

新柳瀧橋での高耐久性コンクリート床版の施工・品質管理 Construction and quality control of the high durability RC floor slab of Shin-yanagibuchi bridge

我彦 聡志*

Satoshi Wabiko

阿波 稔***

Minoru Aba

串田 雅宏**

Masahiro Kushita

要 約

国土交通省東北地方整備局は復興道路や復興支援道路の直轄工事において、RC床版での塩害、凍害、ASR、疲労の複合劣化対策として、多重防護による耐久性の確保を目指している。新柳瀧橋（鋼2径間連続非合成箱桁）の上部工工事においても、SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術による手引き¹⁾ および東北地整の凍害対策資料²⁾に基づき、床版コンクリートの仕様を変更した。具体的には、高炉セメントB種、膨張材および短繊維を使用し、室内・実機試験練りやモックアップ施工試験で配合の良否や物性、施工性を確認した。またここで得られた知見や事前の施工ステップ解析の結果から、実施工における施工管理上の留意点や品質管理手法等を検討した。さらに施工後、床版コンクリートの吸水試験および透気試験を現地で行い、対策効果を確認した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. コンクリートの配合設計
- § 3. 模擬床版を用いた試験施工
- § 4. 現場施工
- § 5. 品質確認試験
- § 6. まとめ

§ 1. はじめに

本工事は、岩手県下閉伊郡普代村に位置する新柳瀧橋（鋼2径間連続非合成箱桁橋）の上部工工事である。図-1に当該工事での床版コンクリートに関わる検討フロー、図-2に橋梁の諸元および概要図を示す。原設計でのコンクリート配合は24-8-25N（空気量4.5%）で、国道45号の跨道となる床版部にのみ剥落防止用の短繊維を混入する仕様となっていた。東北地方整備局の「東北地方における凍害対策に関する参考資料（案）」²⁾では、当該地域の凍害区分は「種別A」（厳しい凍害環境）にあたり、凍結抑制剤の散布による床版コンクリートの複合劣化（凍害、塩害、ASR、疲労）が懸念された。またA1側の床版は地上からの圧送高さが20m以上のポンプ施工と



図-1 検討フロー

なるため、圧送に伴う空気量の低下も危惧された。そのため、三陸国道事務所で初の取組みとなる高耐久性RC床版として、長期的な劣化抑制と耐久性確保を目的とした多重防護の考え方を適用し、壁高欄を含む上部工全て

* 技術研究所土木技術グループ

** 北日本（支）萩牛トンネル（出）

*** 八戸工業大学

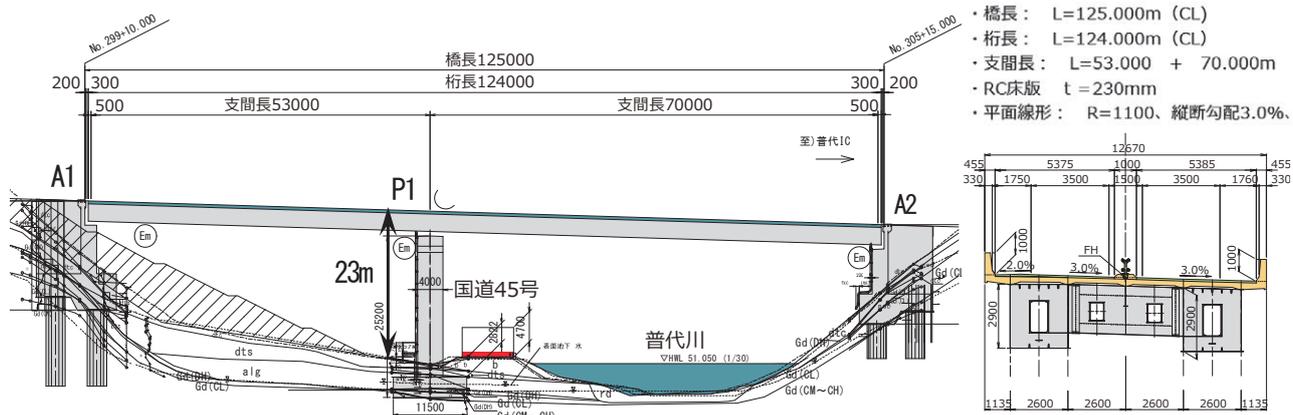


図-2 新柳瀬橋の橋梁諸元及び概要図

- ・橋長: L=125.000m (CL)
- ・桁長: L=124.000m (CL)
- ・支間長: L=53.000 + 70.000m
- ・RC床版 t = 230mm
- ・平面線形: R=1100、縦断勾配3.0%、

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 | | 備考 |
|-------|-----------|------------|---------|---------|---------------------|
| | | | 1. 試験練り | 2. 試験施工 | |
| フレッシュ | スランプ | 15±2.5cm | ○ | ○ | ベース、繊維投入後: 1.2筒先: 2 |
| | 空気量 | 6.0±1.0% | ○ | ○ | |
| | 塩化物含有量 | 0.3kg/m³以下 | ○ | ○ | |
| | N式貫入試験 | — | ○ | ○ | |
| 硬化後 | 圧縮 (標準養生) | 27N/mm²以上 | ○ | ○ | σ28 |
| | ASR (SSW) | — | ○ | — | |
| | スケーリング試験 | — | ○ | ○ | |
| | 空気量 | 3.5%以上 | — | ○ | コア採取、締め時間別 |
| | 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-3 スランプ、空気量測定結果 (繊維の有無)

| 配合内容※ | スランプ (cm) | 空気量 (%) | コンクリート温度 (°C) |
|----------|-----------|---------|---------------|
| BBEX20 | 17.5 | 6.7 | 21 |
| BBEX20繊維 | 17.5 | 6.3 | 21 |

表-4 スランプ、空気量測定結果 (膨張材量)

| 配合内容※ | スランプ (cm) | 空気量 (%) | コンクリート温度 (°C) |
|------------|-----------|---------|---------------|
| BB繊維 | 16.0 | 6.1 | 25 |
| BBEX20繊維 | 15.5 | 6.3 | 25 |
| BBEX22.5繊維 | 16.0 | 6.9 | 25 |
| BBEX25繊維 | 15.5 | 6.7 | 25 |

表-2 室内試験練りでの配合

| 配合内容※ | 水結合材比 W/B (%) | 細骨材率 s/a (%) | 単位量 (kg/m³) | | | | | | | |
|------------|---------------|--------------|-------------|-------|------|-----|------|-----------|------|-------|
| | | | W | B | | S | G | 15S (B×%) | 短繊維 | |
| | | | | C | EX | | | | | |
| BB繊維 | 43.0 | 40.0 | 170 | 395.0 | 0.0 | 671 | 1013 | 0.8% | 3.16 | 0.455 |
| BBEX20 | 43.0 | 40.0 | 170 | 375.0 | 20.0 | 671 | 1013 | 0.8% | 3.16 | 0 |
| BBEX20繊維 | 43.0 | 40.0 | 170 | 375.0 | 20.0 | 671 | 1013 | 0.8% | 3.16 | 0.455 |
| BBEX22.5繊維 | 43.0 | 40.0 | 170 | 372.5 | 22.5 | 671 | 1013 | 0.8% | 3.16 | 0.455 |
| BBEX25繊維 | 43.0 | 40.0 | 170 | 370.0 | 25.0 | 671 | 1013 | 0.8% | 3.16 | 0.455 |

※配合内容
 BB: 高炉セメントB種
 EX: 膨張材
 (EXの後ろの数値は添加量(kg/m³)を示す)
 短繊維: 短繊維入り

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(27-15-25 BB: 空気量6%, W/B=45%以下, 膨張材, 短繊維)を使用した。

§2. コンクリートの配合設計

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に示すようにフレッシュ性状と硬化後性状を検討・確認した。

室内試験練りにおいて、表-2に示した配合から得られたスランプと空気量の測定結果を表-3, 4に示す。

表-3は短繊維の添加がフレッシュ性状に与える影響を検証したものである。試験の結果、選定した配合において、短繊維の添加によるスランプの低下や空気の巻き込み(エントラップドエア)は確認されなかった。

表-4は膨張材の添加量を標準量(20 kg/m³)よりも増加させた時のフレッシュ性状への影響を検証したものである。試験の結果、選定した配合において、膨張材の添加量の違いがフレッシュ性状に与える影響はみられな

表-5 圧縮強度試験結果

| 配合内容※ | 圧縮強度 (N/mm²) | |
|-------------|--------------|------|
| | σ7 | σ28 |
| BB短繊維 | 21.8 | 34.6 |
| BBEX20短繊維 | 25.9 | 34.5 |
| BBEX22.5短繊維 | 23.1 | 33.3 |
| BBEX25短繊維 | 23.4 | 32.8 |

表-6 コンクリート配合

| W/B (%) | S/a (%) | SL (cm) | Air (%) | 単位量 (kg/m³) | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|-------------|-----|----|-----|------|-------|-------|
| | | | | 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 |

かった。

圧縮強度試験は、20°C水中の標準養生で材齢7, 28日に実施した。試験結果を表-5に示す。試験の結果、圧縮強度の管理材齢28日で比較すると、膨張材の添加量が増加すると圧縮強度は若干低下する傾向がみられた。

以上の結果から、示方配合を表-6のように決定した。実機試験練りにおいて、コンクリートのフレッシュ性

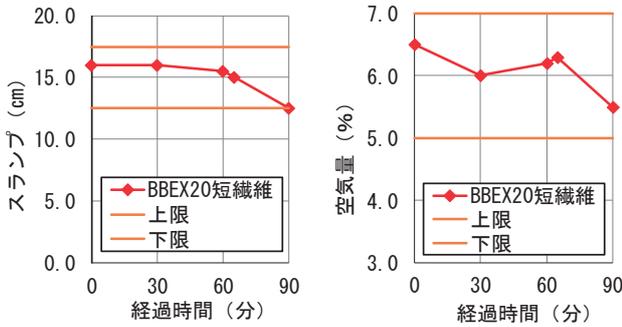


図-3 スランプおよび空気量の経時変化

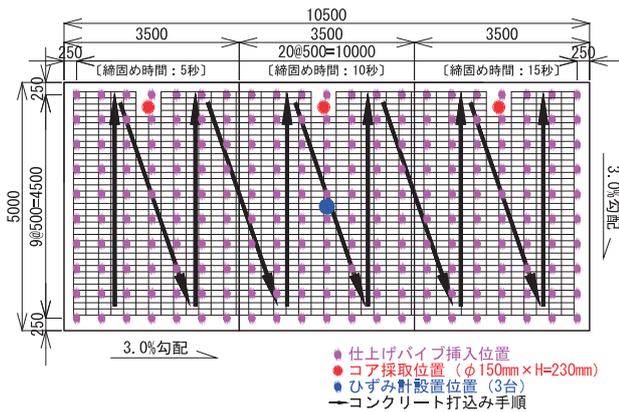


図-4 模擬床版試験体および打込み手順計画図

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-3に示すように選定した示方配合は練り混ぜ後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。また表-1に示すとおり、コンクリートの現場到着時における空気量の管理基準値は $6.0 \pm 1.0\%$ で、通常のコンクリートよりも高く設定している。これは、耐凍害性の確保を目的に、締固め後の空気量を保持し、硬化コンクリート中に適切な空気量を残すためである。そこで、試験施工での締固め時間は、既往の施工事例を参考に、締固め時間8秒（挿入1秒、実締固め5秒、引抜き2秒）、締固め後の空気量の下限値目標を既往の資料²⁾より4.5%（未圧送）として、所定の空気量が確保されているかを確認した。

試験の結果、締固め後の空気量は5.6%であり、示方配合においては締固め時間8秒でも耐凍害性確保に必要な空気量が確保できることが分かった。

§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から、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の仕様を満足する打設計画を作成するため、実際の床版を模擬した試験施工を実施した。試験体（幅5.0m×長さ10.5m×厚さ0.25m、図-4）は、実施工の新柳瀨橋の一部分を模擬しており、橋軸・横断方向に3.0%の勾配を設けた。

表-7 スランプ、空気量試験結果

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

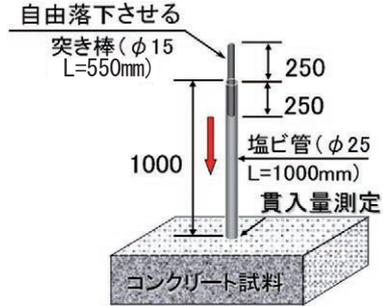


図-5 N式貫入試験装置 概略図

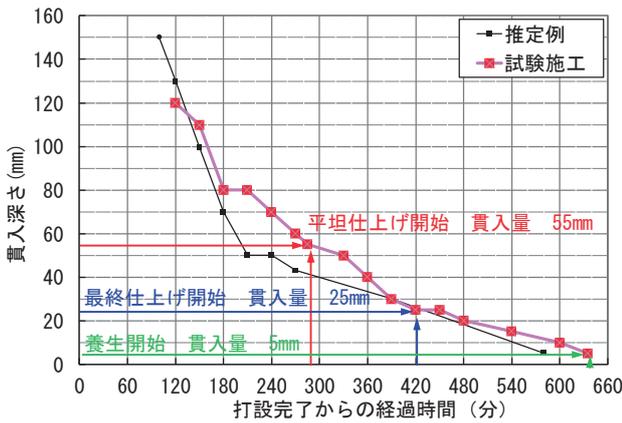
3-1 コンクリート性状

到着時（ベース）、荷卸し時（短繊維添加後）、圧送後（吐出箇所）におけるスランプと空気量の試験結果を表-7に示す。空気量は、凍害区分「種別S」の規格値である $6.0 \pm 1.0\%$ を満足した。スランプは短繊維添加による低下が認められたものの、圧送によるスランプロスはなかった。

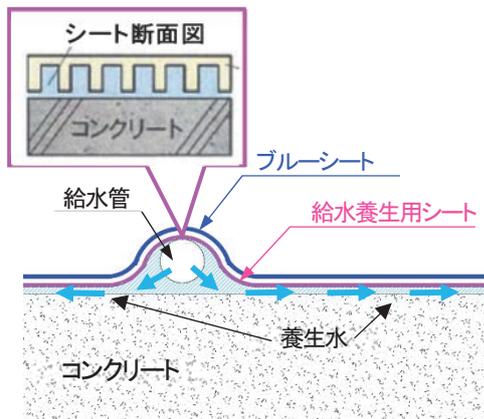
3-2 打込み方法

コンクリートの打込み方法は、現場施工で想定される100mの水平配管をセットしてポンプ圧送した。打込みの手順は、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）。一般的に、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。新柳瀨橋は縦横断方向に3.0%の勾配がついているため、仕上げパイプレタ時にコンクリートが流れることを考慮して、打込み高さは勾配頂部に1~2cm程度余盛りし、仕上げパイプレタ後にすき取ることで高さ調節を図った。なお、パイプレタの挿入間隔は50cmとした（図-4）。また、仕上げおよび養生開始の時期を定量的に判断するためN式貫入試験（図-5）を採用した。本試験は、コンクリート試料に一定高さから突き棒を落下させ、その貫入量で仕上げ作業および養生開始時間を簡易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。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-6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。

- ①平坦仕上げの目安貫入量：40~55 mm
- ②最終仕上げの目安貫入量：20~25 mm
- ③養生シート敷設の目安貫入量：5~10 mm



図一六 N式貫入試験結果と仕上げ/養生状況



図一七 給水養生

3-3 養生方法

N式貫入試験の結果、散水してもモルタル分の流出がない状態を目安として養生を開始した。養生はRC床版コンクリートの表面の緻密化を目的として、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(図一七)。給水養生用シート敷設状況を写真一に示す。給水養生用シートは、毛細管現象を利用して動力を使うことなく水を給水箇所から搬送・拡散させることができ、部分的かつ少量の給水でシートを敷設した範囲全体を湿潤状態に保つことができる。

試験施工において、長期間にわたる封緘養生の際の給水作業の省力化と均一な湿潤状態確保が図れることを確認できたため、本施工での採用を決定した。

3-4 締固め時間と空気量

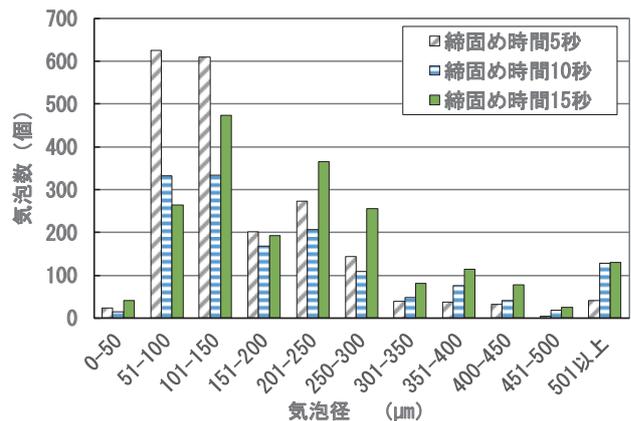
現場施工においては、締固め作業により空気量が減少し、耐凍害性が低減することが懸念された。そこで、試験施工では締固め時間を5秒、10秒、15秒の3ケースで行い、気泡径分布・気泡間隔係数および空気量を確認することで最適な締固め時間を検討した。試験は、打設完了後2週間養生の後に模擬床版より採取したコアを用いて実施した(写真二)。試験結果を図八に示す。これより、締固め時間が長くなると直径150μm以下の細かい気泡が減少し、比較的粗大な気泡が確認され気泡の質が



写真一 給水養生用シート敷設状況



写真二 気泡間隔係数測定用コア供試体



図一八 気泡径分布 (試験施工)

低下していると考えられる。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500μm以下)、および気泡間隔係数の目標値250μm以下を満足した。以上の結果から、締固め時間は短い方が気泡径の小さい良質な気泡が多く残ること、締固め時間が長くなるにつれて比較的粗大な気泡が確認されるようになること、写真二より、全ての締固め時間で締固め不足は認められないことから総合的に判断して、決定した示方配合において耐凍害性確保に有効な微細気泡を残すための、仕上げバイブレータの締固め時間管理値は、既往の施工事例の実施値と同様の8秒(挿入1秒、締固め5秒、引抜き2秒)とした。

§ 4. 現場施工

コンクリート打設順序および数量は、施工のステップ解析結果から、打継ぎによる発生応力が少ない3分割(打



図-9 打設ブロック割付図

表-8 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) | 1台目、その後50m ³ 毎 | 50m ³ 毎 |
| 空気量 | 規格値許容差±1.5cm) | | |
| 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。

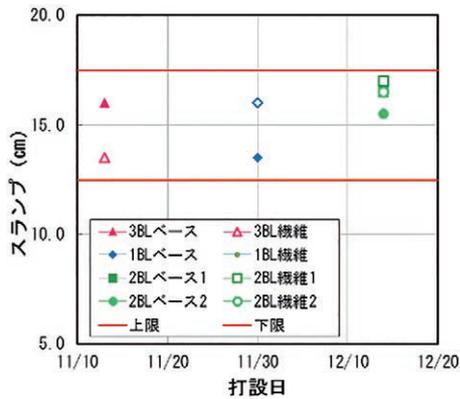


図-10 スランプ試験結果

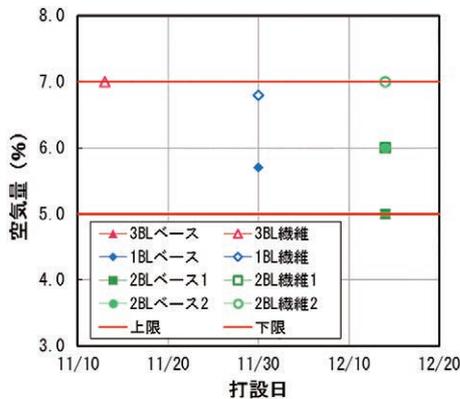


図-11 空気量試験結果

設順序：3BL→1BL→2BL)とした(図-9)。

現場施工における品質管理試験項目と頻度を表-8、結果を図-10、11に示す。これより、いずれのBL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、試験施工同様とした。

コンクリートの養生は圧縮強度の発現や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+エアークッション)、1BLと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

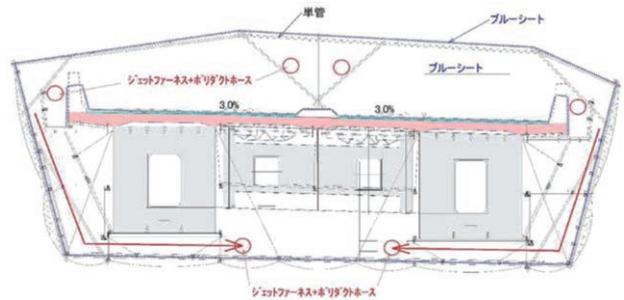


図-12 1, 2 BLの寒中養生

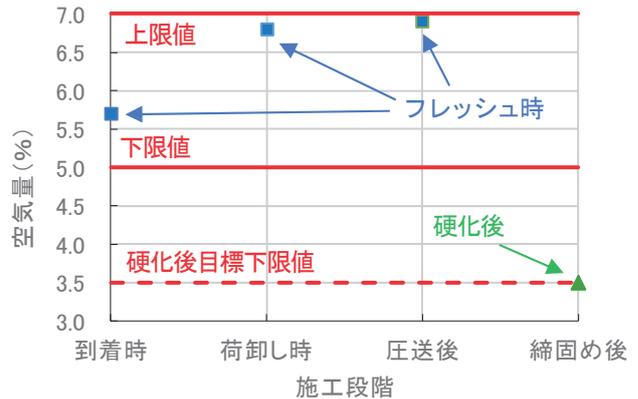


図-13 空気量試験結果

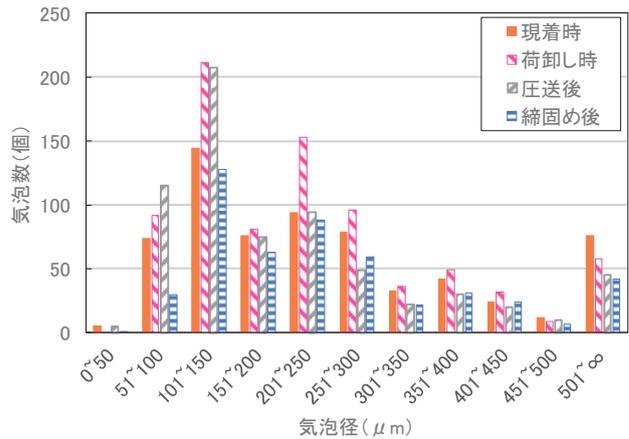


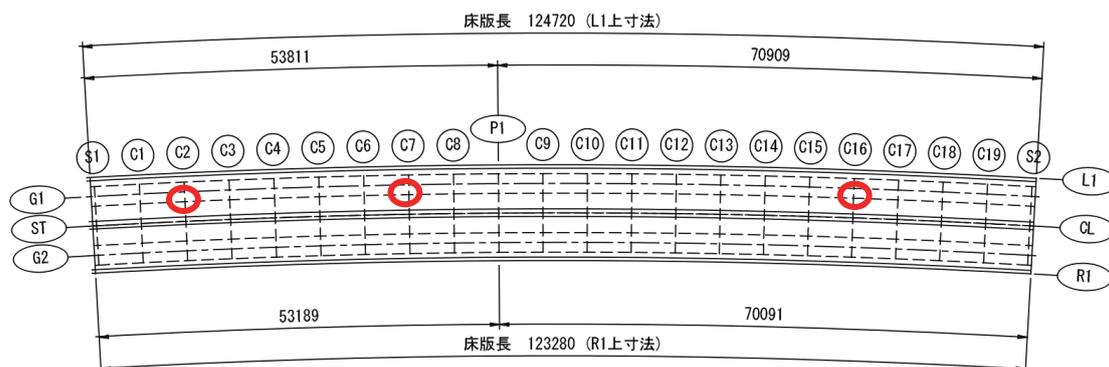
図-14 気泡径分布(現場施工)

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-12)。なお、養生終了後8箇月経過時点(竣工時)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。

§ 5. 品質確認試験

5-1 フレッシュ性状と空気量

現場施工において耐凍害性確保に必要な空気量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-13)と、試験体を作成して現場養生後(硬化後材齢28日)に泡径分布・気泡間隔係数および空気量を確認した(図-14)。その結果、空気量の変動はあるものの、締固め後においても



図一15 表層品質試験測定位置図

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量が確保できていることが確認できた。

5-2 吸水試験と透気試験

コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、コンクリートの表層が緻密であることが重要である。そこで、当該コンクリート床版の表層品質の初期値を確認するために、表面吸水試験 (SWAT) と表層透気試験 (Torrent 法) を実施した。

各試験の測定箇所を図一15 に、測定結果を表一9 に示す。得られた結果から、硬化後の床版コンクリートの表層品質についても、良好な品質が確保されていることを確認できた。

§6. 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 床版となる新柳瀨橋の施工に対して、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 9 月現在、(竣工時) 有害なひび割れは発生していない。

以下に本工事で得られた知見を示す。

- (1) 鋼 2 径間連続非合成箱桁橋である当該橋梁の床版コンクリート打設順序を施工ステップ解析により、適切に決定することができた。
- (2) 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 (27-15-25 BB：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。
- (3) 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。
- (4) 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, 以下の N 式貫入試験の値を目安とした。
 - ①平坦仕上げ時期の目安貫入量：40～55 mm

表一9 表層品質試験結果 (SWAT, トレント)

| 測定箇所 | 測定方法 | 測定値 | 評価 |
|---------|------|-------|----|
| C2付近L側 | SWAT | 0.036 | 良 |
| | トレント | 0.130 | 一般 |
| C7付近L側 | SWAT | 0.028 | 良 |
| | トレント | 0.046 | 良 |
| C16付近L側 | SWAT | 0.053 | 良 |
| | トレント | 0.042 | 良 |

②最終仕上げ時期の目安貫入量：20～25 mm

③養生シート敷設時期の目安貫入量：5～10 mm

- (5) 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実施することで、以下の結果が得られた。

- ①養生終了後 8 ヶ月経過時点 (竣工時) で、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。
- ②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。

- (6) 吸水試験・透気試験の結果から、新柳瀨橋の RC 床版コンクリートは耐久性が確保されていることを確認できた。

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物品質管理官、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) SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術：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), 2016.10
- 2) 国土交通省東北地方整備局：東北地方の凍害対策に関する参考資料 (案), 2017.3