

石炭灰混合材料の繰返し利用が一軸圧縮強さと強度定数に及ぼす影響

福岡大学大学院 学生会員 ○行徳 大輝
 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、基本性状のばらつきが比較的小さい等の性状¹⁾を活かしてセメント分野や土木分野において有効利用されている。その中でも、石炭灰の有効利用方法の一つである石炭灰混合材料(セメント、水、土砂を混合)は港湾や土木工事で活用されているが、将来的には維持・修繕等に伴い掘削・解砕される可能性がある。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。しかしながら、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くことが重要である。本研究では、**図-1**に示すように石炭灰混合材料を天然資源等の代替材としての循環利用していくことを目的としており、本稿では繰返し伴う石炭灰混合材料の強度・変形特性について検討した結果について報告する。

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を示す。

表-1 物理特性値

試料名	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	初期含水比 w(%)	強熱減量 lg-loss(%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
カオリン粘土	2.731	0	3.11	57.1	34.3
石炭灰	2.357	0	5.83	N.P.	N.P.

2-2 供試体の作製方法 カオリン粘土の含水比を w=25%に調整し、高炉セメント B 種と石炭灰をカオリン粘土の湿潤質量に対して外割りで添加し、ホバートミキサーを用いて混合した。その後、鋳鉄製のモールド(直径 ϕ =5cm×高さ h=10cm)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 回の方法で一軸圧縮試験用の供試体を作製した(JISA 1210)。一面せん断試験用の供試体は、塩ビ製モールド(直径 ϕ =6cm×高さ h=2cm)に試料を入れ、一軸圧縮試験に用いた供試体と湿潤密度が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。

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)	解砕から試験までの養生日数(日)
Reuse1: 解砕処理土a (石炭灰添加率: 0%)	セメント改良土	2	0	—	28	0
Reuse2: 解砕処理土a'	解砕処理土a	—	—	—		7
Reuse1: 解砕処理土b (石炭灰添加率: 25%)	石炭灰混合材料	2	25	30		28
Reuse2: 解砕処理土b'	解砕処理土b	—	—	—		—

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。**2-2**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。その際、セメントのみを添加し、所定の養生日数経過後に解きほぐし、突固めエネルギー E_c =約 550 (kJ/m³) で締め固めたものを解砕処理土 a、セメント及び石炭灰を添加し、同様に解きほぐした条件を解砕処理土 b とする。これらの解砕処理土 a, b (Reuse1) を 28 日養生後に解砕し、再び締め固めたものを解砕処理土 a', b' (Reuse2) とする。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 ($w_{opt}=30%$ 、 $\rho_{dmax}=1.396g/cm^3$) 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 定圧一面せん断試験方法 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 0.2 mm/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。

キーワード 石炭灰 一軸圧縮試験 一面せん断試験 強度定数

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 TEL092-871-6631

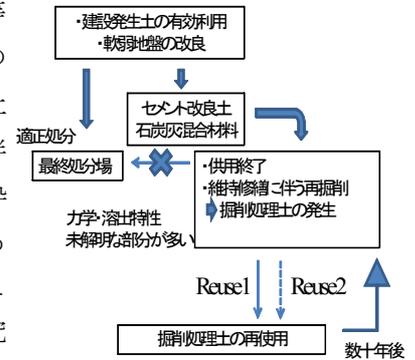


図-1 循環利用のイメージ

3. 実験結果及び考察

3-1 石炭灰混合材料の繰り返し利用が強度・変形特性に与える影響 図-2 に一軸圧縮強さと養生日数の関係を示す。未解砕のセメント改良土及び石炭灰混合材料（以後、初期処理土）は、養生日数の増加に伴う強度増加が見られるが、これらを解砕し再び締固めて作製した解砕処理土は、養生日数の増加に伴う強度発現が見られない。また、図-3 に示す養生 28 日における一軸圧縮試験からもわかるように、石炭灰混入の有無に関係なく解砕処理土の変形係数は低下しており、繰り返し利用に伴う剛性の抵抗が見られる。これらは初期処理土作製時から再使用までの経過日数に伴う水和反応の低下が起因しているものと考えられる。これらの結果より、石炭灰混合材料の繰り返し利用は、養生に伴う強度発現は期待できず、初期処理土と比べ剛性が低下するものの、 $q_u=150\text{KN/m}^2$ 以上の強度を有することから盛土材³⁾としての利用が可能である。

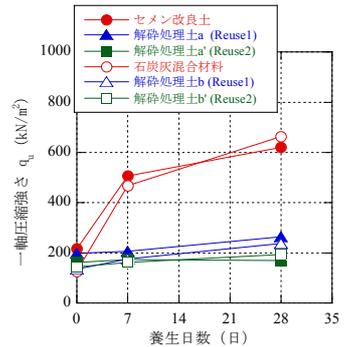


図-2 養生日数に伴う一軸圧縮強さの変化

3-2 石炭灰混合材料の繰り返し利用がせん断特性に与える影響 図-4 に養生 7 日における一面せん断試験結果を示す。初期処理土は、いずれの条件においても明確なピークを示し、密詰の砂に類似した挙動を呈している。しかしながら、繰り返し利用をするにつれて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、ピークを示さず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シーが生じており、繰り返し利用に伴い、わずかであるが収縮傾向を示している。また、図-5 に各条件における供試体のせん断強さ τ と垂直応力 σ の関係を示す。なお、図中には得られた粘着力 c_d 及び内部摩擦角 ϕ_d も併せて示している。初期処理土は養生経過に伴う粘着力の増加が見られるが、解砕処理土は養生経過に伴う粘着力の増加及び内部摩擦角の変化が小さく、繰り返し利用に伴い一定値に収束する傾向が伺える。またそれらは、まさ土の強度定数と比べて同等以上の値を示していることから、石炭灰混合材料は、解砕後もまさ土のような良質土の代替材として十分に使用可能であると考えられる。

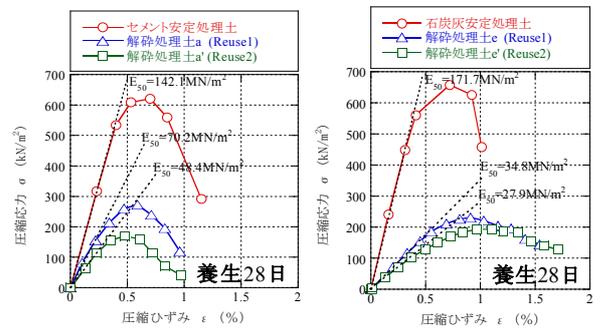


図-3 繰り返し利用におけるセメント改良土の一軸圧縮

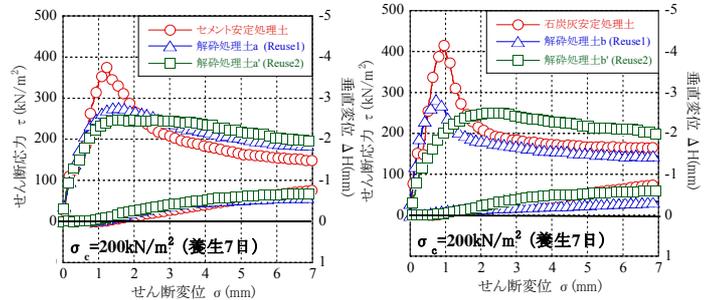


図-4 定圧一面せん断試験結果

4.まとめ 石炭灰添加の有無に関わらず、セメント改良土は繰り返し利用に伴う一軸圧縮強さ・剛性は低下する。しかしながら、繰り返し利用に伴い強度及び強度定数は一定値に収束する傾向が見られ、良質な地盤材料の代替材として十分に利用可能である。

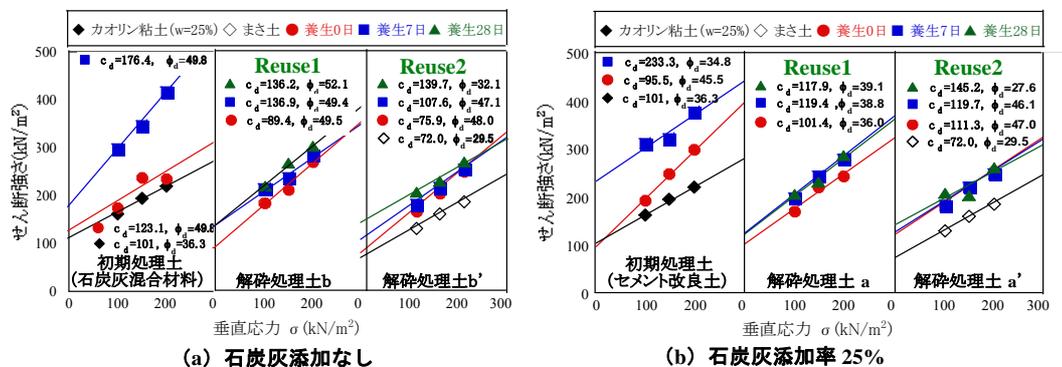


図-5 解砕後の経過日数に伴うセメント安定処理土の強度定数の変化

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) 北海道環境科学研究センター：「地盤材料としての石炭灰利用技術マニュアル」 URL: http://edb.hokkaido-ies.go.jp/edb/junkan/junkankyo_manual/sekitanbai-manual16/sekitanbai-manual16-2.pdf