

法政大学 正員 小林 正 几
東電設計株式会社 正員 野口 博 章
法政大学 学生員 ○志村 和 紀

石炭火力発電所で微粉炭を燃焼する際に副産される石炭灰は、シリカおよびアルミナを主成分とする人工ポズランである。このうちフライアッシュはコンクリート用混和材として広く使用されているが、これ以外の粗粒アッシュおよび炉底灰は相当の量を占めているにもかかわらず、ほとんど研究がなされていない。本研究は、粗粒アッシュおよび炉底灰のポズラン反応について微視的に検討するとともに、粗粒粗粒アッシュの混用がコンクリートの強度増進に及ぼす効果について実験的に考察を加えたものである。試験に用いた石炭灰は主に高砂火力発電所から副産されたものであり、一部の試験には他の発電所から副産されたものも用いた。なお、粗粒アッシュは粉砕し粉末度を3～5種に相違させセメントの一部に置換えて用いた。

1. 石炭灰のガラス量について

粗粒アッシュおよび炉底灰のポズランとしての反応性をフライアッシュと比較検討するため、X線回折によって鉱物質結晶成分およびその結晶量を求めた結果は表-1に示すようであった。これによれば結晶量はその多いものから、炉底灰、粗粒アッシュ、フライアッシュの順であった。一方これらの石炭灰について、上記結晶量と化学分析によって求めた炭素量を差し引いて求めたガラス量は表-1のようであり、石炭灰は粒径が大きくなるに伴ないガラス量が少なくなることが認められた。すなわち、これら石炭灰の化学成分のあいだには著しい差がないことから考え、ガラス量にかなりの差があるのは石炭灰が溶融状態から冷却固化する際に粒径の大きいものほど内部の冷却に時間を要し、結晶化がより多く進んだためと考えられる。

2. 石炭灰の可溶性のシリカおよびアルミナ量について

ポズラン反応と密接な関係をもつガラス相中のシリカおよびアルミナについて比較検討するため、ASTMの方法により一定濃度の酸・アルカリ溶液中に溶出する可溶性のシリカおよびアルミナを定量した結果は表-2に示すようであった。これによれば可溶性のシリカおよびアルミナさらにはそれらの合計量はいずれもその多いものからフライアッシュ、粗粒アッシュ、炉底灰の順であった。

なお、JISに示すセメントの化学分析試験方法によって3種類の石炭灰のシリカおよびアルミナの含有量を定量した結果は表-3に示すようであった。これによればシリカおよびアルミナの総含有量の多いものが、必ずしも可溶性のシリカおよびアルミナ量が多いとは言えない。

3. 石灰モルタル試験における石炭灰のポズラン反応性について

粉砕した粗粒アッシュおよび炉底灰のポズラン活性について検討するため、ASTMに規定されているポズラン石灰モルタル試験を行なった結果は図-1に示すようであった。これによればモルタルの圧縮強度は粗粒アッシュは未粉砕のものではフライアッシュに比べ著しく小さいが、粉砕すれば粉末度の増加に伴ないほぼ直線的に増加することが認められ、フライアッシュと同程度にまで粉末度を高めればフライアッシュにくらべていくぶん小さい傾向にはあるが、大差ない圧縮強度を示すことが認められた。しかし、炉底灰は粉末度の増加に伴ない圧縮強度は増加するものの、粉砕の効果は粗粒アッシュに比べてかなり小さい。

表-1 X線回折によって求めた石炭灰の鉱物質結晶量、およびガラス量 (%)

石炭灰	鉱物組成	鉱物質結晶量		炭素量	ガラス量
		各組成	合計		
フライアッシュ	α-石英 ムライト	4 5	9	6	85
粗粒アッシュ	α-石英 ムライト	8 8	16	11	73
炉底灰	α-石英 ムライト 長石	11 9 9	29	12	69

表-2 石炭灰の可溶性シリカおよびアルミナ量 (%)

石炭灰	SiO ₂	Al ₂ O ₃	計
フライアッシュ	15.6	9.0	24.6
粗粒アッシュ	15.4	6.8	22.2
炉底灰	11.8	4.6	16.6

表-3 石炭灰のシリカおよびアルミナの含有量 (%)

石炭灰	SiO ₂	Al ₂ O ₃	計
フライアッシュ	50.8	23.8	76.4
粗粒アッシュ	51.2	20.7	71.9
炉底灰	55.8	23.5	79.3

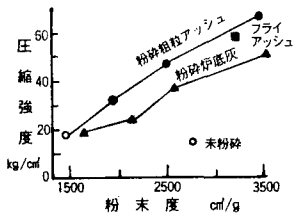


図-1 石灰モルタル試験による粗粒アッシュおよび炉底灰のポズラン活性度 (3箇所の発電所産の平均)

4. 石炭灰を混用したモルタルの強さ

3箇所から得られた粗粒アッシュを粉砕して用いた場合の強度に及ぼす影響について検討するため、J I Sに示すフライアッシュの試験方法によりモルタルの圧縮強度試験を行った結果を圧縮強度比の平均で示せば図-2のようである。これによれば圧縮強度比はいずれの粉末度とした場合においても未粉砕のものより大きく、また材令が経過するに伴ない増加することが示された。

粉砕粗粒アッシュとフライアッシュの圧縮強度比を比較すれば、図-2に示されるように早期の材令を除けば、粗粒アッシュは必ずしもフライアッシュと同じ程度にまで粉末度を高めなくても同程度の強度を示す傾向にあることが認められた。

炉底灰を粉砕して混用した場合のモルタルの圧縮強度比は図-3に示すようであり、圧縮強度比は粉砕粗粒アッシュの場合に比べてかなり小さいことが認められた。とくに材令28日から91日にかけての圧縮強度比の増加は、粗粒アッシュの場合に比べてかなり小さく、ポゾラン活性は相当に小さいと考えられる。

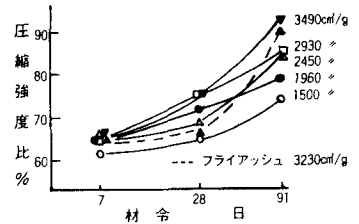


図-2 粉砕粗粒アッシュを混用したモルタルの圧縮強度 (3箇所の発電所の平均)

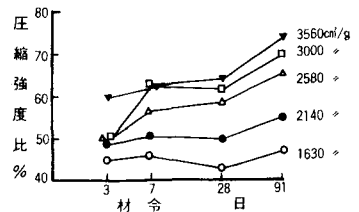


図-3 粉砕炉底灰を混用したモルタルの圧縮強度

5. 粉砕粗粒アッシュを用いたコンクリートの圧縮強度について

粉砕粗粒アッシュを混用したコンクリートの圧縮強度性状について検討するため、高砂火力産の粗粒アッシュおよびフライアッシュを用い単位結合材量を石炭灰を用いないものでそれぞれ250

kg/m^3 、 300kg/m^3 および 400kg/m^3 とし、セメントの25%の容積を粉砕粗粒アッシュで置換えたコンクリートの圧縮強度試験を行なった結果は図-4に示すようであった。これによれば、単位結合材量の多いもののほど材令の早期から圧縮強度の増進が著しいことが認められた。なお、このような傾向はフライアッシュの場合についても明確に示された。

常圧蒸気養生が粉砕粗粒アッシュ混用コンクリートの圧縮強度におよぼす影響について検討するため、単位結合材量を 500kg/m^3 、粉砕粗粒アッシュの置換率を20% (重量)、スランブを4~6 cmとしたコンクリートの圧縮強度試験を行なったところ図-5のようであった。これによれば、圧縮強度は未粉砕のものを

用いた場合においては石炭灰を用いないものよりかなり低いが、粉末度を $2400\text{cm}^2/\text{g}$ 程度以上として用いれば圧縮強度は著しく増大し、フライアッシュ (粉末度 $3570\text{cm}^2/\text{g}$) の場合とくらべ大差ないことが示された。

以上要するに、粗粒アッシュは粉砕して用いれば、粉末度の増加にともないポゾラン反応が活発化することが示された。粉砕に要する費用を考慮すれば、あまり粉末度を高めることは得策でないが、J I Sに規定されているフライアッシュ粉末度の下限值 ($2400\text{cm}^2/\text{g}$) 程度として用いても実用上差支えない場合も少なくないと考えられる。なお、炉底灰はポゾラン反応の程度が相当に小さいので、混和材としては適していないように考えられるが、粒度調整等の目的で細粒の細骨材として使用するのであれば、利用できる場合も少なくないと思われる。

本研究を行うにあたり文部省化学研究費補助金を受けたことを付記し深謝致します。この研究における石炭灰のX線回折試験ならびに化学分析試験は日本セメント社研究所において佐藤健博士の御指導を受けて行ったものであり、御懇篤なる御配慮をいただいたことに対し、厚く感謝の意を表します。