

報告 高性能軽量コンクリートを用いた PC 橋梁用プレキャストセグメントの試験施工

南 浩郎*1・柳井 修司*2・坂田 昇*3・児玉 明彦*4

要旨：流紋岩系真珠岩を原料とする高性能軽量骨材を用いたコンクリートを橋梁上部工プレキャストセグメントに適用することを想定して、幅 10.6m、桁高 2.0m、セグメント長 1.5m の実規模セグメントの試験施工を行った。試験施工に供したコンクリートは、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であり、コンクリートポンプ車のブームを用いて打ち込んだ。試験施工に供した軽量コンクリートは良好な性状を有しており、セグメントの出来形は良好であった。

キーワード：高性能軽量コンクリート、プレキャストセグメント、試験施工

1. はじめに

近年の橋梁は長大化、大規模化の傾向にあり、死荷重や地震時慣性力の軽減を図ることが強く望まれるようになってきている。このような場合には、橋梁上部工を軽量化することが有効であり、特にコンクリート構造の場合には、コンクリート自身を高強度化、軽量化することが重要な課題となっている。これにより、軟弱地盤への対応や下部構造の縮小化、支保工や建設機械の簡略化が可能となり、建設コストの削減が可能となる。我が国の橋梁建設においては、1960年代に設計基準強度 40N/mm^2 程度の軽量骨材コンクリートがしばしば適用されてきた¹⁾。しかしながら、当時の軽量骨材は吸水率が大きく、ポンプ施工を行う際に十分なプレウェッティングが必要であったため、コンクリートの凍結融解抵抗性が低下する傾向にあった²⁾。そのため、特に土木構造物におけるその後の需要は低迷してきた。このような状況下で最近では人工軽量骨材の新しい製造技術³⁾により、骨材自身の高強度化、低吸水性化、高耐久化が可能となっており、施工性ならびに耐久性に優れたいわゆ

る高性能軽量コンクリート⁴⁾の実用化が期待され始めている。

本検討では、この高性能軽量骨材を使用した軽量コンクリートの橋梁上部工への適用性を検討するために、幅 10.6m、桁高 2.0m、セグメント長 1.5m の実規模セグメントの試験施工を行った。本報では、試験施工に供した高性能軽量コンクリートの性状、施工性およびセグメントの出来形など、一連の施工結果についてとりまとめたので、ここに報告する。

2. 試験概要

2.1 セグメントの仕様

試験施工に供した橋梁上部工プレキャストセグメントの形状を図-1に示す。本セグメントは、支間長 45m の内外ケーブル併用式 PC 箱桁橋の支間中央部を想定したものである。使用するコンクリートの設計基準強度を 40N/mm^2 、単位容積質量を $1,800\text{kg/m}^3$ として、断面および鋼材の配置を決定した。セグメントの幅は 10.6m、桁高は 2.0m、セグメント長は 1.5m である。橋軸方向には内ケーブルとして、PC 鋼棒

*1 鹿島建設(株) 土木設計本部 第二設計部 工修 (正会員)

*2 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・施工グループ 研究員 工修 (正会員)

*3 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・施工グループ 主任研究員 工博 (正会員)

*4 太平洋セメント(株) 研究本部 清澄研究所 (正会員)

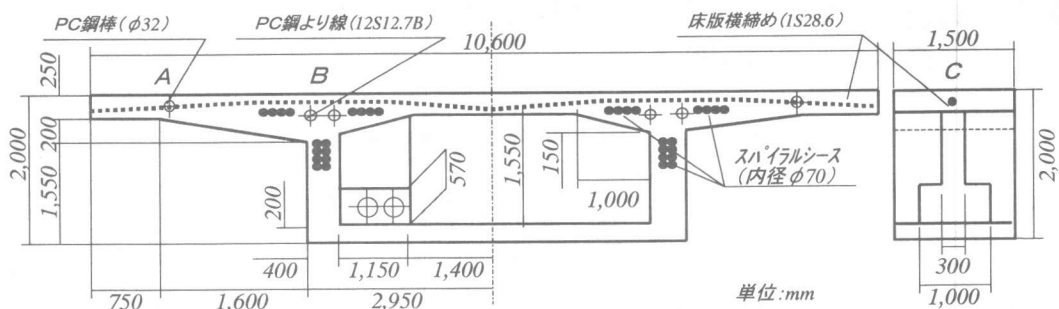


図-1 プレキャストセグメントの形状

表-1 コンクリートの仕様

項目	規格
コンクリートの種類	軽量骨材コンクリートⅠ種
設計基準強度	40N/mm ²
目標強度	50N/mm ²
単位容積質量	1,800±50kg/m ³
スランプロー	550±50mm
空気量	6.0±1.5%
セメント種類	早強ポルトランドセメント
粗骨材	人工軽量粗骨材

表-2 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:3.13g/cm ³ , 比表面積:4,570cm ² /g
細骨材	S1	粗砂:岩舟郡荒川産川砂 表乾密度:2.58kg/ℓ, 吸水率:1.42%
	S2	細砂:太郎代産山砂 表乾密度:2.58kg/ℓ, 吸水率:1.85%
		混合比 粗砂:細砂=65:35 粗粒率:2.60
粗骨材	G	真珠岩系高性能人工軽量骨材 絶乾密度:1.24kg/ℓ, 24h吸水率:2.80%, 実積率:61.5%, 最大寸法:15mm
混和剤	SP	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸エーテル系標準形
	VIS	特殊増粘剤 ウエランガム

(SBPR930/1180 φ32mm)用アンカークロックタイプの定着体(A), PC鋼より線(12S12.7B)用リブキャストアンカ一定着体(B)および内径φ70mmのスパイラルシ

ースを適宜配置した。また、セグメント片側には外ケーブルの偏向部を模した偏向ブロックと隔壁を設けた。床版横締め用としてはプレグラウトタイプのPC鋼線(1S28.6)を橋軸方向中央部(C)に1本配置した。また、セグメント接合面のウェブおよび上下床版にはせん断キースも設置した。

2.2 コンクリートの仕様

試験施工に供したコンクリートの仕様を表-1に、使用材料を表-2に、コンクリートの配合を表-3にそれぞれ示す。コンクリートの設計基準強度は40N/mm²(材齢28日)とし、単位容積質量は1,800kg/m³とした。

使用した粗骨材は流紋岩系真珠岩を造粒・焼成した高性能軽量粗骨材³⁾であり、24時間吸水率が2.80%と従来の軽量骨材に比べて大幅に

表-3 コンクリートの配合

目標スランブ 70-(mm)	空気量 (%)	W/C (%)	Gvol (ℓ)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
					W	C	S1	S2	G	SP	VIS
550±50	6.0±1.5	38.0	330	48.1	165	435	513	276	409	6.96	0.087

W/C:水セメント比, Gvol:単位粗骨材容積, s/a:細骨材率, G:絶乾重量を表示
コンクリートの理論単位容積質量:1,798kg/m³

小さくなっている。特殊増粘剤ウエランガムは材料分離抵抗性を向上させること、材料の変動に対するフレッシュコンクリートの性状変化を安定させること⁵⁾、および円滑なポンプ施工を行うこと⁶⁾を目的として使用した。

コンクリートの配合については、事前にポンプ圧送試験を実施してポンプ施工に問題がないことを確認した⁶⁾。

2.3 施工概要

コンクリートの製造は、市中のレディーミクストコンクリート工場の強制二軸式ミキサ(容量3.0m³)を使用して行い、1バッチの練混ぜ量を2.5m³、練混ぜ時間を全材料投入後120秒間とした。アジテータ車1台当りのコンクリート積載量は、2バッチ分5m³とした。なお、高性能軽量骨材は気乾状態(含水率1.88%)で練

表-4 コンクリートの試験項目

項目	工場出荷時	現場到着時	ポンプ筒先	備考
スランプフロー	○	○	○	全車
空気量	○	○	○	全車
単位容積質量	○	○	○	全車
圧縮強度	-	○	○	全車
ヤング係数	-	○	○	2台目のみ
割裂引張強度	-	○	○	2台目のみ
曲げ強度	-	○	○	2台目のみ
せん断強度	-	○	○	2台目のみ

混ぜに供した。練り上がったコンクリートは表-4に示す試験項目を実施して、所定のフレッシュ性状を満足していることを確認した後、施工現場まで約30分かけて運搬した。コンクリートの設計打込み量は9.3m³であったが、品質管理試験や各種供試体用の試料の採取を考慮して、計3台のアジテータ車を出荷した。アジテータ車が施工現場に到着後、スランプフロー、空気量、単位容積質量について品質管理試験を行うとともに各種強度試験用の試料を採取した。コンクリートの打込みは、表-5に示す仕様を有する油圧ピストン式コンクリートポンプを用いて行い、26.5mのブーム先端に取り付けた7mのフレキシブルホース(125A)を介して打ち込んだ。なお、ポンプに作用する負荷を測定するためにポンプ主油圧についても測定した。

3. 施工結果および考察

3.1 コンクリートの性状

図-2に試験施工に供したコンクリートのフレッシュ性状試験の結果を示す。出荷時および現場到着時のフレッシュコンクリートの性状は、目標品質を全て満足するものであった。また、コンクリートの製造-運搬-ポンプ圧送にともなうフレッシュコンクリートの性状変化は小さいものであった。スランプフローについては、3台目を除いてポンプ圧送によって低下する傾向を示した。コンクリート中の軽量骨材を取り出して骨材含水率を測定したところ、図-3に示すように、筒先での含水率が増加しており、軽量骨材がポンプ負荷を受けてコンクリート中の自由水を吸水したためにスランプフローが低

表-5 コンクリートポンプの仕様

ストローク長	1600mm	
シリンダ数	2	
ホッパ容量	0.35m ³	
輸送シリンダ径	φ210mm	
	大容量時	高圧時
吐出量	15~110m ³ /h	15~68m ³ /h
ピストン前面圧	4.90N/mm ²	7.85N/mm ²
水平輸送距離	1,050m	
垂直輸送距離	200m	
ブーム長	26.5m	
	3段360度全旋回油圧屈折式	
先端ホース径	125A	
先端フレキシブルホース	125A, 7.0m	

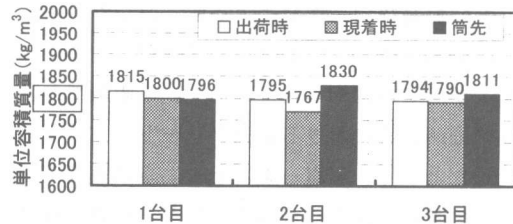
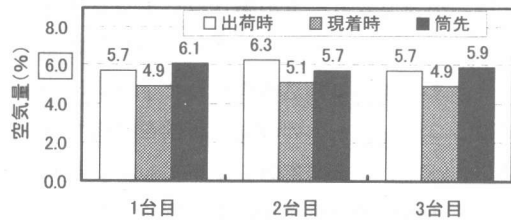
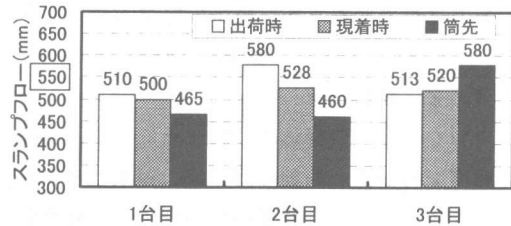


図-2 フレッシュコンクリートの試験結果

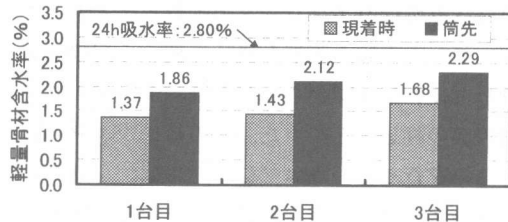


図-3 軽量骨材含水率の比較

下したものと考えられた。空気量については、コンクリートの運搬により1%程度低下し、ポンプ圧送により1%程度増加する傾向を示した。

硬化コンクリートの試験結果を表-6に示す。材齢28日の圧縮強度は、現場到着時のもので52.4N/mm²、筒先から採取したもので59.2N/mm²であり、目標強度50N/mm²を満足していた。なお、ポンプ圧送によって圧縮強度が増加する傾向を示したが、これは先述のとおり、骨材中への圧力吸水が影響しているものと考えられた。また、材齢28日における割裂引張強度、曲げ強度、せん断強度の圧縮強度に対する比率は、それぞれ1/15、1/9、1/9程度であり、高強度領域であるにもかかわらず、従来の軽量骨材コンクリートと同等の比率⁷⁾を有していた。

3.2 施工状況

コンクリートの打込みは図-4に示す①~⑩の順序で行った。振動締固めは、棒状バイブレータを用いて行き、軽量骨材の浮上りや複雑な部位へのコンクリートの廻込みに十分な注意を払って行った。表-7に打込みに要した時間を示す。まず最初に打込みを行った下床版については、コンクリートの締固め特性を観察するために、バイブレータ本数を1本とした。写真-1に下床版の施工状況を示す。軽量コンクリートでは振動締固め作業によって、コンクリート中の材料の密度差により、軽量骨材が上方に浮き上がることが知られている⁸⁾。下床版での振動締固め作業におけるコンクリートの性状を確認したところ、写真-1に示すように表面部に若干の骨材の浮上りがみられたが、材料分離はほとんど生じていなかった。そこで、それ以降の打込みではバイブレータの本数を2本とした。続いて、下床版の天端を決めて押さえ型枠を設置した後、ウェブからコンクリートを投入して隅角部の打込みを行った。その後、ウェブへの打込みを行った。ウェブについては、1層の打込み高さが高く、軽量粗骨材の浮上りが顕著になることが懸念されたが、骨材の分離はほとんど確認されなかった。これは、施工に供したコンクリートが水セメン比38%の高強度コンクリートであり、さらに特殊増粘剤ウェランガムの添加によって十分な材料分離抵抗性が付与さ

表-6 硬化コンクリートの試験結果

	材齢7日		材齢28日	
	現着時	筒先	現着時	筒先
圧縮強度(N/mm ²)	38.0	42.0	52.4	59.2
ヤング係数(×10 ⁴ N/mm ²)	2.42	2.37	2.45	2.45
割裂引張強度(N/mm ²)	3.11	3.42	3.59	3.87
曲げ強度(N/mm ²)	5.62	5.99	6.11	6.49
せん断強度(N/mm ²)	5.42	5.77	6.82	6.94

養生条件:20°C水中(標準養生)

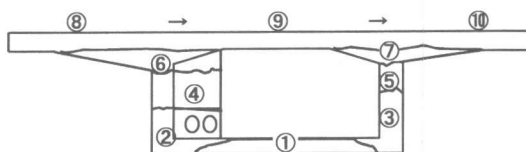


図-4 コンクリートの打込み順序

表-7 打込みに要した時間

部位	打込みに要した時間	下端からの高さ	バイブレータ本数
① 下床版	8分	20cm	1本
② 隅角部, ウェブ下部	5分	60cm	2本
③ 隅角部, ウェブ下部	3分	105cm	同上
④ ウェブ	6分	140cm	同上
⑤ ウェブ	3分	150cm	同上
⑥ ハンチ部	2分	175cm	同上
⑦ ハンチ部	2分	175cm	同上
⑧			
⑨ 上床版	12分	200cm	同上
⑩			

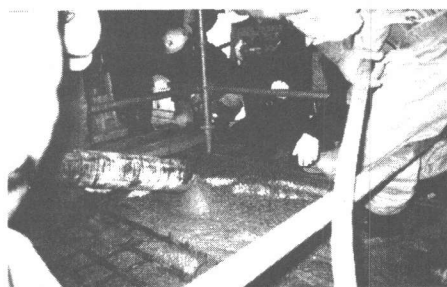


写真-1 下床版の施工状況

れていたことによるものと考えられた。また、打込みに際して、同等の流動性を有する普通骨材コンクリートよりも、ポンプ筒先をこまめに移動させたり、バイブレータ挿入位置をこまめに切り替えるなど若干の配慮を行ったことにも起因していると考えられた。コンクリートの天端がハンチ部に達した際に、不等沈下の抑制を目的に約5分間の休止時間を設けた。その後、コンクリートの沈下がほとんど確認されず、ブリーディングも皆無であったため、上床版への

打込みを行って打込み作業を終了した。打込み作業に要した時間（段取り替えを含む）は70分であった。なお、ポンプに作用した負荷は、最大ピストン前面圧が $2.67\text{N}/\text{mm}^2$ であり、ポンプ容量の55%程度であった。

上床版の打込みを終了した後、表面仕上げ作業を行った。上床版のコンクリートの表面仕上げ状況を写真-2に示す。表面仕上げでは、振動機付きのジッタバッグを用いて、コンクリート表面にわずかに浮き上がった軽量骨材をモルタル中に押し込んだ。その後、シートで覆った状態で約2時間静置した後、木ごて、金ごてによるこて仕上げを行った。

コンクリートの養生は、養生マットへの散水を行うとともに、シートで覆って初期乾燥を防止した。また、打込み時の外気温が 5°C 前後であったこと、風速が強かったことから、足場および支保工を利用してセグメント全体をシートで覆った。さらに、打込み当日の夜間にはジェットヒーターによる保温養生を行い、シート内の温度を $9\sim 12^{\circ}\text{C}$ に保った。

3.3 セグメントの出来形

脱枠は、2日後（打設終了から約42時間後）に行い、コンクリートの圧縮強度（標準養生）が $20\text{N}/\text{mm}^2$ 以上となったことを確認してから行った。セグメントの出来形を写真-3～5に示す。写真に示すように、外ケーブル偏向ブロック・ウェブ・隔壁の取合い部、シース管やせん断キーが複雑に配置された部位であっても、コンクリートの未充填部は全く認められず、コンクリートが密実に充填されていた。また、初期乾燥収縮ひび割れ、沈降ひび割れ、セメントの水和熱に伴う温度ひび割れも生じておらず、良好な出来形であった。

3.4 プレストレスの導入

プレストレスの導入は、型枠や支保工を完全に撤去して、打込み終了から72時間後に行った。P C鋼材の緊張は図-1中のA（SBPR930/1180 $\phi 32$ ）、B（12S12.7B）、およびC（1S28.6）について行い、約 $0.9P_y$ （降伏荷重の0.9倍）ま

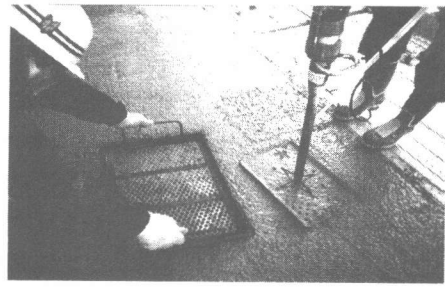


写真-2 上床版の表面仕上げ状況

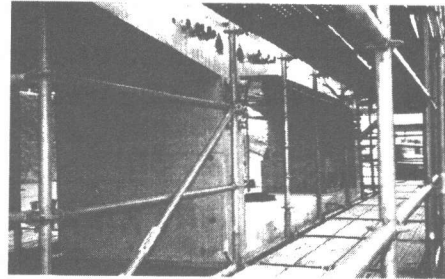


写真-3 セグメントの出来形

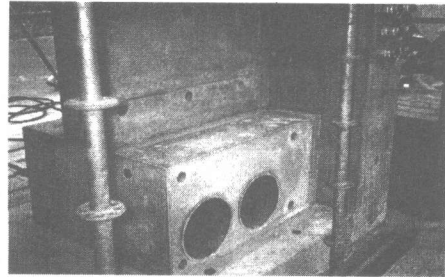


写真-4 偏向部付近の出来形

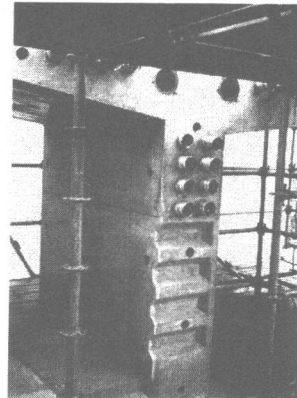


写真-5 ウェブ付近の出来形

でのプレストレスを導入した。表-7にP C鋼材の諸元と緊張時の最大荷重を示す。また、その際のコンクリートの圧縮強度は $38.4\text{N}/\text{mm}^2$ 、ヤング係数は $2.19 \times 10^4 \text{N}/\text{mm}^2$ であった（いずれ

も標準養生)。定着システムの諸元は、通常の普通骨材コンクリートのものと同じくしたが、今回の緊張では、ひび割れの発生は全く認められず、定着具のめり込みもほとんど生じなかった。これらのことから、今回の緊張作業の範囲内ではあるが、高性能軽量コンクリートを用いた場合には、通常の定着システムをそのまま適用できる可能性が示された。

以上のことから、今回の試験施工に供した高性能コンクリートは、作業性および構造特性とも実施工に十分適用できるものと判断された。

4. まとめ

設計基準強度 $40\text{N}/\text{mm}^2$ 、単位容積質量 $1,800\text{kg}/\text{m}^3$ の高性能軽量コンクリートを橋梁上部工へ適用することを想定して、実規模セグメントの試験施工を行った。本試験施工で得られた結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 高性能軽量骨材を用いた水セメント比 38% の高強度軽量コンクリートは、ブームを用いたポンプ施工が可能であった。
- (2) ポンプ施工により、コンクリートの流動性は若干低下し、圧縮強度は増加する傾向を示した。
- (3) 振動締固めによるコンクリートの材料分離はほとんど生じなかった。
- (4) 適切な振動締固めを行うことで、複雑な断面や鋼材が密に配置された部位へ密実に充填することができた。
- (5) 既存の PC 定着システムを使用して所要のプレストレスを導入しても、ひび割れや定着具のめり込みは確認されなかった。

謝辞

本試験施工を実施するにあたり、日本道路公団北陸支社および日本海沿岸東北道路阿賀野川橋（PC 上部工）工事事務所の方々に多大な御指導、御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

表-7 PC 鋼材の諸元と緊張時最大荷重

部位	PC鋼材	降伏荷重Py (kN)	0.9Py (kN)	試験時緊張力 (kN)
A	SBPR930/1180	748	673	638
B	12S12.7B	1,872	1,685	1,645
C	1S28.6	807	726	678

(端部導入力)

参考文献

- 1) 人工軽量骨材コンクリート技術資料 No.12, 世界の軽量コンクリート技術の現状, 人工軽量骨材協会, 1997.3
- 2) 橋大介, 大野義郎, 黒木一実, 岡田武二: 高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性に関する研究, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.237-240, 1984
- 3) 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, pp.48-52, 1998.1
- 4) 平石剛紀, 坂田昇, 柳井修司, 信田佳延, 岡本享久: 高性能軽量コンクリートのポンプ圧送実験, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集, V-151, pp.302-303, 1999.9
- 5) 坂田昇, 丸山久一, 南昌義: 増粘剤ウエランガムがフレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす影響, 土木学会論文集, No.538/V-31, pp.57-68, 1996.5
- 6) 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報告集, Vol.22, 2000.6, 投稿中
- 7) 人工軽量骨材コンクリート設計施工マニュアル, 土木学会コンクリートライブラリー第56号, 1985.5
- 8) 加賀谷誠, 徳田弘, 磯崎真一, 庄谷征美: 振動締固めによる軽量コンクリートの材料分離に関する2, 3の実験的考察, セメント技術年報, No.38, pp.246-249, 1984.12