

論文 高強度繊維補強コンクリートで接合されたプレキャストコンクリートはりの曲げ挙動について

滝本和志^{*1}・吉武謙二^{*1}・奥石正己^{*2}・三島英将^{*3}

要旨：鉄筋コンクリート構造物のプレキャスト化において、継手部を合理化することで現場作業の省力化や工期短縮を図ることができるものと考えられる。既往の研究¹⁾では、曲げスパンに継手部を有するプレキャストコンクリートはりに対して、継手部に高強度繊維補強コンクリートを使用した場合、重ね継手長が15φで良好な継手性能が得られている。本研究では、実構造物への適用を目指して、引張鉄筋比や鉄筋径を変えた場合の終局状態における曲げ耐力、破壊形式、変形性能等について実験的に検討し、継手のない場合とほぼ同等の性能を有していることを確認した。

キーワード：高強度繊維補強コンクリート、プレキャスト、はり、曲げ挙動

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下、RC）構造物のプレキャスト化は、品質確保、工期短縮の面で優れ、現場作業の省力化を図る有力な手法である。プレキャスト化で最も問題となる継手部を合理化することで、よりいっそうの省力化や工期短縮を図ることができるものと考えられる。

鉄筋の継手方法として、重ね継手、ガス圧接継手、種々の機械式継手、溶接継手が構造物の条件等に応じて使用されているが、その中でも重ね継手は施工性がよく経済性にも優れた方法である。重ね継手に関する研究は、普通強度コンクリートを対象とした研究^{2),3)}が多数を占めるが、高強度コンクリートを対象とした研究や鋼繊維補強高強度モルタルを用いた研究として、角陸⁴⁾、塩屋⁵⁾、師橋⁶⁾らによる研究が挙げられる。

吉武¹⁾らは、プレキャストRCはりの曲げ実験により、継手部に圧縮強度130N/mm²の高強度鋼繊維補強モルタルを使用した場合は、重ね継手長が10φ（φ：鉄筋の呼び径）で、圧縮強度65N/mm²の高強度鋼繊維補強コンクリートを使用した場合は、重ね継手長が15φで良好な継手性能を得ている。従来の重ね継手に対して継手長を半分程度にすることができるが、この場合の継手は同一

断面に集中するため、土木学会コンクリート標準示方書⁷⁾の規定では、静的耐力や高サイクル繰返し耐力に関して、所定の継手性能を満足することを確認する必要がある。

本研究では、継手部を合理化した接合方法の実構造物への適用を目指して、使用材料の選定を行い、継手性能に関する実験的な検討を行った。

継手部の材料はプラント練りが可能なものを用いることとし、圧縮強度60N/mm²、鋼繊維混入率1.0%（容積比）、目標スランプフロー65cmで、材料分離をおこすことなく鋼繊維が一様に分散する性能を有する高強度鋼繊維補強コンクリートを選定した。また、プレキャスト部と継手部の境界面でのひび割れ幅を減少させるために膨張材を使用することとした。

吉武らの研究に対して、引張鉄筋比や鉄筋径を大きくした場合でも、重ね継手長15φで良好な継手性能が得られることを確認するために、継手の有無と鉄筋配置をパラメータとしたプレキャストRCはりの静的曲げ実験を実施し、終局状態における曲げ耐力、破壊形式、変形性能の把握、使用状態における境界面のひび割れ性状および施工精度による変動が予想される継手鉄筋の水平方向のあきの影響に関する検討を行った。

*1 清水建設（株）技術研究所 社会基盤技術センター 博（工） （正会員）

*2 清水建設（株）土木技術本部 社会基盤統括部 博（工）

*3 清水建設（株）土木技術本部 社会基盤統括部 工修

表－1 コンクリートの配合

部 位	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			水 W	セメント C	膨張材 EX	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A	鋼繊維 SF
プレキャスト部	39.5	45.1	150	380	—	796	995	2.66	—
継手部	25.0	68.4	160	613	27	1079	505	14.08	78.5

B = C + EX 粗骨材の最大寸法：20mm

表－2 コンクリート材料試験結果

試験体	部 位	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
SB1	プレキャスト部	58.6	4.0	34.7	0.19
SB2	プレキャスト部	58.8	3.5	33.8	0.18
SB3	継手部	69.3	6.6	34.1	0.22

表－3 鉄筋引張試験結果

種類	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	伸び (%)
D25	380.2	559.8	195.7	26.8
D16	402.0	574.9	190.5	25.2
D22	395.2	601.9	194.5	23.4

表－4 試験体一覧

試験体	重ね継手	継手長さ	水平あき
SB1	なし	—	—
SB2	あり	15φ	2φ
SB3	あり	15φ	なし

2. 実験概要

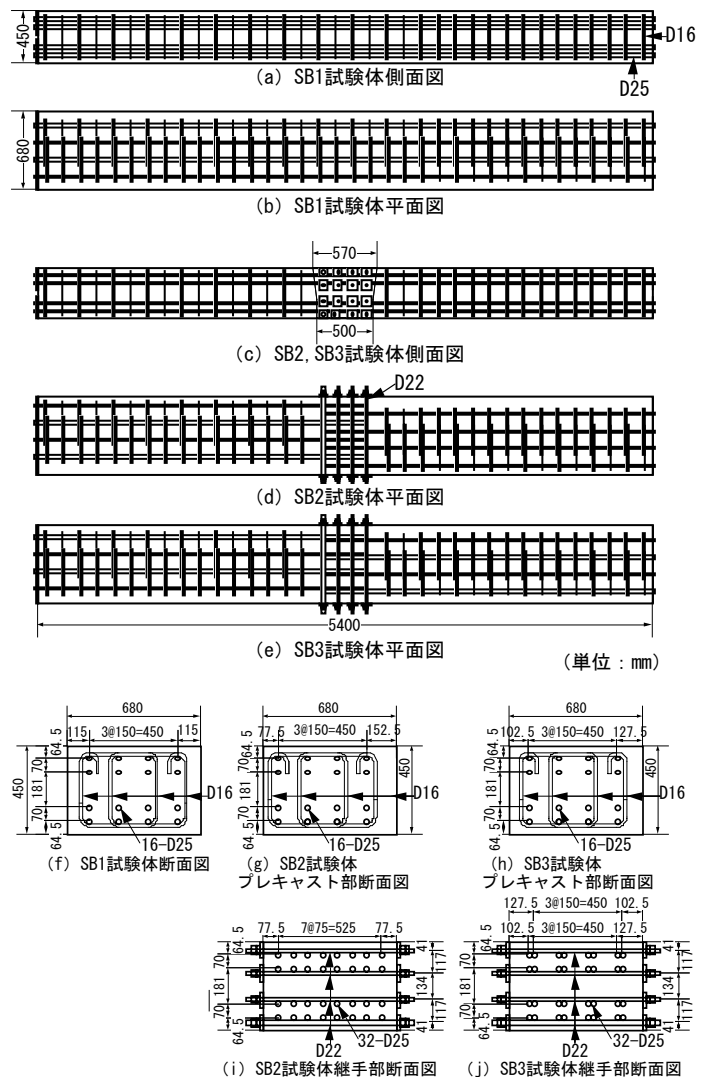
2.1 使用材料

試験体製作に用いたコンクリート（プレキャスト部、継手部）の配合を表－1に、材料試験結果を表－2に示す。また、鉄筋の引張試験結果を表－3に示す。

2.2 試験体

試験体はプレキャスト床版を重ね継手により接合する場合を想定した。ただし、試験機の能力の都合からプレキャストRCはりとしてモデル化した。継手の有無と施工誤差を考慮するための継手鉄筋の水平方向のあきをパラメータとした。

試験体一覧を表－4に、図－1に配筋図を示す。SB1 試験体は継手のない一体打ち試験体、SB2 試験体は継手部の鉄筋の水平あきが2φ（最大あき）の試験体、SB3 試験体は水平あきがない（最小あき）試験体である。形状寸法は3体ともに同じで、断面680mm×450mm、全長5400mm



図－1 試験体配筋図

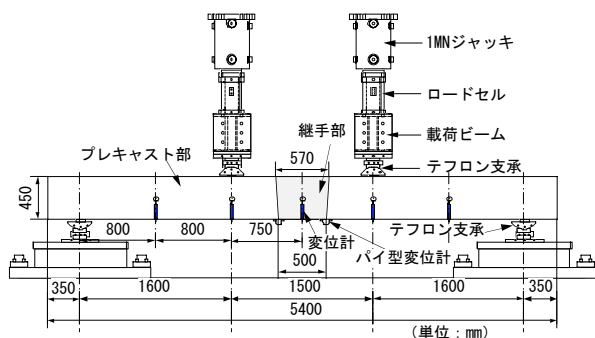


図-2 荷装置置図

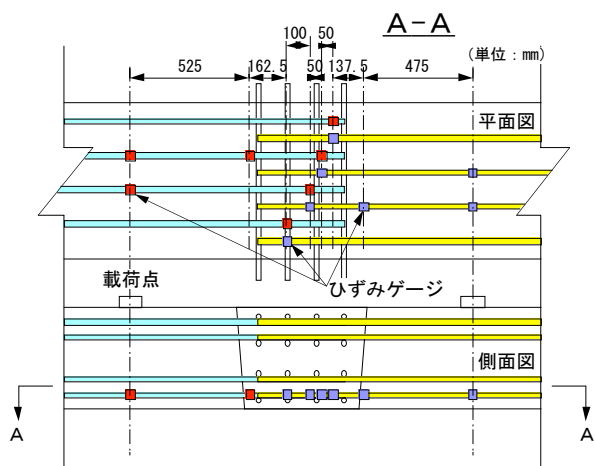


図-3 鉄筋ひずみ計測位置 (SB2)

とした。軸方向鉄筋には D25 (SD345) を 2 段 4 列配置し、スターラップには D16 (SD345) を 2 重 (150mm 間隔) に配置した。

継手部は 15φ (375mm) を確保し、現場打ちの作業性を考慮して、下面 500mm (上面 570mm) とした。また、横方向の鉄筋をモデル化するために D22 ねじ節鉄筋を 16 本配置し、80mm×80mm の定着板とロックナットを用いて手締めで定着した。継手部にはスターラップは配置していない。プレキャスト部の打継面は目荒し処理をして粗骨材が表面に出る状態で継手部を打設した。

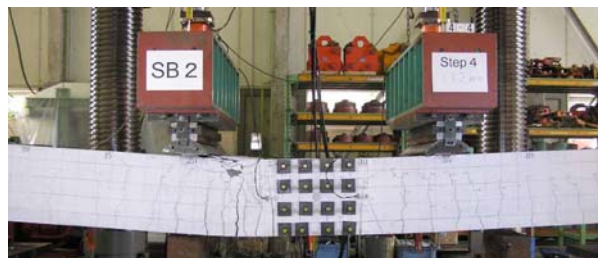
プレキャスト部には早強ポルトランドセメントを使用し、継手部にはシリカフェームセメント、膨張材および鋼繊維 (繊維径 0.6mm, 繊維長 30mm) を使用した。

2.3 荷重および計測方法

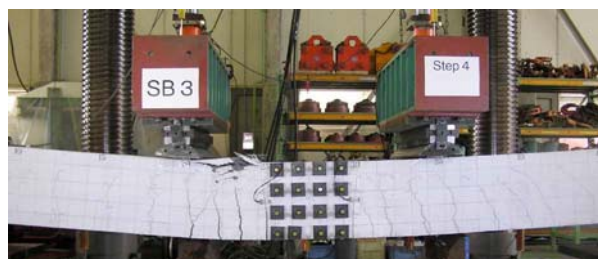
図-2 に荷装置置および変位計測位置を示す。



(a) SB1 試験体



(b) SB2 試験体



(c) SB3 試験体

写真-1 破壊性状

継手部が等曲げ区間となるように中央 2 点荷重とした。せん断スパン比は 4.6 である。計測項目は、鉛直変位、ひび割れ幅、鉄筋ひずみおよびコンクリート上縁のひずみとした。

ひび割れ幅計測は、ひび割れ発生後に試験体底面にパイ型変位計を取り付け、クラックスケールで測定したひび割れ幅を初期値とした。ただし、継手ありの試験体のプレキャスト部と継手部の境界面については、荷重前にあらかじめパイ型変位計を左右の境界面に取り付けておいた。

図-3 に SB2 試験体の軸方向鉄筋ひずみ計測位置を示す。SB3 試験体も同様の位置で計測したが、SB1 試験体については、荷重点位置と試験体中央位置での計測とした。

荷重方法は、2 台のジャッキの荷重が等しくなるように制御し、計算上の曲げひび割れ幅が 0.1mm, 0.2mm となる荷重 (90kN, 180kN) をそれ

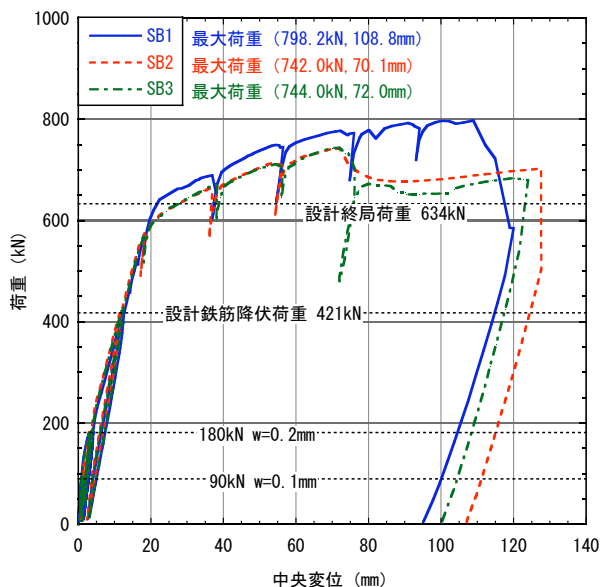


図-4 荷重－変位関係

それぞれ 50 回繰り返し載荷した。次に、設計降伏荷重 (421kN) まで載荷して、ひび割れ状況を確認した後、最大荷重に達するまで単調載荷を実施した。50 回の繰り返し載荷は、使用状態における境界面でのひび割れ性状を把握するために実施したもので、50 回の繰り返し載荷を受けた場合のひび割れ幅の拡幅状況を計測した。

3. 実験結果と考察

3.1 破壊性状

破壊性状を写真-1 に示す。SB1 試験体は、載荷荷重 180kN の 1 回目の載荷で曲げひび割れが発生した。等曲げ区間には 5 本の曲げひび割れが発生した。中央部の鉛直変位が 108mm に達した時点で、等曲げ区間のコンクリート上面が圧壊して荷重が低下した。

SB2 試験体は、90kN 載荷時に境界面にひび割れが発生し、180kN 載荷時には等曲げ区間のプレキャスト部に曲げひび割れが発生した。荷重が 400kN を超えたところで継手部内にもひび割れが発生したが、終局状態においても 0.1mm を超えることはなかった。鉄筋の規格値で求めた終局荷重 634kN を超えた後、等曲げ区間内のプレキャスト部のコンクリートが圧壊し、荷重が 10%

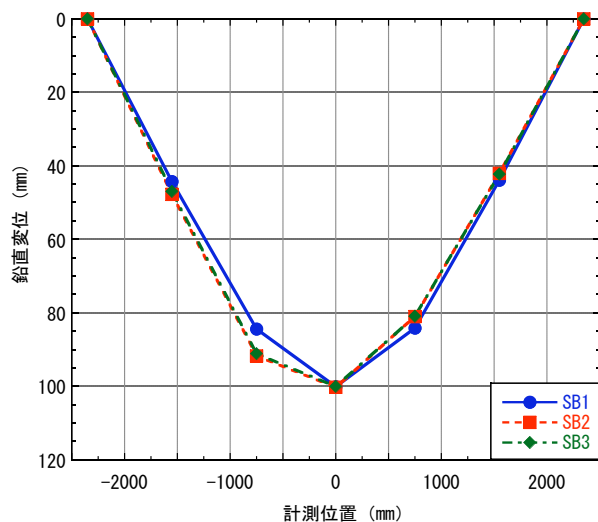


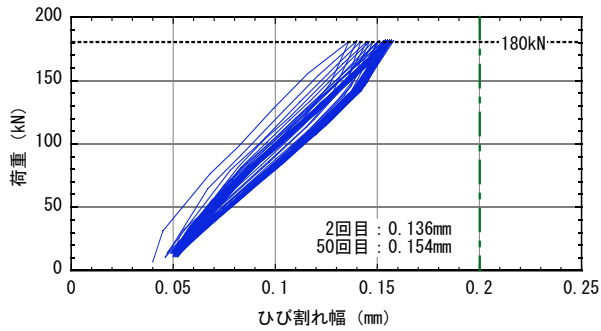
図-5 変位分布図

程度低下した。圧壊後も載荷を続け、120mm (≧部材角 1/20) を超えるまで最大荷重の 90%程度の耐力を保持するのを確認した後、載荷を終了した。SB3 試験体の破壊性状は SB2 試験体と同様で、重ね継手鉄筋の水平あきの影響は見られなかった。継手試験体は継手部および境界面で脆性的な破壊を生じることはなかった。

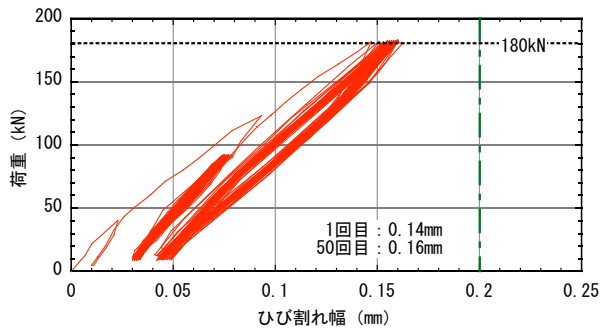
3.2 荷重－変位関係

載荷荷重と試験体中央での鉛直変位の関係を図-4 に示す。SB1 試験体は変位約 18mm (560kN) で、最外縁鉄筋が降伏した。図より部材の降伏は約 20mm (630kN) であった。SB2, SB3 試験体は、約 16mm (530kN) で境界面位置の最外縁鉄筋が降伏したが、部材の降伏は SB1 試験体と同様に約 20mm (600kN) であった。最大荷重も SB1 試験体がほぼ 800kN に達したのに対して、SB2, SB3 試験体の最大荷重は 740kN 程度と、降伏荷重および最大荷重は若干低いものの、設計終局荷重を超える耐力を示した。

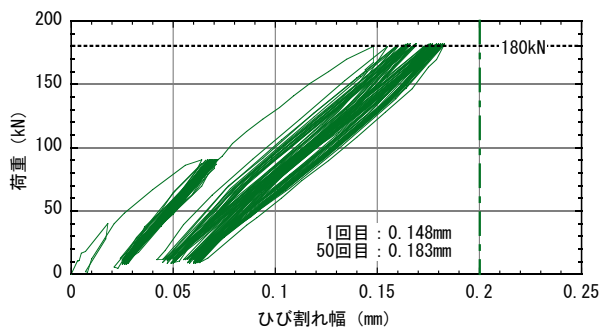
SB1 試験体が、鉛直変位 108mm で等曲げ区間のコンクリートの圧壊にともない 30%近い急激な荷重低下を示したのに対して、SB2, SB3 試験体は、鉛直変位 70mm 付近でプレキャスト部のコンクリートが圧壊し、荷重が 10%ほど低下したものの、鉛直変位が 120mm を超えるまで設計終局荷重を保持しており、SB1 試験体と同等の変



(a) SB1 試験体



(b) SB2 試験体



(c) SB3 試験体

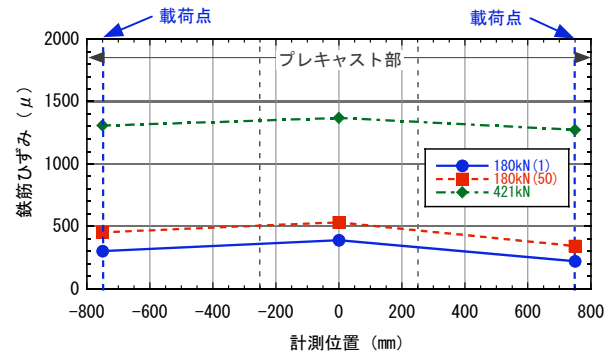
図-6 荷重－ひび割れ幅関係図

形性能を示した。

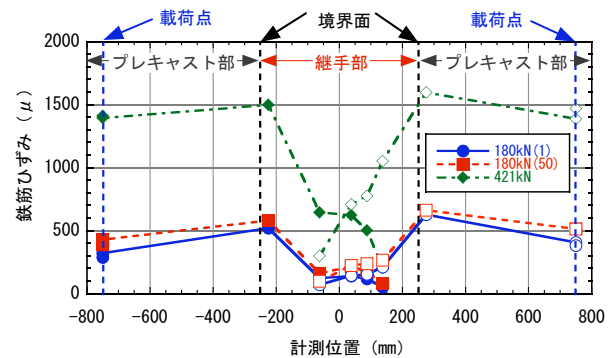
中央変位 100mm の時の各試験体の変位分布の比較を図-5 に示す。SB2, SB3 試験体の変位分布は SB1 試験体の変位分布に比べて、左側の変位が大きく、右側の変位が小さくなっている。これは軸方向鉄筋の平面配置が左右対称ではないため、ねじり変形が生じたためと考えられる。床版のように部材幅が広い場合は、このような挙動は生じないものと考えられる。また、境界面での角折れは見られなかった。

3.3 荷重－ひび割れ幅関係

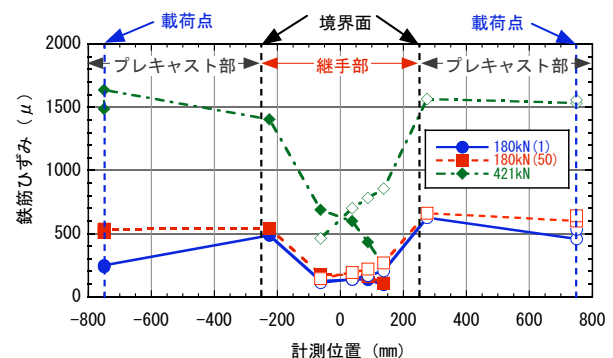
載荷荷重 180kN で 50 回繰り返し載荷した時点



(a) SB1 試験体



(b) SB2 試験体



(c) SB3 試験体

図-7 軸方向鉄筋ひずみ分布図

までの載荷荷重と試験体底面でのひび割れ幅の関係を図-6 に示す。SB2, SB3 試験体は左右の境界面でのひび割れ幅のうち広い方を、SB1 試験体は載荷荷重 180kN の 1 回目の載荷で、試験体中央付近に生じたひび割れの挙動を示す。SB1 試験体と比較すると、SB2, SB3 試験体の境界面でのひび割れは、より早い段階で発生するものの、ひび割れ幅は設計ひび割れ幅の 0.2mm 以下であり、50 回繰り返しでは、ひび割れ幅が急激に増

加することはなく、増加状況は SB1 試験体のひび割れ幅と同等であった。また、終局状態に至るまで境界面が支配的なひび割れに進展することにはなかった。

3.4 鉄筋ひずみ

載荷荷重 180kN の 1 回目と 50 回目および 421kN 載荷時の軸方向鉄筋のひずみ分布図を図-7 に示す。3 体ともにプレキャスト部内のひずみは、ほぼ同じ値になっている。また、継手部内のひずみは、境界面から 150mm 程度離れると急激に下がっており、本研究で検討した継手構造は良好な付着性能を有していると考えられる。

継手部の横方向に配置した D22 ねじ鉄筋のひずみは、設計終局荷重において 100μ 以下と、横方向に作用する力は軽微であった。

4. まとめ

プレキャスト部材の継手部の合理化を目指して、継手部に圧縮強度 60N/mm^2 の高強度繊維補強コンクリートを用いて、重ね継手長 15ϕ で接合したプレキャスト RC はりの終局状態における曲げ性状を確認するために実施した静的曲げ実験の結果、以下の知見が得られた。

- (1) 重ね継手ありの試験体の終局耐力は、一体打ち試験体とほぼ同等であった。
- (2) 重ね継手ありの試験体は、部材の変位に角折れした箇所は見られず、変形性能も一体打ち試験体とほぼ同等であった。
- (3) 施工精度によって変動が予想される継手鉄筋の水平方向のあきの影響は見られなかった。
- (4) 重ね継手ありの試験体は、一体打ち試験体に比べて、境界面でのひび割れ発生が早いものの、50 回の繰返しでひび割れ幅が増加することはなく、プレキャスト部内のひび割れ幅よりも大きくなることはなかった。
- (5) 境界面から離れた継手部内部では、軸方向鉄筋ひずみが急激に下がっており、良好な付着性能が得られた。

今後は、使用状態におけるひび割れ性状のさらなる検討と、高サイクル繰返し載荷時の検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 吉武謙二，田中博一，栗田守朗，塩屋俊幸：高強度繊維補強材料で接合されたプレキャストコンクリートはりの曲げ挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.859-864，2001
- 2) 藤井堅，戸川邦彦，平田雅也：プレキャスト床版の新しい継手構造に関する実験的研究，プレストレストコンクリート技術協会 第 9 回シンポジウム論文集，pp.405-410，1999.10
- 3) 桜田智之，師橋憲貴，田中礼治：重ね継手の付着割裂強度に及ぼす横補強筋および中子筋の効果に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 465 号，pp.119-128，1994.11
- 4) 角陸純一：重ね継手を有する高強度鉄筋コンクリート柱部材の構造特性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.12，No.2，pp.399-404，1990
- 5) 塩屋俊幸，栗田守朗，別所友宏，辻秀夫：鋼繊維補強高強度モルタル，H 形鋼を用いたプレキャストコンクリート継手，コンクリート工学年次論文集，Vol.19，No.2，pp.1305-1310，1997
- 6) 師橋憲貴，桜田智之：曲げせん断応力を受けの高強度コンクリート全数重ね継手の研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1285-1290，2000
- 7) 土木学会：2002 年制定コンクリート標準示方書構造性能照査編，2002