

凍害によるコンクリート二次製品の損傷について（報告）

杉若 圭一郎¹・齋藤 明宏²

¹兵庫国道事務所 工務第一課 (〒650-0042兵庫県神戸市中央区波止場町3番11号)

²豊岡河川国道事務所 朝来国道維持出張所 (〒669-5211兵庫県朝来市和田山町平野504)。

豊岡河川国道事務所では国道9号の70.8kmの維持管理を行っている中で、整備した歩道用の歩車道境界ブロックをはじめとするコンクリートプレキャスト二次製品が、凍害が原因と思われる損傷が見られる箇所がある。

本稿はその損傷について、現況調査及び対策について試験施工を行ったので、その結果を報告する。

キーワード 凍害、積雪寒冷地、道路調査

1. はじめに

兵庫県北部の幹線ネットワークである国道9号において、豊岡河川国道事務所では1958年より管理を開始し、現在では延長70.8kmの維持管理を行っている。今後、国道483号（E72北近畿豊岡自動車道）の延伸など周辺地域へのアクセス向上が予定されており、今後とも兵庫県北部の発展に寄与していくため、その基礎となる道路管理は重要となる中で、寒冷地特有の問題である、凍害が適切な維持管理の支障の一つとなっている。

2. 現状と課題

コンクリート構造物の凍害については、従前より、様々な研究が行われてきており、対策もとられている。その成果として、凍害が疑われる構造物の調査対策手引書(案)¹⁾（以後、対策手引書と略）が国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所によってまとめられている。

(1) 凍害の発生について

コンクリート構造物の凍害は以下のように定義されている。

凍害とは、コンクリート中の水分が0度以下になった時の凍結膨張によって発生するものであり、長年にわたる凍結と融解の繰返しによってコンクリート組織が徐々に劣化する現象である。

ただし、対策手引書にまとめられているとおり、現象の原因については、水圧説、浸透圧説等がある。

また当事務所が管理している国道9号は冬期に凍結防止作業として、塩化カルシウム、塩化ナトリウムの散布を行う区間であるため、塩化物によっても複合的に、

コンクリートに作用し、損傷を与えることが想定される。

(2) 凍害劣化過程と性能低下

凍害による劣化現象は主に、コンクリート断面の減少であり、その程度によって鉄筋構造物の場合、鋼材腐食が発生する場合もある。凍害による構造物の性能低下は、凍害深さによって異なる。

凍害深さの増大と部材の性能劣化の関係を以下の図-1に示す。また劣化過程と期間を示す要因を表-1のように考えられている。

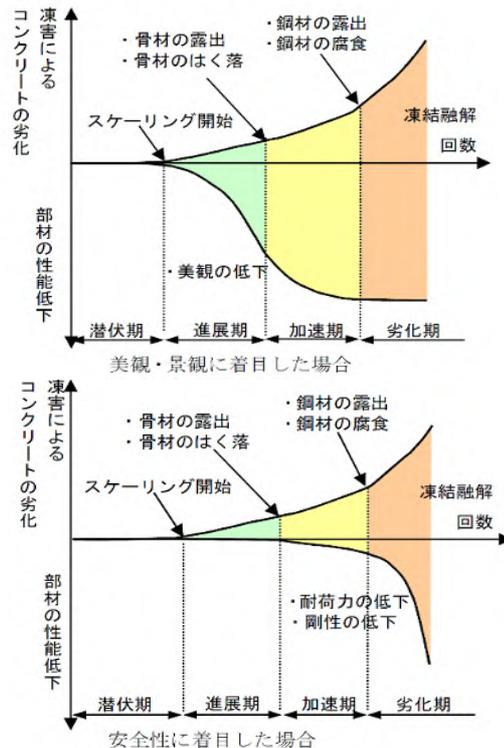


図-1 凍害劣化過程の概念図

表-1 凍害劣化過程の定義と期間を決定する要因

劣化過程	定義	期間を決定する要因
潜伏期	凍結融解を受けスケーリングが発生するまでの時間	凍結発生の可能性の有無, 最低温度, 凍結水量, 凍結融解回数
進展期	コンクリート表面の劣化が進行し, 骨材が露出, もしくは剥離するまでの期間	最低温度, 凍結水量, 凍結融解回数
加速期	鋼材が露出したり, 鋼材腐食が開始するまでの期間	凍害深さ, 鋼材の腐食速度
劣化期	鋼材の腐食が進行し耐荷性の低下が顕著な期間	凍害深さ, 鋼材の腐食速度

ここで、凍害の発生原因である温度について、国道9号での路面温度観測地点の代表的なデータとして養父市関宮町八井谷地点での2023年度冬期の日最高路面温度と日最低路面温度の推移を以下に示す。

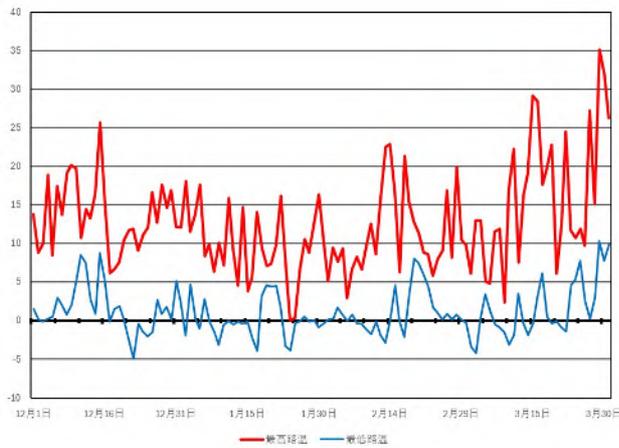


図-2 養父市関宮町八井谷地点での路面温度の推移

2023年は近傍に設置されているアメダスでの過去48年のデータの中で11番目に高い日平均気温を観測した年で、平均よりも少し暖かな年のデータである。

2023年12月1日から、2024年3月31日までの122日間において、最低路温が0度以下になったのは49日あり、その中で最低路温は-4.9度、平均最低路温は-1.4度であり、あまり凍結が急速に進行するところまで路温は低下しないが、継続的、経年的には凍結被害が進行する温度でもある。

このため、豊岡河川国道事務所の各種のコンクリート構造物は様々な凍害を受けていることが想定される。

凍害によるコンクリートの損傷は、大きく分けて、スケーリング、ひび割れ、ポップアウトが代表的な損傷としてあげられる。

○スケーリングとは、コンクリート表面のモルタル部分がフレーク状に剥げ落ち症状であり、進行すると粗骨材を含めて表層コンクリートの剥離・崩壊に至ることもある。

○ひび割れとは、凍結による膨張が大きい空隙中にでき

た氷晶により膨張が拘束され、大きい静水圧が空隙の壁に作用し、引張強度に達したときにひび割れを生じると考えられている。凍害によるひび割れ形状の特徴はひび割れ、地図状ひび割れ、長手方向ひび割れ、斜めひび割れの4つであり、ひび割れへの水の供給がある場合にはエフロレッセンスを伴うこともある。

○ポップアウトとは、骨材中に存在する水分の凍結によって膨張し、表面モルタル層をはく離させることによって生じる。コンクリート表面化の骨材粒子の膨張による破壊でできたクレーター状のくぼみであり、吸水率の大きい骨材や品質が悪い場合によく観察される。

豊岡河川国道事務所では、継続的に構造物点検等を行う中で、橋台、法面構造物、擁壁等の大規模構造物について調査、点検を行っており、現時点で管理区間内に大きな問題点はない。

本稿で問題としているのは、歩車道境界ブロックにおいて、散発的に発生しているスケーリングについてである。

なお、豊岡河川国道事務所管内において、コンクリート舗装を行っている区間はトンネル内がほとんどであり、ポップアウトは管理区間内ではいまのところ確認できていない。

3. 道路巡視による調査

豊岡河川国道事務所では週3回の巡視のほか、直営巡視等も行う中で発見した、代表的な劣化期の凍害箇所状況は以下のとおりである。

(1) 美方郡香美町岡区八井谷でのスケーリング発生状況

この地点では2000年～2001年にかけて歩道工事が行われており、供用開始から23年が経過している箇所である。

歩車道境界ブロックのスケーリングが進行し、崩壊が進むブロックが散発的に発生している。なお、凍害による崩壊が進むブロックと、そうでないブロックの間で融雪設備や道路勾配、車からの損傷などの差はない。



図-3 八井谷でのスケーリング発生状況



図4 八井谷でのスケーリング拡大状況写真

(2) 美方郡香美町村岡区^{おおめが}大糠でのスケーリング発生状況

この地点では1983年～1984年にかけて歩道工事が行われており、供用開始から39年程度が経過している箇所である。

ここでも、歩車道境界ブロックのスケーリングが進行している箇所が散発的に見られる。



図5 大糠でのスケーリング発生状況



図6 大糠でのスケーリング拡大状況写真

(3) 美方郡香美町村岡区黒田でのスケーリング発生状況

この地点では1990年～1991年にかけて道路工事が行われており、供用開始から32年程度が経過している箇所である。



図7 黒田でのスケーリング状況写真

ここでは歩車道境界ブロックよりも側溝のコンクリート蓋のスケーリングが発生している状況である。なお、本箇所のコンクリート蓋は無筋と思われ、鉄筋の腐食等は見られない。

(4) 朝来市和田山町宮田でのスケーリング発生状況

この地点では1984年に道路工事が行われており、供用開始から39年程度が経過している箇所である。ここではL型側溝ブロックにスケーリングが発生している。



図8 宮田での一リング発生状況



図9 宮田でのスケーリング拡大状況写真

(5) 美方郡香美町村岡区黒田でのポップアウト発生状況

参考までに国道9号の隣接民地で発生しているポップアウトの状況を掲載する。



図10 黒田でのポップアウト発生状況



図-11 黒田でのポップアウト発生状況

コンクリートの平面上に直径2～4cm、深さ1～2cmの凹みが発生している。

4. 道路巡回支援システムの活用

(1) 道路巡回支援システムの概要

国道9号の管理のため、当事務所では定期的に路面の舗装状況等について調査を行っており、近年では2023年度に実施した。

調査に使用したシステムは、パトロール車にスマホを設置してデータを収集し解析するものであり、舗装の状況として、路面のひび割れ、わだち等、IRI等の状況の調査をしたが、さらにその舗装点検システムを用い、ポットホール、路面の段差、路面標示、道路付属施設、標識、スノーポール、縁石の損傷等、道路の異常をAIによる自動判別で検知した。

(2) 調査結果

AIによる歩車道境界ブロックの損傷判定の例を以下に示す。



図-12 AIによる損傷状況の認識結果

このような損傷箇所を70.8kmの管理総延長に対して285箇所を拾い上げ、台帳化することができた。

この結果は、パトロールにより把握した損傷を受けている縁石の箇所数とほぼ合致していた。今回、報告した損傷箇所は日々のパトロール等の中で発見し、経過観察している箇所であるが、台帳化したことで今後の管理に資することができる。

(3) AIの課題

現状のAIの問題点として、AIでは縁石の異常を検知するところまでで、凍害と擦過損傷の違いまでを判別することはできない。

また、路面のひび割れは検知できるが、凍害によるクラックは微少であるため認識ができず、劣化期に入った損傷しか認識できないため、進展期、加速期のスケーリングを発見するために現時点では、これまでどおりのパトロールが必要である。

本稿では劣化期のスケーリングについて報告したが、図-13に進展期、図-14に加速期のスケーリングの例を示す。



図-13 進展期のスケーリングによる劣化状況



図-14 加速期から劣化期のスケーリングによる劣化状況

5. 凍害に対する対策の一例

豊岡河川国道事務所では凍害に対する対応として、凍結融解及び塩害に対する抵抗性を高めた歩車道境界ブロックを用いた施工を試験的に始めている。

コンクリート内の水の凍結時に水の圧力膨張から、その圧力の逃場があればコンクリートに作用する圧力が緩和されるため、コンクリート内の空気量を4~7%確保するためのAE剤の追加、高性能減水剤の使用による密実なコンクリートを目指した凍害対策品を使用した。

また塩害対策として、高炉スラグ微粉末の使用による潜在水硬性により、さらに密実なコンクリートを目指した、耐塩害凍結対策型歩車道境界ブロックを使用した歩道の工事を行った。

同じ施工現場において比較のため、この2種類の歩車道境界ブロックを設置しており、今後、その経過観察を行い、追跡調査を行っていく予定である。

以下に代表的な標準品と凍害対策、塩害凍害対策型品の歩車道境界ブロックのコンクリート示方配合について記載する。なお、示方配合は業者独自の取組みも含まれるため、一部は概数での記載とする。

表-2 塩害凍害対策型品・凍害対策品と標準品の示方配合の例

	単位	標準品	凍害対策品	塩害凍害対策品
粗骨材最大寸法	mm	20	20	15
スランプ・スランプフロー	cm	8±2.5	20~15±2.5	70~50±10
空気量の範囲	%		4.5±1.5	2.5±1.5
水セメント比・水結合材比	%	50~45	50~45	30~20
減水剤	kg	○		
高性能減水剤	kg		○	○



図-15 耐塩害凍害対策型歩車道境界ブロック

6. おわりに

本稿は国道9号での凍結被害、特に歩車道境界ブロッ

クについて調査結果を報告した。

豊岡河川国道事務所の管理区間70.8kmの中で、歩道は上下線合せて約86kmあり、仮に縁石全てを取替えようとした場合、工事費は1m当り15000~20000円が必要なため、総計17億円以上の費用が必要となるだけでなく、通行者などの付近住民に迷惑をかけることになる。

だからこそ、損傷したからといって簡単に更新が可能なものではなく、適切な管理手法が求められる。

そのため、様々な取組みが今後とも必要となる中、いくつかの方法が考えられる。

一例として、どのような条件でスケーリングが発生するのか等について、スケーリング抵抗性試験、凍結融解試験、超音波伝播速度試験、非破壊及び局部破壊調査など、各種の物理調査を実施していく事が考えられる。

またGIS上でデータ整理を行い、スケーリング発生箇所の統計分析を行う手法も有効であると考えられる。

道路管理を担当している国道維持出張所としては、簡易、早期にひび割れを発見し、コンクリート補修剤を塗布することにより、早期、安価、簡易に維持・補修が出来る方法を模索することも重要と考える。

JISの『A5371プレキャスト無筋コンクリート製品』に性能試験方法の記載はあるが、空気量についての記載はなく、『性能照査方法は設計図書及び実績による』との表記があるだけである。一般論としてコンクリートの凍害対策には2~4%以上の空気量が有効である、という知見はあるものの、それを発注時、現場管理時にどのように生かすか、今回報告した実例がある中で、事務所全体での今後の取組みが求められる。

今後とも、予防保全を行いつつ、コスト縮減に努めながら適切な管理に努めて参りたい。

参考文献

- 1) 凍害が疑われる構造物の調査対策手引書(案) 平成29年5月 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所