

論文・報告

床版取替え用プレキャストSCデッキに 適用する合理化継手の性能確認試験

Performance verification tests on rationalized joint of precast steel composite deck for replacement of deteriorated highway bridge slab

水野 浩*¹
Hiroshi MIZUNO

原 考志*²
Takashi HARA

庄谷 英男*³
Hideo SHOYA

山田 秀美*⁴
Hidemi YAMADA

龍頭 実*⁵
Minoru RYUTO

杉田 俊介*⁶
Syunsuke SUGITA

今後増加することが予想される床版取替え工事に、プレキャストSCデッキを適用するため、その間詰め部の継手構造に、施工期間の短縮、および現場作業の省力化が可能な合理化継手構造を考案し開発を行った。これまでのプレキャストSCデッキには重ね継手が多く用いられており、この場合間詰長は650mm程度となり現場で施工されるコンクリート量が多かった。本合理化継手は、配力鉄筋を交互に配置し、その先端をねじ切りナットを設置、間詰部のコンクリートおよび鉄筋やアンカープレートによるせん断抵抗によって応力伝達を図り、間詰長を200mmと1/3程度に縮小している。ここでは、プレストレスしない連続合成桁の中間支点部負曲げ領域に、今回考案した合理化継手構造を適用するため、実物大モデルの試験体にて静的及び繰返し載荷試験を行い、継手部近傍のひび割れ性状や応力伝達機構など報告する。

キーワード：床版取替え、プレキャストSCデッキ、継手、現場施工、省力化

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期に建設された橋梁の老朽化が進み、更新の時期を迎えてきているのを背景に、予防保全に対する取り組みが重視されるようになってきている。橋齢40年以上で早急な補修が必要とされる橋梁は全体の50%近くあり、鋼橋においては損傷の50~70%がRC床版に起因しているとの報告がある。このような現状を踏まえ、損傷したRC床版を高耐久性床版に取替え、橋梁の長寿命化を図る例が増えている¹⁾。

筆者らは、床版取替えにプレキャストSCデッキを適用するため、その間詰め部の継手構造に、施工期間の短縮、および現場作業の省力化が可能な合理化継手構造を考案し、開発を行っている。

これまでのプレキャストSCデッキには重ね継手が多く用いられており、この場合、間詰長は鉄筋の重ね継手長さ(D19の場合、重ね継手長さは $30 \times \phi = 570\text{mm}$)をかわす必要があり、現場で施工されるコンクリート量が多かった。また、プレキャストPC床版では、ループ継手が多く用いられており、その場合、ループ鉄筋の内側に橋梁の外側から長尺の鉄筋を挿入する作業があり、夜間通行止めを行いながら床版取替えを実施する工事などでは、

大きな時間のロスに繋がっている。本合理化継手は写真1に示すように、配力鉄筋を交互に配置し、その先端をねじ切りナットの設置、間詰部のコンクリートおよび鉄筋やアンカープレートによるせん断抵抗によって応力伝達を図り、間詰長を200mm程度と大幅に縮小している。

ここでは、プレストレスしない連続合成桁の中間支点部負曲げ領域に、今回考案した合理化継手構造を適用するため、実物大モデルの試験体にて静的及び繰返し載荷試験を行ったので、継手部近傍のひび割れ性状や応力伝達機構、耐久性能について報告する。

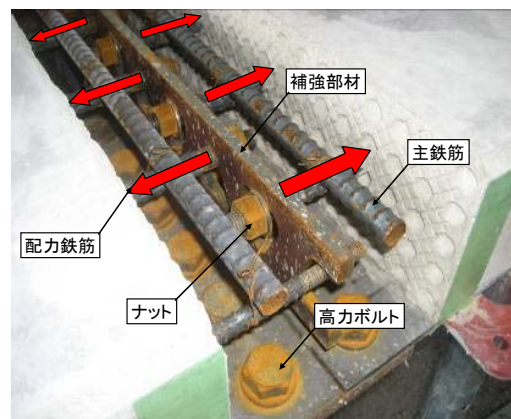


写真1 合理化継手

*1 川田工業㈱橋梁事業部大阪技術部設計二課 課長

*2 川田工業㈱橋梁事業部大阪技術部設計一課

*3 川田工業㈱北陸事業部土木部保全課

*4 川田工業㈱橋梁事業部工事部大阪工事部工事課 総括工事長

*5 川田工業㈱橋梁事業部工事部大阪工事部工事課

*6 川田工業㈱橋梁事業部工事部大阪工事部工事課

2. 試験体の概要

試験体の断面寸法およびアンカープレート形状について図1に示す。試験体はコンクリート版厚150mm、底鋼板板厚 $t=9\text{mm}$ のロビンソン型合成床版と、支間7.0m、主桁高さ0.6mのI桁をスタッドジベルで結合した合成桁としている。試験体の配力鉄筋比について、各モデル1.36%で一定としている。試験体には、図2に示すように、間詰長120mmの継手タイプA、間詰長200mmの継手タイプBを1箇所ずつ設けている。継手タイプAには、写真2に示すように、合成床版底鋼板の連結ボルトに、節つきの片面施工高力ボルトを用い、先打ちのコンクリート内に埋め込むことで、間詰長を継手タイプBに比べて低減している。

試験体の種類を表1に示す。モデル1は引抜き強度補強材としてアンカープレート（板厚 $t=12\text{mm}$ ）を配置したもの、モデル2は補強材を鉄筋（鉄筋径D19）としたもの、モデル3は現場施工性を更に向上させた補強材のないもの、比較用として配力鉄筋を連続させ、コンクリートの間詰め部のみ設置した試験体、モデル4である。なお、間詰め部の接合面は、コンクリート鉛直打継面シート工法（凹凸のある樹脂製品シートを型枠に取り付け、コンクリートを打設。脱枠することでチッピング等の目荒らし処理と同等の継目性能が得られる方法）にて統一している。

試験体に用いたコンクリートの配合計画を表2に、材料試験結果を表3に示す。プレキャスト部に用いたコンクリートは、設計基準強度 $27\text{N}/\text{mm}^2$ の普通コンクリートを用い、28日の目標強度を $30\text{N}/\text{mm}^2$ に設定している。間詰

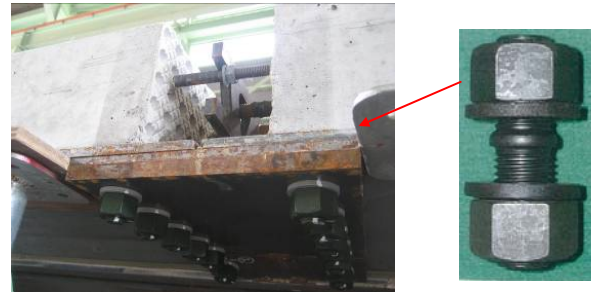


写真2 片面施工高力ボルト

表1 継手種類

	継手タイプA(120mm)	継手タイプB(200mm)
モデル1		
モデル2		
モデル3		

表2 配合計画

施工箇所	種類	強度	粗骨材	スランプ、スランプリフロー値	空気量	混和材
プレキャスト部	普通	$27\text{N}/\text{mm}^2$	25mm	8cm	4.5%	膨張材
間詰め部	普通	$50\text{N}/\text{mm}^2$ ※	25mm	40cm	4.5%	膨張材

※3日強度で $30\text{N}/\text{mm}^2$ を保証する。

表3 材料試験結果

施工箇所	養生方法	養生日数	試験結果 (N/mm ²)			備考
			圧縮強度 (平均値)	割裂試験 (平均値)	ヤング係数	
プレキャスト部	標準養生	7日	21.9	-	-	
		28日	29.4	2.57	-	
	気中養生	35日	30.24	2.72	28572	モデル1
		63日	33.32	2.77	29396	モデル4
		75日	33.41	-	29693	モデル3
間詰め部	標準養生	83日	34.59	-	29318	モデル2
		3日	45.5	-	-	
	気中養生	7日	52.3	-	-	
		28日	63	4.09	-	
		11日	58.35	3.68	35327	モデル1
気中養生	39日	64.38	3.81	35983	モデル4	
	51日	67.76	-	35569	モデル3	
	59日	68.62	-	37551	モデル2	

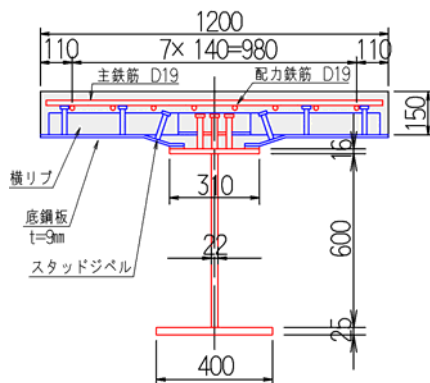


図1 試験体断面寸法

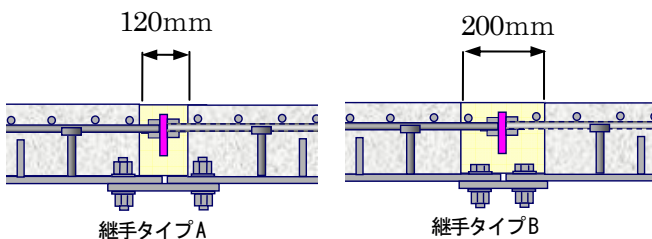


図2 継手種類



写真3 載荷試験状況

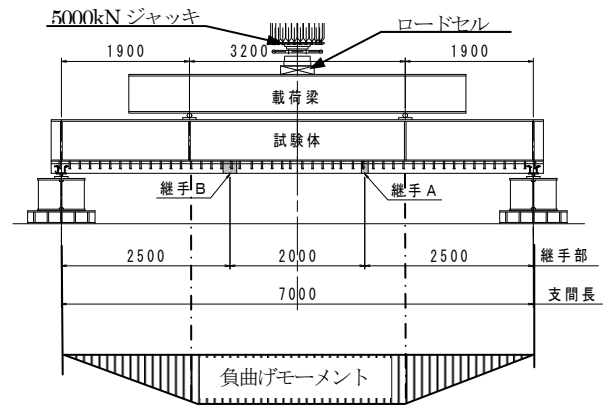


図3 載荷試験方法

部に用いたコンクリートは、3日で設定強度 30N/mm^2 を確保するように、設計基準強度 50N/mm^2 の高強度コンクリートを用いている。

材料試験結果について、標準養生ではそれぞれ7日、28日（間詰コンクリートについては3日も）の圧縮試験を行っている。また試験体と同条件で養生を行ったテストピースについては、各モデルの試験時期に合わせ材料試験（圧縮試験、割裂試験）を行い、圧縮強度、割裂強度、ヤング係数について確認を行っている。試験結果は想定した強度を大きく下回る結果は発生しておらず、試験体に用いたコンクリートは今回の試験に対して問題ないものであったといえる。

3. 載荷試験方法

載荷試験の概要について写真3および図3に示す。図1に示す試験体を天地逆転して設置し、載荷梁を介して2点載荷を行っている。5000kN ジャッキより、設定した荷重を鉛直下向きに与えることで継手部近傍に負曲げモーメントを発生させる載荷方法としている。

1) 静的載荷試験

静的載荷試験では、①ひび割れ発生相当の荷重となる $P=355\text{kN}$ を5回繰り返した後、②配力鉄筋が設計応力相当の 100N/mm^2 となる $P=880\text{kN}$ を5回（以下、「載荷ケースI」と略する）、その後、③設計応力の2倍の応力を発生させる $P=1760\text{kN}$ を1回（以下、「載荷ケースII」と略する）載荷している。

2) 繰返し載荷試験

繰返し載荷試験では、疲労照査応力を設計応力の60%と考え、 $P=880\text{kN} \times 60\% = 530\text{kN}$ の一定の荷重振幅で100万回を上限として載荷を行っている。

4. 載荷試験結果

4. 1 静的載荷試験結果

4. 1. 1 ひび割れ性状

(1) ひび割れ幅について

継手境界面のひび割れ幅を、それぞれ図4、図5に示す。なお、この荷重-ひび割れ幅曲線には、ひび割れ発生荷重の載荷繰返し分は含んでいない。また図中に示す設定荷重ラインは、供試体及び載荷梁の死荷重により発生する応力を考慮し、荷重値の補正を行っている。

載荷ケースIでは、モデル1（アンカーPLタイプ）、モデル2（鉄筋補強タイプ）とも、土木学会コンクリート標準示方書²⁾に示されている一般環境にて配力鉄筋かぶりより算出したひび割れ限界値以内となっている。またモデル3（補強なし）についても、継手タイプB（間詰長200mm）ではひび割れ限界値以内となっている。また、配力鉄筋を連続させたモデル4と比較すると、モデル2の継手Bが良い一致を示していると考えられる。

今回と同様のロビンソン型合成床版とI桁を合成した試験体に負曲げモーメントを載荷した実験³⁾において、配力鉄筋比を変化させ数種類の実験が行われている。ただし、コンクリートは一体的に打設されたものである。この実験結果から得られたひび割れ推定式（推定式①）を用いて、今回の試験体の配力鉄筋比（1.36%）およびリブ間隔を考慮し、このひび割れ幅推定式を適用すると0.185mmとなる。また、土木学会の推定式2)では、0.201mmとなる。

継手部境界面に発生した設計応力相当のひび割れ幅について、上記の推定式①から求める推定値と合わせて図6に整理した。継手タイプAではモデル1、モデル2が、継手タイプBではモデル1、モデル3が比較的推定値に近い値を示している。継手タイプBのモデル2は、推定値とは若干乖離する傾向を示しているものの安全側の値

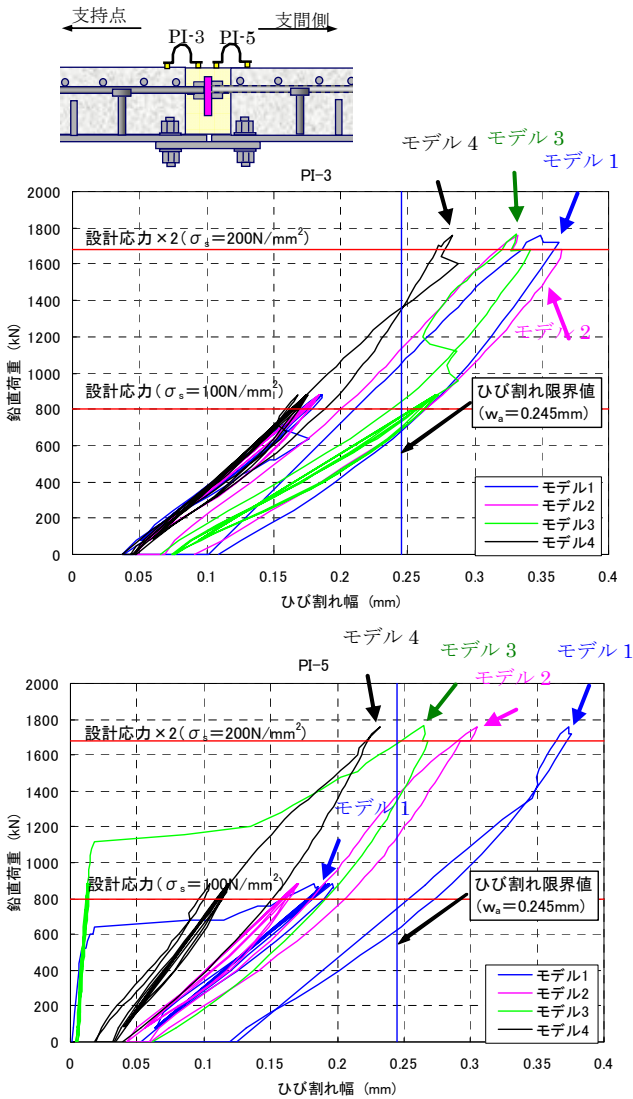


図4 ひび割れ幅の測定結果 (継手タイプA)

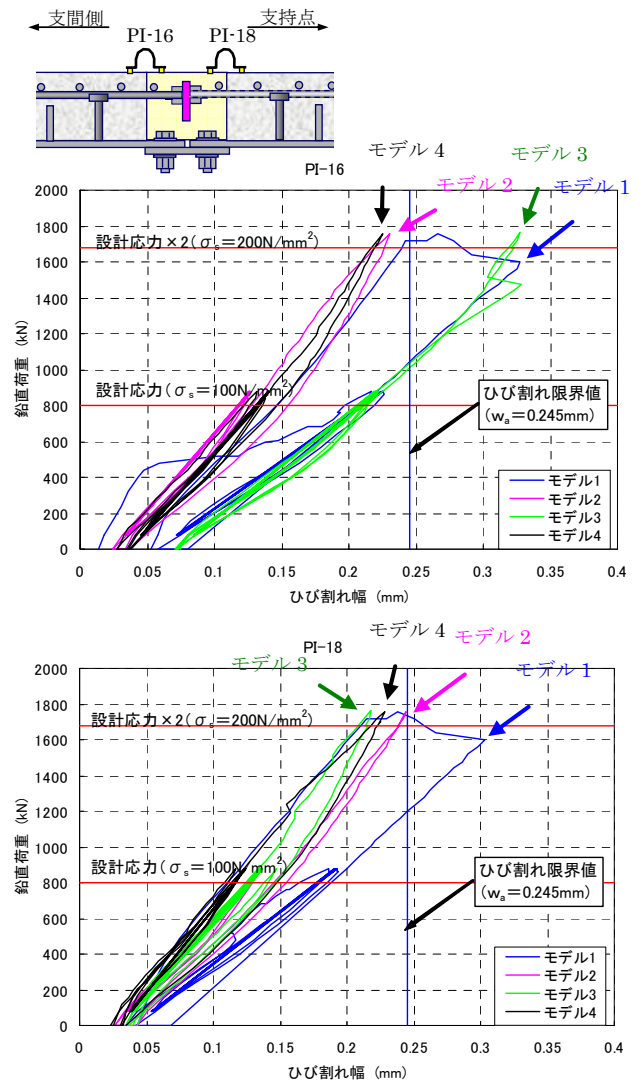


図5 ひび割れ幅の測定結果 (継手タイプB)

となっている。また鉄筋を切断しないモデル4の最大値と概ね整合する結果となっている。継手タイプAのモデル3 (PI-3) の推定値を越えるひび割れは、もう一方の境界面 (PI-5 の位置) にひび割れが発生していない影響と推定される。以上から、推定式①で設計を行うことは可能と考えられる。

荷重ケースIIについて、モデル2、モデル4では継手左右ひび割れ幅は荷重増加に伴い比例的に増加するといった安定した挙動であるのに対して、モデル1の継手タイプBでは、最大荷重近傍で大きくひび割れ幅が増える結果となっている。また、モデル3では、継ぎ手左右のひび割れ幅のばらつきが大きく、過大な荷重を受けたときの配力鉄筋の応力伝達が不連続になる可能性があることも考えられる。

(2) ひび割れ分布について

各モデルのひび割れ分布を図7に示す。なお、図中に示す点線は主鉄筋および配力鉄筋位置を示し、一点鎖線は合成床版の横リブ位置を示す。また、黒線で示すひび

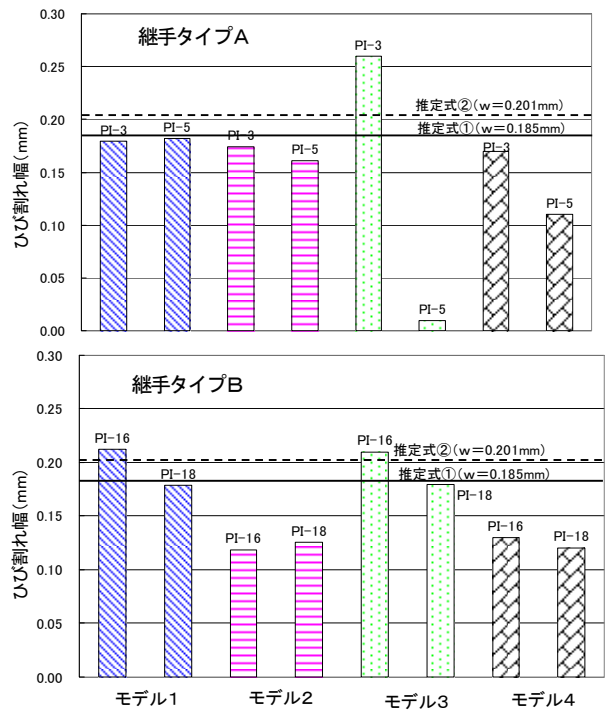


図6 設計応力相当時の継手部のひび割れ幅

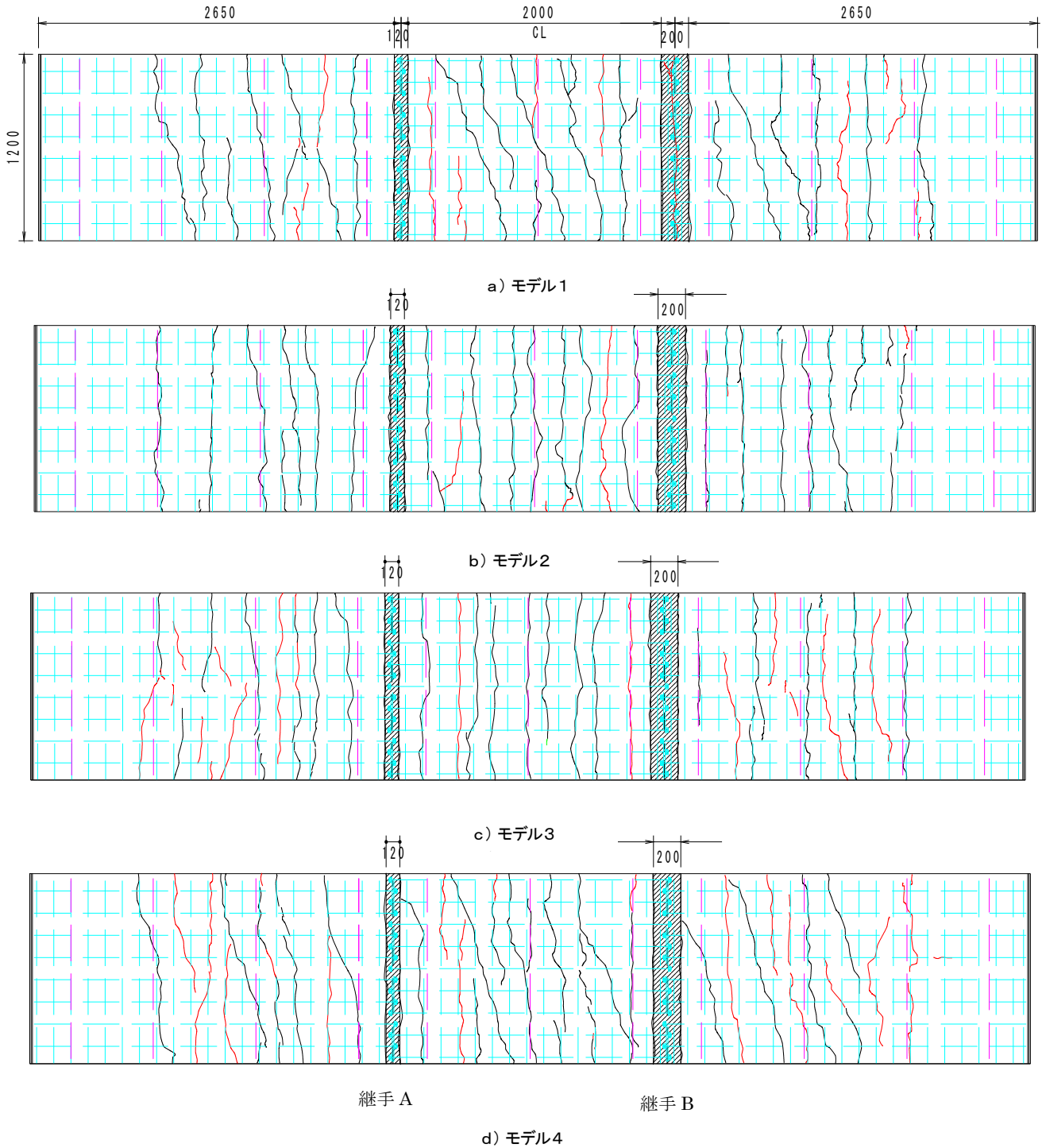


図7 ひび割れ分布

割れは、荷重ケース I までに発生したひび割れ、赤線は荷重ケース II で発生したひび割れを示す。

各モデルとも、最初に間詰め境界にひび割れが発生し、続いて横リブ位置、主鉄筋位置にひび割れが発生している。間詰め部境界面はコンクリートを打継いでいるため、他の部位に比べてひび割れが先行している。その後発生したひび割れが、横リブ位置、主鉄筋位置に発生しているのは、これまでの合成床版の負曲げ実験結果³⁾とも整

合している。モデル 1 の継手タイプ B のみ、荷重ケース II において、間詰めコンクリート中央にひび割れが発生している。これは、アンカープレートの位置と一致しており、他モデルに比べてコンクリート断面積がアンカープレートの断面積分少ないことに起因していると考えられる。なお、モデル 1 およびモデル 4 では、斜め方向のひび割れが若干生じている。設計応力の 2 倍の荷重を載荷した状態では、軸に対して直角方向にひび割れが入り

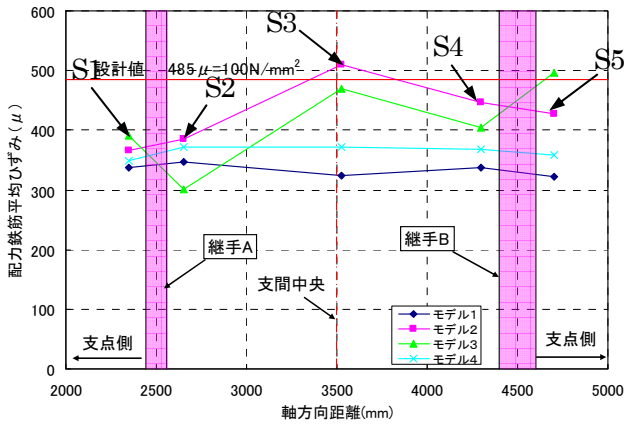


図8 配力鉄筋のひずみ分布

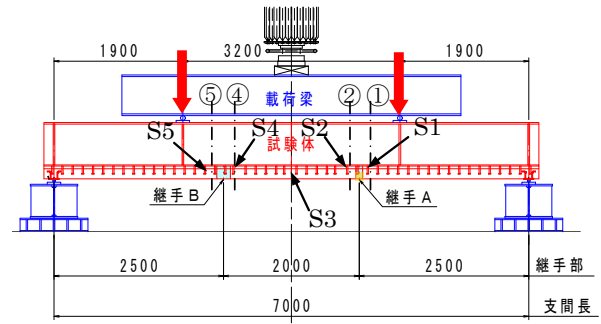
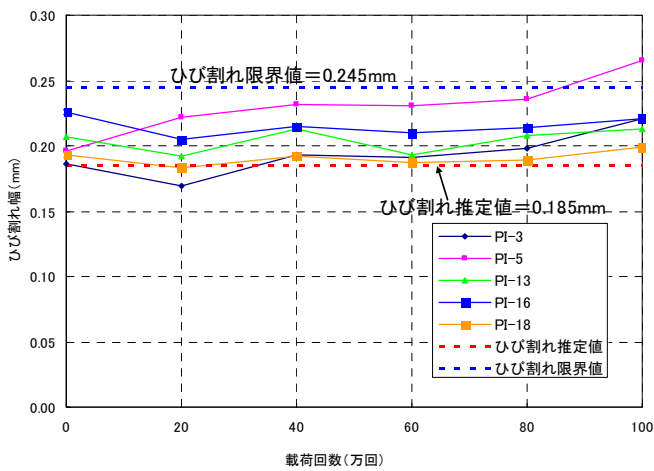
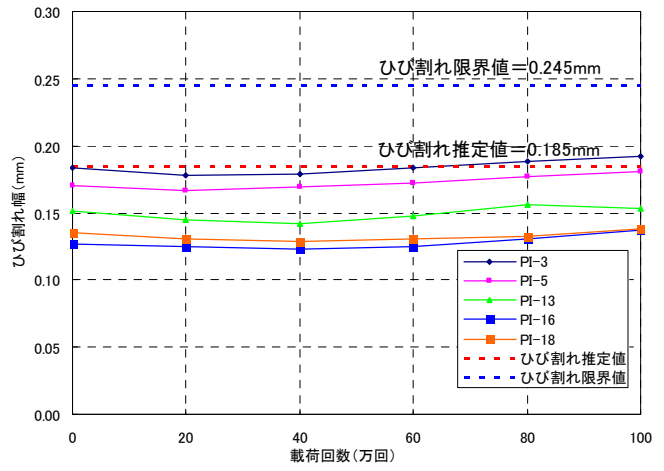


図9 配力鉄筋ひずみゲージ位置

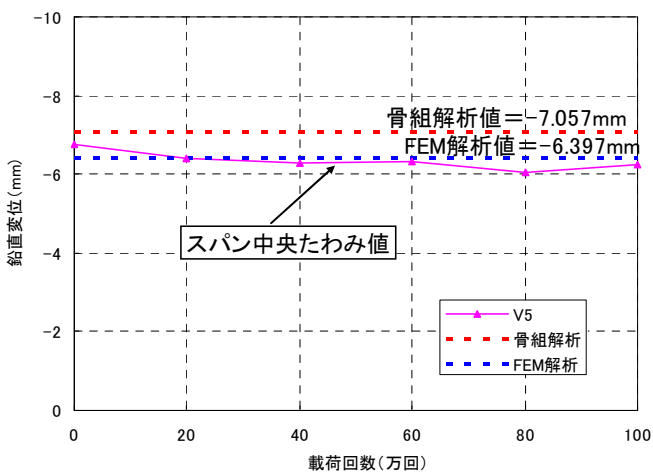


a) モデル1

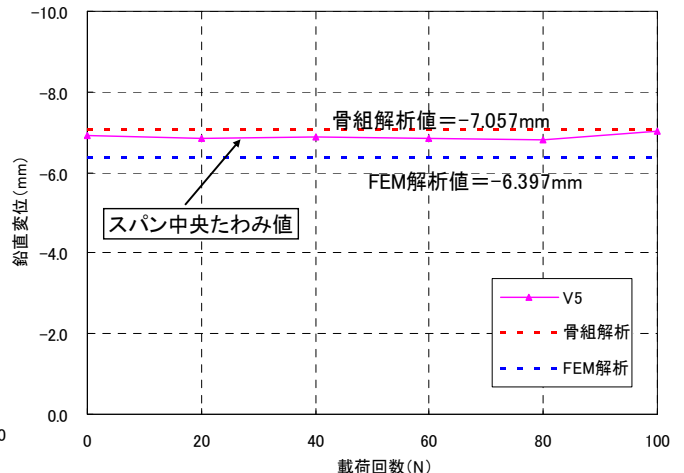


b) モデル2

図10 ひび割れ幅の進展 (繰返し載荷)



a) モデル1



b) モデル2

図11 鉛直変位の進展 (繰返し載荷)

直す傾向にあることから、試験体製作時の初期不整がモデル1とモデル4のひび割れ性状に影響したと考えられる。

4. 1. 3 配力鉄筋のひずみ

配力鉄筋のひずみについて、各モデルのひずみ分布を

図8に示す。本図に示すひずみは、設計応力相当の荷重ケースIの状態での最大値から死荷重相当の残留ひずみを差し引いた活荷重増加分である。継手前後のひずみに着目すると、モデル1、2とも、鉄筋を連続させたモデル4と同程度の差となっており、このことより、モデル

1, 2は継手の応力伝達が良く行われていると考えられる。これに対して補強部材のないモデル3ではその差が顕著となっている。このことから、モデル1, 2の補強部材が配力鉄筋の応力伝達に有効に寄与していたと考えられる。モデル2, 3で支間中央のひずみが他モデルと比べて大きく顕れている。図7のひびわれ分布を見ると、モデル2, 3では、載荷ケースIで支間中央にひび割れが発生しており、その発生位置はS3のゲージ位置と一致する。モデル1, 4も支間中央に発生しているものの、斜め方向となっておりゲージ位置とは点で交わるような位置関係となっている。このことから、モデル2, 3では、ひび割れ直下の鉄筋の応力集中を拾い、他モデルと比べて大きく顕れたものと考えられる。ただし、その最大値でも設計応力程度のひずみとなっている。

4. 2 繰返し載荷試験結果

モデル1, モデル2を対象に行った繰返し載荷試験結果について、ひび割れ幅の進展について図10に、鉛直変位の進展について図11に示す。繰返し載荷試験については、一定応力振幅 530kN で繰返し載荷を行った後、20万回毎に設計応力相当となる $P=880\text{kN}$ まで静的に載荷を行っている。

ひび割れ幅の進展について、アンカープレートを用い、間詰長 120mm のモデル1；継手タイプAの近傍であるPI-5についてのみ、100万回載荷後にひび割れ限界値($w_a=0.245\text{mm}$)を超過しているものの、モデル1の継手タイプB、またモデル2継手タイプA, Bともひびわれ限界値は超えていない。モデル1の継手タイプAでは、60万回載荷時より左右の境界面のひび割れ幅が増加傾向にあるが、その他の継手のひび割れ幅については100万回載荷まで大きく増加する傾向は示していない。

モデル1とモデル2を比較すると、鉄筋で補強を行ったモデル2の方が、ひび割れ幅が小さい傾向にあり100万回載荷後もそのほとんどがひび割れ推定値($w=0.185\text{mm}$)以下となる結果となった。

次にモデル2の継手タイプA(間詰長=120mm)と継手タイプB(間詰長=200mm)について比較を行う。継手タイプA近傍のPI-3, 5に比べて継手B近傍のPI-16, 18のほうが、0.05mm程度小さい結果であり、より耐久性に優れるものと考えられる。しかし継手タイプAについても、ひび割れ推定値と整合しており、実用性に問題がないものと考えられる。

鉛直変位の進展について、スパン中央(V5)の鉛直変位はモデル1, モデル2とも100万回載荷まで増加する傾向は示しておらず、鋼部材を有効と考え算出した骨組解析値とも整合しているといえる。このことより、今回実験を行ったアンカープレートおよび鉄筋を補強材として用いた合理化継手は、繰返し載荷を受けた後でも、配

力鉄筋に働く応力を伝達し、合成桁断面として有効に寄与しているものと考えられる。

5. まとめ

本実験によって得られた結果を以下に記述する。

【静的載荷試験結果について】

- ① 設計荷重相当の荷重ケースIで、モデル1, モデル2の継手タイプA, 継手タイプB, またモデル3の継手タイプBの継手境界面のひび割れ幅は、ひび割れ限界値以下となった。この結果より、今回実験を行った継手構造は、モデル3継手タイプAを除いて実用上問題ないことが確認できた。
- ② 配力鉄筋を連続させたモデル4との比較より、モデル2の継手タイプBが、モデル4のひび割れ性状と最も近似しており、今回試験を行った継手の中では、モデル2の継手タイプBが、最も配力鉄筋の応力を伝達しているものと考えられる。
- ③ 配力鉄筋のひずみ分布より、モデル1, 2は継手の応力伝達が良く行われていると考えられる。これに対して補強部材のないモデル3ではひずみ差が顕著となっていることから、モデル1, 2で用いた補強部材が有効に寄与していたことを裏付ける結果と考えられる。

【繰返し載荷試験結果】

- ④ ひび割れ幅の進展について、モデル1の継手B, モデル2の継手A, Bは、100万回載荷後にひび割れ限界値($w_a=0.245\text{mm}$)を超過していない。従って、これらの継手は、繰返し載荷に対しても耐久性を有していることが確認できた。
- ⑤ スパン中央の鉛直変位の結果より、モデル1, モデル2に用いた合理化継手は、100万回の繰返し載荷を受けた後でも、配力鉄筋に働く応力を伝達し、合成桁断面として有効に寄与していることが確認できた。

6. あとがき

床版取替え工事にプレキャストSCデッキを適用するため、現場作業の省力化が可能となる合理化継手構造を考案し、中間支点部負曲げ領域を想定した静的および繰返し載荷試験を行い、継手部近傍のひび割れ性状や、応力伝達機構など検討を行った。その結果、今回考案した合理化継手を実構造に用いるのは、構造的に問題がないことが確認できた。今後、実橋に適用するために、輪荷重の繰返し載荷を受けた場合の床版としての耐久性の確認、また中間支点の負曲げ作用と輪荷重を同時に受けた場合のひび割れ性状、および継手部の合理的な設計手法など検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 伊勢田敏：道路橋の予防保全に向けた有識者会議の提言を受けて，土木学会第11回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，pp. 1～20. 2008. 8.
- 2) 土木学会：土木学会コンクリート標準示方書：2007年.
- 3) 街道，渡辺，橘，松井，栗田：鋼・コンクリート合成床版を適用したプレストレスしない連続合成げたの中間支点部の静的載荷試験，構造工学論文集 Vol. 49A, pp. 1115-1126, 2003. 3.
- 4) 水野，松井，鳥山，街道：プレキャストSCデッキに適用する合理化継手の継手挙動，第65回年次学術講演会論文集, pp. 615-616, 2010. 9.
- 5) 鳥山，松井，水野，街道：プレキャストSCデッキに適用する合理化継手のひび割れ性状，第65回年次学術講演会論文集，pp. 613-614, 2010. 9.
- 6) 水野，松井，鳥山，街道：床版取替えを対象としたプレキャスト合成床版に適用する合理化継手の性能確認試験，鋼構造論文集 Vol. 18 No. 70, pp. 27-38. 2011. 6.