

高強度軽量コンクリートの実用化技術の開発

～PC 橋梁および合成床版への適用～

Development of Technology for Construction of Bridges using High Strength Lightweight Aggregate Concrete

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 信田佳延 (Yoshinobu NOBUTA)
 鹿島技術研究所土木技術研究部 正員 坂田 昇 (Noboru SAKATA)
 鹿島技術研究所土木技術研究部 ○正員 柳井修司 (Shuji YANAI)

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、コンクリート部材の場合には、コンクリート自身を高強度化・軽量化することが有効な手段である。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期待できる。また、上部工の軽量化にともなう地震時慣性力の軽減は耐震設計上有利となる場合もある。著者らは、高強度軽量コンクリートを適用したPC 橋梁の試設計および工事費の算出を行い、そのコストメリットや耐震性の向上を明らかにしてきた^{1)・2)}。

一方、近年の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、高耐久化が図られ、凍結融解抵抗性の観点から寒冷地では不向きとされてきた軽量コンクリートの適用範囲が拡大しつつある。

今回、高強度軽量コンクリートを橋梁へ適用する施工技術確立することを目的として、小型橋梁下部工、鋼コンクリートサンドイッチ合成床版および実規模大PC

橋梁用セグメントの試験施工を行った。ここでは、その結果について報告する。

2. 試験施工の概要

2. 1 構造物の形状

試験施工を実施した構造物は次のとおりである。

(1) 小型橋梁

橋梁の形状を図-1に示す。本橋は、支間長 25m の単純桁橋であり、床版は鋼コンクリートサンドイッチ構造となっている。橋台には、設計基準強度 50N/mm^2 、単位容積質量 1850kg/m^3 の高強度軽量コンクリートを適用した。合成床版内部のコンクリートには自己充てん性を有する軽量コンクリートを適用した。

(2) 実規模大 PC 橋梁用プレキャストセグメント

セグメントの形状を図-2に示す。セグメントは2体製作し、設計基準強度 50N/mm^2 、単位容積質量 1850kg/m^3 の高強度軽量コンクリートを適用した。各セグメントには、使用する軽量粗骨材の種類が異なるコンクリートを適用した。

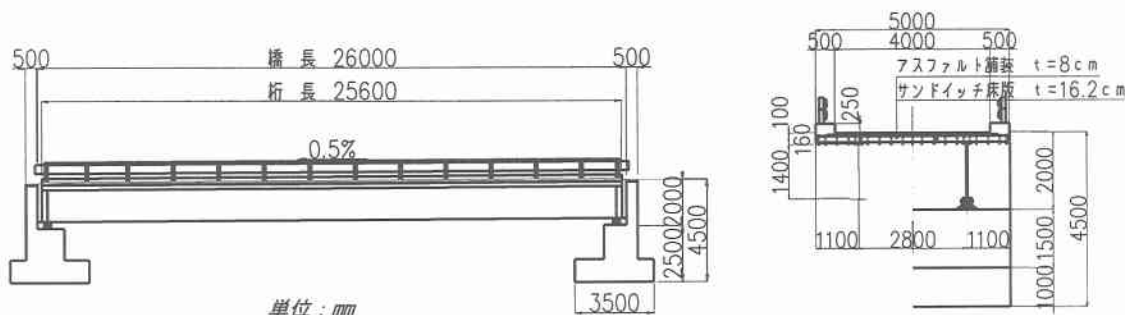


図-1 小型橋梁の形状

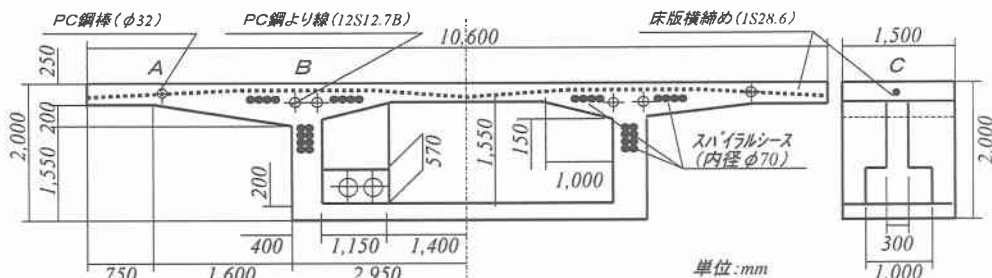


図-2 プレキャストセグメントの形状

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と適用部位を表－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。

配合Aには、真珠岩を主原料とする絶乾密度 1.19kg/ℓの独立空隙型人工軽量粗骨材³⁾ G 1を気乾状態で使用した。水セメント比は配合強度 60N/mm²を満足するように事前の室内試験で決定した。

配合Bは、配合Aに対して粗骨材の種類のみを変更したものである。粗骨材には絶乾密度 0.80kg/ℓの独立空隙型人工軽量粗骨材³⁾ G 2（気乾状態で使用）と碎石G nをブレンドして用いた。骨材のブレンド比は、コンクリートの単位容積質量が配合Aと同一となるように調整した。

配合Cは、自己充てん性を有する軽量コンクリートである。粗骨材には、頁岩を主原料とする従来型の人工軽量粗骨材をプレウェットングして使用した。これは、ポンプ圧送を確保する必要があること、サンドイッチ合

成床版ではコンクリートと水が直接接することがないため、コンクリートに要求される凍結融解抵抗性が小さくてよいことを考慮したためである。なお、材料分離抵抗性を高め、さらに自己充てん性を付与するために混和材としてフライアッシュを使用した。

いずれの配合もコンクリートのポンプ圧送性および材料分離抵抗性を向上させるために、特殊増粘剤（ウェランガム）を添加した⁴⁾。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 2.25m³として2バッチ分 4.5m³を1台のアジテータ車に積載した。練混ぜ時間はモルタル先練り 30 秒、粗骨材を投入してさらに 150 秒間とした。

いずれの施工においても、コンクリートの打込みには最大理論吐出圧力 7 N/mm²のコンクリートポンプを用いた。

3. 施工結果

3. 1 橋台の施工

小型橋梁の橋台には、粗骨材 G 1を使用した軽量コンクリート（配合A）を適用した。コンクリートの打込みに際しては、コンクリートのポンプ圧送性を評価するために、図－3に示すような圧送管を配置してポンプ施工を行った。

(1) コンクリートの性状

受入れ時のフレッシュコンクリートの品質管理試験は、打設量 70m³に対して 12 回実施した。また、そのうち 6 回の品質管理試験

において圧縮強度試験用の供試体采取了。

コンクリートの品質管理試験の統計データを表－4に示す。いずれの試験においても目標値を満足する結果が得られた。表に示すようにフレッシュコンクリートの品質の変動は非常に小さく、性状の安定した高強度軽量コンクリートの製造・供給が可能であった。また、28 日圧縮強度の平均値は 65.0N/mm²であり、十分な圧縮強度が得られた。さらに変動係数も 5 %以下であり、硬化物性も非常に安定していた。

(2) ポンプ圧送性

コンクリートのポンプ圧送性を評価するために、圧送

表－1 コンクリートの仕様

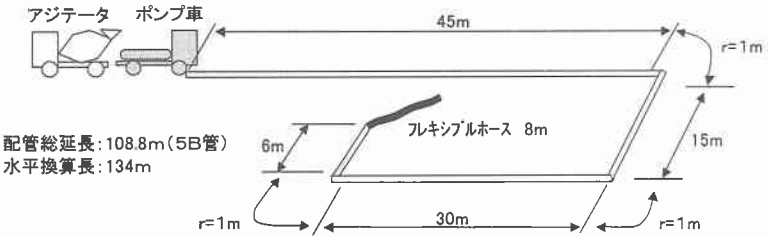
適用部位	橋台、セグメントA	セグメントB	合成床版
配合No.	A配合	B配合	C配合
設計基準強度	50N/mm ²	50N/mm ²	30N/mm ²
スランプフロー	550±50mm	550±50mm	700±50mm
空気量	7±1.5%	7±1.5%	6±1.5%
単位容積質量	1,850kg/m ³	1,850kg/m ³	1,900kg/m ³

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:3.14g/cm ³ 、比表面積:4,470cm ² /g
混和材	FA	フライアッシュ	密度:2.26g/cm ³ 、比表面積:4,920cm ² /g 強熱減量:0.45%
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%
		S1:S2=50:50	粗粒率:2.71
	G1	独立空隙型人工軽量骨材 真珠岩系、密度1.20品	絶乾密度:1.19kg/ℓ、24h吸水率:1.00%、 実積率:61.0%、最大寸法:15mm
	G2	独立空隙型人工軽量骨材 真珠岩系、密度0.85品	絶乾密度:0.80kg/ℓ、24h吸水率:2.32%、 実積率:61.0%、最大寸法:15mm
粗骨材	G3	従来型人工軽量骨材 膨張頁岩系	絶乾密度:1.26kg/ℓ、表乾密度:1.56kg/ℓ、 含水率:23.8%、実積率64.8%、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
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－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×%)
				W	C	FA	S1	S2	G1	G2	G3	Gn		
A	7.0	33.0	51.3	160	485	—	417	412	357	—	—	—	1.20	0.05
				160	154	—	158	158	300	—	—	—	(5.82kg)	
B	7.0	33.0	51.3	160	485	—	417	412	—	192	—	161	1.20	0.05
				160	154	—	158	158	—	240	—	60	(5.82kg)	
C	6.0	41.3	46.0	151	366	264	338	334	—	—	468	—	0.90	0.05
				151	117	117	128	128	—	—	300	—	(5.63kg)	



図－3 配管状況

前後のコンクリートの試験を行うとともに、ピストン前面圧、吐出量を測定した。また、圧送前後の試料を用いて2度の品質管理試験を実施して圧送前後のコンクリートの性状を比較した。

図-4に圧送前後のスランプフロー値および28日圧縮強度の比較を示す。既往の報告⁴⁾では、ポンプ圧送を行った場合には、圧送負荷による軽量骨材の吸水によって、流動性が低下することが報告されているが、今回の試験では、圧送による流動性の低下は認められなかった。これは、配合Aが低水セメント比であり、圧送負荷による加圧脱水が非常に小さかったためであると考えられた。ちなみに、軽量骨材の含水率の増加は1%以下であり、非常に小さいものであった。なお、空気量および単位容積質量については、有為な変化は認められなかった。材齢28日の圧縮強度は圧送によりわずかに低下する傾向を示したが、ポンプ圧送が圧縮強度に及ぼす影響は非常に小さいものであった。

ポンプ圧送における設定吐出量は20m³/h程度とした。その結果、吐出量が20m³/h程度であれば、ピストンに作用する圧送負荷がコンクリートポンプの理論吐出圧力の5割程度であり、円滑な圧送を行うことができた。また、吐出量を30m³/hまで増加させて圧送した場合でも、ピストン前面圧はコンクリートポンプの理論吐出圧力の8割に相当する6N/mm²程度であり、この範囲の圧送速度であれば、十分なポンプ施工が行えるものと判断された。なお、実吐出量とピストン前面圧の間には、図-5に示すような線形の関係が認められた。

(3) 施工性

写真-1に橋台の施工状況を示す。前述のように、圧送によるコンクリートの性状変化が非常に小さく、また、ポンプ圧送も円滑に行うことができ、良好な施工性が得られた。締固めは内部振動機を用いて行い、締固め間隔を約50cm、一カ所の締固め時間を約5秒間とした。目視による観察では、振動締固めによる軽量骨材の浮上りはほとんど認められなかった。これは、施工に供したコンクリートが水セメント比33%の高强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れていたことによるものと考えられた。また、出来形も良好であったことから、施工に供した高强度軽量コンクリートは、実工事においても十分な施工性を有していると判断された。

3. 2 セグメントの施工

セグメント2体は、それぞれ使用粗骨材が異なる配合のコンクリートで製作した。

(1) コンクリートの試験結果

各セグメントに打ち込んだコンクリートの試験結果を表-5に示す。フレッシュコンクリートの性状は配合A、Bとも同等であり、粗骨材の種類を変更しても性状の相違はほとんど認められなかった。また、コンクリートはコンクリートポンプのブームを介して打ち込んだが、ポンプ圧送による流動性の低下は認められなかった。

圧縮強度については、密度が小さい軽量粗骨材G2を使用した配合Bは、水セメント比が同一であるにもかかわらず、配合Aに比べて2割程度小さくなった。これは、

表-4 コンクリートの試験結果

	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	28日圧縮強度 (N/mm ²)
最大値	595	8.4	1846	68.0
最小値	523	5.6	1750	59.3
平均値	567	6.6	1800	65.0
標準偏差	24.5	1.0	27	3.2
変動係数(%)	4.3	15.2	1.5	4.9

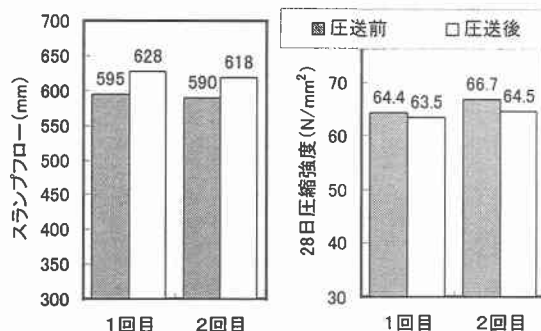


図-4 圧送前後の性状比較

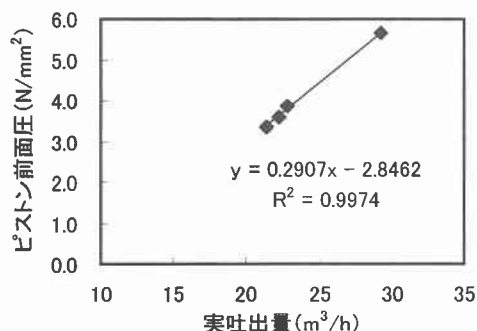


図-5 実吐出量とピストン前面圧の関係

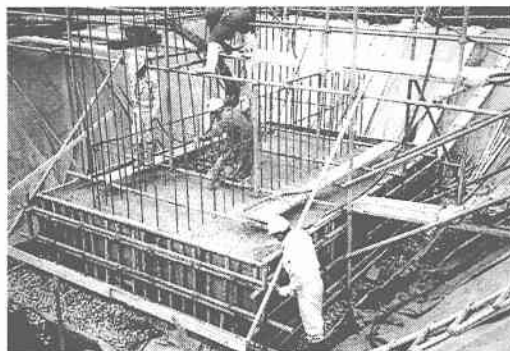


写真-1 橋台の施工状況

軽量粗骨材自身の圧縮強度が小さい³⁾ためであり、圧縮強度が50N/mm²を超えるコンクリートに軽量粗骨材G2を適用するには十分な注意が必要であると考えられた。

(2) 施工性

コンクリートの打込みは図-6に示す順序で行い、いずれのセグメントとも、実吐出量約20m³の圧送速度で打ち込んだ。ブーム先端には、テーパ管を介して4インチのフレキシブルホース(7m)を取り付けた。ピストン前面圧の最大値はいずれの配合も4.63N/mm²であり、使用した粗骨材の種類が圧送負荷に及ぼす影響は認められなかった。また、筒先のホース径を4インチに絞って

も、ピストン前面圧はコンクリートポンプの理論吐出圧力の6割程度であり、円滑なポンプ施工が可能であった。振動締固めは、棒状バイブレーターと型枠バイブレーターを併用して行い、軽量骨材の浮上りや外ケーブル偏向ブロック、ウェブ・隔壁の取合い部、シース間周リ等の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た。その結果、軽量骨材の浮上りも皆無であり、脱枠後においてもコンクリートの未充てん部は全く認められず、密実な充てん性が得られた（写真－2）。

3. 4 合成床版桁の施工

(1) コンクリートの性状

床版内部の充てんコンクリートには、自己充てん性を有する軽量コンクリート（配合C）を使用した。

コンクリートの品質管理試験結果を表－6に示す。コンクリートの性状は、非常に安定しており、実施した全ての試験において目標品質を満足する結果が得られた。

(2) 施工性

コンクリートの打込み状況を写真－3に示す。コンクリートの打込みに際しては、床版内部のフランジで区切られた6ブロック（1ブロック：8.4×2.5m）の各ブロックにコンクリートの打設口を3カ所設け、充てん状況を確認しながら適宜打設口を移動した。その結果、設置した全ての吹出し口からコンクリートが溢れ出し、十分な自己充てん性を確認することができた。また、打音検査やコア抜き調査を行って鋼板とコンクリートの一体性を確認した。その結果、未充てん部が皆無であること、鋼板とコンクリートが完全に一体化していること、粗骨材の分布が均一であり、密実なコンクリートが充てんされていることが確認された。

これらのことから、鋼コンクリートサンドイッチ床版に自己充てん性を有する軽量コンクリートが十分に適用可能であり、合成床版のさらなる軽量化が図れることが分かった。

4. おわりに

高強度軽量コンクリートを橋梁へ適用する技術を確立することを想定して、実規模試験施工を行った。その結果、以下のことが分かった。

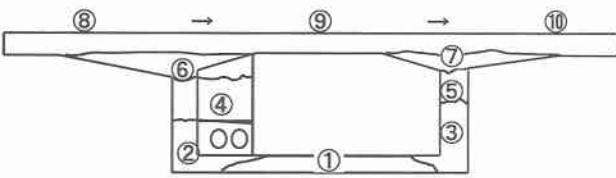
- ・ 設計基準強度50N/mm²の高強度軽量コンクリートは、良好な施工性を有しており、実施工へ適用可能である。
- ・ 自己充てん性を有する軽量コンクリートは、鋼コンクリートサンドイッチ床版へ適用可能である。

参考文献

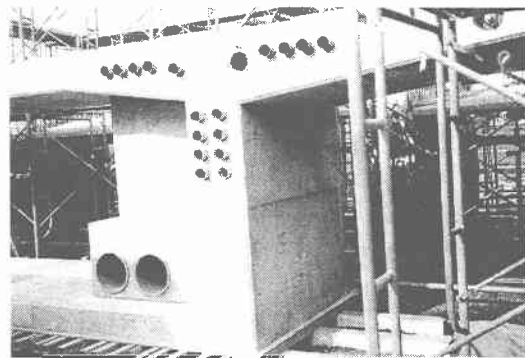
1) 三田村浩，池田憲二，坂田昇，信田佳延：橋梁における高性能軽量コンクリートの実用化技術に関する研究，開発土木研究所月報，No. 562，pp. 11-18，2000. 3
2) 三田村浩，池田憲二，坂田昇，信田佳延：軽量骨材コンクリートの適用を想定したプレストレスコンクリート橋の試設計，日本コンクリート工学協会軽量コンクリートの性能の多様化と利用の拡大に関するシンポジウム論文集，pp. 149-152，2000. 8
3) 岡本享久・早野博幸・柴田辰正：超軽量コンクリー

表－5 コンクリートの試験結果

	セグメントA	セグメントB	
配合	配合A	配合B	
粗骨材種類	G1(密度1.20)	G2(密度0.85) +Gn(碎石)	
試料採取状況	圧送前	圧送前	圧送後
スランプフロー(mm)	543	565	575
空気量(%)	7.4	7.6	5.8
単位容積質量(kg/m ³)	1800	1801	1830
28日圧縮強度(N/mm ²)	66.2	55.3	56.1



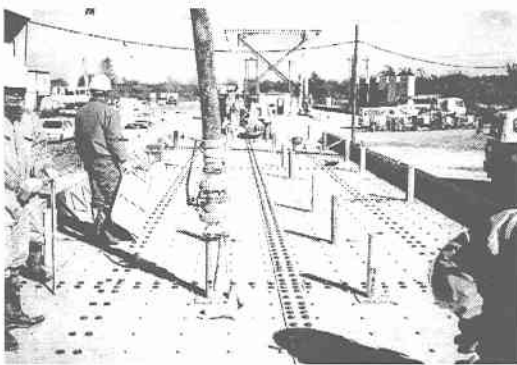
図－6 コンクリートの打込み順序



写真－2 脱型後の状況（セグメントA）

表－6 コンクリートの試験結果

No.	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	500mm7ロー 到達時間(秒)	28日圧縮強度 (N/mm ²)
1	705	6.4	1927	6.9	—
2	730	7.4	1880	6.3	51.4
3	730	5.4	1936	4.4	—
平均	722	6.4	1914	5.9	51.4



写真－3 合成床版への打設状況

ト，コンクリート工学，Vol. 36，No. 1，pp48～52，1998. 1
4) 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. 7