

報告

[1105] RCプレキャスト床版を用いた合成桁斜張橋における
膨張コンクリートの使用について

正会員 橋 吉宏 (川田工業中央研究室)
前田 研一 (川田工業中央研究室)
正会員 ○ 柳澤 則文 (川田工業中央研究室)
正会員 梶川 康男 (金沢大学工学部)

1. まえがき

合成構造は、コンクリートと鋼のもつ特性を合理的に利用し、力学的挙動に加え経済的にも有利性がある構造であり、「第三の構造」として広く利用されるようになってきている¹⁾。この状況下で、静岡県小笠郡菊川町にある民間企業の敷地内の連絡橋として、景観性の観点から斜張橋形式が選定され、その桁構造として合成桁が採用された(図-1参照)。また、本橋における施工では工期短縮が課題とされ、本形式としてわが国で初めてRCプレキャスト床版が採用された。

合成桁を斜張橋の主桁に用いる場合、設計に際して連続桁同様に床版に引張り応力が生ずることが問題となる。斜張橋では、ケーブル(斜吊材)によって桁に導入されるプレストレスで負の曲げモーメントへの対処が可能であり、この合成桁斜張橋形式は力学的にも優れた一構造形式として、海外においても最近脚光を浴びている。

このような合成構造物が、供用期間中にその性能を発揮し続けるには、力学的性状はもとより構造材料自体の耐久性が必要である。合成桁構造では、RC床版のひびわれの発生に対処することが、疲労や鉄筋腐食の問題等に対し大きな検討項目であると考えられた。本橋の床版施工においては、RCプレキャスト床版ブロックを連続的に敷き並べた後、現場で鋼桁との合成および各ブロック間の接合が行われた。この現場打ち部の材料選定が、上記の観点からその施工とともにRC床版の耐久性に大きく影響するものと考え、膨張コンクリートおよび膨張材を用いたモルタル(以下「膨張モルタル」という)の使用を検討した。

本文は、このRCプレキャスト床版を用いた合成桁斜張橋の概要を説明するとともに、膨張材を使用するにあたって実施した試験について報告するものである。

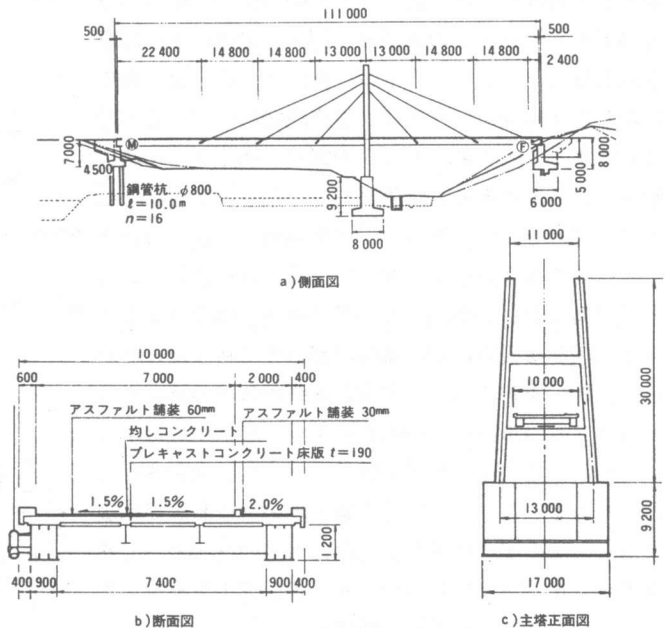


図-1 構造一般図

2. 合成桁斜張橋の概要²⁾

2-1 構造概要と床版引張応力の低減法

本橋は、3段ファン形のケーブル配置を有する合成桁斜張橋であり、桁構造として、施工性や桁下からの美観などを配慮し箱断面が採用された。前述したように、合成桁構造では床版に作用する引張応力が問題であり、本橋では支持構造として、合成後荷重による負のモーメントを減じるために、主塔位置における主桁の中間支点を省き、床版に作用する引張応力の低減を図った。また、プレキャスト床版は材令90日後の施工を考え、この材令に対応する係数を用いて、斜張橋モデルによるクリープ・乾燥収縮解析³⁾を行ったが、床版に作用する引張応力については、道路橋示方書（以下「道示」と略す）鋼橋編9章「合成桁」におけるコンクリート断面を有効とする場合の規定を満足できなかった。この規定は、床版には死荷重・プレストレス力、およびクリープ・乾燥収縮の持続荷重によって生ずる引張応力は許容されず、活荷重・衝撃および温度差によって生ずる引張応力に対して許容値が設定されているものであり、この規定を満足させるために、床版にプレストレスを導入する方法を採用することにした。採用した方法は、斜張橋のもつ構造特性を利用した方法であり、鋼桁をすべて架設した時点でケーブルに余分に張力を導入しておき、RCプレキャスト床版を架設、鋼桁との合成を図ったのちケーブルを緩めて、床版コンクリートを含めた合成断面に正の曲げモーメントおよび軸力を導入する方法である。

2-2 RC床版部の概要

RC床版の設計基準強度は $400\text{kgf}/\text{cm}^2$ であり、本橋では工場製作のプレキャスト床版を使用した。この床版ブロックは図-2～4に示すように、ループ状重ね継手を有し40cmの間隔をおいて、その長辺が橋軸直角方向となるように連続的に敷き並べ、現場において鋼桁との合成および、各ブロック間の接合を順次行うものである。鋼桁との合成は、図-2に結合部の詳細を示したように、スタッドジベルにより行った。図中に示したスポンジテープは、製作誤差に起因する不陸に対処するとともに、モルタル漏れを防止するために配置したものである。床版ブロック相互の接合法としては、図-3に示したループ状重ね継手による方法とした。この継手方法は、海外では多く採用されている方法であるが、わが国でこの継手方法を橋梁プレキャスト床版の接合部に用いるのは初めてであったことから、各種の実験を行い安全性および耐久性の確認を行った（文献2)参照）。なお、このループ形状は、道示による鉄筋曲げ半径の規定を満足するように決定されたものである。これらの床版と鋼桁との合成および床版ブロック間の接合に際し、現場打ち部の材料として膨張モルタルおよび膨張コンクリートの使用を検討した。以下の章からは、膨張材を使用するにあたっての考え方や、施工前に実施した種々の試験について述べる。

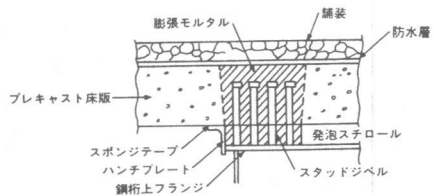


図-2 鋼桁との合成

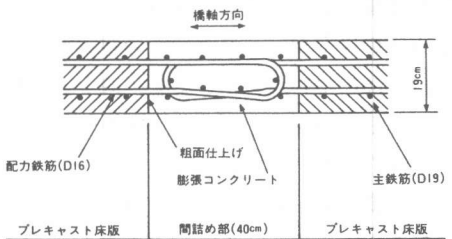


図-3 継手構造

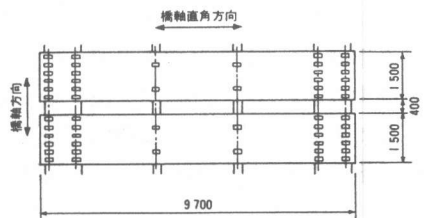


図-4 プレキャスト床版の配置

3. 床版ブロック接合部（膨張コンクリート）

プレキャスト床版を用いる利点の1つとして、乾燥収縮度を小さくすることができる事が挙げられる。この乾燥収縮度を低減する方法として、単位水量をできるだけ小さくするなどの配合上の検討や、プレキャスト床版のコンクリート打設から架設までの材令を調整する等の方法があり、本橋においては、表-1に示す配合で、上述したようにプレキャスト床版は材令90日後に架設された。このように乾燥収縮を可能な限り低減した一方で、床版部には図-3に示したように現場打ちの継手部があるために、この部分の乾燥収縮度がプレキャスト床版部に比べて大きくなることは避けられず、特に打継目におけるひびわれの発生に対して弱点となることが予想された。膨張コンクリートは、この材令差に起因する乾燥収縮度を補償する目的で使用を検討した。

表-1 プレキャスト床版のコンクリート配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材比 (%)	単位量 (Kgf/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AE減粘
20	8.5	4.0	37.5	40.0	150	400	716	1087	3.62

3-1 単位膨張材量の決定

膨張コンクリートを使用するにあたり、収縮補償を行うための膨張率の設定と、単位膨張材量の決定が問題となる。上述した材令差に起因する乾燥収縮度を補償するには、図-5に示すように、プレキャスト床版部と継手部コンクリートの乾燥収縮曲線が交わらないように膨張率を設定することが必要である。たとえば図-5において、両コンクリート部の乾燥収縮が相似形で進行するものと仮定すると、90日の乾燥収縮度を補償することを目的とした場合、継手部コンクリートは材令90日の時点で膨張率がゼロ以上であれば、この条件は満足されることになる。

一方、土木学会・膨張コンクリート設計施工指針（案）⁴⁾によると、単位膨張材量は、収縮補償を目的とした場合、既往の実施例では30kgf/m³とすることが多く、その際の膨張率は、土木学会基準A法による膨張試験によると、材令7日で150~200μであることが記されている。本橋でも30kgf/m³程度の使用を検討し、実際に使用する骨材・セメントおよび膨張材を用いた土木学会基準による膨張試験を行った。本試験では、収縮挙動も追跡できるB法を採用し、その試験結果を図-6に示す。試験結果によると、単位膨張材量30kgf/m³では材令7日で十分な膨張率が得られたと考えられたが、材令4週で膨張率がゼロとなり、上記した収縮補償の説明と照らし合わせ検討すると30kgf/m³では不安を生じた。そこで、実

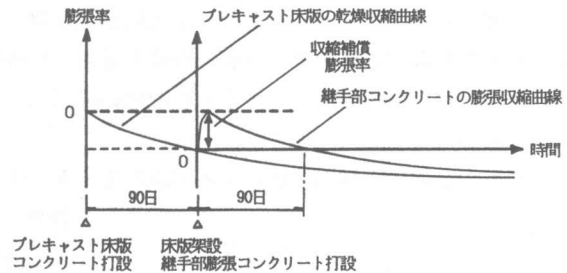


図-5 乾燥収縮の進行と収縮補償

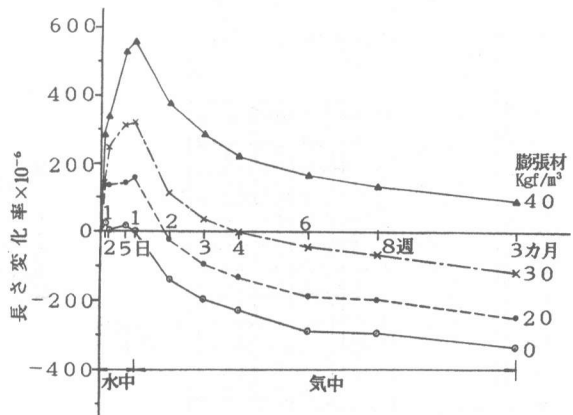


図-6 B法における試験結果

際に使用する膨張コンクリートの単位膨張材量としては、この量より多い 35kgf/m^3 とする一方、次節で述べるように実構造模型による膨張性の確認を行った。表-2に決定された膨張コンクリートの配合を示す。

表-2 膨張コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水結合材比 (%)	細骨材比 (%)	単 位 量 (Kgf/m ³)					
					水 W	セメント C	膨張材 E	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AC
25	8.0	4.0	37.0	42.6	158	391	35	739	1012	1.33

3-2 継手部での膨張性

以上に配合の決定について述べたが、膨張コンクリートを使用する継手部は、図-3に示したループ状の配筋構造であることや、膨張に対する拘束が主鉄筋（橋軸直角）方向と配力鉄筋（橋軸）方向の2方向であることなど、B法における供試体と条件が大きく異なることから、継手部での膨張性を確認する必要がある。そこで、図-7に示す実構造模型供試体を利用し、表-2で配合が決定された膨張コンクリートの膨張試験を実施し、膨張性の確認を行った。この供試体においては、上鉄筋、下鉄筋に貼り付けたひずみゲージ（図-7、A・B・C・D）で膨張量を計測しており、上鉄筋と下鉄筋部との膨張の条件が同じになるようにした。試験は気温約 17°C の屋内で実施し、7日間散水養生後、気中養生した。試験結果を図-8に示す。この結果によると、配力鉄筋（橋軸）方向の膨張量は、材令7日で $130\sim 190\mu$ 、材令14日で $110\sim 140\mu$ であった。道示では、材令4~7日と材令90日のコンクリートの乾燥収縮度の差は 40μ 、材令90日以降の乾燥収縮度は 160μ と乾燥収縮度の標準値を規定している。この道示における規定値から判断して、実験で測定された膨張量は、本橋における材令差に起因する乾燥収縮を補償する目的に対し、十分な膨張量であると考えられた。なお、本橋は施工が終了しており、施工時に図-7と同様な継手構造を持つ乾燥収縮計測用ダム版を作成し観測を実施中であり、材令約9か月の時点でひびわれの発生は認められず、表-2に示した配合の膨張コンクリートが十分に機能していることが確認されたといえよう。

ここで、B法と実構造模型による実験結果とを、膨張コンクリートが拘束鋼材に対してなす仕事が一定の概念⁵⁾に基づいて比較してみたが、材令7日における膨張率で算定した結果では、継手部の拘束鋼材鉄筋比は計算上5~10%となり、実構造模型の鉄筋比（継手部4%、非継手部2%）

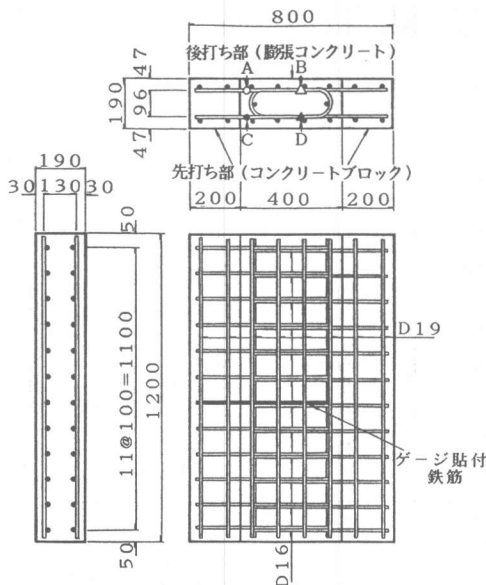


図-7 継手構造模型

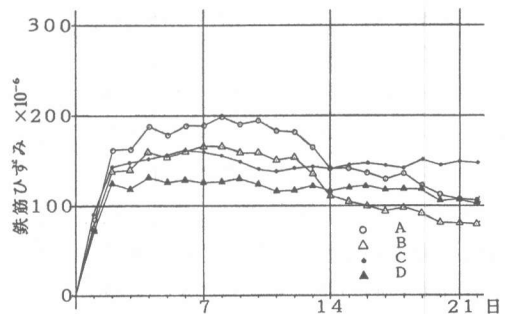


図-8 鉄筋ひずみ計測結果

とは対応しなかった。この原因として、上記したように、ループ状の配筋構造であることや、膨張に対する拘束の影響などが考えられる。また、材令7日以降における収縮の程度が、B法と実構造模型による実験結果で大きく異なるのも、同様に拘束鋼材の影響によるものと考えられる。

4. 鋼桁との結合部（膨張モルタル）

プレキャスト床版と鋼桁との合成は、図-2に示した結合ジベル部にモルタルが充てんされることにより図られる。この箇所は、合成桁橋である本橋にとっては重要な施工部であり、従来は無収縮モルタルが使用されてきたが⁶⁾、経済性を考え本橋では膨張モルタルの使用を検討した。ここで使用するモルタルは、無収縮モルタルと同等の性能が要求され、無収縮性に対しては膨張材を用いて対処し、流動性に対しては減水剤を用いて対処する方法について検討し、採否を決定することにした。

4-1 流動性の検討

無収縮モルタルの基準として日本道路公団の基準⁷⁾を引用すると、流動性に対して、土木学会規準「コンシステンシー試験方法」に規定するJロートの流下時間が、 8 ± 2 秒の品質を規定している。実際に使用する細骨材を用いて試験練りをした結果では、セメントと細骨材の重量比が1:2で、水セメント比39%の配合をベースとしたモルタルに、非A Eタイプの高性能減水剤を添加することにより、Jロート流下時間8秒のコンシステンシーを確保することができた。気温約20°Cの試験室内では、この減水剤を適時添加することにより3時間まで流動性が持続することを確認し、この時点で使用した減水剤量はセメント重量に対し1.0%であった。また、この時に採取したモルタルの7日強度は 482kgf/cm^2 、28日強度は 572kgf/cm^2 であり、設計基準強度 400kgf/cm^2 に対して十分な強度であることが確認された。なお、本試験で得られたJロート流下時間8秒のモルタルについて、実物大模型による床版上面の開孔部からの注入試験も実施し、施工性に問題のないことを確かめた。

4-2 膨張材量の検討

無収縮性については、上記の文献⁷⁾によると、材令7日で収縮してはならないと品質を規定している。本橋では、この施工箇所が合成効果を発揮するうえで、極めて重要な場所であると考えられたので、材令7日の無収縮性はもちろん、可能な限り膨張材を多くする配合を検討した。膨張性の試験は、実橋で使用する細骨材を用い、JIS-A6202「コンクリート用膨張材」付属書・膨張材のモルタルによる膨張性試験方法に準じて行った。試験では、上述の配合条件のもとに減水剤を1.0%添加し、膨張材量をセメント重量に対し0~10%変化した配合で試験を

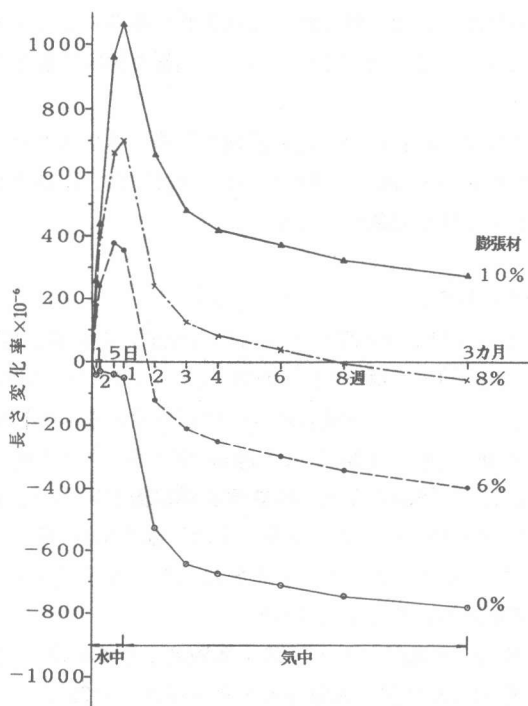


図-9 モルタルの膨張率試験結果

行った。その試験結果を図-9に示す。また、各配合における強度試験結果を表-3に示す。これらの結果から、6%以上の膨張材量で材令12日以上の無収縮性を示すが、10%の膨張材量では材令7日の強度低下が大きいので、8%の膨張材量が適当であると考えられた。

以上に示したような、減水剤と膨張材との併用により、所要の性能が得られたと判断し、表-4に配合を示した膨張モルタルの採用を決定した。

表-3 圧縮強度

膨張材率 (%)	7日強度 (Kgf/cm ²)		28日強度 (Kgf/cm ²)	
	拘束	無拘束	拘束	無拘束
0	491(100)	491(100)	622(100)	616(100)
6	518(105)	466(95)	630(101)	619(100)
8	456(93)	404(82)	624(100)	576(94)
10	381(78)	320(65)	619(100)	563(91)

()内は、膨張材率0%強度に対する比%

表-4 膨張モルタルの配合

Jロー ト流下 時間 (sec)	水結合 材比 (%)	膨張材 率 (%)	砂結合 材比 (%)	単 位 量 (Kgf/m ³)				
				水 W	セメン ト C	膨張材 E	細骨材 S	混和剤 減水剤
8	39.0	8.0	52.4	264	622	54	1290	-6.76

5. まとめ

プレキャスト床版を用いた合成桁斜張橋で、床版ブロック接合部と鋼桁との連結部に膨張コンクリートおよびモルタルの使用を検討し、施工前に試験を実施した。膨張コンクリートは、プレキャスト床版と現場打ちコンクリートとの材令差に起因する乾燥収縮度を補償する目的で使用が検討され、その配合にあたり、木学会基準B法の試験を用いて膨張材量を決定した。また、決定された配合に対し、実構造模型による試験も実施し、上記の目的に対し十分な膨張性を有することを確認した。一方、膨張モルタルは、無収縮モルタルと同等の性能を持つ材料として使用が検討され、膨張材と減水剤とを併用して、所要の性能が得られることを試験により確認して採用が決定された。本文は、合成桁斜張橋床版部への膨張材の一使用例を報告したものであるが、膨張材の使用は、耐久性の向上に効果的であることが土木学会・コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)⁸⁾でも明記されており、同様な箇所に膨張材を使用する際の一参考資料になれば幸いである。

最後に、これらの一連の試験を実施するにあたり、多大な御協力および御指導をいただいた、日本セメント(株)、(株)ドービー建設工業、ならびに大東コンクリート工業(株)の関係者の方々に心より深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) たとえば、土木学会：第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，1989。
- 2) 前田 研一，橘 吉宏，柳澤 則文，志村 勉，梶川 康男：合成桁斜張橋・プレキャスト床版の設計法とループ状重ね継ぎ手の耐久性に関する研究，構造工学論文集，Vol.36A，1990。
- 3) 町田 文孝，北島 影夫，越後 滋：鋼・コンクリート合成構造の汎用クリープ乾燥収縮解析，土木学会第38回年次学術講演会講演概要集(I)，1983。
- 4) 土木学会：膨張コンクリート設計施工指針(案)，コンクリート・ライブラリー第45号，1979。
- 5) 辻 幸和：コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎研究，土木学会論文報告集，第235号，1975。
- 6) 中井 博・編：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工，森北出版，1988。
- 7) 日本道路公団：無収縮モルタル基準，1979。
- 8) 土木学会：コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)，コンクリート・ライブラリー第65号，1989。