

報告 独立空隙型人工軽量骨材を使用したコンクリートによる PC 連続箱桁橋の施工

在田 浩之*¹・大郷 貴之*²・大久保 秀樹*³・柳井 修司*⁴

要旨：東北新幹線盛岡～八戸間に建設中の沼宮内 B i は、11 径間連続 PC 箱桁橋であり、その上部工に真珠岩を主原料とする独立空隙型人工軽量骨材を用いた軽量コンクリート（設計基準強度 40N/mm^2 ，単位容積質量 $1,800\text{kg/m}^3$ ）を適用している。本報では、沼宮内 B i 上部工工事における軽量コンクリートの特性、施工に至るまでの検討内容および現在までの施工結果について報告する。

キーワード：独立空隙型人工軽量骨材，軽量コンクリート，PC 橋，施工

1. はじめに

沼宮内 B i，第一愛宕下 B L は、東北新幹線盛岡～八戸間の延伸に伴い、東北本線沼宮内駅の北側に在来線を跨いで建設される 11 径間連続 PC 箱桁橋、および RC 単純 T 形 2 主桁橋である。このうち、11 径間連続 PC 箱桁橋は、設計基準強度 40N/mm^2 ，単位容積質量 $1,800\text{kg/m}^3$ の高強度軽量コンクリートによって建設されている。コンクリートに使用している軽量粗骨材は、近年開発された独立空隙型人工軽量骨材（主原料：流紋岩系真珠岩）¹⁾ であり、本橋梁は、これを用いたコンクリートによる我が国初の大規模工事である。上部工は押し出し工法によって架設されており、2001 年 3 月現在、8 ブロック（275m）の押し出しが終了している。

本報は、PC 上部工工事のうち、軽量コンクリートの特性、施工性を照査するために実施した試験施工および現在までの施工結果を中心に報告するものである。

2. 工事概要

PC 上部工の工事概要を表-1 に示す。また、橋梁側面図および主桁断面図を図-1，2 に示

表-1 PC 上部工の工事概要

工 事 名	東北幹沼宮内Bi外1新設		
建 設 地	岩手県岩手郡岩手町江刈内地区		
工 期	2000.2～2001.6		
橋梁形式	11径間連続PC箱桁橋 10@35m+30m=380m		
架設工法	押し出し工法(集中方式)		
主 要 数 量	軽量	3,244.0m ³	
	コンクリート	RCとしての単位容積質量2.0t/m ³	
	PC鋼材	195.0t	
	鉄筋	375.0t	

す。PC 上部工には、設計基準強度 40N/mm^2 ，設計単位容積質量 $1,800\text{kg/m}^3$ の高強度軽量コンクリートを採用した。また、コンクリートの軽量化に加えて、外ケーブル方式の採用により部材厚を縮小し、桁重量のさらなる低減を図った。これにより、橋脚および基礎構造の大幅な簡素化を実現した。架設には押し出し工法を採用し、1 ブロック長 35.0m，押し出しサイクル工程を 20 日とする急速施工を試みている。

3. 軽量コンクリート

3. 1 コンクリートの仕様

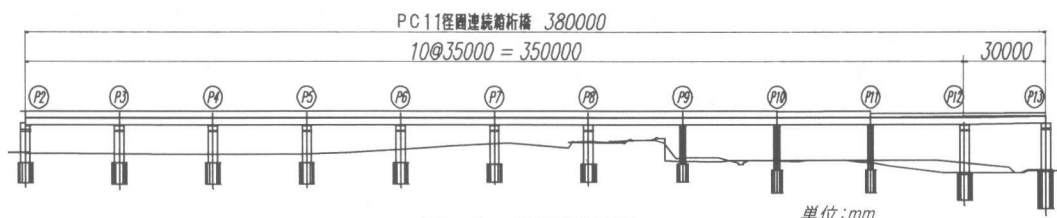
コンクリートの仕様、使用材料および配合を表-2～4 に示す。コンクリートの設計基準強

*1 東日本旅客鉄道（株） 東北工事事務所 盛岡工事区（正会員）

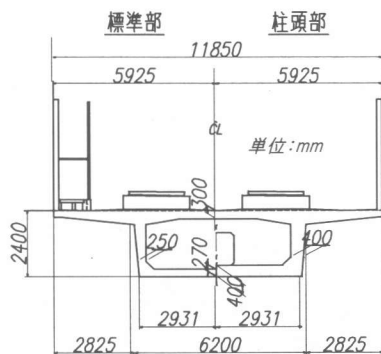
*2 東日本旅客鉄道（株） 東北工事事務所 東北・北課 工修（正会員）

*3 鹿島建設（株） 東北支店 盛岡営業所 工修（正会員）

*4 鹿島技術研究所 土木技術研究部 構造・海洋グループ 工修（正会員）



図－1 橋梁側面図



図－2 主桁断面図

度は 40N/mm^2 であり，単位容積質量は，鉄筋コンクリート部材として設計から定まる単位容積質量（ $2,000\text{kg/m}^3$ ）を満足するように $1,850\text{kg/m}^3$ 以下とした。また，スランプフローの管理値は，ポンプ圧送性を考慮して $550 \pm 50\text{mm}$ とした²⁾。粗骨材には，従来の軽量骨材に比べて強度特性や耐久性を著しく向上させた独立空隙型人工軽量粗骨材¹⁾を気乾状態で使用した。特殊増粘剤ウェランガムは，フレッシュコンクリートの品質変動や材料分離を抑制するとともにポンプ圧送性を向上させる²⁾ために使用した。

コンクリートの配合は，試験練りを実施してフレッシュ性状，強度特性，凍結融解抵抗性を照査した上で決定した。

3. 2 コンクリートの特性

(1) 強度特性

圧縮強度試験の結果を図－3に示す。コンクリートの圧縮強度は，材齢7日で設計基準強度を，材齢28日で配合強度を満足する結果が得ら

表－2 コンクリートの仕様

項目	規格	備考
コンクリート種類	軽量骨材コンクリートⅠ種	粗骨材のみに軽量骨材を使用
設計基準強度	40N/mm^2	強度の保証は材齢28日
配合強度	48N/mm^2	変動係数10%，割増し係数1.2
単位容積質量	$1,850\text{kg/m}^3$ 以下	設計条件より決定
スランプフロー	$550 \pm 50\text{mm}$	ポンプ圧送性を考慮
空気量	$6 \pm 1.5\%$	凍結融解抵抗性を考慮
セメント種類	早強ポルトランドセメント	
粗骨材	構造用人工軽量粗骨材	JISA 5002 区分MIに準拠

表－3 使用材料

使用材料	記号	摘要
セメント	C	早強ポルトランドセメント 密度： 3.14g/cm^3 ，比表面積： $4,520\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	S1	盛岡市都南産陸砂 表乾密度： 2.58g/cm^3 ，吸水率： 2.87%
	S2	松尾村産砕砂 表乾密度： 2.68g/cm^3 ，吸水率： 2.84% S1:S2=50:50 粗粒率：2.71
粗骨材	G	独立空隙型人工軽量骨材 主原料：真珠岩 絶乾密度： 1.19g/cm^3 ，24h吸水率： 1.80% ， 実積率： 60.0% ，最大寸法： 15mm
混和剤	SP	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸系標準形
	VIS	特殊増粘剤 ウェランガム

表－4 コンクリートの示方配合

Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(上段 kg/m^3 ，下段 kg/m^3)					SP (C×%)	VIS (W×%)	単位容積質量 (kg/m^3)
			W	C	S1	S2	G			
6.0	38.0	49.7	165	435	490	338	381	1.00	0.05	1809
			165	139	190	126	320	(4.35kg)	(82.5g)	

れた。また，材齢28日のヤング係数，割裂引張強度，曲げ強度およびせん断強度は，それぞれ $2.40 \times 10^4\text{N/mm}^2$ ， 4.02N/mm^2 ， 7.20N/mm^2 および 17.8N/mm^2 であり，構造部材として，設計上要求される性能を十分に満足することを確認した。

(2) 凍結融解抵抗性

建設中あるいは供用中に構造物がさらされる環境は，凍結融解の繰返し作用を受ける環境であり，構造物には高い耐凍害性が要求される。そこで，凍結融解抵抗性試験（水中凍結水中融解：ASTM C 666 A 法）を実施して，その性能を照査した。試験は，コンクリートの耐凍害性に

及ぼす影響が大きいといわれる空気量³⁾に着目して実施し、空気量を管理値(6±1.5%)の下限とした場合についても試験を行った。凍結融解抵抗性試験の結果を図-4に示す。300 サイクル終了時の相対動弾性係数は、空気量が小さくなるとわずかに低下する傾向を示した。しかしながら、空気量が小さい場合でも耐久性指数が80以上であり、施工時の品質管理試験における空気量が管理値の下限であっても、十分な耐凍害性が得られることがわかった。

4. 施工性の照査

4. 1 試験概要

実施工に先立ち、コンクリートの施工性を照査するために、実機ミキサによるコンクリートの製造、アジテータ車による運搬およびポンプ施工による実物大供試体の試験施工を実施した。コンクリートの練混ぜは水平二軸式強制ミキサで行い、練混ぜ時間は、モルタルを先行して30秒、粗骨材を投入してさらに90秒(計120秒)とした。

製造したコンクリートは約25km離れた施工現場まで運搬し、図-5に示す主桁を模擬した部分供試体に打ち込んで、コンクリートの施工性を照査した。コンクリートの打込みには、理論最大吐出圧力7.0N/mm²の油圧ピストン式ポンプのブーム(22.1m)を用いた。なお、ブーム先端には、4インチフレキシブルホース(7m)を取り付けた。コンクリートの試験は、出荷時、現場到着時、ポンプ筒先の試料について実施した。

4. 2 試験結果

(1) コンクリートの性状

コンクリートの試験結果を表-5に示す。経過時間や運搬に伴うコンクリートの性状変化は小さく、出荷時、現場到着時およびポンプ圧送後において、ほぼ同等の性状が得られることを確認した。また、外気温が30℃程度の厳しい条件下ではあったが、コンクリートの流動性を出荷後2時間程度まで確保できることがわかった。

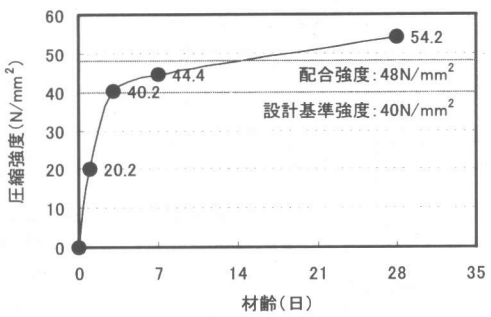


図-3 圧縮強度試験の関係

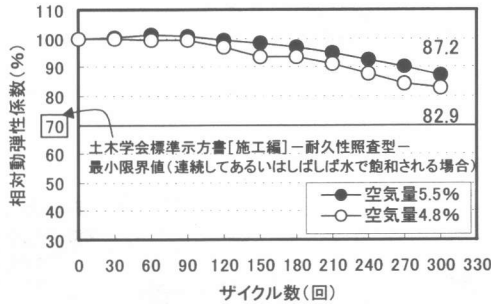


図-4 凍結融解抵抗性試験の結果

表-5 コンクリートの試験結果

	出荷時	現場到着時	ポンプ筒先	ポンプ筒先
練上りからの経過時間(分)	4	52	68	127
スランプフロー(mm)	558	518	574	478
空気量(%)	7.3	7.0	6.2	—
単位容積質量(kg/m ³)	1,783	1,700	1,783	—
コンクリート温度(℃)	27.0	27.0	28.0	—
外気温(℃)	30.0	28.0	28.0	—
軽量骨材含水率(%)	1.06	1.14	1.71	—
28日圧縮強度	43.1	44.1	44.2	—
耐久性指数	—	81.0	88.5	—

(2) 施工性

ポンプの実稼働時間から算出した実吐出量は21.5m³/hであったが、計測したポンプ主油圧から換算したピストン前面圧(換算比0.354)の最大値は、ポンプの理論吐出圧力の3割程度であり、過大な負荷は生じなかった。また、前述のとおり、圧送によるコンクリートの性状変化も小さかったことから、円滑なポンプ施工を行えることが確認できた。供試体の施工状況を写真-1～3に示す。供試体①は2体作製した。1体目は、まず、床版コンクリートの打込みを行い、抑え型枠を設置した後、ウエブを打ち込

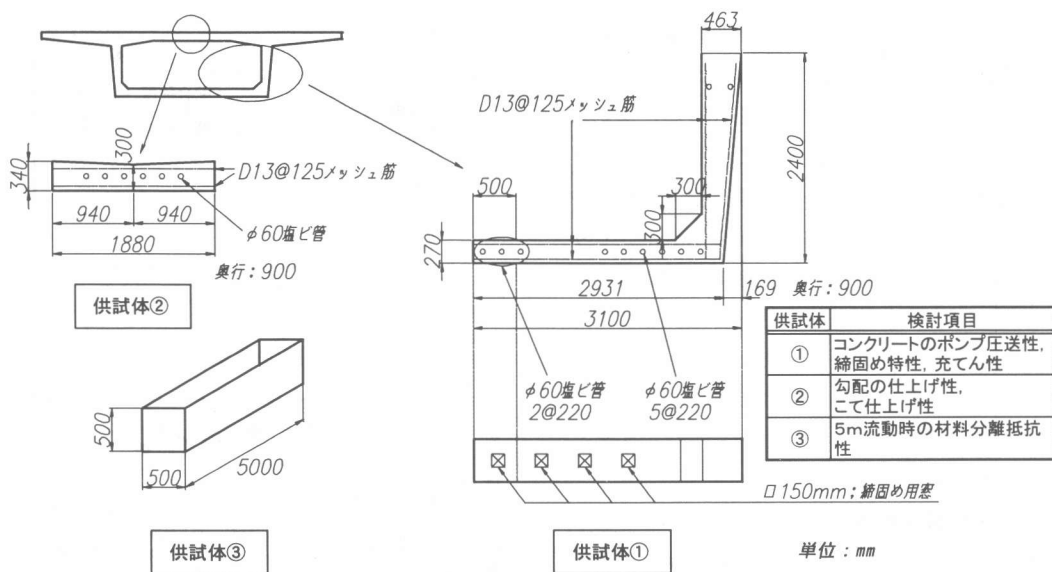


図-5 試験施工で製作した部分供試体

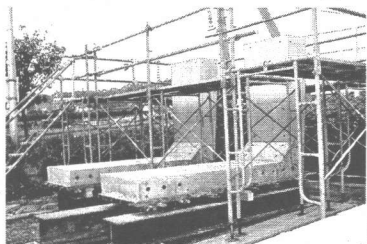


写真-1 供試体①出来形



写真-2 供試体②仕上げ状況



写真-3 供試体③流動状況

んだ。2体目は全てのコンクリートをウエブから打ち込んだ。施工中の状況およびコア採取による調査の結果、1体目の打込み方法の方が、締固めが容易であり、より均質なコンクリートが得られることがわかった。そこで、実際の施工では、下床版のコンクリートを打ち込んだ後、ウエブの打込みを行うこととした。橋面の排水勾配を模擬した供試体②では、4%程度の勾配仕上げが十分に可能であること、写真-2に示すようにパラフィン系の水性養生剤を散布することでこて仕上げ性が向上することがわかった。また、供試体③の施工から、コンクリートの流動距離が5m程度であれば、均質なコンクリートが得られることがわかった。

5. 実施工

5.1 コンクリートの性状

コンクリートの品質管理試験は60m³に1回の頻度で実施した。これまでの品質管理試験の結果を表-6に示す。表に示すように、試験値は全て管理値を満足するものであった。外気温は-3℃~24℃まで変化したが、冬期には、練混ぜ水に温水を使用して、コンクリート温度を11~19℃に管理することができ、骨材の表面水率の管理を十分に行ったことで、安定した性状のコンクリートを製造・出荷することができた。材齢28日の圧縮強度については変動係数が7.1%であり、やや大きい値となった。これは、軽量骨材の品質変動が普通骨材に比べて大きいことによると考えられた。しかしながら、想定していた圧縮強度の変動係数(10%)に対して十分に小さい値であった。

5.2 施工

本橋の施工では、以下の方法を採用して工期

表-6 品質管理試験の結果(8ブロックまで)

	外気温 (°C)	コンクリート温度 (°C)	スラブ厚 (mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	28日圧縮強度 (N/mm ²)	軽量骨材	
							絶対密度(g/cm ³)	24h吸水率(%)
平均	4.4	14.7	534	6.6	1810	50.7	1.17	1.53
最大	24.0	19.0	589	7.5	1854	57.2	1.27	2.60
最小	-3.0	11.0	502	5.4	1779	44.8	1.13	1.00
標準偏差	-	-	26	0.6	18	3.6	0.04	0.46
変動係数(%)	-	-	4.9	8.8	1.0	7.1	3.2	29.9
管理値	-	5以上	550±50	6±1.5	1809±50	40以上	1.2±1.0	3.0以下

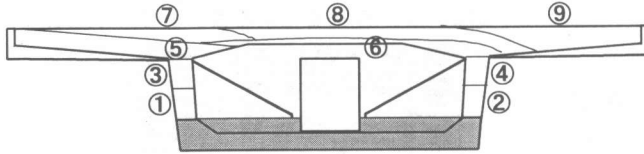


図-6 コンクリートの打込み順序(主桁断面図)

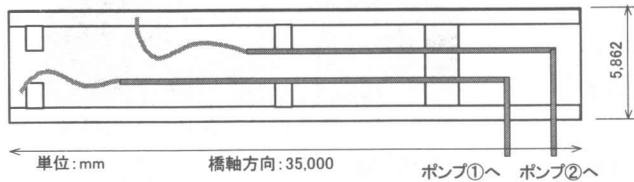


図-7 下床版～ハンチの配管形状(平面図)

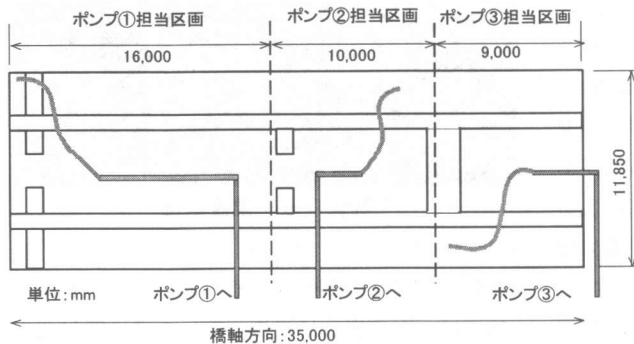


図-8 ウェブ～上床版の配管形状(平面図)

短縮を図った。

- ①コンクリートの打込み・養生回数を削減するために、1スパン分35mを製作・押出し
 - ②型枠の組立て・解体作業の省力化を図るために、型枠設備を大型化・自動化
 - ③鉄筋組立て作業を他の作業と並行して行うために、下床版・ウェブの鉄筋をユニット化
 - ④作業の効率化を図り、天候や冬期養生期間が工程に影響しないように、主桁製作台に全天候型の上屋を設置
- コンクリートの施工に際しては、コンクリー

表-7 施工数量と時間

打設部位 (順序)	コンクリート数量 (m ³)	打設時間 (分)
下床版・ハンチ	90	270'
①	13	26'
②	13	26'
③	13	26'
④	13	26'
⑤	33	66'
⑥	32	66'
⑦	32	64'
⑧	32	64'
⑨	33	64'
計(①～⑨)	214	428'

注)打設時間は段取り替えを含む

トの製造・出荷量が30m³/hであること、段取り替えを含めたポンプ1台当たりの運搬能力が15m³/h程度となることを考慮して施工計画を立てた。

コンクリートの打込み順序を図-6～8に示す。先述の試験施工の結果を反映させて、図-6に示すように下床版～ハンチ部(約90m³)までを1回の打設でコンクリートを打込み、遅延剤による打継ぎ処理および養生を行った後、ウェブ～上床版(約

210m³)を打込んだ。特に、ウェブ～上床版の施工では、打設量が多いことから、打重ね面がコールドジョイントになることが懸念された。そこで、図-8に示すように3台のポンプ車を用いて各々の区画を担当するようにした。これにより、各部位のコンクリートの打込みに要する時間は表-7のようになり、打重ね時間の間隔を2時間程度とすることができた。

コンクリートの打込みには試験施工と同じピストン式コンクリートポンプを用い、ブームを利用して製作台までコンクリートを押し上げ、

製作台内で圧送管に接続し、さらに圧送管先端にフレキシブルホースを取り付けて圧送した。なお、この場合の水平換算長さは、最大で約180mであった。コンクリートの施工状況を写真-4、5に示す。今回の配管条件でポンプ圧送を行っても、コンクリートの施工性は良好であり、円滑なポンプ施工を行うことができた。また、写真-5に示すように、筒先のコンクリートは良好な施工性を有していた。

コンクリートの振動締め固めは、各配管系統に内部振動機3機（ $\phi 32\text{mm}$ ：1機、 $\phi 50\text{mm}$ ：2機）を配置して行った。この際、過度の振動締め固めに伴う軽量骨材の浮上りを抑制するために、内部振動機の挿入間隔を約50cm、挿入時間を約5秒として、材料分離の状況および充てん状況を確認しながら密実に締め固めた。また、ポンプ筒先をこまめに移動する、鉄筋のあきに櫛板を挿入するなどして、コンクリートの流動距離が5mを超えないようにした。ウェブについては、主桁内部から外部振動機も併用して締め固めた。

表面仕上げにおいては、仕上げ面に軽量骨材がみられた場合には、ジッタバックを用いて軽量骨材を内部に押し込み、木ゴてによる粗仕上げを行った。その1～2時間後に金ゴてによる仕上げを行った。なお、こて仕上げを円滑に行うとともに表面の乾燥収縮を抑制するために、前述の養生剤を適宜使用した。仕上げ後、製作台上屋の中で保温養生を行い、脱枠、PC鋼材の緊張、押出しの作業を行った。

その結果、軽量骨材の浮上りによる材料分離は皆無であり、充てん状況・出来形も良好であり、円滑な施工を行うことができた。

架設状況を写真-6に示す。2001年3月現在、8ブロックまでの押出しが終了しており、ほぼ順調に工事が進捗している。本年6月には高欄、路盤を含めた全ての工事が終了する予定である。

6. おわりに

今回、PC上部工工事における軽量コンクリートの施工を中心に報告した。本橋の押出し架

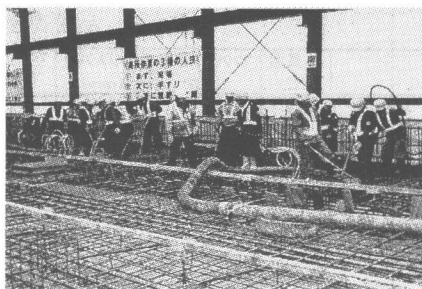


写真-4 圧送管によるコンクリートの運搬

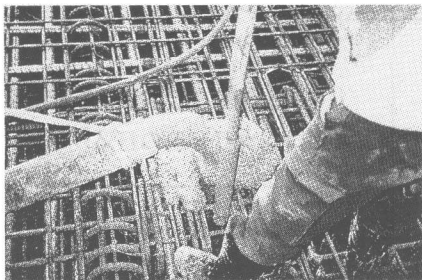


写真-5 筒先のコンクリートの性状

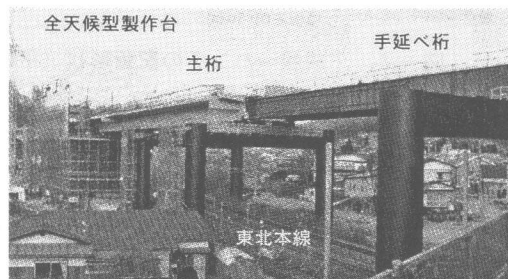


写真-6 架設状況

設やPC鋼材の緊張などその他の工事内容については、別の機会に報告したいと考えている。

参考文献

- 1) 岡本享久，早野博幸，柴田辰正：超軽量コンクリート，コンクリート工学，Vol.36，No.1，pp48～52，1998.1
- 2) 柳井修司，坂田昇，信田佳延，石川雄康：高性能軽量コンクリートの配合がポンプ圧送性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.22，No.2，pp.1405～1410，2000.6
- 3) Cordon W.A：Requirements for Freezing and Thawing Durability for Concrete，Proceeding，ASTM，Philadelphia，1963