

種々の暴露条件下における石炭灰混合材料の力学・溶出特性

福岡大学大学院 学生会員 ○豊永麻依
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 石炭灰は、石炭灰混合材料^{1),2),3)}として港湾部を中心に有効利用がなされているが、年々増加する発生量に伴う積極的な有効利用が喫緊の課題に上げられる。石炭灰混合材料の有効利用を進めていくには、品質の保証や周辺環境への安全性だけではなく材料の耐久性の担保も重要である。しかしながら、長期的な力学特性、耐久性や環境安全性の評価については、これまでにデータの蓄積がない。今後、石炭灰混合材料の有効利用において、重要な課題となっている。そこで、本研究では2種類の石炭灰混合材料(スラリー材、塑性材)に着目し、種々の環境を模擬した暴露条件下において力学・溶出特性の検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験条件 実験には、石炭灰(JIS 灰)、固化材(高炉セメント B 種)と必要に応じてカオリン粘土を用い、これらを所定の水と混合した材料を用いて供試体を作製した。力学特性は、一軸圧縮試験(JIS A 1216)と針貫入試験の2種類、溶出特性は、一軸圧縮試験後の試験片を用い有姿試験(JIS K 0058-1)により評価を行っている。表-1に石炭灰とカオリン粘土の物理特性、表-2に石炭灰の化学組成を示す。

表-1 試料の物理特性

試料	石炭灰	カオリン
土粒子密度(g/cm ³)	2.347	2.731
含水比(%)	0	0
液性限界(%)	N.P.	51.7
塑性限界(%)	N.P.	34.3
細粒分含有率(%)	99.7	100.0

表-2 石炭灰の化学組成式

化学組成式	石炭灰
SiO ₂ (%)	58.2
CaO(%)	7.9
Al ₂ O ₃ (%)	20
FeO(%)	5.0
MgO(%)	1.7
Na ₂ O(%)	0.5
K ₂ O(%)	1.9

2-2 スラリー材の作製方法 表-3に供試体の配合条件を示す。養生日数 28 日における目標強度を $q_{u28}=300\sim1000\text{kN/m}^2$ 程度となるようにスラリー材 1m³あたりのセメント添加量を 50, 75, 100kg/m³に固定し、フロー値が 220±20mm になるように予備練り試験を経て、配合条件を決定した。供試体作製後は、翌日に整形、翌々日に脱型し、ラップに包み恒温温室で7日間の養生を行った。

表-3 スラリー材の配合条件

セメント添加量(kg/m ³)	石炭灰(kg/m ³)	水(kg/m ³)	湿潤密度(g/cm ³)	フロー値(mm)
50 (5.1%)	985	564	1.599	222
75 (7.7%)	975	560	1.610	219
100 (10.4%)	960	558	1.618	212

※()内はセメント添加率を示している

2-3 塑性材の作製方法 表-4に供試体の配合条件を示す。養生日数 28 日における目標強度を $q_{u28}=300\sim1000\text{kN/m}^2$ 程度となるように作製した。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を基準の 2.5 倍で調整を行った。また、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。打設は、安定処理土の突き固めをしない供試体作製方法(JIS 0813)に準じ作製し、翌日に整形、翌々日に脱型し、ラップに包み恒温温室で7日間の養生を行った。

表-4 塑性材の配合条件

セメント添加率(%)	主材	石炭灰添加率(%)	設定含水比(%)
3	カオリン粘土	100	2.5W _L
5			
7			

※w_L=51.7

2-4 暴露試験方法 7日間ラップに包み養生させた供試体を用い、気中、水浸、海水暴露で養生を行った。水浸、海水暴露との比較のため行った気中暴露では、供試体を 20±3℃の恒温温室でラップに包み養生を行い、地下水を模擬した水浸暴露では蒸留水を用いた。また港湾付近を模擬した海水暴露では、二次処理された海水を使用した。水浸及び海水暴露試験は、各種暴露水を満たした水槽内に供試体を静置し 20±3℃の恒温温室で養生させ溶媒は定期的に交換を行っている。表-5に暴露試験期間を示す。

表-5 暴露試験期間

条件	種類	暴露期間(日)
気中 水浸 海水	スラリー材	0, 7, 28, 56, 91, 182, 365
	塑性材	0, 7, 28, 56, 91, (182, 365)

※7日養生後暴露試験開始

2-5 利用有姿による溶出試験方法 石炭灰混合材料は、道路路盤材や裏込材といった覆土される環境での利用では摩耗や粉塵飛散はないと考えられることから、本報告では、ガイドライン^{1)~3)}にも示されている溶出試験に利用有姿による試験(JIS K 0058-1)を用いた。所定の暴露期間経過後一軸圧縮試験を行った後の試験片を用いて、検討を行っている。本研究で対象とした重金属類は、F(フッ素)、B(ホウ素)、Pb(鉛)、Cr(VI)(六価クロム)、Ca(カルシウム)の5つを測定した。F(フッ素)は、イオンクロマトグラフィー(ICS-1000:ダイオネクス社製)を用い、B(ホウ素)、Pb(鉛)、Ca(カルシウム)においては、ICPプラズマ発光分析装置(ICP7000-Ver.2:島津製作所製)、Cr(VI)(六価クロム)の分析には分光光度系(SHIMAZU 社製 UVmini-1240)を用いた。

キーワード 石炭灰混合材料, 暴露試験, 耐久性

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL092-871-6631(ext.6464)

3. 実験結果及び考察

3-1 暴露条件下における力学特性

種々の暴露条件下において実施した、スラリー材における一軸圧縮試験の結果を図-1、塑性材における一軸圧縮試験の結果を図-2に示す。いずれの条件においても、セメント添加率及び暴露日数の増加に伴い一軸圧縮強度が増加していることが分かる。また、材料の違いに関わらず気中暴露試験、水浸暴露試験での強度発現に比べ、海水暴露試験での強度発現が大きいことが分かる。この理由として、海水暴露においては、固化材に高炉セメントを使用していることから海水に浸漬することでアルカリ刺激を受けスラグの潜在水硬性及びポゾラン反応により、他の暴露試験よりも強度が大きく発現したと考えられる。しかしながら、スラリー材において暴露日数91日以降水浸暴露、海水暴露で、全ての条件で強度低下を示した。このことから塑性材においても時間の経過とともに強度が低下する可能性があるため、引き続き各種暴露条件下において実験を行っていく予定である。

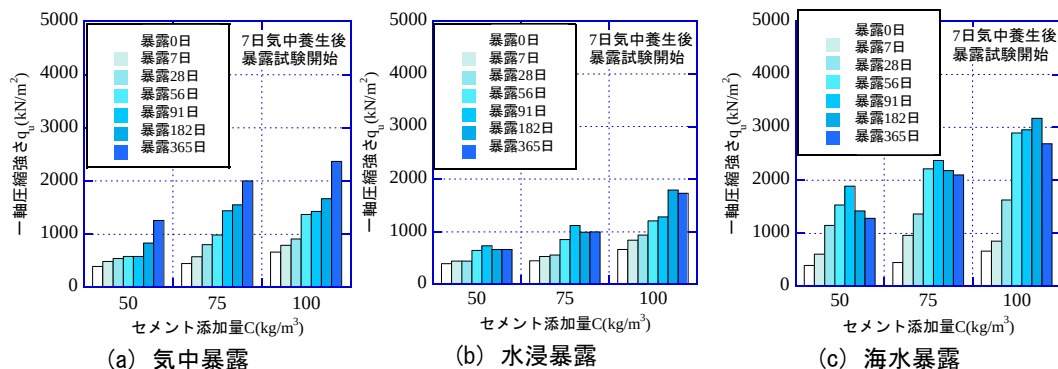


図-1 スラリー材による一軸圧縮試験結果

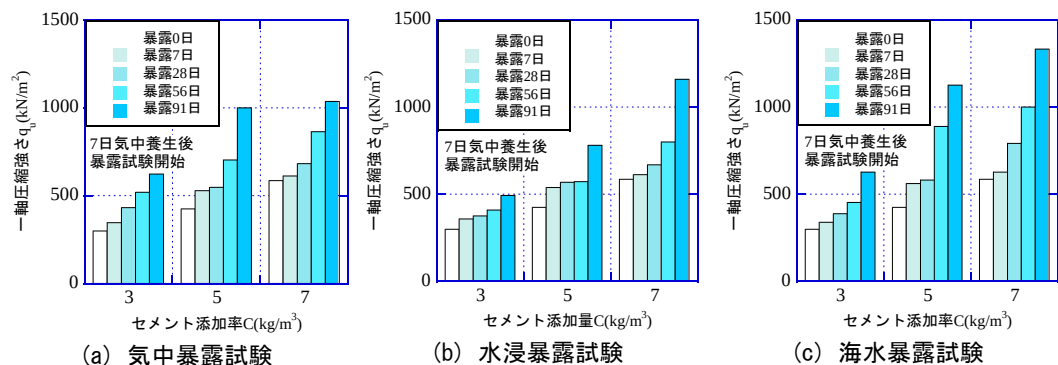


図-2 塑性材による一軸圧縮試験結果

表-6 スラリー材による溶出試験結果

期間(日)	0	7			28			56			91			182		
種類	-	気中	水浸	海水	気中	水浸	海水	気中	水浸	海水	気中	水浸	海水	気中	水浸	海水
pH	11.1	11.4	11.2	10.1	10.9	11.1	9.4	11.2	10.9	9.9	11.2	10.9	9.9	11.2	10.9	9.9
Cr ⁶⁺	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
B	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	0.08	0.02	0.05	0.14	0.03	0.09	-	0.07	-	-
F	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Pb	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

表-7 塑性材による溶出試験結果

期間(日)	0	7			28			56		
種類	-	気中	水浸	海水	気中	水浸	海水	気中	水浸	海水
pH	10.6	10.6	10.4	9.5	10.9	10.2	9.6	10.6	9.4	9.0
Cr ⁶⁺	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
B	0.07	0.06	0.07	0.12	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08
F	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Pb	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

3-2 利用有姿による溶出特性の把握 スラリー材の溶出試験結果を表-6、塑性材の溶出試験結果を表-7に示す。材料の違いに関わらず、F(フッ素)、Pb(鉛)、Cr(VI)(六価クロム)は定量下限値以下であることが分かる。B(ホウ素)については、暴露日数の増加に伴い溶出量も増加したが、土壤環境基準値以下であった。また、強度低下をしても溶出挙動に変化がないことが分かる。しかしながら、時間の経過に伴い、土壤環境基準を上回る溶出が見られるという報告^{4),5)}もあるため、引き続き長期的なデータの蓄積を行っていく予定である。

4. まとめ

1) 暴露環境下に曝した石炭灰混合材料(スラリー材、塑性材)は、材料の違いに関わらず海水暴露において著しい強度増加が見られた。しかし、スラリー材の水浸、海水暴露91日以降において強度低下を示した。今後特に水浸、海水における暴露日数の経過に伴う強度発現の状況を確認する必要がある。

2) 材料の違いに関わらず、いずれの条件においても定量下限値以下及び土壤環境基準値以下であることが明らかとなった。

<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の有効利用ガイドライン, pp.2-11, 2011. 2) (財)石炭エネルギーセンター, 石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(震災復興資材編), pp.1-3, 2014. 3) (財)石炭エネルギーセンター, 石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(高規格道路盛土編), pp.3-7, 2015. 4) 林宏親・西本聡・大石幹太・寺師昌明: セメント安定処理土の長期強度特性 その2-室内実験による検討-, 北海道開発土木研究所月報, No.612, pp.28-36, 2004. 5) 中村健・北詰昌樹: セメント安定処理土の耐久性に関する室内試験, 港湾空港技術研究所資料, No.1128, 2006.