

# マイクロフィルム用資料

## 鉄筋のガス圧接継手に関する 共同研究報告書

### (3)ガス圧接継手を有するはり供試体の 正負交番繰返し載荷実験

1999年3月

建設省土木研究所  
材料施工部コンクリート研究室  
(社) 日本圧接協会

Copyright® (1999) 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。

# 鉄筋のガス圧接継手に関する 共同研究報告書

## (3)ガス圧接継手を有するはり供試体の 正負交番繰返し載荷実験

建設省土木研究所 コンクリート研究室 室 長 河 野 広 隆

主任研究員 森 濱 和 正

社団法人 日本圧接協会

圧接技術委員 大石橋 宏 次<sup>\*1</sup>

〃 宇佐美 滋

〃 菊 池 郁 雄<sup>\*2</sup>

〃 原 沢 秀 明<sup>\*3</sup>

〃 今 沢 理

### 要 旨

兵庫県南部地震の際に、RC構造物中のガス圧接継手の破断が問題となった。これを受け、土木研究所と日本圧接協会は、鉄筋の圧接部が種々の条件下で地震のような載荷速度の大きい荷重を受けたときの挙動を把握し設計に反映させるための検討、および、圧接部の施工の信頼性を向上させるための検討を、96年度から共同研究として実施している。

これまでの2ヶ年間、低温・高速、各種繰返し試験や、金属学的調査を実施し、規定どおり圧接を行えば圧接部からは破断しないことが明らかになった。しかしながら、RC橋脚中の鉄筋には引張のみではなく、ひび割れ位置では引張・圧縮（正負）の繰返しと同時にせん断力が作用する複雑な応力状態となる。そこで、そのような状態を部材実験によって再現し、圧接部の挙動を確認した。

キーワード：ガス圧接継手，正負交番繰返し，引張・せん断

\*1 98年8月まで

\*2 98年5月まで

\*3 98年8月まで

# 目 次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. まえがき .....              | 1  |
| 2. 実験目的 .....              | 2  |
| 3. 実験概要 .....              | 3  |
| 3.1 供試体の種類 .....           | 3  |
| 3.2 ガス圧接継手 .....           | 8  |
| 3.2.1 圧接方法 .....           | 8  |
| 3.2.2 圧接部の検査結果 .....       | 8  |
| 3.3 使用材料 .....             | 8  |
| 3.3.1 鉄筋 .....             | 8  |
| 3.3.2 コンクリート .....         | 8  |
| 3.4 載荷方法 .....             | 9  |
| 3.5 測定方法 .....             | 12 |
| 4. 実験結果 .....              | 20 |
| 4.1 ひび割れ・破壊状況 .....        | 20 |
| 4.2 荷重－基部の変位関係 .....       | 24 |
| 4.3 帯鉄筋のせん断ひずみ .....       | 26 |
| 4.4 供試体Cのスリット部近傍の挙動 .....  | 33 |
| 4.4.1 スリット部段差量 .....       | 33 |
| 4.4.2 主鉄筋に沿ったひび割れの開き ..... | 33 |
| 4.4.3 圧接部付近の帯鉄筋ひずみ .....   | 33 |
| 4.5 主鉄筋の曲率 .....           | 38 |
| 5. まとめ .....               | 42 |

# 1. まえがき

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震において、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の継手部に破断現象がみられた。

現在、鉄筋コンクリートで造られている橋脚などの耐震設計の考え方は、通常の荷重や中規模までの地震に対しては、残留変形が生じない範囲で耐え（弾性設計）、大地震に対しては、変形によりエネルギーを吸収することで、崩壊を免れるという考え方（塑性設計）を採っている。しかしながら、この地震で見られた破断現象が、変形によるエネルギー吸収が小さいまま生じているものとする、これは想定している外力より小さい力で崩壊が生じる可能性のあることを意味する。

載荷速度、繰返し載荷などの外力の形態によって鉄筋継手の強度が大きく影響を受けるとすると、現在の設計体系を根底から揺るがしかねないことであり、構造物の安全性の確保のため、地震時などに生じる外力に対する鉄筋継手の挙動を明確にすることは、極めて重要で急務となっている。

第1報<sup>1)</sup>では、鉄筋継手の90%以上を占めるガス圧接継手について、地震時に作用する特徴的な荷重である高速載荷の影響および一方向繰返しについて引張試験による検討を行った。第2報<sup>2)</sup>では、外気温が高速載荷時の圧接部の挙動に及ぼす影響に関する実験、D51までの太径の鉄筋の圧接部の高速載荷実験、弾・塑性域の正負繰返し載荷実験、せん断と引張が複合して作用する載荷実験を行った。第1報、第2報とも施工方法および管理方法については、現在実施されている標準的な圧接方法、超音波探傷試験による検査方法に対し、目視による全数検査が可能になると考えられる熱間押抜法についても検討した。また、引張試験前・後の試験片について、圧接界面、熱影響部、母材部の顕微鏡によるミクロ、マクロな組織観察、ビッカース硬さ試験による硬さ分布、シャルピー衝撃試験による衝撃特性の調査を行うなど、圧接部の金属学的考察も行った。これらの結果より、圧接を適切に行えば圧接部から破断することはないことがわかった。その理由として、圧接部は熱の影響により耐衝撃性は低下するものの、引張後は、ふくらみがあるので応力は緩和され塑性化せず耐衝撃性は変化しない。それに対し、母材部は塑性ひずみを生じ、耐衝撃性が低下するためである。

しかしながら、これまでの実験は基本的には一方向の引張試験である。ところが実際には、橋脚の部材内部では、塑性域での引張・圧縮の繰返しと同時にせん断力も正負の繰返しが生じるという複雑な応力状態になっている。

第2報で既に引張とせん断の複合載荷実験を行ってはいるものの、引張・せん断とも一方向の単調な載荷にとどまっている。そこで、ここでは、鉄筋コンクリート部材実験によって実際の載荷状態を再現し、そのときの圧接部の挙動を把握しようとしたものである。その結果を報告する。

<sup>1)</sup> 共同研究報告書第188号、鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書(1)載荷速度の影響、1997年8月

<sup>2)</sup> 共同研究報告書第196号、鉄筋のガス圧接継手に関する共同研究報告書(2)温度および繰返し載荷の影響、1998年3月

## 2. 実験目的

鉄筋コンクリート橋脚は、地震作用を受けると図-2.1のようにひび割れを生じる。その位置の鉄筋には引張とともにせん断力が作用する。実際には地震による交番繰返しにより、鉄筋には図-2.2のように鉄筋の軸方向に作用する引張・圧縮および軸直角方向に作用する正負のせん断の繰返し载荷状態になる。

第2報では、図-2.3のような簡易な装置によって一定のせん断力を加えておき、一方向の単調な引張試験を行うという、簡単な複合载荷実験を行った。この実験では、せん断力（せん断応力）を、 $20\text{kN}$  ( $400\text{N/mm}^2$ ) および  $40\text{kN}$  ( $800\text{N/mm}^2$ ) の2水準としたが、圧接部の挙動には全く問題なかった。

そこで次の段階として、図-2.2のように引張・圧縮の正負交番繰返しと同時にせん断の作用する圧接部鉄筋の挙動を把握することを目的に、鉄筋コンクリート部材実験を行った。

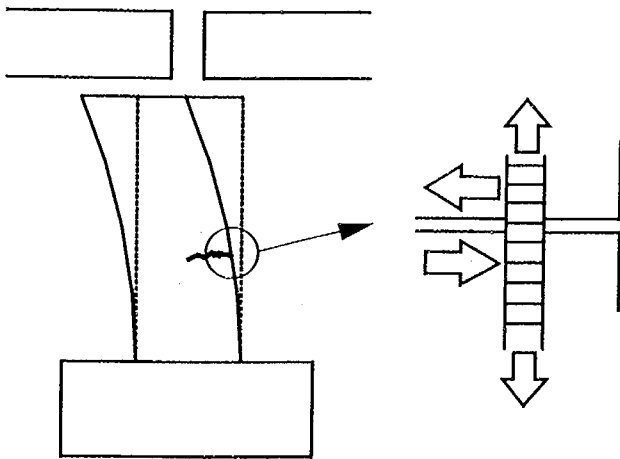


図-2.1 鉄筋に作用する引張とせん断力

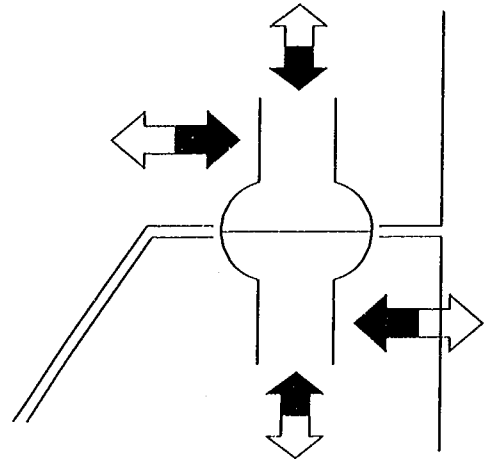


図-2.2 実際に鉄筋に作用する荷重状態

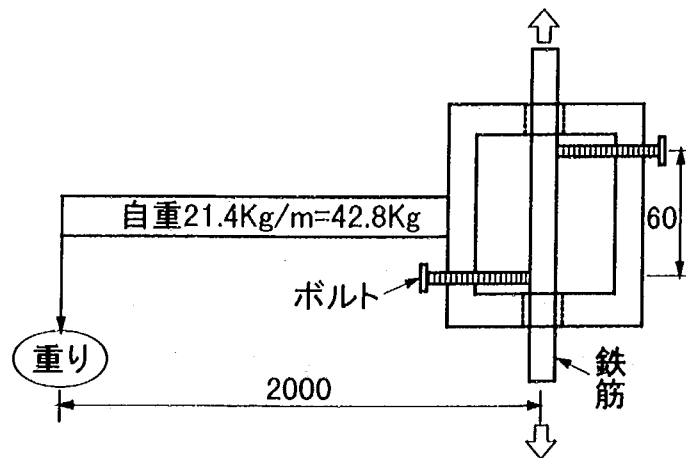


図-2.3 せん断力载荷方法

### 3. 実験概要

#### 3. 1 供試体の種類

供試体の種類を表-3.1 に示す。供試体 A は圧接継手のない基本的な供試体である。供試体 B, C は圧接継手を有する供試体である。

供試体の形状および配筋図を図-3.1~3.4 に示す。形状は、中央にスタブを有するはり供試体である。圧接継手の位置は、スタブ端部（以下基部と呼ぶ）とその位置から 280mm 離れた位置の 2 箇所である。その 2 箇所に継手数の  $1/2$  ずつを配置した。供試体 C は、図-3.2 のようにスタブ端部から 280mm の継手位置にスリットを設けた。

表-3.1 供試体の種類

| 供試体記号 | 圧接継手の有無 | スリットの有無 | 説 明                                     |
|-------|---------|---------|-----------------------------------------|
| 供試体 A | 無し      | 無し      | 圧接継手の無い鉄筋を使用した基本的な供試体                   |
| 供試体 B | 有り      | 無し      | ガス圧接によって主鉄筋に継手を施した供試体                   |
| 供試体 C | 有り      | 有り      | 供試体 B と同じものに、圧接継手位置のコンクリート部にスリットを設けた供試体 |
| 合 計   |         |         | 3 体                                     |

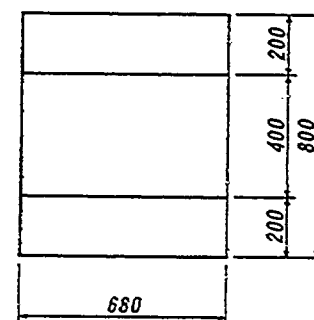
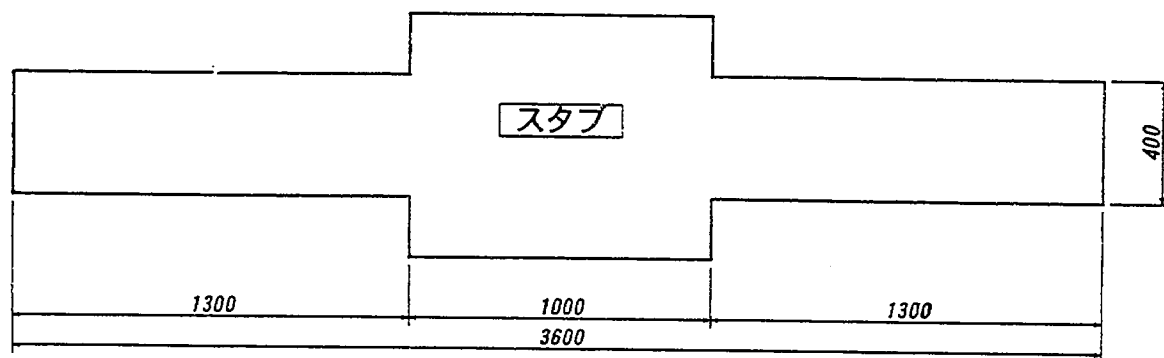
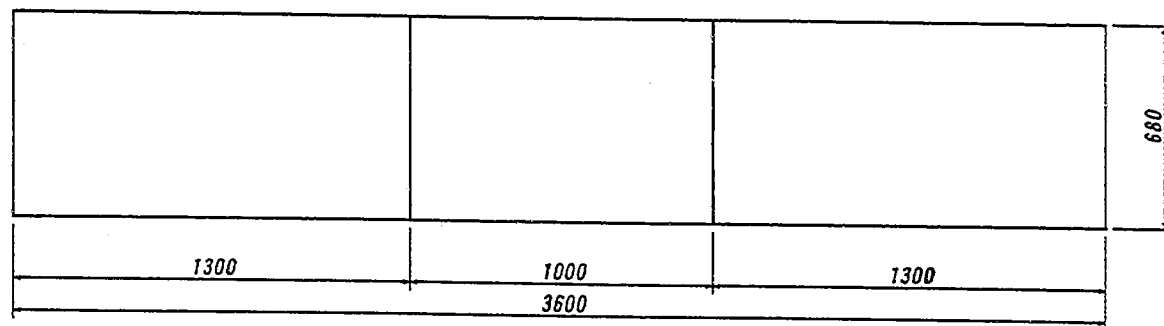
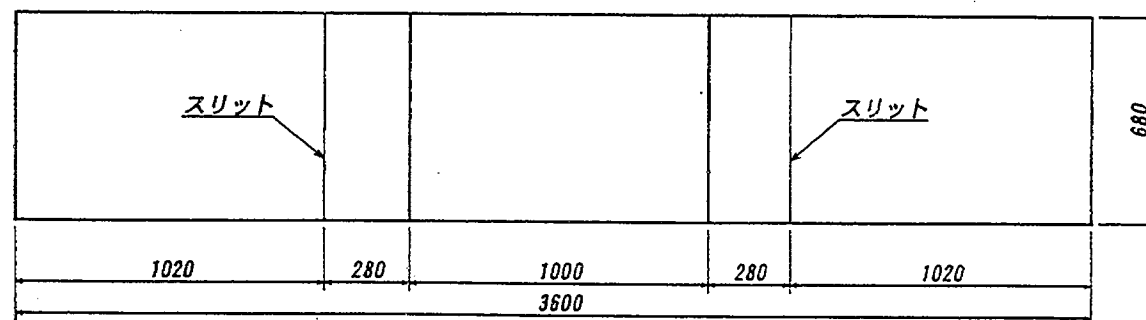


図-3.1 供試体形状寸法図 (供試体A, 供試体B)



注) スリットは圧接部の直上(直下)に設けた。

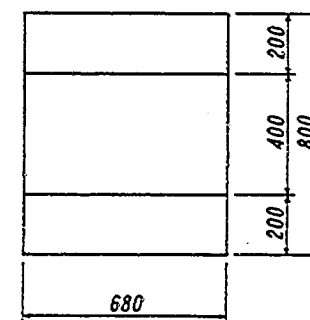
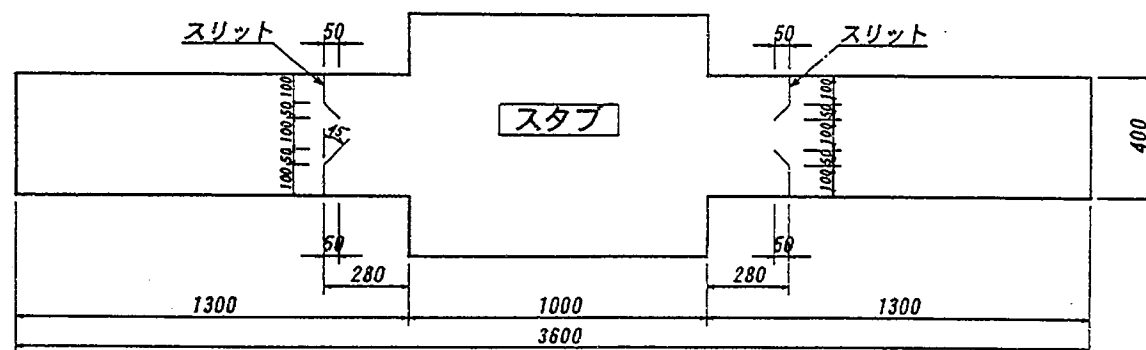


図-3.2 供試体形状寸法図(供試体C)

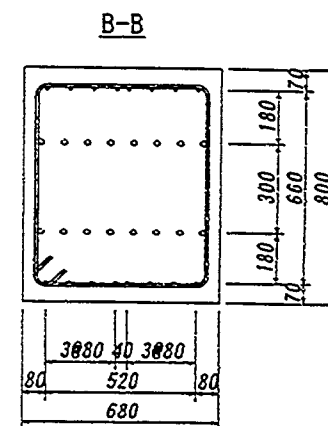
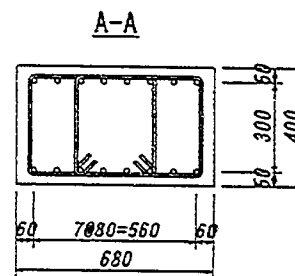
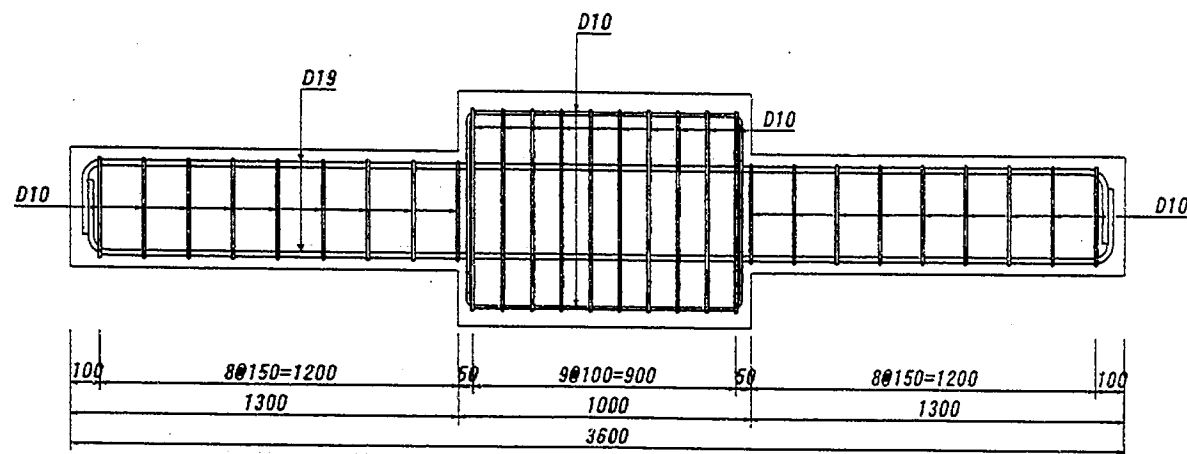
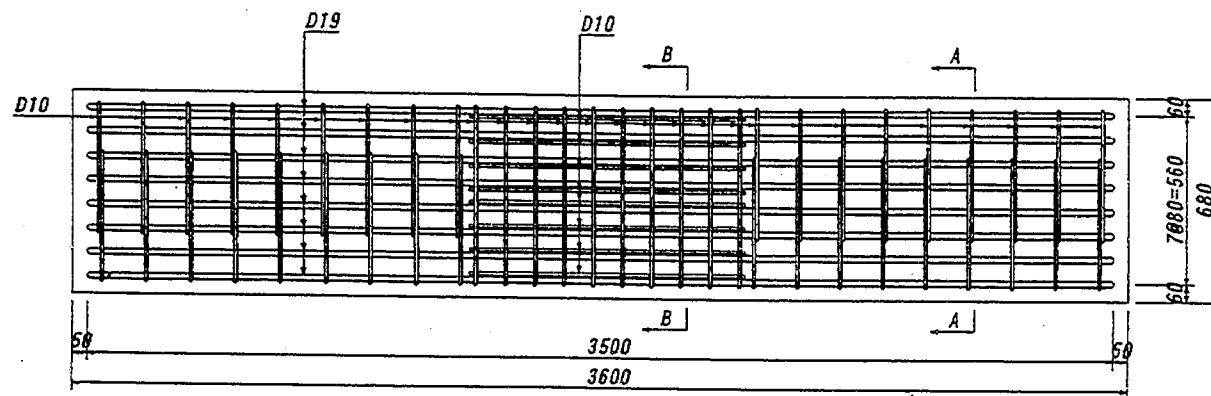


图-3.3 供試体配筋図 (供試体A)

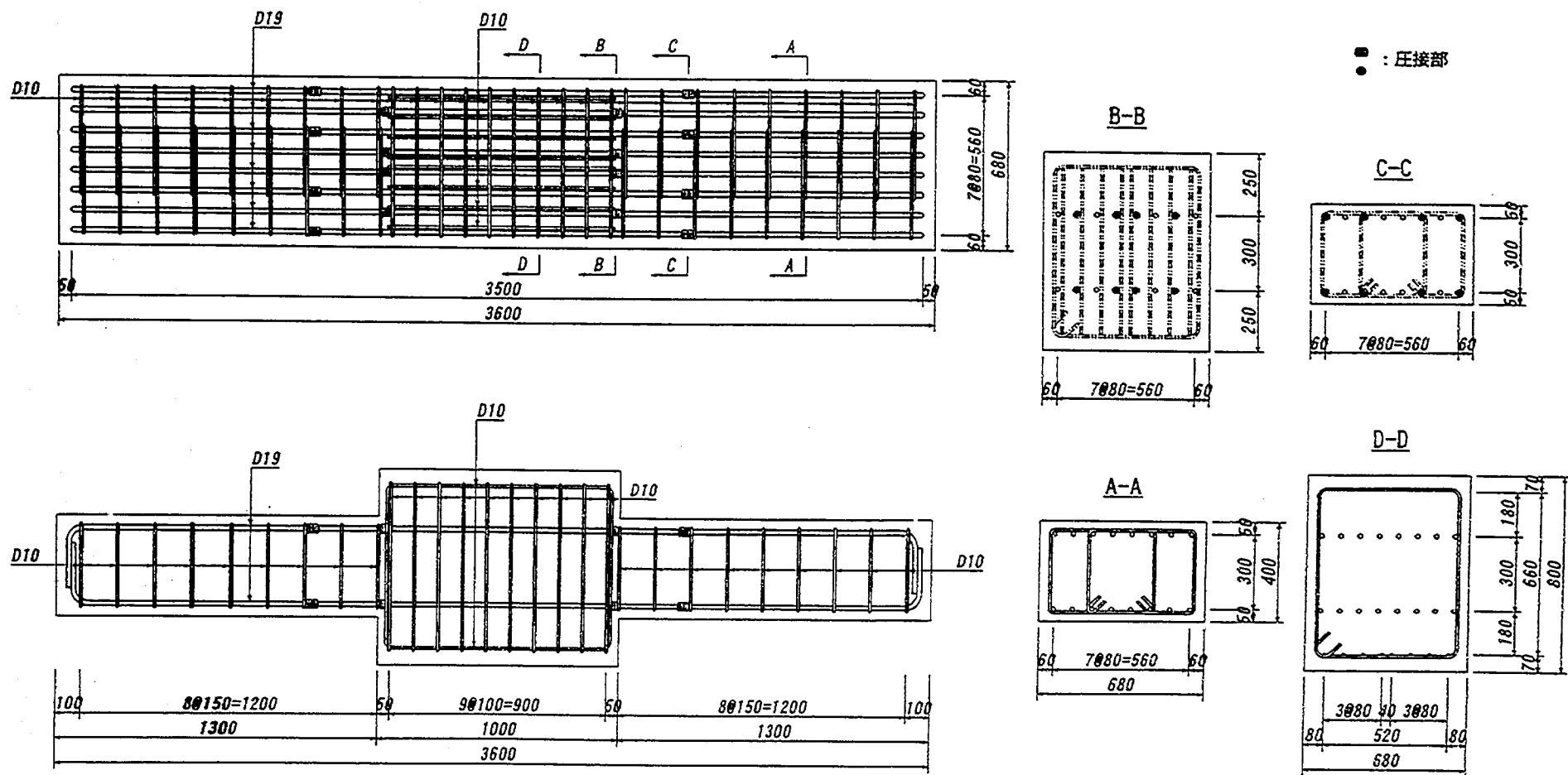


図-3.4 供試体配筋図 (供試体B, 供試体C)

### 3. 2 ガス圧接継手

#### 3. 2. 1 圧接方法

ガス圧接は熱間押抜法とした。ただし、主鉄筋はD19なので専用の押抜刃はまだない。そこでD22用の押抜刃を使って押し抜いた。そのため、通常、押抜径は鉄筋径の1.2倍(1.2D)であるが、ここでは1.4倍(1.4D)である。

熱間押抜法とした理由は、次のとおりである。

- ① 通常の圧接では、ふくらみ径は1.6D程度(規定では1.4D以上)であり、圧接面に働く引張応力、せん断応力は小さくなる。それに対し、押抜くことにより断面が小さく一定になり、応力も増し、厳しい条件になる。
- ② 通常の圧接の形状は球状になるが、押し抜くことにより円柱状になるので圧接界面にせん断力を作用しやすくなるようにした。

#### 3. 2. 2 圧接部の検査結果

圧接部はすべて超音波によって検査した。検査法は、現在行われている斜角2探触子法(現行法)と表面SH波法である。

##### (1) 現行法

全数合格であった。

##### (2) 表面SH波法

TYPE-Bの2回目圧接鉄筋のY継手(B-2-Y)でエコーが検出された。

エコー高さがさほど高くないので実験に支障はないものと考えられた。

この継手以外では明確なエコーは検出されなかった。

### 3. 3 使用材料

#### 3. 3. 1 鉄筋

主鉄筋はSD345のD19、帯鉄筋はSD345のD10である。これらの機械的性質は表-3.2のとおりである。

表-3.2 鉄筋の機械的性質

| 呼び名 | 降伏点<br>N/mm <sup>2</sup> | 引張強さ<br>N/mm <sup>2</sup> | 伸び<br>% | 絞り<br>% |
|-----|--------------------------|---------------------------|---------|---------|
| D19 | 372                      | 551                       | 25.1    | 57.0    |
| D10 | 375                      | 524                       | 24.1    | 57.0    |

#### 3. 3. 2 コンクリート

コンクリートに使用した骨材は、粗骨材に葛生産碎石(表乾密度2.70g/cm<sup>3</sup>吸水率1.15%、実積率61.0%)、細骨材に富津産陸砂(表乾密度2.58g/cm<sup>3</sup>、吸水率1.59%)である。セメントは普通ポルトランドセメント、混和剤にはAE減水剤(ボゾリスNo.70)を使用した。

コンクリートの配合およびフレッシュ性状は表-3.3のとおりである。

供試体の養生は、7日間湿布養生とした。その後は載荷まで気中養生とした。

強度試験用供試体は、標準養生(28日水中養生)および各供試体と同じ養生を行った。標準養生した材齢28日の強度および載荷時に行った圧縮、引張強度試験結果は表-3.4

のとおりであった。

表-3.3 配合表およびフレッシュ性状

| 粗骨材の<br>最大寸法<br>(mm) | 水セメント比<br>(%) | 細骨材率<br>(%) | 単位置 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |       | フレッシュ性状      |            |
|----------------------|---------------|-------------|--------------------------|-----|-----|------|-------|--------------|------------|
|                      |               |             | セメント                     | 水   | 細骨材 | 粗骨材  | 混和剤   | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) |
| 20                   | 60.5          | 44          | 255                      | 154 | 815 | 1088 | 0.683 | 19.5         | 3.7        |

表-3.4 コンクリートの強度試験結果

|               | 圧縮試験                      |                             | 引張強度<br>N/mm <sup>2</sup> |
|---------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|               | 圧縮強度<br>N/mm <sup>2</sup> | ヤング係数<br>kN/mm <sup>2</sup> |                           |
| 標準養生          | 24.0                      | 26.1                        | 1.92                      |
| 載荷<br>試験<br>時 | 供試体 A                     | 24.4                        | 23.4                      |
|               | B                         | 25.1                        | 23.9                      |
|               | C                         | 24.7                        | 24.3                      |

### 3. 4 載荷方法

載荷は図-3.5 のように供試体をセットし、スタブを押し引きすることによりはり部に正負の曲げせん断の繰返しを与えた。

載荷パターンは図-3.6 のように降伏までは荷重制御で鉄筋の許容応力、その 1.5 倍で 1 回ずつ繰り返した。それぞれの荷重は表-3.5 のとおりである。その後は変位制御により降伏時の変位 ( $1\delta y$ ) と、破壊するまでその整数倍の変位で 3 回ずつ繰り返した。

表-3.5 載荷方法

| サイクル                                      | 繰返し回数                      | 目 標                          |
|-------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| $\sigma_a$ (鉄筋の許容応力度)                     | 1回                         | 計算上266kN(27.1tf)             |
| $1.5\sigma_a$ ( $\sigma_a$ の1.5倍)         | 1回                         | 計算上398kN(40.6tf)             |
| $f_y$ (鉄筋の降伏点)= $1\delta y$               | 3回                         | 計測データの確認による                  |
| $2\delta y$ ~破壊<br>( $1\delta y$ ずつ増加させる) | 3回(破壊状況によっては<br>指定回数未満で終了) | $1\delta y$ の変位の倍数で増加<br>させる |

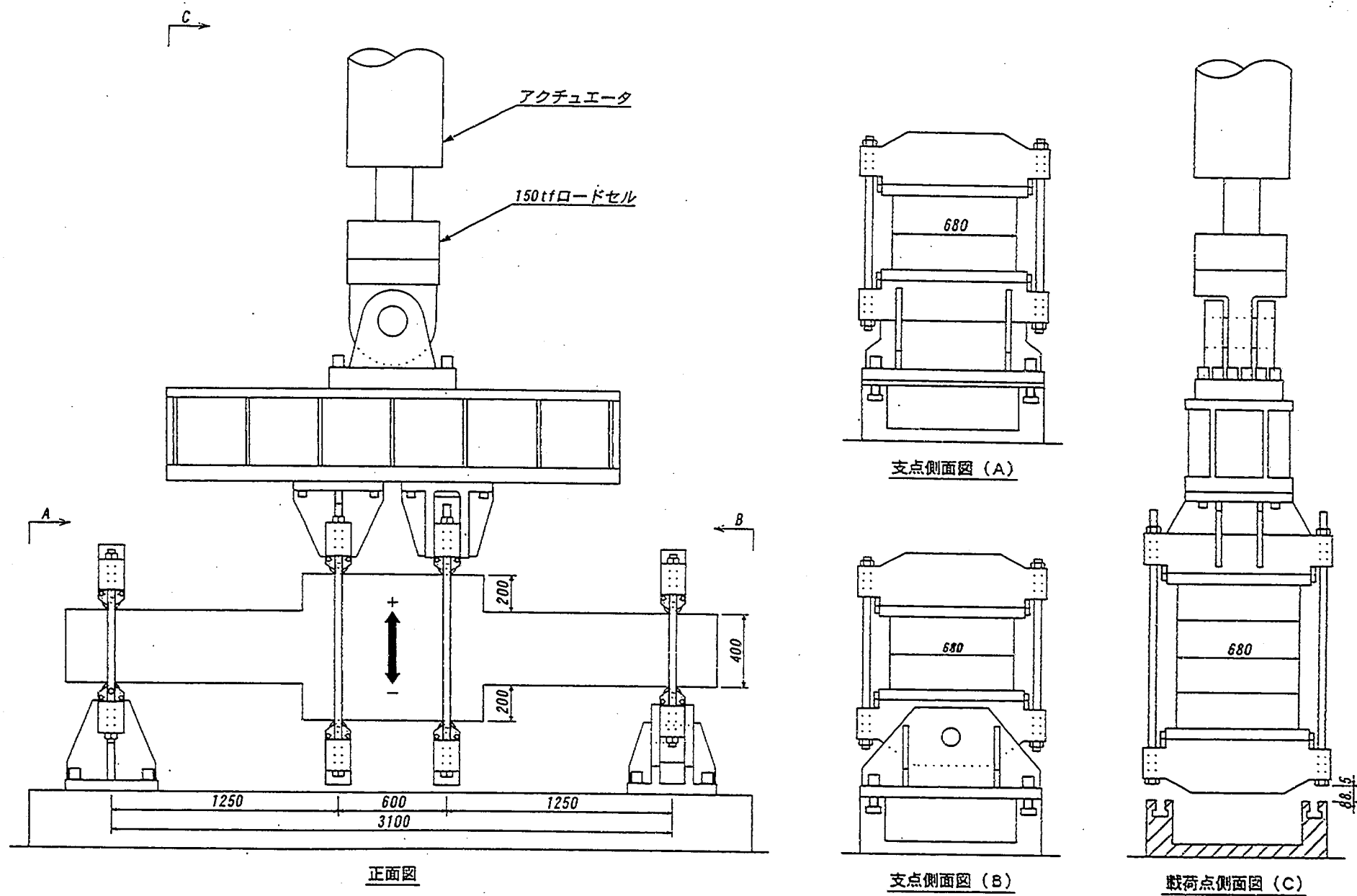
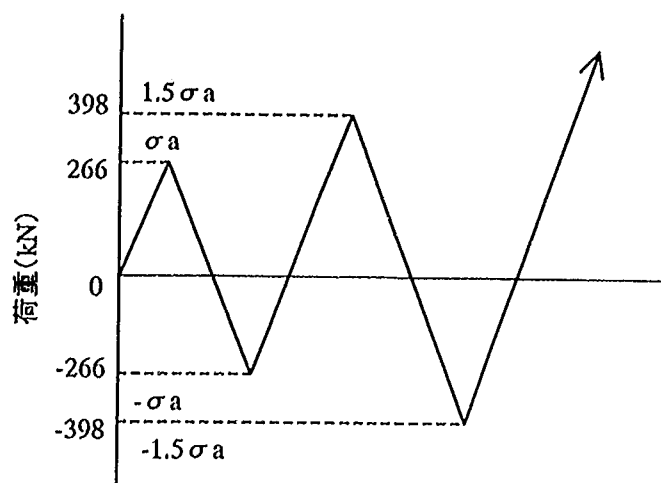
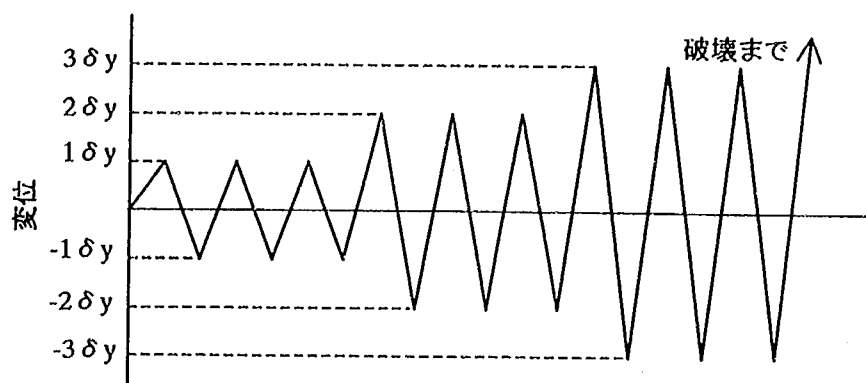


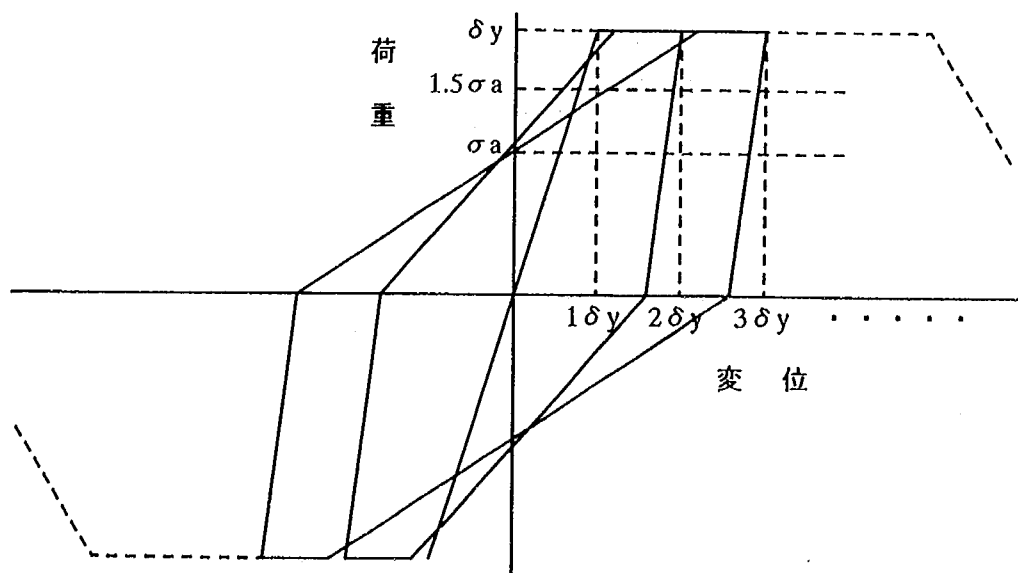
図-3.5 RC供試体載荷状況図



(a) 降伏前



(b) 降伏後



(c) 荷重-変位関係

図-3.6 載荷パターン

### 3. 5 測定方法

測定項目を表-3.6に示す。

変位およびひずみ測定位置の概要を図-3.7に示す。はり部の変位を測定するため基部に変位計を取り付けた。載荷時の制御用にスタブ中央にも取り付けた。支点と基部から75mm はり側には傾斜計も取り付けた。せん断破壊が想定されるスタブ近傍のはり部には、斜めひび割れによってブロック状に分割されるので、それぞれのブロックの変位も測定した。供試体Cは、曲げせん断ひび割れを想定してスリットを設けてあることから、斜めひび割れの段差量、付着割裂またはダウエル作用によって発生が想定される主鉄筋に沿ったひび割れの開きを測定するためにクリップゲージも取り付けた。

ひずみゲージの貼付位置は、圧接鉄筋は圧接部とその近傍の母材部、圧接していない鉄筋は圧接鉄筋の圧接部と同じ位置である。帯鉄筋は、斜めひび割れが卓越すると考えられる位置と、供試体Cのスリット位置の主鉄筋に近い部分である。

センサー類の詳細な取付位置は図-3.8~3.13のとおりである。計測方法を図-3.14に示す。

表-3.6 測定項目

| 計測項目 |             | センサー種別       | 供試体名 |    |    |    |     |    | 備 考                    |
|------|-------------|--------------|------|----|----|----|-----|----|------------------------|
|      |             |              | A    |    | B  |    | C   |    |                        |
|      |             |              | A面   | B面 | A面 | B面 | A面  | B面 |                        |
| 荷重   |             | —            | 1    |    | 1  |    | 1   |    | 試験機制御機器からの荷重電圧出力       |
| 変位置  | スタブ部上下動変位   | 変位計          | 5    |    | 3  |    | 3   |    | 供試体撓み量及び試験機制御用変位       |
|      | 支点部上下動変位    |              | 2    | 2  | 2  | 2  | 2   | 2  | 供試体たわみ量の補正に使用          |
|      | 梁部上下動相対変位   |              | 6    | 6  | 6  | 6  | 6   | 6  | スタブからの相対梁部変位           |
|      | スリット部段差相対変位 |              | —    |    | —  |    | 4   |    | スリットを挟んだ相対段差変位に相当      |
|      | スリット部近傍開閉変位 | クリップ型<br>変位計 | —    | —  | —  | —  | 4   | 4  | 主筋に沿ったクラックが発生した場合などに対応 |
| 傾斜角  | 撓みによる傾斜量    | 傾斜計          | 4    | 0  | 4  | 0  | 4   | 0  | たわみ角を確認                |
| ひずみ  | 主筋(母材部)ひずみ  | ひずみ<br>ゲージ   | 16   |    | 32 |    | 32  |    | 主筋のひずみ量確認(降伏点等確認)      |
|      | 主筋(圧接部)ひずみ  |              | —    |    | 16 |    | 16  |    | 主筋圧接部のひずみ量確認           |
|      | スターラップ筋ひずみ  |              | 16   |    | 16 |    | 48  |    | スターラップ筋のひずみ量確認         |
| ひび割れ | コンクリート表面    | 目視観察         | ○    |    | ○  |    | ○   |    | 所定の計測段階ごとに観察記録         |
| 合 計  |             |              | 58   |    | 88 |    | 132 |    |                        |

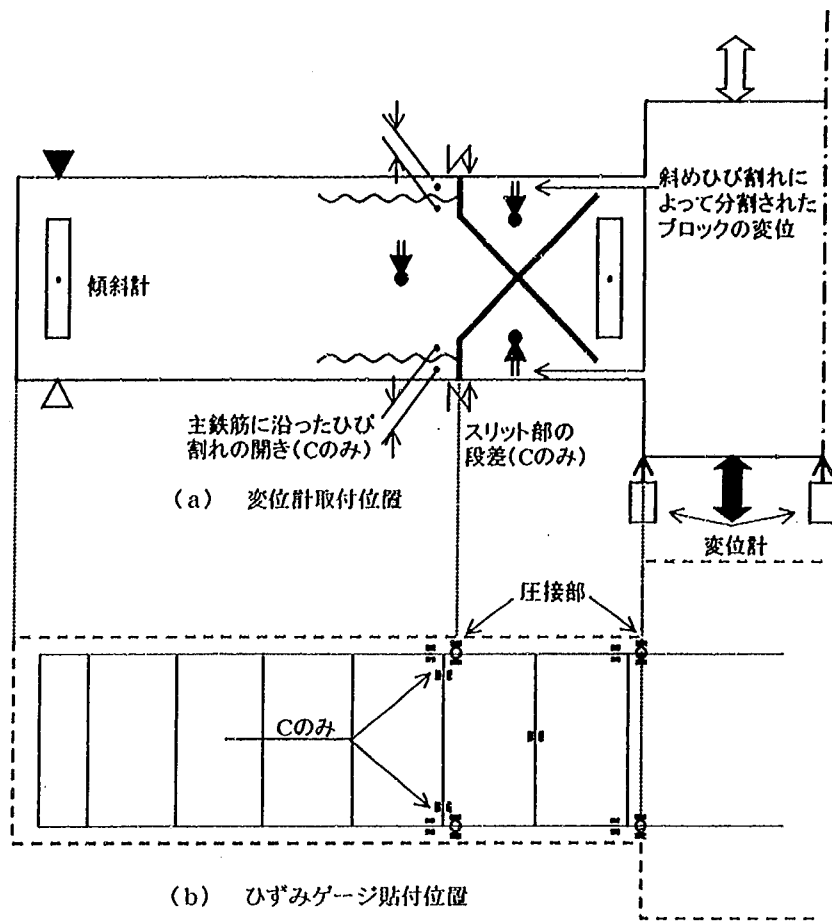


図-3.7 変位およびひずみ測定位置

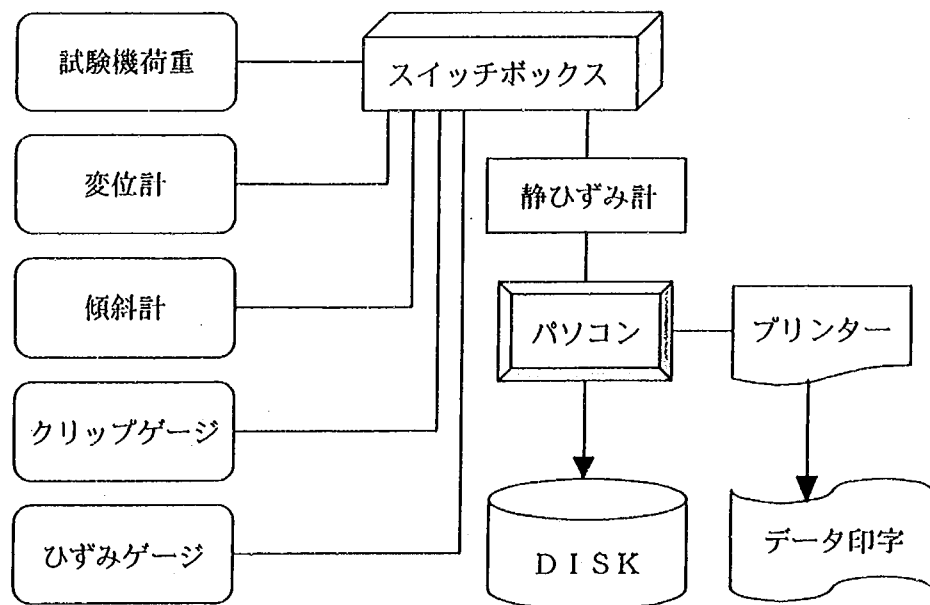
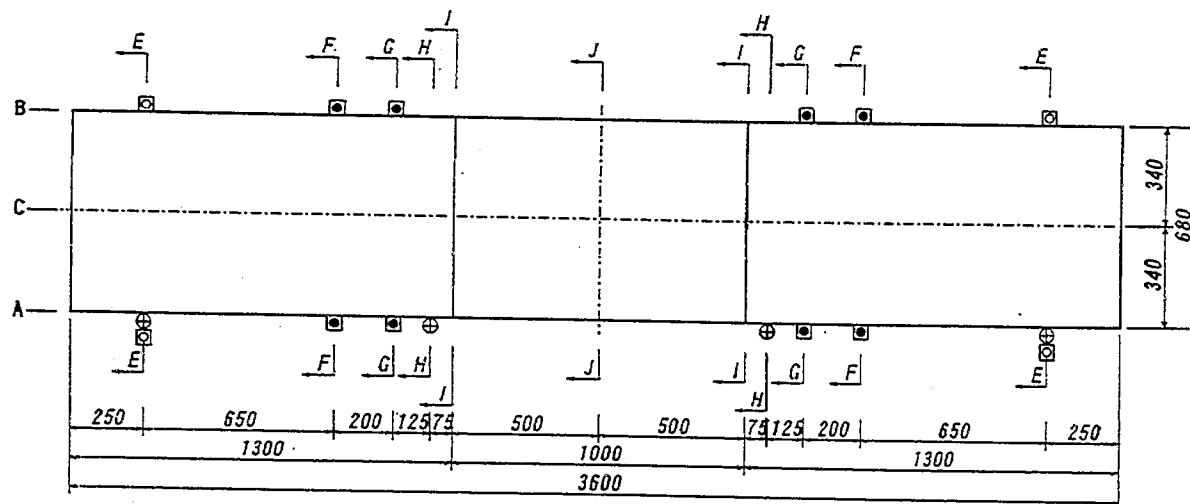
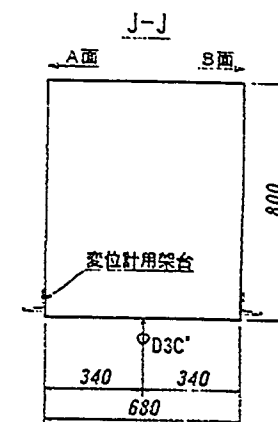
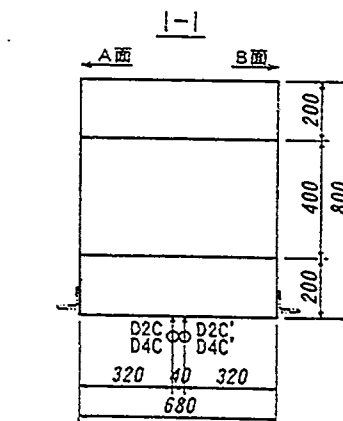
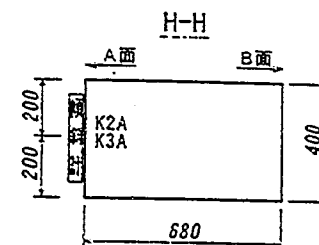
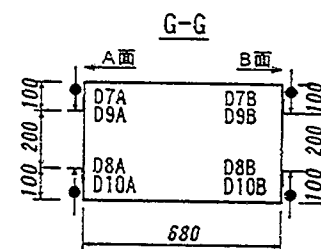
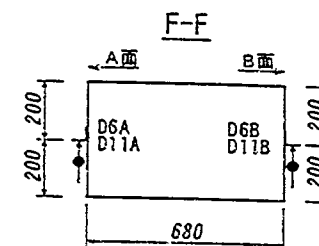
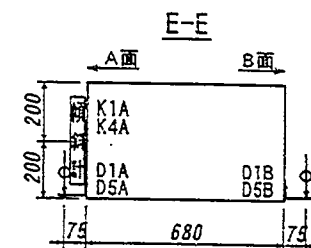


図-3.14 計測方法



- ▽ : 載荷点  
 ⊗ : 傾斜計 (4台)  
 ● : 変位計 I (12台)  
 ⊙ : 変位計 II (9台)



- 注1) 番号末尾のABCはA面・B面および中央を表す  
 注2) 変位計 I は相対変位、変位計 II は絶対変位  
 注3) D2CとD4CはSDR-200R、D2C'～D4C'は巻き込み式500mm変位計である

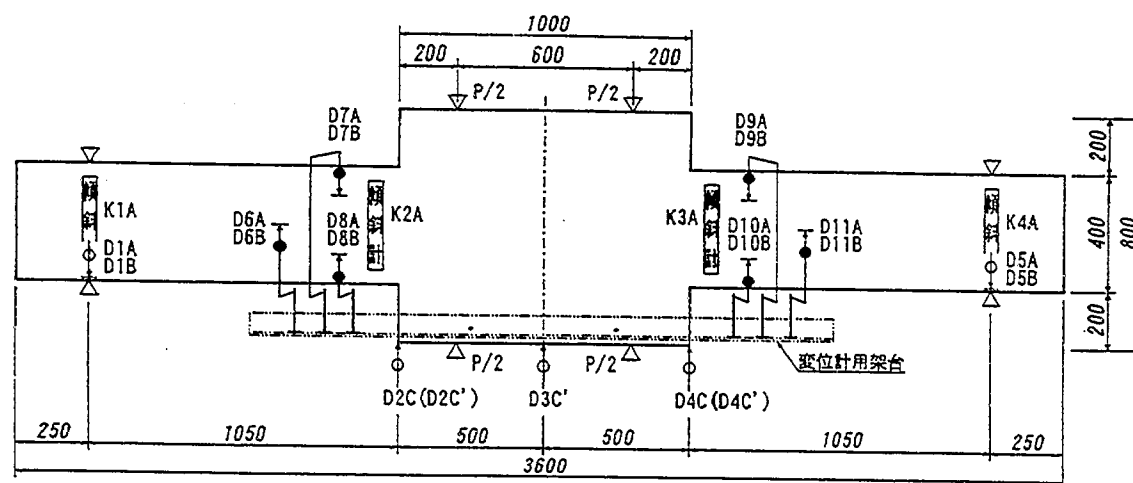
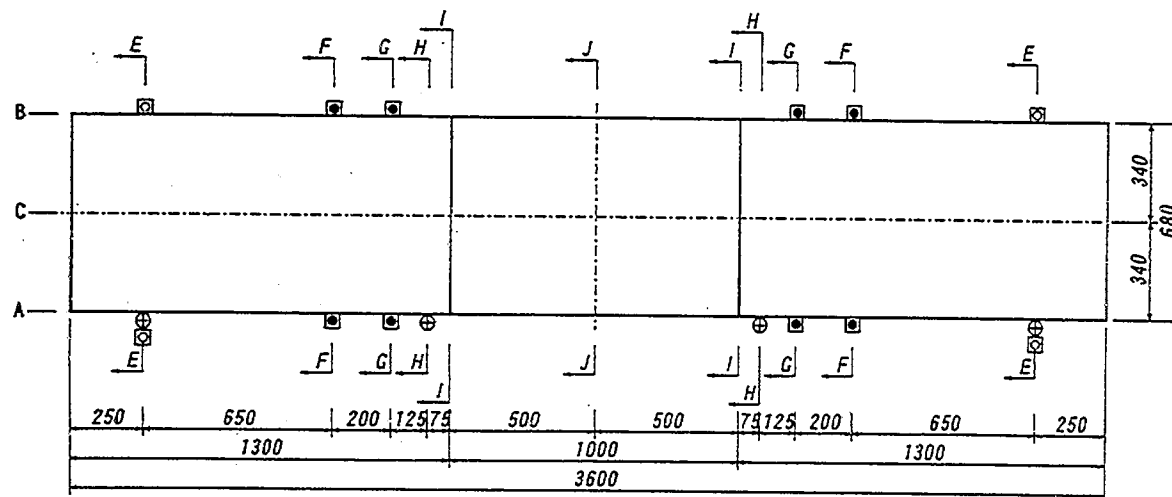
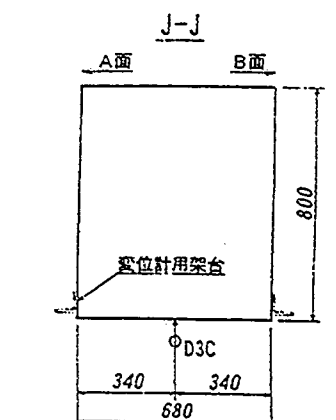
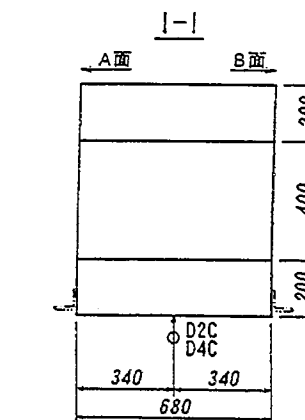
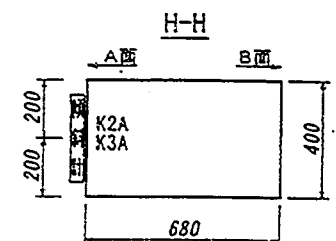
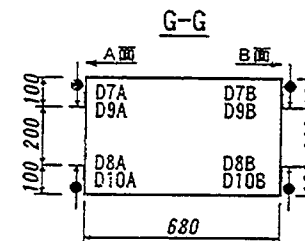
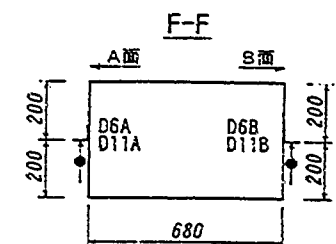
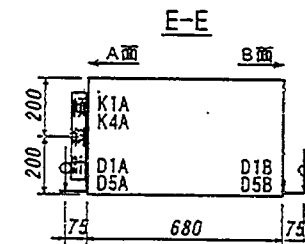


図-3.8 変位計取り付け位置図その1 (供試体A)



- ▽ : 載荷点
- ⊕ : 傾斜計 (4台)
- ⊙ : 変位計 I (12台)
- ⊗ : 変位計 II (7台)



注1) 番号末尾のABCはA面・B面および中央を表す  
 注2) 変位計 I は相対変位、変位計 II は絶対変位

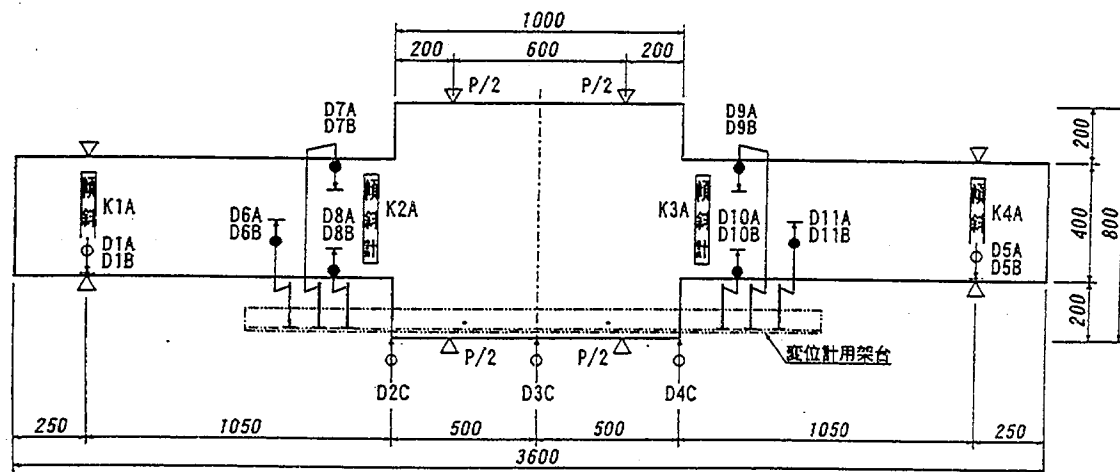
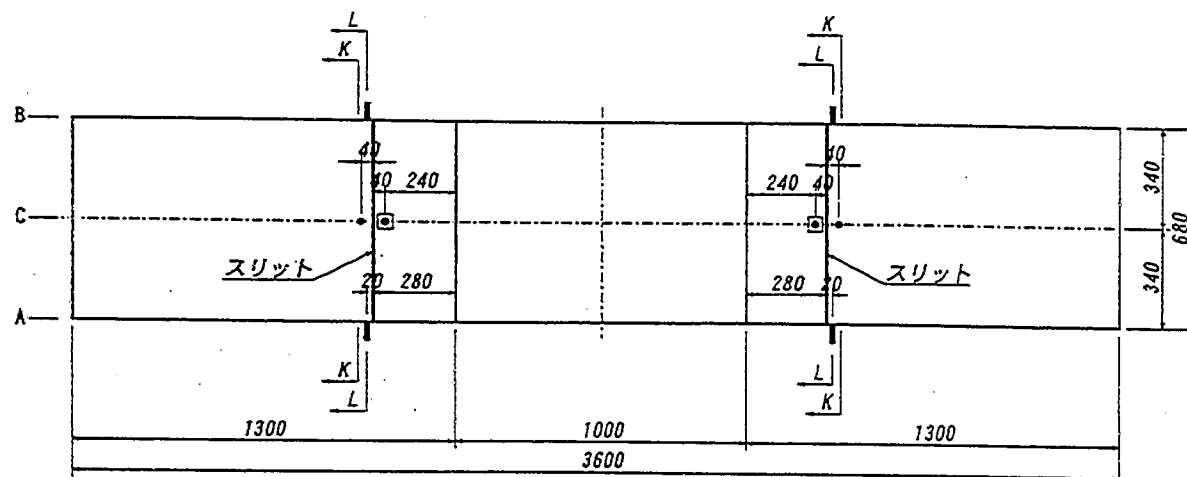
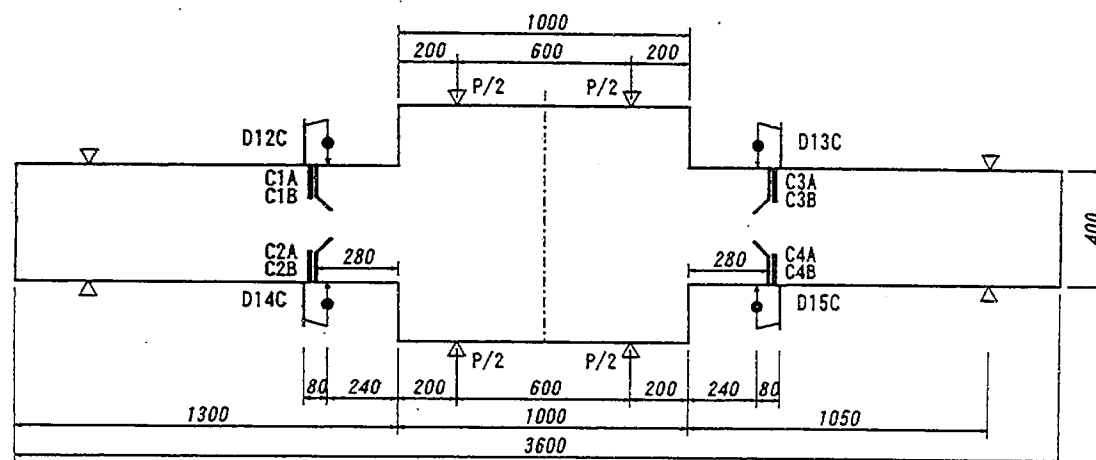


図-3.9 変位計取り付け位置図その2 (供試体B, 供試体C)



注1) 番号末尾のABCはA面・B面および中央を表す

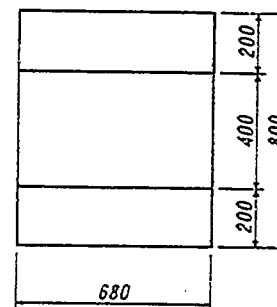
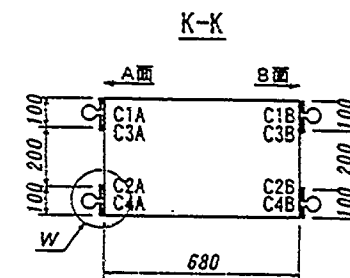
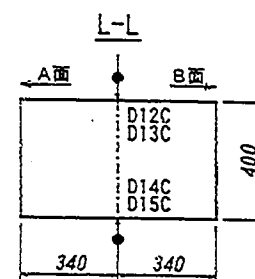
注2) 変位計Iは相対変位



▽ : 載荷点

● □ : 変位計I (4台)

I ○ : クリップ型変位計 (8台)



W部詳細

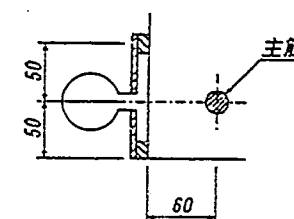


図-3.10 変位計取り付け位置図その3 (供試体Cのスリット部に設置する変位計)

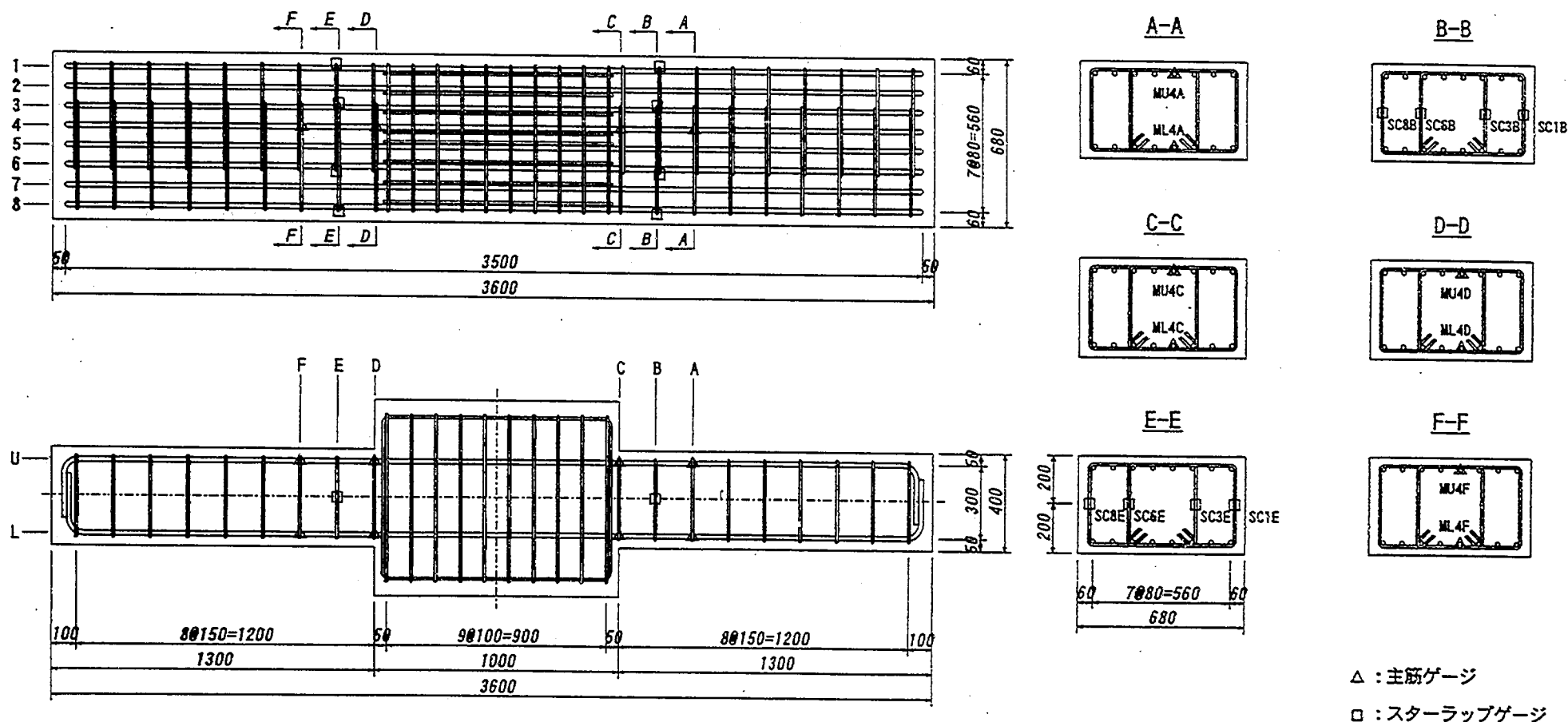


図-3.11 鉄筋ゲージ貼付位置図 (供試体A)

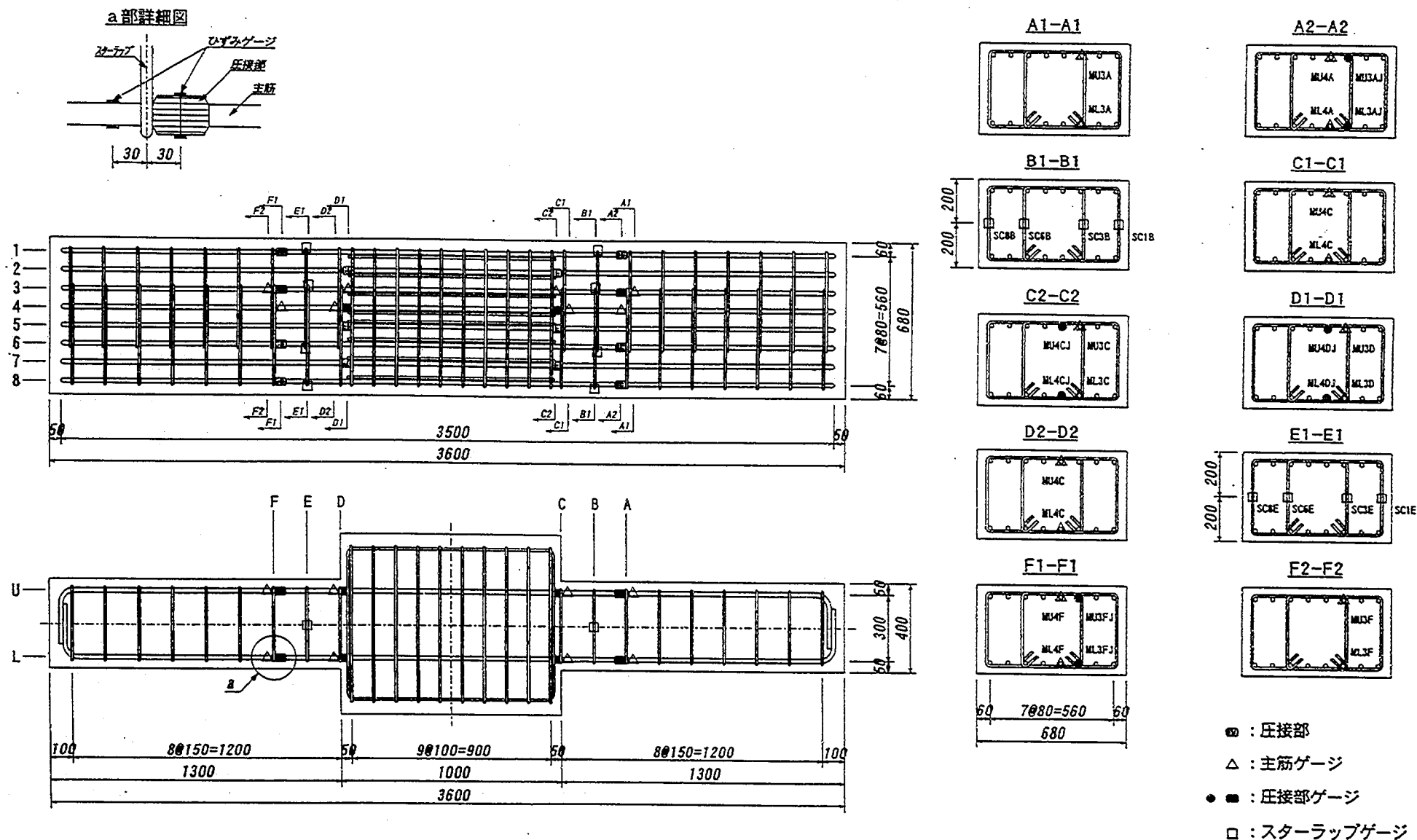


図-3.12 鉄筋ゲージ貼付位置図 (供試体B)

主筋ゲージ貼付枚数 : 16箇所各2枚合計32枚

圧接部ゲージ貼付枚数 : 8箇所各2枚合計16枚

スターラップゲージ貼付枚数 : 8箇所各2枚合計16枚

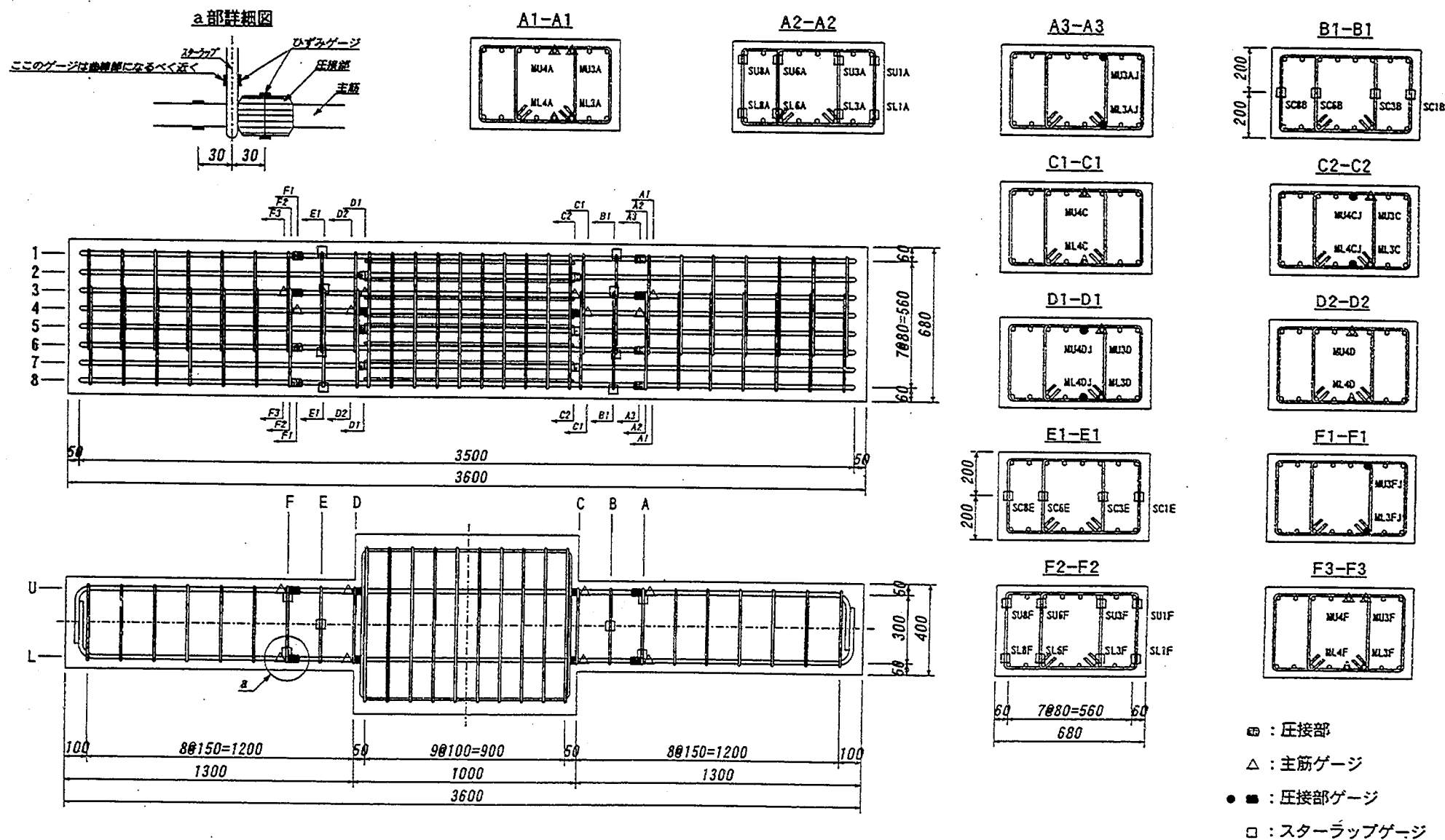


図-3.13 鉄筋ゲージ貼付位置図（供試体C）

主筋ゲージ貼付枚数 : 16箇所各2枚合計32枚

圧接部ゲージ貼付枚数 : 8箇所各2枚合計16枚

スターラップゲージ貼付枚数 : 24箇所各2枚合計48枚

## 4. 実験結果

### 4. 1 ひび割れ・破壊状況

図-4.1~4.3 にひび割れ状況を示す。3 供試体ともはり部のひび割れパターンはほぼ同じであり、次のとおりであった。

- (1) 100kN 程度ではり部のスタブ近傍（以下、基部と呼ぶ）に曲げひび割れを生じた。
- (2) 荷重の増加に伴い、曲げひび割れは帯鉄筋の間隔である約 150mm ピッチで載荷点方向に発生していった。
- (3) 300kN を超えると曲げひび割れは次第に斜めひび割れに移行していった。斜めひび割れに移行していった順番は、基部から約 150mm, 300mm, 600mm の順であった。最もひび割れ幅が大きかったのは約 300mm の位置であり、供試体 C のスリットの位置と合致した。
- (4)  $2\delta y$  程度になると主鉄筋に沿った付着割裂ひび割れ、または主鉄筋の座屈によるひび割れを生じた。
- (5)  $3\delta y$  を過ぎると主鉄筋の座屈によりかぶりコンクリートが浮き上がってきた。供試体 A は、 $3\delta y$  で、片面がせん断破壊し、載荷を中止した。
- (6) それ以降、斜めひび割れ幅が大きくなり、最終的には曲げせん断破壊であった。スタブ内のひび割れ状況についても以下に若干ふれておく。
  - ①荷重が 200 数十 kN になると主鉄筋に沿ったひび割れを生じた。
  - ②荷重の増加に伴いそのひび割れは進展し、400kN 程度でコーン状のひび割れを生じはじめた。
  - ③500kN 程度でスタブのほぼ中央部に曲げひび割れを生じた。
  - ④変位の増加に伴い、コーン状のひび割れが基部から離れた位置に 2~3 本生じた。
  - ⑤その後はほとんど変化はない。

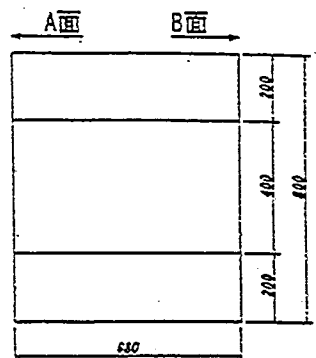
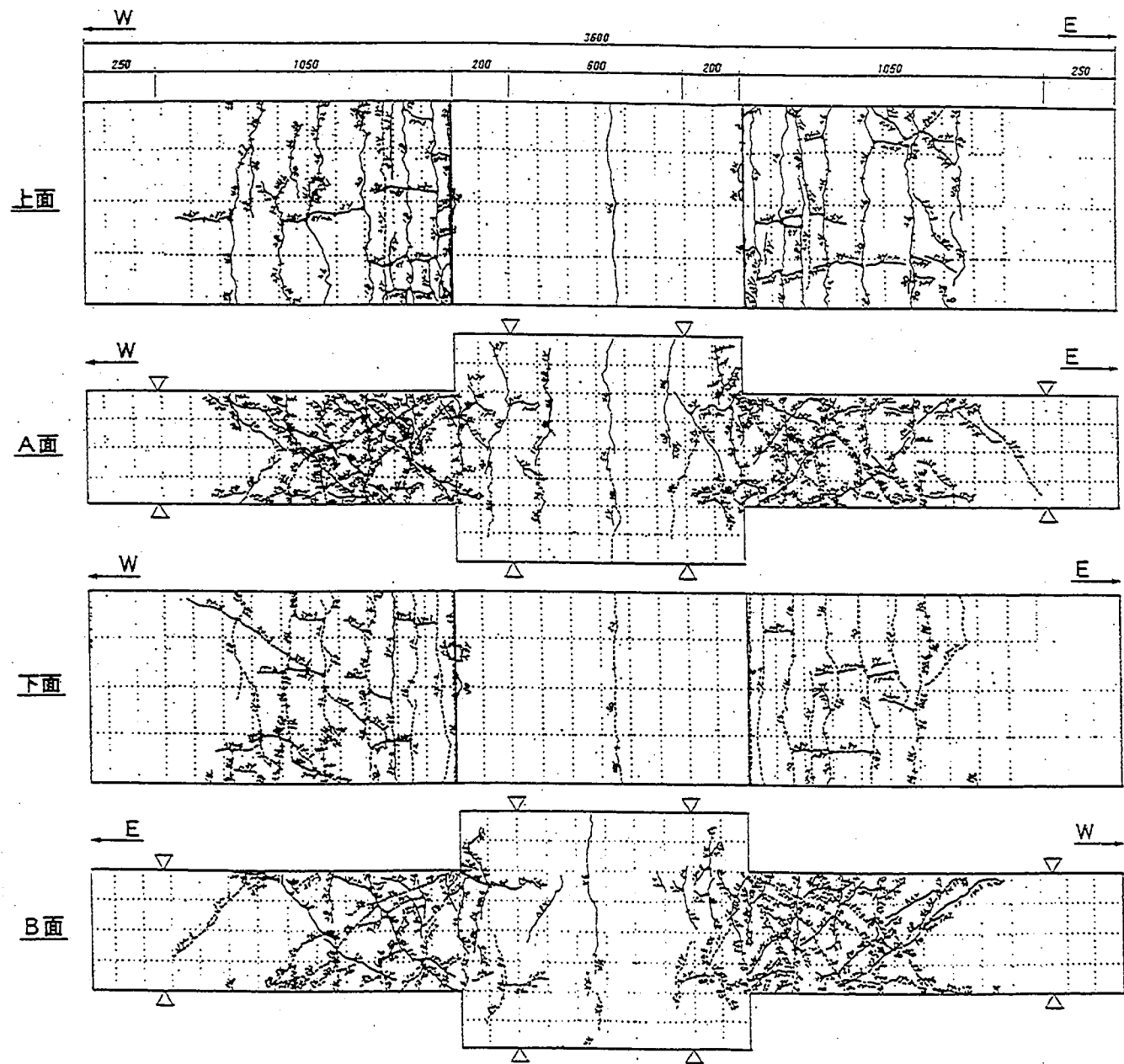


図-4.1 ひび割れ状況図（供試体：A）

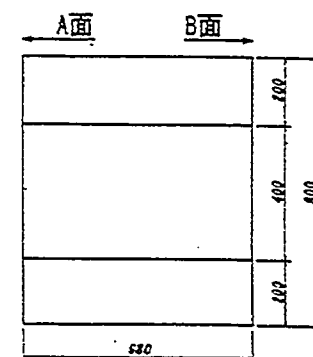
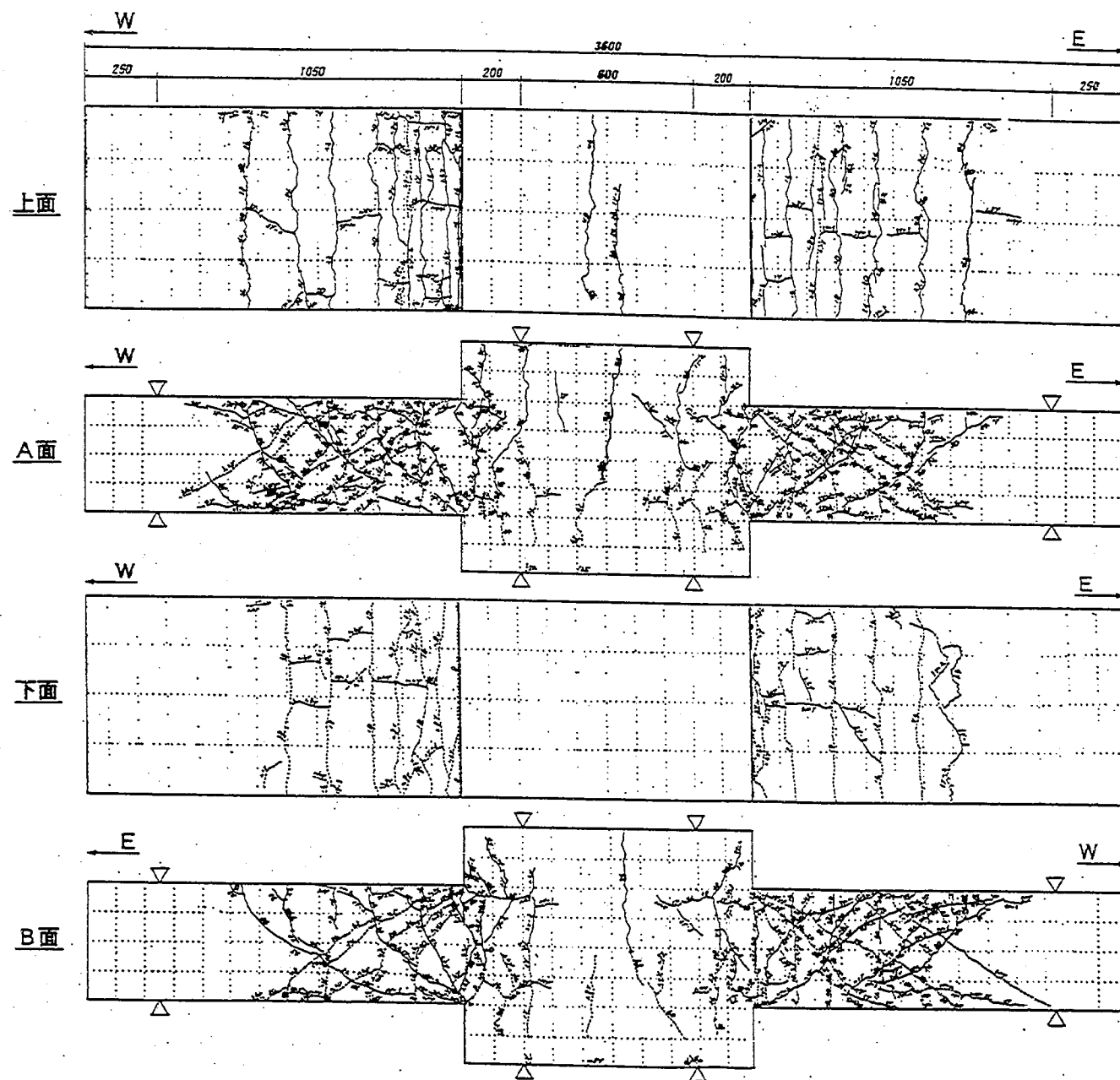


図-4.2 ひび割れ状況図 (供試体: B)

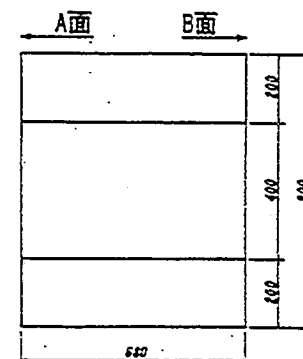
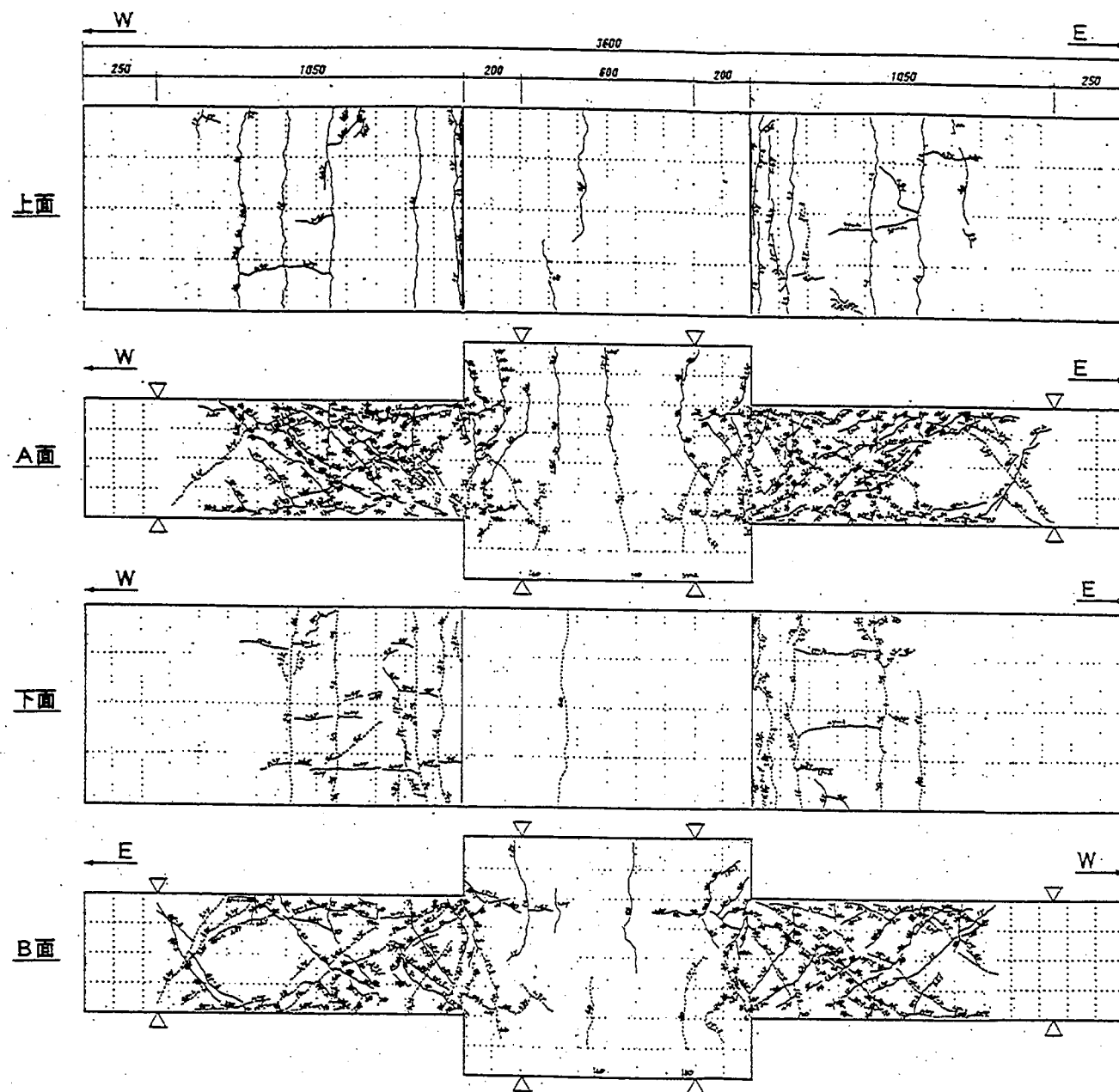
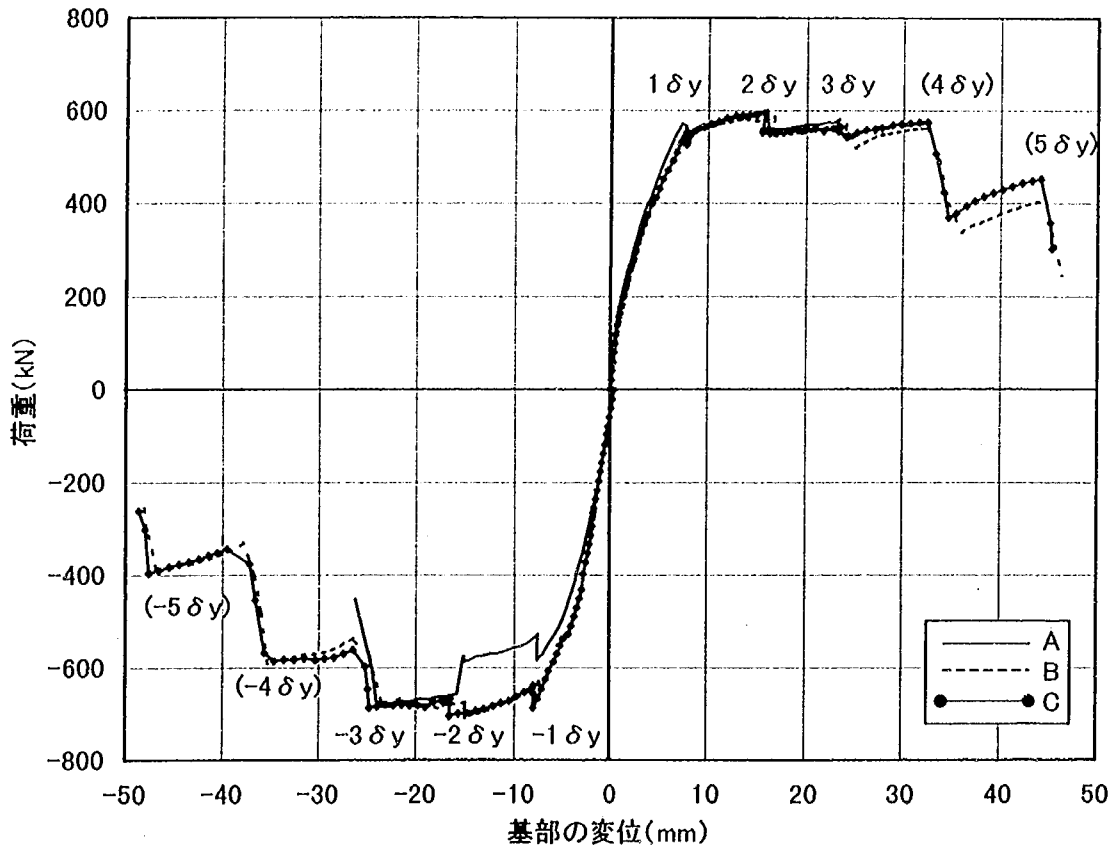


図-4.3 ひび割れ状況図 (供試体: C)

#### 4. 2 荷重－基部の変位関係

供試体 A～C の荷重－基部変位包絡線の比較を図－4. 4 に示す。基部の変位測定位置は、図－3. 8～3. 9 の D 2 C, D 4 C である。図－4. 5 に各供試体の (a) 荷重－変位履歴曲線, (b) 包絡線, (c) 降伏変位の整数倍ごとの変位分布を示す。降伏変位は 3 供試体とも約 8. 0mm であったので  $1\delta y=8. 0\text{mm}$  で制御した。図－4. 4 の包絡線は破壊した方の基部の変位を示している。

図－4. 4 より、3 供試体とも、 $3\delta y$  まではほぼ一致している。供試体 A は、 $3\delta y$  のマイナス側で片面がせん断破壊したので荷重が急激に低下しており、載荷を中止した。供試体 B および C はその後も載荷を続けた。ところが、 $4\delta y$  になると片側の斜めひび割れの開きが大きくなり、主鉄筋に沿ったひび割れも顕著になったので、両基部の変位は図－4. 5 のように次第に異なってきている。破壊の進行した側の変位は、 $5\delta y$  制御時には約  $6\delta y$  に達している。



図－4. 4 供試体 A, B, C : 荷重－変位 包絡線

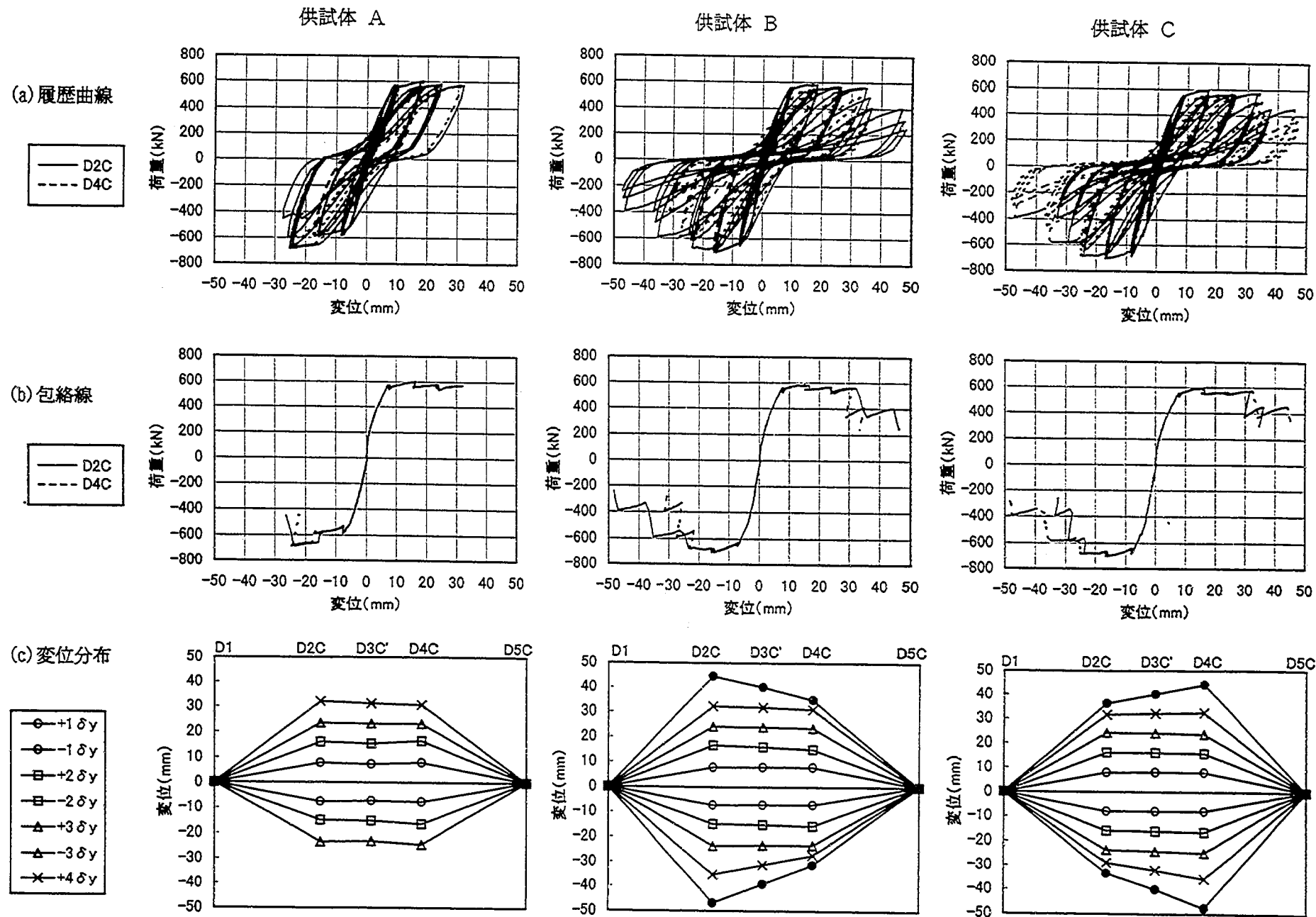


図-4.5 荷重-変位の履歴曲線, 包絡線, 変位分布

#### 4. 3 帯鉄筋のせん断ひずみ

基部から 150mm の位置の帯鉄筋のはり中央部の荷重－ひずみ関係は図－4. 6～4. 8 のとおりである。3 供試体ともせん断による斜めひび割れ特有の「く」の字型のひずみ分布を呈している。

図－4. 9～4. 11 には、横軸に塑性率  $\delta y$ ，縦軸に帯鉄筋のひずみの関係を示した。塑性率は変位を降伏変位で割った値である。図－4. 9～4. 11 より、ほとんどの帯鉄筋は  $3 \delta y$  に達すると降伏している。これは斜めひび割れの開きが急激に大きくなったことと一致しており、せん断が厳しい状態であることを示している。

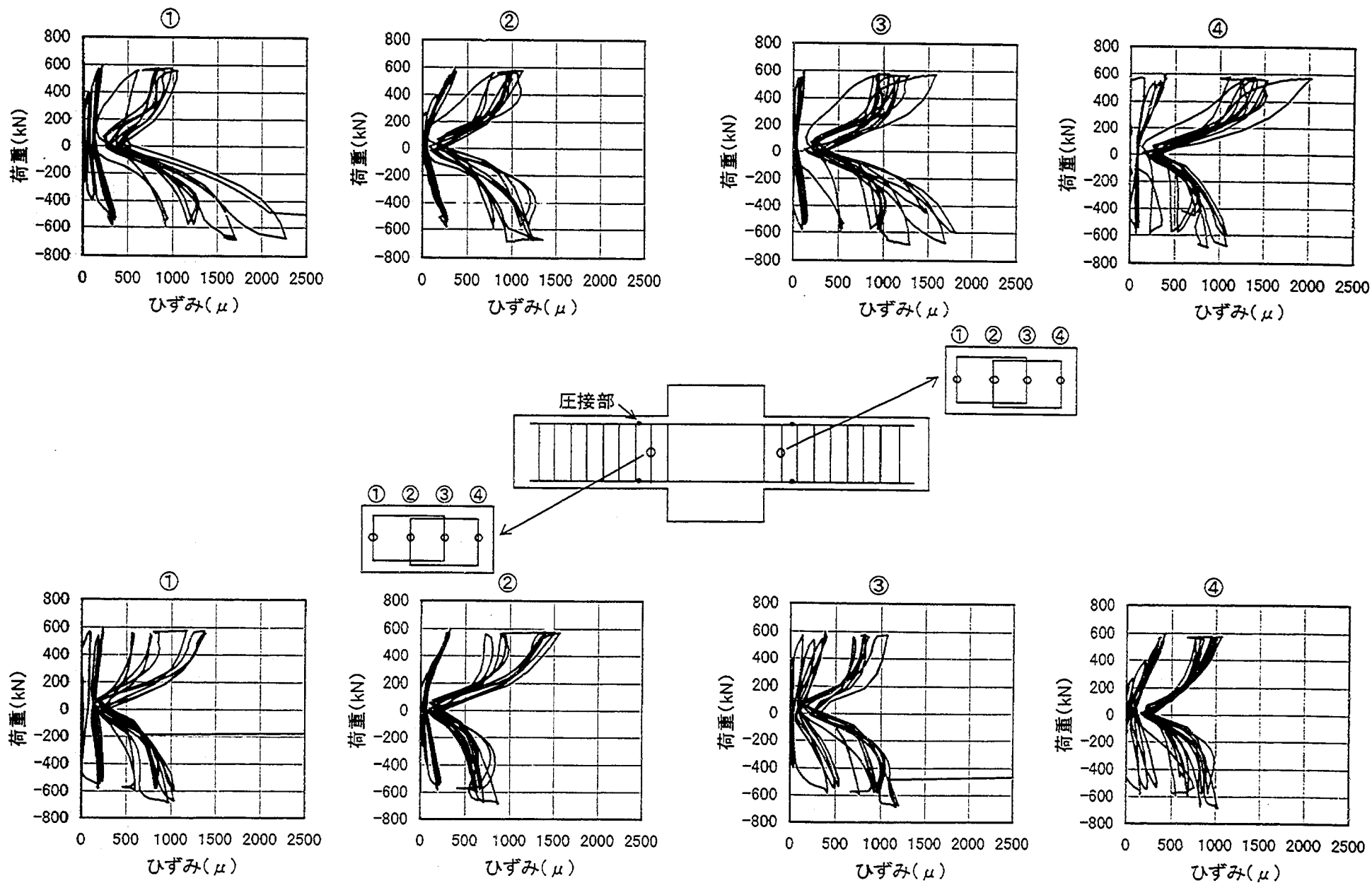


図-4.6 供試体 A : 帯鉄筋の荷重-ひずみ関係

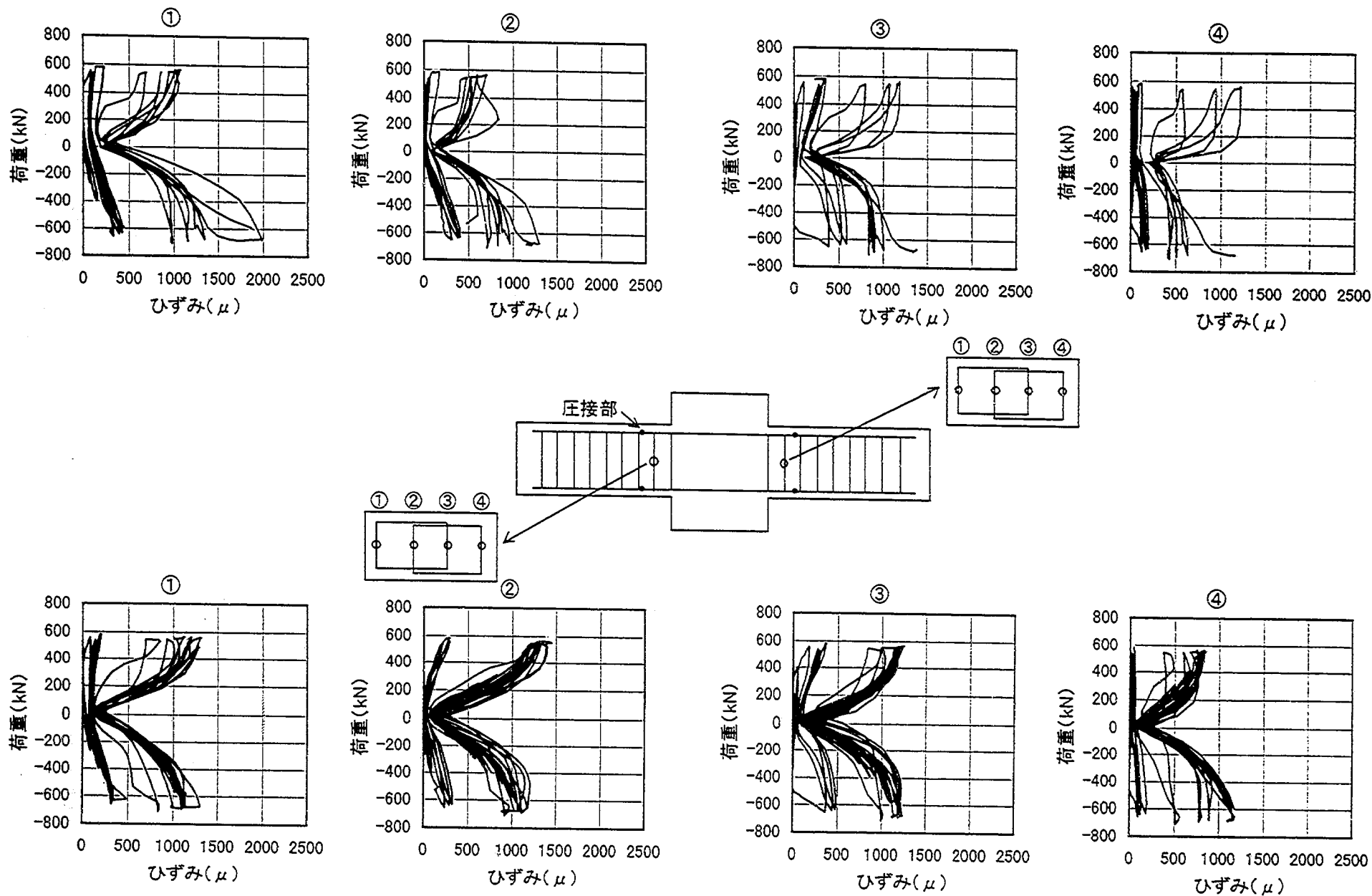


図-4.7 供試体 B : 帯鉄筋の荷重-ひずみ関係

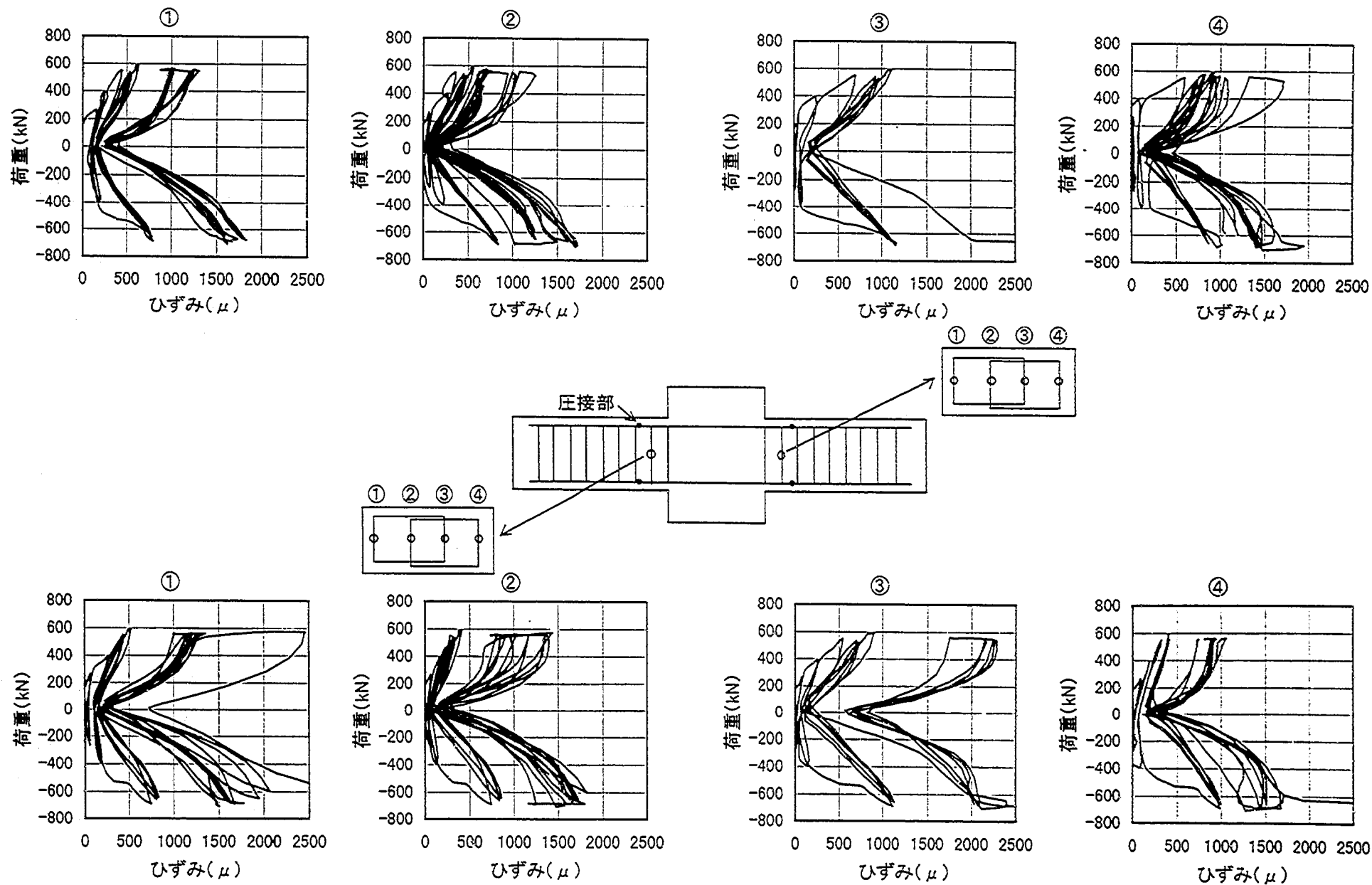


図-4.8 供試体 C : 帯鉄筋の荷重-ひずみ関係

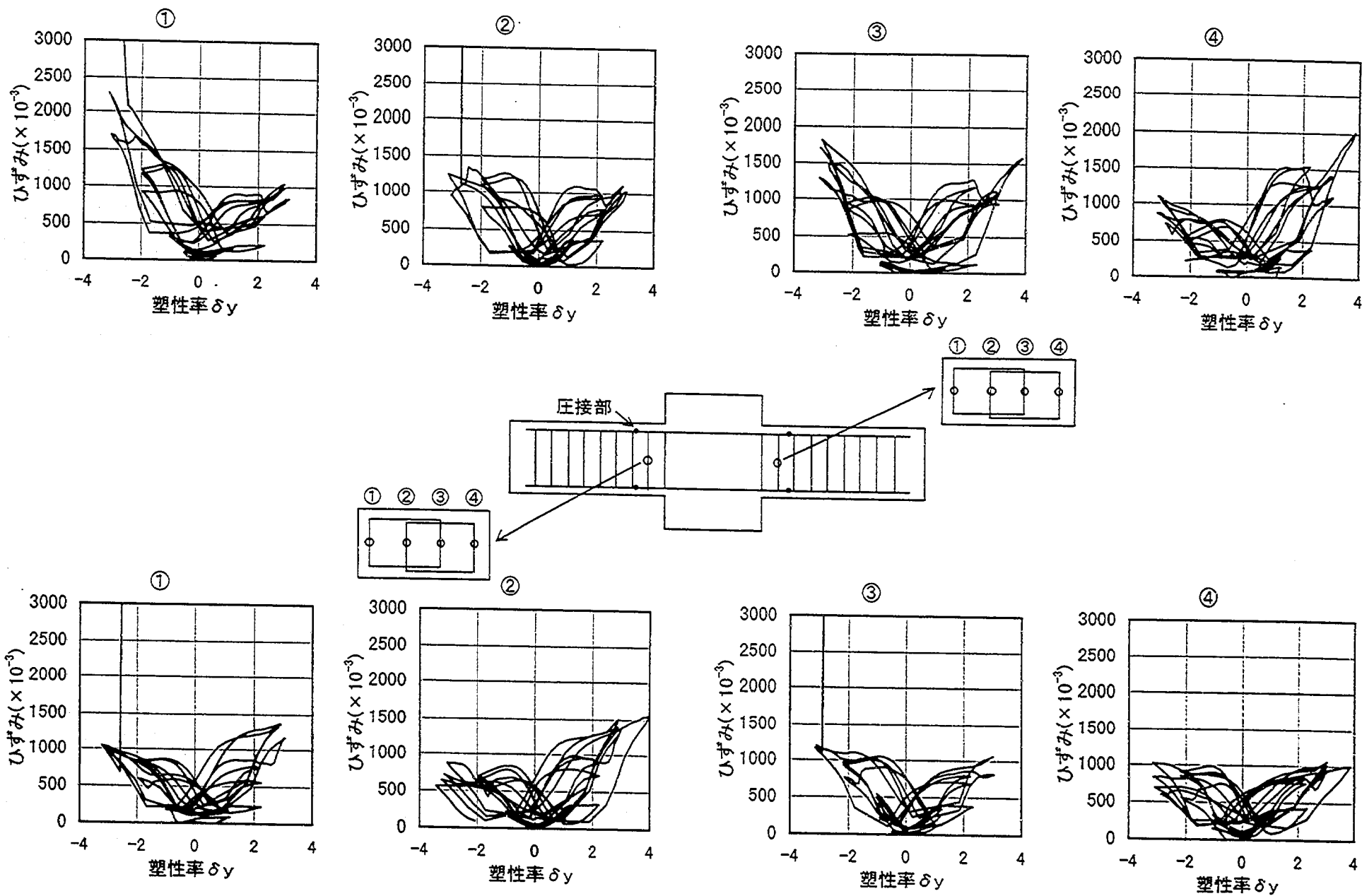


図-4.9 供試体 A : 塑性率-帯鉄筋ひずみ関係

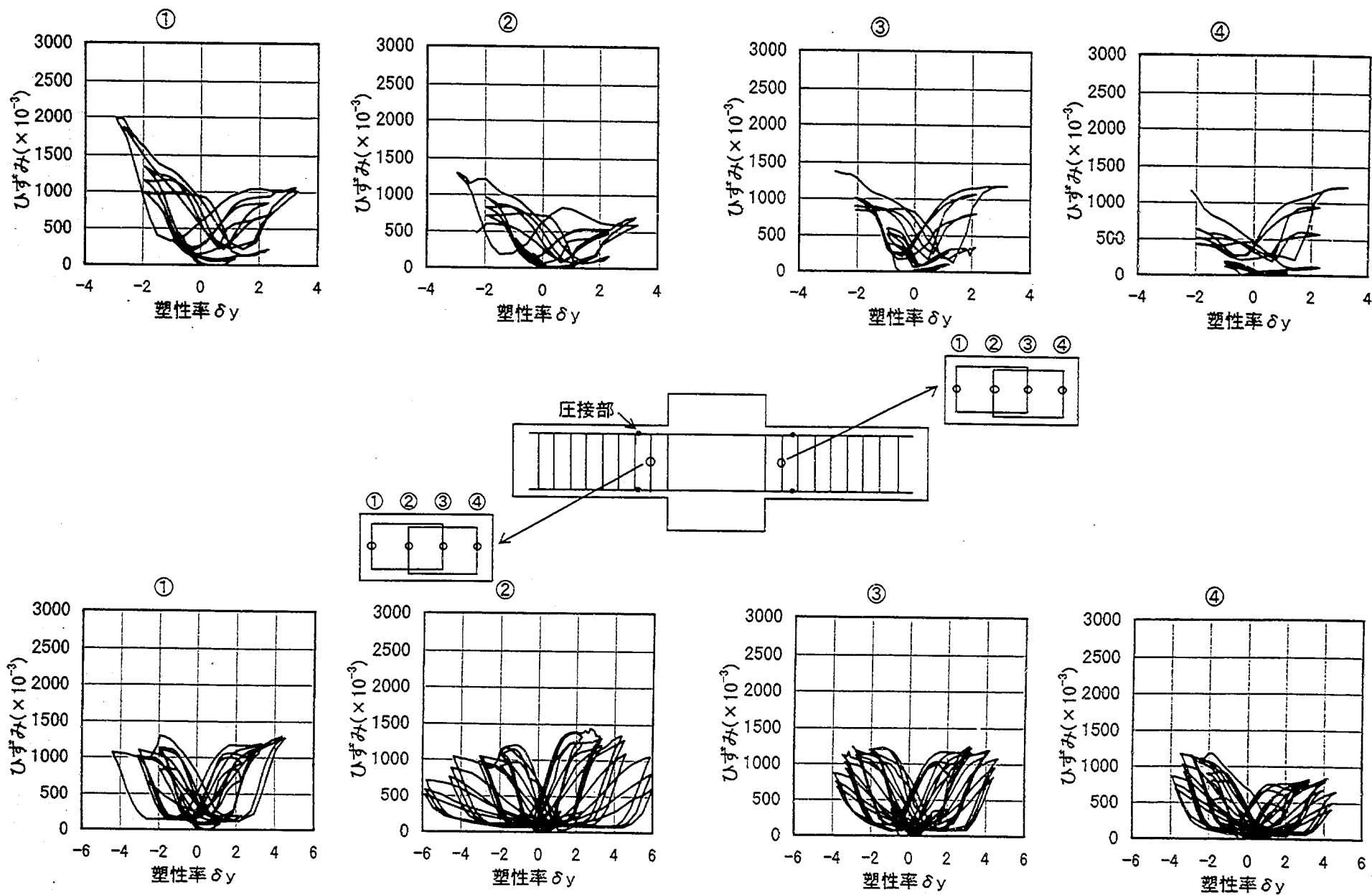


図-4.10 供試体 B : 塑性率-帯鉄筋ひずみ関係

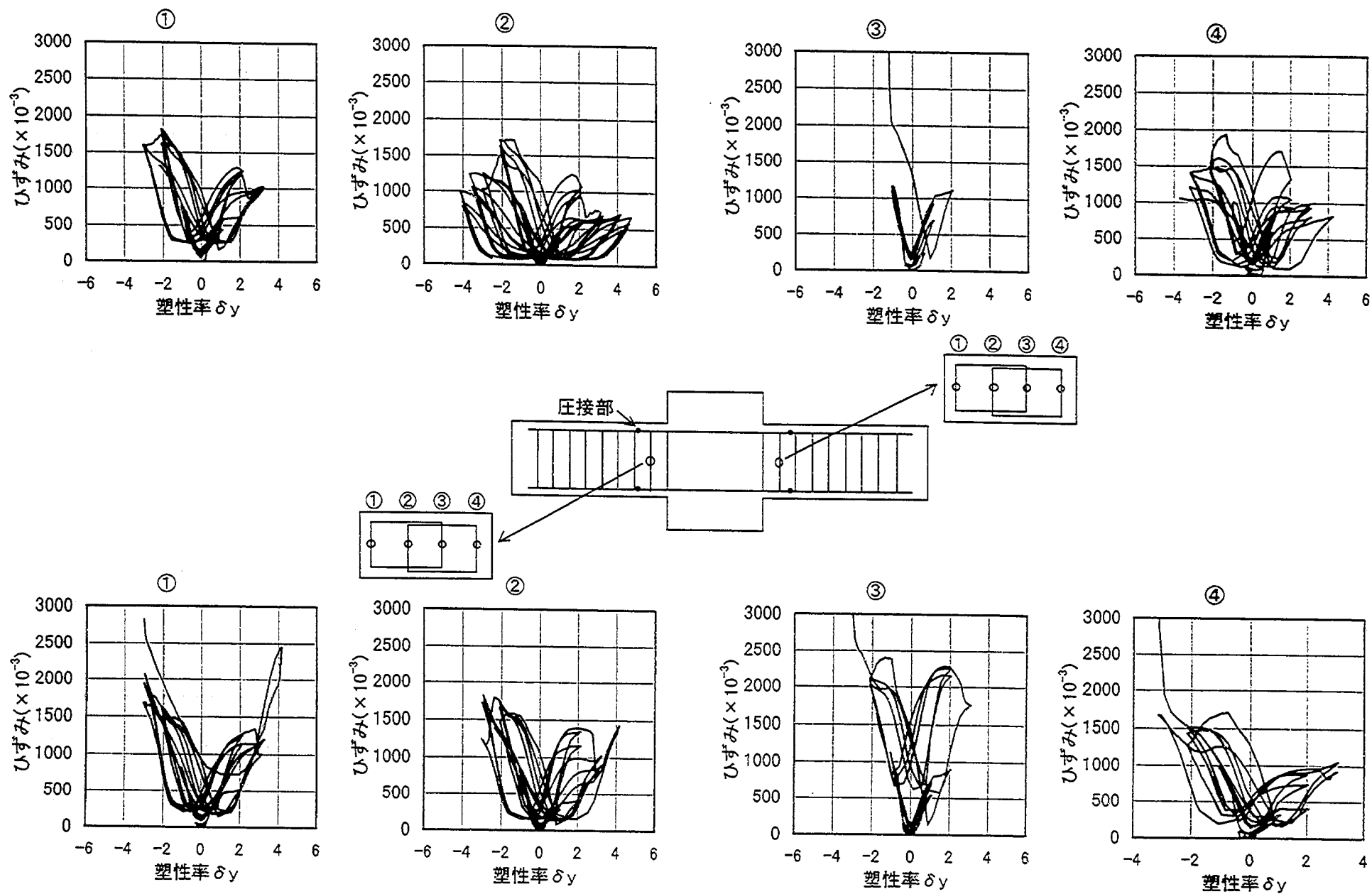


図-4.11 供試体 C : 塑性率-帯鉄筋ひずみ関係

#### 4. 4 供試体 C のスリット部近傍の挙動

##### 4. 4. 1 スリット部段差量

基部から 280mm の圧接位置に設けたスリットの両側の段差量（以下，単に段差量，図－3. 7(a)および図－3. 10 の D12C～D15C 参照）と塑性率の関係を図－4. 12 に示す。

段差量はマイナス方向に「く」の字を描いており，基部側に対して遠い側が次第にはらみ出していることを示している。3  $\delta y$  以上になると段差量も急激に大きくなっている。

ただし，右上 (D13C) は 6  $\delta y$  (制御上は 5  $\delta y$ ) になると段差量が減少している。これは基部近くも含めた主鉄筋全体がはらみ出してきているためと考えられる。

##### 4. 4. 2 主鉄筋に沿ったひび割れの開き

図－4. 13 には塑性率とスリットから主鉄筋に沿ったひび割れの開き（図－3. 7(a)および図－3. 10 の C1～C4 の A, B 参照）の関係を示した。プラス側に「く」の字を描いており，開きが大きくなっていることを示している。この場合も 3  $\delta y$  に達すると急激に大きくなっている。

##### 4. 4. 3 圧接部付近の帯鉄筋ひずみ

図－4. 14 には塑性率と圧接近傍の帯鉄筋の隅角部近くのひずみの関係を示した。この場合は，2  $\delta y$  に達すると降伏しており，上述したその他の挙動よりも早く顕著に現れている。主鉄筋の降伏以後，早い時期に内部には割裂ひび割れを生じている可能性があるものと考えられる。

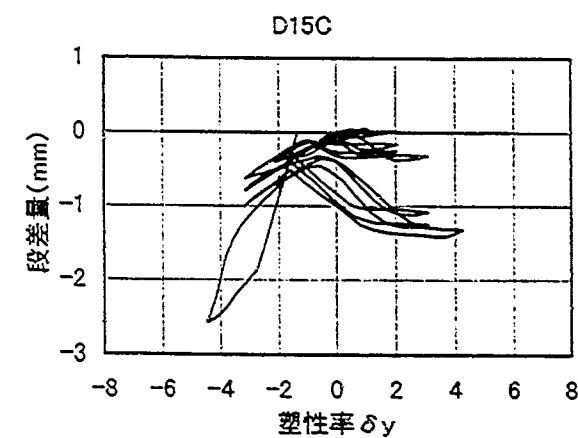
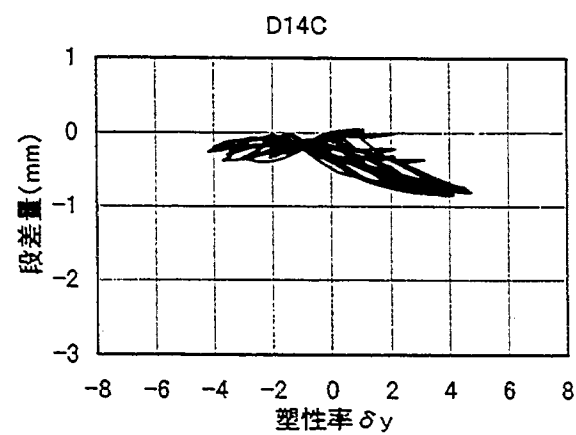
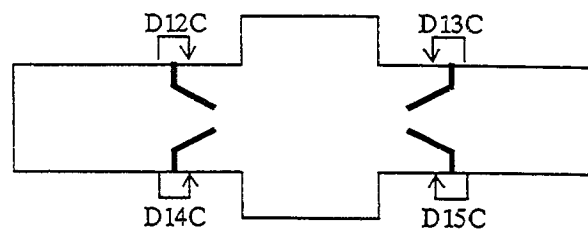
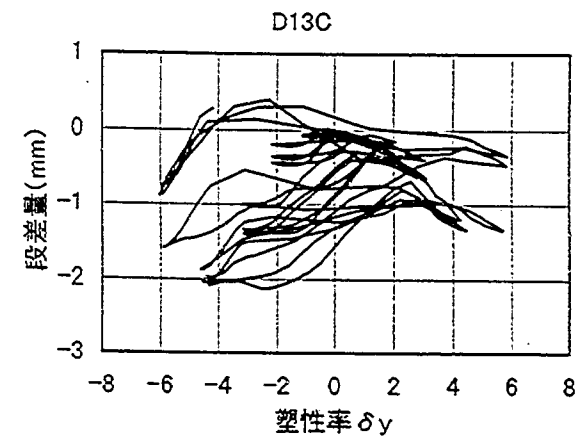
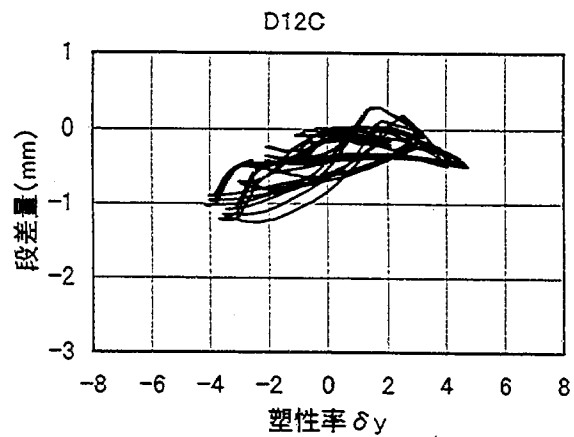


図-4.12 塑性率と段差量の関係

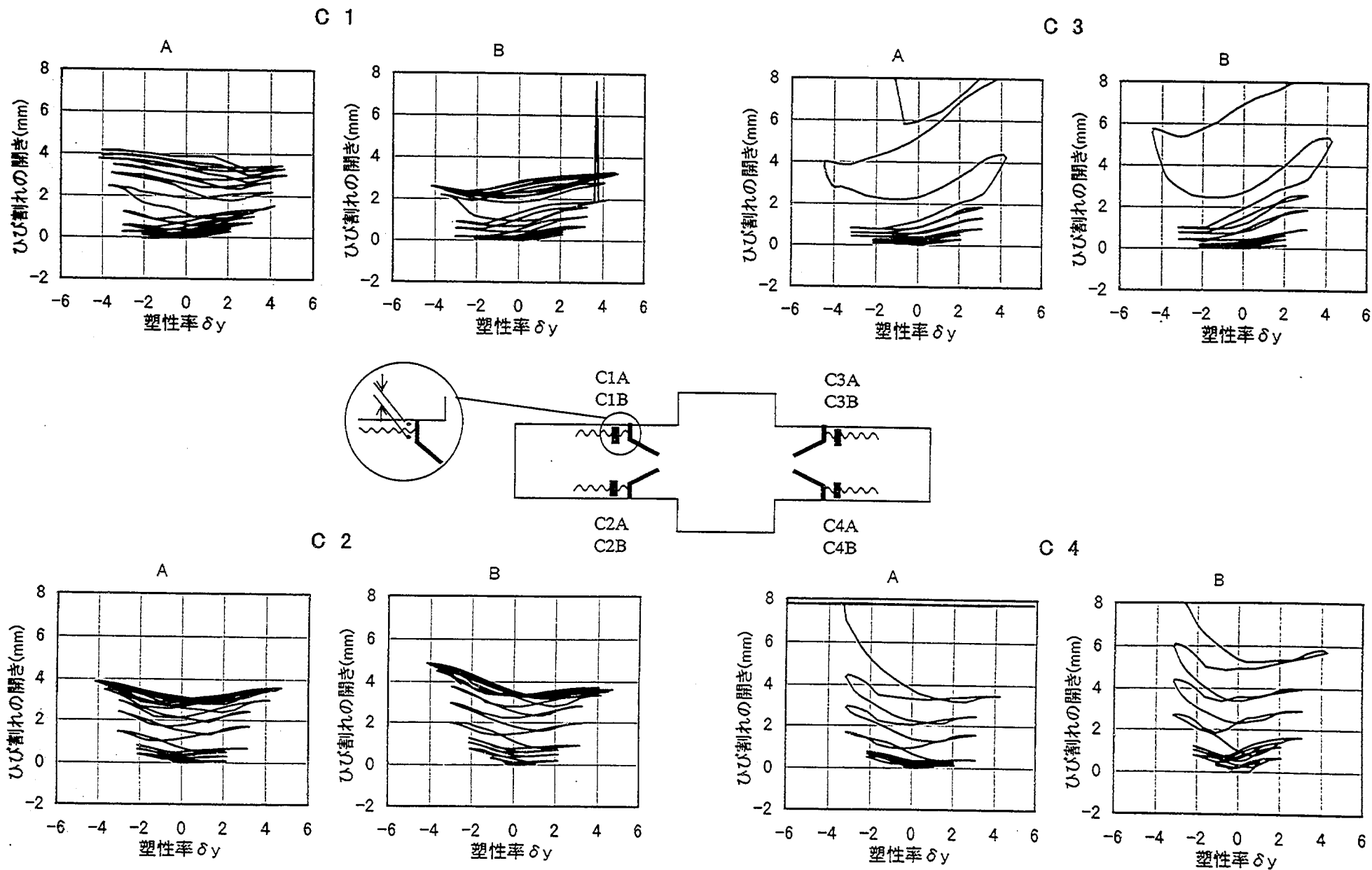


図-4.13 塑性率と主鉄筋に沿ったひび割れの開きの関係

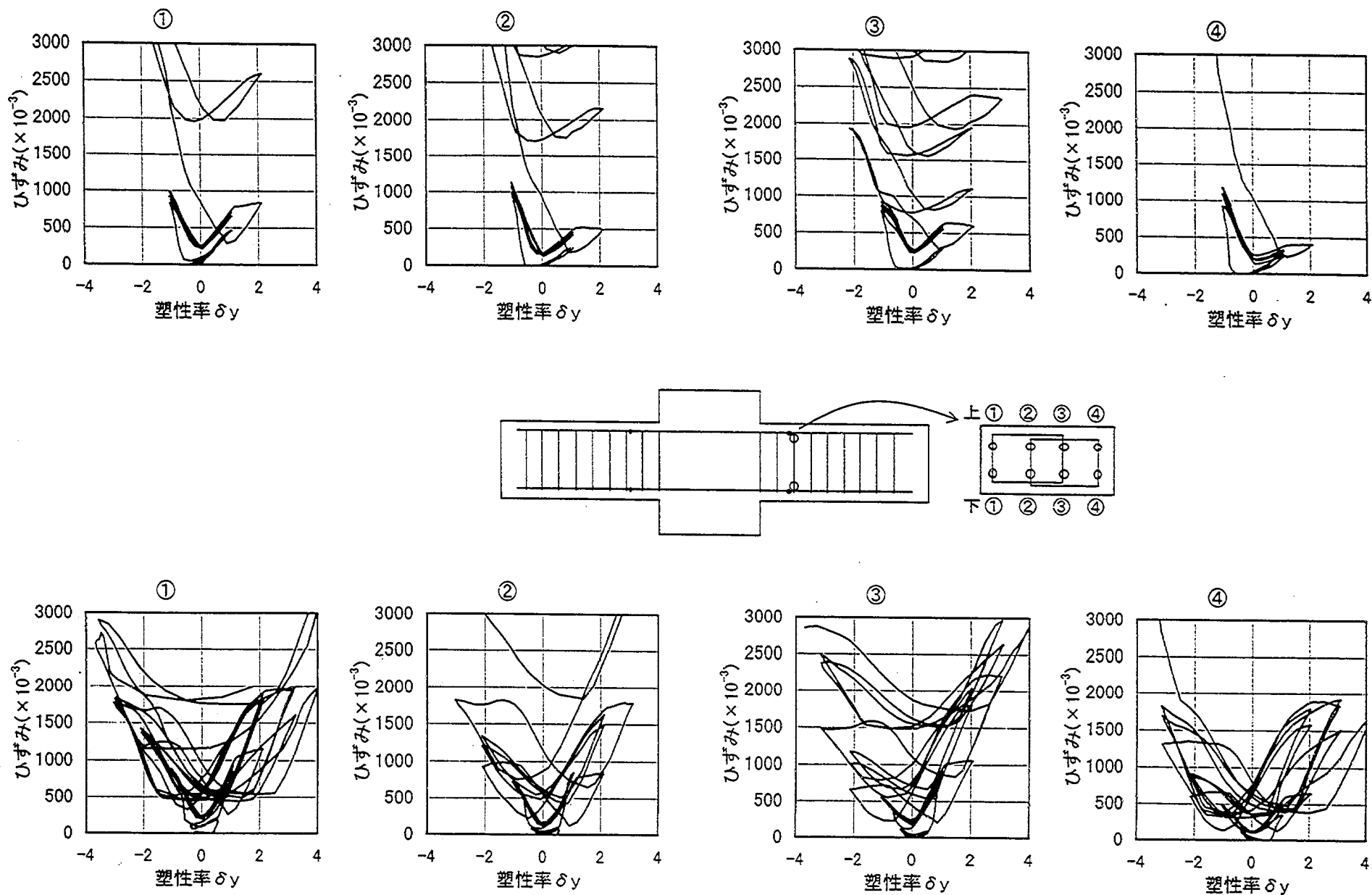


図-4.14 供試体 C : 帯鉄筋の荷重-ひずみ関係 (その1)

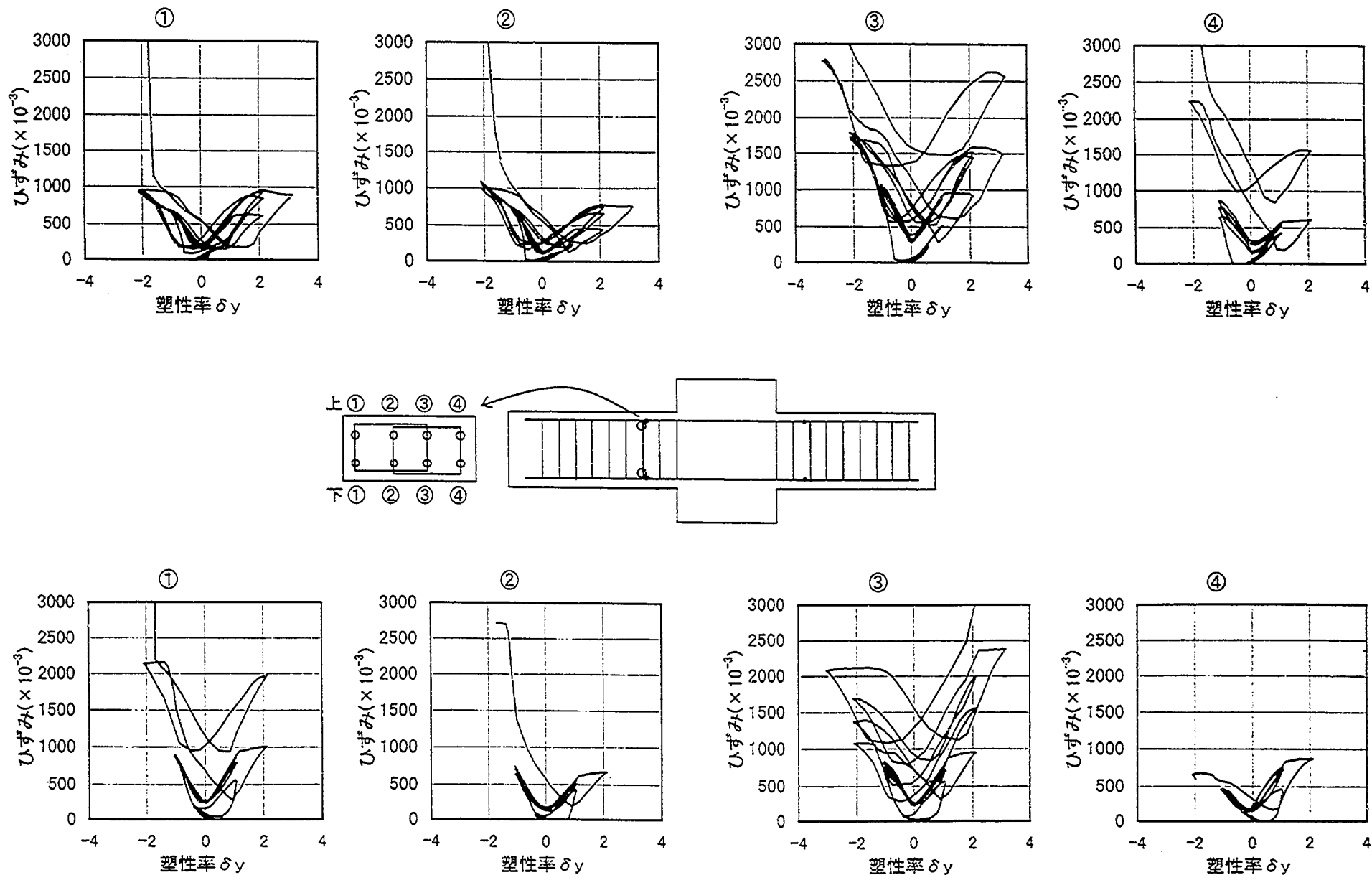


図-4.14 供試体 C : 帯鉄筋の荷重-ひずみ関係 (その2)

#### 4. 5 主鉄筋の曲率

基部から 280mm 位置の圧接部とその近傍の鉄筋の曲率を図-4.15~4.17 に示す。塑性率がプラス側（はりが上に引き上げられた場合）のとき、はり上部の鉄筋の曲率もプラスになっている。これは、主鉄筋が上側に凸に変形（はらみ出）していることを示している。塑性率がマイナス側では、下部の鉄筋の曲率がプラスのとき、主鉄筋が下側に凸に変形していることを示している。

供試体 A は、圧接のない供試体であり、鉄筋母材の曲率を示している。この場合、 $1\delta_y$  ですでに  $2000 \times 10^{-3}$  にも達している。それ以上はゲージの断線などにより計測不能となった。

供試体 B, C の圧接部は、B の右下 (ML3AJ) のみ  $1000 \times 10^{-3}$  以上になっているが、それ以外は  $600 \sim 800 \times 10^{-3}$  が上限となっている。それに対し、圧接近傍の母材部分は、供試体 A とほぼ同等であり、大きな曲率を生じている。

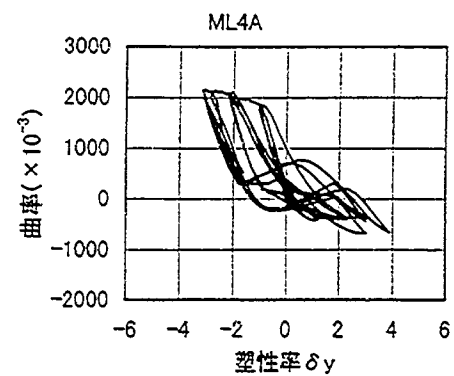
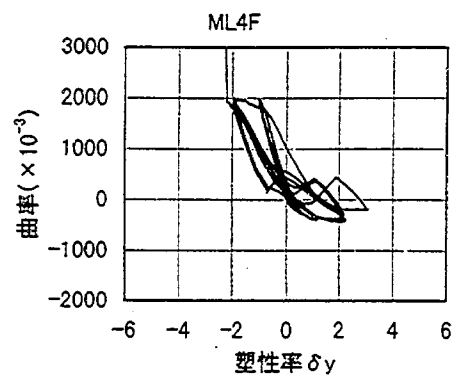
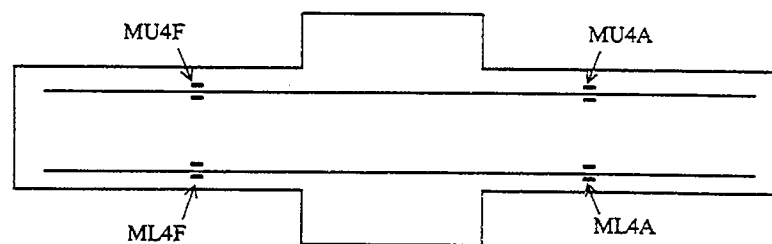
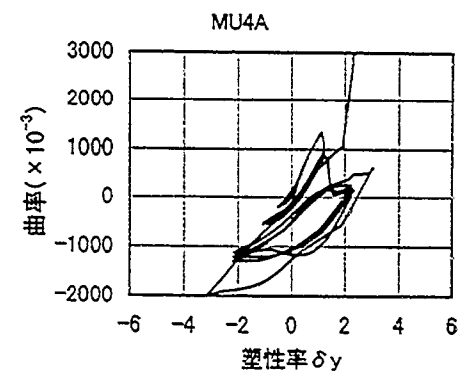
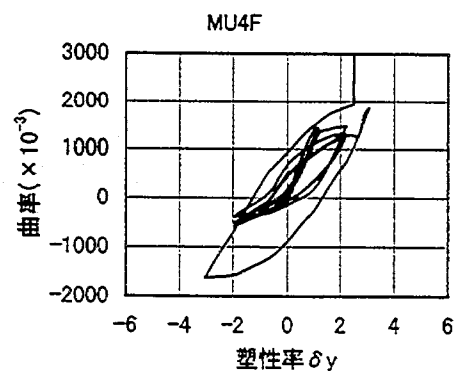


図-4.15 供試体 A : 塑性率鉄筋の曲率関係

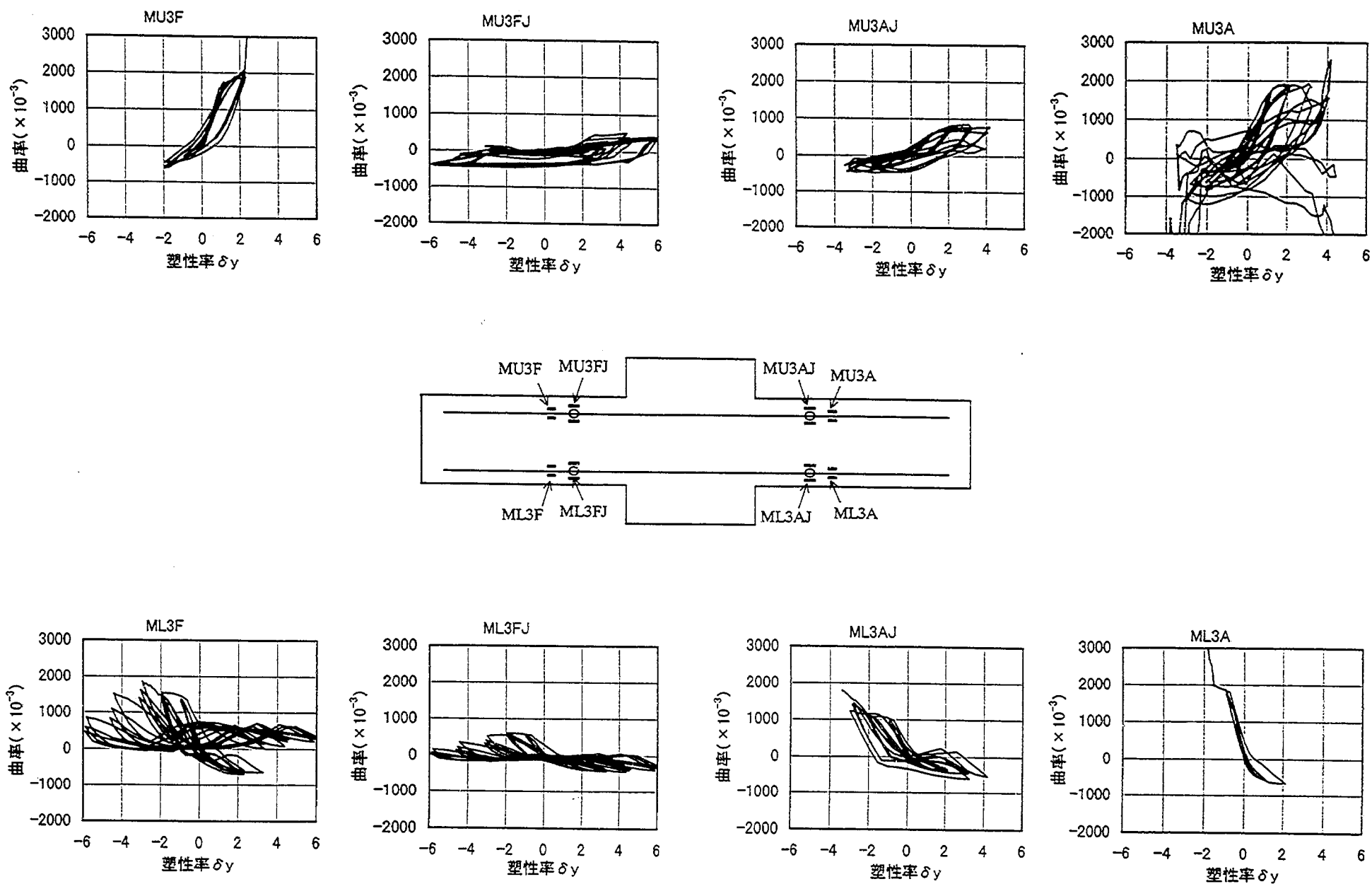


図-4.16 供試体 B：塑性率鉄筋の曲率関係

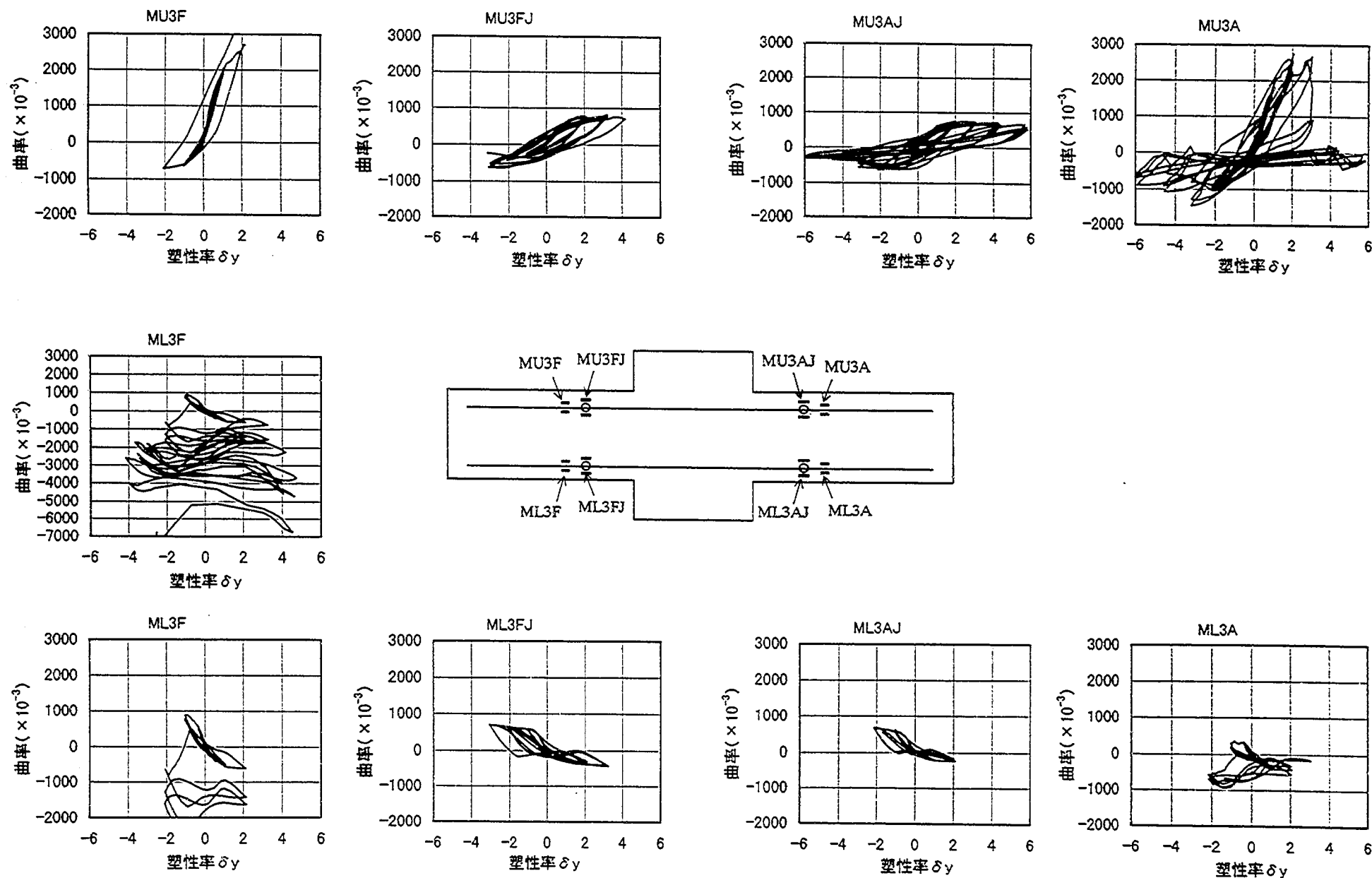


図-4.17 供試体 C : 塑性率鉄筋の曲率関係

## 5. まとめ

橋脚などのように地震により正負の繰返しを受けると、主鉄筋には引張圧縮の繰返しとともに正負のせん断力も受けることになる。とくに曲げせん断ひび割れ位置に継手があり、このような作用力を受けた場合でも、継手は耐えることができるのか確認するために、ガス圧接継手を有するはり部材の正負繰返し載荷実験を行った。

その結果、ガス圧接部は膨らみがあるので断面積が大きく、剛性が高いので、変形は小さい。それに対し、圧接部近傍の鉄筋母材部分の変形が大きくなる。このようなことから、圧接を規定どおり施工し、健全であれば、大きなひずみの引張・圧縮の繰返しと同時にせん断力が作用するような厳しい応力状態にあっても、圧接部が破断することはないものと考えられる。

なお、現在道路橋示方書では、橋脚の設計において塑性ヒンジが生じると想定される区間には鉄筋継手を設ける事を禁じている。今回の試験結果からは、強度的には、この制限規定がきびしすぎる結果となったが、継手部が塑性ヒンジの挙動に及ぼす影響など未知の部分も多いため、ヒンジ区間には継手を設けないという原則は残すべきであると考えられる。