

急速塩化物透過性試験によるセメント系硬化体中の 塩化物移動現象の評価

Evaluation of Chloride Permeability in Cementitious Materials
by Rapid Chloride Permeability Test

大賀 宏行*・ロバート・ダグラス・フートン**
Hiroyuki OHGA and Robert Douglas HOOTON

1. はじめに

コンクリートにおける塩化物の浸透性を評価する目的で、急速塩化物透過性試験 (ASTM C1202, AASHTO T-277) が主にアメリカおよびカナダにおいて用いられている。この試験は、所定の厚さの円柱供試体の両端に NaCl 溶液または NaOH 溶液を満たしたセルを設置し、供試体の両端面に密着させたステンレス電極に 60V の電圧を加え、6 時間の通電により流れた電流量によりコンクリートにおける塩化物透過性を評価する試験である。しかし、試験時間が 6 時間と長いこと、試験時に温度の上昇が起こり試験結果に影響を及ぼすこと、試験体の材齢が短い場合には電圧が高いため温度上昇速度が速く、6 時間の測定ができない可能性があること等の問題点がある。一方、従来の塩化物透過性試験方法に比べると短時間で結果が出ること、試験方法が簡便であること等の利点もあることから、日本においてもこの試験法を用いた研究が多くなり、この試験法の妥当性および評価が行われている^{1)~4)}。本研究は、この急速塩化物透過性試験を用いて、モルタルにおける塩化物の透過性に及ぼす初期の養生条件、高炉スラグ微粉末の混和、セメントの種類の影響について検討を加えるとともに、急速塩化物透過性試験の評価方法についても検討するものである。

2. 実験概要

普通ポルトランドセメント (OPC)、耐硫酸塩ポルトランドセメント (SRPC)、高炉スラグ微粉末 (SG)、氷河砂、蒸留水、高性能減水剤を用いた。セメントおよび高炉スラグ微粉末の化学成分を表 1 に、鉱物組成と比表面積を表 2 に示す。水結合材比を 35 および 50%、高炉スラグ微粉

表 1 セメントおよび高炉スラグ微粉末の化学成分

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
OPC	19.9	4.79	2.65	63.0	2.13	3.46	0.21	0.88
SRPC	22.5	2.95	3.68	64.1	3.10	2.08	0.17	0.36
SG	35.9	9.97	0.58	85.0	14.8	3.62	0.48	0.46

(%)

表 2 セメントおよび高炉スラグ微粉末の鉱物組成と比表面積

	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)	比表面積 (cm ² /g)
OPC	59	13	8	4	3742
SRPC	59	20	2	6	4016
SG	—	—	—	—	4085

末の置換率を 0, 30, 50, 70% とし、フローが一定となるように高性能減水剤量 (水結合材比 35% の場合) および砂結合材比 (水結合材比 50% の場合) を変化させた。φ100 × 55mm の型枠にモルタルを打設し、硬化後コンクリートカッターにより打設面から 50mm の厚さに供試体を切断した。打設後 24 時間温度 23°C の噴霧室で養生し、脱型後温度 23°C の飽和水酸化カルシウム溶液中において所定期間養生を行い、ASTM C1202 および AASHTO T-277 に準じた急速塩化物透過性試験を行った。塩化物が打設面側から透過するようにモルタル供試体の打設面側のセルに NaCl 溶液を、切断面側のセルに NaOH 溶液を満たした。初期の養生期間は 2, 7, 28 日を基本としたが、一部 31, 35 日も採用した。

*東京大学生産技術研究所 第 5 部

**トロント大学工学部土木工学科 助教授

研 究 速 報

3. モルタルにおける塩化物透過性

3.1 配合条件および養生条件の影響

初期に28日間水中養生した水結合材比50%のモルタルの
 通電時間と電流量の関係を図1に示すが、電流量は高炉ス
 ラグ微粉末の置換率の増加とともに減少している。なお、
 初期水中養生期間が2日または7日と短い場合には、試験
 時にセル中の溶液の温度が高くなり、図中の高炉スラグ置
 換率が0%の場合と同様に6時間の測定が不可能な場合も
 あった。図2および図3に初期に7および28日間水中養生

(クーロン)

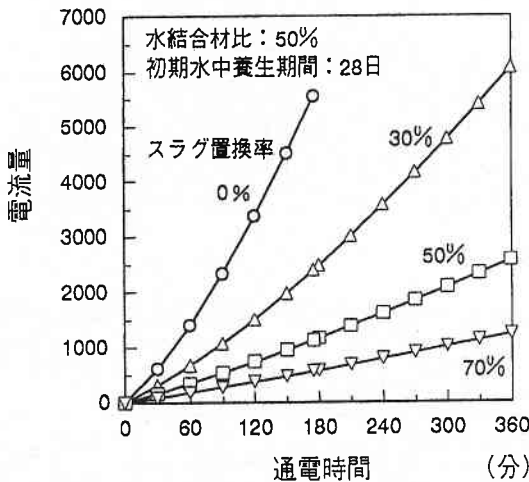


図1 高炉スラグ微粉末混和の影響
 (水結合材比: 50%)

(クーロン)

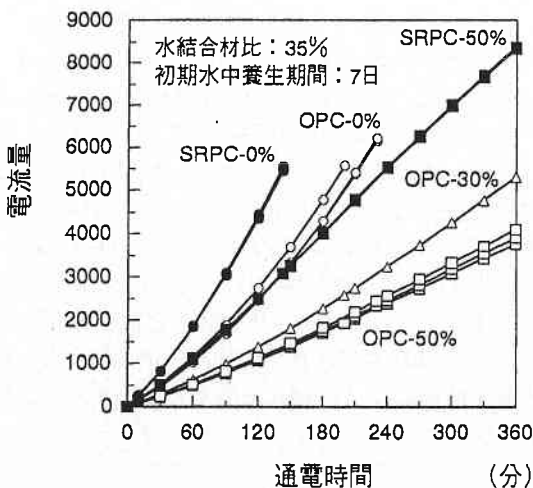


図2 セメントの種類の影響
 (初期水中養生期間: 7日)

(クーロン)

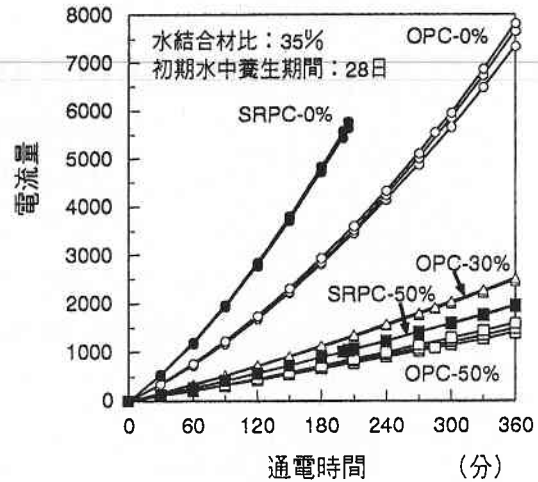


図3 セメントの種類の影響
 (初期水中養生期間: 28日)

した水結合材比35%のモルタルの試験結果を示す。水結合
 材比50%の場合と同様に高炉スラグ微粉末の置換率の増加
 とともに電流量は低減している。耐硫酸塩ポルトランドセ
 メントを用いた場合、普通ポルトランドセメントを用いた
 場合に比べ電流量は増大しているが、高炉スラグ微粉末を
 50%置換することにより (SRPC-50%), 初期養生期間7日
 で普通ポルトランドセメント単体 (OPC-0%) と同程度、
 28日で普通ポルトランドセメントを高炉スラグ微粉末で
 50%置換した場合 (OPC-50%) と同程度の電流量を示し
 ており、初期に28日間水中養生を行うことにより、セメン
 トの種類の影響は少なくなっている。耐硫酸塩ポルトラン
 ドセメントは C_3A 量が少ないため、塩化物の固定量も少
 なくなり塩化物の透過性は増大する可能性はあるが、本試
 験のように高炉スラグ微粉末を50%程度置き換えること
 によりその欠点は補えるものと考えられる。ただし、本試験
 方法は6時間しか電圧を加えていないため、塩化物の固定
 化の影響のみではなく、モルタルの組織の緻密度の影響も
 大きいものと考えられ、細孔量や細孔径分布および透気性
 や透水性と本研究における結果との関係について検討を加
 える必要があると考えられる。

3.2 急速塩化物透過性試験の評価

既往の研究によれば、シリカフュームを用い低水結合材
 比のモルタルに対してはこの急速試験を用いても塩素イ
 オンが供試体をほとんど透過しない結果が得られている³⁾。
 また、本研究においても図4に示すように試験に用いる溶
 液に蒸留水を用いた場合も、図5に示すように ASTM ま
 たは AASHTO の試験に用いる溶液 (NaCl/NaOH) と種

研 究 速 報

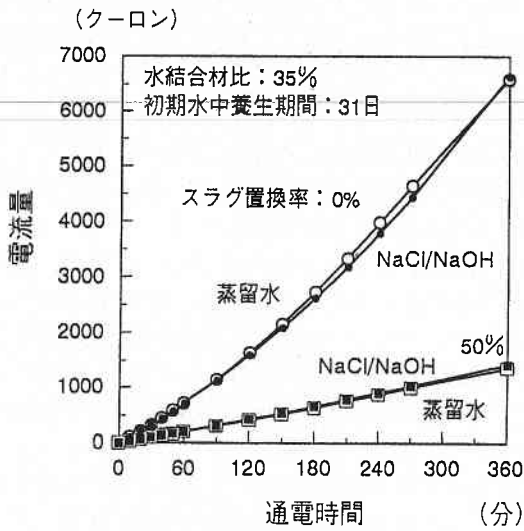


図 4 溶液の種類の影響 (蒸留水)

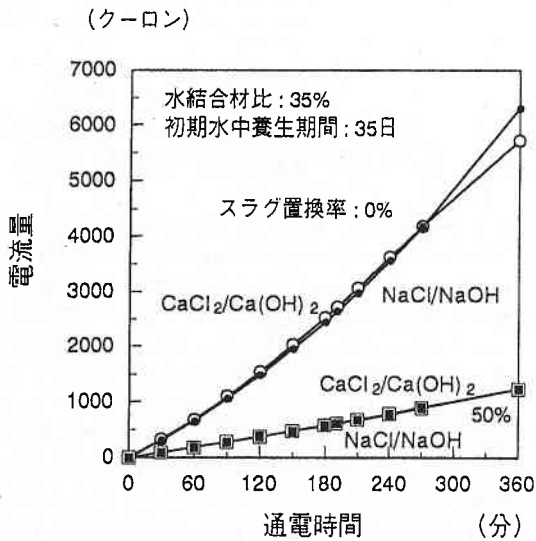


図 5 溶液の種類の影響 (CaCl₂/Ca(OH)₂)

類 (CaCl₂/Ca(OH)₂) および濃度 (6% CaCl₂ 溶液) の異なる溶液を用いた場合も、電流量は溶液として NaCl/NaOH を用いた場合とほぼ同程度であることから、この急速塩化物透過性試験における電流量は、試験体の組織の緻密度に大きく影響を受けるものと考えられる。急速試験の電流量と塩素イオンの拡散係数とが良い相関を示すとの報告⁴⁾を考慮すると、試験終了後 (6 時間後) の電流量で透過性を評価する必要はなく、測定開始時の電流 (初期電流) すなわち供試体の抵抗値によっても塩化物透過性を

評価できるものと考えられる。そこで、本研究で用いた供試体の初期電流と 6 時間後の電流量との関係を図 6 に示す。水結合材比、スラッグの置換率、セメントの種類にかかわらず初期電流と 6 時間後の電流量とは良い相関を示している。なお、図中の●印はコンクリートを用いた既往の研究のデータ⁵⁾をプロットしたものであるが、本実験と同様に初期電流と 6 時間後の電流量は良い相関を示している。なお、これら既往のデータは初期の水中養生期間を 1 週から 68 週まで変化させ、各種溶液 (NaOH/NaOH, NaCl/NaOH, NaOH/NaCl/ Ca(OH)₂/Ca(OH)₂) を用いた試験結果である。これらのことから、セメント系硬化体の塩化物透過性は、従来の急速塩化物透過性試験における初期電流によ

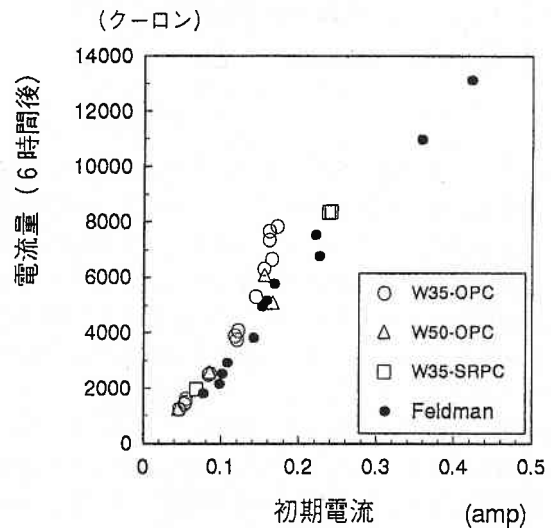


図 6 初期電流と電流量の関係

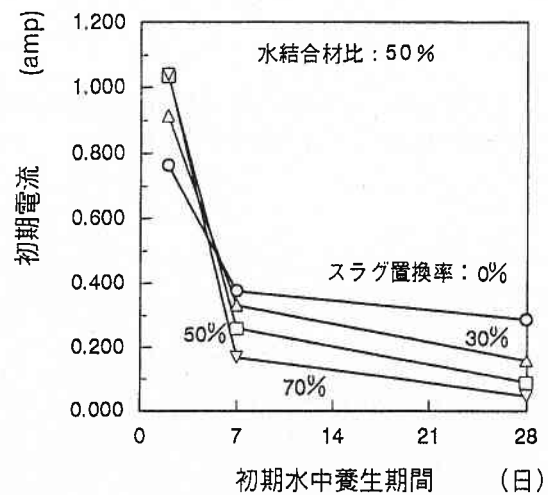


図 7 初期電流による評価 (水結合材比: 50%)

研究速報

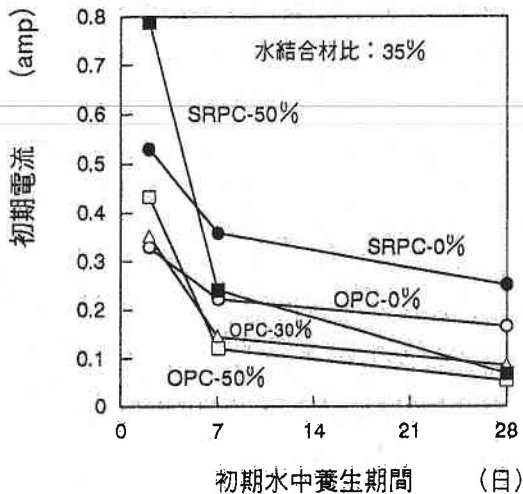


図8 初期電流による評価
(水結合材比: 35%)

り評価することが可能であると考えられる。図7および図8は、初期水中養生期間およびセメントの種類の影響を初期電流により評価したものである。高炉スラグ微粉末を混和する効果は初期の養生期間に影響を受け、初期の7日間における組織の変化が大きいものと考えられる。初期水中養生期間が2日では、高炉スラグ微粉末の混和により初期電流は増大するが、7日以降において初期電流は2日の場合に比べ著しく低減し、しかも、高炉スラグ微粉末の混和により初期電流は低減されている。さらに、高炉スラグ微粉末を混和したものは、初期水中養生期間7日以降の初期電流の低減量も無混和に比べ大きくなっている。これらの傾向は耐硫酸塩ポルトランドセメントを用いた場合に顕著である。

4. ま と め

セメント系硬化体における塩化物の透過性を評価する目的で、塩化物の透過性に及ぼす初期養生条件、セメントの

種類、高炉スラグ微粉末の混和の影響について急速塩化物透過性試験により検討を加えるとともに、この急速試験の評価方法についても検討を加えた。本研究の結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 初期水中養生期間が7日以上であれば、セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置き換えることにより塩化物の透過性を低減することができる。
- 2) 耐硫酸塩ポルトランドセメントを用いた場合、塩化物透過性は普通ポルトランドセメントを用いた場合に比べ増大するが、50%程度高炉スラグ微粉末を混和することにより透過性は著しく低減することができ、初期に十分な養生を行えばセメントの種類の影響はほとんど認められない。
- 3) 急速塩化物透過性試験における試験開始時の電流によりセメント系硬化体の塩化物透過性を評価することができる。

なお、本研究は筆頭著者が(財)鹿島学術振興財団の援助を受けトロント大学において行った研究の一部である。

(1994年4月13日受理)

参 考 文 献

- 1) 本橋ら：配合及び水と度度がコンクリートの塩素イオン浸透性に及ぼす影響，鹿島技術研究所年報，第40号，pp. 1-8, 1992
- 2) Tsutsumi et al. : Effect of Composition and Age on Chloride Permeability of Concrete, Proc. of Durability of Building Materials and Components 6, pp. 963-972, 1993
- 3) 鳥居ら：急速試験法(AASHTO T-277)によるシリカフェームコンクリートの塩化物イオン透過性の評価，「シリカフェームを用いたコンクリート」に関するシンポジウム講演論文報告集，pp. 61-66, 1993
- 4) 鳥居ら：コンクリートの塩素イオン透過性に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No. 44, pp. 506-511, 1990
- 5) Feldman et al. : An Investigation of the Rapid Chloride Permeability Test, Proc. of the 3rd Canadian Symposium on Cement and Concrete, pp. 279-306, 1993