

## 彦平橋における高炉セメントを用いたコンクリートによる高耐久床版の施工

(株)IHIインフラ建設                      ○永田 伸幸  
 国土交通省 東北地方整備局          伏見 友宏  
 (株)IHIインフラ建設                      鈴木 辰幸  
 (株)IHIインフラ建設 正会員          池上浩太郎

キーワード：塩害対策，凍害対策，ASR対策，高炉セメント

### 1. はじめに

彦平橋は，復興支援道路として緊急整備が実施されている福島相馬道路の霊山IC～霊山飯館IC間に位置する，ポストテンション方式PC単純コンポ橋である。東北地方のように凍結抑制剤を大量に散布する地域では，塩害，凍害，ASRの複合劣化と思われる「RC床版の土砂化」の発生を抑制することが，床版の耐久性確保のための重要な課題となっている。

本橋では，RC床版の塩害対策として必要な箇所に防錆鉄筋を使用し，凍害対策として空気量の目標値を5%程度とした。さらに，今後施工される新設高架橋の場所打ち床版などの高耐久化を目指した取組みの検証の一環として，現場打ち床版コンクリートに水結合材比を45%以下として高炉セメントを用いることとなった。床版コンクリートには前例の少ない高炉セメントを使用するにあたり，高炉セメントと膨張材を併用したコンクリートの各種品質，膨張材の効果や硬化コンクリートの緻密性及び遮塩性を確認するため各種事前検証を行い，その性能を確認した。

本稿は，現場施工において実施した上記の各種検証とその結果について報告するものである。

### 2. 工事概要

彦平橋の橋梁一般図を図-1に示す。工事概要は以下のとおりである。

工事名：平成28～29年度 彦平橋上部工工事  
 構造形式：ポストテンション方式PC単純コンポ橋  
 橋長：43.700m  
 支間長：42.600m  
 幅員：14.530m

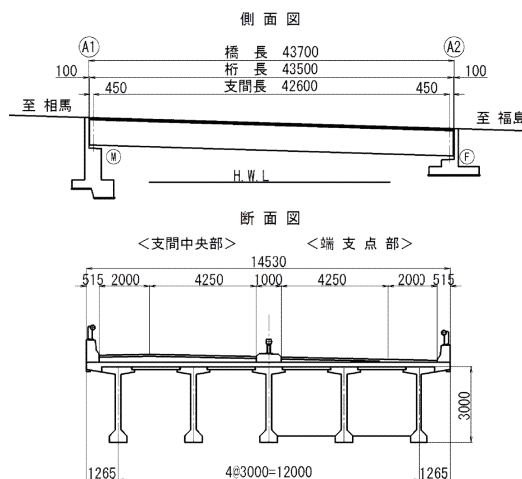


図-1 彦平橋橋梁一般図

### 3. 事前検証

#### 3.1 プロクター貫入試験およびN式貫入試験結果

図-2にプロクター貫入試験およびN式貫入試験の結果を示す。試験結果より，プロクター貫入試験結果では，貫入抵抗値がコールドジョイント発生の目安である0.1N/mm<sup>2</sup>となるのは，打設完了から105分程度であった。よって，床版打設当日の打ち重ね可能時間は，打設完了から90分以内で管理

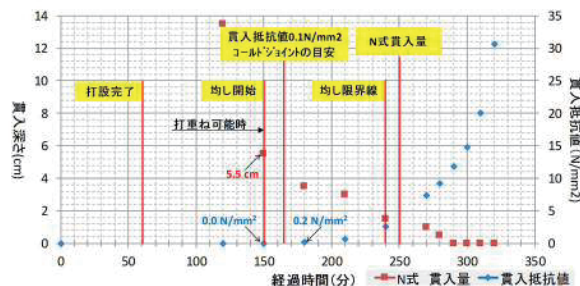


図-2 プロクター貫入試験およびN式貫入試験結果

することとした。均し作業が可能である時間は、練混ぜから4時間程度となり、N式貫入試験では1.5cmの貫入量が得られた。N式貫入試験結果からプロクター貫入試験の貫入抵抗値を推定できると判断し、床版打設当日はN式貫入試験のみを実施し、3.5cmの貫入量までを均し作業可能の目安として作業時間を管理することとした。

### 3.2 コンクリートの膨張・収縮計測 (供試体)

高炉スラグセメントを使用したコンクリートに膨張材を添加した場合の、コンクリートの膨張・収縮挙動を確認するため、下記の3種類の供試体を各3体製作した。

- ① 膨張材ありのコンクリート (BBEX) を使用した非拘束試験用供試体。埋込み型ひずみ計
- ② 膨張材なしのコンクリート (BB) を使用した非拘束試験用供試体。埋込み型ひずみ計
- ③ 膨張材ありのコンクリート (BBEX) を使用した一軸拘束試験用供試体。PC 鋼棒にひずみゲージを貼付 (JIS A 6202 法)

図-3 に非拘束供試体のコンクリートひずみを、図-4 に一軸拘束供試体の PC 鋼棒のひずみを示す。

図-3 より、膨張材なし (BB) の非拘束供試体は硬化直後から収縮が始まり、28 日間の養生完了後は乾燥収縮も始まり材齢 91 日では、約 400  $\mu$  収縮していることが分かる。一方で、膨張材あり (BBEX) は硬化直後から約 150  $\mu$  膨張し、28 日の養生期間中に約 50  $\mu$  収縮するが、養生終了時には約 100  $\mu$  膨張した状態である。養生を終了すると乾燥収縮が進行するが、材齢 91 日での収縮は 160  $\mu$  程度となった。

図-4 より、一軸拘束された供試体 BBEX の膨張により、PC 鋼棒に引張ひずみを生じさせていることが確認できる。両者の結果から、コンクリートが確実に膨張していることが分かる。

### 3.3 模擬床版によるひずみ挙動の検証結果

実際の床版と同様の配筋、同程度の高さとした模擬床版 (写真-1) を製作した。床版鉄筋に拘束される場合の膨張材添加コンクリートのひずみ挙動を確認するため、橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向の3方向に埋込み型ひずみ計を用いてひずみを計測した。

図-5にコンクリートひずみの推移を示す。図より、橋軸方向、橋軸直角方向ともに約100  $\mu$  の膨張ひずみが生じていることが分かる。非拘束供試体の自由膨張ひずみが約150  $\mu$  であったことから、コンクリートの膨張が鉄筋により拘束されていると考えられる。拘束された膨張変形は圧縮応力としてコンクリートに作用すると考えられ、ひび割れ抑制効果が得られ

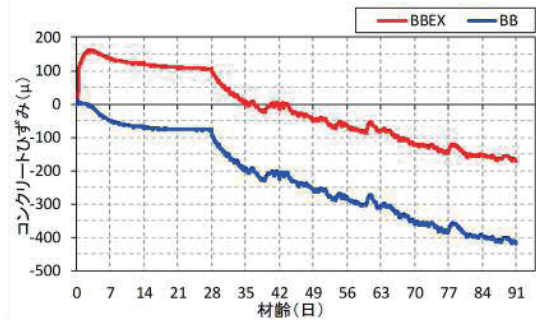


図-3 非拘束供試体のコンクリートひずみ

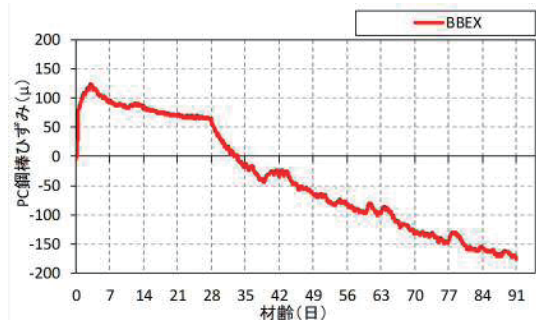


図-4 一軸拘束供試体の PC 鋼棒ひずみ



写真-1 模擬床版の配筋状況

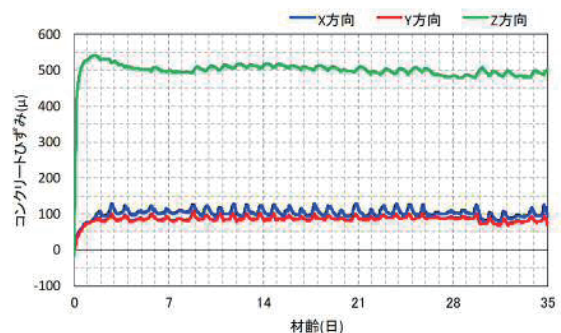


図-5 模擬床版コンクリートのひずみ



ると考えられる。

鉛直方向のひずみは最大で約 550  $\mu$  膨張しており、自由膨張ひずみの約 150  $\mu$  に比べ大きいことが分かる。これは、変形を拘束するもの（幅止め筋など）がない鉛直方向の自由膨張に加え、橋軸方向、橋軸直角方向の膨張変形が拘束されていることに起因すると考えられる。

#### 4. 床版コンクリート施工時の取組み

##### 4. 1 床版コンクリートのひずみ挙動の計測

実際の床版に、模擬床版での計測と同様に埋込み型ひずみ計を設置し、床版コンクリートのひずみを計測した。ひずみ計は、PC 桁直上（計測位置 A、写真-2）と床版支間部（計測位置 B）の 2 か所（図-6）に設置した。ひずみ計測は、28 日の養生完了後 6 日間継続した。

図-7にコンクリートひずみ推移を、図-8に橋軸方向、橋軸直角方向ひずみの詳細を示す。模擬床版で確認されたひずみ挙動と同様に、橋軸方向、橋軸直角方向のひずみは100  $\mu$  程度、鉛直方向ひずみは600  $\mu$  前後となった。

鉛直方向ひずみは位置 A（桁上）と位置 B（床版支間部）で同程度であるのに対し、橋軸方向ひずみ、橋軸直角方向ひずみは位置 A（桁上）と位置 B（床版支間部）で大きな差があった（図-8）。これは、床版鉄筋による拘束に加え、位置 A では主桁および主桁から突出したずれ止め鉄筋の拘束効果が大きいものと考えられる。主桁から突出しているずれ止め鉄筋が、有効に機能していることの裏付けにもなる。

##### 4. 2 床版コンクリート品質確認試験

実橋では 28 日間の養生完了後の材齢 34 日で、模擬床版では 28 日間の養生完了後の材齢 58 日で、床版上面（打設面）の透気係数計測、気泡間隔係数計測を実施した。

###### (1) 床版コンクリート透気係数計測

透気係数試験（トレント法）を実施した。試験結果を図-9 に示す。①，③，⑤は実床版の，M①，M②は模擬床版の結果である。東北地整の品質確保の手引きでは、品質の評価を行う際のコンクリートの含水率の上限値の目安として、含水率が 5.5%以下であることを確認して、計測することを推奨している。本計測においても、全箇所表層の含水率が 5.5%以下であることを確認している。計測結果は、すべての箇所良評価以上となり、実橋床版上面では、数か所で優評価となる測定値だった（表-1）。これは特殊な養生マットと自動散水装置を使用し、長期養生（28 日間）により得られた結果と考える。

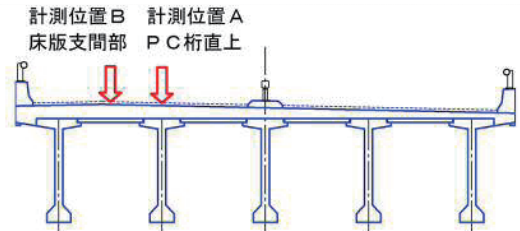


図-6 埋込み型ひずみ計設置位置

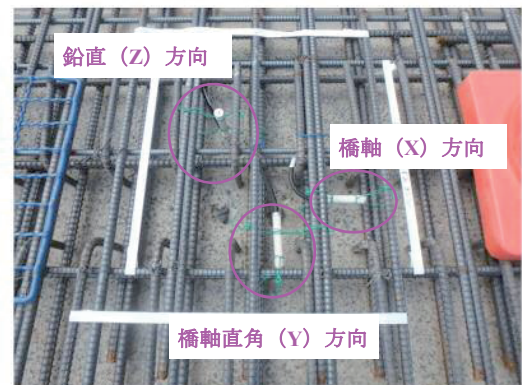


写真-2 PC 桁上の埋込みひずみ計

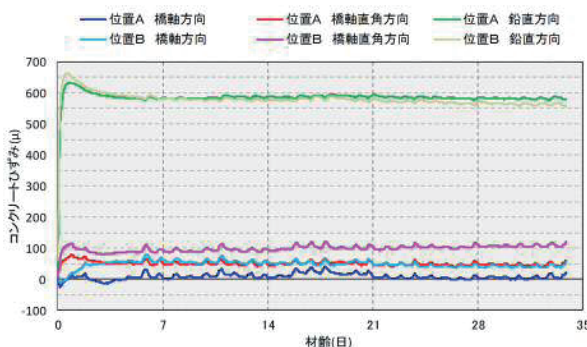


図-7 実橋の床版コンクリートのひずみ

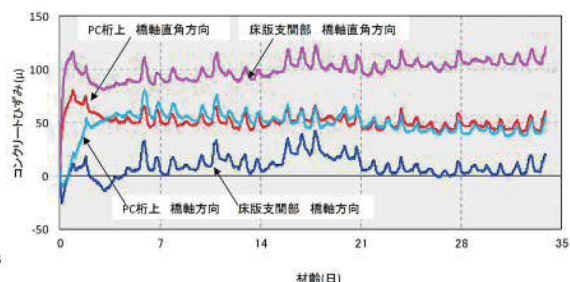


図-8 実橋の床版コンクリートのひずみ

(2) 床版コンクリート気泡間隔係数計測

コンクリート床版表面の研磨を行った後、ASTM C457-06<sup>2)</sup>によるリニアトラバース法に準拠し気泡間隔係数計測を実施した。試験結果を表-2に示す。②, ④, ⑥は実床版の、M①, M②は模擬床版の結果である。

一般的に、凍害による損傷から免れる気泡間隔係数の上限値は250 $\mu\text{m}$ 程度とされている<sup>3)</sup>。本橋の計測結果は、気泡間隔係数が大きくなりやすい打設面付近においても概ね250 $\mu\text{m}$ 程度であり、微細なエントレインドエアが均等に分布していると考えられる。

5. おわりに

本工事では、高炉セメントを用いたコンクリートによるRC床版の高耐久化を目指し、高炉セメント使用の可否に関する事前検討から、実構造物施工時のコンクリートの基礎的物性計測、養生完了後のコンクリートの品質確認までを実施した。種々の実験および検討を重ねた結果、高炉セメントを用いたコンクリートが床版に適用可能であることを確認できた。

彦平橋は平成29年9月に無事しゅん工した

(写真-3)。本橋が東北地方復興に寄与できることを願い、また本稿が高耐久PC橋の普及の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) R. J. Torrent, "A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site", Material and Structures, 25, pp. 358-365, 1992
- 2) ASTM C457-06, "Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete"
- 3) T. C. Powers, "Void spacing as a basis for producing air-entrained concrete", J. Amer. Concr. Inst., 50, pp. 741-60 (May 1954), and Discussion, pp. 760-6-760-15 (Dec. 1954).

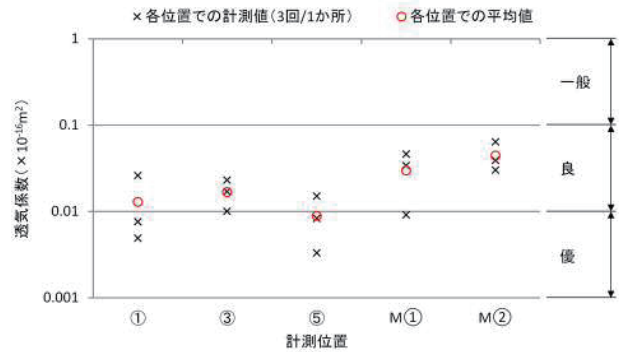


図-9 トレント法による透気係数計測結果

表-1 トレント法による透気係数 ( $\times 10^{-16}\text{m}^2$ ) の評価基準 (Torrent ら)<sup>1)</sup>

	優	良	一般	劣	極劣
透気係数	0.01~ 0.001	0.01~ 0.1	0.1~ 1.0	1.0~ 10.0	10.0~ 100

表-2 リニアトラバース法による気泡間隔係数計測結果

測定箇所	$Tt$ (mm)	$N$ (個)	$p$ (%)	$p/A$	$A$ (%)	$\bar{L}$ ( $\mu\text{m}$ )
②	1405.34	181	46.9	42.6	1.1	255
④	1405.34	210	46.9	39.1	1.2	229
⑥	1405.34	214	46.9	33.5	1.4	238
M①	1405.34	167	46.9	46.9	1.0	256
M②	1405.34	228	46.9	31.3	1.5	245

$L$ :気泡間隔係数,  $Tt$ :トラバース全長,  
 $N$ :横切られる気泡の全数,  $p$ :ペースト量,  $A$ :空気量



写真-3 完成写真