

論文 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

大賀宏行^{*1}・平間貴司^{*2}・國府勝郎^{*3}

要旨：高炉スラグ微粉末を用いたモルタルにおける物質移動に及ぼす初期養生期間および養生温度の影響について検討するため、配合条件および養生条件を変化させたモルタルの塩化物透過性試験を行った。初期の水中養生期間を十分にとれば、高炉スラグ微粉末の混和により塩化物の透過性を低減することが可能であり、さらに、30℃までの養生温度の範囲であれば高温養生した場合の方が高炉スラグ微粉末の混和効果が大きくなる。また、塩化物透過性はモルタルの空隙量のみでは評価できないことを示した。

キーワード：高炉スラグ微粉末、初期養生期間、養生温度、急速塩化物透過性試験

1. はじめに

コンクリートの耐久性は、コンクリートにおける水、酸素、各種イオン等の移動現象に影響を受けることから、コンクリートの耐久性を評価するには、これら物質移動現象を把握する必要がある。また、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、シリカフェーム等のコンクリート用混和材組織の緻密化と劣化因子の消費・吸着等の作用によりコンクリートの耐久性を改善できることが明らかとなっている。しかし、これら混和材のコンクリートの諸特性に及ぼす影響は、コンクリートの配合条件のみならず初期養生期間や温度等の初期養生条件にも影響を受け、必ずしも耐久性の改善につながらない場合もある。そこで、本研究はコンクリートの塩素透過性に及ぼす高炉スラグ微粉末の混和および初期養生条件の影響に関する基礎研究として、高炉スラグを混和したモルタルの急速塩化物透過性試験を行い、塩化物透過性に及ぼす高炉スラグ微粉末の混和および初期における養生期間および養生温度の影響について検討を加える。

2. 実験概要

普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末、氷河砂、川砂、蒸留水、A E減水剤、高性能減水剤を用いた。水結合材比を35、50および60%、高炉スラグ微粉末の置換率を0、30、50、%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（水結合材比50および60%の場合）を変化させた。打設後24時間温度23℃の噴霧室で養生し、脱型後温度23℃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 C 1202 および AASHTO T-277に準じた急速塩化物透過性試験を行った。また、初期養生温度の影響を検討するシリーズでは、打設後24時間所定の温度（10、20および30℃）の恒温養生室で養生し、脱型後それぞれの温度の水中において所定期間養生を行い、同様に急速塩化物透過性試験を行った。塩化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日とした。

* 1 東京都立大学助教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

* 2 東京都立大学大学院生 工学部土木工学科

* 3 東京都立大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

3. 塩化物の透過性に影響を及ぼす諸要因

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。電流量に及ぼす水結合材比の影響を図-2に表すが、水結合材比の増加に伴い電流量は多くなっている。図-3に養生温度の影響を示すが、図-1と同様に高炉スラグ微粉末の混和により電流量は低減され、養生温度が高いほど電流量は少なくなっている。このように、モルタルにおける塩化物の透過性は配合条件、初期の養生条件に大きく影響を受けている。

4. 急速塩化物透過性試験による高炉スラグ微粉末の混和効果の評価

既往の研究によれば、シリカフュームを用いた低水結合材比のコンクリート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¹⁾。また、試験に用いる溶液に蒸留水を用いた場合も、ASTMまたはAASHTOの試験で用いる溶液と種類および濃度の異なる溶液を用いた場合も、電流量はほぼ同程度であることから²⁾、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性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³⁾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性はなく、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既往のデータ^{2) 4) 5)}とともに図-4に示す。水結合材比、高炉スラグ微粉末の置換率、セメントの種類、初期の養生期間および養生温度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。電流量が7000クーロン程度以上の場合には、ばらつきが大きくなっているが、これは温度上昇の影響であると考えられる。ここで用いた既往のデータは初期の水

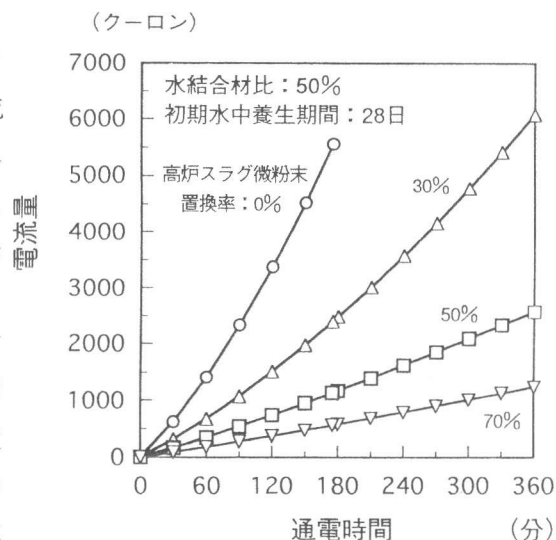


図-1 電流量に及ぼす置換率の影響

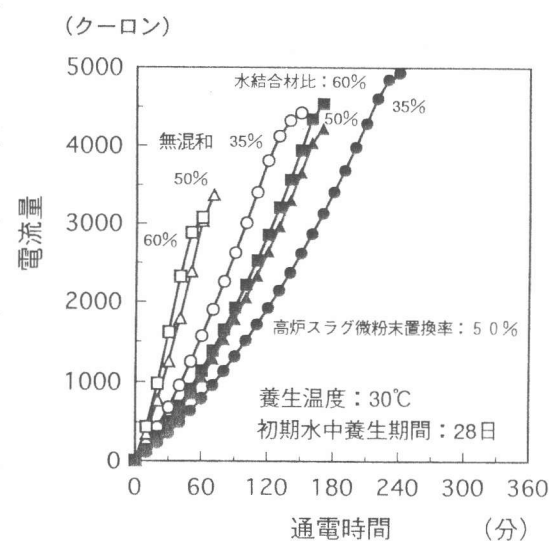


図-2 電流量に及ぼす水結合材比の影響

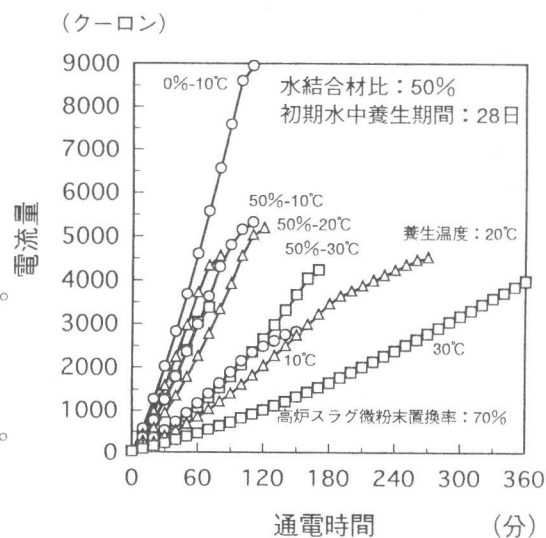


図-3 電流量に及ぼす養生温度の影響

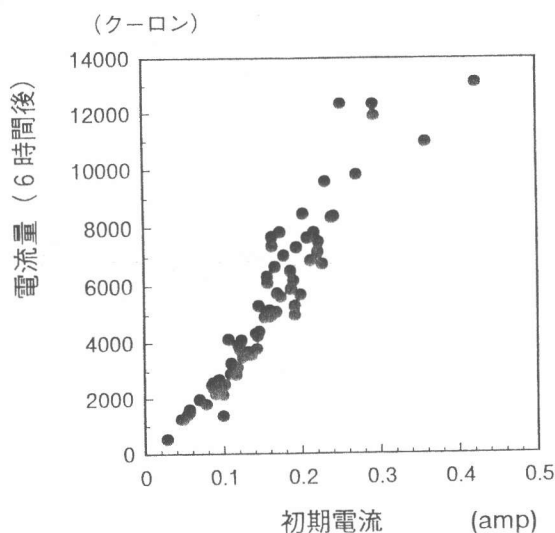


図-4 初期電流と電流量の関係

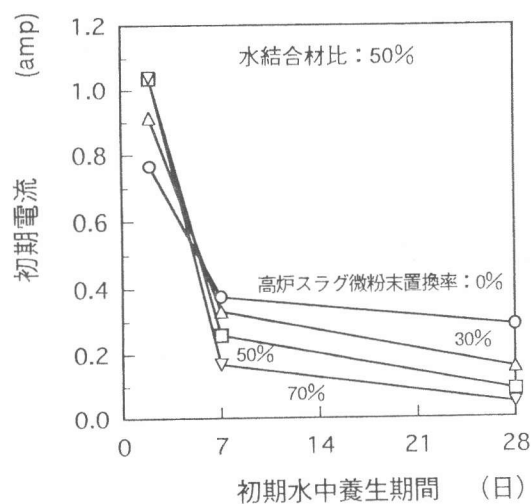


図-5 初期電流に及ぼす
初期養生期間の影響

中養生期間を1週から68週まで変化させ、各種溶液を用いた試験結果も含んでいる。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り評価することが可能であると考えられる。図-5は、初期養生期間および高炉スラグ微粉末混和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している。初期電流と養生温度の関係を図-6に示すが、高炉スラグ微粉末混和の有無によらず養生温度の増加とともに初期電流は低減しており、置換率の増加とともに温度に対する低減率は増加している。図-7に水結合材比と初期電流の関係を示すが、高炉スラグ微粉末を混和しない場合には、水結合材比の増加とともに初期電流は増大するが、セメントの半分を高炉スラグ微粉末で置き換えた場合は、全ての養生温度において初期電流に及ぼす水結合材比の影響は少なくなっている。以上のように、配合条件、初期の養生期間、養生温度を変化させることは、モルタルの緻密性が変化すると考えられるので、緻密性の指標としてモルタルの圧縮強度および水置換法により得られた空隙量を取り上げ、初期電流との関係を図-8、図-9に示す。同一圧縮強度において初期電

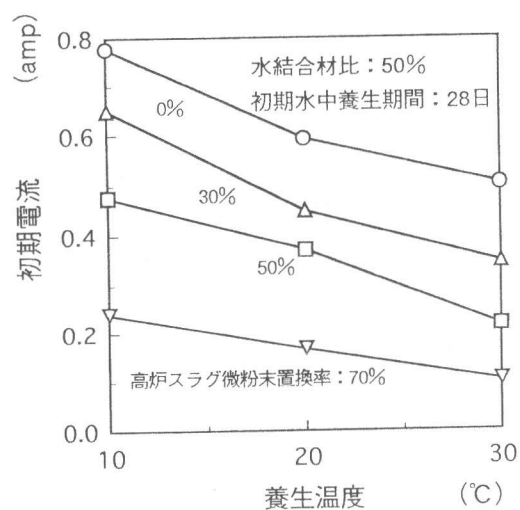


図-6 初期電流に及ぼす
養生温度の影響

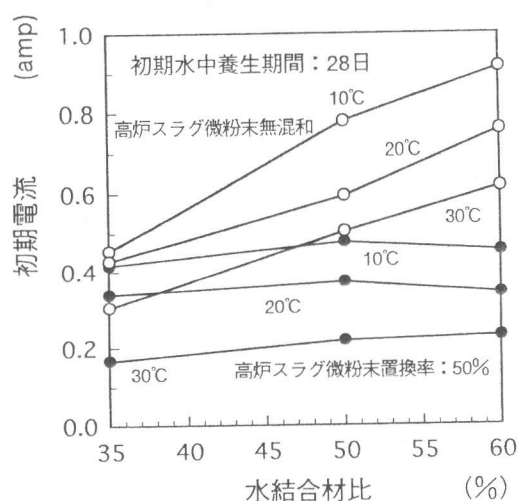


図-7 初期電流に及ぼす
水結合材比の影響

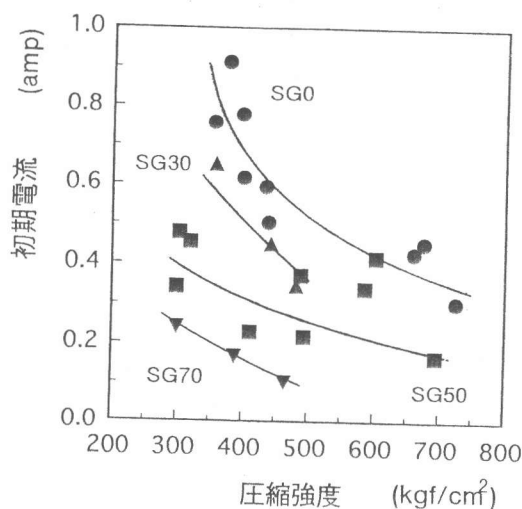


図-8 圧縮強度と初期電流の関係

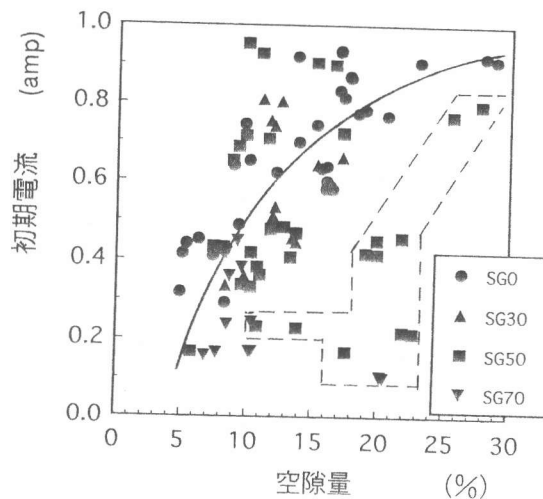


図-9 空隙量と初期電流の関係

流を比べると、高炉スラグ微粉末の混和量が多いほど初期電流は低減されており、物質移動現象は圧縮強度のみでは評価できないものと考えられる。また、図-9より初期電流は空隙量とある程度の相関は認められるが、相関の低い図中の破線で囲まれたデータが、高炉スラグ微粉末を50%以上混和し、低温(10℃)で養生または高温(30℃)で長期(28日)養生したモルタルのデータであることから、高炉スラグ微粉末の混和効果は養生温度に影響を受け、塩化物の透過性改善効果は組織の緻密性の改善によるだけではないと考えられ、物理化学的な影響についても検討する必要がある。

5. まとめ

高炉スラグ微粉末を混和したモルタル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、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のようなになる。

- 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) 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。
- 3) 養生温度を高くすることにより、塩化物透過性低減効果は増大するが、高炉スラグ微粉末の置換率の増加とともにその効果は大きくなる。
- 4) 高炉スラグ微粉末混和による塩化物透過性の低減効果は組織の緻密性のみでは説明できない。

【参考文献】

- 1) 鳥居、笹谷、川村：急速試験法 (AASHTO T-277) によるシリカフェュームコンクリートの塩化物イオン透過性の評価、「シリカフェュ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
- 2) 大賀、Hooton, R.D.：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、生産研究、第46巻、第7号、pp.29-32、1994
- 3) 鳥居、川村、笹谷：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
- 4) Feldman, R. et al. : An Investigation of the Rapid Chloride Permeability Test, Proc. of the 3rd Canadian Symposium on Cement and Concrete, pp.279-306, 1993
- 5) Hansen, M.R. et al. : Chloride Permeability and AC Impedance of High Performance Concrete, ACI SP140, pp.121-145, 1993