

生分解性ペレットの力学的挙動について

山口大学大学院 学○長谷川秀人
山口大学工学部 正 鈴木素之 山本哲朗
ジーザック（株） 非 渡邊良一

1. はじめに 建設工事や間伐等で発生する木質廃材を地盤材料・地盤改良材としてリサイクルすることを目的として、木材と生分解プラスチックを混練し、ペレット状に加工した複合素材（バイオマス混練樹脂と呼ばれる）に着目した。生分解性複合素材の土質工学的性質を把握することが本研究のねらいである。本文ではバイオマス混練樹脂を地盤材料として使用した場合を想定し、まずは単体の一軸圧縮強度特性、次いで集合体としての一次元圧縮挙動ならびに圧密・非排水三軸圧縮挙動について考察する。

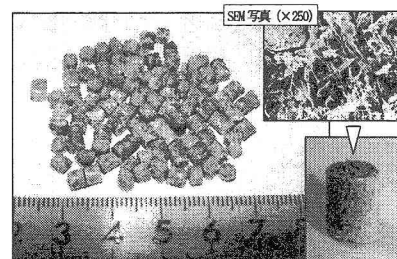


写真-1 バイオマス混練樹脂

2. 物理的・化学的性質 一連の土質試験に使用したバイオマス混練樹脂（以下、ペレットとする）は木質材料として粉碎したカツラを53%、生分解プラスチックとしてポリ乳酸を47%混合したものである。形状は一様に薄茶色で円柱状を呈し、その周囲は滑らかで多少の光沢があり、高分子としての性状を示している（写真-1）。ペレットの形状測定（直径 ϕ 、高さ h ）、比重試験、最小・最大密度試験、強熱減量試験を行った結果を表-1に示す。なお、比重試験の試料はペレットを粉碎したものを使用した。

表-1 物理的・化学的性質

ϕ (mm)	h (mm)	G_s	ρ_{dmin} (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	L_i (%)
4.24	4.83	1.343	0.582	0.675	99.5

3. 一軸圧縮強度特性 ペレット単体の一軸圧縮強度特性を調べた。ペレットの原料の53%は木材であり、木質繊維に含まれる含水量が変化することによって、圧縮強度も変化することが予測される。そのため、試験は乾燥状態と一週間水浸させた湿潤状態のペレットに対してそれぞれ25ケース実施した。なお、軸ひずみ速度を0.2 mm/minで行った。

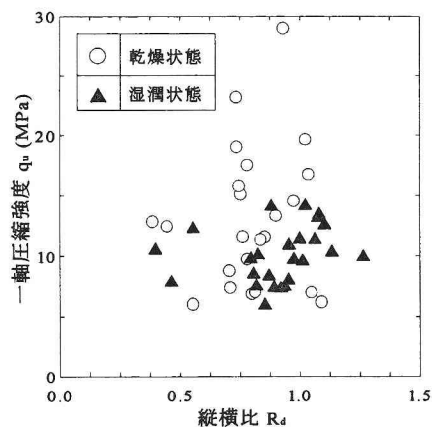


図-1 縦横比と一軸圧縮強度の関係

(1) 縦横比と一軸圧縮強度の関係 圧縮前の供試体の直径と高さをそれぞれ D_0 および H_0 とし、縦横比を $R_d = H_0/D_0$ と定義し、一軸圧縮強度 q_u との関係を整理した。図-1に R_d と乾燥状態および湿潤状態の q_u との関係を示す。乾燥状態と湿潤状態の q_u を比較すると、湿潤状態の圧縮強度にはばらつきが少なく5~15MPaの範囲に分布している。乾燥状態と湿潤状態の q_u をそれぞれ平均すると、乾燥状態では13.1 MPa、湿潤状態では10.0 MPaであり、両状態においてペレットは十分な強度を有する剛な材料とみなせる。また、ペレットは湿潤させることにより、圧縮強度が低下する傾向にある。その理由としてペレットが吸水・膨張し軟化したことが考えられる。

4. 一次元圧縮特性 ペレットが集合体となった場合の一次元圧縮特性を調べるために、段階載荷による圧密試験¹⁾ (JISA1217)を実施した。試験は乾燥状態および水浸状態の2通りについて、圧密圧力を8段階で載荷・除荷・再載荷させ、各段階において沈下量および膨張量を測定した。

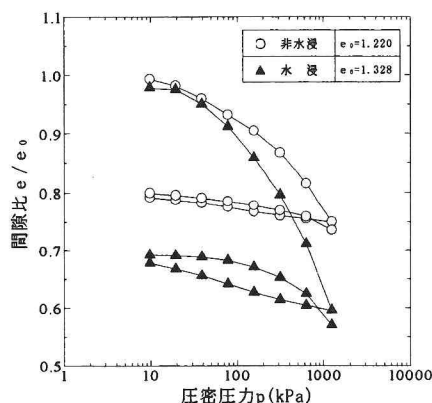


図-2 圧密応力と間隙比の関係

(1) 段階載荷・除荷による圧縮および膨張挙動 圧密試験によって得られた $e/e_0 \sim \log p$ 曲線を図-2に示す。ここに、 e_0 は初期間隙比である。高圧密応力領域（50 kPa以上）では水浸状態のペレットにおける間隙比の減少傾向が著しい。水浸状態の沈下量が非水浸状態のそれに較べて大きいのは前述したように、ペレットが湿潤状態になった

ことにより、個々のペレットの圧縮強度が低下し、有効応力の増加とともにペレット自体の変形が発生し、圧縮が促進されたためと考えられる。また、湿潤状態のペレットにおける膨潤曲線と再載荷曲線の経路の違いはペレットの吸水性に起因するものと考えられ、飽和粘性土の圧密に似た挙動を示している。実際の地盤では雨水などにより湿潤状態が想定され、さらに生分解作用も加わるため圧縮性はさらに高くなることが示唆される。

5. 三軸圧縮特性 ペレットの集合体としての三軸圧縮特性を調べるために圧密非排水三軸圧縮試験¹⁾(JGS0523-2000)を行った。試験は所定の量のペレットを24時間水浸させ、負圧法を用いて直径5cm、高さ10cmの供試体を作製した。供試体の初期相対密度 D_{r0} は $40\pm5\%$ 、 $60\pm5\%$ 、 $80\pm5\%$ の3通りとし、初期有効拘束圧 σ_{r0}' を49kPa、98kPa、196kPa、294kPaの4通りに変化させて行った。

(1) 等方圧密過程における圧密挙動 等方圧密過程での等方圧密応力 σ_c' と間隙比変化量 Δe の関係を図-3に示す。 D_{r0} が低いほど間隙比の減少量が多い傾向を示している。また、圧縮指数 C_c は $D_{r0}=40\pm5\%$ では $C_c=0.213$ であるのに対して、 $D_{r0}=60\pm5\%$ 、 $80\pm5\%$ ではそれぞれ $C_c=0.166$ 、 0.167 とほぼ同じ値であった。

(2) 初期有効拘束圧と最大軸差応力の関係 図-4に σ_{r0}' と最大軸差応力 $(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$ の関係を示す。 σ_{r0}' の増加に従い、 $(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$ も増加する傾向にあるが、 D_{r0} が大きくなるほど σ_{r0}' の増加に対する $(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$ の増加割合は減少している。さらに、 $\sigma_{r0}'=98\text{kPa}$ を境として、それより低い領域では D_{r0} が高いほど $(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$ が大きく、それより高い領域ではその逆の傾向を示している。ペレットは粒径が均一で密度増加しにくいいため、粒子間の接触面積が小さく拘束圧の増加に対し粒子間の摩擦力が発揮されにくいことが考えられる。しかも、 σ_{r0}' が増大するに従い、ペレットの変形が起こり、かみ合わせによるせん断抵抗が低下したことも考えられる。いずれにせよ、軸差応力は初期有効拘束圧に依存し、初期有効拘束圧の増加に伴いその増加割合は減少するといえる。このためペレットのみでの強度の発現はあまり期待できない。

(3) 有効応力経路 図-5に各 D_{r0} における有効応力経路を示す。いずれの D_{r0} においても有効応力経路はほぼ同じで、同一の破壊線に達している。破壊線から換算した内部摩擦角 ϕ' は 3.4° と小さく、粘着力 c' は84.5kPaであった。また、各 D_{r0} における強度定数を表-2に示す。内部摩擦角は相対密度の増加に伴い減少する傾向がある。一方、粘着力は相対密度の増加に伴い増加する傾向がある。また、得られた c' はペレットの粒子間のかみ合わせによる見掛けの粘着力と考えられ、実際には真の粘着力はないと考えられる。

6. 結論 ペレットは粒径が均一で密度増加しにくいいため、粒子間の接触面積が小さく有効拘束圧の増加に対して粒子間の摩擦力が発揮されにくい。このためペレットのみでの強度の発現は期待できず、例えばまさ土などと混合することにより粒子間摩擦力を増加させ、集合体としての強度を上げることが考えられる。また、ペレットには木材としての性質と高分子材料としての性質が混在していることから、地盤材料として適用する場合、今後長期間にわたる生分解性やそれに伴う物理特性や力学特性の変化の解明が必要と考える。

[参考文献] 1) 地盤工学会編：土質試験の方法と解説 - 第1回改訂版, pp. 348-473, 2000.

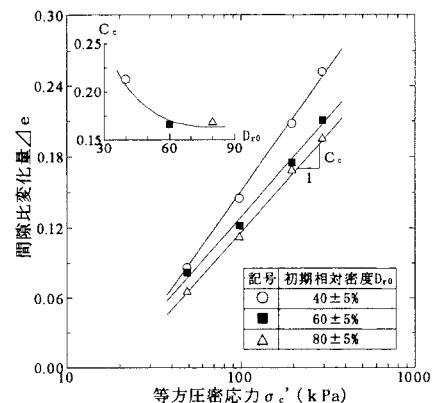


図-3 等方圧密応力と間隙比変化量の関係

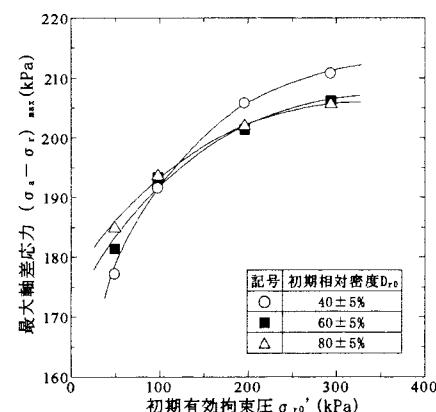


図-4 初期有効拘束圧と最大軸差応力の関係

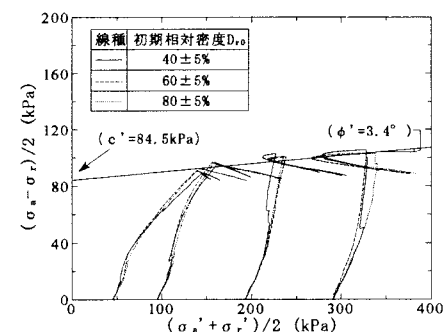


図-5 有効応力経路

表-2 各相対密度における強度定数

D_{r0}	$\phi' (^\circ)$	$c' (\text{kPa})$
$40\pm5\%$	3.7	82.0
$60\pm6\%$	2.7	85.8
$80\pm7\%$	2.4	87.5