

(Ⅲ-36) セメントを添加した石炭灰のせん断特性に及ぼす固化の影響

防衛大学校建設環境工学科 正○末次大輔 正 宮田喜壽
F 木暮敬二 学 中村史則

1. はじめに

産業廃棄物である石炭灰を積極的に活用する必要があると、埋立材料として利用することが効果的であると考えられる。石炭灰を水中埋立材として使用するとき、事前に石炭灰にセメント等の固化材を添加して埋め立てると安定した地盤を造成できると考えられる。そのような地盤の安定性を評価する場合には、セメントを添加した石炭灰の沈降堆積した状態での力学的特性を把握しておく必要がある。本研究では、沈降堆積した石炭灰の力学的性質に及ぼすセメント固化の影響を調べるために、セメント添加量の異なる石炭灰供試体の非排水三軸試験を行い、その結果について考察した。

2. 試料および実験概要

本研究で用いた石炭灰は、国内の火力発電所から排出された単味燃焼灰（フライアッシュ）である。石炭灰の物理化学的性質は表-1に示すとおりである。また固化材は普通ポルトランドセメントを使用した。三軸試験に用いた石炭灰供試体は次のように作製した。まず、事前に所定量のセメントを乾燥した石炭灰に混合し、水を張ったモールド（ $\phi=80\text{mm}$, $H=300\text{mm}$ ）に一定の投入速度で試料を投入し沈降堆積させる。沈降終了後、モールド内の水を排出させて堆積した試料を取り出し、三軸用の供試体（ $\phi=50\text{mm}$, $H=100\text{mm}$ ）に成形した。供試体の初期状態を表-2にまとめる。非排水三軸試験は、等方圧密後（ $p_0=49, 98, 196, 294\text{kPa}$ ）、軸ひずみ速度 $0.1\%/min$ で行った。

表-1 使用した石炭灰の物理化学的性質

粒子密度 ρ_s (t/m ³)		2.155
均等係数 U_c		3.45
平均粒径 D_{50} (μ m)		10
化学成分組成 (%)	SiO ₂	56.1
	Al ₂ O ₃	20.9
	MgO	7.1
	Fe ₂ O ₃	1.3
	CaO	9.8

表-2 供試体の初期状態

供試体名	セメント添加量	乾燥密度	間隙比
	C (%)	$\rho_d (\text{t/m}^3)$	e_0
C0	0	0.882	1.443
C5	5	0.818	1.676
C10	10	0.867	1.561
C20	20	0.894	1.545

3. 実験結果と考察

$p_0'=98\text{kN/m}^2$ 時の各供試体の軸差応力 q (kN/m^2) とせん断ひずみ γ (%) の関係を図-1に示す。ここに、軸差応力 $q=\sigma_1-\sigma_3$, $\gamma=\epsilon_a$ (σ_1 : 軸応力, σ_3 : 側圧, ϵ_a : 軸ひずみ) である。セメント量が大きな供試体ほど、初期の剛性および軸差応力が大きくなる。セメント量が10%, 20%の供試体は、ピーク値が現れるような挙動を示す。間隙水圧 Δu とせん断ひずみ γ との関係を図-2に示す。セメント無添加の供試体は、せん断ひずみの増加に伴い間隙水圧が単調に増加する。セメントを添加した供試体は、セメント量が大きなものほど、せん断初期の間隙水圧の増加割合が大きくなる。また、せん断変形が進行すると、過剰間隙水圧が減少するようになり、その減少量はセメント量が大きなものほど大きくなる。

キーワード：廃棄物、石炭灰、セメント改良、三軸圧縮試験

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 TEL: 0468-41-3810 FAX: 0468-44-5913

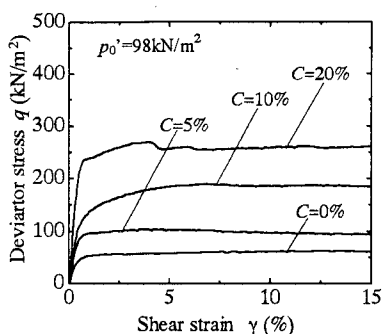


図-1 $q-\gamma$ 関係

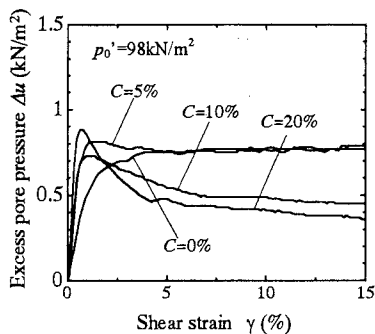


図-2 $\Delta u-\gamma$ 関係

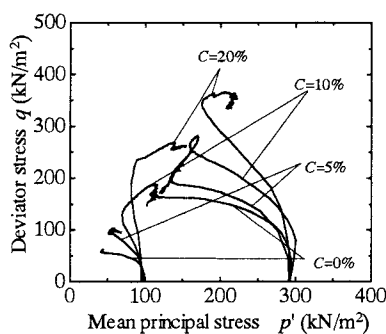


図-3 有効応力経路

$p_0' = 98$ および 294 kN/m^2 の時の各供試体の有効応力経路を図-3に示す。はじめに $p_0' = 98 \text{ kN/m}^2$ の結果について考察する。セメント無添加の供試体は、せん断変形に伴い、 p' が単調に減少し一定の応力状態に漸近する。一方、セメントを添加した供試体は、せん断変形に伴って p' が減少するが、セメント量大きな供試体ほど p' の減少が小さくなる。また、セメントを添加した供試体には、 p' が増加に転じる応力状態が存在し、その後、一定の応力状態に漸近する。次に、 $p_0' = 294 \text{ kN/m}^2$ の結果について考察する。セメント無添加の供試体は、 $p_0' = 98 \text{ kN/m}^2$ の時と同じ挙動を示すが、 $p_0' = 98 \text{ kN/m}^2$ の時に p' が増加する挙動を示したセメント添加率5%の供試体は、 p' が単調に減少する挙動へと変化する。10%、20%の供試体は、 p' が増加に転じる挙動は $p_0' = 98 \text{ kN/m}^2$ のときと同じであるが、 p' の増加量は小さくなった。

各供試体は、せん断変形が進行するにしたがって一定の応力状態に漸近する傾向を示す。その応力状態を限界状態と定義し、限界状態における q と p' の関係を図-4に示す。セメント量にかかわらず、各供試体の限界状態は原点を通る直線で近似できる。次に、セメント添加量5%と20%の供試体について、図-3に示した応力経路で p' が増加に転じる応力状態をプロットしたものを図-5に示す。セメント量の大きな供試体ほど限界状態線の上方に位置し、 p' が大きくなるにしたがって限界状態線に漸近する。

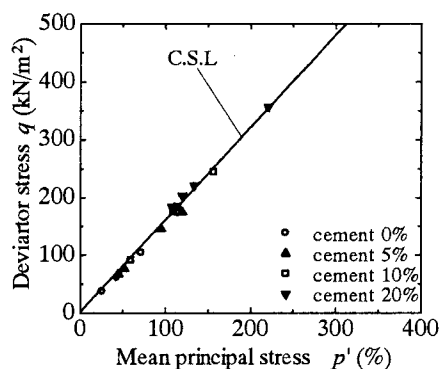


図-4 各供試体の限界状態

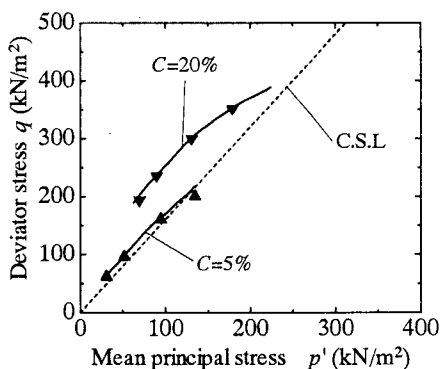


図-5 変曲点と限界状態線の位置関係

4. まとめ

本研究によって得られた知見を要約すると以下ようになる。

- (1) セメント量大きな石炭灰ほど、初期の剛性およびせん断抵抗が大きくなる。
- (2) セメント量大きな石炭灰ほど、正のダイレイタンス挙動が卓越する。
- (3) セメントを添加した石炭灰では、 p' が増加に転じる応力状態が存在し、セメント量大きな石炭灰ほどその応力状態は限界状態の上方に位置する。また、圧密圧力が大きくなるにしたがって、その応力点は限界状態に漸近していく。