

論文 硝酸銀溶液噴霧法による硬化コンクリート中への塩化物イオン浸透予測

青木 優介*1・嶋野 慶次*2・三好 佑果*3・鈴木 正志*4

要旨: 簡易かつ短時間に行えるコンクリートへの塩化物イオン浸透予測として、硝酸銀溶液噴霧法を用いる方法について検討した。一般的なコンクリートの配合をカバーできるように水準を設定した供試体を用いて、硝酸銀溶液の噴霧により白色化する境界位置の全塩化物イオン濃度を測定した。この濃度と水セメント比の関係を定式化し、対象コンクリートの水セメント比さえ推定できれば白色化境界位置の全塩化物イオン濃度を算出できるようにした。一方、白色化境界位置の全塩化物イオン濃度は鋼材腐食発生限界濃度と異なったことから、フィックの拡散方程式の解を用いて鋼材腐食発生限界濃度の位置を推定することにした。

キーワード: 硝酸銀溶液噴霧法, 塩化物イオン, 浸透予測

1. はじめに

塩害環境にある鉄筋コンクリート構造物の長寿命化を果たすためには、各部材における塩害の現状を把握し、その進展を予測することが重要となる。中でも、かぶりコンクリート中の塩化物イオンの分布を把握し、そこから得られる見かけの拡散係数などを用いて以後の浸透状況を予測することは、構造物の補修時期や補修手段を見極める上で特に重要な作業となる。

現在、JSCE-G 573-2003 実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)¹⁾が定められ、これに準じた塩化物イオンの浸透予測が行われている。同方法を用いれば、コンクリート中の塩化物イオンの分布と以後の浸透状況を正確に捉えることができる。一方、同方法では多数の試料について JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法²⁾を行わなければならない。これに要する手間と費用は調査対象点が多くなるほど無視できないものとなる。

この負担を少しでも軽減するため、本研究では正規の方法よりも簡易かつ短時間で行える浸透予測について検討する。本研究では、硝酸銀溶液噴霧法に着目する。同方法は主にコンクリート中への塩化物イオンの浸透深さを測定する手段として用いられている。本研究では、その最大の特長である簡易さと手早さを大きく損なわないように行える浸透予測の実現を目指す。

本論文では、硝酸溶液噴霧法を用いた塩化物イオンの浸透予測を実現するために取り組んだ、白色化境界位置の全塩化物イオン濃度の定量、フィックの拡散方程式の解を用いた鋼材腐食発生限界濃度の位置の推定、および以後の浸透予測方法について述べる。

2. 研究の方針

2.1 対象とする浸透予測方法

本研究が対象とするのは、硝酸銀溶液噴霧法を用いた全塩化物イオンの浸透予測である。その利点は簡易かつ短時間に行えることである。一方、欠点は、例えば JSCE-G 573-2003 実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)¹⁾に準じた浸透予測などに比べ、結果の信頼性に欠けることである。

硝酸銀溶液噴霧法は、硝酸銀溶液に塩化物イオンが加わると白色の塩化銀沈殿が生成される反応を利用した方法³⁾である。写真-1に示すのは、10%NaCl 水溶液中に20日間浸漬したコンクリート供試体の割裂面に0.1Nの硝酸銀溶液を噴霧した後の様子である。外周付近は一樣に白色化している。外周面から白色化した境界までの距離を測れば、(一定濃度以上の)塩化物イオンが浸透している深さを測定することができる。

本方法を用いた全塩化物イオンの浸透予測のモデルとなるのは、フェノールフタレイン溶液を用いたコンクリートの中性化深さの測定と以後の中性化進展予測で



写真-1 硝酸銀溶液を噴霧したコンクリート割裂面

*1 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科 博士 (工学) (正会員)

*2 木更津工業高等専門学校 技術教育支援センター (正会員)

*3 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科

*4 東電工業株式会社 土木技術グループ (正会員)

ある。中性化深さの測定のうち、噴霧する溶液を硝酸銀溶液に、赤紫色に呈色しない中性化領域を白色化領域に、暴露期間と中性化深さから算出される中性化速度係数を塩化物イオン浸透速度係数と名付けて置き換えれば、以後の予測方法をそのまま流用することができる。

本方法は簡易かつ短時間で行えるものだが、現状ではその結果に十分な信頼を寄せることはできない。原因として以下の3点が挙げられる。①白色化する境界位置のコンクリートに含まれる全塩化物イオン濃度が明確でない。②①の濃度はコンクリートの配合に依存するため、これを定量するには実際の配合を求める必要があるが、既設コンクリートの配合を推定することは難しい。③白色化境界位置の全塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度と大きく異なれば、鋼材腐食発生限界濃度の位置を推定する作業が必要となる。などである。以下、①②③の問題に関する既往の知見を紹介する。

2.2 既往の知見

(1) 白色化境界位置の全塩化物イオン濃度に関して

硝酸銀溶液噴霧法は、コンクリート中への塩化物イオン浸透深さを定量する手法として広く認識されている。しかし、試験方法としての妥当性や白色化境界位置での塩化物イオン濃度などについて検討している例は、著者が知り得る限り極めて少ない。

Otsukiらは、①本法に適する硝酸銀溶液の濃度、②白色化境界位置のセメント硬化体中に含まれる塩化物イオン濃度、③白色化境界位置の塩化物イオン濃度と鋼材腐食発生限界濃度との関係について詳細な検討を行っている³⁾。その結果、①適する硝酸銀溶液の濃度は0.1Nである。②白色化境界位置のセメント硬化体中に含まれる全塩化物イオン濃度は、塩化物イオンの供給状況だけでなく骨材の分布状況、あるいは水セメント比によっても変化する。一方、可溶性塩化物イオン濃度はそれらの違いに関わらずほぼ一定であり、その値は単位セメント量の約0.15%である。③単位セメント量の0.15%という可溶性塩化物イオン濃度は、ACIが規定する鋼材腐食発生限界濃度に一致する。ことを報告している。

著者らは、Otsukiらの検討に倣い、白色化境界位置のセメントペーストおよびモルタル中に含まれる塩化物イオン濃度について検討を行っている⁴⁾。その結果、白色化境界位置における可溶性塩化物イオン濃度は単位セメント量の約0.2%とOtsukiらの値に比べやや高くなったものの、他の傾向は概ね一致したと報告している。また論文中には、白色化境界位置の試料をドリル削孔により採取する際、歯に直径5mm以上のものを用いると、拡散係数が小さく塩化物イオンの分布が急になる供試体において、厳密な境界位置の試料を採取しづらくなることも指摘している。

(2) 既設コンクリートの配合推定に関して

コンクリートの配合推定としては国内外にて様々な方法が開発されている。しかし、いずれの方法を用いたとしても実用レベルを満足しうる推定精度を得ることは難しいようである。

国内では、セメント協会法F-18が一般的に採用されている⁵⁾。本方法は、コンクリートの単位容積質量や吸水率、塩酸に対する不溶残分、酸化カルシウム量、強熱減量を測定し、それらの値から元の配合を算出する方法である。実際に用いた骨材等の物性値が既知の場合には、比較的高い精度で推定できるとされる。近藤らは、①それでも単位水量で-20kg程度の誤差は生じる。②物性値が未知の場合には単位水量で-60kg程度の誤差が生じる。ことを報告している⁵⁾。

海外では、単位セメント量や単位水量の推定方法としてBS1881:Part124:1989が規定されている⁶⁾。その手法は、コンクリート中の可溶性シリカと酸化カルシウムの含有量を測定し単位セメント量を計算する、あるいは強熱減量から単位水量を計算するというものである。これらの結果推定される水セメント比は、実際の水セメント比の0.1以内とされる。この推定精度についてNevilleは、実用的価値はないと指摘している⁶⁾。

(3) 鋼材腐食発生限界濃度の位置の推定に関して

実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオンの濃度は、フィックの拡散方程式の解である式(1)によって計算できることが認識されている¹⁾。しかし、式(1)を利用するためには、JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法²⁾により、コンクリート中の数箇所での位置の全塩化物イオン濃度を測定しなければならない。

$$C(x,t) = C_i + C_o \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1x}{2\sqrt{D_k \cdot t}} \right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 $C(x,t)$: 暴露面からの距離 $x(\text{cm})$, 供用期間 $t(\text{年})$ におけるコンクリート単位質量あたりの全塩化物イオン濃度(kg/m^3), C_i : 初期に含まれている全塩化物イオン濃度(kg/m^3), C_o : 暴露面表面の全塩化物イオン濃度(kg/m^3), D_k : コンクリートの見かけの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$), erf : 誤差関数, である。式(1)より、現在あるいは今後の鋼材腐食発生限界濃度の位置を推定するためには、 $C(x,t)$ に例えば $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ の値⁷⁾を入れた上で、 C_i , C_o , D_k を既知としなければならない。このうち C_i には、塩分浸透を受けていないと考えられる位置の全塩化物イオン濃度を測定して代入する。 C_o , D_k については、少なくとも3箇所以上の位置で全塩化物イオン濃度を測定し、その結果について式(1)を用いた回帰分析を行うことで同定すべきとされる¹⁾。

2.3 本研究の方針

本研究では、以上3点の問題の解決に取り組むことで、硝酸銀溶液噴霧法を用いた全塩化物イオンの浸透予測の信頼性を向上させようとする。しかし、飛躍的な向上を望むわけではない。本方法の特長である簡易さや手早さを大きく損なわない範囲で、正規の方法の補助的な役割を果たせるだけの信頼性が得られればよいと考える。従って以上3点の問題については、以下に示すように、極めて簡易と考えられる方法により対処する。

白色化境界位置の全塩化物イオン濃度が明確でない問題について、本研究では水セメント比を0.4,0.5,0.6の3水準に設定したモルタル供試体を作製する。また、それぞれの水セメント比において、モルタル中に混入する細骨材の量を2水準に設定する。この2水準は双方のモルタルを含むコンクリートがあったとして、その細骨材率が0.4と0.5になるように設定する。すなわち、水セメント比が0.4~0.6、細骨材率が0.4~0.5と、実用されているコンクリートの配合の大半をカバーできるように水準を設定する。これらの供試体における白色化境界位置の全塩化物イオン濃度を測定し、その結果を数式化しておく。この式を用いれば、対象となるコンクリートの水セメント比さえ推定できれば、そのコンクリートの白色化境界位置における全塩化物イオン濃度を概ね推定できるようになる。

コンクリートの配合を推定できない問題について、本研究ではコア供試体の圧縮強度より既存の推定式を用いて、その水セメント比を推定する。上述の方針により、コンクリートの配合のうち水セメント比を推定すれば、白色化境界位置の全塩化物イオン濃度を推定できるようになっている。コア抜き作業は面倒だが、硝酸銀溶液噴霧法を行う際にはいずれ行わなければならない作業である。懸念は、長期間供用されたコンクリートの圧縮強度のみから水セメント比を推定することである。本研究では、セメント協会法F-18の推定精度やそれに要する手間も勘案して、この方法を採用する。

鋼材腐食発生限界濃度の位置を推定する問題について、本研究では式(1)によりその位置を推定する。ただし、硝酸銀溶液噴霧法の場合、現時点における白色化境界位置の全塩化物イオン濃度のみが求められるだけである。この1点の解のみでは、 C_i 、 C_o 、 D_k の3つの未知数を決めることはできない。本研究では、 C_i 、 C_o に示方書⁷⁾等を参考にした値を代入する。両数を代入した式(1)が1点の解を通るように D_k を同定する。これは安易な同定方法といえる。本方法により推定される鋼材腐食発生限界濃度の位置は、この安易な推定方法により求められた値として留めておくべきである。

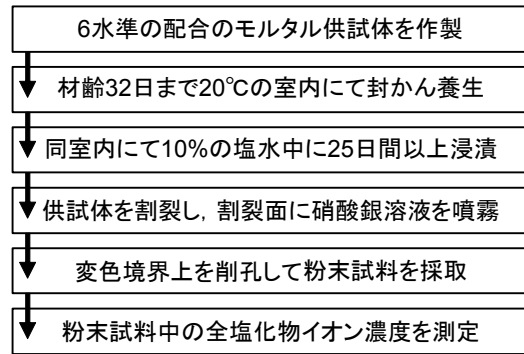


図-1 実験のフロー



写真-2 作業の様子

3. 硝酸銀溶液噴霧法より白色化する境界のモルタルに含まれる全塩化物イオン濃度

3.1 実験方法

(1) 実験のフロー

本実験のフローを図-1に示す。また、一連の作業の様子を写真-2(a)-(f)に示す。

(2) モルタルの配合

水セメント比(W/C)を0.4,0.5,0.6の3水準に、またそれぞれの細骨材量を2水準に設定した合計6水準の配合のモルタルを作製した。前述したように、これらの配合は、実用されているコンクリートの配合の大半をカバーできるように設定したものである。ここで、想定するコンクリートの配合と使用材料を表-1に示す。また、表-1の配合をもとに、セメントペーストと細骨材の体積比が変わらないように設定した、実際の供試体に用いたモルタルの配合を表-2に示す。なお、配合①,③,⑤の骨材量および配合②,④,⑥の骨材量を同量としている。これは、後に測定する白色化境界位置の全塩化物イオン濃度と水セメント比の関係を明確にするためである。

(3) 供試体の作製

供試体は直径100mm、長さ200mmの円柱とした。供試体数は1配合あたり3本とした。供試体の作製方法は、JIS A 1132:1999 コンクリート強度試験用供試体の作り方に準じた²⁾。打設後、型枠上面をビニールシートによりシールし、モルタルからの水分の逸散を防いだ。

(4) 養生および塩水への浸漬

供試体を上述の状態のまま、室温 20±1.0℃の室内に32日間静置した。その後、同室内にて10%NaCl水溶液中に浸漬した。浸漬期間はいずれも25日以上とした。

(5) 供試体の割裂と硝酸銀溶液の噴霧

浸漬が終了した供試体を写真-2(c)のように中央にて割裂した。続いて、写真-2(d)のように割裂面に0.1N硝酸銀溶液をスプレーにて噴霧した。噴霧後、ドライヤーにて噴霧面を乾燥させた。いずれの供試体にも表面から15~20mmの深さに白色化境界が現れた。

(6) 白色化境界上の削孔と試料の採取

写真-2(e)のように白色化境界上を油性インクペンでマークした。その後、写真-2(f)のようにインク線上を削孔して粉末試料を約20g採取した。削孔には直径3mmのコンクリートドリル歯を用いた。これは可能な限り厳密に境界上の試料を採取するためである。

(7) 全塩化物イオン濃度の測定

削孔により採取した粉末試料に含まれる全塩化物イオン濃度をJIS A 1154-2003.9塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法²⁾により測定した。

3.2 実験結果とその整理

(1) 白色化境界位置の全塩化物イオン濃度

試料①'~⑥'における全塩化物イオン濃度(mass%)を表-3に示す。表-2と見比べると、水セメント比が高くなるほど、また、試料中に含まれる細骨材の量が多くなるほど、白色化境界位置の全塩化物イオン濃度は低くなることわかる。表-3には続いて、①'~⑥'のモルタルを含む一般的なコンクリート、すなわち表-1の配合①~⑥のコンクリートの白色化境界位置に含まれる全塩化物イオン濃度(kg/m³)を示している。この換算方法を配合①を例にとって以下に示す。

配合①に含まれるモルタルの単位量は水、セメント、細骨材の単位量を和して1245kg/m³となる。しかし、水の全量がセメントと反応する訳ではなく、理論的にはセメント質量の23%の水がセメントと反応するとされている⁶⁾。従って、このモルタルを絶乾状態にしたとすると、その単位量の和は388×0.23+388+702=1179 kg/m³となる。一方、①'の粉末試料は採取時の削孔の際に強い熱作用を受けている。よって、全く同じではないとしても、絶乾状態にしたモルタルに近いと考えられる。本研究では、①'の粉末試料と絶乾状態にした配合①のモルタルとは同成分であったと扱う。従って、配合①のモルタルに含まれる全塩化物イオン濃度は0.475(mass%)×1179 kg/m³=5.60 kg/m³となる。そして、粗骨材および混和剤中には塩化物イオンは含まれていないと扱えば、配合①の白色化境界位置に含まれている全塩化物イオン濃度は5.60kg/m³と換算される。

表-1 想定するコンクリートの配合と使用材料

No.	W/C	s/a	Air (%)	単位量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	Ad.
①	0.4	0.4	5.0	155	388	702	1129	1.45
②		0.5		155	388	877	941	1.45
③	0.5	0.4		170	340	702	1129	1.28
④		0.5		170	340	877	941	1.28
⑤	0.6	0.4		182	303	701	1128	1.14
⑥		0.5		183	305	875	938	1.14

W/C:水セメント比

s/a :細骨材率

W :水道水

C :普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm³)

S :細骨材(富津産山砂, 密度2.62g/cm³, F.M.2.63)

G :粗骨材(佐野産碎石, 密度2.80g/cm³, 5-20mm)

Ad. :AE減水剤(リグニンスルホン酸系化合物)

表-2 供試体に用いたモルタルの配合

No.	W/C	s/a	Air (%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	S	Ad.
①'	0.4	1.0	8.4	260	649	1176	2.44
②'			7.5	233	584	1321	2.19
③'	0.5		8.4	285	570	1176	2.14
④'			7.5	256	512	1321	1.92
⑤'	0.6		8.4	305	508	1175	1.90
⑥'			7.5	275	459	1315	1.72

表-3 白色化境界位置の全塩化物イオン濃度

試料 No.	モルタル供試体 Cl ⁻ mass(%)	※コンクリートに換算 Cl ⁻ (kg/m ³)
①'	0.475	5.60
②'	0.382	5.17
③'	0.312	3.50
④'	0.282	3.65
⑤'	0.204	2.19
⑥'	0.202	2.53

※換算方法については本文を参照。

(2) 白色化境界位置の全塩化物イオン濃度-水セメント比の関係

上述の方法により換算した配合①~⑥のコンクリートの白色化境界位置における全塩化物イオン濃度と水セメント比の関係を図-2に示す。白色化境界位置の全塩化物イオン濃度は、水セメント比とほぼ線形の関係にあり、水セメント比が高くなるほど低くなる。細骨材率別に見ると、細骨材率が低くなるほど線形の傾きが急になるようである。しかし、細骨材率0.4と0.5で大きな差はなく、例えば図中の直線のように全てのデータを対象とした回帰直線を引いたとしても特に問題はないと考えられる。この直線式を用いれば、対象とするコンクリートの細骨材率が不明であっても、水セメント比さえ推定できれば、白色化境界位置の全塩化物イオン濃度を算出することができる。

4. 硝酸銀溶液噴霧法を用いた全塩化物イオン浸透予測

4.1 予測方法

(1) 予測フロー

予測フローを図-3に示す。なお、図-2より白色化境界位置のコンクリートにおける全塩化物イオン濃度は鋼材腐食発生限界濃度（例えば 1.2kg/m^3 ）を上回ることが明らかである。この場合、中性化深さの進展予測のように、白色化境界深さの進展を予測することの意味は薄れる。よって本研究では、塩化物イオン浸透速度係数（本研究で設定した係数）の算出やそれを用いた白色化境界深さの進展予測を省略する。

(2) コンクリートの水セメント比の推定

本研究では対象コンクリートの水セメント比をその圧縮強度から推定する。圧縮強度は採取したコア供試体から求めることが望ましい。

圧縮強度から水セメント比を推定する方法として、本研究では以下の方法を採用。最初に、現時点の圧縮強度から材齢 28 日当時の圧縮強度を推定する。推定には、CEB-FIP1990 モデルコード式を用いる⁸⁾。

$$f_c(t) = \exp\left\{s\left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\} f_{c28} \quad (2)$$

ここで、 $f_c(t)$ ：材齢 t 日におけるコンクリートの圧縮強度(N/mm^2)、 f_{c28} ：材齢 28 日における圧縮強度(N/mm^2)、 s ：セメントの種類に関わる係数である。 s の値として、日本の普通ポルトランドセメントでは 0.31 が適当とされる。 $f_c(t)$ として現時点の圧縮強度を入力すれば、材齢 28 日当時の圧縮強度 f_{c28} を推定することができる。

次に、材齢 28 日の圧縮強度から水セメント比を推定する。両者の関係式として以下の式を用いる。

$$f_{c28} = a(C/W) + b \quad (3)$$

ここで、 a, b ：実績から定まる定数である。 a, b については適当な値を選択することが望ましい。難しい場合には、例えば $a=20, B=-15$ などの標準的な値を用いることも考えられる。 f_{c28} として材齢 28 日の圧縮強度を入力すれば、水セメント比を推定することができる。

(3) 白色化境界深さの測定

コア供試体を割裂し、0.1N の硝酸銀溶液を噴霧した後、白色化境界深さを測定する。測定には、JIS A 1152:2002 コンクリートの中性化深さの測定方法²⁾を参考にする。

(4) 白色化境界位置の全塩化物イオン濃度の算出

白色化境界位置の全塩化物イオン濃度は、図-2中の回帰直線をもとに、以下の式から算出する。

$$C_{bw} = -15.15(W/C) + 11.35 \quad (4)$$

ここで、 C_{bw} ：白色化境界位置の全塩化物イオン濃度

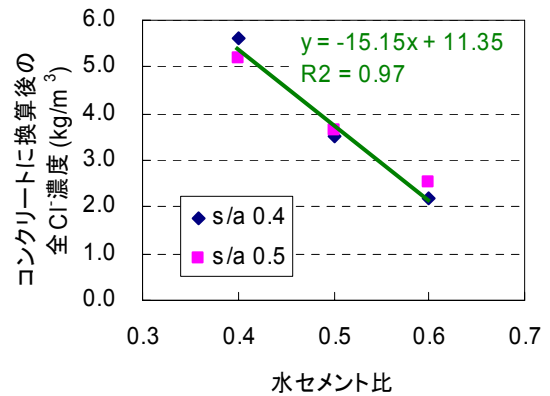


図-2 白色化境界の全 Cl 濃度－水セメント比

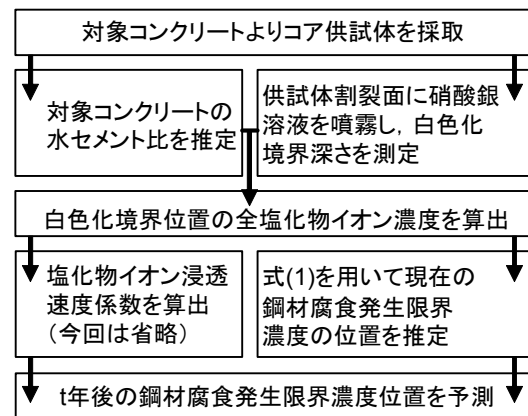


図-3 予測フロー

(kg/m^3)である。(2)の方法により推定した対象コンクリートの水セメント比を代入すれば、白色化境界位置の全塩化物イオン濃度を算出することができる。

(5) 鋼材腐食発生限界濃度の位置の推定

鋼材腐食発生限界濃度の位置は、式(1)ならびに白色化境界位置の全塩化物イオン濃度と現時点の白色化境界深さから推定する。式(1)のうち、 C_i, C_0 には示方書⁷⁾を参考にした値を代入する。例えば C_i については練混ぜ時に含まれる塩化物イオン濃度の限界値である 0.3kg/m^3 、 C_0 については飛沫帯の場合の 13kg/m^3 を代入する。これらに加えて、 $C(x,t)$ に白色化境界位置の全塩化物イオン濃度(kg/m^3)、 x に現時点での白色化境界深さ(mm)、 t に暴露期間(年)をそれぞれ代入すれば、見かけの拡散係数 $D_x(\text{cm}^2/\text{年})$ を推定することができる。あとは式中の $C(x,t)$ に鋼材腐食発生限界濃度を代入すれば、現時点での位置を推定できる。また、このまま t を増やせば、 t 年後の鋼材腐食限界濃度の位置を予測することができる。

4.2 予測シミュレーション例

平成 6 年～平成 15 年までの 10 年間、飛沫帯環境下に暴露し続けたコンクリートブロックを対象として予測シミュレーションを行った。一連の結果を以降に示す。

コンクリートブロックから抜き取ったコア供試体の圧縮強度は 46.1N/mm^2 であった。ここから、式(2)および

式(3)を用いて、このコンクリートの水セメント比を 0.46 と推定した。

次に白色化境界深さを測定した。写真-3 に示すのは、対象ブロックのコア供試体を割裂し、0.1N 硝酸銀溶液を噴霧した後の様子である。本ブロックの場合、平成 16 年～平成 20 年まで室内環境下で保存されてきたために、塩化物イオンの分布が均等化されたようであり、明瞭な白色化境界を確認しづらかった。それでも写真中の赤線の部分では境界らしき状態が確認されたので、ここを白色化境界と特定した。暴露面からの白色化境界深さは 80mm と測定された。

続いて式(4)を用いて、白色化境界位置の全塩化物イオン濃度を算出した。全塩化物イオン濃度は 4.38kg/m^3 と算出された。なお、この算出値が妥当であるかを確認するために写真-3 の白色化境界位置 (実際には青線部分) のコンクリートに含まれる全塩化物イオン濃度を測定した。結果は 0.199(mass%)であった。本コンクリートの単位容積質量は 2347kg/m^3 であったので、この部分に含まれる全塩化物イオン濃度は 4.67kg/m^3 と計算される。今回のように簡易な算出方法を用いたとしても、著しく外れた塩化物イオン濃度とはならないようである。

最後に鋼材腐食発生限界濃度の位置を推定した。実際とは異なるが、平成 6 年～平成 20 年までの 15 年間で、飛沫帯環境下に置かれていたと仮定した。式(1)において、 $C_i=0.3\text{kg/m}^3$ 、 $C_0=13\text{kg/m}^3$ 、 $C(x,t)=4.38\text{kg/m}^3$ 、 $x=80\text{mm}$ 、 $t=15$ 年をそれぞれ代入し、見かけの拡散係数 D_k を推定した。 D_k は $2.10\text{cm}^2/\text{年}$ と推定された (この値は示方書⁷⁾ の推定式から求められる値より相当大きい。上記の仮定が影響していると考えられる)。鋼材腐食発生限界濃度を 1.2kg/m^3 とすると、現在その位置は暴露面より深さ 144mm にあると推定される。また、現在から 50 年後には深さ 263mm に達すると予測される。

5. まとめ

硝酸銀溶液噴霧法を用いた全塩化物イオンの浸透予測方法について検討した。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 硝酸銀溶液の噴霧により白色化する境界のコンクリート中に含まれる全塩化物イオン濃度は水セメント比が高くなるほど低くなる。
- (2) 白色化境界位置の全塩化物イオン濃度と水セメント比の関係はほぼ線形となる。その傾きは細骨材率が低くなるほど急になるものの、一般的な細骨材率の範囲では大きな差にはならない。よって対象コンクリートの水セメント比さえ推定できれば、その白色化境界位置に含まれる塩化物イオン濃度を算定することができる。

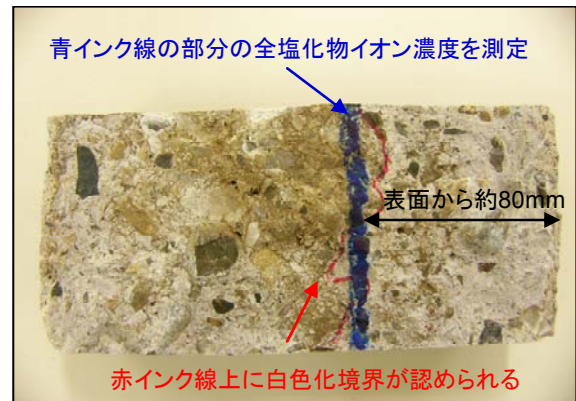


写真-3 硝酸銀溶液噴霧後のコア供試体割裂面

- (3) コンクリートの水セメント比を圧縮強度から推定し、推定した水セメント比から白色化境界位置における全塩化物イオン濃度を算出した。本算出方法は簡易ではあるが、実際の値と著しく外れた値を算出することはないようである。
- (4) 白色化境界位置の全塩化物イオン濃度は、鋼材腐食発生限界濃度と大きく異なっていた。よって本研究では、中性化深さの予測方法に準じる塩化物イオンの浸透予測を省略した。
- (5) 鋼材腐食発生限界濃度位置の推定と予測例を示した。

参考文献

- 1) 土木学会：2005年制定コンクリート標準示方書 [規準編] 土木学会規準および関連規準, 土木学会, 2005
- 2) 土木学会：2005年制定コンクリート標準示方書 [規準編] JIS規格集, 土木学会, 2005
- 3) Otsuki et al. : Evaluation of AgNO₃ Solution Spray Method for Measurement of Chloride Penetration into Hardened Cementitious Matrix Materials, ACI Materials Journal, No.84, pp.587-592, Nov.1992
- 4) 青木優介, 小野敦子, 鈴木正志, 黒川章二, 嶋野慶次: 硝酸銀溶液の噴霧により白色化するセメント硬化体の塩化物イオン濃度, 第61回土木学会年次学術講演会概要集, 第5部門, pp.193-194, 2006.9
- 5) 近藤英彦, 羽瀧貴士, 園部了, 吉田秀司: コンクリートの配合推定方法の比較, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.867-872, 2007.7
- 6) A.M.Neville, 三浦尚: ネビルのコンクリートバイブル, 技報堂出版, 2004.6
- 7) 土木学会: 2002年制定コンクリート標準示方書 [施工編], 土木学会, 2002
- 8) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, 日本建築学会, 2006.2