

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 締固め 粒度分布

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

東北地方太平洋沖地震で大量に発生した災害廃棄物は、土砂と混在した状態で仮置きされたが、全重量の約3分の1以上が土砂で占められていたことから、土砂とそれ以外の廃棄物に分別し、復興資材として利活用すべく再資源化が行われた。しかし、分別土砂の中には除去しきれない木片等が夾雑し、これが将来的に腐朽して腐植劣化することが懸念され積極的な利活用を阻む要因となった。本研究では、分別土砂の有効利用の障壁となった木片の混入について、前報¹⁾に引き続き、分別土砂の粒度組成と木片の粒形に着目した締固め試験を行い、Walker-Holtzの理論式により木片の混入による土の締固めの阻害効果を議論するものである。

2. 試験試料

2.1 人工木片：災害廃棄物由来の分別土砂に混入する木片の形状については松尾・小暮²⁾により提案された粒形表示法を適用し宮城県気仙沼地区で処理された分別土砂から100片の木片を任意に選定し、粒径を計測して評価した。詳細は文献1)に示すとおりであり、木材は繊維方向により異方性を示すことから分別時に破碎された木片は棒状を呈することが判明している。本研究では、この結果から棒状を呈する平均粒径比、 $D_2/D_1=0.30$ 、 $D_3/D_1=0.16$ を参考とし、工作用の檜材をこの粒径比になるよう加工して使用した。ここに、 D_1 、 D_2 、 D_3 はそれぞれ長径(最大径)、中径、短径(最小径)を表す。

2.2 模擬分別土砂：前報¹⁾では、実際に処理された分別土砂を用いた締固め試験を行い木片の混入による締固め特性を評価した。本研究では、粒度組成の観点から木片混入による締固めエネルギーの伝達効果を議論するものであり、分別土砂の想定される粒度範囲を網羅出来るように砂(5号珪砂：K)と粘土(岐阜県土岐市産のクレーサンド：Cs)を混合して粒度調整し、3種類の模擬分別土を作成した。図-1は試験試料の粒度分布を示したものであり、同図には気仙沼処理区³⁾における津波堆積物由来の分別土砂の粒度範囲を併記している。気仙沼地区で処理された分別土砂の粒度組成は礫分8~30%、砂分37~58%、シルト分7~37%、粘土分5~32%であり、これを参考として5号珪砂とクレーサンドの混合比率を決定し、前節で示した檜材による人工木片を混合してJIS 1210 Aに準じて非乾燥、非繰返し法による標準締固め試験を行った。表-1に模擬分別土砂の物理特性を示す。

3. 試験結果

最大乾燥密度(ρ_{dmax})と最適含水比(w_{opt})の間には、次式で示す相関関係があることが実験的に確かめられている^{4,6)}。

$$1/\rho_{dmax} = a \cdot w_{opt} + b \quad (1)$$

図-2は横軸に w_{opt} を、縦軸に ρ_{dmax} の逆数を取り実験値をプロットしたものである。最小二乗法近似を行うと図中に示す相関式が得られ、(1)式の係数a、bが算定される。図-2において、木片混入率 P_w が増すと最適含水比は大きくなり最大乾燥密度は低下するが、 w_{opt} と $1/\rho_{dmax}$ の直線関係が保たれており、一般の土に見られる特性と変わりがないことがわかる。また、既往研究で提示されている式(1)中のa、bの値については表-2に示すとおりである。図中には文献4)、5)で示されている相関関係を併記しているが、いずれも模擬分別土砂の相関関係と大差ないことがわかる。

Walker-Holtz⁷⁾は、粗粒分を含む土の締固めにおいて、粗粒分と細粒分の組成比に着目し、混合土砂の締固め密度はある粗粒分組成比までは次第に大きくなるが、それを超えると

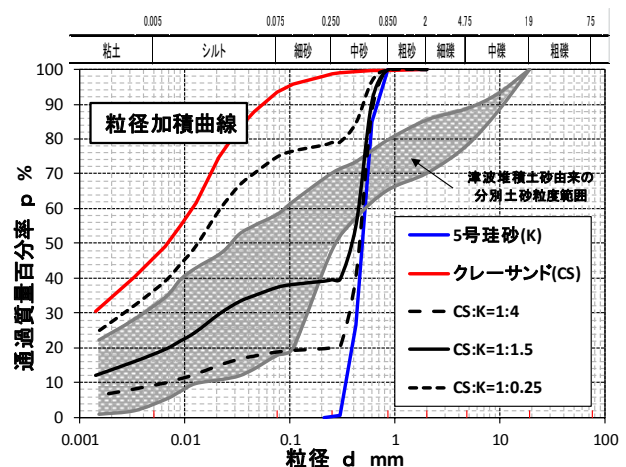


図-1 模擬分別土砂の物理特性

表-1 模擬分別土砂の物理特性

項目	K	Cs:K=1:4	Cs:K=1:1.5	Cs:K=1:0.25	Cs
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.647	2.652	2.657	2.666	2.671
最大粒径(mm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
礫分(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分(%)	100.0	82.4	62.6	23.4	6.4
シルト分(%)	0.0	8.9	18.6	37.2	44.4
粘土分(%)	0.0	8.7	18.8	39.4	49.2
工学的分類名	S	SF	SF	C	CL

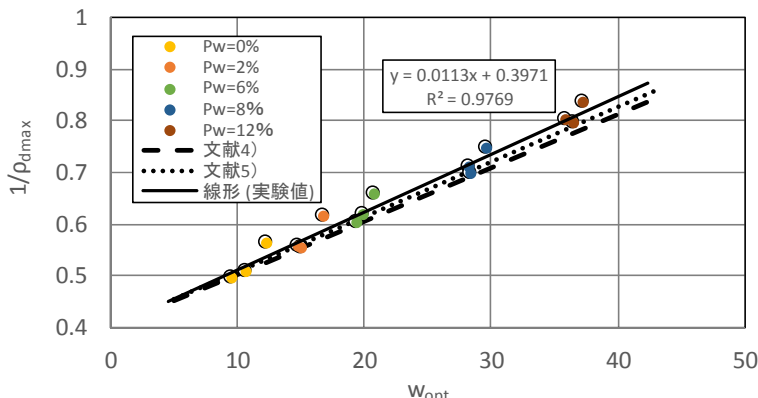


図-2 W_{opt} と ρ_{dmax} の関係

表-2 a, b の代表値

項目	a	b
模擬分別土砂	0.0113	0.3971
文献4)	0.0103	0.3993
文献5)	0.0107	0.4000
文献6)	0.0106	0.3935
	0.0109	0.3818
	0.0109	0.3800

密度低下することを実験的に明らかにした。すなわち、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、間隙中の土はその締め固め仕事量で土のみを締め固めた場合の密度になる”という仮説をたて実験を進めた。この仮説が成り立つのは礫の混入率が小さい場合であり、混入率がある限度を超えると締め固めエネルギーが礫の存在によって伝達されにくくなる。その結果、礫の間隙中の土の乾燥密度は減少し、仮説と相反することを明らかにした。多くの実験結果から、この仮説が設立する礫の混入率は30%~40%程度であるとされている。本研究では、礫分を木片混入量に読み替え、木片の混合割合に対する締め固め密度を(2)式で評価した。

$$1/\rho_{dwt} = (1-P_w)/\rho_{ds} + P_w/\rho_{dw} \quad (2)$$

ここに、 ρ_{dwt} : 木片混入土の全体乾燥密度、 ρ_{ds} : 土の締め固め乾燥密度、
 ρ_{dw} : 木片のカサ比重乾燥密度

P_w は、木片混入率 (小数点表示) であり(3)式で定義される。

$$P_w = M_w / (M_w + M_s) \quad (3)$$

ここに、 M_w : 木片の乾燥質量、 M_s : 土の乾燥質量

模擬分別土砂における木片混入率と乾燥密度の関係は図-3 に示す通りであり、概略 P_w 8%程度においては理論値と実験値に整合性があるものと考えられる。そこで、乾燥密度の実験値 (ρ_{dwtE}) を理論値のそれで (ρ_{dwtT}) 除し、 P_w との関係を整りし図-4 に示した。図中、分別土砂の結果を○印で、模擬分別土砂の結果を●印で表しているがいずれの結果も P_w ≒ 8%までは実験値と理論値の差は小さく P_w = 12%を超えると両者の差が生じ始める試験値が散見されることから、安全側に評価して木片の混入による分別土砂の締め固めにおいて、 P_w = 8%程度の木片が混入しても土の締め固めに影響をあたえることはないものと考えられる。

3. まとめ

本研究を通じて、①木片の混入する分別土砂の締め固めにおける ρ_{dmax} と W_{opt} の相関関係は、 $P_w = 0 \sim 12\%$ の範囲において一般の土と同様な傾向を示すことが分かった。②木片の混入による締め固めの阻害効果を判定する方法として、礫質土による Walker-Holtz の理論が適用でき、 P_w ≒ 8 程度の木片の混入はマトリックスの締め固めに影響を与えない。などの知見が得られた。

謝辞：本研究は、環境省の環境研究総合推進費 (3K163011) により実施された。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中村吉男, 野口真一, 肴倉宏史, 鴫田稔: 木片の混入が分別土砂の締め固めに与える影響について, 第 52 回地盤工学研究発表会, pp.817-818, 2017
- 2) 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), p5-10, 1970
- 3) 宇野浩樹, 根岸昌範, 高畑陽, 池田千博: 気仙沼処理区における津波堆積物由来の再生資材と盛土材への適用, 地盤工学会誌, vol.63, No.11/12, No. 694/695, pp.20-23, 2015
- 4) 野田健二: 盛土の急速試験法, 農業土木研究, vol.28, No.3, pp.15-20, 1960
- 5) 森満男: 土の最大乾燥密度と最適含水比について, 土と基礎, vol.10, No.9, pp.12-16, 1962
- 6) 宇梶文雄: フィルダム技術ノート, 日刊工業新聞社, p 81、, 1979
- 7) Walker, F.C. and Holtz, W.G : Control of Embankment Material by Laboratory Testing, Proc. ASCE, Dec.1951. Sep. No.180

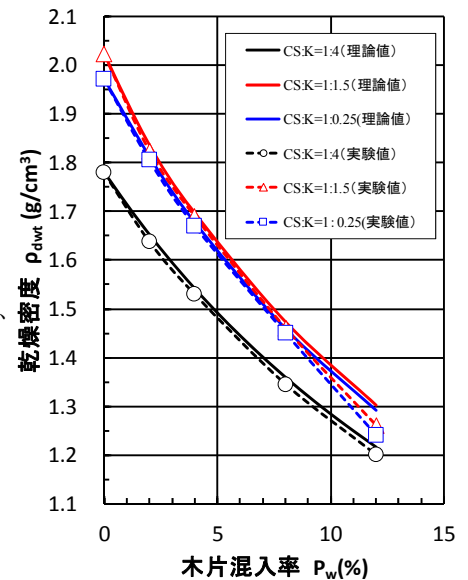


図-3 木片混入率と乾燥密度の関係

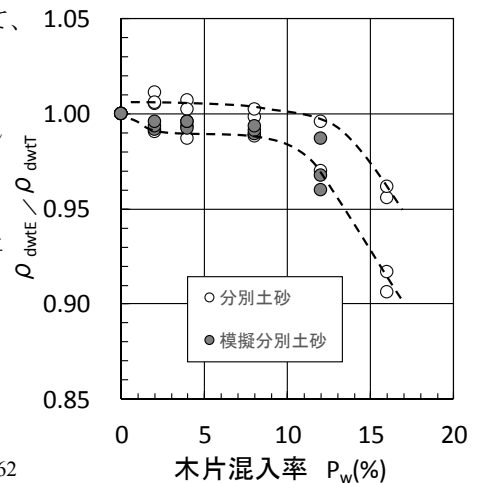


図-4 木片混入率と実験/理論乾燥密度比の関係