

遠心力場における模型地盤の急速風化方法に関する研究 —方解石の溶解速度式—

岩手大学大学院 学生会員 ○水堀 拓也
岩手大学 正会員 大河原正文
北海道大学大学院 フェロー 三田地利之

1. はじめに

遠心力により縮小模型に実地盤と等しい自重応力を作用させ、実物と同じ挙動を縮小模型に再現させようとする遠心模型実験において、 $1/n$ 縮小模型に nG の遠心力を載荷した場合、間隙水の移動時間が重力場の $1/n^2$ に短縮されることが確認されている¹⁾。このように遠心模型実験では、模型地盤の透水やそれに伴う圧密時間が大幅に短縮され、例えば、 $100G$ の遠心力場では、10年間の圧密は僅か 8.76 時間で再現される。ところで、圧密や透水などの長期的現象において、実地盤がおかれている自然環境下では地盤が物理的・化学的風化作用を受けて N 値など諸物性が変化することが知られている²⁾。なかでも水が介在することによって促進される化学的風化作用（水-岩石相互作用）³⁾は、地盤全体の物性を変化させるため、透水に関わる長期的現象を扱うとき化学的風化作用は無視できないと考える。近年、地盤中に含まれる黄鉄鉱が地下水と反応することで硫酸が生成し、炭酸塩鉱物を溶解して短時間のうちに地盤劣化を引き起こす急速風化が問題になっている⁴⁾⁵⁾。

そこで本研究では、透水に関わる長期的現象の再現精度の向上を目的に、遠心力場での急速風化方法について、とくに実験条件の設定に不可欠な炭酸塩鉱物の溶解速度について検討した。

2. 試料

実験に用いた試料は市販の方解石である。方解石は、岩石中に微化石やセメント物質として含まれる炭酸塩鉱物の一種で、酸に対する溶解度が高い。乳鉢で粉碎後、粒径 $106\sim 250\mu\text{m}$ にふるい分けし、粒子の周りに付着している粉碎粉をアセトンで超音波洗浄した。方解石の基本的物理量を表-1 に示す。

方解石は硫酸との反応により以下の式で溶解する。



(1)式は方解石が硫酸との反応により、Ca を放出し溶解することを示している。実地盤においても(1)式の溶解反応により、固体成分である方解石が溶解して地盤中の間隙が増加し、強度が低下する⁶⁾ことが指摘されている。

3. 実験方法

実験装置を図-1 に示す。ポンプを用いて反応溶液を反応容器に連続的に送り込む開放系で溶解実験を行った。方解石粒子表面と反応溶液との接触をさせるために、溶液の流れにより粒子が流動するように反応溶液の供給量は $2\text{ml}/\text{min}$ と設定した。なお、グローブボックス内には窒素ガスを充満させ、外気との接触により溶液の pH が変化するのを防いでいる。反応溶液は、硫酸 H_2SO_4 を用い、各条件下 (20°C 、 30°C 、 $\text{pH}1.5$ 、 2.0 、 3.0 、 4.0 、 5.0) において実験を行った。実験中は所定時間毎に溶出溶液を回収し、溶液中の Ca 濃度を原子吸光光度計により測定した。

表-1 方解石の物性値

項目	数値	
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.73	
粒度分布	中砂分(%)	34
	細砂分(%)	64
比表面積 $S_w(\text{cm}^2/\text{g})$	530	

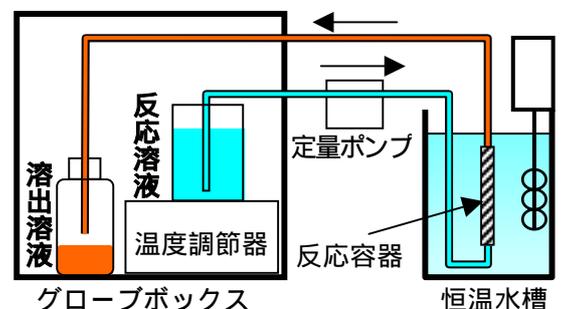


図-1 開放系溶解実験装置概要図

キーワード：遠心模型実験、化学的風化作用、方解石

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部建設環境工学科 Tel019-621-6444

4. 実験結果および考察

図-2 に溶解速度と pH との関係を示す。図中の式は、破線の傾きと切片から求めた溶解速度の pH 依存性を示す関係式である。Drever(1994)によると、鉱物の溶解速度は溶液の pH に大きく左右され、中性付近に pH に依存しない領域があり、酸性側とアルカリ性側に向けて大きくなるとしている。本実験においても同様の傾向が認められ、pH4~5 付近において pH 依存性が小さくなっている。これに対し、pH1~3 では溶解速度が pH 変化に伴って大きく変化し、そのときの速度は水素イオン活量 $[a_{H^+}]$ の 0.99 乗(20℃)~0.95 乗(30℃)に比例する。また、図-2 に示されたように、溶解速度は 20℃(丸印)と 30℃(四角印)を比較したとき 30℃のほうが大きいことが分かる。このように方解石の溶解速度は温度依存性があることから、アレニウスプロットから活性化エネルギーを求めたところ $E=2.2\text{kJ/mol}$ となった。この値は既存の研究⁷⁾⁸⁾⁹⁾よりも低い。

溶解速度式は、pH 依存性が顕著に認められた pH1~3 のデータを採用し、得られた速度式にアレニウスの式を加え pH と温度の影響を考慮したモデルによって求めた。

$$Rate = 2.6 \times 10^{-7} \cdot e^{-2.2/RT} \cdot [a_{H^+}]^{-0.0047+2.162} \dots (2)$$

上式をプロットした結果を図-3 に示す。実験結果(図-2)と比較すると、良い相関関係を示している。(2)式を用いて溶解速度の相対比を求めた結果を表-2 に示す。20℃、pH5.0 を基準とした場合、pH 変化のみで 400 倍の溶解速度が得られる。また、前述の通り溶液の pH により溶解速度は変化するが、溶解速度の傾きが変化する遷急点は(2)式から pH3.7 付近であると推定される(図-3)。

5. 結論

炭酸塩鉱物のひとつである方解石の溶解速度を求めた。これにより、遠心力場において加速された水の浸透速度に、方解石の溶解速度を一致させることが可能となった。例えば、20G の遠心力場では浸透速度は重力場の 400 倍になり、pH5.0 を基準とした場合、方解石の溶解速度が pH1.57 において 400 倍になり、浸透速度と溶解速度の相対比が一致することになる。ちなみに、本研究で求められた溶解速度は、従来の閉鎖系実験とは異なり、実地盤が置かれている環境下に近い開放系実験の結果である。

参考文献

- 1) 地盤工学ハンドブック編集委員会(1999)：地盤工学ハンドブック、地盤工学会
- 2) 小宮康明、新城俊也(1991)：島尻層泥岩における風化の進行とその工学的性質に及ぼす影響、土と基礎、Vol.39、No.6、21-27
- 3) 千木良雅弘(1998)：災害地質学入門、近未来社
- 4) 千木良雅弘(1998)：泥岩の化学的風化—新潟県更新統灰爪層の例—、地質学雑誌、第 94 巻、第 6 号、419-431
- 5) 重松宏明ら(2004)：黄鉄鉱に起因する酸性化が土の強度特性に及ぼす影響
- 6) 大山隆弘、志田原巧(1997)：堆積岩の化学的風化作用の土木構造物への影響、電力土木、No.272、92-97
- 7) Barton,P. and Vatanatham,T.(1976)：Kinetics of limestone newtralization of acid waters.Environ.Sci.Technol.,10,262-266
- 8) Plummer,L.N et al. (1978)：The Kinetics of calcite dissolution in CO₂-Water systems at 5℃ to 60℃ and 0.0 to 1.0 atm CO₂. Am.J.Sci.,278,179-216
- 9) Sjöberg,E.L.(1978)：Kinetics and mechanism of calcite dissolution in aqueous solutions at low temperatures. Stockholm Contrib. Geol.,32,1-92

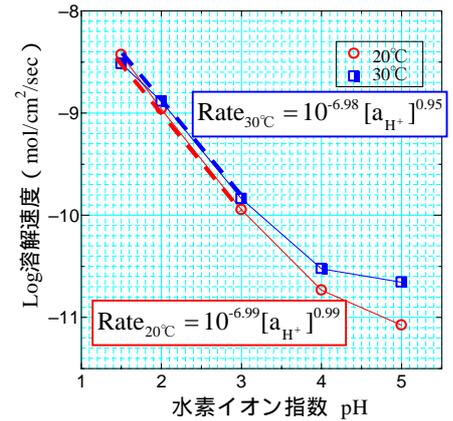


図-2 溶解速度と pH の関係

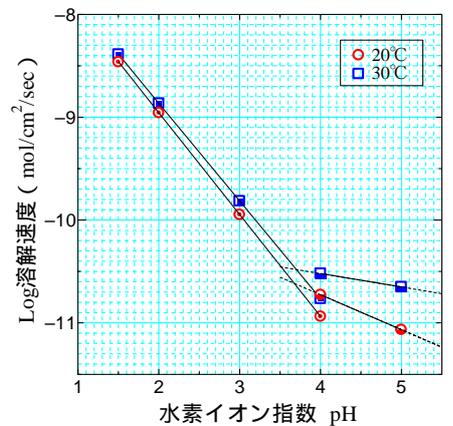


図-3 溶解速度式

表-2 20 における溶解速度の相対比

pH	相対比
pH5.0	1
pH2.1	100 倍
pH1.57	400 倍

(20℃、pH5.0 を基準とした場合)