

塩害を受けるコンクリート部材の曲げ耐力の予測手法に関する基礎的検討

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○山本健太 正会員 内田慎哉
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田敏郎 学生会員 木下真一

1. はじめに

本研究では、まず、「構造物での既存の点検データ」、
 「既往の研究データ」および「著者らの研究データ」を統計処理することにより、塩害環境下にある建設後約30年が経過した栈橋から切り出したRCスラブの曲げ耐力に関する劣化曲線の導出を行った。続いて、対象としたRCスラブに対して、載荷試験により実測した曲げ耐力の既往の研究結果と、導出した劣化曲線から推定した30年後の曲げ耐力との比較を行った。

2. 劣化曲線の導出方法

秋山らの既往の研究成果¹⁾によれば、塩害を受けるコンクリート部材の曲げ耐力に関する劣化曲線は、「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導出することができる。それぞれの詳細は、2.1および2.2で示す。

2.1 フラジリティカーブ

「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¹⁾である。本研究では、秋山らが提案している方法¹⁾に基づき、フラジリティカーブを導出した。導出結果の一例を図1に示す。ただし、フラジリティカーブの算出に必要な一部のデータ（かぶりの施工誤差、鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度、ひび割れ発生後の腐食速度）については、次項(1)～(3)に示す統計処理あるいは値を採用することとした。

(1) かぶりの施工誤差

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に設定した。

(2) 鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度

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²⁾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

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、著しく安全側の設定となっている。そこで、横田らの研究成果³⁾に基づき、18.3mg/cm²/年を採用することとした。

2.2 曲げ耐力と鉄筋質量減少率の関係

「曲げ耐力と鉄筋質量減少率の関係」は、既往の研究成果⁴⁾や著者らの研究成果⁵⁾に基づき算出することとした。その結果を図2に示す。また、回帰式を以下に示す。

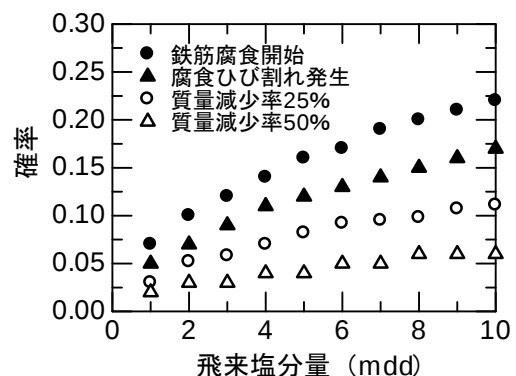


図1 フラジリティカーブの一例

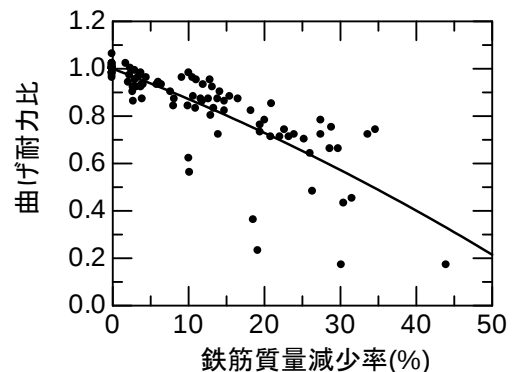


図2 曲げ耐力比と鉄筋質量減少率の関係

キーワード 栈橋, RCスラブ, 塩害, 飛来塩分, 劣化予測, 曲げ耐力

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘2-1 大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 TEL 06-6879-7618

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

ここで、 P : 曲げ耐力比 (%) , m : 鉄筋質量減少率 (%) である。

3. 建設後約 30 年が経過した栈橋から切り出した RC スラブの劣化曲線と曲げ耐力の推定およびその検証

3.1 対象とした栈橋の概要⁶⁾

図 3 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 年に撤去している。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）、载荷試験を行なった結果、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、調査の結果、鉄筋径：13mm、かぶり：63.5mm、コンクリートの圧縮強度：32.6MPa であった。なお、コンクリートの弾性係数は 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 RC スラブの劣化曲線の導出を試みた。

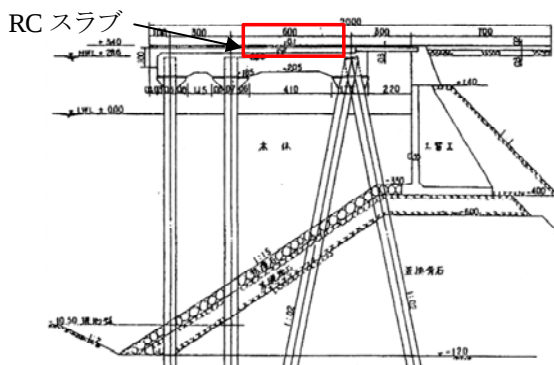


図 3 対象とした栈橋の断面図

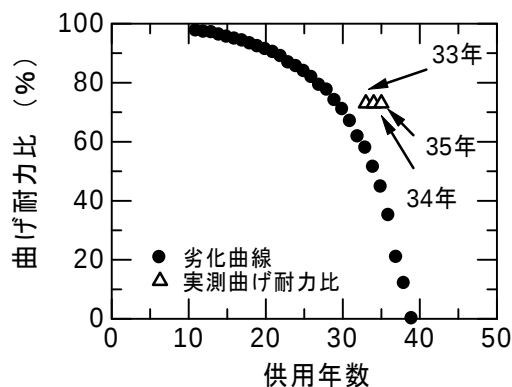


図 4 劣化曲線と曲げ耐力比

3.2 劣化曲線から推定した曲げ耐力とその検証

図 4 に導出した劣化曲線を示す。図中の曲げ耐力比 (%) は、RC スラブの载荷試験結果 (139kN) を終局強度理論から算出した設計耐力 (190kN) で除して百分率表示したものである。また図中には、33 年あるいは 34 年または 35 年後に载荷により実測した曲げ耐力比 (73%) も併せて示している。導出した劣化曲線から推定した約 30 年後の曲げ耐力比と実測曲げ耐力比は、おおむね一致する結果になることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、既往の研究に基づき「フレンジリティアーク」および「曲げ耐力と鉄筋質量減少率の関係」から、建設後約 30 年が経過した栈橋から切り出した RC スラブの劣化曲線の導出を試みた。劣化曲線の導出にあたり、フレンジリティアークの算出に使用する統計量の一部（かぶりの施工誤差、限界塩化物イオン濃度、腐食速度）を見直すこととした。以上の条件で導出した劣化曲線から約 30 年後の曲げ耐力を推定し、载荷により得られた実際の曲げ耐力との比較を行なった。その結果、推定した曲げ耐力と実際の曲げ耐力は、おおむね一致することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 秋山充良ら：塩害環境下にある RC 橋脚の耐震安全性確保の観点から定めた限界鉄筋腐食量とその耐久設計法に関する確率論的考察，土木学会論文集 E，Vol.64，No.4，pp.541-559，2008.10.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) KAMADA, T. *et al*: Evaluation Method of Mechanical Performance of RC Beams with Corroded Reinforcing Bars by FEM Utilizing results from Nondestructive Test, ICOSSAR'09, pp.738-744, 2009.
- 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。