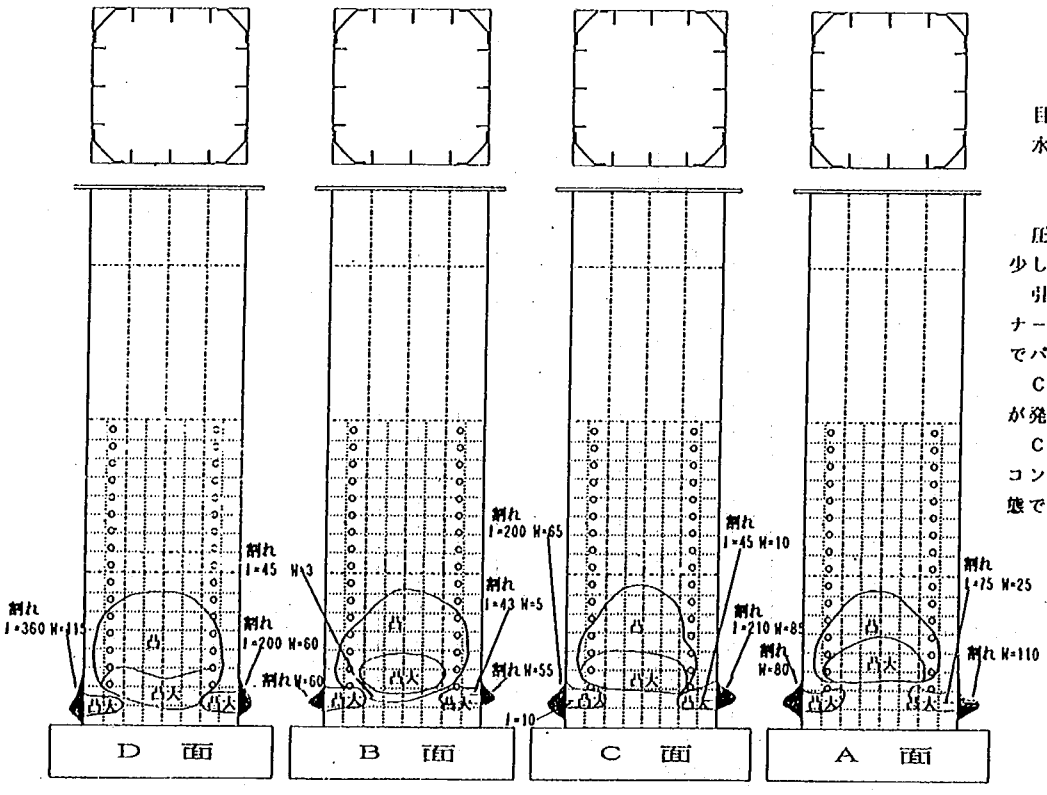

6 δ y

目標変位　73.00mm
水平荷重　152.3ton

圧縮側A面ではパネルの変形に伴い、基部付近の両角部ではラインの変形がはっきりしてきた。

引張側B面基部付近とD面の引張側基部付近の割れは僅かに伸びている。

(i) 最大荷重を超えた点（＋6 δ y）




10 δ y

目標変位　130.00mm
水平荷重　23.1ton

圧縮側A面の周方向の割れは少し伸びた。

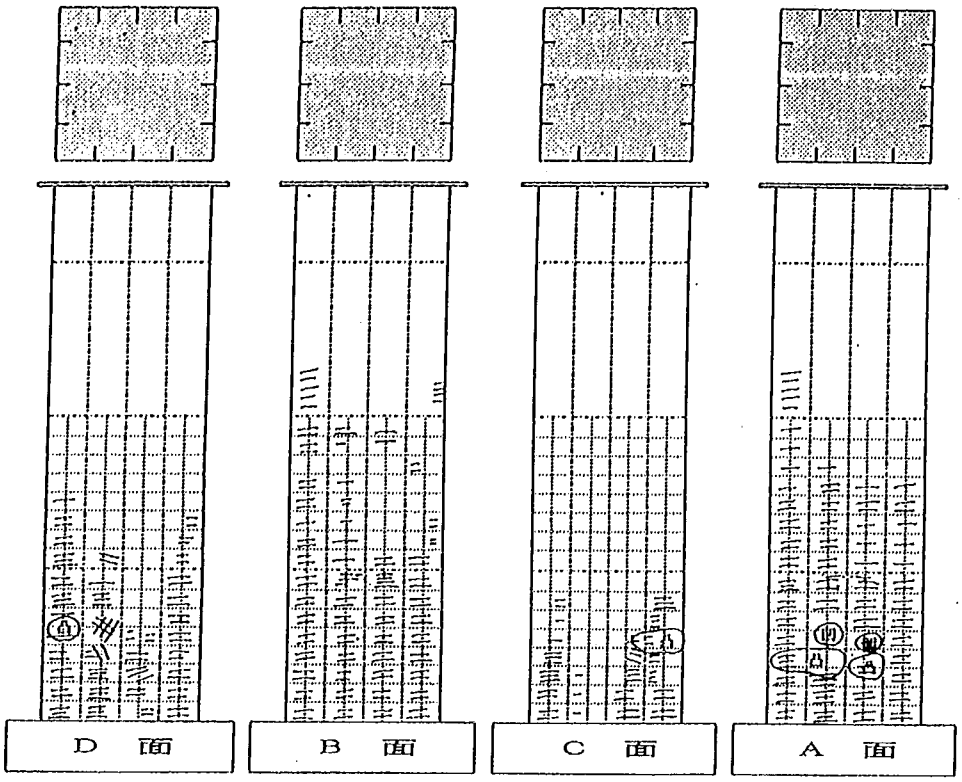
引張側B面ではD面側のコーナー補強材取り付けボルト付近でパネルに割れが発生した。

C面の両端でも周方向の割れが発生した。

CD面の割れの開口部は広く、コンクリート片が落ちてくる状態である。

(ii) 実験終了時付近（＋10 δ y）

図-3.1.11(5) 供試体の変形（No. 14）（外面）

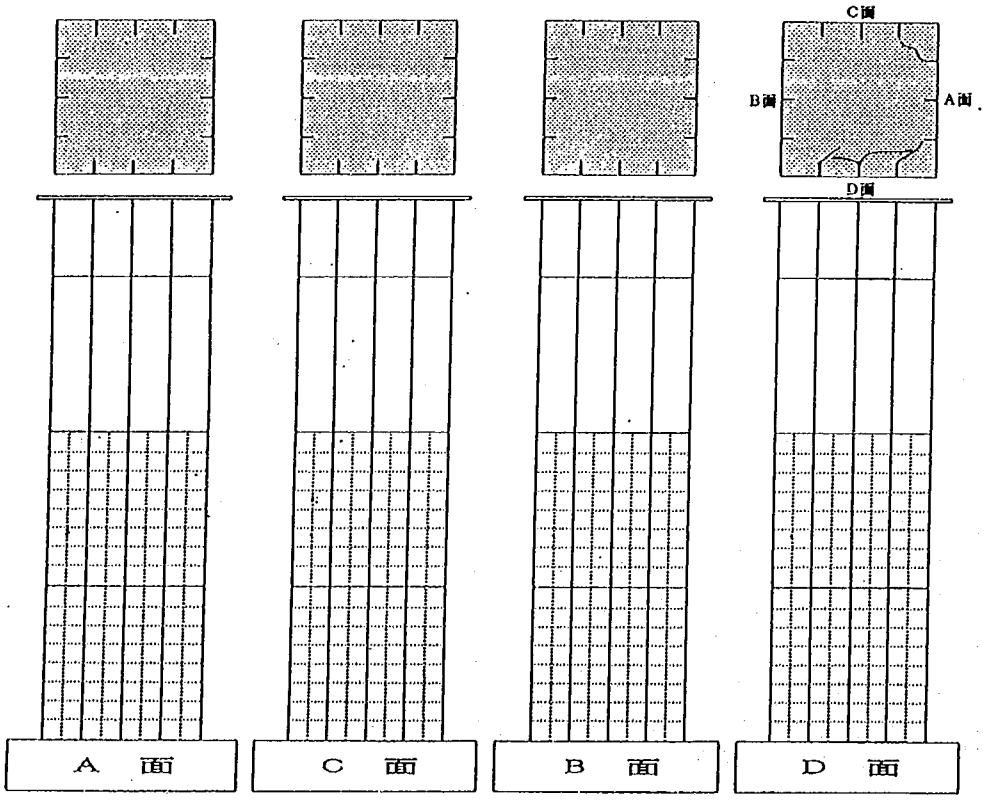



4 δ y

目標変位　60.50mm
水平荷重　155.6ton

圧縮側A面ではコンクリートの打設面を境に凹凸が見られる。
黒皮のひび割れは第3パネル（2枚目のダイアフラムから38cm）まで広がった。
引張側B面のパネルの凹みは元に戻った。また、黒皮のひび割れは第3パネル（2枚目のダイアフラムから35cm）まで広がった。
CD面の圧縮側でもコンクリート打設面の上方でパネルの膨らみが見られる。また、一部斜めに黒皮のひび割れが見られる。

(a) 外面




4 δ y

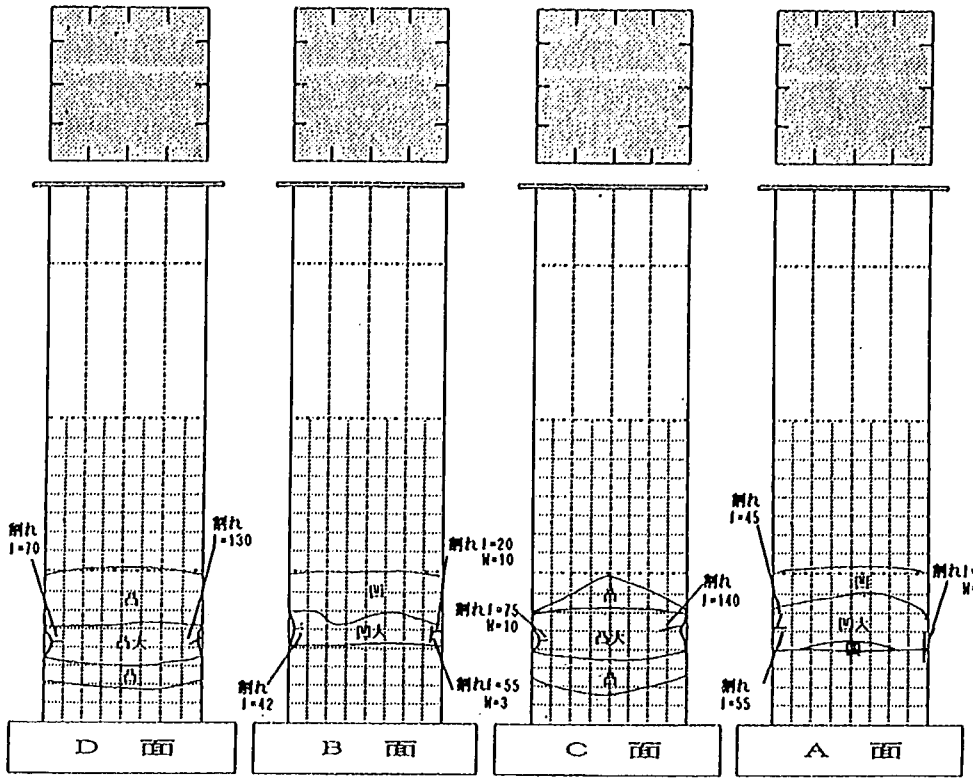
目標変位　60.50mm
水平荷重　155.6ton

黒皮のひび割れはモニターで識別できない。
コンクリートのひび割れが発生した。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋4 $\delta_y$）

図-3.1.11(6)　供試体の変形（No. 17）



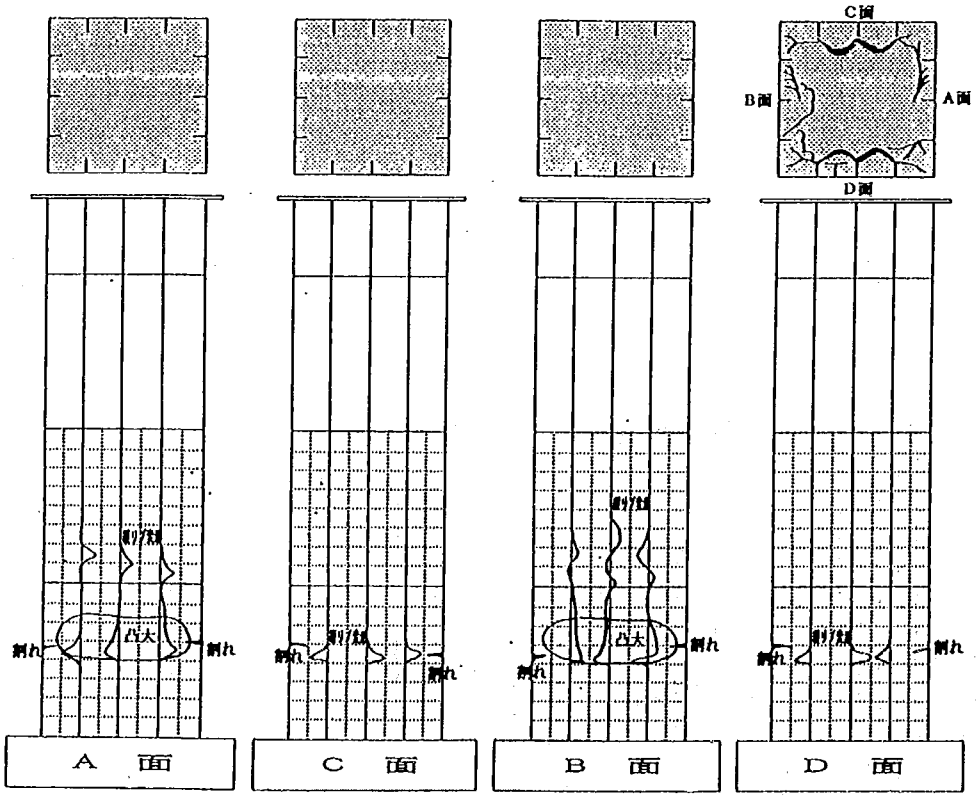

8 δ y

目標変位　120.50mm
水平荷重　18.0ton

圧縮側A面の両端で軸方向に割れが発生し、D面側は穴状に割れて中のコンクリートが見える。

引張側B－C面角部で割れが発生し、引張側ではそれぞれ割れが伸びている。

(a) 外面




8 δ y

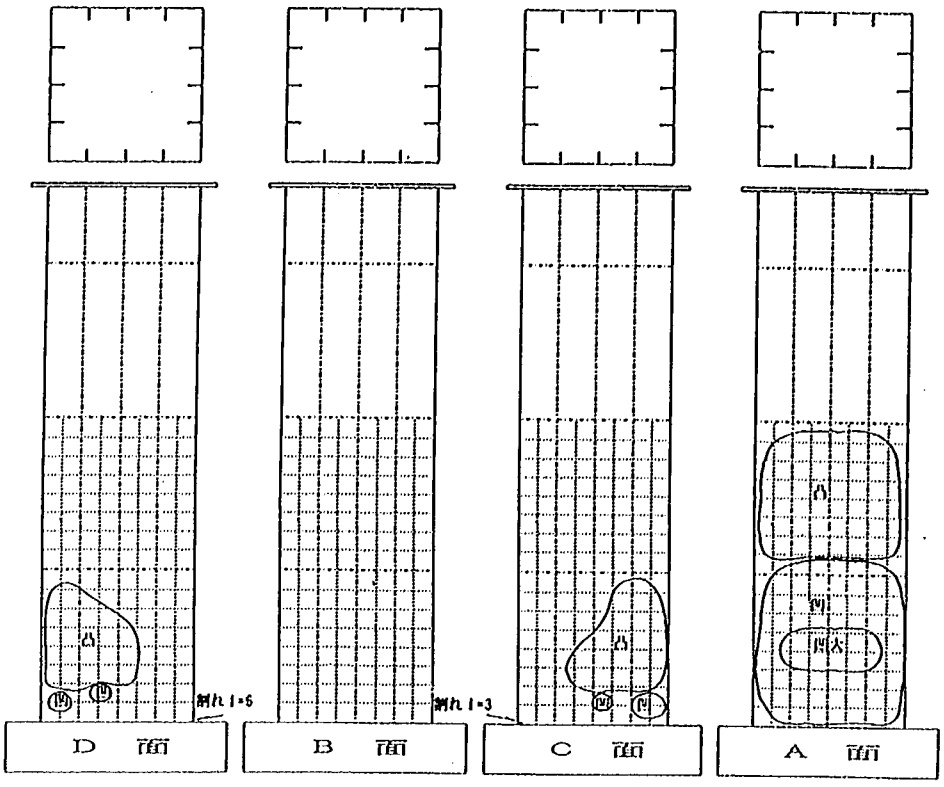
目標変位　120.50mm
水平荷重　18.0ton

4面共、コンクリート打設面付近での縦リブ変形が大きく、AB面ではパネルの膨らみも大きい。

(b) 内面

(ii) 実験終了時付近（＋8 $\delta_y$）

図-3.1.11(6)　供試体の変形（No. 17）




4 δ y

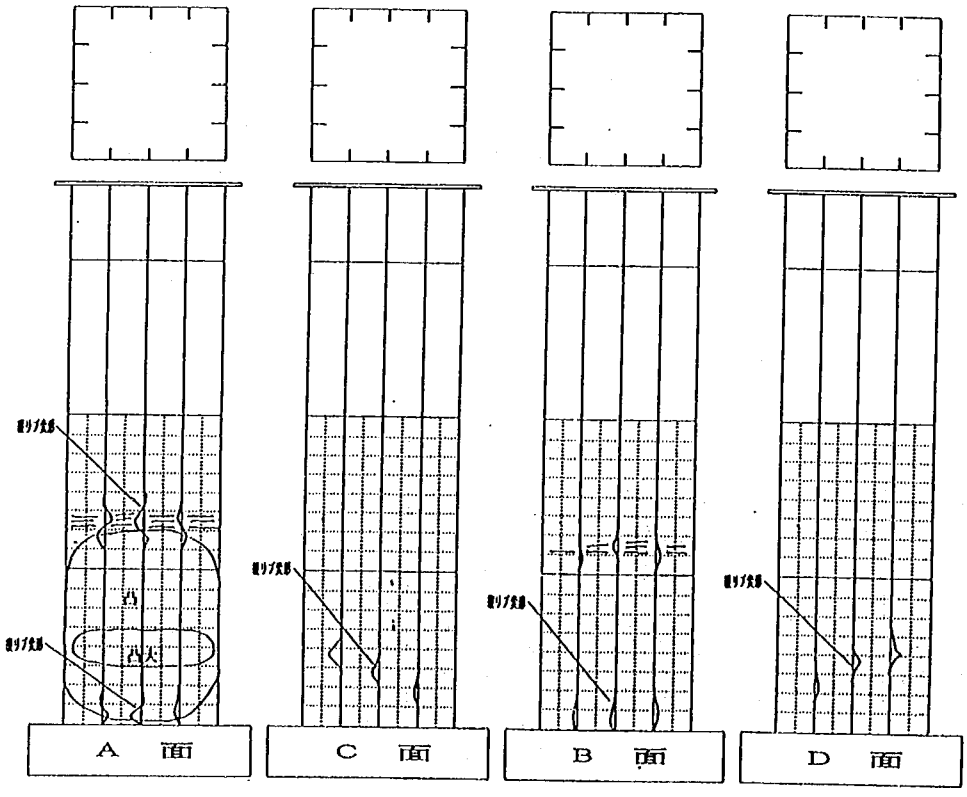
目標変位　52.50mm
水平荷重　111.5ton

圧縮側A面の変形は進み、第1パネルは基部から45cmの位置を最大に大きく凹み、第2パネルも全体的に大きく膨らみ始めた。

引張側B面の変形は大半が戻り、目視では分からない程度である。

CD面では第1パネルの圧縮側で膨らみが見られるようになった。

(a) 外面




4 δ y

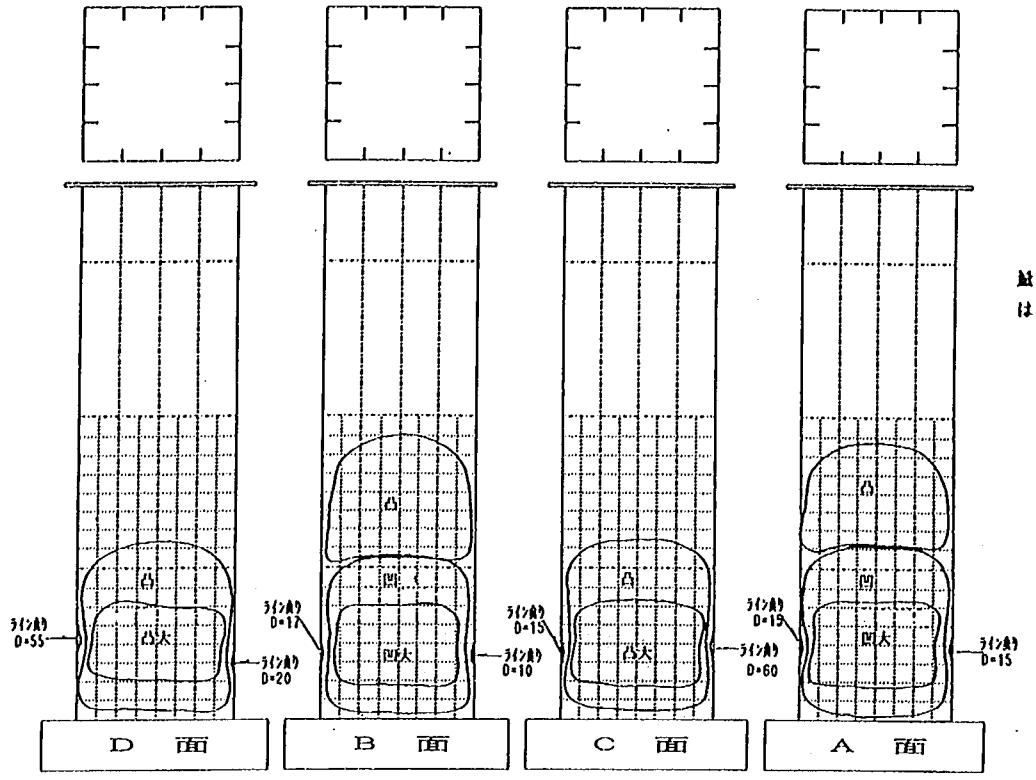
目標変位　52.50mm
水平荷重　111.5ton

一挙に変形が進み、圧縮側A面ではパネル中央を最大として全体が大きく膨らみ、第2パネルの1／3付近で折れ曲がったような状態である。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋4 δ y）

図-3.1.11(7) 供試体の変形（No. 18）

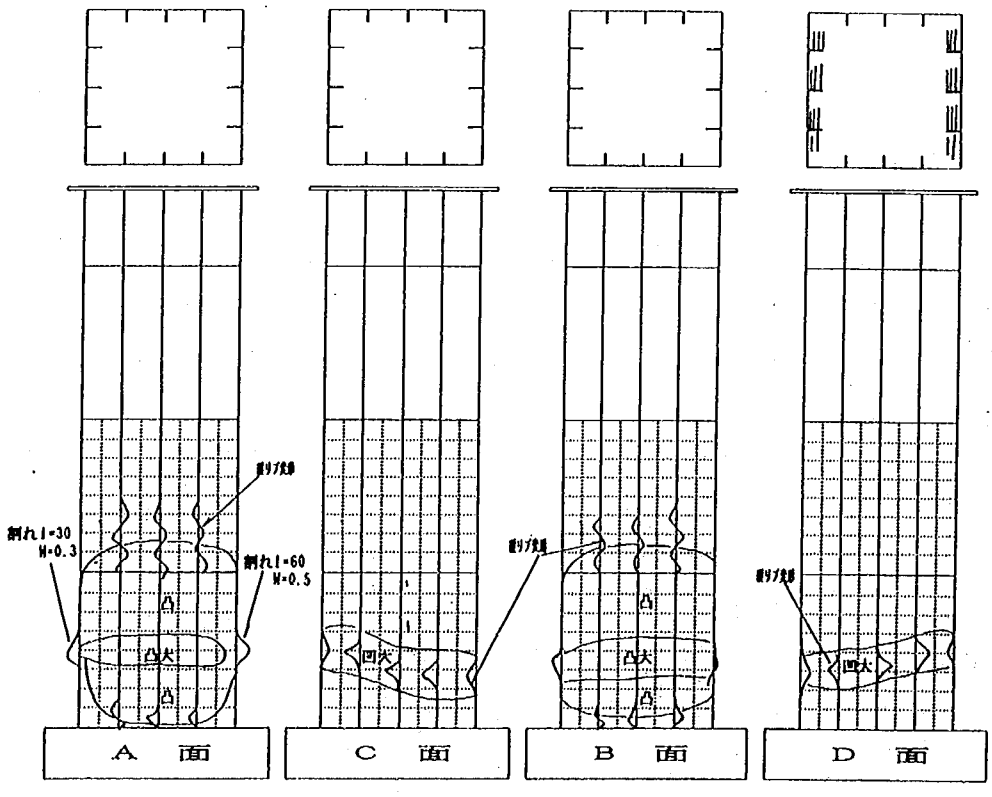



6δy

目標変位　78.50mm
水平荷重　19.7ton

4面共、パネルの変形は変形量が増えているだけで特に変化はない。

(a) 外面




6δy

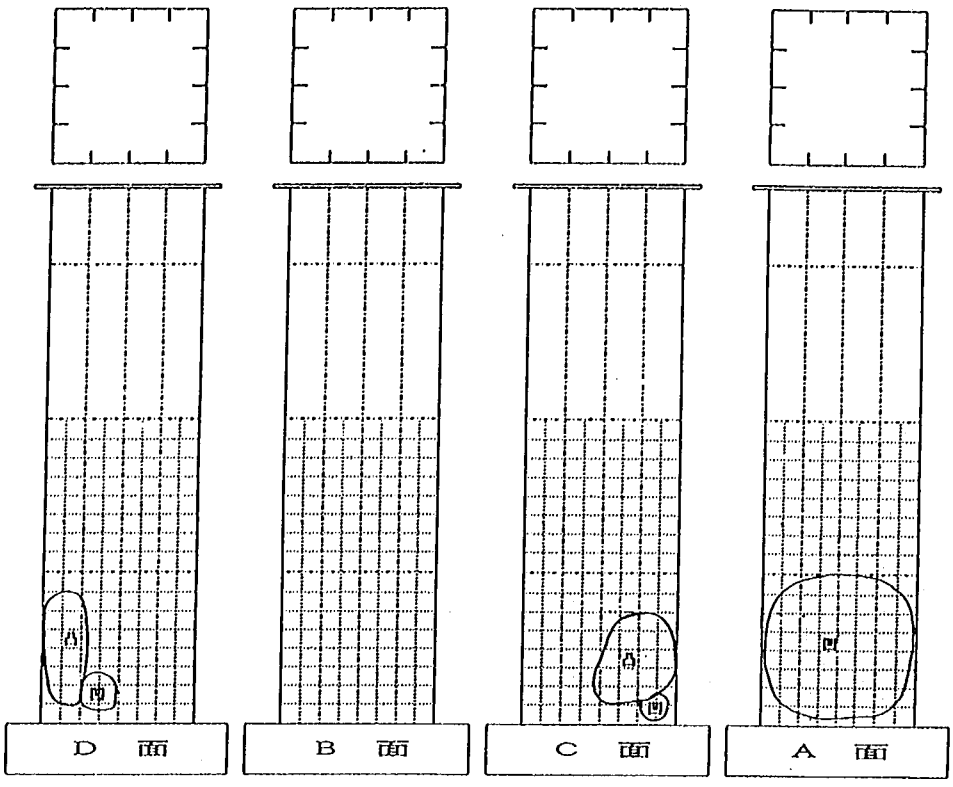
目標変位　78.50mm
水平荷重　19.7ton

圧縮側A－C面角部で溶接ビードの両端に割れが発生した。
ダイアフラムにも黒皮のひび割れが発生し、4面共、第2パネルでも大きな変形が見られるようになった。

(b) 内面

(ii) 実験終了時付近（＋6 $\delta_y$）

図-3.1.11(7)　供試体の変形（No. 18）

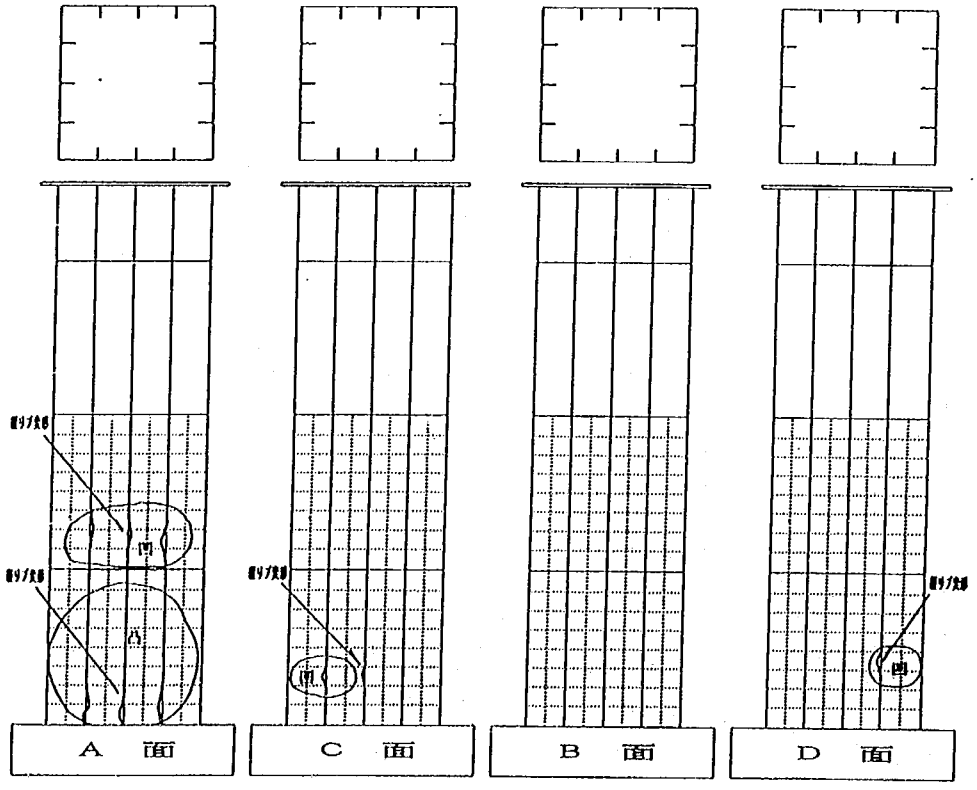



4 δ y

目標変位　60.00mm
水平荷重　128.4ton

圧縮側A面第1パネルは全体が凹み、CD面第1パネルの圧縮側も広い範囲で膨らんでいる。
B面のパネル変形は見られない。

(a) 外面




4 δ y

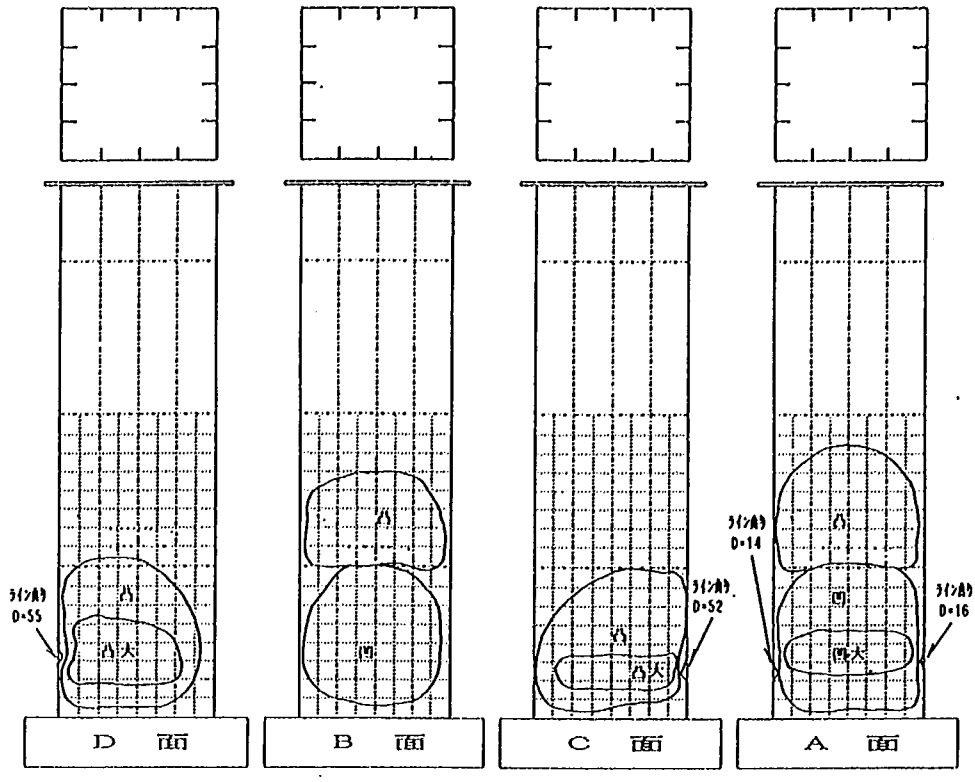
目標変位　60.00mm
水平荷重　128.4ton

圧縮側A面第1パネルは全体が凹み、基部付近の縦リブの変形も著しい。また、第2パネルでも1枚目のダイアフラムから20cm程の位置で縦リブが3本共くの字に変形し、パネルは凹んでいる。
CD面第1パネルの圧縮側でも凹みが見られるようになり、縦リブの変形も著しい。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋4 $\delta_y$）

図-3.1.11(8)　供試体の変形（No. 19）

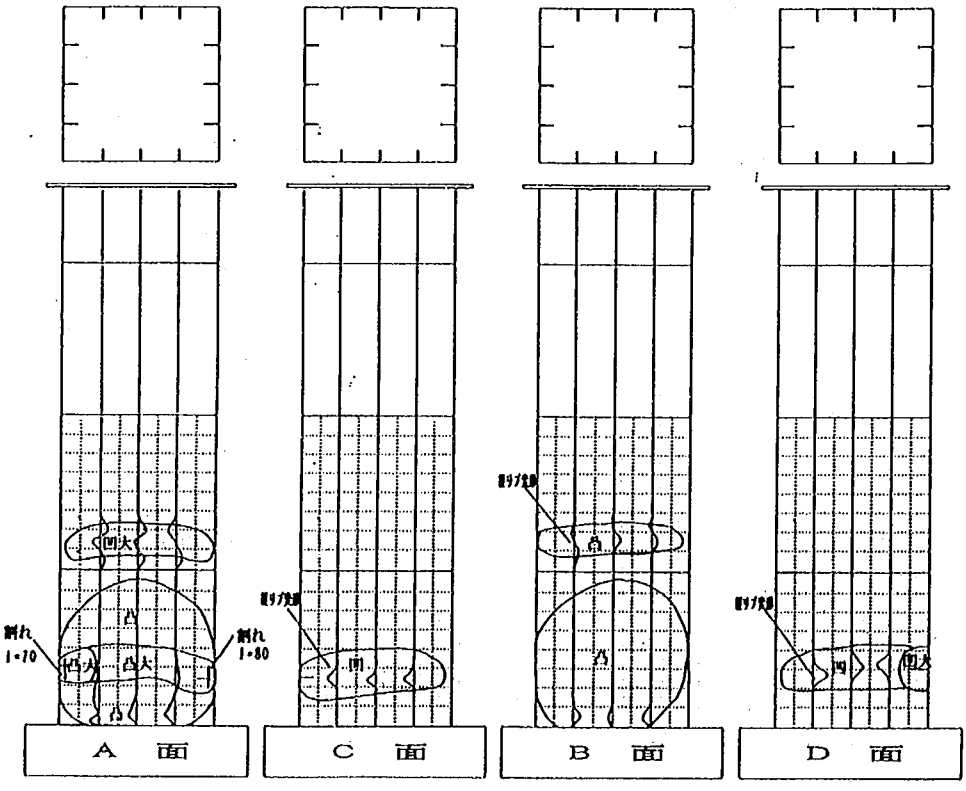



9 δ y

目標変位　135.00mm
水平荷重　37.7ton

全体に8δy同様の変形である。
圧縮側A－C面角部とA－D面角部では先に発生した割れは閉じ、パネルは大きく潰れて曲がっている。

(a) 外面




9 δ y

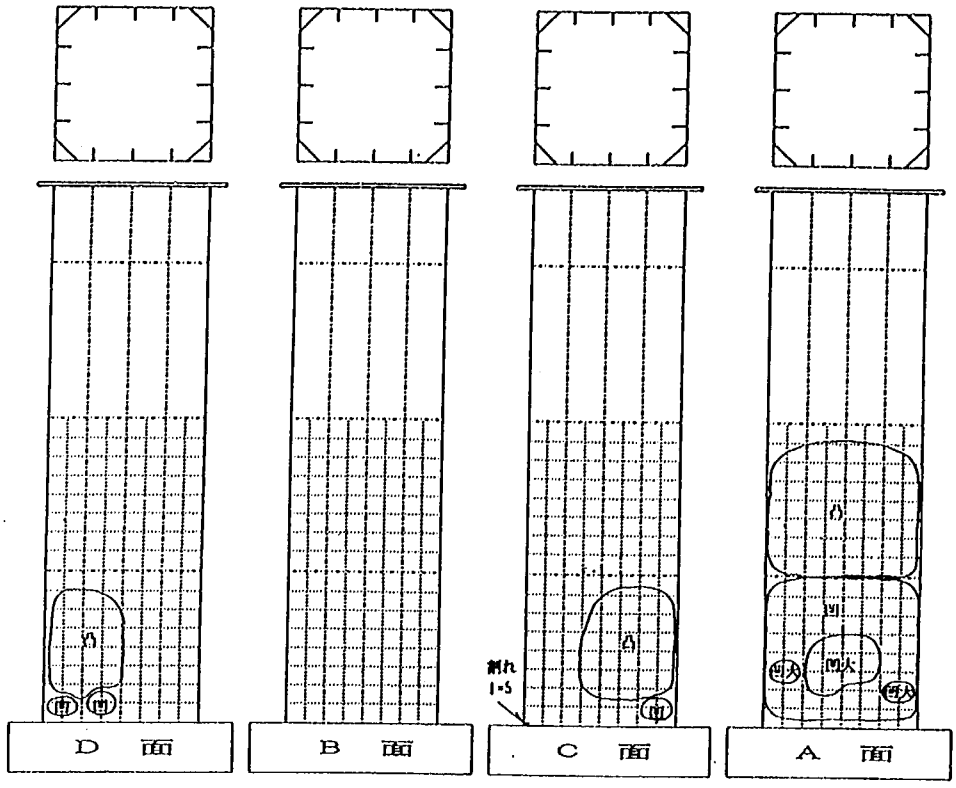
目標変位　135.00mm
水平荷重　37.7ton

全体に8δy同様の変形である。
圧縮側A面では先に発生した割れは圧縮され閉じているが、それと直交する溶接線の溶着金属と母材との境界で割れが発生した。

(b) 内面

(ii) 実験終了時付近（＋9 δ$_y$）

図-3.1.11(8)　供試体の変形（No. 19）




(a) 外面

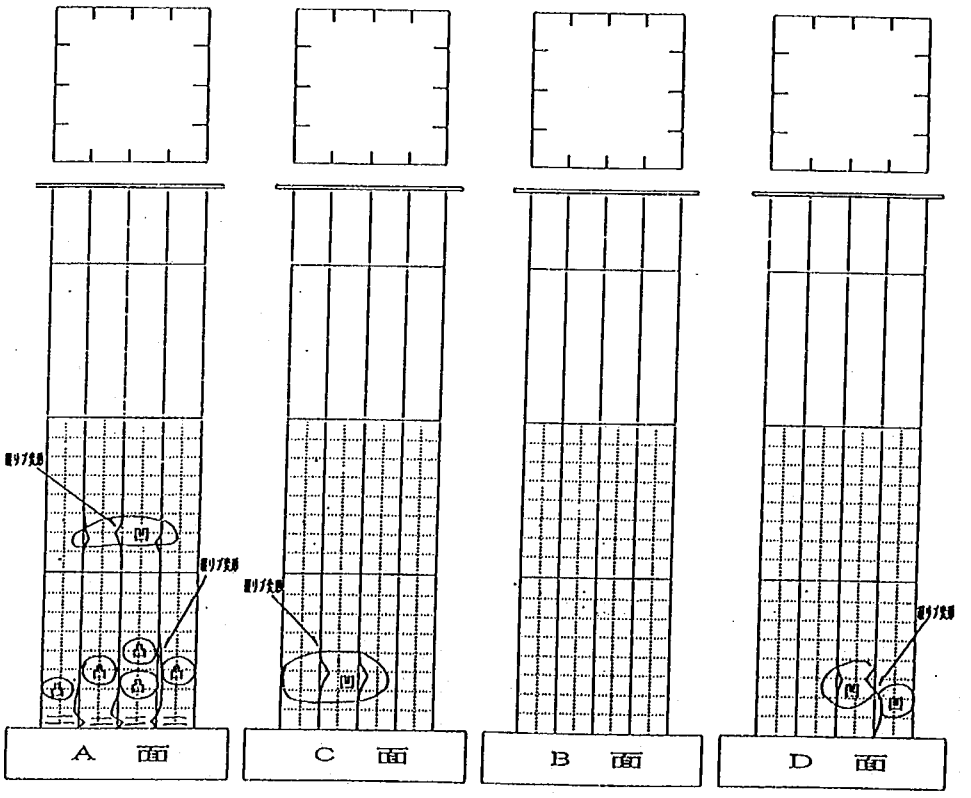
4δy

目標変位　60.50mm
水平荷重　116.6ton

一気にパネルの変形が進んだ。圧縮側A面第1パネルは中央部を最大に全体が凹み、第2パネルは全体が膨らんでいる。

引張側B面の変形は元に戻っている。

CD面引張側の変形は元に戻り、圧縮側は基部で凹み、その上方では広い範囲で膨らんでいる。C面の引張側基部で割れが認められる。




(b) 内面

4δy

目標変位　60.50mm
水平荷重　116.6ton

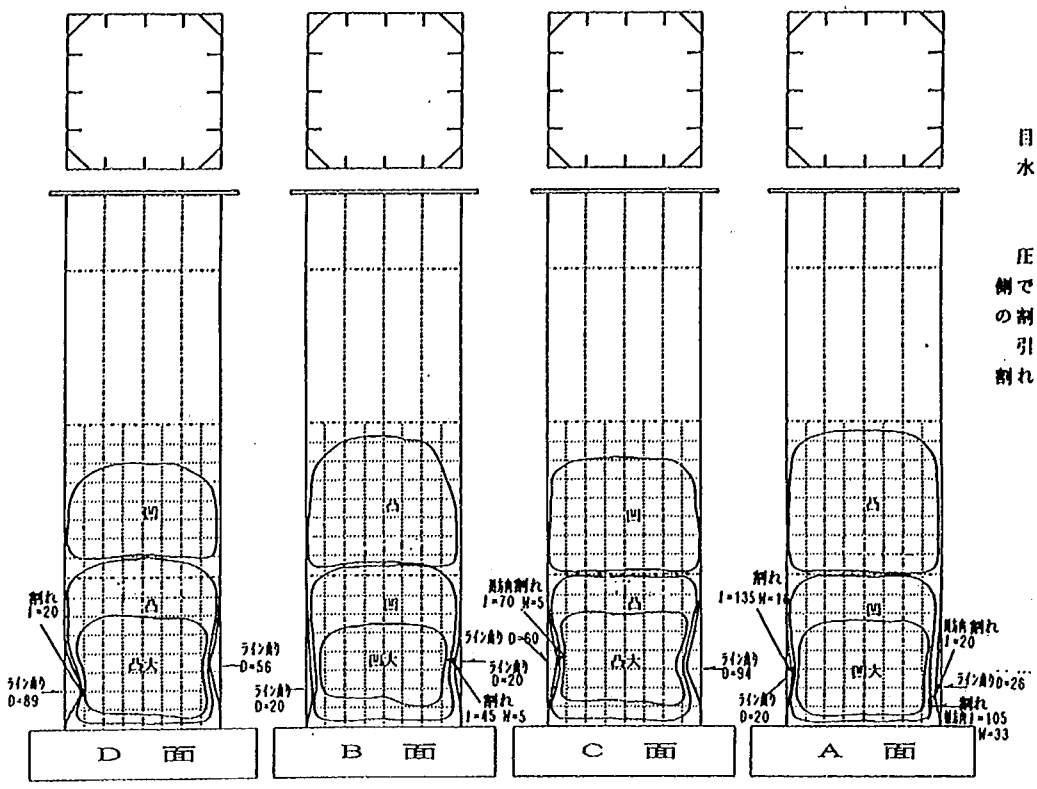
圧縮側A面第1パネルでは基部付近で縦リブが大きく曲がり、パネルは全体に大きく膨らみ、さらに縦リブを挟んで局部的に膨らんでいる。また、第2パネルでも縦リブは3本共曲がり、僅かにパネルも凹んでいる。

引張側B面のパネル変形は元に戻っている。

CD面第1パネルでは圧縮側を中心に縦リブが曲がり、パネルも凹んでいる。

(i) 最大荷重を超えた点（＋4 $\delta_y$）

図-3.1.11(9)　供試体の変形（No. 20）

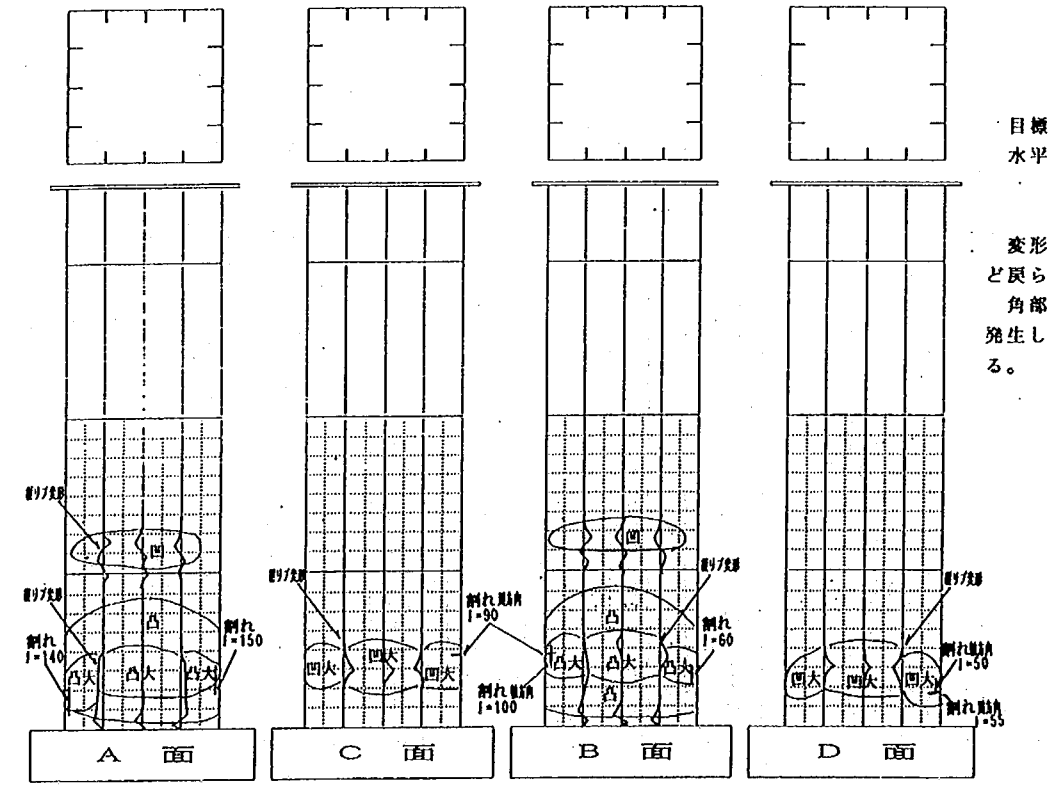



7δy

目標変位　105.50mm
水平荷重　6.4ton

圧縮側A面第1パネルのC面側で溶接線に沿うように軸方向の割れが発生した。
引張側B面でもB－C角部の割れが伸びた。

(a) 外面




7δy

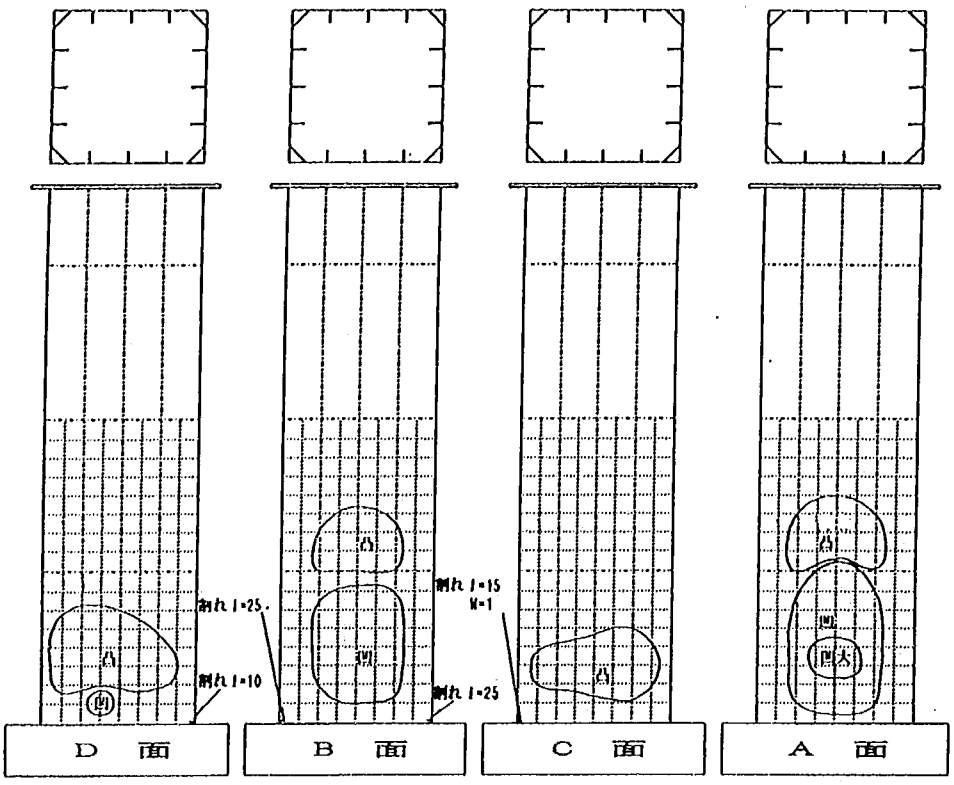
目標変位　105.50mm
水平荷重　6.4ton

変形が甚だしく、引張側も殆ど戻らずに座屈が進んでいる。
角部では溶接線で境界割れが発生したり、進展したりしている。

(b) 内面

(ii)　実験終了時付近（＋7δy）

図-3.1.11(9)　供試体の変形（No. 20）




(a) 外面

5δy

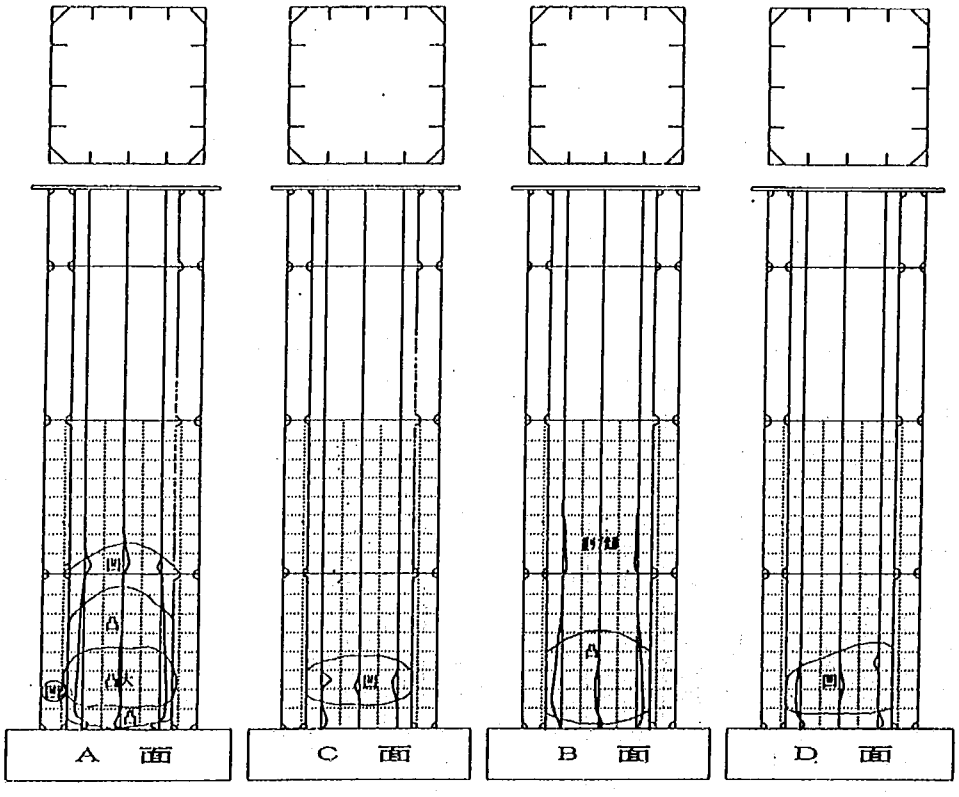
目標変位　75.50mm
水平荷重　171.0ton

圧縮側A面第1パネルでは中央部を最大に大きく凹み、第2パネル下部の膨らみも大きくなってきたが、角の補強部付近の凹凸はまだ認められない。

引張側B面では基部の両端角部で溶接線に割れが発生した。

パネルの変形は残るようになった。

CD面でも引張側基部で鉄材の割れが発生した。また、パネルは圧縮側を中心に広い範囲で膨らんでいる。




(b) 内面

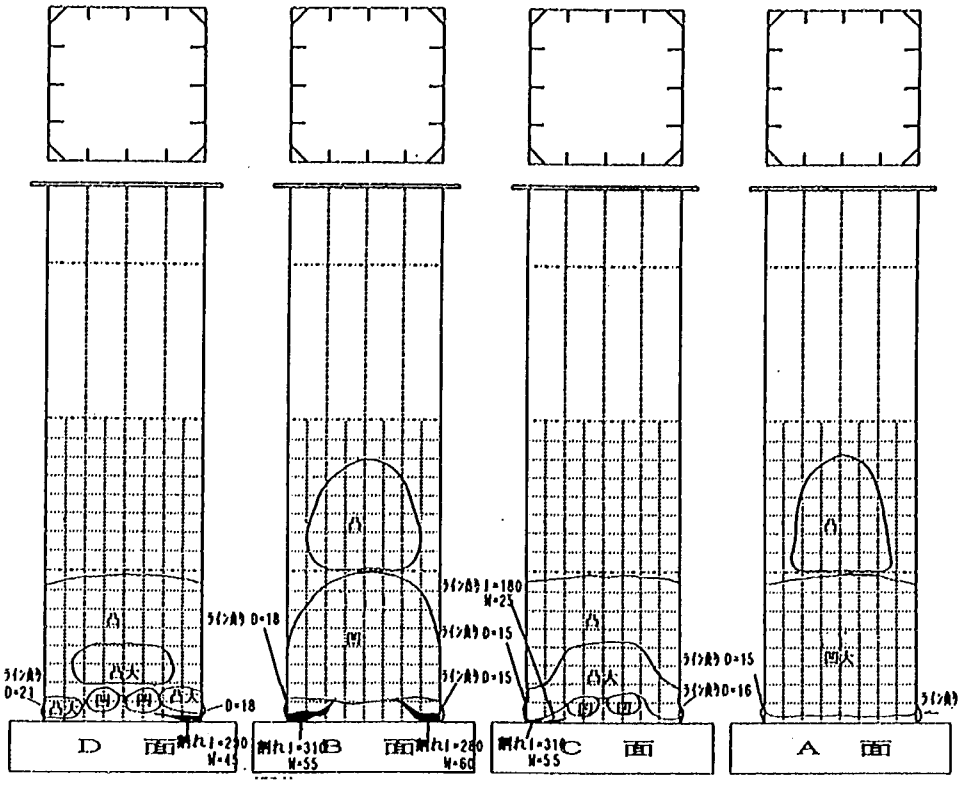
5δy

目標変位　75.50mm
水平荷重　171.0ton

変形は進んでいるが、A－D角部の補強材が基部から22cm程の位置を中心に外側へ凹み始めた以外に特に目立った変化はない。

(i)　最大荷重を超えた点（＋5 $\delta_y$）

図-3.1.11(10)　供試体の変形（No. 22）

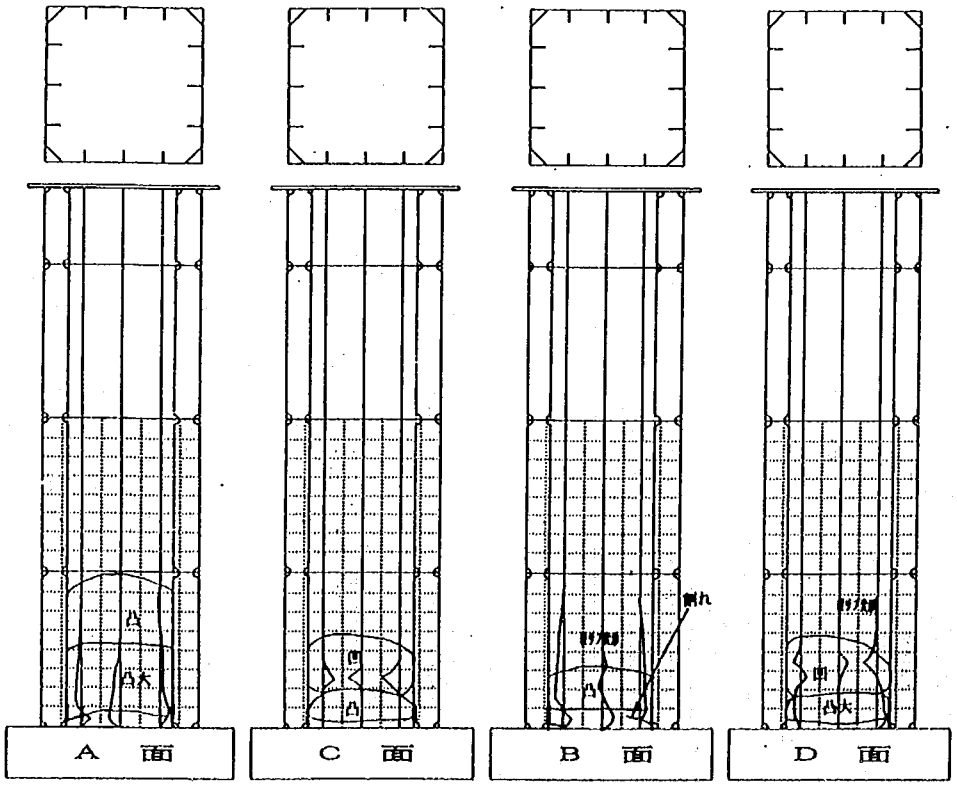



(a) 外面

１０δｙ

目標変位　150.50mm
水平荷重　40.8ton

圧縮側Ａ面第１パネルは全体が大きく凹み、第２パネルは膨らんでいる。
引張側Ｂ面では基部両端の割れが広がり、中が見える程である。
ＣＤ面は第１パネル中央を最大に大きく膨らんでいる。また、引張側基部の割れも広がっている。




(b) 内面

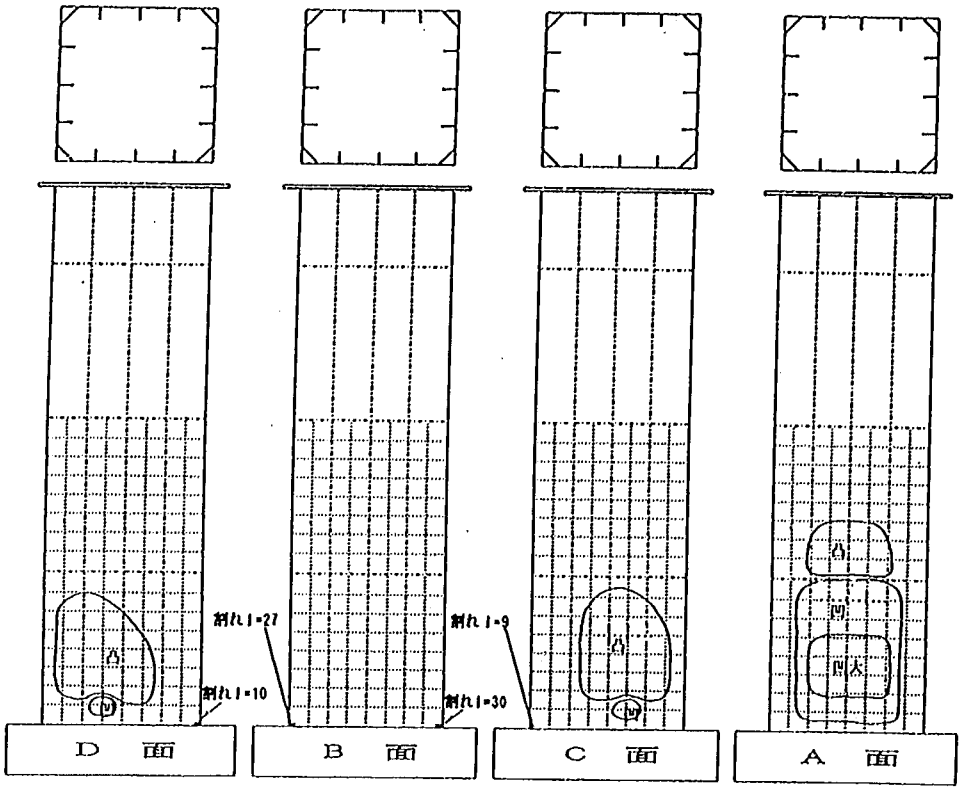
１０δｙ

目標変位　150.50mm
水平荷重　40.8ton

圧縮側基部の割れは潰されて閉じているが、パネルは大きくうねるように変形している。
引張側基部は基部両端の割れが広がり、中が見える程である。
４面共、基部付近の損傷が大きく、パネルと縦リブは基部から30cm程の位置を中心に大きく変形し、１枚目のダイアフラムの変形も認められる。また、第２パネルではダイアフラムから10cm程の位置でＡＢ面の縦リブが大きく変形している。

(ii)　実験終了時付近（＋10 δｙ）

図-3.1.11(10)　供試体の変形（No. 22）




(a) 外面

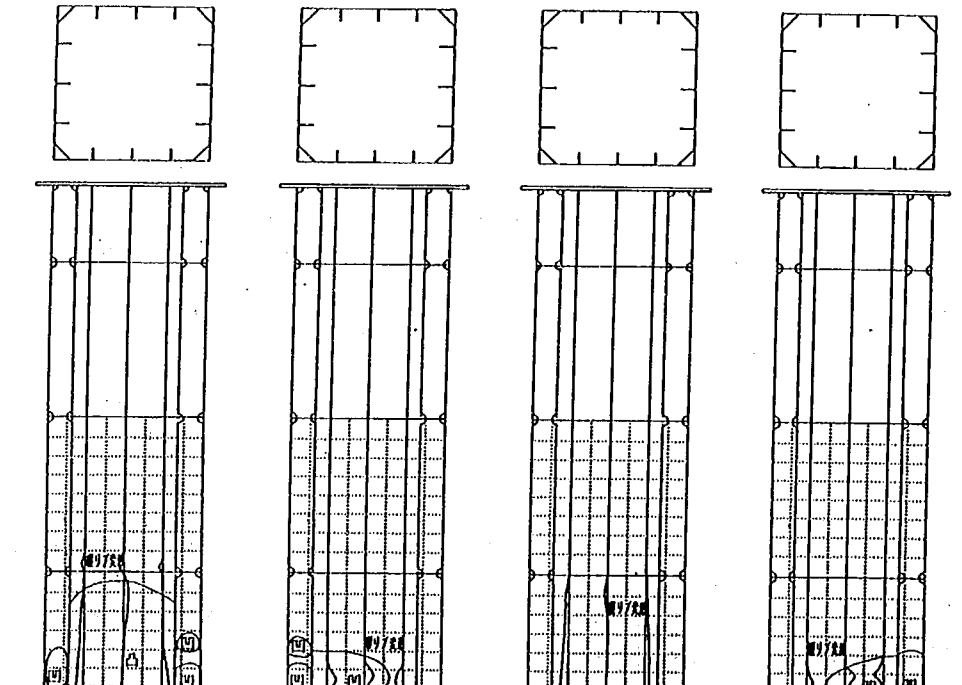
5 δ y

目標変位　65.50mm
水平荷重　157.6ton

圧縮側A面第1パネルでは中央部を最大に大きく凹み、第2パネル下部では膨らみが認められるようになった。

引張側B面では基部の両端角部で溶接線に細い割れが発生した。また、パネルの変形は元に戻っている。

CD面共に、第1パネルは圧縮側を中心に全体が膨らみ、基部付近の縦リブ間で凹みが認められる。また、引張側基部の角で割れが発生した。




(b) 内面

5 δ y

目標変位　65.50mm
水平荷重　157.6ton

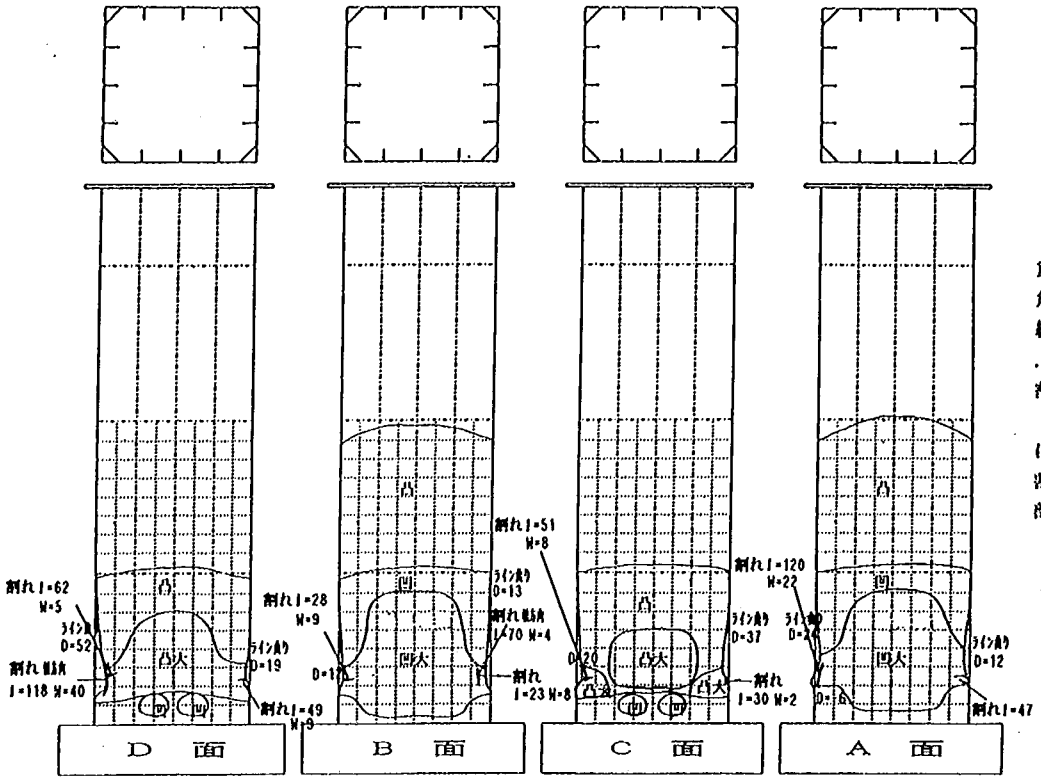
圧縮側A面第1パネルの膨らみははっきりしたものになり、基部付近の縦リブはくの字に曲がっている。

引張側B面第2パネルの縦リブ変形は元に戻ったが、第1パネルでは変形を多く残している。

CD面では第1パネルの圧縮側を中心にパネル、角補強材共に凹みが認められるようになった。

(i) 最大荷重を超えた点 (+5 $\delta_y$)

図-3.1.11(11) 供試体の変形 (No.23)



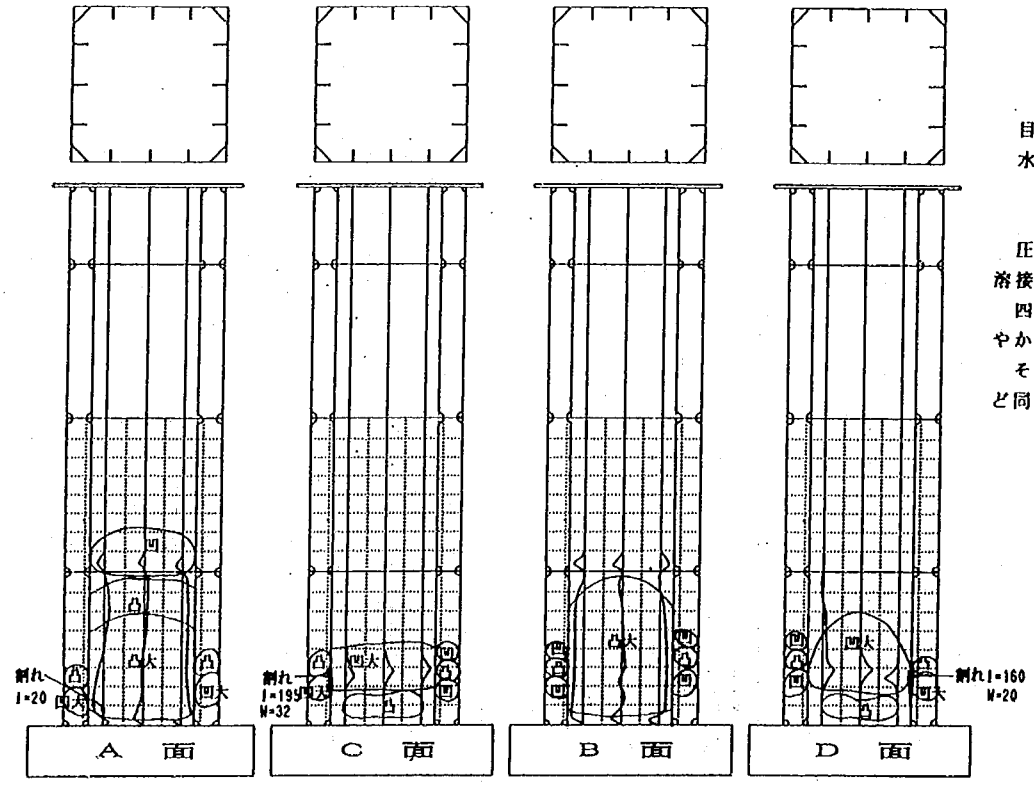

9δy

目標変位　117.50mm
水平荷重　16.7ton

載荷途上（変位-86.3mm、荷重0.0t）で音を発してB－D面角部に周方向の割れが発生し、続いて（変位-78.1mm、荷重13.2t）B－C面角部に周方向の割れが発生した。

圧縮側A－C、A－D角部では先に割れた部分から軸方向の割れが伸びている。また、この部分ではパネルの変形も激しい。

(a) 外面




9δy

目標変位　117.50mm
水平荷重　16.7ton

圧縮側A面基部付近の縦リブ溶接部で割れが発生した。

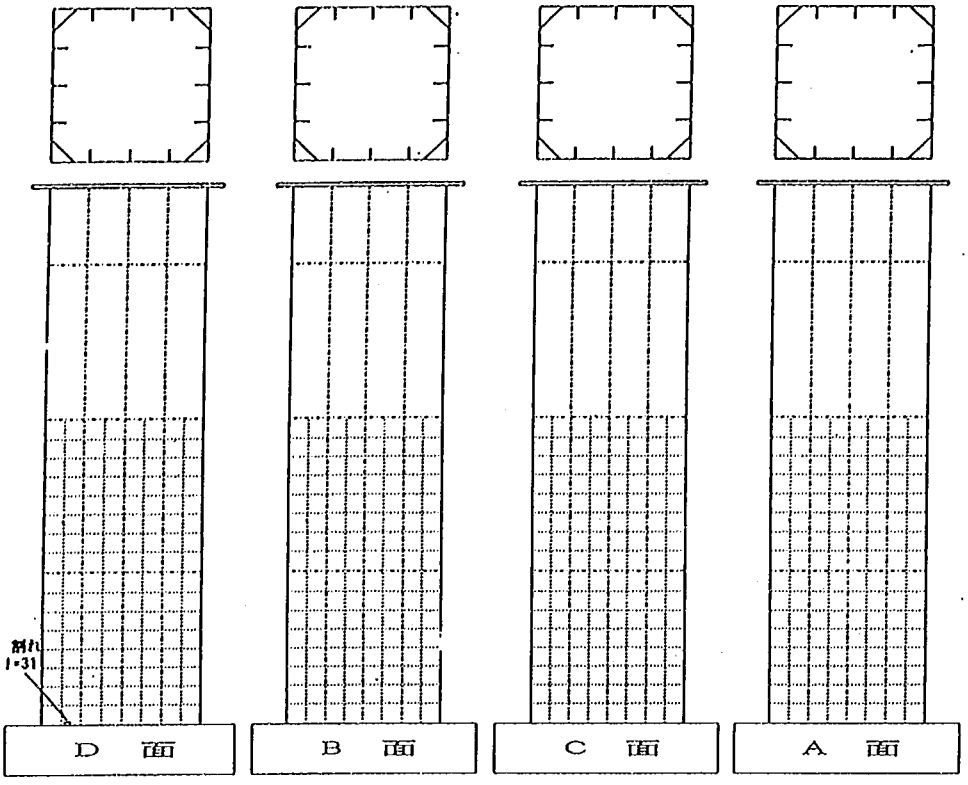
四隅共、角補強材の変形は緩やかなものとなった。

その他は8δy時の変形と殆ど同じである。

(b) 内面

(ii) 実験終了時付近（＋9δy）

図-3.1.11(11) 供試体の変形（No.23）

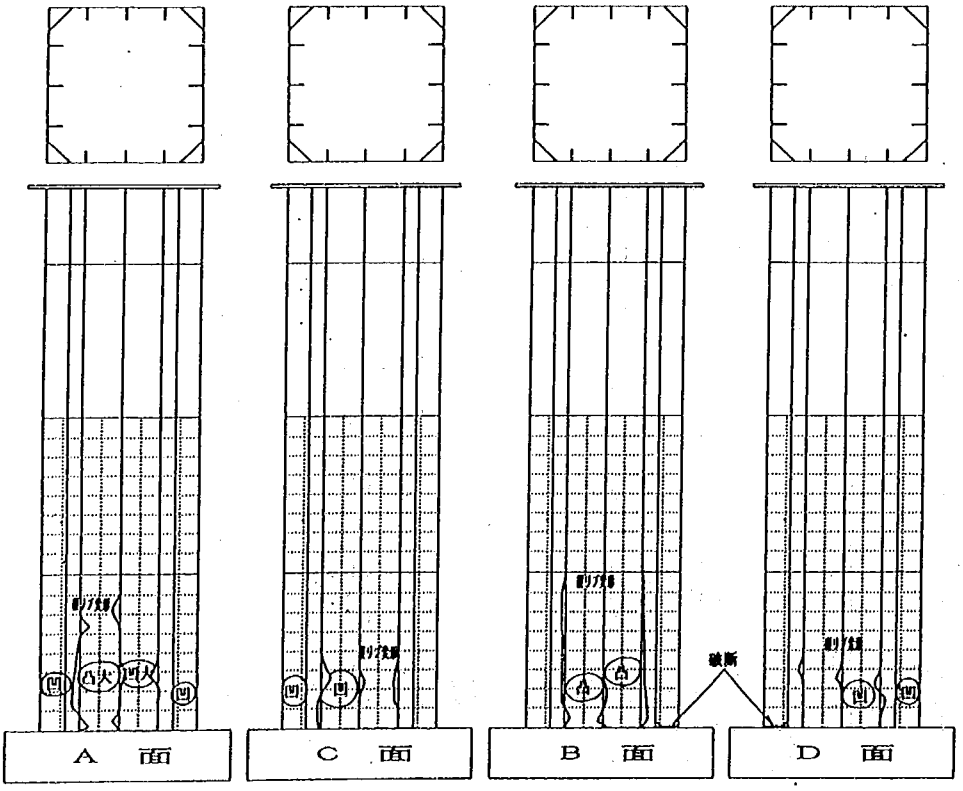



5δy（1回目）

目標変位　75.50mm
水平荷重　170.1ton

D面圧縮側基部の角補強材溶接部付近で割れが発生した。

(a) 外面




5δy（1回目）

目標変位　75.50mm
水平荷重　170.1ton

圧縮側A面第1パネルでは角補強材でも変形が認められるようになった。

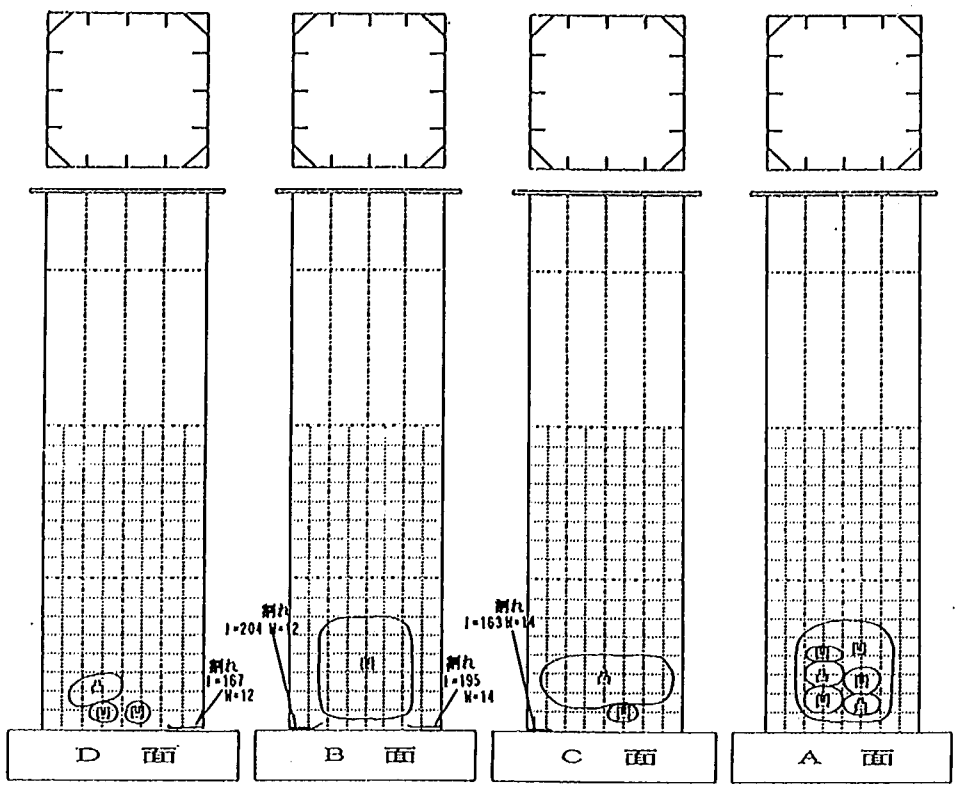
引張側B面は基部付近でパネルの変形が残り、B－D角部の角補強材と基部プレートの溶接部が破断した。また、ダイアフラムを挟んでの縦リブ変形は元に戻っている。

CD面基部付近の圧縮側ではパネル、角補強材共に凹んでいる。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋5 $\delta_y$；1回目）

図-3.1.11(12) 供試体の変形 (No. 24)

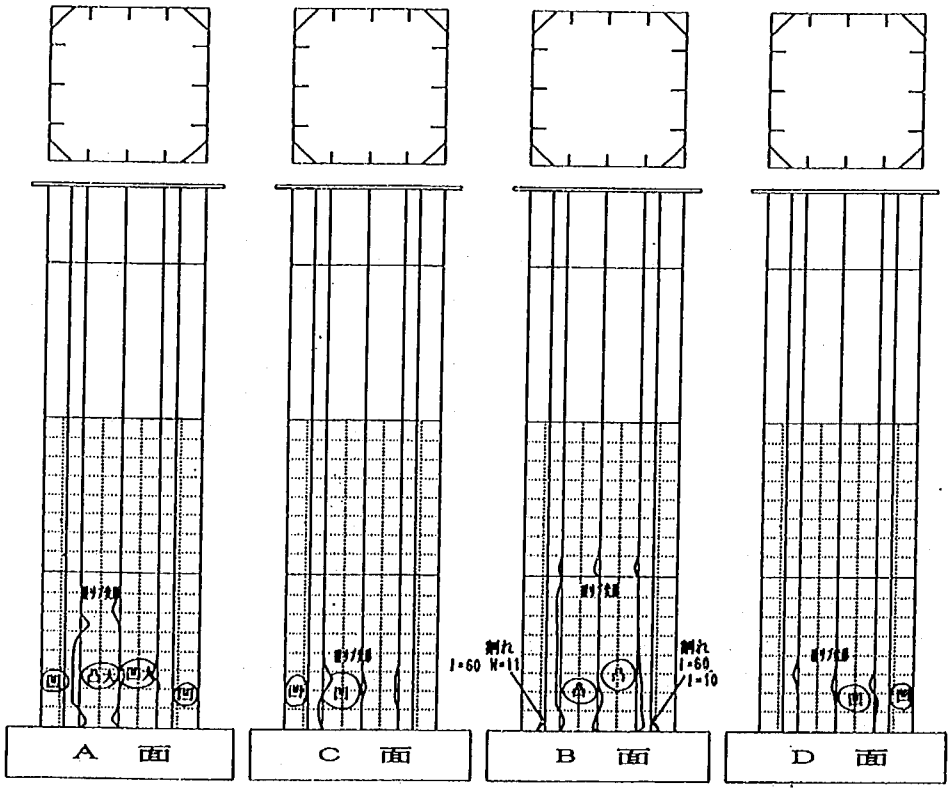



(a) 外面

5δy（3回目）

目標変位　75.50mm
水平荷重　137.6ton

圧縮側A面第1パネルは全体が膨み、さらにその中で細かく変形し、黒皮は剥落している。
引張側B－D角部の割れは5δy（2回目）で発生した割れと繋がり、B－C角部の割れも伸び、割れ幅も広がっている。
C面第1パネルは左右に別れていた変形が一つになり、広い範囲で膨らんできた。
D面では圧縮側を中心に変形量は少ないがC面と同じような変形が始まった。




(b) 内面

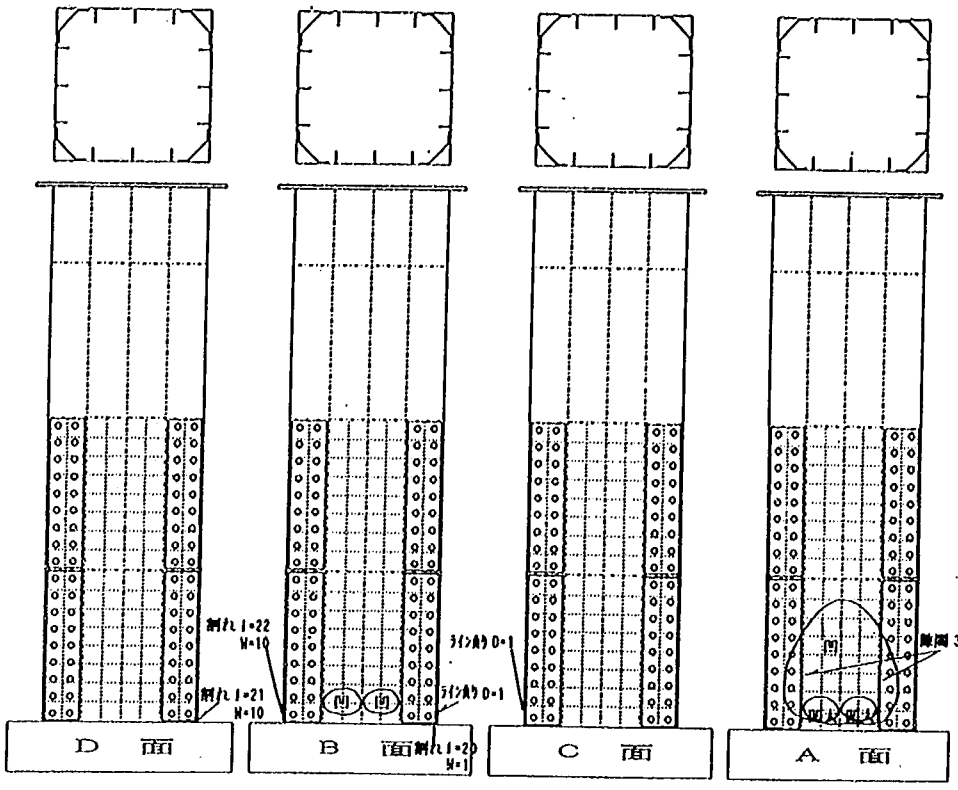
5δy（3回目）

目標変位　75.50mm
水平荷重　137.6ton

割れが若干伸びているが、パネルの変形等は5δy（2回目）と殆ど同じである。

(ii) 実験終了時付近（＋5δy；3回目）

図-3.1.11(12)　供試体の変形（No. 24）



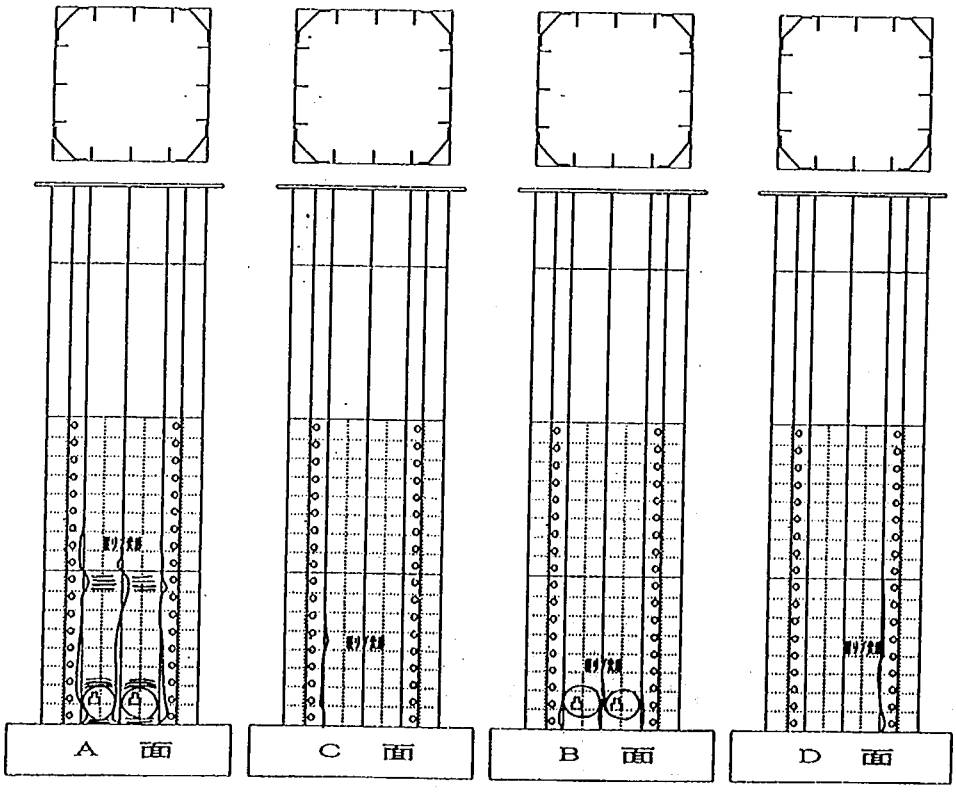

(a) 外面

6δy

目標変位　90.00mm
水平荷重　192.9ton

圧縮側A面第1パネルではパネル全体の凹みに伴い、添接板も中央寄りに傾き始めた。また、添接板と母材の隙間も広がっている。

引張側B面の変形は少し残り、B－C面角のラインは僅かに変形している。また、B－C、B－D角部の割れも伸びているが、添接板で隠れる為、確認できない。




(b) 内面

6δy

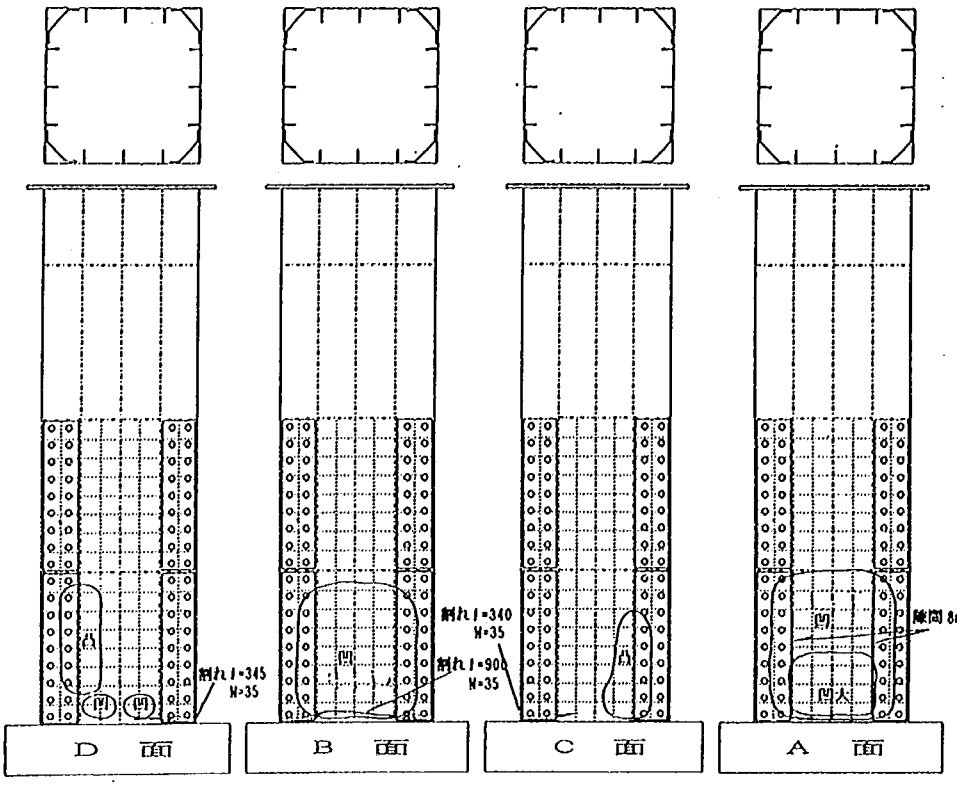
目標変位　90.00mm
水平荷重　192.9ton

圧縮側A面の縦リブ変形は大きくなり、基部付近のパネルも大きく膨らんでいる。また、1枚目のダイアフラムの下で黒皮のひび割れが認められる。

引張側B面ではパネルと縦リブの変形が僅かに残っている。

(i)　最大荷重を超えた点（＋6 $\delta_y$）

図-3.1.11(13)　供試体の変形（No. 25）




9 δ y

目標変位　135.00mm
水平荷重　57.1ton

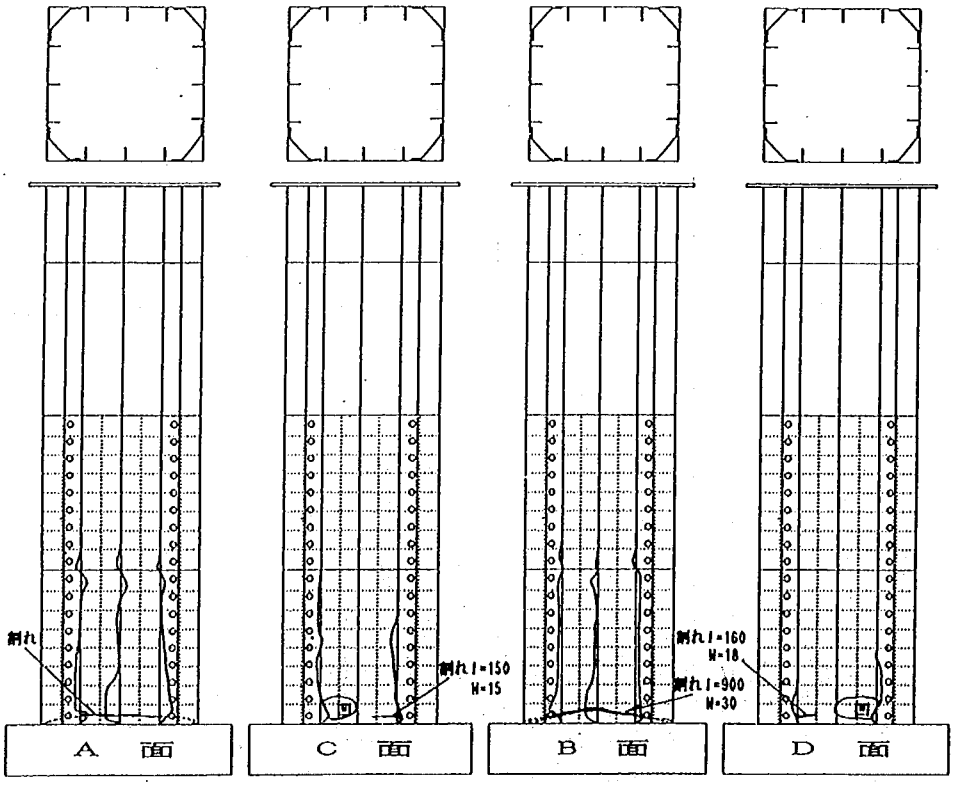
4面共、パネルの変形量が増えて、引張側B面基部の両角から発生した割れは繋がり、中央の縦リブだけを残している。

圧縮側A面の基部では添接板が基部プレートに接触している。

CD面の圧縮側でもA面同様の基部プレートと添接板の接触が認められる。

写真P 25-33 ～36参照

(a) 外面




9 δ y

目標変位　135.00mm
水平荷重　57.1ton

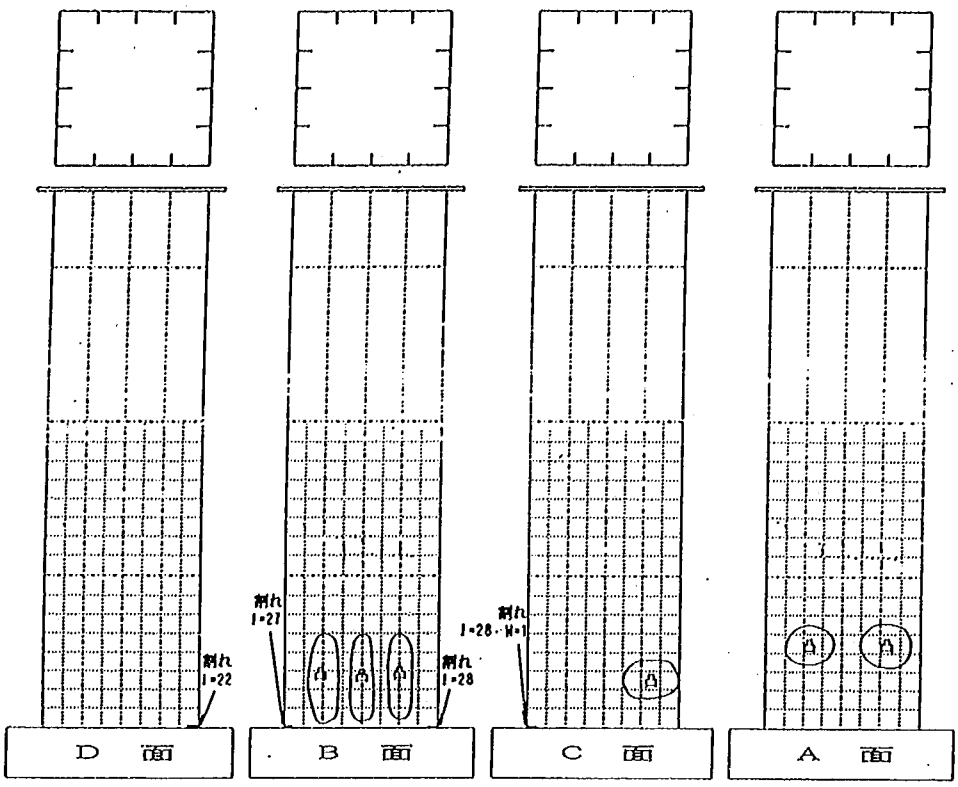
引張側B面では基部両端から発生した割れが伸びて、1本に繋がった。開口幅も広く、両側の縦リブは破断し、中央の1本を残すのみとなった。

CD面引張側基部付近でも角部で発生した割れが伸び、引張側の縦リブは破断した。

(b) 内面

(ii) 実験終了時付近（＋9 $\delta_y$）

図-3.1.11(13) 供試体の変形（No. 25）

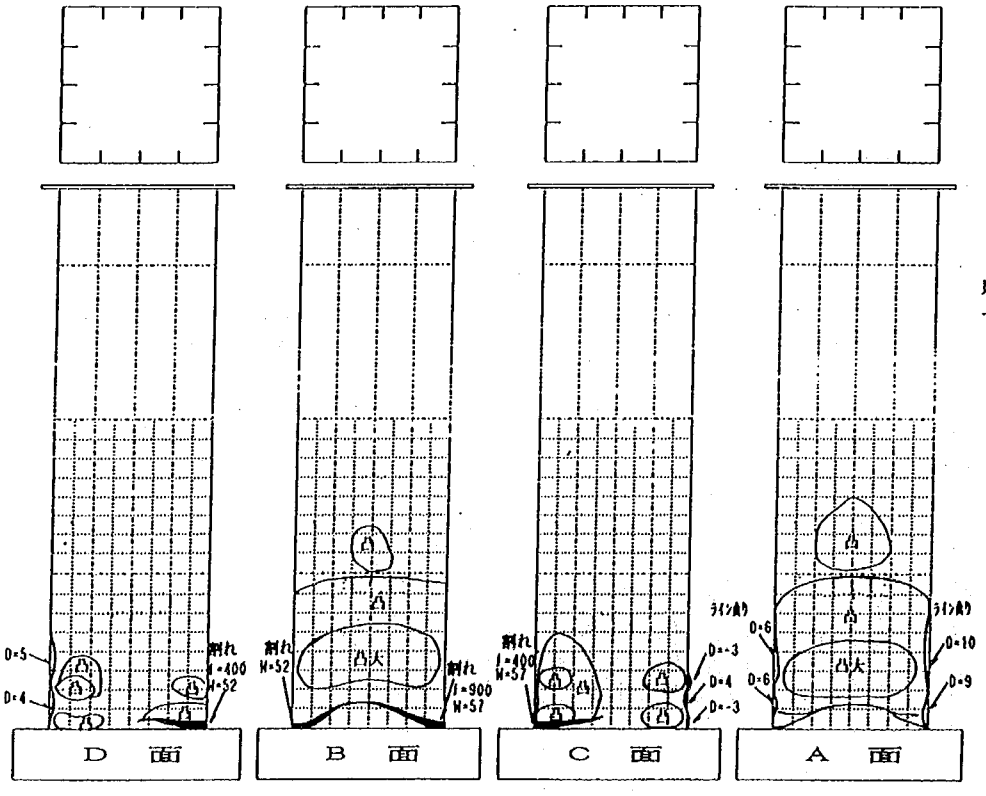



6 δ y

目標変位　90.00mm
水平荷重　191.3ton

圧縮側A面第1パネル中央付近の縦リブ位置で僅かに膨らみが認められる。
引張側B面第1パネルでも基部から中段付近で縦リブ位置が僅かに膨らんでいる。
C面第1パネル圧縮側でも僅かに膨らみが認められる。
引張側基部付近の両角部の割れは僅かに伸びている。

(i) 最大荷重を超えた点（＋6 δ$_y$）



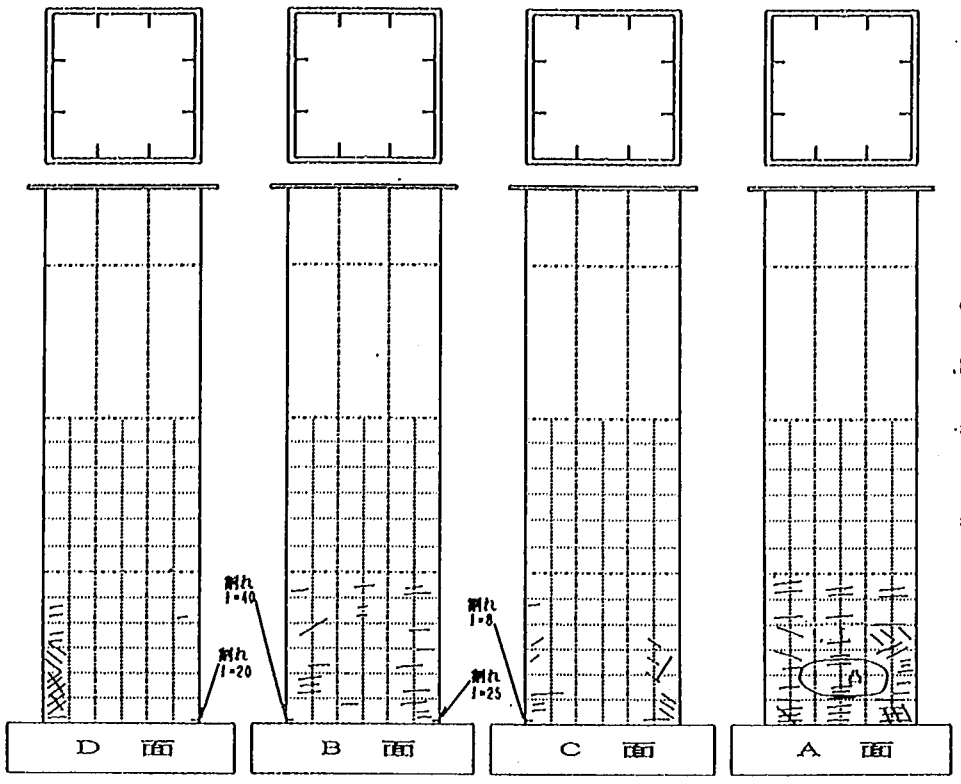

1 2 δ y

目標変位　180.00mm
水平荷重　33.6ton

引張側B面の割れが繋がった以外は11 δ y時と同様の変形である。

(ii) 実験終了時付近（＋12 δ$_y$）

図-3.1.11(14)　供試体の変形（No. 26）（外面）




5 δ y

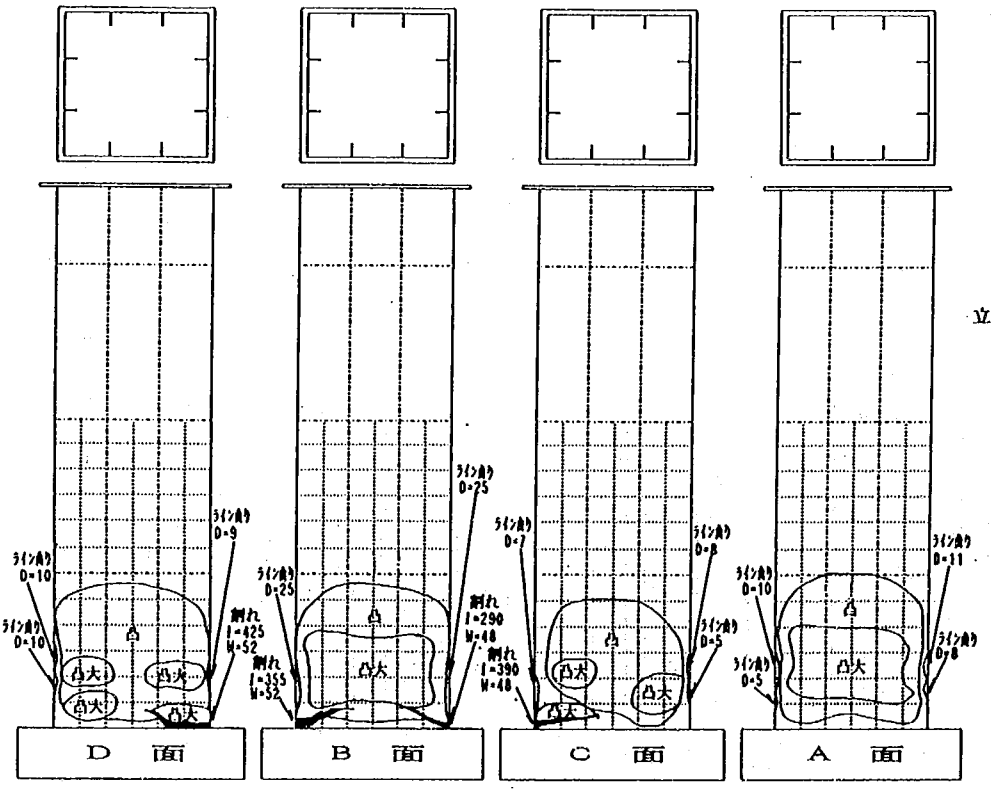
目標変位　70.00mm
水平荷重　211.7ton

圧縮側A面第1パネルの黒皮のひび割れは基部付近で密になり、パネル中央付近で膨らみが認められる。

引張側B面の変形は戻ったが、基部の両端角部で割れが発生した。

CD面引張側基部で割れが発生した。

(i) 最大荷重を超えた点（＋5 δ y）



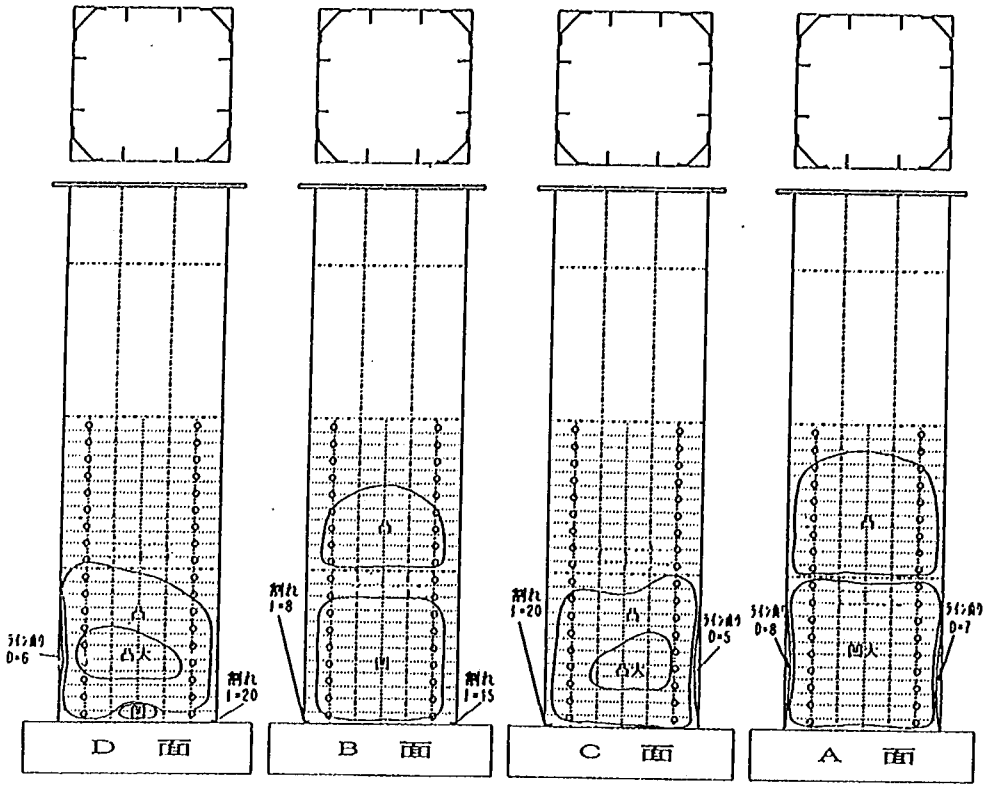

13 δ y

目標変位　182.00mm
水平荷重　74.3ton

変形量が増えているが特に目立った変化はない。

(ii) 実験終了時付近（＋13 δ y）

図-3.1.11(15)　供試体の変形（No. 27）（外面）

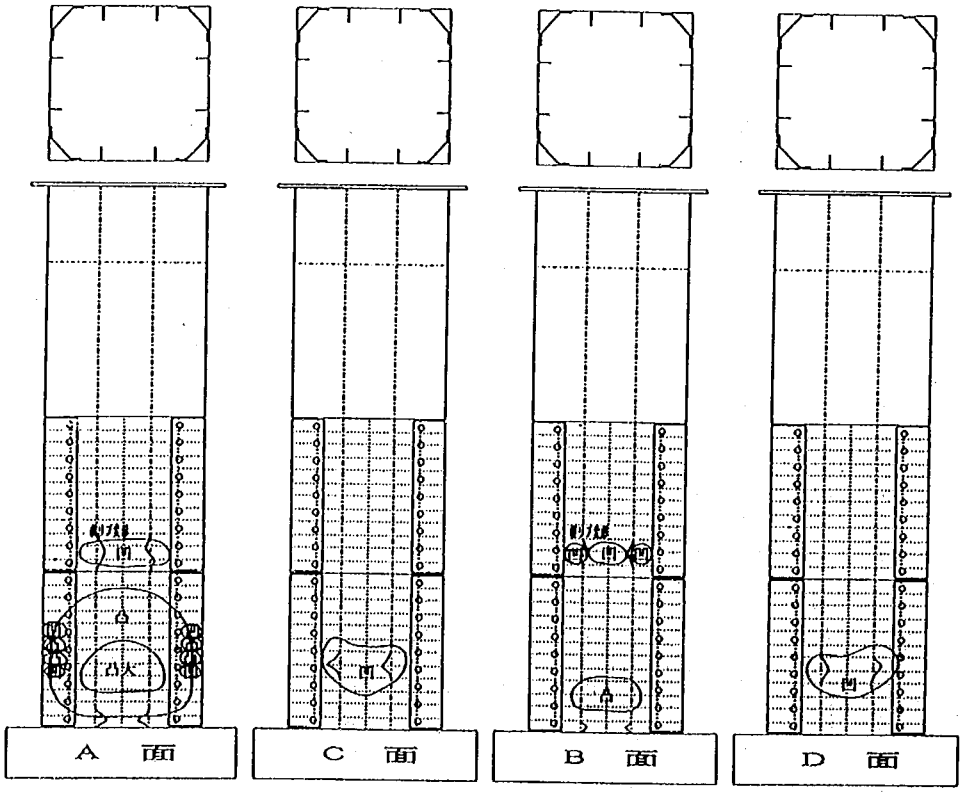



5 δ y

目標変位　80.00mm
水平荷重　112.0ton

圧縮側A面第1パネルではパネルの変形に伴って角部のラインも曲り始めた。
引張側B面では第2パネルの変形を広く残している。
引張側基部両端の割れは伸びていない。

(a) 外面




5 δ y

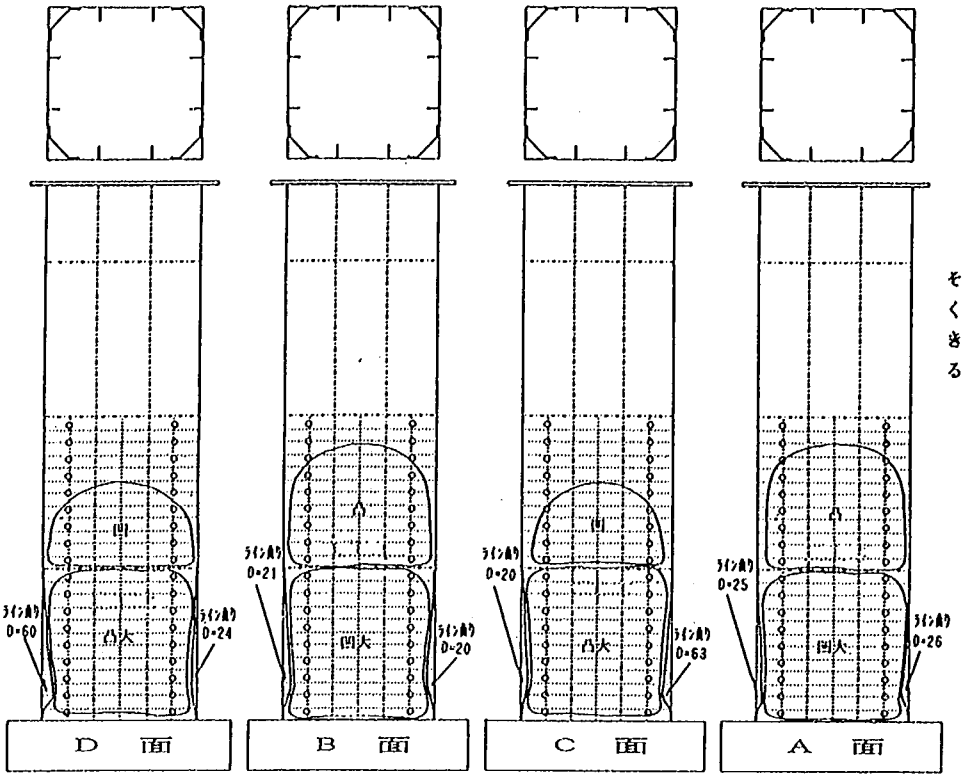
目標変位　80.00mm
水平荷重　112.0ton

圧縮側A面第1パネルの膨らみは大きくなり、パネル変形に伴い、縦リブの外側への曲がりがなくなって、基部付近の変形のみとなった。また、角補強材はパネルが大きく変形している辺りで細かい凹凸が認められる。
引張側B面第2パネルの縦リブ変形とパネルの変形が残るようになった。
CD面では第1パネル中段付近で広く凹みが認められるようになった。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋5 $\delta_y$）

図-3.1.11(16)　供試体の変形（No. 28）

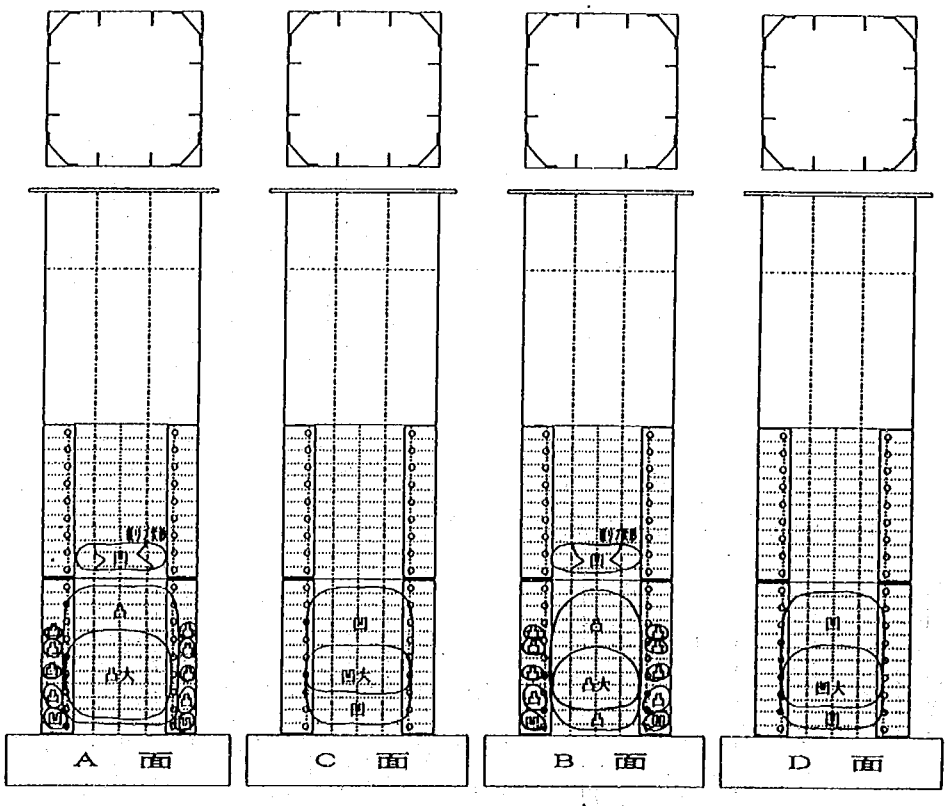



7δy

目標変位　112.00mm
水平荷重　26.9ton

圧縮側A面はパネル変形と、それに伴うラインの変形が大きく、CD面圧縮側でも角部が大きく絞り込まれている状態である。

(a) 外面




7δy

目標変位　112.00mm
水平荷重　26.9ton

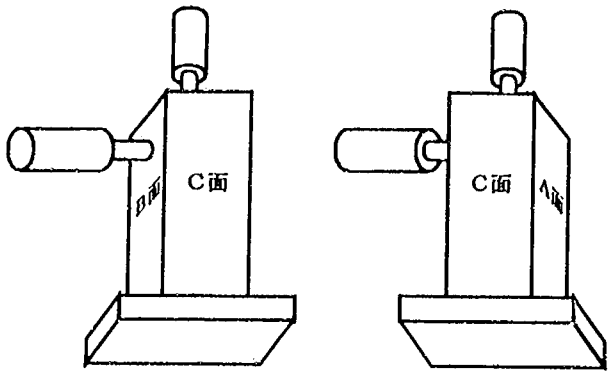
全体には同じような変形を繰り返しているが、圧縮、引張側共に角補強材はパネルと同じように大きく膨らんでいる。

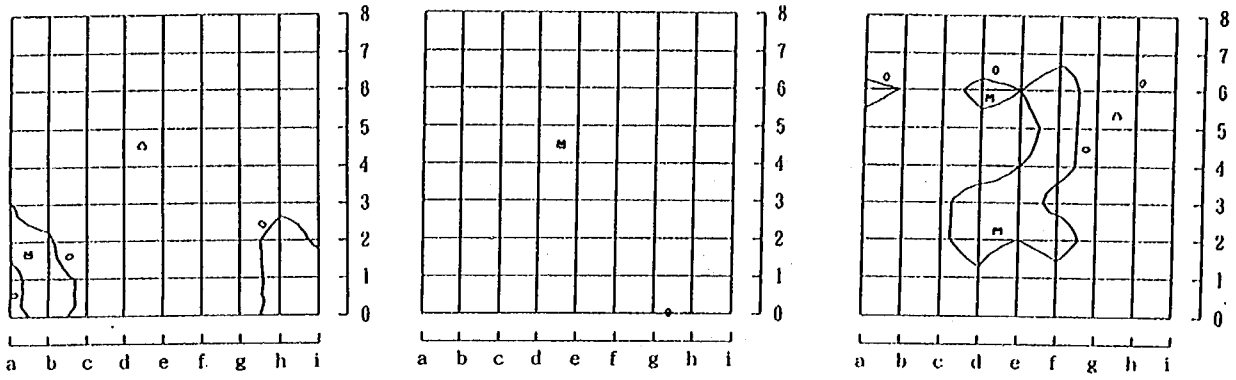
CD面では基部から3段目のボルト穴が圧縮側を中心に周方向に引き伸ばされている。

(b) 内面

(ii) 実験終了時付近（＋7δy）

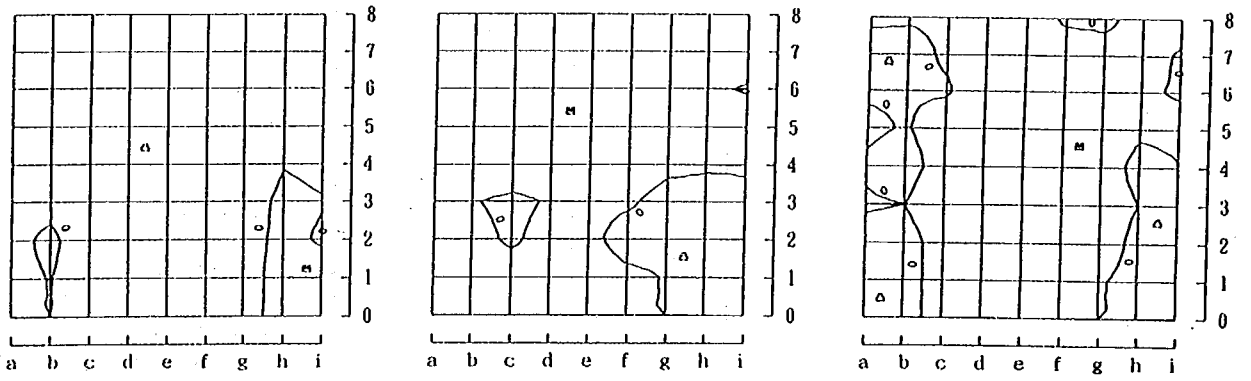
図-3.1.11(16) 供試体の変形（No. 28）



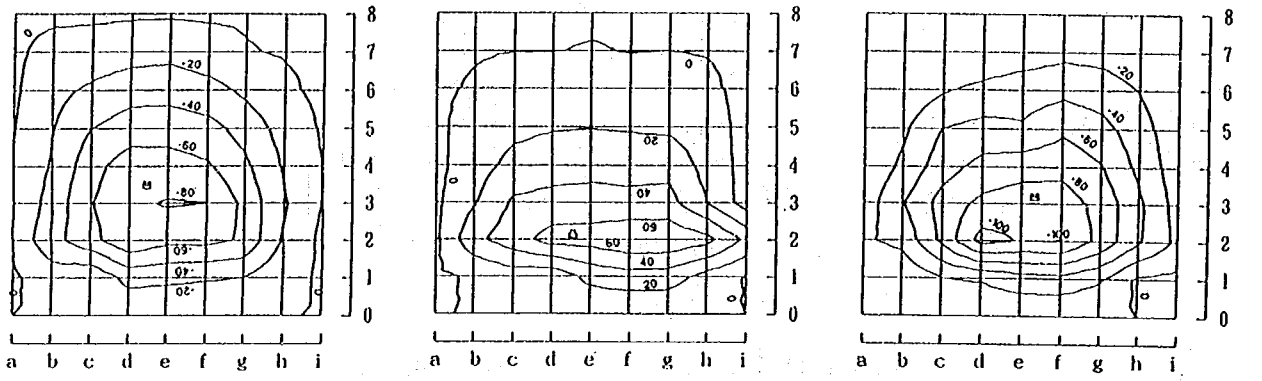

(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

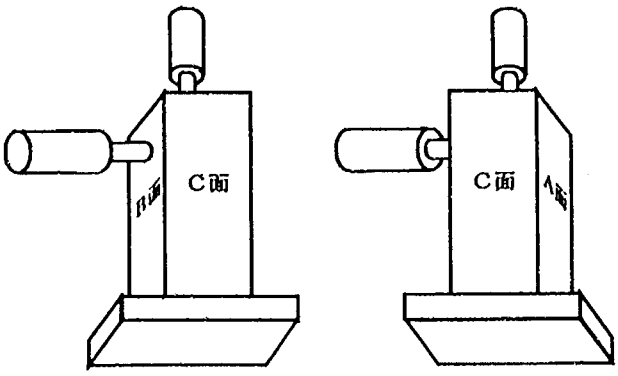
(ii) 最大荷重を超えた点(+4 $\delta_y$)

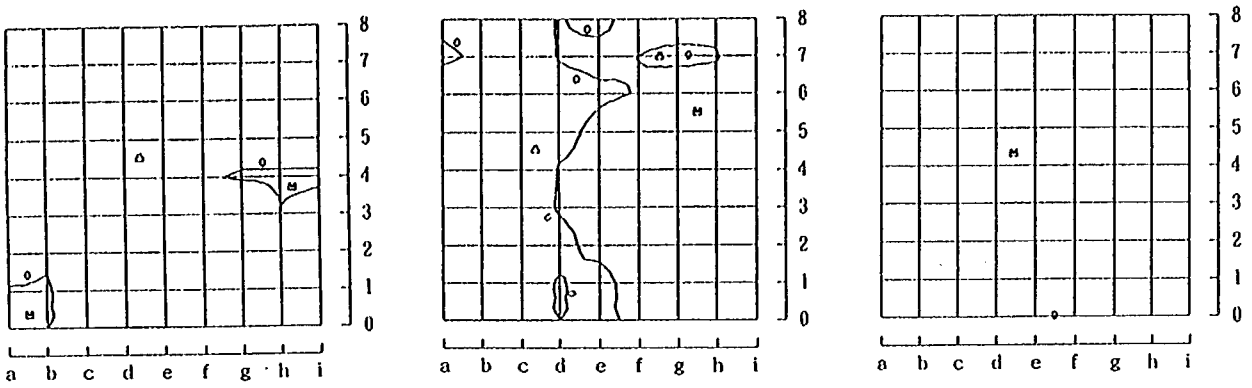



(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+8 $\delta_y$)

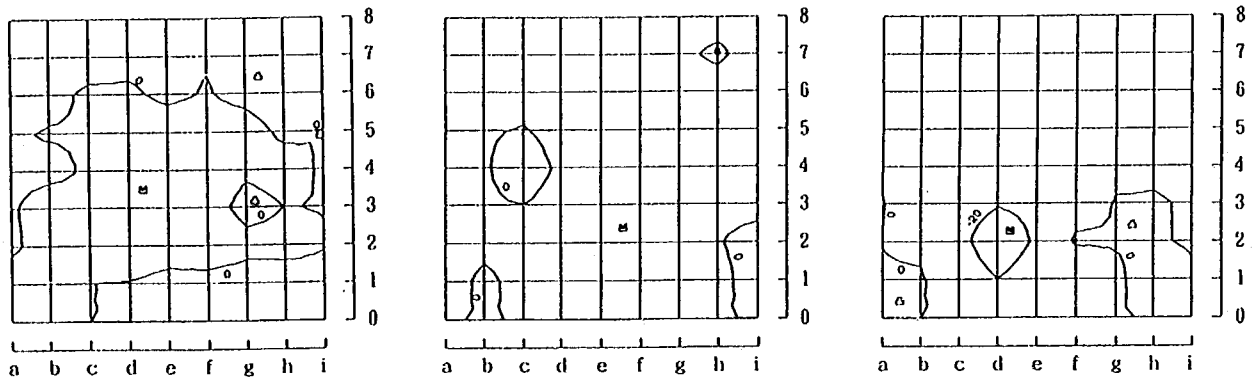
図-3.1.12(1)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.10）



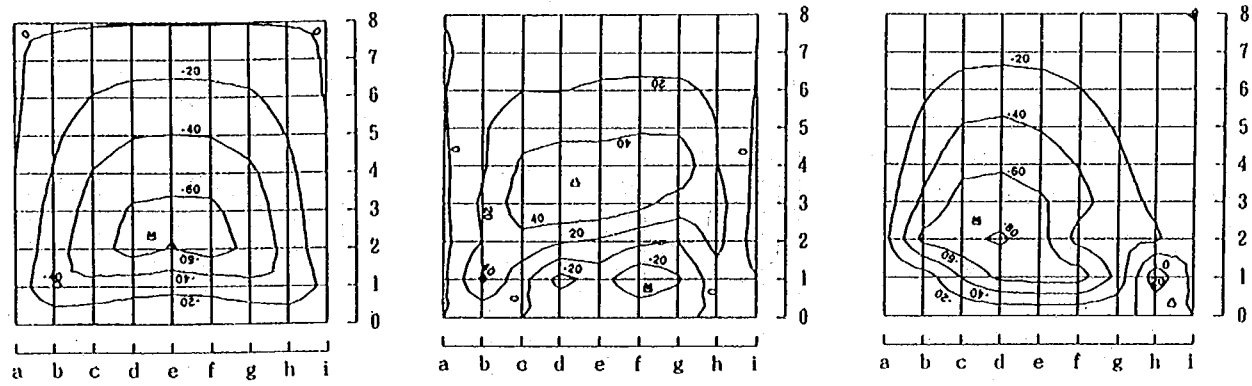

(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

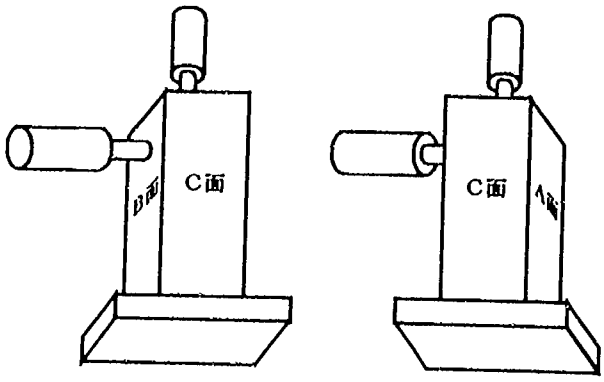
(ii) 最大荷重を超えた点(+5 $\delta_y$)

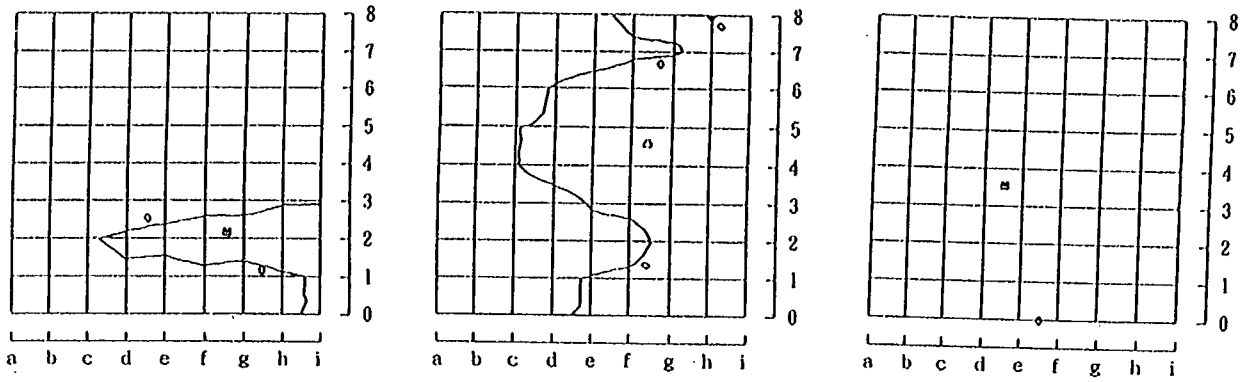



(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+9 $\delta_y$)

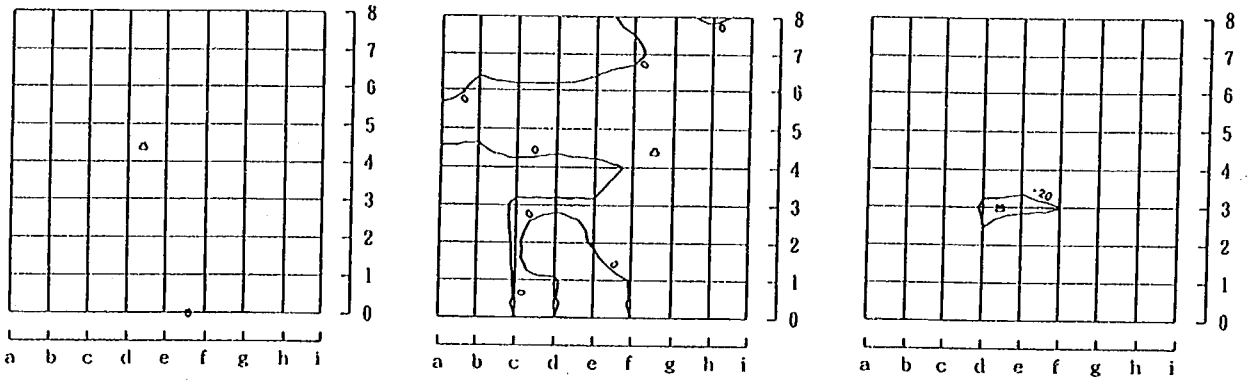
図-3.1.12(2)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.11）



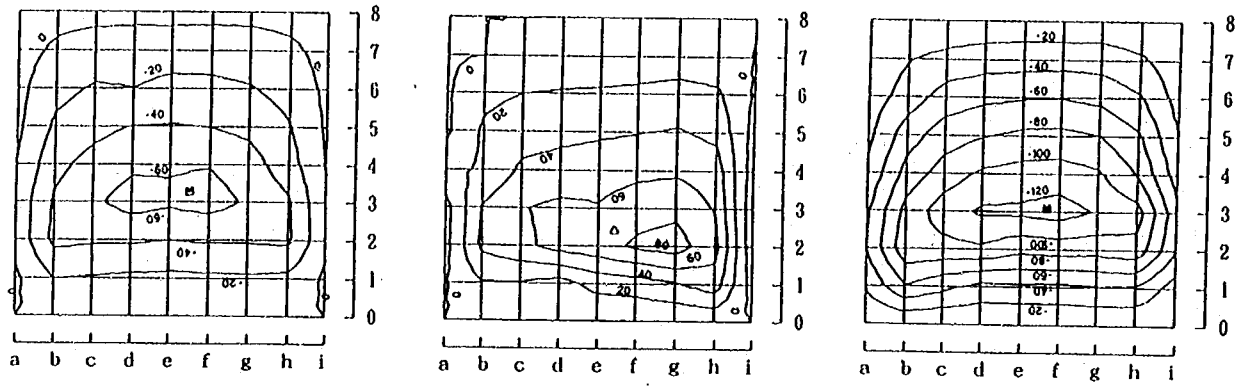

(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

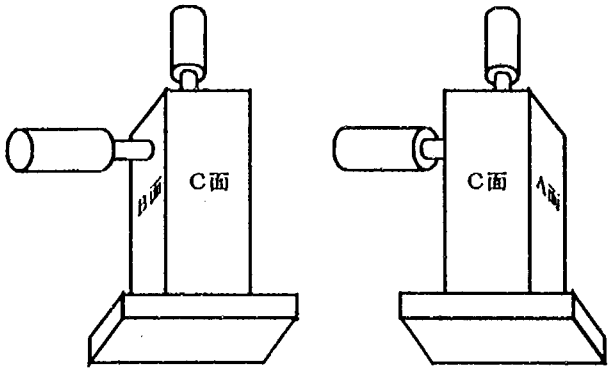
(ii) 最大荷重を超えた点(+4 $\delta_y$)

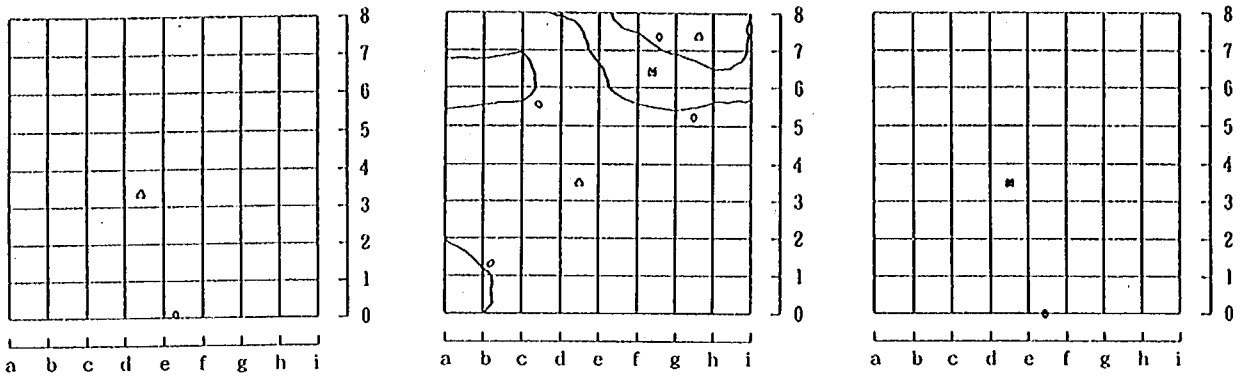



(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+7 $\delta_y$)

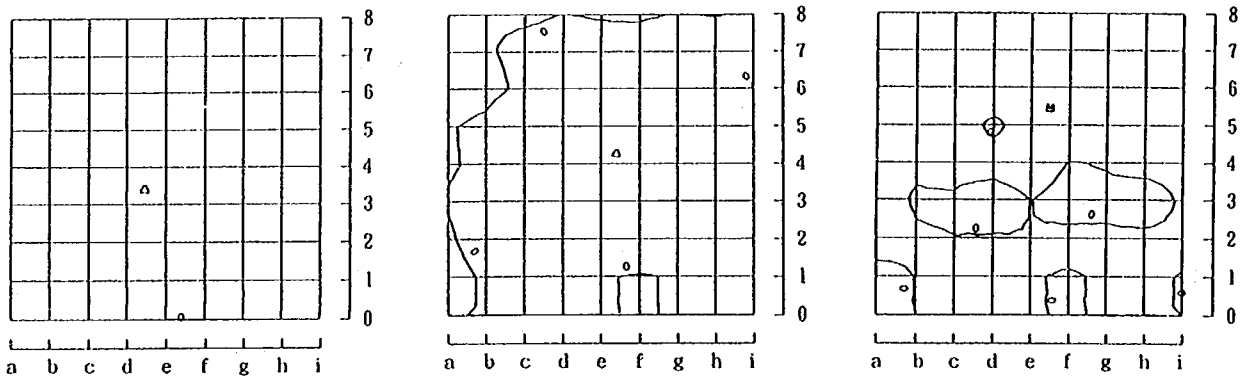
図-3.1.12(3)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.12）



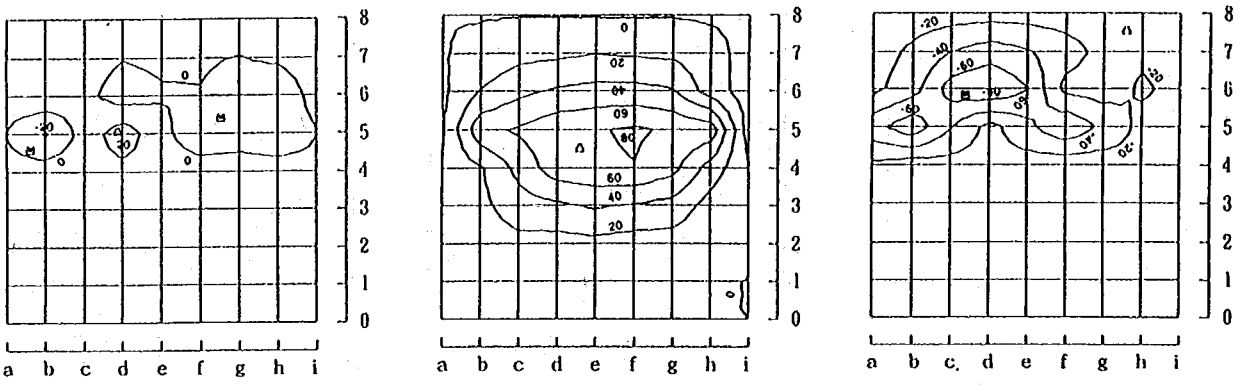

(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

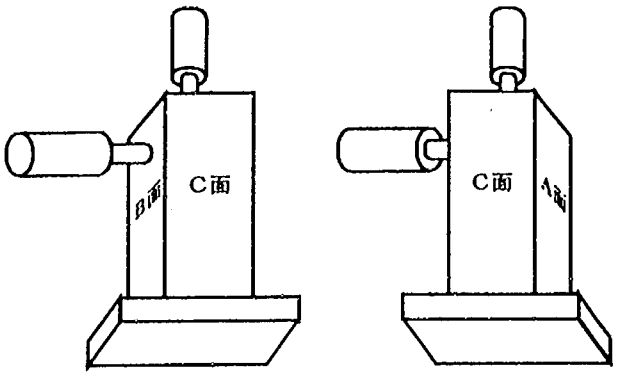
(ii) 最大荷重を超えた点(+5 $\delta_y$)

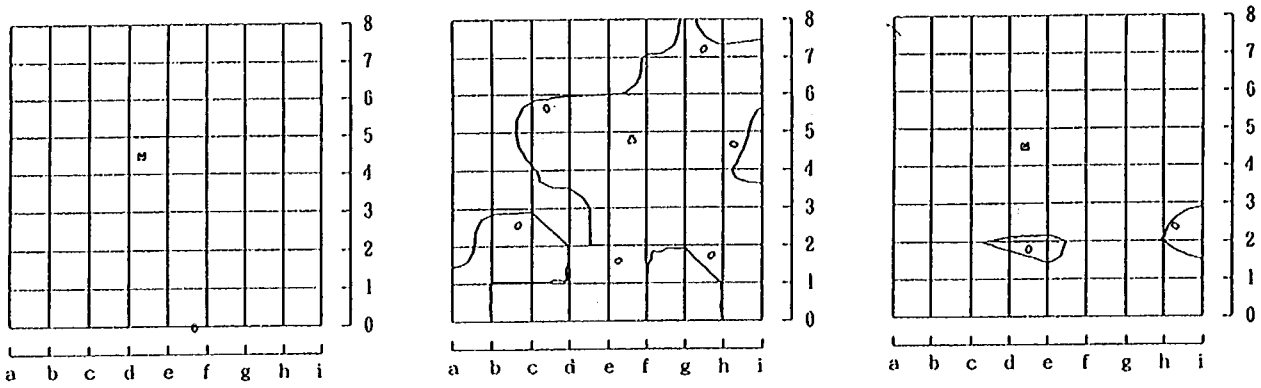



(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+7 $\delta_y$)

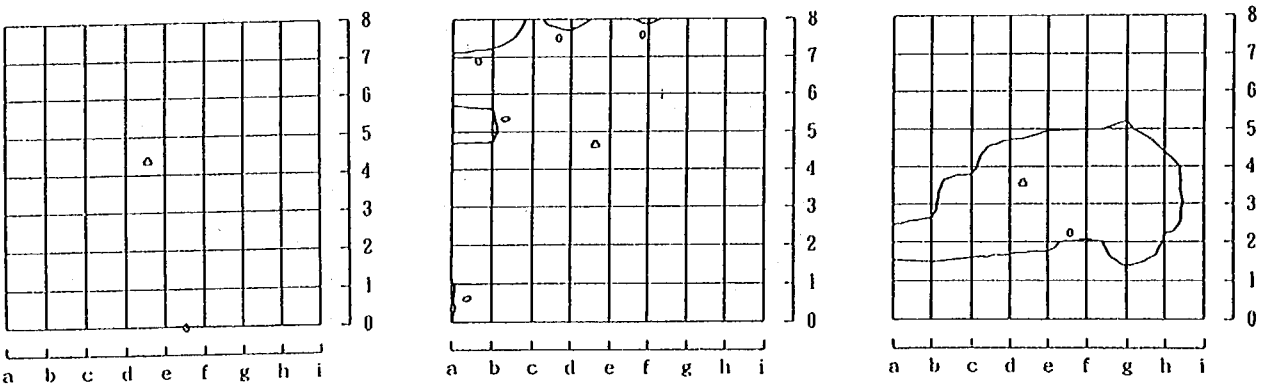
図-3.1.12(4)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.13）



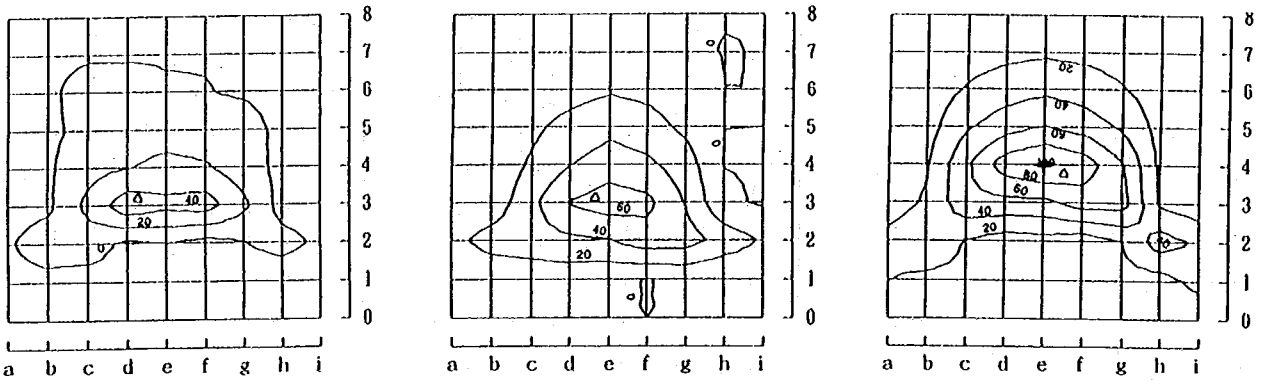

(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

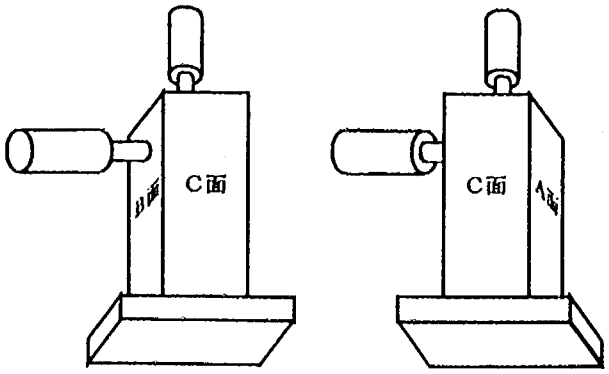
(ii) 最大荷重を超えた点(+6 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+9 $\delta_y$)

図-3.1.12(5)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.14）



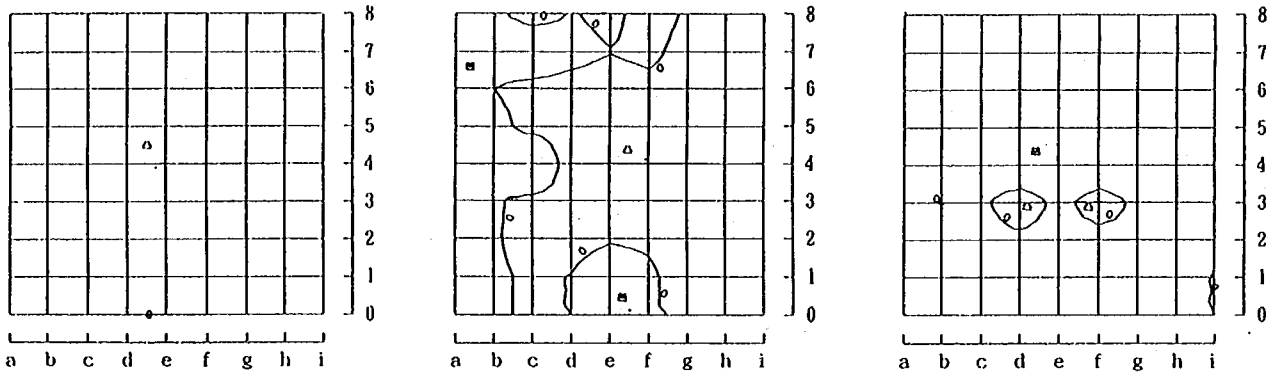

変位が生じていないため未計測

変位が生じていないため未計測

変位が生じていないため未計測

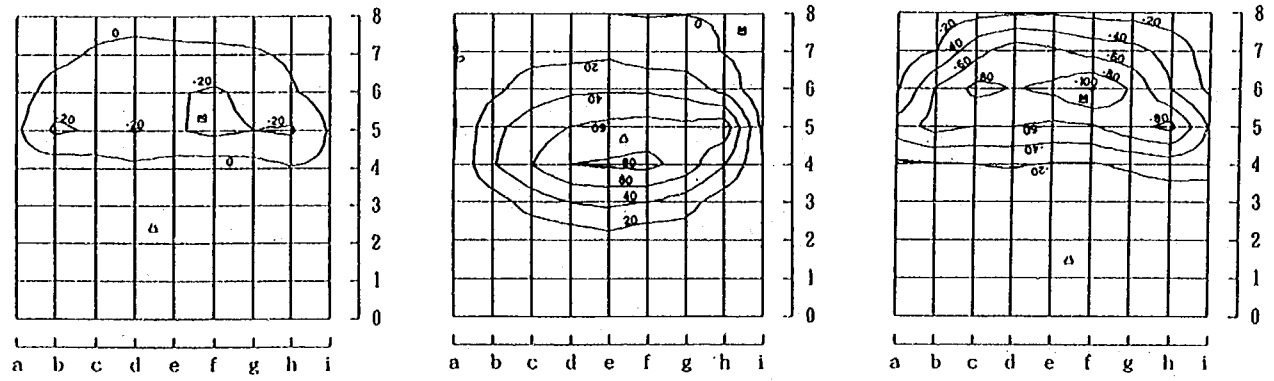
(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 δ y)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

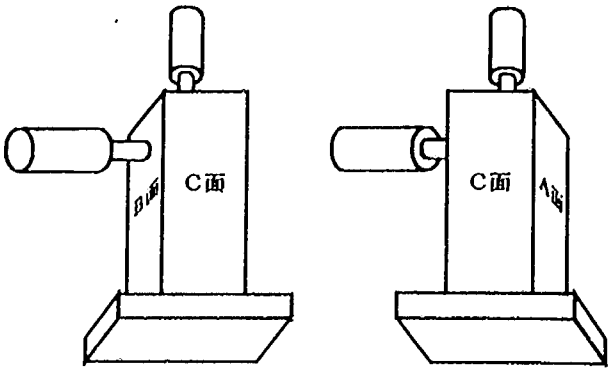
(ii) 最大荷重を超えた点(+4 δ y)

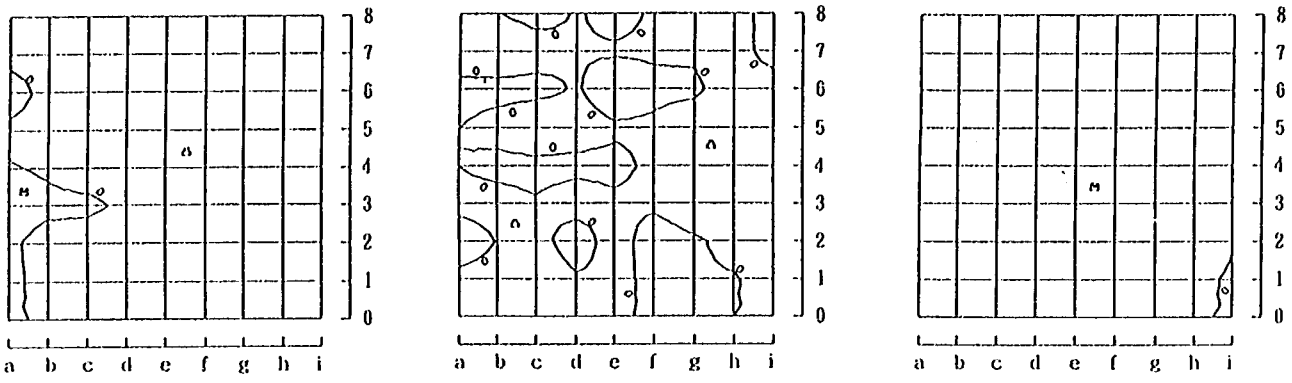



(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+7 δ y)

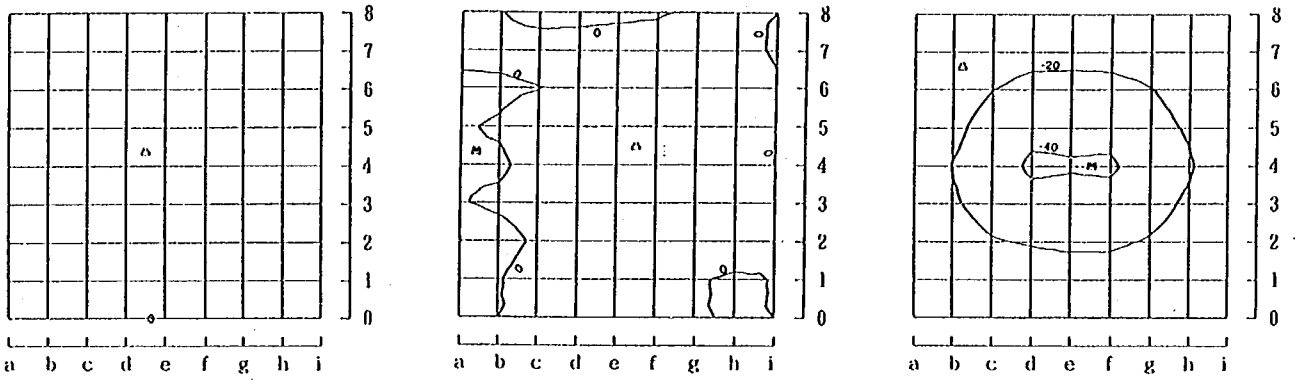
**図-3.1.12(6)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.17）**



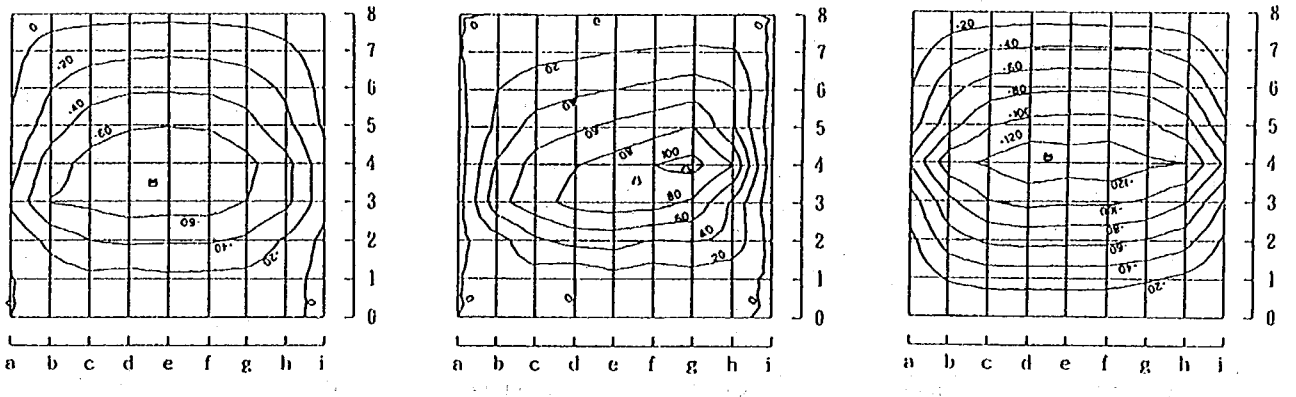
(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 δ y)



(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

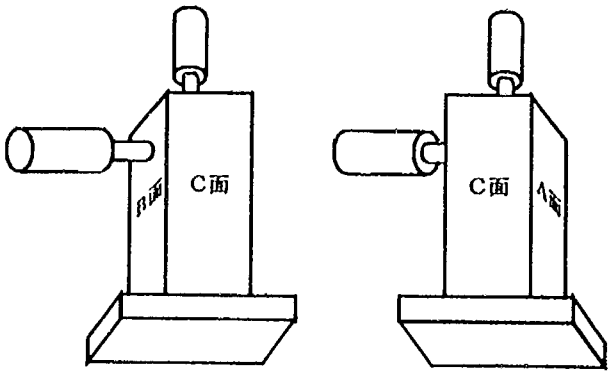
(ii) 最大荷重を超えた点(+4 δ y)



(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+6 δ y)

図-3.1.12(7)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.18）



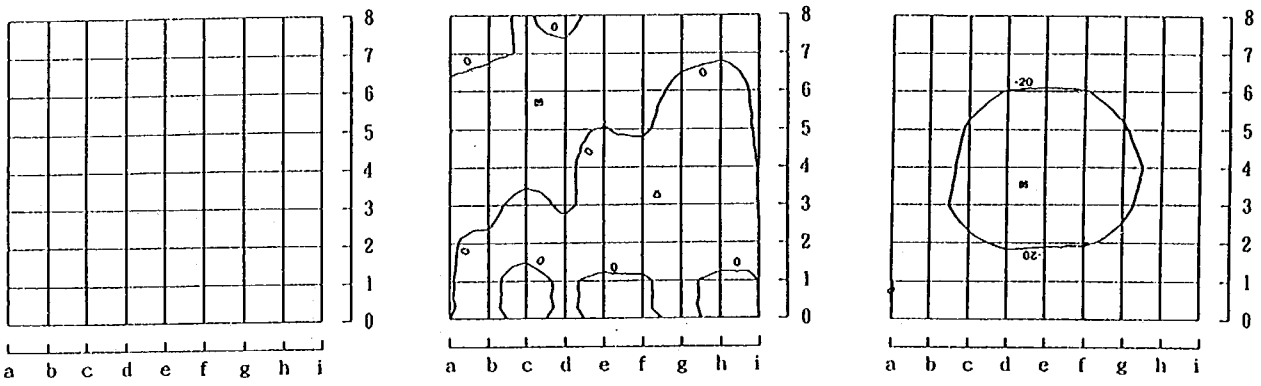

変位が生じていないため未計測

変位が生じていないため未計測

変位が生じていないため未計測

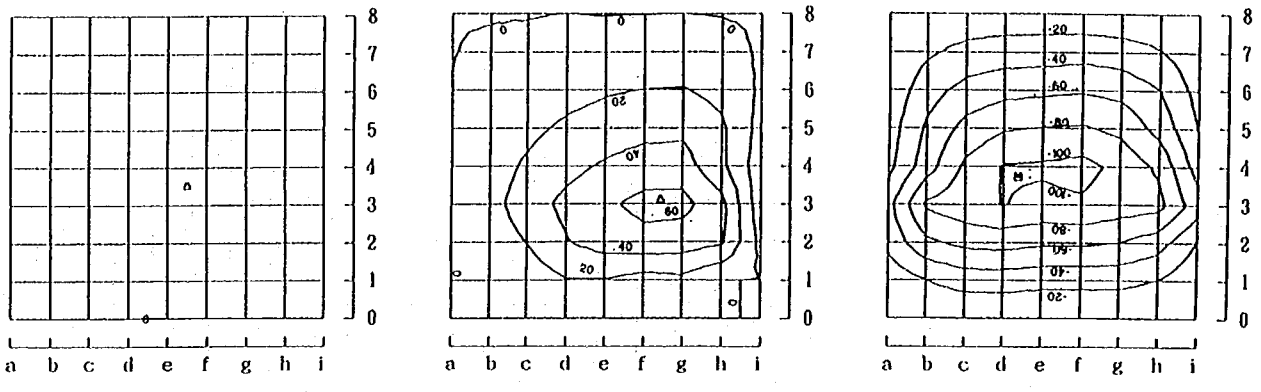
(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

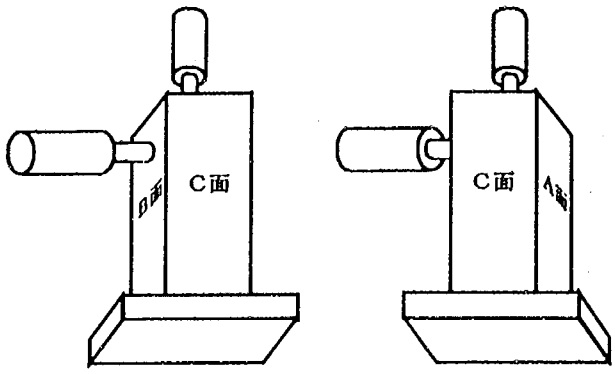
(ii) 最大荷重を超えた点(+4 $\delta_y$)

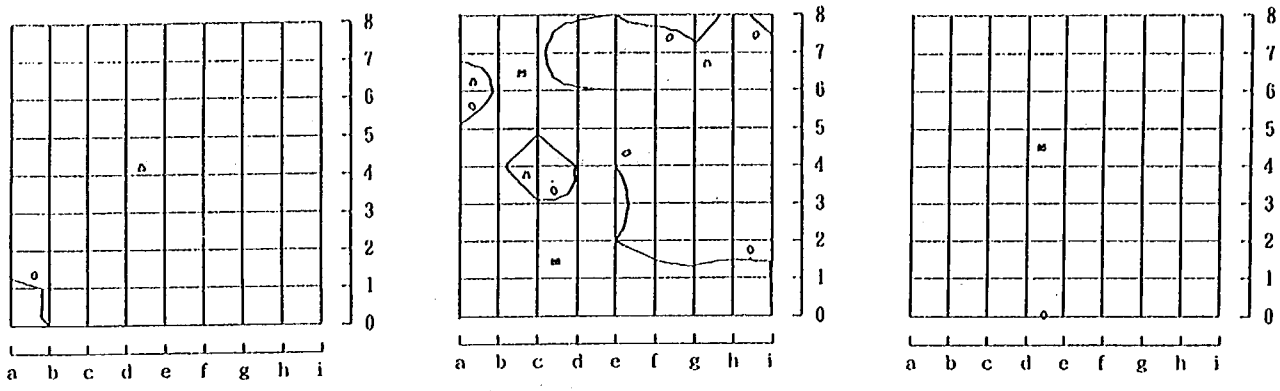



(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+8 $\delta_y$)

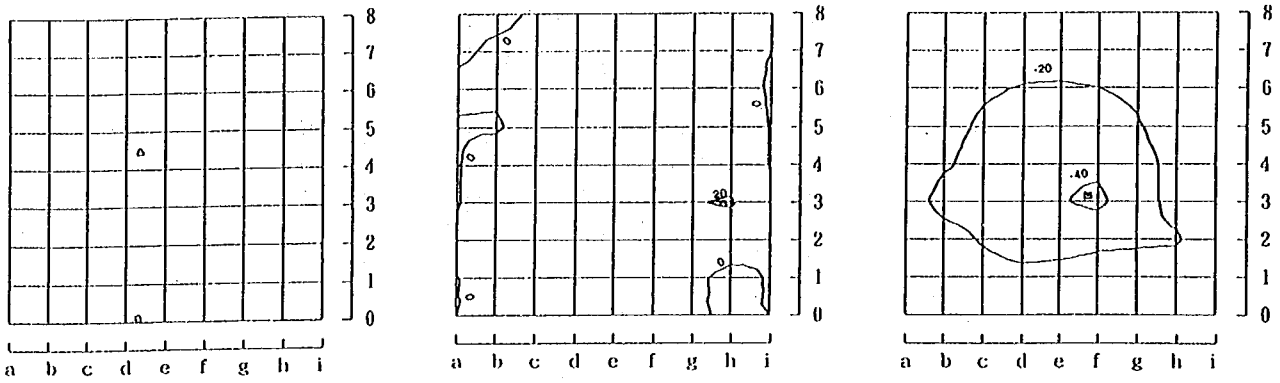
図-3.1.12(8)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.19）



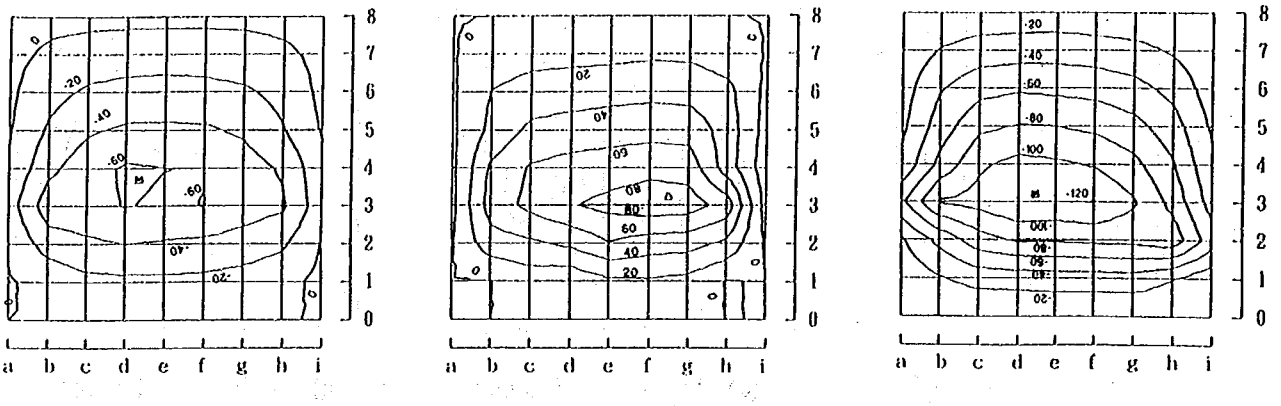
(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)



(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

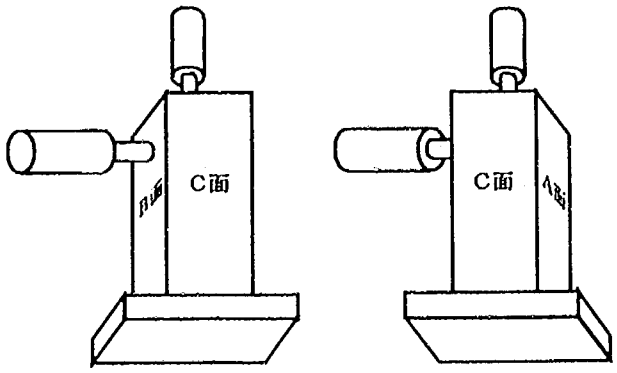
(ii) 最大荷重を超えた点(+4 $\delta_y$)

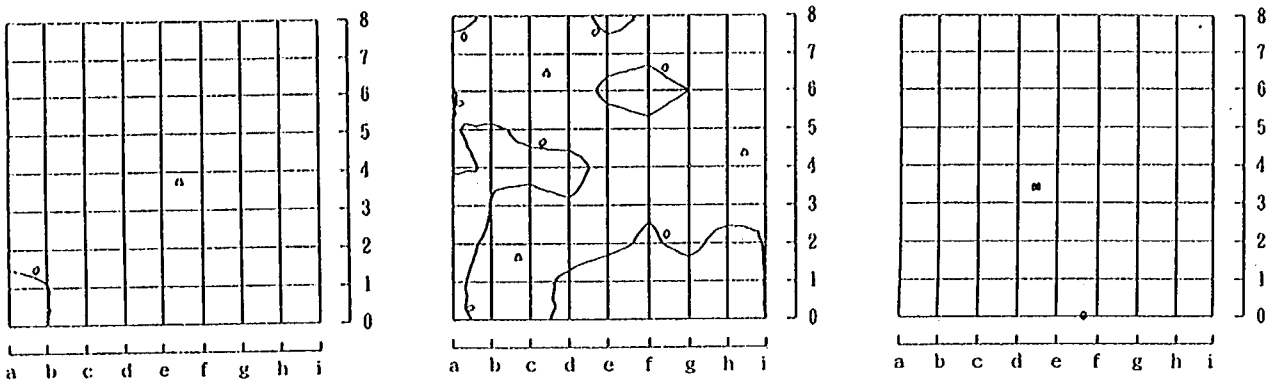


(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+6 $\delta_y$)

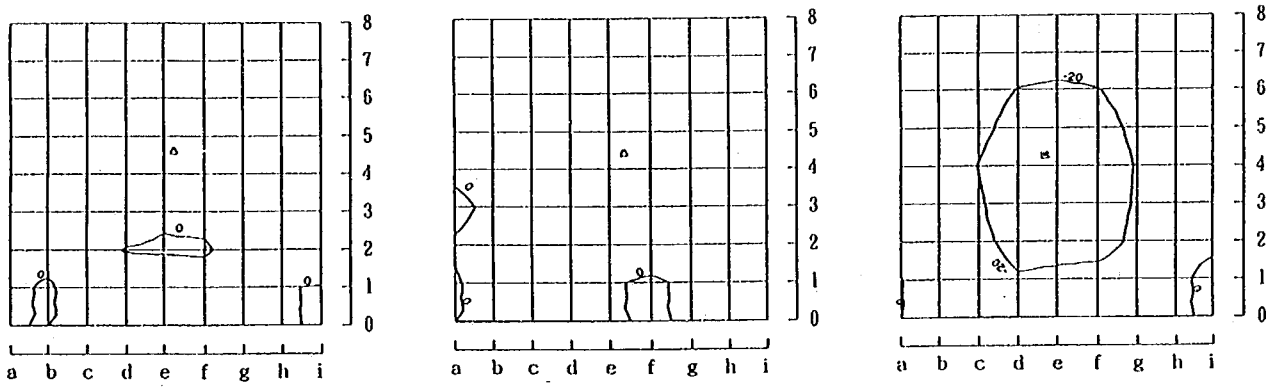
図-3.1.12(9)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.20）



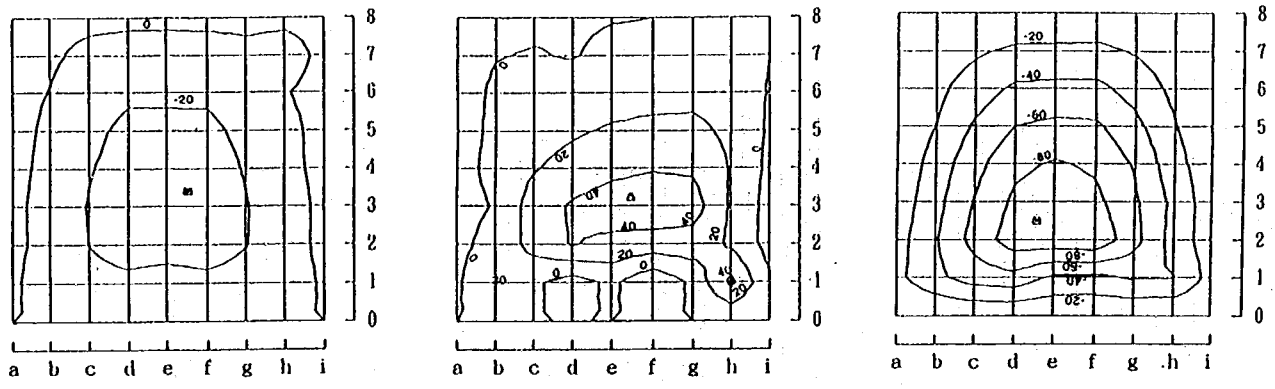
(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)



(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

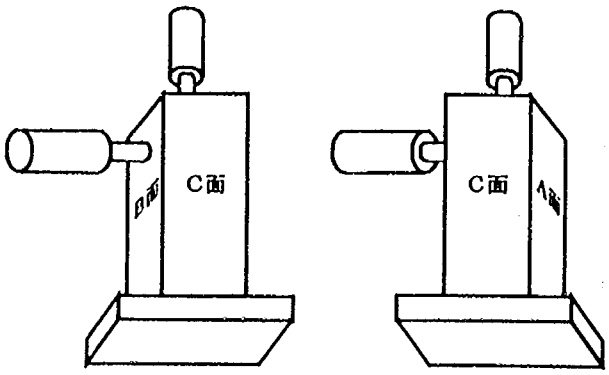
(ii) 最大荷重を超えた点(+5 $\delta_y$)

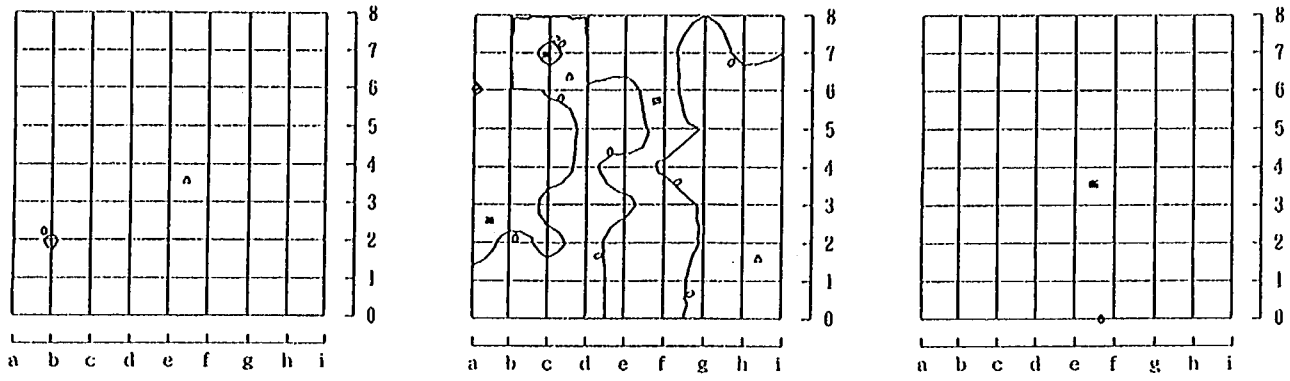


(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+9 $\delta_y$)

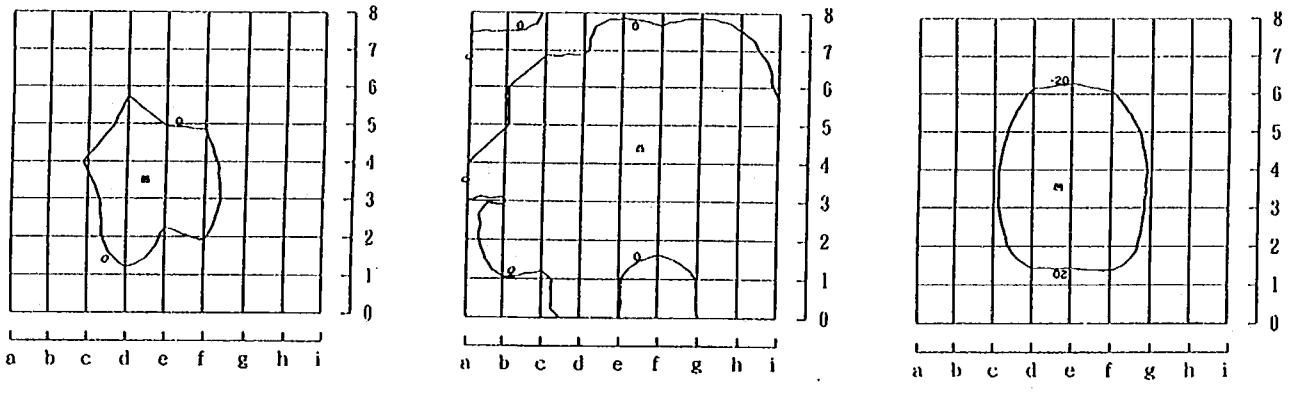
図-3.1.12(10)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.22）



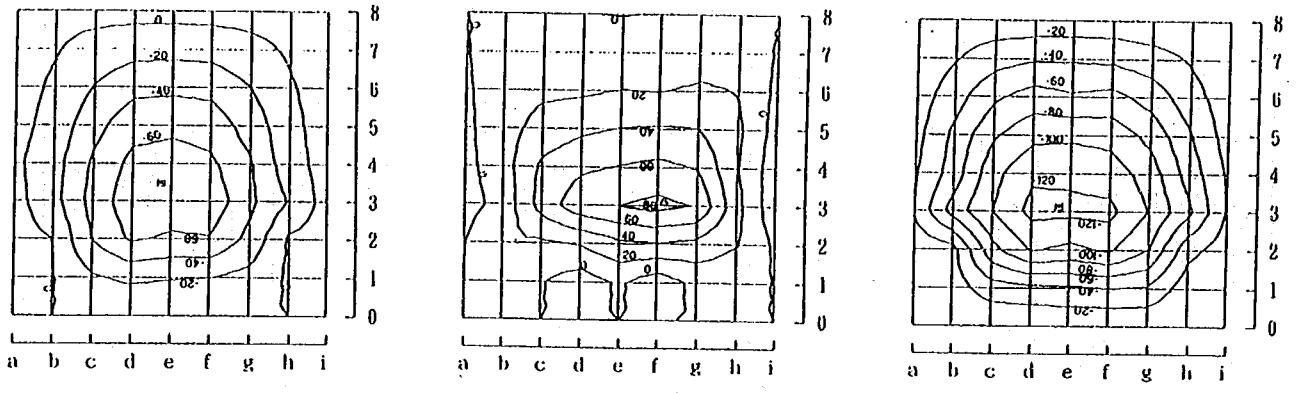

(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

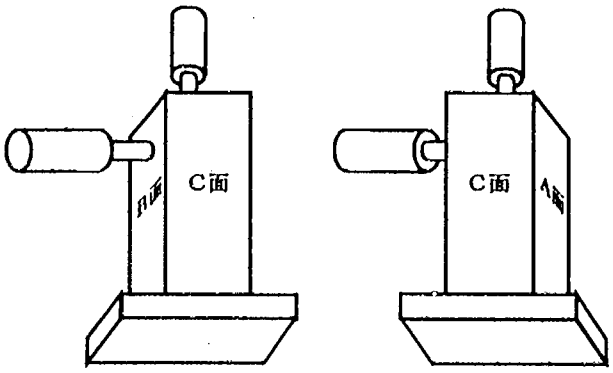
(ii) 最大荷重を超えた点(+5 $\delta_y$)

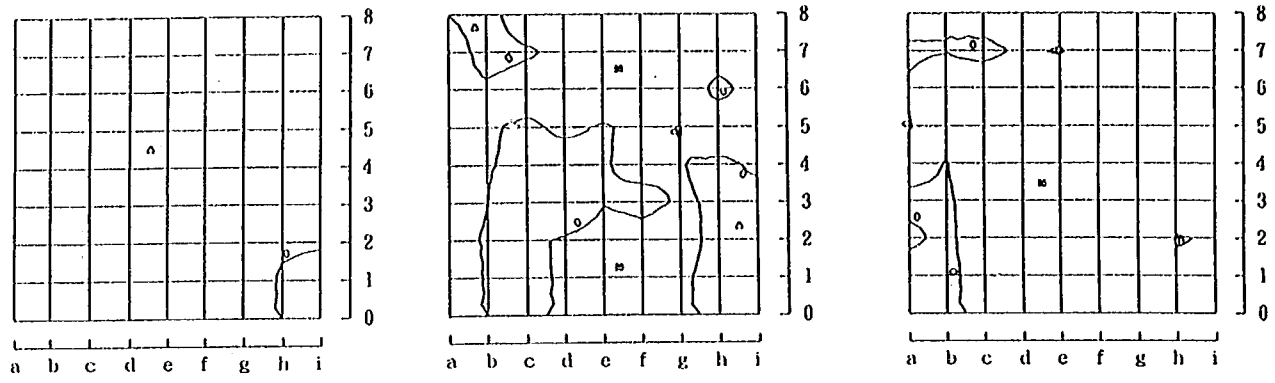



(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+8 $\delta_y$)

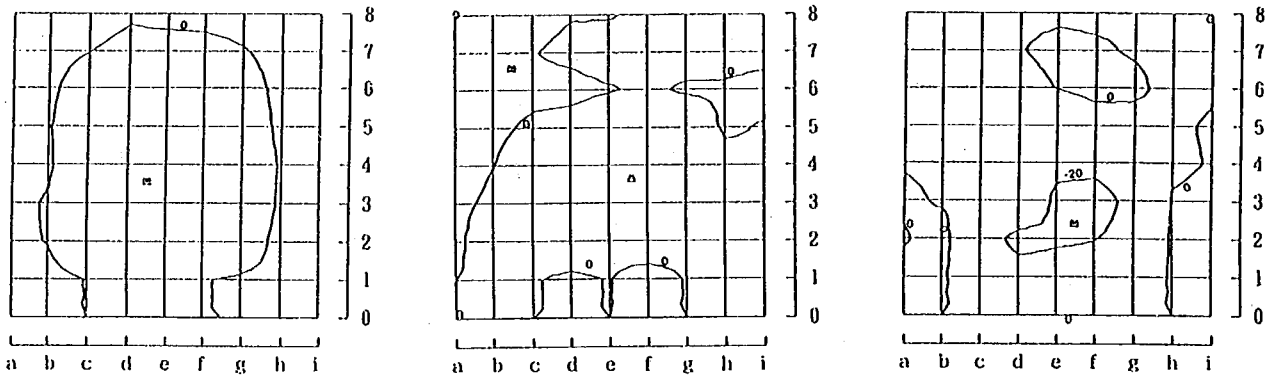
図-3.1.12(11)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.23）



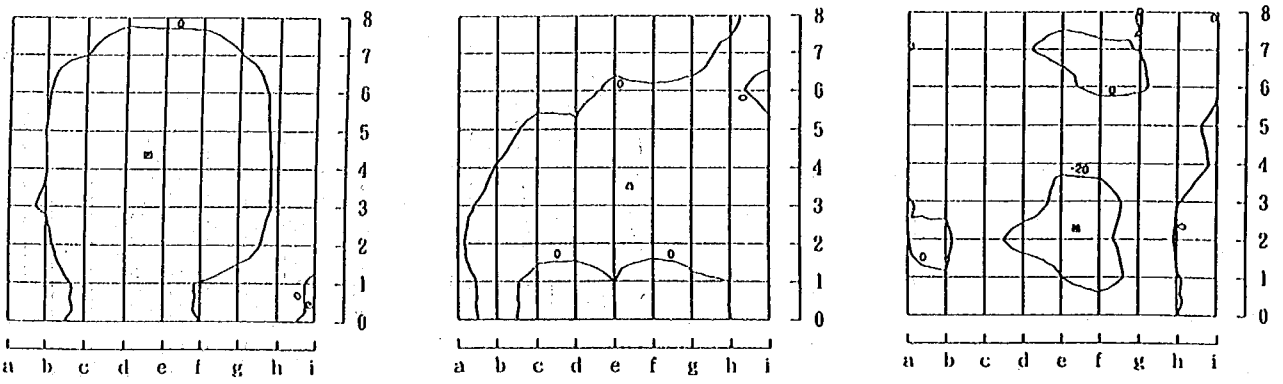

(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 δ y)




(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

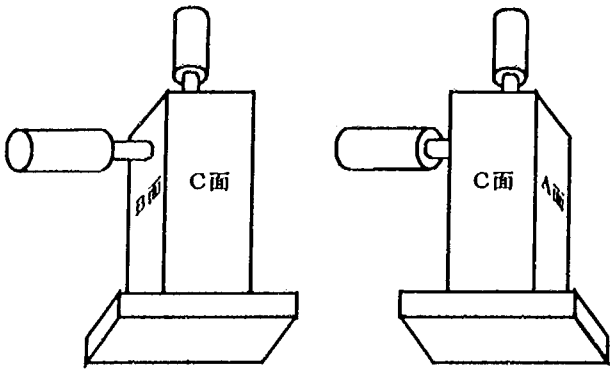
(ii) 最大荷重を超えた点(+5 δ y)

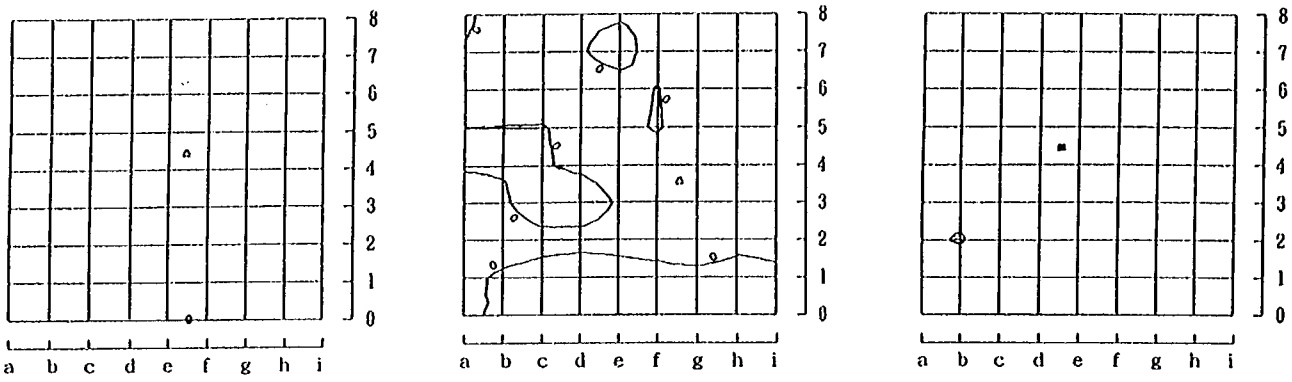



(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+6 δ y)

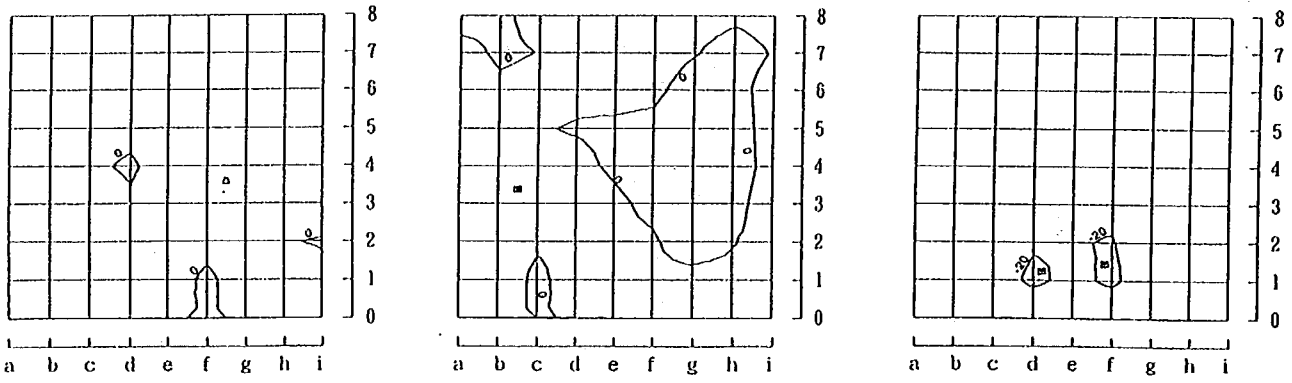
図-3.1.12(12)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.24）



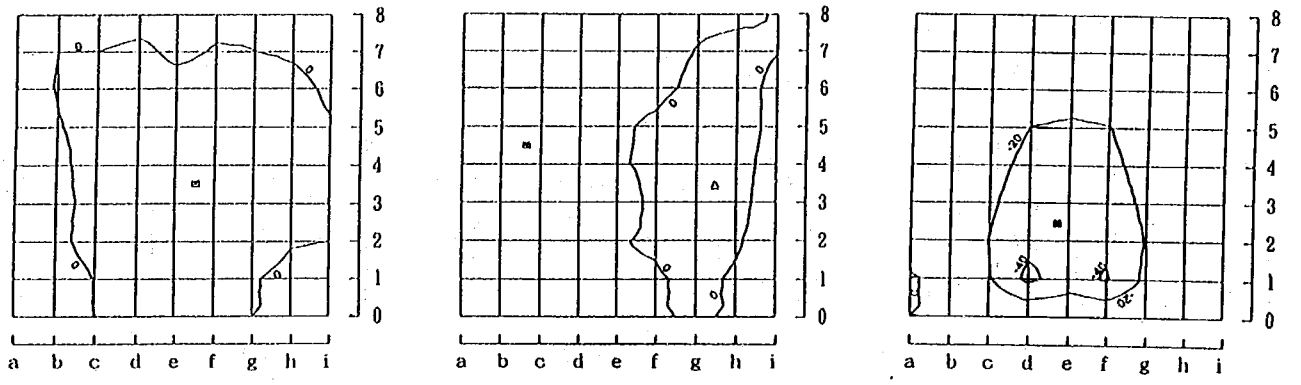

(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

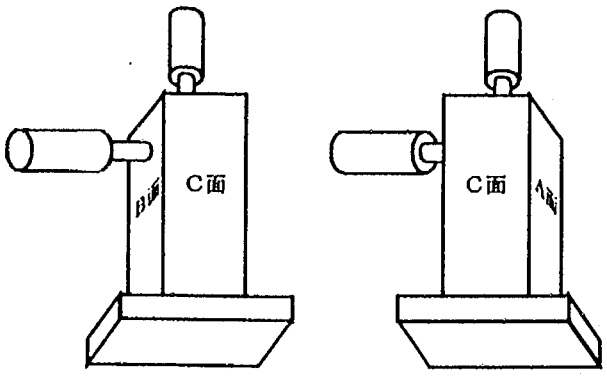
(ii) 最大荷重を超えた点(+6 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+8 $\delta_y$)

図-3.1.12(13)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.25）



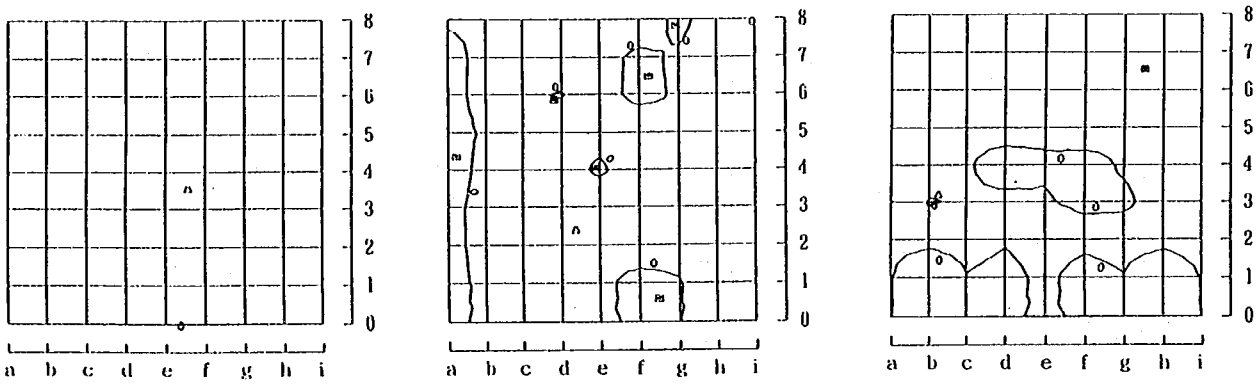

変位が生じていないため未計測

変位が生じていないため未計測

変位が生じていないため未計測

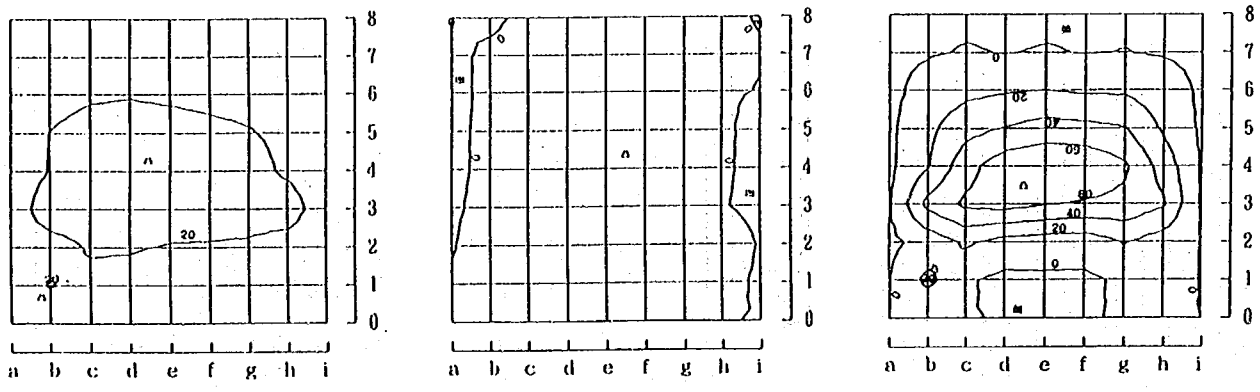
(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

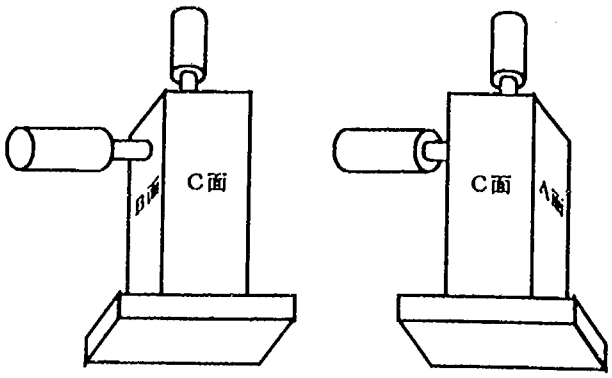
(ii) 最大荷重を超えた点(+6 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(iii) 実験終了時付近(+11 $\delta_y$)

**図-3.1.12(14)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.26）**



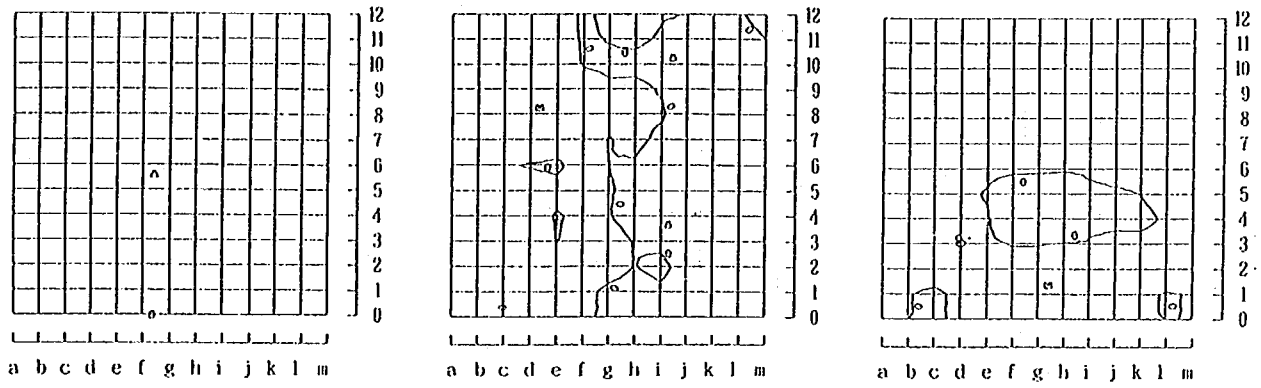

変位が生じていないため未計測

変位が生じていないため未計測

変位が生じていないため未計測

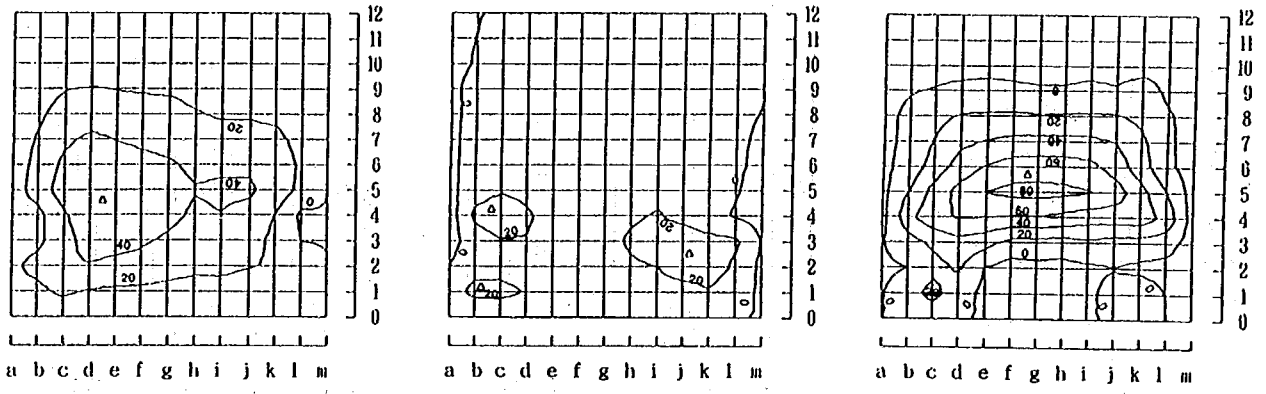
(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 $\delta_y$)




(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

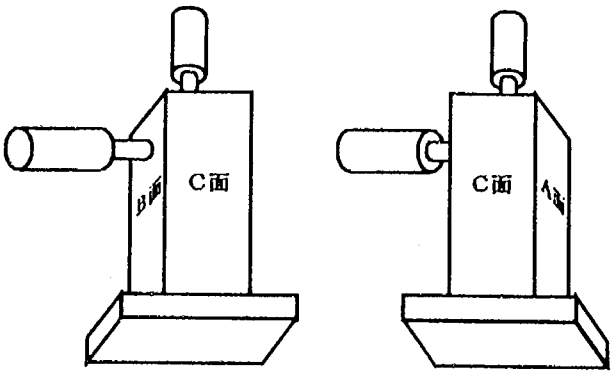
(ii) 最大荷重を超えた点(+5 $\delta_y$)

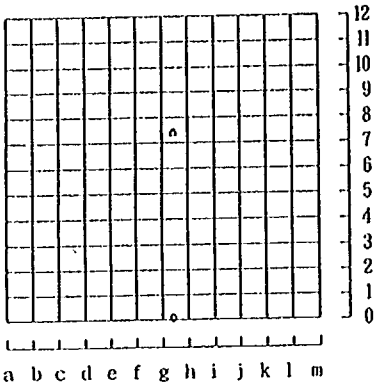



(b) フランジ（B面）　(c) ウェブ（C面）　(a) フランジ（A面）

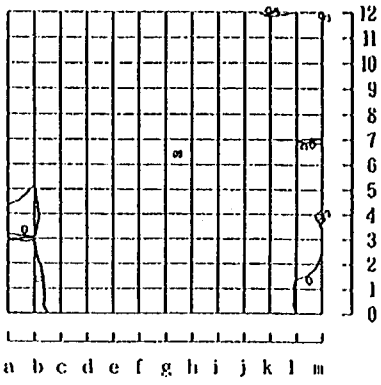
(iii) 実験終了時付近(+12 $\delta_y$)

図-3.1.12(15)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.27）



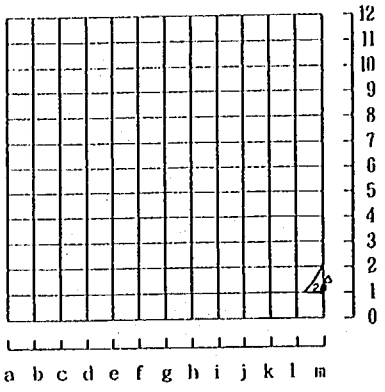



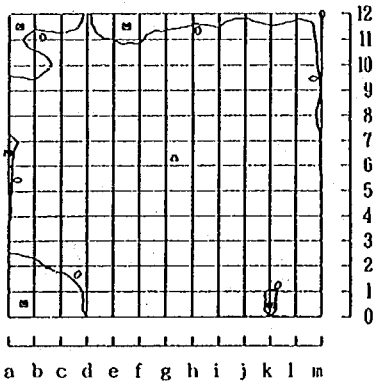
(変位が生じていないため未計測)

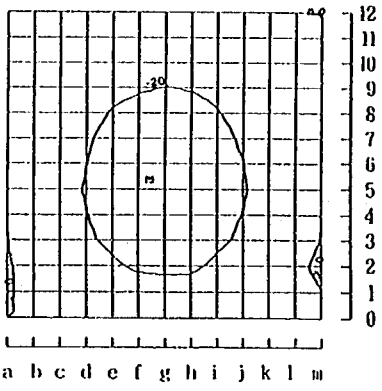


(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(i) 降伏時を超えた点(+3 δ y)

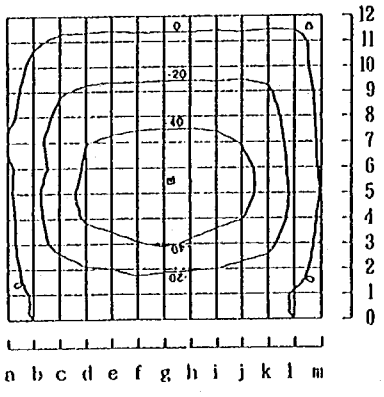


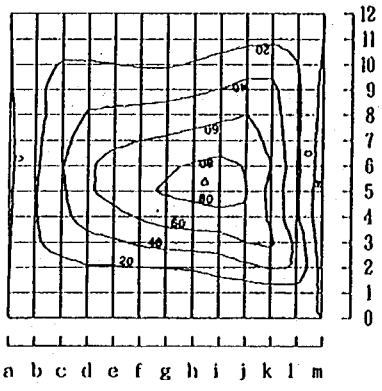


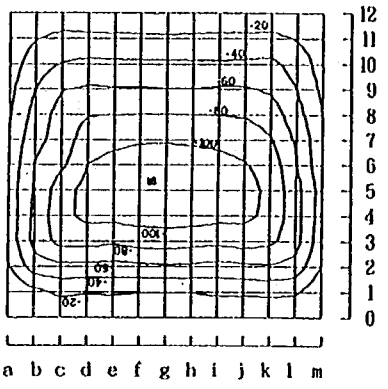


(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

(ii) 最大荷重を超えた点(+4 δ y)



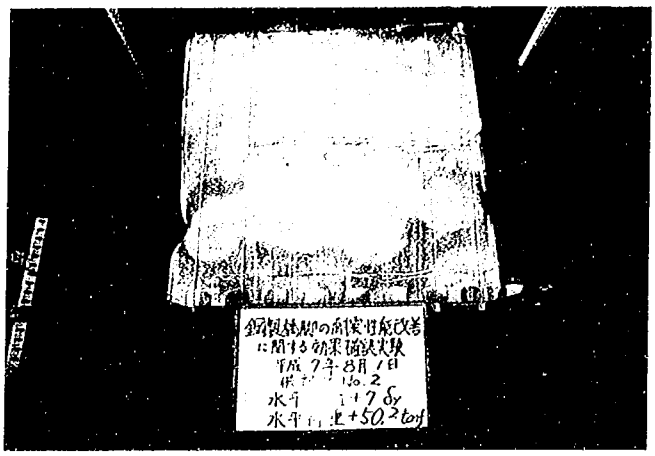


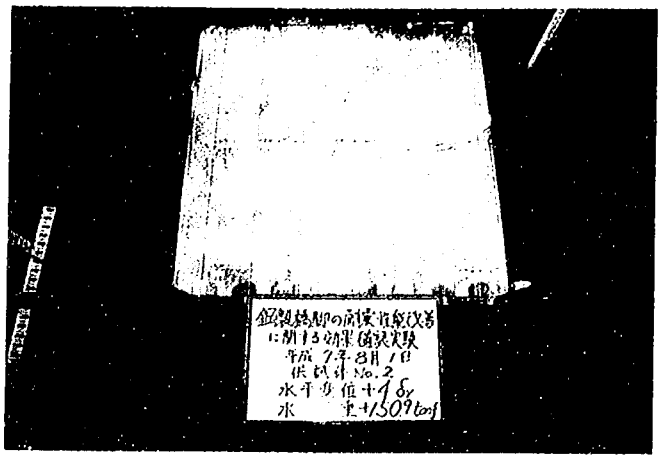


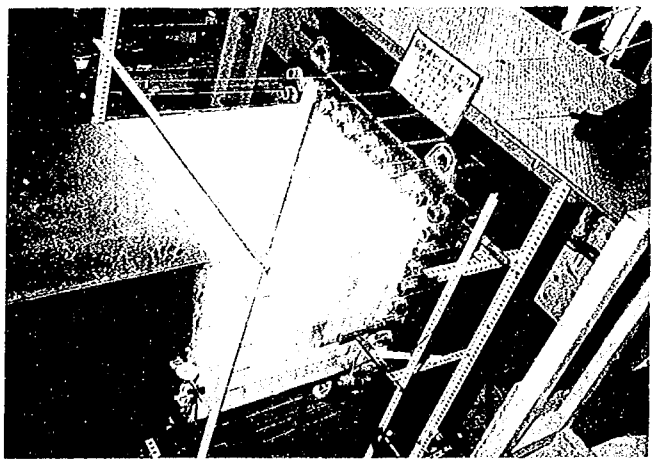
(b) フランジ（B面）　(c) ウ ェ ブ（C面）　(a) フランジ（A面）

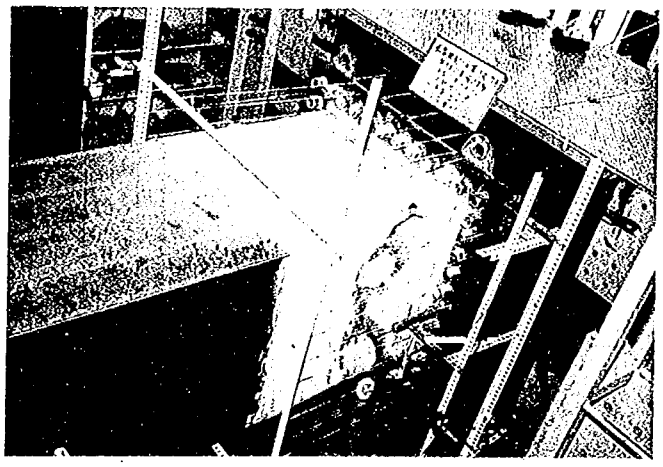
(iii) 実験終了時付近(+6 δ y)

図-3.1.12(16)　フランジおよびウェブの面外変位等高線図（No.28）



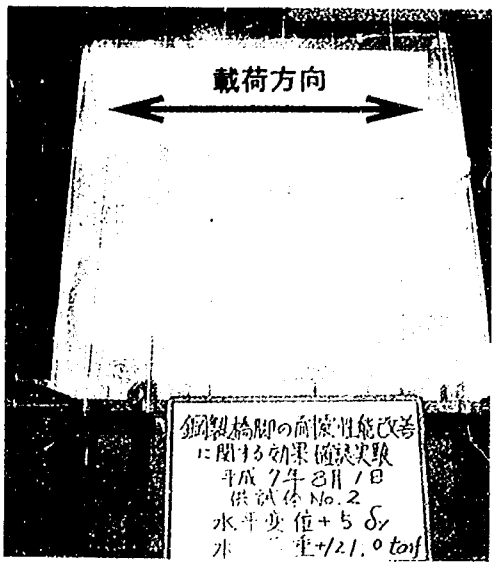




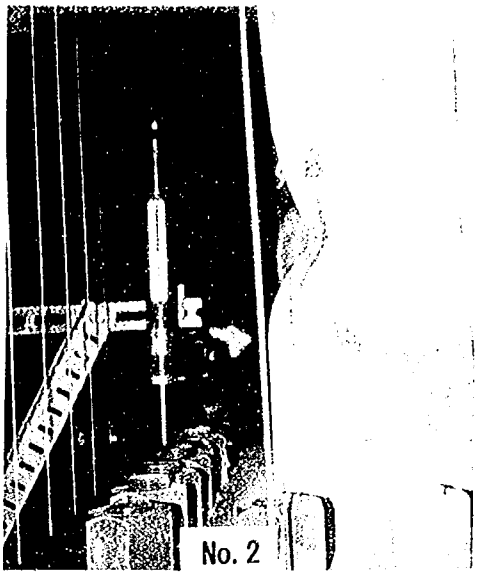


(i) 最大荷重を超えた点（＋4 $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋7 $\delta_y$）

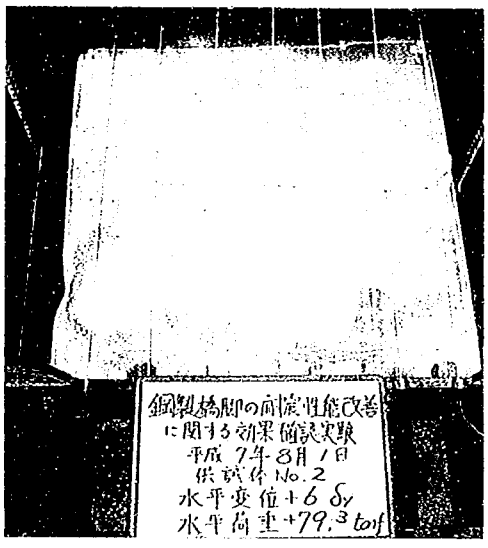
**写真-3.1.1(1)**　変形の状況（No. 2）




＋5δy




＋7δy(エネルギー吸収最大)




＋6δy(角部の直線性損失)




－7δyへの途中(割れ進展)



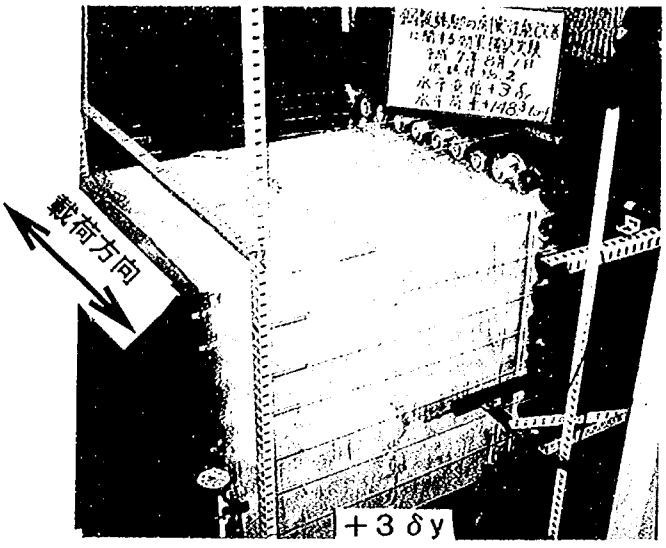

＋6δy(－6δyへの途中，角割れ)




実験終了時

(iv) 変形の進展

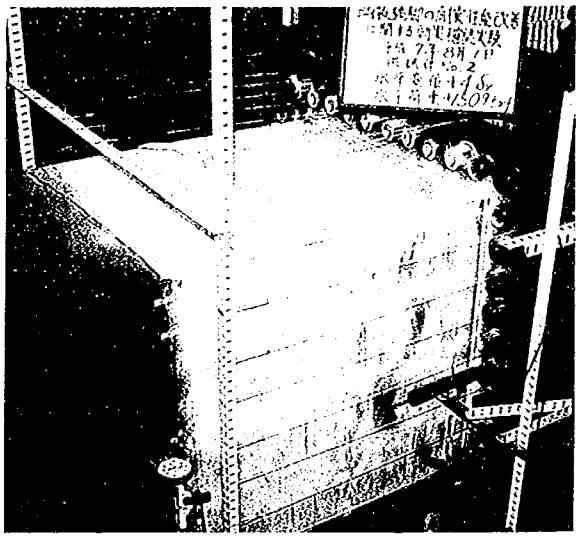
**写真-3.1.1(1) 変形の状況 (No. 2)**



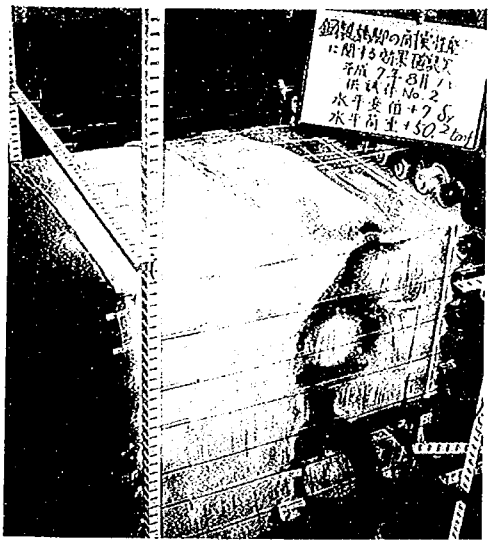

＋３δy



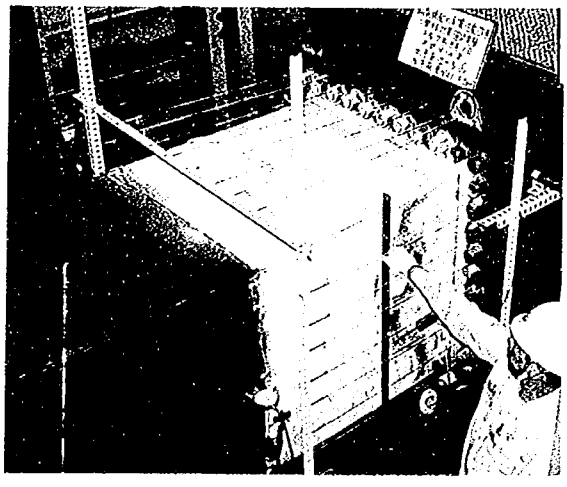
＋６δy(ｴﾈﾙｷﾞｰ吸収最大)



＋４δy(最大耐力を超えた点)



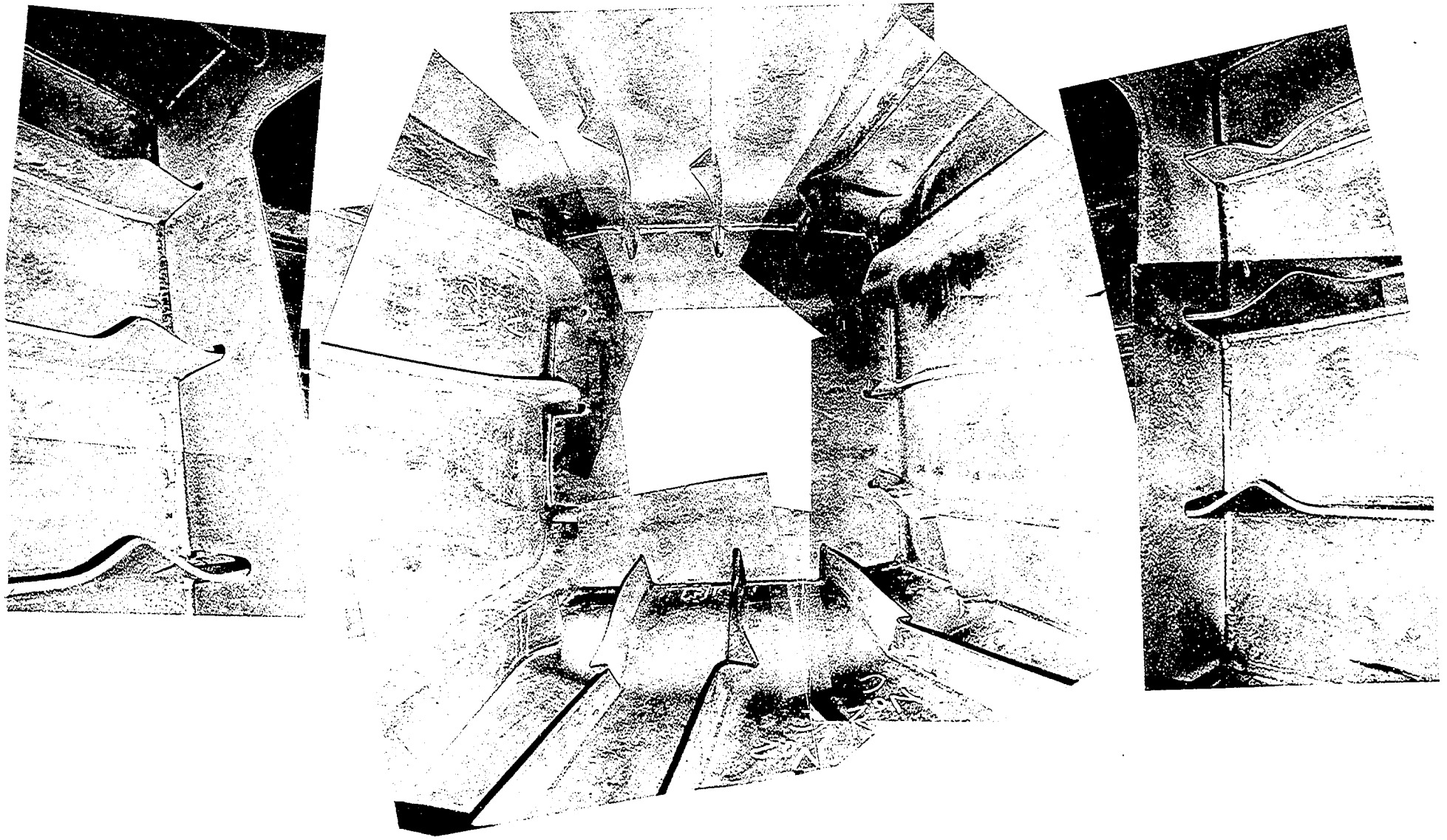
＋７δy



＋５δy(角部の直線性の限界)

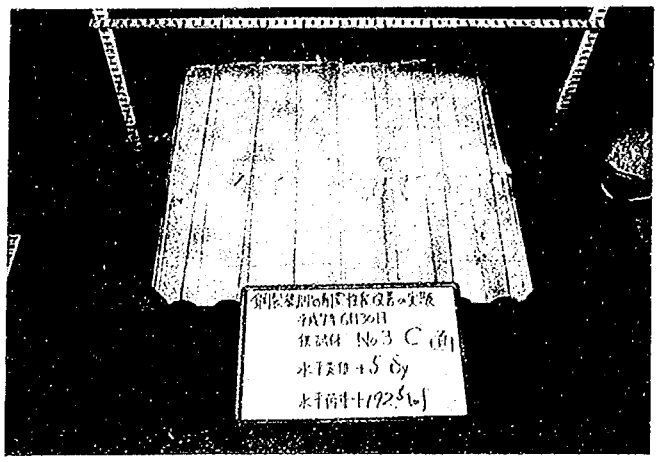
(iii) 変形の進展

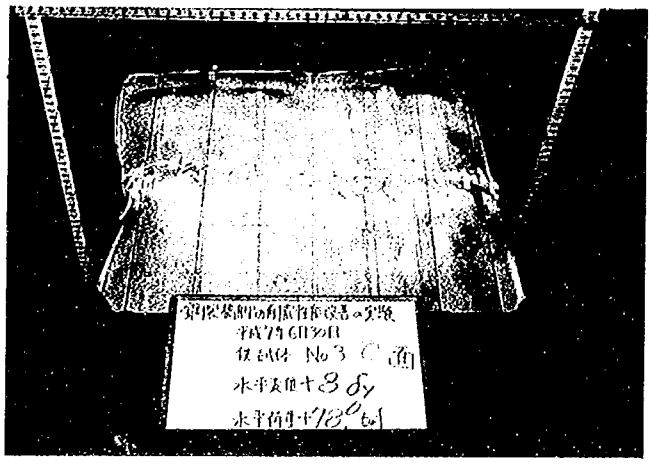
**写真-3.1.1(1)** 変形の状況 (No. 2)

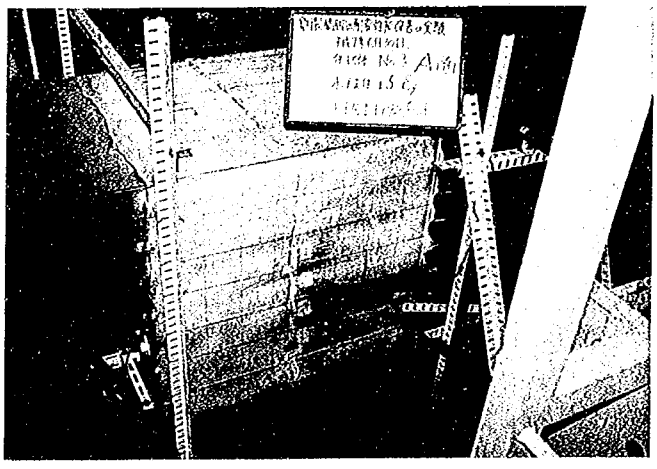


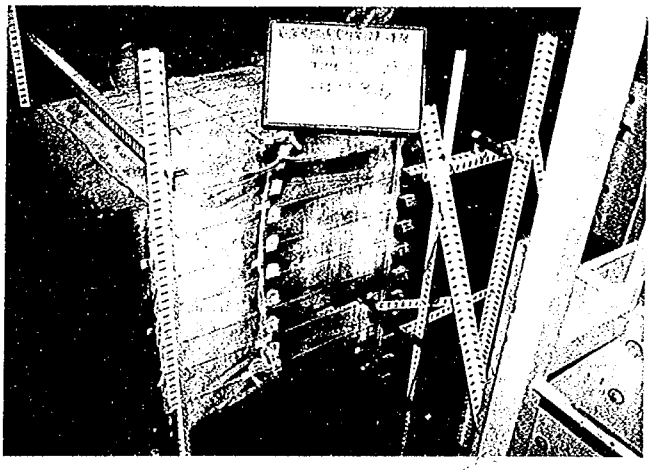
(v) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(1)　変形の状況（No. 2）



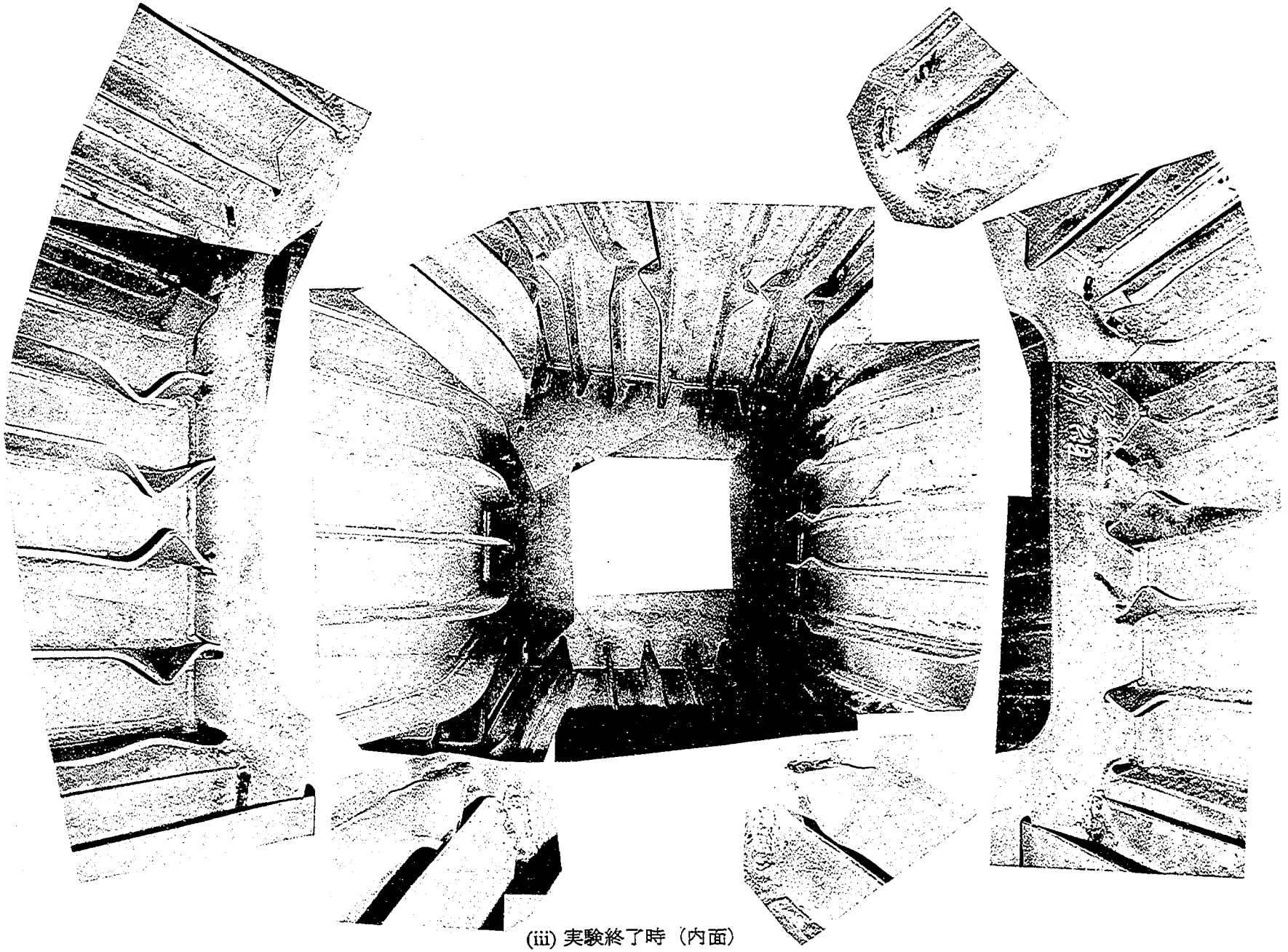





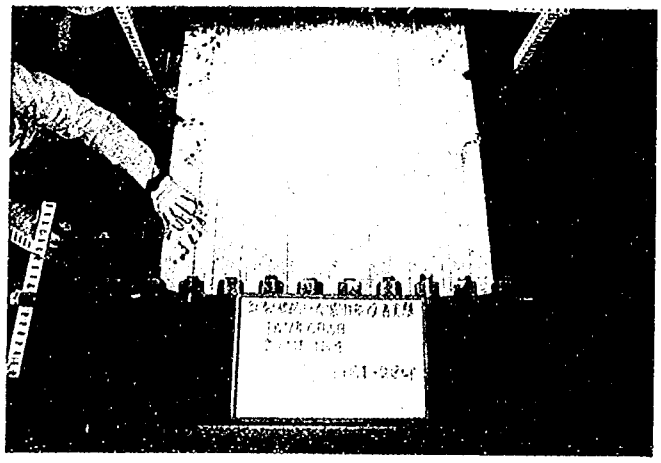
(i) 最大荷重を超えた点（＋5 $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋8 $\delta_y$）

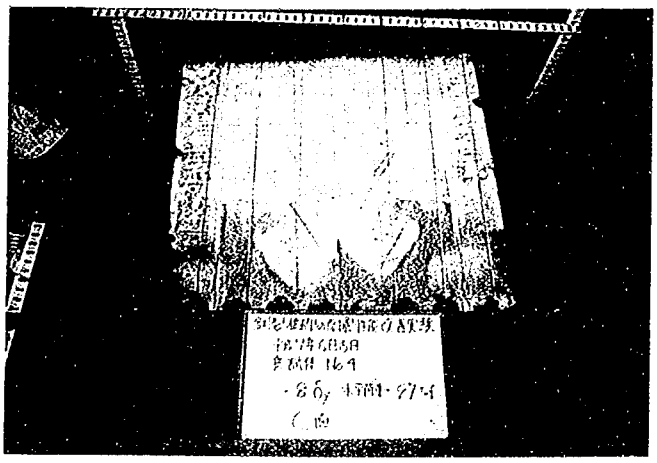
**写真**-3.1.1(2)　変形の状況（No. 3）

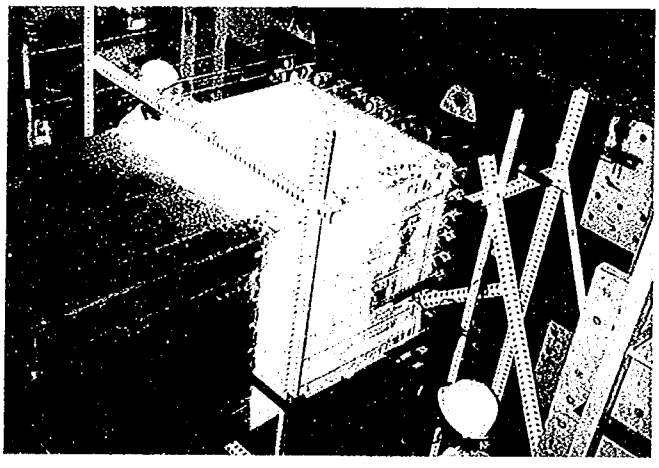


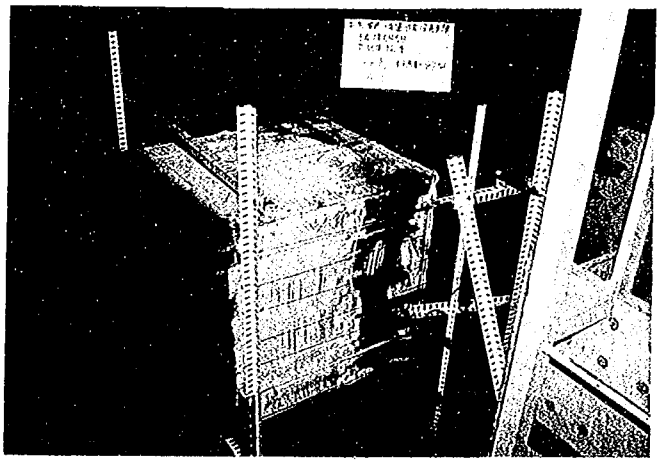
(iii) 実験終了時（内面）

**写真**-3.1.1(2)　変形の状況（No.3）





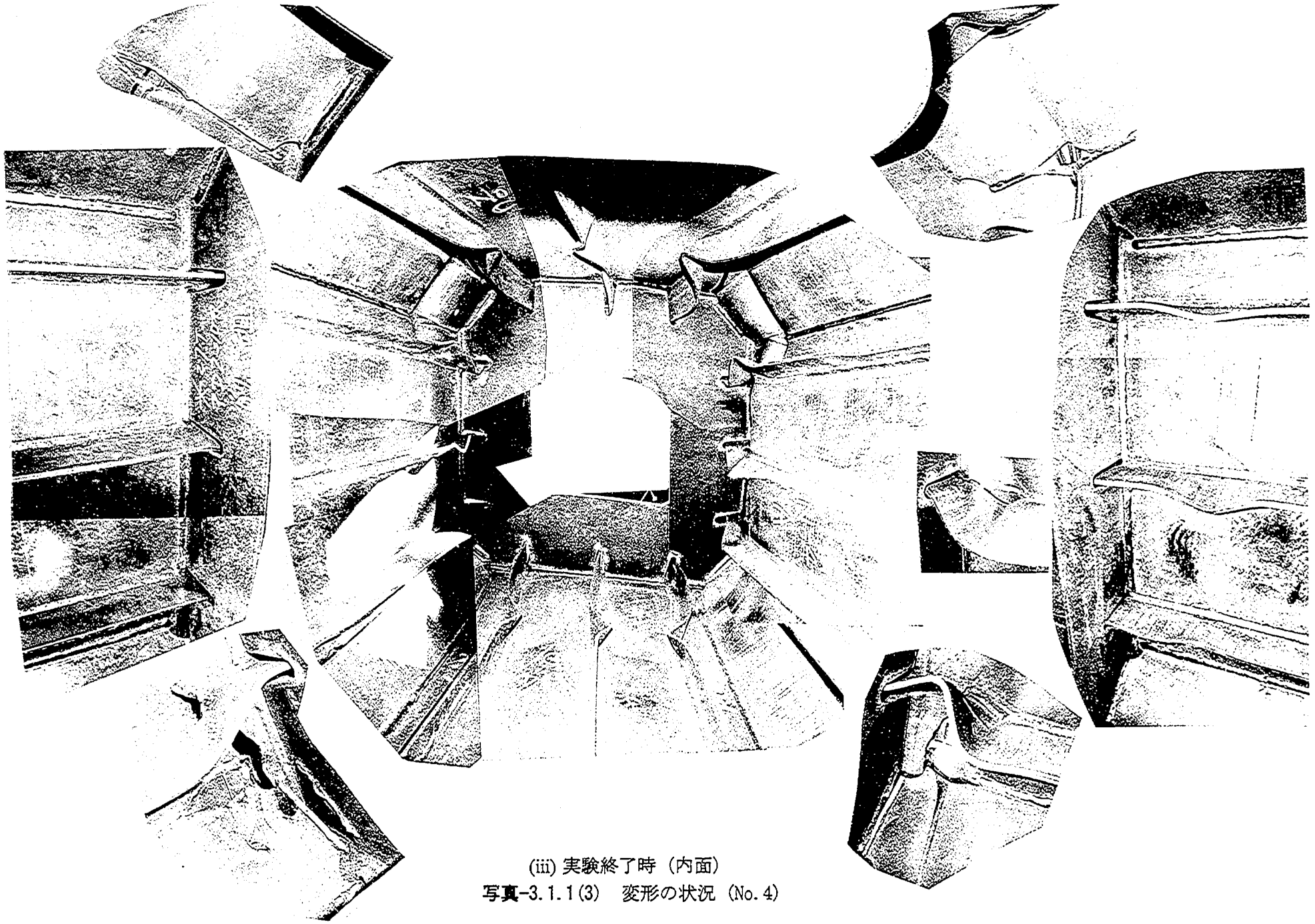




(i) 最大荷重を超えた点（＋５ $\delta_y$）

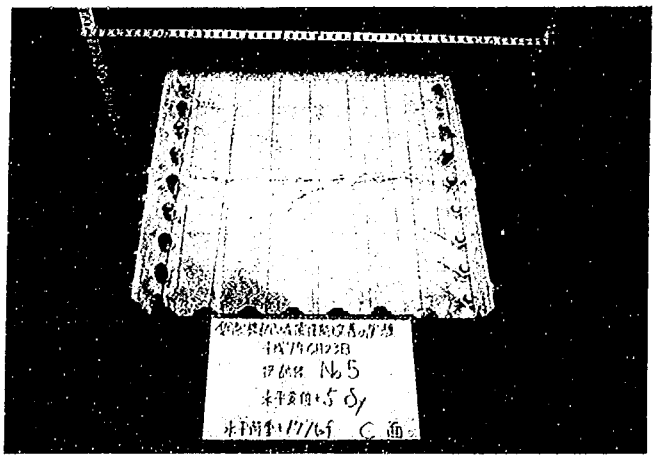
(ii) 実験終了時付近（＋８ $\delta_y$）

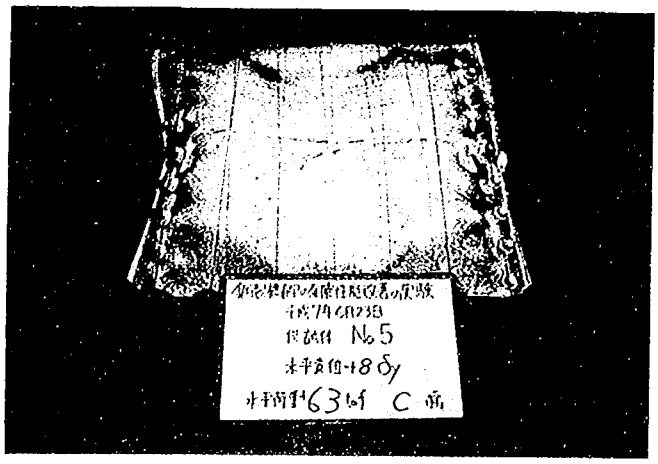
写真-3.1.1(3)　変形の状況（No. 4）

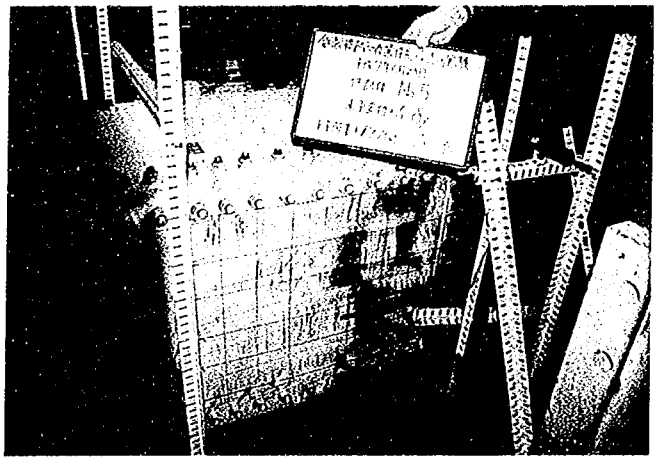


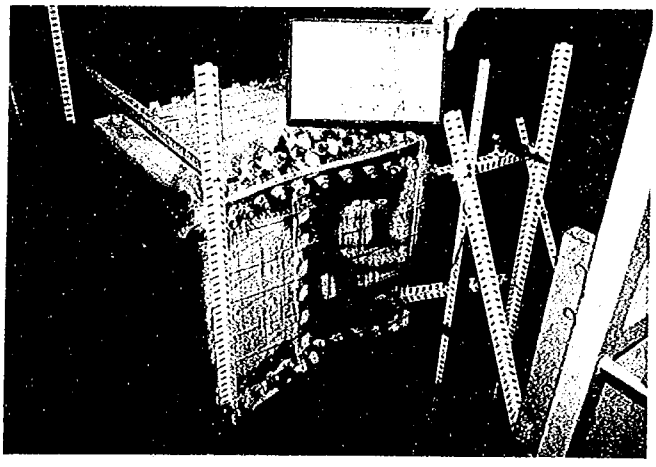
(iii) 実験終了時（内面）

**写真**-3.1.1(3)　変形の状況（No.4）



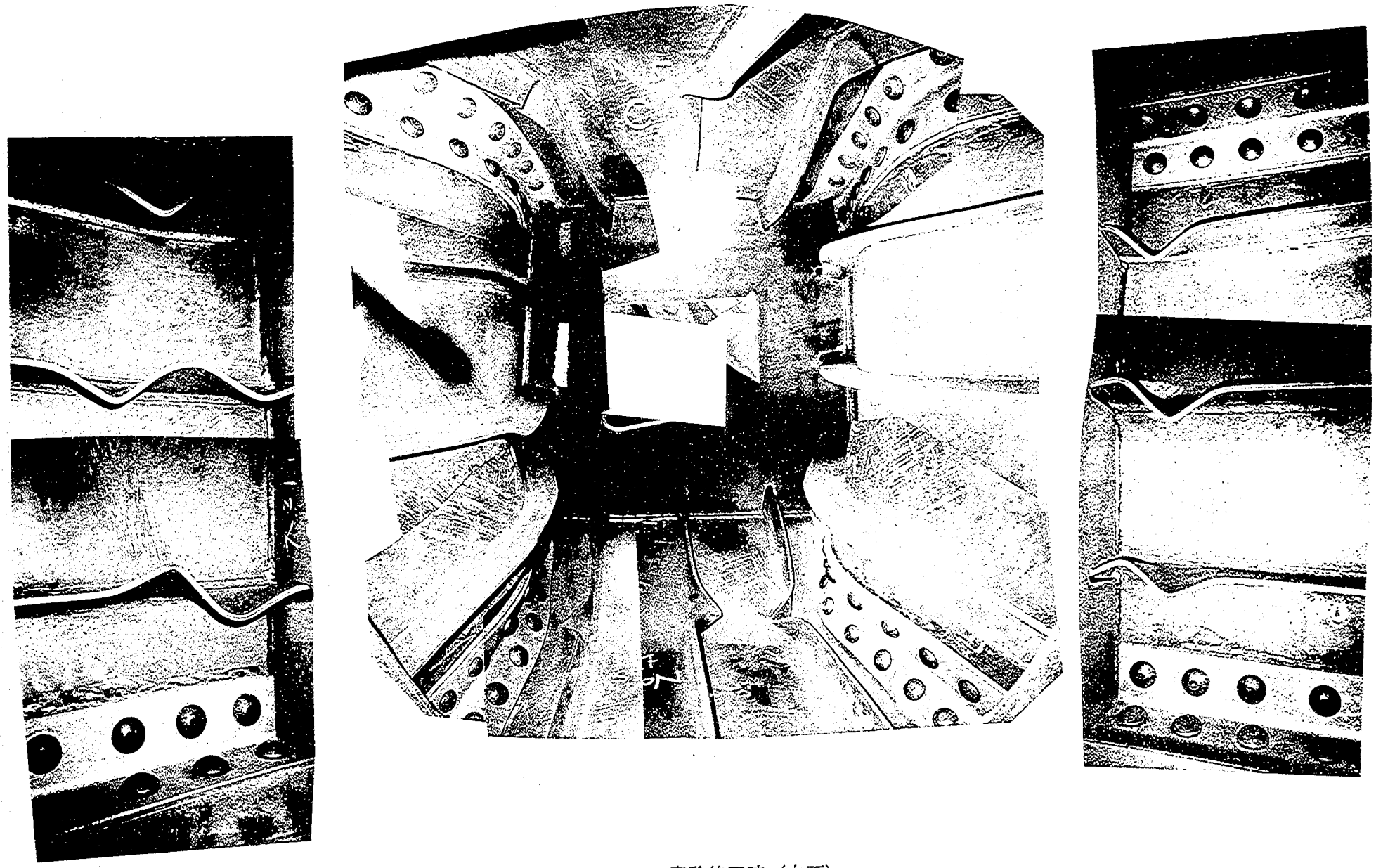





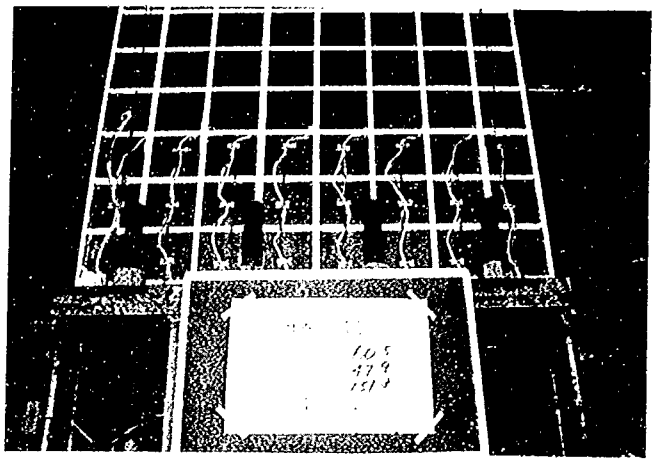
(i) 最大荷重を超えた点（＋５ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋８ $\delta_y$）

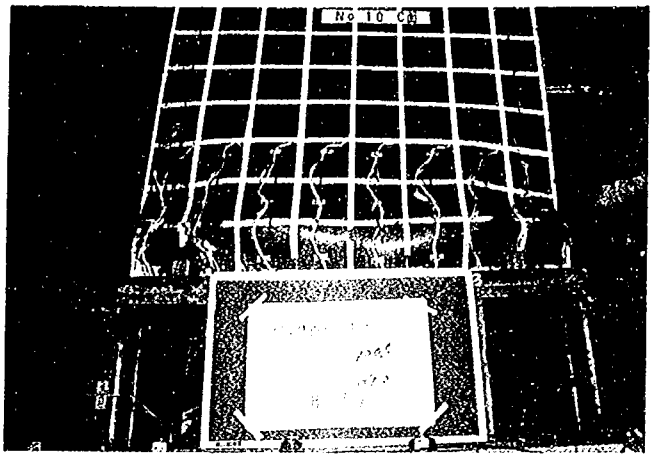
**写真-3.1.1(4)**　変形の状況 (No. 5)



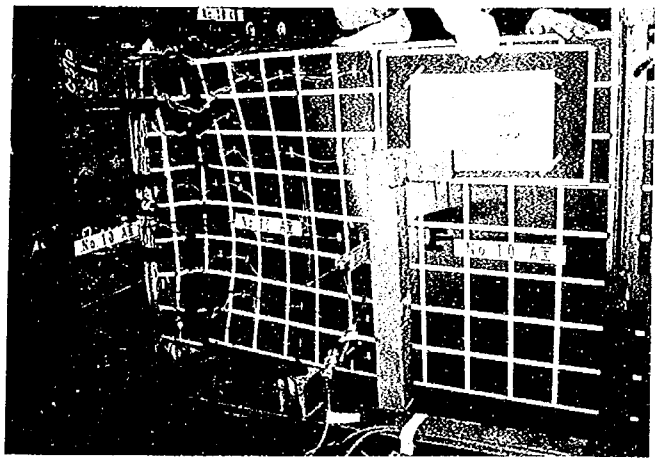
(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(4)　変形の状況（No.5）



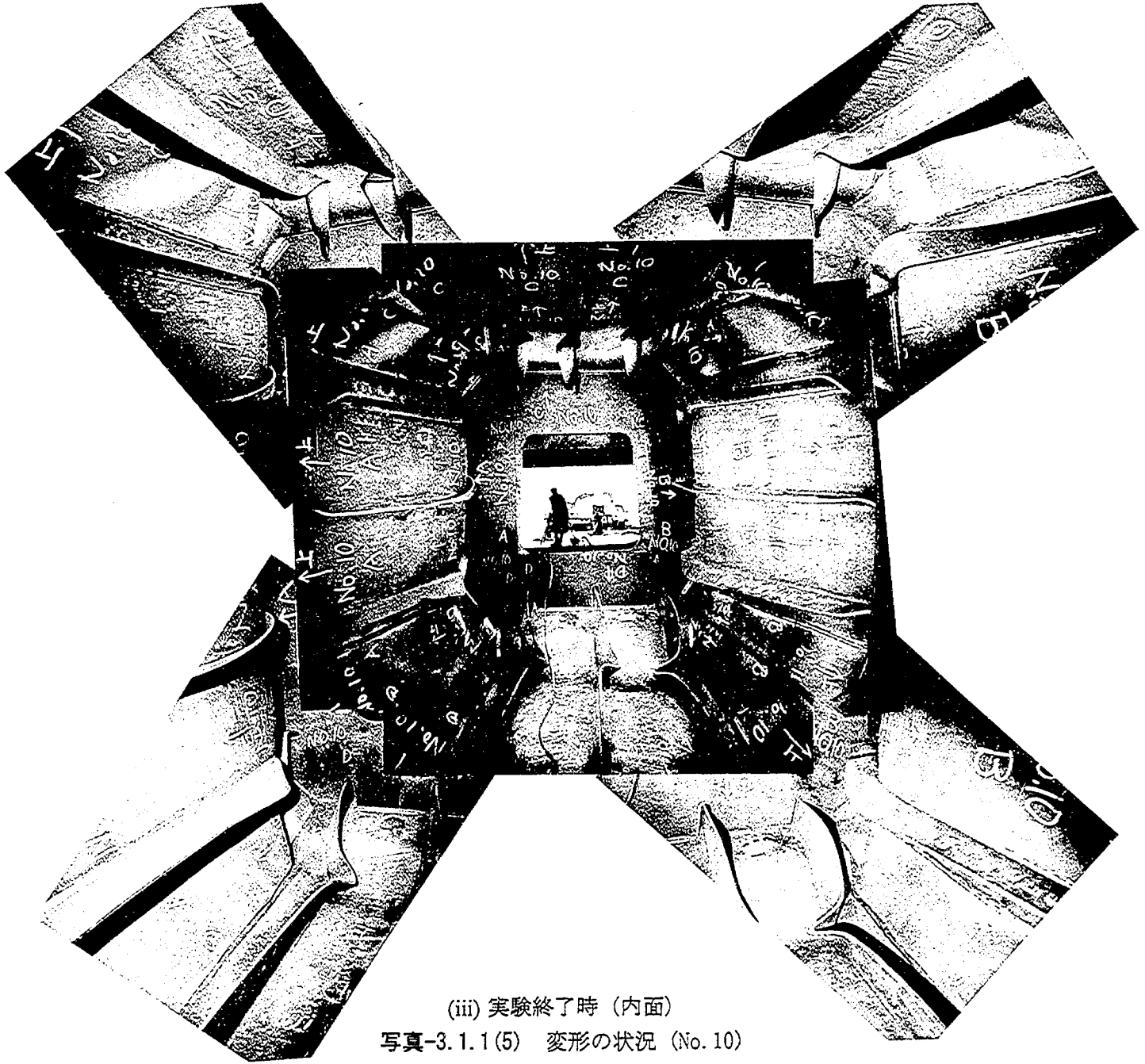






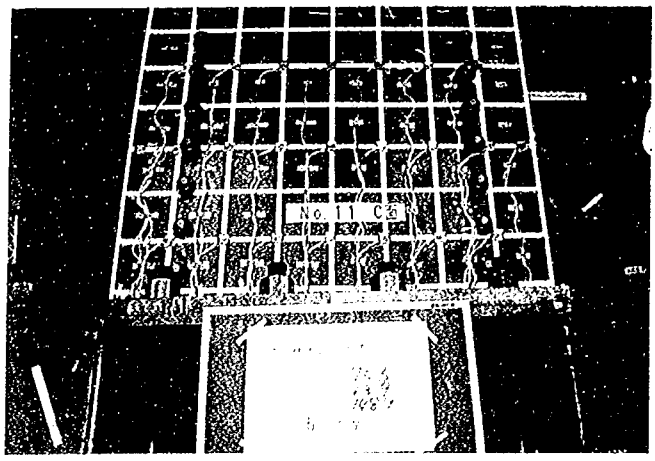
(i) 最大荷重を超えた点（＋４ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋８ $\delta_y$）

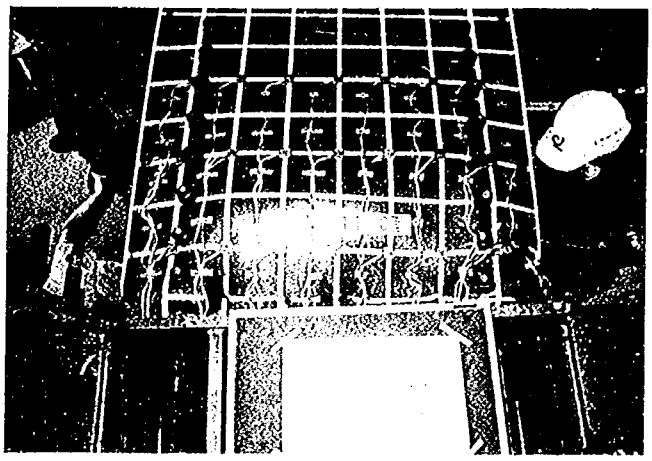
写真-3.1.1(5)　変形の状況（No. 10）

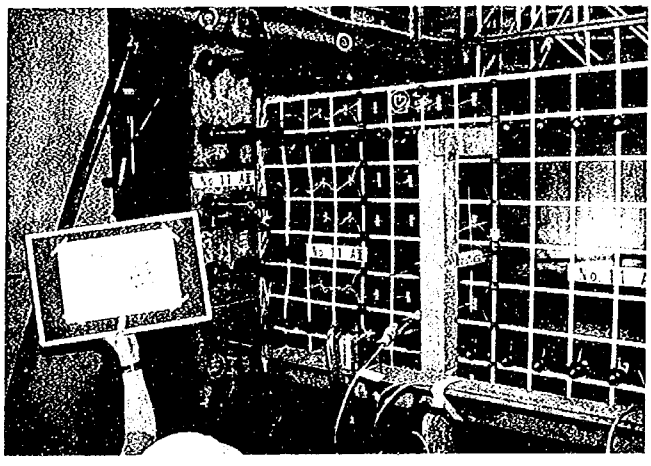


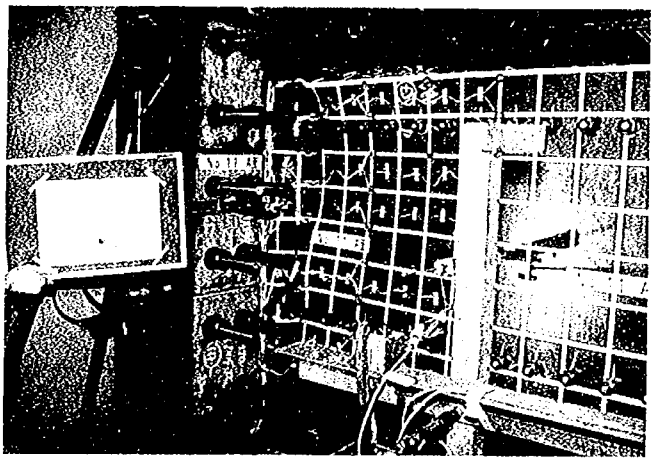
(iii) 実験終了時（内面）

**写真-3.1.1(5)　変形の状況（No. 10）**



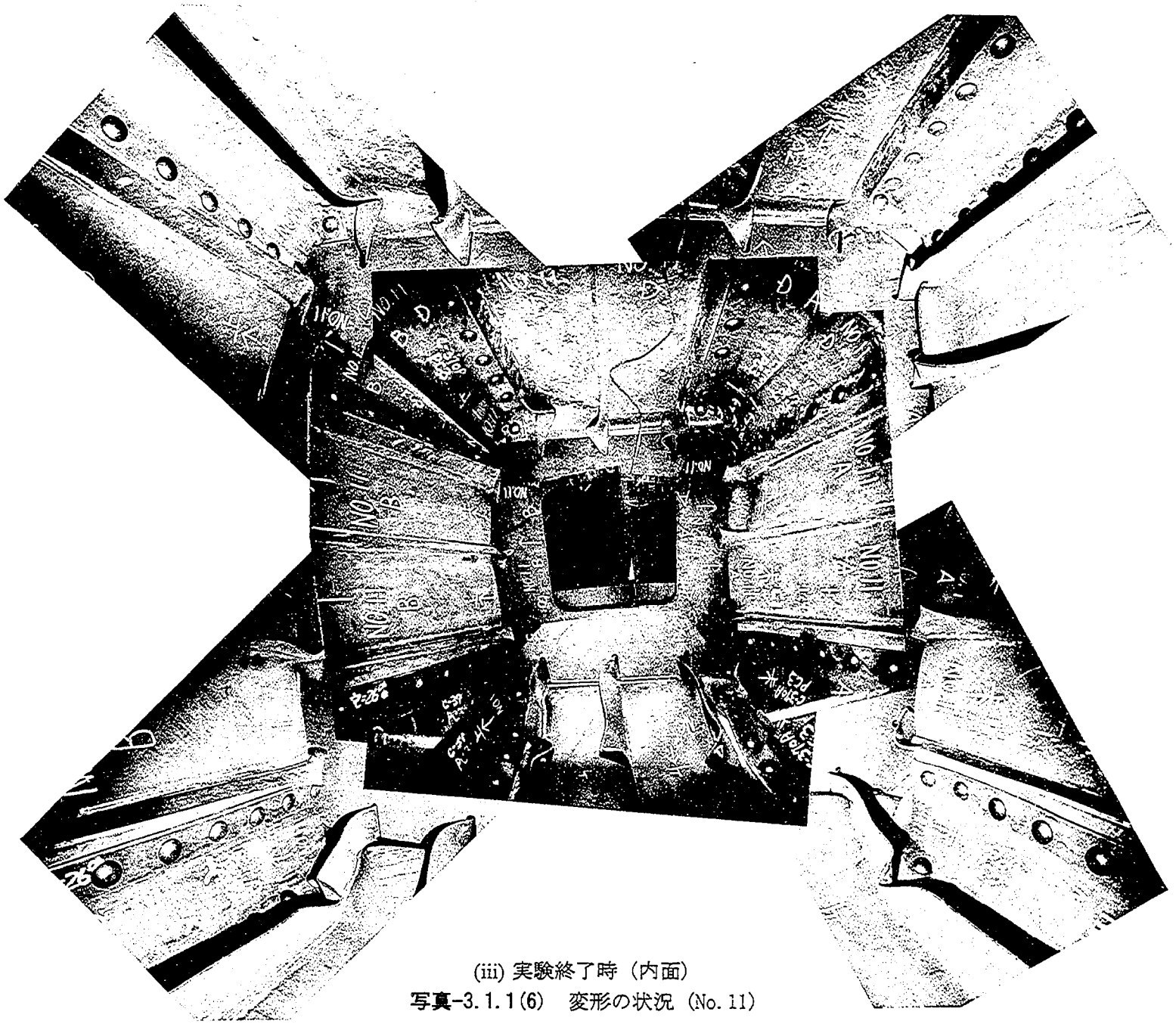






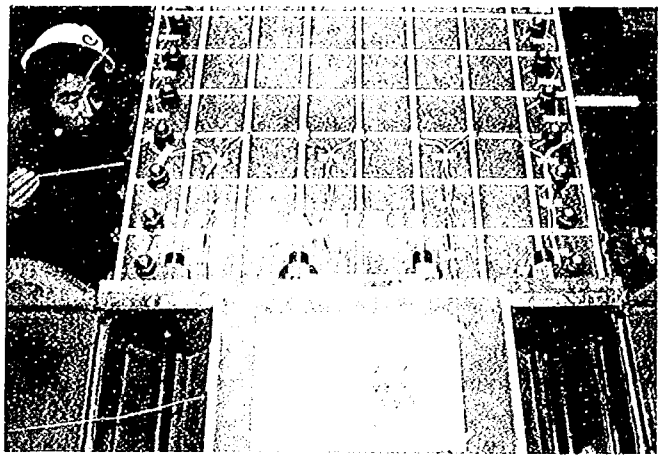
(i) 最大荷重を超えた点（＋５ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋９ $\delta_y$）

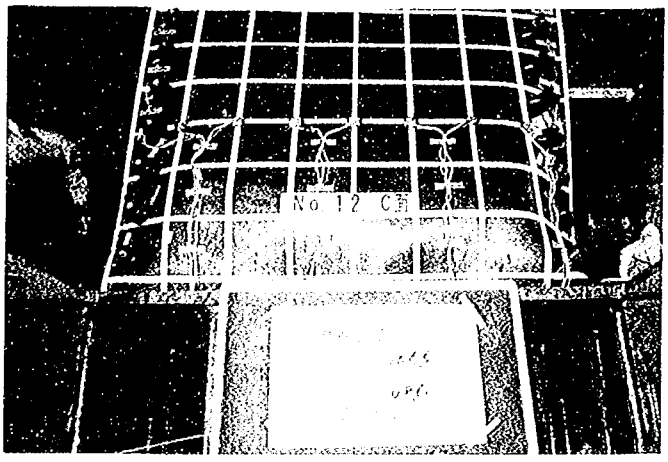
写真-3.1.1(6)　変形の状況（No. 11）

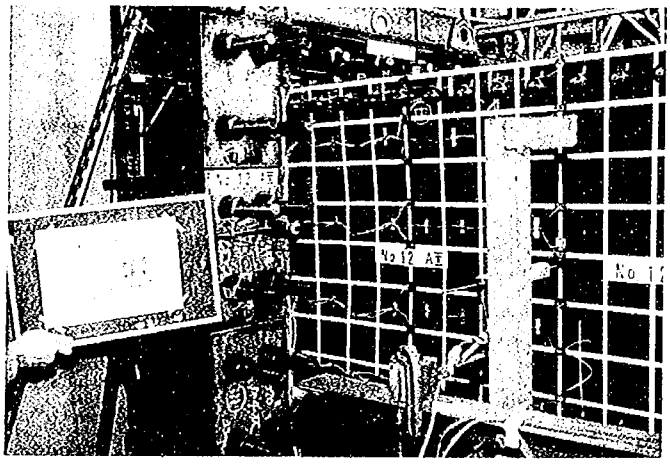


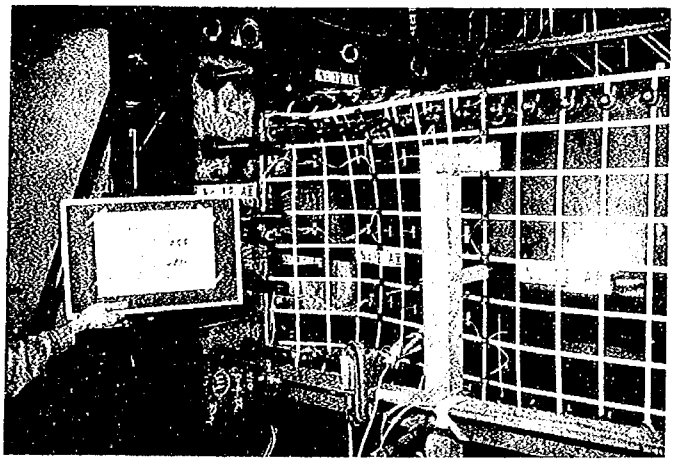
(iii) 実験終了時（内面）

**写真-3.1.1(6)　変形の状況（No.11）**



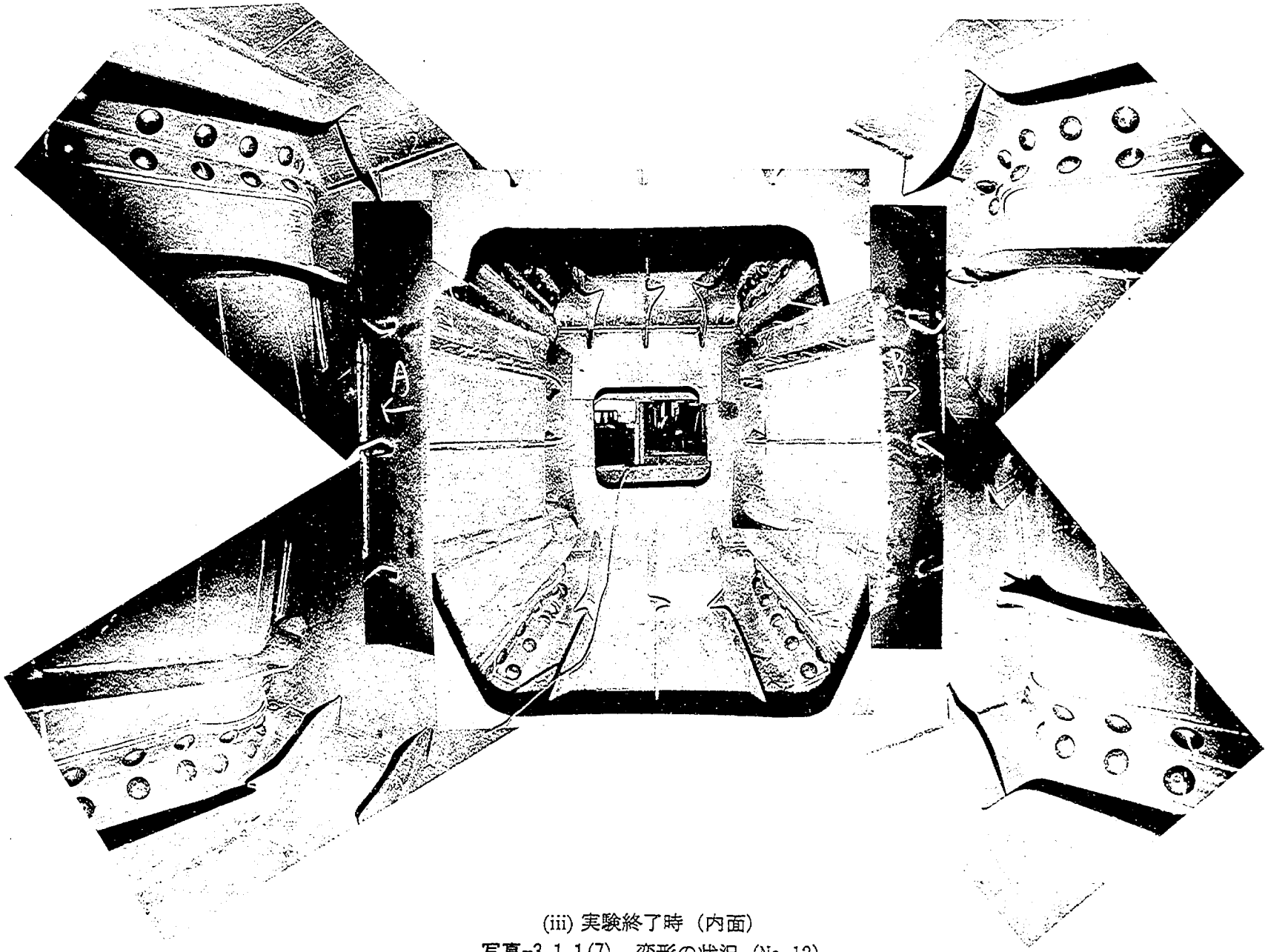





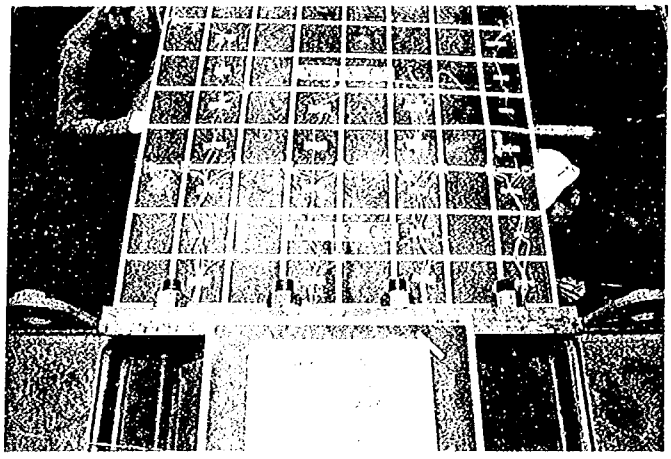
(i) 最大荷重を超えた点（＋４ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋７ $\delta_y$）

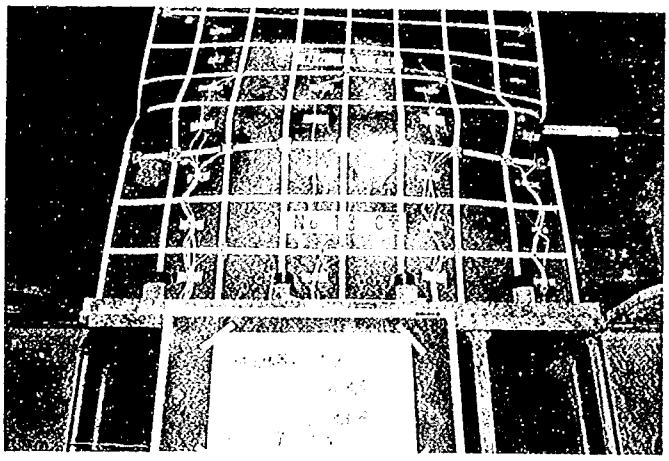
写真-3.1.1(7)　変形の状況（No. 12）

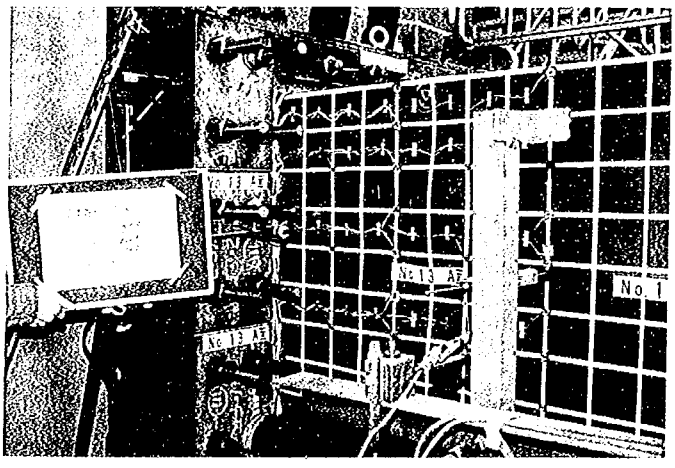


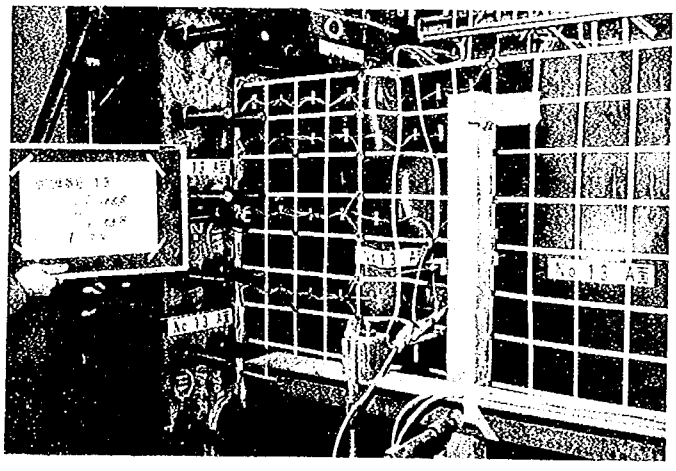
(iii) 実験終了時（内面）

**写真-3.1.1(7)　変形の状況（No. 12）**



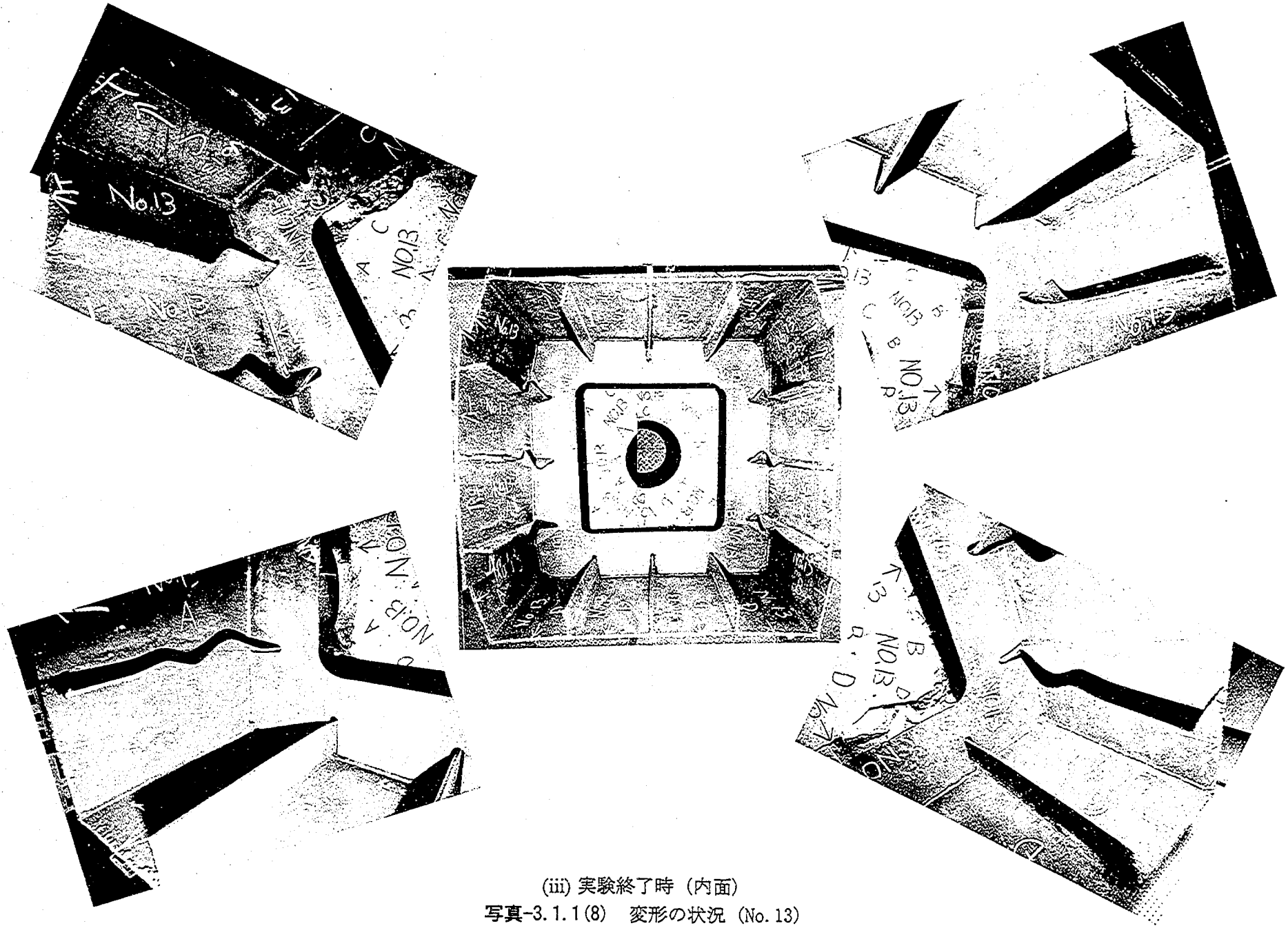






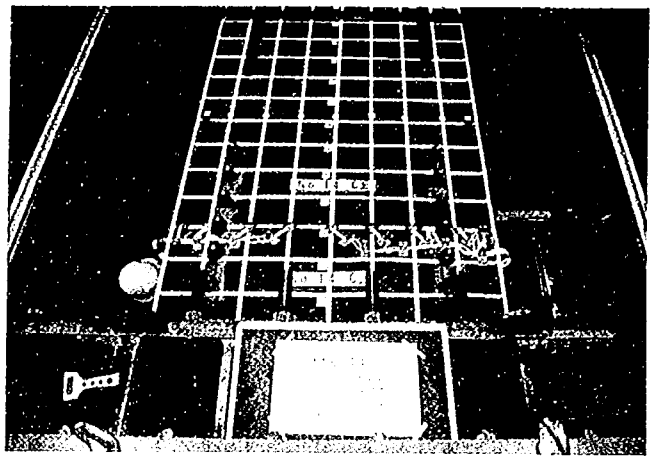
(i) 最大荷重を超えた点（＋５ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋７ $\delta_y$）

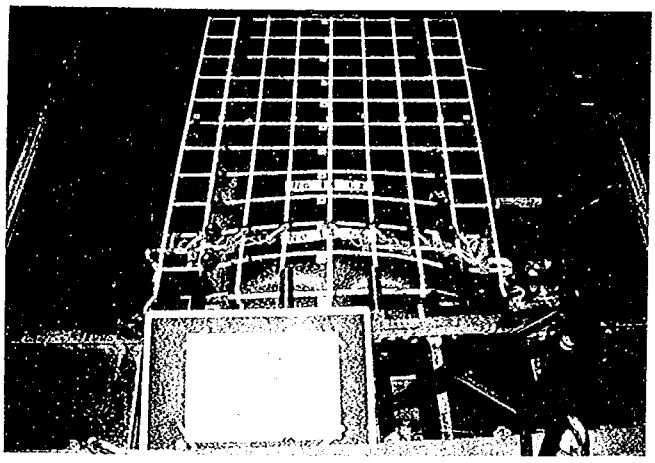
写真-3.1.1(8)　変形の状況（No. 13）



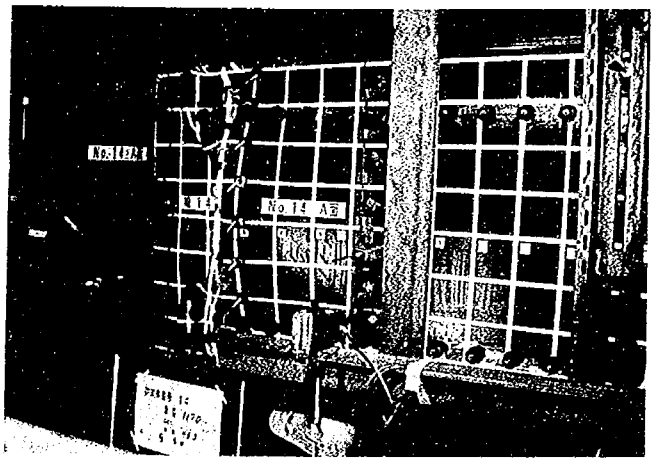

(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(8)　変形の状況（No. 13）





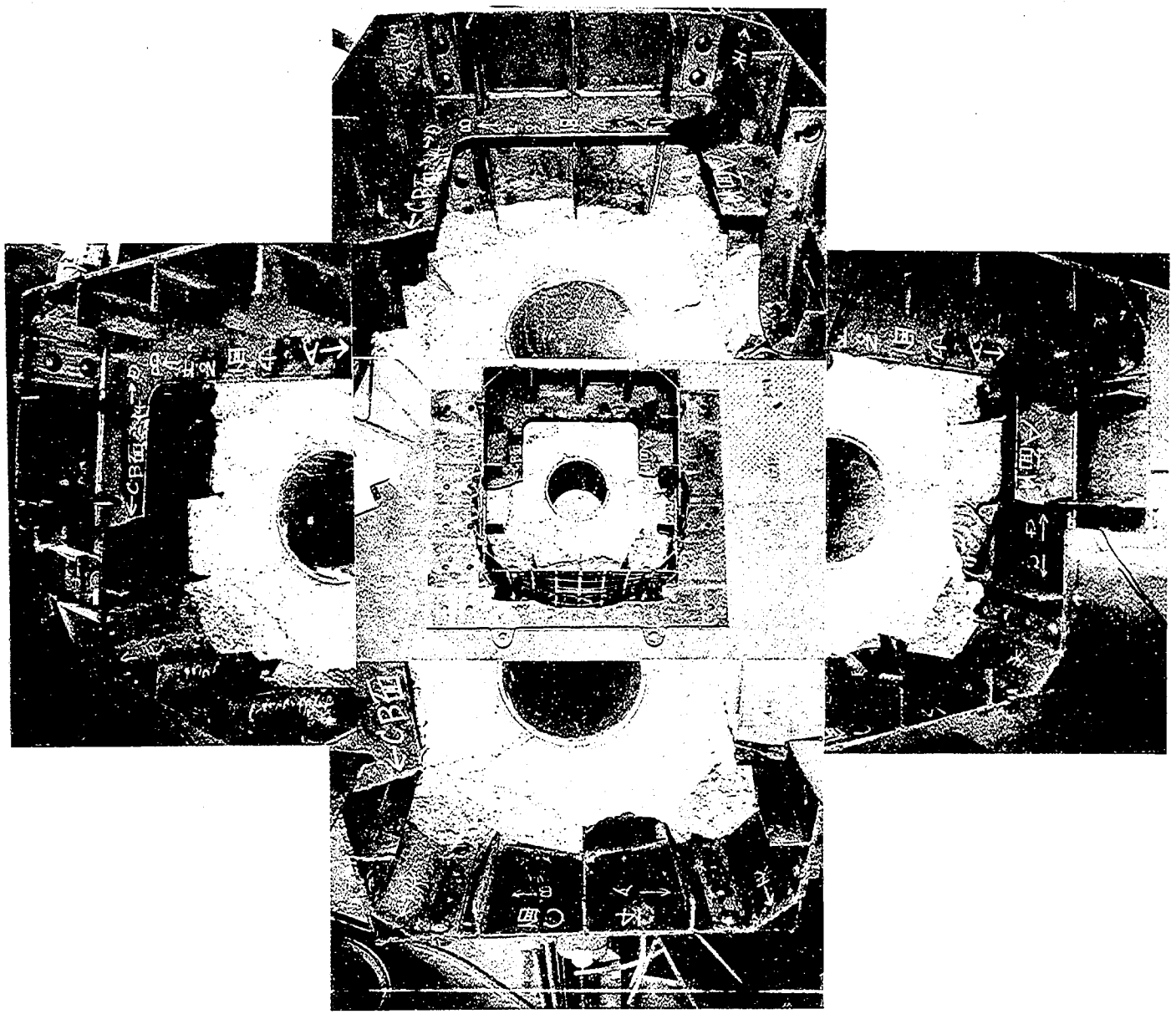




(i) 最大荷重を超えた点（＋６ $\delta_y$）

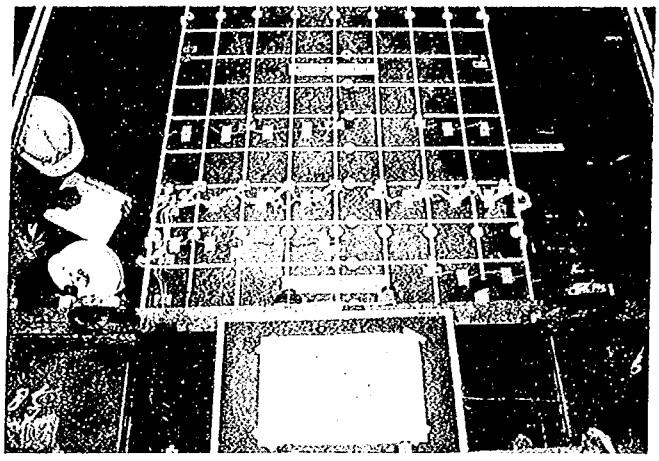
(ii) 実験終了時付近（＋９ $\delta_y$）

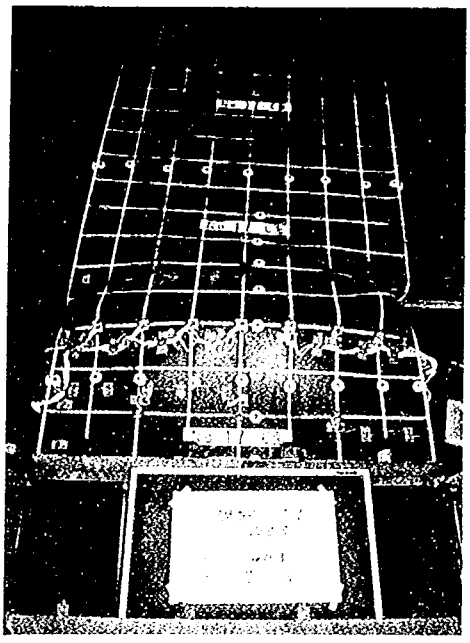
**写真-3.1.1(9)**　変形の状況（No. 14）

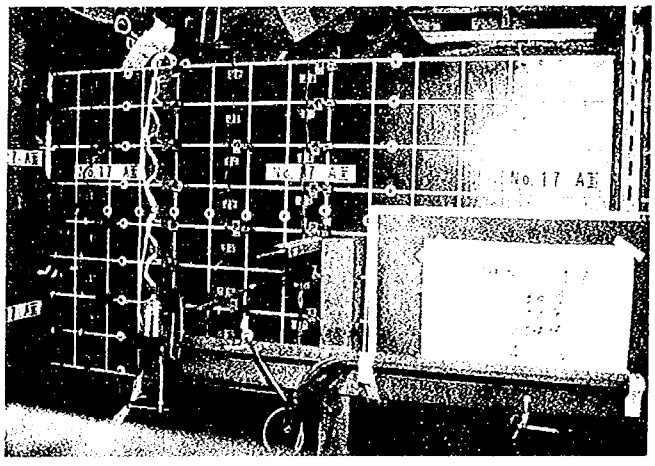


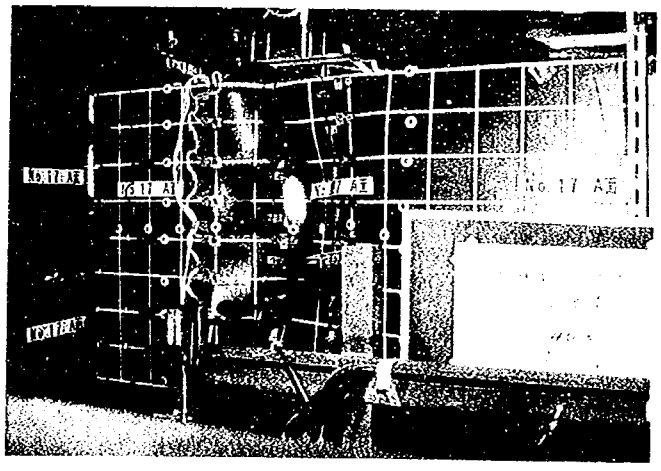
(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(9)　変形の状況（No. 14）





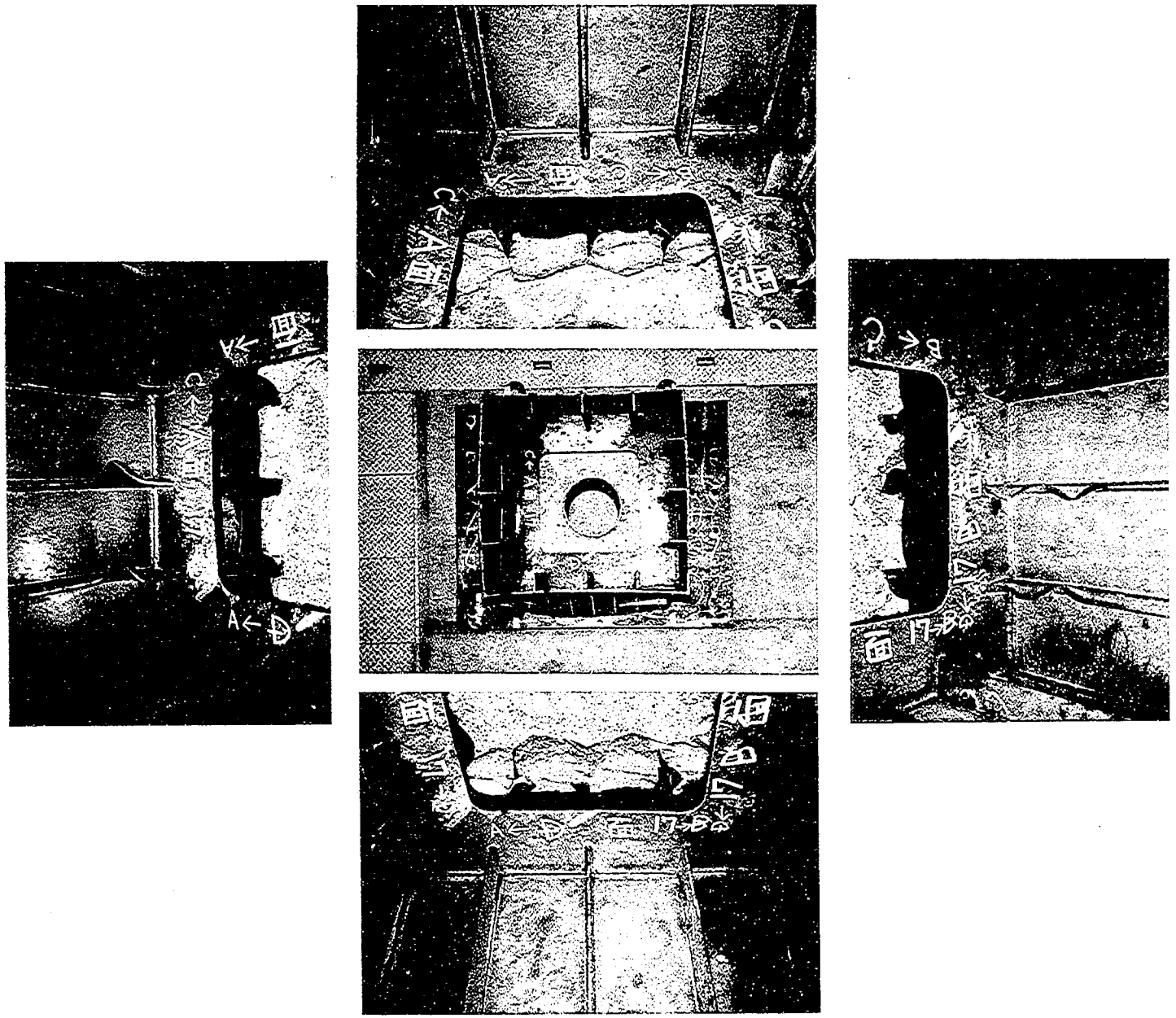




(i) 最大荷重を超えた点（＋４ $\delta_y$）

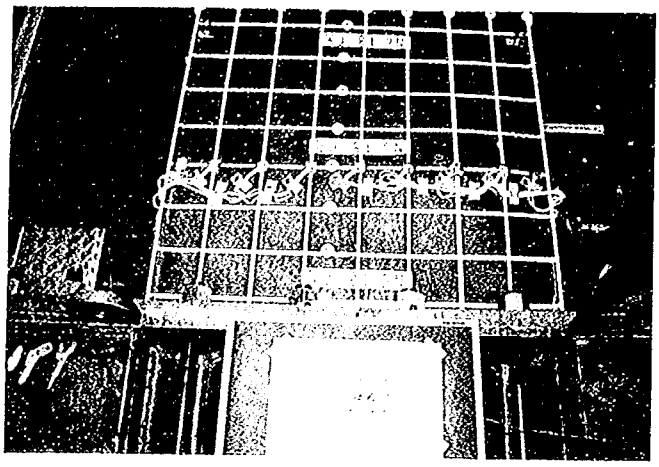
(ii) 実験終了時付近（＋７ $\delta_y$）

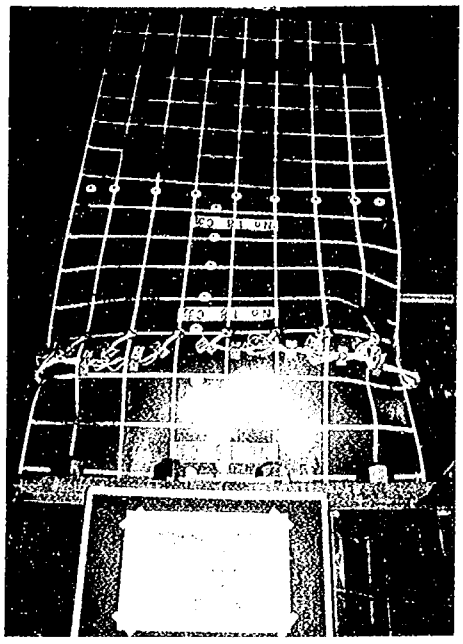
写真-3.1.1(10)　変形の状況（No. 17）

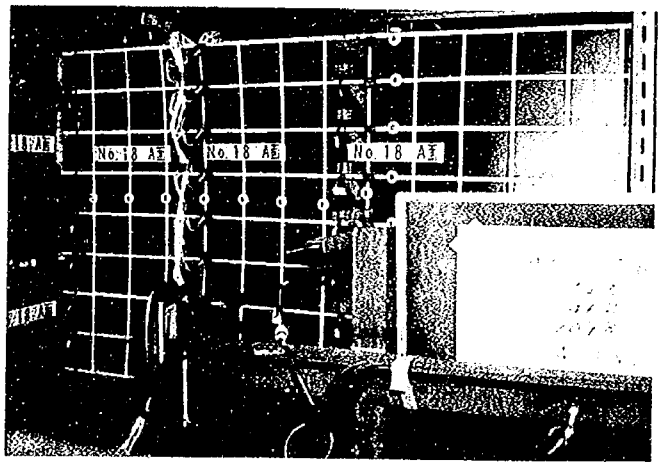


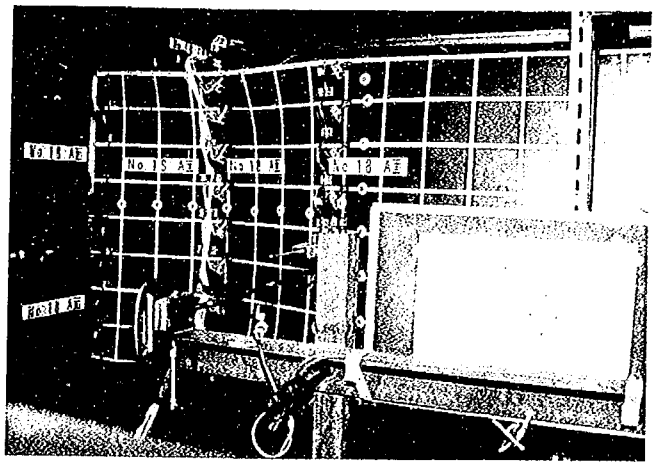
(iii) 実験終了時（内面）

**写真**-3.1.1(10)　変形の状況（No.17）





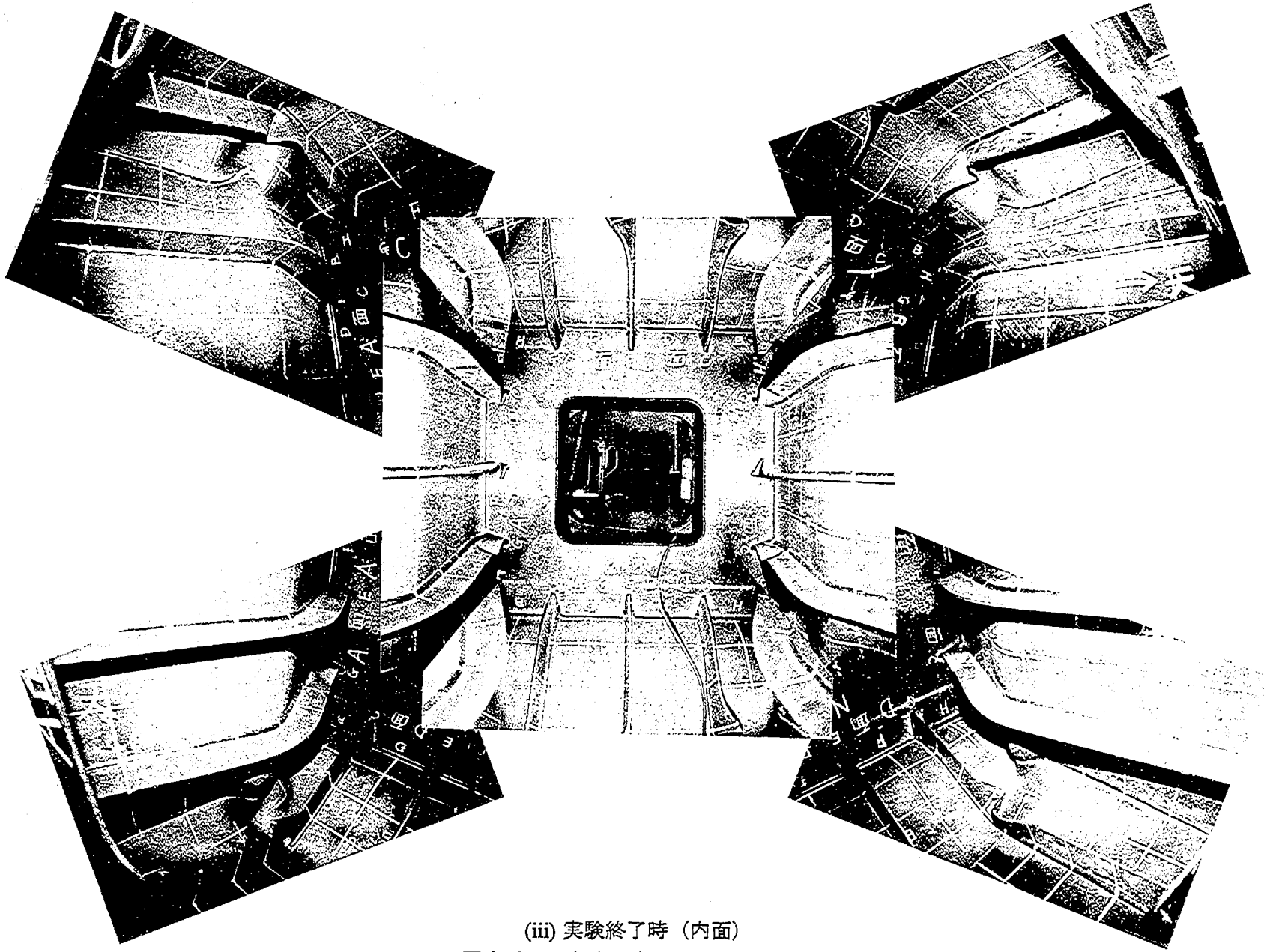



(i) 最大荷重を超えた点（＋４ $\delta_y$）

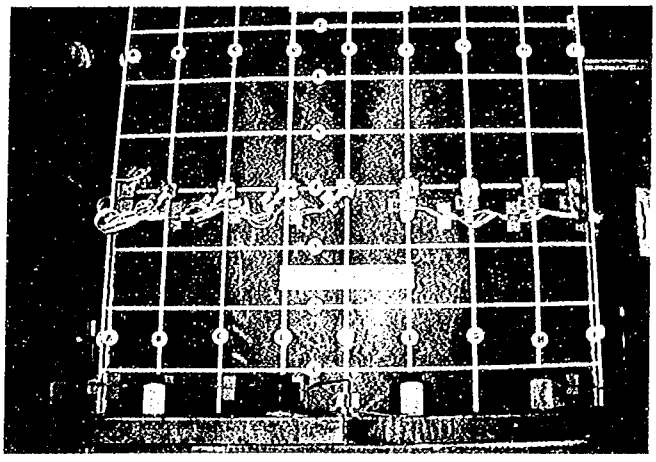
(ii) 実験終了時付近（＋６ $\delta_y$）

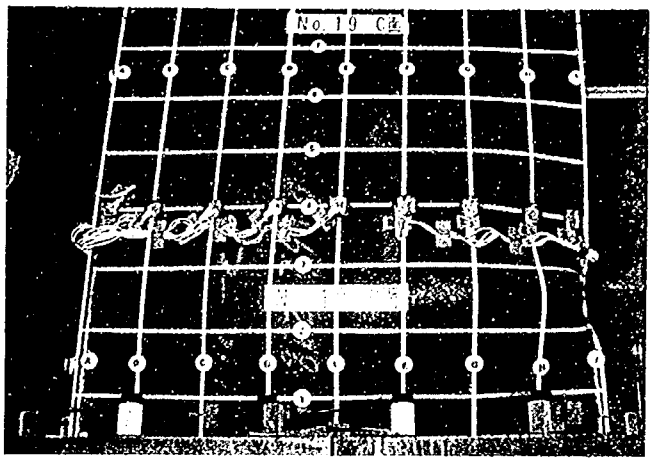
写真-3.1.1(11)　変形の状況（No. 18）

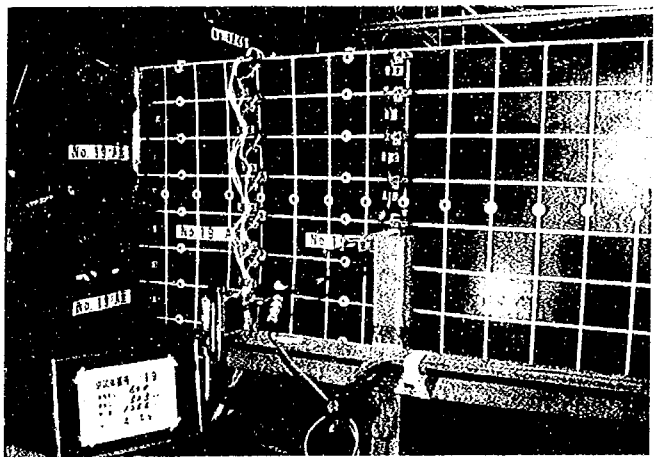


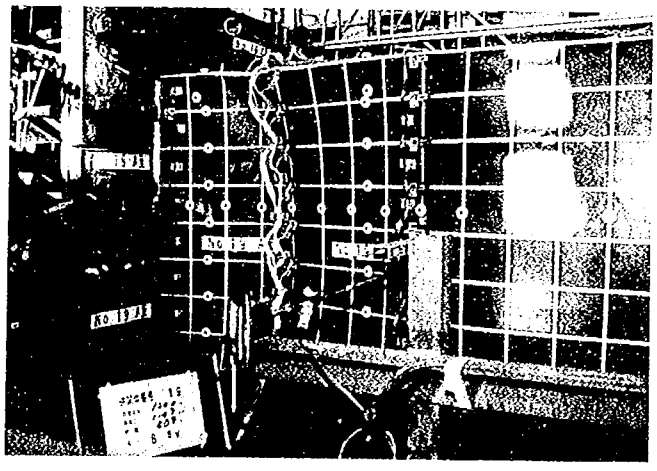
(iii) 実験終了時（内面）

**写真**-3.1.1(11)　変形の状況（No. 18）



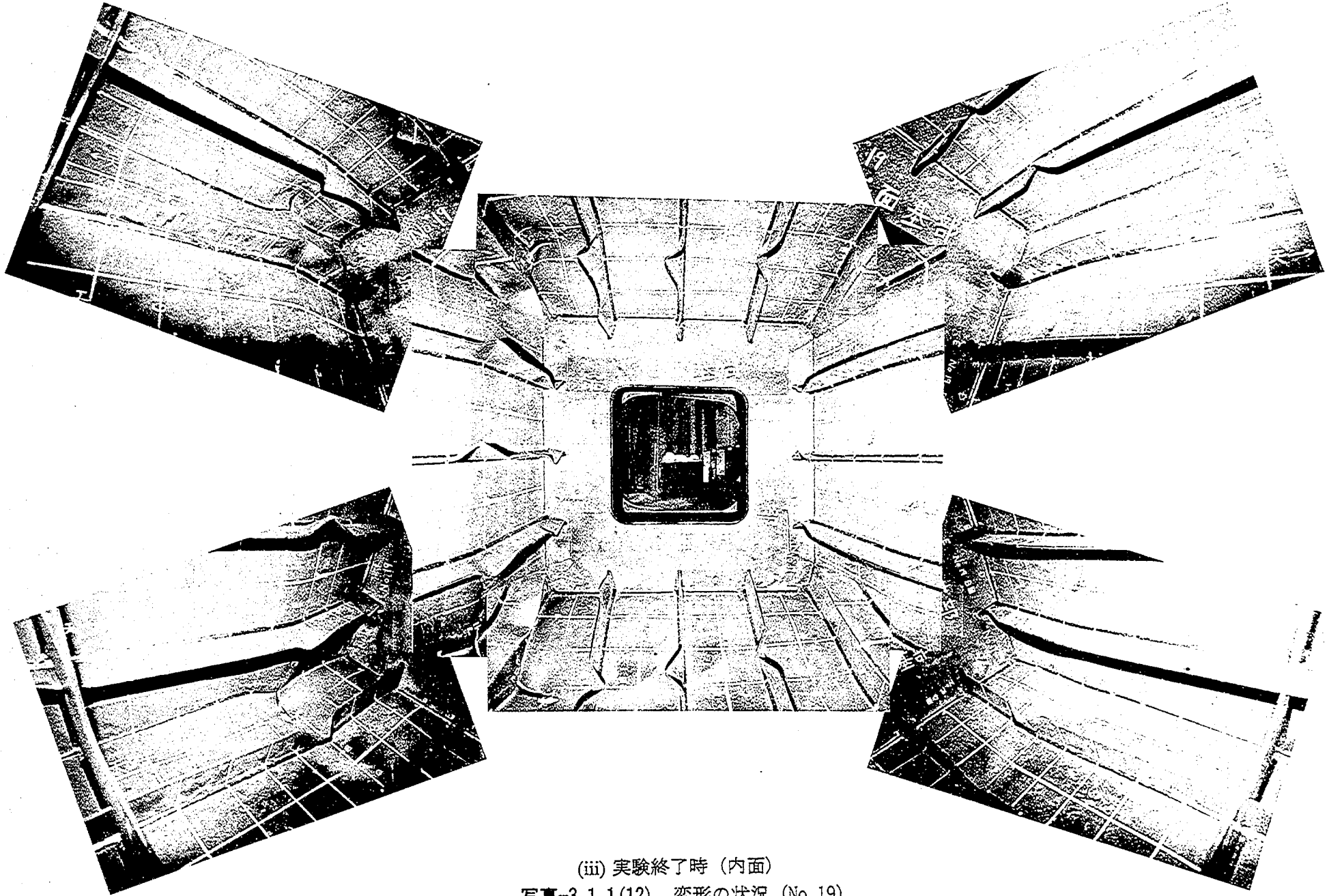




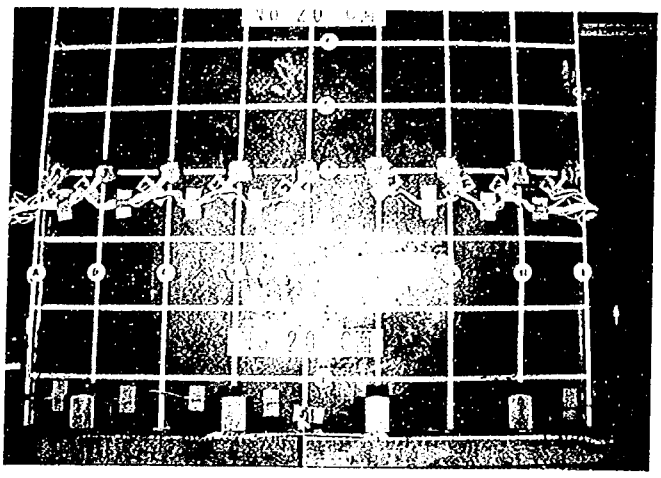
(i) 最大荷重を超えた点（＋４ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋８ $\delta_y$）

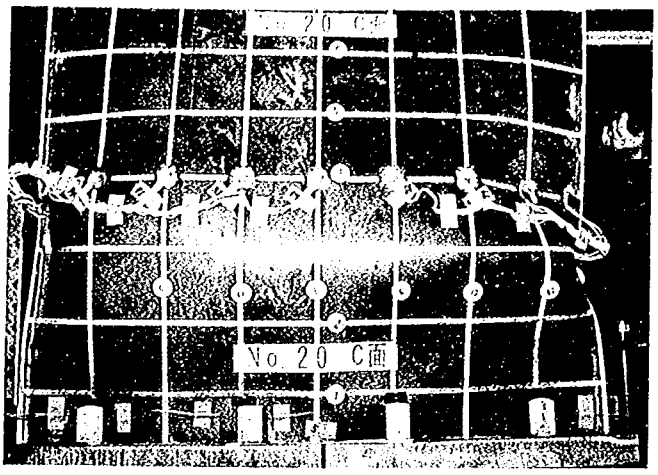
写真-3.1.1(12)　変形の状況（No. 19）

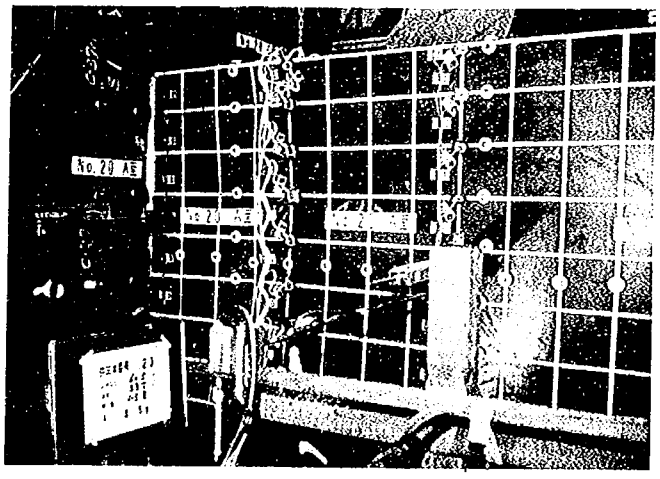


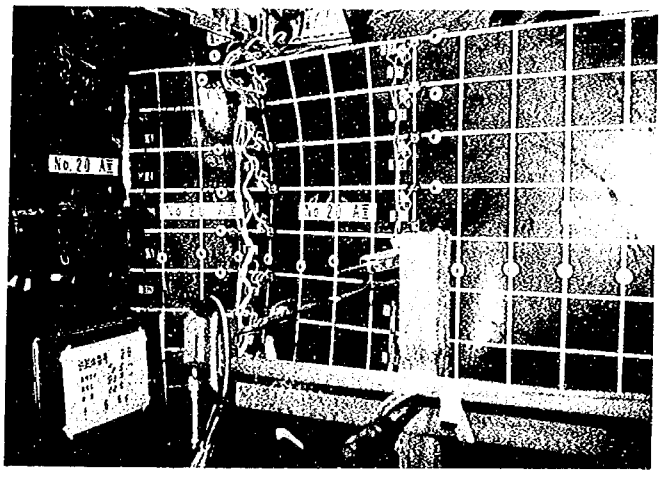
(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(12)　変形の状況（No. 19）



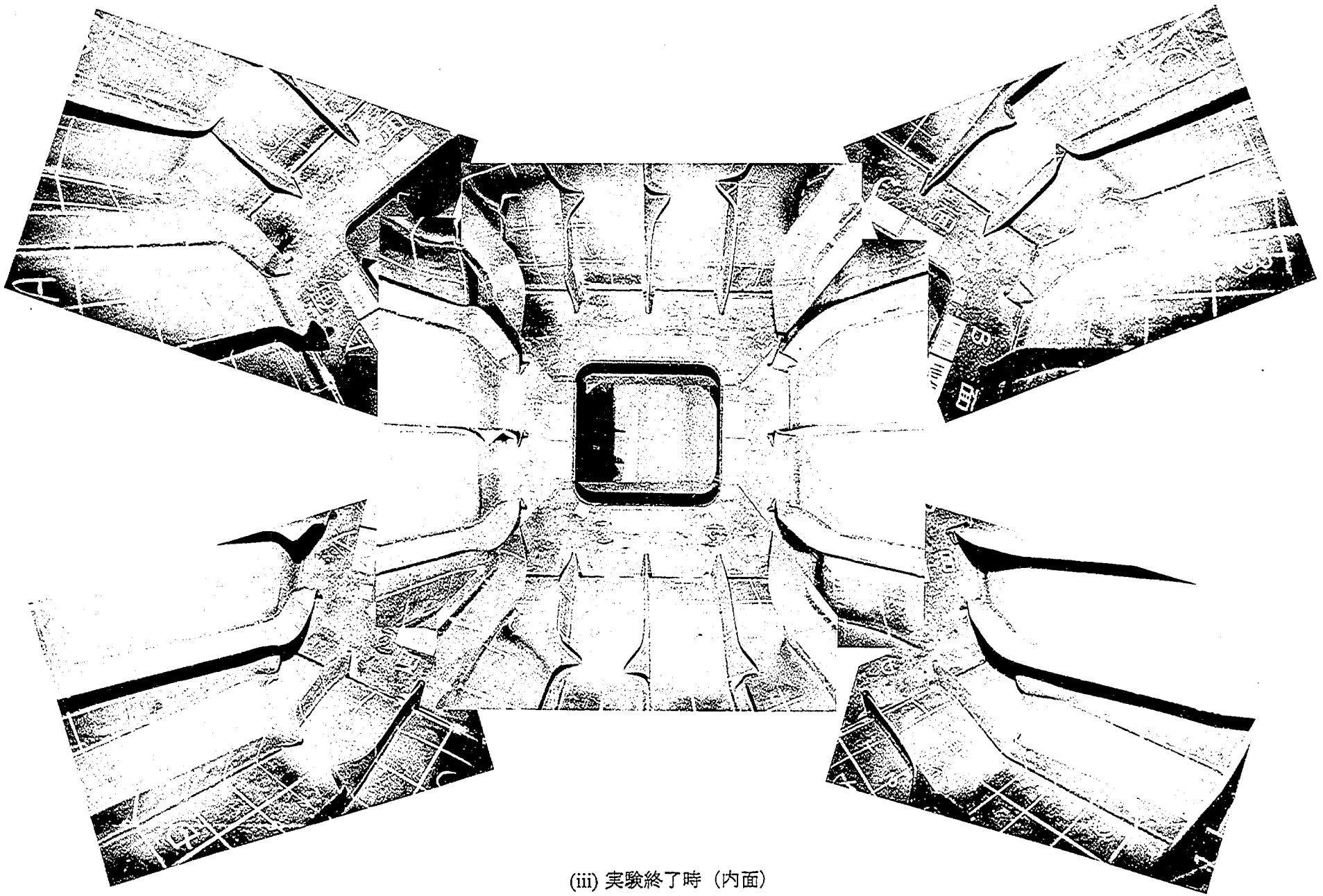


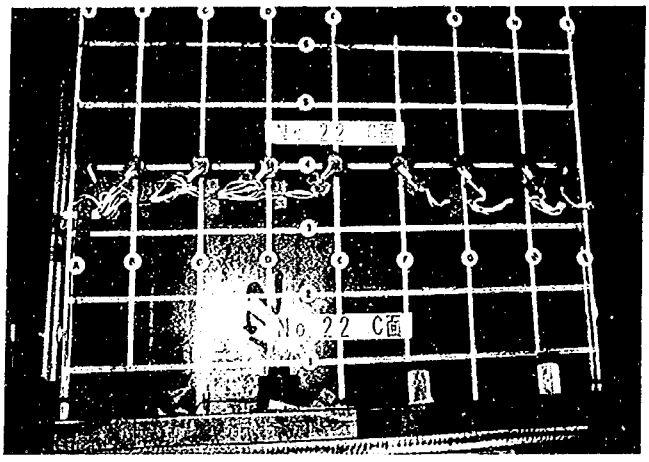

(i) 最大荷重を超えた点（＋４ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋６ $\delta_y$）

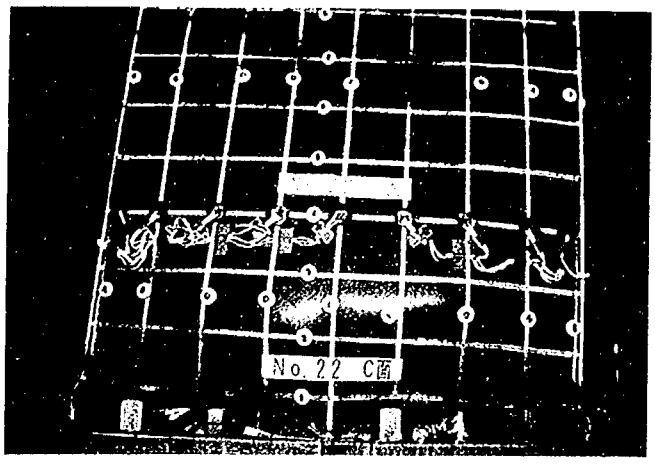
**写真**-3.1.1(13)　変形の状況（No. 20）

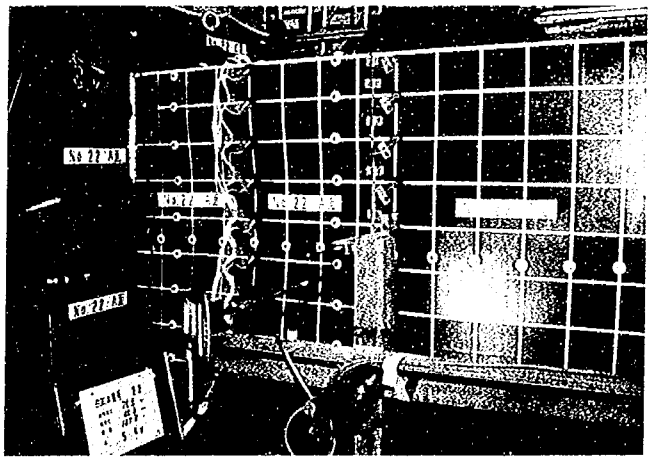


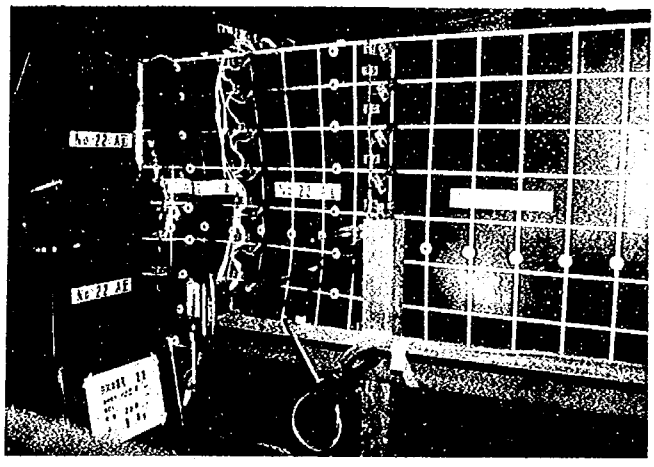
(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(13)　変形の状況（No.20）



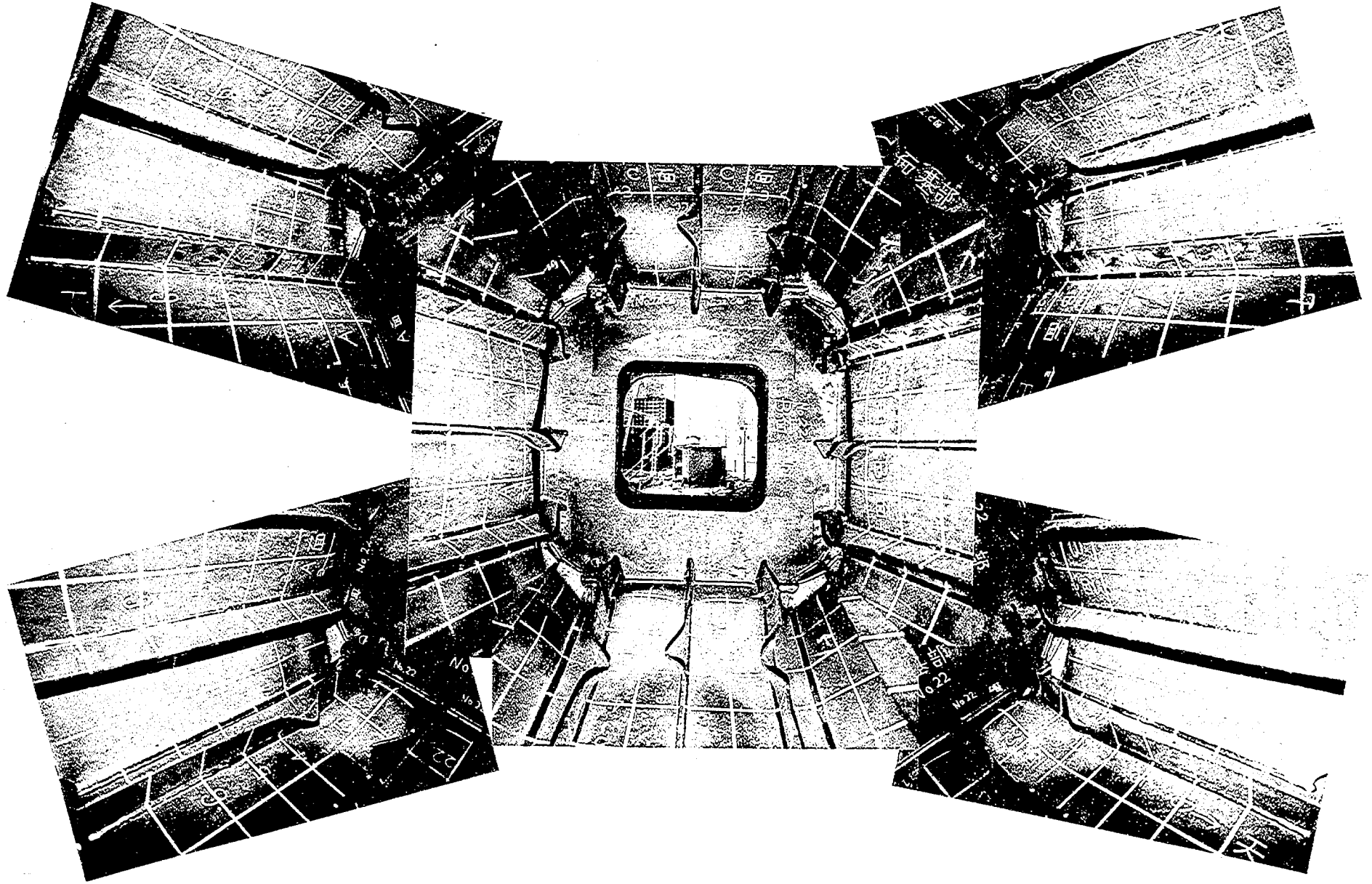





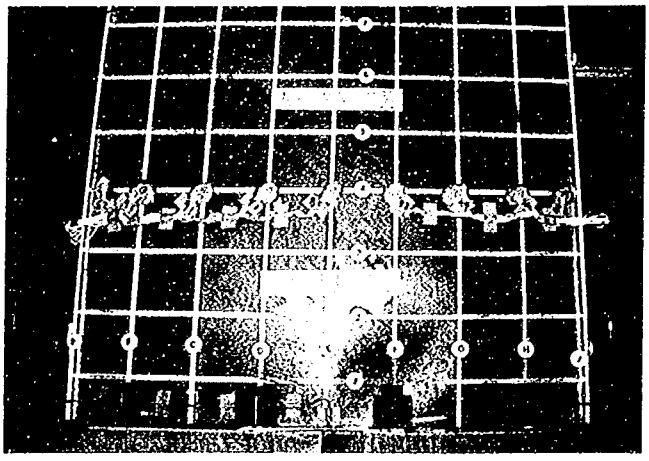
(i) 最大荷重を超えた点（＋５ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋９ $\delta_y$）

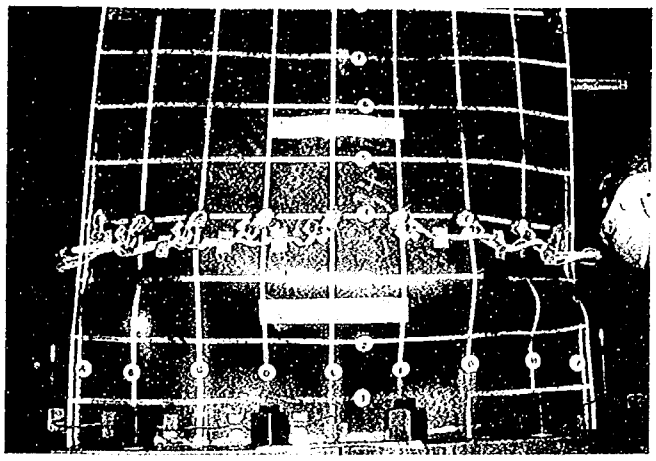
写真-3.1.1(14)　変形の状況（No. 22）

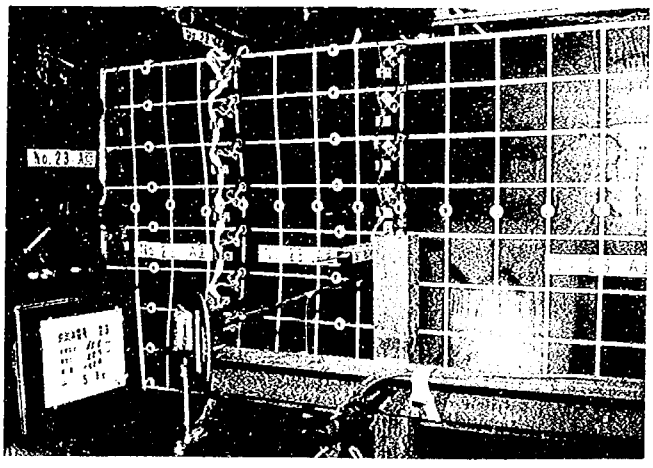


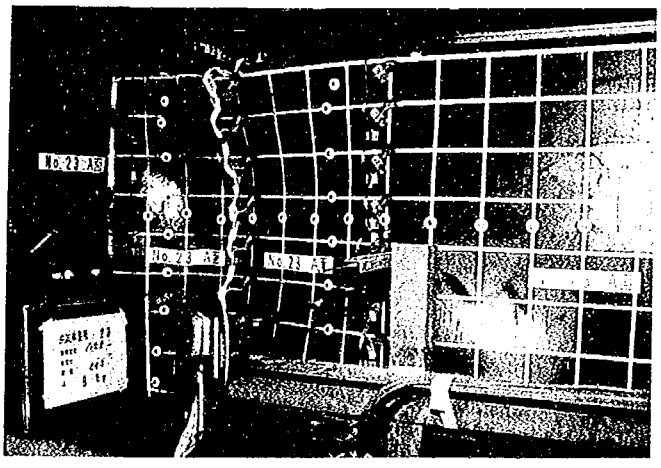
(iii) 実験終了時（内面）

**写真**-3.1.1(14)　変形の状況（No. 22）





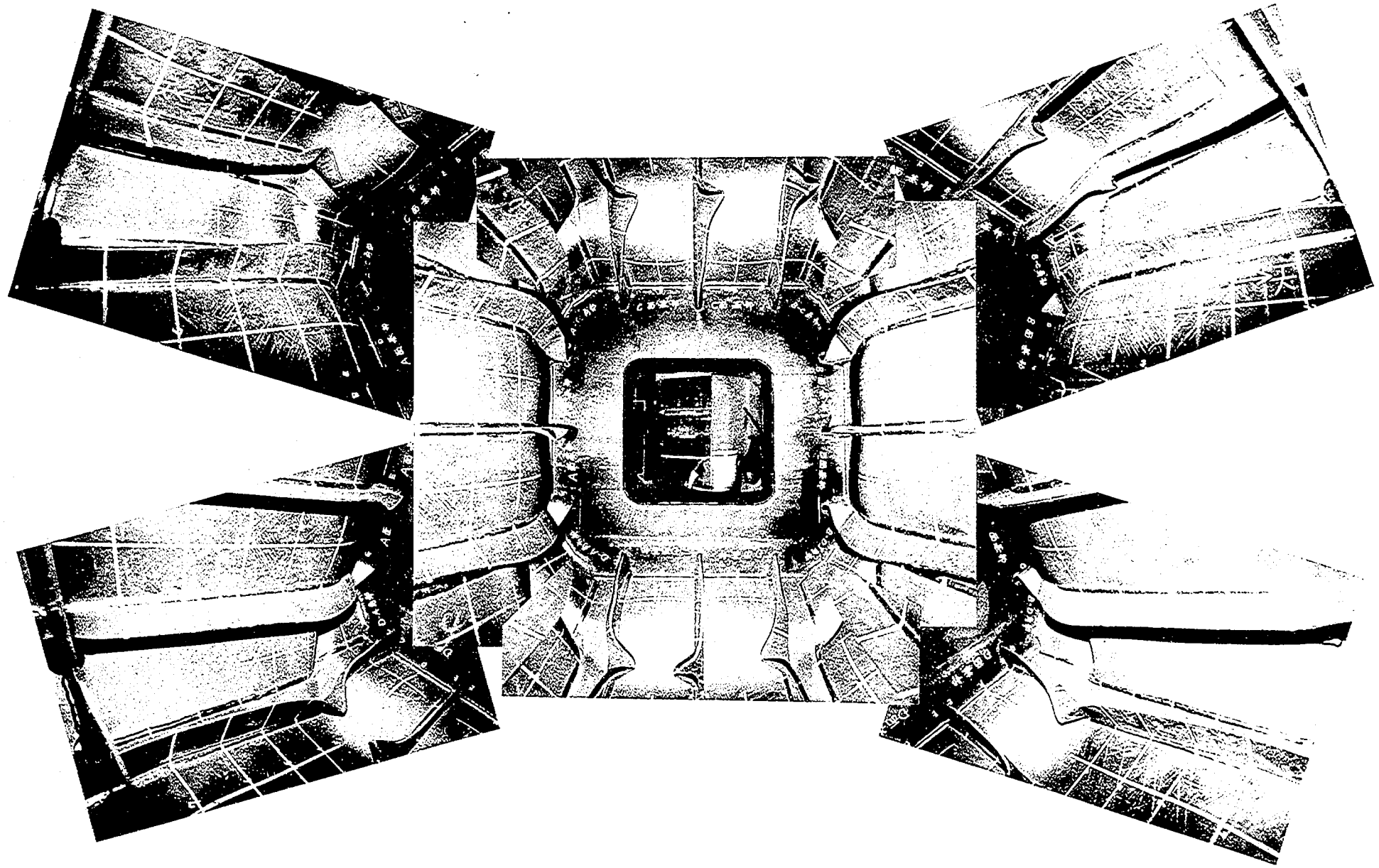




(i) 最大荷重を超えた点（＋５ $\delta_y$）

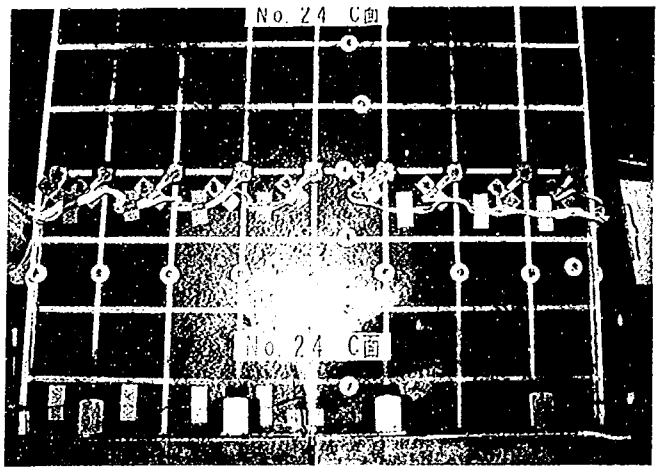
(ii) 実験終了時付近（＋８ $\delta_y$）

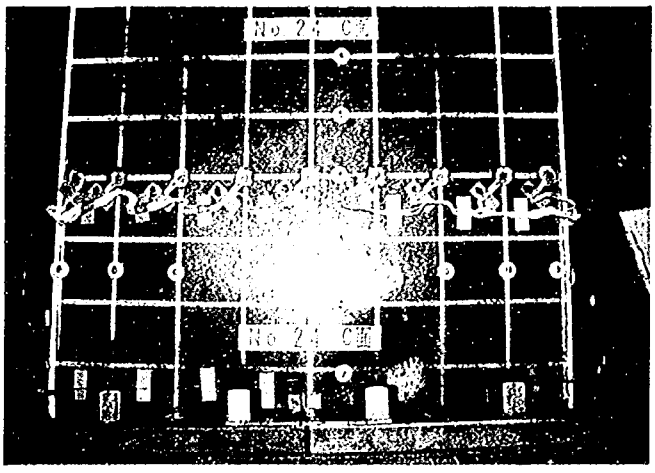
写真-3.1.1(15)　変形の状況（No. 23）

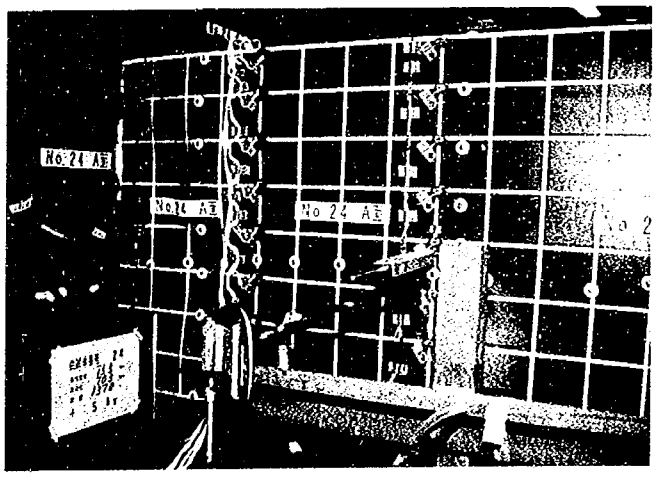


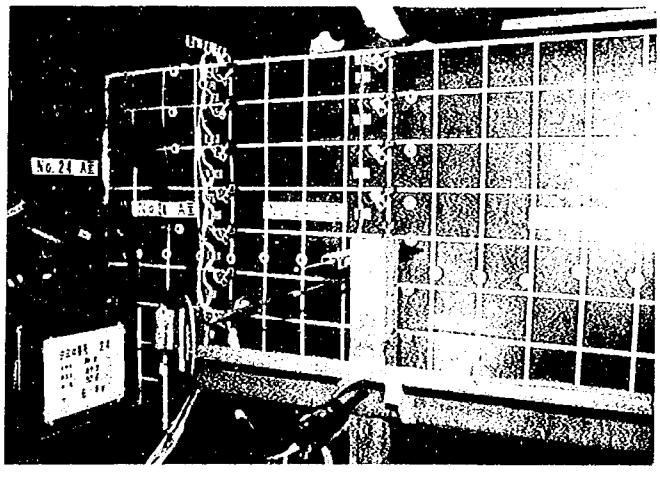
(iii) 実験終了時（内面）

**写真-3.1.1(15)　変形の状況（No.23）**



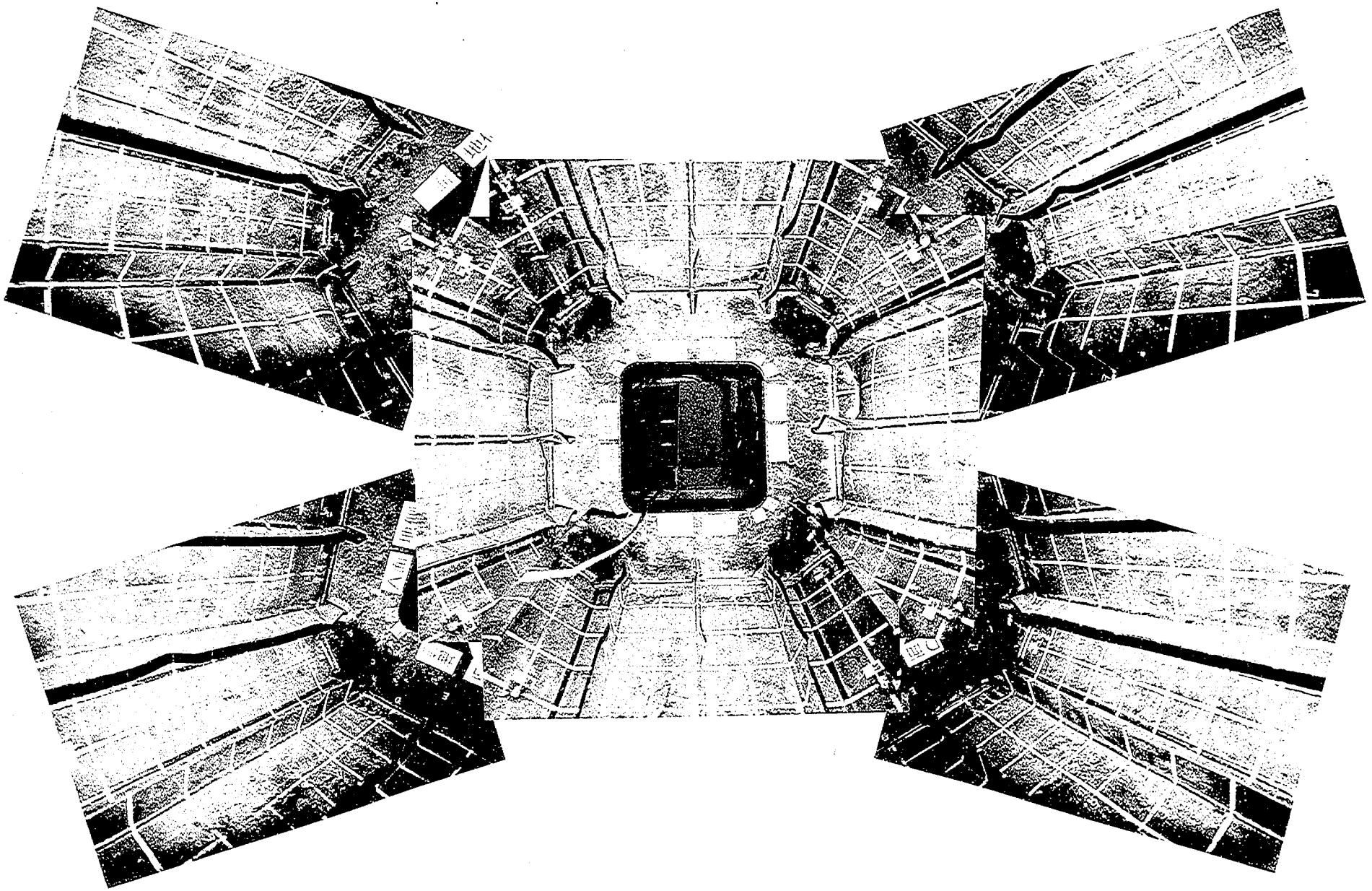





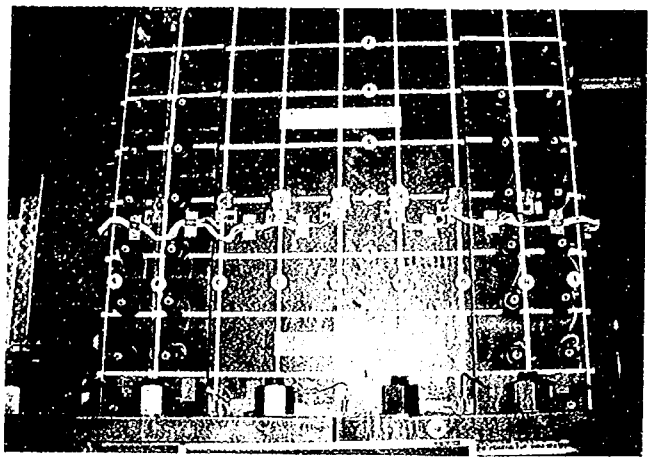

(i) 最大荷重を超えた点（＋５ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋６ $\delta_y$）

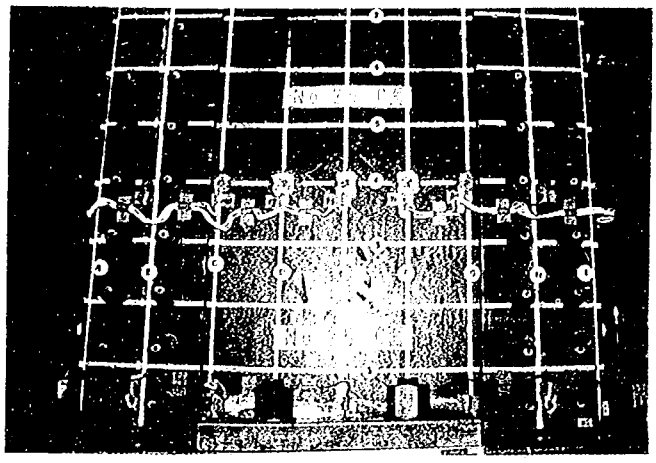
写真-3.1.1(16)　変形の状況（No. 24）

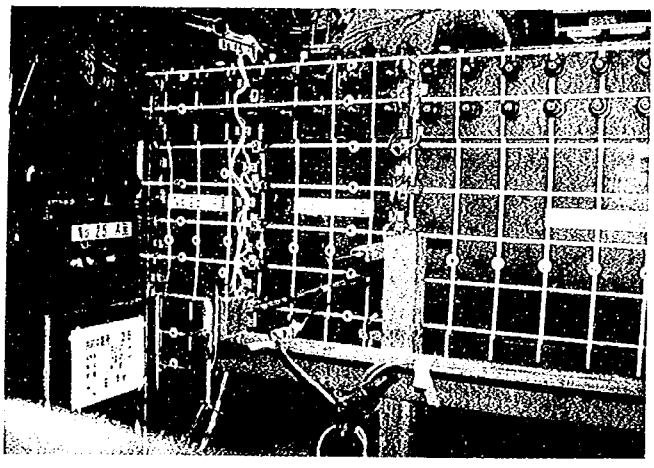


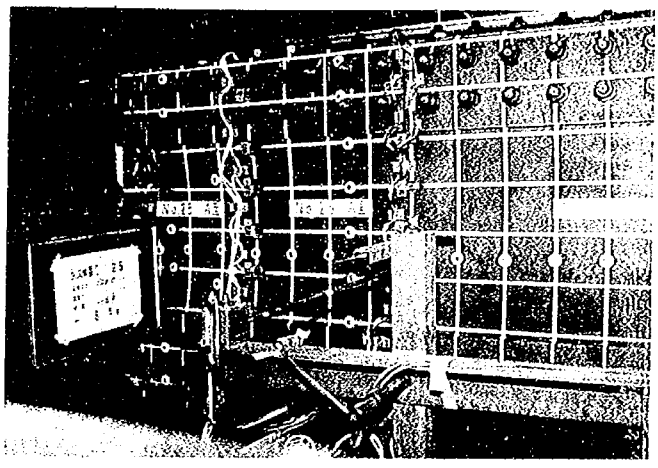
(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(16)　変形の状況（No.24）



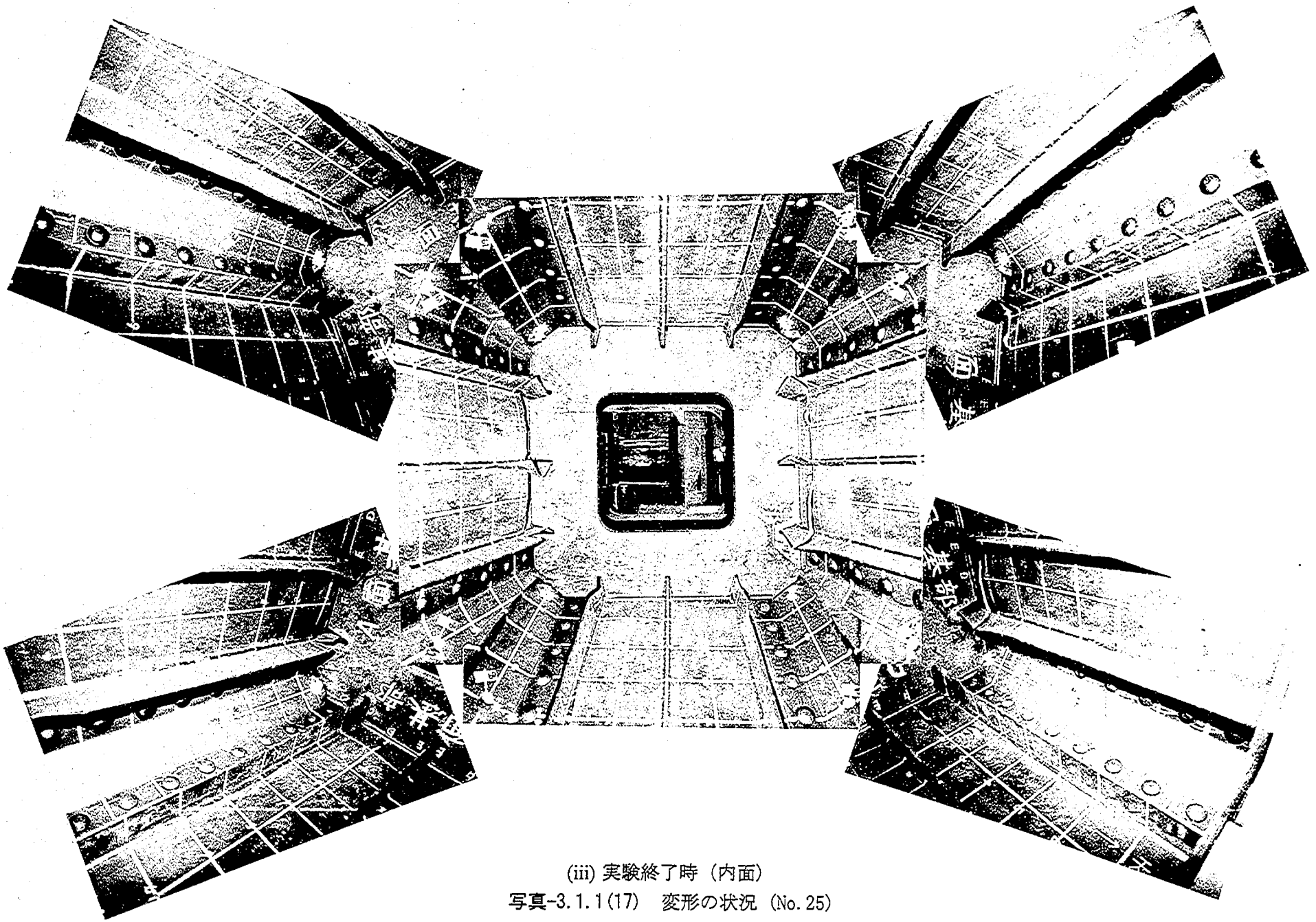






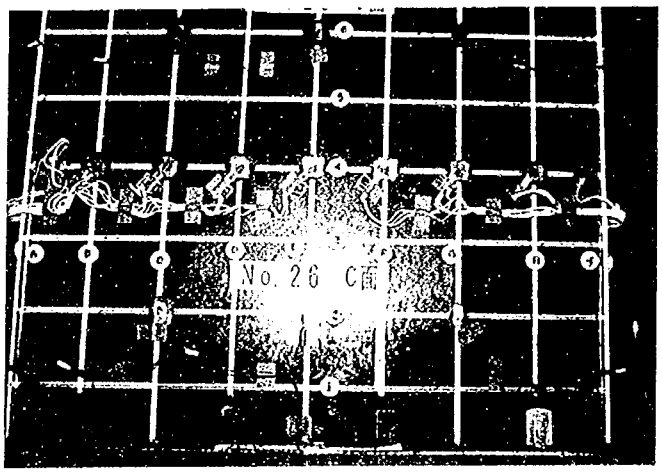
(i) 最大荷重を超えた点（＋6 $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋8 $\delta_y$）

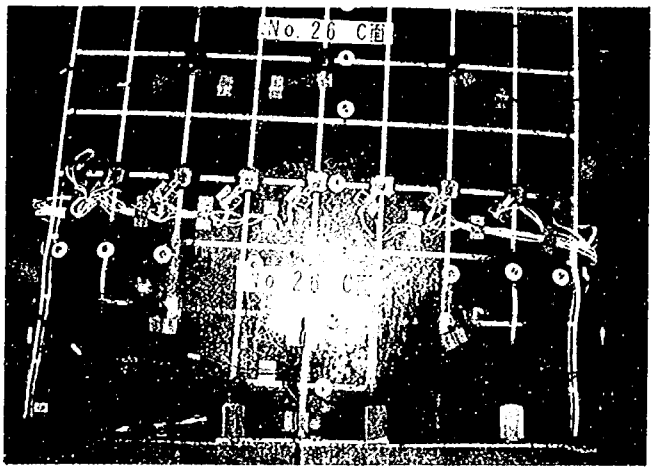
**写真**-3.1.1(17)　変形の状況（No. 25）

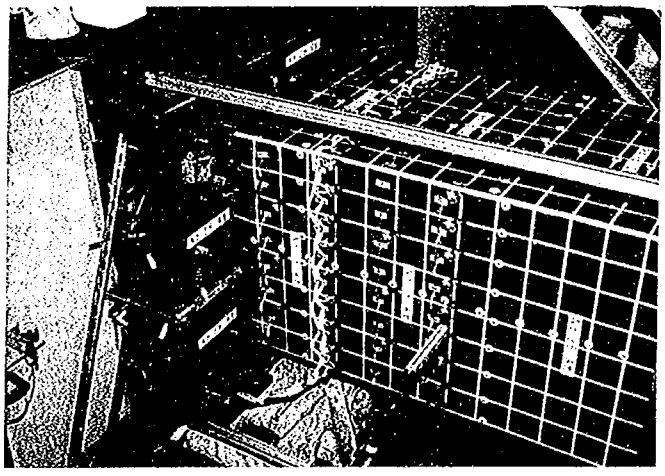


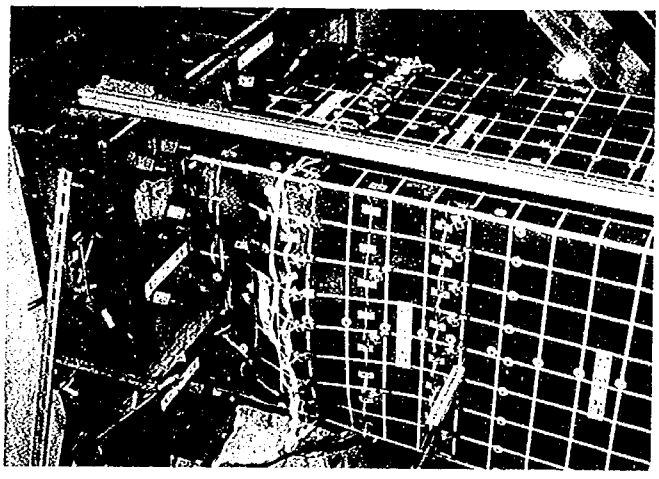
(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(17)　変形の状況（No. 25）



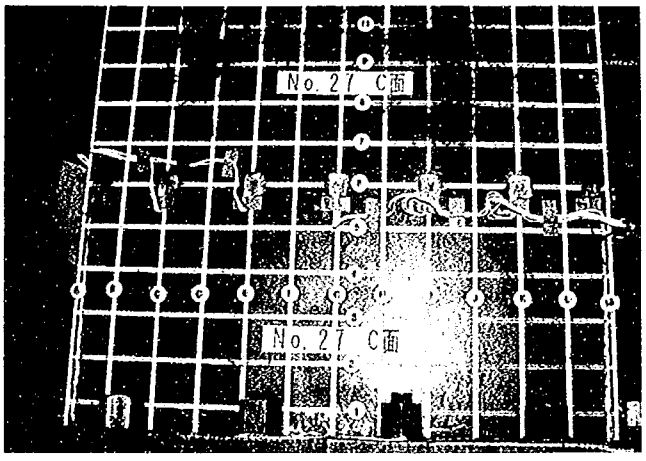



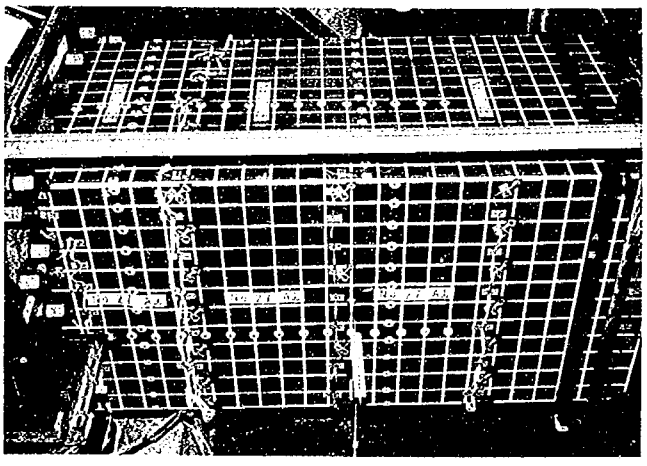


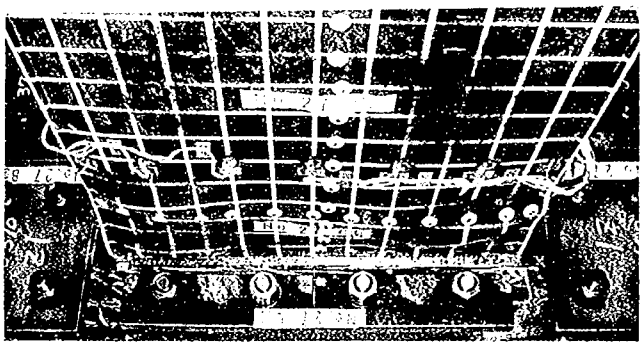
(i) 最大荷重を超えた点（＋ 6 $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋ 11 $\delta_y$）

写真-3. 1. 1(18)　変形の状況（No. 26）

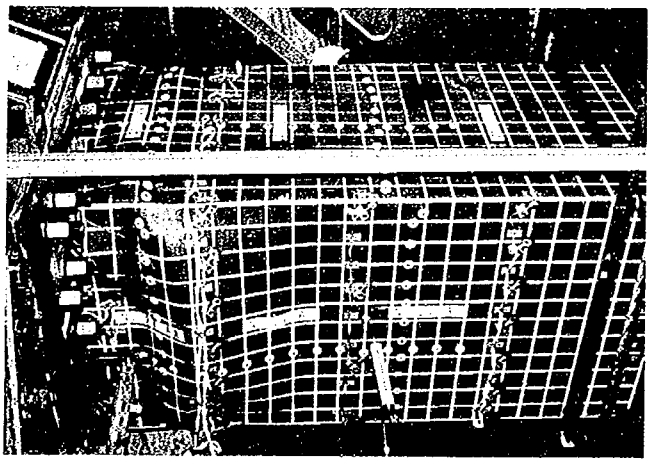




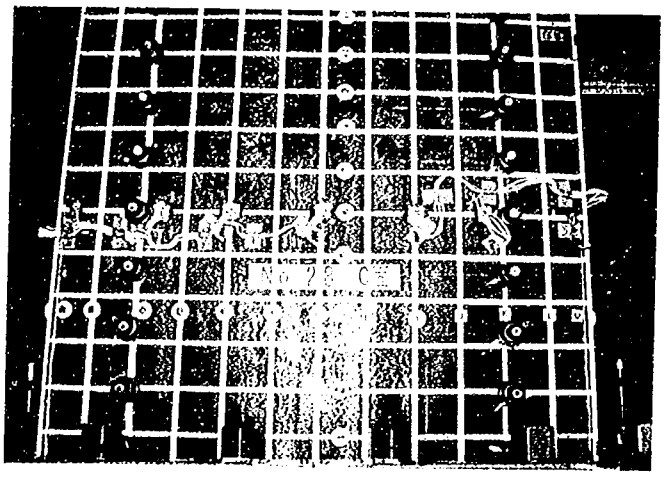


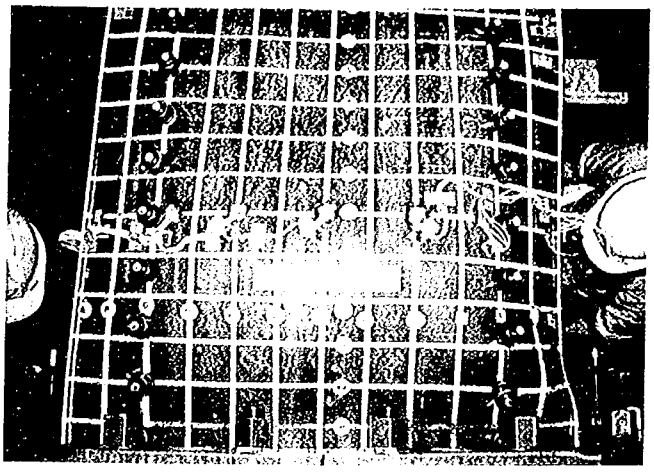
(i) 最大荷重を超えた点（＋ 5 $\delta_y$）

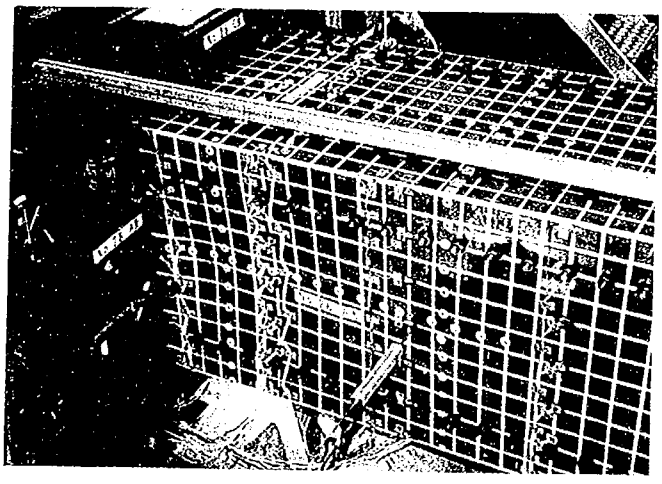


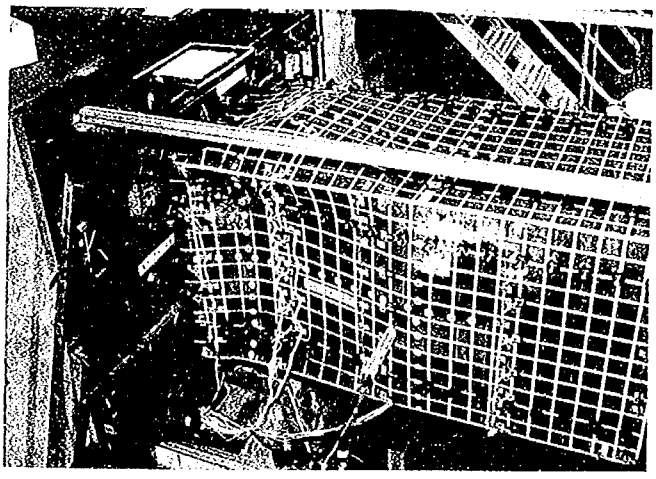
(ii) 実験終了時付近（＋ 12 $\delta_y$）

**写真-3.1.1(19)　変形の状況（No. 27）**





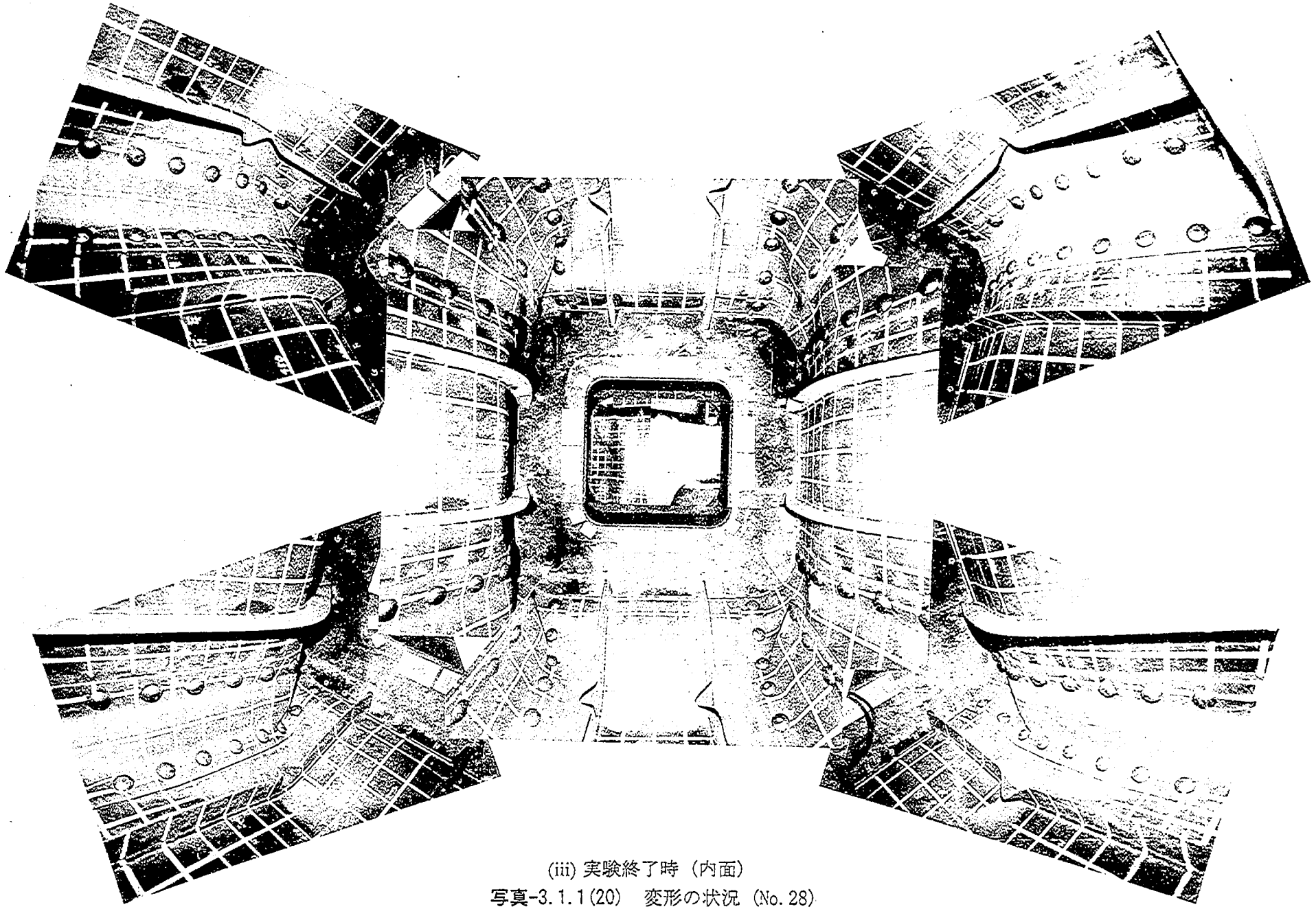




(i) 最大荷重を超えた点 (＋4 $\delta_y$)

(ii) 実験終了時付近 (＋6 $\delta_y$)

写真-3.1.1(20)　変形の状況 (No. 28)



(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.1.1(20)　変形の状況（No. 28）

# 3.2 円 形 断 面

## 表-3.2.1 実験結果一覧

| 円形断面 供試体 | | 外形寸法 $2R$ (mm) | 板厚 $t$ (mm) | 横リブ間隔 $a$ (mm) | 鋼種 | 鋼材降伏点 $\sigma_y$ (kgf/cm$^2$) | 断面積 $A$ (cm$^2$) | 断面2次モーメント $I$ (cm$^4$) | 断面2次半径 $r$ (cm) | 有効長 $l$ (=2$h$) (cm) | 細長比 $\lambda$ | 径厚比 $R/t$ | 径厚比パラメータ $R_t$ | 軸力 $N$ (tf) | 軸力比 $N/N_{yN}$ | 軸力比 $N/N_{yM}$ | 供試体 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 6 | 基本 | 900 | 16 | − | SM490 | 3,510 | 444.3 | 434,200 | 31.3 | 680.6 | 0.283 | 28.1 | 0.076 | 213 | 0.150 | 0.137 | No. 6 |
| No. 8 | 基本 | 900 | 9 | 900 | SS400 | 2,960 | 251.9 | 250,000 | 31.5 | 680.6 | 0.258 | 50.0 | 0.115 | 90.7 | 0.150 | 0.122 | No. 8 |
| No.29 | 基本 No.8軸力増 | 900 | 9 | 900 | SS400 | 3,150 | 251.9 | 250,000 | 31.5 | 684.6 | 0.268 | 50.0 | 0.123 | 158 | 0.261 | 0.199 | No.29 |
| No. 7 | No. 6巻立て隙間10mm | 900 | 16 | − | SM490 | 3,540 | 444.3 | 434,200 | 31.3 | 680.6 | 0.285 | 28.1 | 0.077 | 213 | 0.150 | 0.136 | No. 7 |
| No. 9 | No. 8巻立て隙間10mm | 900 | 9 | 900 | SS400 | 2,850 | 251.9 | 250,000 | 31.5 | 680.6 | 0.253 | 50.0 | 0.111 | 90.7 | 0.150 | 0.126 | No. 9 |
| No.15 | No. 8巻立て隙間 5mm | 900 | 9 | 900 | SS400 | 3,130 | 251.9 | 250,000 | 31.5 | 684.6 | 0.267 | 50.0 | 0.122 | 90.7 | 0.150 | 0.115 | No.15 |
| No.31 | No.29巻立て間隔 5mm(No.15軸力増) | 900 | 9 | 900 | SS400 | 3,150 | 251.9 | 250,000 | 31.5 | 684.6 | 0.268 | 50.0 | 0.123 | 158 | 0.261 | 0.199 | No.31 |
| No.16 | No. 8コンクリート充填 | 900 | 9 | 900 | SS400 | 3,150 | 251.9 | 250,000 | 31.5 | 684.6 | 0.268 | 50.0 | 0.123 | 90.7 | 0.150 | 0.114 | No.16 |
| No.30 | No. 8コンクリート充填 軸力増 | 900 | 9 | 900 | SS400 | 3,150 | 251.9 | 250,000 | 31.5 | 684.6 | 0.268 | 50.0 | 0.123 | 158 | 0.261 | 0.199 | No.30 |

| 円形断面 供試体 | | 実験場所 | $P_{yN}$ (tf) | $P_{yM}$ (tf) | $Pu$ (tf) | $\frac{Pu}{P_{yM}}$ | $\delta_{yTN}$ (mm) | $\delta_{yTM}$ (mm) | $\delta_{yEN}$ (mm) | $\delta_{yEM}$ (mm) | $\delta_m$ (mm) | $\delta_{97}$ (mm) | $\delta_{95}$ (mm) | $\delta_{lim}$ (mm) | $\delta_u$ (mm) | $\frac{\delta_m}{\delta_{yEN}}$ | $\frac{\delta_{97}}{\delta_{yEN}}$ | $\frac{\delta_{95}}{\delta_{yEN}}$ | $\frac{\delta_{lim}}{\delta_{yEN}}$ | $\frac{\delta_u}{\delta_{yEN}}$ | 供試体 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 6 | 基本 | A社 | 77.1 | 85.9 | 157 | 1.83 | 11.1 | 12.4 | 14.2 | 15.8 | 51 | 72 | 78 | 77 | 120 | 3.6 | 5.1 | 5.5 | 5.4 | 8.5 | No. 6 |
| No. 8 | 基本 | A社 | 33.3 | 42.4 | 60.7 | 1.43 | 8.3 | 10.6 | 10.1 | 12.9 | 26 | 32 | 35 | 34 | 50 | 2.6 | 3.2 | 3.5 | 3.4 | 5.0 | No. 8 |
| No.29 | 基本 No.8軸力増 | 土研 | 28.8 | 40.9 | 53.7 | 1.31 | 7.3 | 10.4 | 8.5 | 12.1 | 24 | 28 | 29 | 27 | 37 | 2.8 | 3.3 | 3.4 | 3.2 | 4.4 | No.29 |
| No. 7 | No. 6巻立て隙間10mm | A社 | 77.1 | 86.8 | 161 | 1.86 | 11.1 | 12.5 | 15.5 | 17.4 | 59 | 82 | 98 | 97 | 159 | 3.8 | 5.3 | 6.3 | 6.3 | 10.3 | No. 7 |
| No. 9 | No. 8巻立て隙間10mm | A社 | 33.3 | 40.7 | 61.4 | 1.51 | 8.3 | 10.2 | 10.7 | 13.1 | 26 | 33 | 35 | − | 69 | 2.4 | 3.1 | 3.3 | − | 6.4 | No. 9 |
| No.15 | No. 8巻立て隙間 5mm | 土研 | 33.1 | 45.0 | 66.1 | 1.47 | 8.4 | 11.4 | 10.2 | 13.9 | 36 | 44 | 48 | 51 | 75 | 3.5 | 4.3 | 4.7 | 5.0 | 7.4 | No.15 |
| No.31 | No.29巻立て間隔 5mm(No.15軸力増) | 土研 | 28.8 | 40.9 | 55.3 | 1.35 | 7.3 | 10.4 | 8.5 | 12.1 | 34 | 38 | 40 | 37 | 53 | 4.0 | 4.5 | 4.7 | 4.4 | 6.2 | No.31 |
| No.16 | No. 8コンクリート充填 | 土研 | 33.1 | 45.3 | 95.1 | 2.10 | 8.4 | 11.5 | 10.0 | 13.7 | 78 | 119 | 128 | − | 167 | 7.8 | 11.9 | 12.8 | − | 16.7 | No.16 |
| No.30 | No. 8コンクリート充填 軸力増 | 土研 | 28.8 | 40.9 | 87.9 | 2.15 | 7.3 | 10.4 | 7.4 | 10.5 | 63 | 97 | 113 | − | 171 | 8.5 | 13.1 | 15.3 | − | 23.1 | No.30 |

注) 記号の説明については、図-3.1.1を参照。

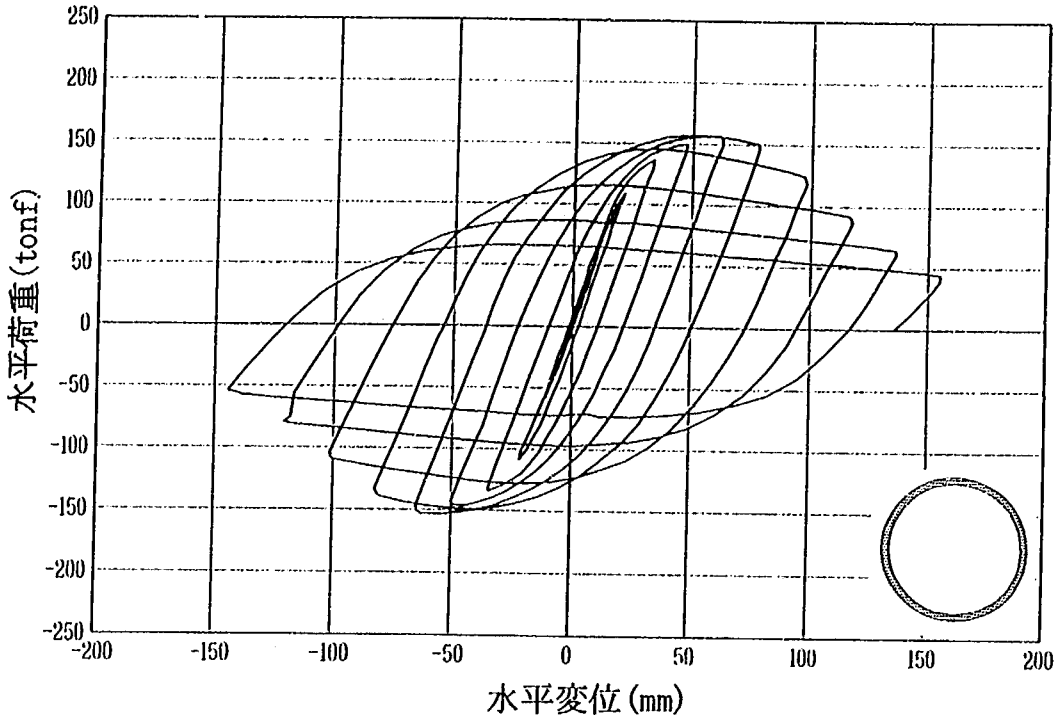



図-3.2.1(1)　水平荷重－水平変位関係（No. 6）

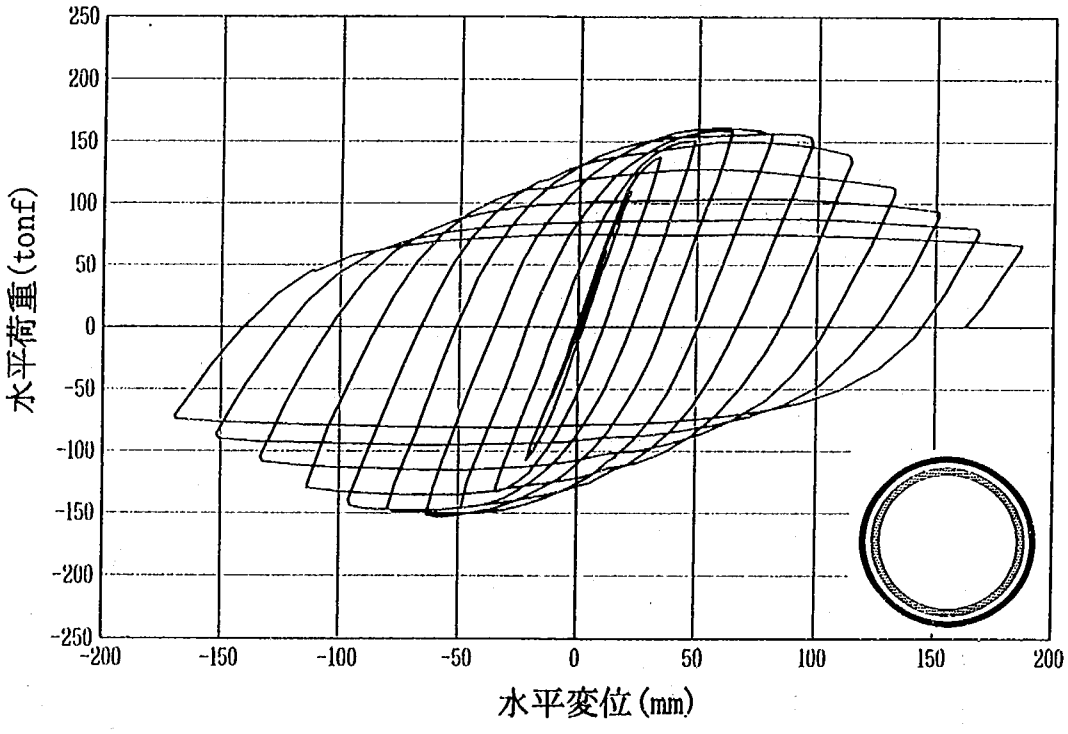



図-3.2.1(2)　水平荷重－水平変位関係（No. 7）

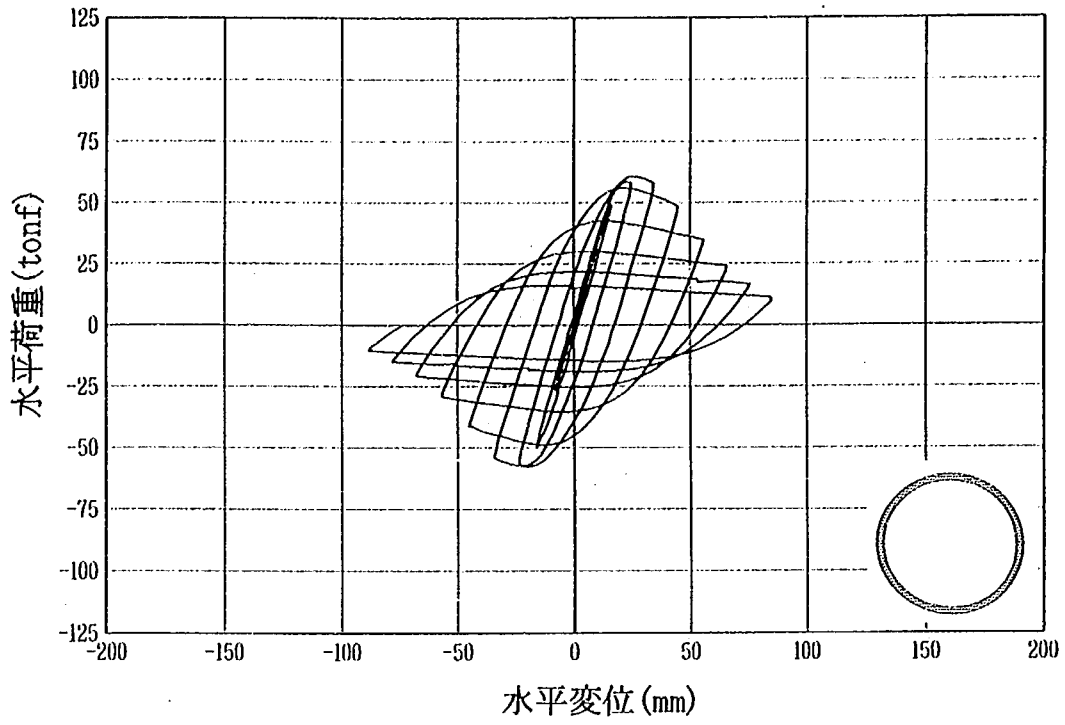



図-3.2.1(3)　水平荷重－水平変位関係（No. 8）

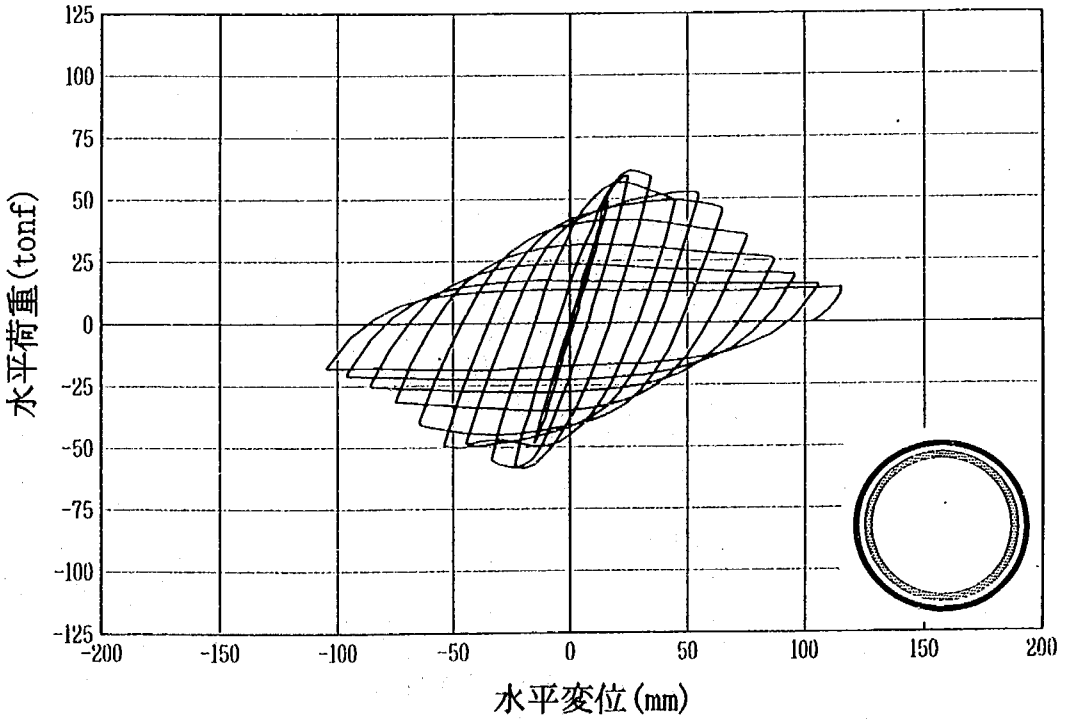



図-3.2.1(4)　水平荷重－水平変位関係（No. 9）

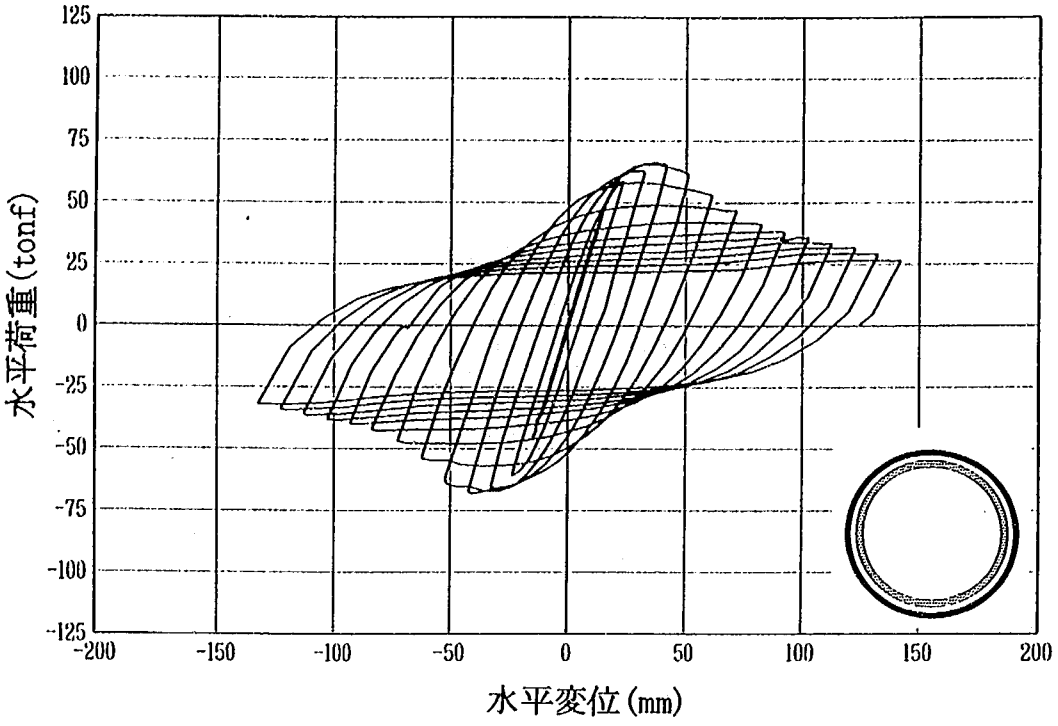



**図-3.2.1(5)　水平荷重－水平変位関係（No. 15）**

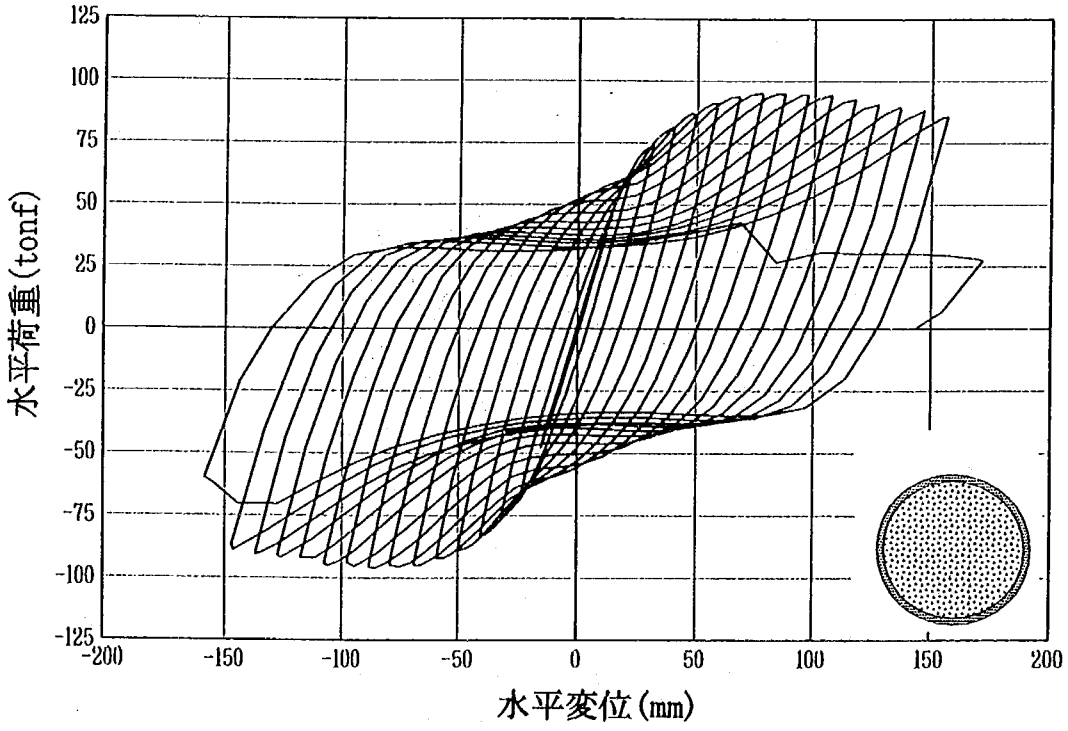



**図-3.2.1(6)　水平荷重－水平変位関係（No. 16）**

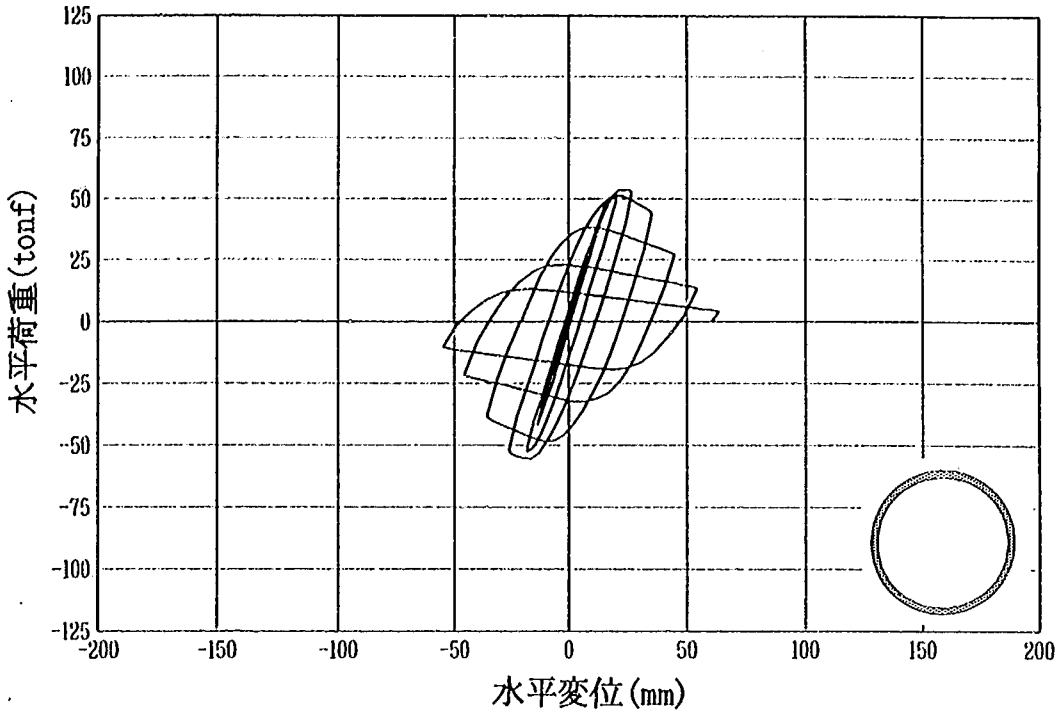



図-3.2.1(7)　水平荷重－水平変位関係（No. 29）

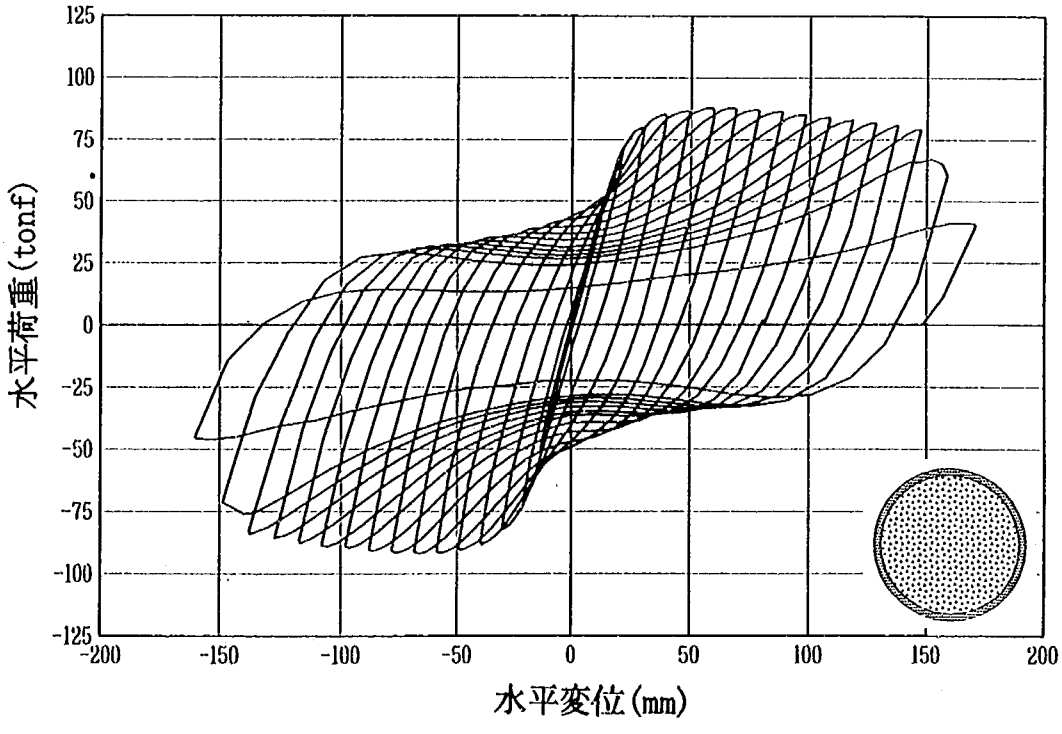



図-3.2.1(8)　水平荷重－水平変位関係（No. 30）

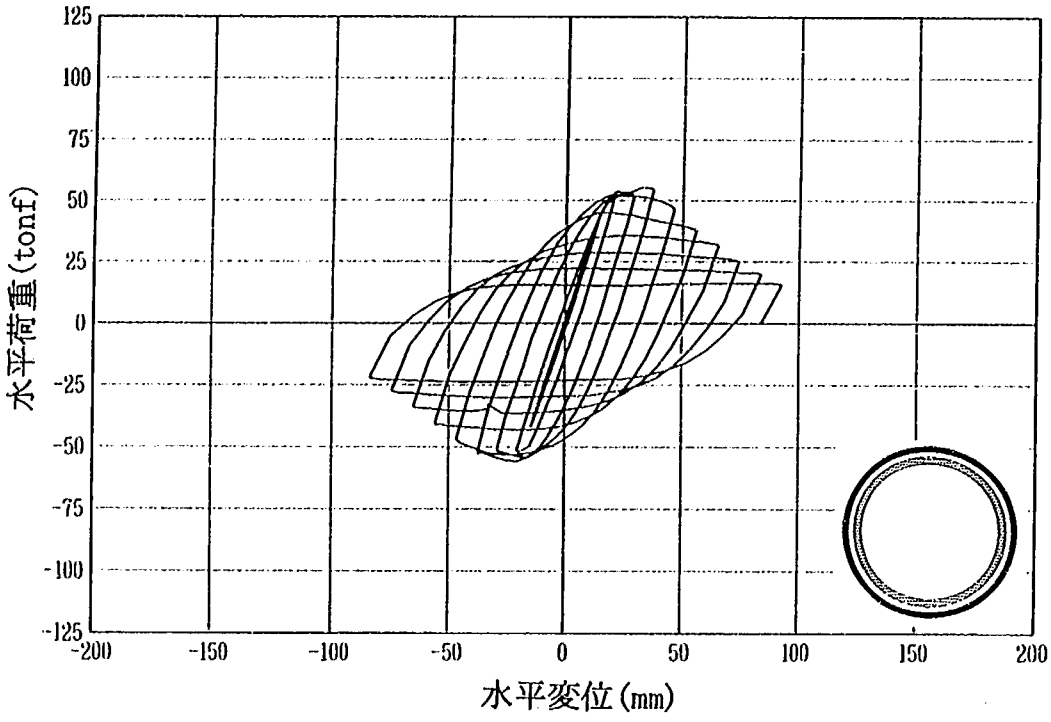



図-3.2.1(9)　水平荷重－水平変位関係（No. 31）

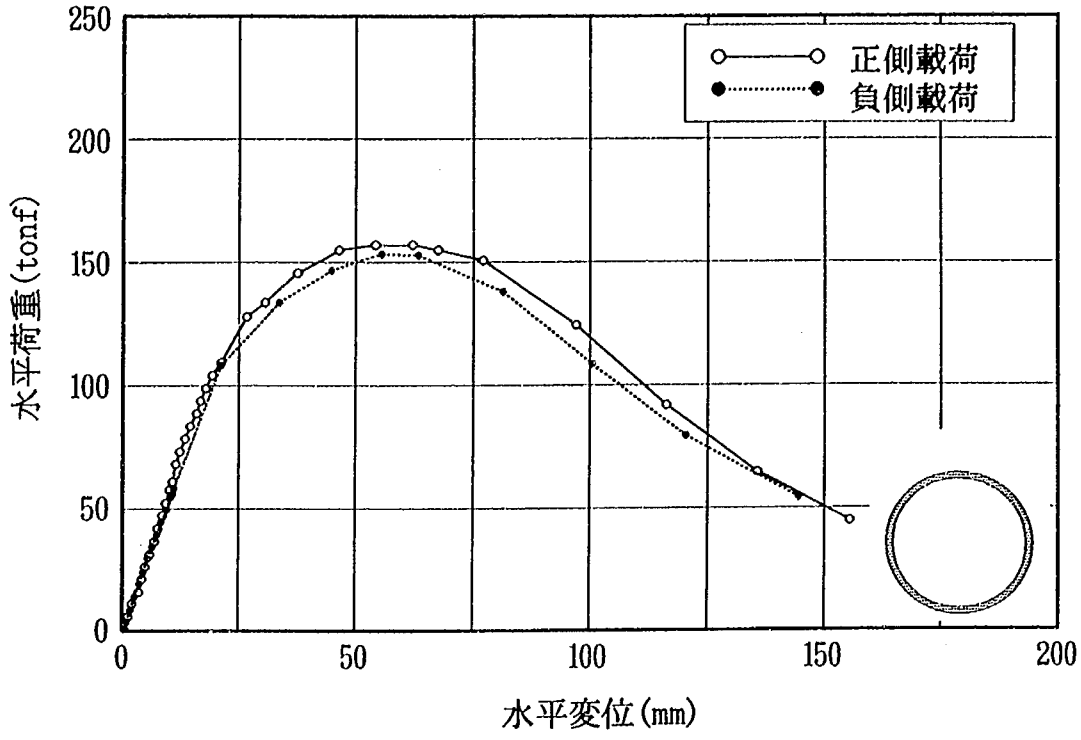



図-3.2.2(1)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 6）

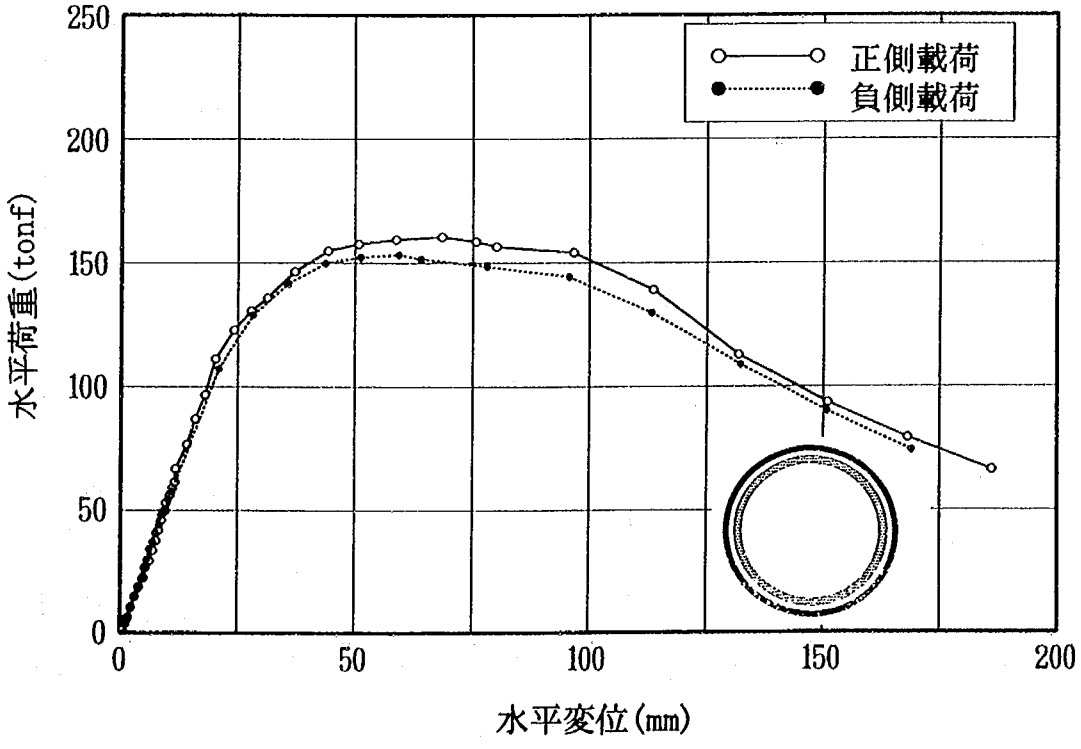



図-3.2.2(2)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 7）

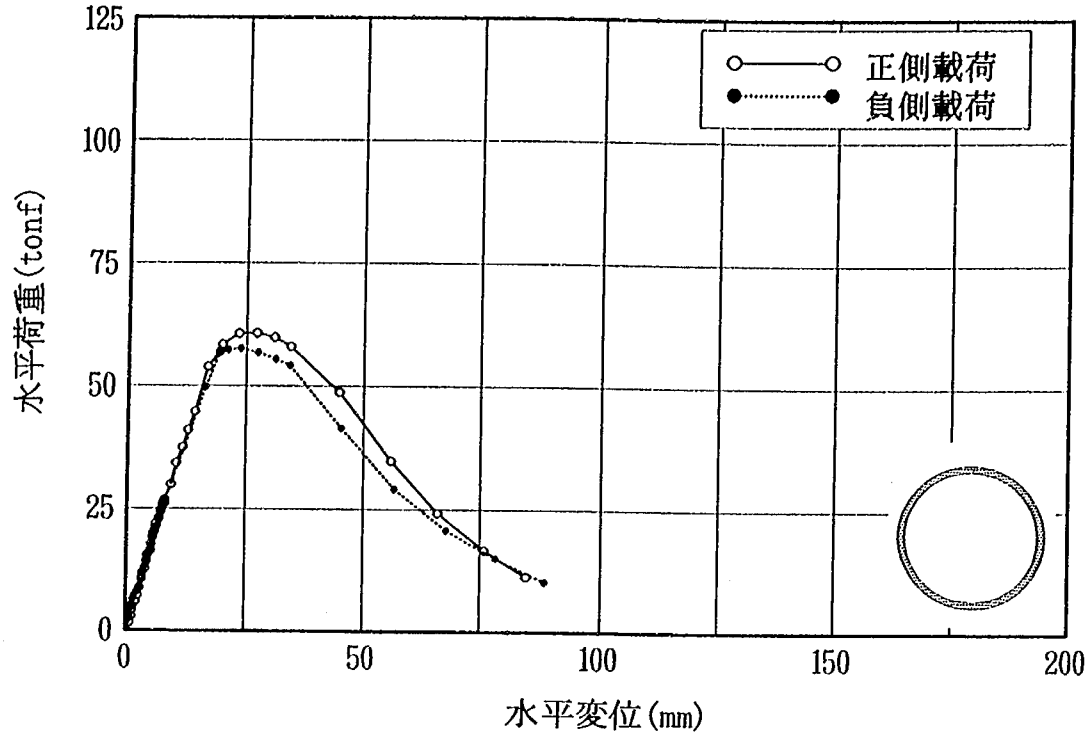



図-3.2.2(3)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 8）

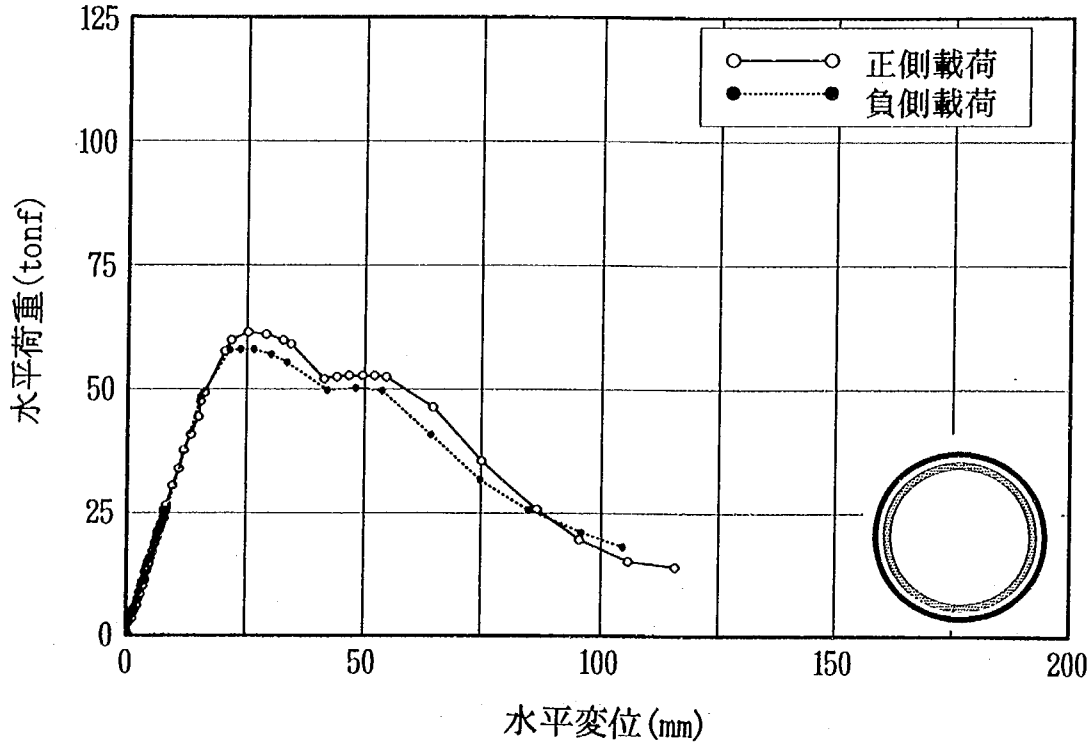



図-3.2.2(4)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 9）

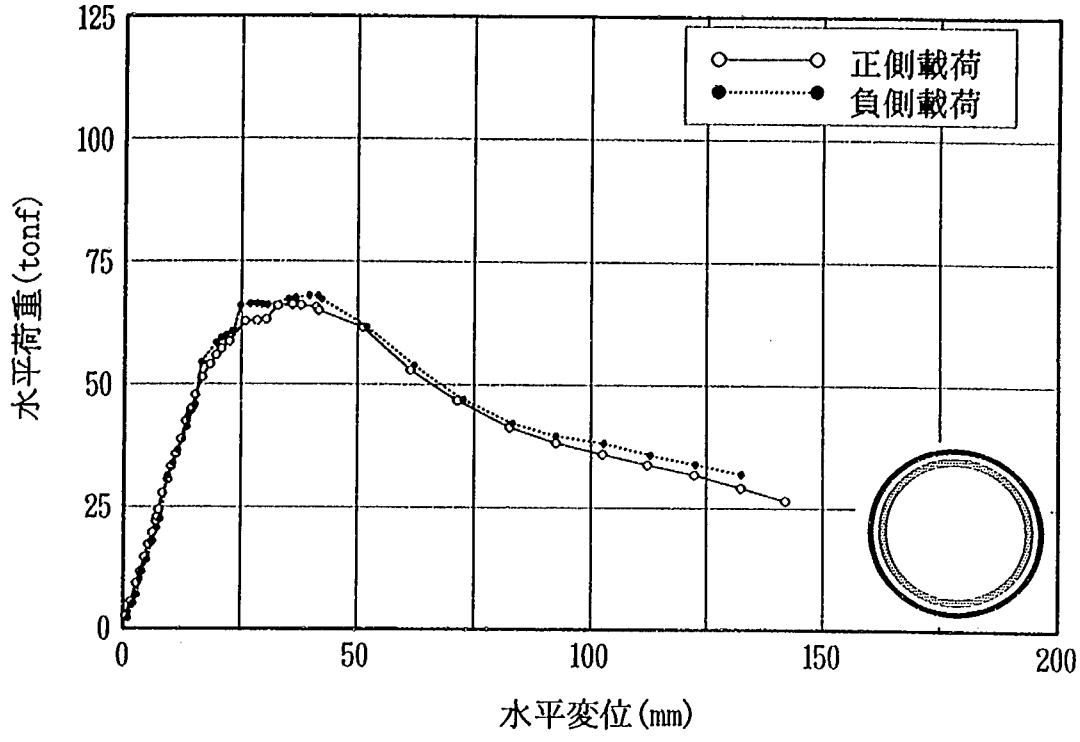



図-3.2.2(5)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 15）

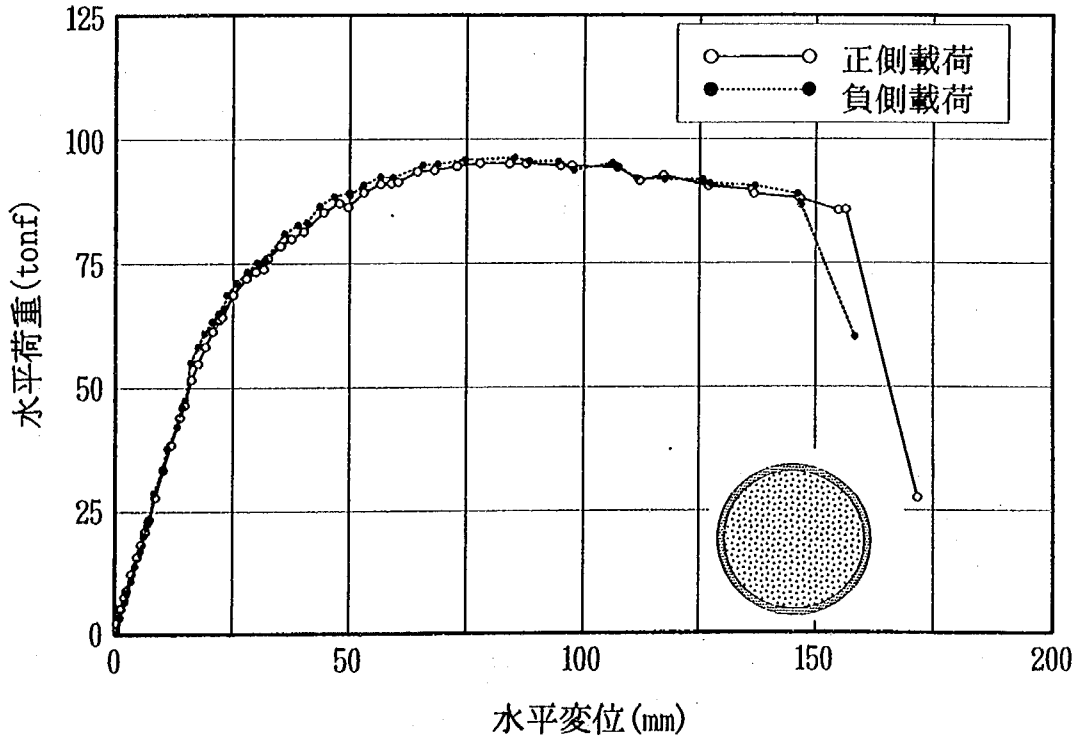



図-3.2.2(6)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 16）

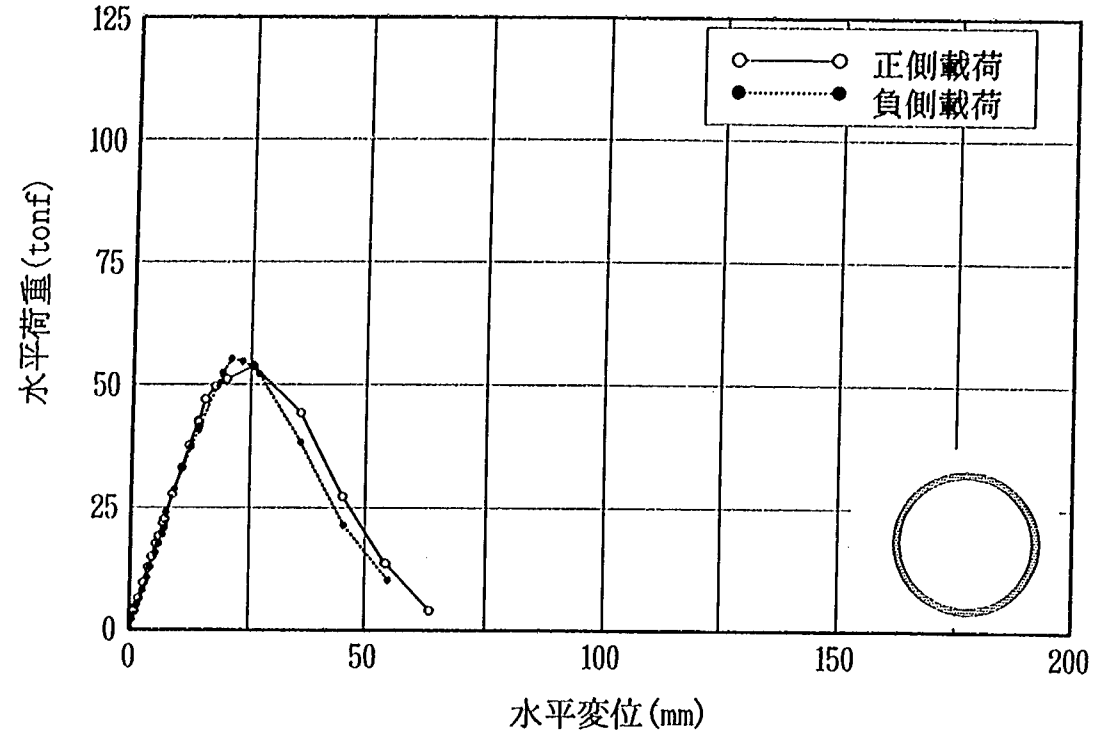



図-3.2.2(7)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 29）

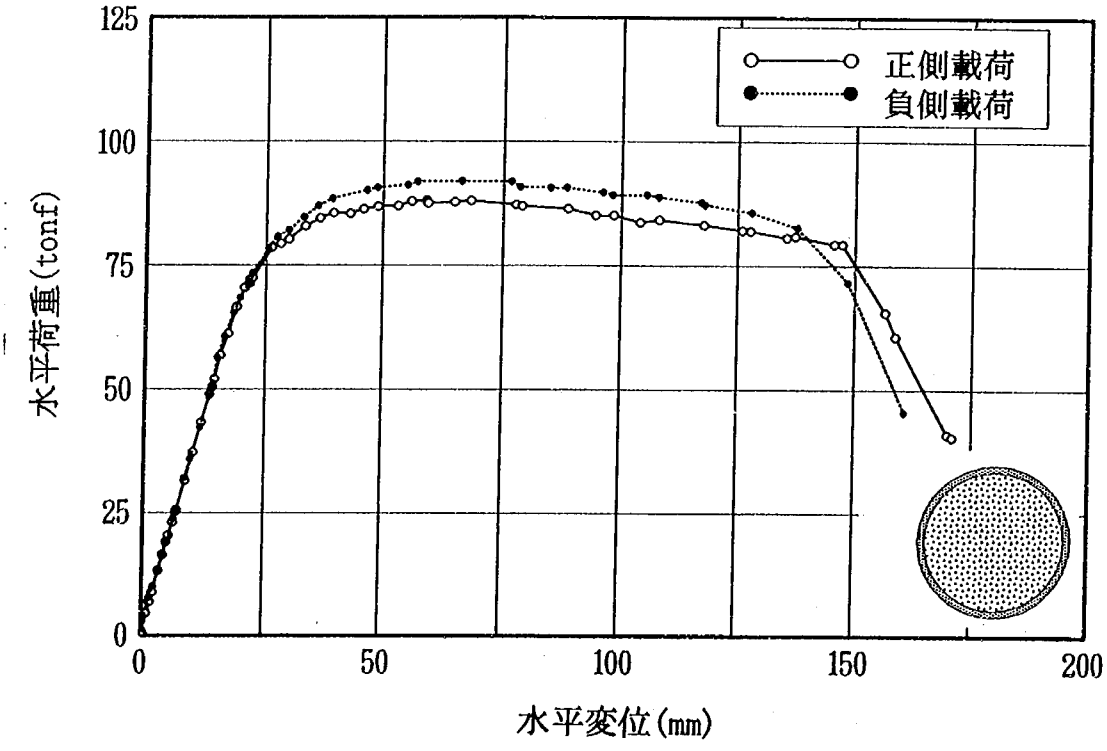



図-3.2.2(8)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 30）

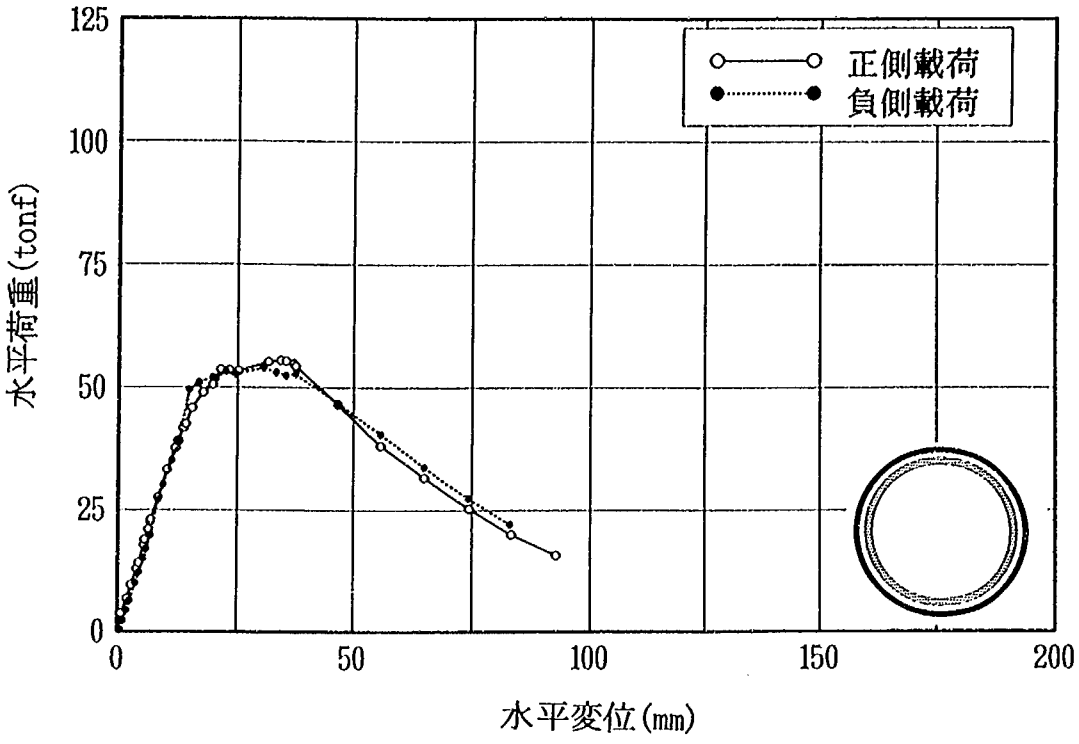
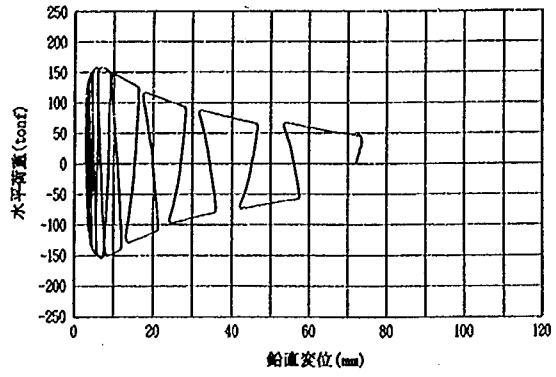
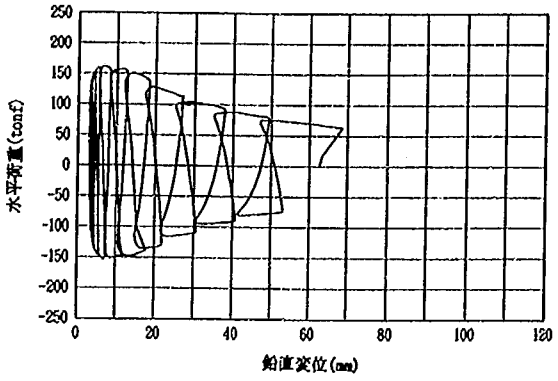


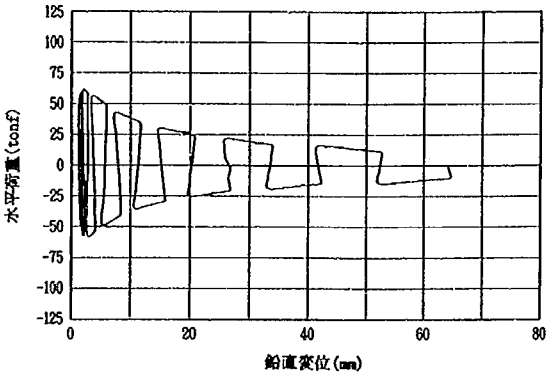

図-3.2.2(9)　水平荷重－水平変位関係の包絡線（No. 31）



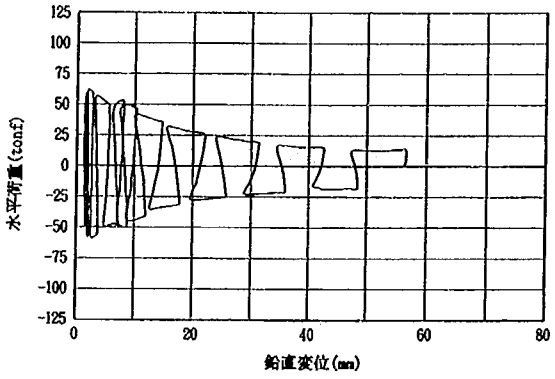

(1) No.6



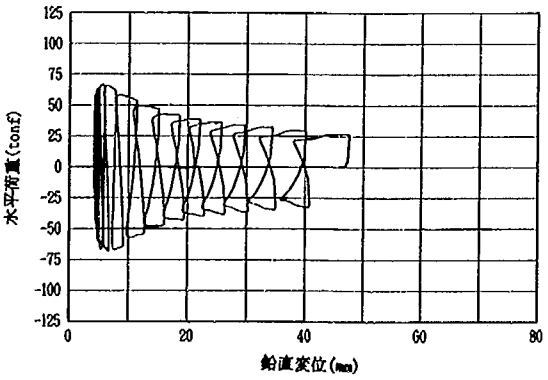

(2) No.7



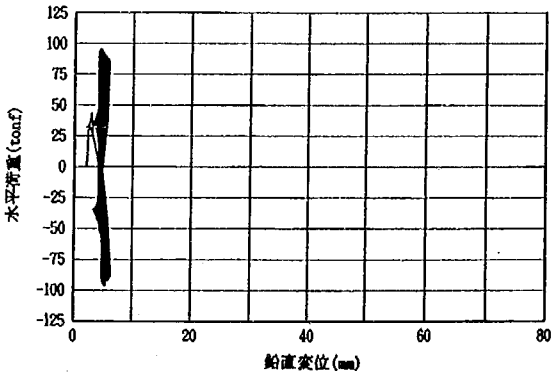

(3) No.8




(4) No.9

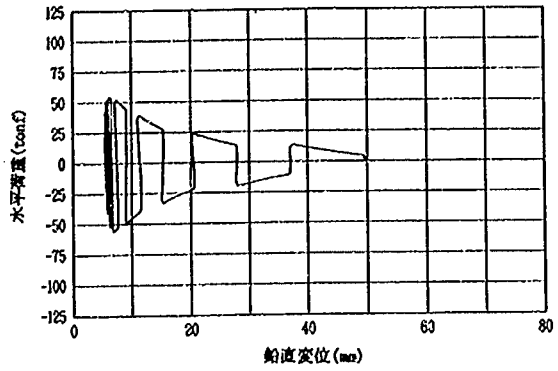



(5) No.15

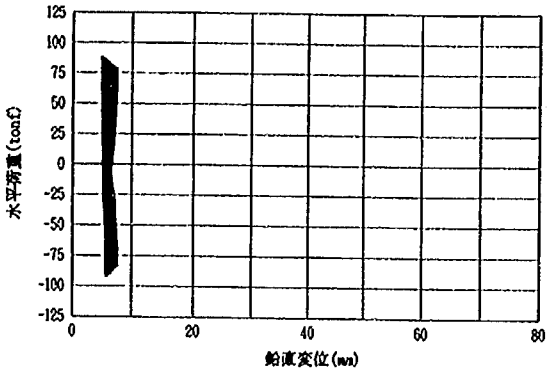



(6) No.16

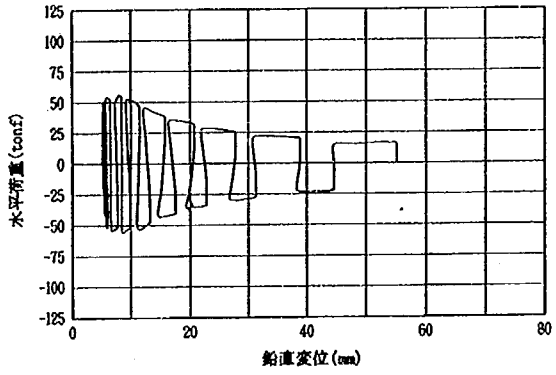
**図-3.2.3 水平荷重－鉛直変位関係**




(7) No.29

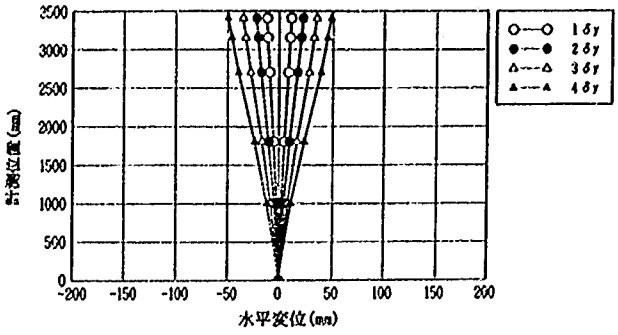



(8) No.30

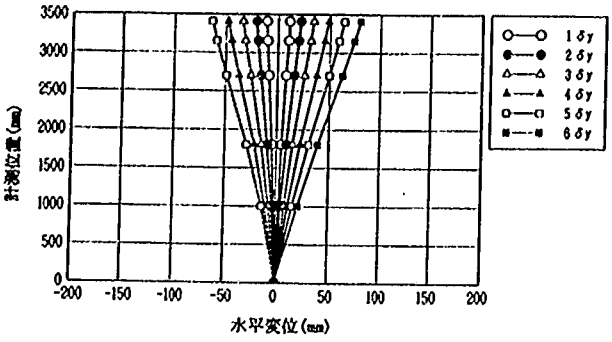



(9) No.31

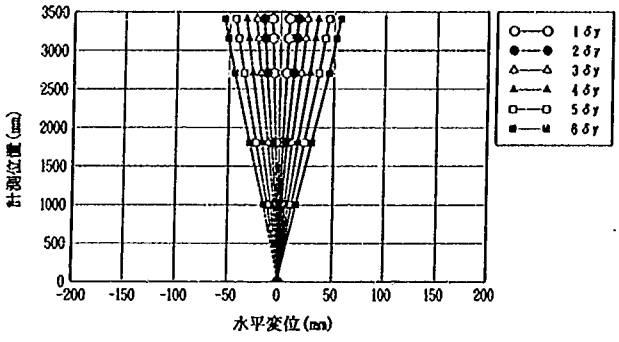
図-3.2.3 水平荷重－鉛直変位関係



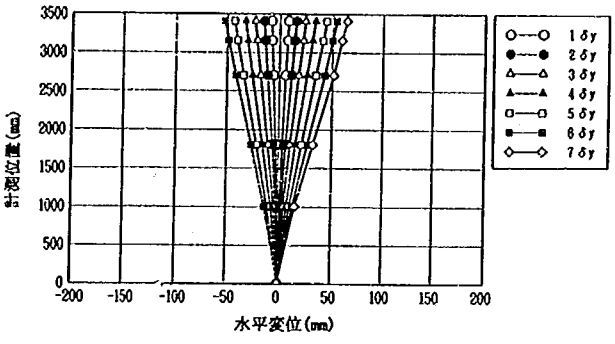

(1) No.6



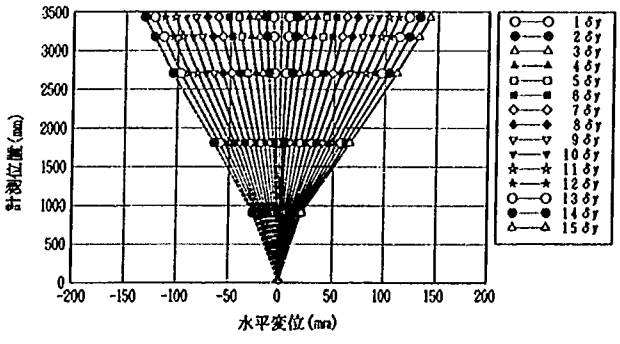

(2) No.7



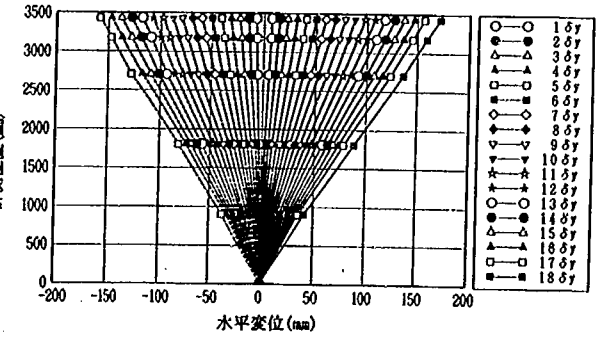

(3) No.8




(4) No.9

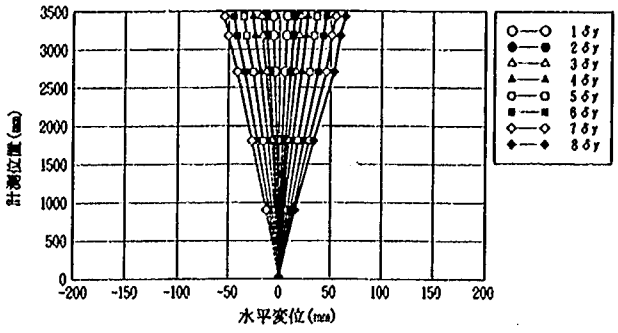



(5) No.15

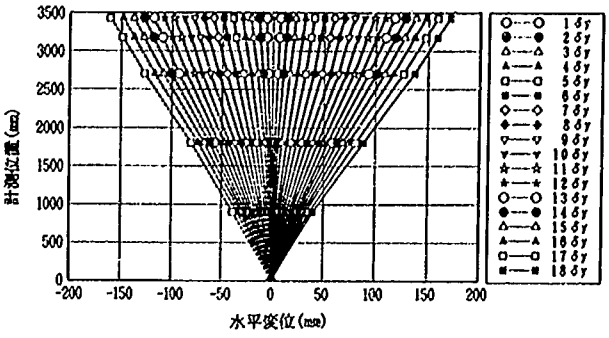



(6) No.16

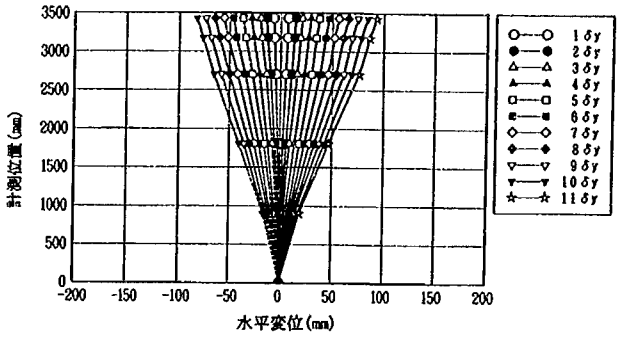
図-3.2.4 水平荷重の鉛直方向分布




(7) No.29

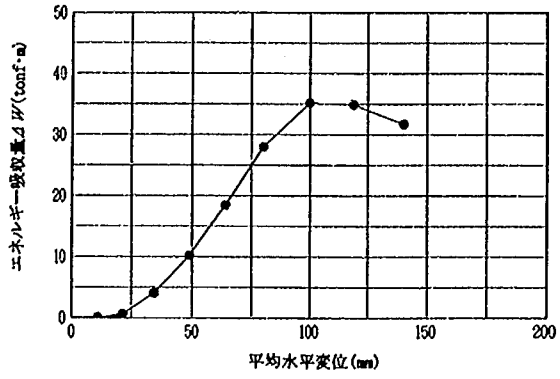



(8) No.30

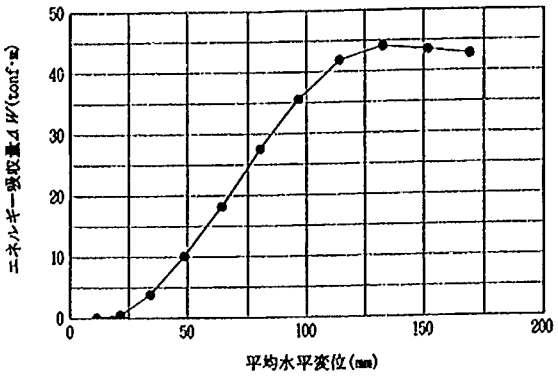



(9) No.31

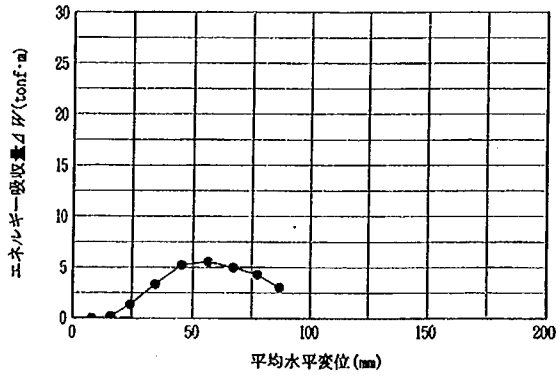
図-3.2.4 水平荷重の鉛直方向分布



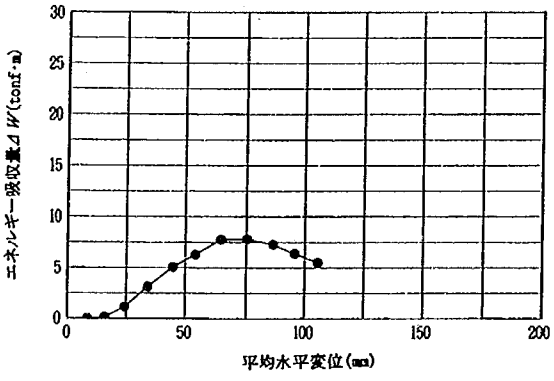

(1) No.6



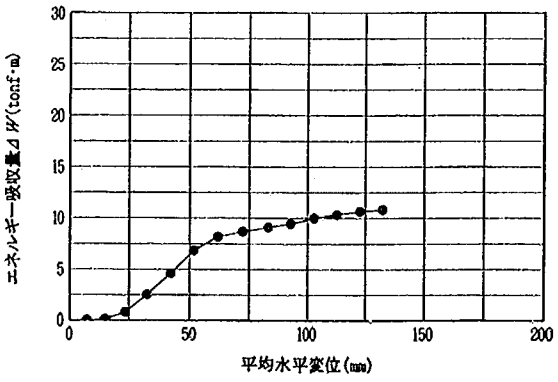

(2) No.7



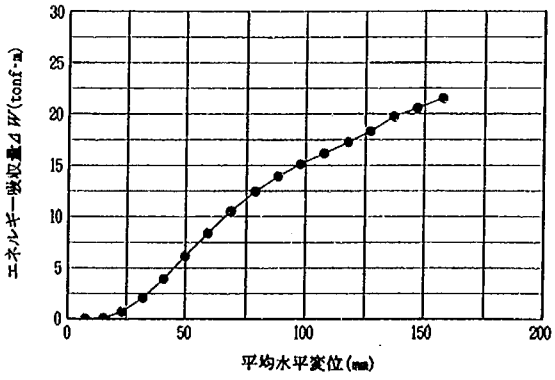

(3) No.8




(4) No.9

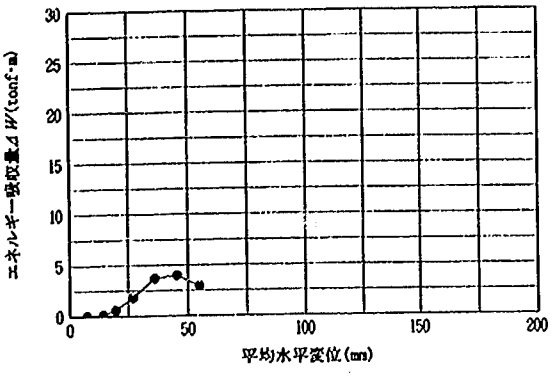



(5) No.15

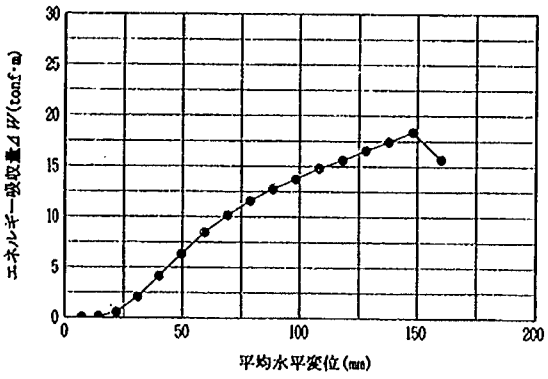



(6) No.16

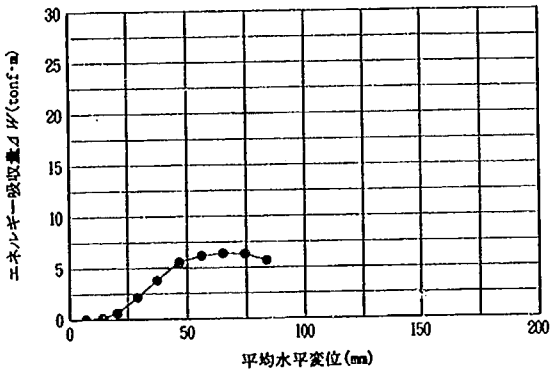
**図-3.2.5 エネルギー吸収量**




(7) No.29

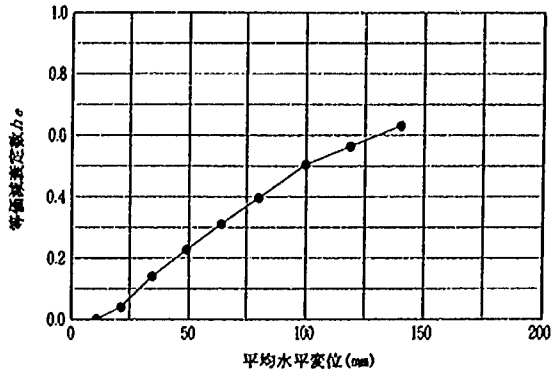



(8) No.30

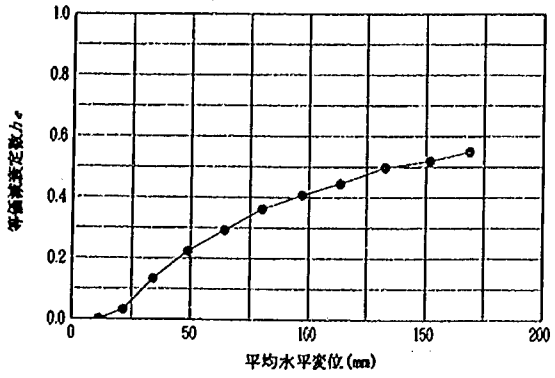



(9) No.31

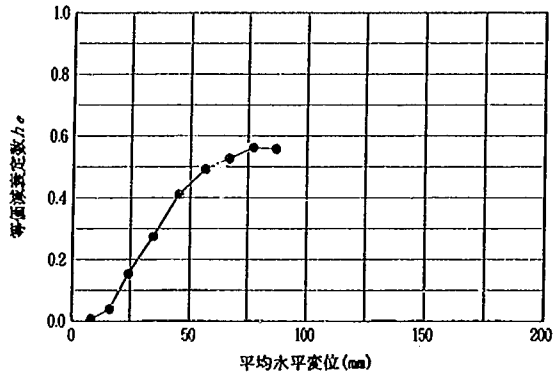
図-3.2.5 エネルギー吸収量



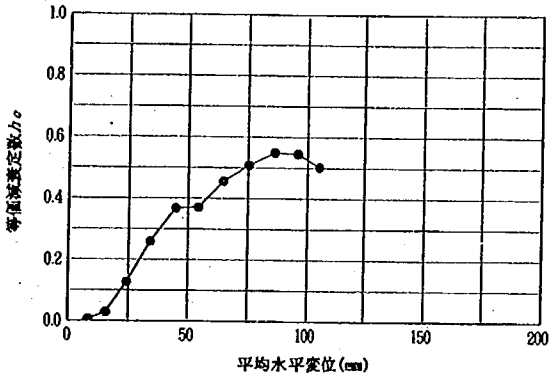

(1) No.6



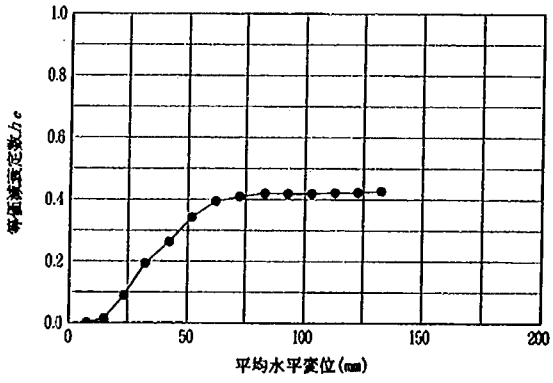

(2) No.7



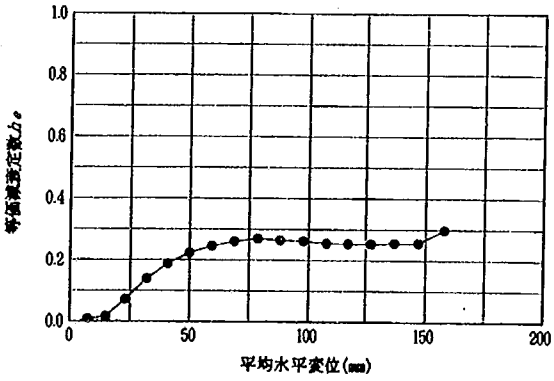

(3) No.8




(4) No.9

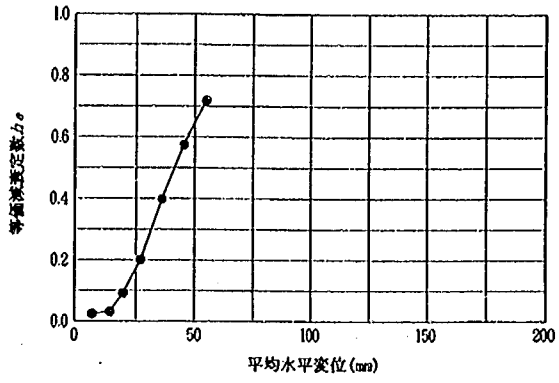



(5) No.15

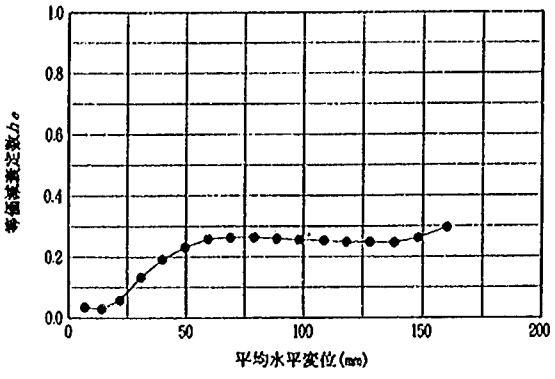



(6) No.16

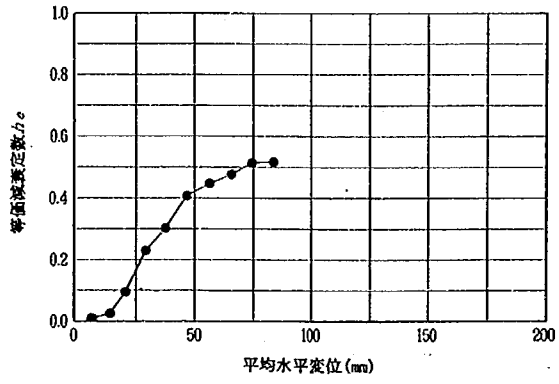
**図-3.2.6 等価減衰定数**




(7) No.29

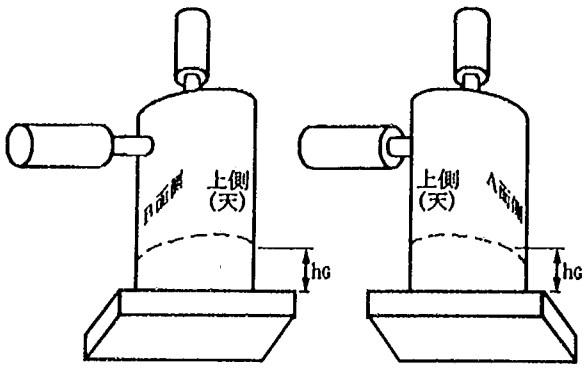


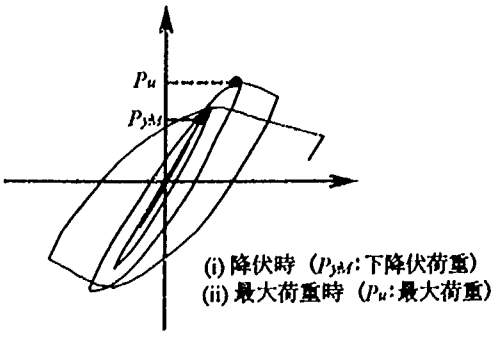

(8) No.30

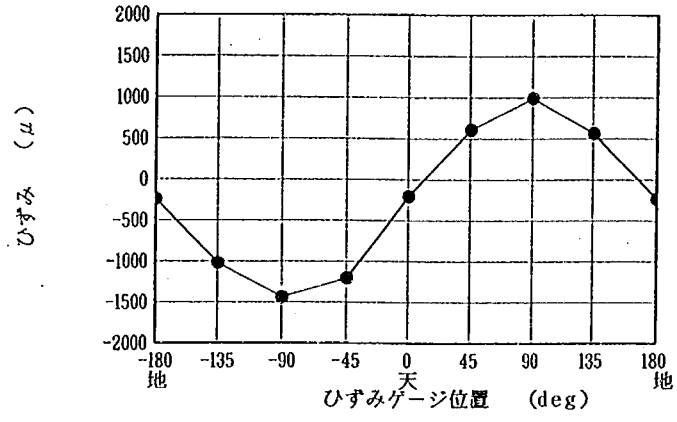



(9) No.31

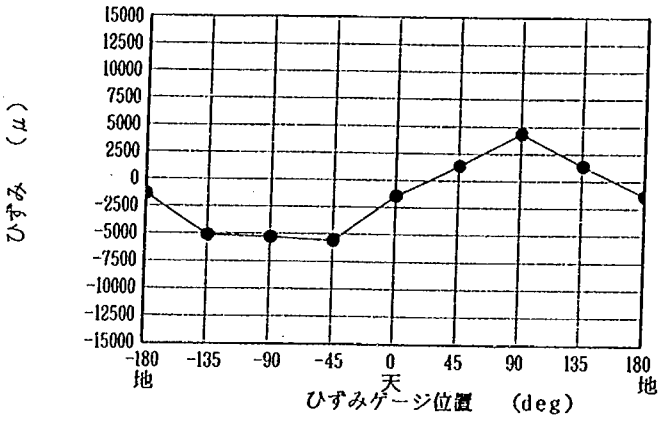
図-3.2.6 等価減衰定数



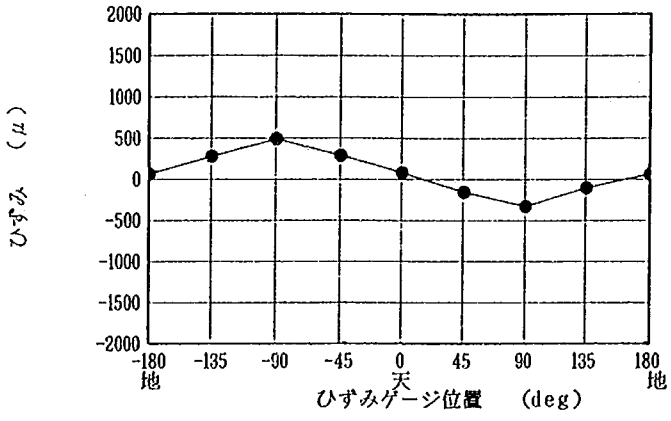




(a) 軸方向

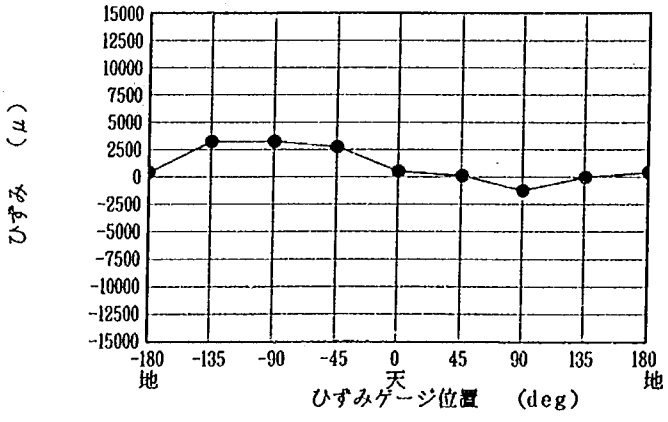



(a) 軸方向




(b) 周方向

(i) 降 伏 時

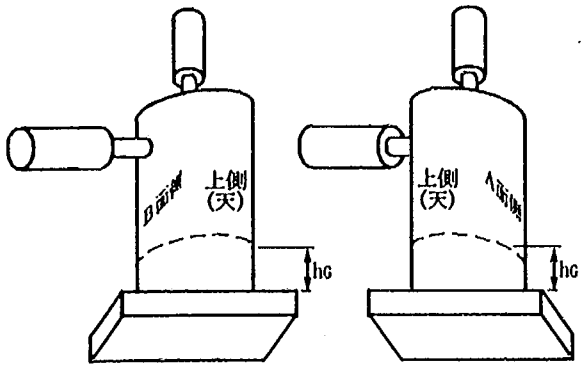


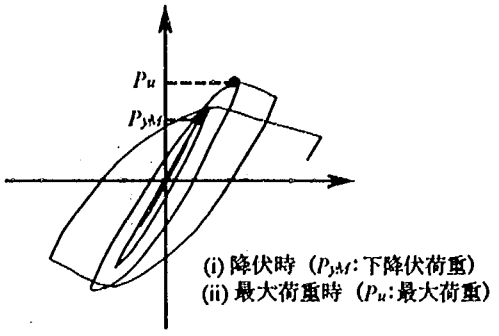

(b) 周方向

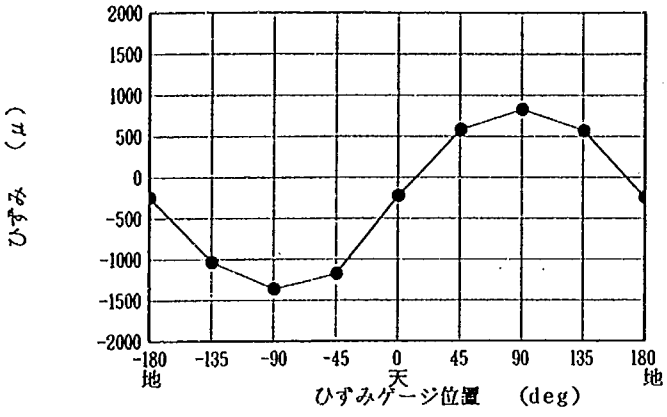
(ii) 最大荷重時

図-3.2.7(1) ひずみ分布(No. 6) ($h_G$=450mm)

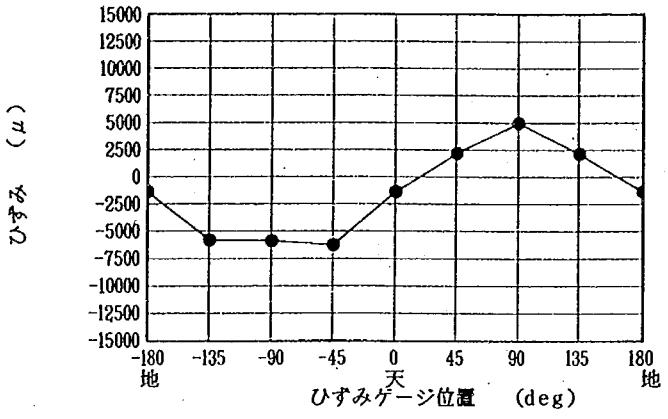
($h_G$ ひずみゲージ貼付高さ)



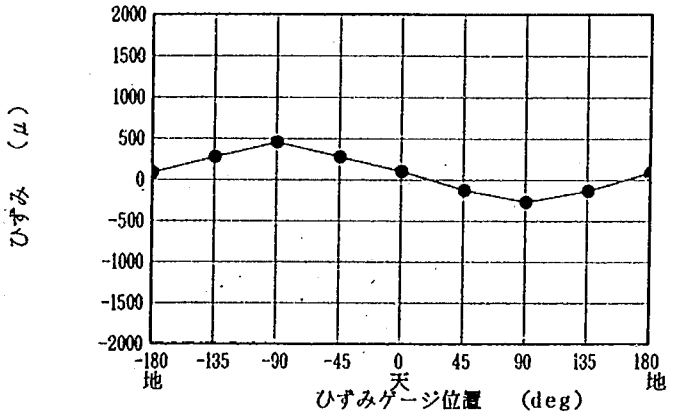



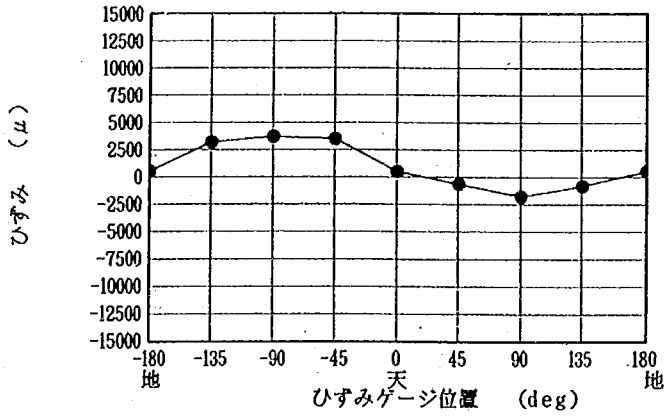

(a) 軸方向




(a) 軸方向

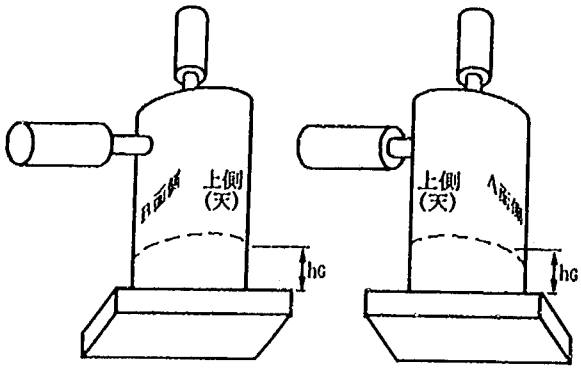


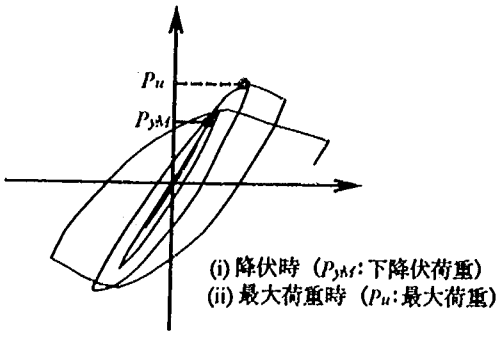

(b) 周方向
(i) 降 伏 時

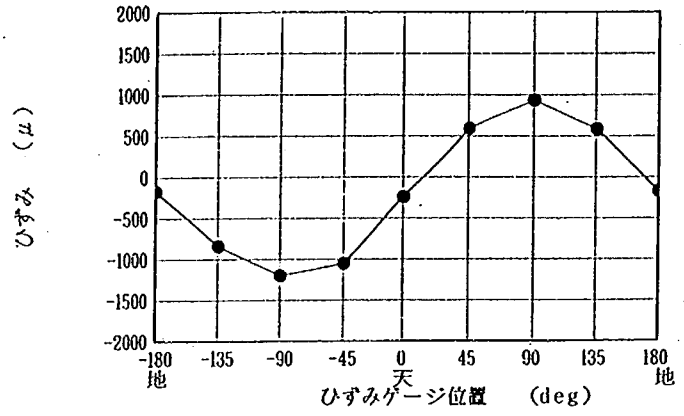



(b) 周方向
(ii) 最大荷重時

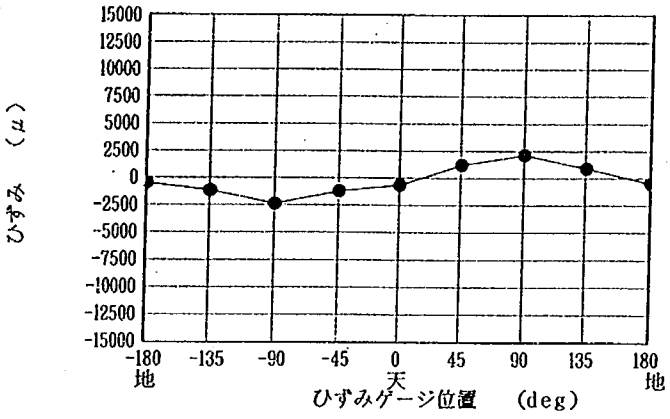
図-3.2.7(2) ひずみ分布(No. 7) ($h_G$=450mm)



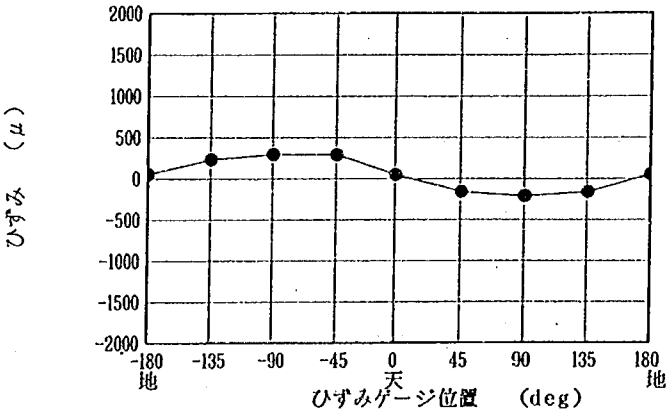




(a) 軸方向

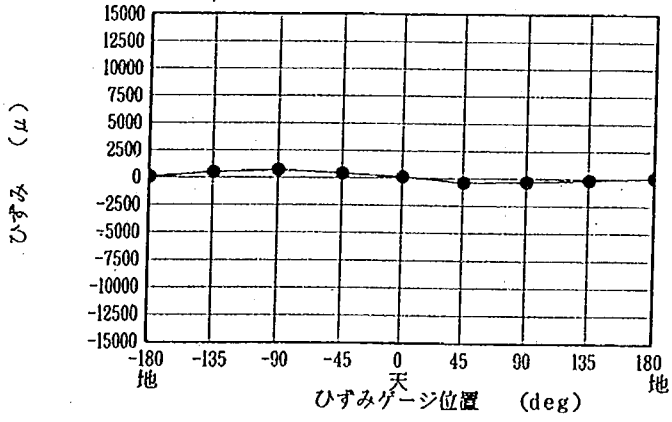



(a) 軸方向




(b) 周方向

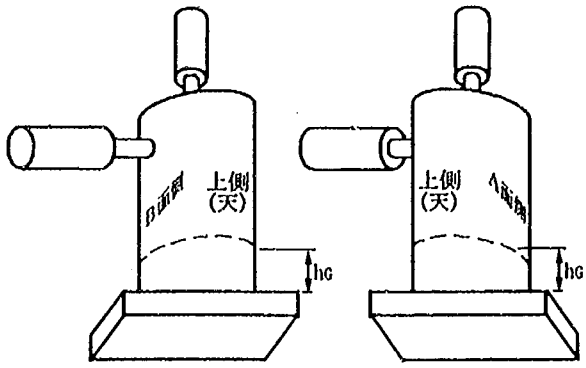
(i) 降　伏　時

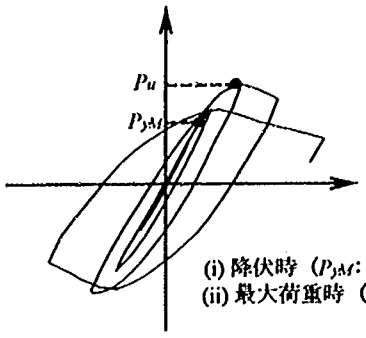


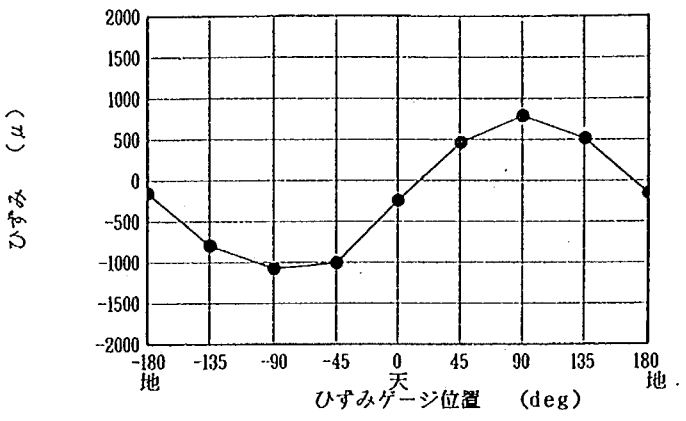

(b) 周方向

(ii) 最大荷重時

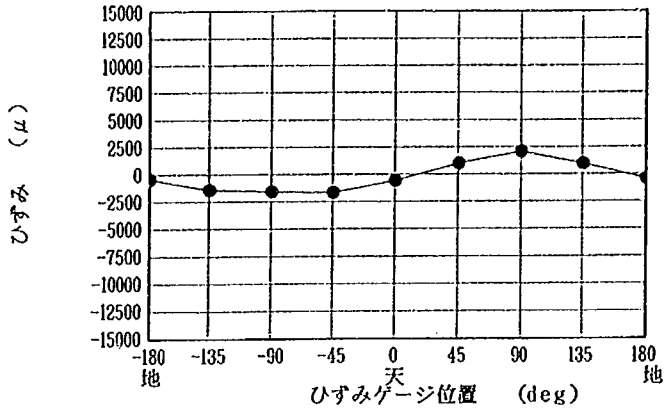
図-3.2.7(3) ひずみ分布(No. 8) ($h_G$=450mm)



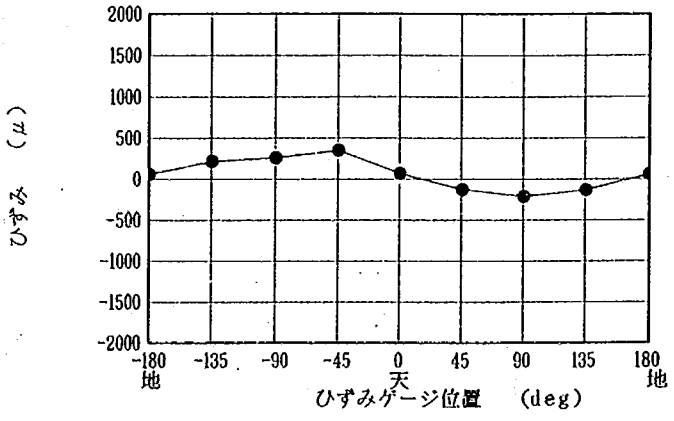




(a) 軸方向

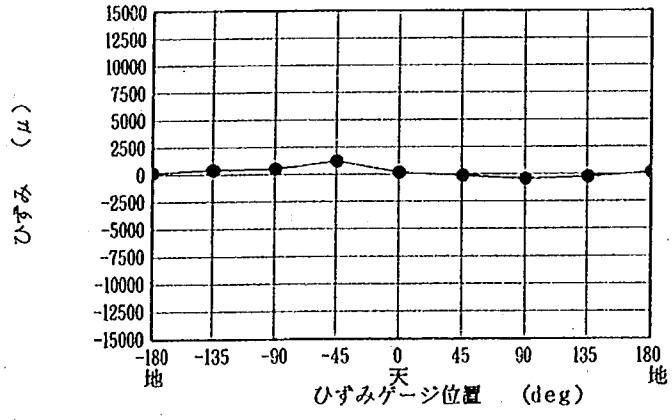



(a) 軸方向




(b) 周方向

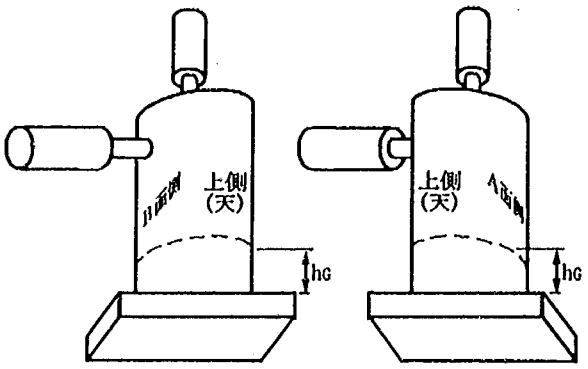
(i) 降 伏 時

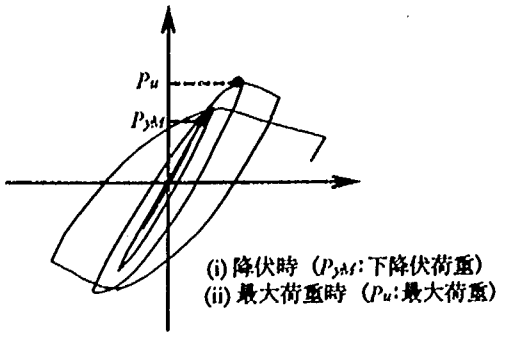


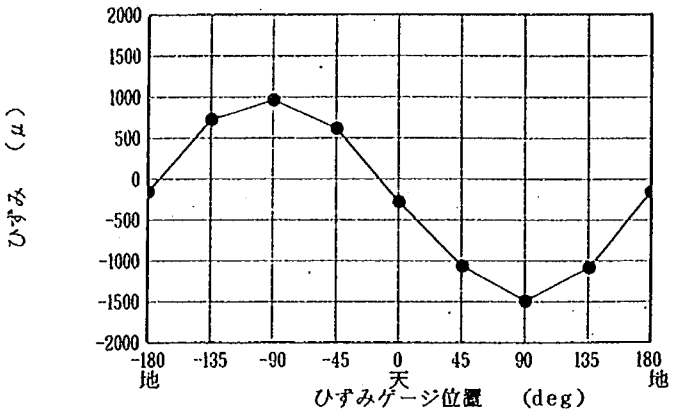

(b) 周方向

(ii) 最大荷重時

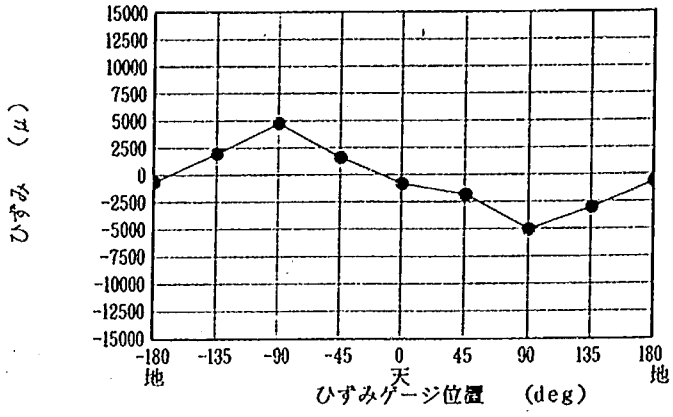
図-3.2.7(4) ひずみ分布(No. 9) ($h_G$=450mm)



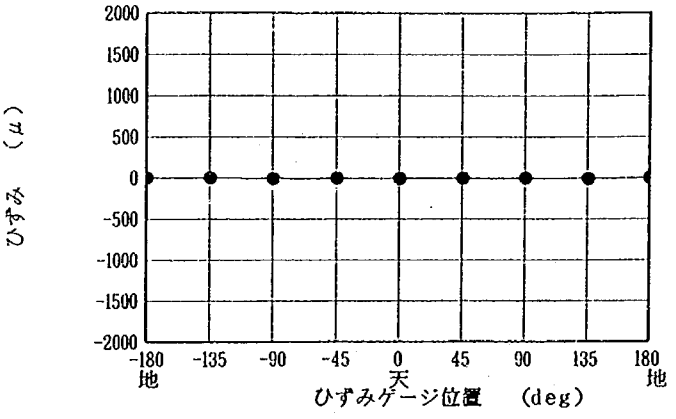



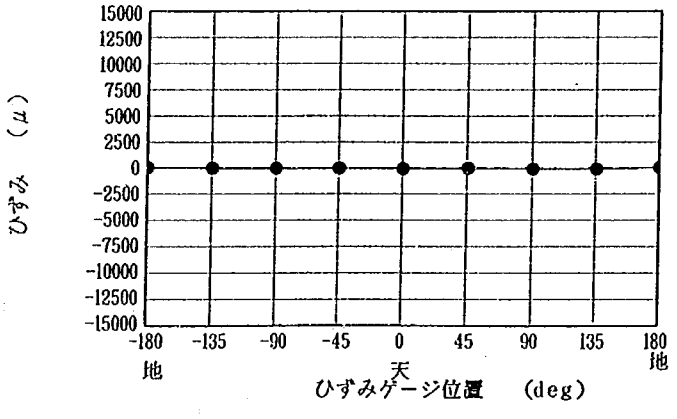

(a) 軸方向 (hc=450mm)



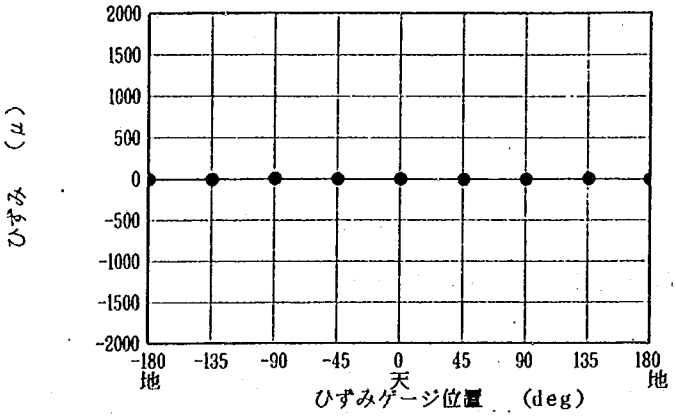

(a) 軸方向 (hc=450mm)




(b) 軸方向(外側補強板) (hc=125mm)

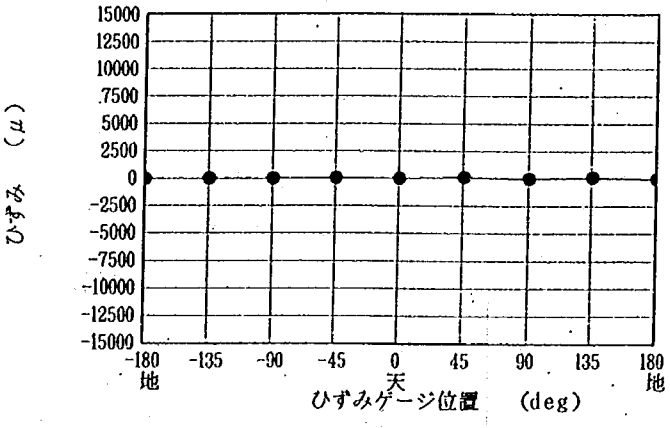



(b) 軸方向(外側補強板) (hc=125mm)




(c) 周方向(外側補強板) (hc=125mm)

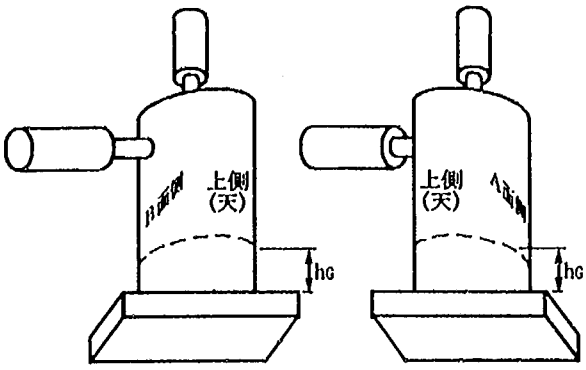
(i) 降 伏 時

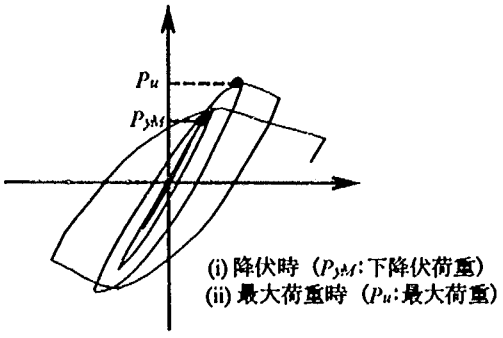


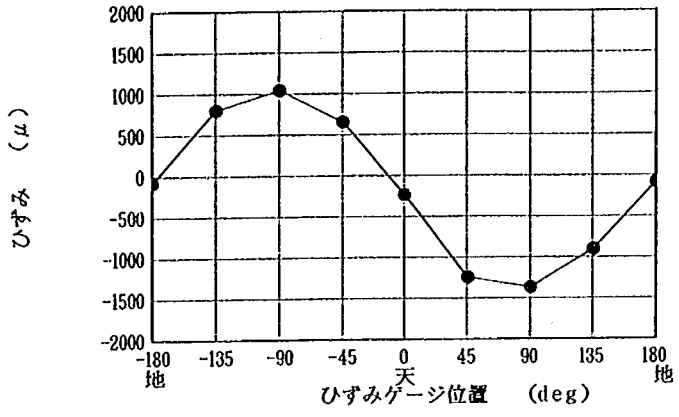

(c) 周方向(外側補強板) (hc=125mm)

(ii) 最大荷重時

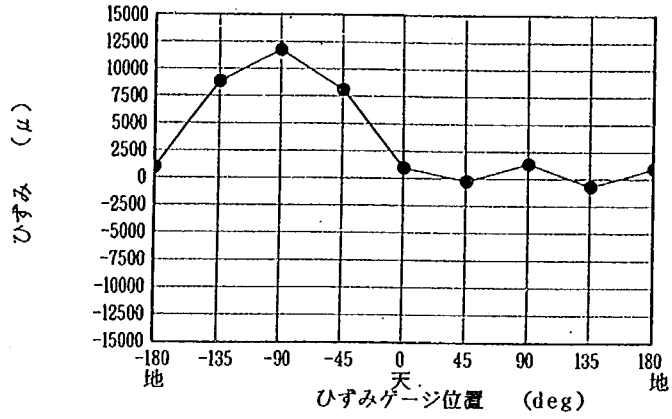
図-3.2.7(5) ひずみ分布(No. 15)



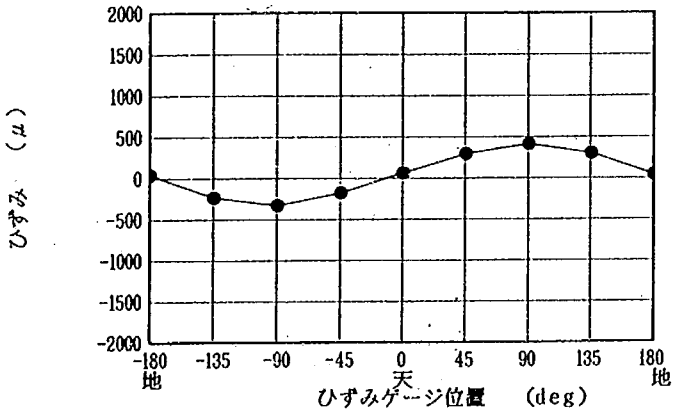




(a) 軸方向

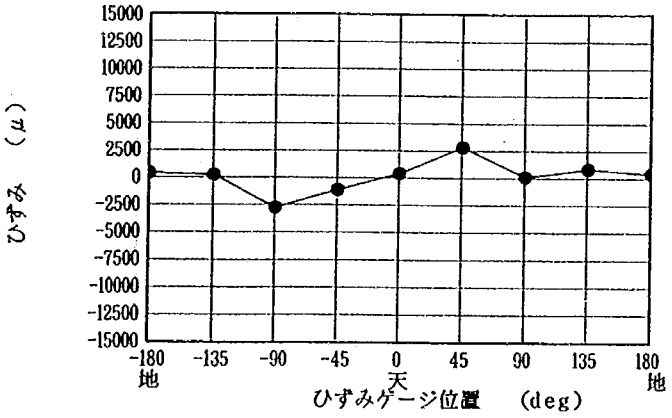



(a) 軸方向




(b) 周方向

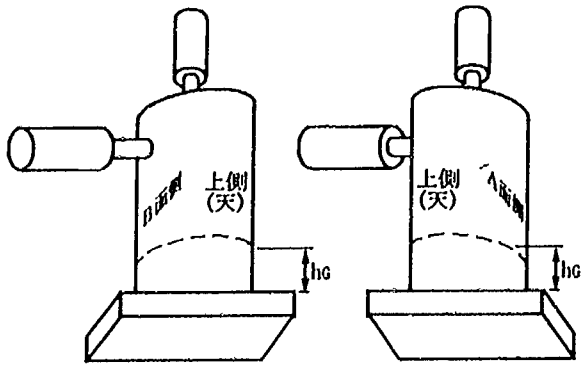
(i) 降 伏 時

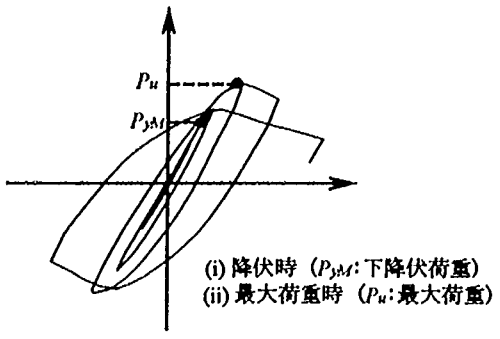


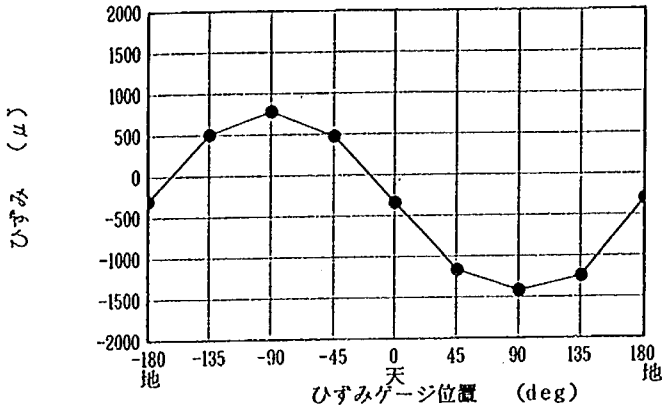

(b) 周方向

(ii) 最大荷重時

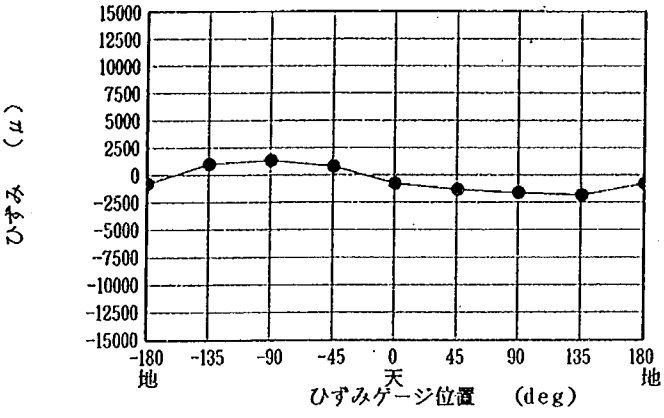
図-3.2.7(6) ひずみ分布(No. 16) ($h_G$=450mm)



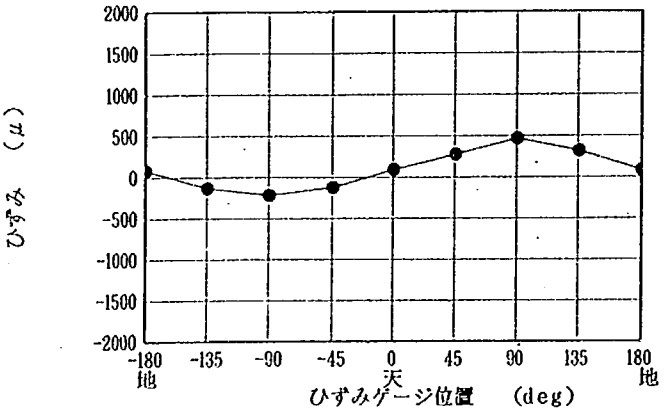




(a) 軸方向

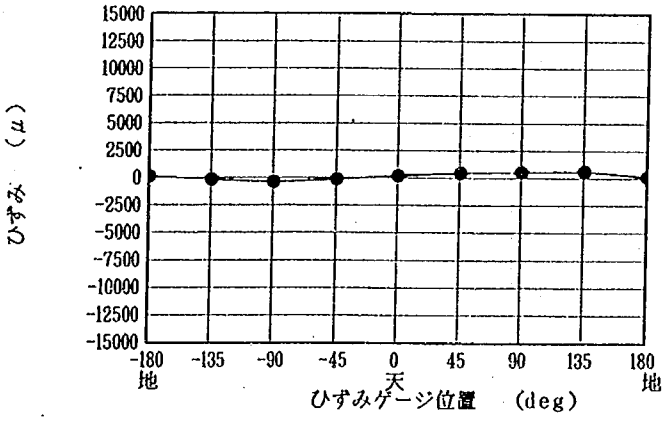



(a) 軸方向




(b) 周方向

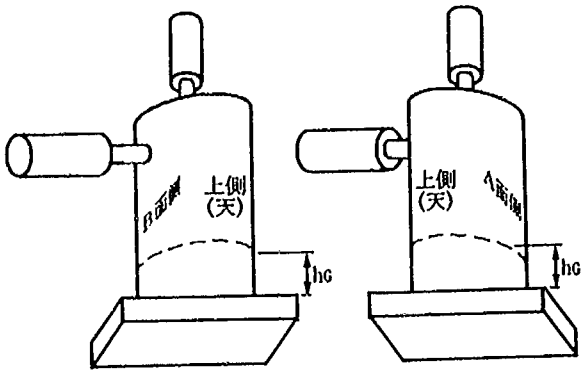
(i) 降　伏　時

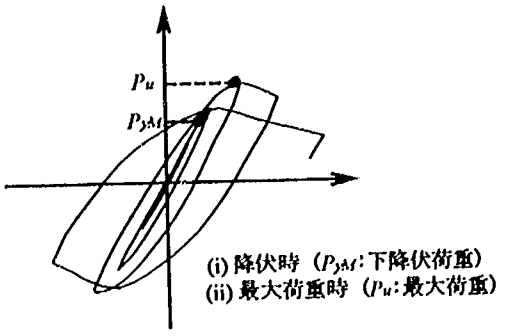


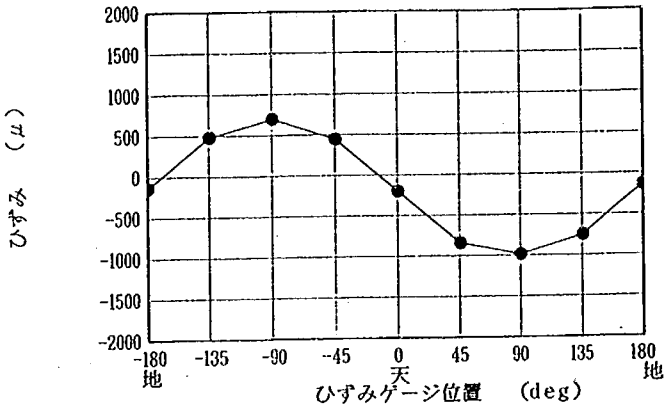

(b) 周方向

(ii) 最大荷重時

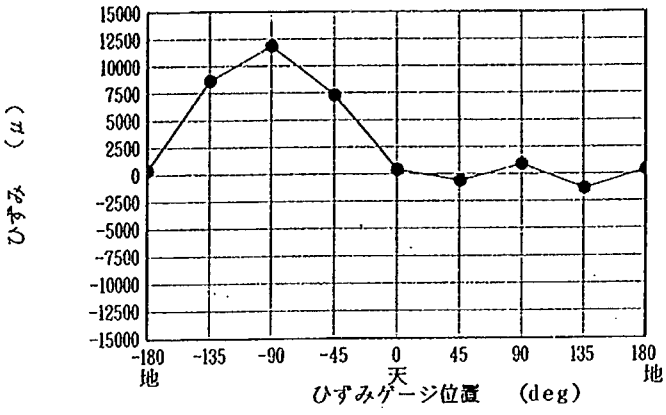
図-3.2.7(7)　ひずみ分布(No. 29)　($h_G$=450mm)



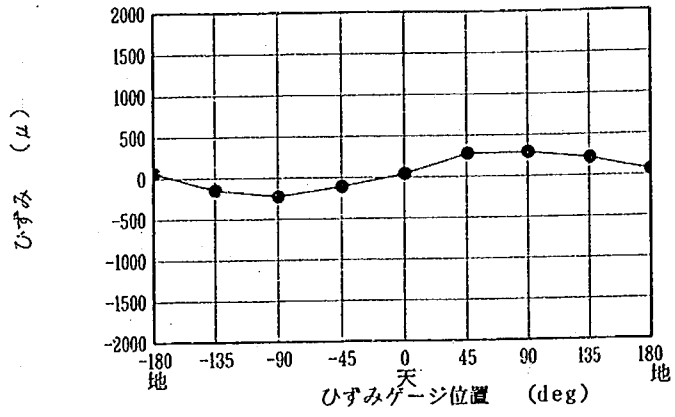




(a) 軸方向

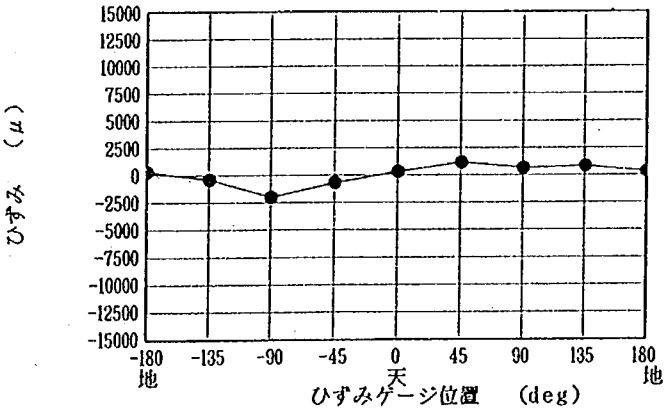



(a) 軸方向




(b) 周方向

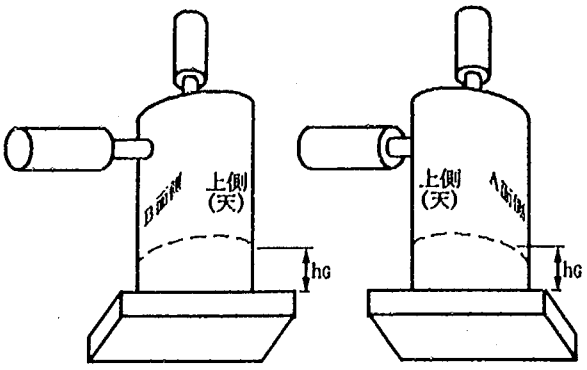
(i) 降　伏　時

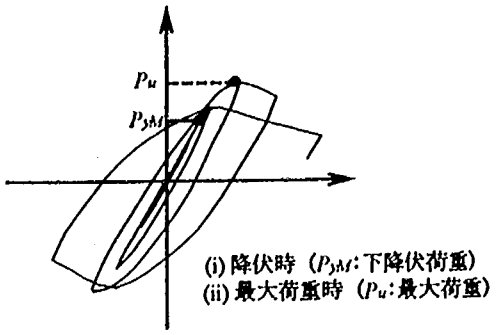


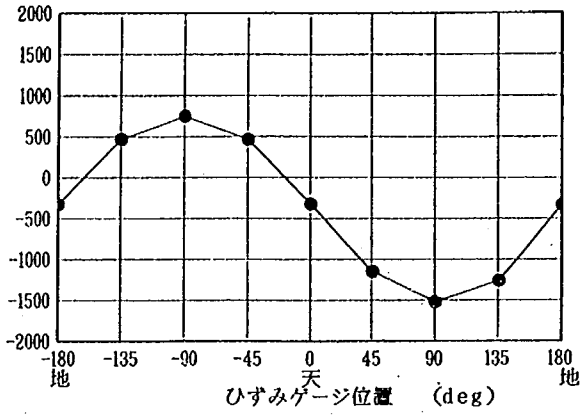

(b) 周方向

(ii) 最大荷重時

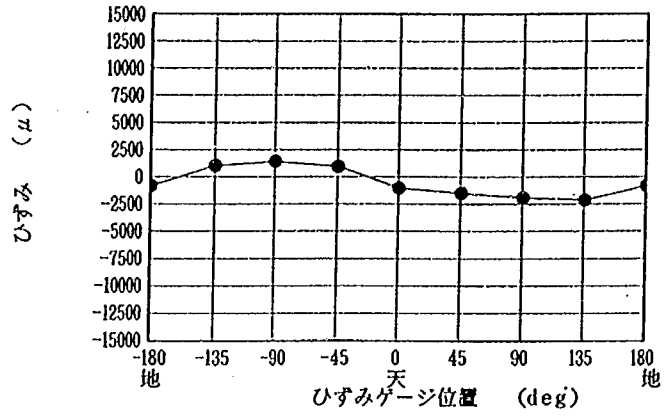
図-3.2.7(8) ひずみ分布 (No. 30) ($h_c$=450mm)



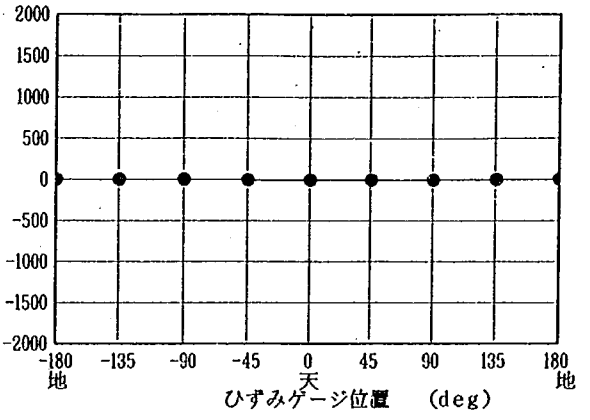



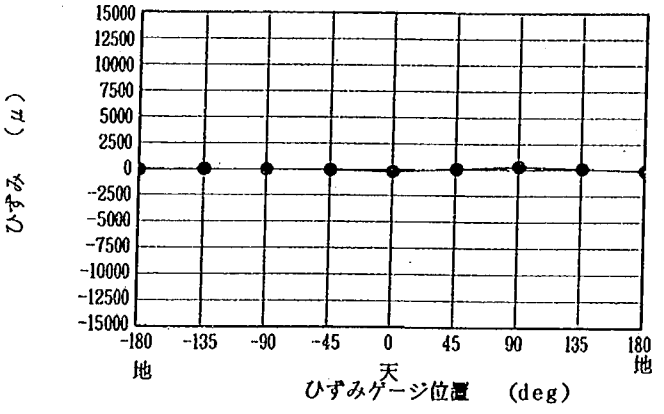

(a) 軸方向 ($h_G$=450mm)



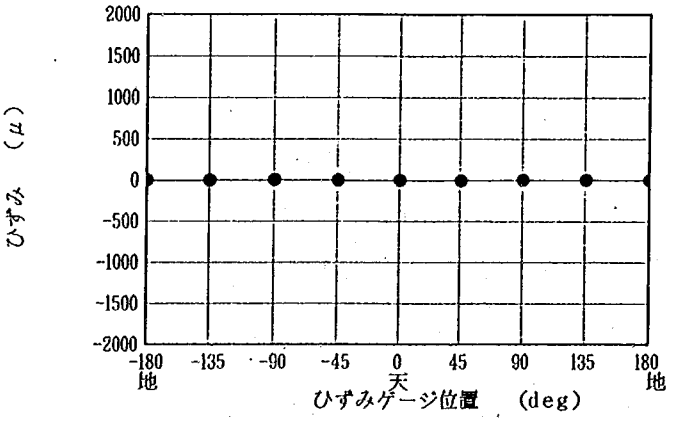

(a) 軸方向 ($h_G$=450mm)




(b) 軸方向(外側補強板) ($h_G$=125mm)

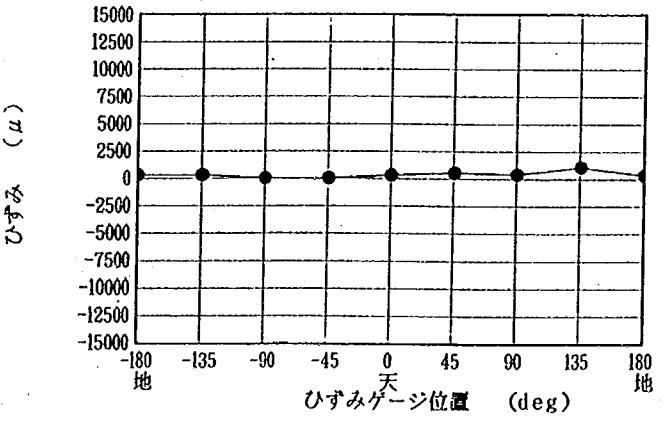



(b) 軸方向(外側補強板) ($h_G$=125mm)




(c) 周方向(外側補強板) ($h_G$=125mm)

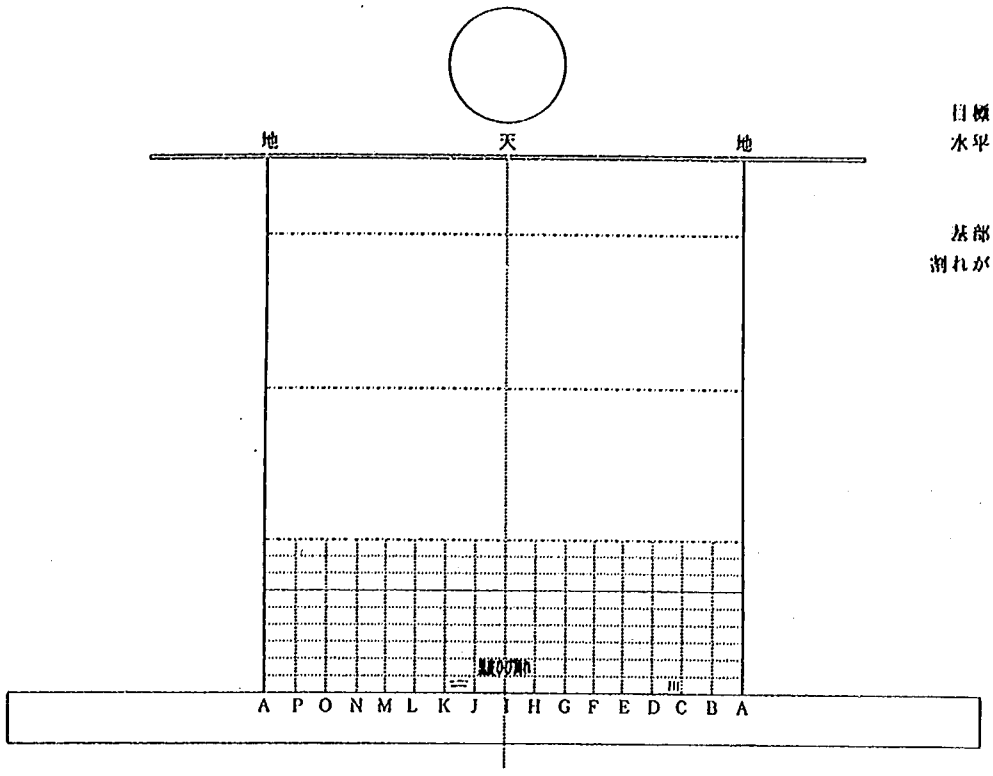
(i) 降　伏　時




(c) 周方向(外側補強板) ($h_G$=125mm)

(ii) 最大荷重時

図-3.2.7(9) ひずみ分布(No. 31)

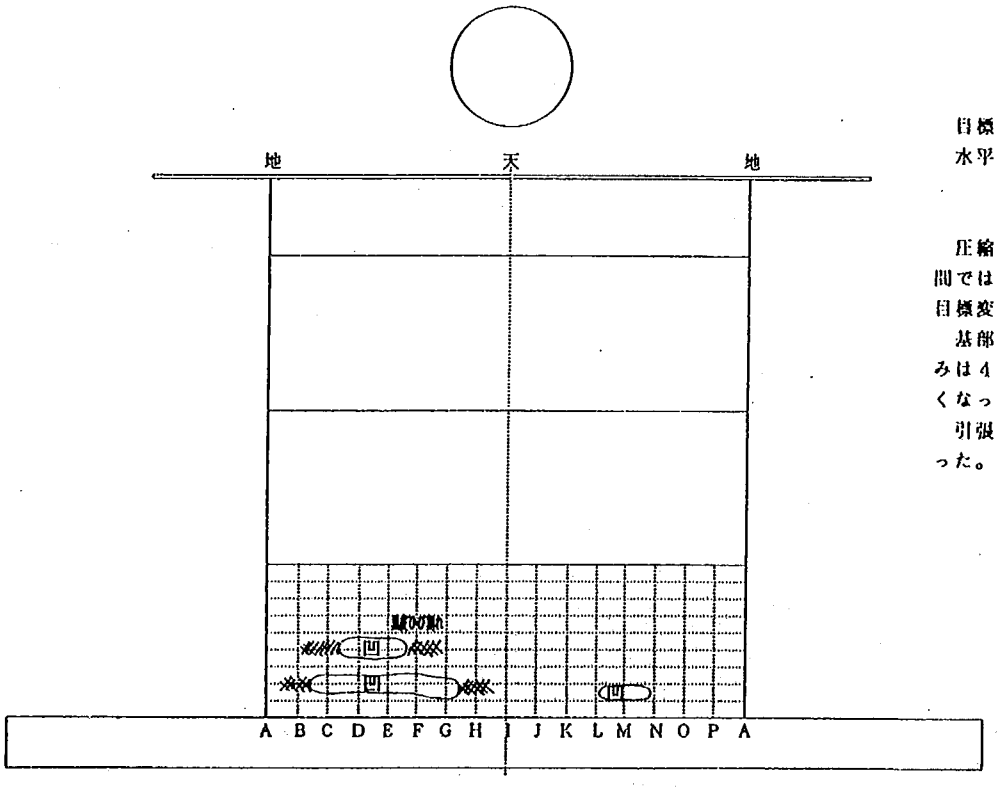



5δy

目標変位　45.00mm
水平荷重　64.9ton

基部付近で僅かに黒皮のひび割れが発生した。

(a) 外面




5δy

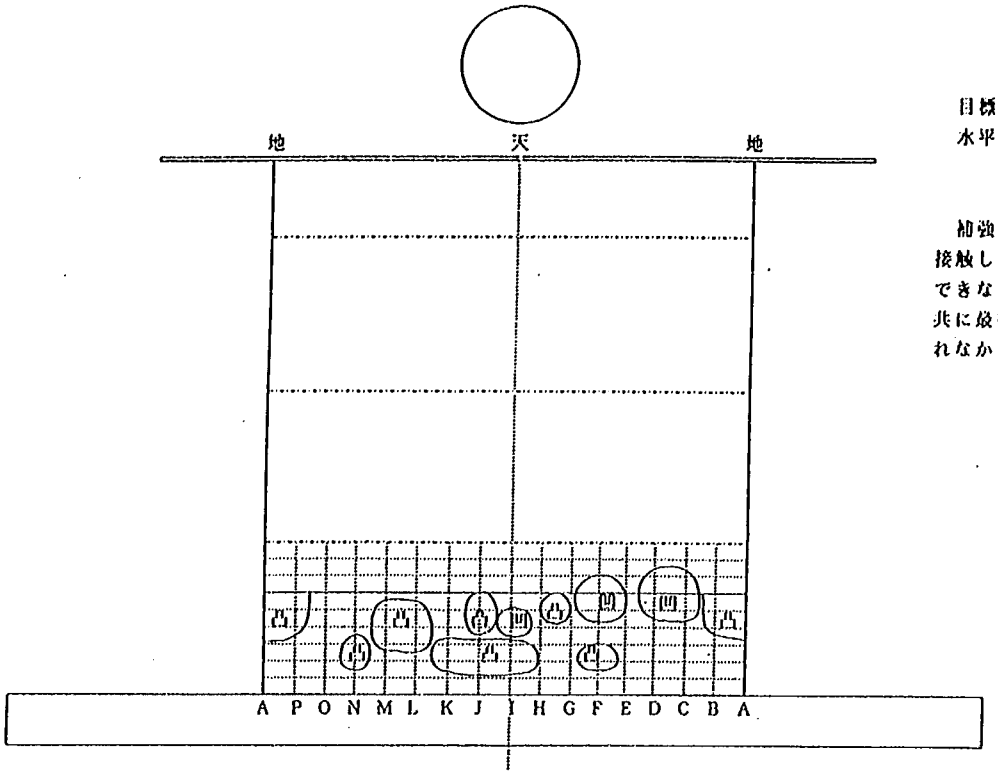
目標変位　45.00mm
水平荷重　64.9ton

圧縮側基部から40cm程のＢＧ間では載荷途上で黒皮が剥落し、目標変位到達時には凹んだ。
基部から20cm程のＢＧ間の凹みは４δｙ時に比べかなり大きくなった。
引張側の凹凸も残るようになった。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点（＋５δｙ）

**図-3.2.8(1)　供試体の変形（No. 15）**

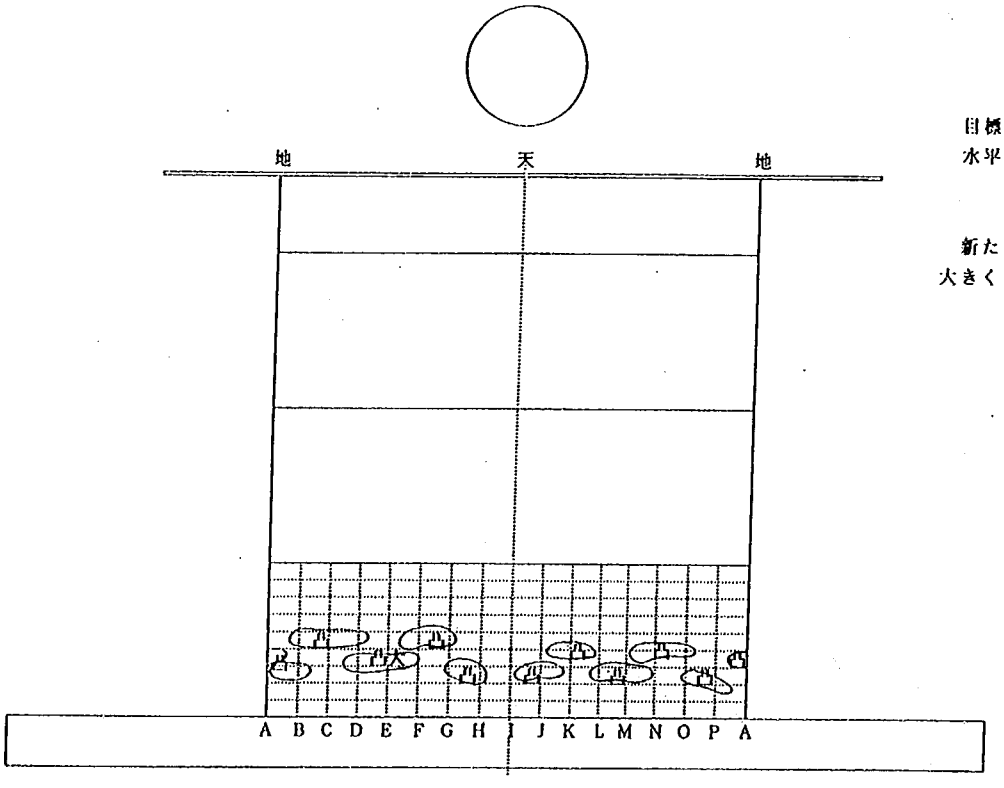



１５δｙ

目標変位　　135.00㎜
水平荷重　　26.3ton

補強リングが基部プレートに接触している為、割れの確認はできない。ウェブ、補強リング共に最後まで大きな変形は見られなかった。

(a) 外面




１５δｙ

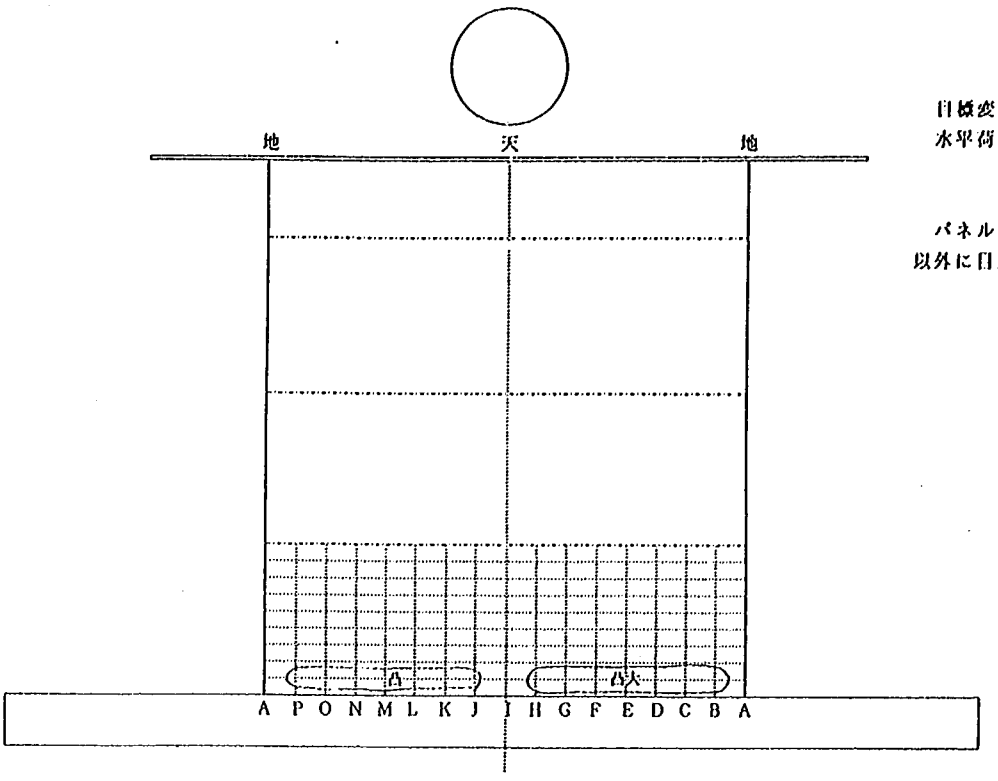
目標変位　　135.00㎜
水平荷重　　26.3ton

新たな変形はなく、変形量が大きくなっているだけである。

(b) 内面

(ii)　実験終了時付近（＋ 15 $\delta_y$）

図-3.2.8(1)　供試体の変形（No. 15）

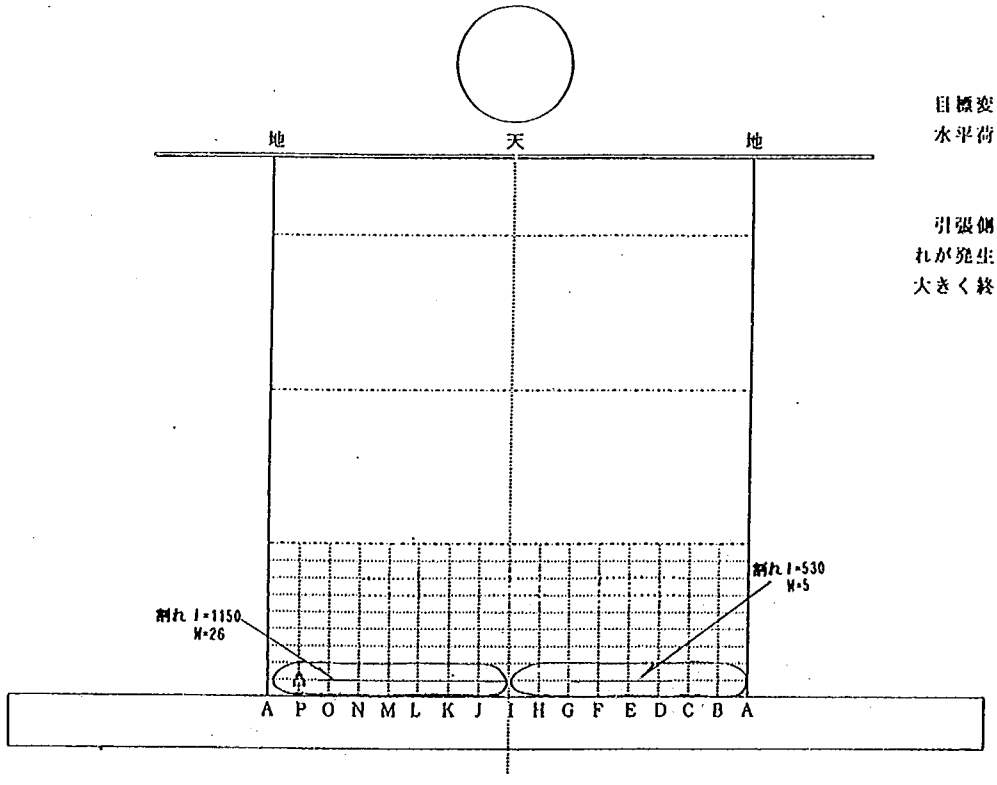



１０δｙ

目標変位　　90.00㎜
水平荷重　　95.0ton

パネルの変形の範囲が広がる以外に目立った変化はない。

(i)　最大荷重を超えた点（＋10 δｙ）



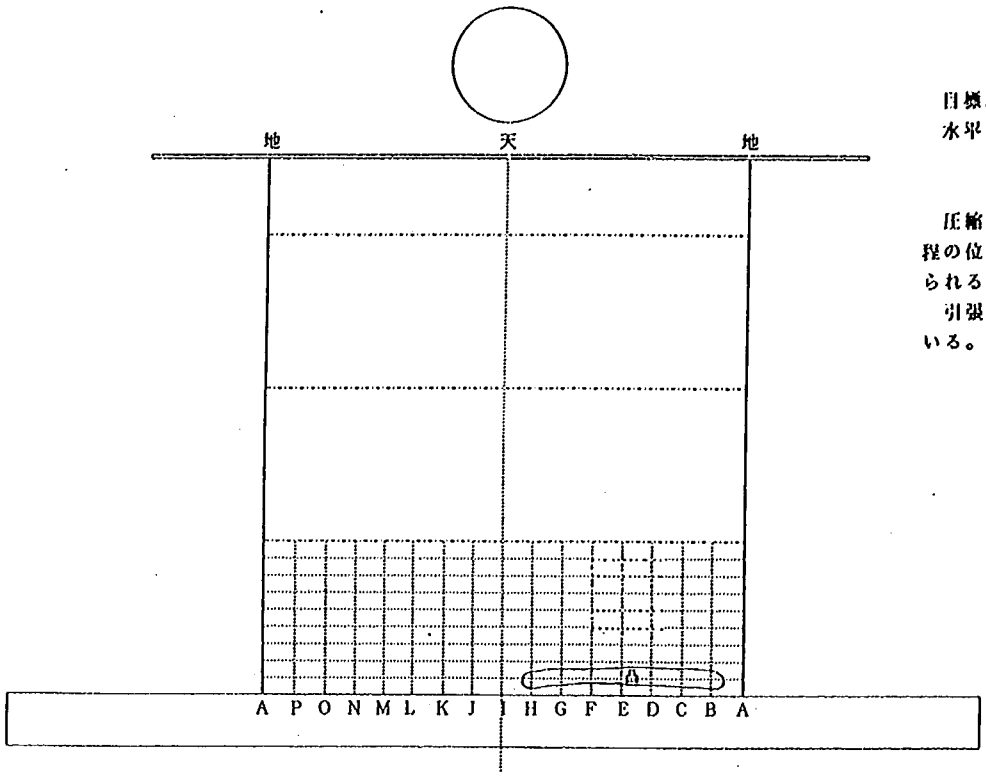

１８δｙ

目標変位　　162.00㎜
水平荷重　　27.4ton

引張側１～Ｏにかけて長い割れが発生した。荷重の落ち方も大きく終局となった。

(ii)　実験終了時付近（＋18 δｙ）

図-3.2.8(2)　供試体の変形（No. 16）（外面）

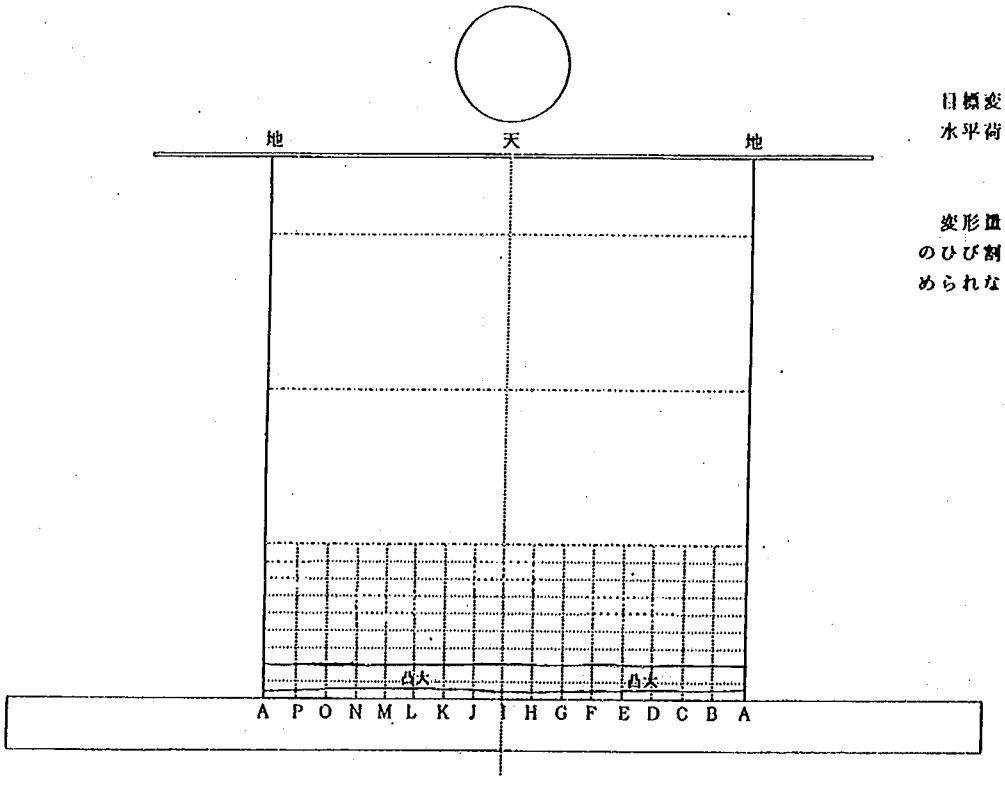



4 δ y

目標変位　30.00mm
水平荷重　52.8ton

圧縮側B～Hの基部から10cm程の位置で僅かに膨らみが認められる。
引張側の膨らみは元に戻っている。

(i)　最大荷重を超えた点（＋4 $\delta_y$）



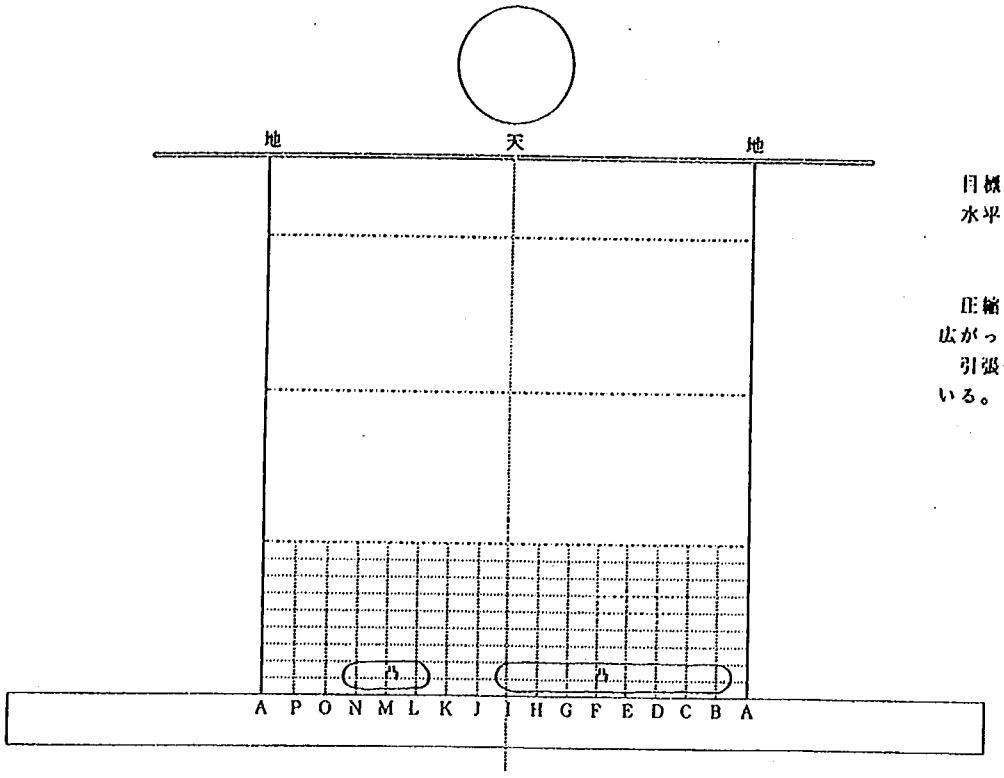

8 δ y

目標変位　60.00mm
水平荷重　4.0ton

変形量は増えているが、黒皮のひび割れ、母材の割れ等は認められない。

(ii)　実験終了時付近（＋8 $\delta_y$）

図-3.2.8(3)　供試体の変形（No. 29）（外面）

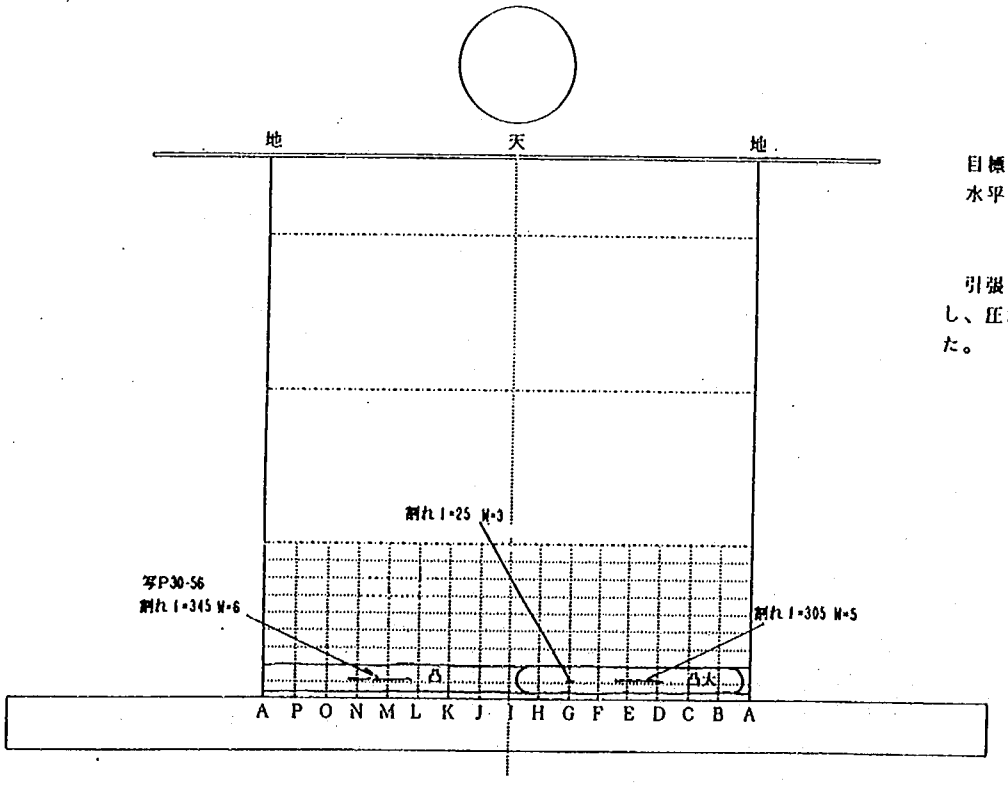



8 δ y

目標変位　72.00mm
水平荷重　87.1ton

圧縮側A～I間まで膨らみが広がっている。
引張側の残留変形量も増えている。

(i)　最大荷重を超えた点（＋8 δ$_y$）




1 7 δ y

目標変位　153.00mm
水平荷重　60.5ton

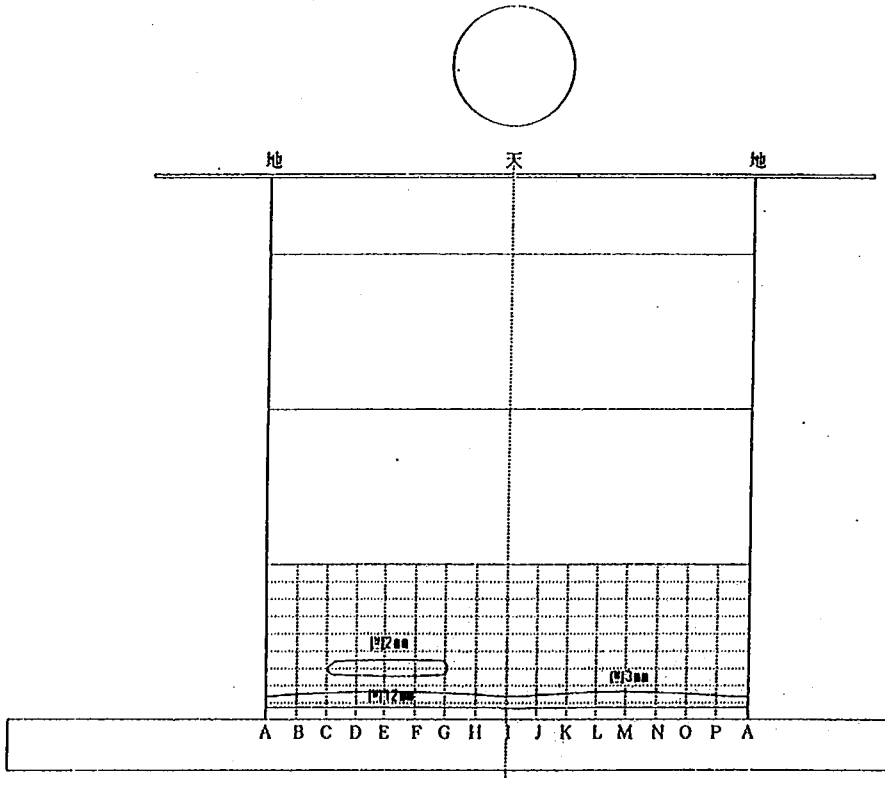
引張側L～N間で割れが発生し、圧縮側の割れもかなり伸びた。

(ii)　実験終了時付近（＋17 δ$_y$）

図-3.2.8(4)　供試体の変形（No. 30）（外面）

(変位が生じていないため未観察)

(a) 外面




5 δ y

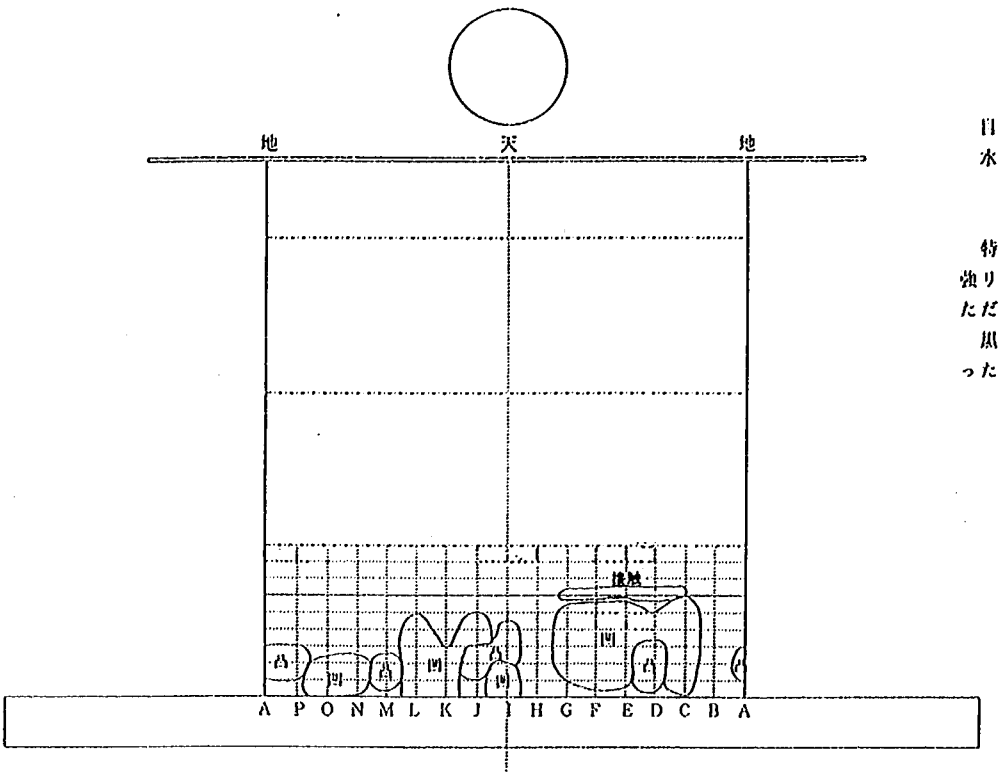
目標変位　40.00mm
水平荷重　54.2ton

圧縮側の基部から30cm付近のC～G間でEラインを最大に凹みが認められる。
基部付近のパネルの凹みは全周に及ぶようになった。

(b) 内面

(i) 最大荷重を超えた点 (+5 $\delta_y$)

図-3.2.8(5) 供試体の変形 (No. 31)

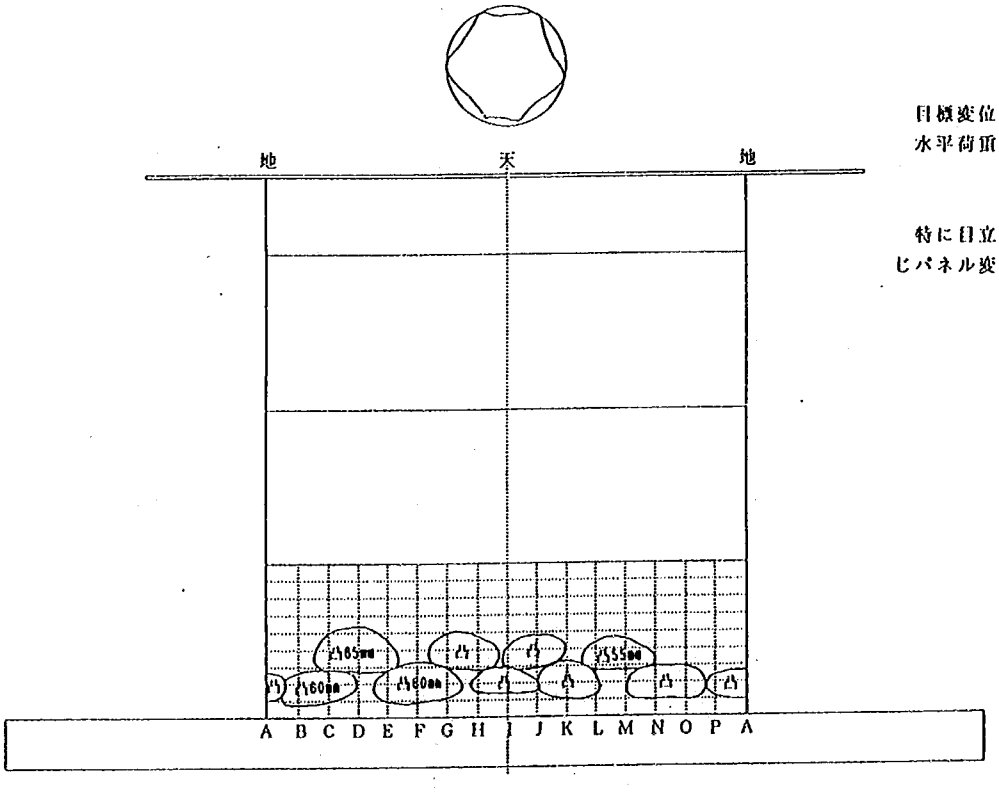



11 δy

目標変位　88.00mm
水平荷重　15.7ton

特に目立った変化はなく、補強リングの変形量が僅かに増えただけである。
黒皮のひび割れも広がらなかった。

(a) 外面




11 δy

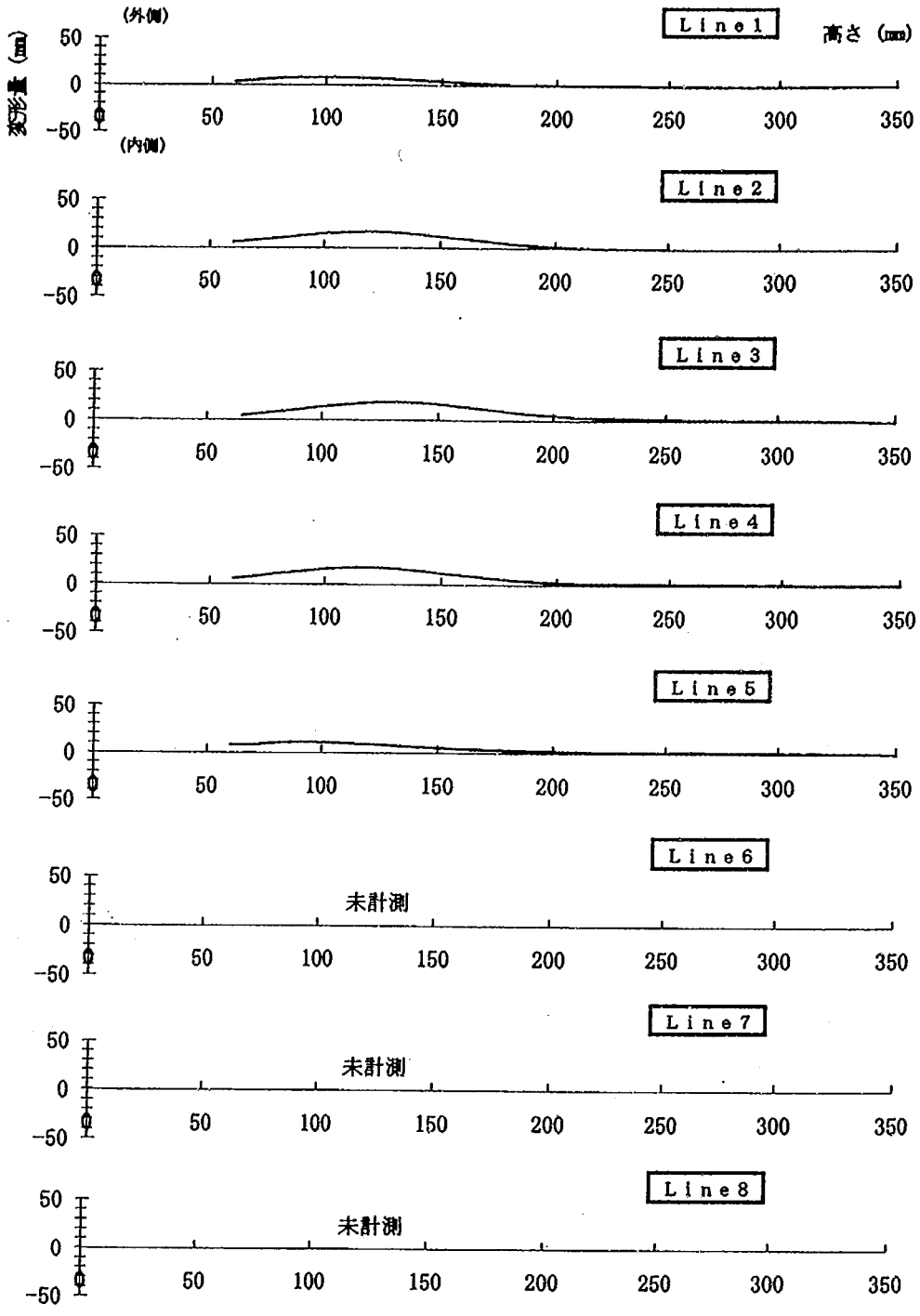
目標変位　88.00mm
水平荷重　15.7ton

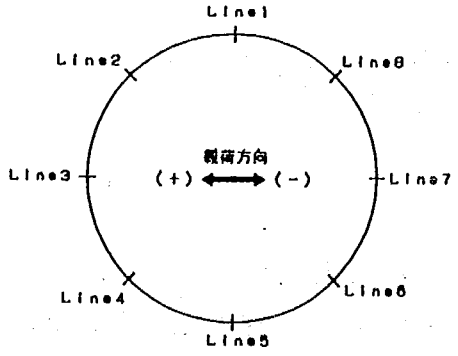
特に目立った変化はなく、同じパネル変形を繰り返している。

(b) 内面

(ii) 実験終了時付近（＋ 11 $\delta_y$）

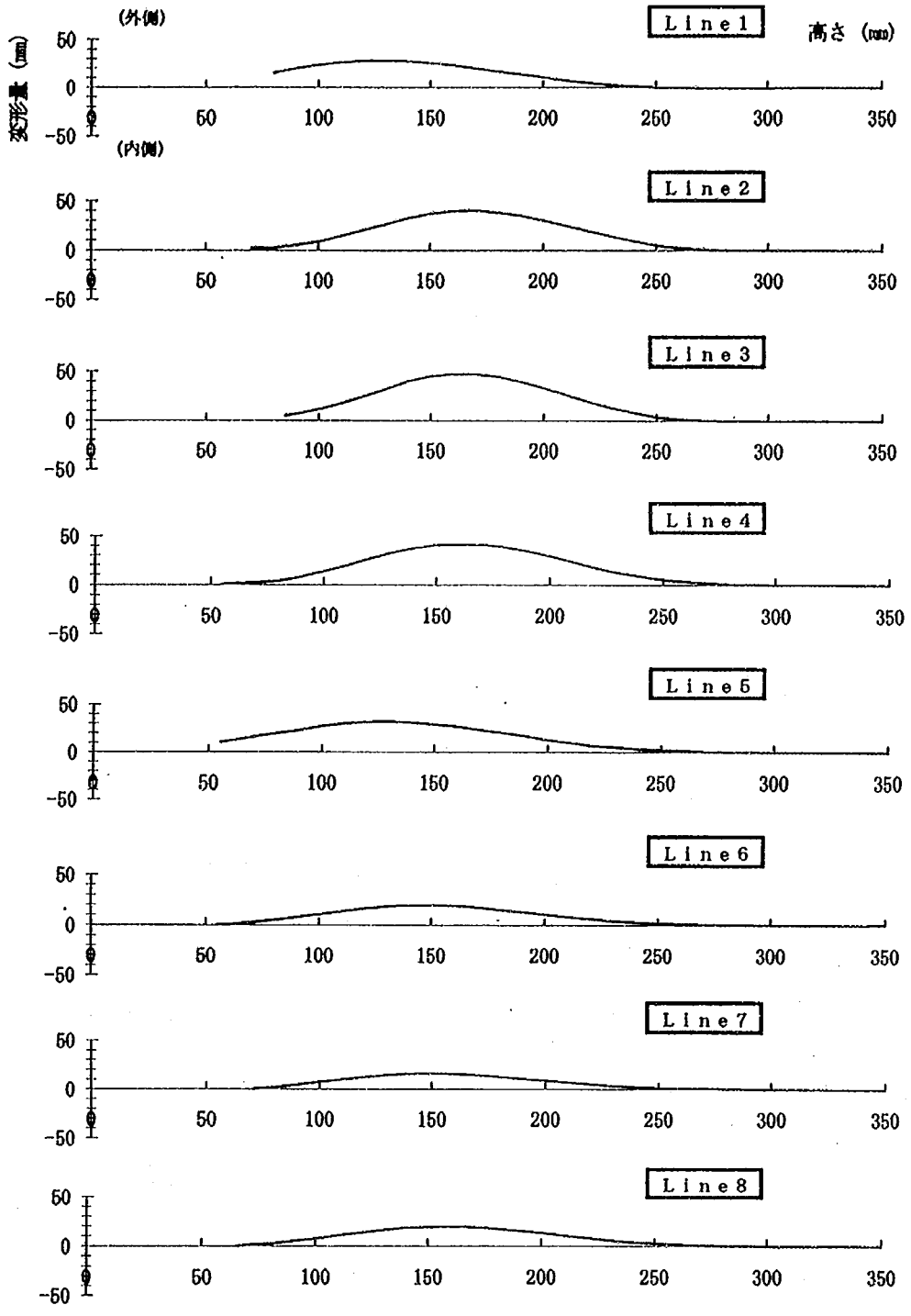
図-3.2.8(5)　供試体の変形（No. 31）

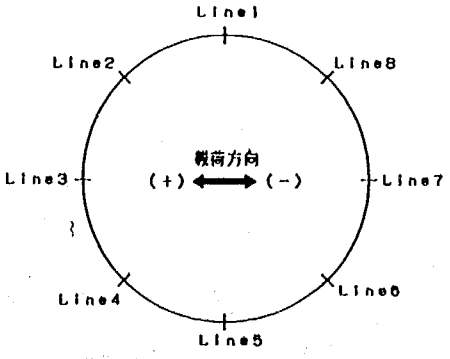



(i) 最大荷重を超えた点(+6δy)

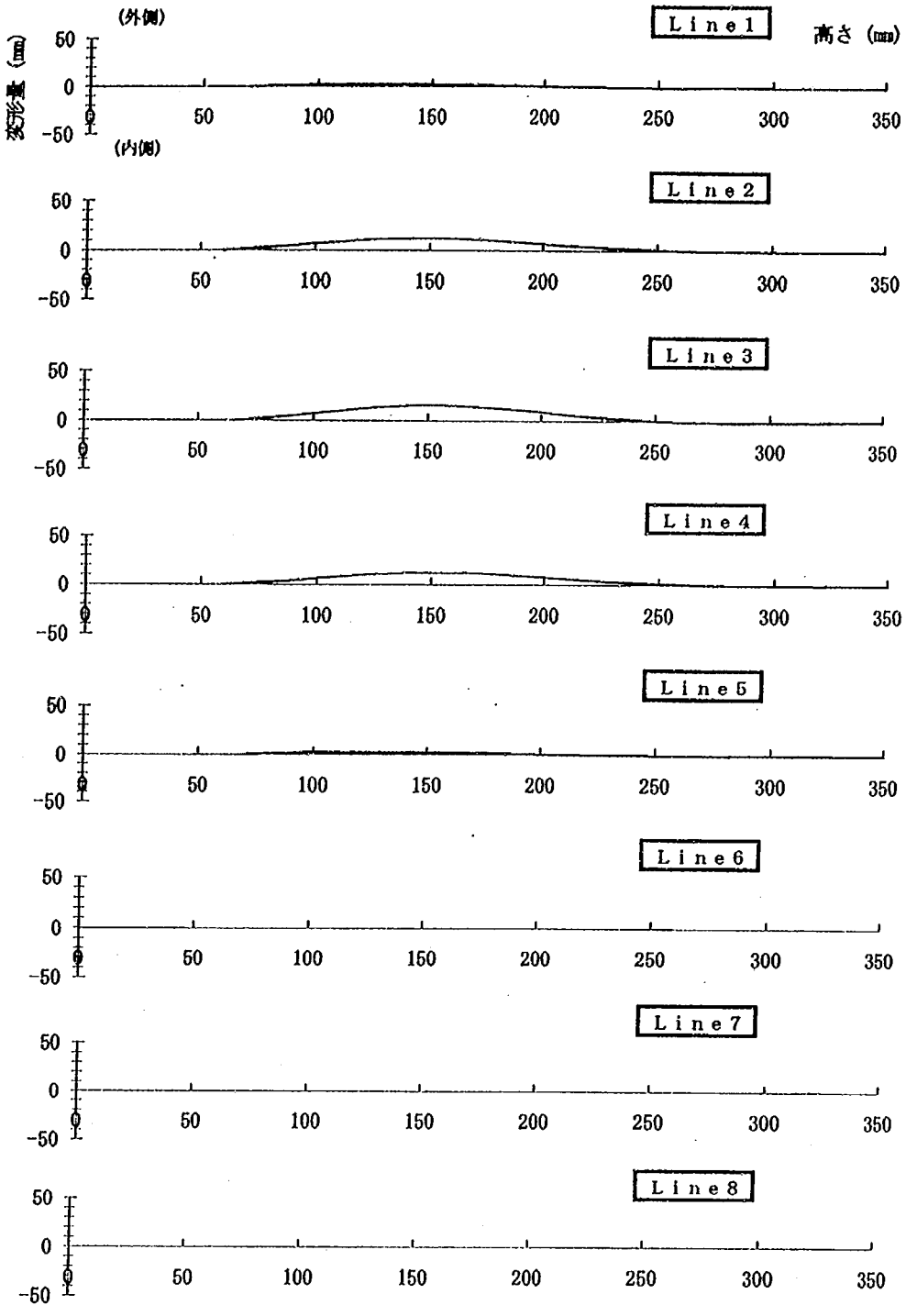
図-3.2.9(1) 面外変位測定結果(No.6)

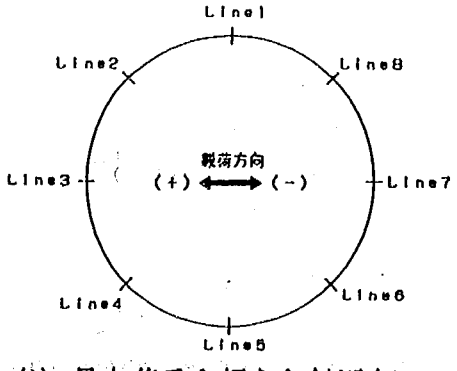



(ii) 実験終了時付近(+8δy)

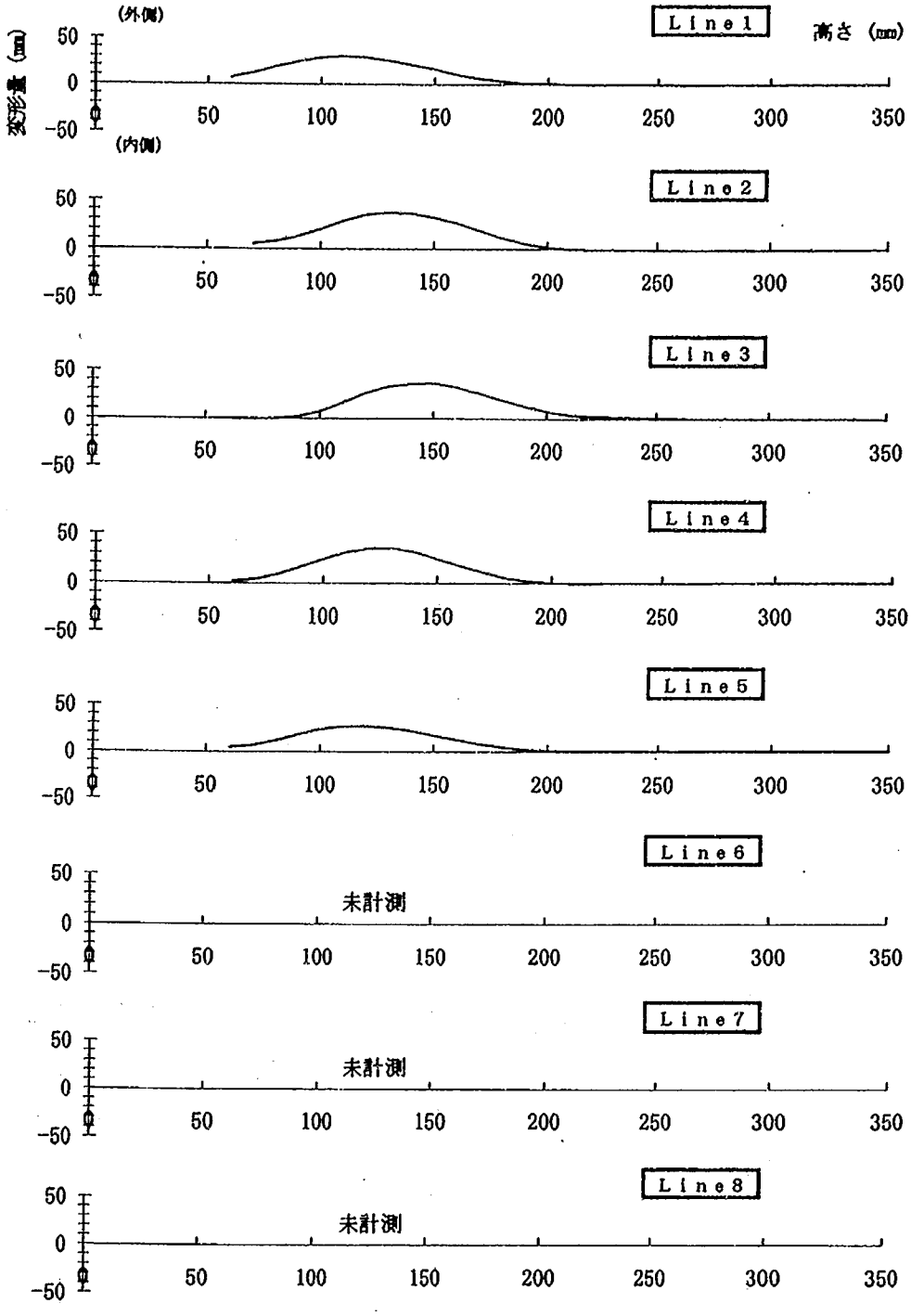
**図-3.2.9(1) 面外変位測定結果(No.6)**

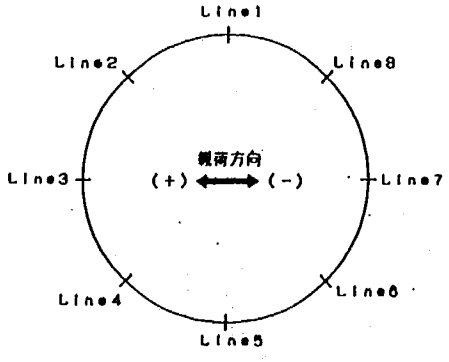



(i) 最大荷重を超えた付近(+5δy)

図-3.2.9(2) 面外変位測定結果(No.8)




(ii) 実験終了時付近(+7δy)

**図-3.2.9(2) 面外変位測定結果(No.8)**

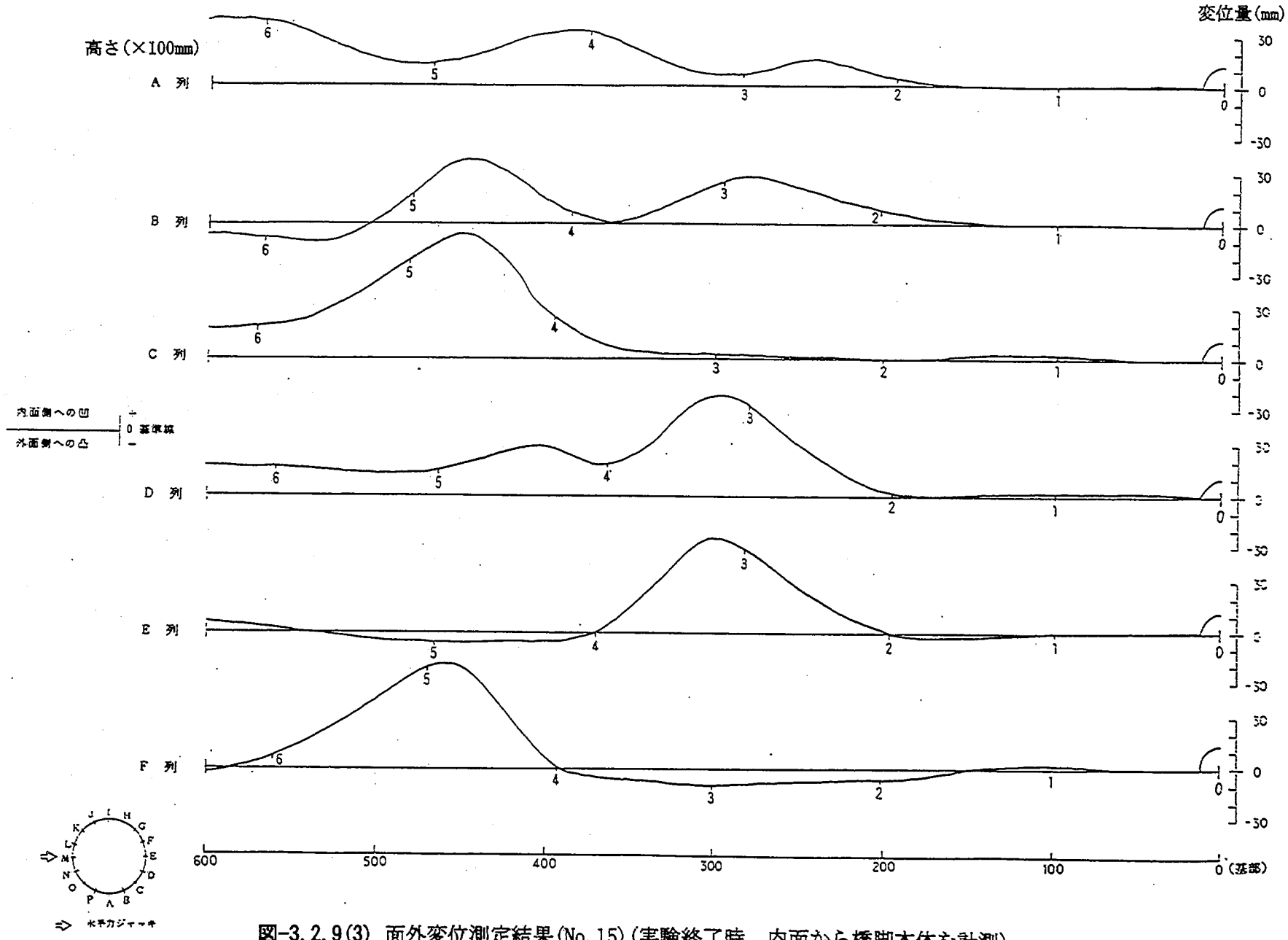



図-3.2.9(3) 面外変位測定結果(No. 15)(実験終了時、内面から橋脚本体を計測)

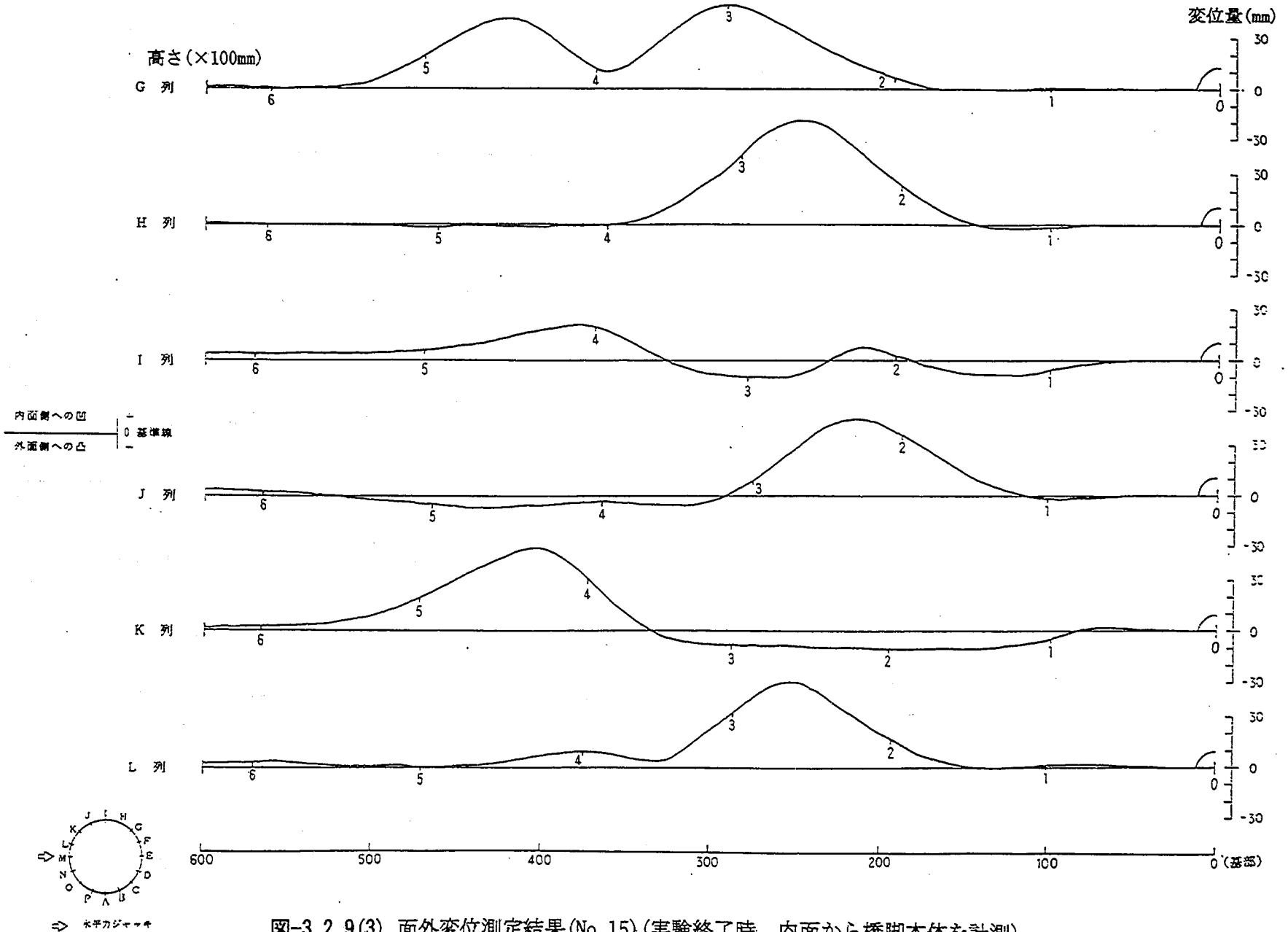



図-3.2.9(3) 面外変位測定結果(No. 15)(実験終了時、内面から橋脚本体を計測)

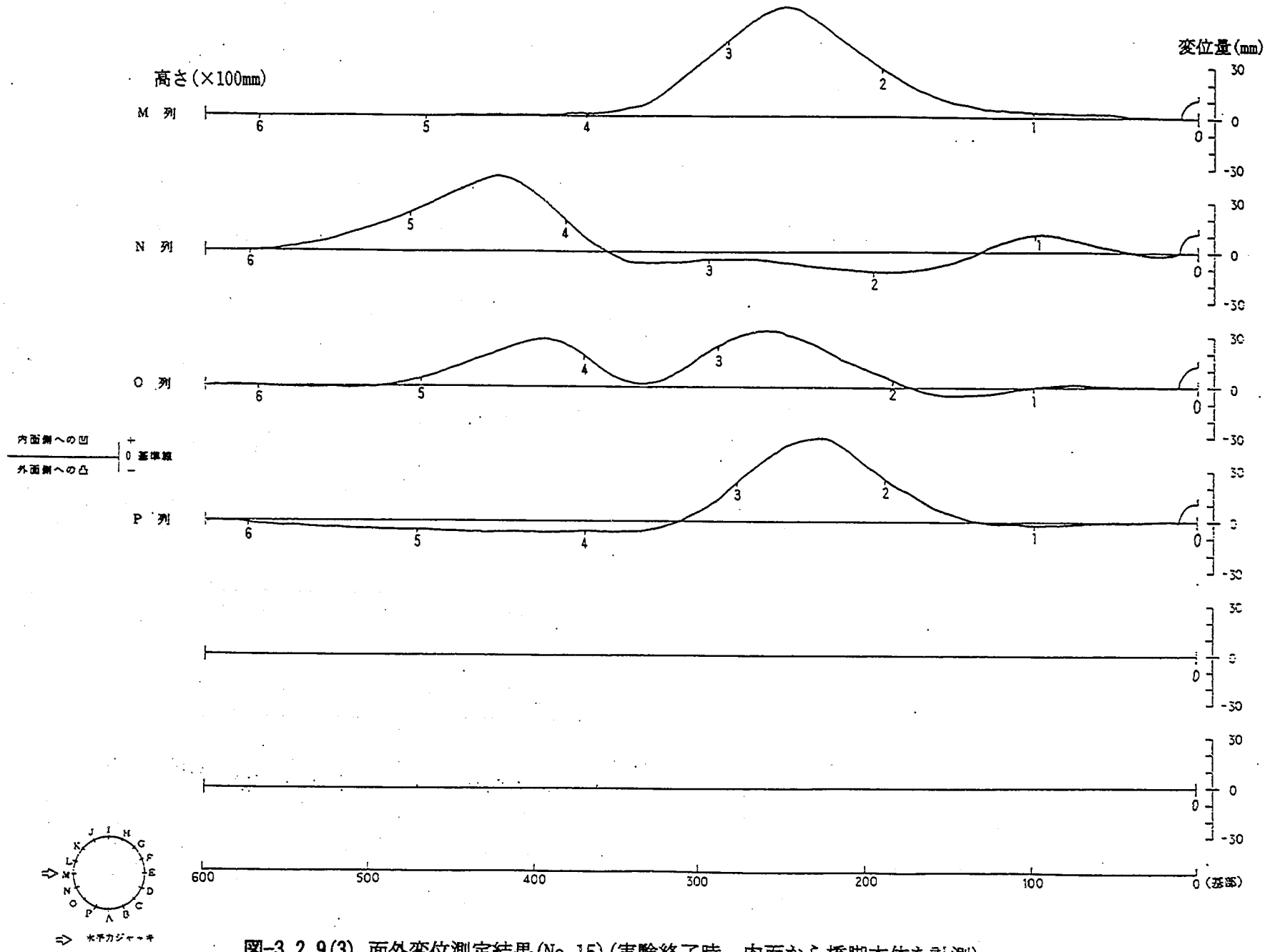
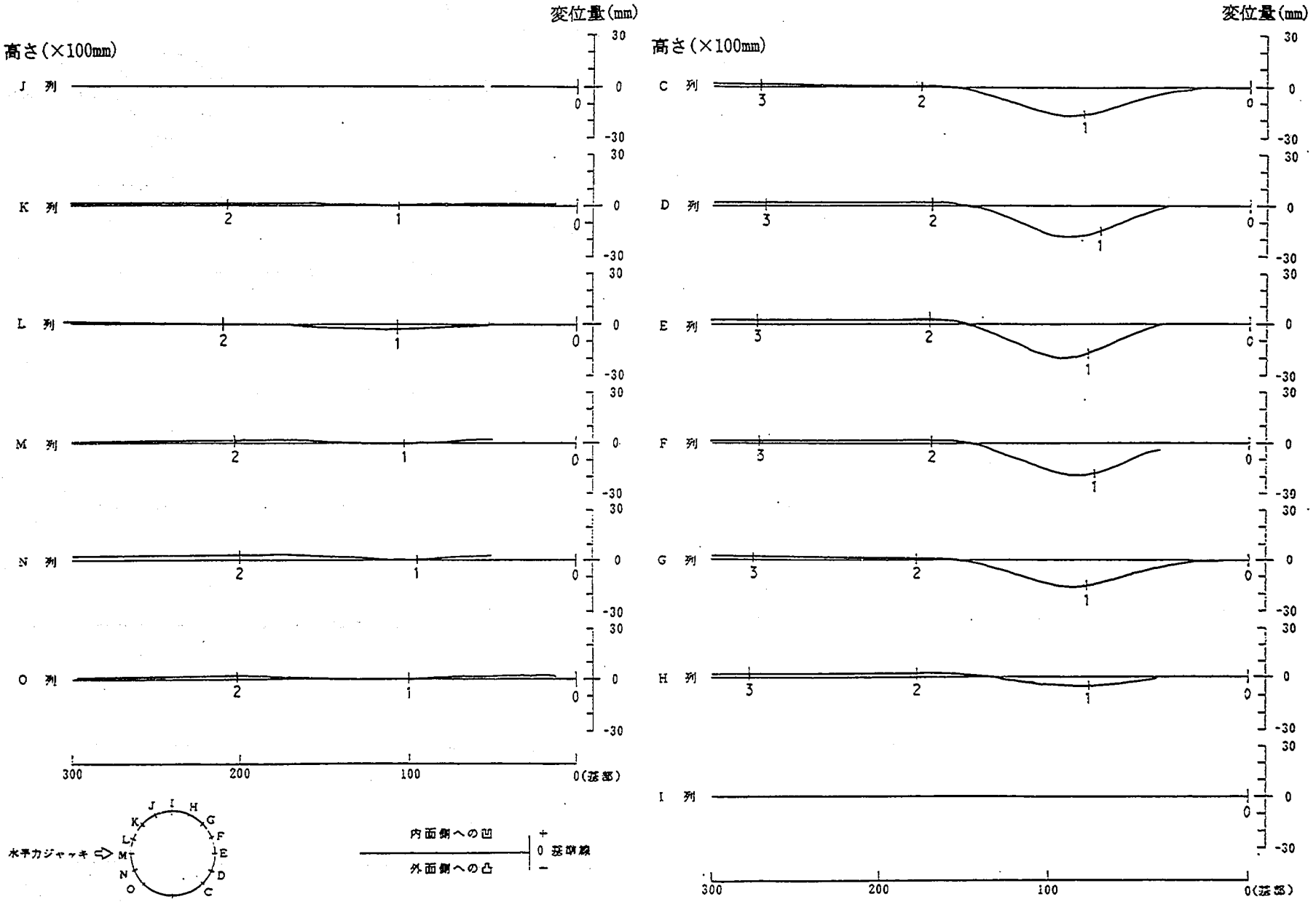
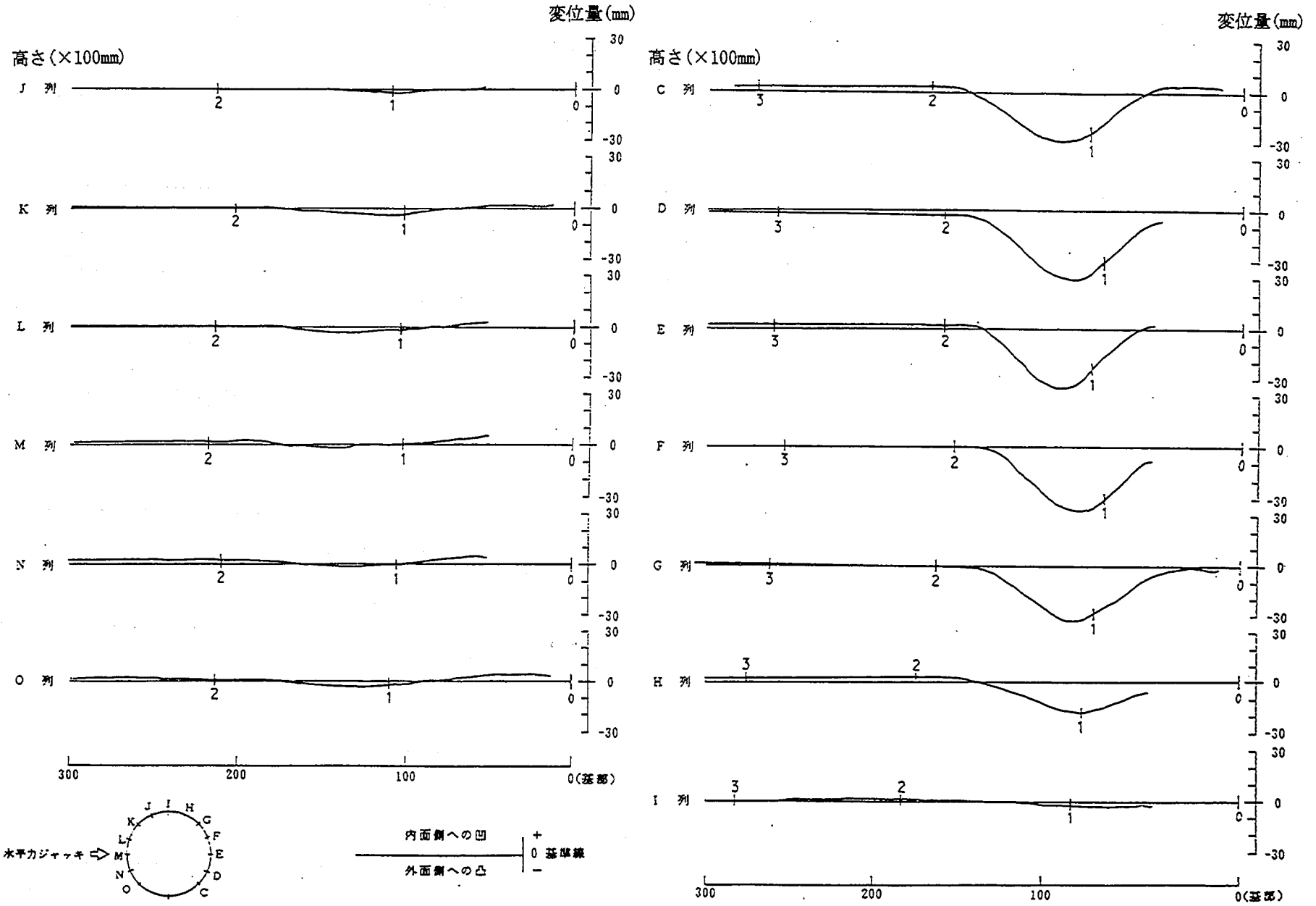



図-3.2.9(3) 面外変位測定結果(No. 15)(実験終了時、内面から橋脚本体を計測)



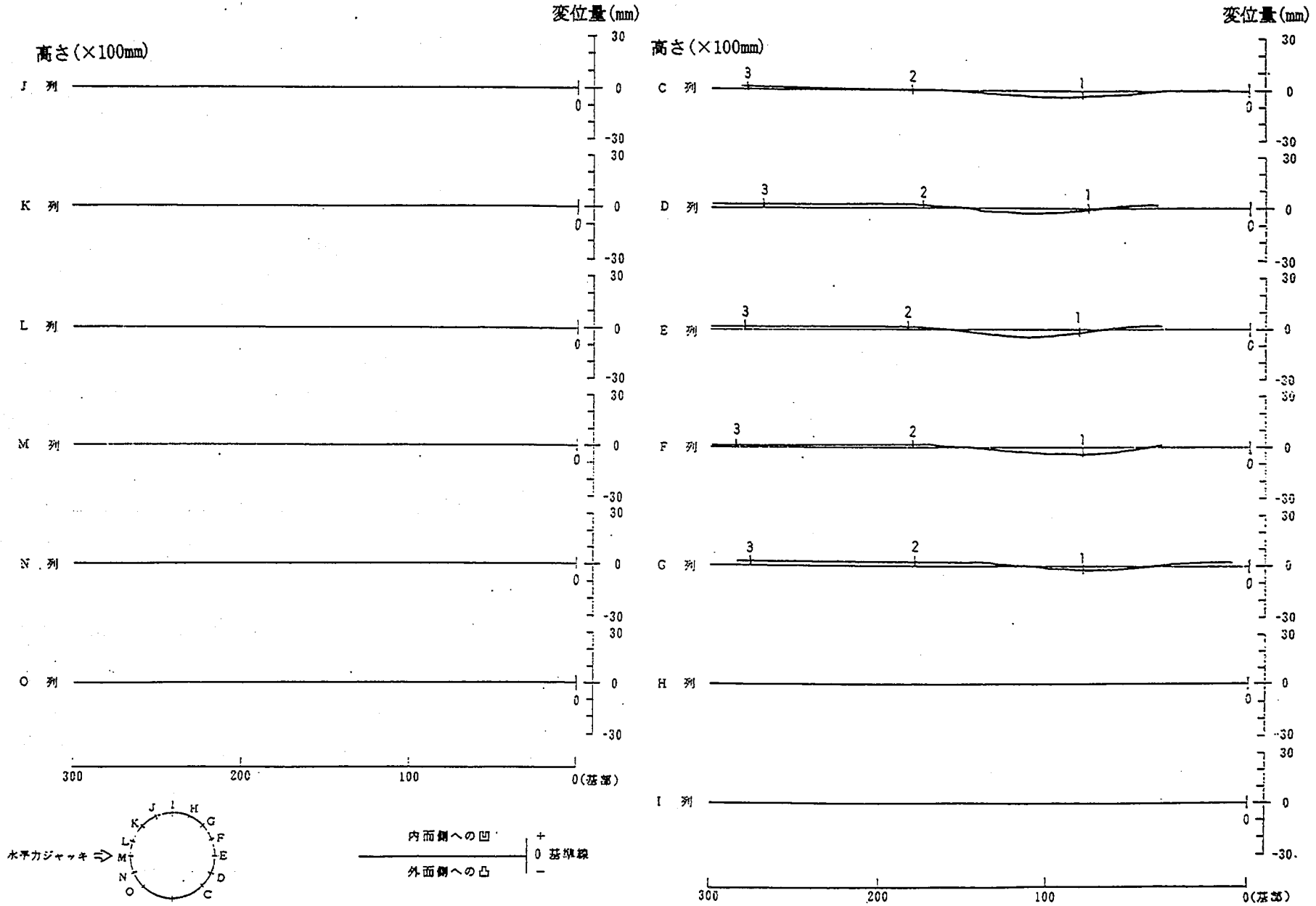

(i) 最大荷重を超えた点(+10 δ y)

図-3.2.9(4) 面外変位測定結果(No. 16)



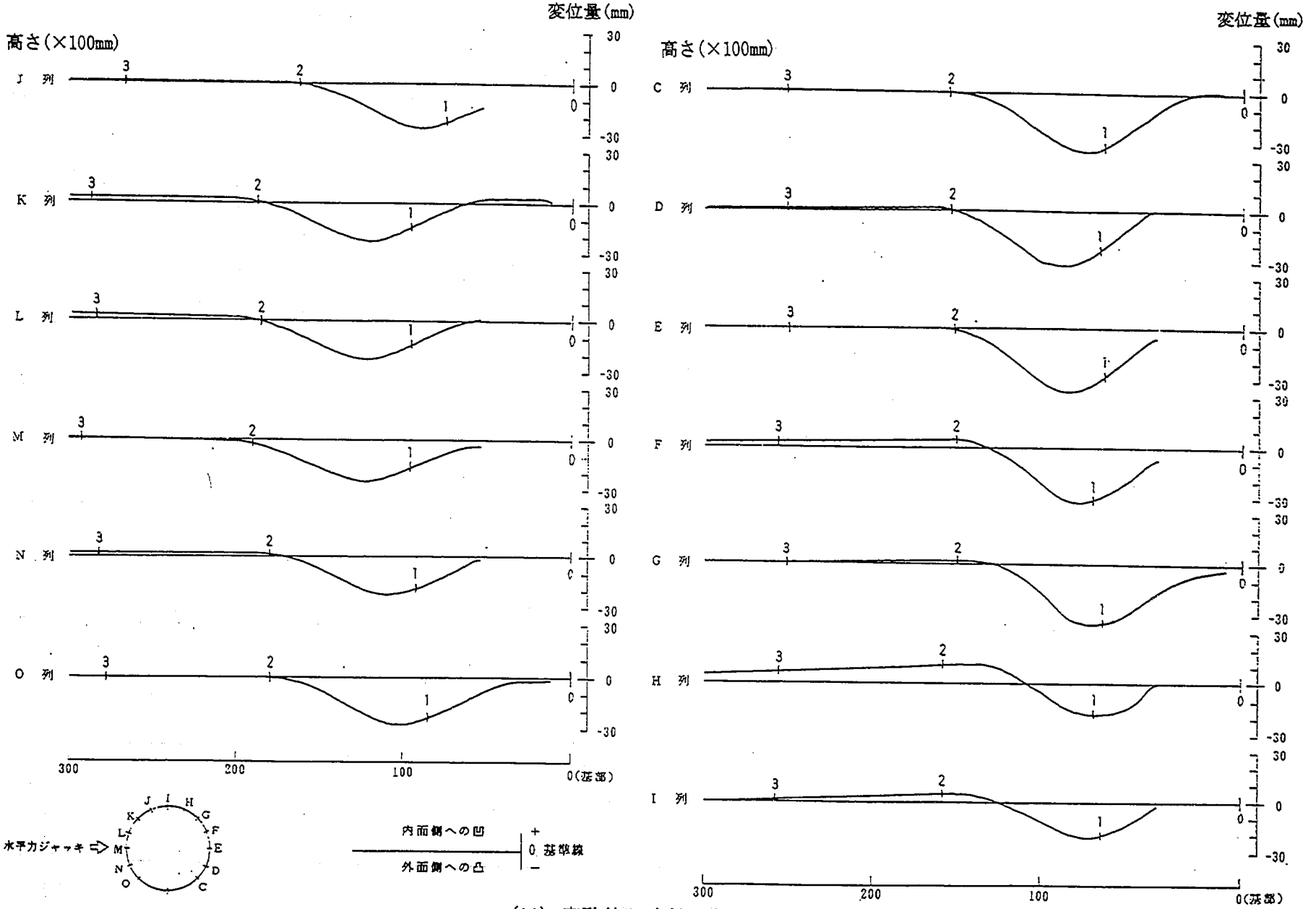

(ii) 実験終了時付近(+17δy)

図-3.2.9(4) 面外変位測定結果(No. 16)



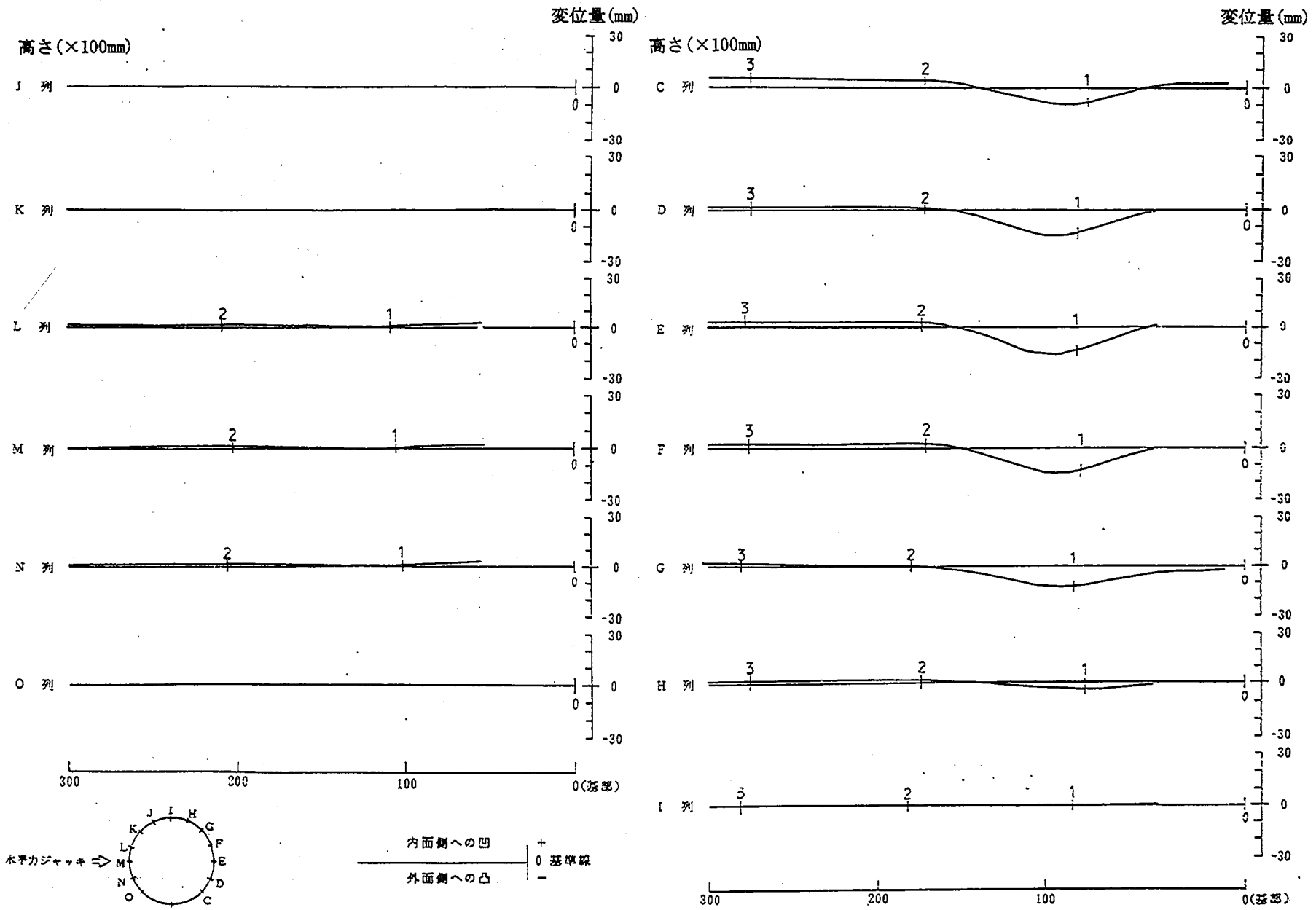

(i) 最大荷重を超えた点(+4δy)

図-3.2.9(5) 面外変位測定結果(No. 29)



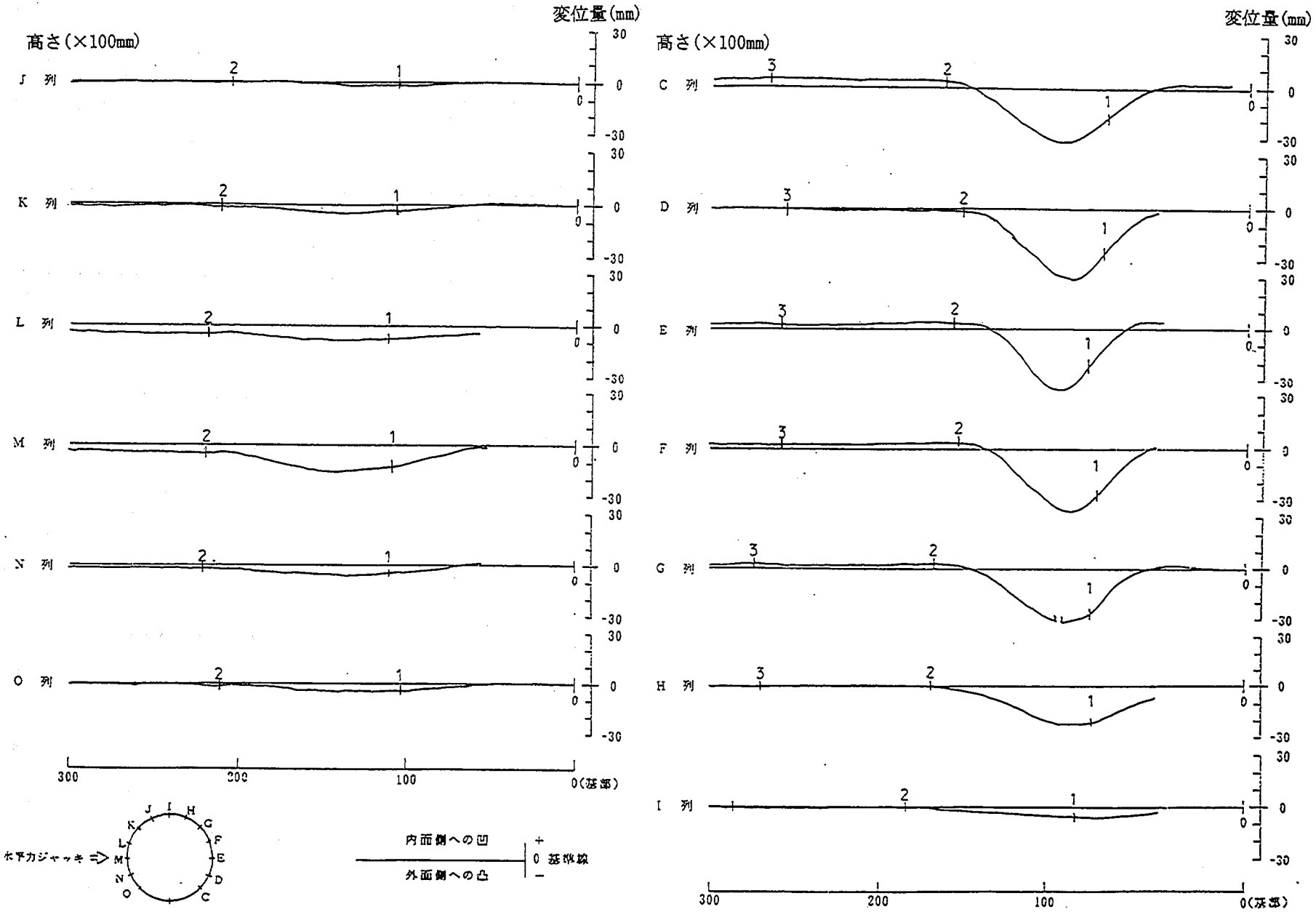

(ii) 実験終了時付近(+7δy)

図-3.2.9(5) 面外変位測定結果(No. 29)




(i) 最大荷重を超えた点(+8δy)

図-3.2.9(6) 面外変位測定結果(No.30)




(ii) 実験終了時付近(+17 δ y)

図-3.2.9(6) 面外変位測定結果(No. 30)

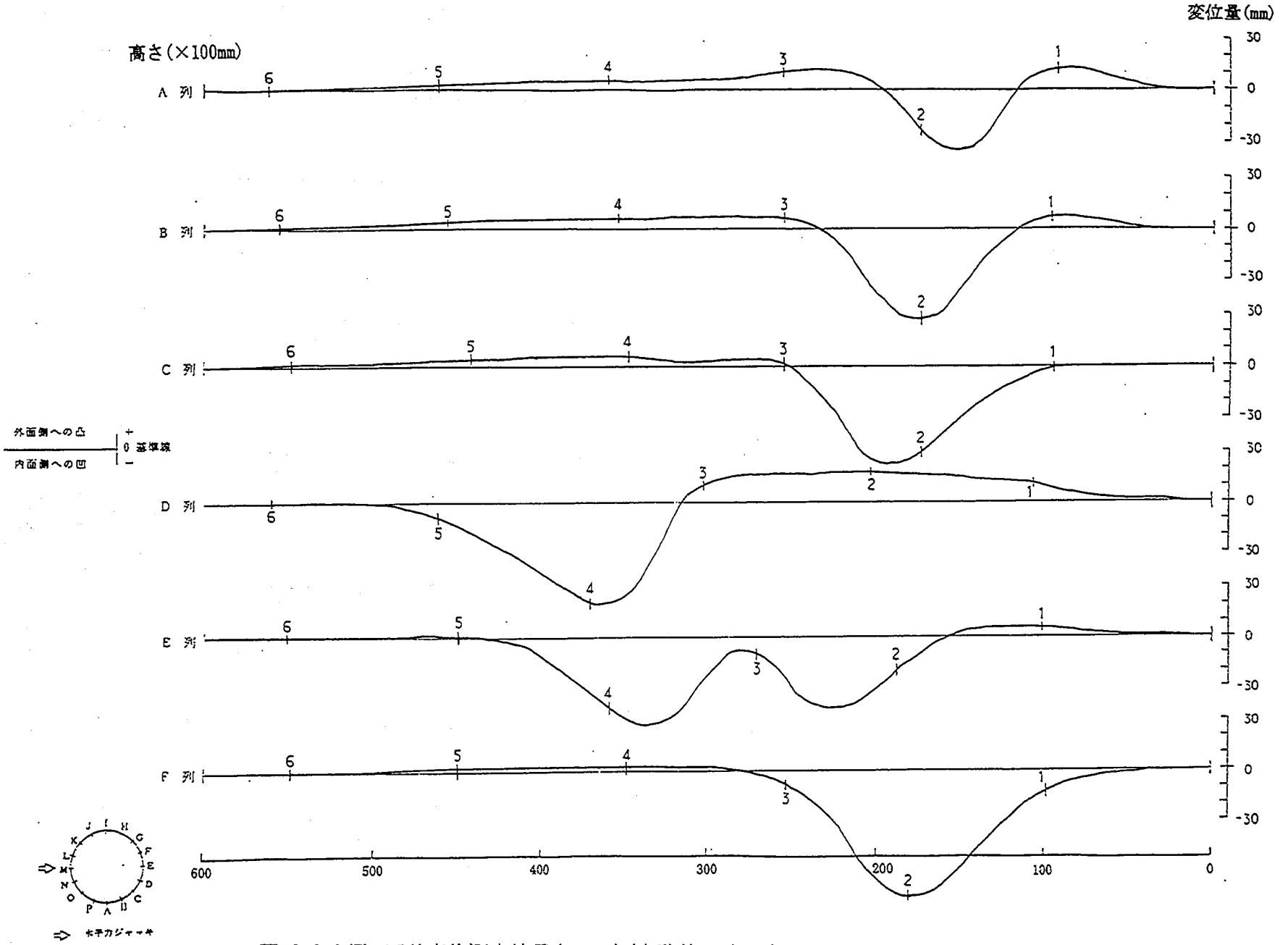



図-3.2.9(7) 面外変位測定結果(No. 31)(実験終了時、内面から橋脚本体を計測)

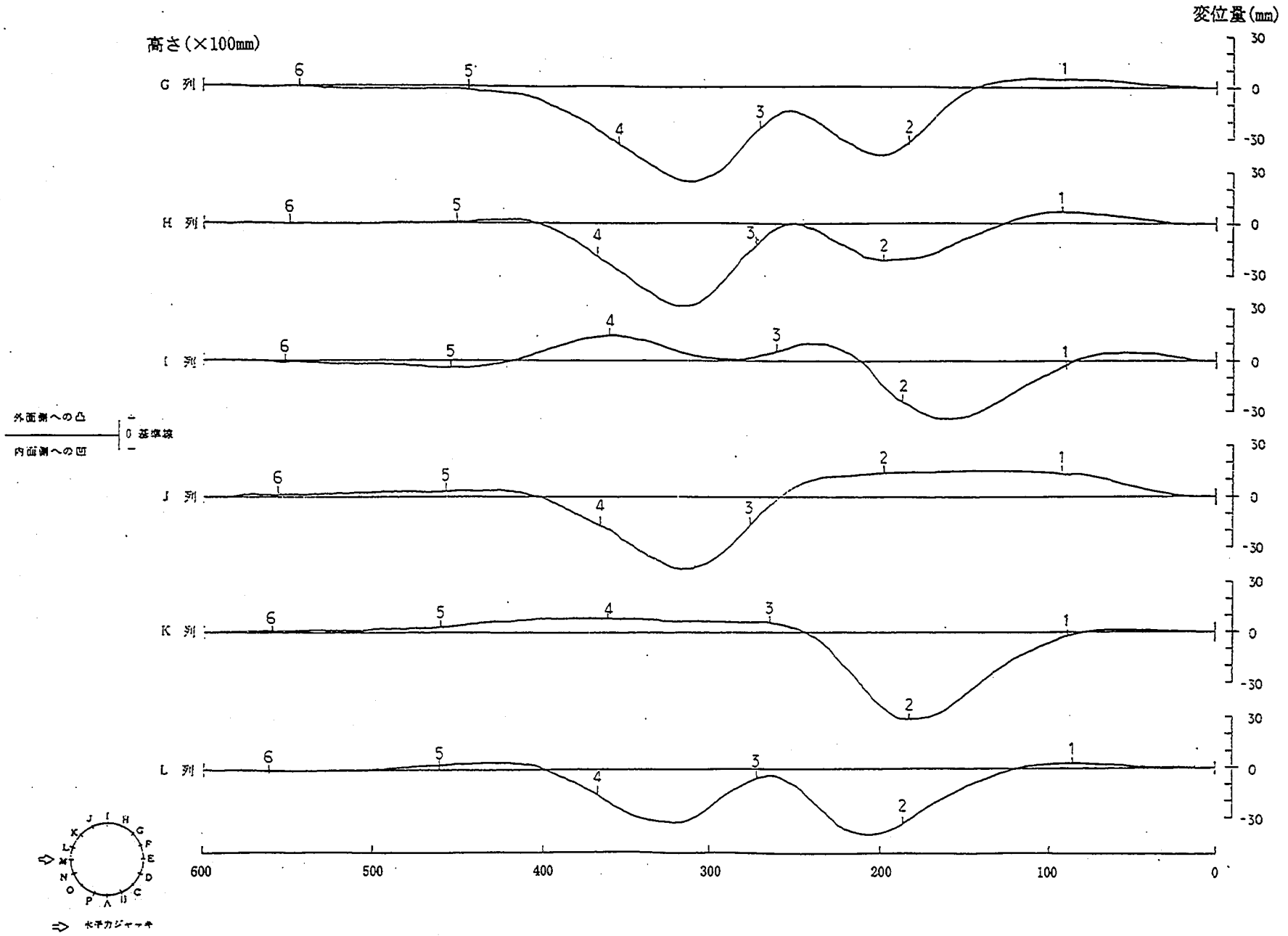



図-3.2.9(7) 面外変位測定結果(No.31)(実験終了時、内面から橋脚本体を計測)

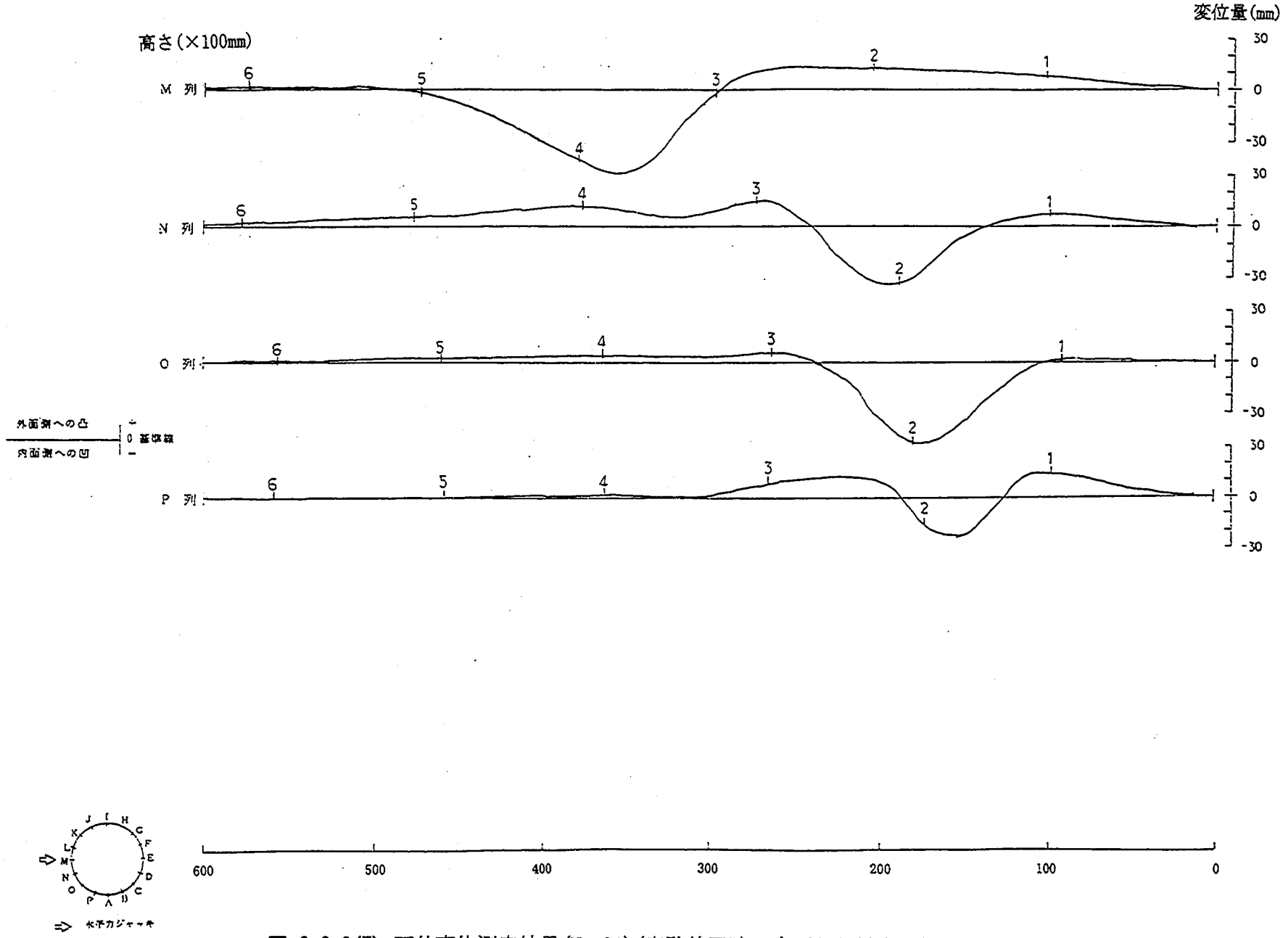
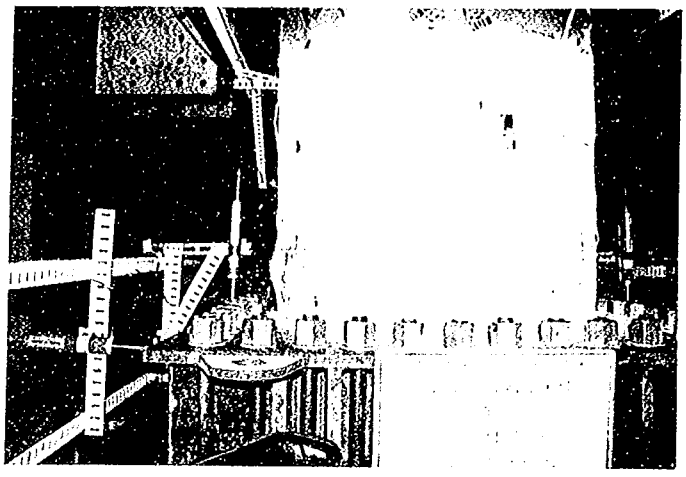
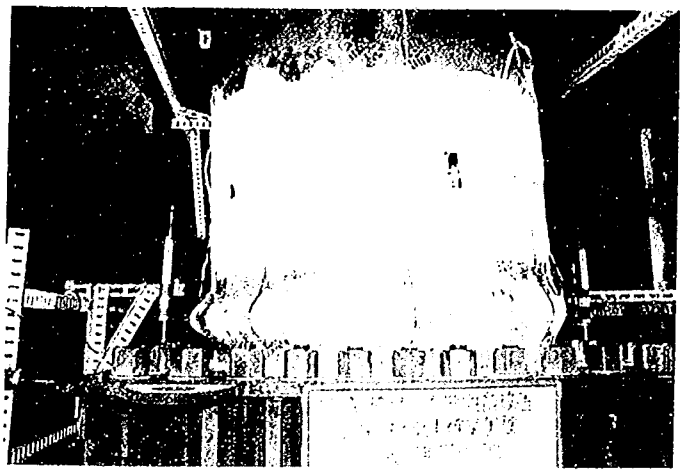
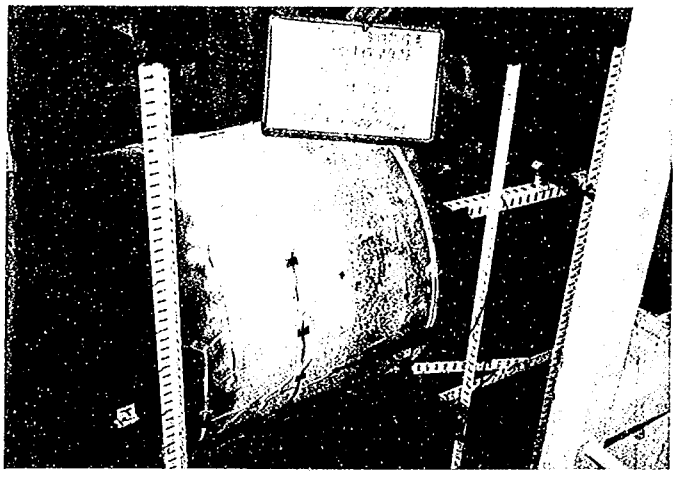
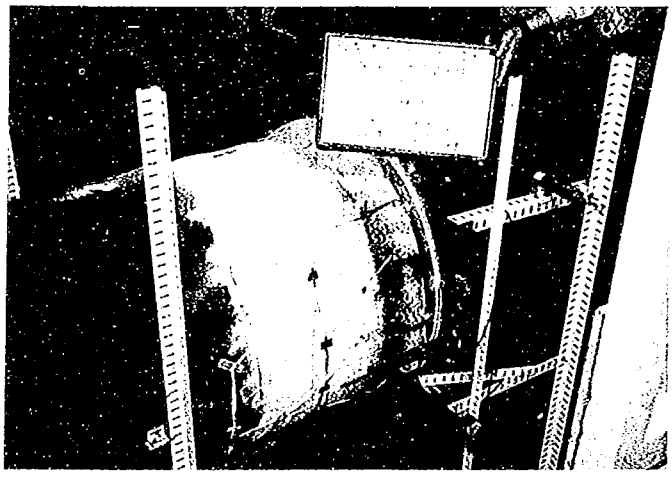



図-3.2.9(7) 面外変位測定結果(No. 31)(実験終了時、内面から橋脚本体を計測)





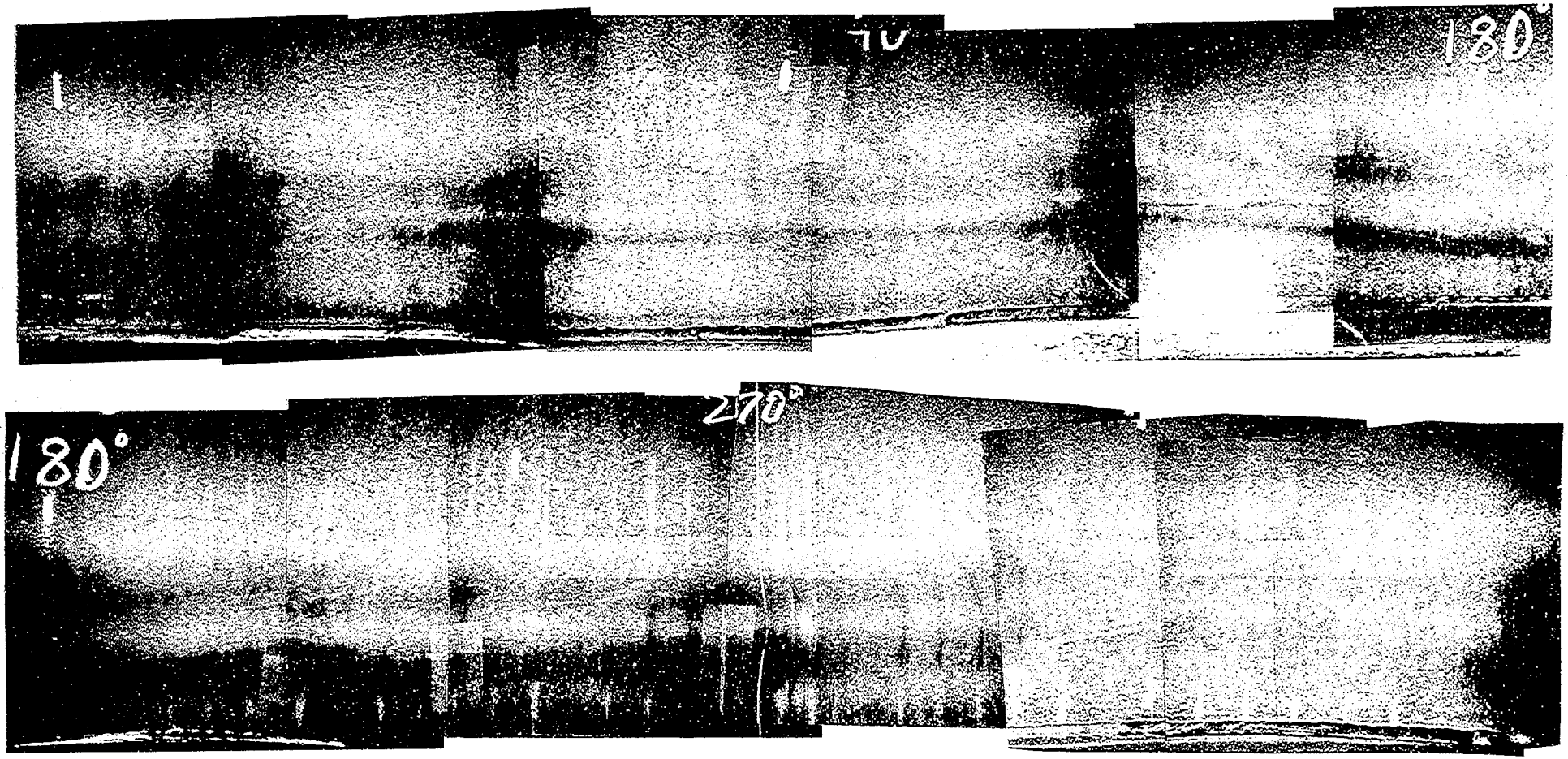


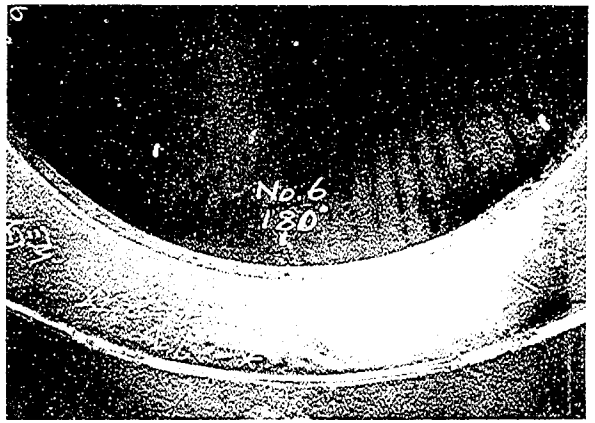


(i) 最大荷重を超えた点（＋６ $\delta_y$）

(ii) 実験終了時付近（＋９ $\delta_y$）

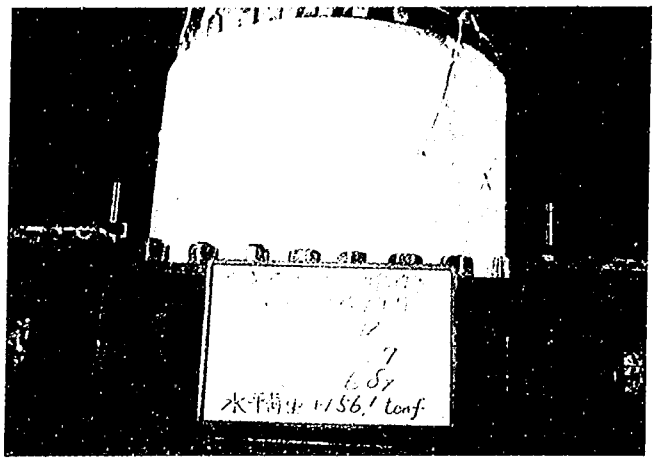
写真-3.2.1(1)　変形の状況（No. 6）



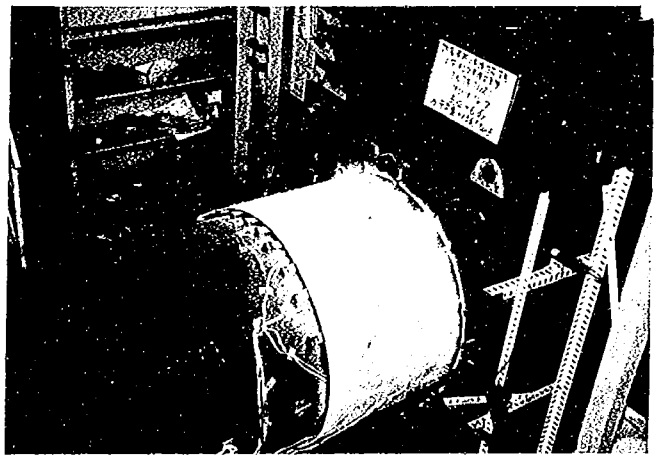

(iii) 実験終了時（内面）

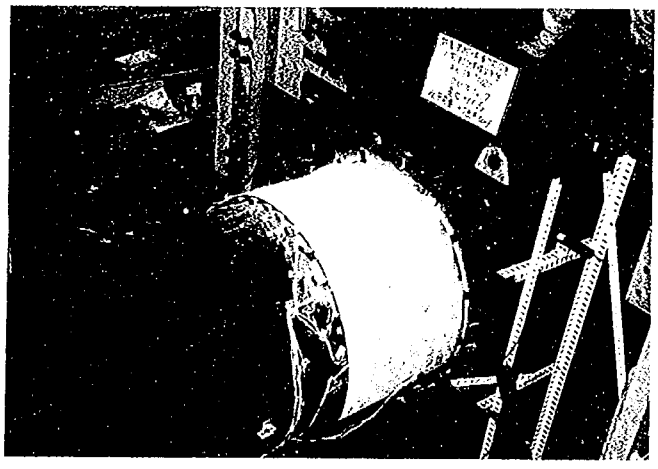
写真-3.2.1(1)　変形の状況（No.6）





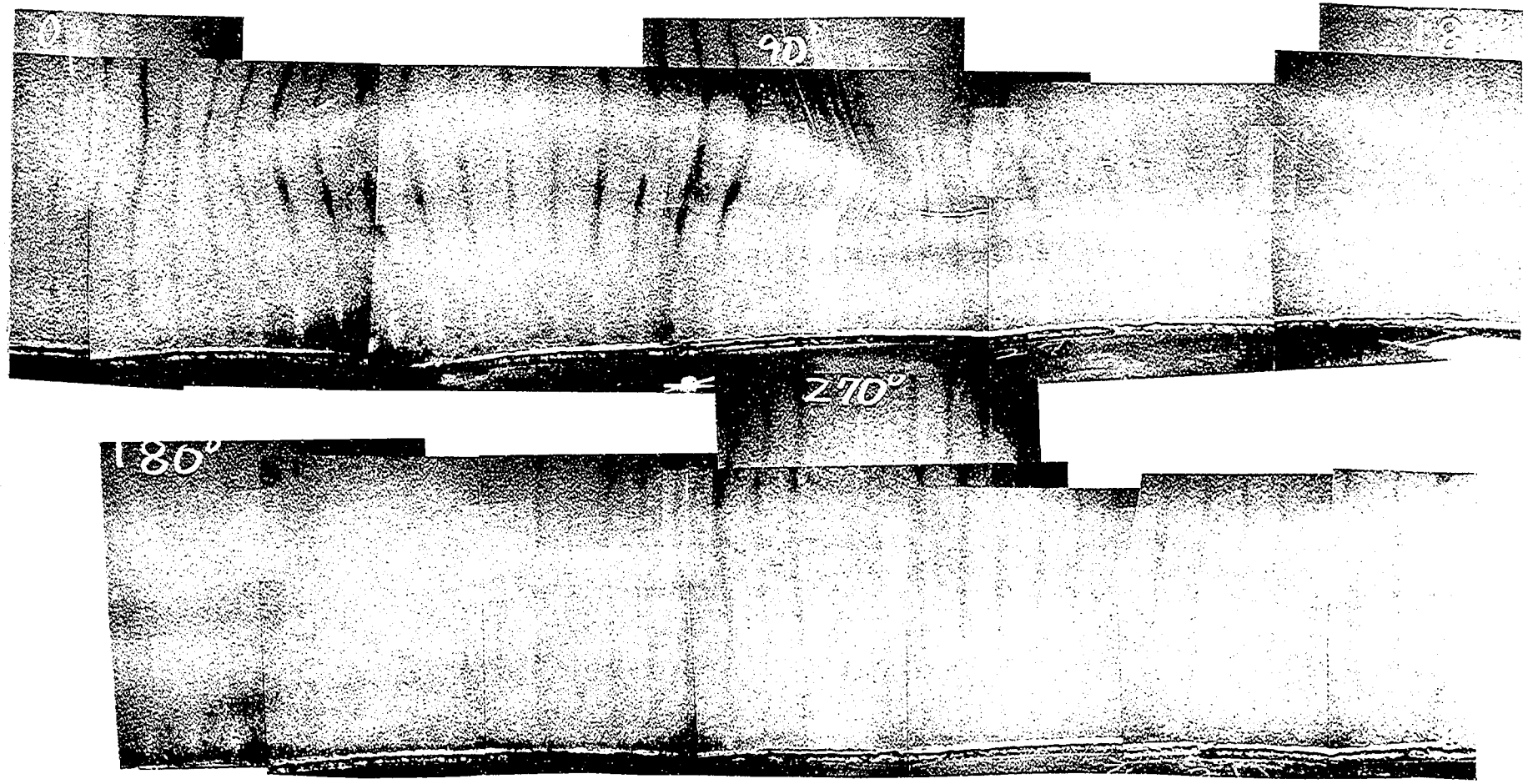


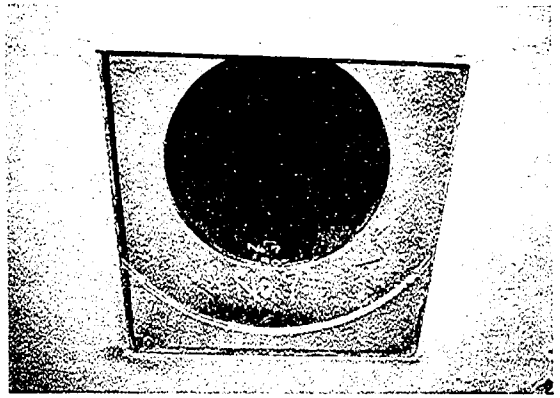




(i) 最大荷重を超えた点（＋6 $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋11 $\delta_y$）

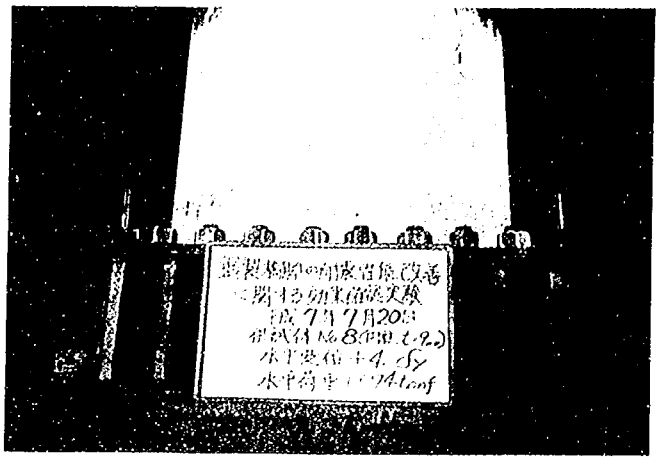
**写真-3.2.1(2)　変形の状況（No. 7）**

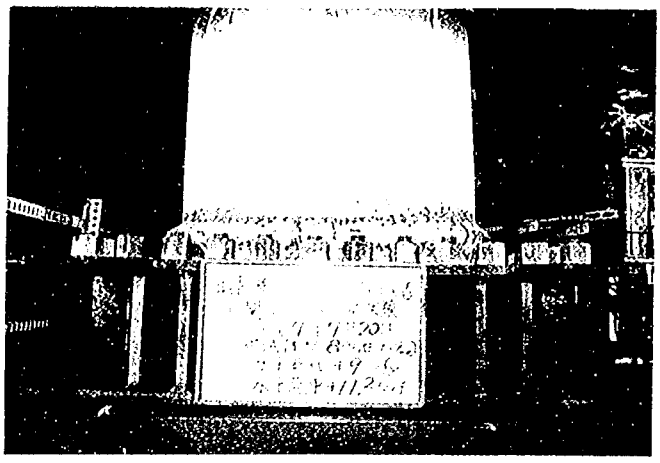


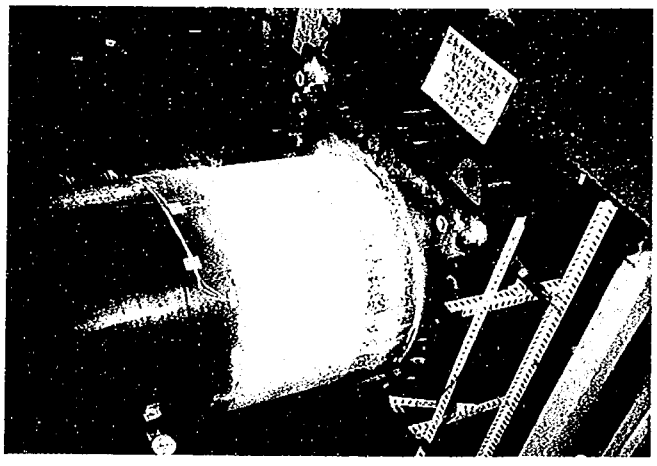



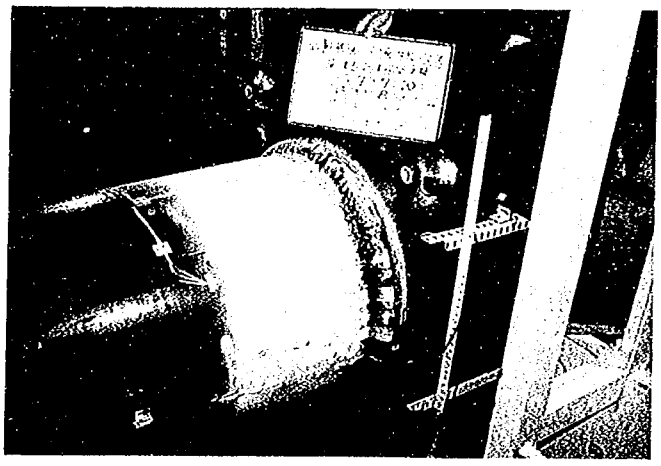
(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.2.1(2)　変形の状況（No.7）



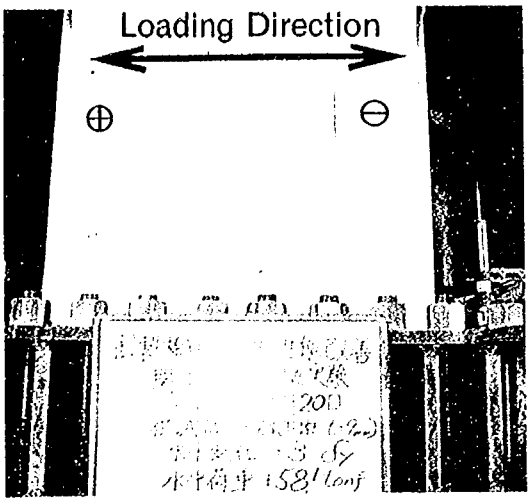




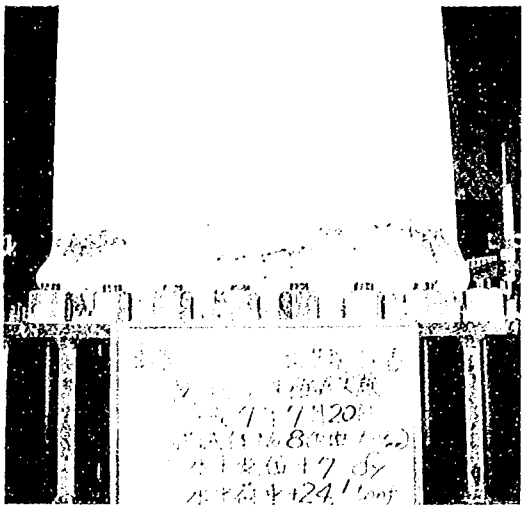


(i) 最大荷重を超えた点（＋４ $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋９ $\delta_y$）

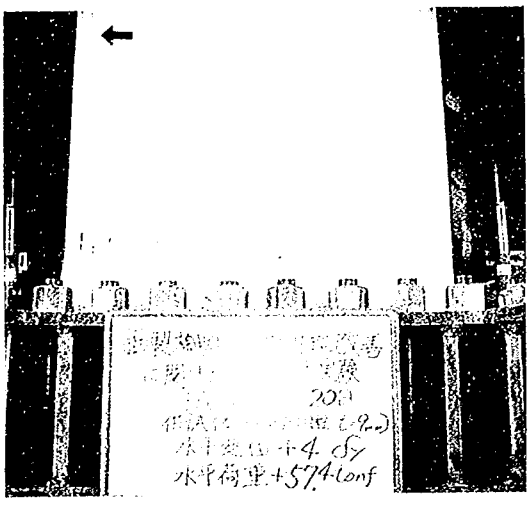
**写真**-3.2.1(3)　変形の状況（No. 8）




＋3δy



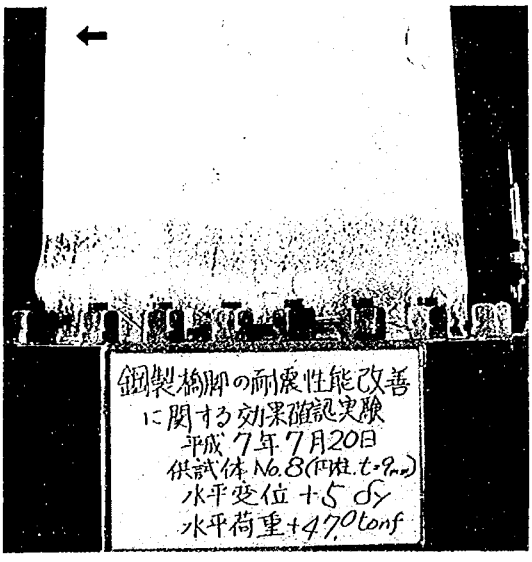
＋7δy(エネルギー吸収最大を超えた点)



＋4δy



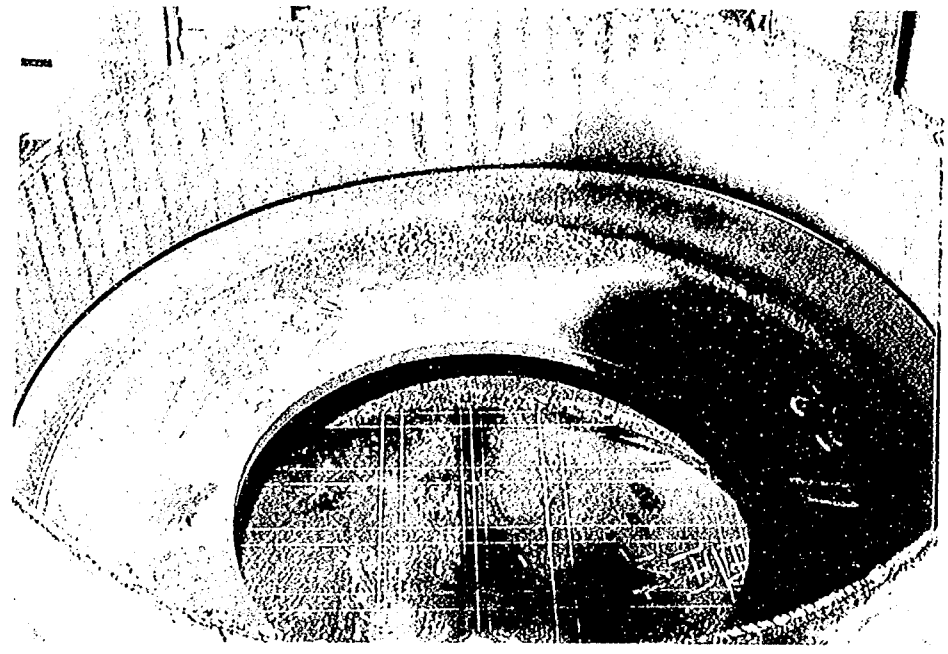

−7δy

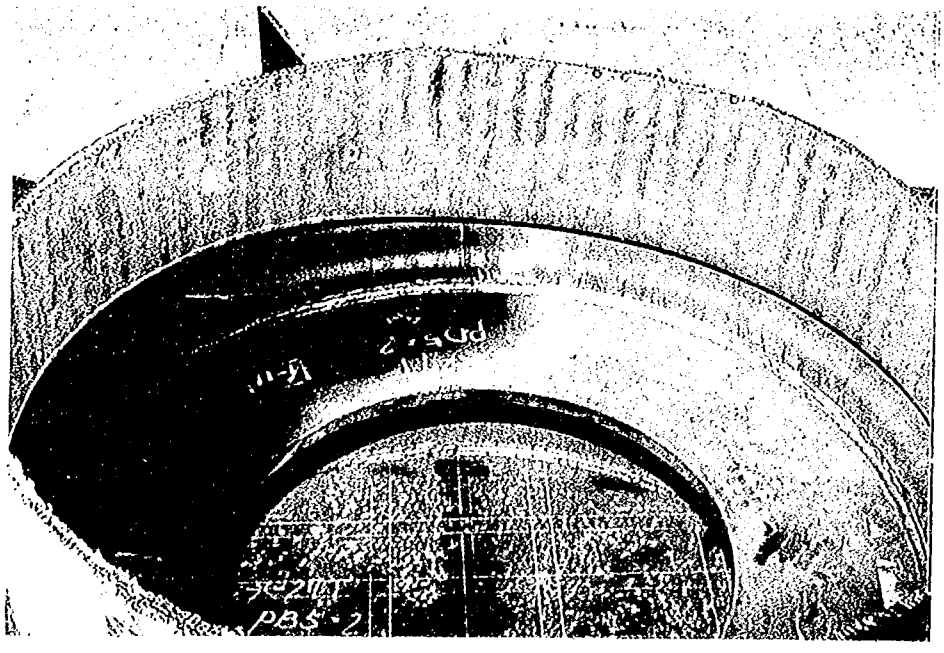



＋5δy(提灯座屈発生)

(iii) 変形の進展

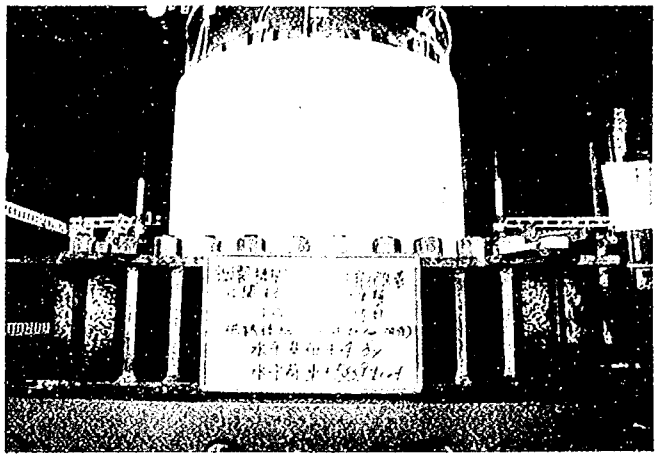
**写真-3.2.1(3)** 変形の状況 (No. 8)

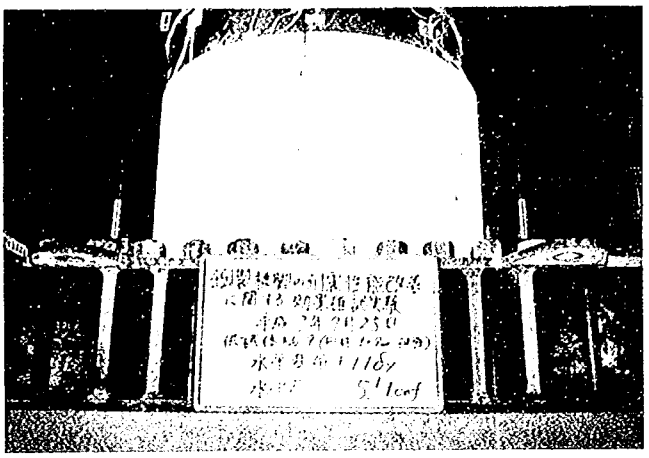


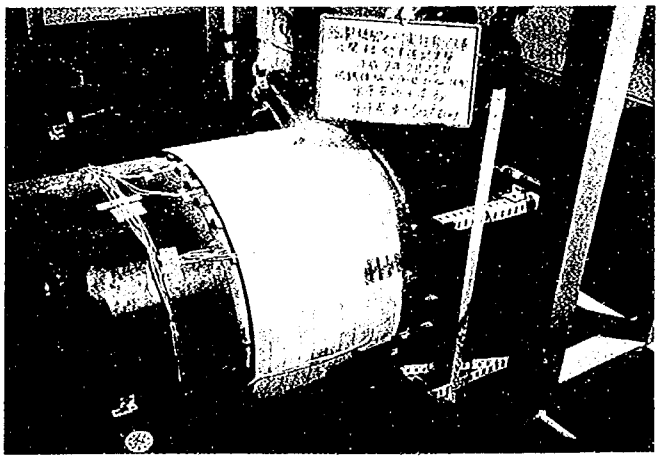


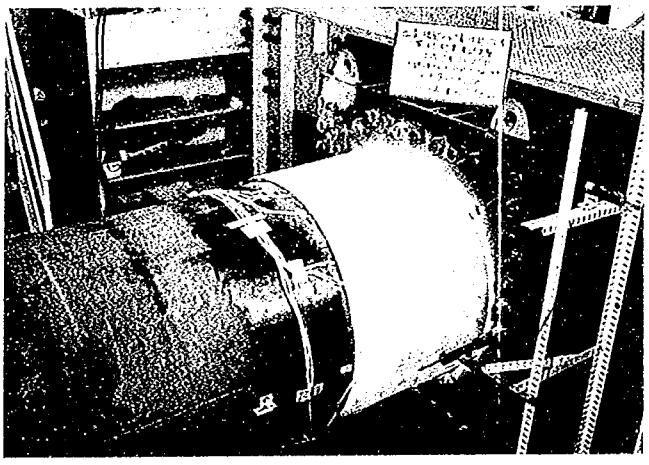
(iv) 実験終了時（内面）

**写真-3.2.1(3)**　変形の状況（No. 8）





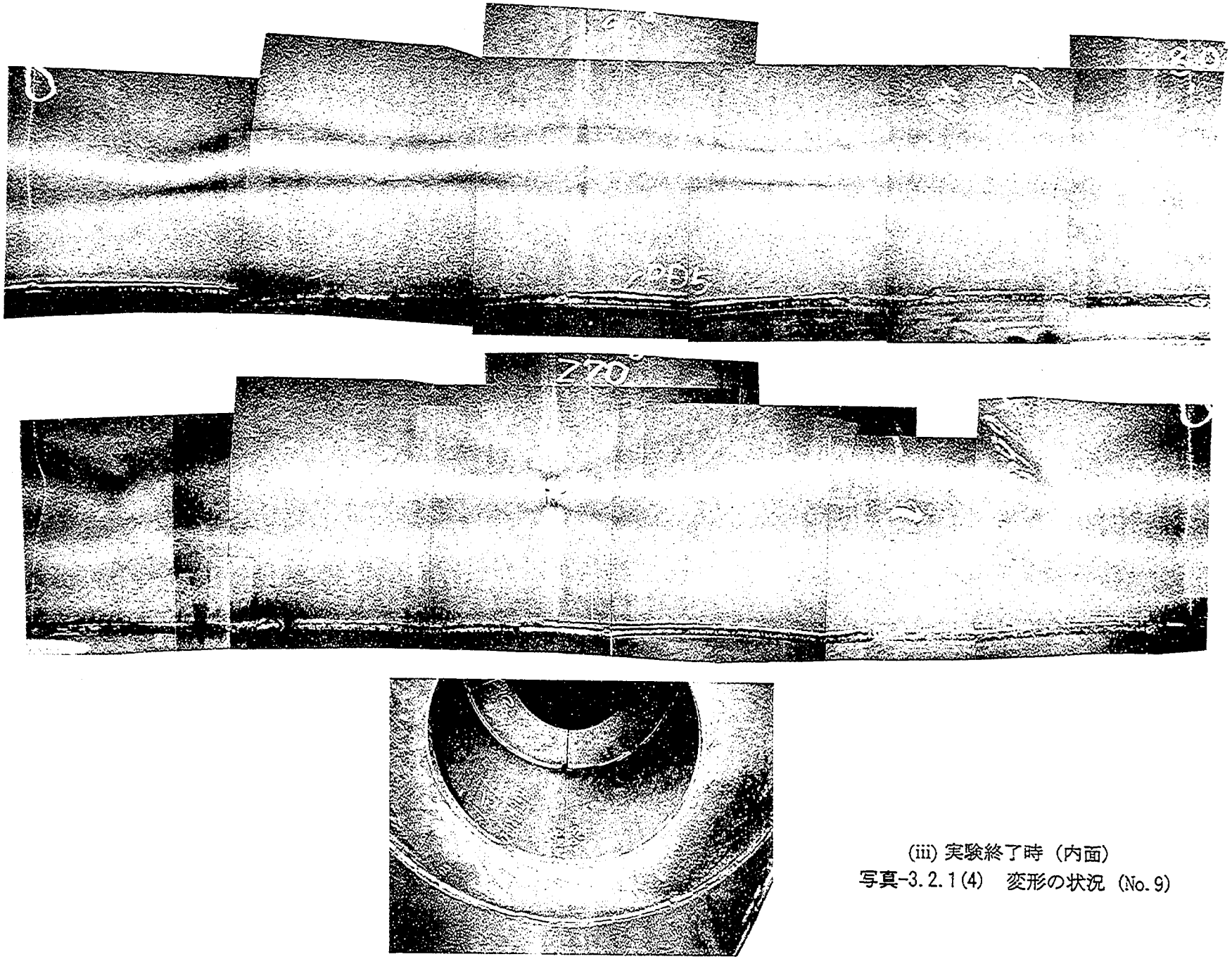




(i) 最大荷重を超えた点（＋ 4 $\delta_y$）

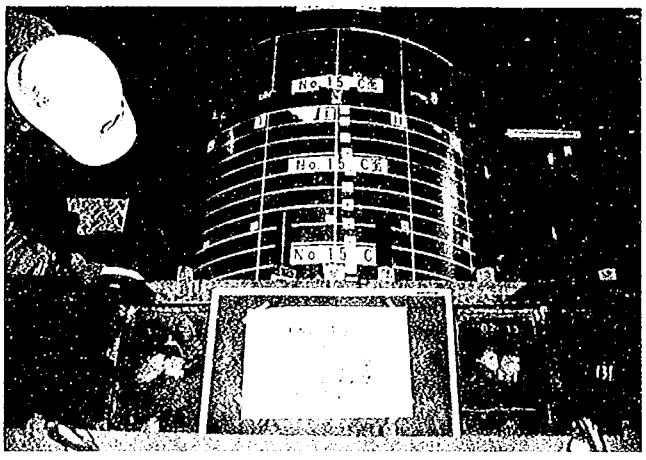
(ii) 実験終了時付近（＋ 11 $\delta_y$）

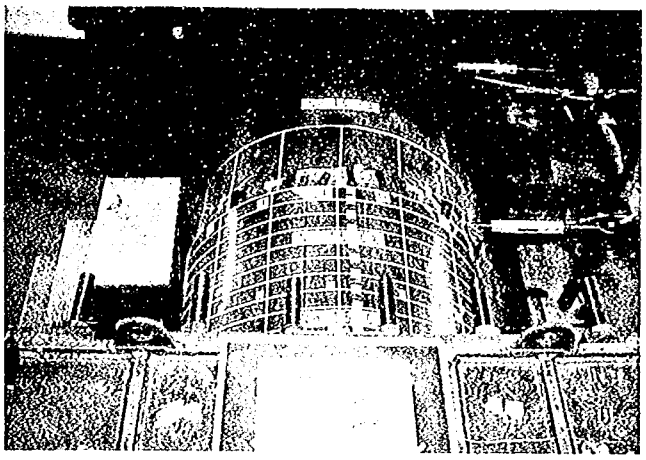
写真-3.2.1(4)　変形の状況（No. 9）

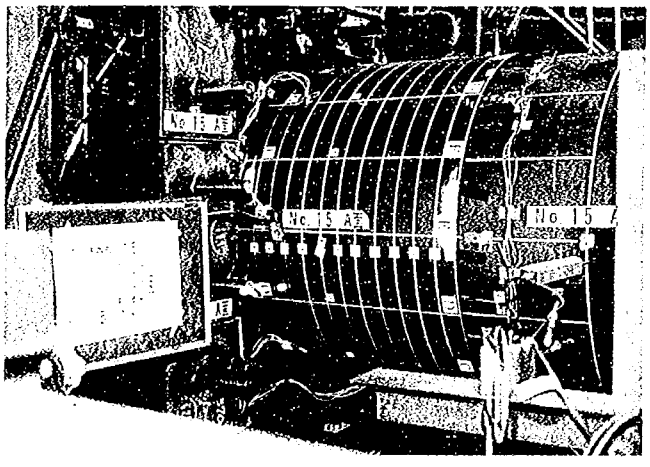


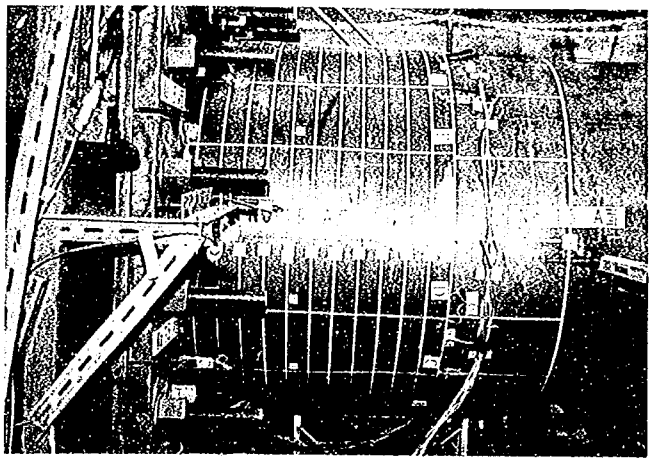
(iii) 実験終了時（内面）

写真-3.2.1(4)　変形の状況 (No. 9)



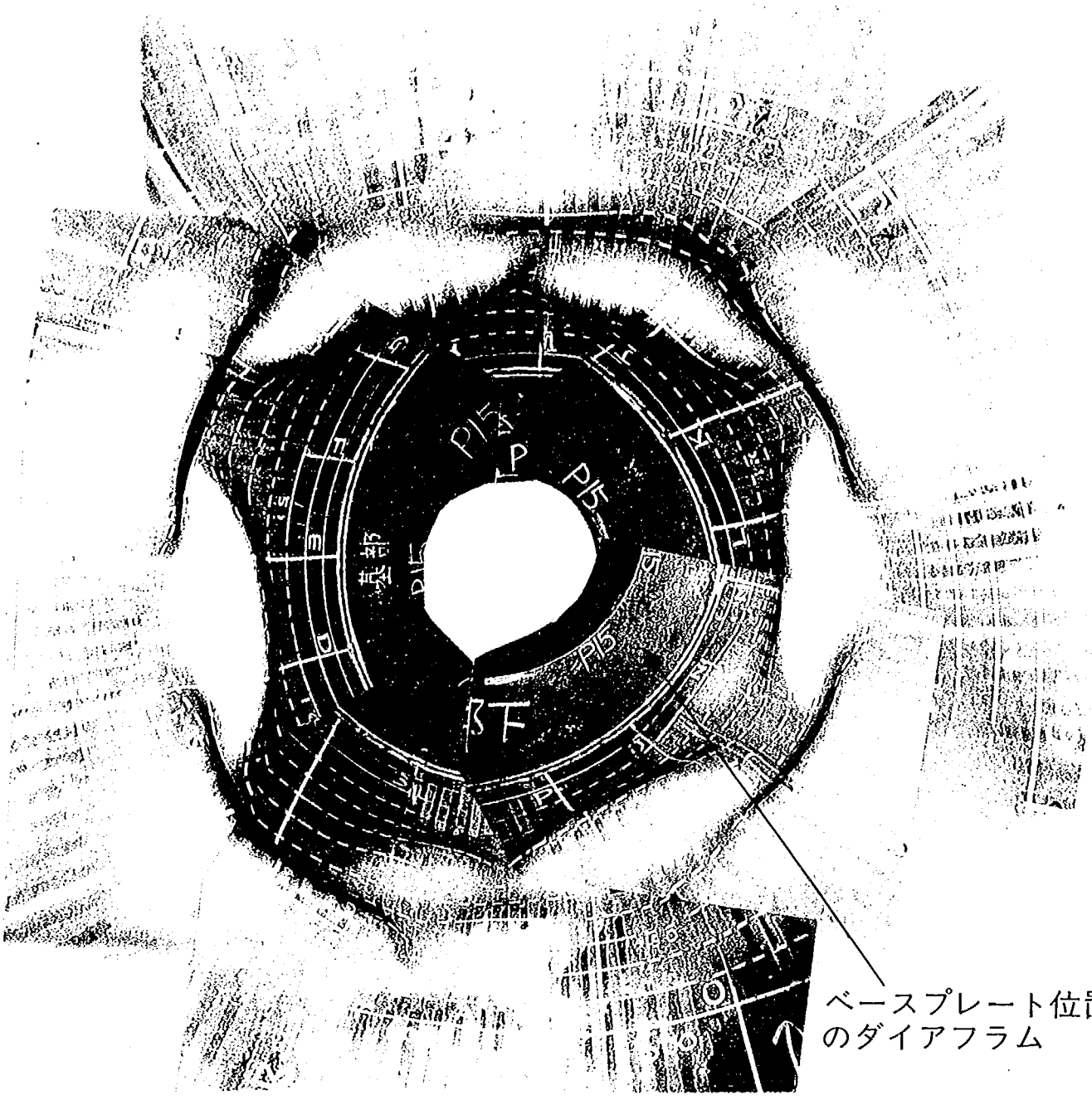





(i) 最大荷重を超えた点（＋5 $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋14 $\delta_y$）

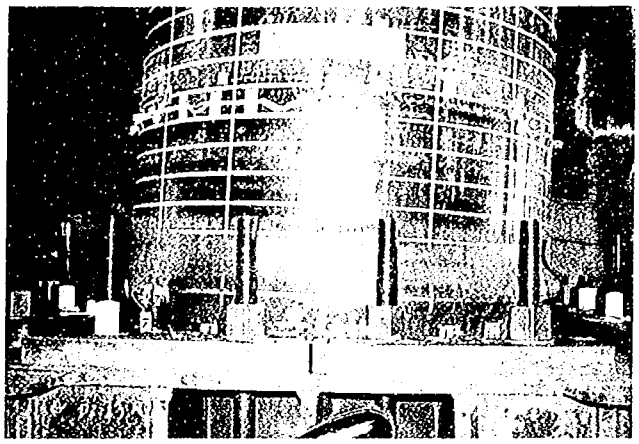
**写真**-3.2.1(5)　変形の状況（No. 15）

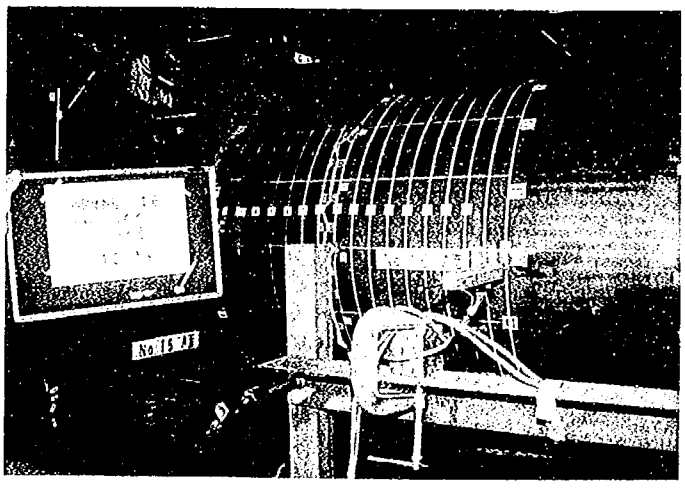


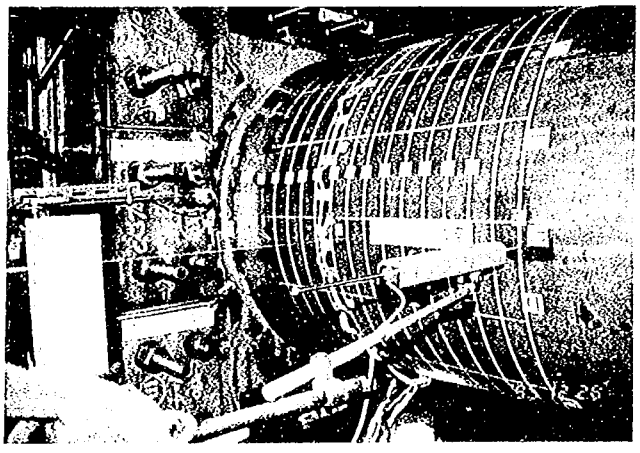

(iv) 実験終了時（内面）

**写真-3.2.1(5)**　変形の状況（No. 15）



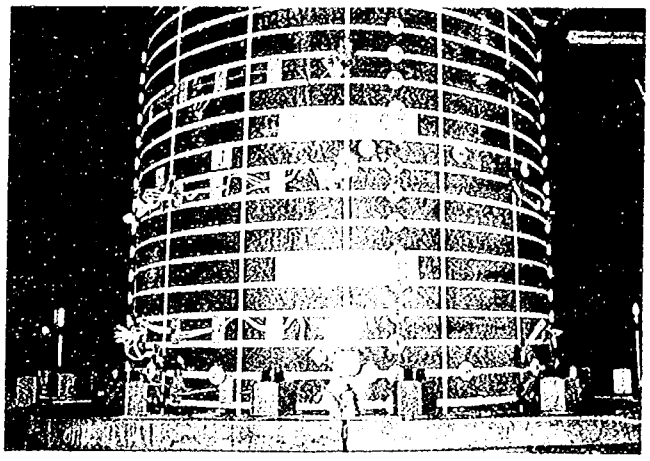


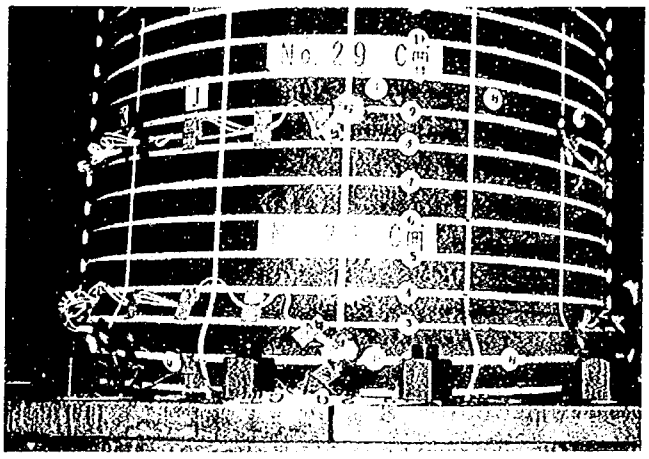


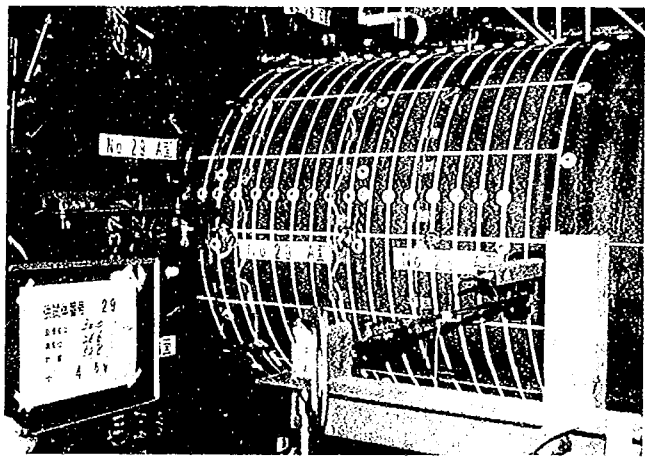


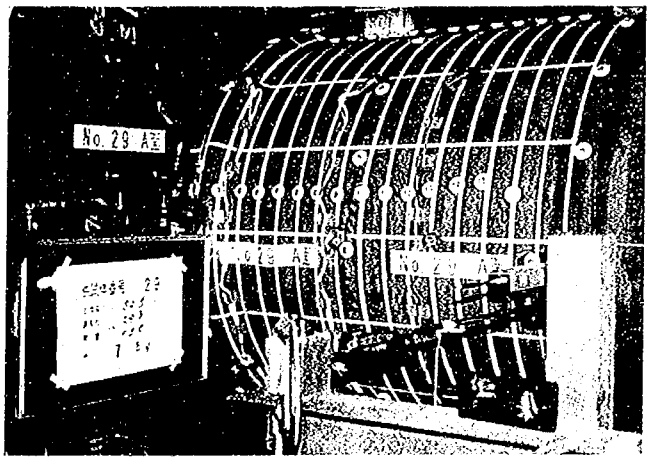
(i) 最大荷重を超えた点（＋ 10 $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋ 17 $\delta_y$）

**写真**-3.2.1(6)　変形の状況（No. 16）



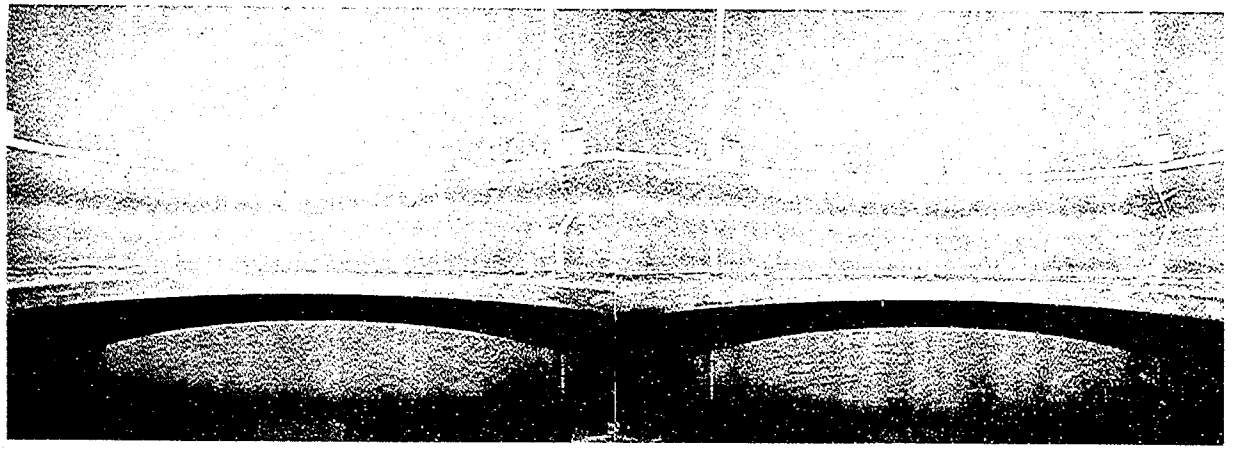


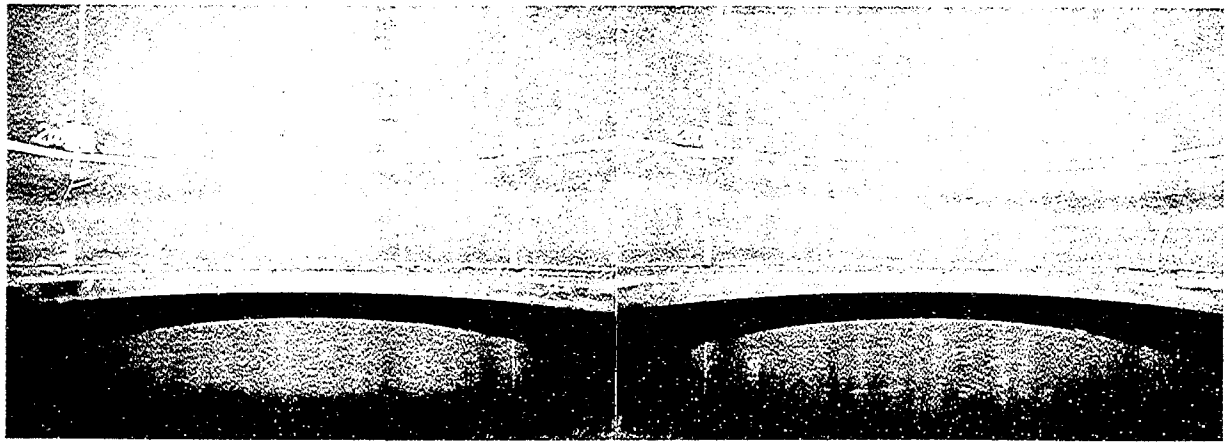



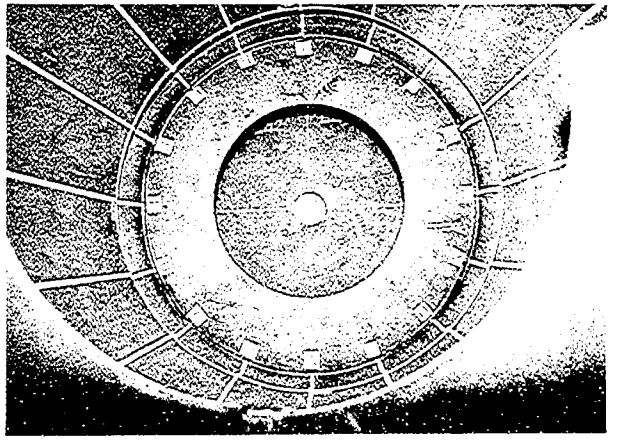




(i) 最大荷重を超えた点（＋４δy）　　(ii) 実験終了時付近（＋７δy）

写真-3.2.1(7)　変形の状況（No. 29）

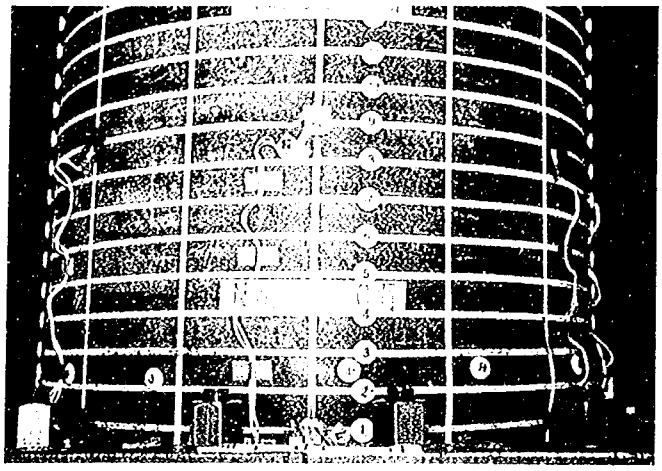


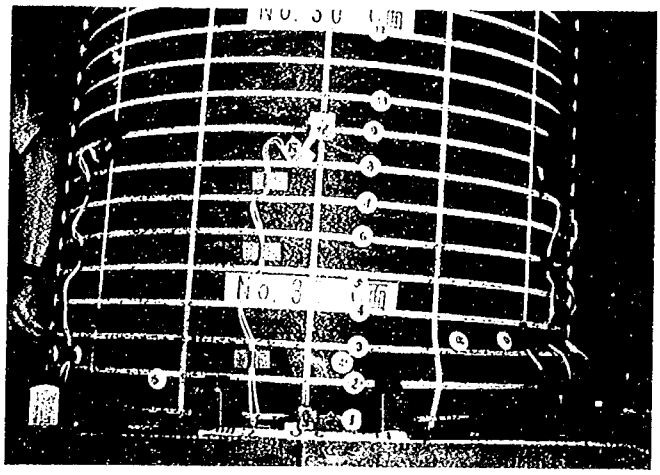


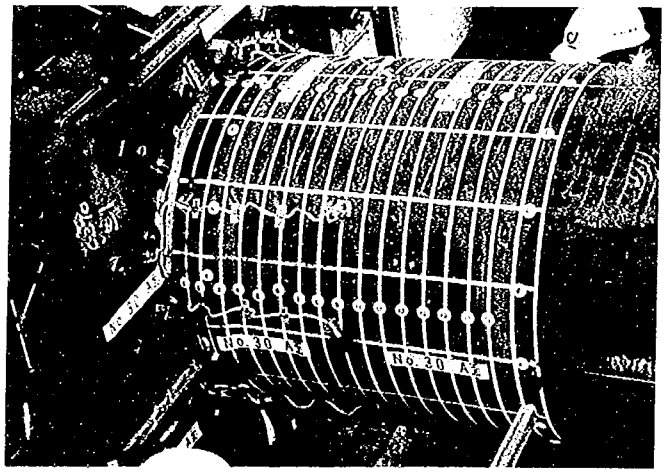


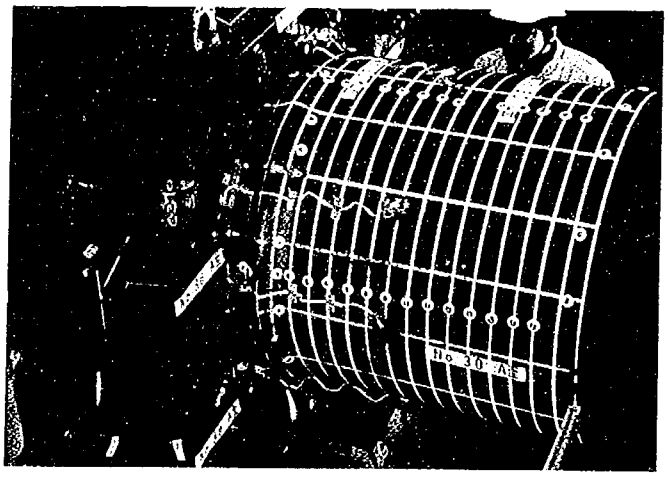
(iii) 実験終了時（内面）

**写真-3.2.1(7)　変形の状況（No. 29）**



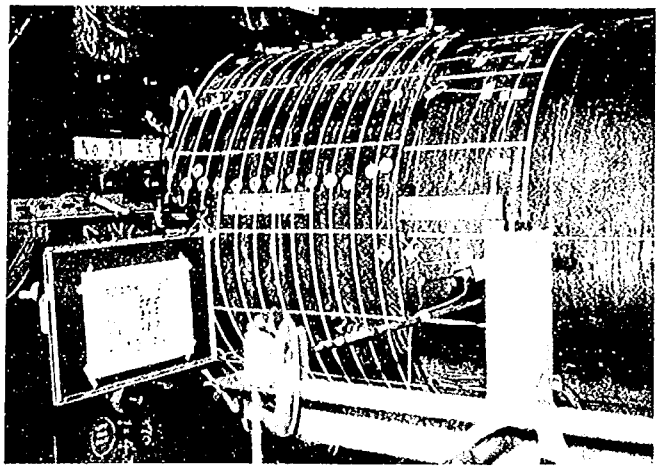


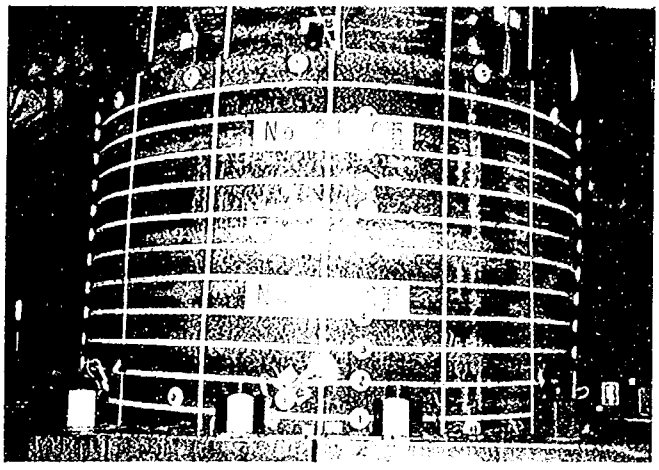




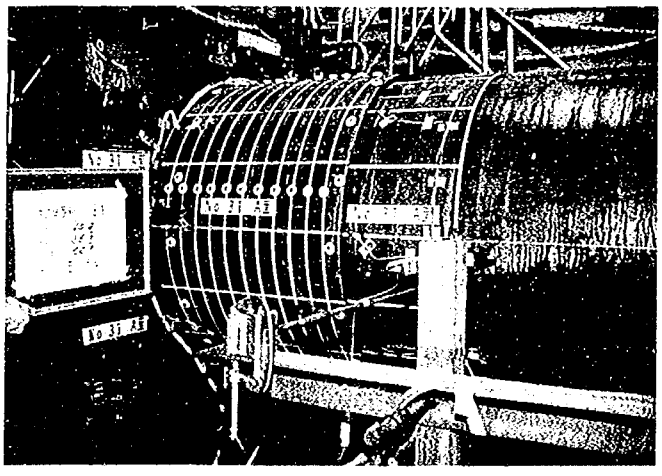
(i) 最大荷重を超えた点（＋8 $\delta_y$）　　(ii) 実験終了時付近（＋17 $\delta_y$）

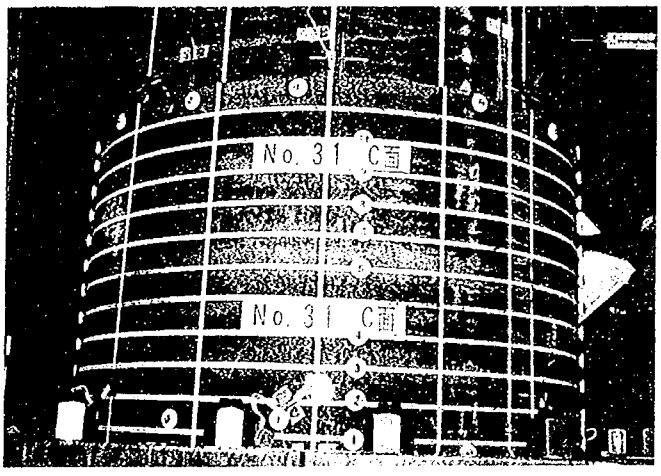
**写真**-3.2.1(8)　変形の状況（No. 30）





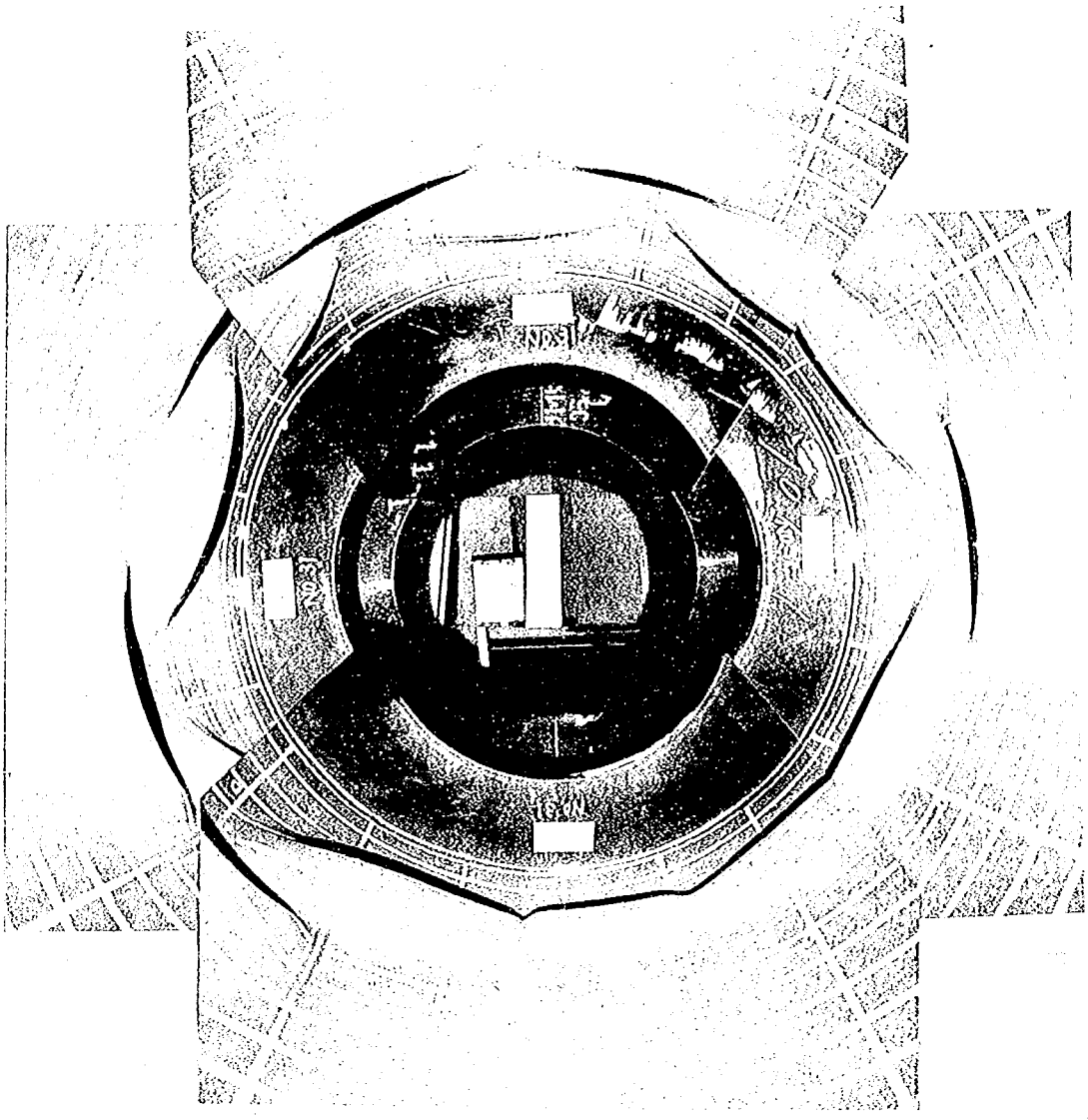
(i) 最大荷重を超えた点（＋5 $\delta_y$）






(ii) 実験終了時付近（＋10 $\delta_y$）

写真-3.2.1(9)　変形の状況（No. 31）

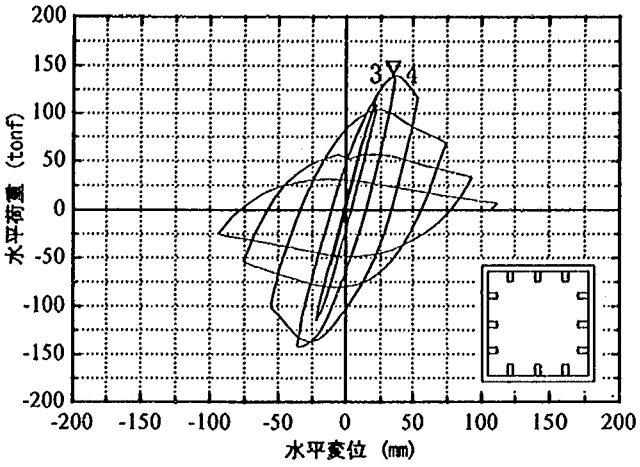


(iii) 実験終了時（内面）
写真-3.2.1(9)　変形の状況（No.31）

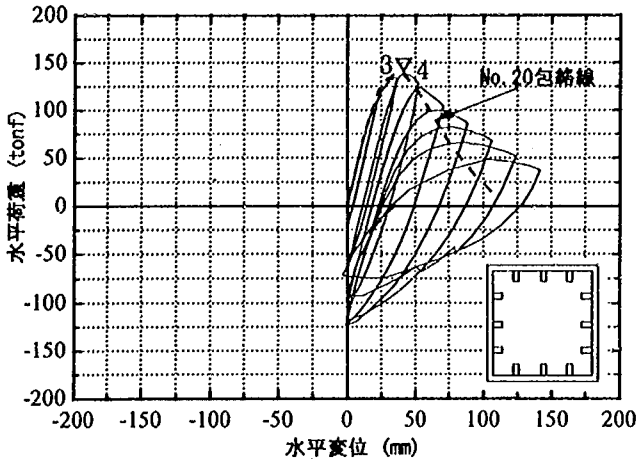
# 4. 考　　察

表-4.1.1　耐力比較(基本断面)

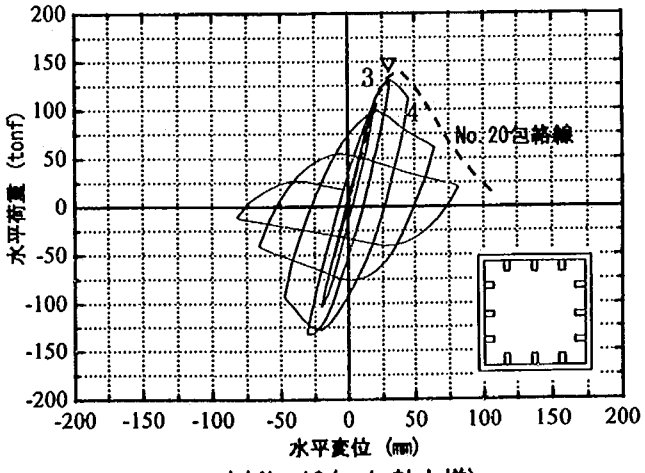
| | 最大耐力付近(▽の手前) (tonf) | 最大耐力を超えた位置(▽を超えた位置) (tonf) |
|---|---|---|
| No.20(n=1,基本) | 137　(3δy) | 117　(4δy) |
| No.19(片振り) | 134　(3δy) | 128　(4δy) |
| No.18(n=1,軸力増) | 128　(3δy) | 112　(4δy) |



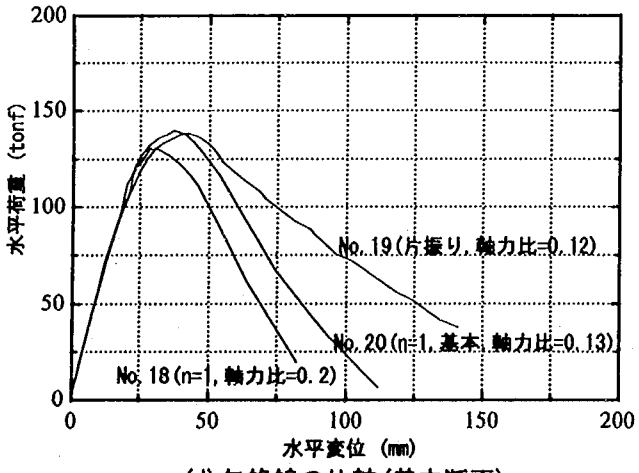
(a)No.20(n=1,基本)



(b)No.19(片振り)

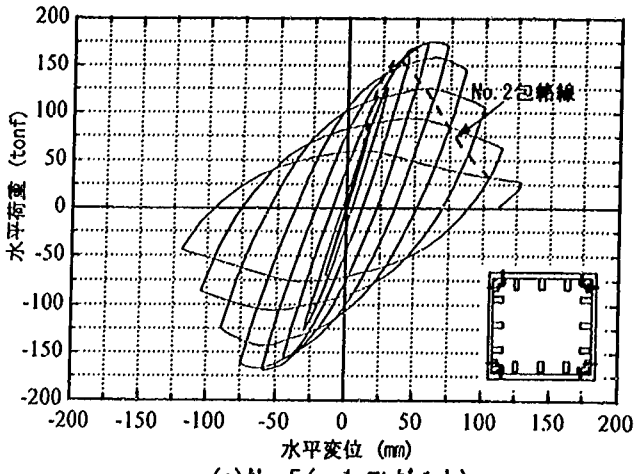


(c)No.18(n=1,軸力増)

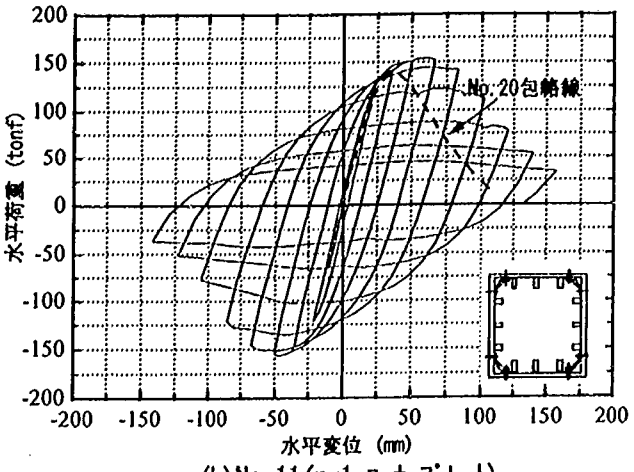


(d)包絡線の比較(基本断面)

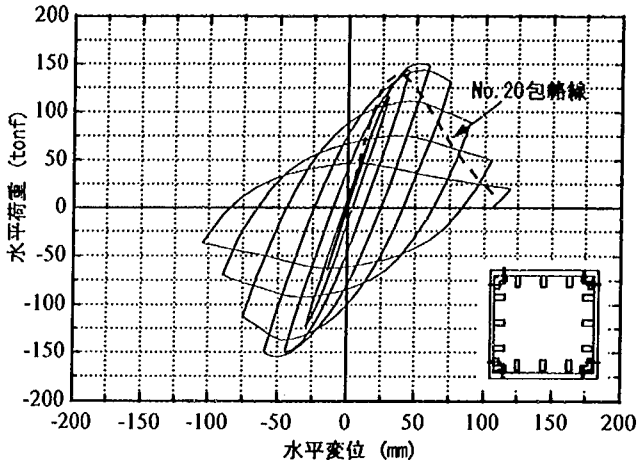
図-4.1.1　載荷条件の影響(基本断面)



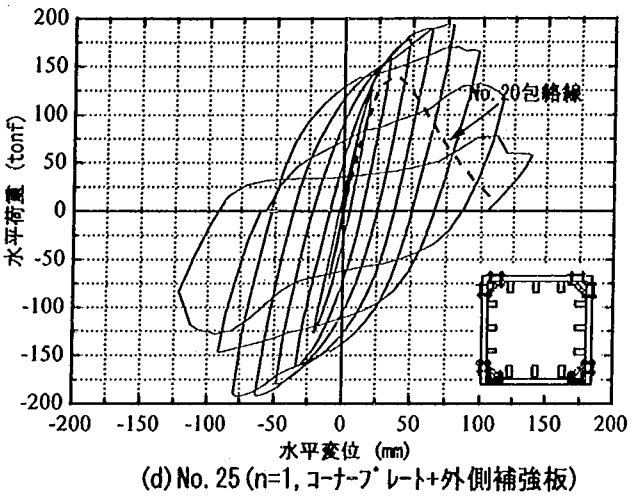
(a) No. 5 (n=1, ｱﾝｸﾞﾙ大)



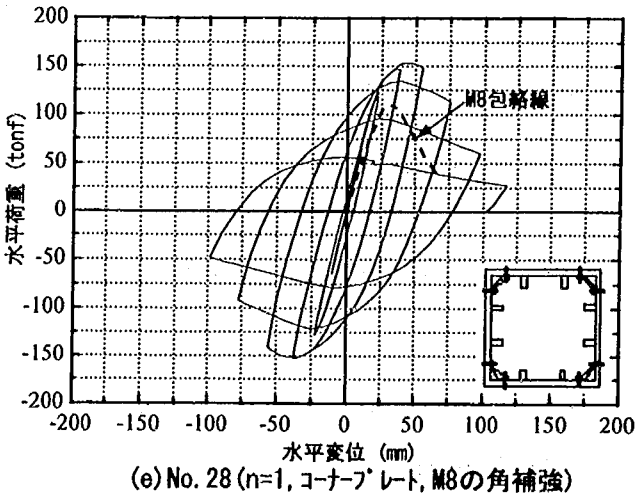
(b) No. 11 (n=1, ｺｰﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ)



(c) No. 12 (n=1, ｱﾝｸﾞﾙ小)

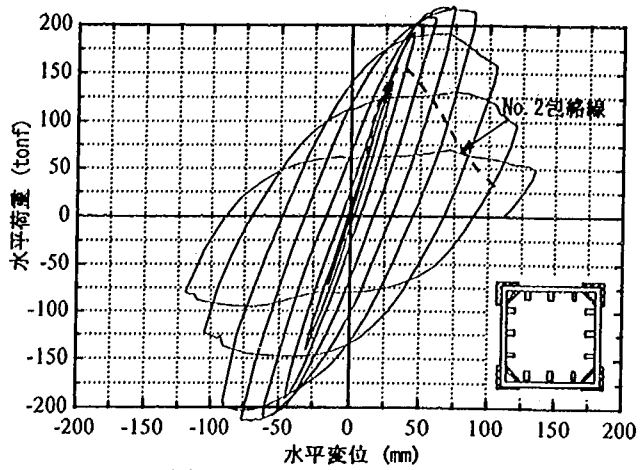


(d) No. 25 (n=1, ｺｰﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ+外側補強板)

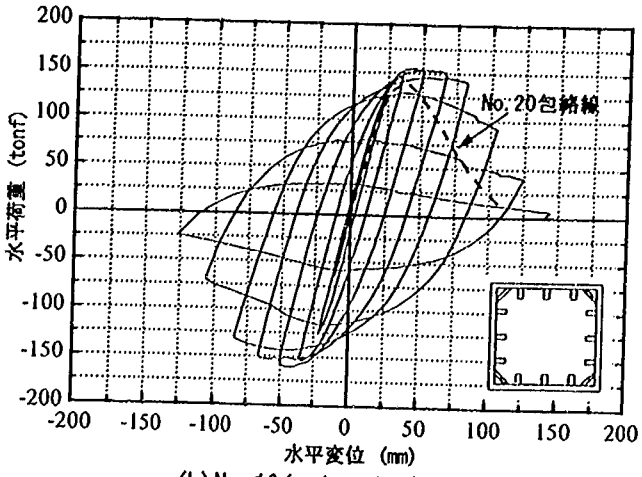


(e) No. 28 (n=1, ｺｰﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ, M8の角補強)

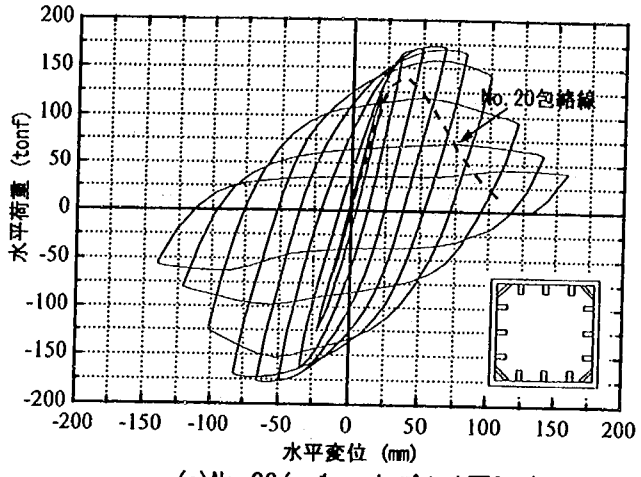
図-4.2.1　ヒステリシスループ(角ボルト補強断面)



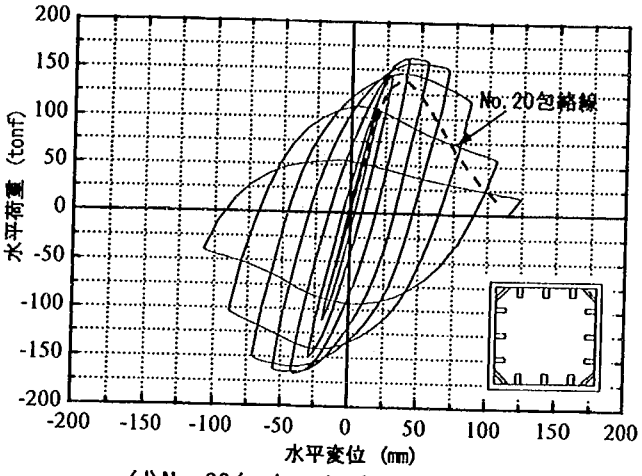

(a) No. 4 (n=1, コーナープレート+ダトアングル)



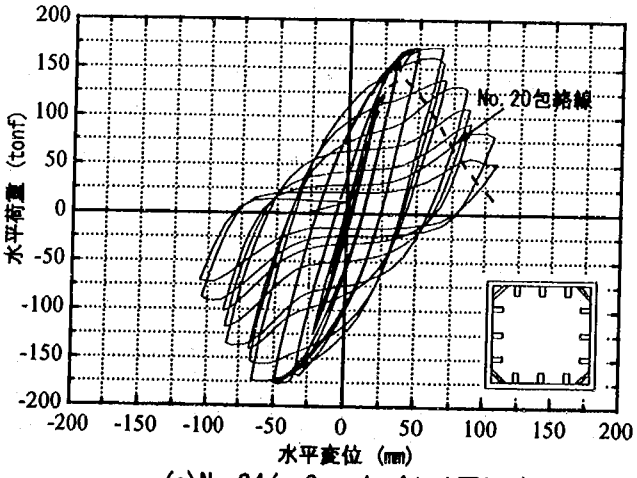

(b) No. 10 (n=1, コーナープレート厚6mm)




(c) No. 22 (n=1, コーナープレート厚9mm)




(d) No. 23 (n=1, コーナープレート厚9mm, 軸力増)




(e) No. 24 (n=3, コーナープレート厚9mm)

図-4.2.2　ヒステリシスループ(角溶接補強断面)

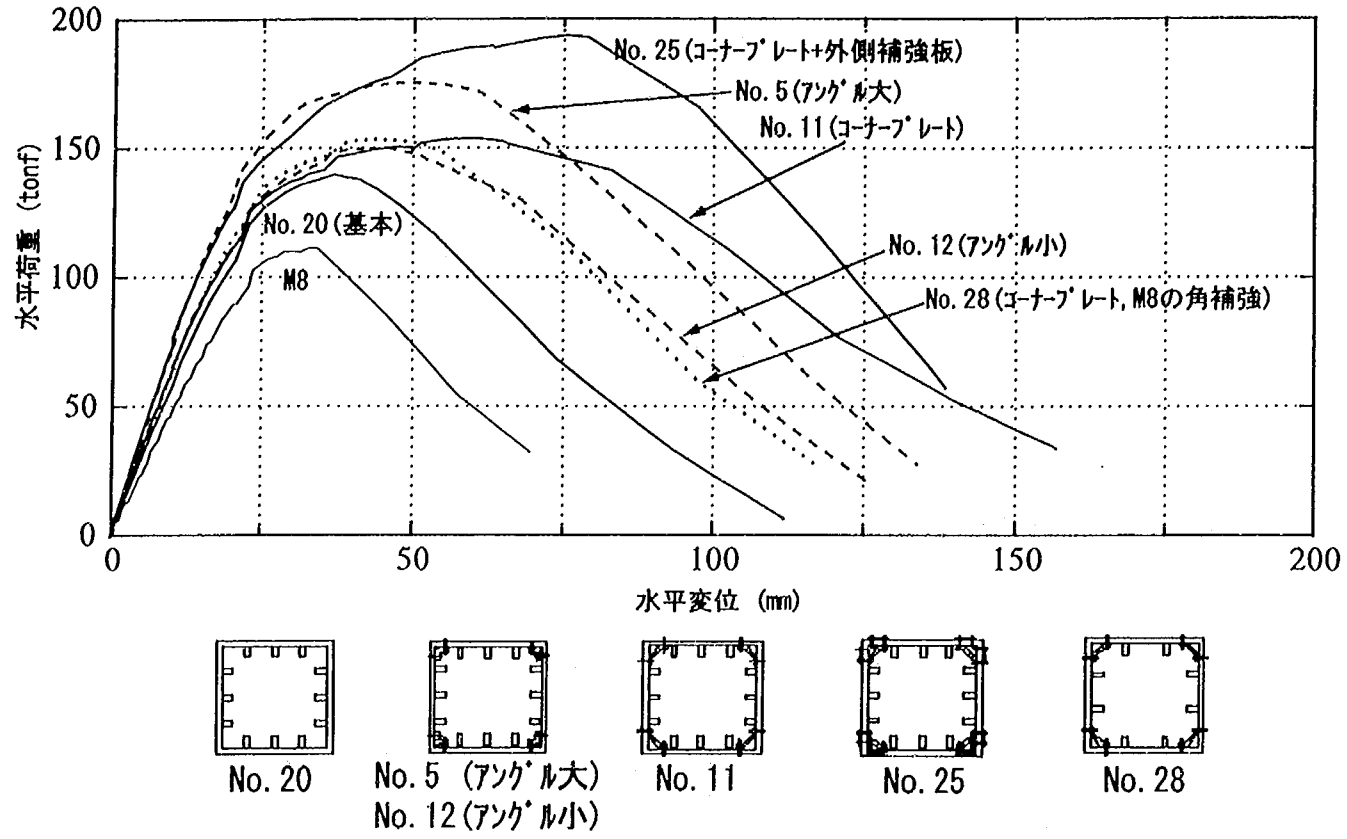



図-4.2.3　包絡線比較(角ボルト補強断面)

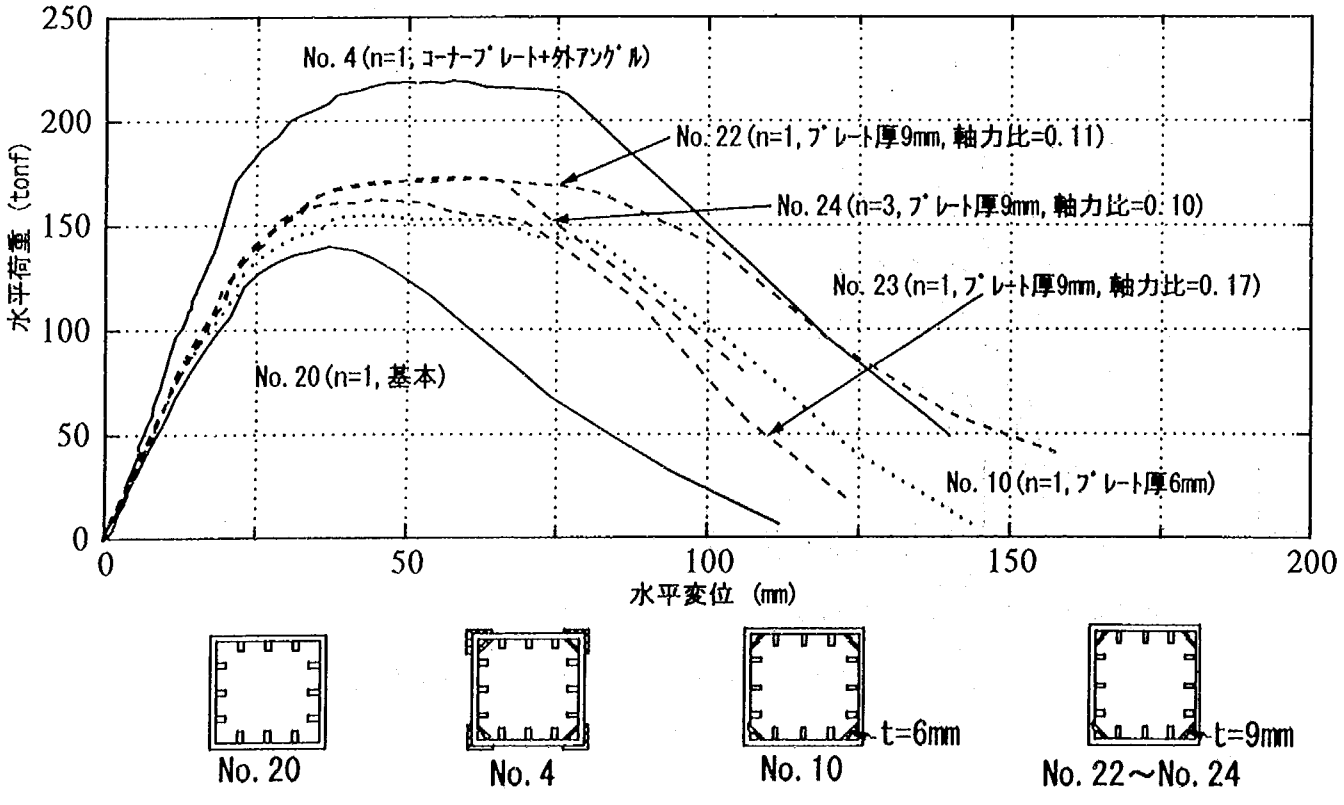
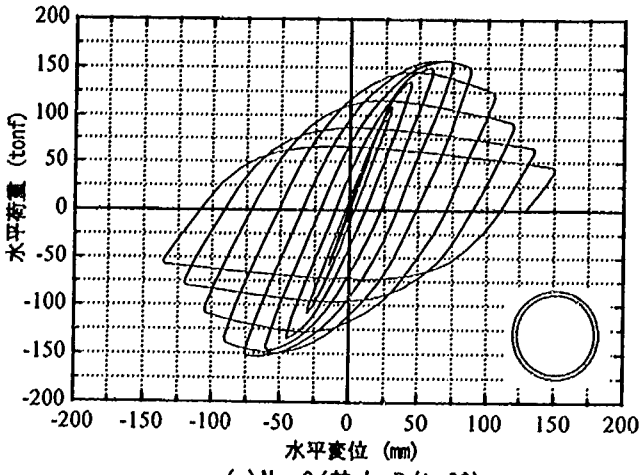
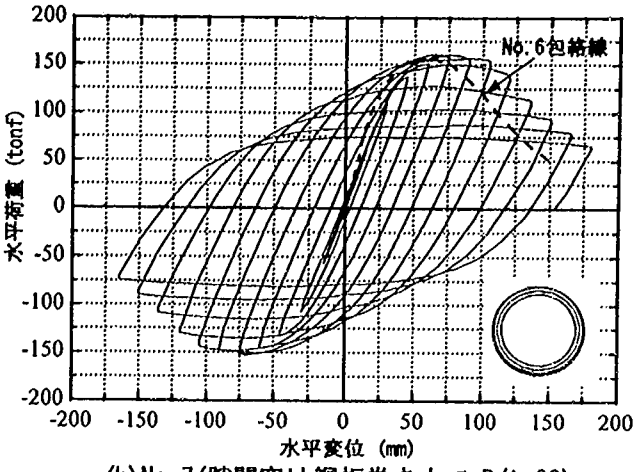


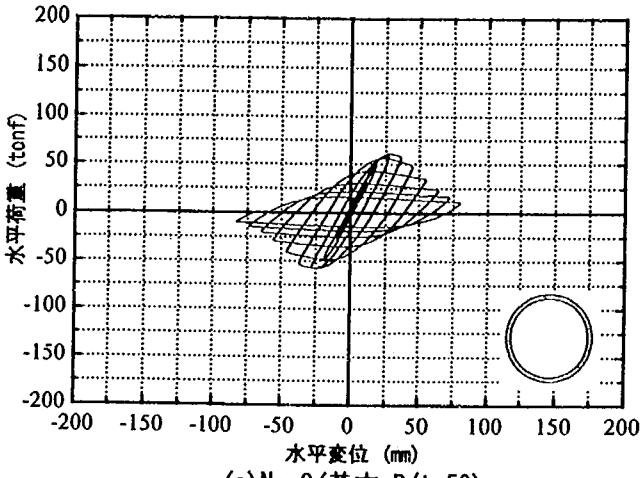

図-4.2.4　包絡線比較(角溶接補強断面)



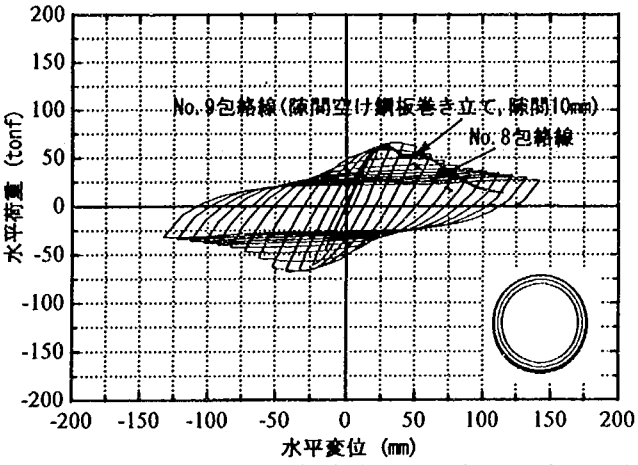

(a) No. 6 (基本, R/t=28)



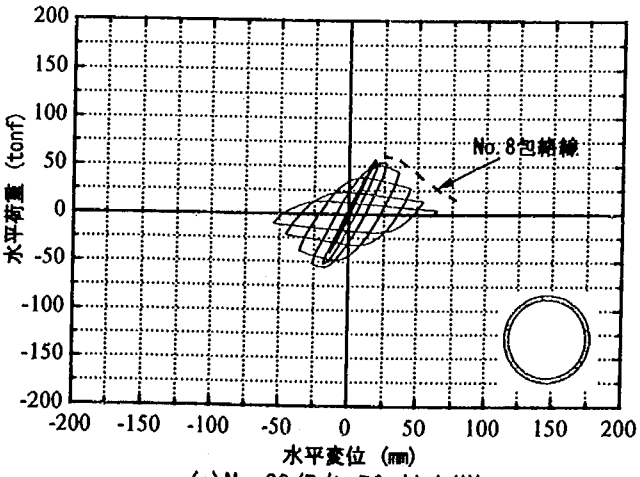

(b) No. 7 (隙間空け鋼板巻き立て, R/t=28)



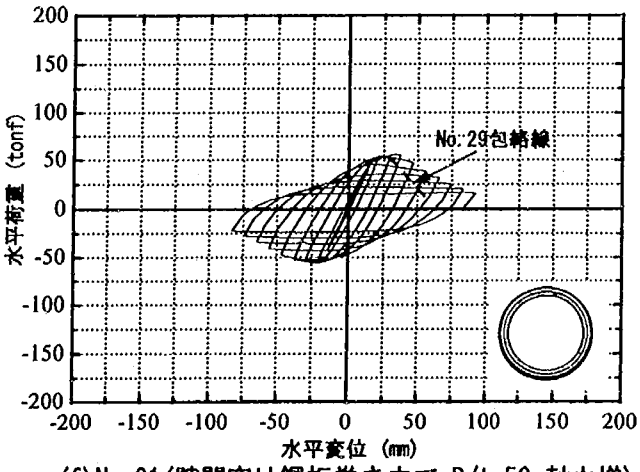

(c) No. 8 (基本, R/t=50)




(d) No. 15 (隙間空け鋼板巻き立て, R/t=50, 隙間5mm)




(e) No. 29 (R/t=50, 軸力増)




(f) No. 31 (隙間空け鋼板巻き立て, R/t=50, 軸力増)

図-4.3.1　ヒステリシスループ(円形断面)

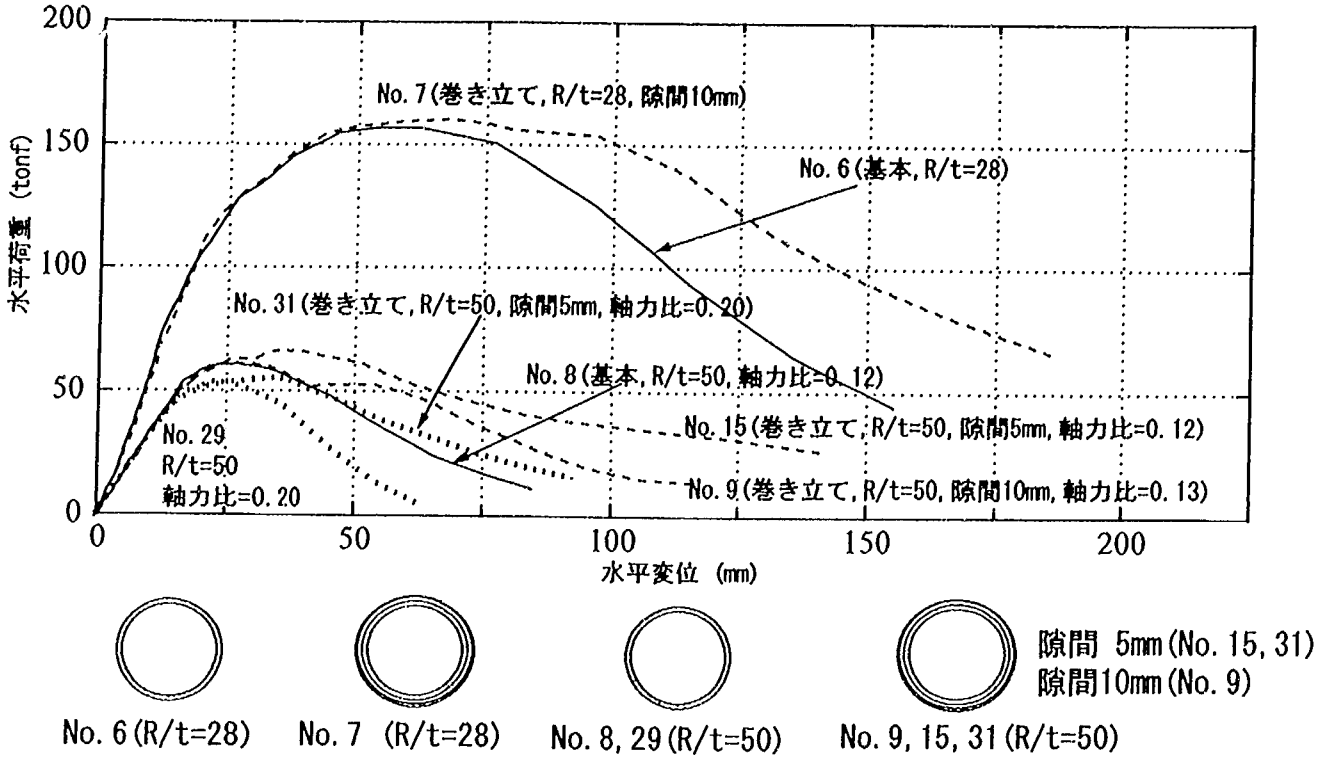



図-4.3.2　包絡線比較(円形断面)

# 参考資料

# 1．実験データ

1．1 包絡線のデジタルデータ

表-参考-1.1.1 包絡線データ（矩形断面供試体）

| No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.10 | | No.11 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 |
| 0.0 | -0.1 | 2.0 | 0.8 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 5.6 | 0.6 | 5.2 | 0.5 |
| 0.0 | -0.2 | 6.9 | 1.6 | 3.7 | 1.3 | 6.9 | 0.9 | 10.7 | 1.4 | 9.6 | 1.4 |
| 0.2 | -0.1 | 12.0 | 2.4 | 8.2 | 1.7 | 12.9 | 1.8 | 15.4 | 2.2 | 14.2 | 2.1 |
| 0.2 | -0.1 | 17.1 | 3.0 | 12.2 | 2.2 | 19.5 | 2.2 | 19.5 | 2.8 | 18.7 | 2.9 |
| 0.2 | 0.0 | 20.7 | 4.0 | 16.1 | 3.1 | 21.6 | 2.6 | 24.0 | 3.6 | 22.4 | 3.4 |
| 0.2 | 0.0 | 26.1 | 4.4 | 21.0 | 3.7 | 27.9 | 3.7 | 28.6 | 4.3 | 25.2 | 3.8 |
| 2.7 | 0.6 | 30.9 | 5.2 | 25.3 | 3.3 | 34.0 | 4.5 | 31.1 | 4.7 | 28.9 | 4.4 |
| 5.1 | 1.0 | 35.5 | 6.1 | 30.8 | 4.1 | 40.1 | 5.0 | 35.8 | 5.6 | 31.8 | 4.7 |
| 7.6 | 1.3 | 40.4 | 6.5 | 35.3 | 4.8 | 45.2 | 6.3 | 39.5 | 6.1 | 35.8 | 5.2 |
| 9.8 | 1.9 | 44.0 | 7.3 | 40.8 | 5.5 | 51.5 | 6.7 | 43.4 | 6.8 | 38.9 | 5.9 |
| 11.9 | 2.0 | 48.3 | 8.0 | 44.5 | 5.4 | 56.3 | 7.7 | 46.8 | 7.3 | 41.9 | 6.3 |
| 13.3 | 2.5 | 51.4 | 8.0 | 49.0 | 6.2 | 61.9 | 8.5 | 51.5 | 8.2 | 45.6 | 6.9 |
| 15.8 | 2.9 | 54.7 | 8.7 | 53.9 | 6.8 | 67.3 | 9.3 | 54.2 | 8.5 | 49.6 | 7.8 |
| 18.0 | 3.3 | 58.5 | 9.1 | 58.8 | 7.8 | 72.1 | 10.3 | 58.3 | 9.2 | 52.1 | 8.1 |
| 20.5 | 3.5 | 62.4 | 9.9 | 63.2 | 7.9 | 83.2 | 11.3 | 62.0 | 9.8 | 56.0 | 8.5 |
| 21.1 | 3.8 | 66.7 | 10.4 | 68.1 | 8.6 | 95.4 | 13.4 | 64.3 | 10.4 | 58.6 | 9.1 |
| 22.7 | 4.3 | 69.8 | 11.3 | 72.6 | 9.2 | 108.1 | 15.4 | 67.8 | 10.7 | 62.0 | 9.9 |
| 24.8 | 4.7 | 80.8 | 12.0 | 77.1 | 9.6 | 118.8 | 17.5 | 78.0 | 12.4 | 64.7 | 10.2 |
| 27.4 | 5.2 | 87.2 | 13.2 | 78.9 | 9.9 | 126.6 | 19.5 | 88.4 | 14.6 | 71.0 | 11.2 |
| 29.7 | 5.5 | 93.1 | 14.4 | 83.4 | 10.3 | 141.1 | 21.5 | 93.9 | 15.8 | 77.0 | 12.2 |
| 31.7 | 6.0 | 99.4 | 15.6 | 88.5 | 10.8 | 147.2 | 23.5 | 99.5 | 17.3 | 82.8 | 13.4 |
| 34.2 | 6.4 | 104.6 | 15.6 | 93.2 | 11.3 | 153.5 | 25.5 | 104.7 | 18.6 | 87.3 | 14.4 |
| 35.0 | 6.4 | 110.4 | 16.9 | 96.7 | 11.7 | 164.7 | 30.5 | 109.3 | 19.7 | 91.8 | 15.3 |
| 36.5 | 6.9 | 115.8 | 18.2 | 101.0 | 12.8 | 168.3 | 33.5 | 113.4 | 20.8 | 96.4 | 16.3 |
| 38.7 | 7.3 | 121.2 | 19.2 | 105.7 | 13.5 | 170.5 | 36.9 | 115.6 | 21.8 | 101.0 | 17.6 |
| 41.4 | 7.7 | 126.0 | 20.0 | 109.8 | 13.8 | 172.1 | 40.3 | 123.8 | 22.0 | 105.1 | 18.5 |
| 42.8 | 7.8 | 138.3 | 21.4 | 109.8 | 14.2 | 173.8 | 42.6 | 131.3 | 24.5 | 109.2 | 19.7 |
| 43.8 | 8.1 | 144.9 | 22.4 | 114.2 | 14.3 | 175.1 | 47.0 | 135.6 | 26.4 | 110.9 | 20.1 |
| 45.3 | 8.3 | 150.8 | 24.3 | 118.7 | 15.1 | 175.1 | 51.0 | 140.7 | 29.1 | 114.1 | 21.3 |
| 46.7 | 8.8 | 155.7 | 25.7 | 122.4 | 15.6 | 174.4 | 55.2 | 141.4 | 29.7 | 114.3 | 21.5 |
| 48.7 | 8.8 | 160.3 | 27.0 | 125.5 | 16.1 | 172.6 | 59.6 | 143.6 | 31.0 | 125.4 | 23.0 |
| 49.6 | 9.1 | 164.4 | 28.7 | 129.9 | 16.8 | 171.1 | 61.4 | 145.8 | 32.9 | 130.1 | 25.3 |
| 51.2 | 9.6 | 181.2 | 34.5 | 133.6 | 17.4 | 144.7 | 76.4 | 145.7 | 33.7 | 133.1 | 26.8 |
| 53.0 | 9.7 | 184.6 | 36.8 | 137.5 | 18.1 | 105.1 | 96.0 | 146.6 | 34.9 | 136.6 | 29.5 |
| 54.5 | 10.1 | 188.4 | 39.1 | 141.0 | 18.5 | 62.9 | 115.3 | 153.5 | 37.9 | 138.3 | 31.6 |
| 56.7 | 10.6 | 195.1 | 46.2 | 171.0 | 21.6 | 27.2 | 133.9 | 154.0 | 39.5 | 139.9 | 32.7 |
| 57.3 | 10.4 | 196.6 | 50.1 | 176.1 | 22.9 | | | 154.7 | 43.3 | 141.2 | 35.4 |
| 57.1 | 10.4 | 197.4 | 54.4 | 181.4 | 24.4 | | | 154.1 | 43.7 | 146.7 | 37.4 |
| 58.8 | 10.8 | 196.8 | 58.6 | 186.5 | 25.7 | | | 155.0 | 44.9 | 147.7 | 40.1 |
| 58.6 | 10.8 | 194.5 | 62.5 | 190.7 | 27.6 | | | 153.4 | 46.8 | 149.4 | 43.5 |
| 60.8 | 11.3 | 177.7 | 78.8 | 192.6 | 28.4 | | | 154.7 | 48.5 | 150.1 | 46.2 |
| 65.3 | 11.8 | 133.7 | 99.7 | 199.9 | 30.4 | | | 152.9 | 49.1 | 150.4 | 47.8 |
| 75.8 | 12.2 | 79.8 | 120.1 | 203.2 | 32.8 | | | 152.6 | 50.4 | 150.1 | 48.8 |
| 86.0 | 14.2 | 46.5 | 140.7 | 205.8 | 35.1 | | | 152.9 | 51.6 | 150.3 | 49.6 |
| 86.6 | 14.4 | | | 208.3 | 36.8 | | | 152.8 | 53.8 | 149.1 | 49.8 |
| 101.6 | 16.4 | | | 212.5 | 38.1 | | | 152.3 | 60.4 | 151.7 | 51.2 |
| 114.5 | 18.8 | | | 213.8 | 40.2 | | | 151.7 | 64.6 | 153.2 | 55.7 |
| 126.6 | 21.5 | | | 215.2 | 42.1 | | | 150.6 | 65.3 | 153.4 | 57.5 |
| 135.6 | 24.0 | | | 216.9 | 44.1 | | | 151.1 | 66.0 | 153.5 | 60.3 |
| 142.5 | 26.7 | | | 218.1 | 46.2 | | | 150.6 | 66.9 | 152.9 | 63.2 |
| 155.6 | 32.3 | | | 218.4 | 47.9 | | | 144.5 | 70.9 | 152.2 | 65.2 |
| 156.2 | 37.5 | | | 218.6 | 49.3 | | | 144.1 | 72.9 | 151.3 | 66.1 |
| 150.9 | 42.4 | | | 218.4 | 51.5 | | | 143.2 | 77.2 | 141.2 | 83.1 |
| 121.0 | 58.1 | | | 218.6 | 53.8 | | | 141.8 | 80.8 | 111.6 | 101.9 |
| 79.2 | 76.1 | | | 218.2 | 55.7 | | | 140.9 | 82.7 | 77.1 | 120.6 |
| 50.2 | 92.0 | | | 219.1 | 57.5 | | | 139.5 | 82.9 | 52.5 | 139.7 |
| 24.6 | 109.1 | | | 218.6 | 59.9 | | | 91.9 | 104.5 | 33.6 | 157.0 |
| | | | | 216.2 | 62.9 | | | 40.7 | 124.5 | | |
| | | | | 215.7 | 67.0 | | | 6.1 | 143.9 | | |
| | | | | 215.3 | 71.1 | | | | | | |
| | | | | 214.1 | 76.3 | | | | | | |
| | | | | 212.5 | 76.7 | | | | | | |
| | | | | 156.9 | 97.5 | | | | | | |
| | | | | 96.9 | 119.4 | | | | | | |
| | | | | 49.0 | 140.0 | | | | | | |

表-参考-1.1.1　包絡線データ（矩形断面供試体）

| No. 12 | | No. 13 | | No. 14 | | No. 17 | | No. 18 | | No. 19 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) |
| 3.3 | 0.0 | 0.7 | -0.1 | 0.9 | -0.3 | -0.1 | -0.1 | 0.6 | -0.1 | -0.4 | -0.2 |
| 9.0 | 1.1 | 1.8 | 0.1 | 0.7 | -0.4 | 0.6 | -0.1 | 0.7 | -0.1 | -0.4 | -0.2 |
| 13.5 | 1.8 | 5.2 | 0.6 | 7.4 | 0.8 | 6.2 | 0.6 | 7.7 | 0.7 | 5.6 | 0.5 |
| 18.4 | 2.6 | 8.4 | 1.2 | 12.6 | 1.7 | 10.8 | 1.4 | 12.4 | 1.7 | 9.8 | 1.3 |
| 23.8 | 3.4 | 13.2 | 2.0 | 18.3 | 2.7 | 16.0 | 2.2 | 16.6 | 2.4 | 14.9 | 2.2 |
| 29.5 | 4.1 | 13.3 | 2.1 | 23.8 | 3.4 | 21.6 | 3.0 | 21.3 | 3.3 | 20.1 | 3.1 |
| 34.6 | 5.0 | 17.8 | 2.8 | 29.1 | 4.5 | 26.9 | 3.9 | 26.9 | 4.3 | 25.1 | 4.1 |
| 38.9 | 5.7 | 20.3 | 3.0 | 33.1 | 4.8 | 31.1 | 4.6 | 31.1 | 5.1 | 30.0 | 4.9 |
| 44.6 | 6.7 | 25.9 | 4.0 | 38.6 | 5.8 | 36.8 | 5.5 | 35.1 | 5.9 | 35.2 | 5.8 |
| 49.0 | 7.5 | 25.8 | 4.1 | 42.5 | 6.5 | 40.8 | 6.0 | 39.3 | 6.6 | 40.1 | 6.7 |
| 53.3 | 8.2 | 29.6 | 4.7 | 44.7 | 6.9 | 46.0 | 6.8 | 43.0 | 7.2 | 44.7 | 7.5 |
| 57.6 | 9.0 | 34.6 | 5.5 | 49.6 | 7.5 | 50.4 | 7.5 | 47.8 | 8.2 | 49.3 | 8.4 |
| 62.3 | 9.8 | 39.1 | 6.2 | 53.7 | 8.3 | 55.5 | 8.4 | 51.3 | 8.9 | 53.0 | 9.0 |
| 64.8 | 10.1 | 41.4 | 6.5 | 55.3 | 8.6 | 60.5 | 9.1 | 53.4 | 9.3 | 57.7 | 10.0 |
| 75.6 | 12.0 | 45.4 | 7.2 | 57.1 | 8.7 | 63.9 | 9.7 | 64.2 | 10.8 | 59.3 | 10.4 |
| 82.3 | 13.0 | 48.7 | 7.7 | 59.9 | 9.1 | 70.0 | 10.5 | 71.6 | 12.1 | 59.5 | 10.5 |
| 88.8 | 14.4 | 52.0 | 8.3 | 71.1 | 10.9 | 83.3 | 12.9 | 78.8 | 13.8 | 62.1 | 11.1 |
| 93.7 | 15.5 | 54.3 | 8.5 | 76.9 | 12.1 | 94.8 | 15.2 | 86.1 | 15.5 | 70.5 | 12.6 |
| 99.9 | 16.9 | 54.2 | 8.5 | 82.7 | 13.1 | 102.3 | 16.9 | 92.3 | 17.1 | 78.8 | 14.3 |
| 104.5 | 18.2 | 56.8 | 8.9 | 88.6 | 14.4 | 108.9 | 18.7 | 112.3 | 20.3 | 85.8 | 15.8 |
| 109.2 | 19.5 | 59.8 | 9.5 | 94.4 | 15.8 | 124.8 | 21.8 | 117.3 | 22.1 | 93.5 | 17.4 |
| 112.8 | 20.6 | 62.9 | 10.1 | 98.5 | 16.8 | 132.5 | 24.2 | 121.3 | 23.9 | 100.0 | 19.2 |
| 115.5 | 21.5 | 63.5 | 10.2 | 102.3 | 17.7 | 139.0 | 27.0 | 124.2 | 25.8 | 106.5 | 21.1 |
| 114.4 | 21.3 | 63.6 | 10.3 | 103.8 | 18.3 | 144.5 | 30.0 | 130.3 | 28.4 | 109.6 | 22.1 |
| 124.2 | 22.4 | 69.6 | 11.0 | 118.5 | 20.6 | 147.6 | 33.0 | 130.0 | 31.5 | 117.4 | 24.5 |
| 130.0 | 24.6 | 75.9 | 12.1 | 124.1 | 22.2 | 153.1 | 36.6 | 127.0 | 35.3 | 124.7 | 27.4 |
| 134.7 | 26.8 | 81.6 | 13.3 | 128.7 | 24.0 | 155.0 | 39.9 | 122.3 | 39.0 | 129.7 | 30.2 |
| 138.7 | 29.3 | 86.0 | 14.2 | 131.0 | 25.2 | 156.5 | 43.3 | 116.7 | 42.7 | 133.3 | 33.2 |
| 141.5 | 31.9 | 91.9 | 15.5 | 134.1 | 27.0 | 157.2 | 46.6 | 111.5 | 45.7 | 137.5 | 39.1 |
| 143.2 | 34.0 | 96.5 | 16.6 | 136.1 | 28.7 | 157.1 | 49.5 | 60.9 | 64.3 | 138.1 | 42.2 |
| 143.2 | 34.8 | 100.2 | 17.4 | 135.8 | 28.9 | 156.6 | 51.0 | 19.7 | 82.2 | 136.5 | 45.9 |
| 148.3 | 36.5 | 104.1 | 18.3 | 143.2 | 31.9 | 155.3 | 52.5 | | | 133.1 | 49.4 |
| 149.4 | 39.2 | 108.5 | 19.5 | 144.5 | 33.7 | 152.0 | 57.4 | | | 128.4 | 52.5 |
| 149.8 | 41.6 | 111.3 | 20.3 | 145.8 | 35.6 | 147.3 | 62.5 | | | 123.7 | 54.7 |
| 149.8 | 44.5 | 114.1 | 21.2 | 147.2 | 37.9 | 142.0 | 67.1 | | | 118.2 | 59.4 |
| 149.5 | 46.7 | 114.8 | 21.4 | 147.3 | 40.5 | 139.0 | 68.5 | | | 112.7 | 64.2 |
| 148.9 | 48.2 | 114.6 | 21.4 | 148.2 | 41.9 | 78.5 | 89.8 | | | 108.4 | 68.2 |
| 147.7 | 50.3 | 126.1 | 22.7 | 150.4 | 43.7 | 41.1 | 109.7 | | | 103.8 | 71.0 |
| 130.0 | 67.8 | 130.6 | 24.6 | 152.0 | 47.2 | 18.0 | 127.9 | | | 92.4 | 81.4 |
| 88.7 | 88.3 | 133.2 | 25.8 | 153.2 | 50.9 | | | | | 88.3 | 87.0 |
| 49.6 | 108.2 | 137.1 | 28.0 | 154.1 | 53.8 | | | | | 85.3 | 88.7 |
| 19.5 | 126.5 | 139.3 | 29.5 | 153.4 | 55.8 | | | | | 75.3 | 96.0 |
| | | 141.8 | 31.9 | 154.0 | 61.7 | | | | | 72.2 | 101.7 |
| | | 143.0 | 33.4 | 154.1 | 64.3 | | | | | 67.9 | 106.5 |
| | | 142.7 | 34.7 | 153.4 | 68.9 | | | | | 56.2 | 117.7 |
| | | 147.6 | 37.4 | 152.3 | 69.5 | | | | | 51.9 | 124.1 |
| | | 149.1 | 39.7 | 140.1 | 84.6 | | | | | 41.6 | 134.4 |
| | | 147.3 | 39.9 | 96.4 | 101.6 | | | | | 37.7 | 141.3 |
| | | 150.1 | 42.3 | 46.9 | 121.0 | | | | | | |
| | | 151.0 | 45.1 | 23.1 | 136.7 | | | | | | |
| | | 151.1 | 46.5 | | | | | | | | |
| | | 151.4 | 48.1 | | | | | | | | |
| | | 151.1 | 49.0 | | | | | | | | |
| | | 151.3 | 52.3 | | | | | | | | |
| | | 151.4 | 56.3 | | | | | | | | |
| | | 150.4 | 58.8 | | | | | | | | |
| | | 148.3 | 62.0 | | | | | | | | |
| | | 146.6 | 64.3 | | | | | | | | |
| | | 144.3 | 66.3 | | | | | | | | |
| | | 108.9 | 85.3 | | | | | | | | |
| | | 53.9 | 106.7 | | | | | | | | |
| | | 5.2 | 127.7 | | | | | | | | |

表-参考-1.1.1　包絡線データ（矩形断面供試体）

| No. 20 | | No. 22 | | No. 23 | | No. 24 | | No. 25 | | No. 26 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) |
| -0.6 | -0.2 | 0.0 | -0.2 | 0.5 | -0.2 | -0.7 | -0.4 | -0.4 | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| -0.6 | -0.2 | 6.2 | 0.5 | 0.0 | -0.3 | -0.4 | -0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | -0.4 |
| 4.0 | 0.3 | 9.5 | 1.0 | 6.7 | 0.6 | -0.4 | -0.3 | 6.8 | 0.6 | -0.2 | -0.4 |
| 9.0 | 1.3 | 13.0 | 1.6 | 11.5 | 1.3 | 4.0 | 0.2 | 10.8 | 1.2 | -0.3 | -0.4 |
| 14.5 | 2.2 | 18.6 | 2.4 | 16.9 | 2.2 | 10.1 | 1.3 | 11.5 | 1.3 | 6.2 | 0.1 |
| 17.2 | 2.7 | 23.2 | 3.2 | 22.3 | 3.1 | 10.8 | 1.4 | 16.9 | 2.0 | 12.7 | 0.8 |
| 19.8 | 3.2 | 26.6 | 3.7 | 26.5 | 3.7 | 15.5 | 2.2 | 21.0 | 2.5 | 17.3 | 1.4 |
| 24.7 | 4.0 | 31.2 | 4.4 | 31.7 | 4.6 | 18.5 | 2.6 | 25.2 | 3.0 | 22.5 | 2.1 |
| 27.7 | 4.5 | 35.2 | 5.0 | 37.3 | 5.6 | 21.9 | 3.2 | 30.5 | 3.7 | 28.0 | 2.7 |
| 30.0 | 5.0 | 38.3 | 5.5 | 40.1 | 6.2 | 24.9 | 3.7 | 34.9 | 4.4 | 34.9 | 3.6 |
| 33.2 | 5.5 | 41.6 | 6.0 | 45.7 | 7.2 | 28.3 | 4.3 | 38.6 | 4.9 | 40.4 | 4.2 |
| 36.4 | 6.1 | 45.9 | 6.7 | 49.7 | 7.9 | 31.8 | 4.6 | 43.1 | 5.5 | 46.2 | 5.0 |
| 39.2 | 6.6 | 50.7 | 7.6 | 53.4 | 8.5 | 35.1 | 5.1 | 47.3 | 6.2 | 50.9 | 5.6 |
| 42.2 | 7.1 | 53.8 | 8.1 | 56.9 | 9.0 | 35.5 | 5.2 | 47.8 | 6.3 | 57.4 | 6.7 |
| 44.7 | 7.6 | 59.7 | 9.1 | 57.8 | 9.3 | 39.2 | 5.8 | 52.2 | 6.9 | 57.9 | 6.8 |
| 46.5 | 7.9 | 63.2 | 9.7 | 67.3 | 10.4 | 43.1 | 6.5 | 55.2 | 7.4 | 61.6 | 7.4 |
| 50.2 | 8.7 | 64.9 | 10.1 | 75.3 | 11.9 | 47.5 | 7.2 | 57.5 | 7.7 | 64.2 | 7.8 |
| 52.5 | 9.1 | 76.3 | 11.4 | 83.7 | 13.6 | 52.4 | 8.1 | 60.8 | 8.2 | 68.2 | 8.5 |
| 55.6 | 9.7 | 84.0 | 12.9 | 91.5 | 15.2 | 52.5 | 8.1 | 63.6 | 8.6 | 71.6 | 9.1 |
| 57.1 | 10.0 | 91.1 | 14.1 | 98.6 | 16.7 | 54.5 | 8.4 | 67.0 | 9.1 | 75.5 | 9.7 |
| 59.2 | 10.4 | 98.1 | 15.5 | 119.8 | 19.6 | 57.7 | 9.0 | 69.7 | 9.6 | 78.1 | 10.2 |
| 67.0 | 11.5 | 104.7 | 17.1 | 127.0 | 21.5 | 60.2 | 9.5 | 70.9 | 9.8 | 78.9 | 10.3 |
| 75.2 | 13.2 | 111.2 | 18.4 | 132.2 | 23.0 | 61.1 | 9.7 | 73.1 | 10.1 | 88.8 | 11.9 |
| 83.3 | 14.9 | 117.1 | 19.9 | 136.8 | 24.7 | 62.9 | 10.0 | 76.6 | 10.2 | 99.6 | 13.7 |
| 89.7 | 16.3 | 132.4 | 22.2 | 140.8 | 26.3 | 64.7 | 10.0 | 83.6 | 11.3 | 108.2 | 15.3 |
| 96.9 | 18.0 | 140.5 | 24.8 | 152.8 | 29.0 | 64.7 | 10.0 | 91.9 | 12.7 | 115.9 | 16.7 |
| 102.4 | 19.6 | 147.2 | 27.5 | 156.8 | 32.2 | 64.8 | 10.0 | 101.0 | 14.4 | 121.2 | 17.8 |
| 106.2 | 20.8 | 152.0 | 29.9 | 159.3 | 35.3 | 74.4 | 11.5 | 109.3 | 16.1 | 128.3 | 19.7 |
| 120.6 | 23.0 | 164.0 | 35.1 | 160.4 | 38.2 | 81.8 | 12.9 | 115.5 | 17.5 | 132.3 | 20.8 |
| 127.0 | 25.4 | 166.4 | 37.7 | 160.5 | 41.3 | 87.6 | 14.0 | 120.4 | 18.5 | 141.1 | 22.3 |
| 132.6 | 28.7 | 168.0 | 40.2 | 161.8 | 43.6 | 94.3 | 15.4 | 126.0 | 20.1 | 148.9 | 24.7 |
| 135.8 | 31.6 | 169.3 | 43.4 | 161.5 | 46.6 | 101.1 | 16.9 | 126.3 | 20.4 | 156.4 | 27.7 |
| 137.3 | 34.1 | 169.9 | 46.6 | 160.9 | 50.3 | 107.7 | 18.4 | 136.5 | 21.8 | 161.7 | 30.5 |
| 139.5 | 37.0 | 171.7 | 50.7 | 160.5 | 52.7 | 113.3 | 19.9 | 143.6 | 24.2 | 169.7 | 36.7 |
| 137.8 | 41.0 | 172.4 | 54.7 | 157.6 | 55.3 | 123.8 | 20.9 | 149.2 | 26.8 | 172.5 | 39.5 |
| 133.7 | 44.2 | 172.6 | 59.1 | 155.0 | 59.8 | 124.1 | 21.0 | 154.6 | 29.7 | 174.7 | 42.5 |
| 127.7 | 47.8 | 172.3 | 62.8 | 154.0 | 64.4 | 124.3 | 21.2 | 166.2 | 35.4 | 176.4 | 45.8 |
| 121.3 | 51.2 | 171.0 | 65.4 | 152.5 | 68.1 | 130.1 | 22.3 | 169.6 | 38.0 | 179.6 | 49.5 |
| 116.6 | 53.7 | 169.3 | 71.7 | 150.4 | 70.2 | 139.1 | 24.9 | 172.9 | 40.7 | 183.5 | 54.0 |
| 67.9 | 74.1 | 168.3 | 77.0 | 116.9 | 87.1 | 144.4 | 26.8 | 175.7 | 43.8 | 185.7 | 58.4 |
| 33.1 | 93.3 | 165.0 | 82.1 | 56.7 | 106.4 | 150.6 | 29.5 | 177.5 | 46.3 | 186.6 | 62.4 |
| 6.4 | 111.9 | 141.4 | 100.3 | 16.7 | 123.9 | 154.9 | 32.2 | 184.8 | 51.2 | 188.9 | 67.1 |
| | | 94.1 | 120.5 | | | 162.4 | 34.5 | 187.0 | 55.3 | 191.3 | 71.7 |
| | | 60.0 | 139.6 | | | 166.9 | 37.4 | 188.7 | 59.2 | 192.5 | 76.3 |
| | | 40.8 | 157.6 | | | 169.0 | 40.3 | 189.5 | 63.1 | 191.3 | 79.1 |
| | | | | | | 170.3 | 43.5 | 188.9 | 63.5 | 190.5 | 85.9 |
| | | | | | | 170.9 | 46.2 | 190.9 | 67.8 | 191.1 | 90.4 |
| | | | | | | 170.9 | 49.0 | 192.6 | 71.8 | 190.8 | 94.9 |
| | | | | | | 171.0 | 49.2 | 193.5 | 75.6 | 177.1 | 112.7 |
| | | | | | | 170.9 | 54.2 | 192.9 | 79.0 | 158.7 | 130.2 |
| | | | | | | 171.8 | 58.0 | 165.7 | 97.4 | 139.2 | 148.3 |
| | | | | | | 171.9 | 61.5 | 117.7 | 116.8 | 76.5 | 169.8 |
| | | | | | | 171.2 | 65.2 | 57.1 | 138.6 | 33.6 | 189.9 |
| | | | | | | 170.1 | 65.6 | | | | |
| | | | | | | 128.0 | 85.4 | | | | |
| | | | | | | 80.0 | 105.9 | | | | |

表-参考-1.1.1　包絡線データ（矩形断面供試体）

| No. 27 | | No. 28 | |
|---|---|---|---|
| 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) |
| 0.6 | -0.2 | 0.5 | 0.0 |
| 0.8 | -0.3 | 0.5 | 0.0 |
| 10.1 | 0.4 | 5.6 | 0.6 |
| 16.7 | 1.1 | 10.1 | 1.2 |
| 22.8 | 1.7 | 15.1 | 2.0 |
| 29.7 | 2.4 | 19.2 | 2.7 |
| 36.2 | 3.0 | 21.2 | 3.1 |
| 41.9 | 3.6 | 26.3 | 3.9 |
| 47.2 | 4.1 | 30.6 | 4.7 |
| 53.8 | 4.8 | 36.3 | 5.6 |
| 59.6 | 5.5 | 40.1 | 6.2 |
| 64.9 | 6.0 | 43.7 | 6.9 |
| 68.6 | 6.5 | 47.6 | 7.5 |
| 72.8 | 7.1 | 50.6 | 8.1 |
| 77.4 | 7.7 | 53.7 | 8.6 |
| 80.8 | 8.2 | 54.7 | 8.7 |
| 83.4 | 8.5 | 57.6 | 9.2 |
| 86.5 | 8.9 | 60.4 | 9.8 |
| 96.9 | 10.3 | 63.6 | 10.4 |
| 108.6 | 11.8 | 65.4 | 10.7 |
| 118.6 | 13.2 | 73.8 | 11.7 |
| 129.0 | 14.7 | 80.9 | 13.0 |
| 138.6 | 16.0 | 88.8 | 14.6 |
| 148.1 | 17.5 | 95.9 | 15.9 |
| 148.7 | 17.9 | 103.7 | 17.6 |
| 161.8 | 19.8 | 111.0 | 19.2 |
| 171.0 | 21.5 | 116.7 | 20.7 |
| 179.6 | 23.7 | 121.3 | 22.0 |
| 184.8 | 25.6 | 133.7 | 24.8 |
| 187.0 | 26.7 | 138.3 | 27.3 |
| 189.8 | 28.7 | 142.2 | 30.2 |
| 195.5 | 31.3 | 145.1 | 33.2 |
| 201.2 | 34.9 | 146.9 | 35.8 |
| 203.8 | 38.1 | 152.7 | 39.2 |
| 206.8 | 43.0 | 153.3 | 43.8 |
| 210.8 | 47.2 | 152.7 | 48.2 |
| 213.0 | 51.6 | 150.9 | 52.3 |
| 213.0 | 55.8 | 148.2 | 55.1 |
| 209.7 | 63.9 | 112.0 | 75.4 |
| 209.9 | 67.4 | 60.2 | 97.2 |
| 209.2 | 70.6 | 26.9 | 117.3 |
| 201.6 | 87.4 | | |
| 191.1 | 103.3 | | |
| 173.5 | 119.9 | | |
| 153.1 | 136.6 | | |
| 130.6 | 153.7 | | |
| 105.9 | 171.3 | | |
| 74.3 | 185.8 | | |

表-参考-1.1.2　包絡線データ（円形断面供試体）

| No.6 | | No.7 | | No.8 | | No.9 | | No.15 | | No.16 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) |
| 0.0 | -0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | -1.0 | -0.5 | 0.6 | -0.1 |
| 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 2.5 | 0.4 | 0.6 | 0.0 |
| 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | 0.2 | 0.2 | 5.6 | 1.6 | 1.2 | 0.2 |
| 0.3 | 0.2 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | 3.5 | 1.2 | 9.3 | 2.7 | 0.0 | -0.1 |
| 0.3 | 0.2 | 1.0 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | 4.9 | 1.5 | 11.7 | 3.5 | 0.6 | -0.2 |
| 5.7 | 1.1 | 5.9 | 1.3 | 1.6 | 0.7 | 5.5 | 1.6 | 14.5 | 4.4 | 1.2 | 0.0 |
| 10.8 | 1.9 | 10.2 | 2.2 | 2.9 | 1.1 | 6.1 | 2.1 | 17.2 | 5.2 | 0.9 | -0.1 |
| 15.7 | 3.4 | 14.6 | 3.0 | 4.3 | 1.2 | 7.4 | 2.3 | 19.5 | 6.1 | 0.6 | 0.0 |
| 20.8 | 4.2 | 18.4 | 3.9 | 5.1 | 1.5 | 8.4 | 2.8 | 22.0 | 6.8 | 0.7 | 0.0 |
| 25.9 | 4.9 | 22.3 | 4.8 | 5.9 | 2.0 | 10.0 | 3.3 | 22.8 | 7.0 | 2.5 | 0.3 |
| 31.1 | 5.8 | 26.4 | 5.2 | 7.2 | 2.4 | 11.3 | 3.7 | 24.3 | 7.3 | 2.5 | 0.3 |
| 36.2 | 6.8 | 29.2 | 6.1 | 8.8 | 2.9 | 12.9 | 3.9 | 27.7 | 8.3 | 2.2 | 0.3 |
| 41.6 | 7.5 | 33.3 | 6.7 | 10.6 | 3.3 | 13.1 | 4.2 | 30.5 | 9.3 | 5.2 | 1.3 |
| 46.7 | 8.5 | 37.4 | 7.4 | 11.7 | 3.4 | 13.9 | 4.4 | 33.1 | 10.1 | 7.4 | 2.0 |
| 51.9 | 9.2 | 41.5 | 8.1 | 12.7 | 3.9 | 14.5 | 4.6 | 35.7 | 11.0 | 8.7 | 2.3 |
| 57.0 | 10.1 | 45.6 | 8.6 | 14.1 | 4.3 | 15.8 | 4.9 | 38.6 | 12.2 | 12.1 | 3.4 |
| 57.5 | 10.1 | 49.1 | 9.3 | 15.3 | 4.4 | 17.0 | 5.4 | 42.3 | 13.2 | 15.7 | 4.7 |
| 60.6 | 10.6 | 52.7 | 9.6 | 16.4 | 5.0 | 18.6 | 5.9 | 44.5 | 14.1 | 18.2 | 5.5 |
| 67.8 | 11.4 | 55.8 | 10.5 | 17.6 | 5.2 | 19.8 | 6.3 | 45.0 | 14.4 | 20.7 | 6.4 |
| 72.9 | 12.2 | 58.6 | 10.8 | 19.0 | 5.5 | 21.1 | 6.5 | 47.6 | 15.1 | 22.9 | 7.1 |
| 78.1 | 13.2 | 61.2 | 11.4 | 19.8 | 5.6 | 21.3 | 6.8 | 51.2 | 16.5 | 23.2 | 7.2 |
| 83.2 | 14.4 | 66.5 | 11.6 | 20.4 | 5.9 | 22.1 | 7.1 | 53.9 | 18.2 | 27.7 | 8.4 |
| 88.4 | 15.8 | 76.3 | 13.9 | 21.3 | 6.0 | 22.7 | 7.2 | 55.8 | 19.5 | 33.3 | 10.2 |
| 93.5 | 16.7 | 86.5 | 15.8 | 21.9 | 6.2 | 23.7 | 7.7 | 57.1 | 20.6 | 38.3 | 11.9 |
| 98.6 | 17.8 | 96.5 | 17.9 | 22.9 | 6.8 | 25.2 | 8.0 | 58.6 | 22.3 | 43.8 | 13.7 |
| 103.8 | 19.3 | 111.1 | 20.3 | 24.3 | 7.3 | 25.4 | 7.7 | 62.6 | 25.8 | 46.3 | 14.7 |
| 108.9 | 21.0 | 122.6 | 24.1 | 25.6 | 7.5 | 25.8 | 8.3 | 62.7 | 28.2 | 51.5 | 16.1 |
| 109.2 | 21.2 | 130.3 | 27.7 | 26.0 | 7.7 | 25.6 | 8.0 | 63.0 | 30.3 | 54.7 | 17.5 |
| 127.7 | 26.5 | 135.7 | 31.2 | 26.0 | 7.9 | 26.4 | 8.2 | 65.8 | 32.6 | 58.1 | 19.1 |
| 133.6 | 30.4 | 146.2 | 37.0 | 26.6 | 7.9 | 30.3 | 9.5 | 66.1 | 35.7 | 61.2 | 20.7 |
| 145.4 | 37.4 | 154.6 | 43.9 | 29.8 | 9.2 | 33.8 | 10.8 | 66.0 | 37.6 | 63.6 | 22.1 |
| 154.6 | 46.2 | 157.4 | 50.7 | 34.1 | 10.2 | 37.4 | 11.7 | 65.6 | 40.9 | 64.0 | 22.7 |
| 156.7 | 54.0 | 159.2 | 58.5 | 37.4 | 11.4 | 40.7 | 13.1 | 64.9 | 41.5 | 68.6 | 25.0 |
| 156.7 | 61.8 | 160.2 | 68.2 | 40.9 | 12.6 | 44.2 | 14.7 | 61.4 | 51.1 | 71.9 | 27.8 |
| 154.6 | 67.2 | 158.4 | 75.6 | 44.6 | 14.0 | 47.5 | 15.1 | 52.8 | 61.4 | 73.2 | 29.8 |
| 150.5 | 77.0 | 156.1 | 80.0 | 53.8 | 16.7 | 49.1 | 15.9 | 46.6 | 71.5 | 73.8 | 31.5 |
| 124.3 | 97.0 | 153.8 | 96.5 | 56.8 | 19.2 | 57.5 | 20.2 | 41.1 | 82.7 | 75.9 | 32.4 |
| 91.7 | 116.3 | 138.7 | 113.6 | 58.3 | 19.8 | 59.7 | 21.6 | 38.0 | 92.5 | 78.4 | 35.0 |
| 64.5 | 135.6 | 112.6 | 131.8 | 60.5 | 23.4 | 61.4 | 25.2 | 35.8 | 102.4 | 79.9 | 37.3 |
| 44.4 | 155.4 | 93.2 | 150.9 | 60.7 | 27.1 | 61.0 | 29.0 | 33.6 | 112.2 | 81.3 | 39.9 |
| | | 78.8 | 168.1 | 59.7 | 30.9 | 59.7 | 32.7 | 31.7 | 122.3 | 85.2 | 44.4 |
| | | 66.0 | 186.1 | 57.8 | 34.5 | 58.9 | 34.3 | 29.0 | 132.2 | 87.0 | 47.7 |
| | | | | 48.6 | 44.7 | 52.0 | 41.4 | 26.3 | 141.9 | 86.2 | 49.6 |
| | | | | 34.7 | 56.0 | 52.4 | 44.0 | | | 89.2 | 52.9 |
| | | | | 24.1 | 65.8 | 52.6 | 46.6 | | | 90.8 | 56.7 |
| | | | | 16.6 | 75.9 | 52.6 | 49.4 | | | 91.0 | 58.9 |
| | | | | 11.2 | 84.6 | 52.6 | 52.0 | | | 91.2 | 60.3 |
| | | | | | | 52.4 | 54.5 | | | 93.3 | 64.4 |
| | | | | | | 46.2 | 64.6 | | | 93.6 | 68.2 |
| | | | | | | 35.4 | 75.0 | | | 94.4 | 72.9 |
| | | | | | | 25.6 | 86.8 | | | 95.1 | 77.6 |
| | | | | | | 19.4 | 95.4 | | | 95.0 | 84.1 |
| | | | | | | 15.1 | 105.7 | | | 95.0 | 87.5 |
| | | | | | | 13.9 | 116.6 | | | 94.5 | 94.9 |
| | | | | | | | | | | 94.6 | 97.3 |
| | | | | | | | | | | 94.2 | 107.0 |
| | | | | | | | | | | 91.5 | 111.9 |
| | | | | | | | | | | 92.6 | 117.0 |
| | | | | | | | | | | 90.5 | 126.8 |
| | | | | | | | | | | 89.6 | 136.1 |
| | | | | | | | | | | 88.9 | 136.6 |
| | | | | | | | | | | 88.0 | 146.5 |
| | | | | | | | | | | 85.5 | 154.8 |
| | | | | | | | | | | 85.6 | 156.4 |
| | | | | | | | | | | 27.4 | 171.6 |

表-参考-1.1.2　包絡線データ（円形断面供試体）

| No. 29 | | No. 30 | | No. 31 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) | 水平荷重 (tonf) | 水平変位 (mm) |
| -0.4 | 0.0 | 0.6 | 0.1 | 0.0 | -0.3 |
| 3.9 | 0.9 | 0.2 | 0.0 | 0.3 | -0.3 |
| 6.4 | 1.7 | 0.2 | 0.0 | 3.7 | 0.7 |
| 9.5 | 2.7 | 4.4 | 0.9 | 6.8 | 1.8 |
| 12.7 | 3.7 | 6.8 | 1.6 | 9.5 | 2.6 |
| 14.8 | 4.4 | 8.7 | 2.1 | 12.9 | 3.8 |
| 17.6 | 5.2 | 13.2 | 3.3 | 14.1 | 4.2 |
| 19.1 | 5.8 | 16.3 | 4.1 | 17.8 | 5.4 |
| 21.7 | 6.7 | 18.9 | 4.9 | 18.8 | 6.5 |
| 22.5 | 7.0 | 20.3 | 5.3 | 20.9 | 6.3 |
| 27.5 | 8.5 | 22.9 | 6.0 | 22.3 | 6.8 |
| 33.0 | 10.4 | 25.0 | 6.7 | 22.9 | 7.0 |
| 37.4 | 12.0 | 25.4 | 6.7 | 27.4 | 8.5 |
| 42.5 | 13.9 | 31.4 | 8.4 | 33.2 | 10.5 |
| 42.2 | 14.0 | 37.1 | 10.0 | 37.4 | 12.1 |
| 46.9 | 15.3 | 43.2 | 11.8 | 38.9 | 12.7 |
| 49.6 | 17.4 | 48.7 | 13.4 | 41.6 | 13.6 |
| 51.0 | 19.6 | 50.3 | 13.9 | 42.3 | 14.1 |
| 53.7 | 25.5 | 51.9 | 14.4 | 45.7 | 15.4 |
| 44.1 | 35.8 | 56.7 | 15.7 | 48.8 | 17.7 |
| 27.2 | 45.1 | 61.1 | 17.2 | 50.5 | 19.6 |
| 13.6 | 54.1 | 66.4 | 19.0 | 53.6 | 21.3 |
| 13.5 | 54.3 | 70.3 | 20.5 | 53.4 | 23.2 |
| 4.0 | 63.4 | 72.1 | 21.7 | 53.3 | 25.2 |
| | | 72.4 | 22.0 | 55.0 | 31.4 |
| | | 78.4 | 26.1 | 55.3 | 34.1 |
| | | 79.2 | 28.1 | 55.2 | 35.2 |
| | | 80.0 | 29.9 | 54.7 | 36.9 |
| | | 82.7 | 33.2 | 54.2 | 37.2 |
| | | 84.3 | 36.3 | 46.5 | 46.5 |
| | | 85.4 | 39.3 | 38.0 | 55.8 |
| | | 85.2 | 43.0 | 31.5 | 65.1 |
| | | 86.3 | 45.8 | 25.2 | 74.2 |
| | | 86.7 | 48.9 | 19.8 | 83.5 |
| | | 86.9 | 53.2 | 15.7 | 92.5 |
| | | 87.7 | 55.9 | | |
| | | 87.9 | 59.1 | | |
| | | 87.4 | 59.4 | | |
| | | 87.6 | 64.9 | | |
| | | 87.9 | 68.3 | | |
| | | 87.1 | 77.5 | | |
| | | 86.8 | 78.8 | | |
| | | 86.4 | 88.5 | | |
| | | 85.1 | 94.5 | | |
| | | 85.1 | 98.3 | | |
| | | 83.6 | 104.0 | | |
| | | 84.0 | 108.1 | | |
| | | 83.0 | 117.7 | | |
| | | 82.0 | 125.8 | | |
| | | 81.8 | 127.7 | | |
| | | 80.5 | 135.6 | | |
| | | 80.8 | 137.4 | | |
| | | 79.1 | 145.4 | | |
| | | 79.1 | 147.2 | | |
| | | 65.4 | 156.3 | | |
| | | 60.5 | 158.6 | | |
| | | 40.8 | 169.9 | | |
| | | 40.2 | 171.0 | | |

1．2　供試体の変形状況の説明

表-参考-1.2.1(1)　供試体 No.2

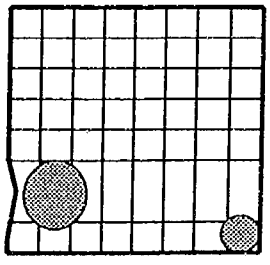
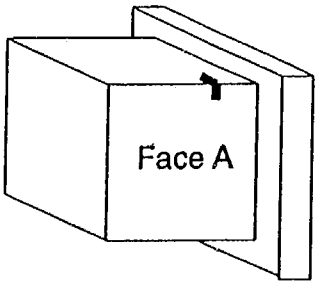
| 載荷サイクル(nδy) | 供試体変状 | 様子 |
|---|---|---|
| ＋1 | | |
| －1 | | |
| ＋2 | | 圧縮フランジの塗料に，圧縮と直角方向の線が入った． |
| －2 | | |
| ＋3 | | 圧縮フランジの線がかなり増えるが，目視により明確にわかる形状変化はなし． |
| －3 | | |
| ＋4 | | 変形目視ではっきりわかる．圧縮側フランジは，全体的には補剛板全体の変形だが，塗料の様子から，補剛材間の変形の様子も明らかになっている． |
| －4 | | |
| ＋5 | | |
| －5 | | 圧縮側の角部がかすかに内側へ変形し始めた． |
| ＋6 |  | 圧縮側角（最下部パネルの半分よりやや下）が内側へ変形しはじめた．引っ張り側は元に戻っている． |
| －6 |  | ＋6から－6への変形中，引っ張り側上角部に割れが発生．比較的小さな割れ．引っ張り側角変形部は完全には戻りきっていない． |
| ＋7 | | |

表-参考-1.2.1(1)　供試体 No.2

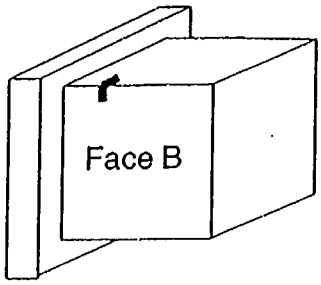
| | | |
|---|---|---|
| －7 | | ＋7から－7への変形中，引っ張り側上角部割れ（前回のループで割れた部分）が広がる．圧縮側フランジ凹量約150㎜．ウェブの凸量100㎜程度． |
| ＋8 |  | －7から＋8への変形途中，引っ張り側上角変形部に割れが発生．圧縮側フランジ凹量150㎜程度．圧縮側角変形70㎜程度． |

表-参考-1.2.1(2)　供試体 No.3

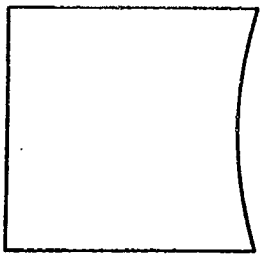
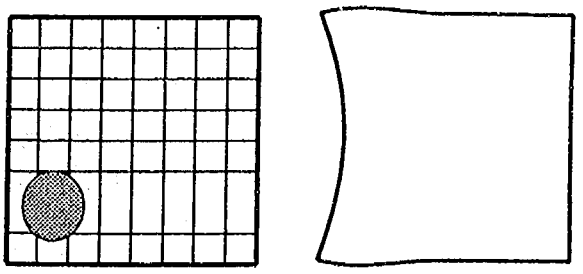
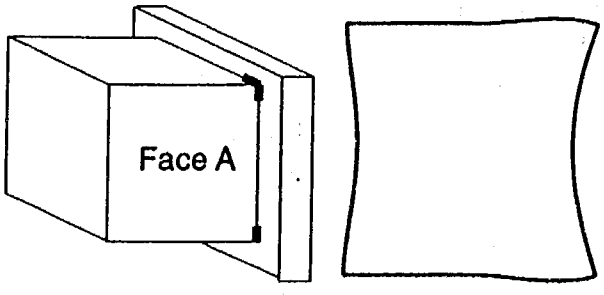
| 載荷サイクル(nδy) | 供試体変状 | 様子 |
|---|---|---|
| ＋1 | | |
| －1 | | |
| ＋2 | | 圧縮フランジの塗料に，圧縮と直角方向の線が多数入った．Ｎｏ．１と異なりリブ間隔が半分であるため，線が短くなっている． |
| －2 | | 同上 |
| ＋3 | | 塗料の線は増えるが，形状には変化無し． |
| －3 | | |
| ＋4 | | 圧縮側フランジパネル全体の座屈が始まった． |
| －4 |  | 圧縮フランジ側の局部座屈による表面のしわがパネル間に多く見られる．補剛板全体に7㎜程度の座屈変形が見られる．パネル全体の変形形状である． |
| ＋5 |  | 圧縮側フランジ（Ａ面）の変形が進む．17㎜程度である．引張側（Ｂ面）はほとんどもどっている．ウェブＣ面の圧縮側基部もややふくらんできている． |
| －5 |  | 引っ張り側基部（柱角とベースの接合部）上下に割れが発生．10㎜×10㎜程度の長さである．圧縮側変形量は30㎜程度．引っ張り側の変形は戻りきらず，5㎜程度残っている． |

表-参考-1.2.1(2)　供試体 No.3

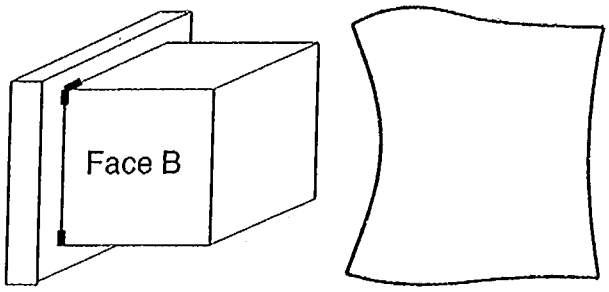
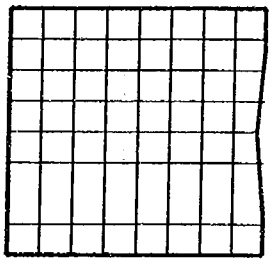
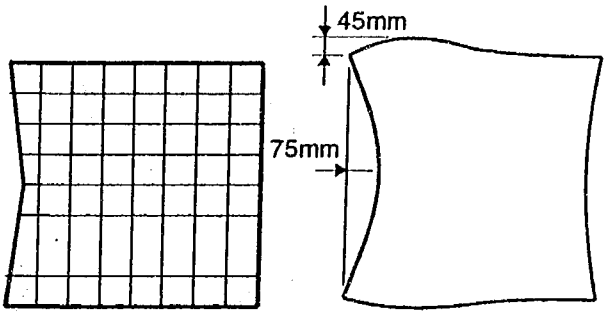
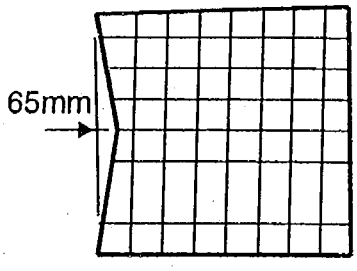
| | | |
|---|---|---|
| ＋6 |  | 引っ張り側上下基部の割れが確認できる．ウェブのふくらみ変形が目立ってきた（25㎜程度）．圧縮側フランジの変形量45㎜程度. |
| －6 |  | 圧縮側フランジパネル座屈変形量が65㎜．程度また，柱角部の座屈が少し見られ，柱全体が角折れしている．基部の割れの進展は見られない. |
| ＋7 |  | 圧縮側柱角部の座屈変形が見られ，角折れ量が16㎜であった．ウェブのふくらみ量が45㎜，圧縮フランジ面の変形量が75㎜. |
| －7 | | 圧縮フランジ面の変形量が105㎜，引っ張りフランジ面35㎜，ウェブ90㎜. |
| ＋8 |  | 圧縮側角折れ65㎜，圧縮フランジの座屈変形130㎜. |

表-参考-1.2.1(2)　供試体 No.3

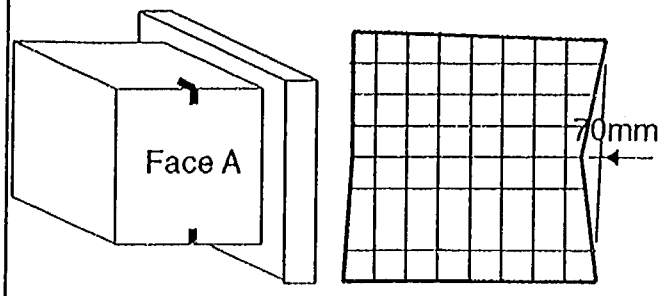
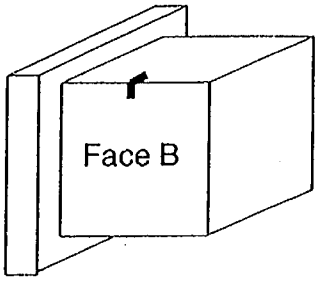
| | | |
|---|---|---|
| －8 |  | 負方向へ載荷している最中（変位＋10㎜程度）のとき，引っ張り側柱角部（２箇所）が軸と直角方向に割れる．－８δy到達時，圧縮側角折れ約70㎜．引っ張り側の角折れ部の中心部（割れた部分）の変形はもうもどらなくなっている． |
| ＋9 |  | 正方向へ載荷している最中（－８から＋９へ，変位-8㎜付近，水平荷重+54.5t）で引っ張り側柱角折れ部に割れが発生．破面はきれいな脆性破面（shevron pattern）になっていた．起点はフランジとウェブの溶接部の下あたりである． |

表-参考-1.2.1(3)　供試体 No.4

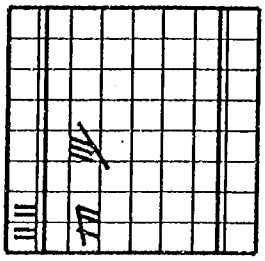
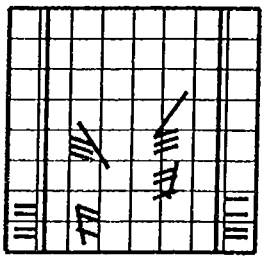
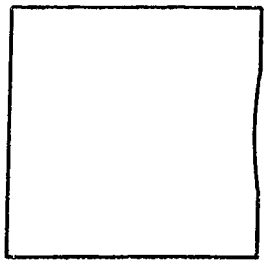
| 載荷サイクル(nδy) | 供試体変状 | 様子 |
|---|---|---|
| ＋1 | | |
| －1 | | |
| ＋2 | | 圧縮フランジの塗料に，圧縮と直角方向の線が多数入ったが，補剛板の上のみである．アングルの上には変化はない． |
| －2 | | 同上 |
| ＋3 |  | 圧縮フランジのアングルの塗料にも線が現れた．ウェブの圧縮側基部近くに斜めに線が入りはじめた． |
| －3 |  | ウェブに関しては，＋のときと対称に線が入った．局部座屈による変形は見られない． |
| ＋4 | | 圧縮側フランジパネル全体の座屈が始まった． |
| －4 |  | 圧縮側フランジの局部座屈は15㎜程度．引っ張り側フランジはもとに戻っている． |

表-参考-1.2.1(3)　供試体 No.4

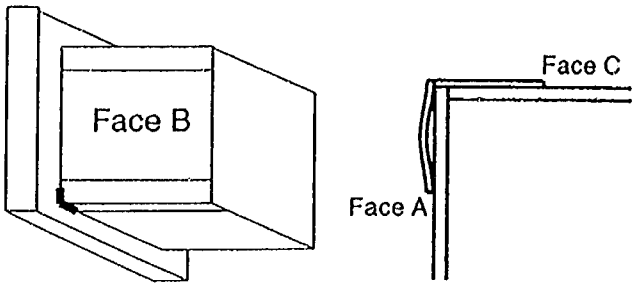
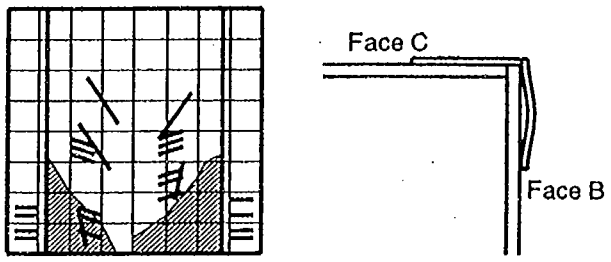
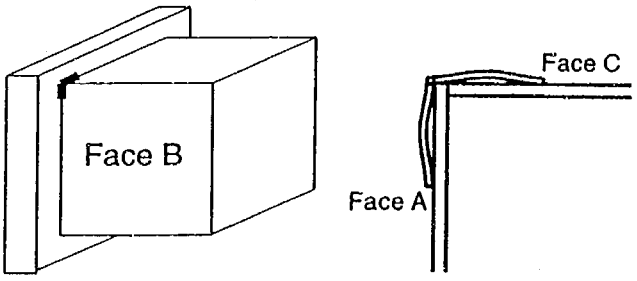
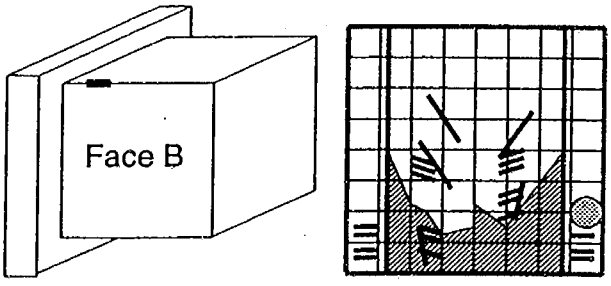
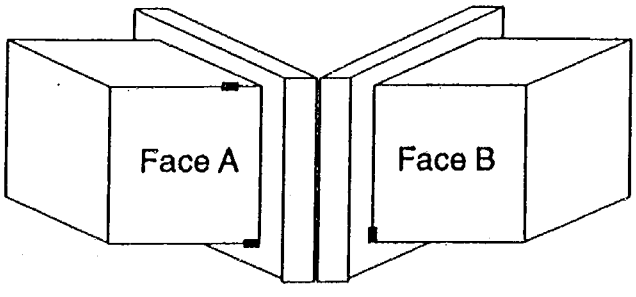
| | | |
|---|---|---|
| ＋5 |  | 引っ張り側の下面基部において，ベースプレートとアングルの溶接部が破断した．圧縮側アングルに少々の局部変形（ふくらみ）発生． |
| －5 |  | アングル基部の割れが進展．＋側と同様に，圧縮側のアングルが局部変形をおこしている．ウェブの凹凸も大きくなってきた（ハッチングが凹）． |
| ＋6 |  | 圧縮側アングルのウェブ面も局部変形を起こし，ふくらみはじめる．一側フランジは引っ張りによってほぼ平面にもどっている． |
| －6 |  | 圧縮側上面アングルの局部的なふくらみが大きくなり，溶接部が約10cmの長さにわたり割れた．フランジの変形も進んではいるがそれ程大きくなく，パネル全体の座屈が先行している．補剛材間の座屈モードはあまり見えない． |
| ＋7 |  | 圧縮側上アングルの局部的なふくらみが大きくなり，溶接部が割れる．内側の柱母材もアングルと同じ様に外側に大きく膨らんでいる．下側アングルも同様に割れている．引っ張り側基部下側，アングルの下の柱母材に3cm程の亀裂が見られる． |

表-参考-1.2.1(3)　供試体 No.4

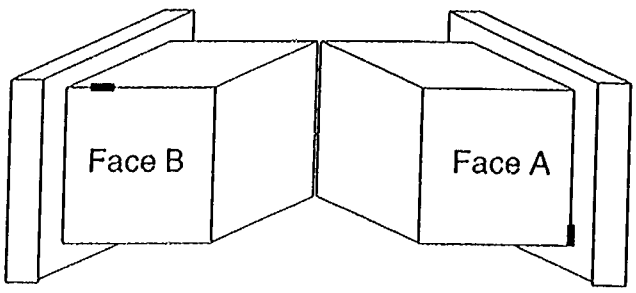
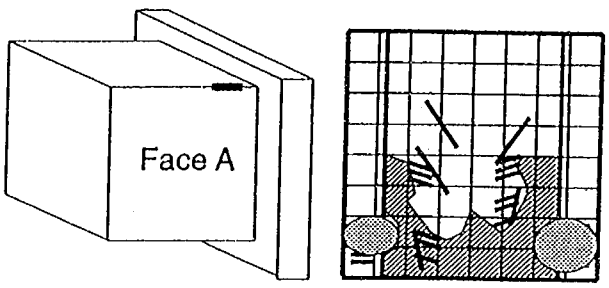
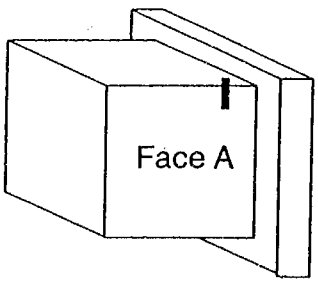
| | | |
|---|---|---|
| －7 |  | ＋7δyから－7δyへ向かう途中（変位-92mm，荷重-125tf），圧縮側本体角溶接部に割れが発生．座屈変形凹量が80mm程度．引っ張り側のアングル基部の柱母材側の亀裂が進展している． |
| ＋8 |  | 荷重106t，変位92mm時，圧縮側の本体角溶接部に割れが発生． |
| －8 |  | －8δy到達直前（荷重-80tf），引っ張り側本体角溶接部の縦割れのところに，大きな音とともに横割れが発生した． |
| ＋9 | | |

表-参考-1.2.1(4)　供試体 No.5

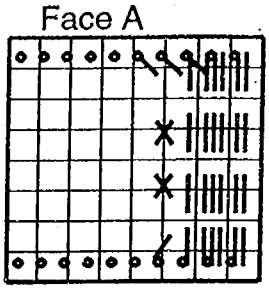
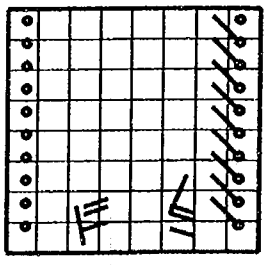
| 載荷サイクル(nδy) | 供試体変状 | 様子 |
|---|---|---|
| ＋1 | | |
| －1 | | |
| ＋2 | | 圧縮フランジの塗料に，圧縮と直角方向の線が多数入ったが，補剛板の上のみである．アングルの上には変化はない． |
| －2 | | 同上 |
| ＋3 |  | 圧縮側フランジの塗料にも斜めの線が見える．特に，ボルトの位置から線が入っているのがわかる． ウェブにも，No.4と同様の斜めの線が入った． |
| －3 |  | ウェブには，＋のときと対称に線が入った．圧縮側フランジも同様． |
| ＋4 | | 圧縮側フランジパネル全体の座屈とともに，補剛材間の変形もよくわかるようになってきた． |
| －4 | | 圧縮側フランジの局部座屈は補剛材間の変形が5mm程度．引っ張り側フランジはもとに戻っている． |

表-参考-1.2.1(4)　供試体 No.5

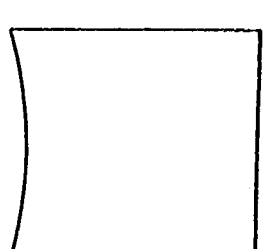
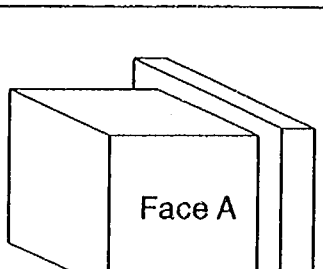
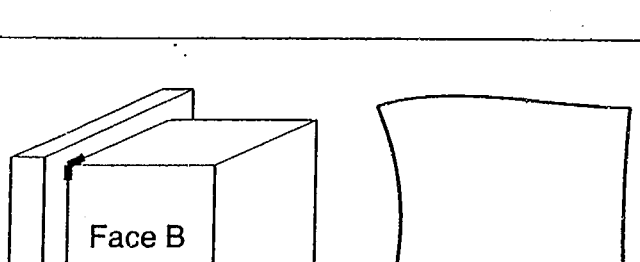
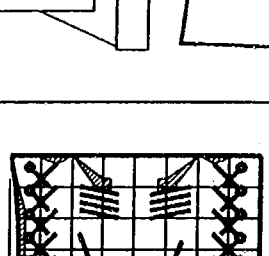
| | | |
|---|---|---|
| ＋5 |  | 圧縮側フランジの座屈（パネル全体）による凹量が約30mm．ウェブの凹凸もはっきりしてきた． |
| －5 |  | 圧縮側フランジの座屈（パネル全体）による凹量が約40mm．引っ張り側基部に割れが発生（1cm×2cm）． |
| ＋6 |  | 引っ張り側上下基部の割れが確認される．変形が進んでいるが，角部はフランジが凹みウェブが膨らんで角度を９０度近くに保たれている． |
| －6 |  | 引っ張り側上基部の割れが確認される．この時点で，基部四隅全てが割れたことになる．圧縮側座屈変形が70mm程度．引っ張り側の座屈変形も戻りきらない．－５δy時の割れの進展が見られる（2cm×4cm）． |
| ＋7 |  | 圧縮側の柱角部の変形が見られる．もとの角線から約20mm内側へよれている． |

表-参考-1.2.1(4)　供試体 No.5

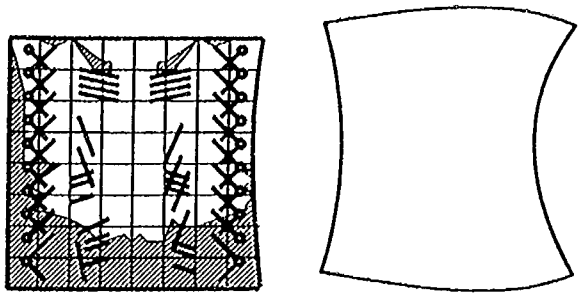
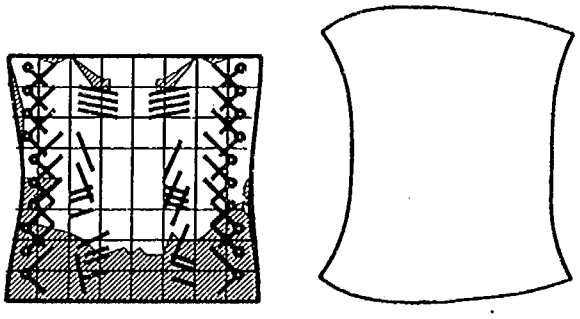
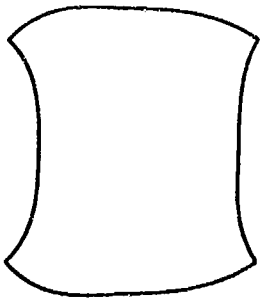
| | | |
|---|---|---|
| －7 |  | 圧縮側柱角部の座屈変形が見られる．約40mm内側へよれている．引っ張り側角部の変形はほぼ元に戻っている．圧縮側フランジの座屈凹量約120mm. |
| ＋8 |  | 座屈がかなり進む．－7δy時の柱角部の変形も戻りきらない．ウェブの凸量もかなり大きくなっている（100mm以上）． |
| －8 | | －8δy以降は座屈変形量が進展する．フランジ・ウェブともに面外変形量は極めて大きい．フランジの凹とウェブの凸が対称になっているような変形である．圧縮側角部の凹変形は約90mmである．基部の割れについては，7δy以降進展が見られない． |
| ＋9 |  | 圧縮側角部の凹変形約110mm，ウェブの凸変形量も150mm程度．柱角部は連続的な曲線を描いて変形しており，割れは発生しなかった．ボルトの破断もなく，角は直角を保とうとする方向へ変形した． |

表-参考-1.2.1(5)　供試体 No.10

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側（A面）の第1パネルに黒皮のひび割れが発生した。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側（A面）の縦リブ間のパネルが内側に凹み始める。 |
| -4 | 同上 |
| 5 | 圧縮側（A面）のパネルの凹みが大きくなる。<br>上面（C面）及び下面（D面）が外に凸に変形しはじめた。 |
| -5 | 同上 |
| 6 | 5δyでの変形がさらに進行する。引張側に凹みの残留変形が残る。 |
| -6 | 同上 |
| 7 | A面は基部から80cm辺りまで円弧描いて凹み、基部から23cm辺りでは80mmにも及んでいる。B面にも凹みの残留変形があり、A，B面が凹み、C，D面が凸む残留変形がある。 |
| -7 | 同上 |
| 8 | -7δyから8δyに向かう途中で大きな音を発してA-C面のコーナー部に溶接線に沿って溶接割れが生じた。<br>B-C面のコーナー部においても溶接線とは直交する方向に、母材割れが発生。 |
| -8 | 変形がさらに進む。 |
| 9 | 変形が極めて大きくなる。 |

表-参考-1.2.1(6)　供試体 No.11

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。黒皮のひび割れが見える程度。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側（A面）の第1パネルに黒皮のひび割れの範囲が広がる。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側（A面）の縦リブ間のパネルが内側に凹み始める。 |
| -4 | 同上。A面は平坦になる。 |
| 5 | 圧縮側（A面）の中央は凹みが大きくなる。引張側（B面）に凹みの変形が残る。上面（C面）及び下面（D面）も凹みの変形が生じてきた。 |
| -5 | 同上 |
| 6 | 圧縮側のD面よりのコーナー補強材締付ボルトの1段目～2段目間が大きく外に凸となってきた。C，D面はA面よりが凹んでいる。<br>B面はなだらかに一様に凹んでいる。 |
| -6 | 引張側（A面）の変形が戻らなくなってきた。圧縮側（B面）は楕円状に縦長に凹んでいる。C，D面は圧縮側が凸らんでいる。 |
| 7 | A面には凹みの変形が進み、B面に凹みの変形が残る。<br>C面はコーナー部は凸変形、中央部は凹んでいる。<br>D面は縦リブを境に凹凸が反転し、変形が波打っている。 |
| -7 | B面は大きく凹んでいる。<br>C面は波打った変形となっている。 |
| 8 | 変形がさらに進む。 |
| -8 | A-D面のコーナー部母材割れが発生した。<br>D面は波打った変形となっている。 |
| 9 | 変形が大きくなり、母材割れも広がる。 |
| -9 | 同上 |
| 10 | 変形が極めて大きくなる。 |

表-参考-1.2.1(7)　供試体 No.12

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。黒皮のひび割れが見える程度。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側（A面）の第1パネルに黒皮のひび割れの範囲が広がる。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側（A面）が内側に凹み始める。 |
| -4 | 圧縮側（B面）が凹む。A面は平坦になる。C面が凸となる。 |
| 5 | 圧縮側（A面）の中央は凹みが大きくなる。引張側（B面）に凹みの変形が残る。上面（C面）及び下面（D面）も凸変形が生じてきた。 |
| -5 | A面は凹みの変形が残っている。B面は1パネル全体が凹んでいる。<br>C，D面は圧縮側が凹んでいる。 |
| 6 | A面は、C，D面の変形に伴いC-D面のコーナー部でラインが曲がってきた（回転が生じてきた）。 |
| -6 | 引張側（A面）の変形が戻らなくなってきた。圧縮側（B面）の変形も大きく凹んでいる。C，D面は圧縮側が凸らんでいる。 |
| 7 | 変形がさらに進む。 |
| -7 | 変形がさらに進み、コーナー部のラインの曲がりも大きくなる。 |
| 8 | 変形が極めて大きくなる。 |

表-参考-1.2.1(8)　供試体 No.13

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。黒皮のひび割れが見える程度。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側（A面）の第1パネルに黒皮のひび割れの範囲が広がる。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側（A面）に僅かな凹凸が認められる。 |
| -4 | 圧縮側（B面）に僅かな凹凸が認められる。 |
| 5 | 圧縮側（A面）第1パネル中央付近で凹凸が増えてきた。B面の変形は確認できない。C面第1パネル中央付近で僅かに凸変形が確認できるようになってきた。D面ではコンクリートが充填されている部分で凹みが認められる。 |
| -5 | A面の変形は戻らなくなってきた。B面では第1パネルの上部で凹凸が目立ってきた。C，D面でも第1パネルの中央付近がはらんできた。 |
| 6 | A面第1パネル上部では、縦リブを挟んで交互に凹凸が認められる。パネルの両角部も変形している。<br>B面も第1パネル上部で凹凸が認められる。C，D面は第1パネル全体が凸に変形。 |
| -6 | 変形がさらに進む。 |
| 7 | A-C面，A-D面のコーナー部で割れ発生。B-D面のコーナー部に割れ発生。A，B面の変形 さらに進む。 |
| -7 | 変形がさらに進み、コーナー部の曲がりや溶接割れも大きくなる。 |
| 8 | 変形が極めて大きくなる。 |

表-参考-1.2.1(9)　供試体 No.14

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。黒皮のひび割れが見える程度。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側（A面）の第1パネルに黒皮のひび割れの範囲が広がる。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側（A面）ではコンクリート打設高さ付近で凹み始める。 |
| -4 | 圧縮側（B面）では縦リブを挟んで凸変形が認められる。A面は平坦。 |
| 5 | 圧縮側（A面）第1パネルの凸変形はボルトの傾きが判る程度になった。 |
| -5 | A面の変形は戻らなくなってきた。<br>B面ではパネルの変形が大きくなりコンクリート打設面の上部では、凹みが認められる。C，D面の圧縮側でもパネルの凸変形が認められる。 |
| 6 | A面ではパネルの変形に伴い、基部付近の両角部のラインの変形が明確になってきた。 |
| -6 | B面ではパネルの変形に伴い、基部付近の両角部のラインの変形が明確になってきた。 |
| 7 | 圧縮側A面第1パネルのコンクリート打設面上部の凸変形はパネル全体の変形となってきた。 |
| -7 | 変形がさらに進む。 |
| 8 | A-D面のコーナー部に溶接線に沿って溶接割れが発生した。 |
| -8 | A-D面のコーナー部には溶接線に沿った溶接割れに直交するようにA面に母材割れが発生した。<br>B面のコーナー部には溶接線に沿った溶接割れが発生した。 |
| 9 | 変形が進み、圧縮側は押しつぶされる様な変形になってきている。 |
| -9 | 変形がさらに進む。 |
| 10 | 変形が極めて大きくなる。 |

表-参考-1.2.1(10)　供試体 No.17

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。圧縮側（A面）の第1パネルに黒皮のひび割れが発生した。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 黒皮のひび割れが広がる。 |
| -3 | 圧縮側(B面)第1パネルのコンクリート打設面の上方で少し凹みが生じている。 |
| 4 | 圧縮側（A面）に凹凸が認められる。コンクリート打設面より下側は凸変形、上側は凹み変形である。B面の凹みは元に戻った。 |
| -4 | 圧縮側B面の変形は進み、コンクリート打設面付近では縦リブを挟んで交互に凹凸が認められる。 |
| 5 | 圧縮側（A面）の第1パネルの変形は複雑になってきた。<br>A面第2パネル下部では全体的に凸変形。D、C面凸変形。 |
| -5 | 圧縮側第1パネルの変形は複雑になってきた。C、D面は凸変形。<br>A面の変形は残っている。 |
| 6 | 5δyでの変形がさらに進行する。A面 第1パネルの変形は、全体的にはコンクリート打設面の上方で大きく凹んでいる。A面第2パネルは凸変形。<br>引張側に残留変形あり。C、D面では第1パネル全体が凸変形、A-C面の角部、A-D面の角部ではパネルの変形に伴い、角部のラインが曲がり始めた。 |
| -6 | 引張側A面では載荷途中（生変位-0.25mm、荷重-84.2tonf)で大きな音とともにA-C面の角部が割れた。その後、A-D面でも割れが発生した（荷重-90tonf)。 |
| 7 | 損傷がさらに進む。B面でもB-D面の角部に割れが発生した。 |
| -7 | 損傷がさらに進む。 |
| 8 | 損傷がさらに進み、割れている部分から中のコンクリートが見える。 |

表-参考-1.2.1(11)　供試体 No.18

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。黒皮のひび割れが見える程度 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側第1パネルに凹み、第2パネルに凸変形が認められる。 |
| -3 | 同上。引張側に変形が残っている。 |
| 4 | 圧縮側（A面）の変形が進む。基部から高さ450mmに凹みが発生。引張側の変形は元に戻る。C-D面は圧縮側で凸に変形。 |
| -4 | 同上 |
| 5 | 変形が進む。A-C面、A-D面の角部ラインに曲がり発生。 |
| -5 | 同上 |
| 6 | 変形がさらに進む。 |
| -6 | 変形がさらに進む。A-C面角部で割れが発生した。 |

表-参考-1.2.1(12)　供試体 No.19

本供試体は片振り載荷であることから、正側での状況のみを述べる。

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| 2 | 目立った変化はない。 |
| 3 | 圧縮側A面第1パネルの広い範囲でわずかに凹みが認められる。 |
| 4 | 圧縮側A面第パネルは全体的に凹みCD面の圧縮側も凸む。 |
| 5 | 圧縮側A面では第1パネルは全体的に大きく凹み、第2パネルは大きく凸んでる。C、D面は圧縮側が凸んでる。 |
| 6 | 同上。A面の両側のラインが曲がり始めた。 |
| 7 | 変形がさらに進む。 |
| 8 | 同上。8δy載荷後、除荷するときに（真変位78.4mm、荷重-42.4tonf)大きな音とともにA-D面の角部に割れが発生した。A-C面の角部（真変位48.6mm、荷重-62.5tonf)にも割れが発生した。 |
| 9 | 変形がさらに進む。A-C面の角部、A-D面の角部の割れた部分は閉じている。 |

表-参考-1.2.1(13)　供試体 No.20

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 圧縮側Ａ面の第1パネルに黒皮のひび割れが発生した。Ｃ，Ｄ面の圧縮側でも黒皮のひび割れが認められる。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側Ａ面の第2パネル上部まで黒皮のひび割れは広がり、パネルの両端では一部点状のひび割れが認められる。また、第1パネルでは縦リブを挟んで痩馬状に凹んでいる。引張側（Ｂ面）はＡ面より広い範囲で黒皮のひび割れが広がっている。Ｃ-Ｄ面の圧縮側で僅かにパネルの変形が認められる。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 一気にパネルの変形が進んだ。圧縮側Ａ面第1パネルは中央部を最大に全体が凹み、第2パネルは全体が膨らんでいる。引張側Ｂ面の変形は元に戻っている。Ｃ-Ｄ面引張側の変形は元に戻り、圧縮側は基部で凹み、その上方では広い範囲で膨らんでいる。Ｃ面の引張側基部で割れが認められる。 |
| -4 | 圧縮側Ｂ面の第1パネルは中央部を最大として全体が凹み、パネルの変形に伴い、角のラインも曲がっている。第2パネルは全体が膨らんでいる。引張側は変形を残すようになった。Ｃ-Ｄ面でも引張側の変形は残るようになり、圧縮側のパネル変形も大きくなった。Ｂ-Ｄ面、Ｂ-Ｃ面の角部の変形が認められる。 |
| 5 | 圧縮側Ａ面の第1パネルは中央部を最大として全体が凹み、このパネルの変形に伴い、角部のラインが曲がり始めた。引張側は変形を残している。<br>Ｄ面第1パネルは圧縮側を中心に全体が膨らみ、Ａ-Ｃ面、Ａ-Ｄ面の角部も曲がった。また、Ｃ面引張側基部の割れも僅かに伸びた。 |
| -5 | 圧縮側Ｂ面の第1パネルは中央部を最大として全体が凹み、角部の変形も大きくなっている。引張側は角部の曲がり変形を残すようになった。Ｃ面では第2パネル下部が凹み始めた。Ｃ-Ｄ面の圧縮側角部の変形量も大きくなっている。 |
| 6 | 載荷途上（変位6mm、荷重56tonf）で音を発してＢ-Ｃ面の角部に周方向の割れが発生した。圧縮側Ａ面のＤ面側角部では軸方向の割れが発生した。 |
| -6 | 引張側Ａ面では先に発生した軸方向の割れに直交するように周方向の割れが発生した。Ｃ-Ｄ面でも引張側の角部の曲がり変形が大きい部分でそれぞれ周方向の割れが発生した。 |
| 7 | 圧縮側Ａ面の第1パネルのＣ面側で溶接線に沿うように軸方向の割れが発生した。引張側Ｂ面でもＢ-Ｃ面の角部の割れが伸びた。 |

表-参考-1.2.1(14)　供試体 No.22

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。黒皮のひび割れが見える程度。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側（A面）の第1パネルに凹みが認められる。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側（A面）第1パネルは凹み、第2パネルは凸変形。 |
| -4 | 同上 |
| 5 | 圧縮側（A面）第1パネル中央付近で凹みが増えてきた。第2パネルは凸変形。<br>引張側（B面）の基部に溶接割れが発生した。C、D面でも引張側の基部で母材割れが発生した。 |
| -5 | 圧縮側B面第1パネルでは、中央部が大きく凹んでいる。角補強部の凹凸はまだ認められない。引張側A面では、両角の基部で溶接割れが発生した。<br>C、D面でも引張側基部で母材割れが発生した。 |
| 6 | 変形がさらに進む。 |
| -6 | 同上 |
| 7 | 圧縮側角補強部でも凹みが認められるようになった。C面側基部の補強部では、先に割れが発生した部分でパネルが凸変形し始めた。引張側B面基部の割れは、僅かに広がっている。C、D面では圧縮側で凸む様になった。 |
| -7 | 同上、圧縮側の角部が曲がり始めた。 |
| 8 | 損傷がさらに進む。 |
| -8 | 損傷がさらに進み、全角部が曲がった。 |
| 9 | 損傷がさらに進む。 |
| -9 | 載荷途中（生変位82.8mm、荷重-23.2tonf）、A-C面の角部に音とともに割れが発生した。 |
| 10 | 損傷がさらに進み終極に達した。 |

表-参考-1.2.1(15)　供試体 No.23

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。黒皮のひび割れが見える程度 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側（A面）の第1パネルがわずかに凹む。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側A面第1パネルでは無補強部分が凹む。引張側の変形は元に戻っている。<br>C、D面は圧縮側に変形が認められる。 |
| -4 | 圧縮側B面の第1パネルでは無補強部分が凹む。引張側の変形が残るようになった。C、D面には圧縮側に変形が認められる。 |
| 5 | 圧縮側（A面）第1パネルの無補強部分の変形が大きくなった。<br>C、D面は圧縮側を中心に全体が凸に変形し、基部付近では縦リブ間で凹みも認められ<br>る。 |
| -5 | 同上 |
| 6 | 変形がさらに進む。 |
| -6 | 同上 |
| 7 | 圧縮側第1パネルは大きく凹み、基部から30cm付近の角部ではパネルの変形に伴い、角部が曲がり始めた。基部に近い角補強部は凸変形し始めた。 |
| -7 | 変形がさらに進む。角部の曲がりも大きくなる。 |
| 8 | 変形がさらに進む。 |
| -8 | 載荷途中（生変位68.1mm、荷重-31.9tonf）で大きな音を発してA-D面の角部に周方向の割れが発生した。A-C面の角部でも周方向、軸方向の割れが発生した。 |
| 9 | 載荷途中（生変位-86.3mm、荷重0.0tonf）で大きな音を発してB-D面の角部に周方向の割れが発生した。B-C面の角部でも周方向にの割れが発生した。 |

表-参考-1.2.1(16)　供試体 No. 24　(1/3)

| 載荷サイクル<br>n δy | 回 | 変形進行状況 |
|---|---|---|
| 1 | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | 圧縮側A面第1パネルの両端で僅かに黒皮のひび割れが確認できる。 |
| -1 | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | 圧縮側B面で黒皮のひび割れは確認できなかった。 |
| 2 | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | 圧縮側A面では第2パネルまで黒皮のひび割れが広がった。引張側B面第1パネルでも僅かに黒皮のひび割れが認められる。 |
| -2 | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | 圧縮側B面第1パネルの中央付近を中心に黒皮のひび割れが進み、第2パネルでも僅かにひび割れが認められる。D面引張側のダイアフラム付近で僅かに黒皮のひび割れが認められ、第1パネルは全体が僅かに縦リブを挟み、痩せ馬状になっている。 |
| 3 | 1 | |
| | 2 | 圧縮側A面基部付近で縦リブを挟んで僅かに凹みが認められる。引張側B面のパネル変形は元に戻っている。 |
| | 3 | 圧縮側A面では第3パネルまで黒皮のひび割れが広がり、第1パネル基部付近の凹みもはっきりしてきた。引張側B面のパネル変形は元に戻っている。<br>D面圧縮側で僅かに黒皮のひび割れが進んでいる。 |
| -3 | 1 | 圧縮側B面第1パネルの中央部で僅かに凹みが認められる。 |
| | 2 | 圧縮側B面は第1パネルの中央部で僅かに凹みが認められる。引張側A面のパネル変形は元に戻っている。 |
| | 3 | 圧縮側B面はA面程黒皮のひび割れが広がらない。基部付近のパネルの凹みははっきりしている。引張側A面のパネル変形は元に戻り、黒皮のひび割れは出切った状態である。D面引張側で僅かに黒皮のひび割れが進んでいる。 |

表-参考-1.2.1(16)　供試体 No.24　(2/3)

| 載荷サイクル<br>n δy | 回 | 変形進行状況 |
|---|---|---|
| 4 | 1 | 圧縮側A面基部付近では縦リブを挟んだ細かい変形が認められるようになった。引張側B面のパネル変形は元に戻っている。D面第1パネルは僅かに痩せ馬状である。 |
| | 2 | 載荷途上（変位24.76mm、荷重125.56tonf）で大きな音を発してB-C面の角部、B-D面の角部に割れが発生した。圧縮側A面は4δy（1回目）時と同じパネル変形で、引張側B面のパネル変形はのこるようになった。 |
| | 3 | 圧縮側A面第1パネルでは広い範囲で凹み、さらにその中で細かい凹凸が認められる。引張側B面では第1パネル中央で変形が残っている。C面基部付近では引張側で変形が残るようになった。 |
| -4 | 1 | 載荷途上（変位-45.52mm，荷重-164.03tonf）で大きな音を発してC面引張側基部、A-D面の角部に割れが発生した。圧縮側B面第1パネルは全体が凹み、引張側A面のパネル変形も元に戻らなくなった。 |
| | 2 | 載荷途上（変位-36.76mm，荷重-145.88tonf）で大きな音を発して内面のA-C面の角部補強材と基部プレートの溶接部に割れが発生した。圧縮側B面第1パネルは全体が凹んだ状態である。引張側A面の変形は残るようになった。C面第1パネルの圧縮側ではパネルが凹み、引張側は変形が元に戻った。 |
| | 3 | 圧縮側B面第1パネルでは広い範囲で凹み、さらにその中で細かい凹凸が認められる。引張側A面では第1パネル中央付近で細かい変形が残っている。C面基部付近では引張側で変形が残るようになった。 |
| 5 | 1 | D面圧縮側基部の角補強材溶接部付近で割れが発生した。 |
| | 2 | 引張側B面基部付近の割れは伸びて、D面側では5δy（1回目）で発生した割れとB-D面の角部の割れが繋がりそうである。C-D面引張側の割れも伸びている。 |
| | 3 | 圧縮側A面第1パネルは全体に凹み、さらにその中で細かく変形している。引張側B-D面の角部の割れは5δy（2回目）で発生した割れと繋がり、B-C面の角部の割れも伸び、割れ幅も広がっている。C面第1パネルは左右に別れていた変形が一つになり、広い範囲で膨らんできた。D面では圧縮側を中心に変形量は少ないがC面と同じような変形が始まった。 |

| 載荷サイクル<br>n δy | 回 | 変形進行状況 |
|---|---|---|
| -5 | 1 | 引張側A面のC面側基部の角補強材溶接部付近で割れが発生した。 |
| | 2 | 引張側A面のD面側基部付近の角補強材溶接部で割れが発生した。また、-5δy（1回目）で発生したC面側角補強材溶接部の割れとA-C面の角部の割れは繋がった。C-D面の引張側基部付近の割れは伸び、割れ幅も広がっている。 |
| | 3 | 圧縮側B面第1パネルは全体が凹み、さらにその中で細かく変形している。引張側A-D面の角部の割れは-5δy（2回目）で発生した割れと繋がった。C面では第1パネル全体が膨らんできた。D面は一気に第1パネル全体が膨らんだ。 |
| 6 | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | 圧縮側A面第1パネルでは5δy（3回目）と同じような変形の他、基部付近で縦リブを挟んで細かい変形が認められる。引張側B面では基部付近両端の割れが伸び、割れ幅も広がり、中が見える程である。C-D面では引張側基部付近の割れが伸び、割れ幅も広がっている。 |
| -6 | 1 | |
| | 2 | |
| | 3 | 圧縮側B面第1パネルでは-5δy（3回目）と同じような変形をしているが、細かい変形は無くなり、全体に大きく凹んでいる。引張側A面では基部付近両端の割れが伸び、割れ幅も広がり、中が見える程である。C-D面では引張側基部付近の割れが伸び、割れ幅も広がっている。また、C面は-5δy（3回目）と同じようなパネル変形をしているがD面は基部付近の細かい変形のみとなった。 |
| 7 | 1 | |
| | 2 | 引張側B面基部付近の割れは繋がり、真ん中の縦リブを残して基部とB面パネルが破断した状態である。 |
| -7 | 1 | |
| | 2 | 圧縮側B面パネルは真ん中の縦リブを残して破断したが-6δy（3回目）と同じようなパネル変形をしている。引張側A面では両端の割れが伸びたが繋がりはしなかった。パネル変形も-6δy（3回目）と殆ど同じである。<br>D面はC面に比べて基部付近で縦リブを挟み、細かい凹凸が認められる。<br>-7δy 2回載荷で実験終了。 |

表-参考-1.2.1(17)　供試体 No.25

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側（A面）の基部付近が僅かに凹む。黒皮のひび割れ認められる。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側A面第1パネルでは縦リブを挟んで凹凸が認められる。<br>引張側B面の変形は元に戻ったが、基部の両角部では割れが発生した。<br>C、D面の引張側基部でも割れが発生した。 |
| -4 | 同上 |
| 5 | 圧縮側（A面）第1パネルでは基部付近を最大に全体が凹んでいる。添接板と母材との間に約25cmの長さで隙間が認められる。引張側の変形は戻っている。 |
| -5 | 同上 |
| 6 | 圧縮側A面第1パネルでは、パネル全体の凹みに伴い、添接板も中央よりに傾き始めた。添接板と母材の隙間も広がっている。引張側にも変形が残るようになった。 |
| -6 | 圧縮側A面第1パネルでは、パネル全体の凹みに伴い、添接板も中央よりに傾き始めた。添接板と母材の隙間も広がっている。引張側A面基部の両角部の割れが広がった。 |
| 7 | 圧縮側A面第1パネル全体は大きく凹み、添接板も凹んでいる。第2パネルでも凹みが認められる。引張側第1パネルは全体が変形している。 |
| -7 | 同上 |
| 8 | 変形がさらに進む。基部の割れも進展する。 |
| -8 | 同上 |
| 9 | 変形がさらに進み、終局に達した。 |

表-参考-1.2.1(18)　供試体 No. 26　(1/2)

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。圧縮側A面に黒皮のひび割れが発生した。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側A面は基部から30cm付近まで黒皮のひび割れが広がっている。パネルの変形等は認められない。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | A，B面共に第2パネルまで黒皮のひび割れが広がっている。C-D面でも、圧縮、引張側共に黒皮のひび割れが広がっている。パネル変形等は認められない。 |
| -4 | 同上 |
| 5 | 引張側B-C面、B-D面の角部の基部付近で溶接線に沿った割れが発生した。パネルの変形等は認められない。 |
| -5 | 圧縮側B面の基部付近で僅かに膨らみが認められる。引張側A-C面、A-D面の角部の基部付近で溶接線に沿った割れが発生した。 |
| 6 | 圧縮側A面の第1パネル中央付近の縦リブ位置で僅かに膨らみが認められる。引張側B面第1パネルでも基部から中段付近で縦リブ位置が僅かに膨らんでいる。C面第1パネル圧縮側でも僅かに膨らみが認められる。引張側基部付近の両角部の割れは僅かに伸びている。 |
| -6 | 圧縮側B面第1パネルでは、縦リブ位置で膨らんでいた変形が縦リブを挟んだ細かい膨らみに変わった。引張側（A面）の第1パネルでは主に縦リブ位置ではらみを残している。C面圧縮側は僅かに膨らんだが、引張側の変形は元に戻っている。 |
| 7 | 圧縮側A面第1パネルは基部付近では縦リブを挟んで膨らみ、その上方では全体が膨らんできた。引張側B面では縦リブ位置で変形を残している。C-D面は圧縮側で僅かに膨らみが認められるが、引張側の変形は元に戻っている。 |
| -7 | 圧縮側B面の第1パネルの基部付近は7 δyのA面同様に縦リブを挟んで膨らみ、その上方では全体が膨らんでいるが、基部から30～55cmの範囲では縦リブを挟んだ変形となっている。全体にB面はA面に比べてパネルの変形が細かい。<br>C-D面は圧縮側で膨らみ、引張側では変形が元に戻っている。 |

表-参考-1.2.1(18)　供試体 No.26　(2/2)

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 8 | 圧縮側A面第1パネルは基部から40cm程の位置を最大に全体が大きく膨らみ、基部付近の縦リブを挟んだ膨らみは少なくなった。引張側（B面）の第1パネルは僅かに全体が膨らみを残している。C-D面は圧縮側で膨らみが広がり、引張側でも変形を残すようになった。また、C面の圧縮側基部付近では僅かにラインが曲がり始めた。 |
| -8 | 圧縮側B面第1パネルは基部から40cm程の位置を最大として全体が大きく膨らみ、基部付近の縦リブを挟んだ膨らみは少なくなった。両角部ではパネルの膨らみに伴ってラインが曲がり始めた。引張側A面の第1パネルは全体に膨らみを残すようになった。C-D面は圧縮側で膨らみが広がり、引張側の変形は元に戻っている。 |
| 9 | パネル変形は8δy時と同じである。圧縮側A面の両角部ではラインが曲がり始め、引張側B-C面、B-D面の角部の割れはかなり伸びた。 |
| -9 | 圧縮側B面第1パネルでは、基部付近の膨らみが上方のパネル全体の膨らみに吸収された状態である。引張側A面第1パネルは全体に広く膨らみを残している。 |
| 10 | 圧縮側A面の第1パネル両角部のライン変形は波打ち、変形量も大きくなっている。引張側B面では割れた部分の上方でパネルが捲れ上がっている状態である。C-D面引張側でも割れた部分の上方で膨らみが大きくなっている。 |
| -10 | 圧縮側A面の第1パネル両角部のライン変形は波打ち、変形量も大きくなっている。また、第2パネルでも膨らみが認められる。C-D面圧縮側ではパネルの膨らみが広がり、ラインの変形も大きい。 |
| 11 | 圧縮側A面の第1パネル両角部のライン変形は波打ち、変形量も大きくなっている。また、第2パネルでも膨らみが認められる。圧縮側B面の第2パネルの膨らみは残っている。また、基部付近両端からの割れはかなり伸びている。 |
| -11 | 変形量が逆転するが11δy時と同様の変形であり、特に目立った変化はない。 |
| 12 | 引張側B面の割れが繋がった以外は11δy時と同様の変形である。 |

表-参考-1.2.1(19)　供試体 No. 27

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 目立った変化はない。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 黒皮のひび割れが認められる。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側A面第1パネルでは全体に黒皮のひび割れが認められる。縦リブ付近は内面の縦リブ溶接が痩せ馬として確認できる。 |
| -4 | 同上 |
| 5 | 圧縮側A面第1パネルの中央付近で凸変形が認められる。引張側の変形は戻ったが、基部両端角部で割れが発生した。 |
| -5 | 同上 |
| 6 | 圧縮側A面第1パネルでは、全体的に膨らんでいる。引張側の変形は戻り、基部両端の割れは伸びている。 |
| -6 | 圧縮側は凸に変形し、引張側の変形も残るようになってきた。 |
| 7 | 圧縮側A面第1パネルは全体的に膨らんできた。引張側の変形も残るようになってきた。引張側の基部両端の割れも伸びてきた。 |
| -7 | 同上 |
| 8 | 圧縮側の変形が大きくなり、第1パネル中段付近ではパネルの変形に伴いラインが曲がり始めた。 |
| -8 | 同上 |
| 9 | 変形が大きくなった。基部の割れが大きくなり、中のコンクリートが見えるようになった。 |
| -9 | 同上 |
| 10 | 損傷がさらに進む。 |
| -10 | 同上 |
| 11 | 損傷がさらに進む |
| -11 | 同上 |
| 12 | 損傷がさらに進み終局に達している。 |

表-参考-1.2.1(20)　供試体 No.28

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1 | 目立った変化はない。 |
| -1 | 同上 |
| 2 | 圧縮側A面の第1パネルの中央が僅かに凹み、黒皮のひび割れが発生した。 |
| -2 | 同上 |
| 3 | 圧縮側A面は基部から20cm付近を最大として、角補強部の内側で広く凹んでいる。黒皮のひび割れが広がっている。 |
| -3 | 同上 |
| 4 | 圧縮側A面は第1パネル全体が両側の角補強も含めて広く凹んでいる。第2パネルは全体に凸変形してきた。引張側B面では基部付近のパネル中央で変形が残るようになってきた。B-C面、B-D面の角の基部付近で割れが発生した。C-D面では第1パネルの圧縮側を中心に広くパネルの凸変形が認められる。 |
| -4 | 同上。A-C面、A-D面の角の基部付近で割れが発生した。 |
| 5 | 圧縮側A面第1パネルでは変形に伴って角部のラインも曲がり始めた。引張側B面では第2パネルにも変形を残している。引張側基部両端の割れは伸びていない。 |
| -5 | 圧縮側B面では5δy時のA面と同様の変形をしている。引張側A面両角部のライン変形は元に戻っている。 |
| 6 | 圧縮側A面の第1パネルではパネルの変形に伴って角部のライン変形が進んでいる。引張側B面第1パネル両端のライン変形は残るようになった。C-D面でも圧縮側はA面パネルの変形に伴って大きくラインが曲がっている。 |
| -6 | 圧縮側B面では6δy時のA面と同様の変形をしている。引張側両角部のライン変形は残るようになった。C-D面圧縮側は6δy時の圧縮側よりも大きくラインが曲がっている。また、第2パネルはダイアフラムを境に中段付近まで僅かに凹んでいる。 |
| 7 | 圧縮側A面はパネルの変形と、それに伴うラインの変形が大きく、C-D面圧縮側でも角部が大きく絞り込まれている状態である。 |

表-参考-1.2.2(1)　供試体 No.6

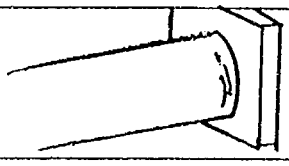
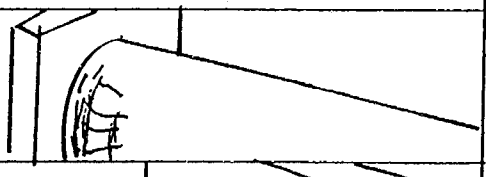
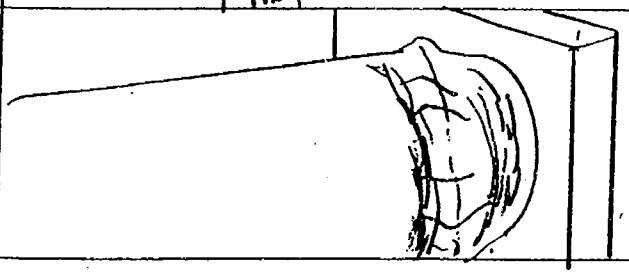
| 載荷サイクル(nδy) | 供試体変状 | 様子 |
|---|---|---|
| ＋1 | | |
| －1 | | |
| ＋2 | | |
| －2 | | |
| ＋3 | | |
| －3 | | |
| ＋4 |  | 圧縮側基部近くの塗料が剥げ始めた．ベースから150mmの高さを頂点に局部座屈が始まっている（4mm程度）． |
| －4 | | 同上． |
| ＋5 | | 圧縮側（LINE3）で局部座屈5mm程度．上側（LINE1）はまだ． |
| －5 |  | LINE1で1mm程度．かすかに膨らみはじめた．引っ張り側は戻っている．圧縮側で9mm程度の変形． |
| ＋6 |  | 圧縮側のベースから50mmあたりと250mmあたりの塗料の剥げかたが激しくなる．ベースから150mmあたりが凸の頂点になっていることがはっきりとわかる． |
| －6 | | 引っ張り側も変形が戻りきらなくなった． |
| ＋7 | | LINE1で15mm程度の変形．圧縮側は35mm． |
| －7 | | |
| ＋8 | | |
| －8 | | |
| ＋9 | | |
| －9 | | |
| ＋10 | | |

表-参考-1.2.2(2)　供試体 No.7

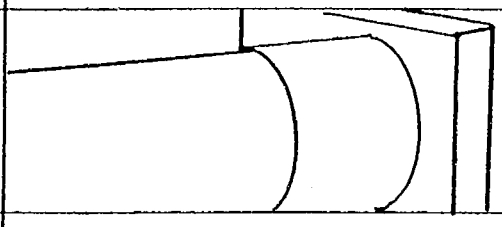
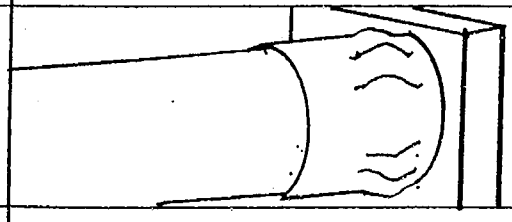
| 載荷サイクル(nδy) | 供試体変状 | 様子 |
|---|---|---|
| ＋1 | | |
| －1 | | |
| ＋2 | | |
| －2 | | |
| ＋3 | | |
| －3 | | |
| ＋4 | | |
| －4 | | |
| ＋5 | | |
| －5 | | |
| ＋6 |  | 圧縮側，柱と外巻鋼管の隙間にスケールを挿入．基部から175㎜の位置までしかスケールが入らなかった．外巻鋼管に変形なし |
| －6 | | |
| ＋7 | | 圧縮側LINE3で基部から150㎜の位置に4㎜の局部座屈． |
| －7 | | 圧縮側LINE7で約10㎜の凸． |
| ＋8 | | |
| －8 | | |
| ＋9 |  | LINE1でも局部座屈が計測できるようになる．約3㎜．ベースからの高さは約120㎜．載荷面内より面外の方が低い位置に変形が発生している． |
| －9 | | |
| ＋10 | | |

表-参考-1.2.2(3)　供試体 No.8

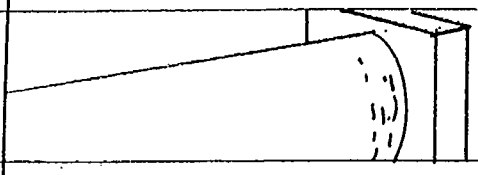
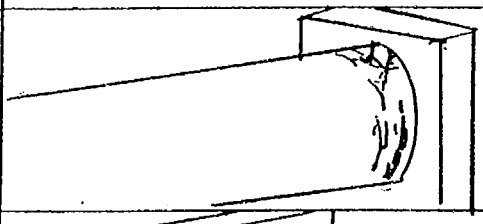
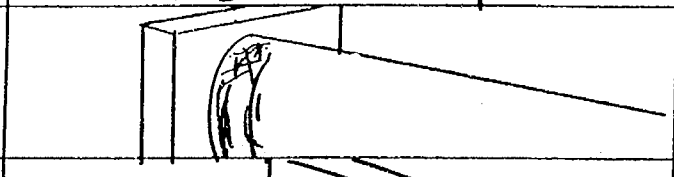
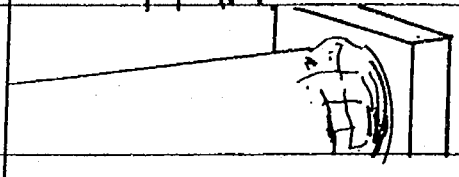
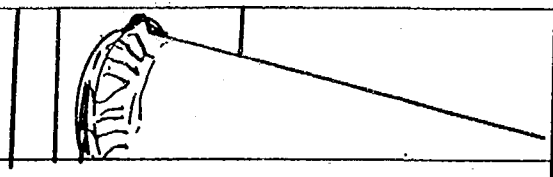
| 載荷サイクル(nδy) | 供試体変状 | 様子 |
|---|---|---|
| ＋1 | | |
| －1 | | |
| ＋2 | | 圧縮側LINE2あたりに，細かな斜めの線が入りはじめた． |
| －2 | | |
| ＋3 |  | 圧縮側の細かな線が多くなった．圧縮側ベースからの高さ120mmの位置に局部座屈発生． |
| －3 | | 同上． |
| ＋4 |  | 塗料が上面でも剥げはじめたことから，局部座屈が周方向に進んだことがわかる．しかし，まだLINE1上では剥げていない． |
| －4 |  | 塗料がLINE1上でも完全に剥げた．全周にわたり局部座屈がつながったことがわかる．LINE1上で変形5mm． |
| ＋5 |  | LINE1上でも変形が大きくなる．8mm程度．やはり載荷面外の方が低い位置で局部座屈が発生している． |
| －5 | | |
| ＋6 | | 圧縮側凸27mm．LINE1で18mm． |
| －6 | | |
| ＋7 | | |
| －7 |  | 局部座屈が大きくなり（座屈波形のつぶれ方が激しくなり），楕歯ゲージでの計測が困難になりはじめた． |
| ＋8 | | |
| －8 | | |
| ＋9 | | |
| －9 | | |
| ＋10 | | |
| －10 | | |

表-参考-1.2.2(4)　供試体 No.9

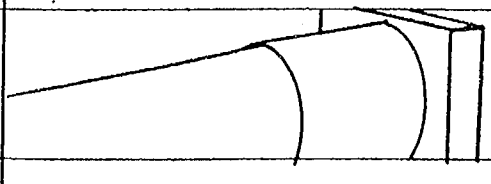
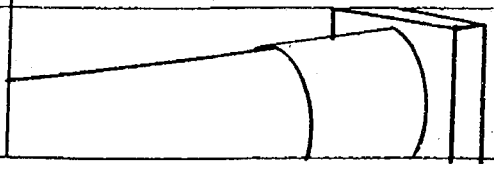
| 載荷サイクル(nδy) | 供試体変状 | 様子 |
|---|---|---|
| ＋1 | | |
| －1 | | |
| ＋2 | | |
| －2 | | |
| ＋3 | | |
| －3 | | |
| ＋4 | | |
| －4 | | |
| ＋5 |  | 圧縮側でスケールが隙間に，基部から140mmの位置までしか入らなかった．外巻鋼管に変形なし． |
| －5 | | |
| ＋6 | | |
| －6 | | |
| ＋7 | | |
| －7 | | |
| ＋8 | | |
| －8 | | |
| ＋9 |  | 圧縮側がかすかに局部座屈しているようである（約2mm）が，黙視では判別できない． |

表-参考-1.2.2(5)　供試体 No.15

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況（内面） |
|---|---|
| 1～3 | 目立った変化はない。 |
| 4 | 圧縮側C～F線間で凹み（外に凸）が確認できる。 |
| -4 | 圧縮側K～P線間で凹み（外に凸）が確認できる。 |
| 5 | 圧縮側の変形は2段になってきた。引張側にも変形が残っている。 |
| -5 | 同上 |
| 6 | 同上 |
| -6 | 同上 |
| 7 | 圧縮側第1パネル中央部でも凹凸が認められる様になったが、凹みではなく凸みに変わっている。引張側の変形は戻らない。 |
| -7 | 圧縮側・引張側共に、外側巻立て鋼板のために凸変形が判然とせず、大きな凸変形しか確認できない。 |
| 8 | 圧縮側で凸変形が大きくなっている。 |
| -8 | 圧縮側で凸変形が大きくなっている。 |
| 9 ～ 15 | 新たな変形はなく、変形量が少しづつ大きくなっているだけである。 |
| 載荷サイクル<br>n δy | 外側巻立て鋼板変形進行状況 |
| 1～7 | 目立った変化はない。 |
| 8 | 圧縮側を中心に外側巻立て鋼板に僅かな凹凸が確認できる様になった。 |
| -8 | 同上 |
| 9 | 外側巻立て鋼板の変形は僅かである。 |
| -9 | 同上 |
| 10～-11 | 圧縮側では外側巻立て鋼板と本体が接触し、外側巻立て鋼板に凹みが認められる。 |
| 12 | 圧縮側第1パネル中央付近で外側巻立て鋼板、本体ともに全体的な凹凸が認められる。 |
| -12 | 外側巻立て鋼板の変形に目立った変化はないが、引張側F線基部で溶接線に沿った割れが発生した。 |
| 13 | 外側巻立て鋼板の変形に目立った変化はないが、引張側N線基部で溶接線に沿った割れが発生した。 |
| -13 | -12 δy時に発生したF線基部溶接割れは伸び、新たに、F～G線間の基部にも溶接割れが発生した。 |
| 14 | 引張側K線基部の溶接部に溶接割れが発生した。 |
| -14 | 引張側基部で溶接線に沿って溶接割れが認められる。 |
| 15 | 外側巻立て鋼板が上ベースプレートに接触しているために溶接部の割れの確認はできなかった。本体、外側巻立て鋼板共に大きな変形は認められなかった。 |

表-参考-1.2.2(6)　供試体 No.16

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1～4 | 目立った変化はない。黒皮が剥ける程度である。 |
| 5～-5 | 圧縮側に僅かな凸が確認できる様になった。引張側の変形は元に戻っている。 |
| 6～7 | 圧縮側に凸が確認できる様になった。引張側の変形は元に戻っている。 |
| -7 | 引張側の変形は残るようになった。 |
| 8 ～ -16 | 変形の範囲が広がっていく。 |
| 17 | 圧縮側のパネルは基部付近で大きく凸変形、引張側O線のシーム上で30㎜、M線では25㎜の割れが発生した。 |
| -17 | 引張側D～G線間にかけてパネルの凸んだ部分で割れが発生した。 |
| 18 | 引張側Ⅰ～O線間にかけて長い割れが発生した。<br>荷重の落ち方も大きくなり終局となった。 |

表-参考-1.2.2(7)　供試体 No.29

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1～-2 | 目立った変化はない。 |
| 3 | 圧縮側(D～F線間)の基部から15cm程の位置で僅かに凸変形が認められる。 |
| -3 | 圧縮側(L～N線間)の基部から15cm程の位置で僅かに凸変形が認められる。<br>引張側の凸変形は元に戻っている。 |
| 4 | 圧縮側(B～H線間)の基部から10cm程の位置で僅かに凸変形が認められる。<br>引張側の凸変形は元に戻っている。 |
| -4 | 圧縮側(J～P線間)の基部から10cm程の位置で僅かに凸変形が認められる。<br>引張側の凸変形は元に戻っている。 |
| 5 | 圧縮側(A～I線間)の基部から12cm程の位置で凸変形が認められる。<br>引張側(K～O線間)で凸変形が残るようになった。 |
| -5 | 全周の基部から12cm程の位置で凸変形が認められる。 |
| 6 | 全周の基部から5～20cmの範囲で凸変形が大きくなっている。 |
| -6 | 同上 |
| 7 | 変形が進む。 |
| -7 | 変形が進む。 |
| 8 | 変形がさらに進む。 |

表-参考-1.2.2(8)　供試体 No.30

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況 |
|---|---|
| 1～-3 | 目立った変化はない。 |
| 4 | 圧縮側C～G線間の基部から12cm付近で僅かに膨らみが認められる。 |
| -4 | 圧縮側K～O線間の基部から12cm付近で僅かに膨らみが認められる。引張側の変形は元に戻っている。 |
| 5 | 4δyと同じような変形である。 |
| -5 | -4δyと同じような変形である。 |
| 6 | 圧縮側B～H線間で基部から5cm～20cmの範囲で膨らみが広がっている。引張側の変形は元に戻っている。 |
| -6 | 圧縮側J～P線間で基部から5cm～20cmの範囲で膨らみが広がっている。引張側の変形は元に戻っている。 |
| 7 | 6δyと同じような変形を繰り返している。 |
| -7 | 圧縮側は-6δyと同じような変形をしているが、引張側で変形が残るようになった。 |
| 8 | 圧縮側A～I線間で膨らみが広がっている。引張側の残留変形量も増えている。 |
| -8 | 圧縮側P～I線間で膨らみが広がっている。引張側の残留変形量も増えている。 |
| 9 | 変形量は増えているが、同じような変形を繰り返している。特に目立った変化もない。 |
| -9 | 同上 |
| 10 | 変形量は増えているが、同じような変形を繰り返している。特に目立った変化もない。 |
| -10 | 同上 |
| 11 | 同上 |
| -11 | 漸く提灯座屈の状態になった。 |
| 12～16 | 変形量は増えているが、同じような変形を繰り返している。特に目立った変化もない。 |
| -16 | 引張側D～F線間と、G線のシーム上で周方向の割れが発生した。 |
| 17 | 引張側L～N線間で割れが発生し、圧縮側の割れもかなり伸びた。 |
| -17 | 引張側の2つの割れは繋がり、C～G線間の長い割れになった。圧縮側の割れた部分は母材が折り畳まれた状態である。 |

表-参考-1.2.2(9)　供試体 No.31

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況（外面） |
|---|---|
| 1～-5 | 目立った変化はない。 |
| 6 | 外側巻立て鋼板に変形は認められないが、母材はC～E線間で外側巻立て鋼板の上方で僅かに凹んでいる。黒皮のひび割れは認められない。 |
| -6 | 黒皮のひび割れ、パネル変形、母材と外側巻立て鋼板の接触も認められない。 |
| 7 | 6δy時の圧縮側C～E線間の変形ははっきりしたものになり、外側巻立て鋼板基部付近B～G線間、F～H線間の基部から40cm付近で僅かに凹みが認められるようになった。母材と外側巻立て鋼板の接触は認められず、隙間は圧縮側で4mm、引張側で8mmである。黒皮のひび割れは認められない。 |
| -7 | 圧縮側M～N線間で外側巻立て鋼板と母材が接触している。引張側では12mm程の隙間がある。外側巻立て鋼板基部付近のL～P線間で凹みが認められる。引張側の変形は元に戻っている。 |
| 8 | 外側巻立て鋼板圧縮側基部付近のB～F線間と基部から40cm付近のD～H線間で凹みが認められるが、変形量は僅かである。引張側の変形は元に戻っている。 |
| -8 | 圧縮側では母材と外側巻立て鋼板が接触し、基部から30cm程の範囲で周方向に交互に凹凸が認められる。引張側では外側巻立て鋼板の変形が元に戻らなくなった。黒皮のひび割れは認められない。 |
| 9 | 圧縮側の外側巻立て鋼板は広い範囲で変形し、引張側も変形を残している。外側巻立て鋼板の変形はあまり規則性が認められない。 |
| -9 | 圧縮側の外側巻立て鋼板は広い範囲で変形し、引張側も広い範囲で変形を残している |
| 10 | 特に目立った変化はない。 |
| -10 | 外側巻立て鋼板は圧縮、引張側共に軸方向に黒皮のひび割れが発生した。母材は引張側で周方向にひび割れが発生し、一部剥落している。圧縮側K～M線間で外側巻立て鋼板と母材が接触し、引張側ではその隙間が18mm程である。 |
| 11 | 特に目立った変化はなく、外側巻立て鋼板の変形量が僅かに増えただけである。黒皮のひび割れも広がらなかった。 |

表-参考-1.2.2(9)　供試体 No.31

| 載荷サイクル<br>n δy | 変形進行状況（内面） |
|---|---|
| 1 ～ -3 | 目立った変化はない。 |
| 4 | 圧縮側E線を最大に基部から12cm付近のB～H線間で凹み、黒皮と錆が浮かび上がっている。 |
| -4 | 圧縮側M線を最大に基部から11cm付近のA～I線間で凹み、黒皮と錆が浮かび上がっている。引張側の変形は僅かに残っている。 |
| 5 | 圧縮側の基部から30cm付近のC～G線間でE線を最大に凹みが認められる。基部付近のパネルの凹みは全周に及ぶようになった。 |
| -5 | 圧縮側の基部から30cm付近のJ～P線間でM線を最大に凹みが認められる。引張側は基部付近の変形を残した。 |
| 6 | 圧縮側の基部から30cm付近の凹みはA～H線間まで広がり、この凹みを挟むように上下が凸んできた。引張側の変形は元に戻らなくなった。 |
| -6 | 同上 |
| 7 | 基部付近の割れ等は認められず、少しずつ上方に変形が広がっている状態である。周方向、軸方向共に交互に凹凸が進んでいる。 |
| -7 | 提灯座屈が無くなり、周方向、軸方向共に交互に凸んだ状態であり、6角形の断面形状をしている。 |
| 8 ～ 11 | 圧縮、引張側で変形量が逆転しているが、-7 δyと殆ど同じである。 |

# 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(Ⅰ)

共同研究報告書第178号
平成9年4月(1997)

建設省土木研究所，首都高速道路公団，阪神高速道路公団，
名古屋高速道路公社，㈱鋼材倶楽部，㈱日本橋梁建設協会

**要旨**　平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、都市内高速道路橋における多数の鋼製橋脚に座屈、変形、われ等の被害が生じた。こうした被災状況を踏まえ、地震以降既設橋脚の補強方法および新設橋脚の耐震設計法に関する調査研究を進めているところであるが、その検討の一環として鋼製橋脚の耐力および変形性能を確認するために大型供試体を用いた二軸正負交番繰返し載荷実験を行っている。本報告書は、平成7～8年度上半期に行った大型供試体29体の実験結果についてとりまとめたものである。

キーワード：鋼製橋脚、変形性能、じん性、耐力、繰返し載荷実験、角補強、隙間あけ鋼板巻立て補強、コンクリート充填補強、耐震設計法

郵便はがき

50円切手をはって下さい

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

構造橋梁部橋梁研究室　御中

No. 26

No. 26

配布先氏名

配布先住所

○

共同研究報告書　第178号　　部

上記のとおり受領しました。

所　　属(住所)

氏　名　　印

共同研究報告書第178号