報告　主桁コンクリートに軽量骨材コンクリートを使用したＰＣ桁橋の施工－井桁歩道橋－

栗村　直樹[*1]・渡辺　浩良[*2]・熊田　正次郎[*3]

要旨：本橋は，福島県南会津郡南会津町八総地内で，国道 352 号が舘岩川を横断する位置にある井桁橋の側道歩道橋の新設工事である。構造形式は，3 径間連結プレテンション方式 PCT 桁橋である。橋長は 65.9m，全幅員は 3.3mの 2 主桁橋である。上部工，下部工トータルで軽量化によるコスト縮減を目指し，主桁コンクリートに軽量骨材コンクリートを使用した。本橋の架橋位置は，寒冷地のため凍害による劣化が主な劣化要因として考えられた。本報告では，凍結融解抵抗性を向上するために有機繊維を混入した軽量骨材コンクリートを使用した PC 桁の製作および各種物性試験結果について報告するものである。

キーワード：軽量骨材コンクリート，凍害，軽量化，PC 桁，有機繊維

1. はじめに

井桁歩道橋は，福島県南会津郡南会津町八総に位置し，国道 352 号が舘岩川を横断するところに架橋された側道歩道橋である。構造形式は，3 径間連結プレテンション方式 PCT 桁橋で，橋長は 65.9m，全幅員は 3.3mの橋梁規模を有している 2 主桁橋である。上部工の死荷重を軽減し，上部工，下部工トータルでコスト縮減を目指し，主桁コンクリートに軽量骨材コンクリートが使用された。架橋位置は，福島県の山間部であり，寒冷地のため凍害による劣化が主な劣化要因として考えられた。軽量骨材コンクリートに使用する人工骨材は，通常の骨材に比べ吸水率が高く，一般に凍結融解作用による凍害には不利であると言われている[1)]。本橋では，軽量骨材コンクリートの凍害に対する抵抗性を増大する目的で，有機繊維を混入した軽量骨材コンクリートを使用した[2)]。本報告では，有機繊維を混入した軽量骨材コンクリートを使用したプレテンション方式 PCT 桁の製作および本コンクリートの硬化前，硬化後の物性値の妥当性を確認するために行った各種試験結果について報告するものである。

2. 工事概要

井桁歩道橋の工事概要を以下に示す。

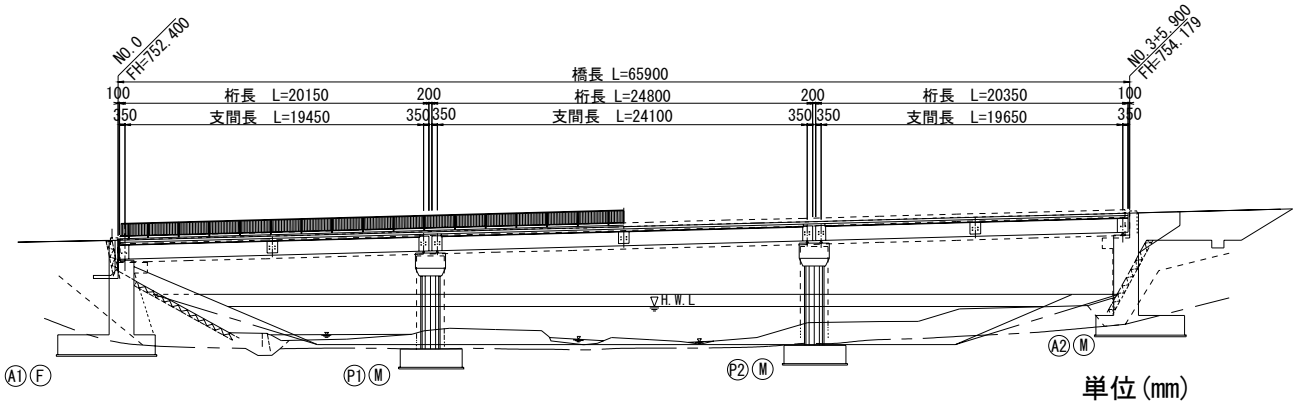
工事名　：第 06-360-0066 号
　　やさしい道づくり推進工事
工事箇所：福島県南会津郡南会津町八総地内
発注者　：福島県南会津建設事務所
工期　　：平成 18 年 7 月 5 日～
　　平成 19 年 1 月 22 日
構造形式：3 径間連結プレテンション方式
　　PCT 桁橋（2 主桁断面）
橋長　　：65.9m
桁長　　：65.7m
支間　　：19.45m＋24.1m＋19.65m
有効幅員：2.5m（全幅員 3.3m）
縦断勾配：2.7%
横断勾配：2.0%
斜角　　：左 60°
活荷重　：群集荷重
架設方法：クレーン架設

3. 主桁の設計

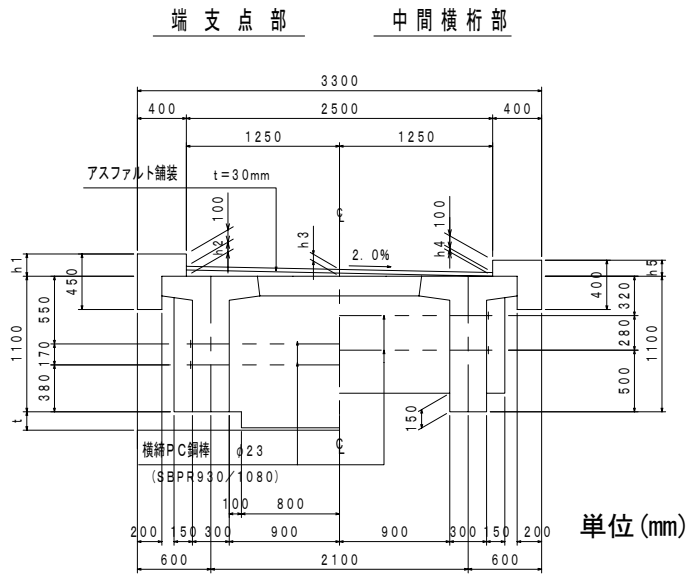
3.1 設計用値

本橋の設計は，プレキャスト PC 桁を架設後，

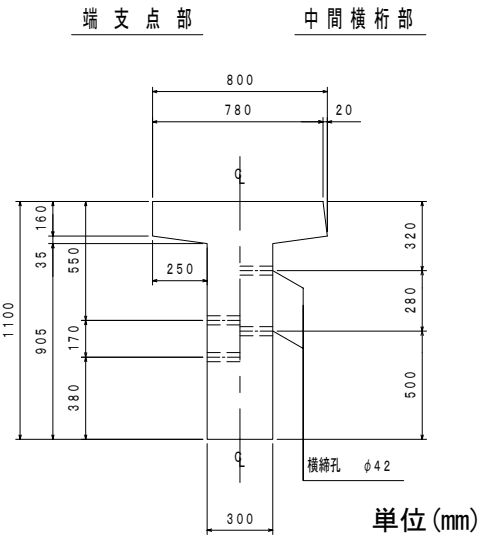
*1　（株）ピーエス三菱　東北支店ＰＣ工事グループ　(正会員)
*2　（株）ピーエス三菱　東北支店技術部設計グループリーダー　(正会員)
*3　福島県南会津建設事務所　事業部　道路グループ　技師



図－1　縦断図



図－2　断面図



図－3　主桁断面図

表－1　設計用値

(N/mm^2)

		主桁
設計基準強度		50.00
許容曲げ圧縮応力度	プレストレス導入直後	20.00
	設計荷重時	16.00
	温度変化時	18.40
許容曲げ引張応力度	プレストレス導入直後	-1.20
	全死荷重時	0.00
	設計荷重時	-1.20
	温度変化時	-1.60
平均せん断応力度	設計荷重時	0.45
	終局荷重時	4.20
	〃　ねじり＋せん断	4.70
許容斜引張応力度	設計荷重時	-0.80
	〃　ねじり＋せん断	-1.00
ヤング係数	設計荷重時（kN/mm^2）	22.0
単位体積質量	kN/m^3	20.1

間詰めコンクリート，連結部コンクリートを打設するという施工順序を考慮して行われた。間詰め荷重までの荷重については，単純桁として載荷し，橋面荷重，活荷重，2 次不静定力については連続桁として載荷した。橋面荷重および活荷重による断面力は，格子解析により求めた。設計用値については**表－1** に示す。軽量骨材コンクリートの引張応力度およびせん断に対する許容値は，2002 年制定土木学会コンクリート標準示方書［構造性能照査編］にしたがい，普通骨材コンクリートの 70%に設定している。

3.2 反力比較

軽量骨材コンクリートを使用した場合と同じ形状で普通骨材コンクリートを使用した場合の A1 橋台における反力比率を，支承反力および橋台反力別に**表－2** に示す。設計単位体積質量が

表－2　A1 橋台の反力比較　(kN)

	支承反力（G1）		
	本橋(a)	比較仮想橋(b)	比率a/b
	軽量骨材	普通骨材	
主桁自重	84.476	102.968	0.82
死荷重合計	184.382	203.098	0.91
最大反力	249.761	260.538	0.96
	橋台反力		
	本橋(a)	比較仮想橋(b)	比率a/b
	軽量骨材	普通骨材	
主桁自重	168.952	205.937	0.82
死荷重合計	364.924	401.908	0.91
最大反力	488.459	509.565	0.96

20.1 k N/m^3 と普通骨材コンクリートの 24.5kN/m^3 と比較しておよそ 18%軽くなっている影響で，架設や運搬時に影響する主桁自重でおよそ 18%，支承の設計に影響する支承反力の最大値で 4%，下部工の設計に影響する下部工反力で 4%それぞれ軽くなっている。これらは，クレーンの能力，支承の大きさおよび下部工の大きさに直接影響するため，その分コストが縮減する方向になることがわかる。

4. 主桁の製作

4.1 材料

本橋で使用した材料は以下のとおりである。

セメント：早強ポルトランドセメント（H）

高炉スラグ微粉末（BFS）：比表面積 5970cm^2/g

粗 骨 材：軽量骨材低含水率品(GL)

（絶乾密度 1.31g/cm^3，製品含水率 0.50%）

細 骨 材：山形県長井市寺泉産陸砂（S）

混和剤：高性能減水剤（ポリカルボン酸系）（SP）

AE 剤：天然樹脂酸塩（VIN）

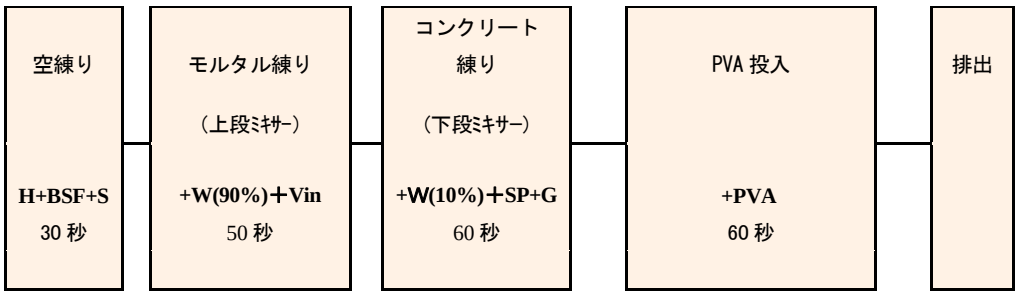
繊維：PVA（ポリビニールアルコール）：繊維径 100 μ m，繊維長 12mm，密度 1.3g/cm^3

表－3　コンクリートの配合

W/B	s/a	Air		単位量						混和材 B×%		密度
				W	B		細骨材	粗骨材	繊維	SP	VIN	(kg/m^3)
(%)	(%)	(%)			H	BFS	S	GL(気)	PVA			
32	55.0	8.6	kg	155	291	194	878	361	1.95	0.65	0.040	1880
			リットル	155	93	67	340	279	1.5			

表－4　フレッシュコンクリートの性状

ｽﾗﾝﾌﾟ	空気量	試験結果				
管理値	管理値	ｽﾗﾝﾌﾟ	空気量	ｺﾝｸﾘｰﾄ	室温	単位容積質量
(cm)	(%)	(cm)	(%)	温度(℃)	(℃)	(kg/m^3)
12±2.5	8.6±1.5	14.0	8.8	27.0	27.0	1853



図－4　練混ぜフロー

表－5　圧縮強度試験，ヤング係数および単位容積質量試験結果

養生方法	試験材齢（日）	No.	圧縮強度(N/mm^2)		ヤング係数(kN/mm^2)		単位容積質量(kg/m^3)	
			測定値	平均	測定値	平均	測定値	平均
蒸気養生	1	1	43.3	43.9	17.6	19.4	1835	1840
		2	48.4		20.3		1842	
		3	39.9		20.2		1843	
	7	1	51.7	52.6	21.6	21.7	1856	1866
		2	53.7		21.3		1888	
		3	52.4		22.3		1854	
	14	1	54.2	55.1	22.6	22.2	1847	1852
		2	54.4		22.3		1862	
		3	56.8		21.6		1846	
	28	1	55.1	57.4	22.8	22.5	1854	1880
		2	59.9		22.0		1898	
		3	57.3		22.6		1887	
標準養生	28	1	60.0	57.7	23.6	23.2	1909	1902
		2	52.1		23.3		1889	
		3	61.0		22.7		1910	

写真－1　打込み状況

写真－2　完成した主桁

4.2 配合

本橋で用いた配合は，**表－3** のとおりである。コンクリートの単位体積質量は，主桁の鉄筋量が 1.028ｋN/m^3 程度であったため，19.072kN/m^3（1946 kg/m^3）を上限値とし，安全側であることとこれまでの配合実績を考慮して 18.424kN/m^3（1880kg/m^3）を目標に配合を決定した。空気量管理の中心値は，骨材修正係数を 2.1%とし，管理値の下限値においても 5%を下回らないように設定した（5+2.1+1.5=8.6%）。

4.3 練混ぜ

練混ぜフローを**図－4** に示す。PVA は下段ミキサーの投入口より人力で投入した。

4.4 打込みおよび仕上げ

打込みは，工場のバケットで行った。締固めは，高周波棒状バイブレーターと壁バイブレーターの併用で行った。粉体量が多く，PVA 繊維も混入しているため，軽量骨材の浮上がりはそれほど大きくはなかった。作業は，通常の PC 桁と同じ作業時間内で終了した。

4.5 養生

養生は，蒸気養生を行った。養生温度は，気温 27℃で 4 時間の前養生，それから 3 時間かけて 50℃まで上昇させ，そのまま 5 時間その温度を保ち，3 時間かけて徐々に養生温度を下げる設定にした。脱枠後は，屋外で気中養生とした。完成した PCT 桁の写真を**写真－2** に示す。

5. 物性試験および試験結果

供試体は，井桁歩道橋の主桁コンクリートと同じものとするために，打設時にバケットから採取したコンクリートで製作した。

5.1 圧縮強度試験

圧縮強度試験は,「JIS A1108 コンクリートの圧縮強度試験方法」により行った。圧縮強度供試体は標準養生と蒸気養生の 2 種類とし，あわせてテストピースの単位容積質量とヤング係数を測定した。

蒸気養生した供試体の 28 日圧縮強度試験結果は平均 57.4N/mm^2 であり，設計基準強度 50.0N/mm^2 を上回った。

5.2 ヤング係数測定試験

蒸気養生した供試体のヤング係数は，材齢 28 日で 22.5kN/mm^2 となり，目標とするヤング係数 22.0kN/mm^2 を上回った。

5.3 単位容積質量試験

単位容積質量は，全ての供試体で 1840～1902kg/m^3 の範囲にあり，単位容積質量の上限値 1946kg/m^3 を下回る安全側の結果であった。

5.4 引張強度試験

割裂引張強度試験は,「JIS A1113 コンクリートの割裂引張強度試験方法」により行った。

蒸気養生した供試体の材齢 28 日の引張強度試験結果は平均 3.15N/mm^2 であった。引張強度の算定値は式(1)に示すように，普通骨材コンクリートの 70%として算定した。その結果引張強度の算定値は 2.19N/mm^2 となり，試験結果はこれを上回った。

$$ftk=0.7\cdot 0.23\cdot fck^{2/3} \quad (1)$$

ここに ftk は引張強度，fck は圧縮強度

表－6 引張強度試験結果

(N/mm^2)

養生方法	試験材齢	No.	引張強度(N/mm^2) 測定値	引張強度(N/mm^2) 平均	引張強度算定値
蒸気養生	28日	1	2.83	3.15	2.19
		2	3.07		
		3	3.53		

5.5 曲げ強度試験

曲げ強度試験は，JIS A1106 コンクリートの曲げ強度試験方法により行った。

蒸気養生した供試体の材齢 28 日の曲げ強度試験結果は平均 5.44N/mm^2 であった。曲げ強度の算定値は式(2)に示すように，普通骨材コンクリートの 70%として算定した。その結果曲げ強度の算定値は 4.14N/mm^2 となり，試験結果はこれを上回った。

$$fb=0.7\cdot 0.6/h^{1/2}\cdot ftk \quad (2)$$

ここに，fb は曲げ強度，ftk は引張強度，
h は供試体高さ(=0.1m)

曲げ試験終了後の供試体の断面は，骨材が通常の骨材に比べ弱いため，ひび割れ面で軽量骨材が骨材を貫通するように割れていた。

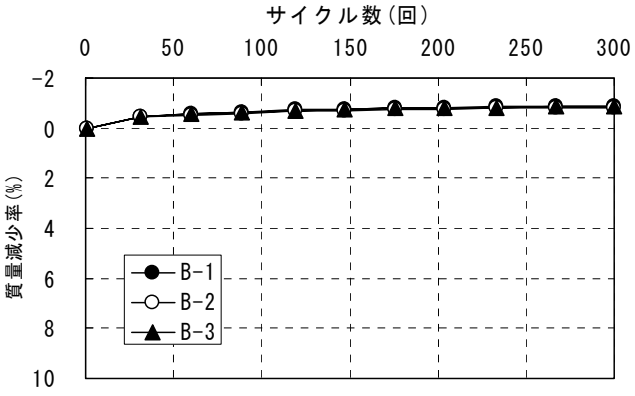
表－7 曲げ強度試験結果

(N/mm^2)

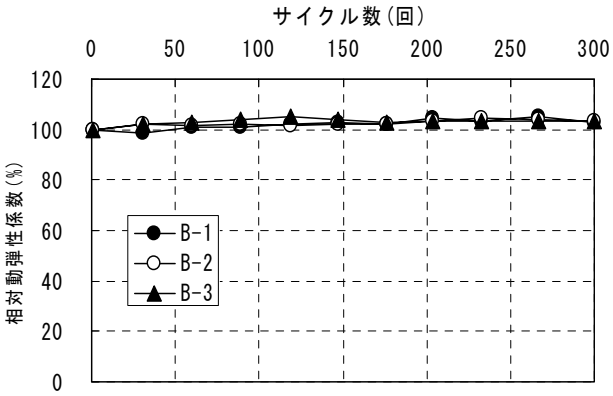
養生方法	試験材齢	No.	曲げ強度(N/mm^2) 測定値	曲げ強度(N/mm^2) 平均	曲げ強度算定値
蒸気養生	28日	1	5.00	5.44	4.14
		2	6.01		
		3	5.32		

5.6 凍結融解抵抗性試験

凍結融解抵抗性試験は，A 法(水中凍結水中融解試験)で行い，およそ 30 サイクル毎に質量減少量と相対動弾性係数を測定した。**表－8** に試験結果一覧を示す。PVA 繊維で補強した軽量骨材コンクリートの凍結融解 300 サイクル終了後の質量減少率は−0.8%と減少せずに増加した。これは，供試体のポップアウトやスケーリングによる質量減少より水分の吸収による質量増の方が大きかったためと考えられる。供試体は，早強セメントを使用していたことから試験開始材齢を 14 日とした。これは，2001 年に標準の試験開始材齢が 14 日から 28 日に変更されたが，その際「セメントおよび骨材の種類，配合及び試験の目的によっては他の養生方法や材齢とすることができる」という注意書きが付されたことに基づいている。実際の構造物あるいは製品に用いられているコンクリートやこれらに近い養生方法と材齢を用いて試験を実施した方が実際に近いためである。凍結融解 300 サイクル終了後の相対



図－5　サイクル数と質量減少量の関係



図－6　サイクル数と相対動弾性係数の関係

表－8　A 法における凍結融解試験結果

	質量減少率 (%)				相対動弾性係数(%)			
サイクル数	B-1	B-2	B-3	平均	B-1	B-2	B-3	平均
1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0
31	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	98.8	101.9	102.2	101.0
60	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	101.2	101.6	102.6	101.8
89	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	100.8	101.9	104.0	102.3
119	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	102.2	101.3	104.9	102.8
147	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	102.7	102.3	103.9	103.0
176	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	102.5	102.1	102.9	102.5
204	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	104.5	103.5	103.4	103.8
233	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	103.5	104.5	103.4	103.8
267	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	104.9	103.8	103.6	104.1
300	-0.9	-0.8	-0.9	-0.8	102.6	103.5	103.6	103.2

動弾性係数は 103.2%と増加したが，これは，試験前に気中養生を行った場合，乾燥するため凍結融解抵抗性が改善され，また，試験中に水和が進行してさらに改善したためと考えられる[3)]。

6. おわりに

本報告の結論を以下に示す。

(1) 本軽量骨材コンクリートを使用することにより，主桁自重は 18%の軽量化が可能となった。

(2) 本配合および施工法により施工されたコンクリートは，設計時に想定された所要の性能を満足した。

(3) PVA を混入した軽量骨材コンクリートは，凍結融解抵抗性試験（A 法）によって所要の耐凍害性能を満足する結果を得られた。

最後に，凍結融解抵抗性試験の実施ならびに，ご助言をいただいた，秋田大学工学資源学部土木環境工学科加賀谷教授ならびに城門助手に厚く感謝の意を表します。

参考文献

1)【2002 年制定】コンクリート標準示方書［施工編］，土木学会，pp.266，2002.3

2)鈴木雅博，桐川潔，諸橋克敏，加賀谷誠：PVA 繊維補強高強度軽量コンクリートの耐凍害性，第 14 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.143-146，2005.11

3)浜幸雄　他：乾燥の影響と吸水性を考慮したコンクリートの耐凍害性の評価方法，セメント・コンクリート論文集，Vol57，pp266～272，2003