

骨材および骨材界面領域が Ca 溶脱性状に及ぼす影響の解析的評価

名古屋大学 正会員 ○三浦 泰人
北海道大学 正会員 佐藤 靖彦
名古屋大学 フェロー 中村 光

1. はじめに

コンクリートは、骨材の配置や形状・セメントペースト-骨材間の遷移帯・セメントペーストや骨材の材料特性などの様々な要因が物質移動や反応に影響する。化学的劣化のように時空間的にセメント材料が変質する場合、セメントマトリクスや骨材界面の遷移帯などの局所的な微小領域の変化を適切に評価する必要がある。そこで、著者らが構築した Ca 溶脱の予測解析¹⁾を用いて、解析上で最大骨材寸法が 1.7mm のモルタルを、最大骨材寸法が 1.0mm のモルタルから成る要素（モルタル要素）-骨材要素（1.0～1.7mm）-骨材と隣接するモルタル要素（隣接要素）でモデル化することで、骨材とその界面領域が Ca 溶脱に及ぼす影響を解析的に評価した。

2. 解析概要

2.1 解析手法

本研究では、著者らが構築した Ca 溶脱に伴う物理化学的性質の時空間的な変化を予測可能な手法¹⁾を使用した。図-1 に本解析のフローを示す。本解析は、液相中の Ca を含む共存イオンの移動と固相中の水和物の溶解反応を、それぞれ Mutual Coefficient Model²⁾と固液平衡モデル³⁾を用いて、有限体積法に基づいて離散化した手法である。

2.2 解析モデル

本研究では、解析モデルは、解析対象のモルタルを単一および複合材料でモデル化した 2 種類構築（図-2）した。それぞれ、単一材料モデル、複合材料モデルとする。解析モデルは Voronoi 分割法によってランダムに骨材およびモルタルの要素を配置して構築した。モルタル要素、骨材要素、隣接要素は表-1 に示す配合から決定した。なお、モルタル B はモルタル A 中の粒径が 1.0mm より大きい骨材を除外した配合である。解析上で考慮した骨材寸法は 1.25, 1.50, 1.70mm とした。

解析対象は、モルタル A の 5mm 厚の薄片供試体である。単一材料モデルのモルタル要素はモルタル A の物理化学的性質（水酸化カルシウム（CH）、C-S-H、空隙率）

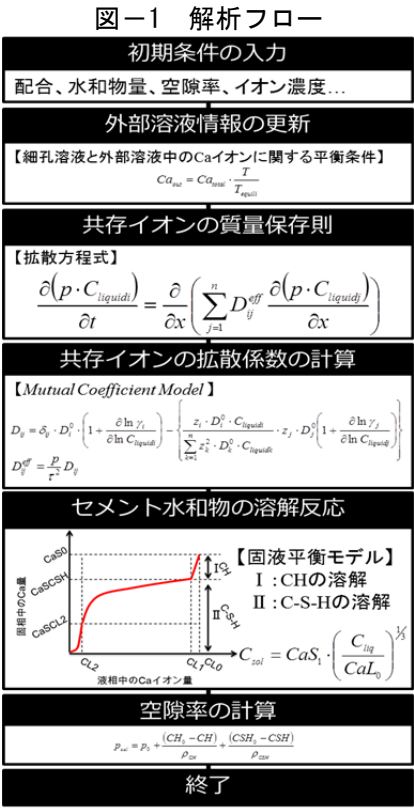
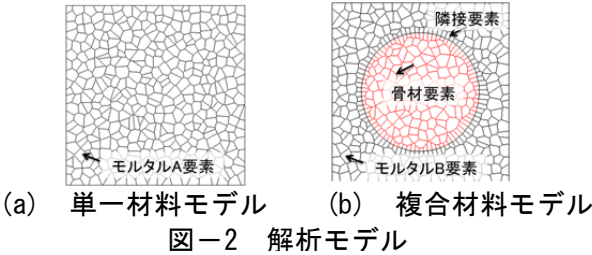


表-1 配合条件

	d_{max}	W	C	S
モルタル A	1.7	259.4	518.8	1546.4
モルタル B	1.0	259.4	518.8	856.0



の既往の実験値の初期値^{1),4)}を入力した。また、複合材料モデルでは、モルタル要素にはモルタル B の物理化学的性質の初期値^{1),4)}を与え、骨材要素は化学的に関与しない要素とし、解析モデル全体の物理化学的性質がモルタル A のそれと一致するように隣接要素に入力する物理化学的性質を変化させた。すなわち、隣接要素の物理化学的

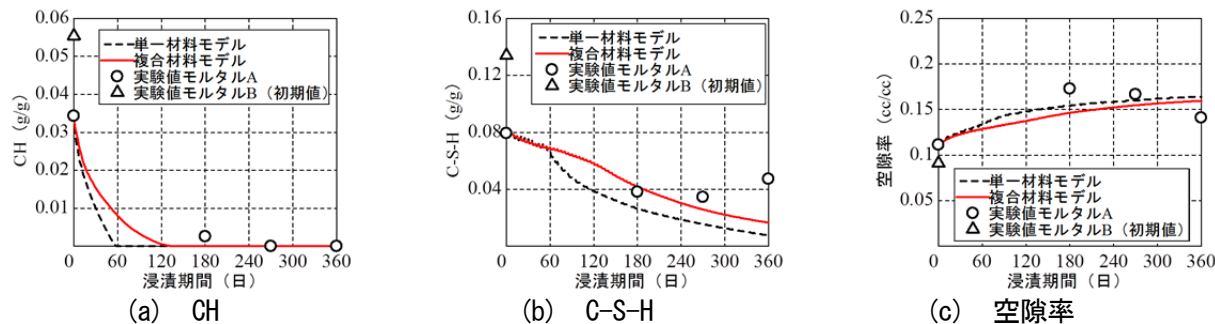


図-3 物理化学的性質の経時変化の実験値と解析値の対応

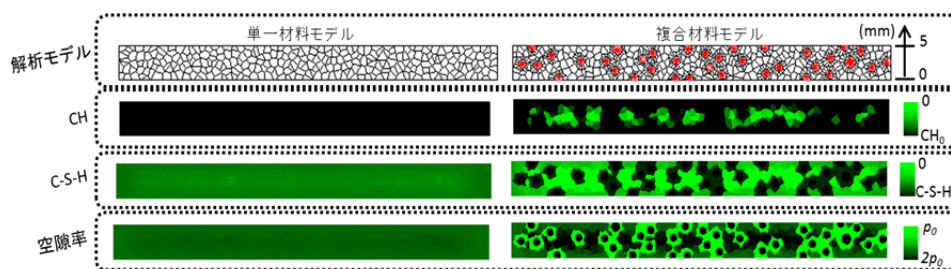


図-4 浸漬 60 日後の物理化学的性質の分布

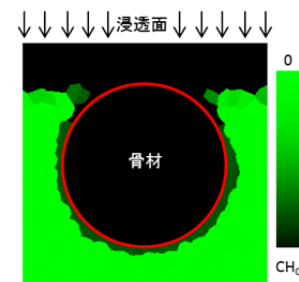


図-5 隣接要素の影響

性質を変化させることで、隣接要素に遷移帯の影響を内在させた。なお、隣接要素の要素寸法は 1.5mm である。

3. 解析結果と考察

薄片供試体をイオン交換水に 360 日浸漬し、供試体中の CH 量、C-S-H 量、空隙率を測定した既往の実験結果^{1),4)}を対象として、前述の 2 つの解析モデルによって算出した CH 量、C-S-H 量、空隙率の経時変化を、既往の実験結果と併せて図-3 に示す。さらに、浸漬前と浸漬 60 日の時点の断面内の物理化学的性質の分布を図-4 に示す。

図-3 をみると、実験値をある程度捉えていることが確認できる。また、2 つの解析モデルの差異に着目すると、複合材料モデルの方が水和物の減少量、ならびに、空隙率の増加量が比較的小さく、実験値に近い結果となった。これは、骨材を直接モデル化したことにより、物質移動経路が制限されたためであると考えられる。ここで、図-4 をみると、複合材料モデルでは、骨材周辺の隣接要素が弱層部として存在し、断面内の物理化学的性質が不均質に分布している様子が確認できる。骨材周辺をより詳細に検討するために、図-2(b)で示した解析モデルで一面から Ca 溶脱が生じたケースを計算した。図-5 の CH の分布をみると、隣接要素から Ca 溶脱が進行する様子が確認できる。すなわち、複合材料モデルでは、遷移帯の影響による物質移動の促進と骨材の存在による物質移動の抑制を表しており、本解析対象においては後者が支配的であったと考えられる。今後、配合条件や断

面寸法を変化させ、長期間の浸漬期間を対象にした場合の骨材の存在および遷移帯の影響を検討することを考えている。

4. まとめ

著者らの構築した Ca 溶脱の予測解析によって、骨材と遷移帯の影響を評価したところ、いずれの解析モデルにおいても、Ca 溶脱に伴う物理化学的性質の変化を予測することができた。さらに、本解析条件では、骨材の存在により物質移動が抑制される結果となった。

5. 参考文献

- 1) Taito Miura et.al.: Numerical approach to physico-chemical property of mesoscopic mortar deteriorated by Ca leaching, The 6th International Conference of Asian Concrete Federation, CD-ROM, 2014
- 2) Felmy A.R., Weare J.H.: Calculation of multicomponent ionic diffusion from zero to high concentration: II. Inclusion of associated ion species, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55, 133-144, 1991
- 3) Buil M., Revertegat E., Oliver J.: A model of the attack of pure water or undersaturated lime solutions on cement, *ASTM STP 1123*, pp.227-241, 1992
- 4) Taito Miura, Yasuhiko Sato and Hikaru Nakamura.: Modeling of physico-chemical property and mechanical characteristics of meso-scale mortar deteriorated by Ca leaching, Fourth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, CD-ROM, 2014