

III-355 締固めた石炭灰供試体の強度特性について

石川工業高等専門学校 正会員 ○佐野博昭 金沢工業大学 正会員 山田幹雄
金沢工業大学 学生会員 酒井英美 石川工業高等専門学校 正会員 能沢真周

1. まえがき 石炭火力発電所から大量に発生される石炭灰（主としてフライアッシュ）は、それ自体でも適度な水分下で締固めを行えば時間の経過とともに強度が増していくこと、同様にそれを現場土に混合した場合にも強度が増加していくことなどが明らかにされている¹⁾。しかし、従来の研究においては強度発現におよぼす水（降雨、地下水等）の影響およびそれに対する耐久性については明らかにされていない。

本研究は、石炭灰の基本的な強度特性および強度発現におよぼす水の影響について検討を加えている。

2. 試料および試験方法 室内試験に用いた試料は、神奈川県の大磯火力発電所にて発生した石炭灰（フライアッシュ）、JR北陸線倶利伽羅駅構内より採取した粘性土（倶利伽羅粘土）および市販の消石灰であり、その物理的、化学的性質を表-1、2に示す。試験に先立って、JIS A 1210の第一方法により行った石炭灰の締固め試験の結果より、最適含水比 $\omega_{opt}=16.3\%$ 、最大乾燥密度 $\rho_d=1.48\text{g/cm}^3$ となり、最適含水比より乾燥側では締固め曲線はなだらかな曲線を呈し、含水比の増加にともなう密度の増加はわずかであった。

供試体の作成については、供試体中の土の不均一性や作成者の個人的誤差を少なくし、迅速に行うことに主眼を置いて、空気圧を利用するペロフラムシリンダーにより、静的に一気に締固めることによって行った。

供試体の種類としては、石炭灰供試体（石炭灰+消石灰）および倶利伽羅粘土供試体（倶利伽羅粘土+石炭灰+消石灰）を用い、石炭灰供試体については乾燥密度 ρ_d を $(1.31\sim1.40)\text{g/cm}^3$ 、飽和度 S_r を $(29.5\sim68.7)\%$ 、倶利伽羅粘土供試体については ρ_d を $(1.04\sim1.23)\text{g/cm}^3$ 、 S_r を $(61.0\sim94.4)\%$ の範囲で変化させ、それぞれ S_r 、 ρ_d の異なる6種類、合計12種類の供試体を作成した。なお、配合割合は、石炭灰供試体については“石炭灰”対“消石灰”，倶利伽羅粘土供試体については“倶利伽羅粘土”対“石炭灰”対“消石灰”のそれぞれ乾燥重量比で表している。供試体はいずれも直径5cm、高さ10cmの円柱供試体である。

作成した供試体は、①水分の蒸発を防ぐため全体をラップで包み、パラフィンワックスを十分に塗布した後温度20℃の恒温室内で所定の期間（0, 7, 14, 28, 56, 90および180日）養生を行う空気中養生、②①と同様に作成した供試体の端面に直径4cmのろ紙を中心から直径1.5cmの円形部分は除いて接着剤で張り付け、残りの部分をラップ、パラフィンワックスを用いて密封した後、恒温室内の水槽に漬渡し、所定の期間（0, 1, 3, 7および14日）養生を行う水浸養生の2種類の方法により養生した。なお、①、②の“養生0日”とは“供試体作成当日”を意味している。所定の養生期間に到達した供試体に対し、

表-1 試料土の物理的性質

試料土	石炭灰	倶利伽羅粘土
比 重	2.22	2.70
砂 分 (%)	12.7	34.2
シルト分 (%)	86.9	44.3
粘土分 (%)	0.4	21.5
均 等 係 数	1.54	34.38
曲 率 係 数	1.11	1.14
液性限界 (%)	—	71.5
塑性限界 (%)	—	45.4
塑 性 指 数	NP	26.1

一軸圧縮試験を行った。試験にあたっては、供試体端面の摩擦を低減するためにシリコングリースを塗布した円形のゴム膜を上・下加圧板と供試体との間に挿入し、毎分1%のひずみ速度で実施した。

3. 試験結果 図-1は、石炭灰供試体の養生日数の経過にともなう含水比の変化を示している。図より、配合割合に拘らず、養生日数7日目の含水比は0日目と比較して減少傾向が認められるが、その後の日数の経過にともない若干の減少は認められるものの、顕著な変動は認められない。また、この傾向は他の含水比、乾燥密度の供試体についても同様の結果が得られた。これは、化学反応の進行にともない、供試体中の間隙水が消費されたものと推察される。また、この時の一軸圧縮強さの変化を示したのが図-2である。図より、供試体作成時の強度に比べて養生日数7日目の強度は10倍程度に達し、その後、一軸圧縮強さの対数と養生日数の対数の間にはほ

表-2 試料土の化学的性質 (%)

試料土	石炭灰	倶利伽羅粘土
強 熱 減 量	0.94	6.31
シ リ カ	51.40	65.60
ア ル ミ ナ	24.20	17.10
酸 化 第 二 鉄	5.32	5.47
酸 化 カ ル シ ウ ム	10.50	0.53
酸 化 マ グ ネ シ ウ ム	1.98	1.26
酸 化 カ リ ウ ム	1.16	1.98
酸 化 ナ ト リ ウ ム	1.61	0.98

ば直線的な関係が認められる。ただし、通常、強度が無限に大きくなることはあり得ないので、この関係は今回の養生期間である7日から180日までの範囲に限定される。配合割合ごとに強度を比較した場合、消石灰を混合することにより混合しない場合の2倍程度の強度

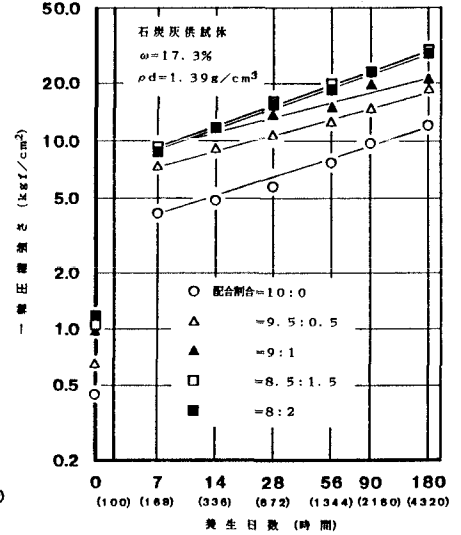
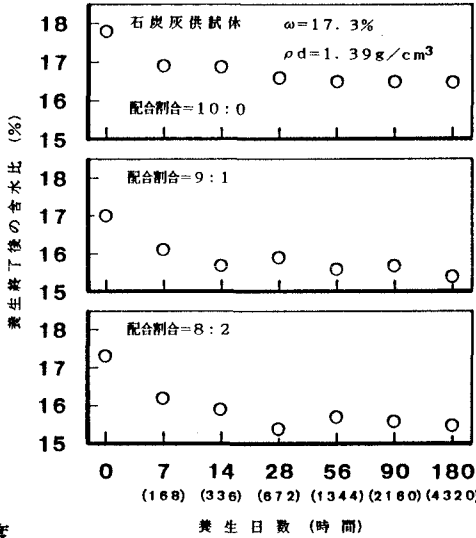


図-1 養生日数の経過にともなう含水比の変化

図-2 空气中養生による一軸圧縮強さの変化

しかしながら、配合割合が(9.5:0.5)から(8:2)の範囲では強度の差が小さいことが認められる。このことは、化学反応に要する間隙水の量が消石灰の量と比較して少なすぎたのではないと思われる。また、俱利伽羅粘土供試体は、石炭灰供試体と同様、一軸圧縮強さの対数と養生日数の対数の間にはほぼ直線的な関係が認められ、配合割合が(8:1:1)では強度が著しく増加したがその他の供試体では強度の増加はわずかであった。図-3は、図-2の空气中養生に対し、水浸養生による一軸圧縮強さの変化を示したものである。なお、図に示した曲線は、多項式回帰により得られたものである。これより、供試体作成直後に水浸を行うと一時強度は低下するものの、その後の日数の経過にともない強度は漸次増加

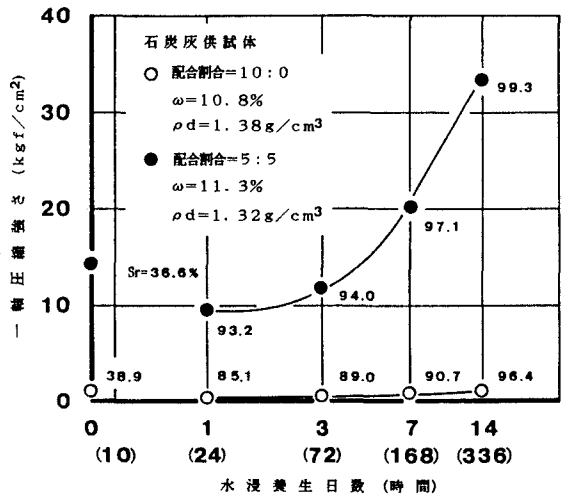


図-3 水浸養生による一軸圧縮強さの変化

しており、水浸養生7日目付近で供試体作成当日の強度以上に回復している。また、強度の増加割合は、配合割合が(5:5)の方が大きく、十分な量の間隙水の存在により化学反応が活発に進行しているものと思われる。

4. まとめ 石炭灰供試体と俱利伽羅粘土供試体に対する一軸圧縮試験を行った結果、石炭灰のみを締固めた場合でも日数の経過にともなって強度は増加するが、これに消石灰を混合することにより強度の増加割合はさらに大きくなることが明らかとなった。また、消石灰を混合する場合、消石灰の効果を促進させるに十分な水の存在が必要になるものと思われ、これより供試体作成時から継続してある程度の水を供給すれば一時的に強度は低下するものの、その後長期にわたり強度およびその増加割合に変化があるものと推察される。いずれにしても、強度発現と水は密接に関係しており石炭灰を実用化させるためには水のおよぼす影響について十分検討する必要がある。また、従来より実施されている粘性土に石炭灰を混合し（攪拌混合工法）、その改良効果を期待するためには添加剤として消石灰を用いる場合それを多量に混合する必要がある。

参考文献 1) 鳥居和之, 川村満紀, 柳場重正: 締固めた石炭灰における反応生成物と強度に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第372号1986年8月。