

III-21

遠心場における模型地盤の劣化促進実験方法に関する研究

～各種酸性溶液による長石の溶解実験～

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
 岩手大学学生会員 大久保幸倫
 北海道大学大学院 フェロー 三田地利之

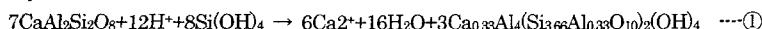
1.はじめに

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実物の $1/n^2$ 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、模型地盤の透水や圧密に要する時間が大幅に短縮され、例えば、100Gの遠心場では、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を考えるとき、実地盤がおかれている自然環境下では物理的・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報告されている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、地盤全体の耐久性低下をもたらすため、透水が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。

そこで本研究では、遠心場における模型地盤の化学的劣化促進実験方法の確立を目指し、その基本となる地盤構成物の劣化促進条件を見出すために、主要造岩鉱物のひとつである長石の溶解生成物と溶解特性について検討した。

2. 試料

実験に用いた長石の基本的物理量を表-1に示す。長石はNa、Ca、Kのうち3成分もしくは2成分が混じりあった鉱物で、大半の岩石中に存在することから主要な造岩鉱物とされ、風化により粘土鉱物等に変質することが知られている。実際の風化事例として、岩盤崩落の機構解明と計測技術に関する研究委員会⁴⁾は、岩盤中を地下水が移動することにより水冷破碎岩との間で水—岩石相互作用が起こり、岩盤を構成するCa斜長石とガラス質物質がスメクタイト（膨潤性粘土鉱物）に変質すると報告している。本研究では、当該事例をテストフィールドとして、遠心場において次式の反応を起こさせることを目指している。



斜長石

スメクタイト

表-1 長石の基本的物理量

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.61
粒度分布	
シルト分 (%)	74
粘土分 (%)	26
コンシステンシー特性	
液性限界 ω_L (%)	NP
塑性限界 ω_p (%)	NP
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (%)	1.445
最適含水比 ω_{opt} (%)	24.34

3. 実験方法

開放系溶解実験

図-1に実験装置の概要図を示す。実験装置には耐酸性の塩ビ管を用い、供試体の寸法は直径2.5cm、長さ6.0cm、水頭差を約160cmに設定している。供試体は塩ビ管内に乾燥した粉末状の長石を2層に分けて、落下高さ10cm、落下回数25回の突固めにより作製した。なお、供試体作製後は水浸滅圧法により試料の飽和度を高めている。飽和度を高めることにより、長石の粒子表面と反応溶液とが完全に接触し、さらには溶液が供試体内を均等に流れるようにすることが目的である。脱気作業後、実験装置を組み立て、上から反応溶液を入れた時点を実験の開始とした。

反応溶液は、塩酸HCl、硫酸H₂SO₄、硝酸HNO₃で、いずれも水素イオン指数pH=1.0に調整した。なお、比較のために蒸留水を用いたが蒸留水のpH=5.5であった。溶液の温度は、とくに設定せず室温（平均24°C）とした。1日約160mlの流量を試料に透水させ、この透水量から算出した透水係数は 1.41×10^{-5} cm/sであった。

以上の条件で10日間、透水による溶解実験を行った。実験中は、ビーカーに溜まった反応後の溶液に対してpHと電気伝導度ECを測定し、さらに溶解実験終了後には、反応後の溶液に対して原子吸光光度計によりNa⁺、K⁺、Ca²⁺の定量分析を行った。また、実験前後の試料の乾燥質量を秤量し、その差を溶解量とした。実験後の試料に対し、SEGALEN法による非晶質成分の定量を行った。非晶質成分とは、長石の溶解初期に生じるゲル状無機物質である。またSEGALEN法は、酸およびアルカリに対する溶解速度が結晶性鉱物と比べ非晶質成分のはうがはるかに早いことを利用して非晶質成分を定量する方法⁵⁾である。

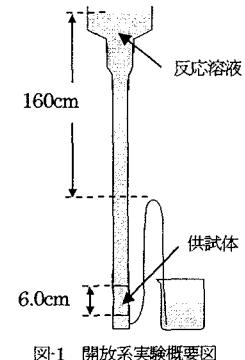


図-1 開放系実験概要図

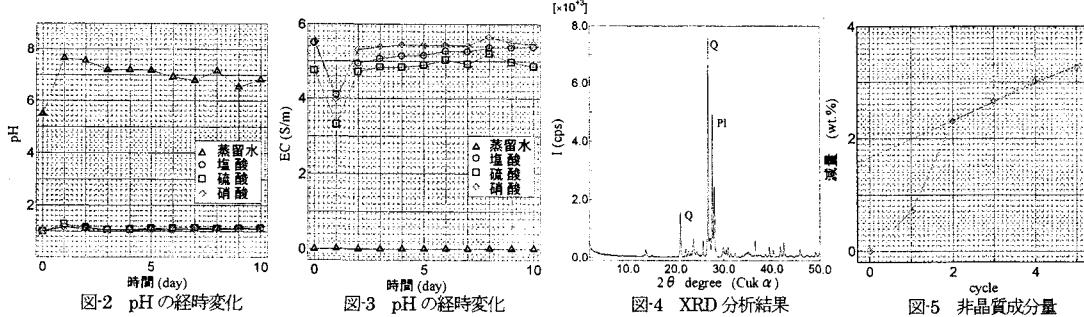


図-2 pHの経時変化

図-3 pHの経時変化

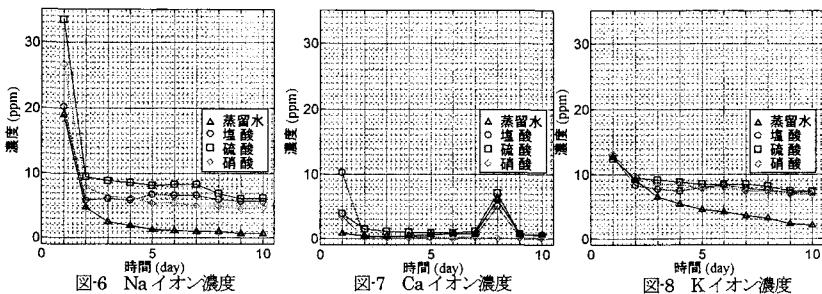
図-4 XRD 分析結果

図-5 非晶質成分量

表2

非晶質成分量と溶解量

	SEGALEN法 測量	合計 (wt.%)
蒸留水	1.0	1.0
塩酸	0.6	1.5
硫酸	0.7	1.9
硝酸	1.7	1.5
		3.2



4. 実験結果及び考察

pHとECの経時変化を図-2、3に示す。なお、図中の時間0のpH、ECは、溶液の初期値である。

図-2に示されたように塩酸、硫酸、硝酸のpHは、実験開始1日目に僅かに大きくなる傾向が認められる。蒸留水のpHは、同じ1日目においてpH5.5の酸性からから約pH8の弱アルカリ性にまで変化した。蒸留水のpH変化は、もともと僅かに存在していたH⁺が長石を溶解したことで消費され、相対的にOH⁻が増加したことによると考えられる。pHは、酸性溶液、蒸留水とともに1日目の変化が大きく、その後、一定値に落ち着く傾向を示している。

電気伝導度ECは、各種酸性溶液において実験開始1日目に大きく減少している(図-3)。この減少は、水浸減圧法により供試体の飽和度を高める際に使用した蒸留水が流れ出したことによる。蒸留水が流れ終わったとみられる2日目からはECは原液とほとんど同じ値に戻っている。図-4は、実験終了後に装置から取り出した長石試料のXRD分析結果である。新しい鉱物の生成を示すピークは検出されず、すべての試料において結晶性鉱物の生成は認められなかった。

次にSEGALEN法による非晶質成分の定量分析結果の一例を図5に示す。この方法では、傾き一定となった点を結んだ直線と0cycleの点との交点が非晶質成分の含有量として算出される。全ての試料において、1%程度の非晶質成分が算出された。さらに、表1に示されたように溶解実験の前後における試料の秤量から、1.0~1.9wt.%ほどの長石の溶解が確認された。

図-6、7、8は、溶出液中のイオン濃度を原子吸光光度計により分析した結果である。溶出液中のNaイオン濃度は実験開始1日目が高く、溶液種別では硫酸が最も高い値を示している。Caイオン濃度も1日目が高いが、溶液種別では塩酸が高い。なお、実験開始8日に一時的に塩酸、硫酸、蒸留水の濃度が高くなっているが原因は不明である。Kイオンは、実験初期で全ての溶液においてほぼ同じ濃度であるが、時間の経過に伴い酸性溶液と蒸留水との間に濃度差が生じている。

5. まとめ

長石に10日間、塩酸、硫酸、硝酸を透水した結果、全ての試料において約1wt.%の非晶質成分の生成と1.0~1.9wt.%程度の長石の溶解を確認した。さらに、各酸性溶液において溶解元素の選択性が認められ、硫酸はNa、塩酸はCaを最も多く溶解させる。

参考文献

- 1) 地盤工学ハンドブック編集委員会：地盤工学ハンドブック、地盤工学会、pp.415-440、1999
- 2) 小宮康明、新城俊也：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、pp.21-27、1991
- 3) 千木良雅弘：災害地質学入門、近未来社、1998
- 4) 岩盤崩落の機構解明と計測技術に関する研究委員会：岩盤崩壊の発生機構と計測技術、地盤工学会北海道支部、2000
- 5) 北川靖夫：土壤中のアロフェンおよび非晶質無機成分の定量に関する研究、農業技術研究所報告B 第29号、1977