

論文

[2034] 鉄筋コンクリート梁端接合部における重ね継ぎ手の強度と変形性能

東健二¹⁾ 林静雄²⁾ 香取慶一³⁾

1. はじめに

部材の主筋に継ぎ手のある場合、建物に要求される構造性能が継ぎ手の特性によって影響されることもある。特に、プレキャスト（以下、P C aと記す）構造物のように数多くの継ぎ手を一箇所に集中して計画する必要のある建物においては、継ぎ手の設計が重要となる。P C a造建物において、継ぎ手の特性を考慮した構造設計法を確立する必要がある。しかし、このような設計法は複雑であるため、母材と同等の構造性能を有する継ぎ手の開発が盛んに行われている。現在、種々の継ぎ手が開発されているが、機械式、圧接継ぎ手では、複雑な工程はいるうえに、配筋に高い精度が必要で施工誤差に対する逃げを小さくする必要がある。重ね継ぎ手の場合、継ぎ手長さが長くなりやすいという欠点はあるものの、特別な工程を必要とせず配筋の自由度は大きい。重ね継ぎ手により主筋を部材の端部で継ぐことが、P C a造建物では切望されている。

重ね継ぎ手の研究は、強度に関するものがほとんどで、靱性に関するものは少ない。本研究は、重ね継ぎ手の靱性設計に必要な資料を得て、一体打ち同等型の構造物に対して幅広く応用できる設計法を確立することを目的としている。今回は、重ね継ぎ手長さをできるだけ短くするために、フック付き重ね継ぎ手形式について実験を行い、継ぎ手のない部材と継ぎ手を有する部材の剛性、塑性率、主筋の応力状況を比較することにより、両者の構造特性の違いを検討している。

2. 実験概要

2. 1 試験体

試験体の一覧を表1-1に示す。実験因子は、継ぎ手形状、継ぎ手長さ、主筋径、横補強筋量、打ち継ぎの有無である。継ぎ手形状は、フックのないものとフック付きのものに大別される。フックのない重ね継ぎ手の実験結果については、表1-2に示すように文献1)から引用した。フック形状は折り曲げ内法径を4dとし、90°フック（余長4d、8d、12d）、180°フック（余長4d）の2種、継ぎ手長さは、10d、20d、30dの3種類とした。主筋径は、継ぎ手を設けることのできる最大径のD25と、太径鉄筋の可能性を調べるためD29の2種類を用いた。横補強筋量 p_w は、0.75%と1.12%の2種類とした。コンクリートの打ち継ぎは、外郭P C aを想定して応力を伝達する主筋の間に設けた。

試験体の配筋詳細を図1に示す。試験体の断面は、25.5×60.0cmとした。試験体は、2組の継ぎ手主筋と横補強筋からなり、応力を伝達する継ぎ手主筋は隙間なく配置した。主筋にはSD345（降伏強度4.14tf/cm²、引張強度6.12tf/cm²）、横補強筋にはSD295（降伏強度3.52tf/cm²、引張強度5.13tf/cm²）を用いた。コンクリートは、粗骨材最大粒径20mmの普通コンクリートを使用した。コンクリートの力学的性質を表2に示す。

-
- * 1 (株)新井組技術研究部、工修(正会員)
 - * 2 東京工業大学工業材料研究所助教授、工博(正会員)
 - * 3 東京工業大学工業材料研究所助手、工修(正会員)

表 1-1 試験体一覧

No.	HOOK	BAR DIAMETER	SPLICE LENGTH	TAIL LENGTH	pw ¹⁾ (%)	C. J. ²⁾				
1	NO	D 25	— ³⁾	—	0.75	—				
2	SPLICES	D 29	—	—	—	—				
24	DB 90° ⁴⁾	D 25	10 d	4 d	0.75	—				
25			20 d							
26			30 d							
27			10 d							
28			20 d	8 d						
29			30 d							
30			10 d							
31			20 d							
32			20 d	12 d			1.12			
33			30 d				P ⁵⁾			
34			30 d				0.75			
35			D25-D29	20 d			—			
36			D 29							
37			DB 180° ⁶⁾	D 25			10 d	4 d	0.75	—
38							20 d			
39							30 d		1.12	
40	30 d	0.75								
41	D25-D29									
42	D 29									
43	SG 90° ⁶⁾	D 25	20 d	12 d	0.75	—				
44							D25-D29			
45							D 29			
46	SG 180° ⁷⁾	D 25	20 d	4 d	0.75	—				
47							D25-D29			
48							D 29			

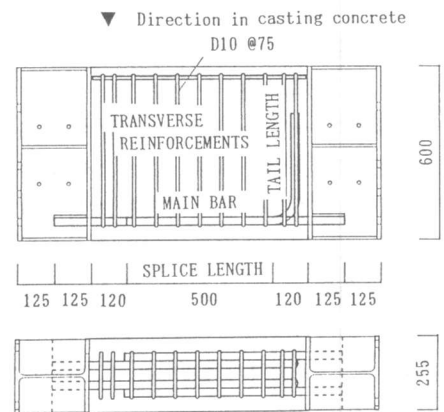
表 2 コンクリートの力学的性質

SPECIMEN	cσc (kgf/cm ²)	cσt (kgf/cm ²)
No. 1 - No. 11	214	22.3
No. 24 - No. 48	286	22.2
Conc. Joint	239	27.1

表 1-2 試験体一覧 (既往の研究¹⁾)

No.	HOOK	BAR DIAMETER	SPLICE LENGTH	pw ¹⁾ (%)	C. J. ²⁾
3	NO HOOKS	D 25	10 d	0.75	—
4			20 d		
5					
6				0.75	
7				1.12	
8			30 d	0.75	
9				1.12	
10				0.75	
11				1.12	

- 1) Transverse reinforcements ratio
- 2) Concrete joint
- 3) P : Presence / - : Absence
- 4) 90° bent bars at both sides
- 5) 180° bent bars at both sides
- 6) 90° bent bars at one side and straight bars at the other
- 7) 180° bent bars at one side and straight bars at the other



() No. 35, 41, No. 6, 7, No. 33
44, 47 10, 11

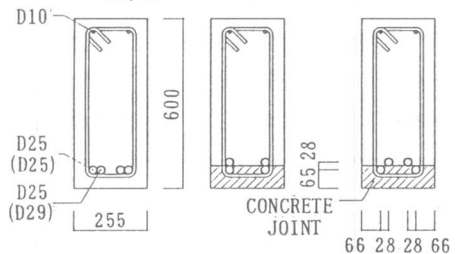


図 1 試験体配筋詳細

2. 2 加力・測定方法

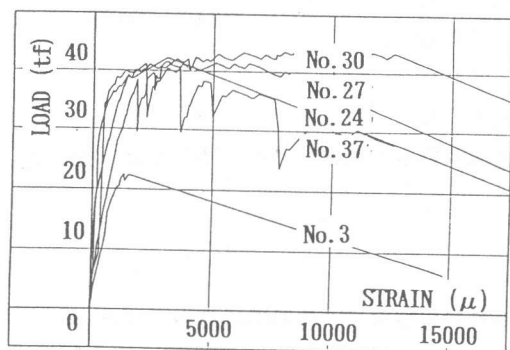
梁せいが無限大に大きいものと仮定して、フックの折り曲げ部から梁圧縮域への支圧による耐力が期待できない状態を想定した。継ぎ手の試験体の両端部を加力ビームに固定し、ビーム間をピン接合した平行クランクにより水平に保った。これにより、試験体に曲げモーメントが生じることなく、引張力のみ作用させた。載荷は一方方向の繰り返しとし、載荷履歴は引張変位が $0.75\delta y$ 、 $1.00\delta y$ 、 $1.50\delta y$ （ここに、 δy は主筋が降伏した時の変位）となった時に各々3回づつ繰り返した。

荷重の測定は、100tf ジャッキの端に取り付けたロードセルにより検出した。変位は、試験体全体の変位量と継ぎ手主筋の抜け出し量を、高感度ひずみ計により測定した。全体変位量は、誤差によって生じる加力ビーム間の勾配を補正して継ぎ手主筋位置の変位量を算出した。

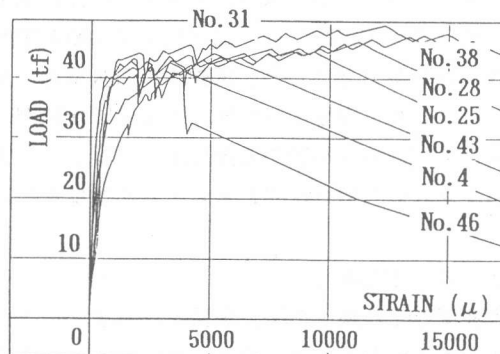
3. 実験結果

3. 1 応力度－変位関係

荷重と全体ひずみの関係を図2に示す。ここに、全体ひずみは、主筋位置の変位をその内法長さで割って求めた値である。繰り返し加力による主筋のすべりは見られなかったことより、図2の関係は包絡線で示した。部材の破壊モードは、重ね長さ、フック形状、打ち継ぎの有無により異なった。両側フック付きの試験体は、フック内側のコンクリートが支圧破壊するものと主筋の破断によって最大耐力が決まるものに分かれた。重ね長さが10dの場合、各試験体は、フック内側コンクリートが支圧破壊した。重ね長さが20dの場合、180°フック (No.38)、90°フックで余長8d以下の試験体 (No.25、28) が支圧破壊した。これ以外の試験体の破壊モードは、すべて主筋の破断であった。90°フックの場合、余長が長いほど、変形性能がすぐれており、余長が12dあれば重ね長さ10d (No.30) でも十分な変形性能を有している。180°フックの場合、重ね長さ20dの試験体 (No.38) は十分な変形性能を有しているが、重ね長さが10dの試験体 (No.37) は、主筋の降伏直前に急激に耐力を失う。これは、重ね長さが短いとひび割れが狭い範囲に集中し、フック内部に支圧力を伝達するストラットが構成されないためである。継ぎ手端部を180°フックとした場合、フック内側に多数のひび割れが入る曲げ降伏域においては、重ね長さが長くても継ぎ手耐力としては、折り曲げ直径長さ分の余長を有する90°フックと同等の耐力しか期待できないものと考えられる。片側のみフックを付けた試験体



重ね長さ 10 d



重ね長さ 20 d

図2 荷重－ひずみ関係（包絡線）

(No. 43) の荷重-ひずみ関係は、両側ともフックのない試験体 (No. 4) のものとよく一致しており、変形性能に乏しい。破壊モードは、フックのない主筋と同じ付着割裂破壊であった。主筋の片側のみフックを設けた重ね継ぎ手部材には、付着の喪失後もフック余長部の定着で保持できる変形能と同等の性能を期待することはできない。フックのない継ぎ手間にコンクリートの打ち継ぎを設けた試験体の最大耐力は、一体打ちのものより 10%ほど小さくなることが報告されている¹⁾。部材は、重ね長さ 30 d 以下で、打ち継ぎ面がすべり破壊している。コンクリート打ち継ぎ面の平均せん断応力度は、重ね長さ 20 d の場合 28.5kgf/cm²であり、重ね長さ 30 d の場合 24.6kgf/cm² とやや小さくなっている。これは、重ね長さ 30 d の試験体は、主筋降伏後全体ひずみが 8000 μ に達してから破壊しており両者のせん断応力度分布に差がでたものと考えられる。コンクリート打ち継ぎ面の平均せん断強度は、重ね長さ 20 d の場合、横補強筋量にはほとんど関係していない。しかし、本実験のようにフック付き継ぎ手に打ち継ぎを設けた場合は、重ね長さ 20 d でも打ち継ぎ面がせん断すべり破壊することはなかった。これは、せん断すべりに有効な横補強筋の総断面が、フックのない試験体においては $p_w=0.75\%$ で 9.98cm²、 $p_w=1.12\%$ で 15.69cm²、であるのに対し、フック付きのものは、主筋を含め 29.62cm² と多いことによる。また、重ね継ぎ手主筋端部にフックを設けることは、打ち継ぎ面端部の応力の大きな箇所に集中的にダボ補強することであり、外郭 P C a 部材の靱性改善に効果があるものと考えられる。

3. 2 降伏時剛性

降伏時剛性と重ね長さの関係を図 3 に示す。ここに、降伏時剛性は、荷重-ひずみ関係の原点と降伏点を結ぶ直線の勾配とした。主筋が降伏しない場合、降伏点のかわりに最大耐力点を用いて計算した。余長、横補強筋量、フックの形状および打ち継ぎの有無によらず、重ね長さ 10 d と 20 d の試験体の降伏時剛性は、ほぼ等しい。重ね長さ 30 d の試験体の降伏時剛性は、少しばらつくものの 10 d、20 d の試験体のものより大きい。また、継ぎ手のある試験体の降伏時剛性はいずれも、継ぎ手のない試験体のものより大きい。これは、両者の鉄筋量の差による違いであり、継ぎ手のある試験体についても、主筋の抜け出しによる剛性の低下は特にみられなかった。本実験では、部材全体に占める重ね継ぎ手部の長さの割合が大きいこと、試験体に引張だけしか作用させないことにより、継ぎ手の有無によって降伏時剛性に差がでた。

しかし、実際の構造物の設計においては、フック付き重ね継ぎ手部材の剛性に関しては、重ね長さが 10 d 以上あれば特に考慮する必要はない。

3. 3 塑性率

塑性率と重ね長さの関係を図 4 に示す。ここに、部材の塑性率は、主筋降伏時のひずみに対する最大耐力時のひずみの値とした。ただし、主筋が降伏しない場合は、材料試験によって得られた主筋降伏時のひずみを用いた。重ね長さが 10 d の場合でも、90° フックの余長 12 d の試験体の塑性率は 2.98 と大きく 1.00 を上回る。その他の重ね長さ 10 d の試験体の塑性率は、ほぼ

- without hooks
- △ 90° hooks, tail length 4d
- ◇ 90° hooks, tail length 8d
- 90° hooks, tail length 12d
- ◆ 180° hooks
- × without splices

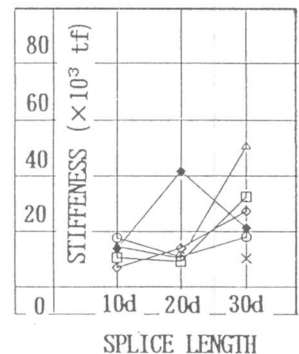


図 3 降伏時剛性

1.00であり、主筋の降伏とはほぼ同時に耐力を失う。塑性率が1.00であっても、降伏前の繰り返し載荷時に主筋が付着すべりをおこすことはなかった。フック付きの試験体においては、重ね長さが20d以上あれば、その塑性率は3.00以上である。しかし、余長が短い場合、塑性率が3.00以上であっても主筋の付着力消失後、フック内部のコンクリートが支圧破壊したものがあつた。継ぎ手部材につぎてのない部材と同等の靱性を期待するなら、塑性率は3.50以上確保するべきである。

- 1: without hooks
- 2: 90° hooks at one side
- 3: 180° hooks at one side
- 4: 90° hooks at both sides, tail length 4d
- 5: 90° hooks at both sides, tail length 8d
- 6: 90° hooks at both sides, tail length 12d
- 7: 180° hooks at both sides

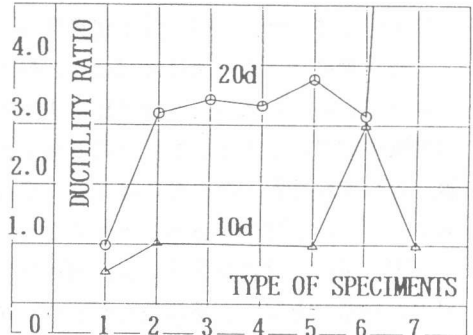


図4 塑性率

3.4 主筋のひずみ分布

主筋の各位置におけるひずみ分布を図5に示す。主筋が降伏するまでは、ひずみ分布は、ほぼ直線であり、その勾配の最大値は、主筋径によってほぼ一定で、D25の最大平均付着応力度で55.0kg

f/cm²であり、D29で40.0kgf/cm²であつた。ひずみの値は、主筋に作用する外力の大きさに比例して増大している。フックの有無によって主筋のひずみ分布の状況は異なっている。フックの

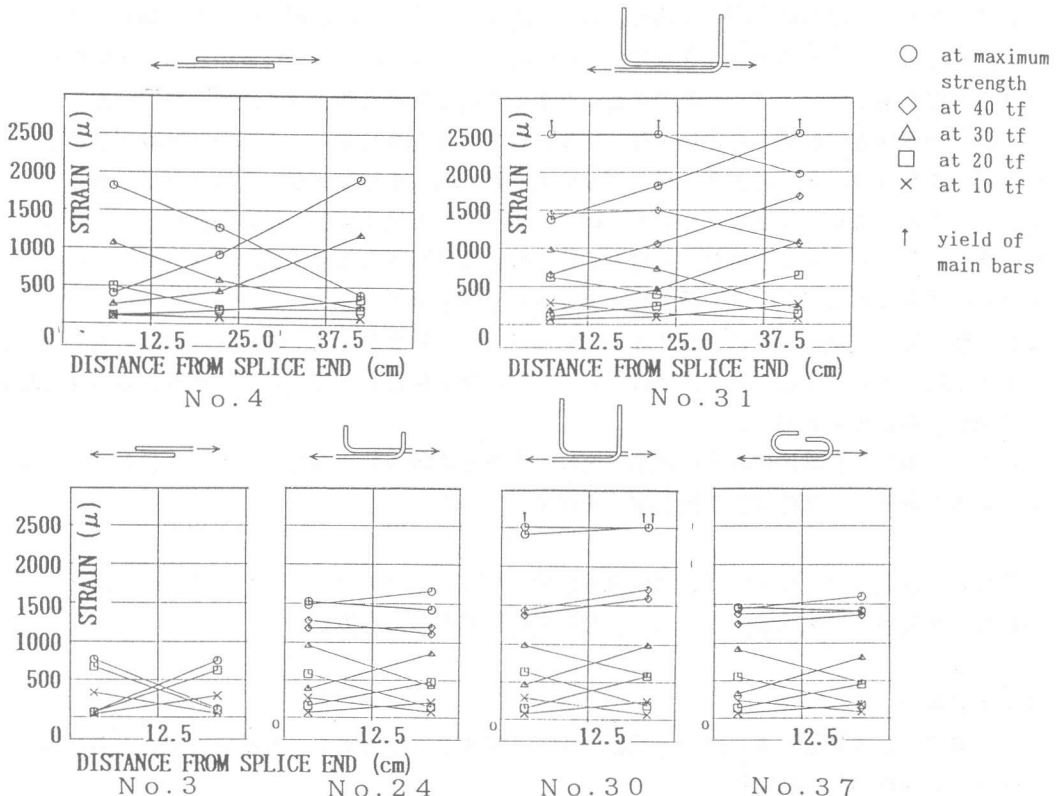


図5 主筋のひずみ分布

ない試験体は、主筋が最大付着応力度に達すると同時に耐力を失うのに対し、フック付きの試験体は、主筋が最大付着応力度に達した後、徐々に付着力を失いながらも部材としての耐力は保持していた。重ね長さ10dの試験体において、フックのない試験体(No.3)は、降伏前の750 μ 程度である。90°フック付き継ぎ手主筋のひずみは、余長4dの試験体(No.24)でフックのないものの2倍の1500 μ であり、余長12dの試験体(No.30)の値は、主筋の降伏ひずみ2500 μ を上回っていた。現在、日本建築学会「鉄筋コンクリート設計規準・同解説」によると、継ぎ手主筋末端にフックを付けた場合は、継ぎ手全体の応力の1/3をフック定着部が負担し、2/3をフック部を除いた重ね長さ部で負担するという条件により、継ぎ手・定着耐力を算出している。本実験の結果によると、フック付き重ね継ぎ手の耐力は、重ね長さ部の付着耐力とフック部の定着耐力の単なるたし合わせではなく、重ね長さ部の主筋の付着喪失により負担しきれなくなった応力が、フック部に配分されるものと考えられる。余長が12dの場合を除いて重ね長さが10dと短い場合、付着喪失後の支圧力を負担する区間が、付着ひびわれにより損傷を受け、十分な耐力を発揮できない。重ね長さが20dになると、ひび割れが急激に進展することはなく付着力が喪失しても支圧により、部材の耐力を保持できる。しかし、余長が短い場合、支圧耐力に釣り合う定着耐力がないため、主筋が破断する前に余長定着部が破壊する。余長が12dあれば図5により、重ね長さ10d程度の主筋が負担していた付着応力をフック部で負担することが可能であると考えられる。

4. まとめ

- 1) コンクリート打ち継ぎ面の平均せん断応力度は、フックのない試験体の重ね長さ20dで28.5kgf/cm²であり、重ねながさ30dで24.6kgf/cm²であった。フック付きのものは重ねながさ20dでも打ち継ぎ面は、フック部の主筋のダボ効果によせりん断すべり破壊しなかった。
- 2) 部材の剛性は鉄筋量の影響により、重ね長さ10dの場合でも、その剛性は継ぎ手のないものより大きかった。重ね継ぎ手部材の剛性の変化は、特に重要な問題となる量ではなかった。
- 3) フック付きで重ね長さが10dあれば、そのフック形状に関係なく、塑性率は1.00を確保できた。しかし、継ぎ手のない部材と同等の靱性を確保するためには、90°フック付き継ぎ手において余長8d以上でかつ重ね長さ20d以上が必要である。
- 4) 主筋の最大付着応力度は、D25で55.0kgf/cm²、D29で40.0kgf/cm²であった。文献2)による平均付着応力度は、D25では53.1kgf/cm²と実験値とよく一致しており、D29では46.2kgf/cm²と実験値を上回った。
- 5) フックのない試験体は最大付着応力度に達すると急激に破壊したが、フック付きのものは、フック部の定着により付着喪失後も耐力を保持していた。

[謝辞] 本実験にあたっては、日米共同研究「プレキャストコンクリート造」の一貫として行われた要素実験の試験体を参考にした。関係各位に感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 東健二、林静雄、香取慶一：重ね継ぎ手に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp943～944、1992年
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局型耐震設計指針・同解説