

論文 プレキャスト床版の継手構造に関する実験的研究

滝本 和志^{*1}・田中 博一^{*1}・山本 将士^{*2}・東山 浩士^{*3}

要旨：我が国では、高度経済成長期に建設された多くの道路橋の老朽化対策が急務となっている。これまでの長寿命化対策としての補修・補強では対応できず、床版取替工事を実施するケースが増加している。床版取替工事では、通行止め期間の短縮という時間的制約が含まれることが多く、プレキャスト床版による取替工法を採用するのが主流となっている。本研究では、加熱成形によって鉄筋端部に拡張部を設けた鉄筋の重ね継手実験を行い、機械式定着による間詰め部の施工合理化について検討を行った。

キーワード：床版取替、プレキャスト床版、機械式定着、軽量コンクリート

1. はじめに

近年、社会インフラの老朽化が顕在化してきているが、高速道路においても、経過年数の増加とともに床版の劣化が進展していることが報告^{1),2)}されている。東・中・西日本高速道路3会社の統計データ³⁾によると、2015年度末に供用から30年以上経過した橋梁延長は全体の約4割に達し、大規模更新計画で床版取替が予定されている橋梁延長は約224kmとなっている。床版取替工事では、通行止め期間の短縮という時間的制約が含まれることが多く、プレキャスト床版による取替工法を採用するのが主流となっている。

鉄筋コンクリート構造物のプレキャスト化は、工期短縮、品質確保の面で優れ、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。

プレキャスト床版の橋軸方向の継手構造として、ループ継手が一般的であるが、曲げ加工の制約により部材厚さを薄くできないことから、重ね継手方式による継手長を短くする検討が多数なされている。例えば、接合部(間詰め部)に高強度繊維補強コンクリートを用いることで、重ね継手長を短くする検討^{4),5)}や、鉄筋端部に定着具を加工・接合した機械式定着により、薄肉化や重ね継手長を短くする検討^{6),7),8)}が行われている。

本研究では、プレキャスト床版継手部への適用を視野に入れて、図-1に示すような継手部をモデル化した試験体の静的載荷実験により、機械式定着による間詰め部の施工合理化について検討を行った。さらに、軽量化と高耐久化を目指し、プレキャスト部には設計基準強度50N/mm²の軽量コンクリート1種を、間詰め部には物質透過抵抗性や付着強度が高く、急速施工が期待できるラテックス改質速硬コンクリート(LMFC)^{9),10)}を用いた。

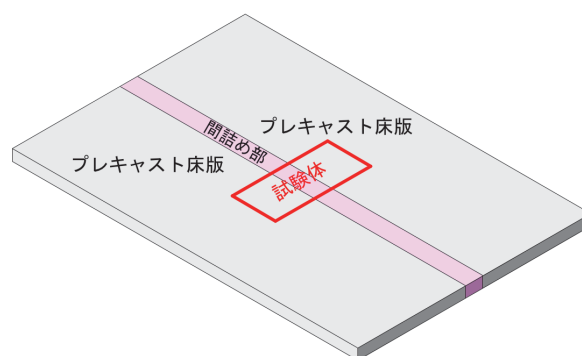


図-1 試験体のモデル化

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、実構造物を想定した実大スケールとした。試験体の種類を表-1に示す。試験体は4体とし、圧縮側と引張側ともに加熱成形によって鉄筋端部に拡張部を設けた機械式定着筋を継手として用いた。試験パラメータは、機械式定着筋の重ね継手長さとし、継手長さ5d(d:鉄筋径)の試験体は、脆性破壊を防止するために、主鉄筋の追加や補強プレートによる補強を施した。

プレキャスト部は、軽量粗骨材を用いた軽量コンクリート1種とし、設計基準強度は50N/mm²とした。軽量粗骨材は製品工場で骨材内部にプレソーキングされたものを用いた。

表-1 試験体の種類

試験体名	継手長さ	間詰め部長さ (mm)	補強方法
JT-15	15d	380	なし
JT-10	10d	290	
JT-5R	5d	200	主鉄筋追加
JT-5P	5d	200	補強プレート

*1 清水建設(株)技術研究所 博(工) (正会員)

*2 日本ファブテック(株)橋梁事業本部

*3 近畿大学 理工学部 社会環境工学科 教授 博(工) (正会員)

表-2 材料試験結果

種 類	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
軽量コンクリート	62.1	23.2
LMFC	67.3	34.6

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 (%)
D22	381.6	564.4	183.0	24
D19	388.1	568.9	186.1	24

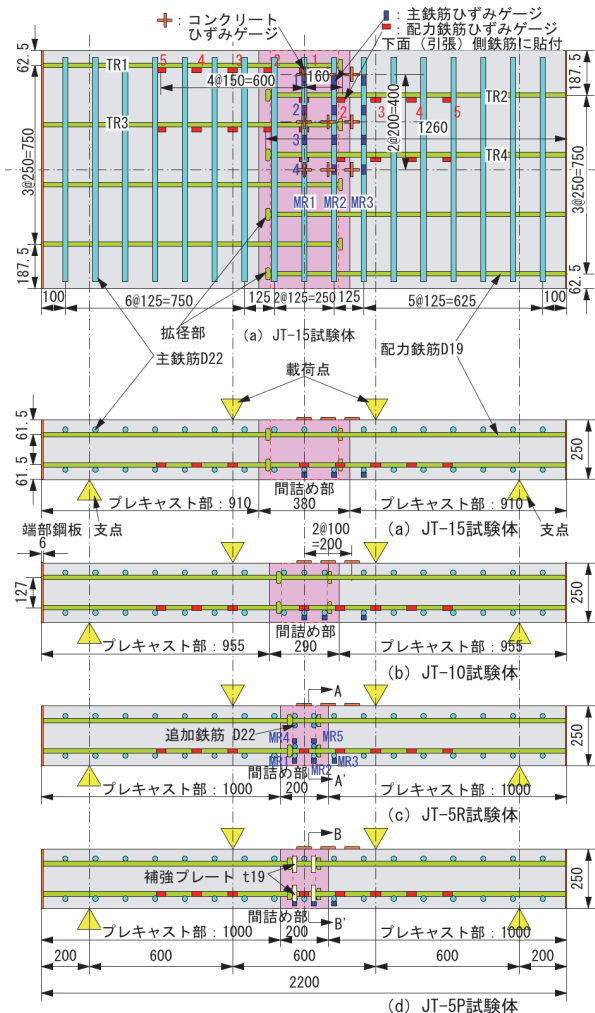


図-2 試験体配筋図

図-2 に試験体の配筋図を示す。形状寸法はすべて同じで、断面 1,000mm×250mm、全長 2,200mm とした。継手部をモデル化しているため、試験体長手方向に配置する継手部を有する鉄筋を配力鉄筋、短手方向に配置する鉄筋を主鉄筋と呼ぶ。プレキャスト床版の配力鉄筋が機械式定着筋となる。鉄筋はすべて SD345 とし、主鉄筋に D22 を 125mm ピッチで、配力鉄筋に D19 を 250mm ピッチで配置した。床版をモデル化しているため、せん断補強鉄筋は配置していない。図に示すように配力鉄筋の平面配置は左右対称ではないが、配力鉄筋を片側に 4 本ずつ配置したので、ねじり変形の影響⁶⁾は小さいものと考えられる。

図-3 は JT-5R 試験体と JT-5P 試験体の接合部の断面図で、継手長さ 5d 試験体の補強方法を示したものである。

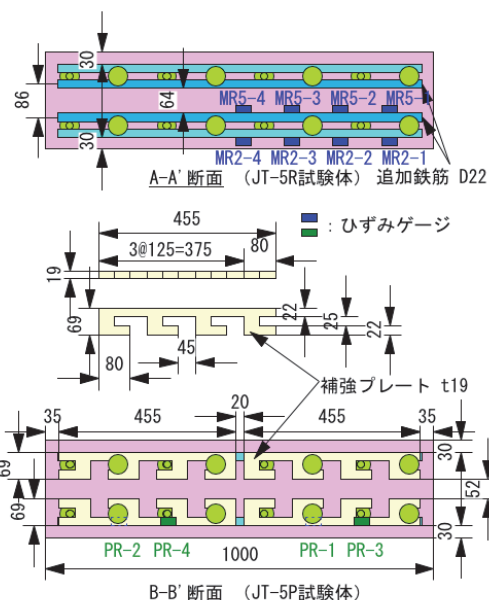
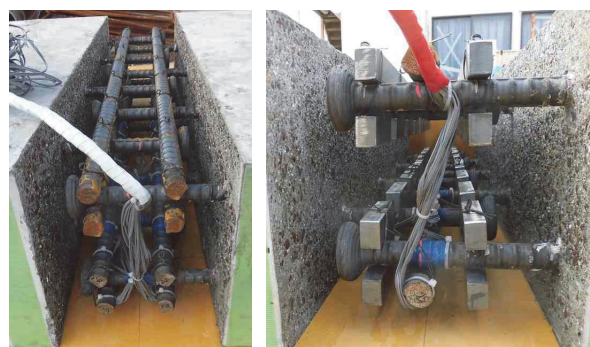


図-3 5d 試験体の補強方法



(a) 追加主鉄筋 (JT-5R) (b) 補強プレート (JT-5P)

写真-1 5d 試験体の補強方法

JT-5R 試験体は、2 本の主鉄筋で配力鉄筋を上下から挟み込むことで、拡張部の定着性能の向上を図るものである。JT-5P 試験体は、配力鉄筋端部の拡張部を固定して、定着性能の向上を図り、配力鉄筋がかぶりコンクリートを外側に押し出すのを抑制する効果を期待して、レーザー切断加工した厚さ 19mm の補強プレートを取り付けたものである。追加主鉄筋および補強プレートの取付状況を写真-1 に示す。

プレキャスト部の接合面はウォータジェットで粗骨材を洗い出し、吸水防止剤を塗布し、吸水防止剤が乾燥した後に LMFC を打設した。表-2 に軽量コンクリートと LMFC の材料試験結果を、表-3 に鉄筋引張試験結果を示す。

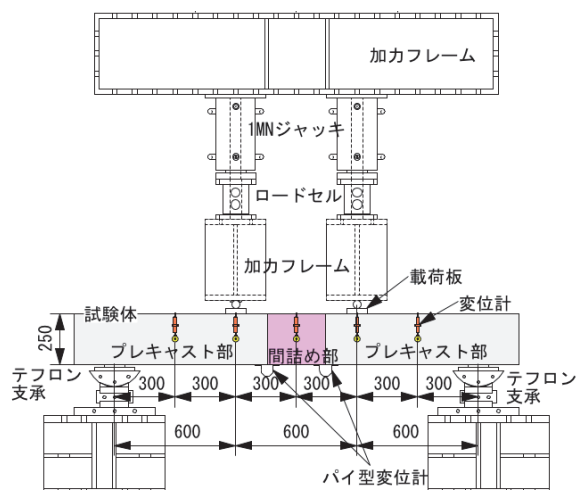


図-4 載荷装置図

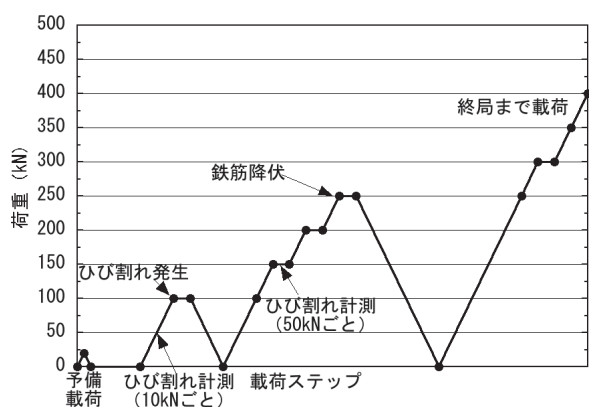


図-5 載荷パターン

す。コンクリートの材料試験は載荷実験時に実施したものである。

2.2 載荷方法と計測項目

載荷方法および変位計測位置を図-4に示す。載荷方法は、テフロン支承で単純支持した試験体に、間詰め部が等曲げ区間となるように、3等分点載荷した。載荷は、一方向漸増繰返し載荷とした。載荷パターンを図-5に示す。

計測項目は、載荷荷重、試験体の鉛直変位、プレキャスト部と間詰め部の界面の開き、鉄筋ひずみ、補強プレートひずみおよびコンクリート表面ひずみとした。鉛直変位は、試験体背面側で計測した。試験体下面で界面の開きを計測するパイ型変位計は、鉄筋が降伏して2mm程度開いた時点で取り外した。

3. 実験結果と考察

3.1 荷重-変位関係

表-4に荷重一覧を示す。ひび割れ発生までは、10kNごとにひび割れ計測を行い、ひび割れ発生荷重を求めた。降伏荷重は、配力鉄筋に貼り付けたひずみゲージのうち、

表-4 荷重一覧

試験体名	ひび割れ発生荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)
JT-15	100	316.8	373.2
JT-10	100	261.7	381.6
JT-5R	110	267.7	378.4
JT-5P	90	243.8	356.3

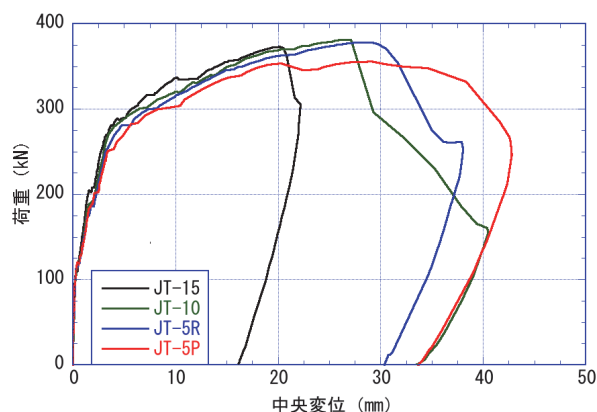


図-6 荷重-変位包絡線

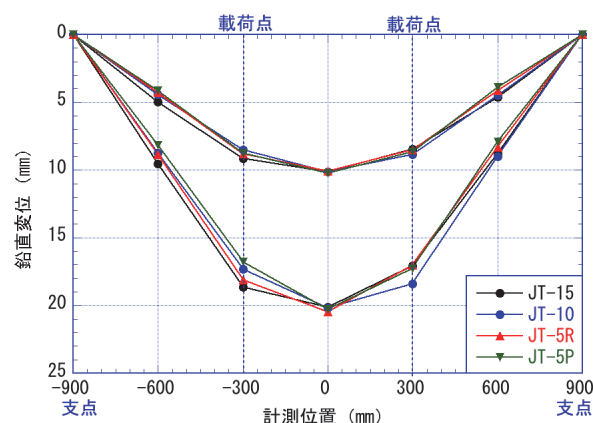


図-7 変位分布比較

どこか1箇所の計測点の値が降伏ひずみ(2085 μ)を越えた時点とした。

図-6に荷重-変位関係の包絡線を示す。中央変位が20mmまではどの試験体もほとんど同じ挙動を示した。ひずみによる判定では、JT-15試験体の降伏荷重は300kNを越えているが、図-6では他の試験体と同様に280kN付近で傾きが変わっている。これは、プレキャスト部と間詰め部の界面位置で、ひずみ計測しなかったため、界面付近が先に降伏したものと考えられる。

JT-15試験体は、中央変位が20mmのところでひび割れ計測するために、荷重をホールドして少し除荷しようとした際に圧壊したため、載荷途中で圧壊した他の試験体と比べると、荷重の低下が大きくなっている。JT-5R試験体とJT-5P試験体は、中央変位が30mm付近でプレ



(a) JT-15 試験体



(b) JT-10 試験体



(c) JT-5R 試験体



(d) JT-5P 試験体

写真-2 破壊性状

キャスト部のコンクリートが圧壊して荷重が低下したが、脆性的な破壊は生じなかった。補強プレートを付けた JT-5P 試験体の荷重低下度合いは、他の試験体に比べると緩やかであった。

図-7 に中央変位が 10mm と 20mm における各試験体の変位分布図を示す。間詰め部長さが 380mm, 290mm, 200mm と試験体ごとに大きく異なるが、変位分布に大きな違いは見られなかった。また、ほぼ左右対称形になっており、ねじり変形の影響は見られない。

3.2 破壊性状

破壊性状を写真-2 に、中央変位が 15mm 時点における側面のひび割れ図を図-8 に示す。各試験体ともに、載荷荷重が 100kN 付近でプレキャスト部と間詰め部の界面の開きが目視で確認できるようになり、150kN から 200kN で、載荷点付近のプレキャスト部に曲げひび割れが発生した。鉄筋降伏後に変位が増大し、中央変位が 10mm 付近でせん断区間にもひび割れが発生した。

すべての試験体が、左載荷点付近に発生した曲げひび割れが、載荷点の内側に向かって伸び、ひび割れ先端が到達したプレキャスト部の圧縮側コンクリートが圧壊して終局に至った。JT-10 試験体は、圧壊直後に左せん断区間のひび割れが大きく開いたため、破壊性状の写真は、他の試験体と大きく異なるが、中央変位 15mm 時点でのひび割れ状況は、他の試験体と同様であった。

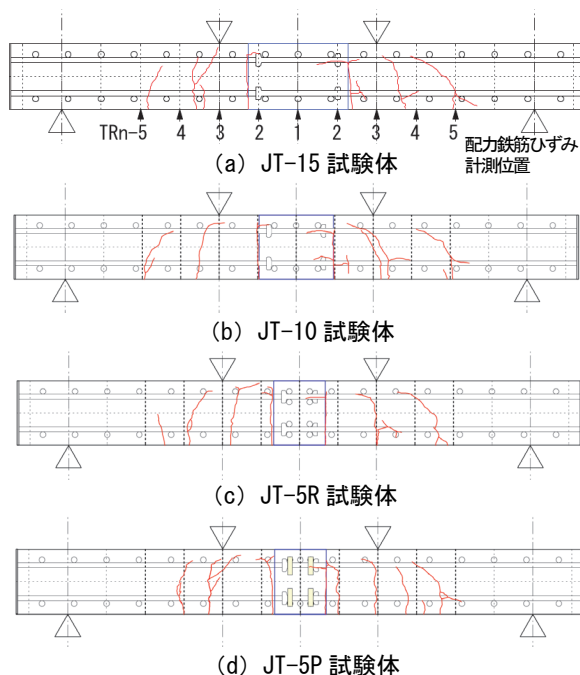


図-8 ひび割れ図（中央変位 15mm）

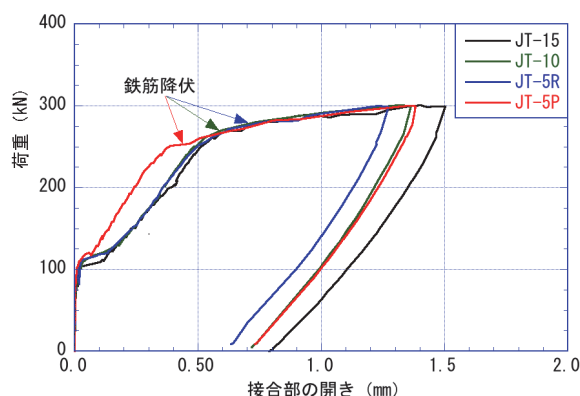
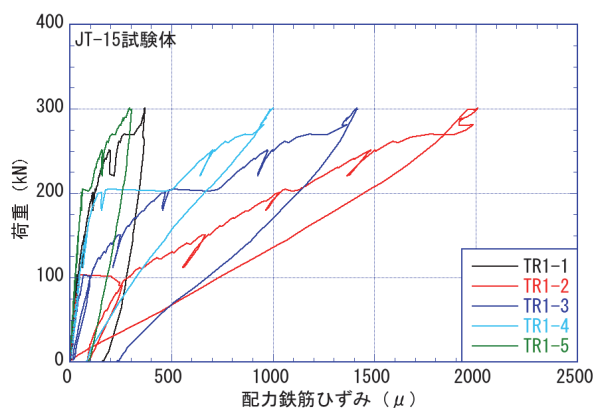


図-9 界面の開きの包絡線

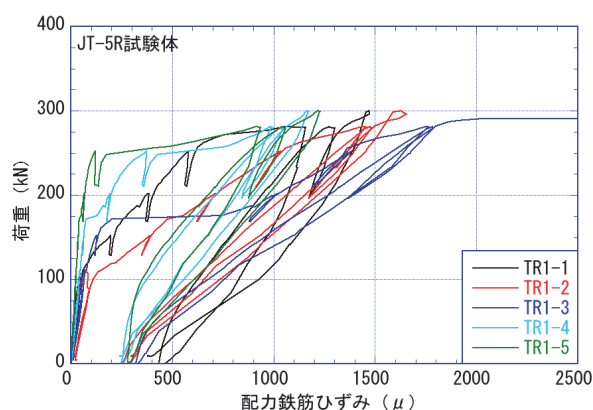
すべての試験体において、プレキャスト部と間詰め部の界面の開きが最初に確認されたものの、間詰め部内の鉄筋が抜け出したり、界面が大きく開いて終局に至ることはなく、間詰め部のコンクリートには、曲げひび割れは 1 本も発生しなかった。4 体すべてが鉄筋降伏後にプレキャスト部で破壊していることから、今回検討した 4 種類の継手仕様は、どれも十分な継手性能を有しているものと推察される。

3.3 界面の開き

図-9 にプレキャスト部と間詰め部界面の開きの包絡線を示す。左右の界面それぞれ 3 点ずつ計測した平均値である。4 体ともによく似た挙動を示している。すなわち、100kN 付近で界面が開き始め、鉄筋降伏にともない傾きが大きく変化して開きも大きくなったが、300kN で 2mm を越える試験体はなく、界面が大きく開いて終局に至るものもなかった。JT-5P 試験体では、100kN を越え

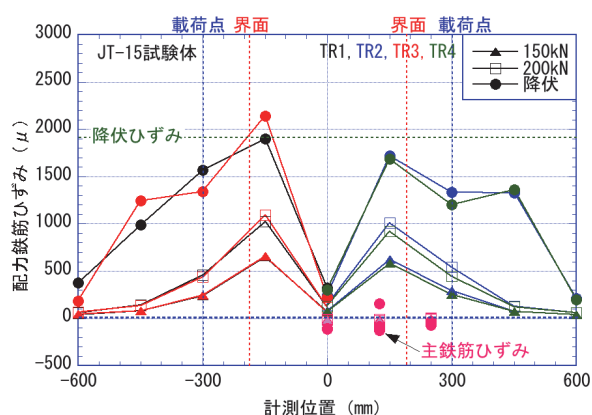


(a) JT-15 試験体

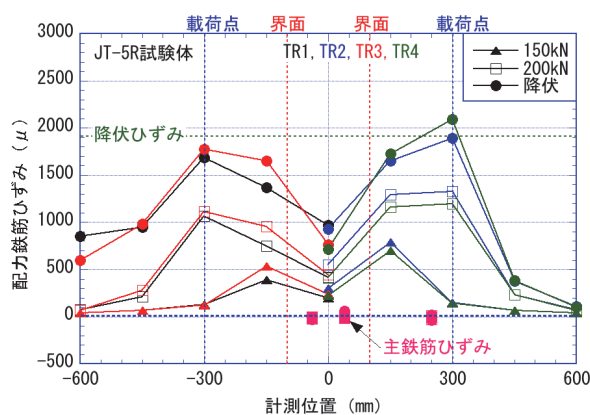


(b) JT-5R 試験体

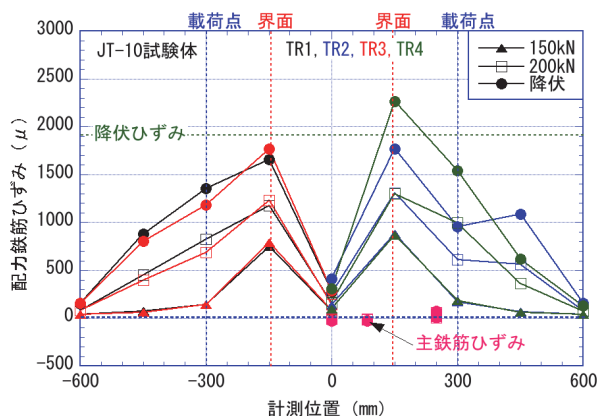
図-10 配力鉄筋のひずみ



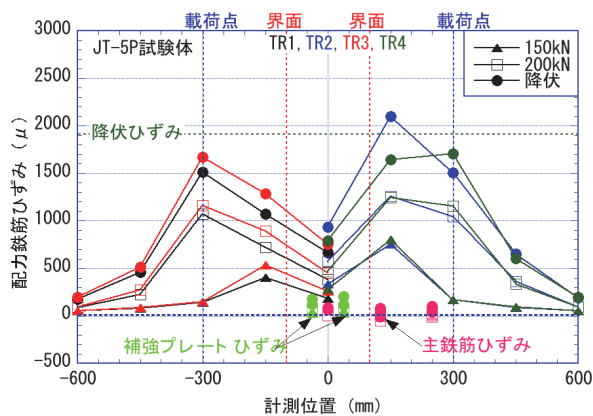
(a) JT-15 試験体



(c) JT-5R 試験体



(b) JT-10 試験体



(d) JT-5P 試験体

図-11 配力鉄筋のひずみ分布

ところで、右界面前側のパイ型変位計近傍のプレキャスト部にひび割れが発生し、250kN まで界面が開かなかったため、100kN から 250kN までの開きが小さくなったものと考えられる。

3.4 鋼材のひずみ

図-10 に JT-15 試験体と JT-5R 試験体の 300kN 荷重までの配力鉄筋 (TR1) のひずみ挙動を示す。左側のプレキャスト部に配置した一番外側の配力鉄筋のひずみであ

る。プレキャスト部に曲げひび割れが発生するまでは、界面に近い TR1-2 の値が最も大きくなっている。JT-5R 試験体は荷役点位置の TR1-3 の値が 170kN 付近で急増し、290kN 付近で降伏に至っている。これは、荷役点付近のひび割れ発生によるものと考えられるが、200kN 荷重時のひび割れ計測で、界面近くでひび割れ発生を確認したことと一致する。JT-15 試験体の TR1-3 と TR1-4 の計測点の間の 2 本のひび割れは、200kN を越えた直後に発生したが、このひび割れ発生によって、TR1-2 から TR1-5

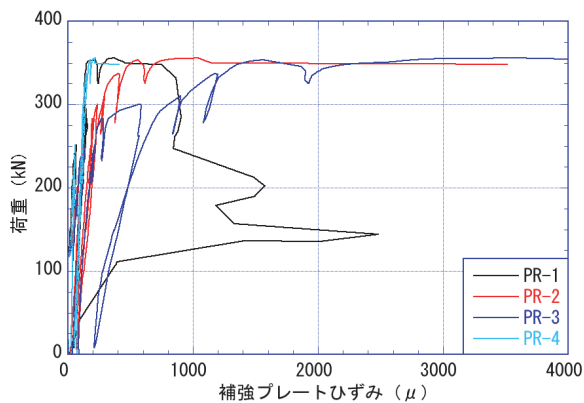


図-12 補強プレートのひずみ (JT-5P 試験体)

までのひずみが急増しているのがわかる。

図-11 に載荷荷重が 150kN、200kN および配力鉄筋降伏時の配力鉄筋のひずみ分布図を示す。主鉄筋のひずみも合わせて示す。主鉄筋ひずみは、1 本につき 4 箇所計測しているが、4 点のひずみを同じ位置にプロットした。JT-5P 試験体には補強プレートのひずみ分布も合わせて示す。内側 (TR3,TR4) と外側 (TR1,TR2) のひずみの値はほぼ一致している。これらの図より、主鉄筋や補強プレートには、ほとんどひずみが発生していないことがわかる。界面に近い計測点か載荷点位置のひずみが最も大きくなっているが、これは、ひび割れ発生位置の影響が大きいものと考えられる。継手長さ 5d 試験体の中央部のひずみは、JT-15 試験体や JT-10 試験体に比べて大きくなっているが、これは、ひずみ計測位置が鉄筋端部の拡張部に近いためと考えられる。

図-12 に JT-5P 試験体の補強プレートのひずみを示す。鉛直変位が 20mm を越えたところで PR-2 が、プレキャスト部の圧壊に伴い PR-1 と PR-3 が 2000 μ を越えた。配力鉄筋が降伏するまで、補強プレートには大きなひずみが発生していなかったことより、鉄筋降伏までは、機械式定着筋拡張部の定着性能が有効に機能していたものと考えられる。

4. まとめ

プレキャスト床版継手部への適用を視野に入れた継手試験体の静的載荷実験により機械式定着による間詰め部の施工合理化について検討を行った結果、今回の試験範囲において、以下の知見が得られた。

- (1) すべての試験体が鉄筋降伏後にプレキャスト部で破壊したことから、今回検討した 4 種類の継手仕様は、どれも十分な継手性能を有している。
- (2) 間詰め部コンクリート (LMFC) には、曲げひび

割れは 1 本も発生せず、接合部の鉄筋が抜け出したり、プレキャスト部と間詰め部の界面のひび割れが大きく開くことがなかったことから、すべての試験体が一体ものと同等の性能を有している。

- (3) 鉄筋端部に拡張部を設けた機械式定着筋を継手として用いる場合、重ね継手長さは 10d とすればよい。
- (4) 補強プレートや配力鉄筋内側に鉄筋を追加することで、重ね継手長さを 5d まで短くすることができる。

参考文献

- 1) 国土交通省, 床版の損傷事例 : http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo3_1_4.pdf (閲覧日 : 2017 年 12 月 20 日)
- 2) 国土交通省, コンクリート橋 (上部構造) の損傷事例 : http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo3_1_2.pdf (閲覧日 : 2017 年 12 月 20 日)
- 3) 東・中・西日本高速道路の更新計画について <http://www.e-nexco.co.jp/koushin/pdfs/150116.pdf> (閲覧日 : 2017 年 12 月 20 日)
- 4) 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
- 5) 滝本和志, 吉武謙二, 奥石正己, 三島英将 : 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.637-642, 2007
- 6) 塩屋俊幸, 栗田守朗, 吉武謙二, 高岸正章, 尾上篤生 : Tヘッドバーを用いた重ね継ぎ手実験, 土木学会第 56 回年次学術講演会論文集, pp.914-915, 2001
- 7) 阿部浩幸, 原健悟, 澤田浩昭, 中村雅之 : プレキャスト PC 床版の新しい RC 接合構造に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.193-498, 2007
- 8) 吉松秀和, 松井繁之, 大澤浩二, 中山良直, 水野浩, 表真也 : 床版取替え用プレキャスト PC 床版の合理化継手の開発, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.1159-1168, 2014.3
- 9) 郭度連, 森山守, 李春鶴, 山中俊幸 : ラテックス改質速硬コンクリート (LMFC) の基礎物性と耐久性, 第 24 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.541-544, 2015.10
- 10) 郭度連 : 急速施工を可能にする速硬コンクリート, コンクリート工学, Vol.54, No.1, pp.122-128, 2016.1