

Ⅲ－B324 締固めた石炭灰の自己硬化作用による工学的性質

東北工業大学 工学部 正 伊藤 孝男、浅田 秋江
東北工業大学 大学院 正 ○ 佐藤 友彦、岡田 裕生
(株)東北開発コンサルタント 正 大高 学

1. まえがき

現在、石炭灰の約50%がセメント・コンクリート分野をはじめ様々な分野で有効利用されており、残りは海上または陸上埋立処分されている。しかし、セメント・コンクリート分野での利用は既に飽和状態に達しており、他の有効利用法はこれから色々といふ見いだされるが大量の石炭灰を消化できる方法の開発はあまり期待できない。したがって、今後、埋立による石炭灰の処分に一層頼らざるを得ない状況になると考えられる。ただし、灰捨て場の用地確保の困難、灰捨て場建設による発電コストの増大、新規立地計画推進の制約が懸念される。今までの石炭灰埋立では単に「処分」に過ぎなかったケースがほとんどである。近年、火力発電所より排出される石炭灰を用いて埋立を行い、跡地利用を念頭に、石炭灰を敷き均し重機転圧するという入念な施工方法で埋立造成が行われる計画が増加しつつある。しかし、一部の現場調査の結果によると、出来上がった埋立地盤の均質性は思い通りに行かず、強度の低い場所も多く存在していることが明らかにされている。このように、陸上埋立方式での締固めによる石炭灰地盤造成の難しさが示されている。本研究は石炭灰の自己硬化作用の基本性状について実験検討を行ったものである。

2. 石炭灰の性状

実験に用いた石炭灰は表－1の分類－2による粗粒灰である。粗粒灰は排出時に飛散防止のため、20%程度の含水比に加水されるが、堆積場では自然含水比が25%前後になる。粗粒灰のうち貯灰サイロより取り出された直後の灰を新生灰と呼び、堆積後1年以上経過したものを既成灰と呼んでいる。石炭灰はいわゆるポゾラン作用があり、水と反応して硬化する潜在水硬性を示す。この性質により、既成灰は新生灰に比べ粒度組成が粗目になるほか、力学的特性が向上することが知られている。本研究では、表－2に示す新生灰を用いた。なお、2種類の石炭灰の物理・力学的性質は表－3に示すとおりである。

表－2 石炭灰分析結果一覧

分析項目(種)	新生灰 No.1	新生灰 No.2	分析方法
焼結率(%)	8.1	5.0	JIS M 8815.4
SiO ₂ (%)	69.43	61.08	蛍光X線分析
Al ₂ O ₃ (%)	18.96	22.98	蛍光X線分析
Fe ₂ O ₃ (%)	3.22	4.21	蛍光X線分析
TiO ₂ (%)	0.76	1.06	蛍光X線分析
CaO(%)	0.41	2.31	蛍光X線分析
MgO(%)	0.38	1.04	蛍光X線分析
Na ₂ O(%)	0.39	0.45	蛍光X線分析
K ₂ O(%)	0.89	0.85	蛍光X線分析
SO ₃ (%)	0.19	0.33	JIS M 8815.10

* 乾燥重量ベース

表－1 石炭灰の分類

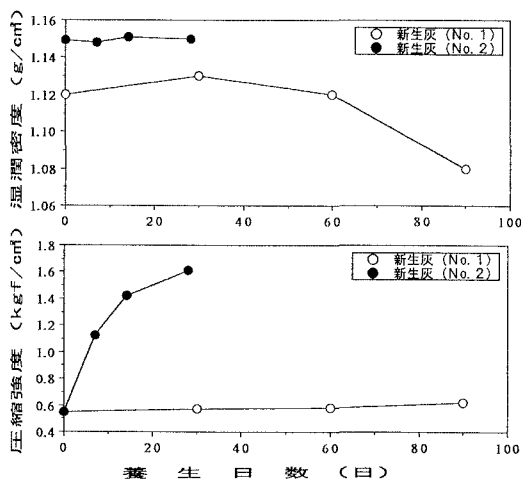
粒度	1～10 mm	0.1～1 mm	0.1 mm以下
程度	細	粗	細
分類－1	クリンカ (ボトム・ アッシュ)	シンタ アッシュ	0.1 mm以下 0.05 mm以下 フライ・アッシュ
分類－2	同上	粗粒 (新生灰) 既成灰	細粒 細粒 フライ・ アッシュ

表－3 石炭灰の物理・力学的性質

試験項目	新生灰(No.1, No.2)
含水比	2.0～3.0 %
0.005 mm 以下(φ ₁)	2～3 %
0.005-0.075 mm (φ ₂)	75～89 %
0.075-2.0 mm (φ ₃)	15～20 %
2.0 mm 以上(φ ₄)	0 %
均等係数	2.0～3.0
コンシステンシー	N P
締固め特性	(I-I-C, 2-5-C 法)
最大乾燥密度 (ρ _{d max})	1.05～1.15 g/cm ³
最適含水比 (W _{opt})	2.5～3.5 %

3. 締固めた石炭灰の実験

実験に用いた石炭灰の分析結果および物理・力学的性質は表－2、表－3に示した。供試体の作製方法は、各石炭灰を最適含水比(25%～30%)に調整した試料について、プラモールド(5 cm×H10 cm)に試料をタンパーにて3層に分け1層当たり10回の締固めを行い、必要数の供試体を作製した。＜熱サイクル試験＞2週間湿潤養生後の供試体(No. 2)について実験を行った。なお、一領域保持時間：48時間(最低温度－20℃)、+領域保持時間：48時間(最高温度＋40℃)を1サイクルとした。＜三軸圧縮試験＞所定の湿潤養生後の供試体(No. 1, No. 2)および熱サイクル試験時の各サイクル後の供試体(No. 2)について試験を行った。＜透水試験＞4週湿潤養生後の供試体(No.



図－1 恒温湿潤養生後の密度と圧縮強度

Key words：石炭灰、締固め、土地造成

連絡先：〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1 TEL 022-229-1151 FAX 022-229-8393

・2試料)について三軸圧縮試験装置を用いて行った。＜PH試験＞透水試験の浸透水により、ガラス電極式PH計(TOA HM-40V)で測定した。

4. 結果および考察

本研究においては、2種類の石炭灰について最適含水比に調整した試料を一定エネルギーで締固めた供試体により、湿潤養生および水浸養生後の強度の推移、風化作用による劣化等について実験を行った。

4.1 湿潤養生後の密度と強度

2種類の石炭灰の供試体について、恒温湿潤養生後の各材令における湿潤単位体積重量と一軸圧縮試験を行った。その結果を図-1に示した。No. 1、No. 2 供試体の湿潤単位体積重量は、平均で1.12 g/cm³程度であり、湿潤養生経過後の圧縮強度は、No. 1の長期養生で僅かな増加であるが、No. 2の短期養生で1.60 kgf/cm²程度の強度となり持続する傾向を示している。

4.2 熱サイクル後の密度と強度

4週湿潤養生後の供試体により、熱サイクル試験を行い、各サイクル後の供試体の湿潤密度と乾燥密度の測定、および、一軸圧縮強度の測定を行った。その結果、No. 1の石炭灰は1サイクル時に崩壊し、以後の実験は中止。よって、No. 2の石炭灰のみの結果を図-2に示した。熱サイクル試験後の密度の変化は、1サイクル後に極端な低下が示され、その後、変化は見られない。また、強度の変化は、1サイクルで初期強度を0.10 kgf/cm²程度増加しているが、3サイクルで0.50 kgf/cm²程度低下し劣化の兆候が示されている。

4.3 セン断強度定数

各湿潤養生後の供試体(No. 1、No. 2)、および、熱サイクル後の供試体(No. 2)により、三軸圧縮試験装置を用いてせん断試験を実施した。それらの結果を図-3、図-4に示した。その結果、No. 1 供試体(0, 30, 60, 90日湿潤養生後)、および、No. 2 供試体(0, 3, 7, 14, 28, 35日湿潤養生後)では、粘着力(C)、内部摩擦角(ϕ)とも増加の傾向を示し、特に、No. 2の石炭灰が短期湿潤養生後にせん断強度定数が増加する傾向を示した。また、No. 2 供試体(熱サイクル、0, 1, 2, 3サイクル後)では、サイクルを増すに従い粘着力(C)は増加の傾向にあるが、内部摩擦角は逆に減少の傾向を示し、土に例えれば砂質土が風化しシルト質化(細粒土)の性状を示す。これが劣化の兆候を示しているものと考えられる。

4.4 透水係数およびPH

透水試験結果は、3週養生後(No. 2 試料) 供試体の透水係数は $K=2.12 \times 10^{-4}$ cm/secである。PH試験結果は、透水試験により得られた浸透水により測定。その結果、PH=10.6でセメント安定処理土(10.4:セメント5%添加処理)と同程度のアルカリ性を示している。

5. あとがき

石炭灰は、原産地の炭種により化学成分が異なり、さらに発電所における燃焼の際には、数種の混合炭が使用されるため排出された石炭灰の成分を、その都度チェックしながら埋立管理をするには、多大な労力が必要とされる。よって、石炭灰埋立地盤の跡地を「土地造成」として有効利用できる地耐力を持つ埋立処理を行うには、石炭灰が適度の水分でボジラン反応を助長させ硬化させることを目的に、石灰、セメント等を微量添加することで埋立の際の施工管理が容易になると考えられる。

＜参考文献＞1) 新合資会誌：石炭灰・改良土の地盤土への有効利用、第20回土木工学研究発表会、pp. 1613~1616、昭和60年6月。2) 堀内豊夫誌：発生土および廃棄物の地盤工学的処理と有効利用、6. 産業廃棄物の地盤工学的有効利用(その2)、土と基礎、Vol. 45, No. 6, pp. 55~60, 1997。

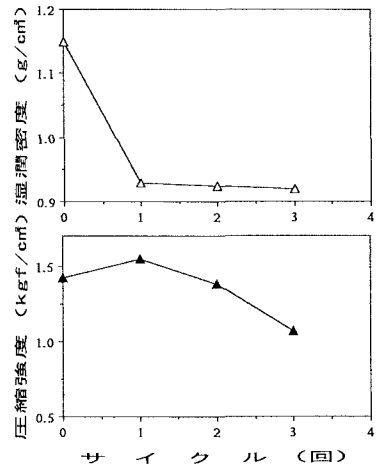


図-2 熱サイクル後の密度・圧縮強度

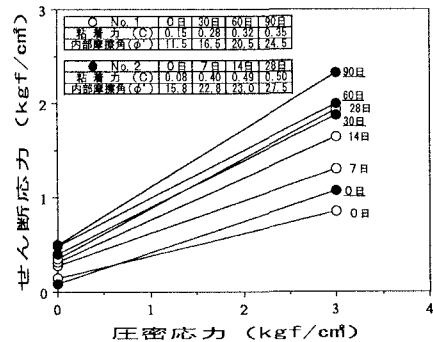


図-3 湿潤養生後のせん断特性

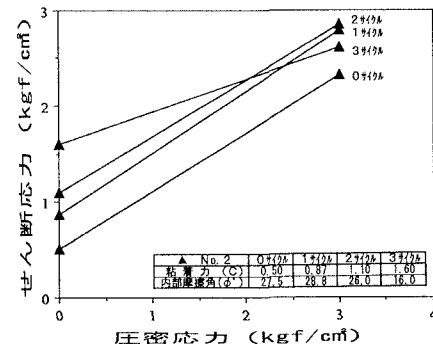


図-4 熱サイクル後のせん断特性