

低強度石炭灰混合材料の耐久性評価手法の検討(その 3：炭種の違いによる影響)

福岡大学大学院 学生会員 ○池田 哲朗
福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1. はじめに

石炭灰を地盤材料として有効活用する技術の一つに石炭灰混合材料¹⁾がある。著者らはこれまで石炭灰混合材料の耐久性評価手法について一連の研究を行っており、一軸圧縮強さが 500kN/m² 程度の低強度な石炭灰混合材料(以降、低強度石炭灰混合材料と定義)は乾湿繰返し試験においてスレーキング破壊が生じ、耐久性の評価が難しいことから、強度レベルに応じた乾湿繰返し試験方法の提案を行っている²⁾。しかしながら、石炭灰は炭種や排出事業者等によって物理・化学特性が異なるため、提案する耐久性評価試験手法が異なる石炭灰に対しても適用可能かどうかについては明らかにされていない。そこで本報告では、炭種の違いが提案する耐久性評価手法に与える影響を検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 石炭灰混合材料の作製方法及び実験条件 本実験には、炭種の違いによる影響を把握するため、事業者の異なる 2 種類の石炭灰(原灰)と土質試料としてカオリン粘土、固化材には高炉セメント B 種を混練し、これらに所定量の水を加えたものを石炭灰混合材料と定義している。

表-1 に実験に用いた配合条件を示す。カオリン粘土は、土質材料のばらつきによる誤差を軽減させるため、建設発生土の代替材として使用した。供試体の作製において、カオリン粘土の含水比は液性限界($w_L=51.7\%$)を基準に調整を行った($3.5w_L=181.0\%$)。セメントと石炭灰をカオリン粘土の湿潤質量に対し外割り配合で添加している。また、供試体の目標強度を養生 28 日において $q_{u28}=500\text{kN/m}^2$ 程度となるように、それぞれ配合条件を設定した。

2-2 乾湿繰返し試験の方法 乾湿履歴の与え方は、Wetting and Drying Test(ASTM D-4843)³⁾を準拠した。ASTM に定められている試験条件を表-3 に示す。なお、ASTM では炉乾燥温度を 60℃に規定しているが、この条件では、低強度石炭灰混合材料の耐久性を評価するのは難しいため²⁾、本研究では表-4、5 に示すように、炉乾燥温度 35℃で 24 時間、または、ASTM に準拠し炉乾燥温度を 60℃にて試験を実施する場合は、乾燥時間を 8 時間に設定し試験を実施した。また、一連の過程を最長で 15 サイクル実施した。各サイクルの乾燥・湿潤過程終了後には供試体の高さ、直径、質量を測定している。初期の力学特性の把握を行うために一軸圧縮試験を行い、奇数サイクルの湿潤過程終了後には針貫入試験(JIS S 3008)を行っている。また、Ca の溶出量を把握するために平成 3 年環境庁告示第 46 号法試験及び平成 15 年環境省告示第 19 号法試験に規定された溶出操作を行った。さらに、目視によるサイクル経過に伴う石炭灰混合材料の劣化状況を把握するため、表-6 に示す健全度評価⁴⁾を用いて評価を行った。

表-1 各試料の物理特性

試料	カオリン粘土	石炭灰C(原粉)	石炭灰D(原粉)
土粒子密度(g/cm ³)	2.731	2.234	2.176
含水比(%)	0	0	0
液性限界(%)	51.7	N.P.	N.P.
塑性限界(%)	34.3	N.P.	N.P.
砂分(2mm-75μm)	0	2.9	5.1
シルト分(75μm-5μm)	35.4	68.9	35.2
粘土分(5μm)	64.6	28.2	59.7

表-2 実験に用いた配合条件

	灰種	セメント添加率 C(%)	設定含水比 w(%)	石炭灰添加率 ash(%)	一軸圧縮強さ $q_{u28}(\text{kN/m}^2)$
Case1	石炭灰C	5	3.5 w_L	100	567
Case2	石炭灰D	9			475

表-3 乾湿履歴の与え方 (ASTM)³⁾

試験条件	乾燥過程	湿潤過程
	炉乾燥 (60±3℃)	溶媒に浸水 液個比5
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 乾燥温度に着目した乾湿履歴の与え方

試験条件	乾燥過程	湿潤過程
	炉乾燥 (35±3℃)	溶媒に浸水 液個比5
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-5 乾燥時間に着目した乾湿履歴の与え方

試験条件	乾燥過程	湿潤過程
	炉乾燥 (60±3℃)	溶媒に浸水 液個比5
試験時間	7,8,9h	1h冷却+23h
サイクル	乾燥→冷却→湿潤を15サイクル	

表-6 健全度評価基準⁴⁾

	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。		

キーワード 石炭灰, 乾湿繰返し試験, 一軸圧縮試験, 針貫入試験, 耐久性

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区片江 8 丁目 19-1 福岡大学工学部 TEL 092-871-6631

3. 実験結果および考察

3-1 健全度評価による劣化の把握 図-1 に乾湿繰返し試験の乾燥温度及び、乾燥時間に着目した目視による健全度評価結果を示す。この図から、Case1, 2ともに1サイクルでスレーキングによる崩壊を起こすことなく、サイクル数の増加に伴い劣化が進行しているのが分かる。また、石炭灰 D を用いた Case2 は、石炭灰 C を用いた Case1 の劣化状況が類似した挙動を示していることが分かる。このことから、提案する乾湿繰返し試験条件は、炭種の異なる石炭灰に供した場合でも、適応可能であることを示唆している。

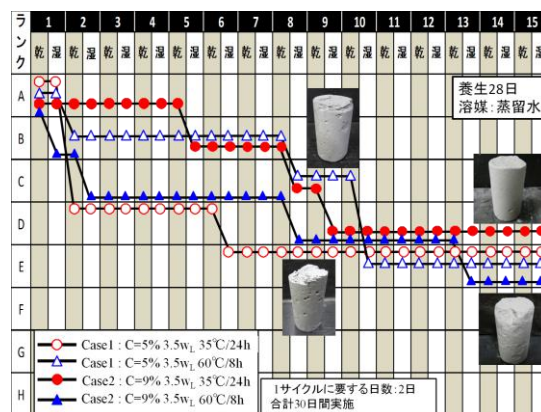


図-1 健全度評価結果

3-2 乾湿繰返し試験による石炭灰混合材料の力学特性 図-2 に針貫入試験による貫入抵抗と一軸圧縮強さの関係を示す。この図から、貫入抵抗と一軸圧縮強さには相関性があり、貫入抵抗値が分かればある程度の一軸圧縮強さを推定することができる。そこで以降の検討については、針貫入試験の結果から換算した一軸圧縮強さを換算一軸圧縮強さと定義し、乾湿履歴を受けた材料の強度の把握を行った。図-3 に石炭灰 C 及び D の乾湿繰返し試験によって得られたサイクル数と一軸圧縮強さの関係を示す。石炭灰 C を用いた図-3 (a) のグラフでは、いずれの条件においてサイクル初期に強度増加を示し、サイクル中期にピークを示した後、強度低下に転じており、セメント安定処理土に乾湿繰返し試験を適用した際に見られる劣化の挙動⁵⁾と類似した挙動を示した。この強度増加の要因としては、乾燥過程における高温養生と水浸過程による水和の促進によるものと考えられる。強度低下の要因としては、乾湿繰返しによるポーラス化やスレーキング等の物理劣化によるものと、Ca の溶脱によるものと考えられる。また、サイクル数の増加に伴い健全度ランクが低下していることから、劣化の進行が起こっていると考えられる。そこで、炭種の違いによる影響を把握するため、石炭灰 D を用いて検討を行った結果を図-3 (b) に示す。この図から分かるように、石炭灰 C の場合と同様にサイクル初期に強度増加を示し、サイクル中期にピークを示した後、強度低下に転じていることが分かる。これらの強度増加と強度低下の要因は石炭灰 C と同様のものであることが考えられる。以上の結果から、低強度石炭灰混合材料は、乾燥温度を 35°C に設定するか、乾燥温度を ASTM に準拠した 60°C で実施する場合、乾燥時間を 8 時間に設定することにより、炭種違いに関係なく乾湿繰返し試験の実施が可能であり、ピーク挙動を得ることができると明らかとなった。

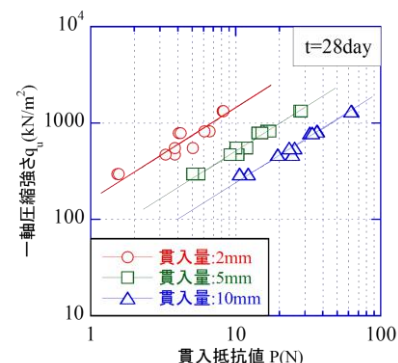


図-2 貫入抵抗値と一軸圧縮強さの関係

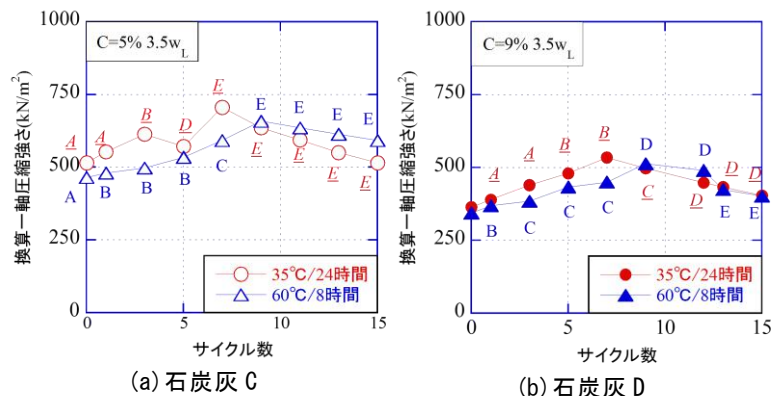


図-3 サイクル数と一軸圧縮強さの関係

4. まとめ

低強度石炭灰混合材料の耐久性試験の乾燥過程における乾燥温度は、劣化の促進に寄与する重要な因子であり、今回用いた $q_{u28}=500 \text{ kN/m}^2$ 程度の供試体では、炭種の違いに関係なく 35°C で 24 時間もしくは 60°C で 8 時間の条件においてスレーキングが生じることなく、乾湿繰返し試験を実施することが可能である。

謝辞 本研究は、文科省 科研費 26870786 の助成を受けたものです。関係者各位に心より感謝申し上げます。

【参考文献】1) (財)石炭エネルギーセンター, 港湾工事における石炭灰混合材料有効利用ガイドライン 2) 梅田ら: 乾湿繰返し試験を用いた低強度石炭灰混合材料の耐久性評価手法の検討, 第 12 回地盤改良シンポジウム論文集, 8-5, pp. 369-372, 2016. 3) Standard Test Method for Wetting and Drying Test of Solid Wastes, Designation: D4843-88, ASTM International, 2009. 4) 森ら: 繊維質固化処理土の乾湿繰返し試験による耐久性に関する実験的研究, 資源と素材 (Shigen-to-sozai) 5) 藤川ら: 種々の乾湿繰返し履歴を受けた石炭灰混合材料の耐久性及び環境影響評価, 第 11 回地盤改良シンポジウム論文集, pp.277-280, 2014.