

# 復興道路等における品質向上に対する施工時の取組

## ～ 復興道路・復興支援道路の将来を見据えて ～

飯土井 剛\*

復興道路・復興支援道路におけるコンクリート構造物の建設にあたっては、東北地方特有の寒冷な気象条件による凍害や冬期に散布される凍結防止剤に含まれる塩化物による劣化などに対して、コンクリートの耐久性を確保するためにさまざまな取組が行われている。ここでは、トンネル覆工や一般構造物のコンクリートの施工において、耐久性を向上させるための施工時における品質確保の取組や、表層品質試験によるコンクリートの品質・耐久性向上の検証を行った事例を報告する。

キーワード：品質確保、表層品質試験、トンネル覆工、橋梁下部工、一般構造物

### 1. はじめに

東北地方は冬期の平均気温が氷点下となる地域が多く、寒冷な気象の作用に対する抵抗性が低いコンクリート構造物は凍害による劣化がしやすい。

また、冬期にはほとんどの地域で凍結防止剤が散布される。これに含まれる塩化物の影響によって、鋼材腐食の発生や凍害、アルカリ骨材反応などの劣化が促進されるなど、コンクリート構造物にとっては過酷な条件に晒されることとなっている。

一方で、既設のコンクリート構造物で確認されている劣化には、施工時の不具合が起因となっている可能性があるものも見られる。

写真-1は竣工後約50年が経過した東北地方の河川内のコンクリート橋脚であり、施工時の打重ね線に沿って発生したひび割れが見られる。このような劣化に対しては補修が行われるが、補修部の再劣化によって幾度も補修を繰り返している場合が多く、維持管理上の大きな負担となる可能性が高い。これらは、建設時に適切な施工が行われていれば、本来は補修の必要がなかったものである。

復興道路・復興支援道路（以下、復興道路等という）は、その事業の特性上、短期間で膨大な数のコンクリート構造物が構築される。これらの構造物で耐久性が適切に確保されない場合は、将来的に多くのコンクリート構造物で、補修が一定の時期に集中する可能性がある。そのような状況を避けるためには、施工時の不具合を極力抑制し、施工時の品質を確保することによって、構造物に求められる耐久

性を満足させることが重要となる。



写真-1 コンクリート橋脚の打重ね線に沿ったひび割れ

このような観点から、復興道路等のコンクリート構造物の建設にあたっては、産官学が連携して適切な施工による品質確保の仕組みづくりが積極的に行われている。

ここでは、復興道路等のコンクリート構造物の建設にあたり、施工時の課題やそれに対してとられた施工時の品質確保の取組を、トンネル覆工や一般構造物などを例に紹介する。

### 2. コンクリート構造物の品質確保の取組

コンクリートの耐久性を確保するために、水セメント比の小さい配合のコンクリートや透水型枠を使ってのコンクリートの緻密化を図る、またはエポキシ樹脂塗装鉄筋を使うなど、通常よりもコストをかけての対策が採られることが多い。このときの施工が不適切な場合、これらのコストをかけた対策が無駄となり、結果的に耐久性を確保することができない場合もある。したがって、耐久性を確保するためには施工時における品質確保が重要となる。

この観点から、復興道路等のコンクリート構造物の施工にあたっては、施工の基本事項の遵守することによって品質を確保することを目指し「施工状況把握チェックシート」が活用された。また、脱型後のコンクリート表層の「表層目視評価」によって必要となる次工程の改善事項を共有し、



\* Tsuyoshi HIDOI

(株) 復建技術コンサルタント  
構造技術部

PDCA サイクルによる品質確保の仕組みづくりが行われた。

また、劣化の要因となる水分や凍結防止剤に含まれる塩化物の浸透を抑制するため、標準養生期間に加え追加養生を行うことで、かぶりコンクリートの緻密性を高める取組が推奨された。

以上の取組は、復興道路等の建設の初期段階から試行工事として現場に実装され、その結果をもとに見直しや改訂のための検討が行われた。

これらの結果は、現在、東北地方整備局で公開している品質確保のための各種手引きに反映されている。

### 3. トンネル覆工

#### 3.1 トンネル覆工コンクリートの品質確保

復興道路等の建設が始まる以前は、トンネル覆工コンクリートに対する品質確保の仕組みの前例がなかった。このようなことから、東北地方整備局におけるトンネルの覆工コンクリートの品質確保の取組は、長期保証と坑口部の1週間養生の試行から始まっている。

東北地方整備局が管理する NATM で建設されたトンネルの点検結果では、覆工コンクリートに幅 0.3 mm 以上のひび割れの発生が多く確認されている。このような状況を踏まえ、覆工コンクリートの長期保証は、竣工後 5 年以内の 0.3 mm 以上のひび割れの発生がないことを求め、ひび割れが発生した場合は受注者が補修することとしたものである。なお、この長期保証は 2012 年度以降に発注されたトンネル工事に適用されたが、一律にひび割れの発生に対して受注者に補修を求めることには無理があると判断されたため 2013 年度に運用が打ち切られている。

一方で、坑口部は養生期間が一般部と同じにもかかわらず、一般部に比べ乾燥や日射の影響を強く受けるためひび割れが入りやすく、トンネルの定期点検結果からもその傾向が確認された。これを受け、2013 年度から施工される坑口部の覆工コンクリートは、坑口部から 2 ブロック分について 1 週間養生とする通知が出された。

その後、施工済み区間の覆工コンクリートの品質調査が実施され、適切な施工によって施工中に生じる不具合を抑制すること、ならびに養生の工夫によって覆工コンクリートの表層の緻密性を向上させることが、覆工コンクリートの品質確保に対して有効であるとの知見が得られた。

このような経緯を経て、トンネル用の「表層目視評価」および「施工状況把握チェックシート」が開発され、その後のいくつかの試行工事によってその有効性が確認された。

これらは、東北地方整備局が公開している「コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）」<sup>1)</sup>に反映され、復興道路等のトンネル覆工コンクリートの品質確保に活用されている。

#### 3.2 品質確保の取組事例

##### (1) トンネルの概要

覆工コンクリートの品質確保の取組事例を報告する。

対象のトンネルは、三陸沿岸の復興道路等のうち、2013

年 3 月契約の工事であり、延長 294 m、道路幅 13.5 m の NATM トンネルである。

##### (2) 品質確保の取組

このトンネルは、長期保証の試行工事となっており、施工由来のひび割れの発生を抑制する必要があった。

また、掘削勾配が 3% の下り勾配の施工であり、覆工コンクリートの天端で先行ブロックとの境界部付近に空洞が生じやすいことや、トンネル延長の約 60% が鉄筋コンクリート構造であることなど、覆工コンクリートの品質を確保するにあたり課題が多く、より丁寧な施工が求められたトンネルである。このようなこともあり、本工事では復興道路等のトンネル覆工コンクリートの施工としては初めて「表層目視評価」および「施工状況把握チェックシート」が活用された。「表層目視評価」の観察部位は、左右スプリングライン（以下、SL という）下、左右側壁、天端の 5 部位としている。

また、コンクリート表層の緻密性の向上を図るため、前述の坑口部の 1 週間養生、および坑口以外の一般部に対しては追加養生としてバルーンによる養生が行われた。

追加養生は、コンクリート打込み直後から脱型まではセントル全体を覆うセントルバルーンを設置し、セントル移動後は後方 3 ブロック分をコンクリート用バルーンを設置し行われた（写真 - 2）。なお、バルーンによる養生は脱型後 1 週間実施されている。



写真 - 2 バルーン養生状況<sup>2)</sup>

##### (3) 表層品質の評価

目視評価の結果を図 - 1 に示す。この図は「表層目視評価」により評価を行った 5 部位の合計評価点の推移である。目視評価の結果が、施工の進捗により右肩上がりに上昇しており、「表層目視評価」と「施工状況把握チェックシート」を活用することで施工の改善が図られ、PDCA サイクルが合理的に回っていることが分かる。この現場における「表層目視評価」と「施工状況把握チェックシート」の実証によって、その有効性が検証された事例である。

また、この工事では、品質確保の取組による効果を検証するため、コンクリートの非破壊試験の一つである表面吸水試験（Surface Water Absorption Test: 以下、SWAT という）を実施している。この試験は、コンクリート表面に水頭

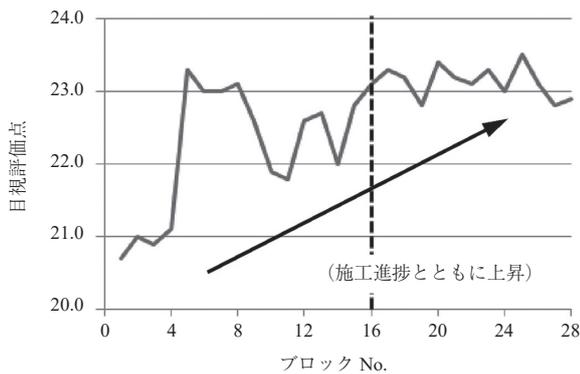


図 - 1 目視評価結果 (5 部位の合計評価点) の推移<sup>2)</sup>

30 cm の初期水圧を作用させ、その後の 10 分間の給水挙動を連続的に計測することで、かぶりコンクリートの表層品質を評価する検査手法である<sup>3)</sup>。

図 - 2 に目視評価の結果とトンネルの SL で測定した表面吸水速度  $p_{600}$  の関係を示す。表面吸水速度  $p_{600}$  (ml/m<sup>2</sup>/s) は、SWAT におけるコンクリート表層の品質を評価する指標の一つであり、その値が小さいほど吸水速度が小さく、コンクリート表層はより緻密であることを意味する。この図を見ると、目視評価点が良いにつれて表面吸水速度  $p_{600}$  も小さくなる傾向が見られ、コンクリートの見栄えが良いに伴って、コンクリート表面の緻密性も向上していることが分かる。

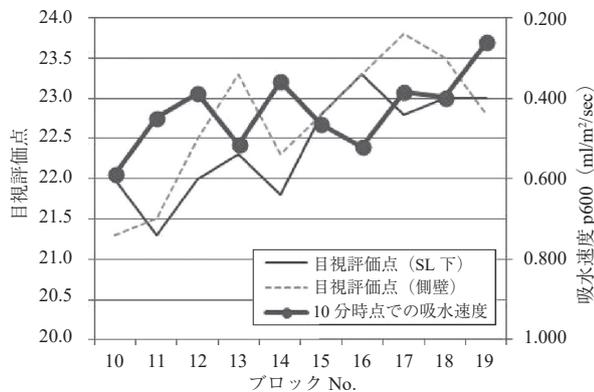


図 - 2 目視評価の結果と表面吸水速度  $p_{600}$  の関係<sup>2)</sup>

図 - 3 に養生の種類と表面吸水速度の関係を示す。この図の  $p_{600}$  はトンネル断面の SL における測定結果である。無養生に比べ型枠残置 1 週間とバルーン養生の吸水速度が小さく、追加養生によって表層品質が向上していることが分かる。

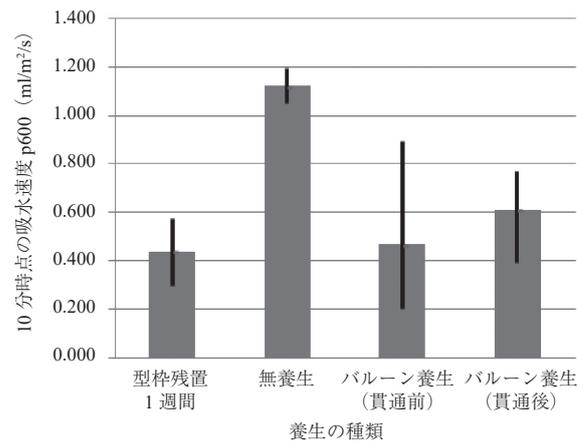


図 - 3 養生種類と表面吸水速度  $p_{600}$  の関係<sup>2)</sup>

## 4. 一般構造物

### 4.1 一般構造物の品質確保

橋台、橋脚、函渠などの一般構造物については、産官学の連携によって 2012 年の復興道路等の整備が始まった初期の段階から品質確保の取組が行われた。当初は、コンクリートの品質を確保するため、山口県ですでに開発されていた「施工状況把握チェックシート」、および「表層目視評価」を使つての仕組みづくりが行われた。

その後の 2014 年～2015 年に、復興道路等で先行して品質確保の取組を行った工事でコンクリートの品質調査が実施された。

この調査において確認された橋脚コンクリートの養生事例を写真 - 3 に示す。この事例では安価な農業用のビニールシートを巻いて長期養生をすることで、コンクリート表層の緻密性が向上していることが確認された。



写真 - 3 農業用のビニールを巻いた長期養生の事例

当初の品質確保の仕組みの中では養生に関しては規定されていなかったが、この事例を契機に「養生の改善による緻密性の向上」が取り込まれることとなった。

現在、東北地方整備局が公開している「コンクリート構造物の品質確保の手引き (案) (橋脚、橋台、函渠、擁壁編)<sup>4)</sup>」はこれらを基に策定されたものとなっている。

また、東北地方は寒冷な気候であるため凍害による劣化が発生しやすい。冬期には凍結防止剤も散布されることからこれに含まれる塩化物の影響も加わり、凍害による劣化

がさらに促進される。このような環境条件においてコンクリート構造物を構築しなければならないため、東北地方整備局では2014年から産官学による凍害対策の検討が行われ、2017年3月にその結果を基に策定された「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)<sup>5)</sup>(以下、凍害対策の参考資料という)」を公表している。この中では、凍害対策の種別を凍害危険度と凍結防止剤の散布量から3段階に区分し、その種別ごとに目標空気量などの対策が定められている。とくに厳しい凍害環境におけるコンクリートの施工においてはこの参考資料が活用されている。

## 4.2 品質確保の取組事例

### 4.2.1 橋梁下部工

#### (1) 橋梁下部工の概要

橋梁下部工の施工において品質確保の取組が行われた事例を報告する。

対象の橋梁下部工は、橋長 $L=45$  mの単純鋼鈹桁橋の橋台(写真-4)である。復興道路等の路線で建設された橋梁ではないが、復興道路等の建設時期と同時期に施工され、復興道路等の品質確保の取組に倣い施工が行われた事例として紹介する。

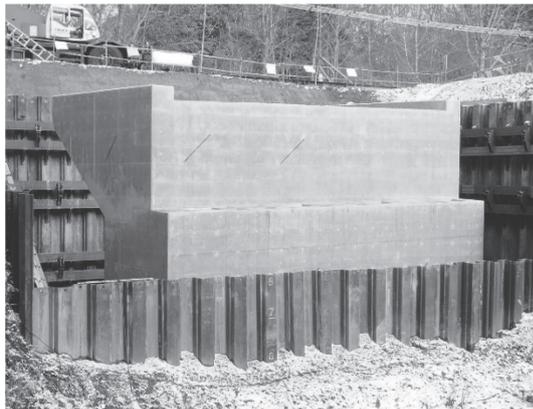


写真-4 対象の橋梁下部工 (写真はA2橋台)

#### (2) 品質確保の取組

このコンクリート構造物は、冬期の月平均気温が $-3^{\circ}\text{C}$ の環境に晒されるため、凍害に対して抵抗性の高いコンクリートが求められた。したがって前述の凍害対策の参考資料を参考に、目標空気量6%、水セメント比 $W/C=45\%$ のコンクリートの配合により施工が行われている。この施工にあたっては「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価」を活用し、またコンクリート表層の緻密性向上を図るため、透水型枠の使用、および標準養生期間に加え1週間の追加養生が行われている。

耐凍害性を確保するためには、コンクリートの施工過程における空気量の低下を抑える必要があったこともあり、下部工コンクリートの本施工に先立ち、 $1.0 \times 1.0 \times 1.0$  mの模擬試験体による試験施工(写真-5)が行われた。



写真-5 試験施工の状況

さらに、堅壁や底版などマスコンクリート部材はひび割れの発生が懸念されたため、コンクリート断面内部に鉄筋を追加配置してのひび割れ抑制対策(写真-6)が行われた。

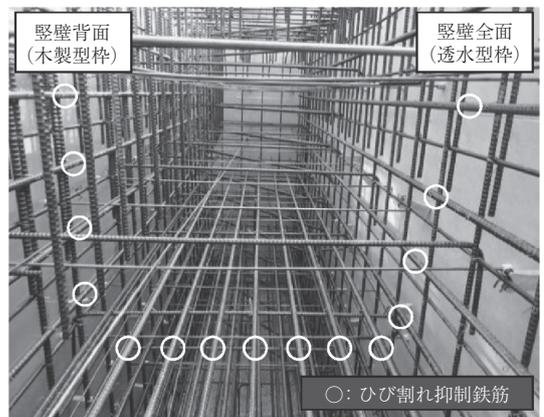


写真-6 ひび割れ抑制鉄筋の追加

#### (3) 表層品質の評価

図-4に模擬供試体の試験施工によるコンクリートから採取した試験体によるスケーリング試験の結果を示す。

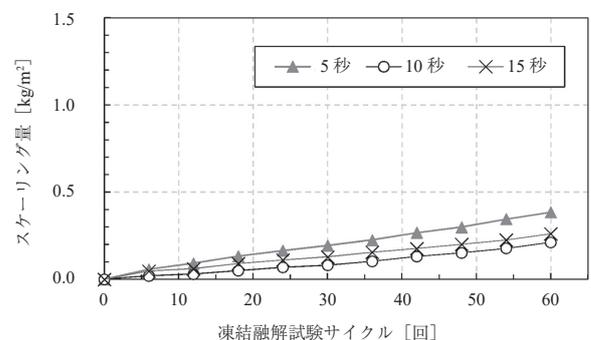


図-4 試験施工による耐凍害性の検証結果

この試験におけるスケーリング限界量は、参考文献(6)で提案されている耐凍害性を確保できる限界量 $1.5 \text{ kg/m}^2$ を採用した。この試験によって、透水型枠を使用した部分におけるスケーリング量が $0.3 \text{ kg/m}^2$ 以下となっており、

耐凍害性を確保できることが確認されている。

図 - 5 に本施工のコンクリート表面で実施したトレント法による透気試験の結果を示す。この試験は非破壊試験の一つであり、コンクリート表層部の空気を通しにくさを表す透気係数  $K_f$  値を測定することで、コンクリートの表層品質を評価するものである。透気試験は木製型枠を使用したウイング背面、および透水型枠を使用した縦壁前面の各 3 箇所で行っている。透水型枠を使用した縦壁前面の透気係数は  $0.01 \times 10^{-16} \text{ m}^2$  以下、木製型枠を使用したウイング背面でも  $0.1 \times 10^{-16} \text{ m}^2$  以下となっている。追加養生として 1 週間の型枠存置を行ったこともあり、使用した型枠の種類にかかわらず「優」や「良」の良好な品質が確保された。また、施工後に発生したひび割れも  $0.1 \text{ mm}$  以下であり、ひび割れ抑制鉄筋の追加配置によって有害なひび割れの発生も抑制できたと考えられる。

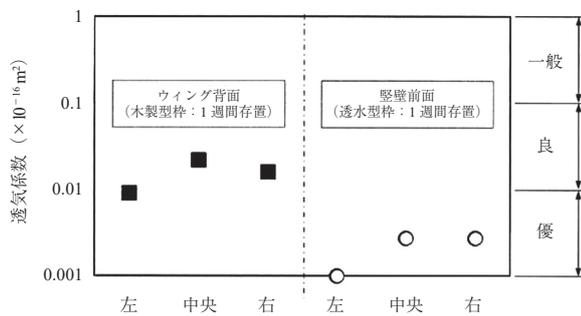


図 - 5 透気試験結果

#### 4.2.2 寒中コンクリートの品質確保

復興道路等の事業の進捗を図るためには、冬期の間でもコンクリート構造物を施工することが多い。これは、冬期は積雪により土工工事が難しく、また河川に架かる橋の場合は施工が非出水期となる冬期間に限定されるためである。

東北地方において冬期にコンクリートの施工を行う場合は、寒中コンクリートとしての品質確保が求められる場合が多い。寒中コンクリートは通常期間のコンクリートとは異なり、施工時のさまざまなリスクに対しての配慮が求められる。このようなことから、東北地方整備局の品質確保の取組においては、寒中コンクリート用の「施工状況把握チェックシート」がまとめられ、冬期の施工時の品質確保に活用されている。

ここでは、寒中コンクリートの施工において、施工状況チェックシートに示される「各施工段階」で取り組まれた事例を紹介する。

##### (1) 準備段階

寒中コンクリートの施工で問題となるのは水の凍結である。コンクリート打込み前の準備段階には型枠内部や鉄筋の清掃が行われるが、安易に水を使って清掃するとその水が凍結してしまう。これを解消するため写真 - 7 の事例では、エアーコンプレッサにより型枠内部の清掃が行われている。



写真 - 7 エアーコンプレッサによる型枠内部の清掃<sup>7)</sup>

##### (2) 運搬段階

運搬段階では、コンクリートの温度低下を抑制する対策が必要となる。積雪寒冷地の冬期における構造物の施工では、雪や強風・低温を防ぐため雪寒仮囲いを設置して施工が行われる場合が多い。このとき、雪寒仮囲いの内部にポンプ車のホース挿入が容易でないと、その時間のロスによってコンクリートの温度が低下してしまう。写真 - 8 は、雪寒仮囲いの屋根をスライド式の開閉構造として、ポンプ車のホースを容易に抜き差しできるように工夫した事例である。



写真 - 8 雪寒仮囲い屋根のスライド式開閉構造の例<sup>7)</sup>

##### (3) 打込み段階

寒中コンクリートの施工では、通常期よりもブリーディングがゆっくり上がってくるためその除去が難しい。ブリーディング処理が十分に行われないと、将来ひび割れの発生が懸念される明瞭な打重ね線や、砂すじ・沈みひび割れなどの不具合が生じる。また、鉄筋や骨材の下に水膜が形成されることによって鉄筋の付着強度やコンクリートの引張強度に影響することもある。写真 - 9 の事例では、打込み層ごとに、その都度スポンジやひしゃくなどを使ってのブリーディング水の除去が丁寧に行われた。

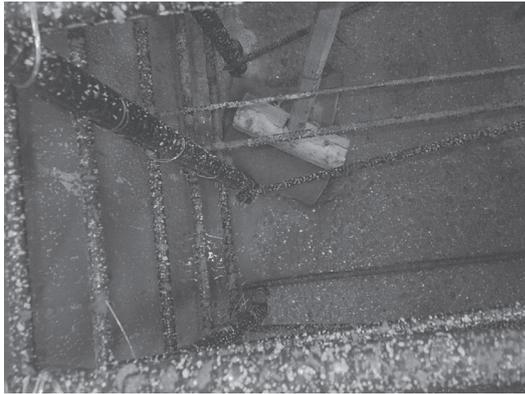
写真 - 9 プリーディング処理の例<sup>7)</sup>

写真 - 11 温水による散水養生の例

#### (4) 締固め段階

締固めは、通常期の施工と同様の配慮が必要となる。締固めが不十分な場合は豆板などの充填不良や、コンクリート表面に大きな気泡が残ることでコンクリート表層の品質に影響する。これを避けるため、寒中コンクリートの施工に関わらず、多くの現場で写真 - 10 に示すようなバイブレータの挿入間隔や深さを作業員が目視で確認できる対策がとられている。

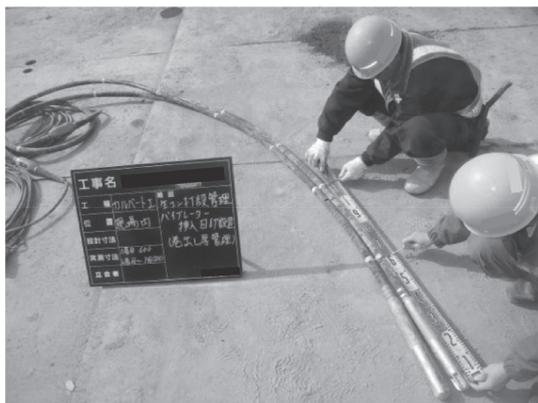


写真 - 10 バイブレータの挿入深さのマーキングの例

#### (5) 養生段階

寒中コンクリートの施工において、打込み後の養生温度が低い場合、コンクリートの硬化初期段階に凍結してしまいコンクリート強度が目標強度に達しないことがある。一方で養生温度が高すぎると温度応力によるひび割れが発生してしまう。脱型後にはコンクリート内部と外気温の温度差によるひび割れや、寒風に晒されることによる微細なひび割れが発生することもある。このように、寒中コンクリートの施工では養生に対しては特に配慮が求められる。

写真 - 11 は、寒中コンクリートの施工において散水養生を行った事例である。コンクリートの急冷によってひび割れが発生する可能性があったことから、温水による散水養生が行われた。このときの温水の温度はコンクリートの温度と同じとなるように温度管理が行われている。

## 5. おわりに

復興道路等では、多くのコンクリート構造物が建設された。これまでは建設段階であったが、今後はその機能を確保するための維持管理段階に移行することになる。

ここで報告した施工時におけるコンクリートの品質確保の取組はごく一部の例であり、復興道路等のコンクリート構造物の構築にあたっては、多くの現場でさまざまな取組が行われた。この品質確保の取組は、これまで建設されてきたコンクリート構造物に比べ、その耐久性向上に大きく影響し、今後の維持管理の負担軽減にも繋がったと考えられる。

また、今回の品質確保・耐久性確保の取組の中には先進的な事例も多くある。それらの効果を検証し今後の新設コンクリート構造物の設計・施工へフィードバックすることで、東北地方のような過酷な環境でも維持管理がしやすいコンクリート構造物が多く建設されることが望まれる。

最後に、本報文をまとめるにあたり、西松建設の三井氏、および上北建設の音道氏に多くのご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）[2021年改訂版]，2021.6
- 2) 八巻大介，鈴木晴美，伊藤忠彦，佐藤幸三：覆工コンクリート品質向上に関する取組み，西松建設技報 Vol.38, No.5, 2015
- 3) 林和彦，細田暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2, Vol.69, No.1, pp.82-97, 2013
- 4) 国土交通省東北地方整備局：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（橋脚，橋台，函渠，擁壁編）[2021年改訂版]，2021
- 5) 国土交通省東北地方整備局：東北地方における凍害対策に関する参考資料（案）[2021改訂版]，2021
- 6) 太田利隆，下林清，佐伯昇 訳：コンクリートの耐久性 第2版，社団法人セメント協会，pp.205-206, 2003
- 7) 公益社団法人日本コンクリート工学会 東北支部：寒中コンクリートの品質確保に関する研究委員会報告書，pp.38-42, 2018

【2021年8月31日受付】