

石炭灰の盛土材料としての一軸圧縮特性

山口大学大学院  
山口大学工学部  
山口大学大学院(現応用地質(株))

学生会員  
正会員  
正会員

○濱野吉章  
兵動正幸 中田幸男 吉本憲正  
林 一智

1. まえがき

現在、全国の石炭火力発電所から年間 760 万トン(平成 12 年度)<sup>1)</sup>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、更なる有効利用の促進が求められている。石炭灰を盛土材料として利用する場合、セメントを固化材として添加し、粉体状のまま用いる方法がある。そこで、本研究ではセメント添加して締固めた石炭灰の強度特性、強度発現の要因を調べるとともに一般に盛土材料として用いられるまさ土と挙動を比較することによって、石炭灰の盛土材料としての適用性を示す。

2. 実験概要

本研究では、石炭灰との乾燥重量比でセメント添加率を 0,3,5,7,15%と変化させて供試体を作製し、一軸圧縮試験を行った。なお、石炭灰を盛土材料として利用する場合、最低限必要な強度はコーン指数  $q_c=200\text{kPa}$ <sup>2)</sup>(コーン指数と一軸圧縮強度の関係は概ね  $q_c \cong 5q_u$  であるので一軸圧縮強度に換算すると  $q_u=40\text{kPa}$ )である。

石炭火力発電所では、熱効率が最大となるように数種類の石炭を混合して燃焼していることが多い。本研究で用いた石炭灰も 2 種類の石炭を 1 : 1 の割合で混合したものを燃焼し、得られたものである。セメントは高炉セメント B 種を用いた。石炭灰の物性値を表 -1 に示す。

この石炭灰を所定の含水比になるようにミキサーで混合した後、所定量のセメントを添加し、再度ミキサーを用いて 5 分間混合する。その混合試料を 5 層に分けてプレス機で最大乾燥密度になるように締固める。その後脱型し所定期間ラップで密封養生する。そして養生終了後一軸圧縮試験を行った。ここで材令は 7 日、28 日の 2 材令とした。

3. 実験結果及び考察

最適含水比に調整した石炭灰に、セメント添加率 C を 0,3,5,7,15%と変化させて一軸圧縮試験を行った。図 - 1 は一軸圧縮強度とセメント添加率の関係を表した図である。同図より、ばらつきはあるもののセメント添加率の増加に従って一軸圧縮強度が若干二次関数的に増加していくことがわかる。

ここで応力-ひずみ関係から石炭灰を原料とした盛土材料と他材料との比較を行い、盛土材料としての位置付けを試みる。比較材料として、盛土材料として一般に使用されるまさ土と完全な脆性材料と考えられるセメント固結砂(珪砂に水セメント比を 150%と規定してセメントを 6%添加したもの、相対密度は 70%、材令は 7 日)を用いた。まさ土は、締固め試験から得られた最適含水比と最大乾燥密度になるように、締固め試験と同エネルギーで

表 - 1 石炭灰の物性値

|                                            | 石炭灰                         |
|--------------------------------------------|-----------------------------|
| 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                       |
| 粒度                                         | れき分 2~75mm(%)               |
|                                            | 0                           |
|                                            | 砂分 75 $\mu\text{m}$ ~2mm(%) |
|                                            | 10.36                       |
|                                            | シルト分 5~75 $\mu\text{m}$ (%) |
| 最大粒径(mm)                                   | 80.08                       |
|                                            | 粘土分 5 $\mu\text{m}$ 以下(%)   |
|                                            | 9.55                        |
| 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g}/\text{cm}^3)$ | 1.14                        |
| 最適含水比 $w_{opt}(\%)$                        | 33.5                        |

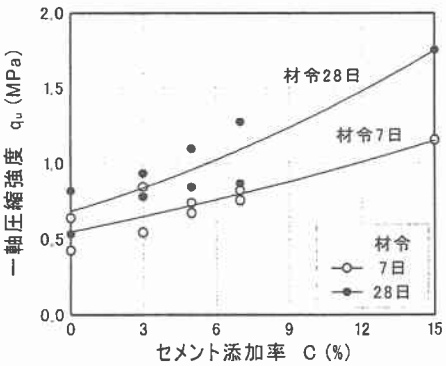


図 - 1 一軸圧縮強度 - セメント添加

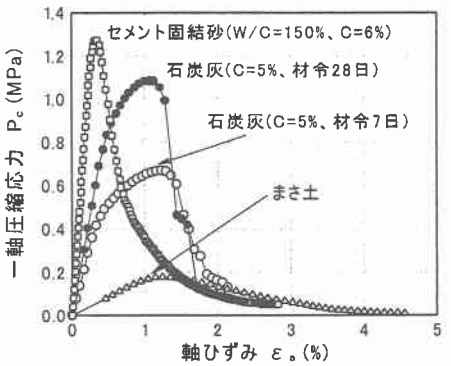
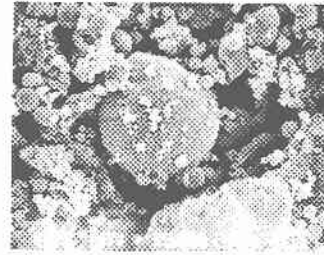


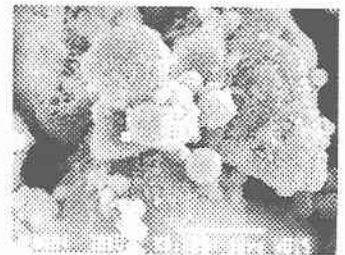
図 - 2 他材料との比較

突き固めて作製したものを用いた。図-2は、これらの比較材料とセメントを5%添加した石炭灰について、7日及び28日養生した供試体の一軸圧縮応力と軸ひずみの関係を表したものである。同図から、まさ土は初期剛性が低く、破壊ひずみが1%程度であるのに対し、セメント固結砂は初期剛性が高く破壊ひずみは0.3%程度である。しかし、石炭灰はせん断初期には高い剛性を発揮するが、ある程度ひずみが発達すると剛性は徐々に低下している。そして破壊ひずみはまさ土と同程度である。従って石炭灰は強度特性において、セメント固結砂とまさ土の中間的な材料であるといえ、破壊ひずみがまさ土と同程度であることから、変形特性も固結砂よりもまさ土に近いと推察される。

セメント添加による強度発現の主要因を調べるためにSEM(電子顕微鏡)写真や粉末X線回折による分析を試みた。写真-1、写真-2にそれぞれC=0%、C=5%のSEM写真を示す。なお、(a)は材令7日、(b)は材令28日のものである。

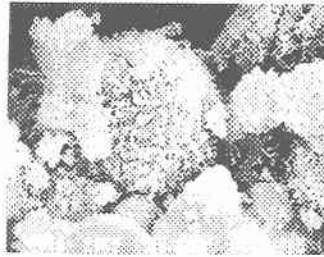


(a) 材令 7 日



(b) 材令 28 日

写真-1 SEM 写真 (C=0%)



(a) 材令 7 日



(b) 材令 28 日

写真-2 SEM 写真 (C=5%)

これらの写真から、C=0%の材令7日では若干水和物が確認できるが目立ったほどではない。しかしながら、材令28日においては石炭灰の球形粒子を包み込むように水和物が生成されているのが確認できる。C=5%では材令7日においても水和物が確認でき、材令28日ではC=0%と同様に球形粒子を包み込むように水和物が生成されているが、その程度はC=0%より多い。この水和物を同定するためにX線回折を行った。図-3にC=5%、図-4にC=15%におけるX線回折図を示す。なお材令はいずれも28日である。これらの図から、結晶面間隔 $3.07\text{\AA}$ (回折角度 $29.06^\circ$ )にC-S-Hゲルの回折ピークが見られる。またC=5%よりC=15%の方がそのピークは大きい。従ってSEM写真で認められた水和物はC-S-Hゲルであると推察される。そしてこのC-S-Hゲルの生成量の増加とともに強度も増加していることから、その生成量が強度に寄与しているものと考えられる。

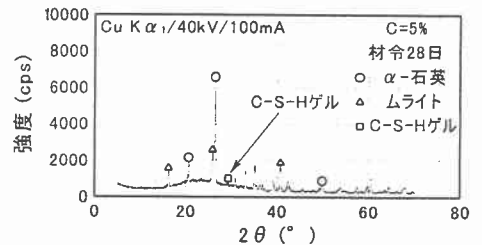


図-3 X線回折図 (C=5%)

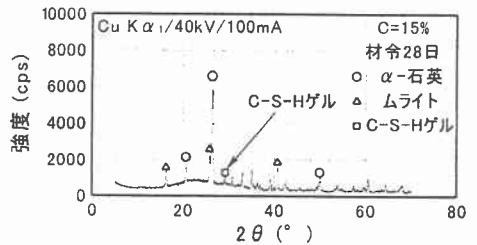


図-4 X線回折図 (C=15%)

#### 4. 結論

本研究は、石炭灰の盛土材料への有効利用を目的として検討を行った。またセメントを添加し、締固めて養生した石炭灰の強度発現の要因分析も行った。以下に本研究で得られた知見を示す。

- (1) セメント添加率の増加に従って一軸圧縮強度は若干二次関数的に増加していく。
- (2) 石炭灰の強度特性は、脆性材料であるセメント固結砂と延性材料であるまさ土の中間的な材料に位置し、変形特性は固結砂よりもまさ土に近いと思われる。
- (3) X線回折分析より、SEM写真で確認できる水和物はC-S-Hゲルと推察され、この水和物が石炭灰球形粒子を包み込むように生成されていくことで石炭灰の強度は発現すると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 石炭利用総合センター：石炭灰全国実態調査報告書1999
- 2) 地盤工学会編：盛土の挙動予測と実際1996