

# 閉合形状に曲げ加工した鉄筋の重ね継手の耐力に関する実験的研究

渡邊明<sup>1</sup>・石橋忠良<sup>2</sup>・西島和男<sup>3</sup>・栗栖基彰<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所 副課長  
(〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6)

<sup>2</sup>フェロー会員 工博 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事務部構造技術センター 所長  
(〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2)

<sup>3</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事務部構造技術センター 主席 (同上)

新しい交差構造物の構築工法を開発した。この工法は、鋼製エレメントを特殊な継手で繋ぎ合わせて地盤中に掘削貫入し、構造物を構築するものである。本論文の対象は、この工法の閉合部の構造である。既施工のエレメント間を最後に継手で繋ぎ合わせる閉合部は、施工誤差を吸収でき、小さいスペースで接合できる構造とする必要があるため、施工性に留意し、閉合形状に曲げ加工した鉄筋同士の重ね継手の鉄筋コンクリート構造とした。本論文は、この特殊な継手の特徴とともに、鉄筋によりコンクリートブロックに支圧力を作用させた場合の耐力、曲げ加工された鉄筋の定着力に関する基礎的な実験、そして、閉合形状に曲げ加工された鉄筋の重ね継手を有する梁形状の試験体による曲げ試験を行い、この重ね継手の耐力を明らかにした。

**Key Words** : *lapped joint of closed shape, underground structure, tunnel*

## 1. はじめに

近年、限られた用地の高度利用、都市基盤整備を目的とした都市交通や上下水道の整備に伴い、鉄道や道路下を横断交差する立体交差構造物が計画・施工されるケースが増えている。その中で、交差構造物の横断延長に制限を受けず、施工期間中に交差させる構造物への影響が少なく、さらに経済的で施工が容易な新しい立体交差構造物の構築工法として、鋼製エレメントを特殊な継手で連結して立体交差構造物を構築する工法を開発した。工法概要を図-1、エレメント形状を図-2に示す。この工法は、鋼製エレメントを先行して施工されたエレメントの継手に沿わせて順番に施工していき、最終的に継手で連結された閉合形状の構造物を完成させるものである。ここで、課題は、施工性を確保するため継手部に遊びを設けているため、最後にエレメント間を連結する閉合部で、先に施工されたエレメントの継手間隔の変動(施工誤差)を吸収しなければならないこと、また、施工上の制約から、閉合部の構造寸法を幅1000mm程度としなければならないことである。そのため閉合部構造は、可変性能と短い重ね継手長で部材耐力を有する構造を考案した。この構造は、エレメントの連結用の特殊な継手に閉合形状(コの字)に曲げ加工した鉄筋をフレア溶接し、その閉合形状

の鉄筋同士を重ね合わせた継手を有する鉄筋コンクリート構造としている。本論文は、閉合形状に曲げ加工された鉄筋の重ね継手(以下、閉合形状の重ね継手と呼ぶ)の力学特性に関する実験結果を報告する。閉合形状の重ね継手を用いた閉合部構造の概要を図-3に示す。

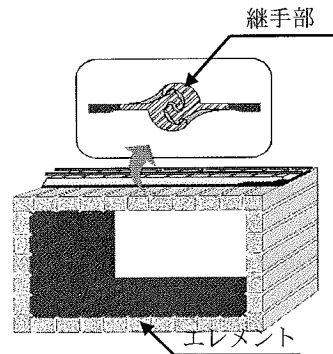


図-1 工法概要



図-2 エレメント形状

閉合部の全幅寸法は 1000mm で、エレメントとの連結用の特殊な継手と鉄筋をフレア溶接するための接合長さ (D35 の場合は、 $195\text{mm} \times 2 = 390\text{mm}$ )、特殊継手長さ ( $70\text{mm} \times 2 = 140\text{mm}$ ) であることから、算出される曲げ加工部を含まない閉合形状の鉄筋の重なり合う長さ (以下、継手長と呼ぶ) は、450mm 程度となる。それに施工上で必要となる可変寸法  $\pm 50\text{mm}$  を合わせると、設計継手長は、 $450 \pm 50\text{mm}$  (D35 の場合は、 $11\phi$  程度) となる。この長さは、一般的な重ね継手長に比べて非常に短い。また、閉合部は、鉄筋籠に組まれてけん引移動・設置されるため、鉄筋籠として組み上がった状態で形状を保持できなければならない。

既往の鉄筋継手に関する類似研究としては、比較的に薄い床版 (20~30cm 程度まで) の接合構造として半円形で閉合したループ状重ね継手に関する研究<sup>1), 2), 3)</sup>がある。ループ状重ね継手も、プレキャストの床版の鉄筋を一断面で繋ぐことと、継手長を短くすることを目的としている。ループ状重ね継手の研究では、一定の条件下で実物大の試験体を用いて鉄筋が降伏するまで継手定着部が破壊しないことを確認しているが、継手定着部の破壊時の耐力の算定方法は明らかにされていない。閉合形状の重ね継手は、曲げ加工部と直線が連続したコの字形の鉄筋の重ね継手である。この継手は、継手鉄筋の曲げ加工された隅角部の定着力と曲げ加工部につながる水平部の付着力で定着力を発揮する。それに対して、ループ状重ね継手の定着力は、一般的な重ね継手と同様に継手鉄筋の付着力のみに基づいて継手長を算出している<sup>4), 5)</sup>。また、関連する研究として、半円形に曲げ加工した鉄筋の定着力がある。これは、半円形に曲げ加工された鉄筋の両端部に等しい引張力が作用する時の曲げ加工部の定着力について示されている<sup>6)</sup>。一方、曲げ加工された箇所配置された補強鉄筋の補強効果は、帯鉄筋と同様に付着力で評価する方法<sup>4), 5)</sup>が提示されている。

本論文の閉合形状の重ね継手は、20cm 程度の比

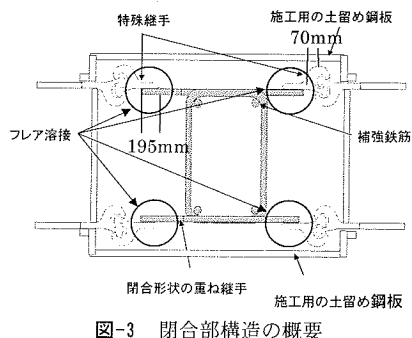


図-3 閉合部構造の概要

較的薄い床版から 1m を越えるような厚い床版を短い定着長 (主鉄筋径の 10 倍以下) で接合する場合を対象としている。その接合部に用いる閉合形状の重ね継手は、継手鉄筋の曲げ加工された隅角部、曲げ加工部につながる直線部のそれぞれの定着力に着目していることから、ループ状重ね継手に関する既往研究とは異なっている。また、厚い床版の接合などに適用した場合、ループ状重ね継手に比べて閉合形状の重ね継手は、大幅に重ね継手長を短くすることができる。また、継手鉄筋の隅角部への補強鉄筋の配置の有無によって、継手耐力に影響を及ぼすことを筆者らは試験で確認しているが、別報告を予定しており、本論文では、隅角部に補強鉄筋を配置しない継手を対象とした。

## 2. 閉合形状の重ね継手の予備試験

### (1) 試験概要

予備試験は、閉合形状の重ね継手を有する梁形状の鉄筋コンクリート試験体による載荷試験とした。

#### a) 試験体諸元

表-1 に試験体諸元及び鋼材とコンクリートの材料特性値を示す。図-4 に試験体断面図、図-5 に閉合形状の重ね継手の概要図を示す。試験体は、中央位置に閉合形状の重ね継手を配置し、継手箇所が純曲げとなるように試験を計画した。Lj1 は、重ね継手位置を示す。試験体のシリーズは、継手長の長さをパラメータとした。継手には、補強鉄筋を配置していない。補強鉄筋とは、継手鉄筋と別に直交する方向に配置した鉄筋のことである。なお、鉄筋の曲げ加工半径は、すべて鉄筋径の 3 倍とした。

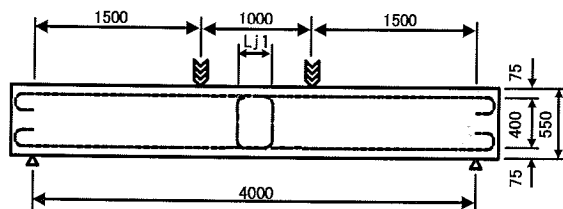


図-4 試験体断面 単位 (mm)

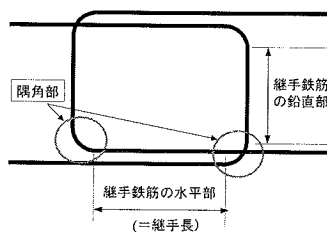


図-5 閉合形状の重ね継手の概要図

表-1 試験体諸元及び鋼材とコンクリートの材料特性値

	スパン L (mm)	アーム a (mm)	高さ h (mm)	幅 b (mm)	有効高さ		鉄筋量		コンクリート強度	鉄筋強度	鉄筋の重ね長さ				かぶり c (mm)	
					d1 (mm)	d2 (mm)	As1 (mm <sup>2</sup> )	As2 (mm <sup>2</sup> )	実圧縮強度 f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 f <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	水平部(継手長)	鉛直部	鉛直部	鉛直部		
No.1	4000	1500	550	400	475	75	D 25	1013.4	1013.4	22.6	389	455.0	18.2	275.0	11.0	62.5
No.2	4000	1500	550	400	475	75	D 25	1013.4	1013.4	21.9	389	310.0	12.4	275.0	11.0	62.5
No.3	4000	1500	550	400	475	75	D 25	1013.4	1013.4	26.9	389	165.0	6.6	275.0	11.0	62.5
No.4	4000	1500	550	400	475	75	D 25	1013.4	1013.4	29.3	411	165.0	6.6	275.0	11.0	62.5

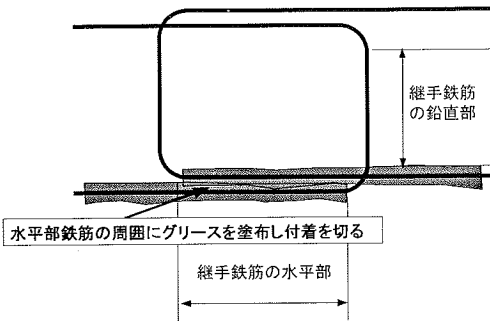


図-6 試験体 No. 4 (継手長部を処理したもの)

試験体 No.1~No.3 は、継手鉄筋が D25 を 2 本、継手長が 165~455mm (6.6φ~18.2φ) である。

試験体 No.4 は、継手鉄筋の水平部(継手長)の付着力をなくすように処理をした試験体である。付着力をなくす方法は、異形鉄筋の節と同じ高さまでグリースを塗布して、その周りをセルロイド製のスリーブを巻きつけている。継手鉄筋は、D25 が 2 本、継手長は、165mm (6.6φ) である。図-6 に試験体 No.4 を示す。

#### b) 載荷

載荷位置は、単純梁とした試験体を 2 点で載荷し、継手部が純曲げとなるようにした。図-7 に載荷装置の概要を示す。

載荷方法は、引張側の鉄筋が材料の試験結果から推定される降伏ひずみに達した時を降伏変位とし、降伏変位までは、5kN きざみで荷重制御にて載荷を行い、その後、最大荷重までは、変位制御で載荷した。1 サイクルの載荷は、変位およびひずみの安定を確認しながら進めた。

#### c) 計測

計測項目は、試験体の変位、載荷荷重および継手鉄筋のひずみである。変位は、支点、載荷点、中央の 5 点を計測した。載荷荷重は、載荷ジャッキと試験体の間にロードセルを設置し計測した。鉄筋ひずみは、閉合形状の継手鉄筋のひずみ分布が確認できるように、継手鉄筋の水平部(試験体の圧縮縁側)に 3 点、水平部(試験体の引張縁側)に 3 点、鉛直

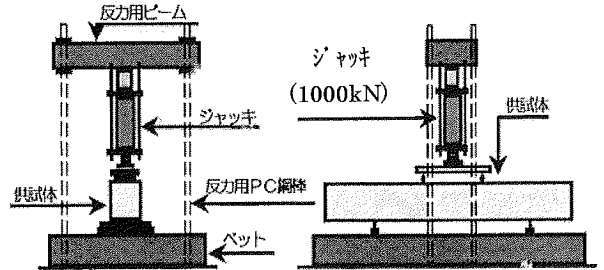


図-7 載荷試験装置概要

部に 2 点、ひずみゲージを設置し計測した。また、ひずみゲージは、継手鉄筋の閉合形状の外側面に設置した。

## (2) 試験結果

### a) 変位、ひび割れ発生状況および破壊形態

載荷荷重の増加に伴う試験体変位、ひび割れの発生、進展および破壊に至るまでの挙動を報告する。

閉合形状の重ね継手の破壊形態は、2 種類あった。1 つは、閉合形状の鉄筋継手に囲まれたコンクリート塊(以下、コアコンクリートと呼ぶ)の内部および近傍でひび割れが発生し、継手部が破壊して耐力を失うものである(以下、継手破壊に伴い試験体の圧縮縁側が圧壊する曲げ破壊を継手破壊と呼ぶ)。もう 1 つは、載荷に伴い前者と同様にコアコンクリートの周囲にひび割れが発生するが、引張側の鉄筋が降伏した後も耐力を保持し、最大荷重時に圧縮縁側のコンクリートが圧壊し耐力を失うものである(以下、鉄筋降伏に伴い試験体の圧縮縁側が圧壊する曲げ破壊を鉄筋降伏曲げ破壊と呼ぶ)。以上、2 種類の破壊形態について報告する。表-2 に鉄筋ひずみ分布及び破壊形態一覧表を示す。各試験体の挙動として載荷荷重に対する中央変位の関係を図-8 に示す。

1 つ目の形態の試験体 No. 3, 4 は、いずれも継手部が破壊して、急激に耐力を失っている。図-9 に試験体 No.3 のひび割れ発生時、最大荷重時、破壊時(完全に耐力を失った状態)のひび割れ発生状況を示す。ひび割れの進展状況は、まず、継手鉄筋の鉛直部位置の近くに引張縁側から曲げひび割れが発生した。次に荷重増加に伴って、試験体の側面で

表-2 鉄筋ひずみ分布及び破壊形態一覧表

NO.	最大荷重 P[kN]	破壊形態	最大荷重時の 継手鉄筋応力 $\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	最大荷重時の鉄筋ひずみ $\epsilon$ [ $\mu$ ]							
				水平部最大応力 (実験値)*							
				①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
1	224	臨伏破壊**	399.2	-280	-255	-95	70	75	55	1650	2178
2	201	臨伏破壊**	357.7	-205	-210	-30	65	1134	405	2175	1675
3	204	継手破壊	363.8	-170	-180	260	110	1178	505	1950	1325
4	215	継手破壊	383.2	-175	-120	-215	-10	1875	2264	2264	2264

\*水平部最大応力は、複鉄筋梁部材として鉄筋応力を算定  
\*\*鉄筋降伏曲げ破壊を降伏破壊と表す

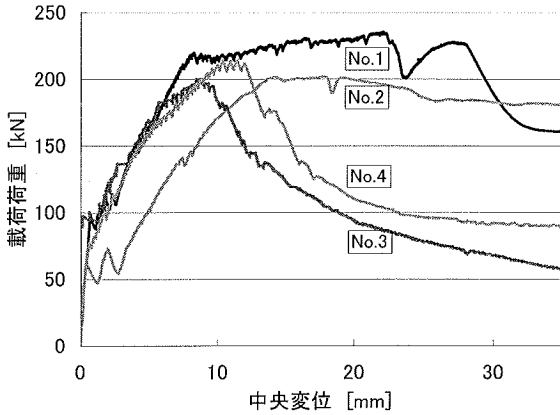


図-8 載荷荷重と中央変位の関係

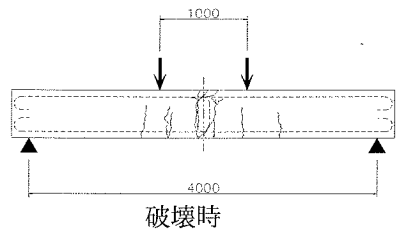
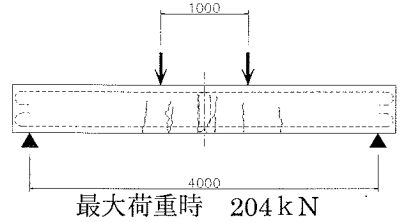
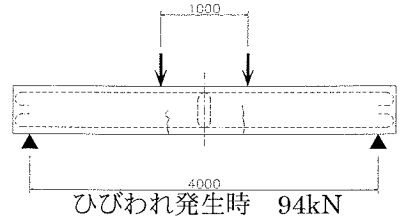


図-9 ひび割れ発生状況 (No. 3)



写真-1 継手破壊した試験体底面のひび割れ状況

継手鉄筋の水平部位置にひび割れが発生し、最大荷重付近で継手鉄筋の隅角部からコアコンクリートを斜めに横切るひび割れと試験体の底面に継手鉄筋方向のひび割れが発生した。写真-1 に試験体底面のひび割れを示す。

最大荷重時のひび割れは、継手鉄筋鉛直部位置に曲げの影響によるひび割れの開口が他のひび割れより大きくなっていった。破壊時は、継手鉄筋の鉛直部

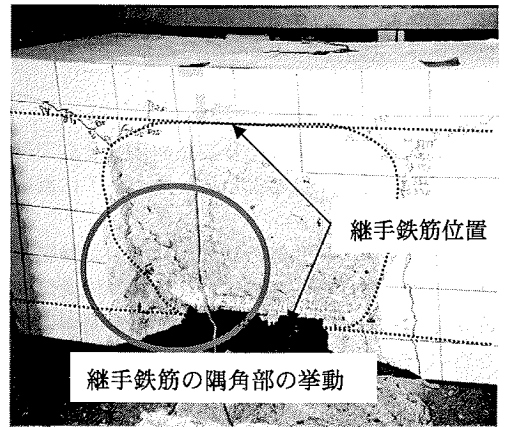


写真-2 破壊した試験体の継手状態

位置の2本のひび割れが大きく開口し、その2箇所ので梁が折れ曲がった状態となっていた。荷重終了後、試験体のかぶりコンクリートをたたき落とし、継手鉄筋の状況を観察した。継手鉄筋の隅角部は、コアコンクリート側に引っ張られて動いていた。これより、継手鉄筋の隅角部の内側からコアコンクリート

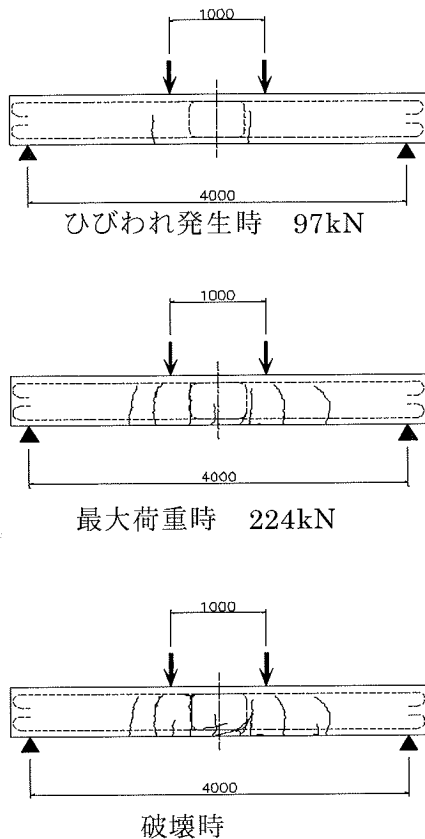


図-10 ひび割れ発生状況 (No.1)

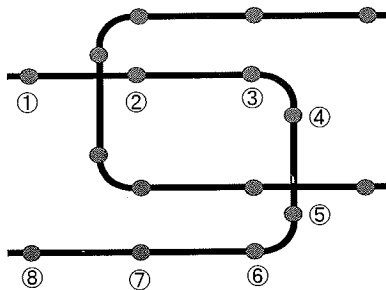


図-11 ひずみゲージ取り付け位置図

に向かって腹圧が作用し、継手鉄筋の内側のコアコンクリートが割裂破壊したと考えられる。試験体の底面に継手鉄筋方向のひび割れは、この割裂ひび割れによるものと考えられる。継手破壊した試験体の継手状態を写真-2に示す。また、写真中に継手鉄筋位置を点線で示す。

試験体の側面の鉄筋位置のひび割れは、継手長が短い試験体で発生している。このひび割れは、継手鉄筋の継手長部（水平部）の付着力による割裂ひび

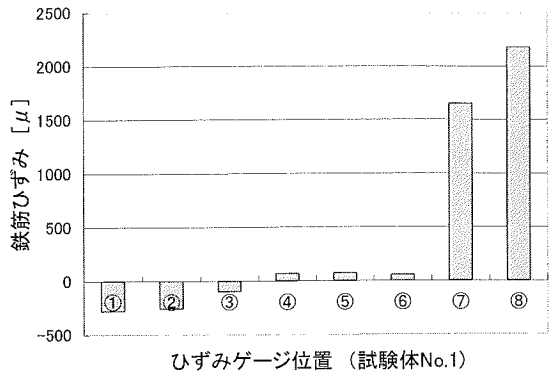


図-12 鉄筋ひずみ分布 (No. 1)

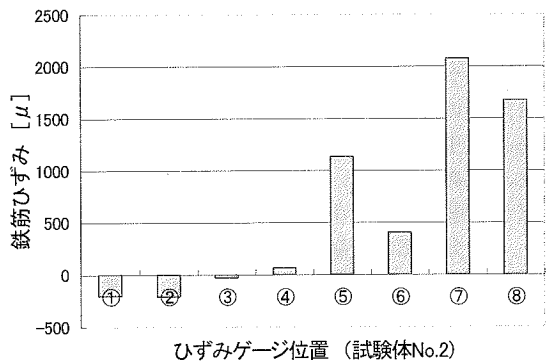


図-13 鉄筋ひずみ分布 (No. 2)

割れと考えられる。

2つ目の形態である試験体 No. 1, 2 は、引張側の鉄筋が降伏した後に、圧縮側のコンクリートが圧壊し曲げ破壊していた。図-10 に No. 1 の破壊形態を示す。ひび割れの発生状況は、1つ目の破壊形態と同様のひび割れの進展を示した。まず、継手鉄筋の鉛直部位置の近くに引張縁側から曲げひび割れが発生した。しかし、1つ目の破壊形態と異なり、荷重増加に伴う試験体の底面の継手鉄筋方向のひび割れは発生しなかった。また、コアコンクリート内に発生

しているひびわれは1つ目の破壊形態に比べると少なくほとんど発生していなかった。最大荷重後、変位増加に伴い、圧縮縁側のコンクリートが圧壊し耐力を失った。

#### b) 鉄筋のひずみ分布

最大荷重時の継手鉄筋のひずみ分布状況を計測した。図-11 にひずみゲージ取り付けの位置図、鉄筋ひずみの計測結果を表-2に示す。ここで、ひずみゲージは、継手鉄筋の曲げ加工の外周側に貼付けている。

最大荷重時の鉄筋ひずみ分布形状には、3種類の

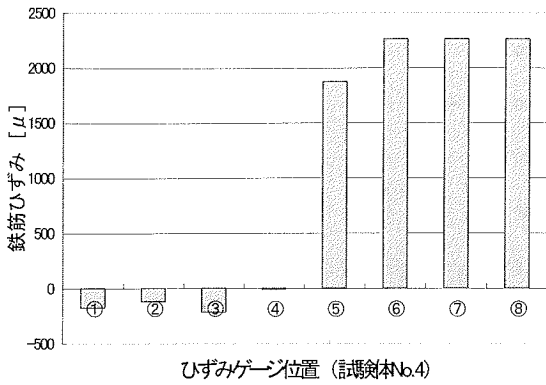


図-14 鉄筋ひずみ分布 (No. 4)

形状があった。

1つ目の形状は、継手鉄筋の水平部だけに鉄筋ひずみが発生して、鉛直部には鉄筋ひずみが発生しないものである。また、継手鉄筋の隅角部⑥付近においても⑦⑧に比べて小さなひずみしか発生していない。この分布形状の試験体の破壊形態は鉄筋降伏曲げ破壊である。このひずみ分布形状は、試験体 No.1 であった。このひずみ分布を図-12 に示す。

2つ目の形状は、隅角部⑤にひずみが発生している。隅角部で、⑤と⑥の鉄筋ひずみの勾配が逆転しているのは、ひずみゲージを継手鉄筋の外周側にのみ貼付けしているため、⑤付近で継手形状の影響で局所的な曲げ応力が鉄筋に作用した影響と考えられる。このひずみ分布形状は、試験体 No.2, 3 であった。破壊形態は、試験体 No.2 が鉄筋降伏曲げ破壊、No.3 が継手破壊であった。载荷に伴うひずみ分布変化から、この継手破壊は、継手鉄筋の水平部の付着破壊後に隅角部の支圧破壊がほぼ同時に発生したと推定できる。このひずみ分布を図-13 に示す。

3つ目の形状は、継手鉄筋の水平部のひずみ分布が等しい大きさに分布していた。これより継手鉄筋の水平部は、付着力の低減処理を施しているため付着力を失っていると考えられる。破壊形態は、継手破壊であった。このひずみ分布形状は、試験体 No.4 であった。このひずみ分布を図-14 に示す。

1つ目の形状は、継手長が 18.2φ と長い試験体 No.1 で生じた。これは、継手鉄筋の継手長部(水平部)の付着力が維持されているためと考えられる。

2つ目の形状は、継手長が 12.4φ の試験体 No.2、継手長が 6.6φ の試験体 No.3 で生じた。ひずみ分布より継手の定着力は、No.2 の場合は、継手鉄筋の継手長部(水平部)の付着力と隅角部の支圧力が同時に発揮され、継手の引張側鉄筋の降伏後に曲げ破壊を

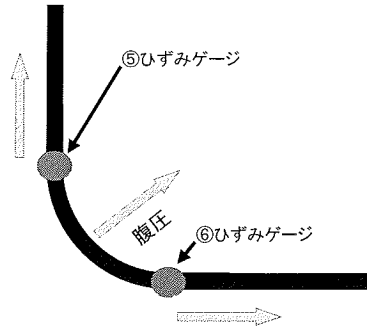


図-15 継手隅角部模式図

している。一方、No.3 は、継手の隅角部のコンクリートが支圧破壊することで継手破壊している。

3つ目の形状は、継手鉄筋の水平部に付着力をなくすような処理をした試験体 No.4 で生じた。つまり、水平部の付着力はないが、継手鉄筋の隅角部の定着力によって、継手の耐力が保持されていると推定される。

予備試験より、継手鉄筋の継手長(水平部)が短い場合や継手長に付着力が発生しない処理をした場合は、継手鉄筋の隅角部まで引張力が伝達される。そして、隅角部のコンクリートに継手鉄筋の引張力が腹圧として作用し、その腹圧による支圧力が継手鉄筋の定着力として発揮されると考えられる。隅角部の模式図を図-15 に示す。そこで、継手鉄筋の隅角部の定着力を明らかにするため、基礎的な試験と実証的な試験を実施した。

鉄筋によりコンクリートブロックに支圧力を作用させた場合の耐力に関する支圧試験、曲げ加工された鉄筋の定着力に関する引張試験、この2つの実験を実施した。また、この試験結果を実証するため、閉合形状の重ね継手を有する梁試験体による曲げ試験も実施した。なお、継手形状は、継手鉄筋の隅角部の支圧耐力で継手耐力を発揮するような継手形状としている。

閉合形状の重ね継手の継手耐力は、継手鉄筋の隅角部の定着力(支圧耐力)によって評価される。しかし、既往の支圧耐力に関する研究は、平坦な支圧面を持つ平板によって支圧力を作用させた場合の支圧耐力について研究<sup>7)</sup> および基準化<sup>8), 9)</sup> されているが、この継手のように断面形状が曲面の鉄筋で支圧力を作用させた場合の支圧耐力について、研究された例は見当たらない。本論文では、曲げ加工された鉄筋の隅角部の定着について、鉄筋の曲げ加工形状及び鉄筋径に着目して、継手耐力を明らかにしている。

表-3 支圧試験一覧表

シリーズ	試験体 No.	コンクリート実圧縮強度 $f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	鉄筋径 $\phi$ [mm]	鉄筋本数 [本]	鉄筋長さ [cm]	試験体幅 W [cm]	試験体長さ L [cm]	試験体高さ (=鉄筋中心間隔) H [cm]	試験体高さ (=鉄筋中心間隔) H [ $\phi$ ]	最大荷重 [実験値] P [N]	最大荷重 [計算値] P [N]	1本あたり最大荷重 [実験値] PO [N]	1本あたり最大荷重 [計算値] PI [N]	1本あたり最大荷重 [正規化] P' [N]	1本あたり最大荷重 [正規化] P' [N]
D25×2	1	31.0	25	2	12.0	40.0	12.0	33.5	13.4	318000	169838	159500	84919	123484	65744
	2	31.0	25	2	12.0	40.0	12.0	19.0	7.6	222000	139470	111000	69735	85935	53988
	3	31.0	25	2	12.0	40.0	12.0	10.0	4.0	160000	96301	80000	48150	61935	37278
	4	31.0	25	2	12.0	40.0	12.0	4.5	1.8	83500	52036	41750	26018	32323	20143
D25×4	5	31.0	25	4	12.0	40.0	12.0	33.5	13.4	520000	339677	130000	84919	100645	65744
	6	31.0	25	4	12.0	40.0	12.0	19.0	7.6	414000	278939	103500	69735	80129	53988
	7	31.0	25	4	12.0	40.0	12.0	10.0	4.0	275000	192602	68750	48150	53226	37278
	8	31.0	25	4	12.0	40.0	12.0	4.5	1.8	113000	104073	28250	26018	21871	20143
D16×2	9	21.0	16	2	12.0	40.0	12.0	33.5	20.9	230500	78867	115250	39434	131714	45067
	10	21.0	16	2	12.0	40.0	12.0	19.0	11.9	176500	71387	88250	35694	100857	40793
	11	21.0	16	2	12.0	40.0	12.0	10.0	6.3	143000	54837	71500	27419	81714	31336
	12	21.0	16	2	12.0	40.0	12.0	4.5	2.8	70500	32350	35250	16175	40286	18486
D35×2	13	26.7	35	2	12.0	40.0	12.0	33.5	9.6	359500	185114	179750	92557	161573	83197
平板支圧 16.25,35mm ×2	14	26.7	16	2	12.0	40.0	12.0	24.0	15.0	211000	95873	105500	47937	94831	43089
	15	26.7	25	2	12.0	40.0	12.0	24.0	9.6	246000	132369	123000	66185	110562	59492
	16	26.7	35	2	12.0	40.0	12.0	24.0	6.9	276000	160036	138000	80018	124045	71926
平板支圧 (片面支圧) 25,100,150 ×1	17	23.1	25	1	12.0	10.0	12.0	30.0	12.0	132000	69180	132000	69180	137381	72000
	18	23.1	100	1	12.0	40.0	12.0	30.0	3.0	364000	276720	364000	276720	378838	288000
	19	23.1	150	1	12.0	60.0	12.0	30.0	2.0	570000	415080	570000	415080	593235	432000

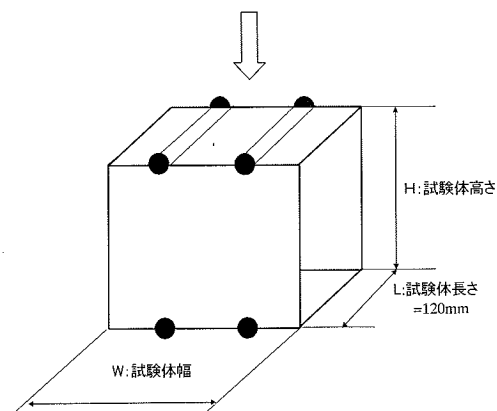


図-16 試験体概要図

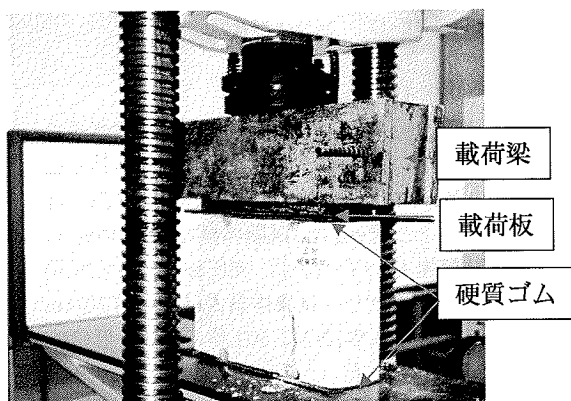


写真-3 試験状況

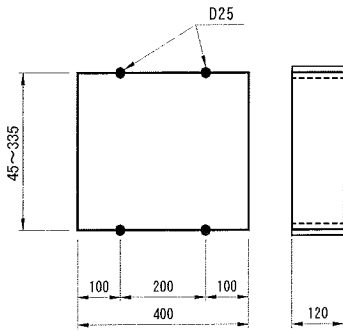
### 3. 支圧試験

#### (1) 試験概要および試験体諸元

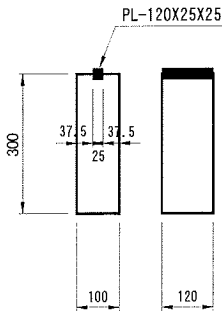
支圧試験は、鉄筋を介してコンクリートブロックに載荷した。ここでは、最大荷重が支圧耐力に相当すると考えた。また、本論文では、直接的に接しコンクリートへ支圧力を作用させる棒及び板を支圧体と呼ぶ。試験の着目点は、コンクリートブロックの上

下に向かい合わせて設置した支圧体の距離、支圧体の幅（鉄筋径と平板幅）、支圧体の断面形状（鉄筋と平板）である。表-3 に支圧試験一覧表を示す。

試験体 No.1~16 の試験方法は、鉄筋もしくは平板をコンクリートブロックの上・下に対称に配置し、上側から鉄筋・平板を介して載荷した。試験体 No.17~19 については、コンクリートブロックの上面にのみ支圧体を配置した。載荷方法は、単調増加とした。載荷装置は、最大載荷重 2000 kN のアムスラー（東京衡機製造所 CM-200 型）を用いた。そして、コンクリートブロックが破壊する時の荷重及び破壊



[No. 1~No. 4]



[No. 17]

図-17 試験体形状図

状況を明らかにした。

試験体 No.1~16 は、支圧体の長さとして試験体長さと同じ長さとし（支圧体の長い方向を試験体長さとし、その直角方向を試験体幅とする）、試験体長さは全て 120mm とした。また、試験体幅は全て 400mm とした。試験体 No.17~19 は、支圧体の長さとして試験体長さと同じ長さとし、試験体長さは全て 120mm とした。また、試験体幅は全て支圧体の幅の 4 倍（100, 400, 600mm）とした。

支圧体（鉄筋及び平板）は、試験体製作時にコンクリートブロックの支圧面に中心まで半分埋め込むようにして設置・固定し、コンクリートを打設している。載荷荷重は、複数の支圧体に均等に荷重を作用させるため、載荷荷重で変形しない十分な剛性を有する載荷梁（高さ 200mm 幅 150mm）を用い、載荷荷重を載荷板（厚さ 27mm、幅 120mm、長さ 350mm）に伝えた。さらに、載荷板と支圧体の間には 5mm の硬質ゴムを挟み局部的なあたりを補正した。試験体概要図を図-16、試験体形状図（No.1~4, No.17）を図-17、試験状況を写真-3 に示す。

a) 支圧体の距離に着目した試験

支圧体の距離に着目した試験は、向かい合う支圧

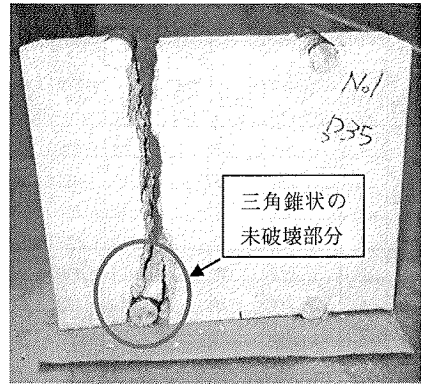


写真-4 破壊状況 (No.13 D35)

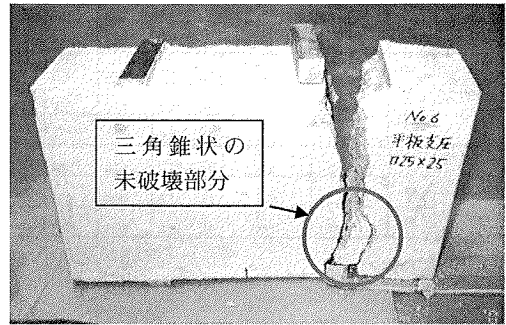


写真-5 破壊状況 (No.15 平板 25mm)

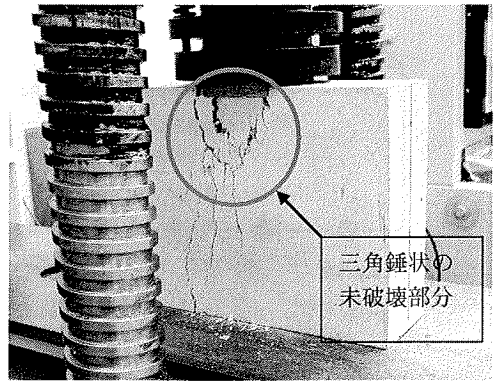


写真-6 破壊状況 (No.18 平板 100mm)

体から、支圧力を作用させ、支圧体間の距離（＝試験体高さ H）と支圧耐力の関係を明らかにするものである。試験体の高さは、4.5, 10, 19, 24, 33.5cm とした。支圧体は、鉄筋 D16, D25 の 2 種類を 2 本もしくは 4 本並べて配置した。支圧体が 2 本の場合は、試験体幅方向に端部から測定して 100, 300mm 位置に、4 本の場合は、100, 167, 234, 300mm 位置に支圧体を並べた。試験体は、D16×2 本のシリーズ（No.9, 10, 11, 12）、D25×2 本の



シリーズ (No.1, 2, 3, 4), D25×4本のシリーズ (No.5, 6, 7, 8) である。

b) 支圧体の幅 (鉄筋径, 平板幅) に着目した試験

支圧体の幅 (鉄筋径, 平板幅) に着目した試験は, 支圧体として, 鉄筋, 平板 (16, 25, 35, 100, 150 mm) を用いた。鉄筋の太さのシリーズは, D16, D25, D35 (No.1, 9, 13) で支圧体2本, 支圧体距離 33.5cm である。平板幅は, 16, 25, 35mm (No.14, 15, 16) で支圧体2本, 支圧体距離 24cm である。比較的幅の広い平板のシリーズは, 25, 100, 150mm (No.17, 18, 19) で支圧体1本で上面のみに支圧体を配置している。

(2) ひび割れ発生状況および破壊形態

試験体の挙動は, 載荷荷重を単調に増加させると, 載荷初期に若干のなじみによる荷重の低下が数回見られるが, その後は, 破壊に至るまで単調に荷重は増加する。ひび割れは, 破壊まで全く発生せず, 破壊時に向かい合う支圧体を結ぶように割裂ひび割れが発生する。最大荷重時の支圧体を結ぶ割裂ひび割れの本数は, 支圧体が2本の場合は全て1本, 支圧体が4本の場合は全て2本と偏ってひび割れが発生した。これは, 支圧力が均等に作用せず偏載荷になったため, もしくは支圧耐力のバラツキによって, 2本もしくは4本の各支圧体本数と同じひび割れが発生しなかったものと考えられる。ここでは, 最大荷重を支圧体の本数で除して1本あたり最大荷重とした。支圧体が4本の場合の方が2本より, 上述したような載荷荷重や支圧耐力のバラツキが大きくなるため, 1本あたり最大荷重は, 若干小さくなるが, わずかな違いなので本論文では同様に扱うこととした。破壊した後の試験体の破壊箇所を観察すると, 支圧体の下に, 支圧体の幅で三角錐状の未破壊部分が残っていた。破壊形状は, 支圧体の種別 (鉄筋, 平板) によらず同様であった。また, 既往の支圧試験で用いられるような比較的幅の広い平板 (100, 150mm) の場合でも同様の破壊形状であった。支圧体の破壊状況を鉄筋の場合を写真-4, 平板の場合を写真-5 および比較的幅の広い平板の場合を写真-6 に示す。

(3) 支圧耐力

a) 支圧体の距離の影響

支圧体間の距離として試験体の高さ H に対する支圧体1本あたり最大荷重を計測した。ここでは, コンクリート強度のバラツキが試験結果に出ないように同じ配合で同日のコンクリート打設, 同日に試

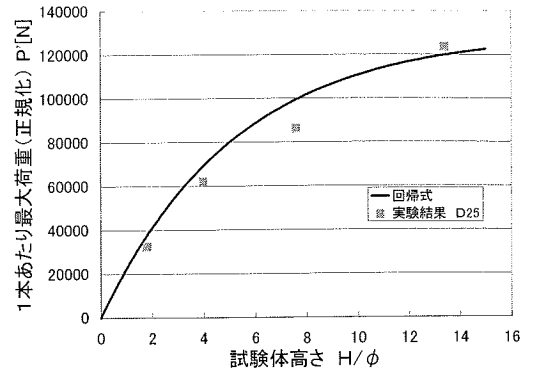


図-18 試験体高さ H と 1本あたり最大荷重の関係 (試験体 No. 1, 2, 3, 4)

験を実施した鉄筋本数が2本 (隣接する支圧体の間隔が一定) の No.1, 2, 3, 4 の試験結果から考察する。また, コンクリート強度による影響を無視できるように, 最大荷重を全てコンクリート実圧縮強度で除した後, 24N/mm<sup>2</sup> を乗じて正規化している。試験体高さ H と 1本あたりの最大荷重の関係を図-18 に示す。

どのケースの場合も試験体の高さが小さくなると1本あたり最大荷重 (正規化) P' が低下する傾向があった。これは, 向かい合う支圧体から作用する支圧力による試験体内の引張応力分布が, 相互に干渉するため, 片側から支圧力を作用させた場合よりもひび割れ進展が早くなるためと考えられる。そのため, 試験体高さ H が小さくなると, 割裂ひび割れが早く発生し, 最大荷重が低下したものと考えられる。つまり, 試験体の高さが小さくなり, 支圧体間の距離が短くなるほど, 1本あたり最大荷重が低下する傾向があった。また, 試験体の高さが 12φ を超える程度から一定値に収束する傾向があった。干渉の影響を受けない高さの試験体高さになれば一定値になると考えられる。この傾向は, 式(1)で表すことができる。式の相関値は 0.90 である。

$$P = P_0 \left( 1 - \frac{1}{1.2^{(H/\phi)}} \right) \quad (1)$$

P: 1本あたり最大荷重[N]

P<sub>0</sub>: 干渉の影響を受けない収束値[N]

H: 試験体高さ[mm]

φ: 鉄筋径[mm]

b) 支圧体の幅の影響

平板の支圧耐力は, 土木学会, CEB, ACI とも式(2)の形で表している。式(2)は, 係数  $\eta = \sqrt{A/Aa}$  (A: コンクリート面の支圧分布面積, Aa: 支圧を直接受

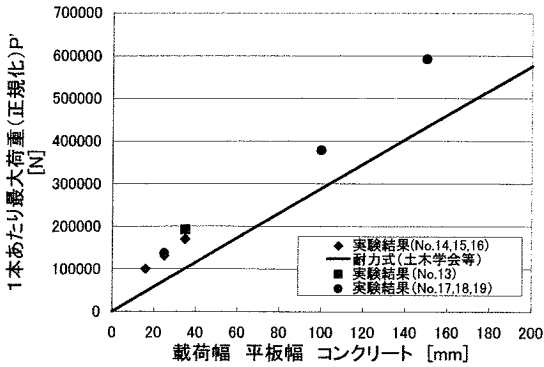


図-19 載荷幅 - 1本あたり最大荷重

$$P = f_{ak} \times A \quad (2)$$

P : 支圧耐力

$f_{ak}$  : 支圧強度の特性値

$$f_{ak} = \eta \times f'_{ck}$$

A : 支圧の作用する面積

ける面積)で隣接する支圧体の間隔の影響が考慮されることとなるが、本試験のように支圧を作用させるブロックと支圧体の長さが同じ場合には  $\eta = 1$  となり、 $f_{ak} = f'_{ck}$  となる。式(2)は、断面形状が平板のような支圧体の場合の式である。本研究では対象とする鉄筋や細い棒状の支圧体の場合での支圧面積の取り方について確認する。ここでは、鉄筋と平板のような断面形状の異なる支圧体でも、支圧体幅に応じた類似の破壊形態を示し(写真-4, 写真-5, 写真-6を参照)、同じ載荷幅(鉄筋径, 平板幅)の鉄筋と平板で比較した場合に1本あたり最大荷重が同程度となった。これは、試験体製作時にコンクリートブロックの支圧面に支圧体の中心まで半分埋め込むようにして設置・固定したため、支圧体の幅以外の支圧体の断面形状による荷重作用条件の影響をあまり受けなかったためと思われる。よって、鉄筋と平板を同様に扱い以下の検討を行った。コンクリート強度のバラツキが試験結果に出ないように同じ配合で同日のコンクリート打設、同日に試験を実施している試験体 No.13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 の試験結果から考察する。また、最大荷重は、全てコンクリート実圧縮強度で除した後に、 $24\text{N/mm}^2$  を乗じてコンクリート強度について正規化し、式(1)の  $P_0$  の係数で除することで試験体高さの影響を除いている。なお、載荷幅と1本あたりの最大荷重との関係および式(2)の計算値を図-19に示す。載荷幅の増加に伴い、鉄筋や平板のような支圧体の形状によらず、計算値より1本あたり最大荷重が幾分安全側に大きく

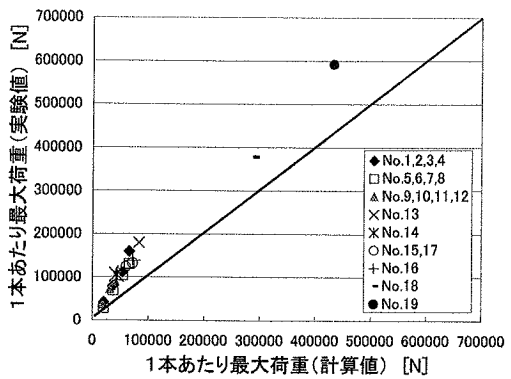


図-20 計算値と実験値の比較

なる傾向を示した。

以上より、支圧体の距離の影響を考慮した支圧耐力は、式(1)、式(2)において1本あたり最大荷重が支圧耐力に相当するものとして、式(3)を導いた。

鉄筋と平板によるすべての支圧試験結果を式(3)による計算値と実験値で比較する。比較結果を図-20に示す。図-20より、計算値と実験値を比較すると、式(3)は鉄筋も平板も図-19の傾向と同様に幾分安全側に1本あたり最大荷重が回帰できており、鉄筋と平板の同じ載荷幅のものを同様に扱うことは適当と思われる。

$$P = \phi \times \sigma_{ck} \times L \times \left(1 - \frac{1}{1.2^{(W/\phi)}}\right) \quad (3)$$

P : 1本あたり最大荷重 = 支圧耐力[N]

$\phi$  : 鉄筋径もしくは平板幅[mm]

r : 曲げ半径[mm]

$\sigma_{ck}$  : コンクリート圧縮強度[N/mm<sup>2</sup>]

H : 支圧体間の離隔[mm]

L : 支圧体の長さ[mm]

#### 4. 引張試験

##### (1) 試験概要および試験体諸元

引張試験は、直角に曲げ加工した鉄筋をコンクリートブロックに埋め込み、最大引張荷重 800 kN のセンターホールジャッキ (オックスジャッキ 鋼棒ジャッキ JTC-80) で鉄筋を引張った。鉄筋は、SD390 である。引張荷重は、単調増加として最大荷重に達するまで引張荷重を作用させた。試験体は、鉄筋から作用する腹圧の鉄筋直角方向の分布幅(鉄筋径  $\phi$  / コンクリートブロックの幅  $W=8$ ) を一定とした。曲げ加工部の定着力のみに着目するため、曲げ加工部分以外の箇所は、グリースを鉄筋の節の高

表-4 引張試験一覧表

シリーズ	試験体 No.	コンクリート実圧縮強度 $f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	鉄筋径 $\phi$ [mm]	鉄筋本数 [本]	曲げ半径 $r$ [cm]	鉄筋断面積 [cm <sup>2</sup> ]	試験体幅 $B$ $\phi$ W [cm]	試験体長さ L [cm]	試験体高さ H [cm]	最大引張荷重 (実験値) P [N]	曲げ半径 [ $\phi$ ]	曲げ加工部長さ [mm]	最大引張荷重 (計算値) [N]
予備試験	—	4.76	25	1	7.5	5.067	20.0	70.0	38.0	53740	3	118	43764
曲げ半径別 鉄筋径一定 $\phi/d=8$	1	7.86	25	1	7.5	5.067	20.0	70.0	38.0	88740	3	118	72265
	2	7.86	25	1	12.5	5.067	20.0	70.0	43.0	114240	5	196	96914
	3	5.52	25	1	17.5	5.067	20.0	70.0	48.0	94860	7	275	78305
鉄筋径別 曲げ半径一定 $\phi/d=8$	4	7.86	16	1	12.5	1.986	12.8	70.0	23.7	34000	7.81	196	47332
	5	7.86	35	1	12.5	9.566	28.0	70.0	40.8	168980	3.57	196	158115
	6	7.86	41	1	12.5	13.4	32.8	70.0	46.2	183260	3.05	196	196430

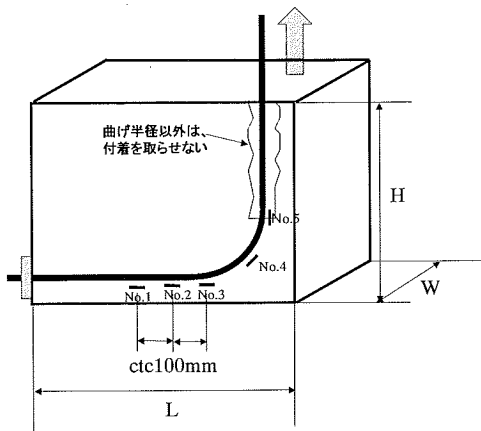


図-21 試験概要図 (ひずみゲージは予備試験のみ)

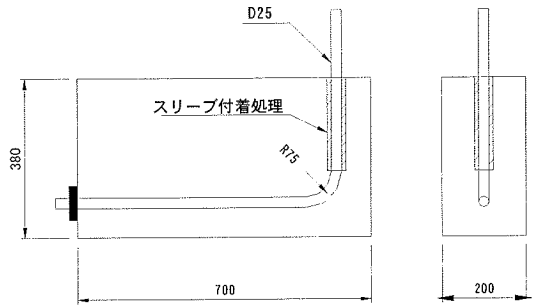


図-22 試験体形状図 (No. 1)

さ程度に塗布後、セルロイド製のスリーブを巻きつけて付着力が発生しないように処置した。ジャッキ反力は、試験体の上面で受けた。これは閉合形状の重ね継手の継手部のコンクリートの応力分布状態と若干異なる。しかし、鉄筋径と曲げ半径に対する最大引張荷重の増減傾向を捉えることは可能であると考えこのような載荷とした。ジャッキ下には厚さ20mmで200×200mmの中央に穴のあいた支圧板を敷き、その穴に鉄筋を通して、コンクリートブロックに局所的な破壊が発生しないように処置した。No6試験体は、鉄筋径が太いため、ジャッキ下に鉄筋に沿わせるように2枚の支圧板を設置した。また、鉄筋のひずみ分布を確認するため、鉄筋にゲージを貼付けた予備試験も実施した。試験概要図を図-21、No1の試験体形状図を図-22、表-4に引張試験一覧表を示す。また、図-23に予備試験結果を示す。予

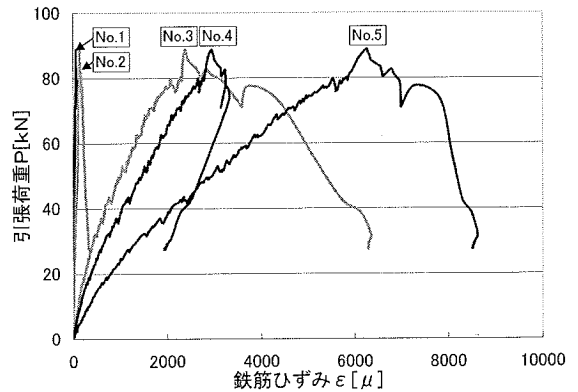


図-23 予備試験結果 (鉄筋ひずみ分布)

備試験結果より、鉄筋に引張荷重を破壊するまで作用させた場合、最大荷重時においても鉄筋の曲げ加工した範囲までしかひずみが分布していない。これより、定着側の鉄筋の水平部分(試験体長さL側部の鉄筋)は、最大引張荷重にあまり寄与しないものと推定される。これより、引張試験では試験体長さLを一定とした。

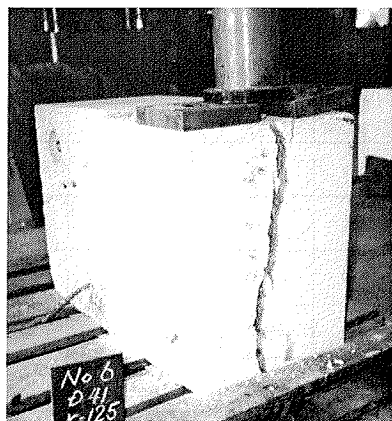


写真-7 引張試験ひび割れ発生状況

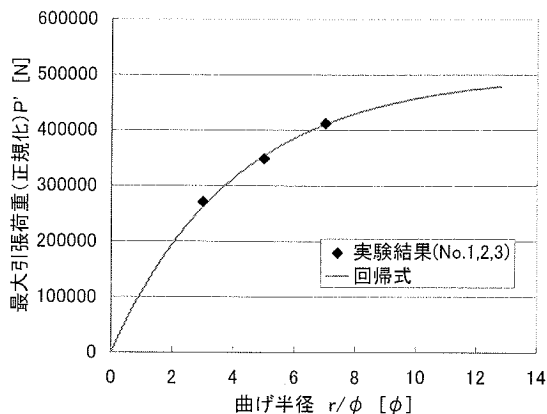


図-24 曲げ半径と最大引張荷重の関係、  
(試験体 No.1, 2, 3)

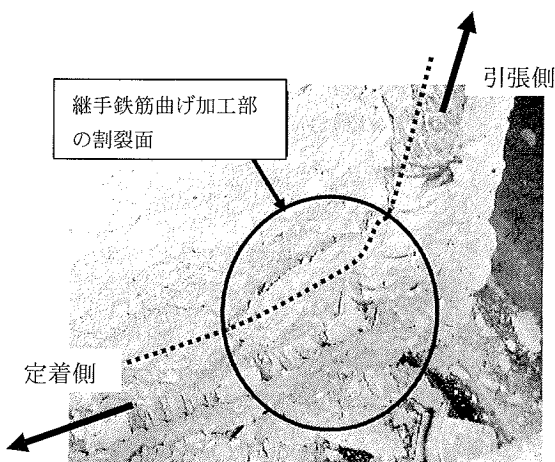


写真-8 継手鉄筋曲げ加工部の割裂面

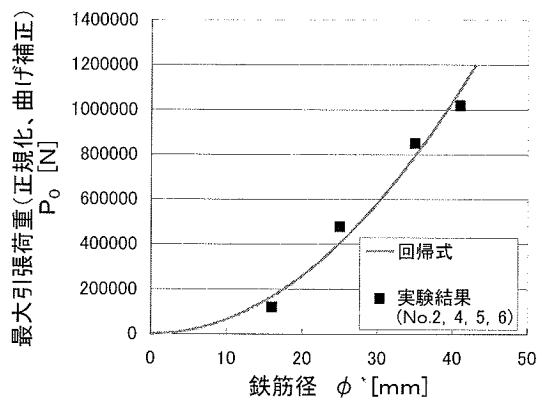


図-25 鉄筋径—最大引張荷重の関係  
(試験体 No. 2, 4, 5, 6)

た。そして、最大荷重発生後にさらに引張続けても、荷重は増加しなかった。ひび割れ発生状況を写真-7に示す。最大荷重後に試験体をひび割れ発生面（鉄筋を定着している断面）で割ると、曲げ加工部の鉄筋内側に腹圧によると思われる割裂ひび割れが確認された。継手鉄筋曲げ加工部（隅角部）の割裂面を写真-8に示す。また、写真中に鉄筋位置を点線で示す。

### (3) 引張耐力

#### a) 曲げ半径の影響

曲げ加工された鉄筋の引張試験では、曲げ加工された箇所の曲げ内側でコンクリートが割裂破壊していることが確認できた。よって、曲げ加工された鉄筋の定着力は、支圧耐力から耐力を明らかにできると考えられる。

鉄筋の曲げ半径と最大引張荷重の関係を図-24に

#### a) 曲げ半径に着目した試験

鉄筋径を一定(D25)で、曲げ半径を  $r=7.5, 12.5, 17.5\text{cm}$  として、最大引張荷重を計測した。なお、最大引張荷重を引張耐力と考えた。試験体は、No.1, 2, 3である。

#### b) 鉄筋径に着目した試験

鉄筋の曲げ加工半径を一定 ( $r=12.5\text{cm}$ ) で、鉄筋径を D16, D25, D35, D41 として、最大引張荷重を計測した。試験体は、No.2, 4, 5, 6である。

### (2) ひび割れ発生状況及び破壊形態

破壊形状は、以下のとおり全て同じ形態であった。引張荷重を作用させると、最大荷重に達するまでひび割れは発生しない。ひび割れは、鉄筋の定着方向（定着している断面）に試験体を割るように発生し

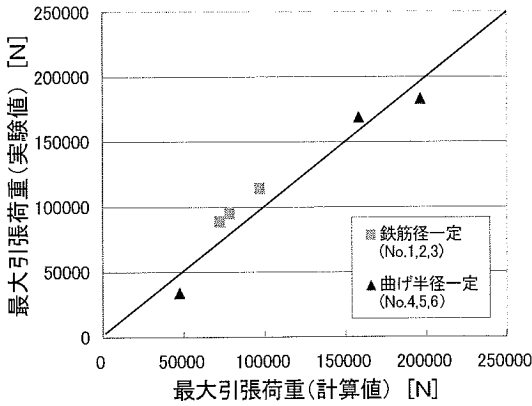


図-26 計算値と実験値の比較

示す。最大引張荷重は、コンクリート実圧縮強度で除した後、 $24\text{N/mm}^2$  を乗じて正規化した値である。

曲げ半径と最大引張荷重との関係は、曲げ半径が、 $8\phi$  を超えると収束の傾向が見られる。この傾向は式(4)でほぼ回帰できる。式の相関値は、0.93 である。

$$P' = P_0 \times \left(1 - \frac{1}{1.3^{(r/\phi)}}\right) \quad (4)$$

$P'$ : 最大引張荷重[N]

$P_0$ : 一定の曲げ半径以上の収束値[N]

$r$ : 曲げ半径[mm]

$\phi$ : 鉄筋径[mm]

### b) 鉄筋径の影響

一定の曲げ加工半径 ( $r=12.5\text{cm}$ ) の鉄筋 (D16, D25, D35, D41) を引き抜く時の引張耐力を計測した。最大引張荷重は、a) と同様にコンクリート実圧縮強度を  $24\text{N/mm}^2$  に正規化し、式(4)の  $P_0$  の係数で除することで鉄筋の曲げ加工半径の影響を除去している。鉄筋径と最大引張荷重の関係を図-25 に示す。

破壊形状は、鉄筋の曲げ加工部の曲げ内部の支圧破壊であった。ここで、鉄筋の曲げ加工半径の影響を除いた場合の支圧破壊で決まる引張荷重は、式(2)から、式(5)でほぼ回帰できると考えられる。ここで、 $27\phi$  は定数である。式の相関値は 0.96 である。

$$P_0 = X \times \sigma_{ck} \times 27\phi \quad (5)$$

$P_0$ : 載荷幅に対する最大引張り荷重[N]

(式(4)の  $P_0$  と同値)

$X$ : 載荷幅 (= 鉄筋径) [mm]

$\sigma_{ck}$ : コンクリート圧縮強度 [ $\text{N/mm}^2$ ]

$\phi$ : 鉄筋径 [mm]

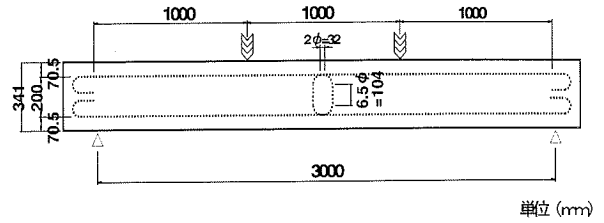


図-27 曲げ試験体図 (No. 1)

以上より、曲げ加工した鉄筋の隅角部の曲げ半径の影響を考慮した耐力は、式(4)、式(5)より式(6)が導ける。

$$P = \phi \times \sigma_{ck} \times 27\phi \times \left(1 - \frac{1}{1.3^{(r/\phi)}}\right) \quad (6)$$

$P$ : 支圧耐力[N]

$\phi$ : 鉄筋径もしくは平板幅[mm]

$r$ : 曲げ半径[mm]

$\sigma_{ck}$ : コンクリート圧縮強度 [ $\text{N/mm}^2$ ]

式(6)による計算値と実験値の比較を図-26 に示す。

## 5. 曲げ試験

### (1) 試験概要および試験体諸元

曲げ試験は、閉合形状に曲げ加工された鉄筋を用いた重ね継手を有する梁形状試験体を単純梁として、2点載荷により継手部が純曲げとなるようにした。載荷は、予備試験と同様とした。計測及び観察は、継手破壊時の最大荷重と破壊状況を記録した。試験機は、最大載荷重 2000 kN の曲げ試験機 (島津製作所) を用いた。

重ね継手長 (継手鉄筋水平部) は、全て鉄筋径の2倍 ( $=2\phi$ ) として継手鉄筋の隅角部の耐力によって継手耐力が決まる形状とした。試験体は、今回対象とする構造で最小の鉄筋間隔を想定して、全て鉄筋間隔を  $3\phi$  とし、側面のかぶりを 75mm, 上下かぶりを 62.5mm として形状寸法を決めている。ここでは、継手破壊する時の最大荷重から継手部の耐力を算定している。算定方法は、鉄筋コンクリート梁部材として算定した最大の鉄筋応力を継手部の耐力としている。試験体は、継手鉄筋径を D16, D22, D29, D35 とした。曲げ試験一覧表を表-5, No.1 の

表-5 曲げ試験一覧表

試験種別		スパン L (mm)	アーム a (mm)	高さ h (mm)	幅 b (mm)	有効高さ		主鉄筋量 As1 (mm <sup>2</sup> )	コンクリート強度			継手1本あたり 最大荷重 (計算値)		継手1本あたり 最大荷重 (実験値)		継手長		継手隅角部	
						d1 (mm)	d2 (mm)		実圧縮強度 f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 P <sub>y</sub> (N)	継手耐力 P <sub>cal</sub> (N)	継手耐力 P <sub>test</sub> (N)	重ね継手長 L <sub>j1</sub> nφ	曲げ半径 3φ (mm)	曲げ部長さ L <sub>j2</sub> (mm)				
曲げ試験	No.1	3000	1000	341	262	271	71	D 16	397.2	22.1	101286	35964	54756	32	2.0	48	75		
	No.2	3000	1000	422	304	349	74	D 22	774.2	22.1	203228	67994	69276	44	2.0	66	104		
	No.3	3000	1000	517	353	440	77	D 29	1284.8	22.1	341114	118147	128523	58	2.0	87	137		
	No.4	3000	1000	598	395	518	80	D 35	1913.2	24.4	495519	190002	191222	70	2.0	105	165		
予備試験	No.3	4000	1500	550	400	475	75	D 25	1013.4	26.9	202173	173076	184337	165	6.6	75	118		
	No.4	4000	1500	550	400	475	75	D 25	1013.4	29.3	202173	173235	194167	165	6.6	75	118		

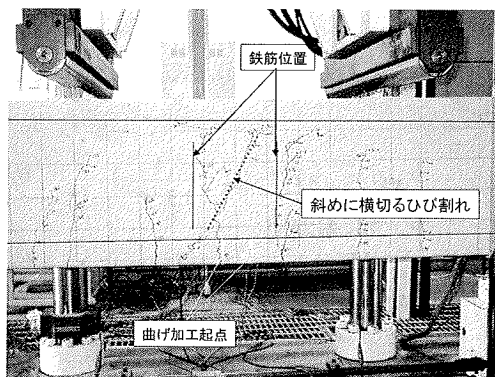


写真-9 曲げ試験体破壊状況

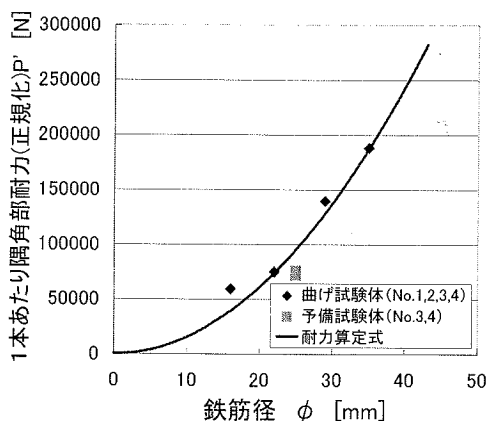


図-28 鉄筋径 - 1本あたり隅角部耐力の関係

試験体図を図-27に示す。表-5には、予備試験の中で継手破壊したNo.3, 4を載せている。

### (2) ひび割れ発生状況および破壊形態

破壊形態は、いずれの試験体も継手部が破壊して、急激に耐力を失っている。ひび割れの進展状況は、まず、試験体の継手鉄筋の鉛直部の近くに曲げひび割れが発生し、最大耐力に至るまで荷重増加に伴って、梁の下端に数本の曲げひび割れが発生した。最大荷重に近くなると、継手鉄筋の鉛直部付近のひび割れ幅が他のひび割れよりも大きく幅を広げながら、継手鉄筋の下側隅角部を始点とするコアコンクリートを斜めに横切るようなひびわれが発生した。最大荷重の後、コアコンクリートの形状を維持したまま変位が進行し耐力を失った。破壊形状を写真-9に示す。

### (3) 継手耐力

梁形状試験体による曲げ試験では、継手破壊時の最大荷重から継手耐力を明らかにした。試験は、継手長が短いため、隅角部の定着力が継手耐力となる。鉄筋径に対する1本あたり隅角部の耐力を図-28に

示す。また、閉合形状の鉄筋継手の隅角部耐力は、支圧力の干渉の影響の式(3)を隅角部の向かい合う角度で補正(=√2)したものと、曲げ加工した鉄筋の定着力の式(6)より、式(7)のように表すことができる。ここでは、コンクリート実圧縮強度で除した後、24N/mm<sup>2</sup>を乗じてコンクリート強度について正規化している。

$$P = \phi \times \sigma_{ck} \times 27\phi \times \left(1 - \frac{1}{1.3^{(r/\phi)}}\right) \times \left(1 - \frac{1}{1.2^{(H/\phi)}}\right) * \sqrt{2} \quad (7)$$

P: 支圧耐力[N]

φ: 鉄筋径もしくは平板幅[mm]

r: 曲げ半径[mm]

σ<sub>ck</sub>: コンクリート圧縮強度[N/mm<sup>2</sup>]

H: 支圧体間の離隔[mm]

式(7)による計算値と実験値の比較を図-28に示す。閉合形状の重ね継手の継手耐力は、十分な重ね長さがある場合は、一般的な重ね継手と同じ定着力

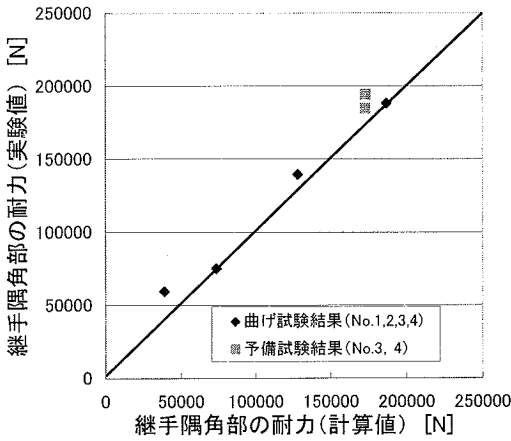


図-29 継手隅角部耐力の計算値と実験値の比較

が発揮するものと考えられる。しかし、継手長が短く、継手長部の定着力を超える力が継手に作用した場合は、継手長部が付着破壊し継手鉄筋の隅角部の定着力が継手耐力となる。このような、継手鉄筋の隅角部で継手耐力が発揮される場合の計算値と実験値を図-29 で比較すると、ほぼ算定できることが確認できる。

## 6. まとめ

本論文実験は、閉合形状の重ね継手の継手特性、耐力を明らかにするため、この継手を有する梁形状試験体による試験と2つの基礎試験を実施したものである。各試験によって明らかになった事項は、以下のとおりである。

### (1) 予備試験

実験範囲は、コンクリート実圧縮強度 21.9～29.3N/mm<sup>2</sup>、鉄筋種類 SD345、主鉄筋径 D25、継手長 6.6φ～18.2φ（φ：主鉄筋径）、鉄筋の曲げ半径 3φである。

a) 閉合形状の重ね継手の継手長（水平部の長さ）及び鉄筋応力と鉄筋降伏応力の大小関係によって、最大荷重時の鉄筋ひずみの分布は、3種類の形状があった。

b) 継手鉄筋のひずみ分布より、継手鉄筋の継手長が短い場合や、継手長部（水平部）に付着力を発生させない処理をした場合および継手長部の付着力よりも鉄筋の降伏耐力が大きい場合には、継手鉄筋の隅角部の定着力で継手の耐力が発揮される。

c) 継手が破壊し耐力を失う破壊形態の場合は、試験体の底面に継手鉄筋方向のひび割れが発生する。このひび割れは、継手鉄筋の隅角部の腹圧による割裂ひび割れと考えられる。

### (2) 支圧試験

実験範囲は、コンクリート実圧縮強度 21.0～31.0N/mm<sup>2</sup>、支圧体の配置間隔が 5.7～11φ（φ：支圧体の径）、支圧体の本数が2～4本である。

a) コンクリートブロックの支圧面に支圧体（鉄筋及び平板）を中心まで半分埋め込むようにして設置・固定した場合、鉄筋のような曲面の断面（D16～D35）と平板（16～150mm）の支圧体は、支圧力を作用させた時の破壊は類似の形態を示し、同じ載荷幅（鉄筋径、平板幅）の鉄筋と平板の比較では、1本あたり最大荷重が、ほぼ同程度となる。

b) 鉄筋のような曲面の断面（D16～D35）と同程度の幅の平板（16～35mm）を支圧体として、向かい合わせて支圧力を作用させ、その距離を 1.8φ～33.5φ（φ：主鉄筋径）の範囲で近づけた場合、1本あたり最大荷重は低減される。その関係は、式(1)で表すことができる。

c) 鉄筋のような曲面の断面（D16～D35）と同程度の幅の平板（16～35mm）を支圧体として、支圧体の距離の影響を考慮した支圧耐力は、式(3)で表すことができる。

### (3) 引張試験

実験範囲は、コンクリート実圧縮強度 5.52, 7.86N/mm<sup>2</sup>、鉄筋種類 SD390、鉄筋径は一定(D25)である。

a) 曲げ半径 3.0～7.0φ（φ：主鉄筋径）に曲げ加工した鉄筋をコンクリートブロック中に定着させた場合の最大引張荷重は、曲げ内側のコンクリート支圧耐力によって決まる。

b) 曲げ半径 3.0～7.0φ（φ：主鉄筋径）に曲げ加工した鉄筋をコンクリートブロック中に定着させた場合の引張耐力は、同じ鉄筋径の場合では曲げ半径により耐力が異なる。曲げ半径毎の最大引張荷重は、式(4)で表すことができる。

c) 一定の曲げ半径(12.5cm)に曲げ加工した鉄筋をコンクリートブロック中に定着させた場合は、鉄筋径の大きさによって耐力が異なる。鉄筋径に対する最大引張荷重は、式(5)で表すことができる。

### (4) 曲げ試験

実験範囲は、コンクリート実圧縮強度 22.1～26.9N/mm<sup>2</sup>、鉄筋種類 SD490、主鉄筋径 D16,D22、

D29, D35, 継手長 2.0φ (φ: 主鉄筋径), 鉄筋の曲げ半径 3φ である。

a) 閉合形状に曲げ加工された鉄筋の重ね継手の隅角部の耐力は, 支圧試験および引張試験から, 式(7)で表すことができる。式(7)は, 向かい合う隅角部からの支圧力の低減の影響 (1.8φ ~ 33.5φ) (φ: 主鉄筋径), 鉄筋径および曲げ加工された鉄筋形状 3 ~ 7.8φ を加味している。

b) 十分な重ね長さがある場合, 閉合形状の重ね継手の継手耐力は, 一般的な重ね継手と同じ定着力を発揮するものと考えられる。しかし, 継手長が短く, 継手長部の定着力を超える力が継手に作用した場合は, 継手長部が付着破壊し継手鉄筋の隅角部の支圧耐力が継手耐力となる。

## 7. おわりに

本研究は, 鋼製エレメントを用いた交差構造物の閉合部の構造について提案したものである。可変性能を有する配筋として, 閉合形状に曲げ加工した鉄筋の重ね継手を用いた鉄筋コンクリート構造とした。

本研究は, 閉合形状の重ね継手の継手耐力を明らかにした。この重ね継手は, 従来の鉄筋継手 (一般的な重ね継手, ループ状重ね継手) に比べ, 継手長を大幅に短くすることができる。また, 一般的な重ね継手に比べて配筋が容易な形状であり, 場所打ち部材およびプレキャスト部材の接合にも適用が考えられる。

謝辞: 実験の実施にあたり, 鉄建建設(株)長尾達児(前JR東日本 構造技術センター), 茂木聡, 山本淳(前JR東日本 東京工事事務所) 各氏にご協力いただいたことをここに記して厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 前田研一, 橘 吉宏, 柳澤則文, 志村 勉, 梶川康男: 合成桁斜張端・プレキャスト床版の設計法とループ状重ね継手の耐久性に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 36A, pp. 1305-1312, 1990年3月。
- 2) 阪野雅則, 鍵和田功, 川口昌宏, 柳沼善明: RCプレキャスト床版ループ鉄筋継手の曲げおよびせん断破壊実験, 土木学会第48回年次学術講演会 I, pp. 262-263, 1993年9月。
- 3) 辻 幸和: ループ継手を有するプレキャスト床版の間詰め部に用いる膨張コンクリート, プレストレストコンクリート, Vol. 44, No. 3, pp. 18-22, 2002年5月。
- 4) ハーフプレキャスト工法を適用した鉄道ラーメン高架橋の設計・施工指針, (財) 鉄道総合技術研究所, 1999年3月。
- 5) PC床版設計・施工マニュアル, (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会, 1999年5月。
- 6) DIN1045 Abschnitte 17.9 bis 18.3.3 pp. 151-181.
- 7) 石橋忠良, 荻 幹雄: PC 鋼棒用アンカープレートの配置間隔に関する実験的研究, 第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集, pp. 401-408, 1981年。
- 8) ACI Building Code Requirements for Structural Concrete (318-99).
- 9) CEB-FIP Model Code Chapter 1-5.
- 10) C. O. Orangun, J. O. Jirsa, and J. E. Breen, : A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, March 1977.
- 11) 渡邊明之, 富田修司: 低コストで線路下を結ぶ立体交差構造物で結ぶ, 土木施工, 2000年5月。
- 12) 島 弘 周 礼良 岡村 甫: 異形鉄筋の鉄筋降伏後における付着特性, 土木学会論文集, 第378号/V-6, 1987年2月。
- 13) F. Leonhardt: フォルムのコンクリート講座 続鉄筋コンクリートの設計, 鹿島出版会, 1984年。
- 14) JES 工法設計の手引, 東日本旅客鉄道(株), 2000年8月。
- 15) 線路下横断工計画の手引, (社) 日本鉄道施設協会, 2000年4月。
- 16) F. Leonhardt: フォルムのコンクリート講座 鉄筋コンクリートの設計, 鹿島出版会, 1986年。
- 17) F. Leonhardt: フォルムのコンクリート講座 鉄筋コンクリートの配筋, 鹿島出版会, 1993年。
- 18) 伊藤昭夫, 八巻一幸, 古谷時春, 伊藤兼三郎: RCプレキャスト床版接合部強度確認試験, 土木学会第46回年次学術講演会, pp. 692-693, 1991年9月。
- 19) 森山陽一, 向井盛夫, 相場 充, 西垣義彦: RCループ状継手を有するプレキャストPC床版接合部の疲労破壊試験, プレストレストコンクリート技術協会, 第5回シンポジウム, pp. 495-500, 1995年10月。
- 20) 安部宗人, 浜田純夫, 梯 誠, 石川 哲: 鉄筋の重ね継手を有するプレキャスト床版の曲げ疲労試験, プレストレストコンクリート技術協会, 第6回シンポジウム, pp. 143-148, 1996年10月。
- 21) 江頭慶三, 松井繁之: プレストレスを導入した長支間床版の設計曲げモーメント式に関する研究, 土木学会第50回年次学術講演会, pp. 346-347, 1995年9月。
- 22) 橘 吉宏, 牛島祥貴, 大澤浩二, 梶川靖治, 越後 滋: ループ継手を有するプレキャスト床版接合部の耐久性試験, 川田技報, Vol. 15, pp. 56-61, 1996年。
- 23) 森山陽一, 橘 吉宏, 松井繁之, 牛島祥貴, 梶川靖治, 大澤浩二: ループ状継手を有するプレキャスト床版接合部の



- 疲労耐久試験, 土木学会第 50 回年次学術講演会, 1995 年 9 月.
- 25) 玉置一清, 山本隆治, 藤田 学, 藤井 学: 高強度コンクリートの支圧強度に関する基礎的研究, 土木学会第 48 回年次学術講演会, pp. 766-767, 1993 年 9 月.
- 26) 鈴木計夫, 菅田昌弘, 佐々木仁志: 円形補強筋をもつ P C 鋼材定着部の割裂ひびわれ性状ならびにその耐力, コンクリト工学年次論文報告集, pp. 183-188, 1988 年.
- 27) 小田切隆幸, 藤田 学, 新井英雄, 山崎 淳: 繰り返し高圧縮応力を受ける全数ループ継手の性能評価, コンクリト工学年次論文報告集, pp. 919-924, 1999 年.
- 28) 鉄道構造物等設計標準 コンクリト構造物, 丸善, 1992 年.
- 29) コンクリト標準示方書 設計編, 土木学会, 1996 年.

(2003. 7. 10 受付)

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON STRENGTH OF TEST BEAMS WITH CLOSE-SHAPED BAR LAP SPLICES

Akiyuki WATANABE, Tadayoshi ISHIBASI,  
Kazuo NISHIJIMA and Motoaki KURISU

A main character of the new construction method is that box culverts constructed mutually connect steel-elements by special type of joints. This study is for the purpose of investigating the final connecting part of this structure. The final connecting part has to be able to adjust an error of a regular situation and make ease connecting work in a narrow space. According these condition, this final part design reinforced concrete with Close-shaped Bar Lap Splices. This paper estimates the flexural strength of beams with Close-shaped Bar Lap Splices. And the strength of this splice is formulated based on several basic studies.