

# 報告 小田急小田原線における速硬性コンクリートを用いた既設盛土一体化橋梁工法による耐震補強工事の施工報告

江原 季映\*1・岸田 敦朗\*2・宮嶋 真澄\*3・高橋 直希\*4

**要旨：**小田急小田原線の玉川学園前駅～町田駅間に架かる水路及び里道架道橋の耐震補強において、既設盛土一体化橋梁工法を採用し、鉄道営業線の線路閉鎖間合いという短時間に隅角部一体化コンクリートの打込みを行った。速硬性コンクリートを使用し、分単位のサイクルタイムを用いた綿密な施工管理と品質管理により、コンクリートの打込み開始から約4時間後には圧縮強度 18N/mm<sup>2</sup>以上を満足することができ、橋梁の一体化を完了した。本報では、線路閉鎖間合いの短い都市部においても、列車運行に支障を来すことなく、既設盛土一体化橋梁工法による耐震補強が適用可能であることを示した。

**キーワード：**速硬性混和材、寒中コンクリート、鉄道、耐震補強、既設盛土一体化橋梁

## 1. はじめに

小田急小田原線の玉川学園前駅～町田駅間に架かる水路及び里道架道橋(以下、本橋梁)は、橋長 13.42m の鋼桁橋で、下部工は直接基礎の無筋コンクリート重力式橋台である。1927年に築造されてから90年以上が経過しており、顕著な変状は生じていないものの、現行の耐震基準を満足していないため耐震対策を行うこととなった。耐震化の工法には、交差する道路事情や工事コストを踏まえ、鉄道総合技術研究所が開発した既設盛土一体化橋梁工法<sup>1)</sup>(以下、本工法)を採用した<sup>2)</sup>。

本工法は、既存の鋼桁と橋台の隅角部を鉄筋コンクリートで一体化することで、架け替えを行わずに単純梁構造をラーメン構造へ改造するものである。図-1に示す本橋梁断面図に、一体化する範囲を網掛けで示した。これにより、鋼桁中央に生ずる断面力が減少するため、鋼桁の安全性が向上し長寿命化効果が期待された。さらに、支承がなくなることによる長期的な維持管理費の軽減が期待された。本工法の主な施工順序は以下の通りである。

- a) 無筋橋台の耐力向上を図るため、橋台に鉛直鋼棒を挿入する。
- b) 背面盛土と橋台との一体化を図るため、橋台前面より補強材を打設する。
- c) 鋼桁と橋台の隅角部を、鉄筋コンクリートで一体化する。

本橋梁は鉄道営業線であるため、工程の多くが終電から翌始発までの線路閉鎖間合いでの夜間工事となる。一連の工程で最も重要である一体化コンクリートの打込みも、線路閉鎖間合いで行う必要がある。しかし、コンクリートが一定の強度に満たない状態で、打ち込んだコン

クリートに列車通過時に発生する振動が作用すると、コンクリートと鉄筋との付着力が低下する。そのため、線路閉鎖間合いで打ち込んだコンクリートが、始発の通過前に所定の強度を満足している必要がある。そのため、施工においては始発の通過までに圧縮強度 18N/mm<sup>2</sup>以上を満足することを要求性能とし、速硬性のコンクリートを使用することとした。本報では、既設盛土一体化橋梁工法の鉄道営業線における施工例として、一体化に使用したコンクリートの概要および品質管理、施工管理上のポイントについて述べる。

## 2. 設計概要

本工法は、既存の鋼桁と橋台の隅角部を鉄筋コンクリ

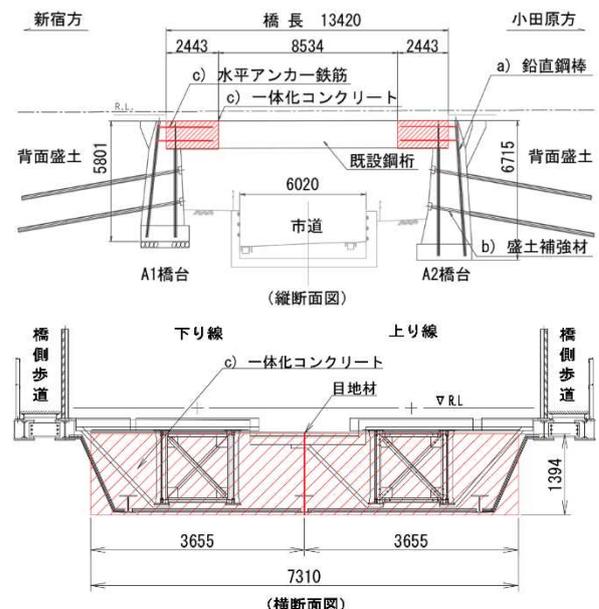


図-1 橋梁断面図

\*1 (株)フジタ 交通事業部 土木工事事務 (正会員)

\*2 小田急電鉄(株) 工務技術センター 土木担当

\*3 (株)フジタ 交通事業部 土木工事事務

\*4 (株)フジタ 技術センター 土木研究部 修士(工学) (正会員)

ートで一体化することで、単純梁構造をラーメン構造へ改造するものである。本工事の隅角部詳細図を、図-2に示す。現況の橋梁構造は、2連上路プレートガーター橋である。一体化部は鉄筋コンクリート構造であり、鋼桁のウェブを削孔して配筋するジベル筋、橋台パラペット部に定着する水平アンカー鉄筋、およびひび割れ防止鉄筋からなる。鋼桁-橋台間に作用する断面力は、コンクリート、ジベル鉄筋および水平アンカー鉄筋を介して橋台の鉛直鋼棒に伝達される設計である。そのため、一体化部においてコンクリートと鉄筋との付着力が低下することは、重大な欠陥につながり兼ねない。

### 3. 一体化コンクリートの施工条件

#### 3.1 施工時期

本工事の全体工期は約1年5か月あり、隅角部へのコンクリートの打込み時期は、11月下旬～12月下旬の冬期であった。なお、冬期の鋼桁が収縮した状態で一体化することで、原則としてコンクリートには圧縮力のみが作用するため、構造的に有利である。

#### 3.2 施工時間

本施工区間における線路閉鎖間合いを、図-3に示す。コンクリートの打込みを開始してから、始発列車が通過するまでの約4時間で、所定の強度を満足しなければならない。1回に打ち込むコンクリート量は12.3m<sup>3</sup>で、打込みに要する時間を1時間程度と想定すると、養生に確保できる時間は約3時間である。

#### 3.3 施工ヤードと周辺環境

本橋梁と交差する市道は、緊急輸送道路に接続する幅員6mの2車線道路である。付近に鉄道を横断する施設がなく迂回路が確保しにくいこともあり、夜間において

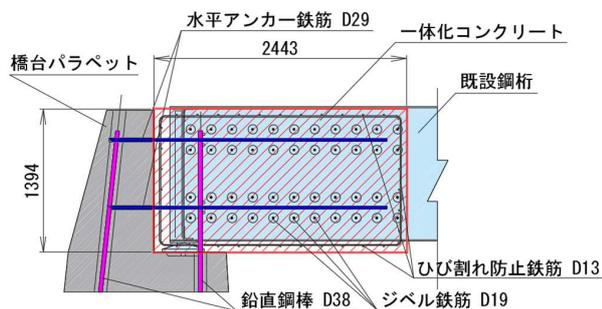


図-2 隅角部詳細図

	1時	2時	3時	4時	5時
列車	● 終電	線路閉鎖間合い約3時間			● 始発
コンクリート打込み	← 約1時間				
養生			← 約3時間		

図-3 線路閉鎖間合い

も通行止めにする事ができない。道路は橋梁下でカーブしているため、見通しが悪く、車線規制ではポンプ車を配置することができなかった。そのため、現場から直線距離で約70m離れた施工ヤードからコンクリートを圧送することとした。図-4に配置図を示す。

また、本橋梁は住宅街に位置しており、深夜における騒音防止の観点から、自己充填性を有したコンクリートを使用することが望ましく、その検討を行った。

### 3.4 課題の整理

一体化コンクリートの施工にあたっての課題を、以下に整理する。

- 線路閉鎖間合いの約3時間でコンクリートを打ち込み、かつ始発列車が通過するまでに圧縮強度18N/mm<sup>2</sup>以上を満足する。
- 施工時間が限られることと、速硬性のコンクリートを使用するため、アジテータ車の配車遅延や輸送管の閉塞など、施工トラブルの防止が極めて重要である。
- 夜間作業・鉄筋配筋状況から、振動機を使用しなくとも充填性が確保されることが望ましい。
- 施工時期が冬期のため、寒中コンクリート対策が必要となる。

## 4. 速硬性コンクリートの概要

### 4.1 特徴

本工事におけるコンクリートの要求性能は、打込みに必要な流動性の保持時間1時間以上、かつ、打込み完了後3時間で圧縮強度18N/mm<sup>2</sup>以上を満足することである。流動性の保持時間は、速硬性のコンクリート製造から圧送完了までの時間と、閉塞などの不測の事態を加味し、1時間以上とした。なお、保持時間とは、スランプフローの経時変化が10cm以内を満足する時間とした。これらを満足するコンクリートとして、出荷先のレディミクストコンクリート工場の高流動コンクリートの配合を基準とし、速硬性混和材を使用したコンクリートを選定した。速硬性混和材は、セメント・アルミナ・セッコ

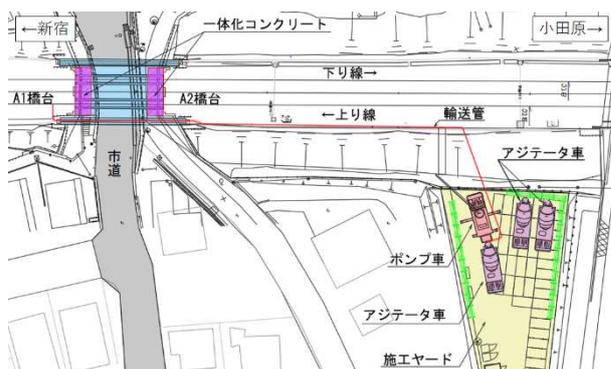


図-4 本橋梁と施工ヤードの配置図

ウ複合系の速硬基材(以下、速硬材)と、スランブフローの保持時間を調整するクエン酸系調整剤(以下、調整剤)で構成されている。これらを練上がり後のコンクリートに適量混和することで、施工に必要な流動性を保持したうえで、短時間での強度発現が可能となる。

#### 4.2 配合および製造

使用材料を、表-1 に示す。また、速硬材混和前のコンクリート(以下、ベースコンクリート)および速硬材混和後のコンクリート(以下、速硬性コンクリート)の配合を、表-2 に示す。

ベースコンクリートの配合は、出荷先の高流動コンクリートの配合から、速硬材混和量 150kg/m<sup>3</sup>相当量および調整剤を溶解する水量 10kg/m<sup>3</sup>相当量を、それぞれ単位セメント量および単位水量から減じた配合とした。

調整剤は、コンクリート 1m<sup>3</sup>当たり 10kg の水に溶解し、速硬材混和の直前に混入する。なお、調整剤の混和量は、スランブフローの保持時間および速硬性コンクリートの練上がり温度に応じて調整する。速硬材の混和量は、セメント質量の内割り 30%であり、現場にてアジテータ車に混和する。アジテータ車への混和は、1袋当たり 25kg の袋の中身を人力にて投入後、5分間高速攪拌した。

#### 4.3 強度発現性

速硬性コンクリートの練上がり温度と練り混ぜから3時間後の圧縮強度を、表-3 に示す。速硬性コンクリートは、調整剤の混和量を適切に調節することで、スランブフローの保持時間1時間、かつ、練り混ぜから3時間後の圧縮強度 18N/mm<sup>2</sup>以上の要求性能を満足することができる。ただし、養生中にコンクリート温度が低下す

表-1 使用材料

材料	種類
セメント	普通ポルトランドセメント 密度 : 3.16 (g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	富津産・仁淀川町産・南伊勢町産 (混合砂) 表乾密度 : 2.64 (g/cm <sup>3</sup> ) 粗粒率 : 2.60
粗骨材	仁淀川町産 砕石 2005 (Gmax : 20mm) 表乾密度 : 2.70 (g/cm <sup>3</sup> ) 実積率 : 64.0 (%)
混和剤	ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤
速硬材	セメント・アルミナ・セッコウ複合系
調整剤	クエン酸系

表-2 コンクリートの配合

ベースコンクリート					速硬性コンクリート			
W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				W/B (%)	外割混和(kg)	
		W	C	S	G		溶解水	速硬材
42.9	53.2	150	350	996	896	32.0	10	150

る場合や、練上がり温度が 5℃の場合は、圧縮強度の要求性能を満足することができない。よって、本工事では、速硬性コンクリートの練上がり温度を 10℃以上に管理するとともに、圧送中や打込み後にコンクリート温度が低下しないように管理する必要がある。本工事は、冬期における深夜の施工であり、寒中コンクリート対策が極めて重要である。

### 5. 試験施工

#### 5.1 圧送および打込み試験

圧送試験および模擬試験体を用いた打込み試験を実施した。圧送試験における輸送管は、図-5 に示す通りとし、水平換算距離および圧送速度は、実施工と同等の約 155m および 18m<sup>3</sup>/h とした。なお、実施工におけるアジテータ車の入れ替えによる圧送中断を想定し、圧送の途中で約 6 分間の圧送停止と再圧送を実施した。また、ポンプ圧送がコンクリートのフレッシュ性状に与える影響について把握することを目的に、速硬性コンクリートの圧送前後および圧送中断後の再圧送時におけるスランブフロー(JSCE-F 503-1999)と、充填高さ(JSCE-F 511-2011 流動障害 R2)を確認した。また、図中の四角枠の箇所において、輸送管内の圧力を計測した。

スランブフローと充填高さの試験結果を、表-4 に示す。速硬性コンクリートを圧送した場合、筒先から採取したコンクリートのスランブフローは増加する傾向を示した。一方、再圧送時のスランブフローは若干低下した。

表-3 強度発現性

練上がり温度 (°C)	スランブフロー 目標保持時間 (時間)	練り混ぜから3時間後の圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		試験室 8°C		試験室 20°C
		封かん養生	保温養生*	封かん養生
5	1	3.9	5.2	—
10	1	10.7	22.7	33.4
15	1	—	—	32.0
21	1	—	—	32.6

※厚さ 24mm の発泡スチロール製養生箱

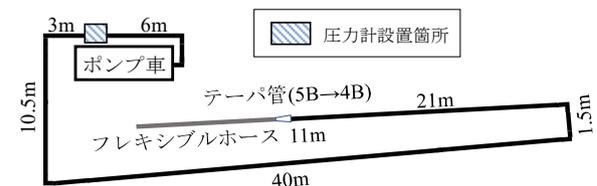


図-5 圧送試験における輸送管図

表-4 圧送前後のフレッシュ性状

速硬性コンクリート							
スランブフロー(mm)		充填高さ(mm)			温度(°C)	空気量(%)	
練上がり	筒先	中断後	練上がり	筒先	中断後	練上がり	練上がり
475	625	545	302	332	328	24	2.0

いずれの場合においても、充填高さは 300mm 以上であり、圧送による品質変化が施工上問題となる可能性は低いことを確認した。

管内の圧力は、圧送中断前で約 1.8MPa、再圧送時で約 2.0MPa であった。再圧送時に若干大きくなったが、ポンプ車の圧送能力や輸送管の耐圧の面からも、特に問題がないことを確認した。

模擬試験体の概要を、**図-6** および **写真-1** に示す。模擬試験体は、冬期の実施工を想定し、グラスウール製の断熱材(以下、断熱材)を張り付けた断熱型枠とした。さらに、特に充填不良が懸念された鋼桁下部を合板で模擬し、鉄筋も配置した。打込み時には振動機の有無による比較を行った。硬化後の模擬試験体表面を目視により確認した結果、振動の有無によらず、充填不良箇所は一切無く、振動機なしでの打込みが可能であると判断した。

### 5.2 リバウンドハンマーによる強度確認

本工事では、一体化コンクリートの強度確認をリバウンドハンマーにより実施することになっており、試験施工においても、リバウンドハンマーによる強度確認を行った。事前に確認した速硬性コンクリートにおけるリバウンドハンマーの反発度と圧縮強度の関係を、**図-7** に示す。ここで、本工事における管理基準は、95%予測区間の下限値である。コンクリートの練り混ぜから3時間後におけるリバウンドハンマーによる圧縮強度推定値は 39.0N/mm<sup>2</sup> であり、本工事における要求性能を満足した。なお、打込み時のコンクリート温度および外気温は、それぞれ 24℃ および 17℃ であった。

## 6. 実施工

### 6.1 実施工概要

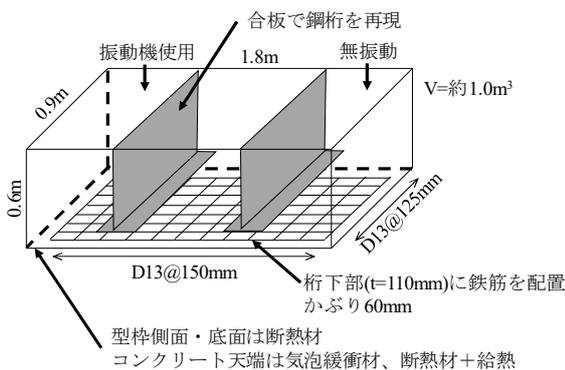


図-6 模擬試験体の概要



写真-1 模擬試験体

隅角部一体化の実施工は、上下線それぞれの固定支承側から一体化し、次に可動支承側を一体化して橋梁のラーメン構造化を完了する。コンクリートの打込みは、11月下旬から12月下旬にかけて4回の夜間工事にて行った。ただし、冬期には打込み時の外気温が 5℃ 程度以下になることが想定されたこと、および低温下では速硬性コンクリートの強度発現性が阻害されることから、入念な寒中コンクリート対策を実施することとした。

一体化コンクリートの型枠は、鋼桁からの吊り型枠とした。また、コンクリートの強度発現が遅れた場合に備え、列車通過時の鋼桁のたわみ抑制対策として、鋼桁を仮支保工にて受けることとした。

## 6.2 寒中コンクリート対策

### (1) 運搬中の対策

ベースコンクリートを施工現場へ運搬中、コンクリート温度の著しい低下を防ぐために、アジテータ車に保温カバーを装着した。出荷時と荷卸し時のコンクリート温度および外気温を、**表-5** に示す。これにより、コンクリート温度が出荷時から荷卸し時までほとんど低下しないことを確認した。

### (2) 圧送中の対策

速硬性コンクリートの圧送中断が一定時間以上に及んだ場合に、輸送管内のコンクリート温度の著しい低下を防ぐため、輸送管に断熱材を巻き付けることとした。

**写真-2** (左) は、輸送管に断熱材を巻き付けた上に、雨養生の為にさらにブルーシートを巻いた状態である。滞留したコンクリートの断熱材による温度保持効果は、事前に室内実験により確認した。室内実験は、平均室温 2℃ の恒温室内に、断熱材ありと断熱材なしの2種類の輸送

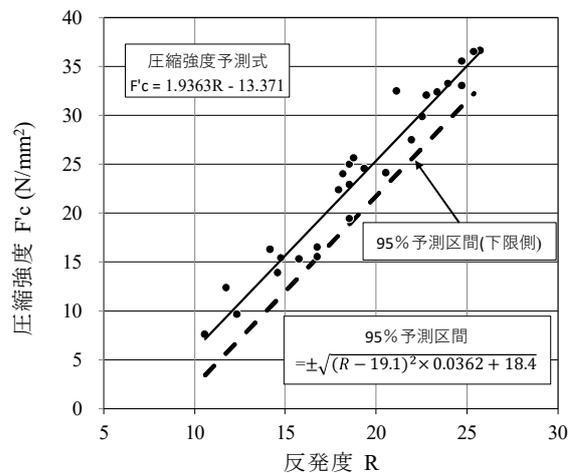


図-7 反発度と圧縮強度の関係

表-5 運搬によるコンクリート温度の変化

外気温	運搬時間	コンクリート温度	
		出荷時	荷卸し時
0℃	約 45 分	13℃	12℃

管を準備し、コンクリートを充填してから1時間後までの温度の推移を計測した。その結果、**図-8**に示すように、管自体が低温であるためコンクリートが滞留した直後には2~3℃の温度低下があるものの、断熱材による温度保持が十分に機能することを確認した。これにより、打込んだコンクリート温度は、荷卸し時と比較してほとんど低下しなかった。

### (3) 筒先の対策

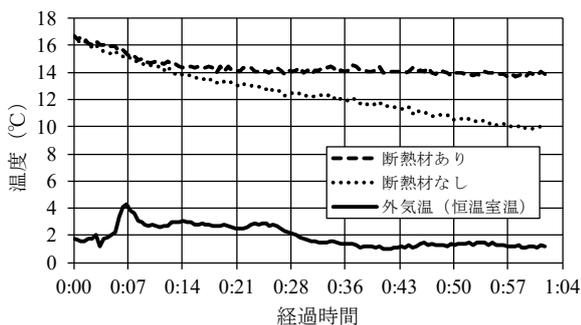
コンクリート打込み時の筒先作業空間の温度を上げる対策として、**写真-2(右)**のように、線路閉鎖後に軌道上に単管骨組みとブルーシートによるテントを設置し、ジェットヒーターを2台稼働させ給熱することとした。なお、事前の確認では、テント設置に要した時間は約15分であり、ジェットヒーター点火後のテント内温度は平均17℃を維持した。外気温およびテント内温度を、**図-9**に示す。また、給熱によるコンクリート天端の急激な乾燥を防ぐこと、およびテント撤去直後の急激な冷却を緩和するため、打込み完了後速やかにコンクリート天端を気泡緩衝材および断熱材で覆うこととした。

### 6.3 速硬性コンクリートの品質管理

実施工におけるコンクリートの品質管理は、ベースコンクリートおよび速硬性コンクリートのそれぞれについて行った。品質管理基準値を**表-6**に、現場採取試験の一例を**表-7**に示す。

### 6.4 サイクルタイムによる施工管理

施工管理では、線路閉鎖間合いの3時間以内にすべての工程を確実に完了しなければ、翌朝の列車運行に支障を来す。さらに、本工事の要求性能は始発列車が通過するまでに18N/mm<sup>2</sup>以上の強度発現であり、そのための十分な給熱養生時間を確保することが不可欠であった。



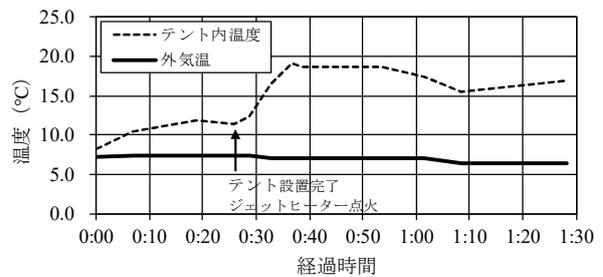
**図-8** 輸送管内コンクリートの温度低下実験結果



**写真-2** 寒中コンクリート対策

このような条件下で施工するためには、綿密な時間管理が必要である。そこで、速硬性コンクリートの製造、試験、圧送、筒先・養生および片付け作業毎に人員を配置し、アジテータ車1台毎の入れ替え時刻や、圧送・養生のタイミングに分単位のサイクルタイムを設定し管理することとした。サイクルタイムの一例を**図-10**に示す。

前述した通り、1回の打込みに要するコンクリート量は12.3m<sup>3</sup>であり、約1時間で打込みを完了させる必要がある。本工事では、ベースコンクリートに混和する速硬材および調整剤を均一に練り混ぜるため、大型のアジテータ車1台につき、速硬性コンクリートを2m<sup>3</sup>のみ製造することとしたため、合計7台のアジテータ車が必要となる。施工ヤードに配置できるアジテータ車は全3台で、内2台は速効性コンクリートの製造スペースであるため、製造およびアジテータ車の入れ替え時間が非常に重要である。製造に要する時間は、試験施工にて検証した1台当たり15分とし、アジテータ車の入れ替えを3分以内で行うと、約1時間15分で打込みを完了できる。各作業の遅れが累積した場合、始発列車が通過するまでの給熱養生時間が減少することとなり、大きな遅れは許容できない。そこで、サイクルタイム時刻表を作成し、各作業場所付近に掲示した。製造中の施工ヤードの様子および、サイクルタイム時刻表の一例を、**写真-3**に示す。各班には時間管理者を配置し、無線機により相互の進捗状況を確認し分単位の調整を行った。例えば、製造が遅延した場合、圧送速度も抑制しなければ、待機時間が生



**図-9** 筒先作業空間の給熱効果

**表-6** 品質管理基準

	ベースコンクリート	速硬性コンクリート
スランプフロー	500±100mm	600±100mm
空気量	3.0±1.5%	3.0±1.5%
塩化物量	0.30kg/m <sup>3</sup> 以下	0.30kg/m <sup>3</sup> 以下
練上がり温度	—	10℃以上

**表-7** 現場採取試験結果の一例

	ベースコンクリート	速硬性コンクリート
スランプフロー	510mm	524mm
コンクリート温度	16℃	18℃
空気量	3.9%	1.9%
塩化物量	0.04kg/m <sup>3</sup>	0.04kg/m <sup>3</sup>
外気温	8℃	8℃

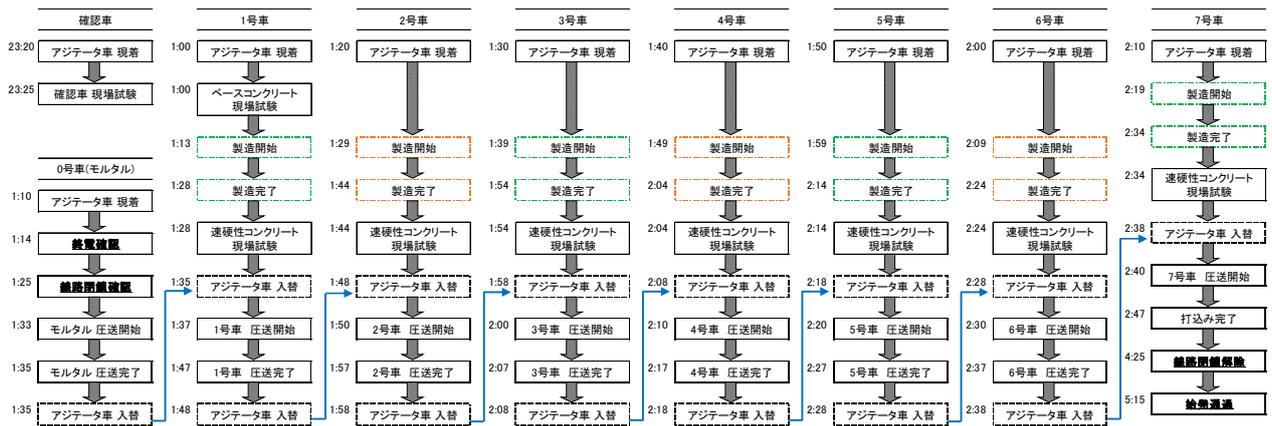


図-10 サイクルタイムの一例



写真-3 速硬性コンクリート製造・圧送状況

表-8 始発通過前における圧縮強度の推定値の一例

外気温	確認時刻	打込み完了からの経過時間	圧縮強度推定値
0℃	4:20	1時間 44分	23.5 N/mm <sup>2</sup>
10℃	4:38	1時間 45分	24.6 N/mm <sup>2</sup>

じて輸送管内に速硬性コンクリートが滞留する時間が長くなるためである。また、当日のアジテータ車の配車遅延が懸念された。対策として、毎回施工開始の約90分前に確認車を配車し、コンクリートの施工日毎の運搬時間、荷卸し温度を事前に確認することとした。

これらの管理により、現場全体での時間意識の向上と共有が図られ、作業は概ねサイクルタイム通りに進捗し、一体化コンクリートの施工を完了した。

### 6.5 強度発現および出来形の確認結果

速硬性コンクリートの打込み後、始発通過前における圧縮強度は、表-8に示す通り要求性能を満足した。また、速硬性コンクリートの打込み過程において、その自己充填性を保持することができた。打ち重ね品質を高めるため振動機を限定的に使用したものの、通常のコンクリート打込み作業と比較して静粛であった。さらに、写真-4(右)に示すように、充填不良もなく良好な出来栄のコンクリートを打ち込むことができた。



写真-4 速硬性コンクリートの打込み状況(左)および出来栄(右)

## 7. おわりに

既設盛土一体化橋梁工法における隅角部一体化を、鉄道営業線の線路閉鎖間合いという短時間において、列車振動の影響を受けることなく完了した。

線路閉鎖間合いの短い都市部においても、列車運行に支障を来すことなく、既設盛土一体化橋梁工法による耐震補強が適用可能であることを示せた意義は大きい。

今後、同様な耐震補強のニーズは益々増えていくものと考えられる。本施工事例が今後の一助となれば、望外の喜びである。

## 謝辞

本工事の施工方法検討にあたっては、神田政幸氏(公益財団法人鉄道総合技術研究所)、ならびに公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造研究室にご協力を頂いた。末筆ながら記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 神田政幸ら：鋼桁・橋台・盛土一体化による旧式橋梁の耐震補強，鉄道総研報告，Vol.26，No.4，2012.4
- 2) 岸田敦朗ら：小田急小田原線 旧恩田川橋梁における耐震補強工事の施工計画—補強盛土一体化橋梁(インテグラル橋梁)工法の採用—，土木学会第73回年次学術講演会，6-760，2018.8