

# 報告 新柳渕橋の高耐久コンクリート床版への取組み

串田 雅宏<sup>\*1</sup>・我彦 聰志<sup>\*2</sup>・阿波 稔<sup>\*3</sup>・小岩 孝行<sup>\*4</sup>

**要旨**：東北地方整備局は復興道路や復興支援道路における、RC床版において塩害、凍害、ASR、疲労の複合劣化に対し、多重防護の対策による耐久性の確保を目指している。岩手県下閉伊郡普代村の新柳渕橋（鋼2径間連続非合成箱桁）のRC床版においても、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<sup>1)</sup>および東北地整による資料<sup>2)</sup>に基づき、高炉セメントB種、膨張材および短纖維を使用した配合・物性・施工性の確認を室内試験練り、実機プラント試験練り、試験施工の各段階で実施した。これを基に、本施工における施工管理上の留意点、工夫、品質管理手法等を検討した。

**キーワード**：高炉セメントB種、膨張材、短纖維、空気量、締固め時間

## 1.はじめに

近年、国土交通省東北地方整備局管内の凍結抑制剤を散布する路線を中心に、RC床版において表面のコンクリートが土砂状に劣化する現象（土砂化）が散見されるようになってきた。この現象は、活荷重による疲労破壊が未だ確認されていない、日交通量8千～1万2千台程度のRC床版でも発生しており、疲労破壊よりも先に土砂化が発生しているのが東北のRC床版の実態である。この土砂化は、自然環境条件やRC床版に対する凍結抑制剤散布が大きく起因していることが、近年の研究で分かってきている。

そこで、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<sup>1)</sup>、東北地整による資料<sup>2)</sup>および先行事例を踏まえ、三陸国道事務所において、RC床版の耐久性確保のための試行工事が計画された。国道45号萩牛北地区道路工事における、新柳渕橋の床版施工はその一環である。当該橋梁のRC床版施工においては、LCCの低減と、凍害、塩害、ASR、疲労のそれぞれに複数の対策が機能するように多重防護を施し、合理的かつ効率的に劣化に対するリスクを低減させることとした。また、国道45号と普代川を跨ぐことから、供用時の剥落対策も必要であった。

これらを踏まえて、以下に示す条件を満たすように配合、施工方法、品質管理方法を検討した。

a.凍害対策のため、資料<sup>2)</sup>に示されている種別Sの配合を採用することとし、コンクリートの現地到着時の空気量の目標値を $6.0 \pm 1.0\%$ とする。

b.コンクリートの緻密性・遮塩性確保および塩分環境下のASR防止のため、高炉セメントを使用し、水結合材比は45%以下とする。また、RC床版の上下面ともに1ヶ月以上の養生を実施する。

c.高炉セメントB種を使用する。

d.床版の収縮によるひび割れを抑制するため、膨張材を使用する。

e.剥落防止用の短纖維を添加する。

## 2.コンクリートの配合選定

### 2.1 試験概要

室内試験練りでのコンクリート配合検討は、前述の条件を満たし円滑な施工を可能とするために、呼び強度 $24N/mm^2$ 、スランプ15cmの配合をベースとした。また、室内試験練りを行うにあたって、膨張材の添加量がコンクリートの膨張・収縮量に与える影響を確認するための試験と、短纖維添加が耐凍害性に与える影響を確認するための試験も併せて行った。

### 2.2 コンクリートの配合

#### (1) 配合条件

配合条件を表-1に示す。

#### (2) コンクリートの配合設計

配合設計は、現地生コン工場で使用されている配合(24-15-25BB)をベースとした。室内試験練りの配合は、膨張材の添加量がコンクリートの膨張・収縮量に与える影響を確認するための試験と、短纖維添加が耐久性に与える影響を確認するための試験も含めた配合とした。室内試験練りの配合を表-2に示す。

表-1 配合条件

要因	条件
水結合材比	45%以下
スランプ	$15 \pm 2.5\text{cm}$
空気量	$6.0 \pm 1.0\%$
強度(材齢28日)	$24N/mm^2$ 以上

\*1 西松建設(株) 萩牛トンネル出張所 副所長 (正会員)

\*2 西松建設(株) 技術研究所 工修

\*3 八戸工業大学 土木建築工学科教授 工博 (正会員)

\*4 国土交通省 東北地方整備局 三陸国道事務所 工務第二課 建設監督官

表-2 室内試験練り配合表

配合内容	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			W	B		S	G	AE減水剤	短纖維
				C	EX				
BB短纖維	43.0	40.0	170	395.0	0.0	671	1013	3.16	0.455
BBEX20	43.0	40.0	170	375.0	20.0	671	1013	3.16	0
BBEX20短纖維	43.0	40.0	170	375.0	20.0	671	1013	3.16	0.455
BBEX22.5短纖維	43.0	40.0	170	372.5	22.5	671	1013	3.16	0.455
BBEX25短纖維	43.0	40.0	170	370.0	25.0	671	1013	3.16	0.455

BB : 高炉セメント B 種  
EX : 膨張材  
短纖維 : 短纖維入り

### (3) コンクリート室内試験練り

#### 1) フレッシュ性状

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 は短纖維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。試験結果から、選定した配合において短纖維添加によるスランプロスや空気（エントラップドエア）の巻き込みはみられなかった。

表-4 は膨張材の添加量を標準量よりも増加させて、フレッシュ性状への影響を検証したものである。試験結果から、選定した配合においては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かった。

#### 2) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、標準養生の材齢 7, 28 日に実施した。試験結果を表-5 に示す。

試験結果から、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。

#### 3) 一軸拘束試験

膨張材の添加量を増加させることによって、膨張・収縮量がどの程度変化するかを確認した。試験方法は JCI SAS3-2 (コンクリートの自己収縮応力試験方法) に準拠して行った。試験に使用した試験体を図-1 に示す。

膨張材を無添加、20, 22.5, 25kg/m<sup>3</sup>としたときの一軸拘束試験結果を図-2 に示す。今回の試験では、無添加に比べると標準量 (20kg/m<sup>3</sup>) 添加した場合、 $40 \times 10^{-6}$  程度の膨張量の増大が見られた。また、22.5 kg/m<sup>3</sup>, 25 kg/m<sup>3</sup> 添加した場合、20kg/m<sup>3</sup> 添加よりそれぞれピーク時で  $10 \times 10^{-6}$  程度の膨張量の増大が認められたが、経過時間約 12 日で添加量 22.5 kg/m<sup>3</sup> と 25 kg/m<sup>3</sup> 差は無くなかった。

#### 4) スケーリング試験

本配合において剥落防止のために混入する短纖維が、コンクリートの耐凍害性に与える影響を確認するため、JSCE-K572 に準拠してスケーリング試験を実施した。

スケーリング試験後の供試体の状況を写真-1 に、試験結果を図-3 に示す。

写真-1 より、選定した配合においては短纖維を添加した方が、スケーリングが抑制される傾向があることが確認された。また、図-3 より、選定した配合においては膨張材添加により若干ではあるがスケーリングが抑制される傾向があることが確認された。

表-3 スランプ、空気量測定結果 (纖維の有無)

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短纖維	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短纖維	16.0	6.1	25
BBEX20短纖維	15.5	6.3	25
BBEX22.5短纖維	16.0	6.9	25
BBEX25短纖維	15.5	6.7	25

表-5 圧縮強度試験結果

配合内容	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	$\sigma$ 7	$\sigma$ 28
BB短纖維	21.8	34.6
BBEX20短纖維	25.9	34.5
BBEX22.5短纖維	23.1	33.3
BBEX25短纖維	23.4	32.8

※ □: D29 異形棒鋼  
※ ■: ひずみゲージ  
※ 単位: mm

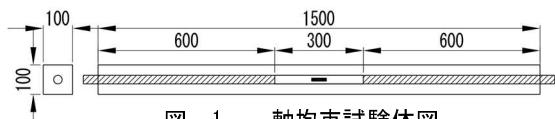


図-1 一軸拘束試験体図

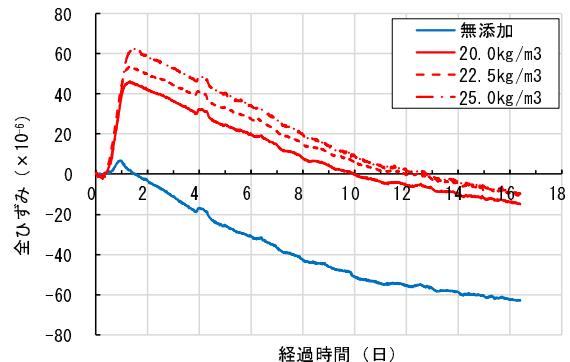


図-2 一軸拘束試験結果

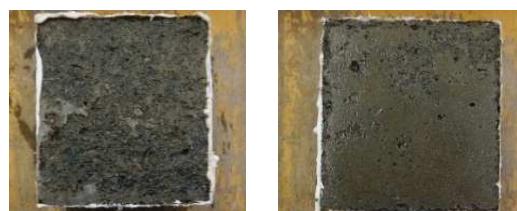


写真-1 スケーリング試験供試体 (60サイクル後)

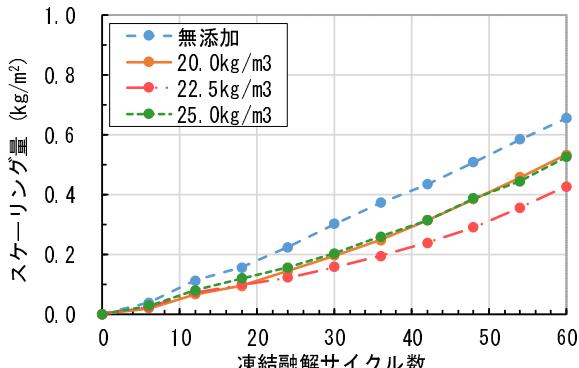


図-3 スケーリング試験結果（室内試験練り）

表-6 示方配合表（実機プラント）

配合内容	最大骨材粒径 G max (mm)	水結合材比 W/B (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m³)						
						W	B	C	EX	S	G	
BBEX20短纖維	25	43.0	15.0	6.0	40.0	170	375	20	671	1013	3.16	0.455

表-7 実機試験練り試験項目

試験項目	経過時間 (分)					備考
	0	30	60	60+短纖維	60+短纖維+30	
スランプ	○	○	○	○	○	
空気量	○	○	○	○	○	
塩化物含有量	○	—	—	—	—	
圧縮強度	—	—	—	○	—	標準養生、σ 7, 28
締固め試験	—	—	—	○	—	締固め時間8秒



写真-2 締固め試験実施状況

### 3. 実機プラントでの配合確認

#### 3.1 試験概要

実機プラントでの示方配合は、室内試験練りの結果を踏まえて膨張材 20kg/m³、短纖維混入 (BBEX20 短纖維) に決定した。その示方配合を表-6 に示す。

本施工で使用するコンクリートは、①生コン工場で短纖維無添加のコンクリートを製造、②打設現場までアジテータ車で運搬、③打設現場到着後にアジテータ車に短纖維を投入混合、④所定箇所に圧送後バイブレータで締固める、といった手順で打設される。室内試験で決定された配合の妥当性を確認するため、実機プラントにおいて本施工を模擬した試験練りを実施した。スランプ、空気量等各試験の確認時間および項目を表-7 に示す。短纖維添加は、本施工時における生コン工場から現場までのアジテータ車の運搬時間を考慮して、コンクリート練混ぜから 60 分後に実施した。練混ぜ量はプラントのミキサー練混ぜ性能を考慮して 3.0m³ とした。

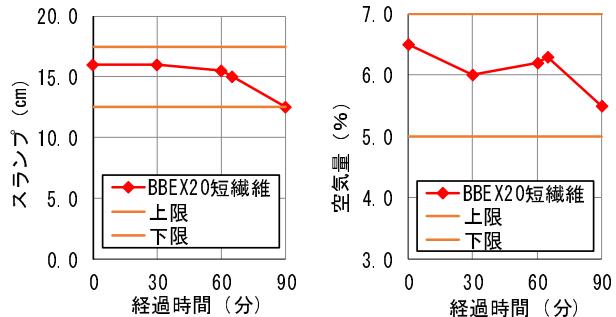


図-4 スランプおよび空気量の経時変化

併せて、本施工におけるバイブルータの締固めによる空気量の低下について知見を得るために、短纖維混入後のコンクリートについて高周波バイブルータによる締固め試験を実施した。締固め試験の状況を写真-2 に示す。

#### 3.2 フレッシュ性状

##### (1) フレッシュ性状の経時変化

コンクリートのスランプと空気量の経時変化を図-4 に示す。

運搬距離や短纖維投入の作業時間を考慮すると、コンクリートの練混ぜから所定の場所への打込み完了までの時間は 90 分である。示方配合は、全体的に値が低下する経時変化が認められたものの、短纖維の投入も含めた経過時間 90 分においても規定値を満足している。

##### (2) 短纖維添加によるフレッシュ性状の変化

短纖維がコンクリートのフレッシュ性状に与える影響について確認を行った。図-4 より、短纖維添加前後

表-8 試験項目一覧表（試験打設）

試験項目	試料採取時期					備考
	現着時 (ベース)	荷卸し時 (短纖維添加後)	圧送後 (吐出箇所)	締固め後	硬化後 (2週)	
フレッシュ性状	スランプ	○	○	○	—	—
	空気量	○	○	○	—	—
	塩化物含有量	○	—	—	—	—
	N式貫入試験	—	—	○	—	—
硬化後の性状	圧縮(標準養生)	—	○	—	—	$\sigma 7, \sigma 28$
	スケーリング試験	○	○	○	○	5,10,15秒
	空気量	—	—	—	○	コア採取、5,10,15秒
	気泡間隔係数	—	—	—	○	コア採取、5,10,15秒
	ひずみ量	—	—	—	◀▶	打設後4週まで計測
コンクリート温度	—	—	—	◀▶	打設後4週まで計測	—

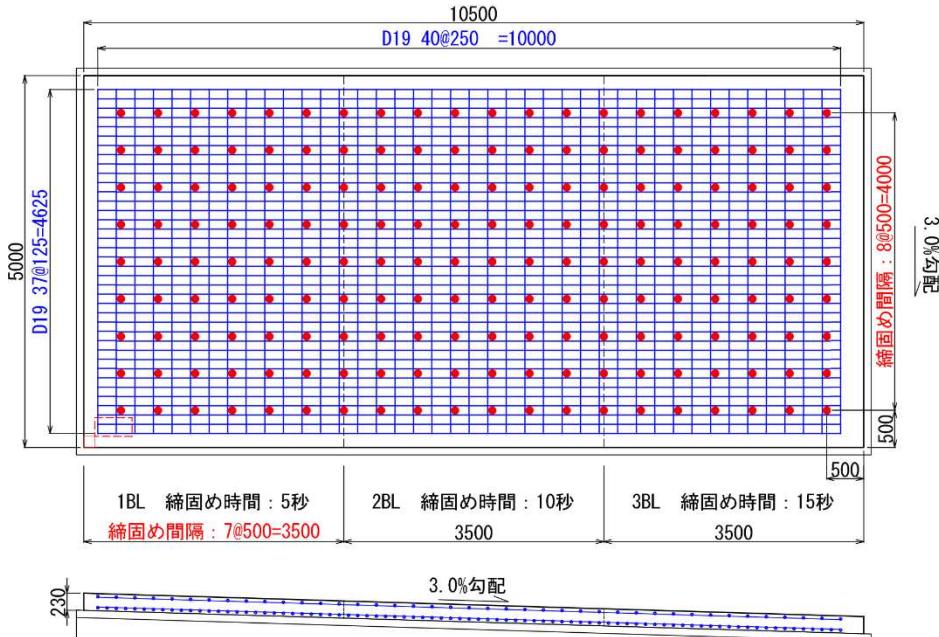


図-5 模擬床版試験体寸法および配筋図

でスランプおよび空気量にほとんど変化が無いことから、短纖維添加が示方配合のフレッシュ性状に与える影響は少ないことが確認できた。

### 3.3 締固め試験

表-1 配合条件に示すとおり、示方配合のコンクリートの現場到着時の空気量は  $6.0 \pm 1.0\%$  としており、通常のコンクリートよりも多い空気量管理となっている。これは、耐凍害性を確保するために、締め固めた後の空気量を維持するためである。そこで、試験施工時の締固め時間の参考に既往の施工事例から締固め時間を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<sup>2)</sup>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。

## 4. 模擬床版試験施工

### 4.1 試験概要

新柳渕橋の一部を模擬した試験体を作製して、コンクリートのフレッシュ性状および硬化後の品質が所定の性能を満足できる打設計画を決定するために、試験施工を実施した。

試験施工に際して実施した試験項目および試料採取時期を表-8に示す。

### 4.2 試験体概要および施工方法

試験体は実構造物の一部分を模擬した形とし、実構造物と同様に橋軸・横断方向にそれぞれ3%の勾配を付けた。図-5に試験体寸法および配筋図を示す。

打設は、本施工で想定される100mの水平配管をセットしたコンクリートポンプを使用して、 $20m^3/h$ の速度で行った。試験状況を写真-3に示す。

### 4.3 フレッシュ性状試験

#### (1) スランプと空気量

到着時（ベース）、荷卸し時（短纖維添加後）、圧送後（吐出箇所）それぞれのスランプと空気量の試験結果について表-9に示す。



写真-3 模擬床版試験施工 (打設状況)

表-9 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 (短纖維添加後)	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

表-9 より、短纖維添加による若干のエアの巻き込みがあるものの、既往の資料<sup>2)</sup>に示されている種別Sの規格値である $6.0 \pm 1.0\%$ を超えることは無かった。また、短纖維添加によるスランプロスは認められるものの、圧送によるスランプロスはみられなかった。

#### 4.4 N式貫入試験

N式貫入試験は、コンクリート試料に一定高さから落下させた突き棒の貫入量から、仕上げおよび養生開始の時期を判断するものであり、左官工の経験値と合わせて合理的なタイミングを数値的に評価するものである。試験装置の概要を図-6に示す。試験体は、施工試験体とは別にL1.0m×W1.0m×h0.25mのサイズで製作した。

N式貫入試験結果と左官工のヒアリング結果から総合的に決定した、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-7に示す。

以上より、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。

- a. 平坦仕上げを行う目安の貫入量は40~55mm
- b. 最終仕上げを行う目安の貫入量は20~25mm
- c. 養生シート敷設を行う目安の貫入量は5~10mm

#### 4.5 養生

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。また、コンクリート表面が常に湿潤状態に保たれるように給水養生用シートに連続給水した。給水養生用シート敷設状況を写真-4に示す。

#### 4.6 スケーリング試験

コンクリートの耐凍害性を確認するためにスケーリング試験（角柱供試体：W100×H100×L400）を、現着時

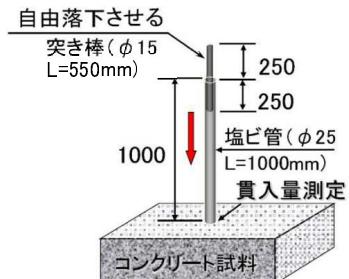


図-6 N式貫入試験装置 概略図

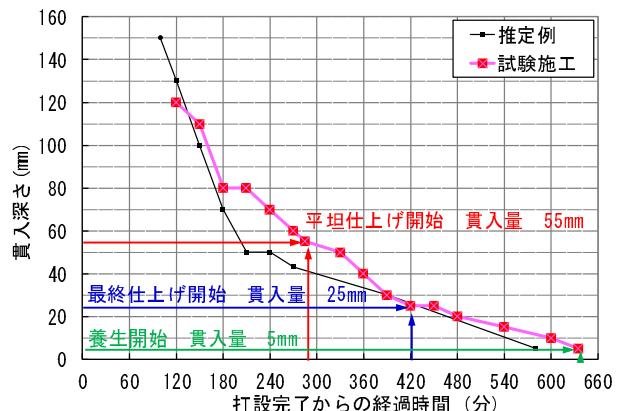


図-7 N式貫入試験結果と仕上げ／養生状況

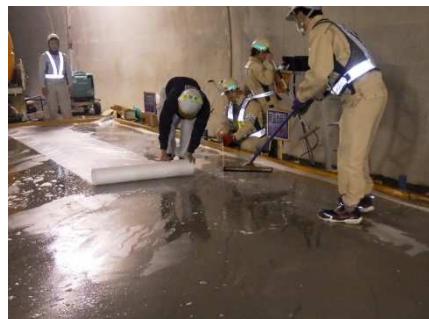


写真-4 給水養生用シート敷設状況

(ベースコンクリート)、短纖維添加後、圧送後(吐出箇所)、締固め時間(5秒、10秒、15秒)の6ケース実施した。なお、締固め時間の試料は、図-5に示すとおり締固めが完了した模擬床版の型枠内から採取した。

スケーリング試験後の代表的な供試体の状況を写真-5に、試験結果を図-8に示す。

図-8より、荷卸し時(短纖維添加後)は現着時(ベースコンクリート)に比べスケーリング量は大きく減少している。また、ポンプ圧送および振動締固めによってスケーリング量は増加傾向となった。

#### 4.7 硬化後の気泡間隔係数および空気量試験

耐凍害性確保のため、示方配合での空気量は現場到着時に $6.0 \pm 1.0\%$ としており、通常のコンクリートよりも多い空気量管理としている。

実機試験においては、過去の実績から仮に決定した秒数の締固めでは、空気量の変化は少ないと確認されていた。しかし、本施工においては締固め作業により空気量が減少し、耐凍害性が確保できないことが懸念され

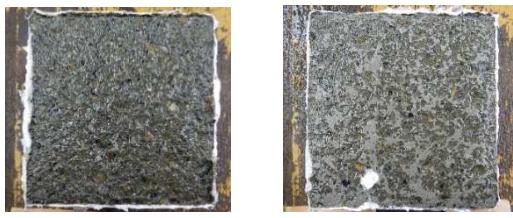


写真-5 スケーリング試験供試体 (60サイクル後)

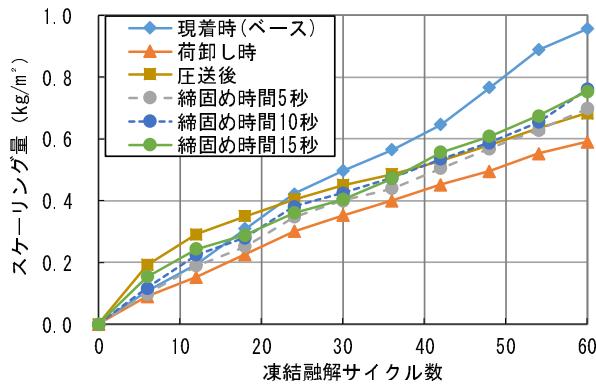


図-8 スケーリング試験結果(試験施工)

た。そこで、試験施工では締固め時間を5秒,10秒,15秒の3ケースで締固めを行い、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。

試料は、打設完了後2週間養生の後に模擬床版よりφ150×L230のコアを締固め時間別に1本ずつ採取した。測定は、リニアトラバース法(ASTM C457)に準拠して実施した。各締固め時間別(5秒, 10秒, 15秒)のコア供試体を写真-6に、試験結果を図-9, 10に示す。

写真-6に示すように、締固め時間15秒のものに若干の粗骨材沈降が見られたが、締固め時間5秒, 10秒のものは均一に粗骨材が分布していた。

気泡径分布は図-9に示すように、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、比較的大な気泡が確認され気泡の質が低下していることがわかる。

空気量および気泡間隔係数は図-10に示すように、締固め時間によらず資料<sup>2)</sup>の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以下を満足していた。

以上から、本施工では締固め時間を8秒(挿入1秒、実締固め5秒、引抜き2秒)とした。

## 5.まとめ

既往の資料<sup>1),2)</sup>に基づいて、各種試験により得られた知見をもとに本体RC床版を平成30年11月～12月に施工した。実構造物の耐久性は、長期観測が必要であるが、非破壊、初期状態での耐久性判定の試験を行い、耐久性



写真-6 気泡間隔係数測定用コア供試体

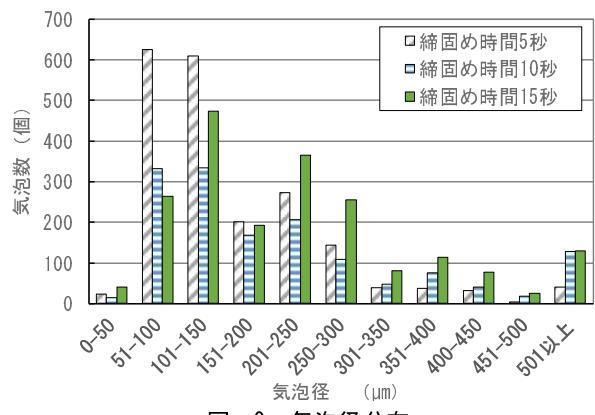


図-9 気泡径分布

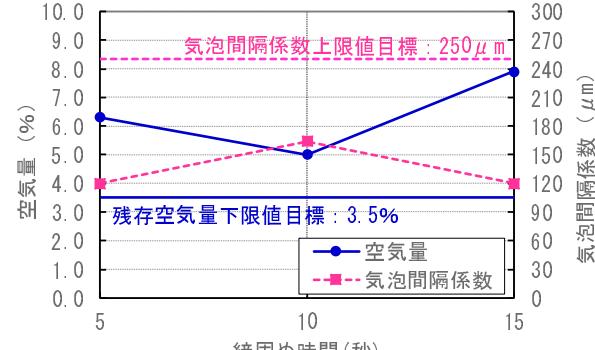


図-10 気泡間隔係数および空気量

向上効果を確認する予定である。

## 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事品質管理官、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

- 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
- 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