

論文 Article

ドリル削孔粉を用いた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
—硝酸銀溶液の変色境界と塩化物イオン量の関係—

原稿受付 2016年8月31日

ものつくり大学紀要 第7号 (2016) 20~25

日毛沙紀^{*1}, 澤本武博^{*2}, 川俣孝治^{*3}^{*1} ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 学部生^{*2} ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*3} 株式会社中研コンサルタントSimple Test for Measurement of Chloride Ion Penetration Depth
of Hardened Concrete with Drilling Powder
—Relation between Discolored Boundary of AgNO₃ Solution and Content of Chloride Ion—Saki HIKE^{*1}, Takehiro SAWAMOTO^{*2} and Koji KAWAMATA^{*3}^{*1} Undergraduate, Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*3} Chuken Consultant Co., Ltd.

Abstract

We have been developed the simple test to measure chloride ion penetration depth of concrete by using drilling powder and AgNO₃ solution. When the drilling powder each depth of concrete was combined with the AgNO₃ solution, it discolored three varieties of color, and they were light gray, light brown and dark brown. In other words, two discolored boundary appeared. One was discoloration from light gray to light brown (discolored boundary I). The other was discoloration from light brown to dark brown (discolored boundary II). In this study, content of chloride ion at the boundaries were investigated. As a result, total chloride ion at the boundaries tended to become little so that consistency of AgNO₃ solution became thin. When the consistency of AgNO₃ solution was 0.05mol/l, the total chloride ion at the discolored boundary I showed about 6kg/m³, and the discolored boundary II showed about 2kg/m³. When the consistency of AgNO₃ solution was 0.025mol/l, the total chloride ion at the discolored boundary I showed about 3/m³, and the discolored boundary II showed about 1kg/m³.

Key Words : Concrete, Drilling powder, AgNO₃ solution, Content of chloride ion, Penetration depth

1. はじめに

硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオン量の測定には、JIS A 1154 や JCI-SC4, JCI-SC5 がある。これらの試験方法は、塩化物イオン量が的確に求められる一方で、試験方法が煩雑で試験結果を求めるのにもかなりの時間を必要とする。そこ

で、塩化物イオン浸透の程度を、コアの割裂面に硝酸銀溶液を噴霧して浸透深さを求める試験方法が提案されている^{1,2)}。この試験方法は、JIS A 1152 の中性化深さを求める試験方法に似ており、試験方法は簡単であるがコアを採取するなど試料採取には手間がかかる。そのため、著者らは硝酸銀溶液を噴霧する方法を応用して、ドリル削孔粉と硝

Table 1 Mix proportions and test results (Laboratory mixing)

W/C (%)	s/a (%)	Unit content (kg/m ³)						Test results			
		W	C	S1*	S2*	G	Ad**	Slump (cm)	Slump flow (mm)	Air content (%)	Compressive strength (N/mm ²)
60.0	49.4	184	307	435	431	924	C×1.0%	19.0	—	3.7	31.9
50.0	46.8	184	368	395	392	954	C×1.0%	20.0	—	3.9	42.6
40.0	48.4	165	413	416	413	924	C×0.85%	19.5	—	4.8	58.9
30.0	48.0	165	550	402	399	902	C×1.2%	—	520	2.1	87.9

* S1: Product of Kimitsu S2: Product of Kodama
 ** W/C60%~50%: Water-reducing and air-entraining admixture
 ** W/C40%~30%: High-range water-reducing and air-entraining admixture

Table 2 Mix proportions and test results (Factory mixing)

Nominal strength	W/C (%)	s/a (%)	Unit content (kg/m ³)					Test results			
			W	C	S	G*	Ad**	Slump (cm)	Slump flow (mm)	Air content (%)	Compressive strength (N/mm ²)
24	58.5	48.5	181	310	856	919	C×1.2%	16.0	—	3.0	34.1
40	42.0	48.4	170	405	791	935	C×1.0%	20.5	—	4.9	53.6
60	31.0	46.1	170	549	773	851	C×1.4%	—	570	5.0	84.1

*fc24~fc40: Product of Shiriuchimachi fc60: Product of Aisawacho
 **fc24: Water-reducing and air-entraining admixture
 **fc40~fc60: High-range water-reducing and air-entraining admixture

酸銀溶液を直接混合し、その変色境界から塩化物イオン浸透深さを測定する簡易な方法を検討してきた^{3,4,5)}。

本研究では、ドリル削孔粉と硝酸銀溶液を混合した場合の変色境界と塩化物イオン量の関係を検討した。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの配合

実験では、試験室で練り混ぜたコンクリート(以下、試験室練りと呼ぶ)および実機練りのレディーマイクストコンクリート(以下、実機練りと呼ぶ)を使用した。

試験室練りでは、水セメント比を60%~30%と変化させ、セメントに普通ポルトランドセメント、細骨材に千葉県君津市産の砂および埼玉県児玉郡上里町産の砂、粗骨材に東京都青梅市産の碎石(最大寸法20mm)を用いた。また、実機練りでは、呼び強度を24~60(水セメント比58.5%~31%)と変化させて、セメントに普通ポルトランドセメント、細骨材に栃木県栃木市尻内町産山砂、粗骨材には栃木県栃木市尻内町産碎石(呼び強度24と40, 最大寸法20mm)または栃木県佐野市会沢

町産石灰岩碎石(呼び強度60, 最大寸法20mm)を用いた。試験室および実機練りの配合表を、それぞれ表1および表2に示す。

2.2 塩水浸漬試験

コンクリート供試体は150×150×530mmとし、材齢4年まで気中養生した後、供試体の打込み面および底面をエポキシ樹脂でシールし、側面のみを測定面とした。そして、NaCl濃度10%の塩水に1ヶ月間浸漬し、塩水から引き上げ実験室内で2年間乾燥させた。

2.3 試料採取方法

試料採取方法は、ドリル径を20mmとしたハンマドリルを用いて、コンクリート表面から10mmずつ削孔する方法とした。まず、表層から10mmの深さまで削孔して試料を採取し、次に20mmまで削孔しコンクリート表面から10mm~20mmの試料を採取するといった手順である。実験では、最大70mmまで削孔することとした。

2.4 塩化物イオン浸透深さの測定

塩化物イオン浸透深さは、図1に示すようにドリル削孔粉5gと硝酸銀溶液5g(質量比で1対1)を量り容器内で混合し、変色の程度を目視で判定した。なお、この比率は、これまでの研究で最も変色境界を判定しやすい比率である³⁾。また、目

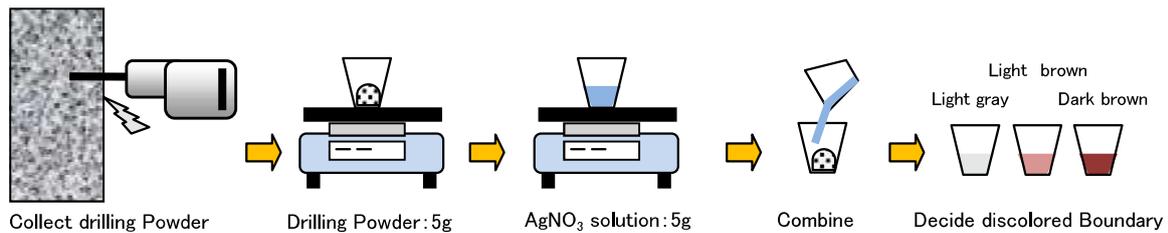


Fig.1 Simple test for measurement of chloride ion penetration depth of hardened concrete

視で変色の程度を判定する際に、ドリル削孔粉と硝酸銀溶液を混合して1時間程度してから判定すると、変色境界の移動も収まり安定して見やすくなる⁴⁾。

変色の原理として、塩化物イオン量が多い箇所は塩化物イオンと硝酸銀とが反応し塩化銀 (AgCl) を生成し白色 (粉碎されたコンクリートの色も混じる影響で薄い灰色に見える) に、塩化物イオン量の少ない部分を削孔した場合は、水酸化イオンと硝酸銀が反応し酸化銀 (Ag_2O) の生成が卓越し褐色に変化する^{1,2)}。そして、ドリル削孔粉を試料として用いると、塩化物イオン量が多い部分と少ない部分の試料が混合している可能性があるため、薄い褐色となる領域もある。硝酸銀溶液の変色の例を図2に示す⁵⁾。なお、変色境界の判定は、白色 (薄い灰色) と薄褐色の変色境界が判定しやすく、薄褐色と褐色の変色境界は判定しづらいことがある。

硝酸銀溶液の濃度が薄くなるほど、塩化物イオン量が少ない箇所でも白色 (薄い灰色) に変色す

ることが確認されているため¹⁾、硝酸銀溶液の濃度を 0.1mol/l 、 0.05mol/l および 0.025mol/l の3種類について実験を行った。

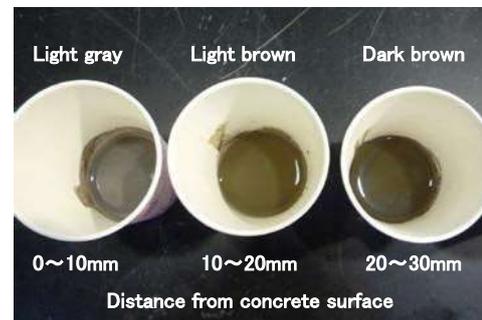


Fig.2 Discoloration of AgNO_3 solution⁵⁾

2.5 塩化物イオン量の測定

塩化物イオン量の測定は、C社製の電量滴定装置を用いて行った。測定方法を図3に示す。この試験方法で求めた塩化物イオン量は、JISの方法で求めた場合とほぼ同じであることが確認されている⁶⁾。なお、今回の実験では、全塩化物イオン量を測定することとした。

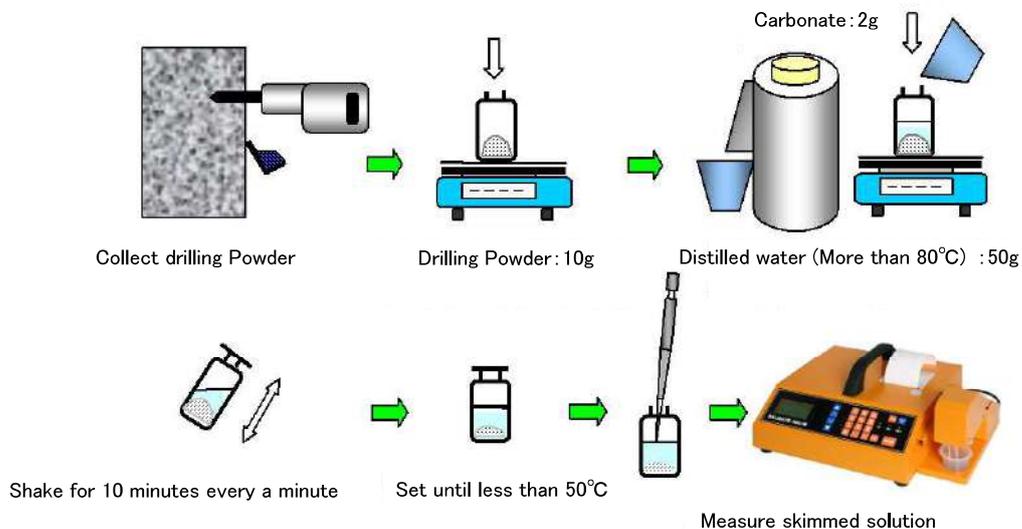
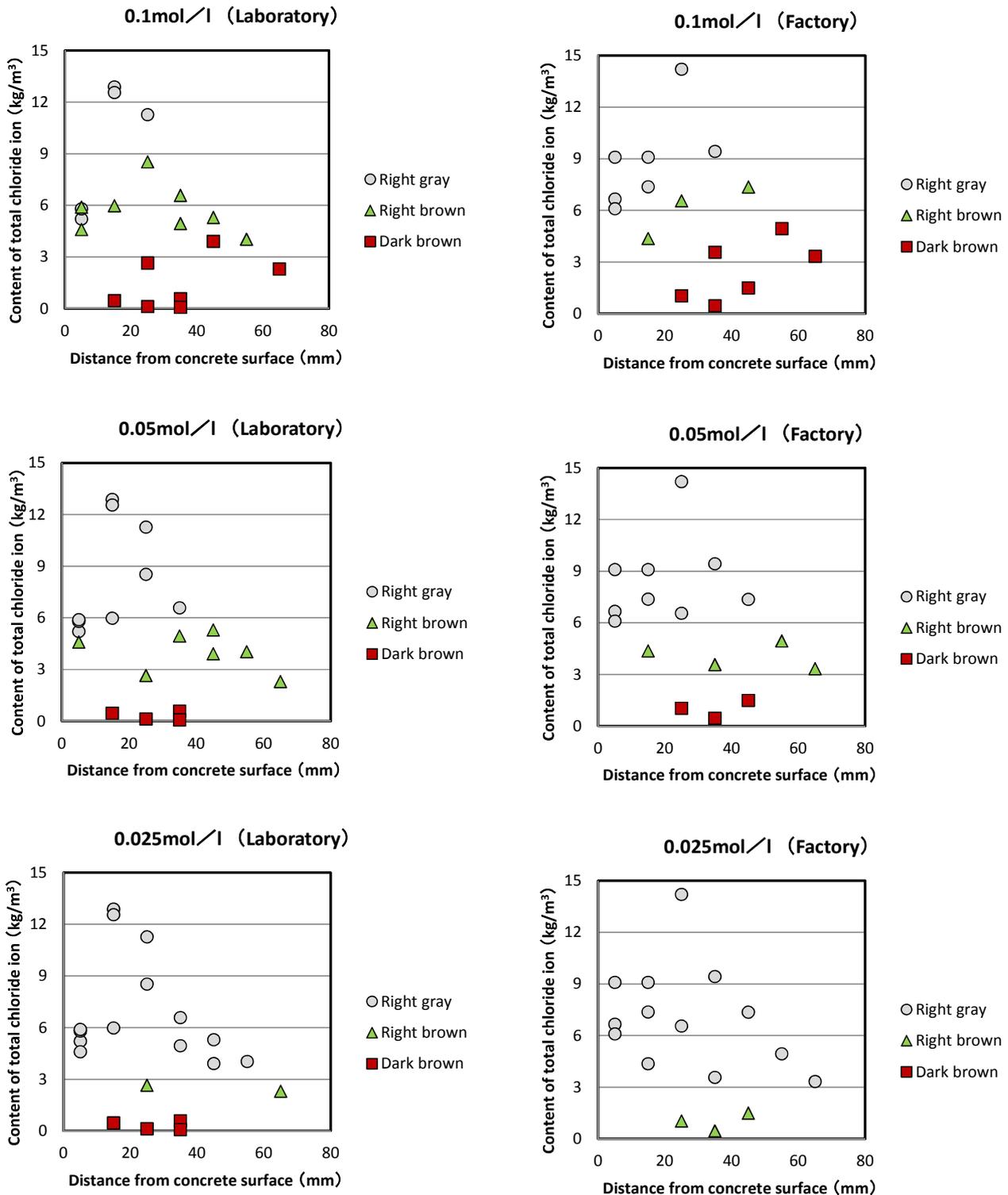


Fig.3 Measurement of content of total chloride ion⁶⁾



(1) In case of laboratory mixing

(2) In case of factory mixing

Fig.4 Relation between distance from concrete surface and content of total chloride ion

2.6 中性化深さの測定

コンクリートが中性化していると水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変化し、水酸化イオンが失われ、硝酸銀溶液と混合しても酸化銀が生成さ

れないため、試料に塩化物イオンが含まれていなくても、褐色にならず白色（薄い灰色）に見えることがある。これは、酸化銀も塩化銀も生成しないため硝酸銀溶液は無色のままとなり、結果とし

て試料の色すなわちコンクリートの色として見ると考えられている⁴⁾。そのため、硝酸銀溶液を用いて塩化物イオン浸透深さを測定する際には、中性化深さも測定して、白く変色する領域が中性化深さより深いかどうかを確認する必要がある。

実験では、中性化深さを NDIS 3419 のドリル法を用いて測定し、いずれの供試体も白色に変色する領域が中性化深さより深い位置にあることを確認している。

3. 実験結果および考察

ドリル削孔粉と 0.1mol/l の硝酸銀溶液を混合した時の変色と全塩化物イオン量の関係を図 4 上段に示す。全塩化物イオン量は試験室、実機いずれの場合も、白色（薄い灰色）に変色する塩化物イオン量が概ね 6kg/m^3 以上であるが、 $3\sim 9\text{kg/m}^3$ において薄褐色や褐色に変色する場合も混在している。

ドリル削孔粉と 0.05mol/l の硝酸銀溶液を混合した時の変色と全塩化物イオン量の関係を図 4 中段に示す。硝酸銀溶液の濃度を薄くすると、0.1mol/l の時より塩化物イオン量の少ない箇所で塩化銀の生成が卓越するため、白色（薄い灰色）に変色する全塩化物イオン量が概ね 6kg/m^3 以上は変わらなかったが、薄褐色となる領域が概ね $6\sim 2\text{kg/m}^3$ となり、褐色となる領域が概ね 2kg/m^3 以下となった。

ドリル削孔粉と 0.025mol/l の硝酸銀溶液を混合した時の変色と全塩化物イオン量の関係を図 4 下段に示す。硝酸銀溶液の濃度を 0.025mol/l まで薄くすると、白色（薄い灰色）に変色する全塩化物イオン量は概ね 3kg/m^3 以上となり、薄褐色となる領域が概ね $3\sim 1\text{kg/m}^3$ となり、褐色となる領域が概ね 1kg/m^3 以下となった。

これらの結果より、ドリル削孔粉と硝酸銀溶液を混合して塩化物イオン浸透深さを測定する方法では、硝酸銀溶液の濃度を変えることで、変色境界における全塩化物イオン量を変えることができる。そして、鋼材の発錆限界の全塩化物イオン量が 2kg/m^3 程度⁷⁾とすると、硝酸銀溶液の濃度を 0.025mol/l とすることで、変色境界を判定しやす

い白色（薄い灰色）と薄褐色の境界より発錆限界の位置を簡易に見つけることができると考えられる。

4. まとめ

硬化コンクリートの塩化物イオン浸透深さの簡易測定方法として、ドリル削孔粉と硝酸銀溶液を混合した場合の変色境界と塩化物イオン量の関係を検討した結果、次の(1)~(3)が明らかとなった。

- (1) ドリル削孔粉と硝酸銀溶液を混合して塩化物イオン浸透深さを測定する方法では、硝酸銀溶液の濃度を変えることで、変色境界における全塩化物イオン量を変えることができ、硝酸銀溶液の濃度を薄くすると全塩化物イオン量の少ない箇所で変色境界が見受けられた。
- (2) ドリル削孔粉と 0.05mol/l の硝酸銀溶液を混合した場合、白色（薄い灰色）となる領域の全塩化物イオン量は概ね 6kg/m^3 以上、薄褐色となる領域は概ね $6\sim 2\text{kg/m}^3$ 、褐色となる領域は概ね 2kg/m^3 以下となった。
- (3) ドリル削孔粉と 0.025mol/l の硝酸銀溶液を混合した場合、白色（薄い灰色）となる領域の全塩化物イオン量は概ね 3kg/m^3 以上、薄褐色となる領域は概ね $3\sim 1\text{kg/m}^3$ 、褐色となる領域は概ね 1kg/m^3 以下となった。

謝 辞

本研究は、(一社)日本非破壊検査協会「ドリル削孔粉および小径コアを用いたコンクリート構造物中の塩化物イオン量の試験方法原案作成委員会（委員長：濱崎仁）」の一環として行われたものである。

文 献

- 1) Nobuaki Otsuki, Shigeyoshi Nagataki, Kenji Nakashita: Evaluation of AgNO_3 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) 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)
 - 3) 澤本武博, 藤原翼, 湯浅昇, 笠井芳夫: ドリル削孔粉と硝酸銀溶液を混合することによるコンクリートの塩分浸透深さの簡易測定方法に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.64, pp.196-202 (2011)
 - 4) 澤本武博, 青木優介, 舌間孝一郎, 地頭菌博: ドリル削孔粉を用いた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及ぼす各種要因, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1705-1710 (2015)
 - 5) 石川浩隆: 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—セメントの種類および粗骨材最大寸法の影響—, ものづくり大学技能工芸学部建設学科, 2015年度卒業研究・制作・設計梗概集, pp.65-66(2016)
 - 6) 後藤年芳, 近藤英彦, 野島昭二: 硬化コンクリート中の全塩化物イオン濃度迅速測定法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.785-790 (2010)
 - 7) 2012年制定土木学会コンクリート標準示方書[設計編], pp.148-151 (2013)
-