

1.はじめに

中国地方の瀬戸内海側に位置する経年 25～30 年のほぼ同時期に建設された鉄筋コンクリート構造物(ラーメン式高架橋)における鉄筋腐食度と中性化、及び中性化による移動濃縮の影響を受けない深さ 100mm 程度の塩化物イオン量(以下「深部塩化物イオン量」という。)との関係について実測データをもとに検討したのでその概要について報告する。

2.鉄筋腐食要因

調査対象構造物を形成する主要な部材のうち、床版下面については他の部材に比べ比較的かぶりが小さく、中性化の影響を早期に受けている。そこで、調査対象構造物の中間スラブにおいて鉄筋腐食度、中性化深さ、かぶり及び塩化物イオン量について調査した。ここで、中性化深さの測定については調査のためはつりとった部分にフェノールフタレイン 1%溶液を塗布することにより、塩化物イオン量については JCI SC4 により、鉄筋腐食度については 0, , -a, -b, , の 6 段階評価(表 1)により調査を行った。図 1 は鉄筋腐食度と中性化残り、及び塩化物イオン量との関係を約 200 箇所におけるデータの平均値として示したものである。ただし、ここで示す塩化物イオン量についてはいずれも鉄筋近傍から採取した試料を用いた。

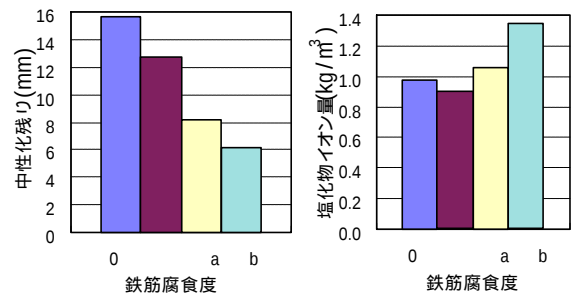


図 1 鉄筋腐食度別各種データ平均値

表 1 鉄筋腐食度評価基準

腐食度	評価基準
0	施工時の状況を保ち、以降の腐食が認められない
-a	部分的に軽微な腐食が認められる
-b	表面の大部分に腐食が認められる
	部分的に断面欠損が認められる
	鉄筋の全周にわたり断面欠損が認められる
	鉄筋断面が 1/6 以上欠損している

図 1 によれば、中性化残りが大きいほど鉄筋腐食度は小さいことがわかる。一方、中性化残りほど明確ではないが、塩化物イオン量が増加するに従い鉄筋腐食度は大きくなる傾向が見られる。これらのことから中性化が主原因となって鉄筋が腐食していることが推測される。

3.中性化進行に伴う塩化物イオン量のコンクリート内部への移動濃縮

一般に中性化の進行に伴い、コンクリート内部の塩化物イオン量が移動濃縮することが知られている。この移動濃縮の程度を調べるため、床版下面からコア採取を行い、表面から深さ別に塩化物イオン量分布の測定を計 6 箇所で行った。測定の結果、中性化の進行とともに塩化物イオンが内部に移動していくことが明らかとなった¹⁾。この 1 例を図 2 に示す。これによると、深さが 100mm 程度の箇所では中性化による塩化物イオン量の移動濃縮の影響を受けていないこと、中性化深さより少し奥の部分にピークが存在すること、中性化した領域では塩化物イオン量が逆に少なくなっていることが判明した。これらのことから、鉄筋の腐食に及ぼす塩化物イオン量の評価を行う際には中性化による移動濃縮の影響を受けない深部塩化物イオン量を用いる必要があると考える。

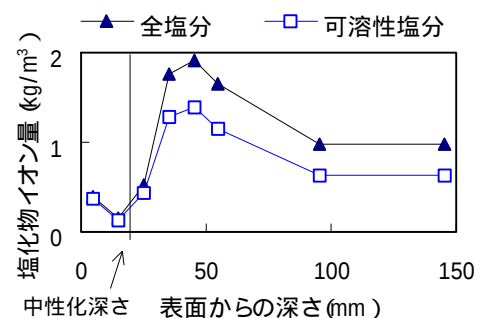


図 2 塩化物イオン量の深さ別分布の 1 例

4.深部塩化物イオン量の推定

今回採取した鉄筋近傍の塩化物イオン量についても中性化による移動濃縮の影響を受けているものと思われる。そこで、任意の採取位置における塩化物イオン量を深部塩化物イオン量に換算する手法について

考察した。図3は6箇所で測定した深部塩化物イオン量の採取深さを中性化深さで無次元化したものの平均値と、各採取深さの塩化物イオン量を深部塩化物イオン量で無次元化したものの平均値との関係を示したものである。両者の関係について塩化物イオン量のピーク付近を境とする式(1),式(2)で示される2つの近似曲線でそれぞれ回帰したものを図中に示す。

今回は塩化物イオン量採取を鉄筋近傍で行ったが、式(1),式(2)を用いることにより塩化物イオン量採取深さ、中性化深さ、及び鉄筋近傍の塩化物イオン量実測値から深部塩化物イオン量を推定することができることがわかった。ちなみに、式(1),式(2)を用いることにより深部塩化物イオン量をもとにして、中性化深さの値と塩化物イオン量の関係を推定することが可能である。このことは、今後の中性化の進行に伴う鉄筋近傍での塩化物イオン量の増減傾向を推定できることを意味している。

5. 中性化残り・深部塩化物イオン量による多変量解析

中性化残りと鉄筋近傍の塩化物イオン量の大小がどの程度鉄筋腐食に寄与しているのかを調べる目的で重相関分析を行った。分析に当たっては中性化残りを5mm毎の階層に分類し、各階層に属するデータの中性化残り、塩化物イオン量及び鉄筋腐食度の平均値を求めた。さらに、塩化物イオン量については上記により深部塩化物イオン量に換算したものをを用いることとした。中性化残り、深部塩化物イオン量の平均値をそれぞれ目的変数 X_1 、 X_2 とし、鉄筋腐食度の平均値を説明変数 Y として多変量解析を行ったところ式(3)が得られた。なお、分析に当たっては鉄筋腐食度 0, , a, b をそれぞれ 0,1,2,3 として定量化を行った。

$$Y = -0.018X_1 + 0.22X_2 + 1.39 \cdots \text{式(3)}$$

ここで重相関係数 $R = 0.93$ であり、回帰式は有意であると判定できる。一方、 X_1 、 X_2 の標準偏回帰係数はそれぞれ 0.84、0.16 であり、中性化残りの方が寄与率が高い。式(3)によると中性化残りが小さく、もしくは塩化物イオン量が大きくなると鉄筋腐食度は増加する。このことから、鉄筋腐食には中性化が主として関与し、塩化物イオンについても複合して関与していると考える。図4は中性化残りの各階層における鉄筋腐食度の平均値を測定値とし、各階層における中性化残りの平均値及び塩化物イオン量の平均値を用いて回帰式から得られる鉄筋腐食度の計算値と比較したものである。

6. まとめ

塩化物イオンは中性化の進行とともに、内部に移動してゆくことが確認された。従って、鉄筋腐食に対する塩化物イオンの影響を正確に推定するには、移動濃縮の影響を受けない塩化物イオン量を用いて検討する必要がある。そこで鉄筋近傍の塩化物イオン量の実測値を深部塩化物イオン量に換算して鉄筋腐食に関する分析を行ったところ、精度よく推定可能であることがわかった。また、換算した深部塩化物イオン量を用いた解析の結果、調査対象構造物の劣化要因についてはこれまでの調査結果の通り、中性化が主要因であることが確認されるとともに、塩化物イオン量についても鉄筋腐食を促進させる傾向が見られることがわかった。

[参考文献]

- 1) コンクリート高架橋のかぶり、中性化深さ、塩化物イオン量と鉄筋腐食について 土木学会第55回年次学術講演会

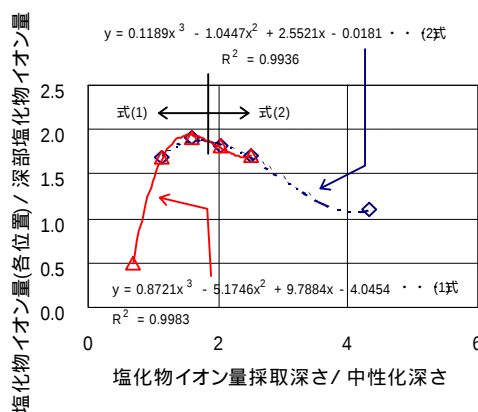


図3 無次元化による深部塩化物イオン量の推定

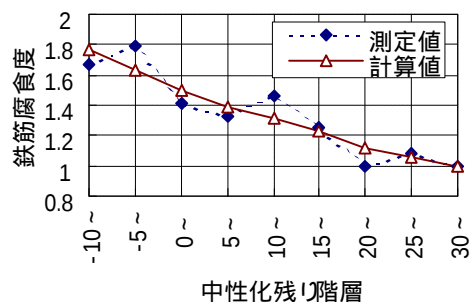


図4 測定値・計算値の比較
(深部塩化物イオン量換算値による)