

国道7号きみまち大橋

— 寒冷地における橋梁緊急補修工事と凍害対策 —

佐々木 博臣*1・矢口 晋*2・仁木 英人*3・村田 宣幸*4

国道7号きみまち大橋は秋田県能代市二ツ井町に位置し、昭和53年に竣工したRC床版を有する鋼2+3径間連続非合成箱桁橋である。既設床版が損傷したため、緊急補修工事として、既設床版を撤去したのち、新設床版を構築する工事を実施した。昼夜片側交通規制で1車線を確保しながら、かつ本格的な降雪前に交通解放が必要であったため、手戻りのない確実な施工が課題であった。

新設床版の構築にあたっては、東北地方整備局とPC建設業協会東北支部PC橋長寿命化委員会が進めているコンクリートの耐凍害性向上の取り組みを受け、工場製作プレキャスト床版、場所打ち床版、場所打ち地覆に使用するすべてのコンクリートの空気量を標準の4.5%から6.0%に増加させて製作・施工した。

キーワード：プレキャスト床版、耐凍害性、空気量 6.0%

1. はじめに

国道7号きみまち大橋は秋田県能代市二ツ井町に位置する鋼2+3径間連続非合成箱桁橋である。平成25年4月に床版が損傷し、早急な床版補修を必要としていた。

重要交通路線で、かつ冬期に凍結抑制剤の散布地域であることから、耐久性を向上させるために、既設床版を撤去し、プレキャスト床版へ更新することとした。施工においては、大型車が通行できる代替路線がないため、昼夜片側交通規制をして1車線を確保できる施工方法を採用した。

本稿では、昼夜片側交互通行規制しながらの状況下、実質約5ヵ月の短期間で既設床版の撤去および新設プレキャスト床版の製作・架設を実施し、本格的な降雪前に2車線交通解放を遂行できたこと、ならびに耐凍害性を高めるために床版コンクリートの空気量を6.0%に増加させ、そのコンクリートの耐凍害性確認試験等を実施したことを報告する。

2. 橋梁概要

2.1 橋梁諸元

本橋の橋梁諸元を以下に示す。また、断面図を図-1

に、全体一般図を図-2に示す。

橋梁名：きみまち大橋

構造形式：鋼2+3径間連続非合成箱桁橋

橋長：263.700m

支間長：2@52.300+3@52.300m

有効幅員：12.500～16.119m

縦断勾配：0.3% 横断勾配：2.0%

竣工年：昭和53年7月

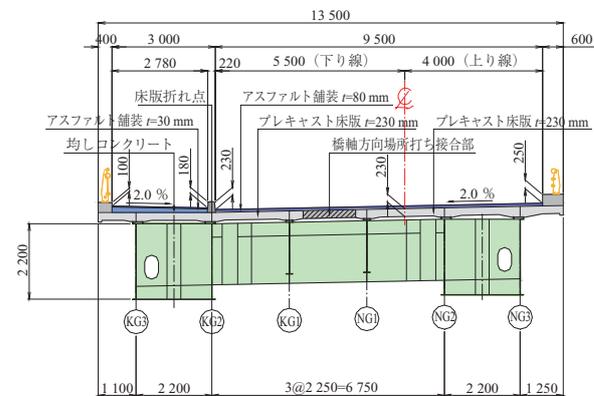


図-1 主桁断面図（床版取り換え後）



*1 Hiroomi SASAKI

国土交通省
東北地方整備局
能代河川国道事務所



*2 Susumu YAGUCHI

国土交通省 東北地方整備局
青森河川国道事務所
(前 能代河川国道事務所)



*3 Hideto NIKI

三井住友建設(株)
東北支店 土木部



*4 Nobuyuki MURATA

三井住友建設(株)
東北支店 土木部

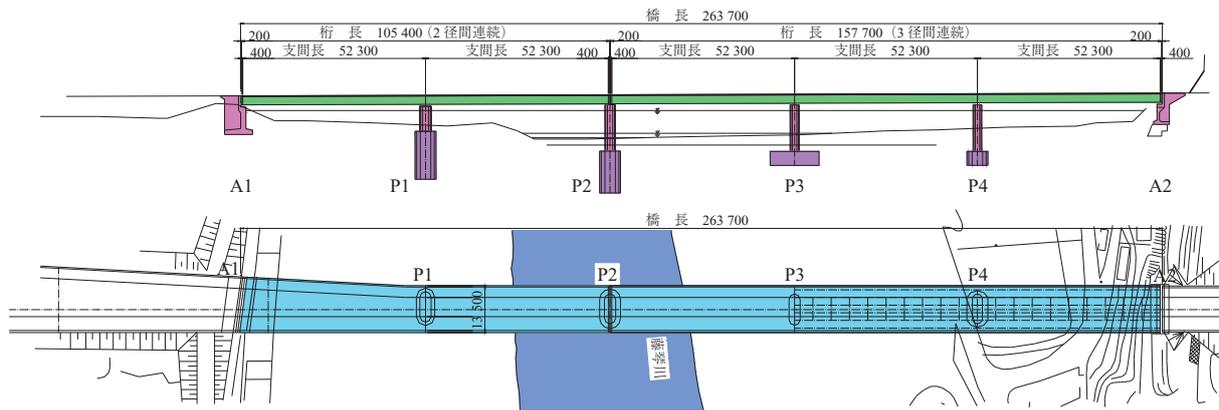


図 - 2 全体一般図

2.2 工事概要

本工事の概要を以下に示す。

工事名：きみまち大橋緊急補修工事

発注者：国土交通省東北地方整備局

能代河川国道事務所

工事場所：秋田県能代市二ツ井町荷上場内

工期：平成 25 年 5 月 2 日～平成 26 年 3 月 20 日

工事内容：既設床版の撤去・新設床版の製作架設

3. 施工

3.1 施工順序

本工事の実施工程表を図 - 3 に、施工順序を図 - 4 に示す。

工事種別	平成25年												平成26年		
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	10月	11月	12月	
詳細設計	[Gantt chart bars]														
鋼製型枠製作	[Gantt chart bars]														
PCa床版製作	[Gantt chart bars]														
仮設工	[Gantt chart bars]														
歩道撤去工・仮舗装工	[Gantt chart bars]														
吊足場設置工	[Gantt chart bars]														
床版撤去工	[Gantt chart bars]														
鋼桁現場塗装工	[Gantt chart bars]														
PCa床版設置工	[Gantt chart bars]														
PCa床版間詰め工	[Gantt chart bars]														
桁端部 地所打ち部工	[Gantt chart bars]														
橋脚西側・橋脚防犯 ・基層・伸縮装置工	[Gantt chart bars]														
歩道境界部BL工 表層工	[Gantt chart bars]														
吊足場撤去工	[Gantt chart bars]														
後片付け工	[Gantt chart bars]														

図 - 3 実施工程表

交通規制の切替に伴い、工事の流れは、既設歩道の撤去⇒歩道に片側交互通行切替⇒上り線施工⇒上り線に片側交互通行切替⇒下り線施工⇒歩道の施工⇒完了、となる。工事着手直後の設計計算を実施した平成 25 年 5～7 月の間は、光ケーブルの切替・クレーンの作業ヤード造成・吊足場の設置・鋼製型枠の製作など準備工事を並行して実施した。

3.2 既設床版の撤去

片側交互通行時に使用する下り線（歩道部）については、床版の劣化状況を確認し、安全を確保してから車両を通行

させた。その後、車道の舗装切削を実施し、床版切断位置の墨出しを行った。その際、既設橋梁の竣工図面と実際の床版厚さに施工誤差があり、床版切断時に鋼桁を損傷させることも考えられたため、鋼桁から離れた位置でコア削孔による試掘を実施し、床版厚を確認しながら施工を行った。床版標準部ではコンクリートカッター、床版厚の大きい地覆部では湿式ワイヤソーによる床版切断を行った。切断する床版のブロック割はクレーンの作業半径や衝撃荷重（20%）を考慮して 10t 以内になるようにした。

片側車線すべての床版切断後に、油圧ジャッキ（40t × 6台）を利用して既設床版を鋼主桁から引剥がす工法を採用し、流水部は橋面上から 25t クレーン、高水敷部は 200t クレーンにて床版を撤去した。引剥がし時には、既設ずれ止め鉄筋の付着強度や溶接部の強度より引剥がし荷重を算定・管理し、鋼主桁の損傷を防止した（写真 - 1）。

既設床版撤去後に鋼桁フランジ上の塗装状況を確認したところ、鋼箱桁上フランジの塗膜が劣化し、一部赤錆が生じている部分が発見されたことから、ケレン作業後に赤錆を黒錆に転換する錆転換型防蝕塗装（エポガードシステム）を実施した（写真 - 2）。なお、ケレン作業における素地調整程度は 3 種 A（錆面積 15～30%、塗膜異常面積 30% 以上で、活膜は残すがそれ以外の不良部は除去する）とした。

3.3 プレキャスト床版の製作

プレキャスト床版は、構造寸法確定後（6月中旬）直ちに型枠製作を開始し、床版撤去作業と並行して、上り線・下り線を各 127 枚ずつ計 254 枚を各 1.5 ヶ月かけて製作した。

3.4 プレキャスト床版の架設

プレキャスト床版は供用道路に対する安全性と現場工程を考慮し、供用交通に圧迫感を与え、架設効率の劣る橋面上からの架設ではなく、高水敷に設置した 200t クレーンによる架設とした（写真 - 3）。

プレキャスト床版の設置にあたっては既設床版撤去前後の鋼主桁の高さ変化を計測した。

施工順序を追った格子モデルによる解析を実施し、鋼主桁の鉛直方向変位の実測値と計算値の比較を行った結果、実測値は計算値に比べて一割小さかったため、床版の高さ

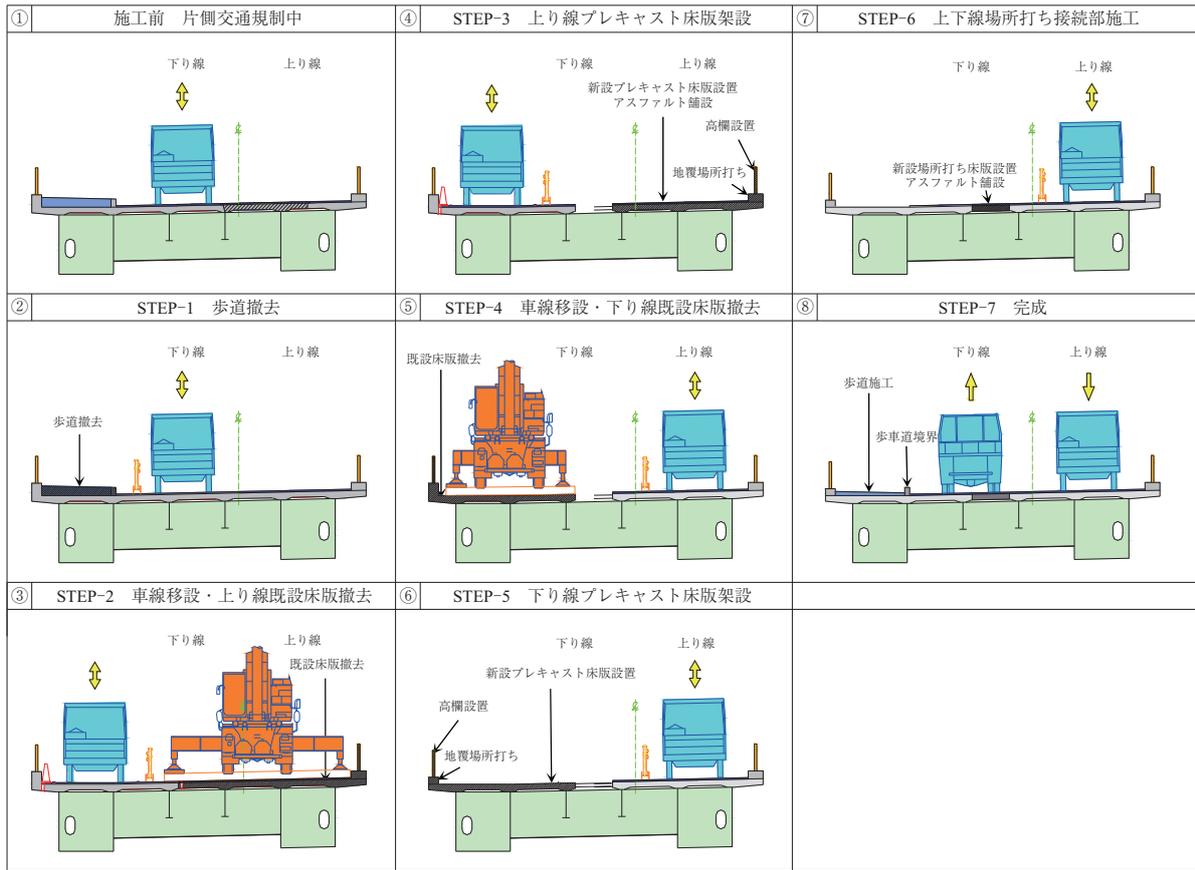


図 - 4 施工順序



写真 - 1 既設床版引剥がし状況



写真 - 3 プレキャスト床版架設状況

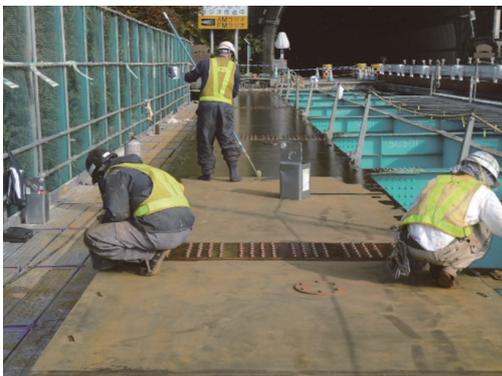


写真 - 2 鋼桁防蝕塗装状況

セットの予測値もそれを反映して設定した。計算値と実測値の誤差は解析モデルに縦桁を反映していないことや既設床版による拘束などが影響したと考えられる。

高さ調整は、プレキャスト床版に設置した6箇所の高さ調整ボルトの突出長を前述の解析により算出して管理を行った。

3.5 間詰めコンクリートの打設

プレキャスト床版間の間詰め部コンクリート打設時も供用線には車両が通行しているため、車両通行による振動がコンクリートの硬化に与える影響が懸念された。既往の研究では影響が少ないとの報告¹⁾もあったが、本工事では車両制限速度を20 km/hに設定した車両を供用交通に対し

て先導車として使用することで、供用交通による振動影響を極小化した。先導車誘導は設計計算上で問題とならない強度発現 (24 N/mm²) を確認した打設 2 日後まで実施した。脱型直後の目視調査ではひび割れの発生はなかった。

4. 耐久性を高める工夫

4.1 空気量 6.0 % を確保したコンクリート

プレキャスト床版、場所打ち間詰めコンクリート、ならびに地覆コンクリートは、東北地方整備局と PC 建設業協会東北支部 PC 橋長寿命化委員会が進めているコンクリートの耐凍害性向上仕様に則り、凍結融解の繰返し作用に対する抵抗性を高めるために空気量を 6.0 % 確保するものとした。

また、片側交互通行規制での施工を鑑み、早強セメント・膨張材を用いる仕様とした。このような仕様について、とくに場所打ち間詰めコンクリート・地覆コンクリートは、空気量 6.0 % を確保した施工実績が乏しかったため、安定した配合を得るために試験練りを 3 回実施して強度・性状を確認し、その後、経時変化や施工性を確認するために実機によるフレッシュ性状確認試験およびポンプ車による圧送試験を 2 回実施した。

床版厚が最大 290 mm で比較的薄く、圧送距離も最大で 40 m であることから、打設・締固め上の問題は生じなかった。しかし、これまでに実績があまりない配合であるため、今後、圧送距離が長い場合や配管で施工する場合などには十分な事前検討が必要と思われる。

4.2 プレキャスト床版の耐久性向上

プレキャスト床版の接合部は部材厚が薄く、プレキャスト床版と場所打ち部の界面に腐食因子などが浸入して劣化することが懸念されるため、場所打ち部を打設する直前にプレキャスト床版の打継目にけい酸ナトリウム系表面含浸材 (CS-21 × 1 層 200 g/m²) を噴霧した (写真 - 4)。



写真 - 4 けい酸塩系表面含浸材の噴霧状況

材料選定理由としては、けい酸塩系表面含浸材は新旧コンクリートの打継目の透水抑制効果が確認されており、塗布面に鉄筋が密集しているループ継手部においても可使時間がクリティカルとならないためである。

さらに耐久性を高めるために、シート系防水層との接着性能が確認されている水性エポキシ樹脂配合複合塗膜防水材料 (エポミックス 7000 × 1 層 1.7 kg/m²) を後打ちとなる

場所打ち間詰め部床版上面に全面塗布した (写真 - 5)。その後、橋面全面についてシート系防水層の施工を実施した。



写真 - 5 水性エポキシ樹脂配合複合塗膜防水材料の塗布状況

また、プレキャスト床版厚が小さくなるループ継手部は、輸送時・架設時の角欠け損傷のみならず、他の橋梁では床版完成・供用後の劣化事例も散見されることから、砂付 3 軸アラミドメッシュによる補強を標準的な角部 30 cm から床版直角方向全長にわたって行うものとした。

5. 耐凍害性および耐塩害性確認試験

コンクリートの耐凍害性を確認するための標準的な試験である凍結融解試験 (内部損傷・表面損傷) のほか、気泡組織試験を実施した。これは厳密には空気量の絶対量でなく気泡間隔が耐凍害性に影響を与えることからである。さらに透気性能や塩化物イオン拡散係数が水や塩化物イオンの浸透性と関係が深いため表層透気試験および塩分浸透試験を実施した。

5.1 コンクリートの配合および品質

コンクリートの配合を表 - 1 に、フレッシュ品質および圧縮強度を表 - 2 に示す。配合設計では、空気量を 6.0 % に増加させることから、空気量 1.0 % の増加に対して圧縮強度が 4.0 % 低下するものとして計算を行った。コンクリートのスランブは 12 ± 2.5 cm、空気量は 4.5 ~ 6.9 % の範囲にあり、現場施工時のポンプ圧送に伴うスランブと空気量の変化も比較的小さかった。

表 - 1 コンクリートの配合

配合名	セメント	膨張材	水	細骨材	粗骨材	混和剤	空気量	備考
								(単位: kg/m ³)
50-12-20H	498	-	156	616	1 011	*1 3.2	6.0 %	プレキャスト床版
50-12-25H	480	20	160	640	1 012	*1 4.0	6.0 %	場所打ち間詰め部
24-12-25H	290	20	163	728	1 078	*2 3.1	6.0 %	場所打ち地覆部

*1 混和剤は高性能 AE 減水剤を用いた。 *2 混和剤は AE 減水剤を用いた。

表 - 2 コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度

		スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)		
					材齢 3 日	材齢 7 日	材齢 28 日
プレキャスト床版	荷卸し時	14	6.5	21	-	55.5	-
場所打ち床版	荷卸し時	12.5	5.9	12	48.5	56.1	60.2
	筒先	11.5	5.7	15	-	-	-
場所打ち地覆	試験練り時	12	6.1	25	24.5	28.7	34.5

* 圧縮強度試験における養生は、プレキャスト床版が蒸気養生、その他は標準水中養生である。

5.2 試験方法

(1) 凍結融解試験（内部損傷）

JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」により凍結融解（内部損傷）に対する抵抗性を評価した。JIS法において、凍結融解の1サイクルは、供試体の中心部温度が5℃から-18℃に下がり、また-18℃から5℃に上がるものであり、1サイクルに要する時間を3時間以上、4時間以内とするものである。測定項目はたわみ振動の一次共鳴振動数（相対動弾性係数）と質量（変化）で、36サイクルを超えない間隔で300サイクルまで測定を行った。

(2) 塩分作用下の凍結融解試験（表面損傷）

ASTM C 672に準じてスケーリング（表面損傷）試験を実施した。試験は塩化カルシウム溶液で表面に水膜を形成した供試体（φ150mm）を冷凍庫（温度-18±3℃）で約16～18時間凍結させた後、温度23℃、湿度50±5%の恒温室で約6～8時間融解させるものであり、これを1サイクル（24時間）とし、50回繰り返した。測定は5サイクルごとに行った。

(3) 気泡組織試験

ASTM C 457「硬化コンクリートの気泡パラメータの顕微鏡による測定方法（リニアトラバース法）」に従ってコンクリートの気泡間隔係数を測定した。リニアトラバース法は、顕微鏡上で測定対象面に一定の間隔で走査線（トラバース線）を設定し、トラバース線を横切る気泡断面の弦の総長から空気量および気泡間隔係数を求める方法である。今回は表層品質を対象としていることから、表面から5mmの深さの面で測定を行った。

(4) 表層透気試験

Torrent法（ダブルチャンバー法）による表層透気試験を実施した。Torrent法は、コンクリート表層を減圧した上で、圧力の戻り方から表層における透気性を測定するものである。内部チャンバーと外部チャンバーの圧力を等しくコントロールすることにより、外部から内部チャンバーへの空気の流入が物理的に排除され、栓流が形成される。試験状況を写真-6に示す。



写真-6 表層透気試験状況

(5) 塩分浸透試験

JSCE-G571「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法（案）」により塩化物イオンの実効拡散係数を測定した。同方法は、コンクリート供試

体の片側に塩化ナトリウム溶液を、他方に水酸化ナトリウム溶液を満たし、さらに電流を流すことでイオンの移動を促進する方法である。

5.3 試験結果

(1) 凍結融解試験（内部損傷）

凍結融解試験（内部損傷）の結果を図-5に示す。プレキャスト床版および場所打ち床版に使用した設計基準強度50N/mm²のコンクリートの凍結融解300サイクルにおける相対動弾性係数は98%および100%である。土木学会2012年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕では、凍害に関するコンクリート構造物の性能を満足するための凍結融解試験における相対動弾性係数の最小限界値を示しており、もっとも厳しい条件で85%としている。

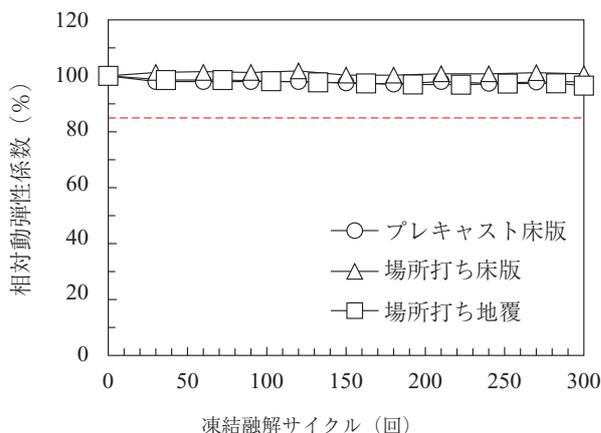


図-5 凍結融解試験結果（内部損傷）

このことから、プレキャスト床版および場所打ち床版に使用したコンクリートは凍害（内部損傷）に対して十分な抵抗性を有するものと考えられる。

また、地覆に使用した設計基準強度24N/mm²のコンクリートについても、凍結融解300サイクルにおける相対動弾性係数は97%であり、床版用コンクリートには若干劣るものの十分な耐凍害性を有するものと考えられる。

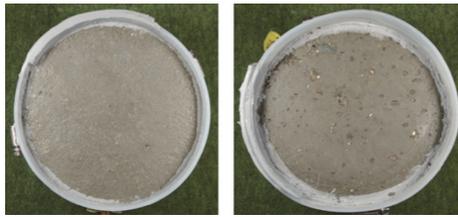
(2) 塩分作用下の凍結融解試験（表面損傷）

塩分作用下のスケーリング（表面損傷）試験における50サイクル経過後の表面状況を写真-7に示す。プレキャスト床版供試体の型枠面（底面）で、型枠面と粗骨材面の間に形成された薄片が剥がれる軽度のスケーリングが確認されたが、スケーリング量が測定できるまでには至らなかった。総じてスケーリング抵抗性は高いものと考えられる。

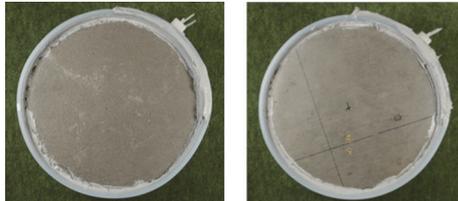
(3) 気泡組織試験

リニアトラバース法により測定した空気量および気泡間隔係数を表-3に示す。プレキャスト床版供試体では、打設面で空気量が6.5%、気泡間隔係数が177μm、型枠面（底面）で空気量が2.9%、気泡間隔係数が112μm、場所打ち床版供試体では、打設面で空気量が9.5%、気泡間隔係数が62μm、型枠面（底面）で空気量が5.7%、気泡間隔係数が81μmの結果が得られた。

空気量については、ペースト量が比較的多い打設面付近



(1) プレキャスト床版



(2) 現場打ち床版

写真 - 7 スケーリング試験 (50 サイクル)

表 - 3 気泡組織 (リニアトラバース法)

		プレキャスト床版 供試体	現場打ち床版 供試体
空気量 (%)	打設面	6.5	9.5
	型枠面	2.9	5.7
気泡間隔係数 (μm)	打設面	177	62
	型枠面	112	81

※ 深さ 5 mm の面で測定

で多くなる傾向にある。気泡間隔係数は、比較的空気量の多い、場所打ち床版供試体で小さくなったが、いずれも $200\mu\text{m}$ 以下であり、凍害に対して良好な抵抗性を有する範囲にあると判断される。なお、プレキャスト床版供試体では、型枠面に比べて打設面の方が空気量が多いものの、気泡間隔係数が大きな値となった。これは、打設面付近では気泡が含まれるペースト体積比が大きくなり、気泡も大きなものが含まれているためである。

(4) 表層透気試験

Torrent 法による表層透気試験の結果を表 - 4 に示す。プレキャスト床版供試体では、打設面で $0.0022 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ 、型枠面 (底面) で $0.0012 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ 、場所打ち床版供試体では、打設面で $0.060 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ 、型枠面 (底面) で $0.002 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ の結果が得られた。表層透気係数の評価については、表 - 5 に示すような評価区分²⁾があるが、それを参考にすれば、プレキャスト床版供試体と場所打ち床版供試体の型枠面 (底面) は「優」、場所打ち床版供試体の打設面は「良」に相当する。

表 - 4 表層透気試験 (Torrent 法)

		プレキャスト床版 供試体	現場打ち床版 供試体
透気係数 (10^{-16} m^2)	打設面	0.0022	0.060
	型枠面	0.0012	0.002

表 - 5 透気係数評価方法

透気係数 (10^{-16} m^2)	0.001 ~ 0.01	0.01 ~ 0.1	0.1 ~ 1	1 ~ 10	10 ~ 100
透気性グレード	1	2	3	4	5
透気性評価	優	良	一般	劣	極劣

(5) 塩分浸透試験

電気泳動法による塩分浸透試験から得られた、場所打ち床版供試体の打設面における塩化物イオンの実効拡散係数は $0.919 \text{ cm}^2/\text{年}$ であり、普通ポルトランドセメントを使用した場合の換算係数³⁾を用いると見掛けの拡散係数は $0.217 \text{ cm}^2/\text{年}$ になる。この値は、コンクリート標準示方書の普通ポルトランドセメントを使用した場合の参考値である $0.254 \text{ cm}^2/\text{年}$ と同等の値であり、表層透気係数ももっとも大きな値を示した、場所打ち床版供試体の打設面における値であることから、今回使用したコンクリートは十分な遮塩性を有するものと考えられる。

6. おわりに

本工事は、実質的な現場工期となる平成 25 年 8 月 1 日から 12 月 18 日の約 5 ヶ月間で、国道 7 号を供用しながらの環境下で、既設床版を撤去し、新設プレキャスト床版を製作・架設する緊急工事であった。単に設計どおりの施工を行うだけでなく、発注者・設計者・施工者間で協議を重ね、工期を守りつつ床版の品質を高める提案を行い、本格的な降雪前に 2 車線交通解放をすることができた (写真 - 8)。



写真 - 8 2 車線解放状況

本工事に関して多大なるご指導、ご協力を賜りました関係者各位に深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木研究所資料第 1717 号：交通供用下で分割施工されるコンクリート床版の耐荷力
- 2) 土木学会：構造物表面のコンクリート品質と耐久性性能検証システム研究小委員会 (335 委員会) 成果報告書およびシンポジウム講演概要集, pp.30, 2008
- 3) 土木学会：コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向, pp.28 ~ 35, 2003

【2015 年 1 月 23 日受付】