

PCT げた橋間詰部の施工品質確保に関する基礎的研究

国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 ○堀越 直樹
 国土交通省国土技術政策総合研究所 工修 玉越 隆史
 国土交通省国土技術政策総合研究所 川端 淳
 (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 渡辺 浩良

1. はじめに

プレストレストコンクリートTげた橋 (以下、PCT げた橋) の床版間詰部は、けた架設後に施工される。したがって、新旧コンクリートの材齢差や配合差などの影響を受け、適切な施工手順、手法によらなければ、打継目地に沿ったひび割れが発生するなど十分な施工品質が得られない危険性がある。過去にも打継目部からの漏水を生じた事例が報告されているが、このように床版内部へ水分等が浸入すると鋼材腐食の原因となり耐荷力、耐久性のいずれに対しても床版の性能に深刻な影響を与える可能性がある。

間詰部での良好な施工品質を確保するための対策として、道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編¹⁾では、間詰コンクリートに無収縮性のコンクリートを使用することや、打継目面に適度な凹凸を設けることが挙げられている。しかし、これらの対策手法のそれぞれが品質向上にどのように寄与するのかは明確でなく、施工条件にも必ずしも定量的な目安や基準等があるわけではない。したがって例えば、打込み前の打継目面への吸水や、打込み後の湿潤養生などが十分でなかった場合、結果的に期待した品質が得られないことがあるなど、確実に良好な施工品質を実現するためには、個々の床版ごとの設計や施工の条件に対して経験的に施工方法の詳細を決定しているのが実状である。

このようなことから、本研究では、PCT げた橋の間詰部の施工品質確保策として一般的に考えられている対策手法について、それらが間詰部の品質、すなわち打継目部のひび割れ発生やプレストレス分布のばらつきなどに対してどのような影響を及ぼすのかについての基礎的な情報を得ることを目的に、実際のPCT げた橋を想定した供試体を製作し実験を行った。なお、本実験は、国土交通省国土技術政策総合研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究として実施したものである。

2. 実験概要

間詰部の打継目地に沿ったひび割れは、間詰コンクリートが収縮の影響を受けやすい若材齢時に生じると考えられる。したがって、本実験ではプレストレス導入時までの間詰コンクリートのひずみや主げたの変位、打継目地からのインク浸透などを測定する。供試体は、基礎的な挙動を捉えるための基本構造 (間詰部 1 列、図-1) と、より実橋に近い挙動を捉えるための版構造 (間詰部 3 列、写真-1) の 2 種類とした。また、日射や振動などの環境作用を極力排除するため屋内において実験を行っている。

2.1 供試体形状

供試体形状は、建設省制定土木構造物標準設計 (以下、標準設計) におけるプレテンション方式PC単純Tげた橋の標準断面の床版部を取り出した構造とした。各供試体とも、プレキャスト部材の橋軸方向長さは3000mm、間詰部は両端部を250mm ずつ短縮した

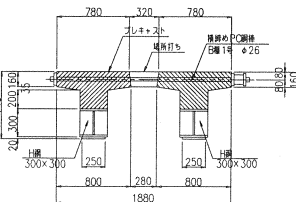


図-1 供試体形状 (S1, S2)

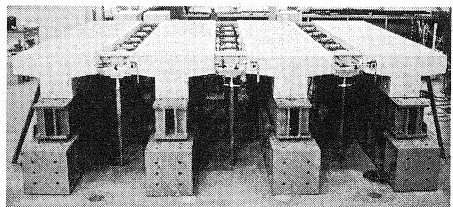


写真-1 供試体外観 (S3)

2500mmとした。間詰コンクリートの幅は、標準設計に記載された幅員構成の中で最大値となる280mmである。供試体製作の省力化のためウェブの一部をH鋼に置き換えているが、想定した標準設計の主げた(けた高1.1m)と橋軸直角方向の回転モーメントを一致させている。その他の構造寸法、鋼材配置および材料特性は、標準設計と同一である。

表-1 施工条件の組合せ

供試体名称	間詰幅(mm)	膨張材	目粗し	打込み前吸水	湿潤養生	備考
S1	280	○	○	○	○	
S2	280	×	×	×	×	
S3	280	×	×	○	○	版構造

2.2 施工条件

今回対象とした施工条件は、間詰コンクリートに関しては膨張材および湿潤養生の有無、プレキャスト部材に関しては打継目面の目粗し処理および打継目面への吸水の有無とした。表-1に示すように、施工品質確保の観点から最も良い条件をS1供試体、最も厳しい条件をS2供試体とし、打継目地部でのひび割れに着目した比較を行う。また、より実橋に近い挙動を捉えるために版構造としたS3供試体では、各間詰部の施工条件を同一とし、得られる品質がS1, S2供試体の中間レベルとなるようにした。

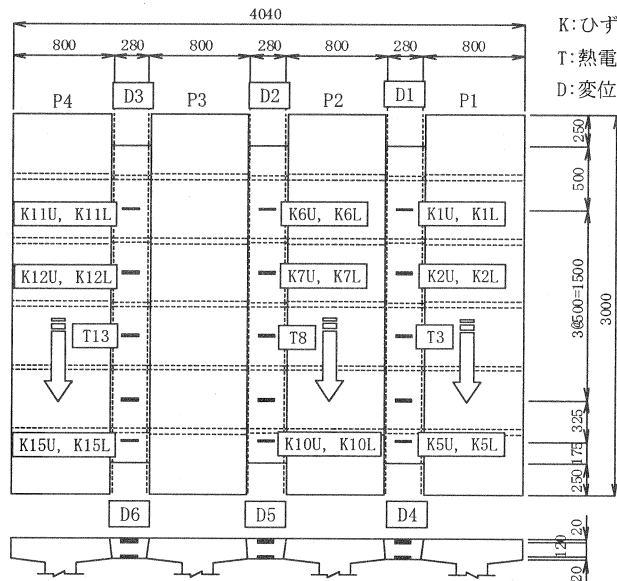
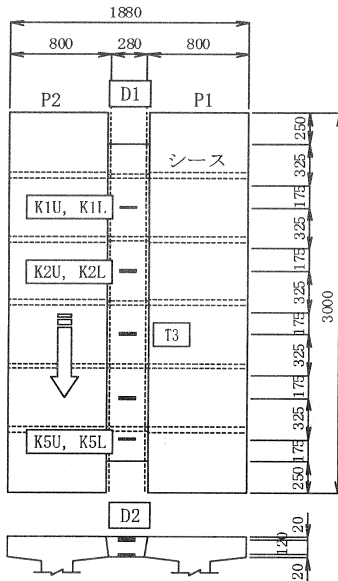
コンクリートの示方配合については表-2に示すとおりであり、各供試体ともプレキャストブロックの配合は共通($f'_{cu}=50N/mm^2$)とするが、間詰に用いるコンクリートは設計基準強度を $30N/mm^2$ とし、S1供試体では膨張材を混入する。この膨張材については、試し練りを行いコンクリート標準示方書〔施工編〕²⁾に規定される収縮補償用コンクリートとしての標準範囲(材齢7日において 150×10^{-6} 以上 250×10^{-6} 以下)となるよう単位膨張材量を決定し、 $30kg/m^3$ とした。

表-2 コンクリートの示方配合

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法(mm)	スラフの範囲(cm)	水結合材比 W/B (%)	空気量の範囲 (%)	細骨材率 s/a (%)	混和剤添加率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
							水 W	セメント C	膨張材 Exp	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Sp
プレキャスト	20	8±2.5	41.5	2.0±1.5	41	2.6	154	371	0	757	1098	9.65
間詰 (S1)	20	8±2.5	50	2.0±1.5	47	2.0	165	300	30	871	990	6.60
間詰 (S2, S3)	20	8±2.5	50	2.0±1.5	47	2.0	165	330	0	871	990	6.60

〔S1, S2供試体〕

〔S3供試体〕



N
 K: ひずみ計
 T: 熱電対
 D: 変位計

図-2 計測位置

また、打継目面の処理は、遅延剤の塗布および脱枠後の高圧水によって行い(写真-2)、打継目面への吸水は間詰コンクリートの打込み直前に噴霧器によって行った。間詰コンクリートの湿潤養生は、1日2回散水し養生マットとシートを併用して3日間行った。各供試体とも、間詰コンクリートの材齢5日目にプレストレスを導入した。この導入プレストレス量は設計上 $3.0\text{N}/\text{mm}^2$ としている。

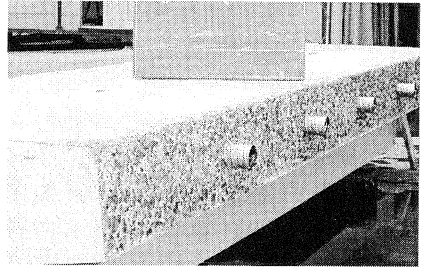


写真-2 目粗し処理

2.3 計測項目

供試体における測定位置を図-2に、計測項目を表-3に示す。各供試体とも、間詰部に設置した埋込型ひずみ計は、間詰コンクリート打込み後からプレストレス導入までのコンクリートのひずみを計測する。また、隣り合うプレキャスト部材の水平相対変位量を変位計により計測した。さらに、間詰コンクリートの養生終了後、プレストレス導入前に供試体上面の打継目地部に水性赤インクを溜めて20時間放置した(写真-3)。インク浸透の確認は、コンクリートひずみの計測が終了後、プレキャスト部と間詰コンクリートを分離して側面を観察した。なお、S3供試体については、すべての打継目地でS1、S2と同様のインク浸透試験を行うほかに、プレストレス導入後も水性青インクを用いて浸透試験を行い、プレストレスとひび割れの関係についても観察した。

表-3 計測項目

計測項目	計測方法
間詰コンクリートのひずみ	埋込型ひずみ計 (KM-100B)
間詰コンクリートの温度、外気温	熱電対
プレキャスト部材の水平相対変位量	変位計
打継目面の水分量	コンクリート水分計
目地の開き	インク浸透
P C鋼材の緊張力	ロードセル

さらに、間詰コンクリートの養生終了後、プレストレス導入前に供試体上面の打継目地部に水性赤インクを溜めて20時間放置した(写真-3)。インク浸透の確認は、コンクリートひずみの計測が終了後、プレキャスト部と間詰コンクリートを分離して側面を観察した。なお、S3供試体については、すべての打継目地でS1、S2と同様のインク浸透試験を行うほかに、プレストレス導入後も水性青インクを用いて浸透試験を行い、プレストレスとひび割れの関係についても観察した。

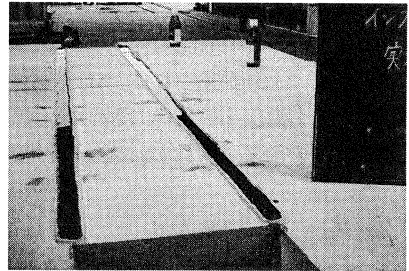


写真-3 インク浸透

3. 実験結果

間詰コンクリートのひずみおよびプレキャスト部材の変位は、間詰コンクリートの膨張ひずみを正とし、また打込み直後の硬化初期段階においては正確なひずみの計測が困難なため、打込み完了後から6時間後をゼロとして以後の変化に着目している。なお、材齢3日において底版型枠の取り外しを行っているため、ひずみおよび変位にこれによる影響が現れている。

3.1 S1, S2 供試体

(1) プレストレス導入前まで

図-3に示すように、間詰コンクリートに膨張材を用いたS1供試体では、各測点間でばらつきがあるものの養生期間中50~300 μ 程度の膨張ひずみが発生しており、下縁より上縁の方がひずみが大きい傾向が見られる。これは、S1供試体では上面から湿潤養生を行ったため、コンクリートの上縁付近には水分が豊富に供給され、下縁側よりも膨張効果が得られたためであると考えられる。

一方、膨張材を用いない間詰コンクリート(以下、プレーンコンクリート)を使用したS2供試

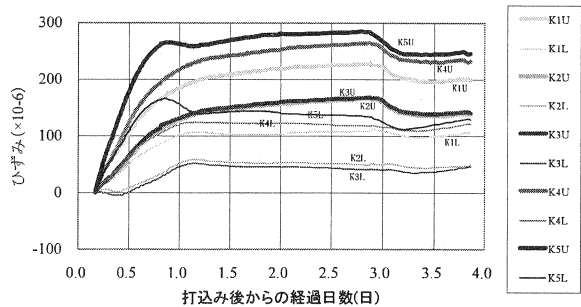


図-3 ひずみ計変化 (S1供試体)

体では、平均で 100 μ 程度の収縮ひずみが発生し、収縮量は若干ではあるが、下縁側よりも上縁側の方が大きいという傾向が見られた(図-4)。これは、S2 供試体では湿潤養生を行っていないため、型枠が設置されている下面に対し上面側が乾燥しやすい状況であったためと考えられる。

プレキャスト部材端面における水平相対変位の経時変化を図-5 に示す。S1 供試体では、膨張ひずみが発生し、プレキャスト部材相互が押し広げられるような変位を生じているが、S2 供試体では、収縮ひずみが発生しているにもかかわらずプレキャスト部材相互の変位がほとんどないため、間詰コンクリートとプレキャスト部材との打継目地部でのひび割れ発生が疑われる。

間詰コンクリートの温度および外気温の経時変化を図-6 に示す。S1 および S2 供試体とも、経過日数 0.4~0.5 日をピークとする水和反応による温度の上昇が見られる。S1 供試体は S2 供試体よりも温度上昇量が大きくなっているが、これは養生の効果が見れているものと考えられる。

(2) プレストレス導入時

図-7 はプレストレス導入後における、間詰コンクリートのひずみに実測の弾性係数を乗じて算出した応力度の分布と、三次元 FEM 解析により得られた応力度を曲線で示したものである。

S1, S2 供試体ともに、実測値では下縁付近よりも上縁付近の応力度が総じて大きい傾向にあるが、解析値との差異は小さく、供試体にはほぼ均等にプレストレスが導入されたといえる。

3.2 S3 供試体

(1) プレストレス導入前まで

プレーンコンクリートを使用し、十分な湿潤養生を行った S3 供試体の間詰コンクリートでは、図-8 に示すように平均 30 μ 程度の膨張ひずみが発生しており、上下方向や軸方向などの位置的な傾向は見られない。

プレキャスト部材端面における水平相対変位の経時変化を図-9 に示す。経過日数 0.7 日をピークとしたプレキャスト部材相互を押し広げるような変位が計測されている。このことから、プレキャスト部材を押し広げるような膨張が生

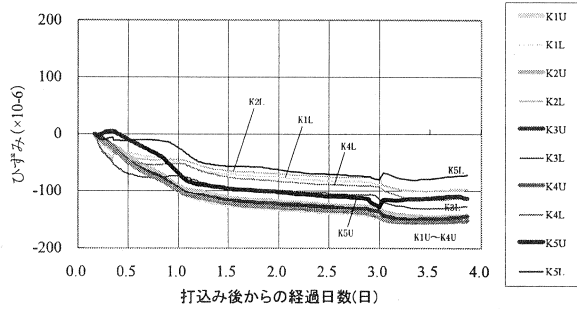


図-4 ひずみ計変化 (S2供試体)

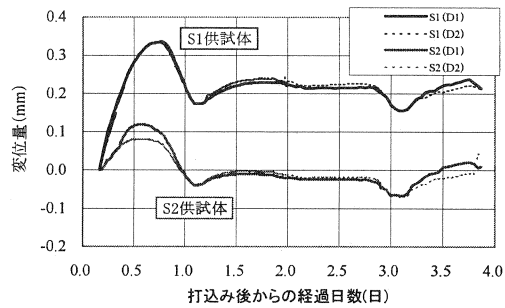


図-5 変位計変化 (S1, S2供試体)

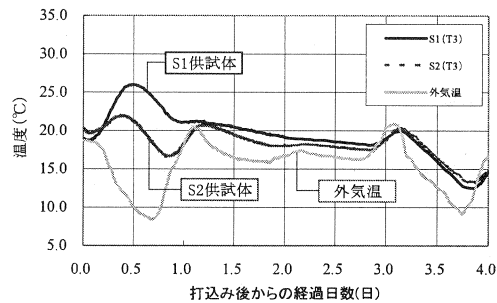


図-6 温度変化 (S1, S2供試体)

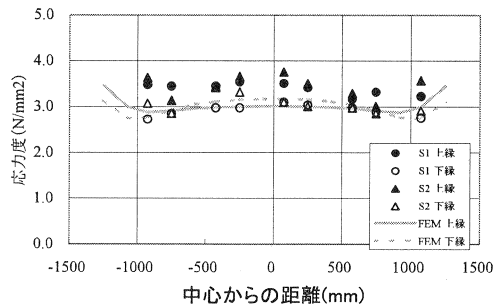


図-7 プレストレスの分布 (S1, S2供試体)

じたことが分かる。

図-10 は、S3 供試体における温度の経時変化であるが、水和反応による温度上昇量は小さいので、温度上昇による膨張の影響はほぼ生じていないと考えられる。このことから、養生期間中に発生した間詰コンクリートの膨張ひずみは、散水養生による水分が供給されたためと考えられる。

これらのことから、プレーンコンクリートであっても、十分に湿潤養生を行えば、屋内実験レベルでは、プレストレス導入までの養生期間中の打継目に沿ったひび割れの発生をある程度抑えることができるといえる。

(2) プレストレス導入時

図-11は図-7と同様にS3供試体の応力度分布を示したものである。ひずみから算出した応力度については、解析値からやや小さい値を示すが、各測点間におけるばらつきは小さく、版構造においてもプレストレスはほぼ均等に導入されているといえる。

3.3 インク浸透

写真-4~6 は、インク浸透試験によるインクの浸透状況である。なおプレキャスト部材と間詰コンクリートの境界両面で浸透状況は同じであるため、ここではプレキャスト部材側のみを示している。

(1) S1, S2 供試体

S1 供試体 (写真-4) では、インクの浸透跡は全く見られず、打継目地に沿ったひび割れは生じていない。一方、S2 供試体 (写真-5) については、打継目面の端部を中心に多くのインク浸透跡が見られたほか、打継目地の上縁全周にわたってインクの浸透跡が見られ、広範囲でひび割れが発生していた。

(2) S3 供試体

写真-6に見られるように、S3 供試体では、すべての打継目面で端部側にインクの浸透跡が確認された。ただし、S2 供試体に比べて浸透範囲は小さく、湿潤養生したことによる効果でひび割れ発生が抑制されたものと考えられる。

また、プレストレス導入前の赤色インクの浸透跡と、プレストレス導入後の青色インクの浸

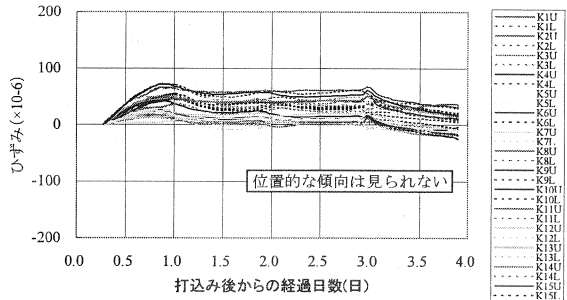


図-8 ひずみ計変化 (S3供試体)

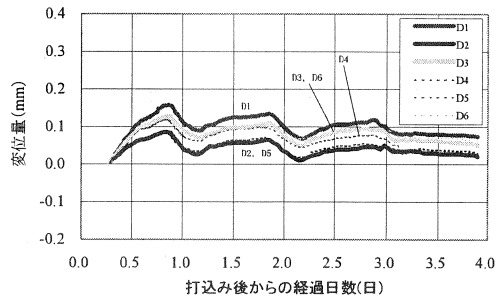


図-9 変位計変化 (S3供試体)

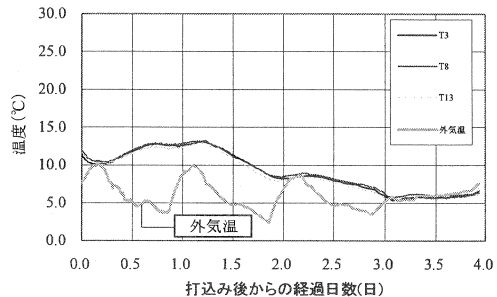


図-10 温度変化 (S3供試体)

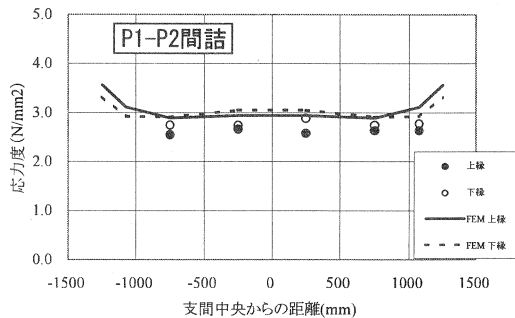


図-11 プレストレスの分布 (S3供試体)

透跡を比較すると (図-12), 後者の方が小さくなっている (表-4)。このことから, プレストレスの導入はひび割れの抑制に一定の効果があるものの, 一度開口したひび割れをプレストレスによって完全に閉塞させるのは困難であると考えられる。

表-4 インク浸透率

S3 供試体		緊張前	緊張後
打継目面全面積		4000 cm ²	
P1-P2	N側	1.3	0.7
	S側	0.4	0.2
P2-P3	N側	1.0	0.5
	S側	1.1	0.0
P3-P4	N側	1.1	0.6
	S側	1.2	0.6

単位 (%)



写真-4 インク浸透跡 (S1供試体)

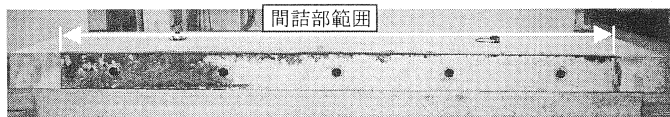


写真-5 インク浸透跡 (S2供試体)

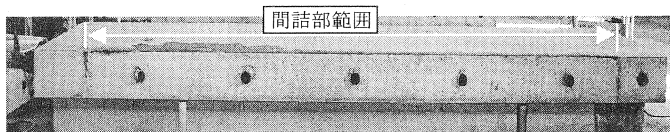


写真-6 インク浸透跡 (S3供試体)



図-12 インク浸透の変化 (S3供試体 P1-P2-S側)

4. まとめ

本実験で得られた結果について総括する。

- 1) 間詰コンクリート材料に収縮補償コンクリートを使用し, 適切な打継目面処理, 十分な湿潤養生を行うことで打継目地でのひび割れ発生はほぼ完全に抑えることができる。
- 2) 間詰めコンクリートに対する十分な湿潤養生で打継目地部でのひび割れ発生をある程度抑止できるが, 収縮補償コンクリートの使用, 適切な打継目面処理を併せて行わなければ, 打継目地のひび割れ発生を完全に防止することは困難である。
- 3) 養生期間中に発生したひび割れを, プレストレスの導入によって水分等の浸入が防止できるまでに完全に閉じることは困難である。

上記のように, 本実験の結果, 間詰コンクリートの目地部でのひび割れ防止に対して, 従来品質確保策として挙げられている収縮補償コンクリートの使用, 打継目面への吸水など打継目処理, 十分な湿潤養生のそれぞれ単独の効果については検証できなかったが, これら全てが適切に行われなければならないことが強く示唆された。

今後は, これらの対策について構造物や環境など個々の現場条件に応じて適切な作業条件を設定できるような標準化手法を提案するなど, 施工の効率化を妨げることなく合理的かつ確実に良好な施工品質が得られるための方策を検討していきたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編, 2002
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書[施工編], 2002