

# 高性能軽量骨材コンクリートを用いたPC箱桁橋の設計・施工 —北海道縦貫自動車道 シラリカ川橋—

山崎 通人\*1・東田 典雅\*2・中村 元\*3・竹本 伸一\*4

## 1. はじめに

社会資本整備におけるコスト縮減が求められている中、兵庫県南部地震以来、橋梁の耐震性を向上させるために、コンクリート橋梁の軽量化が重要なキーワードの一つとして挙げられるようになってきた。

そのため、鋼部材との複合構造の適用など構造面からの軽量化とともに、人工軽量骨材などの材料面からの技術開発が積極的に行われている。

とくに橋梁上部工へ人工軽量骨材を用いたコンクリートを適用することにより、死荷重や地震時慣性力の軽減が可能となり、PC鋼材量および鉄筋量の減少、コンクリート部材断面の縮小化といった下部工や基礎工を含めた橋梁全体のコスト縮減が図れると考えられる。

日本での人工軽量骨材コンクリートの実用化は、1960年代に品質が安定した人工軽量骨材の市販によって本格的に始まった。1967年から1970年にかけて土木分野での軽量コンクリートの施工実績は、年間約50件程度であったが、それ以降実績は減少していった<sup>1)</sup>。

その理由として、コンクリート打設時のポンプ施工が急速に広がり、人工軽量骨材の吸水率が大きいことによるポンプの閉塞トラブルが頻繁に発生したこと、寒冷地における耐凍害性が低いこと<sup>2)</sup>、また疲労耐久性などの軽量コンクリートの経年変化への研究が不十分であったことが大きな原因であった。

しかし、近年では従来の人工軽量骨材に比べて、骨材強度が約2倍、吸水率が約1/3と小さい軽量骨材<sup>3)</sup>(以下、高性能軽量骨材と示す)が開発され、ポンプ圧送性や耐凍害性を大幅に向上させた高性能軽量骨材コンクリートを橋梁上部工に適用することが可能になった。

これにより、下部工および基礎工を含む橋梁全体のさらなるコスト縮減化に向けた「高性能軽量骨材コンクリート」の実用化が期待され、ますます注目されるようになってきている。

しかし、高性能軽量骨材コンクリートを用いたPC橋の施工実績は、数が少ないのが現状である。今回のPC箱桁橋への採用にあたっては、柱頭部の実物大供試体試験を行い、その材料特性等を把握して実施工に反映した。

本報文はこれらの結果を含め、高性能軽量骨材コンクリートを用いたPC橋の設計および施工について報告するも

のである。

## 2. 概要

### 2.1 橋梁概要

高性能軽量骨材コンクリートを適用した橋梁は、現在JHが建設中の北海道縦貫自動車道八雲IC(仮称)～国縫IC間に位置するシラリカ川橋で、橋長96.2m(最大支間42.7m)のPC3径間連続ラーメン箱桁橋である(写真-1)。

図-1に橋梁一般図、表-1に橋梁諸元を示す。

### 2.2 高性能軽量骨材コンクリート

#### (1) 高性能軽量骨材

本橋梁に採用した高性能軽量骨材は、流紋岩の一種であ

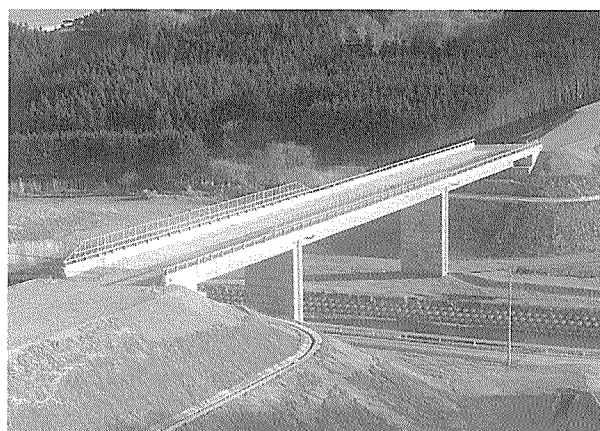


写真-1 シラリカ川橋全景

表-1 橋梁諸元

工事名	北海道縦貫自動車道シラリカ川橋(PC上部工)工事
発注者	日本道路公団 北海道支社 長万部工事事務所
道路規格	第1種第2級B規格
活荷重	B活荷重
工期	平成11年9月～平成13年12月
施工場所	北海道八雲町黒岩
橋種	プレストレストコンクリート道路橋
構造形式	PC3径間連続ラーメン箱桁橋 全外ケーブル構造
橋長	96 200 m
支間	28 500 m + 42 700 m + 24 000 m
全幅	11 400 m
コンクリート	軽量1種コンクリート
粗骨材	独立空隙型人工軽量骨材

\*1 Michihito YAMAZAKI : ドービー建設工業(株) 北海道本店 設計部 課長

\*2 Norimasa HIGASHIDA : JH 北海道支社 建設部 構造技術課 課長

\*3 Hajime NAKAMURA : JH 北海道支社 建設部 構造技術課 課長代理

\*4 Shin-ichi TAKEMOTO : ドービー建設工業(株) 北海道本店 設計部 部長

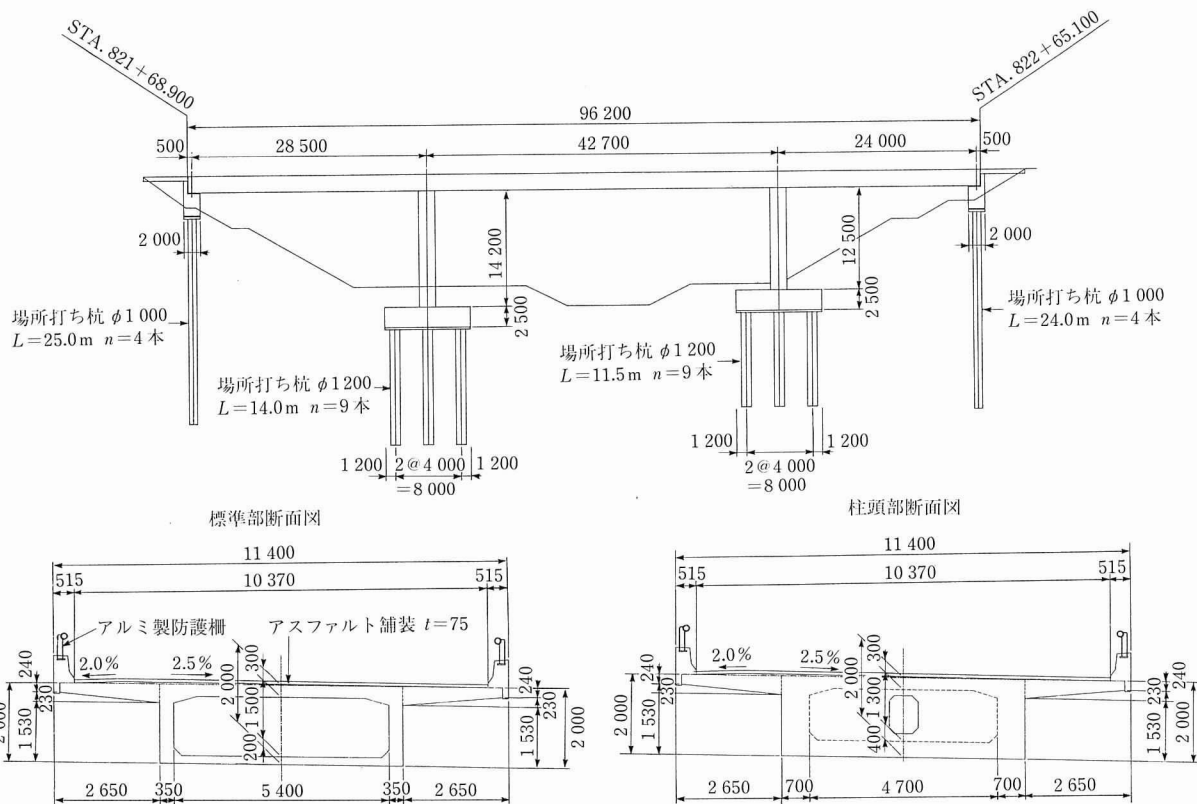


図 - 1 橋梁一般図

る真珠岩を微粉碎しながら、可塑材・発泡材などの添加材を混合し、この混合微粉原料を回転造粒機により高密度で造粒化し、中温焼成で焼結させ、さらに高温焼成で発泡させて製造するものである。

高性能軽量骨材と従来の人工軽量骨材の物性値比較を表-2、高性能軽量骨材の形状およびコンクリート断面を写真-2に示す。

表 - 2 軽量骨材の物性値比較

項目	高性能軽量骨材	従来の人工軽量骨材
主原料	真珠岩	膨張頁岩
内部構成	独立気泡	連続気泡
吸水率→耐久性	低吸水→凍害を受けにくい 3%以下	高吸水→凍害を受けやすい 約10%
密度	1.2 g/cm <sup>3</sup>	1.25g/cm <sup>3</sup>
圧縮荷重	1000 N 以上	500 N 以上



写真 - 2 高性能軽量骨材と高性能軽量骨材コンクリート

(2) 高性能軽量骨材コンクリートの配合

高性能軽量骨材を用いたコンクリートの引張強度や弾性係数は、同一の圧縮強度の普通骨材コンクリートと比べて低下する。

このため経済的な設計となるよう引張強度と弾性係数を通常よく使用される設計基準強度  $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$  程度の強度特性を得るため  $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$  とした。

コンクリート打設はポンプ圧送により行った。従来の軽量骨材は、吸水率が大きくポンプ圧送の場合プレウエッチングが必要であり、そのために十分な耐凍害性が得られない例が多く見られた。本橋梁では、使用した高性能軽量骨材が非常に低吸水である特性を活かし、絶乾状態で使用し耐凍害性を確保した<sup>2)</sup>。

しかし、絶乾状態で使用したコンクリートをポンプ圧送した場合、圧送条件や温度によっては、流動性の低下が生じる場合がある。

このため、高性能 AE 減水剤を用いて流動性を高めた配合とし、スランプフロー (55 ± 5 cm)<sup>3)</sup> による管理を行った。写真-3 にスランプフロー管理状況を示す。

水セメント比は、予備実験より単位水量を 165 kg/m<sup>3</sup> とし、水セメント比を 3 水準 (32, 35, 38 %) 設定して強度関係式 (図-2) を求め、配合強度より 35 % に決定した。

空気量は、耐凍結性を考慮しコンクリート標準示方書 (施工編)<sup>4)</sup> に準拠して、普通骨材コンクリートより 1 % 大きい 5.5 ± 1.5 % とした。

採用した高性能軽量骨材コンクリートの配合を表-3に、普通骨材コンクリートと比較した物性値および使用材料を表-4, 5に示す。



写真 - 3 スランプフロー管理状況

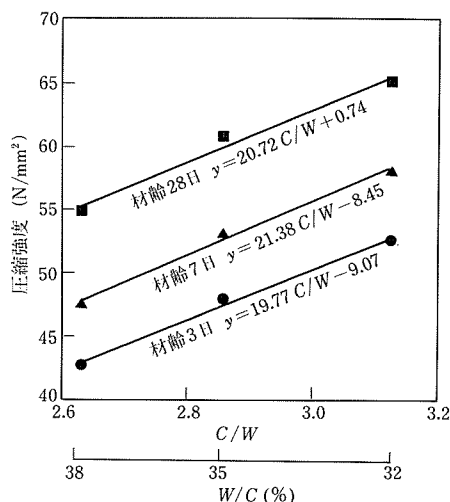


図 - 2 コンクリートの圧縮強度

表 - 3 高性能軽量骨材コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m³)					SP (C × %)	AE (C × %)
			W	C	G	S1	S2		
35.0	50.8	5.5 ± 1.5	165	472	375	580	254	1.37	0.0005

※軽量骨材は絶対重量表記 (軽量骨材の 24 h 吸水量を予め単位水量に加算)  
 (現場配合では軽量骨材の 24h 吸水量 (375 kg/m³ × 2.2 % = 8.25 kg/m³) を予め単位水量に加算)

表 - 4 コンクリートの物性値比較

項目	目標値	
	高性能軽量骨材 コンクリート	普通骨材 コンクリート
スランプフロー値	550 ± 50 mm	—
スランプ値	—	80 ± 25 mm
空気量	5.5 ± 1.5 %	4.5 ± 1.5 %
単位体積重量	18.5 kN/m³	23.0 kN/m³
設計基準強度	50 N/mm²	40 N/mm²

表 - 5 使用材料

種類	物性および成分
早強セメント(C)	密度: 3.14 g/cm³
粗骨材(ALS1.2)(G)	絶対密度: 1.21 g/cm³, 24 h 吸水量: 2.2 %, 最大寸法: 15 mm
細骨材(S1)瀬棚産陸砂	表乾密度: 2.59 g/cm³, FM: 2.40
(S2)上磯産砕砂	表乾密度: 2.65 g/cm³, FM: 3.38
高性能 AE 減水剤(SP)	ポリカルボン酸エーテル系複合体
AE 剤(AE)	アルキルエーテル型陰イオン界面活性剤

### 3. 設計

#### 3.1 設計概要

高性能軽量骨材コンクリート部材の設計概要を、下記に示す。

- ① 鋼材重量を含む単位体積重量は 20 kN/m³ とした。
- ② 設計荷重時の合成応力度はパーシャルプレストレスングとした。ただし、主桁上縁が引張応力となる中間支点上はフルプレストレスとした。
- ③ 許容引張応力度は、コンクリート標準示方書 (設計編)<sup>9)</sup>の「3.2.1 強度(4)」の規定に準じた。つまり、道路橋示方書に示される設計基準強度  $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$  の場合の許容引張応力度に 70 % を乗じた値以下になるように設計を行った。
- ④ コンクリートが負担できる平均および最大せん断応力度は、普通骨材コンクリートに比べて低い<sup>6)</sup>ことが知られているため、許容引張応力度と同様に 70 % に低減して設計を行った。
- ⑤ 弾性係数、クリープ係数、乾燥収縮度、線膨張係数は、高性能軽量骨材コンクリートを用いて行った基礎

実験結果より得られた値を採用した。

以上の設計条件より、コンクリートの材料強度および許容応力度を表 - 6 に示す。

#### 3.2 全外ケーブルの採用

本橋では、グラウト充填不足等に起因する PC 鋼材の腐食破断等に対する耐久性を向上させ、維持管理を容易とするため、主方向 PC 鋼材に全外ケーブル工法を採用した。また、シースにはグラウトの充填状況、PC 鋼材の防錆状況が目で確認可能な透明シースを採用した。

外ケーブルの選定は、PC 鋼材 3 種類 (12 S 12.7 · 12 S 15.2 · 19 S 15.2) について経済比較を行い 12 S 15.2 を使用した。

#### 3.3 定着部・偏向部の設計

軽量骨材コンクリートは、普通骨材コンクリートと比較して引張強度特性が低下する<sup>9)</sup>ことが知られている。そこで、高性能軽量骨材コンクリートを用いた PC 定着部の耐荷特性の実験的検証<sup>7)</sup>を踏まえ、定着体背面の応力状態は有限要素法を用いた三次元応力解析により求め、定着体背面の配筋を決定した。

偏向部の形式は、隔壁形式とリップ形式を採用した。隔壁形式は PC 鋼材の応力伝達機能に優れており、PC 鋼材量が

表 - 6 材料強度および許容応力度

		高性能軽量骨材 コンクリート	普通骨材 コンクリート	単 位	
設計基準強度		50	40		
許容曲げ圧縮応力度	導入直後	21.0	18.0	N/mm <sup>2</sup>	
	設計荷重時	17.0	14.0		
許容曲げ引張応力度	導入直後	-1.3	-1.5		
	死荷重時	0.0	0.0		
	設計荷重時	-1.3	-1.5		
許容せん断応力度	設計荷重時	0.46	0.55		
	終局荷重時	4.2	5.3		
許容斜引張応力度	設計荷重時	-0.8	-1.0		
弾性係数	設計荷重時	$2.40 \times 10^4$	$3.10 \times 10^4$		
	導入時	$2.15 \times 10^4$	$2.88 \times 10^4$		
クリープ係数	主桁自重作用時	2.00	2.60		
乾燥収縮度	プレストレスト減少量 算出時	$20.00 \times 10^{-5}$	$20.00 \times 10^{-5}$		
	不静定力算出時	$15.00 \times 10^{-5}$	$15.00 \times 10^{-5}$		
単位体積重量 <sup>*)</sup>		20.0	24.5	kN/m <sup>3</sup>	
線膨張係数		$10.0 \times 10^{-6}$	$10.0 \times 10^{-6}$		

\*鋼材重量を含む

多い中央径間の中央部に用いた。リップ形式は重量の軽減を考慮し、PC 鋼材量の少ない側径間部と中央径間の側径間寄り偏向部に用いた。

外ケーブル工法を採用している橋梁では、ケーブルの偏向箇所での緊張力により局部的な応力が作用する。そこで偏向部についても有限要素法を用いた三次元応力解析により求めた局部応力に対して、安全となるよう配筋を決定した。

### 3.4 定着部・偏向部の FEM 解析

解析に使用したプログラムは、FINAS (version - 13.0) とした。

解析モデルは橋軸方向に 8.0 m、直角方向は構造の対称性により 1/2 の部分モデルとし、橋梁全体に作用する荷重の影響を考慮し、各解析部に対して適切な応力分布が得られるように境界条件を決定した。

解析は実構造物の局部応力を再現するため、

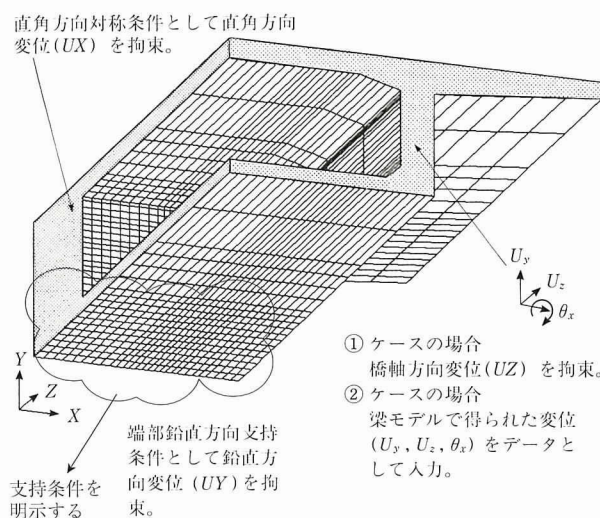


図 - 3 解析モデル

① 外ケーブルにより定着部・偏向部に作用しているケーブル張力を載荷したケース

② 橋梁全体を 3 径間連続ラーメンの梁モデルで解析し、死荷重、活荷重やプレストレスにより定着部・偏向部に発生している変形状態(たわみ・部材の回転角)を強制変位として与えたケース(図 - 3 参照)

とした。これらのケース①, ②, ①+②で得られた最大応力に対して、安全となるように設計を行った。

材料定数は、ヤング係数  $2.15 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)、ポアソン比 0.2 とした。境界条件は、直角方向の対称面においては、対称条件を X 軸方向変位固定とした。また、橋軸方向の切断面においては橋軸方向対称条件より、①の場合 Z 軸方向変位固定、②の場合 Z 軸方向変位には梁モデルの変形状態(たわみ・部材の回転角)を与えた。

図 - 3 に例として定着部の解析モデル図を示す。

解析の結果、定着部では橋軸直角方向 2.09 N/mm<sup>2</sup>、橋軸方向 0.07 N/mm<sup>2</sup>、鉛直方向 1.71 N/mm<sup>2</sup> の最大引張応力が生じており、それぞれに対して配筋を行った。図 - 4, 5 には定着部の①と②に対する主応力解析結果を、図 - 6 には応力解析結果を基に決定された配筋図を示す。

## 4. 柱頭部実物大供試体試験

### 4.1 試験目的

本橋梁に使用する高性能軽量骨材コンクリートは水セメ

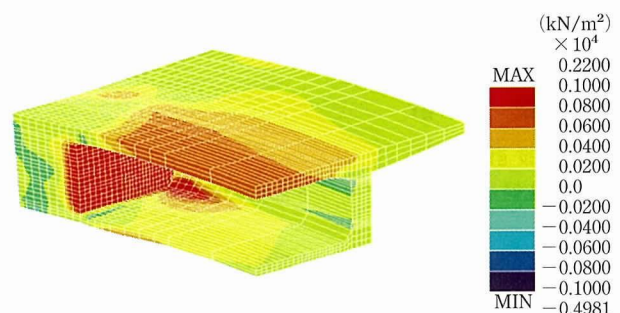


図 - 4 ケーブル張力による主応力図 (定着部)

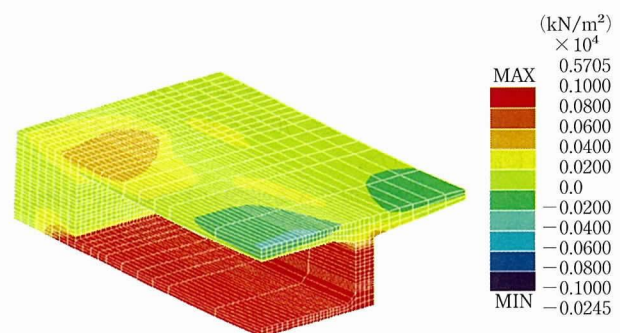


図 - 5 強制変位による主応力図 (定着部)

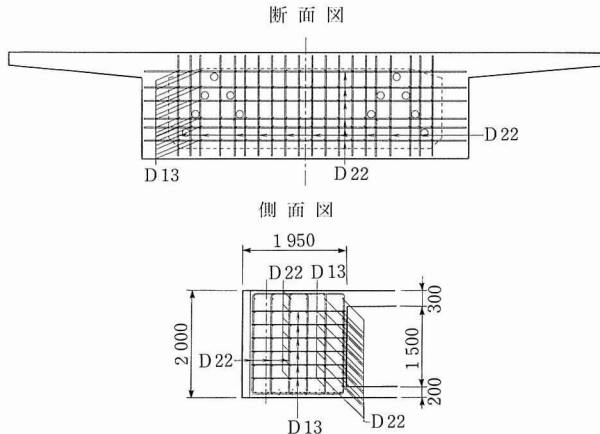


図-6 補強配筋図(定着部)

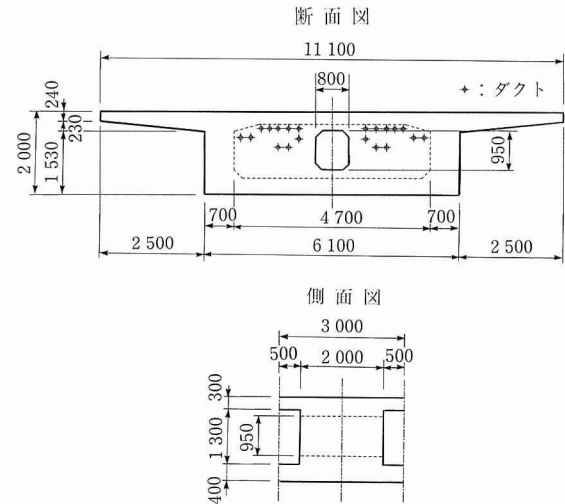


図-8 実物大供試体構造寸法図

ント比  $W/C = 35\%$  (単位セメント量  $472 \text{ kg/m}^3$ ) であり、水和熱によるコンクリート温度が高くなることが予想された。また、ポンプ圧送による流動性の低下が生じることから、マスコンクリートとなる柱頭部において、下記に示す項目を確認する目的で、実物大供試体試験を行った。

- ① コンクリート温度履歴特性の確認
- ② 初期ひび割れの確認
- ③ 横締めを使用するプレグラウト PC 鋼材 (温度硬化型) の緊張可能時間の確認
- ④ 高性能軽量骨材コンクリートのフレッシュ性状およびポンプ圧送性の確認

#### 4.2 試験概要

コンクリートの温度履歴特性に関しては、実物大供試体試験の前に柱頭部コンクリートの有限要素法を用いた三次元温度応力解析を行い、温度履歴特性およびコンクリート標準示方書 (施工編)<sup>8)</sup>における温度ひび割れ指数を把握した。

その結果、コンクリートの最高温度が  $100^\circ\text{C}$  程度まで上昇すること、打設後 0.5~1.5 日の時点で温度ひび割れ指数が部分的に「1」を下回る (温度ひび割れ発生確率 50% 以上) 箇所が見られた (図-7)。

このため、実物大供試体試験において、温度の高くなる位置に温度上昇抑制対策としてパイプクーリングを実施した。実物大供試体の構造寸法を図-8、パイプクーリングおよび温度計測位置を図-9に示す。

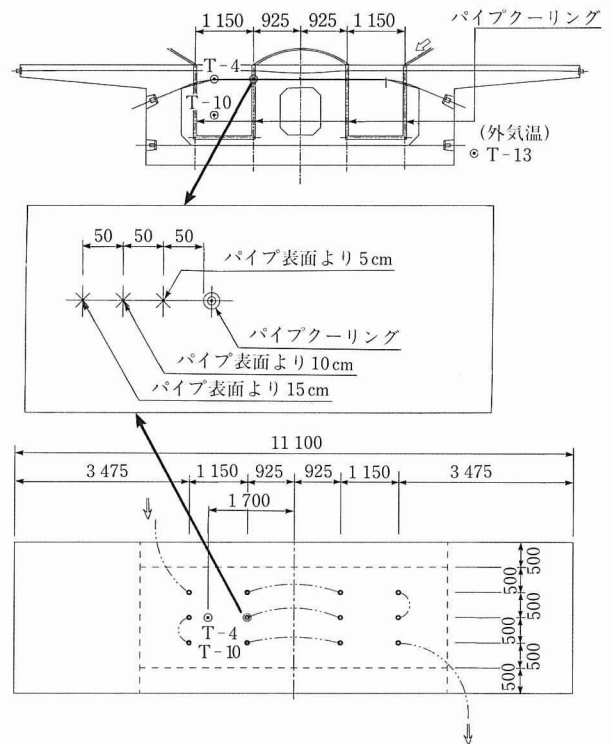


図-9 パイプクーリングと温度計測位置

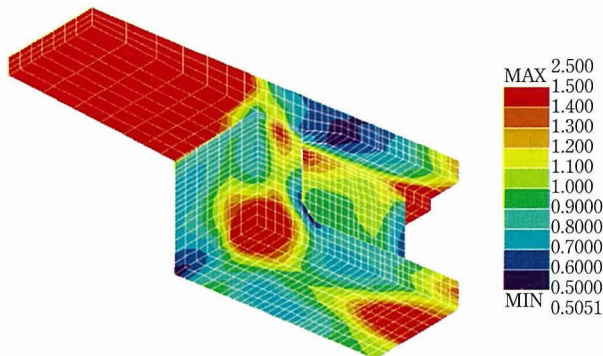


図-7 温度ひび割れ指数 (実物大供試体)

温度計測位置は、プレグラウト PC 鋼材 3 本×3 箇所、上床版 2 箇所、最高温度予想位置×1 箇所と外気温 1 箇所のほか、パイプクーリング効果確認のため、パイプ中心より 5・10・15 cm の 3 箇所とした。

温度計測には熱電対を使用し、材齢 28 日まで計測を行った。計測間隔は打設直後から 3 日までは 1 時間間隔、3 日から 8 日までは 2 時間間隔、8 日から 28 日までは 12 時間間隔とした。

フレッシュコンクリート性状の確認は、プラント出荷時、ポンプ圧送直前、圧送直後のスランプフロー、空気量を計測した。また、ポンプ圧送性の確認は、圧送速度を 10~40  $\text{m}^3/\text{h}$  に変化させて行い、ポンプ圧送による閉塞状況の把握を行った。

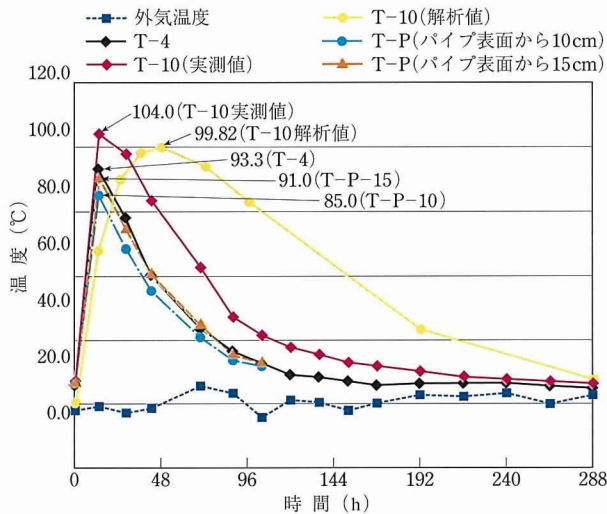


図 - 10 実物大供試体試験の温度履歴

4.3 試験結果

柱頭部実物大供試体試験の結果を下記に示す。

① コンクリート温度履歴特性の確認

コンクリート温度は、有限要素法を用いた三次元温度応力解析で得られた最高温度予想位置 (T-10) で 104℃ (コンクリート打設温度 25℃) であった。これは温度解析値 (コンクリート打設温度 20℃, 上昇温度約 80℃) とほぼ等しい値となった。

実物大供試体試験の温度履歴を図 - 10 に示す。

パイプクーリングについては、上床版面から 28 cm における最高温度 (T-4) と同高さにある位置 (T-P) の最高温度 (パイプ表面から 15 cm) が、ほぼ同じであることが

ら、局所的な温度低減には効果があるものの、パイプ表面から 10 cm 以上離れるとさほど効果が見られなかった。

② 初期ひび割れの確認

初期ひび割れ発生の有無は、型枠脱型後 (コンクリート打設後 6 日) の供試体を目視により確認した結果、ひび割れは認められなかった。

③ プレグラウト PC 鋼材緊張可能時間の確認

供試体に設置した温度硬化型プレグラウト PC 鋼材について、コンクリート打設 1 週間後・1 ヶ月後・2 ヶ月後に緊張したが、いずれも緊張可能であった。

④ 高性能軽量骨材コンクリートのフレッシュ性およびポンプ圧送性の確認

プラント出荷時・ポンプ圧送直前・圧送直後の高性能軽量骨材コンクリートのフレッシュ性を図 - 11 に示す。出荷時と圧送直前を比較すると、圧送直前のスランプフロー値は、出荷時より若干大きくなる傾向にある。また、圧送直前と圧送直後を比較すると、圧送直後のスランプフロー値は大幅に低下するが、コンクリートの打設、締固め作業には影響のないことが確認できた。

ポンプ圧送性については、ポンプ圧送速度を 10~40 m<sup>3</sup>/h に変化させて行った結果、30 m<sup>3</sup>/h 以上ではポンプに強い負荷がかかる状況が見られたが、それ以下の圧送速度では良好な圧送性を確認できた。

5. 施 工

5.1 施工概要

本橋の施工工程表を表 - 7 に示す。

5.2 柱頭部施工

柱頭部は、柱頭部実物大供試体試験の結果からコンクリ

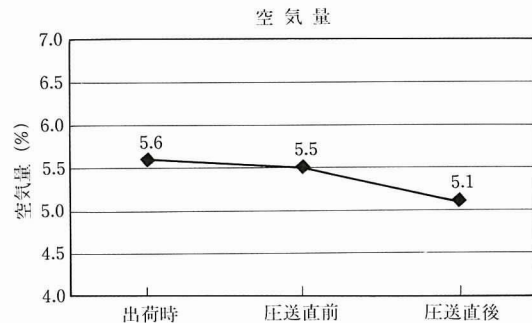
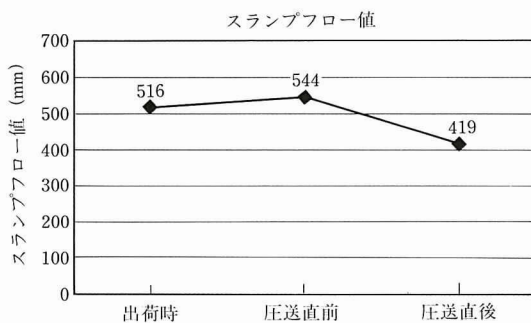


図 - 11 高性能軽量骨材とコンクリートのフレッシュ性状

表 - 7 シラリカ川橋(PC上部工)工事施工工程表

工 種	工 程 月 数										
	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	7ヶ月	8ヶ月	9ヶ月	10ヶ月	11ヶ月
支保工	■	■	■								
P1, P2 柱頭部			■	■	■						
下床版・ウェブ				■	■	■					
上床版					■	■	■				
PCケーブル工						■	■	■			
橋面工									■	■	■

ート最高温度が104℃になること、有限要素法を用いた三次元温度応力解析によって温度ひび割れ指数が「1」を下回る箇所があることから、以下の対策を講じて施工を行った。

#### ① パイプクーリングの増設

パイプクーリングの配置は、実物大供試体試験からパイプの周り10cm程度までしか効果が及ばないことが分かったため、設置箇所を12箇所から16箇所に増設した。

#### ② プレクーリングの採用

コンクリートの練り上がり温度を下げるため、プレクーリングを実施した。本橋梁では比較的経済的な方法として、氷で冷却した水を用いてセメントと骨材を練り混ぜ、コンクリート温度を低下させた。

#### ③ 夜間打設の採用

コンクリート打設時の温度を下げるため、気温の低くなる夜間にコンクリート打設（打設時の平均気温約9℃）を行った。

以上の方法により柱頭部のコンクリート最高温度は、86℃に抑えることができ、温度ひび割れは認められなかった。

### 5.3 橋体の施工

柱頭部の施工後、下床版・ウェブの施工を行った。端支点横桁は、マスコンクリートとなるため柱頭部と同様にパイプクーリングを実施した。

コンクリートは、下床版・ウェブ、上床版ともに各径間毎に3日間に分けて打設した。

コンクリートの打継ぎ処理は、コンクリートの種別、処理方法をパラメーターとした付着強度試験を行い施工に反映した。すなわち、打継ぎ目に凝結遅延材を散布し、ハイウォシャーでレイタンスを取除いた後、軽量骨材の表面をハンマードリルで砕いて打継ぎ面を粗くし、新コンクリートを打設した。

### 5.4 コンクリート打設の結果

高性能軽量骨材コンクリートのコンクリート打設結果について下記に示す。

#### ① ポンプ圧送性

コンクリート打設（ポンプ車のブーム長29m）は、ポンプ圧送で行い、圧送速度は実物大供試体試験結果から20m<sup>3</sup>/hとした。その結果、圧送時にポンプが閉塞状態になるようなことなく、良好な圧送性を確保することができた。

#### ② コンクリートの締め固め

今回採用した高性能軽量骨材コンクリートは、高性能AE減水剤を使用し、流動性の高いコンクリートであると同時に、単位セメント量が普通骨材コンクリートに比べて多く、粘性が高いコンクリートでもある。

このため、定着部および隅角部付近の鉄筋量が多い箇所では、コンクリートが回りづらく入念なバイブレータによる締め固めが必要であった。

しかし、ウェブのような鉄筋量の少ない箇所では、バイブレータの使用によりウェブのコンクリートが下床版に流れ込むことがあった。今後の採用にあたっては、部材形状、鋼材配置状態に応じた効率的な打設方法、粘性・流動性を考慮した最適な配合を検討する必要がある。

### ③ 床版表面仕上げ

表面仕上げはコンクリート打設後に、高性能軽量骨材が上面に5mm程度浮き上がってくるため、打設直後には行わずコンクリートの表面に人が乗って沈まない状態（約3～4時間後）となった時、表面仕上げ用バイブレータを上から押し当て、高性能軽量骨材を沈下させるようにして行った。

表面仕上げ用バイブレータ使用状況を写真-4に示す。

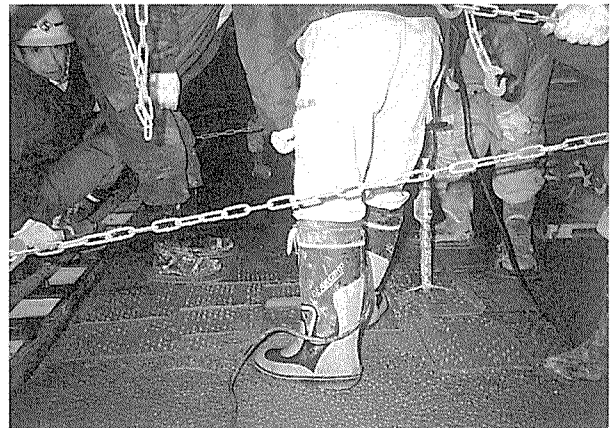


写真-4 表面仕上げ用バイブレータ使用状況

### 5.5 外ケーブルの施工

橋体完成後、長さ10mの透明シースをカップラーにより接続し所定の位置に配置した。偏向部には外ケーブル緊張の際、偏向管とシースの摩擦によるシースの破損を防止する目的で、偏向管とシースの間にゴム系の緩衝材を配置した。

外ケーブル緊張後のグラウトの施工は、冬季を避け春先から行った。このため、目視によりケーブルに錆が発生していないことを確認した上でグラウトの充填を行った。

## 6. おわりに

本橋では、地覆・高欄にも高性能軽量骨材コンクリートを使用することを検討したが、耐衝撃性に対する確認ができなかったため採用を見送った。しかし、最近では耐衝撃性に関する検討報告<sup>9)</sup>がなされており、地覆・高欄への採用によりさらなる軽量化が可能と考える。

また、高性能軽量骨材コンクリートの使用による橋梁本体の軽量化により、耐震性の向上や下部工・基礎工を含めた橋梁全体工費の縮減が可能となることから、今後、土木分野においても採用が増加していくものとする。

本報告が軽量骨材コンクリートの普及の一助となれば幸いである。

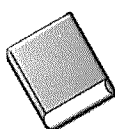
最後に本橋梁での高性能軽量骨材コンクリート採用にあたり、試験や設計・施工において指導・助言をいただいた関係各位に深く感謝し、紙面を借りて御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 高性能軽量コンクリート研究委員会報告、コンクリート工学協会、pp.3-6, 2000.8

- 2) 岡本享久・石川雄康・榎木 隆・笹島昌男：高性能軽量コンクリート，コンクリート工学，Vol.37，No.4，pp.12-18，1999.4
- 3) 坂田 昇，柳井修司，石川雄康，榎木 隆：高性能軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，1999
- 4) コンクリート標準示方書(平成8年制定)施工編，土木学会，pp.215，1996.3
- 5) コンクリート標準示方書(平成8年制定)設計編，土木学会，pp.17-40，1996.3
- 6) 濱田 譲・田村 聖・前堀伸平・二羽淳一郎：高性能軽量コンクリートを用いた PC はり部材のせん断耐力，第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.739-744，1999.10
- 7) 田村 聖・濱田 譲・前堀伸平・二羽淳一郎：高性能軽量コンクリートを用いた PC 定着部の耐荷特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.871-876，2000
- 8) コンクリート標準示方書(平成8年制定)施工編，土木学会，pp.182-192，1996.3
- 9) 竹本伸一・岸 徳光・安藤智啓・松岡健一：高性能軽量コンクリートを用いた曲げ破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.1339-1344，2001

【2002年4月12日】



刊行物案内

第 10 回  
プレストレスコンクリートの  
発展に関するシンポジウム  
論 文 集

(平成12年10月)

本書は，平成12年10月に淡路島で開催された標記シンポジウムの講演論文集です。

頒布価格：10 000円 (送料600円)

体 裁：B5判，箱入り