

論文 拘束型重ね継手の引張性能に関する実験的研究

飯塚 豊*1・趙 帥*2・岡野 素之*3・森田 俊哉*4

要旨：大型分割ボックスカルバートなどのプレキャストコンクリート部材の接合を目的とし、施工性と経済性を改良した拘束型重ね継手について静的引張試験を実施した。試験体は、スパイラル鉄筋のピッチ、軸方向添筋の重ね長さとは本数をパラメーターとした36体である。その結果、重ね長さが主鉄筋径の10~20倍の範囲では主鉄筋（SD390, D25）が降伏し、一部は破断に至った。また重ね長さが5倍では、スパイラル鉄筋のピッチを密にして拘束効果を高めても、主鉄筋は降伏せずに付着破壊することが明らかになった。

キーワード：重ね継手, 継手, スパイラル鉄筋, プレキャストコンクリート

1. はじめに

プレキャストRC部材（以下PCa部材と呼ぶ）は工期短縮、高品質、高耐久性などの利点から建設分野で幅広く利用されている。PCa部材の鉄筋継手方法として、これまで機械式継手^{1)~3)}を開発し実用化してきたが施工面・経済面で改良の余地がある。そこで接合方法として図-1および図-2で示す拘束型重ね継手を考え、適用性を検討するため継手単体の引張試験を行った。この継手は重ね継手の周囲にスパイラル鉄筋を配置し、その拘束効果により主鉄筋とモルタル間の付着性能を向上させ、重ね継手長さを短くできる可能性がある。この継手構造の研究は、野村⁴⁾ら、渡辺ら⁵⁾の実験が報告されているが、いずれも主鉄筋にD19を用い、重ね長さは15.8~40φの範囲の成果であり、重ね継手をより短くし経済性を担保するためには、より太い主鉄筋を用いるとともに重ね長さを短くする必要があった。

そこで本研究では、主鉄筋にD25を用い、周囲のスパイラル鉄筋をさらに増加させ、重ね長さ範囲が5~20φにおける拘束型重ね継手に関し引張試験を実施し力学的性能を検討した。

2. 拘束型重ね継手の概要

一般の重ね継手は鉄筋直径の30倍以上の重ね長さが必要だが、拘束型重ね継手は周囲のモルタルをスパイラル鉄筋で拘束することにより、付着性能を向上させ重ね長さを減らすことができる。このPCa部材の接合方法は、図-2に示すようにPCa部材の接合面端部に、重ね合わせる主鉄筋の端部が内部に突出した開口部をそれぞれ設けておき、下側部材の開口部に添筋とスパイラル鉄筋からなる鉄筋カゴを挿入し、上側部材の開口部に鉄筋カゴの上半分が挿入されるように突き合わせて接合する。

主鉄筋とスパイラル鉄筋内部の添筋の間にはクリアランスを設けておき、製造および施工による誤差を吸収し、PCa部材同士を接合することが可能である。スパイラル鉄筋内部と周囲にモルタルを充填し、継手部を一体化させる。

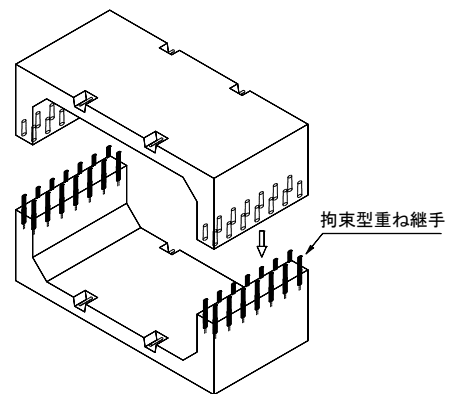


図-1 ボックスカルバートへの適用

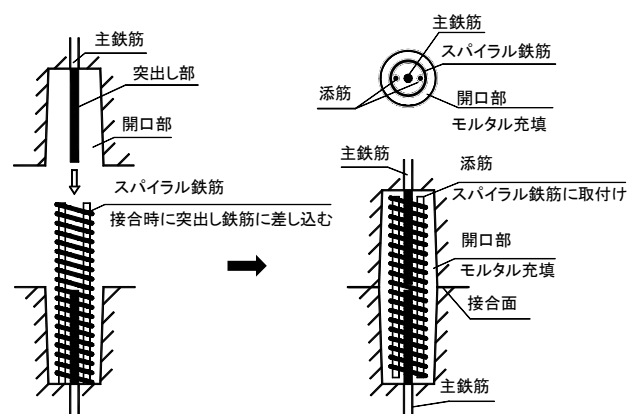


図-2 拘束型重ね継手

*1 カイエー共和コンクリート（株） 技術部長（正会員）

*2 前橋工科大学大学院 工学研究科（学生会員）

*3 前橋工科大学 社会環境工学科教授 博士（工学）（正会員）

*4 カイエー共和コンクリート（株） 代表取締役 博士（工学）（正会員）

3. 実験概要

3.1 試験体概要

試験体の形状寸法を図-3示す。主鉄筋にはD25、添筋にはD19およびD16、スパイラル鉄筋にはD10を使用した。

添筋は接合する主鉄筋より断面積と降伏点の積の合計が大きくなるように選定した。試験体の一覧を表-1に示す。試験体の仕様は12種類とし各3体作製し、合計36体を試験した。

3.2 試験体のパラメーター

試験体のパラメーターは、以下の3項目である。

- (1)重ね長さ：5φ（φ：鉄筋直径），10φ，15φ，20φ
- (2)スパイラル鉄筋のピッチ：10mm，20mm，30mm
- (3)添筋：D19（2本タイプ），D16（4本タイプ）

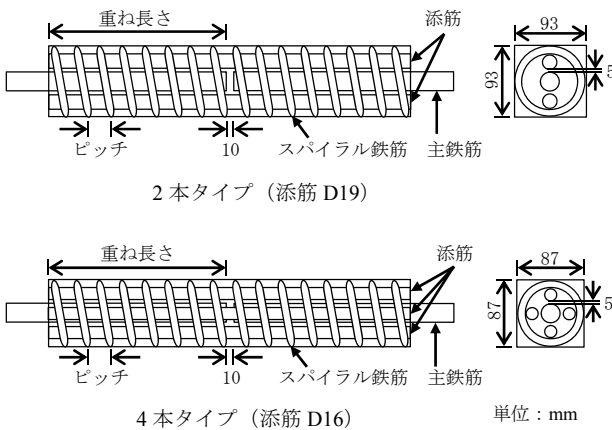


図-3 試験体の形状

表-1 試験体の一覧

試験体番号	主鉄筋	添筋	重ね長さ (φ:鉄筋直径)	スパイラル鉄筋の ピッチ(mm)	試験体数	
05102	D25	D19 (2本)	5φ	10	各3体	
05202				20		
10102				10φ		10
10202						20
15102			15φ			10
15202						20
15302				30		
20102				20φ		10
20202		20				
05204		D16 (4本)	5φ			20
10204			10φ			
15204			15φ			

3.3 材料の力学的性状

(1) 鉄筋

引張試験結果を表-2に示す。鉄筋は異形棒鋼を使用し、主鉄筋と添筋はSD390、スパイラル鉄筋はSD295Aを用いた。実用化する継手の主鉄筋と添筋の材質はSD345を目標としているが、付着破壊強度を確認するためより強度の高いSD390を用いた。なお、実験に使用したスパイラル鉄筋の材質は、実用化タイプと同じとした。

(2) モルタル

モルタルは、プレミックスタイプの無収縮モルタルを使用した。モルタルの圧縮強度の平均は、1体目は43.5N/mm²、2体目は49.7N/mm²、3体目は48.1N/mm²であった。

3.4 荷重方法

荷重速度は1kN/sを目安とし、荷重荷重が急速に下がった時点で荷重を終了した。

3.5 計測方法

試験体の上下部には鉄筋の変位量を測定するため、高感度変位計2台(CDP-25)を設置した(図-4)。変位計は各試験体とも治具を用いて主鉄筋上に取付け、検長は試験体両端部からそれぞれ30mmとした。また、試験体05202, 10202, 15202, 20202にひずみゲージを取り付け、主鉄筋と添筋のひずみを測定した。

表-2 鉄筋の力学的性状

呼び径	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
D10	9.53	71.3	292.3	413.6	158
D16	15.9	198.6	381.0	549.3	167
D19	19.1	286.5	437.3	613.8	196
D25	25.4	506.7	414.4	597.1	189

※各鉄筋径とも、ヤング係数は1本のみの計測値である。

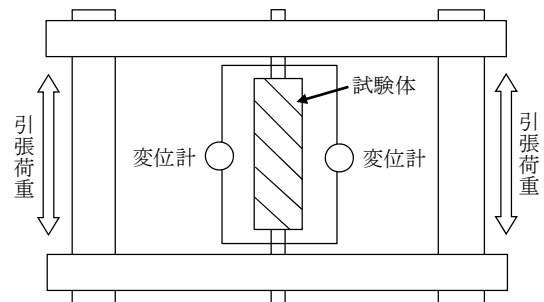


図-4 荷重方法および計測方法

4. 実験結果と考察

4.1 破壊形態の分類

破壊形態の分類を図-5に、破壊状況の例を写真-1に示す。破壊形態は、以下の3種類に分類できる。

(1) C型

C型とは、鉄筋が降伏する前に主鉄筋とモルタル間の付着力が低下し、主鉄筋の抜出しで破壊する形態である。重ね長さ5φの試験体がこれに相当する。

(2) YC型

YC型とは、鉄筋が降伏した後に主鉄筋とモルタル間の付着力が低下し、鉄筋が破断する前に主鉄筋の抜出しで破壊する形態である。重ね長さが10φ、15φと20φのピッチ20mmの試験体がこれに相当する。

(3) YB型

YB型とは、鉄筋が降伏した後に主鉄筋が破断する形態である。重ね長さ20φのピッチ10mmの試験体がこれに相当する。

4.2 最大荷重と重ね長さの関係

試験結果の一覧を表-3に示す。最大荷重を平均値と比較すると、添筋が2本のタイプでは、重ね長さが5φで

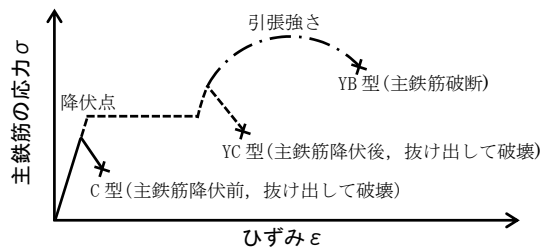


図-5 破壊形態の分類



写真-1 破壊状況の例

138.9~165.9kN, 10φで252.7~278.8kN, 15φで277.4~295.8kN, 20φで304.6~307.1kNであり、重ね長さが長いほど最大荷重も大きな値を示した。添筋が4本のタイプでは5φで172.3kN, 10φで257.9kN, 15φで280.1kNであり、最大荷重と重ね長さの関係については、2本タイプと同じ傾向である。

最大荷重と重ね長さの関係を破壊形態とともに図-6に示す。図中に示した降伏荷重と破断荷重は、いずれも主鉄筋および添筋の母材単体での引張試験結果の値である。重ね長さが5φでは、いずれの試験体も主鉄筋の降伏荷重に達する前に付着破壊しており、C型の破壊形態である。10φでは、添筋が2本でスパイラル鉄筋のピッチ

表-3 試験結果の一覧

試験体番号	最大荷重(kN) と破壊形態						
	1体目	2体目	3体目	平均値			
05102	167.2	C	169.5	C	161.0	C	165.9
05202	141.2	C	136.5	C	104.5 ^{*1}	C	138.9 ^{*2}
10102	276.2	YC	280.7	YC	279.5	YC	278.8
10202	248.7	YC	256.7	YC	229.7 ^{*1}	YC	252.7 ^{*2}
15102	301.0	YC	296.2	YC	290.2	YC	295.8
15202	299.5	YC	286.0	YC	278.2 ^{*1}	YC	292.8 ^{*2}
15302	285.0	YC	280.5	YC	266.7	YC	277.4
20102	307.7	YB	306.2	YB	307.5	YB	307.1
20202	307.2	YB	302.0	YC	299.0 ^{*1}	YC	304.6 ^{*2}
05204	183.7	C	167.5	C	165.7	C	172.3
10204	263.7	YC	254.0	YC	256.0	YC	257.9
15204	293.7	YC	275.2	YC	271.5	YC	280.1

※1：主鉄筋と添筋にひずみゲージを貼付

※2：※1の計測値を除いた値

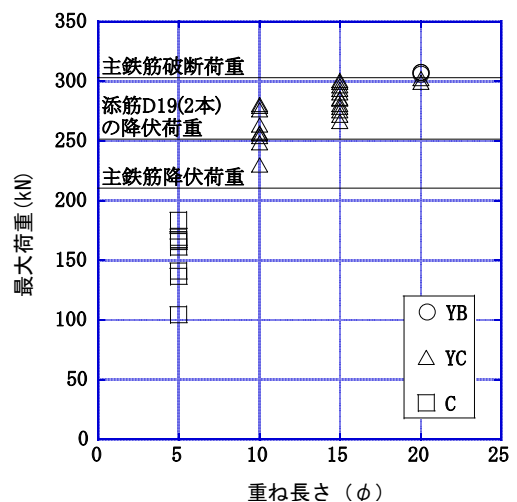


図-6 重ね長さと破壊形態の関係

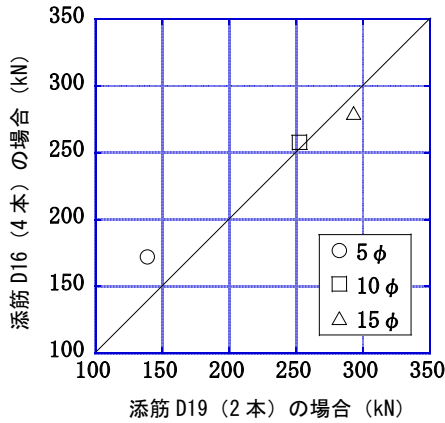


図-7 添筋本数の違いによる平均最大荷重の比較

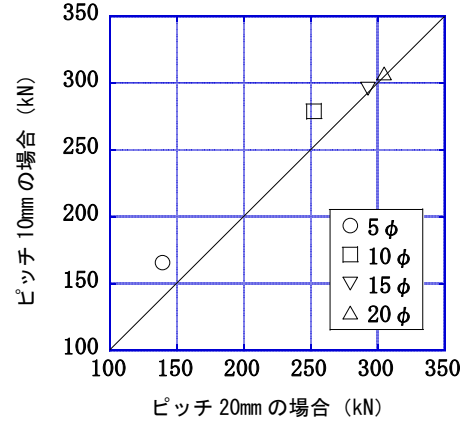


図-8 スパイラル鉄筋のピッチの違いによる平均最大荷重の比較

が20mmのタイプにおいて、添筋の降伏荷重に達する前に破壊している試験体があるが、いずれも主鉄筋の降伏後に破壊するYC型の破壊形態である。15φでは、すべての試験体ともYC型の破壊形態である。20φでは、スパイラル鉄筋のピッチが10mmの試験体は、鉄筋破断によるYB型である。しかしながら、ピッチが20mmはYC型の破壊形態である。

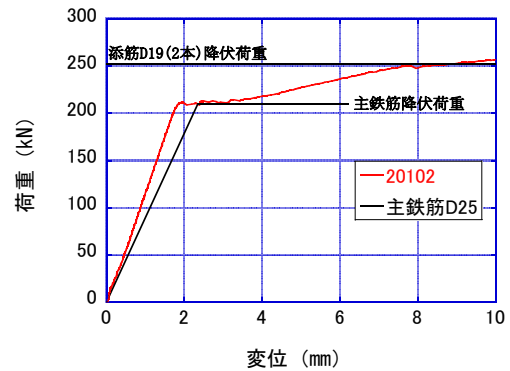
添筋本数の違いによる最大荷重の比較を図-7に示す。添筋の合計断面積は4本タイプが794.4 mm²、2本タイプが573.0 mm²である。重ね長さが5φでは、4本タイプが2本タイプの1.24倍の最大荷重を示している。一方、10φではわずかに添筋4本タイプの方が上回るものの、15φでは2本タイプの最大荷重がわずかに大きい。このことから、添筋を4本として断面積を大きくすると、継手が付着破壊(C型)する範囲の継手長では、最大耐力を増す効果が認められた。

最大荷重の規格引張強さの比較をSD345とSD390についてみると、添筋が2本タイプでは、重ね長さが5φのSD345で0.56~0.67, SD390で(0.49~0.58), 同様に10φで1.02~1.12(0.89~0.98), 15φで1.12~1.19(0.98~1.04), 20φで1.23~1.24(1.07~1.08)である。添筋が4本タイプでは、同様に5φで0.69(0.61), 10φで1.04(0.91), 15φで1.13(0.99)である。いずれも10φ以上の重ね長さを確保することで、最大荷重はSD345の規格引張強さの下限値を上回る結果を得られた。

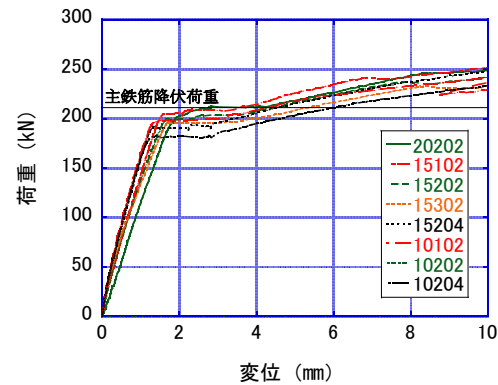
また各水準で3回に分けて同じ試験体を作製したが、本研究で使用したモルタルの圧縮強度の範囲では、圧縮強度が最大荷重に与える影響は認められなかった。

4.3 最大荷重とピッチの関係

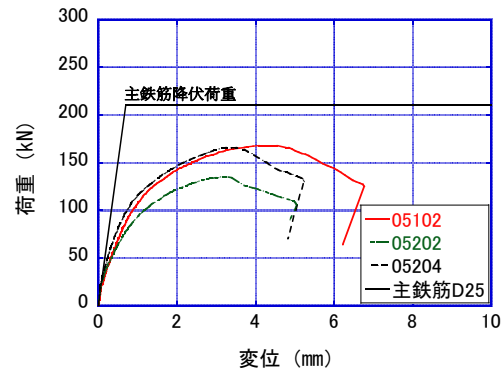
スパイラル鉄筋のピッチと最大荷重の関係を図-8に示す。ピッチ10mmの20mmに対する比較では、重ね長さが5φで1.19, 10φで1.10, 15φで1.01, 20φで1.01と、いずれもピッチ10mmの試験体が大きい値を示しており、その傾向は重ね長さが短いほど顕著である。



(1) YB型試験体



(2) YC型試験体



(3) C型試験体

図-9 荷重と変位の関係(2体目)

重ね長さが15φのピッチ10~30mmについて、表-3に示した最大荷重で比較すると、ピッチ30mmに対し10mmで1.07, 20mmで1.06である。ピッチを30mmまで拡大すると最大荷重が低下し、その値は重ね長さが10φでピッチ10mmの試験体よりわずかに小さい。このことから、スパイラル鉄筋のピッチを30mmまで拡大すると、重ね長さを短くすることは難しいと言える。

4.4 荷重と鉄筋変位量の関係

荷重と主鉄筋の変位の関係を図-9に示す。図中に示した降伏荷重は、主鉄筋および添筋の母材単体での引張試験結果の値である。またYB型とC型試験体については、計算上の軸方向剛性を図中に示した。変位量については、主鉄筋の伸び量も含む値である。

YB型で破壊した試験体20102の荷重-変位量の関係を見ると、変位量が2mm付近まで荷重と比例的に変位が増加し、主鉄筋の降伏荷重と同じ210kN付近で降伏している。その後、添筋の降伏荷重である250kN付近でひずみ硬化後の勾配が変化していることから、添筋が降伏していることが分かる。重ね長さを20φとし、ピッチ10mmのスパイラル鉄筋を使用した継手の軸方向剛性は高く、母材と同様の変位曲線を示す。

YC型で破壊した試験体の荷重-変位量の関係から降伏点を見ると、試験体の主鉄筋との比較では、重ね長さが20φのピッチ20mmではほぼ等しいものの、10φで約0.9, 15φで約0.95である。いずれも降伏荷重はスパイラル鉄筋のピッチが密なほど大きく、重ね長さが長いほど大きい。主鉄筋が降伏した後の変位量を見ると、いずれの重ね長さの試験体もピッチが密なほど変位量は小さく、拘束効果が高いことが分かる。また添筋の本数の違いによる変位量の差は、重ね長さが10φと20φのいずれの試験体も4本の方が2本より小さく、初期荷重における違いは見受けられないものの、終局段階では拘束効果の差が認められる。重ね長さが10φと15φの試験体における降伏点の降下の原因として、例えば軸方向力とスパイラル鉄筋による拘束力、付着応力によるせん断力による複合的応力が考えられるが、現時点では明らかでなく今後の検討が必要である。

C型で破壊した試験体の荷重-変位量の関係を見ると、主鉄筋の降伏荷重の約50%付近から変位量が大きく進行している。重ね長さを5φとした試験体であり、スパイラル鉄筋のピッチが密なほど、また添筋の本数が多いほど主鉄筋の拘束効果は認められるものの、継手としての必要付着強さを得ることはできない。

4.5 継手の内部ひずみ

主鉄筋と添筋に貼付したひずみゲージの位置を図-10に、主鉄筋と添筋のひずみについて、継手中央からの距離を横軸にとり各荷重段階で示したものを図-11

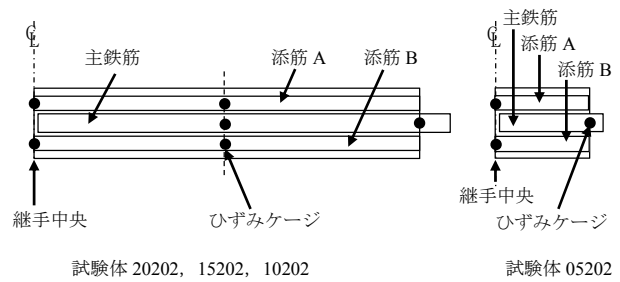


図-10 ひずみゲージの設置位置

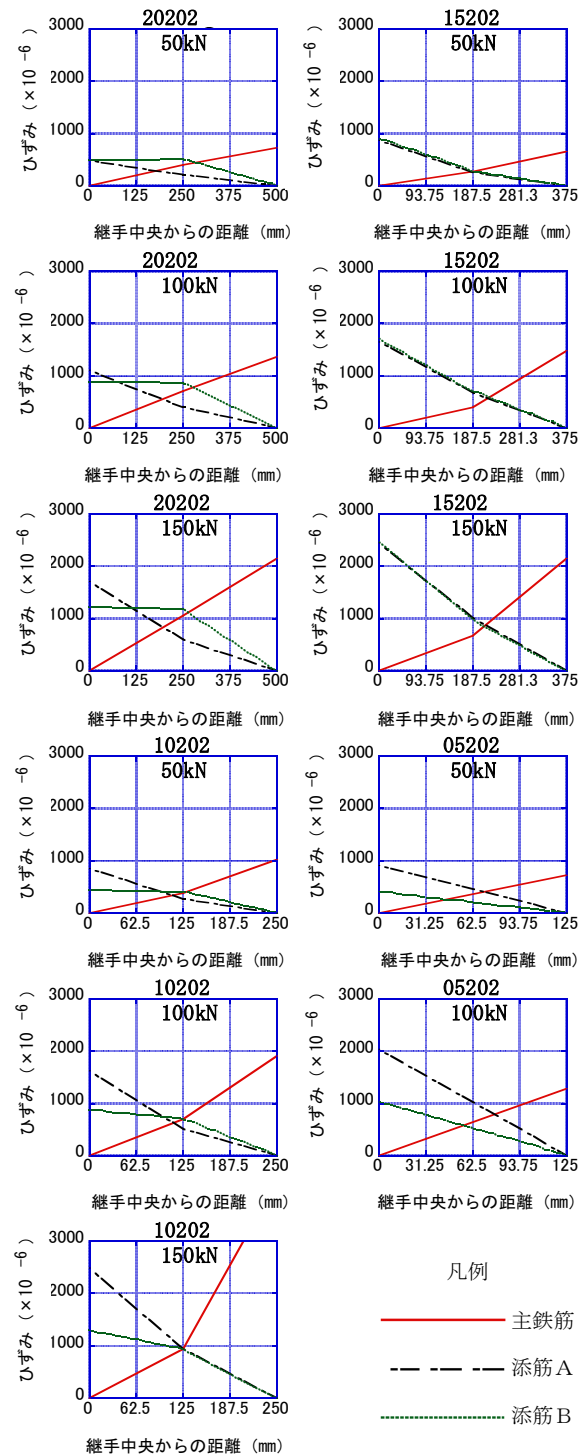


図-11 主鉄筋と添筋のひずみ分布 (3体目)

に示す。継手中央部の主鉄筋端部、および継手端部の添筋端部のひずみの値は、ゼロとして示している。各試験体とも、スパイラル鉄筋のピッチが20mmの試験体である。

主鉄筋のひずみをみると、主鉄筋端部の継手中央部から継手端部にむかい次第に増加し、継手端部でひずみが大きい。一方、添筋のひずみをみると、継手端部から継手中央部にむかい増加し、継手中央部において最大値を示す。これはひずみを計測したすべての試験体において、また各荷重段階において同様の傾向である。

主鉄筋の軸方向に対し、両側に配置した添筋Aと添筋Bのひずみの差をみると、試験体15202では添筋Aと添筋Bのひずみは、各荷重段階ともほぼ等しい値を示している。しかしながら、その他の重ね長さの試験体では、添筋Aと添筋Bのひずみに差が認められる試験体がある。モルタルに発生したひび割れをみると、写真-1に示したように、すべての試験体において継手中央部が最も大きく、それ以外の範囲におけるひび割れは、継手中央部に対して小さい。試験体10202の添筋Aと添筋Bのひずみをみると、継手中央部におけるひずみの差が大きいものの、試験体20202では継手中央から250mmの位置におけるひずみの差が大きい。これらのことから2本の添筋のひずみの差は、モルタルのひび割れによる影響は少なく、突き合わせた主鉄筋の軸ズレ、および主鉄筋に対する2本の添筋の軸方向の偏心の影響が考えられる。

5. まとめ

PCa部材を接合するための継手として、スパイラル鉄筋と添筋を用いた拘束型重ね継手について、軸方向の静的引張試験を実施した。本試験の範囲で以下の知見を得た。

- (1) 重ね長さを20φとし、スパイラル鉄筋のピッチを10mmとすることで母材破断する。それ以外の10～20φの範囲では、スパイラル鉄筋のピッチに関わらず、主鉄筋が降伏した後に付着破壊する。最大荷重の規格引張強さの比較では、SD345に対し10φで1.06、15φで1.15、20φで1.23である。
- (2) 重ね長さが5φでは、主鉄筋の規格降伏荷重に達する前に主鉄筋とモルタル間が付着破壊する。
- (3) スパイラル鉄筋のピッチが密なほど継手の最大荷重は大きくなる。ピッチ10mmは20mmに対し、重ね長さが5φで1.19、10φで1.10、15φで1.01、20φで1.01であり、重ね長さが短いほど顕著である。
- (4) 添筋の本数の違いを最大荷重で比較すると、2本に対し4本では、重ね長さが5φで1.24、10φで1.02、15φで0.96である。重ね長さが5～10φの範囲では向上するが、20φでは効果が認められない。
- (5) 継手長さが10～15φでは、主鉄筋の降伏荷重が低下する場合がある。

謝辞

本実験の実施にあたり、多大なご助力をいただいた前橋工科大学社会環境工学科の譚暢氏と鈴木達也氏に記して深謝します。

参考文献

- 1) 森田 俊哉, 萩原 淳弘, 飯塚 豊, 辻 幸和: 鋳鉄製接合具で接合したプレキャスト RC はりの曲げ・せん断性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.601-606, 2008.7
- 2) 岡野 素之, 飯塚 豊, 森田 俊哉, 辻 幸和: 実物大プレキャスト RC 部材における接合部の曲げ性能に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.481-486, 2012.7
- 3) 飯塚 豊, 辻 幸和, 森田 俊哉, 岡野 素之: 異なる定着方法のカップラー接合具により垂直接合した RC 部材の力学的性状, セメント・コンクリート論文集, Vol.68, pp.260-267, 2015.3
- 4) 野村 和嗣, 原 夏生, 睦好 宏史, 町田 篤彦: プレキャスト型枠工法における重ね継手の応用利用に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.16, No.2, pp.253-258, 1994.7
- 5) 渡辺 達也, 廣田 祐史, 細川 洋治, 前田 匡樹: 集合鉄筋の重ね継手の性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.19, No.2, pp.603-608, 1997.7