

報告 打込み時間に制約を受ける鉄道複合桁の高流動コンクリートの施工

霞 誠司^{*1}・岩田 道敏^{*2}・三浦 慎也^{*3}・永田 敏秋^{*4}

要旨：鉄道の線路に仮設部材として供用されている工事桁の周囲に高流動コンクリートで巻き立て複合構造として本設利用する新工法を初めて採用した。本工法の適用にあたっては、打込み当夜の高流動コンクリートの品質確保と夜間約 3.5 時間の限られた線路内作業での工事桁周囲への充てん性、施工効率が懸念された。そこで実橋を模擬した試験体によりこれらの確認試験を実施し、実施工を考慮した高流動コンクリートの品質管理および打込み方法を確立した。その結果、実施工では短時間の夜間線路内作業にも係わらず、安定した品質の高流動コンクリートによる施工を行い、半年間にわたり全 20 連の工事桁を本設化した。

キーワード：工事桁、高流動コンクリート、複合構造、列車振動、線路閉鎖

1. はじめに

本工事は、営業線 6 線と都市計画道路が地上および地下道として交差する交差部の鉄道構造物の改築および地下構造物の構築工事であり、仮設の H 形鋼である工事桁に供用中の軌道を受け替えて既設高架橋を撤去し、地中部の工事を完了した後、新たに高架橋を構築するものである（図 - 1）。

従来、このような線路下横断構造物を工事桁工法により施工する場合、工事桁の撤去と本設桁の架設に多くの夜間線路内作業と長大間合いが必要となっていた。そこで、工期短縮および工事費削減を図ることを目的として、仮設した工事桁を撤去せずにそのまま本設構造物の桁部材として利用するため、工事桁の周囲に高流動コンクリートを巻き立て補強し複合構造とする新工法（以下、工事桁の本設構造物利用工法と称す）を開発して初めて採用した。

工事桁の本設構造物利用工法を適用した場合の標準的な施工順序を図 - 2 に示す。Step1（施工前）の状態から、既設構造物の柱を補強して、

夜間線路閉鎖間合いにおいて軌道を工事桁に受け替える。その後、工事桁を仮設橋脚に受け替えて既設構造物を撤去する（Step2）。埋設型枠の設置が完了後、工事桁の主桁内およびスラブ内へのコンクリートの打込みを行なう。その後、本設橋脚を新設する（Step3）。本設化された工事桁を本設橋脚に受け替え、仮設橋脚を撤去する。仮設橋脚撤去後にコンクリート上面に防水等の表面保護処置を行なう（Step4）。

本工法を適用するにあたっては、工事桁や補強桁（H 形鋼）、ひび割れ防止鉄筋や埋設型枠の治具等によって高流動コンクリートの充てんが

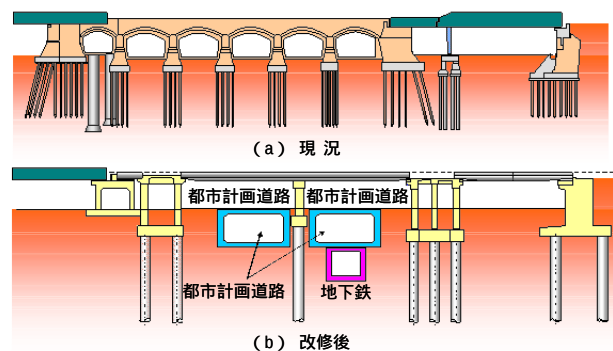


図 - 1 工事の概要

*1 東日本旅客鉄道（株） 東京工事事務所 工事管理室 課員（正会員）

*2 東日本旅客鉄道（株） 東京工事事務所 工事管理室 副課長（正会員）

*3 東日本旅客鉄道（株） 東京工事事務所 立体交差 主席

*4 鹿 島 建 設（株） 鹿島建設（株）・鉄建建設（株）共同企業体 所長

阻害される可能性や、打込み当夜の高流動コンクリートの品質確保、約 3.5 時間の夜間線路閉鎖間合いにおける施工効率が懸念されたため、実施工を考慮した実機レベルにおける高流動コンクリートの配合や品質管理方法およびその打込み方法の確立が求められた。そこで、実橋の工事桁を模擬した試験体を用いて充てん性および施工効率に関する確認試験を実施し、実施工における高流動コンクリートの品質管理および打込み方法を確立した。その結果、当現場特有の狭隘な施工環境と打込み時間に制約を受ける夜間線路内作業にも係わらず、平成 18 年 6 月から 12 月までの半年間にわたり高流動コンクリートの品質を確保しながら施工を行い、全 20 連の工事桁の本設化を完了した。

本報告では、工事桁の本設構造物利用工法の概要を述べるとともに、模擬試験体による確認試験の状況、実施工における高流動コンクリートの品質管理方法と実施工の状況について報告する。

2. 複合桁構造および高流動コンクリートの概要

本工事における工事桁の桁長は最小で約 3.9m、最大で約 21.5m であり、営業線 6 線分の工事桁全 20 連を本設化する。1 連あたりの高流動コンクリート打込み量は約 $19 \sim 43\text{m}^3$ であり、夜間約 3.5 時間の線路閉鎖間合いの中で 1 連分の打込みを完了させなければならない。また、工事桁は最大で約 10‰の縦断勾配を有する。本設化された複合桁の橋軸直角方向の断面構造を図 - 3 に示す。

本工事で使用した H 形鋼 450 材および 500 材の工事桁には、設計上剛性が不足する場合は補強桁を高力ボルト接合により取り付けた。工事桁と補強桁からなる主桁の側面およびマクラギ受桁が位置するスラブ下面に用いた埋設型枠には、ステンレスファイバーを混入した厚さ 30mm の高強度モルタル製プレキャスト型枠を使用した。高流動コンクリートが充てんされた後の列車振動が生じた際に、主桁天端の工事桁上フラ

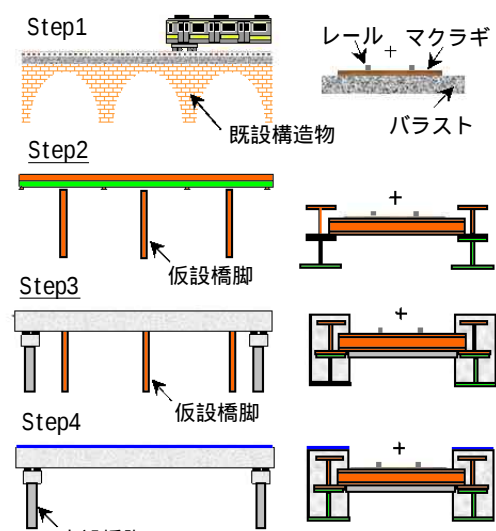


図 - 2 標準的な施工順序

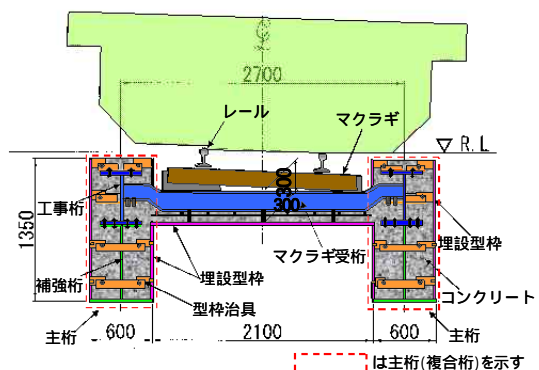


図 - 3 桁の断面構造



写真 - 1 ひび割れ防止鉄筋の設置状況

表 - 1 高流動コンクリートの仕様

項目	仕様
設計基準強度	35N/mm ² (材齢28日)
配合強度	42N/mm ² (材齢28日)
セメント種類	早強ポルトランドセメント
水セメント比	40%
空気量	4.5 ± 1.5% (自己充てん性ランク1) 6.0% 以下 (自己充てん性ランク2)
スラブフロー	700 ± 50mm (JIS A 1150-2001)
自己充てん性	自己充てん性ランク1およびランク2 (JSCE-F511-1999流動障害 R1および R2で充てん高さ300mm以上)
ブリーディング率	0% (JIS A 1123-1997)
粗骨材最大寸法	20mm
短繊維	ポリプロピレン繊維、繊維径600μm、繊維長30mm 引張強度530N/mm ² 、弾性係数5000N/mm ²

本工事で使用した高流動コンクリートの仕様と配合を表 - 1、表 - 2 に示す。コンクリートの選定にあたっては、工事桁や補強桁、ひび割れ防止鉄筋や埋設型枠の治具等の障害により、棒形パイプレータ等による工事桁上面からの締固め作業が困難であることや充てん完了から約 1 時間後には供用開始されることから、高い自己充てん性と早強性を有する高流動コンクリートを使用した。ここで、使用した高流動コンクリートは、マクラギ受け桁上部までは自己充てん性ランク 1 を満足する配合とし、既往の実験結果²⁾により供用開始後の列車振動の影響でひび割れ発生が予想される工事桁主桁上部（高さ約 200mm 程度）には、自己充てん性ランク 1 の高流動コンクリートに短繊維を混入して自己充てん性ランク 2 を満足するものとした（図 - 4）。

め、配管内のコンクリートをすべて排出した後、別車の自己充てん性ランク 1 の高流動コンクリートに短繊維を混入し、自己充てん性ランク 2 の高流動コンクリートとして残りの工事桁主桁天端まで打込みを行った。ここで、打込み開始から主桁天端型枠の設置完了までの時間は、実施工では約 20m の工事桁で片主桁分を 50 分で打込み完了する必要があることから、試験施工では 10 分以内を目標とした。

3.2 試験結果

Case - 1 における自己充てん性ランク 2 の打込みと天端型枠の設置状況を写真 - 2 に示す。サニーホースによるランク 2 の分配打ちと天端型枠の設置作業を平行に行うことで、高流動コンクリートの充てん状況を目視で確認しながら確実に天端型枠の設置を行うことができた。また、打込み時間は約 9 分であり目標時間の 10 分を満足した。

一方、Case - 2 の天端型枠を事前にすべて設置した状態や Case - 3 の天端型枠を部分的に設置した状態で打込みを行ったところ、ランク 2 の打込みにおいては工事桁かぶり部の補強鉄筋や型枠治具が障害となり十分に充てんすることができなかった。Case - 2 において未充てんとなった後に天端型枠を外した状況を写真 - 3 に示す。

試験施工の結果より、充てん性および施工効率の点で最も優れていたのが充てん完了を目視で確認しながら順次天端型枠を設置していく Case - 1 であった。これにより、実施工での打込み方法は Case - 1 に準じて行なうこととした。

4. 高流動コンクリートの品質管理要領

本現場では施工当夜の約 3.5 時間の中で最大 43m³ の高流動コンクリートの打込みを完了させなければならないため、使用する高流動コンクリートには常に安定した品質が要求されるとともに、生コンの製造時や現場受入れの際には当夜限られた時間の中での確実な品質管理が重要となる。

そこで、使用する高流動コンクリートの室内

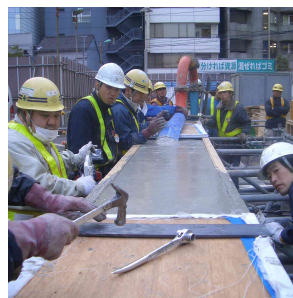


写真 - 2 Case - 1



写真 - 3 Case - 2

表 - 4 品質管理項目

試験セット	試験項目	試験規格	仕様（目標値）
セットA (プラント)	スランプフロー試験 (500mmフロー到達時間)	JIS A 1150:2001	700±50mm (5～20秒)
	フレッシュ性状 空気量	JIS A 1128:1999	4.5±1.5%
	コンクリート温度	温度計により計測	-
	ボックス形充てん性試験	JSCE-F 511:1999	300mm以上（障害R1）
	硬化物性 圧縮強度 (材齢：7, 28日)	JIS A 1108:1999	35N/mm ² （保証材齢：28日）
セットB (1車目)	スランプフロー試験 (500mmフロー到達時間)	JIS A 1150:2001	700±50mm (5～20秒)
	フレッシュ性状 空気量	JIS A 1128:1999	4.5±1.5%
	コンクリート温度	温度計により計測	-
	ボックス形充てん性試験	JSCE-F 511:1999	300mm以上（障害R1）
	塩化物含有量	-	0.30kg/m ³ 以下
セットC (2～5車目)	スランプフロー試験 (500mmフロー到達時間)	JIS A 1150:2001	700±50mm (5～20秒)
	フレッシュ性状 空気量	JIS A 1128:1999	4.5±1.5%
	コンクリート温度	温度計により計測	-
	ボックス形充てん性試験	JSCE-F 511:1999	300mm以上（障害R2）
	空気量	JIS A 1128:1999	6.0%以下
セットD (繊維混入)	スランプフロー試験 (500mmフロー到達時間)	JIS A 1150:2001	700±50mm (5～20秒)
	フレッシュ性状 (繊維混入前) 1車目のみ	JIS A 1128:1999	4.5±1.5%
	フレッシュ性状 (繊維混入後) 全車	JSCE-F 511:1999	300mm以上（障害R2）
	フレッシュ性状 (繊維混入後) 全車	JIS A 1128:1999	6.0%以下
	硬化物性 圧縮強度 (材齢：7, 28日)	JIS A 1108:1999	35N/mm ² （保証材齢：28日）

配合試験、実機試験および前述した模擬試験体による試験施工の結果を踏まえて、当夜の品質管理体制および品質管理方法を制定した。

4.1 品質管理体制

施工当夜は、使用する高流動コンクリートの練混ぜ状況やフレッシュ性状の確認、現場受入れ時の品質管理試験の統括、必要に応じた高性能 AE 減水剤の後添加によるスランプフローの調整と打込み可否の判断等を行なうため、生コン製造プラントと当該現場に高流動コンクリートに関する専門知識を備えた品質管理責任者を各 1 名ずつ配置した。

4.2 品質管理方法

生コン製造プラント出荷時（試験セット A）および現場受入れ時（試験セット B, C, D）の品質管理試験項目を表 - 4 に示す。現場受入れ 1 車目のアジテータ車には試験セット B にある一連の試験すべてについて所要の品質を満足す

る必要があるが、その後 2 車目から 5 車目に関してはスランプフロー試験とコンクリート温度測定のみにより打込みの可否を判断することにした。これは、使用する高流動コンクリートのスランプフローとボックス形充てん性試験の関連性を事前の室内配合試験および実機試験において検証していることを鑑みて、品質を確保した上で受入れ検査に要する時間的ロスを極力回避したものである。

また、今回は現場受入れ時のスランプフローの測定値が基準値 $700 \pm 50\text{mm}$ より過小となったときでも、測定値が 550mm より大きい場合は、現場において高性能 AE 減水剤を後添加してスランプフローが基準値を満足すればプラント返却しなくてもよいこととした。なお、硬練り配合したスランプフローを満足しない高流動コンクリートに高性能 AE 減水剤を後添加した場合でも、材料分離などフレッシュコンクリートの性状に影響がないことを事前の実機試験において確認している。

5. 実施工における高流動コンクリートの打込み

5.1 高流動コンクリートの受入れ検査

当夜打込みを行う高流動コンクリートのフレッシュ性状や経時変化を把握するため、打込み開始の約 4 時間前から生コン製造プラントにおいて試験車(2.25m^3)による試験練りを行なった。経時変化の確認は、打込み前および打込み中のトラブルにより現場にてアジテータ車を待機させることを想定し、10、30、60、90 および 120 分後とした。また、必要に応じて高性能 AE 減水剤の添加率や細骨材の表面水率の変動を反映して単位水量を補正した。現場では到着したアジテータ車より、順次、表 - 4 の試験項目に従い受入れ検査を行なった。受入れ検査は、試験項目ごとに検査員の役割分担を明確にして試験時間のロスを回避した。

5.2 打込み配管

10m 以上のスパンとなる工事桁の場合の打込み配管状況を図 - 6 に示す。配管は、工事桁下よ

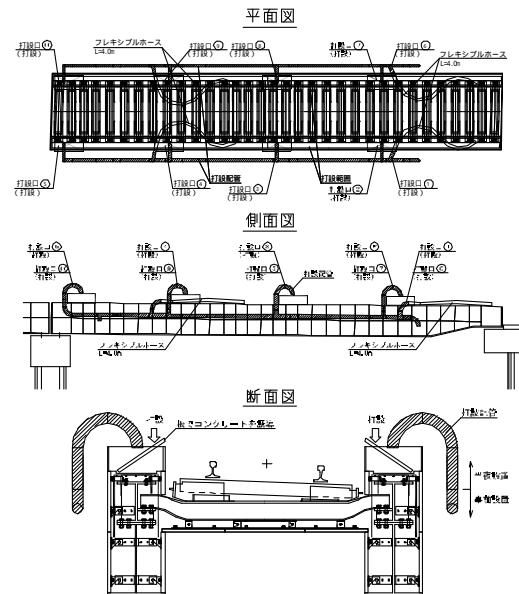


図-6 打設配管状況（スパン 10m 以上）

り垂直に立上げて主桁の脇を桁方向に配管した後、T 字バルブと接続した。ここまでは事前の昼夜作業において設置しておき、T 字バルブより上部の打込み口付近の配管は建築限界に支障するため、当夜の線路閉鎖着手後に設置した。また、両主桁への



写真-4 ランク 1 打込み状況

コンクリート量の調整および桁端部への打込み用にフレキシブルホースを使用した。



写真-5 スラブ充てん確認

5.3 自己充てん性ランク 1 の打込み

工事桁下に 2 台のポンプ車を配置し、片主桁 1 台のポンプ車により打込みを行なった。自己充てん性ランク 1 の高流動コンクリートの打込み方法としては、縦断勾配の下流側から上流側にかけて、両主桁の打込み口を 1 分から 1 分 30 秒間隔で順次切り替えながらスラブ下端まで行い、その後、打込み口で木板により高流動コンクリートをスラブ内に流動するように誘導しながら

スラブ天端まで充てんを行なった（写真 - 4）。スラブ内の充てん完了は、マクラギ間にあらかじめ設置した抑え型枠の充てん確認孔からのモルタルペーストの流出により確認を行なった（写真 - 5）。所定の高さ（主桁天端から高さ 200mm 下）までランク 1 の高流動コンクリートの打込みが完了したことを目視により確認した後、ポンプ車ホッパー内に残ったコンクリートが無くなるまで捨て配管を使用して工事桁下の現場内に仮廃棄した。その後、短繊維を混入したランク 2 の高流動コンクリートに切り替えを行った。

5.4 自己充てん性ランク 2 の打込み

自己充てん性ランク 2 の高流動コンクリートは、各打込み口にサニーホースを接続して下流側より順次打込みを行なった。サニーホースはコンクリートの排出量に応じて適時カッターで切断しながら、上流側に順に打込み口を切り替えた（写真 - 6）。

5.5 天端型枠設置

主桁天端型枠の設置は、自己充てん性ランク 2 の高流動コンクリートの打込み作業と平行しながら充てんが完了した範囲から順次設置を行なった（写真 - 7）。天端型枠は 15mm の合板に透気性の RC クロスを内側に貼付け、補強として両端部に垂木（ $\square 60 \times 60\text{mm}$ ）を取り付けた。また、天端型枠の固定は、厚さ 9mm のフラットバーを使用し、あらかじめ工事桁内の治具に取り付けたセパレータを介してボルトにより機械的に固定した。天端型枠の設置作業と平行して建築限界に支障する配管等の撤去および後片付けを行い、最後に主桁天端部の建築限界を確認して当夜の作業を終了した。

5.6 脱型状況

養生日数 3 日以上確保した後、天端型枠を脱型した状況を写真 - 8、写真 - 9 に示す。脱型後の主桁およびスラブの表面状態は多少の空気あばたはあったが、ジャンカのような未充てん箇所は無く、高流動コンクリートの打込みが概ね



写真-6 ランク 2 打込み

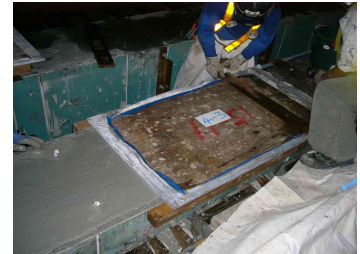


写真-7 天端型枠設置

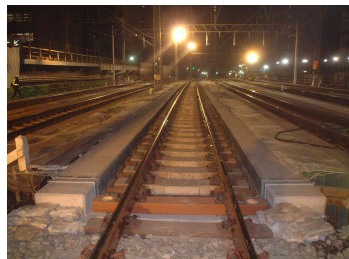


写真-8 脱型後（全景）

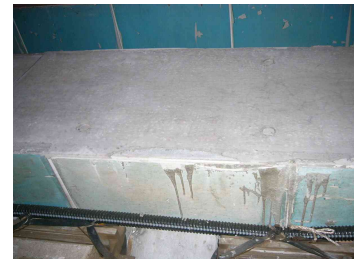


写真-9 脱型後（主桁部）

良好であったことを確認した。また、仮設橋脚撤去時の本設桁のたわみ計測より、充てんコンクリートと H 形鋼（工事桁および補強桁）は複合構造として一体化していることを確認した。

6.まとめ

工事桁の本設構造物利用工法は本現場で初めて採用した新工法であり、高流動コンクリートの配合や品質管理、打込みにおける充てん性・施工効率等の検討を経て実施に至った。当現場では既に工事桁 20 連すべての本設化が終了し、順次、仮設橋脚の撤去を行なっている。

本工事で得られた知見や経験を水平展開して次期工事に活かしていきたい。

参考文献

- 1) 渡辺憲一，永田敏秋，一宮利通，高田和法：工事桁を本設利用した鉄道高架橋の施工性に関する検討，コンクリート工学，Vol.41，No.8，pp.8-16，2003.8
- 2) 綱嶋和彦，田附伸一，津吉毅，菅野貴浩，石橋忠良：工事桁を本設桁として利用する合成構造桁のひび割れ防止対策，SED - STRUCTURAL ENGINEERING DATA - ，No.23，pp.50-55，2005.2