

宇部 1 号橋の施工

— 高炉セメントを用いた高耐久 RC 床版の試験施工 —

葛西 弘典*1・塩入 融*2・笹井 泰伸*3・阿波 稔*4

近年、東北地方の積雪・寒冷地域では RC 床版上面のコンクリートが土砂状に劣化する「土砂化」という現象で補修を行う事例が増えている。この現象は寒冷地域の凍結抑制剤の散布路線で数多く発生していることから、凍結抑制剤の散布が塩害や凍害、ASR 等の劣化要因となり、そこに輪荷重や塩化物を含む水が作用することで土砂化に至っていると推察されている。そのような実情を踏まえ、2019 年 6 月に「RC 床版の耐久性確保の手引き（案）2019 年試行版」が東北地方整備局道路部から発刊され、RC 床版の高耐久化に向けた指針が示された。本稿はこの手引きを参考に、PC コンボ橋の RC 床版の高耐久化に向けて実施したコンクリートの配合変更や模擬床版による試験施工に関する報告を行うものである。

キーワード：高耐久 RC 床版、凍結抑制剤、床版の土砂化、高炉セメント、N 式貫入試験

1. はじめに

宇部 1 号橋外上部工工事（以下、本工事）は、三陸沿岸道路「普代～久慈間」改築工事の一環として施工され、単純 PC コンボ桁橋の宇部 1 号橋、プレテンション方式 PC 単純中空床版橋の久慈宇部 IC オンランプ橋、PC 単純場所打ち中空床版橋の久慈宇部 IC オフランプ橋の建設工事で構成される。

本工事の架橋地域は、寒冷地の凍結抑制剤散布路線となっており、凍結抑制剤や塩化物を含む水の影響で RC 床版の上面が土砂化する現象が数件報告されている。宇部 1 号橋の床版は、主桁で支持した PC 板を床版下面の埋設型枠としており、鋼橋の RC 床版と比べ疲労の影響が少ない構造である。一方で、土砂化は床版上面から進行するため、土砂化に対する耐久性を確保するには、鋼橋の RC 床版と同様な対策が必要となる。そこで、東北地方整備局の道路部から発刊された「東北地方における RC 床版の耐久性確保の手引き（案）2019 年試行版（2019 年 6 月）」¹⁾（以下、手引き）を適用し、「高耐久床版」を採用することとした。

手引きでは、耐久性向上を目的としてコンクリートの配合を変更した場合、施工実績が少なく、品質の安定性や作業性が十分に確認できていないケースが見受けられることや、初期欠陥を無くすことが耐久性を確保するうえで重要という観点から、試験施工を行うことを推奨している。

本稿は、手引きを基に実施した「高耐久床版」の試験施工について報告するものである。

2. 工事概要

全体工事の概要と試験施工の対象となる宇部 1 号橋（以下、本橋）の概要を 1)～2) および図 - 1 に示す。

1) 全体工事の概要

工事名：宇部 1 号橋外上部工工事

発注者：国土交通省 東北地方整備局 三陸国道事務所

工期：平成 30 年 10 月 5 日～令和 2 年 1 月 31 日

場所：岩手県久慈市宇部町第 3～4 地割

凍結抑制剤散布量：1 年あたり 10 t/km 未満

寒冷時期の平均最低気温：マイナス 3℃

2) 宇部 1 号橋の概要

構造形式：PC 単純コンボ桁橋

架設工法：架設桁架設工法

橋長：42.3 m, 有効幅員：13.5 m

横断勾配：2.514%, 縦断勾配：1.333%, 斜角：左 75 度

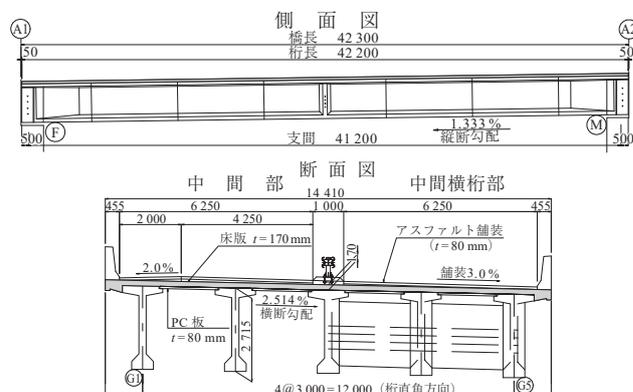


図 - 1 宇部 1 号橋の概要

3. 試験施工の概要

3.1 RC 床版の耐久性確保の手引き（案）の概要

(1) 東北地方の RC 床版の現状

1990 年頃にスパイクタイヤが禁止されて以降、東北地方の寒冷地域では凍結抑制剤が多量に散布されるようにな

*1 Hironori KASAI：(株)日本ピーエス 東北支店 技術グループ

*2 Toru SHIOIRI：(株)日本ピーエス 東京支店 技術グループ

*3 Yasunobu SASAI：国土交通省 東北地方整備局 三陸国道事務所 建設監督官

*4 Minoru ABA：八戸工業大学 工学部 土木建築工学科 教授

り、写真 - 1 に示すような、RC 床版上面のコンクリート表面が車両の走行軌跡に沿って土砂状になる「土砂化」という現象が散見されている。従来、RC 床版は活荷重による疲労で破壊すると考えられてきた。しかし、交通量が少ない路線において疲労破壊よりも先に土砂化による劣化が生じる事態となっており、本工事区間の近傍の床版においても土砂化の事例が発生している。

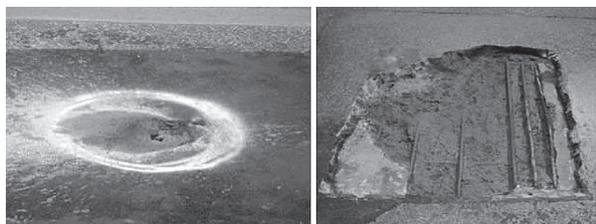


写真 - 1 RC 床版の土砂化の事例

(2) 想定される土砂化の要因

土砂化は、寒冷地域の凍結抑制剤が散布される路線で多く発生していることから、凍結抑制剤に含まれる塩化物イオンによる塩害や凍害が主な要因とされている。また、凍結抑制剤に含まれる Na や K などのアルカリ成分の追加供給により、無害と判定された骨材を使用したコンクリートにもアルカリシリカ反応（以下、ASR）が生じており、土砂化の要因のひとつと考えられている。土砂化は、これらの3つの要因に塩化物を含む水の作用や活荷重等の影響を加えた複合劣化によるものと推定されている。

(3) 対策方針および仕様

手引きでは、RC 床版の複合劣化に対して、図 - 2 に示すように、複数の対策による多重防護を施し、劣化に対するリスクを軽減させる方針としている。

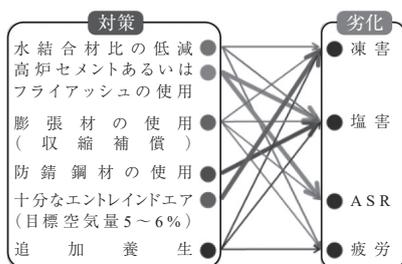


図 - 2 高耐久化を目指した多重防護の考え方

手引きでは、本工事の対策種別地域における高耐久床版の対策の仕様を表 - 1 のようにしている。これらの対策の効果を確実に発揮するためには、施工に起因する不具合

表 - 1 対策仕様一覧

主たる劣化対応区分	対策内容
凍害対策	目標空気量 5%（推奨値：4.5～6.0%）、 （締固め後の推奨値：4.0%程度）
塩害対策	水結合材比 45% 程度 凍結抑制剤の散布量が ³ 20 t/km 以上は防錆鉄筋を使用
ASR・塩害対策	高炉セメント B 種または普通ポルトランドセメントにフライアッシュを 20% 混入
疲労・凍害・塩害	湿潤養生期間を 1 ヶ月に延長
全般（ひび割れ防止）	膨張材を添加

を防止することが重要となる。そこで本工事では、試験施工により施工時の課題を抽出し、得られた事項を施工計画に反映することで、所要の施工品質を確保することとした。

3.2 試験施工での検討項目

本試験施工では、最初に凍害、塩害および ASR に対する対策として、コンクリートの配合（目標空気量、水結合材比、使用セメント）について検討した。そのうち、室内試験および実機練りミキサによる試験練りを実施し、計画したコンクリートの性状を確認した。

配合の決定後、施工に起因する不具合の防止を目的として、実物を模擬した床版の試験施工を行った。この検討により、施工方法の確認と課題の抽出を行い、施工計画に反映した。さらに、表層品質（透気・透水）試験および気泡間係数試験を実施し、品質向上対策の効果を確認した。

4. 配合の検討

4.1 配合計画

(1) 空気量の設定

配合計画では表 - 1 の仕様を参考として、目標とする空気量を検討した。手引きでは、当該地域の目標空気量を 5.0%、推奨範囲を 4.5～6.0% に設定しており、空気量が下限側に変動すると、推奨範囲を下回る可能性がある。また手引きでは、当該地域より凍害危険度が高い地域の目標空気量を 6.0%、推奨範囲を 5.0～6.9% としており、空気量を高めに設定することは、凍害に対する安全側の対策となる。そこで本工事では、目標空気量を 4.5～6.9% の中心値である 5.5% に設定した。

(2) 使用セメントの検討

床版コンクリートに使用するセメントを、当初配合の普通セメントから、塩化物イオンの浸透および ASR への抵抗性が高い高炉セメント B 種に変更した。さらに、ひび割れ防止対策として膨張材を 20 kg/m³ 添加して、水結合材比が 45% 程度になるように配合設計を行った。空気量を 4.5% から 5.5% へ増加させたことによる強度低下が懸念されたため、要求される設計基準強度 30 N/mm² に対し、1 ランク上の 33 N/mm² の配合をベース配合とした。

配合の計画が完了後、予備の試験練りを実施し、空気量および強度が目標値に達していることを確認しながら、AE 剤の添加量を調整した。当初の配合（30-12-25N）と変更後の配合（30-12-25BB）を表 - 2 に示す。

表 - 2 配合表

配合種別	セメント種類	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				空気量 (%)	
			水	セメント	膨張材	細骨材		粗骨材
30-12-25N	普通セメント	46.9	173	369	—	694	1099	4.5
30-12-25BB	高炉セメント	43	173	382	20	613	1115	5.5

4.2 室内試験による試験練り

生コンプラントの室内試験室で強制攪拌式ミキサを用いて、表 - 2 中の「30-12-25BB」の試験練りを行った。試験練りは室温 24℃ の環境下で実施し、試験項目は一般的な日常管理試験項目であるスランプ、空気量、塩化物イオン量、コンクリート温度、単位水量の測定および圧縮強度

試験とした。空気量とスランプは、練上がりから 120 分までの経時変化を 30 分おきに測定した。なお、これらの経時変化は、コンクリートを強制攪拌式ミキサに戻し 10 秒間攪拌してから測定した。室内試験の結果を表 - 3 に示す。すべての試験項目で規格値を満足した。空気量とスランプの経時変化は、時間の経過とともに減少する傾向が見られたが、現場到着を想定した 30 分経過時では空気量が 5.4%、スランプが 12.0 cm となり、目標値に近い数値であった。また、120 分経過後の空気量は 3.7% であり、手引きで推奨する締固めのちの目標空気量 (4% 程度) を確保できた。

表 - 3 室内試験結果

試験のタイミング	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	塩化物量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)
練混ぜ直後	13.5	6.0	24	0.05	176	材齢 28 日 44.1
練混ぜ直後からの経過時間						
30 分後	12.0	5.4	24	-	-	
60 分後	11.0	4.8	23	-	-	
90 分後	9.5	4.1	23	-	-	
120 分後	8.0	3.7	23	-	-	
規格値	12 ± 2.5	5.5 ± 1.5	≤ 35	≤ 0.3	173 ± 15	≥ 30

円柱供試体を 2 本採取し、気泡間隔係数試験を実施した。試験結果を表 - 4、図 - 3 に示す。硬化コンクリートの空気量は 5.1~6.2%、気泡間隔係数は 214~220 μm となり、優れた耐凍害性を期待できる硬化コンクリートの判定基準²⁾である「空気量が 3.0% 以上、気泡間隔係数 300 μm 以下」を満足した。また、図 - 3 に示すとおり、100 μm 程度の微細な気泡が多数存在し、耐凍害性を有するコンクリートであることを示す結果となった。

表 - 4 気泡間隔係数測定結果

供試体	ペースト量 (%)	トラバース全長 (mm)	気泡数 (個)	空気量 (%)		気泡間隔係数 (μm)
				打込み時	硬化後	
供試体 1	29.9	1 610	532	5.4	6.2	214.0
供試体 2			464		5.1	220.0

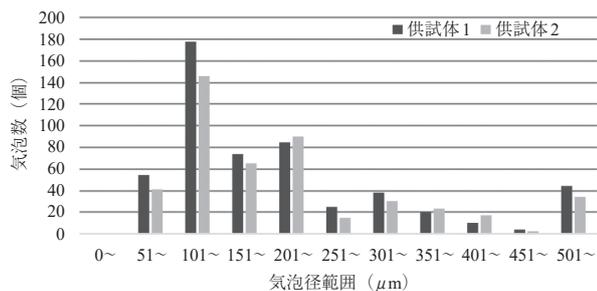


図 - 3 各気泡径範囲における気泡数

4.3 実機ミキサによる試験練り

実際の施工条件下において、室内試験のコンクリートの性状が再現できるかを確認することを目的とし、実機ミキサによる試験練りを行った。試験練りでは、生コンプラントの実機ミキサでコンクリートを練り混ぜ、荷下ろし地点まで運搬後 (運搬距離は約 9 km、運搬時間は約 30 分) に、室内試験と同様に日常管理試験とスランプと空気量の 30 分おきの経時変化を 120 分後まで測定した。

実機ミキサによる試験練りの結果を表 - 5 に示す。す

べての試験項目で規格値を満足した。空気量とスランプは、それぞれ時間の経過とともに減少する傾向が見られたが、120 分経過後の空気量は 4.3% であり、手引きで推奨する締固めのちの目標空気量 (4% 程度) を確保できた。また、打込み完了の想定時間となる 60 分後のスランプは 11.5 cm となり、十分なワーカビリティが確保でき、不具合が発生するリスクは小さいと判断できる結果であった。

表 - 5 実機ミキサによる試験練り結果

試験のタイミング	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	塩化物量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)
練混ぜ直後	13.0	5.0	27	-	-	材齢 28 日 38.5
練混ぜ直後からの経過時間						
30 分後 (現場着)	13.0	5.3	27	0.05	165	
60 分後	11.5	4.8	27	-	-	
90 分後	11.5	4.7	27	-	-	
120 分後	10.0	4.3	26	-	-	
規格値	12 ± 2.5	5.5 ± 1.5	≤ 35	≤ 0.3	173 ± 15	≥ 30

5. 模擬床版による試験施工

5.1 模擬床版の概要と検討事項

模擬床版による試験施工の流れを図 - 4 に、模擬床版の概要を図 - 5 に示す。模擬床版による試験施工では、以下の①~④の検討を実施した。

① コンクリートの打込み方法

コンクリートの締固め方法、仕上げ方法、コンクリートの運搬やポンプの移動に伴う時間管理などの打込み方法全般に関わる事項について検討した。

② 仕上げおよび養生開始時間

N 式貫入試験を実施し、仕上げおよび養生の開始時間について検討した。

③ 実施工でのコンクリートの品質

実施工時のコンクリートのフレッシュ性状および硬化後の品質について検討した。

④ 実施工時の課題の抽出と対策

模擬床版の試験施工で抽出した課題とその対策について検討した。

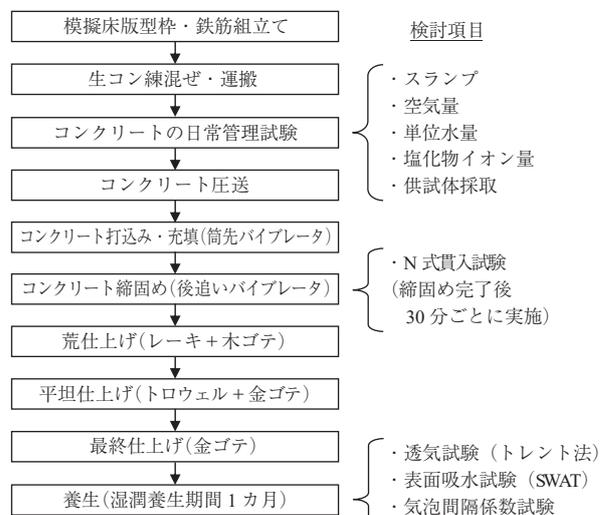


図 - 4 試験施工のフロー

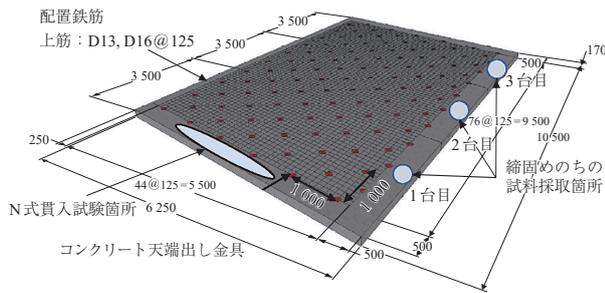


図 - 5 模擬床版の概要

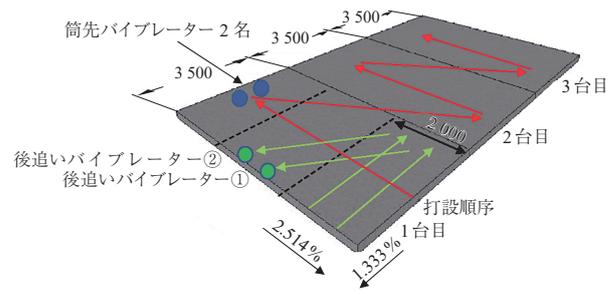


図 - 6 打込み順序概要図

模擬床版は、安定した品質のコンクリートが連続的に供給できることを確認するため、アジテータ車3台分(12m³)の数量が打込み可能な寸法(6.25m × 10.5m × 0.17m)とした。締固めや仕上げの施工性の確認のため、縦断勾配や横断勾配、斜角、配置鉄筋を忠実に再現した。また、締固めのちの空気量を測定する試料の採取とN式貫入試験を行うスペースを確保するため、側面の2辺に型枠面から500mmの幅で鉄筋を配置しない区間を設けた。

5.2 コンクリートの打込み方法の検討

(1) 締固め位置や仕上げ高さの明示

締固め位置と仕上げ高さを明確に示すため、写真 - 2 に示すコンクリート天端出し金具を1m間隔(図 - 6中の赤丸部)で配置した。各天端出し金具の位置とそれらの中間に後追いバイブレータを挿入し、50cm間隔で締固めを行った。

一般的な締固め位置の明示方法として、床版の横断方向に糸を張り締固め位置に印を付ける方法や、木の枠をコンクリート上に置く方法などがある。これらの方法に対し今回の明示方法は、筒先バイブレータによる充填後に、すぐ横で後追いバイブレータの締固めを実施でき、荒仕上げまでの工程がスムーズに行えるメリットがあった。とくに凝結が早い夏場の施工においては、本仕上げまでの時間が確保でき、出来栄への向上が期待できる。



写真 - 2 コンクリート天端出し金具の配置状況

(2) コンクリートの打込み方法

コンクリートの打込みには、本施工と同じ機種である36mブームの大型コンクリートポンプ車を使用した。締固めは、φ50mmの高周波バイブレータを筒先で2本、後追いバイブレータで2本の計4本で施工を行った。

コンクリートは図 - 6の赤色の線で示すように、勾配がもっとも低い位置から3.5mの幅で、2本の筒先バイブレータで打込み時の充填を行った。そののち、図 - 6の緑

色の線で示すように、2名の後追いバイブレータ作業者が並んで500mm間隔で締固めを行った。後追いバイブレータの締固め時間管理は、合図者が6秒間隔で笛の合図を送り、その合図を目安に6秒の締固めのち、2秒かけてゆっくり抜き、そののちの4秒で次のポイントへ移動する方法で行った。締固め終了後すぐに、天端出し金具で示された仕上げ高さに合わせるように荒仕上げを行った。

コンクリートの打込み状況を写真 - 3に示す。ポンプの筒先と荒仕上げの施工が同列の位置関係を保つことで、2m幅で軸方向のコンクリート量を調整でき、仕上げ高さの調整が容易になった。これにより、仕上げ作業者の負担軽減に繋がり、良好な平坦性が得られた。



写真 - 3 コンクリート打込み状況

養生は保水性が高い養生マットを使用して湿潤状態を保ち、養生マットの上にブルーシートを敷き、水分の逸散を抑制した。養生期間は手引きで推奨する1ヵ月まで延長した。

(3) 運搬および打込み時間に関する考察

運搬および打込み時間の管理結果を表 - 6に示す。運搬時間は約30分、打込み時間は平均で12分となり、計画通りにコンクリートを連続供給できることが確認できた。

表 - 6 運搬および打込み時間管理表

台数	運搬時間の検討			打込み時間の検討			打込み完了までの時間(分)
	出発時刻(h:m:s)	到着時刻(h:m:s)	運搬時間(分)	開始時刻(h:m:s)	完了時刻(h:m:s)	打込み時間(分)	
1台目	8:08	8:30	22	8:56	9:05	9	57
2台目	8:54	9:25	31	9:32	9:46	14	52
3台目	9:27	9:57	30	10:04	10:17	13	50
平均	-	-	28	-	-	12	53

打重ね時間の想定を図 - 7に示す。トラックアジテータ1台(4m³)あたりの打込み時間の平均値を12分とすると、橋軸方向の打重ね時間間隔は約30分と算出され、コンクリート標準示方書〔施工編〕に示される許容打重ね時間間隔以内での施工が可能となる。

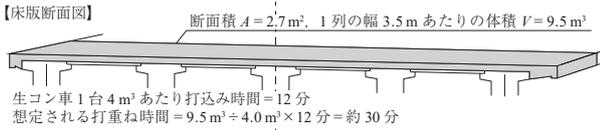


図 - 7 打重ね時間の想定

(4) コンクリートポンプ車移動に伴う打重ね時間の検討

本施工では作業半径の都合上、コンクリートポンプ車をA1側からA2側に移動させる必要があった。そこで、移動に要する時間を確認し、出荷調整や打重ね時間の参考とした。ポンプ車の移動状況を写真 - 4 に示す。ポンプ車の移動は、2台目のコンクリート打込み終了後に行い、ブームを縮め、3m移動させて再度打込みが可能な状態までの時間を測定した。この結果、ポンプ車の再据付けに18分を要し、A1～A2までの走行時間7分を加算して、25分の出荷調整を行う計画とした。また、移動時の最長の打重ね時間間隔は、前項で算出した延長3.5mあたりの打込み時間30分に出荷調整の25分を加算した55分となり、許容打重ね時間間隔の2時間を下回った。これらの結果から、本計画で妥当な施工が可能であることが確認できた。



写真 - 4 コンクリートポンプ車の移動状況

5.3 仕上げおよび養生開始時間の検討

仕上げや養生の開始時間は、N式貫入試験を目安に判断することとした。この試験は、写真 - 5 に示すように、スランブ試験に使用する突き棒を750mmの高さから自由落下させて、コンクリートに貫入した深さを30分ごとに測定する試験で、貫入量により凝結度合いを簡易に推定できる試験である。左官工がコンクリートの表面状態を見て、仕上げのタイミングに相当する時の経過時間とN式貫入試験による貫入量を関連付け、本施工における仕上げ時期の目安を設定した。



写真 - 5 N式貫入試験実施状況

N式貫入試験の結果を図 - 8 に示す。本施工では、貫入量60mm程度で平坦仕上げ、貫入量30mm程度で最終仕上げ、貫入量5mm程度で養生を行う目安とした。

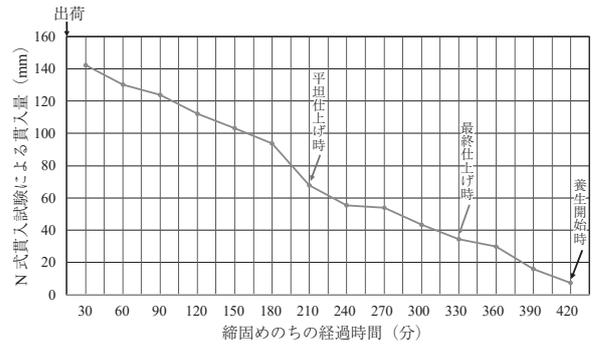


図 - 8 N式貫入試験の結果

5.4 コンクリートの品質の確認

(1) 日常管理試験

トラックアジテータ車1台目のコンクリートで日常管理試験を実施した。そのうち、圧送後のポンプ筒先の試料で、スランブと空気量を、締固めのちの型枠内の試料で空気量を測定した。なお、2台目以降も同様の測定を行った。測定結果を表 - 7 に示す。いずれの試験項目においても規格値を満足する結果が得られた。空気量の経時変化については、各施工ステップで減少する傾向を示したが、締固めのちのコンクリートでも空気量が4.0%以上確保できたことから、所要の耐凍害性を有する床版が施工できているものと判断される。ポンプ筒先で測定したスランブは、現着時の測定値と同等の数値を示したため、十分なワーカビリティが確保できているものと考えられる。

表 - 7 日常管理試験結果

台数	スランブ (cm)		空気量 (%)			温度 (°C)	単位水量 (kg/m³)	塩化物量 (kg/m³)	圧縮強度 (N/mm²)
	現着	筒先	現着	筒先	締固め後				
1台目	12.5	13.0	6.0	5.3	5.4	28	179	0.05	材齢 28 日 39.0
2台目	13.0	13.5	5.6	5.4	5.3	29	-	-	
3台目	13.0	14.0	5.9	6.1	5.3	30	-	-	
規格値	12 ± 2.5		5.5 ± 1.5			≤ 35	173 ± 15	≤ 0.3	≥ 30

(2) 硬化コンクリートの品質

硬化コンクリートの品質は、透気試験（トレント法）、表面吸水試験（SWAT）およびφ100mmのコアを用いた気泡間隔係数試験により評価した。すべてのアジテータ車のコンクリートの品質を評価するために、各項目とも図 - 9 に示す3箇所で測定を行った。

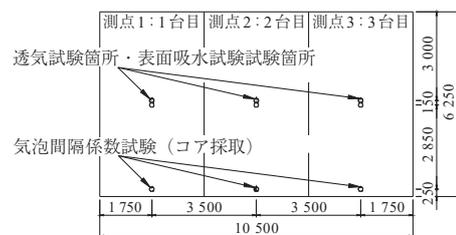


図 - 9 試験箇所概略図

透気試験および表面吸水試験の判定基準を表 - 8 に、試験結果を表 - 9 に示す。透気係数は、0.001～0.01×

表 - 8 透気試験および表面吸水試験の判定基準

試験項目	単位	評価グレード				
		優	良	一般	劣	極劣
透気試験	$\times 10^{-16} \text{m}^2$	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	10~100
表面吸水試験	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$	-	≤ 0.25	0.25~0.5	0.5 \leq	-

表 - 9 透気試験および表面吸水試験結果

測点	表面水分率 (%)	透気試験結果			表面吸水試験		
		透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	透気深さ (mm)	評価判定	10分時点の表面吸水速度 ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$)	累積給水量 (m)	評価判定
1	4.8	0.001	2	優	吸水無	吸水無	良
2	4.8	0.001	2	優	吸水無	吸水無	良
3	4.7	0.000	1	優	吸水無	吸水無	良

表 - 10 気泡間隔係数測定結果

測点	ペースト量 (%)	トラバース全長 (mm)	気泡数 (個)	空気量 (%)		気泡間隔係数 (μm)
				打込み時	硬化後	
測点1	30.5	1454	1112	5.4	5.10	150.0
測点2			1084		4.50	144.0
測点3			1124		5.20	151.0

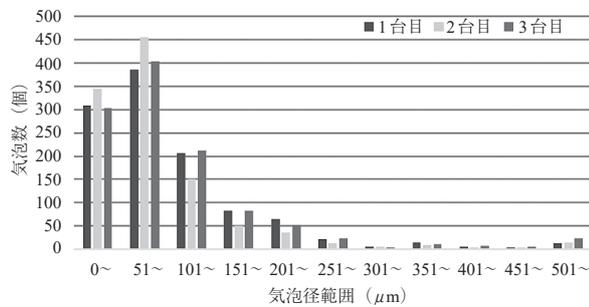


図 - 10 各気泡径範囲における気泡数

10^{-16}m^2 であり、全ての測点で評価グレードは「優」と分類された。表面吸水試験では、コンクリート表層からの吸水を示さず、評価グレードは「良」と分類された。

気泡間隔係数試験の結果を表 - 10、図 - 10 に示す。空気量は 4.5~5.2%、気泡間隔係数は 144~151 μm となり、所要の耐凍害性を有するコンクリートが施工できていることが確認できた。また、気泡間隔係数は、室内試験時よりも良好な数値が得られている。

これらの結果から、模擬床版の試験施工で実施した打込み方法および養生方法により、良好な表層品質および耐凍害性を確保できることを確認できた。

5.5 施工時の課題の抽出と対策

模擬床版による試験施工で得られた施工時の課題と対策を以下に示す。

- 1) 後追いバイブレータの締固めのちに、コンクリート表面にモルタル分が上昇する傾向が見られた。そこで、気泡間隔係数測定用のコアを削孔した断面を確認したところ、写真 - 6 に示すような粗骨材が若干沈む傾向がみられた。これは床版の厚さが 170 mm と薄く、厚さに対し締固め時間が過剰であると考え、締固め時間を 5 秒 (約 1 秒でゆっくり抜く) に設定した。
- 2) バイブレータ合図者と作業者の締固めのタイミングにずれが生じることがあったため、移動方向の統一と合

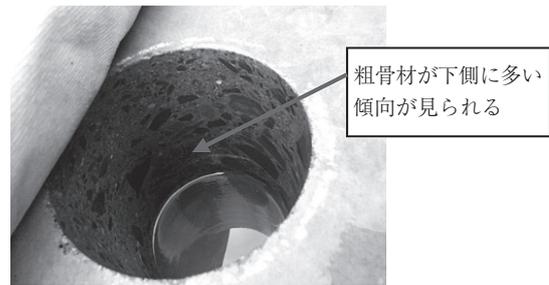


写真 - 6 コア削孔断面

図の徹底を周知した。

- 3) ポンプ車の移動時間を確認することで、出荷調整や打重ね時間などの実施工時のコンクリート打込み計画の精度の向上を図れた。
- 4) 平坦仕上げの時期が早いとトロウエルの機械本体が沈むことが確認できた。そこで、打込みした列ごとの打込み完了時間と N 式貫入試験の結果を照合し、平坦仕上げを開始することとした。
- 5) 打込み完了から約 7 時間後に湿潤養生を開始できることが確認できたため、夕暮れ時の照明を確保した。

6. RC 床版の施工

試験施工で得られた知見を施工計画に反映し、作業従事者全員へ周知を行ったのち、本施工を実施した。コンクリート打込み時は、遵守事項が網羅された「施工状況把握チェックシート」を用いて作業指揮者が点検・管理を行った。また、コンクリートの受入れ検査も、日常管理試験に加えて、スランプと空気量を 5 台おきに測定した。測定結果を表 - 11 に示す。いずれの項目も変動が少なく、良好な品質のコンクリートであることが確認できた。

表 - 11 日常管理試験結果

台数	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	気温 (°C)	単位水量 (kg/m^3)	塩化物量 (kg/m^3)	圧縮強度 (N/mm^2)
1 台目	12.0	5.4	24	21	164	0.06	材齢 28 日 38.3
5 台目	11.0	5.4	24	23	-	-	
10 台目	11.0	5.5	25	26	-	-	
15 台目	12.5	5.6	25	27	170	-	
20 台目	12.0	5.2	25	27	-	-	
25 台目	12.0	5.9	26	26	-	-	
規格値	12 ± 2.5	5.5 ± 1.5	≤ 35	-	173 ± 15	≤ 0.3	

模擬床版と同様の 1 か月間の湿潤養生を完了したのち、透気試験 (トレント法)、表面吸水試験 (SWAT)、床版表面を研磨して気泡間隔係数の測定試験を実施した。各項目の測定箇所を図 - 11 に示す。透気試験および表面吸水試験は測点 1~3 の全測定で測定し、気泡間隔係数試験は測定 1 および 3 で測定した。

透気試験および表面吸水試験の結果を表 - 12 に、気泡間隔係数試験の結果を表 - 13、図 - 12 に示す。

透気試験および表面吸水試験では、いずれの測定値も評価グレードが「良」以上に分類され、表層の緻密性が確保されていることを確認できた。

気泡間隔係数試験の結果では、空気量が 3.6~4.9%、気

泡間係数が147~149 μm であり、いずれの測定値も室内試験の結果と同等の結果が得られた。上記の結果から、適切なコンクリートの打込み、締固め、養生が実施でき、所要の耐凍害性を有するコンクリートを施工できたと考えられる。

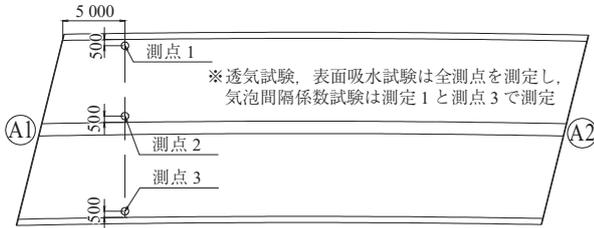


図 - 11 試験箇所概略図

表 - 12 透気試験および表面吸水試験結果

測点	表面水分率 (%)	透気試験結果			表面吸水試験		
		透気係数 ($\times 10^{-16}\text{m}^2$)	透気深さ (mm)	評価判定	10分時点の表面吸水速度 ($\text{ml}/\text{m}^2/\text{s}$)	累積給水量 (ml)	評価判定
測点1	4.8	0.017	9	良	吸水無	吸水無	良
測点2	4.9	0.014	8	良	吸水無	吸水無	良
測点3	4.8	0.0078	6	優	吸水無	吸水無	良

表 - 13 気泡間係数測定結果

測点	ペースト量 (%)	トラバース全長 (mm)	気泡数 (個)	空気量 (%)		気泡間係数 (μm)
				打込み時	硬化後	
測点1	30.5	1454	520	5.4	3.56	147.0
測点3			614		4.91	149.0

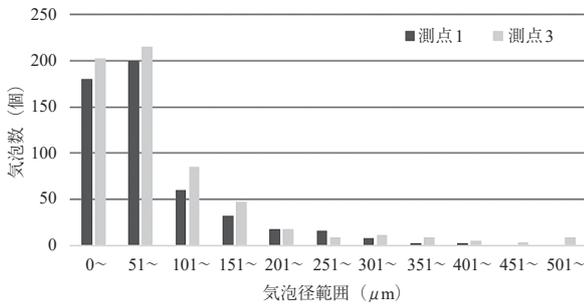


図 - 12 各気泡径範囲における気泡数

7. おわりに

橋梁建設工事は屋外での一品生産であり、気象条件や作業環境、構造特性などの違いにより現場ごとに異なる課題を有する。今回、実際の施工条件を踏まえた試験施工を行うことで、不透明な部分の課題抽出や施工に関する基本事項を遵守した予行演習を行うことができた。配合検討、試験施工そして本施工へと進めるなかで、発注者をはじめ、職員や協力業者の職人、生コンプラントとのコミュニケーションにより、従事者たちが「ワンチーム」となることで、東北地方特有の劣化要因に抵抗できる耐久性が高い床版が構築できたと考えている。本稿が、今後のRC床版の高耐久化に向けた取組みへの一助になれば幸いである。

謝 辞

本試験施工の実施に当たり、八戸工業大学、東北地方整備局 東北技術事務所ならびに三陸国道事務所の関係各位からご指導・ご協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- 国土交通省 東北地方整備局 道路部：東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き（案）2019年試行版，2019.6.
- 公益社団法人 日本コンクリート工学会：コンクリート中の気泡の役割・制御に関する研究委員会報告書，p.90，2016.6.

【2020年3月17日受付】



図書案内

PC 技術規準シリーズ

PC 構造物高耐久化ガイドライン 2015年4月

定 価 4,950 円 (税込) / 送料 300 円

会員特価 4,100 円 (税込) / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会 編
技報堂出版