

各種短繊維材を添加した気泡混合軽量土の力学特性の改善効果

九州大学大学院 学 〇高山英作 九州大学大学院 F 落合英俊
九州大学大学院 正 安福規之 九州大学大学院 正 大嶺聖
九州大学大学院 正 小林泰三

1. はじめに

今日、様々な廃棄物についてリサイクルの推進が必要である。年々増加する廃棄物を地盤材料として有効利用することは最終処分場の容量確保、天然資源（土砂等）の保全効果に大いに役立つと考える。このような社会的要請から建設発生土の再利用が求められており、建設発生土と他の廃棄物を組み合わせたリサイクル材の開発が進められている。軟弱な建設発生土は一般にセメントを添加・混合し安定処理を施す場合が多いが、最近では強度以外に軽量化や耐久性向上などの付加価値を有する安定処理土が求められている。本研究では、高機能な地盤材料として軽量性を有する気泡と廃棄物を再利用したリサイクル材に着目し、各種の短繊維材（古紙、ナイロン系、PET 短繊維補強材）を添加・混合した固化処理土の力学特性の改善効果について考察する。

2. 実験概要

2.1 実験試料、気泡および短繊維材

実験で使用した試料は福岡県大川市で採取した有明粘土とし、その物理特性を表-1に示す。また、使用したセメントは高炉セメント B 種 (JIS R 5211) である。軽量性・流動性の付加価値を固化処理土に持たせるため、気泡混合軽量土を作製する。使用した発泡剤は界面活性系発泡剤（テルフォーマ）であり、これを水道水で約 20 倍希釈し、気泡発泡装置で気泡を作製する。発泡後の気泡の見かけ密度は約 0.04g/cm^3 である。短繊維材としてナイロン系、綿状にした新聞紙¹⁾、市販製品である PET 短繊維補強材を使用する。ナイロン系は廃棄魚網を、綿状にした新聞紙は古紙を再利用したリサイクル材と想定する。ナイロン系は長さ 10mm、古紙はフードプロセッサーを用いて裁断した。また、PET 短繊維補強材はペットボトルのリサイクル製品であり、長さは 7.5mm のものを用いた。

表 - 1 試料の物理特性

一般	湿潤密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	1.636
	乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.074
	土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.604
	自然含水比 $\omega_n(\%)$	52.3
コンシステンシー特性	液性限界 $\omega_L(\%)$	81.7
	塑性限界 $\omega_P(\%)$	34.9
	塑性指数 I_p	46.8
分類	地盤材料の分類名	砂質粘土
	分類記号	(CHS)

2.2 固化処理土パターンおよび配合条件

建設発生土を浚渫土と想定し、試料は比重 1.17 に設定した調整土とする。セメント添加量は 200kg/m^3 とし、各々の短繊維補強材の最適な添加量は形状や性質の違いによって異なるため、ここでは古紙が 2.5kg/m^3 、ナイロン系 10kg/m^3 、PET 短繊維補強材 0.3kg/m^3 とした。次に、気泡混合軽量土の配合条件を表-2に示す。満足すべきフロー値として 170mm 以上を確保するもの、密度 0.6g/cm^3 を目標値として配合計算を行った。比重 1.17 に調整した調整土とセメント、短繊維材（古紙、ナイロン系、PET 短繊維補強材）を約 5 分間ミキサーで攪拌後、気泡を添加しさらに約 5 分間ミキサーで攪拌し気泡混合軽量土を作製する。

表 - 2 配合条件

調整土 比重	配合組成 (1m^3 当り)			設定比重
	調整土	セメント	気泡	
1.17	369.06(kg)	200(kg)	24.532(kg)	0.6
	320.91(l)	65.79(l)	613.30(l)	

3. 実験結果および考察

3.1 各種短繊維材を添加した気泡混合軽量土の変形・強度特性

各種短繊維材による補強効果の把握および変形・強度特性に関する影響因子について考察するため一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮試験用供試体は、直径 50mm、高さ 100mm の円柱体とし、恒温槽内に静置して、7 日間養生を行う。また、ベンディングエラーをなくすため上下端面を石膏でキャッピングして一軸圧縮試験を行った。

図-1に応力ひずみ関係を示す。一軸圧縮強度はそれぞれ異なる値を示した。この要因として密度の違いによる影響があると考えられる。粘り強さの改善効果に着目すると、古紙と PET 短繊維補強材を添加した場合はピーク後の応力低下が小さく、粘り強さの改善効果が見られる。図-2には一軸圧縮強度と密度の関係を示す。密度が $0.5 \sim 0.6$ の間の範囲では最大圧

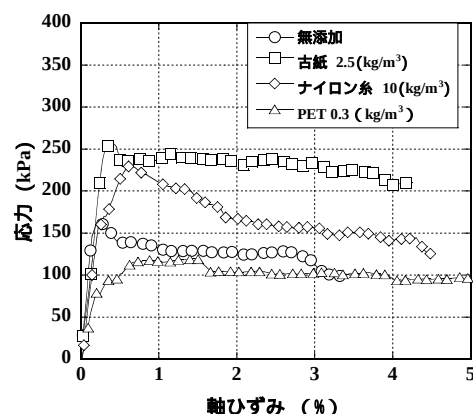


図 - 1 応力と軸ひずみの関係

縮強度と密度の間には線形的な関係になっていることがわかる。配合条件では密度 0.6g/cm^3 に設定したが、供試体を作製してみると多少のばらつきが生じた。この原因として気泡や短繊維材の分布状態、形状に偏りが生じたことがあげられる。

3.2 各種短繊維材を添加した気泡混合軽量土の三軸圧縮特性

拘束圧条件の下での強度特性

を把握するために三軸圧縮試験を行った。三軸圧縮試験用の供試体は一軸圧縮試験と同様に直径 50mm、高さ 100mm の円柱体とし、恒温槽内に静置して 7 日間養生を行う。試験条件として圧密非排水 (CU) 側圧条件は気泡混合軽量土を対象としているので 25、50、75kPa と若干低めに設定し試験を行った。

図 - 3 に側圧 50kPa 条件での圧縮強さと軸ひずみの関係を示す。古紙、PET を添加した場合ではピーク後の応力低下は小さく、短繊維材を添加することによる粘り強さの改善効果がみられる。図 - 4 には短繊維材を混合した場合の圧縮強さと側圧の関係を示す。古紙を混合した場合が一番大きな圧縮強さを示し、強度の改善効果が現れている。さらに、側圧増加に伴う強度増加率も古紙を混合した場合が一番大きく強度改善効果が大いことがわかる。しかし、短繊維材を添加した場合においても密度には多少の違いが生じてしまったため、強度の違いに大きな影響を与えていることが考えられる。表 - 3 には三軸圧縮試験結果より得られた粘着力と内部摩擦角を示す。内部摩擦角は短繊維材を混合すると小さくなるという傾向を示しているが、粘着力に着目すると短繊維材を混合することにより大きな値を示すようになり、粘着力の改善効果が見られる。次に、粘り強さの改善効果を考察するため、軸ひずみ 6% 時の軸差応力を残留強度 q_r と定義し、残留強度と最大軸差応力の比 q_r/q_f を粘り強さを表す指標とし、靱性度と定義する。図 - 5 には、靱性度と側圧の関係を示す。ナイロン系を混合した場合は靱性度の改善効果は発揮されなかったが、古紙、PET 短繊維補強材を混合した場合は靱性度 0.9 近くと高い値を示しており、ピーク後でもある程度の応力を保持していることがわかり、粘り強くなっていることがわかる。この要因として古紙、PET 短繊維補強材が供試体中にランダムに分布しているため、クラックが発生しても古紙、PET 短繊維補強材がその間のつなぎ役として働きクラックの進行を防いでいることが考えられる。

4. まとめ

- 1) 気泡混合軽量土に短繊維材を混合してもピーク強度には明確な影響は見られない。ただし、強度定数に着目すると、短繊維材を混合することにより、内部摩擦角は小さくなる傾向があるが、粘着力は増加する。
- 2) 気泡混合軽量土に短繊維材を混合すると残留強度が増加し、粘り強い材料となる。特に、靱性に対して古紙は PET 短繊維補強材と同程度の改良効果が得られた。

参考文献

- 1) 木幡行宏、對馬広樹：流動化処理土の三軸せん断特性に及ぼす繊維材混合の影響、第 39 回地盤工学会講演集、pp721～722、2004

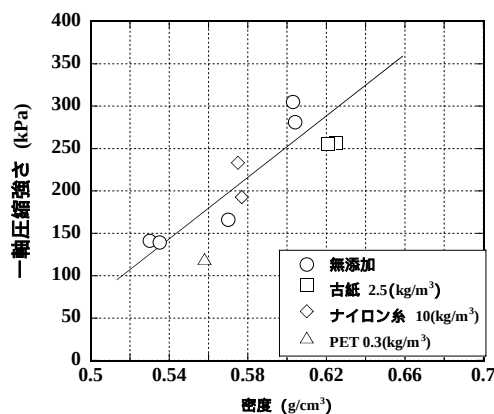


図 - 2 一軸圧縮強度と密度の関係

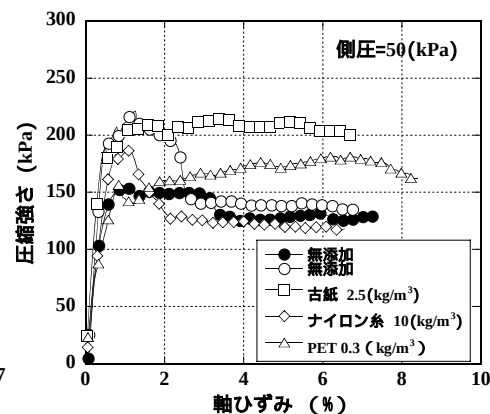


図 - 3 三軸圧縮試験結果

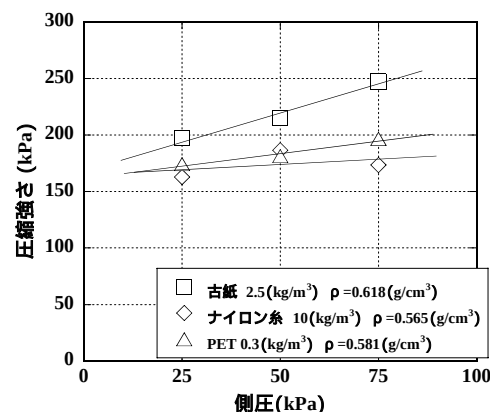


図 - 4 短繊維材を混合した場合の圧縮強さと側圧の関係

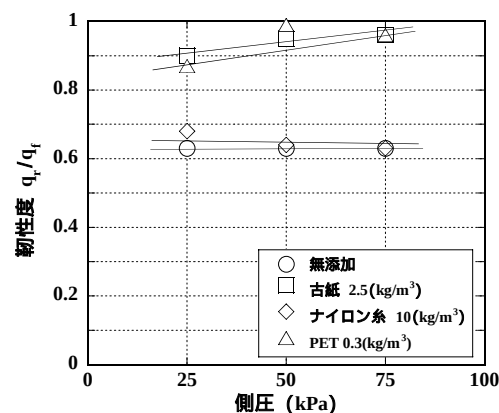


図 - 5 靱性度 q_r/q_f と側圧の関係

表 - 3 三軸圧縮試験結果 (粘着力、内部摩擦角)

混合材料	密度 (g/cm^3)	添加量 (kg/m^3)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)
無添加	0.581	0	19.4	29.17
無添加	0.605	0	54.9	22.93
古紙	0.618	2.5	74.6	5.40
ナイロン系	0.565	10	84.1	10.97
PET短繊維補強材	0.567	0.3	67.2	10.51