

盛土材料としての石炭灰の有効利用に関する研究

山口大学大学院

学生会員 ○大上 敏弘

山口大学工学部

正会員 吉本 憲正 兵動 正幸 中田 幸男

山口大学大学院

学生会員 濱野 吉章

1. はじめに

全国の石炭火力発電所から年間 760 万トン(平成 12 年度)¹⁾の石炭灰が発生しているが、その発生量は今後も増加することが予測され、経済的かつ大量利用することができる土木分野での有効利用の促進が求められている。本研究では、石炭灰の地盤材料への有効利用、とくに大量利用が可能な盛土材料を想定し、セメントを添加し、締固めた石炭灰の力学特性について検討を行なった。ここでは盛土としての必要強度の確保を確認するために一面せん断試験を実施し、石炭灰の盛土材料としての適用性を検討する。

2. 試料および実験概要

本研究で用いた石炭灰の物理的性質を表-1 に示す。比較のために、石炭灰ハンドブックに示される一般的な石炭灰の物性も揚げた。いずれの項目についても、用いた試料が一般的な石炭灰とほぼ同等であることがわかる。また、石炭灰中には微量ではあるが重金属を含有しており、石炭灰を地盤材料として利用する際には土壤環境基準⁴⁾を満たす必要がある。今回用いた石炭灰は、別途行なった重金属溶出試験の結果より、セメントを乾燥重量比で 5% 添加することで土壤環境基準を全て満足できる石炭灰である。また、日本道路公団では砂質土の盛土に対し、内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 、粘着力 $c=30\text{kPa}$ ³⁾を設計条件としており、本研究ではこれと同等以上の強度を目標とした。

気乾状態の石炭灰に所定の含水比になるように水を加え、ミキサーで充分混合した後、セメントを乾燥重量比で 0, 3, 5, 7, 15% 添加し、再度ミキサーを用い混合した。その混合試料を 3 層に分けてプレス機で所定の密度になるように締固めた。その後脱型シラップで密封し、所定期間養生した。材令は 7 日, 28 日の 2 材令とした。一面せん断試験は改良型一面せん断試験機を用い、直径 6cm、高さ 2cm の供試体に対し、変位速度 0.2mm/min、垂直応力 30, 60, 90, 150, 200kPa のそれぞれの定圧条件で行なった。

3. 実験結果および考察

図-1 は材令 28 日、垂直応力 150kPa における各セメント添加率の試料に対するせん断応力-水平変位-垂直変位の関係を表している。図より、せん断応力はピークを示した後急減し、最終的に 200kPa 程度で、ほぼ一定となっていることがわかる。いずれも初期剛性はほぼ変わらないが、セメント添加率の増加とともにせん断応力のピークは大きく現われている。一方、体積変化は、载荷初期にわずかに収縮挙動を示すが、すぐに膨張挙動に転じ、セメント添加率が高いほど顕著な膨張挙動を示していることがわかる。また同図に示した最適含水比、締固め度 98% で締固めたまさ土の応力-変位関係と比較すると、セメント添加の有無によらず、石炭灰は脆性的な破壊挙動を示していることがわかる。しかし、残留強度はそれほど大きな差がなくなることがわかる。図-2 に材令 28 日における

表-1 用いた石炭灰の物理的性質

	Coal ash	一般的な石炭灰 ²⁾
自然(搬入時)含水比 $w_n(\%)$	0.0	
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.145	1.9~2.3
粒度	れき分 2~75mm(%)	0.0
	砂分 75 μm ~2mm(%)	10.36
	シルト分 5~75 μm (%)	80.08
	粘土分 5 μm 以下(%)	9.55
	最大粒径(mm)	0.17
強熱減量 $L(\%)$	4.03	0.0~5.0
pH	12.0	12程度
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.14	1.1~1.4
最適含水比 $w_{opt}(\%)$	33.5	25~35

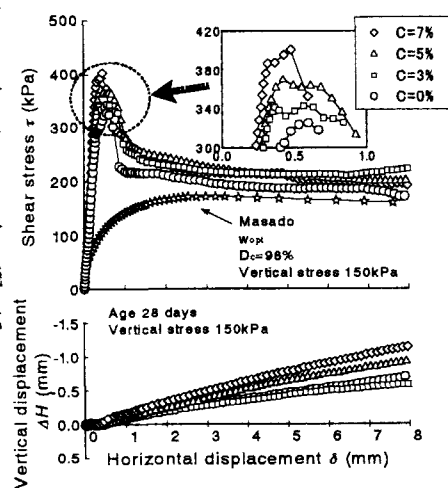
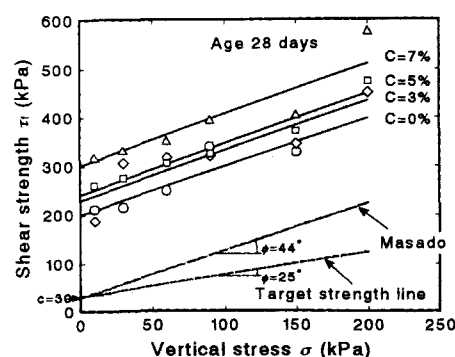
図-1 τ - D - h 関係

図-2 せん断強度～垂直応力関係

破壊強度線を示す。セメント添加率が高いほど破壊強度線は上方に移行し、せん断強度が増加していることがわかる。また、各強度線はほぼ平行となっており、締固めた石炭灰に対するセメント添加は、粘着力 c の増加に寄与することが明らかである。また、図中に目標としている強度定数に相当する強度線および締固めたまさ土の一面せん断試験による破壊強度線を併せて示した。これらの強度線と比較すると、石炭灰の強度線はすべてのケースにおいて上回るという結果が得られた。しかし、まさ土と比較すると締固めた石炭灰は脆性的な破壊挙動を示しており、さらに、その傾向はセメント添加率が増加するほど顕著になり、せん断破壊後は急激に強度が低下することが懸念される。そこで、せん断応力-水平変位関係において、残留水平変位 8mm 時点のせん断応力を残留せん断応力と定義し、残留強度による検討を行なう。図-3 は残留せん断応力より得られる強度線である。目標強度線およびまさ土の残留強度線と比較すると、石炭灰はまさ土と同等かまたはそれ以上のせん断強度を示しており、残留強度においても目標強度を満足していることがわかる。

次に、現場では必ずしも最適含水比で施工管理がなされるとは限らず、最適含水比の前後で若干ばらつくことも予想される。そこで、含水比を最適含水比から変化させて強度特性を調べた。なお、ここで α とは最適含水比からの含水比の変化分のことであり、wet 側では α の値は正の値を、dry 側では α は負の値を示す。供試体密度は、図-4 で示すように、各含水比に相当する締固め曲線上の乾燥密度となるように、全て同じ圧力を加えて作製した。セメント添加率 5%、材令 28 日における結果を図-5 に示す。図より、wet 側では、含水比が増加するにしたがい粘着力 c は増加し、内部摩擦角 ϕ は小さくなるのがわかる。粘着力が含水比によって変化するの、セメントと反応できる水分量がこの辺りの含水比ではまだ最大値に達しておらず、生成される水和物の量が水分量に依存するためであると考えられる。また、内部摩擦角は最適含水比を境に両サイドに減少しており、各含水比における供試体密度の違いによる影響と考えられる。また、図-6 に残留強度から得られた粘着力、内部摩擦角と α の関係を示す。粘着力、内部摩擦角ともに、最適含水比を境に増加および減少する傾向がみられ、これも供試体密度の影響であると考えられる。また、どちらも目標強度程度であることがわかる。このことから、今回用いた石炭灰は、せん断破壊後も目標強度を確保できることがわかった。

4. おわりに

本研究では、石炭灰の盛土材料としての有効性を確保することを目的に一面せん断試験を実施し、用いた石炭灰は日本道路公団の定める強度定数を充分上回るという結果となった。また、残留強度においても、全てのセメント添加率、含水比条件において、日本道路公団の定める強度定数およびまさ土の強度定数と同等程度の結果が得られた。

【参考文献】

- 1) 石炭利用総合センター：石炭灰全国実施調査報告書，2000.
- 2) 環境技術協会・日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック，ppI-20-I-23，2000.
- 3) 日本道路公団：設計要領 第一集，第一編 土工，1983.
- 4) 環境庁告示第 19 号。

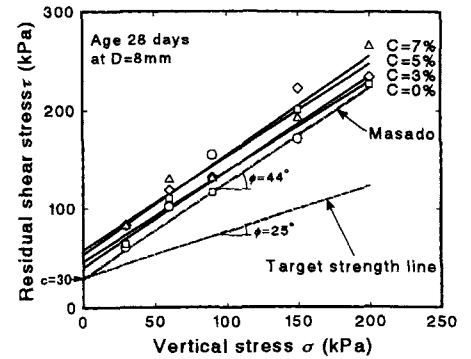


図-3 残留せん断応力～垂直応力関係

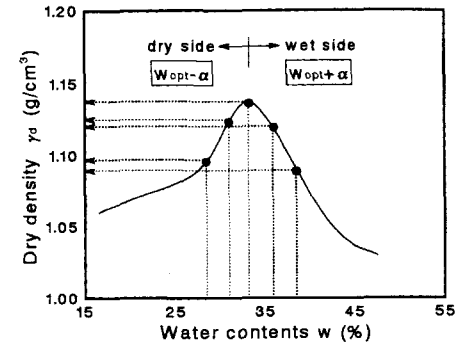


図-4 供試体作製条件

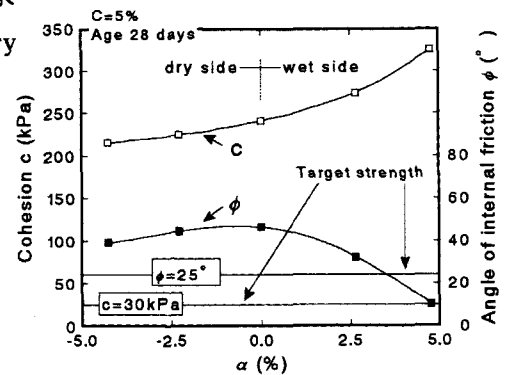


図-5 $c \sim \phi \sim \alpha$ 関係

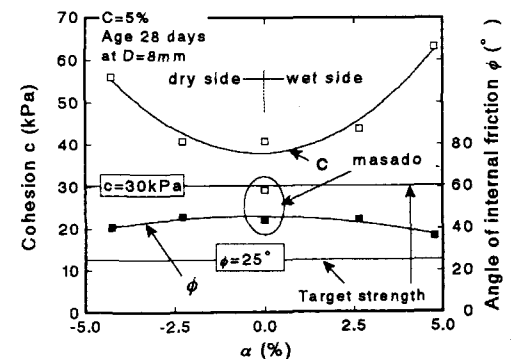


図-6 $c \sim \phi \sim \alpha$ 関係(残留)