

乾湿繰返し試験および大気曝露試験から見た石炭灰混合材料の耐久性

福岡大学

正会員　○藤川　拓朗

正会員　佐藤　研一

正会員　古賀　千佳嗣

学生会員　行徳　大輝

(独)国立環境研究所

正会員　肴倉　宏史

1. はじめに 石炭灰等のリサイクル材を用いたセメント系安定処理土の有効利用を進めていく上で、品質の保証をはじめ、耐久性や安全性を担保することが必要不可欠であり、同時にそれらの適切な評価手法を確立することが重要である。中でも、乾湿繰返し試験から得られる結果が安定処理土の実地盤中における耐久性をどこまで再現出来ているか等の検討はほとんどなされておらず、データが不足している状況にある¹⁾。そのため本研究では、これらの相互関係を明らかにし、耐久性評価手法を確立することを目標としている。本報では、乾湿繰返し試験と大気曝露試験の双方から見た石炭灰混合材料の耐久性について報告する。

2. 実験概要

2-1 供試体の作製方法 実験試料にはカオリン粘土及び石炭灰（JIS 灰）を用い、固化材には高炉セメント B 種を使用した。表-1 に用いたカオリン粘土及び石炭灰の物理特性を示す。供試体の作製はカオリン粘土の含水比を液性限界の 2.5 倍に調整し、セメントと石炭灰をカオリン粘土の湿潤重量に対し外割り配合で添加している。また、供試体の目標強度は養生 28 日において、 $q_u=500, 1000\text{kN/m}^2$ となるように配合を検討した。打設は、含水比を調整したカオリン粘土に石炭灰と高炉セメント B 種を加えて 5 分間攪拌を行い、その後、直径 5 cm、高さ 10cm の塩ビ製モールドに安定処理土の突固めをしない供試体作製方法（JGS 0813）に準じて行った。実験に用いた配合条件を表-2 に示す。

2-2 乾湿繰返し試験および大気曝露試験方法 乾湿繰返し試験の履歴の与え方は、表-3 に示す Wetting and Drying of Solid Wastes(ASTM D-4843)を参考にした。乾燥過程では、 $60\pm3^\circ\text{C}$ に保った乾燥炉内に 24 時間静置し、その後 $20\pm3^\circ\text{C}$ の恒温室で 1 時間放置冷却し、湿潤過程に供した。湿潤過程においては、供試体が完全に浸水する体積(本サンプルにおいては $L/S=5$)を基に溶媒を設定し、各溶媒中に 23 時間静置した。乾燥及び湿潤過程の前後に供試体の高さ、直径、質量を測定し、上記の一連の過程を最長で 15 サイクル実施した。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、試験後の供試体片をサンプリングし、環告 19 号法試験及び底質調査方法を行った。各サイクルの湿潤過程終了後には、浸漬液を対象としてタンクリーチング試験を行い、劣化に影響を及ぼす Ca 溶出量についても把握を行っている。大気曝露試験は、建物の屋上に供試体を静置し表-4 に示す期間、乾湿繰返し試験と同項目の測定と試験を行っている。いずれの試験においても表-5 に示す健全度評価²⁾を用いて劣化の進行を把握した。

キーワード 石炭灰，乾湿繰返し試験，大気曝露，一軸圧縮試験，耐久性

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8 丁目 19-1 福岡大学工学部 TEL 092-871-6631(ext.6481)

表-1 試料の物理特性

試料	カオリン粘土	石炭灰 (JIS II 種)
土粒子密度 (g/cm ³)	2.731	2.357
含水比 (%)	0	0
液性限界 (%)	51.7	N.P.
塑性限界 (%)	34.3	N.P.
粒度分布		
砂分 (2mm-75μm)	0	0.3
シルト分 (75mm-5μm)	35.4	65.3
粘土分 (5μm-)	64.6	34.4
Ig-loss (%)	3.11	5.83

表-2 実験に用いた配合条件

	セメント 添加量 (%)	石炭灰 添加量 (%)	養生日数 (日)	設定強度 q_u (kN/m ²)
Case1	3	100	28	500
Case2	5	100	28	1000

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 ($60\pm3^\circ\text{C}$)	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 大気曝露試験条件

実験条件	設置場所	曝露期間(日)	試験開始日
Case1 Case2	建物の屋上	7, 14, 28, 56, 91, 182, 365, 730, 1095	2012年3月1日

表-5 健全度評価基準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。		

3. 実験結果及び考察 図-1 に乾湿繰返しサイ

クル数と一軸圧縮強さの関係を示す。C=3%の乾湿繰返し試験では、1 サイクル乾燥後の湿潤過程において浸漬直後に供試体内から気泡が噴出し、すべての供試体においてスレーキングに伴う崩壊・細粒化が見られ、その後の圧縮試験を行うことが出来なかった。一方、C=5%の条件ではサイクル数の増加に伴い局所的な表面剥離が進行するものの、7 サイクルまでは強度が増加する傾向にあり、その後、劣化の進行

とともに強度が低下していく様子が伺える。これらの差異は、初期の一軸圧縮強さ（すなわちセメント添加量）が起因していると考えられ、一軸圧縮強さが低いと乾湿繰返しに対する抵抗性が劣ることを表している。一方、図-2 に示す大気曝露条件下においては、乾湿繰返し同様に初期に強度増加が見られ、その後、日数の経過に伴い低下していく傾向にあるが、健全度ランクからも推察できるように、365 日経過した時点でも表面劣化や剥離は見られず安定していることが分かる。これらの耐久性の違いを把握すべく、図-3 に経過日数と伸縮率の関係、図-4 に曝露経過日数と質量変化の関係を示す。ここで、伸縮率とは供試体の鉛直方向における長さ変化（収縮を正）を表している。また、乾湿 1 サイクルに要する日数は 2 日であるため、全 15 サイクルを 30 日として大気曝露試験結果と同軸上で整理を行っている。乾湿繰返し条件下における供試体は、全体的に膨張傾向にあるものの、大気曝露条件下では全体的に収縮傾向にあり、質量変化の結果とも照らし合わせて乾燥収縮が起こっていると考えられる。また、図-5 に示す経過日数と Ca 含有量の関係に着目すると、大気曝露条件下においては、経過日数に伴うなだらかな Ca の溶脱が伺える。これに対し乾湿繰返し条件下では、毎回の溶媒の入れ替え作業（常に濃度勾配が生じ化学平衡に至りにくい状態）により Ca 溶脱量が曝露条件下と比べて卓越していることが分かる。このように、同一配合条件において圧縮強度だけ見ると一見似た様な挙動を示しているものの、環境劣化作用が異なると耐久性や劣化の進行は大きく異なることが判明した。また ASTM

による乾湿繰返しの条件設定は、大気曝露条件よりも厳しい設定にあり、今回の条件設定かつ Ca 含有量に特化した場合、乾湿 15 サイクルは、大気曝露条件下の 860 日程度の状態を再現しているものと考えられる。

4. まとめ 同一配合条件においても、環境劣化作用が異なると石炭灰混合材料の耐久性や劣化の進行は大きく異なることを実験的に明らかにした。今後はさらに、実地盤中における挙動も踏まえた検討を行っていく予定である。

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) 嘉門雅史・勝見 武・今西秀公：セメント系安定処理土の乾湿繰返し耐久性，セメント・コンクリート論文集，No.45，pp.744-749，1991. 2) 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.69-96，1983.

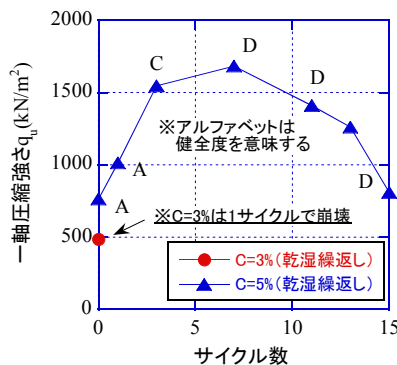


図-1 サイクル数と一軸圧縮強さ

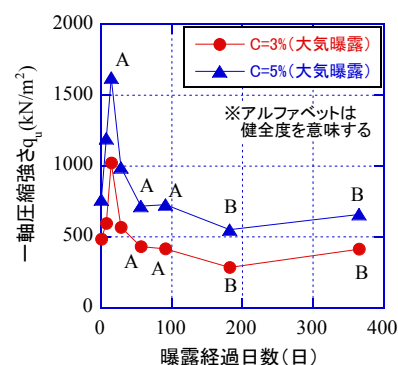


図-2 曝露経過日数と一軸圧縮強さ

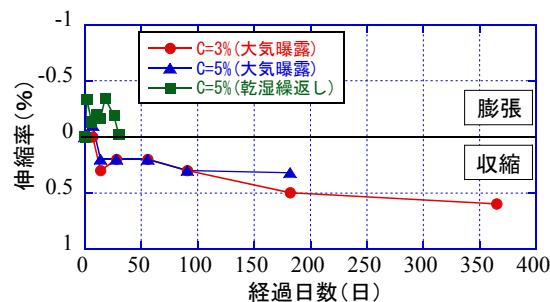


図-3 経過日数と伸縮率の関係

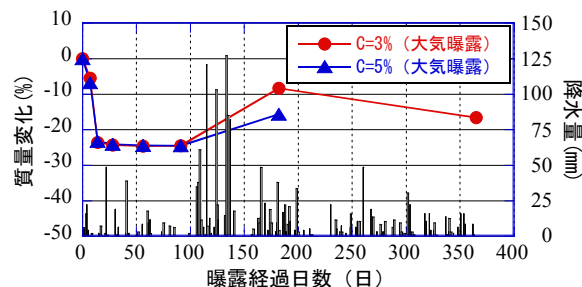


図-4 大気曝露条件下における供試体の質量変化

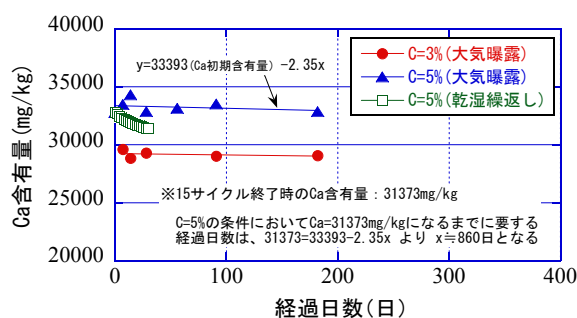


図-5 経過日数とCa含有量の関係