

## (21) 高性能コンクリートの共同研究とPC桁橋の試験施工

日本道路公団試験研究所 ○木曾 茂  
 同 上 緒方 紀夫  
 同 上 大中 英揮

### 1. はじめに

JR日本道路公団においてポストテンションPC桁などに使用するP<sub>20</sub>コンクリートの要求性能は、設計基準強度（材齢28日の圧縮強度）400kgf/cm<sup>2</sup>、プレストレス導入時の圧縮強度（一般的に材齢3日程度）325kgf/cm<sup>2</sup>およびフレッシュコンクリートのスランプ8cmなどである。

JR試験研究所と民間4社で共同研究を実施した高性能コンクリートとは、前述のP<sub>20</sub>コンクリートよりさらに高い複数の性能（自己充填性能、高強度、高耐久性）を有するコンクリートを言う。

このような複数の高い性能を併せもつことにより、設計面でフレッシュコンクリートのワーカビリティおよび設計基準強度等から配筋・断面寸法に制約を受けていたが、新しいPC構造の設計が可能となる。また、締固めが不要な自己充填性能および高耐久性を有することにより、施工の省力化および維持管理費の軽減が可能となる。

ここでは、共同研究の一環として3箇所の現場で実施した高性能コンクリートの現場試験およびPC桁橋の試験施工の結果と考察について述べるものである。

### 2. 実験の概要

現場試験施工は、表1に示す3箇所のPC橋梁工事現場で実施した。使用したコンクリートは、混和材をそれぞれ現場ごとに変えた3タイプの粉体系の高性能コンクリートである。図1に試験およびPC桁施工のフローを示す。なお、高速道路のPC桁橋を試験施工したのは、表中の①および③である。

#### 2. 1. 使用材料および配合

各現場試験で使用した材料および配合を表2および表3に示す。なお、配合は、室内試験で決定したものを実機プラントミキサによる試し練りで現場配合に修正したものである。

表1 現場試験箇所

種類	①高性能コンクリートA型	②高性能コンクリートB型	③高性能コンクリートC型
PC橋梁名称	磐越自動車新館高架橋	上信越自動車道高梨高架橋	上信越自動車道西屋敷第二橋
場所	福島県田村郡	長野県須坂市	長野県佐久市

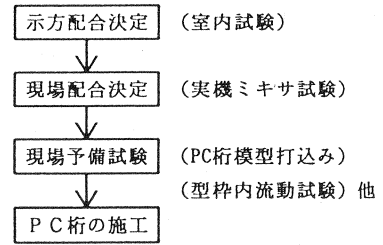


図1 試験施工の流れ

表2 高性能コンクリートの使用材料

種類	高性能コンクリートA型	高性能コンクリートB型	高性能コンクリートC型
セメント	普通ポルトランドセメント, 比重:3.15, 比表面積:3,290cm <sup>2</sup> /g	普通ポルトランドセメント, 比重:3.17, 比表面積:3,460cm <sup>2</sup> /g	早強ポルトランドセメント, 比重:3.14, 比表面積:4,500cm <sup>2</sup> /g
細骨材	いわき産山砂 比重:2.58, FM:2.59, 実積率:68.5%	長野県千曲川産川砂 比重:2.62, FM:3.00, 実積率:63.0%	長野県勝間産砕砂 比重:2.62, FM:2.57, 実積率:63.4%
粗骨材	福島県富岡町産砕石 G <sub>max</sub> :25mm, 比重:2.72, FM:6.87, 実積率:61.6%	長野県千曲川産川砂利 G <sub>max</sub> :25mm, 比重:2.60, FM:7.05, 実積率:66.4%	佐久市産砕石 G <sub>max</sub> :25mm, 比重:2.72, FM:6.90, 実積率:60.6%
混和材	シリカフューム 比重:2.18, 比表面積:18-20m <sup>2</sup> /g	石灰石微粉 比重:2.71, 比表面積:4,220cm <sup>2</sup> /g	カルシュームサルフェート系, 比重:2.50, 比表面積:4,050cm <sup>2</sup> /g
混和剤	アミノスルホン酸系 高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系 高性能AE減水剤	アミノスルホン酸系 高性能AE減水剤

表3 高性能コンクリートの配合

高性能Concrete種別	G <sub>max</sub> (mm)	W/P(%)	s/a(%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
				W	C	Add	S	G	SP
A型	25	31.6	50.0	161	473	36	811	854	2.2%
B型	25	32.3	49.6	171	476	53	779	806	2.3%
C型	25	34.6	47.0	159	437	23	759	888	3.5%

P:C(セメント)+Add(混和材)、SP:高性能AE減水剤[P×n%]

3. 実験結果

3. 1. コンクリートの物性比較

表4に各PC橋梁に使用するP<sub>2.2</sub>コンクリートと同じ骨材を用いた高性能コンクリートの物性比較を示す。高性能コンクリートは、締固めを必要としない自己充填性の他、P<sub>2.2</sub>コンクリートと比べ表に示すような強度、耐久性を有するものである。

表4 高性能コンクリートとP<sub>2.2</sub>コンクリートの物性比較

比較性能	単 位	高性能A	P <sub>2.2</sub> ①	高性能B	P <sub>2.2</sub> ②	高性能C	P <sub>2.2</sub> ③
ブリーディング量	ml/cmf	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	—
断熱温度上昇	℃	50.0	65.0	68.7	58.6	54.0	—
凝結時間	始 発	hr-mir	7-30	4-30	9-40	4-30	6-00
	終 結	hr-mir	9-50	5-50	11-35	5-30	7-30
圧縮強度	材 齢 3日	kgf/cmf	557	456	446	353	553
	材 齢 28日	kgf/cmf	799	547	668	490	690
静弾性係数 × 10 <sup>5</sup>	kgf/cmf	3.86	3.38	3.63	3.38	3.93	3.51
乾燥収縮	× 10 <sup>-6</sup>	386	535	701	730	412	410
クリープ歪み	× 10 <sup>-6</sup>	396	418	524	572	343	490
凍結融解抵抗性	%	85	99	90	92	107	105
促進中性化	mm	4.7	13.9	1.4	9.7	2.3	6.3
促進塩分浸透性	mm	0.0	0.0	6.8	11.5	12.0	13.0

3. 2. 現場試験の結果

3. 2. 1. 高性能コンクリートA型を用いたPC桁の試験施工

実機ミキサ試験および模型供試体の打込み試験などの予備試験完了後、締固めを必要としない高性能コンクリートA型を用いて  $l = 34.5m$  のPCポストテンションI桁を1径間分4本施工した。以下にこれらの結果について以下に述べる。

フレッシュコンクリートの試験結果を図2、図3および図4に示す。スランプフローの平均値および標準偏差は、生コンプラント; 63.4cm; 1.6cm、現場着後; 64.8cm; 2.5cm、ポンプ筒先; 63.8cm; 2.5cmとなっており、製造時のバラツキは非常に小さいが、現場着後およびポンプ筒先ではそれに比べてやや大きくなっている。

スランプフローの経時変化については、生コンプラントから現場までの約20分の運搬で平均1cm程度大きくなっており、ポンプ圧送では平均1cm程度の圧送ロスが生じているが、スランプフローの経時変化および圧送ロスの量は小さいと言える。

空気量の平均値は、生コンプラント; 5.6%、現場着後; 5.7%、ポンプ筒先; 2.8%であった。運搬中の変化はそれほどみられなかったが、ポンプ圧送後は予備試験と同様に3%以下となった。また、圧送後の標準偏差は0.4%であり、圧送前の値に関係なく、圧送後はほぼ一定の値に低下していることがわかる。なお、空気量の低下は予備試験でもみられたので、凍結融解試験を実施して耐凍結融解抵抗性に問題がないことを試験で確認していた。

Vロートの流下時間については、試験を2回実施し、2回目の値を採用しているが、生コンプラントおよび現場着後の平均値は9秒台のほとんど同じ値

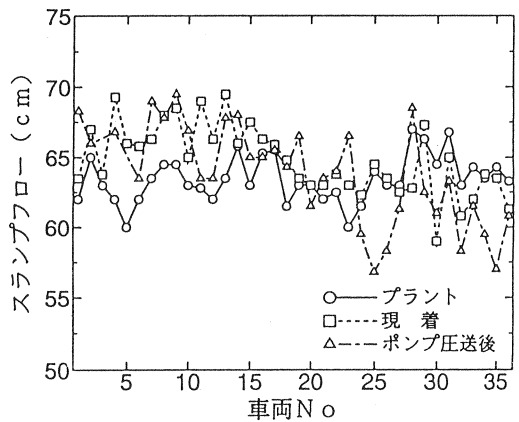


図2 スランプフローの試験結果 (A型)

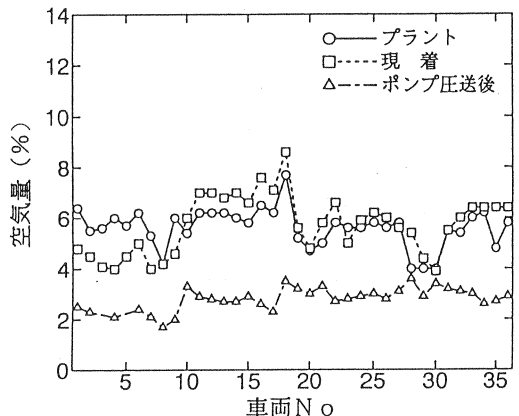


図3 空気量の試験結果 (A型)

であるが、ポンプ筒先では平均 8秒程度となっており、粘性がやや小さくなっている。

硬化コンクリートの圧縮強度試験結果と標準偏差は、生コンプラントで試料を採取したものが材齢 3日；459kgf/cm<sup>2</sup>；77kgf/cm<sup>2</sup>、材齢28日；701kgf/cm<sup>2</sup>；52kgf/cm<sup>2</sup>、ポンプ筒先で採取したものが材齢 3日；541kgf/cm<sup>2</sup>；41kgf/cm<sup>2</sup>、材齢28日；768kgf/cm<sup>2</sup>；29kgf/cm<sup>2</sup>であり、高強度となっている。ポンプ筒先採取したものが生コンプラントで採取したものより強度が大きく、標準偏差が小さいことは、空気量の影響と考えられる。

ポストテンションPC桁のコンクリート施工は、鉄筋、PC鋼材を配置して、鋼製型枠が組立てられた桁長34.5mの中央部の横にブーム式のポンプ車を配置し、ポンプ打設した。打込み箇所は、桁を長さ方向に4等分した箇所にある中間横桁取り付け部と両端部の5か所とした。

コンクリートの打込み順序は、①下フランジ下部→②下フランジテーパ部→③ウェブ下1/2→④ウェブ上1/2→⑤上フランジの順序とした。ポンプ筒先の移動は、コンクリートの流動距離が長くなって材料分離が起こらないように、流動状況を見ながら定められた打込み位置へ移動させた。

全てのPC桁について、締固めを行うこと無く型枠内にコンクリートを充填でき、欠陥部のない密実なコンクリートが得られた。

### 3. 2. 2. 高性能コンクリートC型を用いたPC桁の試験施工

高性能コンクリートA型と同様に実機ミキサ試験および予備試験完了後、高性能コンクリートC型を用いてℓ=33.0mのPCポストテンションT桁を1径間分5本施工した。これらの結果について以下に述べる。

フレッシュコンクリートの試験結果を図5、図6および図7に示す。スランプフローの平均値および標準偏差は、生コンプラント；57.7cm；2.7cm、現場着後；63.3cm；1.8cm、ポンプ筒先；64.0cm；2.2cmとなっている。製造時、現場着後およびポンプ筒先ともバラツキは小さい。スランプフローの経時変化については、生コンプラントから現場までの約20分の運搬で平均5cm程度大きくなっており、ポンプ圧送ロスは見られない。

空気量の平均値は、生コンプラント；4.9%、現場着後；4.3%、ポンプ筒先；3.6%であった。1%程

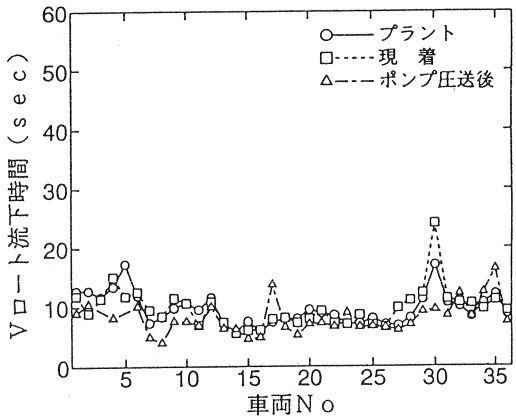


図4 Vロートの試験結果 (A型)

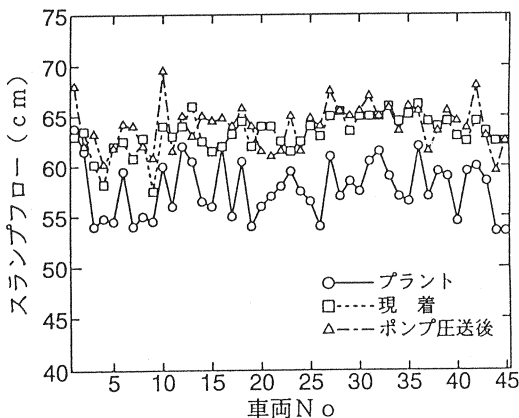


図5 スランプフローの試験結果 (C型)

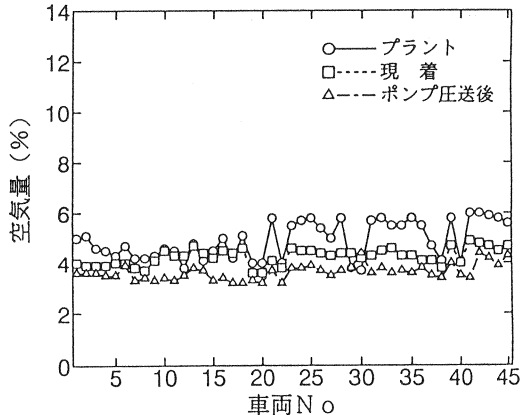


図6 空気量の試験結果 (C型)

度の経時ロスがみられるが、現場における空気量の標準偏差は0.3%程度であり、安定している。

Vロートの流下時間についてはバラツキが大きくなっているが、碎石と砕砂を用いたコンクリートでありせん断抵抗が大きいことおよび粗骨材最大寸法が25mmであることなどから、ロート吐出口で骨材のブロッキングが生じているものと考えられる。

硬化コンクリートの圧縮強度試験結果と標準偏差は、生コンプラントで試料採取したものが材齢3日；588kgf/cm<sup>2</sup>；43kgf/cm<sup>2</sup>、材齢28日；693kgf/cm<sup>2</sup>；56kgf/cm<sup>2</sup>、ポンプ筒先で採取したものが、材齢3日；588kgf/cm<sup>2</sup>；31kgf/cm<sup>2</sup>、材齢28日；733kgf/cm<sup>2</sup>；33kgf/cm<sup>2</sup>であり、高強度となっている。

ポストテンションPCT桁のコンクリート施工はポンプ打設した。打込み箇所は、桁の長さ方向に約5m間隔とした。コンクリートの打込み順序は、高性能コンクリートA型と同様に①下フランジ下部→②下フランジテーパー部→③ウェブ下1/2→④ウェブ上1/2→⑤上フランジの順序とした。

T桁の上フランジには2%の天端勾配が付いているが、打込み後1時間程度で余盛りしたコンクリートを2%の天端勾配に均し仕上げすることができた。

高性能コンクリートB型を使用した全てのPCT桁について、締固めを行うことなく型枠内にコンクリートを充填でき、欠陥部のない密実なコンクリートが得られた。

### 3. 2. 3. 高性能コンクリートB型を用いた試験施工

高性能コンクリートB型を用いた予備試験において、製造時にフレッシュコンクリートの空気量が12%程度となった。この原因について調査した結果、プラントに搬入された高性能AE減水剤にAE剤が混入していたと推測された。工事工程上から再度、予備試験を実施することが困難であったので、高性能コンクリートを用いたPC桁の施工はできなかった。

## 4. おわりに

高性能コンクリートを用いた現場試験およびPC桁の試験施工の結果から次のことが言える。

- 1) ここで定義するような締固めが不要な自己充填性を有する高性能コンクリートを生コンプラントにおいて、許容できる小さな品質のバラツキの範囲で製造することが可能である。
- 2) 鉄筋、PC鋼材が密に配置されたPC桁に締固め無しで充填でき、欠陥部のない密実なコンクリートが得られた。
- 3) フレッシュコンクリートのスランプフローについて、経時変化およびポンプ圧送ロス許容範囲にある。
- 4) 空気量のポンプ圧送ロスが大きなケースがあるが、今後、その原因を究明する必要がある。
- 5) この場合において、空気量が圧送ロスにより小さくなくても、高性能コンクリートは高強度であるため耐凍結融解抵抗性に問題はなかった。

これらの高性能コンクリートの現場試験およびPC桁の試験施工の結果を「高性能コンクリートの施工の手引き」としてまとめている。

最後に、共同研究と試験施工を進めるに当たって本共同研究の技術検討会委員長 東京大学工学部 岡村甫教授ならびに委員各氏には貴重な御助言、御援助を賜り、ここに深謝の意を表す。

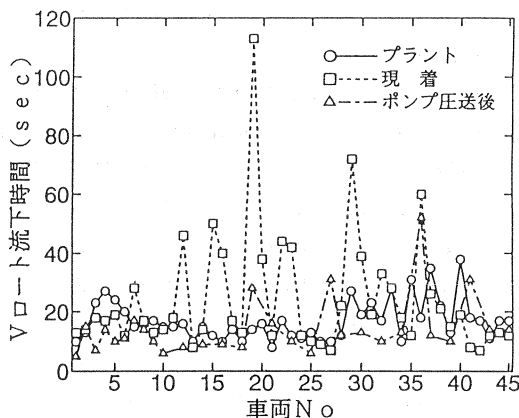


図7 Vロートの試験結果 (C型)