

石炭灰の性状と強度特性について

(株)大星測量設計 正会員 ○富田 淑幹
中部電力(株) 正会員 尾関 正典
中部電力(株) 正会員 尾畑 和彦
(株)大星測量設計 正会員 今井 本典

1. はじめに

セメント安定処理した石炭灰を利用する目的としては、土木資材としての利用が期待されるが、この場合、事前に灰の性状から固化後の強度を推定する事が望まれる。従来¹⁾の方法としては、灰の物理的な性状を使った例が報告されているが、多岐に渡る灰に対する化学的性状も加えた推定方法は報告された例は少なく、この方法を用いることによって灰が変わった時への対応可能範囲が広がると考えられる。本報告はこれらについて一軸圧縮試験を主体として行った、室内土質試験から得られた結果を基にして述べるものである。

2. 試験内容

火力発電所微粉炭燃焼ボイラーから発生した灰の性状を、表-1 および図-1, 2 に示す。この灰(1炭種1灰)に重量比3, 5, 10%のセメントを置換し、締固め度100%でφ5×10cmのモールドで1mm/minの速度で静的に締固めをして供試体を作製した。養生は温度20℃, 湿度95%に設定した養生箱の中で、個々にビニール袋に密封した気中養生方法で行った。一軸圧縮試験は材令28日で行っている。添加したセメントは普通ポルトランドセメント、混合水は地下水を使用した。

表-1 石炭灰の代表的性状

項目	自然含水比 (%)	粒子の密度 (g/cm ³)	ブレン値 (cm ² /g)	未燃カーボン (%)
Yu	0.48	2.181	4114	1.60
Pi	0.12	2.329	3008	1.31
Ny	0.09	2.259	4038	3.97
Bu	0.46	2.222	3984	2.96
Do	0.27	2.229	3274	1.35
Mb	0.05	2.179	2923	1.47
Ms	0.04	2.316	4097	1.95
Eb	0.08	1.944	2930	0.56
Se	0.00	2.183	3070	1.72
Ky	0.39	2.254	2900	1.66
Qu	0.23	2.421	2570	1.07
Da	0.17	2.384	2830	3.45

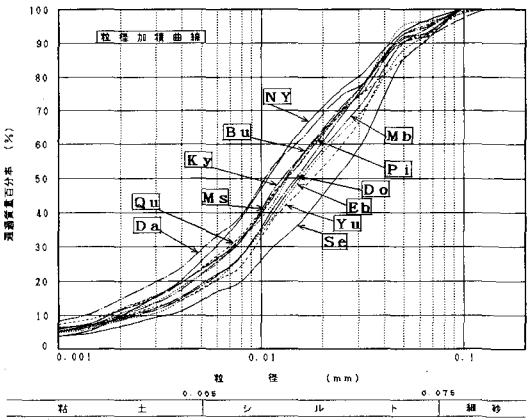


図-1 粒度分布図

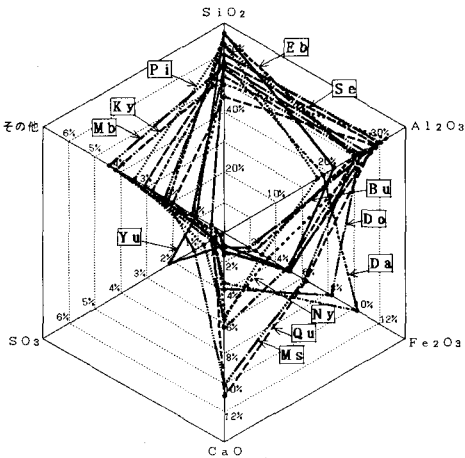


図-2 化学分析結果

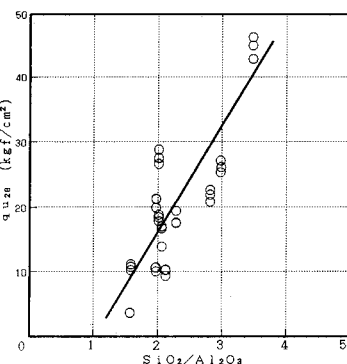
3. 試験結果

表-2 は、締固めおよび一軸圧縮試験結果である。既往の文献²⁾によると化学成分が及ぼす影響としては、CaO量が多くかつ塩基成分量が多い灰の方が、圧縮強度は大きくなると報告している。本試験結果でもFe₂O₃, CaO等塩基成分量が多いほうが高い圧

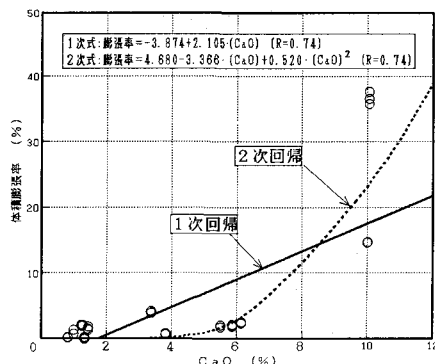
表-2 締固めおよび一軸圧縮試験結果

灰 名	Yu	Pi	Ny	Bu	Do	Mb	Ms	Eb	Se	Ky	Qu	Da				
セメント率	5%	3%	5%	5%	10%	5%	3%	5%	5%							
ρ_{max} (t/m ³)	1.22	1.35	1.24	1.19	1.28	1.27	1.37	1.08	1.23	1.36	1.45	1.42				
w_{opt} (%)	3.03	22.6	29.4	32.6	25.0	24.9	22.3	32.7	28.0	21.6	20.0	21.6				
間 隙 比	0.79	0.72	0.83	0.86	0.74	0.72	0.67	0.84	0.77	0.66	0.68	0.68				
q_{u28} (kgf/cm ²)	21.8	36.9	44.8	10.7	23.3	10.5	24.7	15.8	15.7	27.7	10.0	18.3	3.7	26.7		
C/W	0.17	0.12	0.22	0.17	0.34	0.15	0.31	0.20	0.12	0.20	0.22	0.15	0.18	0.23	0.25	0.28
体積膨張率 (%)	0.1	3.2	1.9	1.8	2.4	0.8	1.7	0.7	1.7	0.0	14.7	1.5	2.0	2.4	36.7	4.1

縮強度となる傾向を示しており、前述の結果と一致を見せている。圧縮強度に影響を及ぼす要因として、体積膨張率に着目すると、体積膨張率が著しく高くなった場合に、圧縮強度は余り高くない傾向にあるようにみられる。



図－3 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \sim q_{u28}$ 関係図



図－4 CaO量 $\sim q_{u28}$ 関係図

4. 圧縮強度の推定

セメント率5%において28日圧縮強度と各々の変数項目について相関を調べた結果、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ と28日強度は相関関係にあることが判明した。図－3はその関係図である。また、体積膨張率と圧縮強度にも相関関係があり、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ と併せると全体の約9割を示している。従って、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ と体積膨張率がわかれば圧縮強度の推定は可能となる。体積膨張率はCaO量とも相関は高く、大まかではあるがCaO量から体積膨張率の推定を行うことが可能である（図－4）。

灰の物理、化学性状が圧縮強度に与える影響を検討するために、材令28日強度を目的変数とし、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、体積膨張率、CaO量、セメント水比、ブレン値、間隙比を説明変数として、重回帰分析を行った。このうち体積膨張率は、図－4の1次、2次回帰結果より得られた推定値を値として採用した。重回帰結果から得た値を推定値として、試験結果との比較をしたものが図－5である。この図からは、試験値と推定値の残差がほぼ30%以内に包括されていることがわかり、実用に供することが可能と考えられる。

5. まとめ

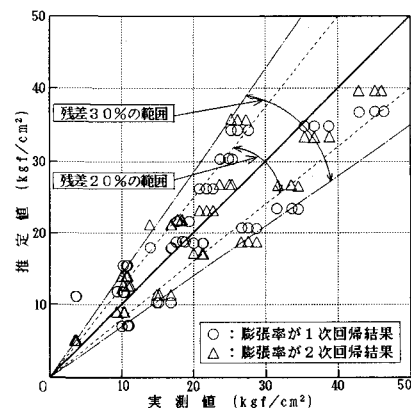
灰の化学組成があらかじめわかっているならば、重回帰分析結果を用いることにより材令28日強度の推定を行うことができる。また、セメント水比を与えることによって、セメント率10%以内であればセメント率を変えたときにも対応可能である。体積膨張率の著しい灰は、事前に改質処理する必要性があり、今後、その方法について検討を行っていきたい。

参考文献 1) 鈴木和男、「石炭灰の土木材料への利用」；北海道電力総合研究所報告 1990年

2) 片岡、緒方、岡本、横倉、「締固めた石炭灰の強度特性」；第26回土質工学研究発表会 1991年7月

表－3 重回帰分析結果

目的変数	圧縮強度（材令28日） q_{u28}	
説明変数	変 数 名	寄与率と順位
	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	(1) 59.6%
	体積膨張率	(2) 30.2%
	CaO	(3) 4.1%
	セメント水比	(4) 3.1%
	ブレン値	(5) 1.8%
	間 隙 比	(6) 0.6%
1次回帰から得た体積膨張率を用いた重回帰式	$q_{u28} = -32.34 + 13.36 \times (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.03 \times (\text{膨張率}) + 1.22 \times (\text{CaO}) + 99.35 \times (\text{C/W}) - 28.45 \times (\text{ブレン値}) + 16.52 \times (e)$	
重相関係数	$R = 0.849$ F検定1%有意	
2次回帰から得た体積膨張率を用いた重回帰式	$q_{u28} = -32.08 + 12.71 \times (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - 0.65 \times (\text{膨張率}) + 0.67 \times (\text{CaO}) + 86.26 \times (\text{C/W}) - 31.46 \times (\text{ブレン値}) + 23.82 \times (e)$	
重相関係数	$R = 0.889$ F検定1%有意	



図－5 残差の範囲図