

ひび割れを有するモルタルの移流条件下における溶脱機構に関する実験的研究

群馬大学工学部 学生会員 ○齋藤裕樹

群馬大学大学院 正会員 半井健一郎 李春鶴

群馬大学工学部 正会員 池田正志

1. はじめに

セメント系材料が外部に存在する水と長期間接触することで、Ca等のイオンがセメント硬化体から溶脱する劣化現象は、近年、放射性廃棄物の処分における、固化やバリア材としてのセメント系材料の安定性評価において重要な課題である。特にひび割れが生じた場合には、溶脱挙動に影響を受けることが予測される。そこで、本研究ではひび割れを有するモルタルの溶脱劣化挙動の分析を目的とした実験を行うこととした。結合材をセメントのみ、あるいは一部を高炉スラグ微粉末に置換したモルタル供試体の透水試験によって溶脱の促進を行い、各モルタル供試体における透水量や溶脱するCa濃度の時間的変化を検討していく。

2. 実験概要

供試体は結合材に普通ポルトランドセメントのみを用いたNシリーズ、高炉スラグ微粉末を50%置換したSシリーズの2シリーズ作製した(表-1)。骨材からのカルシウム溶脱を防ぐため、骨材は珪砂を用いた、透水試験用の供試体はφ10×20cmのモルタルの円柱供試体上下面を除く部位から切り出して作製した、φ10×4cmの円柱供試体である。

φ10×20cmの供試体は脱型後水中養生し、透水試験用の供試体を切り出した。透水試験時に供試体の上下面からの溶脱を防ぐため、上下面にメタクリル樹脂を塗布し遮水加工を施した後に、割裂試験によりひび割れを生じさせた。その際、供試体の害裂の防止とひび割れ幅を制御するためにシャコ万力で供試体を拘束した。害裂試験終了後、供試体側面のひび割れ部をエポキシ樹脂系接着剤でシールした。ひび割れ幅はマイクロスコープを用いて上下面各10点ずつ計20点測定し、その平均値を供試体のひび割れ幅とした。

セメント上澄み液を用いて供試体を飽和处理した後、作用水をイオン交換水、作用圧力を0.06MPa、0.1MPaとし、透水透気試験装置を用いて透水試験を行った。各供試体の条件を表-2に示す。透水した水は採取し、質量を計測して透水量を測定した後、原子吸光分光光度計を用いてCa濃度を測定した。透水試験後の供試体はEPMA分析を行い、Ca濃度分布を調べた。

3. 実験結果

3.1 透水量

図-1に透水量の時間的変化、図-2に積算透水量を示す。図-1下図は上図の透水量0~0.05g/sの範囲を拡大したものである。全ての供試体において透水量は時間の経過とともに低下し、100時間付近ではほぼ安定した。N1-1とN1-4は初期透水量が比較的大きい値となったが、その他の供試体は0.03g/s前後でほぼ同じ初期透水量を示した。その中でS1-1は他の供試体に比べて安定時の透水量が他の供試体よりも2倍程大きく、積算透水量が上がり続けた。

透水量が低下する原因として、ひび割れ間に存在するくずが詰まることと、作用水中に溶解したCaイオンが作用水中に存在するわずかな炭酸イオンと反応し、炭酸カルシウムを生成することによりひび割れを塞ぐ自己治癒が影響

表-1 モルタルの配合

シリーズ	水結合材比 W/B(%)	フロー値 (mm)	単位量(kg/m ³)			
			水	結合材		細骨材
				セメント	高炉スラグ	
N	50	235	306	612	0	1332
S	50	238	301	301	301	1332

表-2 各供試体条件

供試体	平均ひび割れ幅 (mm)	作用圧力 (MPa)
N1-1	0.092	0.06
N1-2	0.063	0.06
N1-3	0.093	0.06
N1-4	0.076	0.1
S1-1	0.092	0.1
S1-2	0.072	0.1

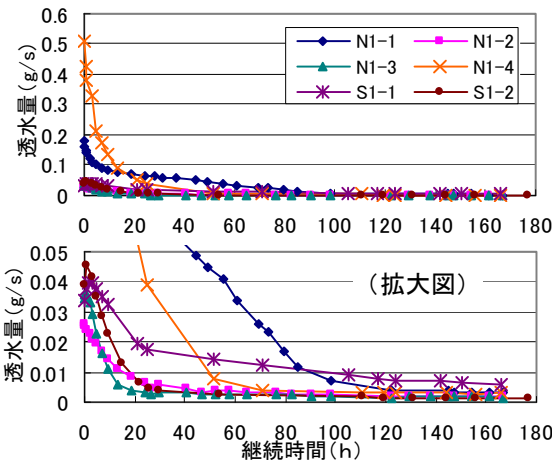


図-1 透水量の時間的変化

していると考えられる。S1-1 が他の供試体よりも大きい値で安定した原因としては、結合材の半分と置換した高炉スラグ微粉末が溶解度の高い水酸化カルシウムを消費したために、ひび割れを通過する作用水に溶解するCa量が少なくなり自己治癒が起これにくくなっている可能性が考えられる。

3.2 Ca濃度

図-3にCa濃度の時間的変化を、図-4には透水量とひび割れの面積と供試体高さにより示した通過時間変化を示す。図-3において全ての供試体の初期Ca濃度が高くなっているのはセメント上澄み液による影響であると考えられる。その後、一旦濃度は低下するが5時間付近から時間の経過とともにCa濃度が上昇した。そして、N1-1を除く供試体はCa濃度が徐々に低下し、N1-1では濃度が上がり続けた。図-3、4から

通過時間の早い供試体ほどCa濃度が低い値となっていることが確認できた。また、Ca濃度が上がっていく期間では透水量が低下していく期間でもあるので、作用水がひび割れ間に滞在する時間が長くなり、Ca濃度の高いサンプルが得られたと考えられる。Ca濃度が低下していく期間

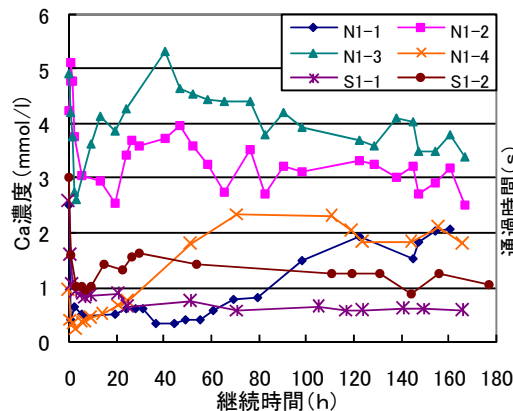


図-3 Ca濃度の時間的変化

では溶脱が進行しているためにひび割れ部のCaが少なくなっているため濃度が上がらないと考えられる。Sシリーズは水酸化カルシウムを高炉スラグ微粉末が消費するため、Caが溶解しにくく濃度が上がらずに低濃度で安定したと考えられる。

図-5に積算Ca溶脱量を示す。結果から、各シリーズで継続時間が同じであれば積算透水量が大きい供試体で積算Ca溶脱量が多いことが確認できた。ただし、透水量が大きくなることで溶脱するCa濃度が低下するため、積算溶脱量の差は透水量ほどは顕著になっていない。一方、同程度の積算透水量であるN1-2とS1-2を比べるとS1-2はN1-2の半分程度の積算Ca溶脱量で溶脱の進行が大幅に抑制された。溶脱を抑制するには透水量を減らすこと高炉スラグ微粉末を用いることが有効であると考えられる。ただし、S1-1では流量低下が限定的となっており今後より詳細な検討が必要と思われる。

3.3 EPMA分析

図-6に積算溶脱量が最大となったN1-1のCaについてのEPMA分析結果を示す。供試体中央上半分のひび割れ部分の結果である。ひび割れ部はほぼ一様に溶脱が進行したことが確認できた。

4. まとめ

本研究の範囲では次のことが示された。1) 透水量は時間の経過とともに低下するが、高炉スラグ微粉末を用いると流量低下の進行が遅くなる可能性がある。2) 作用水に溶解するCa濃度は作用水が供試体を通過する時間と相関がある。3) 同じシリーズで試験継続時間が同程度であれば、積算Ca溶脱量は積算透水量が大きいほど大きくなる。また、高炉スラグ微粉末が置換されていると溶脱を抑制できる。4) ひび割れ部からほぼ一様に溶脱が進行した。

謝辞: 本研究は科学研究費補助金 若手研究 (A) 18686037により実施されたものである。

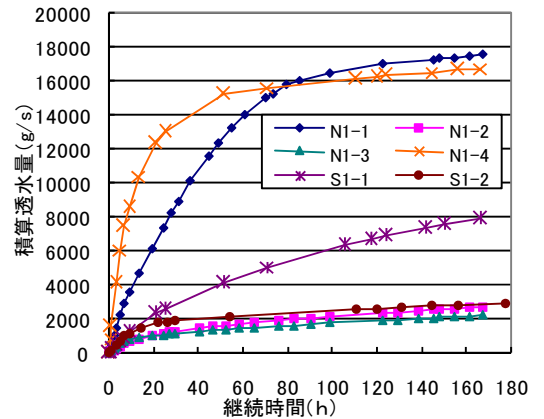


図-2 積算透水量

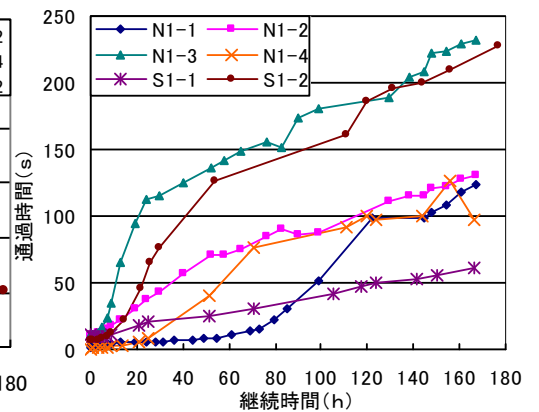


図-4 作用水の供試体通過時間

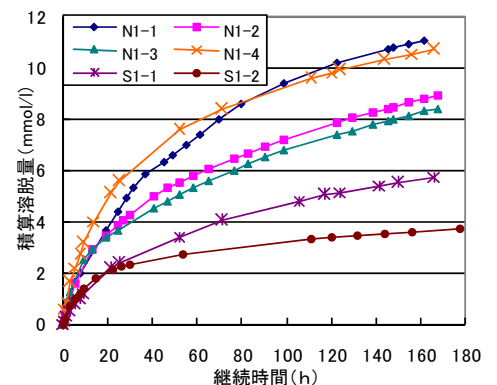


図-5 積算Ca溶脱量

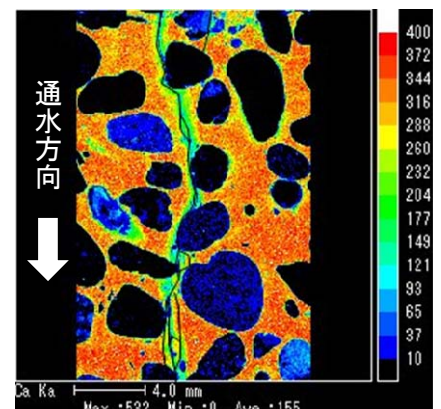


図-6 EPMA分析結果