

石炭灰混合材料の繰返し利用が強度発現と破壊形態に及ぼす影響

福岡大学 正会員 ○藤川 拓朗
福岡大学 正会員 佐藤 研一

1. はじめに 石炭灰混合材料は、港湾工事や土木工事等において利用されている¹⁾。しかしながら、供用期間の終了や、ライフライン等の維持修繕に伴い数年後、十数年後に掘削・破碎されるといった例も少なくない。掘削・破碎を経た石炭灰混合材料（以下、解砕処理土）の再利用は想定されておらず最終処分されている現状にあり、このような解砕処理土を循環資源として利用出来れば、処分場の延命化のみならず循環型社会の形成に寄与できると考えられる。そのためには、解砕処理土の有効利用に際し地盤工学的な面からの有用性と環境への安全性を明らかにしておく必要がある。そこで、本研究では石炭灰混合材料の繰返し利用に主眼を置き、1) 解砕粒径の違い、2) 解砕までの期間や仮置き期間の影響が繰返し利用時の強度発現や破壊挙動に及ぼす影響について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料及び供試体作製方法 実験試料は、表-1 に示す泥土と石炭灰（フライアッシュⅡ種）を用い、固化材（高炉セメント B 種）と石炭灰を泥土の湿潤質量に対して外割り配合で添加した。これらの材料をミキサーで 10 分間攪拌した後、鋳鉄製モールド（φ=5cm, h=10cm）を用いて、突固め層数が 3 層となるようにランマー（質量 1.5kg 落下高さ h=20cm）で突固め回数を 12 回として石炭灰混合材料を作製した（JIS A 1210）。突固め回数は、突固めエネルギー E_c =約 550 (kJ/m³) となるように調整している。作製後、ラップで密封し 20℃一定の恒温室内で所定期間、空气中養生させたものを回転式破碎混合混練機²⁾を用いて解砕し、これを解砕処理土として各実験に用いた。なおこの破碎機は、回転数とチェーンの本数を設定することで、任意の粒径が作製可能である。

表-1 試料の物理特性

試料	泥土	石炭灰 (JISⅡ種)
土粒子密度 (g/cm ³)	2.609	2.357
含水比 (%)	24.6	0
液性限界 (%)	42.2	N.P.
塑性限界 (%)	17.9	N.P.
粒度分布		
砂分 (2mm-75μm)	43.4	0.3
シルト分 (75mm-5μm)	16.5	65.3
粘土分 (5μm-)	34.4	34.4
Ig-loss (%)	5.66	5.83

2-2 破碎粒径の違いが繰返し利用時の破壊形態に及ぼす影響 表-2 に示すように、最大粒径が 4.75mm（以後、解砕処理土 a-粒径小）と 9.5mm（以後、解砕処理土 a-粒径大）の異なる解砕処理土を再び締固め所定の期間養生した後、港湾空港技術研究所が所有するマイクロフォーカス X 線 CT スキャナ装置³⁾ (SMX-225CT: 島津製作所) を用いて、石炭灰混合材料の解砕粒径が繰返し利用時の破壊挙動に及ぼす影響について検討を行った。

表-2 破碎粒径の違いに着目した実験条件

解砕処理土分類	主材	セメント添加率 (%)	石炭灰添加率 (%)	解砕までの養生日数 (日)	最大粒径 (mm)
解砕処理土 a-粒径小	泥土	3	10	28	4.75
解砕処理土 a-粒径大					9.5

2-3 解砕までの期間・仮置き期間が繰返し利用時の強度発現に及ぼす影響 実際に解砕処理土が発生する際には、早期に解砕される場合や、長期に解砕される場合と異なる養生日数での解砕が考えられ、いずれも再使用の際に一度仮置きという措置を取ることが予想される。そこで、石炭灰混合材料が解砕されるまでの養生日数及び仮置き日数と強度発現の関係性について検討を行った。なお比較のため石炭灰を混入していないセメント改良土での検討も行っている。作製した解砕処理土の分類及び配合条件を表-3 に示す。作製した解砕処理土 b, c を用い供試体の乾燥を避けるためにビニール袋内で湿潤状態となるように密封して仮置きを行った。所定の期間仮置きしたものを 2-1 と同様のエネルギーで再度締固めて供試体を作製し、養生終了後に一軸圧縮試験を行った。

表-3 破碎粒径の違いに着目した実験条件

解砕処理土分類	主材	セメント添加率 (%)	石炭灰添加率 (%)	解砕までの養生日数 (日)	最大粒径 (mm)
解砕処理土 b (元:セメント改良土)	泥土	3	0	3, 28, 91	9.5
解砕処理土 c (元:石炭灰混合材料)			10	3, 91	

3. 実験結果および考察

3-1 解砕粒径が強度発現及び破壊形態に及ぼす影響 図-1 に解砕処理土 a を突き固めた供試体の一軸圧縮試験結果を

キーワード 石炭灰混合材料, 循環利用, 一軸圧縮試験, X 線 CT スキャナ, 仮置き

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

示す。ピーク強度及び破壊ひずみの大きさは解砕粒径の大小に関わらず、ほぼ同程度の値を示すことが分かる。しかし、解砕処理土a-粒径大についてはピーク強度以降のひずみの増加に伴う応力低下が著しく見られた。また、図-2に示す一軸圧縮過程のピーク強度以降の水平断面画像からも分

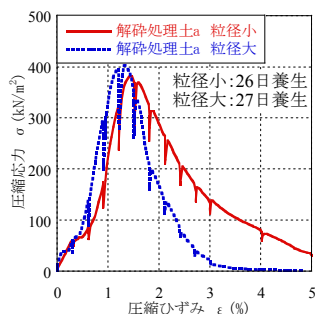


図-1 一軸圧縮試験結果

かるように(a), (b)ともにピーク強度付近 ($\varepsilon = 1.5\%$) においては水平断面画像中にクラックの発生はなく、ピーク強度以降においてひずみの増加に伴うクラックの発生が見られた。以上のことより、石炭灰混合材料の繰返し利用における解砕粒径の違いは、ピーク強度及び破壊ひずみには影響を与えないものの、ピーク強度以降の破壊挙動に影響を及ぼすと考えられる。

3-2 解砕処理土の解砕・仮置き期間が強度発現に及ぼす影響

図-3に解砕処理土の解砕までの日数及び仮置き日数の違いが締固め後の一軸圧縮強さに与える影響について示す。図中には、基本となるセメント改良土及び石炭灰混合材料の一軸圧縮強さを「未解砕」として表記している。一般的に解砕し締固めた改良土の一軸圧縮強さは、未解砕時のものと比べて低下することが知られている⁴⁾。本研究で作製した改良土においても、解砕後の強度低下がみられ、解砕前の一軸圧縮強さが大きい程、強度低下率が高いことが分かる。また、解砕までの日数が異なっても締固め直後の強度に影響を及ぼさないことから、単粒子自体の強度は締固め直後の強度には影響しないものと考えられる。その後、一旦は低下した強度も解砕までの日数が短いものについては養生の経過に伴い再び水和が進行し強度が増加することが分かる。しかし、解砕日数91日においては(a), (b)ともに養生経過後の強度増加が低いことがわかる。特に石炭灰混合材料については、この傾向が顕著である。そこで、解砕後の強度増減割合についてみるため、図-4に養生28日後の未解砕の改良土に対して、ある経過日数(解砕までの養生日数+仮置き期間)において締固めた解砕処理土の養生28日後の強度比をRと定義し、経過日数と強度比Rの関係で整理したグラフを示す。これより、経過日数が長期における程、締固め後の強度増加は低く、養生28日までにおける強度低下が著しいことが分かる。このように長期養生後および仮置き日数の経過により締固め後の強度増加が低下する要因としては、処理土内の水和反応が停滞していたものと考えられる。

4. まとめ 1) 解砕粒径の違いはクラック発生量及び発生箇所に影響を及ぼし、ピーク強度以降の破壊挙動に影響を及ぼす。2) 解砕までの日数及び仮置き期間が短いものは、締固め後に再び水和が進行し強度が回復する。一方、解砕までの日数及び仮置き期間が91日以上経過した条件では、強度増加に期待出来ないものの、 $q_u = 200 \text{ kN/m}^2$ 程度の強度を有することが判明した。

謝辞 本研究を進めるにあたり、港湾空港技術研究所の菊池喜昭氏、水谷崇亮氏の協力を得ました。末筆ながらここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 石炭灰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，平成23年3月 2) 例えば 中島典昭，横田季彦，黒山英伸，雀部和男，生木泰秀：回転式破碎混合（ツイスター）工法の地盤環境分野への適用について，第7回地盤改良シンポジウム論文集，pp.159-162, 2006. 3) 港湾空港技術研究所：「港湾空港技術研究所資料-マイクロフォーカスX線CTスキャナの地盤工学への適用性の検討」，2006. 4) 土木研究所：「建設汚泥再生利用マニュアル」大成出版社，pp.214-216, 2003.

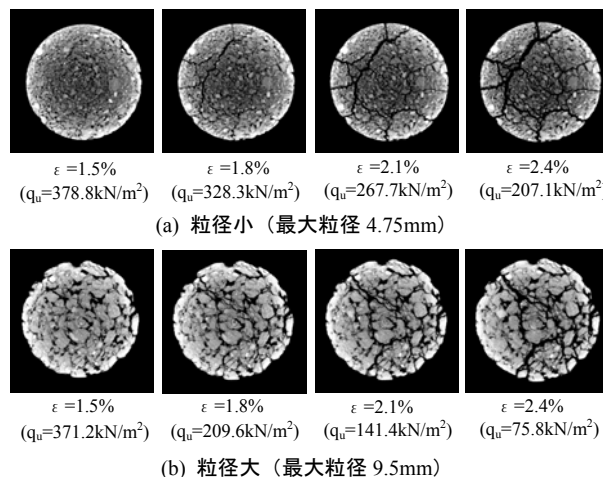
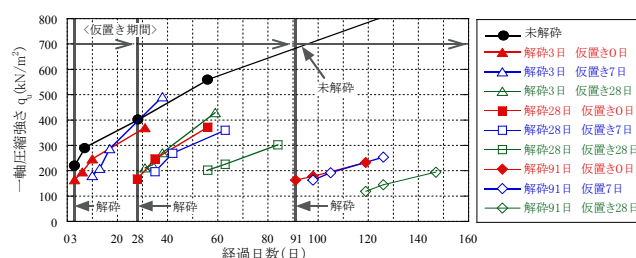
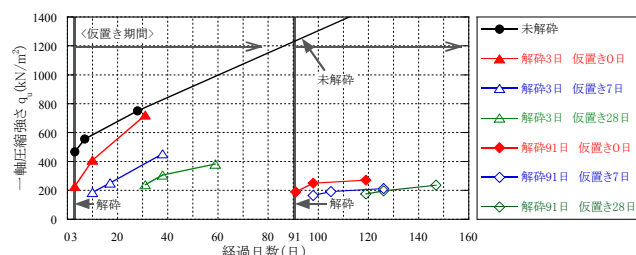


図-2 一軸圧縮過程における水平断面画像



(a) 解砕処理土b (元: セメント安定処理土)



(b) 解砕処理土c (元: 石炭灰混合材料)

図-3 解砕後の経過日数に伴う一軸圧縮強さの変化

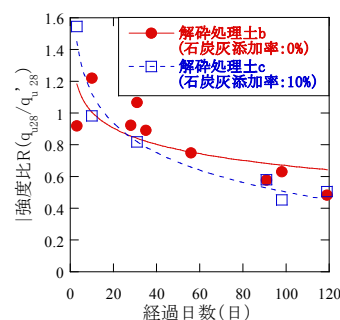


図-4 経過日数と強度比Rの関係