共同研究報告書
整理番号第180号
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（Ⅲ）

—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180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（Ⅲ）

—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
(社)鋼材倶楽部
(社)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対す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年度に行った大型供試体15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，角部補強，横リブ補強，縦リブ補強，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年度に首都高速道路公団が主に担当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。

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

1．はじめに…… 1

1.1　目的…… 1

1.2　試験体の設計の考え方…… 1

1.2.1　矩形断面橋脚…… 1

1.2.2　円形断面橋脚…… 2

2．実験概要…… 3

2.1　供試体…… 3

2.1.1　形状・寸法・諸元…… 3

2.1.2　材料試験結果…… 7

2.1.3　製作および溶接条件…… 7

2.2　載荷方法…… 7

2.3　計測項目と計測位置…… 8

2.3.1　荷重…… 8

2.3.2　供試体の変位…… 8

2.3.3　供試体のひずみ…… 8

2.3.4　載荷フレームの変位…… 9

2.3.5　変形状況…… 9

3．実験結果…… 10

3.1　矩形断面…… 10

3.1.1　実験結果一覧…… 10

3.1.2　水平荷重－水平変位関係（ヒステリシスループ）…… 11

3.1.3　包絡線…… 11

3.1.4　水平荷重－鉛直変位関係…… 11

3.1.5　水平変位の鉛直方向分布…… 11

3.1.6　エネルギー吸収量…… 11

3.1.7　等価減衰定数…… 12

3.1.8　ひずみ分布…… 12

3.1.9　載荷サイクルと供試体の変形状況（外面と内面）…… 12

3.1.10　フランジおよびウェブの面外変位等高線…… 12

3.1.11 変形状況写真（外面と内面）…… 13
3.1.12 損傷の進行状況写真…… 13

3.2 円形断面…… 13
3.2.1 実験結果一覧…… 13
3.2.2 水平荷重－水平変位関係（ヒステリシスループ）…… 13
3.2.3 包絡線…… 13
3.2.4 水平荷重－鉛直変位関係…… 13
3.2.5 水平変位の鉛直方向分布…… 13
3.2.6 エネルギー吸収量…… 13
3.2.7 等価減衰定数…… 13
3.2.8 ひずみ分布…… 13
3.2.9 載荷サイクルと供試体の変形状況（外面と内面）…… 14
3.2.10 面外変位 …… 14
3.2.11 変形状況写真（外面と内面）…… 14
3.2.12 損傷進行状況写真 …… 14

4．考察…… 15
4.1 矩形断面…… 15
4.1.1 各供試体の考察…… 15
4.1.2 まとめ…… 24
4.2 円形断面…… 25
4.2.1 各供試体の考察…… 25
4.2.2 まとめ…… 26

参考文献…… 27

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…… 28

図表…… 29

参考資料
1．実験データ…… 263

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
奥　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) 第178号	建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室	・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験
(Ⅱ) 第179号	建設省土木研究所 耐震技術研究センター 耐震研究室	・鋼製橋脚の正負交番繰返し載荷実験 ・鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験
(Ⅲ) 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) 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) 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) 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) 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 ・鋼製橋脚の弾塑性有限変位解析 ・鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験 ・鋼製橋脚の非線形動的応答解析

1．はじめに

1.1　目的

平成７年１月17日に発生した兵庫県南部沖地震による橋梁構造物の被害は予測を遥かに越えたものであり、鋼製橋脚も、前例のない大きな被害を受けた。被災した橋梁構造の対策はもとより、他の既設および新設橋梁に対しても新たな検討すべき課題が生じた。

このような背景の中、鋼製橋脚の耐震性の向上を図るための高じん性および変形性能を有する鋼製橋脚を具現化することが急務となっている。したがって、鋼製橋脚の強度・じん性パラメータを定性的かつ定量的に把握するため、二軸正負交番繰り返し載荷実験を始め、一連の実験を行っている。

本報告書は、兵庫県南部沖地震の被害事例を考慮にし、耐震性の向上を目指した鋼製橋脚に関する一連の実験の中から、平成7年度から8年度に行った15体の鋼製橋脚大型供試体の繰返し載荷実験についてとりまとめたものである。

1.2　供試体の設計の考え方

鋼製橋脚には、大きく分けて、矩形と円形断面の２種類の構成断面があり、これらは異なった挙動を示すことが過去の研究から明らかになっている。本研究では、この２種類の断面を有する供試体を考えることにした。

1.2.1　矩形断面橋脚

矩形断面橋脚の被害事例を参考にして推定される被災メカニズムは、補剛板の局部座屈から始まり、塑性化が進むと共に補剛板全体の座屈が発生し、さらに補剛板の面外変形が進展すると角部の直線性が失われ、角割れが生じて終局状態に至ったと思われる。

これらのことから矩形断面橋脚の耐震性を高める手法として、以下の方法が考えられる。

①補剛板の座屈特性の改善

補剛板の座屈に伴う変形の進展による耐力低下を考えると、補剛板自体の座屈特性を改善することが耐震性向上につながると推定される。補剛板の座屈の幅厚比パラメータとしては、補剛板全体の幅厚比パラメータR_Fと縦リブ間局部座屈の幅厚比パラメータR_Rが考えられ、これらパラメータを改善する方法としては、横リブおよび縦リブ補強などが挙げられる。

②コンクリート充填

コンクリートを鋼製橋脚内部に充填することによって、補剛板が橋脚の断面の内側へ変形しにくくなるため、鋼製橋脚のじん性を改善できる。一方、補剛板とダイアフラムで仕切られたコンクリートに拘束効果が現れ、この拘束効果によって鋼断面とコンクリート断面の合成化が図られるため、耐力が増加することも確認されている。

③角部補強

角部を補強することによって鋼製橋脚のじん性を改善することができると最近の研究でも確かめら

れている。角部補強の一環として、新設構造物については、応力集中が発生し易い角部を円弧状にし、角部の溶接を避ける方法も考えられる。

1.2.2 円形断面橋脚

円形断面橋脚の場合、以下の補強方法を検討した。

①座屈特性の改善

被災した円形断面鋼製橋脚の多くには、円形断面に特有な「ちょうちん座屈」が発生し、その後、急激に耐力が低下したと確認されている。この座屈モードを避けるため、円形断面橋脚自身の座屈強度を高め、鋼管の座屈後に縦リブが柱として抵抗することを期待して考えた補強法である。鋼管の座屈が先行するため橋脚の変形性能の向上も推定できる。

②隙間あけ鋼板巻立て補強

局部座屈発生後の変形の集中や割れを回避し、変形領域を広げること期待する、隙間あけ鋼板巻立て補強試験も検討した。

2．実験概要

2.1　供試体

2.1.1　形状・寸法・諸元

表-2.1.1に各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。内訳は矩形断面供試体13体(供試体M1～M6, M8, M10, M11, M14, M16, M17, M18)、円形断面供試体2体(M7, M19)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)～(13)に、円形断面供試体の形状・寸法を図-2.1.2(1)～(2)に示す。供試体の種類を以下に示す。

①矩形断面

- 基本供試体　：２体
- 補剛板の座屈特性を改善した供試体
  - 横リブを追加した補強供試体（以下、横リブ補強と呼ぶ）　：３体
  - 縦リブ剛度を改善した補強供試体（以下、縦リブ補強と呼ぶ）　：４体
- コンクリート充填した供試体（以下、コンクリート充填と呼ぶ）　：２体
- 角部補強を用いた供試体（以下、角部補強と呼ぶ）　：２体

②円形断面

- 隙間あけ鋼板巻立てした供試体　：１体
- 縦リブを設けた補強供試体（以下、縦リブ補強と呼ぶ）　：１体

以下に基本供試体および各供試体について述べる。

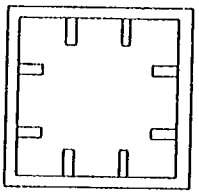
（１）基本供試体

断面サイズは実橋脚の1/3程度の900㎜×900㎜とし、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た。高さは載荷フレームの制約上約3,500㎜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。

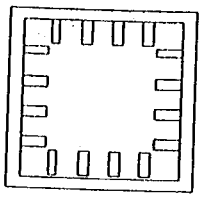
基本供試体は、昭和30・40年代に建設された鋼製橋脚を対象とした低剛性（$\gamma_1 < \gamma_{1\cdot req}$）のものとした（M8）。また、昭和48年度以降の道路橋示方書に従って設計された（$\gamma_1 \geqq \gamma_{1\cdot req}$）橋脚についても基本断面とするが、供試体は断面変化をさせた（M14）。

矩形断面を構成する補剛板の母材板厚10㎜（断面変化させた場合、基部断面の母材は12㎜）、縦方向補剛材の板厚は6㎜（M8）と9㎜（M14）、使用材質はともにSM490とした。また、供試体基部から900㎜間隔で板厚6㎜の横リブあるいはダイヤフラムを設置した。なお、M14の断面変化位置は基部から450㎜の高さに設けた。縦リブ剛度はM8は$0.55\gamma_{1\cdot req}$、M14では$1.16\gamma_{1\cdot req}$とした。

また、本研究の一部の供試体の基本断面として（社）鋼材倶楽部で実験されたKD1を参照した。



基本断面（M8,M14）

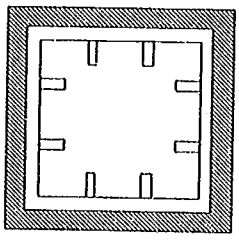


（参考供試体 KD1:鋼材倶楽部）

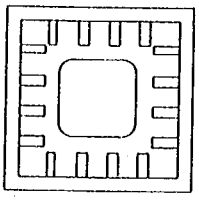
（２）横リブ補強

本補強方法は、補剛板座屈特性の改善を目標に、ダイアフラム間に横リブを設置し、補剛板の等価幅厚比を小さくして、全体パネルの座屈を制御する方針で塑性率の改善を図るものである。

横リブ補強の取り付け法として、当初は施工性を考慮し外側とした（M1、M2）ものを検討したが、その後施工性、街路との建築限界等を考慮して内側にしたもの（M18）も検討した。それぞれの供試体は、M1がM8を基本供試体として、M2はM14を、M18は鋼材倶楽部のKD１をそれぞれ参考とした。



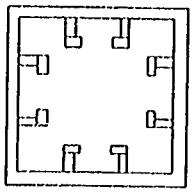
横リブ補強（外側）（M1,M2）



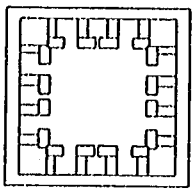
横リブ補強（内側）（M18）

（3）縦リブ補強供試体

補剛板座屈特性の改善を図るもう一つの手法として、縦リブの剛度を改善する補強法が考えられる。本研究では、縦リブ断面にフランジを取り付け、目標値である$\gamma_1=3.0\gamma_{1,req}$まで縦リブ剛度を高める方法を検討することにした。低剛性の供試体M8を基本断面とする供試体M10と、鋼材倶楽部の高剛性供試体KD1を参考供試体とした供試体M17の２種類を考えた。



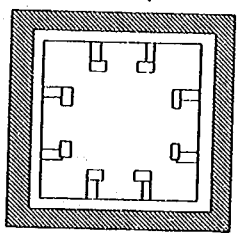
縦リブ補強（低剛性）(M10)



縦リブ補強（M17）

（4）縦リブ・横リブ補強供試体

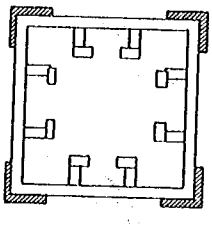
縦リブ補強のみで十分な耐震補強を図れない場合、一つの方法として（2）で述べた横リブ補強を（3）の方法と同時に採用することが考えられる（M11）。供試体M11は供試体M10に横リブ補強を追加したものである。



縦リブ・横リブ補強（M11）

（5）縦リブ・コーナープレート補強供試体

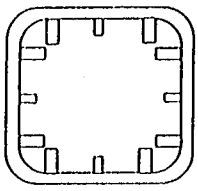
縦リブ補強のみで十分な耐震性が得られない場合を想定した際、一つの補強法として、断面の四隅が柱としての役割を果たせるように、縦リブ補強に角補強を組み合わせたものが考えられる（M16）。供試体M16は供試体M10の四隅にコーナープレート補強を追加したものである。



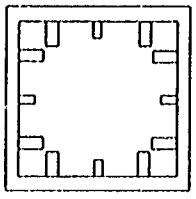
縦リブ・コーナープレート補強（M16）

（６）角部補強

新設橋脚の耐震設計では、主に角部を補強する構造を考えた。角部を円弧状にし、角溶接をなくすことにより角溶接部でのクラックを防ぎ、角部に近い縦リブ剛度を向上させた構造（M3）、および角部の溶接を完全溶け込みとし、角部に近い縦リブの剛度を向上させた構造（M4）を検討した。



角部補強（M3）

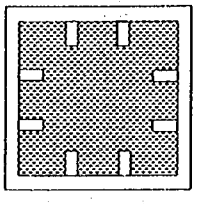


角部補強（M4）

（７）コンクリート充填

補強が施工性、建築限界などの条件により不可能な場合、一つの補強方法として鋼製脚内にコンクリートを打設することも考えられる。充填されたコンクリートによって、局部座屈の制御および抑止効果が期待でき、同時に塑性率向上も推定できる。

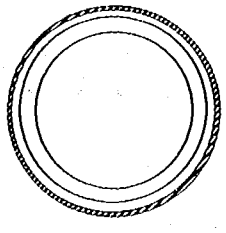
供試体は低剛性供試体(M8)を充填したもの（M5）、および道示準拠供試体を充填したもの（M6）の２種類を選定した。充填コンクリートについては、その強度は中詰めコンクリート強度とほぼ同等となるように、また分配強度による耐力増加が過大とならないように設計強度σ_{ck} = 160 kgf/cm^{2}とした。



コンクリート充填（M5,M6）

（８）隙間あけ鋼板巻き立て補強

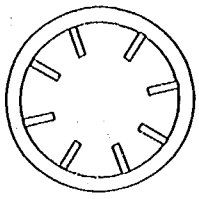
円形断面の場合、橋脚基部を隙間あけ鋼管巻き立て補強することによって、座屈後の変形性能の向上が期待できる。M7供試体は断面変化を有する直径900φの円形断面橋脚を対象とし、構造的に弱点となる断面変化位置近傍を板厚の薄い鋼板を巻いて補強した。鋼管の板厚は基部断面で16mm（R/t=28）、上部断面では9mm（R/t=50）と変化し、補強板は4.5mmとした。また、止水性に配慮して巻き立て鋼板と橋脚の隙間に蓋を溶接する構造とし、その施工性の確認も行った。



隙間あけ鋼管巻き立て補強（M7）

（9）縦リブ補強供試体（円形断面）

本補強は、直径900mm、板厚9mmの鋼管構造に橋脚自身の座屈強度を高めるように板厚8mmの縦リブを追加したものである。なお、本構造および上記隙間あけ鋼管巻き立て補強構造の基本供試体は土木研究所で実施したNo. 8とした。



縦リブ補強（M19）

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、外側についてはレ型開先溶接、内側については隅肉溶接とした。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D社（三菱重工業㈱高砂研究所）の実験施設で行った。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とした。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であるδ_{y0}は次式で与えられる。

$$\delta_{y0} = \frac{P_{yN} h^3}{3EI} \qquad \cdots (2.2.1)$$

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

ここでP_{yN}は降伏水平荷重(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)、σ_{yN}は鋼材の公称降伏応力であり、SS400では2400(kgf/cm²)、SM490では3200(kgf/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$+1\ \delta_{y0}$にな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$-1\ \delta_{y0}$にな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$(DC)_{n=1}$とすると、$+1\ \delta_{y0}=(DLT)_{n=1}>(DC)_{n=1}$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回目の漸増変位のような制御方法はしないで、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。補正後の各$n\ \delta_{y0}$は、便宜上$n\ \delta_y$と表す。

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P（供試体の水平耐力P）が公称降伏水平荷重P_{yN}以下に低下するまで行うことを基本とした。

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±2tf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水平変位DLTは、基部の回転量と水平移動量を補正し、供試体天端の水平変位計測点の補正変位をDTとすると次式により与えられる（図-2.3.3参照）。

$$DT = DC - \frac{DS1+DS2}{2} - \frac{(DR1-DR2)}{L}HM \qquad \cdots(2.2.3)$$

$$DLT = \frac{HL}{HM}DT \qquad \cdots(2.2.4)$$

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)～(13)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)～(2)に示す。

2.3.4 載荷フレームの変位

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$\pm n\ \delta_y$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 δ_{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 δ_{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 δ_{y0} の載荷時までのデータを用いた。なお、δ_{yEN} は2.2で述べた δ_{y0} 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 δ_{y0} で除算したものであり、原点を通る直線である。

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

降伏水平変位 δ_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 σ_y の２つが挙げられ、今回の実験結果によればそれぞれ理論値（公称値）と実験結果の間に差があり、設定に当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 σ_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6～22%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 σ_y による実験データの正規化が妥当であることが分かっている。

図-3.1.0(a)，(b)は土研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 σ_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分かる。

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 δ_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-3.1.0(c)に示す

4ケースが考えられ、適用の際はそれぞれ用途に応じて選択されればよいと考えられる。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 δ_{yEN} 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 δ_{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-3.1.1(1)～3.1.1(13)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-3.1.2(1)～3.1.2(13)に図-3.1.1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。

3.1.4 水平荷重－鉛直変位関係

図-3.1.3(1)～3.1.3(13)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-3.1.4(1)～3.1.4(13)に各 δ_{y0}時の水平変位の鉛直方向分布を示す。水平変位が各 δ_{y0}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-3.1.5(1)～3.1.5(13)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-3.1.6(a), (b)の斜線部分のようになる。これを図-3.1.6. (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⊿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、hi、di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-3.1.6(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-3.1.7(1)～(13)に各サイクルにおける平均水平変位と等価減衰定数heの関係を示す。

ここで、等価減衰定数heは次式で与えられる。

$$h_e = \frac{1}{2\pi}\frac{\Delta W}{W} \qquad \cdots (3.1.$$

ここに、Wは図-3.1.8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Ｃ、Ｄとし、点Ａと点Ｂとを結んだ線分と直線Ｌとの交点をＯとした。参考として図-3.1.8におけるＡ点とＢ点を結んだ直線の勾配は等価剛性にあたる。

3.1.8 ひずみ分布

図-3.1.9(1)～(13)に各荷重ステップ（水平変位が$n\,\delta_{y0}$に到達した点）における断面のひずみ分布を示す。ここで、断面は基本的に基部からダイヤフラムまたは横リブ高さの1/2の位置とした。高さは図中に示した。

3.1.9 載荷サイクルと供試体の変形状況（外面と内面）

図-3.1.10(1)～(6)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。

なお、Ｄ社で実施したM8～M18については、本データは記録していない。

3.1.10 フランジおよびウェブの面外変位等高線

図-3.1.11(1)～(13)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$+n\,\delta_{y0}$に到達した点）において定規により0.5㎜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)～(37)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（水平荷重が$+n\,\delta_{y0}$に到達した点）において撮影したものである。

3.1.12 損傷の進行状況写真

写真-3.1.2(1)～(25)に供試体の特徴的な損傷進行状況写真を示す。

3.2 円形断面

3.2.1 実験結果一覧

表-3.1.1に実験結果一覧を示す。実験結果のまとめ方は、3.1矩形断面と同様である。

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(2)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(2)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(2)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(2)に各δ_{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(2)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、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)～(2)に各サイクルにおける平均水平変位と等価減衰定数heの関係を示す。

3.2.8 ひずみ分布

図-3.2.7(1)～(2)に各荷重ステップ（水平変位が$n\,\delta_{y0}$に到達した点）における断面のひずみ分布を示す。断面の高さは図中に示した。

3.2.9 載荷サイクルと供試体の変形状況（外面と内面）

図-3.2.8(1)～(2)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$\pm n\ \delta_{y0}$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)～(2)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$\pm n\ \delta_{y0}$に到達した点）において計測したものである。面外変形の計測は、定規により0.5mm単位で目測記録したものである。

3.2.11 変形状況写真（外面と内面）

写真-3.2.1(1)～(6)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歯、ヒステリシスループにおける変位折返し点（水平変位が$\pm n\ \delta_{y0}$に到達した点）において撮影したものである。

3.2.12 損傷進行状況写真

写真-3.2.2(1)～(4)に供試体の特徴的な損傷進行状況写真を示す。

4．考察

4.1 矩形断面

4.1.1 各供試体の考察

(1) M１供試体

本供試体は、昭和48年度の道路橋示方書より前に設計された既設鋼製橋脚を対象にしたものであり、その縦リブは現行示方書の必要剛度を満足せず、各パネルの補剛板としての弾性座屈強度が降伏強度を下回っている。補強前後の構造パラメータは次表のようであり、補強前の補剛パネルが$R_F > 0.5$ であることより、補剛パネルとしての圧縮強度も降伏強度を下回る。そこで、パネルの弾性座屈強度の向上を目的とする一補強方法として、橋脚の外側に横リブを追加したものがこのモデルである。

構造パラメータ		補強前	補強後
板パネル	R_R	0.62	→
補剛パネル	R_F	0.80	0.48
縦リブ	R_h	0.68	→
	$\gamma_1 / \gamma_{1\cdot req}$	0.55	→

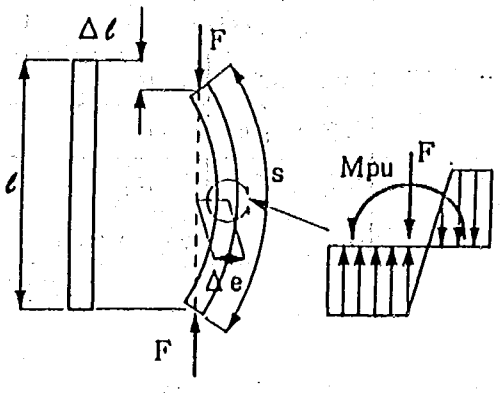
水平荷重のピークまでの載荷点変位は、水平荷重に対してほぼ線形に推移し、圧縮側の部材の板パネル、フランジとウェブの縦リブは３δyで、ほぼ同時に座屈し、水平荷重が急激に低下した。初期の縦リブの座屈変形は板パネルの座屈に伴って発生し、ほぼ同時に縦リブ自身の座屈となった。

弾性座屈モードである縦リブで区切られた板パネルは凹凸が隣接した状態が３δy～４δyまで続き、＋５δyでは縦リブが変形モードの節とならない補剛パネル全体座屈に進行した。この終盤の座屈変形は、基部から第１段目の追加横リブ間のパネルで大きく変形し、これより上のパネルでは比較的小さい。
－５δyで角溶接が割れた。

座屈変形量・水平荷重・載荷点変位の関係において、下図に示すような板の座屈モデルを考えると、座屈長(l)が短い場合、座屈変形量(Δe)／軸方向歪(Δl)の比が大きく、また、板の全塑性モーメント(Mpu)は座屈変形量にほぼ比例するため、軸方向歪(Δl)／板の全塑性モーメントの比は小さくなる。これより、載荷点変位は水平荷重に対して小さくなり、座屈後の耐力低下が急激となったと思われる。

$s \fallingdotseq 1$

$Mpu \fallingdotseq \Delta e \cdot F \quad \Delta es1$



(2)　M２供試体

本供試体は、昭和48年度以降の道路橋示方書の規定に従って設計された既設鋼製橋脚を対象にしたものであり、その縦リブは現行示方書の必要剛度を満足しいるが、各パネルの補剛板としての弾性座屈強度が降伏強度を下回っている。補強前後の構造パラメータは次表のようであり、補強前の補剛パネルがR_F＞0.5 であることより、補剛パネルとしての圧縮強度も降伏強度を下回る。そこで、パネルの弾性座屈強度の向上を目的とする一補強方法として、橋脚の外側に横リブを追加したものがこのモデルである。

構造パラメータ		補強前	補強後
板パネル	R_R	0.62	→
補剛パネル	R_F	0.58	0.42
縦リブ	R_h	0.52	→
	$\gamma_1 / \gamma_{1\cdot req}$	1.16	→

供試体は、繰り返し載荷試験の＋３δyまでほぼ弾性的挙動を示し、＋３δy移行時にピーク荷重（P＝135tf）を通過し、その後水平耐力が急激に低下した。＋３δyで基部付近での縦リブおよび縦リブ間のパネルの局部座屈が見られた。座屈後、繰り返し載荷を重ねることによって、基部と第一段目の横リブの間のパネルは大きく変形するが、他のパネルでの変形は比較的小さい範囲で止まった。＋６δyで角溶接部に割れが見られ、＋７δy移行中、角部から軸直角方向に母材にクラックが発生した。

補剛パネルの座屈強度はピーク荷重として評価され、横リブ補剛の効果があったと思われる。座屈モードは、基部と第一段目の追加横リブ間が大きく座屈したことから、座屈長が短く、大きな変形が基部付近に集中的に起きたため、座屈後の耐力低下が急激となったとも考えられる。

Ｍ１供試体との比較において、縦リブの剛性差は座屈後の耐力低下の度合いに表れており、ピーク荷重はほぼ断面係数に比例している。

(3)　M３供試体

本供試体はコーナーに丸みをつけ、その板厚を平行部に比べ1.5倍としているのが特徴である。主に、今後の新設橋脚に採用できる断面案である。各部の構造パラメータは次のようである。

構造パラメータ		補強前	補強後
板パネル	R_R	0.62	→
補剛パネル	R_F	0.80	0.48
縦リブ	R_h	0.68	→
	$\gamma_1 / \gamma_{1\cdot req}$	0.55	→

注）平行部補剛板は、端縦リブで支持されると仮定して計算した。

３δy時には圧縮フランジの平行部に初期の板パネル座屈を発生しており、非線形性が表れている。Rコーナープレートは、７δyに微小な座屈変形を発生するが、これまで微小ながら水平耐力は暫増した。７δy後はRコーナープレートの座屈が顕著になると共に水平耐力は急激に低下する。

平行部からコーナー部への座屈の拡大は、板厚の差と、端部縦リブから平行部とRコーナープレートの板厚変化点の距離等にも影響されると思われるが、本供試体では３δy～７δyまでの間拡大していない。

縦リブの座屈は、板パネルの座屈より少し遅れ発生しているが、コーナー部の縦リブの方が先に溶接割れした。これは、剛性の高さから溶接部により大きな力を受けたためと考えられる。外殻板の板継ぎ溶接は、終局時まで割れていない。

座屈後の断面は、圧縮・引張フランジで凹、ウェブで凸となることによって水平耐力を小さくし、載荷点変位を大きくできるような変形モードとなる。目視ではRコーナープレートの座屈後にこの変形モードが一挙に顕著となるが、それ以前でもこの傾向があり、じん性の高い断面とすることができたと思われる。

ダイヤフラム間隔／橋脚幅＝1.0 としているが、座屈変形は基部よりダイヤフラム間隔の３／８に変形の最大位置を持つパネル全体の変形となっていた。座屈長を座屈変形の最大位置と基部の橋脚軸方向距離の２倍と考えれば、ダイヤフラム間隔をこの前後で変化させても、結果に大差はないと考えられる。

(4) Ｍ４供試体

本供試体は、コーナー部近傍に剛度の高い縦リブを配し、コーナー部の板パネル、縦リブの強度を高めることを意図した構造である。中間部は道示の基準を満足するリブ剛度とパネル幅厚比としているため、中間部補剛パネルを先行座屈させ、橋脚の強度の増加を押さえ、じん性を高めた断面として今後の新設橋脚に採用できる案である。

構造パラメータ		コーナー部	中間部
板パネル	R_R	0.28	0.56
補剛パネル	R_F	0.26～0.32	0.57
縦リブ	R_h	0.40	0.59
	$\gamma_l / \gamma_{l\cdot req}$	∞～2.40	0.97

注）平行部補剛板は、端縦リブで支持されると仮定して計算した。
コーナー部はウェブと端縦リブの間隔の２倍幅と全幅にわたり端縦リブが端間隔と同じ間隔で配置されていると仮定した場合を計算した。

２δyまで載荷点変位－水平荷重関係は線形性を保ち、３δyの載荷サイクルの途中で正側、負側共にピーク荷重を記録し、中間部縦リブ間の板パネル座屈を生じて若干荷重が低下した。この時、コーナー部は微小な板パネル座屈をしていた。

４δyのサイクルで中央縦リブが基部で座屈し、端縦リブより内側の中間部補剛パネルが座屈した。
５δyのサイクルでは、端縦リブも座屈したが、コーナー部の形状はほぼ保たれていた。

その後、載荷サイクルを増すごとに補剛パネルの面外変形は大きくなっていき、７δyからはコーナー部を含む補剛パネル全体が変形し、角のラインも大きく曲がった。最後に、８δyのサイクルでループ吸収エネルギーが低下したため、＋９δyまでの載荷で試験を終了した。

このように、本供試体は当初の期待通り中間部の補剛パネルが先行座屈し、コーナー部を含む補剛パネル全体の座屈へと拡大した後、角の崩壊によって終局を迎えた。また、パネルの全体変形はフランジで凹、ウェブで凸となるモードで大きくなったが、完全溶込みである角溶接等の溶接部および母材の割れ開口は生じなかった。これは補強が十分になされていたことを示しており、期待した効果が得られたことになる。

(5) Ｍ５供試体

本供試体は、Ｍ１供試体で横リブを追加して補強したのに対し、中詰コンクリート(σ_{ck}=150kgf/cm²)を充填したものである。充填による鋼とコンクリートの付着を低減させるためにグリスを塗布している。また、本供試体は、昭和30･40年代に建設された既設橋脚を対象としているため、充填前の縦リブ剛度は次表の通りであり、現行示方書の必要剛度より小さいものとしている。

構造パラメータ		充填前	充填後
板パネル	R_R	0.62	0.47
補剛パネル	R_F	0.80	→
縦リブ	R_h	0.68	0.00
	$\gamma_l / \gamma_{l\cdot req}$	0.55	→

注）充填後は、板パネルは４辺固定とした座屈係数(k=6.99)、
縦リブは単体での座屈はしないとして等価幅厚比を計算した。

４δyで圧縮フランジの基部付近パネルで板パネル座屈が発生し、６δyまで変形すると板パネル座屈から、縦リブの座屈、さらに補剛パネル全体の座屈へと移行した。

－４δyで基部パネルの角溶接に発生したクラックは８δyで大きく割れ、開口部からコンクリートの破片が落下しはじめた。以後、圧縮側となったときには割れが拡がり面外変形も大きくなり、引張側となったときには割れが閉じるということを繰り返しながら水平荷重が低下し＋１１δyで最終状態に至った。

本供試体では、コンクリートにより、内側への面外変形を抑制するため、板パネル座屈・補剛パネル全体座屈の発生を遅らせる効果があったと思われる。変形が大きくなり、角溶接が割れると、コンクリートが部分的に崩壊し耐力が低下した。一方、コンクリートとの合成効果によりピーク荷重はかなり大きなものとなった。

(6) Ｍ６供試体

本供試体は、Ｍ２供試体で横リブを追加して補強したのに対し、中詰コンクリート（σ_{ck}=150kg/cm²)を充填したものである。充填による鋼とコンクリートの付着を低減させるためにグリスを塗布している。ま

た、本供試体は、昭和50年代以降に建設された既設橋脚を対象としているため、充填前の縦リブ剛度は次表の通りであり、現行示方書の必要剛度を満足している。

構造パラメータ		充填前	充填後
板パネル	R_R	0.62	0.47
補剛パネル	R_F	0.58	→
縦リブ	R_h	0.52	0.00
	$\gamma_1 / \gamma_{1\cdot req}$	1.16	→

注）充填後は、板パネルは4辺固定とした座屈係数(k=6.99)、
縦リブは単体での座屈はしないとして等価幅厚比を計算した。

4δyで圧縮フランジの基部付近パネルで板パネル座屈が発生し、6δyまで変形すると板パネル座屈から、縦リブの座屈、さらに補剛パネル全体の座屈へと移行した。

−4δyで基部パネルの角溶接に発生したクラックは8δyで大きく割れ、開口部からコンクリートの破片が落下しはじめた。以後、圧縮側となったときには割れが拡がり面外変形も大きくなり、引張側となったときには割れが閉じるということを繰り返しながら水平荷重が低下し+12δyで最終状態に至った。

本供試体では、コンクリートにより、内側への面外変形を抑制するため、板パネル座屈・補剛パネル全体座屈の発生を遅らせる効果があったと思われる。変形が大きくなり、角溶接が割れると、コンクリートが部分的に崩壊し耐力が低下した。一方、コンクリートとの合成効果によりピーク荷重はかなり大きなものとなった。

M5供試体との比較では、ピーク荷重の大きさに差が見られるが、断面積等との関係は明確でない。

(7) M8供試体

本試験体は、M1、M10、M11、M16の基本試験体として設計されている。この試験体の縦リブは現行示方書の剛度規定を満足しておらず、その弾性座屈強度は全体パネルの弾性座屈強度で決定される。構造パラメータを下表に示す。

構造パラメータ		補強前
板パネル	R_R	0.62
補剛パネル	R_F	0.80
縦リブ	R_h	0.68
	$\gamma_1 / \gamma_{1\cdot req}$	0.55

水平荷重−水平変位の関係は、1δyのループでは、見かけ上ほぼ線形に推移した。2δyのループに入り、1δyを超えたあたりで外面の黒皮に微細なひび割れが発生し、剛性が落ち、非線形ループを描き出し

た。３δyのピーク付近で、圧縮フランジに、縦リブを変形モードの節とした単一パネルの座屈モードと全体パネル座屈モードの混合された面外変形を起した。この３δy載荷時に最大水平荷重111.0tfを記録した。４δyのループにおいて、２δyの変位を超えた付近で水平荷重は頭打になり、その後負勾配を示し、大きく低下した。このとき、全体パネルの座屈モードが顕著に現れ、同時に縦リブも大きく座屈した。この後、この全体パネル座屈が進展し、終局となった。全体パネル座屈が顕著に現れた後、５δy以降は急激な水平力の低下を生じた。

本試験体の座屈モードは、上ベースプレートと第一ダイヤフラム間の全体パネルで発生している。その変形は、若干基部よりに最大点を生じた。縦リブの座屈は、ウェブ面外変形は橋脚断面外に凸の変形のため、上ベースプレートと第一ダイヤフラムの中間で発生し、載荷面のフランジは橋脚断面外に凹のため、上ベースプレートと第一ダイヤフラム付近の二ヶ所で発生した。

(8) Ｍ１０供試体

本試験体は、Ｍ８に対し、縦リブに補強フランジを溶接して補強を図ったものである。この補強により、単一パネルの弾性座屈強度はＭ８のままであるが、全体パネルの座屈強度が増強される。また、この縦リブ補強フランジは、橋脚の耐荷力をＭ８と同等に保つために、ダイヤフラム位置で断続化した。

構造パラメータ		補強前	補強後
板パネル	R_R	0.62	→
補剛パネル	R_F	0.80	0.35
縦リブ	$\gamma_1 / \gamma_{1\cdot req}$	0.55	3.25

水平荷重－水平変位は、２δyまで、見かけ上ほぼ線形に推移した。２δyのループでは、１δyを超えたあたりで外面の黒皮に微細なひび割れが入り、２δyの手前で非線形のループを描き出した。３δyのピーク付近で縦リブを変形モードの節とした単一パネル座屈による面外変形が発生した。４δyのループにおいて、３δyの変位付近で最大水平荷重117.7tfを記録した。その後、４δyまで水平荷重は漸減した。このループで、縦リブに僅かな曲りが発生し、全体パネルの座屈モードが現れ、縦リブ間の局部座屈モードと重なった。この後、フランジは、この混合モードを保持したまま全体座屈が進展した。縦リブのフランジ補強の効果により、各ループ間での水平荷重低下は、Ｍ８に比べ押えられている。

本試験体の座屈モードは、上ベースプレートと第一ダイヤフラム間のほぼ下半分の区間で顕著に発生した。座屈モード変形範囲は、Ｍ８に比較し限定されている。縦リブの変形は、断続化したフランジ部分である上ベースプレートと第一ダイヤフラム付近の二ヶ所で折れた。

(9) Ｍ１１供試体

本試験体は、Ｍ８に対し、縦リブ補強と横リブ補強を施したものである。各々の補強は、縦リブ補強はＭ１０と、横リブ補強はＭ１と同じにした。この補強により、単一パネルの弾性座屈強度はＭ８のままで

あるが、全体パネルの座屈強度が増強される。また、この縦リブ補強フランジは、Ｍ１０と異なり、フランジ部の断続部が弱点とならないよう縦リブを連続化させるため、縦リブ端部とダイヤフラムの間に開詰鋼材を設置した。

構造パラメータ		補強前	補強後
板パネル	R_R	0.62	→
補剛パネル	R_F	0.80	0.31
縦リブ	$\gamma_1/\gamma_{1\cdot req}$	0.55	3.25

水平荷重－水平変位は、２δｙまで、見かけ上ほぼ線形に推移した。２δｙのループでは、１δｙを超えたあたりで外面の黒皮に微細なひび割れが入り、２δｙの手前で非線形のループを描き出した。３δｙのピーク付近で縦リブを変形モードの節とした単一パネル座屈による面外変形が発生した。この変形は、Ｍ１０の３δｙ時に比べ小さい。４δｙのループにおいて、４δｙ変位付近で最大水平荷重125.7tfを記録した。このループで、縦リブ間の局部座屈モードがさらに明確に観られるようになった。５δｙのループもほぼ４δｙと同じループを描き、４δｙを越えた後５δｙまで水平荷重をほぼ保った。この後、各ループを載荷するに従って、水平荷重が低下した。６δｙで縦リブに僅かな曲りが発生し、全体パネルの座屈モードが現れ、縦リブ間の局部座屈モードと混合し始めた。この後、この全体座屈が進展し、各ループ間で水平荷重が低下したが、補強効果により、Ｍ８、Ｍ１０に比べ低下率は押えられている。

本試験体の座屈モードは、上ベースプレートと補強第一横リブ間で顕著に発生した。縦リブの変形は、全体パネルの面外変形が凹のため、上ベースプレートと第一ダイヤフラム間で、内側へ曲げ変形を示した。

(10)　Ｍ１４供試体

本試験体は、昭和48年度以降の道路橋示方書の規定に従って設計された既設鋼製橋脚を対象としたものである。その縦リブは、現行示方書縦リブの必要剛度を満足しているが、単一パネルとしての弾性座屈強度が、降伏強度を下回っている。また、一般的な橋脚を想定し、上ベースプレートと第一ダイヤプラムの中間に断面変化点を設けた。断面は、Ｍ２の補強前の断面が断面変化点の上にくるように想定した。強度は、断面変化点上のこの断面で最小となる。

構造パラメータ		
板パネル	R_R	0.62
補剛パネル	R_F	0.58
縦リブ	R_h	0.52
	$\gamma_1/\gamma_{1\cdot req}$	1.15

水平荷重－水平変位は、２δｙまで、見かけ上ほぼ線形に推移した。２δｙのループでは、１δｙを超えた

あたりで外面の黒皮に微細なひび割れが入り、２δyの手前で非線形のループを描き出した。３δyのピーク付近で、断面変化点の上側のパネルに縦リブを変形モードの節とした単一パネル座屈による面外変形が発生した。４δyのループにおいて、３δyの変位付近で最大水平荷重142.6tfを記録した。その後、４δyまで水平荷重は漸減した。このループで、縦リブに僅かな曲りが発生し、全体パネルの座屈モードが現れ、縦リブ間の局部座屈モードと混じり合った。さらに、この全体座屈モードの変形は、５δy、６δyと進むにつれ、断面変化点より下側のパネルを巻込む形で進展し、最終的に上ベースプレートと第一ダイヤフラムの全体パネルが変形した。

本試験体の座屈モードは、上ベースプレートと第一ダイヤフラム間の全体パネルで発生しており、その変形は、断面変化点が最大となっている。

(11) Ｍ１６供試体

本試験体は、Ｍ８に対し縦リブに補強フランジを溶接し、さらに角に鋼板を溶接して補強を図ったものである。縦リブ補強により全体パネルの座屈強度を、角補強により角部の単一パネルの座屈強度を向上させた。また、この縦リブ補強フランジは、補強効果をあげるためダイヤフラム位置において厚板を介して連続化してある。角補強板は、橋脚の水平耐力をＭ８と同等に保つために、上ベースプレートの上15㎜の位置で止め隙間を設けた。

構造パラメータ		補強前	補強後
板パネル	R_R	0.62	→
角板パネル	R_R	0.62	0.31
補剛パネル	R_F	0.80	0.36
縦リブ	$\gamma_1 / \gamma_{1\cdot req}$	0.55	3.06

水平荷重－水平変位は、２δyまで、見かけ上ほぼ線形に推移した。２δyのループでは、１δyを超えたあたりで外面の黒皮に微細なひび割れが入り、２δyの手前で非線形のループを描き出した。－２δyで引張り側のフランジの角補強板と上ベースプレートの隙間15㎜に、角より橋脚軸直角方向に微細な割れが発生した。＋３δy載荷時に逆側のフランジにも同様の割れが発生した。さらに、－３δy載荷時に－２δy程度の変位時の割れが進展し、水平荷重が上がらなくなった。割れの進展により、Ｐ－δ曲線に鋸の歯状の凸凹が観察された。４δyのループにおいて、３δyの変位付近で最大水平荷重163.3tfを記録した。４δy載荷時に、割れがほぼ角部補強鋼板の幅（フランジの全幅の１／３にあたる）まで進展したところで終局と判断した。座屈モードの変形は、未発生に終った。

(12) Ｍ１７供試体

本試験体は、昭和48年度以降の道路橋示方書の規定に従って設計された既設鋼製橋脚の補強を対象としたものである。本試験体の基準となる試験体は、鋼材倶楽部のＫＤ１である。ＫＤ１の縦リブは現行示方

書の縦リブの必要剛度を満足しており、各パネルは弾性座屈強度が、ほぼ降伏強度に等しくなるように設計されている。この試験体に対し縦リブにフランジを取付けることにより$\gamma_1=3.0\gamma_1'$となるよう補強した。

構造パラメータ		補強前	補強後
板パネル	R_R	0.41	0.41
補剛パネル	R_F	0.41	0.24
縦リブ	γ_1/γ_1'	1.00	3.04

水平荷重－水平変位は、２δyまで、見かけ上ほぼ線形に推移した。２δyのループでは、１δyを超えたあたりで外面の黒皮に微細なひび割れが入り、２δyの手前で非線形のループを描き出した。この後、６δyまで完全に前回のループを包含したループを描き、６δyで最大水平荷重142.4tfを記録した。６δy付近で、縦リブを変形モードの節とした単一パネル座屈による面外変形が発生した。さらに７δyのループも６δyにほぼ沿った形を呈し、単一パネルの座屈変形が進行した。８δyループより、ループの最大水平荷重が前回のループを下回るようになり、縦リブに曲りが発生し、全体パネルの座屈モードが現れ、縦リブ間の局部座屈モードと混合したモードとなった。９δy以降、全体パネルの座屈モードが進行し終局となった。座屈モードは、上ベースプレートと第一ダイヤフラム間の全体パネルで生じた。

５δyに試験体の角部の上ベースプレートと試験体の表面プレートの溶接部に微細な割れが入ったが、座屈が進行するに連れ進展しなくなった。座屈変形が進行し、局部的に大きな変形が生じた部分に１１δyで角部より橋脚軸直角方向にクラックが発生した。このクラックは引張り荷重が作用する方向に載荷すると大きくなり口開き状態となった。

(13) Ｍ１８供試体

本試験体は、昭和48年度以降の道路橋示方書の規定に従って設計された既設鋼製橋脚の補強を対象としたものである。本試験体の基準となる試験体は、鋼材倶楽部のＫＤ１である。ＫＤ１の縦リブは現行示方書縦リブの必要剛度を満足しており、各パネルは弾性座屈強度は、ほぼ降伏強度に等しくなるように設計されている。この試験体に対し、ダイヤフラム間に横リブを内側に追加することにより補強した。

構造パラメータ		補強前	補強後
板パネル	R_R	0.41	0.41
補剛パネル	R_F	0.41	0.21
縦リブ	γ_1/γ_1'	1.00	4.35

水平荷重－水平変位は、２δyまで、見かけ上ほぼ線形に推移した。２δyのループでは、１δyを超えたあたりで外面の黒皮に微細なひび割れが入り、２δyの手前で非線形のループを描き出した。５δy付近で、縦リブを変形モードの節とした単一パネル座屈による面外変形が発生した。この後、６δyまで完全に前回

のループを包含したループを描き、６δy載荷中に最大水平荷重131.3tfを記録した。７δyより、ループの最大水平荷重が前回のループを下回るようになり、縦リブに曲りが発生し、全体パネルの座屈モードが現れ、縦リブ間の局部座屈モードと混ざり合ったモードとなった。８δy以降、全体パネルの座屈モードが進行し終局となった。

終局座屈モードは、上ベースプレートと第一横リブ間に止まらず、第一ダイヤフラムまでの全体パネルで生じた。特に負側載荷時に圧縮となるフランジは、第一横リブと第一ダイヤフラム間の面外変形の方が大きくなった。

５δyに試験体の角部の上ベースプレートと試験体の表面プレートの溶接部に微細な割れが入ったが、座屈が進行するに連れ進展しなくなった。

4.1.2 まとめ

基本供試体として、$\gamma_1/\gamma_{1\cdot req}<1.0$の低剛性のものを１種類（M8）、$\gamma_1/\gamma_{1\cdot req}>1.0$のものを２種類（M14：$\gamma_1/\gamma_{1\cdot req}\fallingdotseq1.0$およびKD1：$\gamma_1/\gamma_{1\cdot req}>3.0$）、合計３種類に対し、矩形断面を構成する補剛板の幅厚比パラメータの改善を目標として、横リブ補強および縦リブ補強、コンクリート充填による補強等を行い、耐震性向上の観点から検討した。

その結果、基本供試体との比較によりリブ補強、コンクリート充填補強共いずれもじん性が伸びていることが確認できた。

コンクリート充填ではじん性の伸び、耐力の上昇ともにリブ補強よりも大きく、また、鋼材に割れが生じても急激な耐力の低下は見られないことが分かった。しかし、補強に関して耐力の増加は、橋脚基部のアンカーボルト損傷を招く可能性があるので、耐力照査等の配慮が必要である。

リブ補強については、M8を補強した構造（M1、M10、M11、M16）では各供試体ともじん性の向上が見られた。一方、M8を補強した構造では鋼材倶楽部のKD1を補強した構造（M17、M18）ほどのじん性は見られなかった。M8とKD1の基本供試体としての違いは、縦リブ間パネルの座屈強度であり、M8は$R_R\fallingdotseq0.6$であるのに対し、KD1では$R_R\fallingdotseq0.4$となっている。このことから、M8のように明らかに弾性座屈が先行するような場合には、リブ補強によるじん性の改善効果は小さいことが分かった。このような場合は縦リブの追加等の補強が必要と考えられる。

KD1を補強した構造（M17、M18）においては、じん性の向上は縦リブ補強（M17）のほうが横リブ補強（M18）よりも大きい傾向が見られた。

新設構造を対象としたM3およびM4については、いずれもじん性が向上した。M3供試体については、Rコーナープレートの効果か板厚を増加したことによるものかは本実験結果からは判別できないが、製作施工性を考え可能であれば、景観的見地からも有効であると思われる。

4.2 円形断面

4.2.1 各供試体の考察

(1) M７供試体

本供試体は、外径一定で板厚変化のある円管断面に、4.5mmの隙間を設けて4.5mmの鋼板を巻いた構造である。外側の鋼板は円周方向に４分割し、4.5mmの裏当て材を介して溶接し、その裏当て材は母材に溶接し、また、上端と下端に配置する密閉を目的とするフィラーは本体に溶接した。したがって、本供試体は、本体の鋼管が外側に座屈変形した際、リングとなった外側鋼板の拘束によって本体の座屈変形の増大を抑制させると共に、断面の合成効果が若干あると考えられる。

構造パラメータ		内管	外管
外径	R (mm)	900	918
径厚比	R／t	50	102.0

＋４δyで圧縮側の断面変化部付近で外管および内管共に局部座屈が発生した。

その後、＋６δyまで変形すると座屈変形は円周方向につながり、－７δyでは円周方向の座屈変形量は、円周方向にわたってほぼ同程度となった。

さらに＋８δyまで変形すると、内管の断面形状は座屈変形の上側で円形を保てなくなり、楕円状になった。＋９δyでは、さらに楕円変形は増大し終局状態となった。

本供試体では、座屈変形を抑止するために設けた外管が、断面の合成効果を発揮し過ぎ、内管とほぼ同時に発生した初期の座屈が期待した位置でなく内管とほぼ同じ位置で起こり、また、座屈・崩壊の進行過程も比較的複雑となった。

座屈変形の計測結果から、内管と外管は接触しており終局状態での荷重・変位は大差ないと考えることもできる。一方、外管の歪が内管の歪に近い値となっていることや計算値などから、断面の合成効果はかなり高く、ピーク荷重が内管のみの断面より高くなってしまったと考えられる。

(2) M１９供試体

本供試体は、橋脚内面に縦リブを連続して設置することにより、提灯座屈および変形の集中等を起因とする脆性的な破壊を防止し、じん性の向上を図ろうとするものである。具体的には、縦リブを適当な補剛度に設計すれば、その縦リブの断面積が母材鋼管の断面積に単純加算した等価な板厚の鋼管に相当する塑性時の局部座屈強度を有すると考え、補強後の等価径厚比ﾊﾟﾗﾒｰﾀRtに相当するじん性が得られるものと考えて縦リブを配置した。

縦リブの設計は、円管を展開したものを、縦リブで区切られた等価な補剛板とみなし、次の考えに従って行なった。

・縦リブ間を両端支持板とみなし、その無次元幅厚比は0.7以下とする。

・縦リブの板厚は、自由突出板としての無次元幅厚比が0.5以下となるように設定する。

・補剛板の全体パネルとしての無次元幅厚比は0.4以下とする。

（縦リブの固定点間隔は、円筒シェルの座屈半波長の３倍とする。）

以下に本供試体の構造パラメータを示す。

板パネル	R_R	0.691
補剛パネル	R_F	0.239
縦リブ	R_h	0.474
等価無次元径厚比	R_t	0.0792

＋３δｙ時に、母材の圧縮側の一部に凸状の座屈が発生し、＋６δy時に圧縮側の縦リブが基部より150㎜の位置を中心に座屈し、それに伴って、耐力も低下し始めた。その後、断面全体に基部より100㎜の位置では凸状の座屈が、250㎜の位置では凹状の座屈が発生し、-11δy時に引張側縦リブと母材の溶接部にクラックが発生、以後クラックが母材まで進行し、＋１３δy時に終局状態に至った。

本供試体では、縦リブを設置する事により、基本断面で発生した提灯座屈を抑制することができた。また、縦リブを連続化することにより、Ｂ２供試体（断続縦リブ補強工法）でみられた縦リブ下端部での応力集中による母材の割れも解決された。座屈形態も、縦リブ間の板パネルの座屈から縦リブの座屈、補剛板の座屈と進行しており、補剛板のそれと同様であることからも、上述の設計法が妥当であったと考えられる。

ただし、じん性の向上は等価径厚比以上の効果があることがわかったので、じん性の向上率に関しては今後検討を要すると考えられる。また、縦リブ補強の場合縦リブ剛度の分だけ耐力が上昇するため、特に補強設計の場合、極力断面を小さくしてじん性を向上させることに留意する必要があると思われる。

4.2.2 まとめ

円形断面の特徴である座屈後の急激な耐力の低下を制限するのを目的として、隙間あけ鋼管巻き立て補強（M7）および縦リブ補強（M19）について検討を行った。

隙間あけ鋼管巻き立て補強はじん性の向上が見られたが、止水性を考慮して溶接を行ったため、合成効果によって耐力の増加が見られた。このような構造については、止水構造等施工性が課題となる。

縦リブ補強の場合は、変形性能は向上され、また、円形断面自身のシェルとしての耐力が増加することも確認できた。断面の設定によっては補強方法として有効であると思われる。

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わる仕様」の準用に関する参考資料(案),1995年6月.

2) 建設省:兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様,1995年2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,1990年2月.

5) 田嶋仁志，柄川伸一，熊谷洋司，岡本隆：矩形鋼製橋脚の繰り返し載荷実験，土木学会，第51回年次学術講演会講演概要集，Ⅰ-B293，pp.586～587，平成８年９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	宵木　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

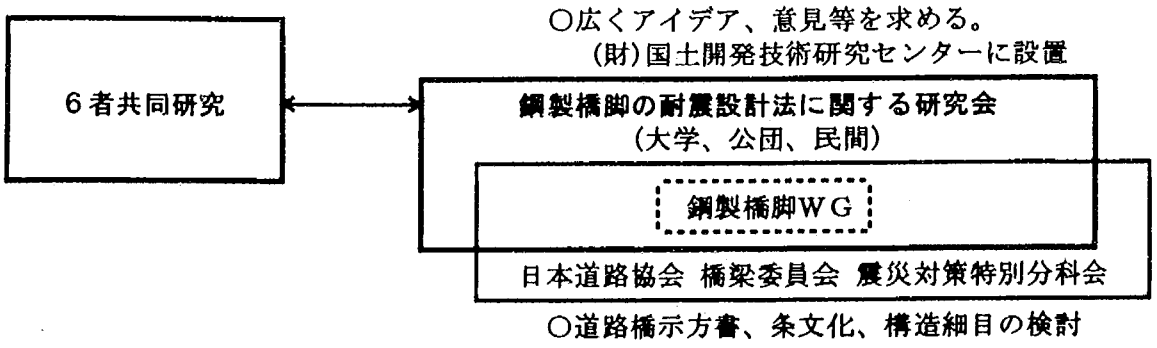
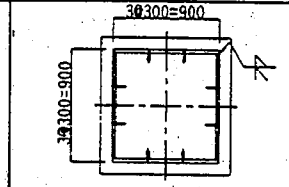
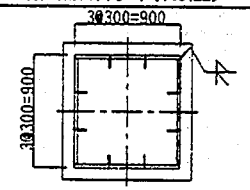
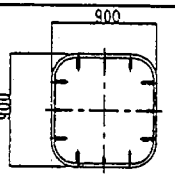
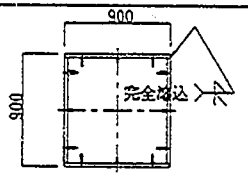
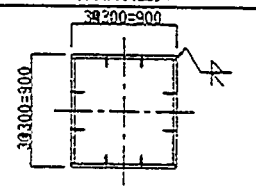
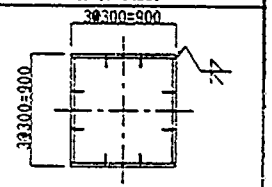
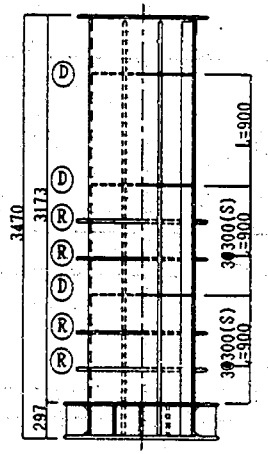
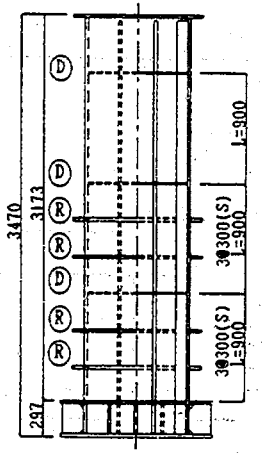
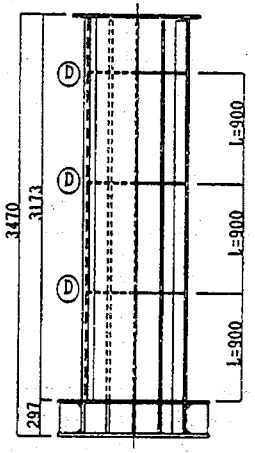
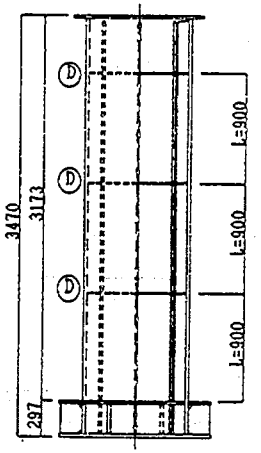
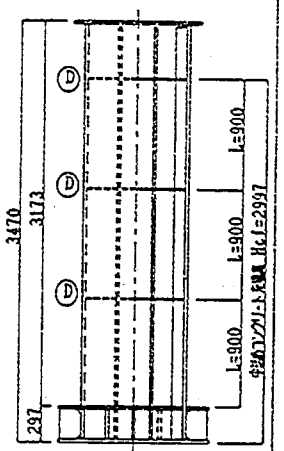
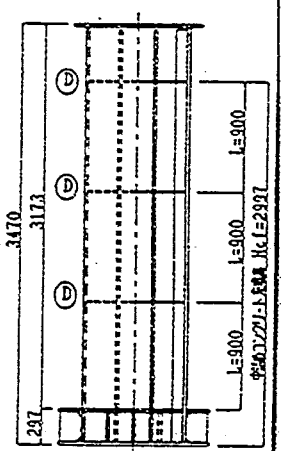
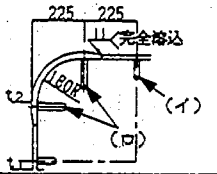
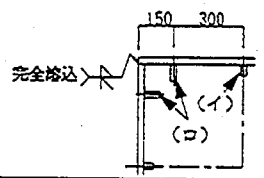


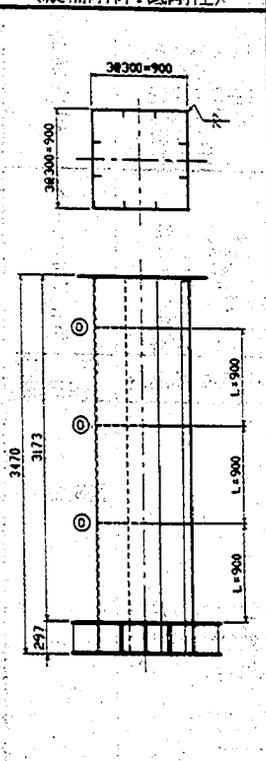
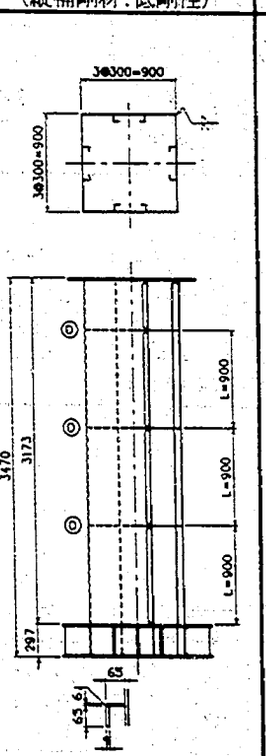
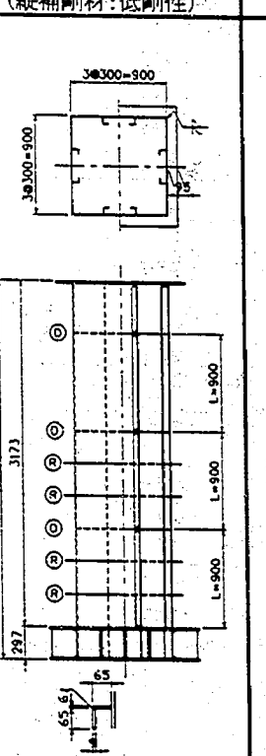
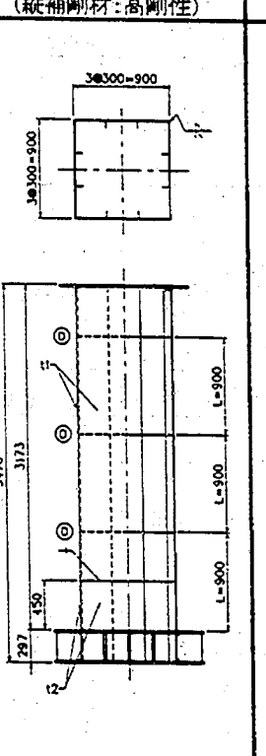
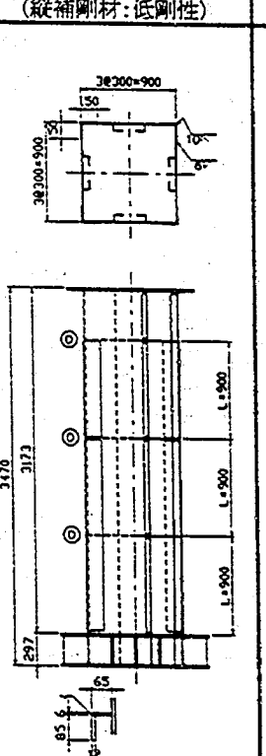
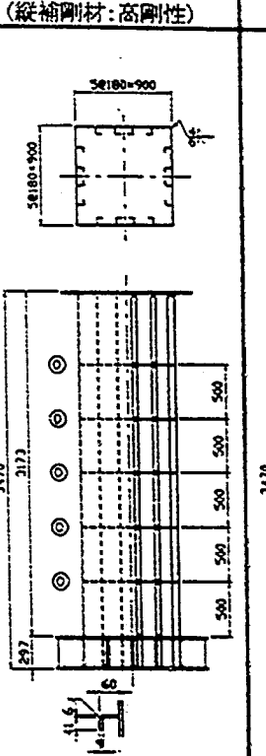
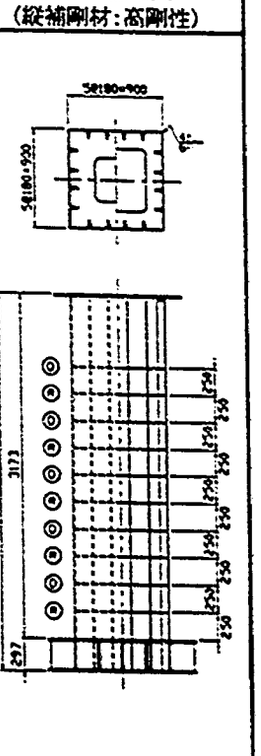
図　　表

2．実験概要

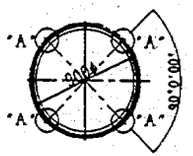
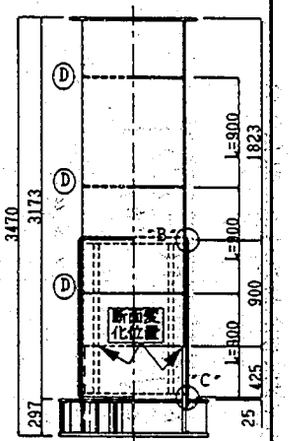
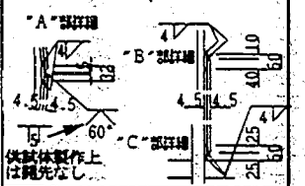
表-2.1.1(1)　供試体断面一覧

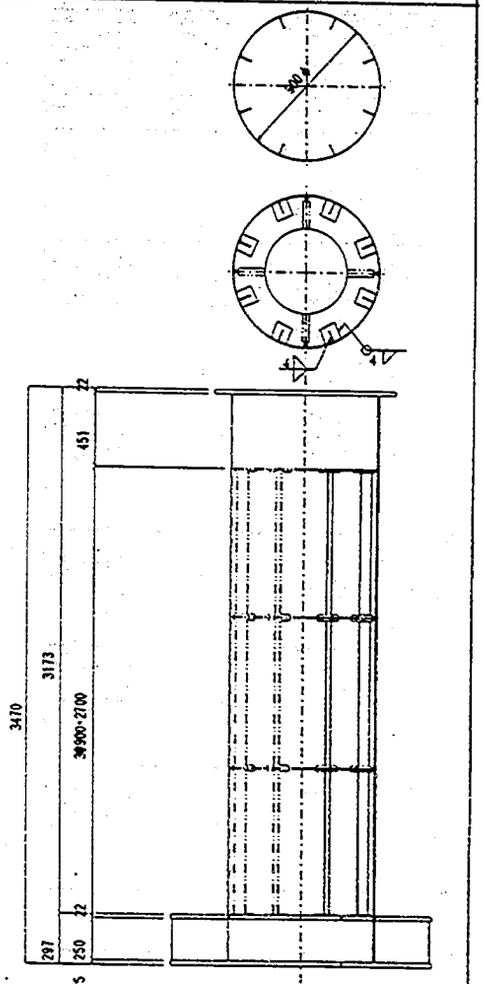
	M1：既設対応(矩形断面) 横リブ補強案 (縦補剛材：低剛性)	M2：既設対応(矩形断面) 横リブ補強案 (縦補剛材：高剛性)	M3：新設対応(矩形断面) 円弧状コーナー断面案	M4：新設対応(矩形断面) コーナー縦リブ補強案	M5：既設対応(矩形断面) 中詰めコンクリート案 (低剛性)	M6：既設対応(矩形断面) 中詰めコンクリート案 (高剛性)
基本形状 断面図						
側面図						
詳細図						
想定限界状態	補剛板の先行崩壊	補剛板の先行崩壊	補剛板の先行崩壊の後コーナー部の崩壊	補剛板の先行崩壊	中詰めコンクリートによる座屈の抑制・抑止効果	中詰めコンクリートによる座屈の抑制・抑止効果
構造パラメータ	・板厚 t = 10 R_p = 0.80(横リブ無し) R_p = 0.48(横リブ有り) ・縦補剛材 γI = 0.55 × γ_{req} Rh = 0.68	・板厚 t = 10 R_p = 0.62(横リブ無し) R_p = 0.42(横リブ有り) ・縦補剛材 γI = 1.16 × γ_{req} Rh = 0.52	・板厚 t_1 = 8 t_2 = 12 t_2/t_1 = 1.5 λ = 0.23(隅部柱断面) ・縦補剛材剛性 (イ) $\gamma I \fallingdotseq$ 1.0・γ_{req} (ロ) $\gamma I \fallingdotseq$ 3.0・γ_{req}	・板厚 t = 11 $R_p \fallingdotseq$ 0.50(中間部) $R_p \fallingdotseq$ 0.25(偶部) ・縦補剛材剛性 (イ) $\gamma I \fallingdotseq$ 1.0・γ_{req} $Rh \fallingdotseq$ 0.50 (ロ) $\gamma I \fallingdotseq$ 3.0・γ_{req} $Rh \fallingdotseq$ 0.40	・中詰めコンクリート 強　度：σ_{ck}=150 kgf/cm² 充填高：H_c= 2997 mm ・板厚 t = 10 R_p = 0.80 ・縦補剛材剛性 $\gamma I \fallingdotseq$ 0.55・γ_{req} Rh = 0.68	・中詰めコンクリート 強　度：σ_{ck}=150 kgf/cm² 充填高：H_c= 2997 mm ・板厚 t = 10 R_p = 0.62 ・縦補剛材剛性 $\gamma I \fallingdotseq$ 1.16・γ_{req} Rh = 0.52
主要部材寸法	・外殻板 t = 10 ・縦リブ Web：2-Pl 65×6 Flg：2-Pl 65×6 ・横リブ ピッチ：S=L/3= 300 Pl 95×6 ・ダイヤフラム 板厚：t_D = 6 (横リブを除き供試体⑤と同じ)	・外殻板 t = 10 ・縦リブ Web：2-Pl 75×9 Flg：2-Pl 75×9 ・横リブ ピッチ：S=L/3= 300 Pl 95×6 ・ダイヤフラム 板厚：t_D = 6 (横リブを除き供試体⑥と同じ)	・外殻板 t_1 = 8 t_2 = 12 ・縦リブ Web：(イ) 1-Pl 70× 6 (ロ) 2-Pl 120×12 Flg：(イ) 1-Pl 70× 6 (ロ) 2-Pl 120×12 ・ダイヤフラム ピッチ：L= 900 板厚：t_D = 6	・外殻板 t = 11 ・縦リブ Web：(イ) 1-Pl 75× 8 (ロ) 2-Pl 90×14 Flg：(イ) 1-Pl 75× 8 (ロ) 2-Pl 90×14 ・ダイヤフラム ピッチ：L = 900 板厚：t_D = 6	・外殻板 t = 10 ・縦リブ Web：2-Pl 65×6 Flg：2-Pl 65×6 ・横リブ ピッチ：S=L/3= 300 Pl 95×6 ・ダイヤフラム 板厚：t_D = 6 (横リブを除き供試体①と同じ)	・外殻板 t = 10 ・縦リブ Web：2-Pl 75×9 Flg：2-Pl 75×9 ・横リブ ピッチ：S=L/3= 300 Pl 95×6 ・ダイヤフラム 板厚：t_D = 6 (横リブを除き供試体②と同じ)
材質	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A
備考						

表－2．1．1(2)　供試体断面一覧

	M8：既設対応（矩形断面） 基本 （縦補剛材：低剛性）	M10：既設対応（矩形断面） 縦リブ補強案 （縦補剛材：低剛性）	M11：既設対応（矩形断面） 縦リブ・横リブ補強案 （縦補剛材：低剛性）	M14：既設対応（矩形断面） 基本（断面変化点有） （縦補剛材：高剛性）	M16：既設対応（矩形断面） 縦リブ補強+ｶﾊﾞｰPl案 （縦補剛材：低剛性）	M17：既設対応（矩形断面） 縦リブ補強案 （縦補剛材：高剛性）	M18：既設対応（矩形断面） 横リブ補強案 （縦補剛材：高剛性）
基本形状 断面図 側面図 詳細図							
想定限界状態	補剛板の先行崩壊	補剛板の先行崩壊	補剛板の先行崩壊	補剛板の先行崩壊	補剛板の先行崩壊	補剛板の先行崩壊	補剛板の先行崩壊
構造パラメータ	・板厚　t= 10 Rf = 0.80 Rr = 0.62 ・縦補剛材 γ1 = 0.55γreq Rh = 0.68	・板厚　t= 10 Rf = 0.35 Rr = 0.62 ・縦補剛材 γ1 = 3.25γreq	・板厚　t= 10 Rp = 0.31(横リブ有) Rf = 0.35(横リブ無) Rr = 0.62 ・縦補剛材 γ1 = 3.25γreq	・板厚 (Sec-1) t1=10, Rr1=0.62 Rf1 = 0.58 (Sec-2) t2=12, Rr2=0.51 Rf2 = 0.48 ・縦補剛材 (Sec-1) γ1 = 1.15γreq (Sec-2) γ2 = 1.15γreq	・板厚　t= 10 Rf = 0.36(中間部) Rr = 0.62(中間部) Rf = 0.41(偶部) Rr = 0.62(偶部) ・縦補剛材 γ1 = 3.06γ*(中間部) γ1 = 1.03γ*(偶部)	・板厚　t= 9 Rf = 0.24 Rr = 0.41 ・縦補剛材 γ1 = 3.04γ*	・板厚　t= 9 Rf = 0.21 Rr = 0.41 ・縦補剛材 γ1 = 4.35γ* Rh = 0.63
主要部材寸法	・外殻板 t= 10 ・縦リブ Web:2-Pl 65×6 Flg:2-Pl 65×6 ・ダイヤフラム ピッチ：L = 900 板　厚：tD = 6	・外殻板 t= 10 ・縦リブ Web:2-Pl 65×6 + Pl 65×12 Flg:2-Pl 65×6 + Pl 65×12 ・ダイヤフラム ピッチ：L = 900 板　厚：tD = 6	・外殻板 t= 10 ・縦リブ Web:2-Pl 65×6 + Pl 65×12 Flg:2-Pl 65×6 + Pl 65×12 ・横リブ ピッチ：S=L/3=300 Pl=95×6 ・ダイヤフラム ピッチ：L = 900 板　厚：tD = 6	・外殻板 t1=10, t2=12 ・縦リブ (Sec-1) Web:2-Pl 75×9 Flg:2-Pl 75×9 (Sec-2) Web:2-Pl 90×9 Flg:2-Pl 90×9 ・ダイヤフラム ピッチ：L = 900 板　厚：tD = 6	・外殻板 t= 10 ・ｶﾊﾞｰPl t= 10 ・縦リブ Web:2-Pl 65×6 + 85×12 Flg:2-Pl 65×6 + 85×12 ・ダイヤフラム ピッチ：L = 900 板　厚：tD = 6	・外殻板 t= 9 ・縦リブ Web:4-Pl 60×6 + 41×9 Flg:4-Pl 60×6 + 41×9 ・ダイヤフラム ピッチ：L = 500 板　厚：tD = 6	・外殻板 t= 9 ・縦リブ Web:4-Pl 60×6 Flg:4-Pl 60×6 ・横リブ ピッチ：S=L/2=500 Pl 150×6 ・ダイヤフラム ピッチ：L = 500 板　厚：tD = 6
材質	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A	SM490A
備考				高剛性基本供試体に、断面変化を設ける。			

表－2．1．1（3）　供試体断面一覧

	M７:既設対応(円形断面) 二重鋼管補強案
基本形状 断面図	
側面図	
詳細図	
想定限界状態	二重鋼管補強による座屈後変形性能の向上効果
構造パラメータ	・板厚 上部断面　t = 9 (R/t = 50) 下部断面　t = 16 (R/t = 28)
主要部材寸法	・鋼管(内管) 上部断面　t = 9 下部断面　t = 16 ・二重鋼管補強 Cover Pl　t = 4.5 Fill Pl　t = 4.5
材質	SS400
備考	溶接による外管の合成効果の程度を確認

	(M19) 新設(既設)対応 (円形断面) 縦リブ補剛断面(繰り返し載荷実験)
概要図	
構造パラメータ	・板厚 = 9 〈等価幅厚比〉 $R_R = \frac{b}{t}\sqrt{\frac{\sigma_x}{E}\frac{(12-\mu^2)}{\pi^2 k}}$ = 0.691 ・縦補剛材(補剛板) 〈等価幅厚比〉 R_F = 0.329 R_{Fl} = 0.373
主要部材寸法	・外殻板 t1 = 9 ・縦リブ 8-Rib Pl 70×8 ・横リブ ピッチ: L = 900 板厚 : t_c = 6

表－2.1.2(1)　主なパラメータ（矩形断面）

供試体	種類	角部補強における補剛材*1)の断面形状寸法	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 γ_l/γ**6)	リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_{l,req}$*7)	中詰めコンクリートの高さ(mm)	実験年度	実験場所
M1	横リブ増設		1	0.139	0.64	0.47	(0.55)	(0.55)	—	H7	土研
M2	横リブ増設		1	0.132	0.66	0.41	(1.16)	(1.16)	—	H7	土研
M3	Rコーナー有		1	0.125	0.63	0.68	0.87	0.87	—	H7	土研
M4	コーナー部縦リブ		1	0.142	0.62	0.65	0.90	0.90	—	H7	土研
M5	コンクリート充填		1	0.134	0.65	0.85	0.55	0.55	2700	H7	土研
M6	コンクリート充填		1	0.129	0.66	0.62	1.16	1.16	2700	H7	土研
M8	基本		1	0.134	0.65	0.85	0.55	0.55	—	H7	D社
M10	縦リブ補強		1	0.132	0.66	0.38	3.25	3.25	—	H7	D社
M11	縦リブ補強＋横リブ増設		1	0.134	0.65	0.33	3.25	3.25	—	H7	D社
M14	断面変化有		1	0.128	0.67	0.63	1.15	1.15	—	H7	D社
M16	縦リブ補強＋角部補強	CP:150x10	1	0.136	0.65	0.38	3.06	3.06	—	H8	D社
M17	縦リブ補強		1	0.150	0.41	0.24	3.04	4.45	—	H8	D社
M18	横リブ増設		1	0.133	0.44	0.22	4.35	6.67	—	H8	D社

ここに．＊1）CP:コーナープレートを意味する。

＊2）"数字"は正負交番繰り返し載荷における繰り返し回数をさす（図－2.2.3参照）。

＊3）N:軸力(tf)、N_{yM}:降伏軸力(tf)（$=A\cdot\sigma_{yM}$）、A:断面積(cm^2)
σ_{yM}:材料試験結果に基づく下降伏点(kgf/cm^2)

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

t:板厚(cm)
b:補剛板の全幅[4](cm)、E:ヤング係数($2.1\times10^6 kgf/cm^2$)、μ: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　$\left(=\frac{b}{t}\sqrt{\frac{\sigma_{yM}}{E}\frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_F}}\right)$

k_F:座屈係数

$$k_F=\frac{(1+\alpha^2)^2+n\gamma_l}{\alpha^2(1+n\delta_l)}\qquad(\alpha\leq\alpha_0)$$

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

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

α :補剛材の縦横寸法比[4]、$\alpha=a/b$
α_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)

δ_l:補剛材の断面積比　$\left(=\frac{A_l}{bt}\right)$

＊6) $\gamma_l{}^*$：補剛材の限界剛比（弾性座屈理論による）

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

＊7) $\gamma_{l.req}$：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
M7	二重管補強	—	0.122	50.0	0.115	—	H7	土研
M19	縦リブ補強	—	0.127	50.0	0.110	—	H8	土研

ここに、＊8)

$$Rt = \frac{(R - t/2)}{t} \cdot \frac{\sigma_{yM}}{E} \sqrt{3(1-\mu^2)}$$

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	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M8	M10
外形寸法(mm)	900x900	900x900	900x900	900x900	900x900	900x900	900x900	900x900
板厚 t(mm)	10	10	8<12>	11	10	10	10	10
縦リブ寸法(mm)	65x6	75x9	70x6 <120x12>	75x8 <90x14>	65x6	75x9	65x6	65x6 +65x12
横リブ間隔 a(mm)	300	300	900	900	900	900	900	900
補剛板の全幅 b(mm)	900	900	900	900	900	900	900	900
縦リブで区切られるパネル数	3	3	4	4	3	3	3	3
鋼種	SM490	SM490	SM490	SM490	SM490	SM490	SM490	SM490
鋼材下降伏点 σ_{yM}(kgf/cm2)	3456	3629	3847	3383	3581	3718	3586	3632
断面積 A(cm2)	387.2	410.0	467.8	516.0	387.2	410.0	387.2	387.2 (449.6)
断面2次モーメント I(cm4)	499,493	519,967	555,412	666,822	499,493	519,967	499,509	499,509 (549,003)
断面2次半径 r(cm)	35.92	35.61	34.46	35.95	35.92	35.61	35.92	35.92 (34.94)
載荷点高さ h(cm)	342.3	342.3	342.3	342.3	342.3	342.3	358.3	358.3
有効座屈長 l(=2h)(cm)	684.6	684.6	684.6	684.6	684.6	684.6	808.6	808.6
細長比パラメータ λ	0.246	0.254	0.271	0.243	0.251	0.257	0.296	0.298 (0.306)
幅厚比パラメータ R_R	0.64	0.66	0.63	0.62	0.65	0.66	0.65	0.66
幅厚比パラメータ R_F	0.47	0.41	0.68	0.65	0.85	0.62	0.85	0.38
縦リブ剛度 γ_l / γ_l^*	<0.55>	<1.16>	0.87	0.90	0.55	1.16	0.55	3.25
縦リブ剛度 $\gamma_l / \gamma_{l,req}$	<0.55>	<1.16>	0.87	0.90	0.55	1.16	0.55	3.25
軸力 N(tf)	185.9	196.8	224.5	247.7	185.9	196.8	185.9	185.9
軸力比 N/N_{yN}	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150 (0.129)
軸力比 N/N_{yM}	0.139	0.132	0.125	0.142	0.134	0.129	0.134	0.132 (0.114)
コンクリート圧縮強度 σc(kgf/cm2)	－	－	－	－	310	291	－	－

表－2.1.3(1)　矩形断面供試体の諸元（つづき）

供試体番号	M11	M14	M16	M17	M18			
外形寸法(mm)	900x900	900x900	900x900	900x900	900x900			
板厚 t(mm)	10	10<12>	10<10>	9	9			
縦リブ寸法(mm)	65x6 +65x12	75x9 <90x9>	65x6 +85x12	60x6 + 41x9	60x6			
横リブ間隔 a(mm)	300	900	900	500	250			
補剛板の全幅 b(mm)	900	900	900	900	900			
縦リブで区切られるパネル数	3	3	3	5	5			
鋼種	SM490	SM490	SM490	SM490	SM490			
鋼材下降伏点 σ_{yM}(kgf/cm2)	3591	3764 <4378>	3517	3204	3613			
断面積 A(cm2)	387.2 (449.6)	410.0 <492.0>	387.2 (511.2)	378.4 (437.4)	378.4			
断面2次モーメント I(cm4)	499,509 (549,003)	519,984 <624,042>	499,509 (717,510)	484,853 (538,387)	484,853			
断面2次半径 r(cm)	35.92 (34.94)	35.61	35.92 (37.46)	35.80 (35.08)	35.80			
載荷点高さ h(cm)	358.3	358.3	358.3	358.3	358.3			
有効座屈長 l(=2h)(cm)	808.6	808.6	808.6	808.6	808.6			
細長比パラメータ λ	0.296 (0.305)	0.306	0.293 (0.281)	0.281 (0.287)	0.298			
幅厚比パラメータ R_R	0.65	0.67 <0.60>	0.65	0.41	0.44			
幅厚比パラメータ R_F	0.33	0.63 <0.56>	0.38	0.24	0.22			
縦リブ剛度 γ_l / γ_l^*	<3.25>	1.15	3.06	3.04	4.35			
縦リブ剛度 $\gamma_l / \gamma_{l,req}$	<3.25>	1.15	3.06	4.45	6.67			
軸力 N(tf)	185.9	185.9	185.9	181.6	181.6			
軸力比 N/N_{yN}	0.150 (0.129)	0.150	0.150 (0.114)	0.150 (0.130)	0.150			
軸力比 N/N_{yM}	0.134 (0.115)	0.128	0.136 (0.103)	0.150 (0.130)	0.133			
コンクリート圧縮強度 σc(kgf/cm2)	–	–	–	–	–			

注）1.M1, M2, M11の鍵カッコ内は補強横リブを考慮しない場合を示す。
2.M3・M4・M16の鍵カッコ内はコーナー部を示す。
3.M14の鍵カッコ内は供試体下部の断面を示す.
4.縦リブ寸法内での ＋後の表示は補強フランジ断面を示す.
5.M10, M11, M16, M17のカッコ内は縦リブ補強フランジおよび角補強を考慮した場合を示す。
6. D社での実験における載荷点高さは土研と異なるが、実験結果の整理は土研高さに換算して整理している。

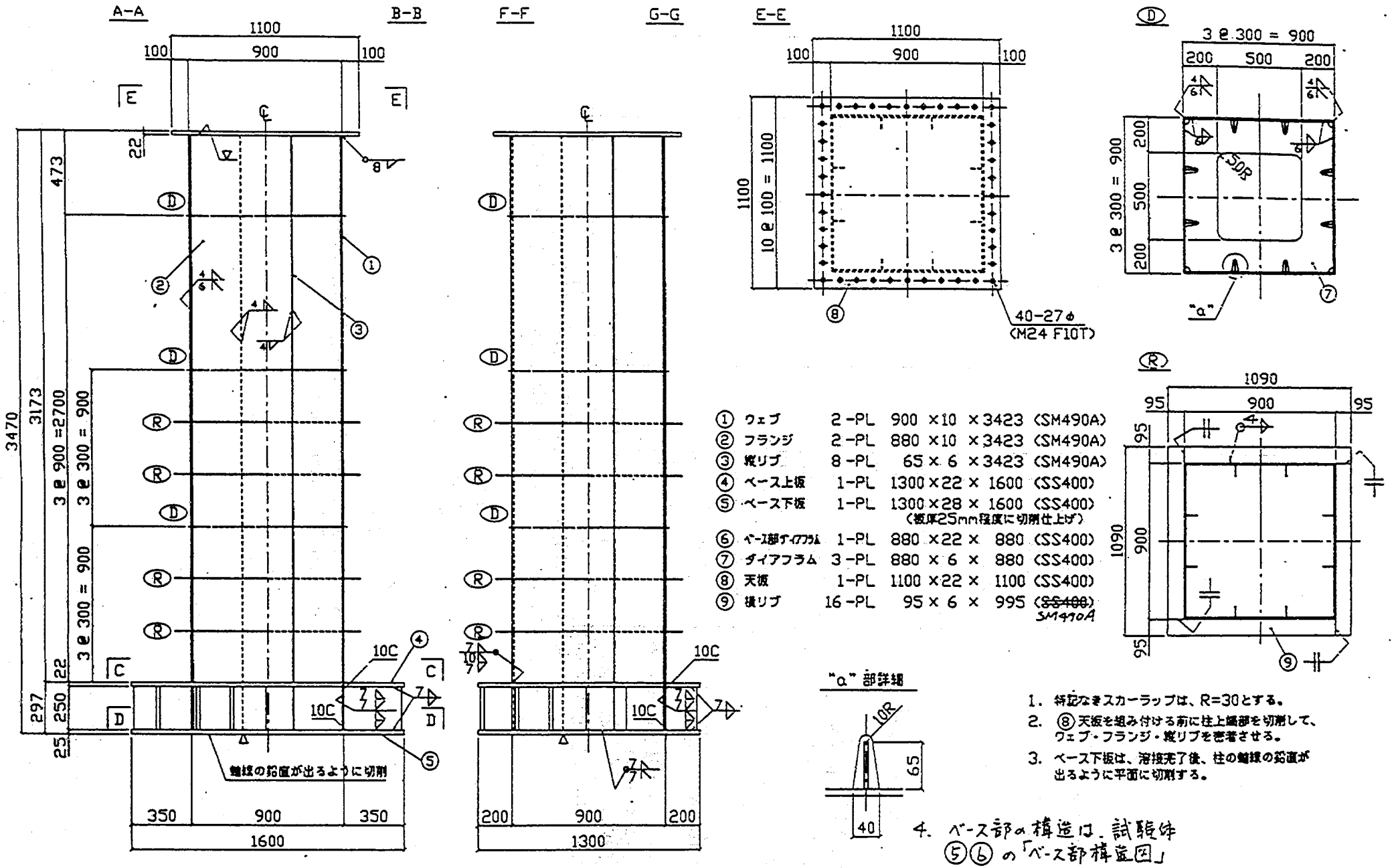
表－2.1.3(2)　円形断面供試体の諸元

供試体番号	M7	M19					
外形寸法(mm)	900	900					
半径　R(mm)	450	450					
板厚　t(mm)	9 <16>	9					
縦リブ寸法(mm)	—	70x8					
径厚比　R／t	50.0 <28.1>	50.0					
径厚比パラメータ　Rt	0.115 <0.059>	0.110					
横リブ間隔　(mm)	900	900					
鋼種	SS400	SS400					
鋼材下降伏点　σ_{yM}(kgf/cm2)	2950 <2721>	2825					
断面積　A(cm2)	251.9	251.9 (296.7)					
断面2次モーメント　I(cm4)	250,023	250,023 (287,038)					
断面2次半径　r(cm)	31.50	31.50 (31.10)					
載荷点高さ　h(cm)	342.3	342.3					
有効座屈長 l(=2h)(cm)	684.6	684.6					
細長比パラメータ　λ	0.259	0.254 (0.257)					
軸力　N(tf)	90.7	90.7					
軸力比　$N／N_{yN}$	0.150	0.150 (0.127)					
軸力比　$N／N_{yM}$	0.122	0.127 (0.108)					
鋼板巻き立て補強における隙間の大きさ(mm)	–	–					
中詰めコンクリート高さ(mm)	–	–					
コンクリート圧縮強度　σc(kgf/cm2	–	–					

注）1.M7の鍵カッコ内は供試体下部の断面を示す.
2.M19、M23のカッコ内は補強縦リブを考慮した場合を示す。

ここに、
$$\overline{\lambda} = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_{yM}}{E}}\cdot\frac{l}{\gamma} \qquad ,(l=2h)$$
$$\gamma = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

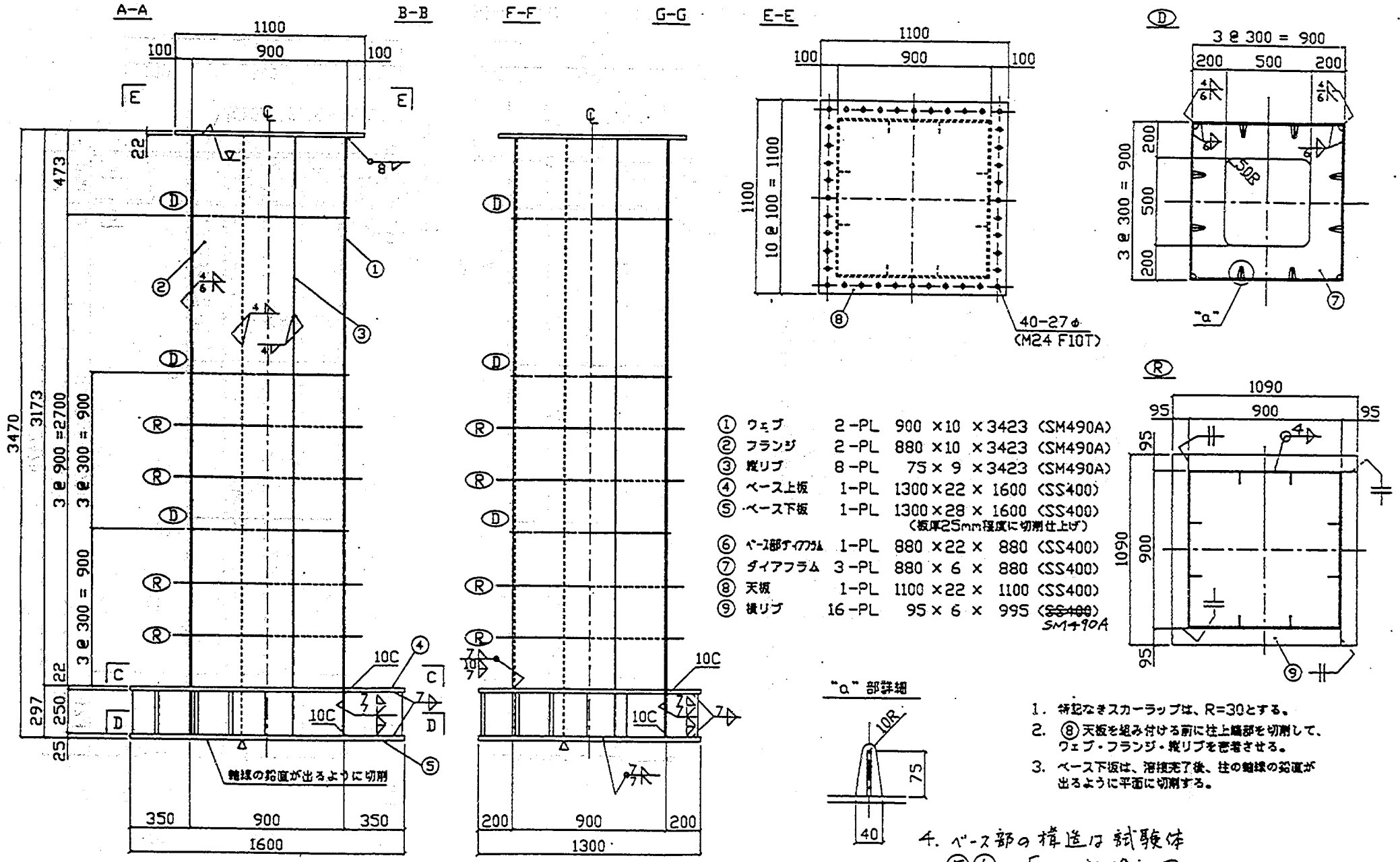
N_{yN}：公称降伏軸力(tf)(＝A・σ_{yN})、A：断面積(cm2)
σ_{yN}：公称降伏点(kgf/cm2)



①	ウェブ	2 -PL	900 × 10 × 3423	(SM490A)
②	フランジ	2 -PL	880 × 10 × 3423	(SM490A)
③	縦リブ	8 -PL	65 × 6 × 3423	(SM490A)
④	ベース上板	1 -PL	1300 × 22 × 1600	(SS400)
⑤	ベース下板	1 -PL	1300 × 28 × 1600 (板厚25mm程度に切削仕上げ)	(SS400)
⑥	ベース部ダイアフラム	1 -PL	880 × 22 × 880	(SS400)
⑦	ダイアフラム	3 -PL	880 × 6 × 880	(SS400)
⑧	天板	1 -PL	1100 × 22 × 1100	(SS400)
⑨	横リブ	16 -PL	95 × 6 × 995	(~~SS400~~) SM490A

1. 特記なきスカーラップは、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、柱の鋼線の鉛直が出るように平面に切削する。
4. ベース部の構造は、試験体⑤⑥の「ベース部構造図」による。

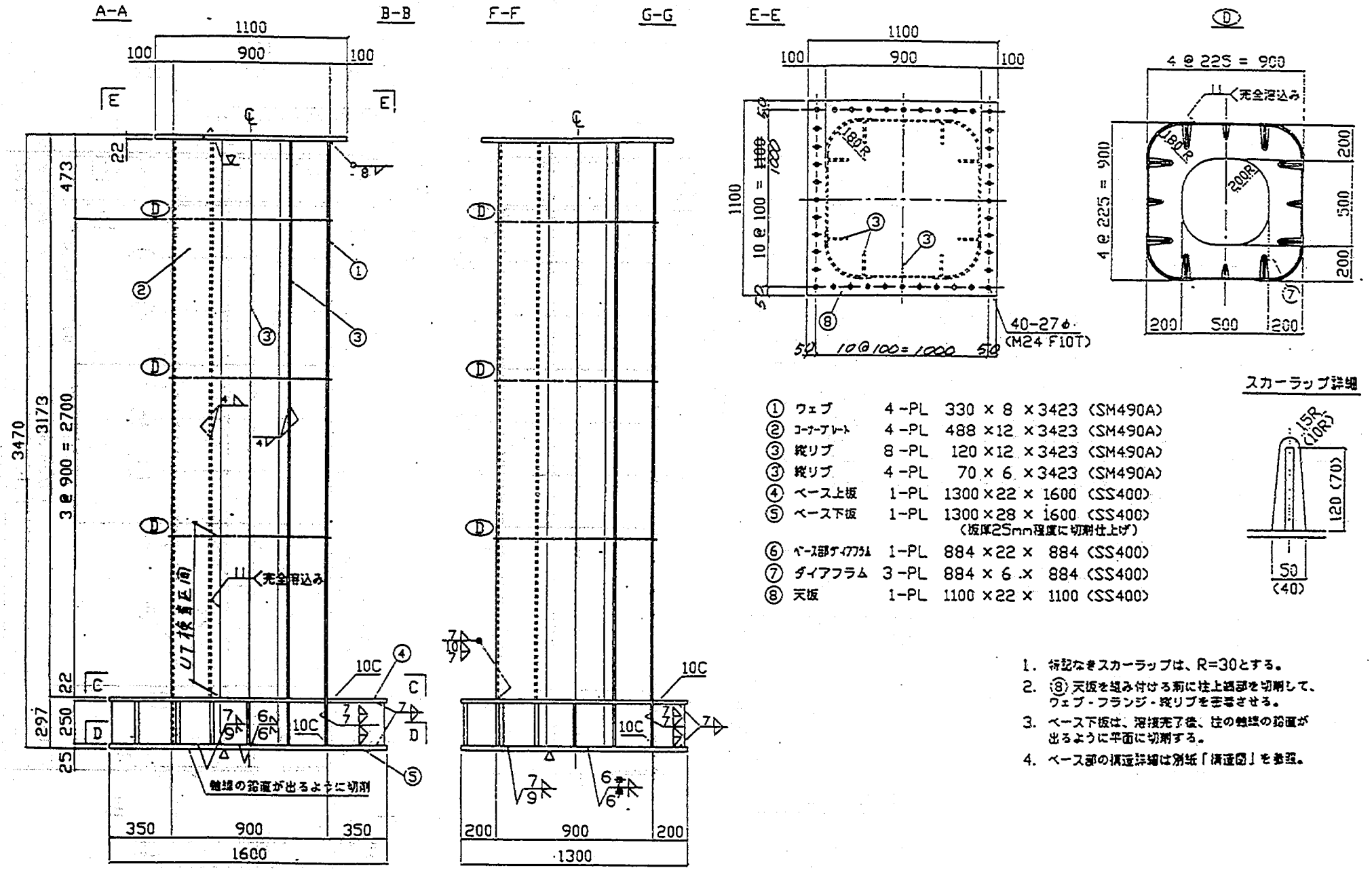
図-2.1.1(1)　矩形断面供試体の形状・寸法（M1）



①	ウェブ	2-PL	900 × 10 × 3423	(SM490A)
②	フランジ	2-PL	880 × 10 × 3423	(SM490A)
③	縦リブ	8-PL	75 × 9 × 3423	(SM490A)
④	ベース上板	1-PL	1300 × 22 × 1600	(SS400)
⑤	ベース下板	1-PL	1300 × 28 × 1600 (板厚25mm程度に切削仕上げ)	(SS400)
⑥	ベース部ダイアフラム	1-PL	880 × 22 × 880	(SS400)
⑦	ダイアフラム	3-PL	880 × 6 × 880	(SS400)
⑧	天板	1-PL	1100 × 22 × 1100	(SS400)
⑨	横リブ	16-PL	95 × 6 × 995	~~(SS400)~~ SM490A

1. 特記なきスカーラップは、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. ベース部の構造は試験体⑤⑥の「ベース部構造図」による。

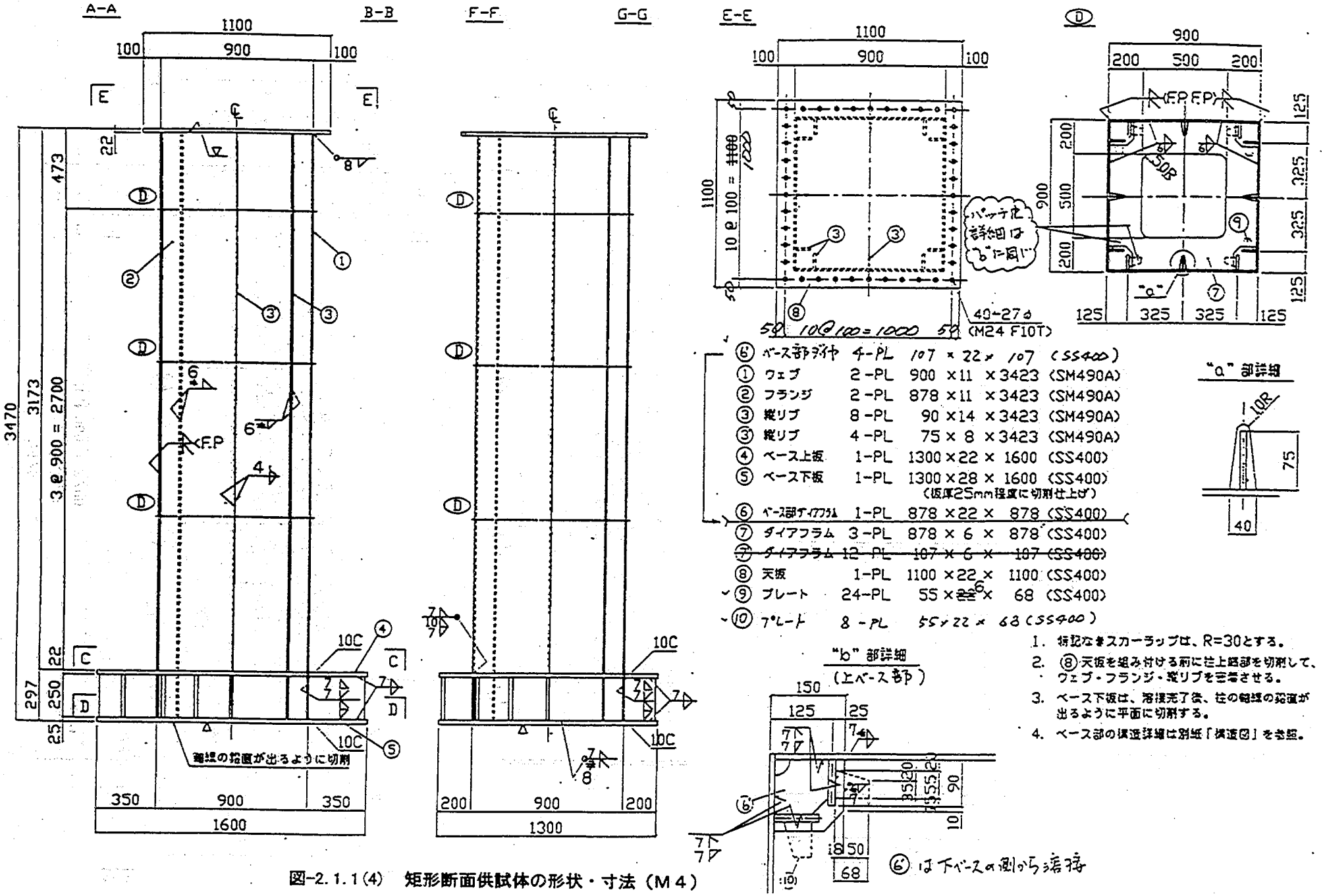
図-2.1.1(2)　矩形断面供試体の形状・寸法（M2）



①	ウェブ	4 -PL	330 × 8 × 3423	(SM490A)
②	コーナープレート	4 -PL	488 × 12 × 3423	(SM490A)
③	縦リブ	8 -PL	120 × 12 × 3423	(SM490A)
③	縦リブ	4 -PL	70 × 6 × 3423	(SM490A)
④	ベース上板	1-PL	1300 × 22 × 1600	(SS400)
⑤	ベース下板	1-PL	1300 × 28 × 1600 (板厚25mm程度に切削仕上げ)	(SS400)
⑥	ベース部ダイアフラム	1-PL	884 × 22 × 884	(SS400)
⑦	ダイアフラム	3 -PL	884 × 6 × 884	(SS400)
⑧	天板	1-PL	1100 × 22 × 1100	(SS400)

1. 特記なきスカーラップは、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. ベース部の構造詳細は別紙「構造図」を参照。

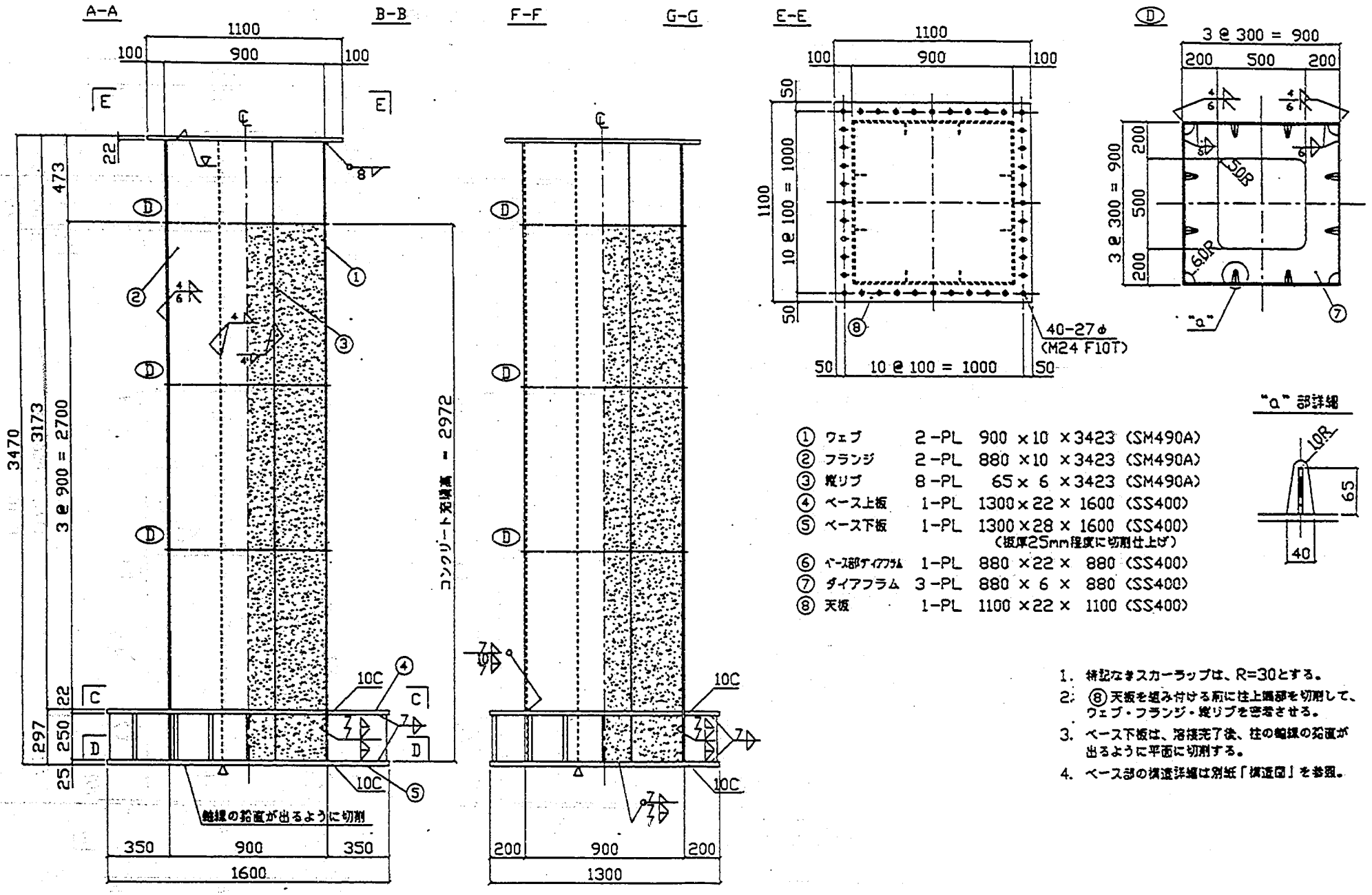
図-2.1.1(3)　矩形断面供試体の形状・寸法（M３）



⑥	ベース部ダイヤ	4-PL	107 × 22 × 107	(SS400)
①	ウェブ	2-PL	900 × 11 × 3423	(SM490A)
②	フランジ	2-PL	878 × 11 × 3423	(SM490A)
③	縦リブ	8-PL	90 × 14 × 3423	(SM490A)
③	縦リブ	4-PL	75 × 8 × 3423	(SM490A)
④	ベース上板	1-PL	1300 × 22 × 1600	(SS400)
⑤	ベース下板	1-PL	1300 × 28 × 1600 (仮厚25mm程度に切削仕上げ)	(SS400)
⑥	ベース部ダイアフラム	1-PL	878 × 22 × 878	(SS400)
⑦	ダイアフラム	3-PL	878 × 6 × 878	(SS400)
~~⑦~~	~~ダイアフラム~~	~~12-PL~~	~~107 × 6 × 107~~	~~(SS400)~~
⑧	天板	1-PL	1100 × 22 × 1100	(SS400)
⑨	プレート	24-PL	55 × ~~22~~ 6 × 68	(SS400)
⑩	プレート	8-PL	55 × 22 × 68	(SS400)

1. 特記なきスカーラップは、R=30とする。
2. ⑧天板を組み付ける前に柱上部を切削して、ウェブ・フランジ・縦リブを面一させる。
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. ベース部の構造詳細は別紙「構造図」を参照。

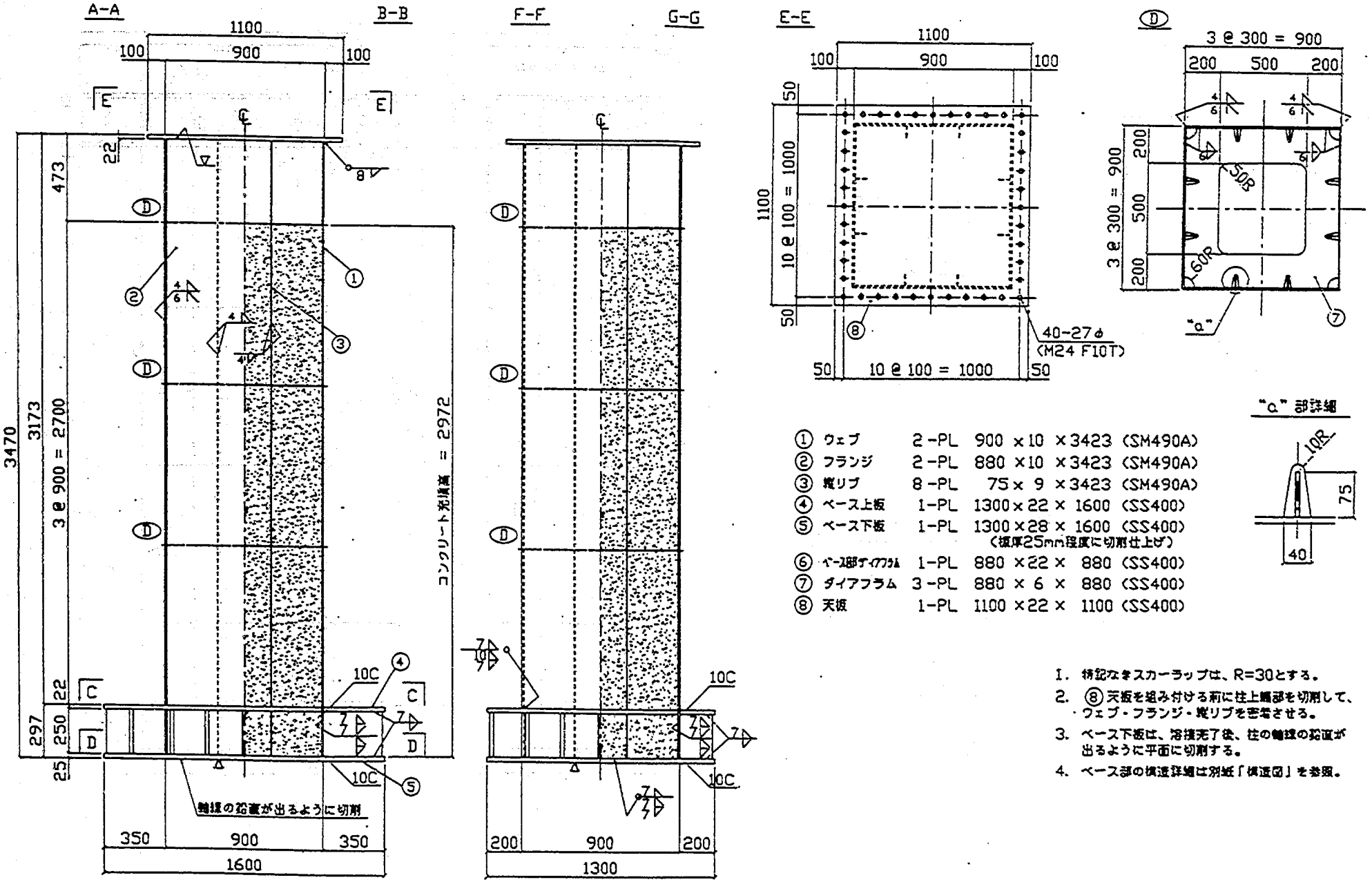
図-2.1.1(4)　矩形断面供試体の形状・寸法（M4）



①	ウェブ	2-PL	900 × 10 × 3423	(SM490A)
②	フランジ	2-PL	880 × 10 × 3423	(SM490A)
③	縦リブ	8-PL	65 × 6 × 3423	(SM490A)
④	ベース上板	1-PL	1300 × 22 × 1600	(SS400)
⑤	ベース下板	1-PL	1300 × 28 × 1600 (板厚25mm程度に切削仕上げ)	(SS400)
⑥	ベース部ダイアフラム	1-PL	880 × 22 × 880	(SS400)
⑦	ダイアフラム	3-PL	880 × 6 × 880	(SS400)
⑧	天板	1-PL	1100 × 22 × 1100	(SS400)

1. 特記なきスカーラップは、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. ベース部の構造詳細は別紙「構造図」を参照。

図-2.1.1(5)　矩形断面供試体の形状・寸法（M5）



1. 特記なきスカーラップは、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. ベース部の構造詳細は別紙「構造図」を参照。

図-2.1.1(6) 矩形断面供試体の形状・寸法（M6）

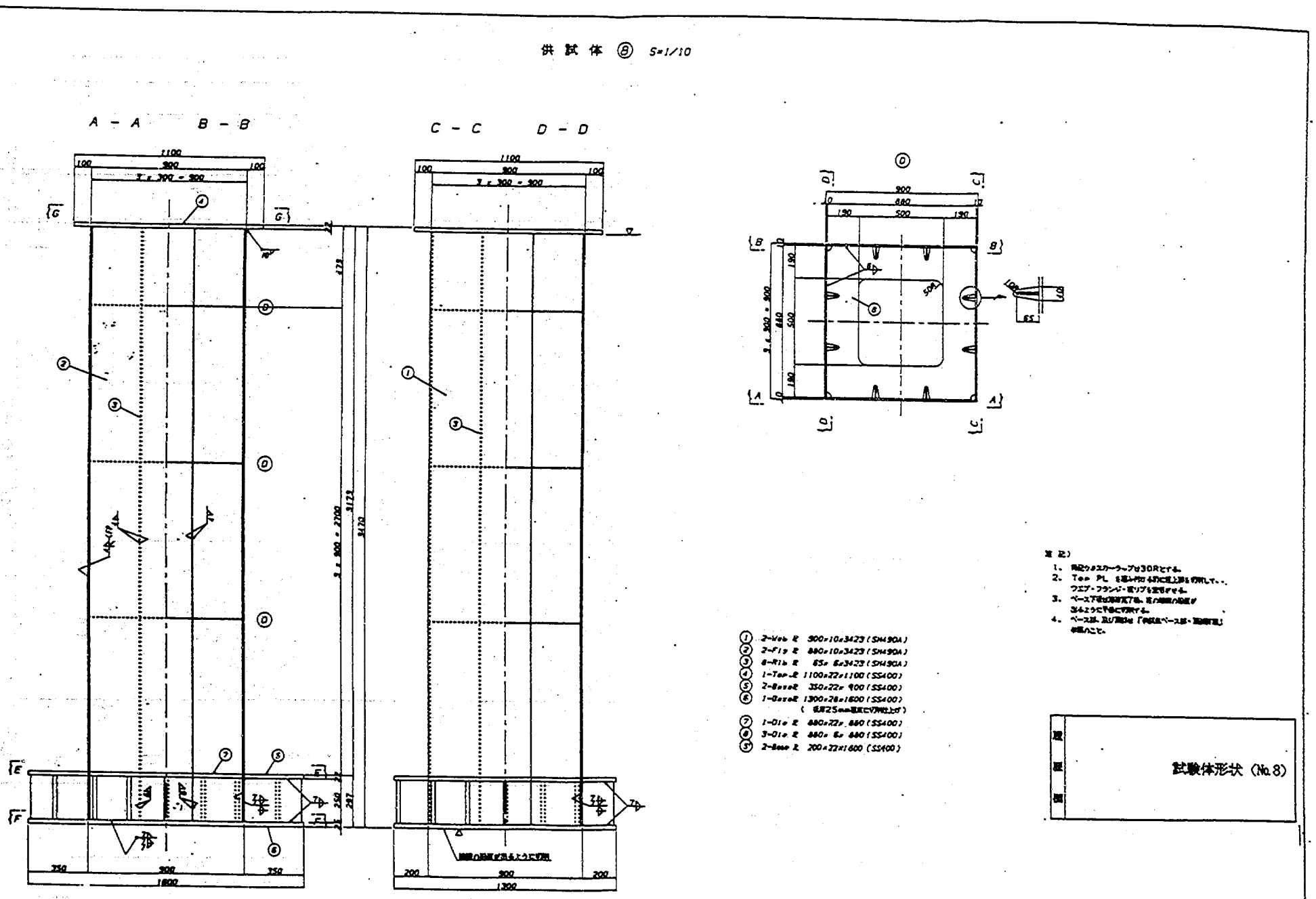
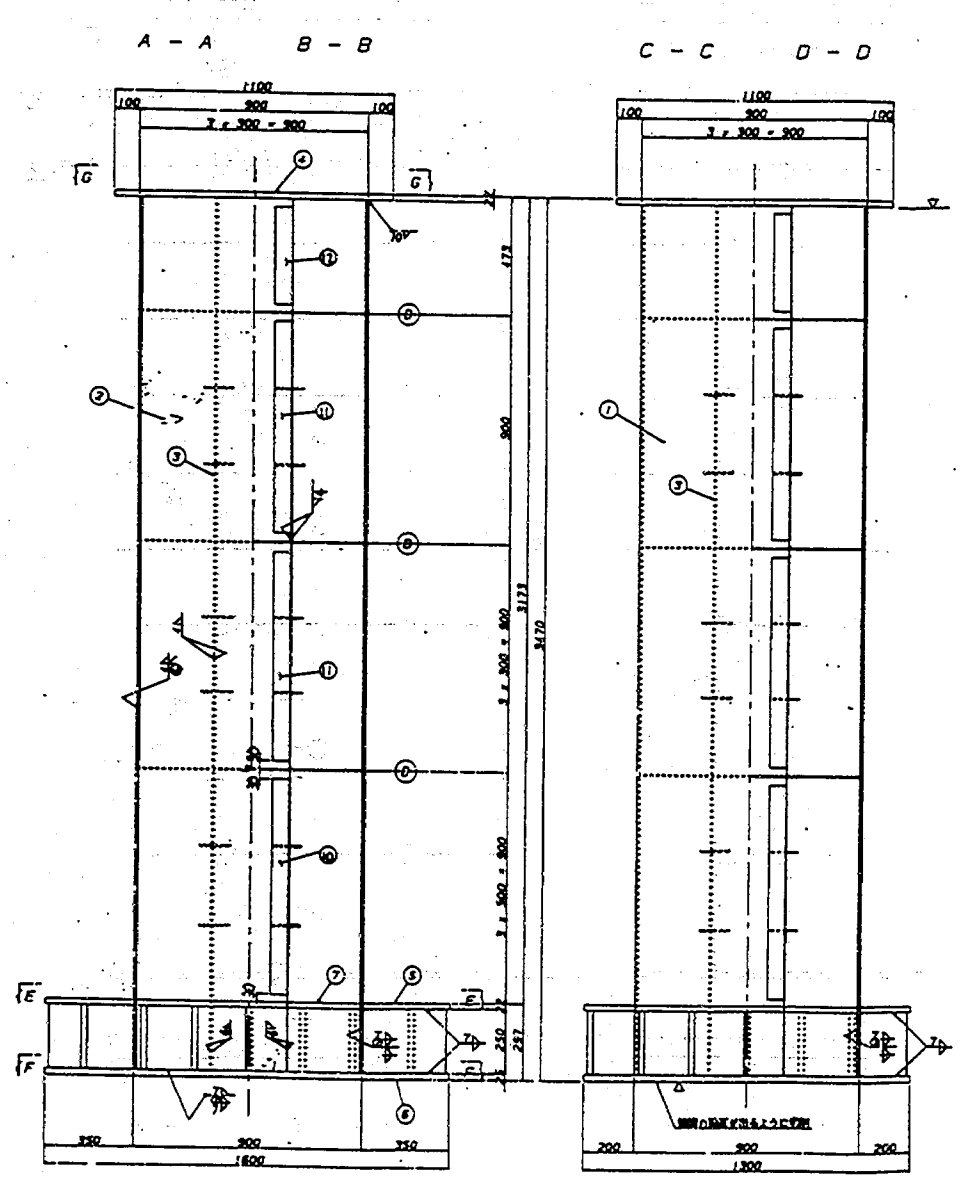
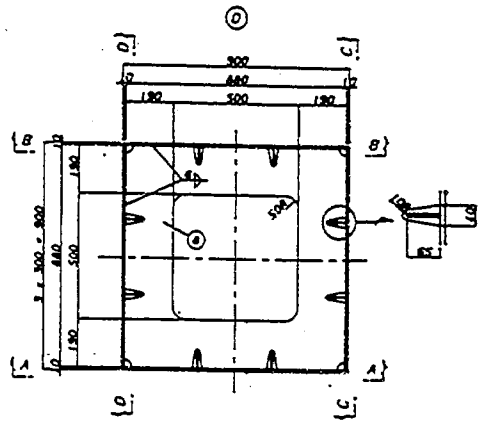
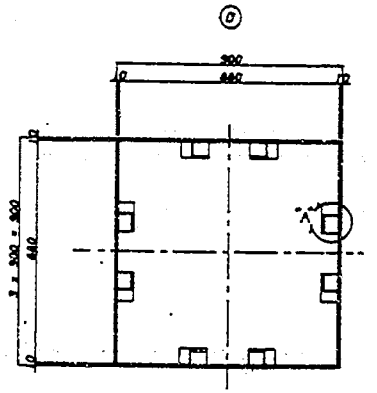


図-2.1.1(7)　矩形断面供試体の形状・寸法（M８）

供試体⑩ S=1/10







注記）
1. 特記ウェルドーラップは3ORとする。
2. Top PL を組み作図 4面に仕上げ平削して、フエブ・フランジ一定リブと正確とする。
3. ベース下面は溶接完了後、各ハ溶接の収縮が落ちように平面に平削する。
4. ベース図、及び溶接は「特定形ベース図・溶接標準」参照のこと。
5. 「A」コラム図は、試験体⑩の場合により。

①	2-Web R	900×10×3423 (SM490A)
②③	2-Flg R	880×10×3423 (SM490A)
④	4-Rib R	85× 6×3423 (SM490A)
⑤	1-Top R	1100×22×1100 (SS400)
⑥	2-Base R	350×22× 900 (SS400)
⑦	1-Base R	1300×28×1600 (SS400)
		(板厚25mm超過に予熱上げ)
⑧	1-Dia R	880×22× 880 (SS400)
⑨	3-Dia R	880× 8× 880 (SS400)
⑩	2-Base R	200×22×1600 (SS400)
⑪	B-Rib R	65×12×837 (SS400)
⑫	16-Rib R	65×12×834 (SS400)
⑬	8-Rib R	65×12×388 (SS400)
⑭	48- R	65×16× 53 (SS400)
	48- R	40× 6× 69 (SS400)

履歴欄	試験体形状 (No.10)

図-2.1.1(8)　矩形断面供試体の形状・寸法（M１０）

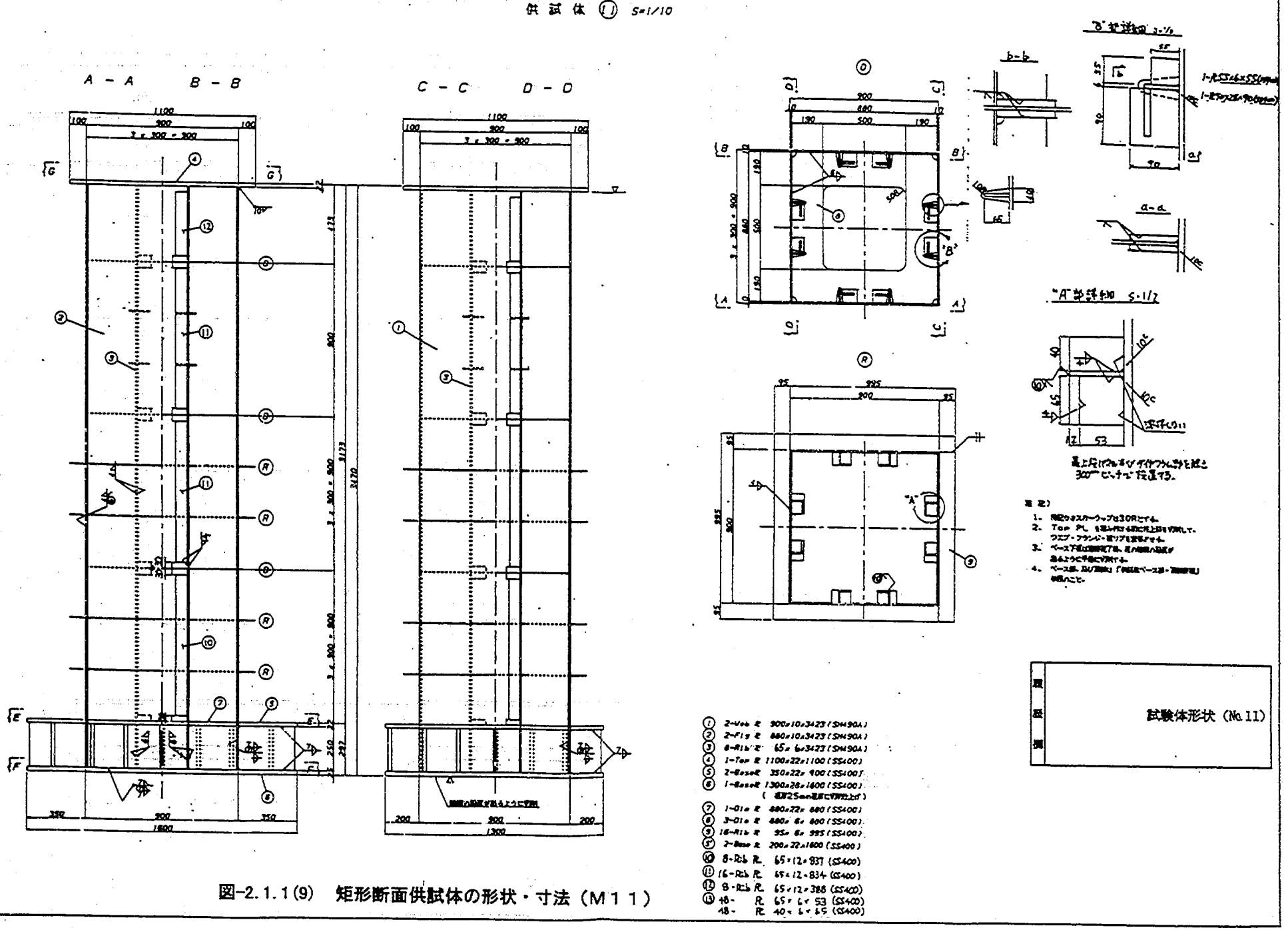


図-2.1.1(9)　矩形断面供試体の形状・寸法（M11）

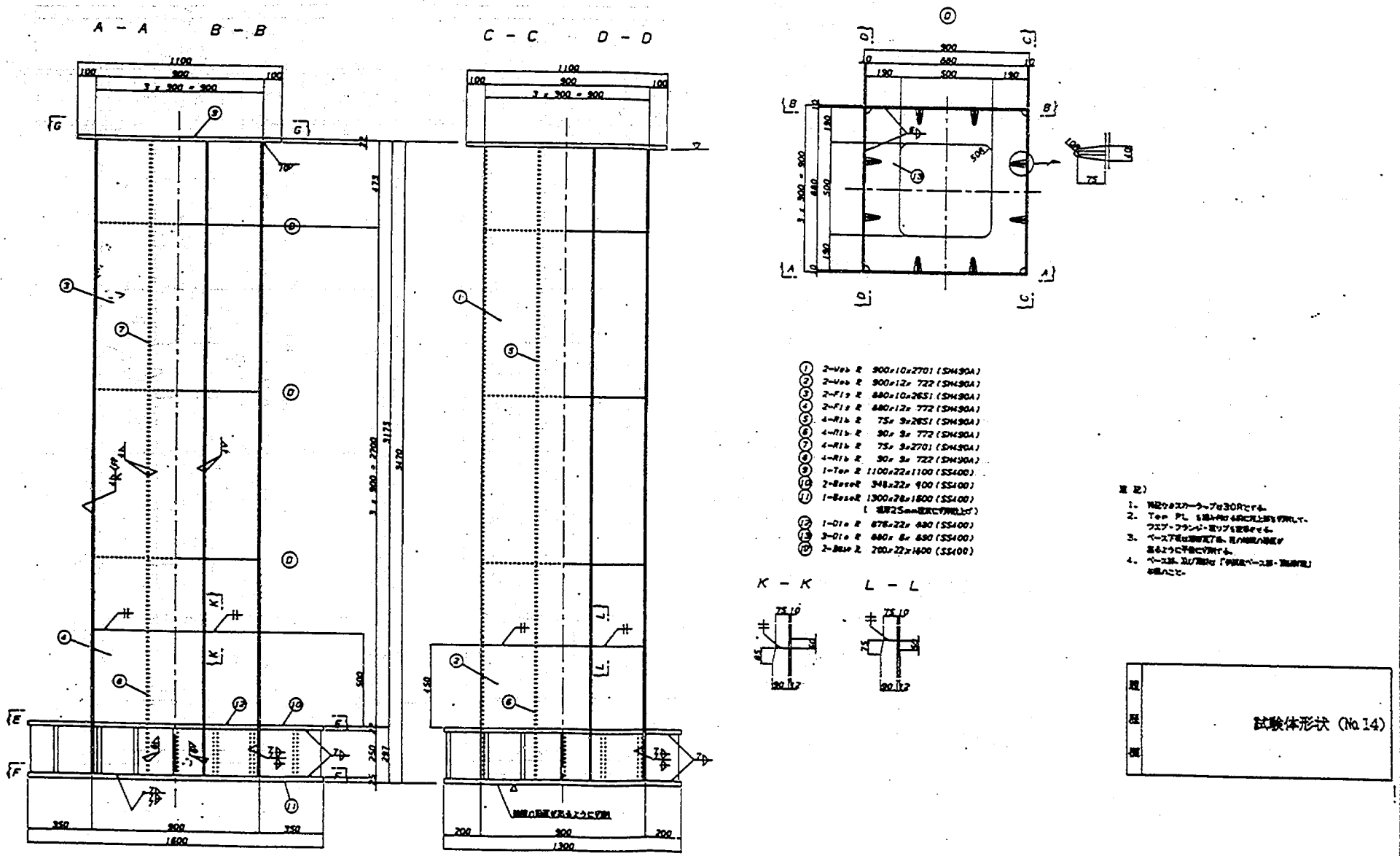


図-2.1.1(10)　矩形断面供試体の形状・寸法（M１４）

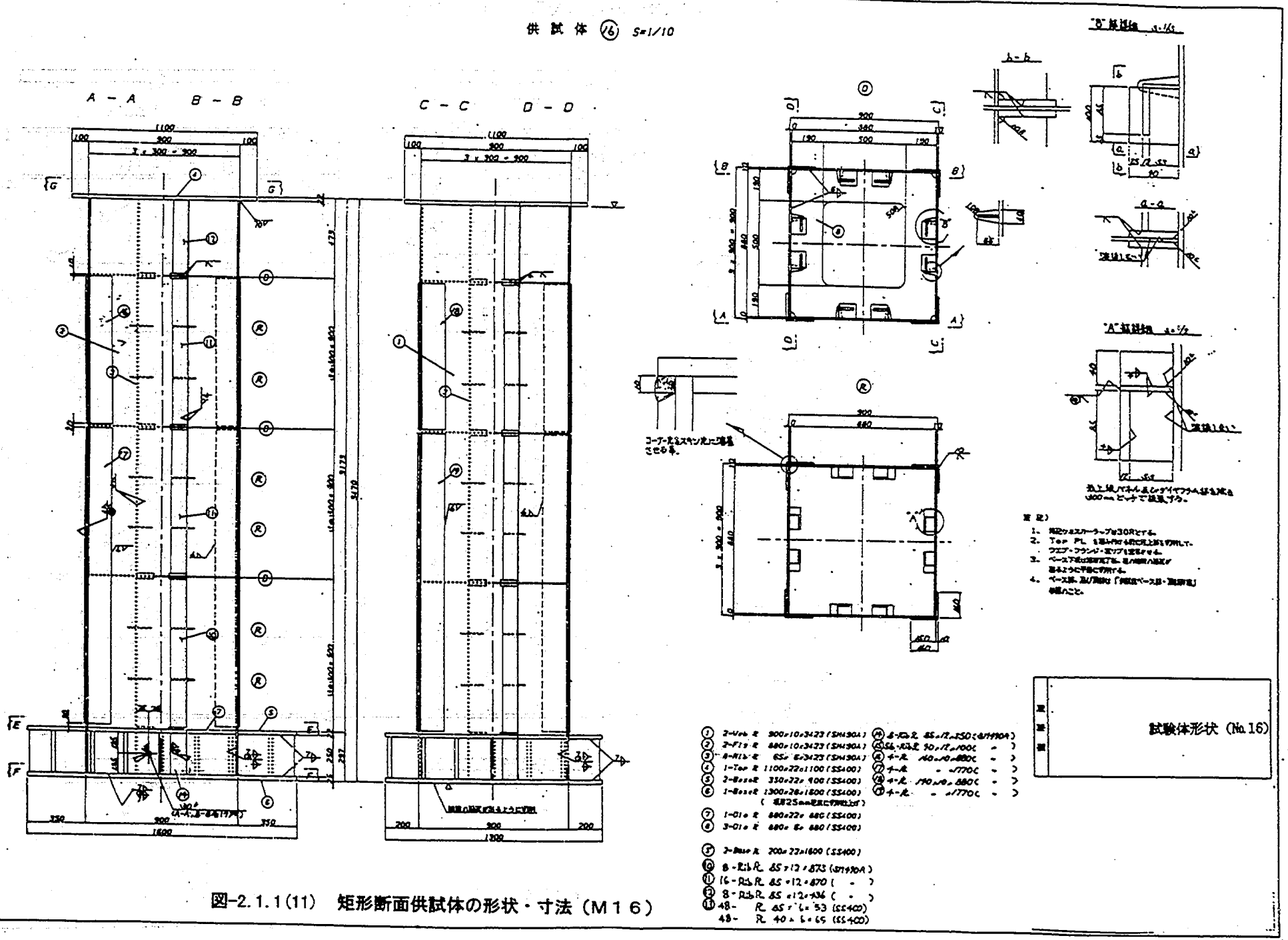
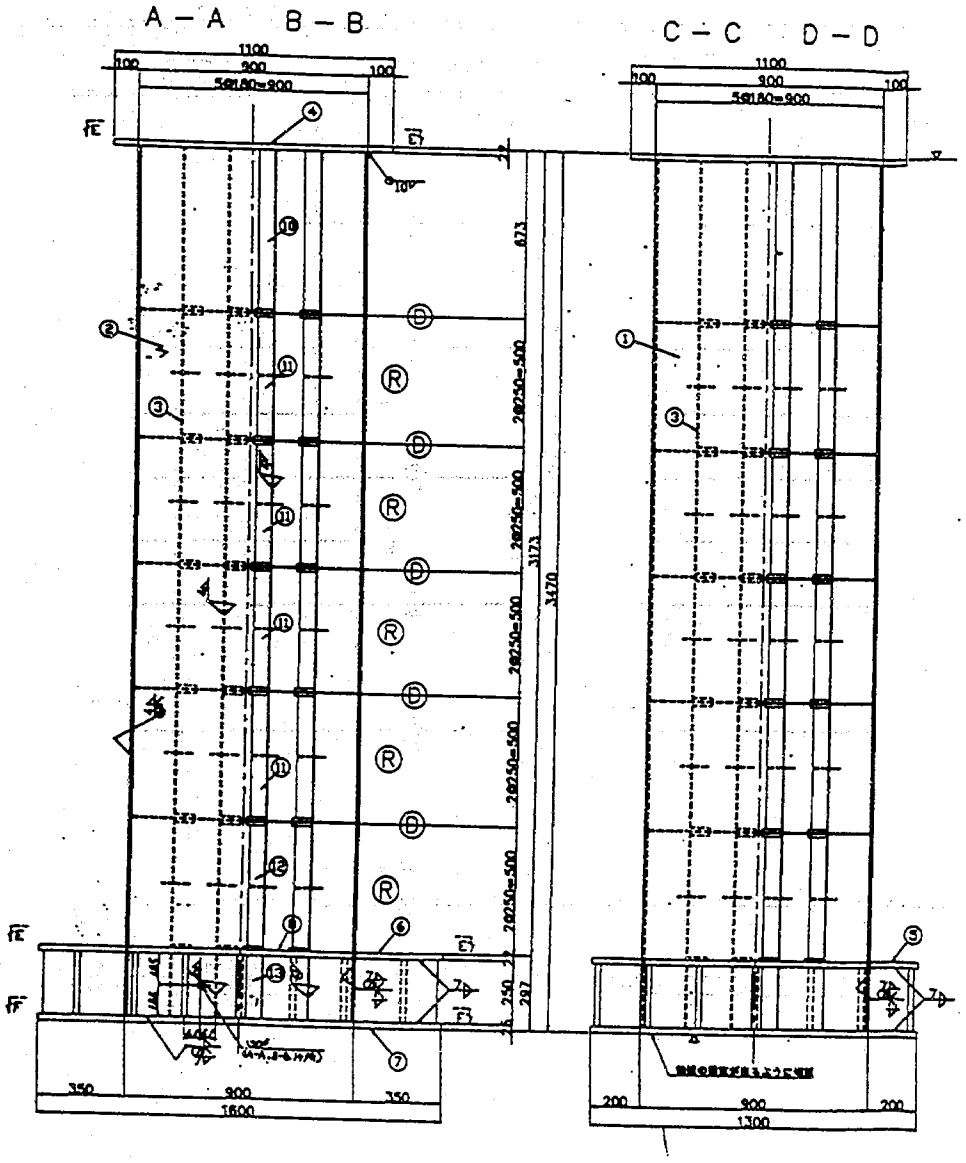
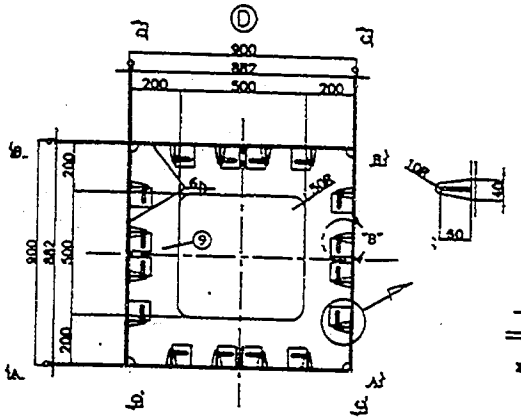
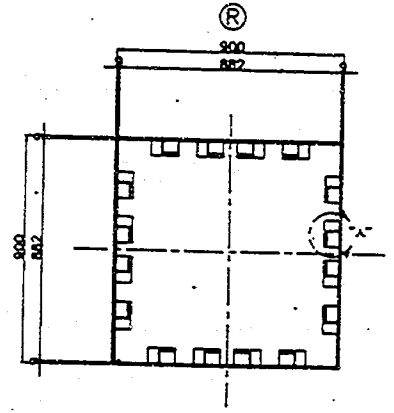


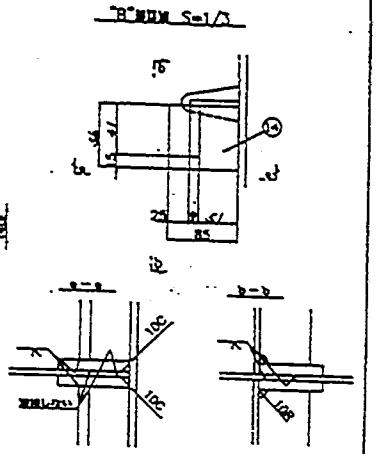
図-2.1.1(11)　矩形断面供試体の形状・寸法（M16）

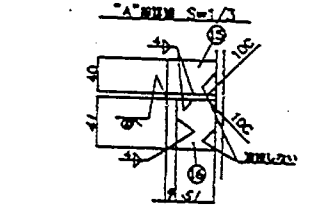
供試体⑰ S=1/10











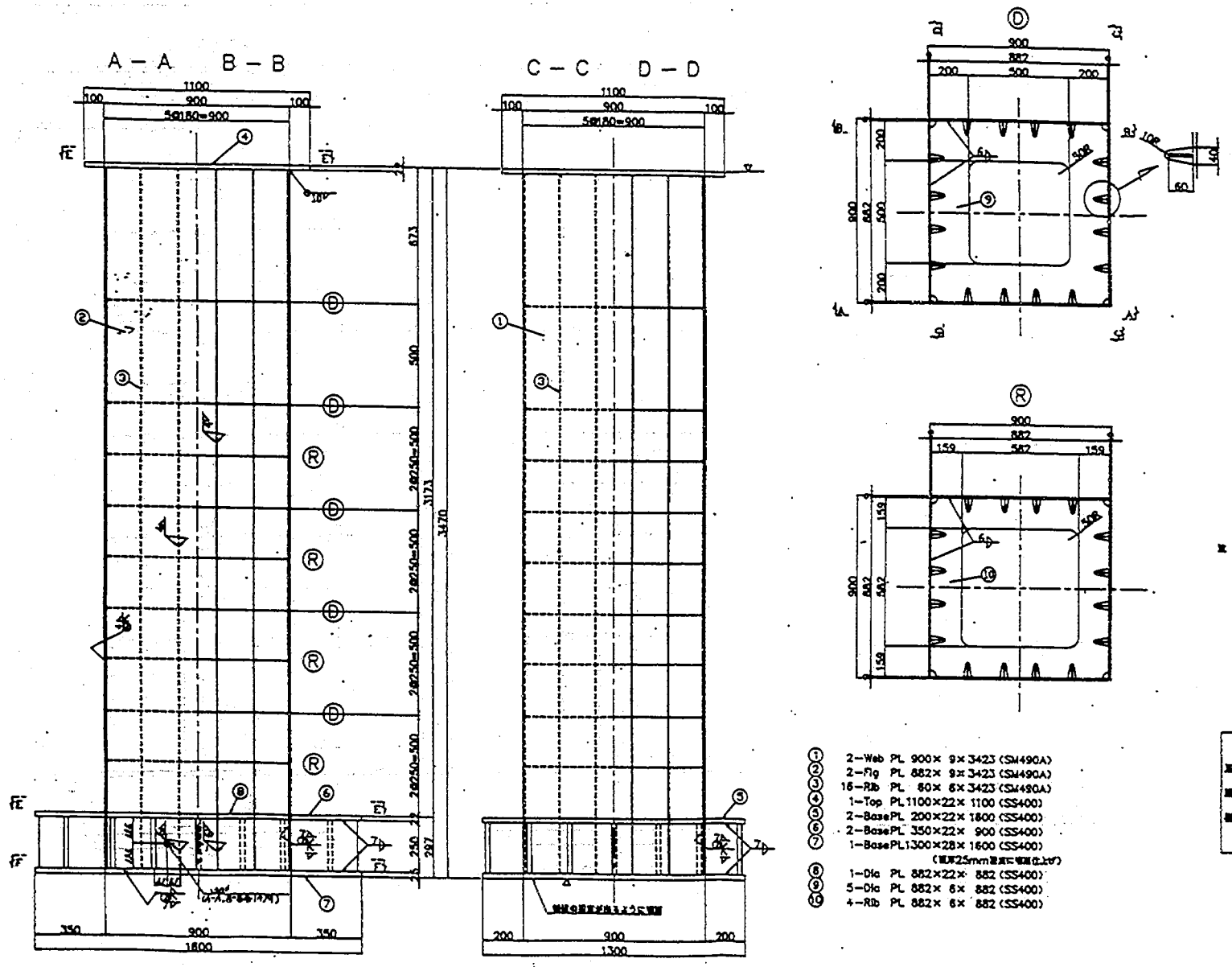
注記)
1. 特記なきスカーラップは、30Rとする。
2. Top PL を組み付ける前に仕上げを確認して、ウェブ・フランジ・補リブを溶接する。
3. ベース下面は溶接完了後、仕様値の反りが出るように予熱に配慮する。
4. ベース部、及び溶接は「鉄筋コンベース・溶接詳細」参照のこと。

①	2-Web	PL	900×	9×	3423 (SM490A)
②	2-Flg	PL	882×	9×	3423 (SM490A)
③	18-Rib	PL	60×	6×	3423 (SM490A)
④	1-Top	PL	1100×	22×	1100 (SS400)
⑤	2-Base	PL	200×	22×	1600 (SS400)
⑥	2-Base	PL	350×	22×	900 (SS400)
⑦	1-Base	PL	1300×	28×	1600 (SS400)
			(端部25mm範囲に傾斜仕上げ)		
⑧	1-Dia	PL	882×	22×	882 (SS400)
⑨	5-Dia	PL	882×	6×	882 (SS400)
⑩	16-Rib	PL	4/×	9×	836 (SM490A)
⑪	84-Rib	PL	4/×	9×	470 (SM490A)
⑫	16-Rib	PL	4/×	9×	473 (SM490A)
⑬	18-Rib	PL	4/×	9×	250 (SM490A)
⑭	178-	PL	44×	12×	85 (SM490A)
⑮	80-	PL	40×	6×	80 (SS400)
⑯	80-	PL	3/×	6×	4/ (SS400)

試験体形状 (No.17)

図-2.1.1(12)　矩形断面供試体の形状・寸法（M１７）

供試体⑱ S=1/10



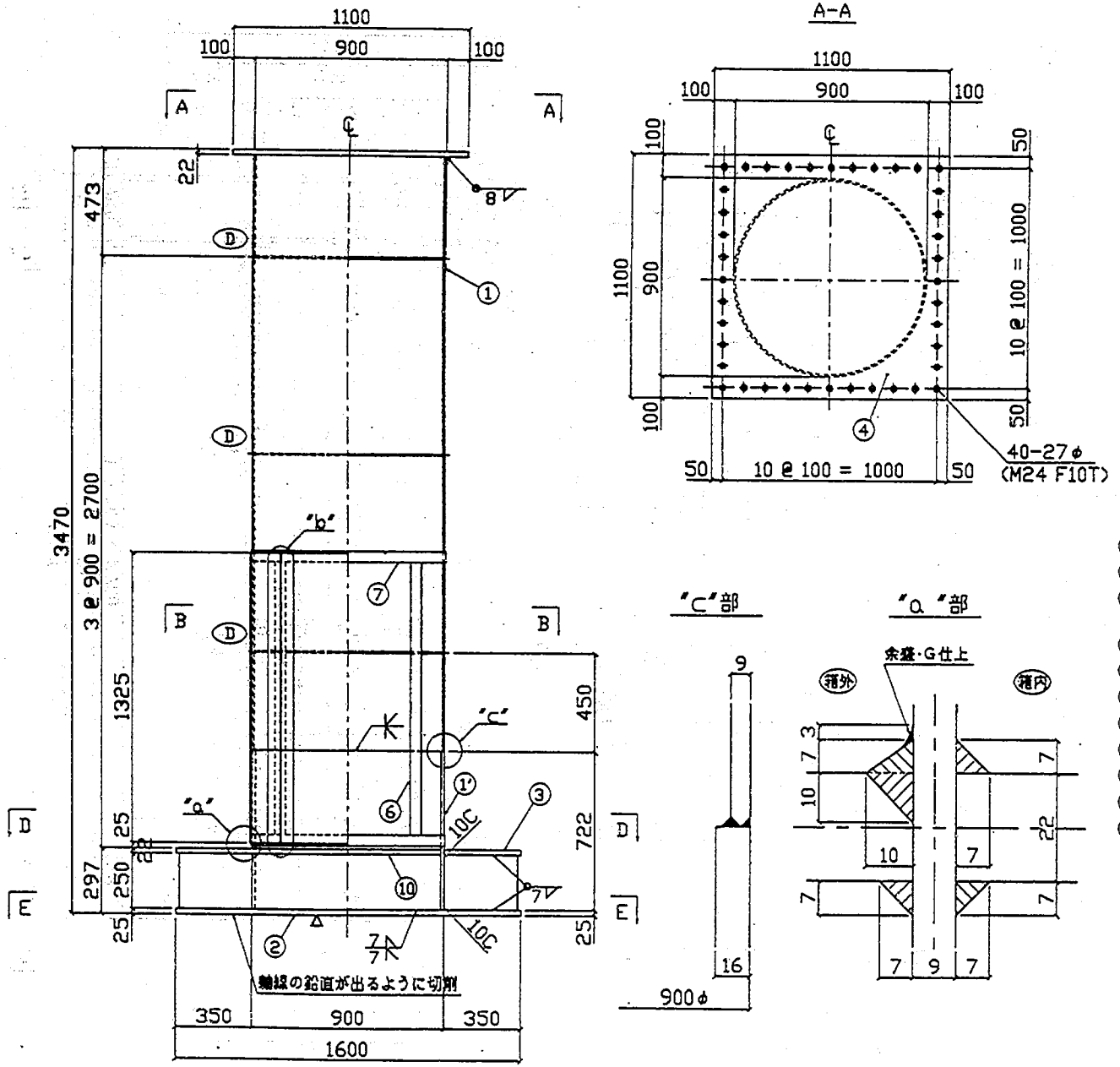
2−Web PL 900× 9×3423 (SM490A)
2−Flg PL 882× 9×3423 (SM490A)
16−Rib PL 80× 6×3423 (SM490A)

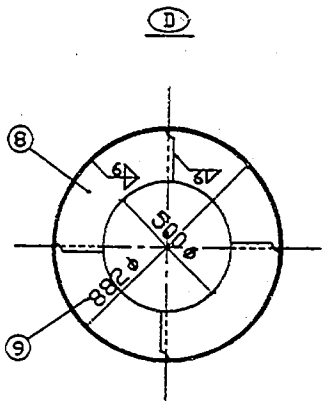
注 記)
1. 特記なきスカーラップは、30Rとする。
2. Top PL を組み付ける前に仕上げを施して、ウェブ・フランジ・Rリブを溶接する。
3. ベース下端は溶接部7箇所、他の箇所の隙間が出るように平面に仕上げる。
4. ベース部、及び注記「供試体ベース・詳細図」参照のこと。

縮尺	試験体形状 (No.18)

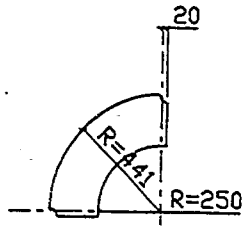
図−2.1.1(13)　矩形断面供試体の形状・寸法（Ｍ１８）

M7 供試体 （その1） S=1/20

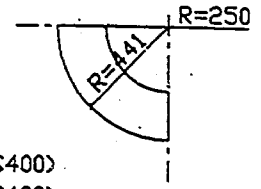




⑧ ダイアフラム詳細



⑨ ダイアフラム詳細



"C"部

"a"部

①	1-PL	2827× 9 ×2701	(SS400)
①	1-PL	2827×16 × 722	(SS400)
②	1-PL	1300×28 × 1600 (割り仕上げ後25mm)	(SS400)
③	1-PL	1300×22 × 1600	(SS400)
④	1-PL	1100×22 × 1100	(SS400)
⑤	4-PL	721×4.5×1325	(SS400)
⑥	4-FB	50×4.5×1235	(SS400相当)
⑦	2-FB	50×4.5×2827	(SS400相当)
⑧	6-PL	461× 6 × 461	(SS400)
⑨	6-PL	441× 6 × 441	(SS400)
⑩	1-PL	882φ×22	(SS400)

注）

1. 特記なきスカーラップは、R=30とする。
2. 柱基部下板は、溶接後、柱軸線の鉛直が出るように平面に切削する。
3. ④天板を組み付ける前に 、柱上端部を切削して、円柱を密着させる。
4. "B-B"断面及び"b"部詳細は（その2）に示す。

図-2.1.2(1) 円形断面供試体の形状・寸法（M7）

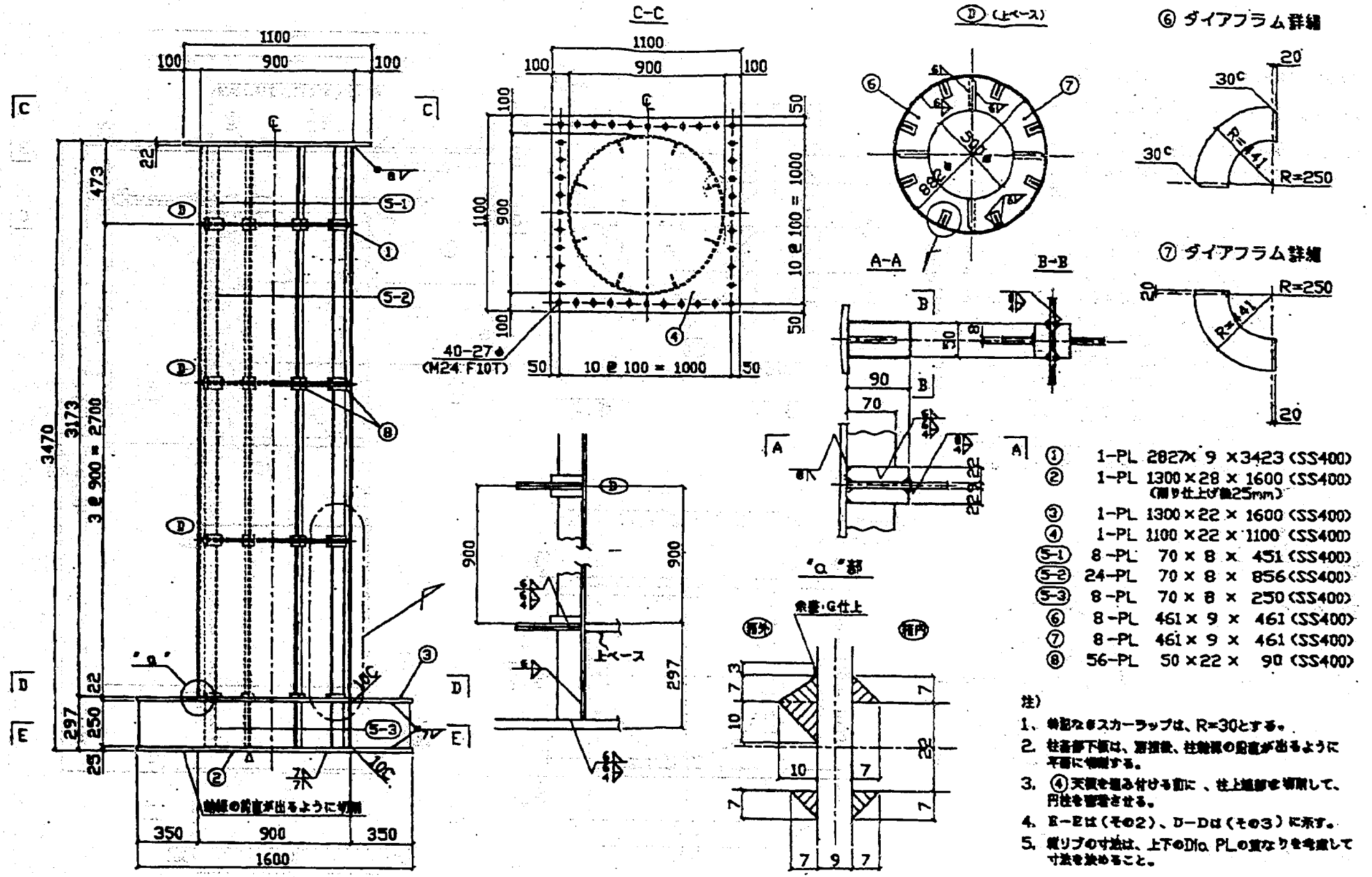


図-2.1.2(2) 円形断面供試体の形状・寸法 (M19)

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 (mm2)	上降伏点 (kgf/cm2)	下降伏点 (kgf/cm2)	引張強度 (kgf/cm2)	破断伸び (mm)	破断伸び (%)	材質
M1	L	P1	10.04	25.05	251.50	3671	3530	5108	20	40	SM490
	L	P2	10.03	25.06	251.35	3654	3410	5128	19	39	
ウェブ	L	P3	10.05	25.06	251.85	3666	3444	5101	20	40	
フランジ		平均				3664	3461	5112	20	39	
	C	P4	9.96	25.02	249.20	3634	3481	5082	22	43	SM490
	C	P5	9.95	25.04	249.15	3584	3430	5074	22	44	
	C	P6	9.95	25.02	248.95	3689	3443	5111	21	42	
		平均				3635	3451	5089	22	43	
		総平均				3650	3456	5101	21	41	
M2	L	P16	10.03	25.00	250.75	3785	3611	5360	21	42	SM490
	L	P17	10.02	25.03	250.80	3804	3611	5377	20	40	
ウェブ	L	P18	10.03	25.01	250.85	3865	3641	5400	20	40	
フランジ		平均				3818	3621	5379	20	40	
	C	P13	10.02	25.03	250.80	3824	3662	5351	18	36	SM490
	C	P14	10.00	25.03	250.30	3872	3629	5379	19	38	
	C	P15	10.00	25.03	250.30	3852	3618	5370	19	37	
		平均				3850	3636	5367	19	37	
		総平均				3834	3629	5373	19	39	
M3	L	P25	8.02	25.05	200.90	3937	3784	5618	20	39	SM490
	L	P26	8.02	25.06	200.98	3783	3783	5616	19	38	
ウェブ	L	P27	8.02	25.02	200.66	4005	3789	5626	19	39	
フランジ		平均				3908	3785	5620	19	39	
	C	P22	8.02	25.04	200.82	4129	3811	5610	17	34	SM490
	C	P23	8.02	25.06	200.98	4061	3808	5606	17	34	
	C	P24	8.04	25.02	201.16	4058	3741	5601	18	35	
		平均				4083	3787	5606	17	35	
		総平均				3995	3786	5613	18	37	
M3	C	P49	12.01	25.04	300.73	4114	3885	5457	22	44	SM490
	C	P50	12.03	25.05	301.35	4081	3878	5446	23	45	
コーナー	C	P51	12.03	25.04	301.23	3930	3811	5455	22	45	
プレート		平均				4041	3858	5453	22	44	
	L	P52	12.11	25.04	303.23	4081	3920	5513	20	40	SM490
	L	P53	12.13	25.04	303.74	4157	4014	5511	21	42	
	L	P54	12.15	25.04	304.24	4076	3941	5489	21	41	
		平均				4104	3959	5504	21	41	
		総平均				4073	3908	5479	21	43	
M4	L	P31	10.94	25.02	273.72	3635	3402	5346	22	43	SM490
	L	P32	10.93	25.03	273.58	3646	3450	5327	22	44	
ウェブ	L	P33	10.94	25.00	273.50	3498	3358	5343	22	44	
フランジ		平均				3593	3403	5338	22	44	
	C	P28	10.96	25.01	274.11	3537	3332	5279	21	42	SM490
	C	P29	10.95	25.03	274.08	3500	3313	5309	21	41	
	C	P30	10.96	25.01	274.11	3630	3444	5316	21	43	
		平均				3555	3363	5301	21	42	
		総平均				3574	3383	5320	21	43	
M5	L	P37	10.00	25.05	250.50	3768	3564	5399	18	37	SM490
	L	P38	9.99	25.01	249.85	3778	3624	5405	19	39	
ウェブ	L	P39	9.99	25.02	249.95	3858	3623	5419	19	37	
フランジ		平均				3801	3604	5408	19	37	
	C	P40	9.96	25.04	249.40	3785	3559	5398	21	42	SM490
	C	P41	9.94	25.04	248.90	3751	3566	5384	21	42	
	C	P42	9.93	25.05	248.75	3600	3548	5429	21	42	
		平均				3712	3558	5403	21	42	
		総平均				3757	3581	5406	20	40	

表-2.1.4(1)　材料試験結果（矩形断面）（つづき）

供試体番号	板取方向	試験片番号	板厚 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm2)	上降伏点 (kgf/cm2)	下降伏点 (kgf/cm2)	引張強度 (kgf/cm2)	破断伸び (mm)	破断伸び (%)	材質
M6	L	P43	9.99	25.06	250.35	-	3974	5402	19	39	SM490
	L	P44	9.98	25.01	249.60	3884	3629	5394	19	38	
ウェブ	L	P45	9.99	25.04	250.15	-	3927	5422	18	37	
フランジ		平均				3884	3843	5406	19	38	
	C	P46	9.94	25.07	249.20	3788	3603	5386	21	42	SM490
	C	P47	9.95	25.06	249.35	3611	3581	5391	21	41	
	C	P48	9.92	25.06	248.60	3592	3592	5415	20	41	
		平均				3664	3592	5397	21	41	
		総平均				3774	3718	5402	20	40	

表-2.1.4(1) 材料試験結果（矩形断面）（つづき）

供試体番号	板取方向	試験片番号	板厚 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm2)	上降伏点 (kgf/cm2)	下降伏点 (kgf/cm2)	引張強度 (kgf/cm2)	破断伸び (mm)	破断伸び (%)	材質
M8	L	1A-1	9.97	25.00	249.25	3885	3661	5506	20	40	SM490
	L	1A-2	9.98	25.04	249.90	3855	3620	5445	20	40	
ウェブ	L	1A-3	10.00	25.03	250.30	3691	3549	5435	20	41	
フランジ		平均				3810	3610	5462	20	40	
	C	1B-1	10.00	25.02	250.20	3773	3620	5455	19	37	SM490
	C	1B-2	9.99	25.03	250.05	3793	3640	5404	19	39	
	C	1B-3	10.01	25.01	250.36	3589	3498	5404	20	39	
		平均				3719	3586	5421	19	38	
	L	2A-1	10.09	25.02	252.45	3753	3518	5435	21	41	SM490
	L	2A-2	10.09	25.01	252.35	3793	3528	5425	20	41	
	L	2A-3	10.09	25.00	252.25	3824	3549	5435	20	40	
		平均				3790	3532	5432	20	41	
	C	2B-1	10.10	25.02	252.70	3885	3630	5425	20	41	SM490
	C	2B-2	10.08	25.03	252.30	3844	3620	5394	20	40	
	C	2B-3	10.09	25.01	252.35	3834	3600	5425	20	40	
		平均				3855	3617	5415	20	40	
		総平均				3793	3586	5433	20	40	
M10	L	5A-1	10.09	25.02	252.45	3651	3559	5364	21	42	SM490
	L	5A-2	10.10	25.03	252.80	3630	3549	5384	21	42	
ウェブ	L	5A-3	10.10	25.03	252.80	3651	3477	5404	20	40	
フランジ		平均				3644	3528	5384	21	41	
	C	5B-1	10.19	25.01	254.85	4079	3702	5425	20	40	SM490
	C	5B-2	10.21	25.01	255.35	3895	3671	5445	20	39	
	C	5B-3	10.21	25.02	255.45	3946	3640	5466	20	39	
		平均				3973	3671	5445	20	39	
	L	6A-1	10.01	25.07	250.95	3967	3712	5364	20	41	SM490
	L	6A-2	10.01	25.02	250.45	3885	3661	5374	20	41	
	L	6A-3	10.02	25.03	250.80	3865	3559	5343	20	40	
		平均				3906	3644	5360	20	40	
	C	6B-1	10.01	25.03	250.55	4048	3681	5384	19	39	SM490
	C	6B-2	10.01	25.01	250.35	3885	3661	5374	21	41	
	C	6B-3	10.01	25.03	250.55	3967	3712	5374	20	40	
		平均				3967	3685	5377	20	40	
		総平均				3872	3632	5392	20	40	
M11	L	7A-1	10.21	25.03	255.56	3712	3640	5394	21	42	SM490
	L	7A-2	10.21	25.01	255.35	3691	3589	5415	21	43	
ウェブ	L	7A-3	10.21	25.01	255.35	3671	3528	5476	21	41	
フランジ		平均				3691	3586	5428	21	42	
	C	7B-1	10.10	25.02	252.70	3916	3691	5404	20	40	SM490
	C	7B-2	10.09	25.08	253.06	3906	3630	5404	20	40	
	C	7B-3	10.09	25.03	252.55	3732	3508	5404	21	42	
		平均				3851	3610	5404	20	40	
	L	8A-1	10.00	25.02	250.20	3956	3589	5354	21	42	SM490
	L	8A-2	10.00	25.01	250.10	3977	3691	5343	22	43	
	L	8A-3	10.00	25.01	250.10	3763	3487	5343	21	43	
		平均				3895	3589	5347	21	43	
	C	8B-1	9.90	25.06	248.09	3906	3630	5364	19	39	SM490
	C	8B-2	9.90	25.03	247.80	3906	3630	5445	20	39	
	C	8B-3	9.90	25.04	247.90	3722	3477	5343	20	39	
		平均				3844	3579	5384	20	39	
		総平均				3821	3591	5391	21	41	

表-2.1.4(1)　材料試験結果（矩形断面）（つづき）

供試体番号	板取方向	試験片番号	板厚 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm2)	上降伏点 (kgf/cm2)	下降伏点 (kgf/cm2)	引張強度 (kgf/cm2)	破断伸び (mm)	破断伸び (%)	材質
M14	L	9A-1	12.05	25.03	301.61	4609	4313	5823	21	43	SM490
	L	9A-2	12.06	25.03	301.86	4650	4324	5802	20	41	
ウェブ	L	9A-3	12.07	25.01	301.87	4497	4303	5782	21	43	
フランジ		平均				4585	4313	5802	21	42	
	C	9B-1	12.09	25.01	302.37	4640	4426	5772	20	40	SM490
	C	9B-2	12.09	25.01	302.37	4650	4385	5792	20	39	
	C	9B-3	12.10	25.01	302.62	4670	4334	5772	19	38	
		平均				4653	4381	5778	20	39	
	L	11A-1	12.09	25.01	302.37	4650	4385	5741	21	42	SM490
	L	11A-2	12.08	25.01	302.12	4742	4375	5731	21	43	
	L	11A-3	12.08	25.02	302.24	4711	4385	5741	20	40	
		平均				4701	4381	5738	21	42	
	C	11B-1	12.04	25.03	301.36	4528	4415	5782	19	38	SM490
	C	11B-2	12.05	25.01	301.37	4680	4487	5782	19	38	
	C	11B-3	12.04	25.02	301.24	4609	4405	5792	18	37	
		平均				4606	4436	5785	19	38	
		総平均				4636	4378	5776	20	40	
M14	L	10A-1	10.11	25.03	253.05	3956	3712	5404	20	40	SM490
	L	10A-2	10.11	25.03	253.05	3946	3712	5394	20	40	
ウェブ	L	10A-3	10.03	25.04	251.15	3875	3702	5425	20	40	
フランジ		平均				3926	3708	5408	20	40	
	C	10B-1	10.08	25.02	252.20	4048	3763	5425	20	41	SM490
	C	10B-2	10.10	25.02	252.70	4089	3753	5415	20	40	
	C	10B-3	10.10	25.03	252.80	4058	3763	5476	20	40	
		平均				4065	3759	5438	20	40	
	L	12A-1	10.20	25.04	255.41	3997	3742	5445	21	42	SM490
	L	12A-2	10.20	25.01	255.10	3997	3753	5466	20	40	
	L	12A-3	10.23	25.03	256.06	3906	3732	5455	21	42	
		平均				3967	3742	5455	21	41	
	C	12B-1	10.30	25.03	257.81	4079	3855	5476	21	42	SM490
	C	12B-2	10.29	25.02	257.46	4089	3814	5476	20	39	
	C	12B-3	10.30	25.02	257.71	4140	3875	5476	21	41	
		平均				4103	3848	5476	20	41	
		総平均				4015	3764	5444	20	40	
M16	L	1A-1	10.18	25.00	254.50	3596	3526	5351	20	40	SM490
	L	1A-2	10.19	25.00	254.75	3673	3572	5289	20	40	
ウェブ	L	1A-3	10.20	25.00	255.00	3729	3539	5284	20	39	
フランジ		平均				3666	3546	5308	20	40	
	C	1B-1	10.06	25.05	252.00	3581	3490	5249	19	38	SM490
	C	1B-2	10.04	25.03	251.30	3500	3469	5255	19	38	
	C	1B-3	10.05	25.06	251.85	3603	3462	5252	19	39	
		平均				3561	3474	5252	19	38	
	L	2A-1	10.18	25.00	254.50	3756	3556	5287	21	42	SM490
	L	2A-2	10.21	25.02	255.45	3722	3533	5275	19	38	
	L	2A-3	10.20	25.00	255.00	3709	3589	5252	21	42	
		平均				3729	3559	5271	20	41	
	C	2B-1	10.23	25.00	255.75	3718	3529	5252	18	37	SM490
	C	2B-2	10.21	25.03	255.56	3601	3442	5248	19	38	
	C	2B-3	10.20	25.03	255.31	3595	3495	5261	19	38	
		平均				3638	3488	5254	19	37	
		総平均				3649	3517	5271	19	39	

表-2.1.4(1)　材料試験結果（矩形断面）（つづき）

供試体番号	板取方向	試験片番号	板厚 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm2)	上降伏点 (kgf/cm2)	下降伏点 (kgf/cm2)	引張強度 (kgf/cm2)	破断伸び (mm)	破断伸び (%)	材質
M17	L	29A-1	8.84	25.00	221.00	3668	3391	4994	21	41	SM490
	L	29A-2	8.87	25.03	222.02	3284	3215	5003	19	39	
ウェブ	L	29A-3	8.86	25.03	221.77	3322	3253	4977	20	40	
フランジ		平均				3425	3287	4991	20	40	
	C	29B-1	8.76	25.03	219.26	3372	3255	4945	19	38	SM490
	C	29B-2	8.76	25.03	219.26	3290	3174	4959	19	37	
	C	29B-3	8.76	24.99	218.91	3342	3133	4976	19	38	
		平均				3335	3187	4960	19	38	
	L	30A-1	8.81	25.00	220.25	3507	3241	4992	19	39	SM490
	L	30A-2	8.81	25.02	220.43	3238	3180	4970	20	40	
	L	30A-3	8.82	25.02	220.68	3385	3177	4987	20	39	
		平均				3377	3199	4983	20	39	
	C	30B-1	8.72	25.04	218.35	3444	3246	4970	19	38	SM490
	C	30B-2	8.73	25.05	218.69	3194	3089	4953	19	38	
	C	30B-3	8.73	25.06	218.77	3298	3088	4979	19	39	
		平均				3312	3141	4967	19	38	
		総平均				3362	3204	4975	19	39	
M18	L	26A-1	9.25	25.00	231.25	3671	3616	5348	19	38	SM490
	L	26A-2	9.25	25.00	231.25	3737	3594	5321	19	38	
ウェブ	L	26A-3	9.25	25.01	231.34	3857	3636	5416	20	40	
フランジ		平均				3755	3615	5362	19	39	
	C	26B-1	9.25	25.03	231.53	3854	3689	5386	17	35	SM490
	C	26B-2	9.24	25.03	231.28	3781	3637	5418	18	36	
	C	26B-3	9.24	25.01	231.09	3839	3585	5422	18	36	
		平均				3824	3637	5409	18	35	
	L	27A-1	9.19	25.01	229.84	3705	3627	5382	19	39	SM490
	L	27A-2	9.17	25.00	229.25	3747	3603	5359	19	39	
	L	27A-3	9.17	25.00	229.25	3870	3670	5355	20	39	
		平均				3774	3633	5365	19	39	
	C	27B-1	9.19	25.01	229.84	3937	3605	5363	17	35	SM490
	C	27B-2	9.19	24.99	229.66	3807	3497	5367	18	37	
	C	27B-3	9.19	25.02	229.93	3880	3603	5405	18	35	
		平均				3875	3568	5378	18	36	
		総平均				3807	3613	5379	19	37	

注）1.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、縦リブや補剛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(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 (mm2)	上降伏点 (kgf/cm2)	下降伏点 (kgf/cm2)	引張強度 (kgf/cm2)	破断伸び (mm)	破断伸び (%)	材質
M7	L	P-1	9.04	25.10	226.90	2946	2901	4511	22	44	SS400
	L	P-2	9.01	25.05	225.70	3074	2961	4508	22	43	
パイプ	L	P-3	9.06	25.03	226.77	3015	2947	4523	22	44	
(上段)		平均				3012	2936	4514	22	44	
	C	P-4	9.11	25.06	228.30	3218	2995	4519	21	43	SS400
t=9	C	P-5	9.10	25.02	227.68	3159	2913	4514	22	43	
	C	P-6	9.06	25.01	226.59	3152	2984	4527	21	42	
		平均				3177	2964	4520	21	43	
		総平均				3094	2950	4517	22	43	
M7	L	P-7	16.06	25.04	402.14	2791	2715	4377	24	48	SS400
	L	P-8	16.06	25.02	401.82	-	2730	4482	24	48	
パイプ	L	P-9	16.04	25.02	401.32	2784	2734	4482	23	47	
(下段)		平均				2787	2726	4447	24	47	
	C	P-10	15.97	25.04	399.89	2807	2743	4483	24	48	SS400
t=16	C	P-11	15.96	25.04	399.64	-	2604	4469	24	48	
	C	P-12	16.03	25.01	400.91	2914	2800	4482	24	48	
		平均				2861	2716	4478	24	48	
		総平均				2824	2721	4462	24	48	
M19	L	P1	9.12	25.03	228.27	2839	2816	4424	21	42	SS400
	L	P2	9.13	25.02	228.43	3015	2870	4456	20	41	
パイプ	L	P3	9.18	25.02	229.68	-	2810	4459	20	40	
		平均				2927	2832	4446	21	41	
t=9	C	P4	9.20	25.02	230.18	2915	2837	4467	21	42	SS400
	C	P5	9.19	25.02	229.93	2885	2840	4472	21	42	
	C	P6	9.12	25.01	228.09	2818	2774	4391	18	37	
		平均				2873	2817	4443	20	40	
		総平均				2900	2824	4445	20	41	

注）1.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、補剛板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。

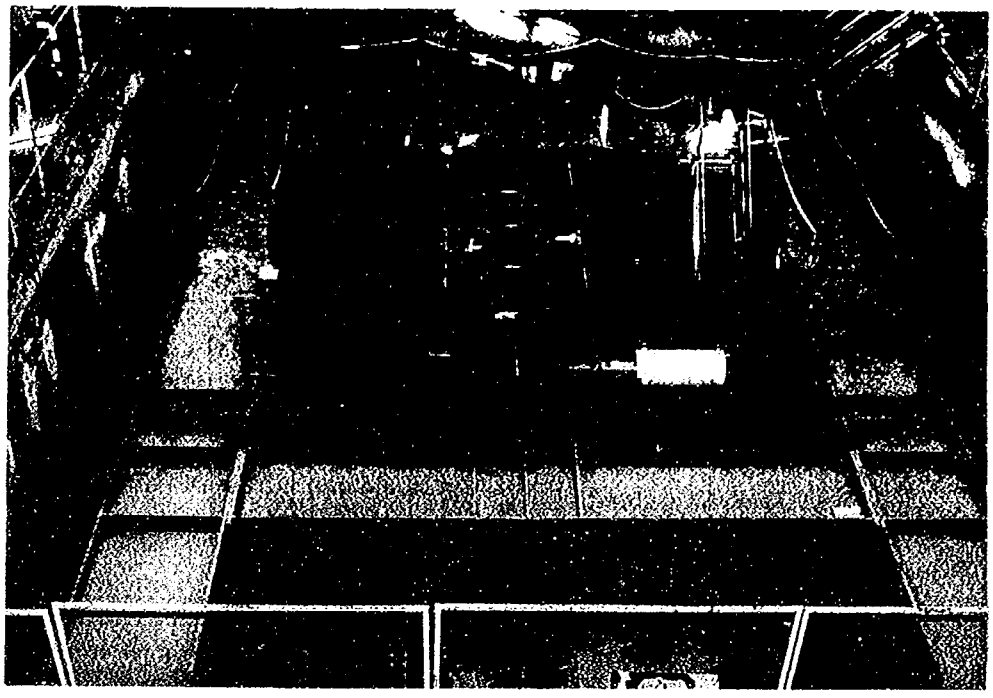


写真-2.2.1　建設省土木研究所の載荷フレーム

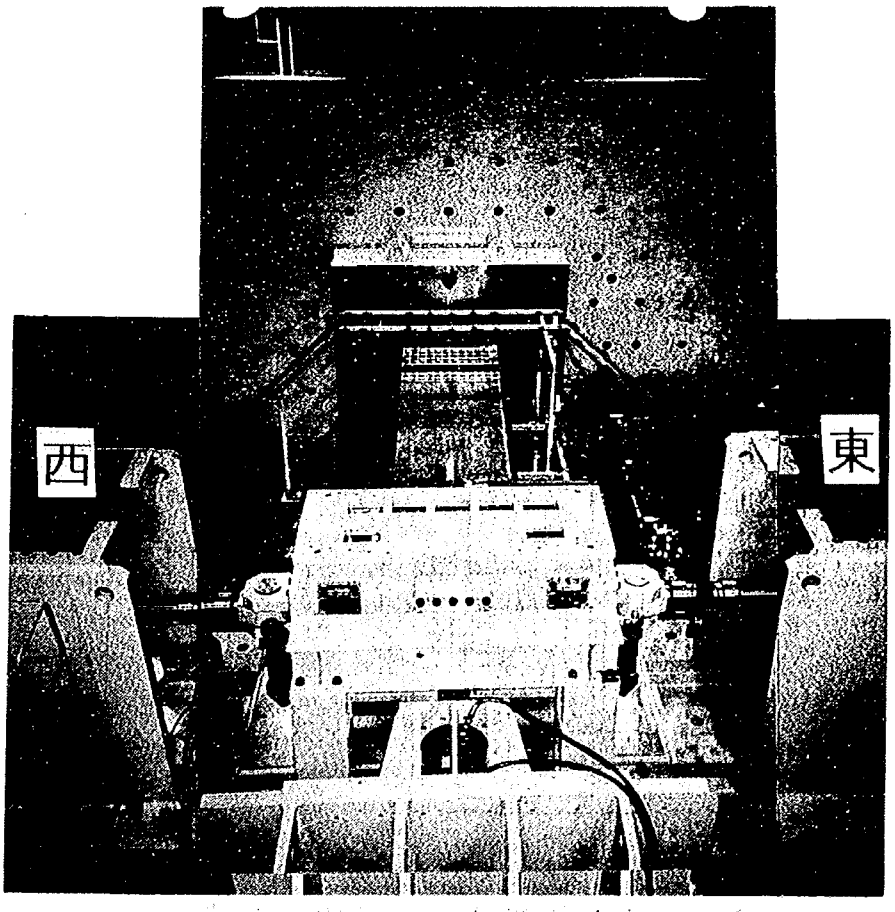


写真-2.2.2　D社の載荷装置

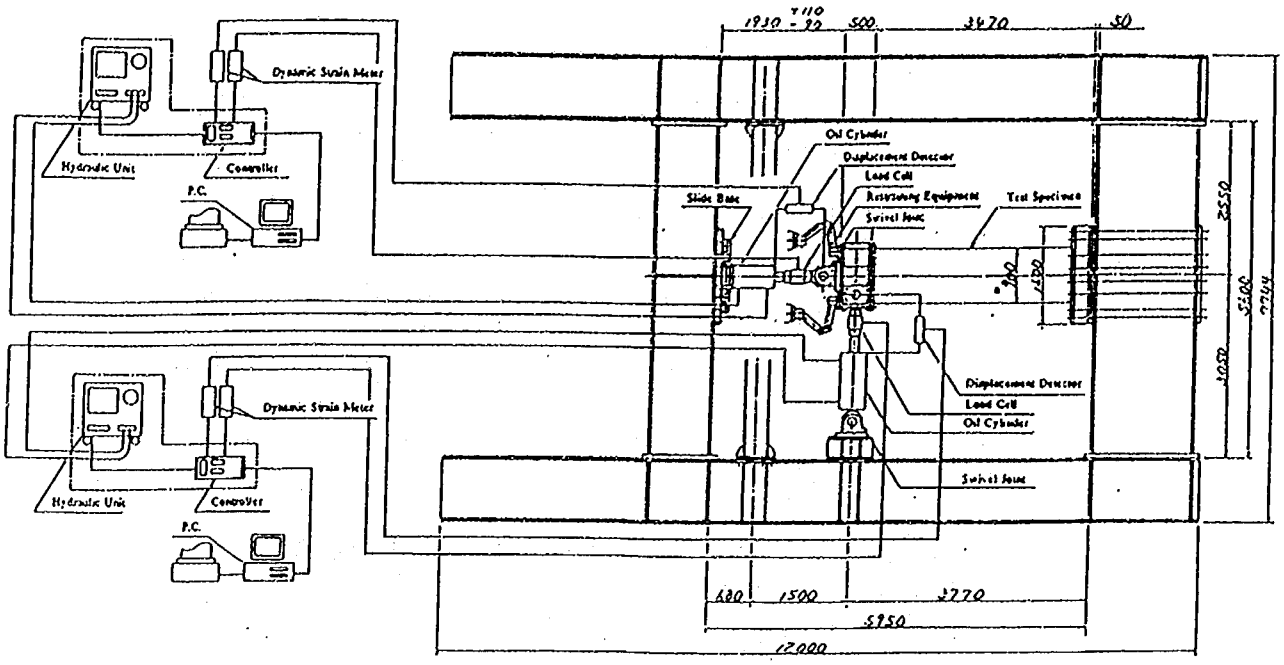
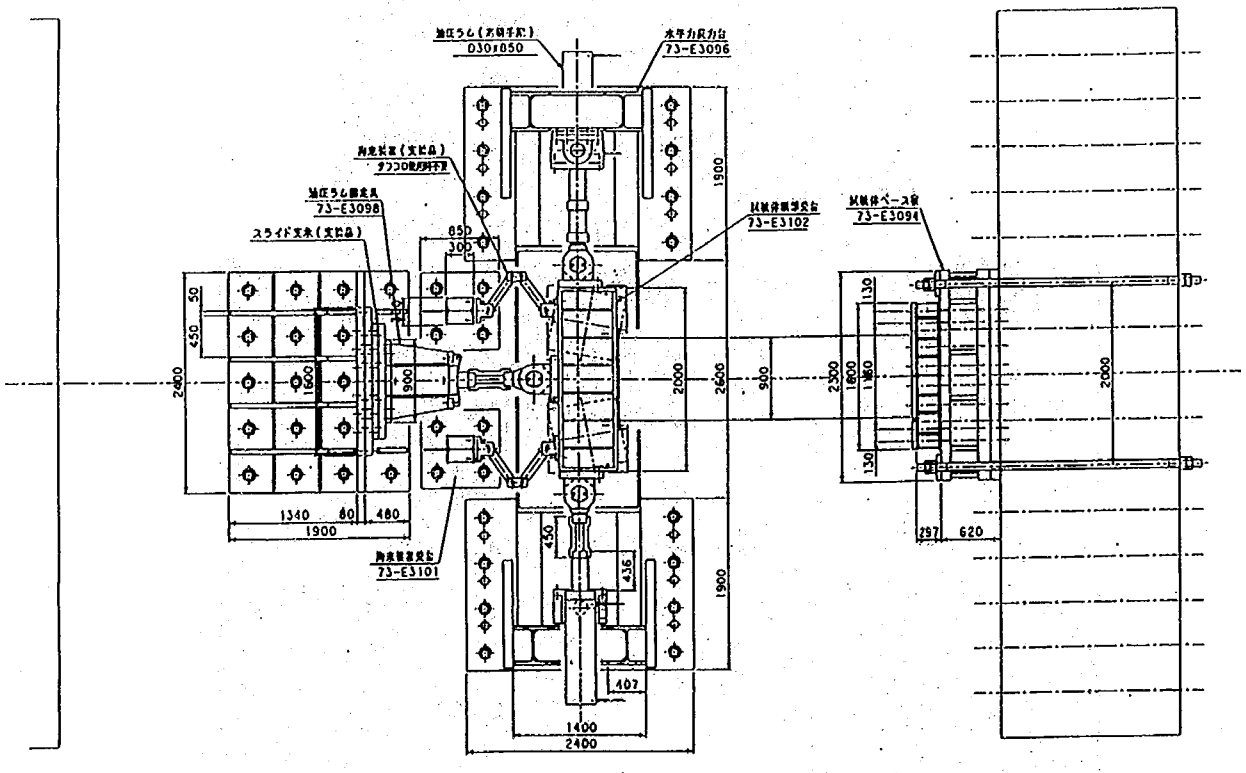


図-2.2.1　土木研究所の載荷フレームの形状・寸法



図－2．2．2　D社の載荷装置の形状・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 Stroke ± 100mm
		Horizontal force	; Compression ≦ 3,000kN Tension ≦ 3,000kN 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 Stroke Friction coefficient	; 5,000kN ; ≦500mm ; ≦0.005
	Restraining Equipment	Restraining force Restraining range	; ≦100kN ; Axial ± 100mm Horizontal ± 250mm

表-2.1.6　D社の載荷装置の能力

Items		Specification and Performance	
Type		Horizontal type, bi-axial loading	
Specimen Size		Max. height	; 3470mm
Loading Capacity (Static)		Axial force	; compression ≦ 3,000 kN Stroke ± 100 mm
		Horizontal force	; Compression ≦ 3,000 kN ; Tension ≦ 2,000 kN Stroke ± 300 mm
Control Mode		Automatic mode	; Load control, Displacement control
		Manual mode	;

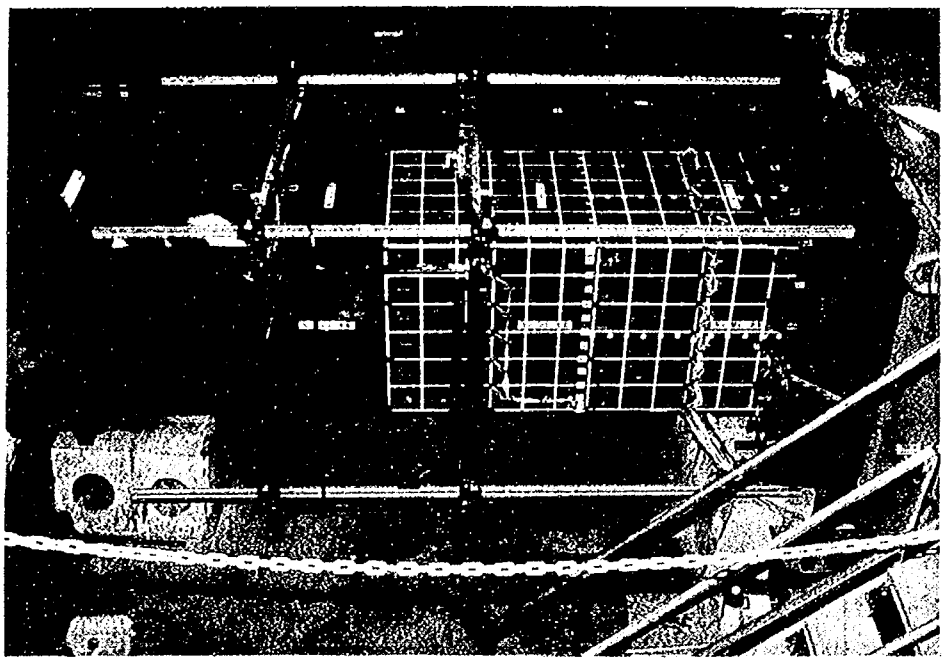


写真-2.2.3　建設省土木研究所の供試体設置状況

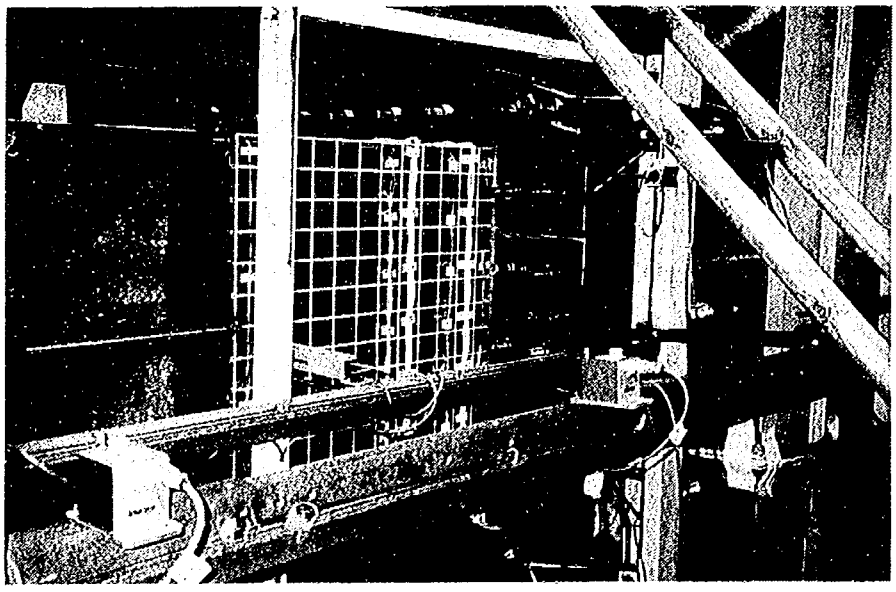
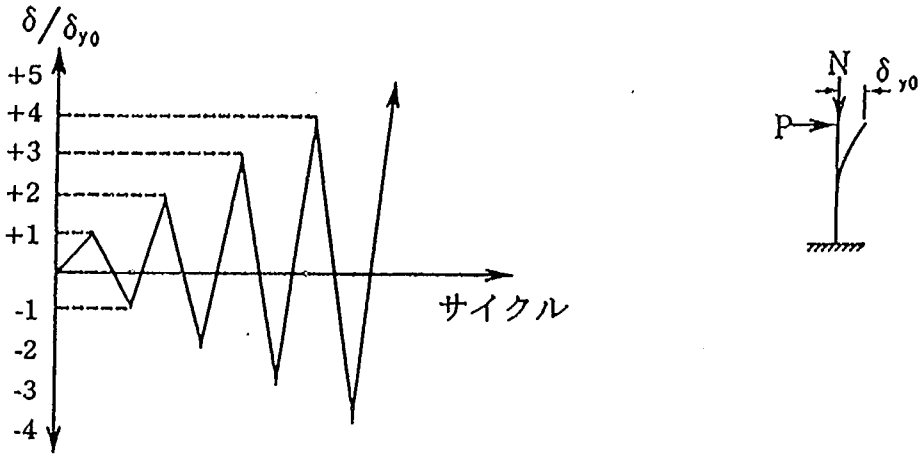


写真-2.2.4　D社の供試体設置状況



漸増両振り載荷(n=1)

図-2.2.3　載荷方法

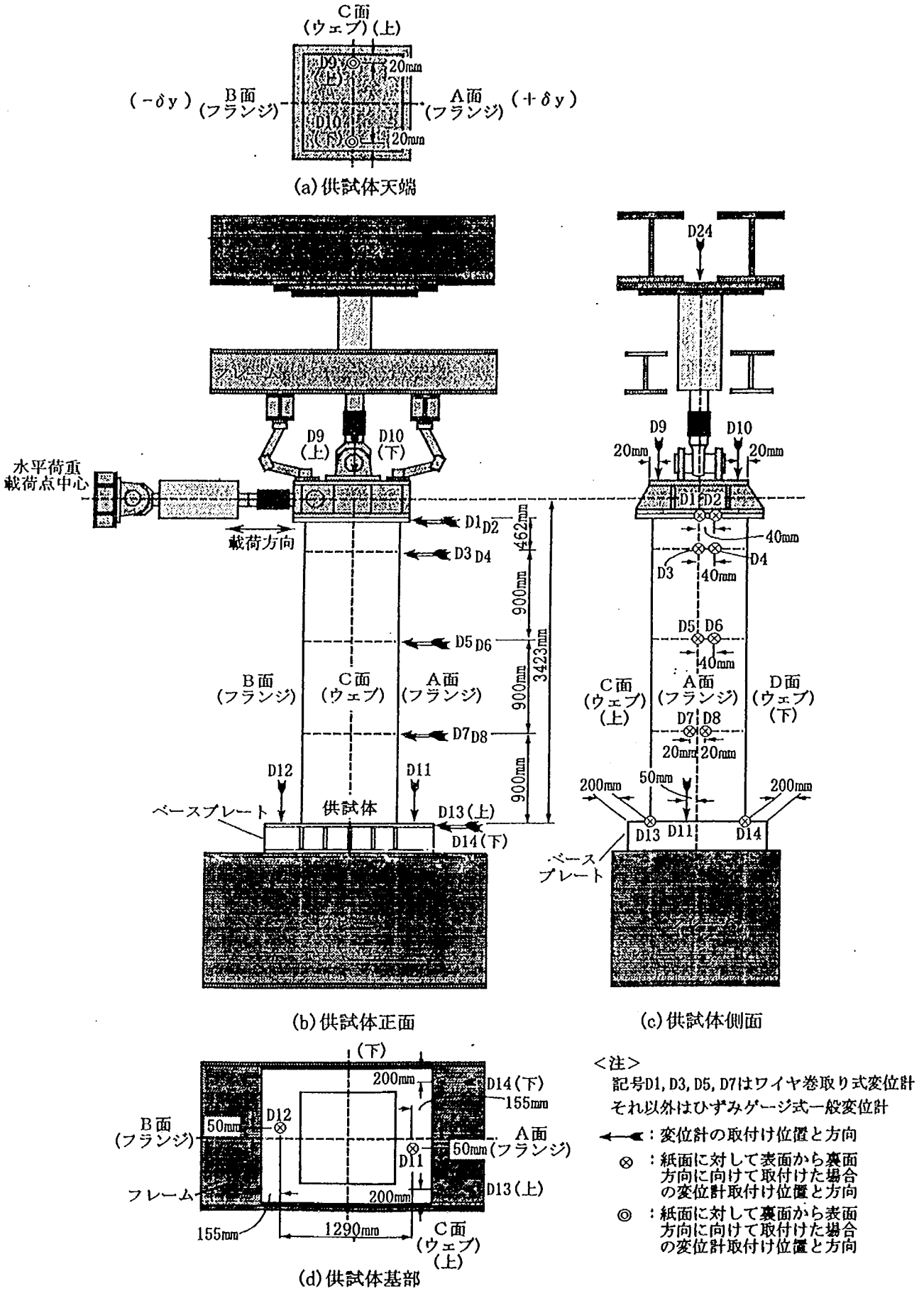
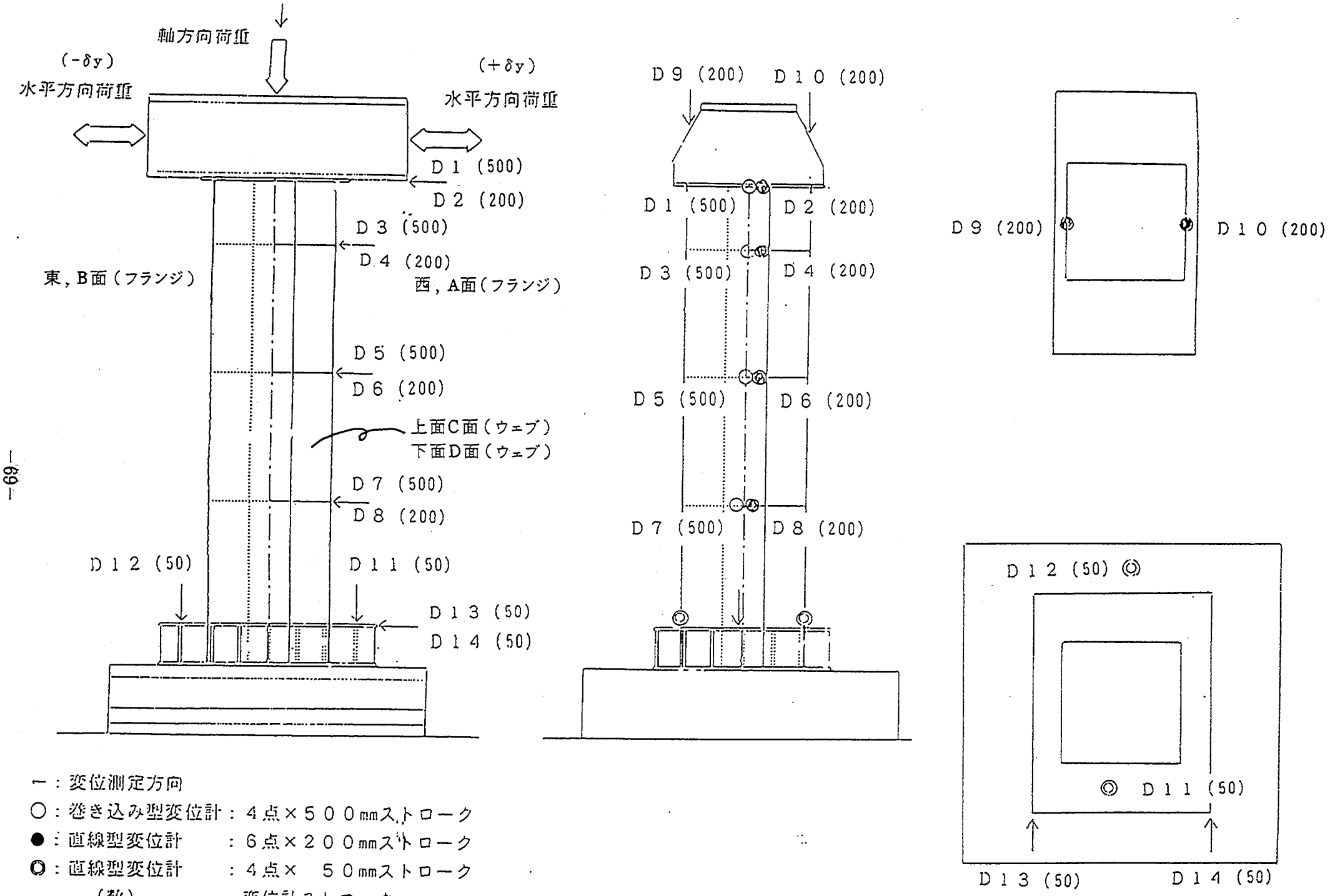


図-2.3.1　供試体の変位計取付位置
（土木研究所における実験）



—: 変位測定方向
○: 巻き込み型変位計: 4点×500mmストローク
●: 直線型変位計 : 6点×200mmストローク
◎: 直線型変位計 : 4点× 50mmストローク
(数) : 変位計ストローク

図-2.3.2 供試体の変位計取付位置
(D社における実験)

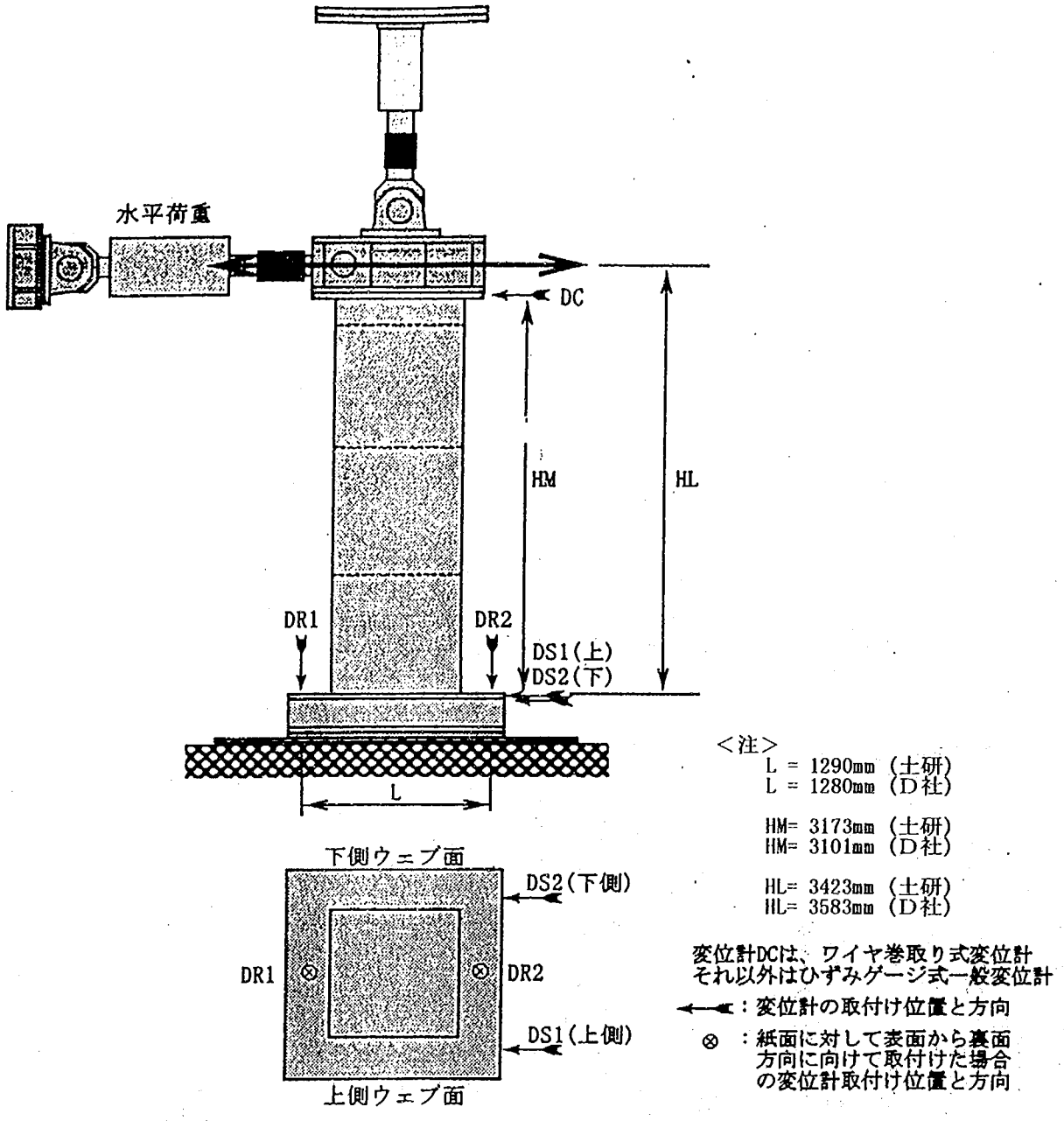


図-2.3.3　供試体の水平変位の補正

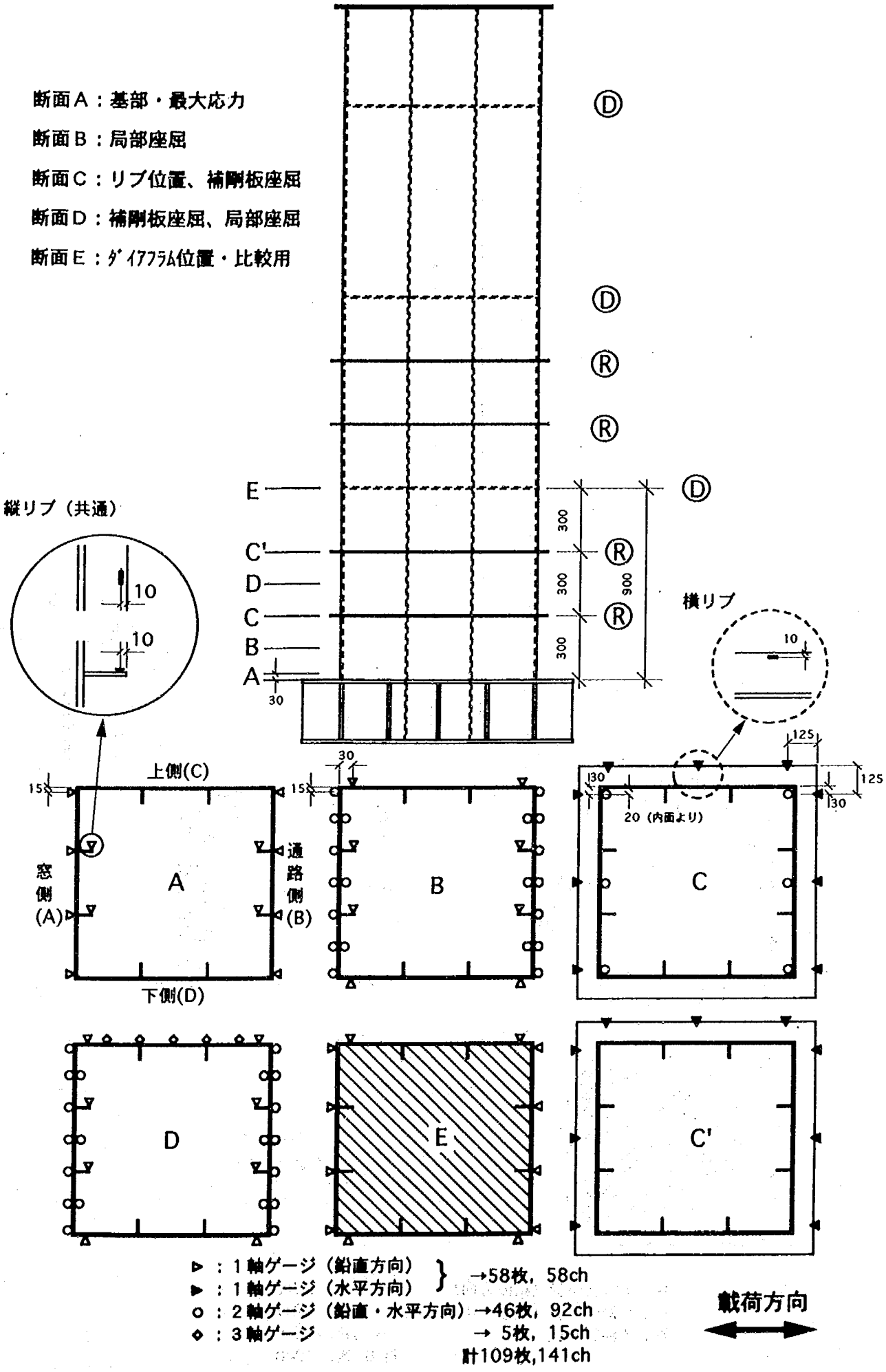
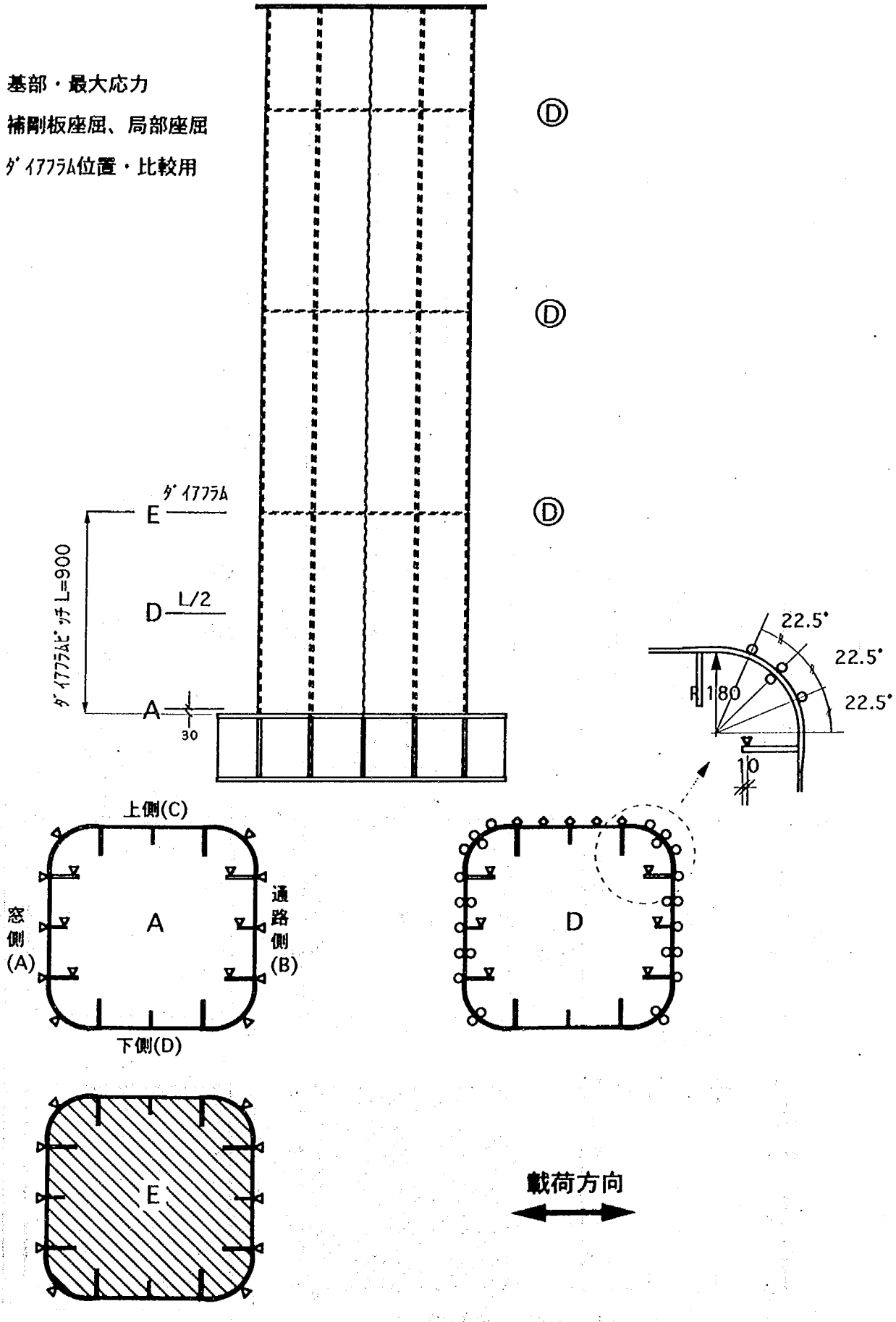


図-2.3.4(1)　供試体のひずみゲージ貼付位置（M1、M2）

断面Ａ：基部・最大応力

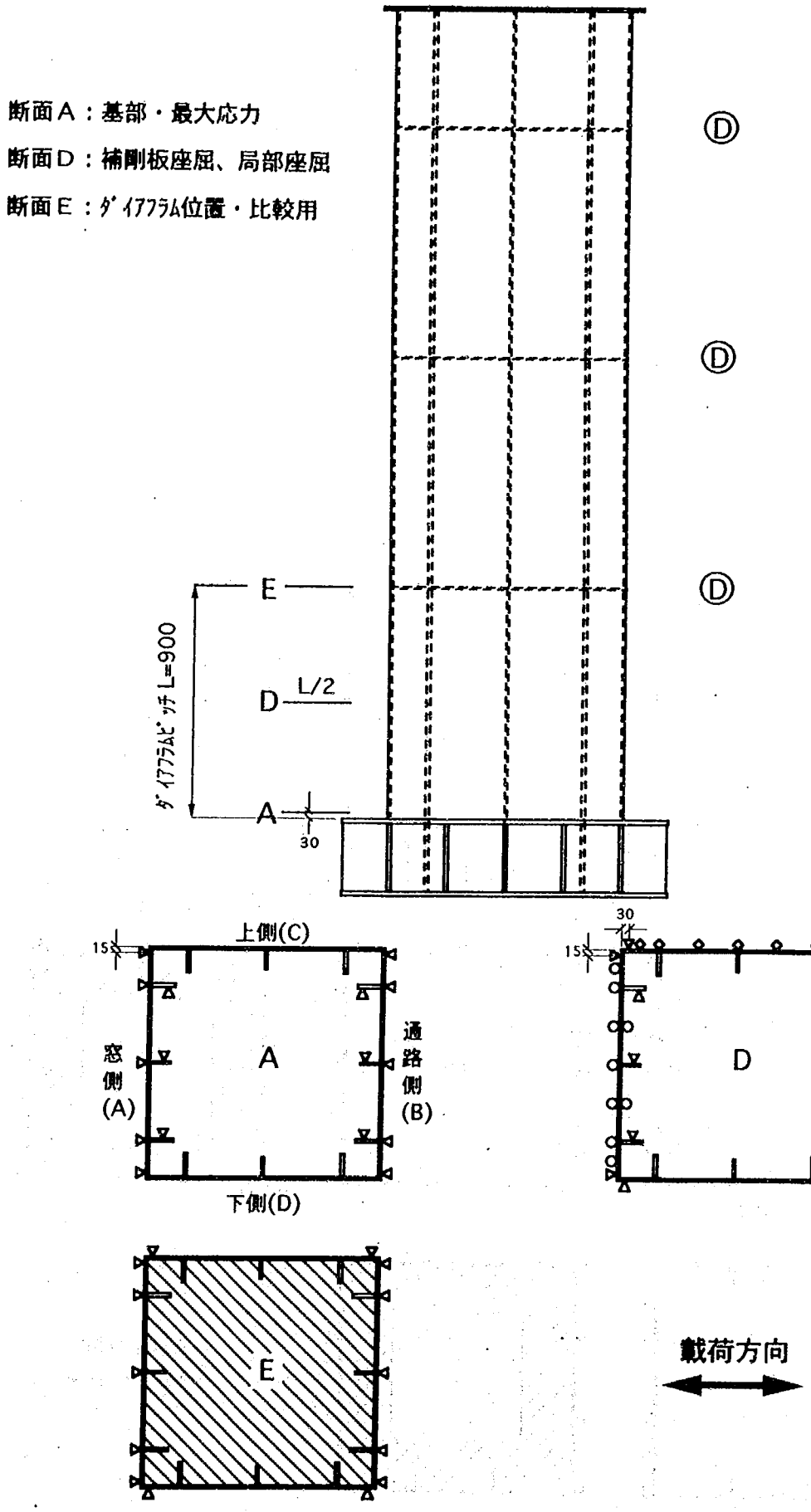
断面Ｄ：補剛板座屈、局部座屈

断面Ｅ：ﾀﾞｲｱﾌﾗﾑA位置・比較用



▷：１軸ゲージ（鉛直方向）　→32枚，32ch
○：２軸ゲージ（鉛直・水平方向）→26枚，52ch
◇：３軸ゲージ　→ 5枚，15ch
計 63枚，99ch

図-2.3.4(2)　供試体のひずみゲージ貼付位置（Ｍ３）



▷：1軸ゲージ（鉛直方向）　→44枚，44ch
○：2軸ゲージ（鉛直・水平方向）→18枚，36ch
◇：3軸ゲージ　→ 7枚，21ch
計 69枚，101ch

図-2.3.4(3)　供試体のひずみゲージ貼付位置（M4）

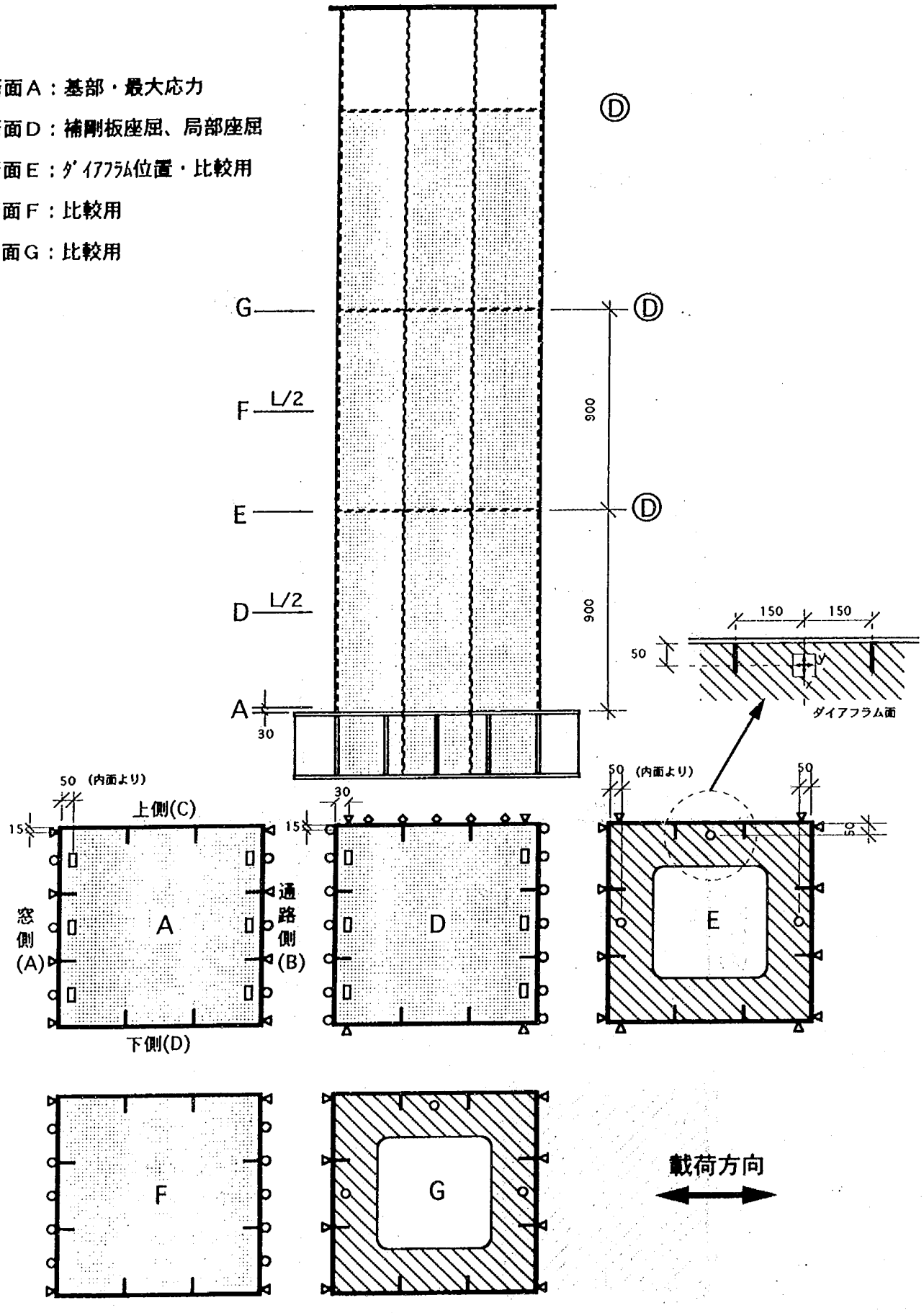
断面Ａ：基部・最大応力

断面Ｄ：補剛板座屈、局部座屈

断面Ｅ：ﾀﾞｲｱﾌﾗﾑ位置・比較用

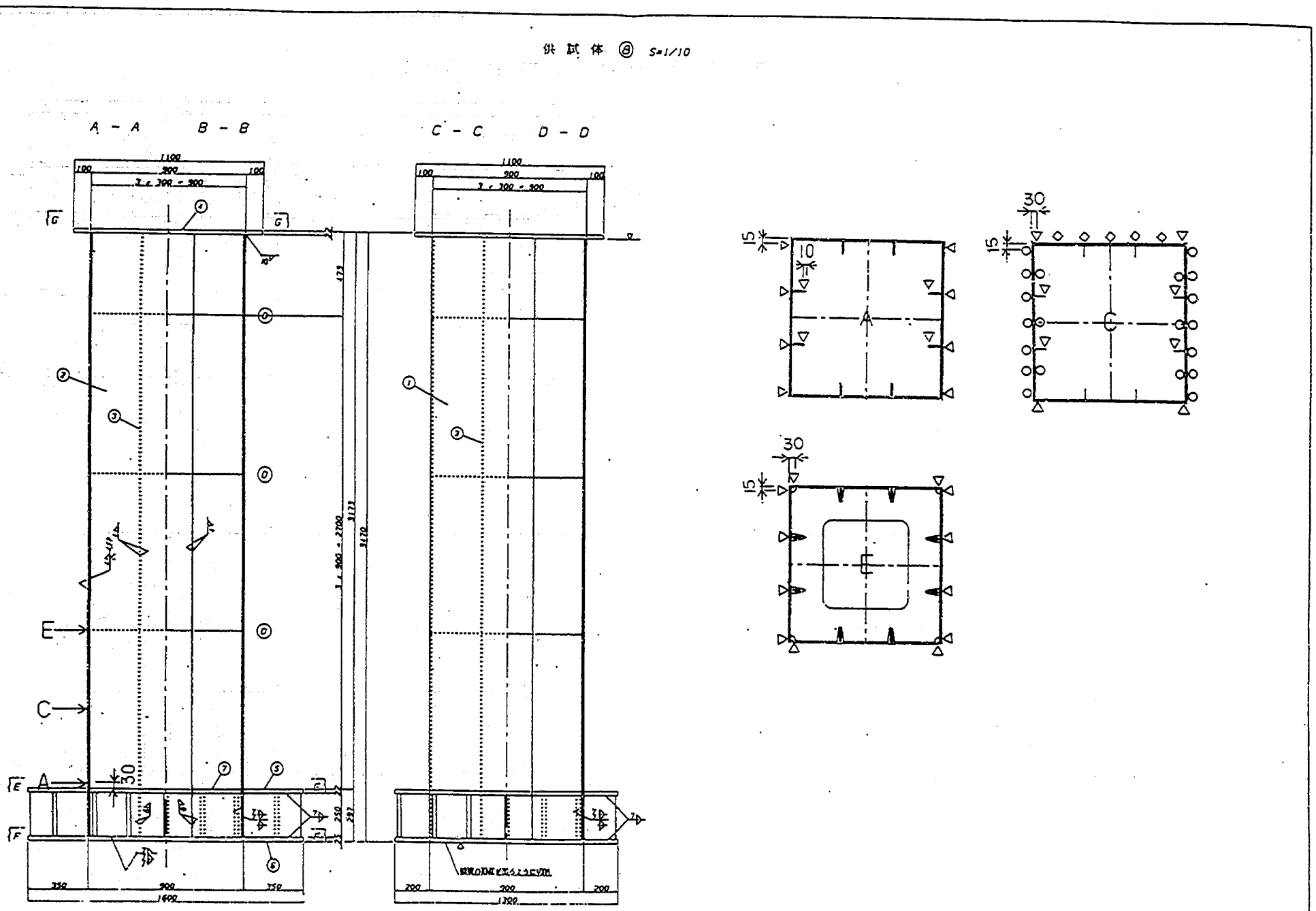
断面Ｆ：比較用

断面Ｇ：比較用



▷：１軸ゲージ（鉛直方向）　→36枚，36ch
○：２軸ゲージ（鉛直・水平方向）→36枚，72ch
◇：３軸ゲージ　→ 5枚，15ch
▯：ｺﾝｸﾘｰﾄ埋設ｹﾞｰｼﾞ（鉛直１軸）→12枚，12ch
計 89枚，135ch

図-2.3.4(4)　供試体のひずみゲージ貼付位置（Ｍ５、Ｍ６）



試験体ひずみ測定位置（No.8）

図-2.3.4(5)　供試体のひずみゲージ貼付位置（M８）

供試体 ⑩ S=1/10

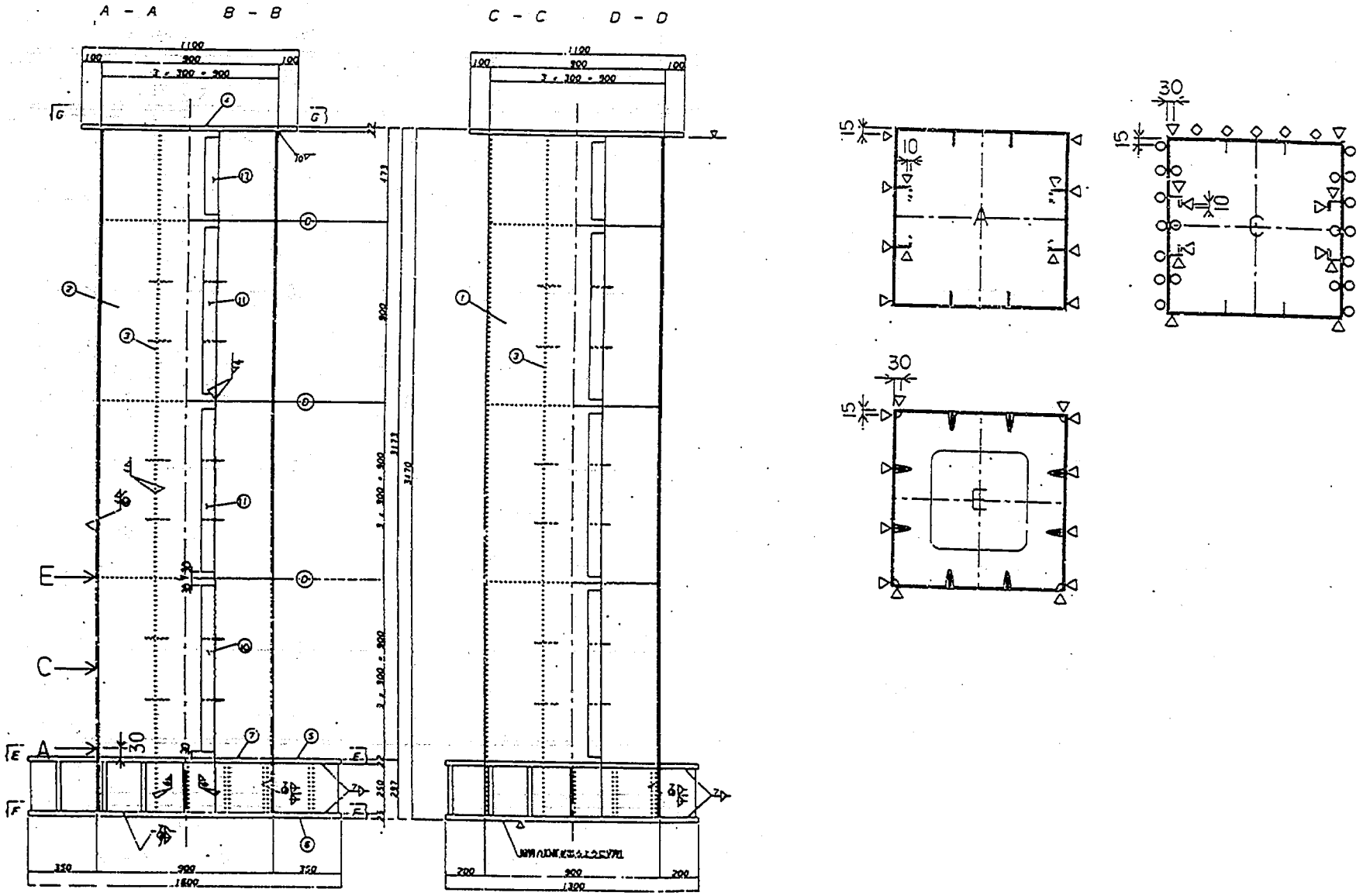
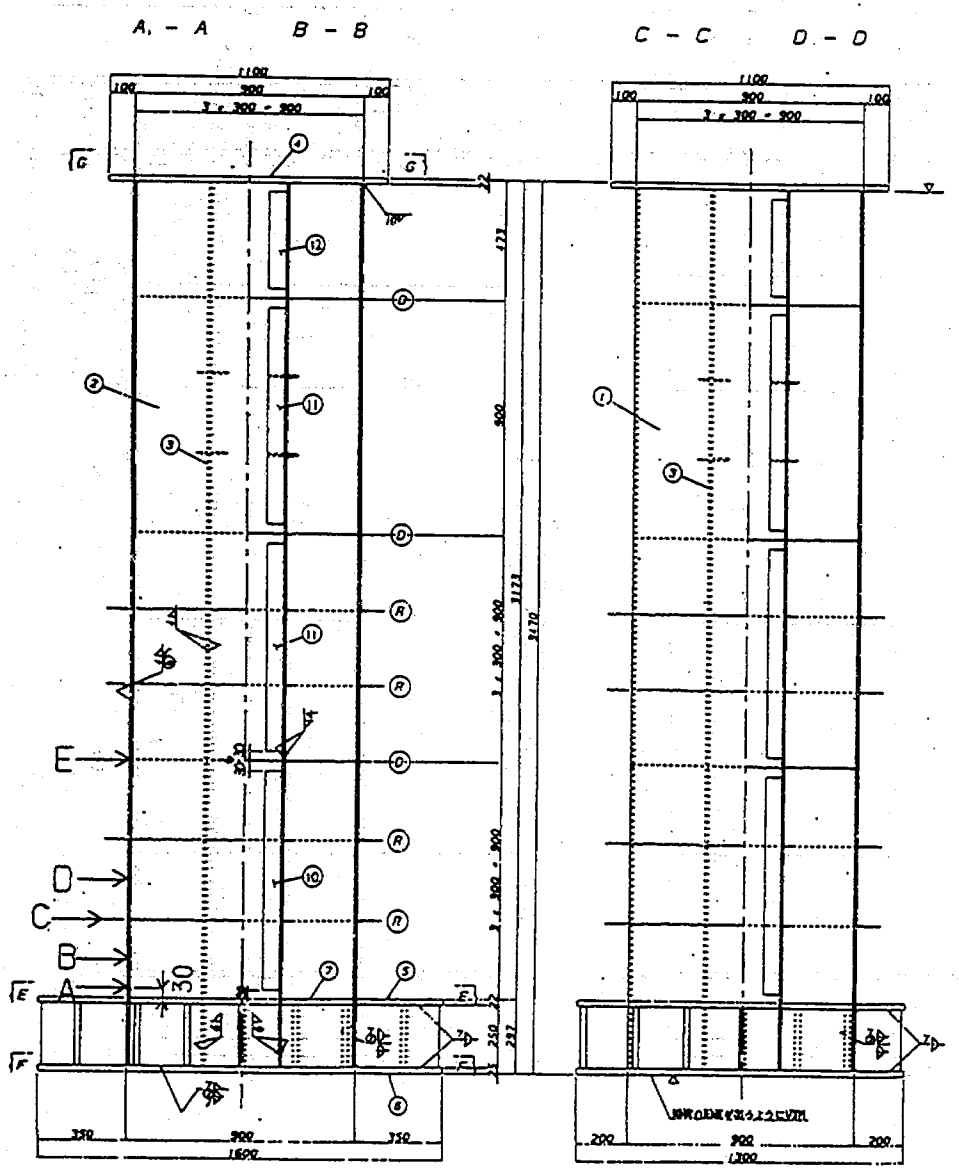


図-2.3.4(6)　供試体のひずみゲージ貼付位置（Ｍ１０）

試験体ひずみ測定位置（No.10）

供試体 (11) S=1/10



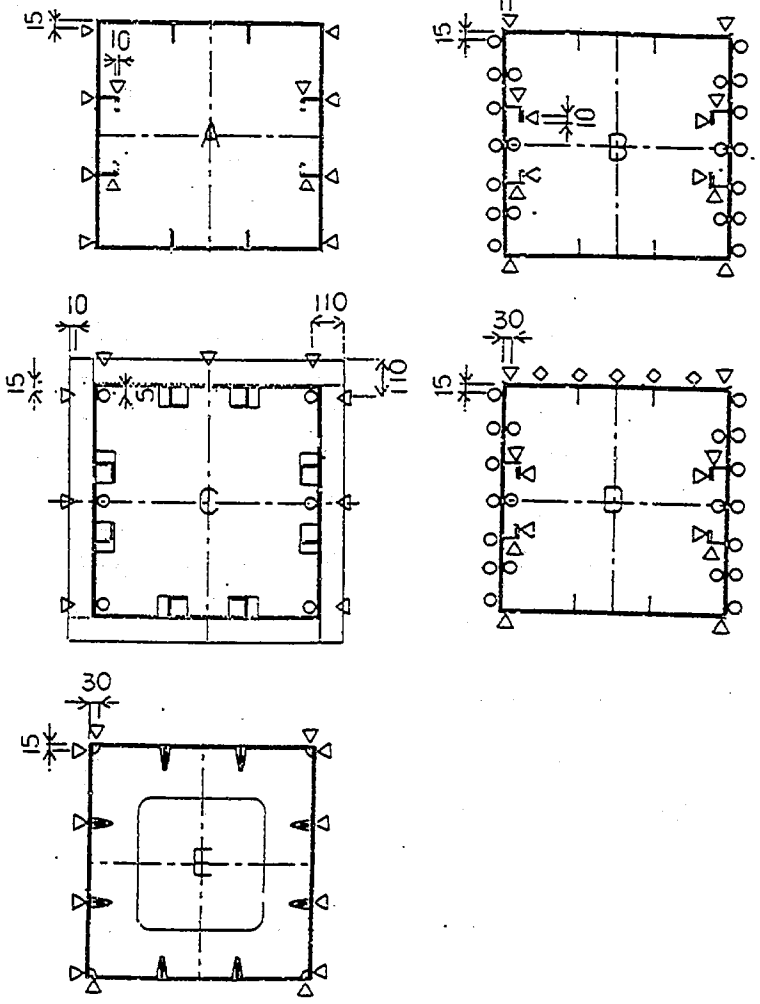


図-2.3.4(7)　供試体のひずみゲージ貼付位置（M１１）

試験体ひずみ測定位置（No.11）

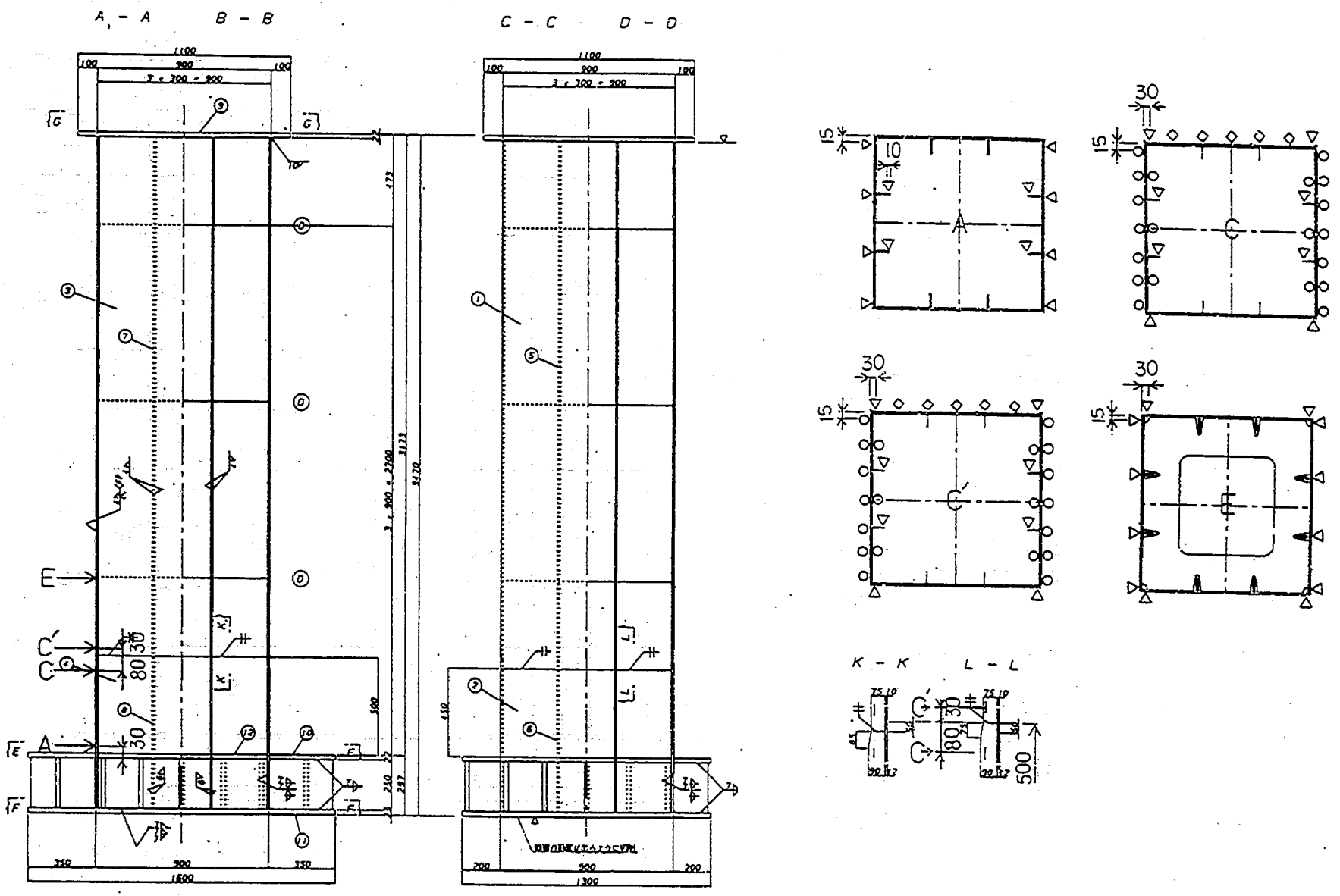
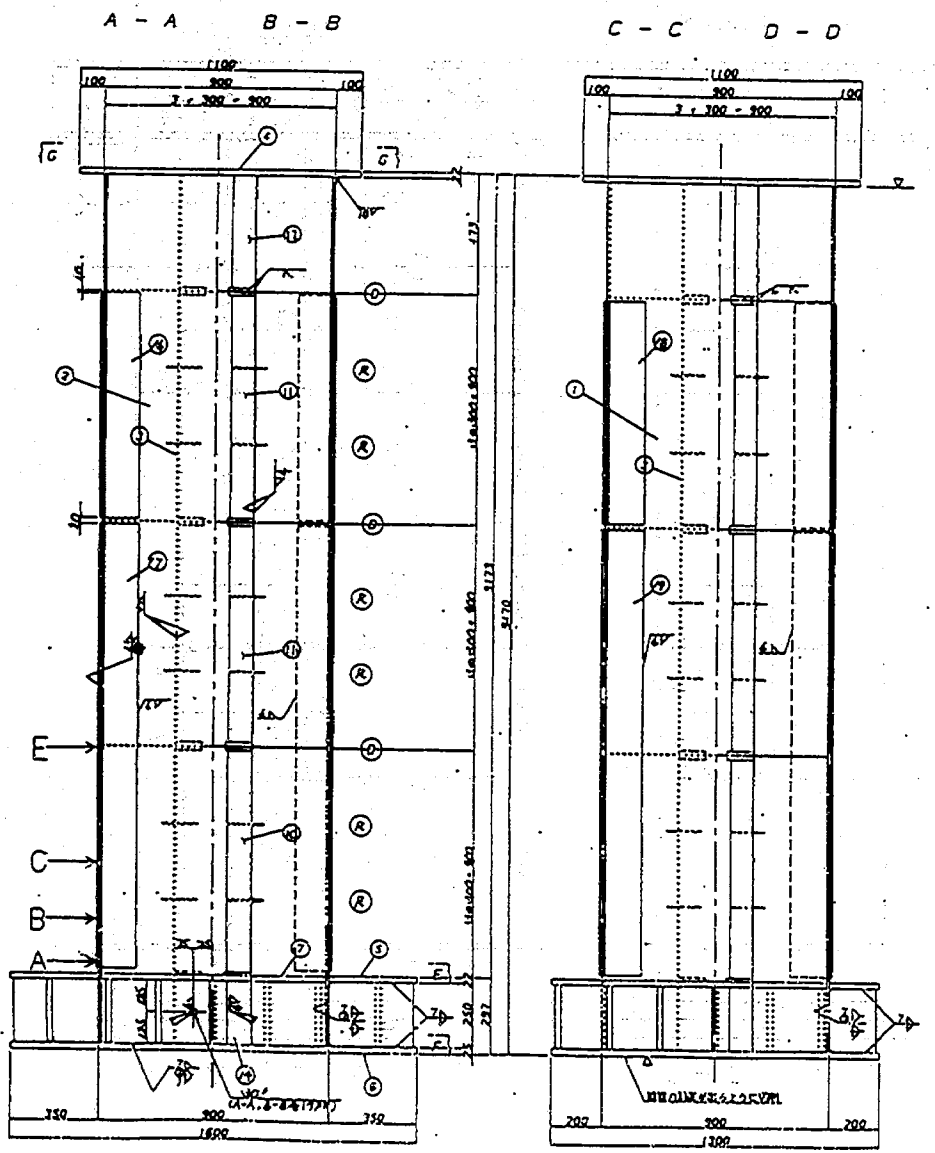
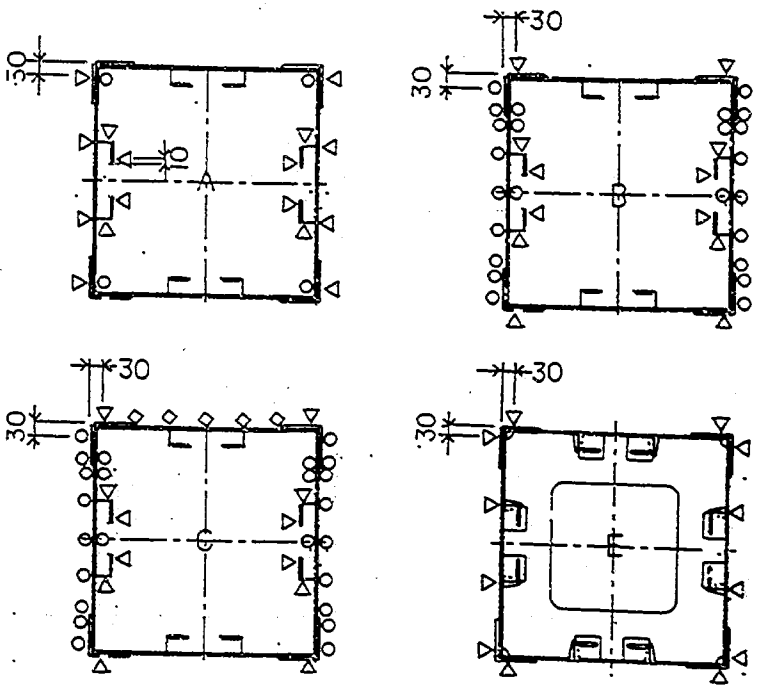


図-2.3.4(8)　供試体のひずみゲージ貼付位置（M１４）

供試体 ⑯ S=1/10



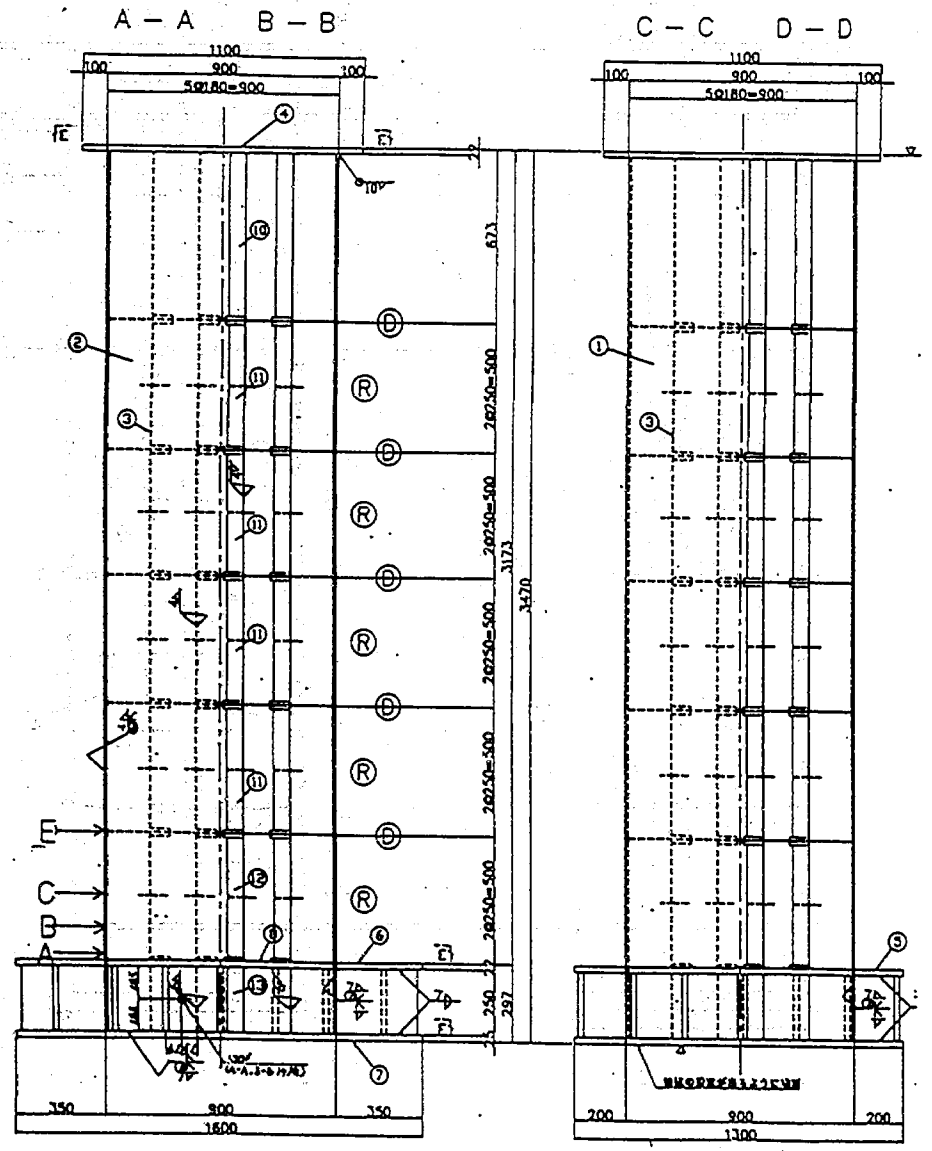


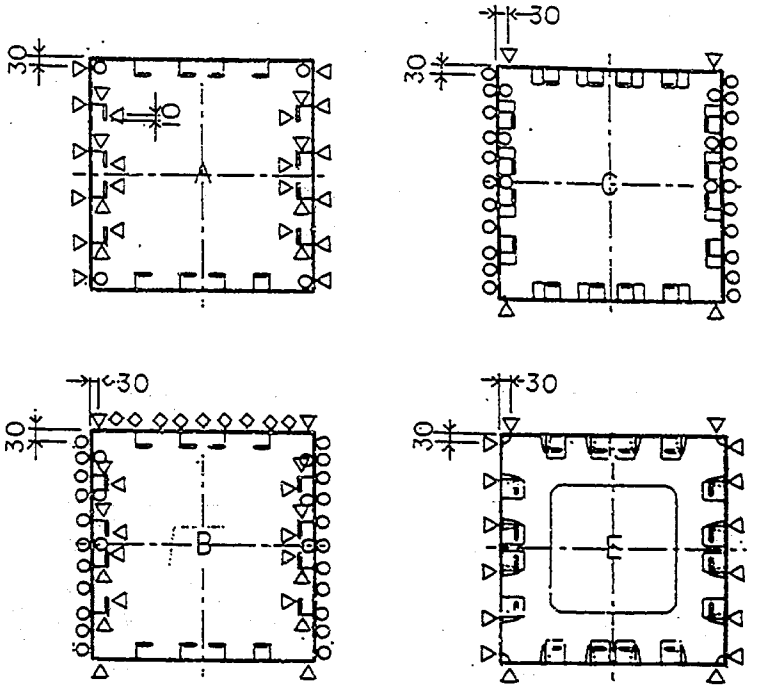
▽：1軸ゲージ（YFLA−5−7LT）
○：2軸ゲージ（YCS−10−7LT）
◇：3軸ゲージ（YFRA−5−7LT）

図−2.3.4(9)　供試体のひずみゲージ貼付位置（Ｍ１６）

試験体ひずみ測定位置（No.16）

供試体⑰ S=1/10





▽：1軸ゲージ（YFLA－5－7LT）
○：2軸ゲージ（YCS－10－7LT）
◇：3軸ゲージ（YFRA－5－7LT）

図-2.3.4(10)　供試体のひずみゲージ貼付位置（Ｍ１７）

試験体ひずみ測定位置（No.17）

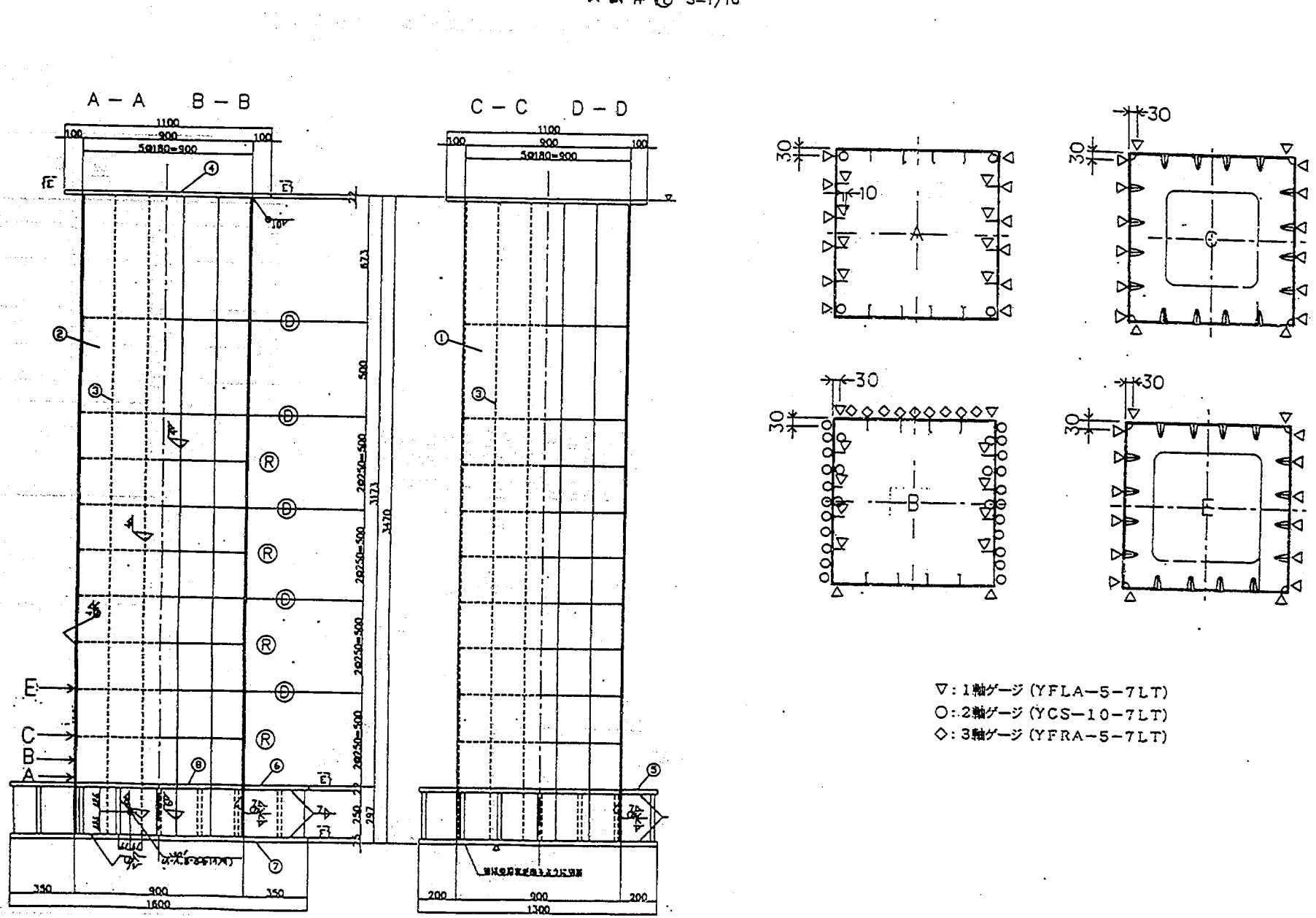
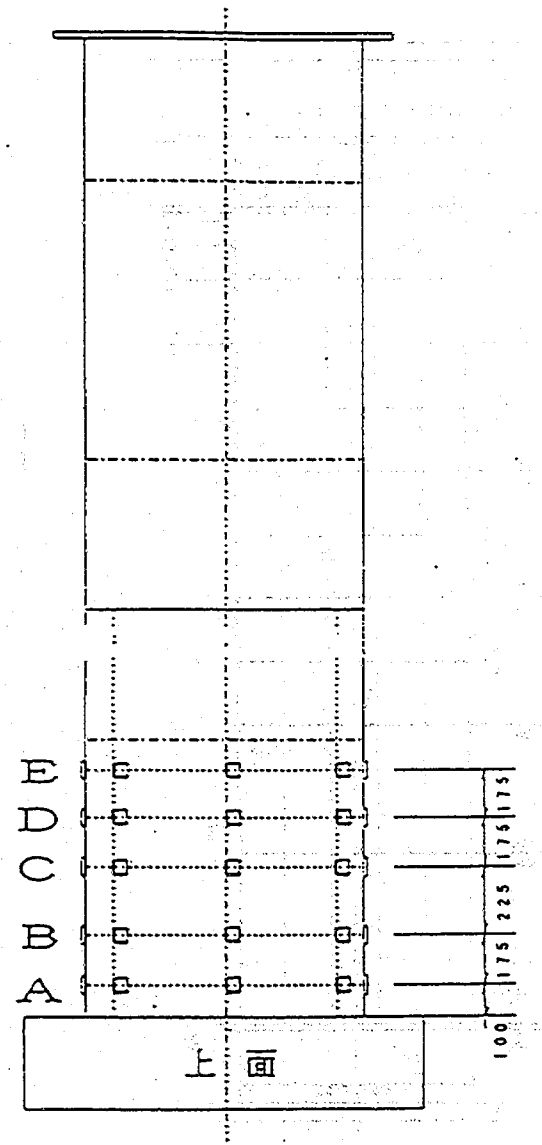
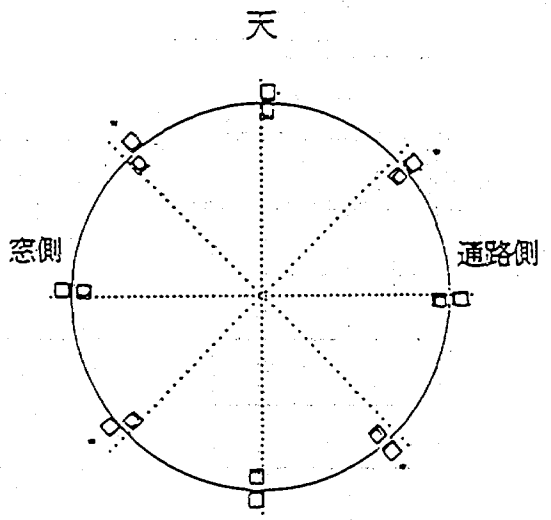


図-2.3.4(11) 供試体のひずみゲージ貼付位置（Ｍ１８）

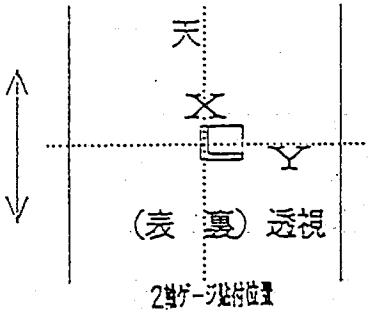
試験体ひずみ測定位置（No.18）





A ～ E 断面

＊のゲージは脚頭部から見て
時計回りに３５ｍｍずらす。



マーク

(外側) □
(内側) ⊏ ２軸塑性ゲージ

○ ▯ １軸塑性ゲージ

１軸－塑性	(外)	８枚
２軸－塑性	(外)	４０枚
２軸－塑性	(内)	４０枚

図-2.3.5(1)　供試体のひずみゲージ貼付位置（Ｍ７）

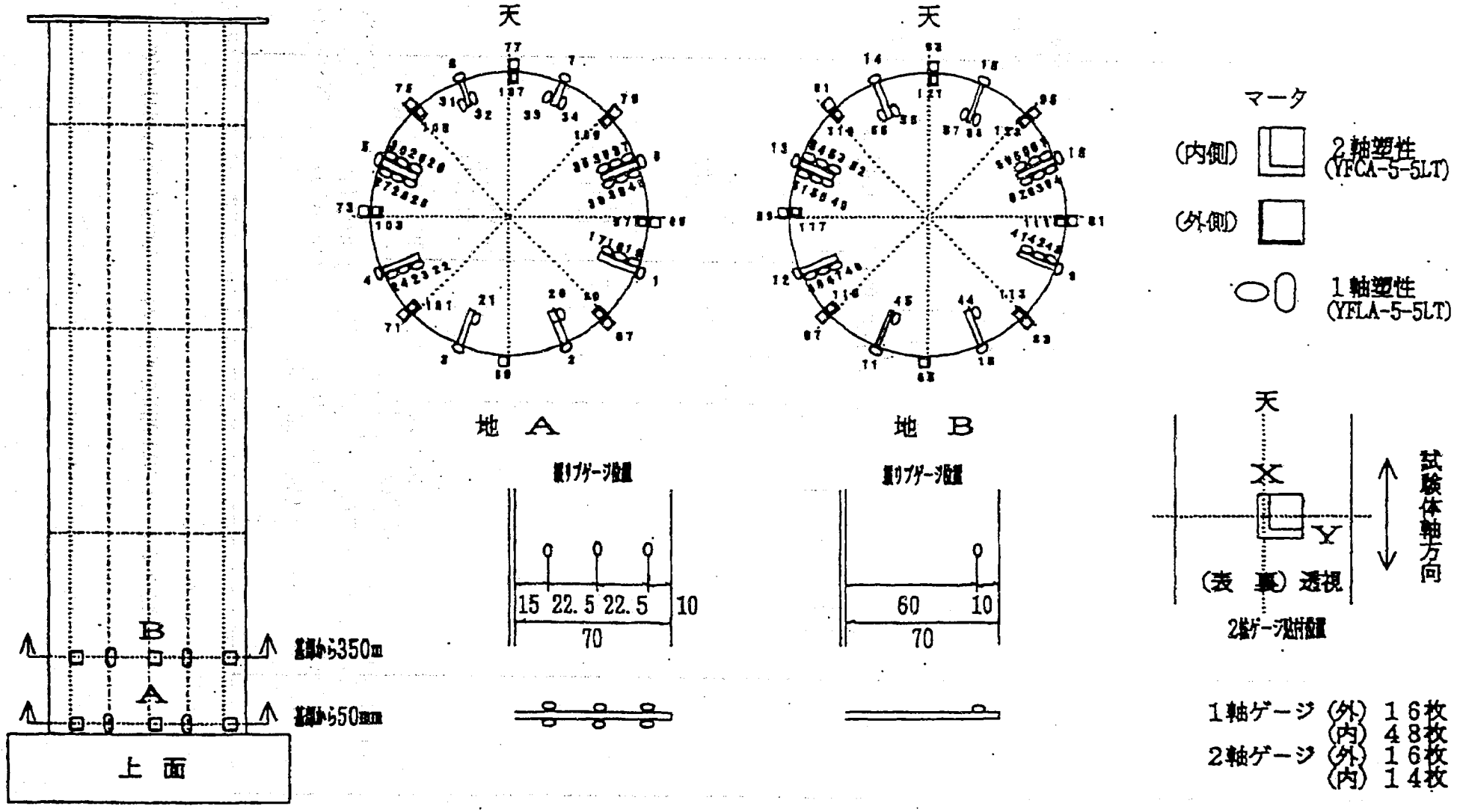


図-2.3.5(2) 供試体のひずみゲージ貼付位置（M19）

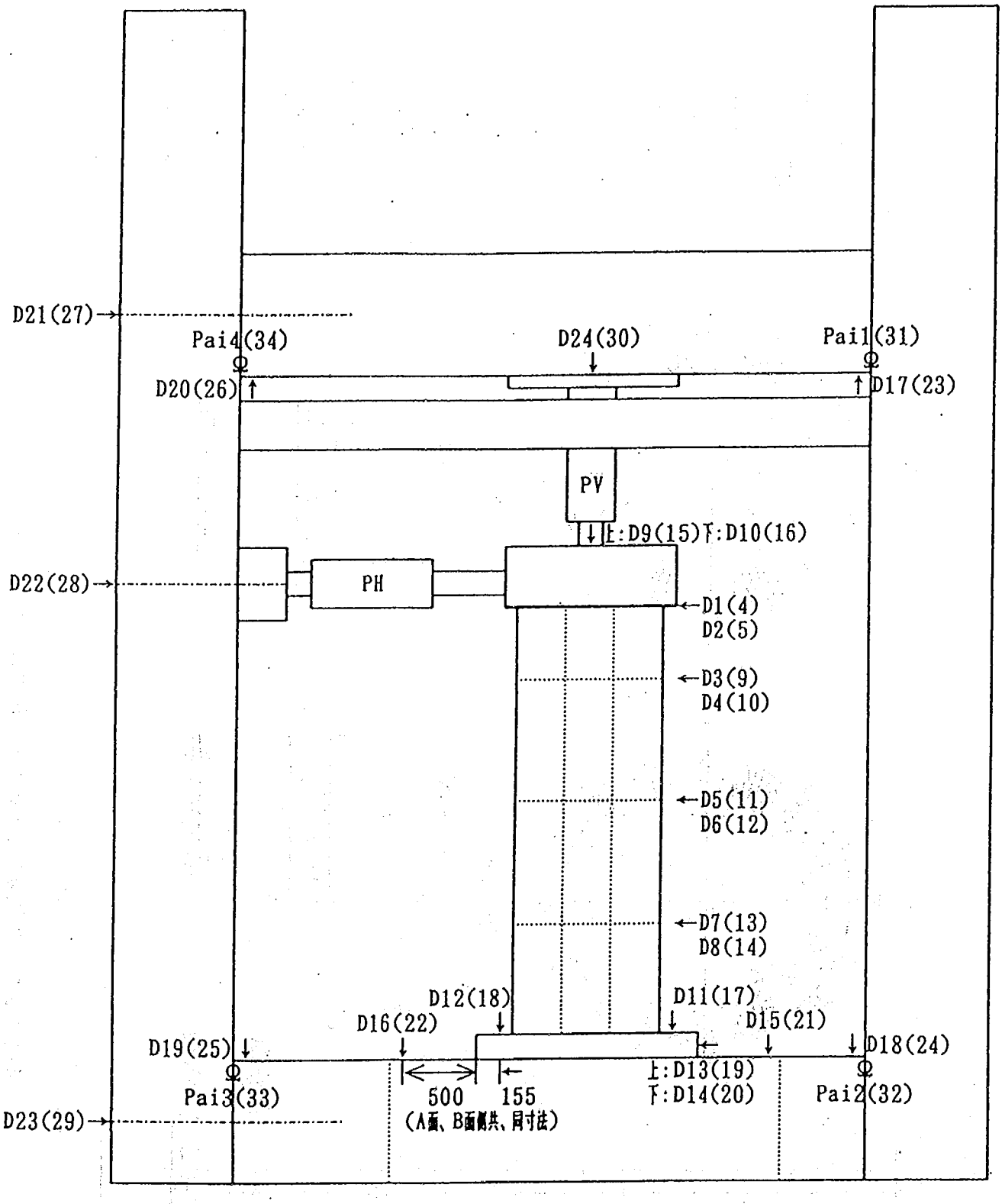
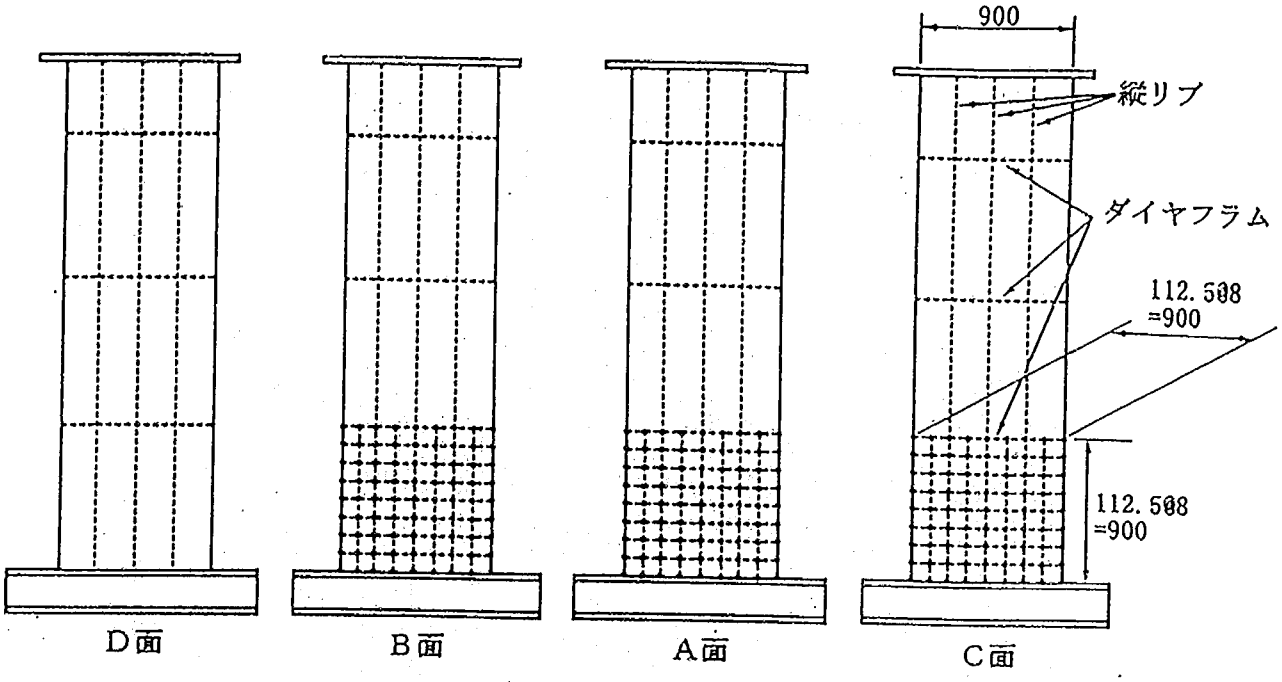


図-2.3.6　土木研究所の載荷フレームの変位計取付け位置



・測定点(全81×3=243点)

図-2.3.7　面外変位の測定位置(矩形断面)

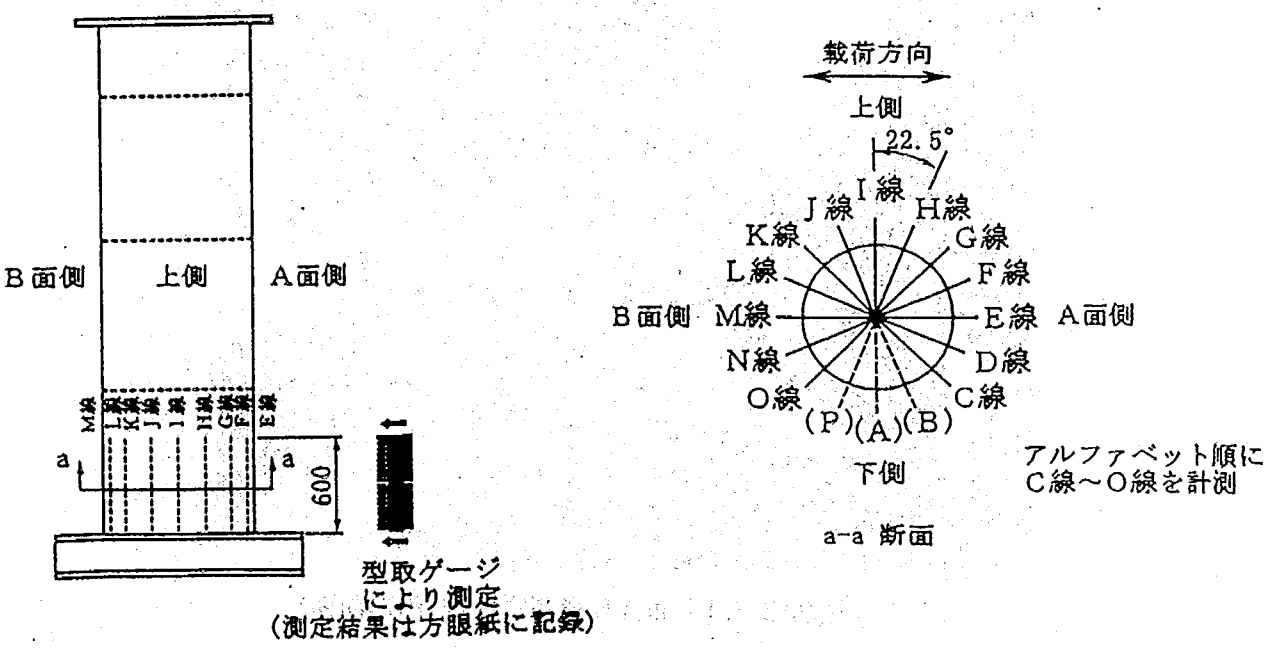


図-2.3.8　面外変位の測定位置(円形断面)

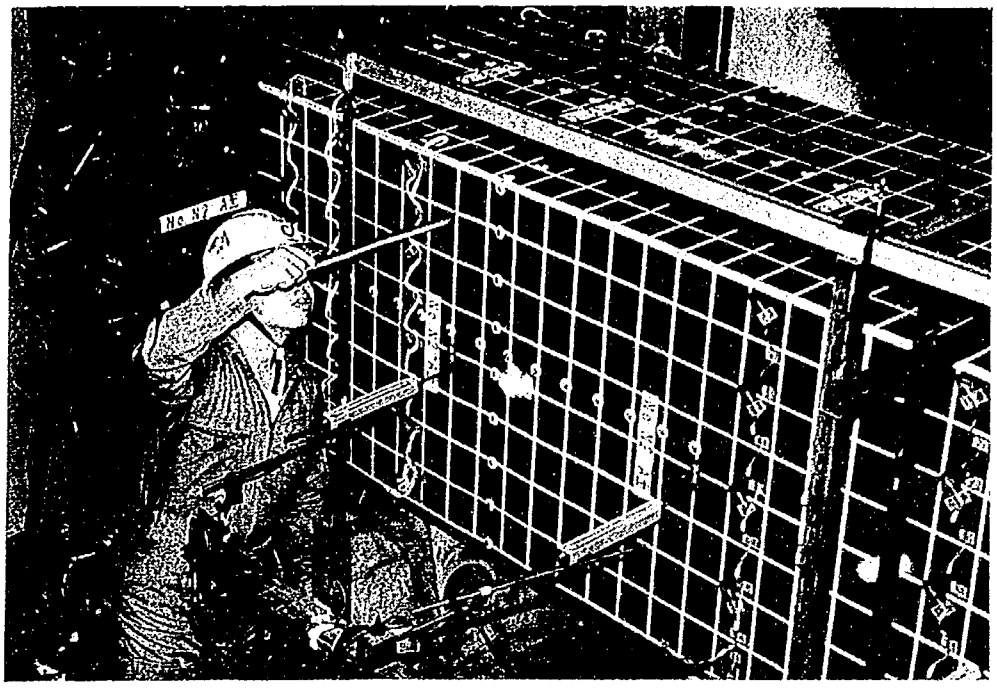


写真-2.3.1　面外変形測定状況(矩形断面)

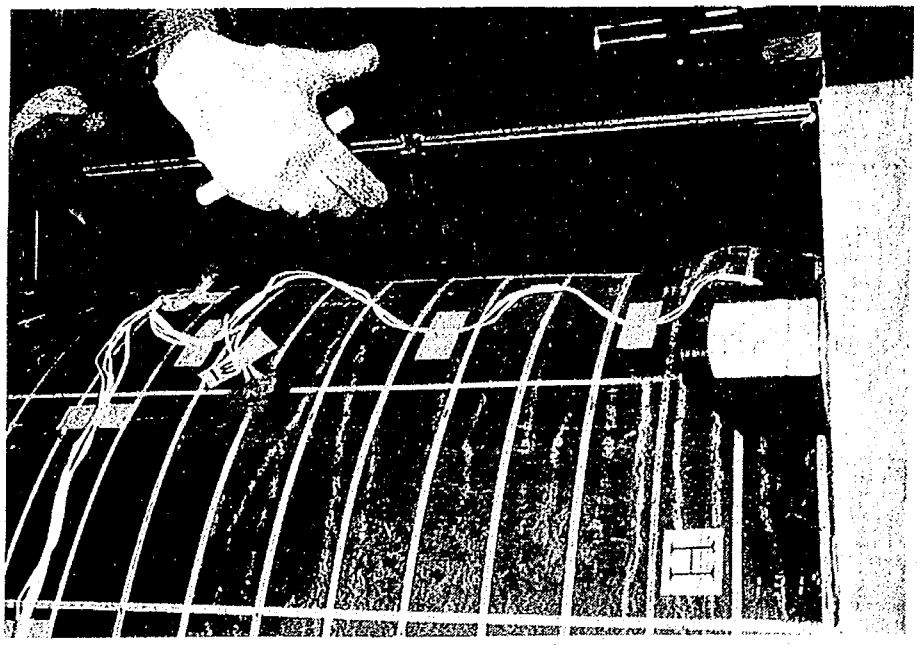


写真-2.3.1　面外変形測定状況(円形断面)

3．実験結果

3.1 矩形断面

表-3.1.1　実験結果一覧

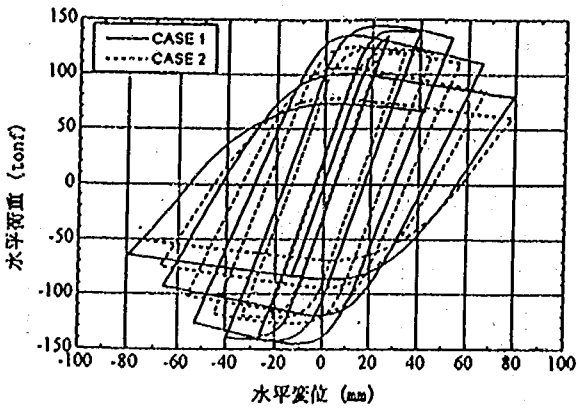
矩形断面供試体		外形寸法 bxb (mm)	板厚 t (mm)	縦リブ寸法 (mm)	横リブ間隔 a (mm)	パネル数	鋼種	鋼材降伏点 σ_{yM} (kgf/cm2)	断面積 A (cm2)	断面2次モーメント I (cm4)	断面2次半径 γ (cm)	有効長 l(=2h) (cm)	細長比 λ	幅厚比パラメータ R_R	幅厚比パラメータ R_F	リブ剛度 γ_l/γ_l^*	リブ剛度 $\gamma_l/\gamma_{l.req}$	軸力 N (tf)	軸力比 N/N_{yN}	軸力比 N/N_{yM}
M1	横リブ増設	900x900	10	65x6	300	3	SM490	3456	387.2	499,493	35.92	684.6	0.246	0.64	0.47	(0.55)	(0.55)	185.9	0.150	0.139
M2	横リブ増設	900x900	10	75x9	300	3	SM490	3629	410.0	519,967	35.61	684.6	0.254	0.66	0.41	(1.16)	(1.16)	196.8	0.150	0.132
M3	Rコーナー有	900x900	8 (12)	70x6 (120x12)	900	4	SM490	3847	467.8	555,412	34.46	684.6	0.271	0.63	0.68	0.87	0.87	224.5	0.150	0.125
M4	コーナー部縦リブ	900x900	11	75x8 (90x14)	900	4	SM490	3383	516.0	666,822	35.95	684.6	0.243	0.62	0.65	0.90	0.90	247.7	0.150	0.142
M5	中詰め有	900x900	10	65x6	900	3	SM490	3581	387.2	499,493	35.92	684.6	0.251	0.65	0.85	0.55	0.55	185.9	0.150	0.134
M6	中詰め有	900x900	10	75x9	900	3	SM490	3718	410.0	519,967	35.61	684.6	0.257	0.66	0.62	1.16	1.16	196.8	0.150	0.129
M8	基本	900x900	10	65x6	900	3	SM490	3586	387.2	499,509	35.92	808.6	0.296	0.65	0.85	0.55	0.55	185.9	0.150	0.134
M10	縦リブ補強	900x900	10	65x6 +65x12	900	3	SM490	3632	387.2 (449.6)	499,509 (549,003)	35.92 (34.94)	808.6	0.298 (0.306)	0.66	0.38	3.25	3.25	185.9	0.150 (0.129)	0.132 (0.114)
M11	縦リブ補強＋横リブ増設	900x900	10	65x6 +65x12	300	3	SM490	3591	387.2 (449.6)	499,509 (549,003)	35.92 (34.94)	808.6	0.296 (0.305)	0.65	0.33	3.25	3.25	185.9	0.150 (0.129)	0.134 (0.115)
M14	断面変化有	900x900	10 (12)	75x9 (90x9)	900	3	SM490	3764	410.0	519,984	35.61	808.6	0.306	0.67	0.63	1.15	1.15	196.8	0.150	0.128
M16	縦リブ補強＋角部補強	900x900	10	65x6 +85x12	900	3	SM490	3517	387.2 (511.2)	499,509 (717,510)	35.92 (37.46)	808.6	0.293 (0.281)	0.65	0.38	3.06	3.06	185.9	0.150 (0.114)	0.136 (0.103)
M17	縦リブ補強	900x900	9	60x6 +41x9	500	5	SM490	3204	378.4 (437.4)	484,853 (538,387)	35.80 (35.08)	808.6	0.281 (0.287)	0.41	0.24	3.04	4.45	181.6	0.150 (0.130)	0.150 (0.130)
M18	横リブ増設	900x900	9	60x6	250	5	SM490	3613	378.4	484,853	35.80	808.6	0.298	0.44	0.22	4.35	6.67	181.6	0.150	0.133

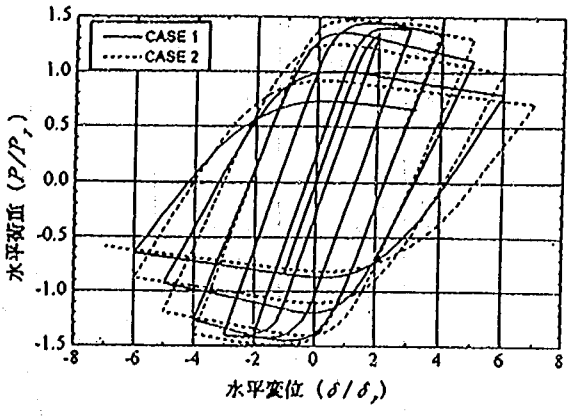
注）1.M1、M2、M11のカッコ内は補強横リブを考慮しない場合を示す。
2.M3・M4のカッコ内はコーナー部を示す。
3.M14のカッコ内は供試体下部の断面を示す.
4.縦リブ寸法内での ＋後の表示は補強フランジ断面を示す.
5.M10、M11、M16、M17のカッコ内は縦リブ補強フランジおよび角補強を考慮した場合を示す。

表-3.1.1　実験結果一覧（つづき）

供試体	実験場所	P_{yN} (tf)	P_{yM} (tf)	Pu (tf)	$\frac{Pu}{P_{yM}}$	δ_{yTN} (mm)	δ_{yTM} (mm)	δ_{yEN} (mm)	δ_{yEM} (mm)	δ m (mm)	δ 97 (mm)	δ 95 (mm)	δ lim (mm)	δ 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
M1	土研	88.2	96.5	132.6	1.37	11.2	12.3	12.7	13.9	27	32	33	37	61	2.1	2.5	2.6	2.9	4.8	M1
M2	土研	91.8	106.3	138.2	1.30	11.2	13.0	14.0	16.2	29	33	37	35	71	2.1	2.4	2.6	2.5	5.1	M2
M3	土研	97.1	120.2	180.1	1.50	11.1	13.8	14.7	18.2	73	98	103	95	138	4.9	6.6	7.0	6.5	9.3	M3
M4	土研	117.7	125.7	167.0	1.33	11.2	12.0	14.3	15.3	40	60	65	49	90	2.8	4.2	4.5	3.4	6.3	M4
M5	土研	88.2	100.6	201.2	2.00	11.2	12.8	7.8	8.8	75	93	104	94	146	9.7	12.0	13.4	12.1	18.8	M5
M6	土研	91.8	109.3	194.8	1.78	11.2	13.4	9.7	11.6	90	113	121	111	164	9.2	11.6	12.5	11.4	16.8	M6
M8	D社	88.2	100.7	111.0	1.10	11.2	12.8	17.3	19.8	33	34	35	33	37	1.9	2.0	2.0	1.9	2.2	M8
M10	D社	88.2 (99.3)	102.2 (114.7)	117.7	1.15	11.2 (11.5)	13.0 (13.2)	16.7 (18.8)	19.4 (21.7)	33	40	43	40	51 (39)	1.9 (1.7)	2.4 (2.1)	2.6 (2.3)	2.4 (2.1)	3.1 (2.1)	M10
M11	D社	88.2 (99.3)	100.9 (113.3)	125.7	1.25	11.2 (11.5)	12.8 (13.1)	15.7 (17.7)	18.0 (20.2)	44	48	58	46	72 (63)	2.8 (2.5)	3.1 (2.7)	3.7 (3.3)	2.9 (2.6)	4.6 (3.5)	M11
M14	D社	105.7	127.6	142.6	1.12	12.5	15.1	17.6	21.2	36	43	47	50	52	2.0	2.5	2.7	2.9	3.0	M14
M16	D社	88.2 (132.1)	98.5 (146.9)	163.3	1.66	11.2 (11.7)	12.5 (13.0)	12.8 (19.1)	14.3 (21.3)	36	38	39	46	— (45)	2.8 (1.9)	3.0 (2.0)	3.0 (2.0)	3.6 (2.4)	— (2.4)	M16
M17	D社	85.6 (97.3)	85.7 (99.5)	143.3	1.67	11.5 (11.5)	11.5 (11.8)	15.4 (17.5)	15.4 (17.6)	65	74	78	65	110 (103)	4.2 (3.7)	4.8 (4.2)	5.0 (4.4)	4.2 (3.7)	7.1 (5.9)	M17
M18	D社	85.6	98.6	131.3	1.33	11.2	12.9	15.4	17.8	57	67	69	66	85	3.7	4.3	4.5	4.2	5.5	M18

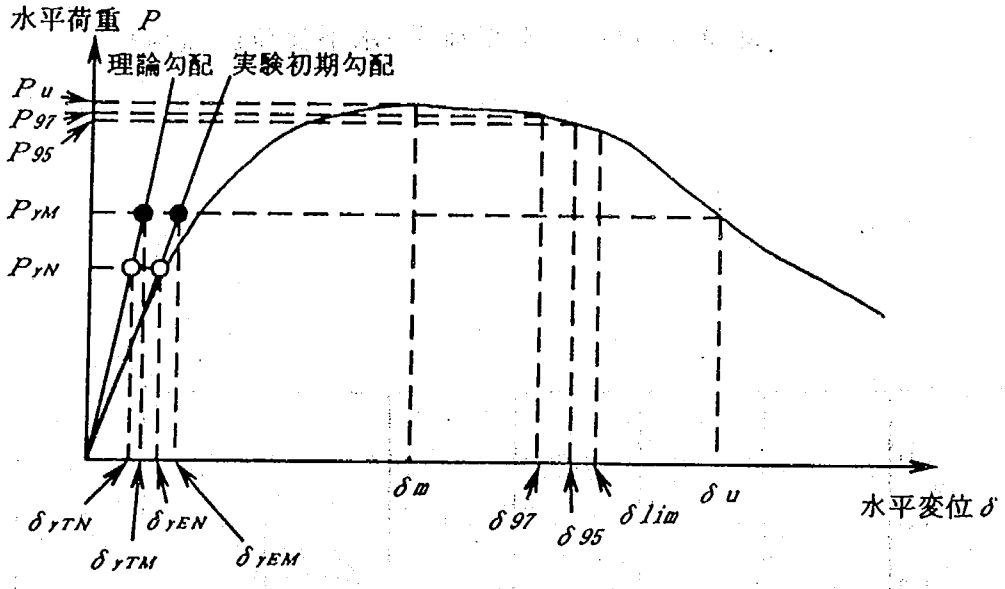
注）1.D社での実験における初期勾配は、荷重の範囲としてP_{yM}の10～30%の値を用いて算出した。





CASE 1 : σ_y =3,765 kgf/cm2, N/N_{yM} =0.15, N =213.7 tonf,
δ_y =13.22 mm, P_y =99.86 tonf
CASE 2 : σ_y =3,200 kgf/cm2, N/N_{yM} =0.15, N =181.6 tonf,
δ_y =11.24 mm, P_y =84.87 tonf

(a) FEM解析結果(正規化前)　　(b) FEM解析結果(正規化後)



図中の記号の説明:

P_u : 最大水平荷重
P_{97} : P_uの97%の荷重
P_{95} : P_uの95%の荷重

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

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

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

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

δ_{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
δ_{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
δ_m : 包絡線において水平荷重がP_u の時の水平変位
δ_{97} : 包絡線において水平荷重がP_{97} の時の水平変位
δ_{95} : 包絡線において水平荷重がP_{95} の時の水平変位
δ_{lim} : 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P_u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。
δ_u : 包絡線において水平荷重がP_{yM}の時の水平変位

(c) 記号説明

図-3.1.0 水平荷重－水平変位関係

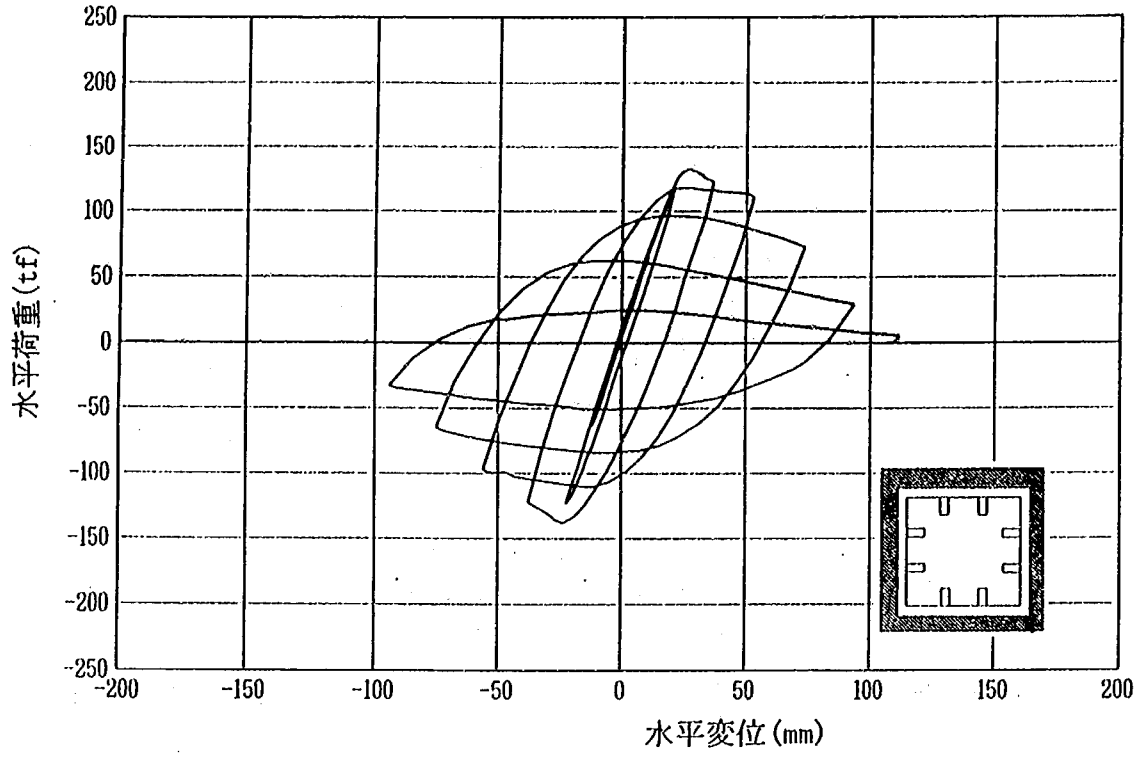


図-3.1.1(1)　水平荷重-水平変位関係(M1)

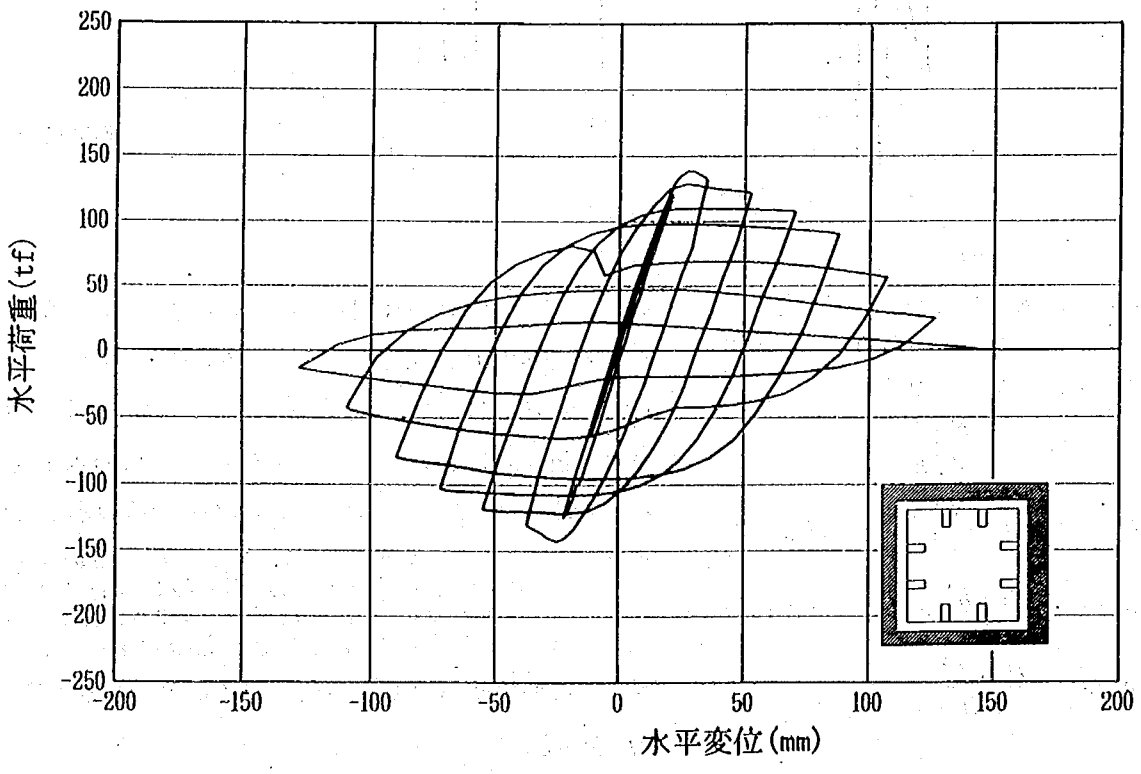


図-3.1.1(2)　水平荷重-水平変位関係(M2)

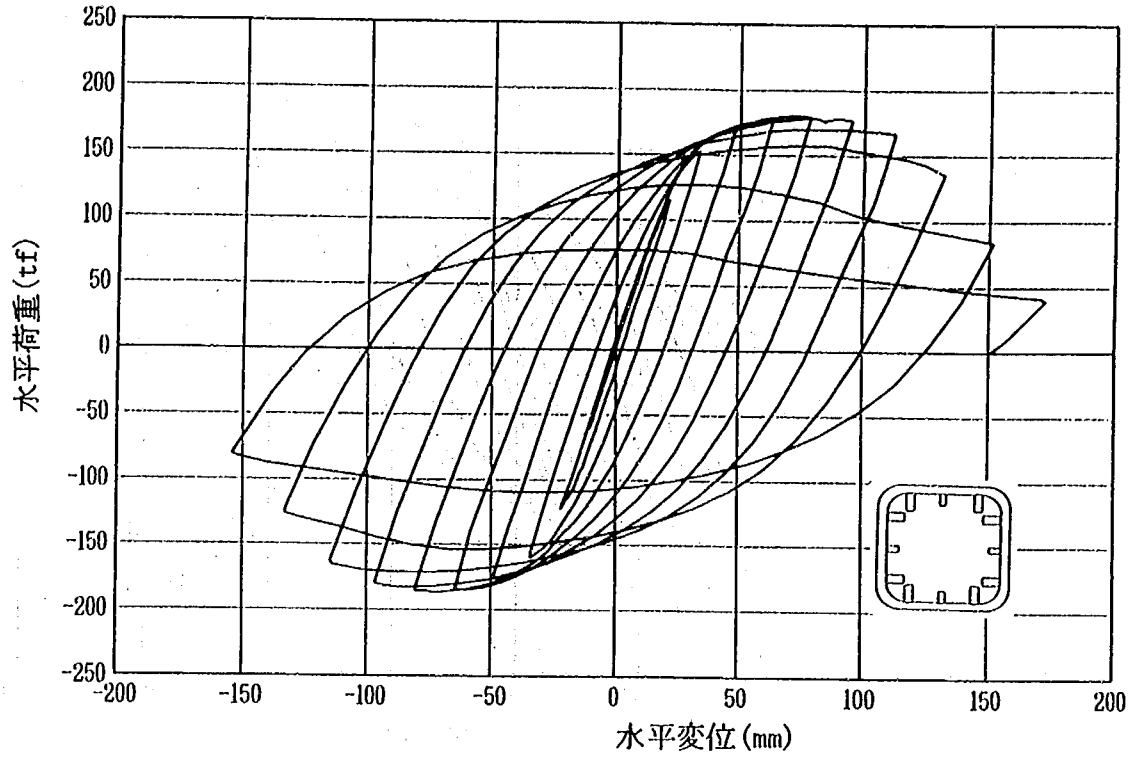


図-3.1.1(3)　水平荷重-水平変位関係(M3)

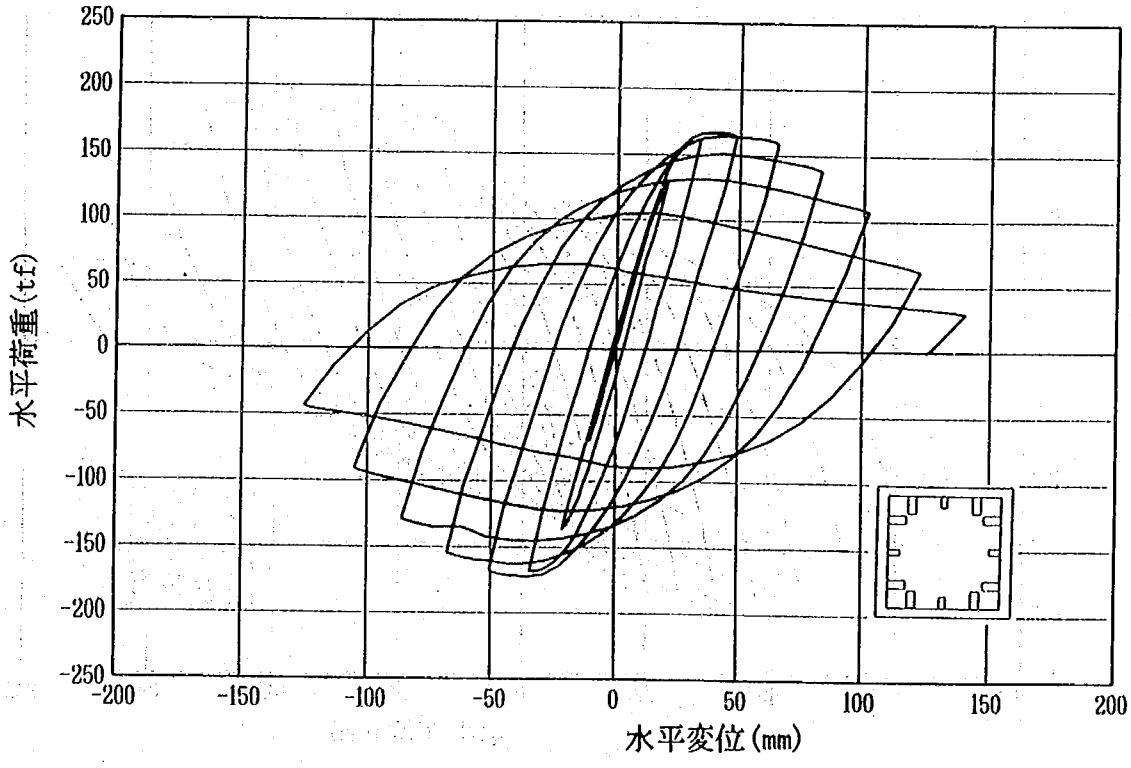


図-3.1.1(4)　水平荷重-水平変位関係(M4)

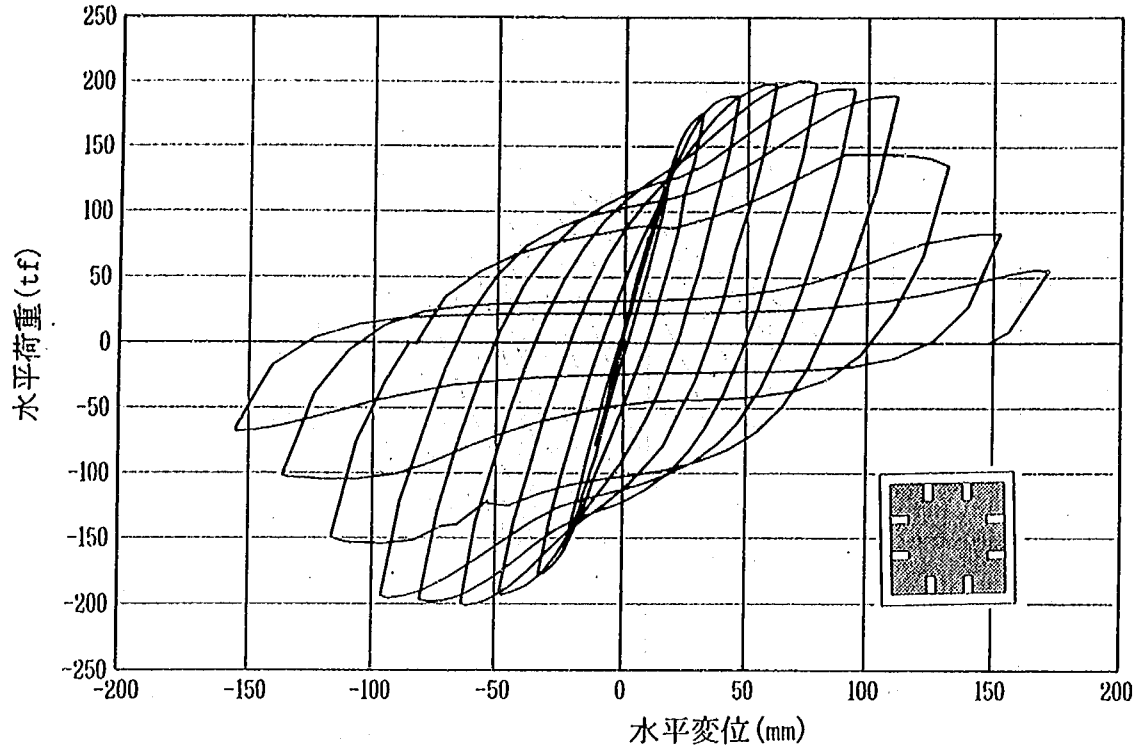


図-3.1.1(5)　水平荷重-水平変位関係(M5)

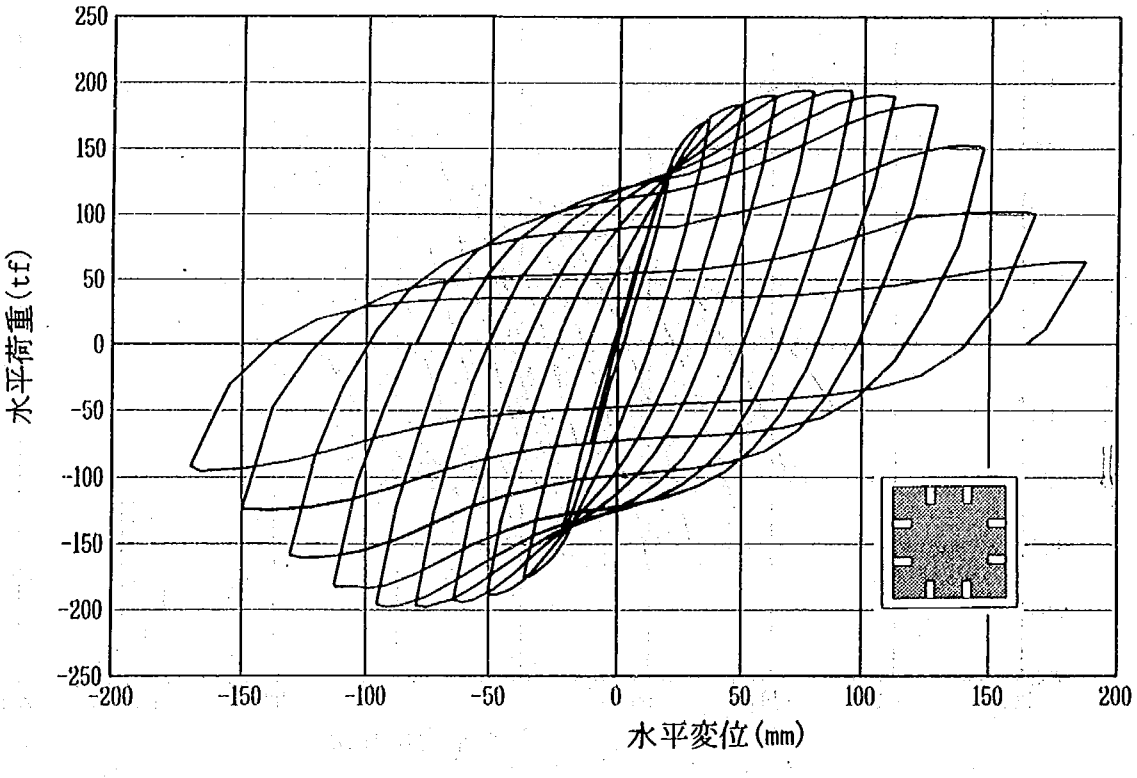


図-3.1.1(6)　水平荷重-水平変位関係(M6)

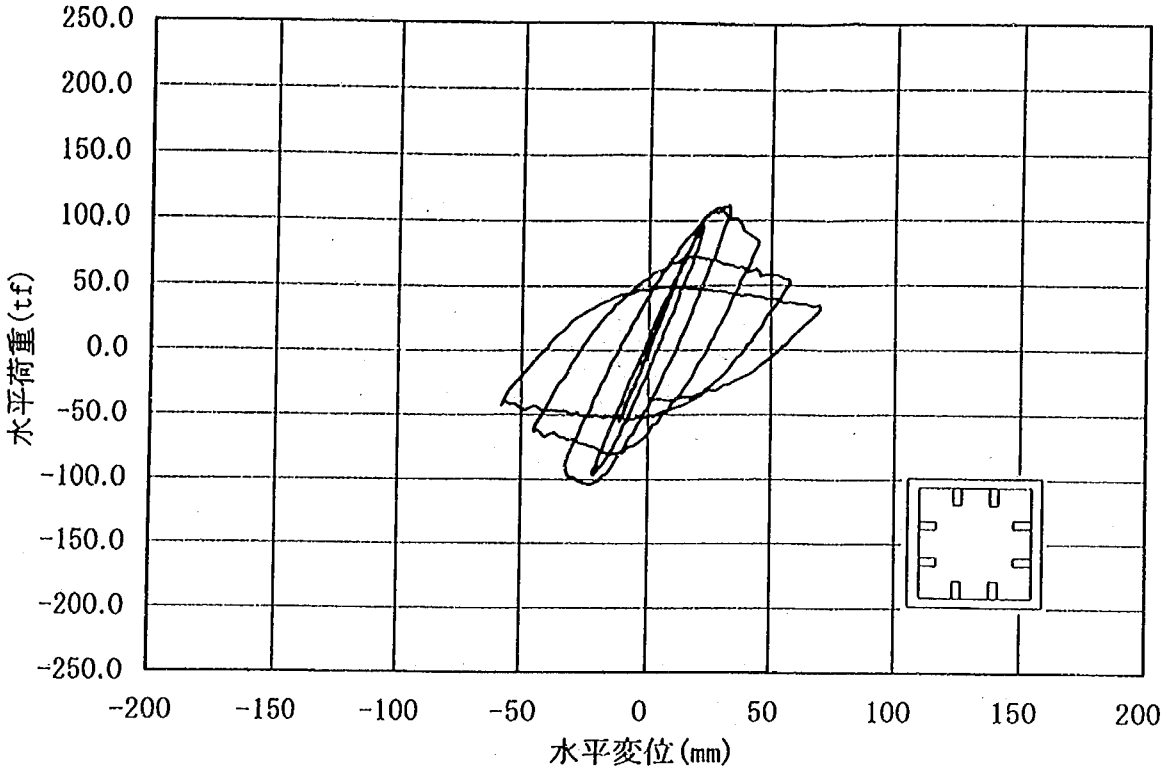


図-3.1.1(7)　水平荷重-水平変位関係(M8)

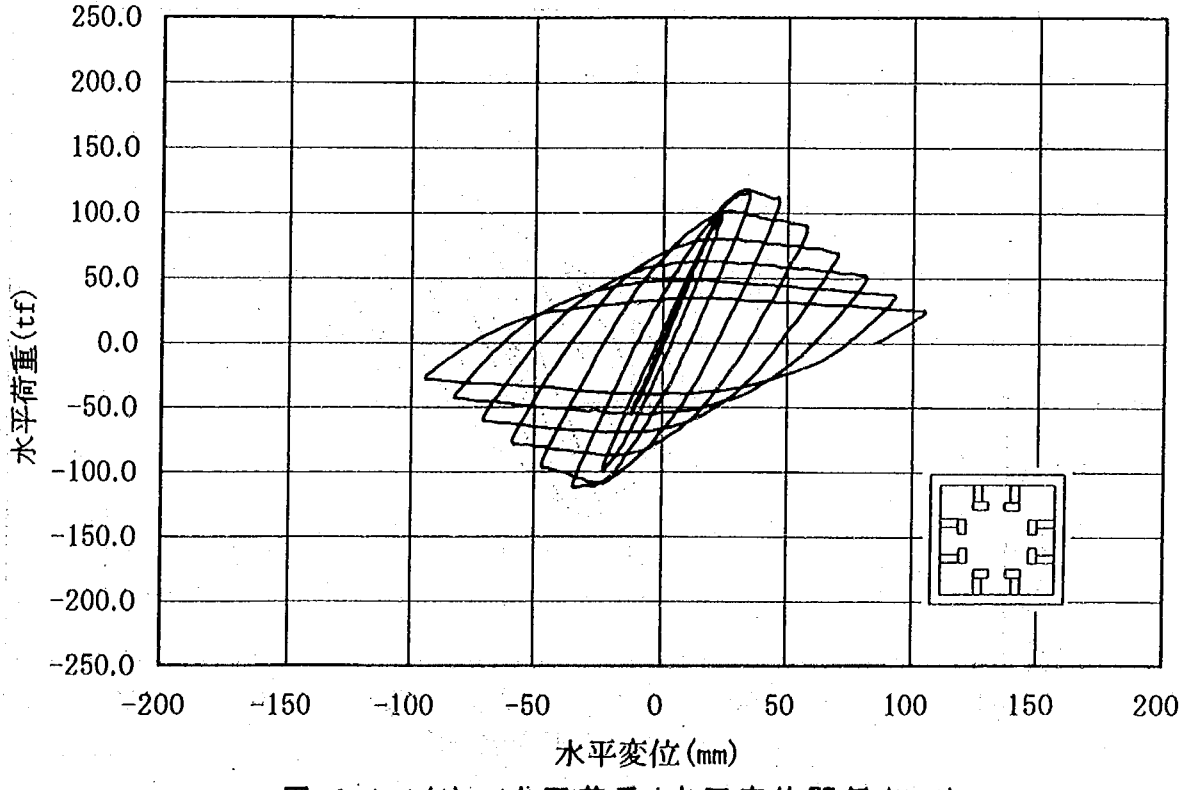


図-3.1.1(8)　水平荷重-水平変位関係(M10)

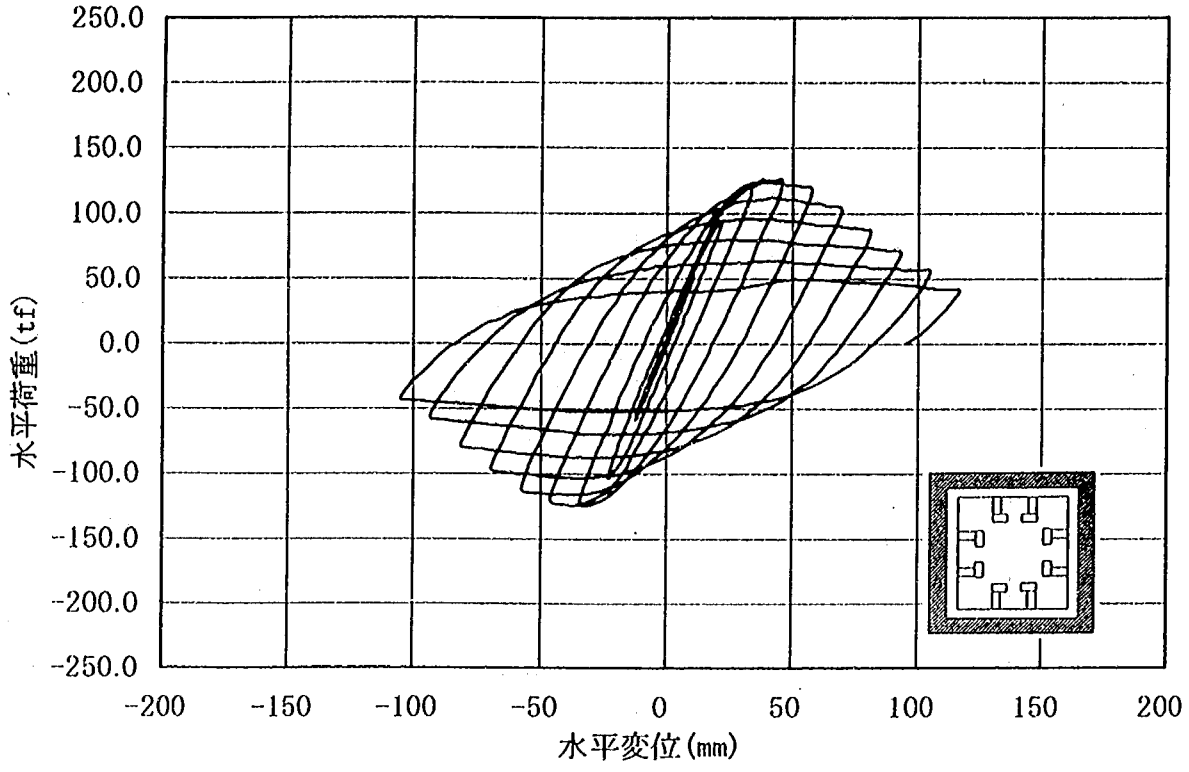


図-3.1.1(9)　水平荷重-水平変位関係(M11)

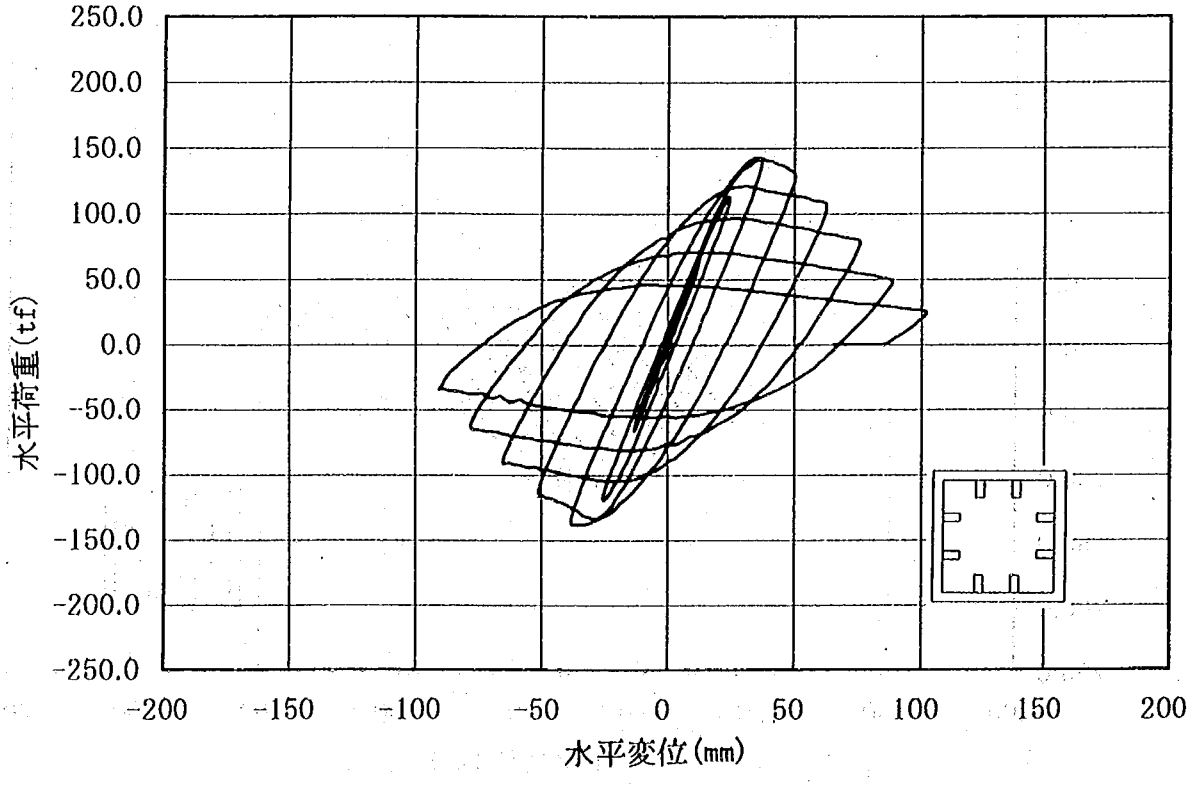


図-3.1.1(10)　水平荷重-水平変位関係(M14)

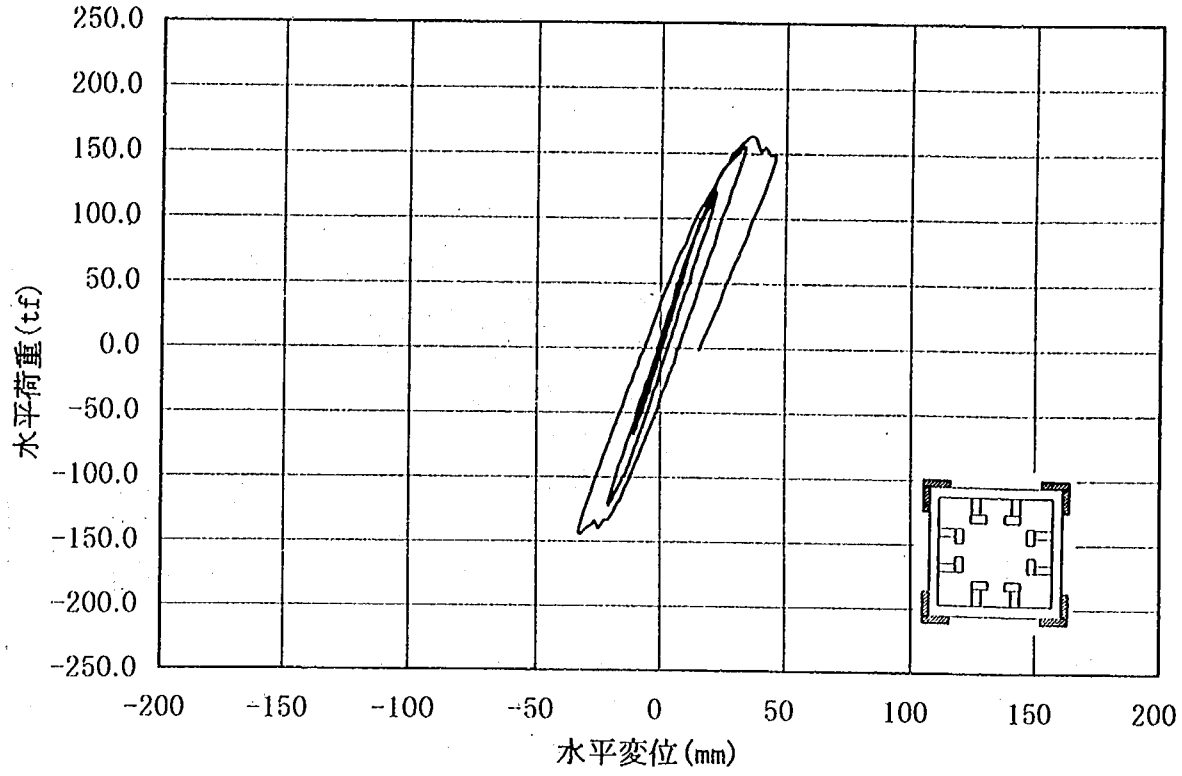


図-3.1.1(11)　水平荷重-水平変位関係(M16)

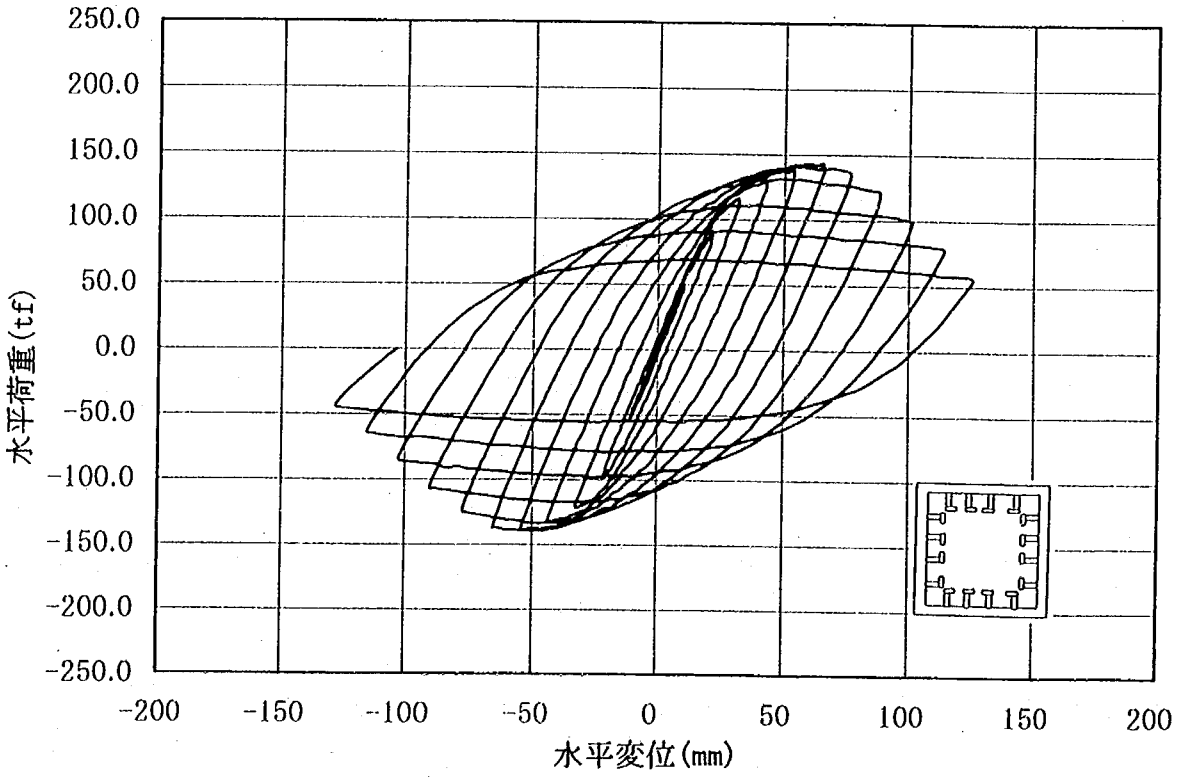


図-3.1.1(12)　水平荷重-水平変位関係(M17)

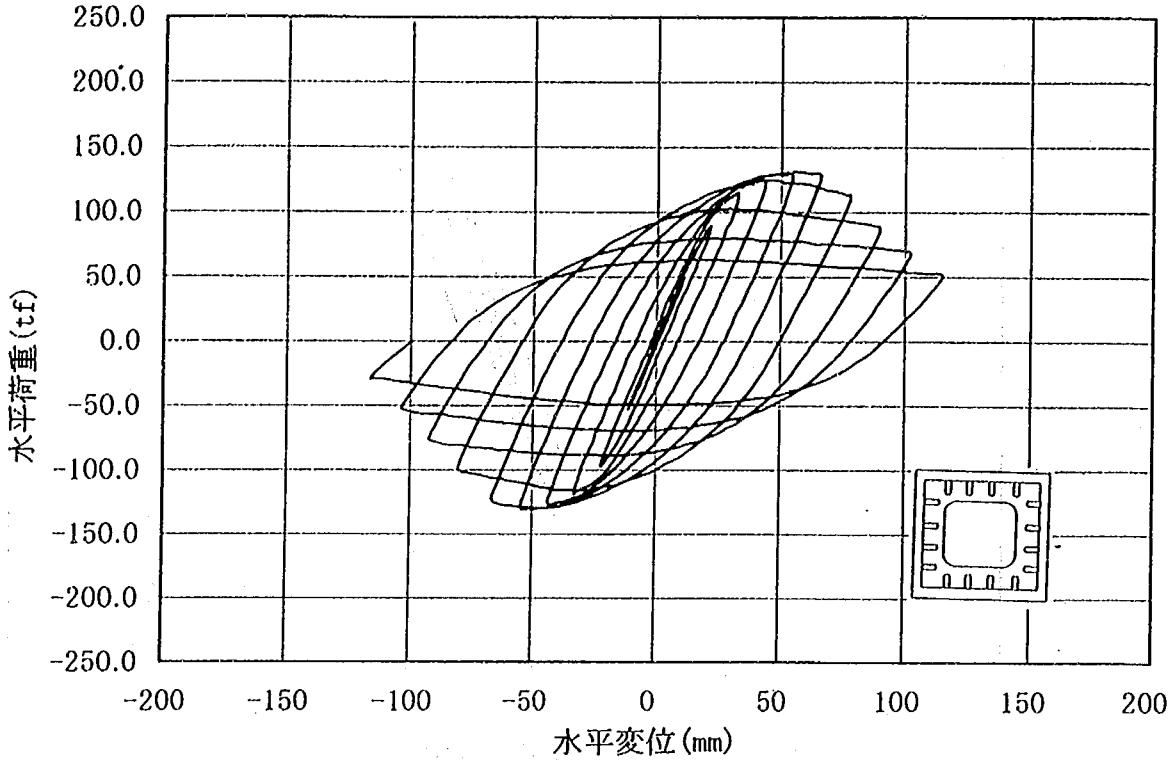


図-3.1.1(13) 水平荷重-水平変位関係(M18)

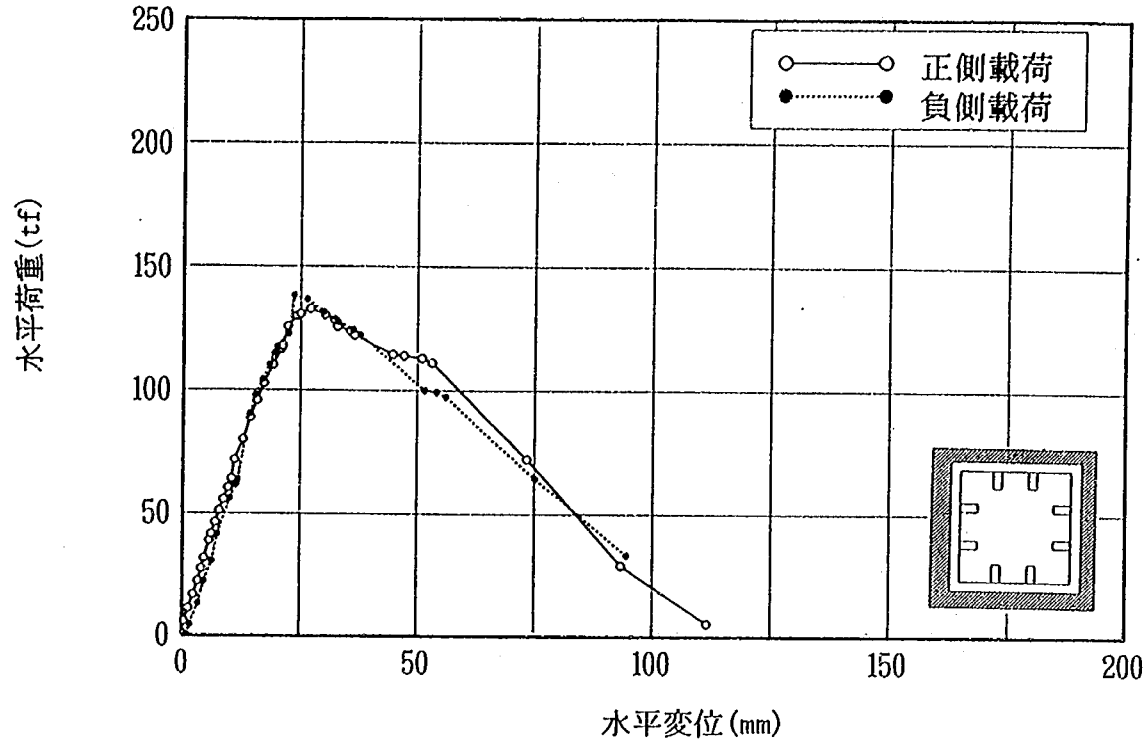


図-3.1.2(1)　水平荷重-水平変位の包絡線(M1)

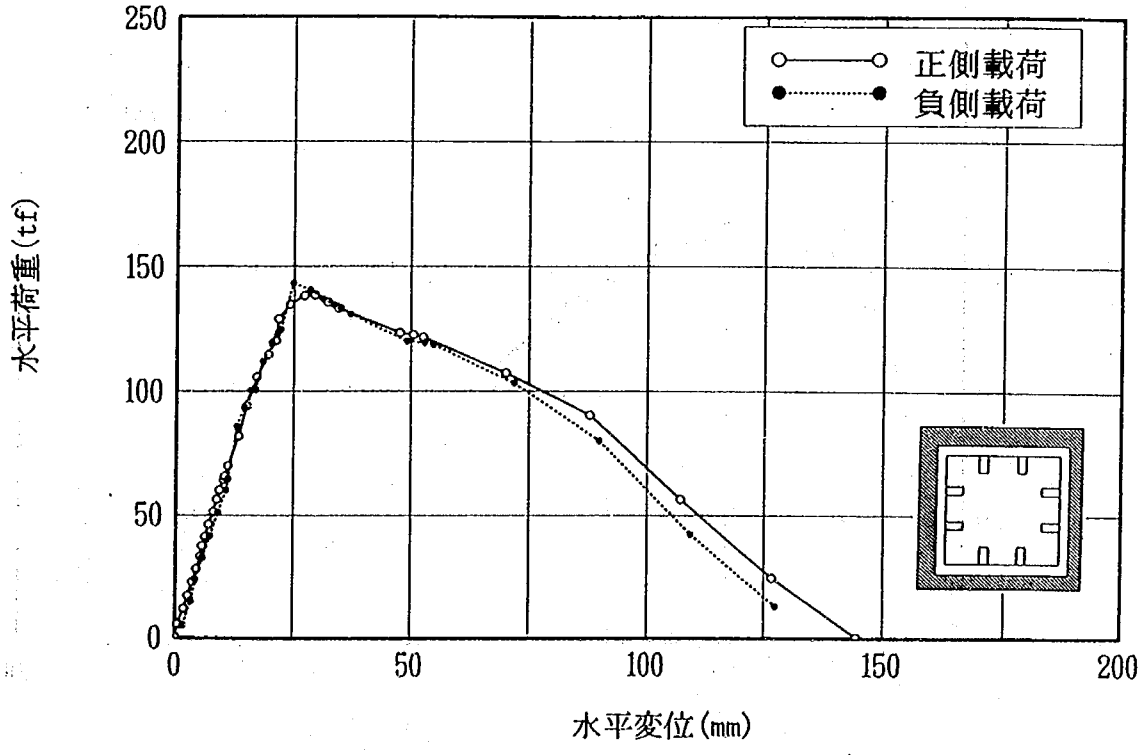


図-3.1.2(2)　水平荷重-水平変位の包絡線(M2)

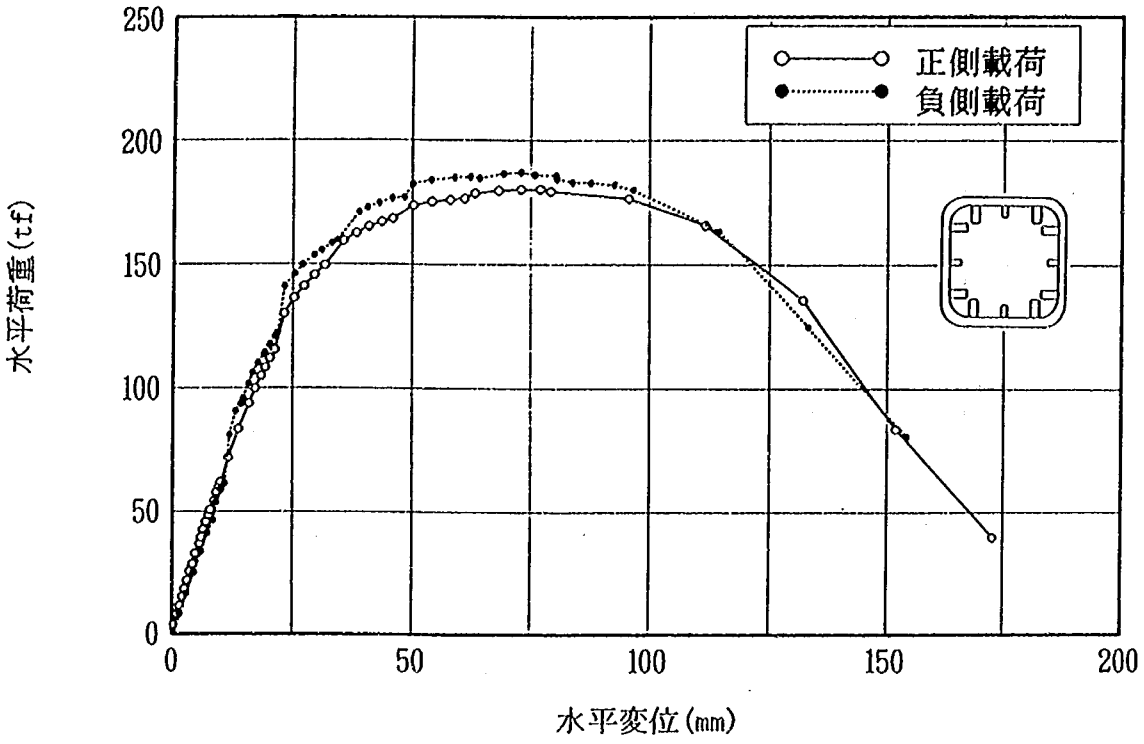


図-3.1.2(3)　水平荷重-水平変位の包絡線(M3)

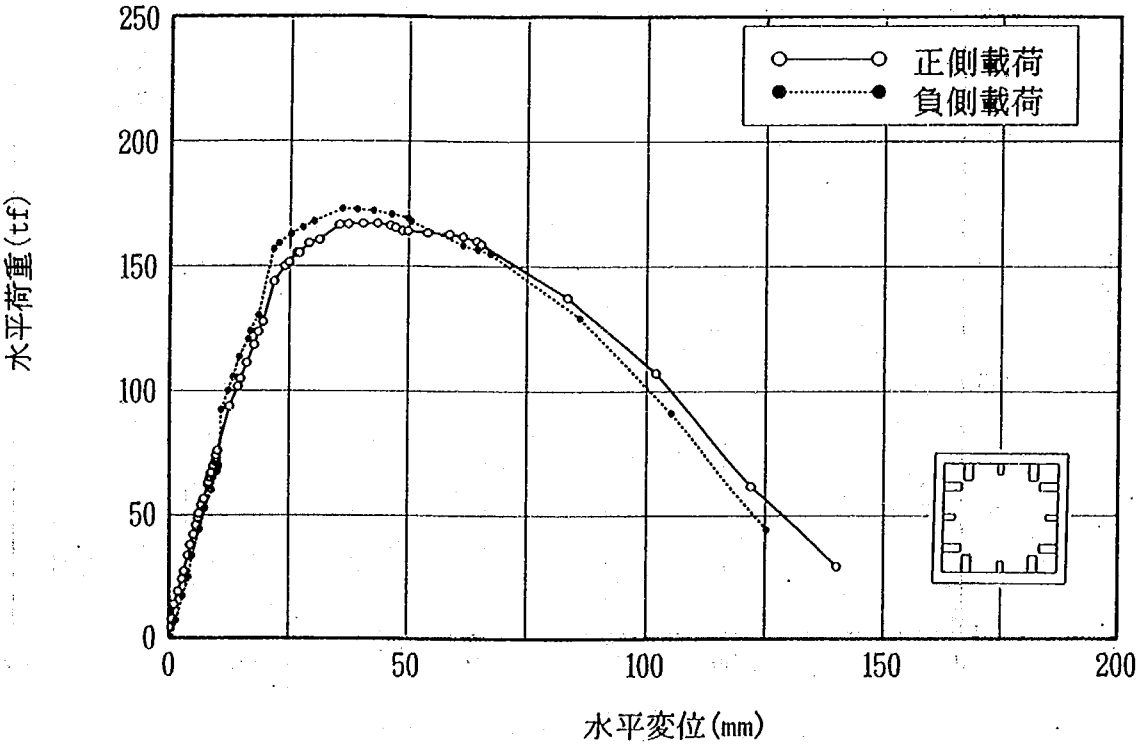


図-3.1.2(4)　水平荷重-水平変位の包絡線(M4)

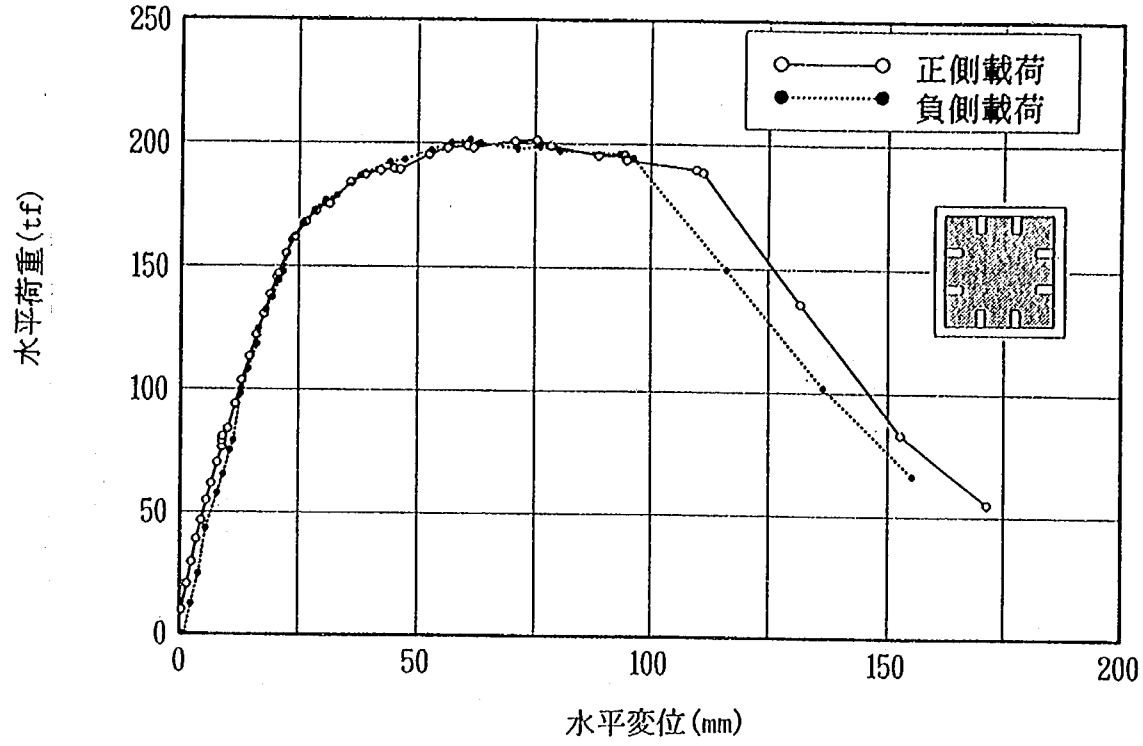


図-3.1.2(5)　水平荷重-水平変位の包絡線(M5)

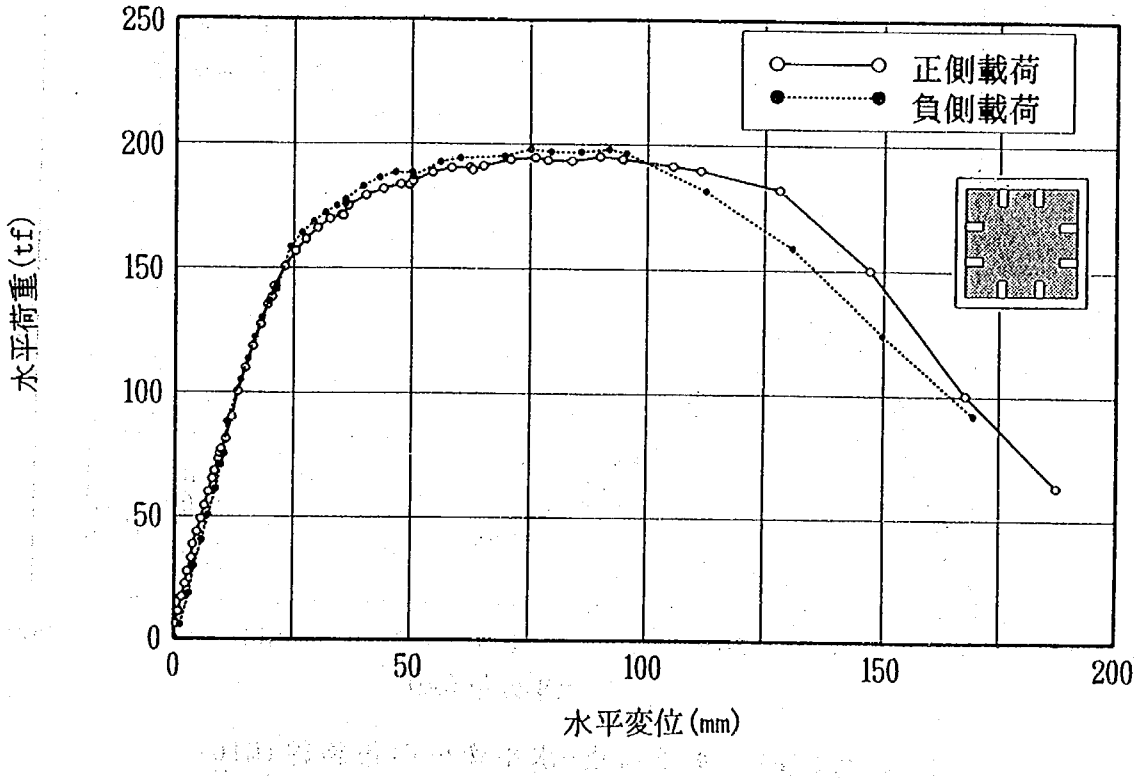


図-3.1.2(6)　水平荷重-水平変位の包絡線(M6)

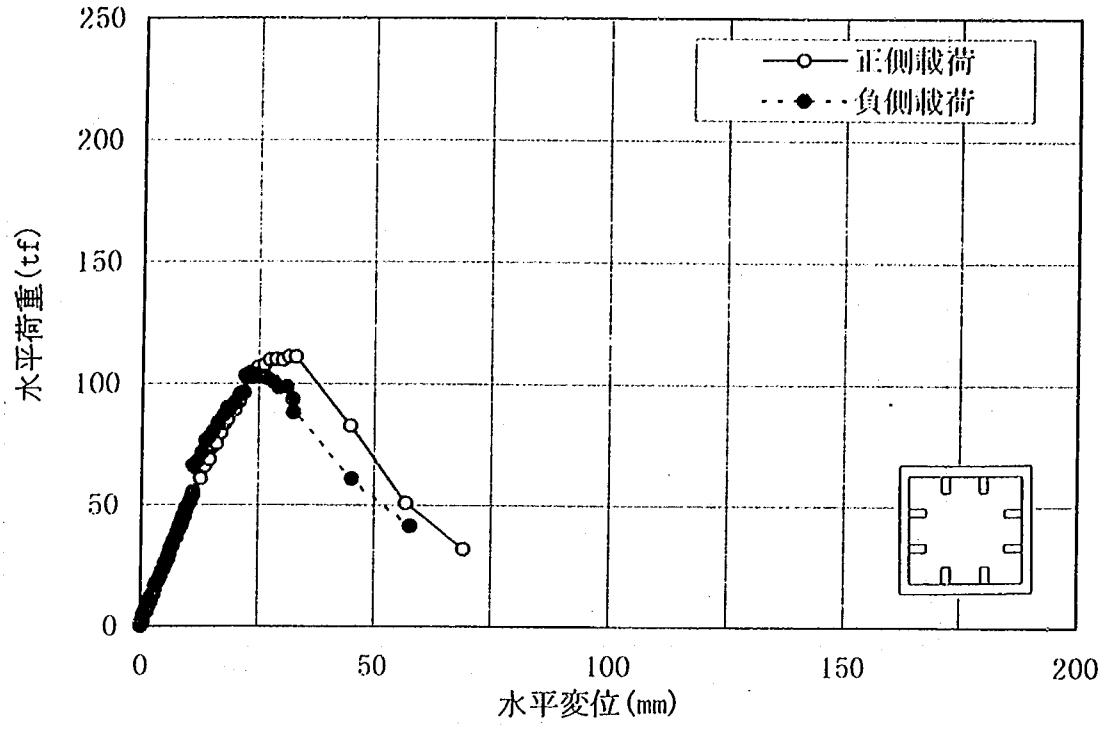


図-3.1.2(7)　水平荷重-水平変位の包絡線(M8)

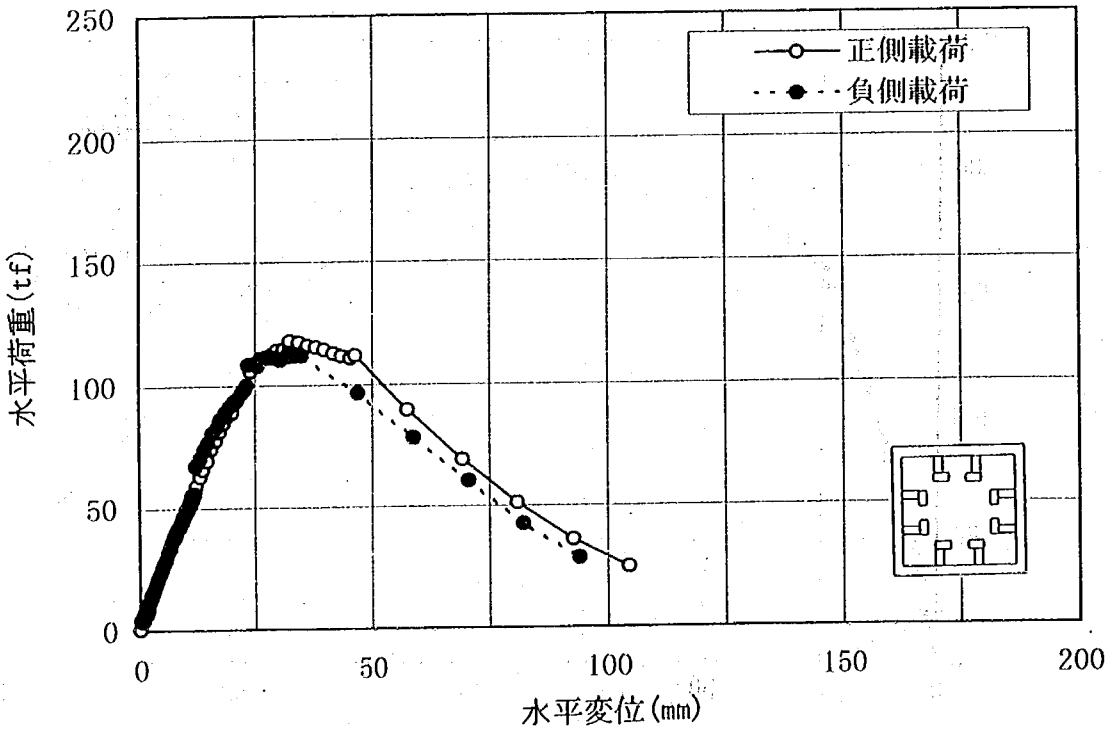


図-3.1.2(8)　水平荷重-水平変位の包絡線(M10)

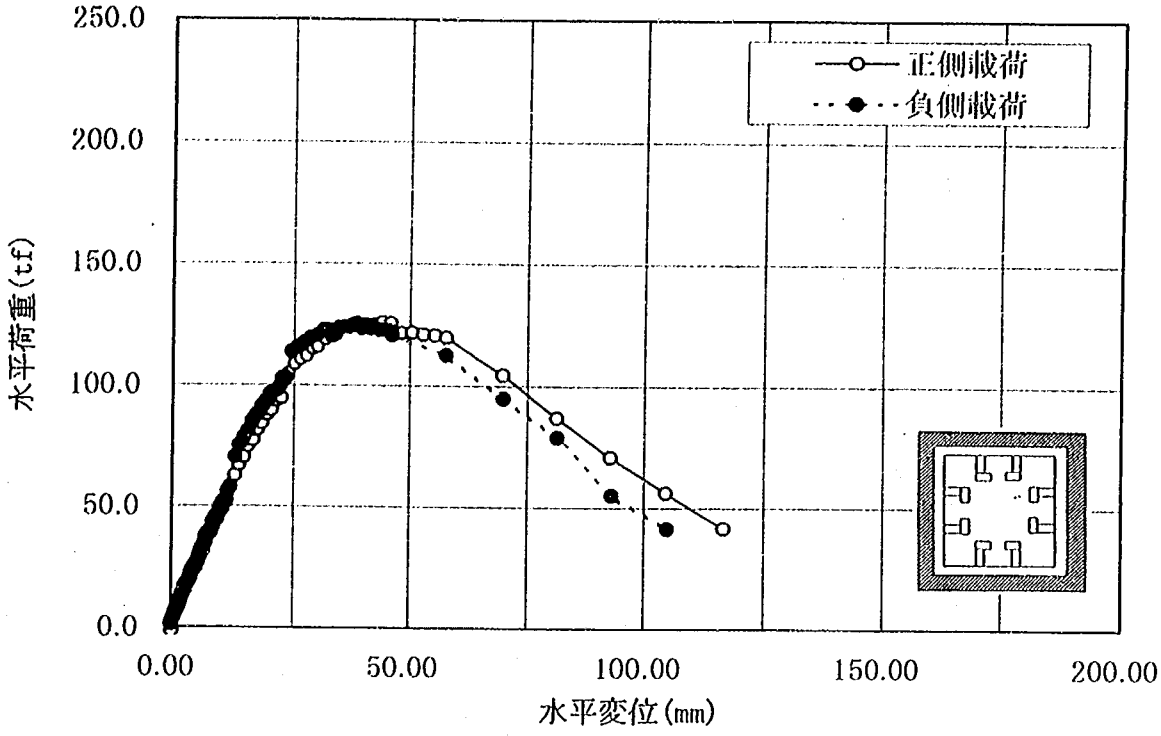


図-3.1.2(9)　水平荷重-水平変位の包絡線(M11)

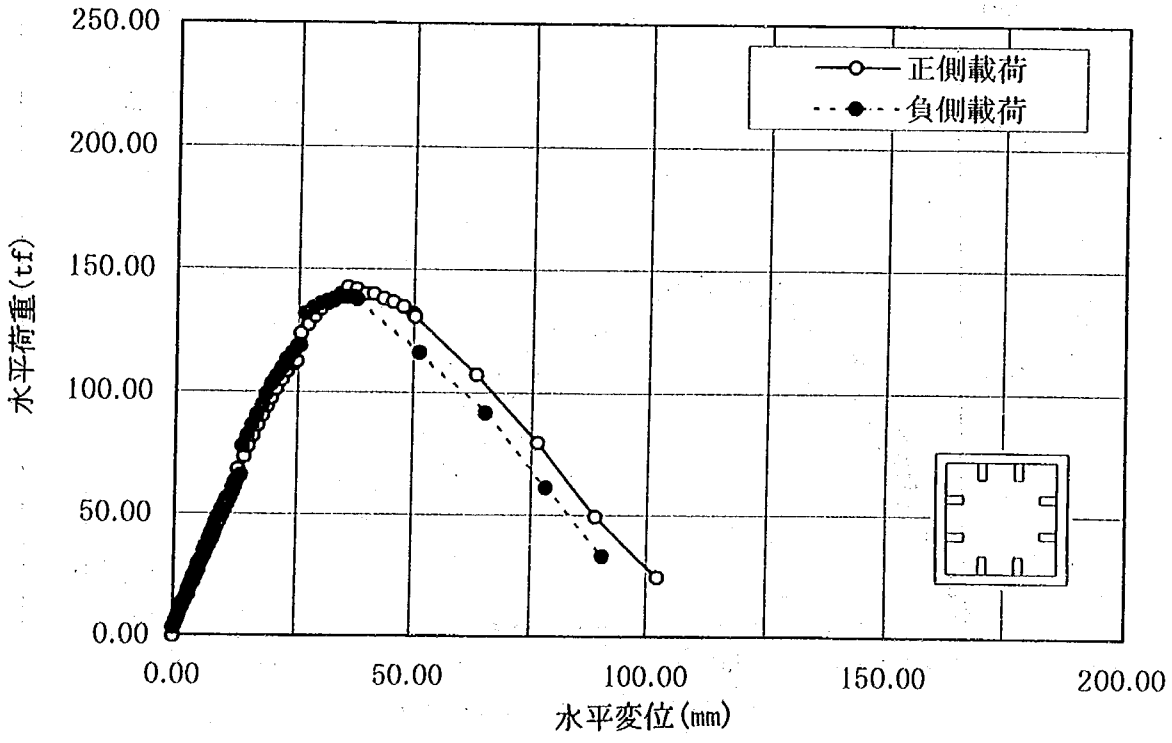


図-3.1.2(10)　水平荷重-水平変位の包絡線(M14)

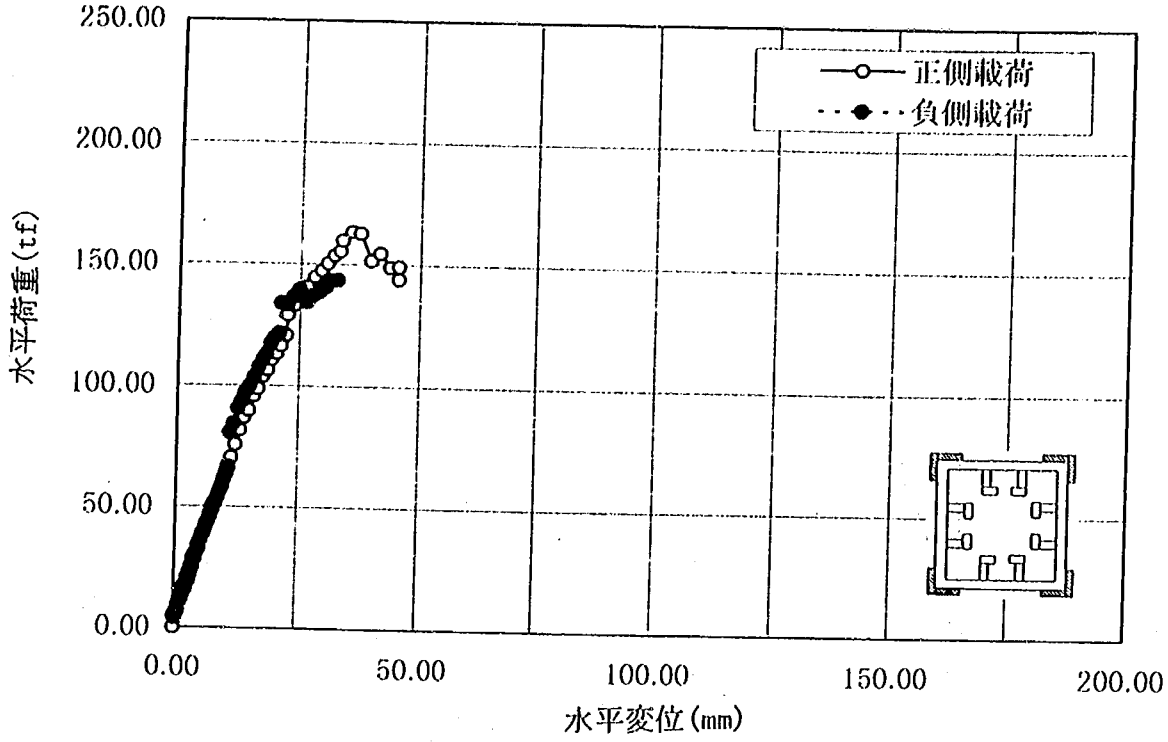


図-3.1.2(11)　水平荷重-水平変位の包絡線(M16)

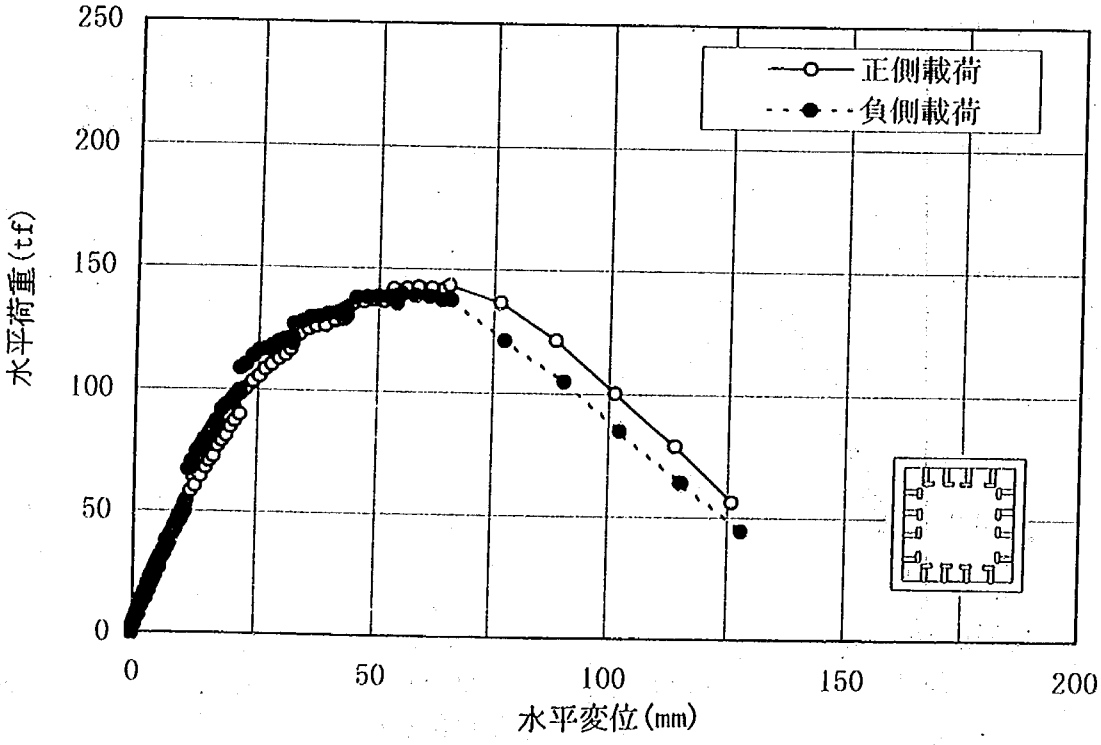


図-3.1.2(12)　水平荷重-水平変位の包絡線(M17)

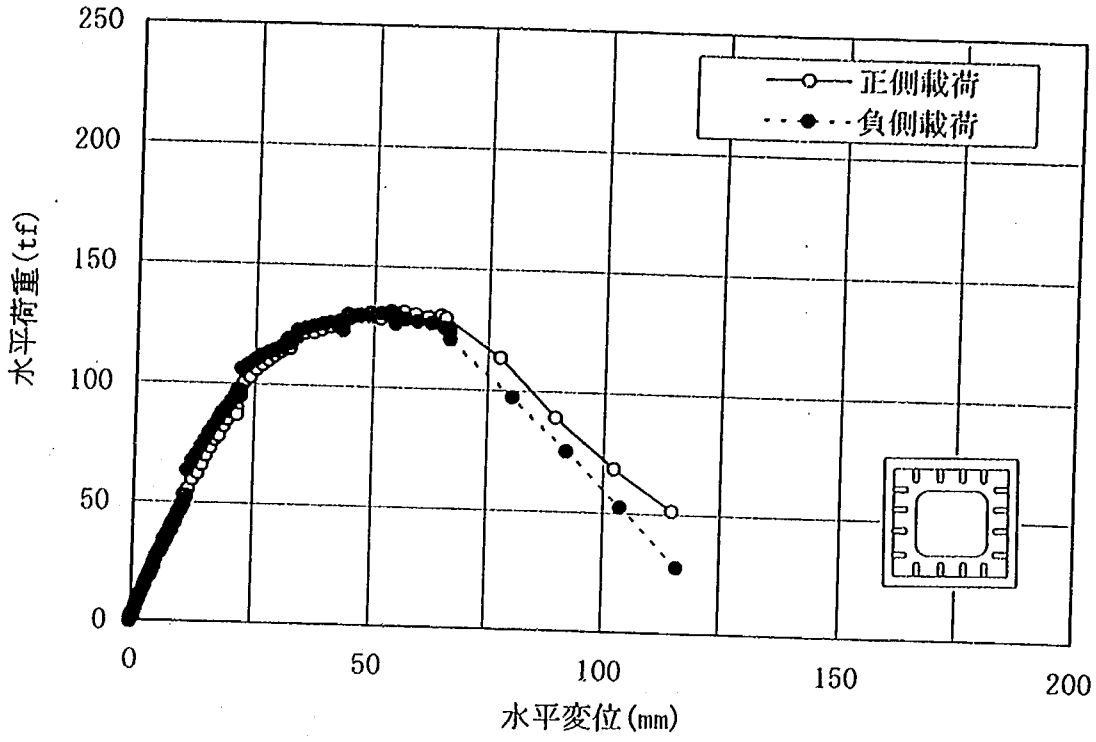
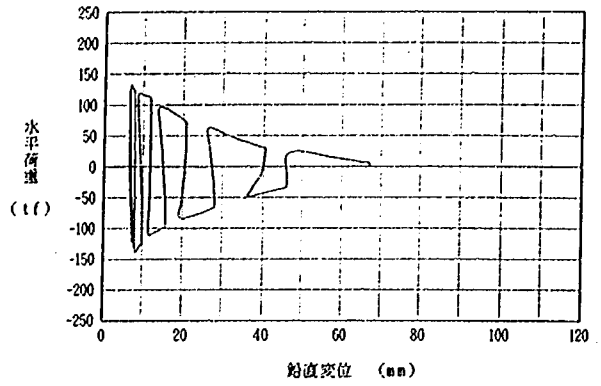
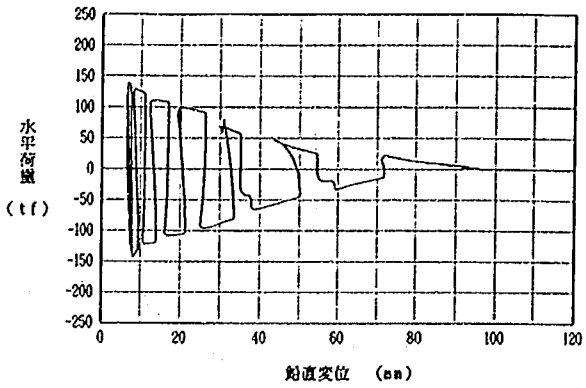


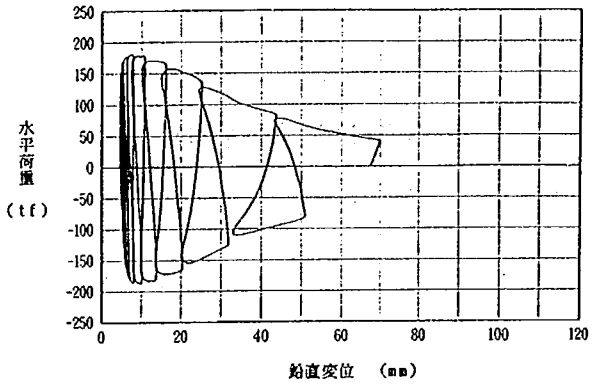
図-3.1.2(13) 水平荷重-水平変位の包絡線(M18)



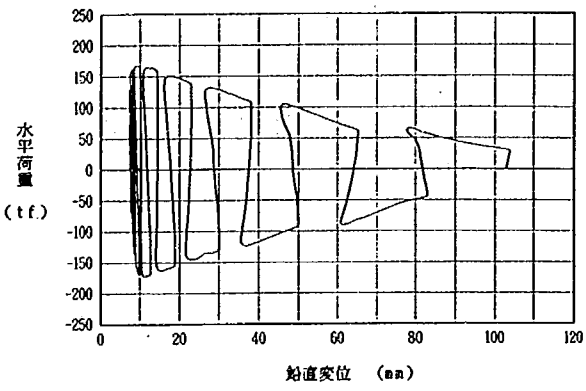
(1) M 1



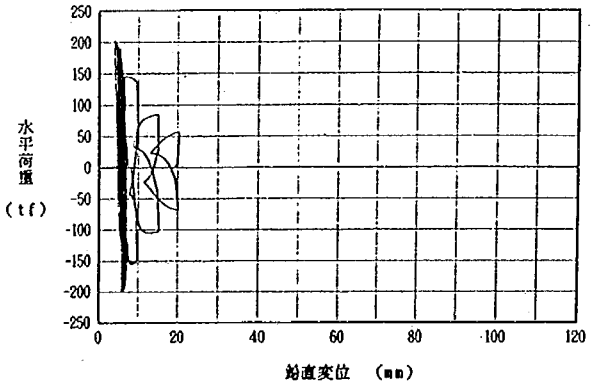
(2) M 2



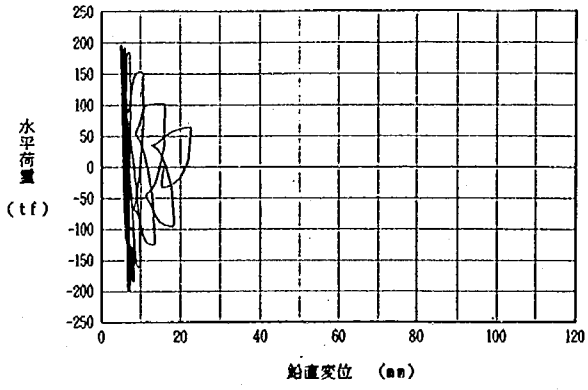
(3) M 3



(4) M 4

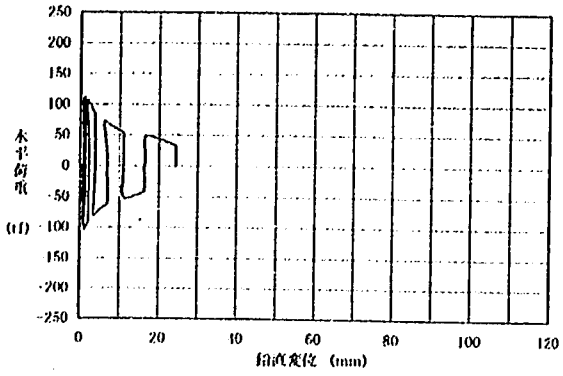


(5) M 5

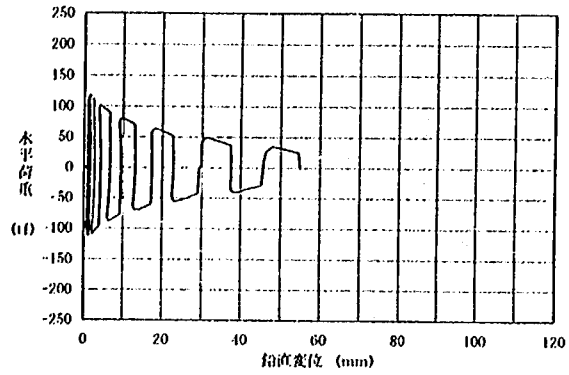


(6) M 6

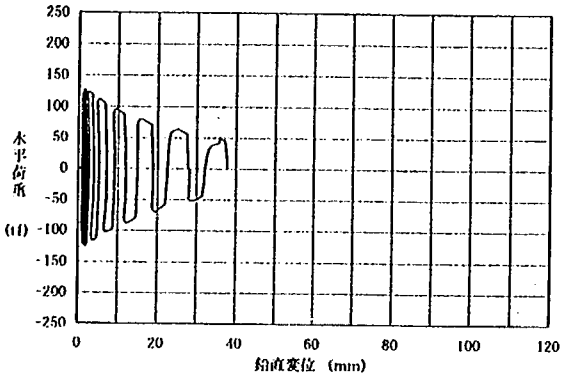
図-3.1.3 水平荷重-鉛直変位関係



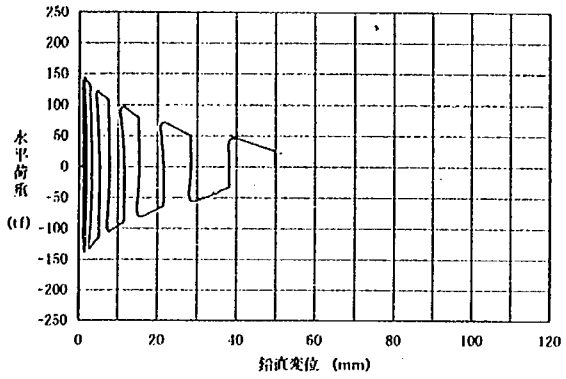
(7)　M８



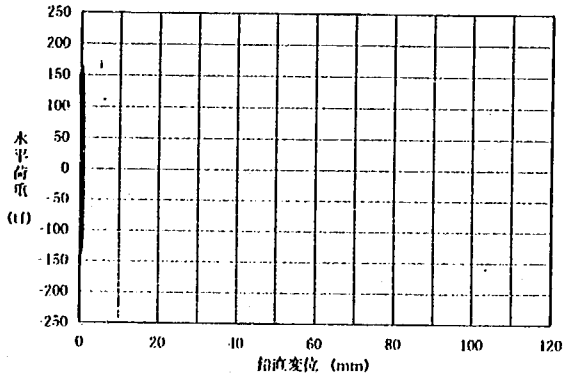
(8)　M１０



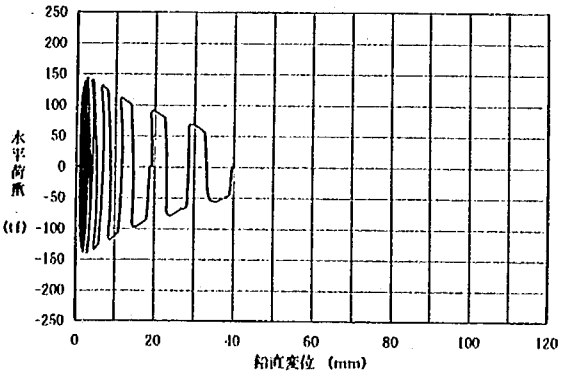
(9)　M１１



(10)　M１４

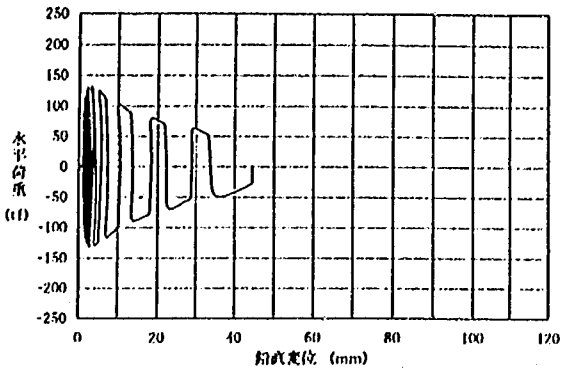


(11)　M１６



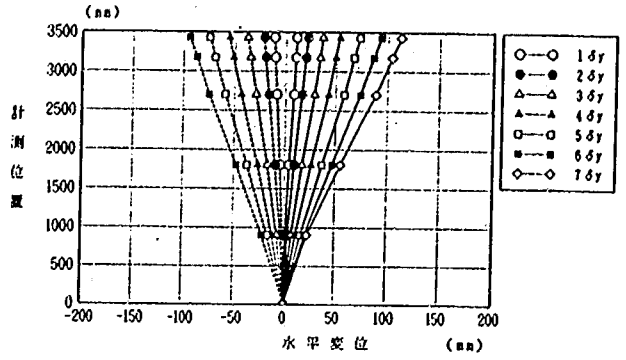
(12)　M１７

図-3.1.3　水平荷重－鉛直変位関係（つづき）

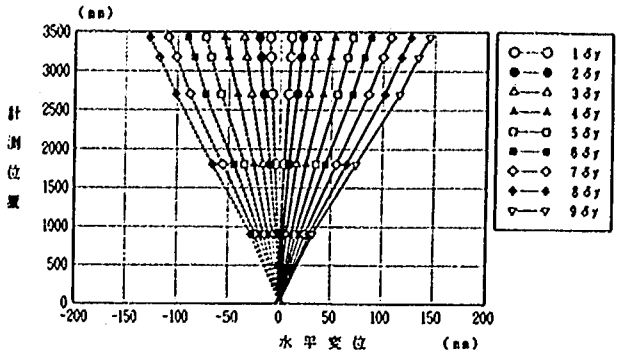


(13)　Ｍ１８

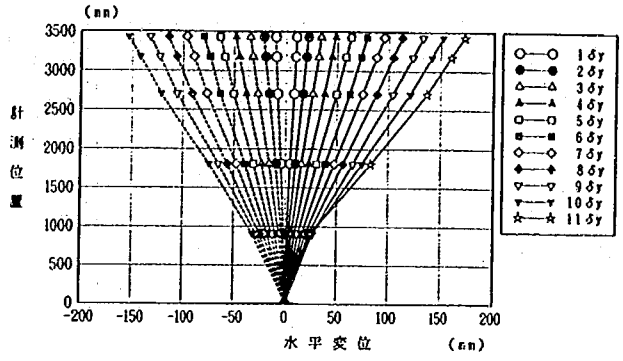
図-3.1.3　水平荷重－鉛直変位関係（つづき）



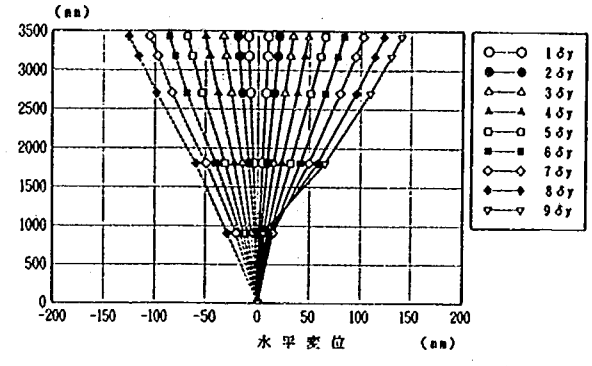
(1) M 1



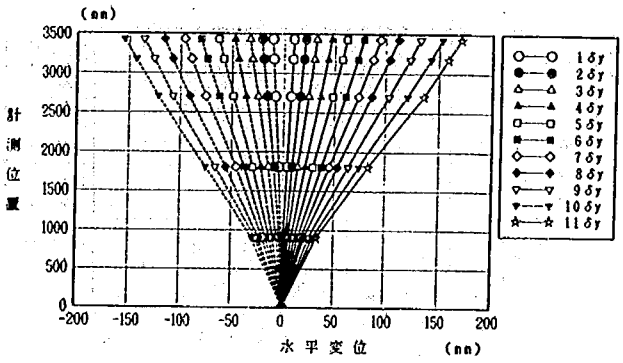
(2) M 2



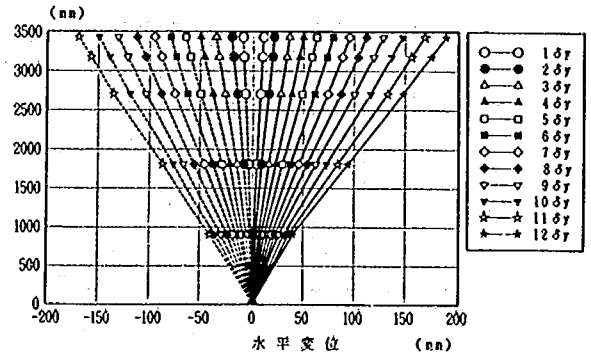
(3) M 3



(4) M 4

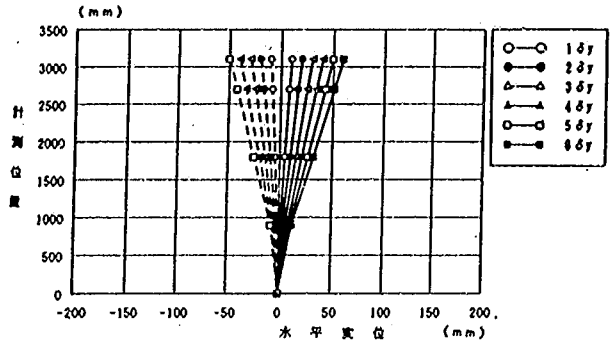


(5) M 5

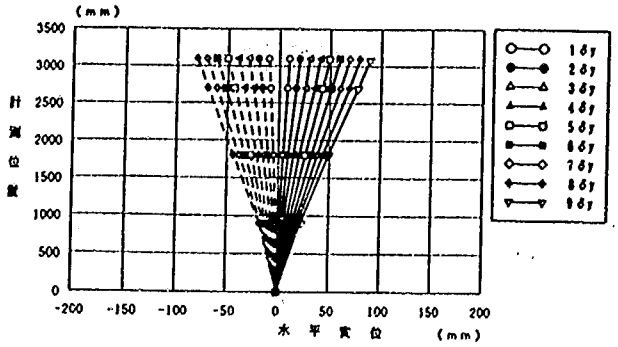


(6) M 6

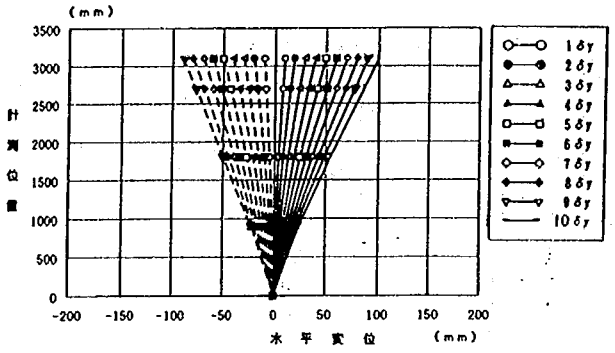
図-3.1.4 水平変位の鉛直方向分布



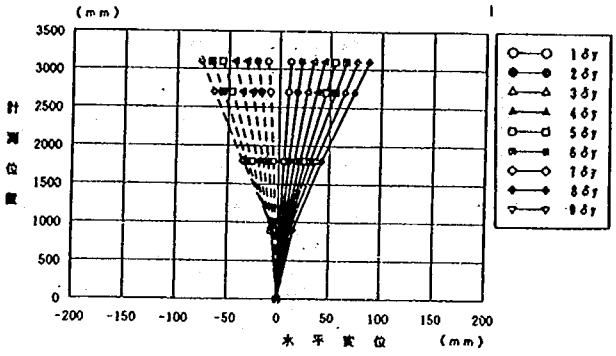
(7) M8



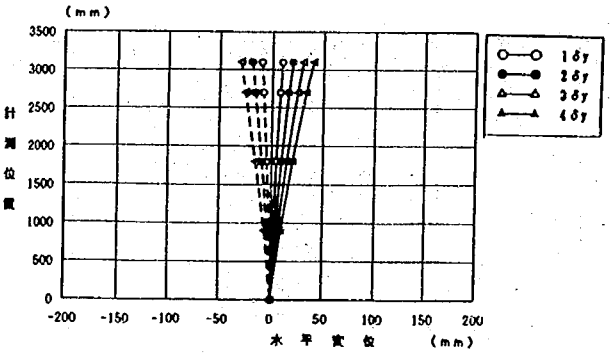
(8) M10



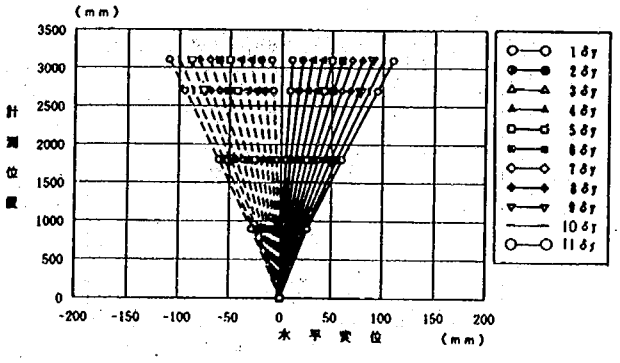
(9) M11



(10) M14

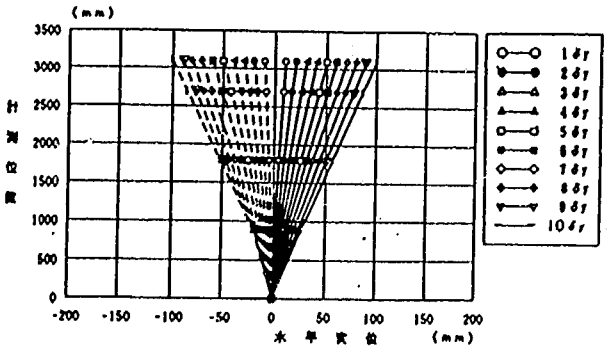


(11) M16



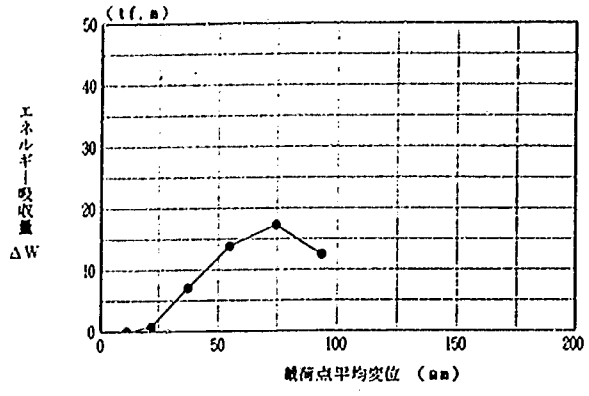
(12) M17

図-3.1.4 水平変位の鉛直方向分布(つづき)

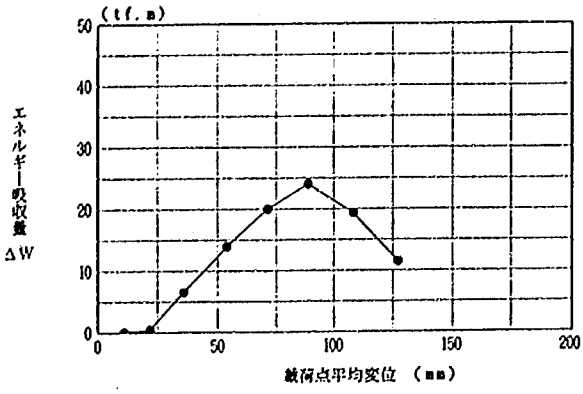


(13) M18

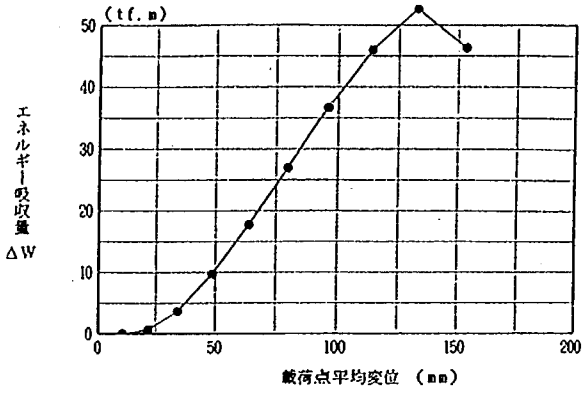
図-3.1.4 水平変位の鉛直方向分布（つづき）



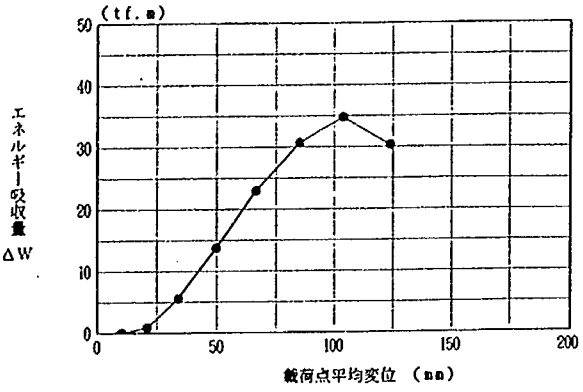
(1) M 1



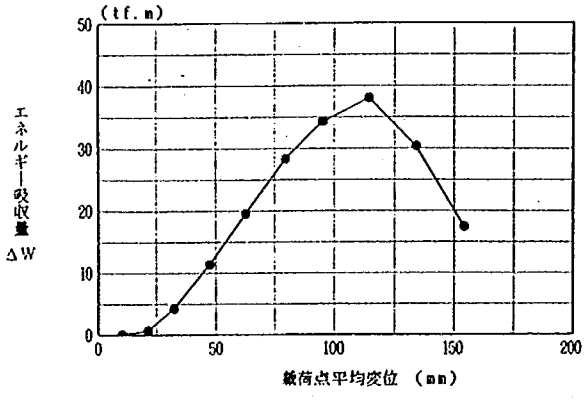
(2) M 2



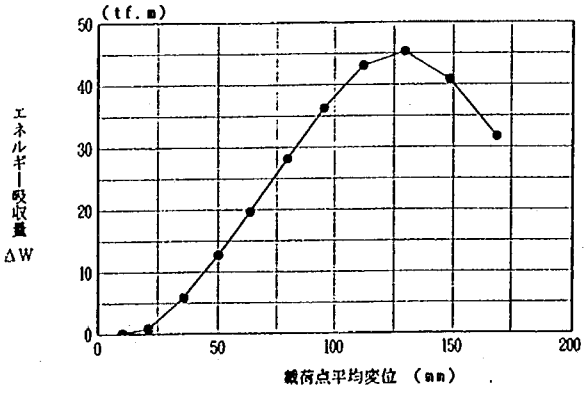
(3) M 3



(4) M 4

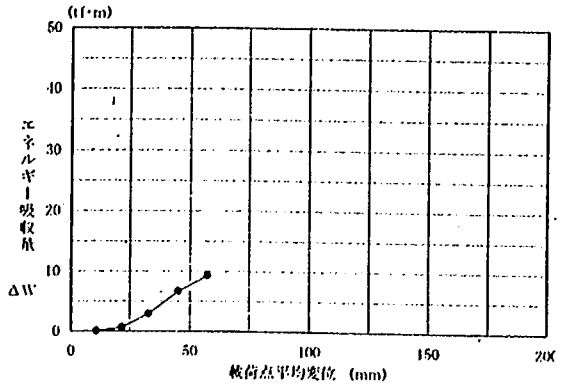


(5) M 5

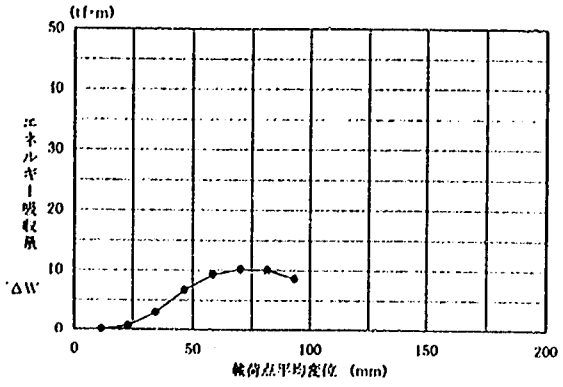


(6) M 6

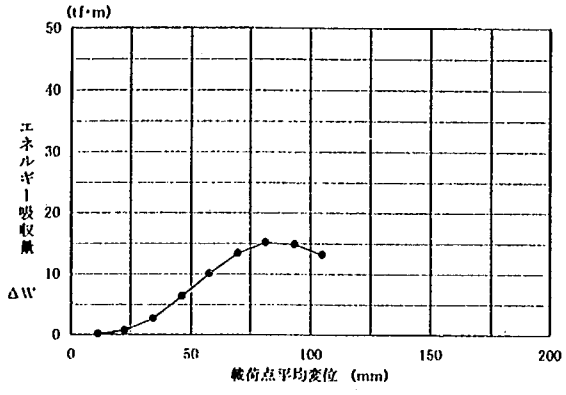
図-3.1.5 エネルギー吸収量



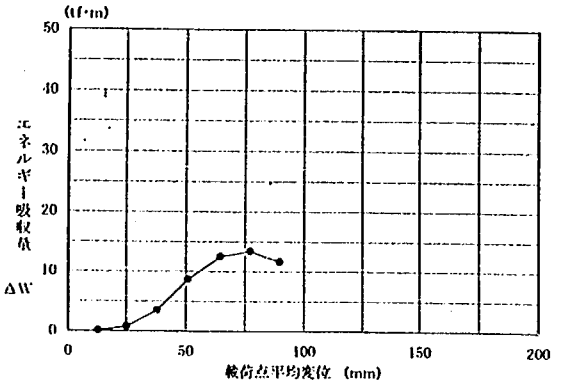
(7) M８



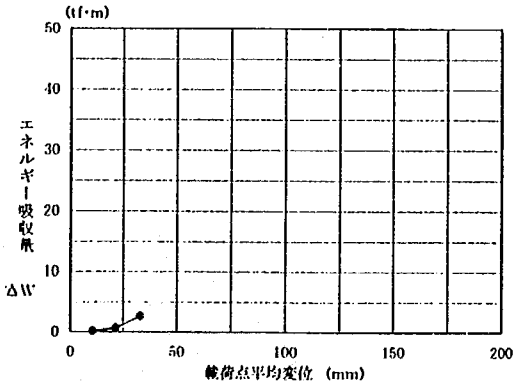
(8) M１０



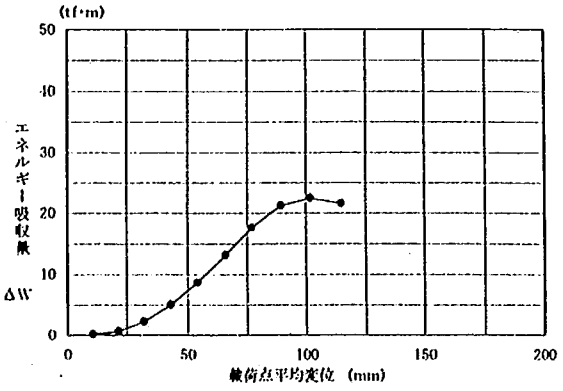
(9) M１１



(10) M１４

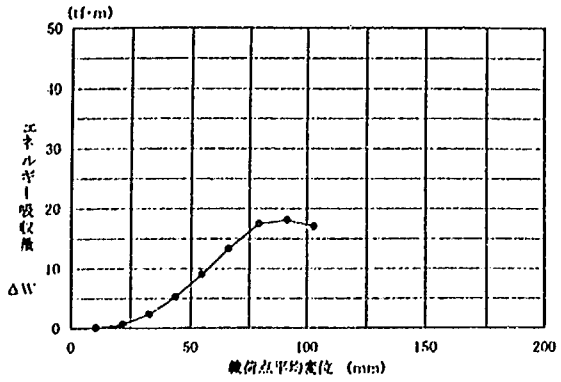


(11) M１６



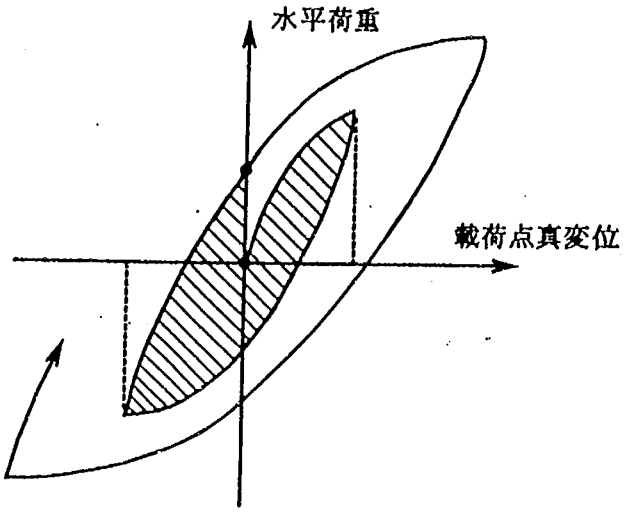
(12) M１７

図-3.1.5 エネルギー吸収量(つづき)

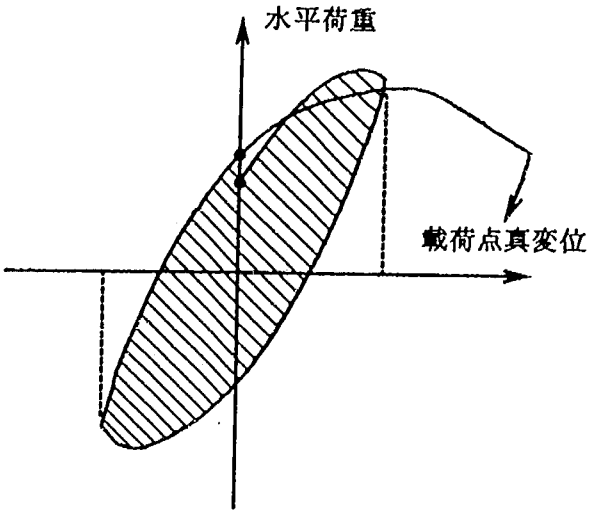


(13)　M１８

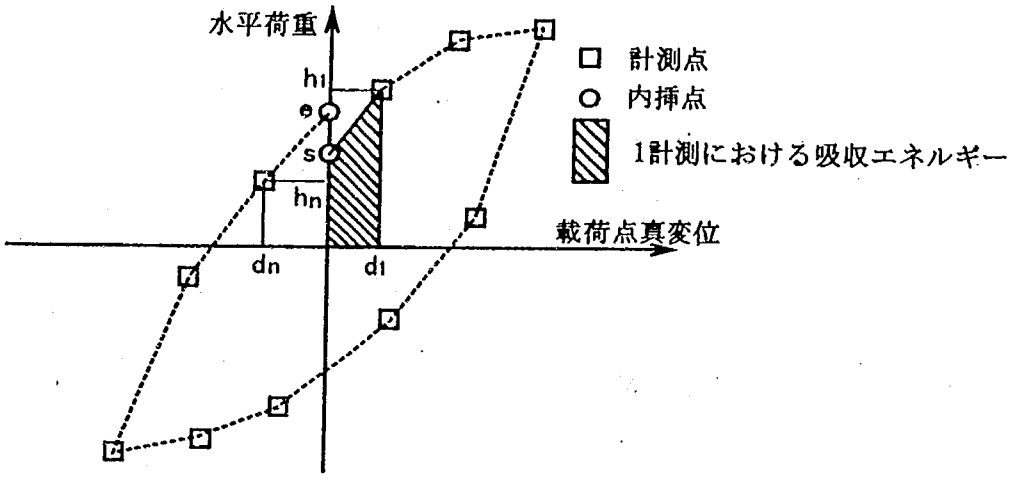
図-3.1.5　エネルギー吸収量(つづき)



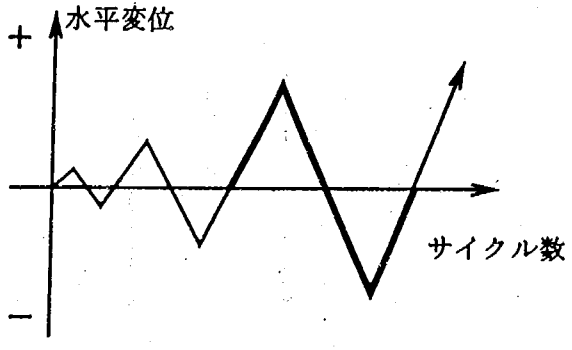
(a) 初期の場合の
吸収エネルギーの定義



(b) 強度低下を起こした場合の
吸収エネルギーの定義

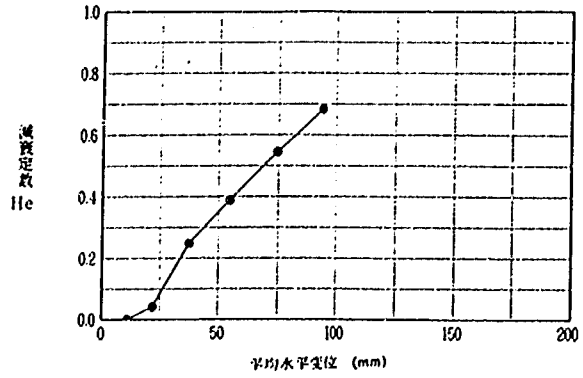


(c) 吸収エネルギーの計算方法

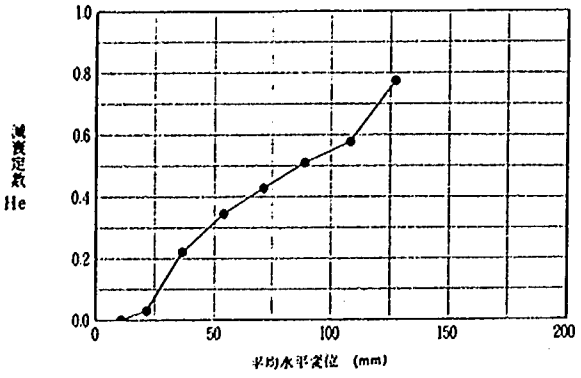


(d) 1サイクルの定義

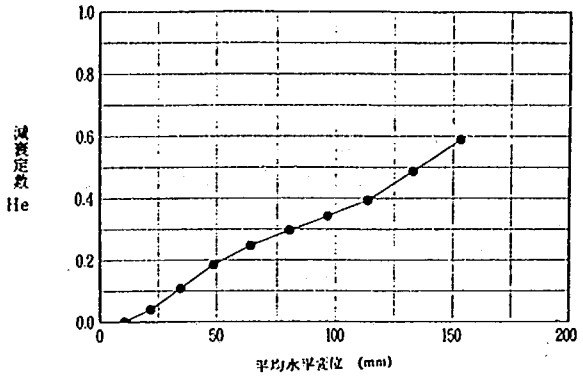
図-3.1.6 エネルギー吸収量の算出方法



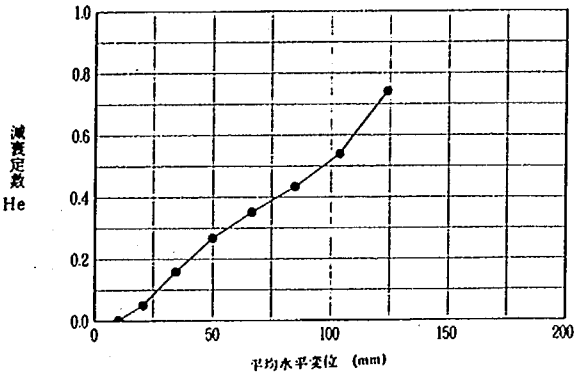
(1)　M 1



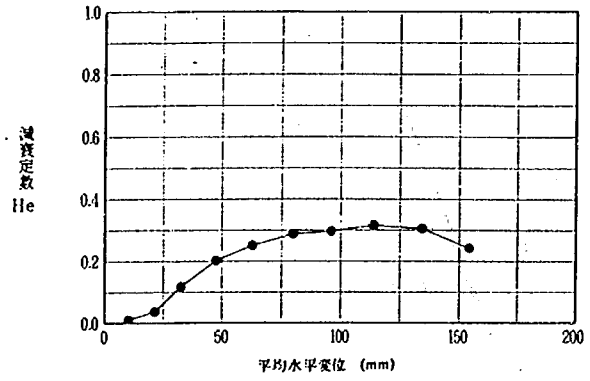
(2)　M 2



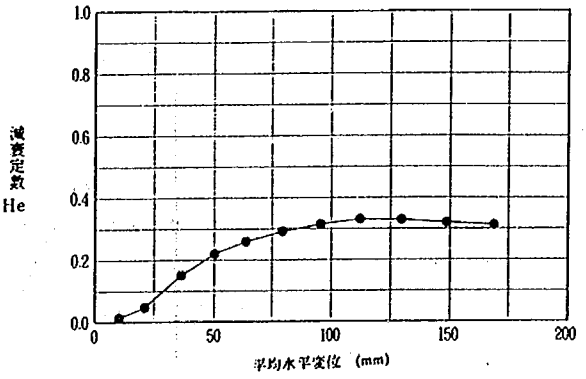
(3)　M 3



(4)　M 4

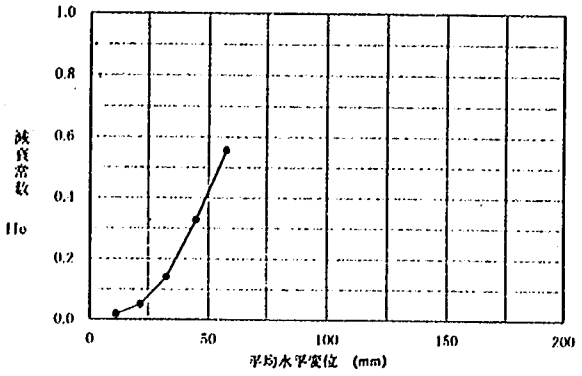


(5)　M 5

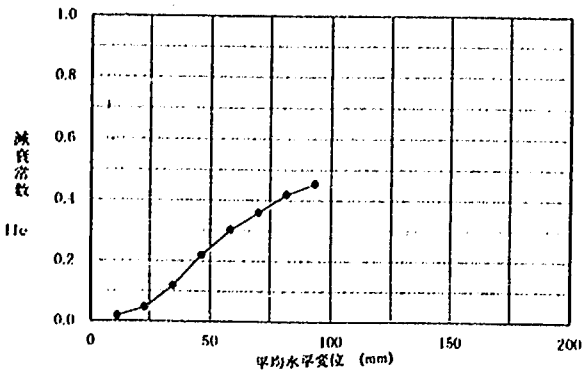


(6)　M 6

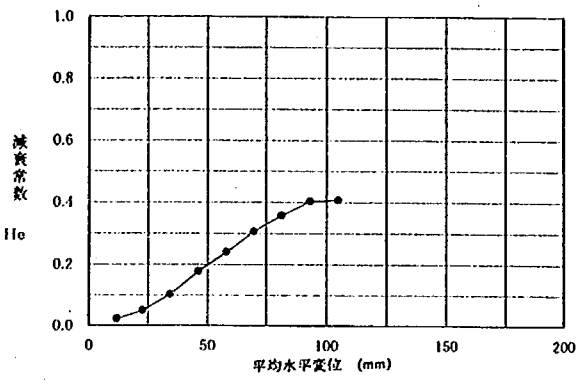
図-3.1.7　　等価減衰定数



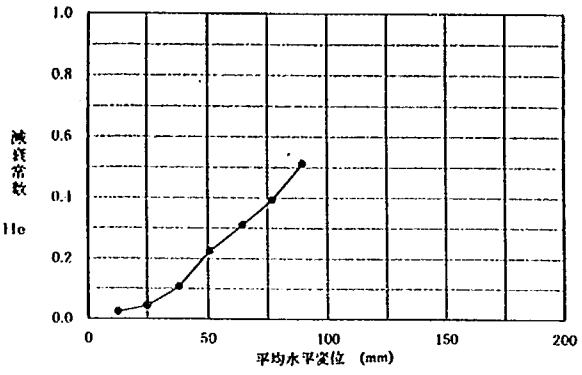
(7) M 8



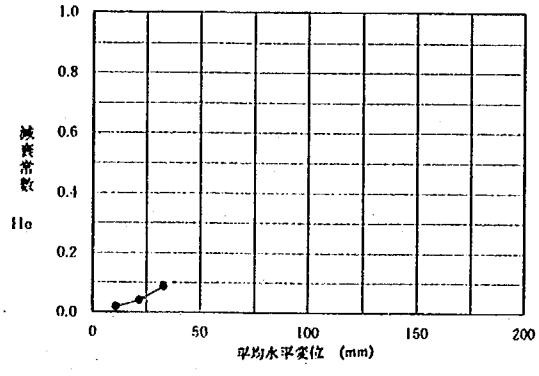
(8) M 1 0



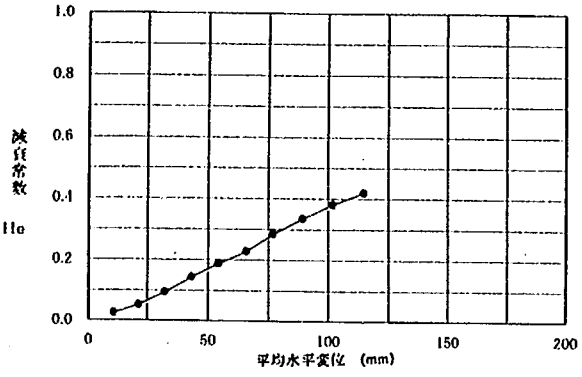
(9) M 1 1



(10) M 1 4

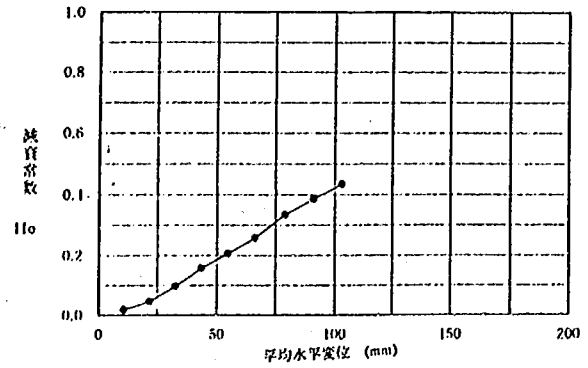


(11) M 1 6



(12) M 1 7

図-3.1.7 等価減衰定数(つづき)



(13)　M１８

図-3.1.7　　等価減衰定数(つづき)

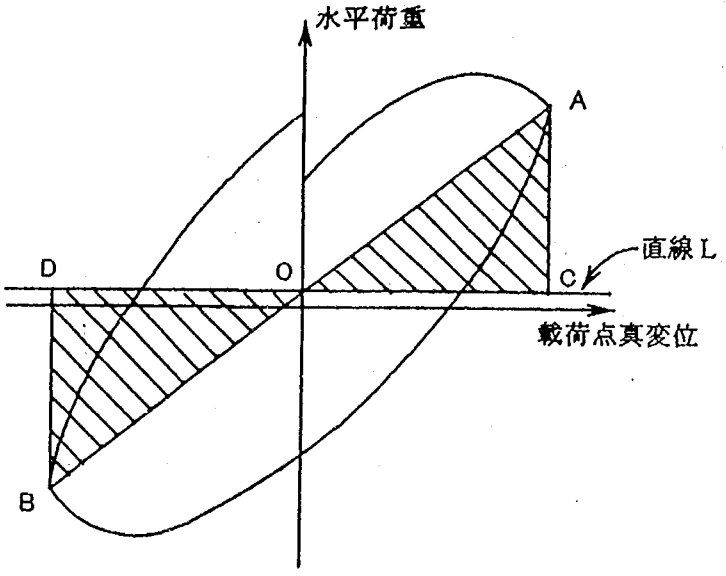
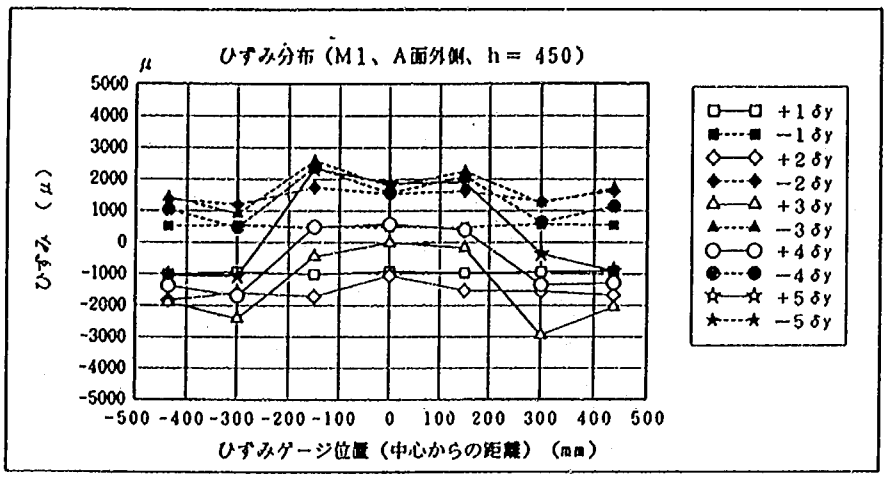
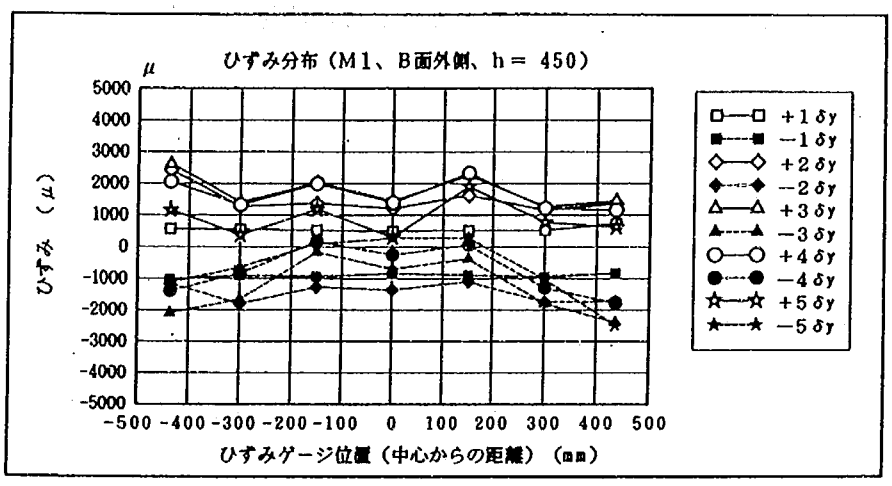


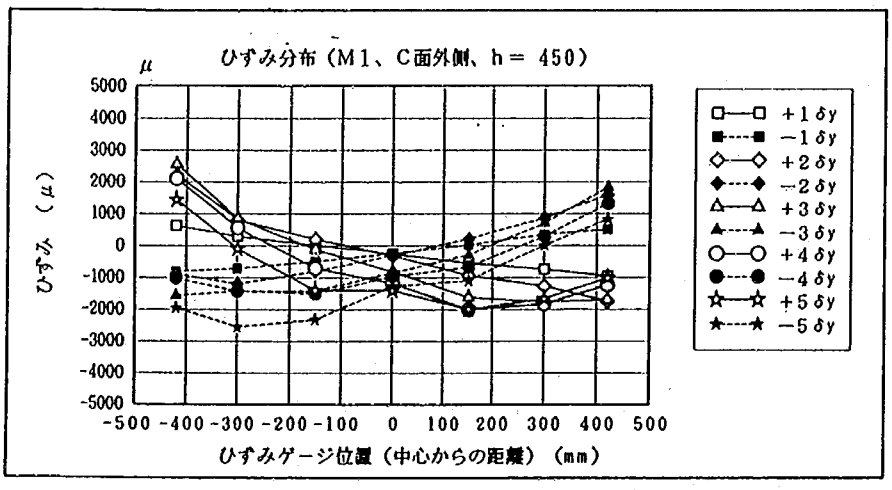
図-3.1.8　等価減衰定数と等価剛性の定義



（a） A 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-1）

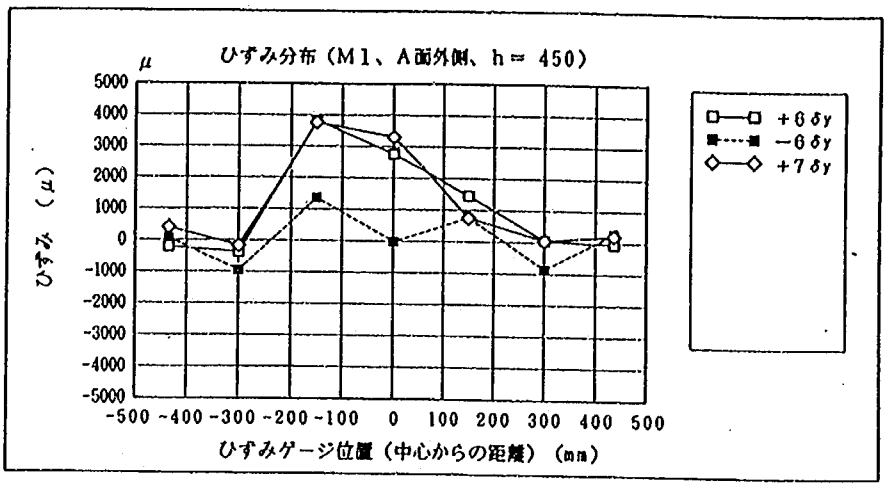


（a） B 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-1）

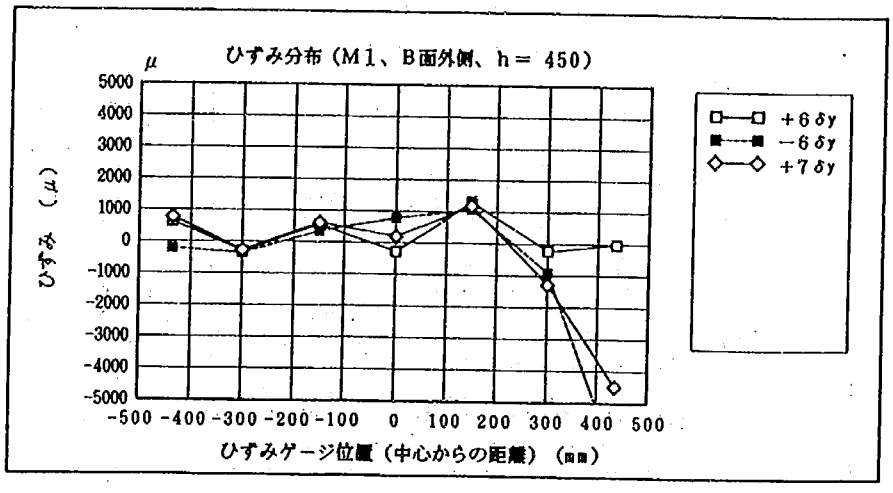


（a） C 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-1）

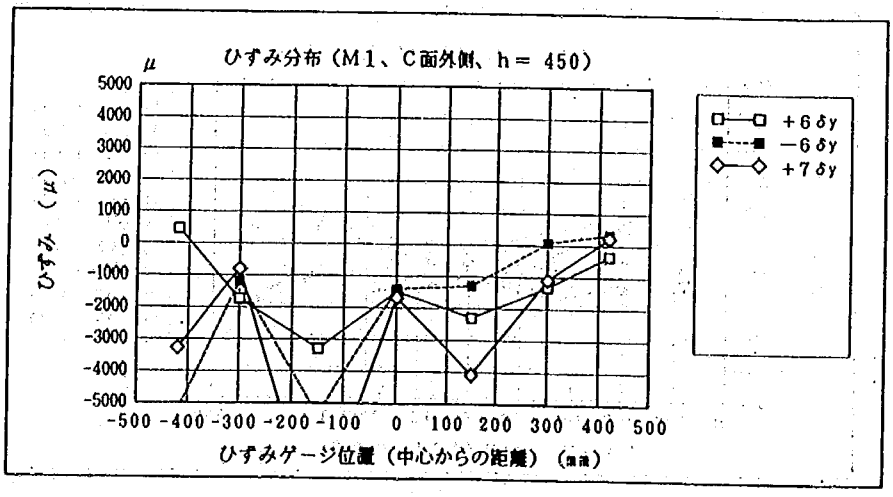
図-3.1.9(1)　ひずみ分布（M1）　(最大荷重を超えた:+3δy)



（b） A 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-1）

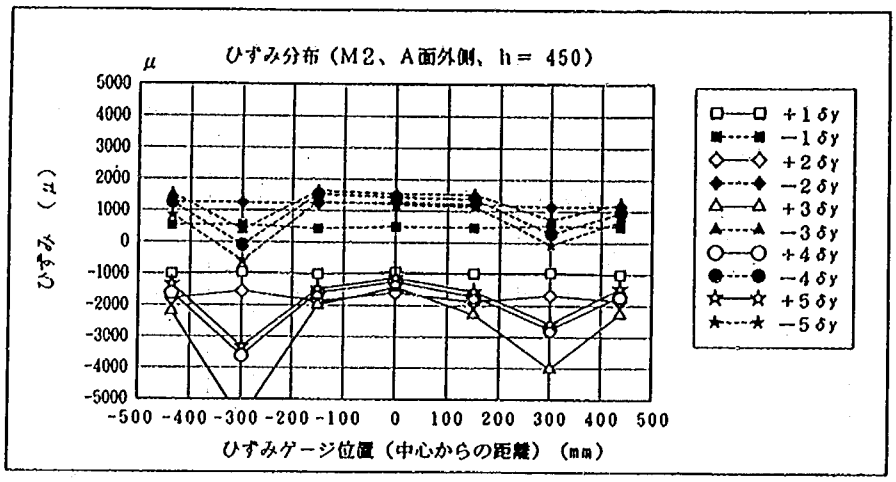


（b） B 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-1）

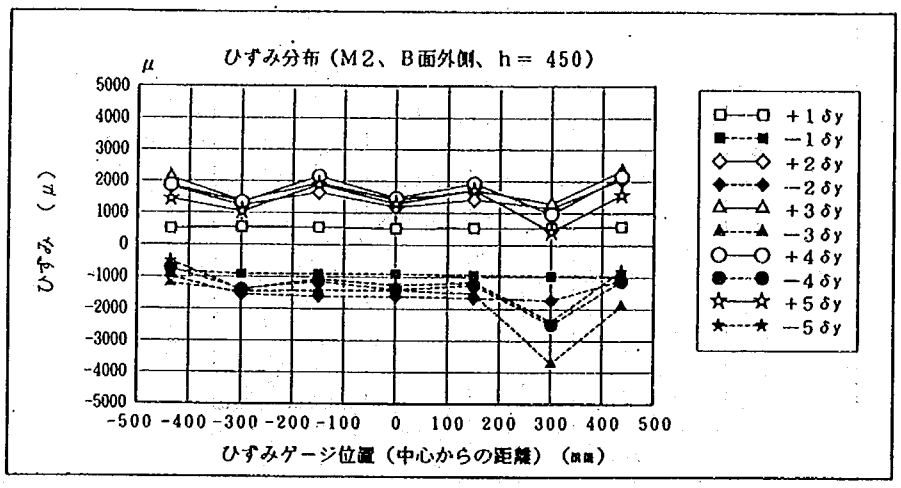


（b） C 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-1）

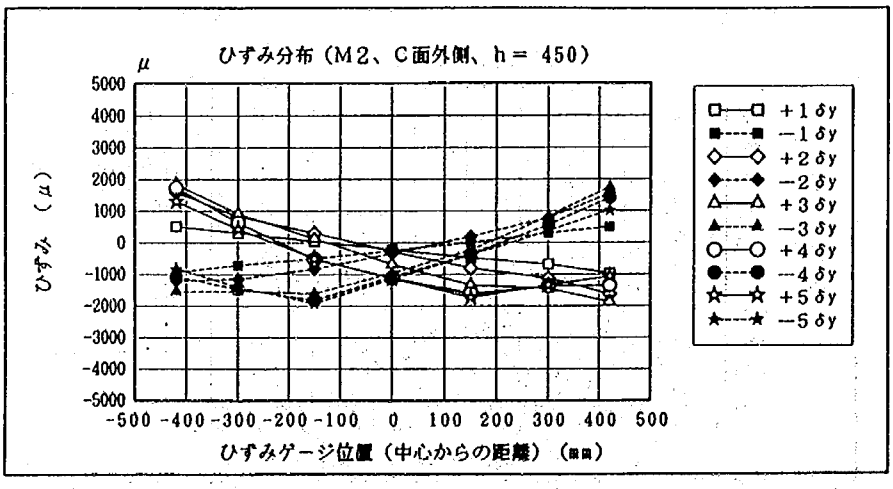
図-3.1.9(1) ひずみ分布(M1)(つづき)



（a）A 面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-2）

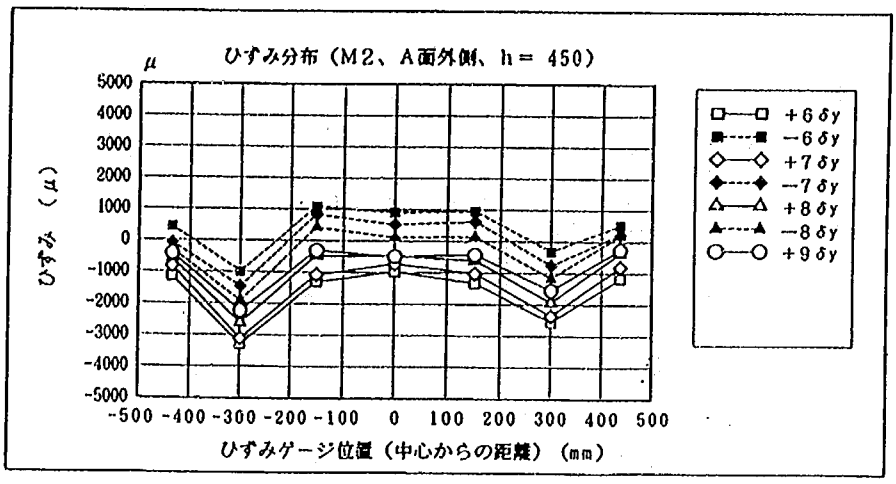


（a）B 面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-2）

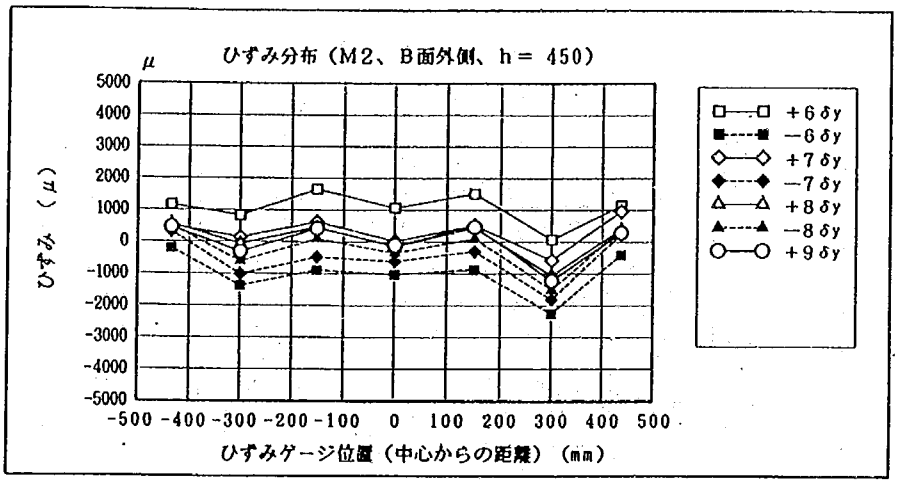


（a）C 面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-2）

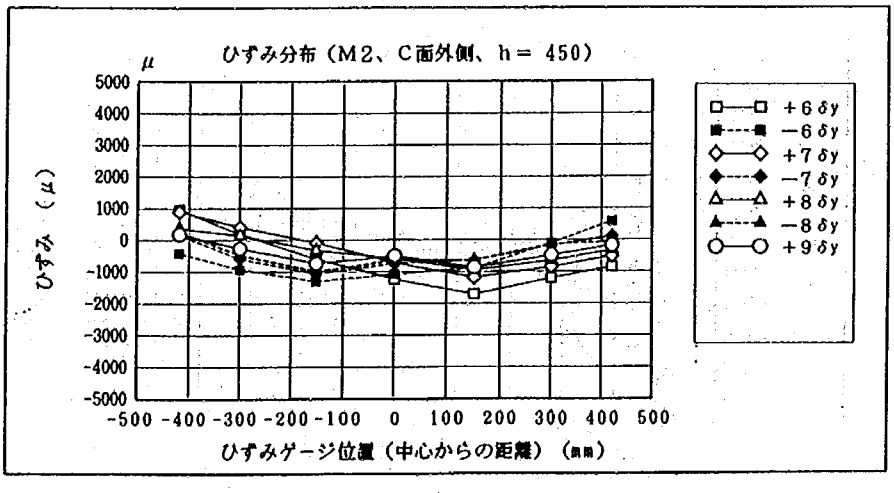
図-3.1.9(2)　ひずみ分布（M2）　（最大荷重を超えた:+3δy）



（b）A 面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-2）

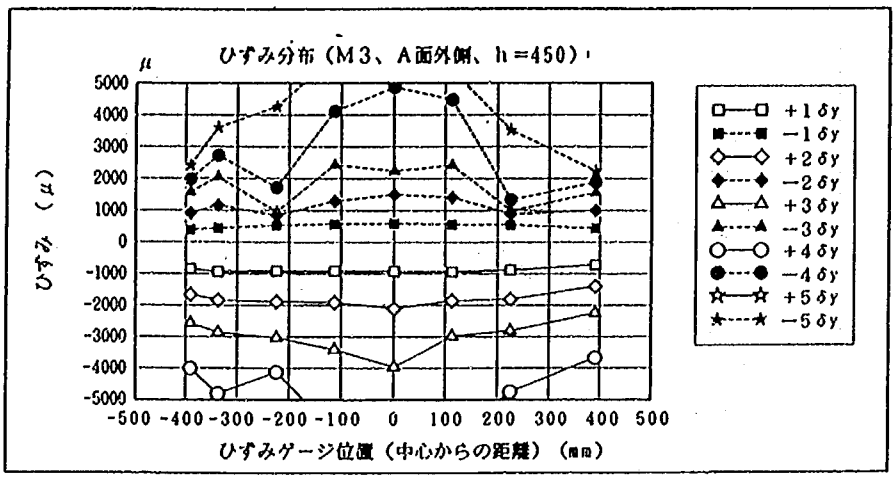


（b）B 面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-2）

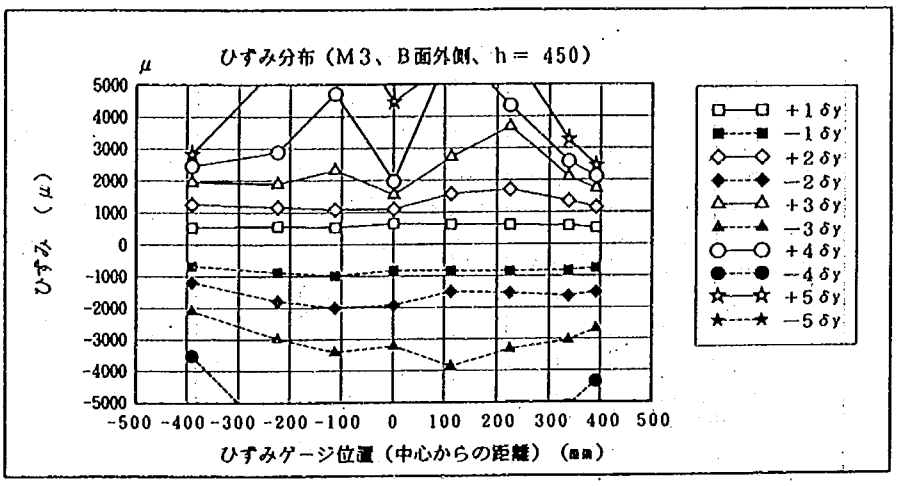


（b）C 面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-2）

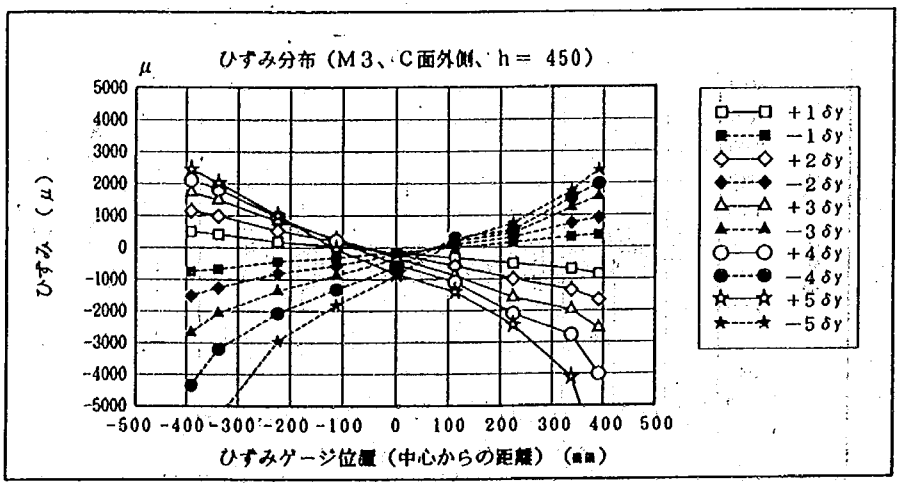
図-3.1.9(2)　ひずみ分布(M2)（つづき）



(a) A面外側h450の軸方向ひずみ分布 (M-3)

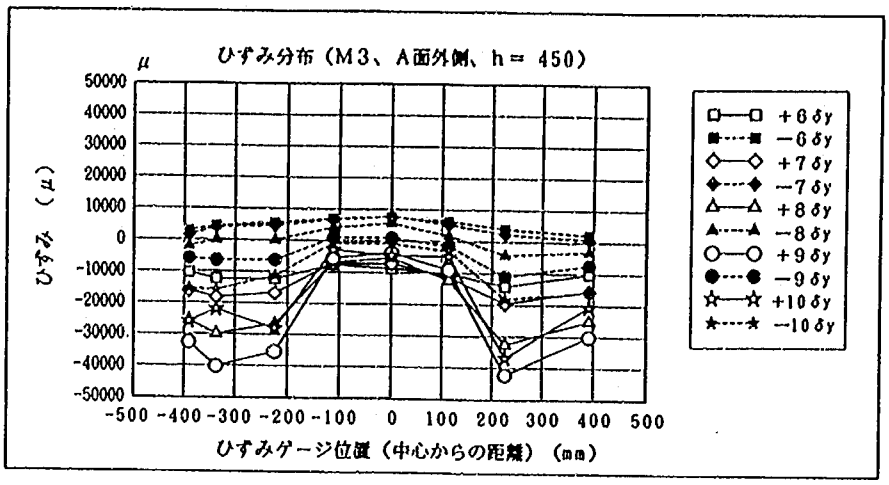


(a) B面外側h450の軸方向ひずみ分布 (M-3)

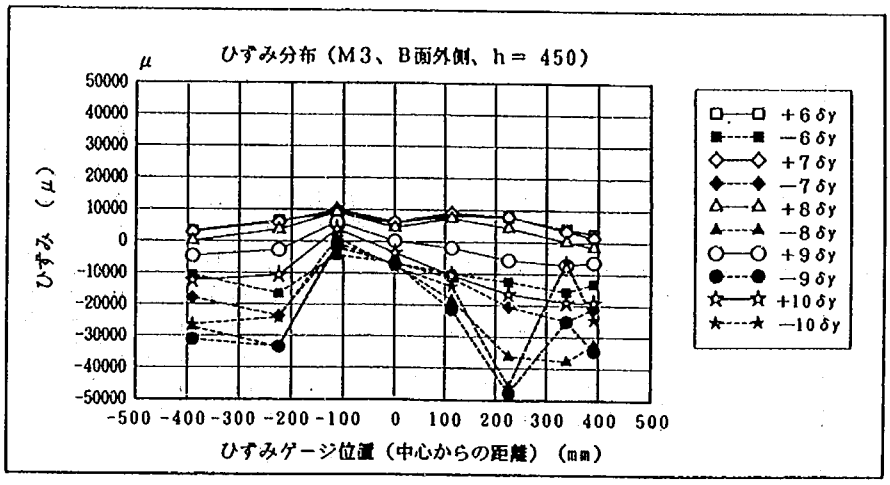


(a) C面外側h450の軸方向ひずみ分布 (M-3)

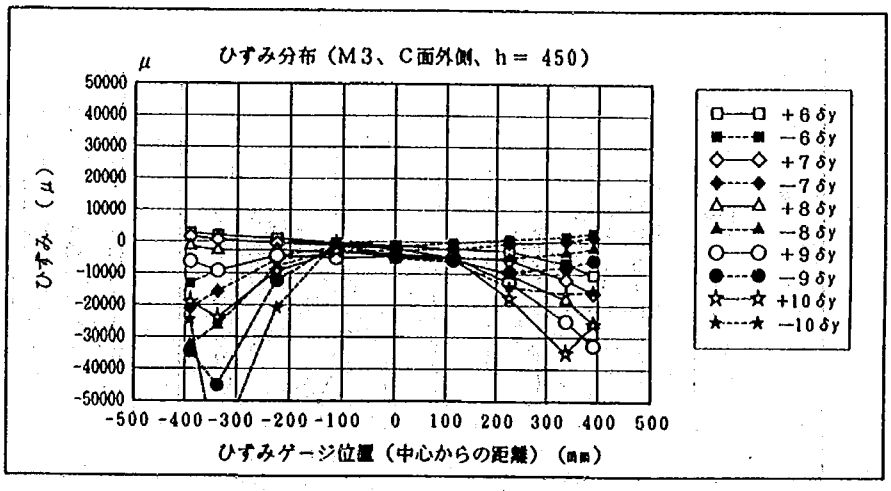
図-3.1.9(3) ひずみ分布(M3) (最大荷重を超えた:+6δy)



（b）A面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-3）

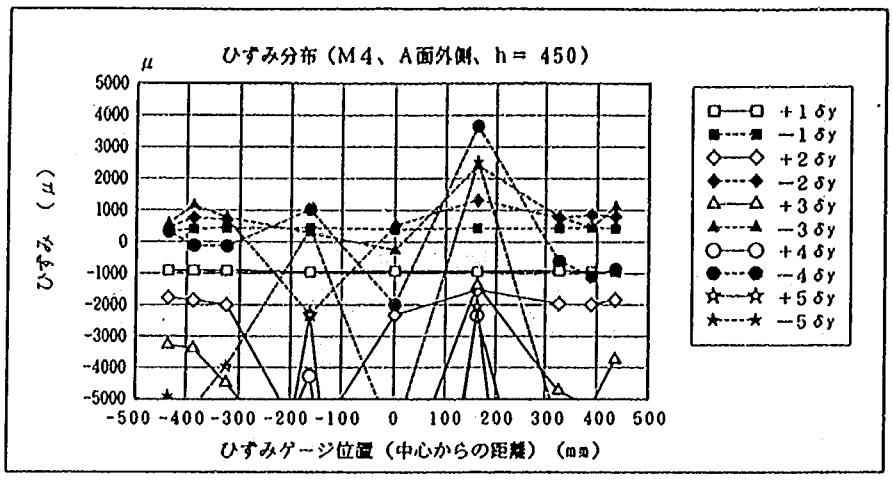


（b）B面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-3）

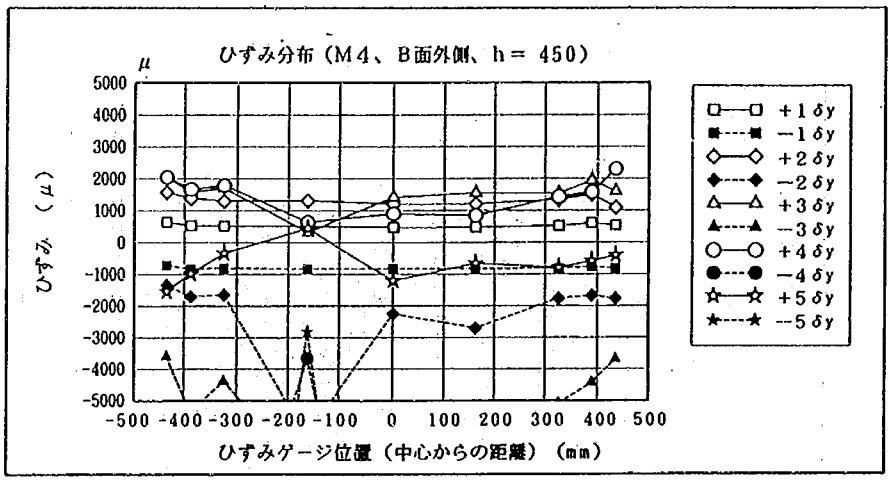


（b）C面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-3）

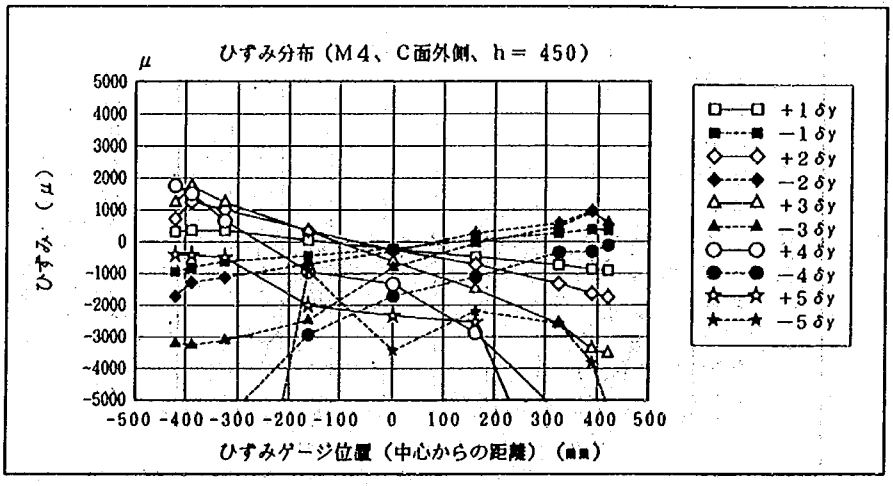
図-3.1.9(3)　ひずみ分布(M3)(つづき)



(a) A面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-4）

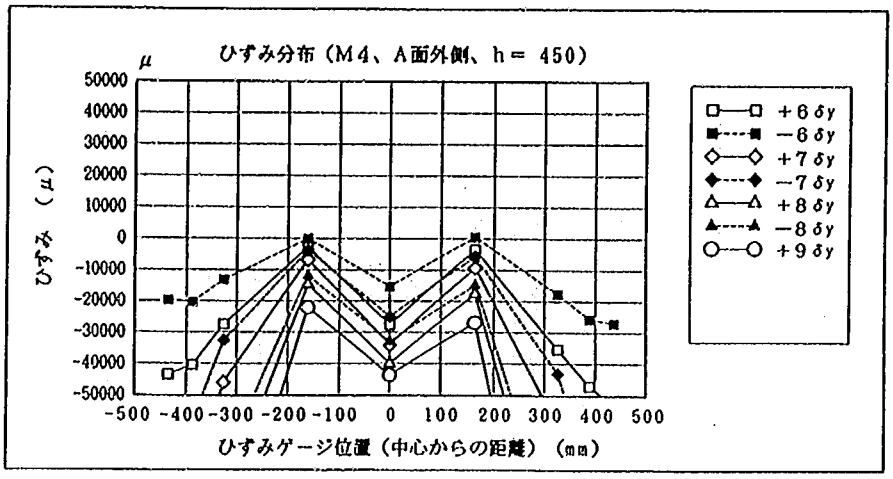


(a) B面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-4）

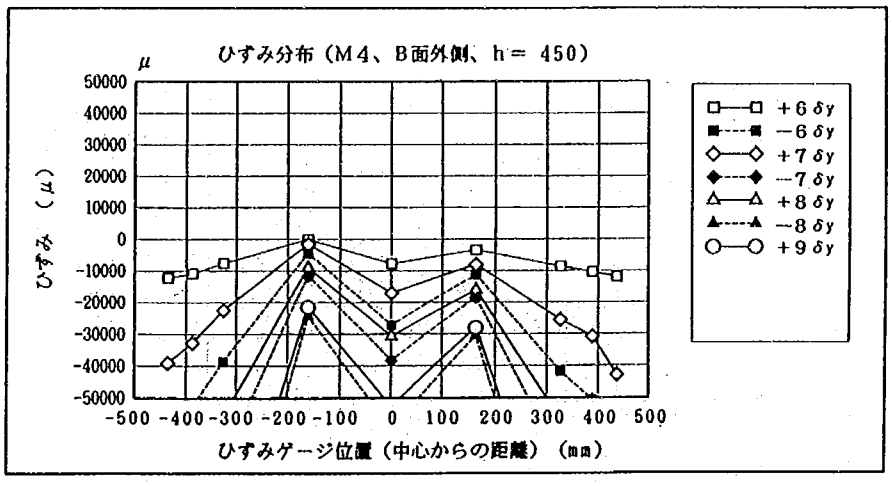


(a) C面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-4）

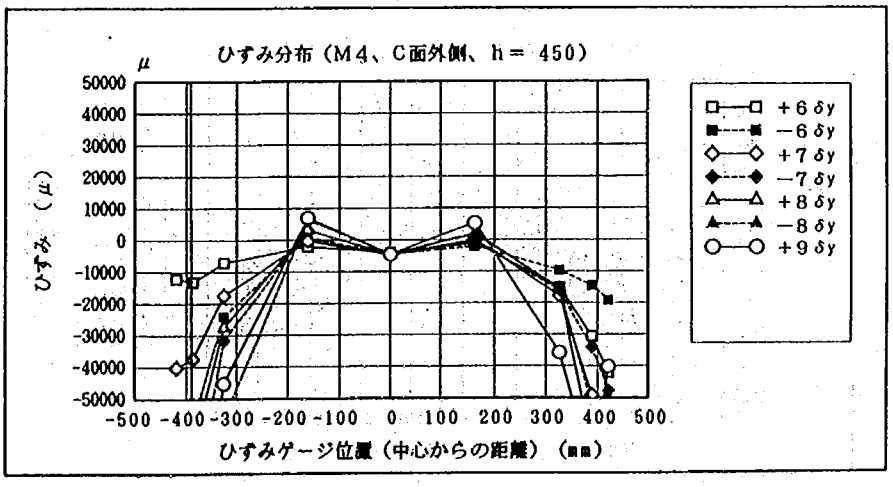
図-3.1.9(4) ひずみ分布（M4） (最大荷重を超えた:+4δy)



（b） A 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-4）

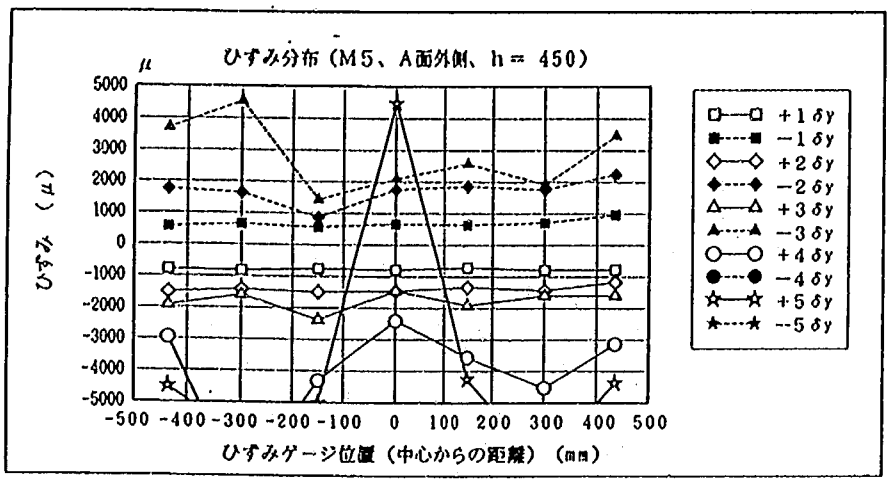


（b） B 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-4）

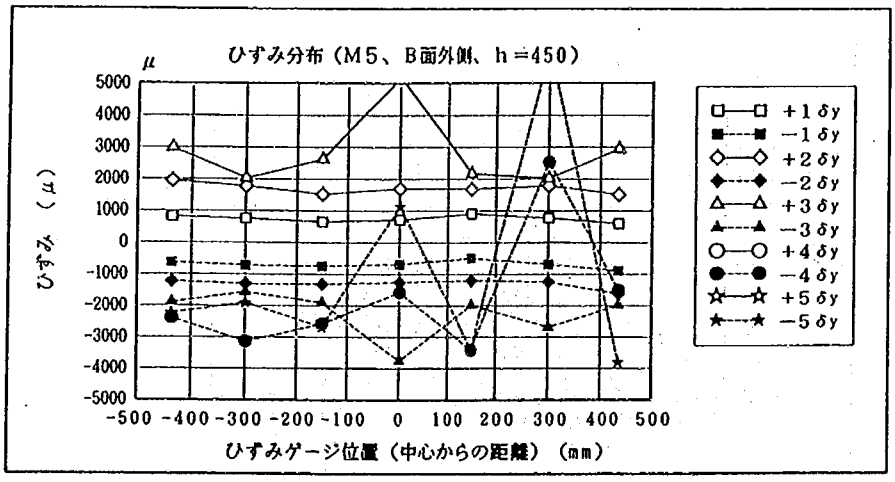


（b） C 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-4）

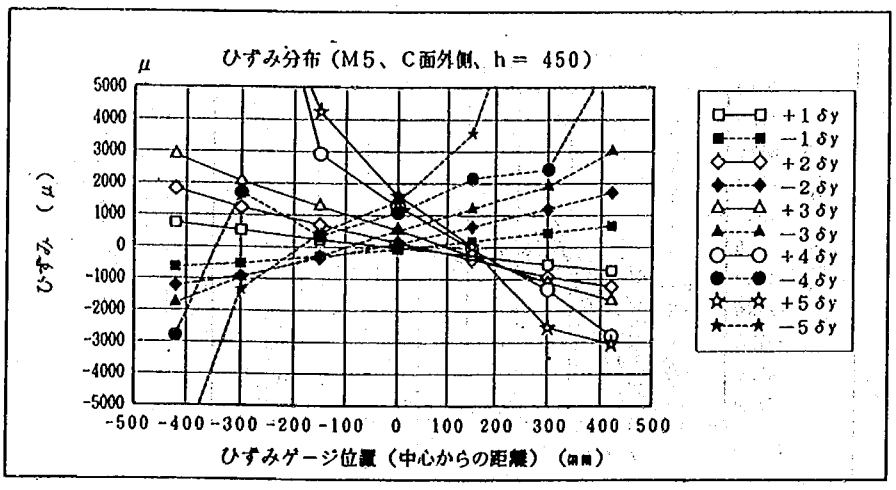
図-3.1.9(4)　ひずみ分布(M4)(つづき)



（a）A面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-5）

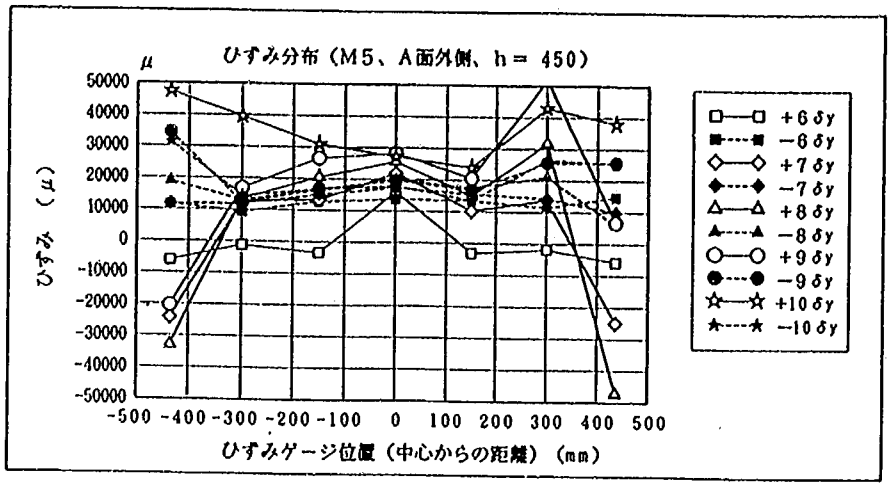


（a）B面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-5）

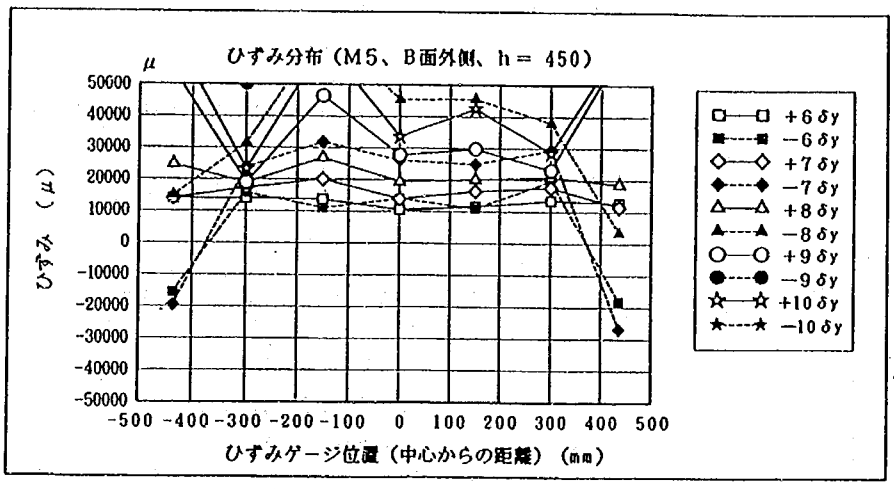


（a）C面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-5）

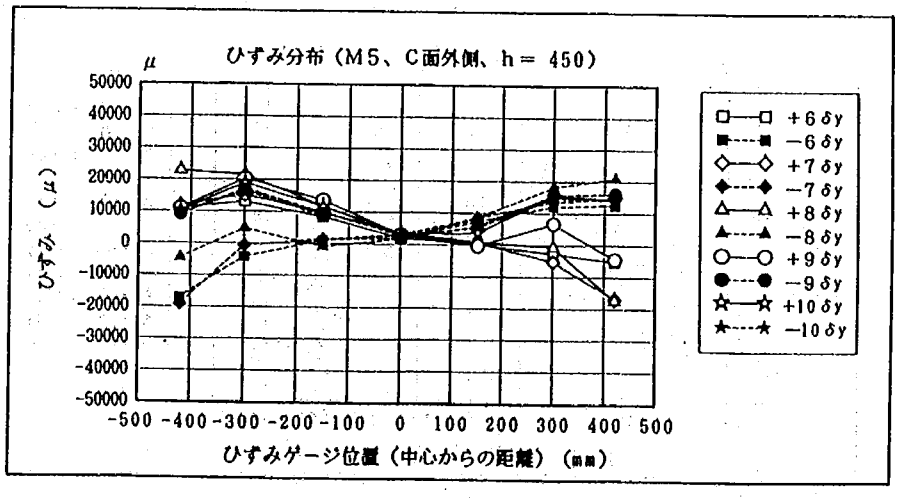
図－3.1.9(5)　ひずみ分布(M5)　(最大荷重を超えた:+6δy)



（b）A面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-5）

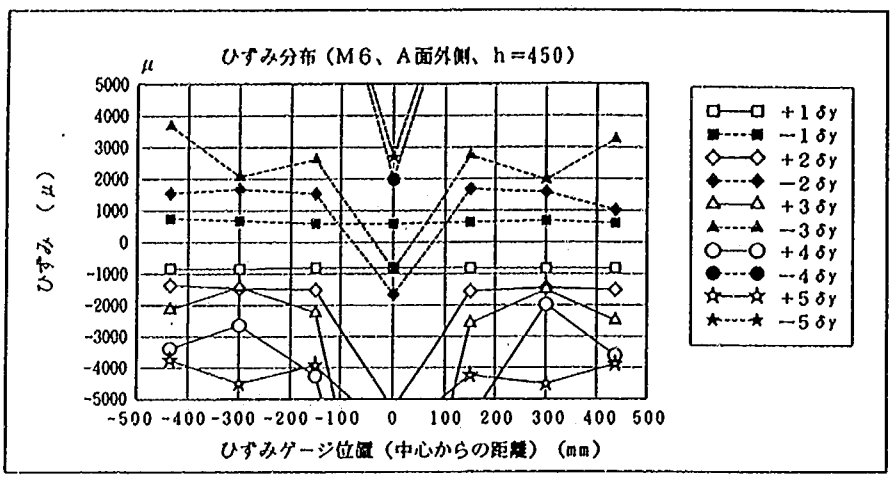


（b）B面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-5）

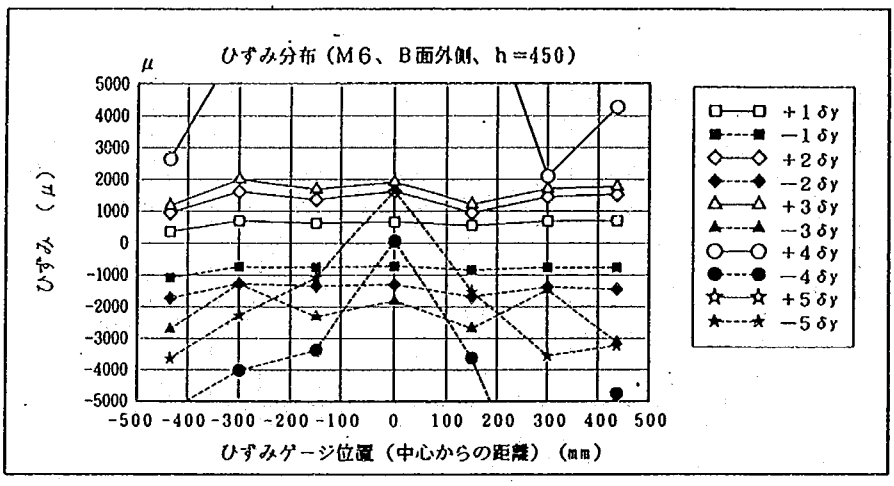


（b）C面外側h450の軸方向ひずみ分布（H-5）

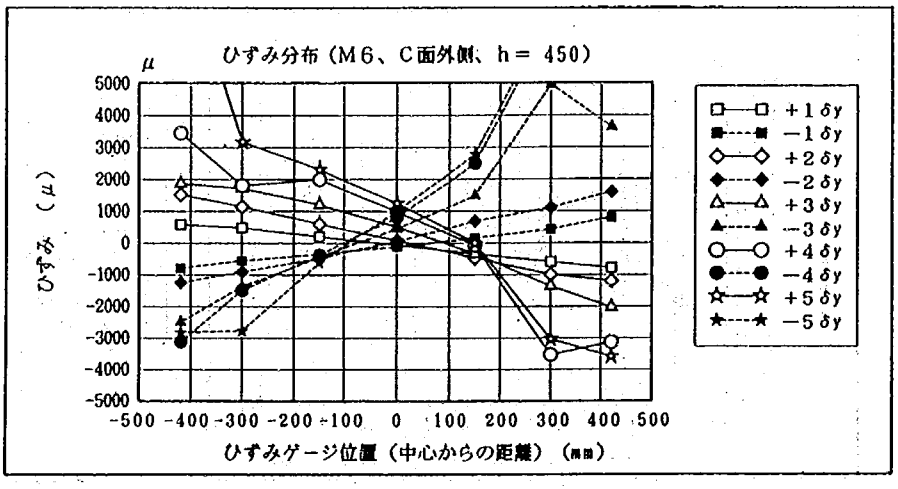
図-3.1.9(5)　ひずみ分布(M5)(つづき)



（a）A面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-6）

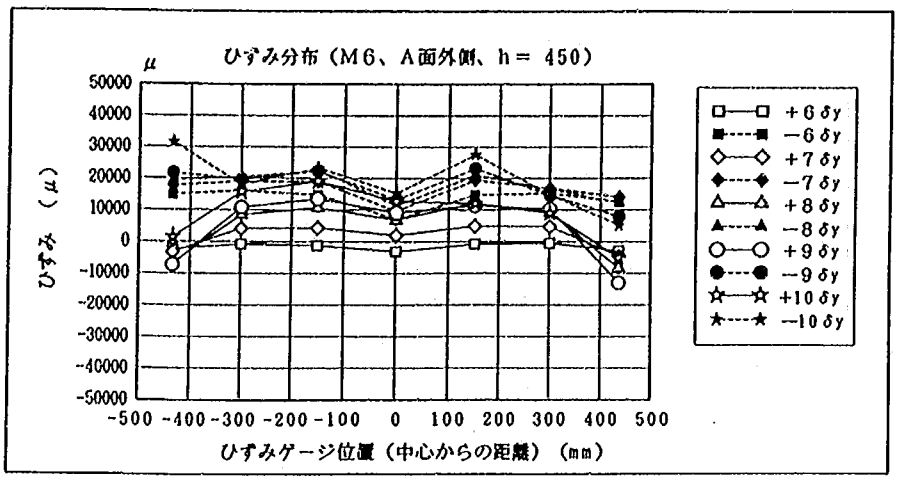


（a）B面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-6）

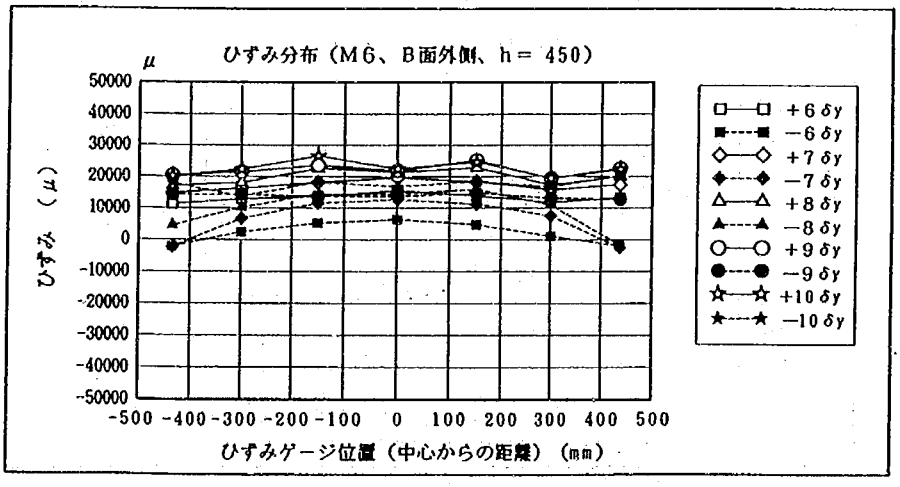


（a）C面外側h450の軸方向ひずみ分布（M-6）

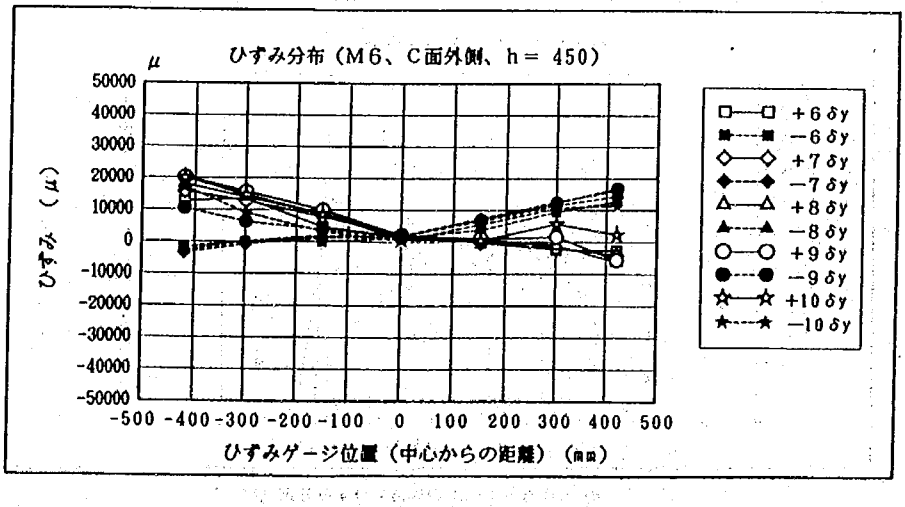
図-3.1.9(6)　ひずみ分布（M6）（最大荷重を超えた:+6δy）



（b） A 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-6）

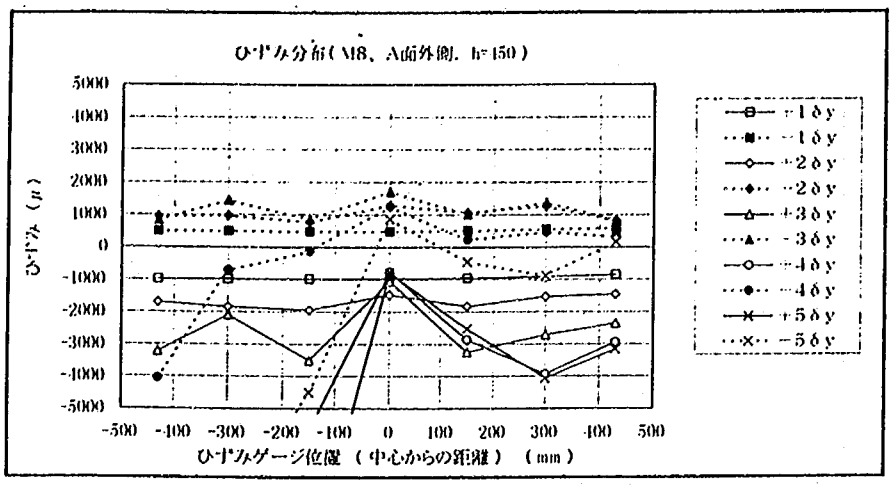


（b） B 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-6）

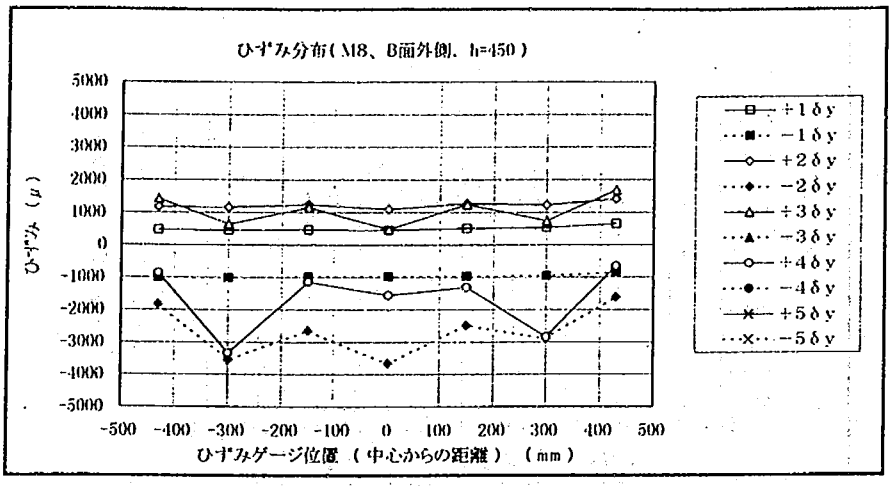


（b） C 面外側h450の軸方向ひずみ分布 （M-6）

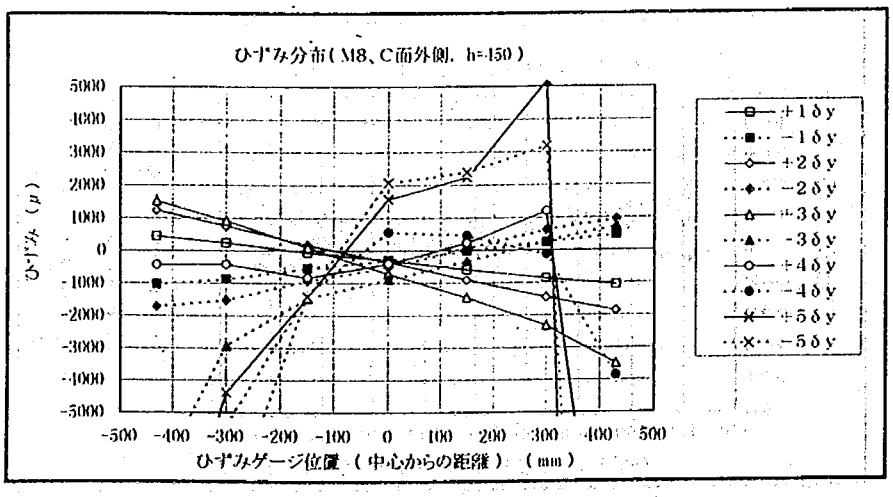
図-3.1.9(6) ひずみ分布(M6)(つづき)



(a) A面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－8）

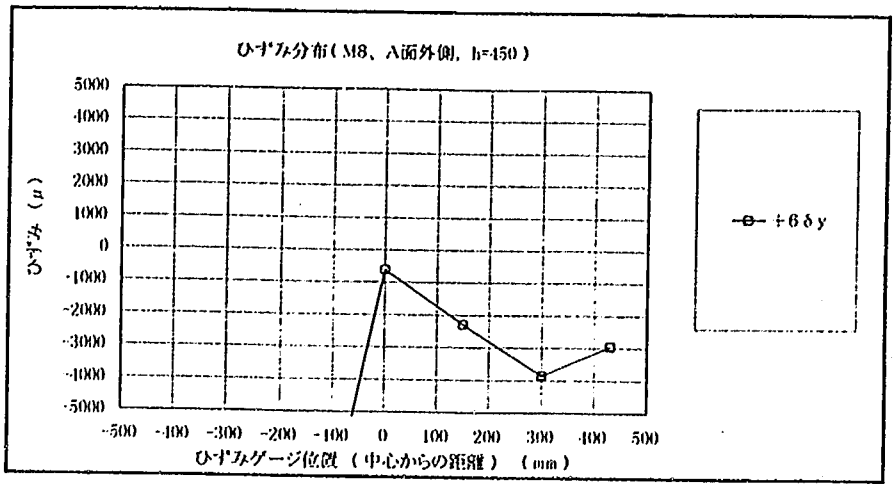


(a) B面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－8）

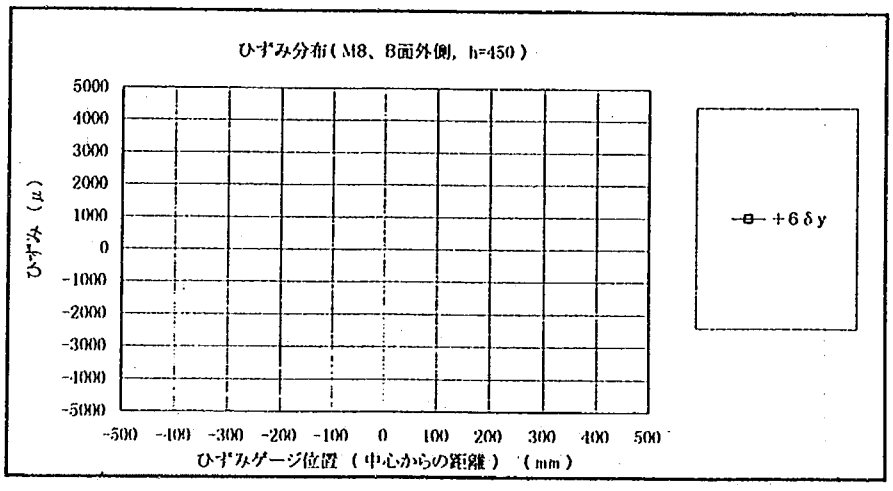


(a) C面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－8）

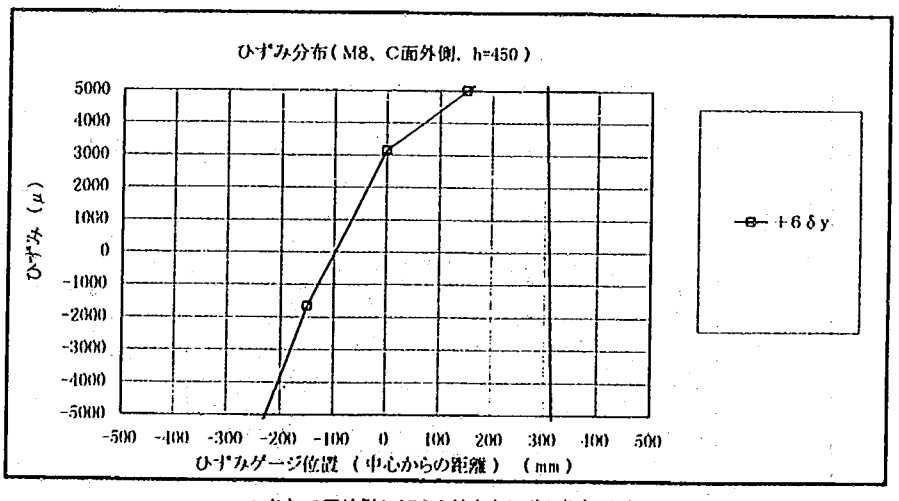
図－3.1.9(7)　ひずみ分布（M8）（最大荷重を超えた:+3δy）



(b) A面外側 h450の軸方向ひずみ分布 (M−8)

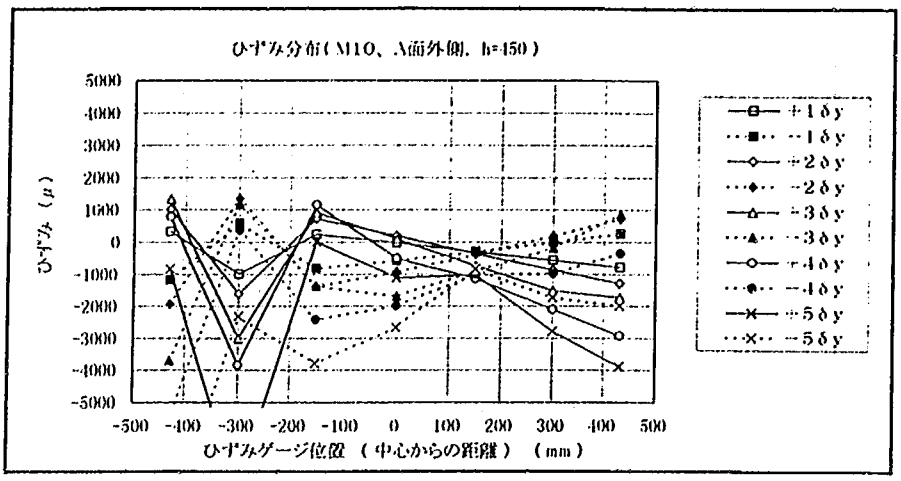


(b) B面外側 h450の軸方向ひずみ分布 (M−8)

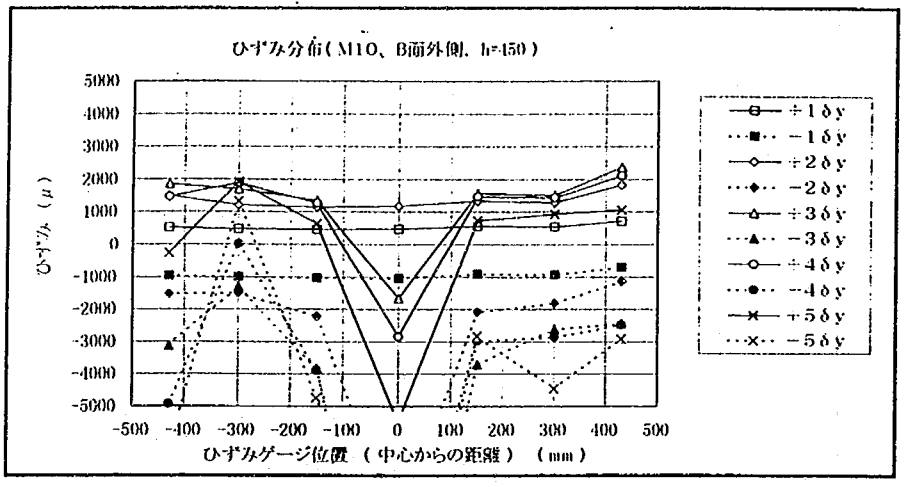


(b) C面外側 h450の軸方向ひずみ分布 (M−8)

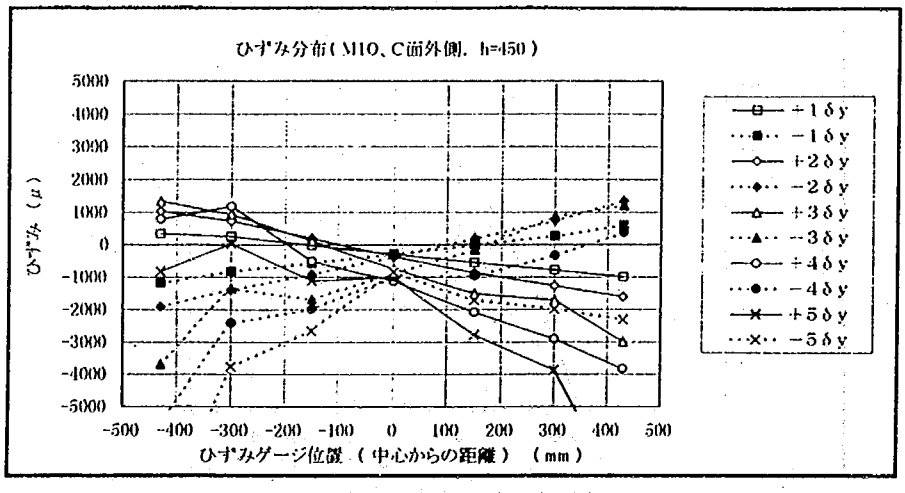
図−3.1.9(7) ひずみ分布 (M8) (つづき)



(a) A面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－10）

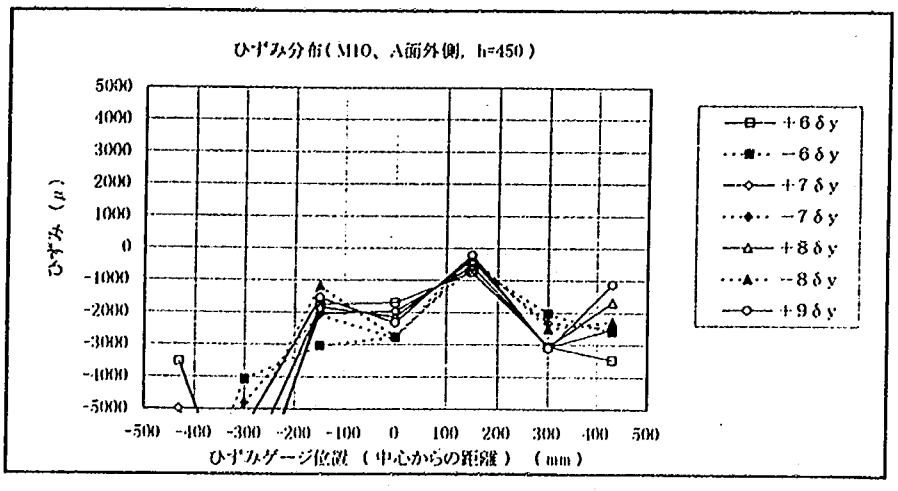


(a) B面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－10）

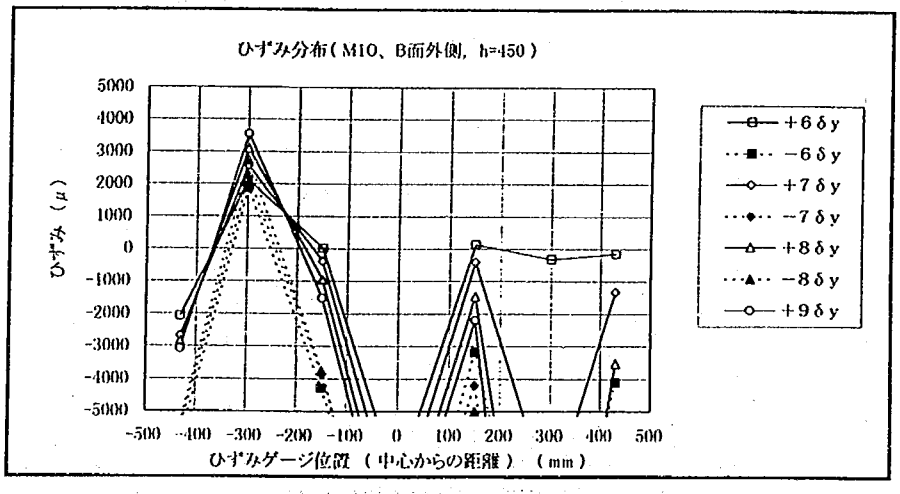


(a) C面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－10）

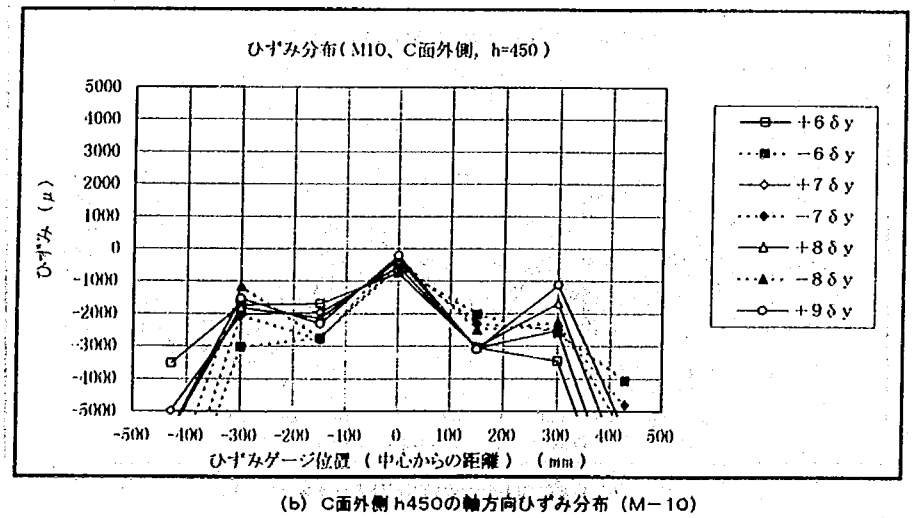
図－3.1.9(8)　ひずみ分布（M10）（最大荷重を超えた:+4δy）



(b) A面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M−10）

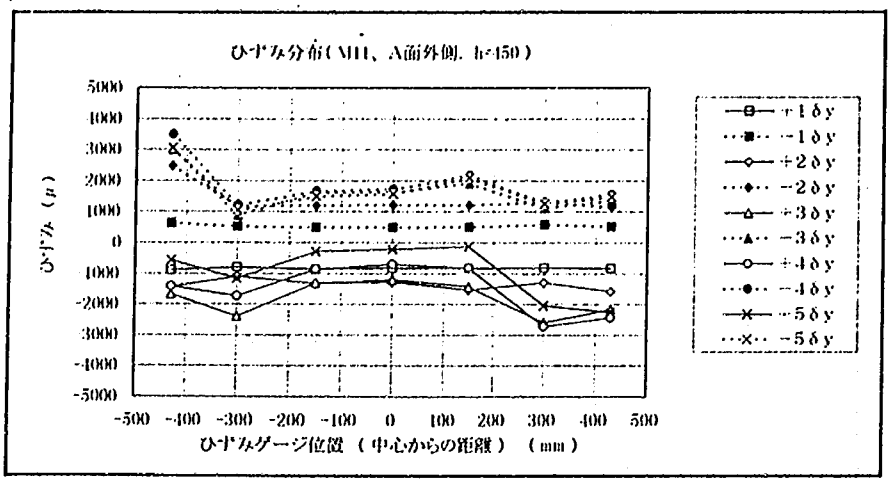


(b) B面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M−10）

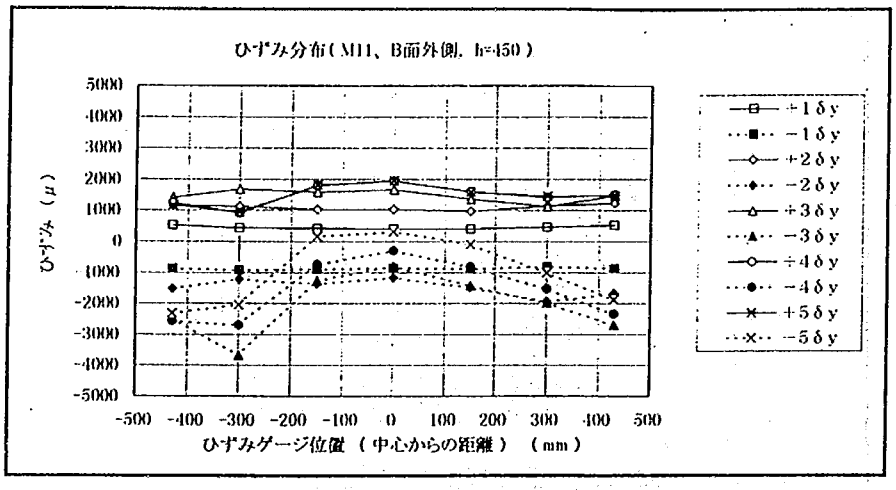


(b) C面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M−10）

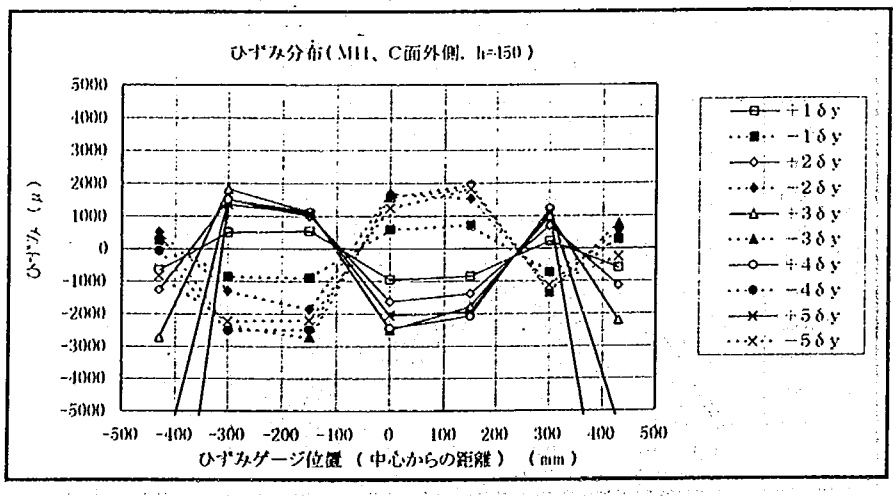
図−3.1.9(8) ひずみ分布(M10)(つづき)



(a) A面外側h450の軸方向ひずみ分布（M－11）

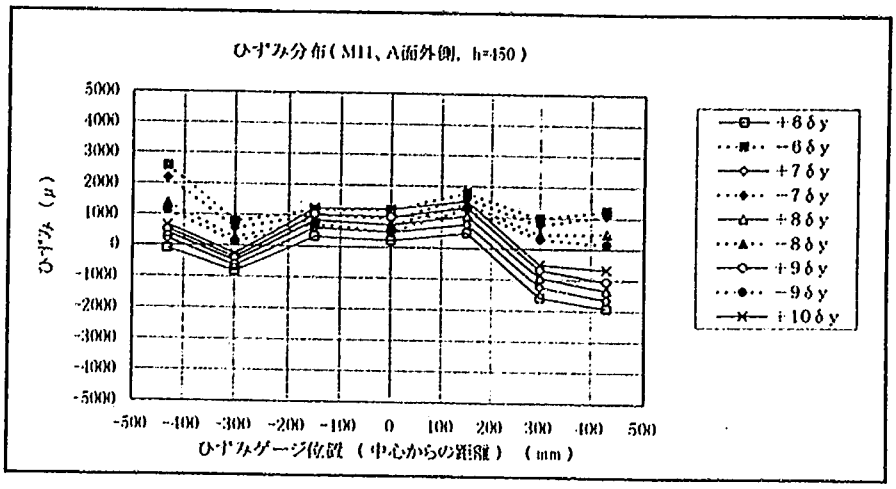


(a) B面外側h450の軸方向ひずみ分布（M－11）

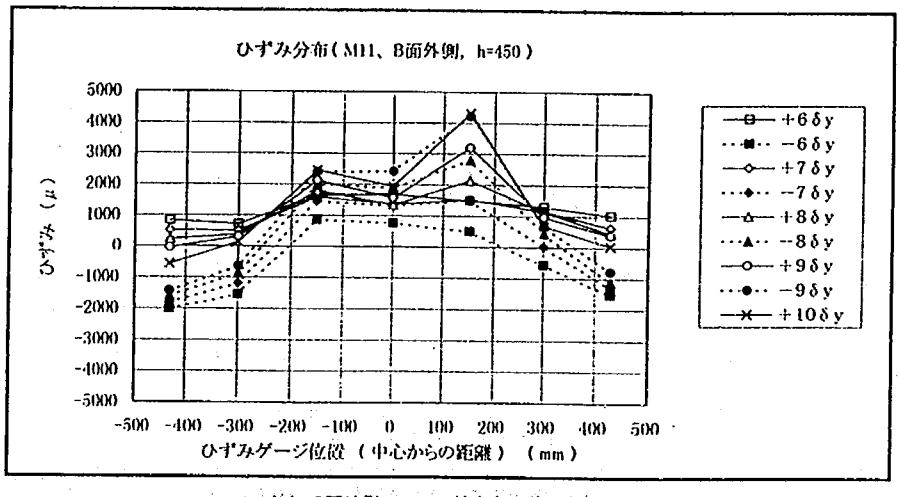


(a) C面外側h450の軸方向ひずみ分布（M－11）

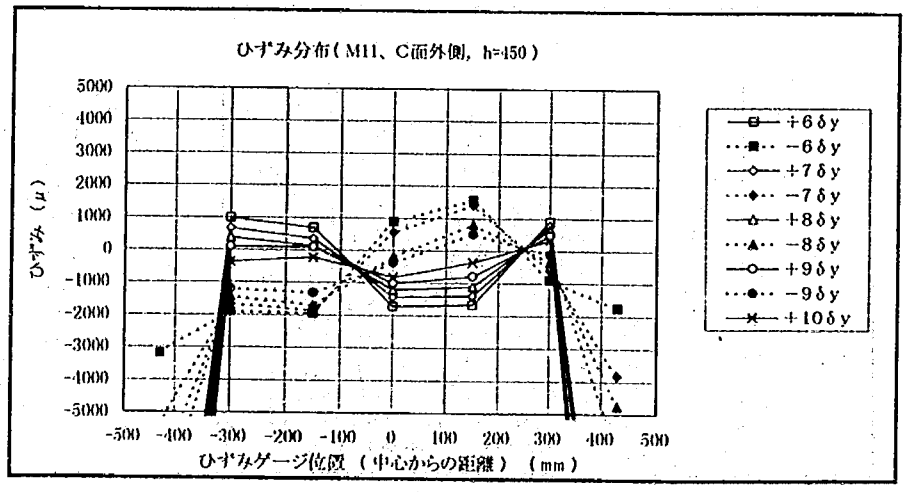
図－3.1.9(9)　ひずみ分布（M11）（最大荷重を超えた:+4δy）



(b) A面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－11）

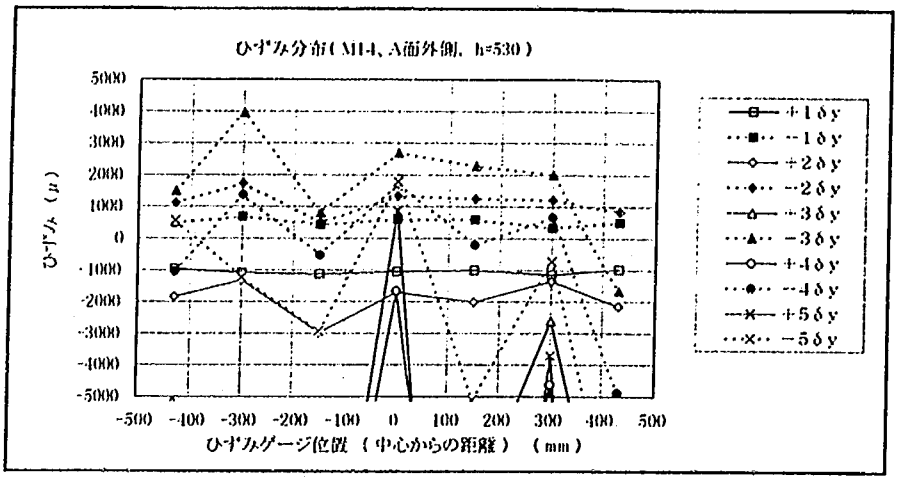


(b) B面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－11）

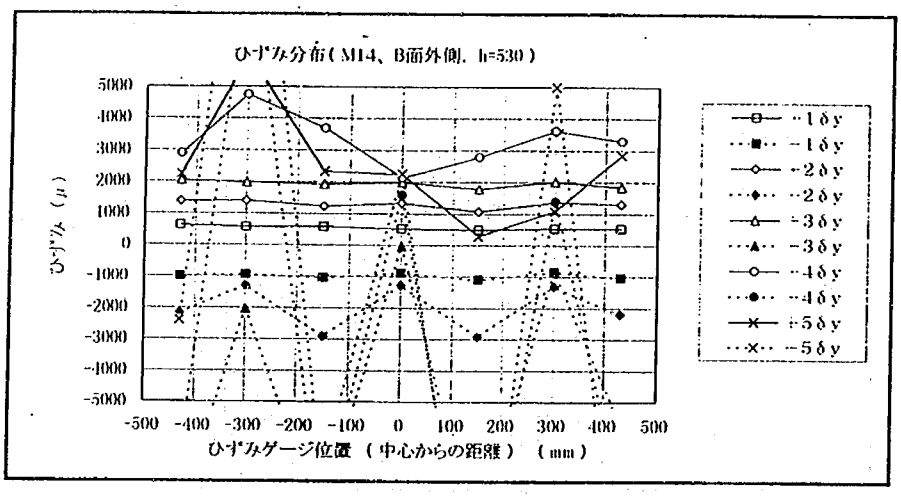


(b) C面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－11）

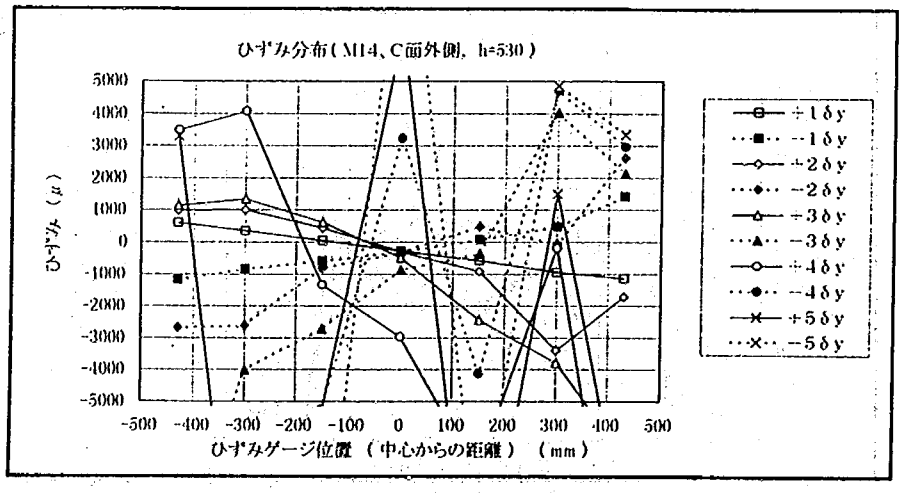
図-3.1.9(9) ひずみ分布（M11）（つづき）



(a) A面外側 h530の軸方向ひずみ分布（M−14）

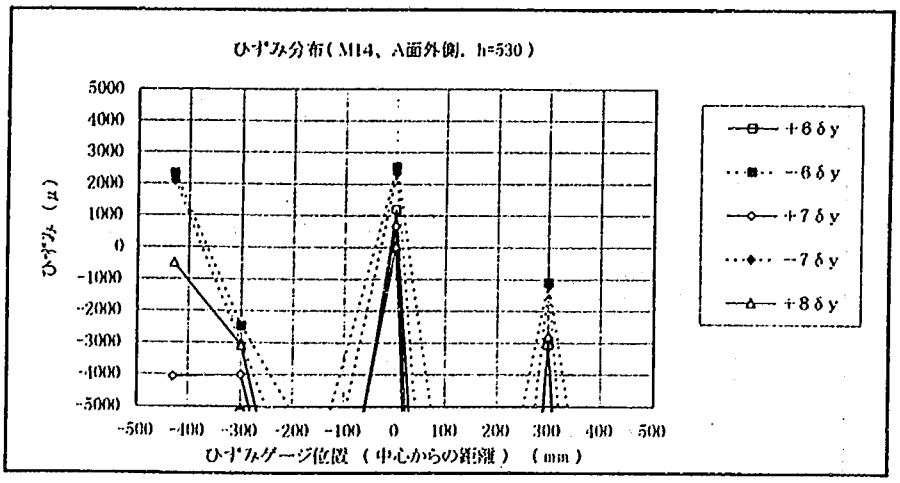


(a) B面外側 h530の軸方向ひずみ分布（M−14）

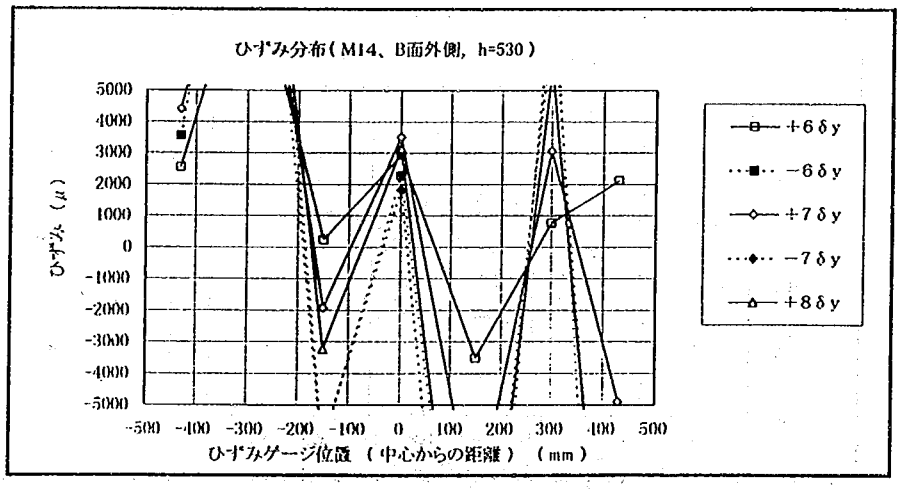


(a) C面外側 h530の軸方向ひずみ分布（M−14）

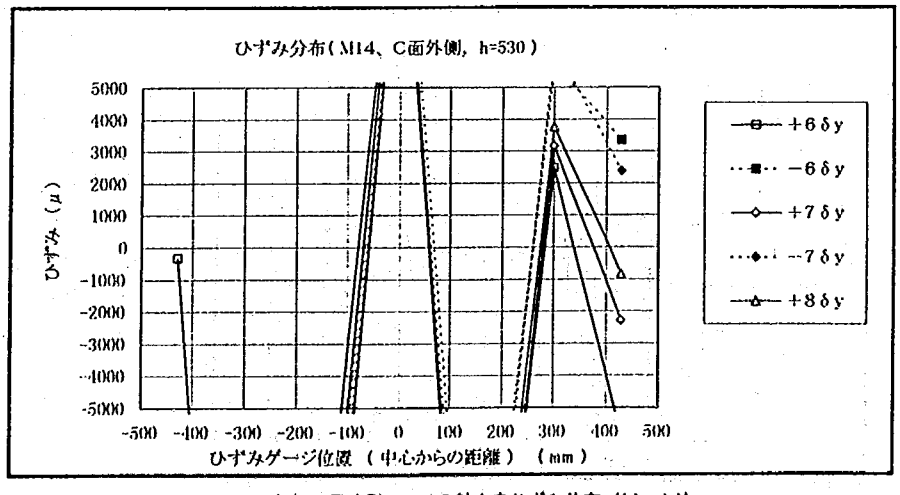
図−3.1.9(10)　ひずみ分布（M14）（最大荷重を超えた:+4δy)



(b) A面外側 h530の軸方向ひずみ分布（M－14）

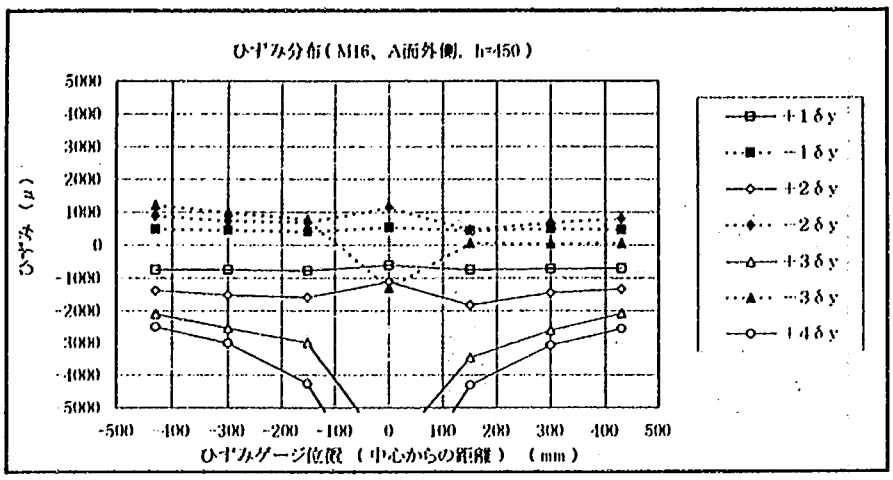


(b) B面外側 h530の軸方向ひずみ分布（M－14）

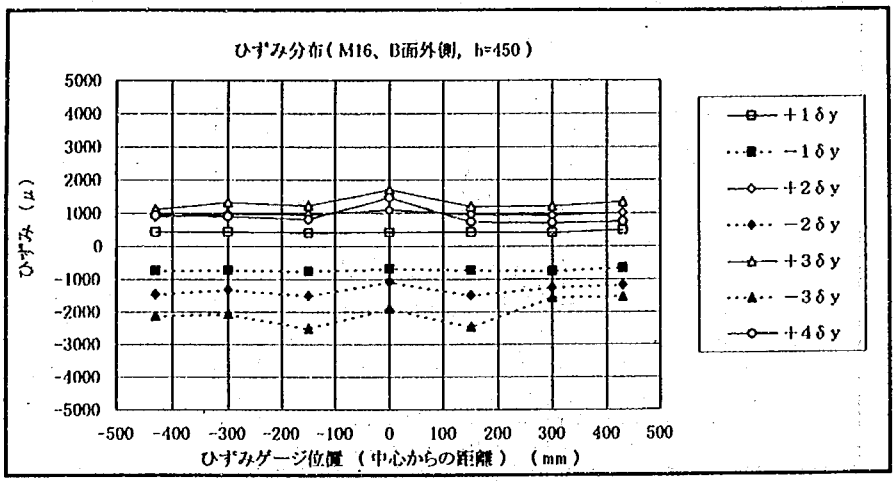


(b) C面外側 h530の軸方向ひずみ分布（M－14）

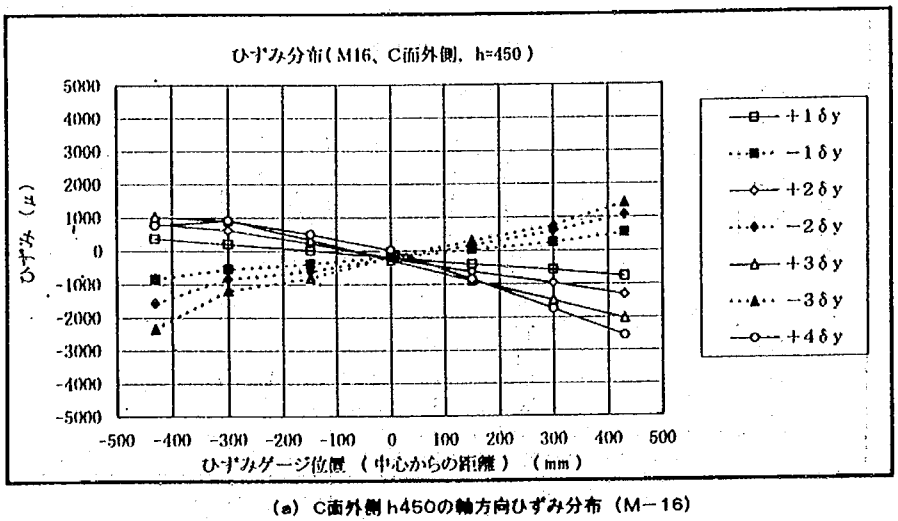
図-3.1.9(10)　ひずみ分布（M14）（つづき）



(a) A面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－16）

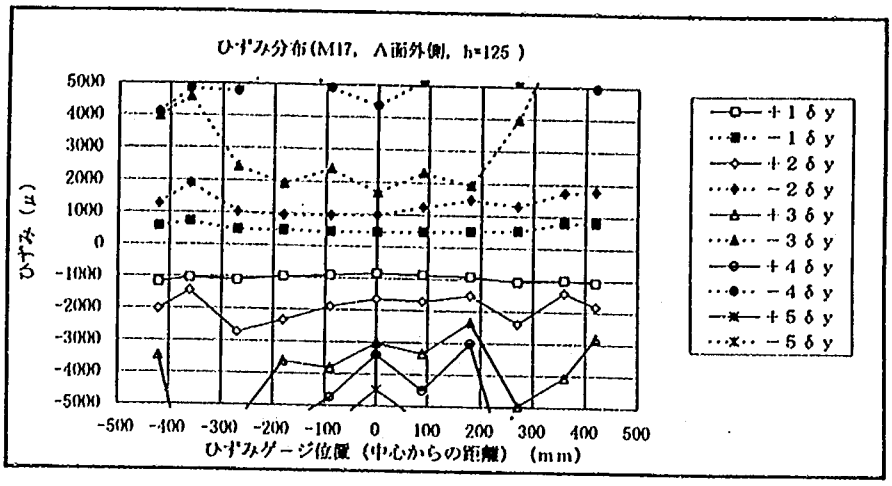


(a) B面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－16）

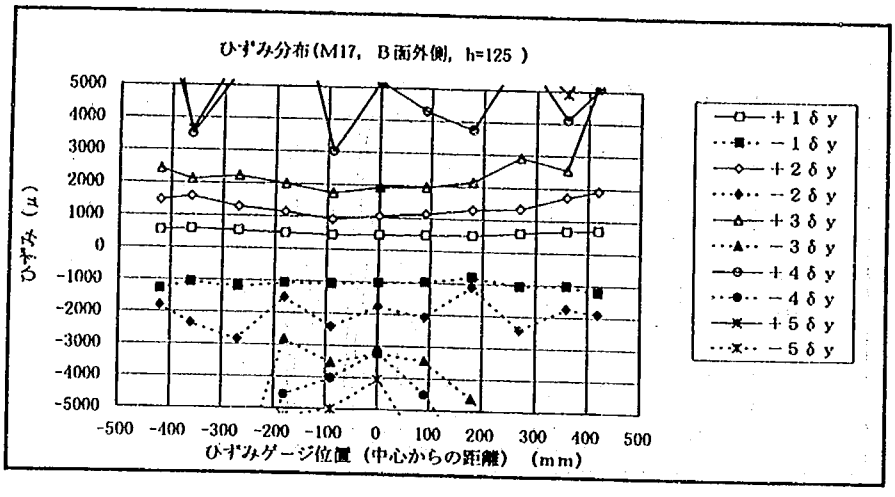


(a) C面外側 h450の軸方向ひずみ分布（M－16）

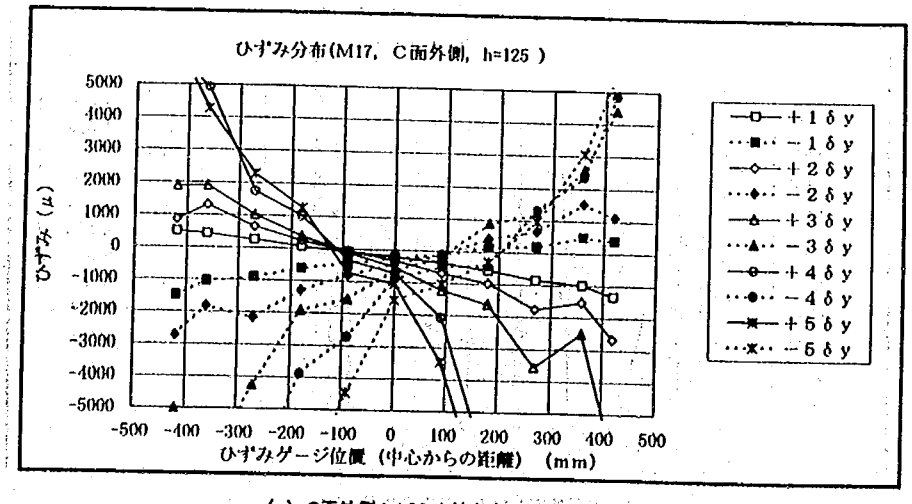
図-3.1.9(11)　ひずみ分布(M16)　(最大荷重を超えた:+4δy)



(a) A面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−17)

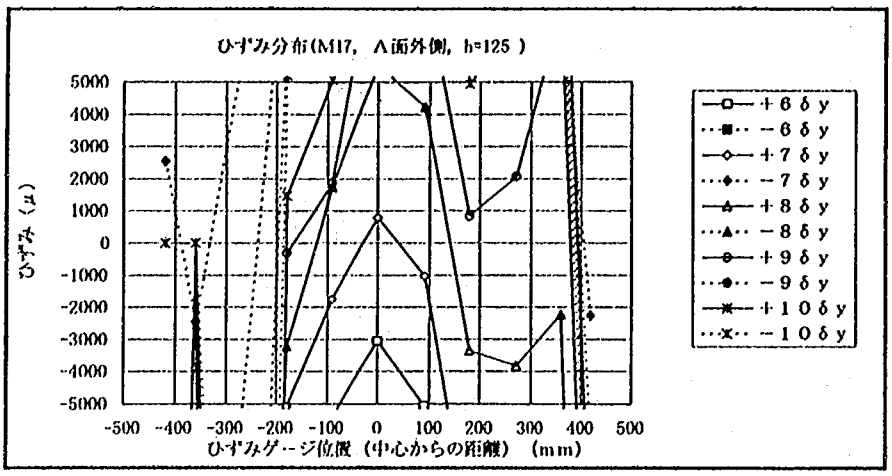


(a) B面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−17)

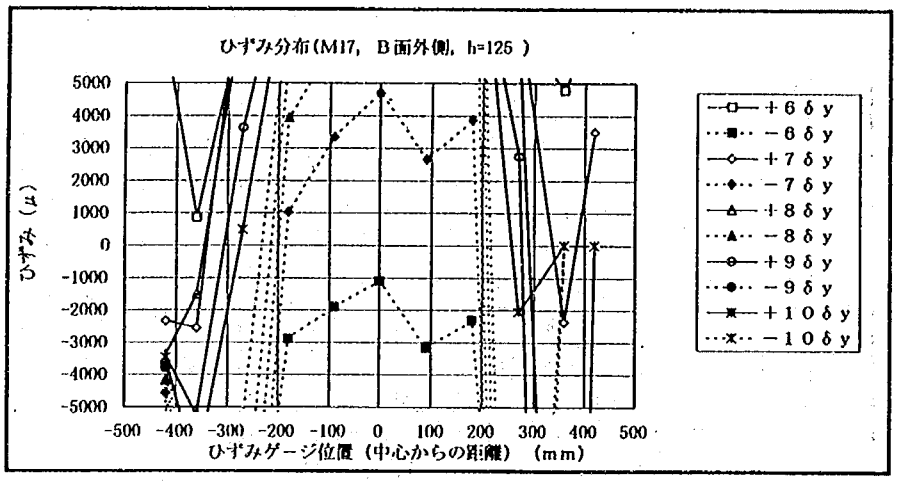


(a) C面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−17)

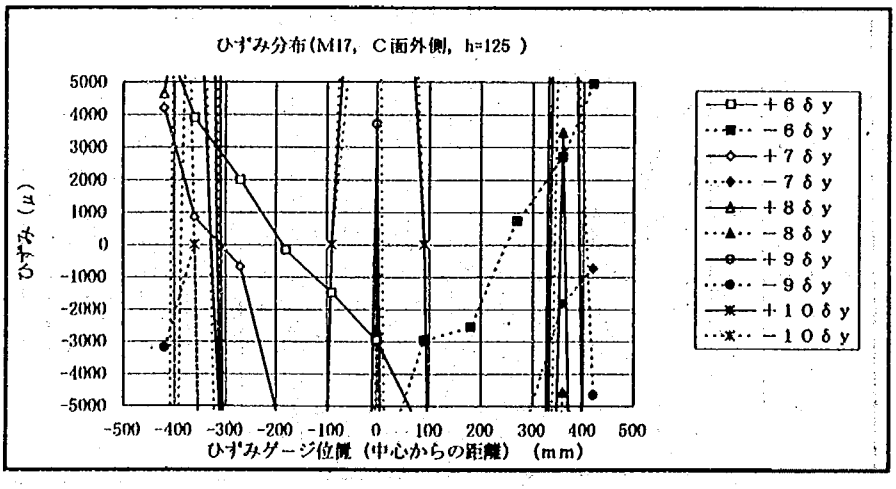
図-3.1.9(12) ひずみ分布(M17) (最大荷重を超えた:+6δy)



(b) A面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−17)

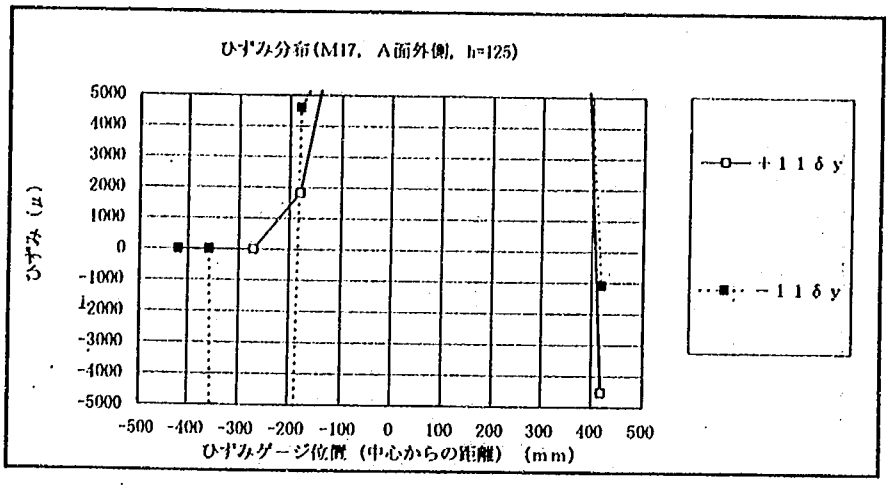


(b) B面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−17)

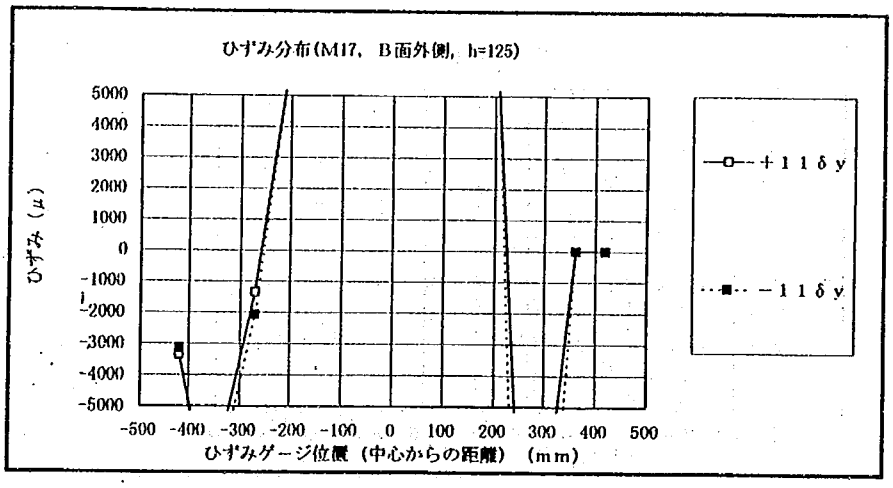


(b) C面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−17)

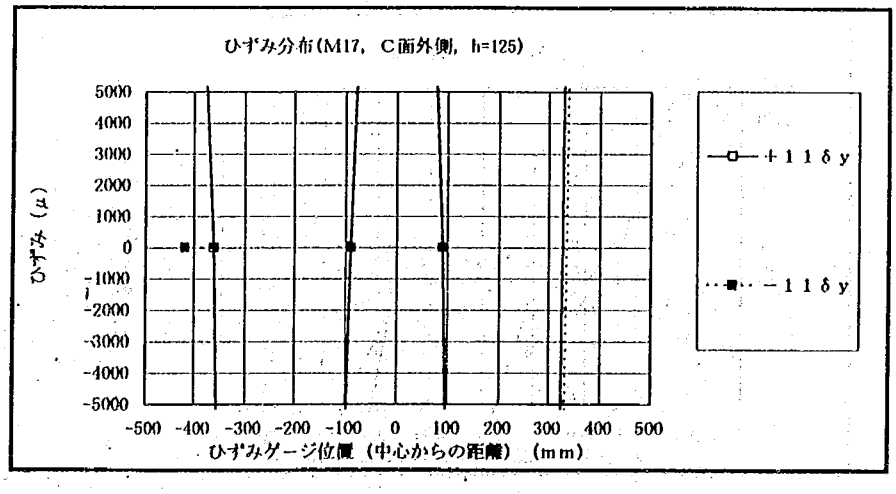
図-3.1.9(12) ひずみ分布(M17)(つづき)



(C) A面外側h125の軸方向ひずみ分布 (M－17)

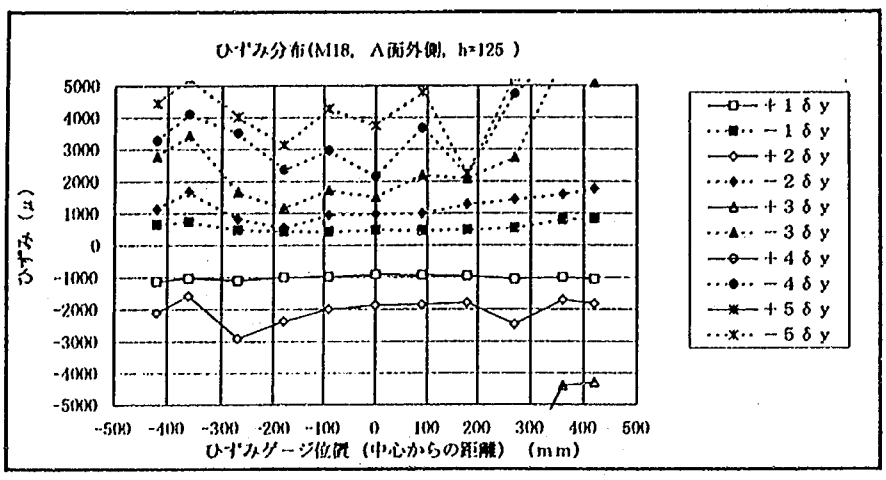


(C) B面外側h125の軸方向ひずみ分布 (M－17)

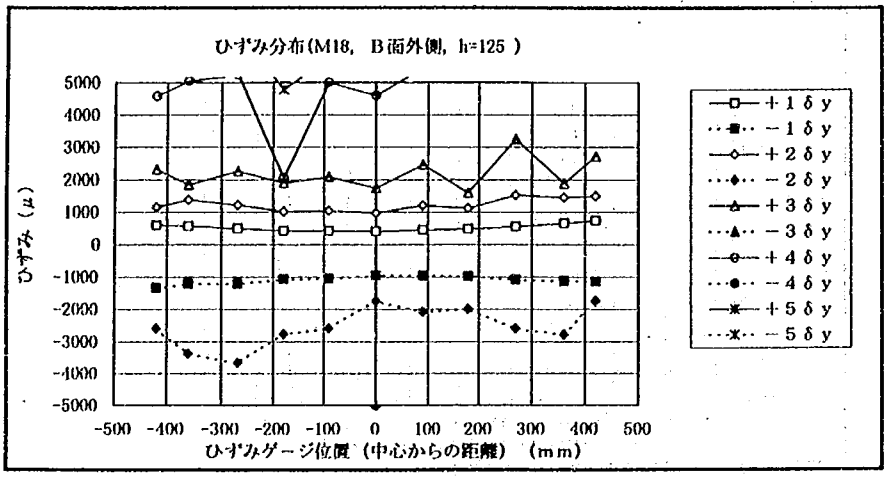


(C) C面外側h125の軸方向ひずみ分布 (M－17)

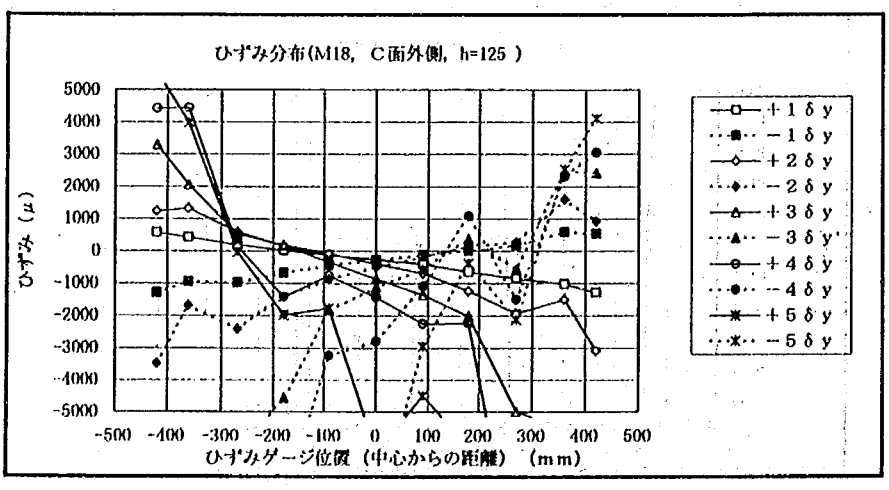
図-3.1.9(12) ひずみ分布(M17)(つづき)



(a) A面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−18)

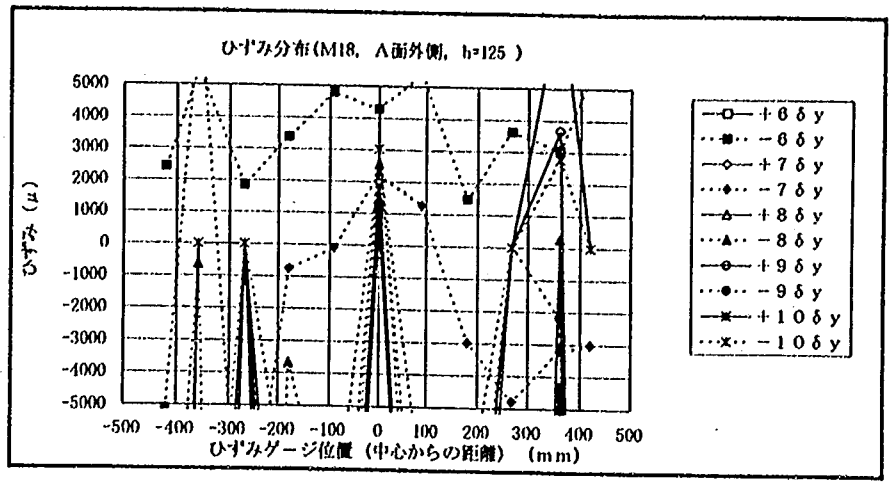


(a) B面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−18)

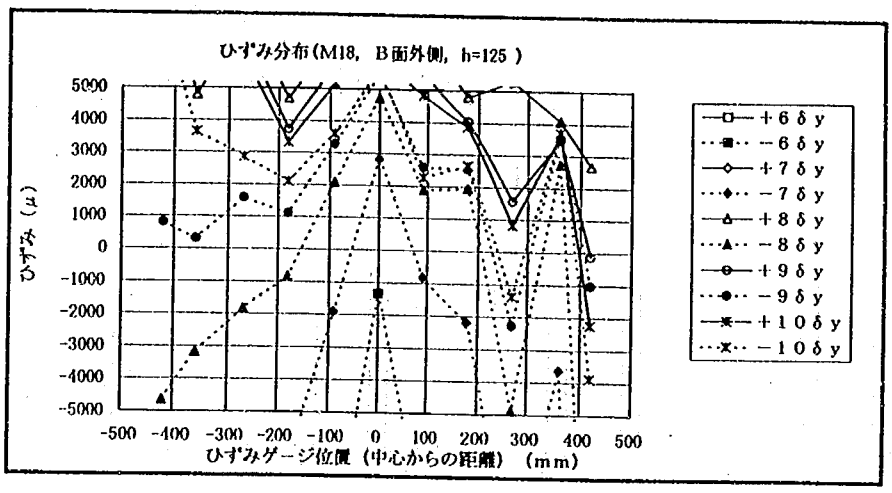


(a) C面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−18)

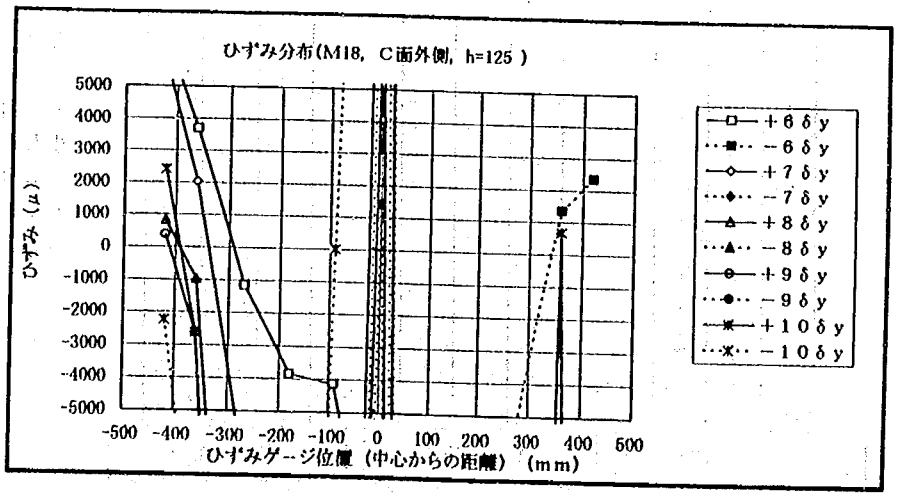
図-3.1.9(13) ひずみ分布(M18) (最大荷重を超えた:+6δy)



(b) A面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−18)

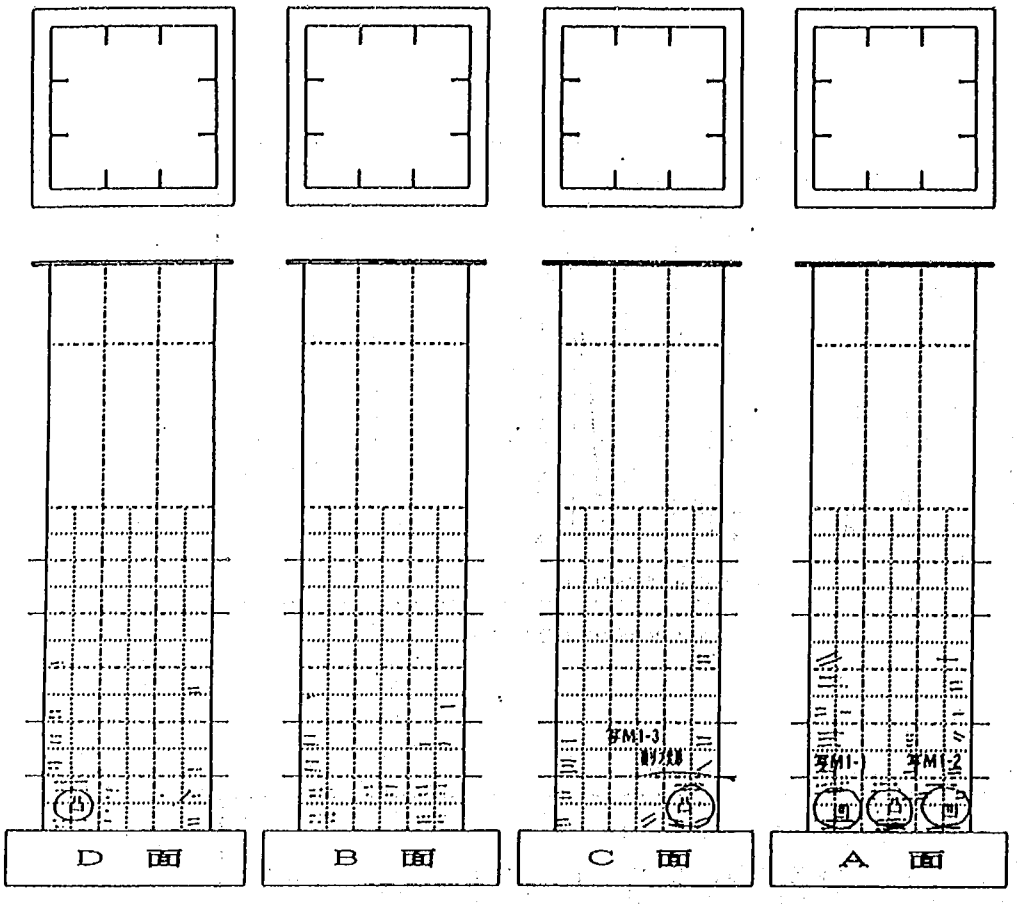


(b) B面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−18)



(b) C面外側 h125の軸方向ひずみ分布 (M−18)

図-3.1.9(13) ひずみ分布(M18)(つづき)



(a)外面

3δy

目標変位　45.00mm
水平荷重　122.2ton

4面共、黒皮のひび割れが第1パネル全体に広がった。

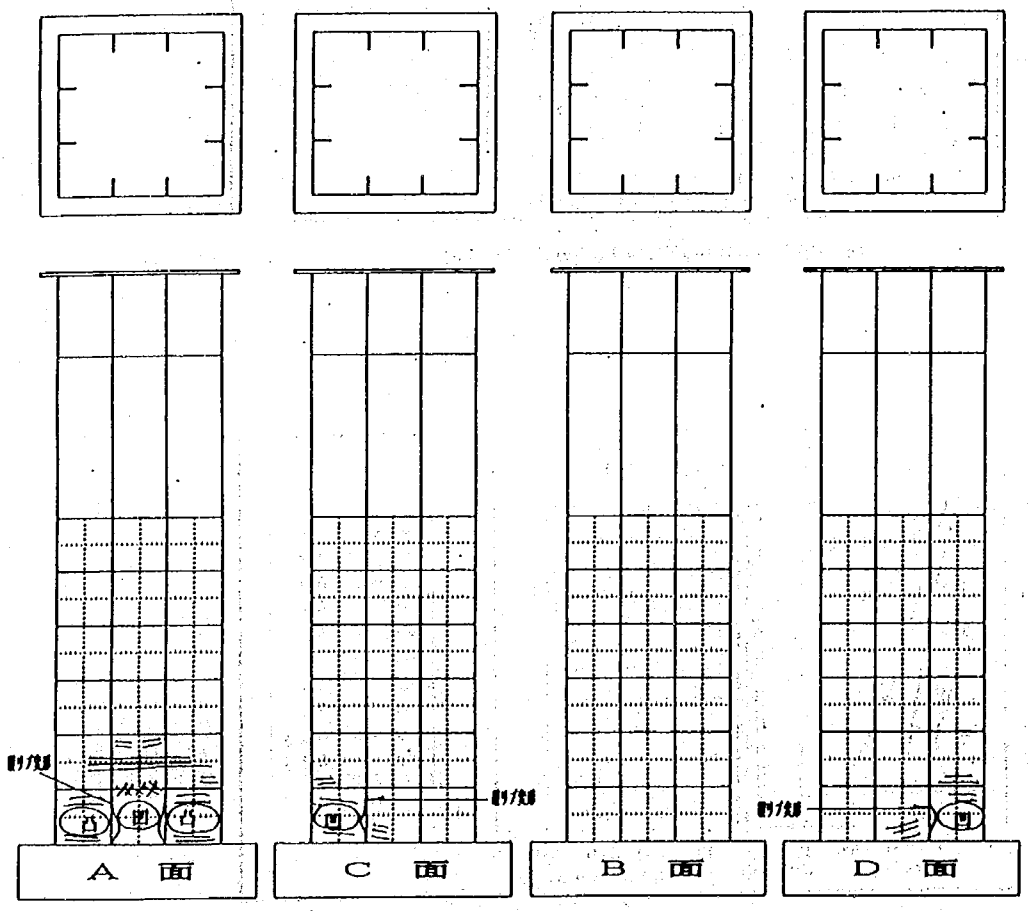
圧縮側A面は基部と1枚目の横リブ間でパネルに凹凸が見られるようになった。また、A－D面角部ではラインが僅かに曲がり始め、1枚目の横リブも僅かに基部側に傾いているように見える。

引張側B面の目立った変化はない。

C面は圧縮側基部付近でパネルが少し膨らみ、1枚目の横リブは同じく圧縮側で僅かに天板側に傾いている。

D面は圧縮側基部付近が少し膨らみ、1枚目の横リブは圧縮側でC面とは逆に基部側に傾いている。

写真M1-1～3 参照



(b)内面

3δy

目標変位　45.00mm
水平荷重　122.2ton

圧縮側A面は基部から15cm付近が外面にせり出し、縦リブを隔てて両端のパネルは内面側に膨らんできた。

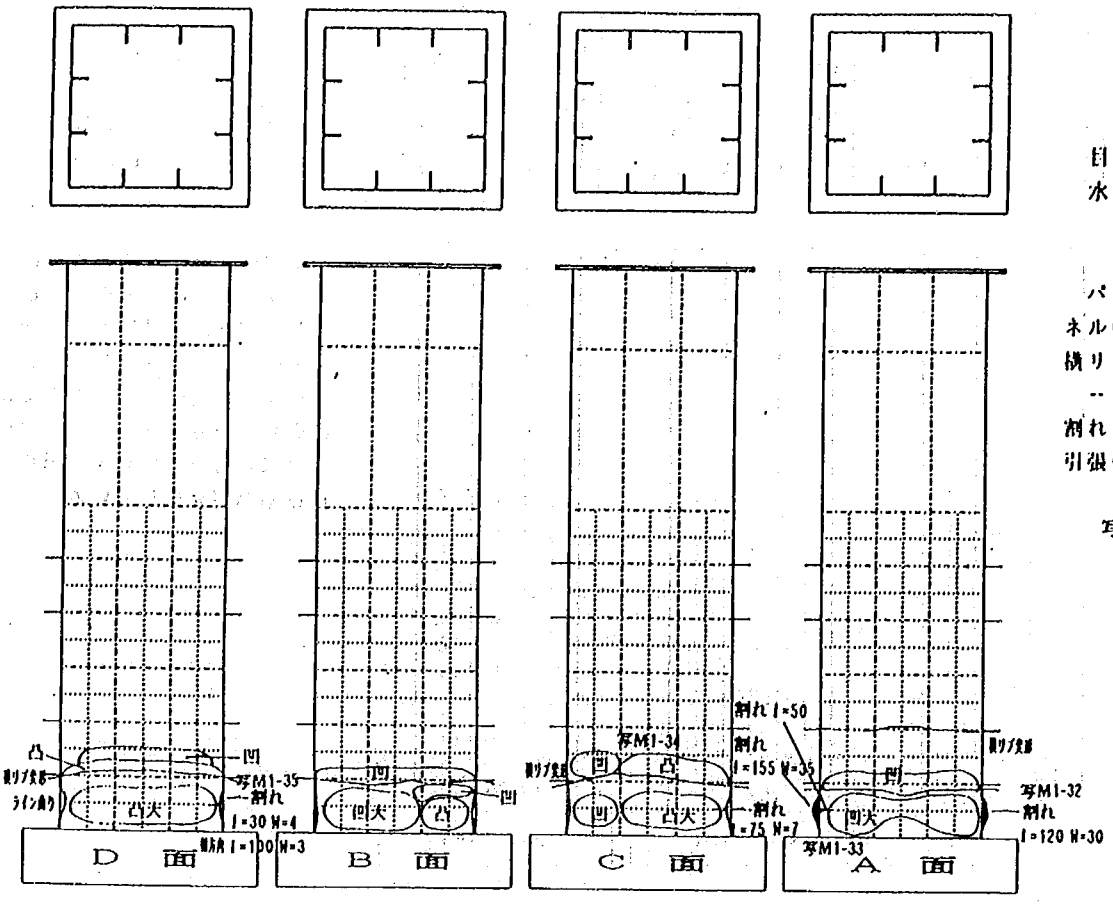
この変形に伴い、縦リブが中央寄りに曲げられてきた。

外面の1枚目横リブ補強位置では斜めに黒皮のひび割れが発生した。

CD面は基部付近A面側の縦リブがそれぞれA面側へ曲げられた。

(1) 最大荷重時

図-3.1.10(1)　供試体の変形（M1）



7δy

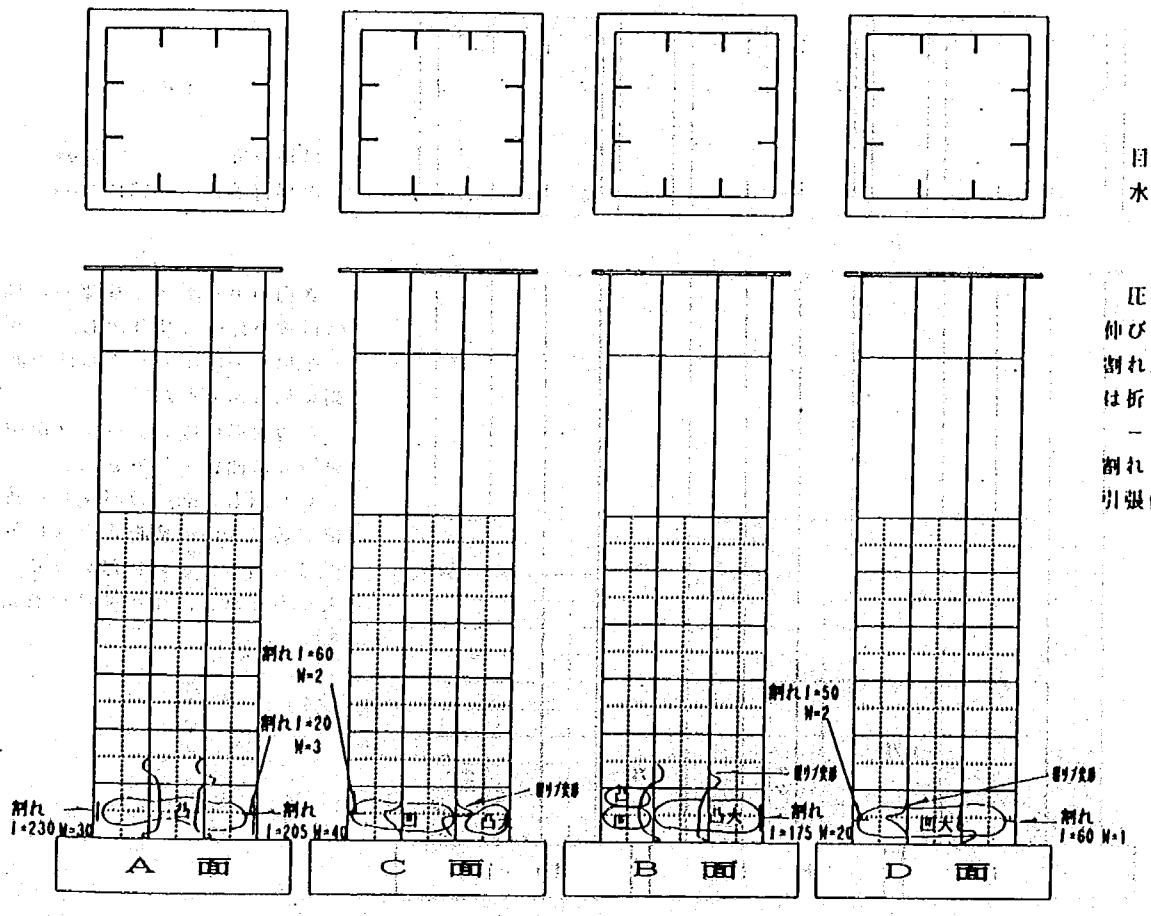
目標変位　105.00mm
水平荷重　5.3ton

パネルの変形はA面共第1パネル中段にまで及び、1枚目の横リブも大きく曲がっている。

－6δyで発生したCD面の割れは伸びなかったが、D面の引張側に割れが発生した。

写真M1-32 ～35参照

(a)外面



7δy

目標変位　105.00mm
水平荷重　5.3ton

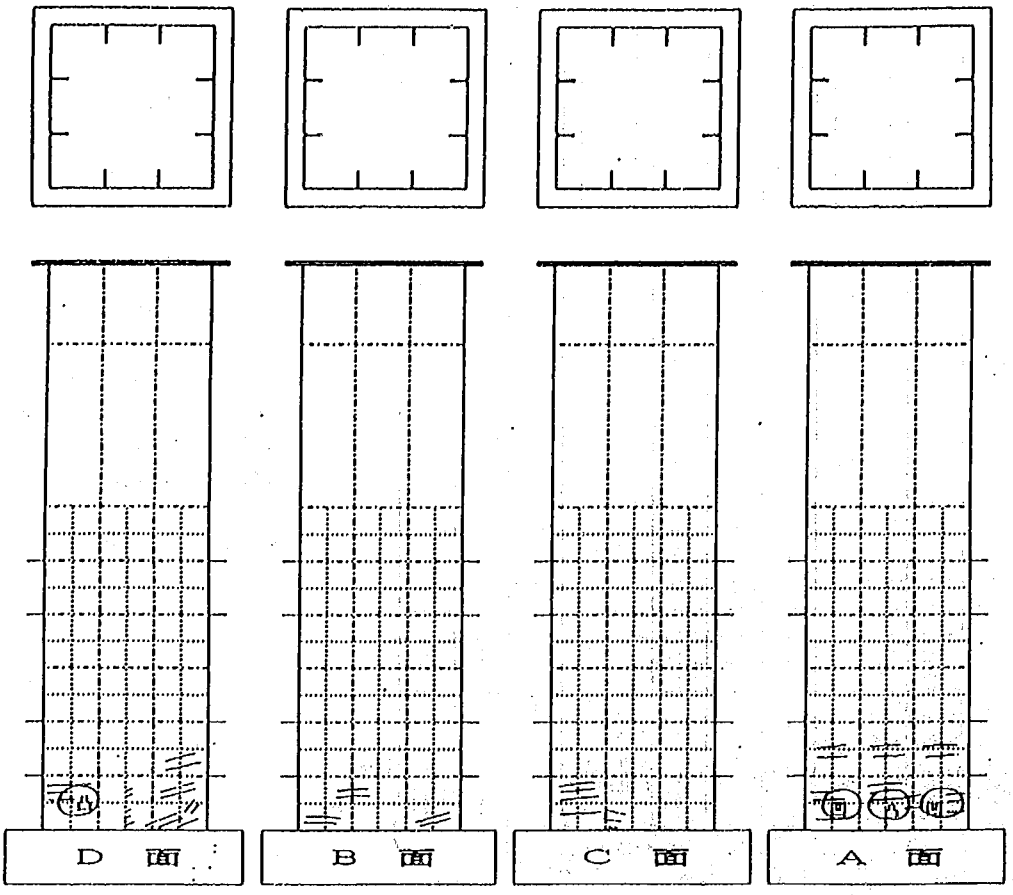
圧縮側A面は両角部の割れが伸び、C面側では直交方向にも割れが発生した。また、縦リブは折り曲まれた状態である。

－6δyで発生したCD面の割れは伸びなかったが、D面の引張側に割れが発生した。

(b)内面

(ii) 実験終了時

図-3.1.10(1)　供試体の変形（M1）（つづき）



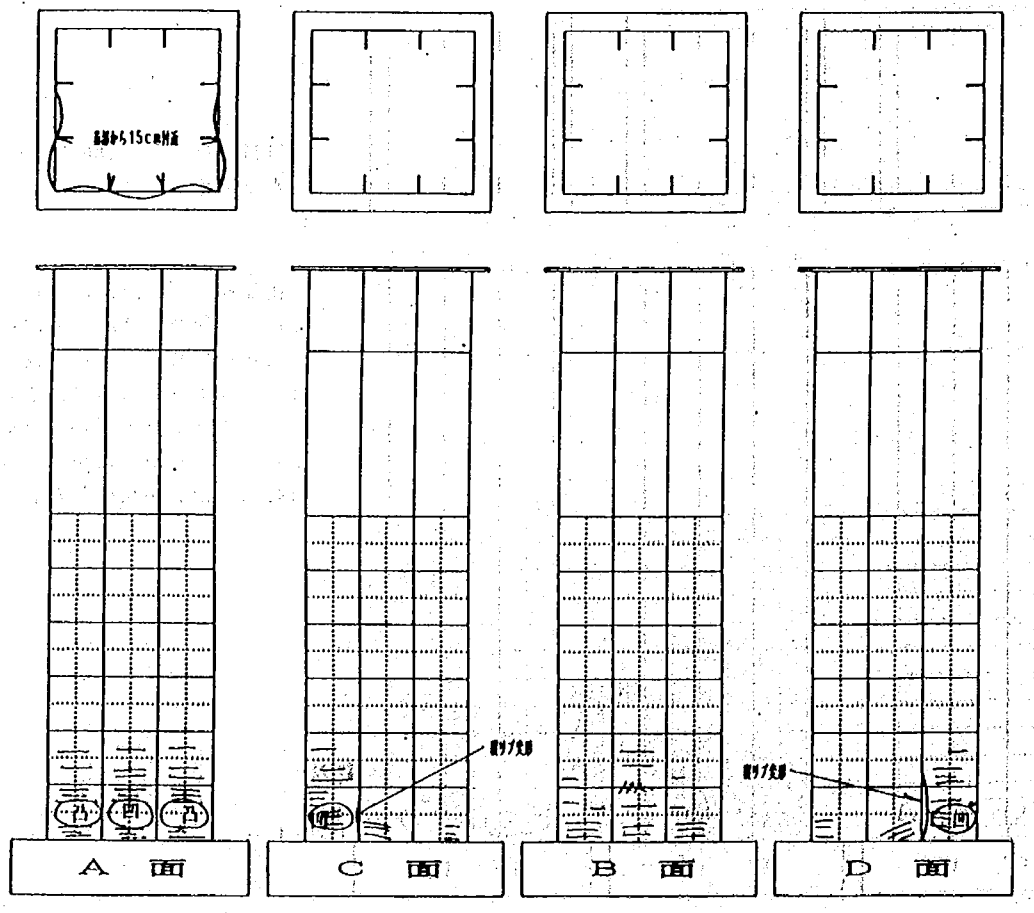
3δy

目標変位　45.00mm
水平荷重　131.0ton

圧縮側A面は基部から2枚目の横リブにかけて黒皮のひび割れが広がり、基部付近では凹凸が確認できるようになった。

D面圧縮側の基部付近も僅かに膨らみが見られる。また引張側の基部付近では斜めに黒皮のひび割れが発生している。

(a)外面



3δy

目標変位　45.00mm
水平荷重　131.0ton

A面中央パネルの基部から15cm付近が外面にせり出し、縦リブを隔てて両端のパネルは内面側に膨らんできた。

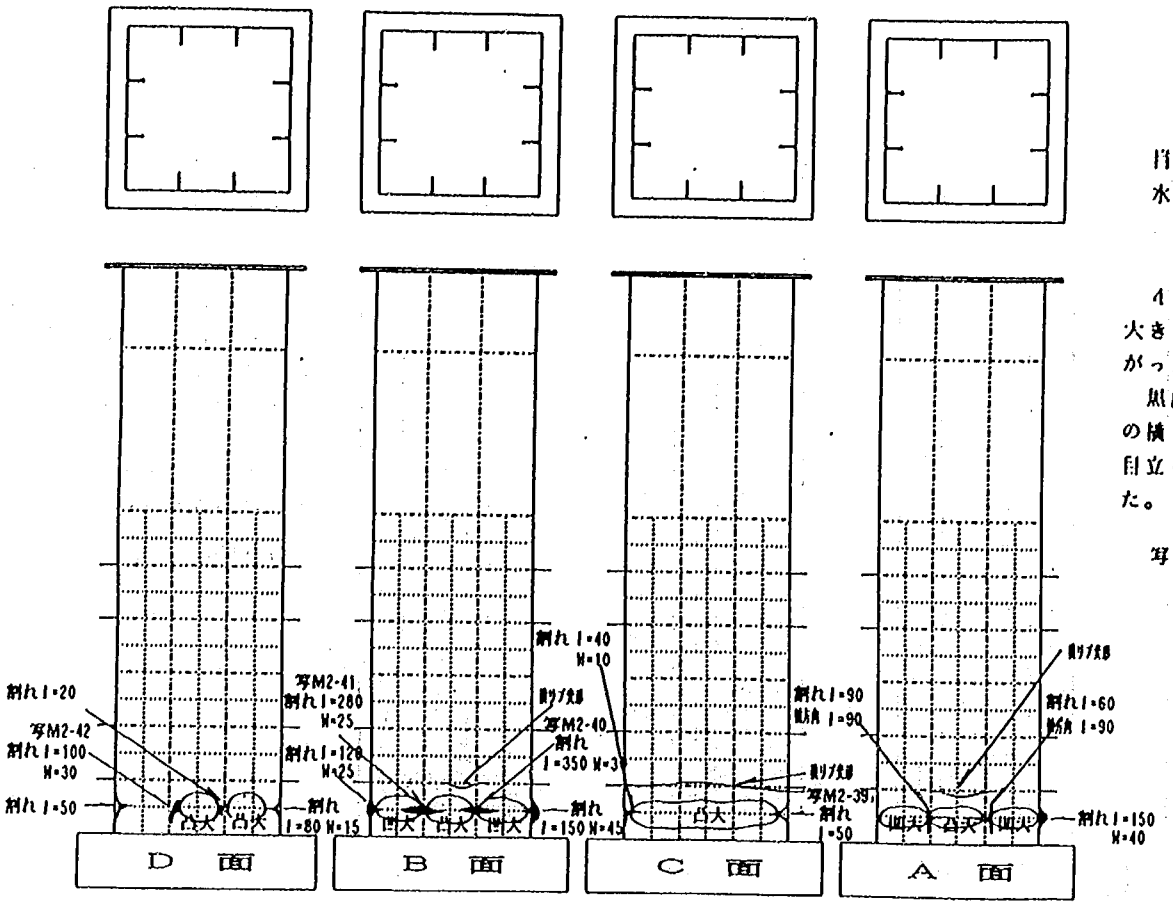
この変形に伴い、縦リブが中央寄りに曲げられてきた。

CD面もA面側のパネルが角部を境にA面の変形と反対に外へせり出し、これに伴い縦リブもそれぞれA面側へ曲げられた。

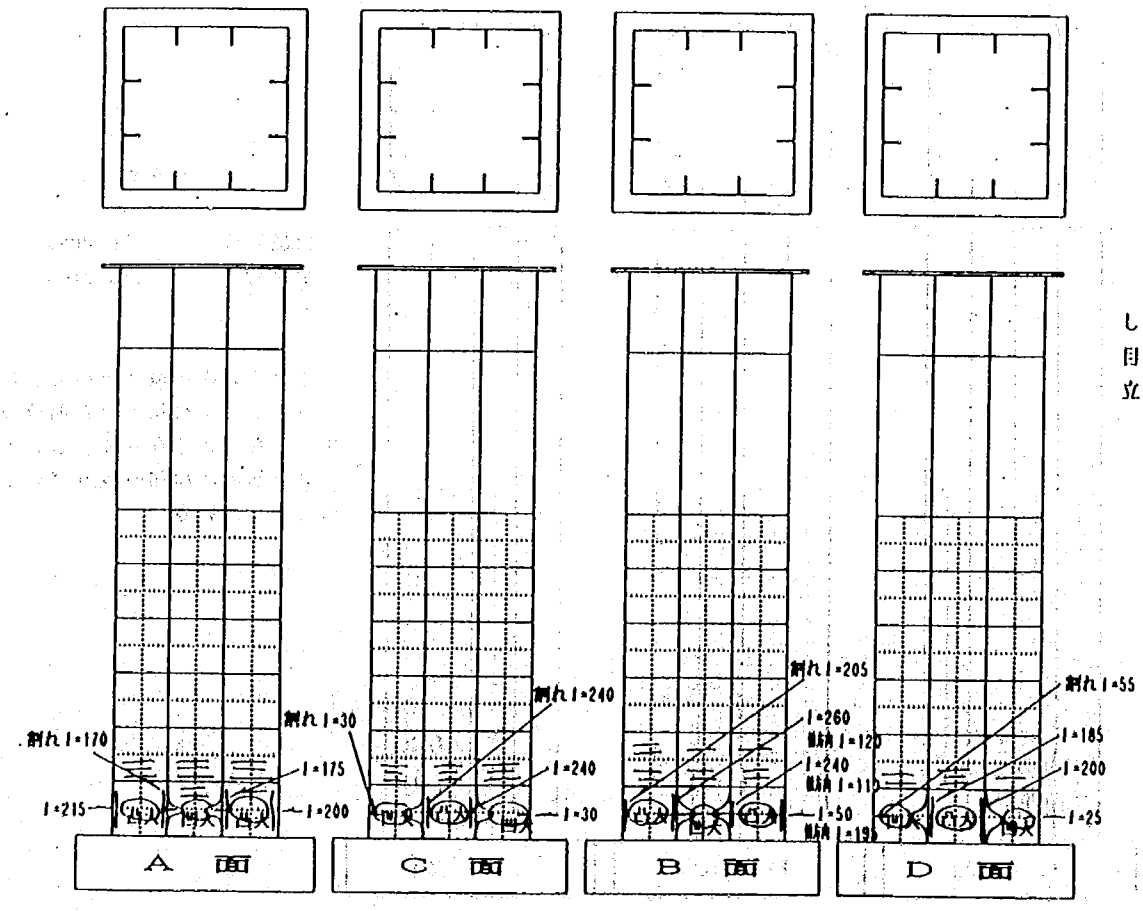
(b)内面

(i) 最大荷重時

図-3.1.10(2) 供試体の変形（M2）



(a)外面



(b)内面

(ii) 実験終了時

9δy

目標変位 135.00mm
水平荷重 0.0ton

4面共、母材の割れ、凹凸が大きくなり、角部の開口部も広がった。

黒皮のひび割れ以外、1枚目の横リブから上部では最後まで目立った変形が確認されなかった。

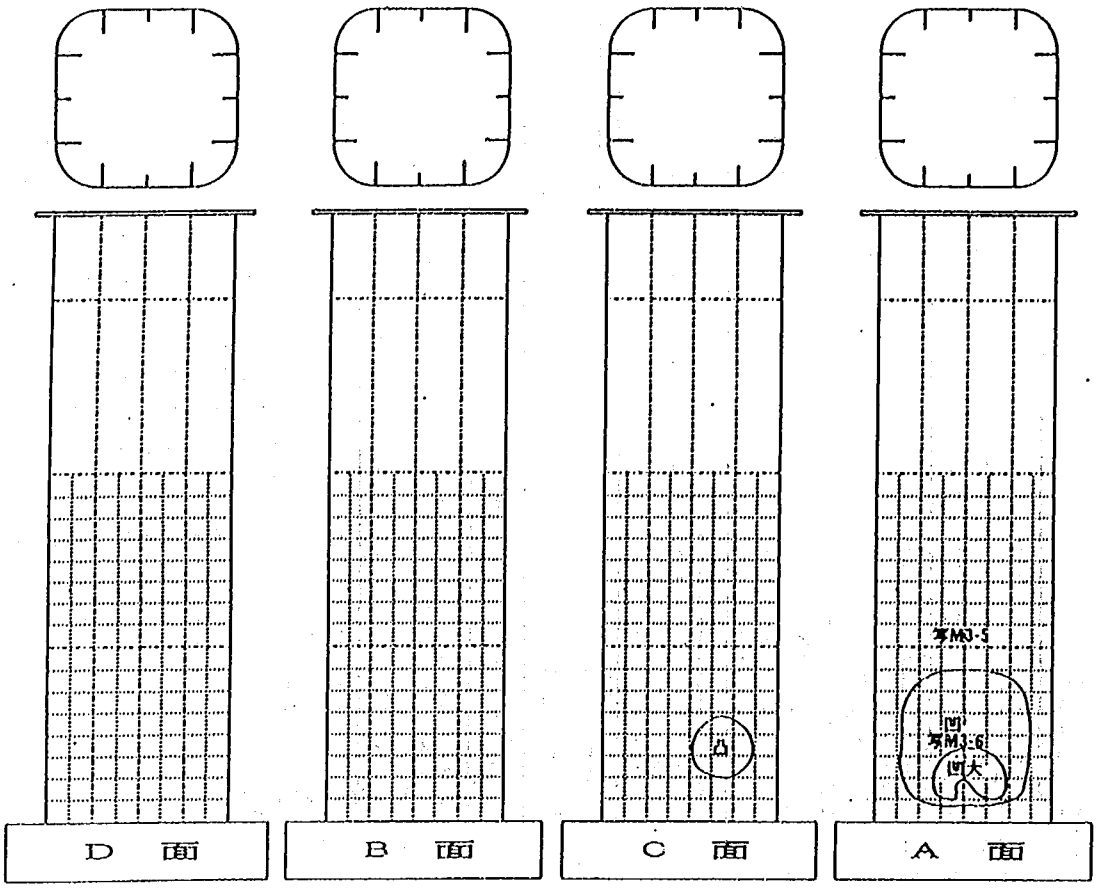
写真M2-39 ～42参照

9δy

目標変位 135.00mm
水平荷重 0.0ton

割れ、変形とも進んだが、新しい変化は殆ど見られず、1枚目の横リブから上は最後まで目立った変化は確認できなかった。

図-3.1.10(2) 供試体の変形 (M2) (つづき)



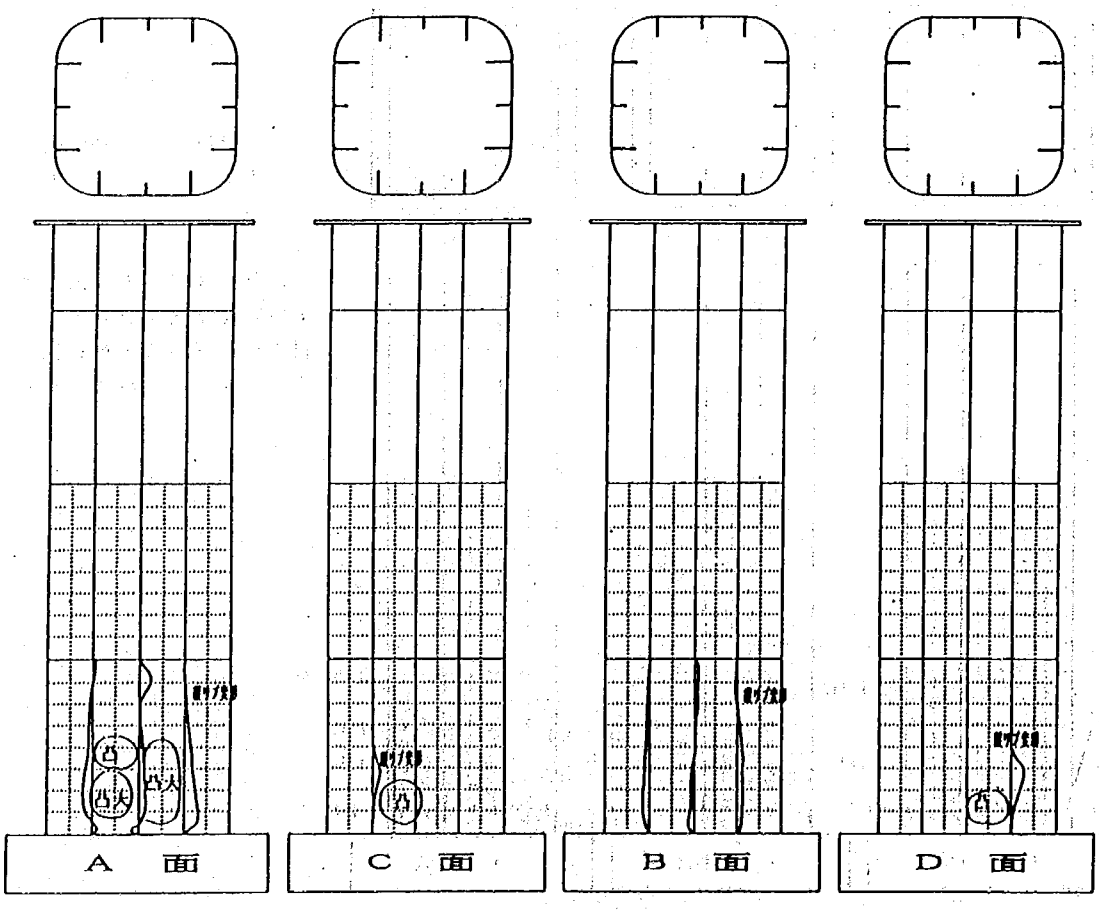
6δy

目標変位　90.00mm
水平荷重　179.3ton

圧縮側A面第1パネルの凹みは広がり、基部付近では大きく凹んでいる。
引張側B面の変形は元に戻っている。
C面第1パネルの圧縮側で僅かに膨らみが見られる。

写真M3-5～6 参照

(a)外面



6δy

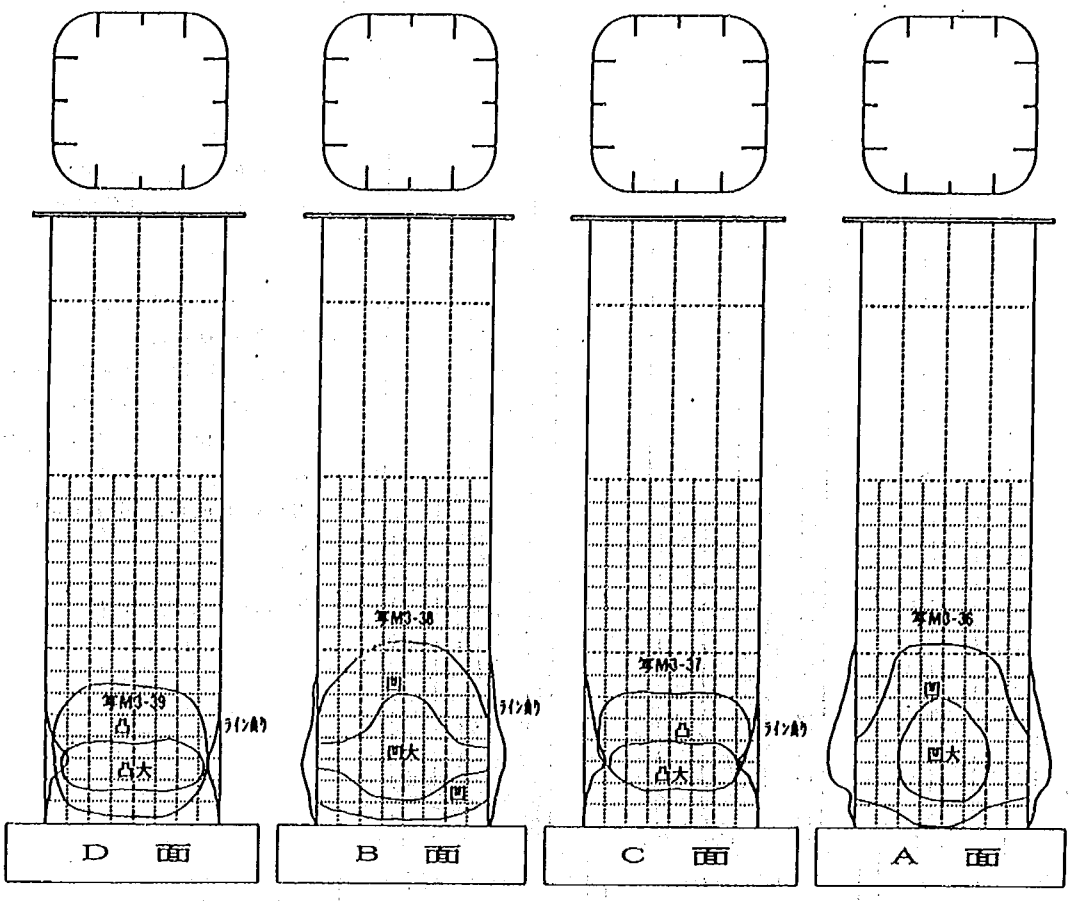
目標変位　90.00mm
水平荷重　179.3ton

圧縮側A面の縦リブの変形は進み、縦リブに挟まれた部分の膨らみも大きくなっている。
CD面の圧縮側の縦リブの変形も進んでいる。

(b)内面

(i) 最大荷重時

図-3.1.10(3)　供試体の変形（M3）



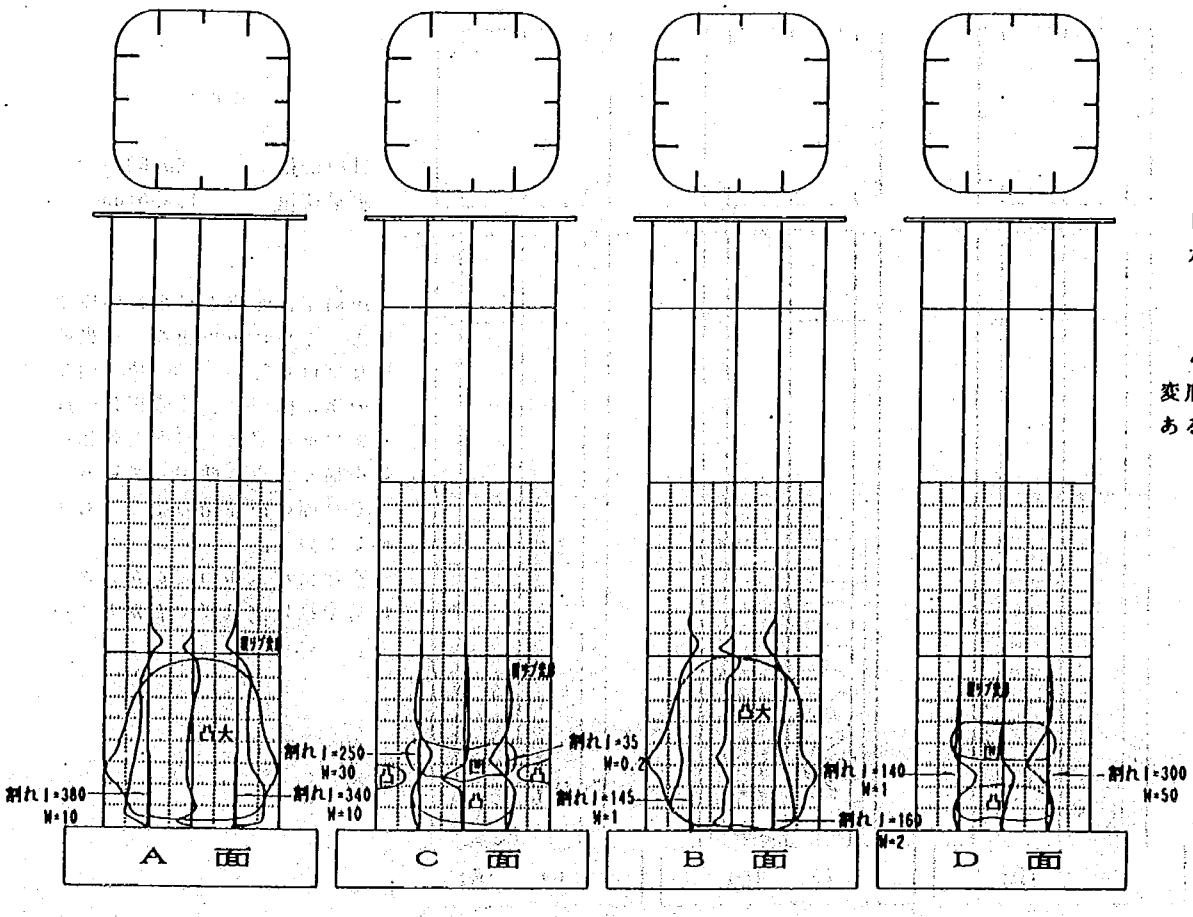
(a)外面

11δy

目標変位	165.00mm
水平荷重	39.5ton

4面共、新しい変化はなく、変形が進んでいくだけである。
割れが出ることなく、終局となった。

写真M3-36 ～39参照



(b)内面

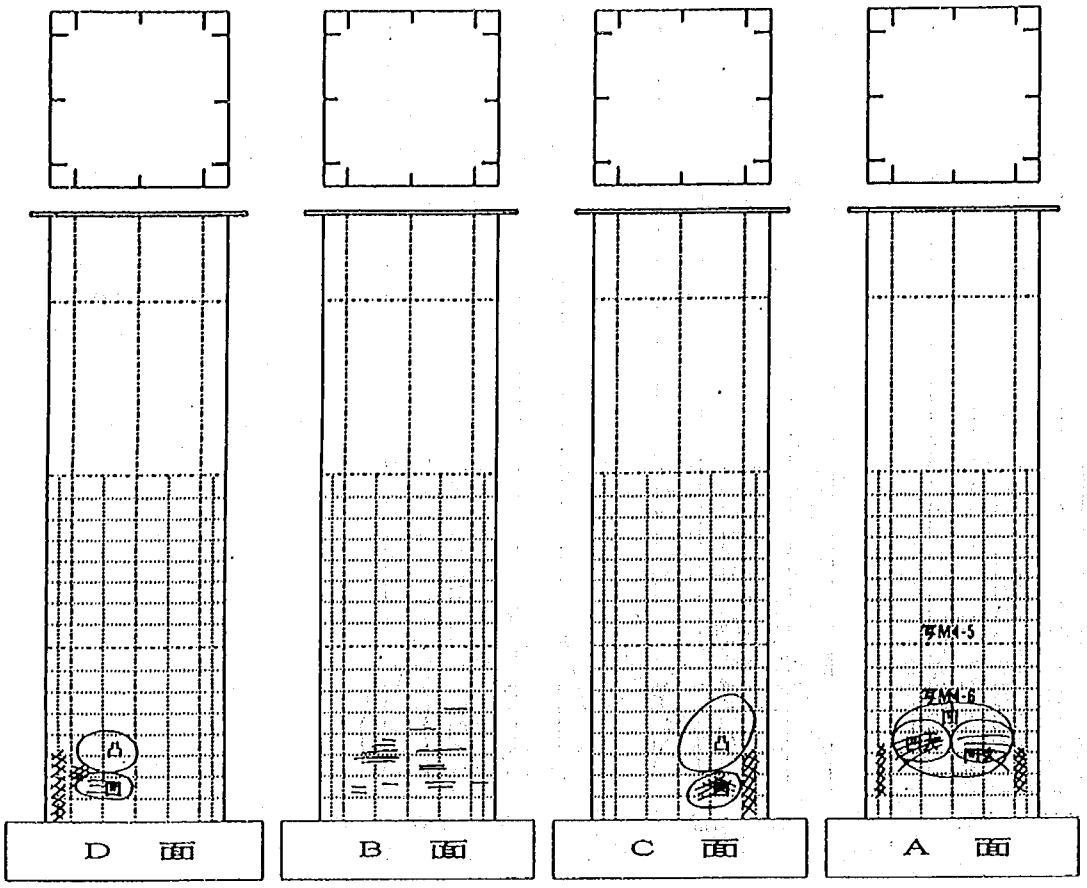
11δy

目標変位	165.00mm
水平荷重	39.5ton

4面共、新しい変化はなく、変形と割れが進んでいくだけである。

(ii) 実験終了時

図-3.1.10(3) 供試体の変形（M3）（つづき）



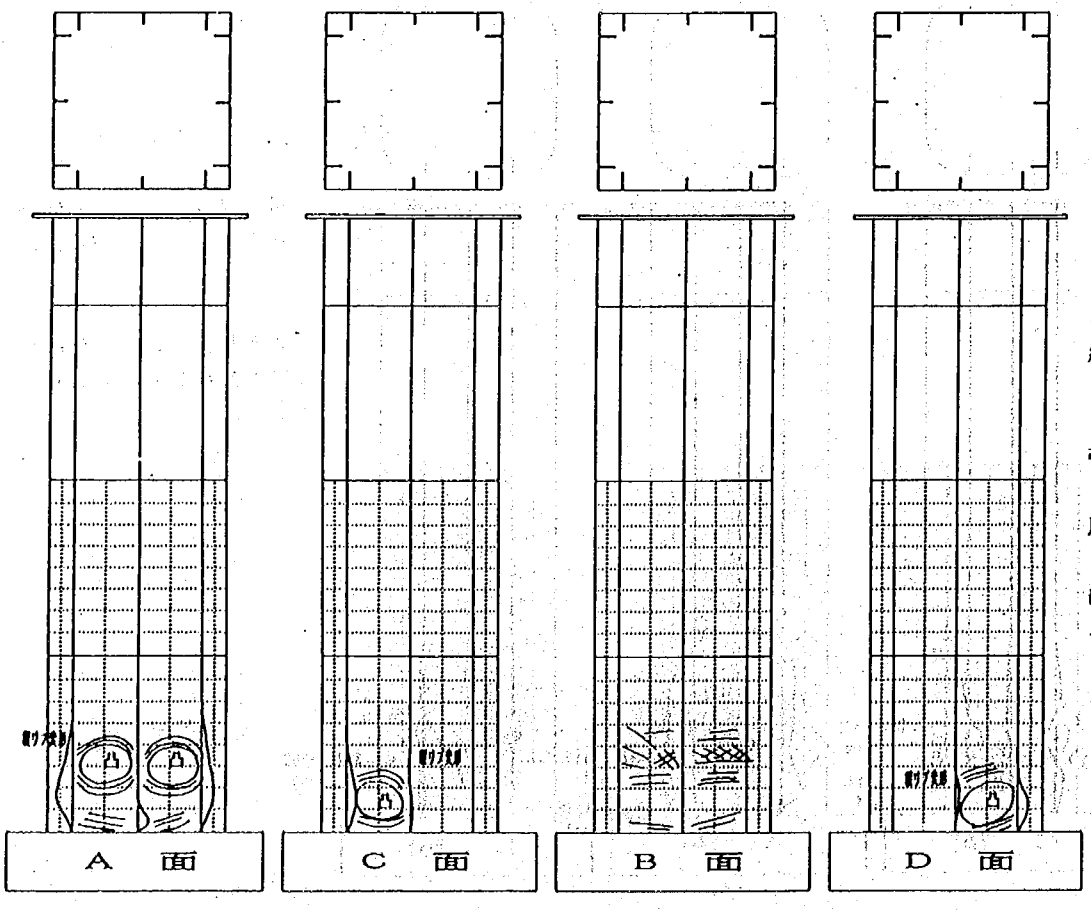
4δy

目標変位　60.50mm
水平荷重　164.0ton

圧縮側A面第1パネル中段で広く凹みが見られる。
CD面の圧縮側は僅かに膨らみ、基部付近では逆に凹んでいる。また、黒皮のひび割れも見られる。
引張側B面の変形は元に戻っている。

写真M4-5～6 参照

(a)外面



4δy

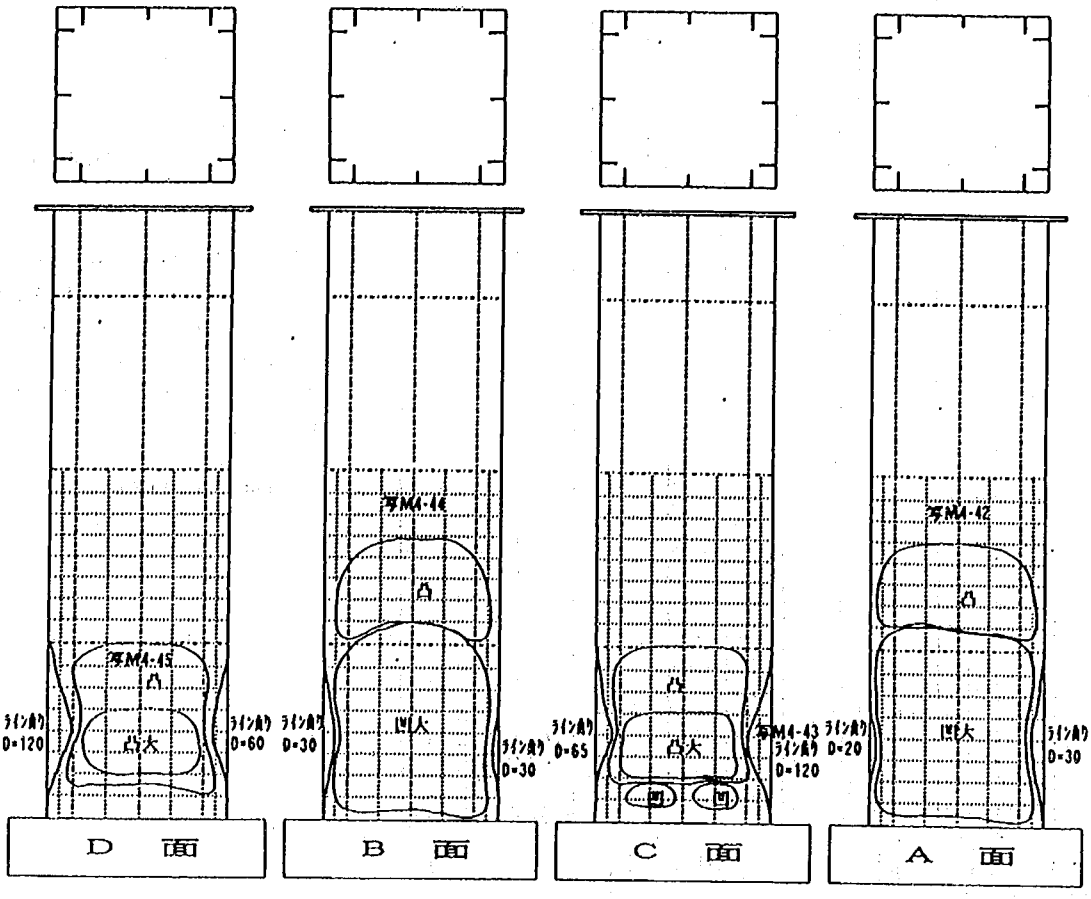
目標変位　60.50mm
水平荷重　164.0ton

圧縮側A面第1パネル中段では大きくパネルが凹み、中央の縦リブは基部から10cm位の間でくの字に曲がり、その両側の縦リブはそれぞれコバ面を外側に弧を描くように曲がっている。
CD面の圧縮側の縦リブも変形している。
全体にパネルの変形が大きい部分では黒皮は既に剥落している。

(b)内面

(i) 最大荷重時

図-3.1.10(4) 供試体の変形（M4）



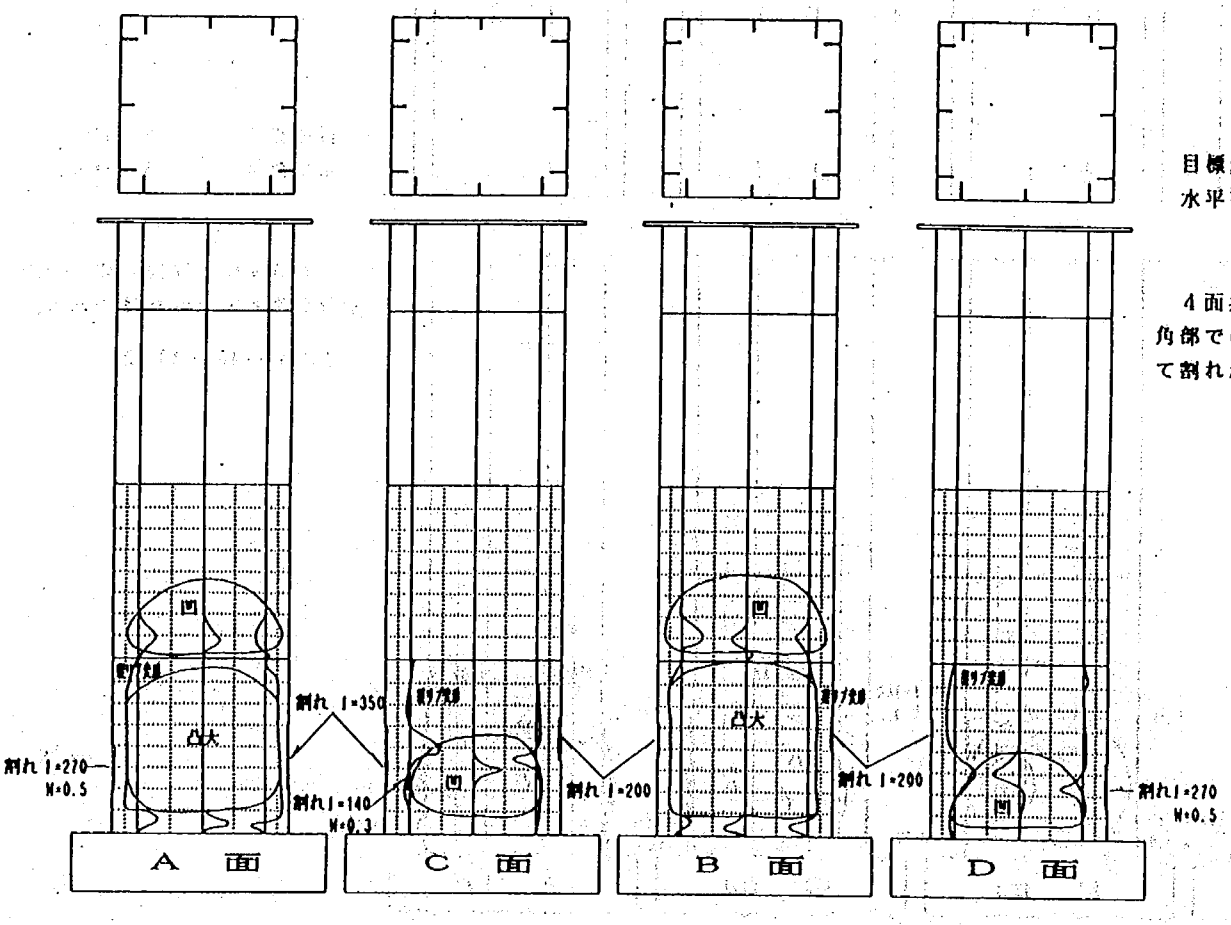
9δy

目標変位　135.50mm
水平荷重　29.1ton

4面共、変形は進み、AB面では第1パネルが大きく凹み、CD面では逆に大きく膨らんでいる。
また、各面の両角部の変形も大きい。
基部の周方向の割れの進展は殆ど無かった。

写真M4-42～45参照

(a)外面



9δy

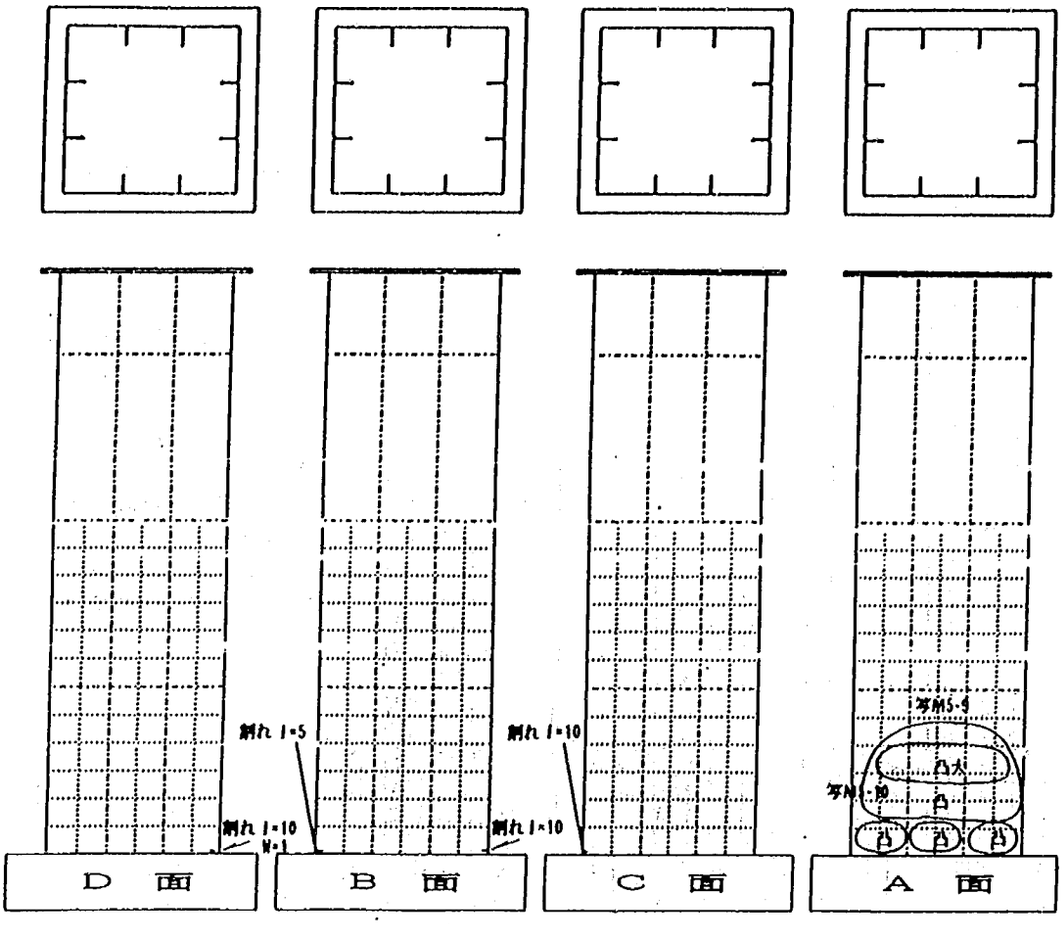
目標変位　135.50mm
水平荷重　29.1ton

4面共、変形は進み、各面の角部では軸方向に溶接線に沿って割れが発生した。

(b)内面

(ii) 実験終了時

図-3.1.10(4)　供試体の変形（M4）（つづき）



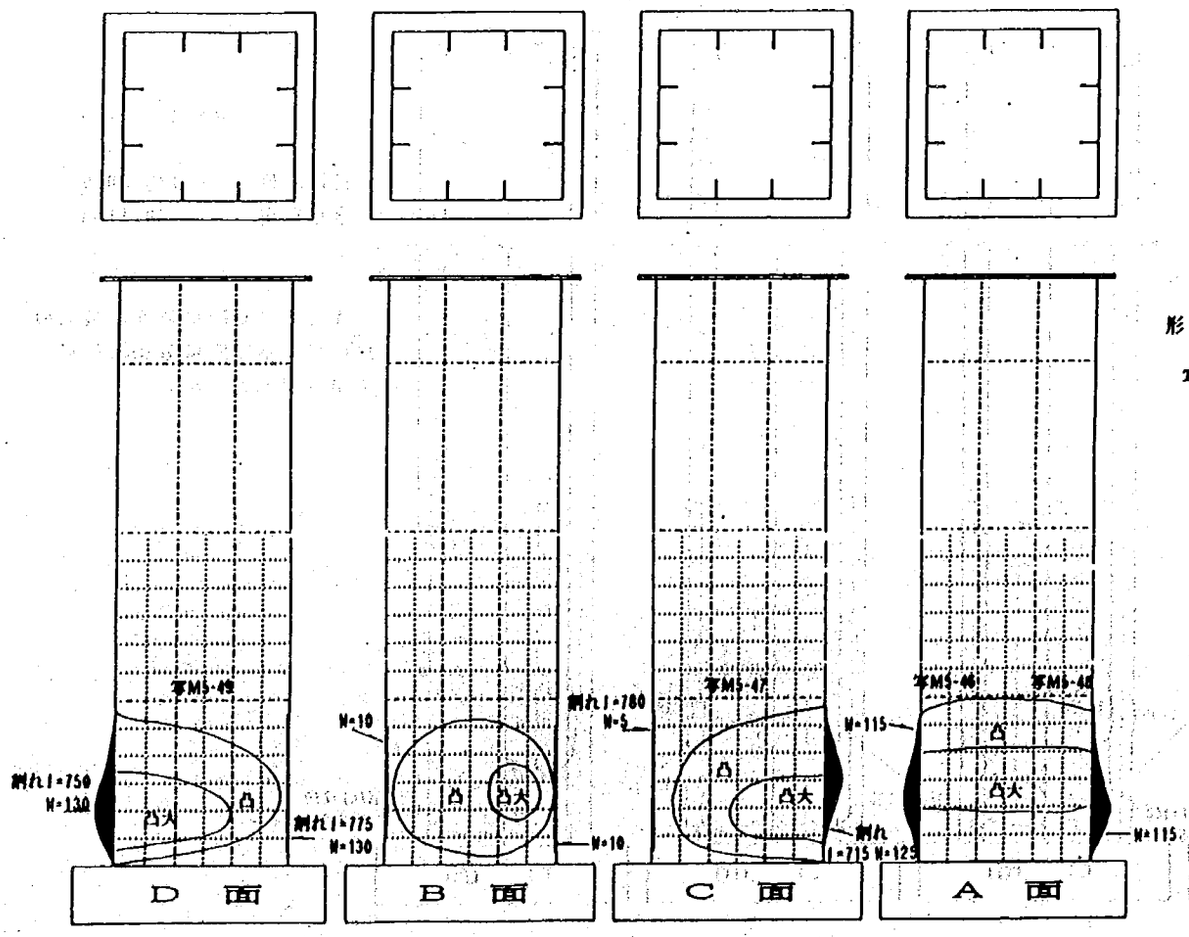
6δy

目標変位　90.00mm
水平荷重　198.8ton

圧縮側A面の膨らみは縦リブを挟んだ膨らみから第1パネル全体の膨らみへと変わってきた。
引張側B面は多少変形が戻ったが、－5δyと同じ状態である。

写真M5-9～10参照

(i) 最大荷重時



11δy

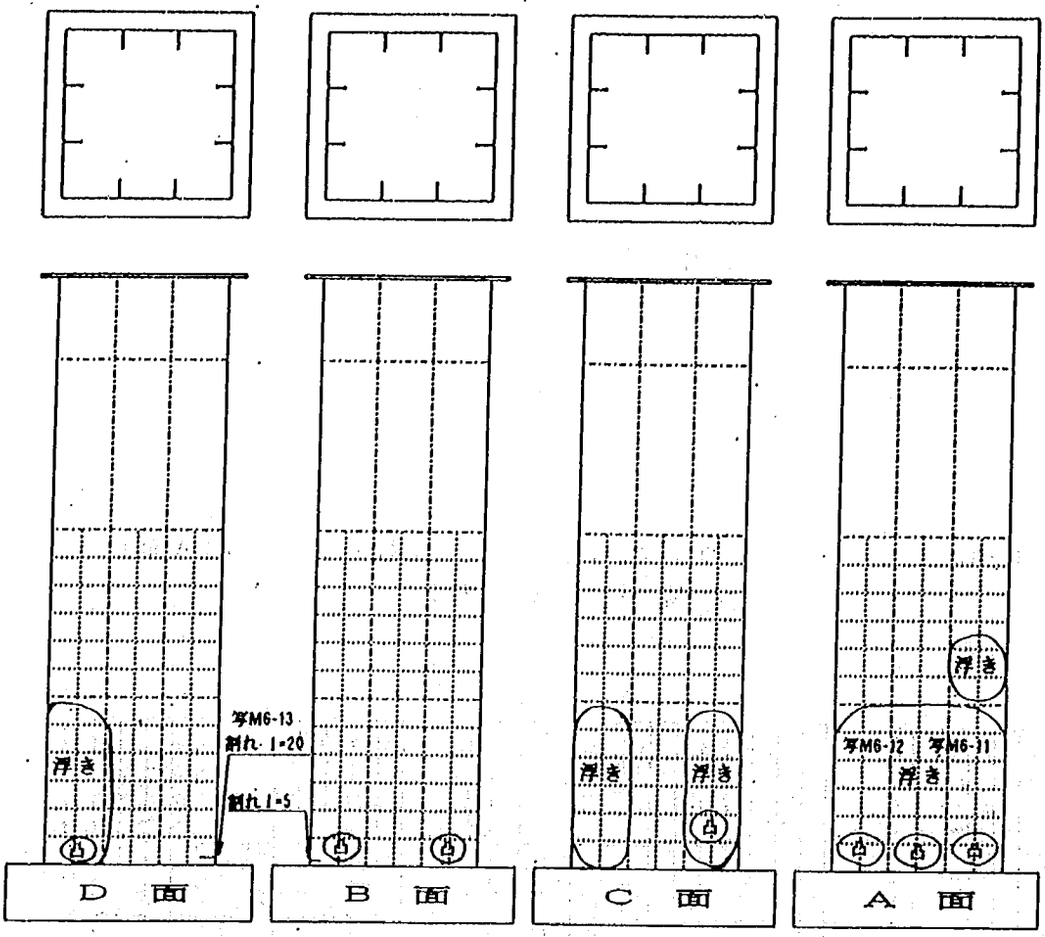
目標変位　165.00mm
水平荷重　54.9ton

10δy時と同様の変形で変形量が増えているだけである。

写真M5-46 ～49参照

(ii) 実験終了時
(a)外面

図-3.1.10(5) 供試体の変形（M5）



6δy

目標変位　90.00mm
水平荷重　193.2ton

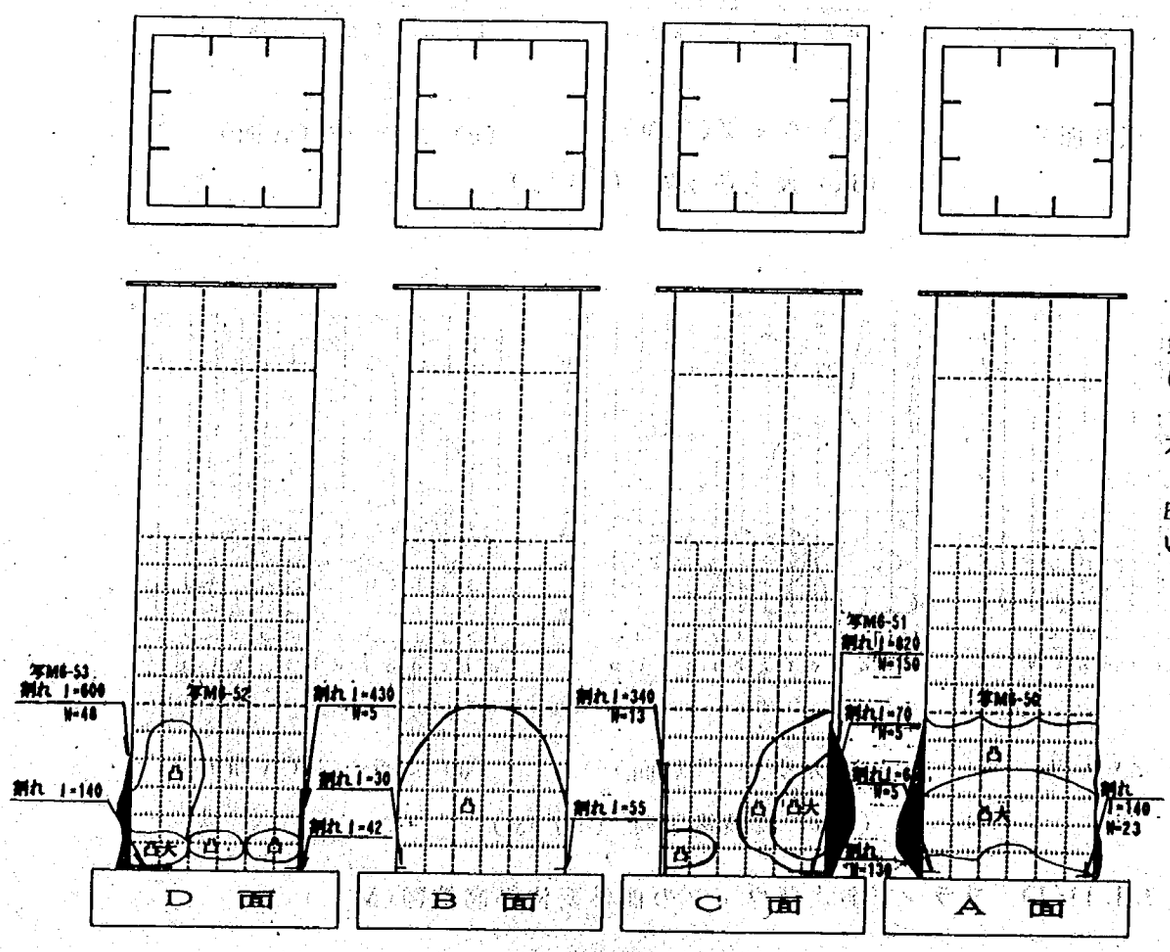
圧縮側A面基部付近の膨らみは10mm程になり、第1パネル内は全体にコンクリートとの付着が切れて、打音による確認ではポコポコと空虚な音がする。

CD面でも第1パネルの両端でパネルの浮きが確認できる。

引張側B－D面角部の割れは一本に繋がっていて25mm程に伸びている。

写真M6-11 ～13参照

(i) 最大荷重時



11δy

目標変位　165.00mm
水平荷重　100.0ton

圧縮側A－C面角部の割れは第1パネル全体に広がり、長さは約82cmにもなった。

A－D面角部のパネルの捲れ方も大きくなっている。

CD面では角部の割れに伴い、圧縮側のパネルの膨らみが著しい。

写真M6-50 ～53参照

(ii) 実験終了時

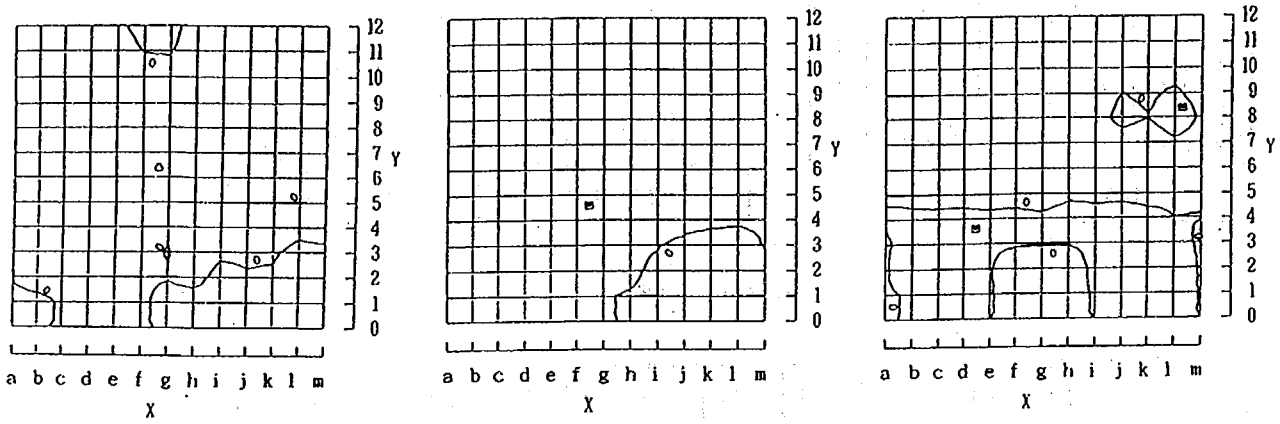
(a)外面

図-3.1.10(6)　供試体の変形（M6）

計測せず

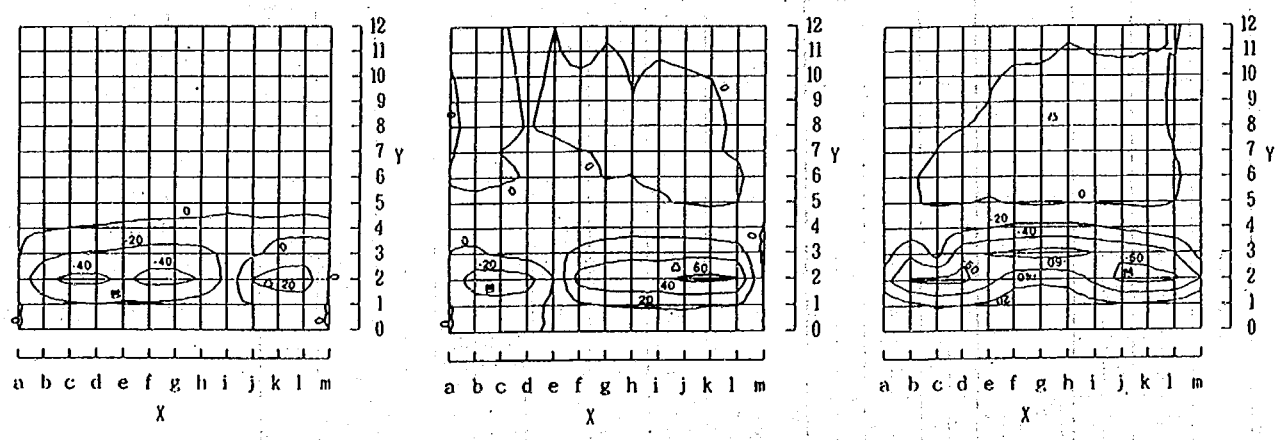
(b) フランジ(B面)　　(c) ウェブ(C面)　　(a) フランジ(A面)

(i) 降 伏 時 (+2δy)



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

(ii) 最大荷重時 (+3δy)



(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 (+7δy)

図-3.1.11(1) フランジおよびウェブの面外変位等高線図(M1)

計測せず

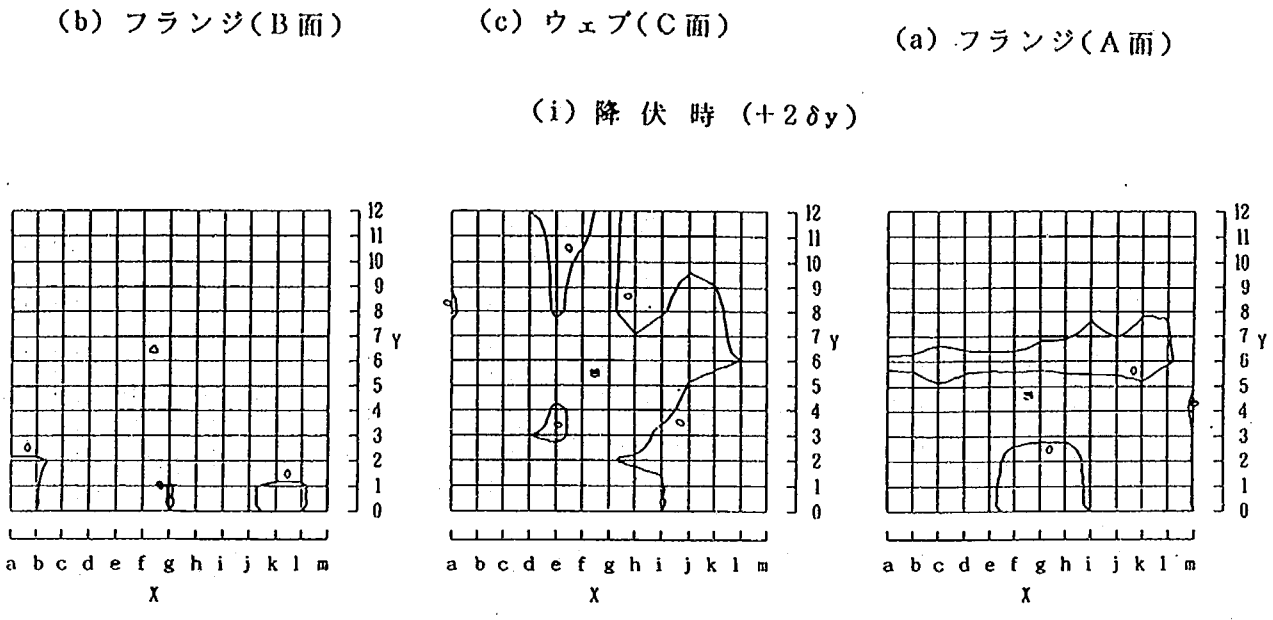
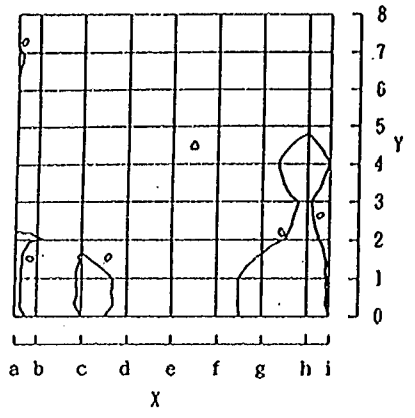
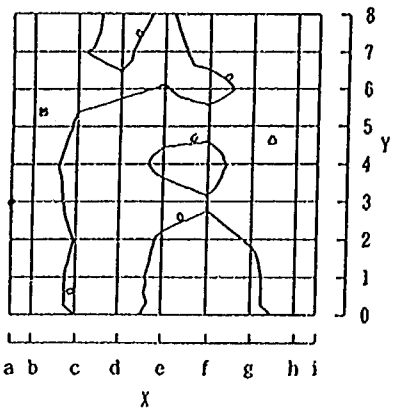


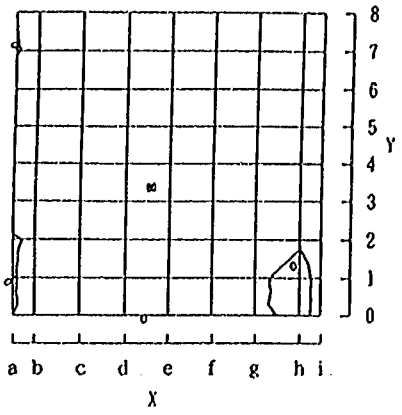
図-3.1.11(2) フランジおよびウェブの面外変位等高線図(M2)



(b) フランジ(B面)

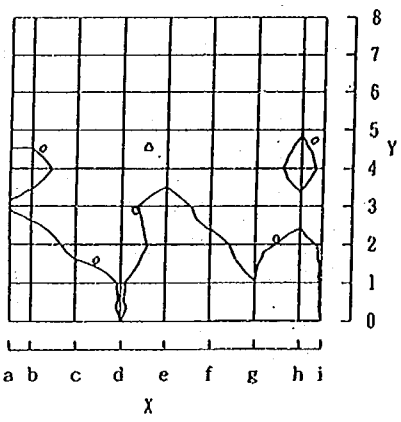


(c) ウェブ(C面)

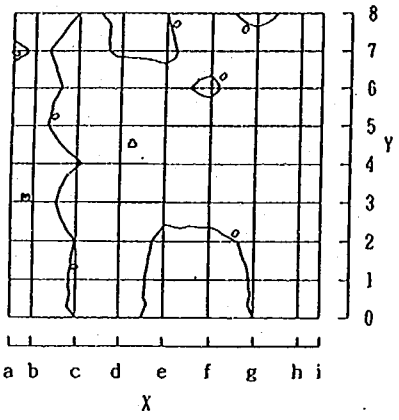


(a) フランジ(A面)

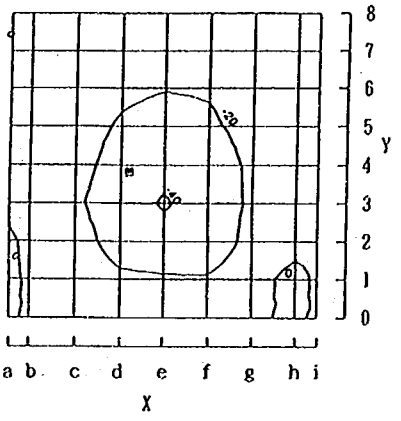
(i) 降 伏 時 (+3δy)



(b) フランジ(B面)

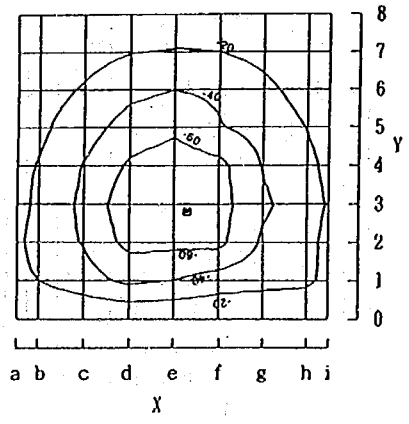


(c) ウェブ(C面)

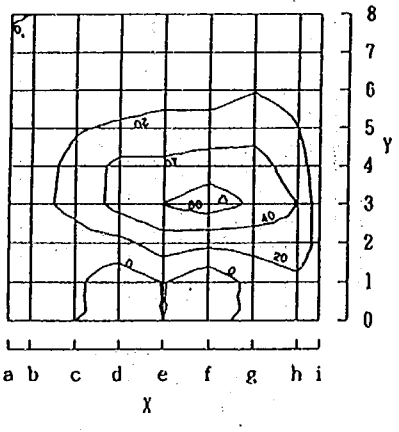


(a) フランジ(A面)

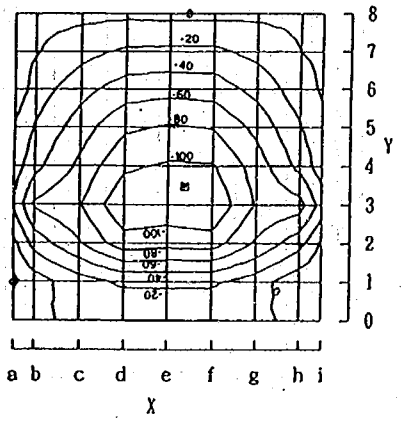
(ii) 最大荷重時 (+6δy)



(b) フランジ(B面)



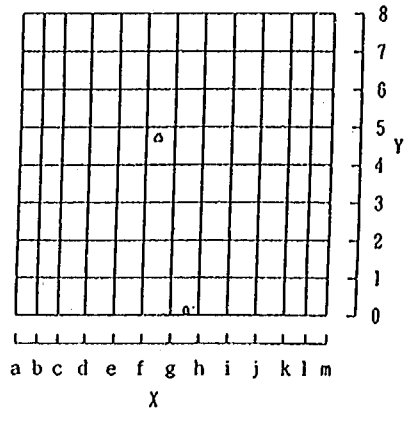
(c) ウェブ(C面)



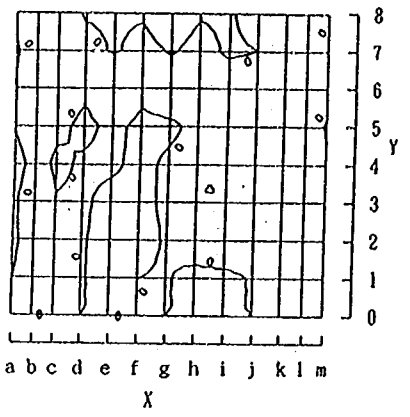
(a) フランジ(A面)

(iii) 実験終了時 (+11δy)

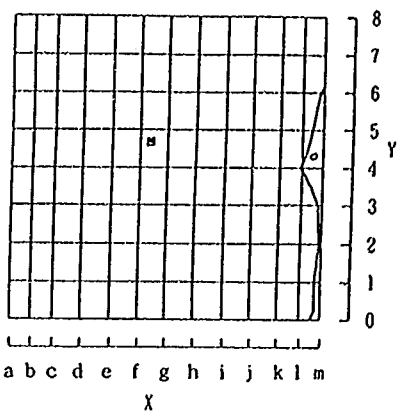
図-3.1.11(3) フランジおよびウェブの面外変位等高線図(M3)



(b) フランジ(B面)

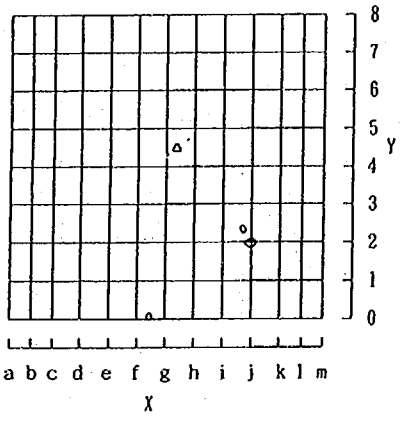


(c) ウェブ(C面)

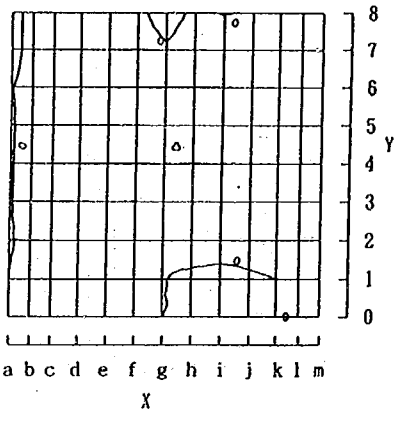


(a) フランジ(A面)

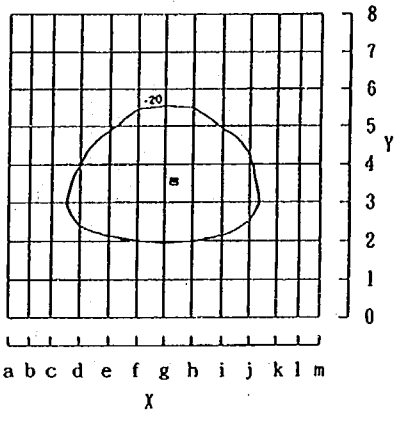
(i) 降 伏 時 (+3δy)



(b) フランジ(B面)

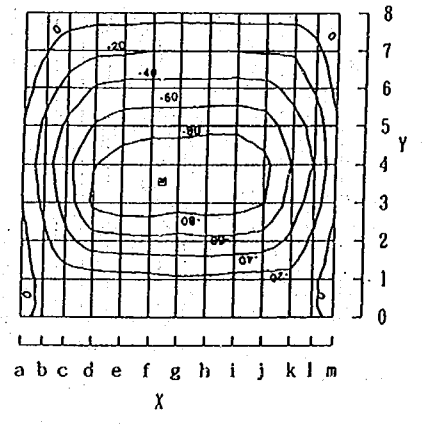


(c) ウェブ(C面)

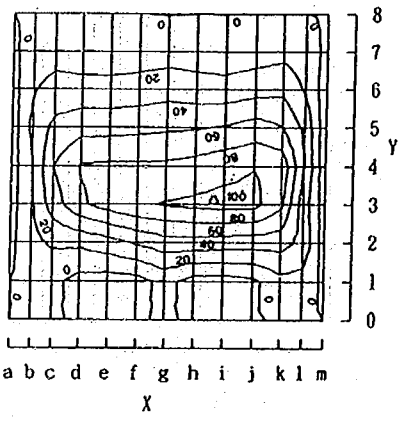


(a) フランジ(A面)

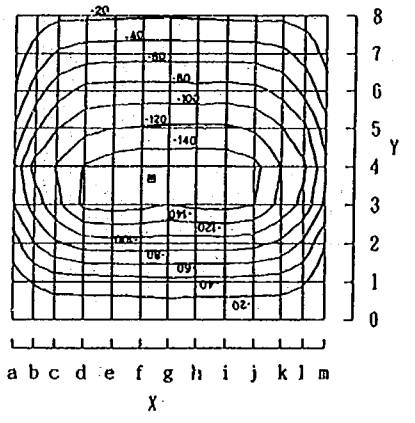
(ii) 最大荷重時 (+4δy)



(b) フランジ(B面)



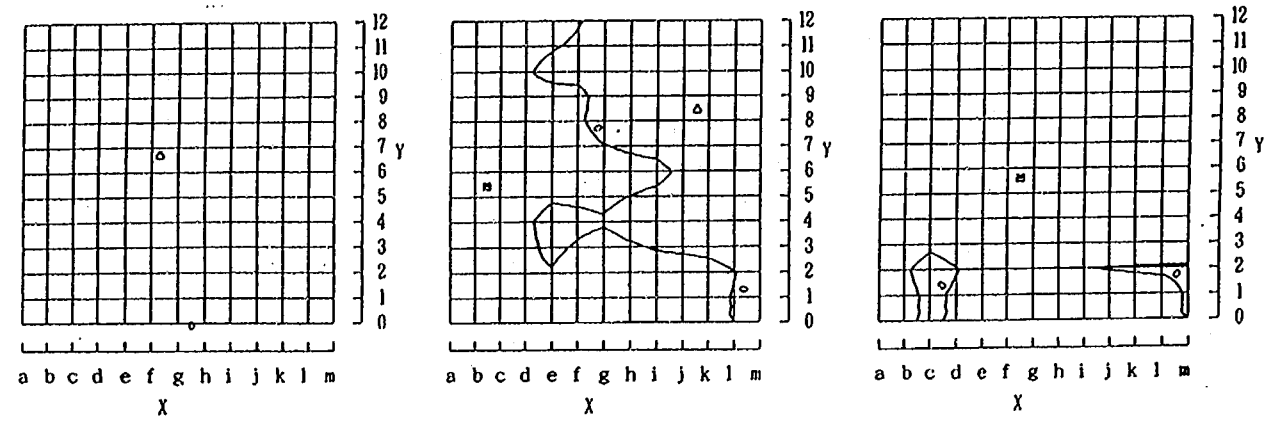
(c) ウェブ(C面)



(a) フランジ(A面)

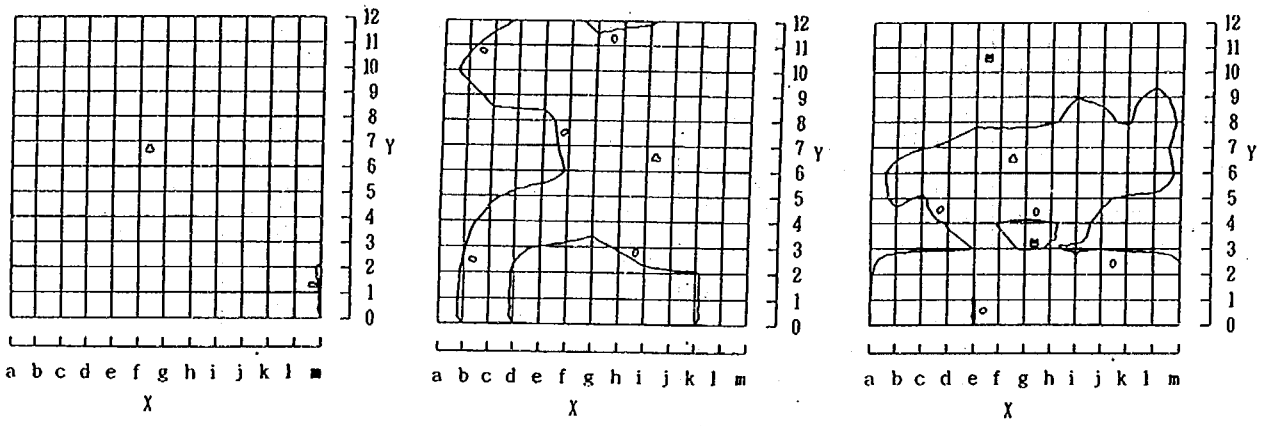
(iii) 実験終了時 (+9δy)

図-3.1.11(4) フランジおよびウェブの面外変位等高線図(M4)



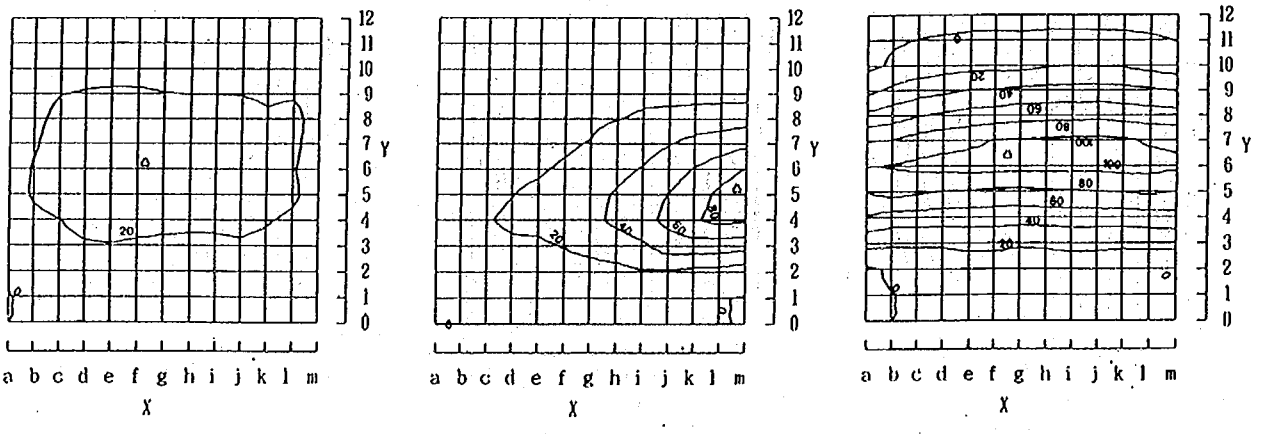
(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

(i) 降伏時 (+3δy)



(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

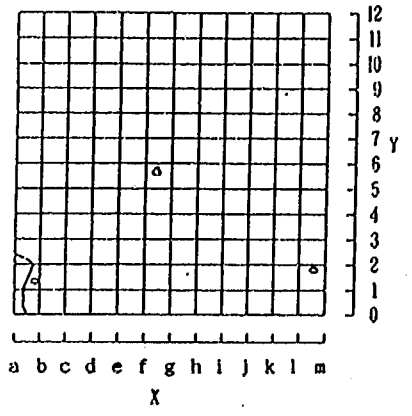
(ii) 最大荷重時 (+6δy)



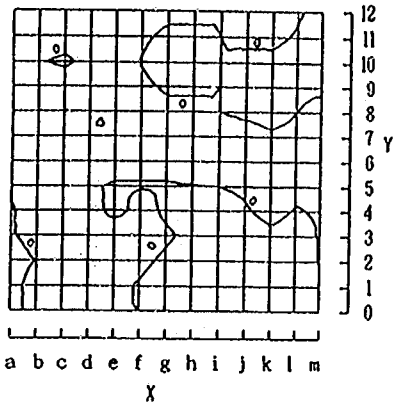
(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

(iii) 実験終了時 (+11δy)

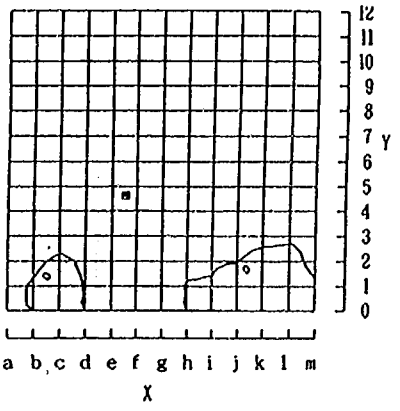
図-3.1.11(5) フランジおよびウェブの面外変位等高線図(M5)



(b) フランジ(B面)

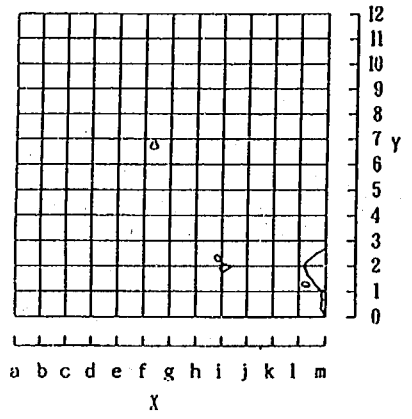


(c) ウェブ(C面)

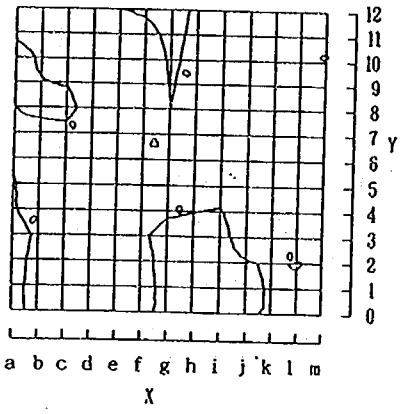


(a) フランジ(A面)

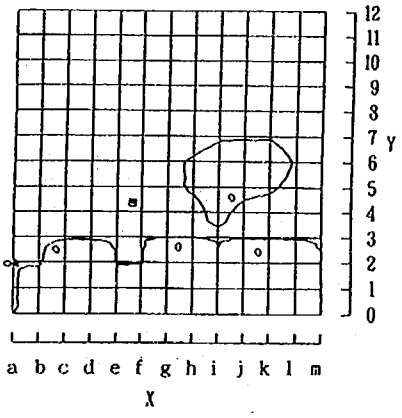
(i) 降 伏 時 (+3 δy)



(b) フランジ(B面)

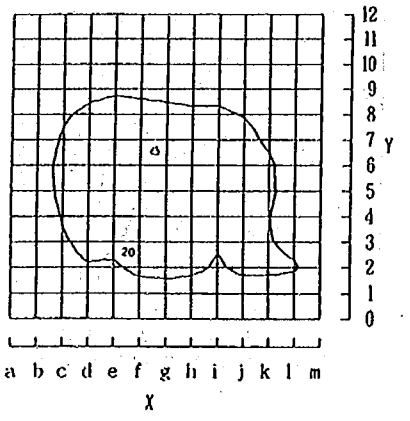


(c) ウェブ(C面)

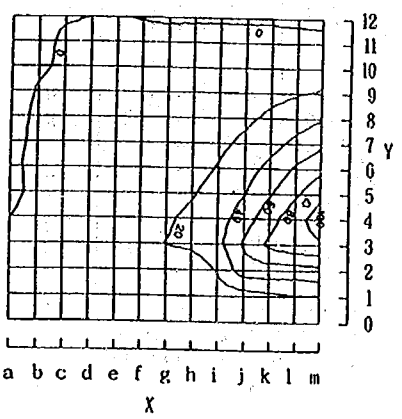


(a) フランジ(A面)

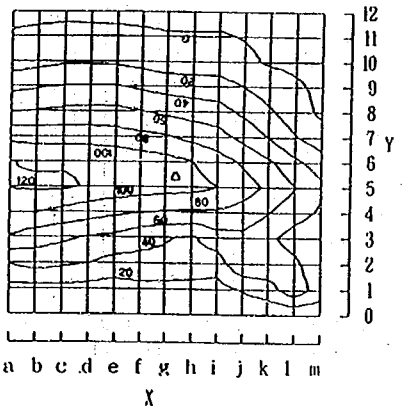
(ii) 最大荷重時 (+6 δy)



(b) フランジ(B面)



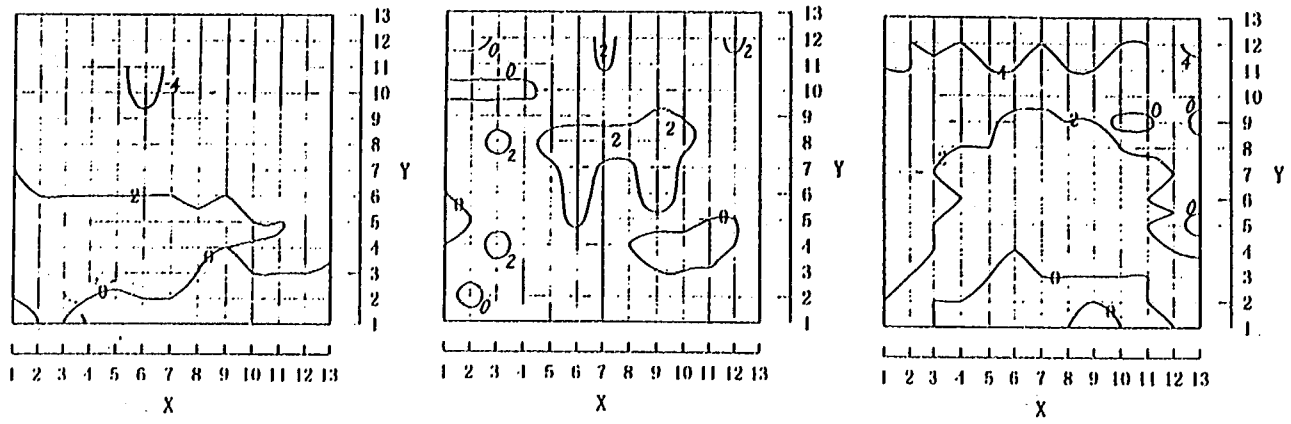
(c) ウェブ(C面)



(a) フランジ(A面)

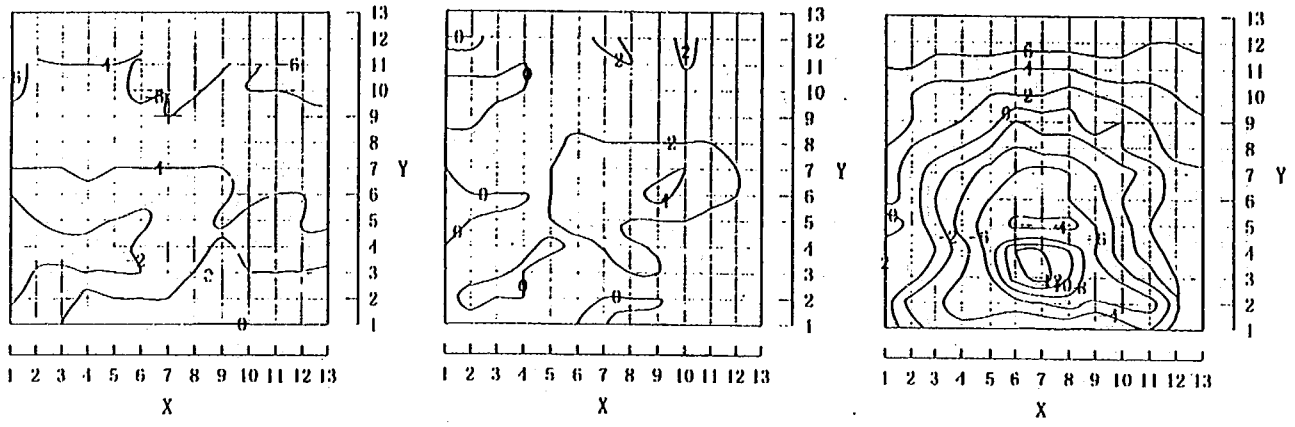
(iii) 実験終了時 (+11 δy)

図-3.1.11(6) フランジおよびウェブの面外変位等高線図(M6)



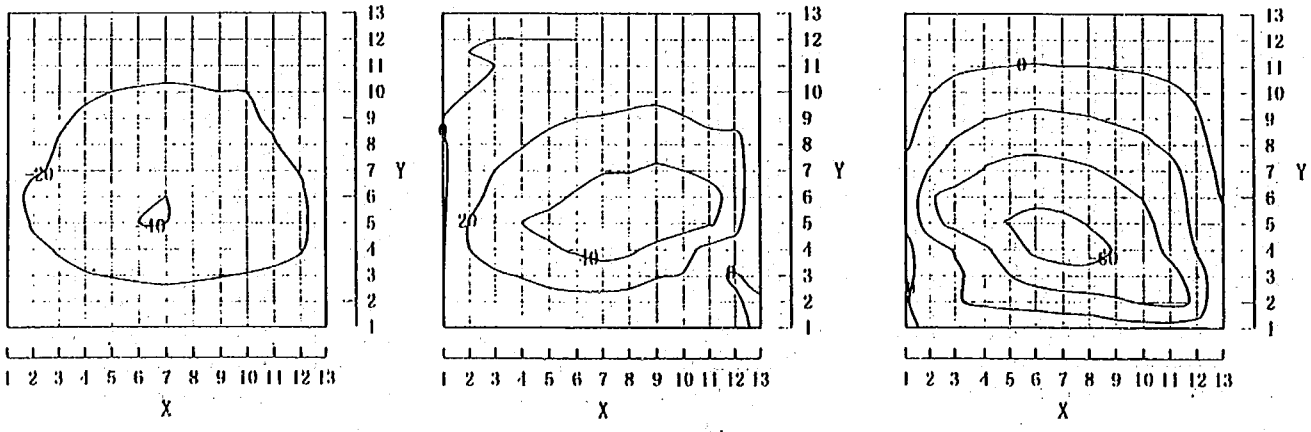
(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

(i) 降伏時 (+2δy)



(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

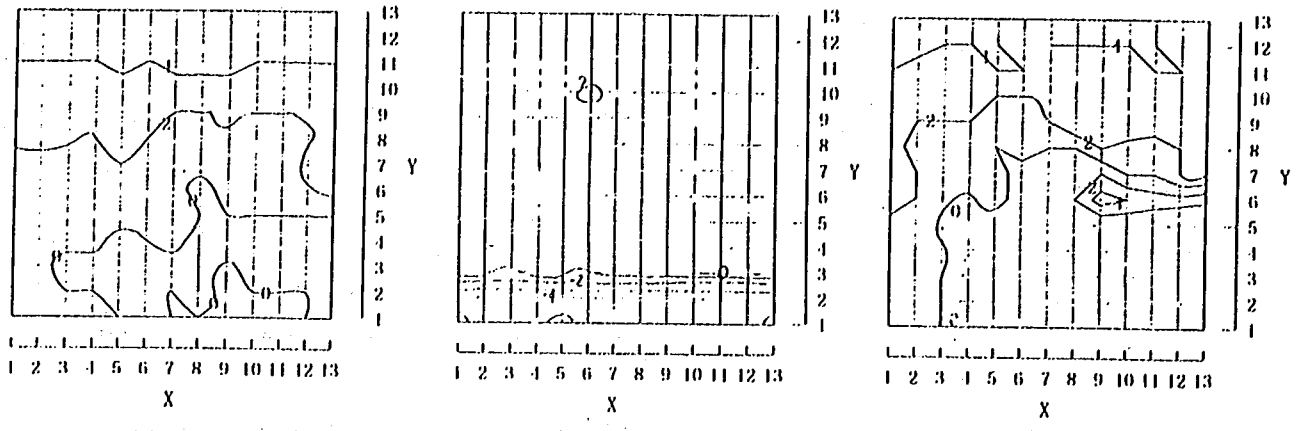
(ii) 最大荷重時 (+3δy)



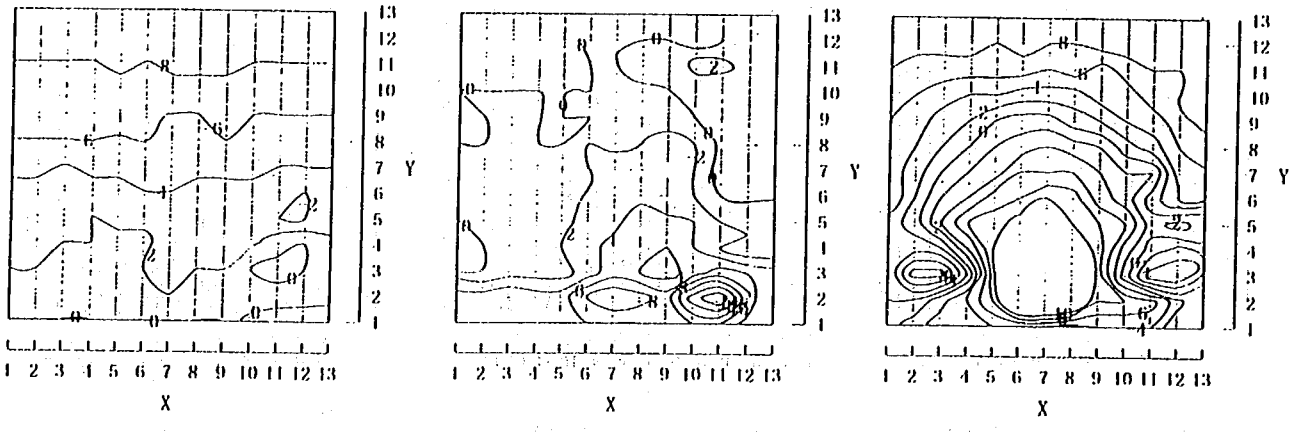
(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

(iii) 実験終了時 (+5δy)

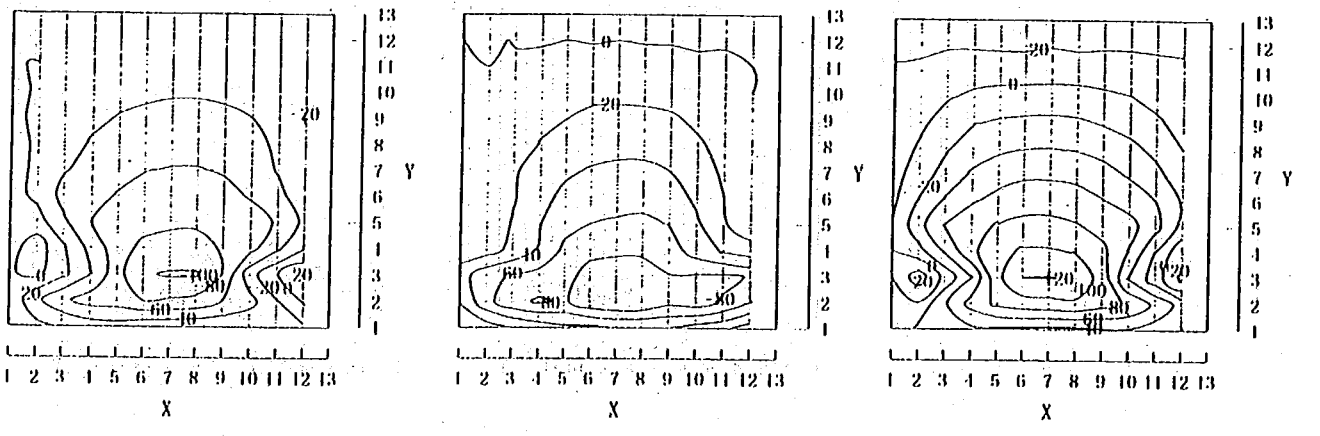
図-3.1.11(7) フランジおよびウェブの面外変形等高線 (M8)



(i) 降 伏 時 (+2δy)

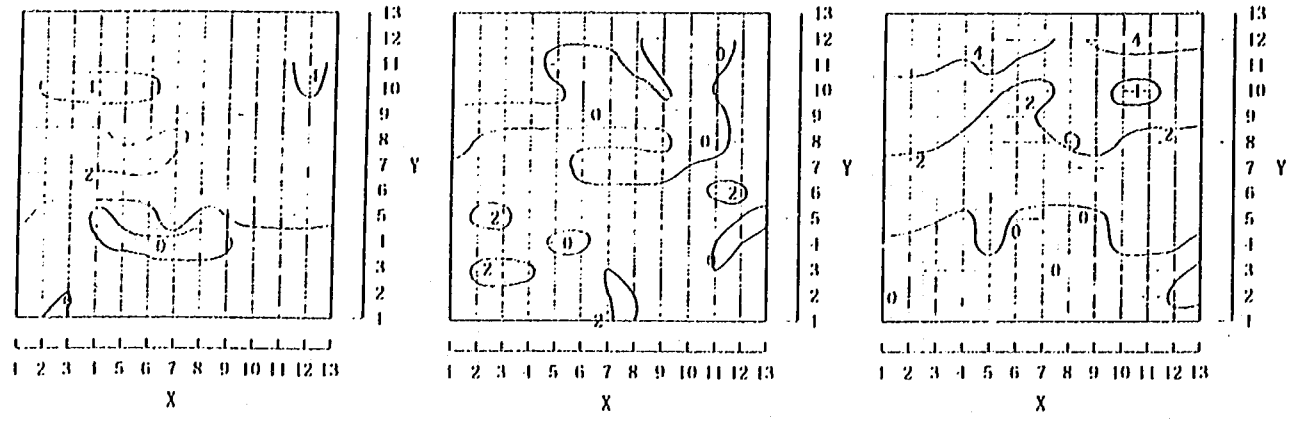


(ii) 最大荷重時 (+4δy)



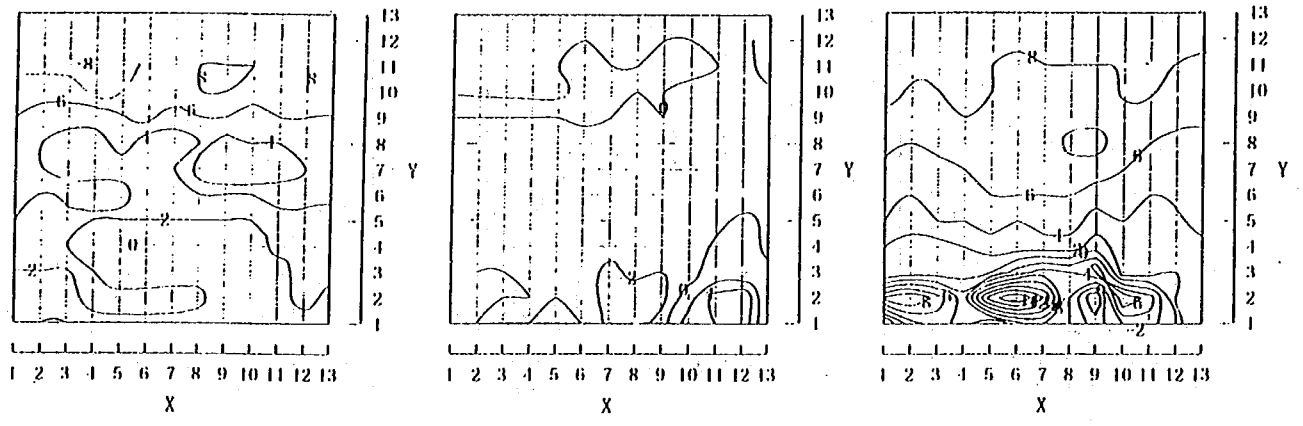
(iii) 実験終了時 (+9δy)

図-3.1.11(8) フランジおよびウェブの面外変形等高線 (M10)



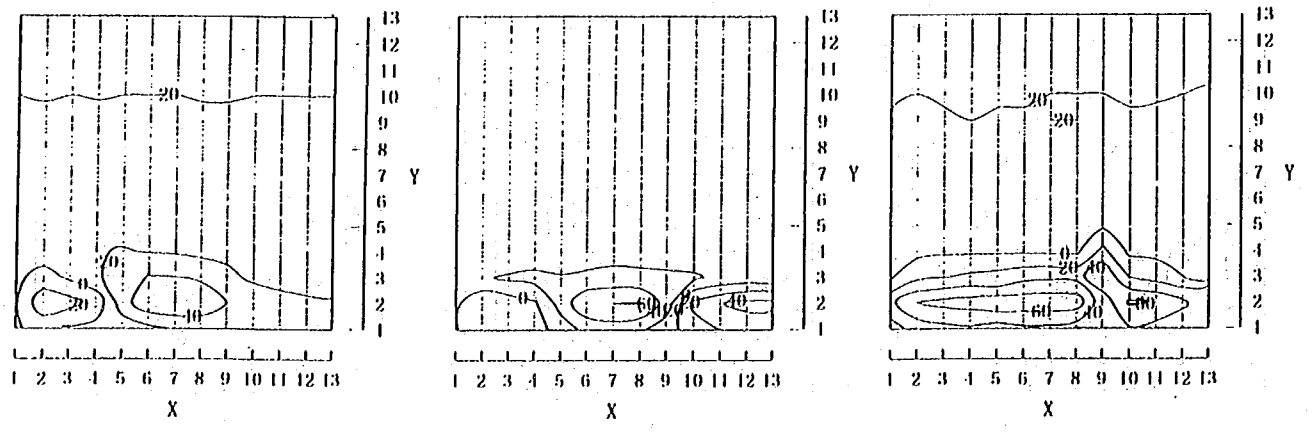
(b) フランジ(B面)　　(c) ウェブ(C面)　　(a) フランジ(A面)

(i) 降 伏 時 (+2 δy)



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

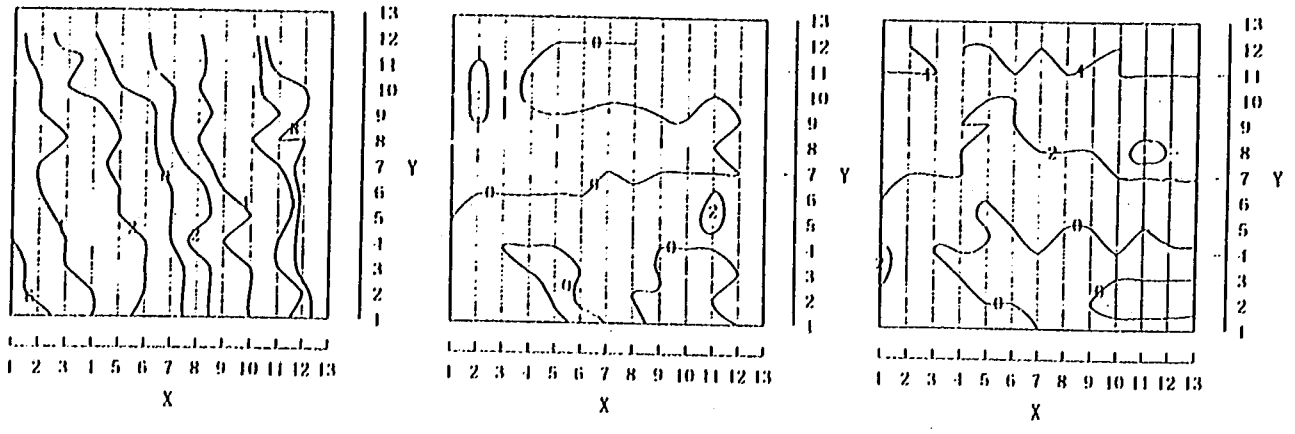
(ii) 最大荷重時 (+4 δy)



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

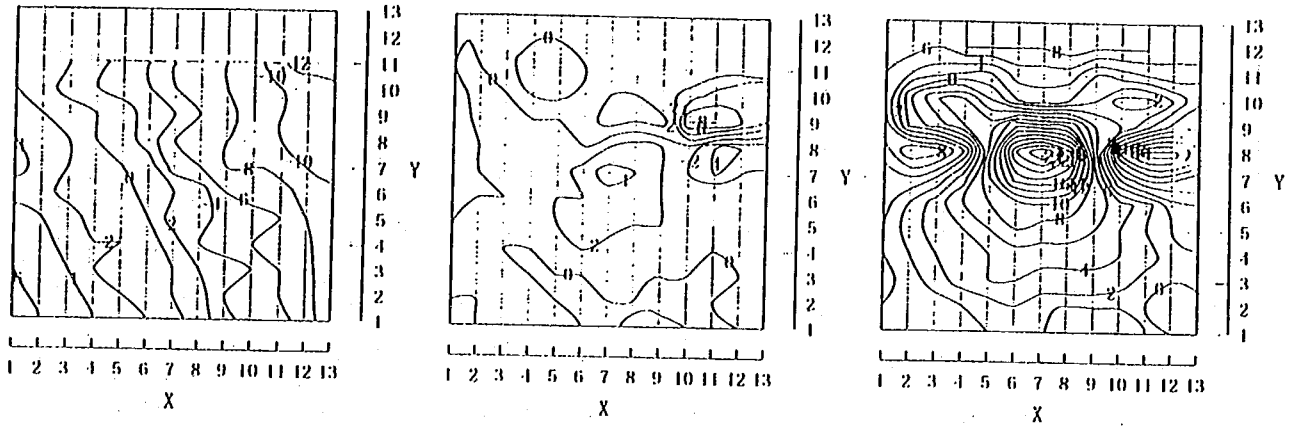
(iii) 実験終了時 (+10δy)

図-3.1.11(9)　フランジおよびウェブの面外変形等高線（M１１）



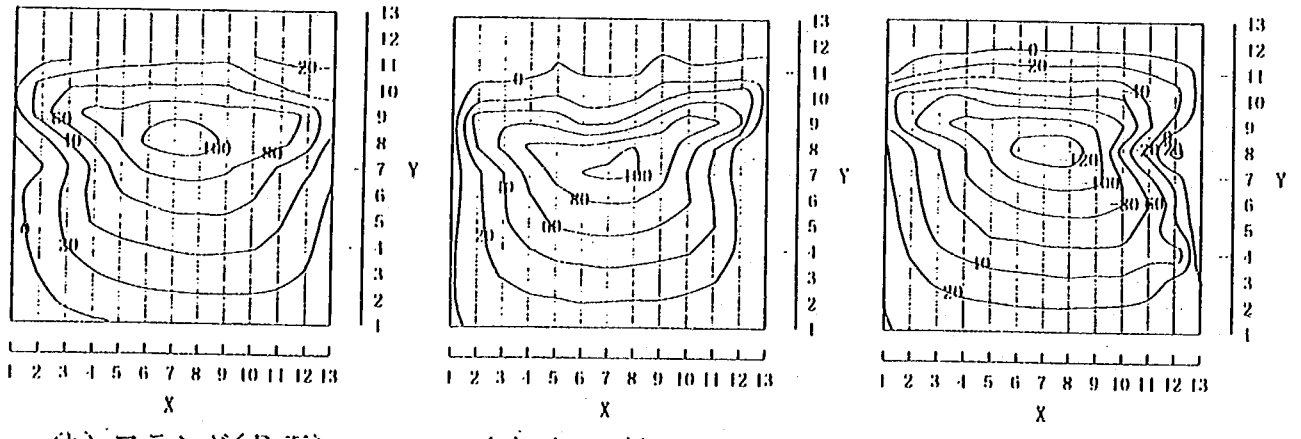
(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

(i) 降 伏 時 (+2δy)



(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

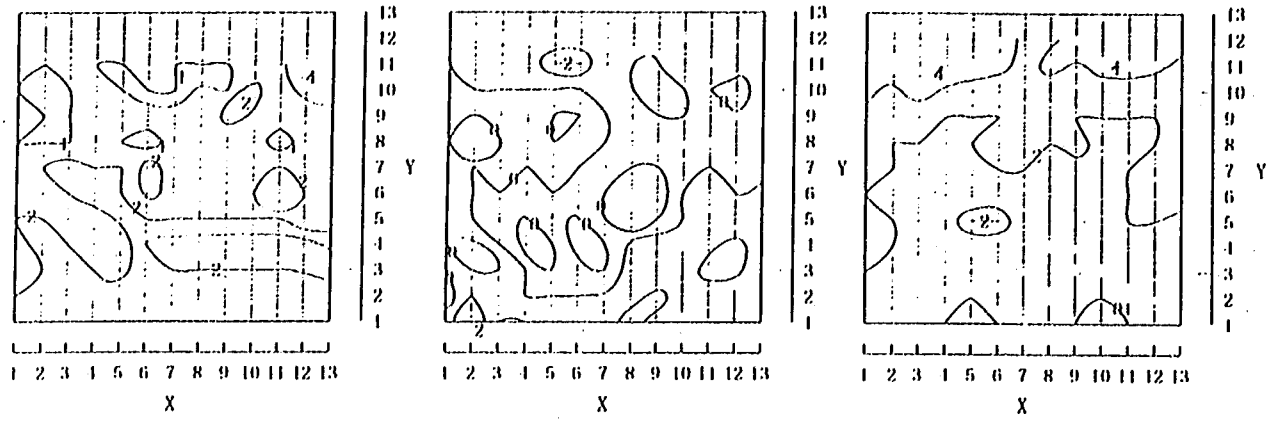
(ii) 最大荷重時 (+4δy)



(b) フランジ(B面)　(c) ウェブ(C面)　(a) フランジ(A面)

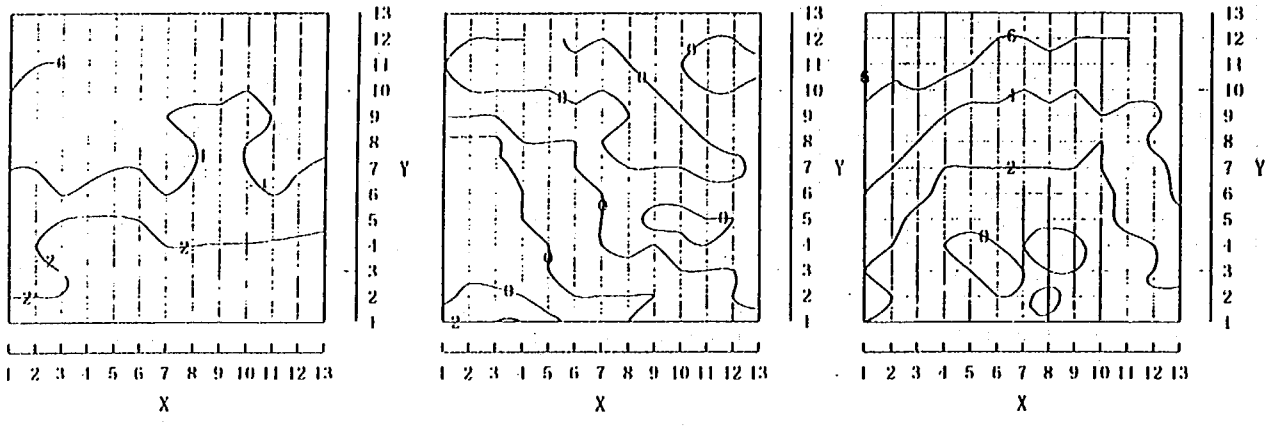
(iii) 実験終了時 (+8δy)

図-3.1.11(10) フランジおよびウェブの面外変形等高線（M１４）



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

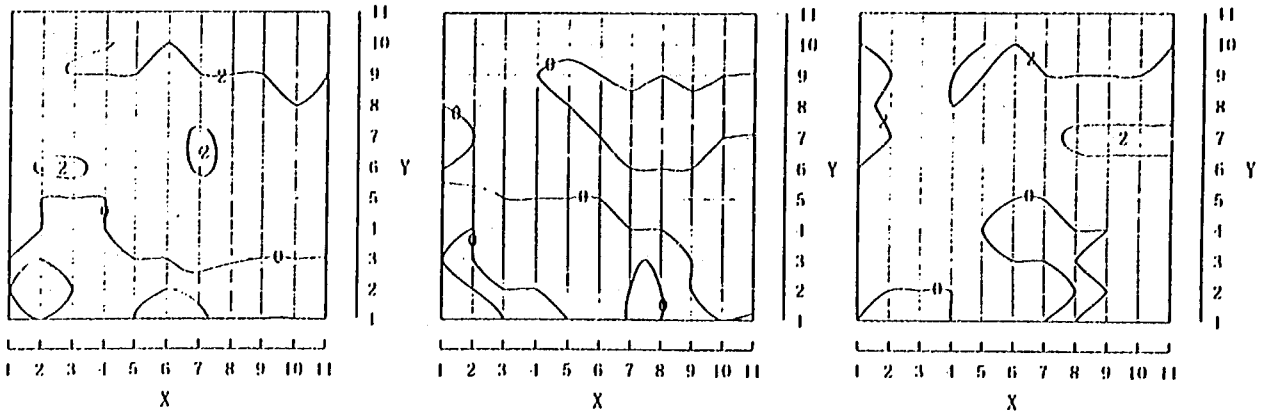
(i) 降 伏 時 (+2δy)



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

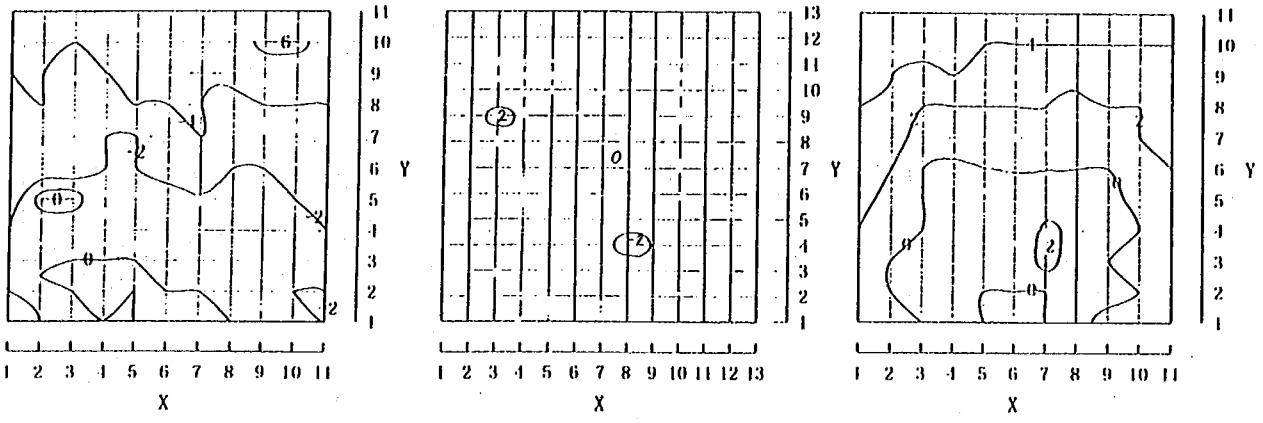
(ii) 最大荷重時(実験終了時) (+3δy)

図-3.1.11(11)　フランジおよびウェブの面外変形等高線(M16)



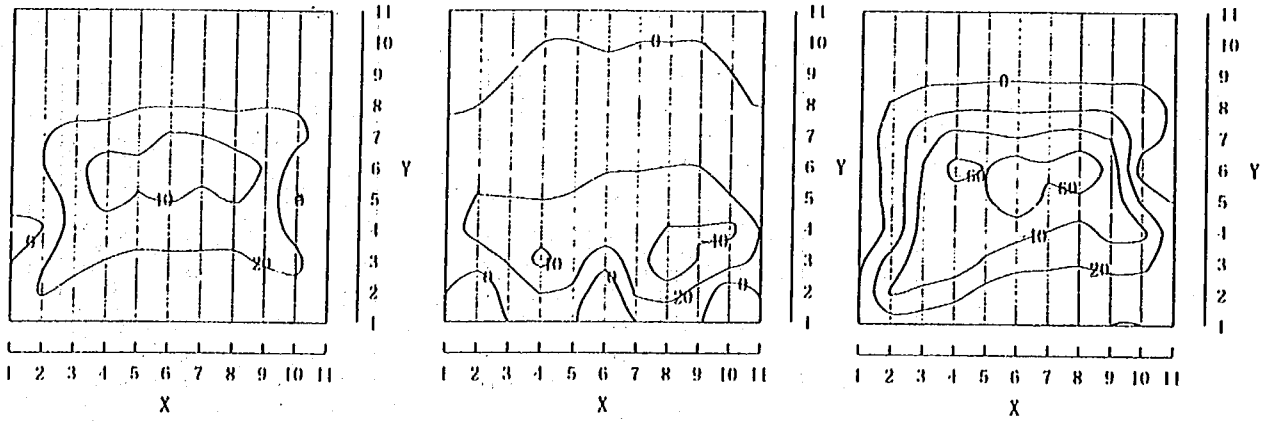
(b) フランジ(B面)　　(c) ウェブ(C面)　　(a) フランジ(A面)

(i) 降 伏 時 (+2δy)



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

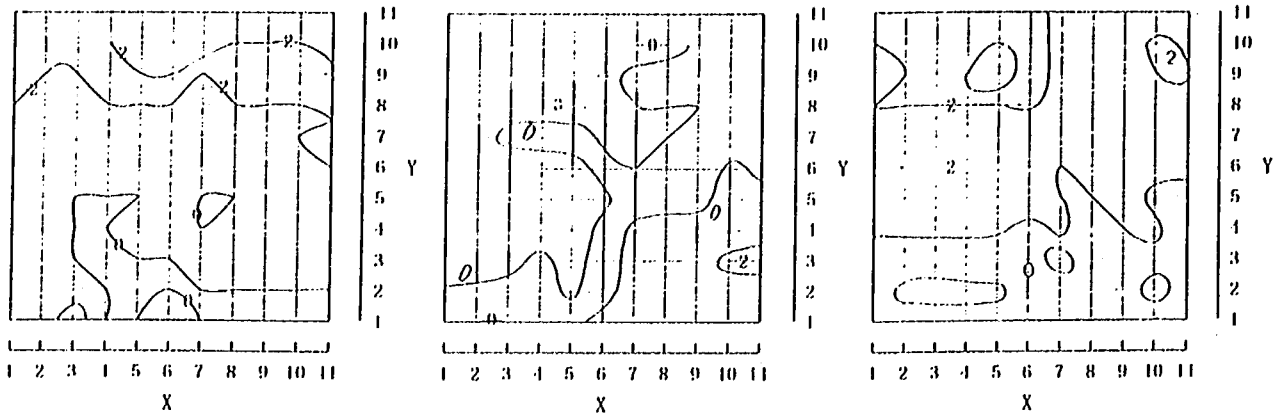
(ii) 最大荷重時 (+6δy)



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

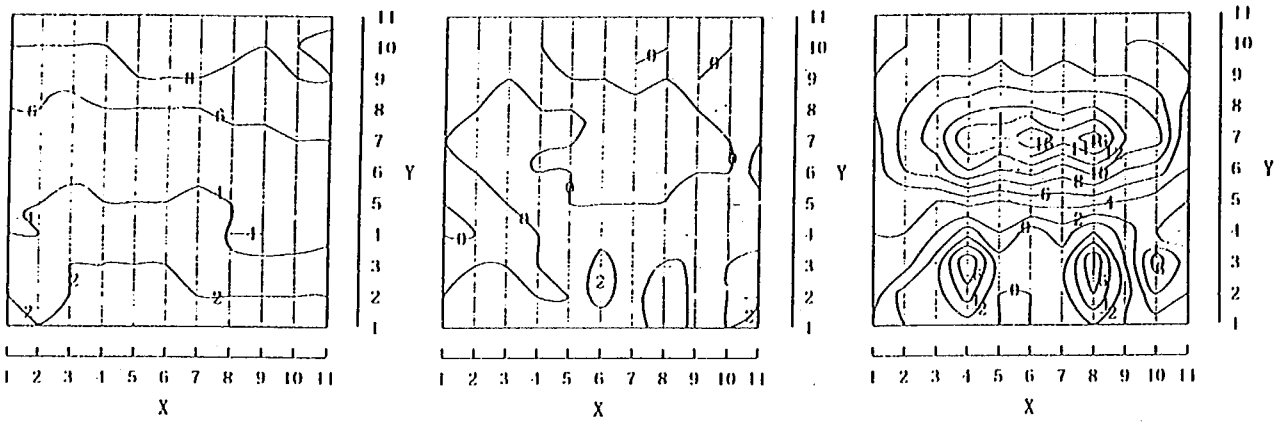
(iii) 実験終了時 (+11δy)

図-3.1.11(12)　フランジおよびウェブの面外変形等高線（M17）



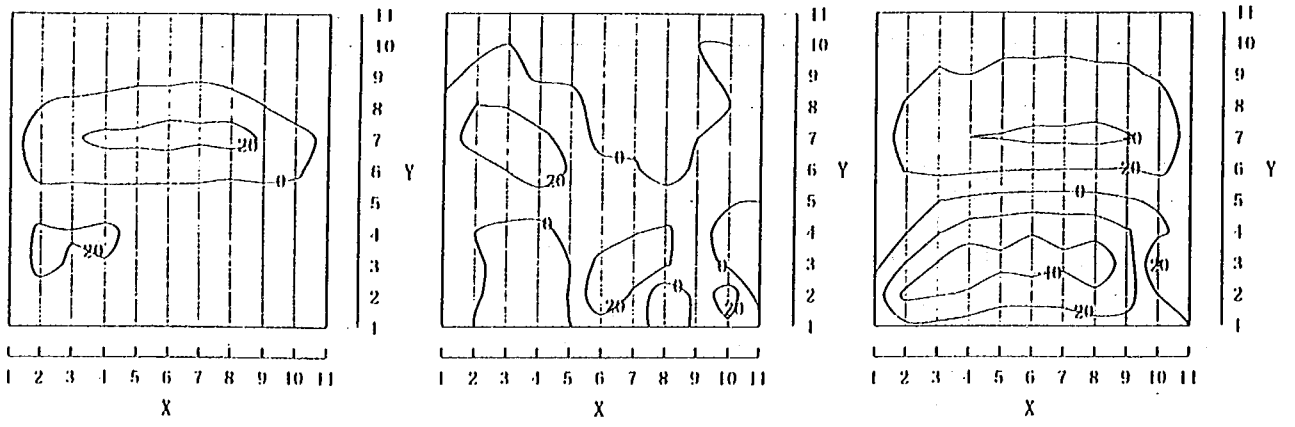
(b) フランジ(B面)　　(c) ウェブ(C面)　　(a) フランジ(A面)

(i) 降伏時 (+2δy)



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

(ii) 最大荷重時 (+6δy)



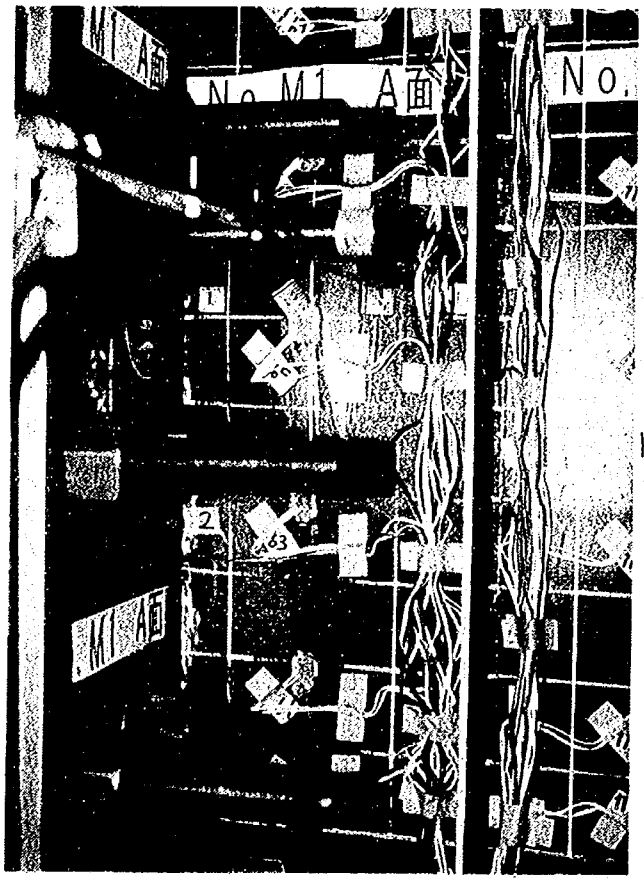
(b) フランジ(B面)　　(c) ウェブ(C面)　　(a) フランジ(A面)

(iii) 実験終了時 (+10δy)

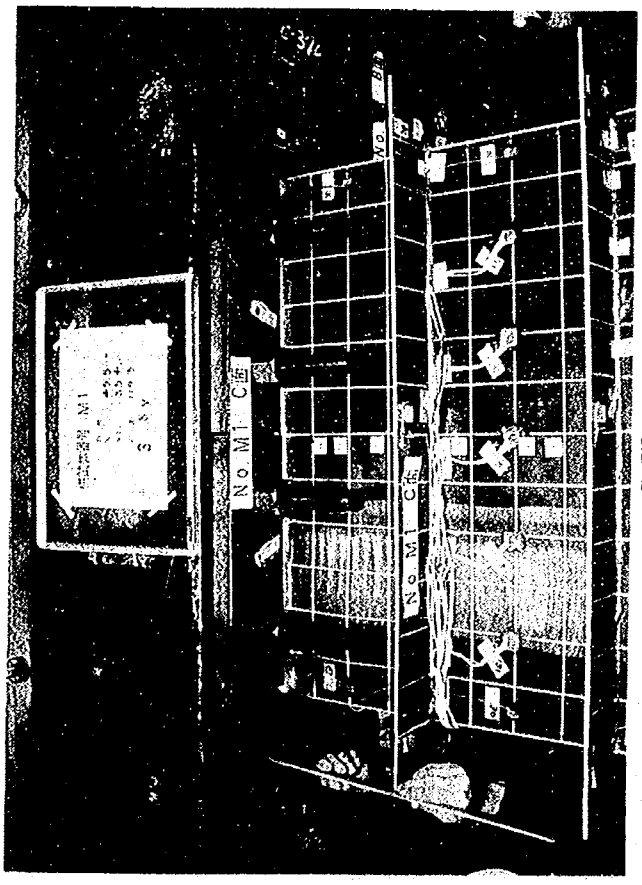
図-3.1.11(13)　フランジおよびウェブの面外変形等高線（M１８）



A面



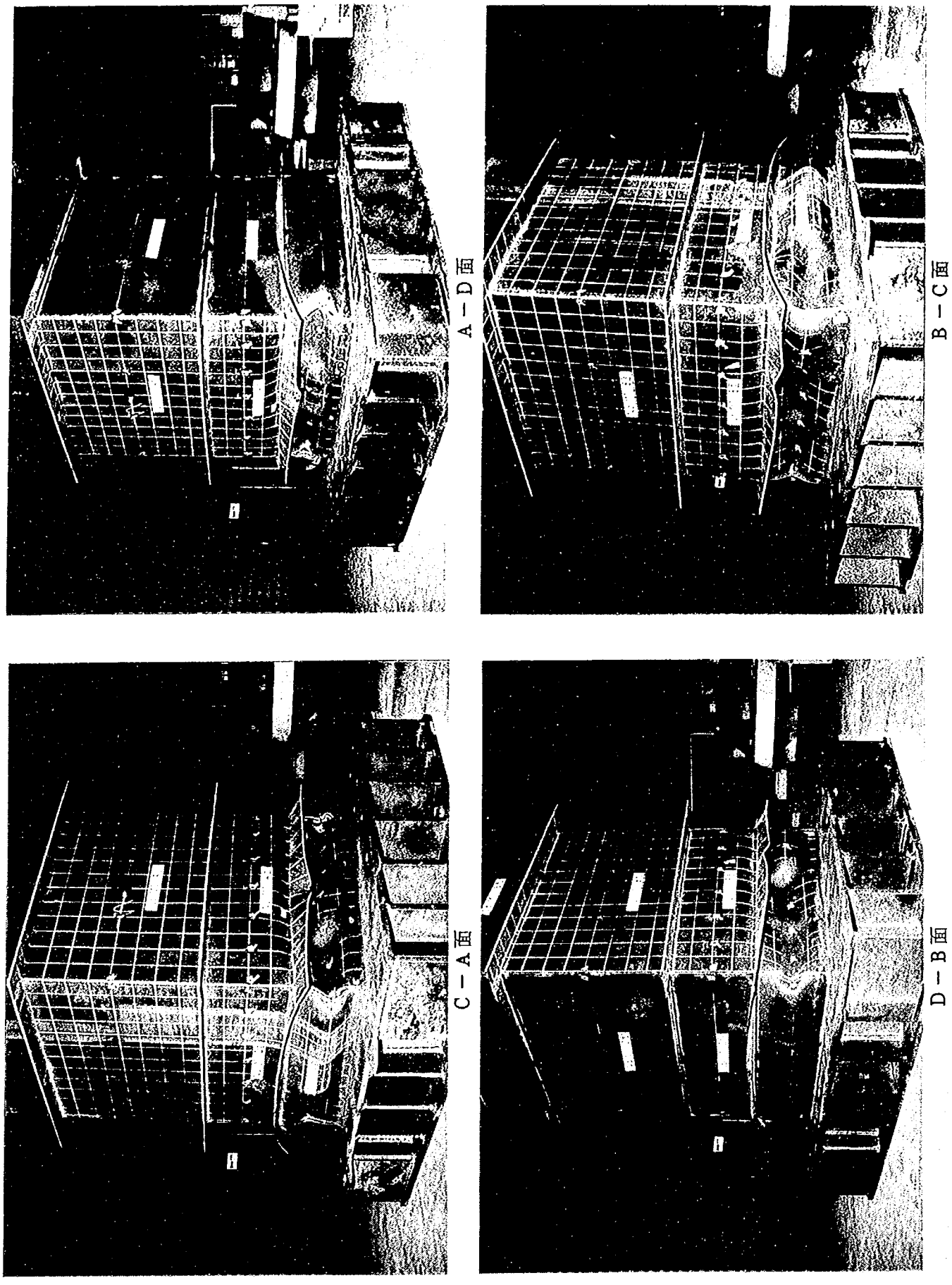
A面



C面

(i) 最大荷重時（外面）(+3δy)

写真-3.1.1(1)　変位の状況(M1)



(ii) 実験終了時（外面）

写真-3.1.1(2)　変位の状況(M1)

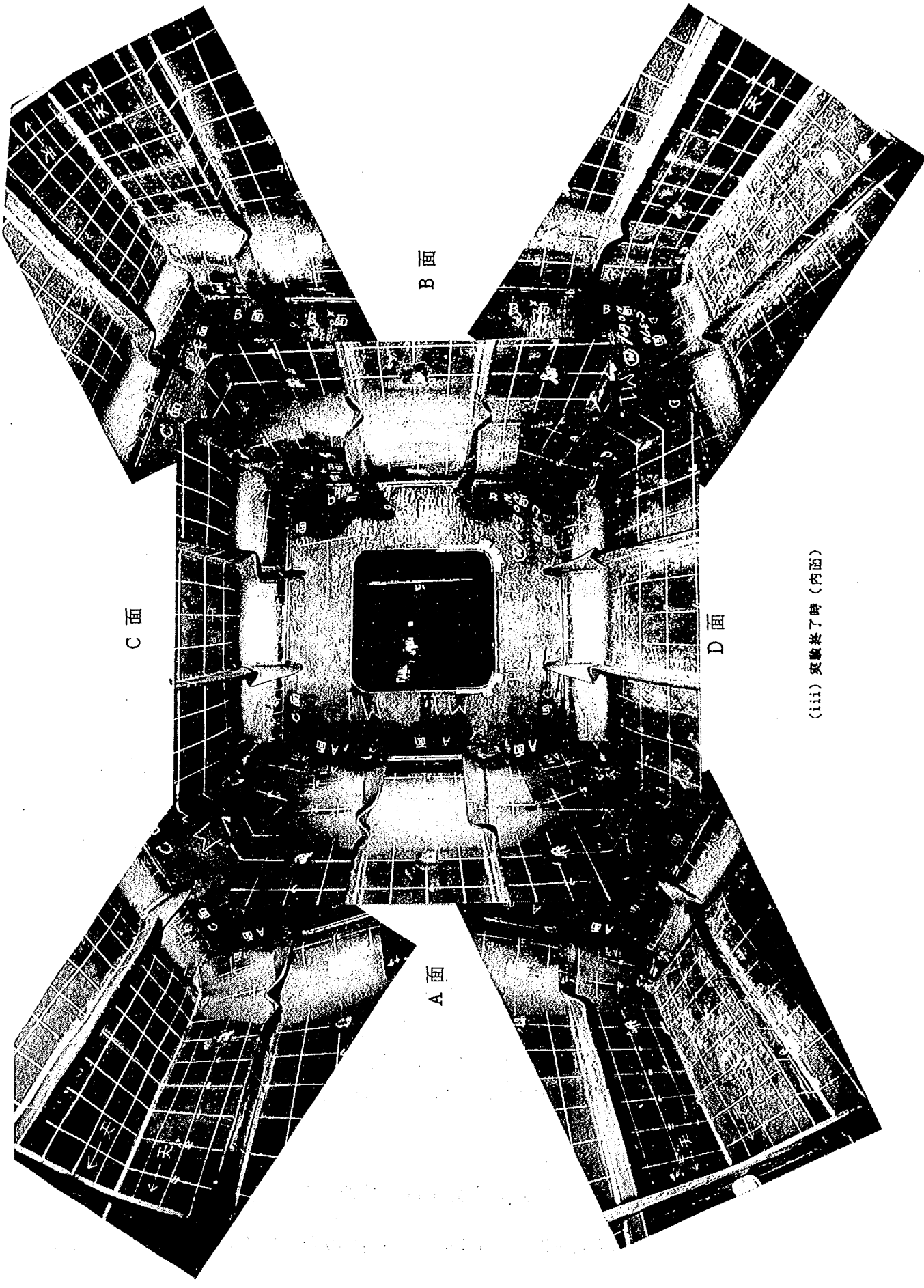
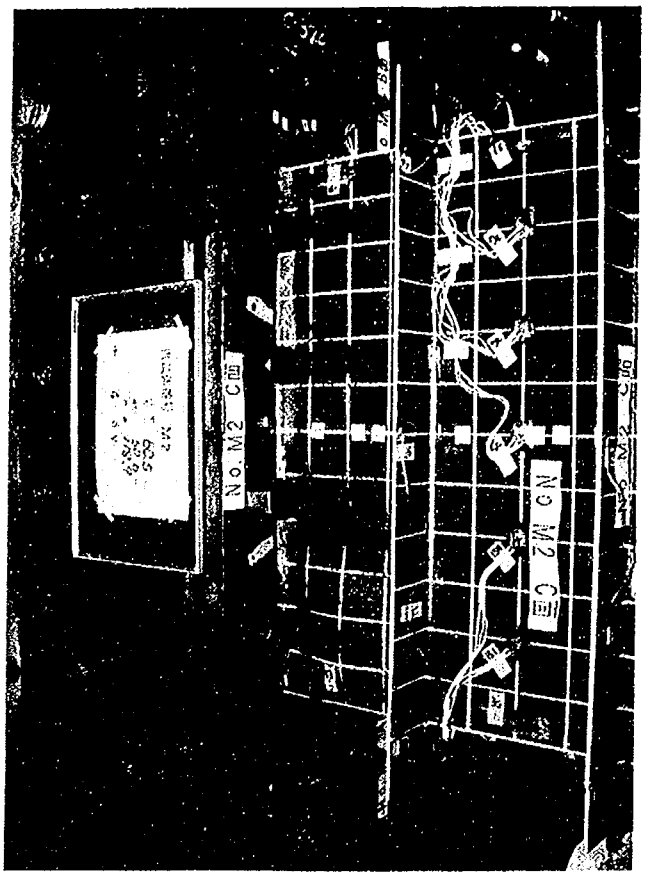
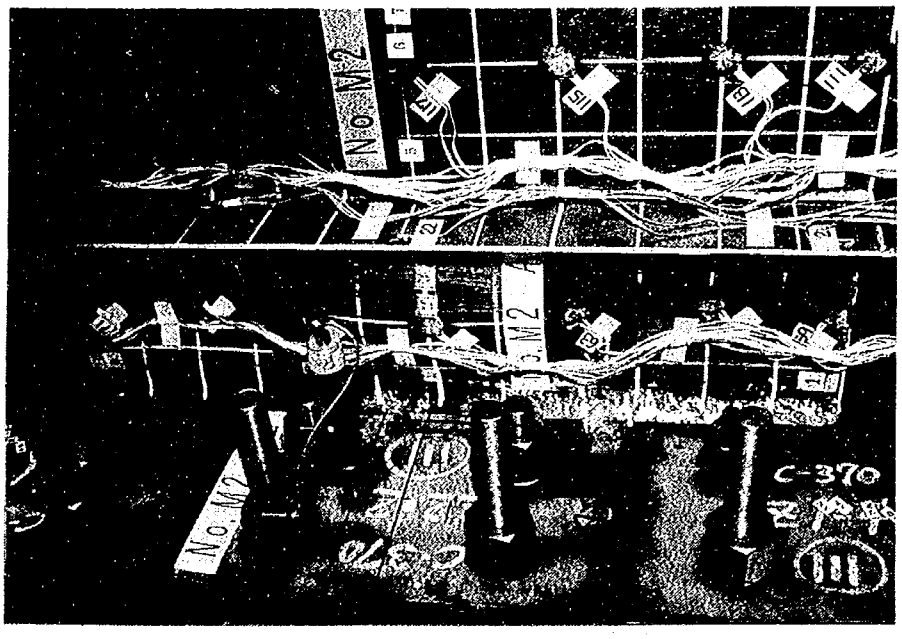


写真-3.1.1(3)　変位の状況(M1)



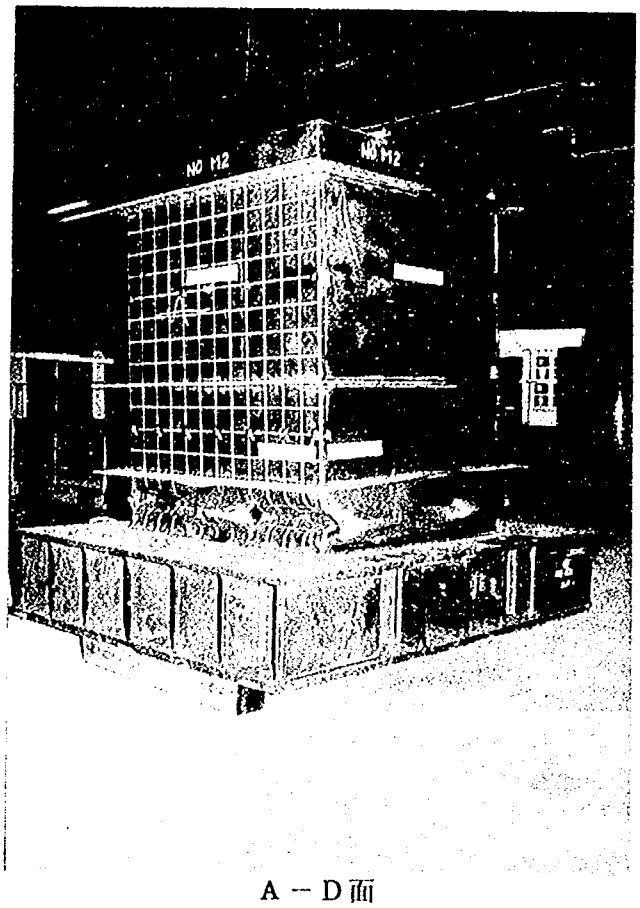
C面



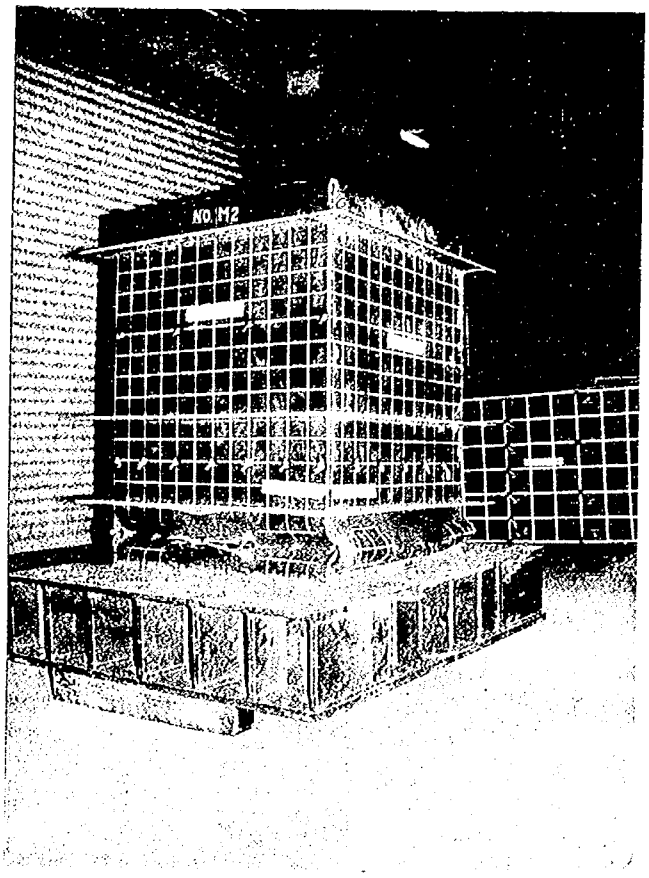
A面

(i) 最大荷重時（外面）（+3δy）

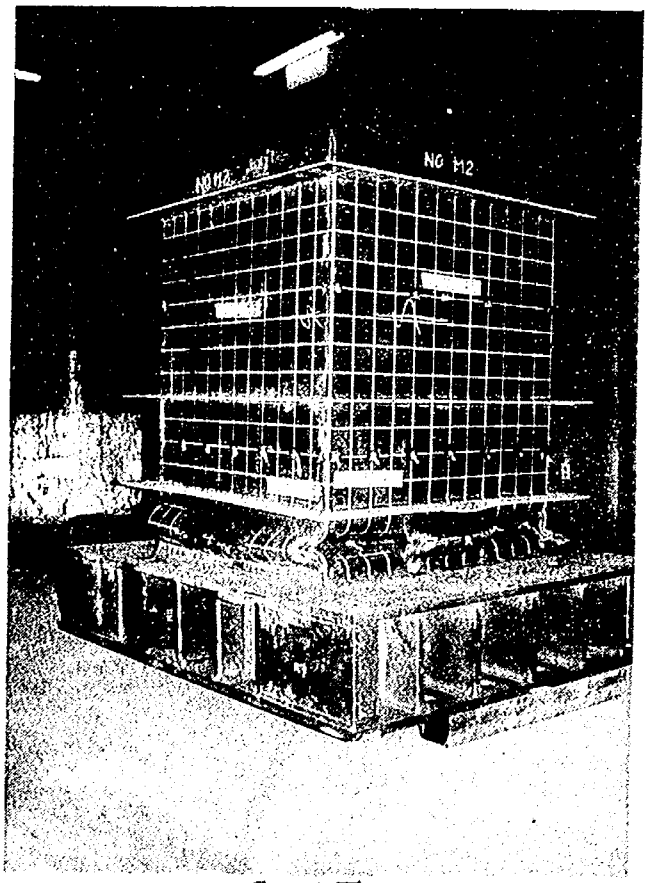
写真-3.1.1(4)　変位の状況（M2）



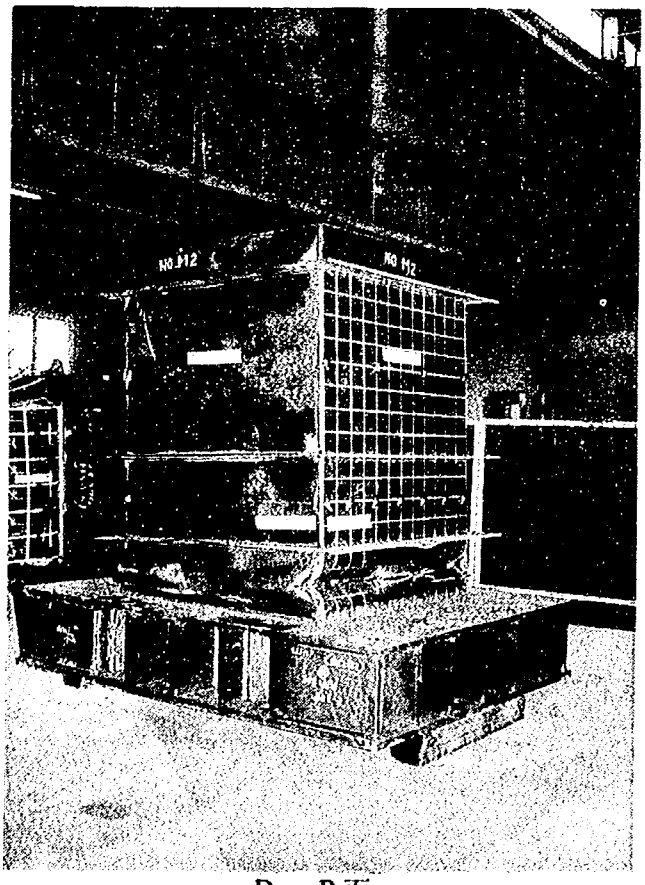
A－D面



B－C面



C－A面



D－B面

(ii) 実験終了時（外面）

写真-3.1.1(5)　変位の状況（M2）

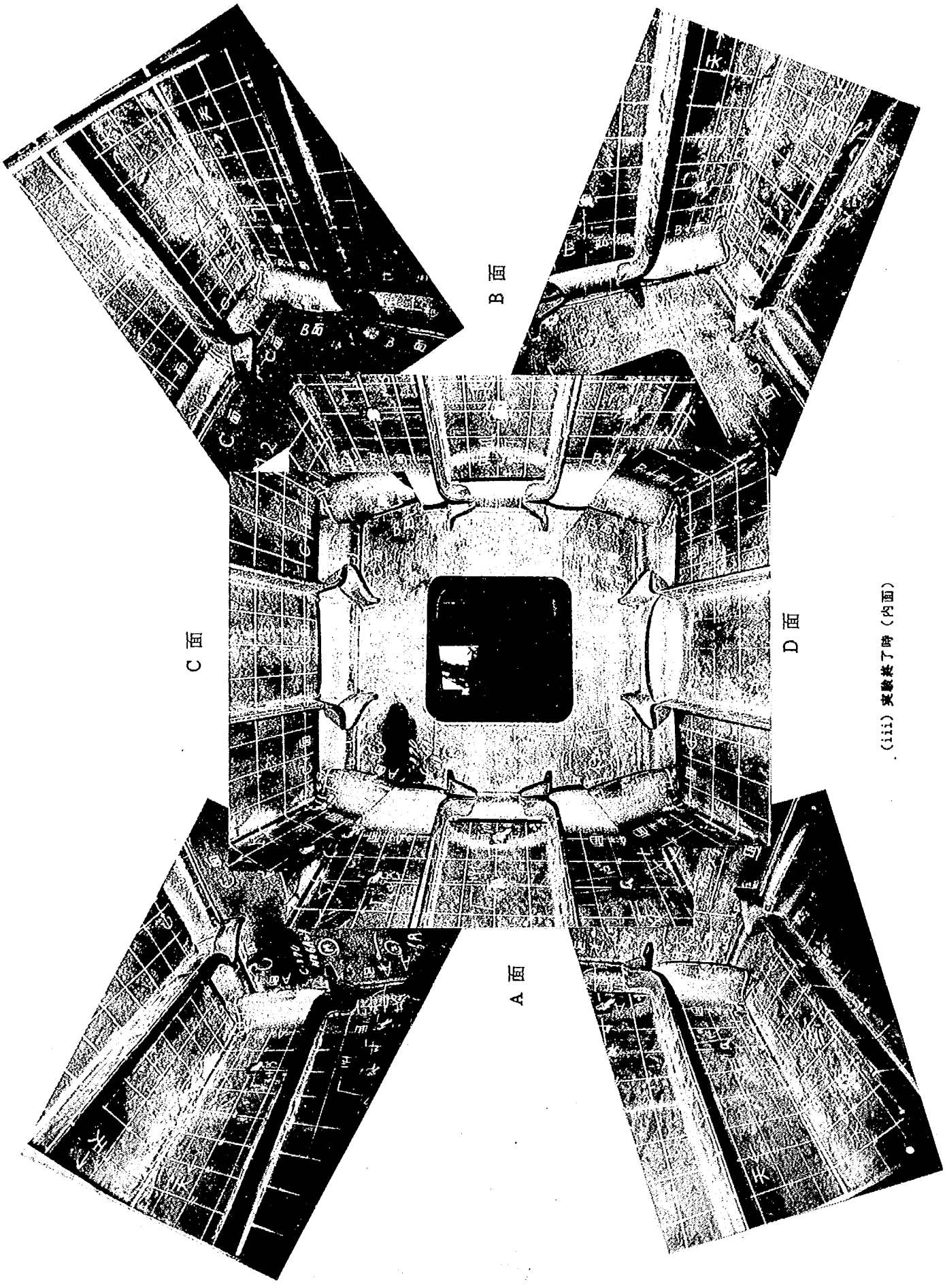
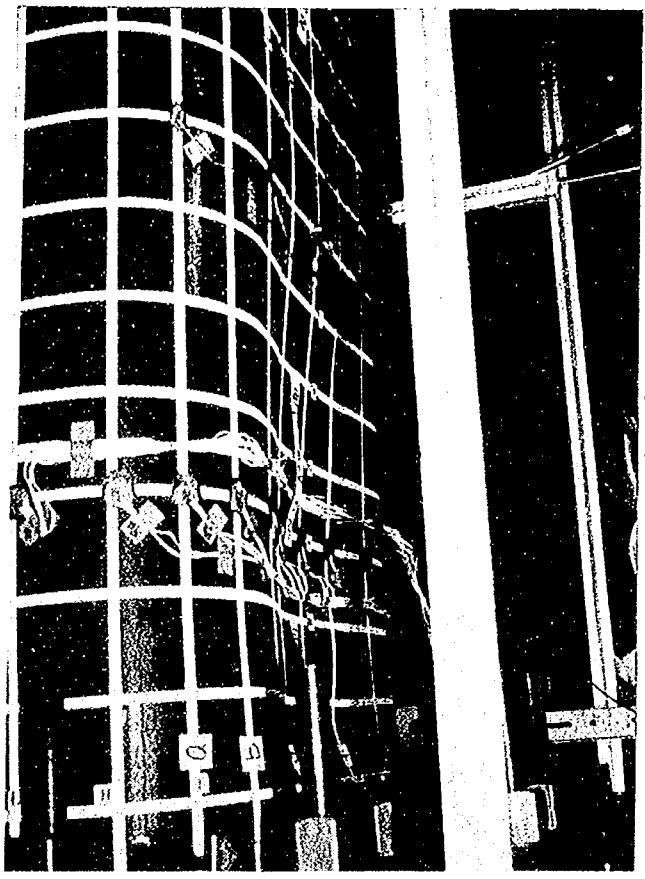
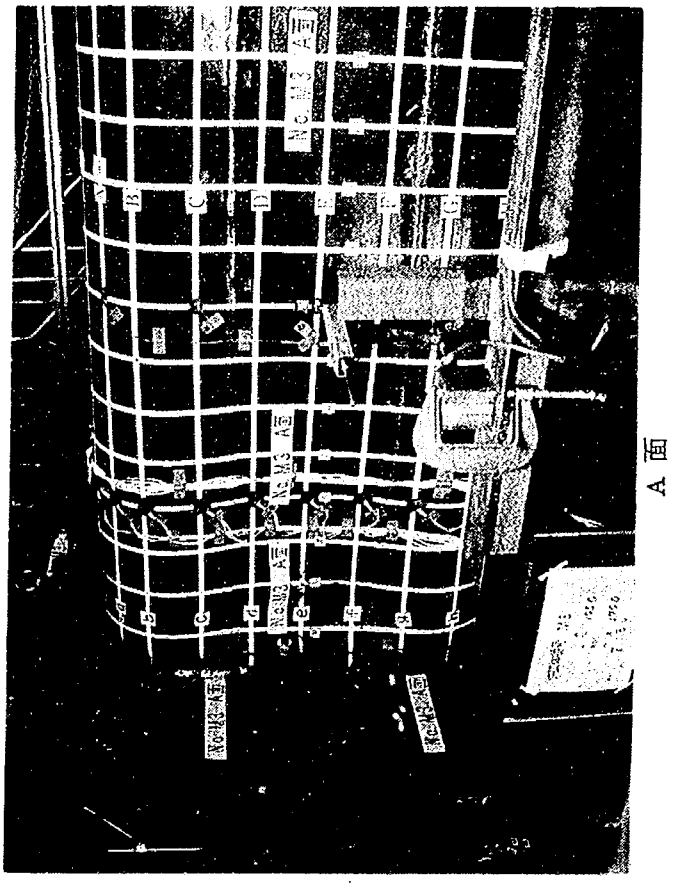
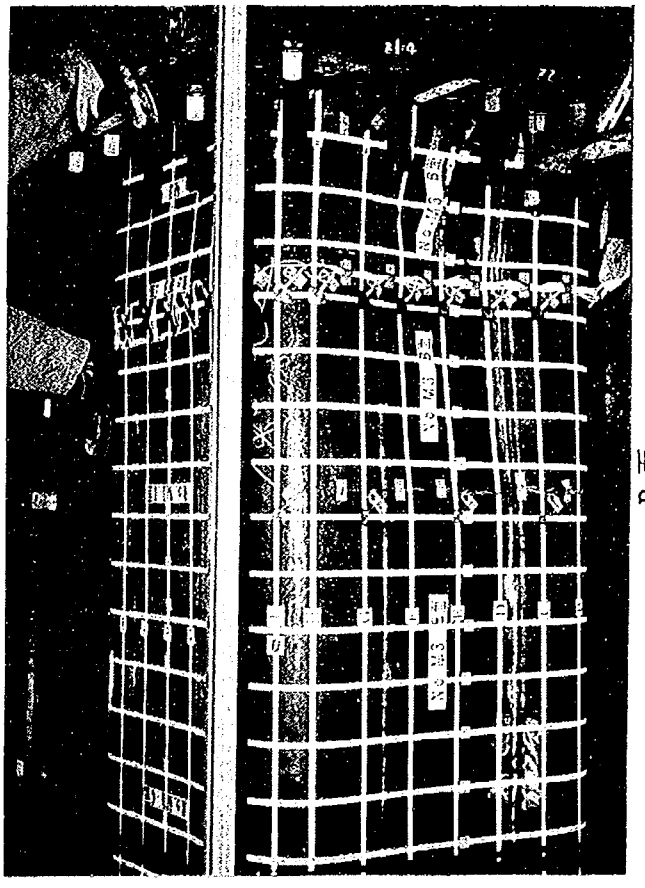


写真-3.1.1(6)　変位の状況(M2)

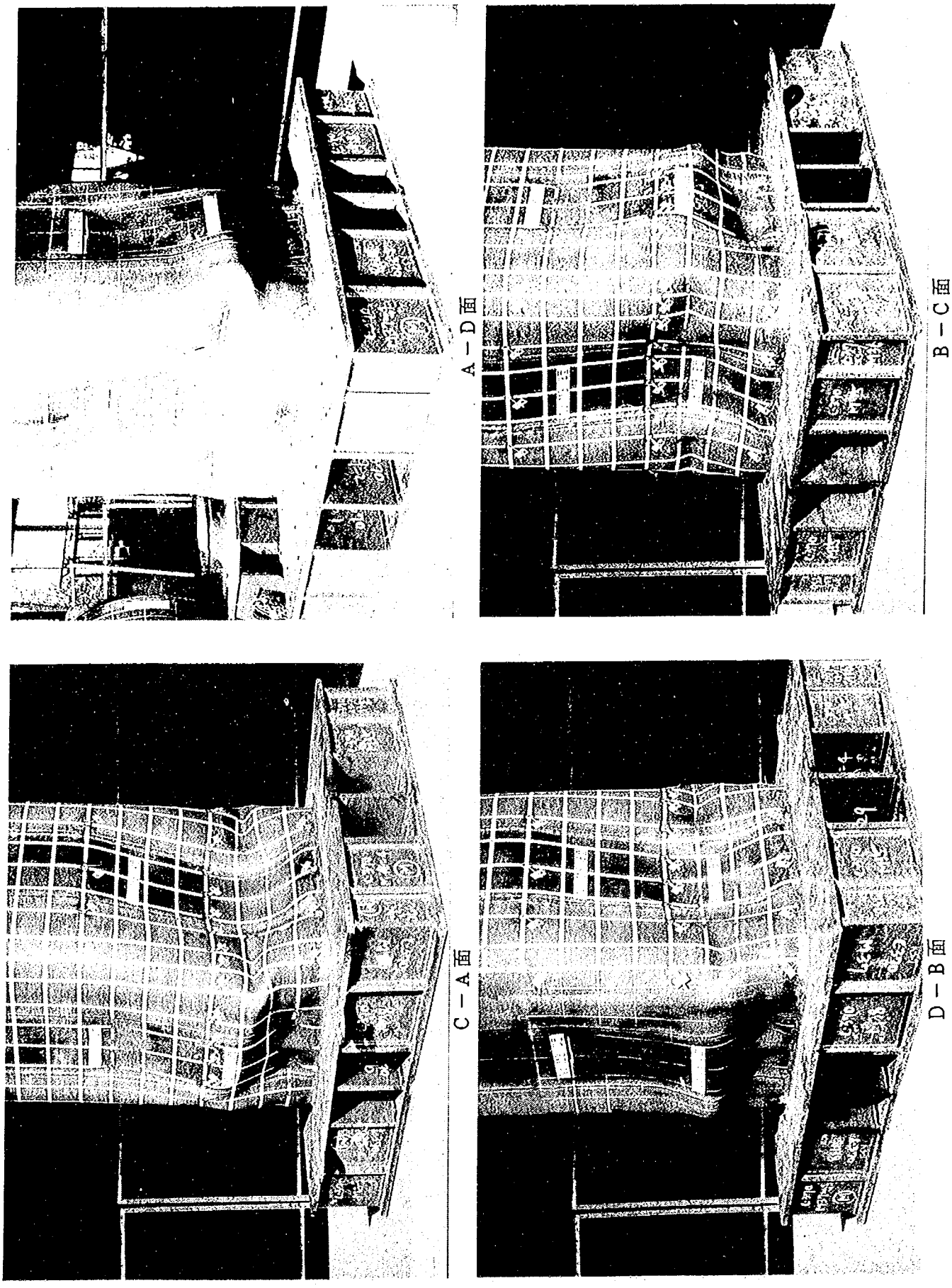






(i) 最大荷重時（外面）（+6δy）

写真-3.1.1(7)　変位の状況（M3）



(ii) 実験終了時（外面）

写真-3.1.1(8)　変位の状況(M3)

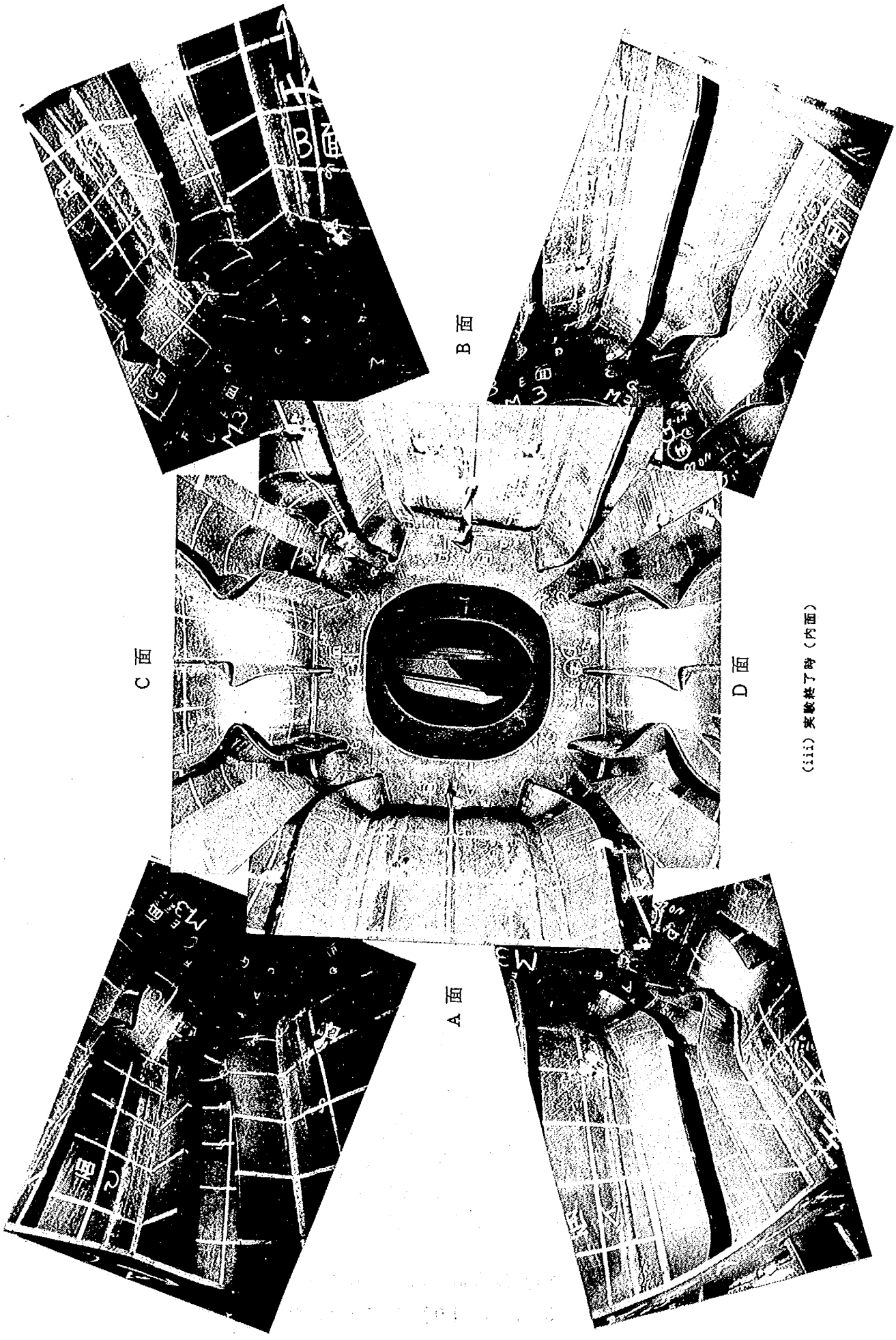
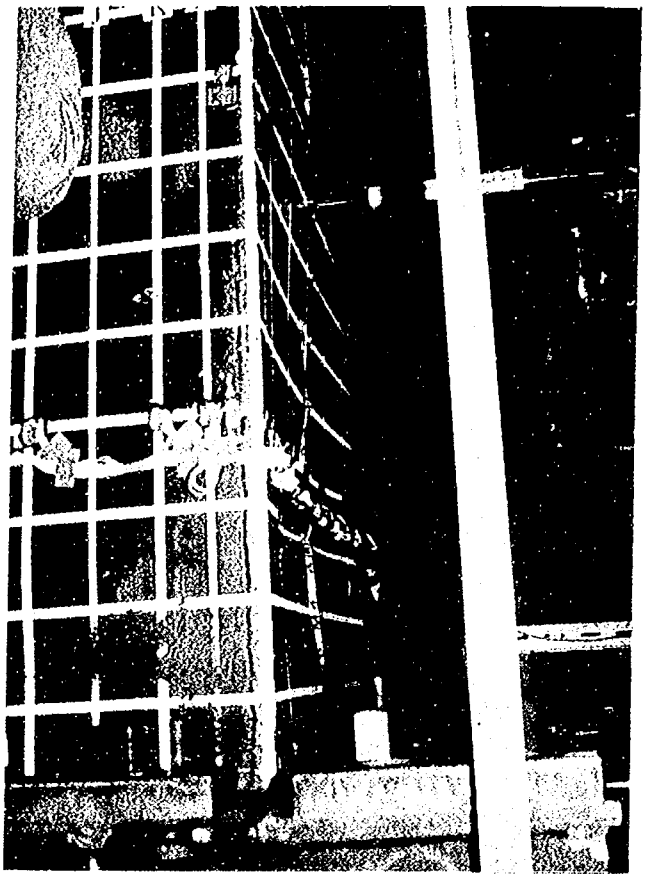
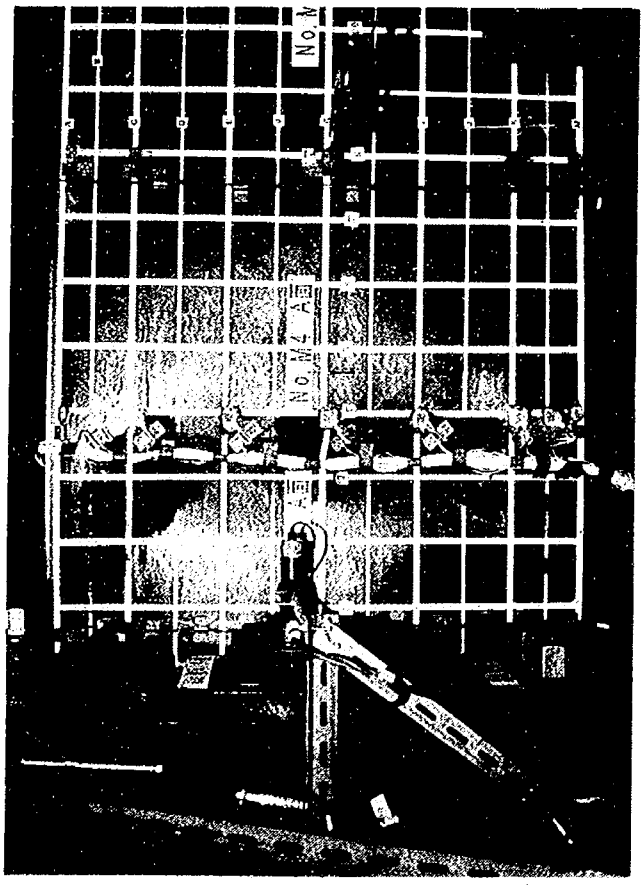


写真-3.1.1(9)　変位の状況(M3)



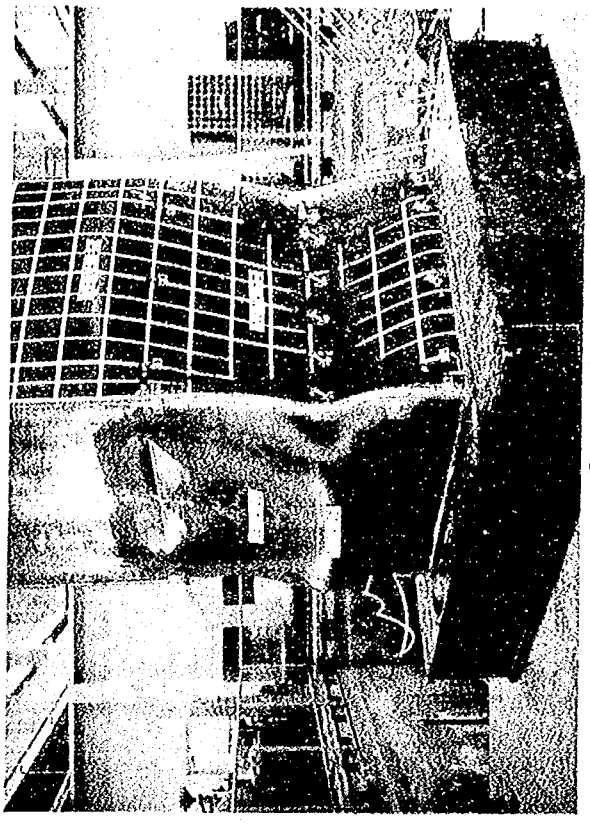
C／A面



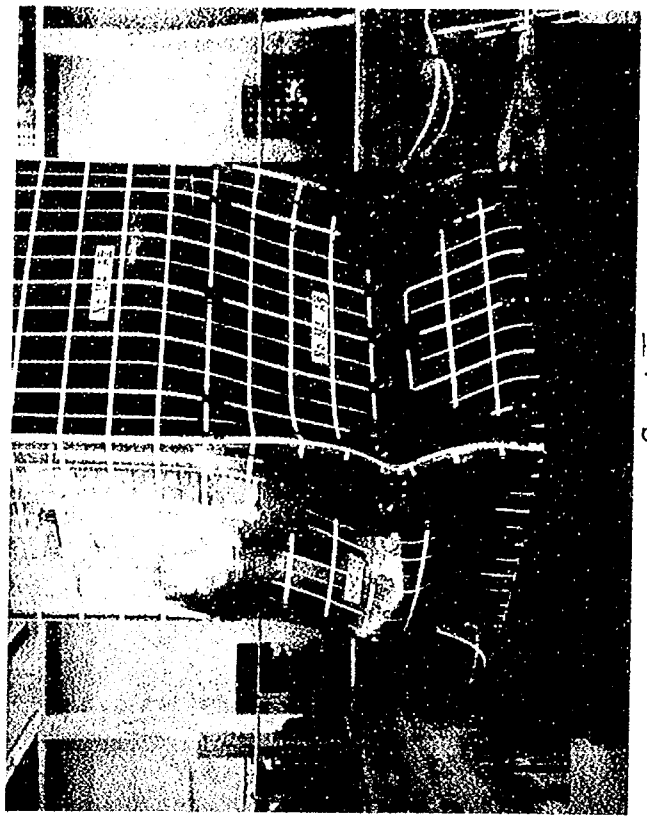
A面

(i) 最大荷重時（外面）（+4δy）

写真-3.1.1(10)　変位の状況（M4）



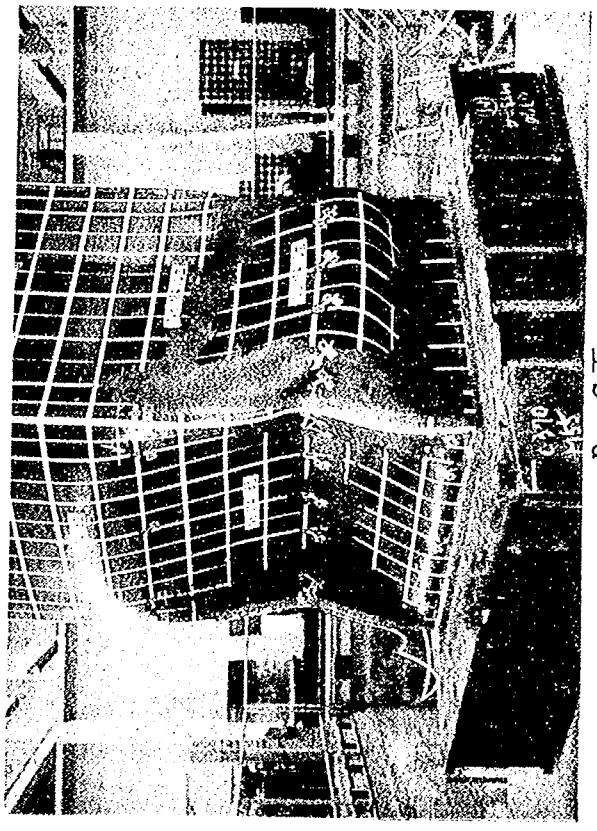
D－B面



C－A面



A－D面



B－C面

（ii）実験終了時（外面）

写真-3.1.1(11)　変位の状況（M4）

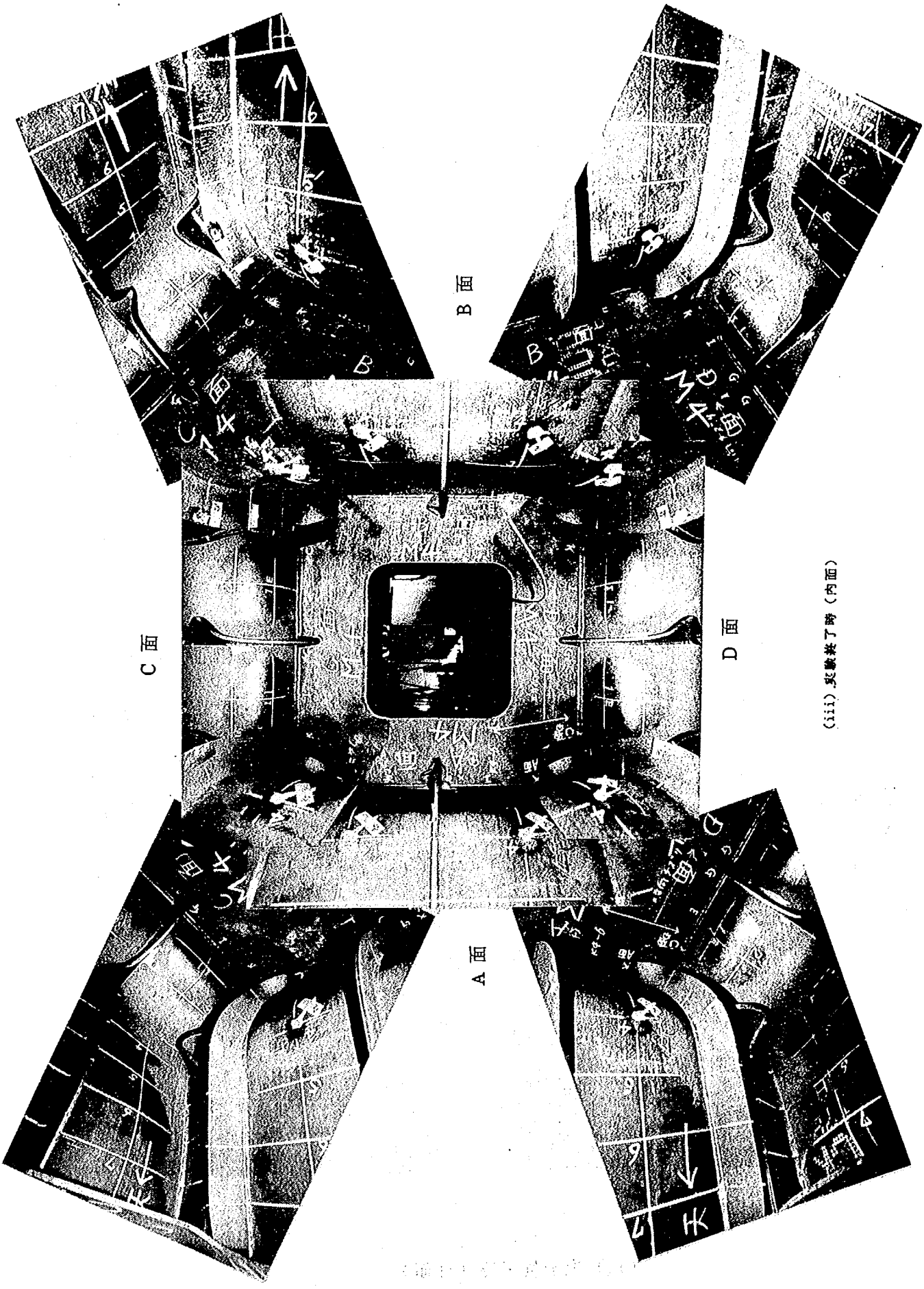
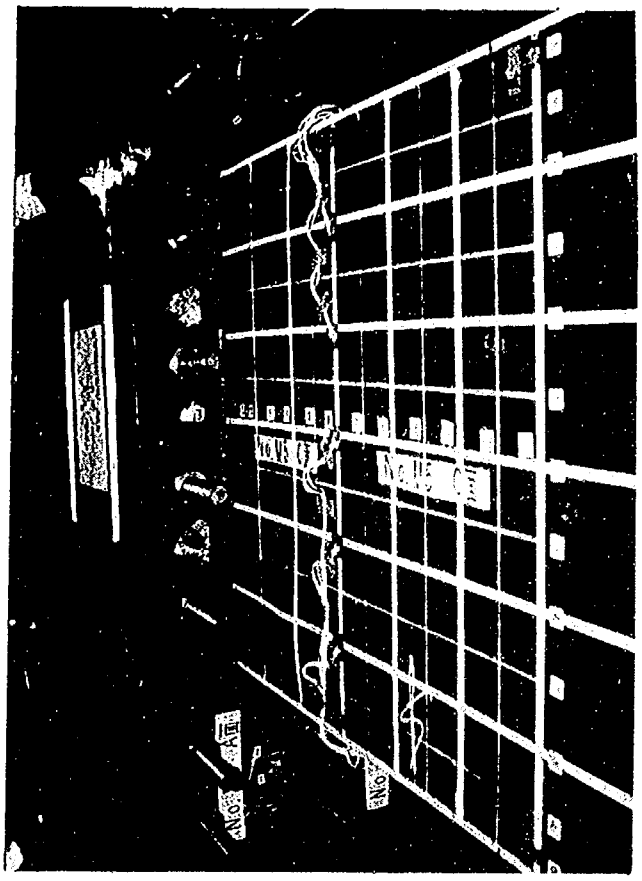
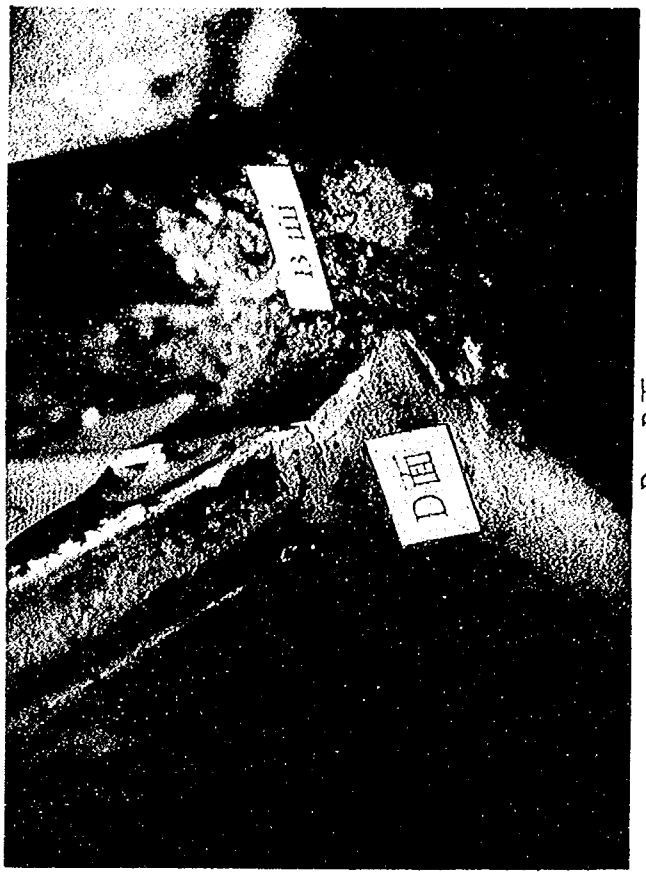
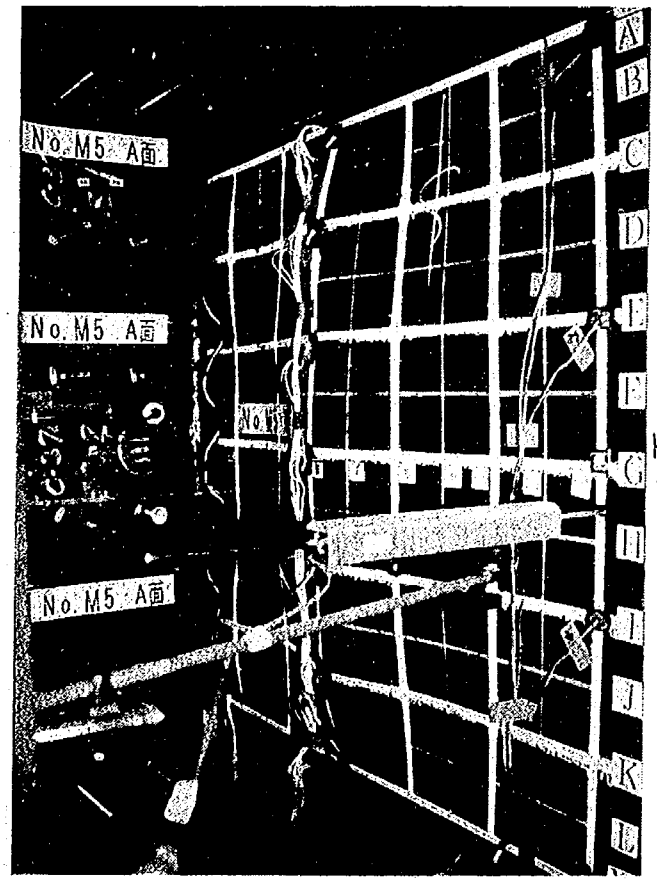
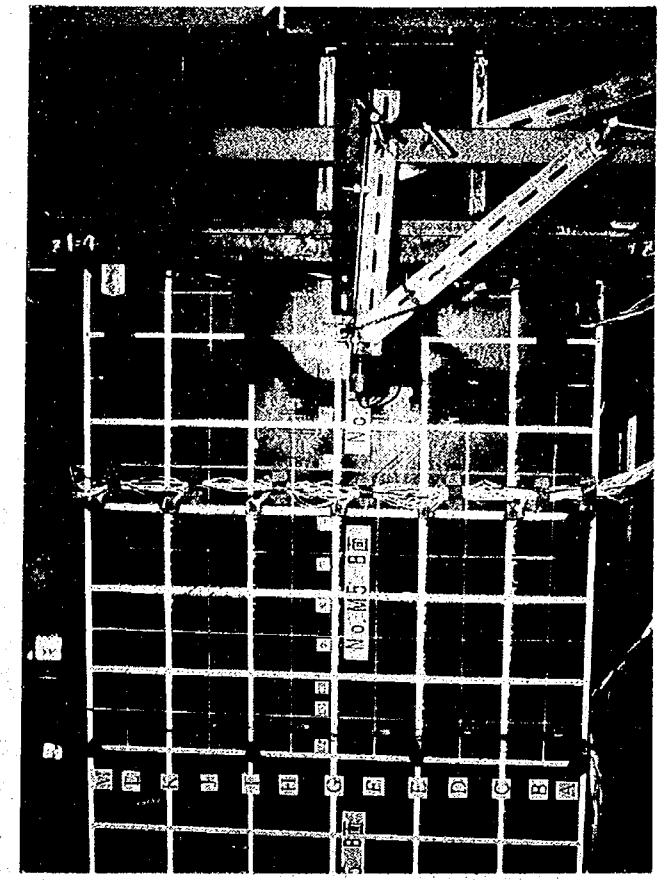


写真-3.1.1(12)　変位の状況(M4)



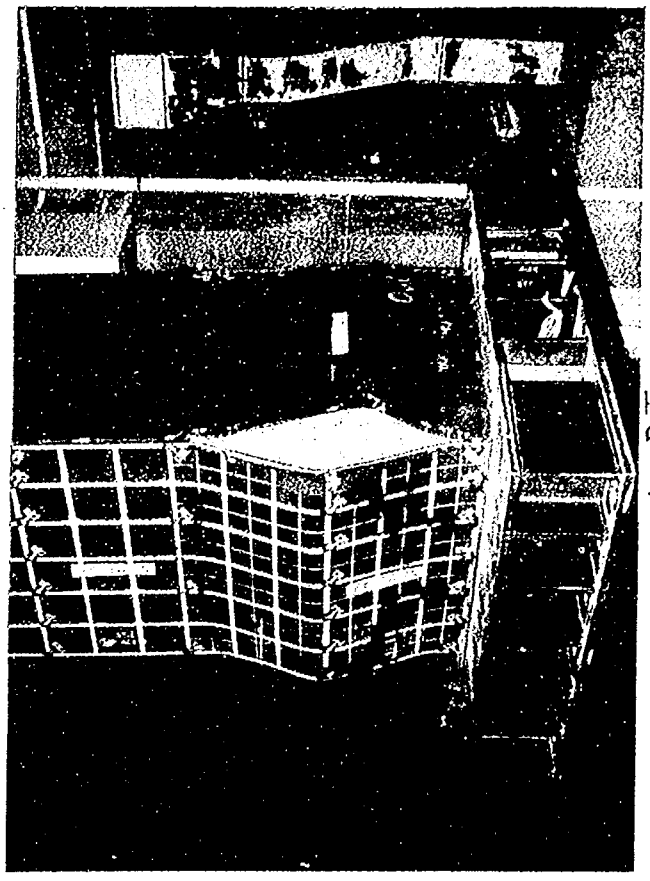




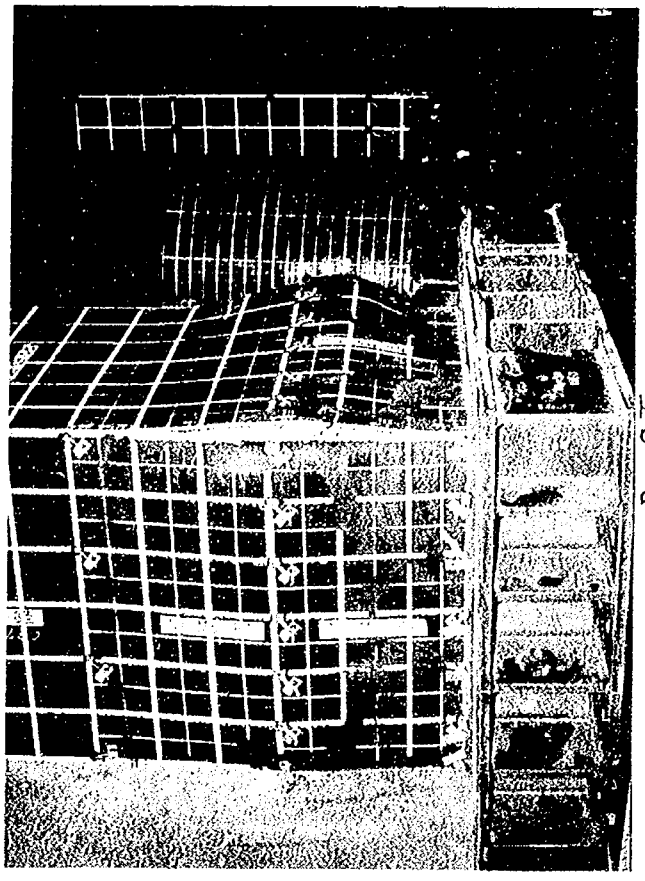


(i) 最大荷重時（外面）（+6δy）

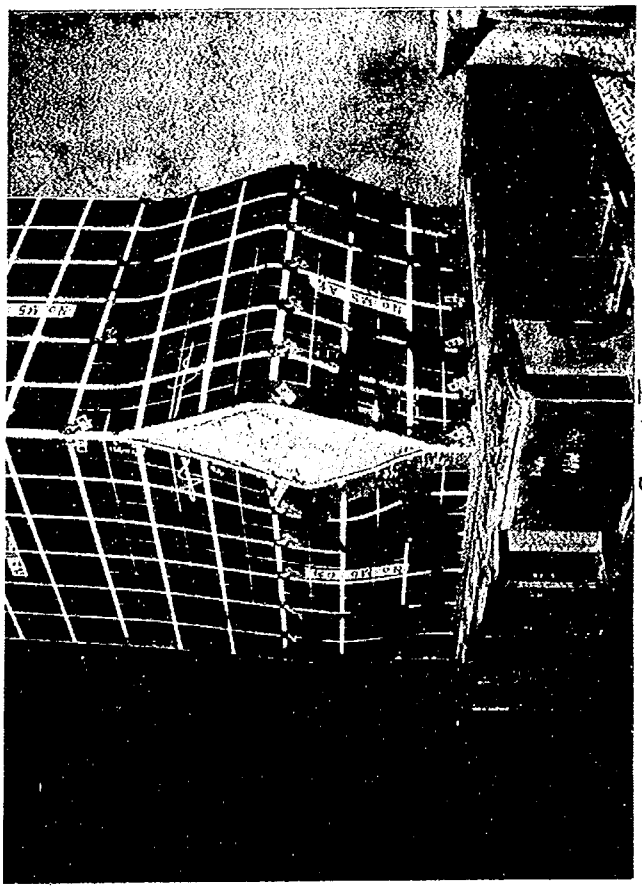
写真-3.1.1(13)　変位の状況（M5）



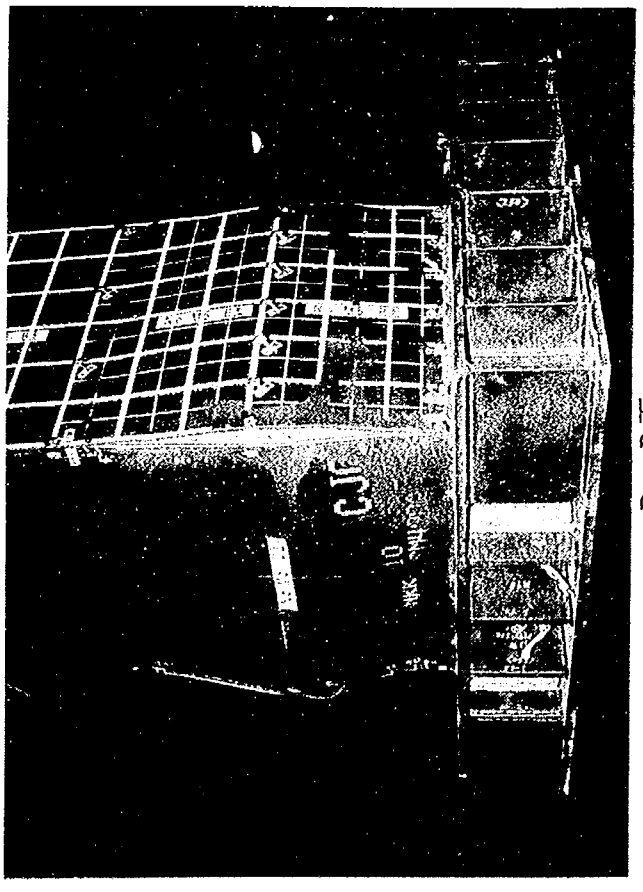
A－D面



B－C面



C－A面



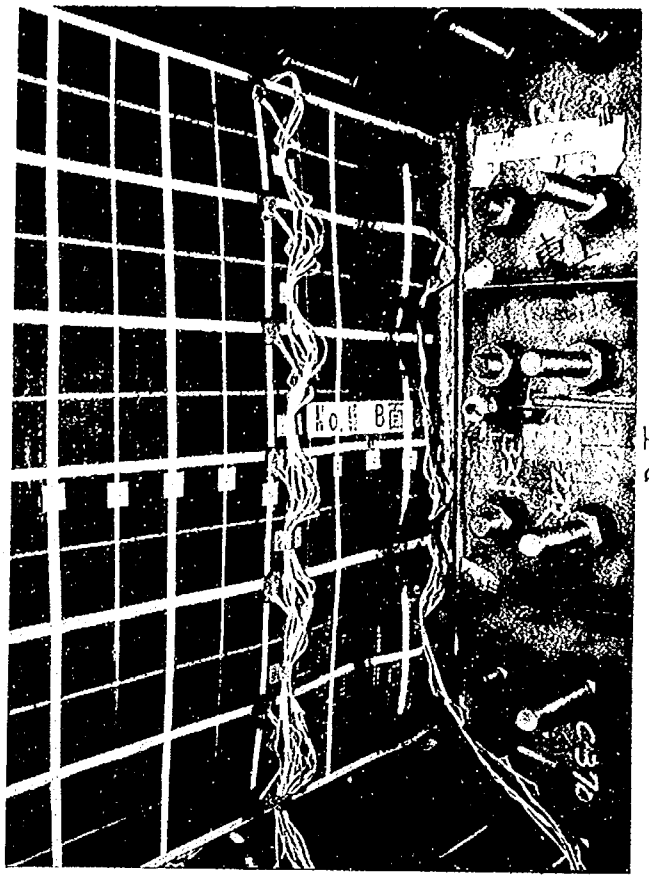
D－B面

（ii）実験終了時（外面）

写真-3.1.1(14)　変位の状況（M5）



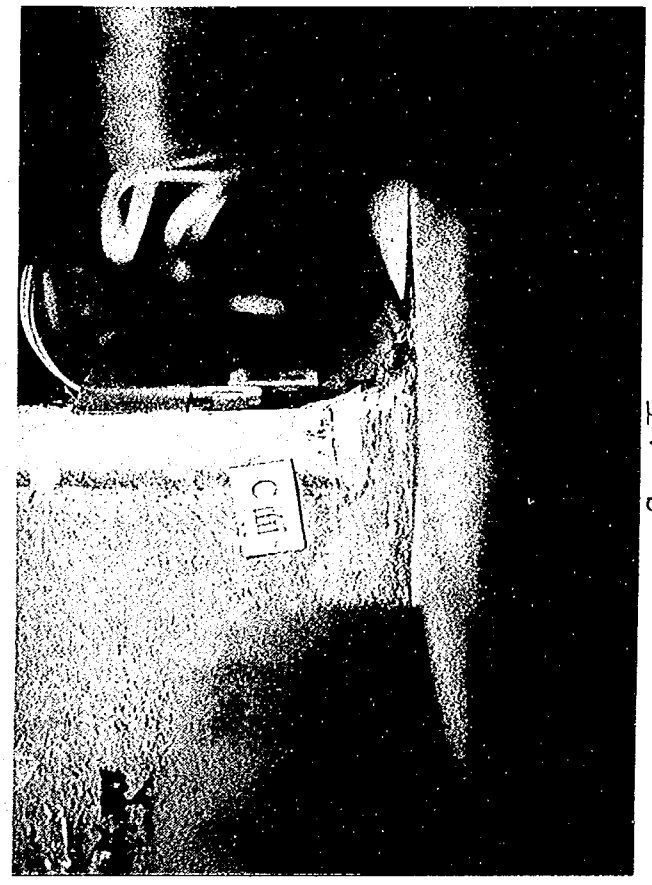
A 面



B 面



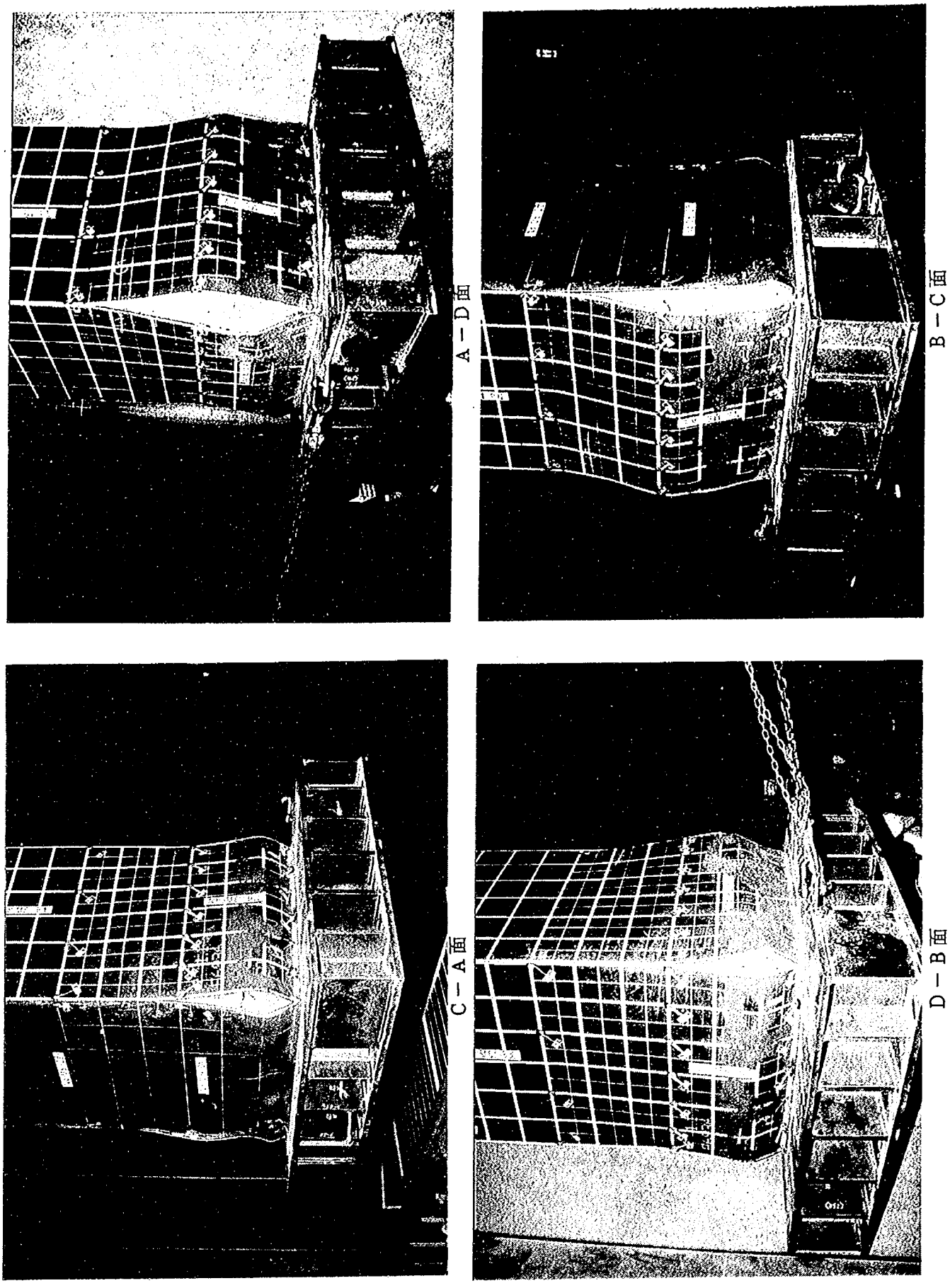
A－D面



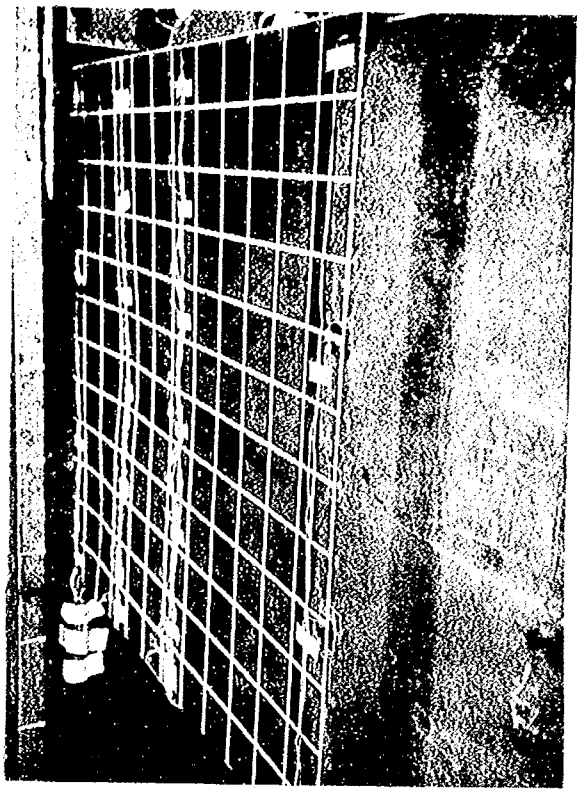
C－A面

(i) 最大荷重時（外面）(+6δy)

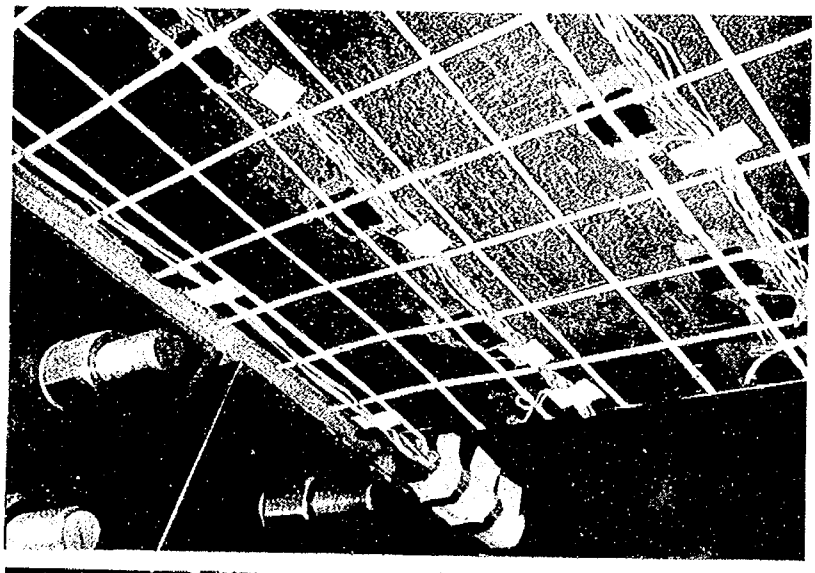
写真-3.1.1(15)　変位の状況(M6)



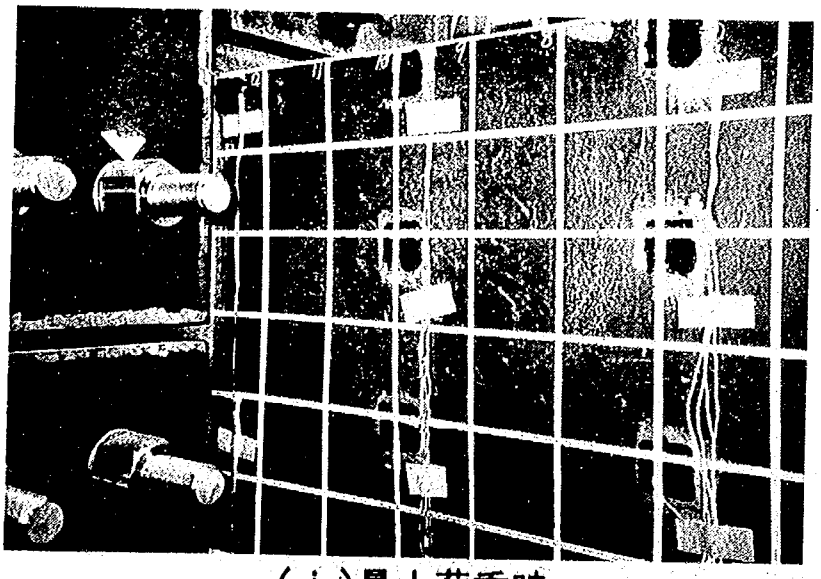
(ii) 実験終了時（外面）
写真-3.1.1(16)　変位の状況(M6)



西 (A) 面



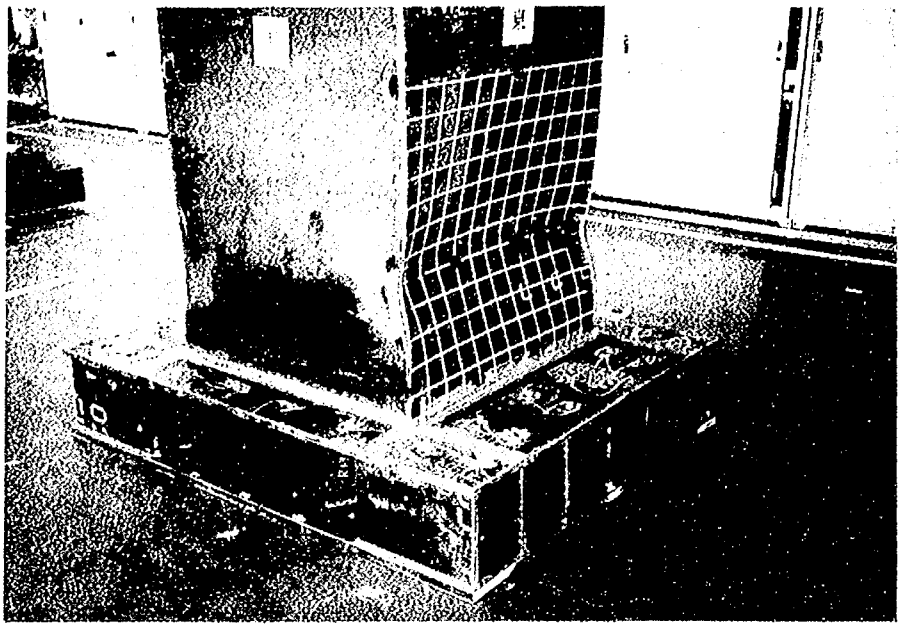
西 (A) 面



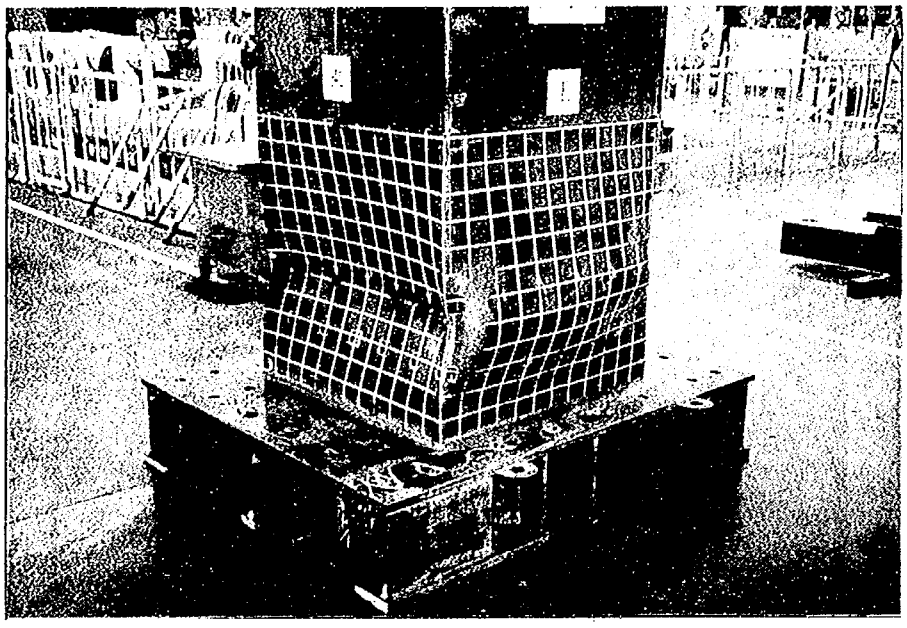
西 (A) 面

(ｉ)最大荷重時

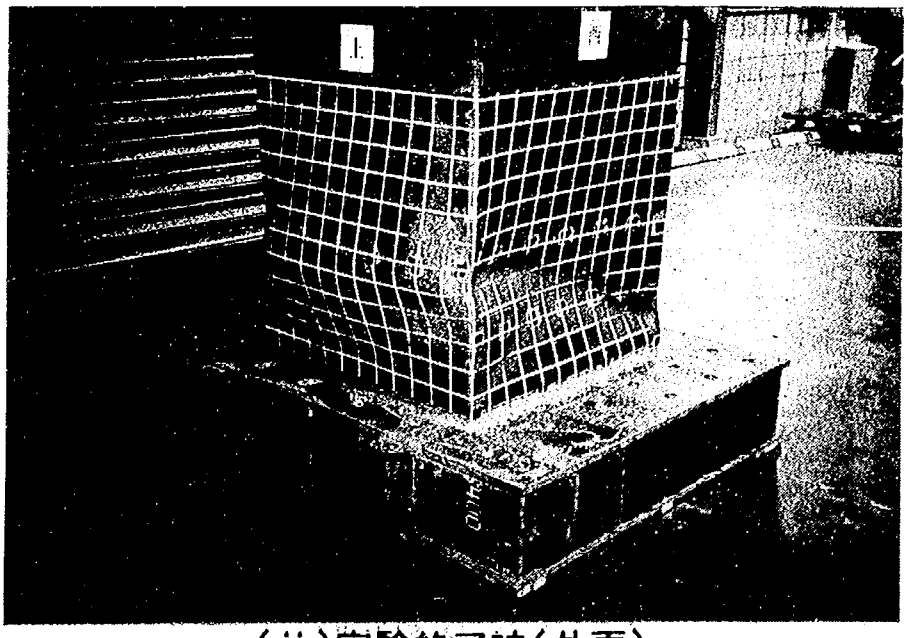
写真-3．1．1(17)　変位の状況(M8)(+3δy)



下－東面
（D－B）



東－上面
（B－C）



上－西面
（C－A）

（ii）実験終了時（外面）

写真－3．1．1（18）　変位の状況（M8）

西（A）

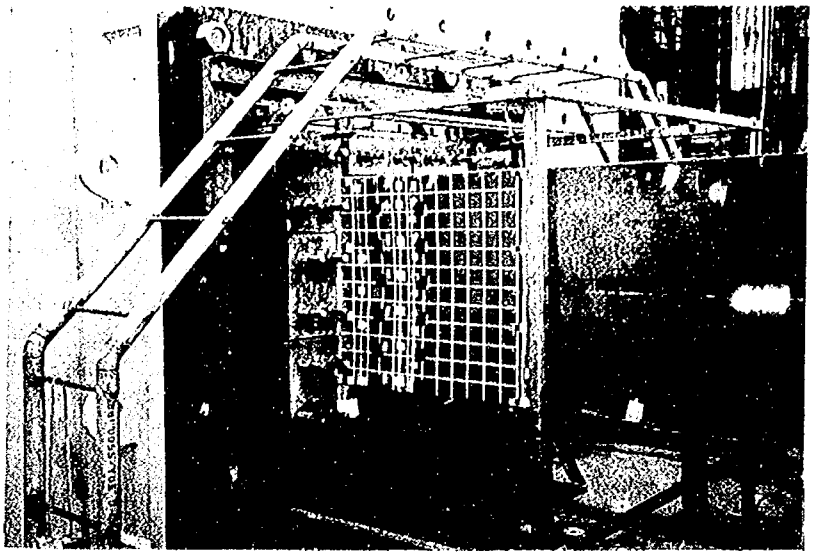
上（C）

東（B）

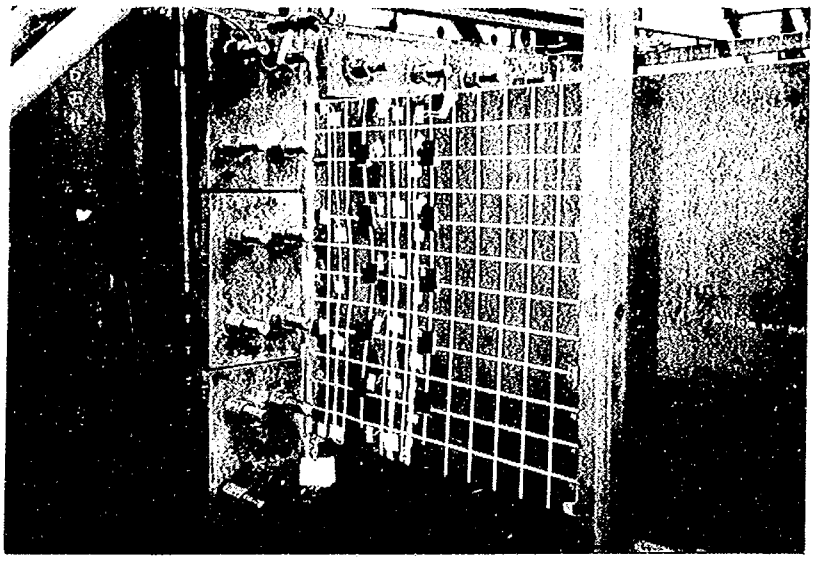
下（D）

（iii）実験終了時（内面）
M8最終状態（内部）

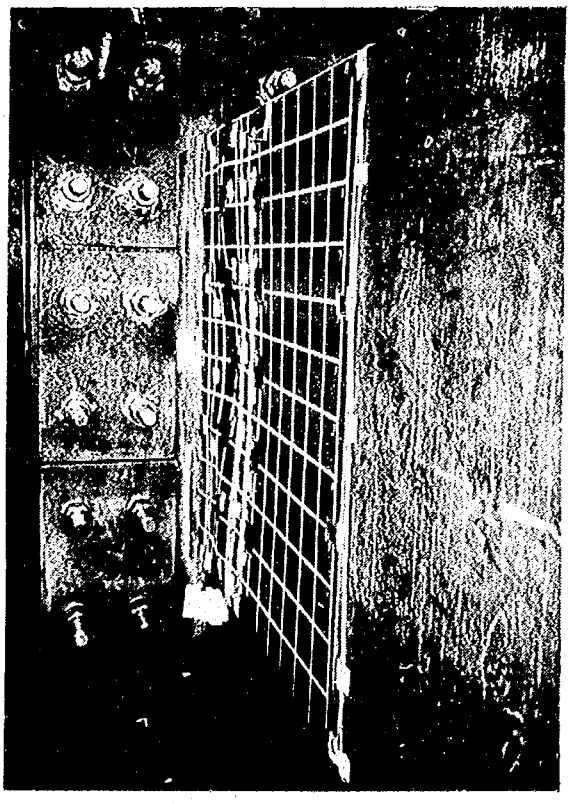
写真-3.1.1(19)　変位の状況（M8）



西 (A) 面



西 (A) 面

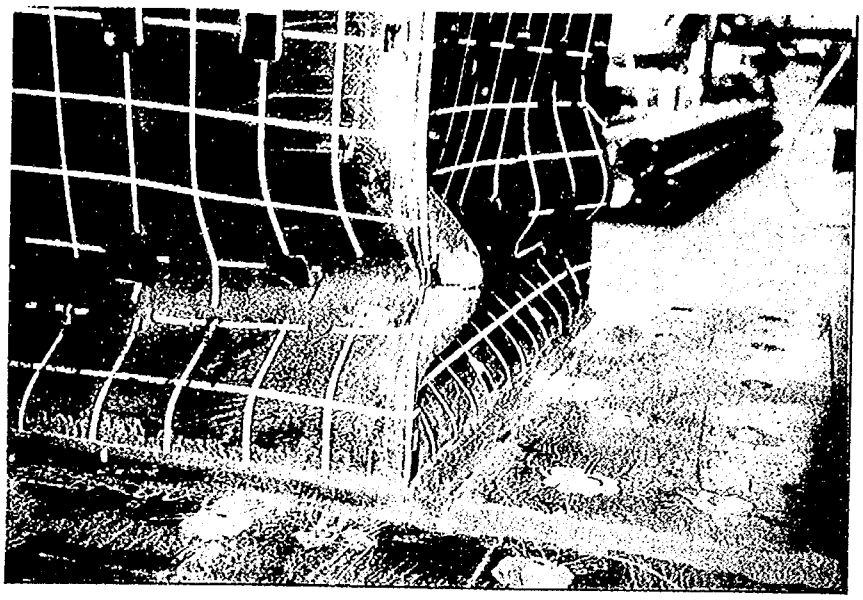


西 (A) 面

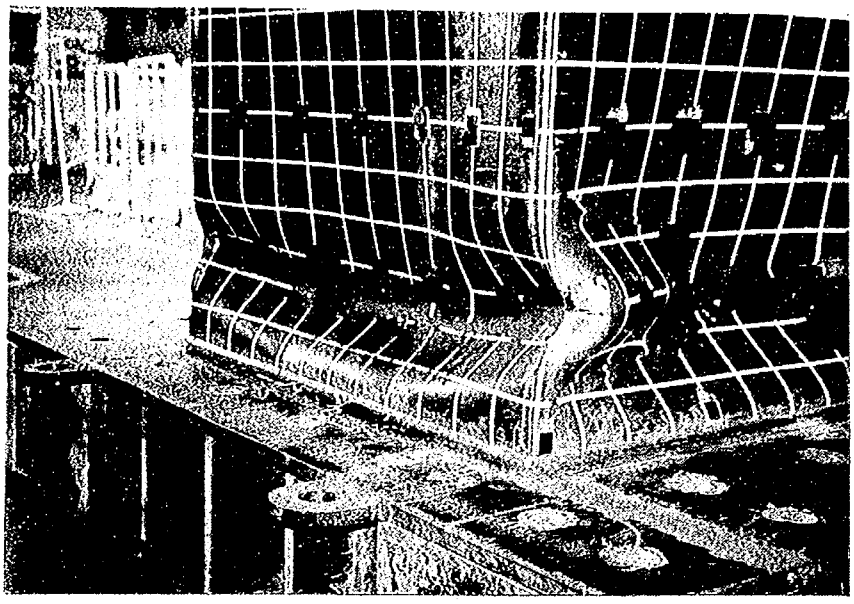
(ｉ)最大荷重時

(+4δy)

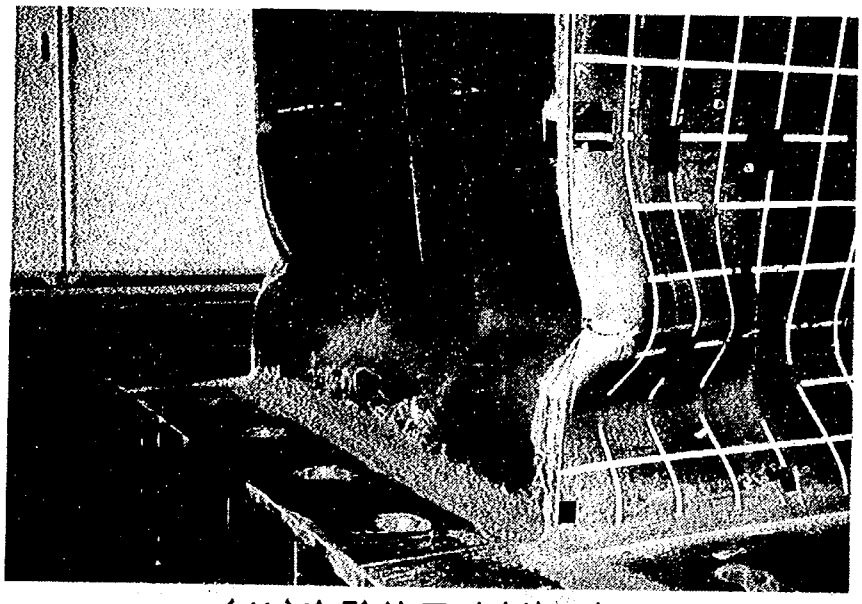
真-3.1.1(20)　変位の状況(M10)



上－西面
（C－A）



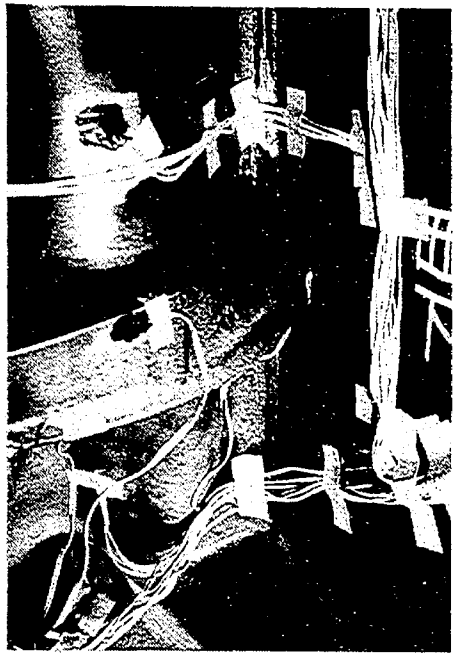
上－西面
（C－A）

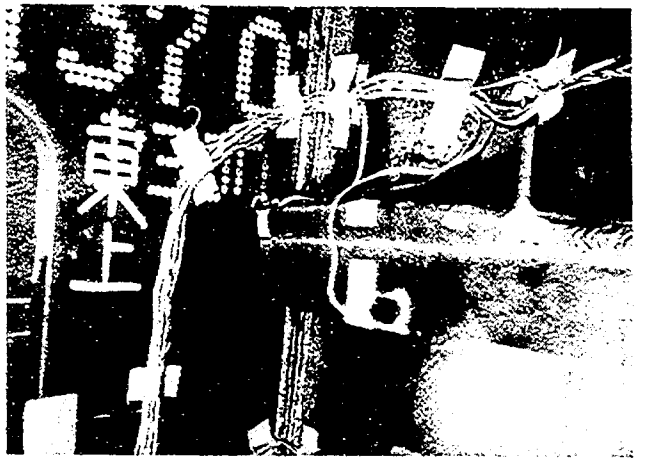


下－東面
（D－B）

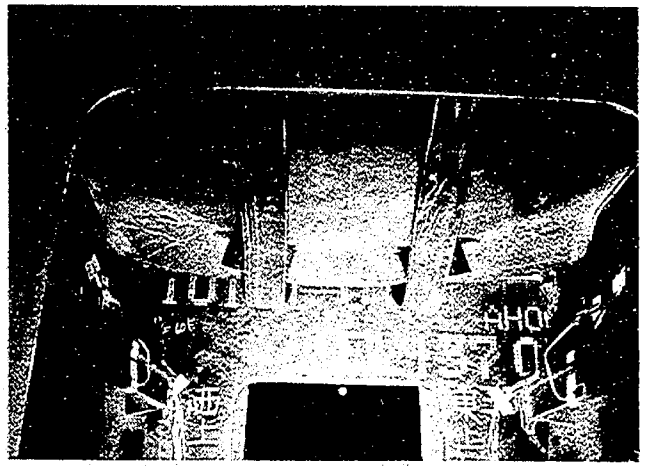
（ii）実験終了時（外面）

写真-3.1.1(21)　変位の状況（M10）

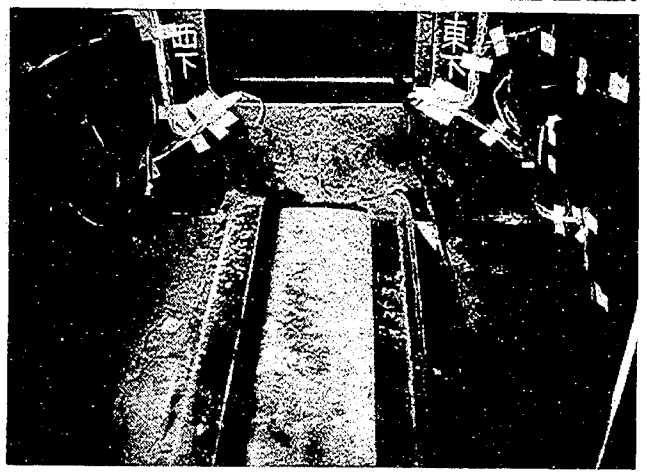




上（C）

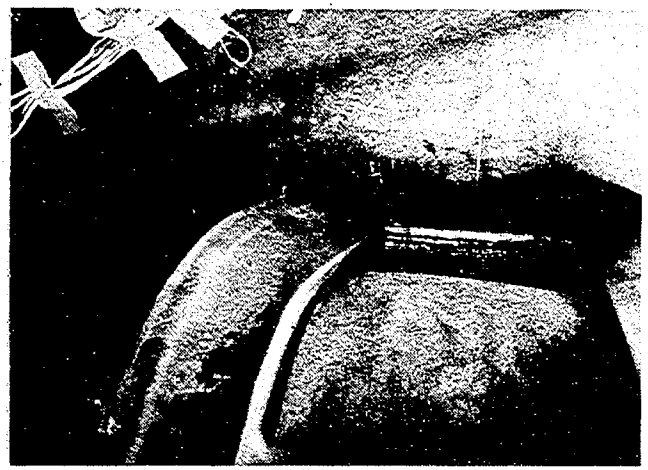


西（A）



東（B）

下（D）



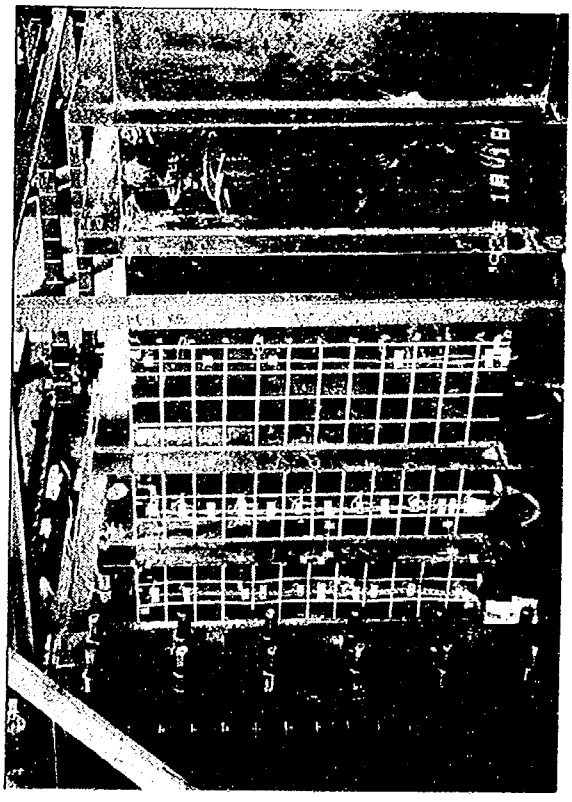


（iii）実験終了時（内面）
M10最終状態（内部）

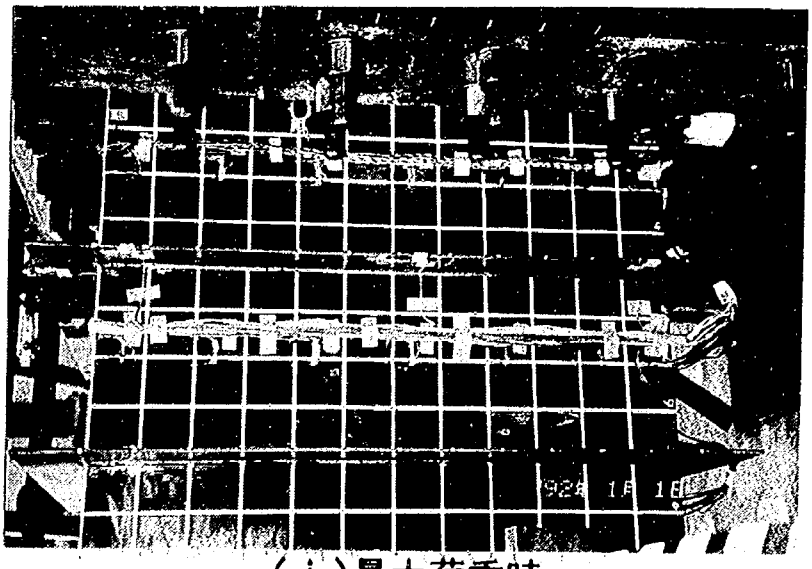
写真-3.1.1(22)　変位の状況（M10）



西(A)面



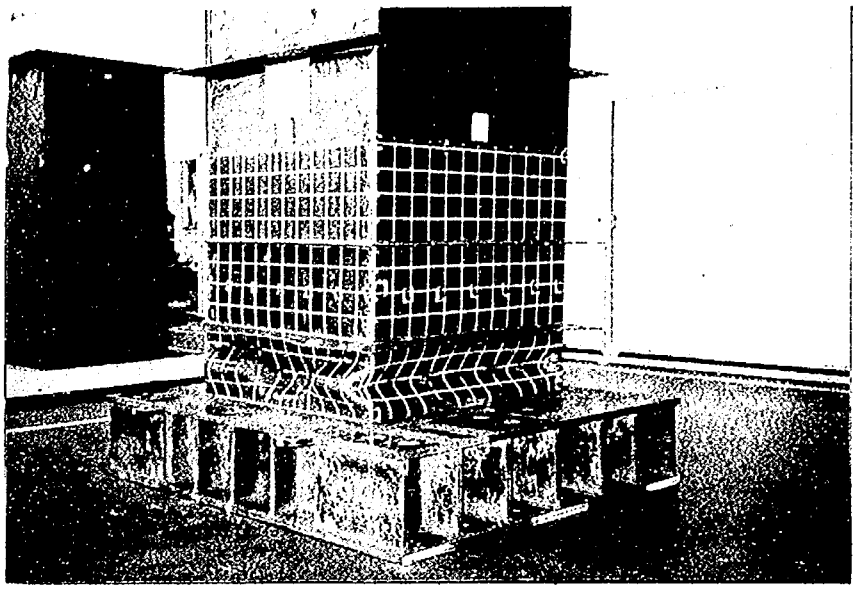
西(A)面



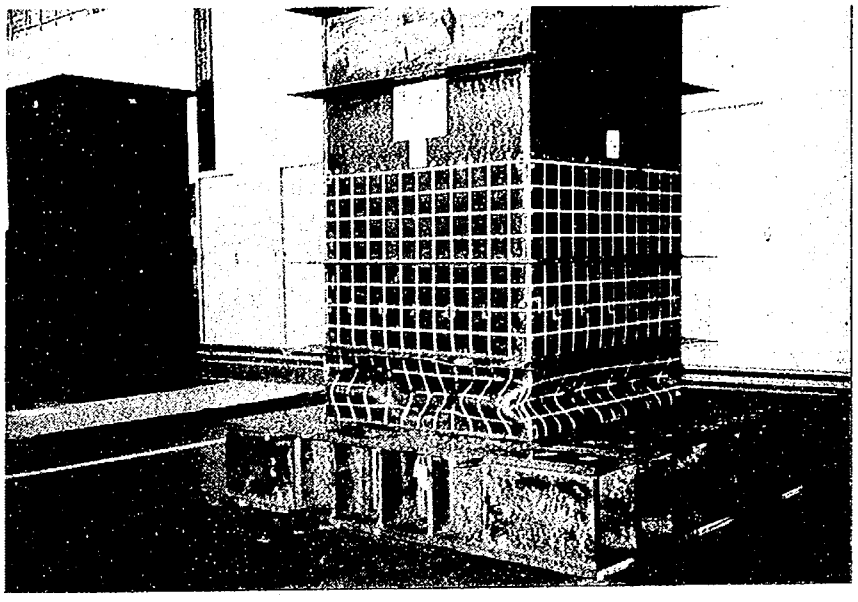
東(B)面

(ｉ)最大荷重時

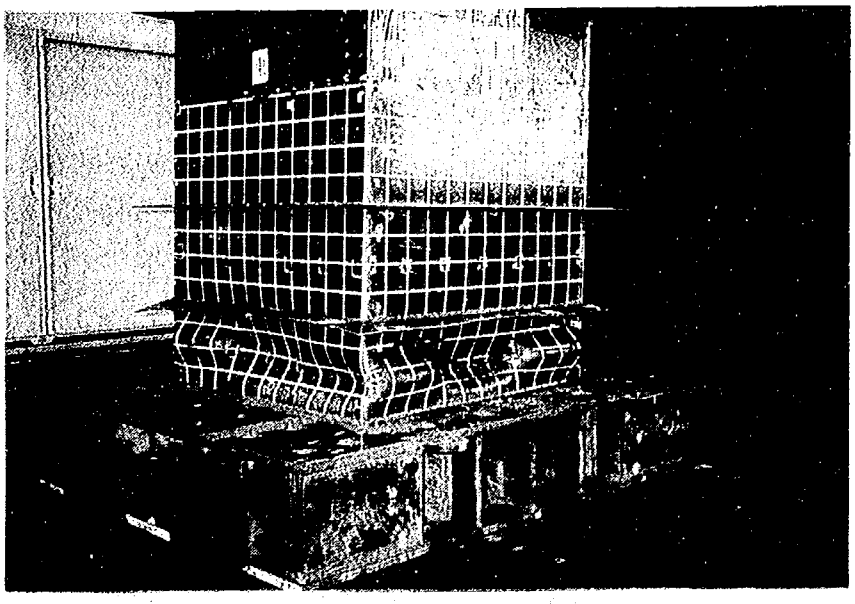
写真-3.1.1(23)　変位の状況(M11)(+4δy)



上－西面
（C－A）



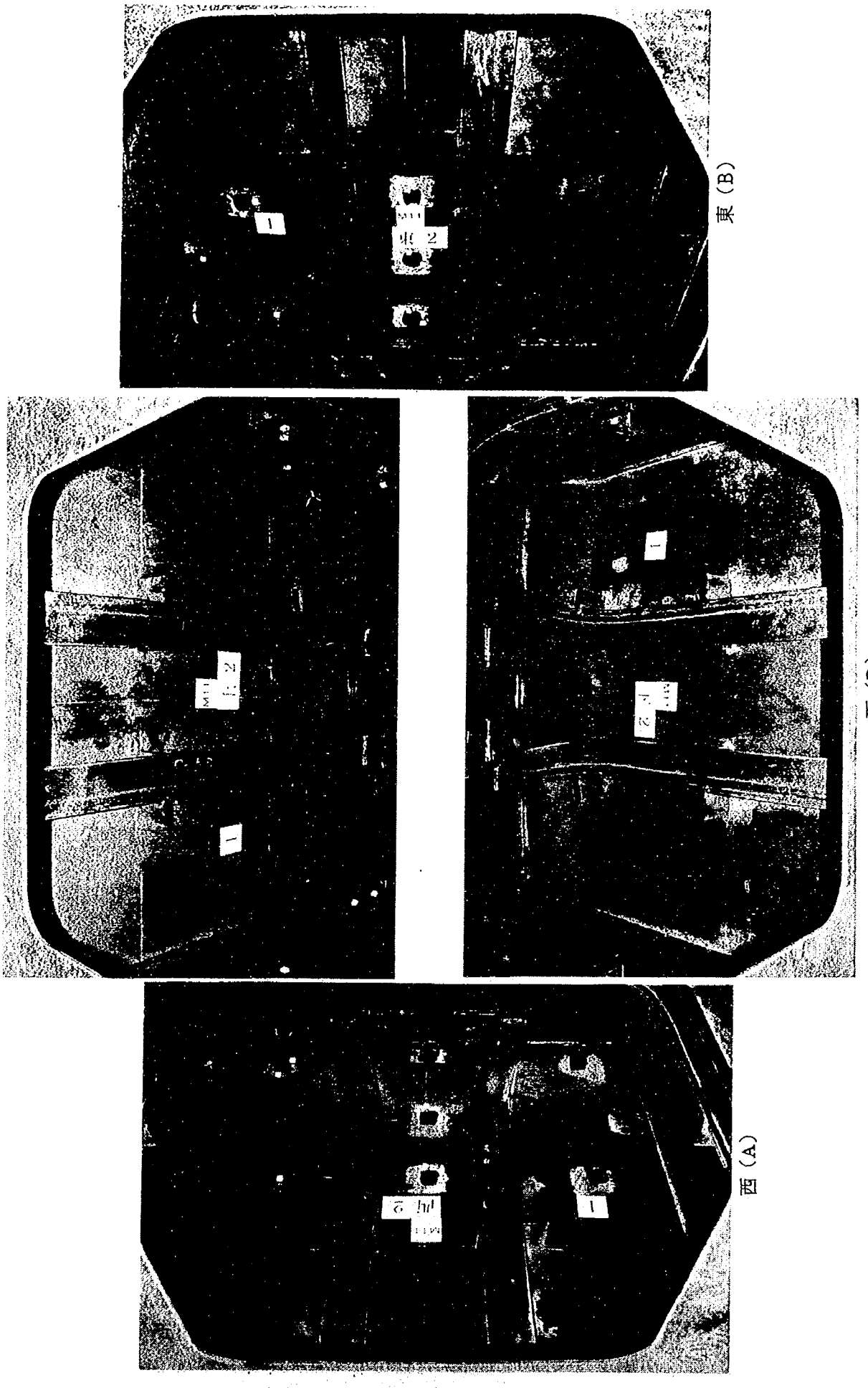
上－西面
（C－A）



東－上面
（B－C）

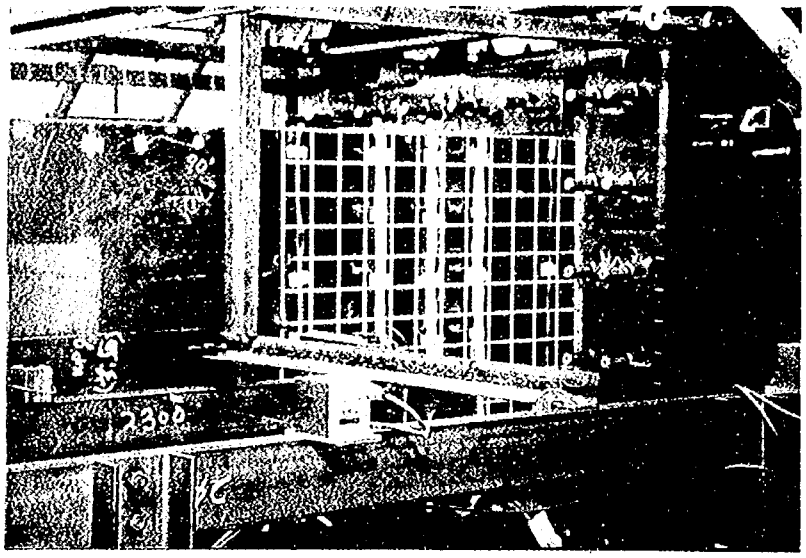
（ii）実験終了時（外面）

3．1．1（24）　変位の状況（M1.1）

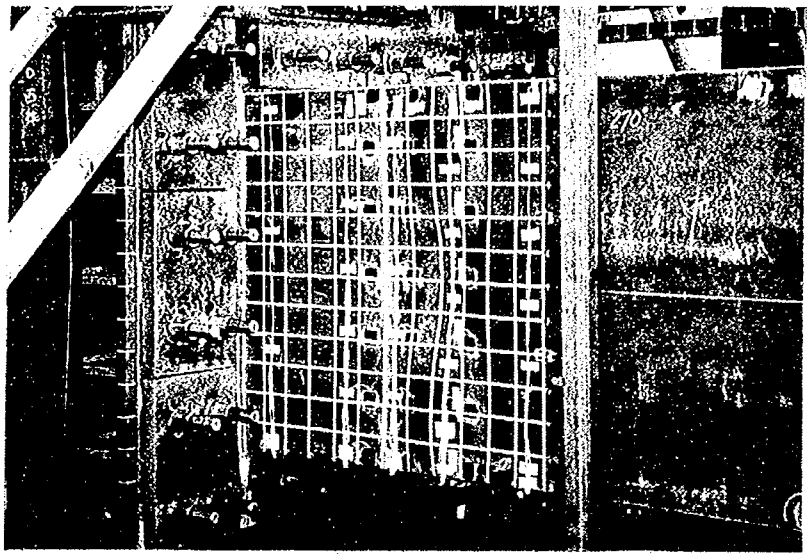


(iii) 実験終了時（内面）

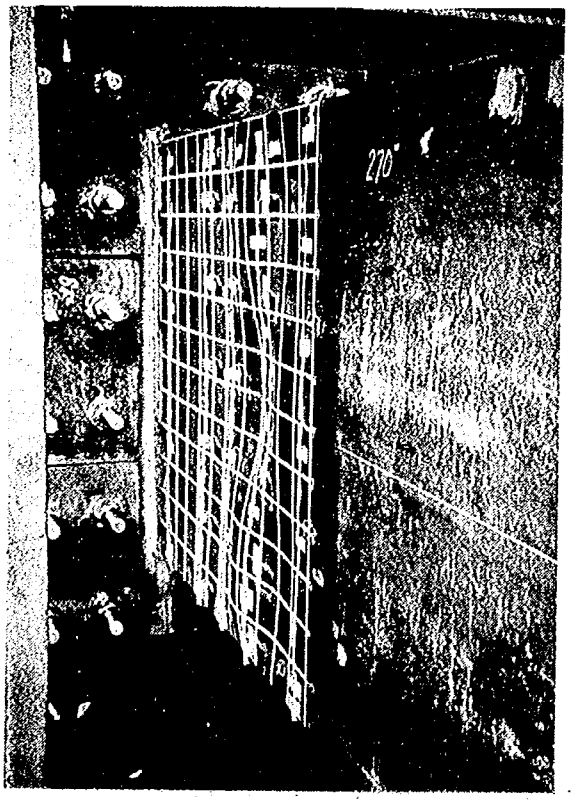
写真-3.1:1(25)　変位の状況（M11）



東(B)面



西(A)面

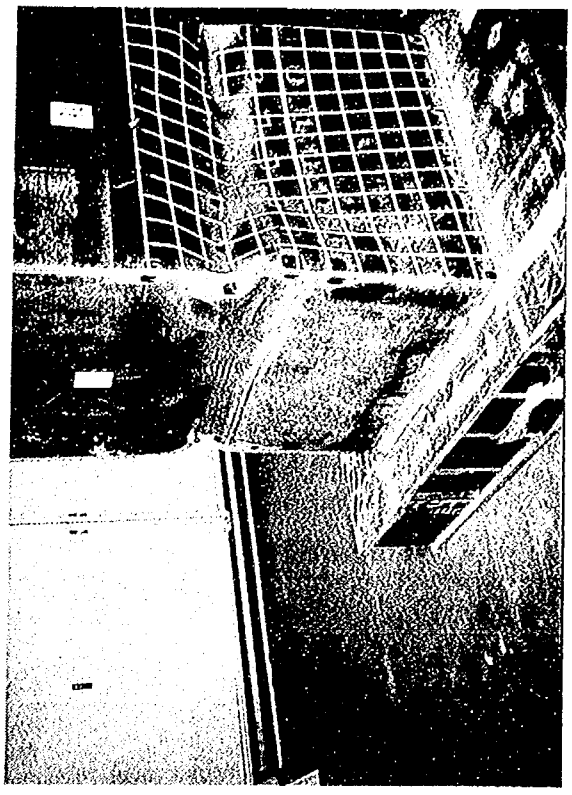


(ⅰ)最大荷重時
(+4δy)

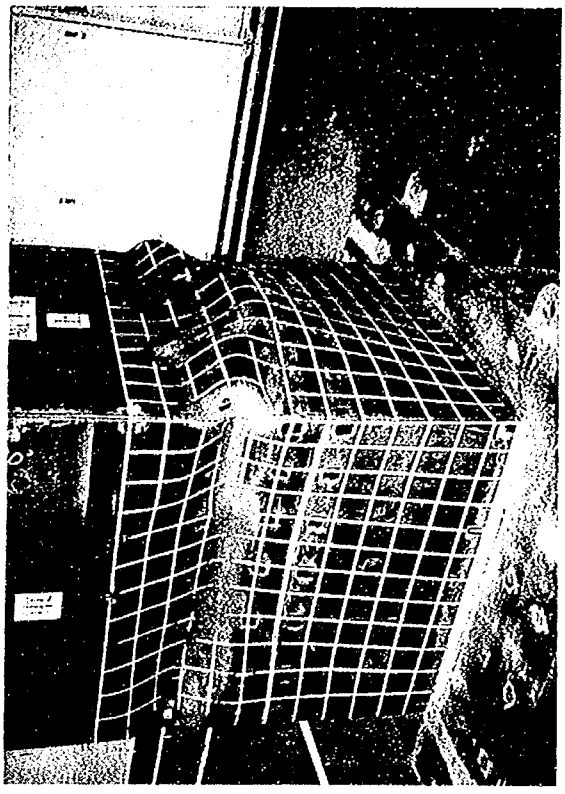
西(A)面

写真-3.1.1(26)　変位の状況(M14)

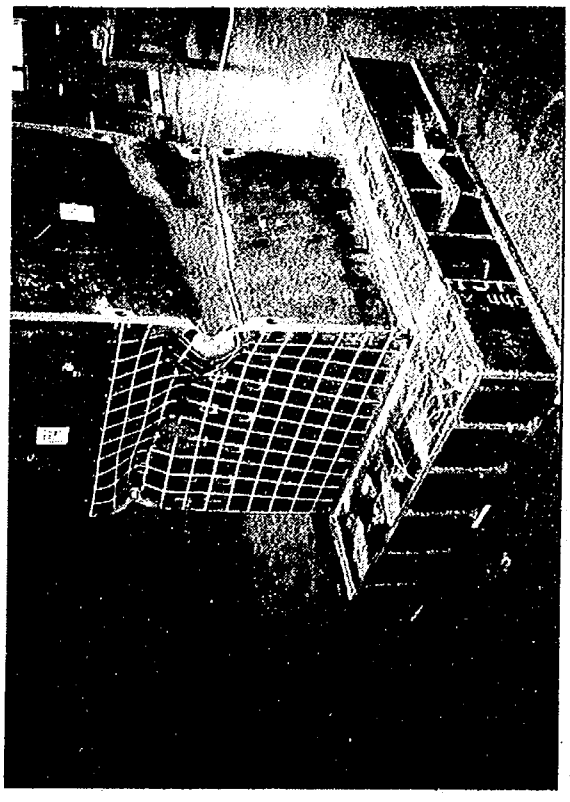
下－東面
（D－B）



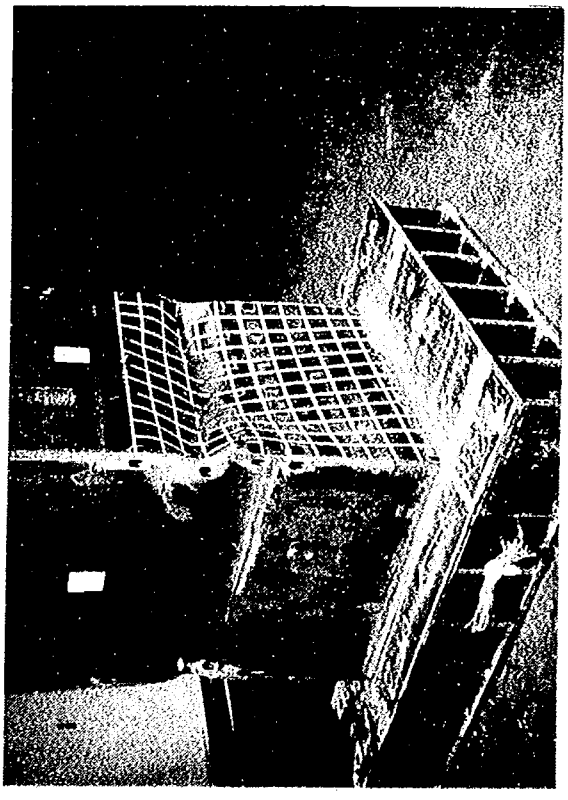
東－上面
（B－C）



西－下面
（A－D）

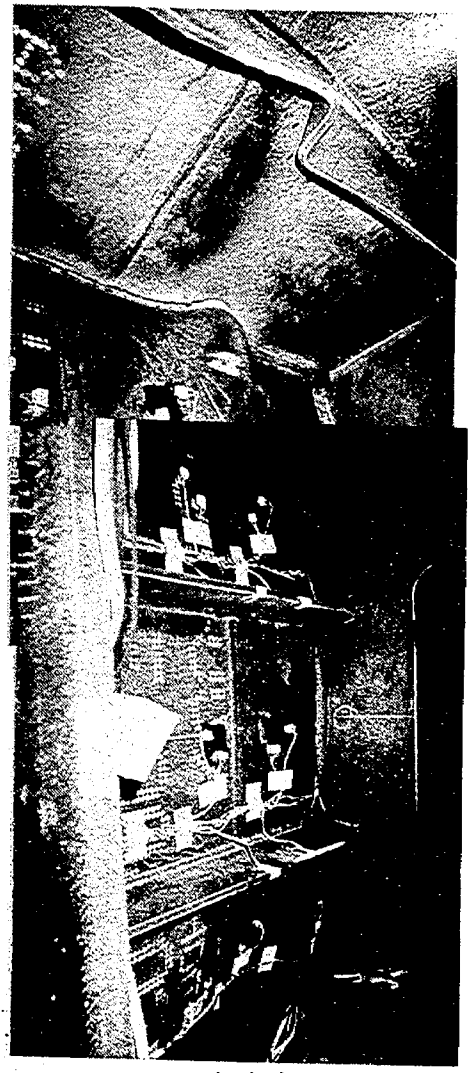


下－東面
（D－B）



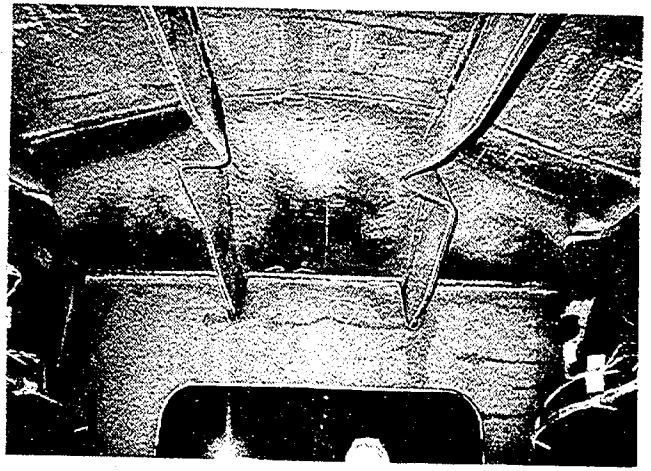
（ii）実験終了時（外面）

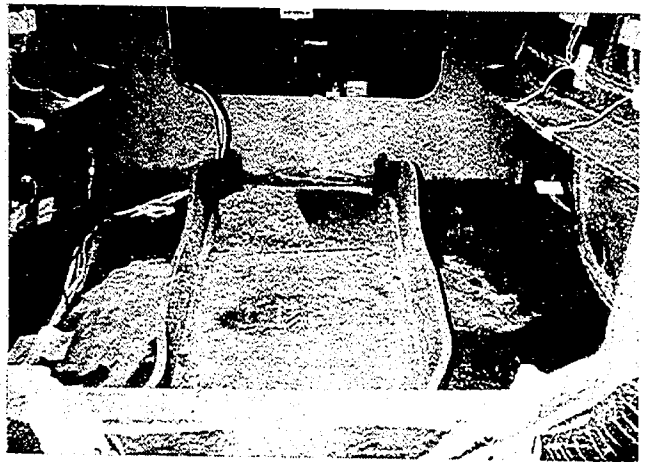
写真-3.1.1(27)　変位の状況（M14）



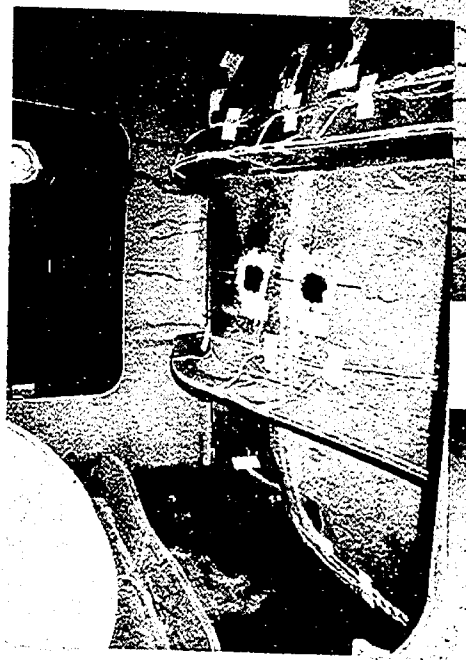
東(B)

上(C)





下(D)



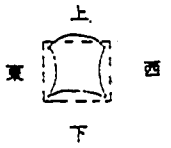
西(A)



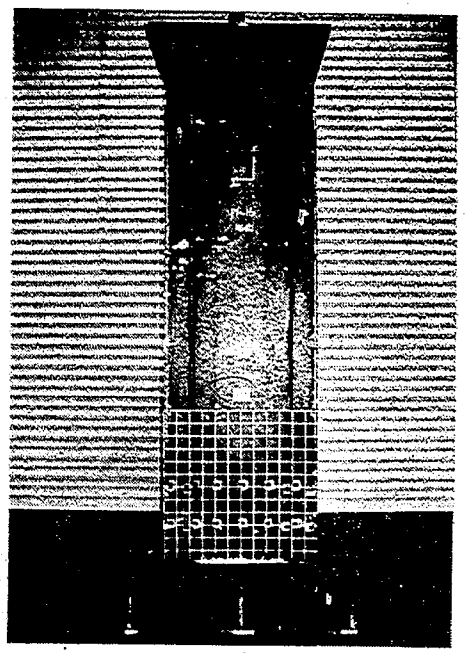


第1ダイヤフラムより上ベースを見る

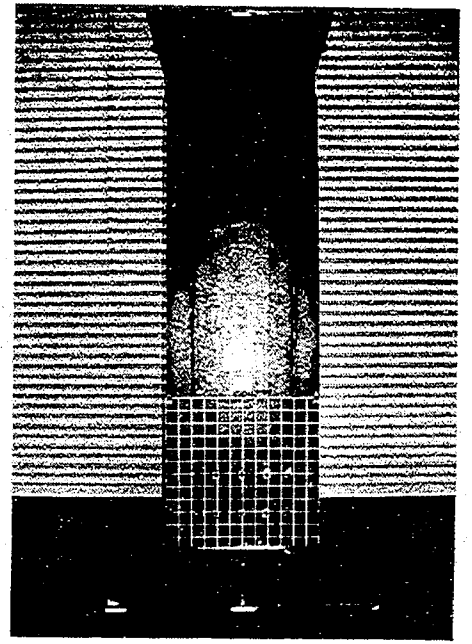
基部より第1ダイヤフラムを見る



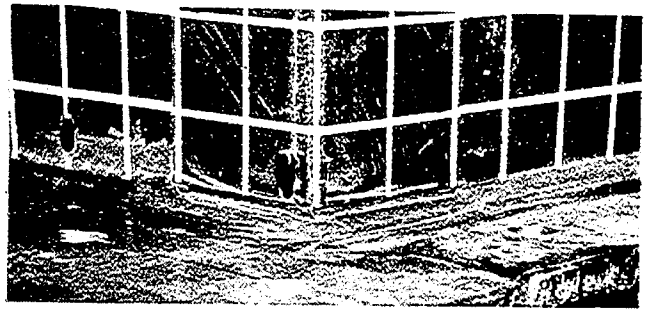
(iii)実験終了時(内面)
M14内部状況



西（A）



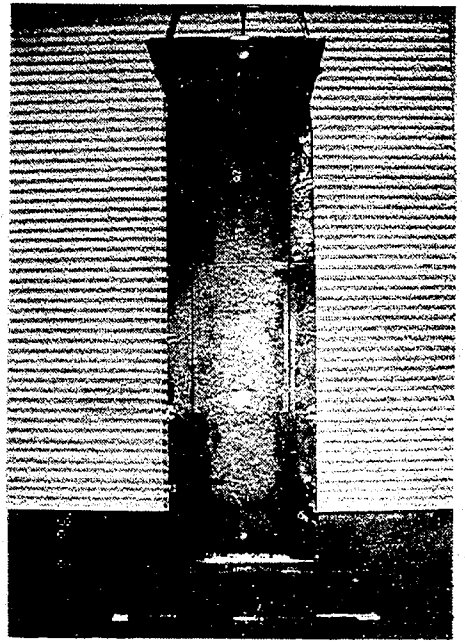
上（C）



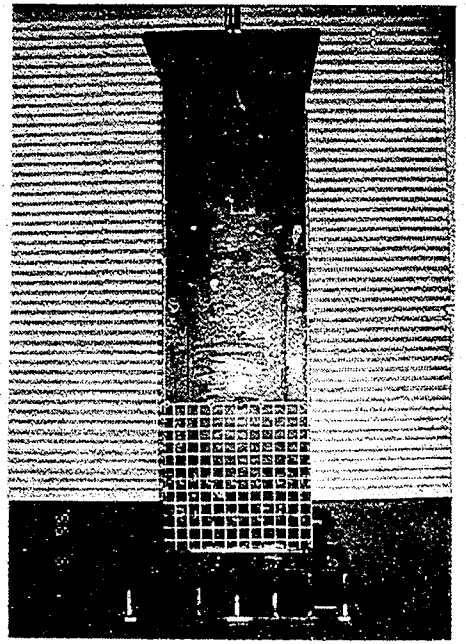
東上角
（B－C）



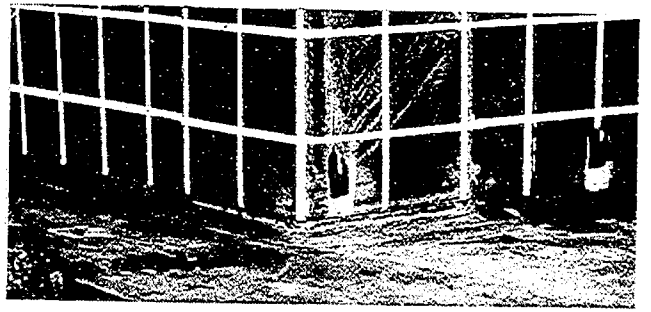
東下角
（D－B）



下（D）



東（B）



西上角
（C－A）



西下角
（A－D）

クラック状況

全　景

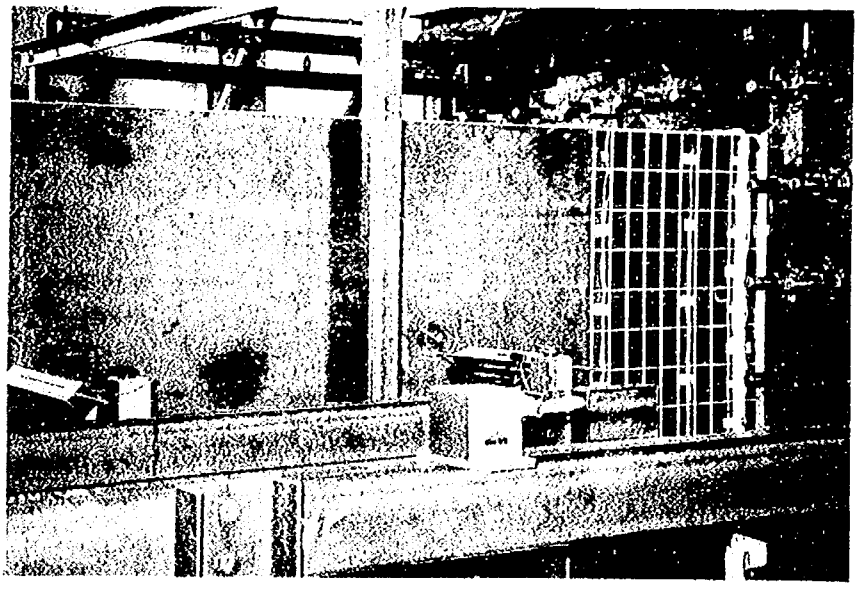
写真10－I（4）　No.16破壊進展状況（最終状態）

（ii）実験終了時（外面）

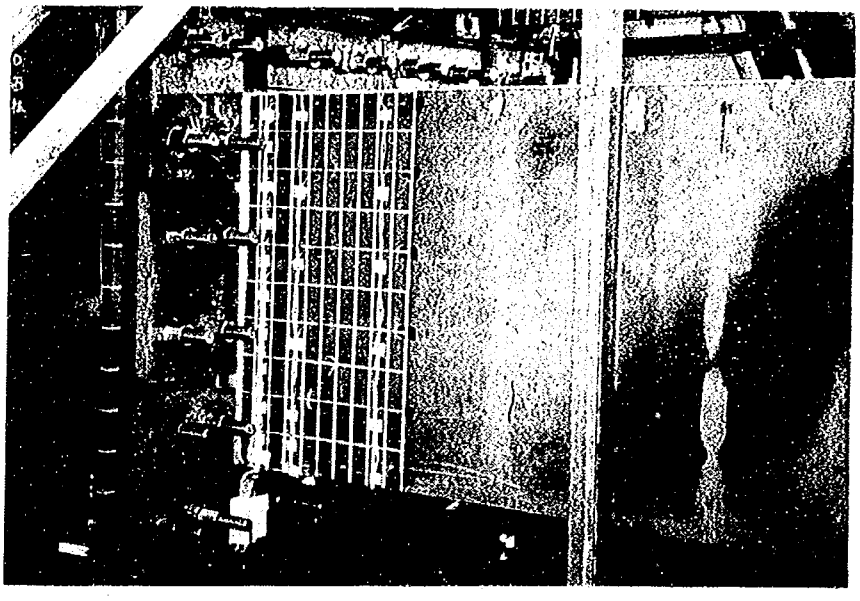
写真－3.1.1（29）　変位の状況（No.16）

(iii)実験終了時(内面)

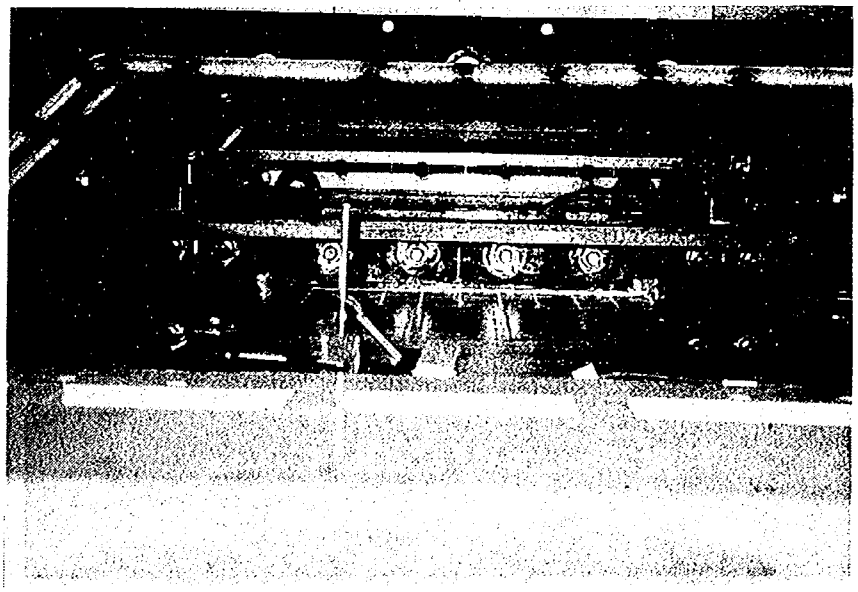
写真-3.1.1(30) 変位の状況 (M16)



東 (B) 面



西 (A) 面



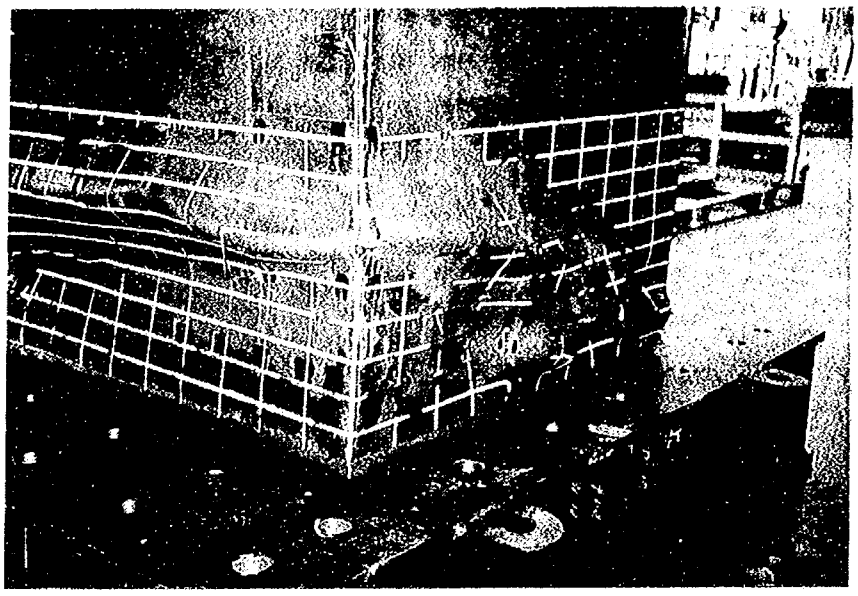
上 (C) 面

(ｉ)最大荷重時

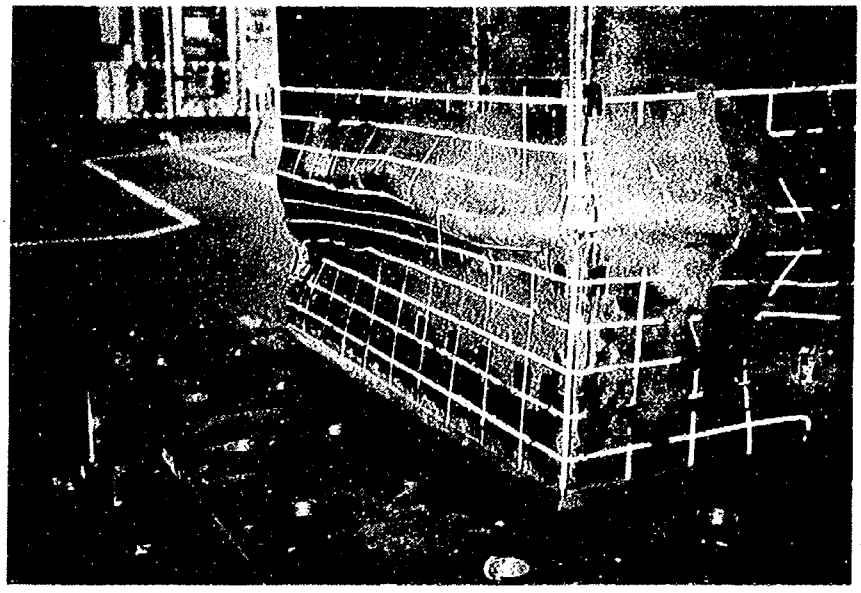
写真-3.1.1(31)　変位の状況(M17)(+6δy)



上－西面
（C－A）



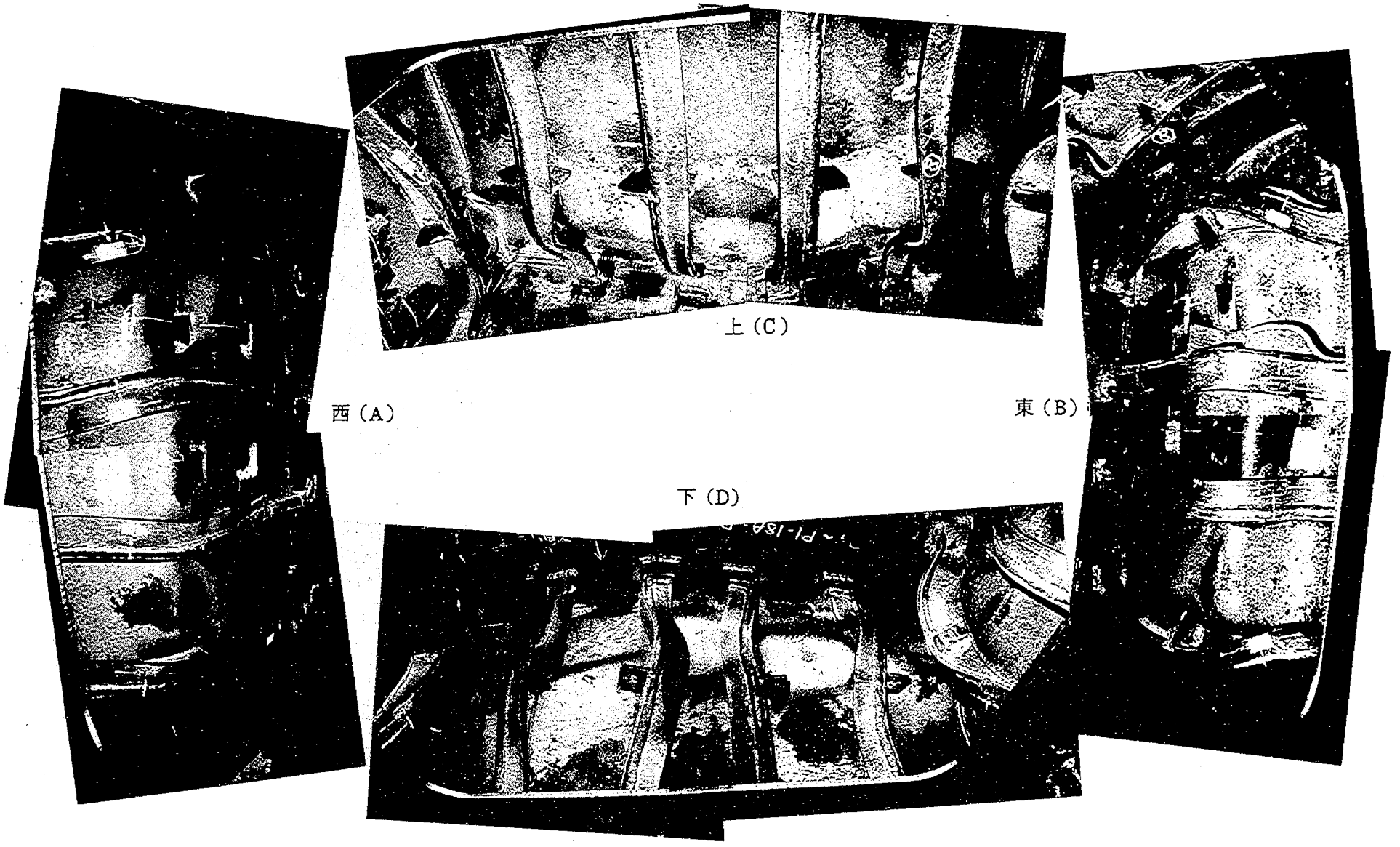
東－上面
（B－C）



東－上面
（B－C）

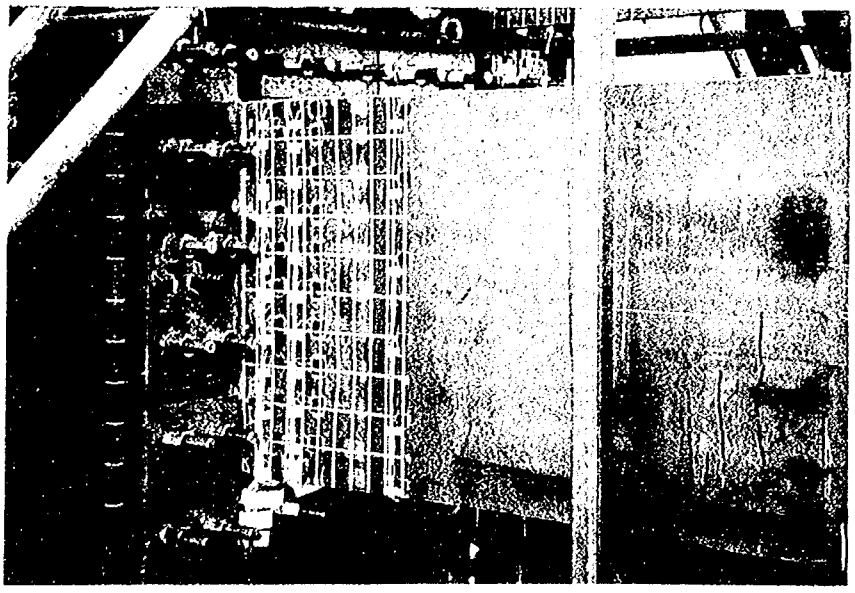
（ii）実験終了時（外面）

写真-3.1.1（32）　変位の状況（M.17）

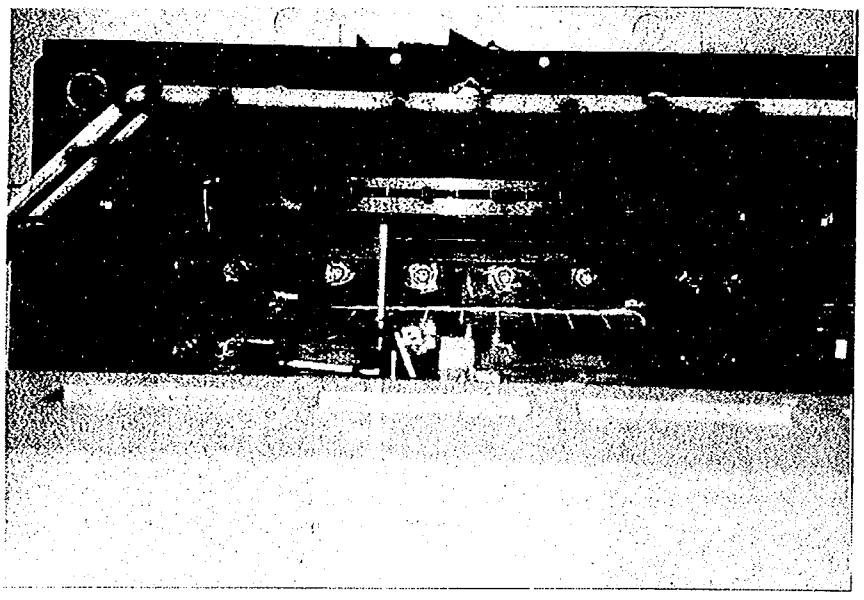


（iii）実験終了時（内面）
M17最終状態（供試体上部より見る）

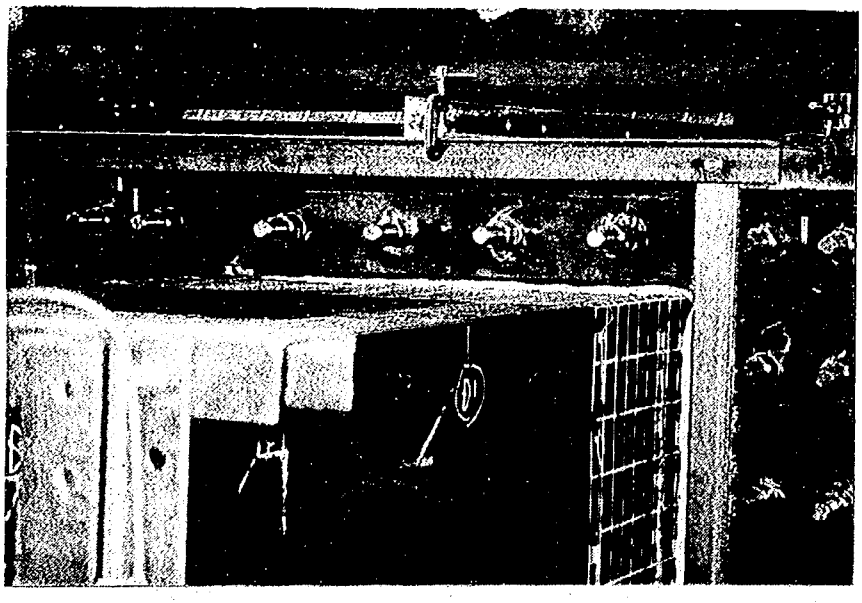
写真-3.1.1(33)　変位の状況（M17）



西(A)面



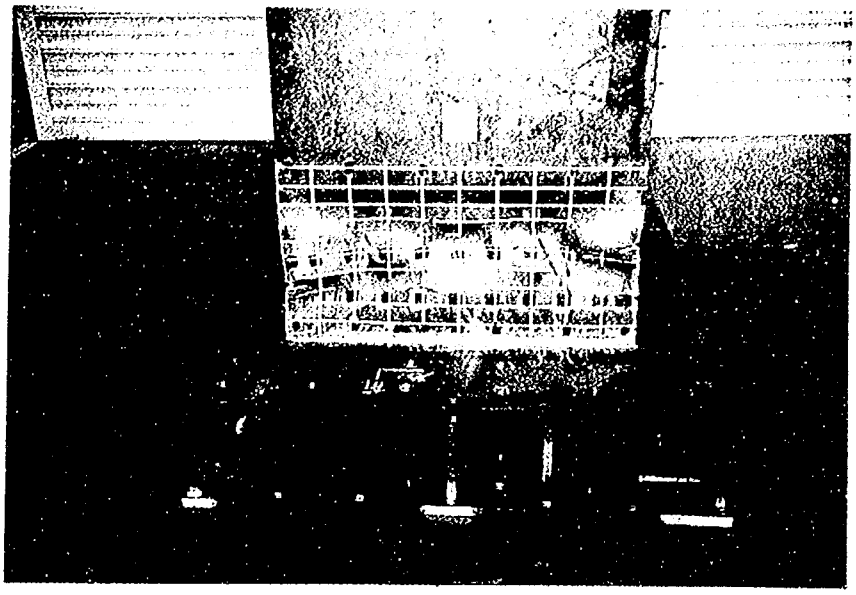
上(C)面



上／東面
（C／B）

（ｉ）最大荷重時

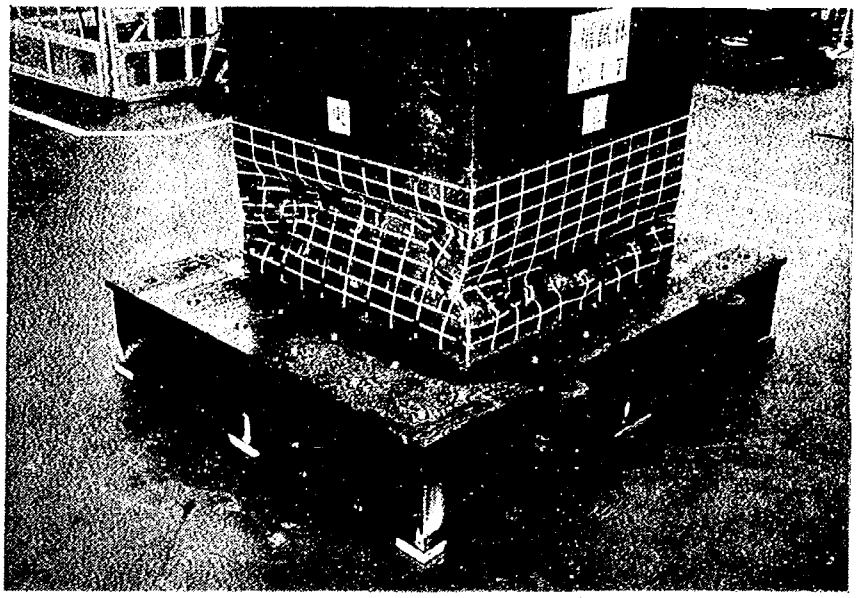
写真－３．１．１（３４）　変位の状況（M1-8）（＋６δｙ）



西(A)面



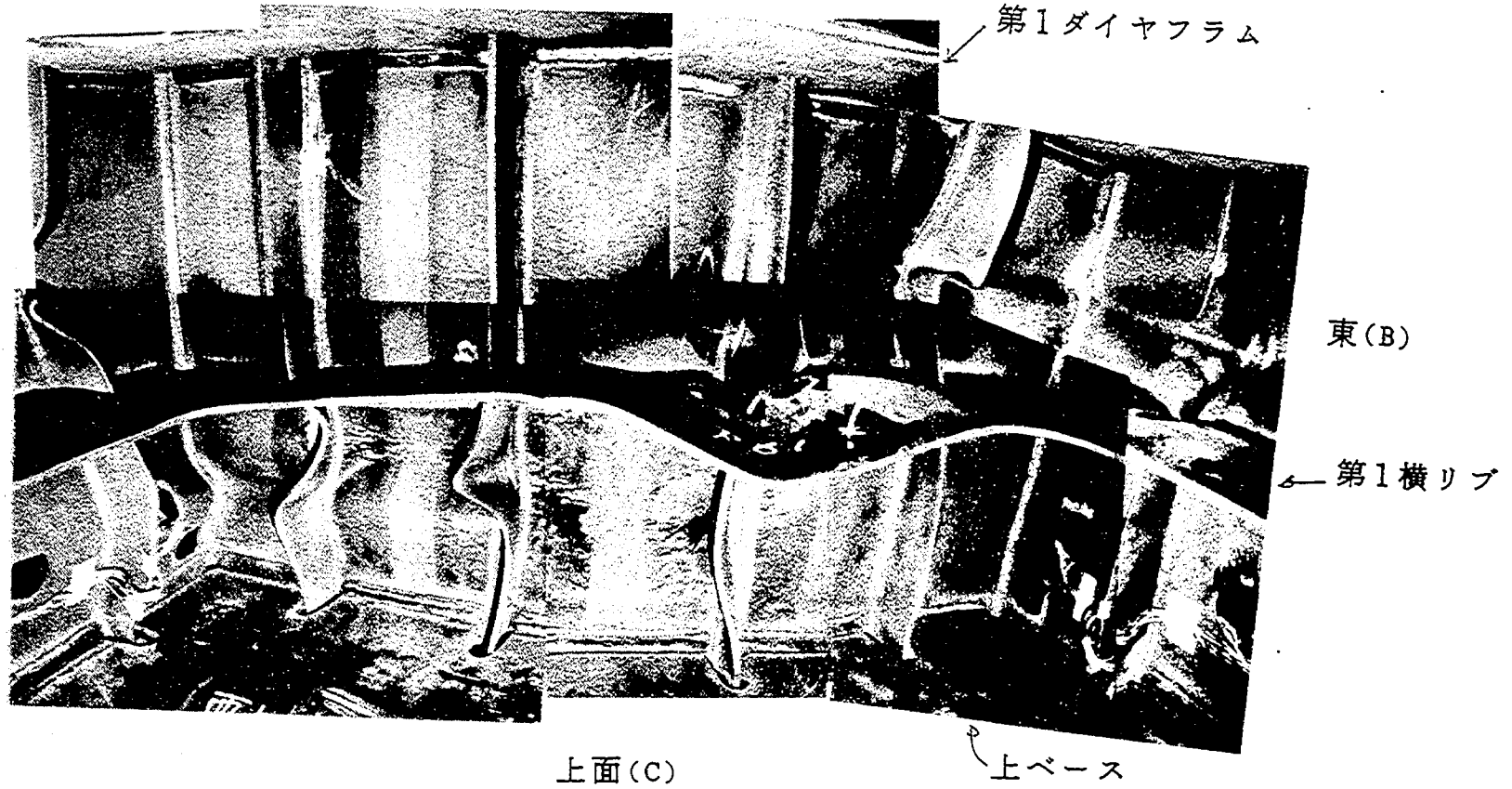
上－西面
（C－A）



東－上面
（B－C）

（ii）実験終了時（外面）

写真-3.1.1(35)　変位の状況（M18）

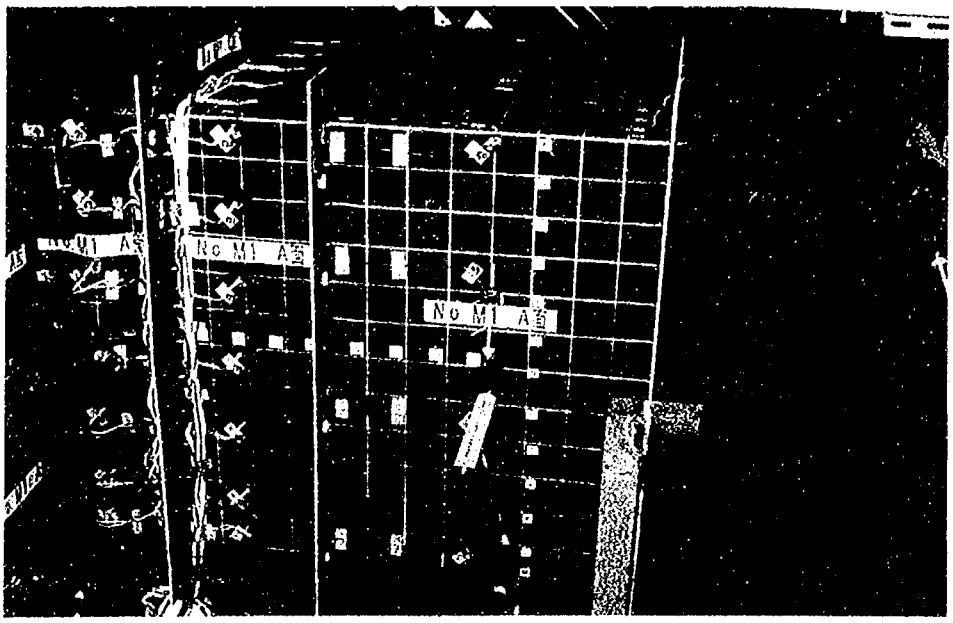


(iii)実験終了時(内面)

写真-3.1.1(36) 変位の状況(M18)

写真－3．1．1(37)　実仕の状況(M1-8)

Ｍ１試験体載荷試験状況(１)



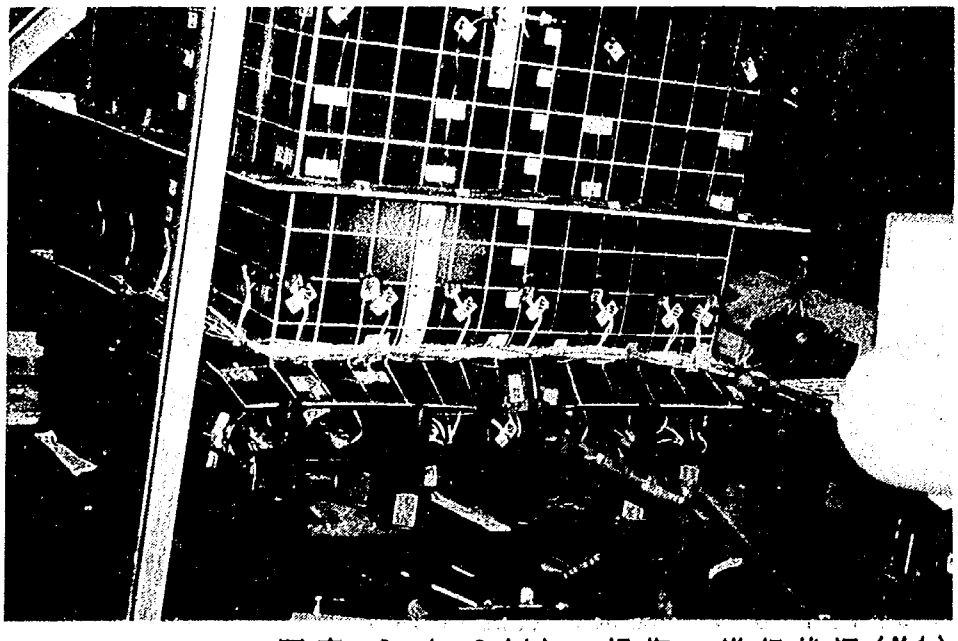
試験体	Ｍ１
変位	＋４δｙ

圧縮フランジ(Ａ面)の状況。
格子白線、ラベル紙の弛み等によって座屈変形が顕著に表れる。



試験体	Ｍ１
変位	＋５δｙ

圧縮フランジ(Ａ面)の状況。
格子白線、ラベル紙の弛み等によって座屈変形が大きくなたことが分かる。

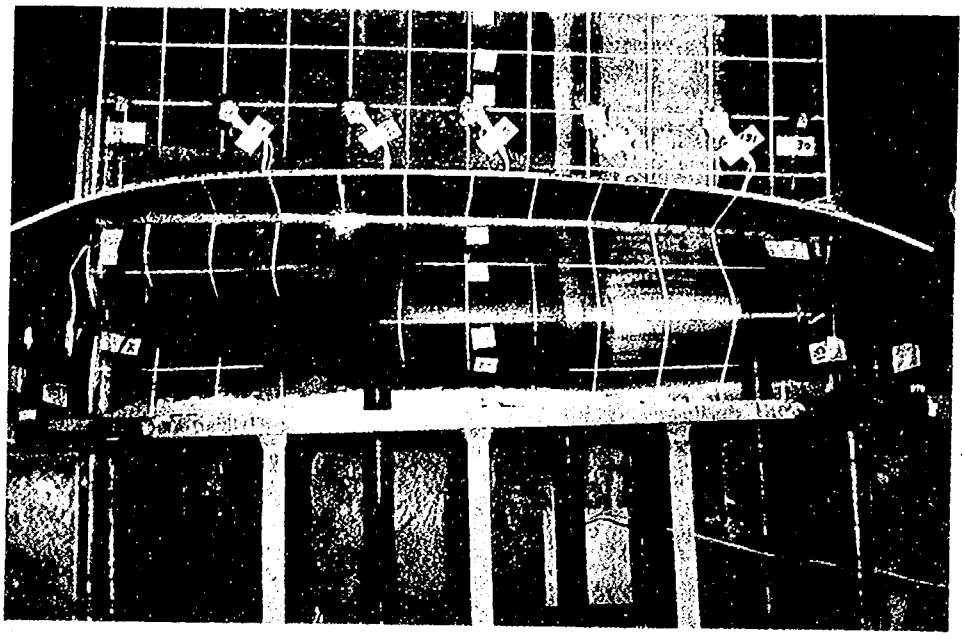


試験体	Ｍ１
変位	＋７δｙ

圧縮フランジ(Ａ面)の状況。
移行時に引張側(Ｂ面とＤ面)の角部に軸直角方向の割れ発生。
＋７δｙの直前に角溶接部(Ａ面とＣ面、Ａ面とＤ面の)の割れ発生し、大きく開く。
水平耐力は、4.6tで、終局状態。

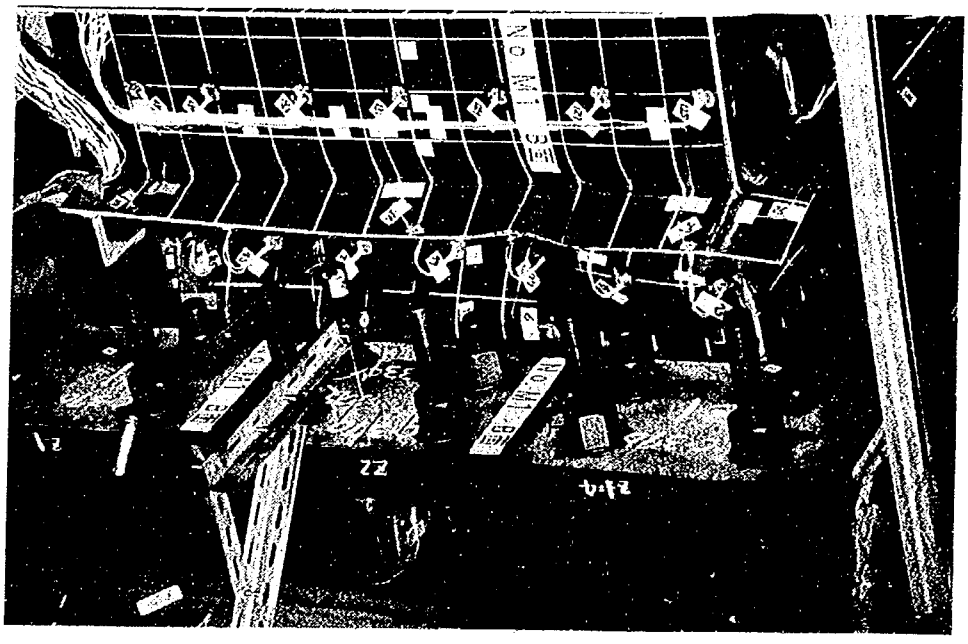
写真-３．１．２(１)　損傷の進行状況(Ｍ１)

M１試験体載荷試験状況(２)



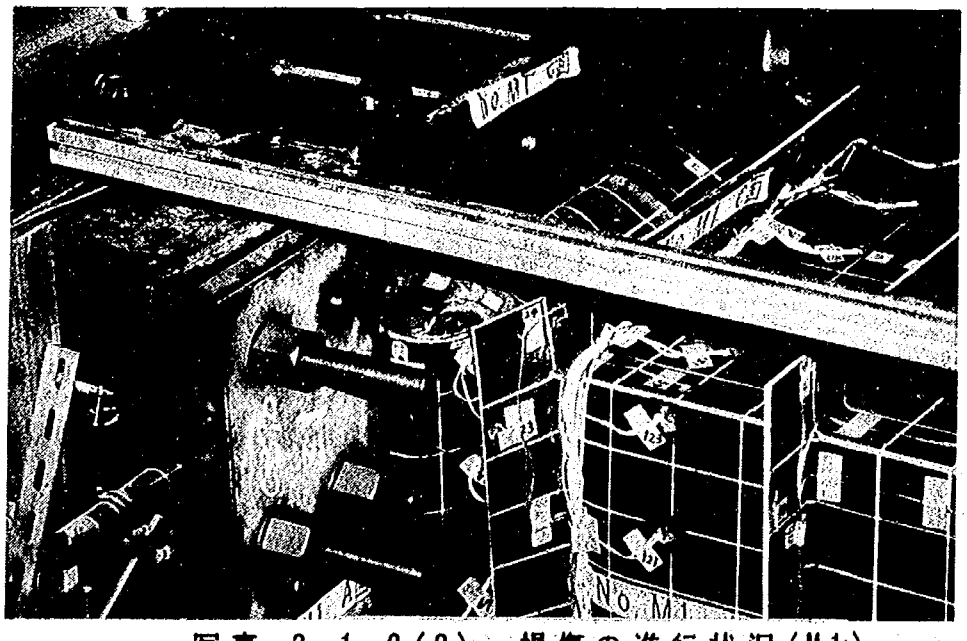
試験体	M１
変位	＋７δy

上側ウェブ(C面)の状況。
座屈のモードは、縦リブが完全な節とならず連続しているのがわかる。



試験体	M１
変位	＋７δy

引張フランジ(B面)の状況。
座屈のモードは、縦リブが完全な節とならず連続しているのがわかる。

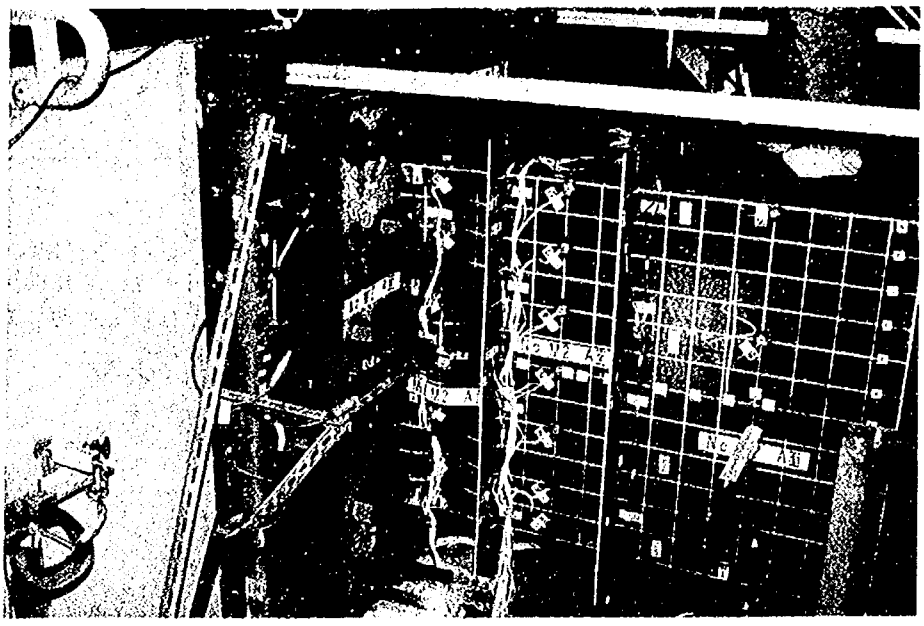


試験体	M１
変位	＋７δy

圧縮フランジの角溶接(A面とC面)の割れの状況。
＋６δ～－６δへの移行時に発生した軸直角方向の割れも見える。

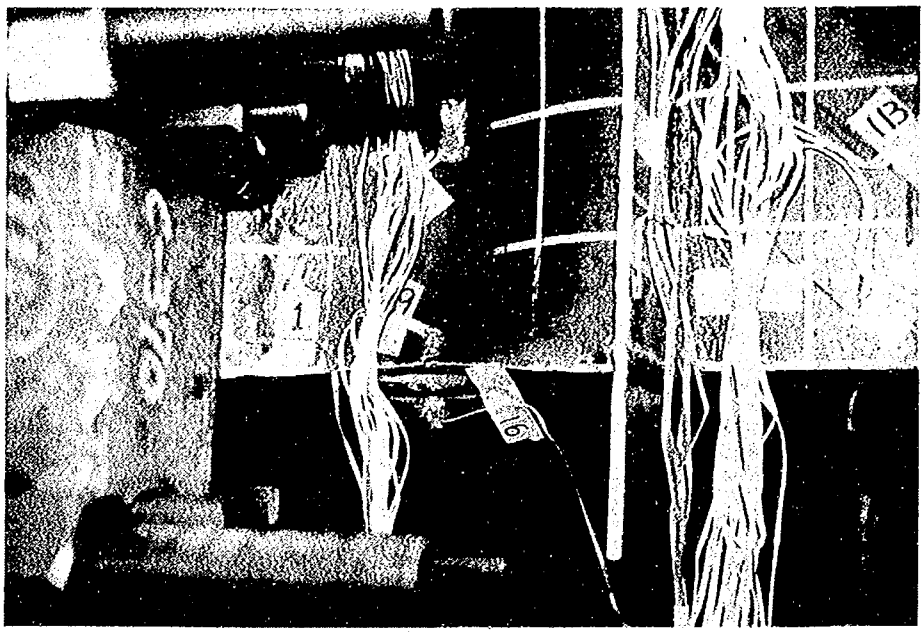
写真-３．１．２(２)　損傷の進行状況(M１)

M２試験体載荷実験状況



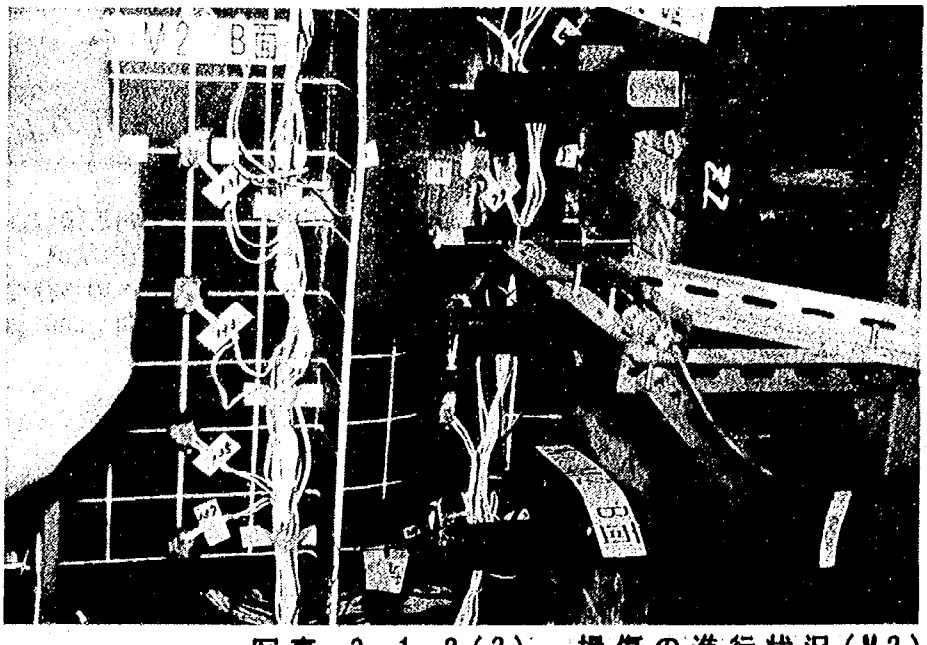
試験体	M２
変　位	＋５δｙ

圧縮ﾌﾗﾝｼﾞ(A面)の状況
縦リブ間での座屈モードが大きくなっている。
ウェブ(C面)の面外変形も大きくなっている。



試験体	M２
変　位	＋６δｙ

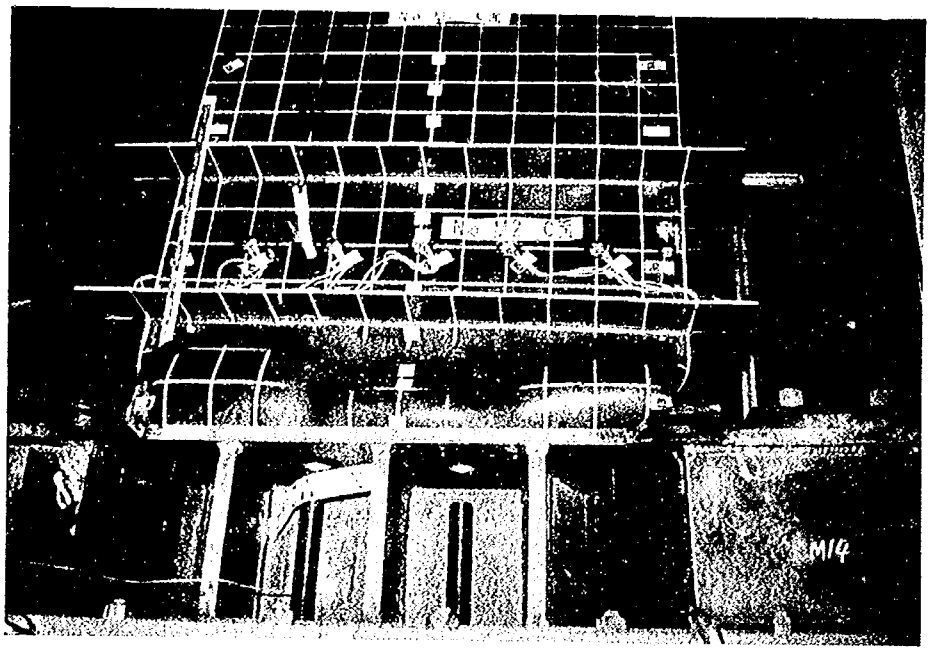
圧縮ﾌﾗﾝｼﾞ(A面)の状況
A面とｳｪﾌﾞ(C,D面)との角溶接部内側に一部割れが見られる。また、内面の縦ﾘﾌﾞ隅肉溶接部にも一部割れが見られる。



試験体	M２
変　位	＋７δｙ

引張ﾌﾗﾝｼﾞ(B面)の状況
+7δy移行中に下側の角溶接部に割れが発生し、以降B面の中央部付近にも割れが発生している。

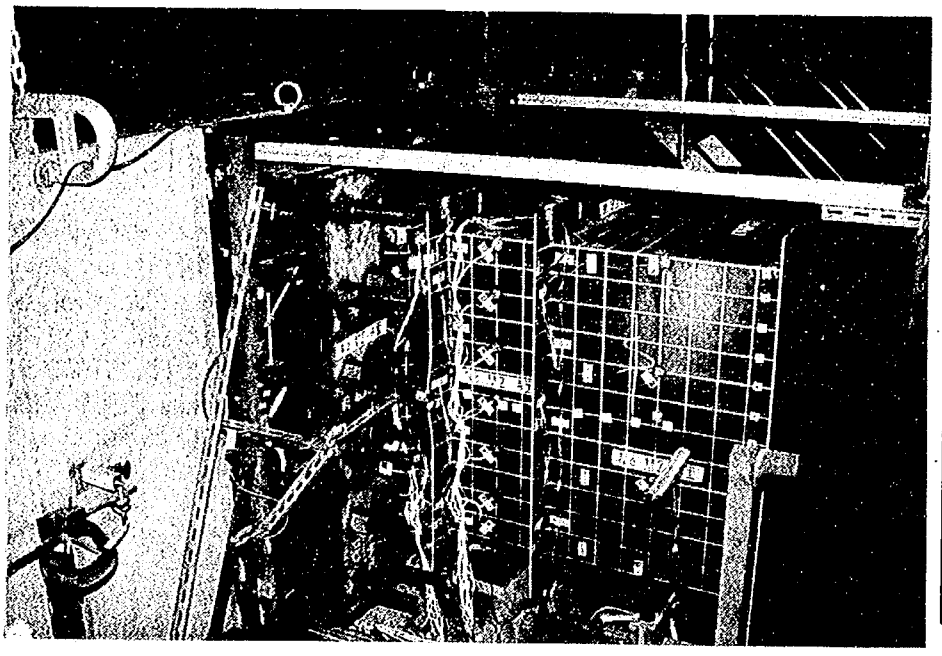
写真-3.1.2(3)　損傷の進行状況(M2)



試験体	M 2
変　位	＋７δｙ

ｳｪﾌﾞ(C面)の状況

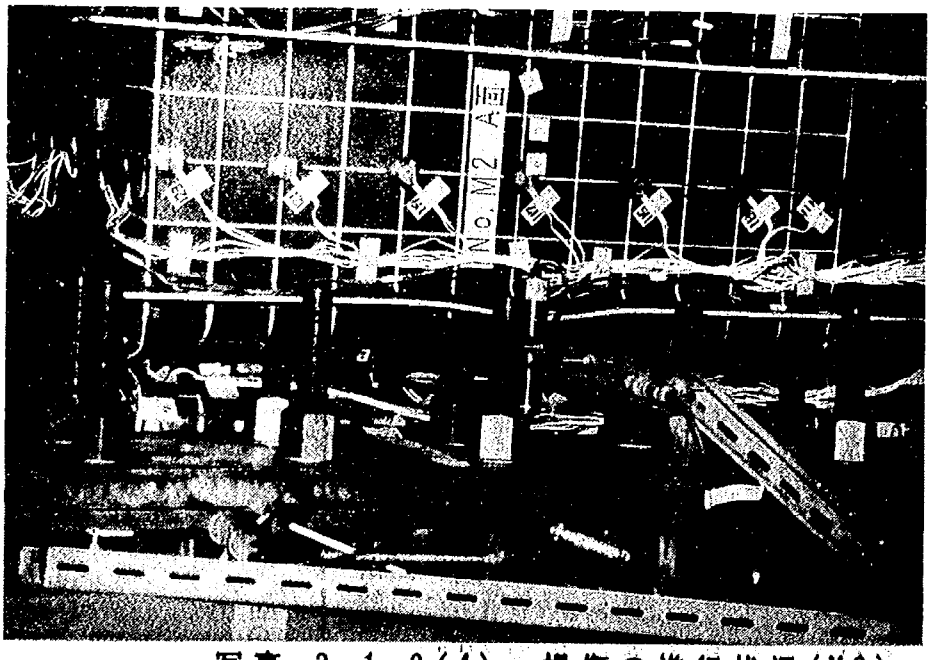
縦ﾘﾌﾞ間での座屈形状が非常に大きくなっている。



試験体	M 2
変　位	＋８δｙ終了時

ﾌﾗﾝｼﾞ(A面)の状況

ループ吸収エネルギーが大きく低下したため、試験終了。



試験体	M 2
変　位	＋８δｙ終了時

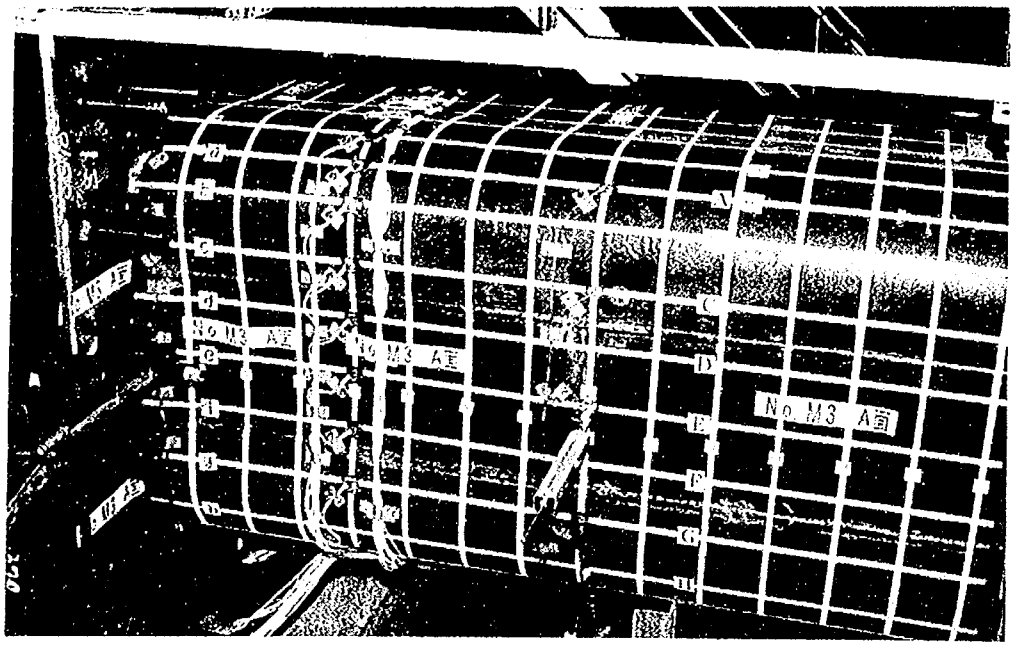
ﾌﾗﾝｼﾞ(A面)の状況

ﾌﾗﾝｼﾞ面中央付近の凸部に大きな母材割れが生じている。

角溶接部は溶接が切れ開口している。

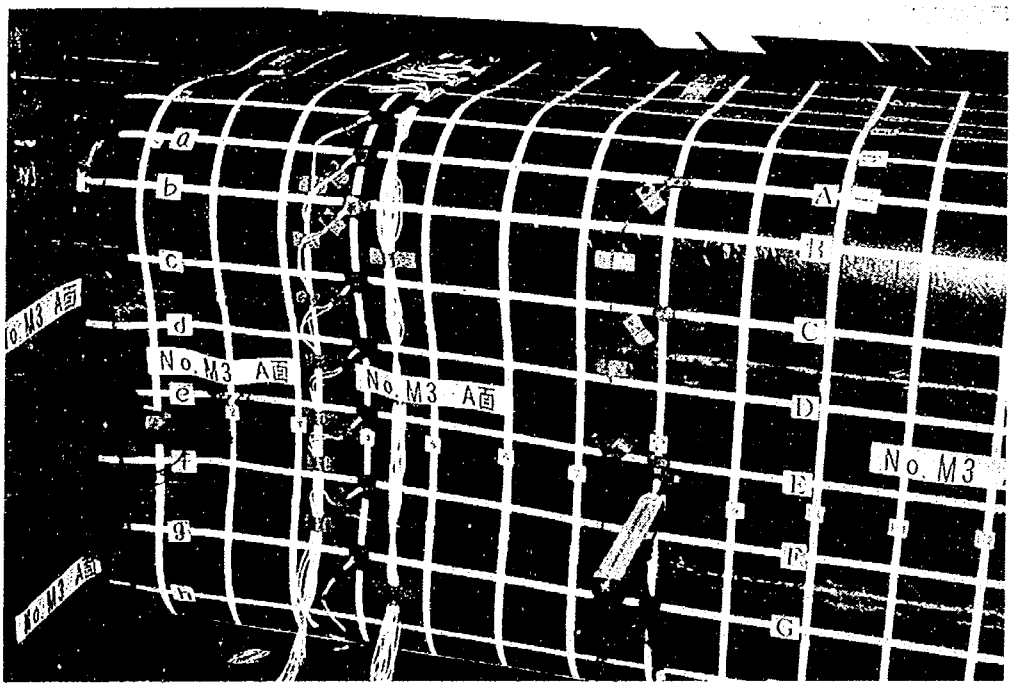
写真-3.1.2(4)　損傷の進行状況(M2)

M３試験体載荷試験状況(１)



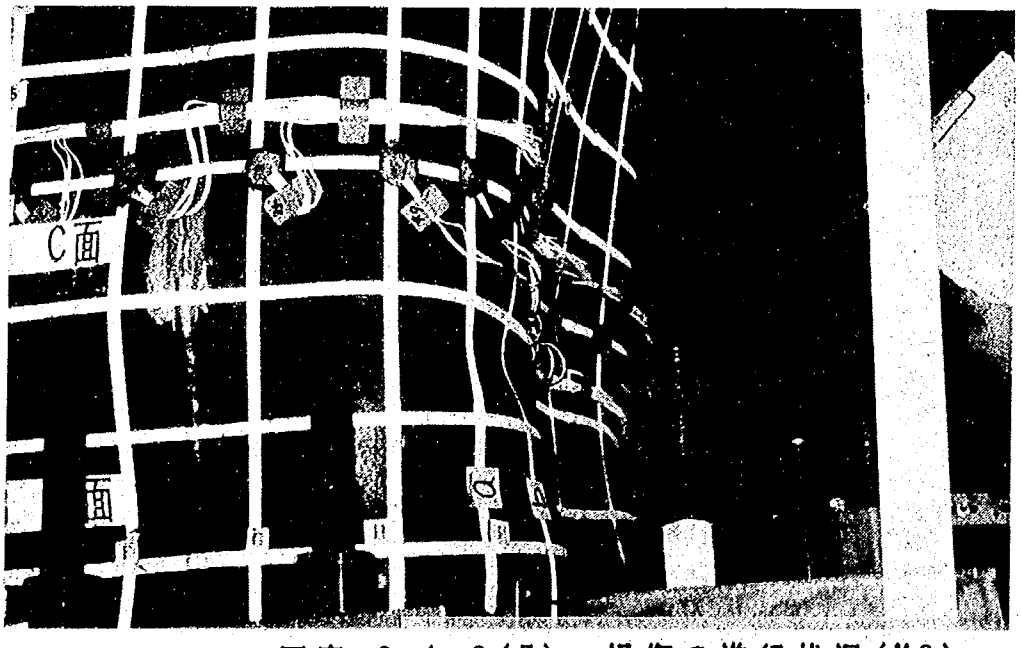
試験体	M３
変位	＋５δy

圧縮フランジの(Ａ面)局部座屈が＋４δyより目視できるようになり、この段階(＋５δy)では、より明確に確認できる程度となった。



試験体	M３
変位	＋７δy

圧縮フランジの(Ａ面)局部座屈が顕著に見られる。
また、ウェブ面(Ｃ面)も座屈しているがよくわかる。
この段階では、引張フランジ(Ｃ面)は、凹座屈状態から戻っていた。

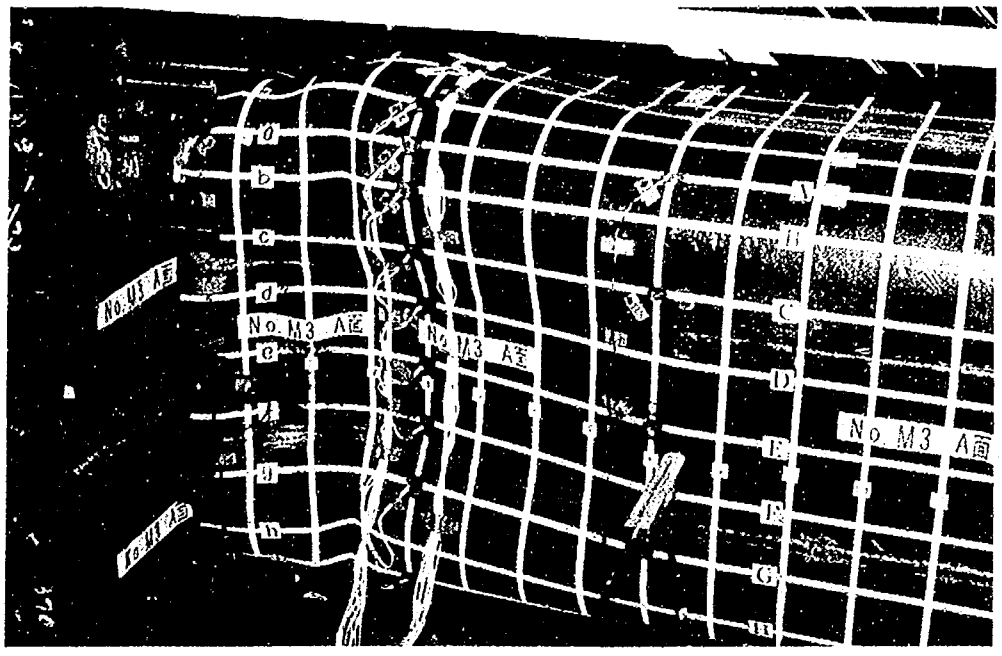


試験体	M３
変位	＋９δy

圧縮フランジの(Ａ面)局部座屈がさらに顕著に見られる。
また、ウェブ面(Ｃ面)も座屈も凸に大きくなっている。
円弧状のコーナーの板も変形が顕著になっている。

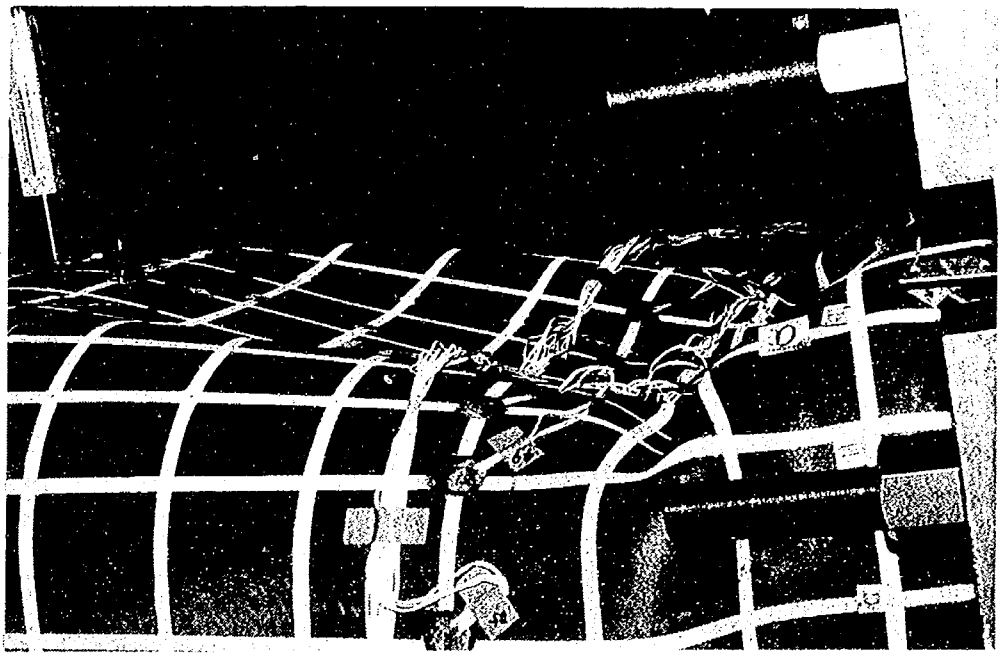
写真-3.1.2(5)　損傷の進行状況(M3)

Ｍ３試験体載荷試験状況（２）



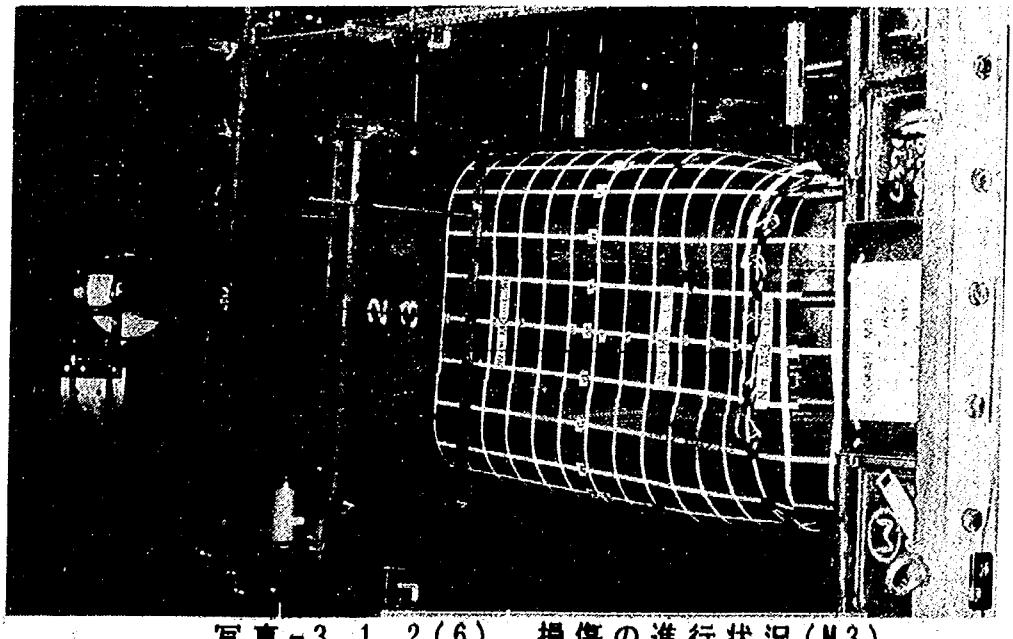
試験体	Ｍ３
変位	＋１０δｙ

局部座屈は、フランジ(手前Ａ面)～円弧状のコーナー板～ウェブ面(上：Ｃ面)へと連続し、さらに引張側へと続いている。
変形形状は、フランジで凹、ウェブで凸となるため断面の抵抗できる曲げモーメントもより小さくなっていると推測される。



試験体	Ｍ３
変位	＋１１δｙ

圧縮フランジ(手前Ａ面)～円弧状のコーナー板へと連続する座屈変形状態は、非常におおきくなっている。
補剛板全体(ダイヤフラム間)で変形が大きくなっており、基部よりに最大変形部がある。

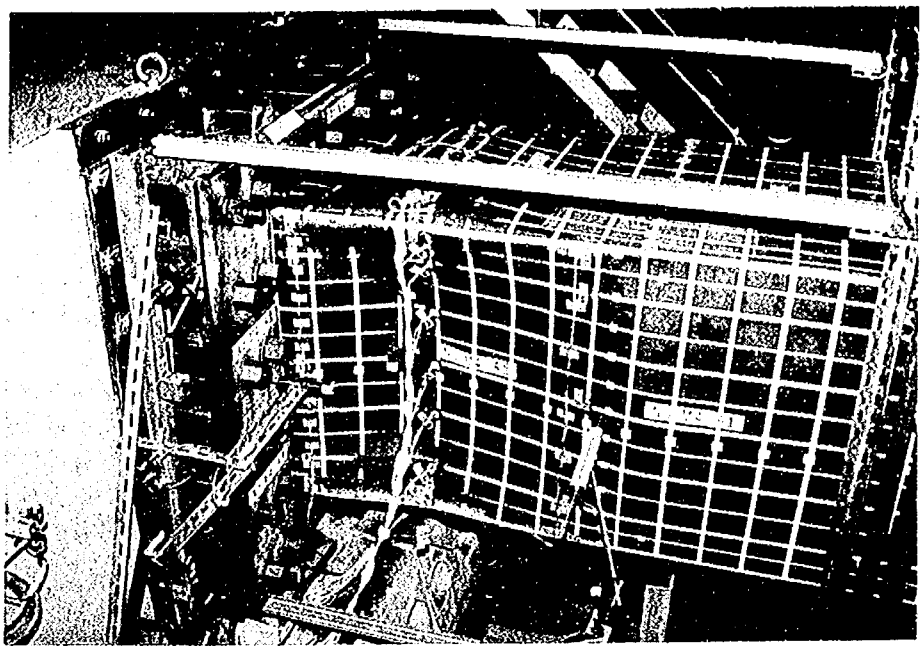


試験体	Ｍ３
変位	＋１１δｙ

基部側上方より、俯瞰した状態。
基部の部分で、断面が絞れたように局部座屈変形が起こっているのが分かる。
また、変形はこの部分の塑性ヒンジ状の回転のみで、それより載荷点側ではほぼ直線であるように見える。

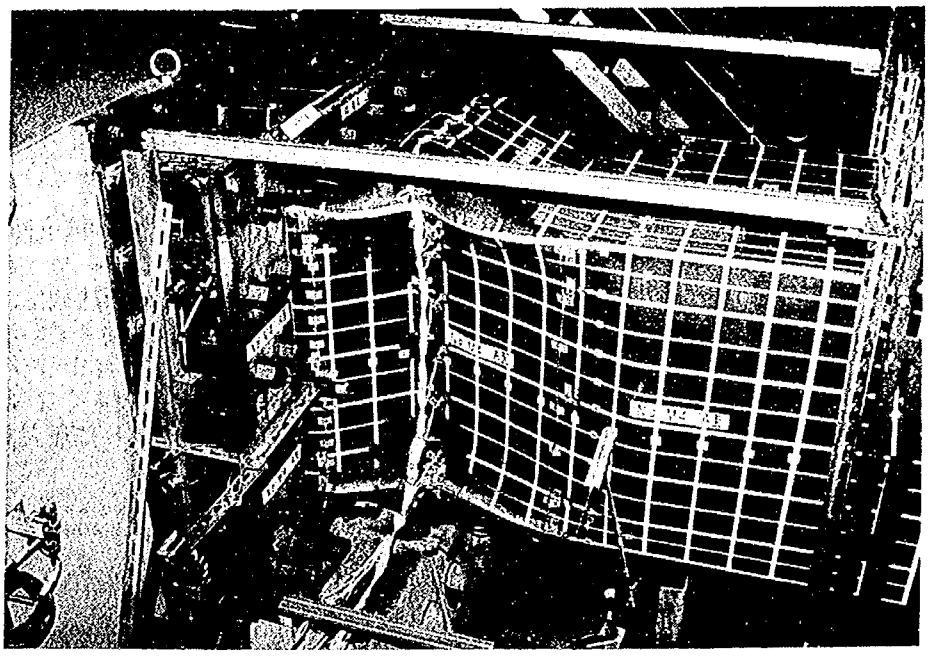
写真-3.1.2(6)　損傷の進行状況(M3)

Ｍ４試験体載荷実験状況



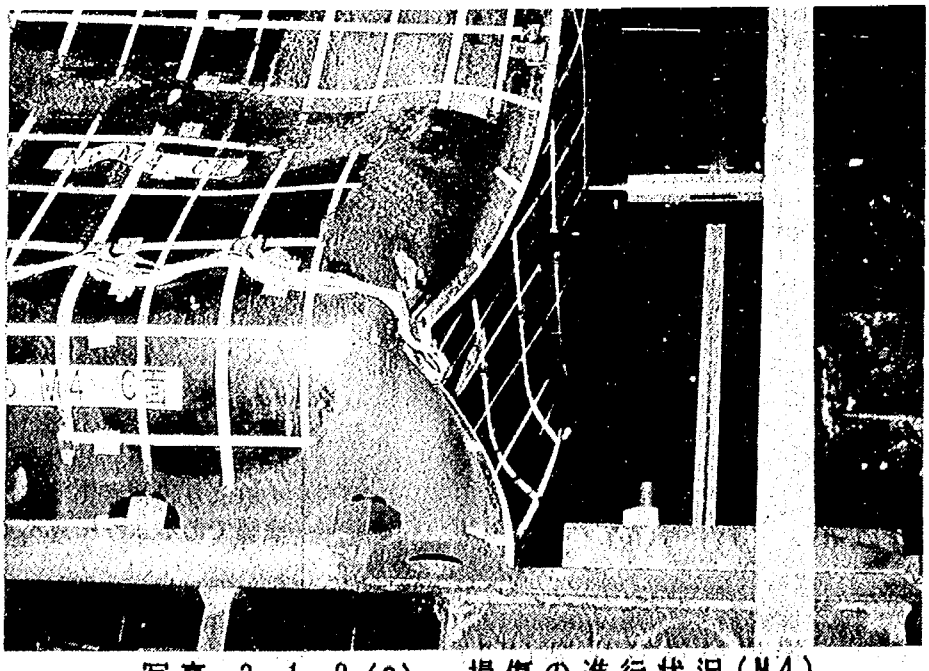
試験体	Ｍ４
変位	+7δy

圧縮ﾌﾗﾝｼﾞ(Ａ面)の状況。
変形は大きく進行し、ダイヤフラム間パネル全体が変形している。
ウェブとフランジの角が直線でなくなりはじめている。



試験体	Ｍ４
変位	+9δy 終了時

圧縮ﾌﾗﾝｼﾞ(Ａ面)の状況。
面外変形が非常に大きくなっている。
ループ吸収エネルギーが大きく低下し、試験終了。

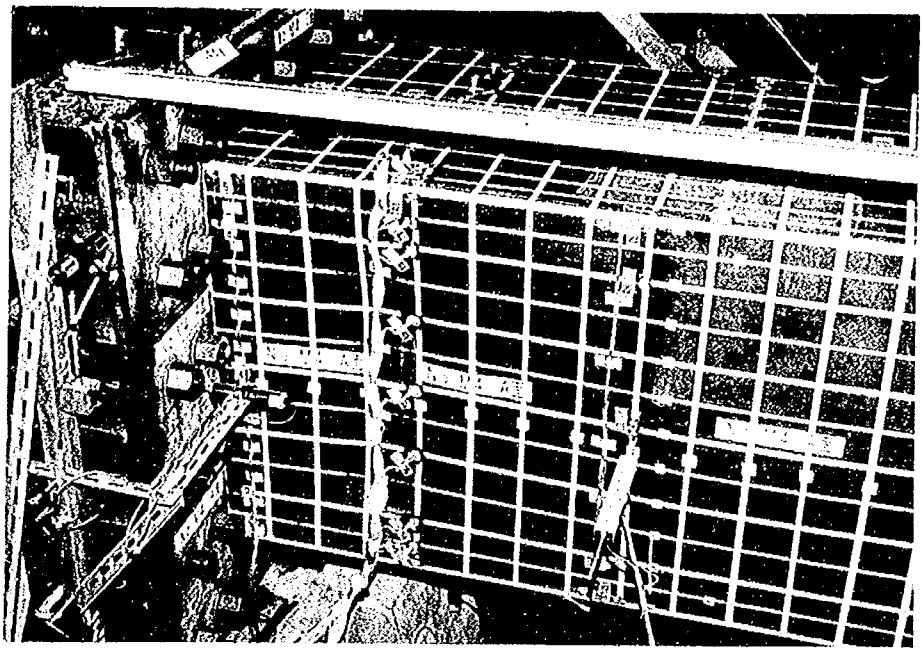


試験体	Ｍ４
変位	+9δy 終了時

ｳｪﾌﾞ(Ｃ面)と圧縮フランジ(Ａ面)の角部の状況。
面外変形、角部の曲がりは大きいが、溶接割れは生じていない。

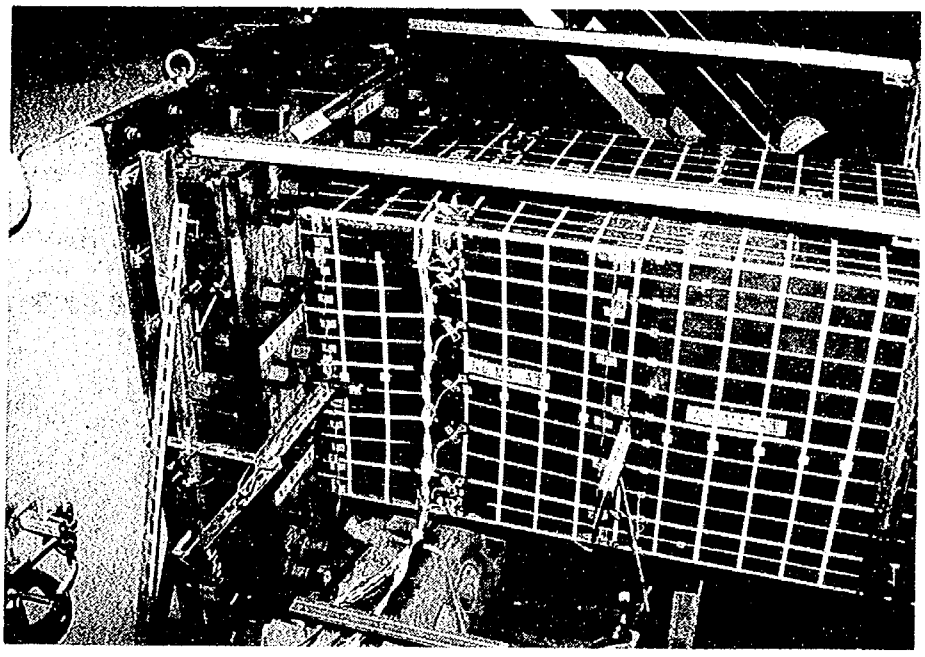
写真-3.1.2(8)　損傷の進行状況(M4)

M４試験体載荷実験状況



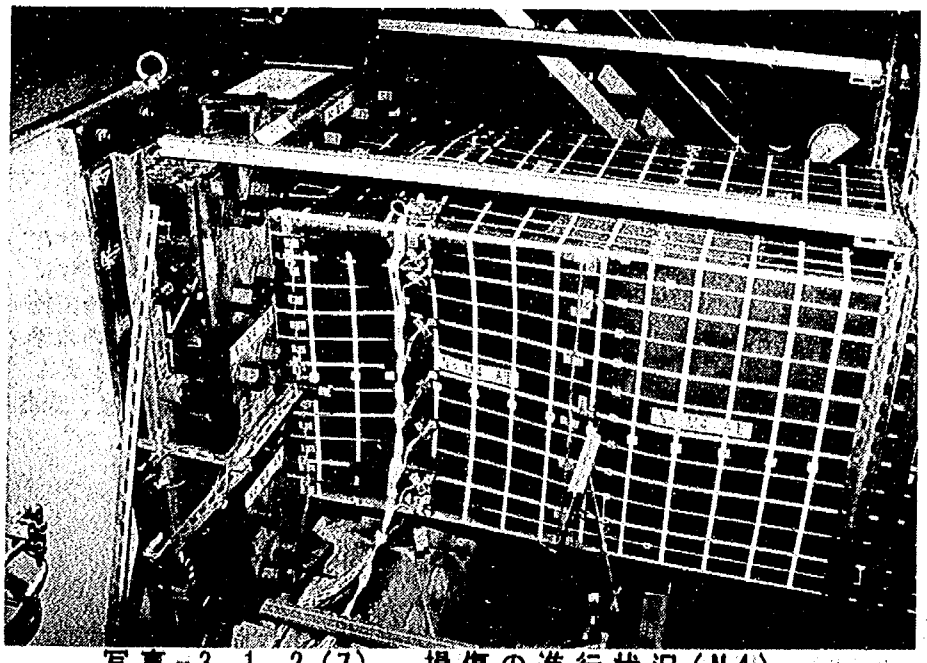
試験体	M４
変位	+4δy

圧縮ﾌﾗﾝｼﾞ(A面)の状況。
縦リブ間の局部モード（凹・凹）と僅かに端部リブ間の全体的モード（凹）が生じている。
ｳｪﾌﾞ(C面)も僅かに面外変形が生じている。



試験体	M４
変位	+5δy

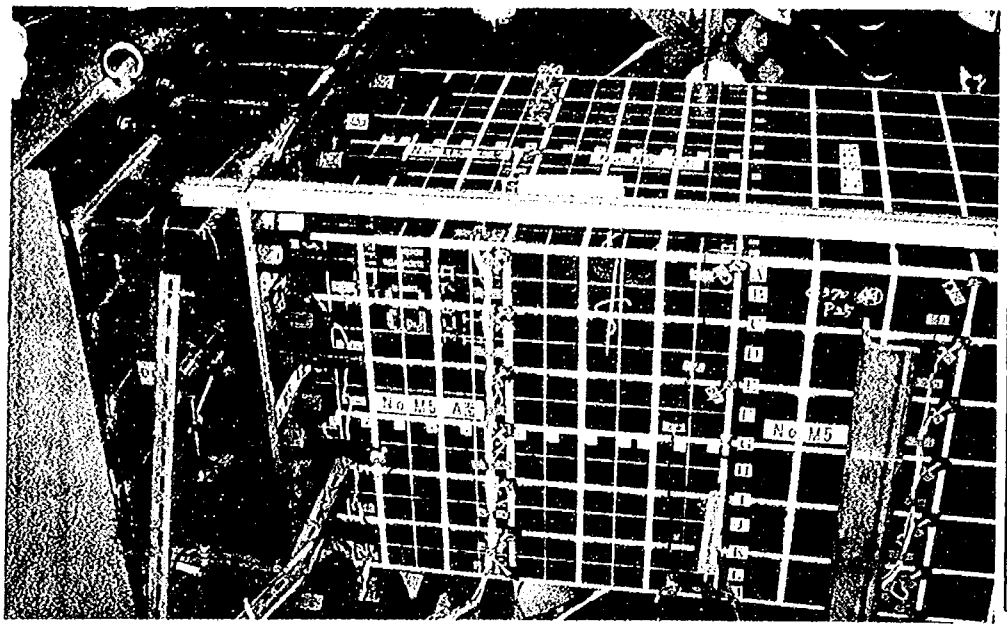
圧縮ﾌﾗﾝｼﾞ(A面)の状況。
端部縦リブ間での全体的モードが大きくなっている。
ｳｪﾌﾞ(C面)の面外変形がやや大きくなる。



試験体	M４
変位	+6δy

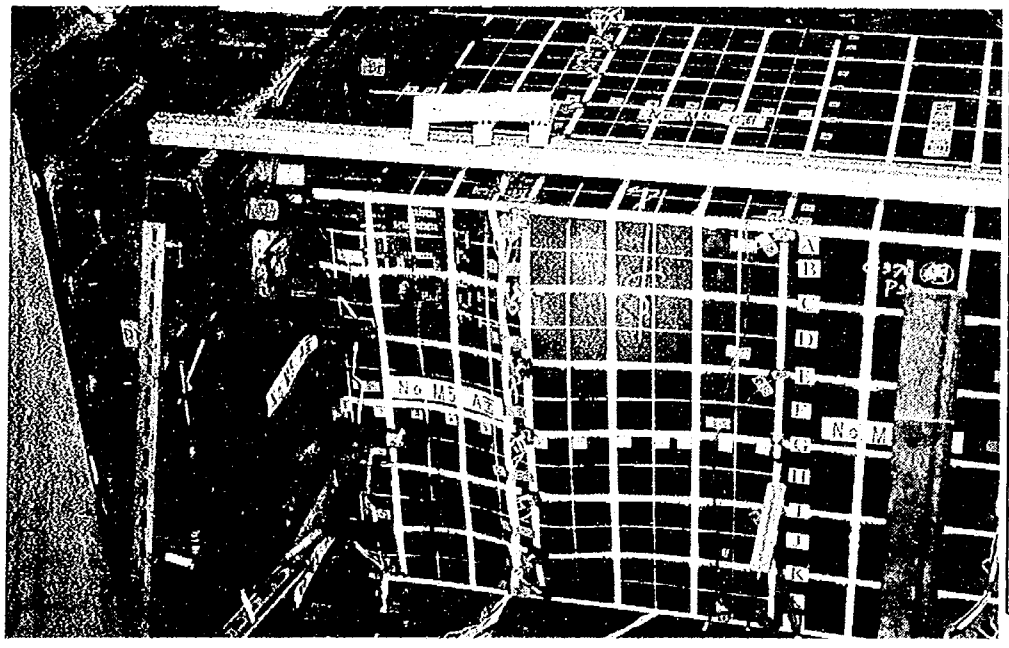
圧縮ﾌﾗﾝｼﾞ(A面)の状況。
面外変形が大きくなっている。パネルの全体的座屈モードは角間に広がり、局部モードは殆ど見えない。
ダイヤフラム上方の第２パネルに全体モード的な膨らみが僅かに発生している。

写真-3.1.2(7)　損傷の進行状況(M4)



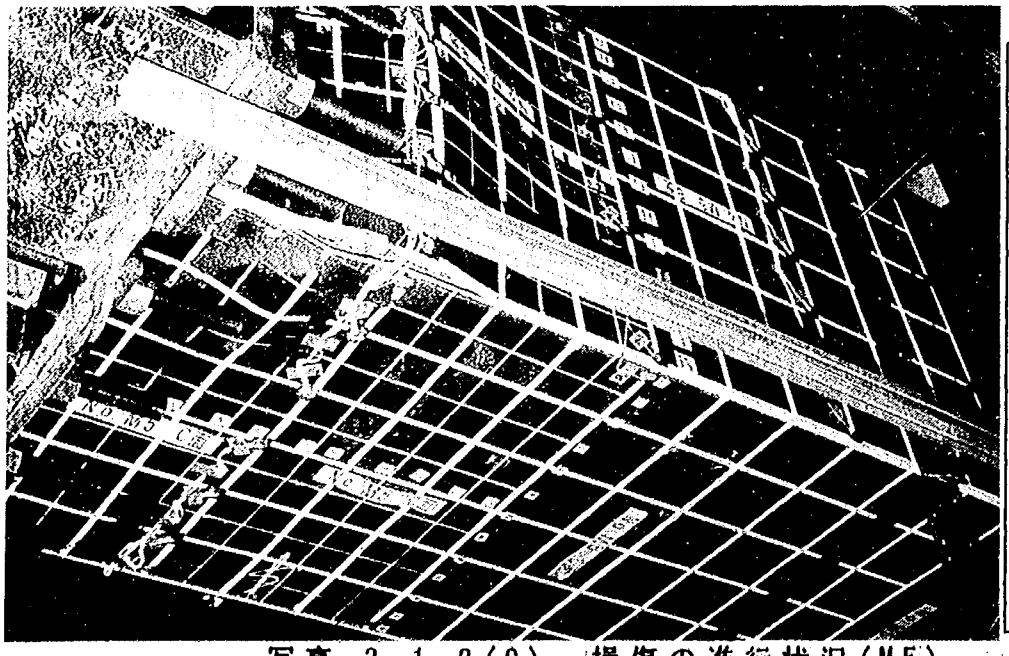
試験体	M5
変　位	−4δy

圧縮側フランジ（Ｂ面）基部のウェブ側の縦リブ間の２パネルに、局部座屈が発生。



試験体	M5
変　位	＋7δy

圧縮側フランジ（Ａ面）の縦リブ間の座屈モードが一つになり、面外変形が大きくなる。

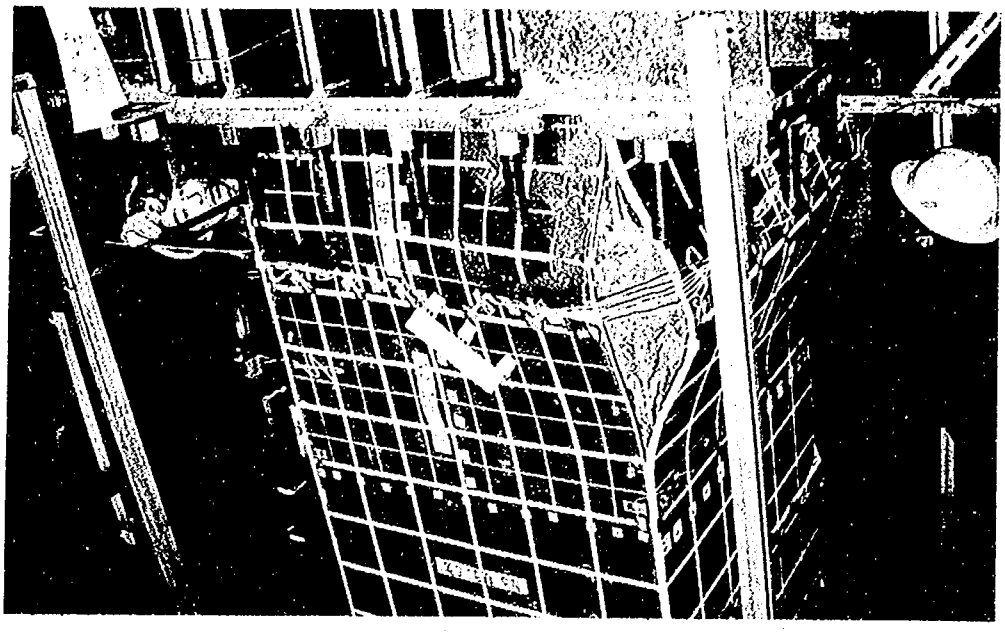


試験体	M5
変　位	−8δy

−4δ付近まで変形させたときに、大きな音とともに下面ウェブ（Ｄ面）の圧縮フランジ側（Ｂ面）の角溶接部に軸方向のクラック（基部から390mm付近に、長さ200mm）が発生。

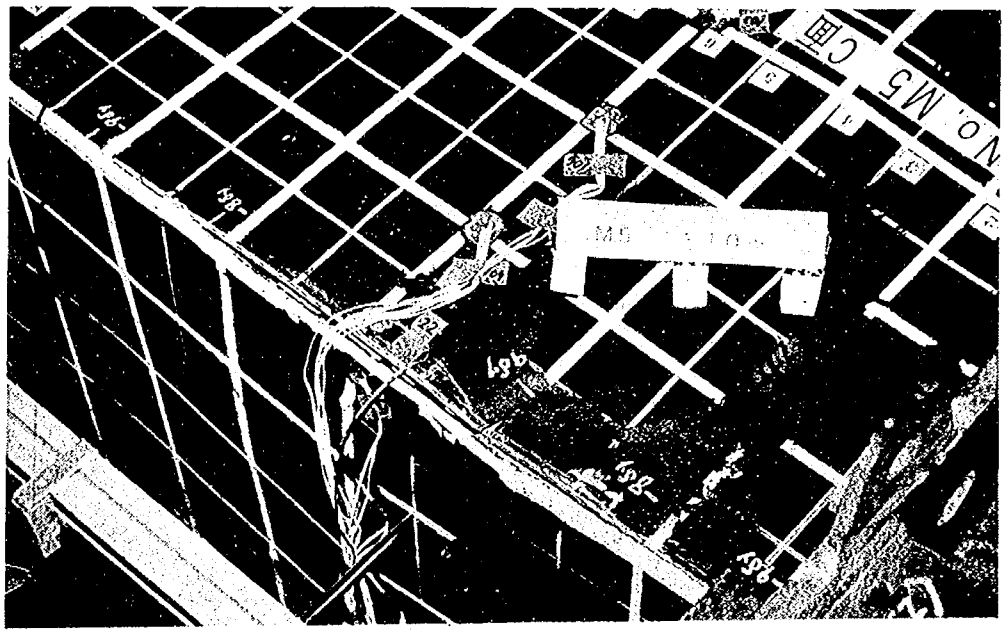
写真-3.1.2(9)　損傷の進行状況（M5）

M５試験体載荷実験状況



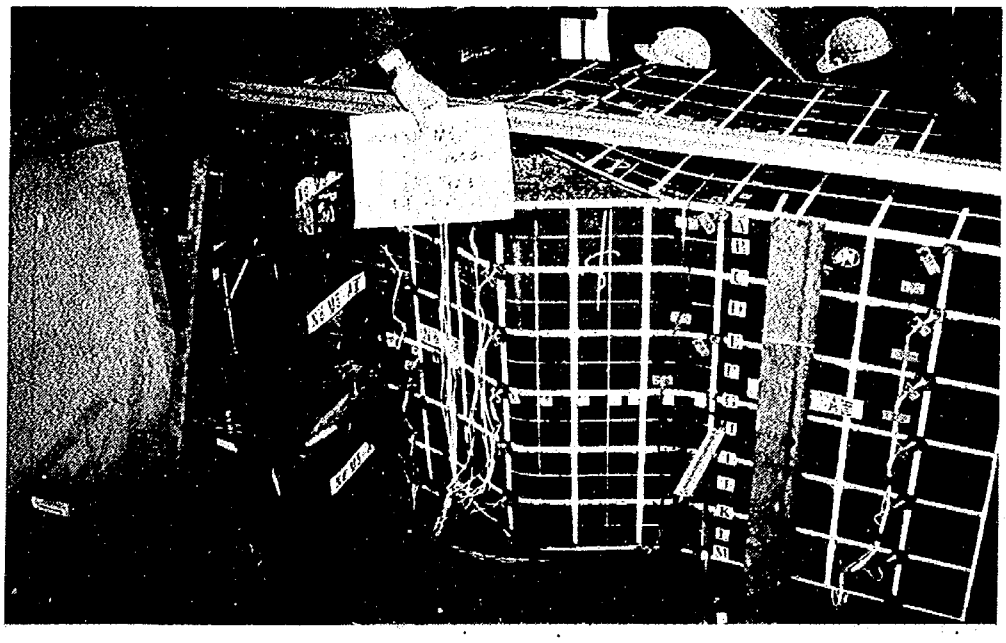
試験体	M５
変　位	－９δy

－９δ載荷した状態。
中詰めコンクリートは、粉々に崩れ、下に落下している。
〔C－B面〕



試験体	M５
変　位	＋10δy

引張側B面の割れは、ほとんど閉じてしまう。
〔B－C面〕

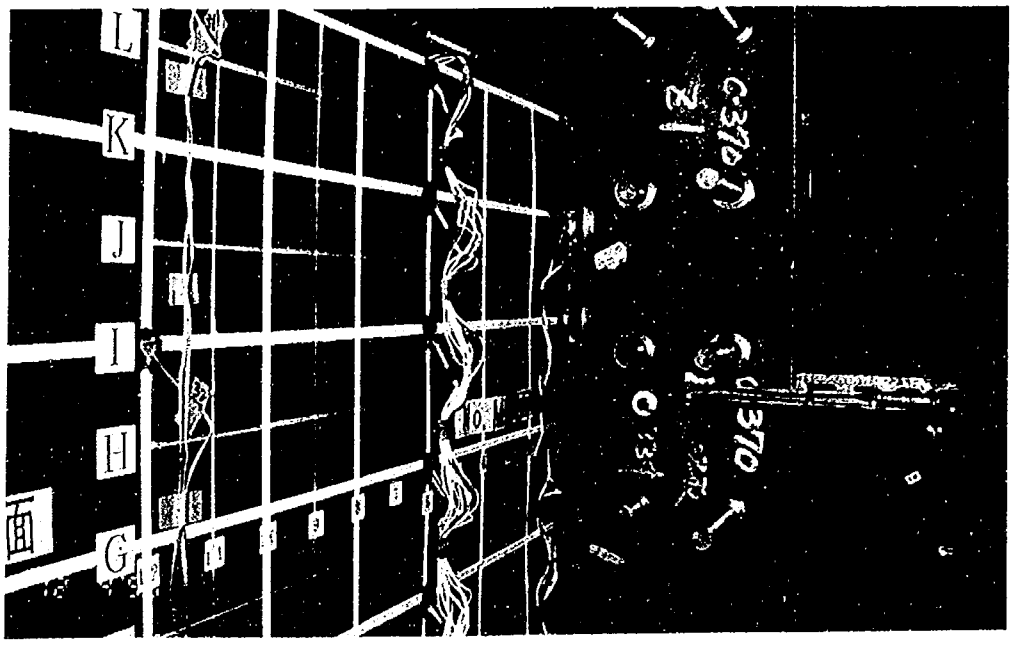


試験体	M５
変　位	＋11δy

＋11δA面（圧縮）
割れが最大で最終状態となる。

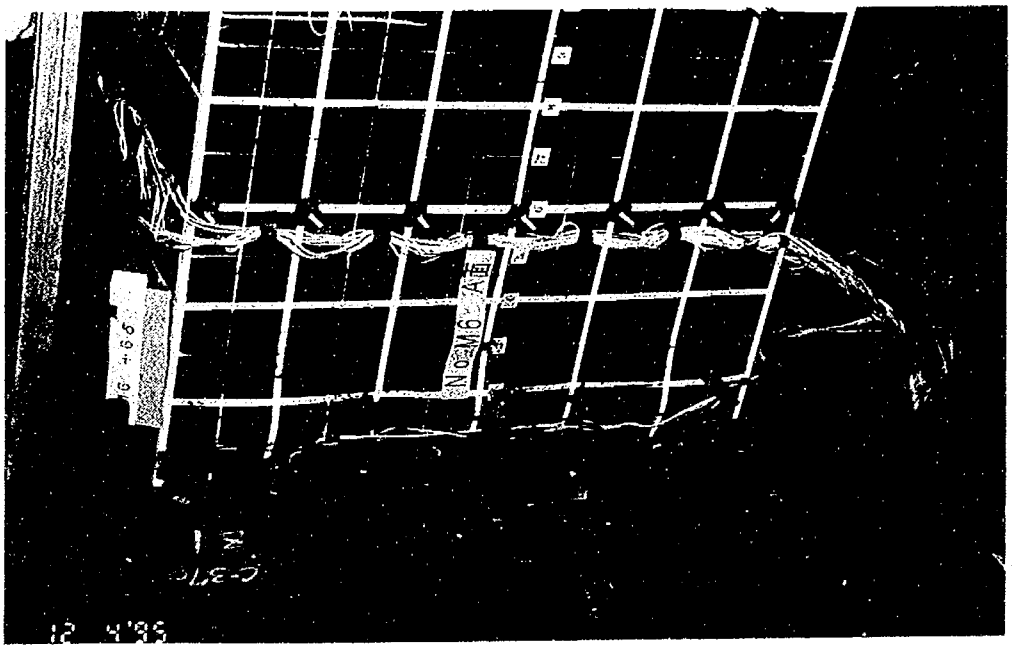
写真－3．1．2（10）　損傷の進行状況（M5）

M６試験体載荷実験状況



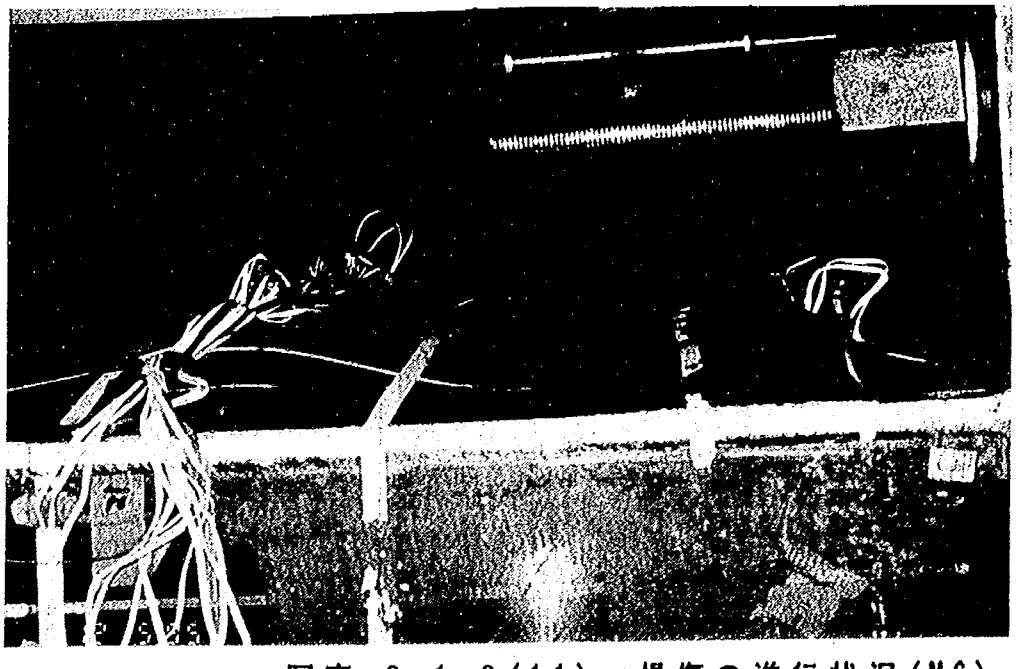
試験体	M6
変　位	−4δy

圧縮側フランジ（B面）基部のウェブ側の縦リブ間の2パネルに局部座屈。



試験体	M6
変　位	+6δy

圧縮側フランジ（A面）基部の中間の縦リブ間のパネルにも局部座屈。面外変形が増加。

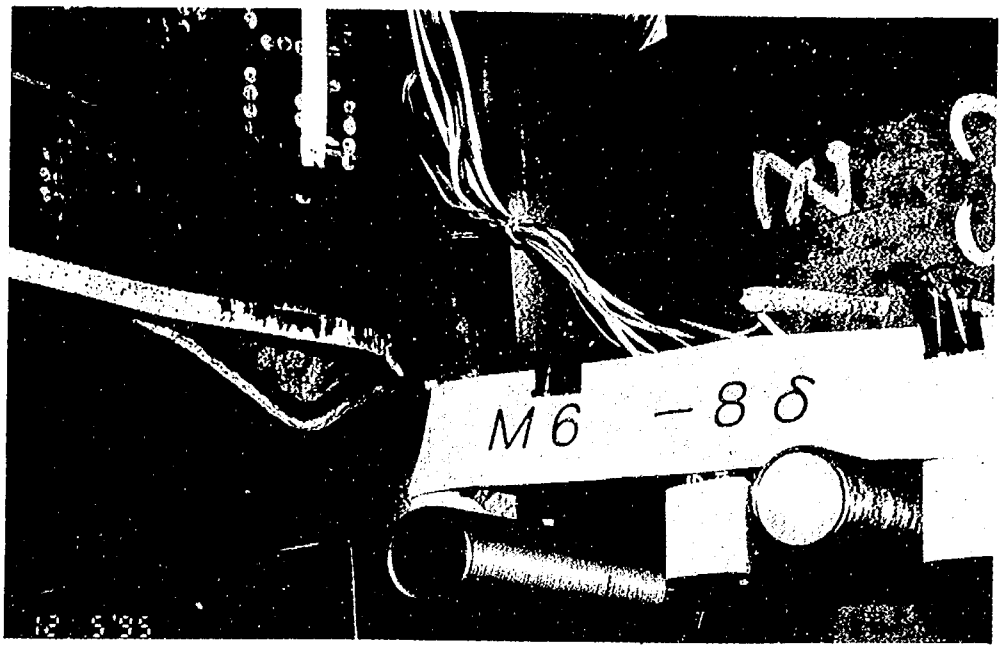


試験体	M6
変　位	+8δy

圧縮側フランジ（A面）基部が全面座屈。

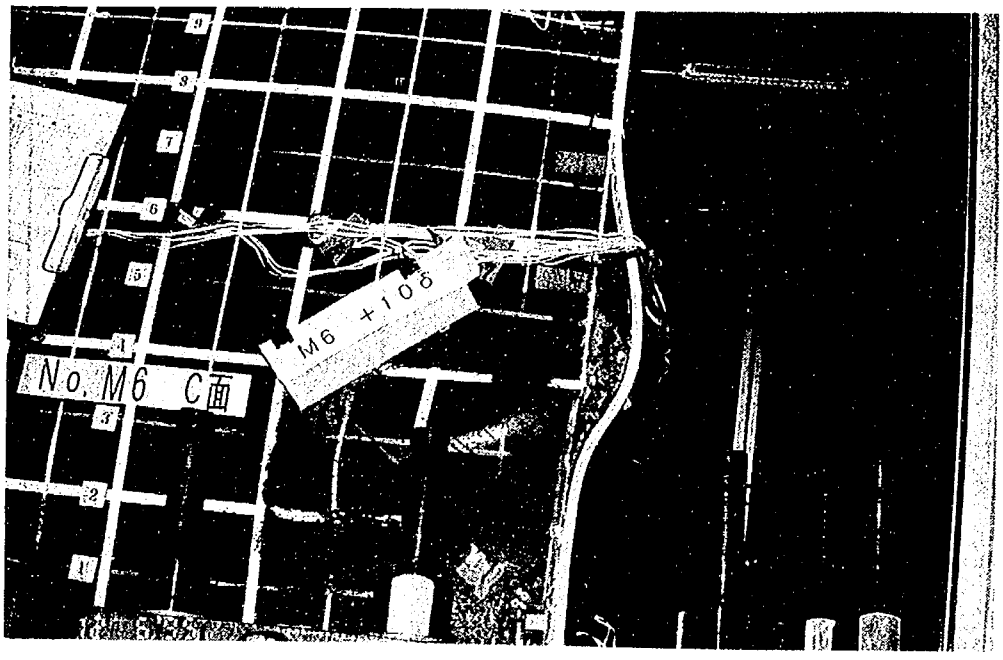
写真-3.1.2(11)　損傷の進行状況（M6）

M６試験体載荷実験状況



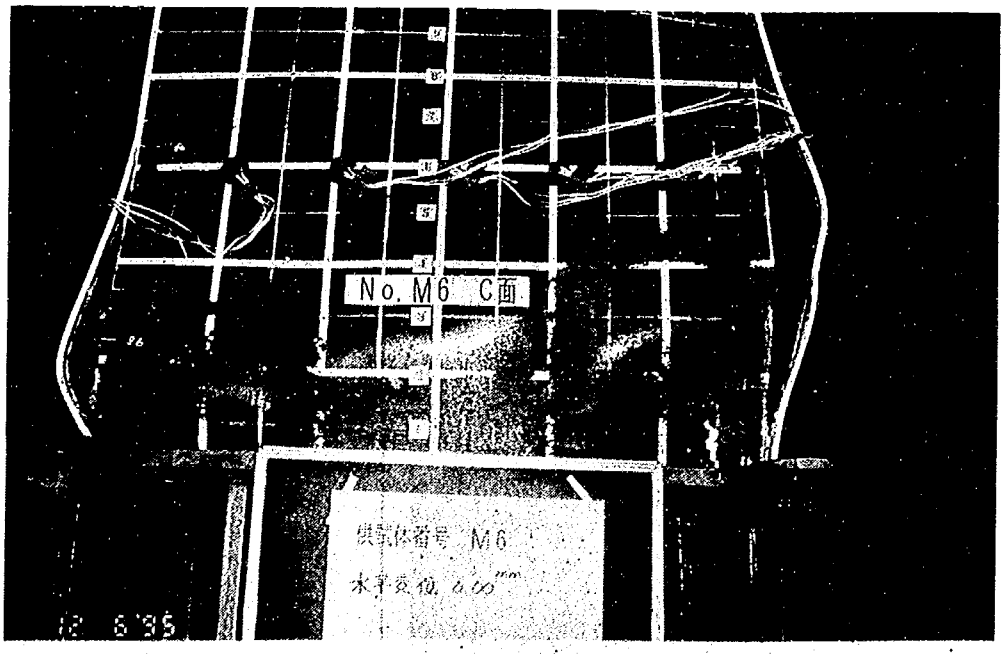
試験体	M6
変　位	−8δy

圧縮側フランジ（B面）の下面ウェブ（D面）側の角溶接に軸方向の割れが発生。



試験体	M6
変　位	+10δy

圧縮側フランジ（A面）の上面ウェブ（C面）側の角溶接に軸方向の割れが発生。



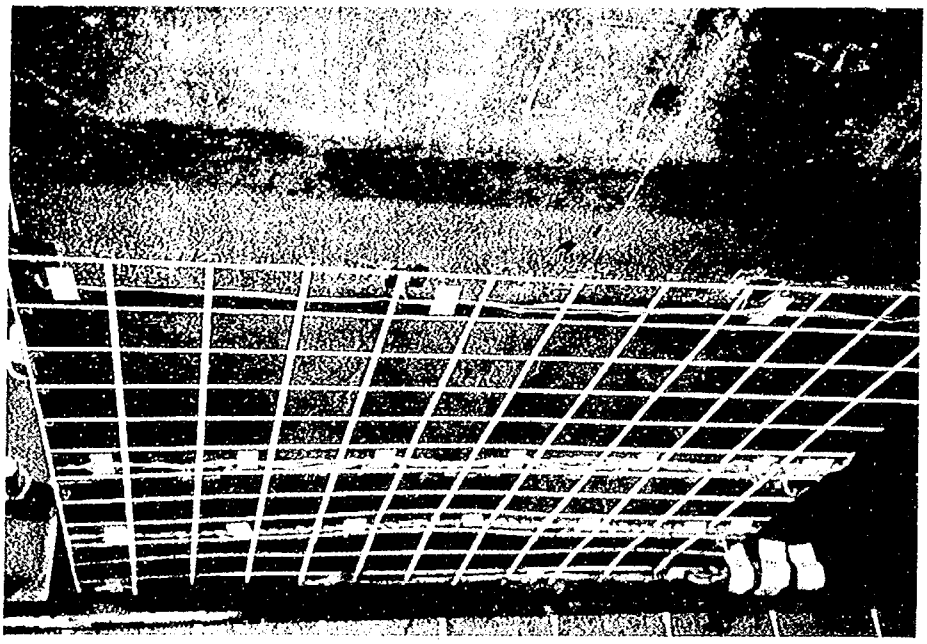
試験体	M6
変　位	+0δ（最終）

最終強制変位＋１２δ載荷後、変位を０に戻した状態。

〔C面〕

写真−3.1.2(12)　損傷の進行状況（M6）

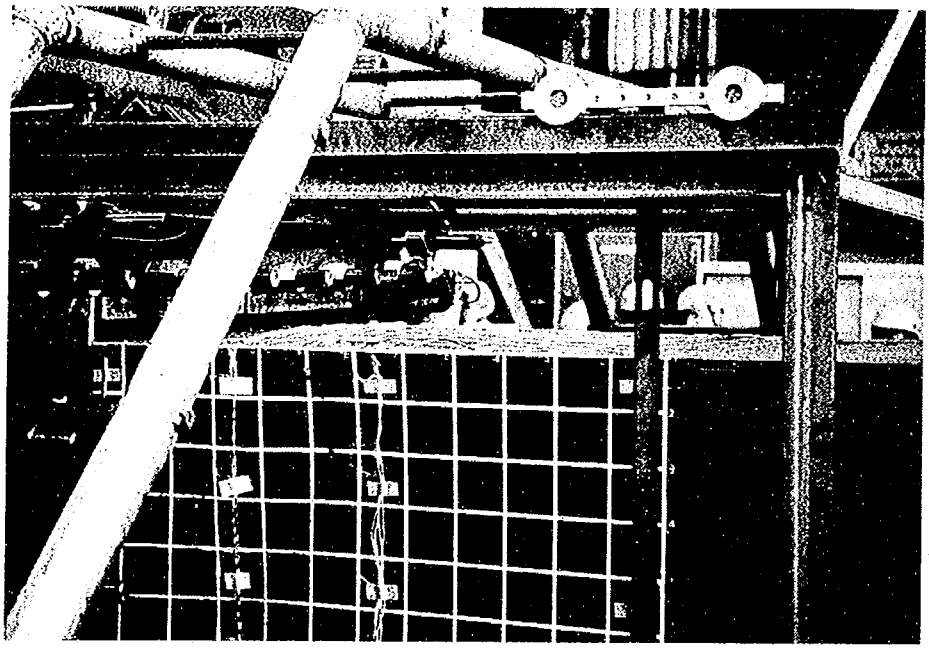
M8 試験体載荷試験状況(1)



試験体	M8
変　位	+3 δy

縦リブ間の局部座屈モード全体パネルの全体座屈モードが連成して見られる。

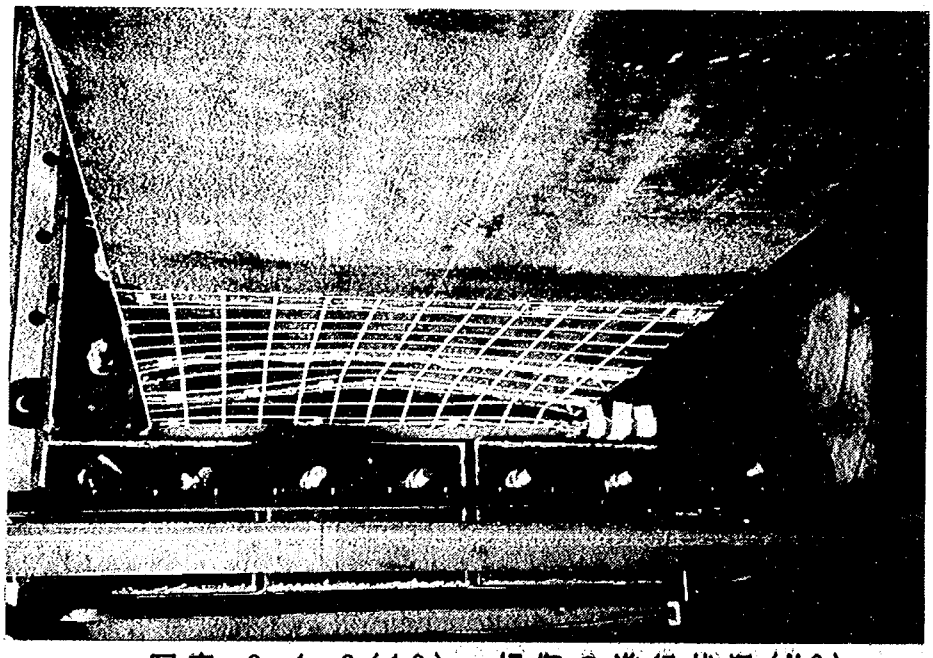
〔西(A)面〕



試験体	M8
変　位	+4 δy

供試体外側に向かいウェブが凸，フランジが凹の変形モードとなった。

〔西(A)面〕



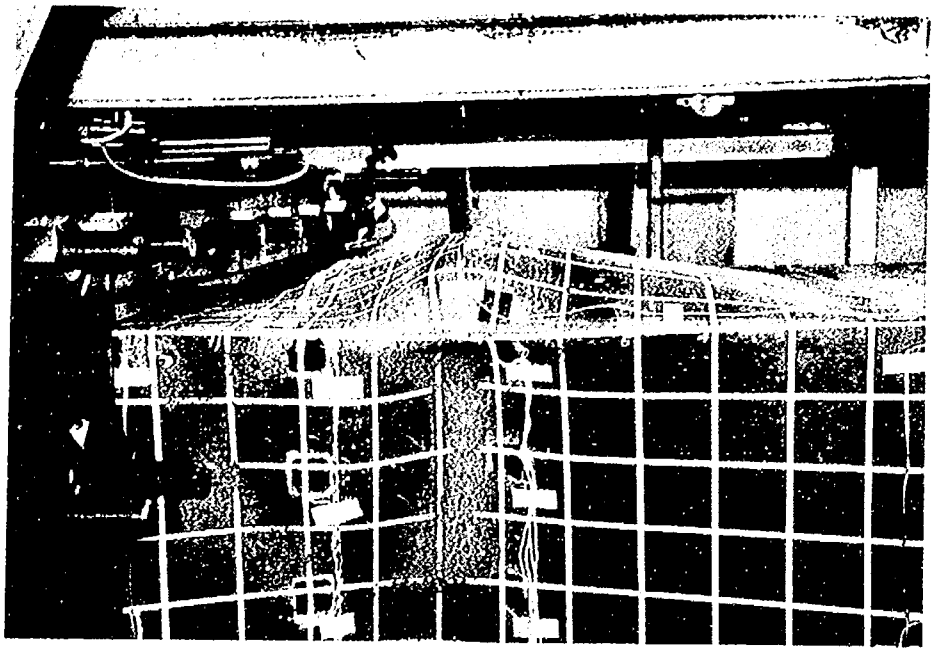
試験体	M8
変　位	+4 δy

全体座屈モードがさらに明確に見られるようになる

〔西(A)面〕

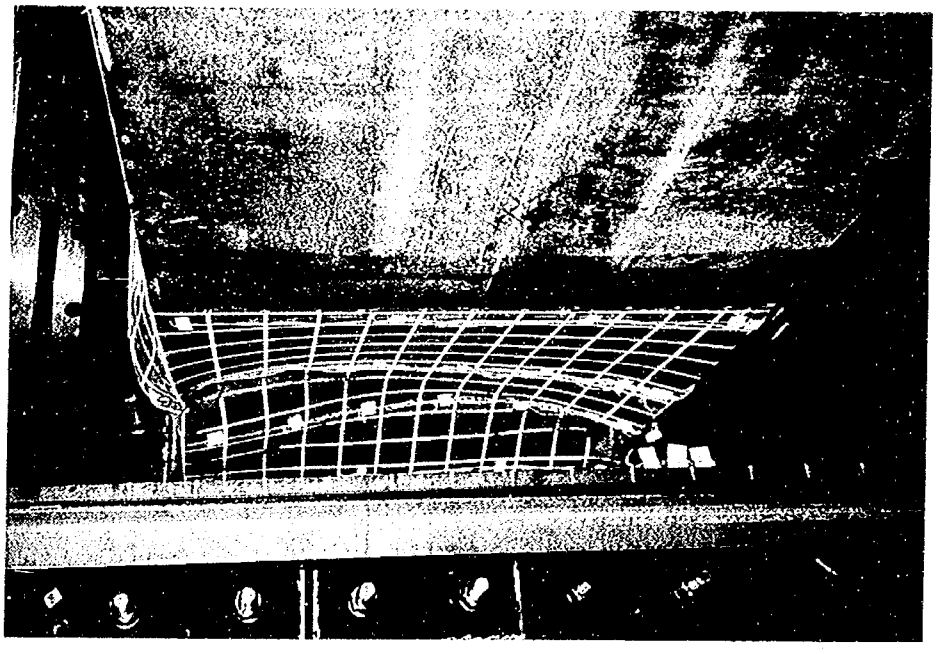
写真-3.1.2(13)　損傷の進行状況(M8)

M8 試験体載荷試験状況(2)



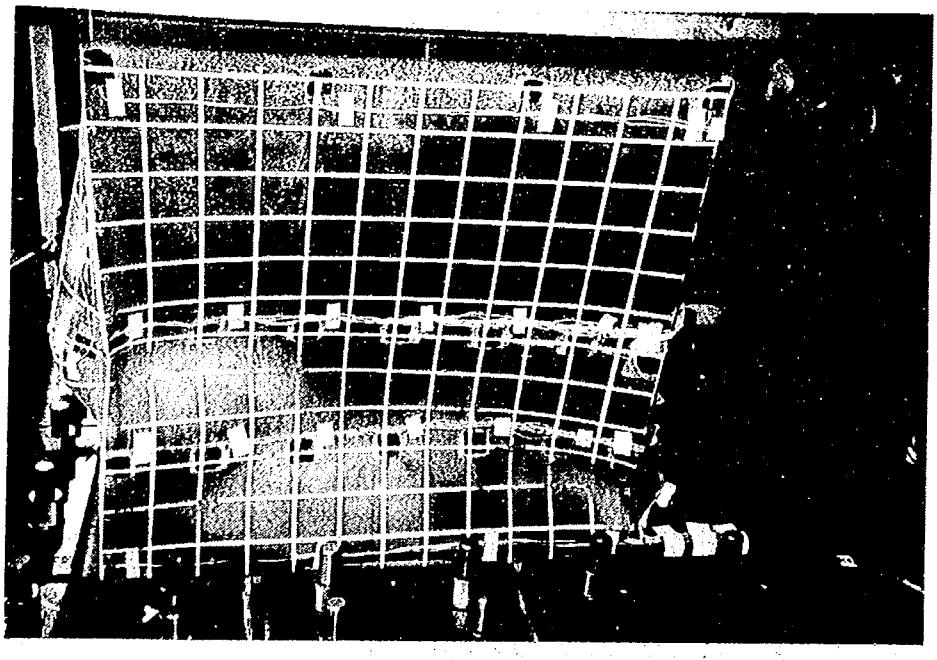
試験体	M8
変　位	+6　δy

ウェブの凸型変形状況
〔西−上(A−C)面〕



試験体	M8
変　位	+6　δy

フランジの凹変形状況僅かに縦リブ間の局部座屈変形が残る。
〔西(A)面〕

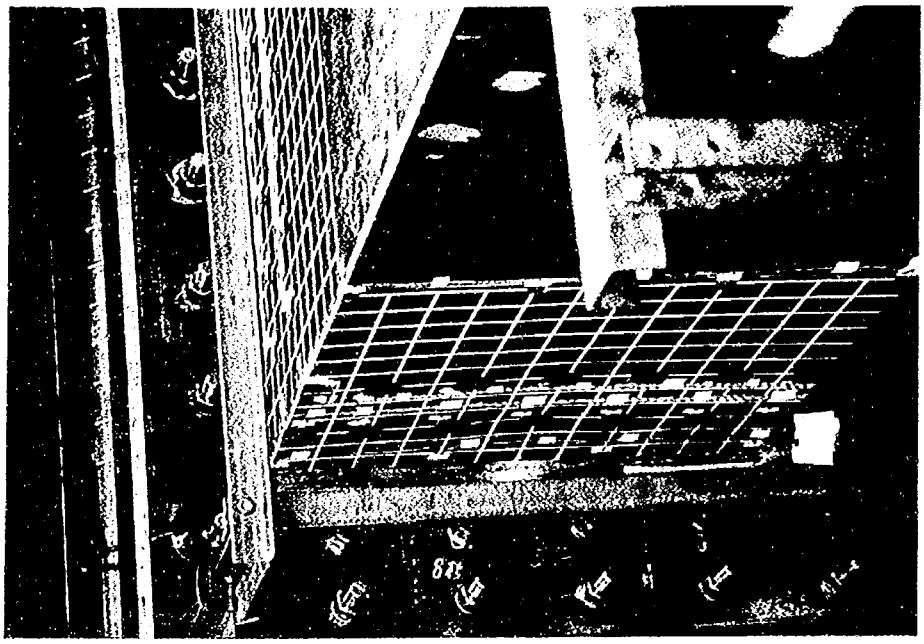


試験体	M8
変　位	+6　δy

フランジ変形状況
〔西(A)面〕

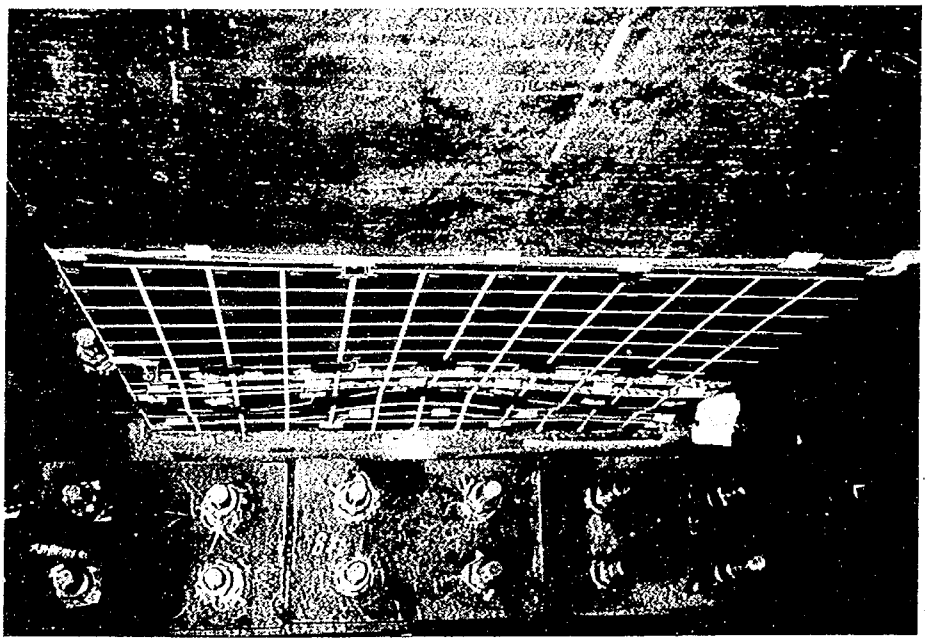
写真-3.1.2(14)　損傷の進行状況(M8)

M10 試験体載荷試験状況（1）



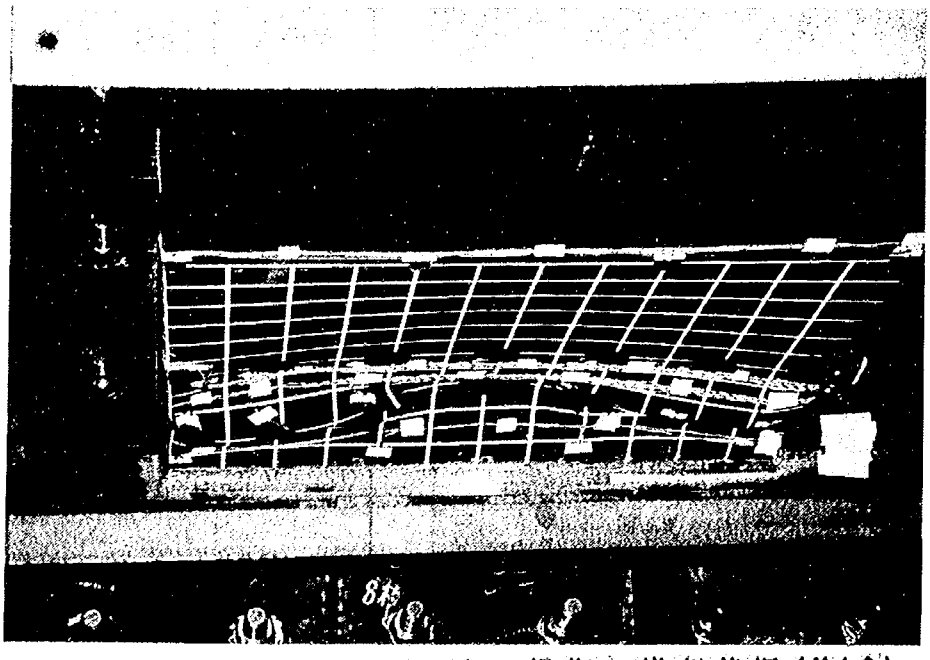
試験体	M10
変　位	+3 δy

圧縮フランジ面縦リブ間に局部座屈発生
〔西(A)面〕



試験体	M10
変　位	+4 δy

縦リブ間局部座屈変形が大きくなる。
〔西(A)面〕

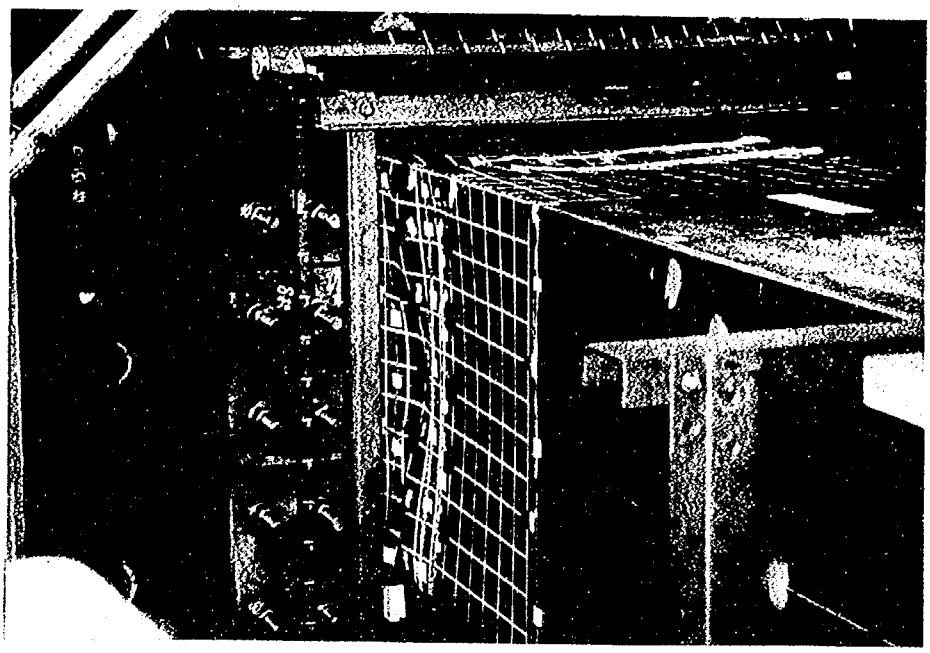


試験体	M10
変　位	+6 δy

縦リブ間の局部座屈モードを残したまま、全体パネル座屈モードの変形へ進展。
〔西(A)面〕

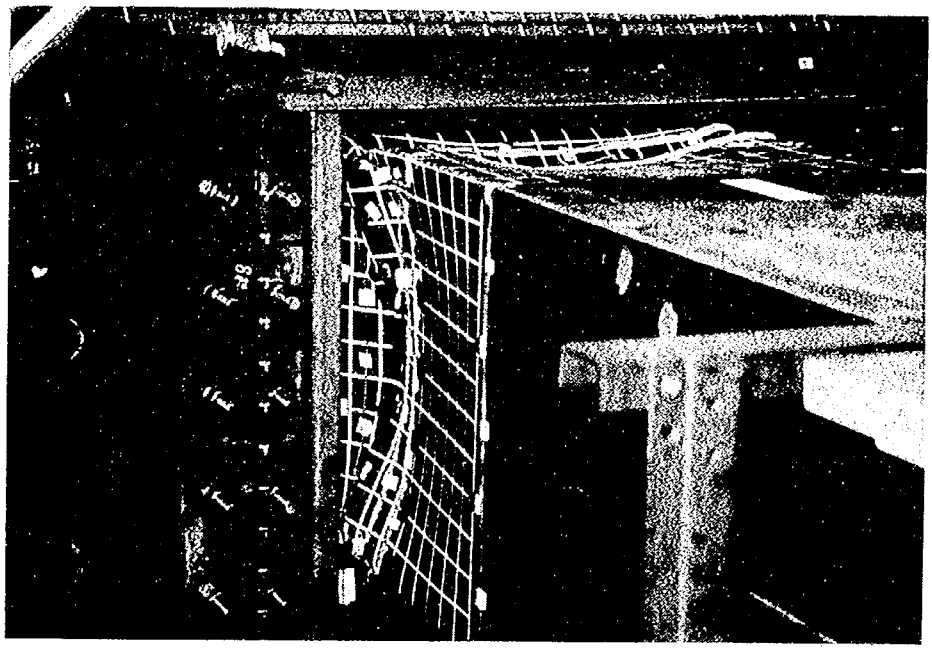
写真-3.1.2(15)　損傷の進行状況(M10)

M10 試験体載荷試験状況（2）



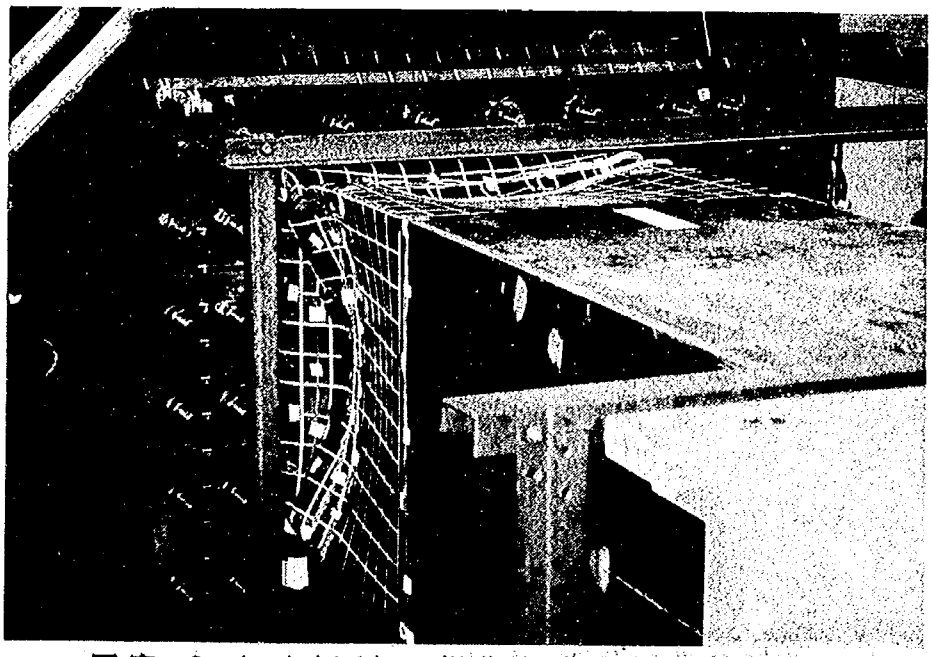
試験体	M10
変　位	+5 δy

ウェブ面に発生した縦リブ間局部座屈は全て凹。
圧縮フランジ面の局部座屈モードは凸凹凸となる。
〔西－上（A–C）面〕



試験体	M10
変　位	+8 δy

縦リブ間局部座屈モードと全体パネル座屈モードの連成状況。
〔西－上（A–C）面〕

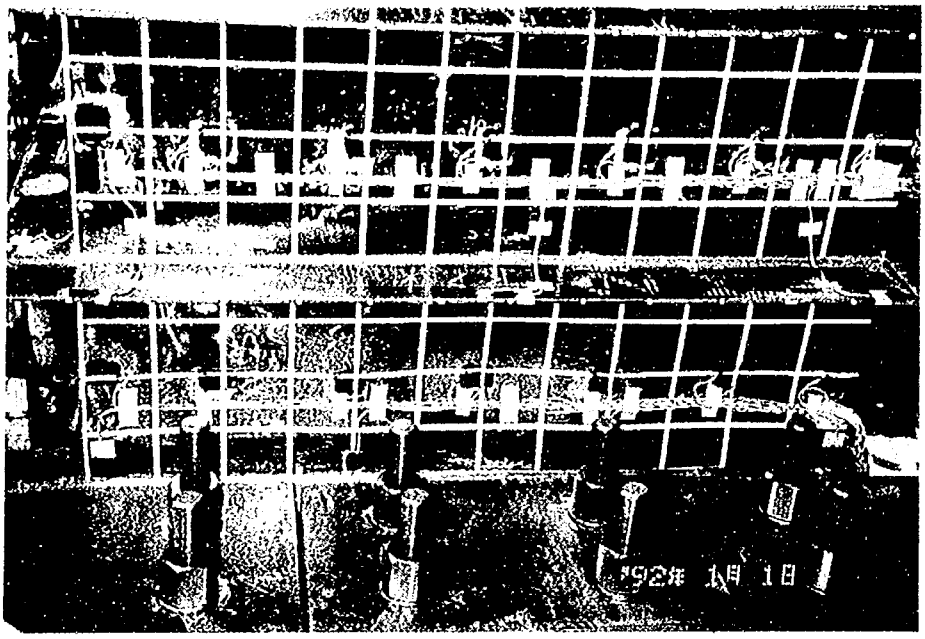


試験体	M10
変　位	+9 δy

最終状態
〔西－上（A–C）面〕

写真－3．1．2（16）　損傷の進行状況（M10）

M11 試験体載荷試験状況(1)



試験体	M11
変　位	+4 δy

圧縮フランジの縦リブ間局部座屈変形モード。
(写真左が上)
〔西(A)面〕



試験体	M11
変　位	−8 δy

引張フランジとウェブの角にクラック発生。
〔西−下(A−D)面〕

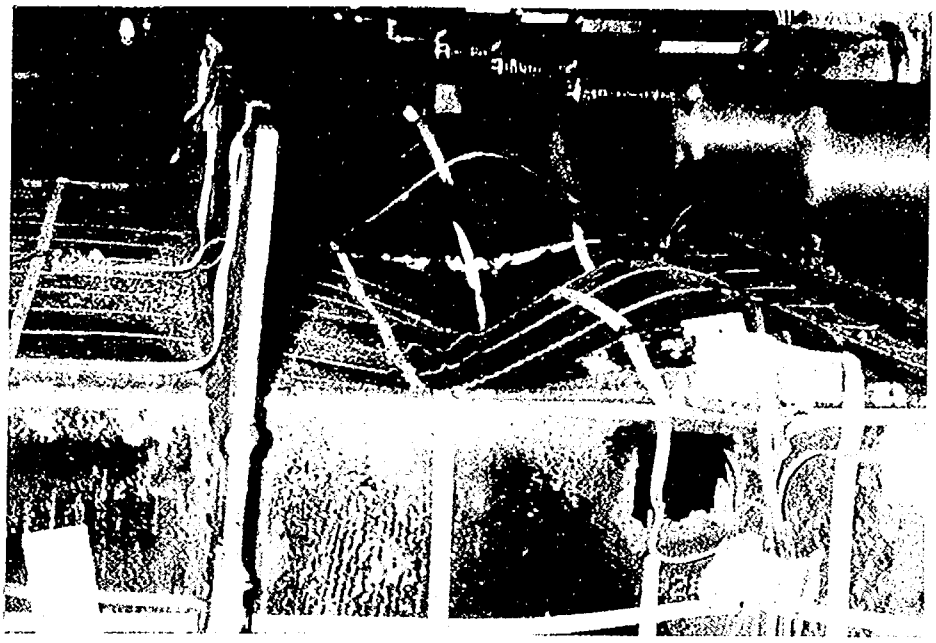


試験体	M11
変　位	−9 δy

−8δyで発生したクラックが+9δyの圧縮履歴を経て再度引張を受けた。
〔西(A)面〕

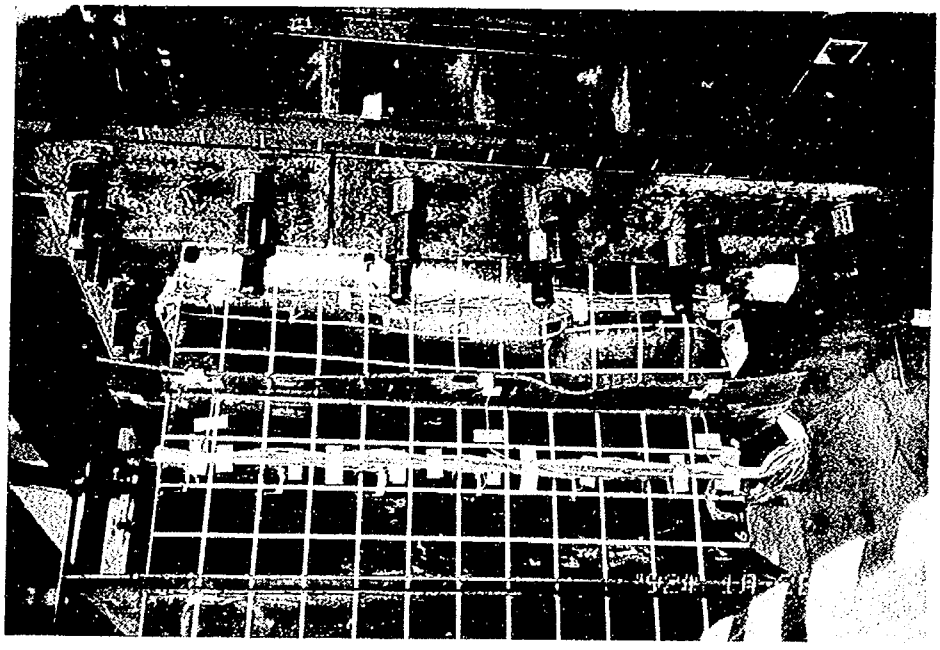
写真-3.1.2(17)　損傷の進行状況(M11)

M11 試験体載荷試験状況(2)



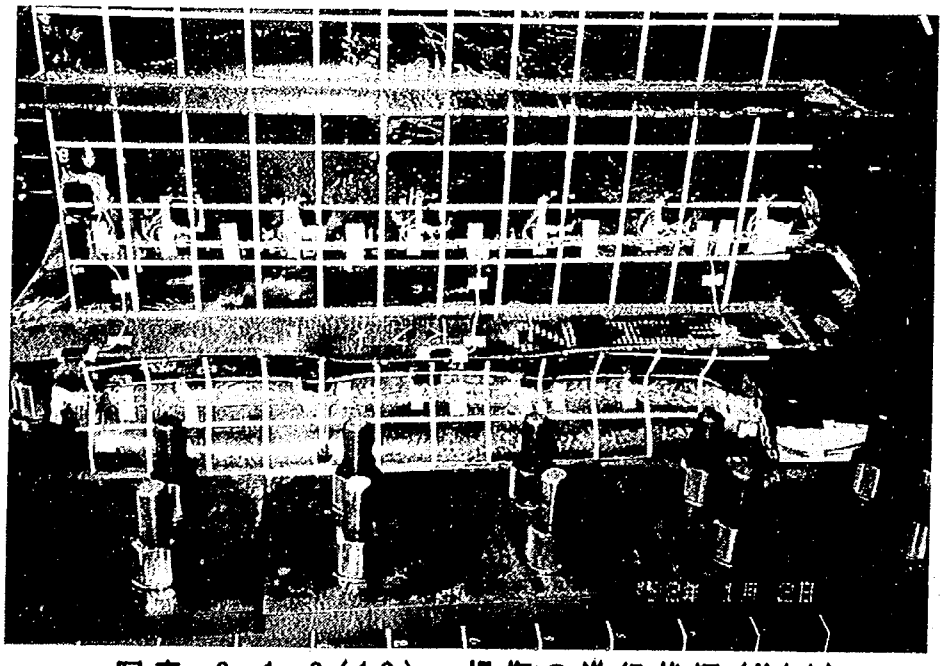
試験体	M11
変　位	+9 δy

ウェブ座屈変形を引張フランジ側から見る。
縦リブ間の3パネルが手前より供試体外側に向かった凸凹凸の座屈モードを示している。
〔東ー上(B–C)面〕



試験体	M11
変　位	+10 δy

引張フランジの縦リブ間3パネルの内最下段のみ外に凸変形の座屈モードを示した。
(写真左が上)
〔東(B)面〕

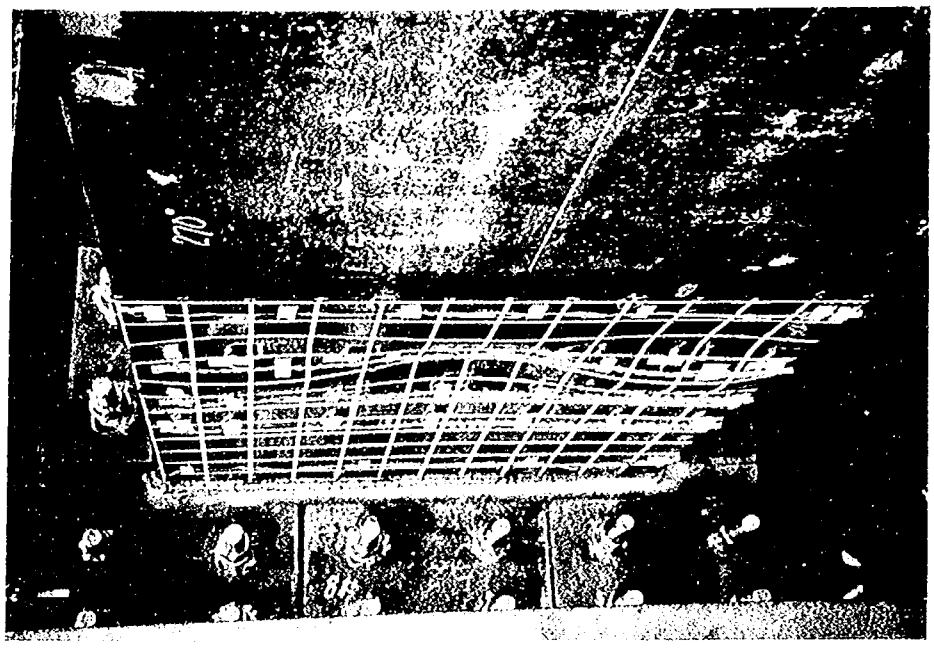


試験体	M11
変　位	+10 δy

圧縮フランジ第一横リブと上ベースプレート間の全体座屈モード顕著
(写真左が上)
〔西(A)面〕

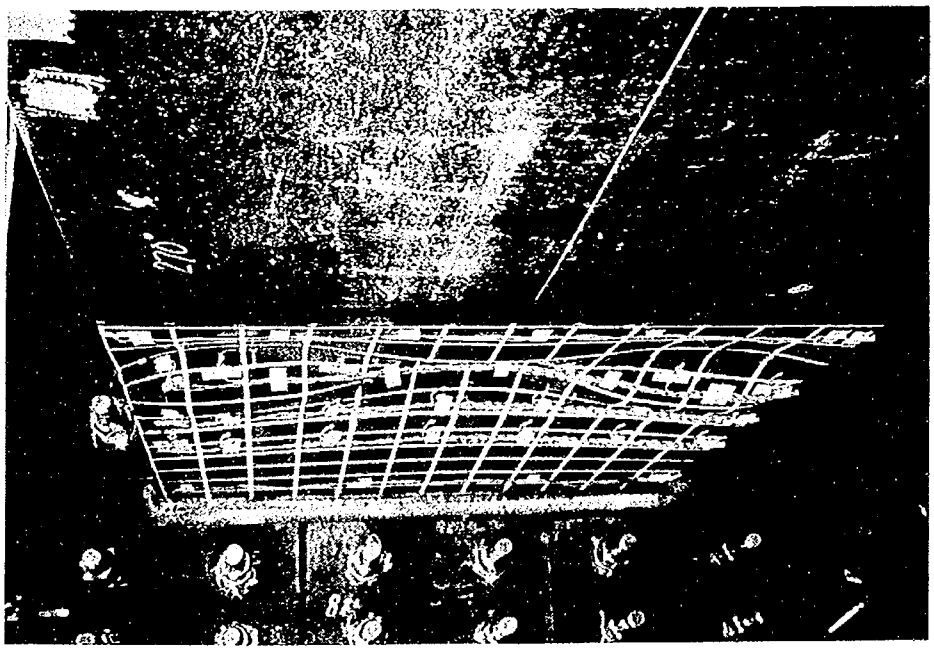
写真-3.1.2(18)　損傷の進行状況(M11)

M14 試験体載荷試験状況(1)



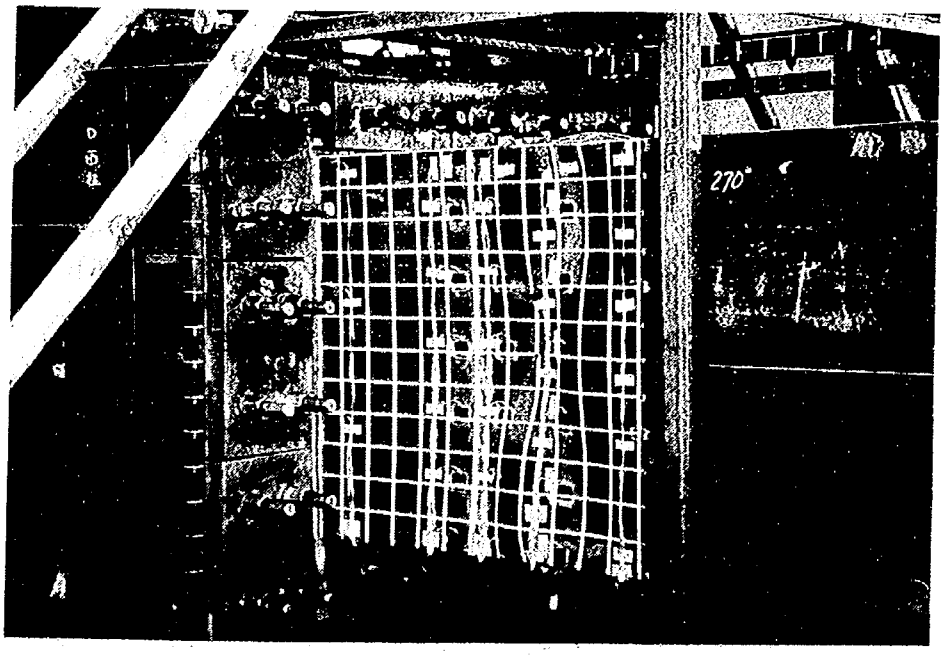
試験体	M14
変　位	+4 δy

最大載荷時
断面変化点上側のパネルに局部座屈が見られる。
縦リブが曲がり全体パネル座屈が発生し始める
(写真左が上)
〔西(A)面〕



試験体	M14
変　位	+5 δy

全体パネル座屈が進む
(写真左が上)
〔西(A)面〕

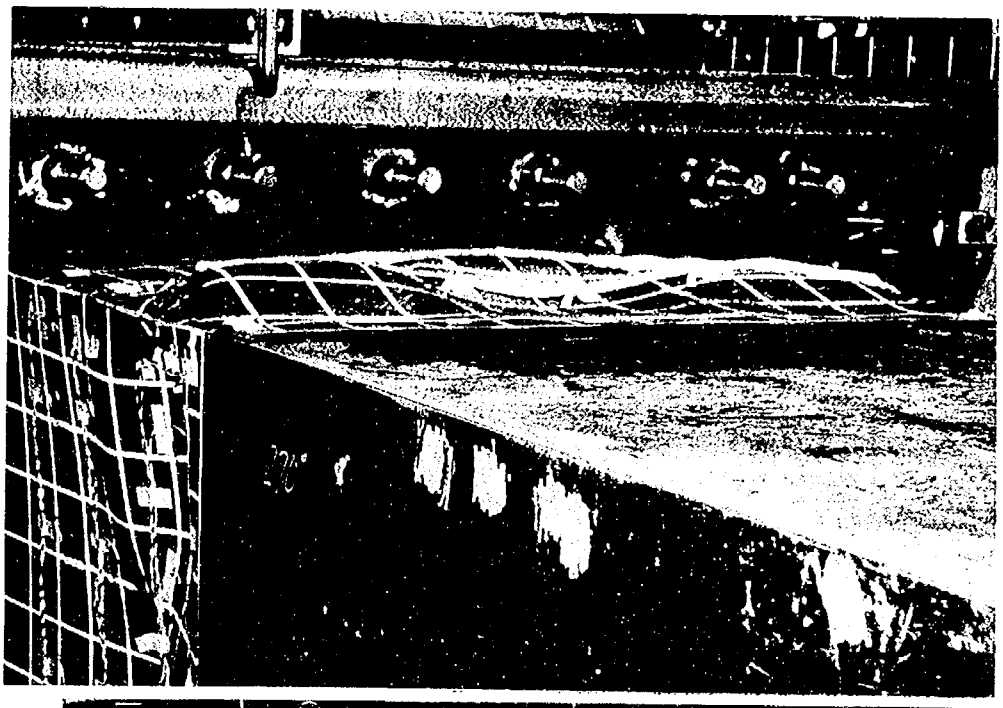


試験体	M14
変　位	+5 δy

断面変化点より下側が上側の座屈に影響され、凹変形している。
〔西(A)面〕

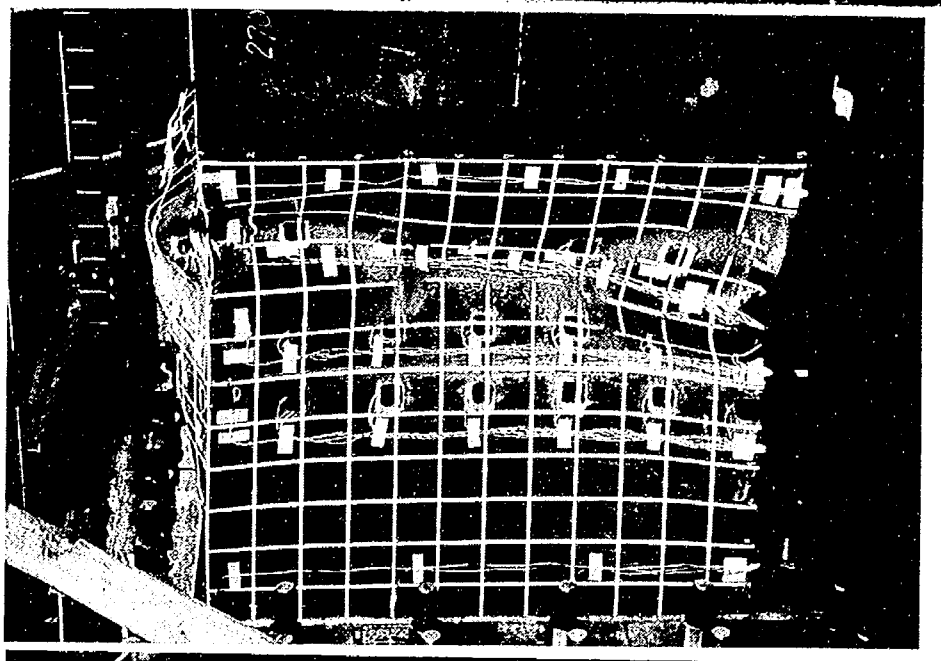
写真-3.1.2(19)　損傷の進行状況(M14)

M14 試験体載荷試験状況(2)



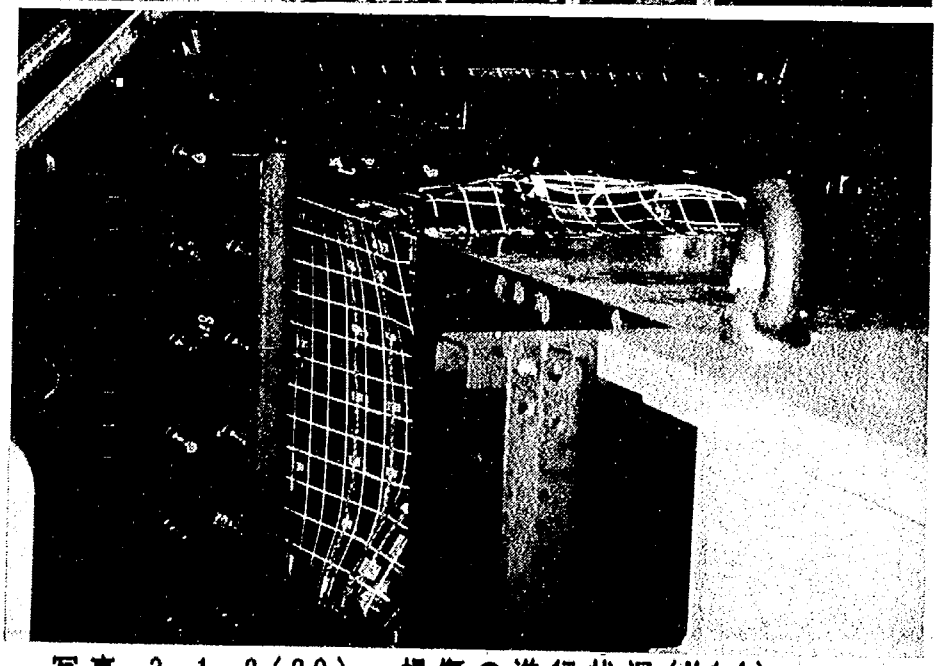
試験体	M14
変　位	+6 δy

上面側座屈状況
〔西−上(A−C)面〕



試験体	M14
変　位	+6 δy

座屈モードはウェブが凸
フランジは凹となる。
(写真左が上)
〔西(A)面〕



試験体	M14
変　位	+8 δy

全体パネル座屈状況
〔西−上(A−C)面〕

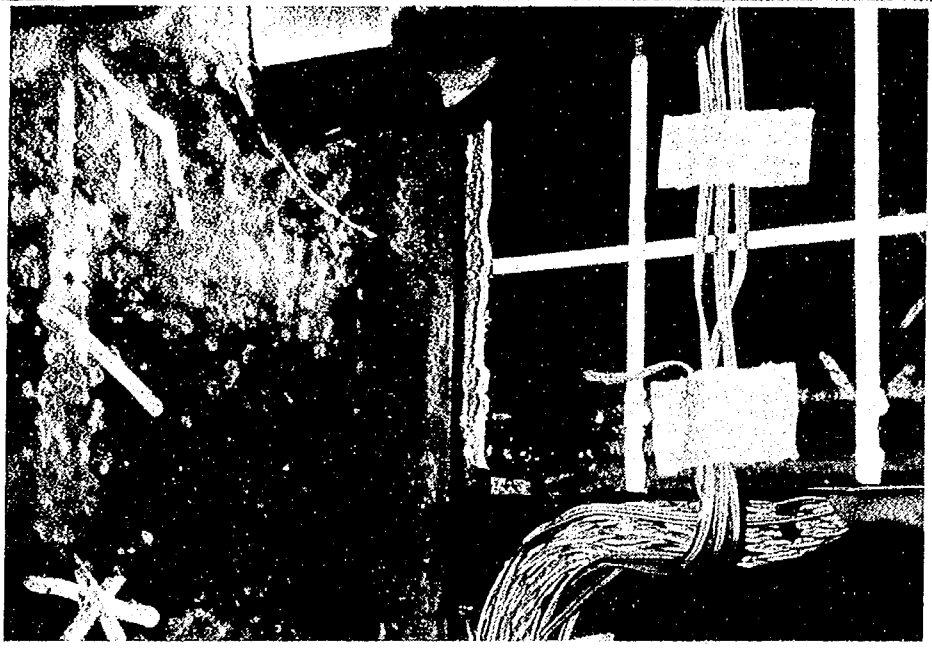
写真-3.1.2(20)　損傷の進行状況(M14)

M16 試験体載荷試験状況(1)



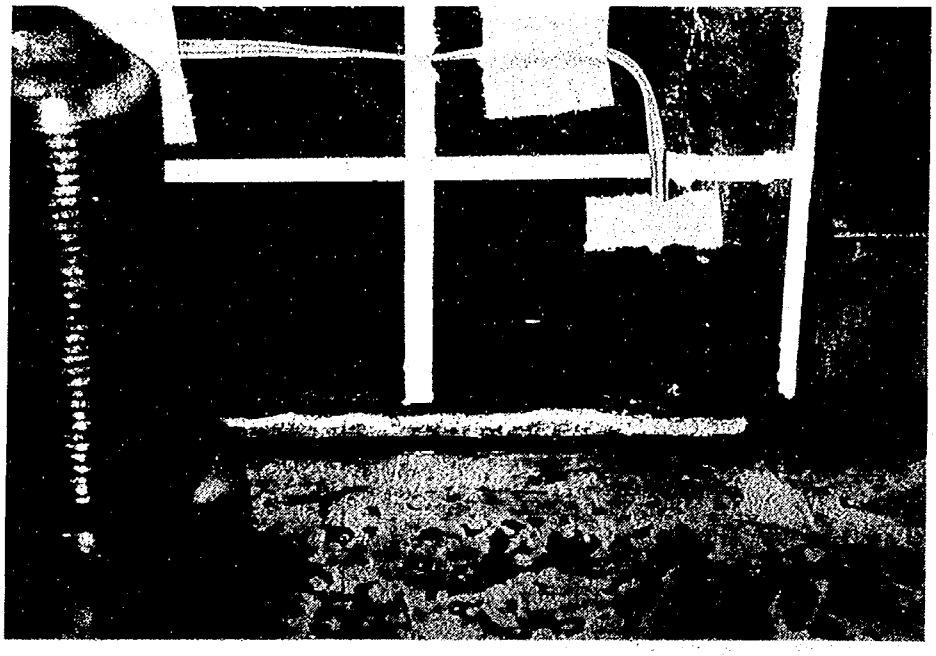
試験体	M16
変　位	−2 δy

引張フランジ外側に微細なクラック発生
〔西(A)面〕



試験体	M16
変　位	−3 δy

引張フランジ下側クラック進展状況
〔西(A)面〕

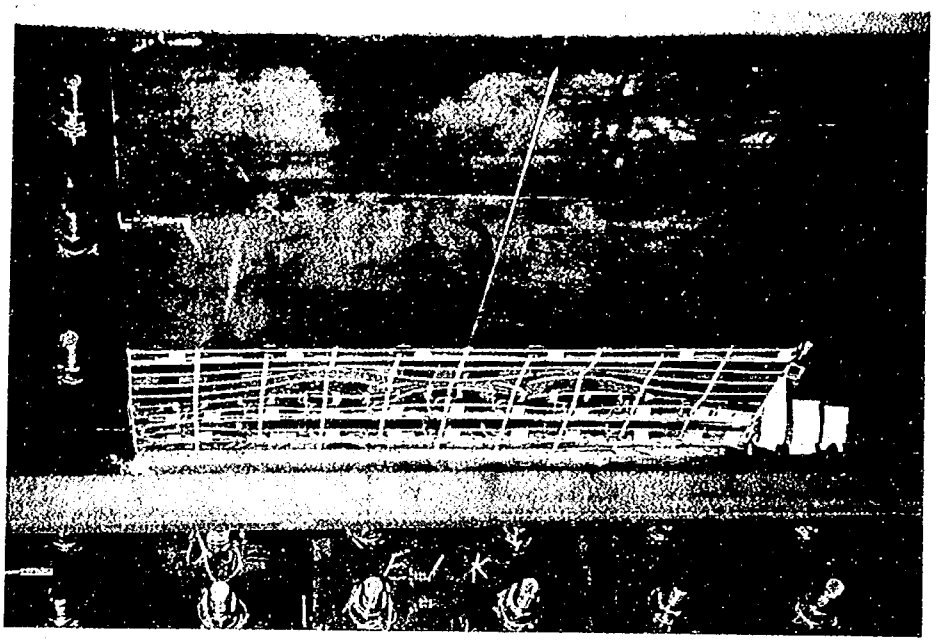


試験体	M16
変　位	+4 δy

引張フランジ上側クラック状況　(写真左が上)
〔東(B)面〕

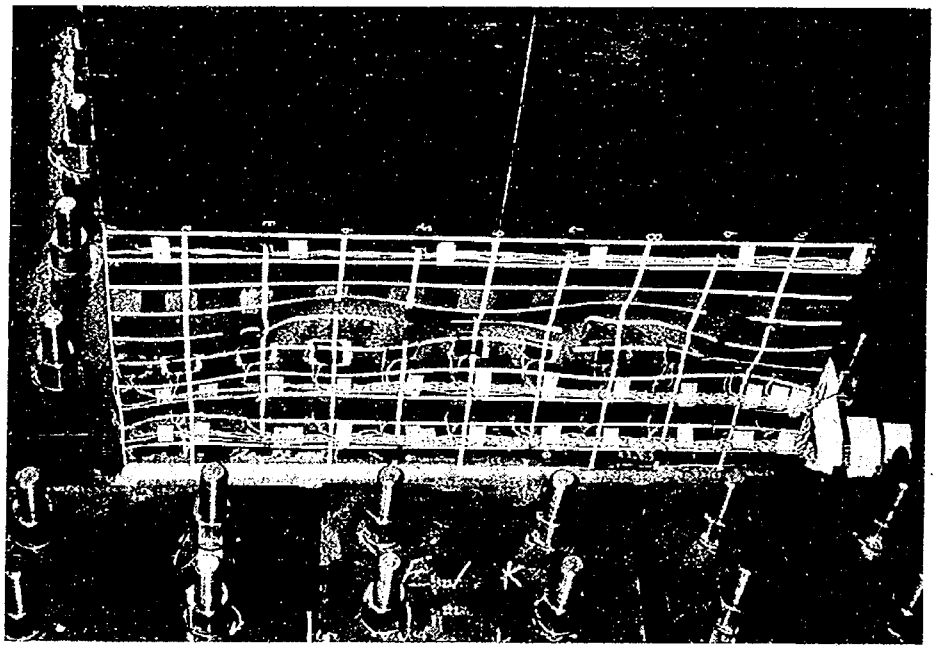
写真-3.1.2(21)　損傷の進行状況(M16)

M17 試験体載荷試験状況(1)



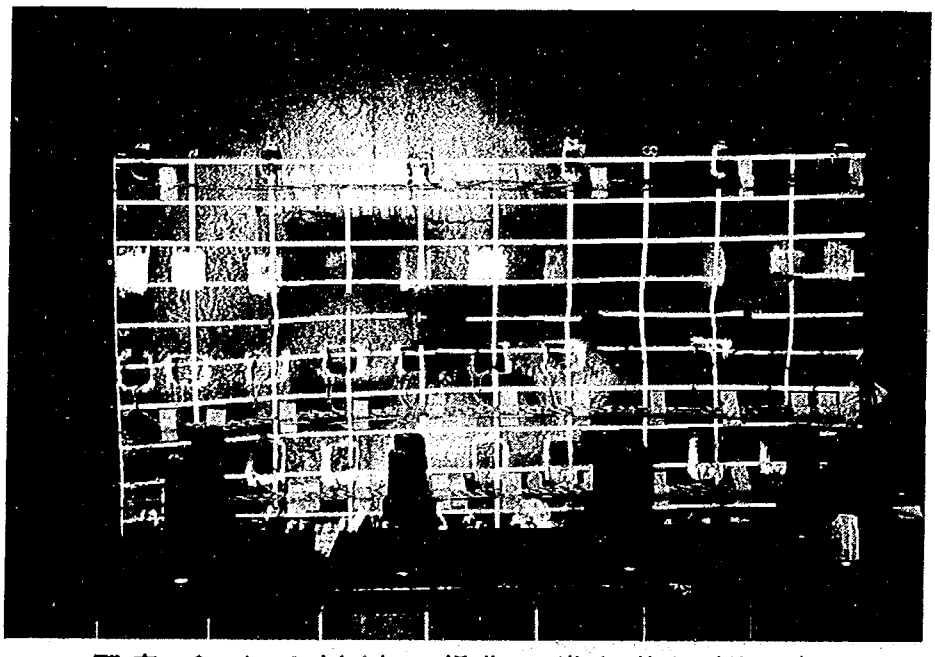
試験体	M17
変　位	+7 δy

縦リブ間の局部座屈モードに全体座屈モードが連成する。
〔西(A)面〕



試験体	M17
変　位	+8 δy

局部座屈＋全体パネル座屈
〔西(A)面〕

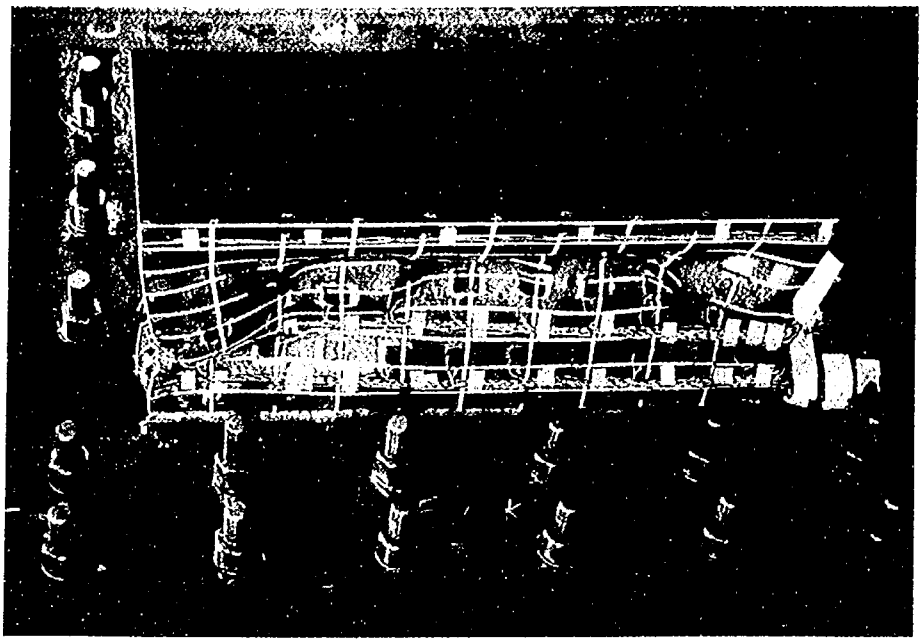


試験体	M17
変　位	+8 δy

局部座屈はほぼ柱軸方向に2波見られる。
〔西(A)面〕

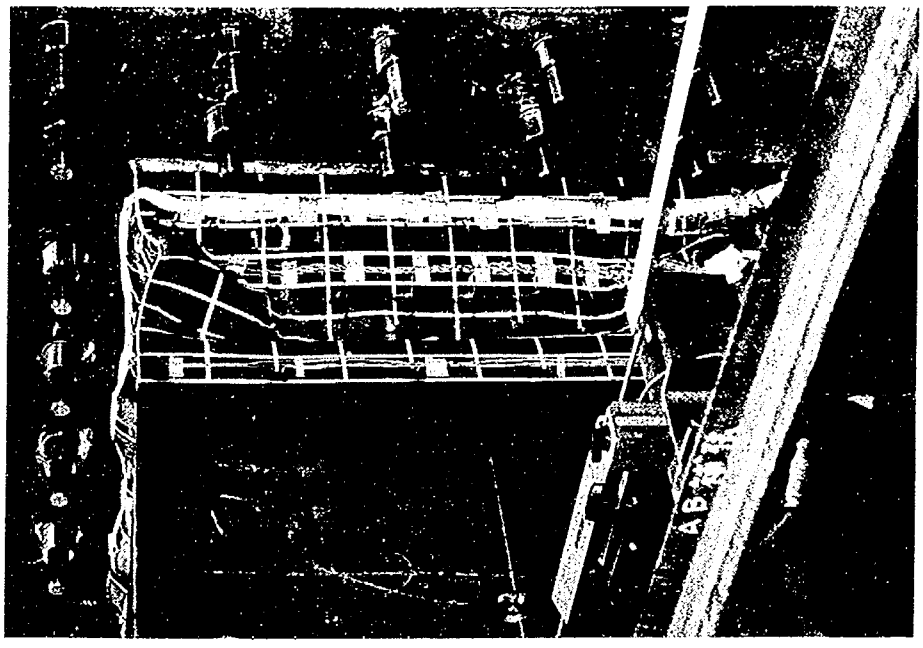
写真-3.1.2(22)　損傷の進行状況(M17)

M17 試験体載荷試験状況(2)



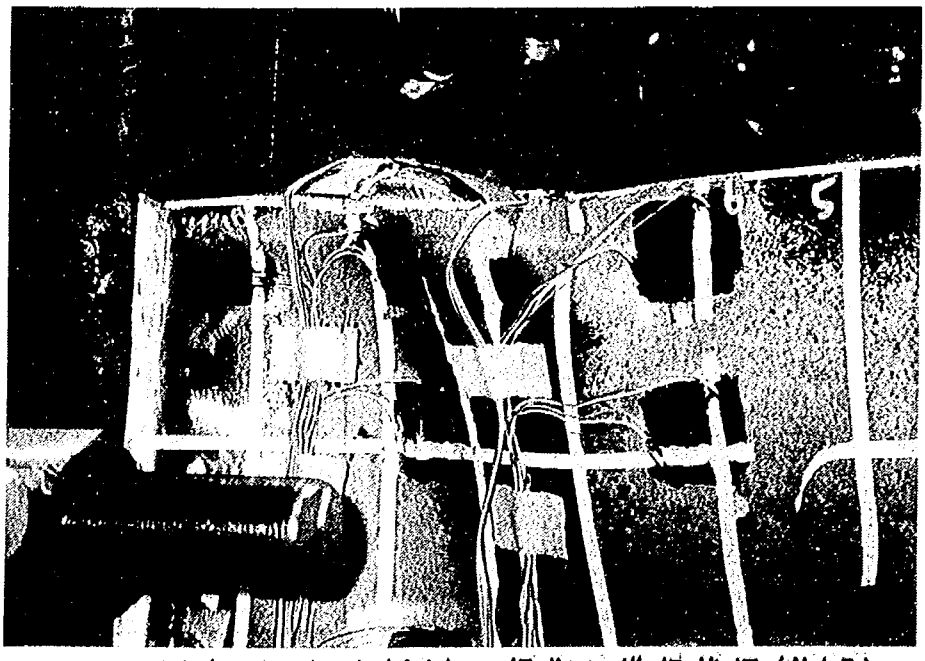
試験体	M17
変　位	+11 δy

全体パネル座屈
〔西(A)面〕



試験体	M17
変　位	−11 δy

全体パネル座屈
〔東(B)面〕

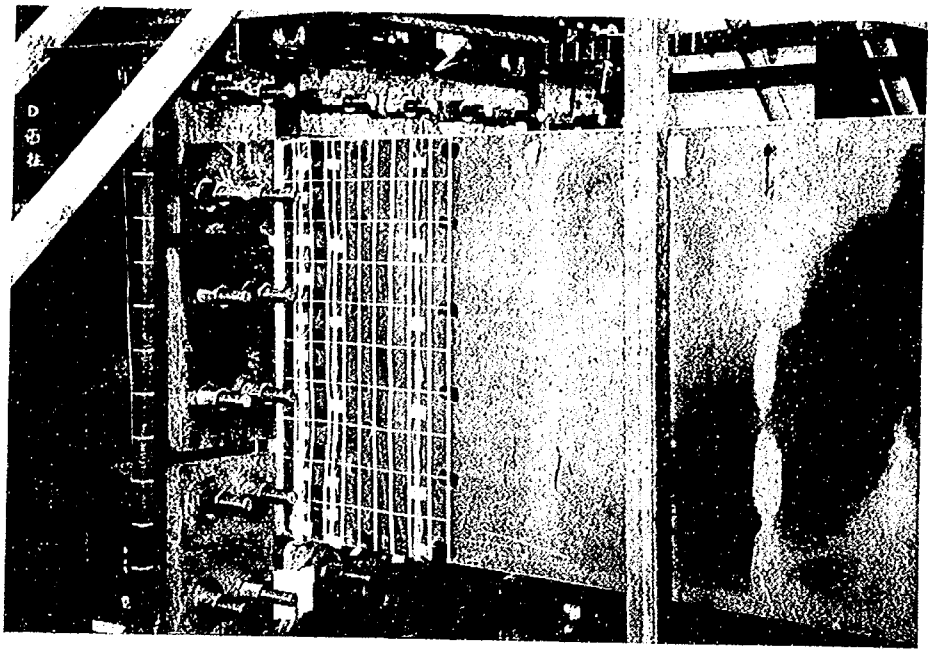


試験体	M17
変　位	−11 δy

角部の柱軸直角方向割れ
〔西(A)面〕

写真-3.1.2(23)　損傷の進行状況(M17)

M18 試験体載荷試験状況(1)



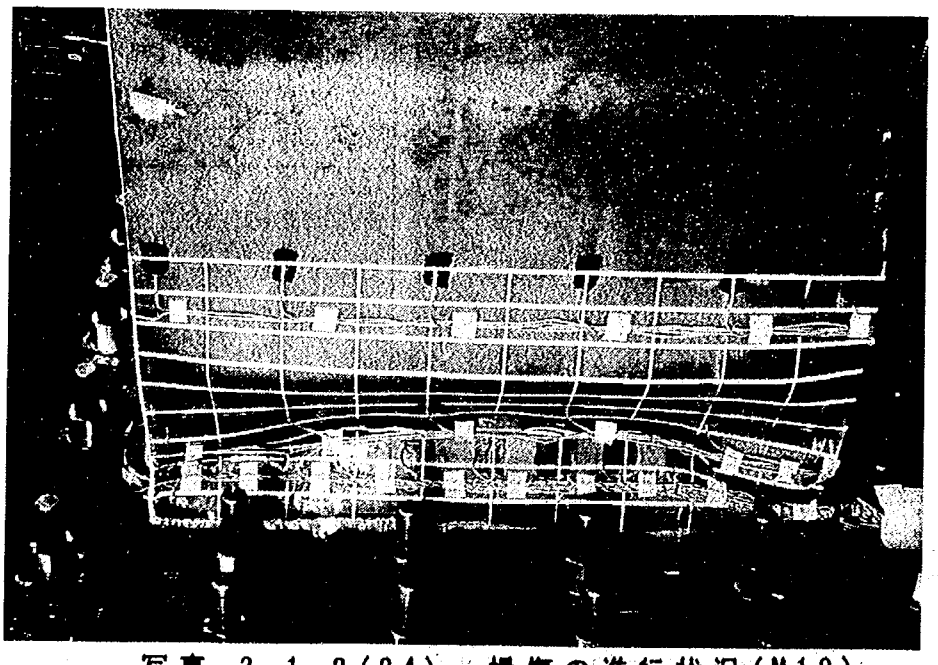
試験体	M18
変　位	+6 δy

縦リブを節とした局部座屈発生
上ベースと第一横リブ間は凹、第一横リブと第一ダイヤ間は凸の面外変形を示す
〔西(A)面〕



試験体	M18
変　位	−9 δy

フランジの主要な座屈モードが正負の載荷により異なるためウェブの面外変形が第一横リブを斜めに横断している。
手前が負載荷時圧縮フランジとなる。
〔上／東(C／B)面〕

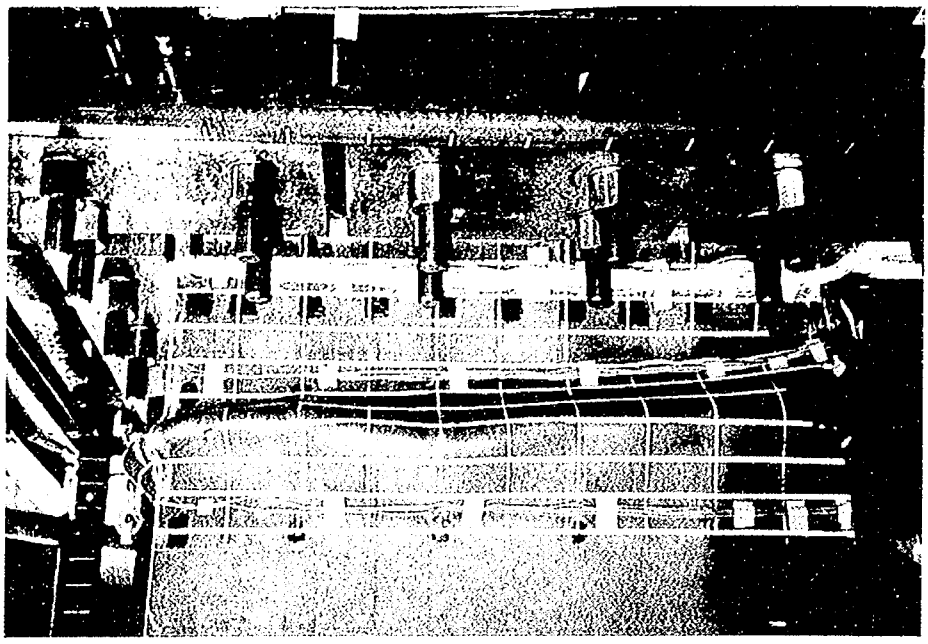


試験体	M18
変　位	+10 δy

正載荷時の圧縮フランジ第一横リブを節とした全体パネル座屈が見られる。
(写真左が上)
〔西(A)面〕

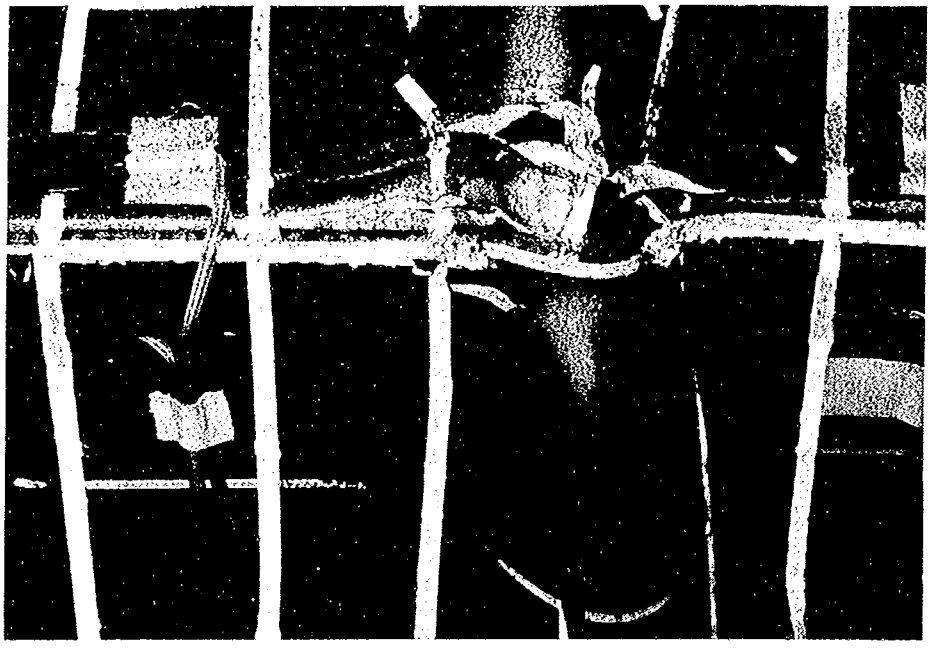
写真-3.1.2(24)　損傷の進行状況(M18)

M18 試験体載荷試験状況(2)



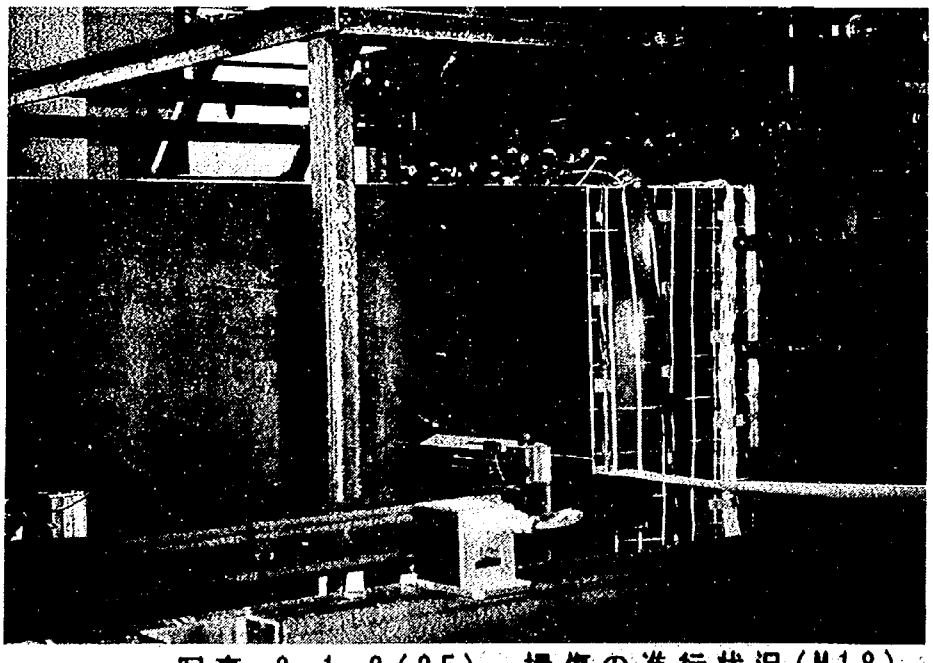
試験体	M18
変　位	−10 δy

負載荷時の圧縮フランジ第一横リブと第一ダイヤ間に主要な面外変形が発生
(写真左が上)
〔東(B)面〕



試験体	M18
変　位	−10 δy

フランジ、ウェブともに凸形の面外変形を示したため角に割れが発生した。
〔上／東(C／B)面〕



試験体	M18
変　位	−10 δy

負載荷時の圧縮フランジ
〔東(B)面〕

写真-3.1.2(25)　損傷の進行状況(M18)

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)	縦リブ寸法 (mm)	横リブ間隔 a (mm)	鋼種	鋼材降伏点 σ_{yM} (kgf/cm2)	断面積 A (cm2)	断面2次モーメント I (cm4)	断面2次半径 γ (cm)	有効長 l(=2h) (cm)	細長比 λ	径厚比 R／t	径厚比パラメータ Rt	軸力 N (tf)	軸力比 N/N_{yN}	軸力比 N/N_{yM}
M7	二重管補強	900	9 (16)	—	900	SS400	2950 (2721)	251.9	250,023	31.50	684.6	0.259	50.0 (28.1)	0.115 (0.059)	90.7	0.150	0.122
M19	縦リブ補強	900	9	70x8	900	SS400	2825	251.9 (296.7)	250,023 (287,038)	31.50 (31.10)	684.6	0.254 (0.257)	50.0	0.110	90.7	0.150 (0.127)	0.127 (0.108)

供試体	実験場所	P_{yN} (tf)	P_{yM} (tf)	Pu (tf)	$\frac{Pu}{P_{yM}}$	δ_{yTN} (mm)	δ_{yTM} (mm)	δ_{yEN} (mm)	δ_{yEM} (mm)	δ_{yTN} (mm)	δm (mm)	δ97 (mm)	δ95 (mm)	δlim (mm)	δu (mm)	$\frac{\delta m}{\delta_{yEN}}$	$\frac{\delta 97}{\delta_{yEN}}$	$\frac{\delta 95}{\delta_{yEN}}$	$\frac{\delta lim}{\delta_{yEN}}$	$\frac{\delta u}{\delta_{yEN}}$
M7	土研	38.1	48.4	110.2	2.28	6.4	8.1	7.5	9.5	6.4	32	36	38	—	77	4.3	4.8	5.1	—	10.3
M19	土研	33.1 (39.0)	40.0 (46.9)	79.3	1.98 (1.69)	8.4 (8.6)	10.2 (10.3)	8.6 (10.2)	10.4 (12.2)	8.4 (8.6)	51	57	61	64	112 (104)	5.9 (5.0)	6.6 (5.5)	7.1 (6.0)	7.5 (6.3)	13.0 (10.1)

注）1.記号の説明は図-3.1.0を参照。
2.M7の供試体は断面変化を有し、上部の断面が先に降伏するため、上部の断面にて評価した。
（断面変化位置 基部より450mm）
3.M19、M23のカッコ内は補強縦リブを考慮した場合を示す。

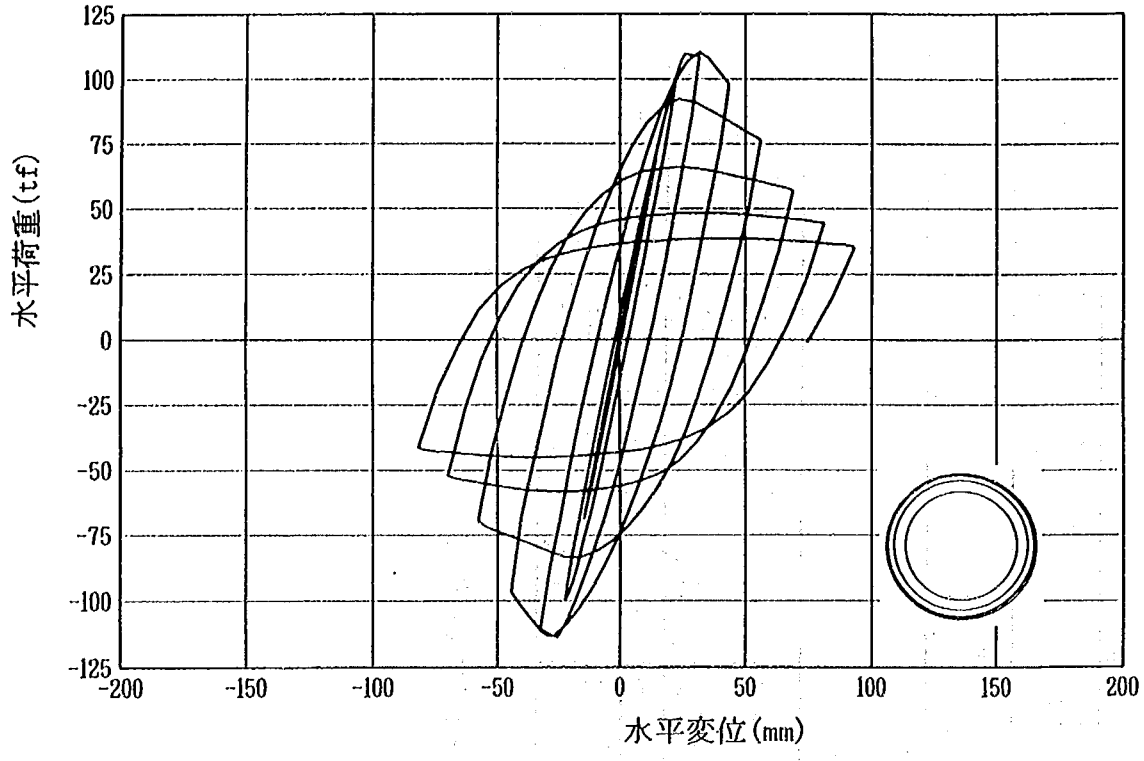


図-3.2.1(1)　水平荷重-水平変位関係(M7)

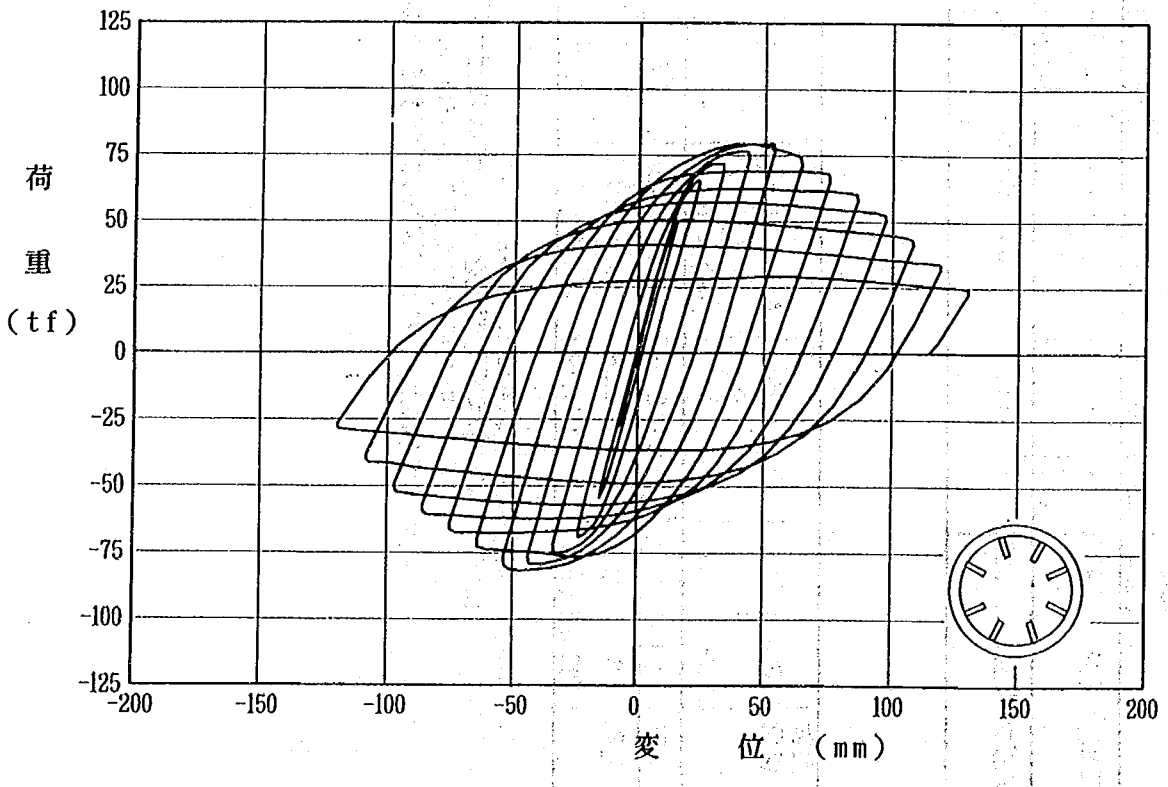


図-3.2.1(2)　水平荷重－水平変位関係（M19）

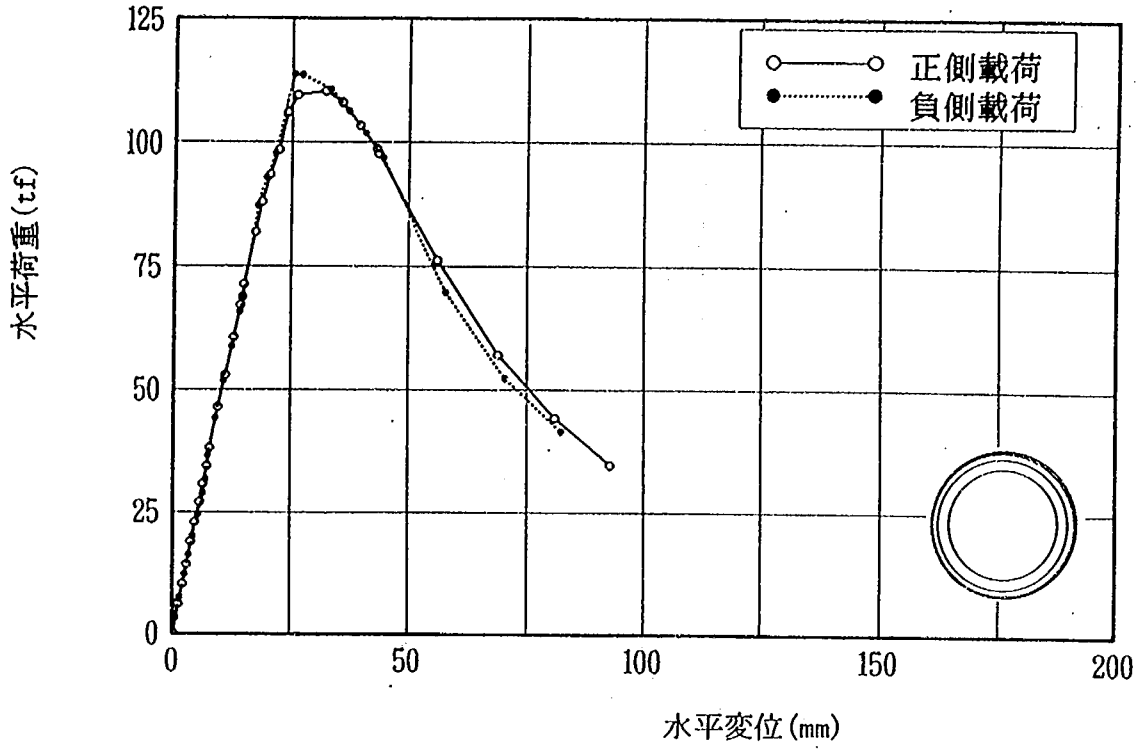


図-3.2.2(1)　水平荷重-水平変位の包絡線(M7)

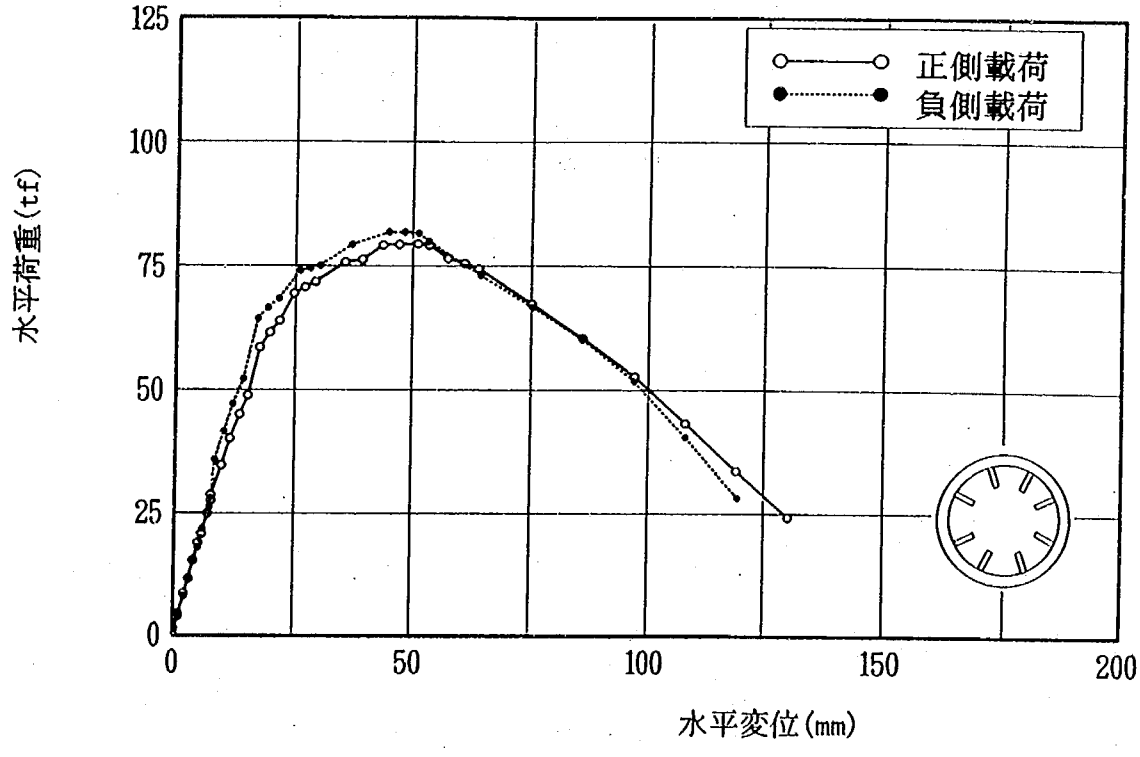
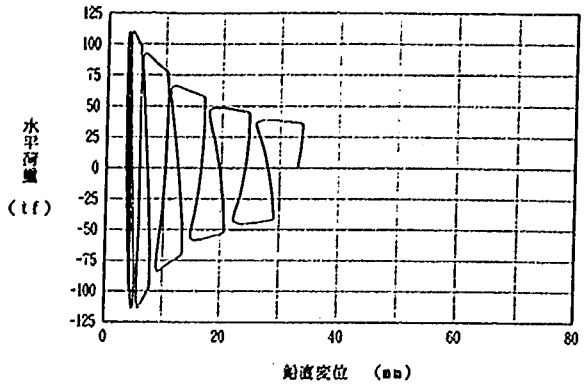
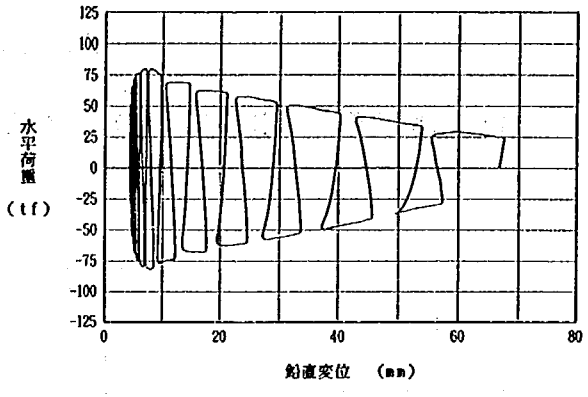


図-3.2.2(2)　水平荷重-水平変位の包絡線(M19)

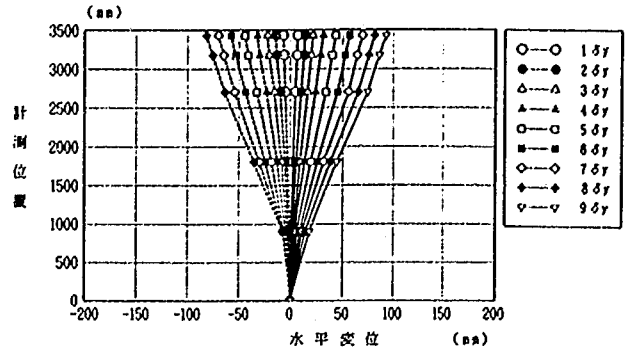


(1) M 7

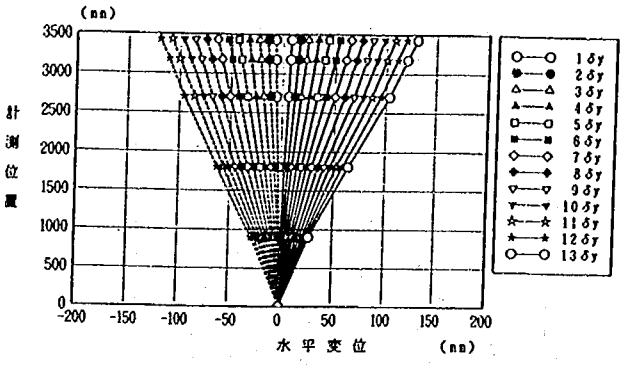


(2) M 1 9

図-3.2.3 水平荷重－鉛直変位関係

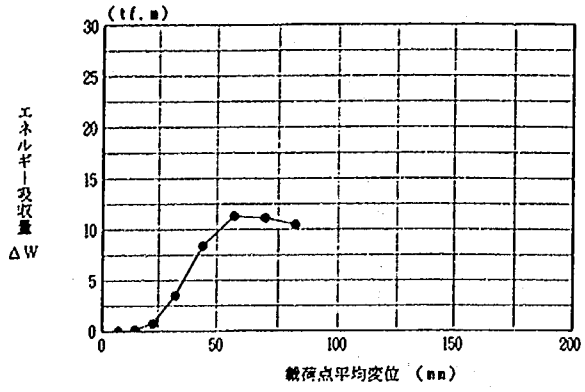


(1)　M７

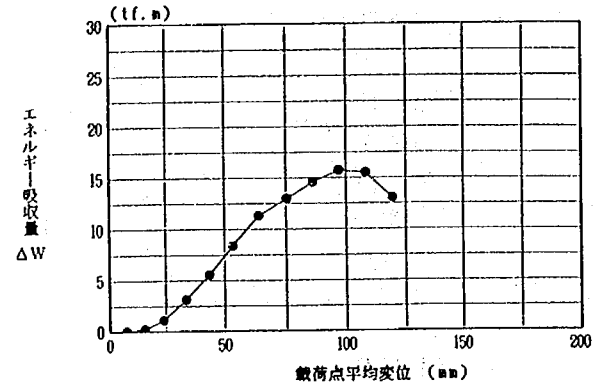


(2)　M１９

図-3.2.4　水平変位の鉛直方向分布

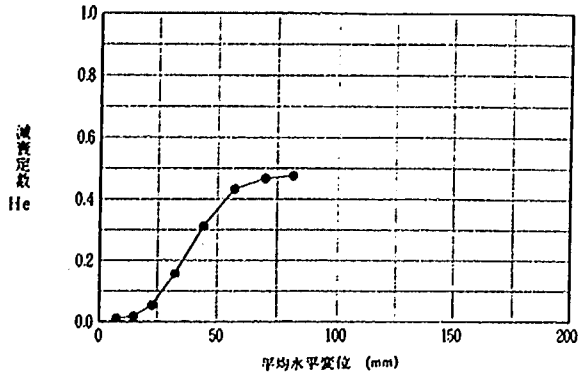


(1)　M７

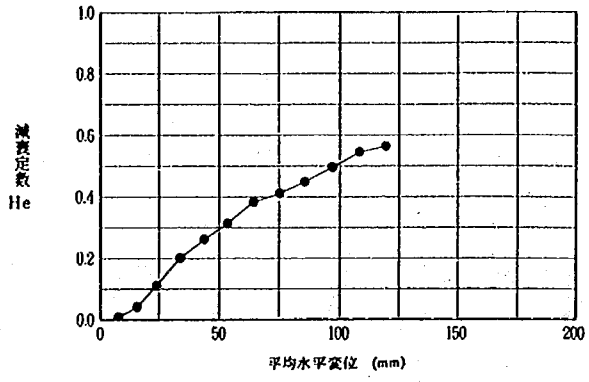


(2)　M１９

図-3.2.5　エネルギー吸収量

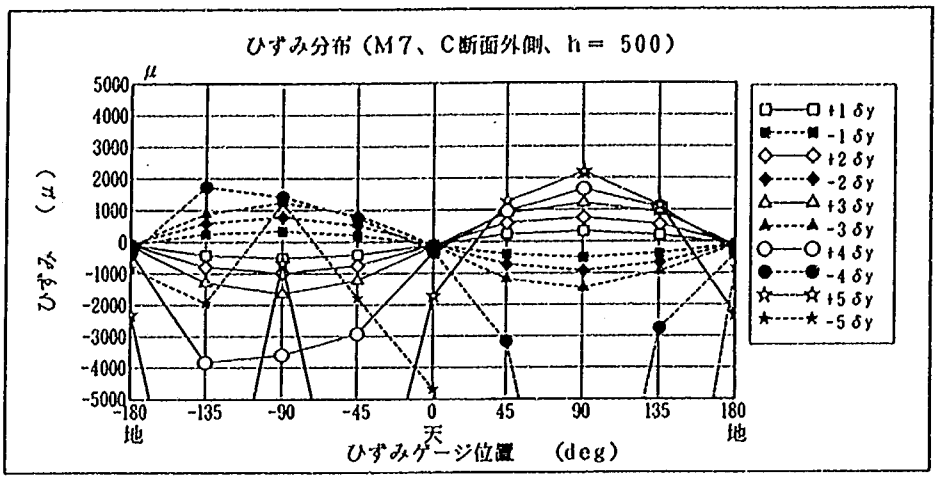


(1) M 7

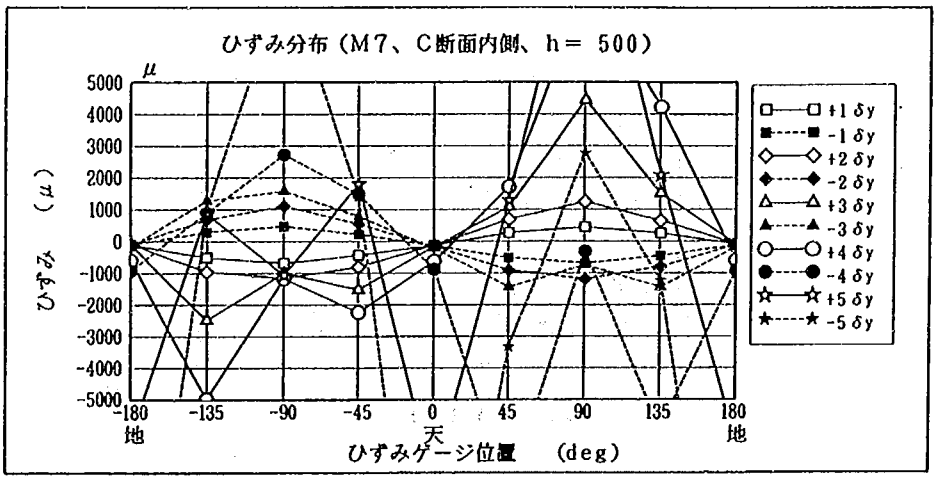


(2) M 1 9

図-3.2.6 等価減衰定数

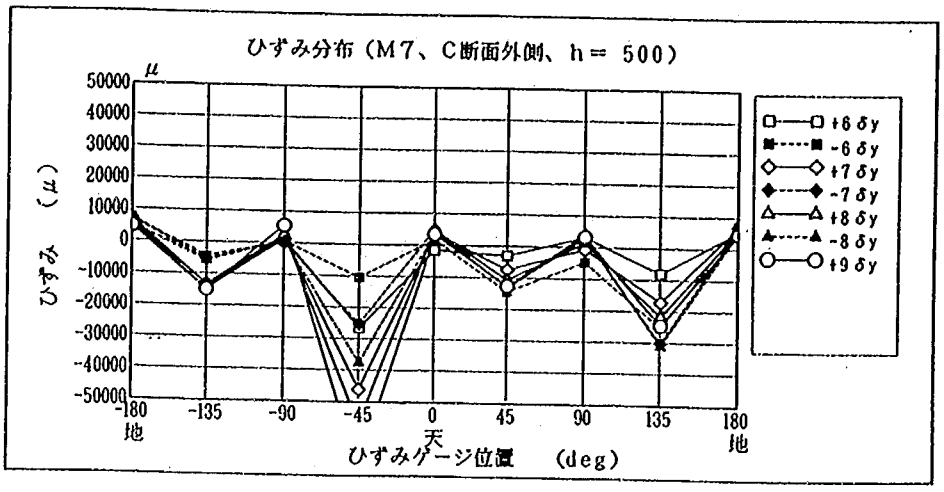


（a）C断面外側h500の軸方向ひずみ分布（M-7）

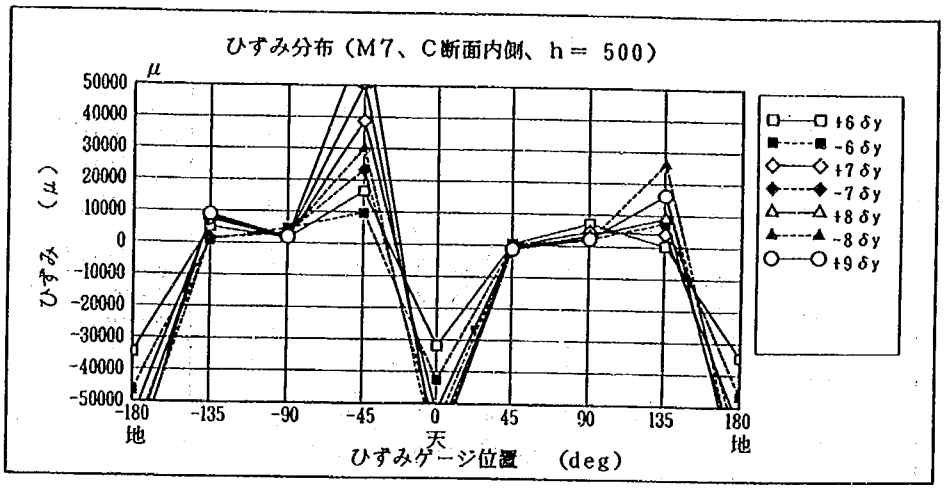


（a）C断面内側h500の軸方向ひずみ分布（M-7）

図-3.2.7(1)　ひずみ分布(M7)　　(最大荷重を超えた:+4δy)

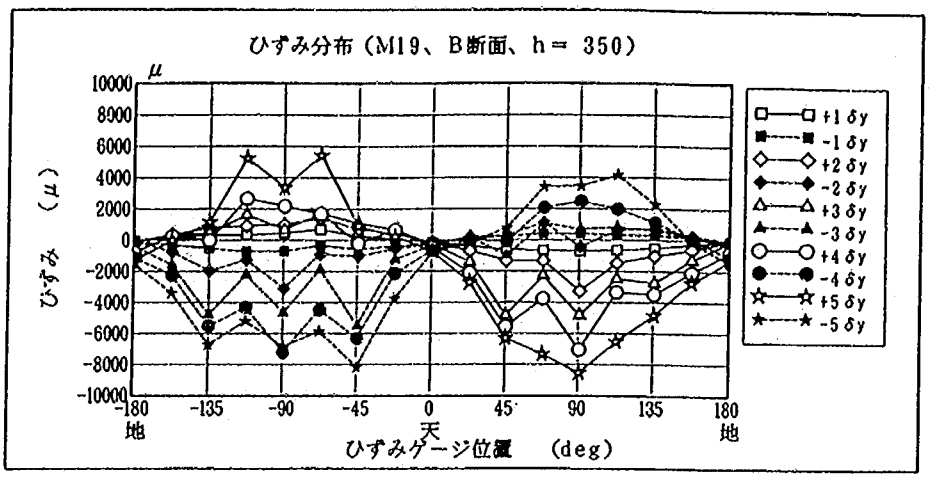


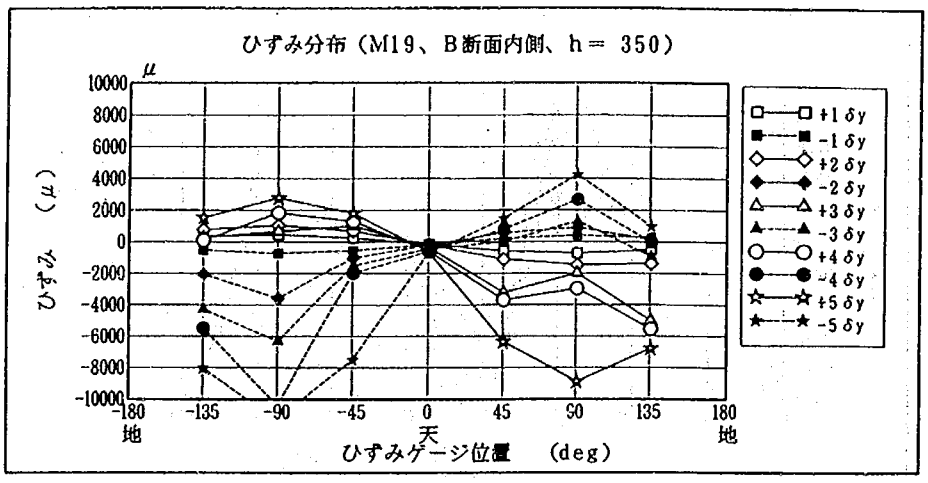
（b） C 断 面 外 側 h500の 軸 方 向 ひ ず み 分 布 （M-7）



（b） C 断 面 内 側 h500の 軸 方 向 ひ ず み 分 布 （M-7）

図-3.2.7(1) ひずみ分布(M7)(つづき)





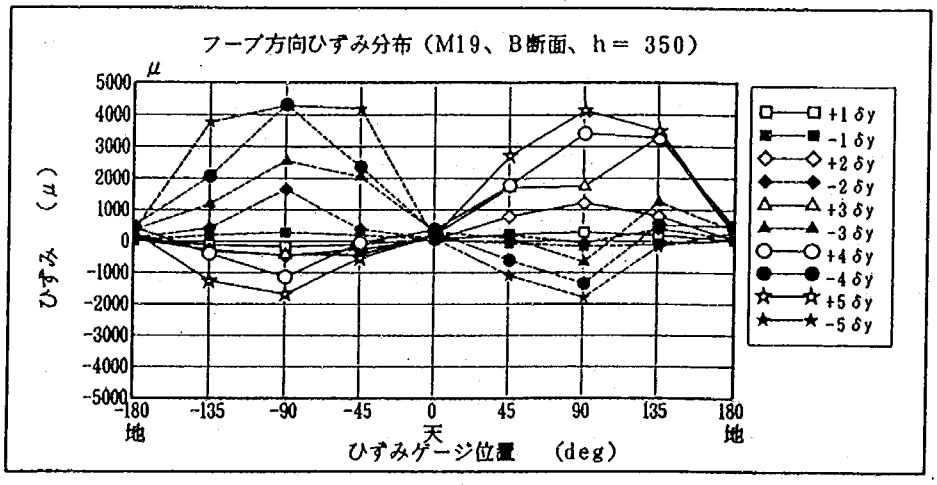
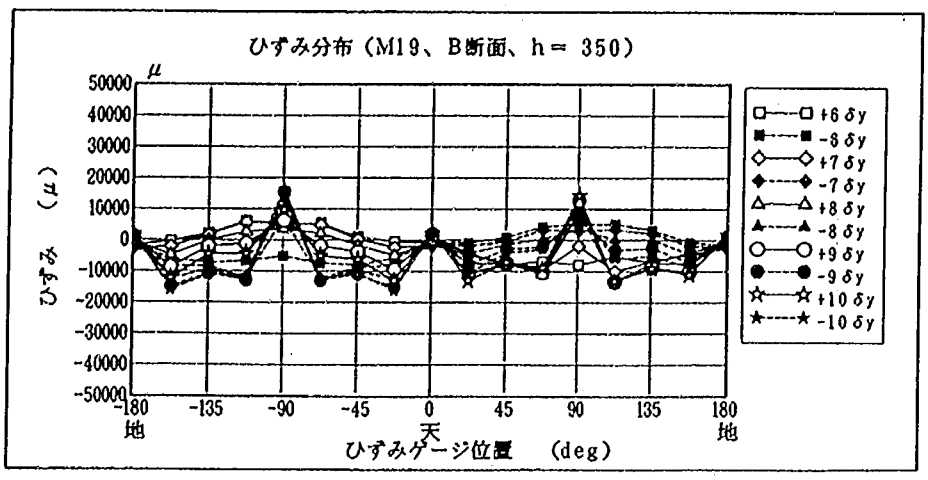
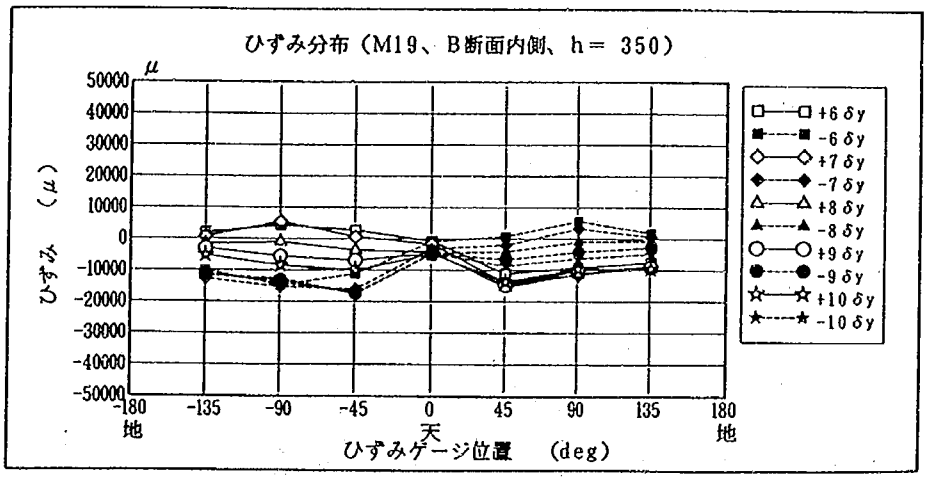


図-3.2.7(2) ひずみ分布（M19） （最大荷重を超えた:+6δy）





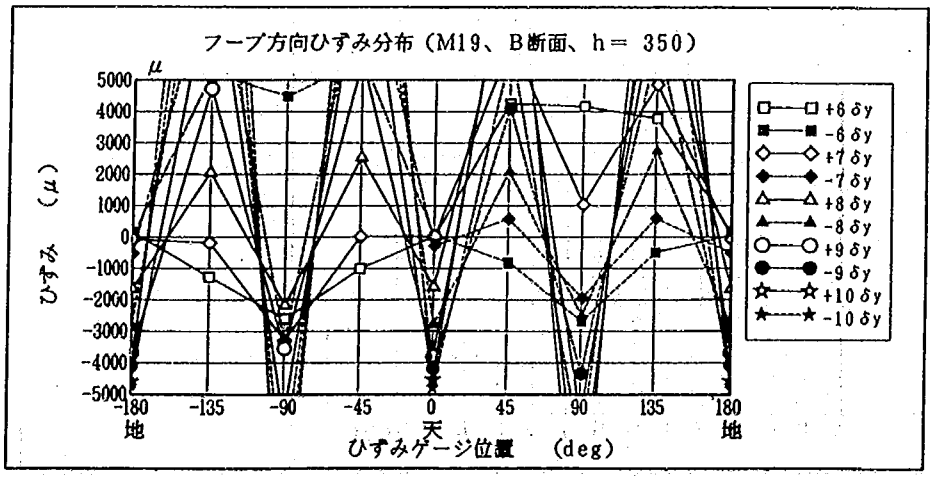
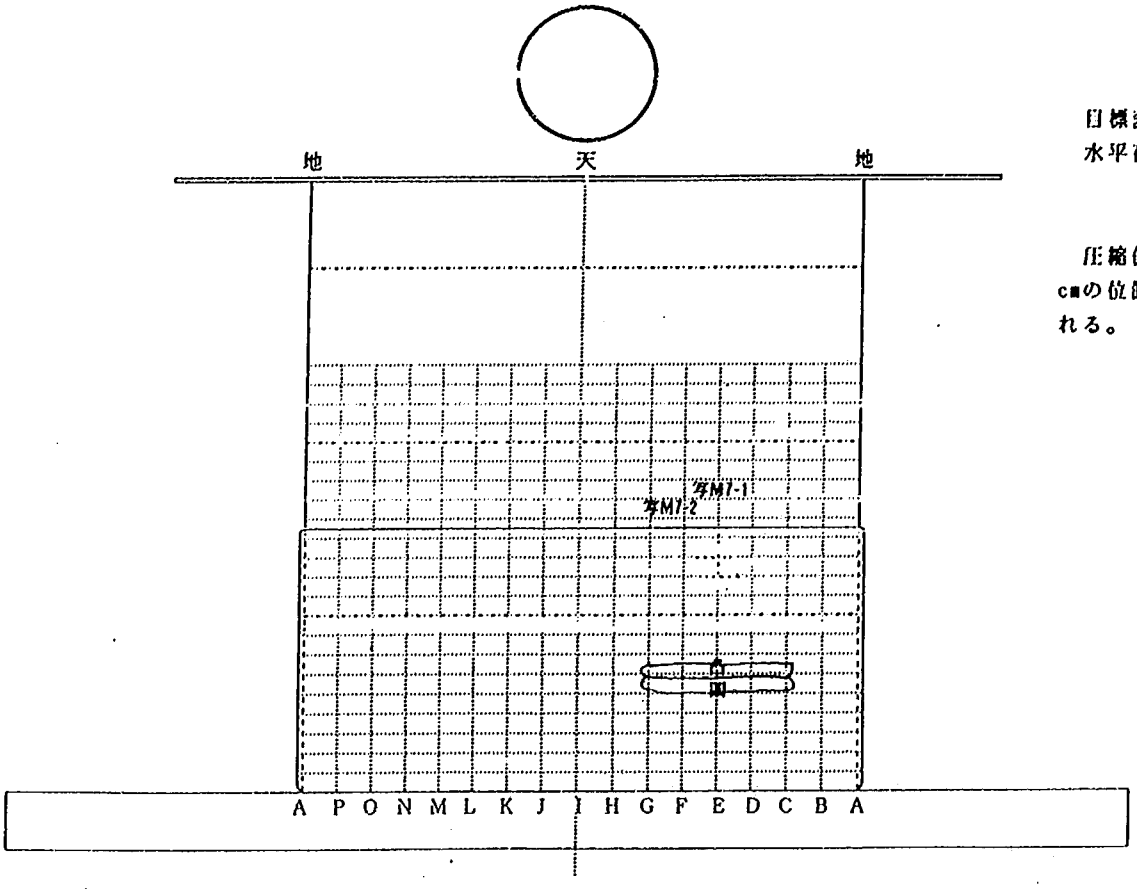


図-3.2.7(2)　ひずみ分布(M19)(つづき)

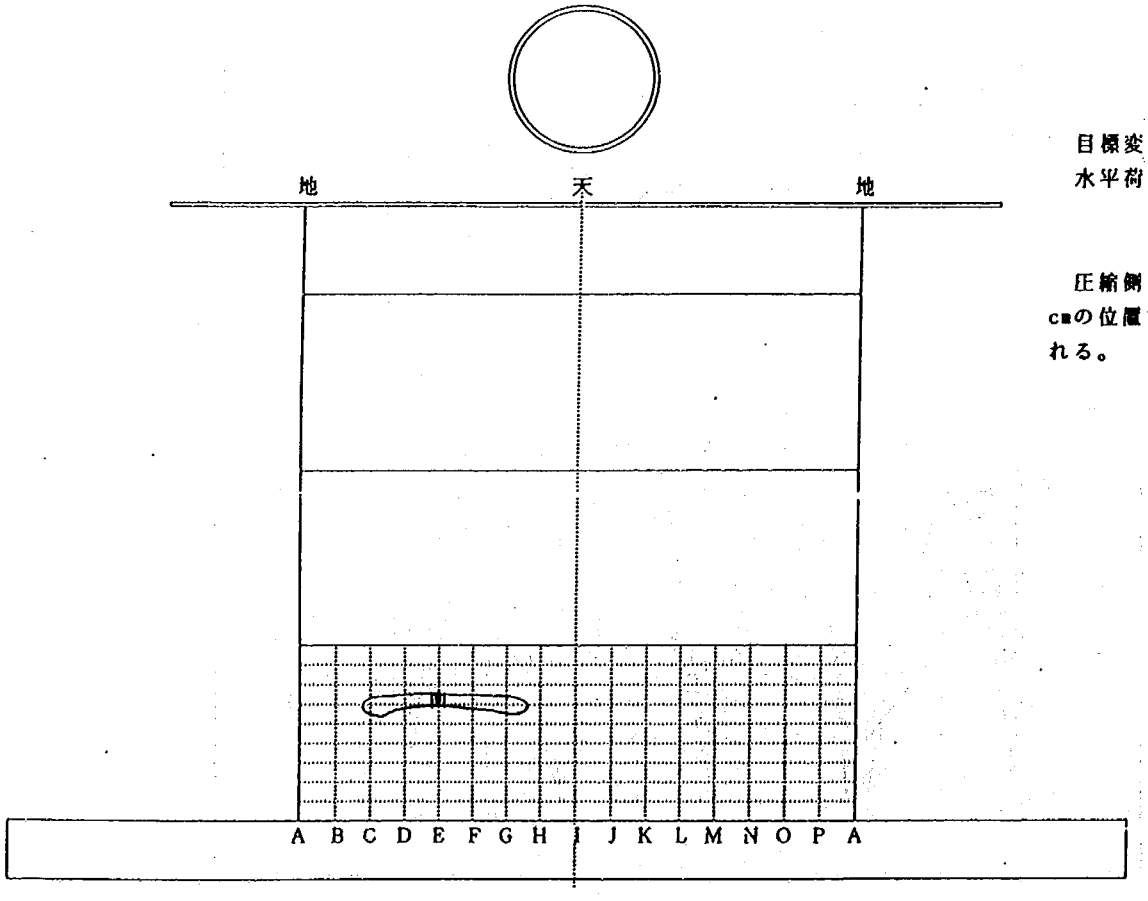


4 δ y

目標変位　　40.00mm
水平荷重　　108.7ton

圧縮側C～Gの基部から約60cmの位置でパネルに変形が見られる。

(a)外面



4 δ y

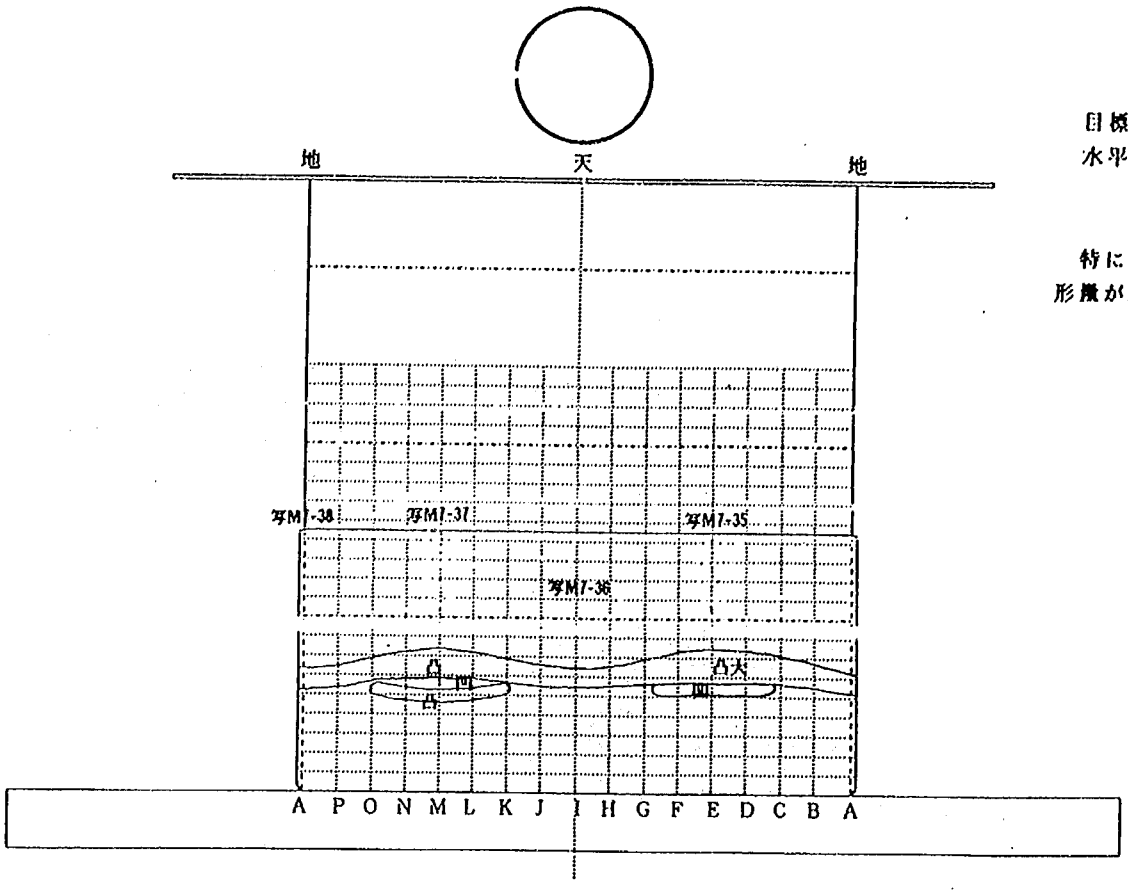
目標変位　　40.00mm
水平荷重　　108.7ton

圧縮側B～Hの基部から約60cmの位置でパネルに凹みが見られる。

(b)内面

(i) 最大荷重時

図-3.2.8(1)　供試体の変形（M７）

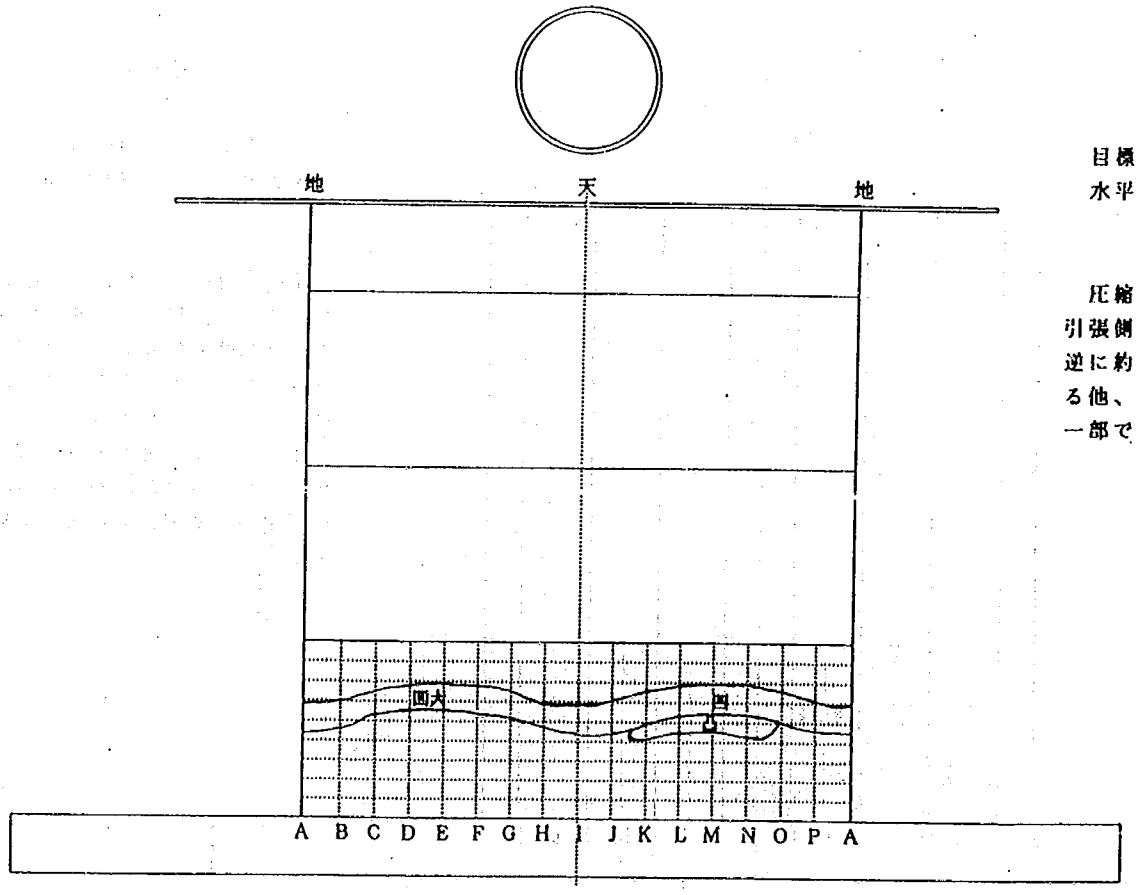


(a)外面

9δy

目標変位　90.00㎜
水平荷重　34.6ton

特に目立った変化はなく、変形量が増えているだけである。



(b)内面

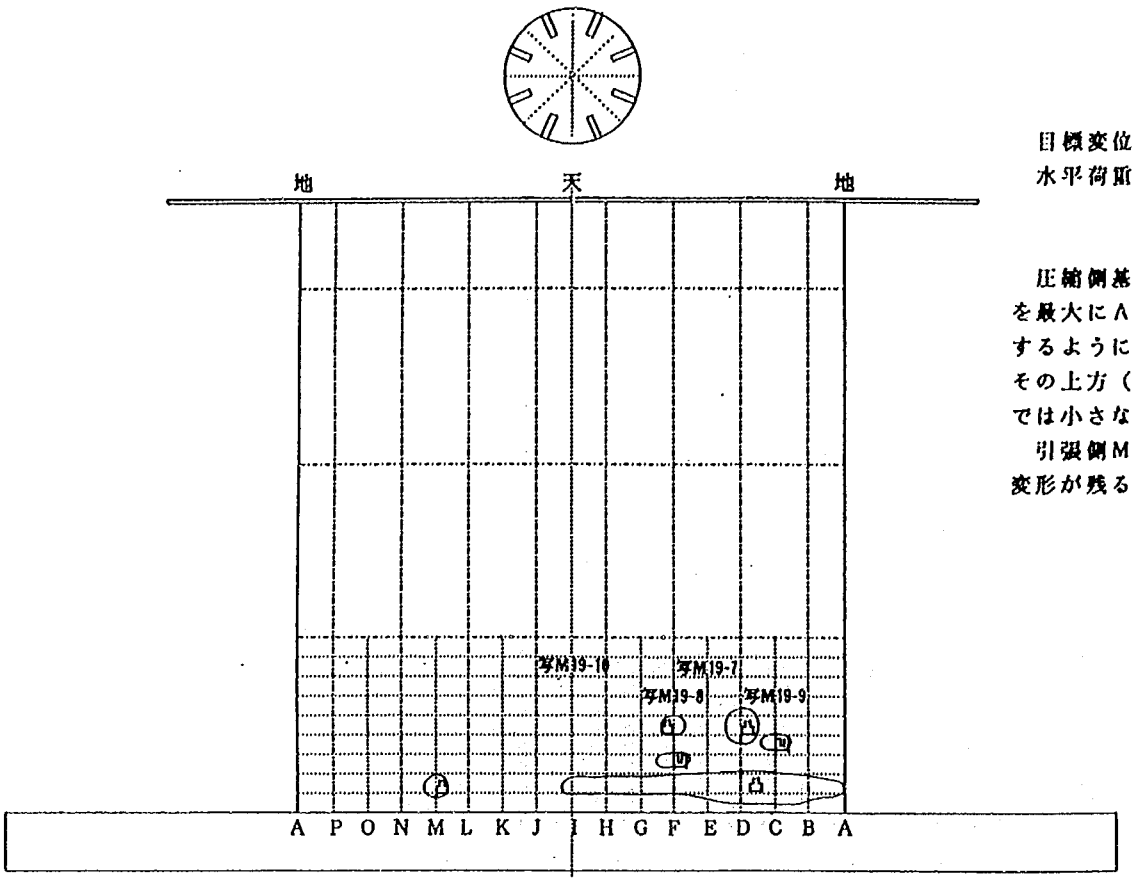
9δy

目標変位　90.00㎜
水平荷重　34.6ton

圧縮側Eラインでは約33㎜、引張側Mラインでは載荷方向と逆に約10㎜の剪断ずれが見られる他、1枚目のダイアフラムの一部で黒皮のひび割が見られる。

(ii) 実験終了時

図-3.2.8(1) 供試体の変形（M7）（つづき）



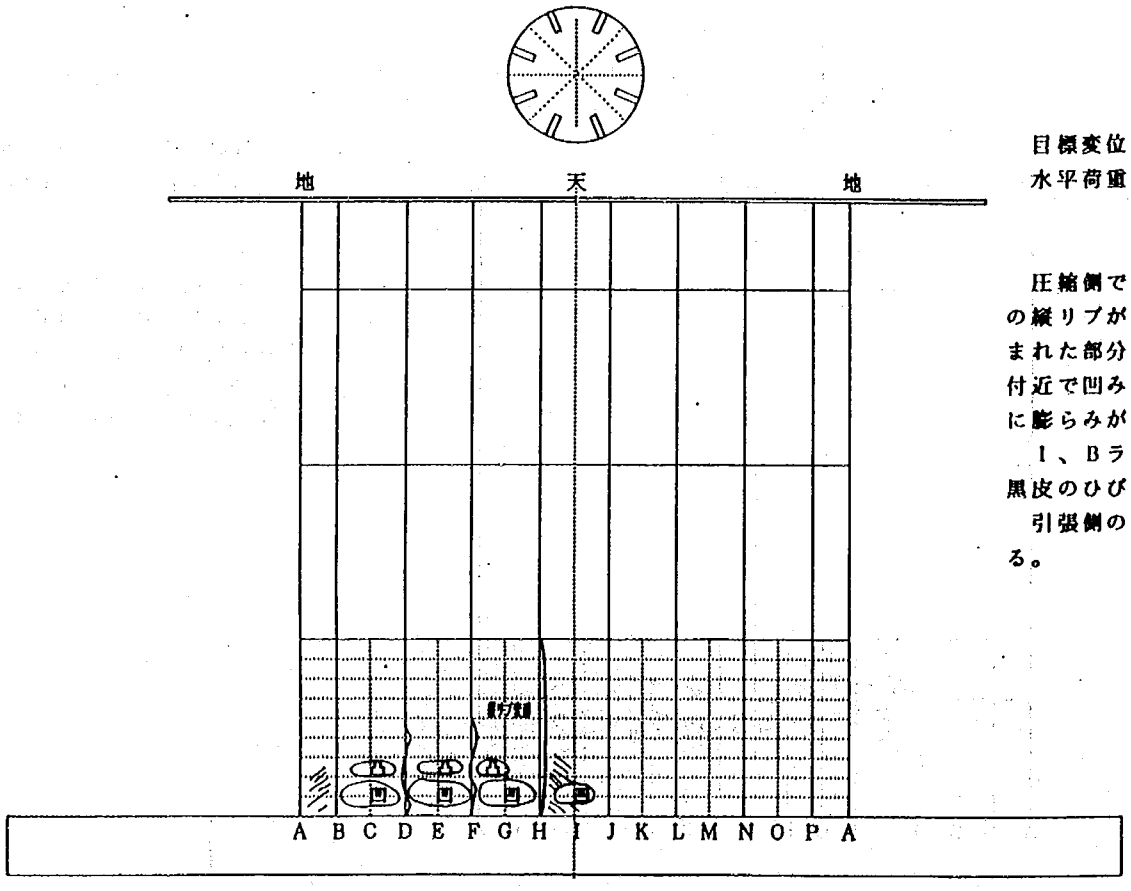
6δy

目標変位　57.00mm
水平荷重　79.0ton

圧縮側基部付近ではEラインを最大にA～Iラインまで半周するように座屈している。またその上方（基部から35～55cm）では小さな凹凸が認められる。

引張側Mライン上では僅かに変形が残るようになった。

(a)外面



6δy

目標変位　57.00mm
水平荷重　79.0ton

圧縮側ではD、F、Hラインの縦リブが変形し、縦リブに挟まれた部分では基部から13.4cm付近で凹み、その上方では僅かに膨らみが認められる。

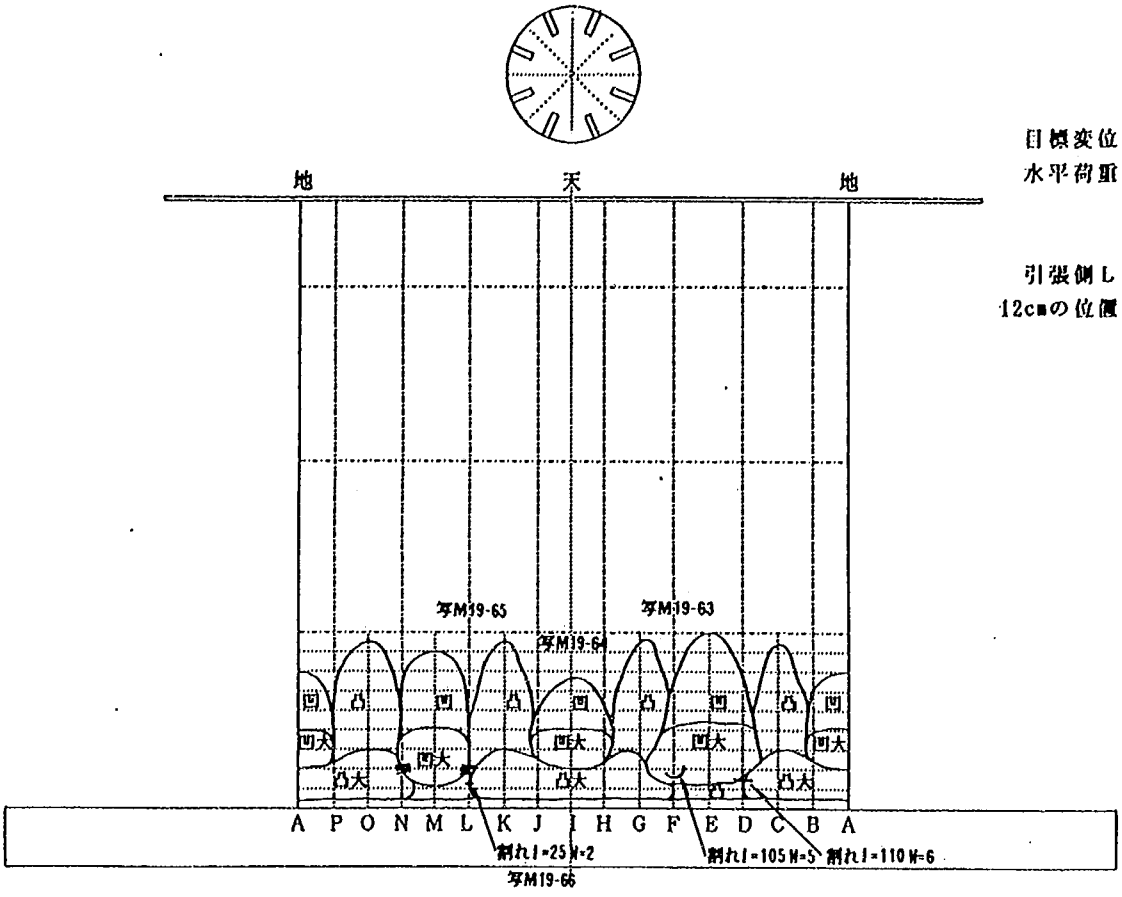
I、Bライン付近では斜めに黒皮のひび割れが認められる。

引張側の変形は元に戻っている。

(b)内面

(i) 最大荷重時

図-3.2.8(2)　供試体の変形（M19）

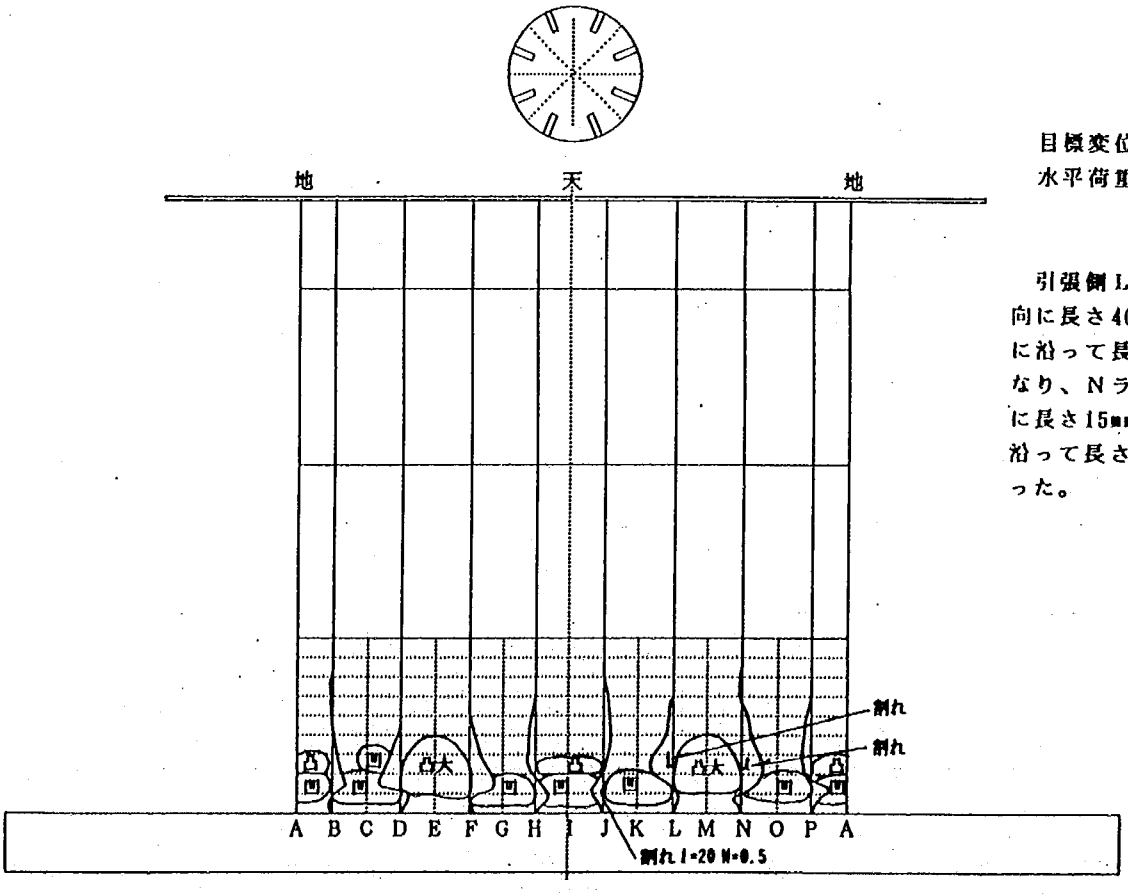


(a)外面

1 3 δ y

目標変位　　123.50㎜
水平荷重　　24.1ton

引張側Lラインでは基部から12cmの位置で割れが発生した。



(b)内面

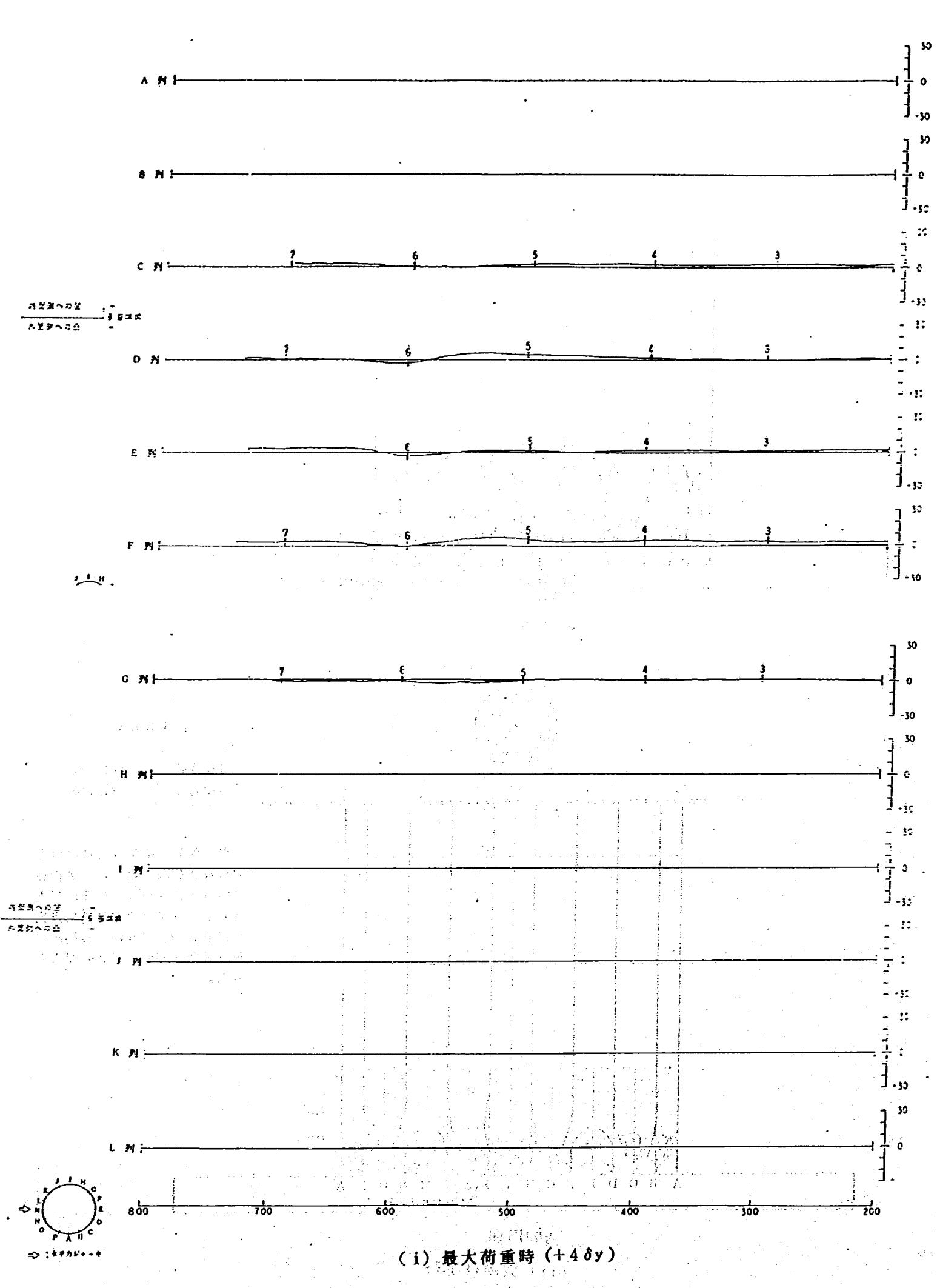
1 3 δ y

目標変位　　123.50㎜
水平荷重　　24.1ton

引張側Lラインの割れは周方向に長さ40㎜、幅1㎜、溶接線に沿って長さ40㎜、幅5㎜程となり、Nラインの割れは周方向に長さ15㎜、幅6㎜、溶接線に沿って長さ30㎜、幅2㎜程となった。

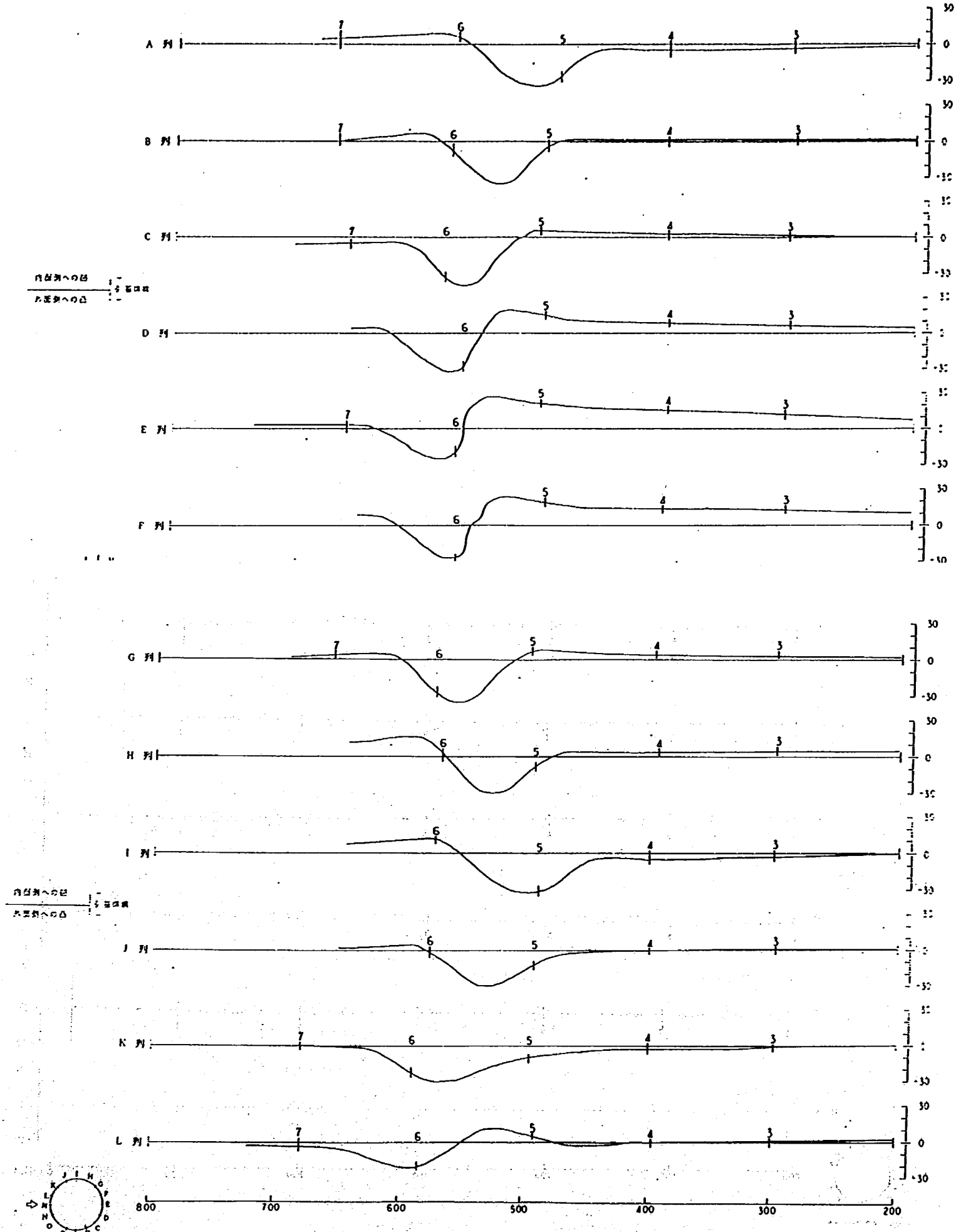
(ii) 実験終了時

図-3.2.8(2)　供試体の変形（M19）（つづき）



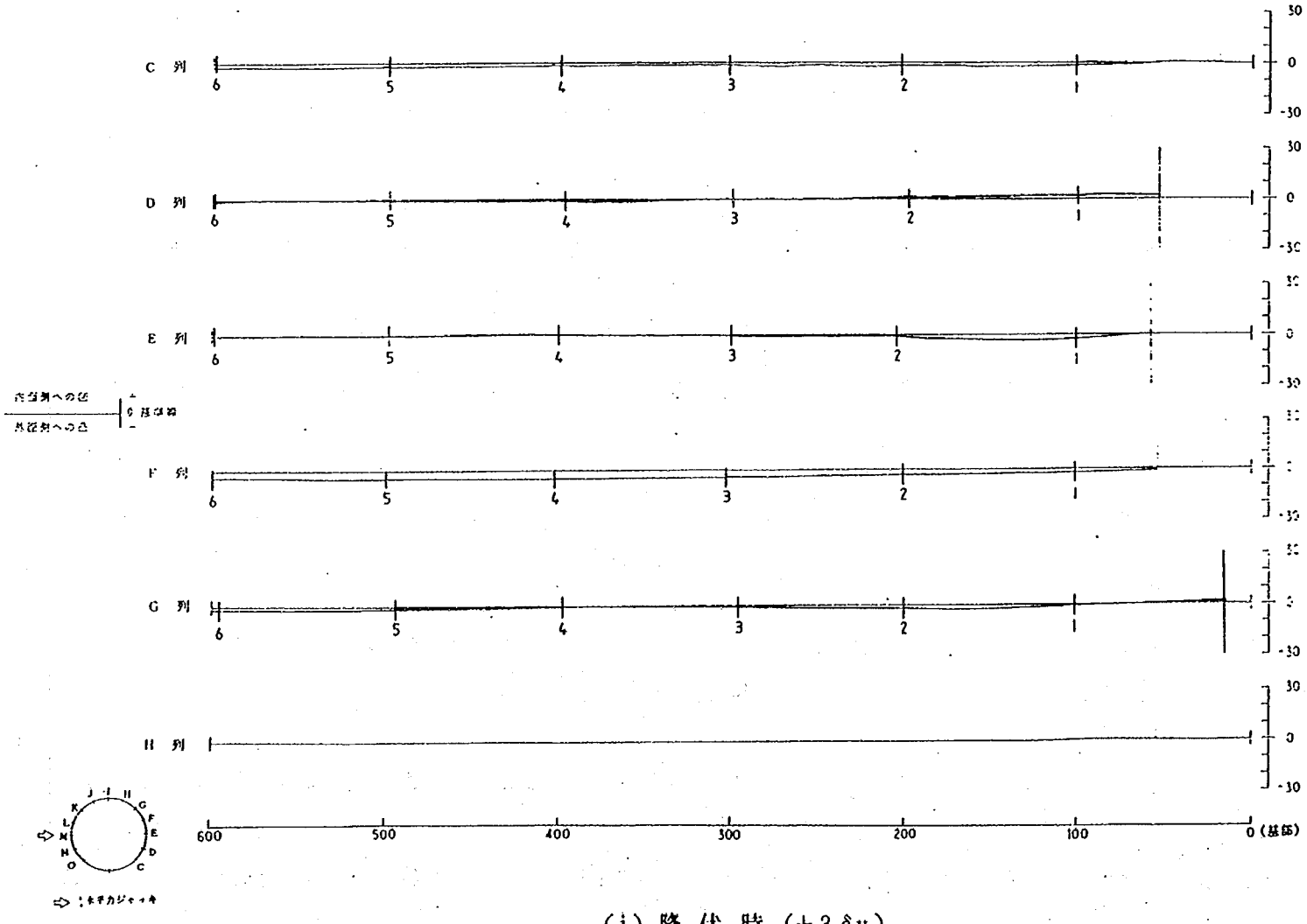
（i）最大荷重時（＋4δy）

図-3.2.9(1)　面外変位図（M７）



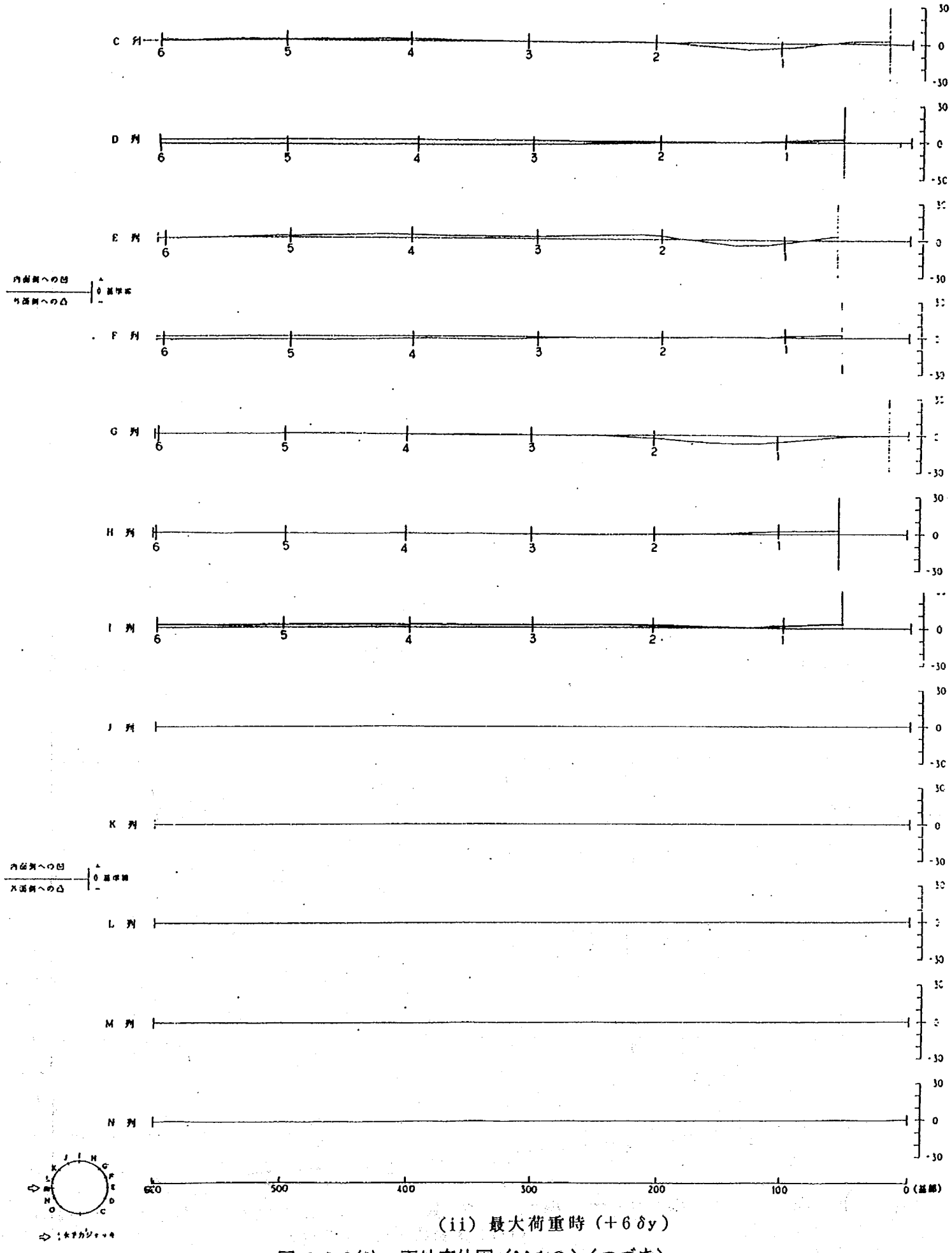
（ii）実験終了時（＋9δy）

図-3.2.9(1)　面外変位図（M7）（つづき）



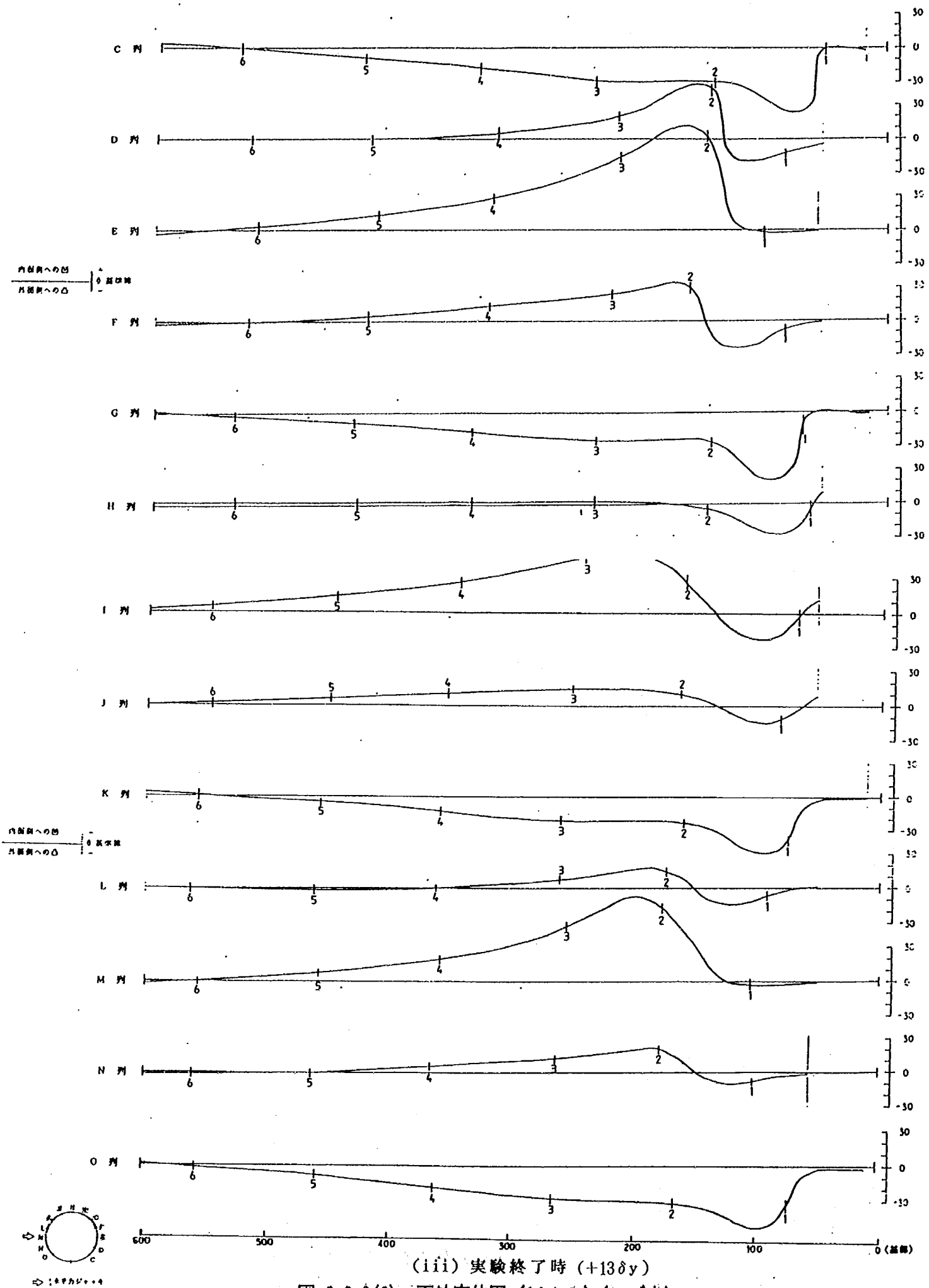
(i) 降 伏 時 (+3δy)

図-3.2.9(2)　面外変位図（M１９）



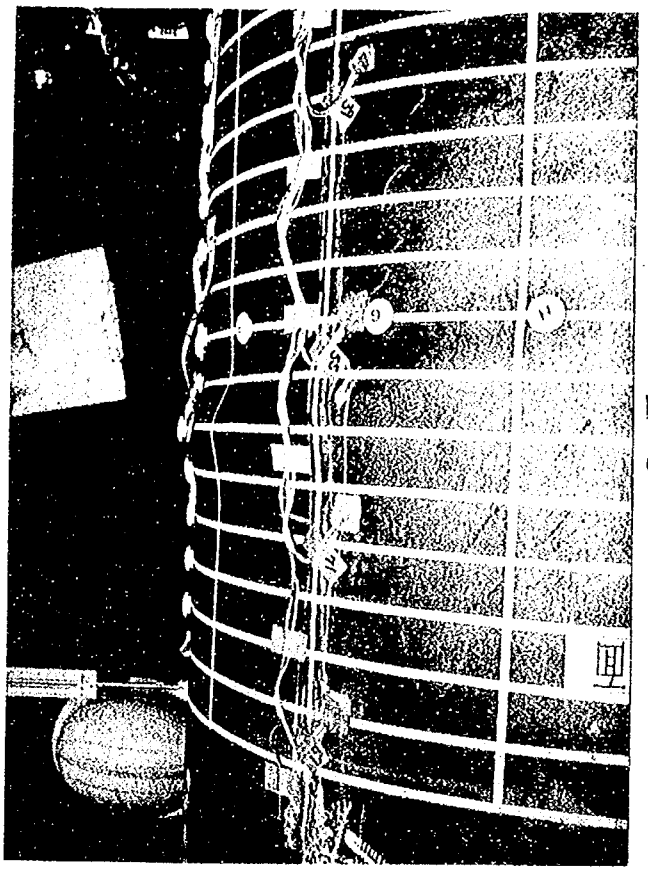
(ii) 最大荷重時 (+6δy)

図-3.2.9(2) 面外変位図 (M19) (つづき)

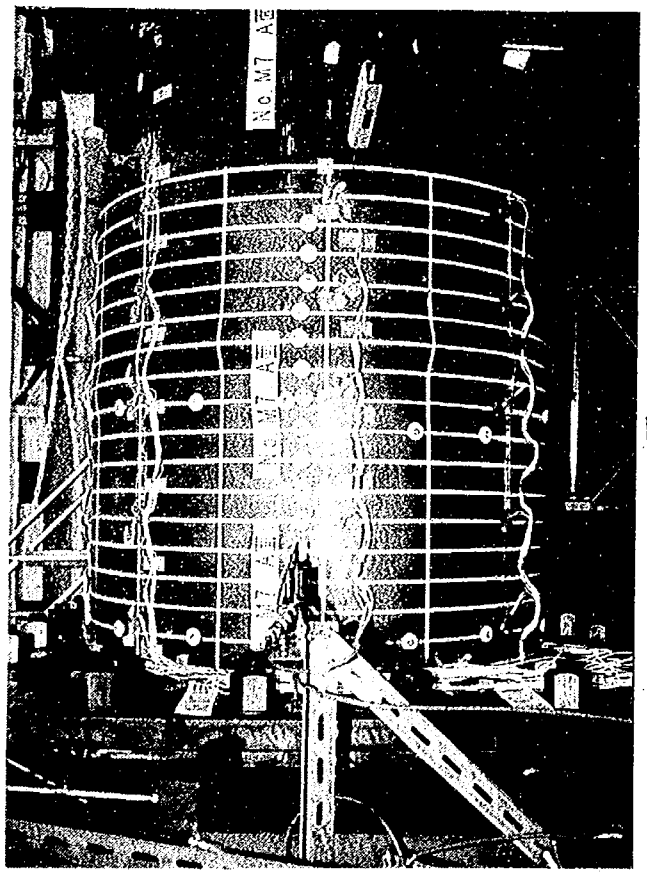


(iii) 実験終了時 (+13δy)

図-3.2.9(2) 面外変位図 (M１９) (つづき)



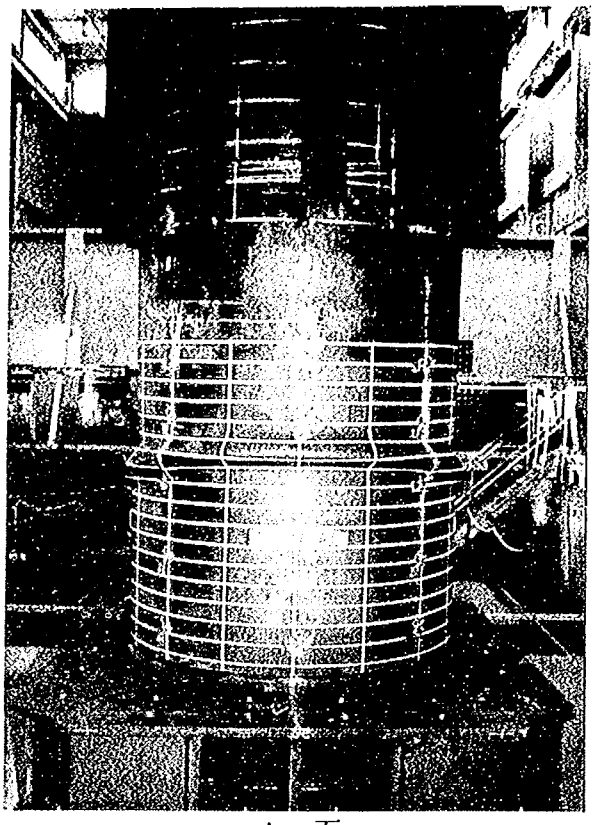
C面



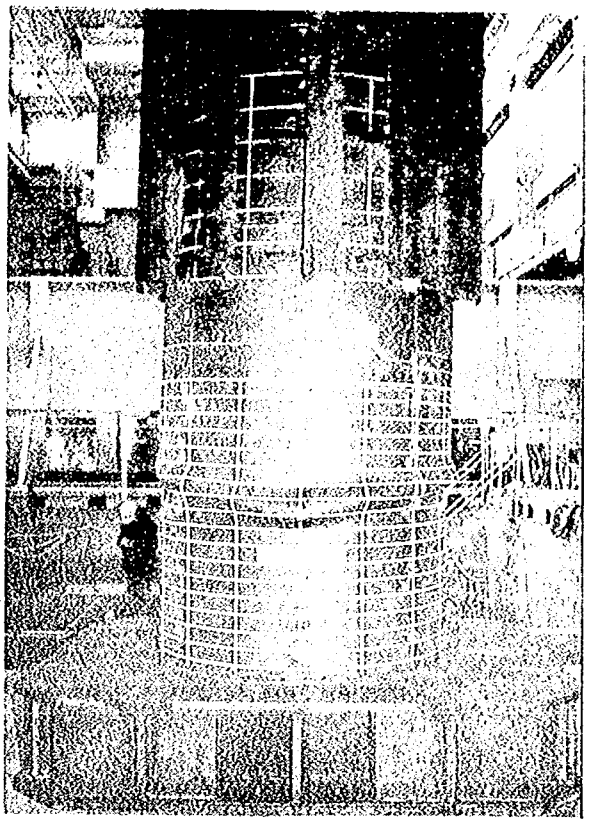
A面

(i) 最大荷重時（外面）（＋4δy）

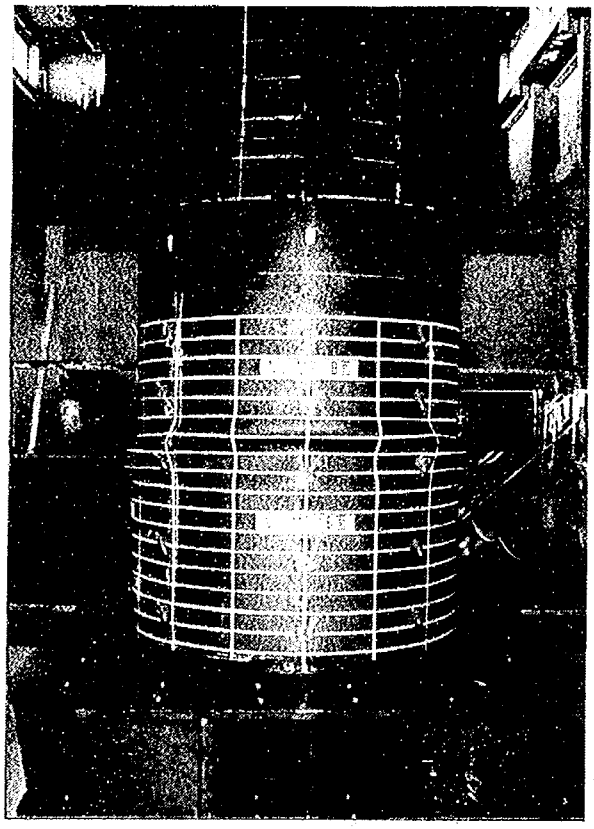
写真－3．2．1(1)　変位の状況(M7)



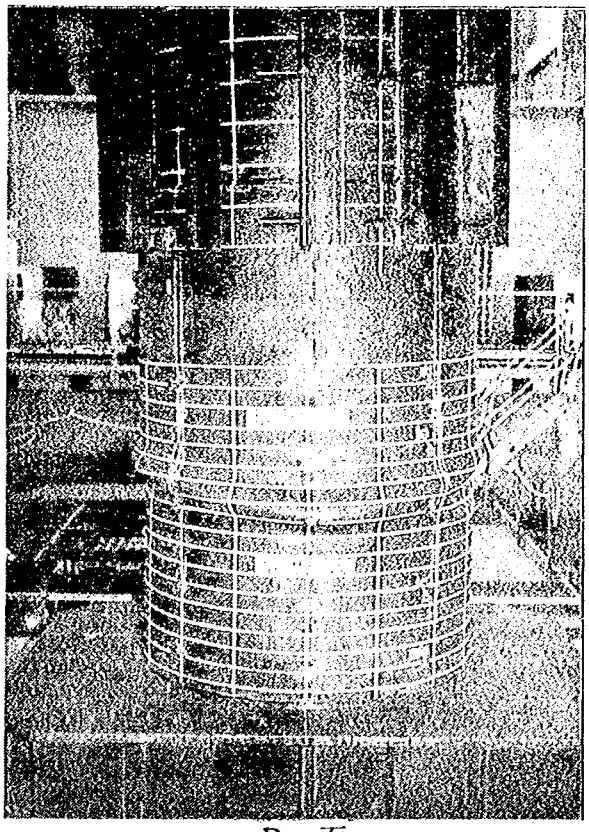
A　面



C　面



B　面



D　面

（ii）実験終了時（外面）

写真-3.2.1(2)　変位の状況(M7)

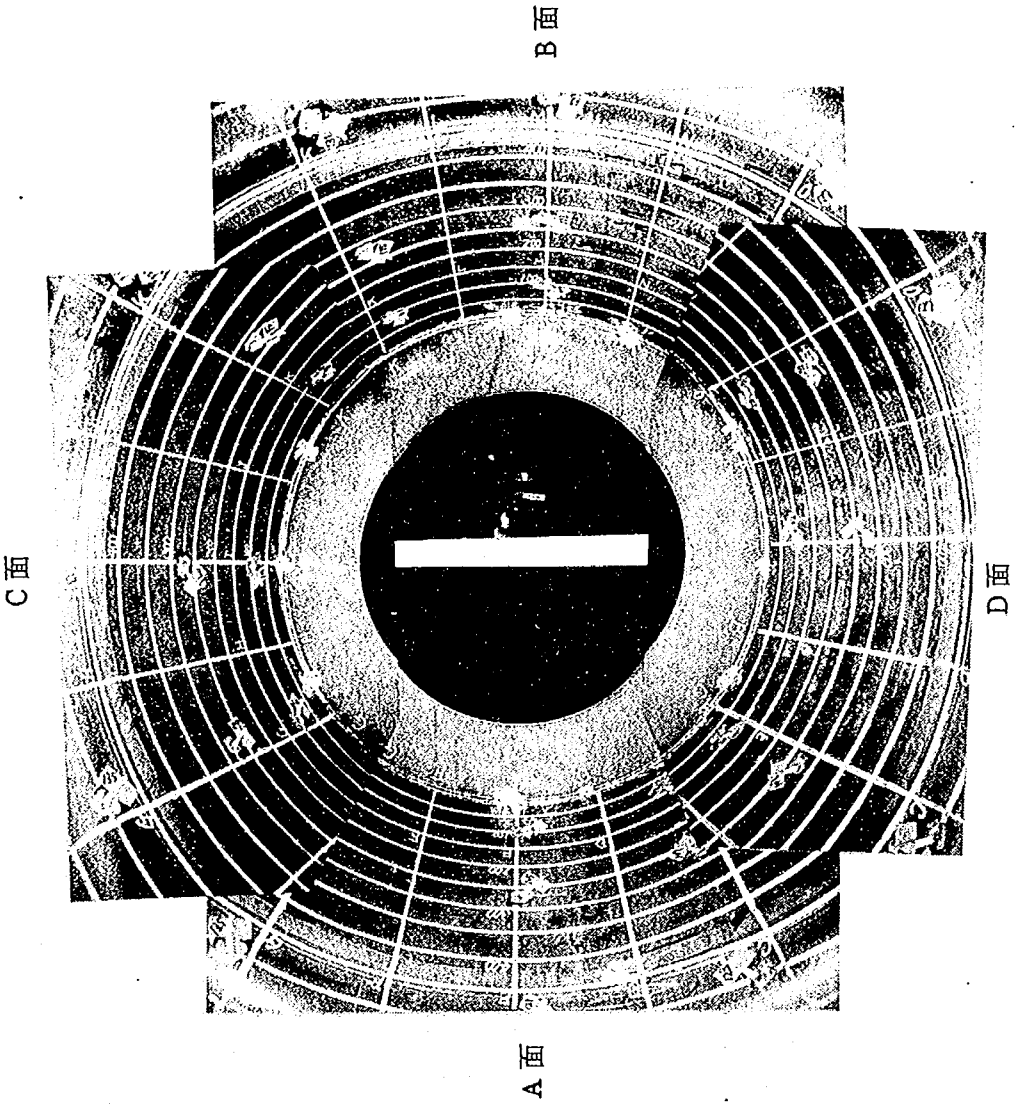
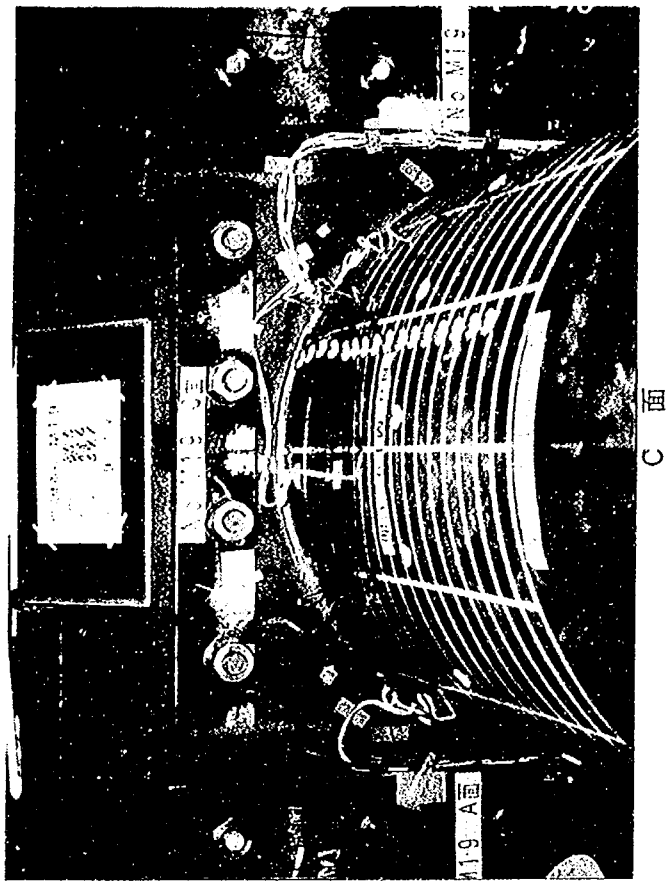
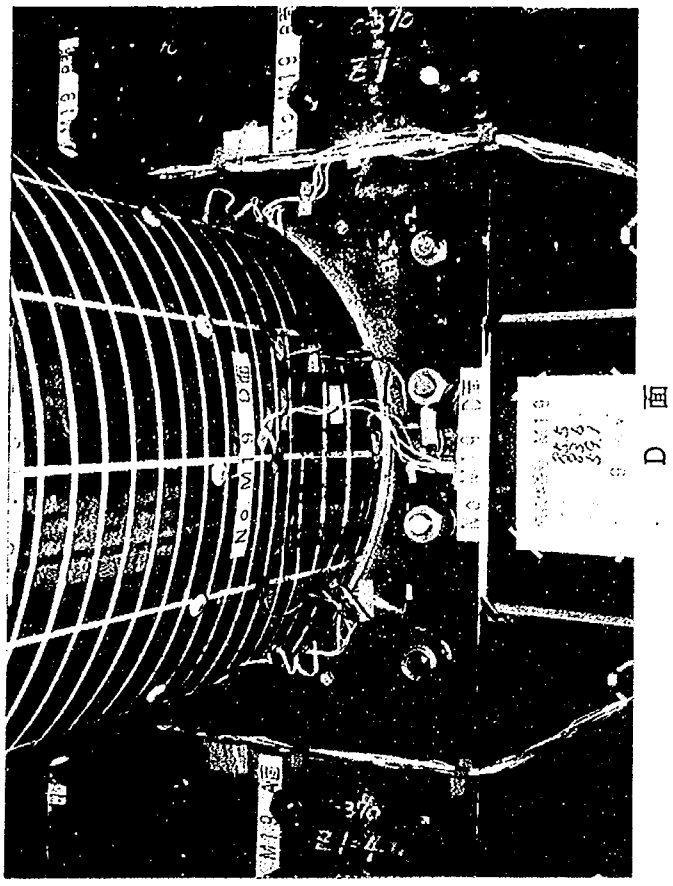
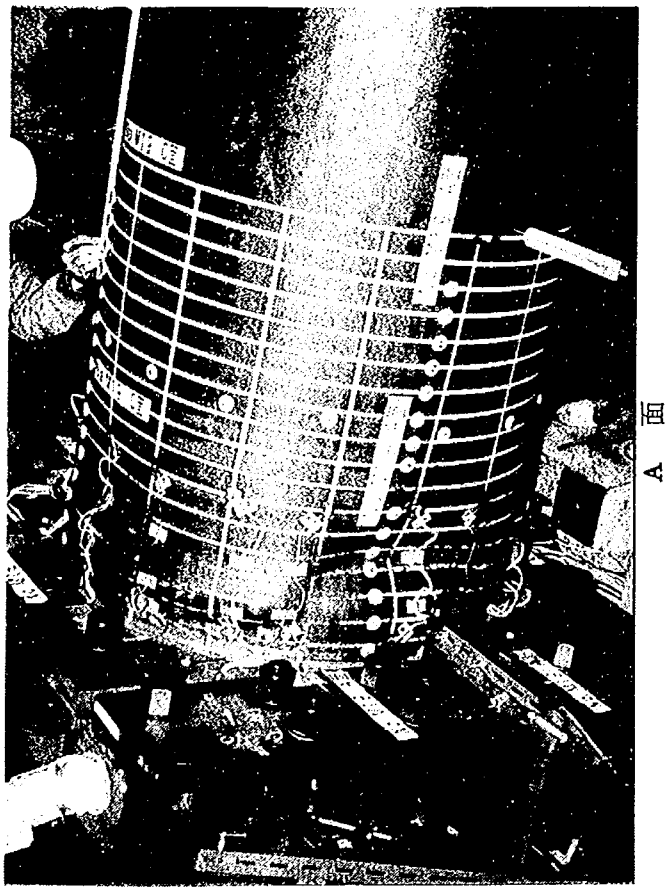
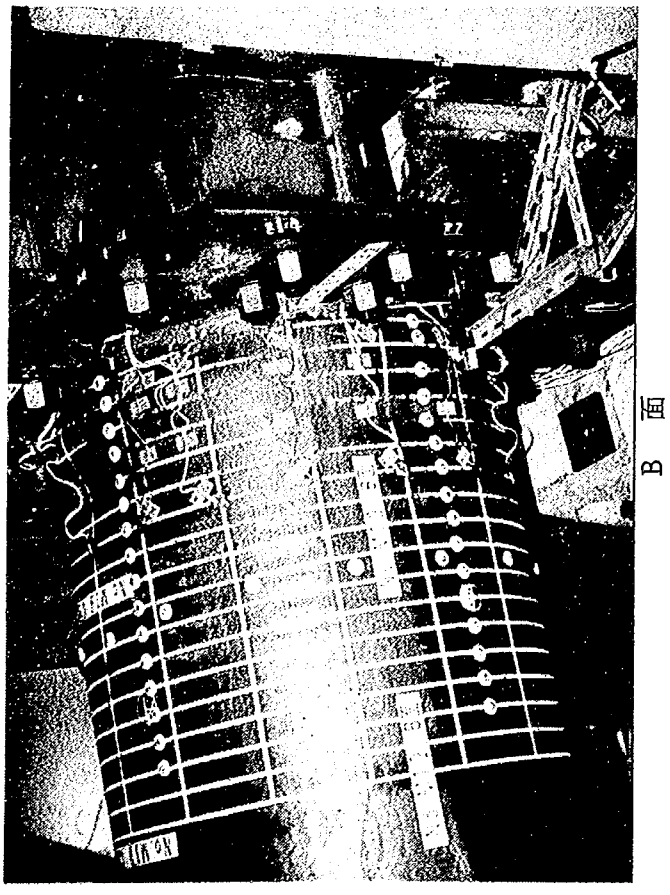


写真-3.2.1(3)　変位の状況(M7)



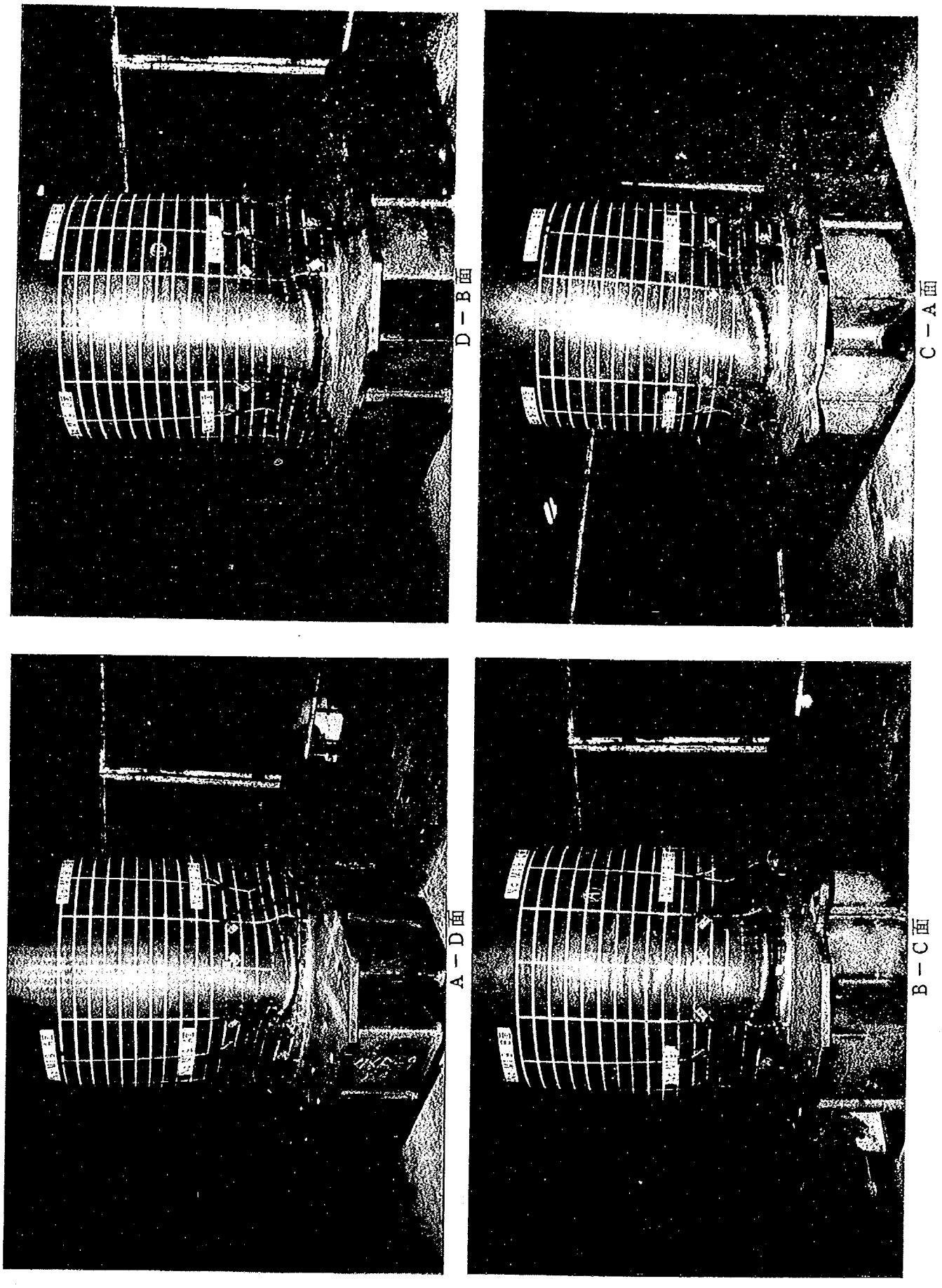






(i) 最大荷重時（外面）（+6δy）

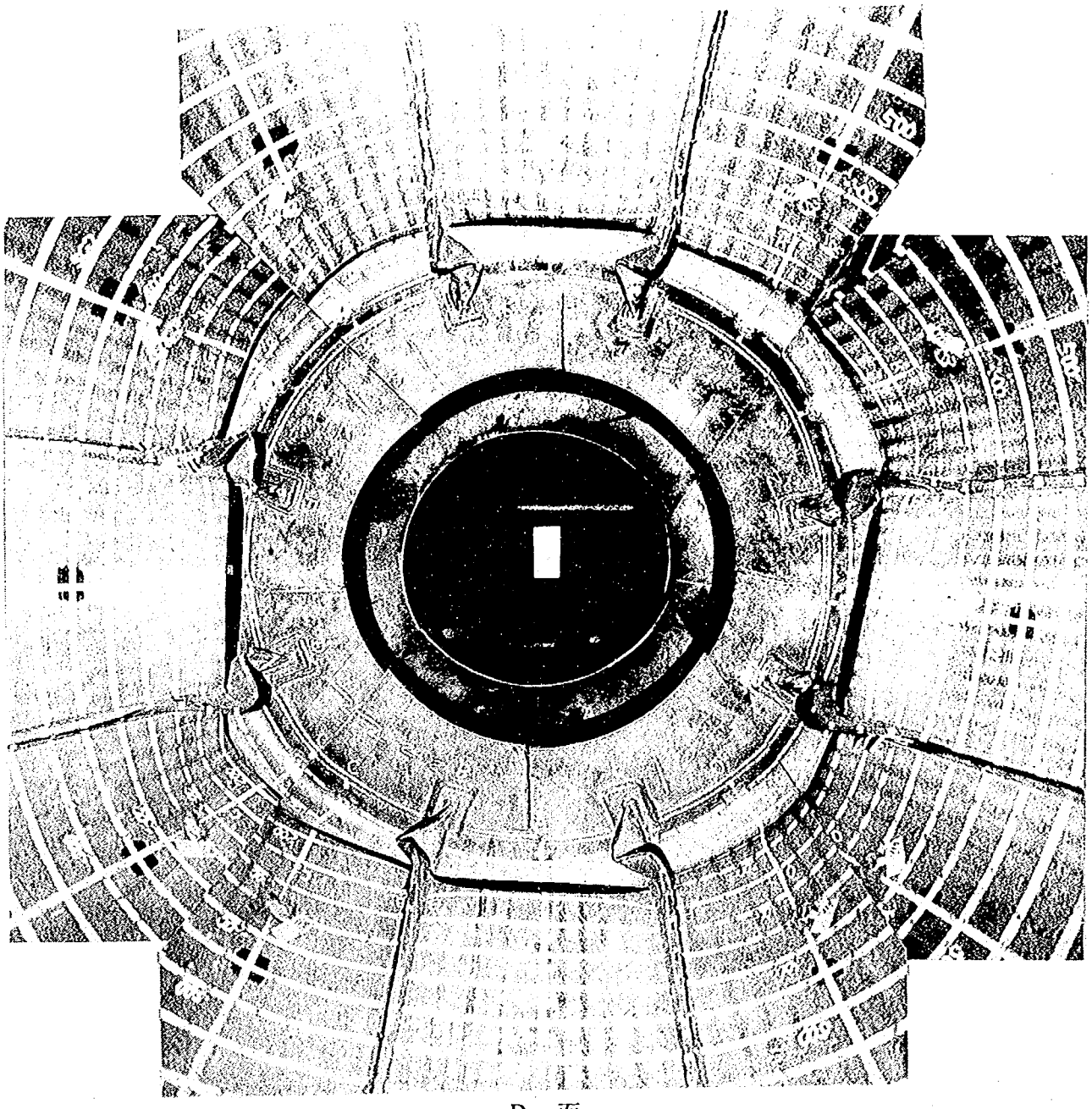
写真-3.2.1(4)　変位の状況（M19）



(ii) 実験終了時（外面）

写真-3.2.1(5)　変位の状況(M19)

C 面



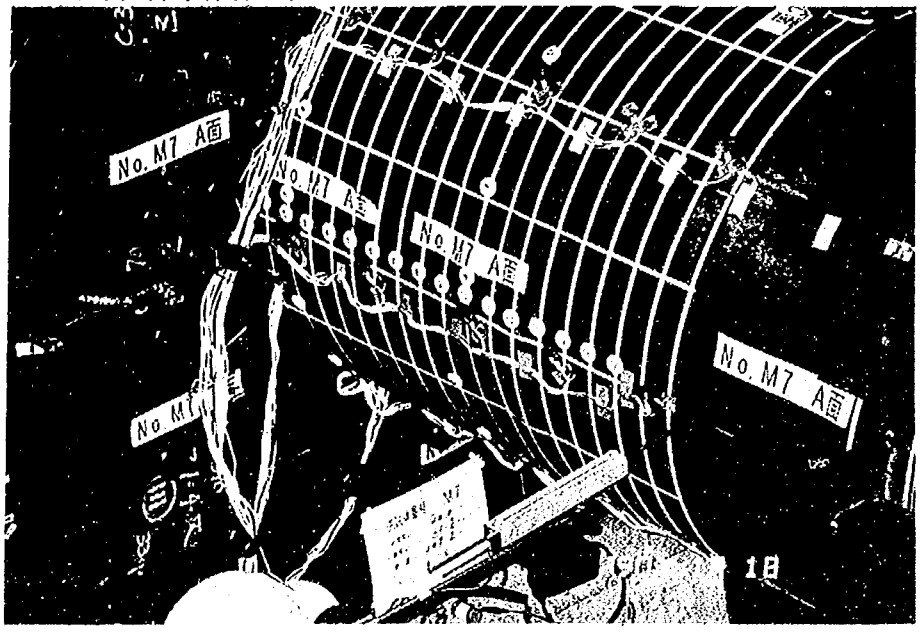
A 面　　B 面

D 面

(iii) 実験終了時（内面）

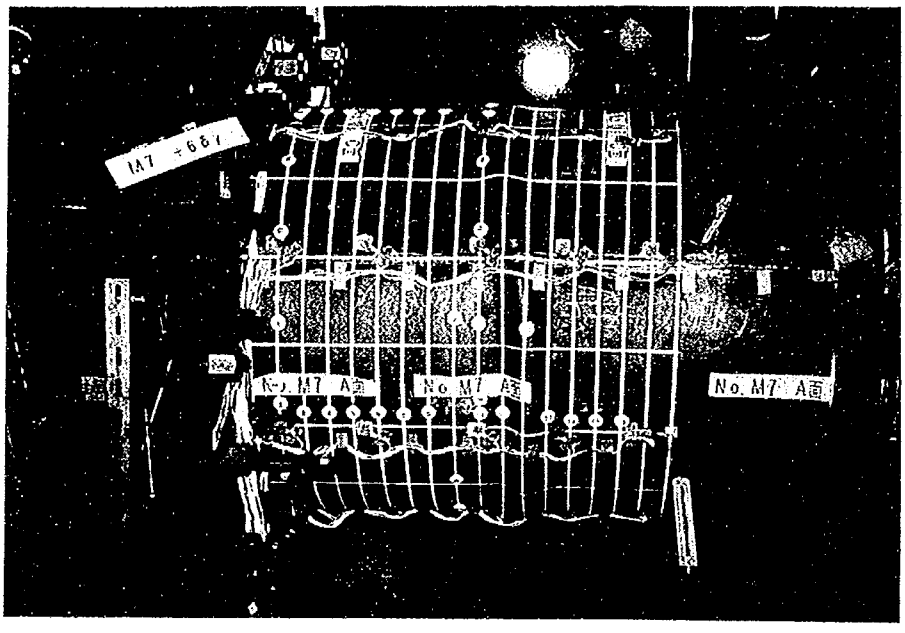
写真-3.2.1(6)　変位の状況(M19)

M７試験体載荷実験状況



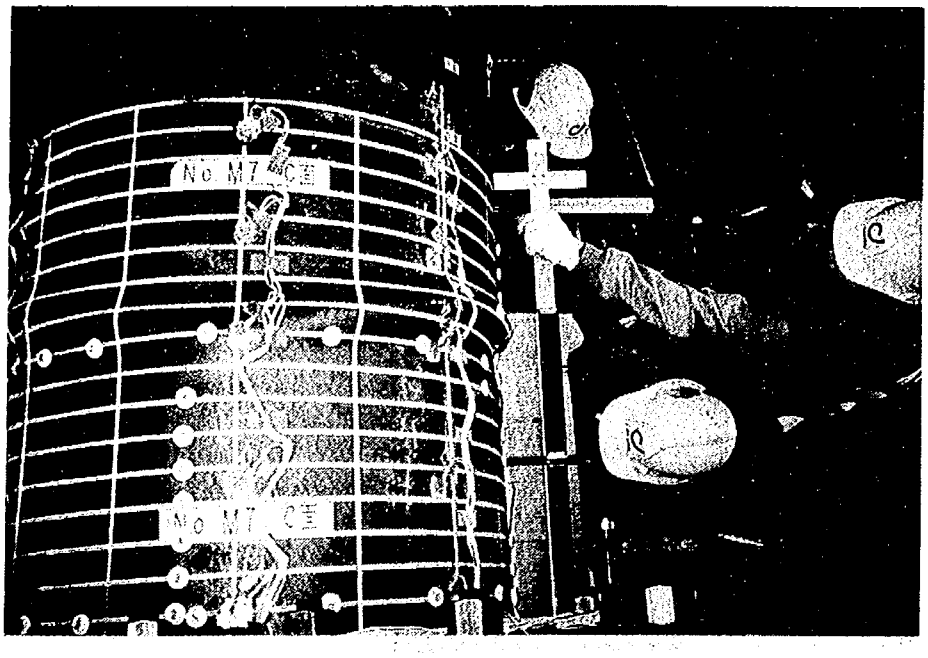
試験体	M7
変　位	＋4δy

圧縮側（A面）M-LINEの断面変化位置より上側150㎜の位置で、外板に局部座屈が発生。



試験体	M7
変　位	＋6δy

断面変化位置より上側に100㎜の位置で、外板の面外変形が円周方向につながる。
（A面）

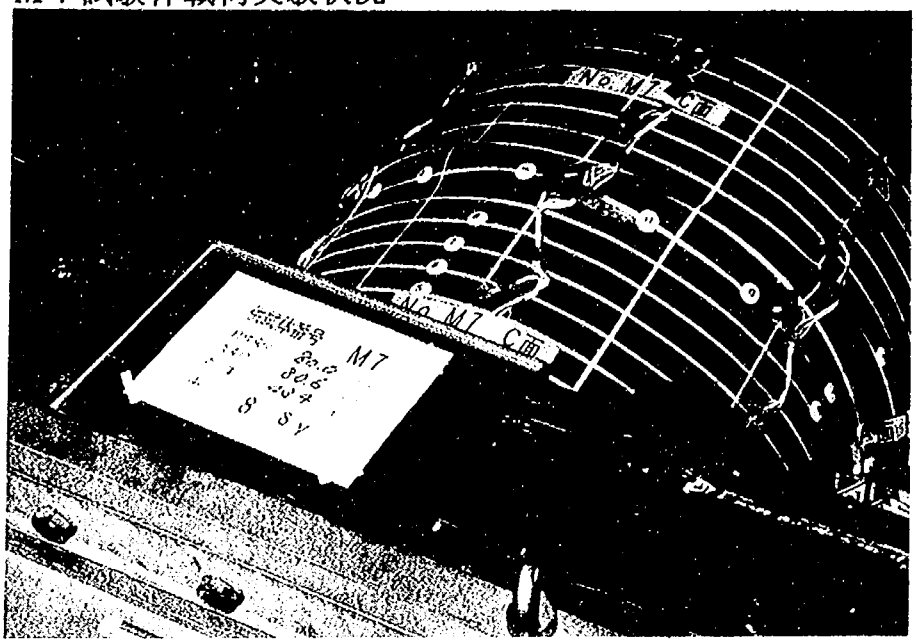


試験体	M7
変　位	－7δy

外板の面外変形が外側と内側に変形しＶ型の変形となる。
（C面）

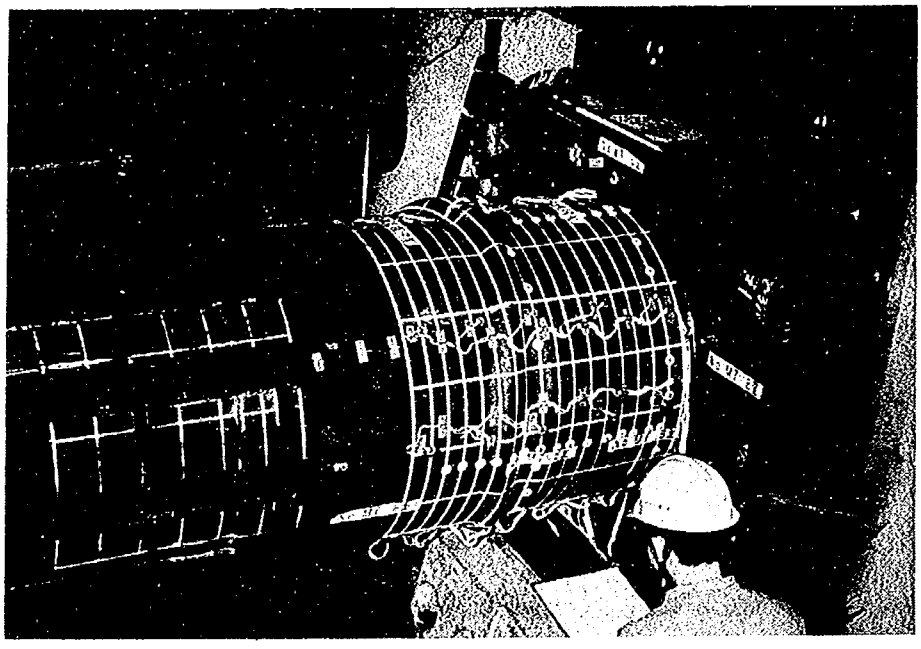
写真-3.2.2(1)　損傷の進行状況(M7)

M７試験体載荷実験状況



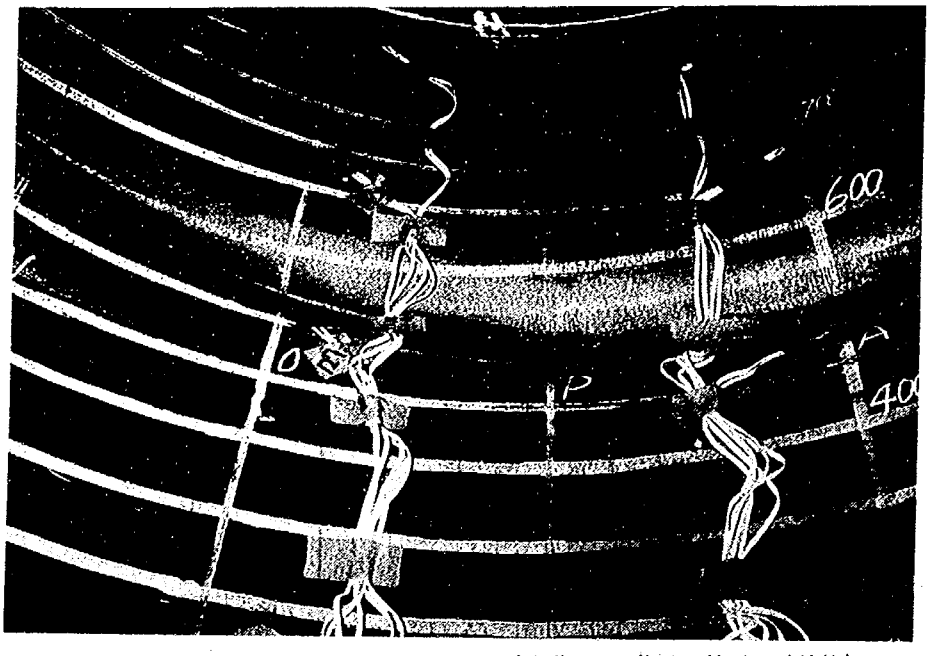
試験体	M7
変　位	＋8δy

外板の面外変形が、上面・下面においても増大。
（C面）



試験体	M7
変　位	＋9δy

水平荷重が降伏荷重より低下。
（B面）

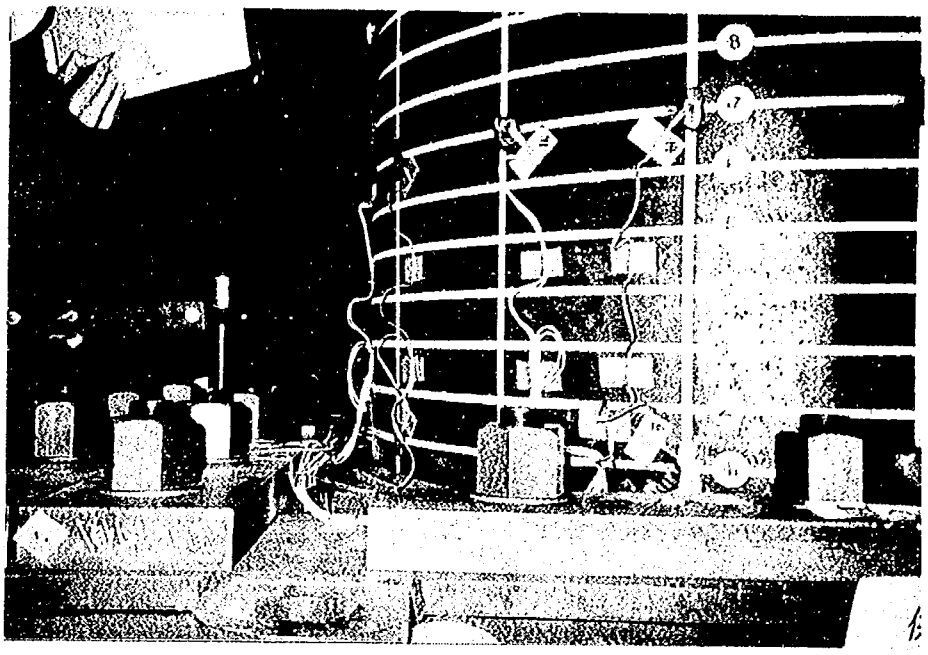


試験体	M7
変　位	＋0δ（最終）

内板の変形は、外板とほぼ同じ位置で面外変形しているのを確認。
（D面）

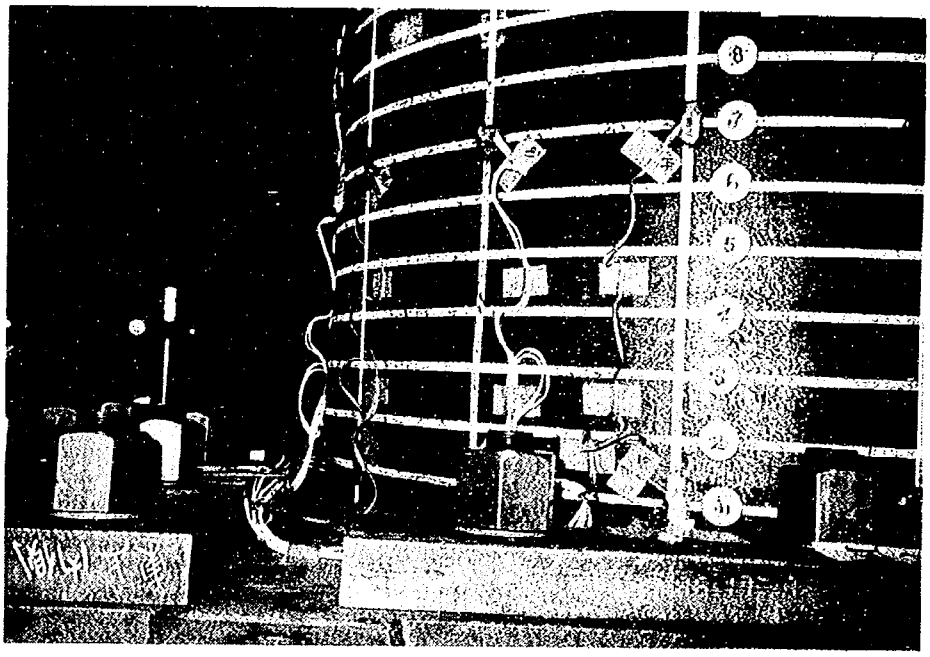
写真-3.2.2(2)　損傷の進行状況（M7）

Ｍ１９供試体載荷実験状況



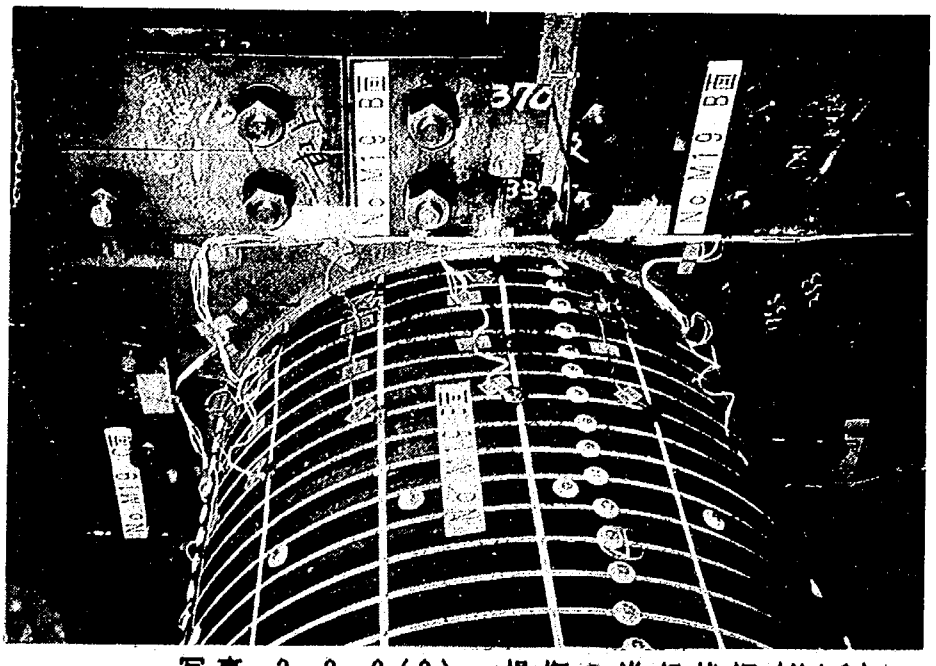
供試体	Ｍ１９
変　位	－３δｙ

圧縮側（Ｂ面）の状況。
縦リブ（Ｌ、Ｎライン）間のパネル（Ｍライン）の基部より100㎜の位置を中心に凸状の座屈が発生。



供試体	Ｍ１９
変　位	－５δｙ

圧縮側（Ｂ面）状況 。
縦ﾘﾌﾞ間パネル（Ｍライン）の凸状の座屈が増大。
Ｍラインの基部より250㎜の位置を中心に凹状の座屈が発生。



供試体	Ｍ１９
変　位	－６δｙ

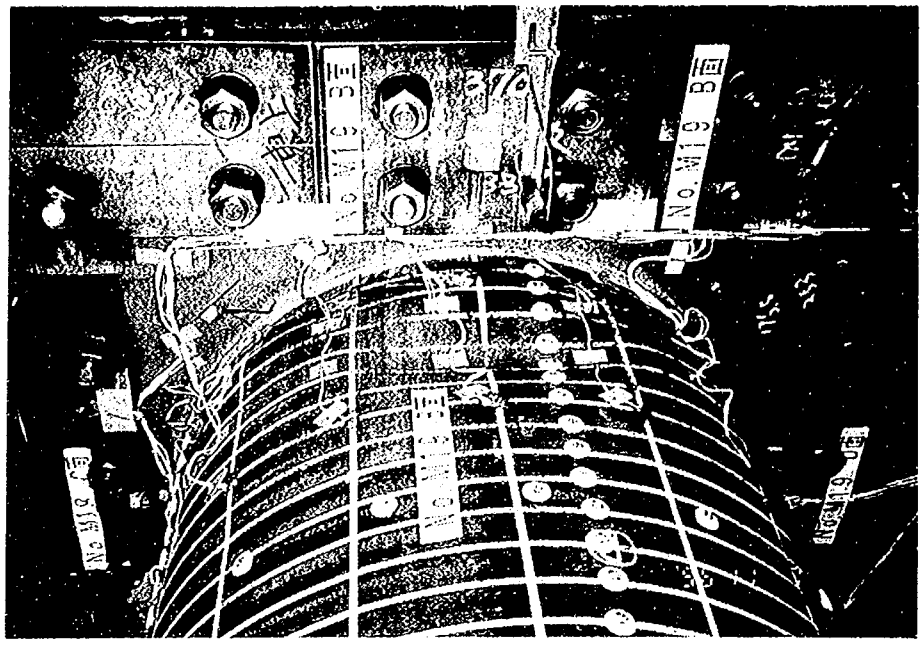
圧縮側（Ｂ面）の状況。
縦リブが無いＫ，Ｏラインの基部より100㎜の位置にも凸状の座屈が発生。

縦リブに座屈が発生。

最大耐力時

写真-３．２．２(３)　損傷の進行状況（Ｍ１９）

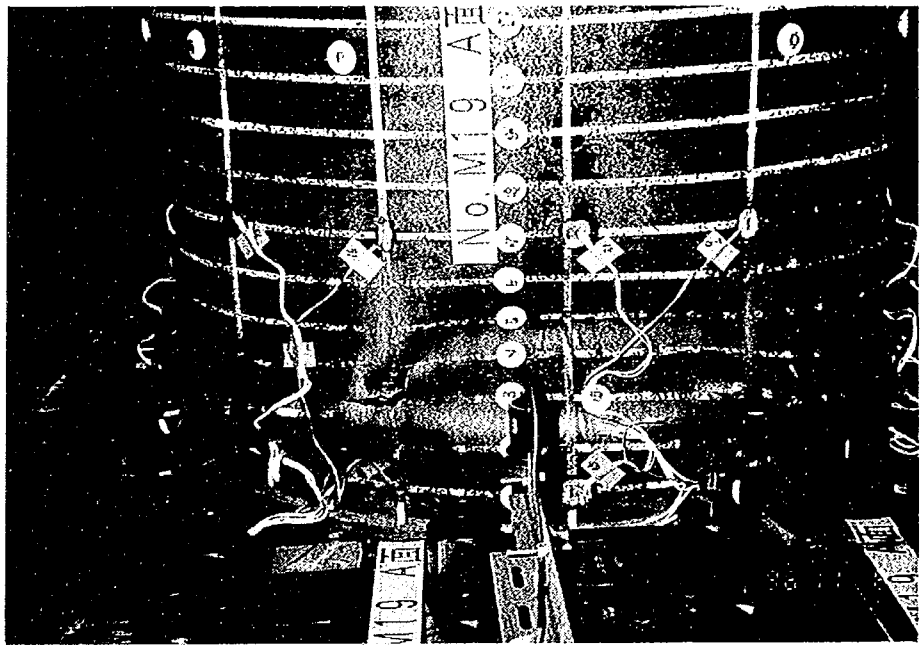
Ｍ１９供試体載荷実験状況



供試体	Ｍ１９
変　位	－７δｙ

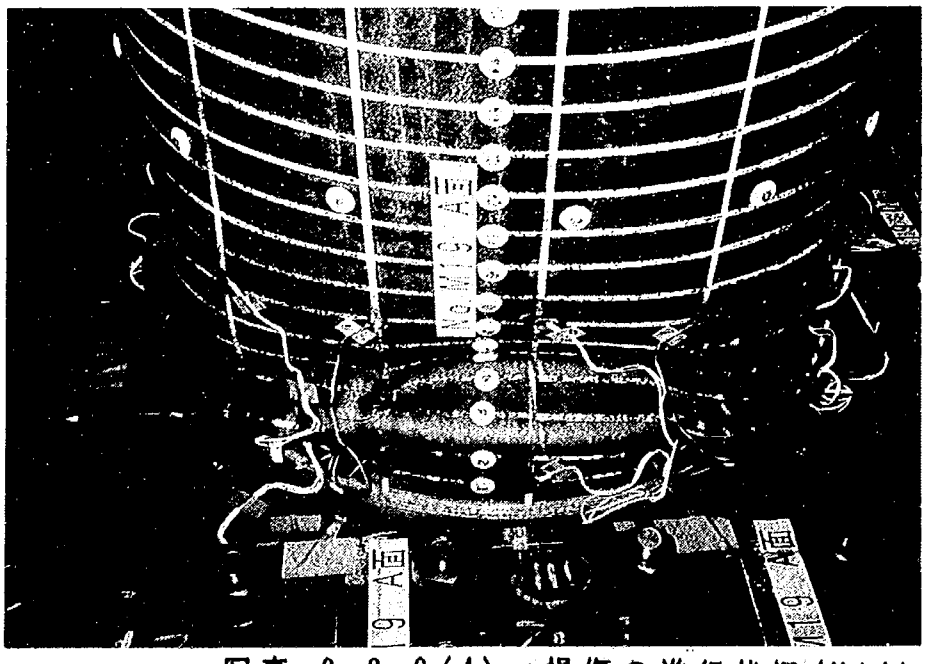
圧縮側（Ｂ面）の状況。
Ｍ５付近で凹状の座屈が発生。
圧縮側は、ライン２沿って凸状の座屈が半周にわたって発生。

耐力は低下し始める。



供試体	Ｍ１９
変　位	－12δｙ

引張側（Ａ面）の状況。
－11δｙに縦リブと母材の溶接部のビードと直角方向に発生したｸﾗｯｸが縦リブおよび母材まで伸展。



供試体	Ｍ１９
変　位	＋13δｙ

終局状態（Ａ面）の状況。
基部より100㎜付近を頂点とし、全周にわたって凸状、250㎜付近を頂点として凹状に座屈。

写真-3.2.2(4)　損傷の進行状況(M19)

参考資料

１．実験データ

1. 包絡線のデジタルデータ

1.1 矩形断面の包絡線データ

表-参-1.1 包絡線データ（矩形断面）

M1供試体		M2供試体		M3供試体		M3供試体つづき		M4供試体		M4供試体つづき	
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)
0.74	-0.2	0.59	-0.2	0.30	-0.2	83.40	151.6	0.15	-0.5	163.84	49.7
5.78	0.2	5.63	0.5	-0.29	-0.2	39.49	172.6	-0.14	-0.4	163.25	53.9
11.24	1.3	11.84	1.6	3.70	0.2			0.45	-0.5	162.53	58.3
16.73	2.2	17.17	2.5	7.84	1.0			4.29	0.0	161.49	61.2
22.20	3.3	22.79	3.5	11.39	1.6			7.69	0.6	159.72	64.4
27.37	4.0	27.97	4.4	15.09	2.2			13.46	1.0	158.24	65.4
31.52	4.5	33.00	5.2	18.20	2.5			18.79	1.9	137.22	83.2
38.77	5.6	37.29	5.6	21.75	3.1			23.97	2.6	107.07	101.9
41.28	6.1	40.98	6.2	25.30	3.7			26.92	3.0	61.37	122.0
46.17	6.9	46.17	6.9	28.40	4.2			33.28	4.0	29.13	139.9
50.90	7.7	51.06	8.0	32.54	4.8			37.57	4.6		
55.34	8.7	56.23	8.6	36.54	5.6			37.57	4.4		
60.22	9.6	59.78	9.2	39.19	6.0			41.86	5.1		
63.91	10.3	64.07	10.0	42.30	6.4			45.55	5.7		
71.47	11.1	65.40	10.3	45.55	6.9			48.51	6.0		
79.74	12.8	69.55	11.0	48.21	7.5			50.28	6.3		
88.63	14.4	81.67	13.3	50.43	7.8			53.39	6.7		
95.72	15.9	93.81	15.0	53.98	8.6			53.69	6.8		
102.54	17.3	105.35	17.2	57.38	9.1			56.05	7.2		
109.92	19.1	114.54	19.4	59.75	9.6			61.97	8.0		
116.15	20.8	119.98	21.1	61.97	10.1			62.71	8.2		
117.62	21.1	128.73	21.6	61.68	10.1			64.78	8.5		
125.46	22.2	134.66	24.1	71.58	11.4			64.78	8.5		
129.78	24.0	138.05	27.1	83.26	13.6			66.11	8.6		
130.50	24.9	138.21	29.4	93.47	15.9			66.70	8.7		
132.56	27.0	135.41	32.2	99.53	17.1			69.66	9.2		
130.21	30.1	133.03	34.4	104.56	18.3			71.42	9.6		
127.84	32.2	123.27	47.4	108.11	19.3			71.28	9.6		
125.62	32.8	122.38	50.4	111.80	20.2			72.47	9.7		
123.70	35.7	121.18	52.5	115.07	21.1			73.80	9.8		
122.22	36.5	107.00	70.0	129.70	23.1			75.73	10.1		
114.38	44.5	89.96	87.6	136.06	25.1			93.61	12.5		
113.93	46.9	56.24	107.0	140.79	27.1			101.32	14.1		
112.90	50.8	24.27	126.6	145.37	29.2			104.57	14.7		
110.97	53.0	0.15	144.5	149.36	31.4			111.08	16.0		
72.07	73.3			159.27	35.1			118.18	17.5		
28.85	93.1			162.38	37.9			123.49	18.3		
5.33	111.5			164.89	40.6			127.48	19.4		
				166.82	43.3			143.60	21.6		
				168.15	45.7			149.66	23.8		
				173.49	50.2			151.29	24.7		
				174.95	54.0			155.00	26.3		
				175.96	57.8			154.97	26.9		
				176.43	61.0			158.85	28.8		
				178.50	63.3			160.33	30.9		
				179.55	68.2			166.39	35.0		
				180.12	72.9			166.69	36.8		
				179.98	76.8			166.96	40.0		
				179.26	79.0			166.83	43.1		
				176.28	95.4			166.09	45.8		
				165.63	111.9			165.35	47.0		
				135.60	131.9			164.01	48.6		

表-参-1.1 包絡線データ（矩形断面）　（つづき）

M5供試体		M6供試体		M6供試体つづき		M8供試体		M10供試体		M10供試体つづき	
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)
-0.29	-0.2	0.30	-0.3	189.63	111.3	-0.1	-0.1	0	0.5	37.93	115.2
-0.59	-0.5	0.60	-0.6	182.06	128.0	1.7	0.4	0.42	3.9	39.68	114.1
9.77	0.3	6.22	0.1	149.99	146.9	4.9	0.6	0.65	4.4	41.69	112.7
20.26	1.5	11.25	0.9	99.99	167.6	6	1.3	1.47	6.7	43.44	111.6
29.29	2.4	16.87	1.5	63.01	187.2	9.8	1.8	1.68	8.6	45.31	110.7
38.76	3.4	22.20	2.2			12.2	2.2	2.12	12.2	46.36	111.8
46.29	4.3	27.37	2.6			13	2.6	2.61	14.1	57.56	89.5
54.44	5.5	32.85	3.5			15.4	3.0	3.06	16.2	69.42	69.1
61.39	6.5	38.31	3.9			18.5	3.6	3.52	19.3	81	51.2
69.81	7.7	43.50	4.7			19.4	3.8	3.87	21.1	92.7	36.2
76.33	8.7	48.82	5.5			22.9	4.4	4.46	23.3	104.44	24.9
78.54	8.8	54.15	6.2			23.7	4.9	4.9	25.6		
80.62	8.9	59.47	7.1			25.7	5.3	5.25	27.4		
83.57	10.1	64.80	7.9			28.1	5.8	5.7	29.2		
93.77	11.5	68.05	8.3			32	6.2	6.14	32		
103.38	12.9	72.93	9.1			33.8	6.6	6.51	34		
113.00	14.5	75.16	9.5			35.8	7.2	6.96	36.5		
121.88	15.9	76.78	9.8			36.6	7.5	7.42	38.4		
130.33	17.5	80.92	10.7			41	8.1	7.89	40.4		
138.15	18.7	89.80	12.0			43.1	8.5	8.24	41.8		
145.25	20.3	100.15	13.3			45.4	8.9	8.94	44.1		
146.73	20.6	109.62	14.8			45.3	9.3	9.41	46.5		
155.02	22.2	118.35	16.3			47.7	9.6	9.76	47.4		
161.54	24.0	127.22	18.0			50.7	10.2	10.08	49.5		
167.74	26.3	135.06	19.4			52	10.5	10.78	52.1		
172.17	28.7	138.17	20.3			53.8	11.0	11.13	53.5		
175.43	31.0	142.59	20.8			55.5	11.1	11.27	55.2		
175.13	31.5	150.30	23.1			60.8	12.5	12.19	58.9		
183.71	35.9	156.51	25.3			66	13.4	13.12	62.8		
186.98	38.9	161.39	27.6			68.6	14.4	13.68	65.7		
188.59	42.1	165.83	30.1			74.1	15.2	14.73	69.2		
189.33	45.1	169.38	32.8			75.1	15.9	15.52	74.1		
189.18	46.3	171.16	35.2			79.8	16.9	16.46	77.7		
195.10	52.3	170.69	35.6			83.5	17.7	17.39	81		
197.76	56.2	174.86	36.6			85.2	18.2	18.3	84.7		
198.95	60.4	179.00	40.3			89.2	19.4	19	87.4		
198.04	61.8	181.66	44.0			89.2	19.9	20.05	88.9		
200.74	70.5	183.43	47.6			92.7	20.9	20.87	93.4		
201.16	75.2	183.14	49.4			96.2	21.9	22.15	96.6		
198.80	78.4	184.91	50.1			102.5	22.5	22.97	98.6		
195.23	88.4	188.32	54.3			102.5	23.6	24.14	105.6		
195.10	94.2	190.24	58.3			106.8	24.9	25.65	107.8		
193.45	94.6	190.54	62.3			107.6	26.2	27.05	111		
189.63	109.8	189.35	62.9			109.7	27.4	28.46	112.1		
188.59	111.2	190.83	65.2			109.8	28.9	29.72	113.9		
135.49	131.5	193.64	70.8			109.7	30.2	31.26	114.2		
82.97	152.5	194.38	76.0			111	31.6	32.66	114.7		
54.87	171.4	193.20	78.7			111	33.0	33.94	115.5		
		193.18	83.8			82.7	44.8	34.2	113.2		
		194.80	89.6			51	57.0	32.54	117.7		
		193.94	94.5			32	69.2	34.29	117.3		
		191.13	105.4					36.16	115.9		

表-参-1.1 包絡線データ（矩形断面）　（つづき）

M11供試体		M11供試体つづき		M14供試体		M14供試体つづき		M16供試体		M16供試体つづき	
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)
-1.5	0.1	124.7	42.5	-0.63	0.0	137.96	43.8	-0.05	0.1	41.48	154.6
2.8	0.2	125.7	44.3	3.77	0.2	136.70	45.7	0.26	3.9	43.65	148.8
4.9	0.6	125.6	46.0	5.86	0.6	134.61	47.8	0.82	6.7	45.38	149.3
7.0	1.2	121.4	48.3	8.16	1.1	131.68	49.9	1.05	8.7	45.45	144.2
9.7	1.6	121.7	50.5	10.89	1.6	130.74	50.3	1.59	11.9		
10.9	1.9	120.9	52.8	13.82	2.1	107.19	63.2	1.91	14.4		
13.1	2.3	120.7	55.3	15.91	2.7	79.34	76.2	2.36	16.2		
17.2	2.9	119.9	57.6	18.95	3.1	45.95	88.8	2.92	19.4		
18.5	3.3	104.6	69.6	21.67	3.7	23.13	102.3	3.24	21.9		
21.5	3.9	87.0	81.4	24.28	4.1			3.69	24.7		
23.1	4.2	71.0	93.2	27.11	4.7			4.23	28.7		
24.6	4.8	56.4	104.8	29.52	5.1			4.55	30.9		
26.8	5.2	41.7	116.6	31.61	5.7			5.00	33.0		
30.1	5.8			34.75	6.2			5.56	37.5		
32.3	6.0			36.85	6.6			5.88	39.3		
35.4	6.7			39.25	7.2			6.33	42.5		
37.7	6.9			41.87	7.6			6.77	44.0		
39.3	7.4			44.17	8.2			7.21	46.3		
39.4	7.9			46.79	8.6			7.66	48.8		
43.5	8.3			48.88	9.1			8.10	51.2		
45.7	8.9			51.60	9.7			8.54	53.8		
46.5	9.3			53.80	10.3			8.99	56.6		
49.5	9.8			56.11	10.8			9.55	58.7		
51.6	10.2			56.94	11.2			9.87	61.4		
51.7	10.6			60.50	11.8			10.43	63.9		
52.0	11.0			62.91	12.2			10.64	66.7		
58.2	11.9			68.14	12.8			11.23	70.3		
62.8	12.8			73.27	14.0			12.12	75.8		
67.0	13.6			77.67	15.0			12.98	81.5		
70.2	14.7			81.86	15.9			13.87	86.8		
74.8	15.6			86.25	16.9			14.75	89.6		
77.4	16.5			90.33	17.9			15.76	95.6		
81.5	17.3			94.10	18.9			16.64	98.6		
84.3	18.2			97.24	19.8			17.62	103.6		
87.8	19.2			101.01	20.8			18.65	106.5		
89.6	20.0			104.67	21.8			19.51	110.7		
93.5	21.0			108.23	22.9			20.43	113.0		
94.5	22.1			111.37	24.0			21.31	116.3		
102.9	22.2			112.32	24.6			22.32	120.6		
104.6	23.6			123.72	25.5			22.57	129.0		
108.5	25.1			127.49	27.2			23.90	133.1		
110.6	26.4			130.63	28.5			25.35	139.1		
112.0	27.8			133.56	29.9			26.45	140.7		
115.1	29.3			135.97	31.6			27.90	144.7		
115.8	30.4			137.23	33.0			29.37	147.4		
119.0	32.2			139.74	34.5			30.70	150.3		
120.1	33.5			140.79	35.9			32.03	153.5		
120.8	34.2			140.58	37.6			33.36	155.4		
123.7	35.2			142.57	36.0			33.75	159.7		
123.9	37.1			141.83	37.9			35.64	163.3		
125.4	38.9			139.74	39.9			37.44	162.7		
124.7	40.8			139.74	41.7			39.68	151.8		

表-参-1.1 包絡線データ（矩形断面）　（つづき）

M17供試体		M17供試体つづき		M18供試体		M18供試体つづき	
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)
-0.90	-0.3	126.34	38.9	-0.30	-0.3	121.63	35.4
1.20	0.0	128.44	40.8	1.80	0.3	121.84	37.2
3.50	0.4	128.96	42.7	3.90	0.5	123.31	38.9
6.60	1.0	132.31	42.1	6.70	1.0	124.35	40.6
7.40	1.4	135.20	44.5	8.80	1.4	125.40	42.5
11.00	1.9	136.20	46.7	11.00	1.9	123.70	43.1
13.60	2.3	137.20	49.0	13.60	2.4	128.10	44.7
14.00	2.7	136.60	51.2	14.90	2.8	129.30	46.8
16.90	3.2	138.30	53.4	17.80	3.3	129.20	49.3
19.80	3.6	137.60	53.9	18.60	3.6	128.50	51.4
21.50	4.1	141.80	53.3	20.60	4.1	130.60	53.6
23.10	4.6	142.10	56.2	22.90	4.5	129.30	54.5
25.70	4.9	142.40	58.7	26.00	4.9	131.30	53.6
26.60	5.4	142.30	61.5	28.10	5.4	131.30	56.5
30.60	5.8	141.90	64.2	28.90	5.8	130.70	59.1
32.30	6.3	143.30	65.4	30.70	6.2	129.60	61.8
34.40	6.7	136.60	76.5	32.70	6.6	130.20	64.6
35.10	7.0	121.40	88.4	34.30	7.0	129.20	65.5
36.80	7.4	100.10	101.2	35.80	7.4	113.50	77.7
39.80	7.8	79.00	114.1	37.90	8.0	89.00	89.9
41.60	8.3	56.30	125.9	40.80	8.4	68.50	102.3
42.80	8.7			41.30	8.8	51.30	114.7
44.90	9.2			44.00	9.2		
46.30	9.6			45.50	9.5		
48.40	10.1			46.40	10.0		
49.80	10.5			48.90	10.4		
54.50	10.8			53.00	10.4		
58.20	11.6			55.30	11.4		
60.40	12.6			59.50	12.2		
64.40	13.7			62.20	13.2		
67.80	14.6			65.70	14.2		
70.70	15.4			69.50	15.0		
72.40	16.3			73.10	16.0		
76.80	17.1			76.30	16.9		
79.00	18.0			77.90	17.7		
81.20	18.9			81.90	18.6		
84.60	19.6			84.70	19.5		
87.00	20.5			87.50	20.5		
89.60	21.5			89.50	21.3		
98.00	21.6			86.90	21.3		
100.20	22.7			97.30	21.5		
103.30	24.0			100.40	22.8		
105.40	25.4			102.70	24.1		
108.20	26.6			105.80	25.3		
110.30	27.8			107.90	26.6		
112.50	29.3			110.00	27.9		
114.10	30.6			111.70	29.1		
116.30	31.8			113.40	30.3		
120.10	31.9			114.80	31.7		
122.60	33.6			115.20	32.3		
125.00	35.5			119.00	31.9		
126.00	37.1			119.40	33.6		

1.2 円形断面の包絡線データ

表-参-1.2 包絡線データ（円形断面供試体）

M7供試体		M19供試体	
水平荷重 (tonf)	水平変位 (mm)	水平荷重 (tonf)	水平変位 (mm)
0.2	0.0	-0.59	-0.2
1.11	6.1	0.15	-0.1
2.01	10.2	3.99	0.9
2.78	14.2	8.44	2.1
3.63	18.8	11.54	3.1
4.58	22.8	15.24	3.9
5.44	26.9	18.79	5.0
6.22	30.6	20.71	5.7
7.02	34.3	24.71	6.7
7.64	38.0	27.37	7.4
9.38	46.3	28.56	7.5
10.86	52.8	34.62	9.6
12.56	60.5	39.94	11.3
14.01	67.0	44.83	13.2
14.39	68.8	48.67	14.9
14.65	71.3	58.45	17.3
17.02	81.8	61.4	19.5
18.51	88.0	63.78	21.4
20.26	93.3	69.24	24.6
22.19	98.4	70.58	27.0
23.98	105.9	71.63	29.3
25.96	109.4	75.62	35.5
31.89	110.2	76.2	39.1
35.46	108.0	79.01	43.5
39.2	103.2	79.15	47.1
42.94	98.5	79.3	50.9
43.33	97.6	79.02	53.4
56.13	76.2	76.35	57.5
68.79	57.0	75.3	61.1
80.98	44.1	74.27	63.9
92.69	34.6	67.16	75.0
		60.22	85.9
		52.51	96.9
		43.2	107.9
		33.44	119.1
		24.11	130.1

2．変状進行状況

2．1　矩形断面の変状進行状況　表－参－2．1．1　供試体M1

載荷サイクル nδy	変状進行状況
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	圧縮側A面は基部と1断目の外横リブ間で凹凸が認められる。凹凸は縦リブを挟んで外側が凸、中央部が凹となている。C，D面の圧縮側が凸となっている。A－D角部ではラインがわずかに曲がり始めた。
-3	圧縮側B面は基部と1断目の外横リブ間で凹凸が認められる。凹凸は縦リブを挟んで凹凹凸である。B面の変形に伴い、C面の圧縮側は凹、D面の圧縮側は凸となっている。引張側にも変形が残るようになった。
4	圧縮側（A面）は変形が大きく進み、両端角部のラインも変形している。縦リブに挟まれたパネル中央の凸みに伴い1枚目の横リブは中央部で基部側に大きく傾いている。
-4	引張側A面では基部付近の両角部で溶接部に割れが発生した。圧縮側B面は1段目横リブの上側でもパネルが凹んでいる。
5	圧縮側（A面）の変形は2段目の横リブの下側まで及んでいる。引張側の基部付近D面側角部の溶接部に割れが発生した。C，D面では基部と1断目の外横リブ間の圧縮側角部で溶接線に沿って割れが発生した。
-5	引張側（A面）の基部付近溶接部の割れは伸びなっかった。
6	圧縮側（A面）基部付近のD面側角部で溶接線に沿って割れが発生した。C面の圧縮側基部付近は内側に大きく曲げられている。D面は引張側で軸方向に直交する方向に小さな割れが発生している。
-6	載荷途上でA-C面、A-D面の角部で音を発して軸方向と直交する方向に割れが発生した。4面共、パネルの変形は全体的な変形に変わり、D面以外は第1パネルの中段に及んでいる。
7	損傷がさらに進み、終局に至った。

表－参－2．1．2　供試体M2

載荷サイクル nδy	変状進行状況
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	圧縮側A面は基部と1断目の外横リブ間で凹凸が認められる。凹凸は縦リブを挟んで外側が凸、中央部が凹となている。
-3	圧縮側B面は基部と1断目の外横リブ間で凹凸が認められる。凹凸は縦リブを挟んで凹凸凹である。B面の変形に伴い、C、D面の圧縮側は凸となっている。 引張側にも一部に変形が残るようになった。
4	圧縮側（A面）は変形が進み、凹凸が大きくなった。1断目の横リブはわずかに基部に向かって傾いている。引張側にも変形が残るようになった。
-4	圧縮側B面は基部付近の母材両角部のラインが曲がり始めた。
5	圧縮側A面、CD面の圧縮側付近でも角部のラインが曲がり始めた。
-5	4面とも基部と1段目の横リブ間の変形が進むだけである。圧縮側B面では基部付近の両角部のラインが曲がり始めた。
6	圧縮側（A面）のD面側基部付近で溶接部に細かい割れが発生した。 1段目の横リブは中央部で基部に向かって曲がっている。
-6	引張側A面基部付近の両角部の変形部分では直行方向にそれぞれ割れが発生した。圧縮側BD面角部基部付近でも直行方向に割れが発生した。D面では基部付近の両角部で溶接線に沿って約70mm程の割れが発生した。
7	水平荷重75.5t,変位-2.7mmで大音響と共に、B面の基部と1段目の外横リブの凹凸部とDB面角部で母材に大きな割れが発生した。さらに、水平荷重57.5t,変位-0.5mmでも大音響と共に、B面母材の凹凸部の割れが広がった 7δy到達じには、引張側のB面母材の割れは広がり、内面が覗ける。 CD面とも、圧縮側の変形はかなり大きくなり、両角部の割れも伸びた。
-7	引張側A面の母材に新しい割れは発生しなかった。圧縮側B面の割れは閉じた状態である。
8	圧縮側A面の基部から1段目の横リブにかけて両角部では、全体にラインが曲がっている。軸方向の割れは約100～140mmに伸びて、開いている。引張側B面もA面同様に角部では大きく割れている。
9	変形がさらに大きくなった。1段目の外横リブより上方では、最後まで目立った変形は生じなかった。

表－参－2．1．3　供試体M3

載荷サイクル n δy	変状進行状況
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	圧縮側の黒皮のひび割れが広がった。
-3	同上
4	圧縮側、第１パネルの広い範囲で、わずかに凹みが認められる。
-4	同上、引張側の凹みは元に戻っている。
5	圧縮側Ａ面の凹みは広がっている。引張側の変形は戻っている。
-5	圧縮側Ｂ面第１パネルの凹みは広がり、基部付近では凹みが大きい。引張側の変形は残るようになった。
6	圧縮側Ａ面の凹みは広がっている。引張側の変形は戻っている。 Ｃ面の圧縮側で凸みが認められる。
-6	圧縮側Ｂ面第１パネルの凹みは広がり、引張側の変形は残っている。 ＣＤ面の圧縮側で凸みが認められる。C-D面角部では僅かにラインの変形がある
7	圧縮側、引張側共に、同じ様な変形（凹み）が進んでいる。ＣＤ面の圧縮側では、基部に近い部分でわずかに凹みが認めらる様になった。 C-A面角部ではラインの変形が認められる。
-7	圧縮側、引張側共に、同じ様な変形（凹み）が進んでいる。ＣＤ面の圧縮側ではラインの変形が認められる。
8	同上、変形が進行する。
-8	同上、変形が進行する。
9	４面ともに、新たな変化はなく、変形が進行する（大きくなる）だけである。 圧縮側角部の変形は複雑である。
-9	同上、変形が進行する。
10	同上、変形が進行する。
-10	同上
11	４面ともに、新たな変化はなく、変形が進行する。 母材や溶接部に割れが発生することなく終局となった。

表－参－2．1．4　供試体M4

載荷サイクル n δy	変状進行状況
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面で縦リブを挟んでわずかに凹みと、黒皮のひび割れが認められる。ＣＤ面基部付近の圧縮側でわずかに凸みが認められる。
-3	同上
4	圧縮側A面第１パネル中段で広く凹みが認められる。ＣＤ面の圧縮側はわずかに凸み、基部付近では逆に凹んでいる。引張側の変形は戻っている。
-4	同上
5	圧縮側は第１パネル全体の凹みの変形である。Ｂ面基部両端の溶接止端部に割れが生じた。Ｃ面の引張側基部でも溶接止端部の割れが生じている。
-5	同上。圧縮側Ｂ面の第２パネルでも広い範囲で凸んでる。
6	圧縮側A面では、第２パネルでも広い範囲で凸みが認められる。第１パネルの変形に伴い、ラインも変形している。引張側Ｂ面第２パネルの変形も残った。
-6	同上
7	同様の変形がさらに進行する。
-7	同上。
8	同上。
-8	同上。
9	損傷がさらに進む。ＡＢ面では第１パネルが大きく凹み、ＣＤ面では逆に大きく凸んでる。各面の両角部の変形（ラインの曲がり）も大きい。基部の溶接止端部の周方向への進展はほとんどなかった。

表－参－2．1．5　供試体M5

載荷サイクル nδy	変状進行状況
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	黒皮のひび割れが圧縮側（A面）第1パネル全体に広がる。
-3	同上
4	圧縮側A面基部の両端でパネルがわずかに凸んできた。
-4	圧縮側B面第1パネル中央付近と基部付近でわずかに凸んできた。 引張側A面基部の両端で溶接止端部に割れが発生した（その後の進展は少ない）
5	圧縮側（A面）の凸みがはっきり確認できるようになった。 引張側の凸みは元に戻っている。
-5	圧縮側は縦リブ間ごとに凸らんでいる。
6	圧縮側の凸みは第1パネル全体の凸みに変わってきた。
-6	同上 。　　引張側にも変形が残るようになってきた。 C，D面の圧縮側に凸みが認められるようになってきた。
7	圧縮側は全体的に凸らんでいる。
-7	同上
8	変形がさらに進む。C，D面の引張側にも変形が残るようになった。
-8	載荷途中で音を発してB-D面角部が溶接線方向に割れ、続いてB-C面角部も割れた。この割れによりパネルの変形も大きくなった。
9	載荷途中A面の両角部でも割れが発生した。 引張側の割れ口は閉じている。
-9	圧縮側両角部の溶接線に沿った割れは第1パネル全体に伸びている。
10	同上
-10	損傷がさらに進む
11	同上

表－参－2．1．6　供試体M6

載荷サイクル nδy	変状進行状況
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）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	同上
4	圧縮側（A面）基部の両端でパネルがわずかに凸んできた。
-4	同上
5	圧縮側（A面）の凸みははっきり確認できるようになった。
-5	圧縮側（B面）の凸みははっきり確認できるようになった。 引張側の変形は残るようになった。
6	圧縮側A面の凸みは縦リブ内の凸みから、パネル全体の凸みに変化してきた。 B面には変形が残っている。
-6	同上
7	圧縮側A面第1パネルは全体的に凸んできた
-7	同上、A-D角基部の溶接割れ進行する
8	損傷が進む。圧縮側A面基部の角部ではラインが曲がり始めた。
-8	載荷途中、音もせず、B-D、B-C面角部が割れた。 割れは溶接線に沿った方向である。
9	-8δyの圧縮側の様な割れは発生しなかった。
-9	圧縮側の溶接線方向の割れがのびている。
10	圧縮側A-C面角部で軸方向に割れが発生し、大きく凸んでいる。A-D面基部の角部では3方向に割れが発生している。
-10	損傷がさらに進む。
11	損傷がさらに進む。
-11	損傷がさらに進む
12	損傷がさらに進み、終局に達している。

表－参－2.1.7　供試体 M8

載荷サイクル n δ y	変状進行状況
1	特記事項無し（δ y＝10mm）
－1	同上
2	黒皮に微細な割れ発生
－2	同上
3	圧縮フランジに座屈発生（縦リブ間） 引張フランジの微小なへこみは戻る 圧縮側縦リブにフランジの座屈に伴う微小な曲がり発生 ＋3 δ y時に最大荷重 111.0tonf を記録
－3	圧縮フランジに座屈発生（縦リブ間） 引張フランジの座屈は戻る 上面圧縮側に座屈発生（以降進展） 圧縮側縦リブにフランジの座屈に伴う微小な曲がり発生 －3 δ y移行中，最大荷重－104.3 tonf を記録
4	圧縮フランジの座屈増大（全体座屈） 引張フランジの座屈はかなり戻る 圧縮側縦リブの底部で座屈発生（以降進展） 上下面縦リブの座屈発生（以降進展）
－4	圧縮フランジの座屈増大（全体座屈） 引張フランジの座屈はかなり戻る 圧縮側縦リブの底部で座屈が発生し、内部縦リブの割れ発生（以降進展） 上下面縦リブの座屈進展
5	圧縮フランジの座屈さらに増大 上下の座屈さらに増大 引張フランジの座屈残留 圧縮フランジの底部近傍で内部の縦リブの割れ発生 上下面縦リブの座屈進展
－5	同上
6	同上 座屈はさらに進展
変位 0	荷重－変位曲線ループ面積が前のループに比べ減少したため、試験終了

表-参-2.1.8　供試体 M10

載荷サイクル n δ y	変状進行状況
1	特記事項無し（δ y＝10mm）
－1	同上
2	黒皮に微細な割れ発生
－2	同上
3	圧縮フランジに微小なへこみ発生（縦リブ間）
－3	圧縮フランジに微小なへこみ発生（縦リブ間） 引張フランジのへこみは戻る －3 δ y時に最大荷重－111.9 tonf を記録
4	圧縮フランジに座屈発生 引張フランジのへこみは戻る 内部圧縮フランジの縦リブに微小な曲がり発生 ＋4 δ y移行中，最大荷重 117.6 tonf を記録
－4	圧縮フランジに座屈発生 引張フランジの座屈は戻る 上面に微小な凹凸が発生 内部圧縮フランジの縦リブ付根に座屈発生 内部、上下面縦リブ付根に座屈発生
5	圧縮フランジの座屈さらに増大（全体座屈，以降進展） 引張フランジの座屈は戻る 上下の凹凸が大きくなる 圧縮フランジの内部の縦リブが曲がる
－5	圧縮フランジの座屈さらに増大（全体座屈，以降進展） 引張フランジの座屈は残留 上面の凹凸がさらに大きくなる 圧縮フランジの内部の縦リブが曲がる（以降進展） 上面の内部の縦リブのフランジが曲がる
6	引張フランジの座屈が残留（以降同様） 上面の凹凸の内、凹部の変形が大きくなる 圧縮フランジの内部の縦リブの曲がりが大きくなる（以降進展） 上面の内部の縦リブのフランジの変形が大きくなり、底部で割れが発生
－6	引張フランジの座屈が大きく残留（以降同様） 上面の変形は、凹形となる（以降同様） 圧縮フランジの内部の縦リブのフランジの割れが進展、変形も大（以降同様） 下面の内部の縦リブの変形が大（以降同様）

表-参-2.1.8　供試体 M10（つづき）

7	同上 上面は凹形に変形
−7	同上 変形はさらに進展
8	同上 上面は凹形に変形
−8	同上 引張フランジと上面のコーナ部に割れが発生（軸直角方向）
9	同上 圧縮フランジと上面のコーナー部に割れが進展 圧縮フランジと下面のコーナ部の溶接に沿って割れが発生（軸直角方向） 荷重−変位曲線ループ面積が前のループに比べ減少したため、試験終了

表-参-2.1.9　供試体 M11

載荷サイクル n δ y	変状進行状況
1	特記事項無し（δ y＝10mm）
－1	同上
2	黒皮に微細な割れ発生
－2	同上
3	圧縮フランジの根付にへこみ発生（縦リブ間）
－3	圧縮フランジの根付にへこみ発生（縦リブ間） 引張フランジのへこみは戻る
4	圧縮フランジに座屈発生 引張フランジのへこみは戻る ＋4δy 移行中，最大荷重 125.7tonf を記録
－4	圧縮フランジに座屈発生 引張フランジの座屈は残留 上面の圧縮フランジ側の根元にふくれが発生 内部縦リブの圧縮フランジ側に曲がりが発生 －4δy 移行中，最大荷重－124.7tonf を記録
5	圧縮フランジの座屈が進展 引張フランジの座屈は残留 上面の圧縮フランジ側の根元にふくれが進展 内部の圧縮フランジ側縦リブに曲がりが発生 内部の圧縮フランジ側縦リブに曲がりは少し残留
－5	圧縮フランジの座屈が進展 上面の圧縮フランジ側のふくれはさらに進展（以降同様） 上面の引張フランジ側のふくれは残留（以降同様） 内部の圧縮フランジ側の縦リブの曲がりは大きくなる（以降進展）
6	圧縮フランジの座屈はさらに進展（全体座屈、以降同様） 引張フランジの座屈はかなり戻るものの残留 内部の上下面の内部の縦リブに曲がりが発生
－6	圧縮フランジの座屈はさらに進展（全体座屈、以降同様） 引張フランジの座屈は残留 圧縮フランジの根元外リブの中央に倒れが発生 内部の引張フランジ側の縦リブの曲がりが大きく残留 内部の上下面の圧縮フランジ側縦リブの曲がりが大きくなる
7	同上 変形進展

表-参-2.1.9　供試体 M11（つづき）

－7	同上
8	同上
－8	同上 引張フランジ上部根元で割れ発生（軸直角方向） 引張フランジ下部根元で割れ発生（軸直角方向）
9	同上
－9	同上
10	引張フランジ上部及び下部に割れ発生 荷重－変位曲線ループ面積が前のループに比べ減少したため、試験終了

表－参－2.1.10　供試体 M14

載荷サイクル n δ y	変状進行状況
1	特記事項無し（δ y＝11mm）
－1	同上
2	圧縮フランジの黒皮にしわが入る
－2	圧縮フランジの黒皮にしわが入る
3	圧縮フランジに凹凸状の座屈が発生
－3	圧縮フランジに座屈が発生 引張フランジの凹凸は戻る 上面板継ぎ角部にしわが発生 －3 δ y 移行中，最大荷重－132.6tony を記録
4	圧縮フランジの座屈が広範囲に発生 引張フランジの座屈は残留 上面の圧縮フランジ側で凹凸変形が発生 ＋4 δ y 移行中，最大荷重 136.9tonf を記録
－4	圧縮フランジに座屈が進展 引張フランジの座屈は残留 上面の圧縮フランジ側の座屈が発生 内部縦リブの圧縮フランジ側に曲がりが発生
5	圧縮フランジの座屈が進展（以降同様） 引張フランジの座屈は残留（以降同様） 上面の凹凸変形はさらに大きくなる（以降同様） 内部の圧縮フランジ側縦リブに曲がりが発生（以降進展） 内部の上下面の縦リブに曲がりが発生（以降進展）
－5	同上
6	同上 変形進展
－6	同上 変形進展
7	同上
－7	同上 引張フランジ下のコーナ部で柱に対し直角に割れ発生
8	同上 圧縮フランジ上のコーナ部で割れ発生 荷重－変位曲線ループ面積が前のループに比べ減少したため、試験終了

表-参-2.1.11　供試体 M16

載荷サイクル n δ y	変状進行状況
1	特記事項無し（δ y＝10mm）
-1	同上
2	同上
-2	角補強の溶接部に割れ発生
3	同上進行（音発生）
-3	同上
4	同上 角補強の全幅に亘り割れ進展 ＋4 δ y 移行中，最大荷重 156.0tonf を記録 以降の試験発行が危険と判断されたので、このループにて試験終了

表-参-2.1.12　供試体 M17

載荷サイクル n δ y	変状進行状況
1	特記事項無し（δ y＝10mm）
－1	同上
2	圧縮フランジの黒皮にしわが入る
－2	同上
3	圧縮フランジに凹凸状の座屈が発生
－3	同上 引張フランジの凹凸は戻る
4	圧縮フランジの凹凸状の座屈がさらに進展 引張フランジの座屈はわずかに残留
－4	同上
5	東面上部角の溶接部に割れ発生
－5	西面下部角の溶接部に割れ発生
6	東面の割れ進まず ＋6 δ y時に、最大荷重 136.9tonf を記録
－6	西面上部角の溶接部に割れ発生 東面圧縮フランジが全体座屈に移行 上面圧縮側で座屈発生 －6 δ y時に、最大荷重－133.4tonf を記録
7	東面下部角の溶接部に割れ発生 西面圧縮フランジが全体座屈に移行
－7	座屈進展，以降同様
8	同上
－8	同上
9	同上
－9	同上
10	座屈変形の残留大
－10	同上
11	東面下部角の溶接部に割れ大きく進展
－11	西面下部角の溶接部に割れ大きく進展 荷重－変位曲線ループ面積が前のループに比べ減少したため、試験終了

表－参－2．1．13　供試体 M18

載荷サイクル n δ y	変状進行状況
1	特記事項無し（δ y＝10mm）
－1	同上
2	圧縮フランジの黒皮にしわが入る
－2	同上
3	圧縮フランジに座屈が発生
－3	圧縮フランジに凹凸状の座屈が発生 引張フランジの凹凸は戻る
4	圧縮フランジの座屈が広範囲に発生 引張フランジの座屈は残留 上面の圧縮フランジ側で凹凸変形が発生
－4	同上
5	東面上部角の溶接部に割れ発生
－5	西面上下部角の溶接部に割れ発生 東面内部縦リブに曲がり発生 －5 δ y 移行中，最大荷重－125.2tonf を記録
6	東面上部角の溶接部に割れ拡大 東面下部角の溶接部に割れ発生 ＋6 δ y 移行中、最大荷重 125.2tonf を記録
－6	東面圧縮フランジが全体座屈に移行
7	西面圧縮フランジが全体座屈に移行
－7	全体座屈進展
8	同上
－8	同上
9	同上
－9	西面下部角の溶接部の割れ拡大
10	東西面とも軸方向に平行な溶接部の割れ発生
－10	同上進展 荷重－変位曲線ループ面積が前のループに比べ減少したため、試験終了

2．2　円形断面の変状進行状況

表－参－2．2．1　供試体M7

載荷サイクル nδy	変状進行状況
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	目立った変化はない。
-3	同上
4	圧縮側(C～G)の基部から60cm程の位置で僅かに凹凸が認められる。
-4	圧縮側(K～O)の基部から45cm程の位置で僅かに凸みが認められる。 引張側の凹凸の大半は戻っている。
5	圧縮側(A～I)の基部から45～65cmの位置で凸みが認められる。 引張側の凹凸の大半は戻っている。
-5	圧縮側(A～I)の基部から約45～65の位置で凸んでる。K～Oの断面変化点でも凸んでいる。引張側の変形が残るようになった。
6	圧縮側(A～I)の基部から約45～70cmの位置で凸んでる。K～Oでは2段の凸みになっている。
-6	同上
7	変形が進む。
-7	同上
8	変形がさらに進む。
-8	同上
9	変形がさらに進行し、終局に至った。

表-参-2.2.2　供試体 M19

載荷サイクル n δy	変状進行状況
1	目立った変化はない
-1	同上
2	同上
-2	同上
3	圧縮側Ｂ～Ｈラインの基部から10～40cmの範囲を中心に点状、線状の黒皮のひび割れが認められる。
-3	圧縮側Ｊ～Ｐラインの基部から40cmの範囲で点状、線状の黒皮のひび割れが認められる。Ｍライン上の基部から約10cmの位置で僅かに膨らみが認められる。
4	圧縮側Ｂ～Ｈラインの基部から60cmの範囲とダイアフラム付近で点状、線状の黒皮のひび割れが広がり、基部から15cm付近を最大に8～9cm幅の膨らみが認められる。変形量は1～2mm程である。引張側Ｍライン上の変形は元に戻っている。
-4	圧縮側Ｊ～Ａラインの基部から60cmの範囲とダイアフラム付近で点状、線状の黒皮のひび割れが広がり、基部から15cm付近を最大に約10cm幅の膨らみが認められる。変形量は1～2mm程である。引張側の変形は元に戻っている。
5	圧縮側Ｅラインの基部から14cm付近を最大にＣ～Ｇラインで膨らみが認められる。引張側の変形は元に戻っている。
-5	圧縮側Ｍラインの基部から38～48cmの範囲で僅かに凹みが認められ、その両側の縦リブ上では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。
6	圧縮側基部付近ではＥラインを最大にＡ～Ｉラインまで半周するように座屈している。また、その上方（基部から35～55cm）では小さな凸凹が認められる。 引張側Ｍライン上では僅かに変形が残るようになった。
-6	圧縮側では基部付近を中心に細かい変形が認められるようになった。引張側でも基部付近で広く残留変形が認められる。
7	圧縮側ではダイアフラム付近まで変形が広がり、縦リブを挟んで単純化されている。基部付近では引張側の縦リブ位置を除いて提灯座屈している。
-7	圧縮、引張側共に縦リブを挟んだ変形は基部からダイアフラムまでの範囲で単純化され、基部付近の座屈も大きい。
8	変形は進むが、同じ変形の繰り返しで、特に目立った変化はない。
-8	変形は進むが、同じ変形の繰り返しで、特に目立った変化はない。
9	変形は進むが、同じ変形の繰り返しで、特に目立った変化はない。
-9	変形は進むが、同じ変形の繰り返しで、特に目立った変化はない。

表-参-2.2.2　供試体 M19（つづき）

載荷サイクル n δy	変状進行状況
10	変形は進むが、同じ変形の繰り返しで、特に目立った変化はない。
-10	変形は進むが、同じ変形の繰り返しで、特に目立った変化はない。
11	圧縮側の基部から28cm付近を中心に縦リブ位置も含めて凹みの範囲が広がり、変形量も大きい。
-11	圧縮側の基部から28cm付近を中心に縦リブ位置も含めて凹みの範囲が広がり、変形量も大きい。引張側ではD、Fライン上の基部から15cm付近で細かい母材のひび割れが認められる。
12	圧縮側では-11 δyで細かくひび割れていたFラインで軸方向に割れが発生した。引張側ではL、Nライン上の基部から15cm付近で細かい母材のひび割れが認められる。
-12	引張側Dラインでは基部から14cmの位置で割れが発生し、Fライン上の割れも伸びている。
13	引張側Lラインでは基部から12cmの位置で割れが発生した。

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(Ⅲ)

共同研究報告書第180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，(社)鋼材倶楽部，(社)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対す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年度に行った大型供試体15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，角部補強，横リブ補強，縦リブ補強，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180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180号