

コンクリート片の剥落に対する雨水等の影響やかぶり厚さおよび中性化深さの関係性の検証

東京大学大学院 学生会員 ○横山 勇気

東京大学生産技術研究所 フェロー会員 岸 利治

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の維持管理における代表的な変状の一つとして、中性化深さが挙げられる。鉄筋近傍のコンクリートが中性化すると鉄筋の表面に形成された不導体被膜が破壊され、鉄筋の腐食環境が高まると考えられている。しかし、社会的問題となるのは中性化ではなくかぶりコンクリートの剥落である。

石橋らの調査結果¹⁾では、かぶりコンクリートの剥落の主な原因は、かぶり厚さの不足と雨水等の影響であると述べられている。加えて、中性化残り（かぶり厚さと中性化深さの差）が10mmを上回る場合には、コンクリート片の剥落がほとんど生じていないことについても言及されている。しかし、雨水の影響の有無にかかわらず、中性化残りが10mmを下回り、かぶり厚さを超えた範囲においても無剥落箇所が多く存在していることは注目すべき事実である。

そこで本研究では、石橋らの調査結果を詳細に検討することにより、かぶりコンクリートの剥落に対する雨水等の影響やかぶり厚さ、中性化深さの関係性について検証することを目的とした。

2. 検討概要

2. 1 既往の調査結果の引用

図-1、2に既往の論文¹⁾より引用した雨水等の影響を受ける箇所と受けない箇所、それぞれのかぶり厚さと中性化深さの調査結果を示す。調査対象構造物はJR東日本の高架橋等である。首都圏線区の高架橋等が主な調査対象とされており、構造物の材齢は、調査当時で15～80年程度であった。その中でも、1970年以降に建設された高架橋等が7割以上を占めており、経年30年以内の高架橋等がほとんどである。なお、ここでの雨水等の影響を受ける箇所は、高架橋などの高欄、地覆、張出スラブ下面（水切りの外側）電柱基礎、桁座などを基本としており、その他にも目視にて雨水等の影響が確認された箇所が含まれている。

本研究では、石橋らの論文¹⁾中の調査結果を数値化するためにグラフ読取システムGSYSを用いた。データ化した調査結果は、重複箇所を除き概ね数値化することができ、雨水等の影響を受ける箇所では、無剥落箇所141点、剥落箇所79点、雨水等の影響を受けない箇所では、無剥落箇所264点、剥落箇所11点の合計496点の測定結果を用いて検討を進めた。

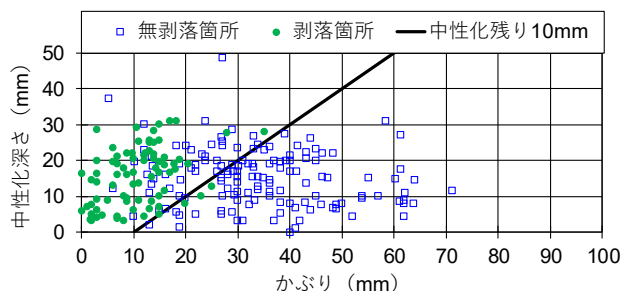


図-1 雨水等の影響を受ける箇所におけるかぶり厚さと中性化の関係

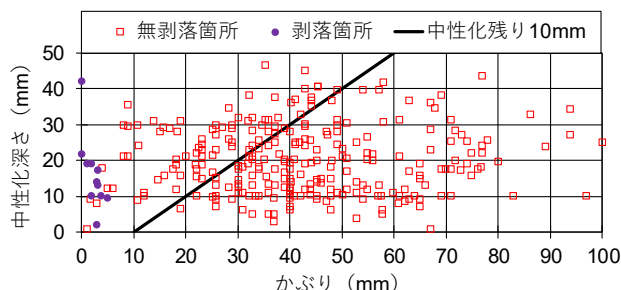


図-2 雨水等の影響を受けない箇所におけるかぶり厚さと中性化の関係

2. 2 ロジスティック回帰分析による統計学的分析

医学統計の分野にて用いられる統計手法の一つである、ロジスティック回帰分析により分析を行った。ロジスティック回帰分析は、検討対象である現象の発生確率を P とし、その現象の生起を説明するために観測された量的、質的な変数群にて、発生確率 P を説明する場合に用いられる多変量解析の手法である。

ここで、 n 個の変数の影響を式(1)に示す線形な合成関数とすると、関数 F に Z のロジスティック関数を用いた場合、式(2)のように表現される。

$$Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n \quad (1)$$

(β : 推定値, X : 説明変数)

$$F(Z) = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)} = \frac{1}{1 + \exp(-Z)} \quad (2)$$

式(1)、(2)のモデルをもとに、ある事象の発生確率 $p(x)$ を算出するためのロジスティック回帰モデルは、式(3)で表すことができる。

$$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(-Z)} \quad (3)$$

キーワード 剥落、かぶり厚さ、中性化深さ、中性化残り、耐久性、ロジスティック回帰分析

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL03-5452-6410 FAX03-5452-6359

ロジスティック関数による発生確率分布のデータの傾向から算出される, 検討対象となる現象の発生確率 $P(x)$ は, 0 と 1 の間(0%~100%)の値をとる. 本研究では, かぶりの剥落確率 P を目的変数, かぶり厚さを説明変数 x_1 , 中性化深さを x_2 , 雨水等の影響を x_3 とし, 二項ロジスティクス回帰分析を適用することとした. 二項ロジスティクス回帰分析は, 対象となる現象の生起の有無を表す二値変数(ここではかぶりコンクリートの剥落と無剥落)と, 説明変数群との関係をモデル化する場合に適用される二値データの回帰分析法である.

統計学的処理は BellCurve for Excel(Social Survey Research Information Co., Ltd.)を用い, 解析においては $p < 0.05$ を有意とした. 説明変数の優位性検定には Ward 検定を適用した.

3. 検討結果および考察

ロジスティック回帰分析による解析結果を表-1, 調査結果と解析によって得られたモデルから算出された予測値との比較を表-2 に示す.

表-1 に示す解析結果より, 今回の検討にて説明変数として用いたかぶり厚さと雨水等の影響の p 値は, それぞれ 0.01 を下回り, 1%の有意水準で有意差が認められた. 一方, 中性化深さについては, p 値が 0.264 であり 0.05 に比べ大きく, 5%の有意水準では有意差は認められなかった. そのため, 今回の解析結果の範囲内では, かぶり厚さと雨水等がかぶりコンクリートの剥落の支配的な因子である可能性が示唆された.

今回の解析にて用いた説明変数の中では, 雨水等の影響の係数 β が正の値であり, オッズ比は 1 より大きくなった. そのため, 雨水等の影響は, 検討対象となるかぶりコンクリートの剥落の発生確率を増加させる要因であることが解析結果より示された.

一方, かぶり厚さの係数 β は負の値であり, オッズ比は 1 未満となった. これは, かぶり厚さの増加により, かぶりコンクリートの剥落の発生確率が低下することを意味する. 既往の調査結果¹²⁾においては, かぶりコンクリートの厚さが 20mm~25mm 以上の場合には, かぶりコンクリートの剥落はほとんど生じておらず, 鉄筋の腐食膨張圧によるかぶりコンクリートの剥落は, かぶり厚さの不足や雨水等の影響が主な要因であることが報告されており, 今回の解析結果はこれらの既往の知見と整合するものと考えられる.

オッズ比の値が 1 に近い値であるほど, 対象とする現象の発生に対する説明変数の影響力は小さい. 今回の解析によって得られたかぶり厚さと雨水の影響のオッズ比を比較すると, 雨水等の影響に比べかぶり厚さのオッズ比はより 1 に近い値である. そのため, かぶりコンクリートの剥落には, かぶり厚さに比べ雨水等の影響がより大きな影響を及ぼすものと考えられる.

表-1 解析結果

説明変数	係数(β)	オッズ比	p 値
かぶり厚さ (mm)	-0.2643	0.7678	2.81×10^{-14}
中性化深さ (mm)	0.0274	1.0278	0.264
雨水等の影響	3.6301	37.7169	1.08×10^{-9}

表-2 調査結果と予測値との比較

	調査結果 の測定数		予測値と調査結果が 整合した数		判別率の中率 (%)	
	有	無	有	無	有	無
雨水等の影響						
無剥落	141	264	126	262	89.4	99.2
剥落	79	11	70	6	88.6	54.5
全体	496		464		93.6	

表-2 より, 調査結果と解析によって得られた回帰モデルから算出した予測値を比較すると, 雨水等の影響がある場合は, 無剥落箇所, 剥落箇所ともに判別率の中率が 89.4%, 88.6%となり, 高い精度で予測が可能であるモデルであることが分かる. 一方, 雨水等の影響を受けない場合では, 無剥落箇所については 99.2%と高い判別率の中率となったが, 剥落箇所ではモデルの判別率の中率が 54.5%と低い傾向を示した. この原因としては, 調査結果の測定数が少ないことが考えられるため, 測定数を増やした条件下で, 再度検討を行う必要がある.

4. まとめ

本研究では, 既往の調査結果を用い, かぶりコンクリートの剥落に対する雨水等の影響やかぶり厚さ, 中性化深さの関係性を, ロジスティック回帰分析により検討した. 以下に本検討にて得られた知見を示す.

- (1) かぶりコンクリートの剥落に対する中性化深さの有意性は認められず, 雨水等の影響とかぶり厚さが支配的な因子である可能性が示唆された.
- (2) かぶりコンクリートの剥落には, かぶり厚さに比べ雨水等の影響がより大きな影響を及ぼすことを統計学的観点より確認した.

5. 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, pp.125-134, 2002.8
- 2) 永野匡敏, 岸利治: 鉄道高架橋における鉄筋かぶりおよび中性化深さの実態と変状発生との相関, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.1483-1488, 2016.