

かぶりデータを活用した高架橋の剥離剥落予測に関する検討

J R 東日本 研究開発センター 正会員 ○栗林 健一
 J R 東日本 研究開発センター 正会員 森井 広樹
 株式会社 ビーエムシー 正会員 杉崎 光一

1. 目的

高架橋防音壁からのコンクリート片の落下は第三者に被害を与える恐れがある。目視や赤外線カメラを活用した検査により、落下の恐れがある箇所を抽出を行い、叩き落としや繊維シートなどによる落下防止対策を行っているものの、一部の高架橋で鉄筋腐食の進行が確認されている。

一般に、鉄筋腐食は、コンクリート片の剥離剥落の主原因であり、鉄筋かぶり厚さが小さな箇所が生じやすいことが知られている¹⁾。そこで、鉄筋かぶり厚さのサンプリングデータの平均値と標準偏差から、かぶり最小値(期待値)の算出を行うことで、鉄筋腐食の発生しやすい箇所(スパンなど)を予測する方法の検討を行うこととした。本稿では、高架橋防音壁において、連続する鉄筋一本一本ごとの鉄筋かぶり厚さの測定を行い、鉄筋かぶり厚さの平均や標準偏差より対数正規分布を定義し、最小値の期待値を算出する手法についての検討例を報告する。

2. かぶりデータの測定

1) 測定概要

経年30年を経過している上越新幹線の高架橋のうち新潟県内の4橋、群馬県内の3橋で測定を行った。本稿では新潟県内の2つの高架橋の報告を行う。

高架橋の防音壁は、線路側の壁面(以下、内側と記す)と道路等側の壁面(以下、外側と記す)がある。今回の測定では、電磁波レーダ法を用いて防音壁内側より外側の主鉄筋(縦方向)の鉄筋探査を行った。また、コンクリート片の落下により第三者に影響を与える恐れのある外側防音壁の鉄筋腐食に起因する変状調査を目視により行った。

2) 測定結果

図1にB高架橋の一部の防音壁外側の鉄筋かぶり厚さと変状(剥落箇所:叩き落とし後、防錆処理済)の関係を示す。鉄筋かぶり厚さが小さい箇所の周辺に変状が生じていることが確認できる。

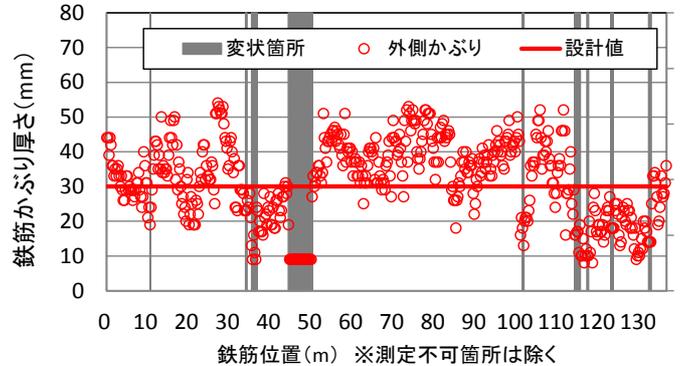


図1 連続する鉄筋かぶり (B高架橋の一部)

3. かぶり厚さ分析

1) かぶり最小値の期待値の算出²⁾など

鉄筋のかぶり厚さは、対数正規分布に従っていると考えて、理論的に、平均値と標準偏差と最小値の関係の導き出すこととした。

確率変数 x が対数正規分布 $f(x)$ に従うと考える。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(\zeta x)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - \lambda}{\zeta}\right)^2\right]$$

ここで、 ζ と λ はパラメータであり、確率変数 x がサンプル数 n の統計値である平均値 μ_n と σ_n が得られている場合、以下のように求められる。

$$\zeta^2 = \ln\left[1 + \left(\frac{\sigma_n}{\mu_n}\right)^2\right] \quad \lambda = \ln(\mu_n) - \frac{1}{2}\zeta^2$$

次に、対数正規分布に従う確率変数 x の最小値は以下のワイブル分布 $g(x)$ に従うため、

$$g(x) = \frac{m}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^m\right]$$

対数正規分布に相当するパラメータは、

$$\beta = \exp(\lambda - \zeta A) \quad m = \frac{1}{\zeta} B$$

となる。ただし

キーワード 鉄筋かぶり、鉄筋腐食、統計確率手法、鉄筋探査

連絡先 〒331-8513 さいたま市北区日進町2丁目479番地 JR 東日本 研究開発センター テクニカルセンター

$$A = \frac{2\ln(n) - \frac{1}{2}\ln(\ln(n)) - \ln(2\sqrt{\pi})}{\sqrt{2\ln(n)}} \quad B = \frac{1}{\sqrt{2\ln(n)}}$$

よって、対数正規分布に従う x の平均値と標準偏差がわかれば、最小値の期待値は、ワイブル分布のパラメータから以下の式で推定することができる。

$$\mu_w = \beta\Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)$$

2) 実測データを用いた推定

サンプリングした鉄筋かぶり厚さの測定データが、対数正規分布に従うかどうかを検証した。図2および図3にそれぞれの高架橋のデータ（防音壁内側と外側）において、実測かぶりのヒストグラムと対数正規分布の比較を行った結果を示す。内側の鉄筋かぶり厚さについては整合的な結果となっている。一方で、防音壁外側の鉄筋かぶり厚さは、内側ほど整合的とはいえない。これは、第三者への影響の観点から、内側に比べより入念な叩き落としによる対策が実施されているなど、鉄筋のかぶり厚さなどが建設時の状態と異なっているなどの影響が考えられる。

3) 内側と外側の鉄筋かぶり厚さの関係

内側と外側の鉄筋かぶり厚さの関係を図4に示す。バラツキはあるものの内側と外側の鉄筋かぶり厚さには相関があると思われる。これは施工時の影響が考えられるが、道路規制等の要因から測定が行いにくい防音壁の外側の鉄筋かぶり厚さの推定などに活用できる可能性がある。

3. 今後の課題

鉄筋かぶり厚さのデータは対数正規分布に従うこと可能性を確認できた。鉄筋かぶり厚さのサンプリングデータから最小値の算出ができれば、鉄筋腐食の発生しやすい箇所（スパンなど）を推定することができると思われる。今後は以下の検討を行う。

- ・ 鉄筋かぶり最小値を推定するための最低サンプリング量（かぶり空間相関）の検討
- ・ 鉄筋腐食因子（水かかり、中性化深さ）の考慮

参考文献

1) 石橋忠良, 古谷時春, 浜崎直行, 鈴木博人: 高架橋等からのコンクリート片剥落に関する調査研究, 土木学会論文集 No. 711/V-56, 125-134, 2002. 8

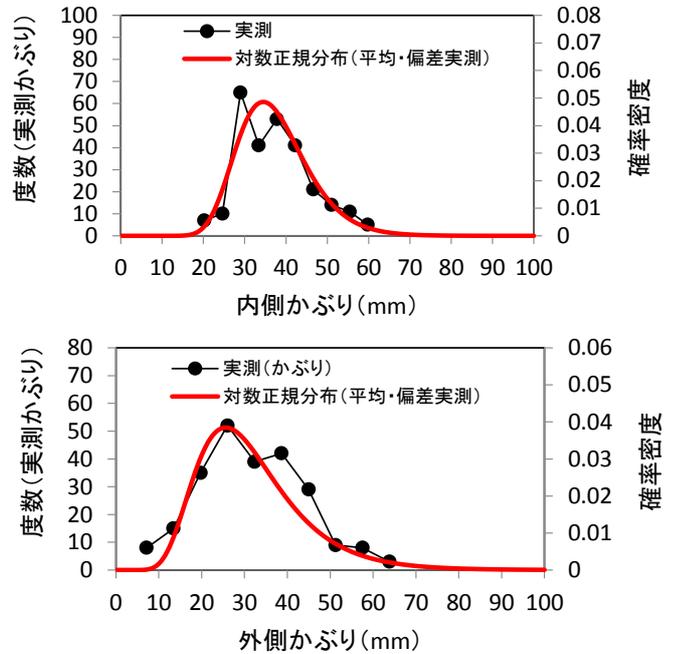


図2 ヒストグラムと対数正規分布 (A 高架橋)

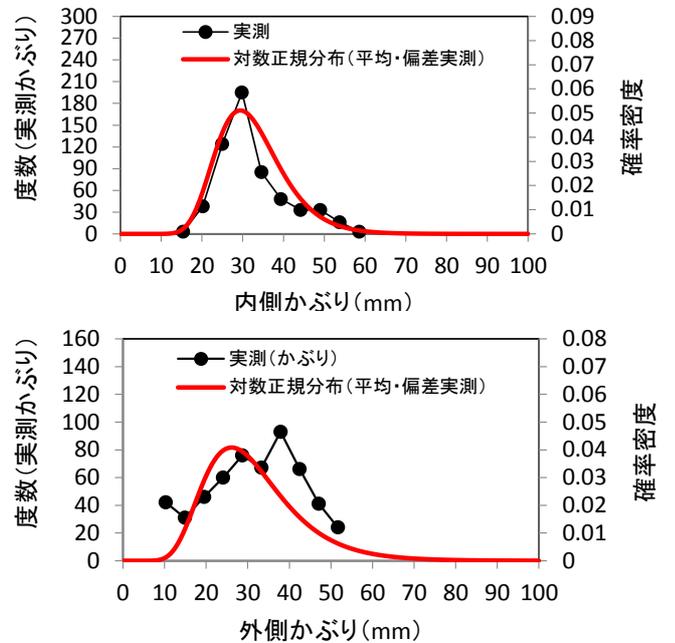


図3 ヒストグラムと対数正規分布 (B 高架橋)

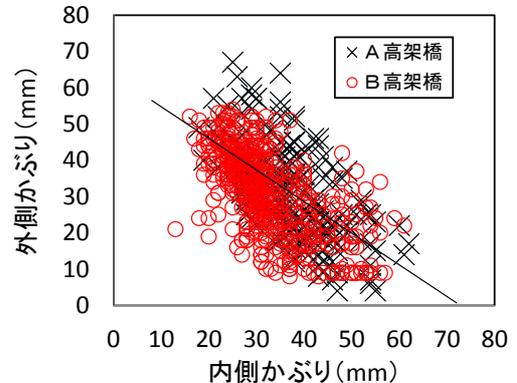


図4 内側と外側の鉄筋かぶり厚さの関係

2) 外山信夫, 辻谷将明: 実践 R 統計分析, オーム社, 2015. 6