

積雪寒冷地の橋梁に発生した鉄筋コンクリート床版の変状調査及び診断

【 床版コンクリート床版に発生した局所的な脆弱化に着目して 】

野外科学株式会社 技術統括 小室 秋雄

1. はじめに

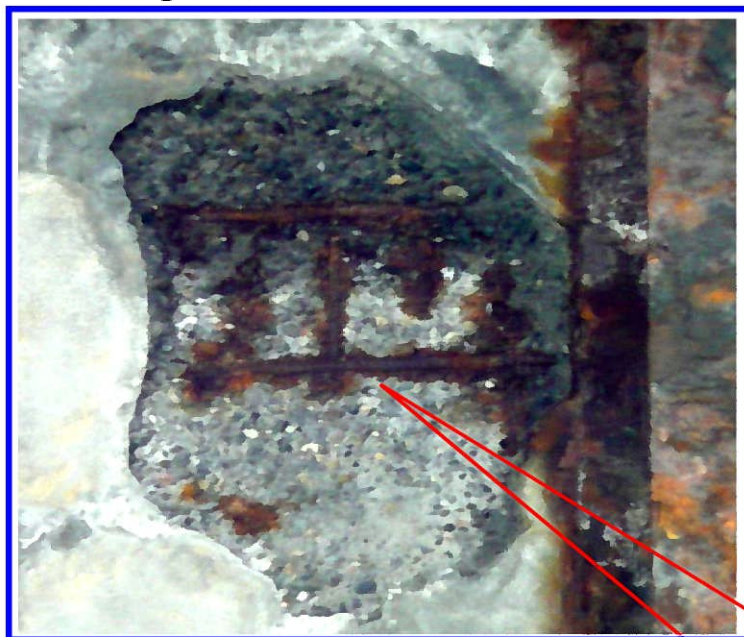
- ①一般的にコンクリートの劣化は周辺環境から環境作用を受けることにより進行することが多い。
- ②コンクリート構造物における変状は各種の発生原因による変状が複合しており、単純なものではないことが多い。
- ③本論文では、積雪寒冷地に位置し、激増する大型車両の輪荷重による荷重作用の繰り返しと環境作用として塩害と凍害が複合原因として発生した鉄筋コンクリート床版の変状の調査、診断及び局所的に発生した脆弱化の発生原因について体験することが出来たので、以下ご報告致します。

2. 鉄筋コンクリート床版の変状とその原因推定

- ①本橋は建設後、20年以上経過した道路橋（連続鋼钣桁橋）であり、床版には激増する大型車両の輪荷重を直接支持することによる繰り返し荷重作用を受けている。今回述べる変状は、このような過酷な荷重条件にある鉄筋コンクリート床版に発生したものである。
- ②本橋は環境条件として積雪寒冷地に位置し、防水工は施工当時の規定では設置が義務化されていないため未施工で、冬期間の降雪時等には凍結防止剤（NaCl等）を散布し、気温も -20° ～ -30° Cとなり、かつ日常的に凍結融解作用が繰り返し作用される過酷な条件となることが多い状況である。
- ③本変状は以下に記述するような調査・診断及び試験結果等より、凍結防止剤の日常的な散布に伴う塩害と積雪寒冷な気候条件による凍害という環境条件が複合的に作用して発生したと推定する。

3. 調査結果：鉄筋コンクリート床版の変状の状況〔図-1～図-5〕

① 鉄筋コンクリート床版下面の変状



〔図-1〕

床版下面に大型車両の輪荷重の繰り返し载荷に伴うコンクリートの大規模な剥落や顕著な鉄筋露出・錆汁の発生が確認された。

床版下面コンクリートの大規模な剥落や鉄筋露出・顕著な錆汁及び遊離石灰の発生が確認される。

② 舗装上面の変状



舗装に亀甲状の幅が広い大規模なひび割れが発生している

〔図-2〕

舗装上面に大規模な亀甲状のひび割れが発生している。

鉄筋露出及び水濡れ部分

③ 鉄筋コンクリート床版上面の変状 〔図-3〕

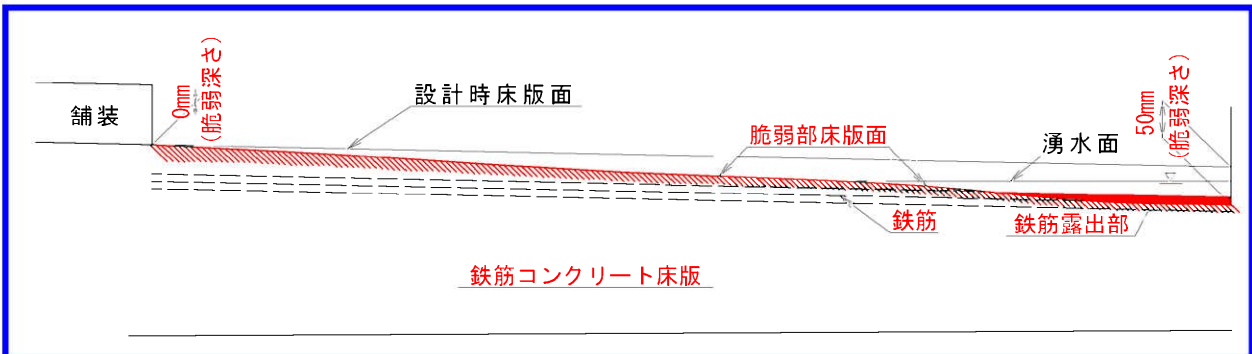


〔図-4〕 参照

変状部（脆弱部）：顕著な湧水と鉄筋の露出・鉄筋の発錆が確認された

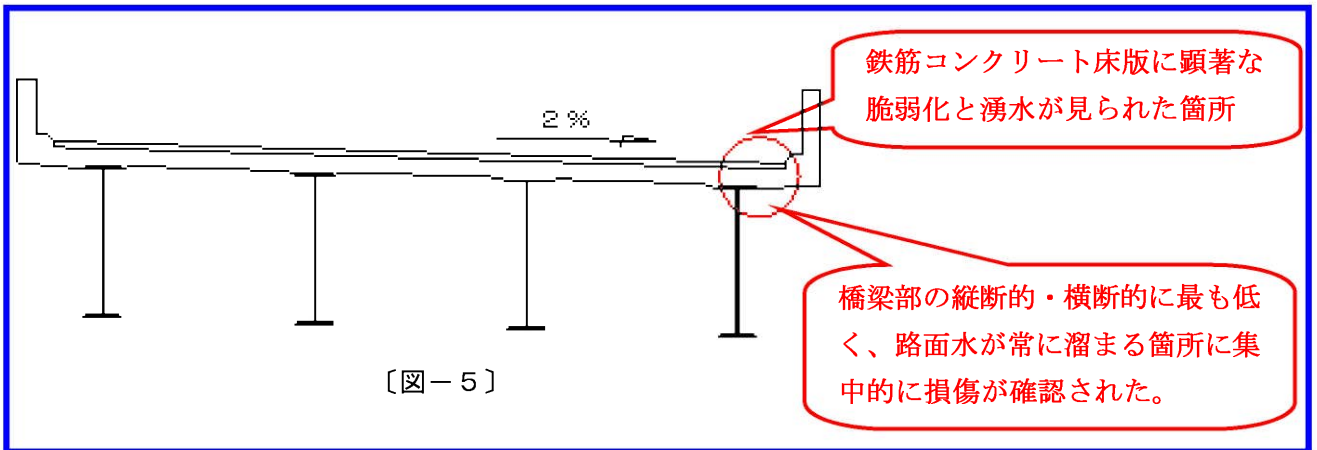
健全部：コンクリートの脆弱化や湧水は発生していなかった

- 1) 床版コンクリートに顕著な脆弱化と湧水が見られた。脆弱部最大深さは 50mm である。
- 2) 脆弱部はかぶりコンクリートがなく鉄筋の露出と錆の発生が確認された。〔図-4〕 参照



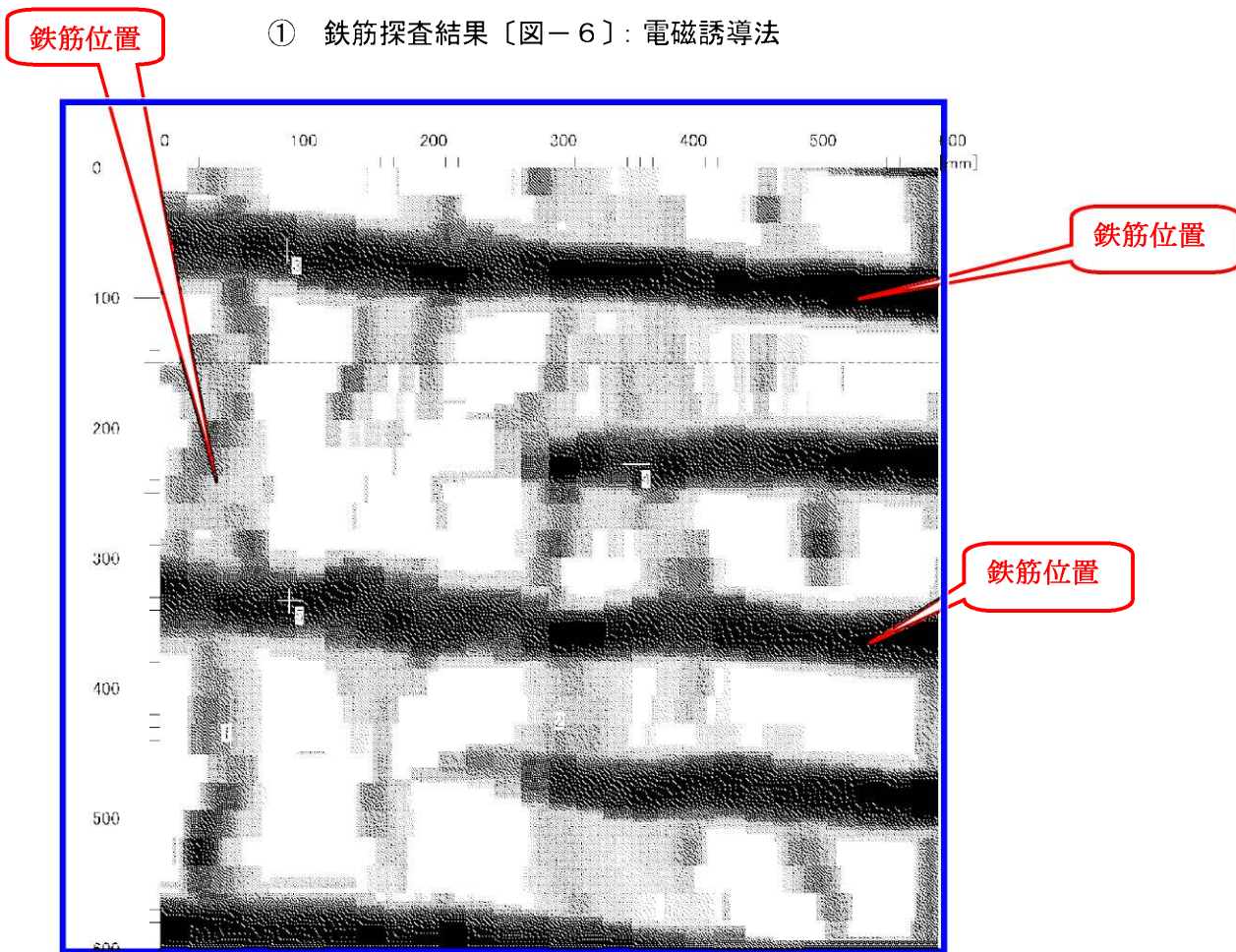
〔図-4〕 床版脆弱部断面図 (A-A)

④ 損傷が発生した橋梁断面図〔図-5〕



4. 原因を推定するための調査・試験及びその結果〔図-6~図-8及び表-1〕

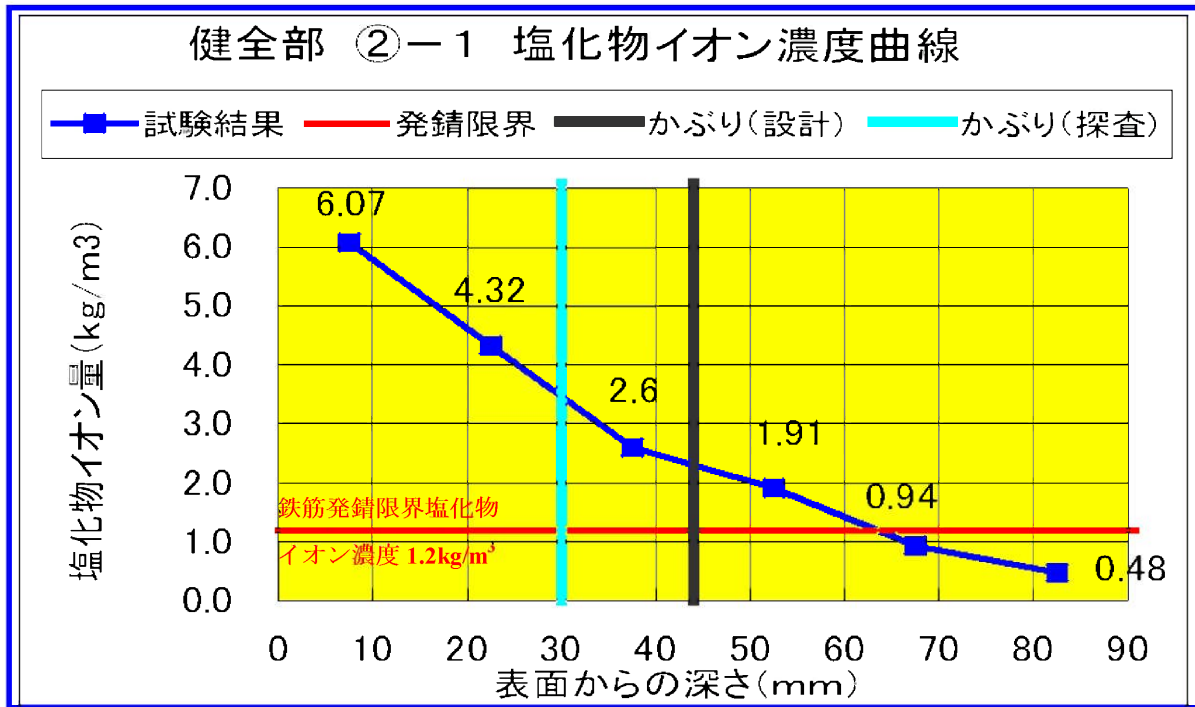
変状の発生原因を確認するため、(1) 鉄筋探査 (2) コア採取 (3) ドリル粉末試料による塩化物イオン濃度試験 (4) コンクリート圧縮強度試験 (5) 中性化試験 (6) X線回折試験を行った。



鉄筋の位置を確認し、コア採取及びドリル粉末採取時に鉄筋切断を避けると同時にかぶり厚を計測する。

② 塩化物イオン濃度試験〔図-7〕

試験法：JIS A 1154：2003 チオシアン酸水銀（Ⅱ）吸光光度法



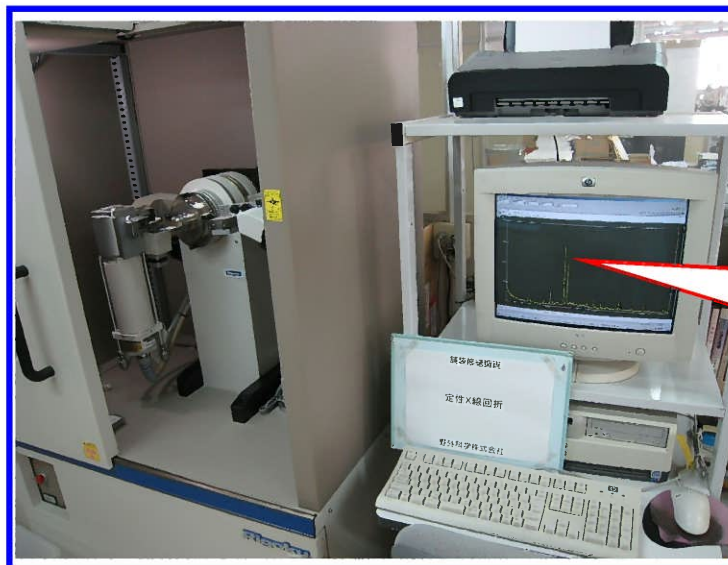
〔図-7〕

凍結防止剤の散布により塩化物イオン濃度が表面部 (6.1kg/m³) 及び鉄筋位置 (3.5kg/m³) と高く、鉄筋の発錆限界値 (1.2kg/m³) を大幅に超過し、塩害の発生が顕著である。

③ 圧縮強度試験及び中性化試験 〔表-1〕

	試験結果 (健全部より採取したコアにより試験)	考察〔表-1〕
コンクリートの圧縮強度試験	$\sigma = 45.5 \text{ N/mm}^2 > \sigma_a = 23.5 \text{ N/mm}^2$	OK!
コンクリートの中性化試験	中性化深さは 0.5mm 以下と小さい	OK!

④コンクリートの凍害と塩害を起因とした脆弱化の発生原因推定のためのX線回折試験〔図-8〕

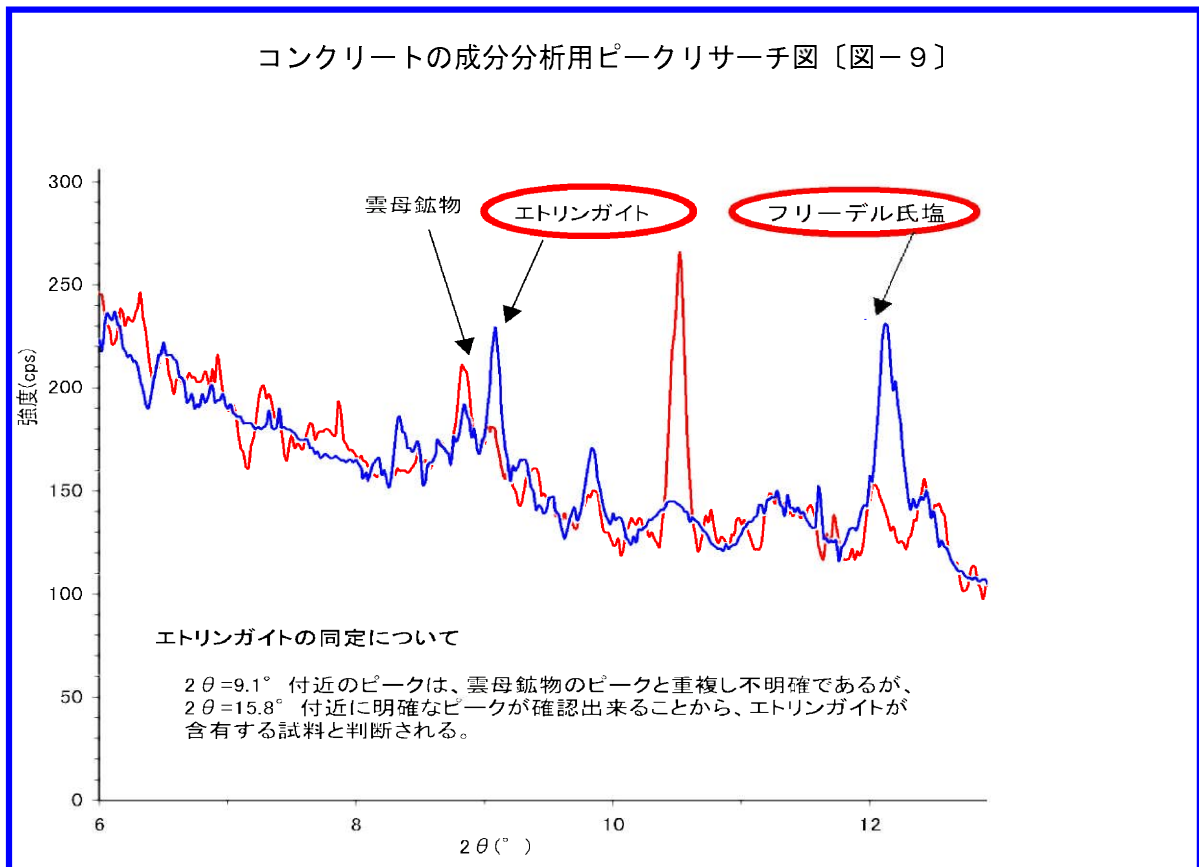


X線回折試験により
エトリンガイトとフ
リーデル氏塩等のピ
ーク値が確認された

〔図-8〕

5. 床版コンクリートに凍害と塩害に起因する脆弱化が発生するメカニズムの推定

- 1) 積雪寒冷地の舗装に破損やひび割れが発生する。
- 2) 凍結防止剤(NaCl)が散布される。
- 3) 外気温の低下や凍結融解が繰り返される。
- 4) NaCl を含んだ塩水が舗装破損部より床版に浸入する。
- 5) 凍害により床版に微細ひび割れや表面剥離が発生する。
- 6) NaCl によるコンクリート組織の破壊が発生する。
- 7) 凍結し氷になり体積膨張と凍結融解が繰り返される。
- 8) コンクリート強度が低下する。
- 9) フリーデル氏塩の結晶が生成される。
- 10) エトリンガイト生成に伴い体積膨張と組織破壊が発生する。
- 11) NaCl と凍害に伴いフリーデル氏塩やエトリンガイトへの結晶変化によりコンクリートに体積膨張が生じ、組織の脆弱化が発生し、徐々に進行する
- 12) X線回折試験により、当床版コンクリートにフリーデル氏塩とエトリンガイトの存在が確認された。(〔図-9〕参照) この結果、当床版コンクリートの脆弱化の原因はエトリンガイト生成と NaCl と凍害の複合作用に基づく、体積膨張と組織破壊が原因であると推定した。



X線回折試験によりエトリンガイトとフリーデル氏塩等の存在が確認された〔図-9〕

以下、次ページにエトリンガイトについて図を交えて簡単に、わかり易く説明します。

6. エトリンガイトに関する説明

コンクリートの硬化体中には、 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ （アルミン酸3カルシウム・通称 C_3A ）が存在するが、ここに硫酸イオンが供給されると、

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ （通称エトリンガイトという）を生成する。

すなわち、 C_3A の水和反応で生じる水和物が硫酸塩と反応して生成される膨張性の針状結晶（〔図-10〕参照）のことをエトリンガイトという。

このエトリンガイトの膨張作用によりコンクリートが内部から破壊され、それに伴いコンクリートが脆弱化する現象が硫酸イオンによる劣化である。

エトリンガイトの拡大画像

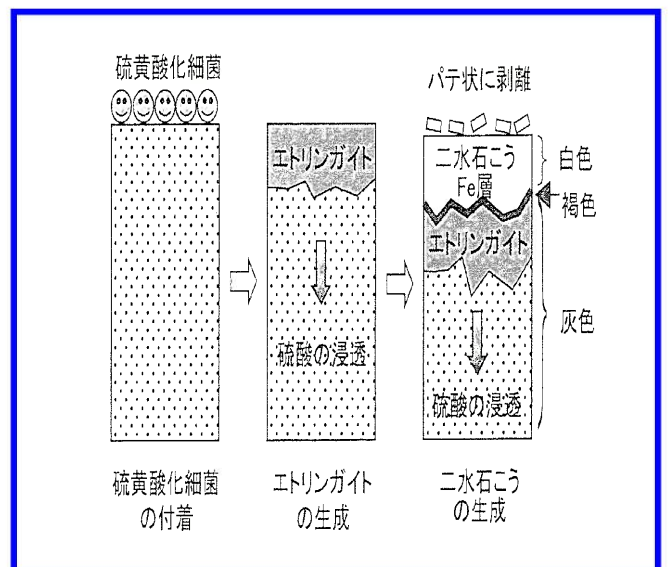
〔図-10〕 針状結晶が見られる



〔図-10〕

硫酸によるコンクリートの腐食・脆弱化の図

〔図-11〕



〔図-11〕

コンクリートに硫酸が作用すると、二水石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）が生成され、さらに二水石膏からエトリンガイトが生成される。エトリンガイトはコンクリート表面がアルカリ性の環境では安定しているが、中性域あるいは酸性域になると、エトリンガイトから二水石膏が再生成される。

（上記の概念図〔図-11〕参照）

pHが1～2の強酸域では、二水石膏はパテ状になり下水や凍結防止剤（ NaCl ）などの浸入により剥離する。これらの段階を経てコンクリートの劣化や脆弱化が進行する。

また、フリーデル氏塩は、このエトリンガイトの硫酸分が塩化物イオンに置き換わったもので、ある一定量までは塩化物イオンの侵入が多くなるほど生成量も多くなる。

7. おわりに

今回、積雪寒冷地における道路橋床版に対して凍結防止剤の散布に伴う塩害と凍害による複合劣化及び床版に発生した局所的な脆弱化による変状発生の原因推定の経験をさせて頂きましたが、これらの経験をコンクリート構造物の耐久性向上と維持管理に応用しながら、今後の社会資本ストックの長寿命化や延命化に向けて微力ながら貢献したいと考えています。（完）