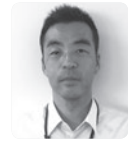


高架橋の剥離剥落予測に関する研究

Presuming Separation/Falling Place Of Concret



栗林 健一*



小西 俊之**

We measured thickness of covering concrete of reinforcing steel and investigated on degradation in railway viaduct. It is confirmed that the degradation proceeds more rapidly as the thickness decreases. We suggested the presuming method of minimum thickness of covering concrete of reinforcing steel, which is expected to be utilized for presuming separation/falling place of concrete.

●キーワード：鉄筋かぶり厚さ、鉄筋腐食、統計確率手法、鉄筋探査

1. はじめに

高架橋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の抽出を行い、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、一部の高架橋でコンクリート片の落下が生じている。

コンクリート片を落下させる原因の一つである鉄筋腐食は、鉄筋かぶり厚さが小さい箇所で生じやすいことが知られている¹⁾。そこで本研究では、サンプリングした鉄筋かぶり厚さの平均値と標準偏差から最小値(期待値)を算出し、鉄筋腐食の発生しやすい箇所(スパンなど)を推定する方法について検討を行った。

2. かぶりデータの測定

経年30年を経過している上越新幹線のうち新潟県内および群馬県内の高架橋の防音壁において、鉄筋かぶり厚さの測定と鉄筋腐食に起因する浮きや剥離(以下、変状と記す)に関する調査を行った。

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。

図1に線路方向に連続する鉄筋一本一本ごとの鉄筋かぶり厚さ(外側と内側)について調査結果の一部を示す。鉄筋かぶり厚さのバラツキは大きく、設計かぶり値(30mm)を下回る箇所も確認された。

図2に内側と外側の鉄筋かぶり厚さの関係と、外側の変状(叩き落とし後に防錆処理済)の関係を示す。内側の鉄筋かぶり厚さが大きい箇所は、外側の鉄筋かぶり厚さが小さくなる傾向であった。内側と外側の鉄筋かぶり厚さに相関性を

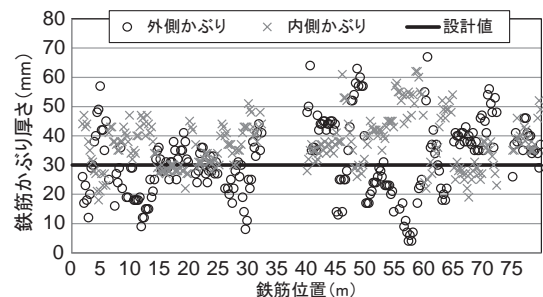


図1 鉄筋かぶり厚さの測定結果

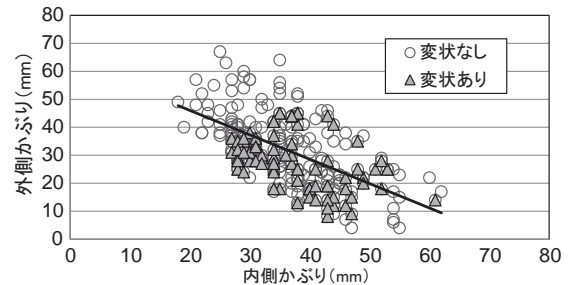


図2 鉄筋かぶり厚さと変状の関係

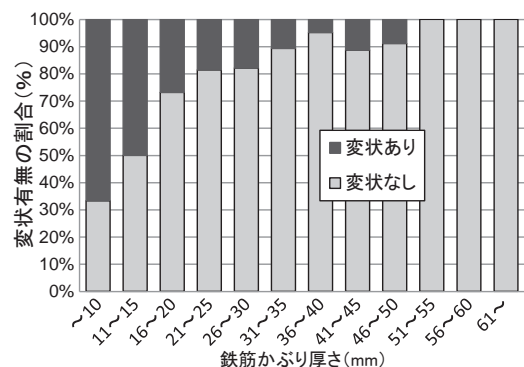


図3 鉄筋かぶり厚さごとの変状発生割合

確認できることから、外側のかぶり厚さの推定に活用できる可能性があると思われる。また、同図より、外側の変状箇所は鉄筋かぶり厚さが小さい箇所で生じている。そこで、外側の鉄筋かぶり厚さごとの変状の割合の整理を行ったところ、過去の文献¹⁾同様に鉄筋かぶり厚さが小さいほど変状の割合が大きくなることが確認できた(図3)。つまり、変状未発生

箇所でも鉄筋のかぶり厚さが把握できれば落下の危険度を推定できる可能性があると考えられる。一方で、すべての防音壁の鉄筋かぶり厚さを探査することは大きな労力がかかる。そこで、かぶりのバラツキを数式化し、かぶりの最小値の期待値を算出することについて検討を行った。

3. かぶり厚さ分析

3.1 かぶり最小値の期待値の算出

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

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

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。

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

3.2 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4に図1の高架橋で得られたデータを用いて、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ことから、対数正規分布であらわすことが可能と考えられ

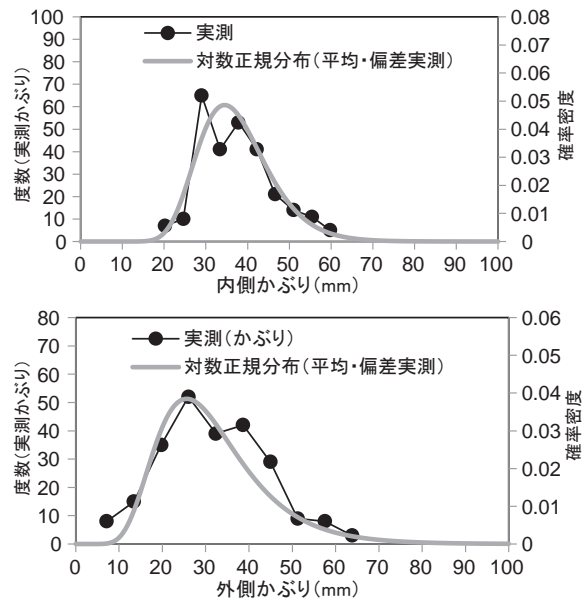


図4 ヒストグラムと対数正規分布

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。

4. 今後の課題

内側から電磁波レーダ探査からを行うことで、内側と外側の鉄筋かぶり厚さデータを効率的に測定し、多くの測定データより以下の成果を得ることができた。

- ・鉄筋かぶり厚さが小さいほど鉄筋腐食に起因する変状の割合が大きいことを確認した。
 - ・鉄筋かぶり厚さのバラツキを対数正規分布で数式化し、最小値の期待値の算出を行う方法を提案した。
- 本検討により、鉄筋かぶり厚さのサンプリングデータから算出可能な鉄筋かぶりの最小値をもとに、変状が未発生な箇所の鉄筋腐食の発生しやすい箇所（スパンなど）の推定が期待される。今後は以下の課題について検討を行う。
- ・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
 - ・内側のかぶり厚さからの外側のかぶり厚さ推定方法

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