

北海道における実橋梁の空気量に関する調査

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所	正会員	○吉田 行
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所	正会員	長谷川 諒
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所	正会員	島多 昭典
国立研究開発法人土木研究所		野々村佳哲

1. はじめに

積雪寒冷地では、凍結防止剤等の塩分作用下でコンクリートの凍害が促進されて劣化が顕在化しており、対策が求められている。著者らが行った室内試験¹⁾では、空気量の増加がスケーリング抑制対策の一手法として有効なことを確認している。一方、実構造物の凍害劣化状況を調査すると、おおよそ1980年を境として、それ以前に建設された構造物はひび割れを伴い欠損が生じる事例が、それ以降に建設された構造物はひび割れを伴わず表面損傷（スケーリング）が卓越する事例が多くみられる。写真-1はそれぞれの特徴的な劣化事例を示しているが、このような劣化形態の違いは空気量の違いに起因していると推察され、寒冷地では古くから適切な空気量の確保が必要とされていたものの、レディーミクストコンクリートの空気量4.5%が標準となったのは1978年のJIS改訂以降であることと関係していると考えられた。そこで本研究では、耐凍害性を確保するための適切な空気量の設定に向けた基礎調査として実橋梁の空気量調査を行った。



(a) ひび割れを伴う凍害劣化事例



(b) スケーリング劣化事例

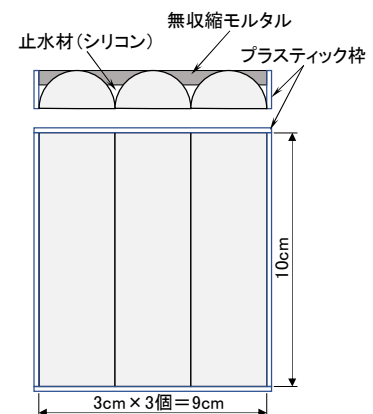
写真-1 特徴的な凍害劣化事例

2. 調査試料の収集

調査対象は橋梁とし、国土交通省北海道開発局の協力を得て、橋梁定期点検調査による凍害劣化状況の確認と実橋梁の目視調査を事前に行って調査橋梁を選定したほか、撤去橋梁からコアを採取して気泡分布を測定した。加えて、構造物の調査・診断、落橋防止や橋脚巻立て、床版防水の導水孔設置など、削孔作業を伴う調査や工事で採取された調査済みまたは不要なコア試料を、凍害劣化の有無や採取部位によらず現場から送付してもらい、気泡分布測定が可能な試料を選別して気泡分布を測定した。

3. 気泡分布の測定方法

気泡分布測定は、直径 $3\mu\text{m}$ 以上の気泡を画像から自動認識して計測可能な装置を用いてASTM C457に準じたリニアトラバース法により行った。なお、硬化コンクリートの空気量や気泡間隔係数の算出にあたってはコンクリートのペースト量が必要となるが、実橋梁のセメントの種類や配合が不明なため、セメントは普通ポルトランドセメント（密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ ）、単位セメント量 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位水量 $150\text{kg}/\text{m}^3$ と仮定して算出した。また、気泡分布測定用の試料はコア表面から 5cm 以深から切り出したものを使用し、粗骨材最大寸法を 25mm としてトラバース長 2413mm 以上を確保するため、コア直径に応じて1面から最大4面まで研磨して測定した。なお、直径 3cm 以上 5.5cm 未満の小径のコアについては、図-1に示すように、長さ 10cm に揃えたコア試料を半割し、直径 3cm の半割試料は3個、直径 4cm ～ 5.5cm 未満の半割試料は2個切断面を下向きに並べ、プラスチック枠を試料全周に配置

図-1 気泡測定用試料の加工例
(コア直径3cmの場合)

キーワード 凍害, スケーリング, 劣化形態, 空気量, 気泡間隔係数

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 寒地土木研究所 耐寒材料チーム TEL: 011-841-1719

して供試体間の隙間をシリコンと無収縮モルタルで充填成形し、硬化後に切断面（測定面）を研磨して測定した。

4. 実橋梁の硬化コンクリートの空気量

図-2 に実橋梁の供用開始年と硬化コンクリートの空気量の関係を示す。凡例はコアを採取した部位である。また、既往データとは、寒地土木研究所で過去に実施した調査データ²⁾であり、調査部位はいずれも下部工（橋台・橋脚）、測定は顕微鏡を用いた手動計測（リニアトラバース法）によるものである。なお、参考として、凍害劣化形態の境と考えられる1980年と、レディーミクストコンクリートの標準空気量の下限値である3%を点線で示している。供用開始年や部位によらず、硬化コンクリートの空気量はほとんどの橋梁で3%を下回っていた。施工時の圧送や締め固めにより硬化後の空気量が減少することが報告されており³⁾、空気量だけでは耐凍害性評価が困難なため、気泡径や数も考慮した気泡間隔係数の評価が必要である。

5. コンクリートの気泡間隔係数

図-3 にコンクリートの気泡間隔係数を示す。なお、既往データには気泡間隔係数 2582 μm (1964年)、1666 μm (1967年) のデータが含まれていたが除外して表記している。1980年以前は、エントレインドエアーが十分に確保されていると判断できる橋梁も多数存在するが、気泡間隔係数がこれを下回ると耐凍害性が向上するとされている250 μm の参考線より大きい橋梁も多く存在し、このような構造物ではエントレインドエアーが不足しており、図-1(a)に示したようなひび割れ型の劣化が顕著になると考えられる。一方、1990年以降は概ね300 μm 以下であることからAEコンクリートであることが確認でき、このような構造物では内部損傷は抑制されるものの、空気量の多少や水掛かり、凍結防止剤の散布量等により図-1(b)に示したような表面損傷（スケーリング）が生じると考えられる。なお、1980年から1990年までは気泡間隔係数が大きいものもみられるが、1978年のJIS改訂が現場に反映されるまでの過渡期にあたることや、実際のコンクリート施工時期と供用開始に差がある橋梁も含まれているためと考えられる。

6. おわりに

本研究では、耐凍害性を確保するための適切な空気量の設定に向けた基礎調査として実橋梁の空気量調査を行い、エントレインドエアーの量により凍害の劣化形態が異なる可能性があること、またエントレインドエアーの多少はレディーミクストコンクリートのJIS改訂に伴う空気量の標準設定時期が大きく関係している可能性があることを確認した。なお、採取したコアについては、超音波伝播速度の測定や一部CDF試験等を実施しており、今後、実橋梁の劣化状況と合わせて評価を行い、空気量の増加を含めた耐凍害性確保に資する対策を提案していきたい。

謝辞 本調査の実施に当たり、国土交通省北海道開発局、および調査、工事関連の各コンサルタント会社や各施工会社に多大なるご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 吉田行, 安中新太郎: 異なる試験方法によるコンクリートのスケーリング抵抗性の評価, 土木学会第73回年次学術講演会, V-322, pp.643-644, 2018.8
- 2) 遠藤裕丈: 凍結融解と塩化物の複合作用を受けるコンクリートの耐久性設計および維持管理に関する研究, 北の交差点, Vol.37, pp.28-31, 2019.10
- 3) 土木学会: コンクリート構造物の耐凍害性確保に関する調査研究小委員会(359委員会)委員会報告書およびシンポジウム論文集, コンクリート技術シリーズ127, pp.227-239, 2021.10

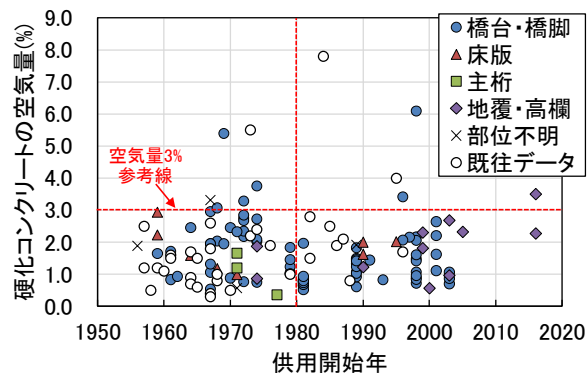


図-2 実橋梁の硬化コンクリートの空気量

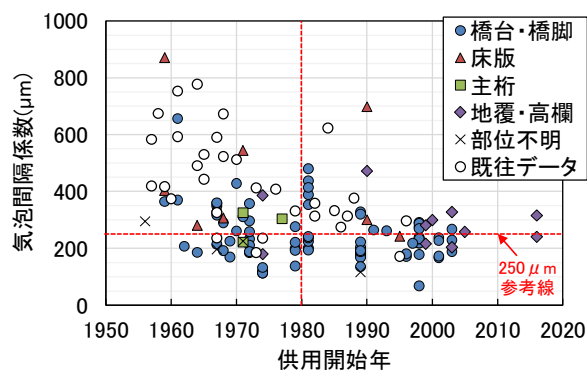


図-3 コンクリートの気泡間隔係数