

論文 硝酸銀溶液の噴霧量の個人差が変色境界の塩化物イオン量に及ぼす影響

大橋 夏樹*1・三澤 恵太*2・青木 優介*3

要旨：硝酸銀溶液の噴霧量として、「断面にやや浮くくらいの量」という表現のもとで硝酸銀溶液を噴霧する方法を実施した場合、噴霧量にどれほどの個人差が生じるのか、それが変色境界位置の全塩化物イオン量にどれほどの変動を生じさせるのかを把握することを目的として、同一人物、および、10名の異なる人物が噴霧する場合に分けて実験を行った。その結果、噴霧量の大小には明確な傾向は認められなかったものの、その変動係数は10名の異なる人物が噴霧する場合の方が大きくなった。また、変色境界位置の全塩化物イオン量は噴霧量が大きくなるほど大きくなったが、その変動係数は頭打ちする傾向が認められた。

キーワード：硝酸銀溶液の噴霧、噴霧量、全塩化物イオン量、個人差

1. はじめに

硬化コンクリート中への塩化物イオン（以下、Cl⁻）の浸透状況を簡易かつ視覚的に確認できる方法として、供試体の断面に硝酸銀溶液を噴霧する方法がある¹⁾。具体的には、外部からCl⁻の浸入を受けた供試体の断面に硝酸銀溶液を噴霧すると、図-1のように、断面は白色化する領域と褐色化する領域に分かれる。白色化の原因はセメント硬化組織中の細孔溶液中に溶解していたCl⁻と銀イオン（以下、Ag⁺）との結合によって生じた塩化銀の生成であり、褐色化の原因は細孔溶液中に溶解していた水酸化物イオンとAg⁺と酸素の結合によって生じた酸化銀の生成である。白色の塩化銀が生成される領域の限界は、ある量以上の溶解Cl⁻が存在する領域の限界に一致すると考えられ²⁾、著者らはそれを変色境界と呼んでいる。本論文内でもそのように呼称する。

本方法は1970年代に欧州で提案された方法³⁾だが、現在、(一社)日本非破壊検査協会にて本方法の規格化が進められている。著者らの1名も当該委員会の一員だが、2020年1月現在の規格案において、本方法の結果として測定するのはCl⁻の浸入面から変色境界までの深さ（以下、Cl⁻浸透深さ）であり、0.5mm単位で測定することになっている。しかし、Cl⁻浸透深さは変色境界位置のコンクリート中に含まれるCl⁻量が一定であってこそ本来の意味を持つ。たとえば図-2は、あるかぶりコンクリート中の全Cl⁻量の分布例だが、仮に変色境界位置の全Cl⁻量の真値が2.0kg/m³だとして、それに±0.5kg/m³の変動が生じると、測定されるCl⁻浸透深さに数mm～十数mm以上の変動が生じることを示している。

Heら⁴⁾は、本方法に関する論説の中で、変色境界位置のCl⁻量を変動させる種々の要因について述べているが、

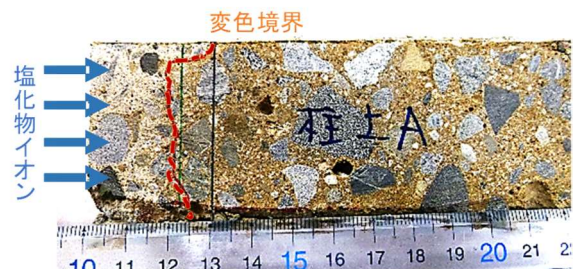


図-1 硝酸銀溶液を噴霧した断面の例

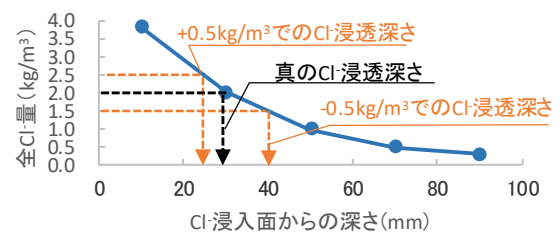


図-2 Cl⁻浸透深さに生じる変動の例

そのうち最大の要因は、硝酸銀溶液の噴霧量の変動だと指摘している。前述の規格案では、硝酸銀溶液の噴霧量として、「断面にやや浮くくらいの量を適量とする」とされているが、個人差が生じかねない表現といえる。これは本方法の特長でもある簡易性の確保が重視されたためだが、この表現のもとで生じる噴霧量の個人差と、それによって生じる変色境界位置のCl⁻量の変動を定量的に把握しておく必要があると考えられる。

そこで本研究では、硝酸銀溶液の噴霧量として、「断面にやや浮くくらいの量」という表現のもとで実施される本方法において、実際の噴霧量にどれほどの個人差が生じるのか、また、それが変色境界位置のCl⁻量にどれほどの変動を生じさせるのかを定量的に把握することを目的として、実験的検討を行うこととした。

*1 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科 (学生会員)

*2 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科

*3 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科教授 博士(工学) (正会員)



①モルタルの練混ぜ



②供試体の養生



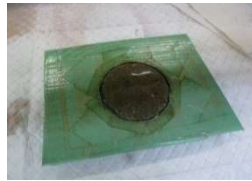
③塩水への浸漬



④供試体の切断



⑤硝酸銀溶液の噴霧



⑥噴霧後の断面



⑦変色境界のマーク



⑧変色境界上の削孔



⑨全 Cl⁻濃度測定



⑩単位容積質量の測定

図-3 実験全体の流れ

2. 実験方法

2.1 全体の流れ

実験全体の流れを図-3に示す。図中の①～②の内容を2.2節で、③～⑦の内容を2.3節で、⑧～⑩の内容を2.4節で説明する。

2.2 供試体の作製

(1) モルタルの配合および使用材料

今回の実験では、供試体にモルタルを用いた。理由は変色境界位置の全 Cl⁻濃度の測定の際に用いる試料中に粗骨材の影響が含まれないようにするためである。

モルタルの配合と使用材料を表-1に示す。モルタルの水セメント比(以下、W/C)は40%、50%、60%の3水準に設定した。なお、W/C50%のモルタルの配合はW/C50%における一般的なコンクリート中に含まれるモルタルを想定して設定した。W/C40%、60%の配合はW/C50%のモルタルと同体積のセメントペーストが含まれるように設定した。

表-1 モルタルの配合と使用材料

| W/C(%) | 空気量(%) | 単位量(kg/m ³) | | | |
|--------|--------|-------------------------|-----|------|--------|
| | | W | C | S | Ad. |
| 40 | 8.0 | 228 | 570 | 1346 | 0.0199 |
| 50 | 8.0 | 250 | 500 | 1346 | 0.0175 |
| 60 | 8.0 | 267 | 445 | 1346 | 0.0156 |

W : 水道水
 C : 普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)
 S : 君津産山砂(表乾密度2.63g/cm³, 吸水率2.61%, 粗粒率2.20)
 Ad. : アルキルエーテル系AE剤

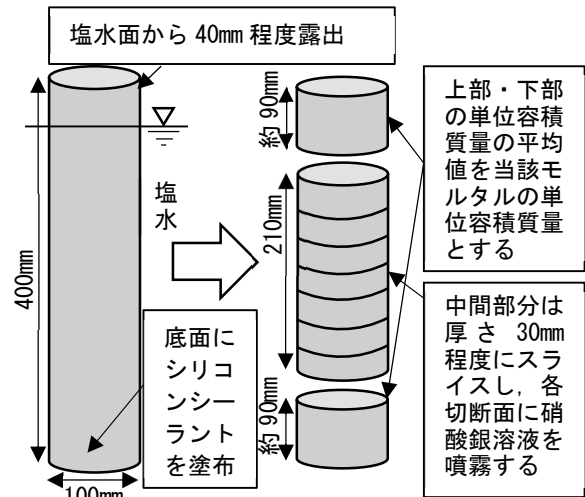


図-4 供試体の外観と切断位置

(2) 供試体の形状・寸法および本数

供試体の外観を図-4に示す。供試体は直径100mm×高さ400mmの円柱とした。高さを400mmにした理由は、供試体を塩水に浸漬した際に、中間部分に対する半径方向からのCl⁻の1次元浸透を実現できると考えたためである。なお、実験では中間部分の210mmを硝酸銀溶液の噴霧の対象に使い、上下の約90mmの部分は各モルタルの単位容積質量測定に用いた。

型枠は直径100mm×高さ200mmの使い捨てタイプの型枠を縦に2つ連結させて作製した。なお、上側の型枠の底面にあったステンレス板を外し、型枠上方からモルタルを打ち込めるようにした。供試体の本数は各配合のモルタルで3本ずつとした。

(3) モルタルの練混ぜおよび打設

図-3①の写真がモルタルの練混ぜの様子である。練混ぜは容量50Lのパン型強制練りミキサーを用いて行った。ブリーディングの収束を待つため、すべての配合で練上がりから15分ごとに練返しを行い、練上がりから1時間後に型枠に打込んだ。締固めはW/C40%のモルタルのみ棒状パイプレータで行い、W/C50%、60%のモルタルは突き棒と木づちで行った。

(4) 供試体の養生

図-3②の写真に供試体の養生の様子を示す。打込み後、型枠上面をビニルラップで覆い、材齢25日まで室温25℃±5℃の屋内にて型枠をつけたまま、封かん養生とした。

2.3 塩水への浸漬および硝酸銀溶液の噴霧

(1) 供試体の塩水への浸漬

養生終了後、供試体の底面にシリコンシーラントを塗布し、硬化時間として24時間屋内においた。その後、樹脂製の容器内に入れた濃度10%の塩水に供試体を浸漬した。樹脂製の容器は屋外の常に日陰になる場所に置いた。浸漬期間中の屋外の気温は20℃～35℃であった。この際、**図-3③**の写真のように、高さ400mmの供試体の上部40mm程度は塩水に浸けずに、露出した状態とした。

塩水への浸漬期間はW/C40%で40日間、W/C50%で34日間、W/C60%で31日間とした。W/Cごとに塩水への浸漬期間が異なるのは、後述する試料採取の都合上、15mm程度のCl⁻浸透深さをもつ供試体を用意するためである。浸漬後は供試体を室温20℃±1.0℃、湿度60%±5.0%の室内に1～2か月間静置した。

(2) 硝酸銀溶液の噴霧および変色境界の特定

静置後の供試体を**図-4**に示す切断位置で**図-3④**の写真のように乾式カッターを用いて切断した。供試体の中間部分を7等分にスライス(厚さおよそ30mm)し、それぞれの切断片の断面を硝酸銀溶液の噴霧の対象とした。各配合で3本ずつ作製した供試体を用いて、硝酸銀溶液の噴霧の対象とする切断片を20体確保した。切断面をエアダスタで清掃し、直後に硝酸銀溶液の噴霧に移った。なお、硝酸銀溶液の噴霧後に現れる変色境界の位置は、割裂面とカッターでの切断面とで変わらないことが既往の研究で明らかになっている⁵⁾。

図-3⑤の写真に硝酸銀溶液の噴霧の様子を示す。噴霧する硝酸銀溶液の濃度は0.1mol/Lとし、噴霧量は切断面にやや浮くくらいとした。なお、研究の目的上、噴霧を行う人物を分別した。どのように分別したかについては次節で説明する。噴霧の際、切断片の側面に養生テープを巻いたほか、**図-3⑥**の写真のように、養生テープでコーティングした段ボール板を切断面まわりに取り付けた。これは、硝酸銀溶液が切断片の側面にふりかかるとを防ぐことで、噴霧量の測定を正確にするためである。

硝酸銀溶液の噴霧前と噴霧後における切断片の質量を0.01g単位で測定し、その差を硝酸銀溶液の噴霧量とした。噴霧後の切断片は噴霧面が水平になるようにして60分間静置した。その直後に、**図-3⑦**の写真のように変色境界をマジックペンでマークした。なお、マークはすべての切断片に対して筆頭著者が行った。その後、切断面の直径を0.1mm単位で測定し、断面積を算出して、噴霧量と断面積から単位面積あたりの噴霧量を算定した。

(3) 硝酸銀溶液を噴霧する人の分別

本研究の目的は、硝酸銀溶液の噴霧量として、「切断面にやや浮くくらいの量」という表現のもとで、噴霧量にどれほどの個人差が生じるのか、また、それが変色境界

位置の全Cl⁻量にどれほどの変動を生じさせるのかを把握することである。そこで、同一人物が10体の切断片に噴霧する場合(以下、同一人物法)と10名の異なる人物が1体の切断片に噴霧する場合(以下、個別人物法)の2種類に分けて実験を行った。

上記の同一人物とは筆頭著者であり、10名の異なる人物とは本方法の実施経験を持たない、筆頭著者らと同年程度の学生である。なお、10名の異なる人物には上記の噴霧量の表現のみを伝えて硝酸銀溶液の噴霧を行ってもらった。また、各配合の供試体について10名全員を入れ替えて、合計30名の人物に噴霧を行ってもらった。

2.4 変色境界位置の全Cl⁻量の測定

(1) 変色境界位置の全Cl⁻濃度の測定

切断面にマークした変色境界上を、**図-3⑧**の写真のように直径3mmのコンクリートドリルで25mm程度の深さまで削孔し、粉末試料を5g程度採取した。この作業はすべて第二著者が行った。採取した粉末試料を真空デシケータ内に入れ、24時間乾燥させた。その後、乾燥させた粉末試料を**図-3⑨**の写真のようにNDIS3433硬化コンクリート中の塩化物イオンの簡易試験方法のうち炭酸塩を用いる方法に供し、試料中の全Cl⁻濃度を測定した。

(2) 変色境界位置の全Cl⁻量の算定

測定した各試料中の全Cl⁻濃度から、式(1)を用いて変色境界位置の全Cl⁻量を算定した。

$$C = \frac{S}{100} \times \rho_c \quad (1)$$

ここに、 C :全Cl⁻量(kg/m³)
 S :各試料中のCl⁻濃度(%)
 ρ_c :モルタルの単位容積質量(kg/m³)

なお、モルタルの単位容積質量は絶乾状態のものとし、その測定にはアルキメデス法を用いた。**図-3⑩**の写真がその様子である。切断した供試体の上部と下部を48時間以上水道水に浸漬させ、その後、水中での質量、気中での表乾質量、水温を測定した。測定後、これらを110℃の乾燥炉に24時間入れて絶乾状態とし、絶乾質量を測定した。これらの結果から、式(2)を用いて単位容積質量を算定した。なお、**図-4**に示すように上部と下部の単位容積質量の平均値をモルタルの単位容積質量とした。

$$\rho_c = 1000 \times M_{\text{絶乾}} / \left(\frac{M_{\text{表乾}} - M_{\text{水中}}}{\rho_w} \right) \quad (2)$$

ここに、 ρ_c :モルタルの単位容積質量(kg/m³)
 $M_{\text{絶乾}}$:絶乾質量(g)
 $M_{\text{表乾}}$:気中での表乾質量(g)
 $M_{\text{水中}}$:水中での質量(g)
 ρ_w :水の密度(g/cm³)

表-2 W/C50%における噴霧量の測定結果と変色境界位置の全 Cl⁻量の算定結果

| W/C | シリーズ | 供試体No. | 供試体質量(g) | | 硝酸銀溶液 噴霧量(g) | 断面の面積 (mm ²) | 単位面積あたり 噴霧量(g/cm ²) | 変色境界位置の Cl ⁻ 濃度(%) | 単位容積質量 (kg/m ³) | 全Cl ⁻ 量 (kg/m ³) |
|---------|---------|---------|----------|--------|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| | | | 噴霧前 | 噴霧後 | | | | | | |
| 50% | 同一人物 | 50-同-1 | 415.18 | 415.73 | 0.55 | 7815 | 0.0070 | 0.179 | 1958 | 3.1 |
| | | 50-同-2 | 418.81 | 419.49 | 0.68 | 7807 | 0.0087 | 0.182 | | 3.1 |
| | | 50-同-3 | 427.19 | 427.91 | 0.72 | 7815 | 0.0092 | 0.173 | | 3.0 |
| | | 50-同-4 | 444.71 | 445.44 | 0.73 | 7823 | 0.0093 | 0.165 | | 2.9 |
| | | 50-同-5 | 425.79 | 426.47 | 0.68 | 7815 | 0.0087 | 0.194 | | 3.4 |
| | | 50-同-6 | 434.45 | 435.10 | 0.65 | 7815 | 0.0083 | 0.164 | | 2.8 |
| | | 50-同-7 | 399.11 | 399.69 | 0.58 | 7823 | 0.0074 | 0.129 | | 2.2 |
| | | 50-同-8 | 418.21 | 418.87 | 0.66 | 7830 | 0.0084 | 0.152 | | 2.6 |
| | | 50-同-9 | 410.92 | 411.54 | 0.62 | 7830 | 0.0079 | 0.155 | | 2.7 |
| | | 50-同-10 | 442.74 | 443.43 | 0.69 | 7815 | 0.0088 | 0.189 | | 3.3 |
| | | 平均 | | | 0.66 | | 0.0084 | 0.168 | | 2.9 |
| | 変動係数(%) | | | | | 8.4 | | 11.1 | | |
| | 個別の10人 | 50-個-1 | 461.14 | 461.98 | 0.84 | 7823 | 0.0107 | 0.160 | 1958 | 2.9 |
| | | 50-個-2 | 384.22 | 385.56 | 1.34 | 7830 | 0.0171 | 0.274 | | 4.9 |
| | | 50-個-3 | 386.42 | 388.04 | 1.62 | 7823 | 0.0207 | 0.221 | | 3.9 |
| | | 50-個-4 | 432.71 | 434.13 | 1.42 | 7823 | 0.0182 | 0.207 | | 3.7 |
| | | 50-個-5 | 424.11 | 424.78 | 0.67 | 7815 | 0.0086 | 0.188 | | 3.3 |
| | | 50-個-6 | 405.35 | 405.66 | 0.31 | 7823 | 0.0040 | 0.129 | | 2.3 |
| | | 50-個-7 | 478.52 | 479.28 | 0.76 | 7807 | 0.0097 | 0.176 | | 3.1 |
| | | 50-個-8 | 398.65 | 399.80 | 1.15 | 7815 | 0.0147 | 0.206 | | 3.7 |
| 50-個-9 | | 405.55 | 406.88 | 1.33 | 7791 | 0.0171 | 0.183 | 3.3 | | |
| 50-個-10 | | 407.38 | 408.31 | 0.93 | 7838 | 0.0119 | 0.160 | 2.8 | | |
| 平均 | | | 1.04 | | 0.0133 | 0.190 | 3.4 | | | |
| 変動係数(%) | | | | | 36.9 | | 19.8 | | | |

3. 実験結果および考察

3.1 硝酸銀溶液の噴霧量と変色境界位置の全 Cl⁻量

硝酸銀溶液の噴霧量および変色境界位置のモルタル中に含まれる全 Cl⁻量の算定結果の例として W/C50%の場合の結果を表-2に示す。W/C40%, W/C60%も同様に算定した。なお、表中の全 Cl⁻量はあくまでモルタルでの値であり、これらを一般的なコンクリートでの全 Cl⁻量に換算するためには、粗骨材の体積割合を4割程度と見込み、表中の変色境界の全 Cl⁻濃度に0.6程度を乗じ、そのうえで、単位容積質量として2300kg/m³を乗じればよいと考えられる。

3.2 変色境界位置の全 Cl⁻量と噴霧量の関係

W/C40%, 50%, 60%の変色境界位置における全 Cl⁻量と単位面積あたりの硝酸銀溶液の噴霧量の関係を図-5に示す。W/C50%, 60%の場合、硝酸銀溶液の噴霧量の増大にともなって、変色境界位置の全 Cl⁻量も増大していることがわかる。著者らは、変色境界は細孔溶液中に溶解している Cl⁻量とそこに到達した Ag⁺量が釣り合う位置に現れるという検討結果を得ている²⁾。この結果にもとづけば、硝酸銀溶液の噴霧量の増大によって細孔溶液中にまで到達する Ag⁺量が増大し、それにもとって変色境界が現れる位置の Cl⁻量も増大したと考えられる。

一方、W/C40%の場合には、変色境界位置の全 Cl⁻量と硝酸銀溶液の噴霧量との間に明確な傾向が認められない。これは、W/C40%の供試体が緻密な硬化組織をもっているため、硝酸銀溶液の噴霧量を増大させたとしても、Ag⁺が細孔溶液中まで到達しがたく、Cl⁻と結合できる量が安定しなかったためと考えられる。

3.3 噴霧量の個人差

各供試体における硝酸銀溶液の単位面積あたりの噴霧量の平均値の比較を図-6に、硝酸銀溶液の単位面積あたりの噴霧量の変動係数を図-7示す。

まず、同一人物法と個別人物法の結果について比較する。単位面積あたりの噴霧量の平均値は、W/C40%の場合は同一>個別、W/C50%の場合は同一<個別、W/C60%の場合は同一=個別となっており、明確な傾向は認められない。一方、図-7に示すように、噴霧量の変動係数はW/Cにかかわらず、同一人物法では8%~15%であることに対して、個別人物法では37%~45%となっている。このことは、硝酸銀溶液の噴霧量として、「試験面にやや浮くくらいの量」という表現の場合、実際の硝酸銀溶液の噴霧量には同一人物でも変動係数で8%~15%程度のばらつきが生じ、異なる人物間では変動係数で37%~45%程度のばらつきが生じる可能性があることを示唆している。

つぎに、W/Cごとの結果について比較する。硝酸銀溶液の噴霧量の平均値は、同一人物法の場合のW/C50%とW/C40%とで結果が唯一逆転しているが、総じてW/Cが大きくなるほど大きくなっている。これは、切断面にやや浮くくらいの噴霧量を与える際に、硝酸銀溶液が供試体へ浸透しやすいものほど多くの噴霧量を必要とするためだと考えられる。一方、噴霧量の変動係数には、同一人物法、個別人物法ともにW/Cの違いによる傾向は認められない。

3.4 噴霧量のばらつきが全 Cl⁻量に及ぼす影響

各供試体における変色境界位置のモルタル中に含まれ

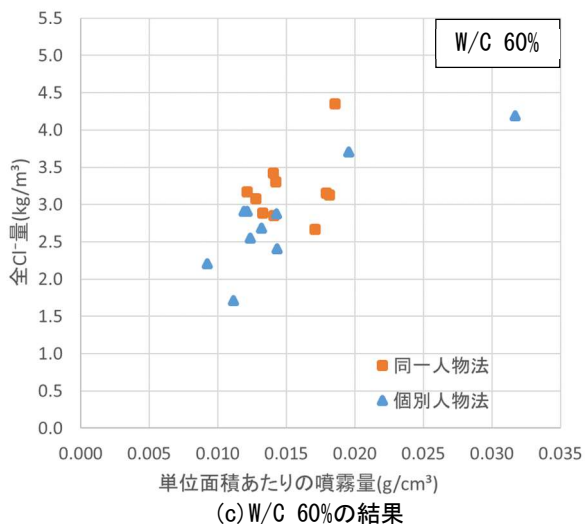
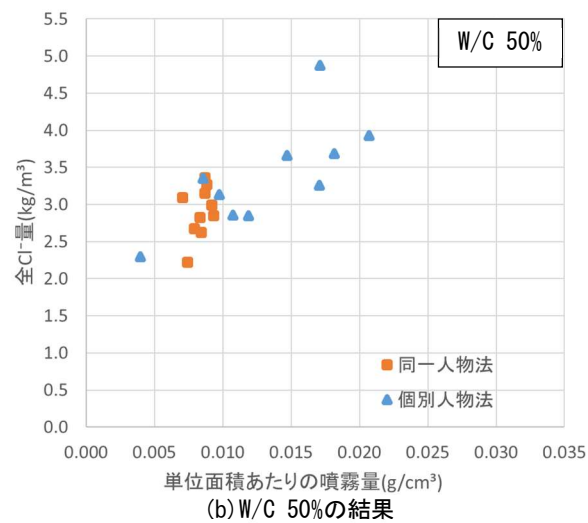
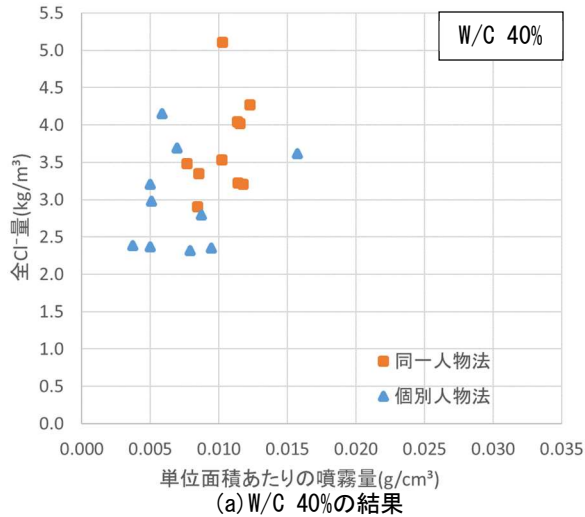


図-5 全Cl⁻量と単位面積あたりの噴霧量の関係

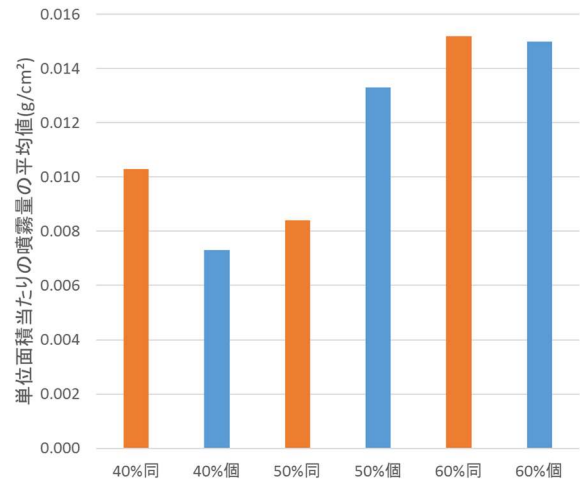


図-6 単位面積あたりの噴霧量の平均値

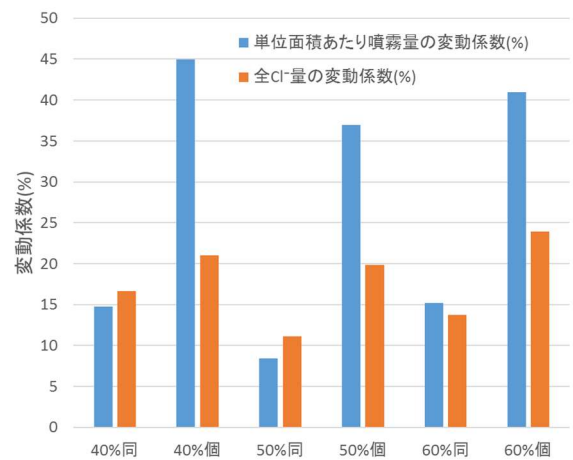


図-7 硝酸銀溶液の噴霧量と全Cl⁻量の変動係数

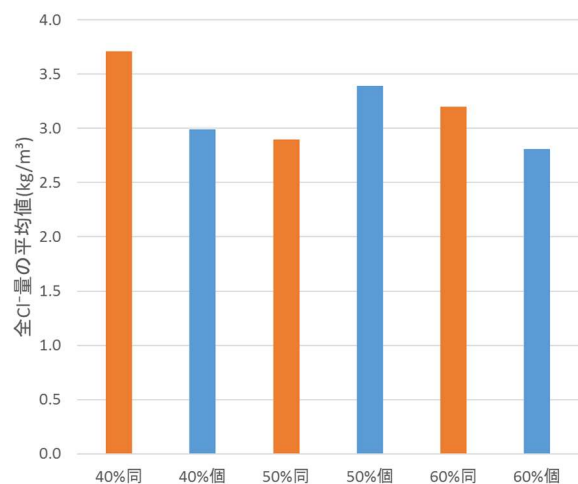


図-8 全Cl⁻量の平均値

る全Cl⁻量の平均値の比較を図-8に示す。まず、同一人物法と個別人物法の結果について比較する。変色境界位置の全Cl⁻量の平均値は、W/C40%の場合は同一>個別、W/C50%の場合は同一<個別、W/C60%の場合は同一≒個別となっている。前述のように、硝酸銀溶液の噴霧量が

増大すれば、変色境界位置の全Cl⁻量が増大すると考えられるので、ここでの大小関係が図-6の硝酸銀溶液の噴霧量の場合と一致することは自然なことと考えられる。ただし、図-7に示すように、全Cl⁻量の変動係数は、同一人物法では11%~17%と噴霧量の変動係数である

8%~15%と同程度であることに対して、個別人物法では20%~24%と噴霧量の変動係数である37%~45%よりも大幅に小さくなっている。このことは、硝酸銀溶液の噴霧量の変動によって変色境界位置の全Cl量はたしかに変動するが、噴霧量の変動がある程度まで大きくなると、変色境界位置の全Cl量の変動幅が頭打ちする可能性があることを示唆している。これは、前述してきたように、供試体への硝酸銀溶液の浸透しやすさの違いから、硝酸銀溶液の噴霧量の大小がそのままに細孔溶液中へと到達するAg⁺量の大小へと直結しないことがあるためだと考えられる。

つぎに、W/Cごとの結果について比較する。変色境界位置の全Cl量の平均値は、同一人物法と個別人物法とで、また、W/Cごとにいくらか違いはあるものの、総じて2.8~3.5kg/m³程度である。なお、この結果を3.1節で述べた方法でコンクリートの全Cl量に換算すれば、概ね2.1~2.7kg/m³程度になる。この値は過去の試験結果と同等の値といえる^{6,7)}。また、同一人物法、個別人物法ともに変色境界位置の全Cl量の変動係数にはW/Cの違いによる傾向は認められない。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) W/C50%、60%のモルタル供試体では、硝酸銀溶液の噴霧量が増大するほど変色境界位置の全Cl量が増大する傾向が認められた。一方、W/C40%のモルタル供試体では、明確な傾向が認められなかった。これらの結果には、硝酸銀溶液の供試体への浸透しやすさも影響していると考えられる。
- (2) 同一人物が噴霧する場合と10名の異なる人物が噴霧する場合とで、噴霧量の大小には明確な傾向は認められなかった。一方、噴霧量の変動係数は、同一人物が噴霧する場合では8%~15%、10名の異なる人物が噴霧する場合では37%~45%と、明確な差が現れた。
- (3) W/Cが異なる場合、噴霧する人物の別に関わらず、噴霧量は総じて供試体のW/Cが大きくなるほど大きくなった。これは、硝酸銀溶液の供試体への浸透しやすさが影響していると考えられる。一方、噴霧量の変動係数には、W/Cの違いによる明確な傾向は認められなかった。
- (4) 硝酸銀溶液の噴霧量の変動が大きくなると、変色境界位置の全Cl量の変動も大きくなった。ただし、噴霧量の変動がある程度まで大きくなると、変色境界位置の全Cl量の変動幅が頭打ちする可能性があることが示唆された。
- (5) 変色境界位置の全Cl量の平均値は、噴霧する人

物の別、W/Cの別でいくらかの違いはあるものの、総じて2.8~3.5kg/m³程度であった。この値をコンクリートの全Cl量に換算すれば、概ね2.1~2.7kg/m³程度となり、過去の試験結果と同等の値といえる。

以上の知見は、スライス法によるCl濃度分布測定の際に測定対象とすべき深さの判断などに活かせると考えている。また、変色境界位置の全Cl量の値は設計上の鋼材腐食発生限界濃度よりも若干高い程度であることから、本方法を用いての直接的な鋼材腐食開始予測の実現にも可能性があると考えている。

謝辞

本研究の実施にあたり、(一社)日本非破壊検査協会RC専門別委員会RC部門「NDIS3437硝酸銀溶液を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透深さの試験方法」原案作成委員会(委員長:澤本武博博士)の皆様には、貴重なご示唆を賜りました。ここに記し、感謝致します。

参考文献

- 1) N.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
- 2) 青木優介, 板倉あい, 天野誠次郎, 澤本武博: 硝酸銀溶液の噴霧量が硝酸銀溶液噴霧法の結果に及ぼす影響, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, Vol.6, pp.13-16, 2018.8
- 3) Collepardi M. et al.: Penetration of chloride ions into cement pastes and concretes, Journal of the American Ceramic Society, Vol.55, No.10, pp.534-535, 1972
- 4) Fuqiang He. et al.: AgNO₃-based colorimetric methods for measurement of chloride penetration in concrete, Const. and Build. Materials, Vol.26, pp.1-8, 2012
- 5) 青木優介, 澤本武博, 嶋野慶次: 硝酸銀溶液噴霧法による塩化物イオン浸透深さ測定におけるいくつかの経験的知見, コンクリート工学年次論文集, 第35巻, No.1, pp.1843-1848, 2013.7
- 6) 戸邊こころ, 澤本武博, 青木優介, 森濱和正, 川俣孝治: 硝酸銀溶液噴霧による硬化コンクリートの塩化物イオン浸透深さ測定に及ぼす変色境界の移動および中性化の影響, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, Vol.6, pp.5-11, 2018.8
- 7) 青木優介, 森本健太, 澤本武博: 硝酸銀溶液の噴霧によって現われる変色境界と鋼材の腐食との関係, コンクリート工学年次論文集, 第41巻, pp.731-736, 2019.7