

気泡混合処理土の密度変化について

Time Variation of Density of The Air Form Treated Soil

窪田太*・鶴谷広一**

KUBOTA, Futoshi and TURUYA, Hiroichi

* (財) 沿岸開発技術研究センター 主任研究員

** 東海大学 海洋研究所 教授 (前 (財) 沿岸開発技術研究センター 理事)

The expansion offshore at construction sites in recent harbor and airport project has increased the water depth and thickness of the clay layers and it is feared that these trends will increase consolidation settlement. Emphasis on the reduction of earth pressure on structure and improvement of their seismic resistance has returned the spot light to light weight material. The Air form treated soil gains a light weight, but air form causes the increase of soil density in water.

Key Words air form treated soil ,density reduction

1. はじめに

熊本港では、層厚 40mにも達する沖積粘性土があるため、従来形式の岸壁設計では地盤改良費が膨大になる。そのため、建設コストを縮減した岸壁整備が求められている。平成6年度から平成13年度にかけて、軟弱地盤に対する新形式の岸壁についての検討と、裏込材として使用する軽量混合処理土の設計および施工のための現地実験等が実施された。

熊本港-10m岸壁の当初断面(埋立申請断面)を図-1に、軽量混合土利用を前提とした開発断面を図-2に示す。軽量土の利用により地盤改良幅の低減が図られている。

軽量混合処理土に軽量化材として気泡を用いる場合と、発泡ビーズを用いる場合があるが、本報告は気泡を用いた気泡混合処理土について検討を行う。

気泡混合処理土はスラリー状の土砂に気泡と固化材を混合した地盤材料で、気泡や固化材の量を変えることで目的に応じた密度(0.6g/cm³~1.5g/cm³)や強度を調整できる利点をもつ。

気泡混合処理土内に水が入り込むことで、混合・打設時の密度に比べ、長期的には密度が大きくなることが予想される。密度の増加については「軽量混合処理土工法技術マニュアル」¹⁾によって0.1g/cm³の上昇分を加味することが示されている。

本稿は、「平成13年度 気泡混合処理土を裏込等へ用いる際の設計手法に関する調査」(国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 発注)の内、気泡混合土の浸透実験について述べる。さらに気泡混合処理土の長期における密度経年変化についても考察した。

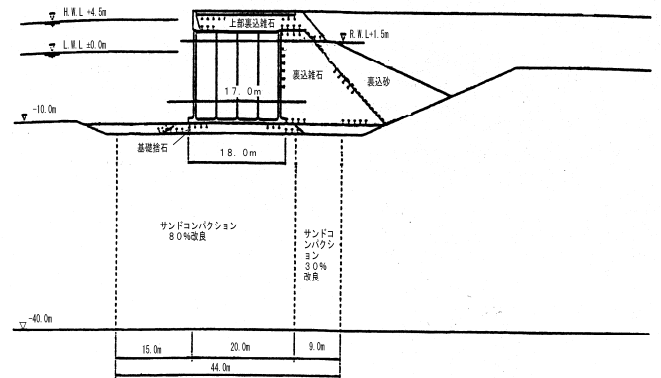


図-1 熊本港-10m岸壁の当初断面

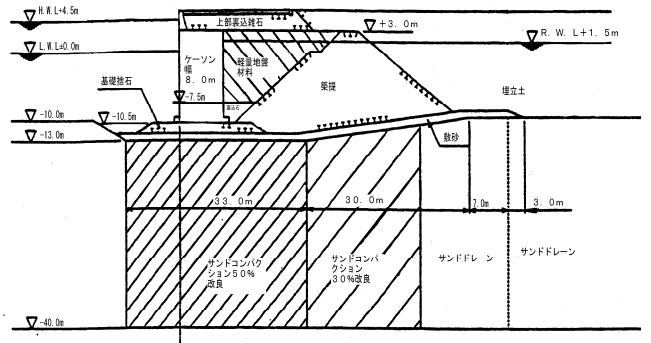


図-2 軽量混合土利用を前提とした開発断面

2. 気泡混合処理土の透水性の評価

平成13年度の調査において、気泡混合処理土の長期浸透試験が実施された。浸透試験は供試体をいれた水槽

を恒温室に放置した。この間、定期的に重量を測ることにより密度変化を測定した。この際、恒温室の設定温度は20℃で、使用した水は水道水である。X線CTスキャナを用いた非破壊検査は供試体の中央横断面と鉛直断面をそれぞれ撮影した。撮影中は供試体の表面をラップフィルムで覆い、非破壊検査中に乾燥して内部の状態が変化することを防いだ。供試体の寸法は高さ100mm、直径50mmの円柱状である。

実験結果を評価する上では、CT値と湿潤密度の関係を知ることが重要である。CT画像は、CT値によるデジタル画像であり、CT値が高い領域（高密度領域）は白く、CT値の低い領域（低密度領域）は黒く、256階調の白黒濃淡レベルで表示される。図-3は平成13年度調査で使用した気泡混合処理土、有明粘土、セメント処理土におけるCT値と湿潤密度の関係を示したものである。これによりCT値と実験材料の湿潤密度には正の相関関係があることが確認できた。

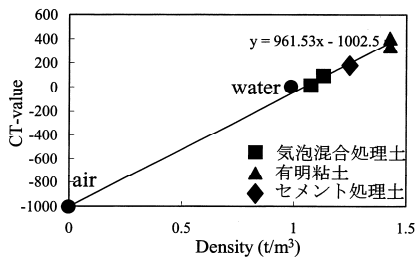


図-3 CT値と湿潤密度

供試体の配合を表-1に示す。目的密度を1.1g/cm³とした結果、1m³当たりの空気量は0.129m³と決定された。

表-1 供試体の1m³あたりの標準配合表

調整泥土 フロー cm	目標密度 ρ g/cm³	調整土 含水比 W %	調整土 飽和密度 ρ_t g/cm³	固化材 添加量 C kg/m³
40	1.1	296.8	1.205	85

質量 (kg)							
含水比調整土			固化材	軽量材		全体	
乾燥土 m _s	水 m _w	合計 m _c	起泡剤 m _A	希釈水 m _w	合計 m		
254	754	1008	85	0.390	6.569	6.959	1100

体積 (ℓ)							
含水比調整土			固化材	軽量材		全体	
乾燥土 V _s	水 V _w	合計 V _c	起泡剤 V _A	希釈水 V _w	空気 V _a	合計 V	
97	739.2	27.9	0.339	6.440	129	135.6	1000

3. 密度変化と浸透状況

供試体は原位置プラントにおけるプラント内と筒先の2カ所で採取した。それぞれの供試体にX線CTスキャン

を用いた非破壊検査を行い、同時に重量を測り密度変化を測定した。撮影は供試体を水侵させる前の初期段階と、水侵2ヶ月までの20日ごとに行った。

2ヶ月間の密度変化を表-2に示す。

表-2 気泡混合処理土の密度変化(g/cm³)

	湿潤密度 (g/cm³)	
	筒先	プラント
初期	1.139	1.117
20日後	1.179	1.167
40日後	1.188	1.178
60日後	1.195	1.188

図-4及び図-5は供試体の中央横断面と鉛直断面の浸透状況を可視化した原画像である。X線CT画像では白色が高密度、黒色が低密度の領域を示す。

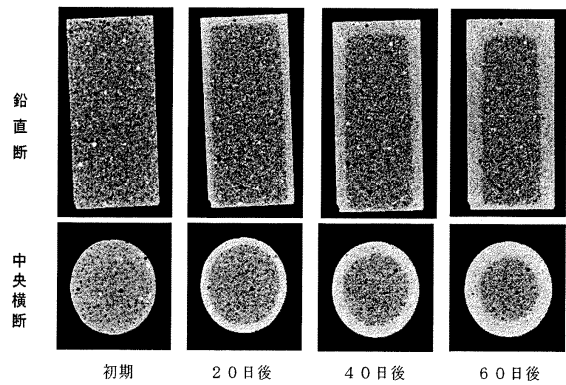


図-4 浸透状況 (筒先)

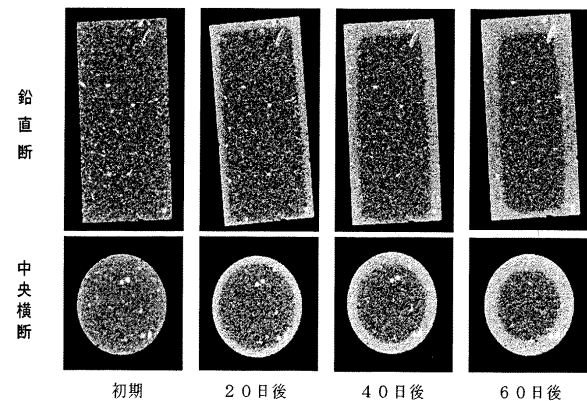


図-5 浸透状況 (プラント)

原画像からどの位置からもほぼ同じように水が浸透しているが、鉛直断面をみると供試体の下部からの浸透が明らかに小さい。これは水浸させている水槽の底に接し

ている影響が出ているものと思われる。

図-6は、浸透実験の中央横断面における、半径(25mm)方向のCT値を時間の経過とともに示したものであり、供試体の表面部分を距離=0とし、中心に向けてCT値を測定したグラフである。初期において曲線の凹凸が激しいのは供試体中の気泡が点在しているためである。時間の途中経過において、CT値の変化は位置によってばらつきがあり、不均一だが、水と接する供試体の外側からCT値が上昇している。これは供試体の外側と接する水が、空隙や土やセメントに浸透していることを示している。

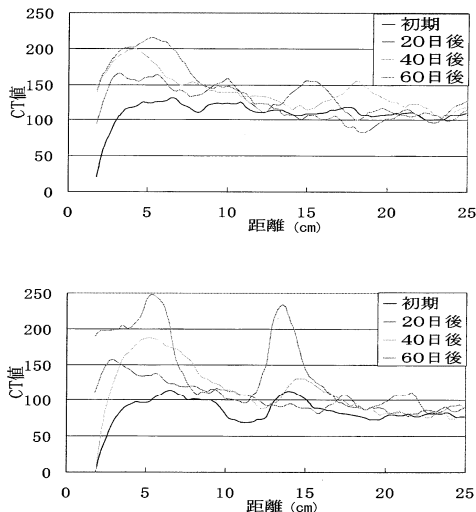


図-6 浸透距離とCT値(上:筒先 下:プラント)

4. 長期的な密度変化の試算

上記の実験結果をもとに、水が気泡混合処理土の充分内部まで浸透した場合の密度を試算する。すなわち表-2に示される60日間の密度変化が、初期の供試体内部の気泡の占める体積が全て水に置き換わったことが要因であると仮定して、長期の密度変化を試算する。

供試体の体積:V(筒先)

$$V=5\text{cm}\times 5\text{cm}\times \pi/4\times 10\text{cm}=196.3\text{cm}^3$$

初期の密度は表-2より $\rho=1.139\text{g/cm}^3$

従って重量W(筒先)は

$$W=196.3\text{cm}^3\times 1.139\text{g/cm}^3=223.6\text{g}$$

このとき供試体に含まれる空気の体積 V_a は

$$V_a=V\times 129/1000=25.3\text{cm}^3$$

この空気(密度 0.0g/cm^3)がすべて水(密度 1.0g/cm^3)に置き換わるとすると、増加する重量 W_a は

$$W_a=V_a\times 1.0\text{g/cm}^3=25.3\text{g}$$

従って増加した後の密度 ρ' は

$$\rho'=(W+W_a)/V=1.268\text{g/cm}^3$$

密度の増分は

$$\rho'-\rho=1.268-1.139=0.129\text{g/cm}^3$$

同様にプラントでの供試体の密度変化を試算するとほぼ同値の密度増加分が試算される。

表-3 供試体の長期密度増加試算結果

供試体	初期密度 (g/cm^3)	長期密度 (g/cm^3)	密度増分 (g/cm^3)
筒先	1.139	1.268	0.129
プラント	1.117	1.246	0.129

前項の3.で示した実験の60日目までの密度変化を、同様に気泡の占める体積がすべて水に置き換わったことが要因であると仮定して検討する。

図-6より供試体は、60日間で表面から半径の中心に向かっておおむね5~20mmの範囲で密度上昇が生じていると考えられる。

60日で5mmの範囲の気泡が水と入れ替わるとすると筒先での供試体で、上下(円柱軸)方向の密度上昇する体積 V_q は

$$V_q=5\text{cm}\times 5\text{cm}\times \pi/4\times 0.5\text{cm}\times 2=19.6\text{cm}^3$$

また半径方向に密度上昇する体積 V_r は

$$V_r=(5\text{cm}\times 5\text{cm}-4.0\text{cm}\times 4.0\text{cm})\times \pi/4\times (10-1)\text{cm}=63.6\text{cm}^3$$

供試体の増加する重量 W_a は

$$W_a=(V_r+V_q)\times 129/1000\times 1.0\text{g/cm}^3=10.7\text{g}$$

増加した供試体の密度 ρ' (60日後)

$$\rho'=(W+W_a)/V=(223.6+10.7)/196.3=1.194\text{g/cm}^3$$

同様に、プラントでの供試体の密度変化を試算すると、おおむね60日で10mm浸透したと考えると実験値におおよそ一致する。

表-4 供試体の60日後の密度増加試算結果

供試体	試算値		実験値(60日) (g/cm^3)
	60日で5mm	60日で10mm	
筒先	1.194	1.231	1.195
プラント	1.172	1.209	1.188

5. 考察

以上の実験結果と試算をもとに、以下の結果が考察される。

1) 気泡混合処理土に水が浸透する速度は実験結果と密度変化の結果から試算して、60日間で10mm程度の速度と考えられる。

2) この60日間で10mmの速度は密度上昇を起こす区域の平均的な速度であり、図-6にあるように60日間で20mm程度までは浸透していると考えられる。これは気泡への水の充てんが、必ずしも満タンの状態ならなくとも次の気泡へ浸透するのが理由として考えられる。

3)長期密度の増加量の試算が 0.129 g/cm^3 と技術マニュアルの提唱する 0.1 g/cm^3 を越えたことは、決してマニュアルの規定を否定するものではない。これは小さなサイズの供試体での試算であり、たとえば前述の熊本港の開発断面を例にとれば高さ13m、奥行き20mの巨大な改良土の塊である。60日間で10mm(30年で2m程度)の浸透が生じたとしても、その密度上昇の影響は極めて小さいと考えられる。

6. おわりに

本研究に付きましては、長年に渡り九州大学 善教授にご指導をいただいております。この場をお借りして心からお礼申し上げます。

また沿岸センターでは平成12年度より軽量混合処理土工法技術マニュアルのフォローアップ検討調査を実施しています。今後もより広く関係者皆様のご指導を賜り、より充実したマニュアルの完成を目指します。

参考文献

- 1) 軽量混合処理土工法技術マニュアル
平成11年4月 (財) 沿岸開発技術研究センター
P4-1~4-7