

AE 剤が使用された経年 72 年のコンクリート水路橋の耐凍害性評価

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○家坂 佑希 櫻井 勇也 中垣 宏隆

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 千頭 啓司

1. はじめに

東日本旅客鉄道株式会社では、火力発電所と水力発電所を保有し、山手線を中心とする東京近郊の路線、上越線、新幹線等の電車運転用および駅・信号用等として広範囲にわたって自営電力を供給し、使用する電力の約 2 割を水力で賄っている。水力発電所は新潟県十日町市から小千谷市に位置し、昭和 6 年から平成 2 年にかけて、順次開発が進められた。取水口から発電所までの導水路は約 74km の水路トンネルが主体で、明かり区間の沢を跨ぐ箇所は水路橋となっており、厳しい凍害環境にある。調査を行った水路橋は経年約 72 年で、日本で初期に AE 剤が使用されたコンクリート構造物であるが、躯体表面にひび割れが確認されたことから、耐凍害性評価とひび割れ発生原因を調査した。本稿では調査結果及び今後の維持管理方法について報告する。

2. 水路橋について

調査の対象とした水路橋は、昭和 26 年に完成した全長 90.5m、幅員 9.4m、高さ 23.0m の開渠型 4 径間連続アーチ水路橋であり、昭和 25 年に日本国内で初めて AE 剤「ビンソル」が使用された構造物として記録が残されている¹⁾。外観検査から躯体表面にひび割れが確認され、一部では亀甲状のひび割れも確認されたことから、アルカリシリカ反応（以下、ASR）が発生している可能性が考えられた。

3. 試験方法

図-1 に示す水路橋から、コンクリートコアを採取し、以下に示す試験をした。

- (1) 外観観察
- (2) 圧縮強度・静弾性係数測定
- (3) 凍結融解試験
- (4) エネルギー分散型 X 線分光器を付属した走査型電子顕微鏡による生成物の確認・分析
- (5) 蛍光 X 線によるアルカリ量測定
- (6) 粉末 X 線回析による生成物の確認・分析



図-1 当該水路橋（全景、赤枠部にてコアを採取）

4. 試験結果

4.1 外観観察

採取したコア 6 体の外観を確認した結果、全てのコンクリートコアでひび割れが確認された。内側の破断面には白色生成物及び反応環が確認され、ASR が生じている可能性が疑われた。

4.2 圧縮強度・静弾性係数測定

試験前に、約 20℃の水槽で 3 日間水中養生を実施した。図-2 に圧縮強度・静弾性係数の関係図を示す。建設時の記録によれば 28 日強度が概ね 30N/mm² であったため、いずれの試料も建設当時以上の値を示した。一方、圧縮強度から求められる静弾性係数の値との比較では、3 試料とも土木学会式より静弾性係数が低い領域に分布していた。これはコンクリートコア全体にひび割れ生じていたため、静弾性係数が低くなった可能性が考えられた。

4.3 凍結融解試験

JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」の A 法に準拠し凍結融解試験を実施した。本試験では供試体が円柱に対して試験容器が直方体であるため、容器内の水量及び水圧の調整を行った。試験は水中養生終了後、試験開始前及び 30 サイクル毎に縦振動の一次共鳴振動数及び質量を測定し、相対動弾性係数、耐久性指数、質量減少率を求めた。図-3 に凍結

キーワード 水力発電所、水路橋、耐凍害性、AE 剤、アルカリシリカ反応

連絡先 〒947-0012 新潟県小千谷市山本 316 東日本旅客鉄道株式会社 信濃川発電所 TEL 0258-82-4531

融解サイクル毎の相対動弾性係数を示す。ここで、通常は一次共鳴振動数が試験前の 60%未満となれば試験は終了するが、測定可能なサイクルまで試験を継続した。3 試料の耐久性指数の平均値は 11 となり、いずれのコアも耐凍害性があると判断される 60 に満たなかった。一方で、図-4 に相対動弾性係数が試験前の 60%未満となったサイクルの試験体の状況を示す。凍害によるスケーリングは発生せずに、ひび割れが進展して崩壊に至った様子が確認された。これは、凍結融解試験前からひび割れが生じており、そのひび割れを起点として水分が浸透凍結することにより内部までひび割れが進展したためと推察された。

4.4 その他試験

エネルギー分散型 X 線分光器を付属した走査型電子顕微鏡による生成物の確認・分析を行った結果、いずれのコンクリートコアからも ASR に特有なアルカリシリカゲルが確認された。またアルカリシリカゲルの Ca 置換量は少なく、アルカリシリカゲルの膨張性は収束していないと推察された。

蛍光 X 線によりコアの全アルカリ量をセメントの SiO_2 量を 22%と仮定して推定した。その結果、セメント中の全アルカリ (R_2O 換算) 量は 1.48%, 単位体積当たりの全アルカリ量は 4.01kg/m^3 と推定され、アルカリシリカ反応抑制対策の方法に規定される基準値 3.0kg/m^3 に比べてやや多い結果となった。

粉末 X 線回析による確認・分析の結果、骨材に含まれる鉱物としては、石英、角閃石類、雲母類、長石類、緑泥石類などが確認され、いずれも一般的なコンクリートに用いられる骨材に含まれる鉱物であり、特異な生成物は本試験では認められなかった。

以上のことから、水路橋に生じていたひび割れは ASR により発生したものと推察された。

5. 今後の維持管理について

当該水路橋は ASR によるひび割れの影響で、耐凍害抵抗性が低くなったと考えられる。また、全アルカリ量の推定値がやや多く、常に水分が供給される状況であることから、ASR による膨張は引き続き発生する可能性が考えられるため、ひび割れの進展、漏水の有無等の変状を経過観察する。ひび割れの進展が認められ、対策が必要となった場合は、水分浸入を抑制するための水路橋内面への防水工が有効と考えた。具体的には、ASR と凍害の複合劣化が起きる環境に

おけるシラン系表面含浸材による対策は効果があるとされる文献²⁾もあるが、水路橋内面のような常に滞水している環境では防水効果は低いと推察される為、表面被覆工法がよいと考える。

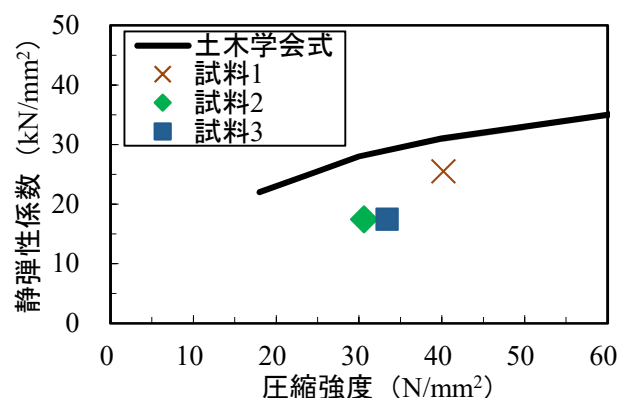


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係図

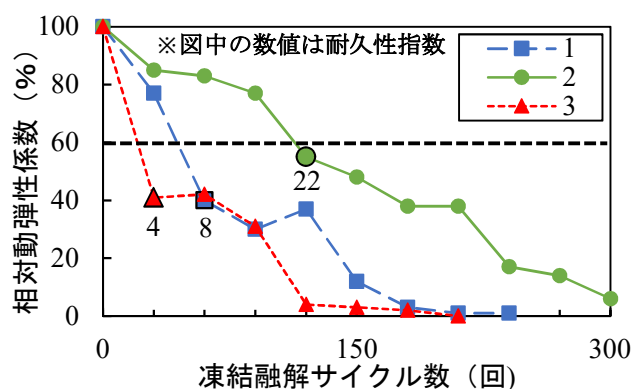


図-3 凍結融解サイクル毎の相対動弾性係数



図-4 試験体状況

参考文献

- 1) 小笠原孟伯：最近の AE 剤使用のすう勢，材料第 16 巻 第 167 号，1967.8
- 2) 遠藤裕丈，島多昭典：ASR と凍害の複合劣化に及ぼす環境の影響に関する基礎的研究，第 65 回 (2021 年度) 北海道開発技術研究発表会論文，2021