

柳渕橋の高耐久コンクリート床版の施工・品質管理

西松建設（株） 正会員 ○我彦聡志 串田雅宏
西松建設（株） 小倉仁志 三井功如
西松建設（株） 西田徳行
八戸工業大学 正会員 阿波 稔
国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所 小岩孝行

1. はじめに

復興道路である国道 45 号萩牛北地区道路工事の新柳渕橋は、鋼 2 径間連続非合成箱桁橋である。本橋の RC 床版施工においては、LCC の低減、凍害、塩害、ASR、疲労に対して多重防護を施し、合理的かつ効率的に劣化リスクを低減させることを目的に、各種検討を実施した。配合は、既往の資料¹⁾²⁾を参考に高炉セメント B 種、膨張材、短繊維を使用したコンクリートとし、物性・施工性の確認を室内試験練り、実機プラント試験練り、試験施工の各段階で実施した。得られた結果から、壁高欄を含む上部工全ての部位に凍害区分「種別 S」（特に厳しい凍害環境）相当のコンクリート配合（27-15-25BB：空気量 6.0%，W/B=45%以下、膨張材、短繊維）を使用することとした。ひび割れ発生の対策検討は、ステップ解析（床版コンクリートの分割打設時に発生する箱桁変形に起因するひび割れ検討）および温度応力解析、有識者のアドバイスにより行った。また、試験施工により施工手順、施工性などを確認した。本稿は現場施工に向けての、計画から試験施工および試験施工までの課題、寒中養生対策を踏まえた現場施工について報告する。

2. コンクリート配合、ひび割れ抑制の検討

(1) コンクリート配合の検討

コンクリート配合は、試験練り（予備、室内、実機）および試験施工で、表-1 に示すフレッシュ性状と硬化後性状を検討・確認し、表-2 に示す配合に決定した。なお、実機試験練り時にコンクリートのフレッシュ性状（スランプ、空気量）の経時変化試験を実施した。その結果、図-2 に示すように選定した配合は、練り混ぜ後 90 分まで所定のフレッシュ性状を保持することが確認された。

表-1 コンクリート配合検討試験一覧

	試験項目	管理基準等	1. 試験練り	2. 試験施工	備考
フレッシュ	スランプ	15±2.5cm	○	○	ベース、繊維投入後：1, 2 箇先：2
	空気量	6.0±1.0%	○	○	
	塩化物含有量	0.3kg/m ³ 以下	○	○	
	N式貫入試験	—	○	○	仕上げ時期の目安
硬化後	圧縮（標準養生）	27N/mm ² 以上	○	○	σ28
	ASR（SSW）	—	○	—	
	スケリング試験	—	○	○	
	空気量	3.5%以上	—	○	コア採取、締固め時間別
	気泡間隔係数	—	○	○	
	ひずみ量	—	○	—	拘束、無拘束、膨張材の有無
	長さ変化	—	○	—	乾燥収縮、繊維の有無

表-2 コンクリート配合

W/B (%)	S/a (%)	SL (cm)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)						
				W	結合材		S	G	AE混和剤	短繊維
					C	EX				
43.0	40.0	15.0	6.0	170	375	20	671	1013	3.16	0.455

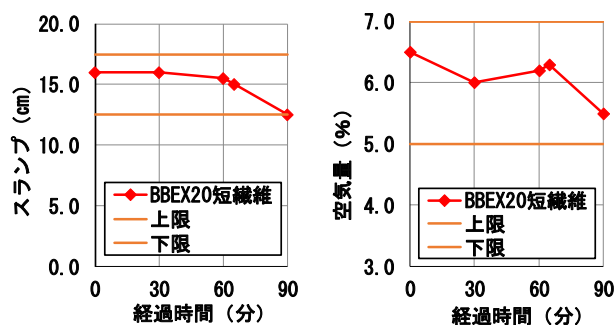


図-2 スランプおよび空気量の経時変化

(2) ひび割れ抑制の検討

温度応力解析の結果、ひび割れ幅は 0.08mm（最小ひび割れ指数が 0.98）となった。但し、将来の乾燥収縮を考慮すると、ひび割れ幅の増大が予想された。そのため、学識経験者の助言、既往資料³⁾を基に将来的に 0.1mm 以下となるよう、鉄筋比が 1.0% 未満の RC 床版の鉄筋比 0.77%部を 1.0%とする補強鉄筋の追加を行った（図-3）。また、壁高欄の伸縮目地（完全目地）に発生したひび割れが地覆を貫通して床版への進展が懸念されたため、既往資料⁴⁾を参考に、伸縮目地部の地覆コンクリートの鉄筋比を 0.5%とする補強鉄筋の追加を実施した。

キーワード 高炉セメント B 種、膨張材、短繊維、空気量、締固め時間

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋六丁目 17 番 21 号 西松建設（株）技術研究所 TEL03-3502-0249

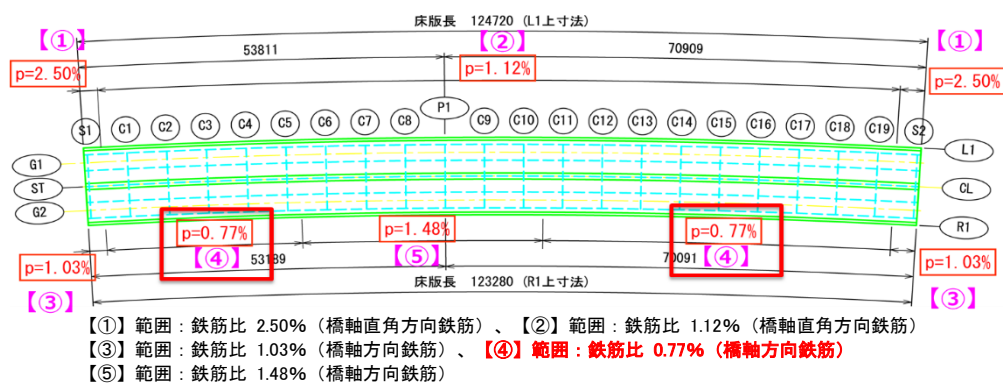


図-3 床版コンクリートの鉄筋比分布（原設計）

3. 模擬床版を用いた試験施工

実機試験練りまでに得られた知見を基に、コンクリートのフレッシュ性状および硬化後の性状が、表-1 の性能を満足する打設計画を作成するために、実際の床版を模擬した試験施工を実施した。使用した模擬床版の試験体（幅 5.0m×長さ 10.5m×厚さ 0.25m）は、実施工の新柳湊橋の一部を模擬した形状であり、実構造物と同様に橋軸・横断方向に 3.0%の勾配を設けた（図-4）。

(1) コンクリート性状

到着時（ベース）、荷卸し時（短繊維添加後）、圧送後（吐出箇所）の各段階において、実施したスランプと空気量の試験結果を表-3 に示す。空気量は、凍害区分「種別 S」の規格値である $6.0 \pm 1.0\%$ を満たした。スランプは、短繊維添加によるスランプロス（表-3 ①→②）が認められるものの、圧送によるスランプロス（表-3 ②→③）は見られなかった。

(2) 打設方法

コンクリートの打設方法は、現場施工で想定される 100m の水平配管をセットしたポンプ圧送とした。コンクリートの打込み手順は、折り返し方式に比べて打重ね部のコールドジョイントの発生を抑制できる片押し方式とした（図-4）。コンクリート仕上げ面の平坦性は床版の疲労耐力に影響することが知られている。新柳湊橋は縦横断方向に 3.0%の勾配がついているため、仕上げバイブレイタ時にコンクリートが流れることを考慮して、勾配頂部に 1~2cm 程度余盛りして打設し、仕上げバイブレイタ後にすき取ることで高さ調節と平坦仕上げを行った。なお、仕上げバイブレイタの挿入間隔は位置明示ロープを用いて 50cm とした。また、仕上げおよび養生開始の

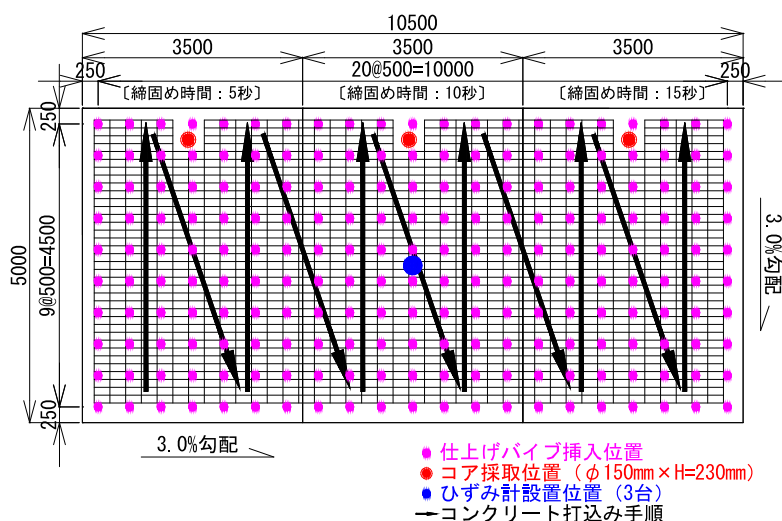


図-4 模擬床版試験体および打込み手順計画図

表-3 スランプ、空気量試験結果

回数	試験項目	①現着時 (ベース)	②荷卸し時 (短繊維添加後)	③圧送後 (吐出箇所)
1	スランプ (cm)	17.5	15.0	17.5
	空気量 (%)	6.6	6.9	6.3
2	スランプ (cm)	17.5	14.5	14.0
	空気量 (%)	5.5	7.0	6.0
3	スランプ (cm)	17.0	15.0	15.0
	空気量 (%)	5.6	6.5	6.2

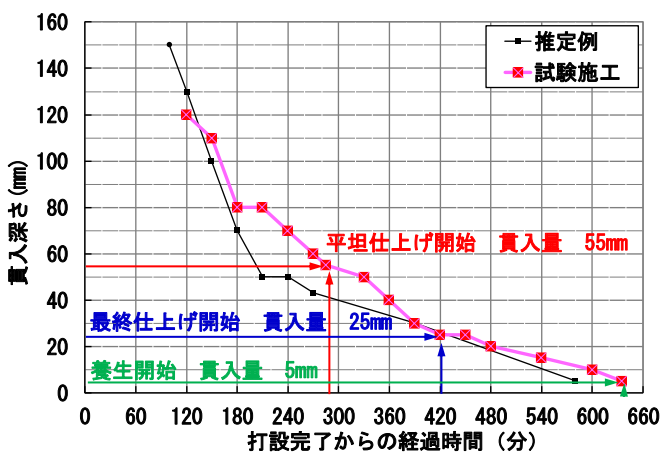


図-5 N式貫入試験結果と仕上げ／養生状況

時期を判断する定量的な手法として N 式貫入試験を実施した。これは、コンクリート試料に一定高さから突き棒と落下させ、その貫入量により仕上げ作業および養生開始時間を判断するものであり、左官の経験的な判断に加え補助的に評価するものである。N 式貫入試験結果と左官工のヒアリング結果から総合的に決定した、平坦仕上げ・最終仕上げ・養生マット敷設の実施時期の関係を図-5 に示す。この結果から、当現場では平坦仕上げ・最終仕上げ・養生開始時期を下記のように設定した。

- a) 平坦仕上げの目安貫入量：40～55mm
- b) 最終仕上げの目安貫入量：20～25mm
- c) 養生シート敷設の目安貫入量：5～10mm

(3) 養生方法

養生は RC 床版コンクリート表面の緻密化を図るために、コンクリート表面への散水後に給水養生用シートを敷設し、ブルーシートで覆って養生した(図-6)。また、コンクリート表面が常に湿潤状態になるよう給水管から給水養生用シートへ連続給水した。

(4) 締固め時間と空気量

現場施工においては、締固め作業により空気量が減少し、耐凍害性が低減することが懸念された。そこで、試験施工では締固め時間を 5 秒、10 秒、15 秒の 3 ケースで行い、気泡径分布・気泡間隔係数および空気量を確認することで最適な締固め時間を検討した。試験は、養生 2 週間後に模擬床版から採取したコア供試体により実施した(写真-3)。試験結果を図-7 に示す。これより、締固め時間が長くなるに従い、直径 150 μm 以下の細かい気泡が減少し、比較的粗大な気泡が確認されたことから、気泡の質が低下すると考えられる。空気量および気泡間隔係数は、締固め時間によらず硬化コンクリート空気量目標値 3.5% 以上(気泡径 500 μm 以下)、および気泡間隔係数の目標値 250 μm 以下を満足した。以上の結果から、現場施工での締固め時間は作業性を考慮して 8 秒(挿入 1 秒、締固め 5 秒、引抜き 2 秒)とした。

5. 現場施工

現場施工でのコンクリートの打設順序および数量は、ステップ解析結果から打継ぎによる発生応力が少なくなる 3 分割(打設順序：3BL→1BL→2BL)とした(図-8)。

現場施工における品質管理試験項目と

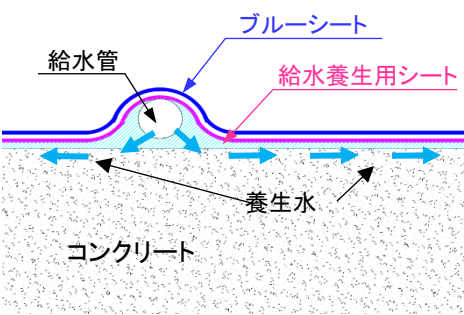


図-6 給水養生



写真-3 気泡間隔係数測定用コア供試体

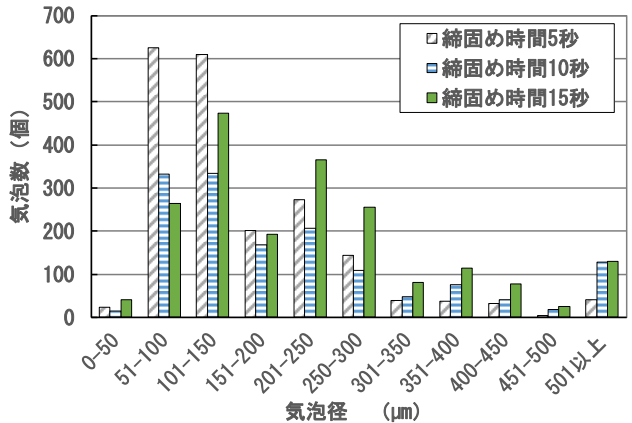


図-7 気泡径分布(試験施工)

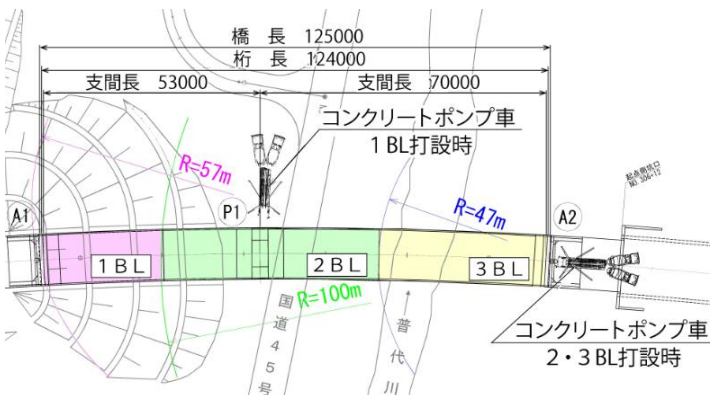


図-8 ブロック打設割付、ポンプ車配置図

表-4 コンクリート品質管理試験と頻度

試験項目	現場到着時	荷卸時(繊維添加後)	筒先・締固め後
スランプ	開始から連続5台、その後50m ³ 毎(スランプ自主規格値許容差±1.5cm)	1台目、その後50m ³ 毎	50m ³ 毎
空気量			
コンクリート温度			
単位水量	1台目および100m ³	—	—
塩化物含有量	1台目	—	—
圧縮強度	1台目(σ7、σ28)	1台目(σ7、σ28)	—

※コンクリート品質管理試験は「現場到着時」が対象。「繊維添加後」「筒先・締固め後」は参考。

頻度を表-4、試験結果を図-9、10に示す。
これより、いずれのブロックにおいても所定の品質を確保した打設が実施できた。

締固め方法は、試験施工の結果から仕上げ時の締固め時間を8秒、バイブレータの挿入間隔を50cmとした。また、打込み時の高さおよび仕上げ時期の管理は、試験施工と同様とした。

養生は全ての施工ブロックに給水養生用シートを採用し、打設後2週間連続給水を実施した。また、コンクリートの圧縮強度発現と当該地域の日平均気温を考慮して、3BLは打設後1ヶ月、保温養生A（給水養生用シート+エアー Cushion）を実施した。1,2BLは給水養生用シートに加え、養生温度を5℃以上とする給熱養生を打設後12日間（養生囲い+ジェットファーンレス）、その後1ヶ月まで養生温度を0℃以上とする保温養生B（断熱材の敷設）を実施した（図-11）。なお、打設終了後6ヶ月を経過した時点では、床版コンクリートに有害なひび割れは確認されていない。

また、現場施工において耐凍害性確保に必要な空気が確保できているかを確認するため、到着時（ベース）、荷卸し時（短繊維添加後）、圧送後（吐出箇所）、締固め後の各施工段階でフレッシュ性状の確認（図-12）と、現場作成した試験体を現場養生後（材齢28日）に気泡径分布・気泡間隔係数および空気量を確認した（図-13）。その結果、空気量の変動が認められるものの、締固め後においても、気泡径全域で荷卸し時の気泡数が概ね保持されていることが分かった。以上の結果から、現場施工においても耐凍害性確保に必要な空気が確保できていることが確認できた。

5. まとめ

東北地方整備局三陸国道事務所において、初めての高耐久RC床版となる新柳淵橋の施工に対して、各種試験と模擬床版試験体による施工方法の詳細な検討・確認を行い、本施工を実施した。その結果、2019年7月現在、有害なひび割れは発生していない。

以下に得られた知見を示す。

- a) 鋼2径間連続非合成箱桁橋である当該橋梁の打設順序をステップ解析により、適切に決定すること

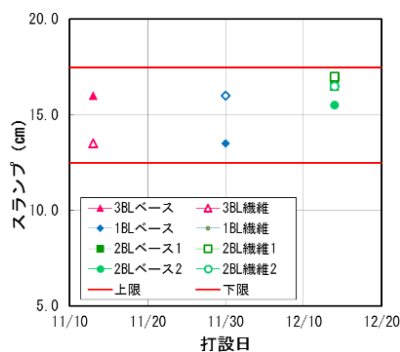


図-9 スランプ試験結果

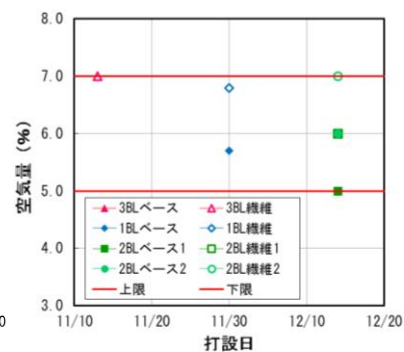


図-10 空気量試験結果

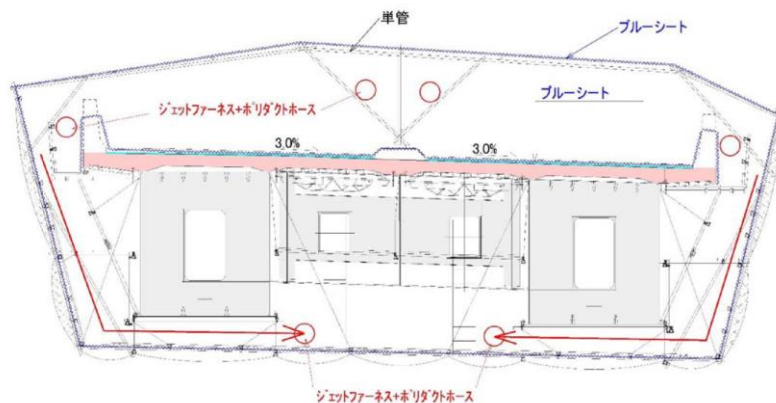


図-11 1, 2BL の寒中養生

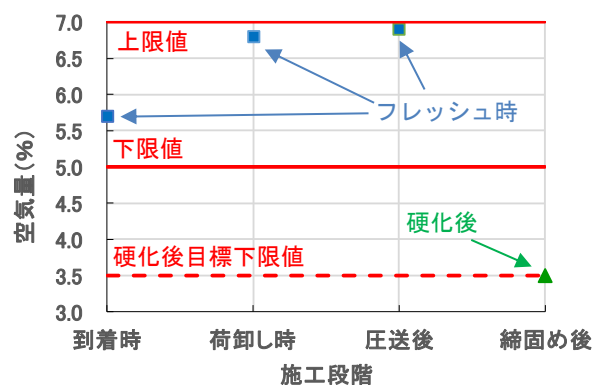


図-12 空気量試験結果

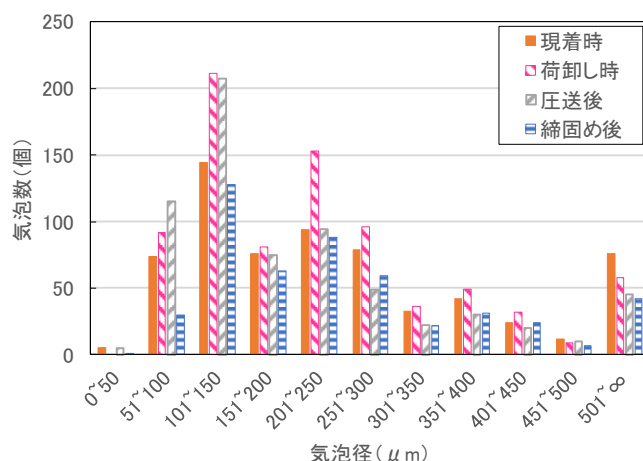


図-13 気泡径分布（現場施工）

ができた。

- b)壁高欄を含む上部工全ての部位に、凍害区分「種別 S」(特に厳しい凍害環境) 相当のコンクリート配合 (27-15-25BB : 空気量 $6\pm 1.0\%$, W/B=45%以下, 膨張材, 短繊維) を使用することで, 高耐久な RC 床版を施工することができた。
- c)試験施工および本施工の結果, 仕上げの締固め
時間 8 秒は妥当であることが確認できた。
- d)本工事における平坦仕上げ・最終仕上げ・養生開始時期は, 施工時期の環境条件に影響を受けるが, 下記のような目安貫入量となった。
- a.平坦仕上げの N 式貫入試験目安貫入量 : 40~55mm
 - b.最終仕上げの N 式貫入試験目安貫入量 : 20~25mm
 - c.養生シート敷設の N 式貫入試験目安貫入量 : 5~10mm
- e)養生に給水養生用シートを使用した上で, コンクリートの圧縮強度発現と当該地域の日平均気温を考慮して, 給熱養生または保温養生をすることで以下の結果が得られた。
- ・打設終了後 6 ヶ月経過時点では, 床版コンクリートに有害なひび割れは確認されていない。
 - ・硬化後のコンクリートにおいても, 所定の残存空気量 3.5%を確保する施工ができた。
- f)壁高欄コンクリートに発生したひび割れが床版に伸展することを防止するため, 伸縮目地部の地覆コンクリートに補強鉄筋を追加設置した結果, 打設完了後 2 ヶ月経過時点では, 床版コンクリートへの有害なひび割れの進展は確認されていない。

謝辞

本取組みを実施するにあたり, 日本大学工学研究所 佐藤和徳教授, 岩手大学工学部社会環境工学科 小山田哲也准教授, 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 細田暁教授, 国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所 川村英弘工事品質管理官, その他社内外の関係各位より貴重なご助言を頂いた。ここにご厚情を深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局, 東北地方における凍害対策に関する参考資料(案), 平成 29 年 3 月。
- 2) SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した統括的研究」, 凍結抑制剤散布下における RC 床版の耐久性確保の手引き(案), 平成 28 年 10 月。
- 3) 建築学会, 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針 (案), 平成 18 年 2 月。
- 4) 山口県土木建築部, コンクリート構造物品質確保ガイド 2018, 平成 30 年 7 月。