

報告 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

Questionnaire study on measurement for penetration depth of chloride ions into hardened concrete by spraying AgNO_3 solution

○澤本 武博^{*1}・川俣 孝治^{*2}・青木 優介^{*3}・森濱 和正^{*1}

Takehiro SAWAMOTO, Koji KAWAMATA, Yusuke AOKI and Kazumasa MORIHAMA

要旨：本報告では、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して、実務経験者にアンケート調査を行い、現状と課題を明らかにした。アンケート結果および既往の文献から、試料の乾湿の状態、硝酸銀溶液の濃度および噴霧量、併用する試薬、変色境界を測定するまでの時間、試料の中性化など様々な要因で変色境界の見やすさ、また変色境界の現れる位置が異なるため、明確な基準を示す必要がある。

キーワード：コンクリート、塩化物イオン浸透深さ、硝酸銀溶液、変色境界、噴霧

1. はじめに

コンクリートの塩化物イオンの浸透深さを手早く測定するために、**図-1**のように試料の断面に硝酸銀溶液を噴霧し、断面に現われる白色域と褐色域の境界（変色境界）までの深さを測定する方法が国内外で利用されている^{1),2),3),4),5)}。

硝酸銀溶液を用いた比色法が開発されたのは1970年のイタリア、Collepari氏によるもので、1978年にイタリア規格 UNI 7928 として制定された。UNI 7928 は不確定要素が多いとされ2000年に廃止となったが、北欧規格 NT BUILD 492、国内では JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」や土木学会規準 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）」などの一部に記載がある。しかし、試験方法が統一されておらず、また試験手順を明確に示したものはない。

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の測定は、これまでの研究から、試料の乾湿の状態、硝酸銀溶液の濃度および噴霧量、併用する試薬、変色境界を測定するまでの時間、試料の中性化など様々な要因で変色境界の見やすさ、また変色境界の現れる位置が異なることが分かっているため^{3),4),5)}、明確な基準を示す必要がある。

本報告では、実務経験者にアンケート調査を行い、現状と課題を明らかにしたうえで、試験方法の基準を作成するデータを得ることを目的としている。

2. アンケート調査概要

アンケートは、2017年7月上旬から下旬にかけて硝酸銀溶液噴霧による方法を行ったことのある技術者25名および行ったことのない技術者9名に対して行った。調査機関は、試験機関、コンサルタント、建設会社、大学とした。なお、回答は複数回答可とした。アンケート調査には、(一社)日本非破壊検査協会「NDIS 3437 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 WG」の協力を得た。

3. アンケート調査結果

試験方法に関するアンケート調査結果を**図-2**に示す。使用目的としては「材料評価」が最も多く、次に「分析に当たりを付ける」の順になっている。また、「鉄筋位置における塩化物イオンの浸透状況」を調べる目的

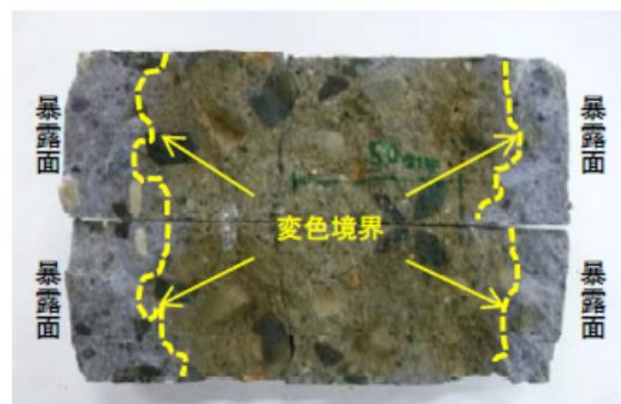


図-1 硝酸銀溶液を噴霧したコア割裂面

*1 ものつくり大学 技能工芸学部建設学科

*2 株式会社中研コンサルタント

*3 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科

Dept. of Building, Institute of Technologists

CHUKEN CONSULTANT Co.,Ltd.

Dept. of Civil and Environmental Eng., N.I.T. Kisarazu College

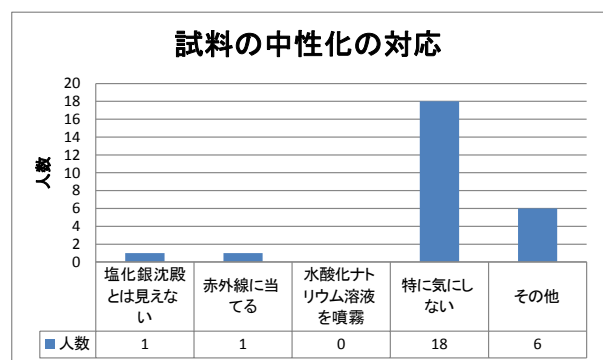
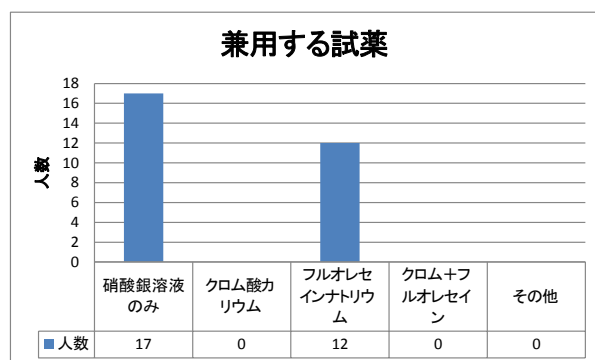
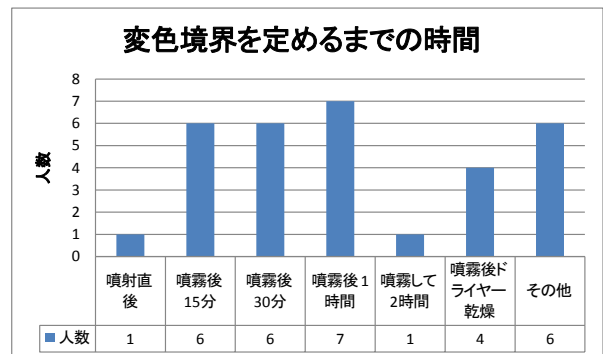
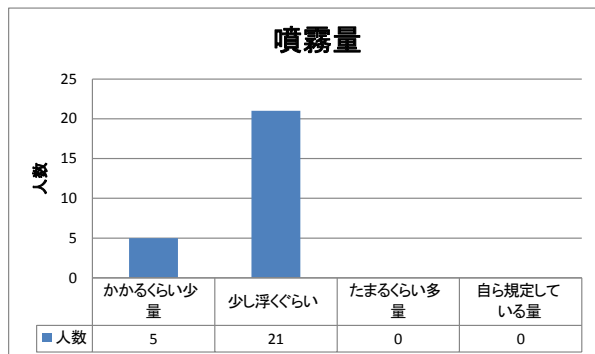
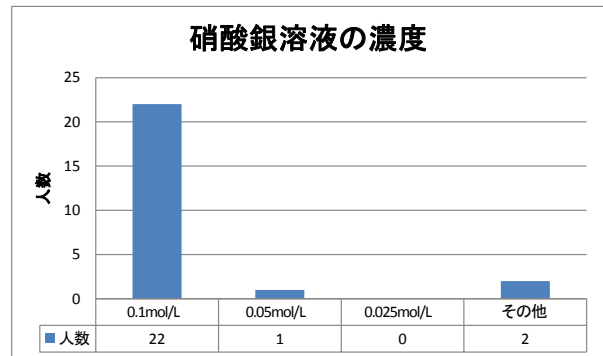
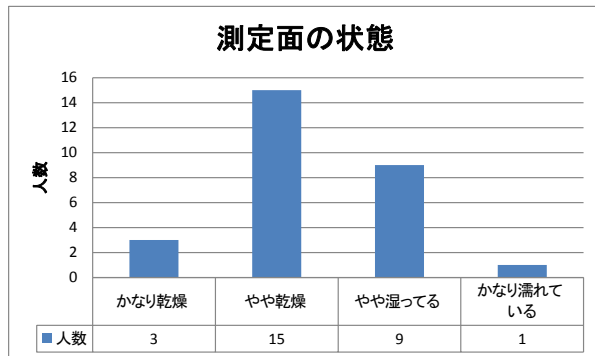
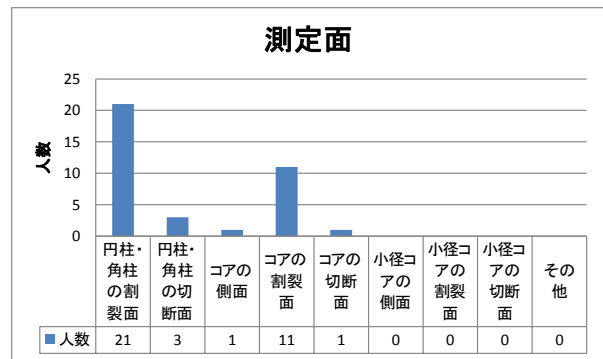
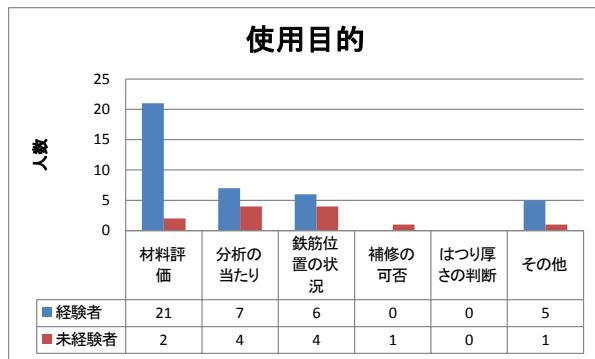


図-2 試験方法に関するアンケート調査結果

でも使用されている。「材料評価」の使用目的が多いことから、供試体を作製し塩水に浸漬させ、「供試体の割裂面」を測定面とする場合が多い。また、現場からコアを採取して「コアの割裂面」を測定面とする場合も見受けられる。測定面の状態は、「やや乾燥している」が多く、続いて「やや湿っている」の順である。測定面が乾燥している場合の事前調整として、蒸留水あるいは精製水を噴霧すると4名の技術者が回答しており、

測定面が乾燥していると発色しにくいという経験から、その対策を講じていると思われる。

測定面に噴霧する硝酸銀溶液は、「0.1mol/L」が圧倒的に多く、溶液の噴霧量は測定面に「少し浮くくらい」が多い。噴霧する硝酸銀溶液の濃度が異なると、変色境界の位置が異なり、溶液の濃度が濃いほど塩化物イオン量の多いところに変色境界が現れるため、溶液の濃度は統一する必要があるが、試験目的によって溶液

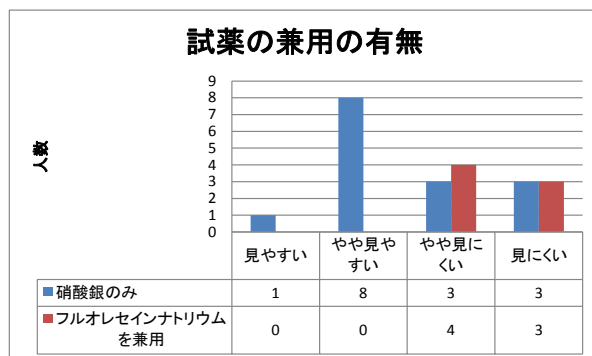
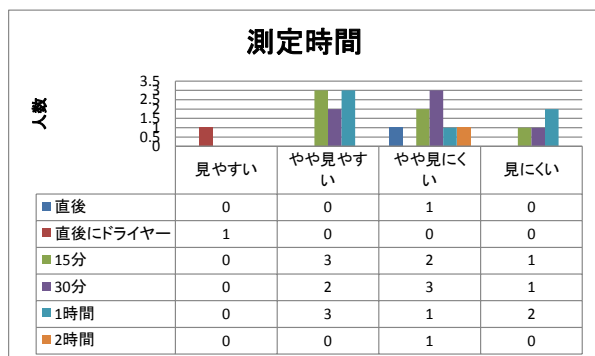
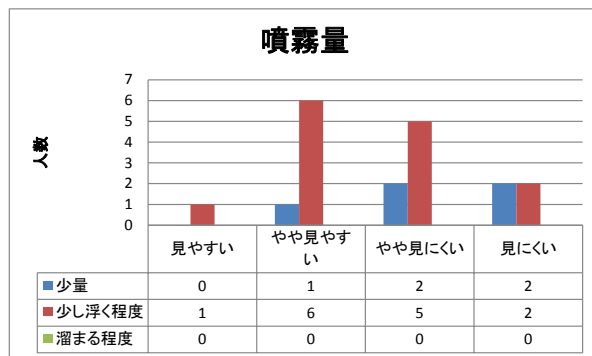
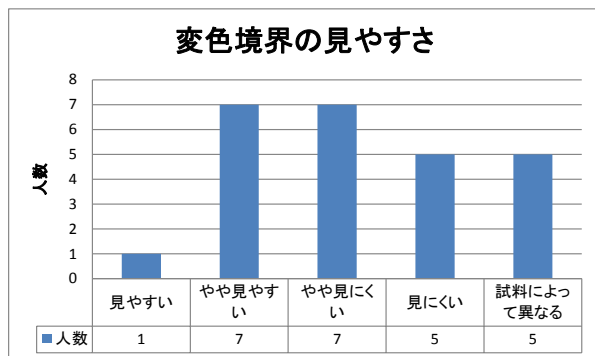


図-3 変色境界の見やすさによる分類

の濃度を変える場合も見受けられる。また、硝酸銀溶液の噴霧量によっても変色境界の現れる位置が異なることが知られており⁵⁾、噴霧量も極力統一する必要がある。

変色境界を定めるまでの時間はまちまちではあるが、噴霧後概ね「15分から1時間」の間に行っている。噴霧後「ドライヤーで乾燥」させる場合も見受けられる。

併用する試薬については、「フルオレセインナトリウム」を噴霧するケースが多く見られ、JIS A 1171に規定されていることが影響していると考えられる。しかし、「硝酸銀溶液のみ」用いるケースが最も多い。

試料が中性化している場合については、「特に気にしない」という回答がもっとも多く、中性化の対応はほとんどなされていない。試料が中性化していると、中性化部分の水酸化イオンが減少しているため、酸化銀による褐色沈殿が現れず無色のまま（コンクリートの色に見える）であり、塩化物イオンが浸透していなくても、中性化領域を境に変色境界が生じ、塩化物イオン浸透深さと見間違えることがある。そのため、何らかの対応策が必要になると考えられる。

「塩化銀沈殿とは見えない」と回答した技術者1名は、変色境界が塩化銀沈殿によるものか、中性化によるものかを判断できるようであるが、かなりの熟練を要すると考えられる。「紫外線に当てる」と回答した技術者も1名おり、塩化銀の光分解による変色（白色からダークグレイに変色）から塩化銀沈殿を確認する場合も見受けられた。

今回のアンケート調査では「水酸化ナトリウム溶液を噴霧」と回答した技術者はいなかったが、海外の文献では、試料が中性化している場合の対策として事前に水酸化ナトリウム溶液を噴霧する方法が検討されており⁴⁾、有効な手段になる可能性がある。

4. 変色境界の見やすさによる分類

変色境界の見やすさによる分類を図-3に示す。測定面に現れる白色域と褐色域の境界は、「やや見にくい」または「見にくい」との回答も多く、測定方法の違いによって、変色境界が見にくくなることもある。そのため、条件別に分類してみると、硝酸銀溶液の噴霧量については、噴霧量が少量であるとやや見にくいまたは見にくいが多く、噴霧量はやや多めの方がよいと考えられる。しかし、噴霧量が多すぎると変色境界の現れる位置に影響を及ぼす恐れがあるため注意が必要である。一方、変色境界の見やすさに及ぼす変色境界を判定するまでの時間による影響は小さい。試薬の併用の有無については、フルオレセインナトリウムを併用すると変色境界は見にくくなり、硝酸銀溶液のみの方が見やすくなる回答が多く、海外の論文に示されている内容と同じ傾向にあった³⁾。

5. まとめ

実務経験者にアンケート調査を行った結果、以下の(1)~(6)の現状と課題が明らかになった。

- (1) 試薬としての硝酸銀溶液の濃度は0.1mol/Lが圧倒的に多い。
- (2) 硝酸銀溶液の噴霧量が少ないと変色境界は見えにくくなるため、測定面に溶液がやや浮くくらいは噴霧する必要がある。
- (3) 測定面が乾燥している場合には、硝酸銀溶液を噴霧する前に蒸留水あるいは精製水を噴霧する必要がある。
- (4) 変色境界を判定するまでの時間は、溶液噴霧後15分から1時間の間が多い。
- (5) 試薬としてフルオレセインナトリウムを併用せずに、硝酸銀溶液のみ噴霧の方が変色境界を判定しやすい。
- (6) 試料が中性化している場合の対応がほとんどなされていないため、対応策を検討する必要がある。

謝辞

本報告を行うにあたり、(一社)日本非破壊検査協会「NDIS 3437 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 WG」の皆様、ならびにアンケートに回答して頂きました皆様に多大なご協力を賜りました。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) Nobuaki Otsuki, Shigeyoshi Nagataki, Kenji Nakashita: Evaluation of AgNO₃ Solution Spray Method for Measurement of Chloride Penetration into Hardened Cementitious Matrix Materials, ACI Material Journal / November-December, Title no.89-M64, pp.587-592, 1992
- 2) 大即信明：硝酸銀噴霧法によるセメント硬化体の塩化物イオンの意味，東京工業大学土木工学科研究報告，No.42，pp.11-18，1990.12
- 3) Fuqiang He, Caijun Shi, Qiang Yuan, Changping Chen, Keren Zheng : AgNO₃-based colorimetric methods for measurement of chloride penetration in concrete Construction and Building Materials, Volume 26, Issue 1, January, pp.1-8, 2012.1
- 4) M. Collepardi : Quick method to determine free and bound chlorides in concrete, RILEM International Workshop on Chloride penetration into concrete, Saint Remy-les-Chevreuse, pp. 10-16, 15-18 October, 1995
- 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