

## Ⅲ-A46

## 石炭灰とセメントを用いた改良土の三軸圧縮特性

日建設計中瀬土質研究所 正 片桐雅明 正 大石幹太 正 斎藤邦夫  
 電源開発株式会社 正 東 健一  
 運輸省港湾技術研究所 正 高橋邦夫  
 (財) 石炭利用総合センター 小笹和夫

## 1. はじめに

現在、石炭灰を再生資源として有効利用する技術の一つに、石炭灰を用いた深層混合処理工法の開発が進められている(Asano et al., 1996)。この方法はセメントと石炭灰の混合物をスラリー化し、それを地盤に注入・攪拌・混合して安定処理を行うものである。その利点の一つは低強度で均一性が高い地盤改良が行えることである。本研究では、このような石炭灰とセメントを用いた低強度改良体の強度・変形特性を調べるために、一軸圧縮試験および三軸 $\overline{CU}$ 試験を行った。また改良対象の母材を再圧密し、それに対して同様の実験を行い、改良効果についても検討した。

## 2. 試料および実験方法

本実験では改良対象土として礫子粘土を用いた。その物理的性質は $\rho_s = 2.708 \text{ g/cm}^3$ ,  $w_L = 56.5\%$ ,  $w_p = 30.4\%$ であった。改良の安定材には、石炭灰および普通ポルトランドセメントを用いた。

改良土は、一軸圧縮強度で100, 200, 400 kPa となるように、安定材を礫子粘土（含水比80%）に加え、攪拌混合して塩ビパイプ内（ $\phi=5\text{cm}$ ,  $H=12\text{cm}$ ）に詰め、2週間湿潤養生して供試体とした。

改良対象土では、含水比を90%に調整した礫子粘土を予備圧密圧力98kPaで一次元的に圧密して作製した土塊から切りだして、供試体とした。

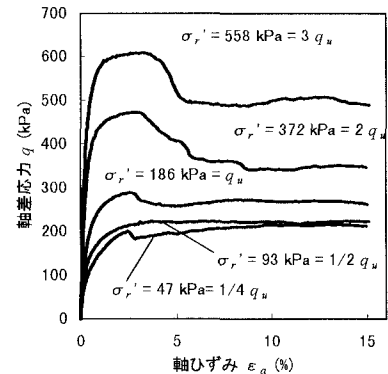
三軸試験用供試体は、2重負圧法でセットし、飽和させるために196kPaの灰圧を圧密前から加えた。ちなみに背圧負荷後の供試体のB値はすべて0.98以上となった。有効拘束条件は、それぞれの改良土の一軸強度 $q_u$ を基準に、 $1/4q_u$ ,  $1/2q_u$ ,  $2q_u$ ,  $4q_u$ の圧力を設定した。ただし、目標強度400kPaの場合には、装置の関係上、上限の有効拘束圧力は500kPaとした。また礫子粘土供試体では、有効拘束圧力を25, 49, 74, 98, 196, 396 kPaとした。また圧密時間はすべて20時間、非排水圧縮時の圧縮速度は、0.1%/分とした。

## 3. 実験結果と考察

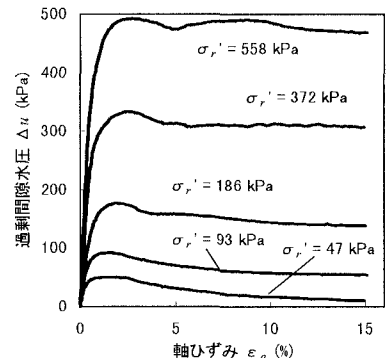
図-1に目標強度196kPaの改良土に対し行った三軸 $\overline{CU}$ 試験の軸差応力および過剰間隙水圧と軸ひずみの関係を示す。三軸試験に先立って行った一軸圧縮試験では、一軸強度 $q_u$ は平均186kPaで、破壊ひずみ $\epsilon_f$ は約2%であった。また有効拘束圧力が $1/2q_u$ 以下の三軸試験結果と一軸試験、すなわち拘束圧力ゼロの破壊強度・破壊ひずみとはほぼ同じ特性が得られた。すなわち、この範囲では、せん断特性が

キーワード セメント改良土、三軸圧縮試験、地盤改良、石炭灰、粘性土

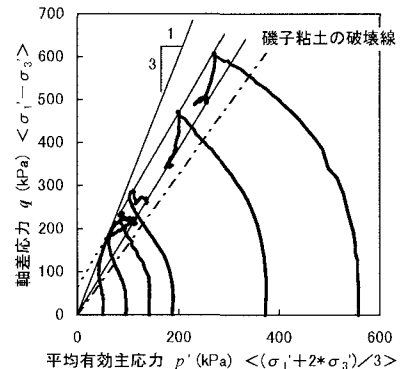
〒211-0955 川崎市幸区南加瀬4-11-1 TEL 044(599)1151 FAX 044(599)9444



(a) 軸ひずみ～軸差応力関係



(b) 軸ひずみ～過剰間隙水圧関係

図-1 改良土の三軸圧縮試験結果 ( $q_u=196\text{kPa}$ )図-2 改良土の有効応力経路 ( $q_u=196\text{kPa}$ )

拘束圧力に依存しないと判断できる。ただし、一軸試験では顕著なひずみ軟化的変化と示し、この点が三軸圧縮試験の挙動と異なる。拘束条件が $q_u$ 以上の場合には、非排水強度は拘束圧力の大きさに依存した。

過剰間隙水圧（図-1(b)）の発生状況も、拘束圧力に依存することが認められる。すなわち、拘束圧力が $1/2q_u$ までの低拘束圧力下条件では、過剰間隙水圧は加えた有効拘束圧力まで上昇し、その後減少している。一方、拘束圧力が $q_u$ 以上の場合には、せん断初期に過剰間隙水圧は上昇するものの、有効拘束圧力までは達せず、その以後はやや減少する程度であった。

図-2に図-1に対応する有効応力経路を示す。同図には改良対象土である礫子粘土の破壊基準線も示している。拘束圧力が $1/2q_u$ 以下の場合には、過圧密粘土の経路を示し、三軸試験の限界である tension cut-off 線上を移動し、その後平均応力が増加して残留状態に至った。一方、拘束圧力が大きい場合には、正規圧密粘土の経路をたどり、ピーク値を迎えた後、平均有効応力・軸差応力とも低下し、残留状態に至った。これらのピークおよび残留状態をそれぞれ直線で胞絡させると、その傾きは、礫子粘土供試体の破壊線よりも大きくなった。また $p=0$ での $q$ 値（粘着力相当）は、ピーク状態では60kPa程度であるが、残留時はほぼゼロとなり、残留状態では摩擦が挙動を支配することがわかる。この特性は他の異なる強度の供試体でも認められた。

図-3 はさまざまに一軸圧縮強度を設定した改良土のピーク時および残留時の破壊線の傾き（せん断抵抗角）と一軸強度の関係である。参考のために、母材である礫子粘土供試体の結果も作製した土塊から切りだした供試体の一軸強度に対してプロットした。ピーク時での強度定数は、一軸強度が比例しているが、残留時のそれは若干の傾きは認められるものの、ほぼ一定値と見なすこともできる。ただ、どの改良土でも母材の強度定数よりも残留状態でも5度以上大きい。

粘土地盤での短期安定問題では、全応力解析が有効であるため、全応力解析での破壊線を図-4 に示す。圧密応力とピーク強度の関係(図-4(a))を見ると、圧密圧力が $1/2q_u$ までは一軸強度と同程度の強度が期待でき、それ以上の圧力範囲では、強度に関わりなく同程度の強度増加率となる。しかも、その強度増加率は母材である礫子粘土のそれとほとんど同じと見なせる。

残留状態(図-4(b))でも、圧密圧力が $1/2q_u$ 程度までは一軸強度と同程度の残留強度が期待できる。それ以上の圧力範囲では圧力の増加にともない、残留強度も増加しているが、その増加率はピーク強度よりも小さいことがわかる。

#### 4. まとめ

石炭灰とセメントを用いて3通りの低強度に改良した粘土の三軸圧縮試験の結果より、以下の知見が得られた。

- 1) 一軸強度の $1/2$ 以下の拘束条件では、改良土の強度は一軸強度とほぼ等しく、強度の応力依存性は見られない。
- 2) 改良土のピーク時せん断抵抗角は、強度に応じて増加する傾向にあるが、残留時のそれは一定値に収束する傾向にある。また残留時のせん断抵抗角でも母材のせん断抵抗角よりも大きい。
- 3) ピーク状態で求めた改良土の強度増加率は、母材のそれとほぼ等しい。

なお、本研究は通産省石炭利用技術振興補助事業の一環として実施した。

参考文献 1)Asano, J., et al.(1996) : Deep mixing method of soil stabilization using coal ash, IS-TOKYO'96 Vol. 1, pp.393-398.

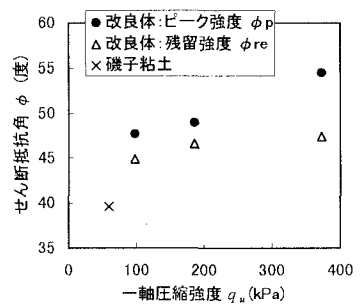
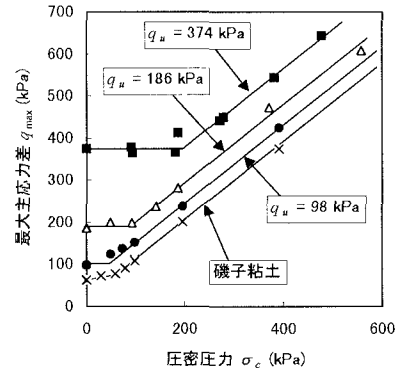
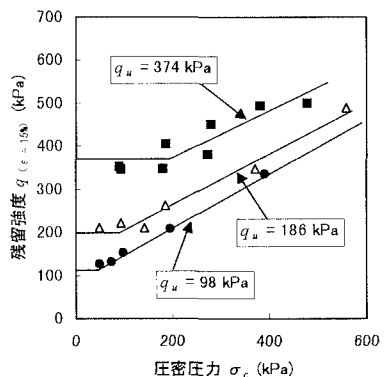


図-3 一軸圧縮強度とピーク時・残留時せん断抵抗角の関係



(a) 圧密圧力と最大主応力差の関係



(b) 圧密圧力と残留強度の関係

図-4 圧密圧力と強度の関係