

金沢大学 正員 ○鳥居 和之
同 正員 川村 満紀
同 正員 柳場 重正

1. はじめに 近年、石炭火力発電所の増加に伴い多量に発生する石炭灰の処理および利用技術の開発が重要な問題になっている。石炭灰の建設材料としての利用法については路盤材および盛土材への適用が考えられるが、石炭灰を適切に利用するためには石炭灰の物理的および化学的性質の把握とともに石炭灰の反応過程とそれとともに工学的諸性質の変化について明らかにすることが必要である²⁾。このような観点より、本研究は石炭灰の中身はほとんど有効に利用されていない粗粒アッシュおよび炉底灰に着目して、締固めた粗粒アッシュ・炉底灰混合物における強度発現性と反応過程、微視的構造の關係について2.3の検討を行った。

2. 実験概要 使用した石炭灰(T火カ産)の化学成分を表-1に示す。石炭灰はシリカおよびアルミナが主要成分であり、結晶相として石英、ムライト相が存在する以外に大部分(70~80%)がガラス相により構成されている。粗粒アッシュのほとんどの粒子は球状であり、その粒径範囲は数 μm ~100 μm 程度である(写真-1)。一方、炉底灰粒子は多孔性であり、その粒径範囲は数10 μm ~10mm程度である。路盤材料として使用した粗粒アッシュと炉底灰の混合比は2:1, 1:1および1:2の3種類であり、粗粒アッシュおよび炉底灰単味の場合と比較した。締固め試験によって求めた最適含水比および最大乾燥密度となるように作成した供試体(φ5×10cm)は恒温恒湿室内で密封養生後、一軸圧縮強度試験(圧み速度:1%/min)を行うとともに、示差熱分析、X線回折、SEMおよびpH測定によって石炭灰の反応過程と微視的構造を調べた。

表-1 石炭灰の化学成分(%)

	粗粒アッシュ	粗粒アッシュ	炉底灰
Ig. Loss	3.5	5.7	9.9
SiO ₂	51.5	54.2	57.8
Al ₂ O ₃	26.0	27.9	21.2
Fe ₂ O ₃	6.0	6.1	5.1
CaO	2.4	3.7	1.4
MgO	2.5	2.5	5.2
K ₂ O	0.5	0.2	0.9
Na ₂ O	0.7	0.4	1.3
Carbon	2.4	4.6	6.9

表-2 石炭灰の締固め特性

	最適含水比(%)	最大乾燥密度(g/cm ³)
粗粒アッシュ単味	22.1	1.333
粗粒アッシュ・炉底灰(2:1)	20.0	1.353
" (1:1)	22.2	1.301
" (1:2)	21.0	1.301
炉底灰単味	31.3	1.082

3. 粗粒アッシュ・炉底灰混合物の締固め特性および強度発現性 炉底灰を単独で締固めた場合には粒子破砕が問題となるとともに、炉底灰の多孔性と少ない微粉量のために下りな締固め密度は得られない。一方、粗粒アッシュと炉底灰を混合した場合には粒度分布の改善により、締固め密度の増大が認められ、粗粒アッシュ・炉底灰(2:1)の混合比において乾燥密度が最大となる(表-2)。

炉底灰を単独で締固めた場合には強度発現はまったく認められない。一方、締固めた粗粒アッシュ・炉底灰混合物では初期材令においては粗粒アッシュ・炉底灰(1:1)の混合比が最大の強度を示すが、長期材令においては粗粒アッシュの多い混合比ほど強度の伸びが著しく、28日材令以後では締固め粗粒アッシュが最大の強度を示す(図-1)。この強度発現は粗粒アッシュ中に少量含まれている遊離石灰に起因するものと考えられる。また、消石灰を5%添加した粗粒アッシュ・炉底灰混合物では消石灰の添加により粗粒アッシュのボツラン反応が促進されるために無添加の場合と比較して長期材令における強度の増加がかなり顕著になる(図-2)。

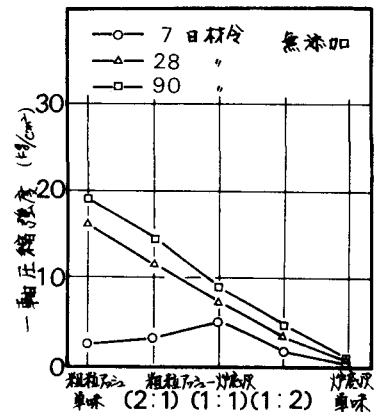


図-1 締固め石炭灰の圧縮強度特性

4. 粗粒アッシュ・炉底灰混合物の反応過程と微視的構造

本研究に使用した粗粒アッシュ中には約4%の石灰分が含まれているが、X線回折の結果よりこの含有石灰はほとんどが遊離石灰(f-CaO)の形で存在しており、稀固め粗粒アッシュ・炉底灰混合物では粗粒アッシュの多い混合比のものほど材料にともなうC-S-Hゲルおよびエトリンガイトのピークが明瞭になるのが認められた。pH試験の結果より、粗粒アッシュ中の遊離石灰は容易に間隙中に溶出し、高アルカリの状態(pH12~13)に保持されているのが明らかになった(図-3)。この段階において、粗粒アッシュ中のシリカおよびアルミナより成るガラス相の反応が始まり、粗粒アッシュのポツラン反応が徐々に進行するようである。一方、炉底灰中の石灰分は水酸化カルシウム状態(Ca(OH)_2)を含有されており、このため炉底灰は稀固めの場合にも自硬性は生じない。

供試体断面のSEM観察より、稀固め粗粒アッシュの28日材令における粗粒アッシュの粒子表面には溶出が生じた形跡が存在しており、C-S-Hゲルと思われる微細な生成物が媒介にレー粒子同士の結合されている様子が認められる(写真-3)。また、稀固め粗粒アッシュ・炉底灰混合物(2:1)のSEM像には、炉底灰粒子内および炉底灰粒子間に存在する空隙を粗粒アッシュ粒子が充填することによって密実な粒子構造を形成している様子が観察される(写真-4)。

5. まとめ

使用灰の相違により我が国で産出される石灰灰には諸外国で報告されているような高石灰含有量のものはほとんど存在しないようであるが、石灰灰中には少量の石灰分が含まれており、適度な水分が存在する条件下で石灰灰が稀固められる場合には石灰分の溶出によってポツラン反応が進行し、硬化する性質(自硬性)が認められる。

使用灰の相違により我が国で産出される石灰灰には諸外国で報告されているような高石灰含有量のものはほとんど存在しないようであるが、石灰灰中には少量の石灰分が含まれており、適度な水分が存在する条件下で石灰灰が稀固められる場合には石灰分の溶出によってポツラン反応が進行し、硬化する性質(自硬性)が認められる。

<参考文献>

- 1) 玉貫：石灰燃焼灰システムと有効利用技術，フジテクノシステム。
- 2) 川村，鳥居：粗粒アッシュの土質安定処理への利用に関する基礎研究，セメント技術年報，No. 37，昭和58年。

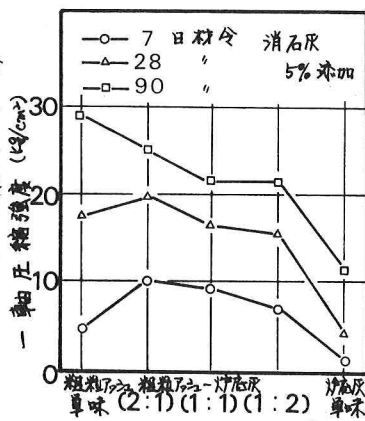


図-2 消石灰と5%添加した稀固め石灰灰の圧縮強度特性

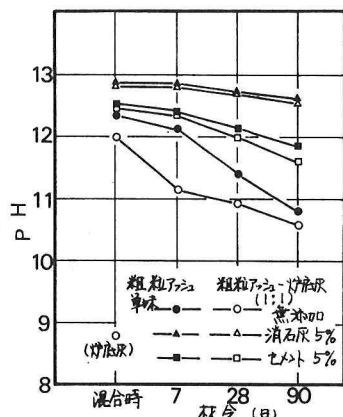


図-3 稀固め石灰灰のpH値の変化

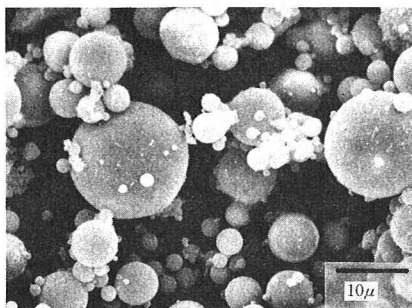


写真-1 粗粒アッシュ粒子のSEM像

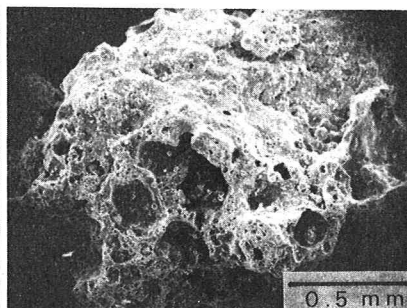


写真-2 炉底灰粒子のSEM像

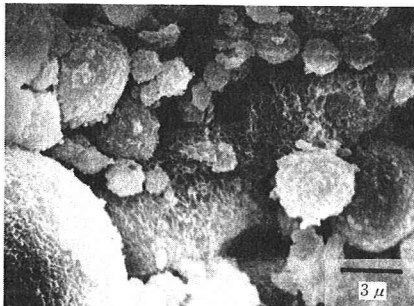


写真-3 稀固め粗粒アッシュの28日材令におけるSEM像

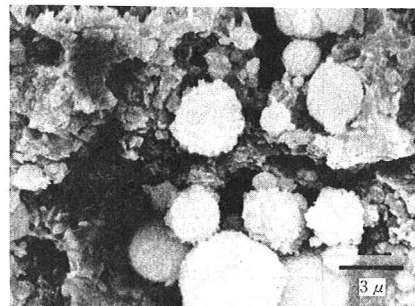


写真-4 稀固め粗粒アッシュ・炉底灰混合物(2:1)の28日材令におけるSEM像