

## 石炭灰の物理、力学特性に関する基礎的研究

長崎大学 学○村本 光輝 学 宮川 英也  
正 棚橋 由彦 正 後藤 恵之輔  
正 持下 輝雄

## 1. まえがき

現在、産業廃棄物として年間400万トン以上の石炭灰が灰捨て場へと処分されている。近年のエネルギー事情の変化に伴い、石炭への燃料転換は進み石炭灰の産出は今後も増大していくものと予想される。これに伴って石炭灰の再利用の重要性も高まっているが、有効利用量は産出量の約40%にすぎない。(\*1)そこで、石炭灰のうちでも産出量の多いフライアッシュ（以下FAと略称する。）の有効利用を目的として、FAの物理、力学特性を理解し、又どのような特有の性質を持っているのかを明確にするため、FAと同一粒度分布に調整した混合土との室内試験による比較を行った。本文では、その試験結果について述べる。

## 2. 実験方法

2.1 試料：実験に用いた試料の石炭灰は大村火力発電所より産出された国内炭のFA（微粉灰）を用いた。又、混合土はFAと粒度分布が等しくなるように準備した。豊浦標準砂と長崎大学校内土を用いて粒度調整し、混合土として生成した。

2.2 室内試験：各試料について、物理試験（比重試験、粒度試験）と力学試験（透水試験、締め固め試験、一面せん断試験、三軸圧縮試験）を行った。尚、一面せん断試験、三軸圧縮試験の両試験ではFAと混合土の両試料の相対密度を一致させて試験を行った。

## 3. 試験結果と考察

3.1 比重と粒度試験：実験に使用したFAと混合土の粒径加積曲線を図-1に、粒度分布および比重値を表-1に示す。これにより、FAの粒度は0.074mm通過率が72.1%を占めており、土質区分ではシルトに対応する。

表-1 粒度分布及び比重値

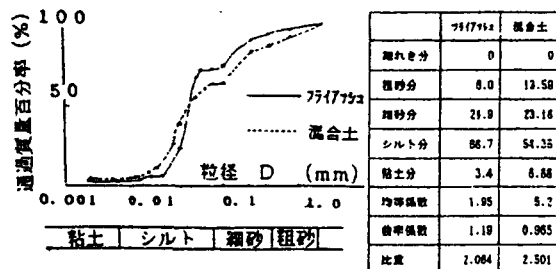


図-1 粒径加積曲線

3.2 透水試験（変水位試験）：〈JIS A 1210-1980（2.5 Kgランマー使用）〉により締め固めた各試料の透水係数はFA;  $k=2.71 \times 10^{-4}$  cm/s、混合土;  $k=4.18 \times 10^{-4}$  cm/sとなり、これは土質と透水係数の相関図(\*2)より見ると、FA、混合土の両試料ともシルト質の土と透水特性では同一と考えられる。

3.3 締め固め試験：FAと混合土を透水試験と同じ仕事量で行った試験によって得られる締め固め曲線を図-3に示す。この図によると最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$ 、最適含水比  $w_{opt}$  はFA;  $\rho_{dmax}=1.230$  t/m<sup>3</sup>,  $w_{opt}=24.9\%$ 、混合土;  $\rho_{dmax}=1.697$  t/m<sup>3</sup>,  $w_{opt}=14.3\%$ であり、締め固め曲線に明瞭な違いが認められる。

3.4 三軸圧縮試験：高さ12cm、直径5cmの円柱状供試体をひずみ制御で、側圧を0.5, 1.0, 1.5 kgf/cm<sup>2</sup>と変化させて三軸圧縮試験を行った。供試体は両試料とも相対密度Drを等しくし、含水比w=0%とした。その試験の結果、側圧  $\sigma_3$ 、主応力差  $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$  の関係より、両試料のモールの応力円を描いた。このモールの応力円を、せん断抵抗角  $\phi$  を求めるためとFA;  $c=0$ ,  $\phi=35^\circ$ 、混合土;  $c=0.082$ ,  $\phi=37^\circ$  となり、三軸圧縮試験では両試料の試験値はほぼ同じ値となっている。

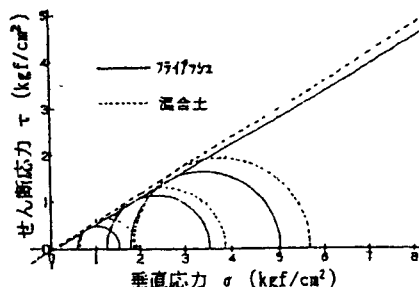


図-2 三軸試験、モールの応力円

3.5 一面せん断試験：供試体は、相対密度 $D_r=0.8$ を等しくし、含水比 $W=0\%$ と $20\%$ のF A;混合土両試料を準備した。これらの試料を用いて、ひずみ制御（水平変位速度 $1\text{mm/min}$ ）の一面せん断試験を行った。尚、垂直圧力は $0.707, 1.415, 2.122 \text{ kgf/cm}^2$ の3種類変化させた。この試験の乾燥密度 $\rho_d$ ,間隙比 $e$ ,垂直圧力 $\sigma$ とせん断強さ $\tau$ の値から最小二乗法で求めた強度定数（粘着力 $c$ ,せん断抵抗角 $\phi$ ）,及び相関係数 $r$ を表-2に一括して示す。又、 $D-\tau$ 曲線, $D-\Delta h$ 曲線を図-4に示す。

(i) $D-\tau$ 曲線：F Aの勾配はなだらかであり、ピークは現れずある一定の $\tau$ の値に漸近する。含水比が $W=20\%$ （図、省略）の時、 $W=0\%$ の時よりも水平変位ピーク $D_f$ ,垂直変位 $\Delta h$ が大きい値となつてからせん断応力 $\tau$ はピークをとる。混合土は $W=0\%$ , $20\%$ とも $D_f$ が小さい値で、はっきりとした $\tau$ のピークをとっている。その後は $D$ の増大にも関わらず比較的一定となり、 $\tau$ のピーク時の約8割の残留強さを表している。F Aと混合土の $\tau$ の値は $W=0\%$ , $20\%$ ともに混合土がF Aよりも大きい。尚、 $D_f$ の値はF Aの方が混合土よりも大きくなっている。これよりF Aは $\tau$ の小さい値でも $D$ が増大しても、そのピーク値はほとんど変わらない。

(ii) $D-\Delta h$ 曲線：F Aはなだらかに収縮し続けている。 $W=0\%$ の時 $\sigma=1.415, 2.122 \text{ kgf/cm}^2$ の2つの曲線が途中より一致している。 $W=20\%$ （図、省略）でも曲線の伸びかたより一致するものと予想され、垂直応力 $\sigma$ をこれ以上加えても $w$ が一定の状態では $\Delta h$ の伸び方、 $\Delta h$ のピークは変わらないと考えられる。混合土では $W=0\%$ の時、 $\sigma=1.415 \text{ kgf/cm}^2, 2.122 \text{ kgf/cm}^2$ が最初は収縮するが、しだいに膨張している。すなわち正ダイレタンシーが顕著であるが、F Aには見られなかった。

(iii)強度定数：表-2より強度定数を見ると、F Aは $c=0$ といえるが $W=20\%$ の時 $c=0.062$ となっているのは、含水による見かけの粘着力によるものと考えられる。混合土は微小ではあるが $c$ は存在する。F Aと混合土では、混合土の方が $\phi$ が大きく、 $W=0\%$ , $20\%$ では $W=0\%$ が $W=20\%$ よりも $\phi$ は大きい値をとる。

3.6 まとめ：①.比重はF Aの方が混合土より小さい。②.粘粘着力 $c$ はF Aは0で、混合土は存在する。③.一面せん断試験の $D-\tau$ 曲線, $D-\Delta h$ 曲線より、F Aは『緩い砂』,混合土は『密な砂』に近い性質を示す。④.③以外はF Aと混合土は、ほぼ近い値をとる。これよりF Aは微粉灰ではあるが粒度分布で示されたように、又力学特性からもシルト質土と考えられる。

#### 4. あとがき

今回の実験では含水が $w=0\%$ の場合が中心となつたが、有効利用する場合は含水の状態と、その影響は無視できない。今後は含水を変化させての物理特性や化学的性質との関連について検討していく予定である。

謝辞：フアイアッシュを快く提供頂き、貴重な示唆をうけた九州電力（株）土木部 帆足又十郎氏、同大村発電所 森田健次郎氏に、末筆ながら深謝の意を表する次第である。

〈参考文献〉（\*1）塚田、川村、吉田；第23土質工学会発表会（1988.6）PP.2261-2262

（\*2）土質調査試験結果の解釈と適用例；土質工学会編 PP.326-327

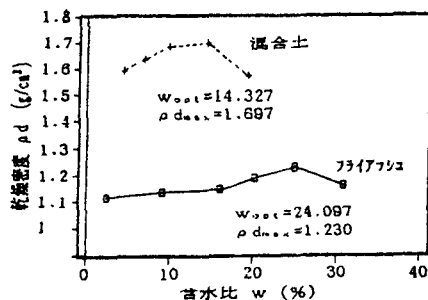


図-3 各試料の締め固め曲線

表-2 一面せん断試験結果

|        |          | フアイアッシュ |       | 混合土   |       |
|--------|----------|---------|-------|-------|-------|
| 含水比    | $w$      | 0       | 20    | 0     | 20    |
| 乾燥密度   | $\rho_d$ | 0.888   | 0.905 | 1.573 | 1.580 |
| 間隙比    | $e$      | 1.787   | 1.279 | 0.898 | 0.573 |
| 粘着力    | $c$      | -0.085  | 0.062 | 0.192 | 0.121 |
| せん断抵抗角 | $\phi$   | 29      | 32    | 38    | 44    |
| 相関係数   | $r$      | 0.999   | 0.996 | 0.955 | 0.999 |

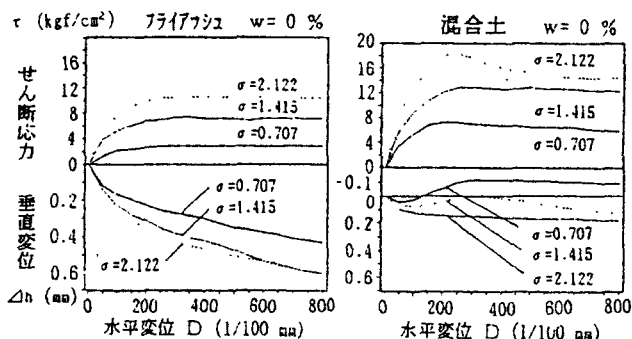


図-4 一面せん断試験。 $D-\tau$ ,  $D-\Delta h$ 曲線