

PC 構造物への高強度軽量コンクリートの適用性

Applicability of High Strength Lightweight Aggregate Concrete for Prestressed Concrete Structure

北海道開発局開発土木研究所 正 員 三田村浩 (Hiroshi MITAMURA)
北海道開発局開発土木研究所 正 員 池田憲二 (Kenji IKEDA)
鹿島技術研究所土木技術研究部 ○正 員 宇津木一弘 (Kazuhiro UTSUGI)
鹿島技術研究所土木技術研究部 正 員 新井 崇裕 (Takahiro ARAI)
鹿島技術研究所土木技術研究部 正 員 福田一郎 (Ichiro FUKUDA)

1. まえがき

近年、PC 橋梁は長大化、大規模化の傾向にあるとともに、急峻地・軟弱地盤等の立地条件の多様化、耐震性の向上、建設コストの縮減が求められている。このような場合、橋梁上部工を軽量化することにより、死荷重を軽減して施工効率の向上や地震時慣性力の低減を図ることが有効である。

本研究では、近年開発された真珠岩を原料とする低吸水性独立空隙型高性能軽量骨材¹⁾を使用したコンクリート（以下、高性能軽量コンクリートと記す）のPC 橋梁上部工への適用性を検討するために、小型橋梁下部工（以下、橋台と記す）と実規模大PC 橋梁用プレキャストセグメント（以下、プレキャストセグメントと記す）の試験施工を行った。

試験施工については、プレストレス導入時の計測データおよび挙動から既存のPC 定着システムの適用性に対する検討を行うとともに、長期計測を実施中で、クリープ・乾燥収縮特性についても検討を実施しているところであり、その概要について報告する。

2. 試験概要

2. 1 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に示す。また、コンクリートの使用材料を表-2に、配合を表-3に示す。

コンクリートの設計基準強度は 50N/mm²とした。配合Aでは、独立空隙型人工軽量粗骨材 G1 を気乾状態で使用した。配合Bは、配合Aに対して粗骨材の種類のみを変更した。粗骨材には気乾状態の独立空隙型人工軽量粗骨材 G2 と碎石 Gn をブレンドして用いた。

コンクリートの打込みには、最大理論吐出圧力 7N/mm² のコンクリートポンプ車を用いて施工した。

2. 2 構造物の形状

試験施工を実施した構造物の形状を以下に示す。

(1) 橋台

今回試験施工した小型橋梁の橋台形状寸法図を図-1に示す。

A1 橋台には、PC 鋼材として PC 上部工の横締め鋼材に使用されている熱硬化性エポキシ樹脂を注入したブregラウトタイプ PC 鋼材 1S21.8（1 年硬化型）を配置した。また、A2 橋台には、長大橋梁への適用を考慮して大容量 PC 鋼材 19S15.2B を配置した。

なお、軽量骨材コンクリートは割裂引張強度、付着強度、支圧強度が普通コンクリートより低くなるため、図-1に示すようにスパイラル筋をD22 の 11.5 巻とし、

表-1 コンクリートの仕様

適用部位	橋台、セグメント1	セグメント2
配合No.	A配合	B配合
設計基準強度	50N/mm ²	50N/mm ²
スランプフロー	550±50mm	550±50mm
空気量	7±1.5%	7±1.5%
単位容積質量	1,850kg/m ³	1,850kg/m ³
粗骨材	G1	G2+Gn

表-2 コンクリートの使用材料

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:4,470cm ² /g
細骨材	S1	幌延産川砂	表乾密度:2.64kg/ℓ、吸水率:1.28%
	S2	由仁産陸砂	表乾密度:2.61kg/ℓ、吸水率:2.67%
粗骨材	G1	独立空隙型人工軽量骨材 密度1.20品	絶乾密度:1.20kg/ℓ、24h吸水率:2.50% 実積率:62.0%、最大寸法:15mm
	G2	独立空隙型人工軽量骨材 密度0.85品	絶乾密度:0.85kg/ℓ、24h吸水率:2.50% 実積率:62.0%、最大寸法:15mm
	Gn	小樽市見晴産 碎石2005	絶乾密度:2.68kg/ℓ、24h吸水率:1.50% 粒形判定実積率:59.8%、最大寸法:20mm
	SP	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系標準形
混和材	VIS	特殊増粘剤	ウェランガム

表-3 コンクリートの配合

配合No.	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(上段kg/m ³ 、下段ℓ/m ³)							SP (P×%)	VIS (W×%)	理論U.W. (kg/m ³)
				W	C	S1	S2	G1	G2	Gn			
A	7.0	33.0	51.3	160	485	417	412	360	—	—	1.2	0.05	1834
				160	154	158	158	300	—	—	(5.82kg)	(80g)	
B	7.0	33.0	51.3	160	485	417	412	—	204	161	1.2	0.05	1839
				160	154	158	158	—	240	60	(5.82kg)	(80g)	

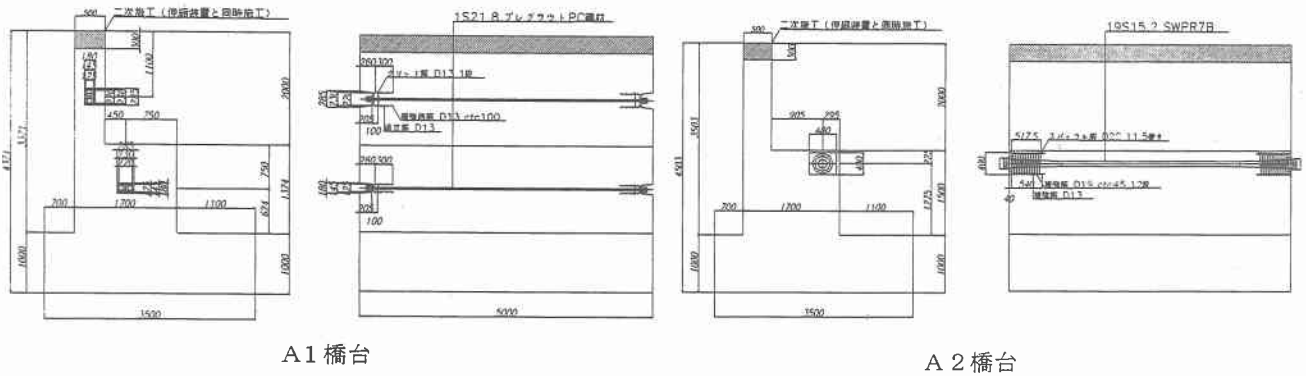


図-1 A1、A2橋台形状寸法図

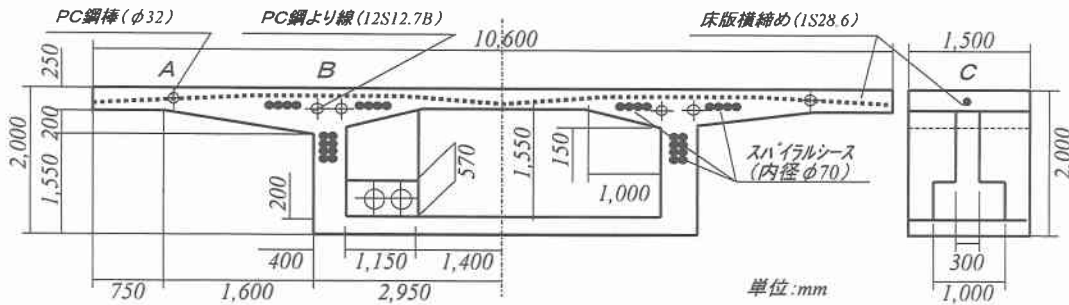


図-2 プレキャストセグメント形状寸法

補強鉄筋をD19の12段とした。

(2) プレキャストセグメント

セグメントの形状寸法図を図-2に示す。本セグメントは、支間長50m程度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。セグメントには、緊張試験用PC鋼材として床版横締めPC鋼材1S28.6(グラウトタイプ)を配置した。また、ダミーPC鋼材として断面片側にPC鋼棒(SBPR930/1180φ32mm)及びアンカーグロック定着体、PC鋼より線(12S12.7B)及びリブキャストアンカー定着体、外ケーブルの偏向部を模倣した隔壁を設置した。また、コンクリート配合を変えて2セグメント製作した。

2.3 試験目的と計測項目

橋台およびプレキャストセグメントを用いて、PC部材としての適用性について検討を行った。試験施工は、以下の3点に着目して実施した。

- ①PC定着部の性能確認
- ②PC部材としての基本性状の確認
- ③温度上昇によるエポキシ樹脂硬化状況確認

(1) 橋台

軽量骨材コンクリートは、普通コンクリートに比べて比熱が大きく、熱伝導率が低いいため、コンクリートの硬化熱の蓄熱量が大きくなり温度上昇量が高くなる²⁾。熱電対を設置してマスコンクリートの温度分布を把握するとともに、実際に緊張を行うことによりプレグラウトPC鋼材のエポキシ樹脂の硬化に影響があるか確認する。

また、PC部材としての基本性状を確認するために、プ

レストレス導入によるコンクリートの応力度、ひずみの変化を計測して有効プレストレス量の確認、クリープ・乾燥収縮の影響を把握する。

さらに、PC定着部の性能確認を行うためにプレストレス導入時のスパイラル筋、グリッド筋に発生する応力度とコンクリート表面の応力度をひずみゲージにより計測するとともにひび割れ発生状況を目視により観察する。

(2) プレキャストセグメント

プレストレス導入時の定着部付近のひび割れ発生状況を目視により確認して定着部の性能を確認する。

また、床版横締めPC鋼材のプレストレス導入による床版応力度、ひずみの変化を計測して有効プレストレス量の確認、クリープ・乾燥収縮の影響を把握してPC部材としての基本性状を確認する。

図-3に、応力計とひずみ計を組み合わせるクリープ・乾燥収縮ひずみを算出するフローを示す。

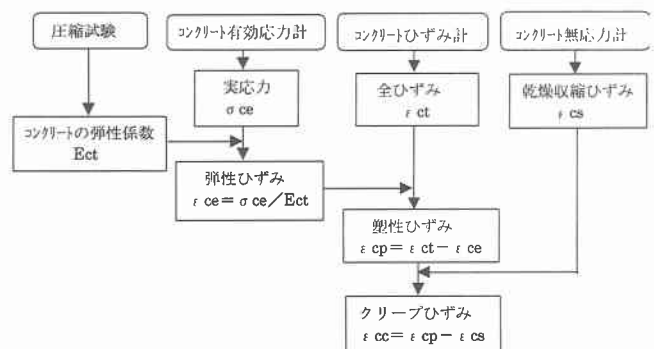


図-3 クリープ・乾燥収縮ひずみ算定フロー

2. 4 使用計測器と設置位置

A1 橋台に設置する計測器配置図を図-4に示す。A2 橋台も同様に設置している。また、プレキャストセグメントに設置する計測器は位置図を図-6に、設置する計測機器を表-4に示す。

また、計測頻度はコンクリート打設時およびプレストレス導入時に詳細に計測し、プレストレス導入以降は6時間毎のインターバル計測として2年間長期計測を行う。

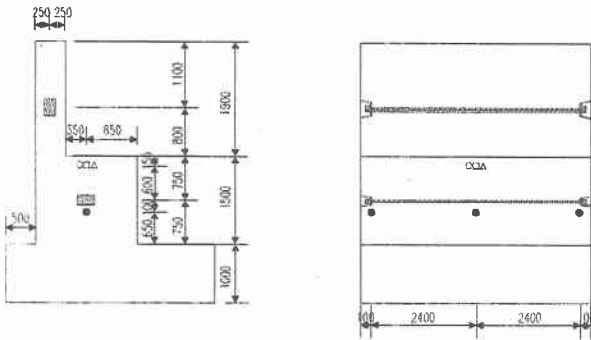


図-4 A1 橋台計測機器設置位置図

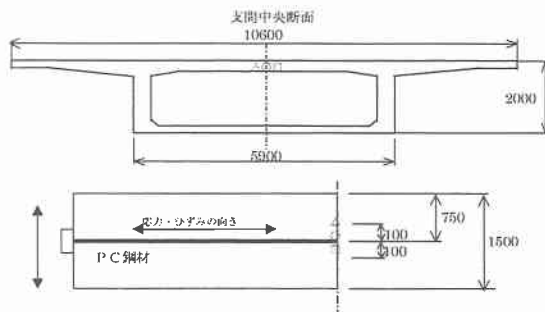


図-6 プレキャストセグメント計測機器設置位置

表-4 使用計測機器

使用機器	記号	仕様	数量			
			橋台		セグメント	
			A 1	A 2	1	2
コンクリート有効応力計	○	GK-100-505	1	1	1	1
コンクリートひずみ計	□	KM-100BT	1	1	1	1
コンクリート無応力計	△	KMF-51	1	1	1	1
コンクリートひずみゲージ	◆	PL-60-11	—	4	—	—
鉄筋ひずみゲージ	■	YFLA-2	4箇所 (8枚)	4箇所 (8枚)	—	—
熱電対	●	T-GS-0.65	3	3	—	—

3. 施工結果

3. 1 温度計測結果

A1 橋台のコンクリート打設以降のコンクリート温度計測結果を図-7に示す。コンクリート打設後、30 時間で中心部の硬化熱による温度上昇は最大 103℃となり、その後徐々に冷却して 35 日で中心部と外側のコンクリート温度がほぼ等しくなることが分かる。普通コンクリートと比較すると、温度上昇量が高いことが確認された。また、セグメント1のコンクリート温度計測結果を図-8に示す。床版のように薄い部材であれば コンクリート上昇温度は 60℃以下となることが確認された。

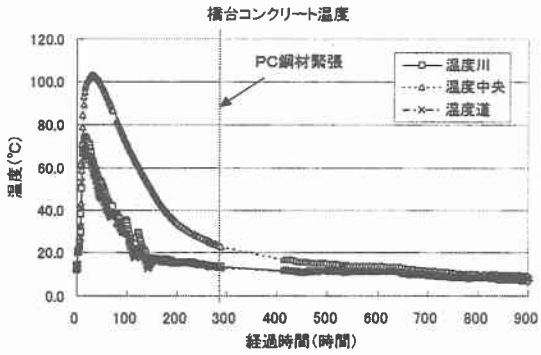


図-7 A1 橋台コンクリート温度計測結果

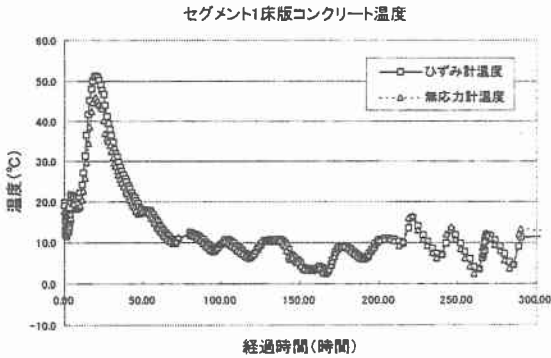


図-8 セグメントコンクリート温度計測結果

3. 2 緊張結果

プレストレスの導入は、型枠を解体した後、コンクリート強度が各定着方法の緊張可能強度以上あることを確認してから 0.9Py (降伏荷重の 0.9 倍：プレストレッシング中の許容値) までの張力を与えた。

橋台およびセグメント緊張時のコンクリートの圧縮強度は、表-5

に示す値となっており、緊張可能強度を十分満足していた。

表-5 コンクリート強度試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	
	材令7日	材令28日
橋台・セグメント1	57.8	65.6
セグメント2	44.8	51.4

(1) 橋台

A1 橋台のプレグラウト鋼材 1S21.8 緊張時の導入圧力と伸び量の関係を図-9に示す。このグラフより、パラペット部に配置した 1S21.8 は硬化熱による影響なく、伸びと圧力の関係は計算値と一致していたが、躯体に配置した 1S21.8 は緊張圧力に対して伸びが少なく、硬化熱によりエポキシ樹脂の硬化がかなり進行していたものと考えられる。今回使用したプレグラウト PC 鋼材は、通常北海道地区で使用されている配合となっているが、エポキシ樹脂の硬化促進剤添加量と付着強度発現時間には温度依存関係があるため、軽量骨材コンクリートを使用した柱頭部・横桁等を使用する場合には適切な配合のエポキシ樹脂を選定するか、部材厚を薄くするなどの配慮が必要である。

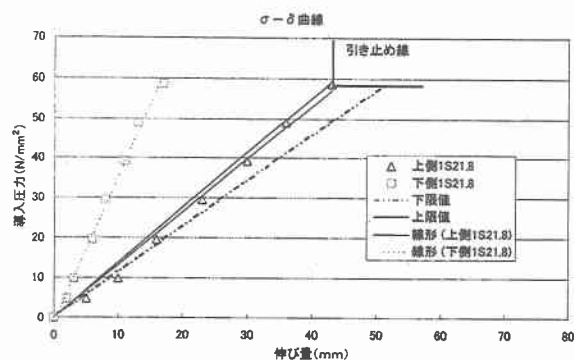


図-9 A1橋台導入圧力-伸び関係

計測された温度履歴をもとにちょう度解析を行った結果を図-10に示す。

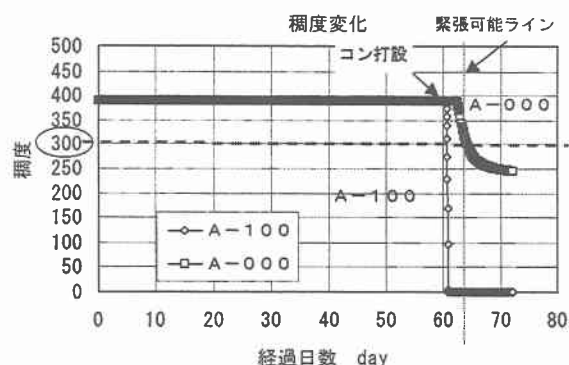


図-10 ちょう度解析結果

図から、今回使用したA100タイプは1日で硬化が完了したと推定される。また、A000タイプ(超高温型)を使用した場合には、4日まで緊張が可能であると考えられる。

また、パラペット部、躯体部のいずれの定着部においても定着プレートのめり込み、ひび割れの発生は認められず、十分な定着性能を有していると思われる。

A2橋台の19S15.2緊張時には、導入圧力が、 $0.75\sigma_{Py}$ (360kgf/cm^2)の時点で躯体上面に 0.06mm のひび割れ発生が確認され、 $0.77\sigma_{Py}$ (370kgf/cm^2)の時点でひび割れ幅が、腐食環境下における補修のいらないひび割れ幅の制限値³⁾ 0.1mm に達した。

スパイラル筋応力度計測値を図-11示す。スパイラル筋に発生した応力度は 62N/mm^2 となり、既往の実験で確認されているひび割れが発生する鉄筋応力度と程度となっていることが確認された。

(2) プレキャストセグメント

プレキャストセグメント1、2の床版横締め1S28.6緊張時の導入圧力と伸びの関係はほとんど等しく、使用した軽量骨材の種類の違いによっては、導入圧力と伸び量の間には有意な差は現れなかった。いずれの定着部においても定着プレートのめり込み、ひび割れの発生は認められず、十分な定着性能を有していると思われる。

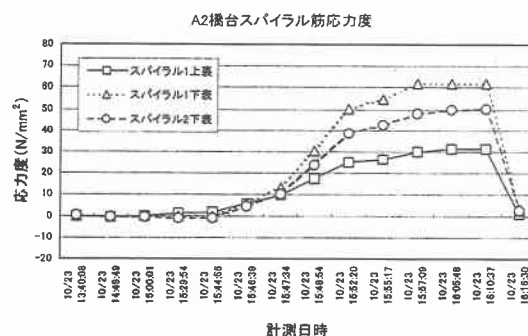


図-11 スパイラル筋ひずみ計測結果

3. 2 短期計測結果

セグメント2のプレストレス導入時の有効応力計の計測結果を図-12に示す。図から有効応力度が時間とともに減少しているのが確認される。

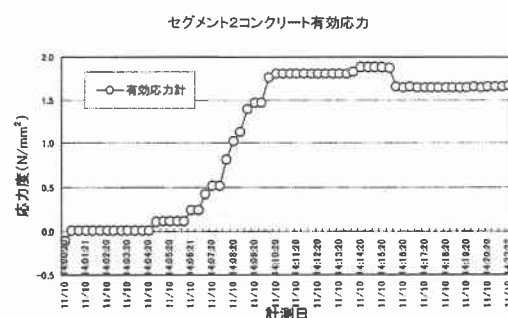


図-12 有効応力計測結果

4. あとがき

高強度軽量コンクリートを、PC橋梁へ適用することを想定して試験施工を行った結果、以下のことが分かった。

- ・ 軽量骨材コンクリートに熱硬化性エポキシ樹脂を使用したプレグラウトPC鋼材を使用する場合には、適切な調度のプレグラウトPC鋼材を選定するとともに、部材厚を薄くするなどの配慮が必要である。
- ・ 軽量骨材コンクリートは普通コンクリートと比較して、割裂引張強度、付着強度、支圧強度が低くなるが、適切なスパイラル筋、グリッド筋を配置することにより通常の定着具を使用して同等の定着性能が確保されることが確認された。

また、クリープ・乾燥収縮による影響については現在、長期計測を実施中であり、データがまとまり次第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) 土木学会: 人工軽量骨材コンクリート設計施工マニュアル、コンクリート・ライブラリー、第56号、pp66、1985.6
- 3) 日本コンクリート工学協会: ひび割れ調査・補修・補強指針、pp6~7、1987