

プレート定着型機械式定着鉄筋

Head-bar

技術資料

2022年12月

ブイ・エス・エル・ジャパン株式会社

目 次

| | ページ |
|--------------------------------------|-----|
| 1. 審査証明対象技術 | 1 |
| 1.1 技術の概要 | 1 |
| 1.2 種類・諸元 | 2 |
| 1.2.1 「Head-bar」の種類 | 2 |
| 1.2.2 形状と寸法 | 3 |
| 1.2.3 使用範囲 | 6 |
| 1.2.4 「Head-bar」の配置 | 7 |
| 2. 開発の趣旨と目標 | 9 |
| 2.1 開発の趣旨 | 9 |
| 2.2 開発の目標 | 9 |
| 2.2.1 力学的特性 | 9 |
| 2.2.2 施工性 | 9 |
| 3. 性能確認方法 | 10 |
| 3.1 力学的特性 | 10 |
| 3.2 施工性 | 10 |
| 4. 審査証明の結果 | 12 |
| 4.1 力学的特性 | 12 |
| 4.1.1 定着具の強度 | 12 |
| 4.1.2 せん断補強鉄筋のせん断補強性能 | 24 |
| 4.1.3 せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋の座屈抑止性能および部材の靱性 | 41 |
| 4.1.4 軸方向鉄筋の定着性能 | 64 |
| 4.1.5 せん断補強鉄筋の疲労性能 | 70 |
| 4.2 施工性 | 81 |
| 4.2.1 施工の合理化 | 81 |

1. 審査証明対象技術

1.1 技術の概要

「Head-bar」（ヘッドバー）は、せん断補強鉄筋、中間帯鉄筋および軸方向鉄筋などとして用いるために、標準フックの代替として、鉄筋に取り付けたプレートにより定着を確保する構造の鉄筋である。プレートの取り付け方法は、鉄筋とプレートを JIS Z 3607 に規定された摩擦圧接法により直接接合するものである。なお、摩擦圧接法とは、鉄筋とプレートを高速で回転させて押しつけ、その時に発生する摩擦熱により両者を接合する方法である。

定着プレートは、主鉄筋や帯鉄筋などの配筋状況や施工性により、**図 II-1.1** に示すように鉄筋の両端あるいは片側に取り付けて用い、その組合せは自由である。プレートを片側にのみ取り付ける場合には、他端を曲げフックに鉄筋加工して用いる。**図 II-1.2** に従来の直角フックおよび半円形フックと比較して、「Head-bar」の基本形（一端プレート他端フック型と両端プレート型）および組立て後のイメージを示す。

「Head-bar」の特徴は、施工と構造の双方に効果があることである。従来の鋭角曲げフックを用いたせん断補強鉄筋または中間帯鉄筋は、予め両端に曲げ加工を施すと施工が困難になるが、「Head-bar」は主鉄筋や帯鉄筋の間に挿入するだけで配筋が可能のため、施工が極めて容易になる。また、構造性能については、定着部にプレートを用いるために、半円形フック（余長 8ϕ ）の場合に比べて、引抜き荷重に対する定着部の変位を小さくすることができる。更に、プレートによるコンクリートの拘束効果により、部材の靱性を向上させる効果がある。

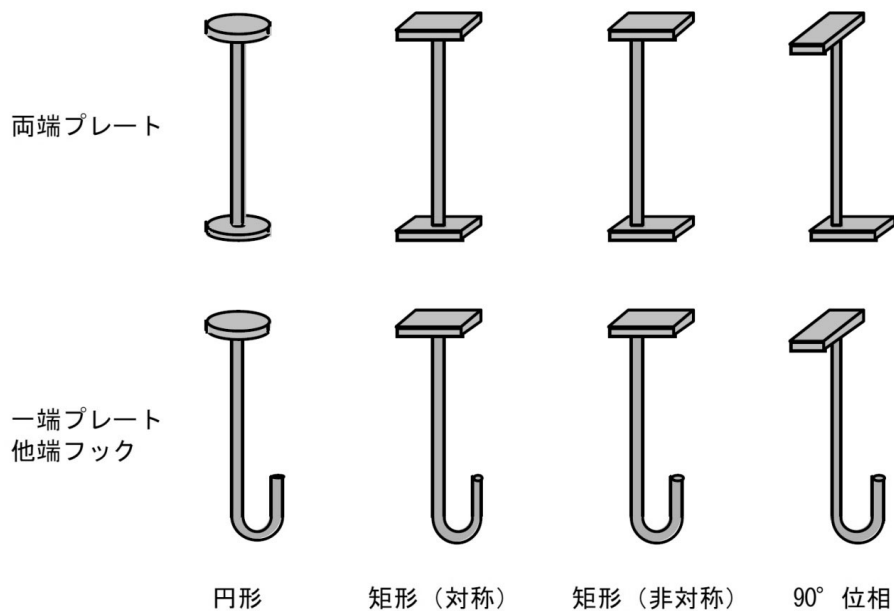
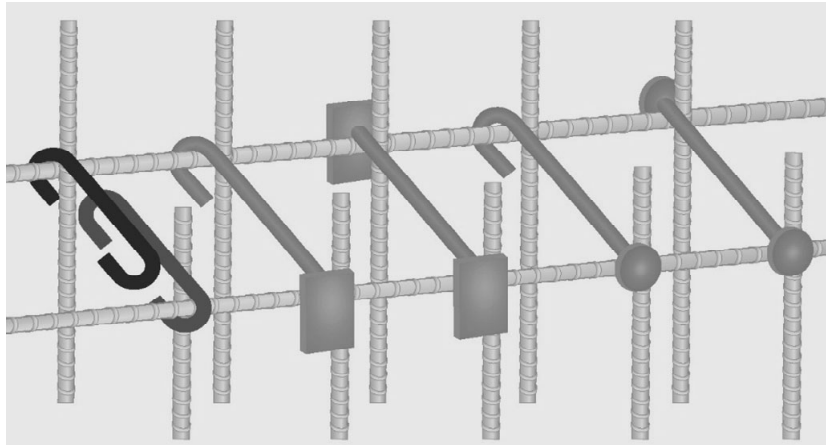


図 II-1.1 「Head-bar」の種類



両端フック (重ね継手) 一端矩形プレート型 両端矩形プレート型 一端円形プレート型 両端円形プレート型

図Ⅱ-1.2 両端フックのせん断補強鉄筋と「Head-bar」

1.2 種類・諸元

1.2.1 「Head-bar」の種類

- (1) 「Head-bar」の基本形は一端プレート付きと両端プレート付きの2種類がある。
- (2) プレートの平面形状は円形と矩形のものがある。
- (3) 矩形プレートの場合、接合位置がプレートの中心にあるもの(対称型)とそうでないもの(非対称)がある。
- (4) 一端矩形プレート他端フックのもの、両端矩形プレートのは、鉄筋軸を回転軸として考えた場合、プレートフックまたはプレートとプレートの相対位相角が自由である。
- (5) 使用材料

鉄筋の種類：SD295、SD345、SD390、SD490 (JIS G 3112 に適合する異形鉄筋；ネジ節を含む)

プレートの材質：SM490 (JIS G 3106 に適合する鋼板；矩形プレート)

S35C、S45C (JIS G 4051 に適合する鋼材；主に円形プレート)

コンクリート：設計基準強度 21N/mm² 以上

使用箇所に応じた鉄筋とプレートの適用範囲を表Ⅱ-1.1~2 に示す。

表Ⅱ-1.1 「Head-bar」の適用範囲(せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋)

| 呼び名 | D13 | D16 | D19 | D22 | D25 | D29 | D32 | D35 | D38 | D41 | D51 | プレート種類の記号 |
|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|
| 鉄筋の種類 | SD295 | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | SM490, S35C, S45C |
| | SD345 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | SM490, S35C, S45C |
| | SD390 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | SM490, S45C |
| | SD490 | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | SM490, S45C |

○：適用可、-：適用不可、疲労部材への適用はSD345のD13~D19に限る

表Ⅱ-1.2 「Head-bar」の適用範囲(軸方向鉄筋)

| 呼び名 | D13 | D16 | D19 | D22 | D25 | D29 | D32 | D35 | D38 | D41 | D51 | プレート種類の記号 |
|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| 鉄筋の種類 | SD295 | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | S35C, S45C |
| | SD345 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | S35C, S45C |
| | SD390 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | S45C |
| | SD490 | - | - | - | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | S45C |

○：適用可、-：適用不可

1.2.2 形状と寸法

「Head-bar」に使用されるプレートの形状寸法は、プレートの材質と共に、鉄筋の種類、呼び名、および適用種別に応じて決めることができる。

(1) 「Head-bar」をせん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に適用した場合

「Head-bar」のプレートの最小厚さと最小短辺長を表Ⅱ-1.3に示す。プレート寸法（板厚，矩形プレート短辺長および円形プレート直径）は、以下の手順で設定した。

まず、FEMによる数値解析（付属資料-3に示す方法）により所定の性能を満足する最小値を設定した後、実験により数値解析結果と同等の性能が得られることを確認した。ここでいう所定の性能とは以下の2点である。

- 1) プレートおよびプレート背面のコンクリートは、せん断補強鉄筋の降伏強度まで健全であること
- 2) 「Head-bar」定着部の引抜き変位が、半円形フック付せん断補強鉄筋のそれ以下であること

次に、上記条件を満たす最小値に対し、入手の容易な市成品の規格寸法、圧接品質の安定性、経済性、加工性の観点も考慮して下表の最小寸法を設定した。ここで、SD390・D51鉄筋およびSD490鉄筋を用いた場合には鉄筋母材破断時の引張りおよび引張応力が大きくなり、プレートの変形が圧接性能に影響を及ぼす可能性があるため、これらの鉄筋を用いる場合にはSM490プレートの圧接性能をS45Cプレートと同水準とする観点からSM490のプレート厚をS45Cよりも大きく設定している。なお、これらの組み合わせによる引張試験を行い、その性能を確認した。

表Ⅱ-1.3 せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に適用した場合の「Head-bar」のプレート最小寸法（単位：mm）

| 呼び名 | D13 | D16 | D19 | D22 | D25 | D29 | D32 | D35 | D38 | D41 | D51 | プレート種類の記号(*4) | |
|-------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|-----------------------|
| プレート最小短辺長(mm)(*1) | 40 | 40 | 45 | 50 | 60 | 65 | 70 | 80 | 85 | 95 | 120 | | |
| プレート最小長辺長(mm) | (*2) | | | | | | | | | | | | |
| プレート最小厚さ(mm) | SD295 | — | 9 | 12 | 16 | 16 | 19 | 19 | 22 | 25 | 25 | 32 | SM490, S35C, S45C(*3) |
| | SD345 | 9 | 9 | 12 | 16 | 16 | 19 | 19 | 22 | 25 | 25 | 32 | SM490, S35C, S45C(*3) |
| | SD390 | 12 | 12 | 16 | 19 | 19 | 22 | 22 | 25 | 32 | 32 | 40 | SM490 |
| | SD490 | — | 16 | 19 | 22 | 25 | 28 | 32 | 36 | 40 | 40 | 50 | SM490 |
| | | - | - | - | 20 | 24 | 26 | 28 | 32 | 33 | 42 | S45C(*3) | |

(*1) $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 未満の場合であり、 $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 以上の場合はD13~D41については5mm、D51については10mm減じることができる。

(*2) 掛けられる鉄筋の直径による。ただし、(*1)による短辺長を減じる前の最小短辺長以上でなければならない。

(*3) 板材形状により、矩形プレートとする場合もある。

(*4) SD390, SD490の上下段のプレート最小厚さは、プレート材質欄の上下段の材質に対応する。

せん断補強鉄筋や中間帯鉄筋の定着部は、定着機能の他に主鉄筋の座屈抑止や帯鉄筋を拘束する機能を有している。したがって、プレート定着部が主鉄筋または帯鉄筋を拘束できるように、プレートは鉄筋に掛かるのに十分な大きさを有していなければならない。一般には、バリ量、施工誤差などを差し引いた上で掛けられる鉄筋の直径（節を含む）の1/2以上が掛かれればよい。バリ量（鉄筋軸直角方向のバリの高さ）は、圧接条件、呼び名、鉄筋種類およびプレートの材質により異なるが、通常5~7mm程度であり、10mmを考慮しておけばよい。施工誤差が不明の場合は、通常、掛けられる鉄筋の直径（節を含む）の1/4を加えておけばよい。また、コンクリート強度 (f_{ck}) が 30N/mm^2 以上の場合については、機械式鉄筋定着工法設計指針

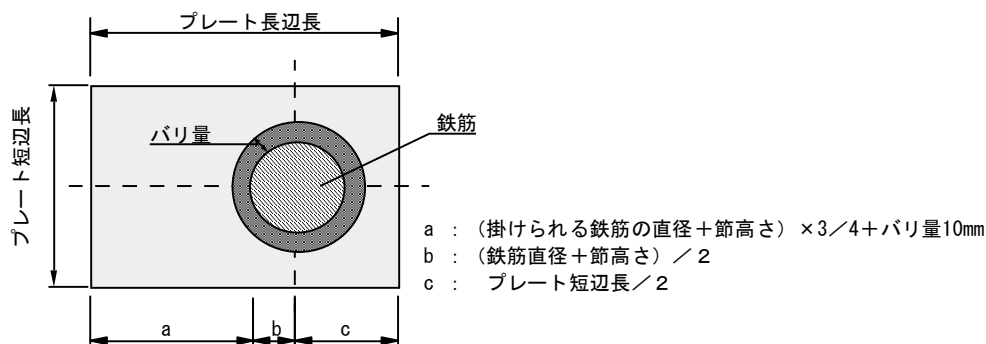
(2010年改定) ((財)日本建築総合試験所)等を参考にし、プレート最小短辺長を設定した。

したがって、プレートの最小長辺長は以下のように算出される。ただし、一般的には非対称型のプレートを使用する。

対称型の場合 最小長辺長= $2(a+b)$

非対称型の場合 最小長辺長= $a+b+c$

また、いずれの場合も表Ⅱ-1.3に示す短辺長を減じる前の最小短辺長以上でなければならない。



図Ⅱ-1.3 プレート寸法と呼び名の関係

(2) 「Head-bar」を重ね継手部等せん断補強鉄筋および中間帯鉄筋として適用した場合

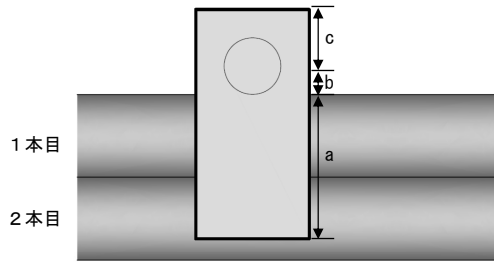
鉄筋の重ね継手部や機械式継手部に Head-bar をかける場合は、横拘束効果を適切に発揮するためには、上記の矩形プレートではプレート長辺長が不足する場合がある。その場合、重ね継手部には片方の鉄筋の公称直径に加え他方の鉄筋の公称直径の 4 分の 3 以上にプレートがかかるように長辺を設定する。実際に適用する際には表Ⅱ-1.4に示すプレートサイズを用いることを原則とする。

表Ⅱ-1.4 横拘束効果を期待して重ね継手部に適用した場合の「Head-bar」のプレート寸法 (単位: mm)

| 呼び名 | | D13 | D16 | D19 | D22 | D25 | D29 | D32 | D35 | D38 | D41 | D51 |
|-----------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 厚さ(mm) | 9 | 9 | 12 | 16 | 16 | 19 | 19 | 22 | 25 | 25 | 32 |
| | 短辺長(mm) | 40 | 40 | 45 | 50 | 60 | 65 | 70 | 80 | 85 | 95 | 120 |
| | 長辺長(mm) | 70 | 70 | 80 | 80 | 90 | 90 | 90 | - | - | - | - |
| 掛けられる側の部位 | D13ラップ部 | 70 | 70 | 80 | 80 | 90 | 90 | 90 | 95 | 100 | 105 | 125 |
| | D16ラップ部 | 70 | 70 | 80 | 80 | 90 | 90 | 95 | 100 | 105 | 115 | 130 |
| | D19ラップ部 | 75 | 80 | 80 | 85 | 95 | 100 | 100 | 110 | 115 | 120 | 140 |
| | D22ラップ部 | 80 | 85 | 90 | 90 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 | 145 |
| | D25ラップ部 | 90 | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 150 |
| | D29ラップ部 | 95 | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 140 | 155 |
| | D32ラップ部 | 100 | 105 | 110 | 110 | 120 | 125 | 130 | 135 | 140 | 145 | 165 |
| D35ラップ部 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 135 | 140 | 145 | 150 | 170 | |

(*1)D38~D51 ラップ部及びカブラー部のプレート長辺長はプレート算出式による。

なお、Head-bar の重ね継手部用プレートの長辺長は図Ⅱ-1.4のように、重ね継手部 1 本目の鉄筋径に加え、2 本目の鉄筋直径の 3/4 にプレートがかかるように設定する。



a : (1本目の掛けられる鉄筋の直径+節高さ) + (2本目の掛けられる鉄筋の直径+節高さ) × 3 / 4 + バリ量10mm
 b : (鉄筋直径+節高さ) / 2
 c : プレート短辺長 / 2
 プレート長辺長 = $a + b + c$

図Ⅱ-1.4 重ね継手部用プレート長辺長の算出式

(3) 「Head-bar」をせん断補強効果のみを期待して適用した場合

拘束鉄筋としての効果が要求されていなく、せん断補強鉄筋のみとして適用する場合、円形プレートを有する Head-bar を用いることができる。その際には、梁部材によるせん断破壊実験により、かけられる鉄筋径と Head-bar の鉄筋の呼び名のランク差が 3 以下*である場合を条件とし、表Ⅱ-1.5 に示す Head-bar を用いることができる。

表Ⅱ-1.5 せん断補強鉄筋として適用する円形プレートを有する「Head-bar」のプレート寸法

| 呼び名 | D13 | D16 | D19 | D22 | D25 | D29 | D32 | D35 | D38 | D41 | D51 | プレート種類の記号 | |
|---------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|------------|
| 厚さ(mm) | SD345 | 9 | 9 | 12 | 16 | 16 | 19 | 19 | 22 | 25 | 25 | 32 | S35C, S45C |
| | SD390 | 12 | 12 | 16 | 19 | 19 | 22 | 22 | 25 | 32 | 32 | 38 | S35C, S45C |
| 最小径(mm) | 32 | 40 | 50 | 55 | 60 | 75 | 80 | 90 | 95 | 105 | 130 | | |

*：呼び名のランク差は鉄筋直径の大きさの差異であり、例えば Head-bar が D16 の場合掛けられる鉄筋は D16-D25 以内である必要がある

(4) 「Head-bar」を軸方向鉄筋に適用した場合

「Head-bar」のプレートの最小厚さと必要最小径を表Ⅱ-1.6 に示す。

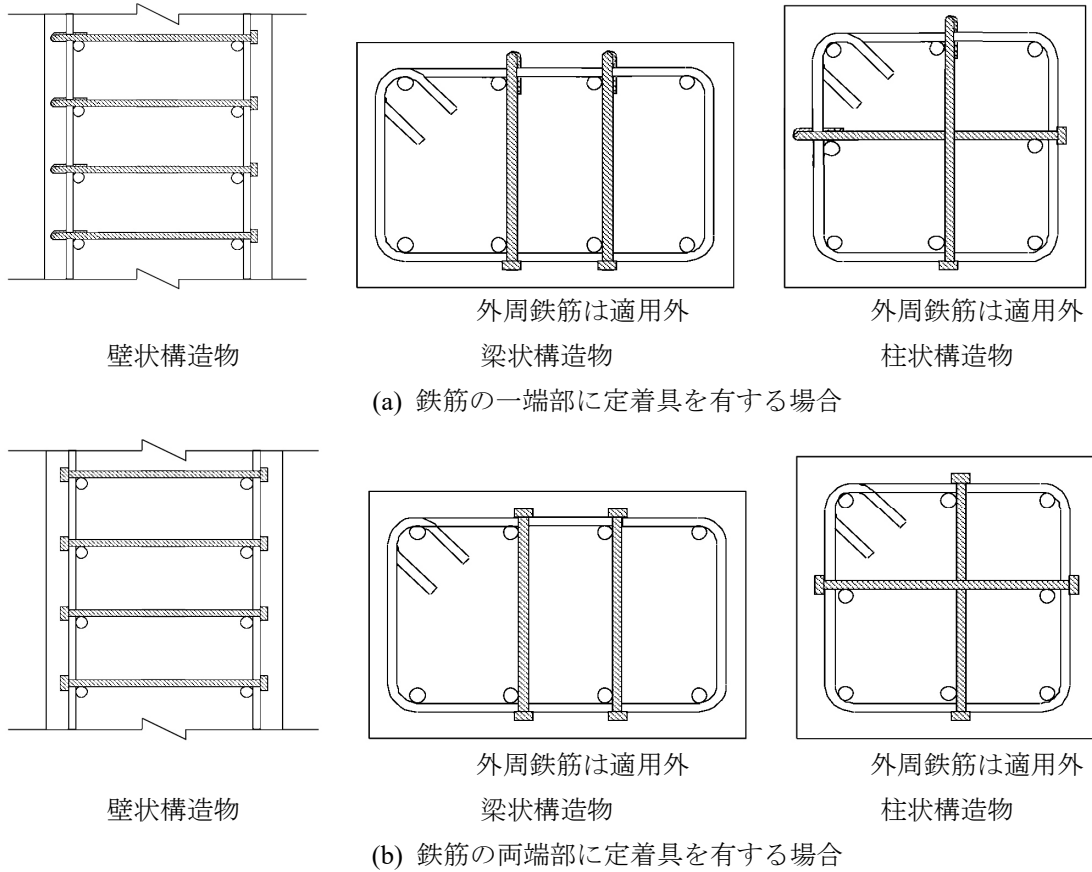
表Ⅱ-1.6 軸方向鉄筋に適用した場合の「Head-bar」のプレート最小寸法 (単位：mm)

| 呼び名 | D13 | D16 | D19 | D22 | D25 | D29 | D32 | D35 | D38 | D41 | D51 | プレート形状と種類の記号 |
|----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| 必要最小径(mm) | 32 | 40 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 85 | 95 | 100 | 130 | 円形 |
| プレート 最小厚さ (mm) | SD295 | — | 9 | 12 | 16 | 16 | 19 | 19 | 22 | 25 | 32 | S35C, S45C |
| | SD345 | 9 | 9 | 12 | 16 | 16 | 19 | 19 | 22 | 25 | 32 | S35C, S45C |
| | SD390 | 12 | 12 | 16 | 19 | 19 | 22 | 22 | 25 | 32 | 38 | S45C |
| | SD490 | — | — | — | — | 20 | 24 | 26 | 28 | 32 | 33 | 42 |

1.2.3 使用範囲

(1) せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に用いる場合

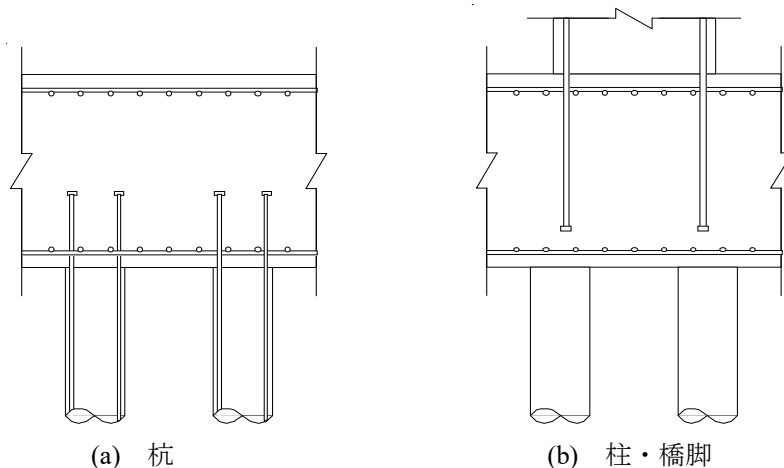
コンクリート構造物のはり、柱のような棒部材、壁、スラブのような面部材に用いるせん断補強鉄筋や中間帯鉄筋の使用例を図Ⅱ-1.5に示す。



図Ⅱ-1.5 せん断補強鉄筋や中間帯鉄筋への適用例

(2) 軸方向鉄筋に用いる場合

杭・柱および壁等の軸方向鉄筋をマッシュなコンクリートに定着する場合に用いる。定着先がマッシュなコンクリートと扱えない場合、および定着部分のかぶりが十分に確保できない場合等は、適用の範囲外である。



図Ⅱ-1.6 軸方向鉄筋への適用例

1.2.4 「Head-bar」の配置

コンクリート構造物のせん断補強鉄筋あるいは中間帯鉄筋に「Head-bar」を用いる場合の配置例を図 II-1.7 に、配置上の留意点を以下に示す。

(1) せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に用いる場合

- 1) 「Head-bar」のプレートおよびフックは、コンクリート表面に最も近い鉄筋に掛けることとする。また、矩形プレートの長辺方向は、掛けられる鉄筋 (A) と直交するようにする。
- 2) 「Head-bar」の配置位置と方向は、プレート定着部を掛ける鉄筋 (A) 方向には、鉄筋 (A) がせん断補強鉄筋またはバリ部分に、原則として接触するまで鉄筋 (A) に近づけ、また直交方向には、鉄筋 (B) とせん断補強鉄筋の間隔が鉄筋 (B) の公称直径以下となるまで近づける。垂直方向には、2 方向の鉄筋から成る平面にできるだけ垂直に配置することを原則とする。
- 3) 2 方向鉄筋の全ての交点に「Head-bar」が配置される場合を除き、「Head-bar」を千鳥に配置することを推奨する。
- 4) 主鉄筋のあきは、「Head-bar」のプレートが通る大きさ以上とする。これが困難な場合、主鉄筋と配力鉄筋の平均間隔を変えずに、ピッチを大小交互とし、「Head-bar」のプレートをピッチ大のところに挿入して配置する。
- 5) 鉄筋のあきは、土木学会コンクリート標準示方書などに準拠することとする。また、コンクリートの締固めに用いる内部振動機を挿入するために、プレート間のあきを適切に確保しなければならない。

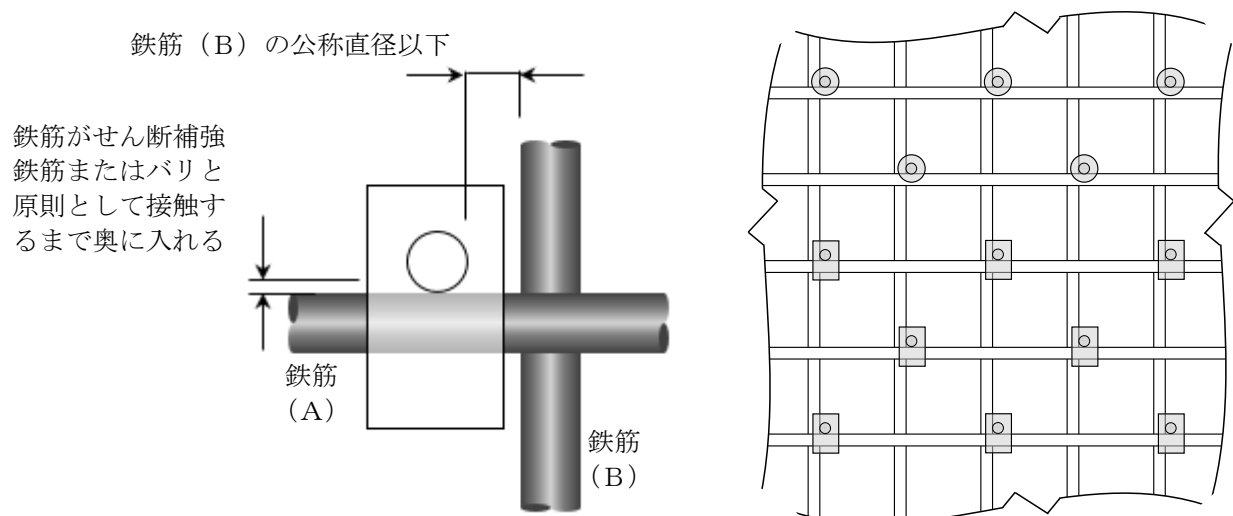
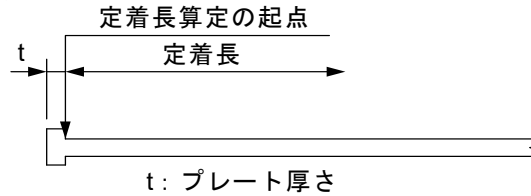


図 II-1.7 「Head-bar」を用いる場合の配置例

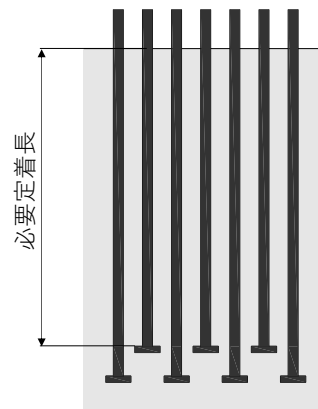
(2) 軸方向鉄筋に用いる場合

- 1) 「Head-bar」を軸方向鉄筋の定着に用いる場合は標準フックに代えて用いることを原則とする。この場合の定着長は、標準フックの場合と同様に基本定着長から鉄筋の呼び名の数値の10倍の長さを減じた長さとする。なお、「Head-bar」の定着長はプレート端部から板厚を差し引いた位置を起点として算定する。



図Ⅱ-1.8 「Head-bar」の定着長

- 2) 鉄筋のあきは、土木学会コンクリート標準示方書などに準拠することとする。また、プレート間のあきも適切に確保しなければならない。同列配置でプレート間のあきを適切に確保できない場合は、図Ⅱ-1.9のようにプレート位置を鉄筋軸方向に1本ずつ交互にずらして配置するなどしてプレート間のあきを確保するのがよい。



図Ⅱ-1.9 プレート間のあきを確保するための配置例

2. 開発の趣旨と目標

2.1 開発の趣旨

高密度配筋に設置するせん断補強鉄筋、中間帯鉄筋および軸方向鉄筋として、施工困難な標準フック定着に代わり、プレートを鉄筋に接合し、施工を容易にし、かつ材料性能および構造性能が半円形フック（余長 8ϕ ）と同等またはそれ以上の定着機能を有する定着構造の鉄筋を提供する。

2.2 開発の目標

以下の特性を有するプレート定着型機械式定着鉄筋「Head-bar」を開発する。

2.2.1 力学的特性

(1) 定着具の強度

- ・プレートと鉄筋の接合部が鉄筋の引張強さまで破断しないこと。

(2) せん断補強鉄筋のせん断補強性能

- ・コンクリート中に埋め込まれた「Head-bar」に引抜き荷重が作用した場合の、定着部の引抜き耐力および拔出し量が半円形フックと同等かまたはそれ以上であること。
- ・「Head-bar」を用いた部材のせん断補強性能は半円形フック鉄筋と同等であること。

(3) せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋による軸方向鉄筋の座屈抑止性能および部材の靱性

- ・せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋としての「Head-bar」定着部の高応力繰返し荷重に対する定着性能は半円形フック鉄筋と同等であること。
- ・「Head-bar」をせん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に用いた場合の軸方向鉄筋の座屈を抑止する効果および部材の靱性が、半円形フック鉄筋と比較して同等であること。

(4) 軸方向鉄筋の定着性能

- ・軸方向鉄筋としての「Head-bar」定着部の高応力繰返し荷重に対する定着性能は半円形フック鉄筋と同等かまたはそれ以上であること。

(5) せん断補強鉄筋の疲労性能

- ・「Head-bar」定着具の疲労性能は半円形フック鉄筋と同等であること。

2.2.2 施工性

(1) 施工の合理化

「Head-bar」を使用することにより施工性が向上し、鉄筋組立て工程の単純化と工期短縮が可能となること。

3. 性能確認方法

3.1 力学的特性

(1) 定着具（プレート接合部）の強度

この目標を達成するために以下の性能を確認する。

1) 「Head-bar」の引張試験および斜め引張試験により、プレートと鉄筋の接合部が鉄筋の引張強さまで破断しないことを確認する。

(2) せん断補強鉄筋のせん断補強性能

この目標を達成するために以下の性能を確認する。

1) せん断補強鉄筋に「Head-bar」を用いた梁部材の交番載荷試験により、プレート定着部の引抜き剛性および引抜き耐力は半円形フックと同等かまたはそれ以上であることを確認する。

2) 引抜き試験により、コンクリート中に埋め込まれた「Head-bar」に引抜き荷重が作用した場合の、定着部の引抜き耐力が半円形フックと同等かまたはそれ以上および拔出し量が半円形フックと同等かまたはそれ以下であることを確認する。

3) せん断補強鉄筋に「Head-bar」を用いた梁部材およびスラブ部材のせん断試験により、「Head-bar」を用いた部材のせん断補強性能は半円形フック鉄筋と同等であることを確認する。

(3) せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋による軸方向鉄筋の座屈抑止性能および部材の靱性

この目標を達成するために以下の性能を確認する。

1) せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋としての「Head-bar」定着部の高応力繰返し引抜き試験により、これに対する定着性能が半円形フック鉄筋と同等かまたはそれ以上であることを確認する。

2) 壁部材および梁部材の交番載荷試験により、「Head-bar」をせん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に用いた場合の軸方向鉄筋の座屈を抑止する効果および部材の靱性が、半円形フック鉄筋と比較して同等であることを確認する。

(4) 軸方向鉄筋の定着性能

この目標を達成するために以下の性能を確認する。

1) 軸方向鉄筋としての「Head-bar」定着部の高応力繰返し引抜き試験により、これに対する定着性能が半円形フック鉄筋と同等であることを確認する。

(5) 定着具の疲労性能

この目標を達成するために以下の性能を確認する。

1) 疲労試験により、「Head-bar」定着具の高サイクル繰返し荷重に対する疲労性能は半円形フック鉄筋と同等であることを確認する。

3.2 施工性

(1) 施工の合理化

施工例（シールド立坑の躯体側壁に適用したケース）により、主鉄筋と配力鉄筋を組立てた後にせん断補強鉄筋を後挿入することが可能となり、鉄筋組立て工程に要する時間が大幅に短縮され、施工性の向上に有効であることを確認する。

表 II-3.1 「Head-bar」性能確認のための試験・確認方法

| | 確認性能 | 試験項目 | 主な試験内容と確認項目 |
|------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 力学的特性 | (1) 定着具（プレート接合部）の強度 | ・標準引張試験 | 試験方法：Head-bar の引張試験 確認項目：定着具の引張強さ |
| | | ・斜め引張試験 | 試験方法：Head-bar の斜め引張試験 確認項目：定着具の引張強さ |
| | (2) せん断補強鉄筋のせん断補強性能 | ・定着部の引抜き試験 | 試験方法：コンクリート中に埋め込んだ Head-bar の引抜き試験 確認項目：定着耐力と拔出し量 |
| | | ・梁部材試験 | 試験方法：せん断補強鉄筋に Head-bar を用いた梁部材の単純/交番載荷試験 確認項目：部材の耐力と変位，破壊性状 |
| | | ・スラブ部材試験 | 試験方法：せん断補強鉄筋に Head-bar を用いたスラブ部材のせん断試験 確認項目：部材のせん断耐力と変位 |
| | (3) せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋による軸方向鉄筋の座屈抑止性能及び部材の靱性 | ・せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋としての高応力繰返し引抜き試験 | 試験方法：コンクリート中に埋め込んだ Head-bar の高応力繰返し引抜き試験 確認項目：拔出し量 |
| | | ・梁部材試験 ・壁部材試験 | 試験方法：せん断補強鉄筋に Head-bar を用いた梁部材の交番載荷試験 確認項目：部材の曲げ耐力と変位，破壊性状 |
| (4) 軸方向鉄筋の定着性能 | ・軸方向鉄筋としての高応力繰返し引抜き試験 | 試験方法：コンクリート中に埋め込んだ Head-bar の高応力繰返し引抜き試験 確認項目：拔出し量 | |
| (5) せん断補強鉄筋の疲労性能 | ・疲労試験 | 試験方法：Head-bar の高サイクル疲労試験 確認項目：応力振幅と繰返し回数 | |
| 施工性 | (1) 施工の合理化 | ・事例調査 | 調査方法：シールド発進立坑に Head-bar を適用した事例 確認項目：従来の半円形フックと比較して、施工工程の減少と組立て時間の短縮 |

4. 審査証明の結果

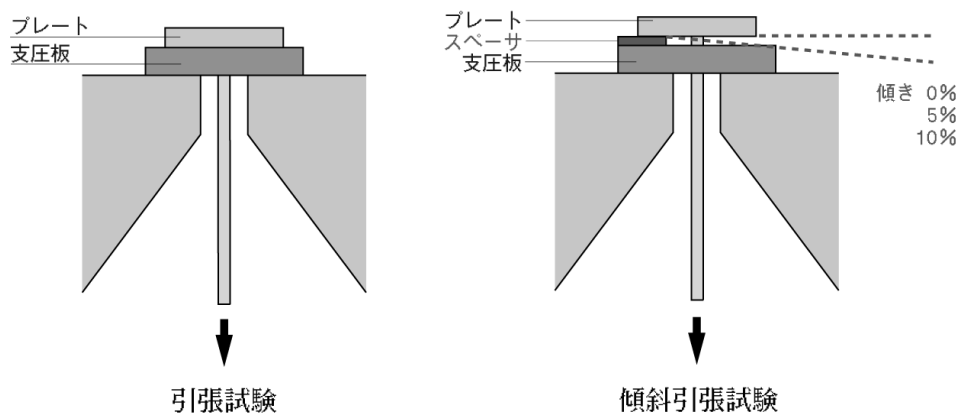
4.1 力学的特性

4.1.1 定着具の強度

プレートと鉄筋の接合部が鉄筋の引張強さまで破断しないことが確認された。

(1) 鉄筋材質 SD345、D16～D51 の引張試験

摩擦圧接部の強度の確認に用いた試験装置の概要を図Ⅱ-4.1に示す。引張試験の結果、JIS Z 3607に規定された圧接条件による摩擦圧接によれば、プレート面に対して垂直に引っ張った場合も斜めに（傾斜が5%と10%）引っ張った場合も、接合部の強度は鉄筋の規格引張強さ以上であることが確認された。引張試験のうち、D16、D22、D32、D35の試験結果を表Ⅱ-4.1と表Ⅱ-4.2に示す。また、試験時の様子および鉄筋母材で破断した状況を図Ⅱ-4.2および図Ⅱ-4.3に示す。



図Ⅱ-4.1 接合部の引張試験装置の概略

表Ⅱ-4.1 摩擦圧接型の接合部の強度試験結果（軸引張）

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|----------------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D16 | SD345 ネジ節鉄筋 | 9 | SM490 | 604 | 601 | 490 |
| | | | | 599 | | |
| | | | | 599 | | |
| D22 | SD345 ネジ節鉄筋 | 16 | SM490 | 597 | 597 | 490 |
| | | | | 597 | | |
| | | | | 597 | | |
| D35 | SD345 ネジ節鉄筋 | 22 | SM490 | 592 | 591 | 490 |
| | | | | 591 | | |
| | | | | 592 | | |

表 II-4.2 摩擦圧接型の接合部の強度試験結果（傾斜引張）

| 鉄筋 | | プレート | | 勾配 (%) | 引張強さ (N/mm ²) | | |
|-----|-------|----------------|-------|-----------|---------------------------|-----|--------|
| 呼び名 | 種類の記号 | サイズ | 種類の記号 | | 試験値 | 平均値 | 規格引張強さ |
| D22 | SD345 | PL16 45×100 | SM490 | 0 | 600 | 601 | 490 |
| | | | | | 602 | | |
| | | | | | 601 | | |
| | | | | 5 | 602 | 603 | |
| | | | | | 604 | | |
| | | | | | 603 | | |
| | | | | 10 | 608 | 605 | |
| | | | | | 603 | | |
| | | | | | 604 | | |
| D32 | SD345 | PL19 65×100 | SM490 | 0 | 613 | 614 | 490 |
| | | | | | 615 | | |
| | | | | | 614 | | |
| | | | | 5 | 616 | 616 | |
| | | | | | 618 | | |
| | | | | | 615 | | |
| | | | | 10 | 616 | 617 | |
| | | | | | 616 | | |
| | | | | | 618 | | |



(a) 傾斜 0%

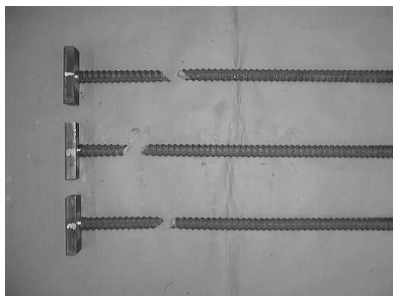


(b) 傾斜 10%

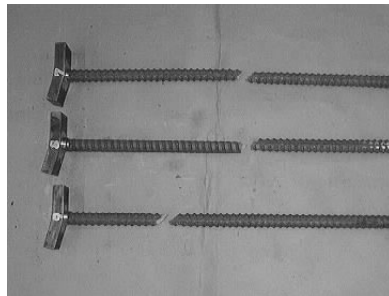


(c) 傾斜 10%、右側タッチ

図 II-4.2 接合部の引張試験状況（D22 の場合）



(a) 傾斜 0%



(b) 傾斜 10%



(c) 傾斜 10%拡大

図 II-4.3 接合部の引張試験結果（D22 の場合）

(2) 鉄筋材質 SD345、D13 の引張試験

鉄筋材質 SD345、呼び名 D13 について、標準引張試験および傾斜（5%）引張試験結果を表 II-4.3～表 II-4.4 に、破断状況の例を図 II-4.4 に示す。

表 II-4.3 摩擦圧接型の接合部の強度試験結果（標準引張）

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) | |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | | |
| D13 | SD345 | 9 | SM490 | 581 | 581 | 490 | |
| | | | | 582 | | | |
| | | | | 579 | | | |
| | | | S35C | 596 | 596 | | 490 |
| | | | | 597 | | | |
| | | | | 596 | | | |

表 II-4.4 摩擦圧接型の接合部の強度試験結果（傾斜引張：5%）

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) | |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | | |
| D13 | SD345 | 9 | SM490 | 593 | 593 | 490 | |
| | | | | 593 | | | |
| | | | | 592 | | | |
| | | | S35C | 597 | 601 | | 490 |
| | | | | 602 | | | |
| | | | | 603 | | | |



(a) 標準引張



(b) 傾斜引張

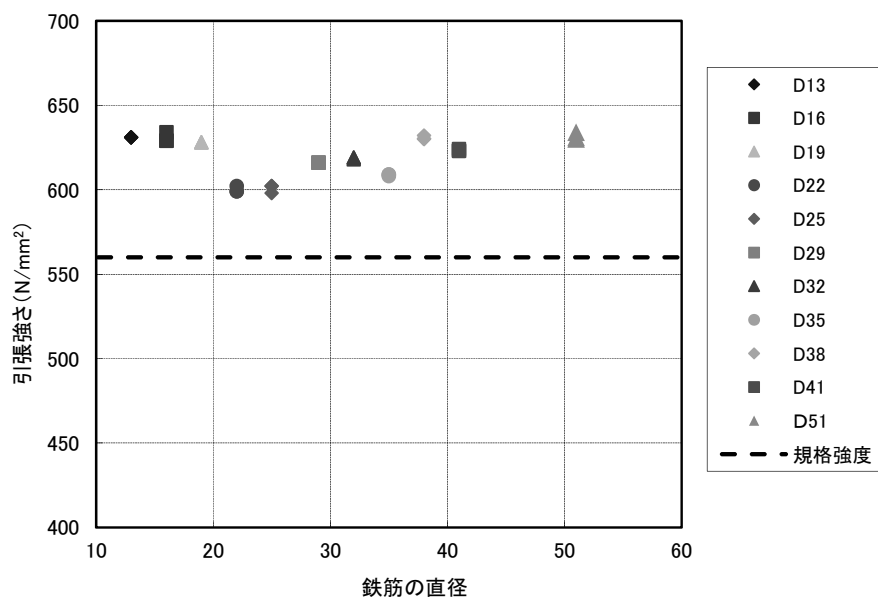
図 II-4.4 破断状況の例 (D13:SD345_SM490)

(3) 鉄筋材質 SD390、SD490 の引張試験

鉄筋材質 SD390、SD490 について、標準引張試験および傾斜（5%）試験結果を表Ⅱ-4.5～表Ⅱ-4.12、図Ⅱ-4.5, 7, 9, 11 に、また、破断状況の例を図Ⅱ-4.6, 8, 10, 12 に示す。

表Ⅱ-4.5 標準引張試験結果（SD390_SM490）

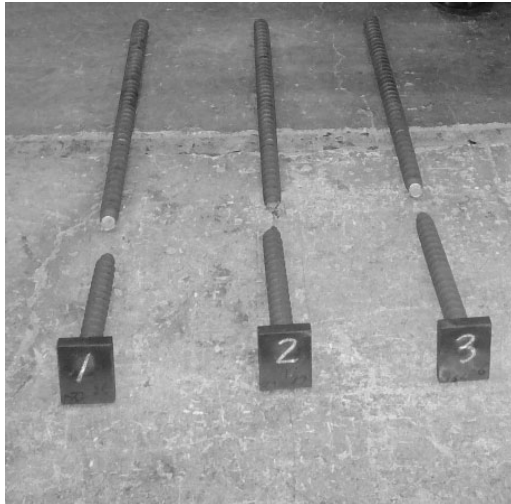
| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D13 | SD390 | 12 | SM490 | 631 | 631 | 560 |
| | | | | 631 | | |
| | | | | 631 | | |
| D16 | SD390 | 12 | SM490 | 629 | 631 | 560 |
| | | | | 634 | | |
| | | | | 629 | | |
| D19 | SD390 | 16 | SM490 | 628 | 628 | 560 |
| | | | | 628 | | |
| | | | | 628 | | |
| D22 | SD390 | 19 | SM490 | 599 | 600 | 560 |
| | | | | 599 | | |
| | | | | 602 | | |
| D25 | SD390 | 19 | SM490 | 602 | 601 | 560 |
| | | | | 602 | | |
| | | | | 598 | | |
| D29 | SD390 | 22 | SM490 | 616 | 616 | 560 |
| | | | | 616 | | |
| | | | | 616 | | |
| D32 | SD390 | 22 | SM490 | 619 | 619 | 560 |
| | | | | 619 | | |
| | | | | 618 | | |
| D35 | SD390 | 25 | SM490 | 608 | 609 | 560 |
| | | | | 609 | | |
| | | | | 609 | | |
| D38 | SD390 | 32 | SM490 | 630 | 631 | 560 |
| | | | | 630 | | |
| | | | | 632 | | |
| D41 | SD390 | 32 | SM490 | 624 | 623 | 560 |
| | | | | 623 | | |
| | | | | 623 | | |
| D51 | SD390 | 40 | SM490 | 634 | 632 | 560 |
| | | | | 631 | | |
| | | | | 630 | | |



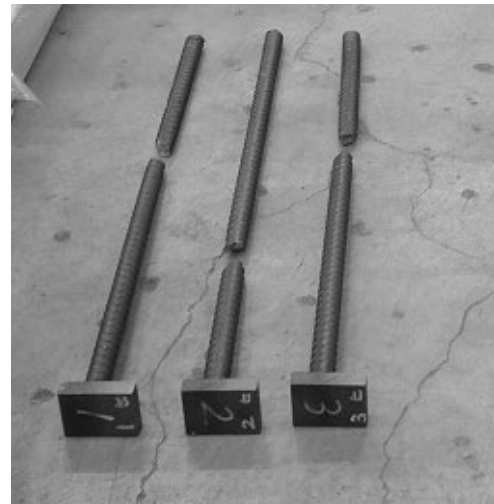
図Ⅱ-4.5 標準引張試験結果（SD390_SM490）

表 II -4.6 傾斜引張試験結果 (SD390_SM490)

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D13 | SD390 | 12 | SM490 | 608 | 608 | 560 |
| | | | | 608 | | |
| | | | | 607 | | |
| D32 | SD390 | 22 | SM490 | 623 | 620 | 560 |
| | | | | 619 | | |
| | | | | 618 | | |
| D41 | SD390 | 32 | SM490 | 615 | 615 | 560 |
| | | | | 614 | | |
| | | | | 615 | | |
| D51 | SD390 | 40 | SM490 | 632 | 630 | 560 |
| | | | | 626 | | |
| | | | | 631 | | |



(a) 標準引張



(b) 傾斜引張

図 II -4.6 破断状況の例 (D32 : SD390_SM490)

表 II-4.7 標準引張試験結果 (SD390_S45C)

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D13 | SD390 | 12 | S45C | 647 | 641 | 560 |
| | | | | 635 | | |
| | | | | 640 | | |
| D16 | SD390 | 12 | S45C | 629 | 629 | 560 |
| | | | | 629 | | |
| | | | | 629 | | |
| D19 | SD390 | 16 | S45C | 628 | 628 | 560 |
| | | | | 628 | | |
| | | | | 628 | | |
| D22 | SD390 | 19 | S45C | 597 | 598 | 560 |
| | | | | 597 | | |
| | | | | 599 | | |
| D25 | SD390 | 19 | S45C | 598 | 598 | 560 |
| | | | | 600 | | |
| | | | | 569 | | |
| D29 | SD390 | 22 | S45C | 615 | 615 | 560 |
| | | | | 616 | | |
| | | | | 615 | | |
| D32 | SD390 | 22 | S45C | 618 | 620 | 560 |
| | | | | 619 | | |
| | | | | 623 | | |
| D35 | SD390 | 25 | S45C | 608 | 608 | 560 |
| | | | | 609 | | |
| | | | | 607 | | |
| D38 | SD390 | 32 | S45C | 630 | 630 | 560 |
| | | | | 630 | | |
| | | | | 630 | | |
| D41 | SD390 | 32 | S45C | 624 | 624 | 560 |
| | | | | 625 | | |
| | | | | 622 | | |
| D51 | SD390 | 40 | S45C | 598 | 600 | 560 |
| | | | | 601 | | |
| | | | | 600 | | |

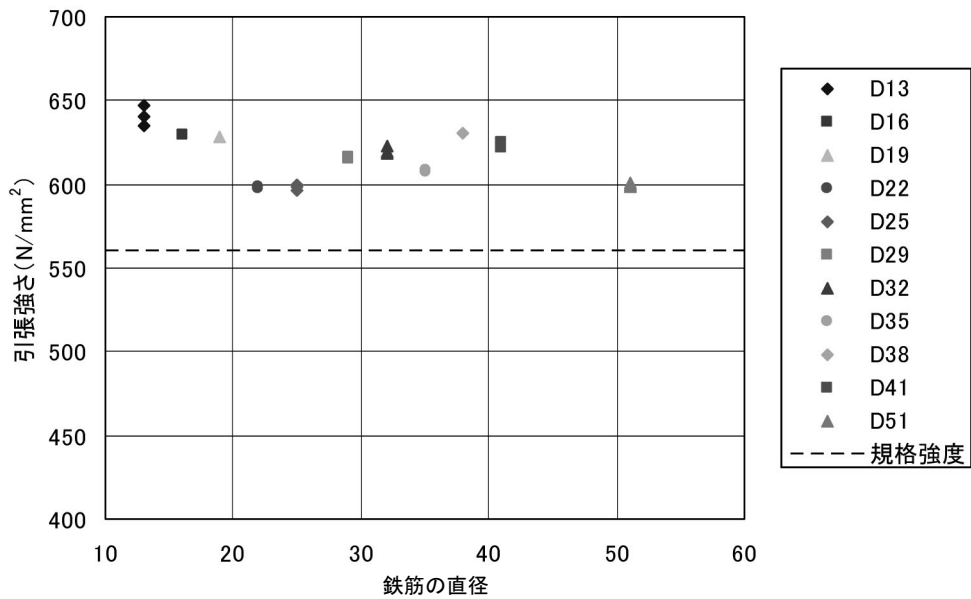
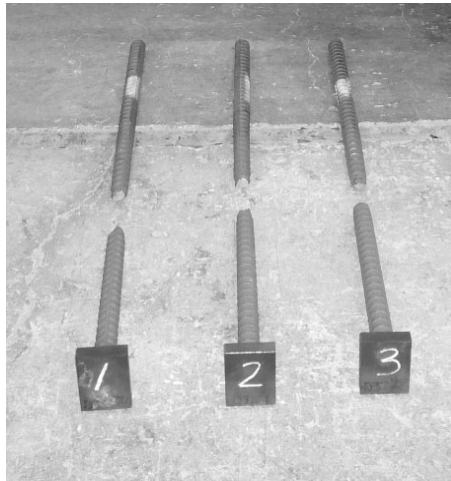


図 II-4.7 標準引張試験結果 (SD390_S45C)

表 II-4.8 傾斜引張試験結果 (SD390_ S45C)

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|--------------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D13 | SD390 | 12 | S45C | 616 | 610 | 560 |
| | | | | 607 | | |
| | | | | 608 | | |
| D32 | SD390 | 22 | S45C | 657 | 657 | 560 |
| | | | | 655 | | |
| | | | | 659 | | |
| D51 | SD390 | 40 | S45C | 643 | 641 | 560 |
| | | | | 636 | | |
| | | | | 644 | | |



(a) 標準引張



(b) 傾斜引張

図 II-4.8 破断状況の例 (D32 : SD390_ S45C)

表 II-4.9 標準引張試験結果 (SD490_S45C)

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D25 | SD490 | 20 | S45C | 691 | 691 | 620 |
| | | | | 689 | | |
| | | | | 689 | | |
| | | | | 689 | | |
| | | | | 695 | | |
| D29 | SD490 | 24 | S45C | 722 | 722 | 620 |
| | | | | 724 | | |
| | | | | 718 | | |
| | | | | 724 | | |
| D32 | SD490 | 26 | S45C | 711 | 710 | 620 |
| | | | | 705 | | |
| | | | | 714 | | |
| | | | | 713 | | |
| | | | | 708 | | |
| D35 | SD490 | 28 | S45C | 701 | 702 | 620 |
| | | | | 706 | | |
| | | | | 701 | | |
| | | | | 701 | | |
| D38 | SD490 | 31 | S45C | 681 | 684 | 620 |
| | | | | 682 | | |
| | | | | 687 | | |
| | | | | 687 | | |
| D41 | SD490 | 33 | S45C | 716 | 716 | 620 |
| | | | | 713 | | |
| | | | | 716 | | |
| | | | | 719 | | |
| | | | | 716 | | |
| D51 | SD490 | 42 | S45C | 710 | 701 | 620 |
| | | | | 701 | | |
| | | | | 693 | | |

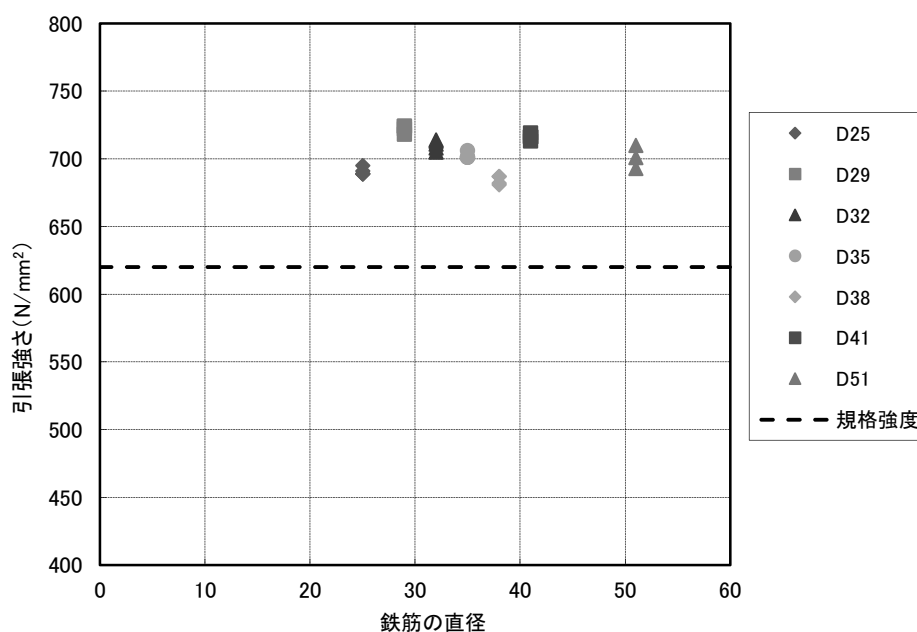


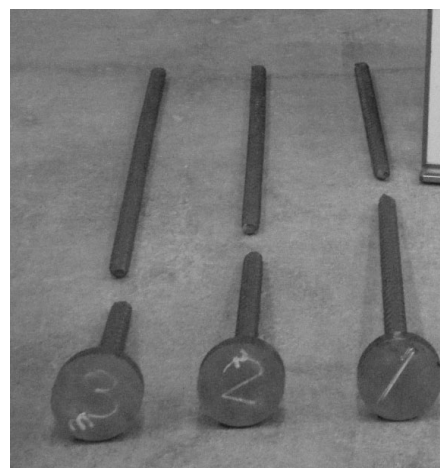
図 II-4.9 標準引張試験結果 (SD490_S45C)

表 II-4.10 傾斜引張試験結果 (SD490_S45C)

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|--------------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D25 | SD490 | 20 | S45C | 691 | 691 | 620 |
| | | | | 698 | | |
| | | | | 689 | | |
| D32 | SD490 | 26 | S45C | 682 | 702 | 620 |
| | | | | 742 | | |
| | | | | 682 | | |
| D41 | SD490 | 33 | S45C | 690 | 690 | 620 |
| | | | | 690 | | |
| | | | | 691 | | |
| D51 | SD490 | 42 | S45C | 714 | 704 | 620 |
| | | | | 710 | | |
| | | | | 697 | | |



(a) 標準引張



(b) 傾斜引張

図 II-4.10 破断状況の例 (D32 : SD490_S45C)

表 II-4.11 標準引張試験結果 (SD490_ SM490)

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D25 | SD490 | 20 | SM490 | 695 | 696 | 620 |
| | | | | 697 | | |
| | | | | 695 | | |
| D29 | SD490 | 24 | SM490 | 699 | 707 | 620 |
| | | | | 710 | | |
| | | | | 711 | | |
| D32 | SD490 | 26 | SM490 | 729 | 729 | 620 |
| | | | | 730 | | |
| | | | | 729 | | |
| D35 | SD490 | 28 | SM490 | 699 | 706 | 620 |
| | | | | 700 | | |
| | | | | 720 | | |
| D38 | SD490 | 31 | SM490 | 720 | 718 | 620 |
| | | | | 714 | | |
| | | | | 715 | | |
| D41 | SD490 | 33 | SM490 | 718 | 716 | 620 |
| | | | | 714 | | |
| | | | | 715 | | |
| D51 | SD490 | 42 | SM490 | 729 | 720 | 620 |
| | | | | 702 | | |
| | | | | 728 | | |

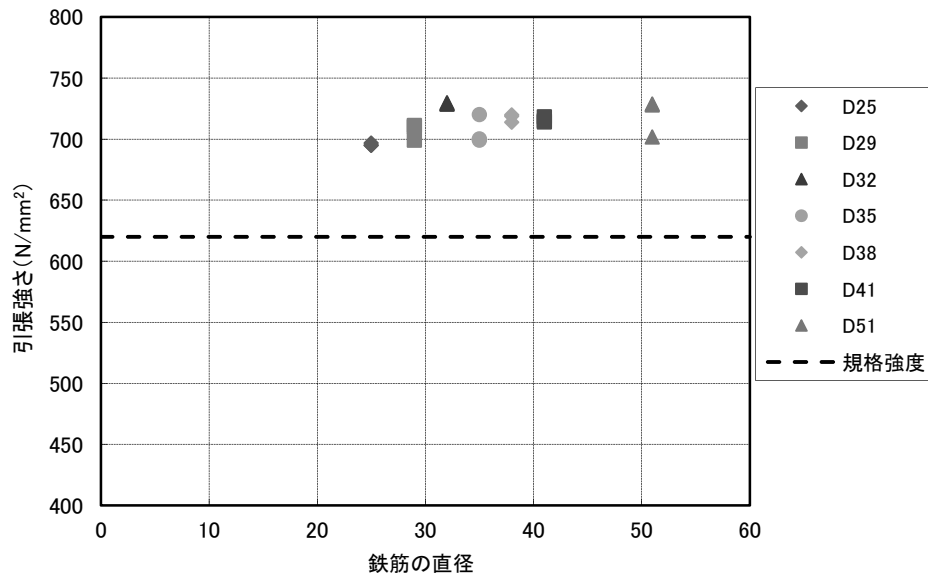
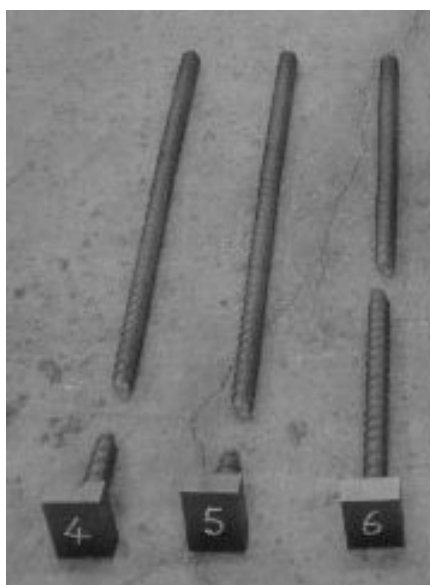


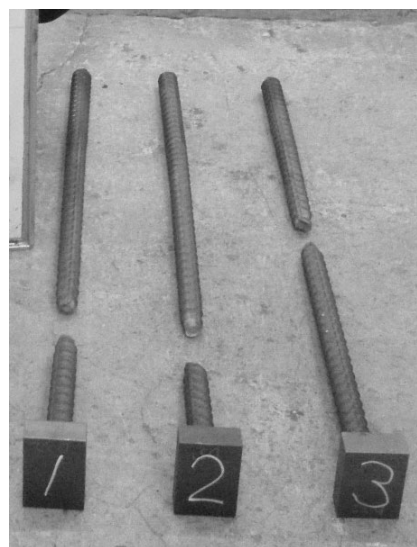
図 II-4.11 標準引張試験結果 (SD490_ SM490)

表 II-4.12 傾斜引張試験結果 (SD490_ SM490)

| 鉄筋 | | プレート | | 引張強さ (N/mm ²) | | 規格引張強さ (N/mm ²) |
|-----|-------|------|-------|---------------------------|-----|-----------------------------|
| 呼び名 | 種類の記号 | 厚さ | 種類の記号 | 試験値 | 平均値 | |
| D25 | SD490 | 25 | SM490 | 697 | 698 | 620 |
| | | | | 699 | | |
| | | | | 699 | | |
| D29 | SD490 | 28 | SM490 | 708 | 712 | 620 |
| | | | | 713 | | |
| | | | | 715 | | |
| D32 | SD490 | 32 | SM490 | 734 | 734 | 620 |
| | | | | 734 | | |
| | | | | 734 | | |
| D35 | SD490 | 36 | SM490 | 707 | 711 | 620 |
| | | | | 706 | | |
| | | | | 719 | | |
| D38 | SD490 | 40 | SM490 | 721 | 728 | 620 |
| | | | | 732 | | |
| | | | | 731 | | |
| D41 | SD490 | 40 | SM490 | 727 | 727 | 620 |
| | | | | 727 | | |
| | | | | 726 | | |
| D51 | SD490 | 50 | SM490 | 693 | 705 | 620 |
| | | | | 695 | | |
| | | | | 727 | | |



(a)標準引張



(b)傾斜引張

図 II-4.12 破断状況の例 (D32 : SD490_ SM490)

(4) 摩擦圧接条件

通常使用されている呼び名について、「Head-bar」の標準とする圧接条件を JIS Z 3607（炭素鋼の摩擦圧接作業標準）に準じて表Ⅱ-4.13 に示す。

表Ⅱ-4.13 摩擦圧接条件

| 鉄筋の呼び名 | 回転数 N (rpm) | 摩擦圧力 P1 (N/mm ²) | アブセット圧力 P2 (N/mm ²) | 全寄り代 U (mm) |
|--------|-------------|------------------------------|---------------------------------|-------------|
| D13 | 2300 | 2.4 | 5.3 | 11 |
| D16 | 2300 | 3.6 | 8.1 | 11 |
| D19 | 2300 | 5.1 | 11.4 | 11 |
| D22 | 1800 | 2.2 | 5.0 | 15 |
| D25 | 1800 | 2.9 | 6.5 | 15 |
| D29 | 1800 | 3.9 | 8.7 | 15 |
| D32 | 1600 | 4.7 | 10.6 | 15 |
| D35 | 1600 | 5.6 | 12.7 | 15 |
| D38 | 1600 | 6.6 | 15.0 | 15 |
| D41 | 1600 | 7.7 | 17.4 | 15 |
| D51 | 1800 | 12.3 | 23.0 | 18 |

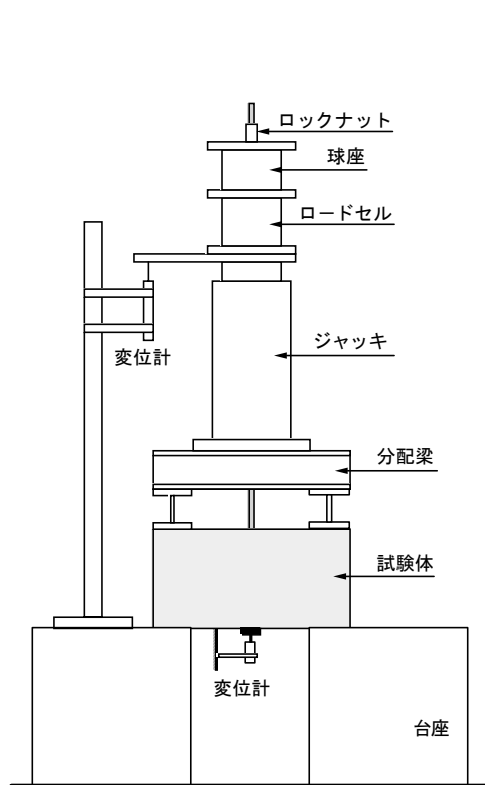
4.1.2 せん断補強鉄筋のせん断補強性能

- ・コンクリート中に埋め込まれた「Head-bar」に引抜き荷重が作用した場合の、定着部の引抜き耐力および拔出し量が半円形フックと同等かまたはそれ以上であることが確認された。
- ・「Head-bar」を用いた部材のせん断補強性能は半円形フック鉄筋と同等であることが確認された。

(1) SD345 の「Head-bar」を用いた引抜き試験による定着性能の確認

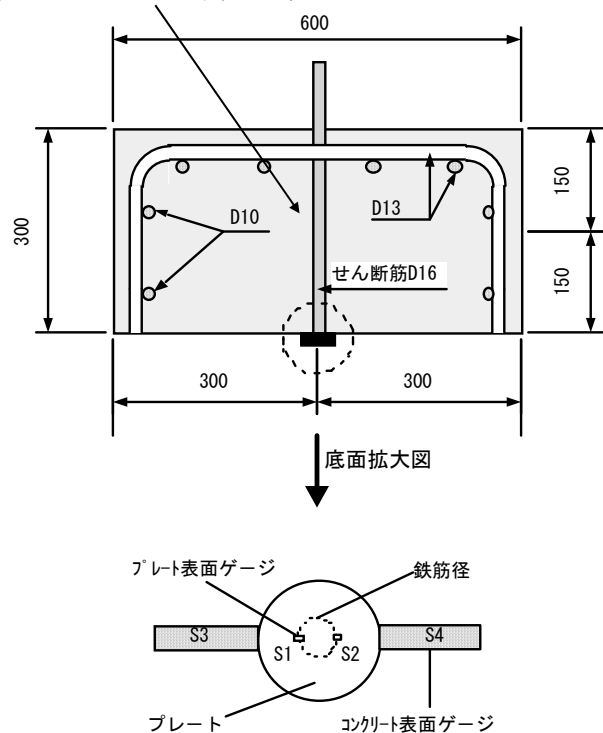
「Head-bar」の引抜き試験は、図Ⅱ-4.13 に示す試験装置で行った。測定データは、引抜き荷重、定着部引抜き変位、鉄筋、プレートのひずみ、プレート周辺のコンクリートのひずみである。

確認試験はSD345、D16～D32 および D51 の場合について行った。試験体の詳細例を図Ⅱ-4.14 に示す。



図Ⅱ-4.13 引抜き試験装置

鉄筋とコンクリート間の付着をカット



(単位 : mm)

図Ⅱ-4.14 試験体の詳細およびゲージ位置(D16の例)

試験結果として、次の2項目について代表的な呼び名 (D16、D22、D32、D51) について図Ⅱ-4.15、図Ⅱ-4.16 に示す。

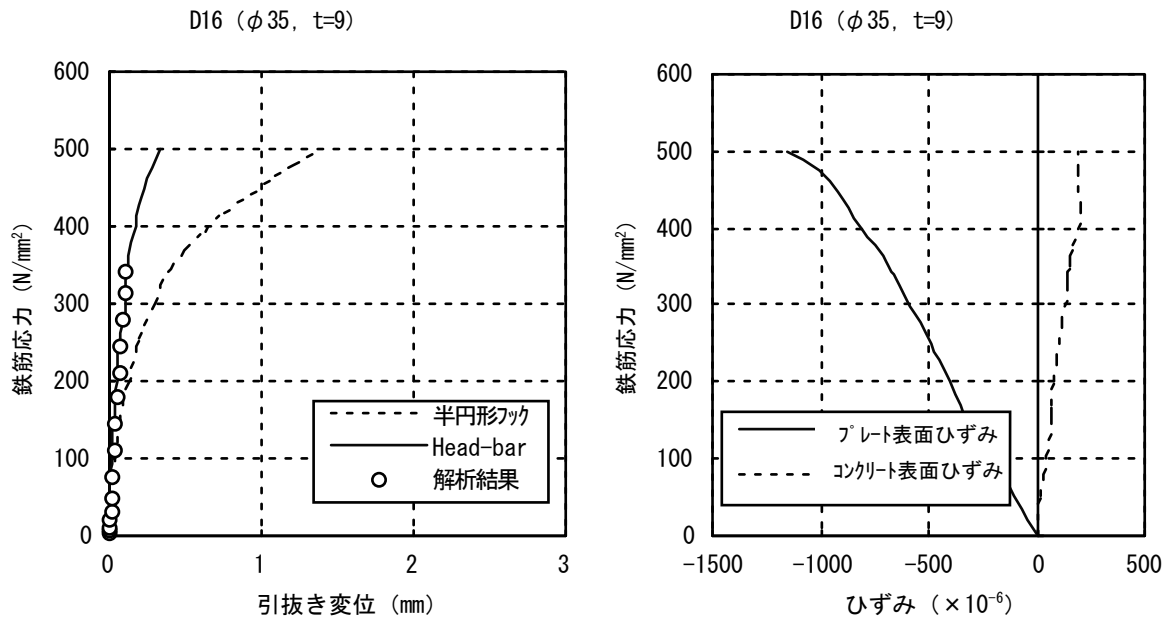
- 1) 鉄筋の引張応力に対する定着部引抜き変位
- 2) 鉄筋の引張応力に対するプレート表面およびコンクリート表面のひずみ

なお、比較するために1) のグラフには、半円形フックの定着部の変位を併せて示した。

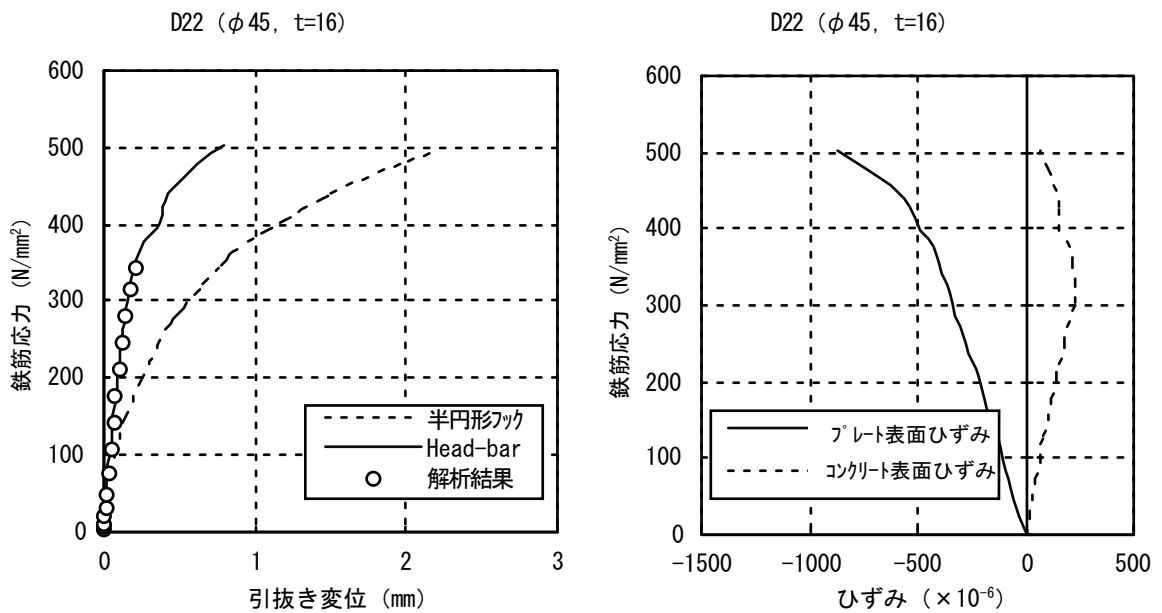
試験結果は、「Head-bar」の定着部の引抜き変位が設計の意図を反映し、半円形フックの場合よりも小さいことが示された。また、せん断補強鉄筋が降伏するまでには、プレートのひずみが降伏ひずみに至らず健全であることも示された。プレート近傍のコンクリートについては、ひび割れは確認されなかった。さらに、プレート背面のコンクリートの状況を試験後に確認したところ、圧縮破壊の痕跡はなく、健全であることが判明した。

より詳細の試験結果は付属資料-4「Head-bar」の設計方法の確認実験」に示した。

以上により、「Head-bar」の設計結果は、定着部の引抜き剛性および引抜き耐力が半円形フックと同等かまたはそれ以上であり、十分な定着性能を有することが確認された。

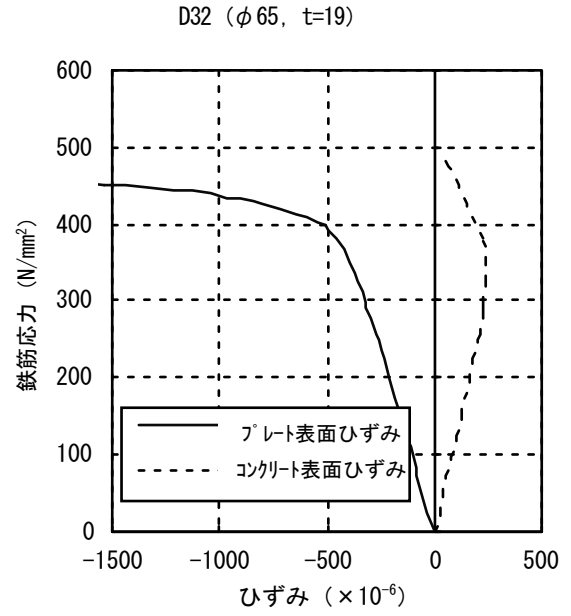
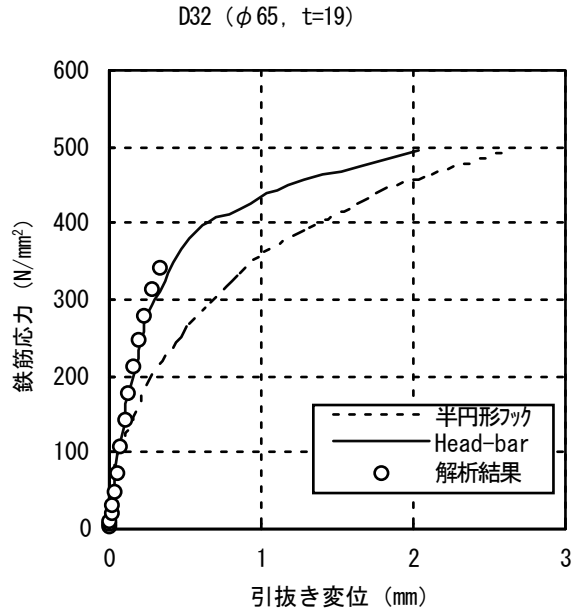


(a) D16 の場合

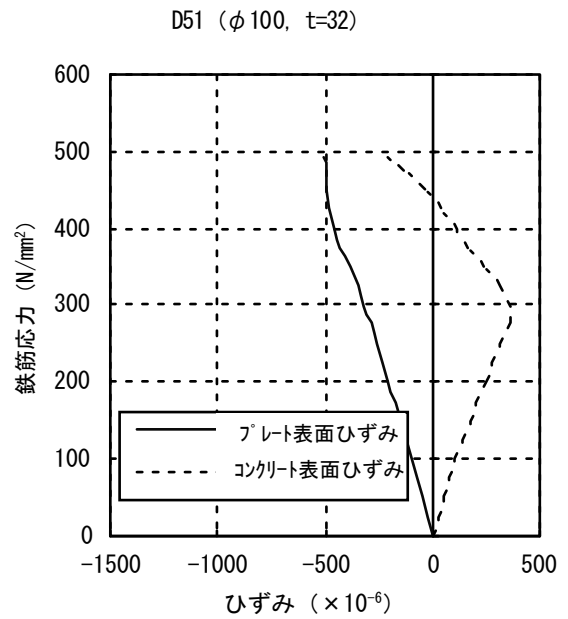
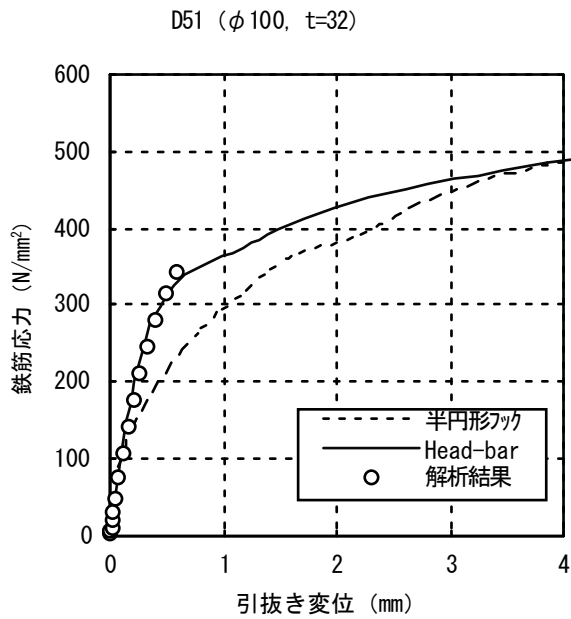


(b) D22 の場合

図 II-4.15 引抜き試験および解析結果



(c) D32 の場合



(d) D51 の場合

図 II-4.16 引抜き試験および解析結果

(2) SD390、SD490の「Head-bar」を用いた引抜き試験による定着性能の確認

鉄筋材質SD390、SD490、呼び名D32について、引抜き試験を行った。コンクリートの設計基準強度は21N/mm²とした。試験体および試験は図Ⅱ-4.13、図Ⅱ-4.14に準じて行った。材料試験結果を表Ⅱ-4.14、15に示す。

a) 载荷パターン

载荷パターンは、鉄筋応力履歴を以下のようにした。

0→母材の規格降伏点の95%の応力→母材の規格降伏点の2%の応力→母材の規格引張強さ→除荷

b) 計測方法

定着部拔出し変位（相対変位）を測るために、ステンレス製インバー線をステンレス箔（L=6mm）で鉄筋に溶接し、インバー線を変位計に取り付け変位計測を行った。また、プレートのひずみ、プレート周囲のコンクリートのひずみなどを計測し、標準フック（半円形フック）との比較を行った。

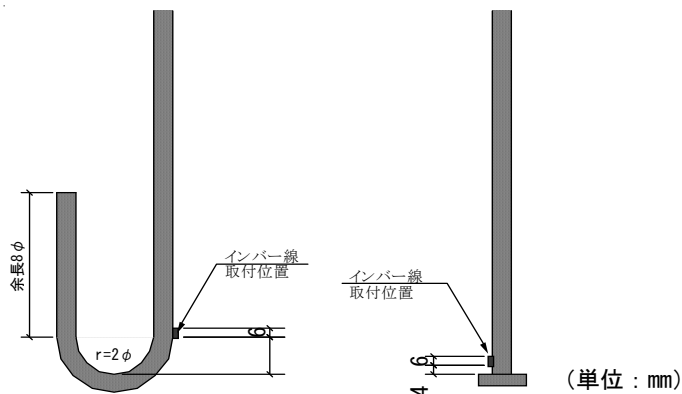
インバー線の取付け位置図を図Ⅱ-4.17に、インバー線の取付け状況を図Ⅱ-4.18に示す。

表Ⅱ-4.14 コンクリート強度

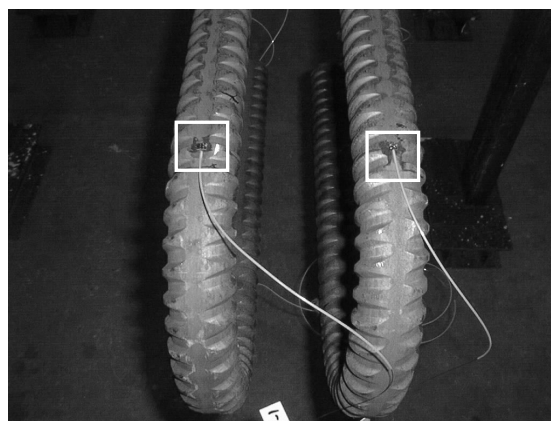
| せん断補強鉄筋 | | | コンクリート 強度(N/mm ²) |
|---------|-------|-----|----------------------------------|
| 形状 | 種類の記号 | 呼び名 | |
| 半円形フック | SD390 | D32 | 28.9 |
| ヘッドバー | | | 32.1 |
| 半円形フック | SD490 | D22 | 29.1 |
| ヘッドバー | | | 29.7 |
| 半円形フック | | D32 | 31.4 |
| ヘッドバー | | | 33.2 |

表Ⅱ-4.15 鉄筋強度

| 鉄筋 呼び名 | 種類の記号 | 降伏点 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) |
|-----------|-------|-----------------------------|------------------------------|
| D32 | SD390 | 431 | 653 |
| D22 | SD490 | 563 | 749 |
| D32 | SD490 | 529 | 714 |



図Ⅱ-4.17 インバー線取付位置図



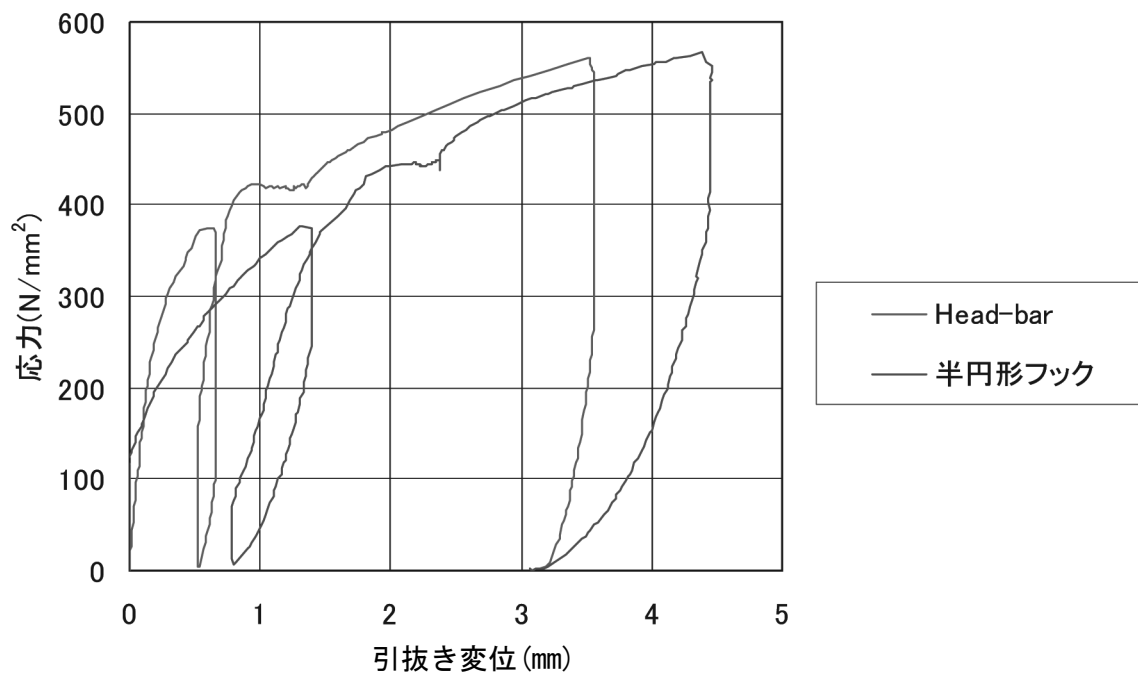
図Ⅱ-4.18 インバー線取付状況

c) 照査項目

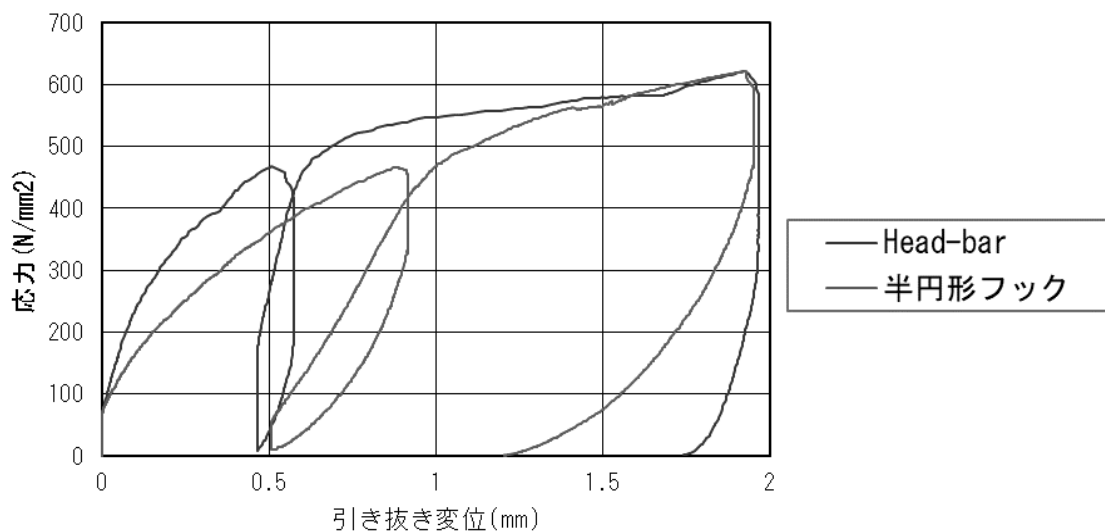
土木学会「鉄筋定着・継手指針[2007年版]」に基づき、母材の規格引張強度まで定着具が破壊せず、また規格降伏強度の95%時の抜出し量が半円形フックと比較して小さいことを確認する。

d) 試験結果

試験結果を図Ⅱ-4.19~21に示す。静的耐力については、鉄筋母材の規格引張強度(SD390:560N/mm²、SD490:620N/mm²)まで载荷しても定着具は破断しなかった。また、規格降伏強度の95%時の抜出し量は半円形フックと比較してHead-barのほうが小さく、「Head-bar」は半円形フックと比較して、同等かまたはそれ以上の定着性能を保有することが確認された。



図Ⅱ-4.19 定着体引抜き試験結果 (SD390、D32)



図Ⅱ-4.20 定着体引抜き試験結果 (SD490、D22)

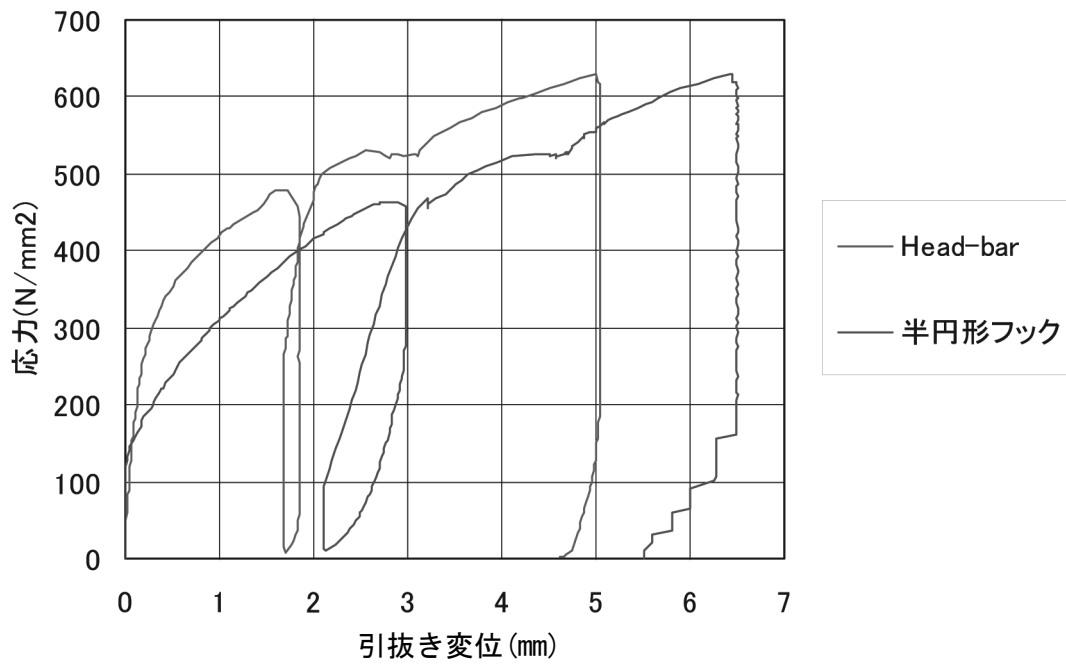


図 II-4.21 定着体引抜き試験結果 (SD490、D32)

(3) せん断補強鉄筋にSD345の「Head-bar」を用いた梁部材の単調載荷試験

円形プレートのHead-barのせん断補強性能を確認するために表Ⅱ-4.16, 17と図Ⅱ-4.22に示す試験体にて、単調載荷のせん断破壊実験を実施した。そこで半円形フックを有する試験体と、最大せん断耐力・変形性能の観点で結果を比較した。

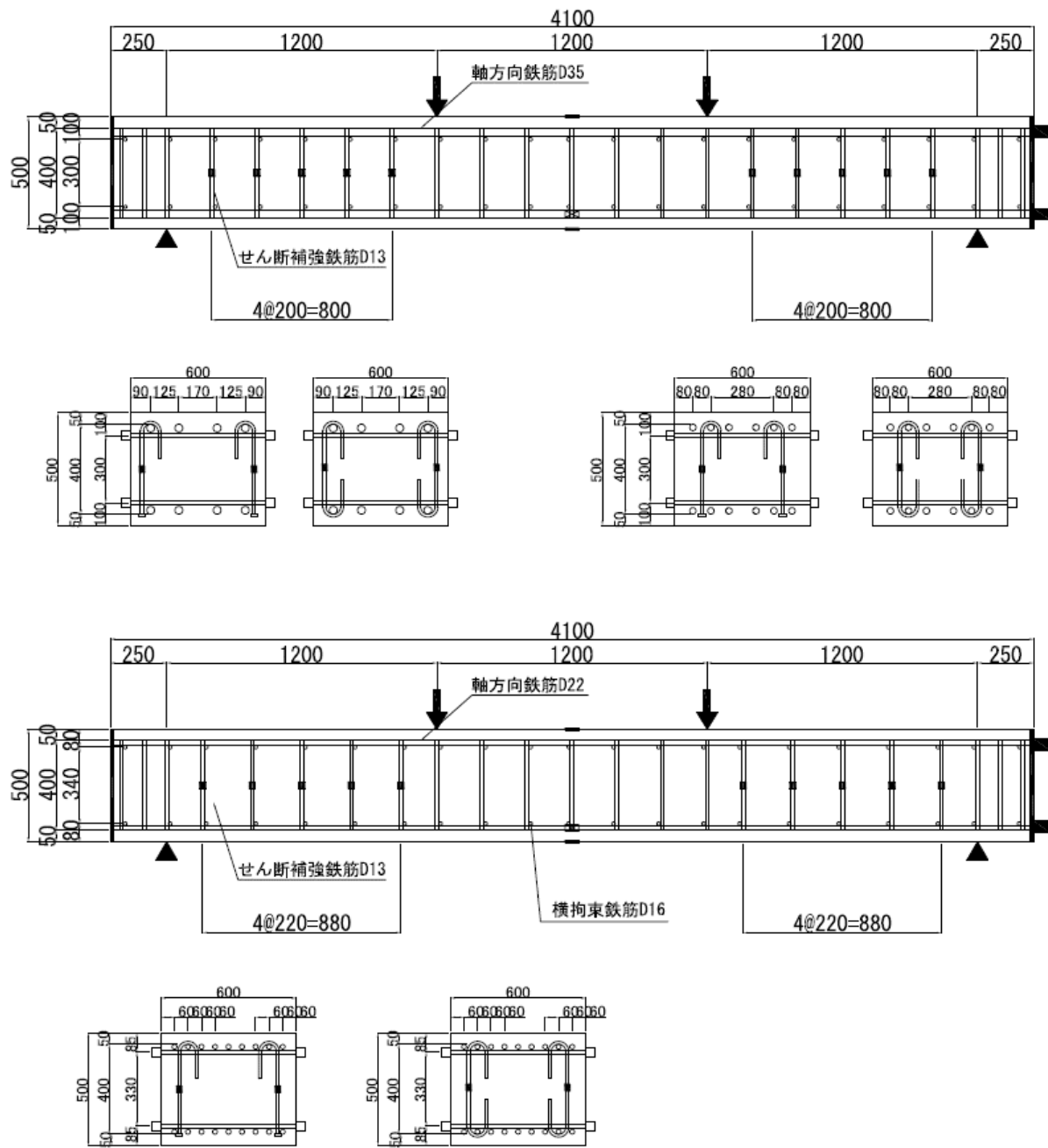
各試験体の荷重変位関係を図Ⅱ-4.23に、破壊状況を図Ⅱ-4.24に示す。各試験体の鉄筋の呼び名ランク差条件において半円形フックとHead-barを比較すると、鉄筋呼び名のランク差3の条件では最大耐力・変形性能についてHead-barが半円形フックに比べ上回ることを確認した。ここで、呼び名のランク差は鉄筋直径の大きさの差異であり、例えばHead-barがD16の場合、ランク差3の条件とは、掛けられる鉄筋の呼び名がD25となる条件である。

表Ⅱ-4.16 試験体条件

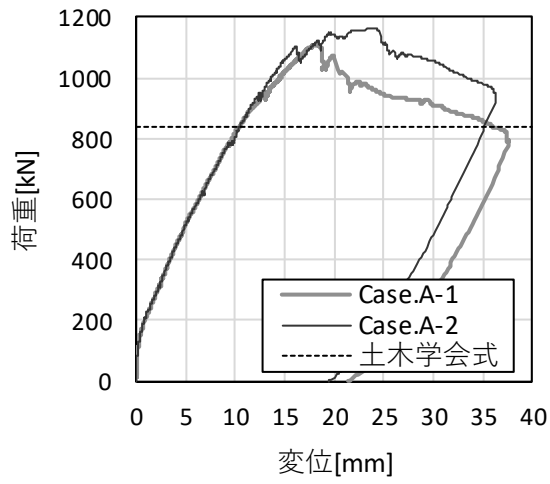
| | 定着仕様 | せん断補強 呼び名 種類の記号 | 軸方向鉄筋 呼び名 種類の記号 | 鉄筋の 呼び名 ランク差 | せん断補強鉄 間隔[mm] | コンクリート 強度[N/mm ²] |
|-----------|----------|-----------------------|-----------------------|--------------------|------------------|----------------------------------|
| case. A-1 | Head-bar | D13, SD345 | D35, SD490 | 7 | 200 | 32.3 |
| case. A-2 | 半円形フック | | | | | 32.4 |
| case. B-1 | Head-bar | | D29, SD490 | 5 | | 34.5 |
| case. B-2 | 半円形フック | | | | | 34.0 |
| case. C-1 | Head-bar | | D22, SD490 | 3 | 220 | 30.9 |
| case. C-2 | 半円形フック | | | | | 31.9 |

表Ⅱ-4.17 試験体諸元

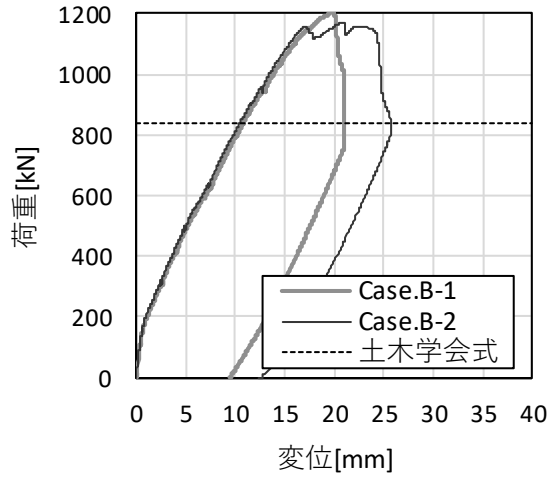
| | | | |
|--------------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | | case.A / case.B / case.C | |
| せん断補強鉄筋の定着種類 | | ヘッドバー / 半円形フック | |
| 試験体幅(mm) | | 600 | |
| 試験体高さ(mm) (有効高さ) | | 500 (432.5 / 425.5 / 439) | |
| 支点と載荷点の距離(mm) | | 1200 | |
| 軸方向鉄筋 (SD490) | 本数－呼び名 | | 4-D35 / 6-D29 / 9-D22 |
| | 軸方向鉄筋比(%) | | 1.48 |
| 横拘束鉄筋 (SD345) | 側方鉄筋 | 呼び名@間隔(mm) | D16@200 / D16@200 / D16@220 |
| | せん断補強鉄筋 | 本数－呼び名 | 2-D13 |
| | せん断補強鉄筋比 p_w (%) | | 0.21 / 0.21 / 0.19 |
| コンクリート配合強度(N/mm ²) | | 21 | |
| 載荷方式 | | 片押し載荷 | |



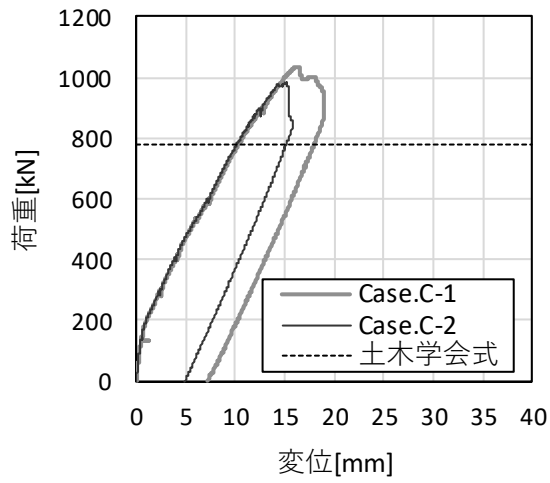
図Ⅱ-4.22 試験体図面 (上図 : case.A,B、下図 : case.C)



(a)case.A

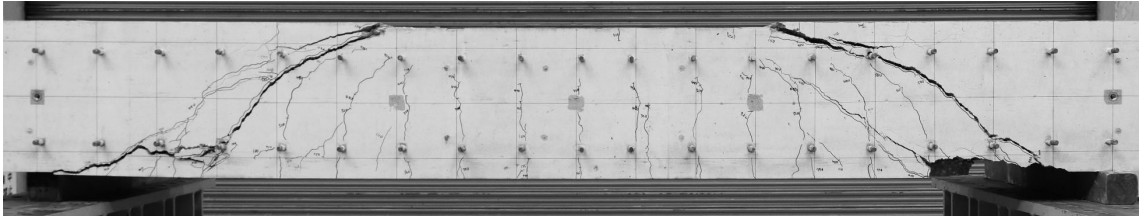


(b) case.B

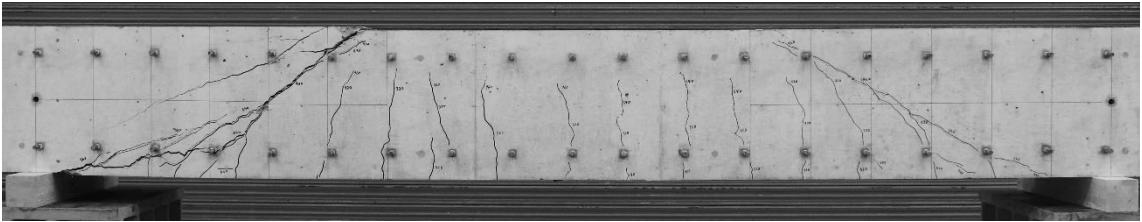


(c)case.C

図 II-4.23 試験結果、荷重変位関係



(a). case.A-1



(b). case.B-1

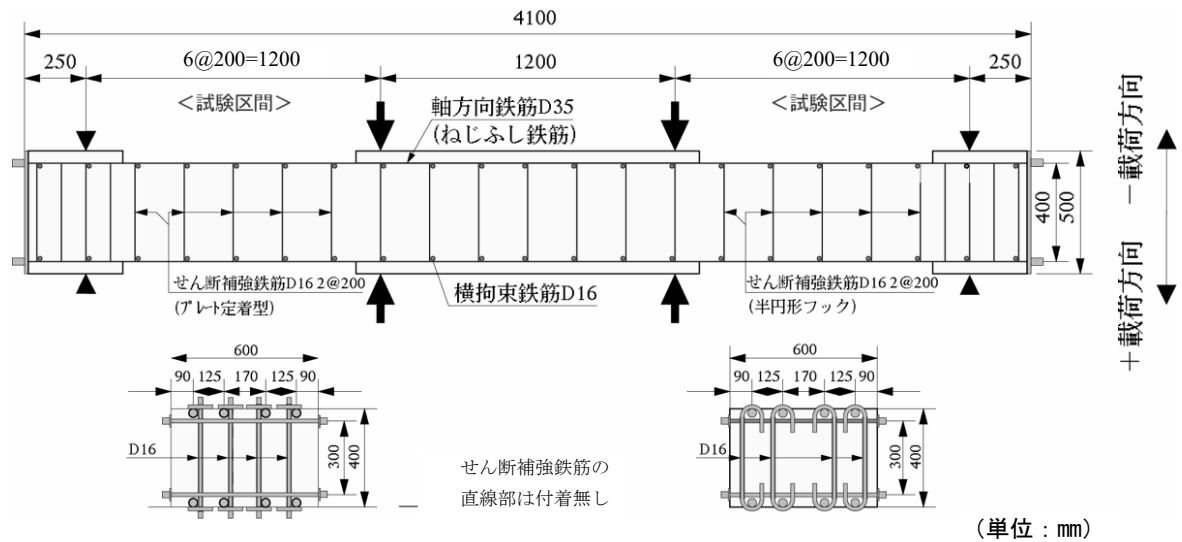


(c). case.C-1

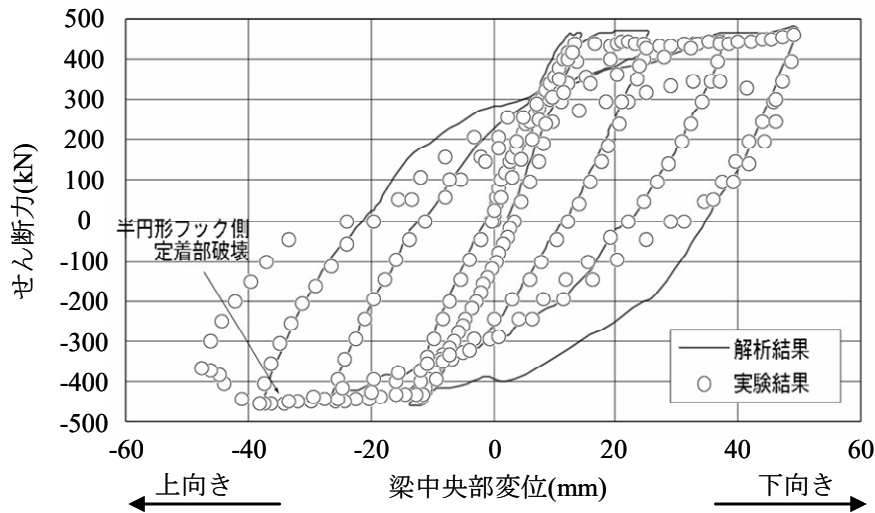
図 II -4.24 試験結果、破壊状況

(4) せん断補強鉄筋にSD345の「Head-bar」を用いた梁部材の交番载荷試験

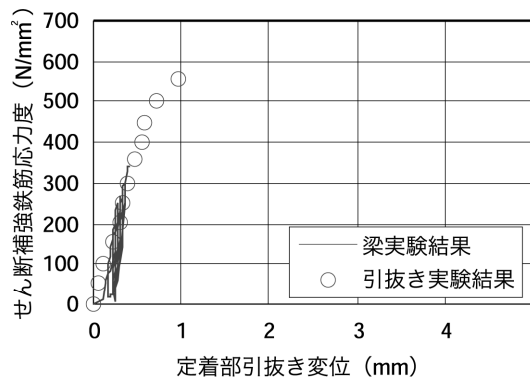
引抜き試験において定着性能が、部材において効果的に発揮されるかを確認するために、図Ⅱ-4.25に示した梁部材の交番载荷試験を行った。梁部材には、せん断補強鉄筋として、「Head-bar」と半円形フックを図の左右のせん断区間に配筋した。測定項目は、载荷荷重、梁の鉛直変位、定着部の引抜き変位、鉄筋のひずみである。荷重と梁中央部の変位の関係を図Ⅱ-4.26に、鉄筋のひずみから換算した鉄筋応力と定着部の引抜き変位の関係を図Ⅱ-4.27に示す。図には引抜き実験の結果を併せて記してあり、部材においても所定の定着性能を有することが確認された。また、梁部材の破壊状況は、図Ⅱ-4.28に示す通りであり、「Head-bar」を用いた場合には、部材に発生するひび割れを抑えることも確認された。



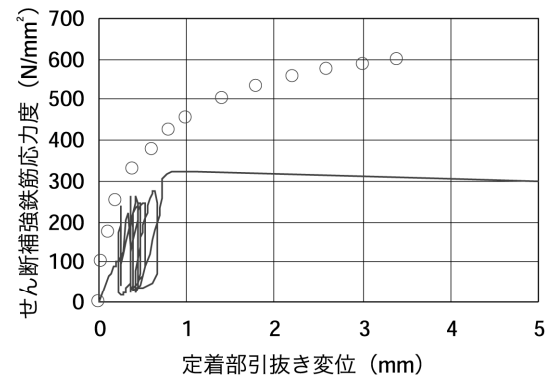
図Ⅱ-4.25 梁部材の形状寸法および配筋（定着実験）



図Ⅱ-4.26 荷重－変位曲線



(a) プレート定着側



(b) 半円形フック側

図 II-4.27 引抜き変位

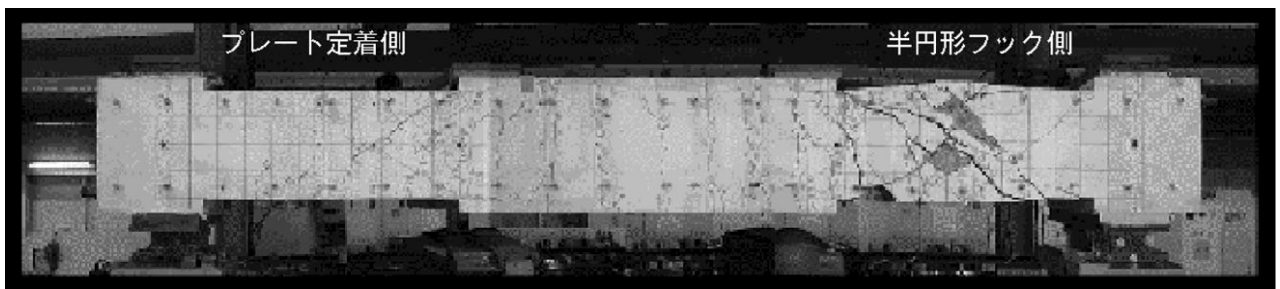


図 II-4.28 破壊状況

(5) せん断補強鉄筋にSD390の「Head-bar」を用いたスラブ部材のせん断耐力試験

a) 目的

せん断補強鉄筋に「Head-bar」を用いた試験体と、半円形フックタイプのせん断補強鉄筋を比較するために載荷実験を行った。「Head-bar」には高強度鉄筋SD390を用い、部材のせん断補強性能について、模型実験により検討を行った。

b) 試験体および実験ケース

表Ⅱ-4.18に試験一覧を、スラブ試験体の配筋概要を図Ⅱ-4.29に、配筋を図Ⅱ-4.30、図Ⅱ-4.31に示す。鉄筋はSD390、コンクリート設計基準強度は24N/mm²、桁長3500mm、桁高500mm、桁幅1000mm、せん断スパン比a/d=2.6とした。試験体のせん断補強鉄筋はCase.1が半円形フックタイプ、Case.2が「Head-bar」タイプとした。

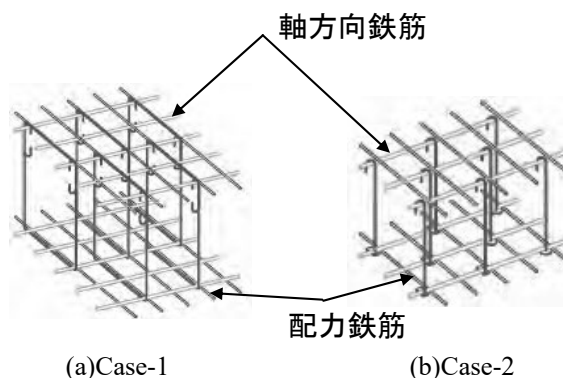
配力鉄筋は軸方向鉄筋の外側に配置することで内部コンクリートの拘束力を少なくして安全側に評価できるようにした(図Ⅱ-4.29)。また、定着具は配力鉄筋にではなく、軸方向鉄筋(主鉄筋)に掛けることとした。なお、載荷点および支点における載荷板の幅は100mmである。

せん断補強鉄筋にはSD390、D13を使用し、曲げ降伏時のせん断力に対するせん断耐力の比は、約1.4である。また、2007年制定コンクリート標準示方書に示されるせん断耐力式を用いたせん断耐力V_yに対する、せん断補強鉄筋による耐力分担の割合V_s/V_yは60%程度である。

表Ⅱ-4.18 試験一覧

| 試験ケース | | Case.1 | Case.2 |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|
| 想定部材 | | 半円フックタイプ | ヘッドバー*) |
| 断面寸法 (mm) | | 1000×500 | |
| せん断スパン比 | | 2.6 | |
| コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²) | | 26.1 | 25.8 |
| 主鉄筋 | 引張鉄筋比 (%) | 2.63 (SD390 12-D35) | |
| | 降伏強度 (N/mm ²) | 441.3 | |
| せん断 補強鉄筋 | せん断補強鉄筋比 (%) | 0.38 (SD390 6-D13@200) | |
| | 降伏強度 (N/mm ²) | 429.7 | |

*) 矩形プレートと円形プレートをスパン左右半分ずつに設置



図Ⅱ-4.29 配筋概要

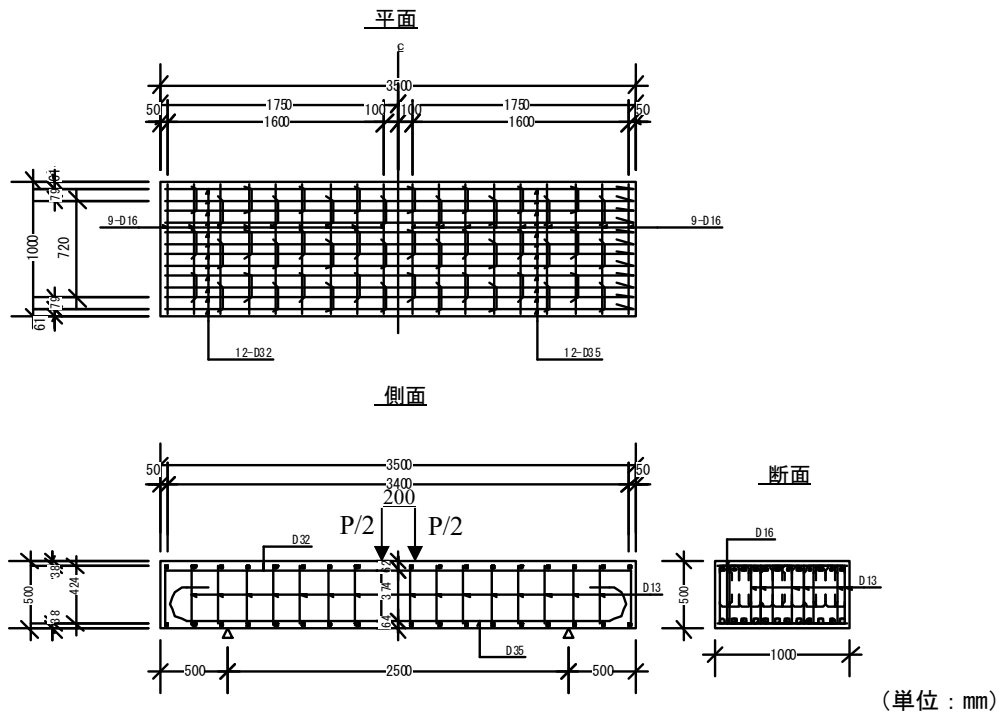


図 II-4.30 Case.1 試験体 (半円形フック)

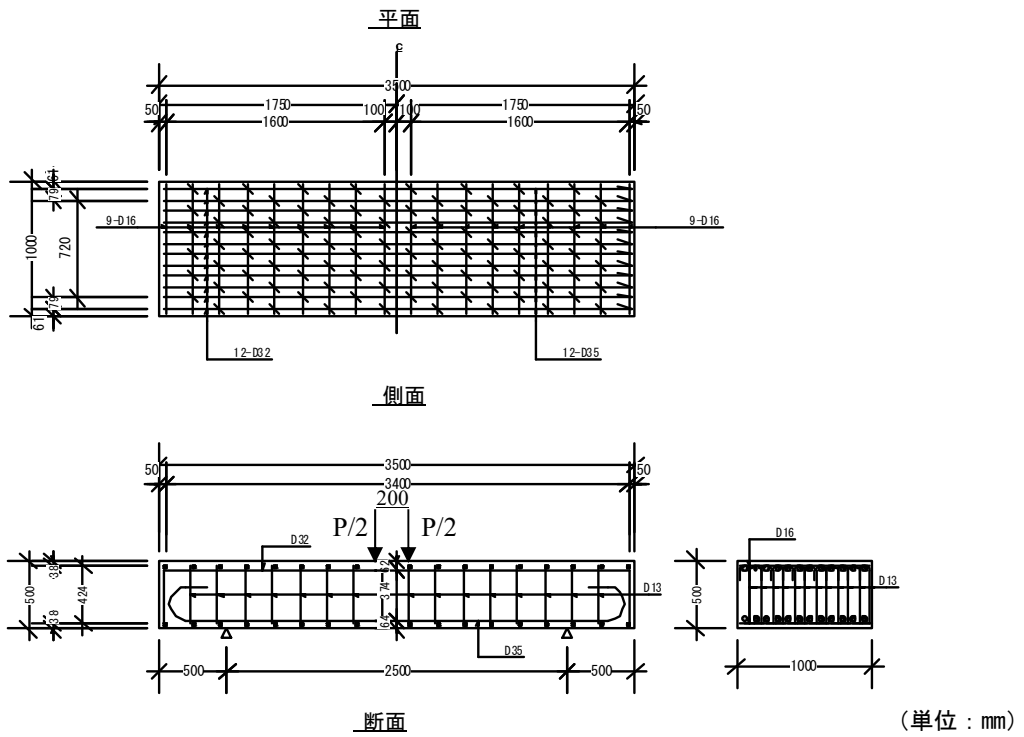


図 II-4.31 Case.2 試験体 (「Head-bar」)

c) 載荷方法

図 II-4.32 に載荷図を示す。700tf 載荷フレームに取り付けた700tf ジャッキにて加力を行う。載荷方法はジャッキによる載荷重 P がスパン中央から左右に100mm 離れた点に各 $P/2$ を作用させ、スパン中央におけるたわみ δ と軸方向鉄筋およびせん断補強鉄筋のひずみを計測した。

載荷初期はジャッキは荷重制御とし、20tf 増加毎に加力を止め、ひび割れ調査を行う。ひび割れ高さが断面の 1/2 程度進展したところで変位制御に切り換え、載荷を継続した。

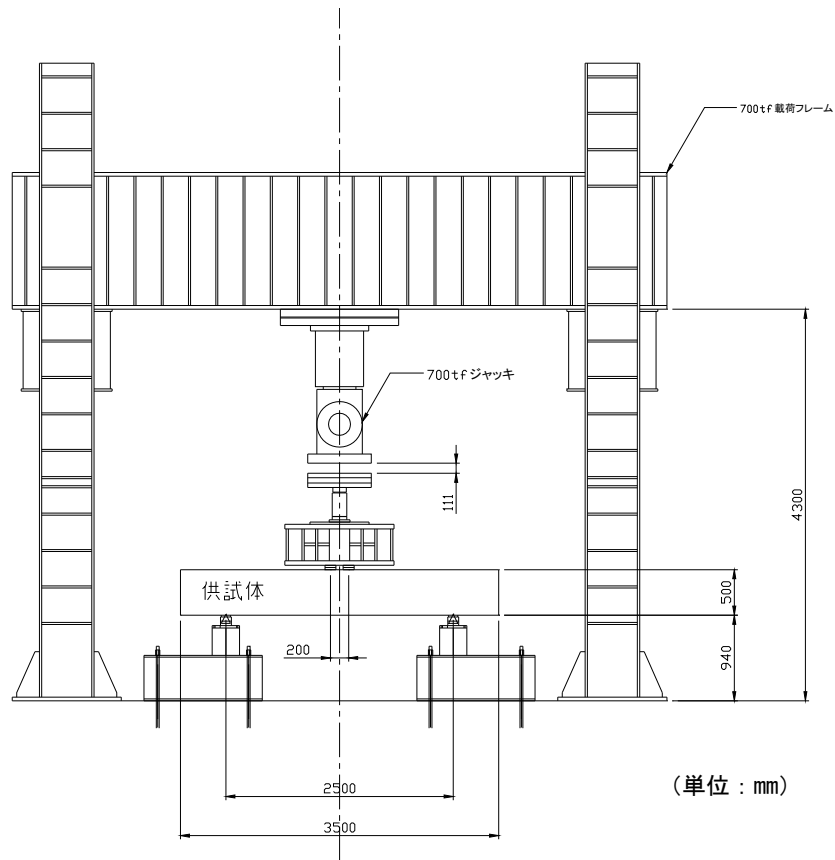


図 II-4.32 載荷状況

d) 実験結果

試験体 Case.1 ～Case.2 の荷重－変位関係を図 II-4.33 に、ひび割れ状況を図 II-4.34 に示す。半円形フックの Case.1 試験体の最大荷重は 2952kN、「Head-bar」の Case.2 試験体は 2786kN であり、各種安全係数を 1.0 としてコンクリート標準示方書より求めたせん断耐力 2116kN ならびに、コンクリートの受け持つせん断耐力 V_c をせん断スパンの影響を考慮できる二羽式により求めたせん断耐力 2362kN を上回っている。

Case.1については、最大荷重に達する前に荷重が一度低下し、その後再度荷重を載荷したが、変位の進行に対して荷重の上昇は僅かであり、最大荷重に達した後に荷重の低下が確認されたため、載荷を終了し除荷した。Case.2についても同じような挙動であったが、変形の進行による荷重低下時の挙動を確認するために載荷を継続し、変形が大きくなった時点で載荷を終了した。

図 II-4.35～36に、「Head-bar」のCase.2試験体について載荷スパン中央部の軸方向鉄筋ひずみ－荷重関係、最大荷重時のせん断補強鉄筋のひずみ分布を示す。これより、最大荷重時において軸方向鉄筋のひずみは降伏ひずみ以下であり図 II-4.34の破壊状況とあわせてせん断破壊しているといえる。また、せん断補強鉄筋のひずみは支点および載荷点付近を除いて降伏していることが確認できた。

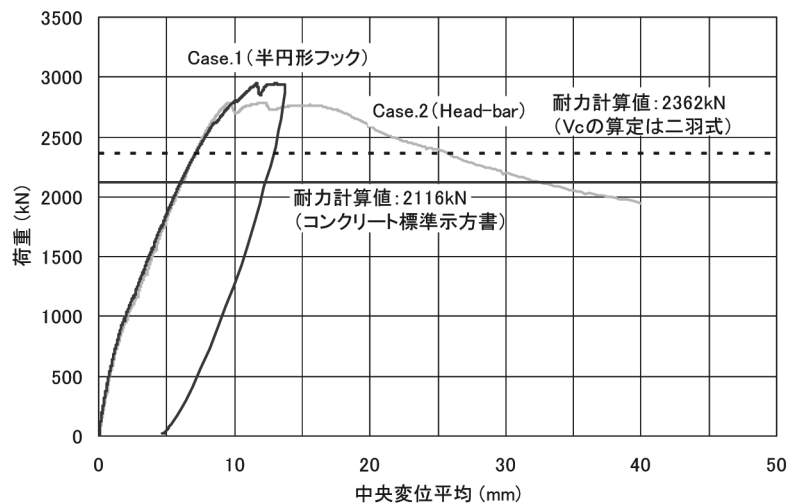
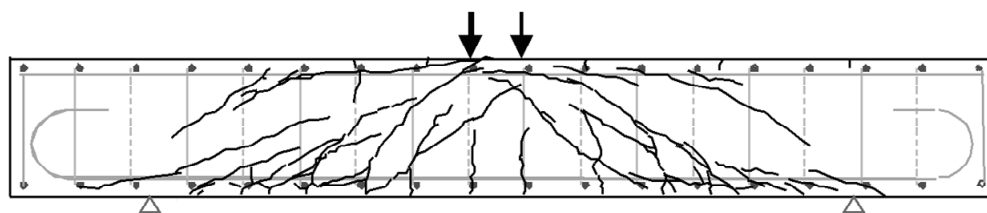
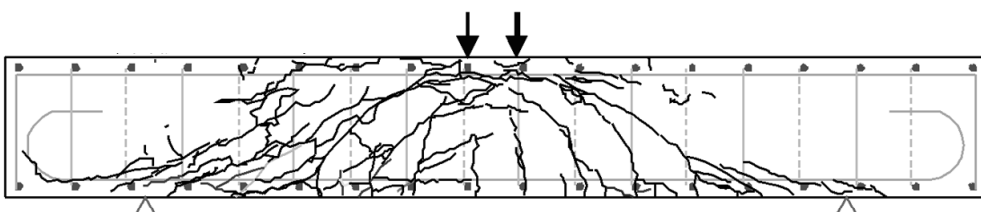


図 II-4.33 荷重－変位関係

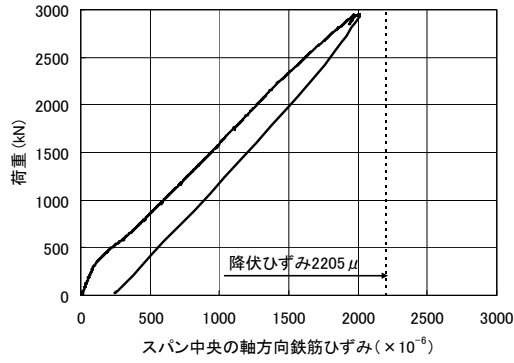


(a) Case.1 (半円形フック：荷重除荷時)

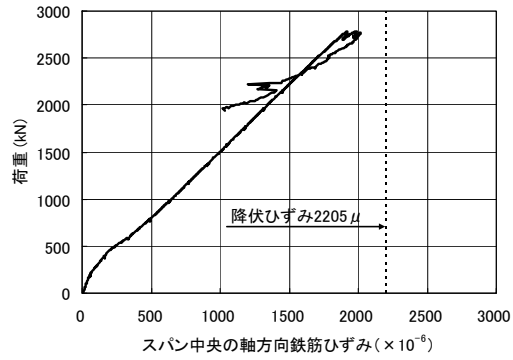


(b) Case.2 (「Head-bar」：荷重低下時)

図 II-4.34 ひび割れ状況

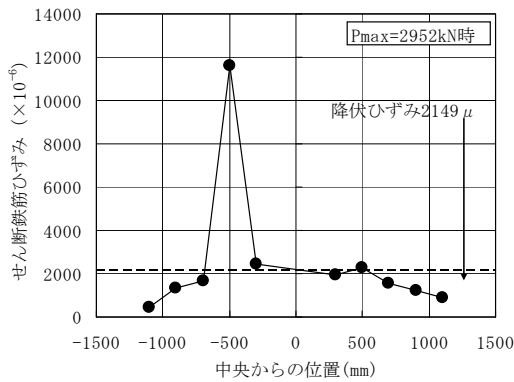


(a)Case.1 (半円形フック)

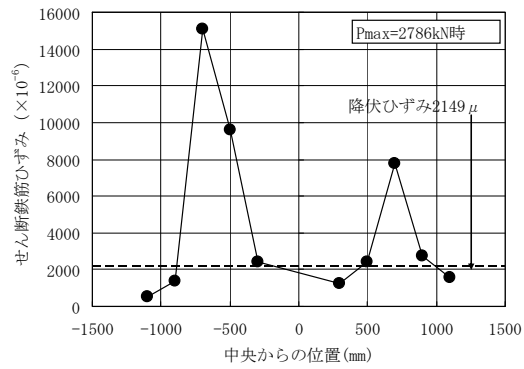


(b)Case.2 (「Head-bar」)

図 II -4.35 荷重－軸方向鉄筋ひずみ関係



(a)Case.1 (半円形フック)



(b)Case.2 (「Head-bar」)

図 II -4.36 最大荷重時におけるせん断補強鉄筋ひずみ分布

e) まとめ

せん断補強鉄筋に高強度鉄筋 SD390 を用い、「Head-bar」を用いた試験体と半円形フックの試験体について載荷実験を行った。いずれの試験結果においてもせん断耐力値はほぼ同等であり、また、せん断スパンの影響を考慮できる二羽式により求めたせん断耐力の算定値を上回る結果であった。これより、「Head-bar」を用いた場合のせん断補強性能は、半円形フックと同等であることが確認された。

4.1.3 せん断補強鉄筋または中間帯鉄筋の座屈抑止性能および部材の靱性

- ・「Head-bar」をせん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に用いた場合の軸方向鉄筋の座屈を抑止する効果および部材の靱性が、破壊までの挙動を含めて、半円形フック鉄筋と比較して同等であることが確認された。
- ・「Head-bar」定着部の高応力繰返し荷重に対する定着性能は半円形フック鉄筋と同等かまたはそれ以上であることが確認された。

(1) 定着部の高応力繰返し試験

a) 試験体形状および試験ケース

「Head-bar」定着部の高応力繰返し荷重に対する定着性能の確認を目的として、下限を母材の規格降伏強度の2%以下、上限を母材の規格降伏強度の95%とした応力で静的に30回の繰返し载荷を行い、30回目の上限応力時の拔出し量（ δ_{30} ）が半円形フック鉄筋の場合の値と同等以下、かつ30回目の上限荷重時の拔出し量（ δ_{30} ）と1回目の上限荷重時の拔出し量（ δ_1 ）の差が半円形フック鉄筋の場合の値と同等以下であることの確認を行った。

試験ケースを表Ⅱ-4.19に示す。また、試験体の構造図および载荷図を図Ⅱ-4.37～図Ⅱ-4.40に示す。

表Ⅱ-4.19 試験ケース

| 鉄筋種類 | 呼び名 | コンクリート設計 基準強度[N/mm ²] | コンクリート 強度[N/mm ²] | 定着部形状 |
|-------|-----|--------------------------------------|----------------------------------|----------|
| SD345 | D32 | 21 | 31.5 | Head-bar |
| | | | 31.5 | 半円形フック |
| SD390 | | | 32.1 | Head-bar |
| | | | 29.3 | 半円形フック |
| SD490 | | | 33.2 | Head-bar |
| | | | 28.9 | 半円形フック |
| SD490 | 60 | 73.8 | Head-bar | |
| | | 73.8 | 半円形フック | |

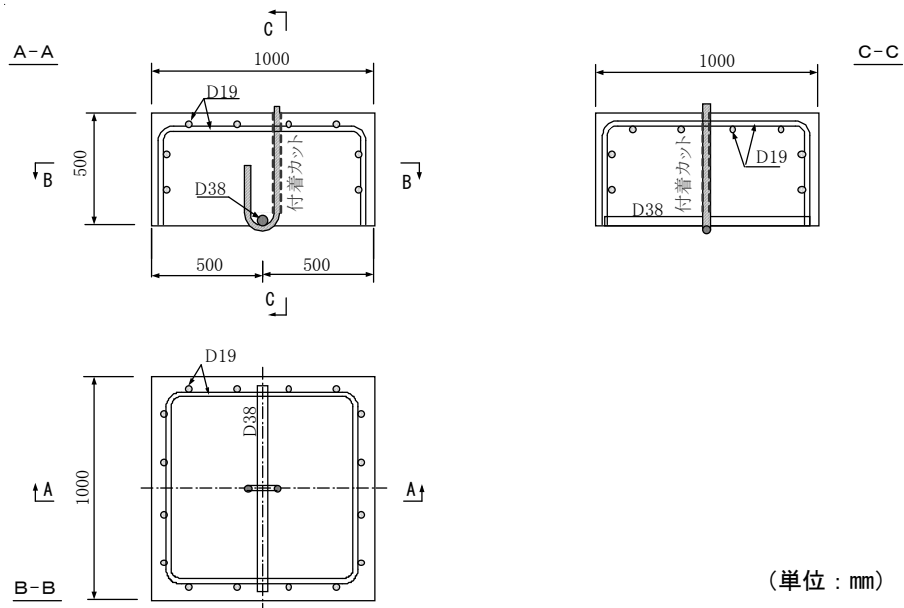
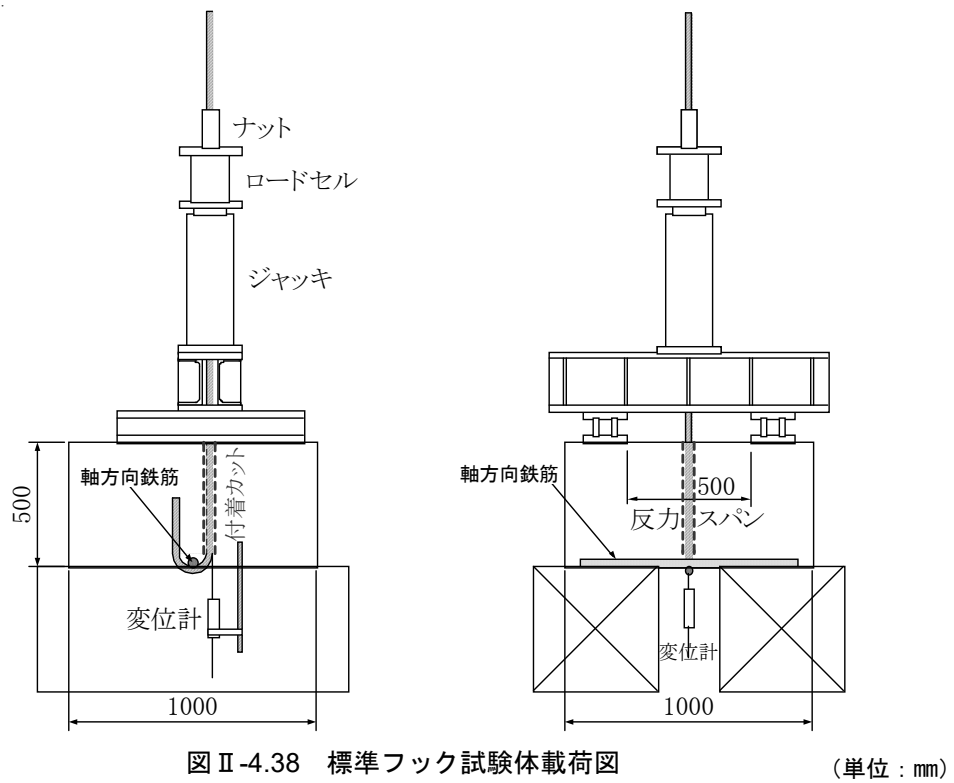


図 II-4.37 試験体配筋図 (標準フック) D 32



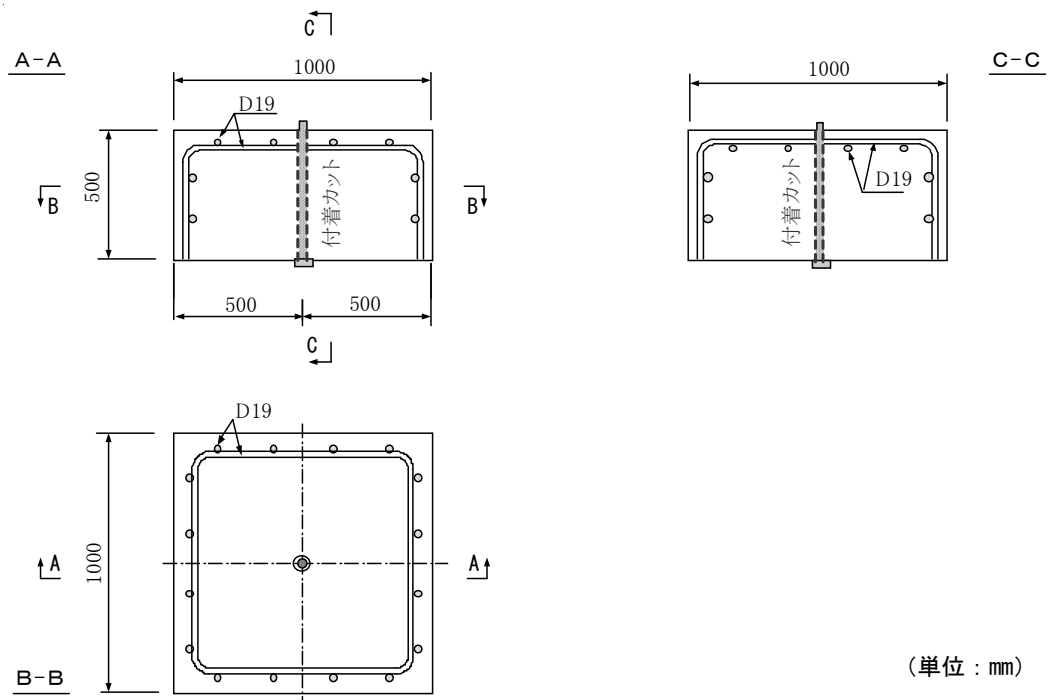


図 II-4.39 試験体配筋図 (「Head-bar」) D 32

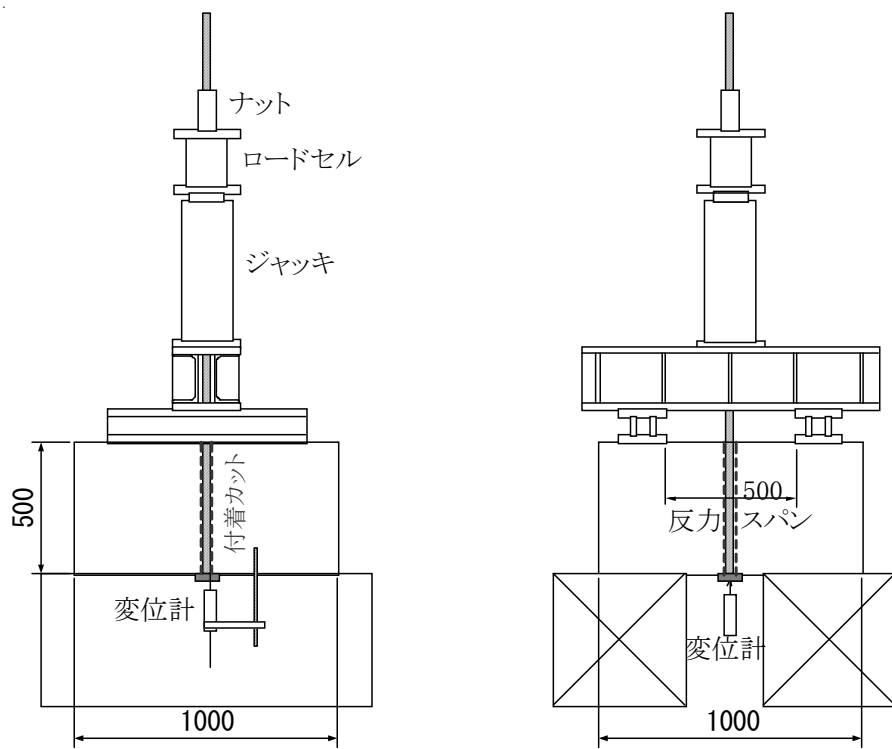


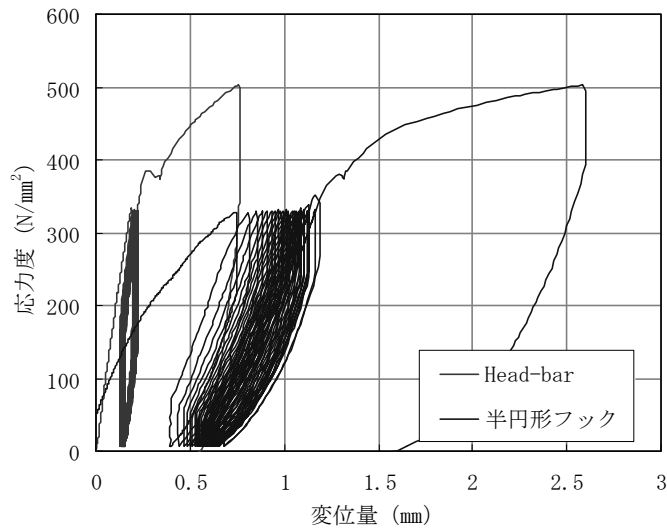
図 II-4.40 「Head-bar」試験体載荷図

(単位 : mm)

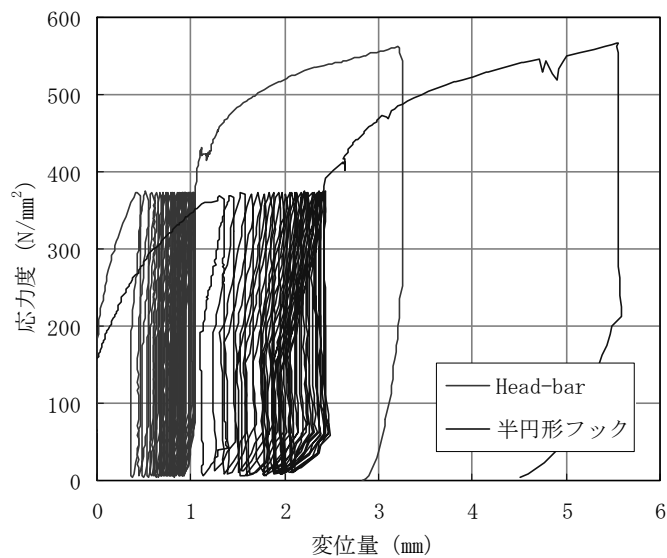
b) 実験結果および考察

SD345、SD390 および SD490 について半円形フックと「Head-bar」の試験結果の比較を行う。

図Ⅱ-4.41～44 に荷重-拔出し変位関係を、表Ⅱ-4.20 に拔出し変位の比較を示す。これより、30 回繰返し時の拔出し変位量の差分および拔出し変位量 ($\delta 30$) が半円形フックのほうが大きく、「Head-bar」のほうが定着性能に優れている。よって、「Head-bar」は半円形フックと同等かまたはそれ以上の高応力繰返し性能を保有していることが確認された。



図Ⅱ-4.41 荷重-拔出し変位関係 (SD345 : D32, $f_{ck}=21\text{N}/\text{mm}^2$)



図Ⅱ-4.42 荷重-拔出し変位関係 (SD390 : D32 $f_{ck}=21\text{N}/\text{mm}^2$)

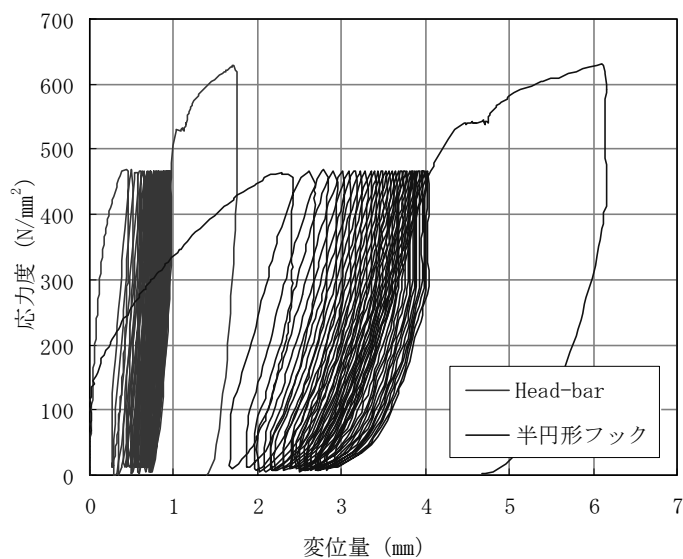


図 II -4.43 荷重-拔出し変位関係 (SD490 : D32 : $f_{ck}=21N/mm^2$)

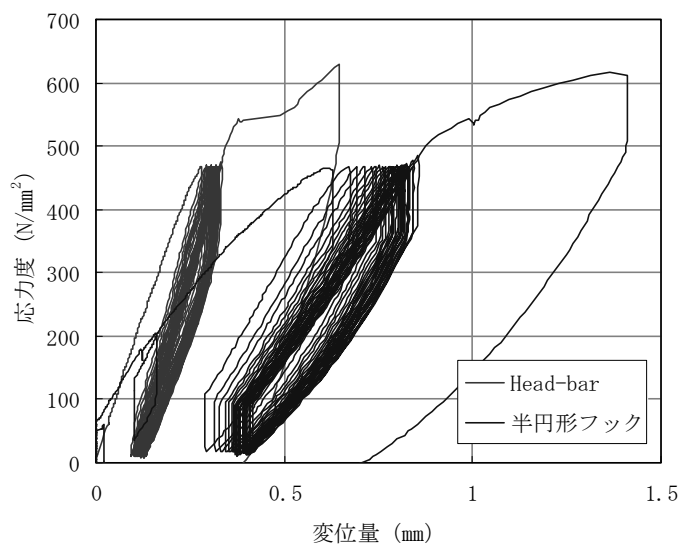


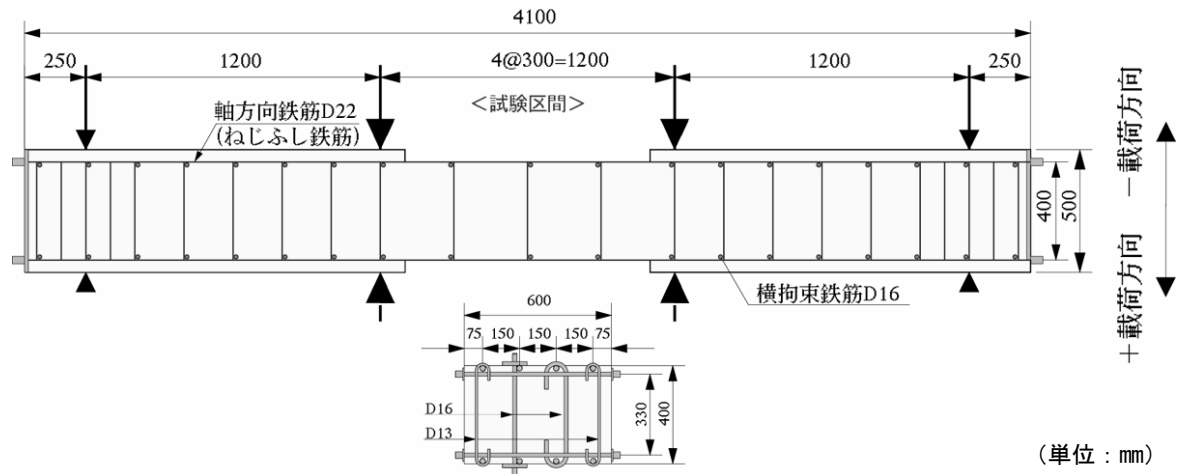
図 II -4.44 荷重-拔出し変位関係 (SD490 : D32 : $f_{ck}=60N/mm^2$)

表 II -4.20 拔出し変位量の比較

| 鉄筋の種類 | 呼び名 | コンクリート強度(N/mm ²) | 種別 | δ_1 (mm) | δ_{30} (mm) | $\delta_{30} - \delta_1$ (mm) |
|-------|-----|------------------------------|----------|-----------------|--------------------|-------------------------------|
| SD345 | D32 | 31.5 | Head-bar | 0.194 | 0.222 | 0.028 |
| | | | 半円形フック | 0.750 | 1.192 | 0.442 |
| SD390 | D32 | 32.1 | Head-bar | 0.460 | 1.050 | 0.590 |
| | | | 半円形フック | 1.350 | 2.420 | 1.070 |
| SD490 | D32 | 33.2 | Head-bar | 0.454 | 0.962 | 0.508 |
| | | | 半円形フック | 2.420 | 4.030 | 1.610 |
| SD490 | D32 | 73.8 | Head-bar | 0.280 | 0.330 | 0.050 |
| | | | 半円形フック | 0.628 | 0.858 | 0.230 |

(2) せん断補強鉄筋にSD345の「Head-bar」を用いた梁部材の交番载荷試験

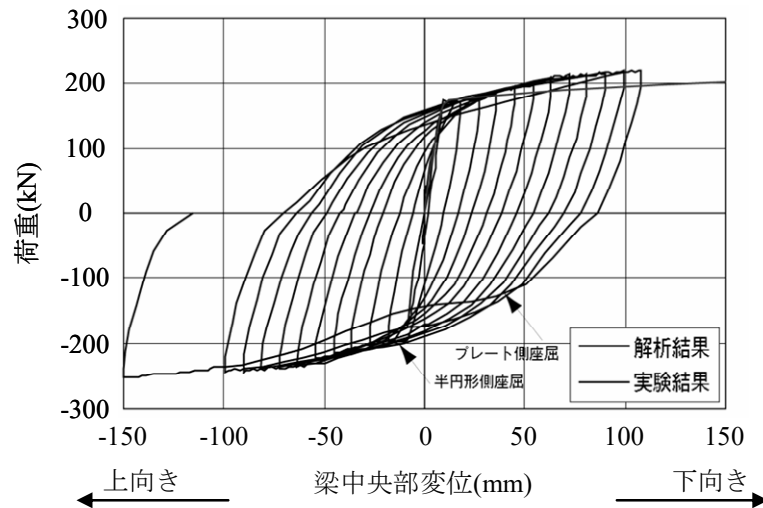
「Head-bar」の定着性能により、主鉄筋の座屈を有効に抑止することを確認するために、図Ⅱ-4.45に示した梁部材の交番载荷試験を行った。梁部材には、「Head-bar」と半円形フックを曲げ区間に配筋した。測定項目は、载荷荷重、梁の鉛直変位、鉄筋のひずみとした。



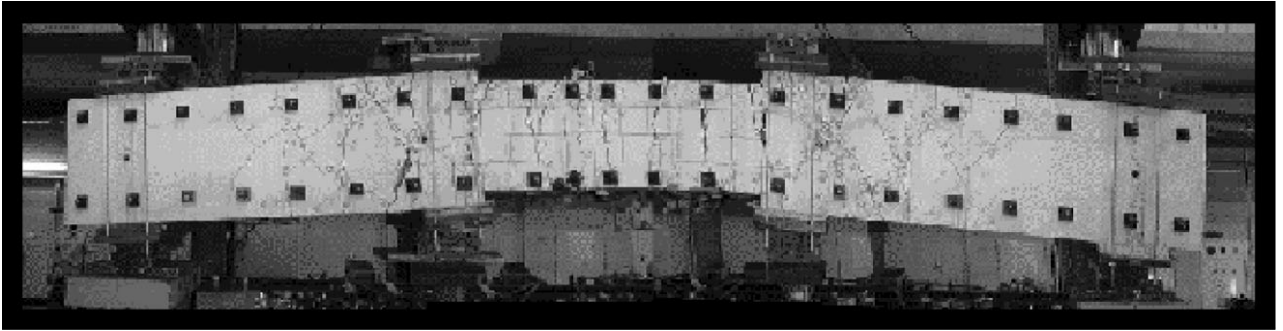
図Ⅱ-4.45 梁部材の形状寸法および配筋（座屈実験）

実験結果のうち荷重—変位関係を図Ⅱ-4.46に示す。

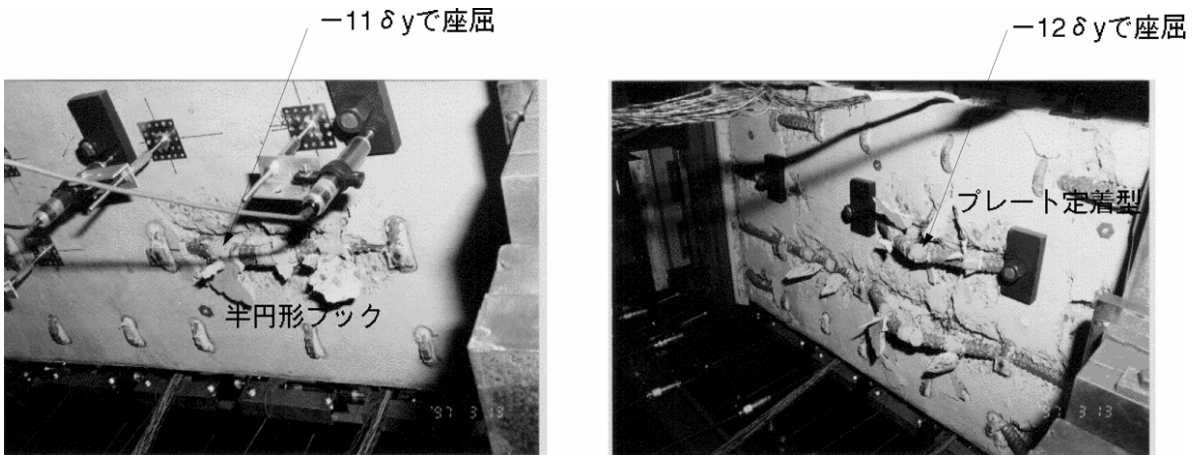
また、図Ⅱ-4.47に示すように、半円形フックの定着では、 $-11\delta_y$ においてフックのはらみ出しにより主鉄筋は座屈したが、「Head-bar」による定着では $-12\delta_y$ まで主鉄筋は座屈しないことが確認された。この結果により、「Head-bar」の主鉄筋の座屈抑止効果は半円形フックと同等かまたはそれ以上であることが確認された。



図Ⅱ-4.46 荷重—変位曲線



(a) 試験後の全体状況



(b) 主鉄筋の座屈状況

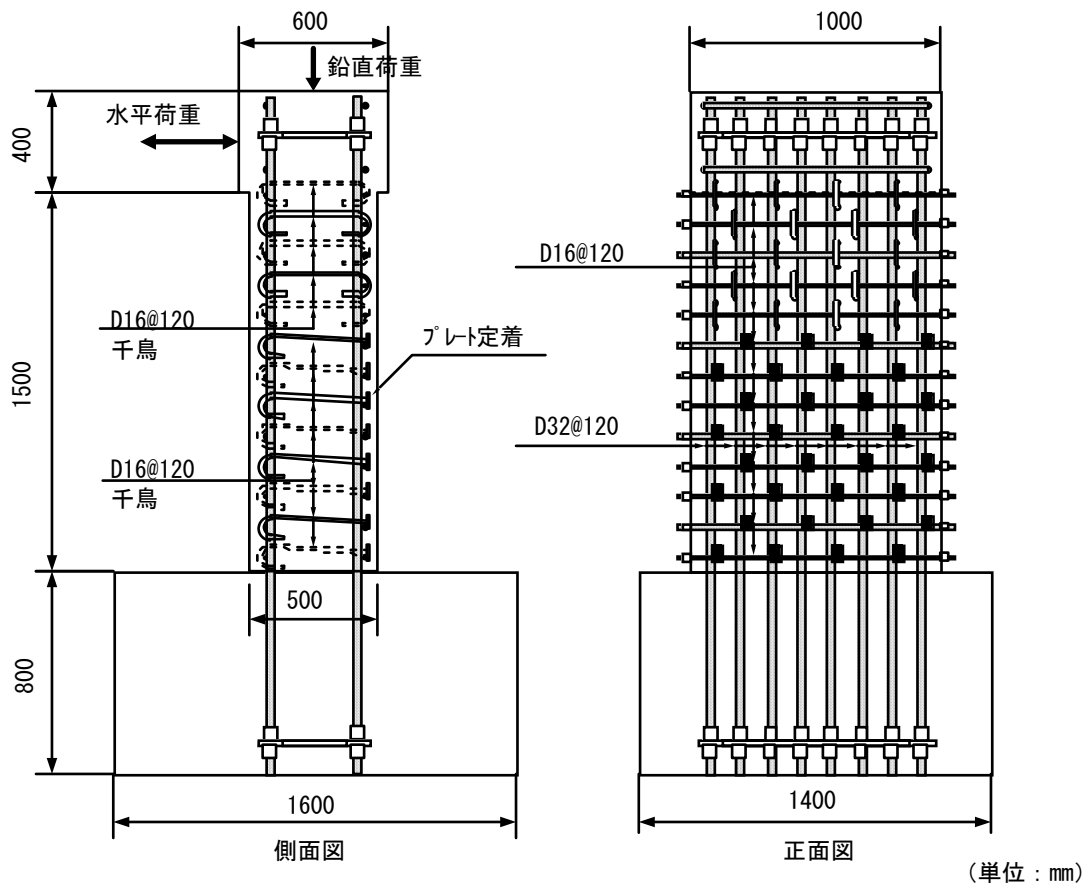
図 II-4.47 破壊状況

(3) せん断補強鉄筋にSD345の「Head-bar」を用いた壁部材の交番載荷試験

「Head-bar」をせん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に用いた場合の軸方向鉄筋の座屈を抑止する効果および部材の靱性を確認するために、図Ⅱ-4.48に示した壁部材の曲げ試験を実施した。載荷条件は、主鉄筋降伏時の変位を基準とした交番載荷とした。また、断面の平均軸圧縮応力が 3.0N/mm^2 となる軸力を加えた。せん断補強鉄筋には、一端が摩擦圧接型、他端が半円形フックの定着形状を有する「Head-bar」(SD345)を用いた。この壁部材の諸元は、せん断スパン比4.0、引張主鉄筋比1.5%、せん断補強鉄筋比0.66%、せん断耐力と曲げ耐力時のせん断力の比2.0である。測定項目は、載荷荷重、部材の変位、鉄筋のひずみである。

実験結果として、水平荷重に対する載荷点変位の履歴曲線を図Ⅱ-4.49に示す。図の第1、第4象限は、「Head-bar」のプレート側が圧縮状態のときであり、第2、第3象限は、半円形フック側が圧縮状態の結果である。図中には、主鉄筋の降伏時、コンクリートの圧壊時、せん断補強鉄筋の降伏時、主鉄筋の座屈時を注記した。この結果から、プレート側の耐力低下は、半円形フック側の耐力低下に比べて小さいことが確認された。また、図Ⅱ-4.50には、壁体の破壊状況写真を併記した。破壊状況の観察によれば、プレート側のコアコンクリートの損傷や主鉄筋の座屈は、半円形フック側のそれらの程度よりも低いことが確認された。

表Ⅱ-1.1および付属資料-2の「「Head-bar」製造基準〔設計編〕」により求めたプレートの厚さおよび短辺長は、せん断補強鉄筋の定着機能確保を主眼として設計した最小寸法であり、この最小寸法を用いる場合でも部材の破壊靱性は通常の半円形フックを用いるものと同等かまたはそれ以上であることが上記の実験により確認されている。



図Ⅱ-4.48 壁部材の試験体

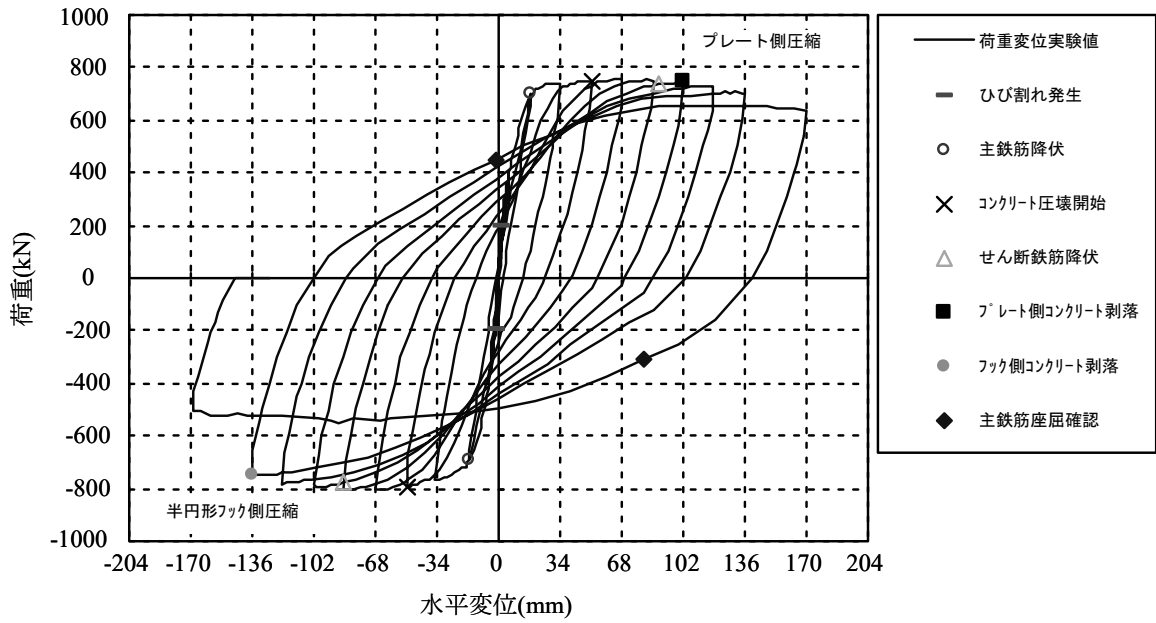
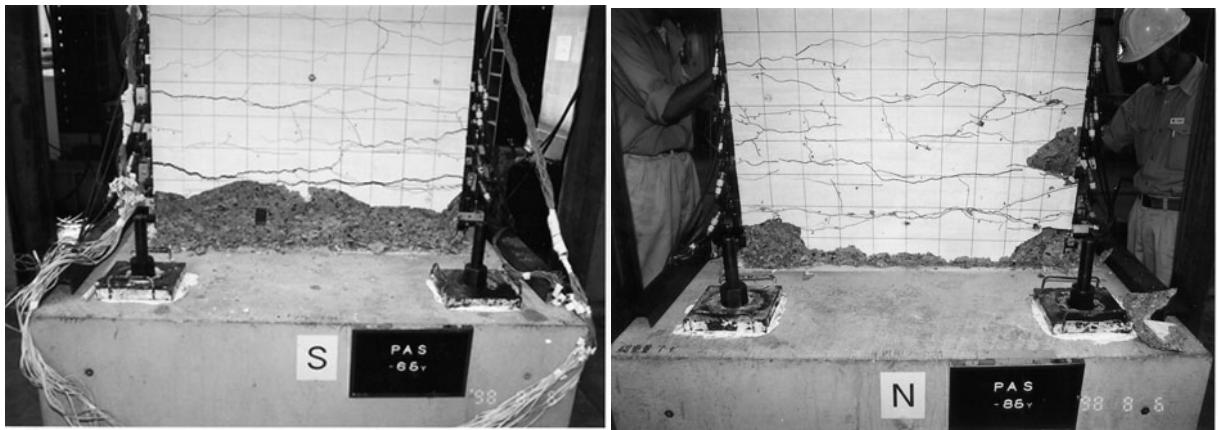
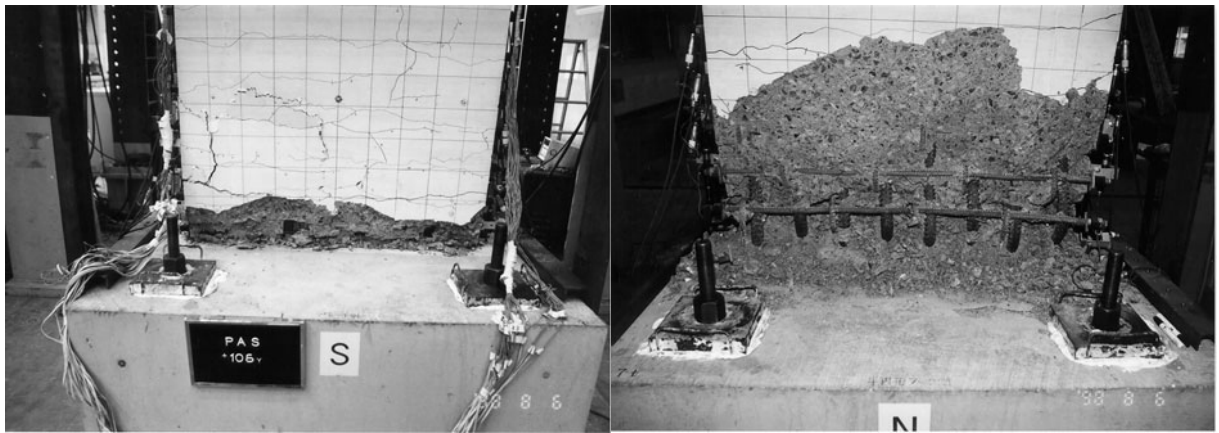


図 II-4.49 荷重-変位曲線



(a) プレート側のかぶりコンクリート剥落 $+6 \delta y$ (b) 半円形フック側のかぶりコンクリート剥落 $-8 \delta y$



(c) プレート側の試験終了時 $+10 \delta y$ (d) 半円形フック側の試験終了時 $-10 \delta y$

図 II-4.50 破壊状況

(4) せん断補強鉄筋に SD390 の「Head-bar」を用いた壁部材の交番載荷試験

a) 目的

「Head-bar」をせん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に用いた場合の軸方向鉄筋の座屈を抑止する効果および部材の靱性を確認するために、壁部材の曲げ試験を実施した。載荷条件は、主鉄筋降伏時の変位を基準とした交番載荷とした。

せん断補強鉄筋には、一端が摩擦圧接型、他端が半円形フックの定着形状を有する「Head-bar」(SD390・D16)を用いた。

b) 試験体

交番載荷実験で使用した試験体は、破壊形態が曲げ先行破壊となるよう設計した。

試験体の仕様は、以下のようにした。

- ・試験体の断面は 400mm×1000mm の壁部材とした。
- ・せん断スパン(a)を 2.0m、有効高さ(d)を 341mm、せん断スパン比(a/d)=5.9 とした。
- ・軸方向鉄筋は D25@125(SD390)、芯かぶり 59mm、全断面に対する軸方向鉄筋比は 2.0%とした。
- ・配力鉄筋は D16@200(SD390)、軸方向鉄筋の外側に配置した。
- ・せん断補強鉄筋は 4-D16@100 (SD390)、試験体高さ方向には千鳥配置し、せん断補強鉄筋比は 0.79%とした。
- ・試験時のコンクリート強度は 21.7N/mm²であり、軸力は 300kN (軸圧縮応力は 0.75N/mm²) とした。鉄筋についての材料強度を表 II-4.21 に示す。また、試験体の形状寸法を図 II-4.51 に示す。

表 II-4.21 配筋と鉄筋の実引張降伏強度

| 部位 | 呼び名 | 配置 | 降伏強度[N/mm ²] |
|---------|-----|--------------|--------------------------|
| 軸方向鉄筋 | D25 | 17@125mm | 466.5 |
| せん断補強鉄筋 | D16 | 2組, 22@100mm | 444.4 |
| 配力鉄筋 | D16 | 11@200mm | 444.4 |

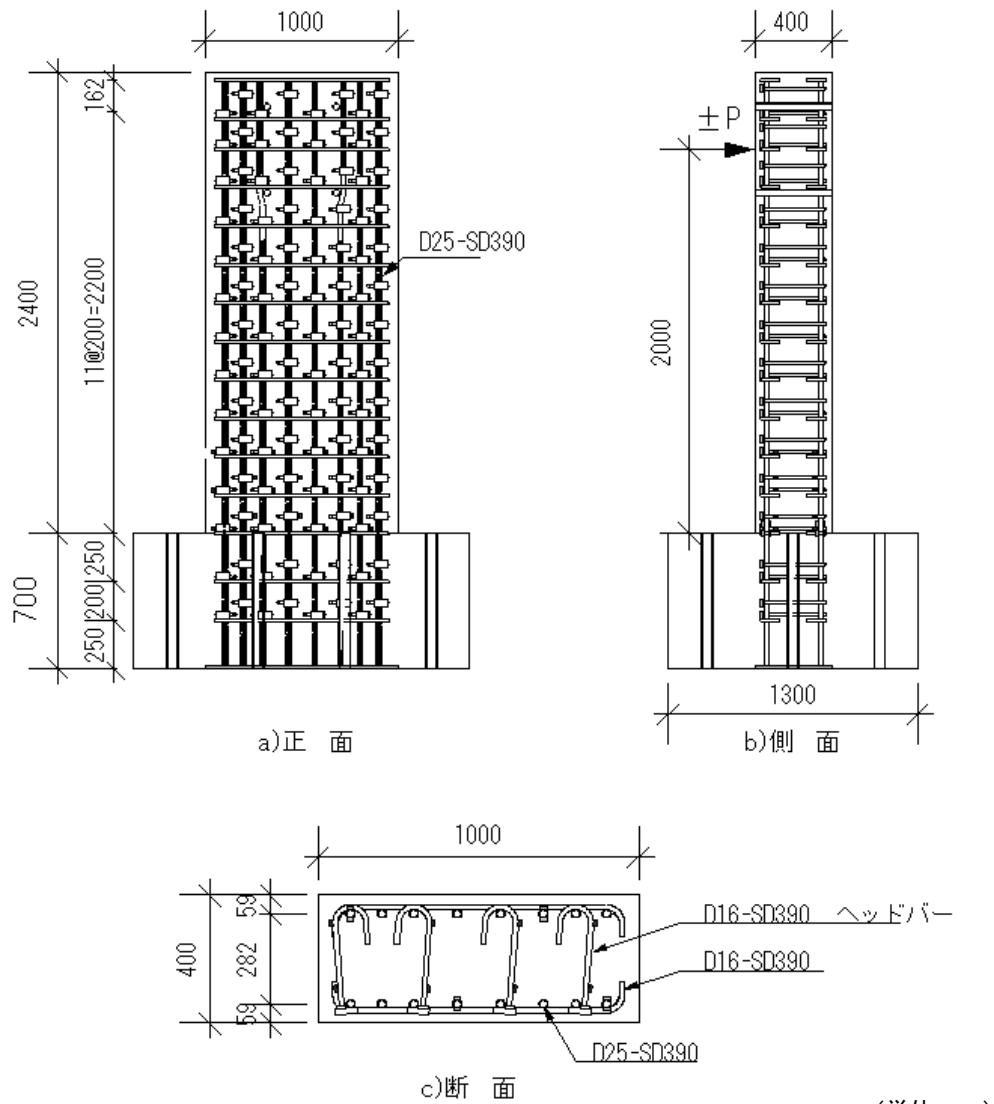


図 II-4.51 試験体形状・配筋

c) 加力方法

荷重は、軸力 300kN(0.75kN/mm²)を先行荷重した後、水平交番荷重 P を水平変位が δy の整数倍となるように加えた。 δy は、試験体設計時の降伏変位をもとに 20mm と設定し、全試験体に共通とした。水平交番荷重 P は、定着具側から半円形フック側へ押す場合を正とした。荷重回数は $\pm 1 \delta y$ は 1 回、 $\pm 2 \delta y \sim \pm 6 \delta y$ は 3 回、 $\pm 7 \delta y$ 以降は 1 回とした。図 II-4.52 に荷重状況を示す。

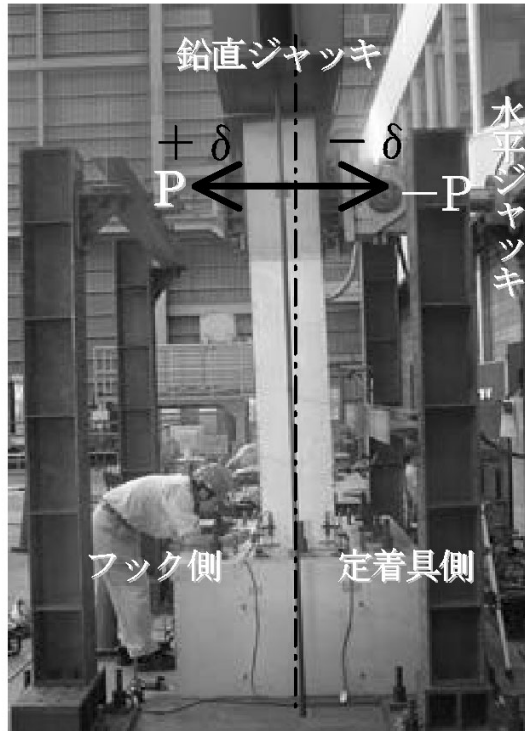


図 II-4.52 荷重状況

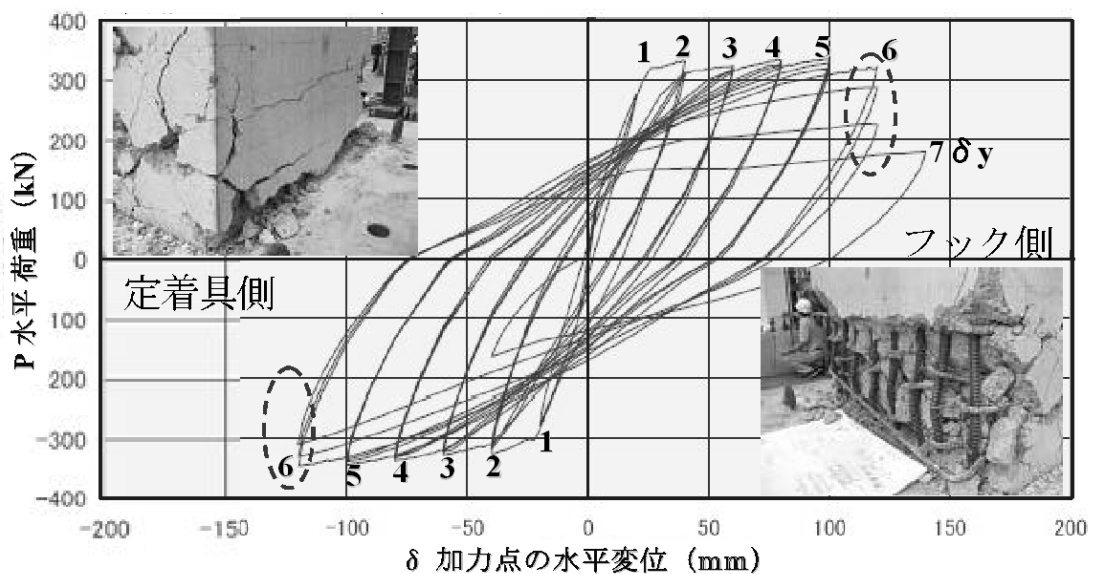
d) 実験結果

荷重－変位関係と実験終了時の基部の破壊状況を図Ⅱ-4.53に示す。

実験における損傷の進展状況を以下に示す。

- ・ ±80mm(4 δ y)繰返し載荷まで、かぶりコンクリートの著しい浮きなどは無かった。
- ・ ±100mm(5 δ y)の新規載荷で打音が変化しはじめ、繰返し載荷においてかぶりコンクリートの浮きが目立ち始めたが、耐力は維持していた。
- ・ ±120mm(6 δ y)の新規載荷において、東面（半円形フック側）下端のかぶりコンクリートが脱落して正側の耐力低下が始まったものの、負側の耐力は低下しなかった。
- ・ ±120mm(6 δ y)の繰返し載荷において、東面（半円形フック側）のかぶりの剥落が進展し、正側の耐力は降伏耐力を下回った。しかし、西面（プレート側）のかぶりの剥落は少量で、負側の耐力は維持した。
- ・ ±140mm(7 δ y)の新規載荷において正側の耐力は著しく低下したため、載荷を終了した。

荷重の低下に着目すると、6 δ y の正載荷において半円形フック側が圧縮となる際に軸方向鉄筋がはらみだし、かぶりの剥落が進展し荷重の低下にいたっている。同じサイクルの負載荷時においては「Head-bar」のプレート側が圧縮となるが、大きな荷重低下は生じず、その際の損傷は半円形フック側と比べて小さいものであった。これより、定着プレートによる軸方向鉄筋の座屈抑止効果が半円形フックと同等であることがわかる。



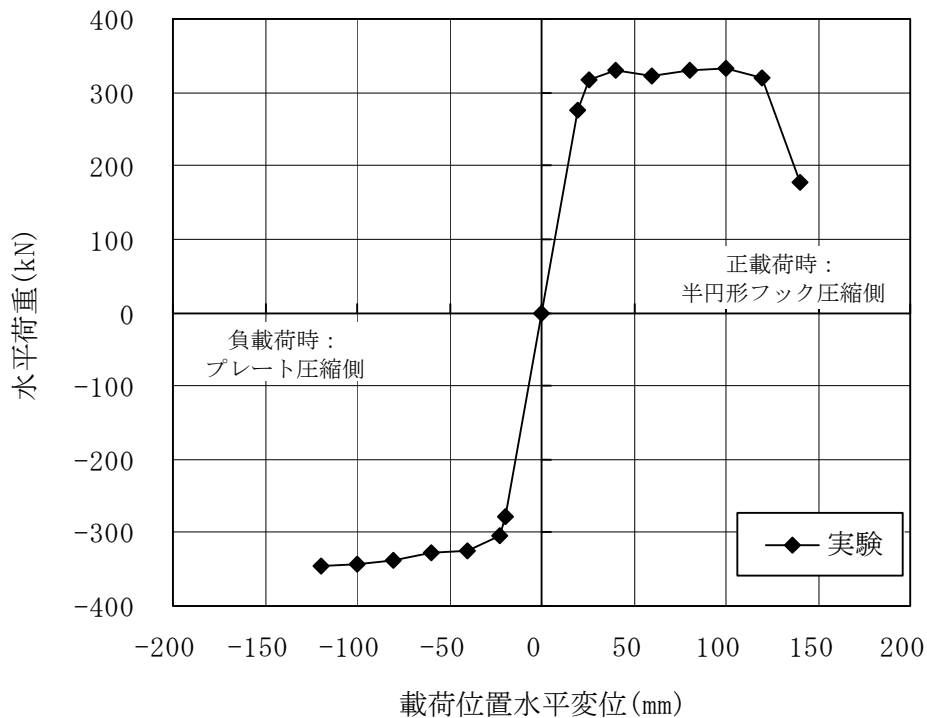
図Ⅱ-4.53 荷重－変位関係

e) 荷重－変位関係の比較

図Ⅱ-4.54 に荷重－変位関係の包絡線を示す。

第一象限の正載荷時の包絡線と第三象限の負載荷時の包絡線との比較より、半円形フック側の耐力低下がプレート側の耐力低下よりも早く生じたことが確認され、また、図Ⅱ-4.54 より、プレート側のコアコンクリートの損傷や主鉄筋の座屈は、半円形フック側のそれらの程度よりも低いことが確認された。

以上より、「Head-bar」をせん断補強鉄筋または中間帯鉄筋に用いた場合の軸方向鉄筋の座屈を抑止する効果および部材の靱性が、半円形フックと同等であることが確認された。



図Ⅱ-4.54 荷重－変位関係の包絡線

(5) せん断補強鉄筋に「Head-bar」を用いた部材の破壊までの挙動を含めた交番載荷試験

a) 目的

機械式定着を用いたせん断補強筋の性能を実験で確認する際の要件として、鉄筋・定着継手指針(2007)には「終局変位まで評価基準フックと同等以上の性能を有していること」とあり、また H24 道路橋示方書においては「破壊までの挙動も含めて鋭角フックや半円形フックと同等の効果が期待できること」と示されている。ここで鉄筋・定着継手指針の終局変位とは「曲げモーメントが降伏モーメントを下回らない最大変位」と規定され、破壊までの挙動とは「かぶりコンクリートが剥落し、軸方向鉄筋がはらみ出した後に軸方向鉄筋が破断して、水平方向の復元力が失われる状態までの挙動」と規定されている。

ここでは、これらの規定を包含する変形条件として破壊までの挙動を含めた載荷を行い、単柱式橋脚を模した試験体において、中間帯鉄筋として、プレート定着型鉄筋を使用した試験体と、両端に半円形フックを有する中間帯鉄筋を使用した試験体の耐荷性状を比較する。なお、確認する性能として、「半円形フックを有する中間帯鉄筋を用いた試験体と比較し、プレート定着型鉄筋を使用した試験体の耐震性能は同等またはそれ以上であること」とした。

4.1.3 (3)、(4)に示した実験では、「Head-bar」が半円形フックと同等以上の性能を保有することを確認したものの、半円形フック側の荷重が低下した時点で実験を終了しており、半円形フック側の荷重低下後の「Head-bar」側性能の確認には至っていない。本試験は「Head-bar」を用いた試験体と半円形フックのみを用いた試験体を別途製作、載荷することにより、前記の(3)、(4)とは異なり半円形フックおよび「Head-bar」鉄筋を用いた試験体それぞれの水平荷重が低下する変形までの性能を直接比較するものである。

b) 試験概要

表 II-4.22 に試験一覧を、図 II-4.55 に各試験体の形状寸法および配筋図を示す。両試験体は中間帯鉄筋の種類以外は同一である。せん断補強鉄筋は SD390 の D16 を使用した。

試験体は、単柱式橋脚を対象としつつ、中間帯鉄筋を配置した壁式橋脚に近い断面を採用した。

呼び名、鉄筋間隔は概ね標準的な値とし、軸方向呼び名と横拘束呼び名については実構造物における組合せを考慮した。中間帯鉄筋 D16 の仕様は道路橋示方書に準じ、両試験体の半円形フックの定着余長は 8ϕ (ϕ は呼び名) とした。プレート定着型鉄筋はプレート側、半円形フック側ともに帯鉄筋のみに直角にかけ、半円形フック試験体における半円形フックは主鉄筋と帯鉄筋の双方にかける斜め配置とした。

鉄筋の材質は軸方向鉄筋・横拘束鉄筋ともに SD390 とした。定着プレートは、材質 SM490、幅 40mm × 高さ 72mm × 厚さ 12mm の矩形プレートとした。

コンクリート設計基準強度は 24N/mm^2 、載荷試験時の圧縮強度 27.6N/mm^2 であった。

標準的な橋脚に作用する軸力として基部軸応力を 2N/mm^2 とした。試験体へ鉛直載荷 (1331kN) を作用させたのち、水平載荷を正負交番で加えた。±500kN までは荷重制御、その後変位制御により載荷した。降伏変位が得られた後、その整数倍の強制変位を与え、各ステップで 3 回正負繰返した。両試験体とも $7\delta_y$ の載荷終了状態で最大水平荷重の半分以下となったことから試験体の破壊と判断し、 $8\delta_y$ で試験を終了した。

表 II-4.22 試験一覧

| 試験体番号 | せん断補強筋 | 備考 |
|--------|------------|-----------------------|
| Case.1 | 「Head-bar」 | 片側プレート定着、もう片側半円形フック定着 |
| Case.2 | 半円形フック | 基本供試体、両側とも半円形フック定着 |

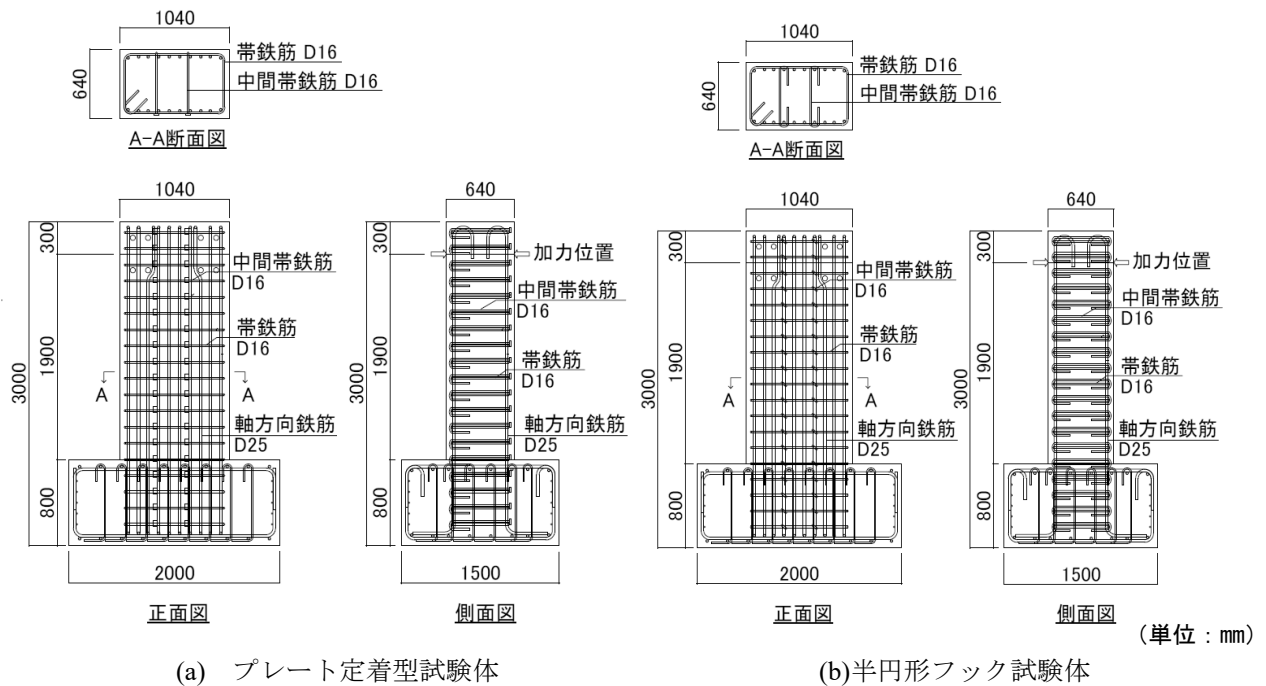


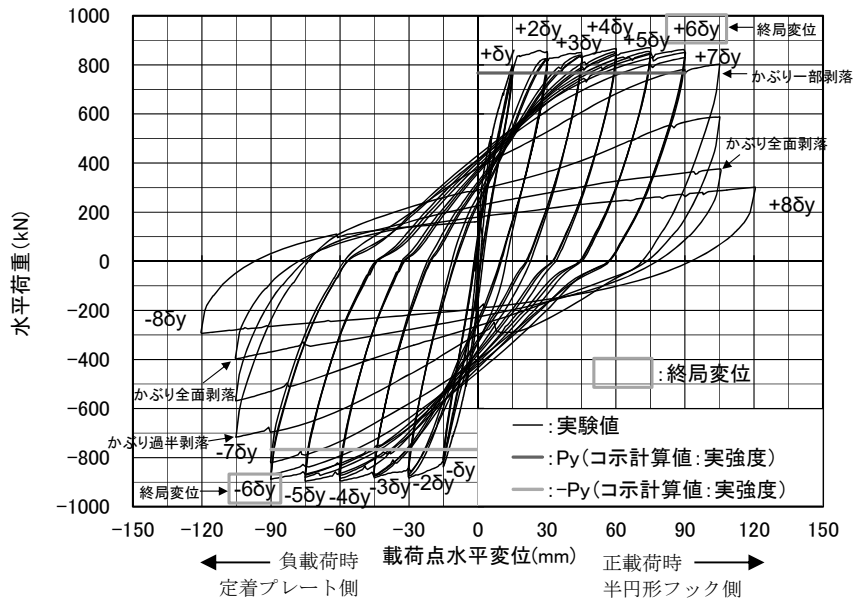
図 II-4.55 試験体の形状寸法および配筋

c) 試験結果

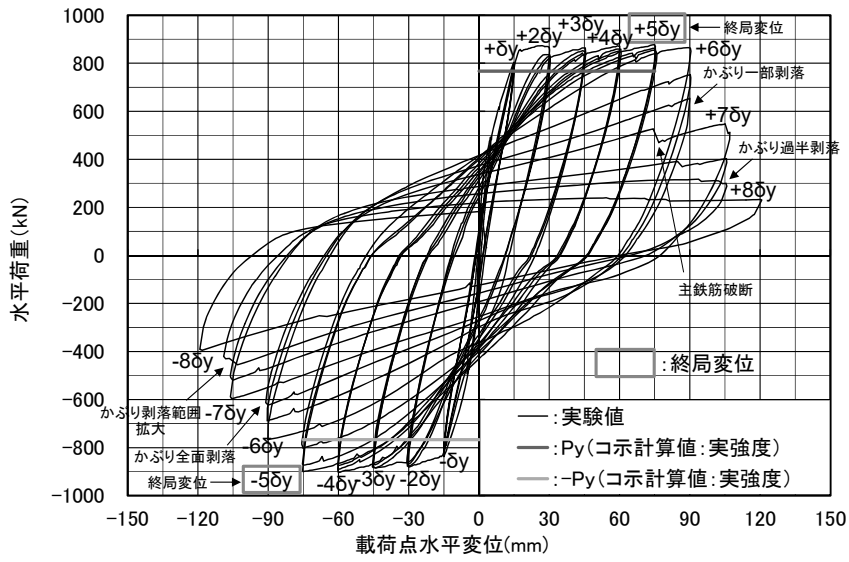
図 II-4.56 に水平荷重—水平変位関係を、図 II-4.57 に荷重包絡線におけるプレート定着型試験体と半円形フック試験体との比較を、図 II-4.58 には各載荷ステップにおける履歴吸収エネルギーの比較を示す。また、図 II-4.59 に $6\delta y$ 載荷時の破壊状況の両者比較を示す。

本実験結果の範囲において、以下のことが要約される。

- ① 最大荷重は両試験体でほぼ同程度であった。鉄筋定着・継手指針に準拠して、繰返し3回目の水平荷重が降伏荷重を下回らない最大水平変位を終局変位とした場合、プレート定着型試験体の終局変位は $\pm 6\delta y$ 、半円形フック試験体では $\pm 5\delta y$ となった。
- ② 半円形フック試験体では $-6\delta y$ の載荷ステップで大きく荷重が低下し、 $-6\delta y$ の3回目から $+7\delta y$ の1回目の載荷中に軸方向鉄筋が破断した。一方、プレート定着型試験体では $6\delta y$ の載荷ステップまで荷重を保持した後、 $7\delta y$ の載荷ステップで大きく荷重が低下した。両試験体の最終載荷ステップである $\pm 8\delta y$ における耐荷力は、ほぼ同程度であった。
- ③ 破壊の状態では、基部のコンクリートの損傷、軸方向鉄筋のはらみ出しが大きく、中間帯鉄筋の先端定着機構の差は明瞭には現れにくいものと考えられる。
- ④ 両試験体とも、軸方向鉄筋の伸出しを考慮したコンクリート標準示方書の骨格曲線の最大荷重および最大変位を満足した。
- ⑤ プレート定着型試験体の最大荷重と終局変位は半円形フック試験体のそれとほぼ同程度であった。また、各載荷STEPの履歴吸収エネルギーについてもプレート定着型試験体と半円形フック試験体の結果はほぼ同等であった。以上の結果より、「Head-bar」の主鉄筋拘束効果が、試験体が破壊に至るまで半円形フックと同等に機能していると考えられる。



(a) 「Head-bar」試験体



(b) 半円形フック試験体

図 II-4.56 水平荷重 - 水平変位関係

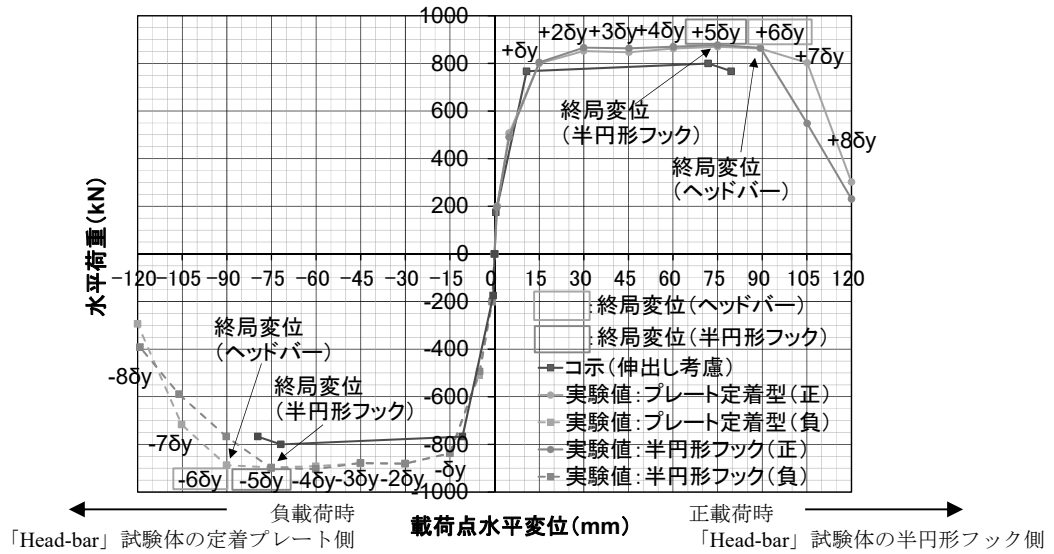


図 II-4.57 荷重包絡線

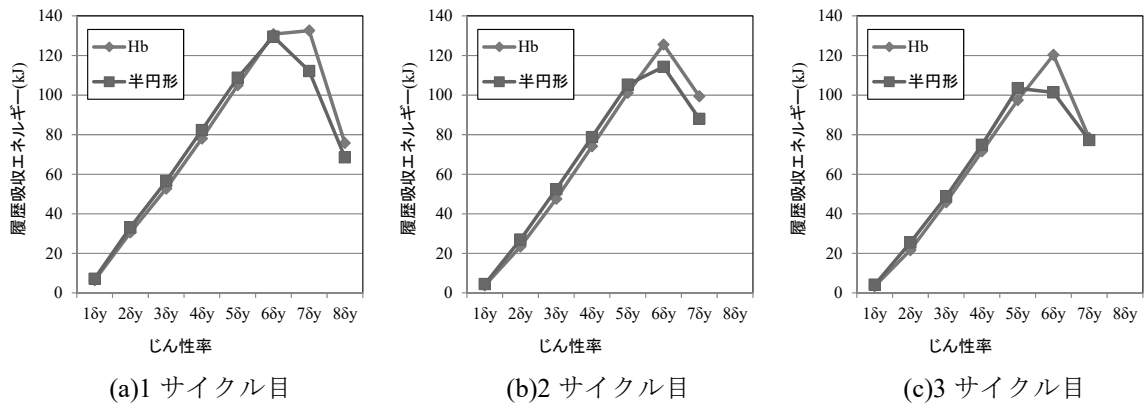
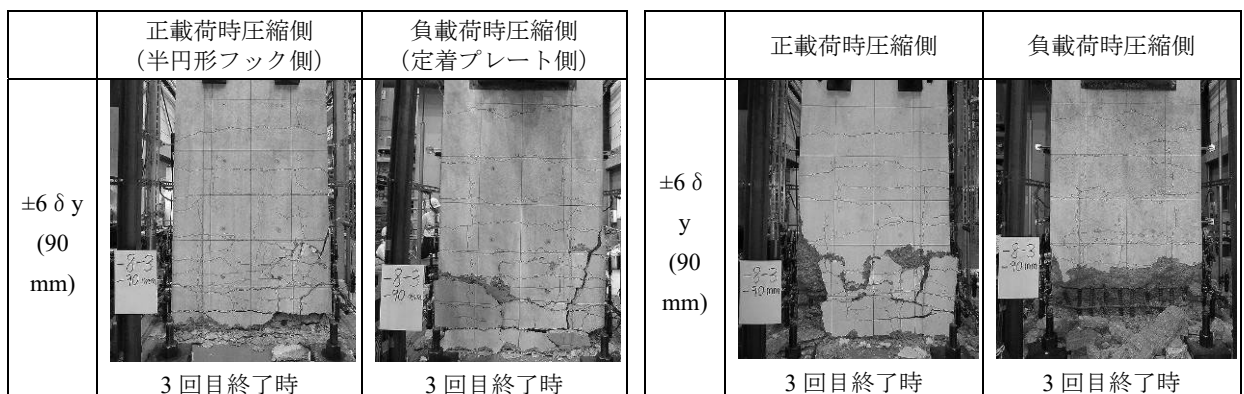


図 II-4.58 各载荷 STEP における履歴吸収エネルギー



(a) プレート定着型試験体

(b) 半円形フック試験体

図 II-4.59 $6 \delta y$ 载荷時の破壊状況の比較

(6) 異なるせん断補強鉄筋比の条件における破壊までの挙動の再現性を確認するための交番载荷試験

a) 目的

機械式定着を中間帯鉄筋として用いる場合、道路橋示方書 V 耐震設計編 6.2.5 において「正負交番繰り返しの作用を受ける場合に鉄筋コンクリート橋脚としての破壊までの挙動も含めて鋭角フックや半円形フックと同等な効果が期待できることが実験により確認されていること、適用される橋脚の条件がその実験により検証された条件の範囲内にあること等に留意する必要がある」と示されている。ここで鉄筋コンクリート橋脚の破壊までの挙動としては「かぶりコンクリートが剥落し、軸方向鉄筋がはらみだした後に軸方向鉄筋が破断する等により、水平方向の復元力が大きく低下するまでの挙動」としている。

ここでは Head-bar の適用範囲を検証するために、せん断補強鉄筋比の異なる短柱式橋脚を模した試験体により正負交番载荷試験を実施した。図 II-4.60 に本項の試験体の鉄筋比の条件と、過去の試験体および過去の橋脚への適用実績を示す。ここで確認する性能として、各せん断補強鉄筋比の橋脚における中間帯鉄筋としてプレート定着型鉄筋を使用した試験体と、両端に半円形フックを有する試験体の耐荷性状を比較し、「プレート定着型鉄筋を使用した試験体は、半円形フックを有する中間帯鉄筋を使用した試験体に比べ同等以上の耐震性能を有すること」とした。

Head-bar をせん断補強筋に適用した場合の耐震性能としては、とりわけ軸方向鉄筋の座屈抑止による変形性能の確保が重要となる。したがってここでは Head-bar の施工実績が多い配筋条件のうち、軸方向鉄筋座屈時のはらみ出しに伴う外向きの力が大きくなると思われる軸方向鉄筋の大きい領域で、せん断補強鉄筋比の比較的大きい条件と小さい条件の両者で実験を実施した。

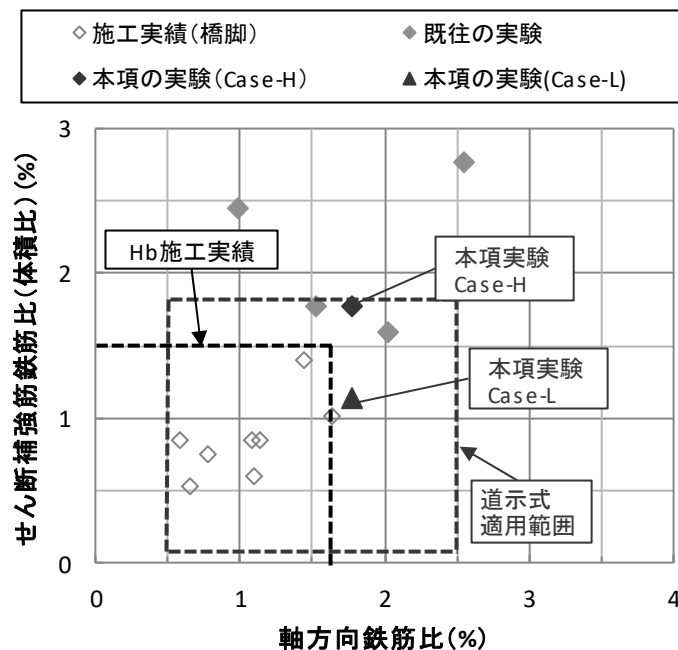


図 II-4.60 試験体の鉄筋比条件と施工実績との比較

b) 試験概要

表 II-4.23 に試験ケースの一覧を、図 II-4.61 に各試験体の形状寸法および配筋図を示す。各せん断補強鉄筋比における 2 つの試験体は中間帯鉄筋の定着以外は全て同一である。せん断補強鉄筋は SD345 の D16 (case-H) , D13 (case-L) をそれぞれ使用した。

試験体は前節(5)と同じく短柱式橋脚を対象としつつ、中間帯鉄筋を配置した壁式橋脚に近い断面・配筋条件を採用している。軸方向鉄筋の間隔は実構造物を想定し間隔を 150mm とし、鉄筋比は 1.8%とした。せん断補強鉄筋についても鉄筋間隔は 150mm、鉄筋比は case-H では道路橋示方書 V 耐震設計編の水平保有耐力式が適用される最大値 1.8%、case-L ではせん断破壊が生じない程度にするため 1.1%とした。中間帯鉄筋の使用は道路橋示方書に準拠し、D16 は定着余長を鉄筋径の 8 倍、D13 では 120mm とした。また中間帯鉄筋は Head-bar、両端が半円形フックのもの共に帯鉄筋のみに直角にかけた。

鉄筋の材質は軸方向鉄筋・横拘束筋共に SD345 とした。定着プレートはともに SM490 とし、形状はそれぞれ幅 40mm×高さ 70mm×厚さ 9mm (Case-H, D16) と幅 40mm×高さ 52mm×厚さ 9mm (Case-L, D13) の短形プレートとした。

コンクリート設計基準強度は 21 N/mm²、載荷試験時の圧縮強度は 30.2-32.9 N/mm²となった。

標準的な橋脚に作用する軸力として基部軸応力を 2 N/mm²とした。試験体への鉛直載荷 (1260kN) を作用させた後、水平載荷を正負交番で加えた。予備載荷である±500kN までは荷重制御、その後は変位制御により載荷した。降伏変位が得られた後、その整数倍の強制変位を与え、各ステップで 3 回の交番載荷を行った。水平耐力が最大値の 40%を下回った状態を破壊と判断し、その時点で載荷を終了した。

表 II-4.23 試験ケースの一覧

| | | | |
|-----------|----------|------------|----------|
| 高せん断補強鉄筋比 | case-H.1 | 「Head-bar」 | 片側プレート定着 |
| | case-H.2 | 半円形フック | 両側半円形フック |
| 低せん断補強鉄筋比 | case-L.1 | 「Head-bar」 | 片側プレート定着 |
| | case-L.2 | 半円形フック | 両側半円形フック |

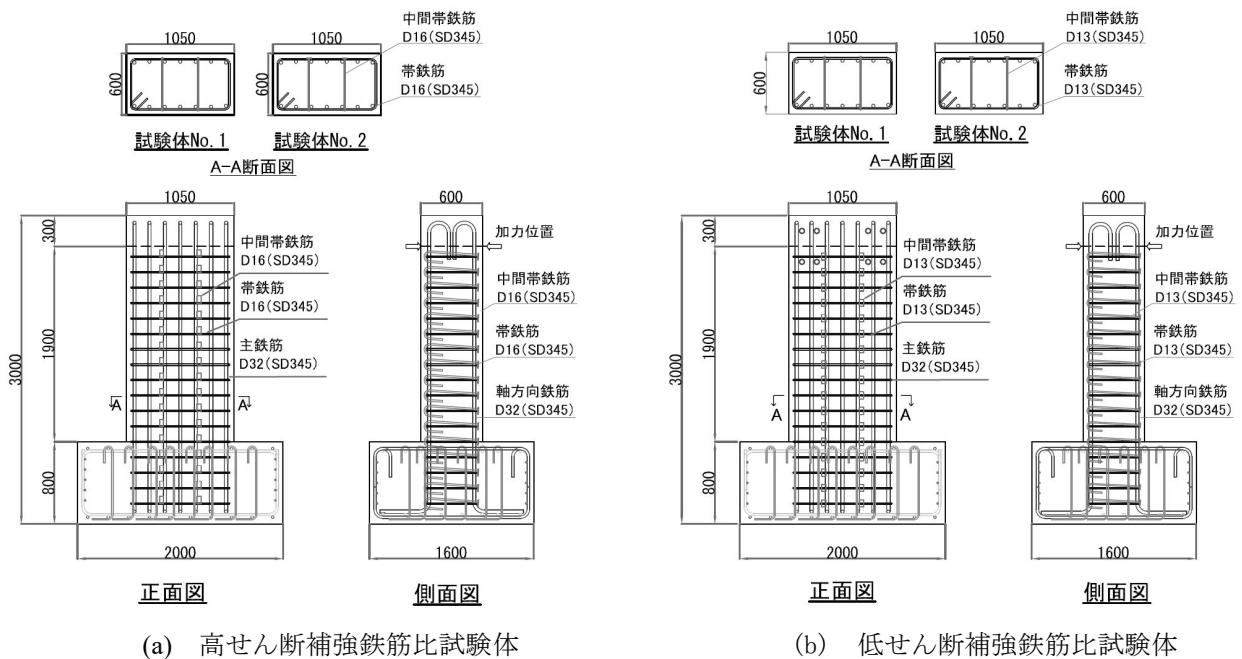


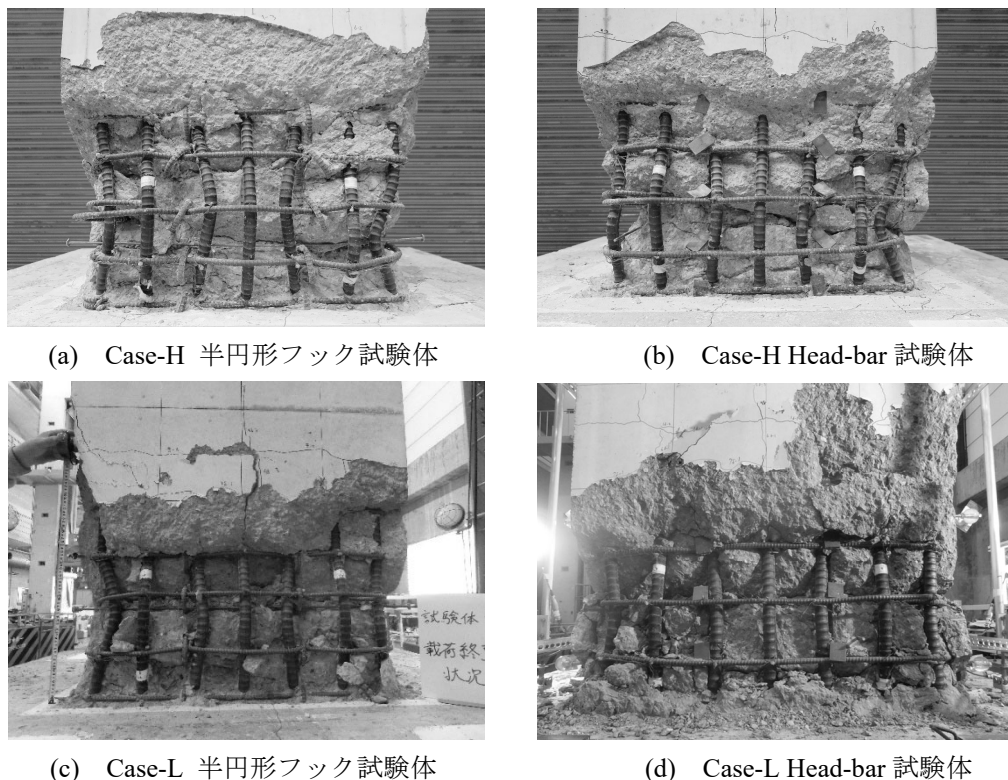
図 II-4.61 試験体の形状寸法および配筋

c) 試験結果

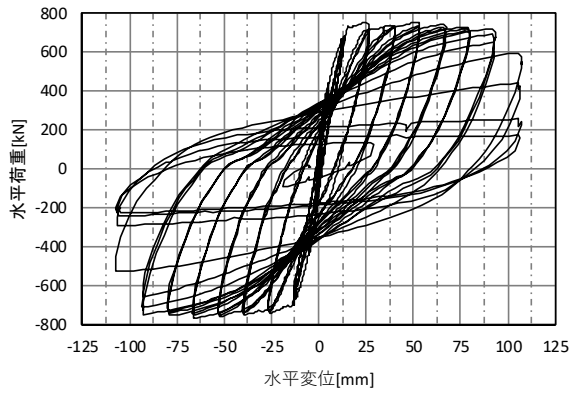
図Ⅱ-4.62 に破壊状況を図Ⅱ-4.63, 64 に水平荷重-水平変位関係を、図Ⅱ-4.65, 66 に Head-bar 試験体と半円形フック試験体との荷重包絡線の比較を、図Ⅱ-4.67, 68 に各载荷ステップにおける履歴吸収エネルギーの比較を示す。

本実験結果の範囲において、以下のことが示された。

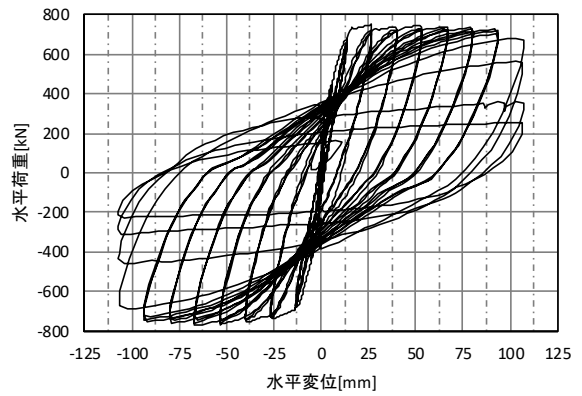
- ①最大荷重は各せん断補強鉄筋比の試験体でほぼ同程度であった。「同一振幅の繰り返し载荷において、1回目と3回目の载荷における水平力を比較して3回目の水平力が1回目の水平力の85%以上」、「2回目と3回目の载荷におけるエネルギー吸収量を比較して、エネルギー吸収量の低下が10%程度以下」と規定する道路橋示方書に準拠して限界状態2を算出すると、case-H では Head-bar 試験体・半円フック試験体共に $7d_y$ 、case-L では共に $6d_y$ となった。
- ②case-H において、半円形フック試験体は $7d_y$ の3回目から荷重低下の傾向が確認されるのに対し、Head-bar 試験体の荷重低下は $8d_y$ の1回目から確認された。両試験体の $8d_y$ -3回目時点の耐荷力はほぼ同等であった。case-L において、半円形フック試験体・Head-bar 試験体は共に $7d_y$ の1回目から荷重低下の傾向が確認された。両試験体の $7d_y$ -3回目時点の耐荷力を比較すると、Head-bar 試験体のほうがやや高い耐荷力を示した。
- ③せん断補強鉄筋比が異なる場合、せん断補強鉄筋比が高いほど変形性能は高くなるが、破壊状態としてはせん断補強鉄筋が横拘束力を失うことによる基部コンクリートの損傷・軸方向鉄筋のはらみ出しとなり大きな違いはなかった。そのため中間帯鉄筋の定着部の破壊状態には影響しなかった。
- ④異なるせん断補強鉄筋比の条件の両方で、1サイクル目の骨格曲線は道路橋示方書にて算出される骨格曲線の最大耐力と変形性能を満足した。
- ⑤異なるせん断補強鉄筋比の条件の両方で、Head-bar 試験体は、耐力・変形性能・エネルギー吸収の全てにおいて半円形フック試験体と同等以上の性能を有していることが確認された。



図Ⅱ-4.62 各試験体の試験終了後基部破壊状況

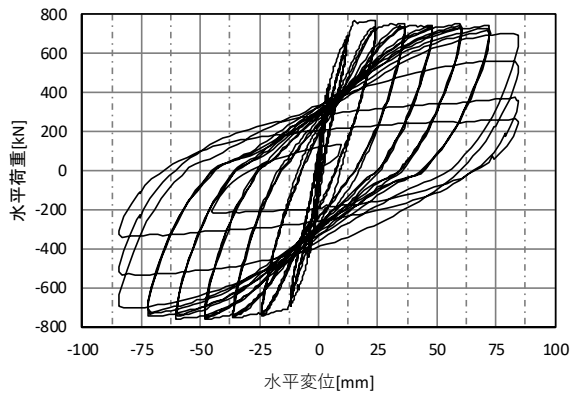


(a) 半円形フック試験体

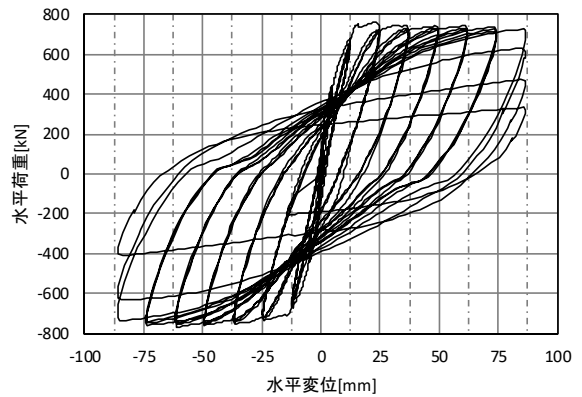


(b) Head-bar 試験体

図 II-4.63 水平荷重—水平変位関係（高せん断補強鉄筋比試験体）

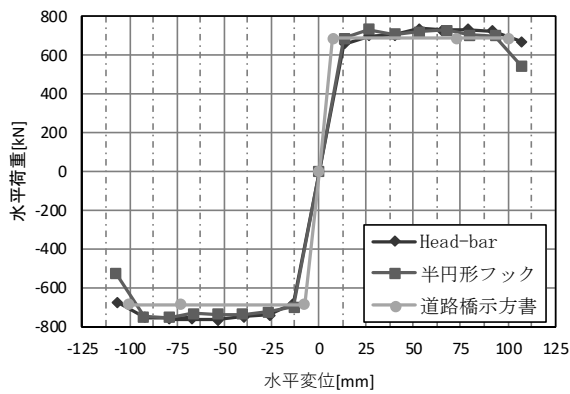


(a) 半円形フック試験体

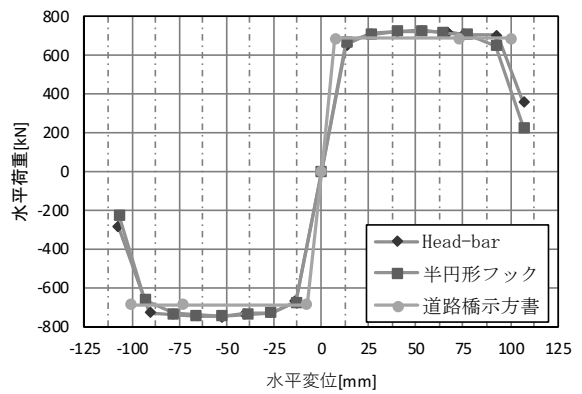


(b) Head-bar 試験体

図 II-4.64 水平荷重—水平変位関係（低せん断補強鉄筋比試験体）

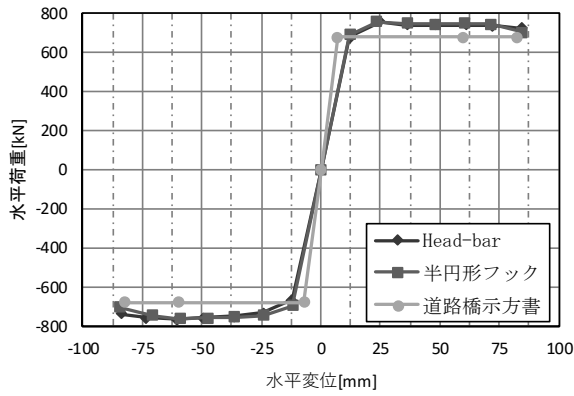


(a) 1 サイクル目

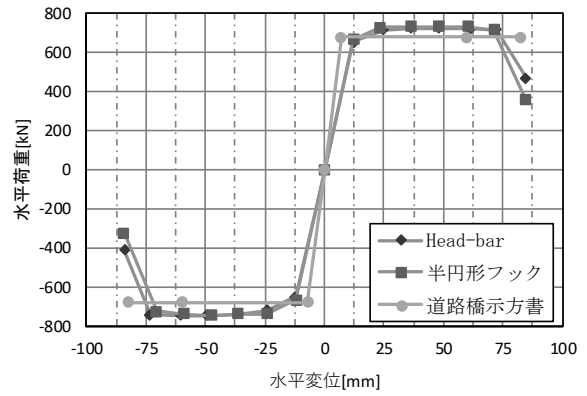


(b) 3 サイクル目

図 II-4.65 荷重包絡線—高せん断補強鉄筋比試験体

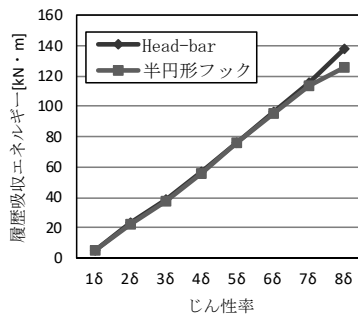


(a) 1 サイクル目

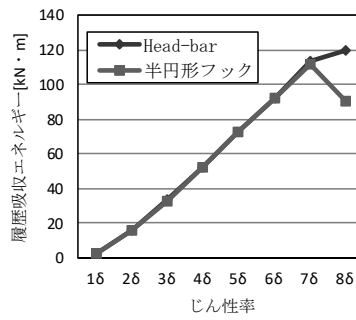


(b) 3 サイクル目

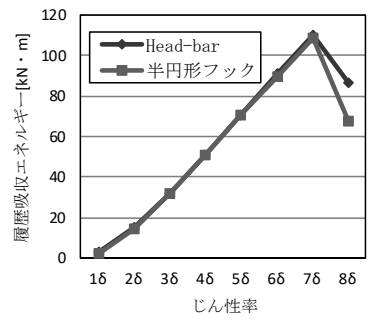
図 II-4.66 荷重包絡線-低せん断補強鉄筋比試験体



(a) 1 サイクル目

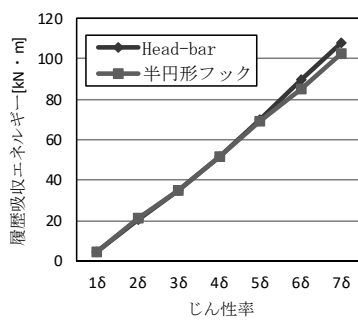


(b) 2 サイクル目

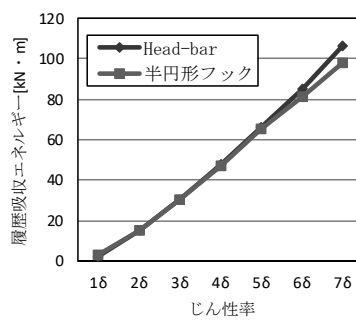


(c) 3 サイクル目

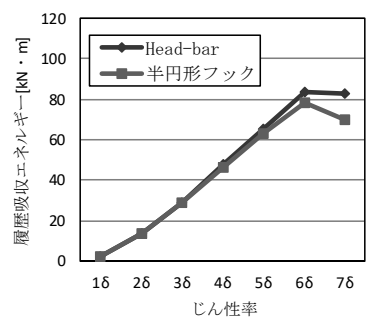
図 II-4.67 各載荷ステップにおける履歴吸収エネルギー（高せん断補強鉄筋比試験体）



(a) 1 サイクル目



(b) 2 サイクル目



(c) 3 サイクル目

図 II-4.68 各載荷ステップにおける履歴吸収エネルギー（低せん断補強鉄筋比試験体）

4.1.4 軸方向鉄筋の定着性能

・「Head-bar」定着部の高応力繰返し荷重に対する定着性能は半円形フック鉄筋と同等かまたはそれ以上であることが確認された。

(1) 定着部の高応力繰返し試験

a) 試験体形状および試験ケース

「Head-bar」を軸方向鉄筋として用いた場合の定着部の高応力繰返し荷重に対する定着性能の確認を目的として、下限を母材の規格降伏強度の2%以下、上限を母材の規格降伏強度の95%とした応力で静的に30回の繰返し载荷を行い、30回目の上限応力時の抜出し量が半円形フック鉄筋の場合の値と同等以下、かつ30回目の上限荷重時の抜出し量と1回目の上限荷重時の抜出し量の差が半円形フック鉄筋の場合の値と同等以下であることの確認を行った。

試験は、鉄筋種類SD490、呼び名D32、D38、D51について行った。試験体図および载荷図を図Ⅱ-4.69～図Ⅱ-4.71に示す。

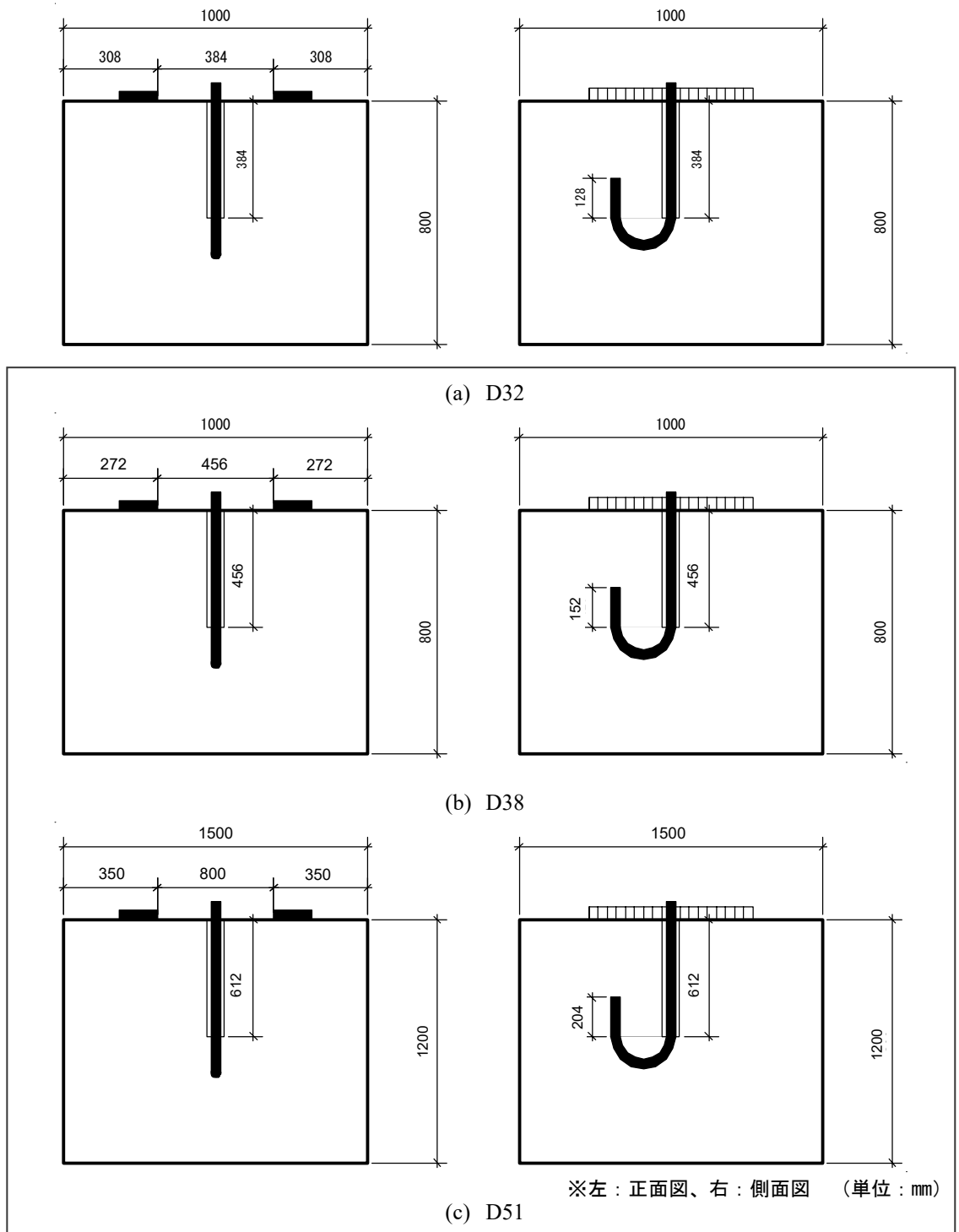


図 II -4.69 標準フック試験体

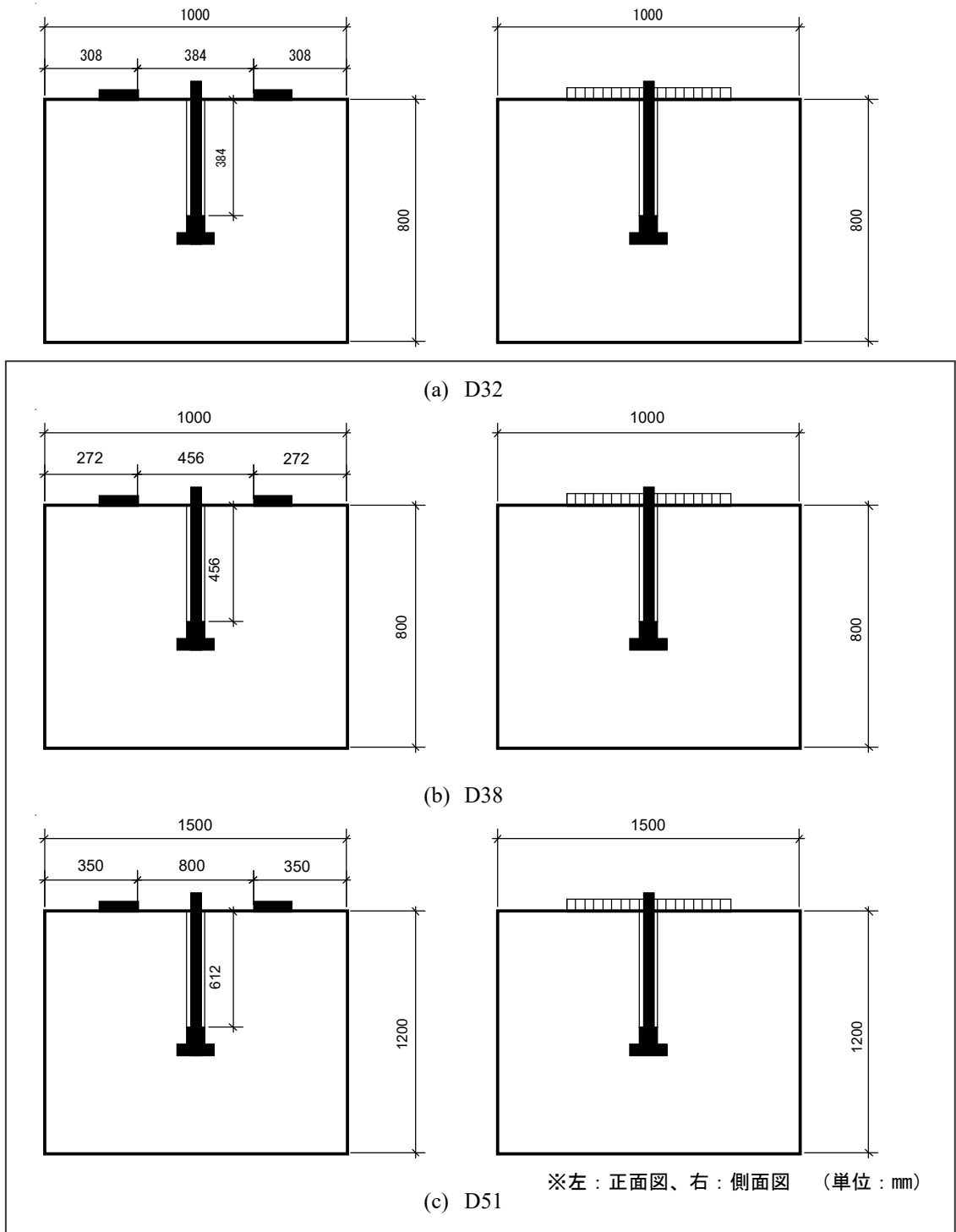


図 II -4.70 「Head-bar」 試験体

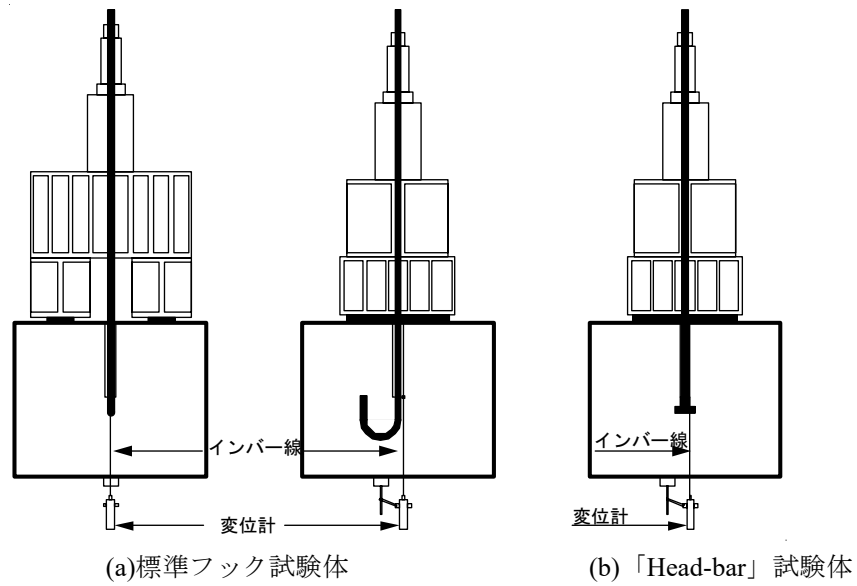
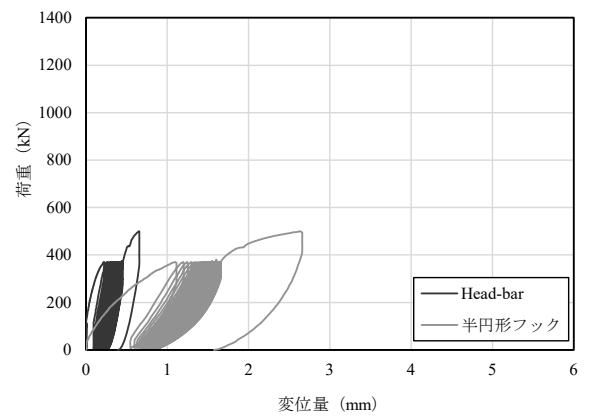
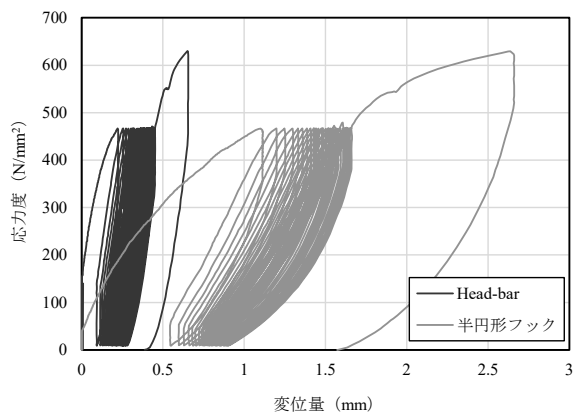


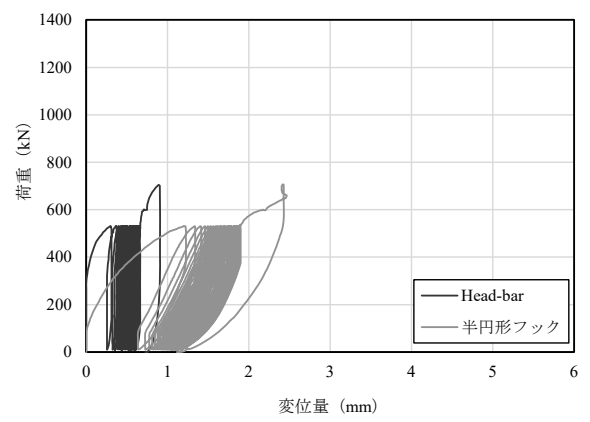
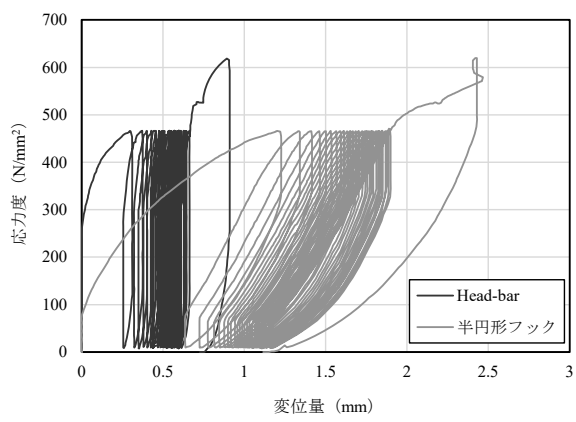
図 II-4.71 載荷および計測方法

b) 実験結果および考察

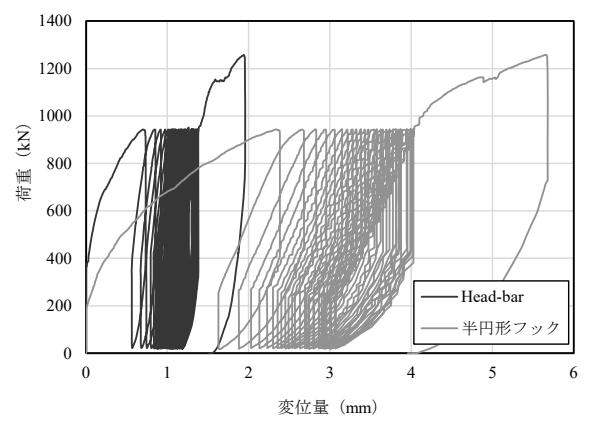
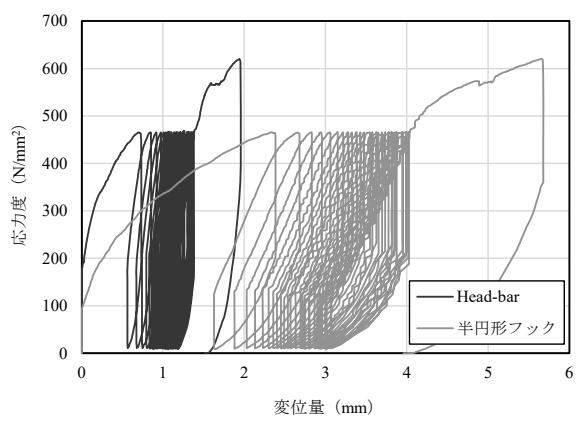
図 II-4.72 に鉄筋応力-拔出し変位関係および荷重-拔出し変位関係を、図 II-4.73 に D51 の Head-bar のケースでの実験終了時の鉄筋基部の状況を、表 II-4.24 に拔出し変位の比較を示す。これより、鉄筋母材の規格引張強度まで載荷しても定着具は破断しなかった。また、30 回繰返し時の拔出し変位量の差分および拔出し変位量が半円形フックのほうが大きく、「Head-bar」のほうが定着性能に優れていた。よって、「Head-bar」は半円形フックと同等かまたはそれ以上の高応力繰返し性能を保有していることが確認された。



(a) D32



(b) D38



(c) D51

図 II-4.72 鉄筋応力-拔出し関係変位関係 (左) および荷重-拔出し変位関係 (右)



図Ⅱ-4.73 実験終了時の状況 (D51 Head-bar)

表Ⅱ-4.24 試験結果の比較

| 鉄筋種類 | 呼び名 | コンクリート強度 (N/mm ²) | 種別 | δ_1 (mm) | δ_{30} (mm) | $\delta_{30}-\delta_1$ (mm) |
|-------|-----|----------------------------------|------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|
| SD490 | D32 | 32.7 | 「Head-bar」 | 0.224 | 0.454 | 0.230 |
| | | 32.7 | 半円形フック | 1.114 | 1.664 | 0.550 |
| | D38 | 31.2 | 「Head-bar」 | 0.298 | 0.662 | 0.364 |
| | | 31.2 | 半円形フック | 1.202 | 1.890 | 0.688 |
| | D51 | 28.4 | 「Head-bar」 | 0.702 | 1.380 | 0.678 |
| | | 29.3 | 半円形フック | 2.344 | 4.026 | 1.682 |

4.1.5 せん断補強鉄筋の疲労性能

・「Head-bar」定着具の疲労性能（高サイクル引抜き荷重に対する性能）は半円形フック鉄筋と同等であることが確認された。

(1) 鉄筋材質 SD345、D13～D19 を用いた疲労試験

a) 試験概要

疲労性能の確認のため、鉄筋種類 SD345 の D13、D16、D19 について、定着具疲労試験（単体試験）、定着体疲労試験、部材疲労試験を行った。

b) 定着具疲労試験（単体試験）および定着体疲労試験

定着具疲労試験（単体試験）は、「Head-bar」単体に引張力を繰返し作用させる試験である。試験は 20tf（D13、D16 用）・50tf（D19 用）疲労試験機を用い、固定治具を用いてプレート定着板を固定し、「Head-bar」に繰返し片振り引張応力を加える方法で行った。また、チャック部における鉄筋の破断を防止するため、アルミ管を付けてチャックして試験を行った。図 II-4.74 に試験装置を示す。

定着体疲労試験は、コンクリート中に埋め込まれた「Head-bar」に引張力を繰返し作用させる試験である。試験は 150tf 疲労試験機を用い、チャック部における鉄筋の破断を防止するため、ガス管（SGP 管）を付けてチャックして試験を行った。図 II-4.75～76 に試験装置および試験体を示す。

表 II-4.25 に、定着具疲労試験および定着体疲労試験におけるケースおよび試験条件を示す。

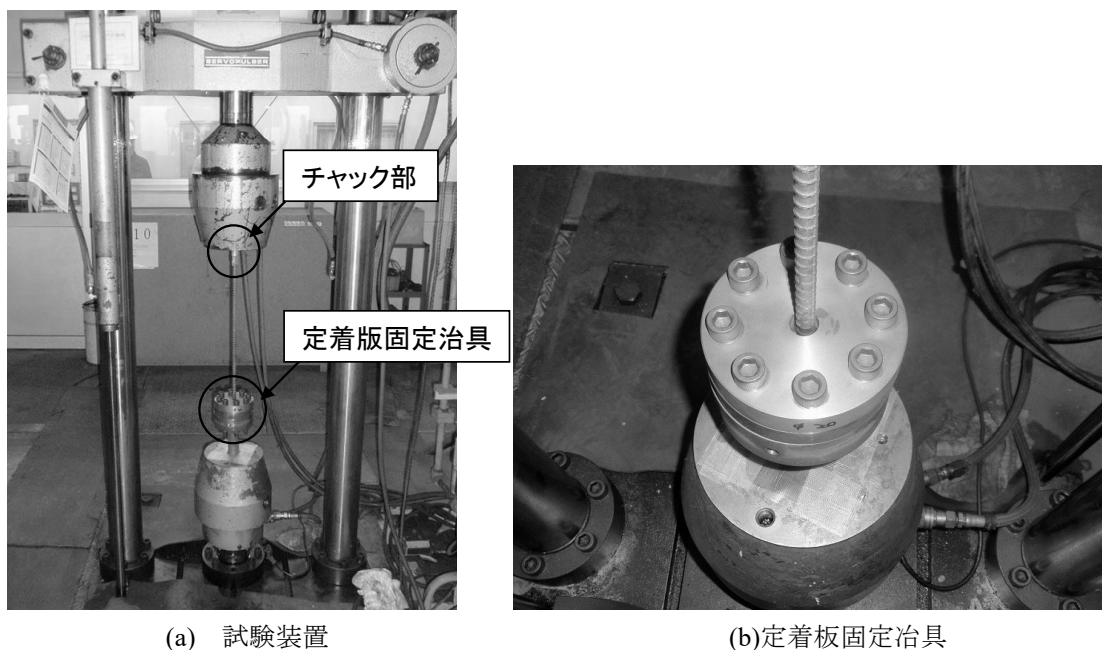


図 II-4.74 定着具試験

表 II-4.25 試験ケースおよび試験条件（定着具・定着体試験）

| | TPNo. | 断面積 (N/mm ²) | 最大応力 (N/mm ²) | 最小応力 (N/mm ²) | 応力範囲 (N/mm ²) | 最大荷重 (kN) | 最小荷重 (kN) | 周波数 (Hz) | 備考 |
|-----------|-------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------------------|
| 定着具 試験 | D19-1 | 286.5 | 140 | 30 | 110 | 40.1 | 8.6 | 10 | |
| | D19-2 | 286.5 | 215 | 30 | 185 | 61.6 | 8.6 | 10 | |
| | D19-3 | 286.5 | 205 | 30 | 175 | 58.7 | 8.6 | 10 | |
| | D19-4 | 286.5 | 180 | 30 | 150 | 51.6 | 8.6 | 10 | |
| | D16-1 | 198.6 | 180 | 30 | 150 | 35.7 | 6.0 | 10 | |
| | D16-2 | 198.6 | 230 | 30 | 200 | 45.7 | 6.0 | 10 | |
| | D13-1 | 126.7 | 215 | 30 | 185 | 27.2 | 3.8 | 10 | |
| 定着体 試験 | D19-1 | 286.5 | 215 | 30 | 185 | 61.6 | 8.6 | 3 | $f'_c=37.9\text{N/mm}^2$ |
| | D19-2 | 286.5 | 115 | 30 | 85 | 32.9 | 8.6 | 3 | $f'_c=38.3\text{N/mm}^2$ |
| | D13-1 | 126.7 | 215 | 30 | 185 | 27.2 | 3.8 | 3 | $f'_c=40.6\text{N/mm}^2$ |

c) 部材疲労試験

部材疲労試験は、せん断補強鉄筋として「Head-bar」を用いた RC 梁部材に荷重を繰返し作用させる試験である。試験体は、せん断破壊先行型に設計し以下の仕様とした。

- ・試験体の断面は幅 400mm×高さ 405mm であり、壁部材を模擬した。
- ・せん断スパン(a)を 1.0m、有効高さ(d)を 350mm、せん断スパン比(a/d)=2.86 とした。
- ・軸方向鉄筋は 4-D35(SD390)、全断面に対する引張鉄筋比は 2.7%とした。
- ・配力鉄筋は D25@175(SD345)、軸方向鉄筋の内側に配置した。
- ・せん断補強鉄筋「Head-bar」は 2-D13@175(SD345)、試験体軸方向には千鳥配置し、せん断補強鉄筋比は 0.36%とした。

各試験体の形状寸法を図 II-4.77 に、載荷装置を図 II-4.78 に示す。また、表 II-4.26 に試験ケースおよび材料強度試験結果を示す。

表 II-4.26 試験ケース

| 試験ケース | 最大荷重 (kN) | 最小荷重 (kN) | 周波数 (Hz) | コンクリート 強度 (N/mm ²) | 鉄筋降伏強度 (N/mm ²) | |
|--------|--------------|--------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------|
| | | | | | せん断補強鉄筋 | 軸方向鉄筋 |
| CASE-1 | 400 | 20 | 1 | 27.5 | 387 | 438 |
| CASE-2 | 380 | 20 | 1 | 28.9 | | |

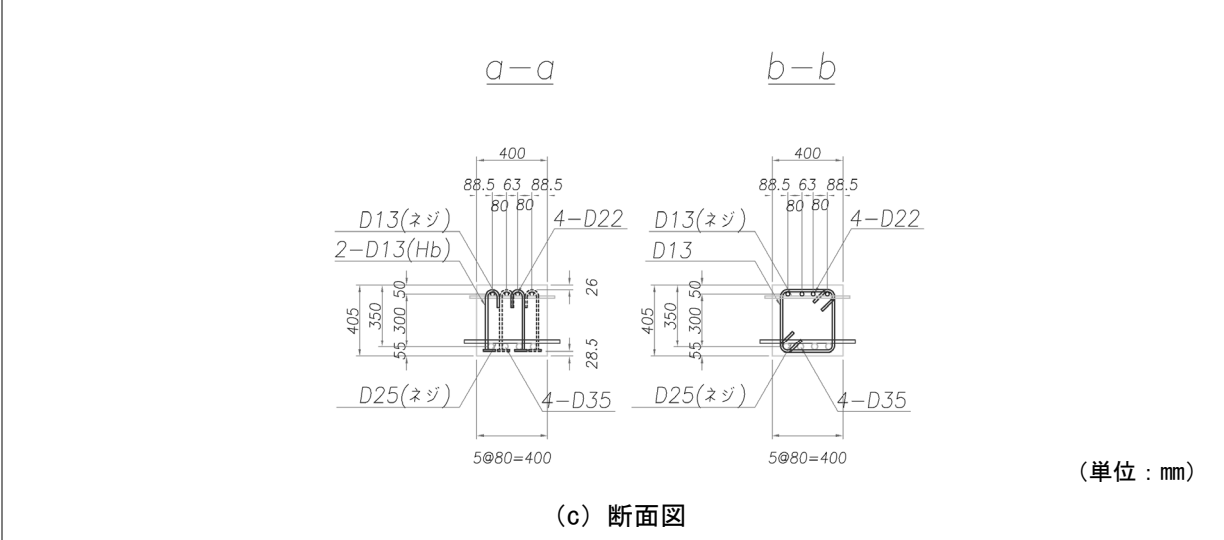
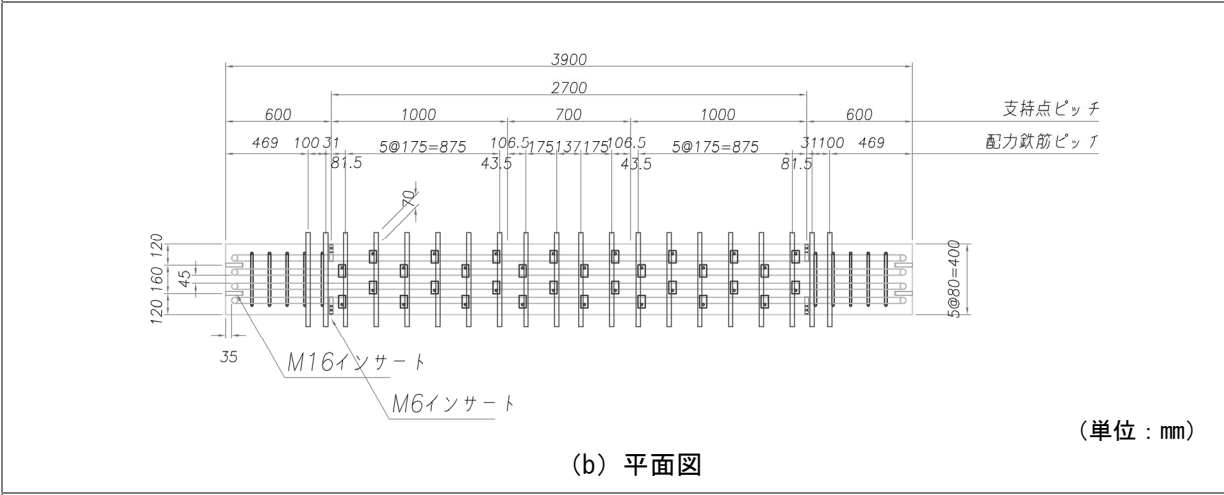
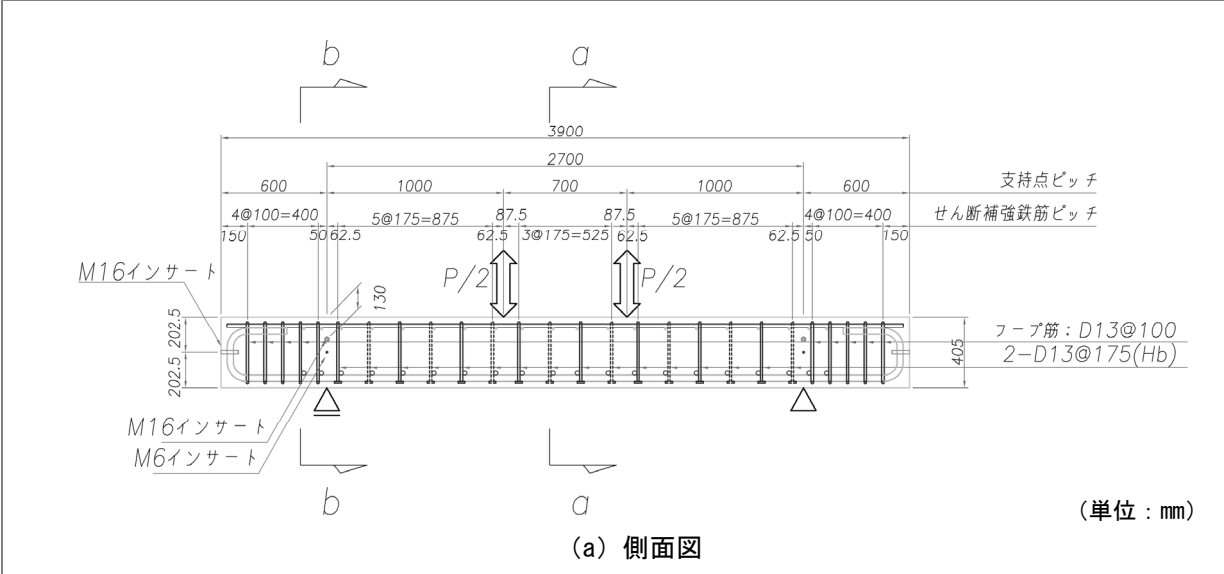


図 II-4.77 RC 梁試験体

(2) 実験結果

a) 定着具疲労試験（単体試験）および定着体疲労試験

表Ⅱ-4.27に、定着具疲労試験および定着体疲労試験結果を示す。破断位置はいずれも定着板圧接部であったが、定着体試験のD19-2に関しては、200万回で未破断の状態での試験を終了した。また、試験では下限応力を30N/mm²としていることから、完全片振り時の応力振幅をGoodmanの方法により換算して求めた。

$$f_{sr0} = f_{srk} \cdot (1 - \sigma_{\min} / f_{suk})$$

ただし、 f_{sr0} : 完全片振り時の応力振幅(N/mm²)

f_{srk} : 応力振幅(N/mm²)、 σ_{\min} : 最小応力(N/mm²)

f_{suk} : 鉄筋の引張強度(N/mm²)

表Ⅱ-4.27 定着具および定着体疲労試験結果

| | TPNo. (mm2) | 断面積 (N/mm ²) | 最大応力 (N/mm ²) | 最小応力 (N/mm ²) | 応力範囲 (N/mm ²) | 最大荷重 (kN) | 最小荷重 (kN) | 周波数 (Hz) | 繰返し数 (サイクル) | 完全片振り換算 応力振幅 (N/mm ²) | 備考 |
|-----------|----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|-------------|----------------|-----------------------------------------|-----|
| 定着具 試験 | D19-1 | 286.5 | 140 | 30 | 110 | 40.1 | 8.6 | 10 | 616,510 | 117 | |
| | D19-2 | 286.5 | 215 | 30 | 185 | 61.6 | 8.6 | 10 | 125,220 | 197 | |
| | D19-3 | 286.5 | 205 | 30 | 175 | 58.7 | 8.6 | 10 | 105,650 | 186 | |
| | D19-4 | 286.5 | 180 | 30 | 150 | 51.6 | 8.6 | 10 | 254,060 | 160 | |
| | D16-1 | 198.6 | 180 | 30 | 150 | 35.7 | 6.0 | 10 | 238,250 | 160 | |
| | D16-2 | 198.6 | 230 | 30 | 200 | 45.7 | 6.0 | 10 | 42,490 | 213 | |
| | D13-1 | 126.7 | 215 | 30 | 185 | 27.2 | 3.8 | 10 | 143,550 | 197 | |
| 定着体 試験 | D19-1 | 286.5 | 215 | 30 | 185 | 61.6 | 8.6 | 3 | 157,504 | 197 | |
| | D19-2 | 286.5 | 115 | 30 | 85 | 32.9 | 8.6 | 3 | 2,000,000 | 91 | 未破断 |
| | D13-1 | 126.7 | 215 | 30 | 185 | 27.2 | 3.8 | 3 | 160,609 | 197 | |

b) 部材疲労試験

疲労荷重を開始する前に静的に目標最大荷重までの荷重を行い、初期ひび割れ状況を確認した。CASE-1、2ともに100~150kNでスパン中央に曲げひび割れが発生し、所定の最大荷重において、せん断ひび割れが発生した。図Ⅱ-4.79a)、82a)に、所定の最大荷重におけるひび割れ状況を示す。

その後、疲労荷重を開始した。繰返し回数の増加に応じて、たわみおよびせん断ひび割れ幅は徐々に増加していった。最終的にCASE-1が962,220回、CASE-2が813,890回でせん断ひび割れが大きく開口して試験を終了した。試験終了後の観察より、鉄筋の破断は「Head-bar」定着板接合部であった。

図Ⅱ-4.80, 81, 83, 84にひび割れ幅、たわみと荷重サイクルの関係を、図Ⅱ-4.79b)、82b)に試験終了時のひび割れ状況を示す。また、図Ⅱ-4.85にCASE-2の試験終了時の状況写真を示す。

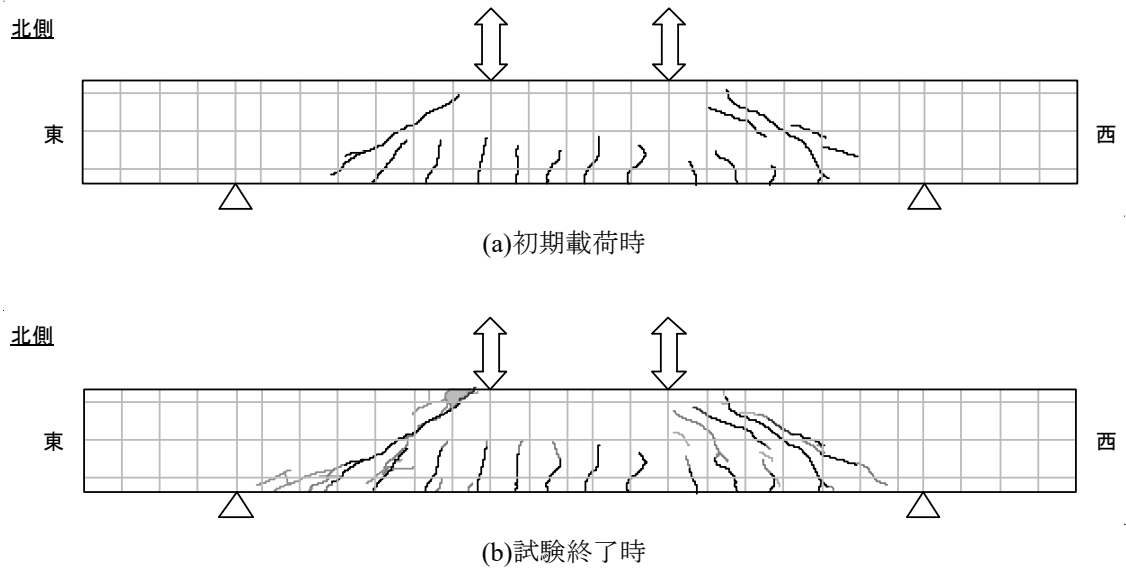


図 II-4.79 ひび割れ状況(CASE-1)

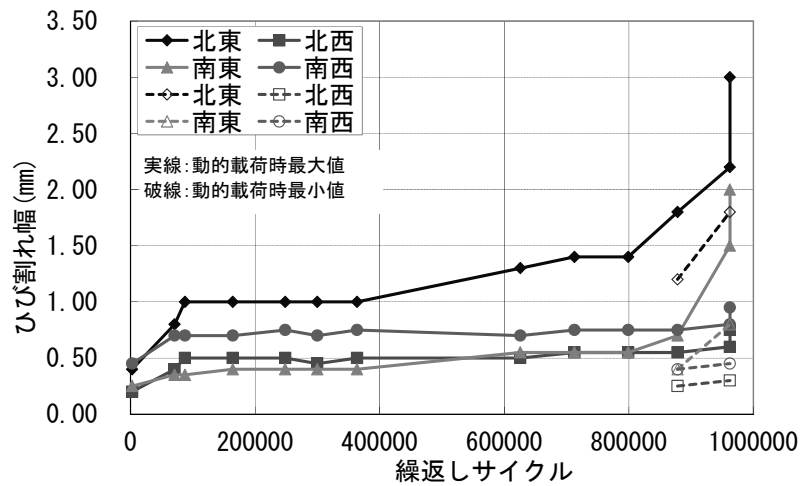


図 II-4.80 せん断ひび割れ幅—繰返しサイクル (CASE-1)

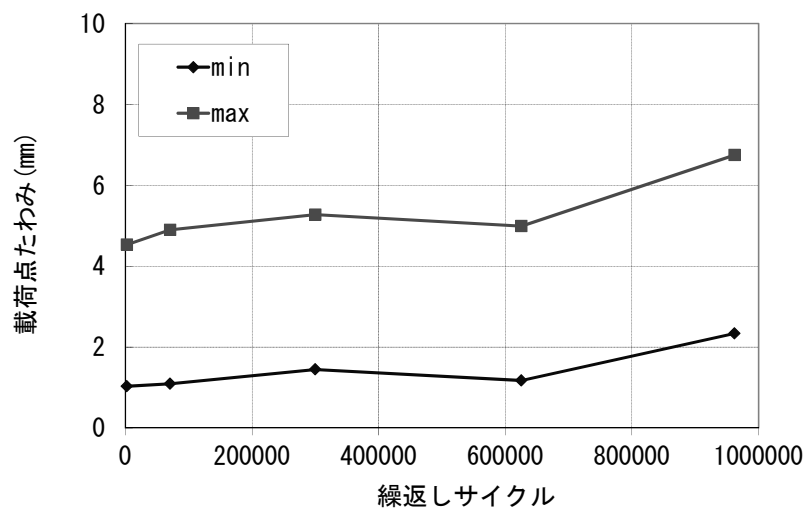


図 II-4.81 たわみ—繰返しサイクル (CASE-1)

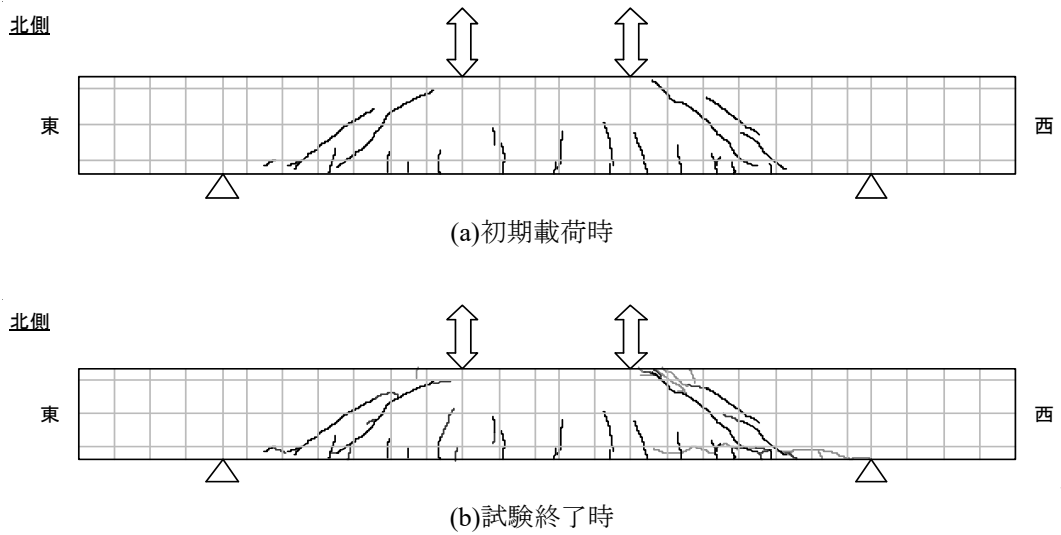


図 II-4.82 ひび割れ状況(CASE-2)

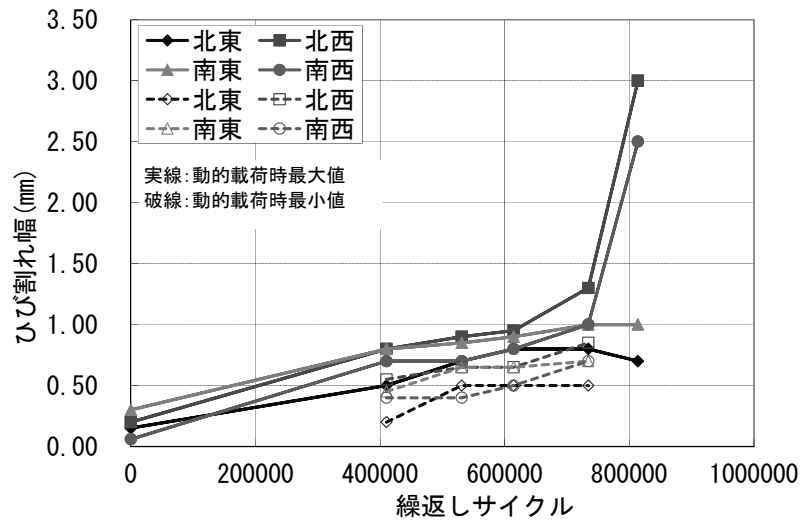


図 II-4.83 せん断ひび割れ幅—繰返しサイクル (CASE-2)

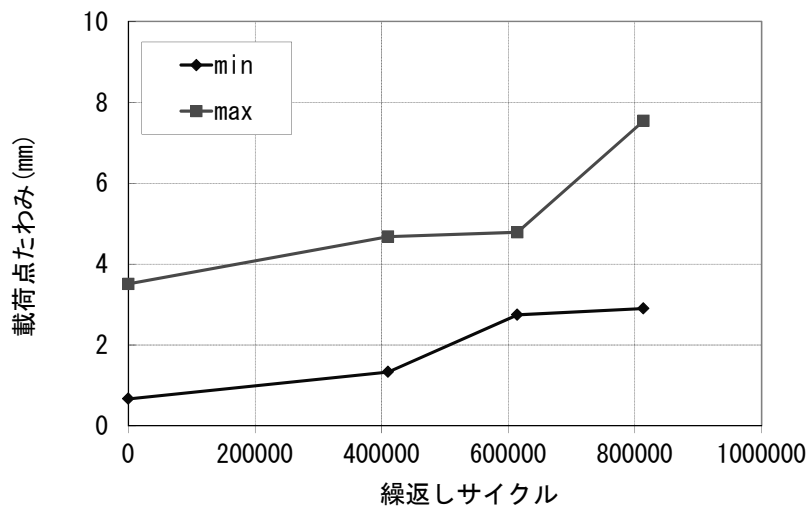


図 II-4.84 たわみ—繰返しサイクル (CASE-2)

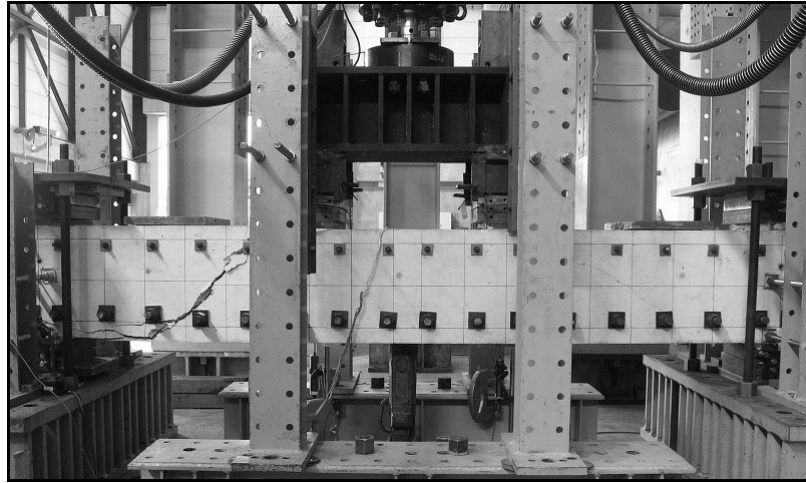


図 II-4.85 試験終了時状況写真(CASE-2)

実験結果に基づき、コンクリート標準示方書における疲労荷重に対するせん断補強鉄筋応力の算定方法の基礎式である上田らの方法¹⁾によりせん断補強鉄筋の応力振幅を求め、これを、前述の Goodman の方法により換算して完全片振り時の応力振幅を求めた。表 II-4.28 に算定結果を示す。

$$\text{鉄筋応力振幅} : s_r = \frac{(V_{\max} - k \cdot V_c)}{(A_w / s) \cdot z} \cdot \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{(V_{\max} + V_c)}$$

$$\text{鉄筋最小応力} : s_{\min} = \frac{(V_{\max} - k \cdot V_c)}{(A_w / s) \cdot z} \cdot \frac{(V_{\min} + V_c)}{(V_{\max} + V_c)}$$

表 II-4.28 算定結果

| | CASE-1 | CASE-2 |
|--------------------------------------|---------|---------|
| 最大せん断力 Vmax (kN) | 200 | 190 |
| 最小せん断力 Vmin (kN) | 10 | 10 |
| コンクリート強度 f'c (N/mm ²) | 27.5 | 28.9 |
| 幅 bw (mm) | 400 | 400 |
| 引張鉄筋比 pv | 0.027 | 0.027 |
| 有効高さ d (mm) | 350 | 350 |
| せん断補強鉄筋量 Aw (mm ² /Sw) | 253.4 | 253.4 |
| 配置間隔 Sw (mm) | 175 | 175 |
| βd | 1.30 | 1.30 |
| βp | 1.40 | 1.40 |
| コンクリート分担せん断力 Vc (kN) | 154 | 156 |
| 繰返しサイクル数 N | 962,307 | 813,890 |
| Vc 補正係数 k (=10 ^a) | 0.61 | 0.61 |
| Vmax-k·Vc (kN) | 106 | 94 |
| (Vmax-Vmin)/(Vmax+Vc) | 0.54 | 0.52 |
| (Vmin+Vc)/(Vmax+Vc) | 0.46 | 0.48 |
| 応力振幅 Sr (N/mm ²) | 130 | 111 |
| 最小応力 Smin (N/mm ²) | 112 | 103 |
| 完全片振り応力振幅換算 Sr0 (N/mm ²) | 168 | 141 |

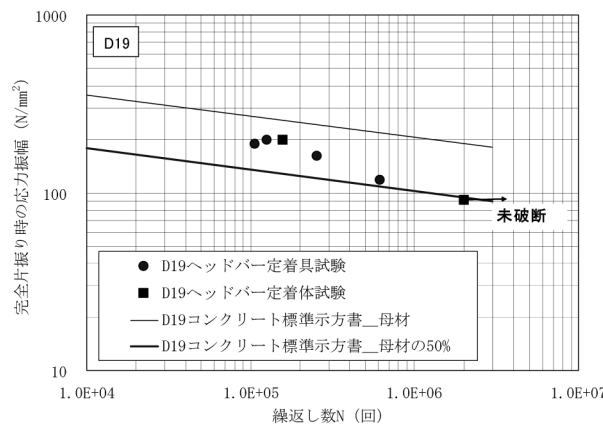
参考文献：1) T.UEDA, H.OKAMURA: Behavior of Reinforced Concrete Beams under Fatigue Loading, Concrete Library of JSCE, No.2, Dec. 1983, pp.37-69

c) 折り曲げ部を有する鉄筋の疲労強度－繰返し回数関係との比較

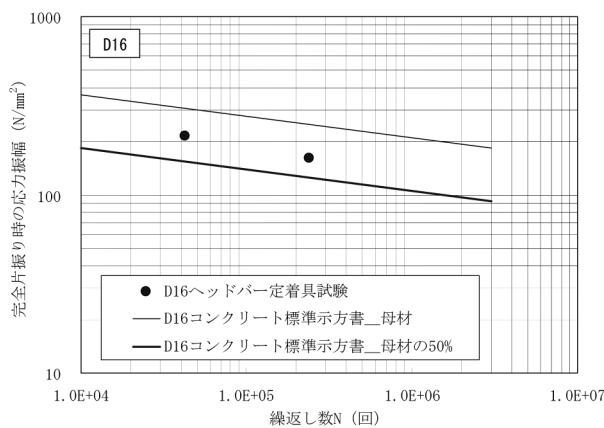
鉄筋の種類SD345の呼び名D13、D16、D19について実施した定着具疲労試験（単体試験）、定着体疲労試験、部材疲労試験より求められた「Head-bar」の疲労強度と繰返し回数の関係を図Ⅱ-4.86～88に示す。なお、図中には、コンクリート標準示方書に示される鉄筋母材の疲労強度およびフック部を有するせん断補強鉄筋が該当する折り曲げ部を有する鉄筋の疲労強度と繰返し回数の関係を併記した。

これより、「Head-bar」の疲労強度は、鉄筋母材の疲労強度とフック部を有する通常のせん断補強鉄筋の疲労強度の間にあることがわかる。また、表Ⅱ-4.29、図Ⅱ-4.89に示すように、部材疲労試験結果の評価において、繰返し回数がコンクリートが分担するせん断耐力に影響する係数kをコンクリート標準示方書に示される0.5とした場合には、せん断補強鉄筋の疲労強度は増加する。実際の設計においてはコンクリートが分担する設計せん断耐力（Vcd）の算定においては部材係数 γ_b を1.3とすることから、見掛けのせん断補強鉄筋の疲労強度は更に増加することとなる。

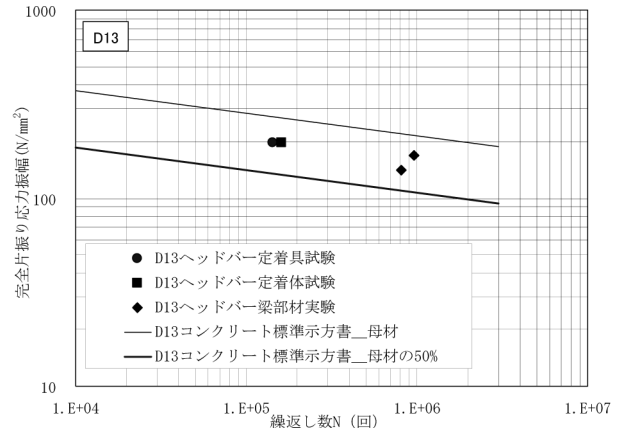
以上より、「Head-bar」をせん断補強鉄筋に用いた場合の疲労性能は、通常のフックを有するせん断補強鉄筋と同等としてよいことが確認された。



図Ⅱ-4.86 疲労強度－繰返し回数関係 (D19)



図Ⅱ-4.87 疲労強度－繰返し回数関係 (D16)



図Ⅱ-4.88 疲労強度－繰返し回数関係 (D13)

表 II-4.29 算定結果 (設計)

| | CASE-1 | CASE-2 |
|------------------------------------------|---------|---------|
| 最大せん断力 V_{max} (kN) | 200 | 190 |
| 最小せん断力 V_{min} (kN) | 10 | 10 |
| コンクリート強度 f'_c (N/mm ²) | 27.5 | 28.9 |
| 幅 b_w (mm) | 400 | 400 |
| 引張鉄筋比 p_v | 0.027 | 0.027 |
| 有効高さ d (mm) | 350 | 350 |
| せん断補強鉄筋量 A_w (mm ² /Sw) | 253.4 | 253.4 |
| 配置間隔 S_w (mm) | 175 | 175 |
| β_d | 1.30 | 1.30 |
| β_p | 1.40 | 1.40 |
| コンクリート分担せん断力 V_c (kN) | 154 | 156 |
| 繰返しサイクル数 N | 962,307 | 813,890 |
| V_c 補正係数 k (=10 ^a) | 0.50 | 0.50 |
| $V_{max} \cdot k \cdot V_c$ (kN) | 123 | 112 |
| $(V_{max} - V_{min}) / (V_{max} + V_c)$ | 0.54 | 0.52 |
| $(V_{min} + V_c) / (V_{max} + V_c)$ | 0.46 | 0.48 |
| 応力振幅 S_r (N/mm ²) | 150 | 132 |
| 最小応力 S_{min} (N/mm ²) | 129 | 122 |
| 完全片振応力振幅換算 S_{r0} (N/mm ²) | 204 | 176 |

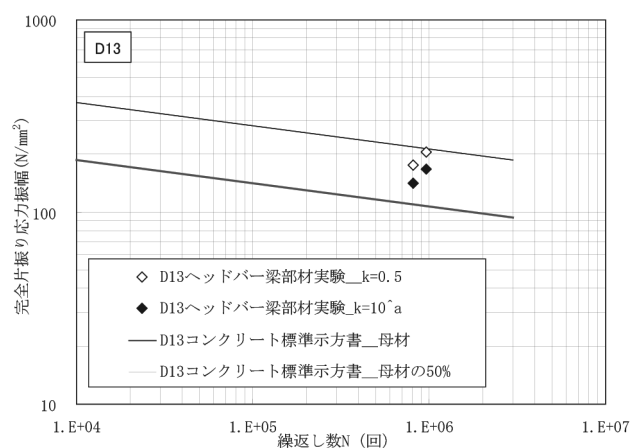


図 II-4.89 疲労強度—繰返し回数関係 (D13、低減係数の影響)

4.2 施工性

4.2.1 施工の合理化

「Head-bar」を使用することにより施工性が向上し、鉄筋組立て工程の単純化と工期短縮が可能であることが確認された。

(1) 施工方法

阪神・淡路大震災以前の旧示方書によれば、面部材におけるせん断補強鉄筋の端部形状は、直角フックが認められていたため、表Ⅱ-4.30(a)に示すようにせん断補強鉄筋以外の主鉄筋および配力鉄筋を組み立てた後、これらを後挿入することで設置することが可能であった。しかし、阪神・淡路大震災以降、道路橋示方書（平成8年）やコンクリート標準示方書（平成8年）の構造細目によれば、せん断補強鉄筋の端部形状を半円形フックもしくは鋭角フックとするように変更された。両端がこのようなフックの場合や配筋が過密な場合には、これらせん断補強鉄筋の後挿入ができない。この場合、せん断補強鉄筋を二分割し、フック付き重ね継手や機械式継手により接続したり、施工方法を変更したりしなければならない。しかし、フック付き重ね継手では段取り筋の施工が繁雑であり、機械式継手では継手のコストが高く、継手部の注入の施工が煩雑である。例えば、表Ⅱ-4.30(b)のような中間に継手を設ける施工方法の場合、施工工程が増加し、鉄筋組立てに時間がかかる。

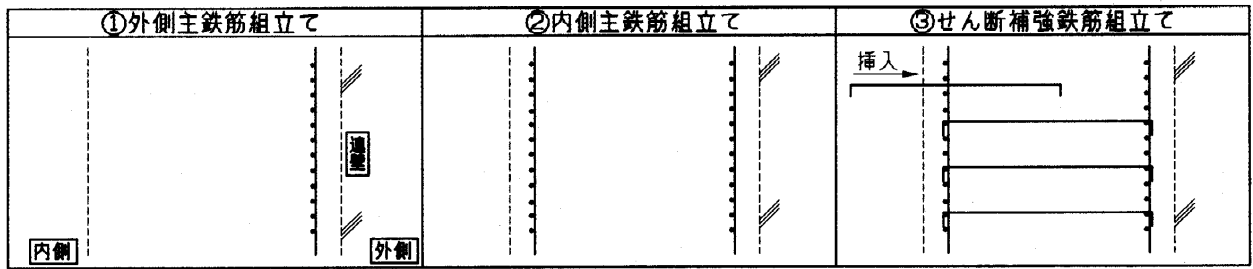
そこで、プレート定着型機械式定着鉄筋（「Head-bar」）を実構造物に適用し、工程短縮を図った事例を示す。

(2) 構造物概要

本事例のシールド発進立坑は、図Ⅱ-4.90に示すような矩形立坑であり、側壁は逆巻き工法により施工される。この立坑側壁配筋は図Ⅱ-4.91に示すように、水平および鉛直方向鉄筋が片側最大4段配筋であり、せん断補強鉄筋が最大D29の125×250（千鳥）と過密になっている。このため、水平方向および鉛直方向鉄筋組み立てた後に、せん断補強鉄筋を挿入する施工方法では不可能である。これを設置するためには、表Ⅱ-4.30(b)に示すように、せん断補強鉄筋を二分割して水平および鉛直方向鉄筋1段目を組み立てた後、一方のフックを挿入し、水平方向および鉛直方向鉄筋にあずけた状態で水平および鉛直方向鉄筋2段目以降を組立て、最後に二分割したせん断補強鉄筋をフック付き重ね継手や機械継手で接続することが必要であった。

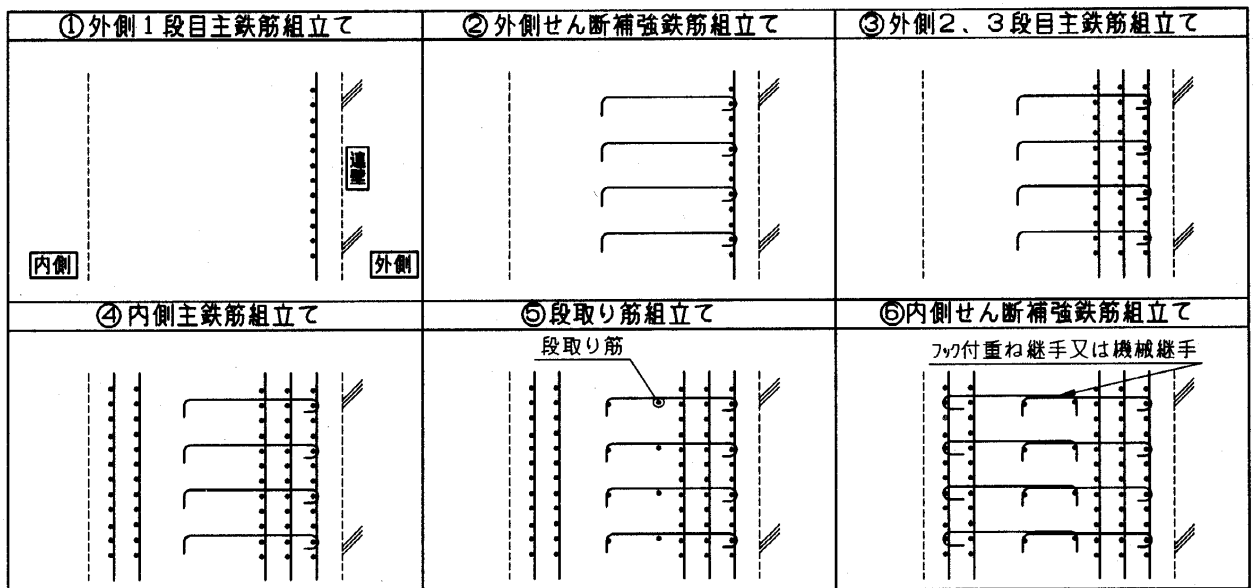
そこで、立坑側壁にせん断補強鉄筋の施工性の向上および工期短縮を目的として、プレート定着型のせん断補強鉄筋（「Head-bar」）を採用し、表Ⅱ-4.30(c)に示すような主鉄筋と配力鉄筋を組み立てた後に「Head-bar」を後挿入する施工方法により施工した。

表Ⅱ-4.30 (a) 直角フックの場合の施工方法



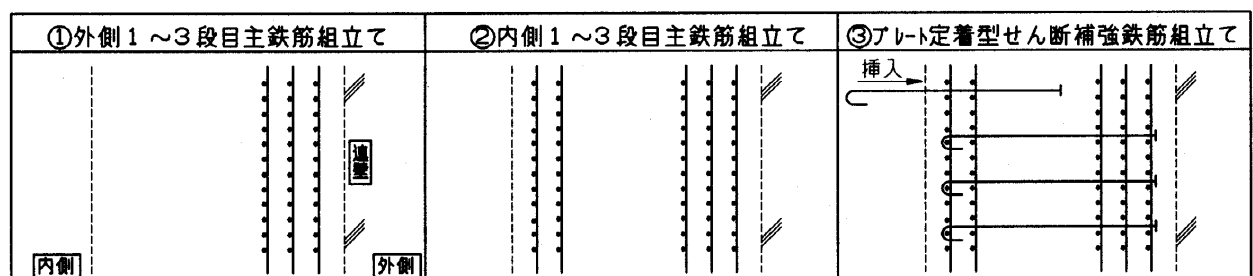
注) ここでいう主鉄筋とは、せん断補強鉄筋以外の主鉄筋を示す。

表Ⅱ-4.30 (b) 中間に継手を設ける施工方法



注) ここでいう主鉄筋とは、せん断補強鉄筋以外の主鉄筋を示す。

表Ⅱ-4.30 (c) 「Head-bar」を採用した施工方法



注) ここでいう主鉄筋とは、せん断補強鉄筋以外の主鉄筋を示す。

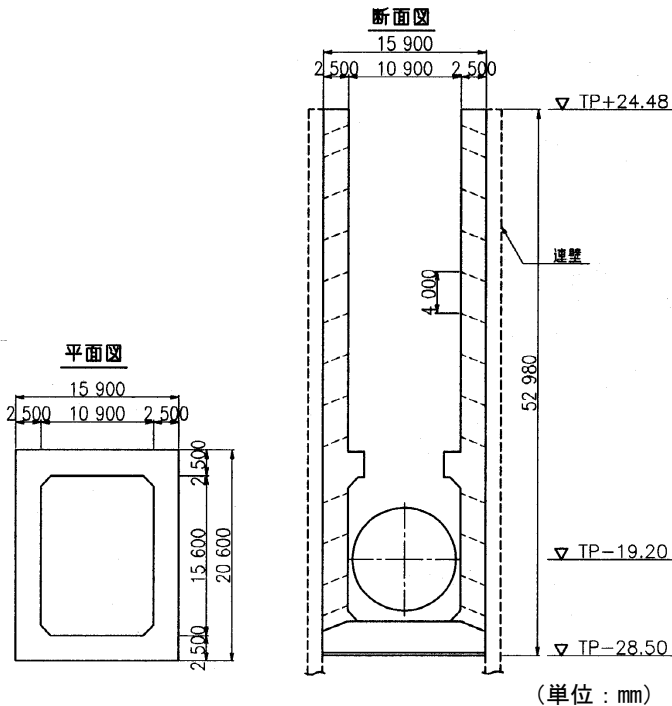


図 II-4.90 概略構造図

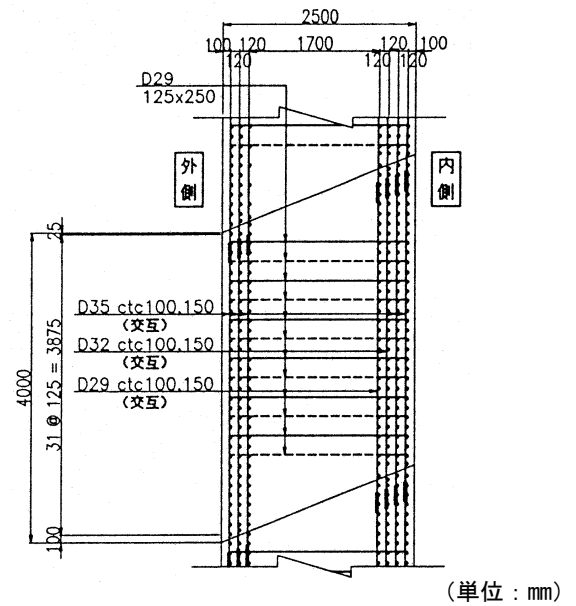


図 II-4.91 側壁配筋図

(3) 「Head-bar」の構造

適用した「Head-bar」の形状を図 II-4.90 に示す。

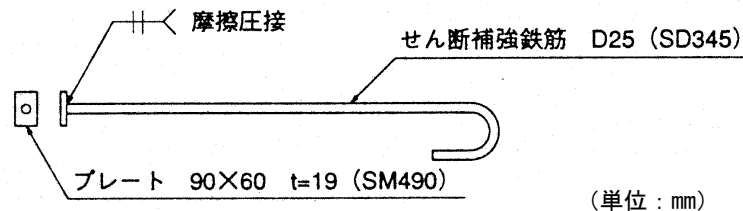


図 II-4.92 「Head-bar」の形状寸法

「Head-bar」はコスト面を考慮して、片側半円形フック、片側プレート定着とし、プレートと鉄筋は摩擦圧接により接合した。

プレートの形状は、摩擦圧接に必要な大きさおよび鉛直方向鉄筋に掛けるために必要な大きさ以上とし、軸対称 FEM 解析によりプレート直下のコンクリートが破壊しないことを確認した。また、当初、水平方向および鉛直方向鉄筋のあきは、鉄筋のふし等を考慮すると 85mm 程度であった。そこで、プレートを挿入するために、鉛直方向鉄筋のピッチを 100mm および 150mm の交互とし、150mm ピッチの部分にせん断補強鉄筋を設置することとした。



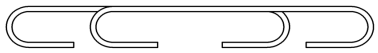
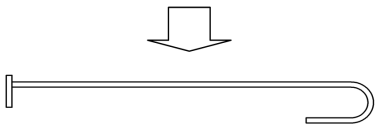
(4) 「Head-bar」の効果

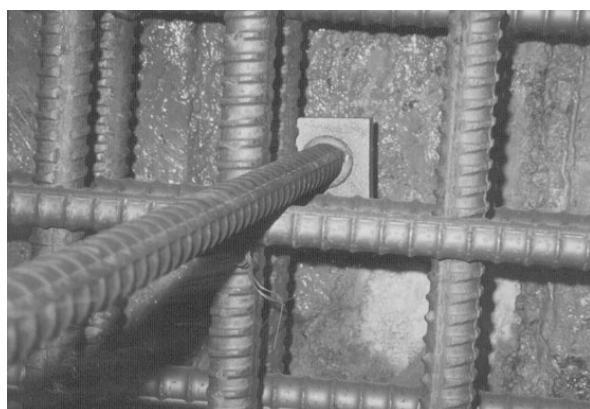
本対象構造の場合、従来方法では表 II-4.30 (b)に示す組立手順となるが、「Head-bar」を用いることで表 II-4.30(c)に示す施工手順が可能となった。これにより、せん断補強鉄筋を組み立てるための段取り筋が不要となり、内側・外側で別々に組み立てていたせん断補強鉄筋が一本の「Head-bar」の組み立てのみとなることから、鉄筋組み立て工程に要する時間がおよそ 40%短縮され、「Head-bar」が鉄筋組み立て工

程の単純化と工期短縮に有効であることが確認された。施工性改善の程度は、配置呼び名、配置間隔、交差する鉄筋の配置状況などによるが、特に、過密配筋の部位には、「Head-bar」が、鉄筋組立て工程の単純化と工期短縮に有効となる。

表Ⅱ-4.31 に「Head-bar」を用いる施工法の特徴を示し、図Ⅱ-4.93 に「Head-bar」の施工状況を示す。また、図Ⅱ-4.94～95 に、「Head-bar」の適用例を示す。

表Ⅱ-4.31 「Head-bar」を用いる施工法の特徴

| | プレート定着型せん断補強鉄筋使用の場合の特徴 |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| せん断補強鉄筋の形状 | <p>プレート定着型せん断補強鉄筋使用の場合の特徴</p> <p>片側直角フック片側半円形フックタイプせん断補強鉄筋 (従来)</p>  <p>両側半円形フックタイプせん断補強鉄筋 (従来)</p>  <p>分割ラップタイプせん断補強鉄筋 (従来)</p>  <p>Head-bar 使用</p>  <p>・片側のフックをプレートに置き換えることができる。</p> |
| 組立手順 | <p>・下(内)側主鉄筋→上(外)側主鉄筋→Head-bar せん断補強鉄筋の順に組立が可能であり、組立手順が簡単になる。</p> |
| 施工面 | <p>・組立て用の内部足場や補助鉄筋が比較的少なく済む。</p> <p>・狭いスペースでの作業が主に鉄筋結束だけになり、作業の危険性が少なくなる。</p> |
| 品質 | <p>・プレートの厚さはせん断補強鉄筋の直径より小さいことから、かぶりの確保に対する施工上の余裕代が大きくなる。</p> <p>・比較的単純な配筋のため、コンクリートの充填に有利になる。</p> |
| 工程面 | <p>鉄筋組立手順が簡単となり、作業のスピードアップが可能になる。</p> |

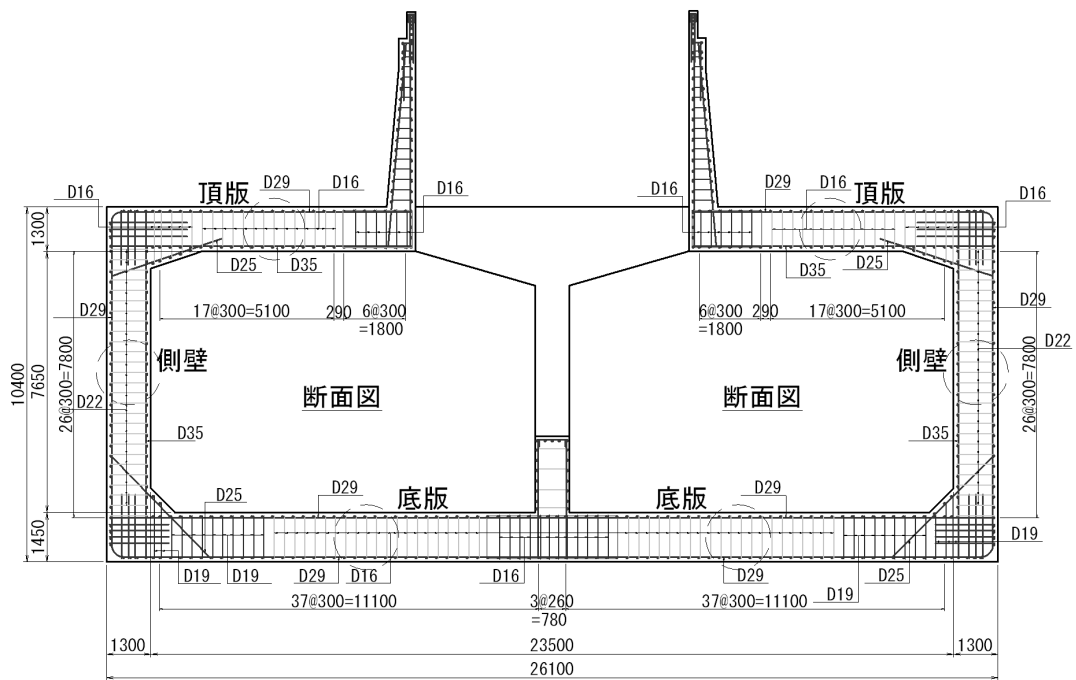


(a)立坑側壁の施工



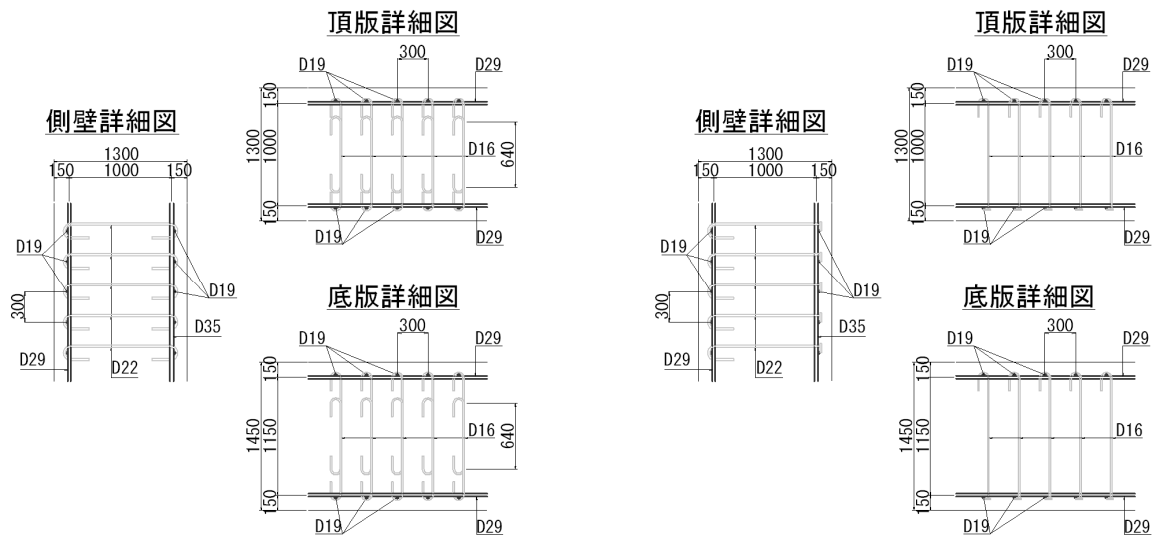
(b)底版の施工

図Ⅱ-4.93 「Head-bar」の施工状況



標準フックの場合

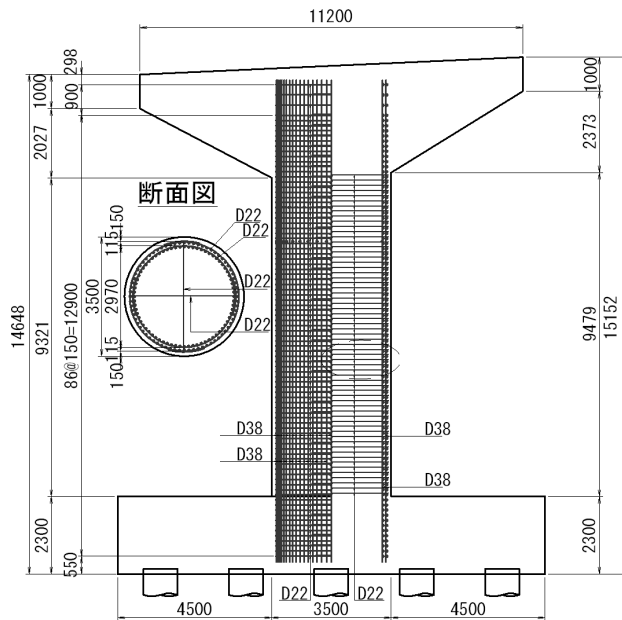
Head-bar の場合



(a) ボックスカルバート

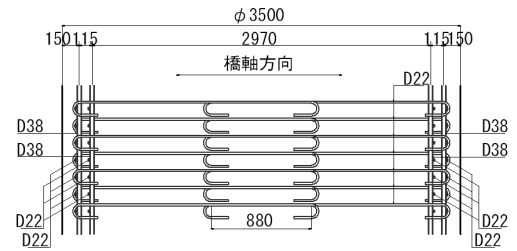
(単位 : mm)

図 II -4.94 「Head-bar」 の適用例



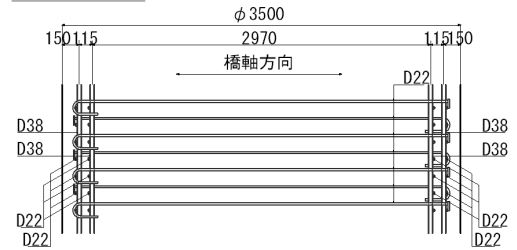
標準フックの場合

橋脚詳細図



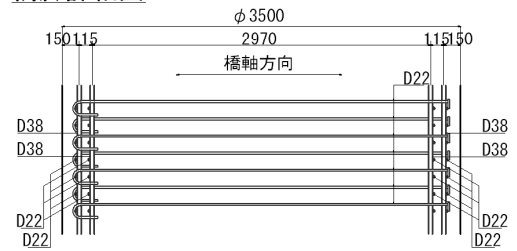
Head-bar の場合 (1)

橋脚詳細図



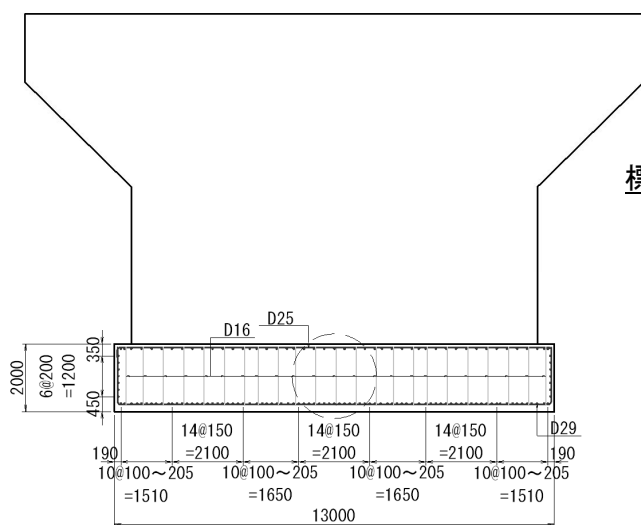
Head-bar の場合 (2)

橋脚詳細図



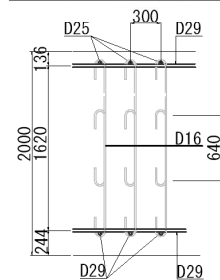
* 施工状況に応じて(1)または(2)とする。

(b) 橋脚



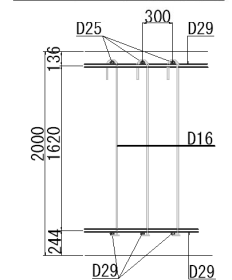
標準フックの場合

フーチング詳細図



Head-bar の場合

フーチング詳細図



(c) フーチング

(単位 : mm)

図 II-4.95 「Head-bar」の適用例



東京都新宿区西新宿三丁目2番4号 JRE西新宿テラス10階
Head-bar 事業本部
TEL : 03-3346-8913(代表) FAX : 03-3345-9153

