

報告 砕石・砕砂を骨材として用いた高流動コンクリートの施工

半田実*1、三原敏夫*2、緒方紀夫*3、大中英揮*4

要旨：流動に対する抵抗が大きい砕石、砕砂を骨材として用いた高流動コンクリートの実用化を目的として試験及びPC桁の施工を行い、次の結果を得た。(1) 生コンクリートプラントにおいて安定した品質の高流動コンクリートを製造することが可能であった。(2) ポンプ圧送によるスランプフローロス認められず、空気量のロスも最大1.5%程度で、3.5%程度の空気量が確保された。(3) 型枠への充填性は良好であり、表面の仕上がりは従来のコンクリートと同等であった。(4) 硬化コンクリートについては、早強性、高強度性及び耐久性を有するコンクリートであることが確認された。

キーワード：高流動コンクリート、砕石、砕砂、PC桁、カルシウムサルフェート系混和材

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の施工の省力化、合理化や耐久性向上などを目的に、締固めが不要なほどの高流動性と高い材料分離抵抗性などの性能を有するコンクリート（ハイパフォーマンスコンクリート [1] [2]）の研究・開発が各機関で鋭意進められ、実構造物に適用されつつある。このようなコンクリートは、通常のコンクリートとフレッシュ性状などが全く異なるため、施工性状の確認、品質基準、品質・施工管理方法が必要となるが、これらが十分に確立されていないのが現状である。さらに、近年、コンクリート材料に関しては、良質の河川産骨材を入手することが困難な状況になりつつある。そこで、砕石、砕砂を骨材として用いた高流動コンクリートの実用化、並びに品質基準及び品質・施工管理方法に関する基礎的資料の収集を目的に、高速道路橋の施工現場において、試験及びPC桁の施工を行ったので報告する。

2. 試験概要

2.1 施工現場の概要

上信越自動車道西屋敷第二橋他7橋（PC上部工）工事（施主：日本道路公団）において、プレレストコンクリート道路橋のPCポストテンションT桁（1=3.3m）の施工を行った。

図-1に桁の断面を示す。

生コンクリートプラントから現場までの距離は7kmであり、トラックアジテータでの運搬時間は約20分であった。高流動コンクリートは生コンクリートプラントにおいて製造し、現場で混和剤の投入は行わなかった。

打込みはポンプで圧送（配管径125mm、配管実長30m）し、型枠上部より打設した。使用材料を表-1に、コンクリートの示方配合を表-2に、高流動コンクリートの管理目標値を表-3に示す。なお、カルシウムサルフェート系混和材は、高流動コンクリートの分離防止、及び硬化コンクリートの早強性・高強度性を得ることを目的として使用した。

*1 電気化学工業(株) 青海工場セメント特殊混和材研究所部長代理（正会員）

*2 電気化学工業(株) 青海工場セメント特殊混和材研究所主任研究員

*3 日本道路公団試験研究所橋梁研究室室長（正会員）

*4 日本道路公団試験研究所橋梁研究室

2.2 実機を用いた予備試験

予備試験は、実機ミキサーの性能及び製造された高流動コンクリートの品質及び施工性を検討するため、現場打設の施工フロー（図2）に準じて行った。フレッシュコンクリートについては、生コンクリートプラント出荷時、現場での荷卸し時、練混ぜ60分及び90分後、並びにポンプ圧送後（現場荷卸し時及び練混ぜ60分後のコンクリートについて）の品質試験を行った。硬化コンクリートについては、圧縮強度、静弾性係数、凍結融解抵抗性、クリープ、乾燥収縮、促進中性化試験を行い、PC桁用従来コンクリートと比較した。クリープ試験は、材齢4日の時点で、 100 kgf/cm^2 の応力を導入した。表-4に各試験における供試体の養生・環境条件を示す。

施工性に関しては、実桁と同一の断面及び配筋状態の模型供試体（長さ3m）を使用した充填性試験、実桁を模擬した断面及び配筋状態の2種類の矩形供試体（幅0.7高さ0.7長さ7m及び幅0.2高さ1.2長さ15m）を用いた流動性試験、及び3%の傾斜天端の仕上げ試験を行った。

表-1 使用材料

使用材料	物性
セメント (C)	早強ポルトランドセメント 比重: 3.14 比表面積: $4500\text{ cm}^2/\text{g}$
混和材 (Add)	カルシウムサルフェート系混和材 比重: 2.50 比表面積: $4050\text{ cm}^2/\text{g}$
高性能減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系
AE剤 (AE)	スルホン酸炭化水素系
細骨剤 (S)	長野県白田町勝間産 砕砂 比重: 2.62 吸水率: 1.54 粗粒率: 2.57 実績率: 63.4
粗骨剤 (G)	長野県佐久市安原産 碎石 比重: 2.72 吸水率: 1.13 粗粒率: 6.90 実績率: 60.6

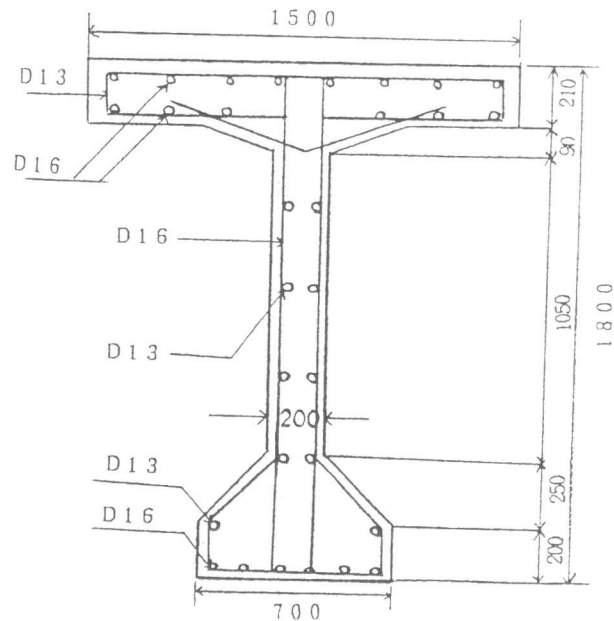


図-1 桁断面図

表-2 コンクリートの示方配合

Gmax (mm)	W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)							備考
			W	C	Add	S	G	SP	AE	
25	34.6	47	159	437	23	759	888	16.1	0.11	高流動コンクリート
25	42.6	40	166	390	-	697	1083	1.3*	-	PC桁用従来コンクリート (P2-2)

P: (C+Add), *リグニンスルホン酸系AE減水剤

2.3 現場打設

表-2に示す高流動コンクリート配合で、ポストテンション方式4径間連結桁(3.3m³/桁)を5桁作製した。施工フローを図2に、試験項目を表-5に示す。

打設は、①下フランジ下側②下フランジハンチ部③ウェブ④上フランジの順で行い、ポンプの口

表-3 高流動コンクリートの管理目標値

フレッシュコンクリート	スランプフロー (cm)	60±5
	空気量 (%)	4.5±1.5
硬化コンクリート	圧縮強度 (kgf/cm ²)	材令28日590以上(標準養生) (設計強度400)

表4 各試験における供試体の養生・環境条件

圧縮強度	材齢1日で脱型、以降20℃水中
静弾性係数	材齢1日で脱型、以降20℃水中
凍結融解抵抗性	ASTM C666に準拠(水中凍結融解法) (材齢1日で脱型、材齢14日まで20℃水中)
クリープ	材齢1日で脱型、材齢3日まで20℃水中 以降20℃ 60%RH
乾燥収縮	JIS A1129に準拠
中性化	30℃ 5% CO ₂ 60%RH 前養生(20℃水中28日→20℃ 60%RH28日)

表-5 現場打設試験項目

項目	頻度
スランプフロー	全車
空気量・温度	全車
圧縮強度	打設日の1及び7車目 (材令1, 3, 7, 28日、現場養生)

先は生コンクリートが上フランジまで打上がってきたことを確認しながら、5m程度の間隔で移動した。上フランジ部の型枠付近及び桁端部については、型枠外側より軽便バイブレータで振動を与えて締固めを行った。上フランジ部の天端均し及び仕上げは打設1時間程度経過後に行った。養生は、上フランジ部に養生マットを置き、翌朝まで型枠全体をシート養生し、その後3日間散水養生を行った。

3. 予備試験結果

実機による予備試験の結果を図3、4及び表-6に示す。なお、比較としてPC桁用従来コンクリートの結果も示した。コンクリートのフレッシュ性状について、出荷コン

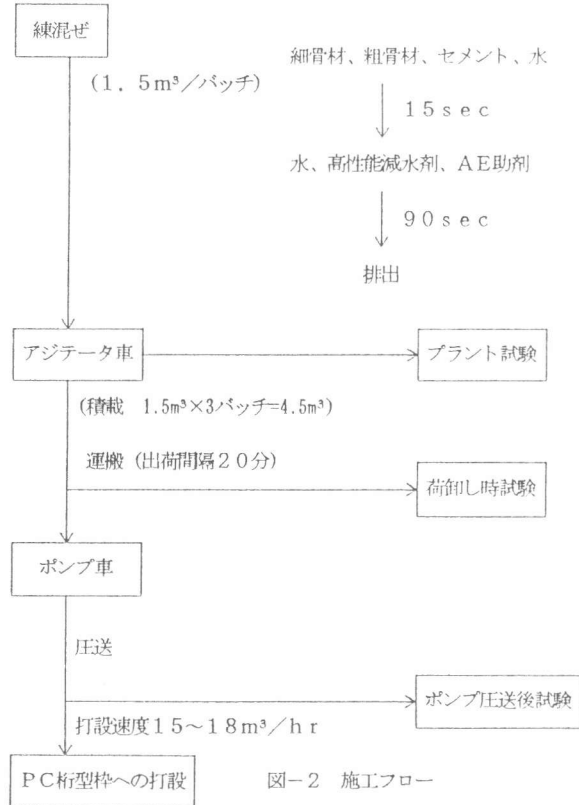


図-2 施工フロー

クリートは均質な性状のものが搬出され、現場着及び練混ぜ90分後のコンクリートの性状も安定していた。また、ポンプ圧送によるスランプフローの圧送ロスはなく、空気量の圧送ロスは

1.2~1.6%程度であり、3.5%程度の空気量が確保された。模擬型枠への充填性は良好であり、型枠表面の気泡跡は2~3ヶ所認められる程度で、良好な表面状態であった。天端勾配試験については、打設直後天端はほぼ水平になったが、打設後1時間程度から3%の傾斜天端の仕上げが可能であった。また、流動性については、2種類の供試体とも充填性、表面性状は良好であり、天端水平性は5mの区間内で6~7%であった。硬化コンクリートの現場気中養生供試体圧縮強度は、材齢1日で370kgf/cm²程度、材齢3日で550~620kgf/cm²、材齢28日で680~710kgf/cm²の強度が得られ、優れた早強性と高強度性が確認された。また、硬化コンクリートの耐久性については、耐凍結融解抵抗性指数は、300サイクル後において107%であり、乾燥収縮は、PC桁用従来コンクリートとほぼ同等の結果が得られた。また、促進中性化及びクリープ試験に関しては、PC桁用従来コンクリートより良好な結果が得られた。

表-6 予備試験結果

	温度(°C)	圧縮強度(Kgf/cm ²)			凍結融解抵抗性(%) (300サイクル)	乾燥収縮(×10 ⁻⁶)			クリープ歪み(×10 ⁻⁶)			促進中性化*(mm)	
		3日	7日	28日		28日	76日	109日	28日	76日	109日	28日	93日
高流動コンクリート	26.5	553 (3.21)	573 (3.49)	690 (3.93)	107	-220	-361	-412	236	342	343	1.0	2.3
P2-2コンクリート	27.1	359 (2.91)	400 (3.04)	459 (3.51)	105	-166	-361	-410	456	489	490	2.9	6.3

()内は静弾性係数(1/3割線係数), ×10⁵ * 30°C 5%CO₂ 60%RH

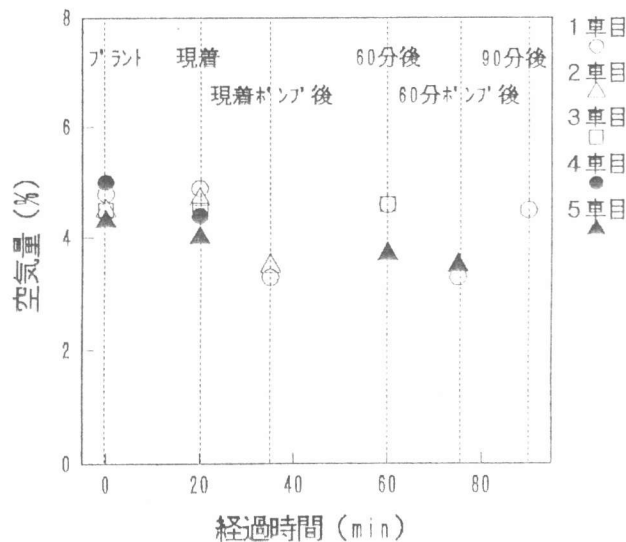


図-3 空気量経時変化

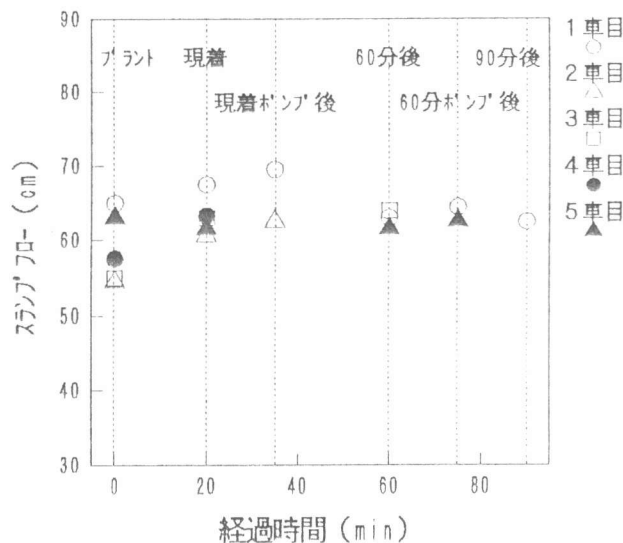


図-4 スランプフロー経時変化

4. 現場打設結果

4.1 フレッシュコンクリートの試験結果

試験結果を図5に示す。

- (1) スランプフロー：出荷時、現場到着時及びポンプ圧送後のスランプフローは、ほぼ管理範囲内であった。現場到着時のスランプフローは、生コンクリートプラント出荷時に比べて5 cm程度フローアップする傾向が見られた。また、ポンプ圧送によるフローロスは認められなかった。
- (2) 空気量：管理目標値を満足した。ポンプ圧送後のロスは、0.5～1.5%程度であり、3.5%程度の空気量が確保された。

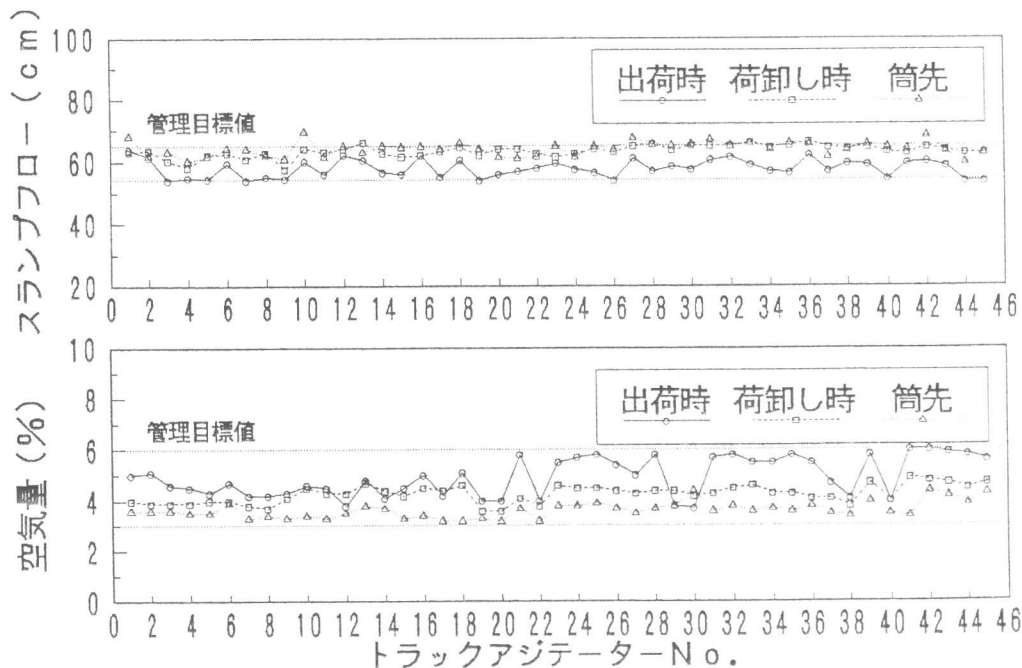


図-5 トラックアジテーター間の品質の変動

4.2 圧縮強度試験結果

高流動コンクリートの圧縮強度試験結果を図6に示す。

現場気中養生供試体の圧縮強度は、材齢1日で200～350、材齢3日で550～600、材齢7日で600～700、材齢28日で700～750 kgf/cm^2 の値が得られ、材齢28日における管理目標値である590 kgf/cm^2 の強度が材齢3日で得られた。

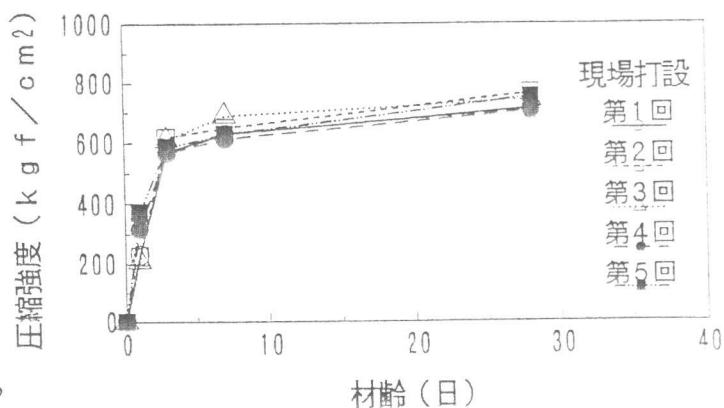


図-6 圧縮強度試験結果

4.3 施工性

(1) ポンプ圧送性

ポンプ圧送状況は、PC桁用従来コンクリートと同様に良好であった。

(2) 流動性

PC桁用従来コンクリートの加振状態の流動性が無振動で得られ、良好な流動性が確認された。

(3) 仕上がり

天端部分の仕上げは、木ゴテ、金ゴテ、ホウキ目仕上げの順で行ない、2%の傾斜天端の仕上げが可能であった。脱型後の状態は、豆板及び色むらの発生は認められず良好な充填性が確認された。また、下半部にPC桁用従来コンクリートと同程度の気泡の発生が認められた。

5. まとめ

砕石、砕砂を用いた高流動コンクリートの実用化を目的として、実機を用いた試験及びPC桁の施工を行った。なお、今回使用した高流動コンクリートには、コンクリートの分離防止及び汚度発現性改良を目的として、カルシウムサルフェート系混和材を使用した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 生コンクリートプラントにおいて安定した品質の高流動コンクリートを製造し、トラックアジテータで運搬して現場で使用することが可能であった。なお、練混ぜ時間は、PC桁用従来コンクリートに比べて2倍程度必要であった。

(2) ポンプ圧送性は、PC桁用従来コンクリートと同様に良好であり、スランプフローロンは認められず、空気量ロスは最大で1.5%程度であり、3.5%程度の空気量が確保された。

(3) 充填性は、振動締固めを行わなくても良好な結果が得られた。

(4) 仕上がりは、PC桁用従来コンクリートの場合とほぼ同等であった。

(5) 硬化コンクリートの性状は、早強性、高強度性及び耐久性を有するコンクリートであることが確認された。

6. おわりに

砕石、砕砂を用いた高流動コンクリートの過密に配筋された実構造物への適用が実証できた。今後、実施工を積み重ねることにより、データを蓄積し、品質管理の簡便化及び一層の施工の合理化を図っていけるものとする。

最後に、本施工の実施に当たり、「高性能コンクリートに関する技術検討会」の委員長、東京大学工学部岡村教授ならびに委員の皆様方より貴重なご意見ご指導を賜りました。また、施工に関しては、株式会社ピー・エスの皆様にご協力を頂きました。

ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

[1] 岡村：信頼されるコンクリートへの途、コンクリート工学、vol. 26, No. 1, pp 9~11, 1986

[2] 岡村：ハイパフォーマンスコンクリート、1993、技報堂出版