

# プレキャストパネル間の合理的な鉛直方向継手の開発

## Development of Rational Vertical Joint for Precast Concrete Panels

大 窪 一 正      横 関 康 祐      山野辺 慎 一      一 宮 利 通  
林      大 介      横 田 祐 起      松 浦 正 典<sup>1)</sup>

### 要 約

プレキャストパネル同士を接合する鉛直方向継手の施工合理化を目的として、機械式定着体付鉄筋と半円形フック付鉄筋とを併用した重ね継手を開発した。本継手は、一方のプレキャスト部材に、半円形フック付鉄筋に沿わせるように箱抜き孔を設けておき、他方のプレキャスト部材から突出させた機械式定着体付鉄筋を挿入し、モルタル充填により一体化する構造である。これにより、現場での間詰め材料の打設量を低減し、施工性を向上させた。本継手の両引き試験、および本継手を有する梁試験体の4点曲げ実験を実施し、基本的な継手性能を確認するとともに、継手長を適切に設定すれば、通常のRC部材と同等の耐力を保持できることが確認された。

### 目 次

- I. はじめに
- II. 機械式定着体・半円形フック併用継手
- III. 両引き試験
- IV. 梁試験体の曲げ実験
- V. おわりに

#### I. はじめに

プレキャスト（以下、PCa）工法は、従来の場所打ち工法と比較して、現場での鉄筋・型枠組立作業などを省略できるため、現場の生産性向上や工期短縮への効果が期待されている。しかし、PCa部材の製作費や輸送費も含めたトータルコストは高くなる傾向があり、十分に普及しているとは言い難い。特に、PCa工法では運搬や架設の制限から部材を分割して製作・施工する必要があり、PCa部材同士を接合する継手構造が不可欠となること、コスト増の一因となっている。このため、製作・施工費の低減やさらなる工期短縮によってPCa工法の普及を促進するためには、製作・施工が容易で合理的なPCa部材間継手を開発することが課題であると言える。

筆者らは、壁状構造物のPCa化に向けた検討を行うにあたり、PCaパネル間を合理的に接合する新たな鉛直方向継手構造として、機械式定着体付鉄筋と半円形フック付鉄筋とを併用した重ね継手（以下、機械式定着体・半円形フック併用継手）を開発した（Fig. 1）。本報では、開発した継手の概要、および継手単体の性能確認試験として実施した両引き試験、部材実験として実施した梁試験体の曲げ実験の結果について述べる。

#### II. 機械式定着体・半円形フック併用継手

##### 1. 概 要

道路橋 PCa 床版などで実績のあるループ継手や機械式定着体併用重ね継手<sup>2)</sup>は、接合する鉄筋端部にループ状の曲げ加工や機械式定着体を用いることで、通常のリブ継手よりも継手長を低減できる。これらの継手は、PCa部材を設置した後継手内に横方向鉄筋を配置し、間詰め部に膨張コンクリートなどを打設して部材を一体化する。このような継手は、道路橋 PCa 床版の橋軸方向継手のような水平方向鉄筋の継手としては有効であるが、壁状構造物や柱などにおける鉛直方向鉄筋の継手としては、間詰め部の型枠組立や打設の作業が困難であり適さない。

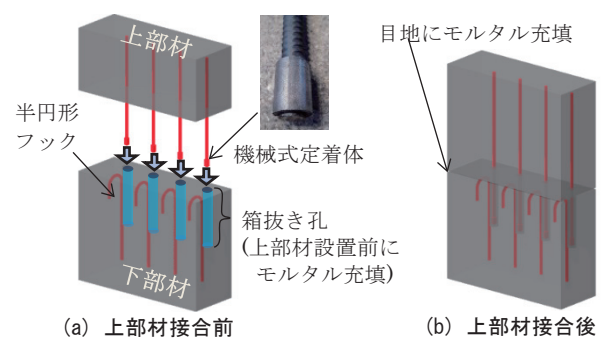


Fig. 1 機械式定着体・半円形フック併用継手の概要  
(Outline of Rational Joint)

1) 関東支店 Kanto Branch

**キーワード:** プレキャスト工法, 生産性向上, 鉛直方向鉄筋, 継手, 機械式定着体

**Keywords:** precast construction method, productivity increase, vertical reinforcing bar, lap splice, mechanical anchorage

そこで本研究では、先行して設置される PCa 部材（継手の下側に位置する部材。以下、下部材とする）にあらかじめ箱抜き孔を設けておき、後から設置される PCa 部材（継手の上側に位置する部材。以下、上部材とする）から突出させた鉄筋を挿入し、モルタル充填により上下部材を一体化する継手構造を考案した。この時、箱抜き孔に挿入される上部材の鉄筋先端に、鋼管を圧着して形成した機械式定着体を取り付けることで、継手長を基本定着長よりも短くした。一方、下部材側の鉄筋は PCa 部材内に埋設しておくことが可能なため、製作費を低減する観点から、機械式定着体は用いずに半円形フック付鉄筋とした (Fig. 1)。

2. 構造・施工方法

本継手構造は、前述のとおり、接合する鉄筋の一方を機械式定着体付鉄筋、他方を半円形フック付鉄筋とすることで継手長を低減させた重ね継手である。下部材に設ける箱抜き孔は鉛直下向きの孔となるため、型枠などを用いずに、上部材設置前に凝結遅延型のモルタルを確実に充填しておくことが可能であり、ループ継手などと比較して間詰め材料の打設量も低減される。両部材間には、厚さ 10mm 程度の目地を有し、上部材設置後に目地型枠を設置し、モルタルを充填する (Fig.1)。

3. 継手耐力算定式

機械式定着体付鉄筋と半円形フック付鉄筋とを併用した重ね継手では、その耐力の算定式が定められていない。そこで、既往の類似技術である、機械式定着体付鉄筋同士で構成される重ね継手の耐力算定式を準用し、耐力の算定を試みた。

二井谷ら<sup>1)</sup>は、機械式定着体の引き抜き耐力と、コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>の基本定着長算定式から逆算して求められる鉄筋付着力の和として、継手耐力を算定している。なお、機械式定着体の引き抜き耐力には、機械式定着体付鉄筋の引抜き試験結果（鉄筋部分はアンボンド加工）を用いており、定式化はされていない。

Ledesma<sup>3)</sup>は、DeVries<sup>4)</sup>による機械式定着体付鉄筋の付着割裂破壊耐力と、AASHTO<sup>5)</sup>の基本定着長算定式から逆算して求められる鉄筋付着力の和として、継手耐力を算定している。ここで、DeVries による機械式定着体付鉄筋の付着割裂破壊耐力算定式には、側面かぶりが小さい場合の影響を評価する係数が示されているが、Ledesma の論文では、想定した構造緒元から側面かぶりの影響は無

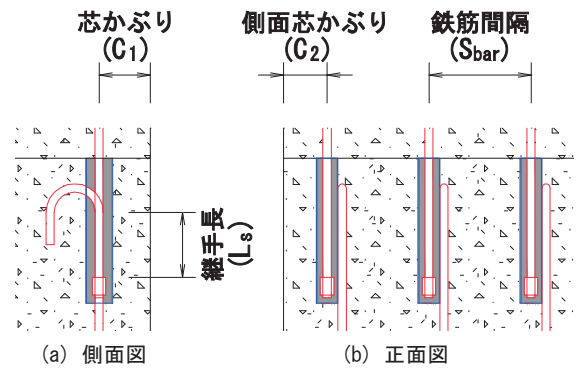


Fig.2 継手耐力算定式のパラメータ (Parameter of Bearing Capacity Equation of Joint)

いものとして、この係数は用いられていない。後述する本研究の試験体は側面かぶりが小さいため、元となった DeVries の式を引用し、次式により継手耐力を算定した。

$$P_d = \left( 0.7 + 0.3 \frac{C_2}{3C_1} \right) \frac{A_{bo}}{A_{bon}} 0.017C_1 \sqrt{A_n f'_c} + 0.062L_s \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

ここに、 $P_d$ : 継手耐力(kN),  $C_1$ : 鉄筋の芯かぶり(mm),  $C_2$ : 鉄筋の側面芯かぶり(mm),  $A_{bo}$ : 交差定着の有効破壊面積 (=  $(3C_1 + L_s/2) \times S_{bar}$ ) (mm<sup>2</sup>),  $L_s$ : 継手長 (定着体の支圧面間の距離。ただし、本研究で開発した継手においては、機械式定着体の支圧面と半円形フックの曲始め点との間の距離で定義) (mm),  $S_{bar}$ : 鉄筋間隔(mm),  $A_{bon}$ : 側面割裂面積 (=  $36C_1^2$ ) (mm<sup>2</sup>),  $A_n$ : 定着体の有効支圧面積 (= 定着体の外径面積 - 鉄筋の公称断面積) (mm<sup>2</sup>),  $f'_c$ : コンクリート圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

III. 両引き試験

1. 試験概要

機械式定着体・半円形フック併用継手の継手長や鉄筋径などを変化させた場合の継手耐力、および既存の継手耐力算定式(1)の適用性を確認するため、継手の両引き試験を実施した。

(1) 試験体

試験体は、コンクリート内に機械式定着体・半円形フック併用継手を 2 組配置したものとした。試験体一覧を Table 1 に、試験体形

Table 1 両引き試験体一覧 (List of Specimen (Pull Test))

No.	鉄筋径 φ	機械式定着体		継手長 Ls(φ)	コンクリート圧縮 強度(N/mm <sup>2</sup> )		モルタル 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	試験体厚さ S <sub>bar</sub> (mm)	鉄筋芯かぶり C (mm)	最大耐力		P <sub>exp</sub> / P <sub>cal</sub>			
		外径 (mm)	長さ (mm)		目標値	実強度				計算値 P <sub>cal</sub> (kN)	試験結果 P <sub>exp</sub> (kN)				
1	D16	26.5	35	8	30	30.5	69.2	200	100	74.0	96.1	1.30			
2	82.6									112	1.35				
3	107									129	1.21				
4	119									133	1.11				
5	102									129	1.27				
6	D22	34.5	50	13	60	31.4	68.0	200	57	148	154	1.04			
7										197	180	0.91			
8										29.1	61.3	300	161	172	1.07
9										29.1	61.3	150	152	120	0.79
10										31.4	68.0	200	185	169	0.91
11										31.7	61.3	200	206	193	0.94
12										29.8	71.0	200			

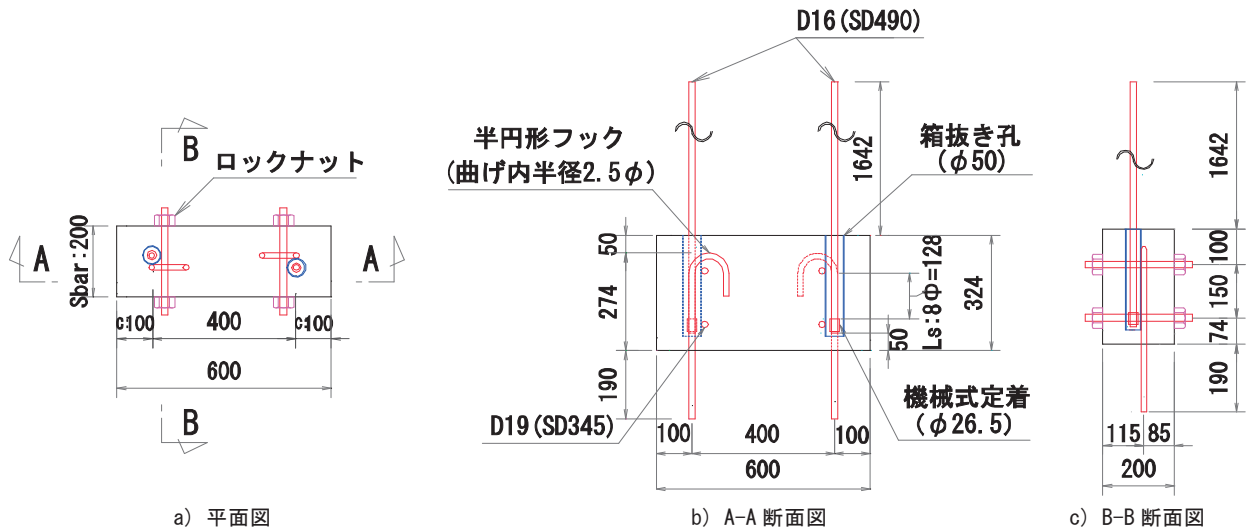


Fig. 3 両引き試験体形状図 (試験体 No.1)  
(Shape of Specimen (Pull Test, No.1))

状を Fig. 3 に示す。

半円形フック付鉄筋は、コンクリート打込み前に型枠内に設置した。箱抜き孔は、半円形フック付鉄筋に沿わせて設置した鋼製スパイラルシースをを用いて設けた。コンクリート硬化後にシースを除去し、箱抜き孔にモルタルを充填した後、機械式定着体付鉄筋を挿入して一体化した。機械式定着体の外径および長さを Table 1 に示す。半円形フックの曲げ内半径は  $2.5\phi$  とした。

継手部には、配力筋を模擬して D19 横方向鉄筋を 150mm ピッチで配置し、試験体を短辺方向に貫通させ、ロックナットにより試験体側面に定着した。

### (2) 使用材料

鉄筋には SD490 を用いた。これは、実構造物における SD345 の使用を想定し、その規格降伏強度以上の荷重を確実に継手に载荷するためである。コンクリートは、载荷時の圧縮強度の目標を Table 1 に示すとおり  $30\text{N/mm}^2$  または  $60\text{N/mm}^2$  とし、配合を決定した ( $G_{\text{Max}}=20\text{mm}$ )。モルタルには、実施工において、先充填後に上部材を設置するまでの間流動性を保持していること、狭隘な目地空間に確実に充填されることが求められるため、これらの性能を満たすフロー値 ( $\phi 50 \times \text{H}100\text{mm}$  円筒容器を用いた簡易テーブルフロー試験, JHS313-1999 準拠)  $300 \pm 30\text{mm}$  のプレミックスモルタルを選定した。コンクリートおよびモルタルの载荷時の圧縮強度試験結果は Table 1 に示す。

### (3) 試験方法

試験体下側の鉄筋 (半円形フック付鉄筋) を、ナット式定着体を介して治具に固定し、上側の鉄筋 (機械式定着体付鉄筋) にセンターホールジャッキにより上方への引張力を载荷した (Fig. 4)。その際、試験体に偏心を生じさせないため、2 組の継手に常に等しい荷重が作用するように荷重制御で载荷を行った。

## 2. 試験結果

最大耐力の試験結果 ( $P_{\text{exp}}$ )、および式(1)に基づく計算値 ( $P_{\text{cal}}$ ) を Table 1 に、試験結果の一例として、試験体 No.3 (D19, 継手長  $11\phi$ ) の [鉄筋応力度-継手単体の伸び] 関係および载荷終了後の

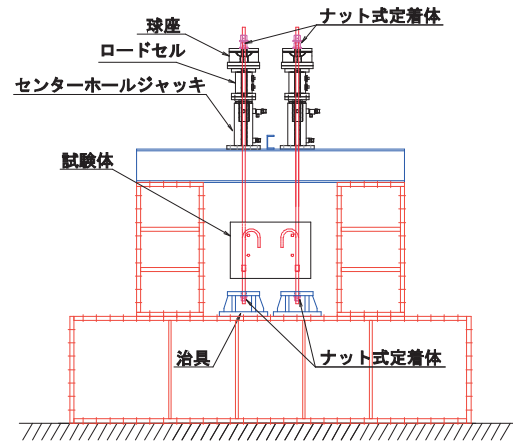


Fig. 4 载荷装置図 (両引き試験)  
(Loading Device Diagram)

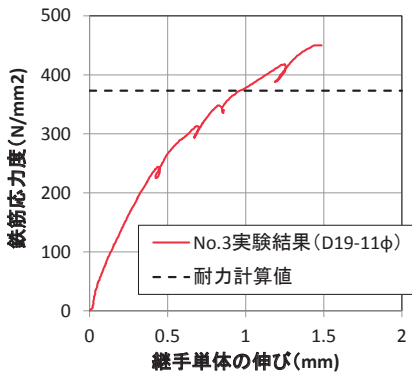
ひび割れ状況を Fig. 5 に示す。いずれの試験体も、鉄筋に沿う方向のひび割れが試験体側面に発生し、急激に荷重が低下する脆性的な破壊となった。

Fig. 6 に最大耐力の試験結果  $P_{\text{exp}}$  と計算値  $P_{\text{cal}}$  の比較を示す。相関係数は 0.90 であり、機械式定着体・半円形フック併用継手の耐力は、本試験で設定したパラメータの範囲内では、式(1)により評価可能と考えられる。ただし、継手長、コンクリート圧縮強度の両パラメータについては、それぞれ増加するにつれて計算耐力に対する試験結果の比 ( $P_{\text{exp}}/P_{\text{cal}}$ ) は小さくなる傾向が見られた。また、かぶりを小さくした試験体では、式(1)では継手耐力を過大評価する傾向が見られた。よって、本試験におけるパラメータの設定範囲外で本継手を使用する際は注意を要する。今後、さらなる両引き試験を実施し、より適切な耐力評価式・設計法の確立に向けた検討が必要と考えられる。

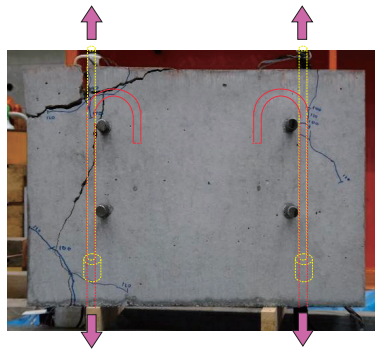
## IV. 梁試験体の曲げ実験

### 1. 実験概要

本継手を有する部材の構造性能を確認することを目的に、継手を有する梁の曲げ実験を実施した。実構造物の試設計で想定される



a) 鉄筋応力度—継手単体の伸び関係



b) 载荷後のひび割れ状況

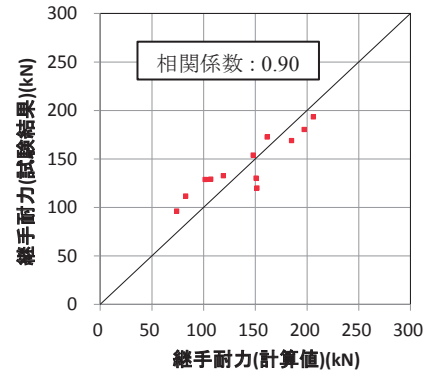
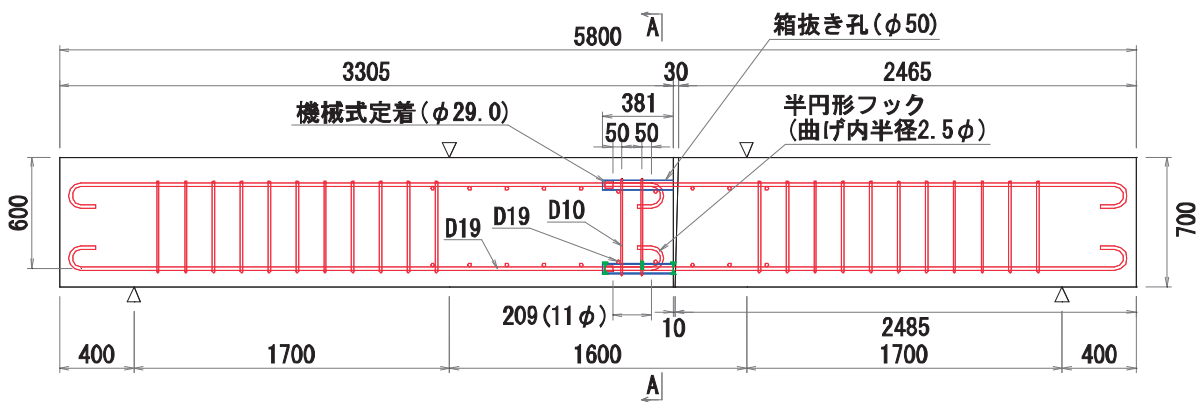


Fig. 6 継手耐力の計算値(式(1))

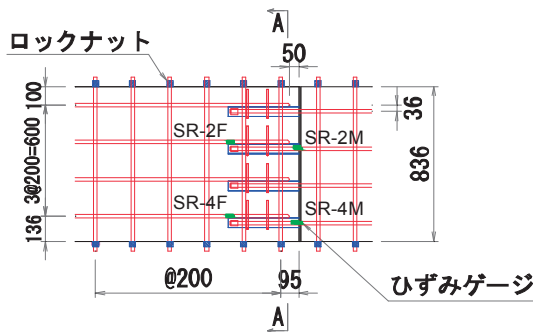
と試験結果の比較

(Comparison of Calculated Values and Pull Test Results)

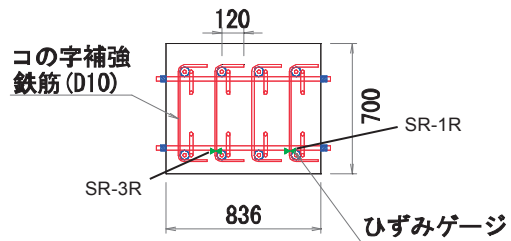
Fig. 5 両引き試験結果(試験体 No.3)  
(Pull Test Result (No.3))



a) 立面図



b) 引張側鉄筋平面図(等曲げスパンのみ表示)



c) A-A断面図

Fig. 7 梁試験体形状図  
(Shape of Specimen (Bending Test))

PCa パネルから鉛直方向鉄筋 4 本分の幅を切り出して実物大で模擬した梁試験体を用いて 4 点曲げ実験を行い、継手耐力や変形性能などの構造性能を確認した。

(1) 試験体

本実験では、機械式定着体・半円形フック併用継手を有する試験体 1 体を用いた。試験体形状を Fig. 7 に示す。継手接合後の試験体寸法は、断面高さ 700mm、幅 836mm、長さ 5,800mm である。長さ 3,305mm の下部材、および長さ 2,485mm の上部材の 2 体の PCa 部材に分けて製作した後、実施工を想定して立て起こした状態で所定の位置に設置し、下部材の箱抜き孔内に充填したモルタルにより

一体化させた。PCa 部材間には厚さ 10~30mm の目地を設け、モルタルを充填した。なお、目地にはモルタルの充填性確保のため断面高さ方向に 20/700 の勾配を設けた。

壁状構造物の鉛直方向鉄筋に相当する梁試験体の主鉄筋は D19 とし、圧縮側、引張側共に 4 本とした。下部材の箱抜き孔は、内径 50mm の鋼製スパイラルシースを用いて設け、シースはコンクリート硬化後に除去した。機械式定着体の外径は 29.0mm、長さは 40mm である。半円形フックの曲げ内半径は 2.5φ とした。

継手長は、機械式定着体の支圧面と半円形フックの曲始め点との距離で定義し、209mm (11φ) とした。これは、式(1)により算定



Table 2 鉄筋引張試験結果  
(Rebar Tensile Test Result)

種別	鉄筋径	弾性係数	降伏強度	引張強度
SD345	D19	190kN/mm <sup>2</sup>	403N/mm <sup>2</sup>	577N/mm <sup>2</sup>

される継手耐力が、SD345 鉄筋の規格降伏応力である 345N/mm<sup>2</sup>を上回るよう設計した継手長である。継手部には D19 横方向鉄筋を 200mm ピッチで配置し、試験体を幅方向に貫通させ、ロックナットにより試験体側面に定着した。また、両引き試験において試験体側面に鉄筋と沿う方向のひび割れが発生し、脆性的な破壊となったため、この破壊面に直交する補強鉄筋として、コの字型の D10 鉄筋を配置した。

(2) 使用材料

主鉄筋には、試設計で想定した SD345 を用いた。使用した鉄筋の引張試験結果を Table 2 に示す。コンクリートの配合は、実験時の圧縮強度の目標を 30N/mm<sup>2</sup>として決定した (G<sub>Max</sub>=20mm)。モルタルは、両引き試験と同じプレミックスモルタルを用いた。実験時のコンクリートおよびモルタルの圧縮強度試験結果を、Table 3 に示す。

(3) 実験方法

載荷は、試験体を支間長 5,000mm で単純支持し、等曲げ区間 1,600mm の 2 点載荷として行った。計測は、荷重と鉛直変位のほか、継手外側での主鉄筋のひずみ、コの字補強鉄筋のひずみを計測した。ひずみの計測位置を Fig. 7 に示す。ひずみは鉄筋の両面で計測し、その平均値として整理した。

2. 実験結果

実験により得られた最大耐力、および継手が無いものとしてコンクリート標準示方書に従って求めた RC 梁曲げ耐力を Table 3 に、計測された荷重-スパン中央鉛直変位関係を Fig. 8 に示す。通常の RC 梁と同様に、曲げひび割れの発生、主鉄筋の降伏が生じ、変形が進んで最大耐力の計算値を上回った後、継手付近に軸方向・軸直交方向のひび割れが生じ、荷重が低下した。荷重低下後も脆性的な破壊は生じず、ある程度の耐力を保持した。実験により得られた最大耐力の計算耐力に対する比は 1.07 であり、継手が無い通常の RC 梁として計算した耐力と同等の耐力を有することが確認された。Fig. 8 には、コンクリート標準示方書に従って求めた、主鉄筋応力が式(1)による継手耐力に達する荷重(継手耐力の計算値)を併せて示した。継手耐力の計算値を超えても継手部に破壊は生じず、本試験体の諸元では、既往の算定式(1)により継手耐力を安全側に評価できることが確認された。

Fig. 9 に荷重-主鉄筋ひずみ関係を示す。継手外側において主鉄筋が降伏し、最終的に主鉄筋ひずみは 2%以上となっており、降伏後、ひずみ硬化領域まで達していたことが確認できる。なお、機械式定着体付鉄筋のひずみ計測位置 (SR-2M, 4M) と半円形フック付鉄筋の計測位置 (SR-2F, 4F) とで、ひずみ挙動に差異が見られたが、これは、前者は曲げひび割れ位置に近く曲げによる引張応力を主鉄筋のみで負担していたのに対し、後者はひび割れ位置から遠く曲げ引張応力の一部をコンクリートが負担したためと考えられる。

Fig. 10 に荷重-コの字補強鉄筋ひずみ関係を示す。最大耐力を示した後、コの字補強鉄筋のひずみが急激に増大している。これは、

Table 3 梁曲げ実験結果  
(Experimental Result (Bending Test))

コンクリート 圧縮強度	モルタル 圧縮強度	最大耐力		$P_{exp} / P_{cal}$
		計算値 $P_{cal}$ (RC 梁 曲げ耐力)	実験結果 $P_{exp}$	
34.6N/mm <sup>2</sup>	60.0 N/mm <sup>2</sup>	384kN	409kN	1.07

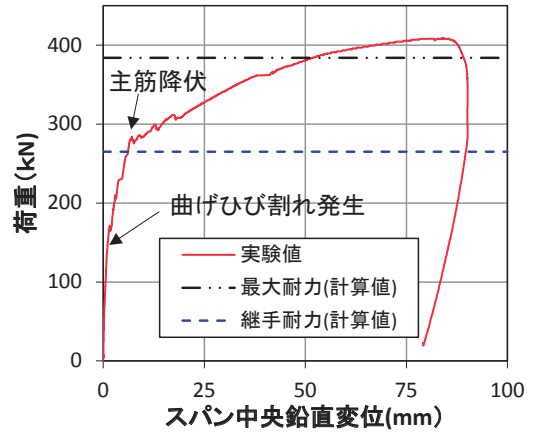


Fig. 8 荷重-鉛直変位関係  
(Load-Vertical Displacement Relationship)

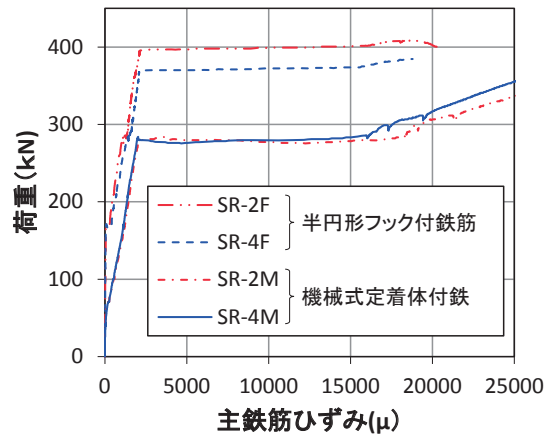


Fig. 9 荷重-主鉄筋ひずみ関係  
(Load-Main Rebar Strain Relationship)

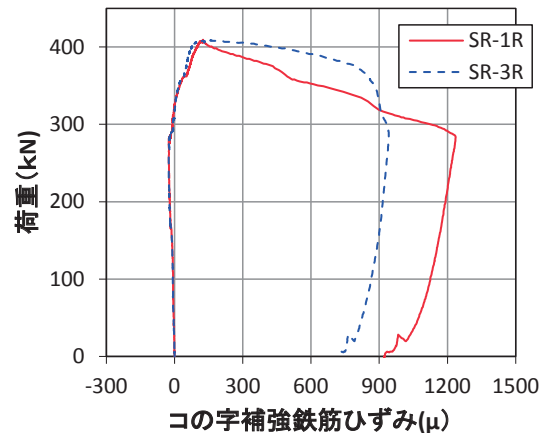


Fig. 10 荷重-補強鉄筋ひずみ関係  
(Load-Reinforcing Rebar Strain Relationship)

継手付近にひび割れが入った後に、補強鉄筋により脆性的な破壊を抑制する効果があったためと考えられる。

#### V. おわりに

PCa パネル間を合理的に接合する新たな鉛直方向継手構造として、機械式定着体・半円形フック併用継手を開発した。本継手の性能確認試験として実施した、両引き試験および梁試験体の曲げ実験により以下のことを確認した。

- a. 本試験で設定したパラメータの範囲内では、既往の耐力評価式で、機械式定着体・半円形フック併用継手の耐力を評価可能である。
- b. 継手長を適切に設定することで、継手を有する梁部材として、継手が無い通常の RC 梁として計算した耐力と同等の耐力を持たせることが可能である。
- d. 継手部に主鉄筋間を横断するような補強鉄筋を配置することで、脆性的な破壊を抑制する効果が期待できる。

今後、継手長やコンクリート強度、鉄筋かぶりなどをパラメータとしたさらなる両引き試験を実施し、合理的かつ適切な設計法の確

立に向けた検討を実施予定である。

#### 参考文献

- 1) 二井谷教治ほか；機械式定着を併用した重ね継手の実用化に関する研究，プレストレストコンクリート技術協会 第 19 回シンポジウム論文集，2010.10，pp.181-186.
- 2) 土木学会；2012 年制定コンクリート標準示方書【設計編】，2012.
- 3) Antonio Lopez Ledesma；Development of Lap Splices Using Headed Reinforcement, Master Thesis, The University of Texas at Austin, 2000.5.
- 4) Richard Alan DeVries；Anchorage of Headed Reinforcement in Concrete, Dissertation, The University of Texas at Austin, 1996.12.
- 5) American Association of State Highway and Transportation Officials；Standard Specifications for Highway Bridges, 15th edition, 1993.

### Development of Rational Vertical Joint for Precast Concrete Panels

*Kazumasa Okubo, Kosuke Yokozeki, Shinichi Yamanobe, Toshimichi Ichinomiya, Daisuke Hayashi, Yuki Yokota and Masanori Matsuura<sup>1)</sup>*

For the purpose of streamlining the construction of vertical joints for precast panels, the authors have developed a lap joint with a combination of mechanical anchorages and semicircular hooked rebars. The precast member on one side of the joint contains semicircular hooked rebars, and into box-shaped holes adjacent to these rebars are inserted rebars with mechanical anchorages protruding from the other member. This mechanism enables a reduction in the amount of grout used on site and a consequent increase in productivity. Pull tests on the joint and four-point bending test on a beam specimen with the joint confirmed its structural performance. Furthermore, by using an appropriate joint length, the same bearing capacity as that of a normal RC beam was achieved.