

種々の乾湿繰返しを受けた石炭灰混合材料の溶出特性

福岡大学工学部

学生会員 行徳大輝 久次隆二

福岡大学工学部

正会員 佐藤研一 藤川拓朗 古賀千佳嗣

(独)国立環境研究所

正会員 肴倉宏史

1. はじめに 著者らは別報¹⁾にて、様々な環境条件による乾湿繰返し劣化作用を受けた石炭灰混合材料の力学特性について報告している。そもそも乾湿繰返し試験は、セメント改良土の耐久性の検討に用いられている事例が多いものの、試験に明確な規定がなく、多くが ASTM²⁾ に倣い蒸留水を用いた方法で実施している現状にある。しかしながら、今後、石炭灰混合材料の積極的な活用を推進していく上では、適用する実環境条件に則した検討が必要であり、種々の環境条件下における力学特性や溶出特性及び耐久性を把握することが重要である。なおこれまでの成果から、初期養生日数や硫酸塩地盤及び酸性雨の影響など、種々の環境劣化因子の違いが力学特性に影響を与える要因であることが判明している。そこで本報告は、種々の環境条件を想定した乾湿繰返し試験に着目し、蒸留水、硫酸塩溶液及び酸性雨を模擬した溶媒を用いた石炭灰混合材料の溶出特性について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料及び供試体

作製方法 実験試料には、カオリン粘土及び石炭灰を用い、固化材に高炉セメント B 種を使用した。

実験試料の物理特性と石炭灰の化学組成は表-1 に示す通りである。供試体作製方法は別報¹⁾に示す通りであり、石炭灰をカオリン粘土の湿潤重量比で 100% 添加させ、28 日養生後の一軸圧縮強度が 1,000kN/m² になるように配合を行い、安定処理土の締固めを行わない供試体作製方法³⁾に準じて打設を行った。

2-2 乾湿繰返し試験方法と評価方法

蒸留水を用いた乾湿履歴の与え方は別報¹⁾と同様、Wetting and Drying of Solid Wastes (ASTM D-4843)²⁾ に準拠して行った。硫酸塩溶媒については、近年、硫酸塩による被害 (ex. エトリンガイトの硫酸塩膨張によるひび割れや物理的劣化) が注視されていることを鑑み、1%及び 5%の硫酸塩溶液を溶媒に用い、酸性雨による被害では、1N の塩酸を用いて、pH=4 となるように溶媒を作製したものを用いた。乾湿繰返し試験は、表-2 及び表-3 に示す実験条件のとおり、一連の過程を最長で 15 サイクル実施し、各サイクルの乾燥・湿潤過程終了後に供試体の高さ、直径、質量を測定している。各サイクル終了時には、タンク内のろ液について分析を行っている。ろ液は、供試体の質量に対して、液固比 5 になるように毎サイクル水の入れ替えを行う。また奇数サイクルの湿潤過程終了後には一軸圧縮試験を行い、試験後の破砕片を供試体の表面部分と中心部分からサンプリングし環境省告示第 46 号法試験と 19 号法試験 (含有量試験) を行った。各サイクル終了時の供試体の状態については表-4 に示す目視による健全度評価⁴⁾を用いて劣化の進行を把握した。なお、乾湿繰返しに伴い供試体に剥離が生じたものについては、ジェットセメントを用いて端面補正 (キャッピング処理) を行った後、一軸圧縮試験を行っている。

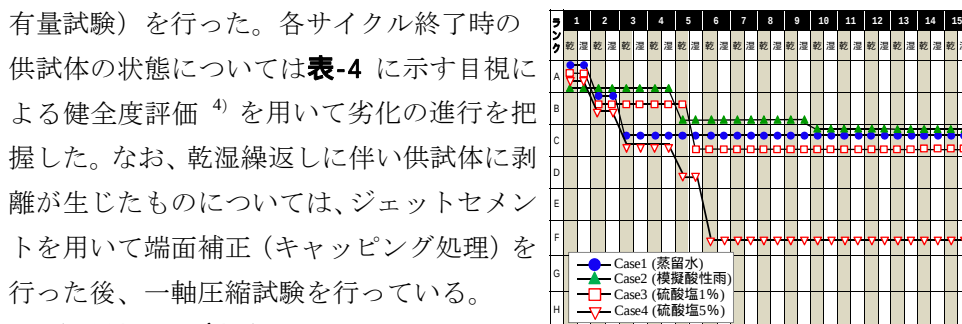


図-1 健全度評価³⁾

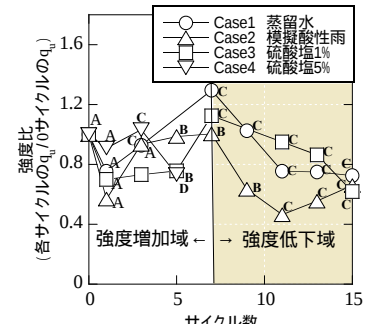


図-2 各サイクルの一軸圧縮強度

3-1 健全度評価 図-1 に各サイクル毎の健全度評価を示し、図-2 に一軸圧縮強度比 (各サイクルの $q_u/0$ サイクルの q_u) とサイクル数の関係を示す。Case1、Case2 及び Case3 は、いずれもサイクル数の増加に伴い、健全度

及び強度が低下する傾向を示している。ここで、強度に関しては、増加域と低下域に区別することができ、今回はいずれの Case についても強度低下がみられる 7 サイクルで、区別を行っている。Case4 の硫酸塩溶媒 5%になると湿潤過程に供する度に剥離を起こし、6 サイクル目ではキャッピングもできないほど劣化し、健全度は F ランクまで低下している。以上より、高濃度の硫酸塩は、剥離といった形で供試体劣化を生じさせることが判明した。

3-2 種々の環境劣化が石炭灰混合材料の溶出特性へ与える影響

本研究で分析対象とした重金属類は、六価クロム、フッ素及びホウ素である。六価クロムはいずれの条件においても定量下限値以下であり、フッ素は、供試体の表面および中心ともに、土壤環境基準値以下かつホウ素とよく似た溶出挙動を呈していたため、ここではホウ素についてのみ考察することとする。

図-3 及び図-4 は、サイクル数と環告 46 号法試験に供した溶出液の最終 pH の関係を表したものであり、いずれも奇数サイクル終了時に実施した一軸圧縮試験後の試験片を用いている。供試体の表面部分および中心部分に関係なく模擬酸性雨を用いた条件は強度低下域である 10 サイクル以降で pH の低下が見られている。これは、図-2 に示す一軸圧縮試験結果において酸性雨溶媒の強度低下が著しいことから分かるように、劣化の進行が内部まで進行しており、石炭灰混合材料中のアルカリ成分が溶け出していることを意味している。図-5 は、湿潤過程終了後のタンクのろ液の pH とサイクル数の関係を示したものであり、ろ液の pH は、供試体内部の pH と比べて全体的に低く、用いる溶媒によって pH が異なる状況にある様子が伺える。図-6 及び図-7 は、供試体表面部分と中心部分のホウ素溶出濃度をサイクルの経過ごとに示したものである。中心部分においては、条件によって多少のばらつきこそ見られるものの、表面部分と比べて全体的に溶出濃度が高いことから、劣化の進行が表面から起こっているものと推察できる。また表面部分においては、いずれの条件においてもサイクル数の増加に伴い溶出濃度は低下する傾向にあることが分かる。これは、図-8 に示すタンクのろ液の累積溶出量(mg/kg)とサイクル数の関係からも分かるように、1 サイクル終了ごとに溶媒を新しく入れ替えているため、常に供試体との間で濃度勾配が生じ成分の溶出が起こっている。そのため、累積溶出量が増加する一方で、供試体中の溶出濃度は低下する傾向にある。今回の一連の検討から、乾湿繰返しに伴う劣化の進行は、石炭灰混合材料の溶出特性に少なからず影響を及ぼすものの、そこから土壤環境基準を超過するような過度の溶出が起こる可能性は低いと考えられる。

4.まとめ 1) 模擬酸性雨を用いた条件は、強度低下域である 10 サイクル以降で pH の低下がみられ、供試体内部まで劣化が進行していることがわかった。2) 供試体の中心部分は、表面部分と比べて全体的に溶出濃度が高いことから、劣化の進行が表面から起こっていることが推察された。3) 今回検討した条件において、乾湿履歴を受けた石炭灰混合材料は、環境基準を超過するような過度の溶出が起こる可能性は低いと考えられる。

謝辞：本研究は、「東アジア標準化に向けた廃棄物・副産物の環境安全品質管理手法の確立」環境省環境研究総合推進費補助金(K113004)の一部として実施された研究である。関係各位に心より感謝申し上げます。

参考文献:1) 久次ら:乾湿繰返し試験の溶媒の違いが石炭灰混合材料の力学特性に与える影響,平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会(講演概要集,論文掲載予定,2013) 2) Standard Test Method for Wetting and Drying Test of Solid Wastes, Designation: D4843-88, ASTM International, 2009 3) 地盤工学会,土質試験の方法と解説—第一回改正版—,「安定処理土の締固めをしない供試体作製」,PP.308-316, 2005 4) 寺師昌明・田中洋行・光本司・本間定吉・大橋照美:石炭・セメント系安定処理土の基本特性に関する研究(第 3 報),港湾空港技術研究所報告,第 22 巻,第 1 号,pp.69-99,1983

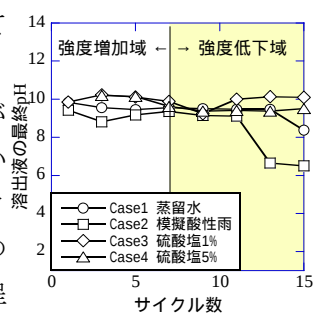


図-3 溶出液の最終 pH とサイクル数 (表面部)

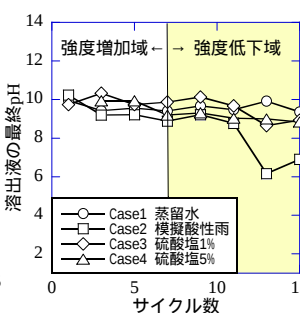


図-4 溶出液の最終 pH とサイクル数 (中心部)

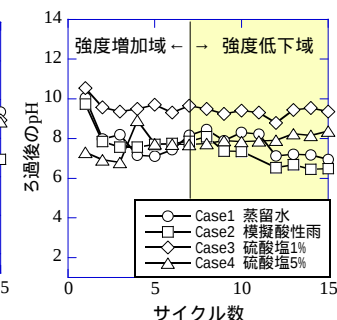


図-5 ろ液の pH とサイクル数

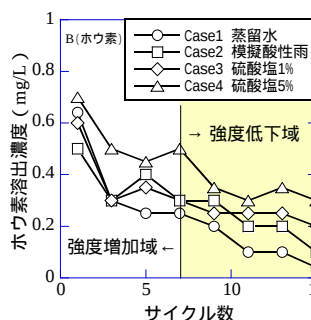


図-6 ホウ素溶出濃度とサイクル数 (表面部)

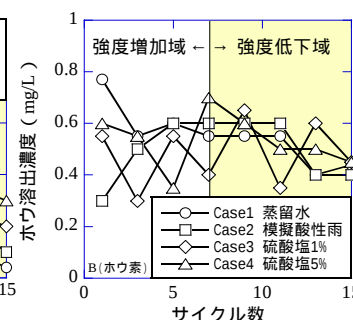


図-7 ホウ素溶出濃度とサイクル数 (中心部)

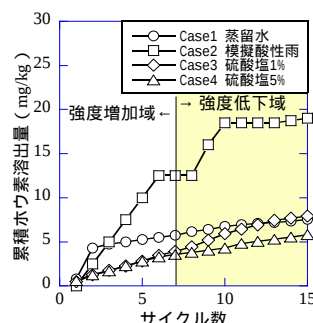


図-8 ろ液の累積溶出量とサイクル数 (ホウ素)