

津波堆積土など密度が異なる粒状物質混合土の

粒度試験方法と密度試験方法に関する研究

A study of particle density Test and size distribution Test for Tsunami sediments

千葉 祐太郎 (Yutaro Chiba)

Abstract

Tsunami which was occurred by the Great East Japan Earthquake transported seabed soils from the Pacific Ocean coastal plains. These are known as the tsunami sediments, which consist of fragments of plastic, woodchips and soil particles. However, the grain size accumulation curve cannot fully express the difference of the grain size against visual inspection. Therefore, the volume percent increase (VPI) instead of mass percent increase (MPI) in grain size accumulation curve was given in consideration. At the process of finding VPI in grain size accumulation curve, it was found that. The density of woodchips were depending on the particle size. Using this results and Applying the calculation of VPI in grain size accumulation curve, it was found that VPI can express the read grain size distribution

1. はじめに

東日本大震災に伴い発生した津波は、内陸部まで来襲し、広範囲に海底の土砂などが堆積した。これらの堆積物は、津波堆積物（津波堆積土）と呼び、仮置き場にて分別処理後、復旧・復興資材として有効利用されている。（写真-1）これまで、津波堆積土のような密度が異なる粒状物質混合土は、実際の目視による粒度の違いを粒径加積曲線上（質量百分率）に表現しきれないと考え、研究を進めてきた。²⁾（写真-2）また、その研究内容の中で、津波堆積土を土粒子+木粒子、土粒子単体、木くず単体（以後、木粒子と呼ぶ）の3種類に分別し、粒径別の密度試験を行ったところ、木粒子の密度が粒径によって変化することを発見した。（木粒子の見かけ密度と呼称している³⁾）

本研究は、土粒子と木粒子の密度の違いに着目して、粒度分布表現で用いられている粒径加

積曲線を、従来の質量百分率表示から体積百分率表示で表現しようと試みた。



写真-1



写真-2

写真-1：仮置き場での津波堆積物分別作業

写真-2：土粒子と木くずの見た目と質量の違い

（土粒子 200g：木粒子 20g）

2. 津波堆積土

津波堆積土の状態を写真-3、写真-4に示す。これは、福島県相馬市の海岸線より 300m 内陸部の農地に堆積した津波堆積土の写真であり、大部分が砂で構成されている。（写真-3）一方、都市部の津波堆積土は砂の他に、倒壊家屋の木材や生活用品などのプラスチックが混入してい

る。(写真-4) 集積された場所により津波堆積土と同じ名称がついても構成する物質が大きく異なる。

また、これらの試料を用いて土の粒度試験方法 (JIS A 1204) を実施した。(図-1) 目視した違いを、試験後の結果では十分に表現しきれていないことがわかる。この結果は、JIS A 1204 で規定する粒径加積曲線 (質量百分率) は、測定した土粒子密度が一定であると仮定して、通過質量百分率で表現していることに起因する。

3. 試験試料の準備



写真-3

写真-3 砂が大部分を占める津波堆積土



写真-4

写真-4 砂以外の混入物がある津波堆積土

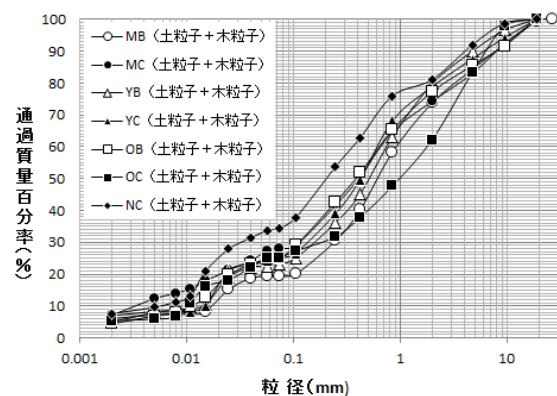


図-1 津波堆積土の粒度分布 (通過質量百分率)

試験材料は、岩手・宮城の太平洋沿岸地域に堆積した津波堆積物を、二次仮置き場にて分別した 20mm 篩下残渣を使用した。試料採取の手順を以下に示す。

- (1) 篩下残渣を試験室内に持ち込み、四分法 (JIS A 1204) による試料の分取を行った。
- (2) 分取された試料を土の粒度試験方法 (JIS A 1204) にしたがって、ふるい分けを実施した。
- (3) 各ふるい (75 μ m, 106 μ m, 250 μ m, 425 μ m,

850 μ m, 2.0mm, 4.75mm, 9.5mm) に残留した試料は、それぞれ土粒子と木粒子により構成されていることを、目視および実態顕微鏡にて確認した。(写真-5, 写真-6, 写真-7)

(4) 土粒子と木粒子の混合土に対し、土粒子単体、木粒子単体とするため、選別ならびに目視による手選別を加えた。

(5) 土粒子と木粒子の混合土から、木粒子のみ取り出す方法として、試料に水を注入し、浮遊している試料を木粒子とした。採取後の木粒子を実態顕微鏡にて確認したものを写真-7に示す。



写真-5

写真-5 津波堆積土のふるい分け後 (土粒子+木粒子)



写真-6

写真-6 津波堆積土を水分別した後 (木粒子)



(a) 土粒子+木粒子 (b) 土粒子 (c) 木粒子

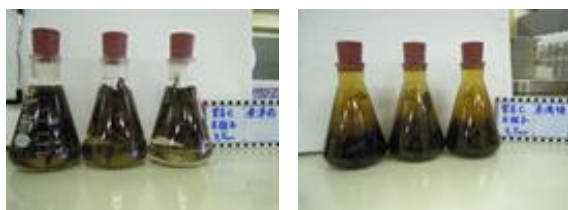
写真-7 実態顕微鏡による確認

4. 密度試験

密度試験は、ふるい分けされた各試料から、土粒子と木粒子の混合体、土粒子単体、木粒子単体の 3 種類について土粒子の密度試験方法 (JIS A 1202) に準じて実施した。また、粒度の大きい試料 (9.5mm, 4.75mm 残留試料) は、ピクノメーターに入らないため、フラスコを使用した。(写真-8) ここで、木粒子はピクノメーター内に蒸留水を注入した際、浮いてしまうと想定され、金網を用いて包み込んだ測定方法を試みた。しかし、金属製網ふるいの目開きが小さかったため、十分に内部の気泡を取り除くこと

ができなかった。だが、木粒子単体をピクノメーター内で湯せんしたところ、全て沈降したため、金属製網ふるいを用いた方法では行わなかった。

なお、煮沸時間に関して、「一般の土で 10 分以上、高有機質土で約 40 分、火山灰質土で 2 時間以上必要である」と記載がある。¹⁾ そのため、本試験で用いた土粒子および木粒子の混合体、木粒子単体の煮沸時間は、空気を多く含んでいる可能性があるため、2 時間以上行った。



(c) 煮沸前

(d) 煮沸後

写真-8 フラスコを用いた密度測定

4.1 土粒子および木粒子の粒径別密度試験結果と考察

図-2 に、土粒子および木粒子の混合体、土粒子単体、木粒子単体の密度試験結果を示す。土粒子密度（図中の表記：■）は、 2.65g/cm^3 から 2.90g/cm^3 であり、粒径に関係なくほぼ一定の値を示した。また、土粒子および木粒子の混合体の密度（図中の表記：○）は、粒径の小さいところでは土粒子密度とあまり変わらない値を示したが、粒径が大きくなるにつれて密度が小さい値を示した。これは、含有している木粒子の影響によるものと推察される。

しかしながら、木粒子の密度（図中の表記：▲）は、土粒子および木粒子の混合体と土粒子単体の密度の傾向と大きく異なり、明らかに粒径が大きくなると小さくなっている。また、 9.5mm の粒径では 1.4g/cm^3 だが、 $75\mu\text{m}$ の粒径では 2.00g/cm^3 から 2.5g/cm^3 と大きい値を示した。木そのものの密度が、桐 0.31g/cm^3 、杉 0.4g/cm^3 、松 0.52g/cm^3 、栗 0.60g/cm^3 、ケヤキ

0.70g/cm^3 、黒檀 1.1 から 1.3g/cm^3 であり、それらの 2 倍以上の密度試験結果が得られた。

今回の密度試験は、MA、MB、MC、SB、NB の 5 種類の試料により行ったが、5 種類ともに同じような傾向を示す結果となった。

木粒子の密度がこのように粒径により変化があることは今まで知られていない。木そのものの組織は、植物細胞壁を構成する主要成分であるセルロース、ヘミセルロースとリグニンにより形成されている。セルロース、ヘミセルロースの密度は一般的に 1.3g/cm^3 から 1.5g/cm^3 程度であることから、今回の試験結果によると、木粒子の粒径が小さいところでは、セルロースの密度を超えているので、植物細胞壁内に微細な土粒子が入り込んでいる可能性も考えられ、測定された値を「木粒子の見かけ密度」と呼ぶこととする。³⁾

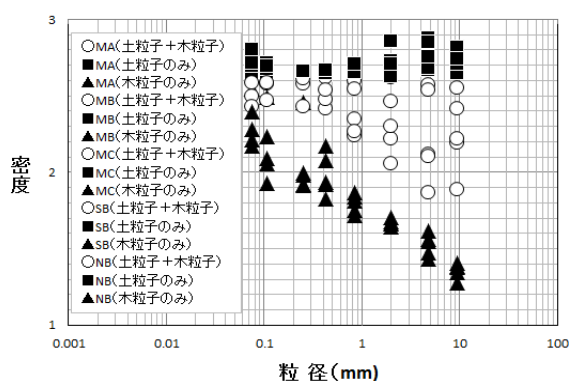


図-2 津波堆積土を 3 種類に分別した際の粒径別密度分布

4.2 走査電子顕微鏡（SEM）による観察

木粒子の粒径が小さくなるにつれて密度が大きくなることから、木くずの間隙内に土粒子などの粒子が混じりこんでいないか調査するため、走査電子顕微鏡（SEM）を用いて観察した。写真-9 に木粒子単体の SEM 画像を示す。写真-9 は (e) 100 倍から、(f) 200 倍、(g) 500 倍、(h) 1000 倍となっている。画像を見る限り、土粒子のような物質が木粒子間隙内に入り込んでいることを確認できなかった。

しかし、木粒子表面には木粒子以外の物質が付着しており、SEM ではその物質を特定できないため、次に X 線分析顕微鏡を用いて定性分析を試みた。

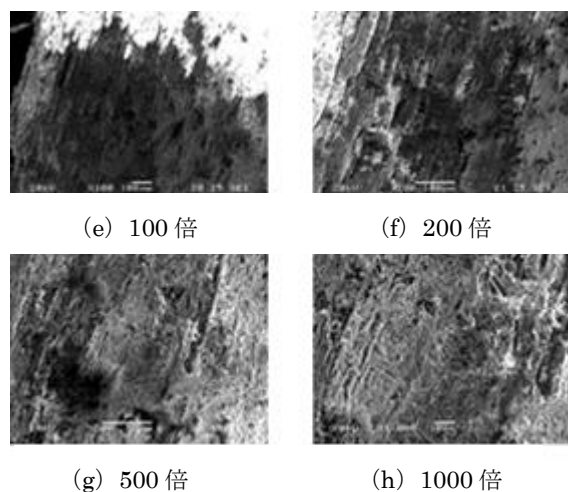


写真-9 SEM 画像（木粒子）

4.3 X 線分析顕微鏡を用いた定性分析

図-3、図-4 に木粒子の定性分析結果を示す。この結果から、 ^{26}Fe 、 ^{20}Ca の反応が確認できた。また微量ではあるが、 ^{19}K の反応も見られた。図-3（木粒子： $425\mu\text{m}$ ）と図-4（木粒子： $75\mu\text{m}$ ）を比較すると、粒径が小さくなると ^{26}Fe の反応が大きくなっていることが分かる。この変化は、

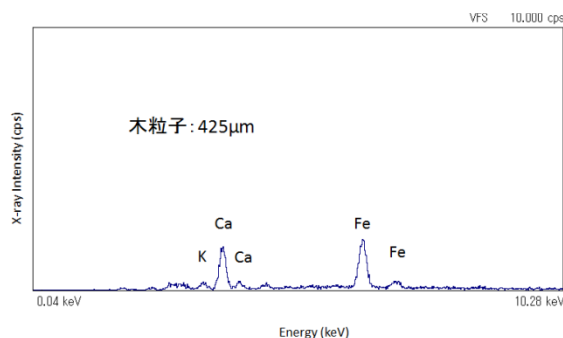


図-3 定性分析（木粒子： $425\mu\text{m}$ ）

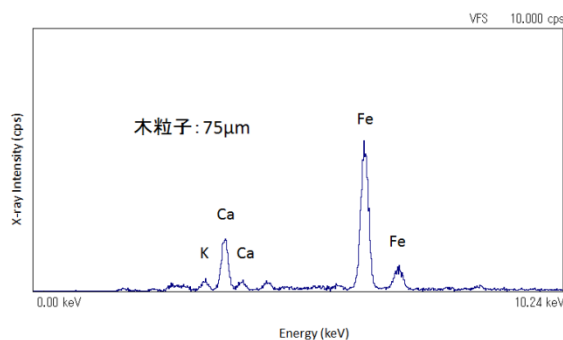


図-4 定性分析（木粒子： $75\mu\text{m}$ ）

4.1 で示した密度変化の要因の一つとして可能性があると考えられる。なお、今回の試験で使用する X 線分析顕微鏡（XGT-2000W）の仕様では、測定元素が $^{11}\text{Na}\sim^{92}\text{U}$ となっており、 ^{6}C や ^{8}O といった元素は反応しない。そのため、 $^{1}\text{H}\sim^{111}\text{Rg}$ などの元素を考慮した場合とでは、土粒子、木粒子の構成元素に変動があると考えられ、今後、検証を行う予定である。

次に、4.4～4.6 では、津波堆積土中の木粒子表面に付着している粒子を分離処理した後の密度試験と、木そのものの密度試験を試みた内容を示す。

4.4 粒径別に作成したアカマツの木粒子密度試験

4.2, 4.3 にて、津波堆積土中の木粒子密度変化の要因について調査した内容を述べた。4.4 では、津波堆積土中に含まれている木粒子の見かけ密度と比較するため、3 で述べた試料採取方法と、4 で述べた密度試験で実施した。今回、比較対象としてアカマツの枝を粒径別に作成したものを試験材料とした。試料作成の手順を以下に示す。

(1) アカマツの枝を試験室内にて、ノコギリやナタを用いて破碎を実施した。

(2) $850\mu\text{m}$ 以下の木粒子を作成する手段として、乳鉢を用いてすり潰し、細かい粒径になるよう調製した。

(3) ふるい分けを行い、各ふるいに残留した試料で密度試験を実施。

今回、比較対象とした試料であるアカマツの密度は、一般的に気乾密度 0.52 である。⁶⁾ 密度試験の結果を 4.5, 4.6 の結果と比較するため図-5, 図-6 に示した。その結果、粒径 $9.5\text{mm}\sim 75\mu\text{m}$ の密度はすべて $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 程度となった。これは、セルロースなどの密度が $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 程度であることから、一般的なアカマツの密度ではなく、植物細胞壁の密度ではないかと考えられる。

4.5 超音波を用いた洗浄による付着物分離試験

実態顕微鏡を用いて木粒子の表面部を観察した際、付着物があることを確認できた。そこで、木粒子から付着物を分離させることで木粒子の見かけ密度が変化すると考え、超音波を用いて津波堆積土中の木粒子を洗浄する方法を試した。その際、超音波周波数が 42KHz で、約 10 分間の洗浄後、粒径別に密度試験を実施した。結果を図-5 に示す。この結果では、洗浄前と後で密度が変化せずほぼ同程度の分布を示した。

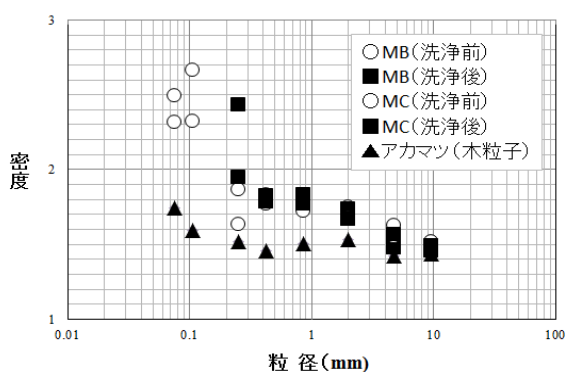


図-5 超音波を用いた洗浄後の木粒子の密度分布

4.6 過酸化水素水を用いた付着物分離試験

超音波を用いた洗浄とは別に、木粒子付着物の分離方法として、過酸化水素水を用いた方法も試みた。試験試料は、4.5 で用いた津波堆積土の木粒子とは異なる地区で採取したものを使用した。試験手順は、JIS A 1204 (試料の分散) に準拠して実施している。試験内容は、過酸化水素水注入し、放置せずに攪拌した後、密度試験を行ったものと、20 時間放置した後の 2 通りで行った。その結果を図-6 に示す。過酸化水素

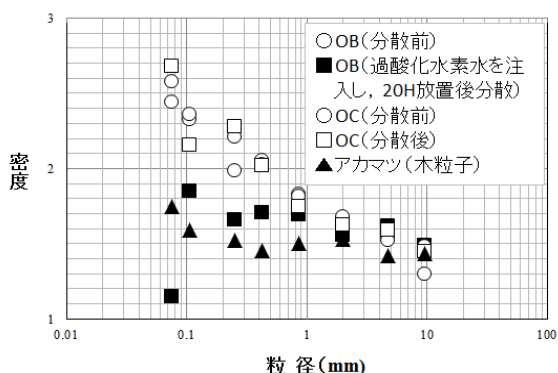


図-6 過酸化水素水を用いた分離試験前後の木粒子の密度分布

注入後、放置せずに試験を行ったものは、通常の津波堆積土中の木粒子の見かけ密度分布とあまり差はなかったが、20 時間放置した試料は、やや下方に位置し、アカマツの密度分布と同一ような分布となった。

5. 粒度試験

試験材料は、3 で述べた方法で採取・分別した、岩手・宮城の太平洋沿岸地域に堆積した津波堆積物を用いている。粒度分布を粒径加積曲線上に示す際、必要となる質量百分率・体積百分率の計算で使用する質量は、強熱処理後の各ふるいの質量（土粒子単体の質量）を、もとの土粒子と木粒子の混合体の質量から、差し引くことによって算出した値を木粒子の質量として使用した。

5.2 試験結果と考察

図-7～図-10 は、土粒子単体の場合、木粒子単体の場合の曲線をそれぞれ示している。図-7 が、試料 MC の粒径別の質量分布を示したもので、図-8 に、粒径別の体積分布を示す。また、図-9 が、試料 NB の粒径別の質量分布を示したもので、図-10 に、粒径別の体積分布を示す。体積を算出するため、図-2 で得られた土粒子単体の密度と木粒子単体の密度を使用した。試料 MC の図-7 と図-8、試料 NB の図-9 と図-10 をそれぞれの質量分布と体積分布とで比較してみると、質量分布よりも体積分布で表示したほうが、土粒子単体と木粒子単体の差が少なくなっているのが分かる。また、粒径 9.5mm、4.75mm では、質量表示では土粒子単体のほうが木粒子単体よりも大きい値を示していたが、体積表示にすると、木粒子単体のほうが大きい値を示した。

図-11 (試料 MC)、図-12 (試料 NB) は通過質量百分率と通過体積百分率で表示した粒径加積曲線である。通過質量百分率は、JIS A 1204 を用いて算出した。通過体積百分率は、図-7 と図-9 で得られた、土粒子単体の質量と木粒子単体の質量を、図-2 で得られた土粒子単体の密度分布と木粒子単体の密度分布をそれぞれ考慮し

て体積を算出した。図-11、図-12 のどちらの試料も粒径 9.5mm～850 μ m で、通過体積百分率のほうが、通過質量百分率よりやや下方に位置し

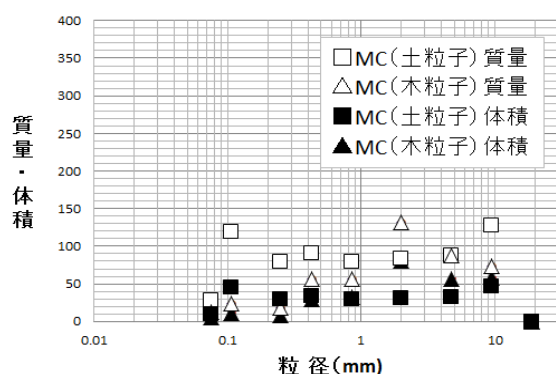


図-7 試料 MC の質量・体積分布

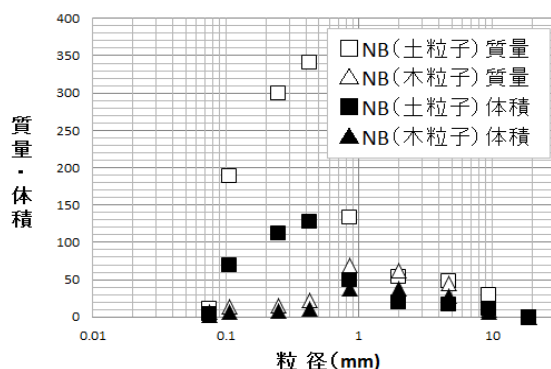


図-8 試料 NB の質量・体積分布

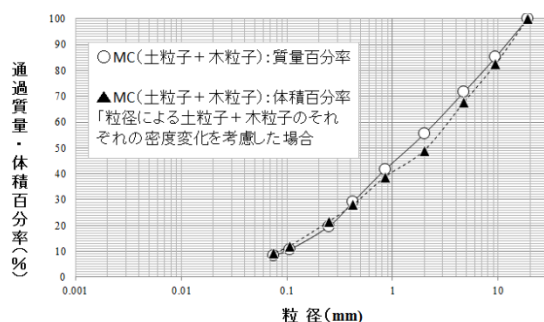


図-9 粒径加積曲線

(試料 MC : 通過質量・体積百分率)

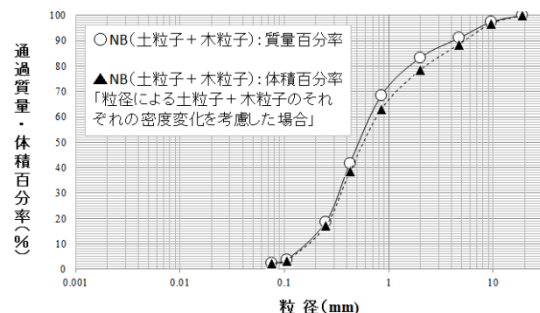


図-10 粒径加積曲線

(試料 NB : 通過質量・体積百分率)

ている。これは、図 7～10 で粒径 9.5mm, 4.75mm で、木粒子単体の体積が土粒子単体の体積より大きい値を示していることから、通過質量百分率で示すよりも、通過体積百分率のほうが、粒径の大きな木粒子を多く含むことを表現できていると判断できる。

6. おわりに

本研究では、津波堆積土などの密度が異なる粒状物質混合土の粒度分布を、より分かりやすく表現するため、粒径加積曲線を質量表示から体積表示にする表現方法について研究を進めてきた。得られた主な結果を以下に記す。

(1) 津波堆積土に含まれる木粒子の密度は、粒径が小さいほど大きくなる。(木粒子の見かけ密度)

(2) 木そのもの(アカマツ)の密度は、粒径に関係なく一定である。

(3) 過酸化水素水を用いて分離処理を行うと、木粒子の見かけ密度が一定になる。

(4) 粒径加積曲線を質量百分率から体積百分率にすると、目視による粒度の違いを表現できた。

参考文献

- 1) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説, 2009
- 2) 今西肇・千葉祐太郎:震災廃棄物や有効利用に伴う粒度試験に関する一考察, 平成 24 年土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, III-39, 2013.3
- 3) 今西肇・千葉祐太郎:津波堆積土などの土粒子の密度試験方法の提案, 第 48 回地盤工学研究発表会講演概要集, 2013.7
- 4) 今西肇・千葉祐太郎:津波堆積土などの粒度試験方法の提案, 第 48 回地盤工学研究発表会講演概要集, 2013.7
- 5) 今西肇・千葉祐太郎:津波堆積土の密度試験および粒度試験方法の提案, 第 10 回環境地盤工学シンポジウム, pp.361-366, 2013.9
- 6) (財)日本木材総合情報センター:

<http://www.jawic.or.jp/kurashi/jtree/s1-akamatsu.php>