

高強度軽量プレキャストPC床版の縦目地の鉄筋継手に関する研究

(株) I H I インフラ建設 正会員 工修 ○高木 祐介
 (株) I H I インフラ建設 正会員 廣井 幸夫
 (株) I H I インフラ建設 正会員 博(工) 中村 定明

Abstract : For replacement of the RC slab on existing steel bridges with high strength and lightweight precast PC slab, the segmental construction is often used in order to open at least one lane to the traffic. To achieve that, the longitudinal joint is necessary between the precast PC slabs. The transverse reinforcement in the joint is generally connected by lap splices in the past. The required width of the joint with 19mm reinforcing bars is 650mm. In this case, the remaining width for traffic and construction work is sometimes not adequate when the total road width is narrow. Therefore, to shorten the width of the longitudinal joint, new transverse reinforcement joint system using the headed reinforcing bars with half-elliptical shape was studied. In this paper, the performance tests of the headed reinforcing bars and the static loading tests for the joint were reported.

Key words : Replacement of the RC slab, Precast PC slab, Reinforcement joint

1. はじめに

高強度軽量プレキャストPC床版による床版取替工法において、幅員を分割して片側一車線の交通を確保する方法がある。その際、プレキャストPC床版間には縦目地が必要となるが(図-1)、これまでの実施工では、縦目地をRC接合とし、橋軸直角方向鉄筋の継手を一般的な重ね継手(以下、重ね継手)としている。重ね継手の場合、同一断面での継手に必要な継手長は鉄筋径の32.5倍となり、D19での間詰め幅は650mm程度(継手長620mm)と大きくなる。そのため、有効幅員が狭い場合には、二期施工時の工事用車両の通行幅を広く確保できない問題がある。例えば、図-1のように有効幅員7mの橋の幅員分割施工において、一般車両の通行幅を3mとした場合には、床版運搬用トレーラー等の車両通行幅が2.75m程度に狭くなり、床版搬入等が困難となる場合がある。また、夜間は片側交通、昼間は全面交通開放とする場合に、間詰め幅が大きいと昼間に両側を一般車両が通行するために幅員の確保が難しくなる。よって、施工時において、間詰め幅は可能な限り小さいことが望まれる。

そこで、本研究では、高強度プレキャストPC床版の幅員分割施工において、縦目地の間詰め幅の縮小を目的とし、先端を半楕円形状の拡径に加工した鉄筋(以下、加工鉄筋)を使用した継手(以下、新継手)の研究を行っている。本論文では、新継手に使用する加工鉄筋の性能確認試験や新継手を用いた床版の静的載荷試験について報告する。

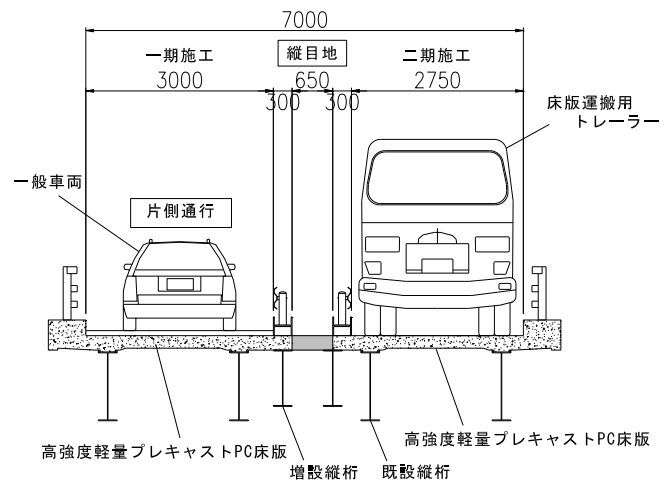


図-1 プレキャストPC床版による幅員分割施工

2. 継手構造の概要

加工鉄筋の形状を図-2および写真-1に示す。また、図-3に鉄筋継手構造を示す。加工鉄筋は、継手部の鉄筋として実橋で主に使用されているD19 (SD345) とした。鉄筋の先端は熱間鍛造により半楕円形状の拡径に加工し、片側は平らな面となっているため、鉄筋の標準部と同じかぶりを確保でき、鉄筋位置は通常と同じである。また、継手構造は、鉄筋間に作用する引張力を鉄筋とコンクリートの付着力および拡径部の支圧力とで伝達する構造としている。

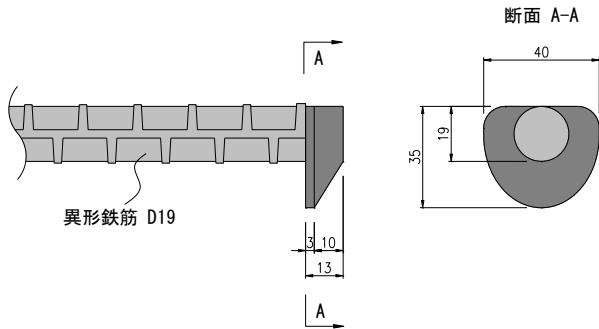


図-2 鉄筋先端の加工形状



写真-1 鉄筋先端の加工形状

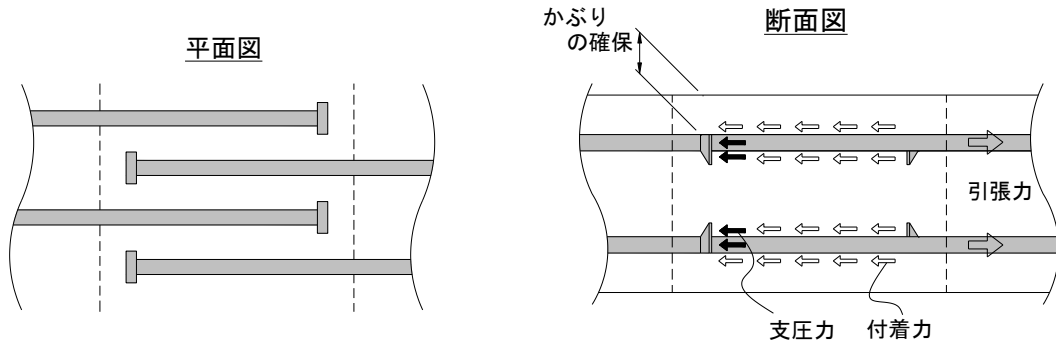


図-3 鉄筋継手構造

3. 鉄筋の性能確認試験

3.1 鉄筋の引張試験

本継手構造では、加工鉄筋に引張力が作用した場合に拡径部に支圧力が作用する。そのため、引張力が作用した時の拡径基部の強度および拡径部の状態を確認する必要がある。そこで、拡径部の支圧面を支持する治具を使用して、鉄筋の引張試験を実施した(図-4)。供試体数は3体とし、アムスラ一型万能試験機を使用して载荷した。

表-1に試験結果を示す。すべての供試体で、最大荷重は鉄筋の引張強度に相当する160kN程度であり、鉄筋母材で破断する結果となった(写真-2)。また、拡径部および拡径基部に変形は生じていなかった。以上より、拡径基部の強度は、鉄

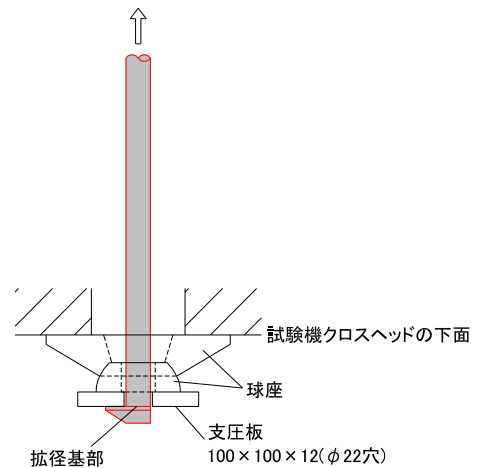


図-4 鉄筋の引張試験

表-1 試験結果

No.	最大荷重 (kN)	引張強度(N/mm ²)		破壊形態
		個別	平均値	
1	160.3	560	559	鉄筋母材の破断
2	160.1	559		
3	160.4	560		

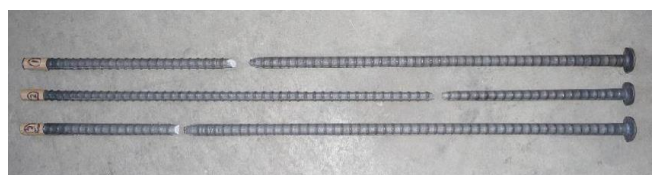


写真-2 鉄筋母材の破断

筋の引張強度以上の強度を有し、拡径部に問題がないことが明らかとなった。

3. 2 鉄筋の付着強度試験

コンクリート内の加工鉄筋に引張力が作用した場合において、加工鉄筋の付着抵抗および支圧抵抗の確認を目的とし、付着強度試験を実施した。試験は、土木学会規定の「引抜試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案)」¹⁾を参考とした。

図-5に供試体の断面図を示す。使用する鉄筋は、鉄筋径D19の加工鉄筋と加工していない普通の鉄筋(以下、普通鉄筋)の2種類とし、供試体の数は各3体とした。また、供試体は1辺が120mmの立方体とした。試験は、アムスラー型万能試験機を用いて載荷し、引張荷重および変位計によって鉄筋先端のすべり量を測定した。なお、コンクリートの試験時の圧縮強度は55N/mm²であった。

各供試体の試験結果を表-2および図-6に示す。普通鉄筋供試体の破壊形態は、鉄筋の引抜きであり、加工鉄筋供試体の破壊形態は、コンクリートの割裂破壊または鉄筋破断であった。結果として、初期付着強度とされる鉄筋のすべり量が0.002D(D:鉄筋径19mm)=0.038mm時の加工鉄筋の荷重は、普通鉄筋に比べ1.83倍の値を示した。また、加工鉄筋の最大荷重は、普通鉄筋に比べ1.70倍の値を示し、拡径部の支圧抵抗によって大きな引抜耐力を有することを確認した。この時、加工鉄筋供試体は鉄筋破断相当荷重で破壊したが、鉄筋の拡径部および拡径基部は、特に変形は生じていなかった。

4. 静的曲げ載荷試験

4. 1 試験概要

新継手を用いた床版の静的曲げ性能を確認するため静的曲げ載荷試験を実施した。載荷概要図を図-7に示す。支点間隔は2.5mとし、間詰め部が等曲げ区間となるように載荷間隔0.8mの2点載荷とした。供試体の床版厚は、床版支間3m(連続版)のPC床版の間詰め部を想定し、継手部の床版厚となるPC床版の最小床版厚(180mm)+ハンチ高(50mm)=230mmとした。供試体のコンクリートは、実橋と同様に、プレキ

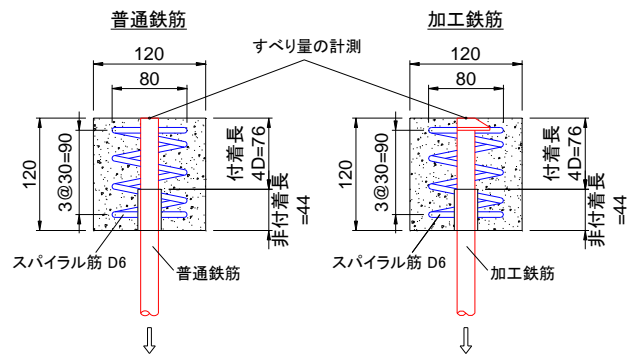


図-5 供試体の断面図

表-2 試験結果

供試体の種類	すべり量0.002D時の荷重(kN)		最大荷重(kN)	
	個別	平均値(比率※)	個別	平均値(比率※)
普通鉄筋	N-1	29.6	98.3	90.7 (1.00)
	N-2	47.6	91.9	
	N-3	36.2	82.0	
加工鉄筋	S-1	63.4	153.2	154.5 (1.70)
	S-2	67.2	159.3	
	S-3	77.7	151.1	

※ 普通鉄筋の値を1.00とする

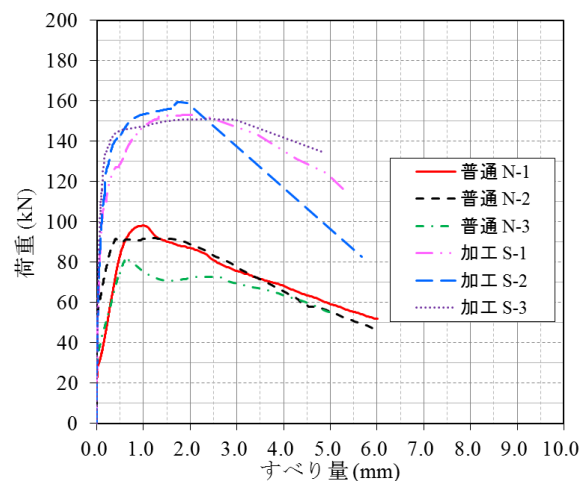


図-6 荷重とすべり量の関係

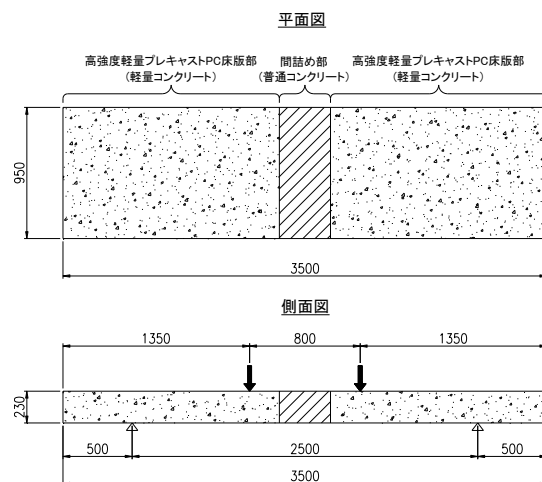


図-7 載荷概要図

キャスト部には軽量コンクリートを，間詰め部には収縮補償程度の膨張材を添加した普通コンクリートを使用し，共に設計基準強度は50N/mm²とした。

供試体の一覧を表-3に示す。供試体の種類は，間詰め部に継手を設けず，一本物の鉄筋で製作した継手なし供試体，継手長を32.5Dとした重ね継手供試体，継手長を7D・10D・12D・15Dと変化させた新継手供試体の6種類とした。

例として，新継手15D供試体の配筋図を図-8に示す。新継手は，隣り合う鉄筋の拵径基部間の重ね長さを継手長としている。すべての供試体で，橋軸直角方向鉄筋はD19を125mm間隔で配置し，橋軸方向鉄筋はD16を150mm間隔を基本に配置した。プレキャスト部は，等曲げ区間がプレテンション方式の横締めPC鋼材の定着長の範囲となるためプレストレスの影響が小さいと考え，RC構造とした。

4. 2 試験結果および考察

表-4に試験時のコンクリートの材料試験結果を示す。また，鉄筋の材料特性は，引張試験の結果より降伏強度395N/mm²，弾性係数185000N/mm²であった。

表-5に最大荷重の実測値および材料強度（鉄筋応力395N/mm²）から算出した鉄筋降伏荷重の計算値を示す。また，図-9に荷重と支間中央位置での鉛直変位の関係を示す。図中には，設計荷重（鉄筋応力

表-3 供試体一覧

供試体の種類	継手長	間詰め幅
継手なし供試体	-	650mm
重ね継手供試体	32.5D*	
新継手供試体	7D	220mm
	10D	280mm
	12D	320mm
	15D	370mm

$$* \frac{\sigma_{sa}}{4 \tau_{0a}} \cdot 1.3 \cdot D = \frac{200}{4 \cdot 2.0} \cdot 1.3 \cdot D = 32.5D$$

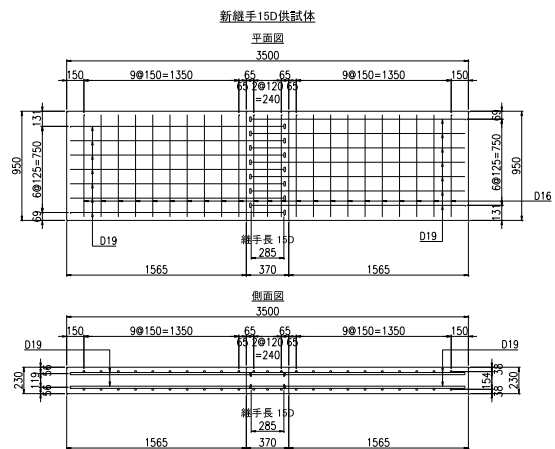


図-8 新継手 15D 供試体の配筋図

表-4 コンクリートの材料試験結果

供試体の種類	プレキャスト部 (軽量)		間詰め部 (普通)	
	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
継手なし	59.2	22600	63.5	39100
重ね継手				
新継手7D	61.7	22900	66.1	38700
新継手10D				
新継手12D				
新継手15D	59.4	23300	64.1	38100

表-5 最大荷重と降伏荷重(計算値)

供試体の種類	最大荷重 (kN) (実測値)	降伏荷重 (kN) (計算値)
継手なし	360.3	285.9
重ね継手	355.2	
新継手7D	239.1	287.4
新継手10D	291.8	287.3
新継手12D	300.3	283.7
新継手15D	350.9	283.1

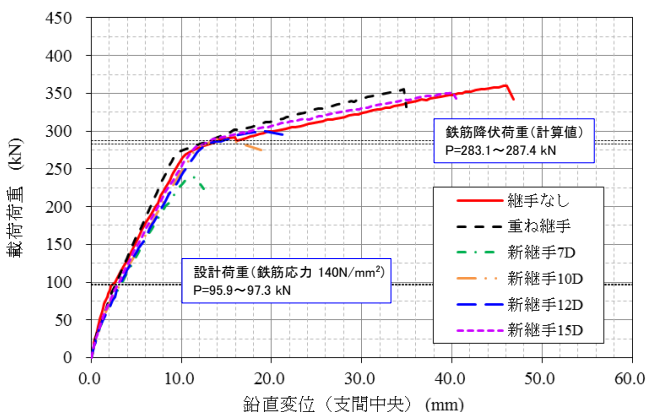


図-9 荷重-鉛直変位(支間中央)

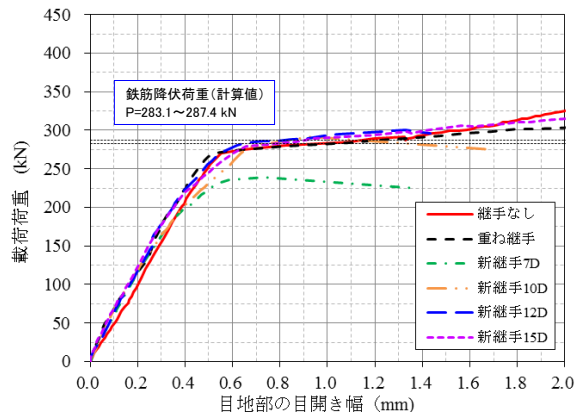


図-10 荷重-目地部の目開き幅

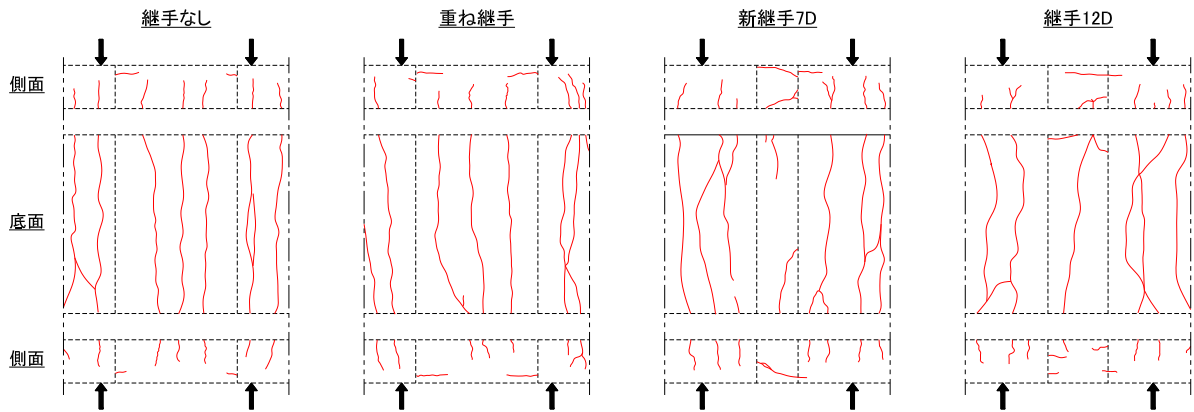


図-1 1 破壊後のひび割れ図 (底面および側面)

140N/mm²) および降伏荷重を示している。新継手7Dは降伏荷重前に破壊したが、他の供試体は降伏荷重付近までほぼ線形的な挙動を示し、新継手10Dは降伏荷重付近で破壊し、新継手12Dおよび15Dは降伏荷重を5%超過する耐力を有した。一般的に道路橋RC床版は、押抜きせん断破壊により引張側鉄筋が降伏する前に、あるいは降伏直後に破壊するとされている²⁾。よって、新継手の継手長は、降伏荷重を超過する耐力を有する12D以上の確保が必要であると考えられる。図-1 0に荷重と目地部の目開き幅の関係を示す。また、図-1 1に継手なし・重ね継手・新継手7Dおよび12Dの破壊後の底面および側面のひび割れ図を示す。新継手は、継手なしや重ね継手と同様な曲げひび割れ性状であり、目地部の目開き幅についても同程度であった。また、破壊形態は、継手なし・重ね継手・新継手15Dでは上縁コンクリートの圧壊で、新継手7D・10D・12Dでは、曲げをうける継手部の鉄筋が直線状に戻ろうとすることで側面に継手方向のひび割れが発生して破壊したが、間詰め部底面の拵径部付近に集中したひび割れは発生しなかった。

5. 静的せん断載荷試験

5. 1 試験概要

主桁の近傍に増設縦桁がある場合において、新継手を用いた床版に大きなせん断力が作用した場合に、鉄筋の拵径部に応力が集中することによる局所的なひび割れの発生を懸念した。そこで、間詰め部がせん断卓越型破壊となるような載荷条件にて、静的せん断載荷試験を実施した。載荷概要図を図-1 2に示す。載荷は、せん断卓越型破壊となるように支点間隔を0.6mと短くし、1点載荷とした。

供試体の種類は、継手なし供試体と継手長7D・10D・12D・15Dの新継手供試体の5種類とした。間詰め幅は、せん断力が作用した場合の目地部位置の影響が同じであるようにすべて370mmとした。また、コンクリートの設計基準強度および配筋は、静的曲げ載荷試験と同様とした。

5. 2 試験結果および考察

表-6に試験時のコンクリートの材料試験結果を示す。鉄筋の降伏強度は395N/mm²、弾性係数は185000N/mm²であった。

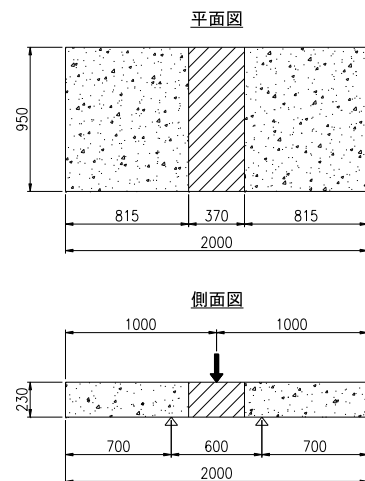


図-1 2 載荷概要図

表-6 コンクリートの材料試験結果

供試体の種類	プレキャスト部 (軽量)		間詰め部 (普通)	
	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
継手なし				
新継手7D	61.6	24700	64.4	38100
新継手10D				
新継手12D				
新継手15D	62.6	25300	62.0	39100

図-12に最大荷重および荷重と支間中央位置での鉛直変位の関係を示す。すべての供試体において、載荷荷重が400kN付近で鉛直変位の増大が見られ、側面には図-13に示すような曲げひび割れやせん断ひび割れが発生し、その後、上部のせん断ひび割れが破壊面となって破壊に至った。また、新継手供試体の鉄筋の拡径部付近のコンクリート面には異常なひび割れの発生はなかった。新継手7Dに関しては800kN付近で鉛直変位の増大がみられたが、すべての供試体の耐力は、ばらつきがあるものの同程度であった。

図-14に荷重と目地部付近の下側鉄筋ひずみの関係を示す。すべての供試体において下側鉄筋ひずみが降伏ひずみ（材料強度）に達した付近の荷重で、破壊に至ったことがわかる。以上の結果より、大きなせん断力の作用下において、降伏荷重まで新継手の鉄筋の拡径部付近に著しいひび割れの発生はなく、問題ないことを確認した。

6. 結論

- (1) 新継手で使用する加工鉄筋に引張力が作用した場合、拡径基部の強度は鉄筋の引張強度以上の強度を有し、鉄筋破断後も拡径部に著しい変形はなかった。
- (2) 鉄筋の付着強度試験により、加工鉄筋は拡径部の支圧抵抗によって、普通鉄筋に比べ1.70倍の引抜耐力を有することを確認した。
- (3) 静的曲げ載荷試験により、新継手の継手長として12D以上確保すれば、降伏荷重を超過する耐力を有することを確認した。
- (4) 静的せん断載荷試験により、大きなせん断力の作用下において、降伏荷重まで新継手の鉄筋の拡径部付近に著しいひび割れの発生はなく、問題ないことを確認した。

今後、新継手の疲労耐久性を確認するために繰返し載荷試験を実施し、実用化に向けた検討を行う予定である。

謝辞：本研究の実施にあたり、大阪大学名誉教授の松井繁之先生にご指導をいただきました。また、ジャパンライフ株式会社から材料提供および技術支援をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書規準編，2010年11月
- 2) 松井繁之：道路橋床版，森北出版，2007年10月2日

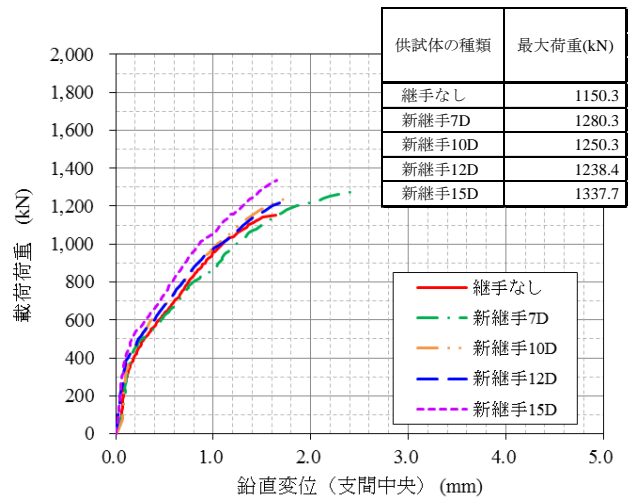


図-12 荷重-鉛直変位 (支間中央)

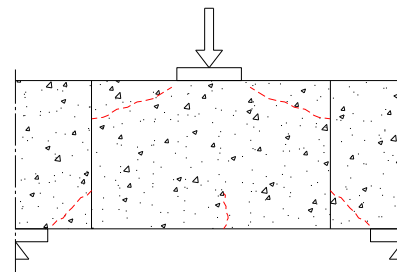


図-13 側面ひび割れ図

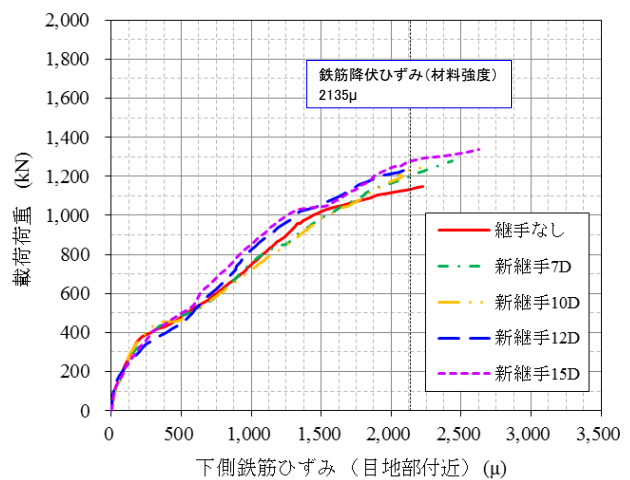


図-14 荷重-下側鉄筋ひずみ (目地部付近)