

論文 急速塩化物透過性試験の評価に及ぼす配合条件と養生条件の影響

平間貴司*¹・大賀宏行*²・青木 大*³・國府勝郎*⁴

要旨: 急速塩化物透過性試験の評価に及ぼすモルタルおよびコンクリートの配合条件および養生条件の影響について検討するため、フライアッシュの種類および置換率、砂セメント比、粗骨材量、初期水中養生の期間と温度などを変化させ、急速塩化物透過性試験の初期電流を用いてこれらの影響の評価を行った。初期電流は、配合条件および養生条件に影響を受けるが、特に供試体中の骨材の影響が大きく、骨材量の増大とともに初期電流は低減している。このことから、ペースト部分またはモルタル部分の微細組織のみではなく骨材の影響を考慮して物質の透過性を評価する必要があることを明らかにした。

キーワード: 急速塩化物透過性試験、配合条件、養生条件、フライアッシュ、骨材

1. はじめに

主に北米において、コンクリートの塩化物透過性は、簡便性や汎用性の理由からASTM[1]およびAASHTO[2]で規格化されている急速塩化物透過性試験により評価される場合があり、日本においてもこの試験方法について検討が加えられている。この試験方法は、6時間に供試体を通過する電流量の大小によりコンクリートの塩化物透過性を評価するものであるが、実際には塩化物イオンが供試体を通過していないとの報告[3]もあり、間接的にコンクリートの緻密性を評価しているものと考えられる。従って、この急速塩化物透過性試験によりコンクリートの塩化物透過性を評価するには、コンクリートの緻密性に影響を及ぼす配合条件と養生条件について検討を加える必要がある。本研究では、急速塩化物透過性試験に影響を及ぼす配合条件、養生条件および試験方法について検討を加えることにより、急速塩化物透過性試験の適用性について検討を加えた。

2. 実験概要

研究用セメント、比表面積の異なるフライアッシュ(FA)および高炉スラグ微粉末(SG)、ISOに準拠したセメントの強さ試験用骨材および碎石を用いた。同一石炭を用い発電負荷が通常の600MW時に発生したフライアッシュをAシリーズ(FA-A)とし、発電負荷が300MW時に発生したフライアッシュをA'シリーズ(FA-A')とし、おのおの比表面積の小さい順に1、2、3を付記した[(A-1、A-2、A-3)、(A'-1、A'-2、A'-3)]。配合条件は、水結合材比を35%および50%、フライアッシュの置換率を15%および25%、高炉スラグ微粉末の置換率を25%および50%、砂結合材比を2.0、3.0および4.0と変

-
- *1 東京都立大学大学院 工学研究科、工学士(正会員)
 - *2 東京都立大学助教授 工学部土木工学科、工博(正会員)
 - *3 東京都立大学学生 工学部土木工学科
 - *4 東京都立大学教授 工学部土木工学科、工博(正会員)

化させた。骨材量の影響についての検討では、水セメント比50%、砂セメント比3.0のモルタルと所要の粗骨材とを練り混ぜたコンクリート供試体と粗骨材量を変化させた高流動コンクリートに対して急速塩化物透過性試験を行った。養生条件としては、急速塩化物透過性試験を実施するまでの初期養生として、温度10、20および30℃の水中において7、28および91日間の養生を行った。急速塩化物透過性試験は、ASTMおよびAASHTOに準拠し、初期水中養生期間終了直後に試験を行った。ただし、溶液の種類の影響について検討を加える場合には、規格で用いている溶液以外の各種溶液および濃度の異なる溶液を用い、初期水中養生材齢を9日から145日まで変化させたモルタルおよびコンクリートを用いた。

3. 配合条件と養生条件の影響

急速塩化物透過性試験における初期の電流と6時間の試験で流れた電流量との関係を図-1に示す。図中のデータには、本研究における試験結果のみならず既往の研究における実験結果[4][5][6]も含まれている。配合条件、養生条件、試験方法によらず、初期電流と6時間の電流量とが良い相関を示すことから、急速塩化物透過性試験で規定されている6時間の電流量の代わりに初期電流を用いて以後塩化物透過性を評価する。

図-2は、初期電流に及ぼす初期水中養生材齢の影響を示す。フライアッシュ無混和の場合には、養生期間が増大しても初期電流は若干しか低減していない。A-3フライアッシュを混和した場合には、養生期間7日では無混和より大きな初期電流を示すが、養生温度が20℃以上の場合には養生期間の増大とともに初期電流は著しく低減し、28日における初期電流は無混和と同等もしくは著しく小さな値を、91日においては無混和に比べ著しく小さな値を示している。初期電流に及ぼす初期水中養生材齢の影響には温度依存性があり、養生温度によって大きく異なっている。

初期電流に及ぼすフライアッシュの置換率の影響を図-3に示す。初期水中養生期間が7日では置換率の増加とともに初期電流は増大するが、28日では養生温度により傾向が異なり、10℃では、養生期間7日と同様に置換率の増加とともに初期電流は増大するが、20℃では置換率の影響は認められず、30℃では置換率の増加とともに初期電流は低減している。

フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末の比表面積と初期電流の関係を無混和の値とともに

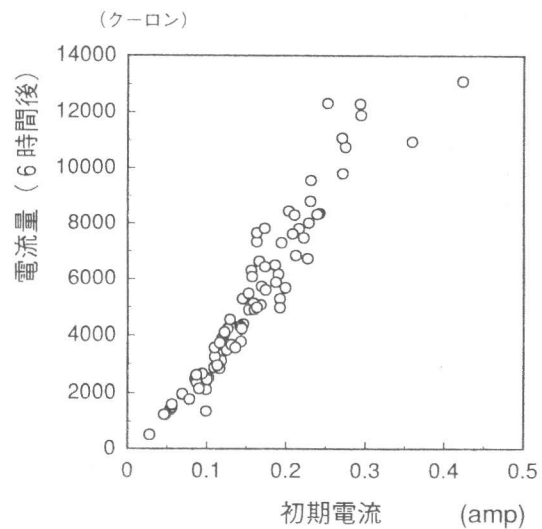


図-1 初期電流と電流量の関係

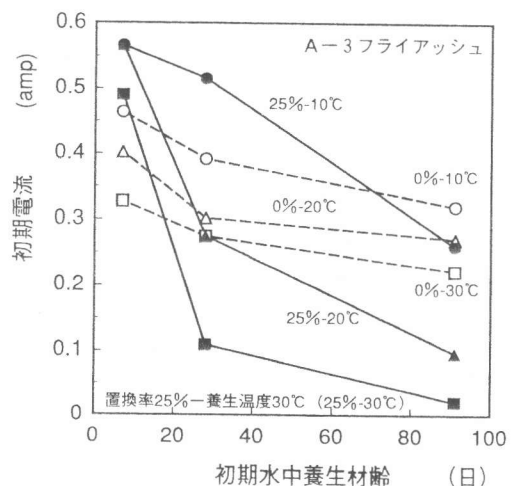


図-2 初期電流に及ぼす初期水中養生期間の影響

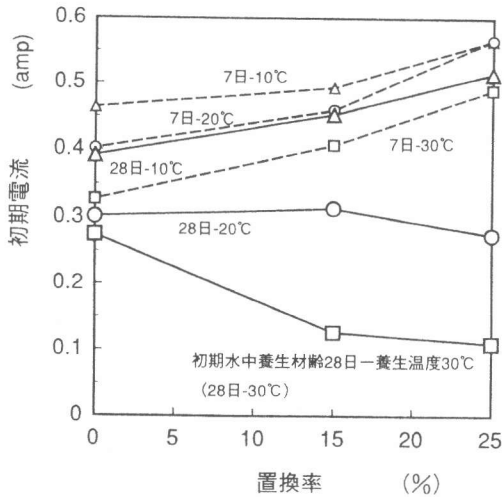


図-3 初期電流に及ぼす置換率の影響

温度別に図-4 から図-6 に示す。養生温度が 10℃ の場合、養生材齢が 7 日ではフライアッシュと高炉スラグ微粉末の差異はなく、比表面積とともに初期電流は増加している。養生材齢が 28 日では高炉スラグ微粉末は比表面積の増大とともに初期電流は低減しているが、フライアッシュは 7 日と同じ傾向を示している。養生温度が 20℃ の場合も、養生材齢 7 日でフライアッシュを混和したモルタルの初期電流は比表面積とともに増大しているが、養生材齢 28 日ではフライアッシュを混和した場合も高炉スラグ微粉末と同様に比表面積の増大とともに初期電流は低減している。しかし、無混和とほぼ同程度の初期電流を示している。養生温度が 30℃ 場合、養生材齢 7 日では高炉スラグ微粉末の効果が大きくなるが、養生材齢 28 日においてはフライアッシュの効果が卓越し、無混和に比べ著しく小さな初期電流を示している。フライアッシュを混和したモルタルの耐透塩水性に対しては高温養生が有効である。フライアッシュの比表面積と圧縮強度の関係について同様の検討を加えると、図-4 から図-6 に示した透過性に比べ、フライアッシュの効果に対する温度依存性および材齢の影響は少なくなっている。フライアッシュを混和したモルタルの物性値は初期の養生条件に影響を受けやすいが、適切な養生を行えば物質透過性の低減に有効であると

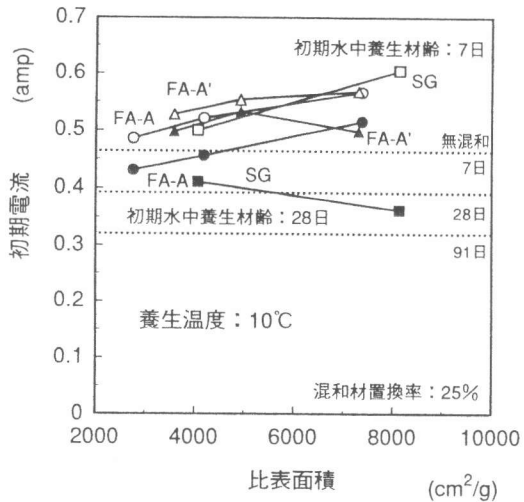


図-4 初期電流に及ぼす比表面積の影響 (養生温度: 10℃)

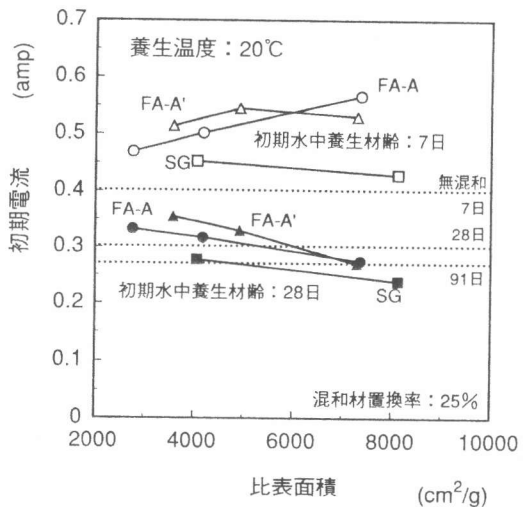


図-5 初期電流に及ぼす比表面積の影響 (養生温度: 20℃)

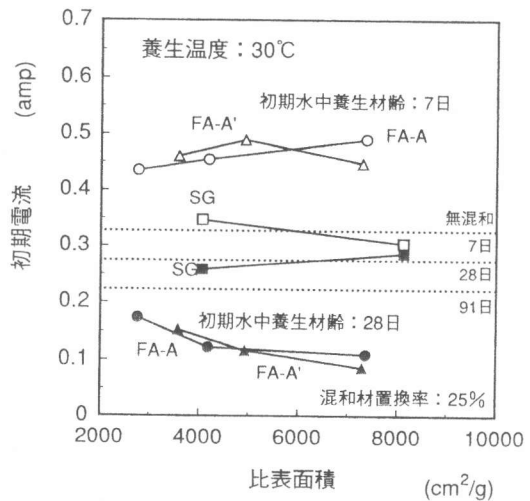


図-6 初期電流に及ぼす比表面積の影響 (養生温度: 30℃)

考えられる。

図-7に初期電流に及ぼす養生温度の影響を示す。フライアッシュ無混和の場合には、養生温度の増大とともに初期電流はほぼ同程度か若干の低減を示しているが、フライアッシュを混和した場合には、初期水中養生材齢が7日と短い場合、養生温度の影響が少なく、全ての養生温度において無混和に比べフライアッシュの混和により初期電流は増大している。初期水中養生材齢が28日においては、フライアッシュを混和することにより初期電流は著しく低減し、養生温度が20℃以上においては無混和よりも小さな値を示している。初期水中養生材齢が91日においては、フライアッシュを混和したモルタルの初期電流は養生温度の増大とともに低減し、全ての養生温度において無混和に比べ初期電流は小さくなっている。

以上の検討により、初期電流は混和材の種類、置換率、初期の水中養生材齢および養生温度に影響を受けることが明らかとなったが、これらの要因の影響を評価する目的で、図-8に示すマチュリティー（-10℃を基準）と初期電流の関係について検討を加える。200℃・日程度まではマチュリティーの増加とともに初期電流は低減するが、以降は無混和および高炉スラグ微粉末を混和したモルタルの初期電流はマチュリティーの増加とともに若干の低減を示す。フライアッシュを混和した場合には500℃・日以降のマチュリティーにおいて初期電流が急激に低減していることから、フライアッシュを用いたモルタルの塩化物透過性の低減に対しては十分な養生を行うことにより効果が得られることが明らかとなった。

4. 急速塩化物透過性試験の評価

図-1に示したように塩化物の透過性が初期電流で評価できることは、試験で供試体に加えた電圧が60Vと一定であることから供試体の抵抗が塩化物の透過性と関係があることと同じであると考えられる。同一配合条件および養生

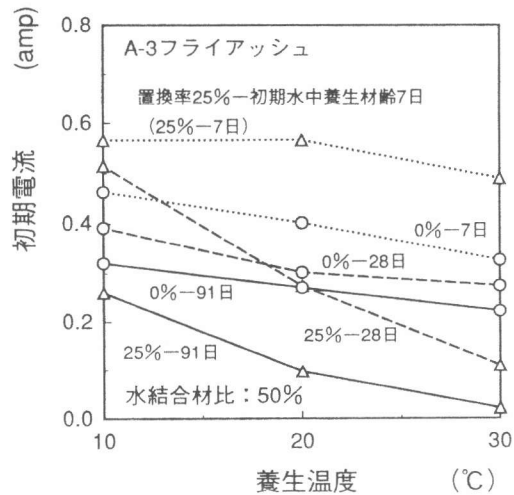


図-7 初期電流に及ぼす養生温度の影響

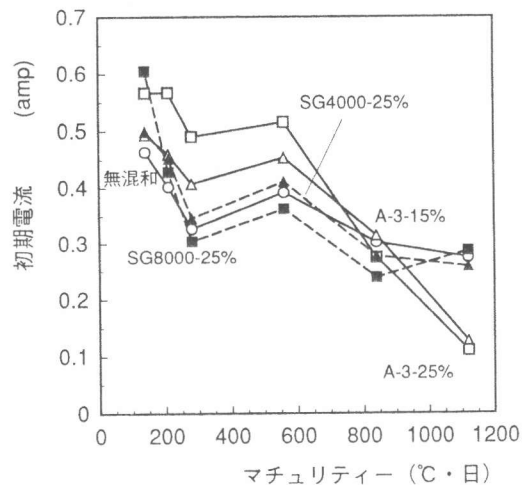


図-8 マチュリティーと初期電流の関係

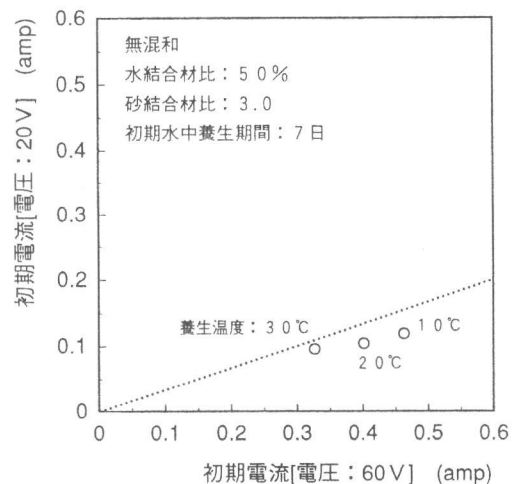


図-9 電圧の影響

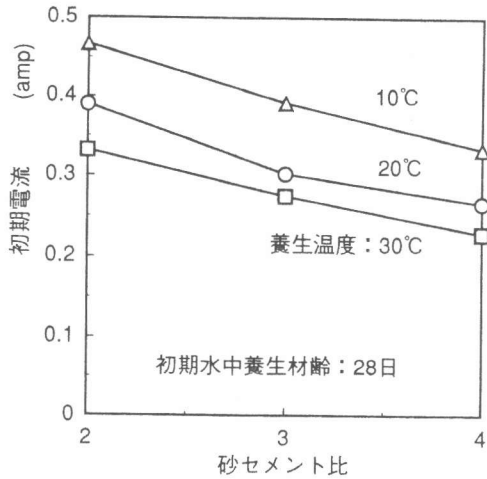


図-10 初期電流に及ぼす砂セメント比の影響

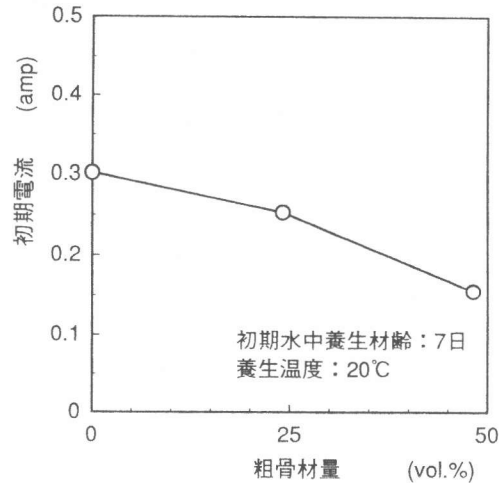


図-11 初期電流に及ぼす粗骨材容積の影響

条件の供試体を用い、試験電圧が20Vおよび60Vの場合の初期電流の関係を図-9に示すが、初期電流の値は電圧の大きさに比例している。しかし、電流の経時変化は電圧による溶液温度の上昇に影響を受け、必ずしも電圧に比例しておらず、本研究のように初期の電流で評価することが有効であると思われる。

供試体の抵抗に大きく影響を及ぼす細粗骨材の塩化物透過性に及ぼす影響について検討を加えた。図-10は、同一水セメント比(50%)で砂結合材比を変化させた混和材を用いないモルタルの初期電流に及ぼす砂セメント比の影響を示す。砂セメント比の増大、すなわち供試体中の細骨材量の増加とともに初期電流は低減している。また、図-10において砂セメント比が3.0のモルタルに所定量の粗骨材を練り混ぜて作製した供試体の初期電流と粗骨材量との関係を図-11に示す。粗骨材を入れることにより初期電流は低減し、図-10と同様に供試体中の骨材容積の増大とともに初期電流は低減している。さらに、単位粗骨材量を変化させた高流動コンクリートの単位骨材量と初期電流との関係を図-12に示すが、単位骨材量の増大とともに初期電流は低減している。したがって、急速塩化物透過性試験は塩化物の透過性に影響を及ぼすペースト部分の緻密性と骨材の影響を同時に評価していることになる。

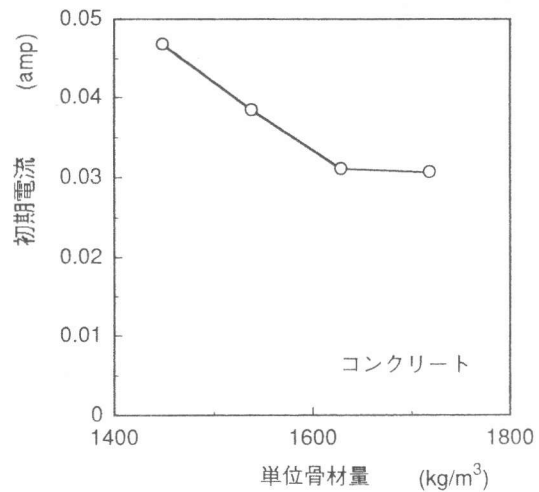


図-12 初期電流に及ぼす単位骨材量の影響

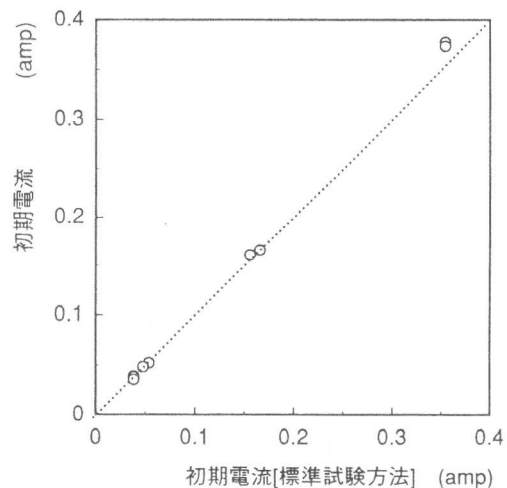


図-13 試験溶液の種類と濃度の影響

さらには、供試体の両端に設置したセル内の溶液の種類および濃度を変えた場合の初期電流と規格化された試験方法で行った場合の初期電流との関係を図-13に示す。規格化された試験方法では、陽極に0.3規定のNaOH溶液を、陰極に3%のNaCl溶液を用いているが、陽極と陰極の溶液を交換した場合、陰極のNaCl溶液濃度を15%に増加させた場合、陽極にCa(OH)₂溶液、陰極にCaCl₂溶液を用いた場合、両極とも蒸留水を用いた場合において、水結合材比を35%および50%、高炉スラグ微粉末の置換率を0%および50%、初期水中養生材齢を9日から145日まで変化させたモルタルおよびコンクリートに対して行った試験結果を示している。規格化された試験方法の初期電流と溶液の種類および濃度を変化させた試験の初期電流がほぼ同一であり、電流量の経時変化がほぼ同じであること、さらには既往の研究において電流量とコンクリートの比抵抗値とがよい相関を示す[7]ことから、急速塩化物透過性試験は供試体の緻密性を評価する試験としての適用も可能であると考えられる。

5.まとめ

本研究により、急速塩化物透過性試験結果はモルタルおよびコンクリートの配合条件と養生条件に影響を受けることが明らかとなった。特に、混和材を用いた場合には養生温度に大きく影響を受け、適切な養生条件をとることにより無混和に比べ優れた耐透塩性を示すことが明らかとなった。また、モルタルおよびコンクリート中の骨材量によって試験結果が異なることから、ペースト部分またはモルタル部分での細孔量や細孔経分布のみにより物質移動現象を評価することは不十分であり、骨材の影響を考慮して評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] ASTM Designation C1202 : Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, 1991
- [2] AASHTO Designation T-277 : Standard Method of Test for Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete, 1983
- [3] 鳥居和之、笹谷輝彦、川村満紀：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. 11
- [4] Feldman, R., Chan, G., Brousseau, R. And Tumidajski, P. : An Investigation of the Rapid Chloride Permeability Test, Proceedings of the Third Canadian Symposium on Cement and Concrete, pp.279-306, 1993
- [5] Hansen, M.R., Leming, M.L., Zia, P. And Ahmad, S. : Chloride Permeability and AC Impedance of High Performance Concrete, ACI SP-140-6, pp.121-145, 1993
- [6] 大賀宏行、平間貴司、國府勝郎：高炉スラグ微粉末を混和したモルタルにおける物質移動に及ぼす初期養生条件の影響、コンクリート工学年次論文報告集、第17巻、第1号、pp. 349-352, 1995. 6
- [7] 笹谷輝彦、鳥居和之、川村満紀、佐藤健一：急速塩化物イオン透過性試験(AASHTO T-277)の適用性、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 240-241, 1995. 9