

NDIS 意見受付

NDIS3437 硝酸銀溶液の噴霧による硬化コンクリートの
塩化物イオン浸透深さ試験方法
原案作成委員会

この NDIS は「日本非破壊検査協会規格（NDIS）制定等に関する規則」に基づき関係者に NDIS の
制定前の意見提出期間を設けるために掲載するものです。

意見は規格原案決定の際の参考として取り扱いさせていただきます。

掲載されている NDIS についての意見提出は下記メールアドレスまでお願いいたします。

意見受付締切日：2020 年 12 月 21 日（月）

意見提出先：Email：bsn@jsndi.or.jp

目 次

1

2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

ページ

序文 - 1 -

1 適用範囲 - 1 -

2 引用規格 - 1 -

3 用語及び定義 - 2 -

4 試験方法の概要 - 2 -

5 試験技術者 - 3 -

6 試験用装置及び器具 - 3 -

7 硝酸銀溶液 - 3 -

8 試験方法 - 3 -

8.1 試験面の準備 - 3 -

8.2 中性化深さの確認 - 4 -

8.3 塩化物イオン浸透深さの測定 - 4 -

9 計算 - 5 -

10 報告 - 5 -

10.1 必ず報告する事項 - 5 -

10.2 必要に応じて報告する事項 - 6 -

21

まえがき

22 この規格は、日本非破壊検査協会規格（NDIS）制定などに関する規則に基づき、標準化委員会の審議を
23 経て、（一社）日本非破壊検査協会が制定した規格である。この規格は、著作権法で保護対象となっている
24 著作物である。

25 この規格の一部が、特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権又は出願公開後の実用新案登録出願に
26 抵触する可能性があることに注意を喚起する。（一社）日本非破壊検査協会は、このような特許権、出願
27 公開後の特許出願、実用新案権又は出願公開後の実用新案登録出願にかかわる確認について、責任はもた
28 ない。

29 この規格を適用する責任は、この規格の使用者に帰する。また、規格を適用した場合に生じるかもしれ
30 ない安全上又は衛生上の諸問題に関しては、この規格の適用範囲外である。この規格の適用に際して、安
31 全上又は衛生上の規定が必要な場合は、この規格の使用者の責任で、安全又は衛生に関する規格又は指針
32 などを併用しなければならない。

33

34

日本非破壊検査協会規格
NDIS 3437:202X

硝酸銀溶液の噴霧による硬化コンクリートの塩化物
イオン浸透深さ試験方法

Test method for penetration depth of chloride ions into hardened concrete by
spraying AgNO₃ solution

序文

コンクリートへの塩化物イオンの浸透を評価するためには、コンクリート表面から内部の任意の深さまでの塩化物イオン濃度分布を測定する必要がある。ただし、従来の測定方法では、試料の調整及び化学分析が必要であり、より簡易に塩化物イオンの浸透を評価できる試験方法の確立が望まれている。

制定した規格は、コンクリート断面に硝酸銀溶液を噴霧することによって、コンクリート表面からの塩化物イオン浸透深さを簡易かつ視覚的に測定する試験方法である。

なお、対応国際規格は現時点で制定されていない。

1 適用範囲

この規格は、外部から塩化物イオンが浸透した硬化コンクリートにおいて、その断面に硝酸銀溶液を噴霧することによって、塩化物イオン浸透深さを簡易かつ視覚的に測定するための試験方法について規定する。

2 引用規格

次に掲げる引用規格は、この規格に引用されることによって、その一部又は全部がこの規格の要求事項を構成している。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 0203 コンクリート用語

JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法

JIS A 1152 コンクリートの中性化深さの測定方法

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

JIS B 7516 金属製直尺

JIS K 8001 試験試薬方法通則

JIS K 8550 硝酸銀（試薬）

JIS S 6032 プラスチック製定規

NDIS 3413 非破壊試験技術者の視力及び色覚の試験方法

NDIS 3433 硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験方法

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、JIS A 0203、JIS A 1154、JIS K 8001 及び NDIS 3433 によるほか、次による。

3.1

塩化物イオン浸透深さ

硬化コンクリートの試験面において、塩化物イオンが浸透してくる面から、硝酸銀溶液を噴霧することによって白色に呈色した部分¹⁾の深さ。

注¹⁾ 紫外線（日光など）を受けると、黒ずんだ色になる。

3.2

試験面

塩化物イオン浸透深さを測定する硬化コンクリートの断面²⁾。

注²⁾ 割裂面，切断面，又ははつり面がある。

4 試験方法の概要

試験方法の概要を図 1 に示す。

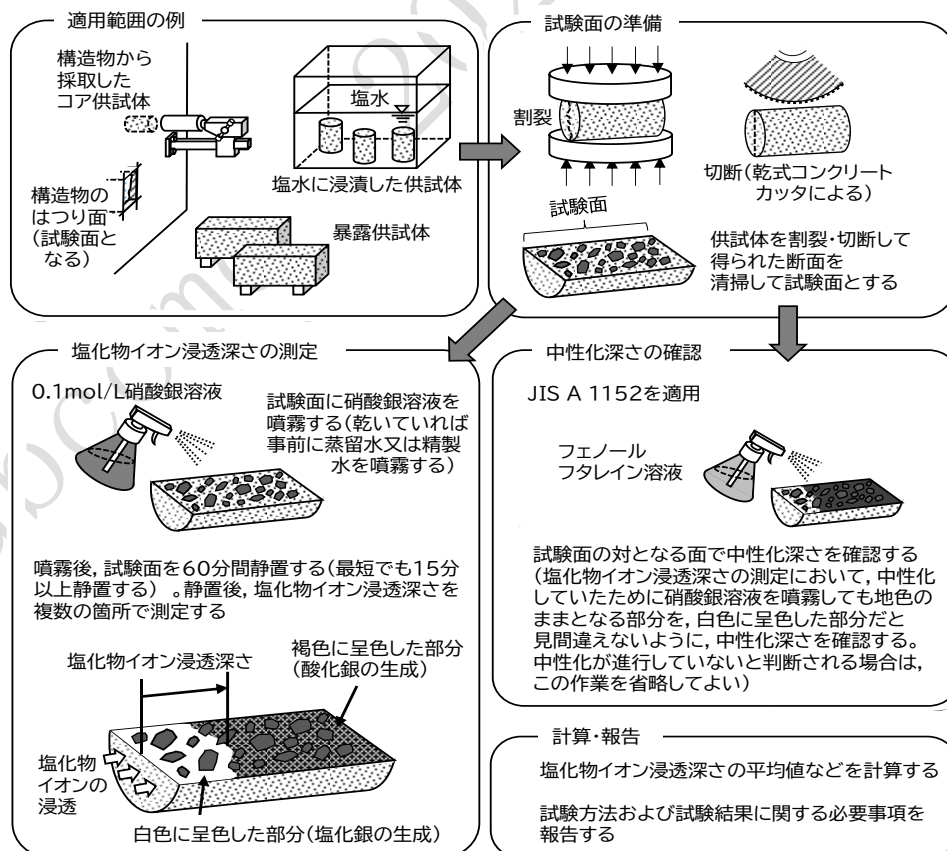


図 1—試験方法の概要

5 試験技術者

この規格に規定する試験を行う者は、コンクリート材料、コンクリート構造及び化学薬品の取り扱いに関する知識をもち、試験面上の変色部分を識別できる能力をもつ者でなければならない。色覚の試験方法は、NDIS 3413 による。

6 試験用装置及び器具

試験用装置及び器具は、次のうち必要なものを用いる。

- a) 供試体を採取するためのコア採取機などの装置又は器具
- b) はつり作業のためのコンクリートカッタ、たがねなどの装置又は器具
- c) 試体を割裂できる載荷試験機、ハンマーなどの装置又は器具
- d) 供試体を切断できる乾式コンクリートカッタなどの装置又は器具
- e) 試験面に付着するコンクリートの小片、粉などを除去できるブラシ、エアダスタなどの器具
- f) 噴霧器

注記 硝酸銀溶液は金属を腐食させる性質をもち、光を受ければ変質することに注意する。

- g) JIS B 7516 に規定する金属製直尺、JIS S 6032 に規定するプラスチック製定規などで、0.5 mm まで読み取れるもの。ただし、構造物のはつり面を試験面とする場合には、1 mm まで読み取れるものでもよい。

7 硝酸銀溶液

試験面に噴霧する硝酸銀溶液は、JIS K 8550 に規定する硝酸銀（試薬）を蒸留水又は精製水に溶かして 0.1 mol/L の濃度に調整した硝酸銀溶液³⁾とする。又は 0.1 mol/L の濃度に調製されている市販の硝酸銀溶液とする。

注³⁾ 0.1 mol/L の濃度の硝酸銀溶液を 100 mL 作製するには、水 90 mL をはかり取り、それに硝酸銀 1.7 g を溶かして、さらに、100 mL になるまで水を加えて調整する。

注記 硝酸銀は劇物なので、粘膜及び皮膚に付着しないようにする。

8 試験方法

8.1 試験面の準備

試験面の準備は、次のいずれかによる。

- a) **作製した供試体を試験対象とする場合** 供試体の表面が濡れている場合には、ウェスなどで表面を拭く。試験面は割裂面又は切断面とする。

割裂面を試験面とする場合には、載荷試験機などで供試体を割裂し、割裂面に付着するコンクリートの小片、粉などを、ブラシ、エアダスタなどで除去する。

切断面を試験面とする場合には、乾式コンクリートカッタで供試体を切断し、切断面に付着するコンクリートの粉などを、ブラシ、エアダスタなどで除去する。

供試体の割裂又は切断を終えた後、直ちに 8.2 に移る。直ちに 8.2 に移れない場合には、ラッピング

フィルムなどで試験面を密封しておく⁴⁾。

注⁴⁾ 試験面を空气中に長時間放置しておく、試験面の乾燥及び中性化が進み、塩化物イオン浸透深さが測定できなくなるおそれがある。

- b) **コア供試体を試験対象とする場合** 構造物などからコア供試体を採取する。採取後、コア供試体の側面に付着するのを水洗いによって除去する。試験面は割裂面又は切断面とする。

コア供試体採取後、直ちに供試体の割裂又は切断に移れない場合には、供試体全体をラッピングフィルムなどで密封しておく⁴⁾。

以後の試験面の準備は、**8.1 a)**と同じとする。

注記 コア供試体の採取は **JIS A 1107** を、小径コア供試体の採取は **NDIS 3433** を参考にするとよい。圧縮強度試験に供するコア供試体を対象として塩化物イオン浸透深さの測定を行う場合には、圧縮強度試験時に最大荷重に達した後、速やかに除荷して供試体の破損を避けるのがよい。また、供試体を圧縮強度試験に供するに当たり、塩化物イオンが浸透してくる面側に研磨処理を施すと、その欠損分が塩化物イオン浸透深さの測定結果に影響することに注意する。

- c) **はつり面又ははつり片の面を試験面とする場合** はつり面又ははつり片の面を試験面とする場合には、これらの面に付着するコンクリートの小片、粉などをブラシ、エアダスタなどで除去する。

はつり作業を終えた後、直ちに **8.2** に移る。直ちに **8.2** に移れない場合には、ラッピングフィルムなどで試験面を密封しておく⁴⁾。

注記 はつり作業の際に、はつり面の周囲にあらかじめ乾式コンクリートカッタで切込みを入れておくと、この後の塩化物イオン浸透深さの測定が行いやすくなる。

8.2 中性化深さの確認

試験面の対となる面に **JIS A 1152** を適用して中性化深さを確認する。ただし、常時水中に浸せきしている供試体などで中性化が進行していないと判断される場合は、この作業を省略してよい。

注記 1 **8.3** 塩化物イオン浸透深さの測定において、試験面に中性化している部分があった場合、その部分は呈色せず、コンクリートの地色のままとする。この部分を塩化物イオンの浸透によって白色に呈色した部分と見間違えないために、中性化深さを確認する。

注記 2 中性化深さを測定するタイミングは、**8.3 c)**の直前である。

8.3 塩化物イオン浸透深さの測定

塩化物イオン浸透深さの測定は、次による。

- a) 室内で測定を行う場合には、日光が差し込む場所を避ける。屋外で測定を行う場合には、日光、海水飛沫、雨などが試験面に直接当たらないようにする。

- b) 試験面が上側になるように供試体を置く。このとき、試験面ができる限り水平になるようにする。

はつり面などで試験面が天井側又は側方側になる場合には、硝酸銀溶液の噴霧後に液だれが生じる可能性がある。それを素早く吸い取れるようにウエスなどを準備しておく。

- c) 試験面に硝酸銀溶液を噴霧器で均等に噴霧する。この際、噴霧する硝酸銀溶液の量は、試験面にやや浮くくらい（噴霧直後、試験面に僅かに水光がある状態）を適量とする。

試験面が乾いている場合には、硝酸銀溶液を噴霧する前に蒸留水又は精製水を試験面に適量噴霧し、これが試験面に吸収された後も数分間は測定面が乾燥していない状態を保つことを確認してから、硝酸銀溶液を噴霧する。

注記 硝酸銀溶液噴霧直前の試験面の写真（試験面の含水状態が分かる写真）及び硝酸銀溶液噴霧直後の試験面の写真（硝酸銀溶液の噴霧量の程度が分かる写真）を撮っておくとよい。

d) 硝酸銀溶液の噴霧後、試験面を静置しておく。試験面を静置をする時間は 60 分とする。

なお、試験面を静置する時間は試験の目的に応じて変更してよいが、15 分以上とする。

e) 試験面の静置を終えた後、測定箇所を適宜設定し⁵⁾、定規などを用いて塩化物イオン浸透深さを 0.5 mm 単位⁶⁾で測定する。

測定箇所に粗骨材の粒子がある場合又は粒子が抜けている場合には、粒子又は粒子が抜けたくぼみの両端の変色境界を結んだ直線上で測定する。

白色に呈色した部分が明確に現れない場合には、測定不可能として測定を終了し、その状況を写真などに記録する。

注記 鮮明に白色に呈色した部分より深い部分に、白色とも褐色とも取れる曖昧な部分が現れることがある。このような場合には、鮮明に白色に呈色した部分での変色境界までの深さを塩化物イオン浸透深さとして測定するとともに、その状況を写真などに記録するとよい。

注⁵⁾ 供試体の割裂面又は切断面を試験面とする場合は、10 mm～15 mm ごとに 1 か所、少なくとも 3 か所以上とするのがよい。はつり面又ははつり片を試験面とする場合は、試験面の大きさに応じて 4 か所～8 か所程度とするのがよい。

なお、いずれの場合も、これらの箇所の測定値とは別に最大値を測定する。最大値を示した箇所に異常が認められる場合には、その旨を記録する。

注⁶⁾ 塩化物イオン浸透深さが浅い場合には、測定単位を 0.5 mm 以下としてよい。はつり面又ははつり片を試験面とする場合は、測定単位を 1 mm としてよい。

9 計算

塩化物イオン浸透深さの平均値は、一定間隔で測定した値の合計を測定箇所数で除して求め、四捨五入によって小数点以下 1 桁に丸める。

10 報告

10.1 必ず報告する事項

a) 試験年月日（年月日、時間、天候、気温など）

b) 試験場所（名称、屋内又は屋外の別、光（紫外線）の状況など）

c) 試験技術者（氏名、所属、資格など）

d) 対象構造物、対象供試体の概要（名称、存置場所、塩化物イオンの供給状況など）

e) 試験面の準備（試験面を準備した年月日、時間、割裂、切断又ははつりの別、密封処置の有無など）

f) 試験面の状態（含水状態、蒸留水又は精製水の事前噴霧の有無、中性化深さの状況など）

g) 噴霧した硝酸銀溶液（製造年月日、使用期限など）

h) 硝酸銀溶液の噴霧から塩化物イオン浸透深さの測定までの状況（静置時間、気温、湿度など）

i) 塩化物イオン浸透深さの測定器具（読み取り単位など）

j) 塩化物イオン浸透深さの測定箇所と各測定値、平均値、最大値、その他異常の有無

k) 白色とも褐色とも取れない部分の有無（ある場合には、その状況を示す写真など）

211 **10.2 必要に応じて報告する事項**

- 212 a) 対象構造物，対象供試体の詳細（建設年，周辺環境，浸せきした塩水の濃度など）
- 213 b) 対象構造物，対象供試体のコンクリートの概要（セメント種類，骨材種類，配（調）合など）
- 214 c) 対象構造物のかぶり厚さ
- 215 d) 供試体などの採取状況（年月日，時間，天候，気温など）
- 216 e) 供試体などを採取した位置（部位，高さ），水掛りの有無，仕上材の有無など
- 217 f) 中性化深さ（測定箇所，測定値，測定値が確認できる写真など）
- 218 g) 供試体などを採取した直後から試験面の準備までの保管状況（ラッピングフィルムで密封など）
- 219 h) 硝酸銀溶液噴霧直前の試験面の写真（試験面の含水状態が分かる写真）
- 220 i) 硝酸銀溶液噴霧直後の試験面の写真（硝酸銀溶液の噴霧量の程度が分かる写真）
- 221 j) 塩化物イオン浸透深さの測定時の試験面の写真（測定箇所，各測定値などが確認できる写真）
- 222 k) 白色に呈色した部分の境界線上のコンクリート中に含まれる塩化物イオン量とその測定方法
- 223 l) 測定中に気づいた点，留意事項など

NDIS 3437 : 0000

硝酸銀溶液の噴霧による硬化コンクリートの塩化物イオン浸透深 さ試験方法 解 説

この解説は、規格に規定・記載した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

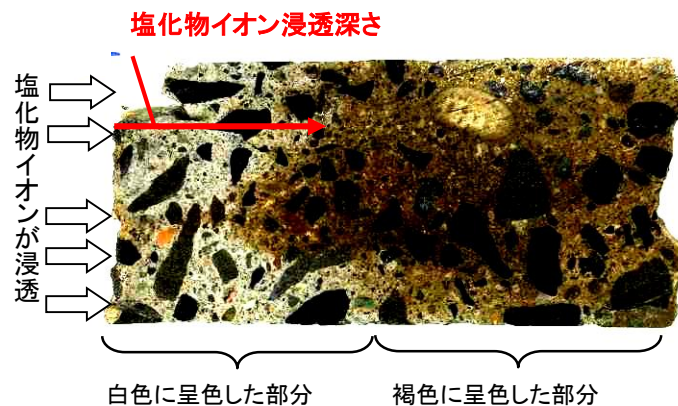
この解説は、(一社)日本非破壊検査協会が編集・発行するものであり、これに関する問合せ先は(一社)日本非破壊検査協会である。

1 制定の趣旨

コンクリート構造物の塩害の多くは、コンクリート表面から内部へと浸透する塩化物イオンによって引き起こされる。コンクリートへの塩化物イオンの浸透状況及びコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性を評価するためには、コンクリート表面からの塩化物イオン浸透深さの測定が必要になる。

コンクリート表面からの塩化物イオン浸透深さの測定方法としては、供試体を 10 mm～20 mm 程度の深さごとにスライスし、各スライス片に JIS A 1154 “硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオン試験方法”、NDIS 3433 “硬化コンクリート中の塩化物イオンの簡易試験方法”などを適用して、深さ方向の塩化物イオン濃度分布を測定する方法が用いられてきた。しかし、この方法では複数回での供試体の切断、粉碎、試料の調整、化学分析などが必要となる上に、塩化物イオン浸透深さを視覚的に測定することができない。一方、土木学会規準 JSCE-G 574 “EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法”を用いれば、塩化物イオン浸透深さを視覚的に測定することができるが、その実施には高度な機器と技術が必要となる。

これらの問題を解決しうる試験方法として、コンクリートの断面に硝酸銀溶液を噴霧する方法（以下、解説では噴霧法と呼ぶ）がある[1][2]。外部から塩化物イオンが浸透しているコンクリートの断面に硝酸銀溶液を噴霧すると、解説図 1 のように、断面は白色に呈色する部分と褐色に呈色する部分に分かれる。この原理については解説の箇条 5 にあるが、白色に呈色した部分にはある一定量以上の塩化物イオンが含まれていると見込まれる[3]。つまり、塩化物イオンが浸透してくる面から白色に呈色した部分の深さを、ある一定量以上の塩化物イオンが浸透している深さとみなすことができる。噴霧法なら複数回での供試体の切断、粉碎、試料の調整、化学分析は必要ない。高度な機器及び技術も必要なく、測定結果が視覚的に短時間で得られる。例えば、詳細調査を必要としなくとも、今後も塩化物イオンの浸透が予想される場合には、噴霧法で確認することも有効である。



解説図 1ー硝酸銀溶液を噴霧したコンクリート断面の例

噴霧法は 1970 年ごろから欧州の研究者らによって提案され[4][5][6], 1978 年にはイタリア規格 **UNI 7928** “Determination of the ion chloride penetration” として規格化もされている。この規格は結果の信頼性が疑問視され 2000 年に廃止されたが[7], 2020 年現在も, 北欧規格 **NT BUILD 492** “Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments”, 米国全州道路交通運輸行政官協会規格 **AASHTO T357** “Predicting chloride penetration of hydraulic cement concrete by the rapid migration procedure”, **JIS A 1171** “ポリマーセメントモルタルの試験方法”, 土木学会規準 **JSCE-G 572** “浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法 (案)”, 同じく **JSCE-G 573** “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)” などの規格の一部に, 噴霧法に関する記載がある。

しかし, 噴霧法の詳しい実施手順は, いずれの規格にも記載されていない。噴霧法の結果は実施手順によって変化するため, 安定した結果を得るためには, 詳しい実施手順を可能な限り標準化する必要がある。このことが, この規格を制定する趣旨である。

2 制定の経緯

(一社) 日本非破壊検査協会では, これまでも鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験及び微破壊試験に関する規格を制定しており, これらは鉄筋コンクリート構造物の調査・診断の実務においても広く普及している。この規格も, これらと同様に鉄筋コンクリート構造物の調査・診断のための試験方法として制定するため, 2017 年 4 月から 2019 年 3 月までの期間において, 標準化委員会 **RC 専門別委員会** の下に **NDIS 3437** 原案作成準備 WG を設置し, 規格素案を作成した。その成果を踏まえて, 2019 年 4 月から “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 (以下, 委員会と呼ぶ。) を設置し, 規格原案を作成した。

3 審議中に特に問題となった事項

3.1 塩化物イオンがコンクリート内部に浸透することの表現

この規格の適用範囲は, 塩化物イオンが外部から浸透した硬化コンクリートとされているが, このうち, “浸透” という表現が適切かが審議された。例えば “土木学会コンクリート標準示方書【設計編】 [8]” では, 塩化物イオンがコンクリート内に入っていくことは “侵入”, 深さ方向に移動していくことは “侵入現象” と表現されている。審議では, “侵入” よりも “浸入”, “侵入現象” よりも “浸透” の方が適切な表現

だとする意見もあった。ただし、“浸入”は英単語で *infiltration* だが、英文論文等では噴霧法での測定対象として *chloride penetration* という表記が与えられている。そして、*penetration* の和訳には、“侵入”と“浸透”とがある。以上の事情に鑑み、この規格では、塩化物イオンがコンクリート内に入っていくこと、また、深さ方向に移動していくことに対して、統一的に“浸透”という表現をあてた。

3.2 塩化物イオン浸透深さの定義

噴霧法による塩化物イオン浸透深さの定義は、当初、硝酸銀溶液を噴霧することで白色に呈色した部分と褐色に呈色した部分との境界までの深さとしていたが、供試体の条件によっては、必ずしも両部分の境界が合致しない場合があることが問題となった（3.6 参照）。ただし、白色に呈色する部分にある一定量以上の塩化物イオンが含まれているとみなせることに変わりはないため、塩化物イオン浸透深さの定義としては、“塩化物イオンが浸透してくる面から、硝酸銀溶液を噴霧することで白色に呈色した部分の深さ”とすることにした。

3.3 噴霧する溶液の組合せ

硝酸銀溶液の噴霧による塩化物イオン浸透深さ測定方法には、おもに 3 種類の溶液噴霧の組合せがある。フルオレセインナトリウム溶液を噴霧したあとに硝酸銀溶液を噴霧する方法[5]、硝酸銀溶液を噴霧したあとに 1 時間置いてからクロム酸カリウム溶液を噴霧する方法[4][6]、そして、硝酸銀溶液だけを噴霧する方法である。これら三つの方法のうち、この規格ではどの方法を採用するかが審議された。

その結果、三つの方法から得られる測定結果には大差がないと確認されていること[2]、フルオレセインナトリウム溶液を併用する方法では変色境界が不明瞭になりやすいこと、クロム酸カリウム溶液を併用する方法では途中で 1 時間の待ち時間が生じるうえに、クロム酸カリウム溶液を噴霧することの安全性が懸念されることなどから[2]、硝酸銀溶液だけを噴霧する方法を採用することとした。別途行ったアンケート調査においても、硝酸銀溶液だけを噴霧しているという回答が多かった[9]。

3.4 硝酸銀溶液の濃度

噴霧する硝酸銀溶液の濃度として、過去の規格（UNI 7928）及び現存する関連規格（NTBUILD 492, AASHTO T357, JIS A 1171, JSCE-G 572, JSCE-G 573）では、いずれも 0.1 mol/L が採用されている。この規格でも 0.1 mol/L の硝酸銀溶液を採用すべきかが審議された。

その結果、同濃度の溶液を噴霧した後の呈色は明瞭であること[1]、白色に呈色した部分の末端における塩化物イオン量が設計上の鋼材腐食発生限界濃度に近く、塩化物イオン浸透深さ試験方法としての利用価値が高まると考えられることなどから[2][10][11]、この規格でも 0.1 mol/L を採用すべきとなった。

なお、硝酸銀溶液の濃度を上下させればそれに応じた塩化物イオン量の浸透深さを確認できる[12]ため、0.1 mol/L を標準としつつ、必要に応じて別の濃度の硝酸銀溶液を用いることも可能とする規定を検討した。しかし、測定結果に関する誤解を招くおそれも指摘されたことから、今回は 0.1 mol/L だけを規定することとした。

なお、別途行ったアンケート調査においても、0.1 mol/L の濃度を用いているという回答が多かった[9]。

3.5 硝酸銀溶液の噴霧量

白色に呈色した部分が現れる位置、つまり、塩化物イオン浸透深さの測定結果は硝酸銀溶液の噴霧量によって変動する。He ら[2]は、噴霧法の結果はコンクリート中の細孔溶液の量、pH など複数の要因によって変動するが、とりわけ、硝酸銀溶液の噴霧量の影響が大きいと指摘している。このことに鑑み、この規

314 格でも一定の噴霧量を規定するべきかが審議された。その結果、硝酸銀溶液の噴霧量を一定とすることは
315 困難であり、実現するとなれば、噴霧法の最大の利点である簡易性を損なう可能性が高いと考えられた[13]。
316 よって、現段階では一定の噴霧量を規定することは避け、曖昧な表現ではあるが、“試験面にやや浮くぐら
317 いの量を適量とする”と表現することとした。

318 なお、別途行ったアンケート調査においても、試験面にやや浮くぐらの量を噴霧しているという回答
319 が多かった[9]。

320 3.6 中性化部分の存在、及び、pH の低下への対処

321 **解説図 2** は、JISA 1153 “コンクリートの促進中性化試験方法”を行った供試体の対の断面にそれぞれフ
322 ェノールフタレイン溶液と 0.1 mol/L 硝酸銀溶液とを噴霧した結果である。中性化した部分には水酸化物イ
323 オンが存在しないため、硝酸銀溶液を噴霧しても褐色の酸化銀が生成されず、地色のままとなる。一方、
324 未中性化部分では酸化銀が生成されるため、褐色に呈色する[10][14]。結果として、**解説図 2** の右側の断面
325 のような状態となる。ここで、中性化によって地色のままとなった部分は、塩化物イオンの浸透によって
326 白色に呈色した部分に見間違われやすい。この問題への対処について審議された。

327 **解説図 3** は、中性化によってコンクリートの地色のままとなった部分と塩化物イオンの浸透によって白
328 色に呈色した部分との比較である[14]。塩化物イオンの浸透によって白色に呈色した部分は、コンクリ
329 ートの地色に比べて明らかに白く、紫外線を浴びれば黒ずむ性質をもっている[15][16]。これらのことを規格
330 の本文中に注記すれば、互いの部分を判別することは可能とする意見もあった。しかし、判別が難しい場
331 合もあると考えられたため、硝酸銀溶液の噴霧を行う前に、試験面の対となる面に JIS A 1152 “コンクリ
332 ートの中性化深さの測定方法”を適用して、事前に中性化深さを確認しておくこととした[17]。

333 なお、中性化が進行していないと判断される場合、例えば、常時水中に浸せきしていた供試体などを対
334 象とする際には、中性化深さの確認を省略してもよいこととした。



解説図 2—中性化促進試験後の断面へ
フェノールフタレイン溶液（左）と
硝酸銀溶液を噴霧した結果（右）



解説図 3—中性化によって地色のままとなった
領域（左）と塩化物イオンによって白色に
呈色した領域（右）

335 なお、珍しいケースであろうが、対象とする供試体において中性化深さが塩化物イオン浸透深さよりも
336 深い位置にまで達していた場合、塩化物イオンが浸透してくる面から順に、白色に呈色した部分、地色の
337 部分、褐色に呈色した部分が現れることになる。つまり、白色に呈色した部分と褐色に呈色した部分との
338 境界が合致しないことになる。このとき、塩化物イオン浸透深さとして測定すべきなのは、定義どおり、
339 白色に呈色した部分の深さである。中性化深さの確認結果をふまえて、地色の部分の深さまでを塩化物イ
340 オン浸透深さとして測定しないことに注意が必要である。

また、試験面全体の pH が経年、混和材の混入などの影響によって 10 程度まで低下していると、酸化銀の生成量が少なくなり、褐色に呈色した部分が明確にならないため、白色に呈色した部分の判別が難しくなることがある[18]。この問題についても対処が必要とされた。

委員会では、過去の研究[17]にならい、硝酸銀溶液を噴霧する直前に試験面に水酸化ナトリウム溶液を噴霧する方法が検討された。試験面全体の pH を高めることで、褐色に呈色する部分を明確にし、白色に呈色する部分を明確にすることが狙いである。

なお、この対処が奏功するのであれば、上述した中性化部分の見間違い問題への対策にもなりうるものと考えられた。しかし、水酸化ナトリウム水溶液を噴霧すると、噴霧しなかった場合に比べて、塩化物イオン浸透深さが同一になるという報告¹⁰⁾があるものの、異なる場合もあるという事例が確認された。このことから、水酸化ナトリウム溶液を事前に噴霧する規定は見送られた。そして、試験面の pH の低下によって白色に呈色した部分が確認しづらくなったとしても、特別な対処はとらず、測定不可能として測定を終了することとした。

3.7 硝酸銀溶液噴霧後の静置時間

試験面に硝酸銀溶液を噴霧した後、白色に呈色した部分が時間の経過につれて拡大していく現象が現れる[10][14]。過去には、数 mm～数十 mm の拡大が確認された例もあり、安定した測定を行うために、この現象が収束するまでの試験面の静置時間が審議された。検討の結果、同現象が数日以上も続く事例も確認されたが、おおむね、硝酸銀溶液の噴霧から 15 分までの変化が大きく、60 分程度でほぼ収束するものと見込まれた[10]。このため、硝酸銀溶液の噴霧後からの静置時間を 60 分とした。

なお、NTBUILD 492[19]及び AASHTO T357[20]では、硝酸銀溶液の噴霧から 15 分後にこの規格でいうところの塩化物イオン浸透深さを測定することが規定されている。この規格が、それら規格の一部として利用されることも考慮し、静置する時間は試験の目的に応じて変更してよいが、15 分以上にすることとした。

3.8 白色に呈色した部分の境界における塩化物イオン量と鋼材の腐食状態の関係

硝酸銀溶液の噴霧によって白色に呈色した部分の境界における塩化物イオン量、また、その境界における鋼材の腐食状態は、噴霧法の実用性を左右する重要項目である。白色に呈色した部分の境界における塩化物イオン量が安定しない、若しくは、鋼材が腐食するレベルに比して過大・過少であれば、仮に塩化物イオン浸透深さを測定したとして、その結果から得られる知見は有益なものになりにくいからである。このことについて、過去の事例もふまえて審議した。

白色に呈色した部分の境界におけるコンクリート中の塩化物イオン濃度について、He ら[2]は各研究者らが測定した結果を取りまとめている。0.1 mol/L の硝酸銀溶液を噴霧した場合、同境界におけるコンクリート中の自由塩化物イオン濃度は単位結合材量の 0.1 %～1.7 %、全塩化物イオン濃度は 0.2 %～1.0 %になると報じている。これらの値を単位結合材量 300 kg/m³ のコンクリートにあてはめれば、自由塩化物イオン量は 0.3 kg/m³～5.1 kg/m³、全塩化物イオン量は 0.6 kg/m³～3.0 kg/m³となる。一方、同境界での鋼材の腐食状態について、Otsuki ら[1]はモルタルの中心に丸鋼を埋め込んだ供試体を作製し、それらを塩水に浸せきしたのち、断面に 0.1 mol/L 硝酸銀溶液を噴霧して、白色に呈色した部分内にある丸鋼の自然電位を測定している。その結果、丸鋼の不動態は約 50 %の確率で失われていたと報じている。

ただし、以上の結果は噴霧法の実施手順が標準化されていない状況下で得られたものであり、この規格のもとで試験した場合の結果と一致する確証はない。近年、この規格のもとで試験した場合の結果が幾つか報告されている。0.1 mol/L 硝酸銀溶液を試験面にやや浮くぐらいの量で噴霧し、その後、60 分間静置し

た場合、白色に呈色した部分の境界におけるコンクリート中の全塩化物イオン量は $2 \text{ kg/m}^3 \sim 4 \text{ kg/m}^3$ であるとする実験結果が報告されている[10][11]。また、白色に呈色した部分の境界が鉄筋表面を $3 \text{ mm} \sim 7 \text{ mm}$ 通過した時点で鉄筋の腐食が開始されとする実験結果も報告されている[11]。ただし、これらの結果は常時塩水に浸せきされていたようなコンクリートでの結果である。

4 適用範囲

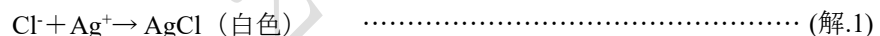
この規格の適用範囲は、塩化物イオンが外部から浸透した硬化コンクリートに限定される。内部に均等な量の塩化物イオンが含まれているコンクリート、例えば、除塩が不十分な海砂を使用したコンクリート、研究用として練混ぜ時に塩化物イオンを混入したコンクリートなどでは、白色に呈色する部分が現れたとしてもそれが試験面全体にわたると考えられるため、この規格を適用することはできない。

5 試験方法の原理

塩化物イオンが外部から浸透したコンクリートの断面に硝酸銀溶液を噴霧すると、一定量以上の塩化物イオンが含まれる部分が白色に呈色する。これを一定時間静置した後、塩化物イオンが浸透してくる面から白色に呈色した部分の深さを塩化物イオン浸透深さとして測定することが、噴霧法の概略である。

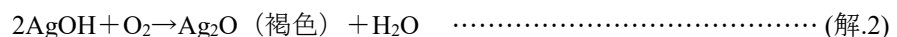
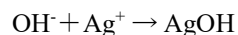
以下、噴霧法の原理について解説する。

- a) **白色に呈色する理由** 断面上が白色に呈色する理由は、コンクリートの細孔溶液中に溶解している塩化物イオン (Cl^-) と硝酸銀溶液の噴霧によってもたらされる銀イオン (Ag^+) とが結合して、白色の塩化銀 (AgCl) が生じることである。この反応を式(解.1)に示す[1][2]。

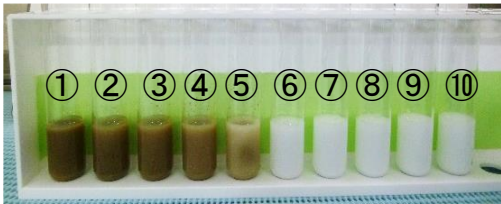


ここで、コンクリートの中性化や pH の低下が進んでいなければ、白色に呈色する部分と同時に褐色に呈色する部分が現れる。塩化物イオン浸透深さの用語の定義上、重要なのは白色に呈色した部分であり、他の部分が何色に呈色しようと（呈色しなくとも）試験結果に変化はない。しかし実際には、白色に呈色した部分と褐色に呈色した部分との境界を、白色に呈色した部分の境界とする事例が多いと考えられる。よって、褐色に呈色する理由についても説明を加える。

- b) **褐色に呈色する理由** 断面上が褐色に呈色する理由は、コンクリートの細孔溶液中に溶解している水酸化物イオン (OH^-) と銀イオン (Ag^+) とが結合して水酸化銀 (AgOH) が生成されるが、これは熱的に不安定であるため、すぐに酸素 (O_2) と結合して、褐色の酸化銀 (Ag_2O) となることである。この反応を式(解.2)に示す[1][2]。



- c) **両部分が明確な境界をもつ理由** 白色の部分と褐色の部分の境界が明確な境界をもつ理由を、次の検討例にもとづき解説する。



解説図 4－試験管中での溶液の反応

解説表 1－試験管①～⑩の溶液の構成[3]

試験管 No.	0.1 mol/L NaOH (mL)	0.1 mol/L NaCl (mL)	H ₂ O (mL)	溶液の 合計 (mL)	0.1 mol/L AgNO ₃ (mL)
①	2.0	0.0	3.6	5.6	2.0
②	2.0	0.4	3.2	5.6	2.0
③	2.0	0.8	2.8	5.6	2.0
④	2.0	1.2	2.4	5.6	2.0
⑤	2.0	1.6	2.0	5.6	2.0
⑥	2.0	2.0	1.6	5.6	2.0
⑦	2.0	2.4	1.2	5.6	2.0
⑧	2.0	2.8	0.8	5.6	2.0
⑨	2.0	3.2	0.4	5.6	2.0
⑩	2.0	3.6	0.0	5.6	2.0

1) 検討概要

解説図 4 は、解説表 1 に示すように、試験管①～⑩に 0.1 mol/L の NaOH 水溶液を 2.0 mL ずつ入れておき、そこに 0.1 mol/L の NaCl 水溶液を 0.4 mL 刻みで加え、全ての試験管における液量が 5.6 mL となるように精製水を加えたものに、0.1 mol/L の AgNO₃ 溶液を 2.0 mL 滴下したあとの様子である[3]。試験管中の NaOH 水溶液をコンクリート中の細孔溶液に見立てれば、解説図 4 は段階的な塩化物イオン量をもつ細孔溶液中に一定量の硝酸銀溶液を与えた状況にあてはまる。結果、試験管①～⑩中の溶液は白色に呈色したものと褐色に呈色したものとに分かれ、その境界が⑤と⑥の試験管の間にあることが確認できる。この結果から、白色の部分と褐色の部分が明瞭な境界をもつ理由として、次の二つが考えられる。

2) 白色の部分が均等な明度をもつ

⑩～⑥の試験管内の溶液の色は、純粋な白色である。⑩～⑦の試験管内の溶液には、塩化物イオンよりも少ないとはいえ水酸化物イオンがある程度混入されていたが、褐色の酸化銀が生じた様子はない。⑥の試験管内の溶液に至っては塩化物イオンと同量の水酸化物イオンが混入されていたにもかかわらず、同じ結果である。このことは、試験管内の溶液中において銀イオンが塩化物イオンと優先的に結合したことを示している[3][21]。このことをコンクリートの断面上で考えてみる。

硝酸銀溶液の噴霧によって細孔溶液中に到達した銀イオンは、そこに溶解している塩化物イオンと優先的に結合して、白色の塩化銀となる。この反応は細孔溶液中の塩化物イオンが尽きるまで続くため、細孔溶液中に到達した銀イオン量と同量以上の塩化物イオン量が溶解している部分では、つねに一定量の塩化銀が生成される[3]。したがって、白色の部分は塩化物イオン量の多少にかかわらず均等な明度をもつ。塩化物イオン量の多少に応じて白色の明度に変化するのならば、白色の部

分の境界は明確になりにくいと考えられるが、部分全体が均等な明度をもつために境界が明確になりやすいと考えられる。

3) 褐色の酸化銀が少量でも生じると、生成物全体の色が褐色に偏る

次に、⑤の試験管中の溶液の色に注目する。その色はやや白色が混じってはいるが、褐色に偏っているように見える。もとの溶液の構成は、NaOH 溶液 2.0 mL に対して NaCl 溶液 1.6 mL と、NaOH 溶液の量が 0.4 mL だけ多い。つまり、その分だけ水酸化物イオン量が多い。ただし、反応の優先度から考えれば、滴下した 2.0 mL の硝酸銀溶液に含まれていた銀イオンのうち 1.6 mL 分は塩化物イオンと優先的に結合したと考えられ、残る 0.4 mL 分が水酸化物イオンと結合したと考えられる。よって、生成物全体のうち約 80 % は白色の塩化銀に占められていると考えられる。しかし、生成物全体の色は褐色に偏っている。このことは、生成物全体に占める白色の塩化銀の割合が大きくても、褐色の酸化銀が少量でも混じると、生成物全体の色が褐色に偏ることを示唆している[3][21]。これをコンクリートの断面上で考えれば、噴霧によって細孔溶液中に到達した銀イオン量が、細孔溶液中に溶解していた塩化物イオン量を少しでも上回れば、少量ながら酸化銀が生じる。ただし、それが生成物全体の色を褐色に偏らせるため、あたかも白色から褐色に急激に変色したように見える。

上記の 2), 3) の理由が複合した結果として、白色の部分と褐色の部分は明確な境界をもつと考えられる。つまり、細孔溶液中に到達した銀イオン量と同量以上の塩化物イオン量が溶解している部分は、その境界まで均等な明度をもつ白色に呈色する。一方、細孔溶液中に到達した銀イオン量が溶解している塩化物イオン量を少しでも上回る部分は、褐色の酸化銀が生成物全体の色を褐色に偏らせるため、褐色に呈色する。その結果、“均等な白色の部分から、急激に褐色の部分に変わる”ことになり、双方の部分の境界が明確になるものと考えられる。

6 規定項目の内容

6.1 試験技術者（箇条 5）

噴霧法を行うに当たっては、構造物からコア供試体を採取したり、それを割裂・切断したりしなければならない。また、コンクリートの化学的特性についても一定の知識をもっている必要がある。そのため、試験技術者はコンクリート材料、コンクリート構造に関する知識をもっていることが必要であり、技術士（鋼及びコンクリート）、一級又は二級建築士、1 級又は 2 級土木又は建築施工管理技士、コンクリート診断士、コンクリート技士・主任技士などの資格をもっていることが望ましい。また、硝酸銀溶液だけでなくフェノールフタレイン溶液も使用し、コンクリートとの反応による変色を確認することから、化学薬品の取り扱い及びコンクリートとの化学反応に関する知識も必要であり、解説の**箇条 5** 及び **JIS A 1154** を理解していることが望ましい。さらに、硝酸銀溶液及びフェノールフタレイン溶液の噴霧による試験面上の変色を識別できる能力が必要である。

なお、変色の識別能力については **NDIS 3413**（非破壊検査技術者の視力、色覚及び聴力の試験方法）などを参考にするとよい。

6.2 硝酸銀溶液（箇条 7）

噴霧法に用いる硝酸銀溶液の濃度は 0.1 mol/L である。その理由は解説 **3.4** でも述べたように、過去及び現存の規格でも 0.1 mol/L が標準的に使用されていること、呈色も明瞭であること、白色に呈色した部分の境界における塩化物イオン量が設計上の鋼材腐食発生限界濃度に近く、塩化物イオン浸透深さ測定方法としてのこの規格の利用価値が高まると考えられたことである。

なお、0.1 mol/L 硝酸銀溶液の **SDS** が、各薬品製造業者のウェブサイトなどにも掲載されている。取扱い

時及び処分時には、その内容を十分に参考にするとい。

6.3 試験面の準備 (8.1)

試験面とは塩化物イオン浸透深さを測定するコンクリートの断面のことであり、具体的には供試体の割裂面、乾式コンクリートカッタでの切断面、又は構造物などのはつり面のことである。

ここで、コア供試体を試験対象とする場合、その側面を試験面にしたいとする要望があると考えられる。しかし、湿式法で採取されたコア供試体の側面では塩化物イオンの分布が採取時の水流によって乱されてしまうこと、乾式法で採取されたコア供試体の側面では採取時の熱負荷によって白色に呈色する部分（塩化銀）が発現しにくくなってしまうことが確認されている[14]。また、採取後のコア供試体の保存状態によっては、側面の中性化が進行して試験結果に影響することも懸念される。よって、コア供試体の側面は試験面に含めないこととした。

なお、試験面の状態によっては、白色に呈色した部分を明確に確認しがたい場合がある。また、微細なひび割れ又は骨材界面における塩化物イオンの浸透状況を把握したい場合もあると考えられる。このような場合には、試験面をデジタルカメラで撮影しておき、のちほど、画像の明るさとコントラストを調整して白色に呈色した部分を判別することが有効とされている[22]。その際には、乾式コンクリートカッタでの切断面が適するという指摘がある[2]。

なお、**解説図 5**にあるように、白色に呈色した部分が現れる位置は割裂面と乾式コンクリートカッタでの切断面とで一致することが確かめられている[14]。



解説図 5—割裂面と乾式カッタでの切断面とで白色に呈色した部分の末端が一致している様子

6.4 中性化深さの確認 (8.2)

中性化深さを確認する目的は、解説 3.6 で述べたように、試験面に硝酸銀溶液を噴霧した後、中性化によってコンクリートの地色のままとなる部分を塩化物イオンの浸透によって白色に呈色した部分と見間違えないようにすることである。このことは、規格本文中にも注記されている。

なお、規格本文中、中性化深さの確認は本文の 8.2 に示されていることから、~~本文の 8.3~~ に示される塩化物イオン浸透深さの測定以前に行っておくべき作業とも受け取れる。しかし、上述の目的に鑑みれば、この作業を実施する理想的なタイミングは、塩化物イオン浸透深さ測定において試験面に硝酸銀溶液を噴霧する直前である。このことも規格本文中に注記されている。

6.5 塩化物イオン浸透深さの測定 (8.3)

塩化物イオン浸透深さの測定に関しては、次のとおり **a)** 硝酸銀溶液の噴霧前, **b)** 硝酸銀溶液の噴霧時,

c) 硝酸銀溶液の噴霧後、d) 定規などによる塩化物イオン浸透深さの測定、の4段階に分けて解説する。

a) **硝酸銀溶液の噴霧前** 試験面に海水飛沫、雨が当たることを避けるべきは当然だが、注意すべき点として、日光が直接当たることを避けるべきである。硝酸銀溶液の噴霧後に白色に呈色した部分に紫外線が当たると、塩化銀が光分解され同部分が黒ずんでくる。実際には同部分が多少黒ずんだとしても、確認する際の支障になることはほとんどなく、むしろ、同部分の境界を確認しやすくなるという研究報告もある[15][16]。しかし、コンクリートの地色によっては必ずしもそうならない場合もあるので、上記のように規定している。

なお、日光が直接当たらない室内であれば、特に問題なく試験を実施することができる。

試験面を水平に保つことは、試験結果の安定性を得るために重要である。乾式カッタでの切断で得られた試験面は平滑なため、試験面の僅かな傾きが噴霧された硝酸銀溶液の偏りを生じさせる原因となる。一方、割裂で得られた試験面では、傾きによる偏りは生じにくい、破片の残留又は試験面の凹凸によって、硝酸銀溶液が掛かりにくい箇所又は液溜まりが生じやすい。解説の**箇条5**でも記されていたように、白色に呈色した部分が現れる位置を左右するのは細孔溶液中に到達する銀イオンの量である。試験面上で硝酸銀溶液の量が偏ったり、液溜まりになったりすることは、試験結果を変動させる原因になりうることを留意しておく必要がある。

なお、構造物などのはつり面は、試験面の一つに挙げられているが、試験を実施においては注意が必要である。試験面が天井側、又は、側方側になる場合には、硝酸銀溶液を均等に噴霧することが難しいと考えられる。また、試験中、硝酸銀溶液が周辺に拡散・流下しないように注意することはもちろんだが、硝酸銀溶液自体が日光を受けることで黒ずむため、構造物の他の部分に付着すると構造物が汚れてしまうことにも注意が必要である。

b) **硝酸銀溶液の噴霧時** 硝酸銀溶液の噴霧量は、試験面にやや浮くくらい（噴霧直後、試験面に僅かに水光がある状態）を適量としている。硝酸銀溶液の噴霧量は白色に呈色する部分が現れる位置に、つまり、塩化物イオン浸透深さの測定結果に直接に影響する[2]。それにもかかわらずこのような曖昧な規定にとどめている理由は、解説の**3.5**に述べたとおり、噴霧法の簡易性を確保することである。

なお、硝酸銀溶液の噴霧量が多くなると白色に呈色する部分が浅くなりやすく、少なくなると深くなりやすい[11]。解説の**箇条5**にも述べたが、白色に呈色する部分が現れる位置は、理論的には、コンクリートの細孔溶液中に溶解している塩化物イオン量とそこまで到達した銀イオン量とが等量になる位置になると考えられる。硝酸銀溶液の噴霧量が増減すると、細孔溶液中まで到達する銀イオンの量も増減し、それと等量となる塩化物イオンの量も増減するため、このような結果になると考えられる[3]。

研究などのために塩水に浸せきし続けていた供試体などでは、試験面に硝酸銀溶液を噴霧した直後に白色に呈色する部分が明確に現れる。しかし、構造物から採取されたコア供試体などでは、白色に呈色する部分が現れにくい、若しくは、現れるとしても時間がかかり、かつ、白色に呈色する部分が想定以上に浅い位置にとどまることがある（褐色に呈色する部分の方が現れやすい）。この原因の多くは、コンクリートの乾燥にあると考えられる。乾燥によって細孔溶液量が不足しているため、その中に塩化物イオンが十分に溶け出せていないと考えられる[2][15][23]。

この問題の対策として、委員会では、試験面が乾いている場合には硝酸銀溶液を噴霧する前に蒸留水又は精製水を繰り返し噴霧し、試験面が数分間以上は乾燥していない状態を保つことを確認してから、硝酸銀溶液を噴霧する方法が検討された。この対策は本文中にも規定されている。ただし、これによる効果は十分とならない場合もある。これは、蒸留水又は精製水を数回繰り返して噴霧した程度では細孔溶液量が十分に回復していないか、回復していてもその中に塩化物イオンが溶け出すまでの時間を確保できていないためだと考えられる[23]。

c) **硝酸銀溶液の噴霧後** この規格では、硝酸銀溶液を噴霧した後、試験面を 60 分静置した後に定規などで塩化物イオン浸透深さの測定を行うことになっている。噴霧後に試験面を静置する理由は、解説 3.7 でも述べたように、白色に呈色した部分が時間の経過とともに拡大する現象の収束を待つためである。また、60 分とはそれがおおむね達成されると見込まれる時間である[10][14]。

ただし、規格本文中には、試験の目的に応じて試験面を静置する時間を変更してよいが、15 分以上とするとも記されている。この理由は、解説 3.7 で述べたように、NT BUILD 492 及び AASHTOT 357 との関連性を考慮したことにある。両規格の内容はほぼ同様であり、塩化物イオンを強制的に浸透させた供試体の断面に 0.1 mol/L の硝酸銀溶液を噴霧してから、約 15 分後に白色に呈色した部分の境界までの深さを測定することが規定されている。この規格がこれら規格の一部として利用される場合を想定して、上述の一文を記してある。

d) **定規などによる塩化物イオン浸透深さの測定** 定規などで塩化物イオン浸透深さを測定する手順は、基本的に、JISA 1152 “コンクリートの中性化深さの測定方法” に準じている。測定単位の設定、平均値と最大値を測定すること、粗骨材粒子又はその抜けがあった場合の対処方法、曖昧に呈色した部分の取り扱いなども同様としている。

ただし、噴霧法で白色に呈色した部分の明確さは、中性化深さ測定で赤紫色に呈色した部分のそれに比べて劣る場合がある。特に、実構造物から採取されたコア供試体などで劣る場合が多い。この場合には、試験面をデジタルカメラで撮影し、その画像をもとに、白色に呈色した部分を確認することが有効だと考えられる[22]。具体的には、撮影の際、又は、撮影した画像を確認する際に画像のコントラストを強調することで、白色に呈色した部分が明確になりやすくなる。撮影の際に寸法を特定できるもの（透明な定規など）を同時に画像中に収めておけば、それをもとに、塩化物イオン浸透深さを画像上で正確に測定することも可能である。

なお、測定に際しては、解説 3.6 及び 6.4 で述べたように、試験面に中性化部分がある場合、試験面全体の pH が低下している場合などに注意する必要がある。特に、中性化のためにコンクリートの色のままになっている部分を塩化物イオンの浸透によって白色に呈色した部分と見間違えやすいことについては、再三になるが、注意が必要である。

7 懸案事項

7.1 コンクリートが乾燥していることへの対処

解説 6.5 に述べたが、コンクリートが乾燥していると、細孔溶液量が不足し、そこに塩化物イオンが十分に溶け出せずにいるため、硝酸銀溶液を噴霧しても白色に呈色する部分がなかなか現れてこないことがある。この問題の対策として硝酸銀溶液を噴霧する直前に蒸留水又は精製水を繰り返し噴霧する方法について検討し、また、そのことを規格本文中にも規定したが、十分な効果が得られない場合がある。他に考えられる対策としては、噴霧する蒸留水又は精製水の温度を上げる、分レベルではなく数時間以上のレベルで蒸留水や精製水を与え続けることなどが考えられるが、いずれも、試験結果の変動及び試験時間の増大を招きやすいと考えられる。よりよい対策について検討する必要がある。

7.2 硝酸銀溶液の噴霧量

解説 3.5 及び 6.5 でも述べたが、硝酸銀溶液の噴霧量は白色に呈色する部分が現れる位置に、つまり、塩化物イオン浸透深さの測定結果に直接に影響する。この規格ではこれを、“溶液が試験面にやや浮くくらいを適量とする”と規定しているが、曖昧な表現といえる。それは噴霧法の最大の特長といえる簡易性の確保を重視したためだが、できれば、簡易性を大きく損なわずに一定の噴霧量を与えられる噴霧方法が確立されることが望ましい。一方、やはり簡易性の確保にこだわるとすれば、現行の表現のもとで、試験結果

にどの程度の個人間誤差が生じるのかを把握することも重要と考えられる[24]。

7.3 試験面を静置する時間の短縮化

解説 3.7 及び 6.5 でも述べたが、この規格では硝酸銀溶液を噴霧した後、試験面を 60 分静置することとなっている。これは、白色に呈色した部分が時間の経過に伴って深さ方向へと拡大していく現象の収束を待たねば、60 分という時間は長く感じられる。試験面をドライヤで乾燥させることなどで静置時間を短縮できないか、検討する必要がある[10]。

7.4 白色に呈色する部分の境界における塩化物イオン量と鋼材腐食との関係に関する試験結果の蓄積

解説 3.8 で述べたが、噴霧法において、白色に呈色した部分の境界での塩化物イオン量と鋼材腐食との関係が明確になっていなければ、その結果から得られる知見は有益なものになりにくい。過去に多くの研究者らがこれらを明らかにしようと検討を重ねてきたが、試験方法の標準化がなされていなかったために、統一的な結果を得られてこなかった。その意味で、上述の検討課題は残されているとはいえ、試験の詳細な方法を標準化したこの規格の意義は大きいと考えられる。今後は、この規格を適用したうえでの試験結果の蓄積が課題となる。既に何例かの試験結果が取得されているが[10][11][24]、結合材の種類が変化した場合、実構造物から採取された供試体の試験結果の蓄積などが課題になると考えられる。

7.5 ドリル削孔粉を用いる方法

この規格では実構造物から採取されたコア供試体も試験対象に含まれているが、実際にコアを採取するとなるとやや大掛かりな準備及び作業が必要になる。NDIS 3419 “ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法”が規格化された背景もそこにあり、同じように考えれば、ドリル削孔粉を試料とし、硝酸銀溶液を用いて塩化物イオンの浸透深さを測定できないかという発想が生まれる。既に、この方法に関する検討[25][26]が進められており、今後、この規格との関係をふまえたうえで、何らかの形で規格化されていくことが期待される。

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, 1992.10
- [2] Fuqiang He, et. al.: AgNO₃-based colorimetric methods for measurement of chloride penetration in concrete, Construction and Building Materials, Vol.26, pp.1-8, 2012
- [3] 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, 日本非破壊検査協会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
- [4] Locher FW et.al. : Einwirkung von salzsäurehaltigen PVC-Brandgasen auf Beton (in German), Beton 20, pp.99-104, 1970
- [5] 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
- [6] Maultzsch M : Concrete related effects on chloride diffusion (in German), Contribution to Int. coll. Chloride Corrosion, Vienna, Feb.22-23, BAMAmts- und. Mitteilungsblatt 13(3), pp.387-389, 1983
- [7] L.V.Real et al. : AgNO₃ spray method for measurement of chloride penetration, ALCONPAT Journal, Vol.5-2, pp.141-151, 2015.8

- [8] 土木学会編：2017 年度制定コンクリート標準示方書【設計編】
- [9] 澤本武博，川俣孝治，青木優介，森濱和正：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関するアンケート調査，コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文，Vol.6，pp.1-4，2018.8
- [10] 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，日本非破壊検査協会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
- [11] 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，No.1，pp.731-736，2019.7
- [12] 青木優介，佐藤一也，嶋野慶次：硝酸銀溶液噴霧法の諸条件の変化による影響と鋼材腐食原因推定方法としての実用性に関する考察，コンクリート工学年次論文集，第 34 巻，No.1，pp.832-837，2012.7
- [13] 青木優介，澤本武博，森濱和正，川俣孝治：硝酸銀溶液の噴霧による硬化コンクリートの塩化物イオン浸透深さ試験方法，コンクリートの性能評価試験の合理化・省力化に関するシンポジウム論文集 p.299-304，2019.9
- [14] 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
- [15] Schoeppel K. et al. : Indication of free chloride ions on concrete surfaces by the UV-test, Betonwerk Fertigteil-Tech, Vol.54, No.11, pp.80-85, 1988.11
- [16] 大濱嘉彦，出村克宣，佐藤和弘，市川雅己：紫外線照射による硬化モルタルにおける塩素イオンの検知，Proceedings of the Japan Congress on Materials Research, Vol.34, pp.183-192, 1991
- [17] L.Coppola, et. al. : Proposta di modifica della norma UNI 7928 per una estensione alle prove in sito, L'Industria italiana del Cemento, N.691, 1994.9
- [18] Myung-Yu Kim et.al. : Application of the colorimetric method to chloride diffusion evaluation in concrete structures, Construction and Building Materials, Vol.41, pp.239-245, 2013
- [19] NT BUILD 492 chloride migration coefficient from non-steady state migration experiments, 1999
- [20] AASHTO T357 Predicting Chloride Penetration of Hydraulic Cement Concrete by the Rapid Migration Procedure, 2019
- [21] Qiang Yuan et.al. : Effect of hydroxyl ions on chloride penetration depth measurement using the colorimetric method, Cement and Concrete Research, vol.38, pp.1117-1180, 2008
- [22] Panthawit Watanasrisin et.al : Three colorimetric methods for evaluating chloride penetration of cracked and coated concrete, International Conference on Chemical, Civil and Environmental Engineering (CCEE' 2014), pp.26-30, 2014
- [23] 麻生舜也，天野誠次郎，青木優介，澤本武博：コンクリートの含水状態が硝酸銀溶液噴霧法の結果に及ぼす影響，第 35 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，pp.318-322，2017.11
- [24] 大橋夏樹，三澤恵太，青木優介：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，コンクリート工学年次論文集，第 42 巻，No.1，pp.1564-1569，2020.7
- [25] 油田航平，澤本武博，青木優介，地頭菌博，舌間 孝一郎：硬化コンクリートの塩化物イオン浸透深さ簡易測定方法に関する研究ードリル法の測定値に及ぼす各種要因ー，日本非破壊検査協会 RC 部門シンポジウム，pp.37-40，2014.10
- [26] 澤本武博，青木優介，舌間孝一郎，川俣孝治：ドリル削孔粉と硝酸銀溶液を用いた硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易測定方法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，第 39 巻，No.1，

665 pp.1939-1944, 2017.7

666

Pubcome 2020/12/21迄