

石炭灰混合材料の繰返し利用が一面せん断特性に及ぼす影響

福岡大学工学部 学生会員 出口 諒 久富 優二
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗

1. はじめに 指定副産物である石炭灰は、それらが有する性状を活かして土木材料として有効利用されている¹⁾。その内の有効利用方法の一つである石炭灰にセメント、水、土砂を混合した石炭灰混合材料は様々な現場で活用されているが、将来的には維持・修繕に伴う工事に伴い解砕される可能性が挙げられる。この解砕された石炭灰混合材料（以後、解砕処理土）は、有効利用方法が確立していないため、廃棄物として処理されている現状にあるが、循環型社会の更なる進展を目指していく上では、このような解砕処理土を循環資源として取り扱っていかなくてはならない。そこで、**図-1**に示すように繰返し解砕した際の石炭灰混合材料について地盤材料の適用性を検討することで循環資源としての性能を有しているかの評価を行った。なお、本稿については盛土材等の適用性を踏まえ、それら繰返し利用に伴う石炭灰混合材料の強度定数について検討した結果について報告する。

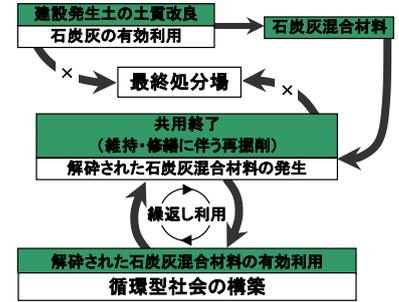


図-1 本研究における繰返し利用のイメージ

2. 実験概要

2-1 実験試料 実験試料にカオリン粘土、石炭灰（フライアッシュⅡ種）、固化材にセメント（高炉セメント B 種）を使用した。

表-1 にカオリン粘土及び石炭灰の物理特性値、**図-2** に粒径加積曲線を示す。

2-2 供試体作製方法 カオリン粘土の含水比を $w=25\%$ に調整して、固化材である高炉セメント B 種と石炭灰を湿潤質量に対して外割りで配合した。ホバートミキサーで含水比を調整したカオリン粘土に石炭灰を加え、さらに高炉セメント B 種を加えて混合攪拌を行った。その後、一軸圧縮試験用の供試体は、鋳鉄製のモールド（直径 $\phi=5\text{cm}$ × 高さ $h=10\text{cm}$ ）に試料を入れ、ランマー（質量：1.5kg、落下高さ：20cm）で突固め層数 3 層、突固め回数 12 回で供試体を作製した（JISA 1210）。一面せん断試験用の供試体は、塩ビ製モールド（直径 $\phi=6\text{cm}$ × 高さ $h=2\text{cm}$ ）に試料を入れ、一軸圧縮試験に用いた供試体と同じ密度になるように供試体を作製した。突固め層数及び突固め回数は、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。

2-3 解砕処理土作製方法 解砕処理土の配合条件を **表-2** に示す。上記の手順で作製した供試体を 28 日養生後に回転式破砕混合混練機²⁾にて最大粒径が 9.5mm 以下となるように解砕を行う。セメントのみを添加し解きほぐした条件を解砕処理土 a、セメント及び石炭灰を添加し解きほぐした条件を解砕処理土 b とする。なお、解砕処理土 a、b を試料として突固めエネルギー E_c = 約 550 (kJ/m³) に調整して作製した供試体をさらに 28 日養生後解砕したものを解砕処理土 a', b' とする。繰返し解砕

のフローチャートを **図-3** に示す。また、解砕処理土 b は、石炭灰添加及び解砕に伴う含水比の低下により締固め度の低下が大きく見られたため、突固めによる締固め試験（JIS A1210）から締固め曲線を求め、最適含水比 ($w_{opt}=29.89\%$ 、 $\rho_{dmax}=1.396\text{g/cm}^3$) に含水比調整を行い作製した。なお、これらの解砕処理土を用いて **2-2** と同様の方法により供試

表-1 物理特性値

試料名	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	含水比 w (%)	コーン指数 q_c (kN)	強熱減量 lg -loss (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
カオリン粘土	2.731	0.0	302	3.11	57.1	N.P.
石炭灰	2.357	0.0	N.D.	5.83	N.P.	N.P.

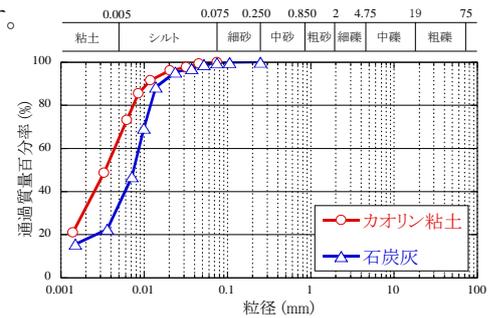


図-2 粒径加積曲線

表-2 解砕処理土の配合条件

試料名	土質材料	セメント添加率 (%)	石炭灰添加率 (%)	含水比調整 (%)	解砕までの養生日数 (日)	解砕から一軸圧縮試験までの養生日数 (日)
解砕処理土 a	セメント改良土	2	0	-	28	0
解砕処理土 a'	解砕処理土 a	0	0	-		7
解砕処理土 b	石炭灰混合材料	2	25	30		28
解砕処理土 b'	解砕処理土 b	0	0	-		28

表-3 供試体作製時の湿潤密度

条件	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)
カオリン粘土 ($w=25\%$)	1.825
セメント改良土	1.847
解砕処理土 a (Reuse1)	1.653
解砕処理土 a' (Reuse2)	1.616
石炭灰混合材料	1.682
解砕処理土 b (Reuse1)	1.865
解砕処理土 b' (Reuse2)	1.830



図-3 繰返し解砕のフローチャート

体を作製し、一軸圧縮試験及び一面せん断試験を行った。供試体作製時の湿潤密度を表-3に示す。

2-4 一面せん断試験方法（定圧試験） 本研究では、垂直応力を 100, 150, 200kN/m² の 3 パターンとし、せん断速度を 0.2mm/min、反力板荷重を一定に保持したまま、せん断変位 7.0mm でせん断を終了させた。

3. 実験結果及び考察

3-1 繰返し利用が一軸圧縮強さに与える影響 図-4に養生日数に伴う一軸圧縮強さの変化を示す。図より、締固め直後の一軸圧縮強さについて未解砕のセメント改良土及び石炭灰混合材料（以後、未解砕処理土）と解砕処理土を比較してみると大きな差異は見られないことが分かる。また、養生日数の経過における強度変化については、いずれの解砕処理土においても養生に伴う強度増加が未解砕処理土に比べ見られていない。これは未解砕処理土作製時から再使用までの経過日数に伴い、処理土内部の水和反応が徐々に低下していくことに起因し、強度増加率が小さくなるものと考えられる。

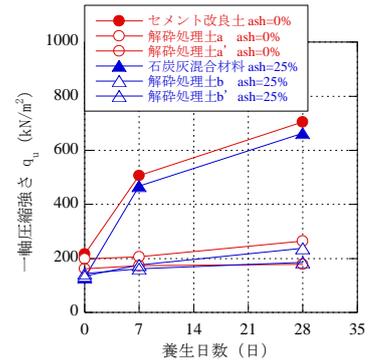
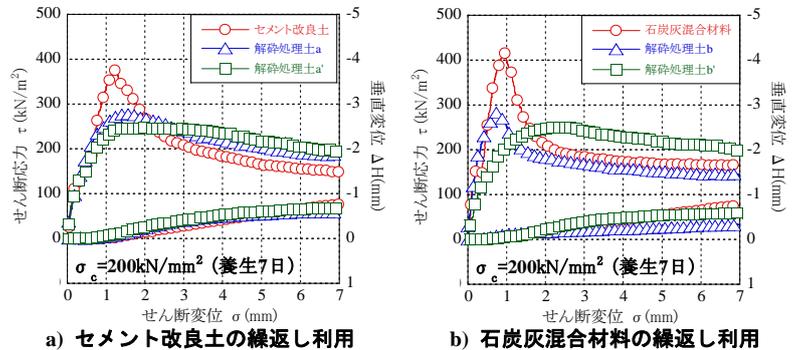


図-4 養生日数に伴う一軸圧縮強さの変化

3-2 繰返し利用が一面せん断特性に与える影響 図-5に養生7日における一面せん断試験結果を示す。未解砕処理土については、いずれの条件においても明確なピークを示し、密詰の砂の挙動を呈している。しかしながら、繰返し利用を行っていくにつれ密度の低下やセメントの固結効果が喪失することによりせん断応力は失われ、ピークを示さなくなり緩い砂に似たせん断挙動を呈することが分かる。また体積変化については、いずれの条件においても正のダイレンタンスが生じており、繰返し利用に伴う影響は見られないことが分かる。次に材料定数への影響について検討を行う。図-6に未



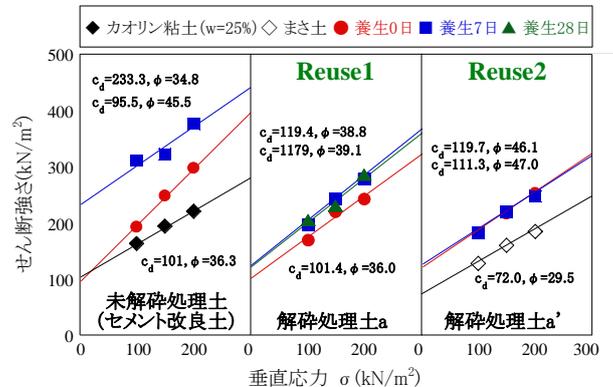
a) セメント改良土の繰返し利用

b) 石炭灰混合材料の繰返し利用

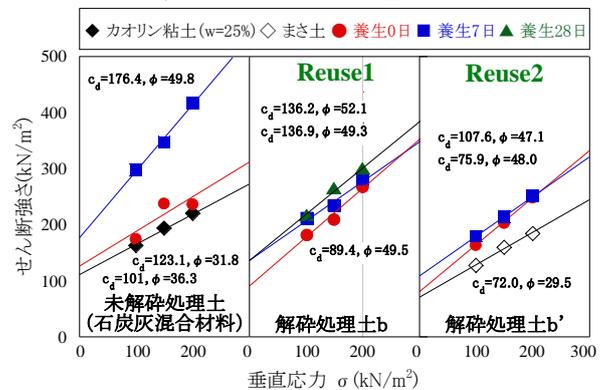
図-5 一面せん断試験結果

解砕処理土と解砕処理土の垂直応力に伴うせん断強さの変化よりクーロンの破壊規準線を示す。なお、比較のために、カオリン粘土単体とまさ土単体での一面せん断試験結果も併せて示している。これらの図より、未解砕処理土においては養生に伴いせん断強さが増加する傾向にあることが分かる。一方、解砕処理土においては養生に伴うせん断強さの増加がほとんどみられない。これは、図-4の一軸圧縮試験結果からも分かるように、解砕処理土を突固めた処理土内部では強度増加に至る水和反応の進行があまり無かったものと考えられる。その結果、a, b どちらにおいても繰返し解砕を行うことで粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は一定値に収束する。

4. まとめ 1) 本研究で行った条件では、解砕処理土の一軸圧縮強さは 0 日養生時点では未解砕処理土と比較してほとんど差がないものの、養生に伴う強度増加率が低い。2) 解砕処理土は、繰返し利用を行うことで、養生日数の経過に伴うせん断強さの増加がほとんどみられなくなる。その結果、粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は一定値に収束する傾向にある。3) セメント安定処理土は石炭灰混入の有無に関わらず、繰返し利用に伴い固結力こそ失われるものの、まさ土などの天然材料の代替材として十分に利用が可能である。



a) セメント改良土の繰返し解砕結果



b) 石炭灰混合材料の繰返し解砕結果

図-6 繰返し利用に伴う強度定数の変化

【参考文献】 1) 財団法人石炭エネルギーセンター「石炭灰全国実態調査報告書(平成21年度実績)」 2) 日本国土開発株式会社 HP URL: http://www.n-kokudo.co.jp/tec_civil/twister_atypical.html 3) 土質力学の基礎、技報堂出版株式会社、pp.98~101