

# 国縫橋の地覆コンクリートの部分打替えに おける耐寒剤の適用

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○嶋田 久俊  
野々村佳哲  
函館開発建設部 函館道路事務所 計画課 池田 翔哉

国縫橋の冬期補修工事は、地覆の部分打替えのため施工箇所が点在しており、コンクリート工の中に占める給熱養生のための雪寒仮囲い費用の割合が大きくなる等の理由により、簡易なシート養生が可能なコンクリート用混和剤の耐寒剤を用いた。その結果、コンクリート温度は、外気に近い上部よりも既設コンクリートと接する下部の方が低くなることがわかった。また、現地の超音波伝播速度の測定からも、十分な強度が得られたと考えられる。

キーワード：通年施工、コンクリート、耐寒剤

## 1. はじめに

日平均気温が 4℃以下になることが予想される場合、寒中コンクリートとしての施工を行わなければならない。一般的な寒中コンクリートにおいては、雪寒仮囲いを設置して、ジェットヒーター等により給熱を行った状態で、コンクリートの打設及び養生を行うことになる。一方、北海道開発局の道路設計要領では、現場条件が急傾斜、狹隘、強風などの仮囲いの設置が困難な場合に、混和剤として耐寒剤を用いることで養生を簡略化することが可能となっている。

耐寒剤は亜硝酸カルシウム等の亜硝酸塩を主成分とするコンクリート用混和材であり、練り混ぜ直後におけるコンクリートの凍結温度を 1～3℃程度低下させるとともに、コンクリートの強度発現を早くする効果がある。これらの効果により、外気温が氷点下の場合でも簡易な被覆養生のみで寒中コンクリートの施工が可能となり、

仮囲いや給熱養生が不要となる。その結果、2～6 割のコスト削減効果が得られたという事例報告<sup>2)</sup>もある。

しかし、開発建設部の大半で、耐寒剤を用いた場合の生コンクリート単価を定めているものの、耐寒剤および道路設計要領の規定に関する認知度が低く、道路工事の分野では普及が進んでいないのが現状である。また、道路設計要領に示される施工指針では、養生日数が明示されておらず、養生終了の目処が立てにくいことも普及が進まない一因となっている。

本報告では、道路橋地覆の部分打替え工事に耐寒剤入りコンクリートを使用した事例をもとに、施工時の留意点や、強度管理、養生日数推定の手法について紹介する。

## 2. 工事概要

### (1) 工事概要

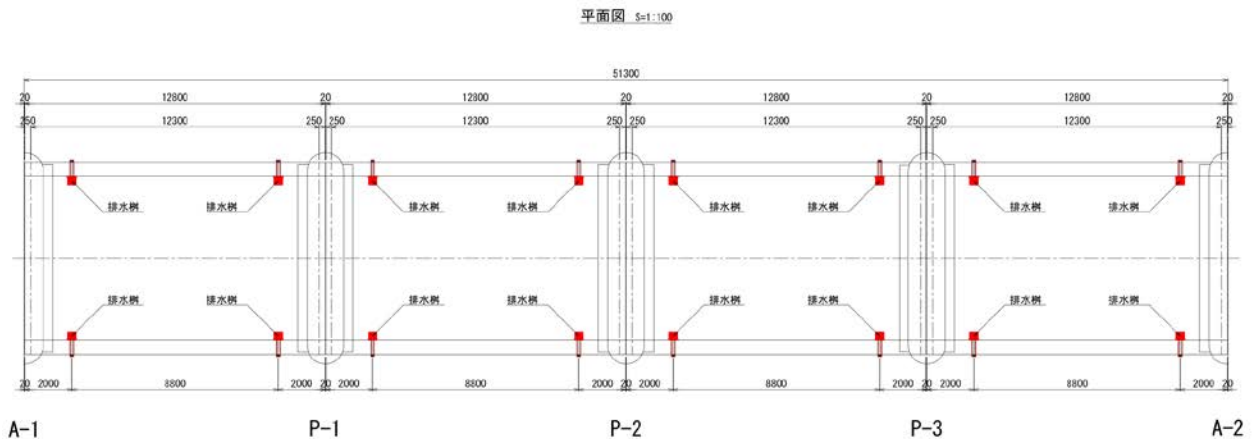


図-1 国縫橋の平面図

表-1 コンクリートの配合

配合区分	セメント	W/C	s/a	C	W	S	G	耐寒剤	膨張材
RC-4s(b)	普通	44.5 %	44.4 %	337 kg/m <sup>3</sup>	150 kg/m <sup>3</sup>	580 kg/m <sup>3</sup>	1015 kg/m <sup>3</sup>	4 l/C=100kg	20 kg/m <sup>3</sup>



写真-1 国縫橋の路側帯の状況 (完成後)



写真-2 降雪時の対応

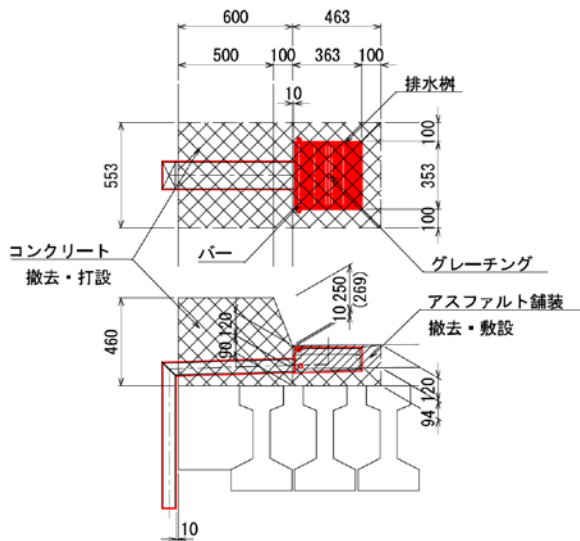


図-2 施工詳細図

図-1 に、国縫橋の平面図を示す。赤で示したのが、排水柵であり、今回、取り替えを行うものである。図からも明らかのように、施工箇所が点在しており、地覆全体を雪寒仮囲いで覆うと、コンクリート工の中に占める給熱養生のための雪寒仮囲い費用の割合が大きくなる。また、写真-1 に示すように、国縫橋では路側帯が狭いため、一般的な雪寒仮囲いを実施すると養生期間中は交通規制が必要となる。そのため、本工事においては、養生を簡略化できる耐寒剤コンクリートを使用した方が経済的となることから、耐寒剤コンクリートが採用された。

図-2 に施工詳細図を示す。工事では、まず最初に排水柵直下のコンクリートをジェットコンクリートで打設し、排水柵を設置した。その後、地覆部分に型枠を設置し、耐寒剤コンクリートを打設した。1箇所あたりのコンクリート量は約0.14m<sup>3</sup>であった。

## (2) コンクリートの配合

表-1 にコンクリートの配合を示す。海沿いの橋梁の地覆であるため RC-4s(b)をベースとし、耐寒剤 (AE 減水剤 (促進形) I 種) は標準添加量であるセメント 100kg あたり 4l とした。セメント種類は普通ポルトランドセメント、水セメント比は 44.5%である。また、ひびわれ防止のため、膨張材を混入している。現着時におけるスランプは 10cm、空気量は 4.8%、コンクリート温度は 10℃であった。

## (3) コンクリート工

コンクリートの施工時には 1 車線の交通規制を行い、片側交互通行とした上で、片側 8 箇所ずつ打設した。施工当日の天候は曇一時雪で、日平均気温-0.9℃、最高気温 2.1℃、最低気温-3.4℃であった。一般に、コンクリート工は降雪雨の日を避けるべきであるが、当日朝の予報で降雪の無い時間帯があることや、工程の都合等から打設を実施した。なお、施工にあたり以下の点に配慮した。

- ・ 鉄筋、型枠等に付着した氷雪や、打設箇所底部に溜まった融雪水の除去
- ・ 取り出し直後のコンクリートを手押し車へ分別することで、アジテータ車のシュート部に付着した氷雪を除去
- ・ 必要に応じて、打設箇所およびコンクリート排出経路をブルーシートで覆い、雪の混入を防止 (写真-2)

コンクリートの打込み完了後、降雪が激しくなり、交通誘導が困難な状況となったことから、表面整形を省略し、以降材齢 7 日までブルーシート養生を行った。

## (4) 養生工

表-2 圧縮強度の目標値

構造物の露出状態	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
①連続して、あるいはしばしば水で飽和される部分	20
②普通の露出状態にあり、①に属さない場合	10

表-3 5℃及び10℃で養生する場合の養生日数の目安

構造物の露出状態	養生温度	断面が普通の場合		
		普通ポルトランドセメント、【混合セメント B 種+促進剤】	早強ポルトランドセメント、【普通ポルトランドセメント+促進剤】	混合セメント B 種
(1)連続して、又はしばしば水で飽和される部分	5℃	9日	5日	12日
	10℃	7日	4日	9日
(2)普通の露出状態にあり(1)に属さない部分	5℃	4日	3日	5日
	10℃	3日	2日	4日

コンクリートの養生は、耐寒剤を用いたため仮囲いお



写真-3 ブルーシート養生

よび給熱は省略し、写真-3 に示すブルーシートによる簡易な養生とした。ブルーシート養生は、コンクリートの水和熱を利用した保温養生であるため、実施に当たっては熱を逃がさないことが重要な目標となる。そこで、保温効果の向上を目的に、以下の点に配慮した。

- ・ 打設面側は、コンクリートとブルーシートの間に2~3cm程度の空間を確保（二重窓の原理）
- ・ コンクリート打設面だけではなく、木製型枠全面をブルーシートで被覆
- ・ ブルーシート端部を木材および木ねじで固定
- ・ 打設箇所が高欄支柱がある場合、テープで封緘し、風の侵入を防止

また、養生日数については、道路設計要領に示される圧縮強度の目標値（表-2）、および一般的な湿潤養生日数（表-3）の早強ポルトランドセメントを参考として、圧縮強度 20 N/mm<sup>2</sup> 以上および材齢 7 日以上の両条件を満たすまでブルーシート養生を継続した。

#### (5) 強度管理

Hisatoshi Shimada, Yoshinori Nonomura, Syouya Ikeda

道路設計要領では「現場のコンクリートとできるだけ同じ状態で養生した供試体」によるか、「コンクリート温度の記録から推定した強度」によって、コンクリートの強度管理をすることが規定されている。通常の施工ではどちらか一方のみが良いが、今回の施工では両方の強度管理手法を試行し、妥当性について検討した。

なお、妥当性の検討にあたり、比較対象として完成した構造物の強度を調べる必要がある。このとき、コア採取による方法が最も確実であるが、構造物を傷つけることになるため、今回は超音波速度によって、完成構造物の圧縮強度を推定し、前述の2種類の強度管理手法と比較した。

### 3. 温度計測

図-3 に、温度計測位置及び計測結果を示す。国縫橋の下流側の A-2 から 3 番目の施工箇所で行った。外気温は初日-2℃程度まで下がったものの、養生期間中、コンクリート温度は氷点下にならなかった。そのため、初期凍害の心配はないと考えられる。また、コンクリート温度は、外気に近い上部よりも、既設コンクリートと接する下部の方が低かった。外気よりも既設コンクリートに奪われる熱量が大きいためと考えられる。冷え込みの大きい厳寒期には大小関係が逆転する可能性があり、今後さらに実績を重ね検証していく必要があると考えられる。

### 4. 圧縮強度

#### (1) 基準供試体による強度試験結果

超音波速度による圧縮強度の推定や、コンクリート温度記録からの圧縮強度の推定を実施する場合、コンクリートの配合の影響を受ける。



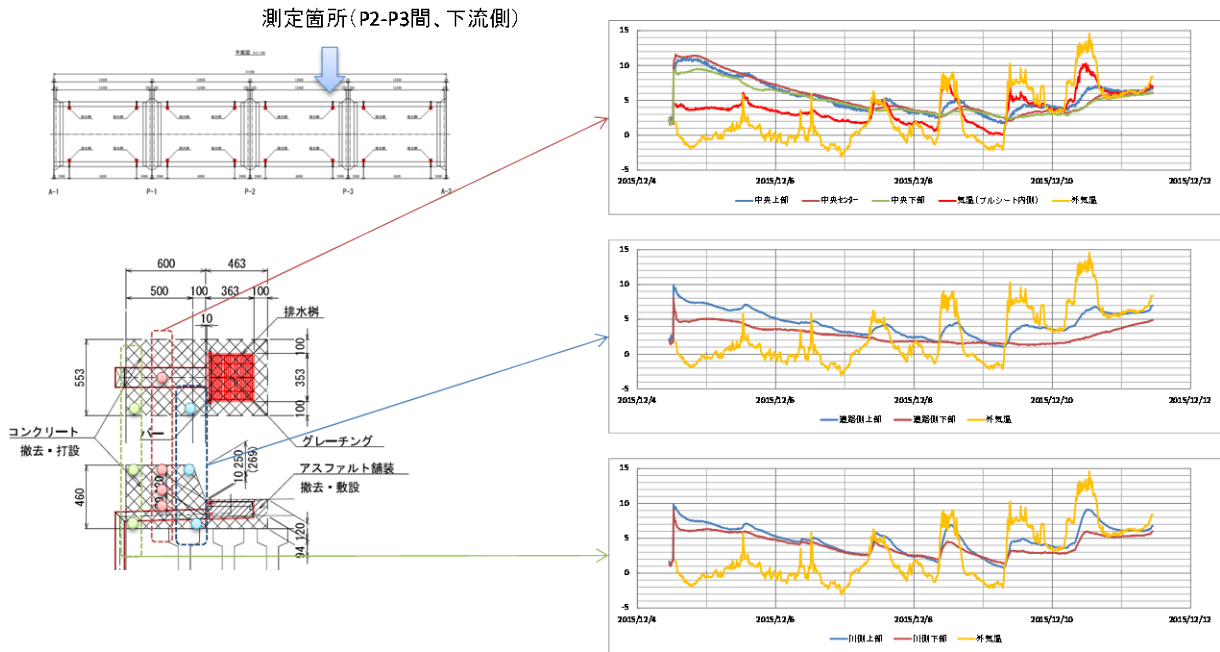


図-3 温度計測位置及び計測結果 (実構造物)

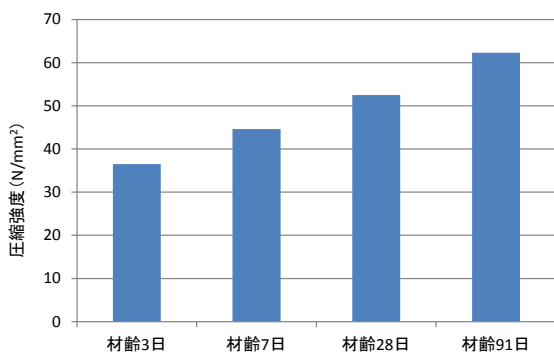


図-4 圧縮強度試験結果 (基準供試体)

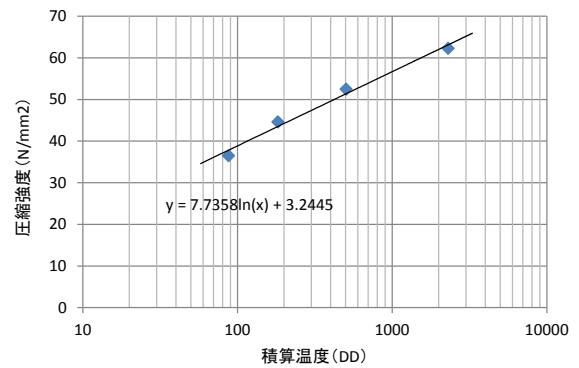


図-5 積算温度と圧縮強度 (基準供試体)

そこで、今回の検討にあたっては、施工当日に、構造物の打設に用いたコンクリートから試料を採取して供試体 (直径 10 cm×高さ 20 cm) を作製し、基準供試体とした。基準供試体については作製直後から封緘養生とし、代表する 1 本の供試体の中心でコンクリート温度を計測した。養生期間中のコンクリート温度の平均値は 15°C であった。また、材齢 3, 7, 28, 91 日で圧縮強度試験および透過法による超音波伝播速度測定を行った。

基準供試体における材齢と圧縮強度の関係を図-4 に示す。普通ポルトランドセメントでありながら、材齢 3 日には圧縮強度が 30 N/mm<sup>2</sup> を超え、材齢 28 日には 50 N/mm<sup>2</sup> 程度にまでなっている。これは、耐寒剤の添加による強度促進効果のため、早強ポルトランドセメント並みの強度増進になったものである。また、海上大気中の橋梁地覆のため、ベースとした生コンの配合が RC-4S(b)相当であり、水セメント比が 44.5%と、強度が大きくなりやすい配合であったことも一因と考えられる。その結果、養生終了の目安である圧縮強度 20N/mm<sup>2</sup> に早

表-4 温度計測位置と積算温度 (実構造物)

	河川側	中央	道路側
上部	104.4 DD	108.9 DD	101.7 DD
中部		108.3 DD	
下部	98.8 DD	104.7 DD	90.0 DD

期に到達したと考えられる。

## (2) コンクリート温度記録からの強度推定

一般に、積算温度という指標を用いることで、温度記録から圧縮強度を推定できることが知られている。図-5 に基準供試体における積算温度と圧縮強度の関係を示す。なお、積算温度の算定にあたっては、次に示す、氷点下の影響を考慮している日本建築学会の式<sup>3)</sup>を用いた。

$$T \geq 0 \text{ の時、} M = \sum (10+T) \Delta t$$

$$T < 0 \text{ の時、} M = \sum 10 \times \exp(-0.60 \times (-T)^{0.74}) \Delta t$$

ここに、M: 積算温度 (°C・日または°C・時)

T: Δt 時間中のコンクリート温度 (°C)



写真-4 断熱材（厚さ 20mm）による保温箱養生

t : 時間（日または時）

である。図-5 に示したコンクリート温度記録から積算温度を算定した結果を表4に示す。打設面であった上部で値が大きく、既設コンクリートと接している下部で値が小さい傾向となった。特に道路側下部では、既設コンクリートと2面で接しているため、最も低い値を示している。これらの積算温度の値から図-5 の近似式を用いてコンクリート強度を推定すると、38.1~39.5 N/mm<sup>2</sup>の圧縮強度が得られていたと推定され、積算温度のばらつきに比べ、圧縮強度の推定値のばらつきは小さかった。

また、積算温度の算定にはコンクリート温度を用いることが原則であるが、簡便のため外気温から積算温度および圧縮強度を推定すると、それぞれ 81.0 DD, 37.2 N/mm<sup>2</sup> となり、コンクリート温度による推定値よりも低い結果となる。コンクリート温度には水和熱の影響が含まれるため、外気温からの推定では安全側の評価になったと考えられる。

### (3) 現場養生供試体による圧縮強度

現場のコンクリートとできるだけ同じ状態で養生した供試体により強度を管理する場合、本体コンクリートが水和熱で温度上昇するのに対し、供試体は体積が小さいために外気の影響を受けやすく冷えすぎてしまうため、一般的な給熱養生や夏季の養生の場合とは異なる対応が必要となる。道路設計要領の規準策定当時の検討実験を見ると、厚さ 15~30mm 程度の断熱材の箱に供試体を入れて養生することで、本体コンクリートから抜いたコアの圧縮強度と同等程度になったことが報告されている<sup>4)</sup>。そこで、今回の現場でも同様に、写真-4 に示す厚さ 20 mm の保温箱を準備し、構造物の型枠脱型と同じ材齢 7 日まで供試体の養生を行った。

材齢 7 日における供試体の圧縮強度は 32.0 N/mm<sup>2</sup> であり、圧縮強度の目標値である 20 N/mm<sup>2</sup> を超えていたことから、現地構造物のブルーシート養生を終了し、脱型を行った。

また、材齢 7 日における保温箱内の供試体中心の積算

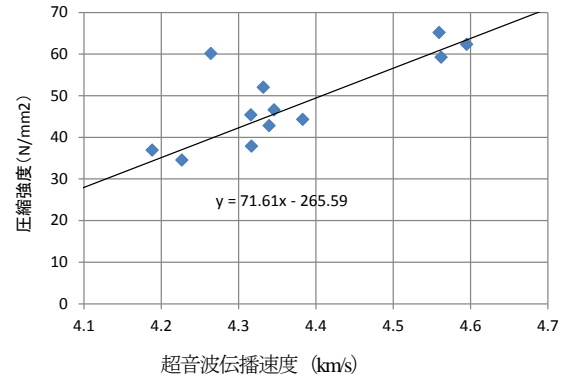


図-6 超音波伝播速度と圧縮強度（基準供試体）

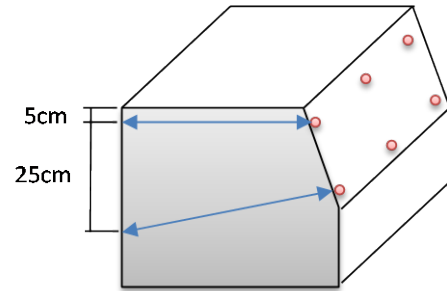


図-7 超音波速度測定位置（実構造物）

温度は 99.4 DD であり、表4 に示す構造物の積算温度と概ね同程度であった。そのため、厚さ 20mm 程度の断熱材でできた保温箱内で養生することによって、現場のコンクリートに近い温度状態になると考えられ、保温箱養生の有効性が確認できた。

### (4) 超音波速度による圧縮強度の推定

基準供試体における超音波速度と圧縮強度の関係を図-6に示す。異常値が1点あるものの、それを除くと超音波伝播速度と圧縮強度は正の相関があることから、異常値を除外した場合の近似直線によって完成した構造物の強度推定を行う。

完成した構造物の超音波伝播速度は、各打設箇所毎に図-7に示す6点で、材齢7日の型枠脱型時に測定した。測定の結果、6点の平均値は、上流側で4.17~4.21 km/sec程度、下流側で4.21~4.31 km/sec程度であった。これらの超音波伝播速度から図-6の近似直線を用いて圧縮強度を推定すると、材齢7日で33.0~44.0 N/mm<sup>2</sup>の圧縮強度となり、ややばらつきの大きい推定結果となった。

### (5) 圧縮強度の管理方法について

耐寒剤を用いたコンクリートを対象に、積算温度による強度推定、保温箱による現場養生、超音波伝播速度による強度推定の3つの手法を試行した。各手法の特徴を表5に示す。3つの手法のうち、保温箱による現場養生が費用や推定精度の面で良好であり、圧縮強度管理方法として最も優れている。また、コンクリート温度から圧

表-5 圧縮強度の管理手法の特徴

	積算温度	保温箱	超音波伝播速度
費用	△：コンクリート温度計測のための機器が必要	○：保温箱の準備のみでよく最も安価	×：高価な測定機が必要
圧縮強度の推定	◎：積算温度のばらつきに対する圧縮強度のばらつきが小さく、推定精度も良好。	○：良好	△：超音波の値に対する圧縮強度の感度が高く、推定結果がばらつきやすい。
事前確認試験	○：セメント種類、水セメント比、耐寒剤混入量が同じであれば、他箇所も含めて過去の実績を使用できる。	◎：事前試験は不要	×：骨材の材質・単位量の影響を受けるため、生コン工場毎に事前試験が必要
総合評価	○	◎	×

縮強度を推定する方法も、少ないばらつきで評価できた。

一方、超音波伝播速度による推定方法は、コンクリートの配合に加えて、骨材の影響を受けるため個別の生コン工場毎に事前試験が必要であり、推定結果のばらつきも大きいため、強度管理手法として汎用的に使うことはできず、目安としての使用にとどまる。

## 5. 養生日数の事前予測

一般的な給熱養生を行う寒中コンクリートでは、養生日数の標準が工事共通仕様書などで養生温度別に示されている。一方、耐寒剤コンクリートの場合には、雰囲気温度をコントロールできないため、養生日数の標準は示されておらず、表-2 に示した圧縮強度の目標値のみが示されている。そのため、養生日数の目処を立てるためには、圧縮強度を事前に予測することが必要となる。

寒中コンクリートの圧縮強度の推定手法としては、積算温度による方法が優れている。積算温度によって強度推定するには、現場で使用するコンクリートと同等の配合（セメント種類・水セメント比・耐寒剤混入量）のコンクリートについて、出荷工場での実績があれば最も良い。また、実績がない場合であっても、既往文献、混和材のカタログなどから積算温度と圧縮強度の関係が事前に得られれば強度の推定が可能である。このとき、一般的には、積算温度の算定にはコンクリート温度を用いることが原則であるが、事前予測の場合には外気温で代用し、気象庁の Web ページから入手できる過去の気象資料を使うのが良い。

今回の現場では、既往文献<sup>5)</sup> から 20 N/mm<sup>2</sup> に到達するまでの積算温度を 40 DD であると施工前に推定し、気象資料から 4~5 日の養生日数が必要になると考えていた。施工後、温度記録を元に検証すると、40DD に到達したのは外気温からの算定で 101 時間（約 4 日間）であり、事前予測と概ね一致した。しかし、コンクリート温度記録から積算温度を算定すると、54~73 時間（約 2~3 日間）となり、外気温からの推定よりも早期に 40 DD に到達していた。これは主に水和熱によるコンクリート

の発熱の影響であると考えられる。

以上のように、積算温度と圧縮強度の関係と過去の気象資料を用いることにより、養生日数をある程度予測することができる。ただし、やや過大評価となるため、今後、温度解析などによってコンクリートの水和熱を考慮した上で必要養生日数を予測する方法について検討していきたい。

なお、今回の施工における養生日数としては、表-3 に示す湿潤養生期間を参考に 7 日間以上のブルーシート養生を予定していたことから、工程への影響はなかった。

## 6. 結論

本試験で得られた結論は、以下のとおりである。

- (1) コンクリート温度は、外気に近い上部よりも既設コンクリートと接する下部の方が低くなることがわかった。
- (2) 耐寒剤の強度増進効果等の影響により、早期に強度発現を得ることができた。
- (3) 現地の超音波伝播速度の測定からも、十分な強度が得られたと考えられる。

謝辞：本試験を行った際に、北海道開発局函館開発建設部八雲道路事務所の方々にご協力を頂いたことを感謝します。

### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書施工編, p.156, 2012.
- 2) 瀧澤秀則：耐寒剤による冬期コンクリート施工について，北陸地方整備局管内技術研究会, pp.173-176, 2002.
- 3) (社) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針, p.171, 2010.
- 4) 高田誠, 渡辺宏, 堺孝司, 浜辺謙吉：耐寒剤を利用した寒中コンクリートの合理化に関する研究（その4），土木試験所月報第438号, pp.14-21, 1989.
- 5) 野々村佳哲, 島多昭典, 嶋田久俊, 吉田行：耐寒促進剤を使用したコンクリートの積算温度に関する検討，コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 1, pp. 447-452, 2016.