

論文が総合土木技術誌「土木施工」2022年1月号に掲載されました。



2021年3月12日に竣工しました「新箱石大橋外床版工事」についての論文が総合土木技術誌「土木施工」2022年1月号に掲載されました。

当論文につきましては、当社（株式会社森組）、発注者（国土交通省東北地方整備局）および学識経験者（岩手大学）の共同執筆です。

本工事は、凍害環境の厳しい地域での床版工事であり、産官学協働による試行工事でした。

コンクリート材料、施工方法等の問題点が多々発生する中、東北地方整備局および岩手大学との合同検討会を実施し、さらに、工期が厳しい中、PDCAサイクルではなく、OODAループの活用により、工期内に高耐久性床版を完成する事が出来ました。



# 産官学協働による高耐久性床版コンクリートの施工事例

## 新箱石大橋外床版工事

(株)森組  
新箱石大橋床版工事業務所  
所長  
野中 哲夫

(株)森組  
土木事業本部  
技術部  
庄田 和生

国土交通省 東北地方整備局  
道路部 道路管理課 道路構造保全官  
(前)三陸国道事務所 工務第一課 建設専門官  
吉田 光潤

岩手大学  
理工学部 システム創成工学科  
准教授  
小山田 哲也

### はじめに

東北地方のRC床版では、自然環境や供用環境による早期劣化が散見されており、特に凍結抑制剤の散布環境下では、凍害によるスケーリングが顕著に現れている。そうした中、「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)」が策定された。手引きの中では、「RC床版の高耐久化を図るためにはRC床版、防水工、橋面舗装の三位一体で耐久性が確保できるように施工しなければならない。」と記載されている。しかしながら、防水工の施工時の不具合事例や舗装損傷による防水層の機能低下など防水工には限界があることから、真にRC床版の耐久性とかがぶりコンクリートの緻密性を向上させることが必要と考える。

また後述する新箱石大橋は、東北地方整備局が「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)」の中で特に厳しい凍害環境として対策種別Sにしている地域に架橋しており、過酷な環境の中で一層の凍害対策が必要となっている。

そこで本工事では、上記手引きの試行工事であり、工期制限が厳しい中、高耐久性と耐凍害性を併せ持つコンクリート床版を施工すべく、産官学協働により、施工状況のO(Observe:観察)大学研究結果によるO(Orient:状況判断)発注機関によるD(Decide:意思決定)施工者によるA(Act:行動)ループを駆使し、工期内にRC床版及び壁高欄を構築した。

本報では、コンクリート構造物の検討事例を述べるとともに、産官学協働の実績について報告する。

### 工事概要

工事名 新箱石大橋外床版工事  
発注者 国土交通省東北地方整備局  
三陸国道事務所  
施工者 (株) 森組 東北営業所  
工事場所 岩手県宮古市 箱石地内・茂市地内  
工期 R2年2月6日～R3年3月12日  
施工内容

#### 【新箱石大橋】

床版工 600m<sup>3</sup>(24-15-20BB W/B=45% 特殊品)  
橋梁付属物工 1式  
鋼製足場等設置工 1式

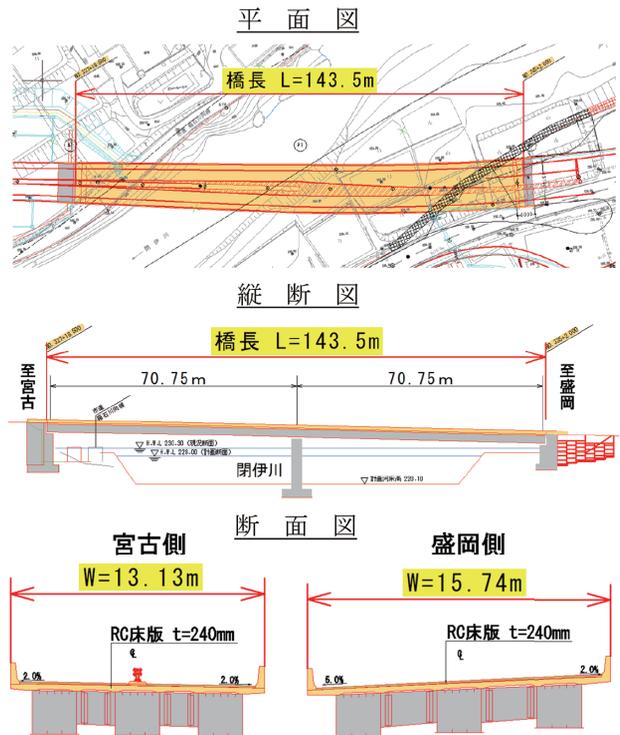
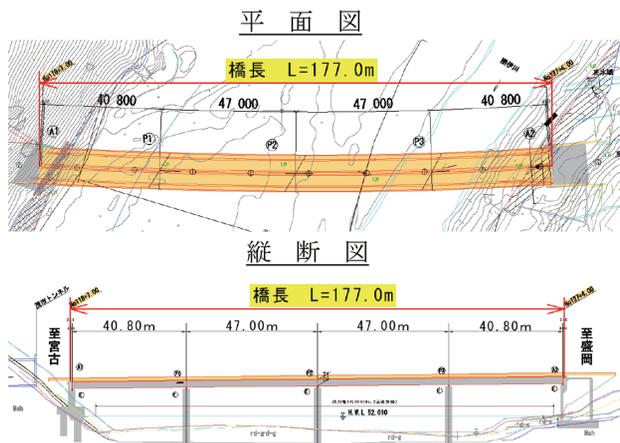


図-1 新箱石大橋 工事概要

#### 【茂市橋】

床版工 569m<sup>3</sup>(24-15-20BB W/B=45% 特殊品)  
橋梁付属物工 1式  
鋼製足場等設置工 1式



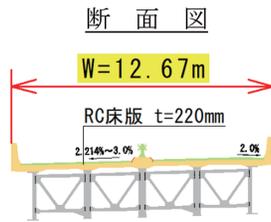


図-2 茂市橋 工事概要

## コンクリートの施工上の課題

架橋位置は凍害が特に懸念される地域で、コンクリート床版の高耐久化を図るにあたって、過去の文献や実績を調査した結果、これに該当する施工が報告された事例はなかった。産官学合同による会議を開催し、課題及び解決方法について検討した。骨子を以下に示す。

- 1) 当該地域は、凍害が懸念され、東北地方整備局が通知した「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)」(以下、参考資料案)を使う必要がある。
- 2) 参考資料案に従い、水結合材比を45%以下とし、空気量を5.0~6.9%となるよう配合設計する。
- 3) 工期が迫っているため、コンクリートのスケール抵抗性を有するコンクリートを実機試験で求め、本工事においても、特に振動締めめと養生に配慮して施工する。
- 4) セメントには、高炉セメントB種を使用し、ひび割れ抑制策として膨張材を用いる。
- 5) 施工にあたっては、運搬時間や荷卸し、圧送、振動締めめ及び養生を数段階で設定した模擬試験を行い、最適化を図る。
- 6) 「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)」(以下、手引き)により、施工の基本事項を遵守して本施工を行う。

## OODAでの産官学協働

以上の課題に対して、コンクリートの試験練りにより、あらかじめフレッシュコンクリートの性質を小型ミキサで確認した後、実機試験によりコンクリートを練上げ、模擬床版を用いた施工試験と、耐凍害性を確認するための実験を行った。実施は、産官学による協働組織体制としており、結果を持ち合わせて会議を繰り返し、最終的なコンクリートの配合及びその施工方法を検討した。

結果を以下に示す。

### (1) コンクリート試験練り(2020/4/15実施)

水結合材比W/B=40%、45%及び50%の3配合について、フレッシュコンクリートのコンシステンシー、ワーカビリティ等の確認を行った。すべての水結合材比で所要のスランプ及び空気量が得られる配合を見出した。

### (2) 実機試験(2020/4/22実施)

W/B=40%及び45%の2配合について、練上がり後30分~

120分まで30分ごとに、性状試験、気泡間隔係数試験(リニアトラバース法)及びスケール試験を実施した。

- ① 茂市橋の運搬時間30分、新箱石大橋の運搬時間60分を想定したスケール試験結果を図-3に記す。
- ② 岩手大学での凍結融解試験の実績データ推定によると、全ての配合、練上がり後経過時間において、50サイクル完了時にスケール目標値 $0.5\text{kg/m}^2$ を超過する可能性が高いことが予測された。この原因は、同試料での気泡間隔係数が $257.6\mu\text{m}$ (目標値 $250\mu\text{m}$ 以下)で、エントレインドエアの混入が少ないことによると推測され、模擬床版試験をする際には、空気連行に注意が必要であることが分かった。
- ③ W/B=40%については、経時変化が激しくワーカビリティに問題があることを確認し、スケール試験結果も45%に劣るため、本施工には不適合と判断した。実機試験結果をもとに、産官学合同による検討会を実施し、模擬床版の試験配合をスケール量の少ないW/B=45%に決定した。

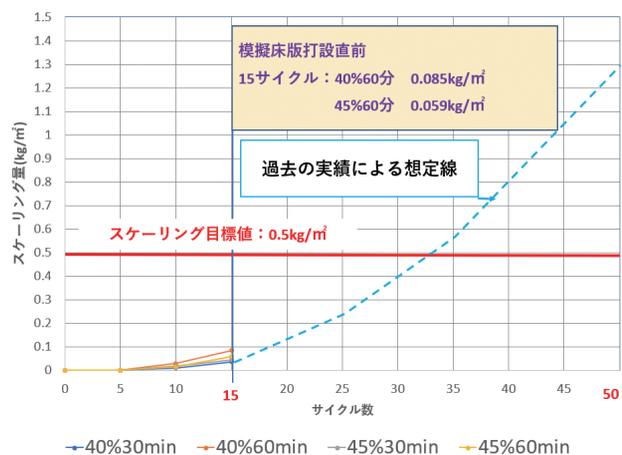


図-3 スケール試験結果(推定)

### (3) 模擬床版試験(2020/6/23実施)

茂市橋の運搬時間を30分、新箱石大橋の運搬時間を60分とし、各打設勾配、圧送高及び鉄筋を考慮した模擬床版を作製し、各試験により本施工での施工条件を決定することとした。

施工手順を明確にして、コンクリートの品質の安定を図るため、荷卸し時目標空気量の確認、バイブレータによる最適な締めめ時間(5s、10s、15s)の確認及びN式貫入試験による各種仕上げ開始時期を確認することとした。

各条件について、気泡間隔係数試験を実施し、エントレインドエアの変化状況について確認することとした。

- ① 手引きによると、特に厳しい耐凍害対策が必要なS地域における空気量は、荷卸し時5.0~6.9%、締めめ後4.5%

程度とされており、試験結果(表-1)でも、ほぼ同等の値が得られたことから、目標空気量を6.5%とした。

- ②締固め時間は、手引きに記載による採取コアの観察により、5秒では材料分離(粗骨材の沈下)はないがエントラップドエアが多く、15秒では材料分離が確認されており、良好な締固め時間10秒を採用した(写真-1)。
- ③N式貫入試験を実施し、左官工等による平坦仕上げ、最終仕上げ及び養生開始時期と人員の適用性を確認した(図-4)。
- ④硬化後のコンクリートでは、ABいずれも空気量が低く、気泡間隔係数も250 $\mu\text{m}$ を超過する結果となった(表-1)。原因としては、エントレインドエアが少ないことによる硬化後空気量の減少が考えられた。

模擬床版施工結果をもとに、再度検討会を実施し、時間経過によるスランプの低下及びポンプ圧送による、連行空気の消失を改善するため、流動化剤の添加を検討した。

表-1 空気量・気泡間隔係数試験結果

	荷卸し時	筒先	締固後空気量 4.0%以上			硬化後	気泡間隔係数 目標250 $\mu\text{m}$ 以下
			5秒	10秒	15秒		
A-1	6.2%	5.0%	4.1%			1.46%	474.3
A-2	6.2%	5.5%		5.4%		1.27%	462.5
A-3	6.2%	5.6%			4.1%	1.19%	493.1
B-1	6.2%	6.0%	4.5%			2.46%	489.8
B-2	6.3%	6.5%		4.1%		2.12%	377.2
B-3	6.4%	6.1%			4.6%	1.17%	545.6
<b>平均</b>	<b>6.3%</b>	<b>5.8%</b>				<b>1.61%</b>	<b>473.8</b>

A：運搬時間60分(新箱石大橋)  
B：運搬時間30分(茂市橋)

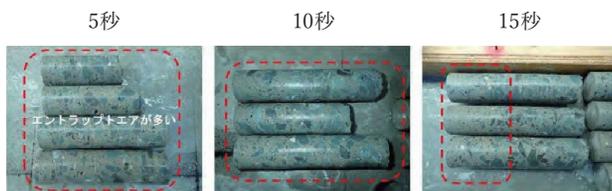


写真-1 締固め時間5、10、15秒でのコア観察例

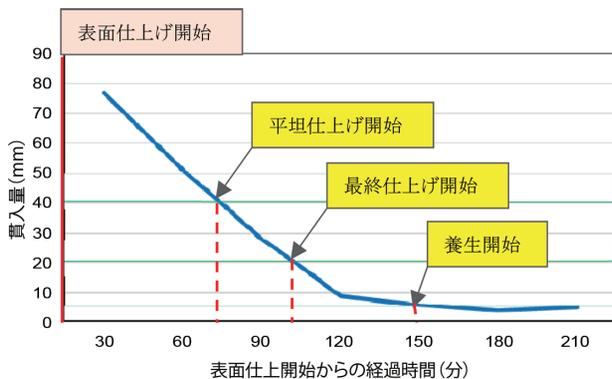


図-4 N式貫入試験結果図

#### (4)流動化剤を添加した配合の追加検討

配合検討は運搬時間60分とし、流動化剤添加による連行空気が適切に増加するかを確認するため、気泡間隔係数試験の実施、流動化剤添加前後の空気量の経時変化を確認することとした。

①添加後試料の気泡間隔係数試験の結果は236 $\mu\text{m}$ であり、目標値250 $\mu\text{m}$ を満足する結果となった。今回使用した流動化剤は、後添加型高性能AE減水剤であり、界面活性効果により微細な空気量が増加し、気泡間隔係数の改善が促進された可能性が考えられる。

②流動化剤添加後の空気量の経時変化については、10分毎に約0.5%の低下が確認されたため、添加後の時間経過に留意した(表-2)。

以上の試験結果により、流動化剤添加後エントレインドエアが増加したことにより、気泡間隔係数の数値が改善されたと判断し、床版本施工は配合W/B=45%(流動化剤入り)に決定した。

表-2 流動化剤添加後、空気量の経時変化

	荷卸し時	経過時間			
		投入後	10分	20分	30分
C-1	5.9%	8.0%	7.5%	6.8%	5.9%
C-2	6.0%	8.2%	7.8%	7.0%	6.0%
<b>平均</b>	<b>6.0%</b>	<b>8.1%</b>	<b>7.7%</b>	<b>6.9%</b>	<b>6.0%</b>

#### (5)床版本施工(2020/8/3~実施)

前述の各試験結果により、W/B=45%(流動化剤入り)とし、荷卸し時空気量6.5%を目標とした。結果、実施工では荷卸し時空気量6.7%、硬化後空気量については3.8%、気泡間隔係数についても224 $\mu\text{m}$ と大きく改善された(表-3)。

スケーリング試験については、床版施工完了後の結果確認となったが、配合を検討し、振動方法や時間、養生方法を最適化した結果、目標値:0.5kg/m<sup>2</sup>に対し、0.07kg/m<sup>2</sup>と大幅に目標を達成する結果となった(表-3、図-5)。

以上、品質を確保するために実施した各種検討を、次章に述べる。

表-3 試験結果比較表

	配合	空気量		気泡間隔係数	スケーリング試験
		荷卸し時	硬化後		
目標値	W/B=45%(流動化剤入り)	6.5%	3.5%以上	250 $\mu\text{m}$ 以下	0.5kg/m <sup>2</sup> 以下
試験値	W/B=45%	6.3%	1.6%	474 $\mu\text{m}$	0.5kg/m <sup>2</sup> 以上
実施値	W/B=45%(流動化剤入り)	6.7%	3.8%	224 $\mu\text{m}$	0.07kg/m <sup>2</sup>

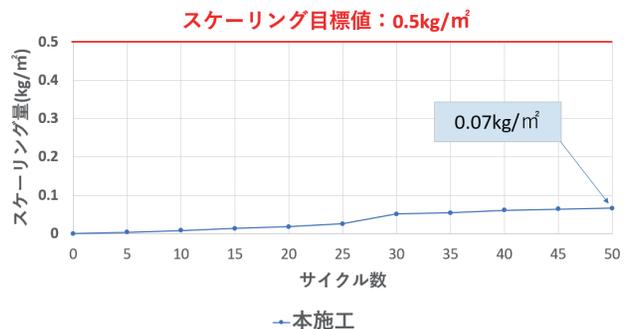


図-5 スケーリング結果

## 床版コンクリート表面品質の確保

コンクリート床版の高耐久化を図るために施工上で留意した点は、下記の事項であり、その詳細を以下に示す。

「一体性」→段階施工によるひび割れの抑制

「密実性・均一性」→締固め管理方法の工夫

「緻密性」→養生管理方法の工夫

### (1) 段階施工による応力解析

2径間及び4径間鋼桁について、段階施工による応力でひび割れが生じないように、応力解析の上打設順序を決定した。下記に2径間での解析結果を示す(図-6)。

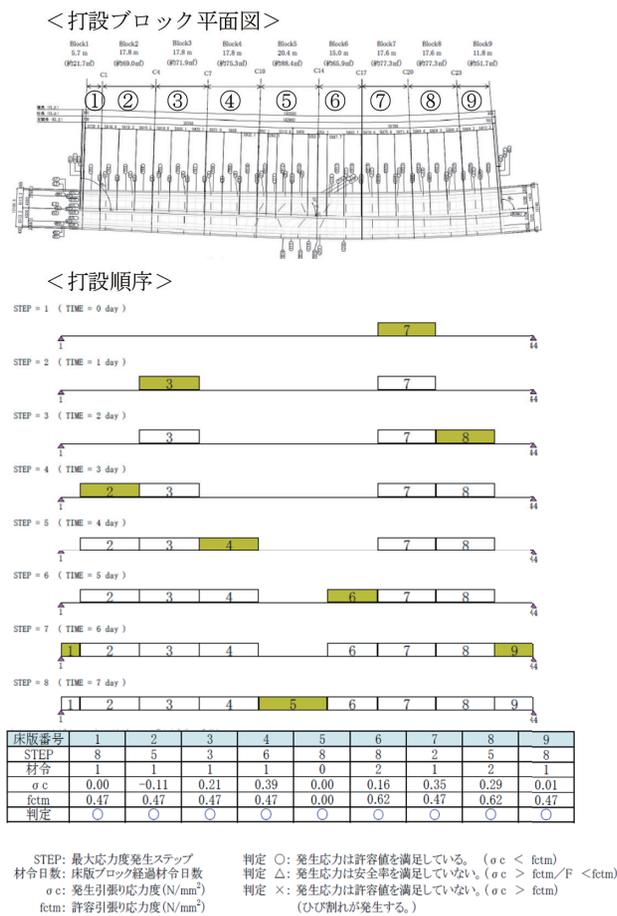


図-6 段階施工による応力解析結果

### (2) 打設人員の検討

打設人員の計画で最も重要な、締固め振動機の本数と左官工の人員について、検討する。

#### ① 締固め振動機の本数検討

打設速度: 12m<sup>3</sup>/h (=50m<sup>2</sup>/h)

締固め時間: 10s + 移動時間20s = 30s

1本当り締固め面積: 0.4×0.4×3600÷30 ≒ 19m<sup>2</sup>/h

必要本数: 50÷19 = 2.6本 (3本)

#### ② 左官工の人数検討

最大打設量: 90m<sup>3</sup> (=375m<sup>2</sup>)

左官工: 375÷100m<sup>2</sup>/人×2 = 7.5人

(平坦性+最終仕上げ)

以上を踏まえ、打設人員を下記に決定した。

筒先振動機: φ50-2本(+予備1本)

締固め振動機: φ40-3本(+予備1本)

ポンプ車: 1台(排出量: 10~110m<sup>3</sup>/h)

職 長: 1名 土 工: 15名(交代要員含む)

左官工: 8名(トロウエル: 1台)

型枠工: 3名 圧送工: 2名 管理職員: 5名

### (3) 締固め管理方法の工夫

#### ① パイプレータ挿入間隔の工夫(締固め定規の使用)

締固め不良は、床版の耐久性に大きく影響する。

また、下記の問題点を解決するため、締固め範囲(□40cm×40cm)を可視化するため定規を作成した(写真-2)。

・施工面積が広い…締固め間隔の確認が困難

・約6%の橋面勾配…締固めによる流動防止



写真-2 締固め定規

#### ② 表面気泡除去の工夫

排水柵設置部の表面気泡除去に「ピカコン」を使用した(写真-3)。

壁高欄ハンチ部、中央分離帯では、コンクリート型枠用排水性シート「エアレックスシート」を使用した(写真-4)。



写真-3 ピカコン

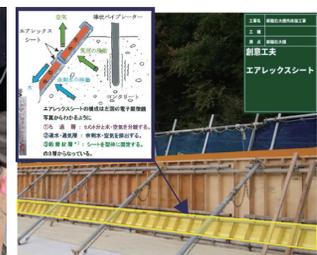


写真-4 エアレックスシート

#### ③ 締固め時間管理の工夫

締固めの均一性確保のため、振動機は横一列に3台配置し、挿入時間については、電子ホイッスルを使用した(写真-5)。

#### (4) 養生管理方法の工夫

##### ① N式貫入試験による養生時期の設定

模擬床版時のN式貫入試験結果を基に、本施工においても現位置にて、N式貫入試験(30分毎)を実施し、コンクリートの凝結時間を簡易判定し、平坦仕上げ開始時期、最終仕上げ開始時期及び養生開始時期を決定した(次頁写真-6)。

写真-5 電子ホイッスル





写真-6 N式貫入試験実施状況

### ②表面平坦性及び緻密性向上の工夫

夏季施工の上、セメント量の多いコンクリートのため、水和反応が早く、平坦仕上げのタイミングは短く、施工中も性状変化することが懸念された。振動機付レーキ(L=5.0m、W=1.5m)を使用し、性状変化への対応を可能にし、且つ再振動により、表面の緻密性向上を図った(写真-7)。

また、仕上げ時に表面養生剤(フェアリート:NETIS KT-140071-VE)を散布した(写真-8)。



写真-7 振動機付レーキ



写真-8 表面養生剤散布状況

### ③養生方法の選定と工夫

模擬床版時に、養生方法「養生マット(写真-9)」及び「養生マット+遮光保温シート(写真-10)」の2タイプについて、効果の検証を行った。結果は、表層透気試験により判定したが、どちらも優良な結果が得られた(表-4)。

しかし、養生マットの一部に乾きが確認された。原因は、勾配による養生水の移動によることが原因と考えられる。

床版コンクリートは、部材厚が薄く、セメント量も多く、加えて夏季施工のため、水和発熱による水分の蒸発が促進される。また表面積も広く、安定して湿潤状態を保持するために、自動散水養生システムを採用することとした(図-7、写真-11)。

自動散水養生システムとは、コンクリート表面に湿度センサーを設置し、相対湿度を監視(見える化)するとともに、設定値(70%)を超えた場合は、自動で散水養生を行うシステムである。



写真-9 養生マット

写真-10 遮光保温シート

表-4 透気試験結果表

測定場所	単位	養生マット			養生マット+遮光保温マット		
		①	②	③	①	②	③
コンクリートの含水率	%	4.7	4.4	4.5	4.5	4.5	4.2
表層透気係数	10 <sup>-16</sup> /m <sup>2</sup>	0.0026	0.0001	0.0010	0.0057	0.0090	0.0057
測定深さ	mm	3	1	2	4	5	4
判定	グレード	優	優	優	優	優	優

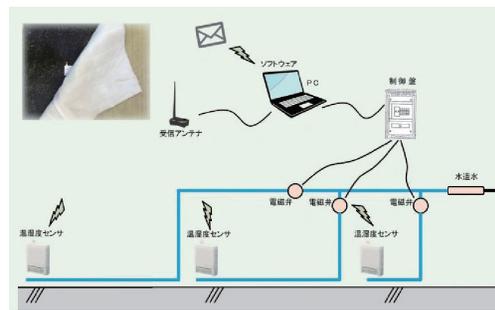


図-7 自動散水システム

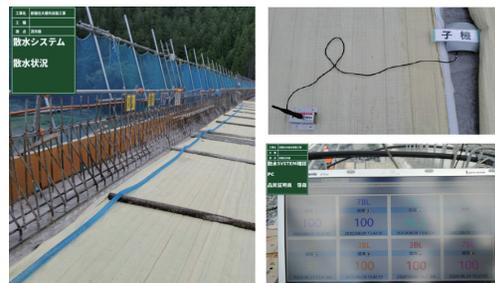


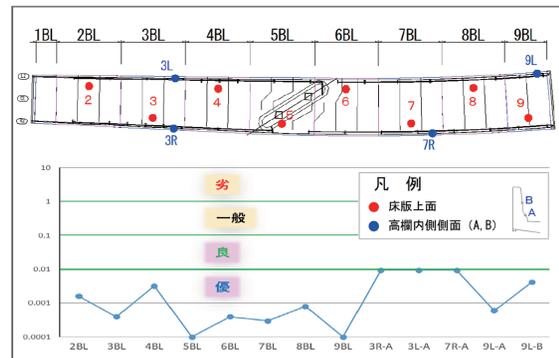
写真-11 自動散水システム

## 表面品質の確認

床版コンクリート及び壁高欄について、表面品質の確認として、表層透気試験を実施した結果を下記に示す(図-8)。

結果は、全て「優」であり、かぶりコンクリートの緻密性は良好であった。

新箱石大橋



茂市橋

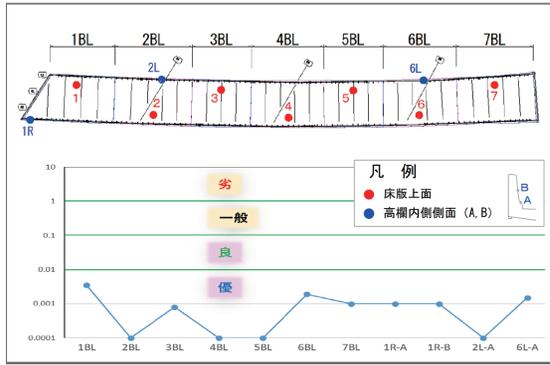


図-8 透気試験結果

おわりに

以上のように過酷な凍害環境における高耐久性を有するコンクリート床版の施工を産官学の協働により具現化した。

床版本施工での硬化後空気量については、目標3.5%以上に対し3.8%、気泡間隔係数については、目標250 $\mu\text{m}$ 以下に対し224 $\mu\text{m}$ と目標を満足する結果であった。

寒冷地における凍害対策の主たる評価基準であるスケーリング試験結果は、0.07 $\text{kg}/\text{m}^2$ と目標値である0.5 $\text{kg}/\text{m}^2$ 以下を満足した。また、耐久性に影響を与えるコンクリート表面の緻密性の評価については、表層透気試験にて24か所

すべてにおいて「優」判定となった。壁高欄部の試験結果については、今後の維持管理に向けた初期値として、活用していただければ幸いである。

品質改善モデルといわれる「PDCAサイクル」では、各工程においてP(Plan:計画)、D(Do:施工)、C(Check:検証)、A(Action:改善)を繰り返し工事を進めていくことになるが、今回の高耐久性床版コンクリートの施工においては、計画～本施工着手までに最低6か月以上、想定外の事象が確認された場合は、更に数か月の期間を費やすこととなる。

当工事では、工期制限の厳しい中で高耐久性床版コンクリートを完成させるため、産官学協働組織による迅速な意思決定と行動を可能にする「OODAループ」により施工した(図-9)。

実際、実機試験でのコンクリート配合について、スケーリング試験が目標値以下となることを、過去の実験データより早期に推測し、即座に検証・対策を産官学協働組織で議論を重ねた。これらの試験結果や現場状況をもとに、意思決定を即座に行い、必要があれば修正して対応することができた。

本工事では、以上の実験結果から耐凍害性を有し、緻密な構造物を施工できたことを確認しており、高耐久性床版コンクリートを早期に構築できたものとする。

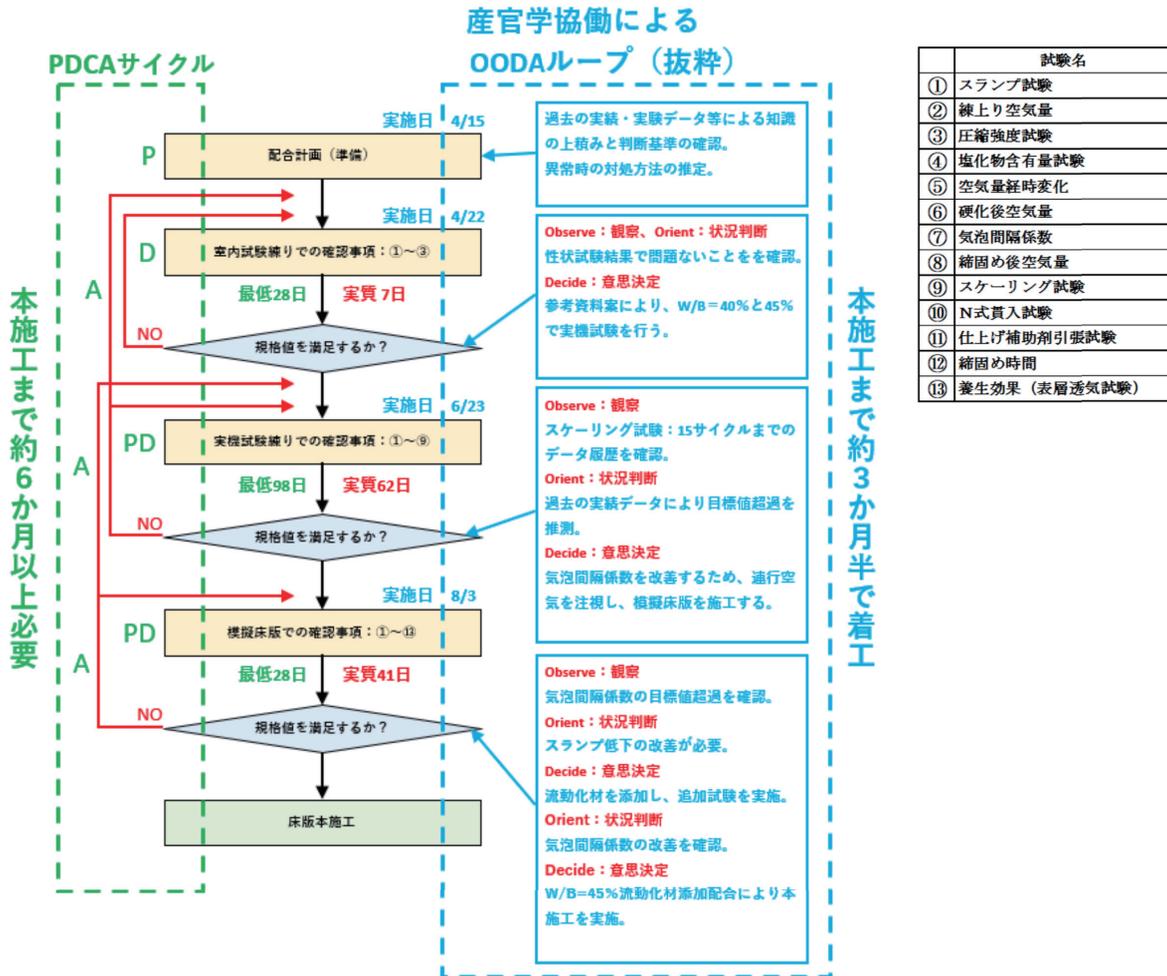


図-9 PDCAとOODAの比較