

## S C 桁に用いる高流動コンクリートの配合試験と品質管理

唐沢 智之\*1・西脇 敬一\*2・川又 篤\*2・佐藤 茂美\*3

## 概 要

都市計画道路補助 323 号線が秋葉原～御徒町間の JR 線と交差する高架橋径間拡張工事において、工事桁本設利用工法が採用されている。本工法は、営業線供用中の仮設工事桁にプレキャスト製の埋設型枠を設置し、高流動コンクリートを充てんして鉄骨とコンクリートを一体化させ、鉄骨コンクリート構造として本設利用するものである。本工事では、夜間線路閉鎖時間内(約 3.5 時間)に、74m<sup>3</sup>のコンクリートを打設する必要がある。また、打設部位が狭隘であるため流動性、自己充てん性に優れた高流動コンクリートが必要であり、更に主桁上部については繊維混入コンクリートが要求されている。

そこで、所定の夜間線路閉鎖時間内に要求される高品質な高流動コンクリートを確実に出荷・打設するために、実施工前に、配合試験、打設試験等を実施し、配合、品質管理方法、打設方法等の検討を行った。その結果、実施工では、綿密な施工計画と管理の下、良好な品質のコンクリートを所定の線路閉鎖時間内に打設することができた。

キーワード：SC 桁・高流動コンクリート・自己充てん・配合試験・品質管理

## MIX PROPORTION TEST AND QUALITY CONTROL OF HIGH FLUIDITY CONCRETE USED FOR SC (STEEL-CONCRETE COMPOSITE) GIRDER

Tomoyuki KARASAWA \*1, Keiichi NISHIWAKI \*2,  
Atsushi KAWAMATA \*2, Shigemi SATO\*2

## Abstract

A construction method of temporary girder as permanent structural members was applied to the project for expanding the span of a viaduct at the position where the urban plan road auxiliary No. 323 line crosses the JR railway lines between Akihabara and Okachimachi. The sequence of this construction method was as follows: precast permanent forms were placed on temporary work girder, while the railway was in service, then high fluidity concrete was compacted into the forms to integrate the steel frame with the concrete, and the integrated structure was used as a permanent steel-concrete composite structure. In this project, it was necessary to place 74 cubic meters of concrete while the railway track was closed at night (about 3.5 hours). Since the location where the concrete was placed was narrow, it was essential to use high fluidity concrete with excellent fluidity and self-compacting properties, and for the upper part of the main girders, fiber-reinforced concrete was required. To ensure steady delivery and placement of high fluidity concrete with the required quality while the railway was closed at night, studies were made prior to the start of construction, on the mix proportion, quality control method and placement method by carrying out a mix proportion test and a placement test. As a result, in the construction, high fluidity concrete of quality satisfying the requirements was successfully placed during the limited time the railway was out of service.

Keywords: SC girder, high fluidity concrete, self-compacting, mixing proportion test, quality control

\*1 Material / Structure Group, Construction Technology Center, Engineering Division

\*2 Manager, Material / Structure Group, Construction Technology Center, Engineering Division

\*3 Manager, Prestressed Concrete Group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

## SC 桁に用いる高流動コンクリートの配合試験と品質管理

唐沢 智之\*1・西脇 敬一\*2・川又 篤\*2・佐藤 茂美\*3

### 1. はじめに

秋葉原駅付近の区画整理事業の一環として、東京都都市整備局が事業主体で実施している JR 線高架橋と交差する都道 323 号線を拡幅する工事において、工事桁本設利用工法が採用されている。同様の工法が新橋～浜松町間の環状 2 号線交差部工事において初めて採用されており、本工事は 2 例目になる。しかし、本工事では、ほぼ同一の夜間線路閉鎖時間内(約 3.5 時間)に、環状 2 号線交差部工事の約 1.8 倍と

なる 74m<sup>3</sup> のコンクリートを打設する必要がある。また、打設部位が狭隘であるため流動性、自己充てん性に優れた高流動コンクリートが必要であり、更に主桁上部については繊維混入コンクリートが要求されている。

そこで、所定の夜間線路閉鎖時間内に要求される高品質な高流動コンクリートを確実に出荷・打設するために、実施工前に、配合試験、打設試験等を実施し、配合、品質管理方法、打設方法等の検討を行った。本報は、その試験結

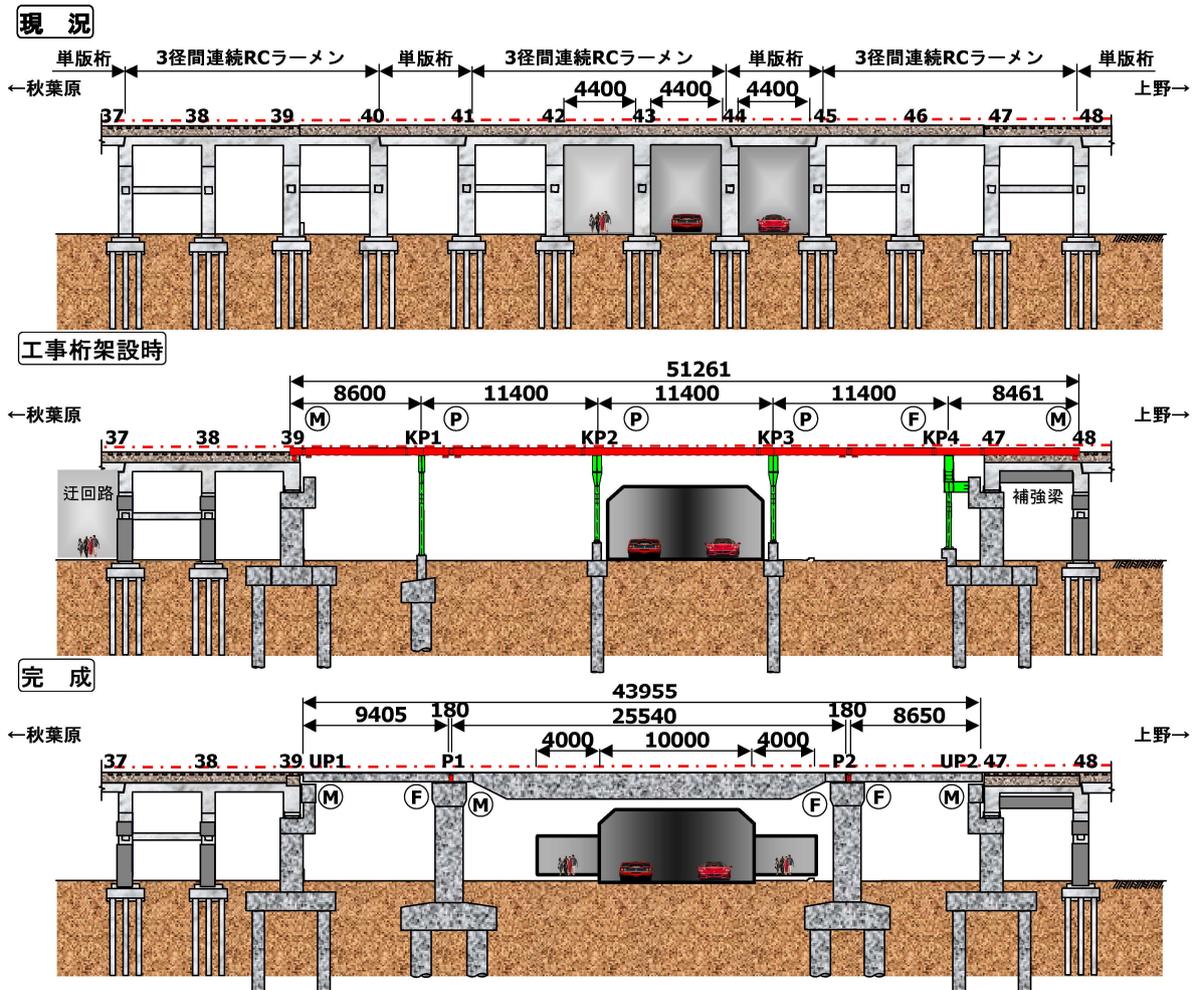


図-1 高架橋改築ステップ

\*1 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 材料・構造グループ・リーダー

\*2 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 材料・構造グループ

\*3 エンジニアリング本部 土木技術部 PC グループ・リーダー

果について報告するものである。

## 2. 工事概要

工事概要を表-1に、高架橋の改築ステップを図-1に、工事桁本設利用工法の概要を図-2に示す。工事桁本設利用工法は、供用中のJR 営業線の線路を鋼製工事桁で仮受けし、現存の高架橋構造物を撤去した後に、工事桁にプレキャスト製の埋設型枠を設置し、高流動コンクリートを充てんして鉄骨とコンクリートを一体化させ、鉄骨コンクリート構造として本設利用するものである。

高流動コンクリートの施工条件を表-2に示す。コンクリートの打設は、3時間20分の夜間線路閉鎖作業にて行った。1回当たりの最大打設数量は74m<sup>3</sup>、合計12回打設、総打設数量は624m<sup>3</sup>である。施工実績のある環状2号線交差部工事の41m<sup>3</sup>に対して約1.8倍の打設量である。高流動コンクリートの自己充てん性は、スラブ部分がひび割れ制御鉄筋、埋設型枠の固定用治具等の障害のため狭隘であり、流動距離も大きいことから、土木学会「高流動コンクリート施工指針」<sup>2)</sup>に準拠すると、ランク1が必要であった。また、工事桁のフランジ上部には、コンクリートの硬化過程で列車振動によるひび割れの発生が予想されたため、ひび割れ制御鉄筋の他に、さらに微細なひび割れを抑制する対策として、繊維を0.7vol%添加した繊維混入コンクリートが必要であった。

## 3. 試験のフロー

試験のフローを図-3に示す。①の配合方針選定試験では、良好な流動性、自己充てん性を有し、安定した品質を得るための配合の選定、膨張収縮特性、初期材齢の圧縮強度の確認、および工事桁フランジ上部の繊維混入コンクリートの打設方法の確認を目的とした。②の室内練り試験では、実際に使用するレディーミクストコンクリート工場を選定し、実施工に適用するコンクリートの配合の選定を目的とした。③の

表-1 工事概要

工事件名	秋葉原駅付近補助323号線交差部改築	
発注者	東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所	
施工場所	東京都台東区秋葉原～千代田区練堀町	
工期	平成17年2月18日～平成21年2月20日	
施工形態	JV 鉄建建設60% 大成建設40%	
主要工事数量	工事桁架設	49m～52m×6線
	既設高架橋撤去	一式
	新設RC橋脚	4基
	新設SC桁	25m×6線(中央径間) 9m×6線(東京方側径間) 7m～9m×6線(上野方側径間)

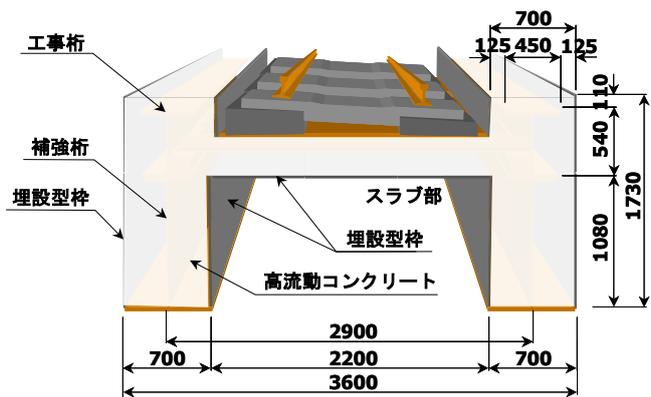


図-2 工事桁本設利用工法の概要

表-2 高流動コンクリートの施工条件

線路閉鎖時間	1:10～4:30 3時間20分 実質作業時間 3時間01分
高流動コンクリート自己充てん性	ランク1
繊維混入	工事桁フランジ上部 繊維混入コンクリート(0.7vol%)
1回のコンクリート打設量	最大74m <sup>3</sup>

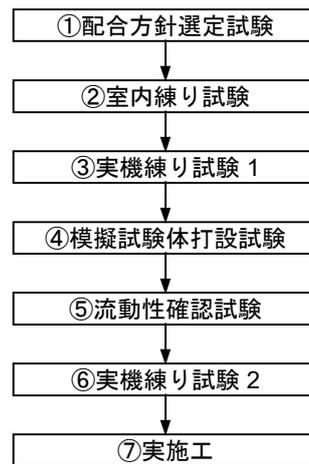


図-3 試験のフロー

実機練り試験1では、②の室内練り試験の配合について、練り混ぜから120分までのフレッシュ性状の経時変化を確認し、計画したタイムスケジュールで最も時間がかかった場合でも良

好なフレッシュ性状が保持できるか確認することを目的とした。④の模擬試験体打設試験では、実物大の工事桁に埋設型枠、および流動状況確認用の透明型枠を取り付けた模擬試験体にコンクリートを打設し、コンクリートの充てん性、ポンプ圧送性、打設方法、人員配置、試験体制、タイムスケジュール等を確認し、実施工に必要な諸条件の確認を目的とした。⑤の流動性確認試験では、最も自己充てんが困難と予想されるスラブ部分に、スランプフローが管理値を下回る流動性の悪いコンクリートを打設し、トラブルにより計画したタイムスケジュールよりも遅延した場合でも、良好な充てん性が得られるか確認することを目的とした。⑥の実機練り試験 2 では、実施工時の外気温の影響等を考慮したコンクリートの性状の確認を目的とした。

#### 4. 試験結果と考察

##### 4. 1 配合方針選定試験

本工事では、環状 2 号線交差部工事とほぼ同一の夜間線路閉鎖時間内に、約 1.8 倍のコンクリートを打設する必要がある。そこで、レディーミクストコンクリート工場の設備に左右されず安定した品質の高流動コンクリートを得るために、特殊な粉体を使用せず、一般的に使用されている高炉セメント B 種を用い、収縮量低減のために膨張材を添加することとした。さらに、自己収縮の低減と生コン車 1 台当たりの練混ぜ時間を短縮するために、材料分離抵抗性を確保できる範囲内で極力粉体量を低減することを目指した。また、工事桁のフランジ上部の繊維混入コンクリートについては、バイブレータを併用することにより自己充てん性を不要にすることとした。配合方針選定試験では、以上の配合方針により計画した結合材として高炉セメント B 種と膨張材を用いた配合 No.1 と、環状 2 号線交差部工事を参考にした結合材として早強ポルトランドセメントと石灰石微粉末を用いた配合 No.2 について、流動性、自己充てん性、膨張収縮特性、初期材齢の圧縮強度の

表-3 高流動コンクリートの必要性能

必要性能				評価値	
				繊維無混入	繊維混入
フレッシュ時	流動性	スランプフロー	(cm)	70±5	60±5 <sup>※1</sup>
	材料分離抵抗性	50cm フロー到達時間	(秒)	5~20	3~15 <sup>※1</sup>
	自己充てん性	U 形充てん高さ	(mm)	300 以上 (障害 R1)	300 以上 <sup>※1</sup> (障害なし)
	空気量		(%)	4.5±1.5	6.0 以下
硬化後	圧縮強度(材齢 28 日)	(N/mm <sup>2</sup> )		40.0 以上	40.0 以上

※1:目標値

表-4 高流動コンクリートの配合と使用材料

配合 No.	W/B (%)	s/a (%)	単体量(kg/m <sup>3</sup> )								
			W	C <sup>※1</sup>	LP	EX	S	G	SP	Vi	F
1	30.0	50.8	165	530	-	20	822	813	7.70 <sup>※2</sup>	0.25	9.1 <sup>※4</sup>
2	30.0	50.6	165	413	137	-	814	813	9.35 <sup>※3</sup>	0.25	9.1 <sup>※4</sup>

※1:高炉セメント B 種(配合 1), 早強ポルトランドセメント(配合 2)

※2:B×1.40%

※3:B×1.70%

※4:0.7Vol%

C: 高炉セメント B 種 密度 3.04g/cm<sup>3</sup>,比表面積 3780cm<sup>2</sup>/g

早強ポルトランドセメント 密度 3.14g/cm<sup>3</sup>,比表面積 4500cm<sup>2</sup>/g

LP: 石灰石微粉末 密度 2.70g/cm<sup>3</sup>

EX: 膨張材 密度 3.16g/cm<sup>3</sup>

S: 千葉県君津産山砂

表乾密度 2.65g/cm<sup>3</sup>,吸水率 1.25%,粗粒率 2.77

G: 青森県八戸産 2005 砕石

表乾密度 2.71g/cm<sup>3</sup>,吸水率 0.32%,実績率 63.3%

SP: ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤密度 1.05g/cm<sup>3</sup>

Vi: セルロース系増粘剤

F: PVA 繊維密度 1.30g/cm<sup>3</sup> 長さ 30mm

違いを確認した。また、工事桁のフランジ上部の繊維混入コンクリートについて、バイブレータを併用した場合の充てん状況を確認した。

繊維を混入しない場合の高流動コンクリートの必要性能は、練混ぜ 30 分後(荷卸し時)において表-3 のように定めた。自己充てん性は、「土木学会高流動コンクリート施工指針」に準拠し、ランク 1 に設定した。スランプフローについては、自己充てん性が得られ、かつ材料分離抵抗性を確保できるように 70cm に設定した。なお、繊維を混入した場合のスランプフロー、U 形充てん高さの評価値については、特に定めず、目標値とした。試験を行った高流動コンクリートの配合と使用材料を表-4 に示す。

フレッシュコンクリートの試験結果を表-5 に、スランプフローの経時変化を図-4 に示す。配合 No.1, 配合 No.2 とともに、良好な流動性、自己充てん性が得られた。また、繊維混

入コンクリートについては、繊維混入によりスランプフローが若干小さくなるが、自己充てん性ランク 3 を満足した。フレッシュ性状の経時変化は、配合 No.1 についてはほとんどなく、良好な結果が得られたが、配合 No.2 については配合 No.1 よりも若干大きかった。繊維を混入した場合、配合 No.2 については経時 90 分後にスランプフローが 55cm 以下となりフレッシュ性状の経時変化が大きかったが、配合 No.1 については、経時 90 分後でも管理値を満足しており、良好なフレッシュ性状を有していた。

圧縮強度試験結果を図-5 に示す。若材齢時の圧縮強度は、早強ポルトランドセメントを用いた配合 No.2 の方が大きな値を示した。ただし、配合 No.1 についても、材齢 4 日で設計基準強度の 40N/mm<sup>2</sup> を満足し、材齢 28 日の圧縮強度は、配合 No.2 を上回った。

JIS A 6202 に準拠して行った拘束膨張収縮試験 B 法の試験結果を図-6 に示す。膨張材を用いた配合 No.1 の膨張率については、土木学会「コンクリート標準示方書[施工編]」<sup>3)</sup>に

規定されている収縮補償用コンクリートの膨張率、 $150 \times 10^{-6}$  以上  $250 \times 10^{-6}$  以下を満足した。また、膨張量分を差し引いた材齢 7 日以降の収縮量についても、配合 No.2 よりも配合 No.1 の方が小さかった。

表-5 フレッシュコンクリート試験結果

配合 No.	経過時間	スランプフロー (cm)	50cm 到達時間 (sec)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	U形充てん高さ (mm)
1	5	70.0×70.0	6.3	4.4	21.0	-
	30	70.0×70.0	7.4	4.4	21.0	331
	60	70.0×70.0	8.8	4.0	20.0	-
	90	68.5×68.0	10.8	4.1	20.0	363
1'	5	74.5×73.0	5.6	4.3	16.5	336
	30 <sup>*1</sup>	69.0×68.5	8.7	2.4	16.5	358 <sup>*2</sup>
	60 <sup>*1</sup>	70.0×69.5	10.3	1.6	16.5	-
	90 <sup>*1</sup>	68.0×65.0	12.2	1.6	16.0	353 <sup>*2</sup>
2	5	69.0×67.0	6.3	5.2	21.0	-
	30	68.5×66.0	9.0	5.0	21.0	357
	60	64.0×63.0	10.1	4.9	20.0	-
	90	60.0×59.0	10.8	4.6	20.0	349
2'	5	72.0×70.0	6.0	3.8	16.0	359
	30 <sup>*1</sup>	69.0×69.0	8.2	2.7	16.0	358 <sup>*2</sup>
	60 <sup>*1</sup>	61.5×59.5	13.3	1.5	16.0	-
	90 <sup>*1</sup>	54.5×52.5	20.4	1.8	15.0	336 <sup>*2</sup>

※1:繊維混入  
※2:障害ランク 3

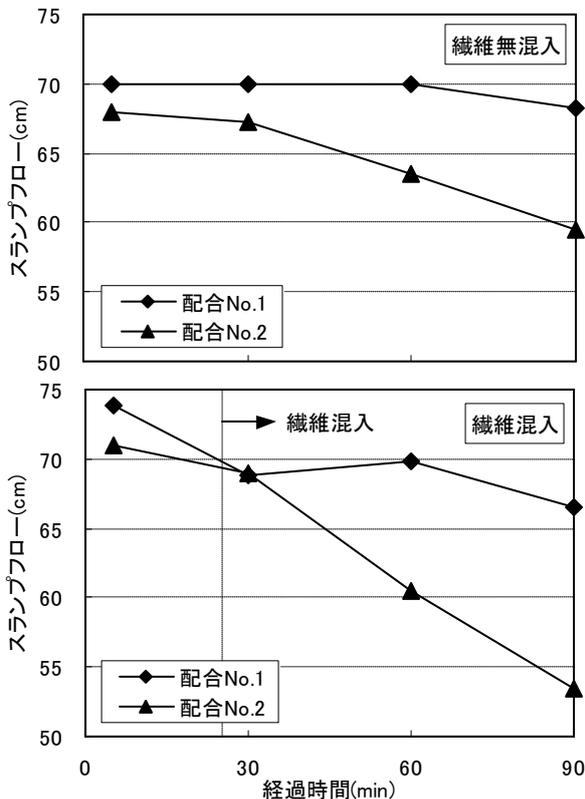


図-4 スランプフローの経時変化

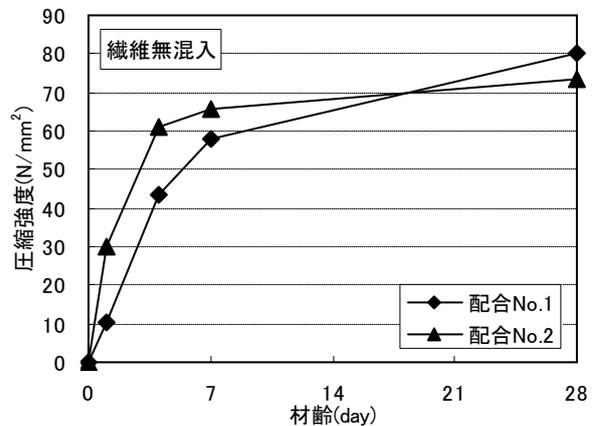


図-5 圧縮強度試験結果

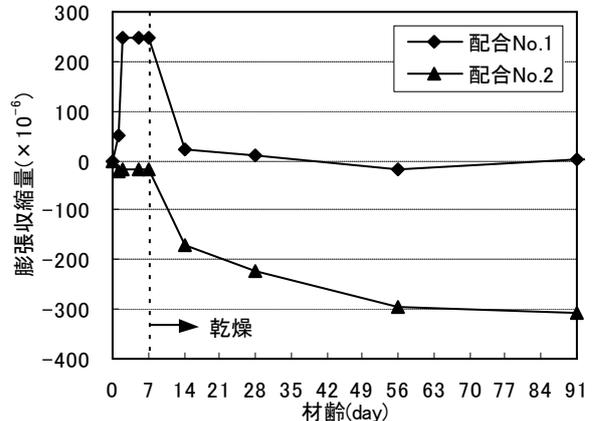


図-6 膨張収縮量試験結果

以上より、結合材として高炉セメント B 種と膨張材を用いた配合 No.1 は、配合 No.2 よりもフレッシュ性状の経時変化、および収縮量が小さく、初期材齢の圧縮強度が配合 No.2 よりも若干小さいが、材齢 4 日で設計基準強度を満足したことから、配合 No.1 を本工事で使用する配合に選定した。

バイブレータを用いた場合の工事桁フランジ上部の繊維混入コンクリートの充てん確認試験の状況を写真-1 に示す。試験の結果、繊維混入高流動コンクリートは、バイブレータを併用することで工事桁フランジ上部に密実に充てんすることができた。以上より、工事桁フランジ上部の繊維混入コンクリートについては、バイブレータを併用することにより自己充てん性を不要にした。

**4. 2 室内練り試験, 実機練り試験**

実際に使用するレディーミクストコンクリート工場の材料、設備を用い、室内練り試験、実機練り試験によりフレッシュコンクリートの性状、および経時変化の確認を行い、配合の選定を行った。試験を行った高流動コンクリートの配合と使用材料を表-6 に、実機練り試験時のスランプフローと U 形充てん高さの経時変化を図-7 に示す。経時変化の測定は、打設中のトラブルにより現場にトラックアジテータ車を待機させることを想定し、練上りから 30 分間隔で経時 150 分後まで実施した。実機練り試験におけるスランプフローは、練上りから経時 90 分後までほとんど変化がなく、その後徐々に低下する傾向が見られたが、経時 150 分後でも管理値を満足した。U 形充てん高さについては、練上りから経時 150 分後までほとんど変化がなく、良好な充てん性を有していた。以上より、本工事で選定した配合は、フレッシュ性状の経時変化も小さく、出荷から 120 分以内に打設すれば、良好な自己充てん性が得られることが分かった。

**4. 3 模擬試験体打設試験, 流動性確認試験**

埋設型枠, 透明型枠を取り付けた実物大の工事桁, 補強桁, スラブの一部を切り出した模擬試験体を作製し, 実施工を想定した打設試験を行った。模擬試験体と打設後の充てん状況を用いた

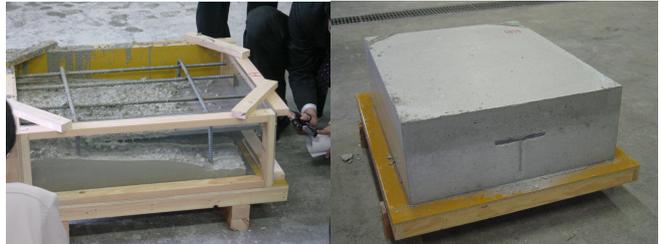


写真-1 工事桁フランジ上部充てん確認試験  
表-6 高流動コンクリートの配合と使用材料

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								
		W	C	EX	S1	S2	G	SP	Vi	F
30.0	50.6	165	530	20	403	403	810	10.45*1	0.25	9.1**2

- ※1:B×1.90%
- ※2:0.7Vol%
- C: 高炉セメント B 種 密度 3.04g/cm<sup>3</sup>,比表面積 3780cm<sup>2</sup>/g
- EX: 膨張材 密度 3.16g/cm<sup>3</sup>
- S1: 高知県鳥形山産砕砂  
表乾密度 2.62g/cm<sup>3</sup>,吸水率 1.64%,粗粒率 3.23
- S2: 千葉県市原市産陸砂  
表乾密度 2.58g/cm<sup>3</sup>,吸水率 2.24%,粗粒率 2.32
- G: 北海道我朗産 2005 砕石  
表乾密度 2.70g/cm<sup>3</sup>,吸水率 0.48%,実積率 59.3%
- SP: ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤密度 1.05g/cm<sup>3</sup>
- Vi: セルロース系増粘剤
- F: PVA 繊維密度 1.30g/cm<sup>3</sup> 長さ 30mm

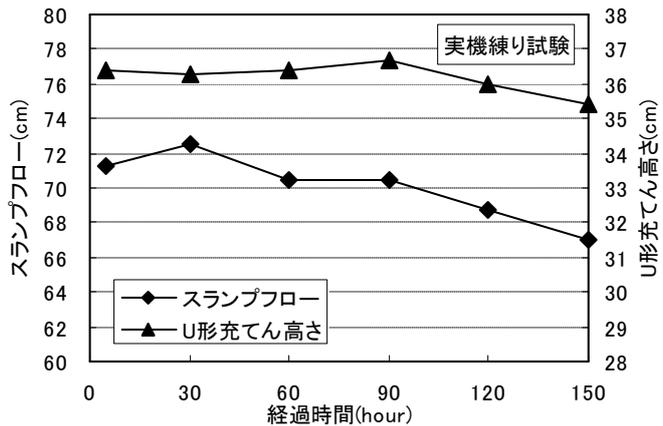


図-7 スランプフロー, U 形充てん高さの経時変化(実機練り試験)



写真-2 模擬試験体打設試験

写真-2に示す。打設後の充てん状況を確認したところ、工事桁、補強桁、スラブ部分、全て密実に充てんされていた。打設試験の結果より、打設方法、人員配置、品質管理試験体制、タイムスケジュール等の諸条件を決定し、実際の施工計画に反映させた。



写真-3 流動性確認試験

時刻	工場		現場品質管理試験				打設			
	製造 (ミキサ3.3m3)	品質管理試験	試験班① ポンプ車①(左桁)	試験班② ポンプ車②(左桁)	試験班③ ポンプ車③(右桁)	試験班④ ポンプ車④(右桁)	ポンプ車①(左桁)	ポンプ車②(左桁)	ポンプ車③(右桁)	ポンプ車④(右桁)
23:30										
23:35										
23:40										
23:45										
23:50										
23:55										
0:00	1台目 4.5m3									
0:05		2~5台目試験 スランプフロー 温度								
0:10			1台目出荷時試験							
0:15	2台目 4.5m3									
0:20	3台目 4.5m3	2台目出荷時試験								
0:25			3台目出荷時試験							
0:30	4台目 4.5m3									
0:35	5台目 3.0m3	4台目出荷時試験								
0:40	6台目 3.0m3		1台目現着試験							
0:45	7台目 3.0m3									
0:50	8台目 3.0m3									
0:55	9台目 4.5m3		3台目現着試験		2台目現着試験					
1:00	10台目 4.5m3	9台目出荷時試験								
1:05	11台目 4.5m3									
1:10	17台目 2.0m3									
1:15	12台目 4.5m3		5台目現着試験		6台目現着試験					
1:20	13台目 4.5m3									
1:25	18台目 2.0m3	13台目出荷時試験								
1:30	14台目 4.5m3		9台目現着試験 単位水量							
1:35	15台目 4.5m3									
1:40	19台目 2.0m3									
1:45	16台目 4.5m3	13・17台目試験 スランプフロー 温度	17台目現着試験		10台目現着試験					

図-8 タイムスケジュール例

最も充てんが困難と予想されるスラブ部分に、スランプフローが管理値の下限よりも小さい60cm程度の高流動コンクリートを打設し、充てん状況の確認を行った。なお、打設した高流動コンクリートのスランプフロー試験の結果は、61.5cm×60.0cmであった。流動性確認用の試験体と充てん状況を写真-3に示す。試験の結果、スランプフロー60cm程度の高流動コンクリートを打設した場合でも、全てのスラブ部分(工事桁から2.2m部分まで)にコンクリートが充てんされ、充てん性に問題ないことが確認できた。従って、荷卸し時のスランプフローが70.0±5.0cmの管理値を満足すれば、打設中のトラブルにより施工が遅延した場合でも良好な充てん性が得られると推察される。

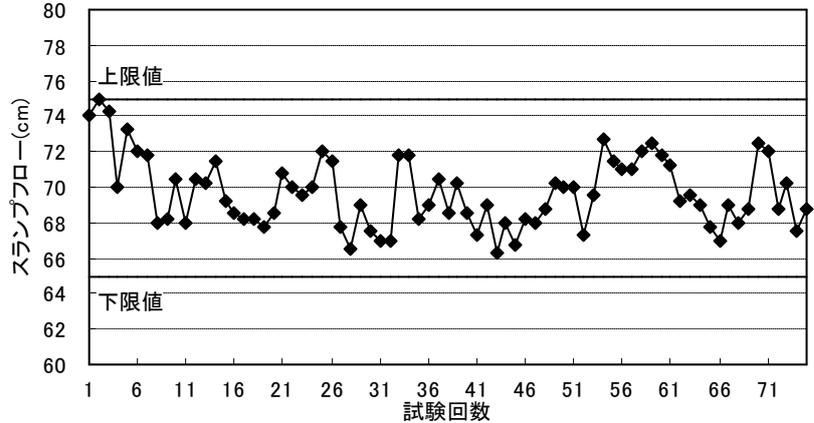


図-9 実施工品質管理結果(スランプフロー)

5. 実施工時の品質管理

実施工時のタイムスケジュールの例を図-8に示す。限られた時間内でコンクリート打

設を確実に完了させるために、また安定した品質のコンクリートを製造・出荷することを目的に、コンクリート打設当日に事前実機試験を行った。これは、打設当日の気象条件や使用材料の状態に応じたコンクリートのフレッシュ性状の経時変化を確認し、高性能AE減水剤の添加量を調整することを目的として実施した。また、コンクリート打設を確実に完了させるために、コンクリートの製造・出荷、現場品質管理試験、および打設について、それぞれ5分間隔のタイムスケジュール表を作成し、施工時間を管理した。

現場受入時のスランプフローの品質管理試験結果を図-9に示す。コンクリートの打設は、2008年3月から9月にかけて計12回行った。冬期から夏期にかけての施工であったが、現場受入時のフレッシュコンクリートの品質管理試験は全て要求品質を満足し、かつ限られた夜間線路閉鎖工事において高流動コンクリートの打設を無事完了させることができた。

## 6. まとめ

本試験・工事の結果得られた知見をまとめると下記の通りである。

- ① 配合試験，充てん試験，施工試験等により，良好な流動性，自己充てん性を有し，収縮量の小さい高流動コンクリートの配合が確認できた。
- ② 本工事で選定した結合材として高炉セメント B 種と膨張材を用いた配合は，フレッシュ性状の経時変化も小さく，出荷から120分以内に打設すれば，良好な自己充てん性が得られる。
- ③ 工事桁フランジ上部の繊維混入コンクリートについては，バイブレータを併用することにより，フランジ部に密実に充てんすることが可能であるため，自己充てん性を不要にした。
- ④ 全ての打設において，良好な品質のコンクリートを所定の線路閉鎖時間内に打設することができた。

## 謝辞

本試験および施工にあたり東日本旅客鉄道㈱の関係各位からご指導を頂きました。ここに記して深謝の意を表します。また，高流動コンクリートの製造，出荷にご協力を頂きましたアサノコンクリート㈱品川工場，BASF ポゾリス㈱の関係各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 岩田道敏他：営業線供用下における工事桁本設利用桁の施工－東海道線新橋・浜松町間環状2号線交差部工事－，コンクリート工学，Vol.45, No.7, 2007.7
- 2) 土木学会：高流動コンクリート施工指針，コンクリートライブラリー93号
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編 2007年