

コンクリートの施工品質が塩害劣化予測に与える影響分析*

高知工科大学大学院 工学研究科 学生会員 ○岡崎 誠二**

高知工科大学大学院 工学研究科 正会員 那須 清吾**

1. はじめに

現在日本で開発されている橋梁アセットマネジメントシステム(以下BMS)は広く普及していない。理由のひとつとして、劣化予測の精度が不十分であることが挙げられる。中でも、劣化予測精度が不十分である原因に、劣化予測のうち、特に塩害予測を行う際に扱われるパラメータのばらつきが考慮されていないことがある。現在使用されているBMSは、表-1のように、塩害予測の際に入力するパラメータがひとつの値として使われている。だが実際には、施工不良、施工誤差などから鉄筋かぶり、水セメント比は部分ごとにばらつきが生じる。また、表面塩化物量においても環境条件、例えば風雨の影響を受けやすい箇所とそうでない箇所により表面に付着する塩分量が異なると考えられる。

本研究では、感度分析を用いこのばらつきが塩害予測にどの程度影響を及ぼすかを定量化するとともに施工管理やデータ管理の考え方に寄与することを目的とする。

表-1 高知県版BMSで塩害劣化予測に使用している

パラメータ(穴内橋主桁)

鉄筋かぶり(mm)	50
水セメント比	0.55
海岸からの距離(km)	0.2
表面塩化物濃度(kg/m ³)	3.0
初期含有塩化物濃度(kg/m ³)	0.3

2. 対象橋梁の選定

本研究では、塩害の影響を受けており、なおかつ点検データおよび鉄筋かぶり、表面塩分量などの塩害に関する測定データが存在する橋梁として、高知県安芸市西南に位置する穴内橋を選定した。特に、橋梁部位の中で構造的に重要度の高い主桁部分を研究対象として選択した。

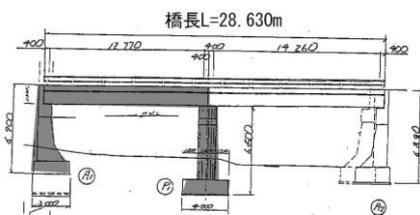


図-1 穴内橋側面図

3. 測定データの取得

穴内橋を対象とした鉄筋かぶり、表面塩分量の測定データを取得した。鉄筋かぶりについては、電磁誘導法による鉄筋探査により測定したデータを用いた。表面塩分量は橋梁主桁のコンクリート表面を削り取り採取したサンプルに対し適定検査を行い、塩化物イオン量を計測したデータ

*キーワード: 施工品質、ばらつき、劣化予測、感度分析

** (高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185、TEL0887-57-2232、

E-Mail nasu.seigo@kochi-tech.ac.jp)

を用いた。また、水セメント比については、文献¹⁾の単位水量のデータを参照した。

表-2 測定データの概略

測定項目	対象	試料	測定方法	サンプル数
鉄筋かぶり	穴内橋	コンクリート面	電磁誘導法	1,808
水セメント比	穴内橋と同条件のRC	打設前のモルタル	高周波加熱法	11
表面塩分量	穴内橋	RC表面の粉末	電位差適定法	18

4. パラメータ別度数分布曲線の作成

コンクリートの塩害予測に関するパラメータの測定データを抽出し、ヒストグラム、度数分布曲線を作成した。

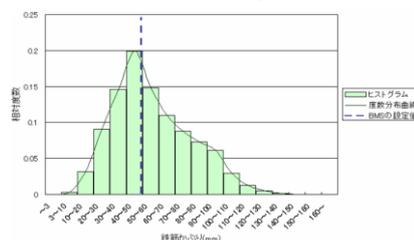


図-2 穴内橋主桁鉄筋かぶりの分布

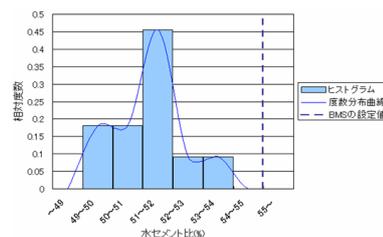


図-3 水セメント比の分布

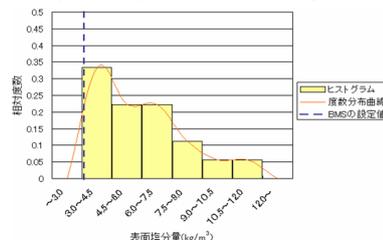


図-4 穴内橋主桁表面塩分量の分布

図-2から鉄筋かぶりの分布はやや左寄りに歪んだ分布であることが分かる。また、変動幅は最小4mmから最大159mmまで広く分布しており、平均値から±40mm以上の変動がある。加えて変動係数が他の2つのパラメータと比較して42.2%と最も高く、今回使用したパラメータの中で最もばらつきが多い。また、BMSの設定値と比べると、最頻値から5mm程度と割合差がない。

図-3では、水セメント比の計画値は55%であるにも関わらず、最頻値は51.5%を示しており分布範囲はすべて水セメント比の設計値より下回っている。分布の特徴としては勾配の急な凸形となっている。

図-4の表面塩分量は最小値3.2kg/m³から最大値10.6kg/m³

まで広いばらつきを持っており、図-2以上に左に偏った分布を示している。一方、BMSの設計値は3.0kg/m³となっているが最頻値は3.75kg/m³を示している。

5.塩分濃度の算出過程

以下のモデルと表-1を用いて穴内橋主桁の塩害予測を行い、鉄筋かぶり、水セメント比、表面塩分量の変動幅に対し、発錆限界濃度に達する年数がどの程度の変動幅を持っているかを求めた。また、2004年にパラメータのばらつきから算出した塩分濃度と、同時期に行われた穴内橋コンクリートコア調査の塩分量試験結果を照らし合わせた。

(1) 塩化物イオンの拡散方程式(フィックの第2法則)

$$C(x,t) = C_0(1 - \text{erf} \frac{0.1x}{2\sqrt{D \cdot t}}) + C(x,0)$$

C(x,t) : 鉄筋位置xでの時刻tにおける塩化物イオン濃度(kg/m³)
 C(x,0) : 初期含有塩化物イオン濃度(kg/m³)
 C₀ : 表面における塩化物イオン濃度(kg/m³)
 x : 鉄筋かぶり(mm)
 t : 供用開始からの時間(年)
 D : 塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm²/年)

(2) 塩化物イオンの見かけの拡散係数D算出式

普通ポルトランドセメントの場合、
 $\log D = 4.5(W/C)^2 + 0.14(W/C) - 8.47$
 $+ \log(3.15 \times 10^7)$
 D : 塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm²/年)
 W/C : 水セメント比

6.塩分濃度算出における度数分布曲線の作成

以下に塩分濃度が1.2kg/m³に達する年度の分布、2004年度の塩分濃度の分布とコア試験結果のグラフを示す。²⁾

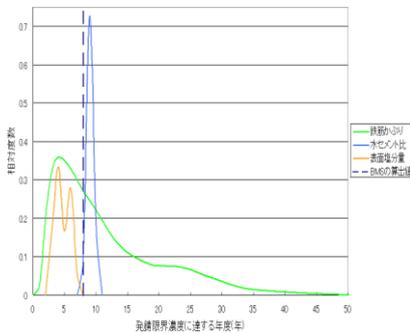


図-5 塩分濃度1.2kg/m³を超える年度の分布

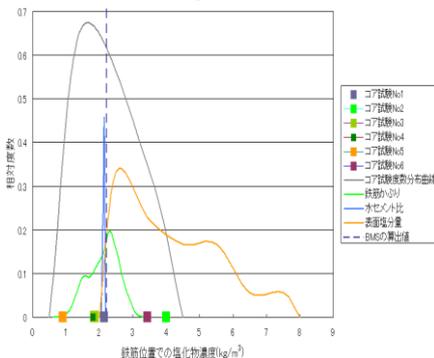


図-6 2004年度の塩分濃度分布及びコンクリートコア試験

図-5では、鉄筋かぶりは1年から74年まで広く分布しており、施工管理における鉄筋かぶりの管理状態の悪さが構造物の耐久性に大きく影響していることがわかる。水セメント比は変動幅が他のパラメータと比して3年と短い表面塩分量に関しては、最小値3年から最大値7年まで変動幅が4

年となっている。発錆限界濃度に達する年限の予測結果が最大3倍異なる結果が得られることから考えると、実用的に十分な精度とはいえない。BMSの設計値から算出した年度は8年であるが、どの分布の最頻値とも一致していない。

図-6のグラフではコア試験の塩分濃度のばらつきから、同じ部材でも箇所ごとによって鉄筋位置での塩分濃度に最大3kg/m³の差異があり、BMSの算出値が箇所ごとのばらつきに対応できていないことが読み取れる。また、表面塩分量のばらつきは目に見えて大きくなっている。このことから塩分濃度算出に関して、表面塩分量のパラメータは他のパラメータと比べてウェイトが高いといえる。

7.考察

以上より、BMSが橋梁の塩害劣化予測算出時に入力するパラメータは一定の値であるのに対し、実際に測定した橋梁のパラメータには箇所ごとにばらつきが存在し、塩害劣化の進行が異なることがわかった。このことから、部材ごとで算出した一点の補修時期では箇所ごとの劣化進行に対応出来ないと考えられる。しかし、本研究のようにばらつきを単純に入力した塩害予測では、箇所ごとによる施工品質、環境条件の違いの差が大きくなるほど予測の幅が大きくなる。この予測では必然的にBMSが出力する補修時期は正確性が落ちる。以上から塩害予測におけるばらつきの考慮方法は本研究とは別のアプローチを行うことが望ましい。

以下の図では施工品質を高水準化し、ばらつきを低減することで劣化予測の精度を向上させる方法を検討した。

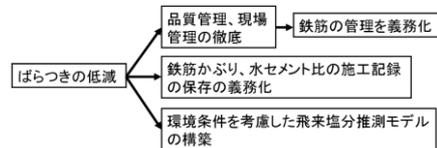


図-7 ばらつきの低減方法の検討

8.今後の課題

水セメント比、表面塩分量に関しては分布曲線の精度を高め、より正確なばらつきを特定するために、より多くの測定データを収集する必要がある。

また、測定誤差や塩分濃度推測モデル自体の誤差など、誤差をどう取り扱うかの考慮も必要である。

さらに現場においては、構造物の部位によってブリージングなどの影響を受けることも考えられるので、劣化予測に与える影響を今後部位ごとに検証することが求められる。

加えて、より正確な表面塩分付着量を特定するために、風向き、風の強さなど環境条件を考慮した飛来塩分推測モデルの作成が必要である。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定及び管理システム調査研究委員会報告書,2004
- 2) (財)海洋架橋・橋梁調査会：平成16年橋梁診断他業務委託成果報告書橋梁診断結果記録