

論文 繊維補強コンクリートによるプレキャスト床版継手部の合理化に関する研究

小野 聖久*1・上東 泰*2・野島 昭二*3・紫桃 孝一郎*4

要旨：鋼少数主桁橋に用いられるプレキャスト PC 床版の継手部は、主にループ状の鉄筋継手構造が採用されている。この継手部はループ内に鉄筋を配筋するため、鉄筋の挿入が困難であるなどの施工上の課題がある。そこで、ループ継手部にじん性の高い繊維補強コンクリートを採用し、ループ内の鉄筋を省略した実物大の供試体を用い輪荷重移動載荷による疲労試験を実施した。その結果、改良した継手部は十分な強度、疲労耐久性を有していることが確認された。

キーワード：繊維補強コンクリート、高じん性、プレキャスト床版、ループ継手

1. はじめに

近年、鋼橋の床版の省力化として、従来の場所打ち床版に代わるプレキャスト床版（以下「PCa 床版」と言う）が採用されている。PCa 床版の接続方法には、ループ状の鉄筋継手構造（以下、「ループ継手」と言う）が採用されているが、このループ継手は PCa 版布設後にループ内に鉄筋を配筋するため、鉄筋の挿入が困難であるなど施工上の課題がある。

一方、コンクリートのじん性の改善のために、繊維補強材を用いたコンクリートが近年注目を浴びている。橋梁においては、床版の上面増厚工法などに適用されており、これらは一般的に鋼繊維を使用していた¹⁾。しかし、鋼繊維は発錆やポンプ圧送性に問題があり、近年、有機系繊維の研究が盛んである²⁾。

そこで、ループ継手部に有機系繊維による繊維補強コンクリートを使用し、ループ内の鉄筋を省略することにより、施工の省力化を図るための検討を行った。

2. 繊維補強材

2.1 ループ継手部に必要な繊維補強材

ループ継手部の鉄筋を省略するためには、継手部のコンクリートにある程度のじん性が必要と考えられる。しかし、現在市販されている有機系繊維補強材により補強されたコンクリートは、鋼繊維補強コンクリートに比べじん性が劣る。そこで、これらの点に着目して試作した繊維を使用した。以下に試作した繊維補強材の性能を示す。

2.2 実験に使用する繊維の性能

今回試作した繊維補強材は、PBO（ポリパラフェニレンベンゾビオスキノゾール）による短繊維である。試作した繊維（以下「PBO 繊維」と言う）の性状を比較する鋼繊維と合せて表-1に示す。

2.3 配合およびフレッシュ性状

PBO 繊維による高じん性コンクリートの配合および性状を確認するために、鋼繊維（混入量 0.75vol%）と比較して配合確認試験を行った。繊維補強コンクリートの配合条件を表-2に、配合試験により決定した配合をフレッシュ性状と合せて表-3に示す。

*1 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室 工修（正会員）
 *2 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室 主任（正会員）
 *3 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室（正会員）
 *4 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室 室長（正会員）

表-1 繊維補強材の性状

繊維の種類	PBO 繊維	鋼繊維
サイズ(mm)	φ 0.61*×30	φ 0.60×30
弾性係数(N/mm ²)	2.3×10 ⁴	2.3×10 ⁵
引張強度(N/mm ²)	787	1,314
表面形状・加工など	短ピッチ 変則編	両端に フック

*断面形状は扁平で、数値は平均径（計算値）を示す。

表-2 配合条件

水セメント比	45%
単位水量の上限	200kg/m ³
粗骨材の最大寸法	20mm
スランプ	8.0±1.0cm
空気量	4.5±0.5%
セメント	早強セメント
高性能 AE 減水剤	標準使用量 C×1.1%

表-3 配合およびフレッシュ性状

繊維の種類	繊維混入量		単位水量 (kg/m ³)	細骨材率 (%)	スランプ(cm)			空気量(%)		
	混入量 (vol%)	本数 (万本)			ベースコンクリート	繊維混入後	低下量	ベースコンクリート	繊維混入後	変化量
プレーン	0	0	163	38.4	8.5	—	—	4.8	—	—
鋼繊維	0.75	96.5	170	48.2	10.5	8.0	2.5	3.9	5.2	+1.3
PBO 繊維	0.50	55.4	180	42.6	14.7	8.7	6.0	3.9	4.6	+0.7
	0.75	83.1	187	43.6	18.5	8.5	10.0	3.9	4.2	+0.3
	1.00	110.8	195	48.3	18.8	8.7	10.1	4.0	4.9	+0.9
	1.25	138.5	200	53.0	18.6	7.0	11.6	4.0	5.0	+1.0

今回試験した配合では、PBO 繊維は鋼繊維と比較してスランプの低下が大きいが、空気量の変化量は比較的小さかった。

2.4 硬化コンクリートの性状

繊維補強コンクリートの硬化性状を確認するため、表-4 に示す各種の試験を行った。

繊維混入前後の圧縮強度試験の結果を図-1 に示す。繊維補強コンクリートの圧縮強度は、一般的に繊維混入前のベースコンクリートに比べ強度は低下するが、今回の試験でも 1~4N/mm² 程度低下した。

図-2 に曲げ強度と中央部のたわみ量の関係を示す。ここで、たわみ 0mm は、荷重低下前の最大荷重時の値を示す。PBO 繊維は混入量を増加しても最大曲げ強度はほとんど変化しない。しかし、たわみと曲げ強度の関係をみると、PBO 繊維の混入量の増加に伴い、コンクリートのじん性が向上し、混入率が 0.75~1.0% で鋼繊維 0.75% とほぼ同等のタフネスを有することが確認された。

図-3 にせん断強度試験の結果を示す。PBO 繊維の混入量を増やすと、せん断強度は増加することが確認された。

表-4 硬化性状の確認試験

名称	試験方法	備考
圧縮強度試験	JIS A 1108	材齢 28 日
曲げタフネス試験	JSCE-G 552	〃
せん断強度試験	JSCE-G 533	〃

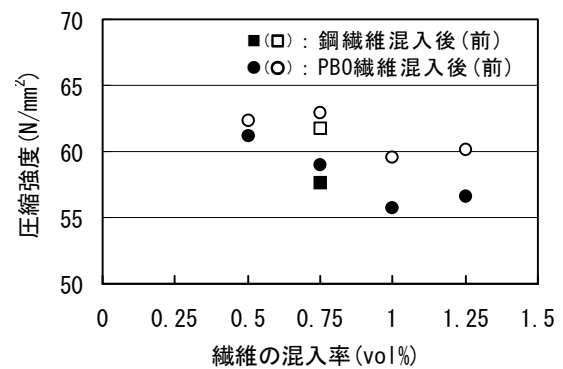


図-1 繊維混入率と圧縮強度の関係

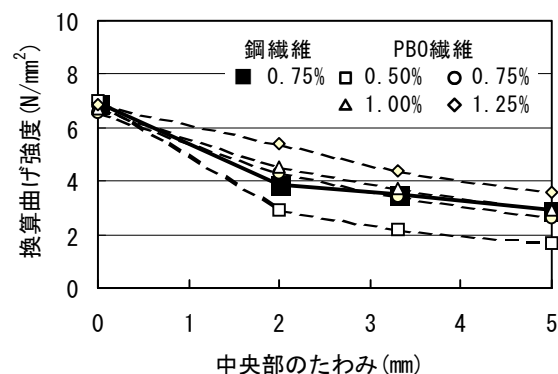


図-2 曲げ強度とたわみの関係

3. PCa 床版ループ継手部の試験概要

3.1 供試体

供試体は図-4に示すように、PCa版(7枚)とRCループ継手(6箇所)より成る。床版支間長は、第二東名神の鋼2主鉄桁橋で採用されている6.0mとした。PCa版のD(中央部)の配筋図を図-5に示すが、PCa版は橋軸直角方向にはプレテンション方式によるPC構造であり、橋軸方向はループ状鉄筋継手により接合するRC構造である。

従来のループ継手部と今回実験に使用したループ継手部の詳細図を図-6に示す。今回のループ継手部の特徴は、現行のループ内の6本の鉄筋を省略し、その代わりとしてループ継手部に繊維補強コンクリートを使用したことである。コンクリートの配合については、PCa版部はJISの50-21-25H相当のコンクリートを使用し、今回

表-5 継手部コンクリートの配合条件

設計基準強度	50N/mm ²	
スランプ	18±2.5cm	繊維投入前
空気量	4.5±1.5%	繊維投入後
膨張材量	50kg/m ³	
繊維補強材	1.0vol%	PBO繊維
セメントの種類	早強ホルトラント	

のループ継手部には表-5に示す配合条件のコンクリートを使用した。また、RCループの定着長の違いによる影響を比較するために、ケー

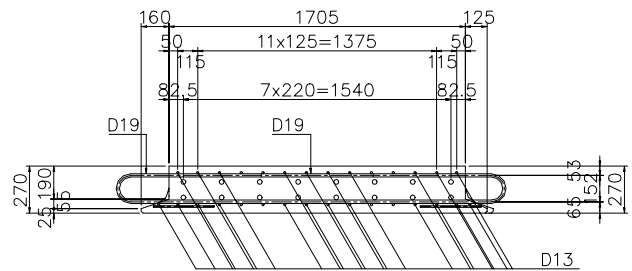


図-5 PCa版配筋図(側面)

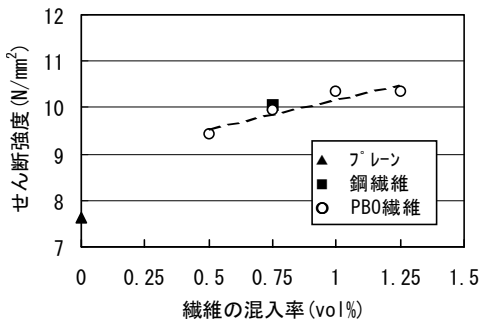


図-3 せん断強度と混入率(vol%)

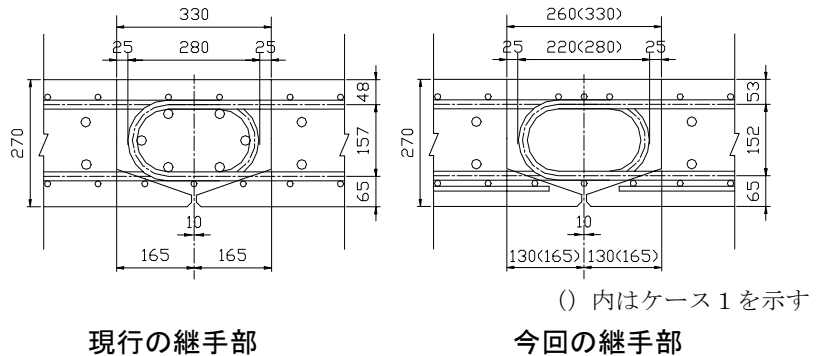


図-6 ループ継手部の詳細図

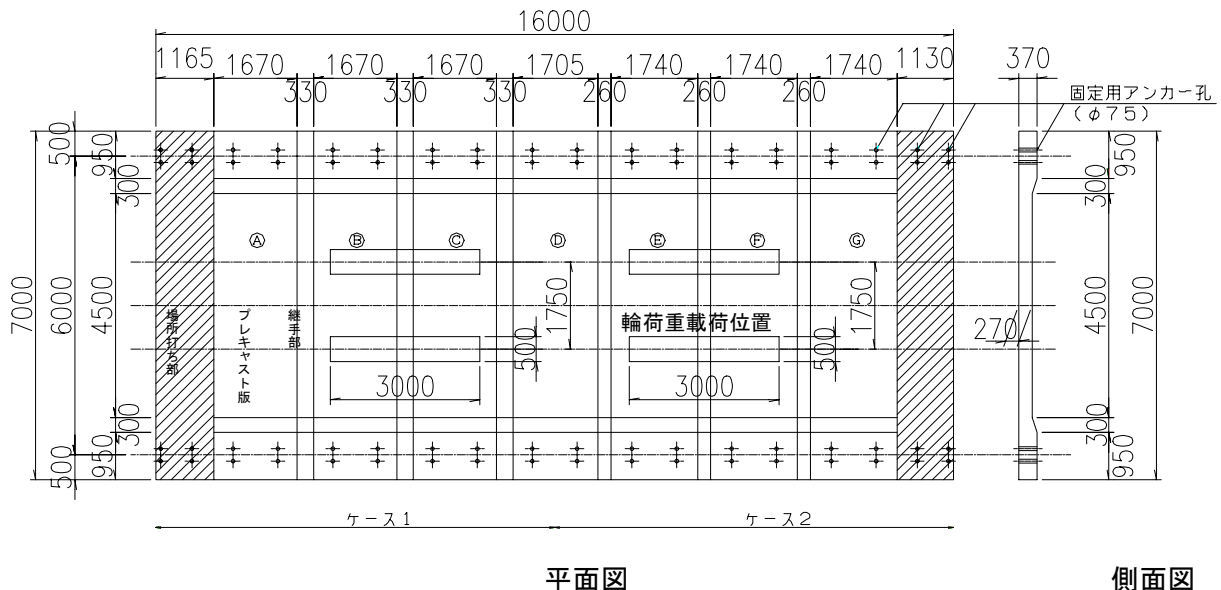


図-4 プレキャスト床版一般図

ス 1 は間詰め幅 330mm (定着長 280mm) で、ケース 2 は間詰め幅 260mm (定着長 220mm) とした。

3.2 試験方法

(1) 載荷試験機

試験に使用した載荷試験機は輪荷重による移動載荷疲労試験機を使用した。

(2) 静的載荷試験

移動疲労載荷試験の各段階に静的載荷試験を行った。荷重載荷位置は図-7に示すように、橋軸方向のループ継手部 (載荷点 a)、打継目近傍の PCa 版上 (載荷点 b) および PCa 版の橋軸方向の中央 (載荷点 c) の 3ヶ所とした。また、載荷面の辺長は、道路橋設計に用いる T 荷重の 200mm (橋軸) および 500mm (橋軸直角) とした。載荷条件は、(3) に示す移動載荷疲労試験の荷重までとした。

(3) 移動載荷疲労試験

図-4に示す載荷位置に、200×500mm の載荷ブロックを 1列に並べた軌道上を幅 500mm の鉄輪が橋軸方向に±1.5m、支間中央上 (2列) を往復移動させた。載荷ラインは、1軸2輪載荷 (車輪間隔 1.75m) とすることにより実橋載荷に近い状態を再現できる載荷方法とした。

想定荷重は、軸重で 196kN (20tf) から橋軸直角方向 (床版支間方向) の曲げモーメントを再現できる強度までを段階的にステップアップした。各ステップの載荷荷重および載荷回数は、ケース 1 およびケース 2 とともに図-8に示すような荷重ステップで移動載荷を実施した。なお、ステップ 2 および 3 の最終 4 万回の載荷においては、貫通ひび割れの有無を確認するために、床版上面に水張りを実施した。

また、この載荷荷重は現行の東名高速道路の約 50 年の供用に相当する。

4. 試験結果

4.1 試験結果概要

ケース 1 に対し、図-8に示すステップで移動疲労載荷試験を実施した結果、鉄筋ひずみお

よび床版たわみの急激な増加は認められなかった。また、ひび割れについては、PCa 版部に 0.1mm 以下の微少なひび割れが見られる程度で、水張り状態での移動載荷においても漏水は見られなかった。よって、ケース 1 の継手構造をもつ PCa 床版は、十分な疲労耐久性を有することが確認できた。

また、ループ継手幅を縮小したケース 2 においては、ステップ 3 の移動繰返し回数をケース 1 の 3 倍 (60 万回) まで継続したが、ケース 1 と同様、良好な結果が得られた。よって、ケース 2 についても十分な疲労耐久性を有していることが確認された。以下に詳細について記す。

4.2 床版たわみ

橋軸方向の活荷重たわみ分布として、供試体ケース 1 の載荷点 (a) に各荷重ステップの最大

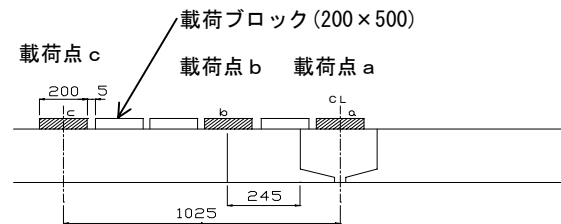


図-7 静的載荷の載荷位置

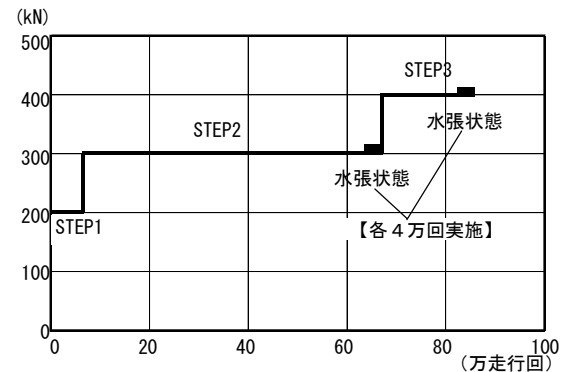


図-8 移動載荷の載荷ステップ

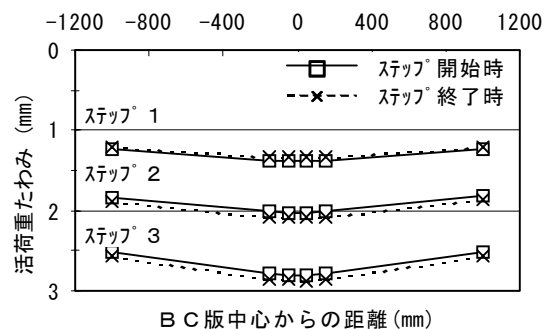
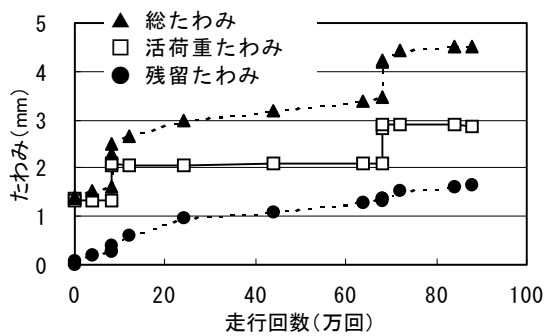


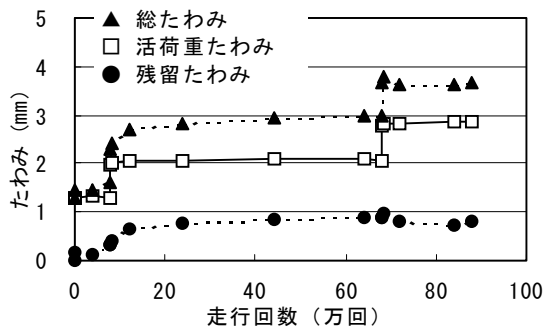
図-9 橋軸方向の活荷重たわみ

荷重を載荷した時の活荷重たわみを図-9に示す。ここで、横軸には図-4に示すPCa版のBとCの版の間のループ継手部からの距離を示すが、活荷重たわみは左右対称の分布を示し、各載荷ステップでの分布形状およびたわみの増加はみられなかった。

床版たわみの経時変化として、ケース1および2の載荷点aに各荷重ステップの最大荷重を載荷した時の、床版支間中央部のたわみを図-10(a), (b)に示す。残留たわみは、初期載荷時から少しずつ増加傾向を示し、最終的な値では

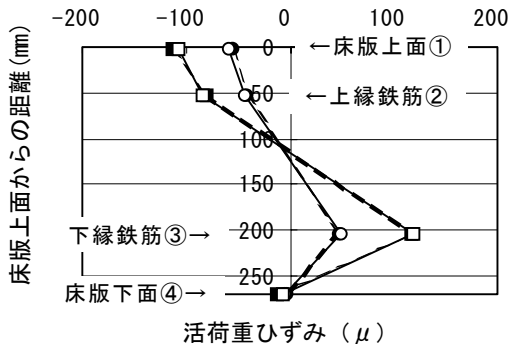


(a) ケース1

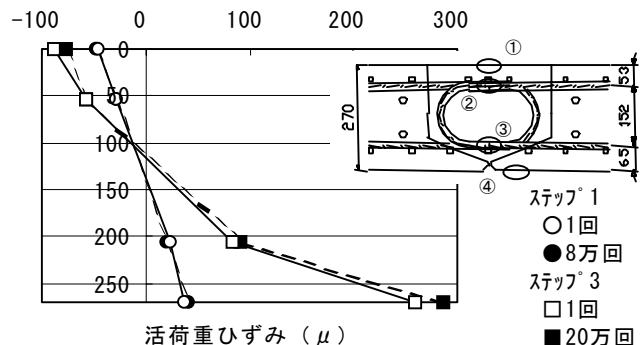


(b) ケース2

図-10 床版たわみの経時変化



(a) 継手部 (載荷点 a)



(b) PCa版中央部 (載荷点 c)

図-11 床版断面のひずみ分布

供試体ケース1の方がケース2より大きかった。また、活荷重たわみはケース1, 2ともほぼ同じ値を示し、各載荷ステップの開始から終了時においてもほとんど変化しなかった。

4.3 断面のひずみ分布

床版上下面および鉄筋にひずみゲージを設置し、ひずみ分布の確認を行った。結果の一例として、ケース1のループ継手部 (載荷点 a) およびPCa版部 (載荷点 c) に静的載荷した時の床版支間中央の橋軸方向断面のひずみ分布を図-11に示す。

PCa版部では、ひび割れが発生したステップ3になると下縁コンクリートに大きなひずみが生じ、中立軸もわずかに上方に移動している。一方、ループ継手部は、PCa版からの突起部である下縁コンクリートには引張ひずみはほとんど発生しておらず、下側鉄筋付近に大きなひずみが発生している。これは、PCa版からの突起部とループ継手部の間詰コンクリートの付着が切れてすべっているためと考えられる。しかし、水張り状態での載荷でも漏水は確認されていないことから、貫通ひび割れには至っていないと判断される。

4.4 現行継手部との比較

過去に行った現行継手構造を有する同様な床版構造の移動載荷疲労試験³⁾の結果と、今回の試験結果の比較を行った。現行継手の試験では、移動載荷疲労試験前に過大な荷重 (466kN) で静的載荷試験を行っているが、移動載荷試験は今回と同等の載荷ステップで実施している。

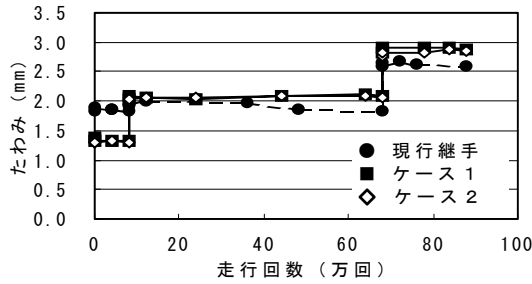


図-12 現行継手と活荷重たわみの比較

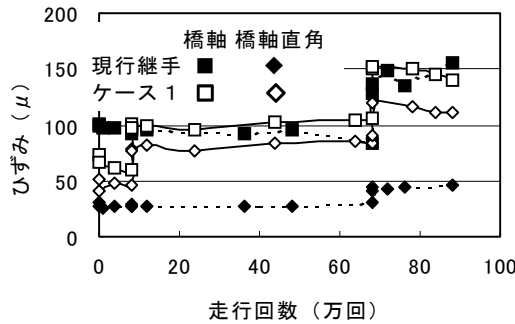


図-13 継手部（載荷点 a）の鉄筋ひずみ

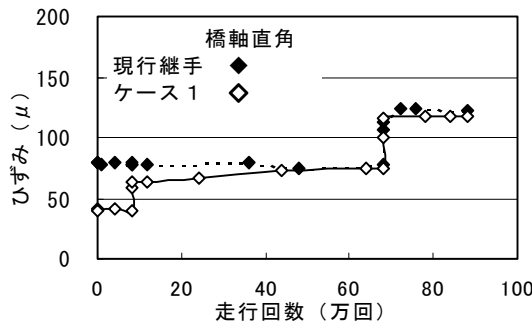


図-14 PCa 版部（載荷点 c）の鉄筋ひずみ

(1) 床版たわみ

今回の試験で得られた床版の活荷重たわみの計測結果と、現行の継手での試験結果を図-12に示す。現行継手のたわみは、過大な静的載荷の影響で、1 ステップに大きなひずみを示しているが、2 ステップ以降は、今回のたわみとほぼ同等であり、今回の継手構造は、現行の構造と同等程度の疲労耐久性を有していると思慮される。

(2) 鉄筋ひずみ

ループ継手部における橋軸方向および橋軸直角方向の下側鉄筋のひずみについて、今回の結果と現行継手の結果を併せて図-13に示す。

橋軸方向の鉄筋ひずみは、現行継手と今回の継手構造と同程度の値を示しており、ループ鉄筋内側の鉄筋を省略した影響は見られない。

橋軸直角方向の鉄筋ひずみは、現行継手の結果に比べ、今回の継手構造の値は2~3倍大きめの値を示した。しかし、図-14に示すPCa版部の橋軸直角方向鉄筋と比較すると、今回の継手部の鉄筋ひずみと近い値を示しており、また、設計荷重の2倍の載荷状態においても最大で150μと小さな値であるため、設計上問題となるひずみではないと判断される。

5. まとめ

本研究は、PCa床版の施工の合理化を目的に実物大の供試体による載荷試験を行い、以下の結果が得られた。

- ・供試体ケース1およびケース2とも、移動載荷疲労試験において床版の残留たわみは斬増傾向であるが、活荷重たわみの増加は見られず、現行継手構造とも差異は認められなかった。
- ・ループ鉄筋内部の鉄筋を省略したことにより、橋軸直角方向の鉄筋ひずみは増加したが、PCa版部の鉄筋ひずみと同程度であり、設計上問題とならない。

よって、ある程度のタフネスを有する繊維補強コンクリートをループ継手部に適用することにより、現行ループ継手内の鉄筋の省略および継手部の幅を縮小することが可能で、PCa床版施工の更なる合理化が可能であることが判明した。

参考文献

- 1) 財団法人高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル
- 2) 小林一輔：繊維補強コンクリート特性と適用一，オーム社
- 3) 鈴木裕二ほか：第二東名・名神高速道路の橋りょう技術の現況，コンクリート工学，Vol.35, No.6, pp.8-14, 1997.