

# コンクリート表面が 早期にスケーリング劣化する要因に関する調査

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 ○佐藤 義臣  
吉田 行  
島多 昭典

地覆・壁高欄を新設、打換えした後、コンクリート表面が短期間でスケーリング劣化している事例がある。劣化要因を推定するため、過去5年間に地覆・壁高欄を施工した工事を抽出し、施工記録を調査した。施工記録から抽出した、劣化に影響を及ぼすと考えられる施工に関する9項目の影響要因に、近傍アメダスの気温データを加え、スケーリング程度を確認し、劣化程度と相関が見られた要因を整理した。

キーワード：地覆・壁高欄、スケーリング、施工、劣化要因

## 1. はじめに

北海道開発局では、高規格幹線道路の整備に伴う橋梁の新設、また、近年発生するようになった豪雨の影響で大規模な損傷を受けたことによる橋梁の架け替え、および高齢化による橋梁の補修（例えば地覆・壁高欄の補修工事）が行われている。これらの工事現場では、JIS工場から出荷されたコンクリートを用い、工事仕様書や設計施工関連の基準等に則って施工（湿潤養生、温度、型枠・支保工の取り外し時期、および取り外し後の管理等）しているが、近年、想定より早期に凍結融解作用によるスケーリング劣化が発生している事例がある。特に、橋梁の地覆・壁高欄は橋台等と比べて鉄筋のかぶりが薄く、スケーリングが発生すると、さらに鉄筋のかぶりが薄くなるため、散布した凍結防止剤の塩分が鉄筋に到達しやすくなり、鉄筋腐食のリスクが高まる。以上から、本報では、早期スケーリング劣化の要因把握の一環として、近年新設、打換えされた橋梁の地覆・壁高欄の施工記録を対象に、早期にスケーリング劣化する影響要因について調査した。

## 2. 調査概要

施工記録の調査は、工事完成後に納品される竣工書類等を用いて行った。調査対象は、2016～2020年度に道内の地覆・壁高欄の新設、打換えが完了した工事とし、スケーリングが発生していない橋梁を含めて調査対象とした。調査対象の橋梁は15橋あり、橋の左右で施工時期や立地条件が異なる橋はL側、R側で分け、橋長が長く起終点で施工時期や立地条件が異なる橋は起点側、終点側で分けることで合わせて23箇所の施工箇所分類し

て調査を行った。

調査は、現地調査のほか、施工記録の中から、施工計画書、コンクリートの品質管理資料および配合計画書、材料承諾書、工事写真、Webマップ、気象庁のHPにあるアメダス記録を使用した。

スケーリングに影響する要因として表-1の9項目を抽出し、調査項目は、これに加え、表-2 および写真-1に示した実際の構造物の劣化状態を表すスケーリング程度（以下SC程度と表記、無、小、中、大の4段階に分類）と合わせた10項目とした。

スケーリングに影響すると考えた各要因の抽出理由は以下の通りである。①は、セメントの種類によりスケーリング劣化の程度が異なるとする既往の研究<sup>1)</sup>を考慮した。②は、現地踏査で、直射日光の有無がSC程度に影響があると考えた。③は、実際の施工時の日平均気温と設計時に想定した日平均気温に違いがあると湿潤養生期間の標準日数が異なるためSC程度に影響があると考えた（以下、湿潤養生日数乖離と表記）。④は、寒中コンクリートにおいて、実際の施工時の温度制御養生日数が、材料の種類や、設計養生温度により設定した設計時の温度制御養生日数と異なる場合にはSC程度に影響があると考えた（以下、温度制御養生日数乖離と表記）。⑤は含浸材塗布の有無によりSC程度が異なるとする既往の研究<sup>2)</sup>を考慮した。⑥は湿潤養生終了後の乾燥日数が短い場合、コンクリート表面の含水率が十分に低下せず期待する含浸深さを確保できなくなりSC程度に影響する可能性があると考えた。⑦はコンクリートの空気量によりSC程度が異なるとする既往の研究<sup>3)</sup>を考慮した。⑧は湿潤養生終了直後の若材齢のコンクリートがマイナスの低温環境に晒されるとSC程度に影響があると考え設定した。⑨は凍結防止剤散布によりSC程度が異なるとす

る既往の研究<sup>4)</sup>を考慮した。各項目に対応する閾値は、各既往研究を参考に設定した。

各要因の確認方法を表-3に示す。なお、③の養生日数は記録が無く、確認することができなかったため、打設時の写真と養生終了時の写真（養生終了時の写真が無いものは、打設後、最初に乾燥状態が確認できる写真）データの写真撮影日の差引日数から推定した。また、⑥は、23箇所全てにおいて養生終了後、表面含浸材を塗布するまでの乾燥日数の記録が無く、確認することができなかったため、含浸材塗布時の写真撮影日と養生終了日の差引日数から推定した。このため、ここで評価する③と⑥の日数は不確定要素を含み事実とは異なる場合がある。

### 3. 各要因の影響度評価方法

今回調査対象としたスケーリングに影響すると考えられる各要因と実際のスケーリングの関係は定量的な評価の手法が確立されていないため、本調査では、以下の3種類の方法で評価を行った。

#### 評価方法1

表-1に示す9項目の影響要因の影響度高の該当件数と、SC程度の関係から、今回抽出した影響要因が、SC程度に影響するのか確認する。また、該当件数が多いのにSC程度(無)となっている橋の状況を分析し、スケーリングが抑制されている要因を考察する。

#### 評価方法2

SC程度毎に各要因の影響度高に該当する割合を算出し、その該当割合から影響度の高い要因を推定する。

#### 評価方法3

セメントの種類毎に影響度高の該当割合を整理し、各セメント使用時のスケーリング発生割合とSC程度に及ぼす特徴的な要因を確認する。

### 4. 調査結果および判定結果

表-4に各橋梁におけるスケーリングに影響する要因の調査結果を示す。表に示した●は、表-1に示した影響要因の内、影響度高の該当があることを表している。なお、表-4の⑥含浸材乾燥10日未満の列に記載した「確認不可」については、記録や写真がなく、日数を確認できなかったものである。また、表-4のD橋（上部）の施工月に記載した「11耐寒」は、施工時の日平均気温が5℃を下回る11月に耐寒促進剤を混入したコンクリートを用いて施工したことを意味する。

#### (1) SC程度と影響要因の該当件数の関係（評価方法1）

図-1にSC程度と影響要因の該当件数の関係を示す。SC程度毎の該当件数の平均は、図中に示したようにSC程度(大):4.1件、SC程度(中):3.7件、SC程度(小):3.0件、SC

表-1 スケーリングの影響要因として抽出した項目と閾値

項目	影響度	
	影響度高	影響度低
① セメントの種類	高炉セメント	普通セメント
② 架設位置の日照条件	日射面	日陰面
③ 設計時と施工時の湿潤養生日数の乖離	有り	無し
④ 設計時と施工時の温度制御養生日数の乖離	有り	無し
⑤ 表面含浸材塗布	有り	無し
⑥ 含浸材塗布までの乾燥日数	10日未満	10日以上
⑦ コンクリートの空気量	4.5%未満	4.5%以上
⑧ 養生終了後の氷点下	有り	無し
⑨ 凍結防止剤のkm当たり散布量	10t/km以上	10t/km未満

表-2 スケーリング程度のカテゴリ

スケーリング程度	地覆・壁高欄のスケーリング程度の説明
無	スケーリングが全く無い
小	点に近いスケーリングがポツポツと見られる
中	スケーリングが有り、大と小の中間
大	面で広がるスケーリングが広く分布

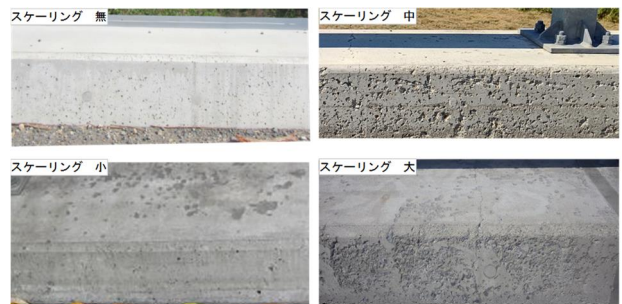


写真-1 スケーリング程度を目安

表-3 スケーリングの影響要因の確認方法

① コンクリートの配合計画書で確認
② Webマップで架設位置の南向き側を確認
③ 設計時と施工時の湿潤養生日数を比較
④ 設計時と施工時の温度制御養生日数を比較
⑤ 含浸材塗布時の写真、施工計画書の数量、材料承諾にて確認
⑥ 養生終了時と含浸材塗布時の写真データの日時による推定
⑦ コンクリートの品質管理資料で確認
⑧ 養生終了後のアメダス気温で確認
⑨ 平成30年度に調査した時の、全道の散布実績で確認

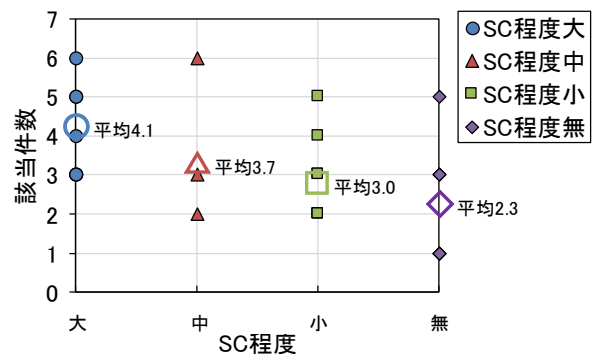


図-1 SC程度と該当件数の関係

程度(無):2.3件であり、9項目全体としては該当件数が多くなると、SC程度が大きくなる傾向が確認された。

一方、該当件数が3件以上あったE橋(歩道橋)、I橋(L終点)およびT橋(L側)の3橋は、スケーリングが発生しておらず、その要因について考察する。

E橋(歩道橋)はセパレート橋で車道橋から距離があり、歩車境界には防護柵があるのに加え、通常の歩車道の高差より歩道橋の路面が高く施工されていた。この

表-4 スケーリングに影響する要因の調査結果

橋梁名 (箇所)	① 高炉使用	② 日射面	③ 湿潤養生 日数乖離	④ 温度制御 養生日数 乖離	⑤ 含浸材無	⑥ 含浸材乾燥 10日未満	⑦ 空気量 4.5%未満	⑧ 養生後 水点下	⑨ 凍結防止剤 散布10t/km以 上	SC程度	該当件数	施工月	施工時 平均気温 ●℃以上
A橋	●	●	●			●	●		●	大	6	6-10	10
B橋		●	●			●		●	●	大	5	10	5
C橋 (R側)	●	●	●			確認不可		●		大	4	10	5
D橋 (下部)		●	●		●	確認不可				大	3	10	5
E橋 (車道橋)		●	●				●	●	●	大	5	12	-5
I橋 (R側終点)	●	●	●			確認不可				大	3	9	15
R橋	●	●							●	大	3	8	15
G橋		●	●	●		●	●		●	中	6	2	-10
H橋 (R側)	●		●			確認不可				中	3	9	10
D橋 (上部)		●	●		●	確認不可				中	2	11耐寒	0
I橋 (R側起点)	●	●	●			確認不可				小	3	9	10
K橋		●	●	●		●		●		小	5	2-3	-5
C橋 (L側)		●	●	●		確認不可	●			小	3	12	-10
M橋		●	●	●					●	小	4	2	-10
H橋 (L側)	●		●			確認不可				小	2	10	5
I橋 (L側起点)	●		●			確認不可				小	2	6	15
U橋 (L側)		●	●			確認不可			●	小	2	2	-10
E橋 (歩道橋)		●	●			●		●	●	無	5	1-2	-10
I橋 (L側終点)	●		●			●				無	3	7	15
Q橋 (L側)		●				確認不可				無	1	1	5
T橋 (L側)	●	●					●			無	3	7,8	15
Q橋 (R側)						●				無	1	9	15
U橋 (R側)									●	無	1	3	-5
該当件数	10	17	16	4	2	7	5	5	9				

ため、⑨凍結防止剤散布量が多くても溶けた塩水の飛沫がかかりにくい環境にあり、スケーリングの発生が抑制されたと考えられる。なお、隣接するE橋(車道橋)では、SC程度(大)となっていた。

I橋(L終点)はS字型の長大橋で、調査箇所は、L・R、起終点の4箇所に分割した中で、②架設位置の日照条件が日陰側で、さらに片勾配の上流側に位置した箇所となっていた。日陰側では凍結融解回数が少なく、凍結防止剤を含む雪解け水は、片勾配の下流側に排水されるため、I橋(L終点)の地覆に塩水の飛沫がかかりにくい環境となっており、スケーリングが抑制されたと考えられる。一方、この箇所の反対側で片勾配の下流側の塩水が流れ着くI橋(R終点)は、SC程度(大)となっていた。

T橋(L側)は3件該当しているものの、湿潤養生日数の乖離がなく適切に養生が行われており、実際の空気量は平均4.1%と4.5%から大きく乖離していないことに加え、凍結防止剤散布量も10t/kmを下回っていたためスケーリング量が抑制されたと考えられる。以上3橋の例から、SC程度には、凍結融解回数や水分の供給に関係する②架設位置の日照条件や水掛かりの影響度が高く、特に排水について、現場では、橋梁上の土砂や、柵の土砂詰まりによる塩水の滞水を解消することがスケーリングの抑制につながると考えられる。

(2) 影響度が高い要因の推定 (評価方法2)

図-2にSC程度毎の要因該当割合を示す。該当割合の算出方法を例示すると、表-4の①高炉使用の要因が該当するSC程度(大)の該当件数は4件、SC程度(大)の全体の該当件数は7件なので、この時のSC程度毎の要因該当割合は57%となる。

この図では、各要因の左端のSC程度(大)の棒グラフに対し、右端のSC程度(無)に向けて棒グラフが短くなる右

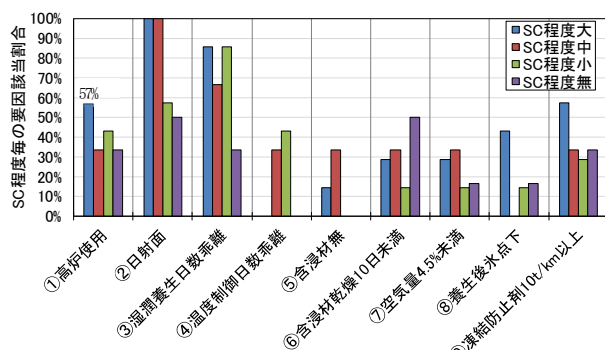


図-2 SC程度毎の要因該当割合

下がりだとスケーリングに及ぼす影響が高いことを表している。図-2から、②日射面の場合、SC程度(大・中)が100%となっており、影響度が高いことがわかる。また、①高炉使用、③湿潤養生日数乖離、⑨凍結防止剤10t/km以上についても、SC程度(大)の割合が50%を超えている一方でSC程度(無)の該当割合が低いことから、影響度が高いと考えられる。以上のことから、②日射面では、凍結融解回数が多くなる条件のため影響度が高くなったと推定される。③湿潤養生日数乖離では、養生不足によるコンクリートの表面品質が低下したことによりスケーリングが多くなったと推定される。⑨凍結防止剤散布10t/km以上では、塩水濃度が高まることで、地覆・壁高欄へ付着した塩水飛沫が残留し易くなり、スケーリングに影響していると推定される。なお、①高炉使用は、次節で分析する。

(3) セメントの種類毎の影響要因の推定 (評価方法3)

今回の調査では、使用したセメントは、施工時期により使い分けられていることが確認された。6月～8月は高炉セメント、9月～10月は普通セメントと高炉セメントが混在しており、11月～3月は普通セメントを使用し

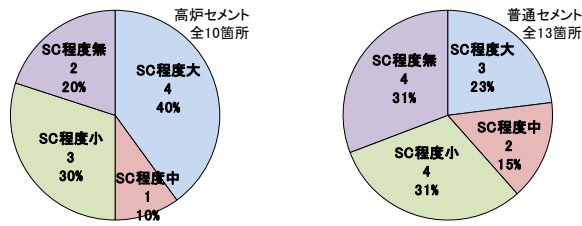


図-3 高炉セメントと普通セメントのSC程度割合

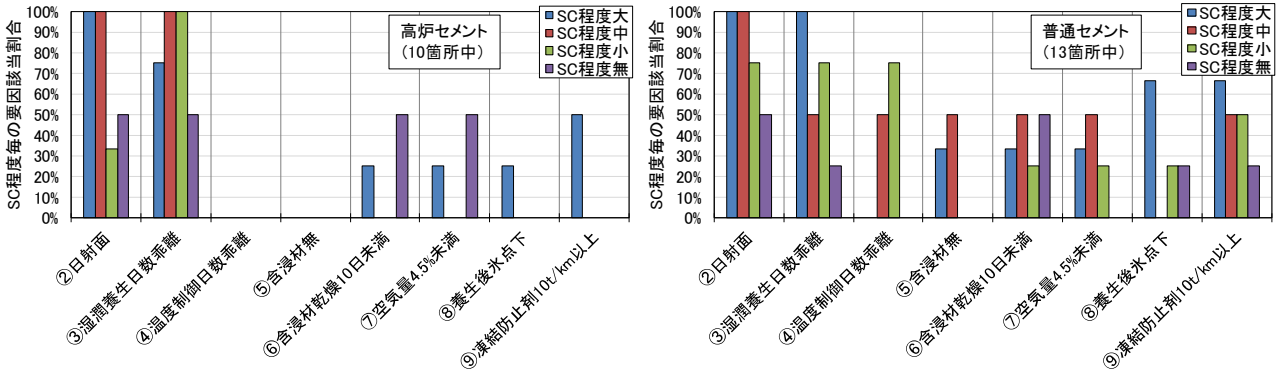


図-4 高炉セメントと普通セメント毎の各要因とSC程度毎の要因該当割合の分類表

た寒中コンクリートだった。

図-3に高炉セメントと普通セメントに分類したSC程度の割合を示す。高炉セメントで施工した全10箇所では、スケーリング発生割合が80%で、そのうち、40%がSC程度(大)となっている。一方、普通セメントで施工した全13箇所では、スケーリング発生割合が69%で、そのうち、23%がSC程度(大)となっている。以上のことから、今回対象とした現地構造物においては、既往の研究<sup>1)</sup>に示されるように、高炉セメントの方が普通セメントよりスケーリング発生割合が高くなっており、SC程度も大きくなっていった。

図-4にセメントの種類で分類したSC程度毎の要因該当割合を示す。

高炉セメントでは、SC程度毎の要因該当割合が高いのは、②日射面、③湿潤養生日数乖離の要因となっていた。高炉セメントを使用した6月～10月の施工は、11月～3月迄の寒中コンクリート(表-4の施工月が青色セル)に比べ、温度管理など留意すべき事項が少なく、標準的な現場管理でも品質の高いコンクリートになると考えられるが、現地構造物では、スケーリングが発生する要因のうち、湿潤養生日数に関する該当割合が大きいことが確認された。

普通セメントでは、高炉セメントに比べると多様な要因の影響を受けているが、SC程度毎の要因該当割合が高いのは、②日射面、③湿潤養生日数乖離の要因であった。普通セメントを使用した11月～3月の施工は、寒中コンクリートとして温度制御養生期間の温度管理を行っているが、湿潤養生期間の標準<sup>5)</sup>(表-5)に達する前に湿潤養生を終了する例が多いことが確認された。このことから、いずれのセメントを用いた場合でも、湿潤養生日数の確保は重要であり、現場管理の再点検が必要と考えら

表-5 湿潤養生期間の標準

日平均気温	早強 ポルトランド セメント	普通 ポルトランド セメント	混合 セメント B種
15℃以上	3日	5日	7日
10℃以上	4日	7日	9日
5℃以上	5日	9日	12日

れる。なお、普通セメントにおいては、SC程度(大)で⑧養生後氷点下と⑨凍結防止剤10t/km以上の該当割合も高かった。若材齢かつ湿潤養生不足によりコンクリート表面の強度が低い状態でマイナス温度環境に晒され、表面に凍害による微細ひび割れが発生し、その後、凍結防止剤散布下でスケーリング劣化が大きくなった可能性がある。このことから湿潤養生日数の確保は重要と思われる。

## 5. 早期スケーリングを防止するための留意事項

これまでに評価を行ってきた、スケーリングに影響する要因は二つに分類される。

分類1は、現場条件で決まり施工時に対策が困難な要因で、①、②、⑨の3項目である。①セメントの種類については、暑い時期は水和熱の低い高炉セメント、寒い時期は強度発現が早い普通セメントを用いる現場が一般的であり、施工期間中に季節が変わり気温が大きく変動する場合を除き、現場管理の観点から当初計画から変更しないことが多い。変更時の対策は、暑い時期に普通セメントを使用した時は、強度発現が早い型枠を取り外すまでの期間は短縮するが、表-5に示す湿潤養生期間の標準<sup>5)</sup>を遵守する必要がある。また、寒い時期に高炉セメントを使用した時は、強度発現が遅いため養生日数の確保が必要となる。②架設位置の日照条件に関して

は、立地条件で決まるため不可避である。⑨凍結防止剤の散布量については、路線毎の管理基準があるため回避は困難である。ただし、凍結防止剤の影響を受けにくくすることは可能で、適切な養生を行い表層品質を確保することに加え、表面含浸材の塗布や表面被覆などを行う、コンクリート表層部の含水率を下げたから供用する<sup>6)</sup>などが挙げられる。

分類2は、現場の施工時に対策できる要因で、③～⑧の6項目である。③湿潤養生日数乖離と④温度制御養生日数乖離については、養生日数に関する事項であるため、現場で施工する時に、セメントの種類、施工時期、施工時の養生囲い内温度などを十分確認して適切な養生日数を確保する必要がある。

表-5に湿潤養生期間の標準<sup>5)</sup>を示しているが、夏場の施工では、20℃程度で施工することを想定して、15℃以上の欄を参考にして養生日数を定めることが多い。実際の施工時の温度が15℃以上であれば問題は無いが、施工時期が遅れるなどして秋にずれ込むと、北海道の場合、施工時の気温が15℃を下回っている場合があり、そのような場合には日平均気温の参照欄をより低い温度に変更して養生期間を長くとするなどの対応が必要である。また、寒中コンクリートの施工では、管理予定の温度と表-6に示した2017年制定コンクリート標準示方書施工編<sup>7)</sup>に示されている所要の圧縮強度を得る温度制御養生期間の目安を参考にして養生日数を定める必要がある。一方、表-7は平成8年（1996年）制定コンクリート標準示方書施工編<sup>8)</sup>に示されている寒中コンクリートにおける所要の圧縮強度を得る温度制御養生期間の目安である。表-7と最新の2017年版で示されている表-6では養生日数は変わっていないが、考慮すべき現場条件に関する表現方法が、「構造物の露出状態」から、「5℃以上の温度制御養生を行った後の次の春までに想定される凍結融解の頻度」に変更されており、前者の古い内容と誤解すると養生日数の設定が不適切になる可能性がある。養生日数を設定する際は、2017年版の記述に沿った現場条件になっているのか確認が必要である。

なお、今回の調査では、⑤表面含浸材塗布の有無、⑥含浸材塗布までの乾燥日数、⑦コンクリートの空気量、⑧養生終了後のマイナス気温の有無については、早期スケーリング劣化への明確な影響は確認できなかったが、既往研究において、表面含浸材の塗布によるスケーリング抑制効果<sup>2)</sup>や塗布時の表層部の水分率の影響<sup>9)</sup>、また空気量確保によるスケーリング抑制効果<sup>3)</sup>や養生終了後に水分率の高い状態での凍結融解作用によるスケーリングの進行<sup>6)</sup>がそれぞれ指摘されており、耐久性確保の観点からこれらのことも留意するのが望ましい。

## 6. まとめ

本調査により得られた知見は以下の通りである。

表-6 所要の圧縮強度を得る温度制御養生期間の目安  
(断面の大きさが普通の場合) (2017年版)

5℃以上の温度制御養生を行った後の次の春までに想定される凍結融解の頻度	養生温度	セメントの種類		
		早強 ポルトランド セメント	普通 ポルトランド セメント	混合 セメント B種
(1) しばしば凍結融解を受ける場合	5℃	5日	9日	12日
	10℃	4日	7日	9日
(2) まれに凍結融解を受ける場合	5℃	3日	4日	5日
	10℃	2日	3日	4日

表-7 所要の圧縮強度を得る温度制御養生期間の目安  
(断面の大きさが普通の場合) (平成8年版)

構造物の露出状態	養生温度	セメントの種類		
		早強 ポルトランド セメント	普通 ポルトランド セメント	混合 セメント B種
(1) 連続してあるいはしばしば水で飽和される部分	5℃	5日	9日	12日
	10℃	4日	7日	9日
(2) 普通の露出状態にあり(1)に属さない部分	5℃	3日	4日	5日
	10℃	2日	3日	4日

- (1) 本調査で抽出したスケーリングに影響すると考えられる9項目の要因の影響度高の該当件数が多くなるとSC程度が大きくなる傾向が確認された。
- (2) スケーリングが生じていない橋梁の調査結果から、架設位置の日照条件や水掛かりがスケーリングに大きく影響することを確認した。
- (3) SC程度と影響要因の関係から、セメントの種類、架設位置の日照条件、養生日数の設計時と施工時の乖離、凍結防止剤のkm当たり散布量の要因はスケーリングに及ぼす影響が顕著だった。
- (4) 高炉セメントで施工した現場では、普通セメントで施工した現場よりスケーリング発生割合が高く、SC程度も大きかった。
- (5) いずれのセメントで施工した場合でも、架設位置の日照条件、湿潤養生日数乖離の影響が顕著だった。
- (6) 早期に発生するスケーリングを防止するには、施工時に、セメントの種類や施工時期を考慮して適切な養生日数を確保するとともに、水掛かり防止の観点から排水樹の土砂詰まりの解消や、表面含浸材や表面被覆の適用について検討を行う必要がある。

## 参考文献

- 1) 遠藤裕丈、熊谷守晃、嶋田久俊：長期凍結融解による表面剥離に及ぼす凍結防止剤の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 23、No. 2、pp. 613-618、2001. 7
- 2) 遠藤裕丈、田口史雄、宮本修司、中村智幸、後藤浩之、林大介、坂田昇、名和豊春：シラン系表面含浸材による寒地コンクリート構造物の耐久性向上効果、土木学会論文集E2 (材料・コンクリート構造)、Vol. 67、No. 1、pp. 69-88、2011
- 3) 吉田行、安中新太郎：塩分供給下の凍結融解作用によるスケーリング劣化対策に関する基礎的研究、寒地土木研究所月報 No. 788、2019. 1

- 4) 羽原俊祐、小山田哲也、菅野華果、中村大樹：コンクリートのスケーリング劣化に及ぼす凍結防止剤の影響、J-STAGEセメント・コンクリート論文集、Vol. 67、No. 1、pp. 95-101、2013
- 5) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書【施工編】、p. 124-128
- 6) 吉田行、島多昭典：材齢初期の凍害を防ぐための適切な養生方法に関する研究、寒地土木研究所月報No.741、2015. 2
- 7) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書【施工編】、p. 161-168
- 8) 土木学会：1996 年制定コンクリート標準示方書【施工編】、p. 158-167
- 9) 遠藤裕丈、島多昭典：冬期におけるシラン系表面含浸材の最適な施工方法に関する研究、寒地土木研究所月報No. 826、2022. 1