

レンガ高架橋の劣化メカニズムの解明

JR 東日本 正会員 ○大上 貴寛

JR 東日本 正会員 波多野 景治

1. 概要

当社が管理するレンガ高架橋は古いもので明治43年(1910年)に建造されており、歴史的にも非常に貴重な構造物である。首都圏では東京・浜松町間の「東京レンガ高架橋」、中央線神田・御茶ノ水間の「万世橋高架橋」は最重要線区である山手線・京浜東北線や中央線を支えている。上記高架橋ではレンガ母材劣化による剥落対策として高架橋意匠部ではネット工法を採用しているが、景観保護の観点から高架橋全面での施工は難しい。現在は目視検査や叩き落とし等による維持管理に努めているが、高架橋の劣化要因に合わせて景観等に配慮した維持管理方法を検討する必要がある。本稿ではそれらの現状を踏まえ、当社のレンガ高架橋の劣化調査を行い、維持管理方法の検討を行った。

2. 調査方法の選定

一般的にレンガ構造物の劣化として、主に凍結破砕、生物劣化、塩類劣化があげられる。本稿では当該高架橋が寒冷地でないこと、生物劣化は剥落に繋がりにくい現象であることを考慮し、塩類劣化に着目した調査を行った。塩類劣化はレンガや目地内部に侵入した水分が気化する際に水分に溶解した塩類が空隙部や表面で結晶化することでレンガを破損させる現象であり、表層剥離や母材劣化に繋がる現象である¹⁾。

今回の調査は目視・打音調査に加え反発強度試験等を行った(表-1)。目視・打音調査では当該高架橋を踏査し塩類劣化が予想される白華箇所を劣化部(白華有)とし(写真-1)、比較のために健全部、劣化部(白華無)を選定した。

表-1 調査方法まとめ

試験項目	目的
目視・打音調査	東京レンガ高架橋、万世橋高架橋にて調査箇所選定【健全部、劣化部(白華無)、劣化部(白華有)】
反発強度試験	各箇所の表層状態の比較
粉末X線回折	各箇所の成分分析
圧縮強度試験	各箇所のレンガ単体の強度比較($\phi 50 \times 100$)



写真-1 白華現象

3. 各種試験結果

(1) 反発強度試験

表層の劣化状態を確認するためにシュミットハンマーを用いた反発強度試験を実施した(図-1)。劣化部(白華有)は、健全部や、劣化部(白華無)に比べて強度が低下しており、白華現象の有無がレンガ高架橋の表層劣化を差別化する指標となりうることが示唆される。

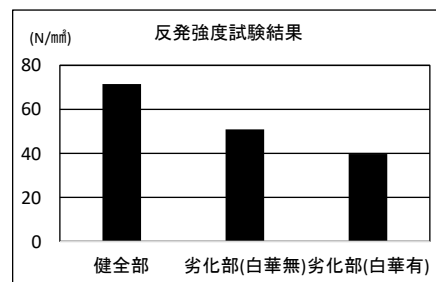


図-1 反発強度試験結果

(2) 圧縮強度試験

レンガ構造物としての強度確認のために $\phi 50 \times 100$ のレンガコア(計48試料)を用いた圧縮強度試験を行った。健全部と劣化部(白華有)、劣化部(白華無)の圧縮強度の正規分布図を示す(図-2)。劣化部(白華有)の強度は健全部の強度と比べると有意水準5%のt検定において $p=0.3\%$ と有意な差がある。しかし劣化部(白華有)においても平均値 29.4 N/mm^2 であり、JASS5のコンクリート長期耐久設計基準 30 N/mm^2 と同等の強度であることを踏まえると、構造物としての強度は十分有していることが分かる。

キーワード レンガ高架橋、塩類劣化、劣化対策、粉末X線回折

連絡先 東日本旅客鉄道株式会社 東京支社 東京土木技術センター

〒101-0041 東京都千代田区神田須田町2丁目10番1号 JR 神田総合事務所3階 Tel(03)3257-1695

(3) 粉末 X 線回折 (XRD)

白華物質の成分確認のため XRD による成分分析結果を実施した。レンガ構成鉱物を除いた結果について表に示す(表-2)。

・レンガ構成鉱物

成分調査の結果レンガ構成鉱物は石英、トリディウム、クリストバライト等の二酸化ケイ素の結晶由来のもの、赤鉄鉱： Fe_2O_3 、長石： $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}, \text{Ba})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}$ 、そして雲母等であった。

・レンガ構成鉱物以外の析出成分（白華物）

その他として(Ca)炭酸カルシウム： CaCO_3 、(Gy)石膏： CaSO_4 、(Th) 硫酸ナトリウム： Na_2SO_4 が確認された。これらは既往の研究からも塩類風化を誘発する代表的な塩であることが報告されている²⁾。特にそれらの塩が劣化部(白華有)にて比較的多くみられることから、当該レンガ高架橋にて塩類劣化が生じていることが示唆される。

4. 維持管理に関する考察

各種試験結果を踏まえると塩類劣化がレンガ構造体としての強度を著しく低下させるものではないが表層状態を悪化させるということがわかる。また析出塩類に関して、 CaCO_3 はセメント由来のカルシウムと空気中の二酸化炭素または目地モルタル成分による化学反応である。 SO_4 の供給源としては蒸気機関車の煤煙や土壌成分由来のものという調査もあるが³⁾、これはトンネルでの調査であり、高架橋ではそれらの影響が蓄積するとは考えられにくいことから、レンガ構造物由来（内在硫酸塩等）の成分が原因であると示唆される⁴⁾。以上のことから当該高架橋の劣化については、素因としてレンガ構造物の材料があげられ、水の供給を誘因として空隙の多いレンガ内部にて各塩類が乾湿差により溶解・析出をしたことで生じたものであると考えられる。

維持管理方法としては塩類劣化が水の供給に起因するものであることを踏まえて、表層からの水の供給を防ぐために①表面ケレン後に撥水系の表面保護材の塗布が有効である。また高架橋内側からの水の供給に伴う塩類劣化も発生しうるため①と併せて②白華箇所を弱点箇所とした効率的な目視調査と叩き落としが有効である。

5. まとめ

本稿で得られた結果は次の通りである。当該レンガ高架橋では塩類劣化が発生している。塩類劣化はレンガ高架橋の表層状態を悪化させるが、構造体としての強度影響は少ない。維持管理方法としては撥水系の保護材塗布と併せて白華箇所を弱点箇所とした叩き落としが有効である。

6. 参考文献

- 1：朽津信明・森井順之（2003）江戸東京博物館「銀座煉瓦街遺構」の劣化と保存, 保存科学, 43 号, P55-P61.
- 2：A.S.Goudie, H.A.Viles, A.G.Parker（1997）Monitoring of rapid salt weathering in the central Namib Desert using limestone blocks, Journal of Arid Environments Vol.37, issue 4, P581-P598
- 3：上田・西尾・渡辺・一條（2008）Thaumasite の生成によるセメント系補修材の劣化, コンクリート工学年次論文集, Vol30, No.1, P687-P692
- 4：吉田夏樹・山田一夫（2005）ソーマサイト生成硫酸塩劣化—劣化機構の整理とリスク評価の方法レビュー—, コンクリート工学テクニカルレポート, Vol.43, No.6, P20-P27

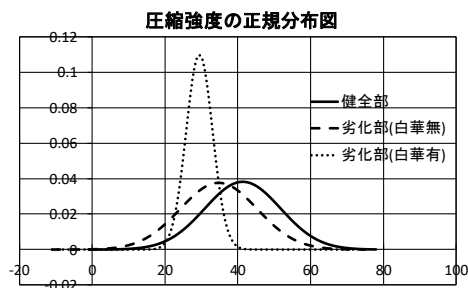


図-2 圧縮強度試験結果

表-2 XRD 結果

試料分類	Ca	Gy	Th
健全部 1	▼	-	-
健全部 2	▼	▼	-
健全部 3	▼	-	-
健全部 4	-	-	-
劣化部(白華無) 1	-	-	-
劣化部(白華無) 2	-	-	-
劣化部(白華無) 3	-	-	-
劣化部(白華無) 4	▼	-	-
劣化部(白華有) 1	-	△	△
劣化部(白華有) 2	▼	△	△
劣化部(白華有) 3	◎	-	-
劣化部(白華有) 4	◎	-	-
劣化部(白華有) 5	◎	-	-
劣化部(白華有) 6	△	-	-
記号	相対量目安		
◎	多量		
△	少量		
▼	僅か		
-	検出無		