

乾湿繰返し条件下における石炭灰混合材料の力学特性に及ぼす溶媒の影響

福岡大学
福岡大学
(独)国立環境研究所

学生会員 行徳大輝 渡邊裕継
正会員 佐藤研一 藤川拓朗 古賀千佳嗣
正会員 肴倉宏史

1. はじめに 著者らは別報¹⁾にて、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寄与する養生条件の影響について報告している。本報は、乾湿繰返し試験に用いる溶媒の影響が石炭灰混合材料の力学特性に与える影響について検討したものである。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 ASTM をはじめ多くの機関が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（例えば酸性雨の影響や地盤中の硫酸塩劣化の影響など）が必要であり、種々の環境条件下における力学特性や耐久性を把握しておくことが重要である。そこで本報告は、乾湿繰返し試験に用いる溶媒の影響に着目し、蒸留水と硫酸塩溶液を用いた石炭灰混合材料の力学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⁾に示す通りである。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 1000kN/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²⁾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%の硫酸塩溶液を作製したものを溶媒に用い、エトリンガイトの析出に伴う体積膨張による強度低下

について検討した。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。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、試験後の破砕片の中心部分と表面部分を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³⁾を用いて劣化の進行を把握した。

3. 実験結果及び考察

3-1 目視による劣化の比較 (健全度評価) 表-5 に各サイクルにおける供試体の様子を示し、表-6 に健全度評価を行った結果を示す。Case1、Case2 とともに、浸水直後に供試体から気泡の噴出が生じ、サイクル前半において表面剥離がみられ、どちらのケースもサイクル数の増加に伴い劣化の進行が進んでいる。

表-1 試料の物理特性および化学組成

試料	カオリン粘土	石炭灰	石炭灰の化学組成	
土粒子密度 (g/cm ³)	2.731	2.375	SiO ₂	58.8
含水比 (%)	0	0	CaO	5.0
液性限界 (%)	5.17	NP	Al ₂ O ₃	25.9
塑性限界 (%)	3.43	NP	Fe ₂ O ₃	2.3
砂分 (2mm-75μm)	0	0.3	MgO	0.9
シルト分 (75μm-5μm)	35.4	65.3	Na ₂ O	0.2
粘土分 (5μm)	64.6	34.4	K ₂ O	2.3
lg-loss (%)	3.11	5.83		(%)

表-2 溶媒の違いに着目した実験条件

	セメント添加率 (%)	石炭灰添加率 (%)	養生日数 (日)	設定強度 q _{azs} (kN/m ²)	溶媒	サイクル
Case1	5	100	28	1000	蒸留水	15
Case2					硫酸塩	

表-3 本研究における乾湿履歴の与え方

試験条件	乾燥過程	湿潤過程
	炉乾燥 (60±3℃)	蒸留水に浸水
試験時間	24h	1h冷却+23h
サイクル	乾燥→冷却→湿潤を15サイクル	

表-4 健全度評価²⁾

	クラック状況	欠落状況
A	外見上、ほとんど変化なし	
B	微細クラック、局部クラック発生	表面剥離が局部的に発生
C	明瞭なクラックが一部に発生	供試体の一部が僅かに欠落
D	明瞭なクラックが全体に発生	供試体がより大きく欠落
E	供試体の一部または全体が崩落（～20%程度）	
F	供試体全体的に崩壊、崩落、供試体としての形は存在	
G	供試体全体が崩壊し、片々は塊状	
H	供試体全体が崩壊し、片々は細粒化～泥状化	
ここで、細粒化とは粒径2mm程度に細分化された状況を指す。		

表-5 各サイクルの供試体の様子

	1サイクル		5サイクル		9サイクル		13サイクル	
	乾燥後	湿潤後	乾燥後	湿潤後	乾燥後	湿潤後	乾燥後	湿潤後
蒸留水								
硫酸塩								

表-6 健全度評価

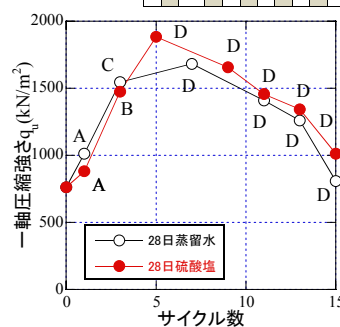
[illegible]

図-1 一軸圧縮強さとサイクル数

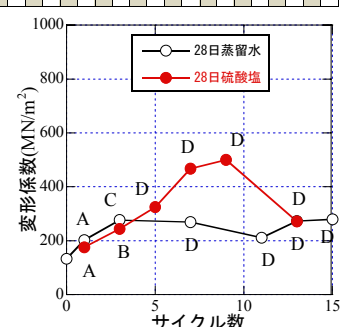
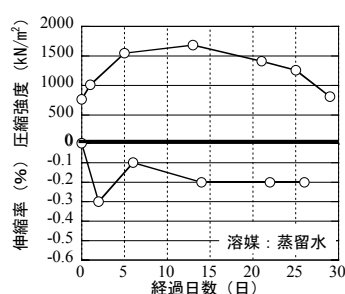


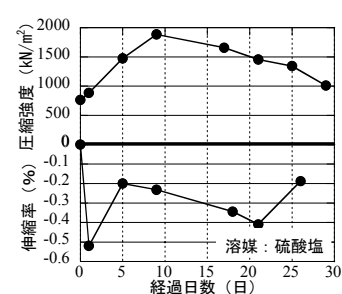
図-2 変形係数とサイクル数

サイクル数	28日蒸留水 (Ct含有率(%))	28日硫酸塩 (Ct含有率(%))
0	100	100
1	99.5	99.5
2	99	99
3	98.5	98.5
4	98	98
5	97.5	97.5
6	97	97
7	96.5	96.5
8	96	96
9	95.5	95.5
10	95	95
11	94.5	94.5
12	94	94
13	93.5	93.5
14	93	93
15	92.5	92.5

図-3 Ca 含有率とサイクル数



(a) 蒸留水溶媒



(b) 硫酸鹽溶媒

図-4 圧縮強度と伸縮率と経過日数

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) 渡辺ら:乾湿繰返し条件下における石炭灰混合材料の力学特性に及ぼす初期養生日数の影響,平成24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) 大脇ら:硫酸塩侵食に抵抗できるコンクリートの開発,大成建設技術センター報 第40号(2007) 4) 重松ら:エトリンサイト形成による土粒子のロッキング効果が土のせん断強度に及ぼす影響,第47回地盤工学研究発表会,pp.593-594, 2012. 5) セメント協会:C&C エンサイクロペディア, 2004.