石炭灰のセメント安定処理

斉藤　顕次*　　平岡　博明**
Kenji Saitoh　　Hiroaki Hiraoka

1．はじめに

石炭は一般に10～20%の灰分を含んでおり，これが燃焼によって石炭灰になる．石炭利用の増加と共に石炭灰の発生量も増加し，産業廃棄物としての処分も困難になりつつある．このため石炭灰を産業資材として有効に利用する必要性は極めて大きく，特に一般産業から発生する石炭灰（一般産業灰と称する．）の本格的な有効利用はこれからの重要な課題になっている．

本文は土木材料として有効利用を図るためにセメント安定処理をした一般産業灰の締固め，強度特性について述べたものである．

2．一般産業灰の品質

一般産業灰は電力灰に比較して未燃分（強熱減量）が相対的に高く，品質のバラツキも相対的に高い．

Table 1　石炭灰の化学成分

化学成分	含有量（%）		
	石炭灰A	石炭灰B	石炭灰C
SiO_2	52.3	56.3	53.4
Al_2O_3	38.9	24.8	34.5
TiO_2	1.6	0.4	0.6
MgO	1.2	1.4	0.6
CaO	1.1	2.5	2.2
P_2O_5	1.1	0.4	1.1
Fe_2O_3	0.7	7.0	3.1
K_2O	0.6	1.9	0.6
Na_2O	0.5	2.2	1.6
SO_3	0.1	2.1	0.6
強熱減量	5.9	9.2	12.6

*技術研究所地質研究課課長
**技術研究所地質研究課

セメント安定処理に用いた3種類の一般産業灰の化学成分，粒度分布と比重，締固め曲線（JIS A1210 2・5・c法による）をTable 1，Fig. 1～2に示す．石炭灰A，B,Cは共に同一の工場より排出された石炭灰で，Table 1，Fig. 1～2は一般産業灰の品質のバラツキの例を示しているといえる．

これらの石炭灰はCaO含有量が低いのでポゾラン反応による自硬性は期待できず，また，未燃分(強熱減量)が多いため，締め固めにおいて最適含水比（w_{opt}）は大きく，最大乾燥密度（ρd_{max}）は低くなる．

しかし，石炭灰Bはw_{opt}=25.0%，ρd_{max}=1.305t/m³で，他の石炭灰A，Cに比較して最大乾燥密度が大きい．強熱減量と締固め特性の間には強い相関があり，強熱減量が多いほど最適含水比は増大し，最大乾燥密度は低下する．従って，石炭灰Bの示すw_{opt}，ρd_{wax}の値は強熱減量が数%の石炭灰に相当し，9%程度の強熱減量

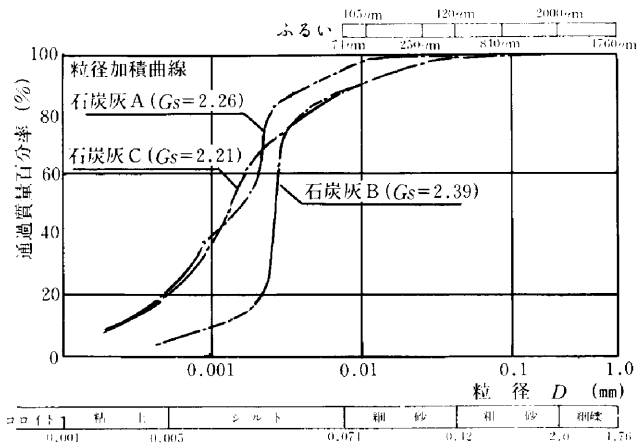

Fig.1　石炭灰の粒度分布

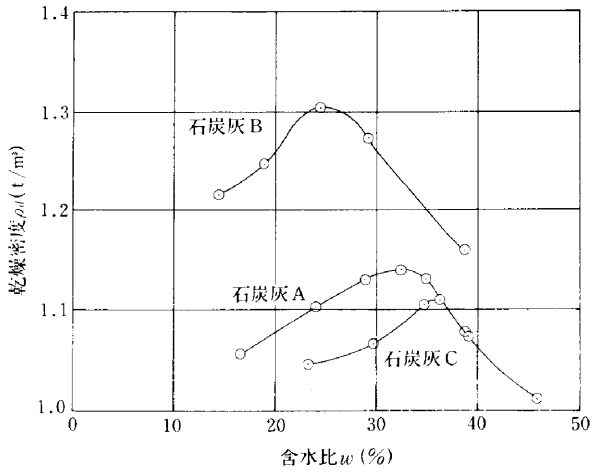

Fig.2　石炭灰の締固め曲線（2・5・c法）

でこの密度が得られるのは，比重が大きいことと粒度分布によるものと思われる．

3．セメント安定処理

石炭灰に普通ポルトランドセメントを添加して安定処理をすると締固め特性，強度特性は次のようになる．

(1) 最適含水比（w_{opt}），最大乾燥密度（ρd_{max}）

セメント添加量と最適含水比，最大乾燥密度の関係をFig.3に示す．セメントの添加によって石炭灰B及びCは共に同じようなw_{opt}の低下とρd_{max}の増加を示す．

(2) 見掛けの粘着力（C_u），せん断抵抗角（ϕ_u）

セメント添加量と三軸圧縮試験（UU試験）による見掛けの粘着力，せん断抵抗角の関係をFig. 4～7に示す．

供試体は各添加量の最適含水比～－2％程度の乾燥側の含水比で，2･5･c法の突固め方法で作製した．

セメント添加量と7日湿潤養成後のC_u，ϕ_uの関係をFig. 4，5に示す．C_uの値はセメントの添加量に応じて増加し，石炭灰Bの増加割合は石炭灰Cより大きいが，ϕ_uの値はセメント添加量による変化は少なく，石炭灰B及びCは共に38°～40°前後の値を示している．

石炭灰Cにおいてセメント添加量と7日湿潤養成後及び6日湿潤1日水浸養成後のC_u，ϕ_uの関係を求める

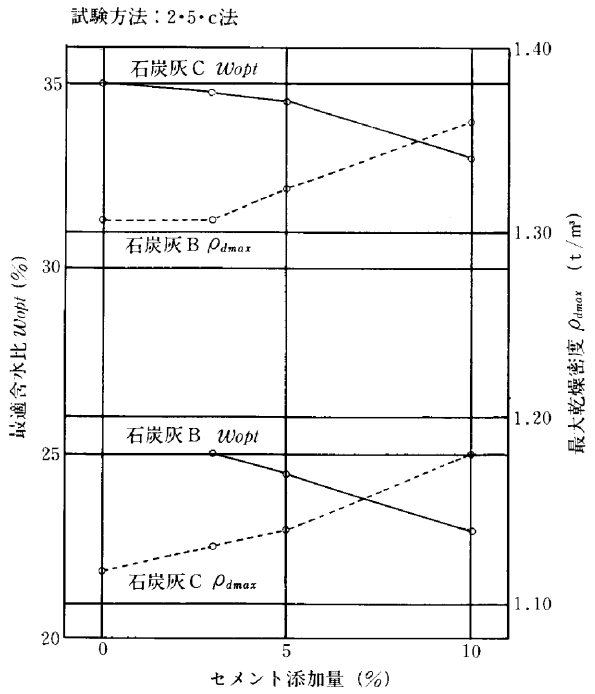

Fig.3　セメント添加量と最適含水比，最大乾燥密度の関係

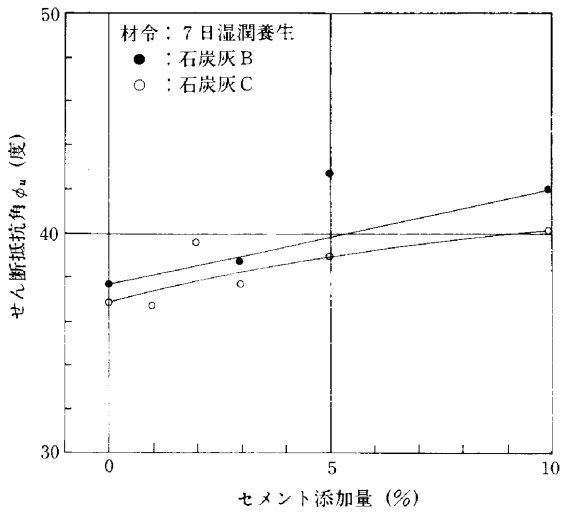

Fig.5　セメント添加量とせん断抗抵角の関係

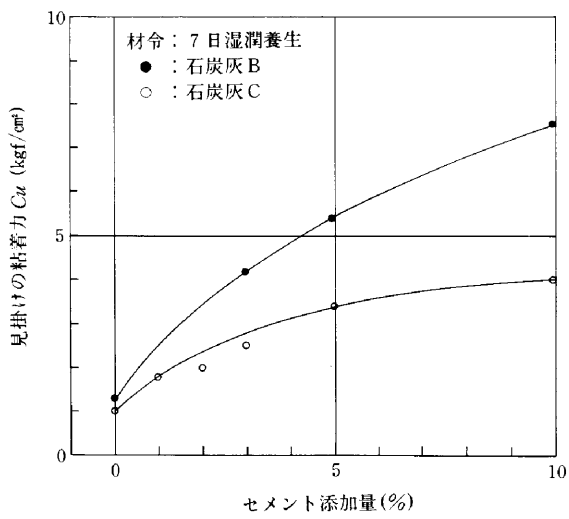

Fig.4　セメント添加量と見掛けの粘着力の関係

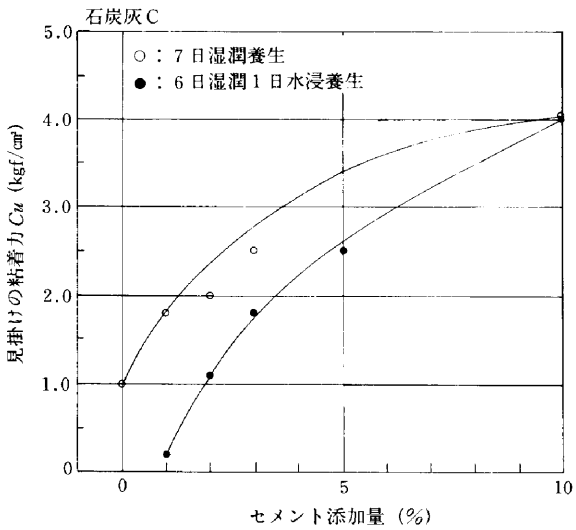

Fig.6　水浸による見掛けの粘着力の変化

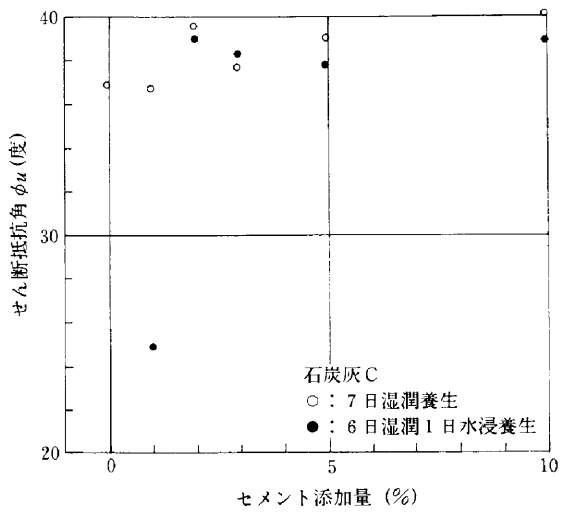

Fig.7　水浸によるせん断抵抗角の変化

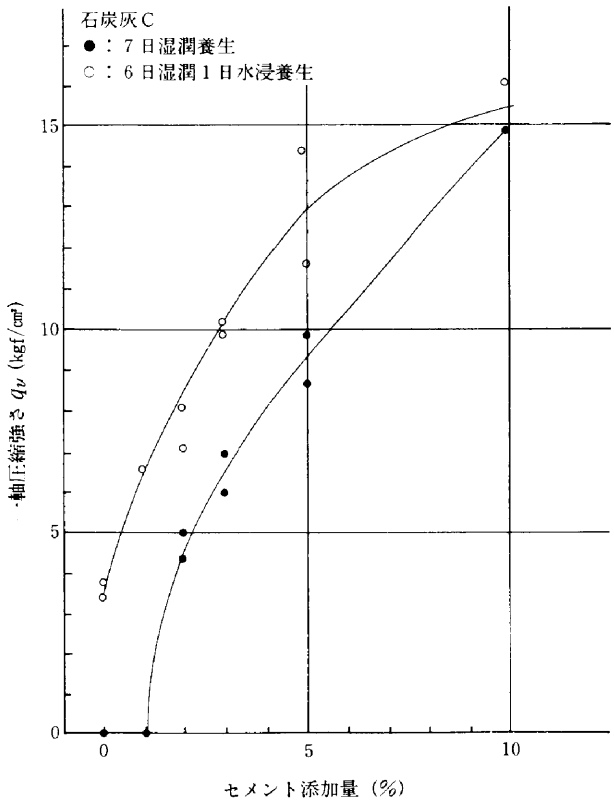

Fig.8　セメント添加量と一軸圧縮強さの関係

と，一日水浸によってC_u, ϕ_uの値はFig.6，7のように変化する．石炭灰のみで作製した供試体は水浸と同時に崩壊する．セメントを添加した石炭灰のC_uの値は水浸によって低下し，セメント添加量3％未満では大きく低下する．またϕ_uの値は水浸してもほとんど変化しないが，セメント添加量2％未満では急激に低下する．

(3)　一軸圧縮強さ（q_u）

石炭灰Cのセメント添加量と一軸圧縮強さの関係をFig.8に示す．供試体は三軸圧縮試験と同じ方法で作製した．Fig.8には7日湿潤養成後および6日湿潤1日水浸養成後のq_uの値を示しており，一日水浸によってq_uの値は明らかに低下する．特にセメント量3％未満での低下は大きい．

4．おわりに

石炭灰をセメント安定処理することによって強度特性は明らかに改善されるが，ただ，せん断抵抗角（ϕ_u）はあまり変化しない．

セメントの添加量は石炭灰が土木材料として要求される強度によって変わるが，土構造物の材料として使用するにあたって土構造物の耐水性を考えると，水浸によるせん断強度の大幅な低下を防ぐために少なくとも3％以上のセメント添加量が必要である．