

第V部門

塩害を受けるコンクリート部材の劣化予測手法に関する研究

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○山本 健太 正会員 鎌田 敏郎 正会員 内田 慎哉

1. はじめに

本研究では、まず、既存の劣化予測手法¹⁾で使用するフラジリティカーブの基データとなる統計量の問題点を整理し、その改善を試みることににより新しい劣化予測手法を提案することを試みた。続いて、提案した手法により、建設後約30年が経過した栈橋(RCスラブ)が設置されている環境条件に対応した劣化曲線の導出を行なった。さらに、栈橋から切り出したRCスラブにおいて曲げ耐力を載荷試験により実測した既往の研究データを用いて、導出した劣化曲線の妥当性の検証も行なった。

2. 既往の研究における劣化予測手法とその課題

2.1 劣化予測手法の概要¹⁾

劣化曲線は、「フラジリティカーブ」を「曲げ耐力と鉄筋質量減少率の関係」に反映させることにより算出することが可能である。「フラジリティカーブ」は、鉄筋の腐食発生確率を時間軸上で考慮するために用いる指標である。図1にその一例を示す。一方、「曲げ耐力と鉄筋質量減少率の関係」は、既往の研究成果²⁾や著者らの研究成果³⁾に基づき算出した回帰式を使用した。以下にその式を示す。

$$P = -7.20 \times 10^{-5} \cdot m^2 - 1.21 \times 10^{-2} \cdot m + 1.00 \quad (1)$$

ここで、 P ：曲げ耐力比(%)， m ：鉄筋質量減少率(%)である。

2.2 課題の整理とその改善方法

本研究において取り上げる既往の研究での課題は、I：かぶりの施工誤差、II：鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度およびIII：ひび割れ発生後の腐食速度の3つである。この課題の具体的な内容とその改善方法については、次項で詳細にそれぞれ示す。

(1) かぶりの施工誤差¹⁾とその改善

かぶりの施工誤差の統計量である標準偏差(16.6mm)が大きいため、モンテカルロ法によりシミュレーションしたかぶりの施工誤差が最大で60mmとなる。そのため、鉄筋のかぶりによっては、かぶりが0mm以下となるケースが生じる。そこで、かぶりの施工誤差の下限値をマイナス側の標準偏差の値とした。

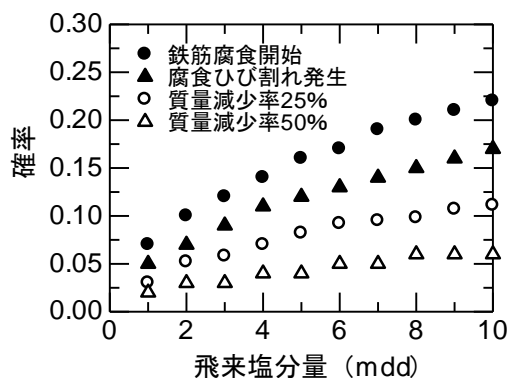


図1 フラジリティカーブの一例

(2) 鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度¹⁾とその改善

鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度の統計量(平均値：2.03kg/m³，標準偏差：0.76kg/m³，下限値：1.2kg/m³)を算出した際のデータ数が乏しい。そのため、幾つかの研究機関や研究者が提案する値⁴⁾に基づき、統計量を新たに算出した。その結果、平均値は1.76kg/m³，標準偏差は0.49kg/m³となった。ただし、下限値については、1.2kg/m³を採用した。

(3) ひび割れ発生後の腐食速度¹⁾とその改善

既往の研究¹⁾では、ひび割れ発生後の腐食速度は、発生前の13倍になると仮定し、発生後の腐食速度を79.3mg/cm²/年と定義している。しかしながら、この値は、露出鋼材などの実用上の限界腐食速度：78.0mg/cm²/年とほぼ同じであり、実態とは大きくかけ離れていると推察できる。そこで、横田らの研究成果⁵⁾に基づき、18.3mg/cm²/年を採用することとした。

3. 建設後約30年が経過した栈橋における劣化曲線

3.1 対象とした栈橋の概要⁶⁾

図2に栈橋の概要を断面図として示す。この栈橋は山口県の下関港で供用されていたものである。建設年度は1969～1971年とされており、2004年に撤去した。したがって、建設後約33年～35年が経過した栈橋である。この栈橋の上部工からRCスラブを切り出し(図中の太枠内)、載荷試験を行なっている。その結果、曲げ耐力は139kNであった。本研究では、このスラブを対象に劣化曲線を算出することとした。このスラブの概要は、調

Kenta YAMAMOTO, Toshiro KAMADA and Shinya UCHIDA

k.yamamoto@civil.eng.osaka-u.ac.jp

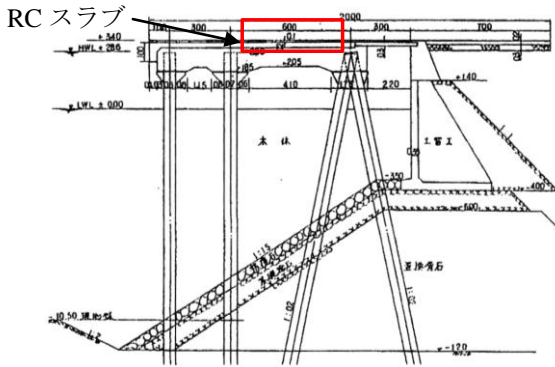


図2 対象とした栈橋の断面図

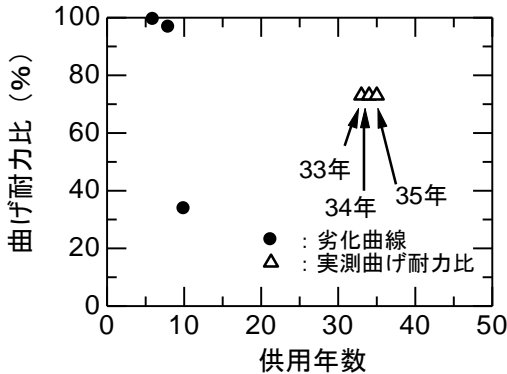


図3 既往の研究に基づいて算出した劣化曲線

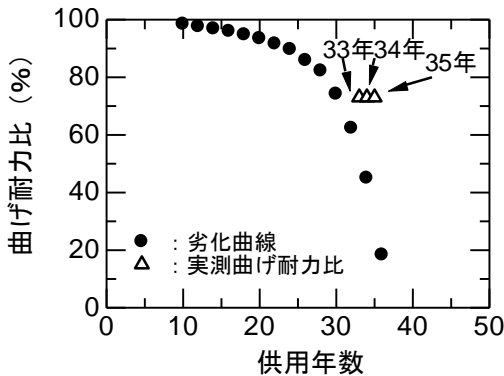


図4 本研究で改善した劣化曲線

査の結果、鉄筋径：13mm、かぶり：63.5mm、圧縮強度：32.6MPaであった。なお、弾性係数は28.0GPaと仮定した。飛来塩分量は、1969年～2004年までの下関の海風比率の年平均と年間平均風速を気象庁のデータを参考に求め、海風比率を0.029、平均風速は3.73m/sとした。一方、海岸からスラブまでの距離は1mと仮定した。これらの値を既往の研究で提案されている飛来塩分量の距離減衰式¹⁾に代入し、飛来塩分量を44.45mddとした。以上の条件から、対象とするスラブの劣化曲線の導出を試みた。

3.2 劣化曲線の導出結果と妥当性の検証

図3に既往の研究¹⁾に基づいて計算した劣化曲線を示す。図中には、RCスラブの載荷試験結果(139kN)を終局強度理論から算出した設計耐力(190kN)で除して%

表示した値を、また、33年あるいは34年または35年後の実測曲げ耐力比(73%)として併せて示している。図に示すとおり、算出した劣化曲線は、約10年で曲げ耐力比が30%となり、実測曲げ耐力比と大きく異なる結果となった。続いて、図4に本研究で改善した方法により導出した劣化曲線を示す。導出した劣化曲線と約30年後の実測曲げ耐力比はおおむね一致する結果となった。

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 既存の劣化予測手法により、建設後約30年が経過した栈橋(RCスラブ)の劣化曲線を算出した。その結果、劣化曲線から推定した曲げ耐力と、栈橋から切り出したRCスラブにおいて載荷試験を行って得られた曲げ耐力は、異なる値となった。
- (2) 上記(1)の理由から、フラジリティカーブの導出に用いる統計量(かぶりの施工誤差、限界塩化物イオン濃度、腐食速度)を見直し、劣化予測手法の改善を試みた。その結果、改善した劣化予測手法により推定したRCスラブでの曲げ耐力は、実際の曲げ耐力とおおむね一致することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 吉田郁政ら：Sequential Monte Carlo Simulationを用いた維持管理のための信頼性評価手法，土木学会論文集A, Vol.65, No.3, pp.758-775, 2009.8
- 2) 土木学会 コンクリート技術シリーズ 85：続・材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能, 2009.
- 3) KAMADA, T. *et al.*: Evaluation Method of Mechanical Performance of RC Beams with Corroded Reinforcing Bars by FEM Utilizing results from Nondestructive Test, ICOSAR'09, pp.738-744, 2009.
- 4) 片脇清士：最新のコンクリート防食と補修技術，山海堂, pp.48-53, 2000.
- 5) 横田 優ら：塩害により鉄筋が腐食したコンクリートの劣化予測，コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1041-1046, 2004.
- 6) 例えば，加藤絵万ら：建設後30年以上経過した栈橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状と構造性能，港湾空港技術研究所資料, No.1140, 2006.

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(B)21360206)を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表する。