

寒冷地での橋梁緊急補修工事における凍害対策とその検証結果

三井住友建設(株)	正会員	○村田 宣幸
三井住友建設(株)	正会員 博士(工学)	樋口 正典
三井住友建設(株)		尾田 賢治
三井住友建設(株)	正会員	石井 精一

1. はじめに

きみまち大橋緊急補修工事¹⁾は、秋田県能代市の国道7号に架かる鋼桁のRC床版劣化に伴うプレキャスト床版への架替え工事である(写真-1)。現在、国土交通省東北地方整備局とプレストレスト・コンクリート建設業協会東北支部PC橋長寿命化委員会が「凍害・塩害等の複合劣化に対応した高耐久PC桁」に取り組んでおり、本工事の施工にあたっては、能代河川国道事務所と協議のうえ、プレキャスト床版と場所打ち床版、地覆に使用するすべてのコンクリートの空気量を6.0%に増加させて製作および施工を行った。本報は、その性能確認のために実施した気泡組織試験



写真-1 工事状況

(気泡間隔係数)、凍結融解抵抗性試験および表層透気試験などの結果を報告するものである。

2. 試験概要

2.1 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、フレッシュ性状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%の増加に対して圧縮強度が4%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プは12±2.5cm、空気量は4.5~7.0%の範囲にあり、現場施工時のポンプ圧送に伴うスランプ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

	呼び強度	スランプ [°] (cm)	Gmax(mm)	W/B(%)	s/a(%)	Air(%)	単位量(kg/m ³)					
							C	E	W	S	G	Ad
プレキャスト床版	50	12	20	31.4	38.5	6.0	498	—	156	616	1011	3.24*
場所打ち床版	50	12	25	32.0	40.0	6.0	480	20	160	640	1012	4.00*
地覆	24	12	25	52.5	41.6	6.0	290	20	163	728	1078	3.10**

C: 早強ポルトランドセメント E: 膨張材 W: 水 S: 細骨材 G: 粗骨材
Ad: 混和剤 (*高性能 AE 減水剤, **AE 減水剤)

表-2 フレッシュ性状および圧縮強度

		スランプ [°] (cm)	Air(%)	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	荷卸時	14.0	6.5	21.0		55.5	—
場所打ち床版	荷卸時	12.5	5.9	12.0	48.5	56.1	60.2
	筒先	11.5	5.7	15.0			
地覆	試験練り時	12.0	6.1	25.0	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。

2.2 試験体の作製

(1) プレキャスト床版

プレキャスト床版製作時に幅500×長さ2000×厚さ250mmの模擬試験体を作製した。作製状況を写真-2に示す。実際の施工を反映するため、試験体型枠をプレキャスト床版型枠の隣に設置し、同じタイミング（2層打ち、打設時間間隔、締固め）で打設を行った。養生もプレキャスト床版と同様とし、養生後は表層透気試験に供するとともに、気泡組織試験（リニアトラバース法）および塩分作用下の凍結融解試験（スケーリング試験）に使用するφ150mmのコア供試体を採取した。また、凍結融解試験（内部損傷）に使用する100×100×400mmの供試体を別途採取した。養生はプレキャスト床版と同様の蒸気養生を行った後、材齢28日まで20℃水中養生を行った。



写真-2 プレキャスト床版供試体の作製

(2) 場所打ち床版

現場での床版打設時に幅500×長さ500×厚さ230mmの模擬試験体を2体作製し、床版と同様の現場養生を行った。作製状況を写真-3に示す。材齢28日が経過した後に表層透気試験に供するとともに、気泡組織試験（リニアトラバース法）および塩分作用下の凍結融解試験（スケーリング試験）に使用するφ150mmのコア供試体、塩分浸透試験に使用するφ100mmのコア供試体を採取した。また、凍結融解試験（内部損傷）に使用する100×100×400mmの供試体を別途採取した。養生は材齢28日まで20℃水中養生を行った。



写真-3 現場打ち床版供試体の作製

試験練り時に凍結融解試験（内部損傷）に使用する100×100×400mmの供試体を採取した。養生は材齢28日まで20℃水中養生を行った。

(3) 地覆

試験練り時に凍結融解試験（内部損傷）に使用する100×100×400mmの供試体を採取した。養生は材齢28日まで20℃水中養生を行った。

2.3 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サイクル毎に行った。

(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。図-1に示すように、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-4に示す。

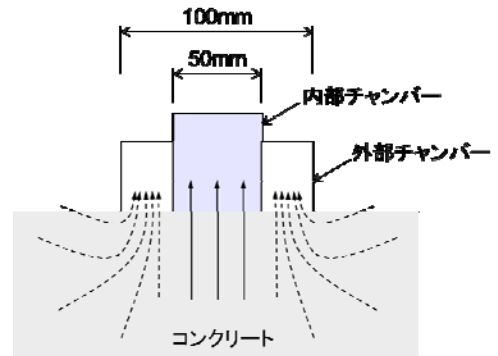


図-1 Torrent 法の原理

(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。

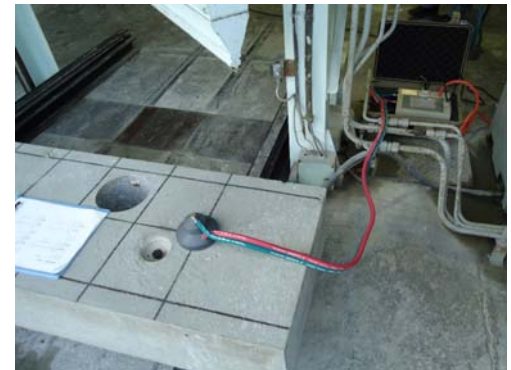


写真-4 表層透気試験状況

3. 試験結果

3.1 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-2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、最も厳しい条件で85%としている。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。

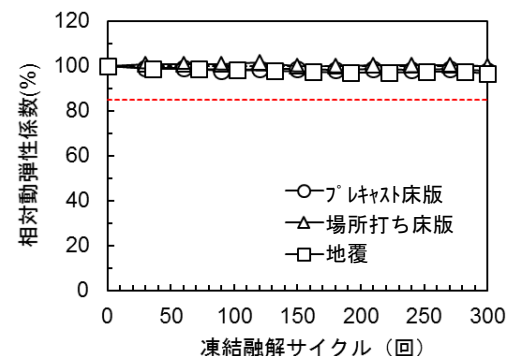
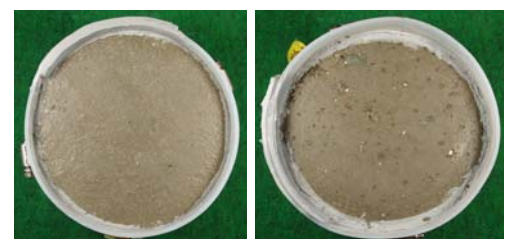


図-2 凍結融解試験（内部損傷）

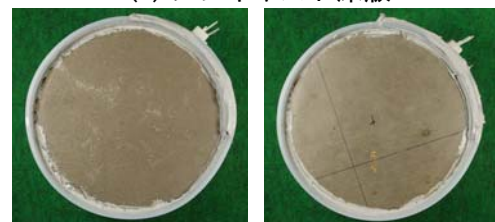
また、地覆に使用した設計基準強度24N/mm²のコンクリートについても、凍結融解300サイクルにおける相対動弾性係数は97%であり、床版用コンクリートには若干劣るものの十分な耐凍害性を有するものと考えられる。

3.2 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-5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。



打設面 型枠面(底面)
(1) プレキャスト床版



打設面 型枠面(底面)
(2) 現場打ち床版

写真-5 スケーリング試験 (50 サイクル)

3.3 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177 μm，型枠面（底面）で空気量が2.9%，気泡間隔係数が112 μm，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62 μm，型枠面（底面）で空気量が5.7%，気泡間隔係数が81 μm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 μm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、気泡も大きなものが含まれているためである。

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	場所打ち床版 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5mmの面で測定

3.4 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 表層透気係数（Torrent法）

		プレキャスト床版 供試体	場所打ち床版 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²⁾

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

3.5 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、表層透気係数が最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。

4. まとめ

きみまち大橋緊急補修工事では、コンクリートの耐凍害性を向上させるために使用するすべてのコンクリートの空気量を6.0%に増加させて工事を行った。そこで、プレキャスト床版の工場製作時および場所打ち床版の施工時に作製した模擬供試体を用いて性能確認試験を行った。その結果、十分な耐凍害性と遮塩性を有することが確認できた。

【参考文献】

- 1) 仁木，高木，安藤，荻野目：交通を確保しながらの鋼橋プレキャスト床版の緊急架替え工事，第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2014.10
- 2) 土木学会：構造物表面のコンクリート品質と耐久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