

沈降堆積した石炭灰のダイレイタンシー特性

防衛大学校建設環境工学科 (正) 末次大輔 (正) 宮田喜壽 (正) 木暮敬二

1. はじめに

現在、石炭灰の有効利用の割合は約 70%である¹⁾。今後、さらに石炭灰の発生量は増加すると予測され、更なる有効利用の増大が望まれている。石炭灰を埋立材料等の地盤材料として用いることは、有効利用量の大幅な増加に寄与できると考える。石炭灰は自己硬化性を有する材料であり、その性質が力学特性に及ぼす影響を検討することが必要である。本文では、沈降堆積した石炭灰のダイレイタンシー特性について、排水三軸圧縮試験の結果より考察する。

2. 実験概要

本研究では、自己硬化性が無視できる石炭灰にセメントを添加することによって、石炭灰の自己硬化を再現した。本実験で用いた試料は、セメント無添加の石炭灰および乾燥質量比で 1, 3, 5% のセメントを添加した石炭灰である。すなわち、供試体の自己硬化性は、A から D の順に高い。三軸試験用の供試体は次のように作製した。まず、乾燥状態の試料を、水を張ったモールド ($\phi=200\text{mm}$, $H=400\text{mm}$) にふるいを通して投入し、沈降堆積させる。次に、モールド下部より排水し、供試体内にサクションを作用させ自立させる。その後、三軸試験用の供試体 ($\phi=50\text{mm}$, $h=100\text{mm}$) をトリミングによって作製する。三軸試験装置にセットする前の供試体の初期状態を表 - 1 に示す。自己硬化性が大きい石炭灰ほど、初期間隙比 e_i が大きい。排水三軸圧縮試験は、所定の拘束圧 ($\sigma_3'=49, 98, 196, 294\text{kN/m}^2$) で等方圧密を行った後、拘束圧一定、ひずみ速度 0.05mm/min で行った。

表 - 1 石炭灰供試体の初期状態

	Cement content C(%)	Dry density $\rho_d(\text{t/m}^3)$	Void ratio e_i
Sample A	0	0.895	1.416
Sample B	1	0.875	1.461
Sample C	3	0.841	1.588
Sample D	5	0.828	1.643

は、A から D の順に高い。三軸試験用の供試体は次のように作製した。まず、乾燥状態の試料を、水を張ったモールド ($\phi=200\text{mm}$, $H=400\text{mm}$) にふるいを通して投入し、沈降堆積させる。次に、モールド下部より排水し、供試体内にサクションを作用させ自立させる。その後、三軸試験用の供試体 ($\phi=50\text{mm}$, $h=100\text{mm}$) をトリミングによって作製する。三軸試験装置にセットする前の供試体の初期状態を表 - 1 に示す。自己硬化性が大きい石炭灰ほど、初期間隙比 e_i が大きい。排水三軸圧縮試験は、所定の拘束圧 ($\sigma_3'=49, 98, 196, 294\text{kN/m}^2$) で等方圧密を行った後、拘束圧一定、ひずみ速度 0.05mm/min で行った。

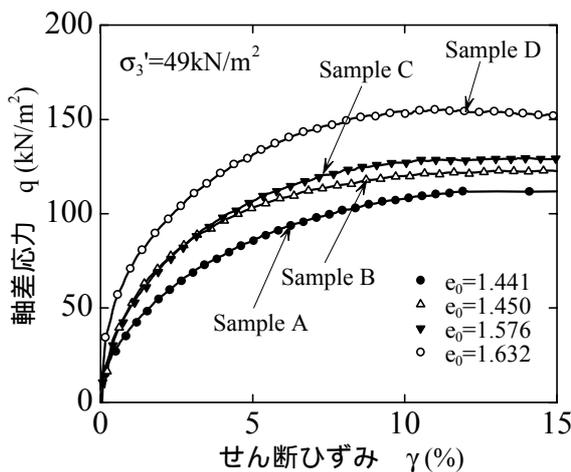


図 - 1 $\sigma_3'=49\text{kN/m}^2$ 時の q と γ の関係

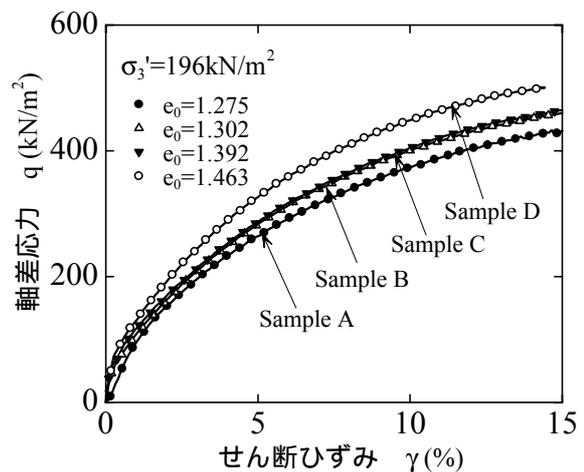


図 - 2 $\sigma_3'=196\text{kN/m}^2$ 時の q と γ の関係

3. 応力とひずみの関係

拘束圧 $\sigma_3'=49\text{kN/m}^2$ と $\sigma_3'=196\text{kN/m}^2$ における、軸差応力 $q (= \sigma_1' - \sigma_3')$ とせん断ひずみ $\gamma (= \epsilon_1 - \epsilon_3/3)$ の関係を図 - 1, 2 に示す。拘束圧 $\sigma_3'=49\text{kN/m}^2$ の場合、自己硬化性の大きい石炭灰ほど、せん断開始前の間隙比 e_0 は大

きいにも関わらず、全てのひずみレベルで大きなせん断抵抗を示す。そして、軸差応力は、せん断ひずみの増加に伴い一定値に収束する。一方、 $\sigma_3'=196\text{kN/m}^2$ の場合、 $\sigma_3'=49\text{kN/m}^2$ の場合と同じく、自己硬化性の大きいものほど大きなせん断抵抗を示す。しかし今回行った実験の範囲では、軸差応力が一定値に収束する挙動は観察されなかった。これらの結果より、自己硬化性の大きい石炭灰ほど、緩く堆積するけれども、大きなせん断抵抗を示すことが明らかになった。

4. ダイレイタンシー特性

石炭灰のダイレイタンシー特性を、せん断開始前の間隙比 e_0 と圧密圧力 P_0' 、 $\gamma=15\%$ 時の間隙比 $e_{(15)}$ とその時の平均有効主応力 $p' (= (\sigma_1'+2\sigma_3')/3)$ の関係に着目して考察する。Sample A ~ D における以上2種類の関係を、図 - 3 ~ 6 に示す。図 - 4 ~ 6 には、自己硬化性がほとんど無視できる Sample A の $e_{(15)}$ と p' の関係を併記した。 e_0 と p_0' の関係は、自己硬化性の大きさに関わらず、片対数上で直線近似できる。そして、自己硬化性が大きい供試体ほど、同じ圧密圧力に対する間隙比が大きくなる。

せん断に伴う間隙比の変化は、自己硬化性の大きさに関わらず、いずれも減少する。自己硬化性がほとんど無視できる Sample A の $e_{(15)}$ と p' の関係は、 $e_0 - p_0'$ 線とほぼ平行な直線で近似できる。このような挙動は、十分に練り返した正規圧密粘土の挙動と類似している²⁾。一方、自己硬化性を有する Sample B ~ D の $e_{(15)} - p'$ 関係は、直線で近似することが難しい。すなわち、せん断に伴う間隙比の変化量は、低い拘束圧域では小さいけれども、拘束圧が高くなるにしたがい大きくなる。そして、自己硬化性が大きい石炭灰ほど、ダイレイタンシー特性が変化し始める拘束圧が、大きくなる傾向が認められる。

4. まとめ

本研究より得られた知見をまとめると以下のようなものである。

- 1) 自己硬化性の大きい石炭灰ほど、大きな間隙比で堆積するが、せん断抵抗は大きい。
- 2) 沈降堆積した石炭灰のダイレイタンシー特性は、自己硬化性と拘束圧の影響を受ける。

参考文献

- 1) (財) 石炭灰総合利用センター：石炭灰全国実態調査報告書 (平成9年度分), 1999。
- 2) Scofield, A. N. and Wroth, C. P.: Critical state soil mechanics, London, 1968.

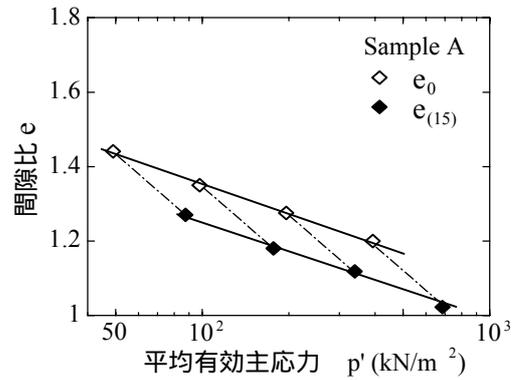


図 - 3 Sample A の e-log p' 関係

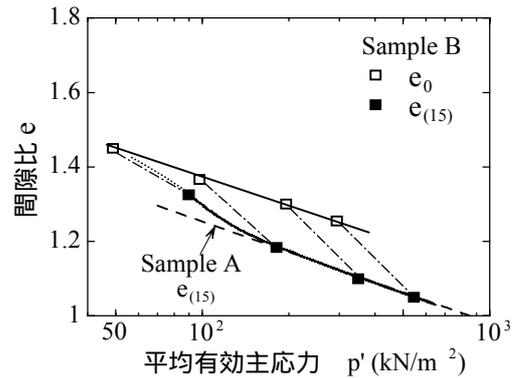


図 - 4 Sample B の e-log p' 関係

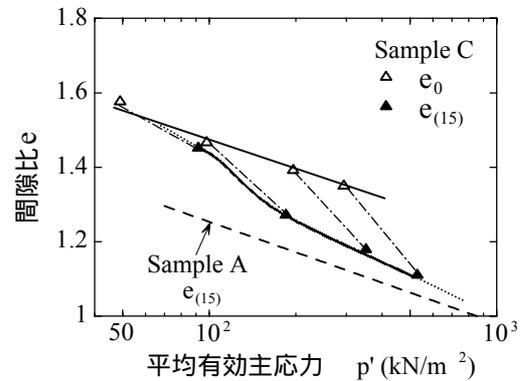


図 - 5 Sample C の e-log p' 関係

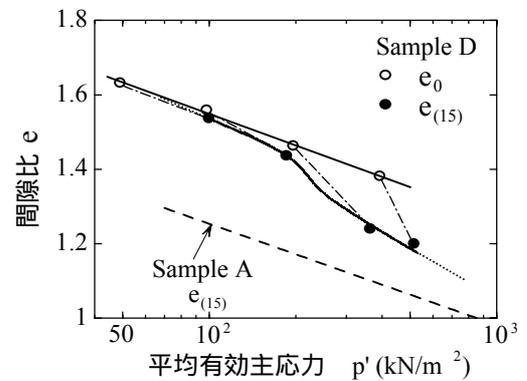


図 - 6 Sample D の e-log p' 関係