

琉球石灰岩の化学的風化に伴う残柱強度に関する実験的研究

琉球大学 学生会員 ○土肥 翔
 琉球大学 正会員 松原 仁
 琉球大学 正会員 廣瀬 孝三郎

1. はじめに

石灰岩をはじめとする炭酸塩岩は地球表面の 12 %を占めると言われており、これらの大地では様々なカルスト地形が形成されている。しかし、天然水による石灰岩の溶解作用は、地下内部で空洞を形成し、岩盤の強度を低下させる。したがって、そのメカニズムや特徴を明らかにすることは、構造物の基礎の安全性を評価する上で重要となる。これまで、石灰岩の風化メカニズムの解明を目的とした数多くの研究が行われてきた。化学的風化においては、その反応に水が関与し、溶解実験が数多く行われてきており、その結果、炭酸塩鉱物の溶解速度は他の鉱物に比べて、4~5 桁大きいことや酸性領域で pH が低いほど溶解速度が大きくなるという pH 依存性を示すことなどが明らかになっている。しかしながら、石灰岩の化学的風化に伴う力学特性の変化に関しては未解明な部分が残されており、詳細な検討が望まれている。一方、沖縄県では県土の約 30 %が琉球石灰岩で構成され、風化現象による空洞の安定性や支持力などが問題になっている。琉球石灰岩の安定性や空隙率の評価に関して、いくつかの結果が報告されているが、力学的な視点に限られた議論が主となっており、化学的視点を加えた力学的特性については十分な知見が得られていない。そこで本研究では、残柱を模擬した琉球石灰岩を風化促進溶液である希塩酸に浸漬させ、浸漬日数の違いに伴う一軸圧縮試験を行い変形・強度特性を評価し、それらと石灰岩内部の微細構造変化との関連性を検討した。

2. 実験概要

本研究では、沖縄県南部より得られた碎屑性琉球石灰岩の供試体を使用した。図-1 に示すように、供試体は琉球石灰岩が地下水や雨水などによって溶解あるいは侵食された後に空洞が形成され、柱が残った場合を模擬したものである。なお、琉球石灰岩は珊瑚や貝類の化石を含んでいる場合があり、空隙が多い。また、石灰質の硬質の部分や、

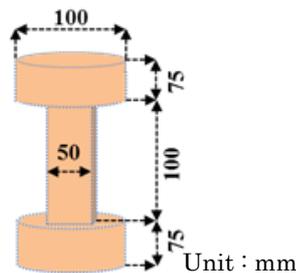


図-1 実験供試体模式図

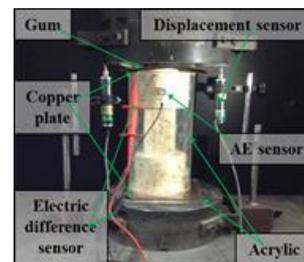


図-2 一軸圧縮試験状況

泥質で軟らかい部分が混在しており、強度のばらつきが非常に大きいという特徴があるため、本研究では同じ寸法の供試体を 5 つ用意し、すべて飽和状態で実験を行った。また、風化促進溶液として 0.3 %に希釈した塩酸を用いた。供試体の飽和状態は真空デシケーターに 20 分程度置くことで実現し、その後、アクリル容器に入れ風化促進溶液に浸漬させた。浸漬中は風化反応促進溶液を水流ポンプで循環させながら実験を行い、24 時間毎にすべての風化促進溶液を入れ替えた。一軸圧縮試験は風化実験開始日から 10 日目、20 日目、30 日目にそれぞれ実施した。このとき、岩盤の側圧を考慮するために、円柱型のアクリル容器で供試体を覆った。一軸圧縮試験時の載荷速度は 1 mm/min である。琉球石灰岩の微細構造変化については、走査型電子顕微鏡を用い、破壊後の供試体の残柱内部の構造を観察した。

3. 実験結果及び考察

図-3 は浸漬日数と一軸圧縮強度の関係を示したものである。同図より、琉球石灰岩残柱の一軸圧縮強度は、浸漬日数の増加に伴って 2 次曲線的に低下することが分かり、化学的風化が進行するに伴い、残柱の一軸圧縮強度が低下することは明らかとなった。また、図-4 は風化前と風化後の供試体破壊後の様子を示している。同図より、風化が進行した石灰岩は散逸的な破壊を呈することが分かる。

近年、岩盤崩壊の前兆を捉えるために、岩石の電気的特性が研究されており、岩石が完全に飽和すると、キーワード 琉球石灰岩, 化学的風化, 溶解, 一軸圧縮強度, 電位差

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地 琉球大学理工学研究科 TEL 098-895-8652

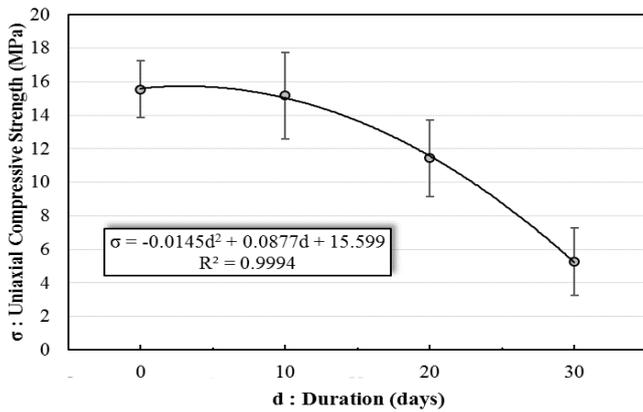


図-3 浸漬日数と一軸圧縮強度の関係

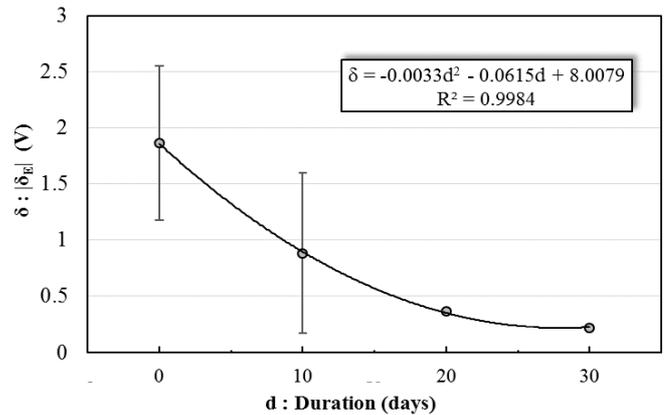
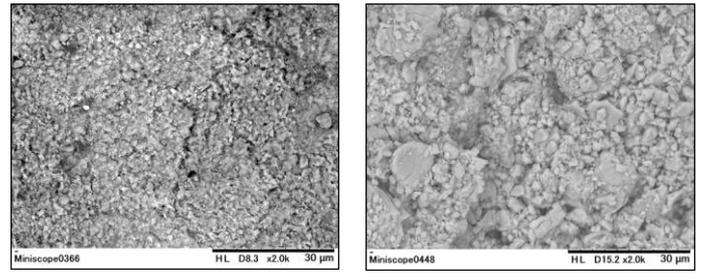


図-5 浸漬日数と|delta_E|の関係



(a) 0日目 (b) 30日目

図-4 一軸圧縮試験後の供試体



(a) 0日目 (b) 30日目

図-6 微細構造

初に電導率が低下し、一軸圧縮試験中に増加することや可変速度で一軸圧縮された岩石試料が、破損する前に、電場の過渡変動が検出されることなどが明らかになりつつあるが、未だ確立された手法がないのが現状である。本研究では電位差を風化の指標の1つとして扱い、電位差の最大値と最小値の差を $|\delta_E| = |V_{max} - V_{min}|$ として定義した。ここで、 V_{max} 、 V_{min} はそれぞれ最大電位差、最小電位差を表す。

図-5は浸漬日数と $|\delta_E|$ の関係である。同図より、浸漬日数が増加するに伴い $|\delta_E|$ が小さな値をとる傾向にあることが分かった。すなわち、風化が進行するにつれて最大電位差と最小電位差の差である $|\delta_E|$ に有意な差が見られなくなることから、風化後の琉球石灰岩に対して、電位差の観点からその崩壊を予測するのは困難であると考えられた。また一般に、多孔質の石灰岩が溶解すると、透過性と多孔度は増加する。図-6に風化前(0日目)と風化後(30日目)の微細構造の変化を示す。同図より、浸漬日数0日目の供試体(図-6(a))は粒子の形状がはっきりとしない。一方、風化が進行している浸漬日数30日目の供試体は粒子の一つ一つが顕在化し、明瞭な凹凸が生じ、粒子の自形がはっきりとしており、風化が進行すると石灰岩内部の構造が明らかに変化していることが分かる。すなわち、砕屑粒子間に存在する間隙材が溶解することで石灰岩の空隙率が上昇したと考えられた。このことから、化学的風化に伴う空隙率の増加が力学的特性、電気的特性に影響を与えていると考えられる。

4. 結論

本研究で得られた知見を以下に列記する。(1)琉球石灰岩の化学的風化に伴う残柱の一軸圧縮強度は、2次曲線的に低下する。(2)琉球石灰岩の化学的風化に伴う残柱の $|\delta_E|$ は小さくなる傾向がある。また、一軸圧縮強度が高いと、 $|\delta_E|$ は大きくなる傾向がある。(3)琉球石灰岩の化学的風化に伴い、空隙率が増加することで力学的特性、電気的特性に影響を与えていると推察される。

参考文献

- 松倉公憲：地形変化の科学，pp.23-43，2008。
- 橋本亜希子，小口千明，松倉公憲：高濃度の二酸化炭素環境下における石灰岩の溶解実験，筑波大学陸域環境センター報告，pp.141-148，2003。
- 渡嘉敷直彦，アイダンオメル，大洞光央，赤木和之：多孔質琉球石灰岩の空隙率と変形・強度特性，土木学会論文集 C，Vol.66 No.4，pp.815-823，2010。