

圧密養生したセメント安定処理土の微細構造

山口大学大学院
山口大学工学部
宇部興産コンサルタント
山口大学大学院
宇部三菱セメント研究所

学○平岡真樹
正 鈴木素之 山本哲朗
正 藤野秀利
学 河原陽子
正 岡林茂生

1. はじめに 安定処理土に上載圧を作用させながら養生すると、大気圧下養生に比べ、載荷初期の圧密に伴って供試体の密度は増加し、一軸圧縮強度は増加する¹⁾。本文では、養生時上載圧による強度増加のメカニズムを微細構造の観点から検討した結果について述べる。

2. 試験概要 土試料は山口県宇部市で採取した粘性土（土粒子密度 $\rho_s = 2.687 \text{ g/cm}^3$ ，最大粒径 $D_{max} = 2.0 \text{ mm}$ ，湿潤密度 $\rho_t = 1.80 \text{ g/cm}^3$ ，自然含水比 $w_n = 45.0 \%$ ，液性限界 $w_L = 45.4 \%$ ，塑性指数 $I_p = 25.3$ ，細粒分含有率 $F_c = 61.0 \%$ ）である。安定材は一般軟弱土用固化材であり、安定材添加量は 50 kg/m^3 とした。安定処理土の配合および供試体作製方法は地盤工学会基準の「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法（JGS0821-2000）」に準じ、所定期間、圧密養生装置で養生した。圧密養生装置の仕様および試験手順は文献 1) を参照されたい。その後、フリーズドライ法により試料を作製し、水銀圧入型ポロシメーターによる間隙径分布の測定および走査型電子顕微鏡（以下、SEM と略記）による微細構造の観察を行った。

3. 試験結果および考察

(1) 水銀圧入型ポロシメーターによる細孔径分布の測定 水銀圧入型ポロシメーターによって測定された間隙径分布から、図-1(a)，(b) に各試料の間隙容積 V_v ・間隙径 d_p 曲線を示す。原土の場合、間隙径 d_p は直径 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ のものが多く、 σ_v の作用により大きさ、個数（単位面積当たり）ともに減少している。安定処理土の場合、 σ_v の有無に関らず、土粒子間の粗大な間隙がほとんど存在せず、 $d_p = 0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ の空隙が大部分を占め、原土に比べてかなり小さい。

(2) SEM 写真による微細構造の観察 写真-1(a)～(d) に各試料を SEM 写真により圧縮軸方向上面から観察した結果¹⁾を示す。原土には、粘土鉱物の薄い板状粒子が比較的緩くランダムに存在している（写真-1(a)参照）。写真

-1(b) は $\sigma_v = 147 \text{ kPa}$ を受けた場合の原土を示している。これを見ると、土粒子自体に形状変化はないが、土粒子の再配列によって間隙が減少している。安定処理土の場合には、微小ながら針状のセメント水和生成物が確認できる。また、 σ_v の有無にかかわらず無定形の水和生成物が土粒子を接

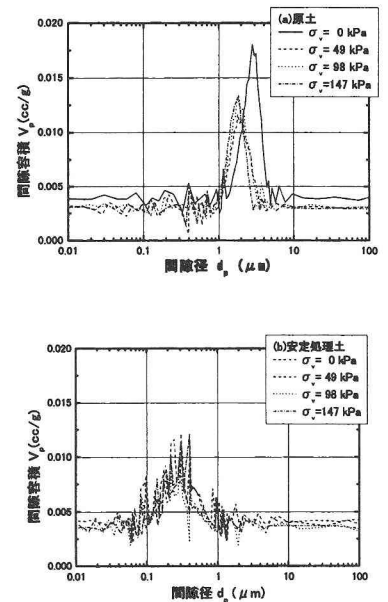


図-1 原土および安定処理土の間隙頻度曲線

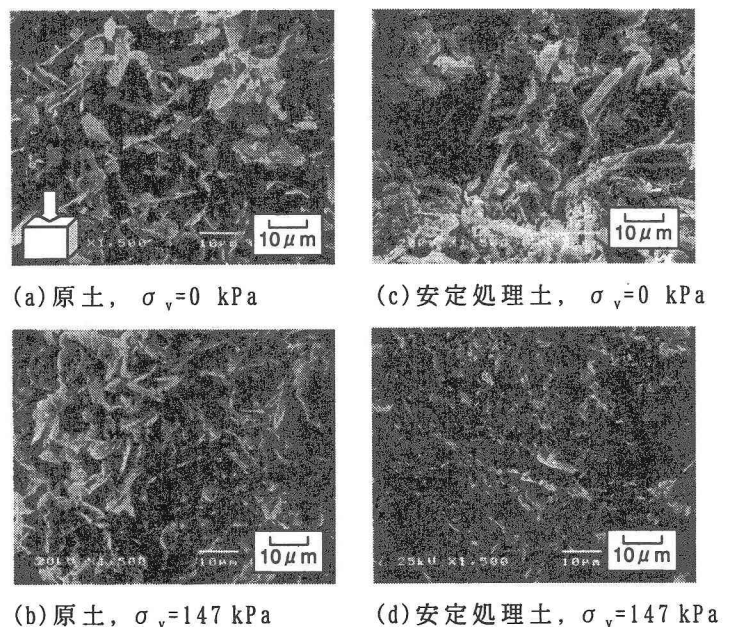


写真-1 SEM 画像¹⁾

着しており、土試料を構成する粘土鉱物の薄い板状粒子を判別することはできず、組織は全体としてかなり密実な構造となっている(写真-1(c),(d)参照)。図-2(a)～(d)に写真-1(a)～(d)の画像解析から得た間隙径 d_p と間隙の個数 N の関係を示す。図-2(a),(b)に示す原土の場合、 σ_v の作用により、間隙径の大きさが小さくなっており、図-2(c),(d)の安定処理土の場合、 σ_v の有無に関らず、ほぼ同じ間隙径分布となっている。水銀圧入型ポロシメーターの結果が示す傾向とほぼ同じである。間隙径分布の概略評価では SEM 写真を利用した画像解析も有効である。また、原土の場合には d_p はなだらかに分布しているのに対して、安定処理土の場合には $d_p=0.5\sim1\mu\text{m}$ にピークがあり、その空隙が大部分を占めている。このように安定処理土においては、セメント水和反応により圧密が抑制されるため、間隙径や間隙量の減少はほとんど確認できなかった。したがって、圧密養生した安定処理土の高強度発現は土粒子を拘束する水和生成物が緻密に発達したためと考えられる。

(3) 安定処理土のモデルによるセメント水和生成物量の変化 圧密養生した安定処理土の非排水強度の増加は、圧密による密度増加とセメント水和反応によるセメンテーションの発達の二要因に大きく影響を受けている。既報²⁾でとりあげた試験時の安定処理土の各状態のモデルより、試験中において測定した含水比変化からセメント水和生成物の定量化を試みた。圧密終了時の含水比 w_2 (鉛直変位の実測値より計算した値)と養生終了時に測定した含水比 w_c (実測値)の差 $\Delta w_{hyd} (=w_2 - w_c)$ からセメント水和物量を結合水量として算出した。 Δw_{hyd} と安定材添加量 Q_c および養生時間 T_c の関係をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。 Q_c および T_c の増加に伴って、 Δw_{hyd} は大きくなっている。これは、 Q_c および T_c の増加に伴って、セメント水和反応により結晶化された水分量の増加を示している。

4. まとめ 水銀圧入型ポロシメーターによる間隙径分布の測定および SEM による微細構造の観察から、安定処理土の圧密は、セメント水和生成物による粘土粒子の拘束により抑制されるものの、結果として微細組織は密実となり、高強度を発現することがわかった。また、安定処理土モデルにより、セメント水和物の生成量の目安を算定することができる。

謝辞 本研究を遂行する上で田口岳志氏(現 ㈱藤井基礎設計事務所)、藤本哲生氏(現 ㈱建設企画コンサルタント)には多大なるご助力をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表明します。

【参考文献】 1) 山本哲朗ほか: 上載圧下で養生したセメント安定処理土の一軸圧縮強度特性, 土木学会論文集, No. 701/Ⅲ-58, pp. 387-399, 2002. 2) 鈴木素之ほか: セメント安定処理土の初期材齢における圧密に伴う強度増加特性, 第 38 回地盤工学研究発表会, pp. 885-886, 2003.

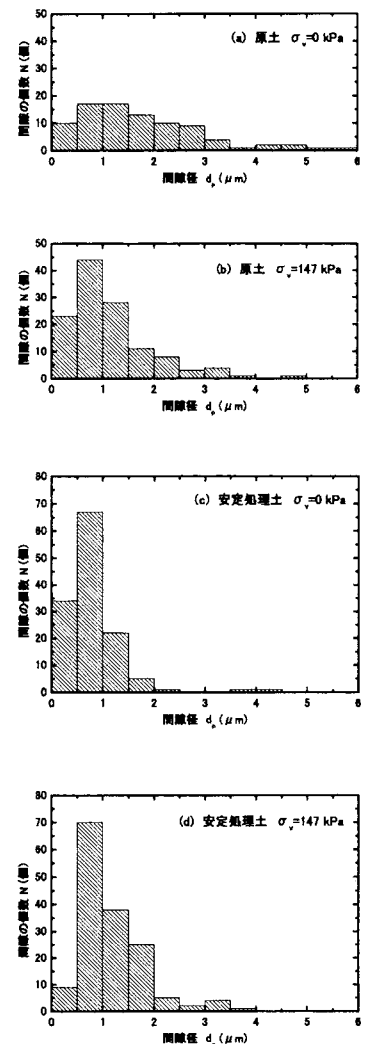


図-2 SEM 画像から求めた間隙径と間隙個数の関係

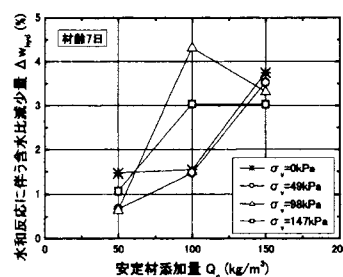


図-3 含水比減少量 Δw_{hyd} と安定材添加量 Q_c の関係

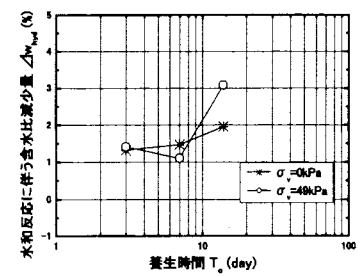


図-4 含水比減少量 Δw_{hyd} と養生時間 T_c の関係