

木片の混入が分別土砂の締固めに与える影響について

災害廃棄物 粒形 締固め

愛知工業大学 国際会員 ○中村吉男
 泥土リサイクル協会 正会員 野口真一
 国立環境研究所 国際会員 肴倉宏史
 (株) アイコ 正会員 鍋田 稔

1. はじめに

東日本大震災により発生した災害廃棄物等は、再生利用を前提とした中間処理が行われ、復興資材(分別土砂)として利活用が進められている。しかしながら、分別土砂には除去しきれない木片等の有機性夾雑物が混入することから、地盤材料としての有効利用が躊躇され、利活用の妨げとなる事例が散見された。その理由は、木片等が腐敗して空隙を生じたり、化学変化により材料の物理的特性を変える原因となることが懸念されたためと考えられる。本研究では、分別土砂の有効利用の障壁となる木片の混入について、分別土砂に混入する木片の粒形に着目して行った締固め試験に基づき、土の締固めを阻害する木片の混入量について議論するものである。

2. 災害廃棄物由来の分別土砂に混入する木片の形状

木材は繊維方向により異方性を示すことから、破碎された木片は棒状・扁平な形を呈することが少なくない。締固めにおける粒子の形状の影響は、粒状材料において丸いものは角ばったものより、立方体に近いものは扁平なものより締固め密度は大きくなるとされており、分別土砂の締固め特性を議論する上で、木片の形状は重要な因子の一つとなる。

砂、砂利などの形状表示については、従来より、様々な方法が提案されているが、本研究では、簡便で汎用性の高い、松尾・小暮¹⁾により提案された粒形表示法を用いて実際に宮城県 K 地区で処理された分別土砂に混入する木片の粒子形状を評価することとした。松尾・小暮による方法は、粒子の最大直径 D_1 (長径) およびこれに直行する面での最大粒径 D_2 (中径) さらにこの面上で D_2 に直角方向の直径 D_3 (短径) を測定し、 D_2/D_1 、 D_3/D_1 の値を用いて図-2(a)に示すように粒形の分布を表す方法である。図-2(a)において $D_2/D_1=D_3/D_1=1$ は完全な球体を表し、 $D_2/D_1=0$ から $D_3/D_1=0$ になるにしたがって粒形は球状態から棒状態となり、 $D_2/D_1=1$ 、 $D_3/D_1=0$ に向かうにしたがって円盤状になる。このように表される木片の粒形は、図-2(a)に示すように 8 種類に分類できる。図-2(b)のプロット点は、宮城県 K 地区において処理された分別土砂から 100 片の木片を任意に選定し、粒径を計測して整理したものである。図に示すように木片は、長円盤状 II、長円棒状 II、棒状 II に分布し、粒径比の平均値は、 $D_2/D_1=0.30$ 、 $D_3/D_1=0.16$ (棒状 II) となる。

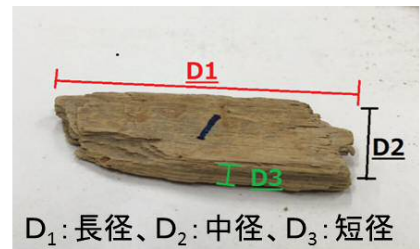


図-1 粒形表示における粒径の定義

3. 人工木片を混入した分別土砂の締固め試験

3.1 試料及び試験方法 木片の平均粒径比を参考とし、工作用の檜材を用いた人工木片を作成した。人工木片の寸法は表-1 に示すとおりである。砂 (5 号及び 8 号珪砂) 及び被災地で処理された分別土砂 (宮城県 K 地区、岩手県 Y 地区) に人工木片を加え、混入率を変えた土の締固め試験を行い木片の混入が土の締固めに与える影響を調べた。珪砂に人工木片を混入した試料の締固め試験は、JIS 規格で定められている砂の最小密度・最大密度試験 (JIS A 1224) により行い、分別土砂と人工木片の混合試料における締固め試験は、JIS A 1210:2009 に準じ、標準モールド ($\phi 10 \text{ mm} \times h 12.7 \text{ mm}$) を使用して乾燥法・繰返し法により標準プロクターと修正プロクターの 2 種類の締固めエネルギー (E_c) を与えて行った。

3.2 試験結果とその考察 礫質土の締固め特性に関する Walker-Holtz²⁾の研究を参考にして、締固めエネルギーの伝達状況について考察してみる。Walker-Holtz は、土と礫の混合物を締め固めた場合、礫の間隙は土で満たされ、間隙の中の土は、その締固め仕事量で土のみを締め固めた場合の密度になるという仮定から出発している。この仮定は、礫の混入率が

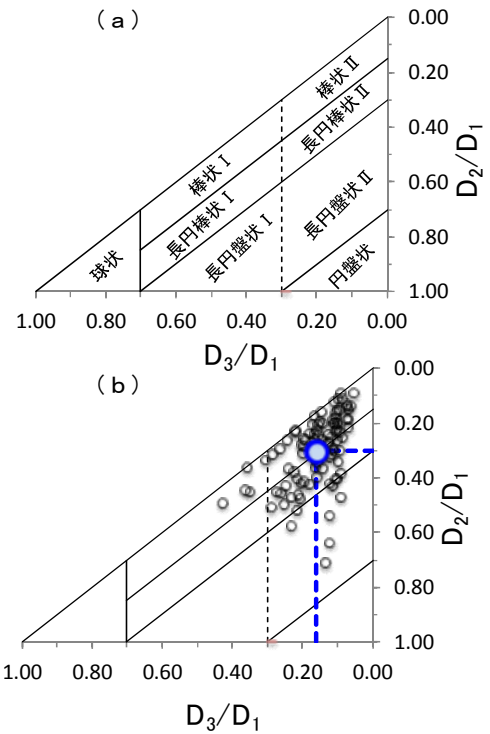


図-2 木片の粒形分布表示と K 地区分別土砂の木片粒形分布

小さい間は妥当であるが、混入率が大きくなると締めエネルギーが礫の存在によって伝達されにくくなり間隙を満たす土の乾燥密度は減少し仮定と相反する結果となる。多くの実験結果によると、この仮定が設立する礫の混入率は30%~40%程度であるとされており、また礫分の混合割合に対する締め密度は、(1)式で評価している。

$$1/\rho_{dt}=(1-P)/\rho_{ds}+P/\rho_{dg} \quad (1)$$

ここに、 ρ_{dt} :礫と土の全体の乾燥密度、 ρ_{ds} :土の締め乾燥密度、 ρ_{dg} :礫のカサ比重乾燥密度、 P :礫率(小数点表示)。(1)式を適用して木片混入土の締め密度について整理すると、木片混入率を P_w 、木片混入土の全体乾燥密度を ρ_{dwt} 、木片を除く土の乾燥密度を ρ_{ds} とするとそれぞれ、(2)(3)式で示される。

$$P_w=M_w/(M_w+M_s) \quad (2)$$

ここに、 M_w :木片の乾燥重量、 M_s :土の乾燥重量

$$1/\rho_{dwt}=(1-P_w)/\rho_{ds}+P_w/\rho_{dw} \quad (3)$$

$\rho_{dw}(=0.54g/cm^3)$ は木片の単位体積質量試験より求めた。

図-3は珪砂に木片を混入させた試料における混合土の全体の最小密度・最大密度と木片混入率の関係を示したものであり、実験値と(3)式の Walker-Holtz に基づく理論値と比較して整理した。試験値は $P_w=2\%$ においても理論値より小さく、木片の混入が珪砂の締めを阻害していることが分かる。試験では、 $P_w=50\%$ 、 80% も実施したが木片の空隙を埋める量の砂が全体的に不足し、材料が分離した状態となることが観測されている。これより、混合率の低い段階で珪砂の締めが阻害される要因としては、単粒の砂と棒状の木片が混入すると両者には材料分離が生じて十分な締めが行えないことが考えられる。一方、図-4は分別土砂に人工木片を混合させた試料における締め試験結果を整理したものであり、横軸に木片混入率を縦軸には締め曲線から求めた最大乾燥密度をとり、標準プロクターによる試験値を○印で、修正プロクターによる試験値を□印で示し、それぞれの理論値を実線で表示している。K地区分別土砂とY地区分別土砂でそれぞれ $P_w \leq 8\%$ 、 12% までは理論値と試験値は一致しており、木片による土の締めは十分に行われていることが理解でき、また、 $P_w=16\%$ では締めエネルギーによる密度の差が小さくなることから、木片の混入率が高くなると締めエネルギーを高めても締めの効果は上がらないことが示唆される。

4. まとめ

(1) 松尾・小暮の方法に従って分別土砂中の混入木片の粒形を調べたところ、平均的な粒径比 $D_2/D_1=0.3$ 、 $D_3/D_1=0.16$ となり棒状Ⅱに区分され、木材の繊維方向による異方性が影響して分別破碎時には棒状を呈する形状となる。

(2) Walker-Holtz の理論式を用いて木片の混入による土の締めの阻害効果を調べた。珪砂のような単粒材料では、木片の混入により締めエネルギーが珪砂に十分伝達されず、土の骨格形成が十分に行うことができないが、分別土砂のように粗粒分から細粒分を含む材料では、木片が8%(K地区分別土砂)~12%(Y地区分別土砂)程度混入していても土の骨格形成には支障がでない。締めの観点からは、分別土砂の利用において、 $P_w \leq 10\%$ が一つの目安となるものと思われる。これについては、さらに粒度組成の異なる材料に対して締め試験を行い、木片混入による締めエネルギーの伝達効果を論じながら設計資料として整理していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 松尾新一郎・小暮敬二：碎石の透水性に関する実験、土と基礎 18-2 (144)、pp5-10、1970
- 2) Walker, F.C. and Holtz, W.G: Control of Embankment Material by Laboratory Testing, Proc. ASCE, Dec.1951. Sep. No.180

表-1 人工木片の粒径(mm)と粒径比

区分	$D_1 \times D_2 \times D_3$	D_2/D_1	D_3/D_1
人工木片-①	10 × 4 × 2	0.40	0.20
人工木片-②	15 × 4 × 2	0.27	0.13
人工木片-③	20 × 6 × 3	0.30	0.15
人工木片-④	25 × 8 × 4	0.32	0.16
人工木片-⑤	30 × 10 × 5	0.33	0.17

注) 人工木片-①、②は珪砂との混合試料で使用。
人工木片-③、④、⑤は分別土砂との混合で使用。

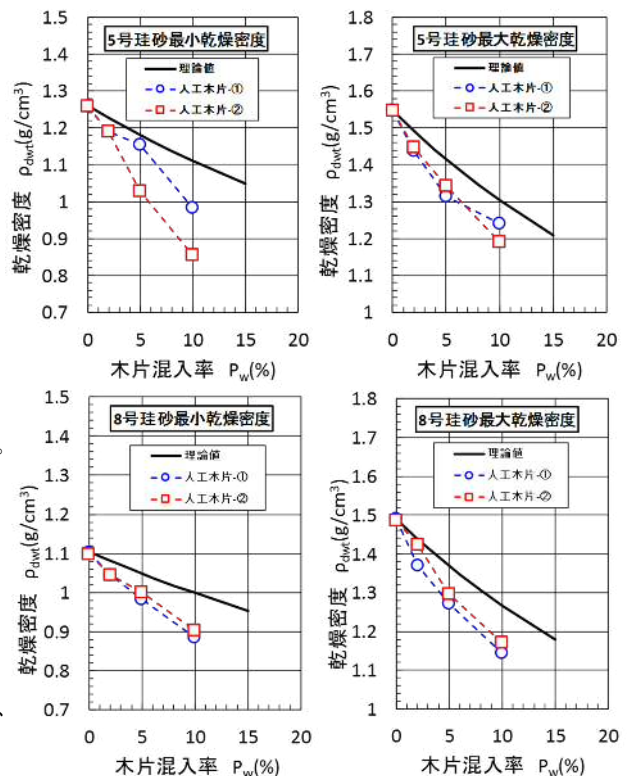


図-3 木片混入率と乾燥密度の関係(珪砂混合土)

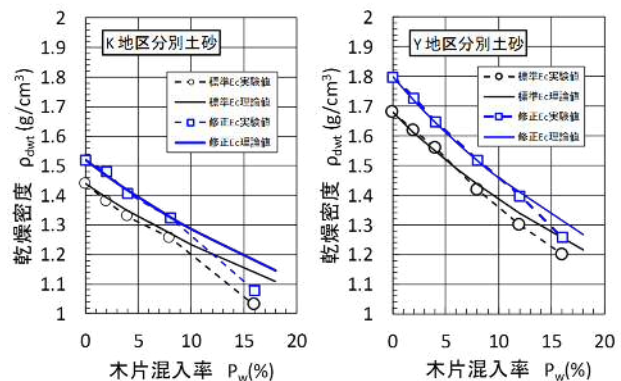


図-4 木片混入率と乾燥密度の関係(分別土砂混合土)