

平成 30 年 7 月豪雨災害における広島県坂町周辺地域の分別土の土質特性

Soil Properties of Recovered Soils in Area around Saka town, Hiroshima Caused by
Heavy Rain Fall Disaster in July 2018

遠藤宏朗	Hiroaki ENDO	(山口大学大学院創成科学研究科)
吉本憲正	Norimasa YOSHIMOTO	(山口大学大学院創成科学研究科)
中田幸男	Yukio NAKATA	(山口大学大学院創成科学研究科)

平成 30 年 7 月豪雨では、広範囲かつ長時間の降雨により、廃棄物を取り除いた分別土が、広島県内だけで約 94 万トン発生している。分別土は、発生から有効利用の過程で分別されるが、取り切れない木片等の夾雑物が混入することがある。そこで本研究では、広島県坂町周辺地域で採取した分別土において、夾雑物混入の有無などを含めた土質特性を明らかにすることを目的とした。その結果、採取した分別土は、津波災害による分別土と比較して、有機物がそれほど多く含まれていないこと、また一般的な土工材料である宇部まさ土と比べ、強熱減量や土粒子密度には、大きな違いが認められないことがわかった。しかし、細粒分含有率の値が低いため、締固めに影響を及ぼすことが確認された。

キーワード：まさ土、細粒分含有率、締固め、土質特性 (IGC : D-01, D-02, D-09)

1. はじめに

近年、平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨、平成 26 年 8 月豪雨、平成 29 年 7 月九州北部豪雨や平成 30 年 7 月豪雨により、中国地方もしくは周辺地方において豪雨による土砂災害が頻繁に発生している。また、中国地方には、図-1¹⁾に示すように花崗岩が広く分布している。その花崗岩は、風化すると土砂災害の原因となりうるまさ土に変化するため、中国地方では古くからまさ土の流出による土砂災害が多発している²⁾。図-2 は、日本国内での土砂災害発生件数の推移を示しており、棒グラフの累計の結果が示すように土砂災害発生件数は増加傾向にある³⁾。そのため今後日本では、このような土砂災害が頻繁に起こりうると想定しておく必要がある。

平成 30 年 7 月豪雨では、広範囲かつ長時間の降雨が観測された。気象庁によると⁴⁾、広島県内 33 か所の観測地点のうち、4 箇所において日最大 1 時間降水量が 7 月として観測史上 1 位となり、23 箇所において月最大 24 時間降水量が 7 月として観測史上 1 位を記録した。また、平成最大の死者数も記録した。広島県を含め、まさ土が広範囲に分布する中国地方では、土砂が下流に大量に流れ、河積を阻害した結果、市街地に大量の土砂を伴う氾濫が発生した。さらには、広範囲で交通網が寸断され、経済・物流に大きな被害をもたらした⁵⁾。

広島県の発表によると、この豪雨災害により発生した豪雨災害廃棄物混入土砂は、2018 年 8 月の時点で約 94 万トンと見積もられており⁶⁾、平成 26 年 8 月豪雨によって広島県内で発生した土砂量の約 2 倍の量で過去に類を見ないほどの量となっている。災害により発生した土砂等は、被災者の生活の早期復旧のため、早急に撤去作業が行われ

る。そして、図-3 に示す流れのように、仮置きヤードでの分別作業を経て、分別土が水面埋立材料として有効利用される。

災害によって発生した土砂等についての土質力学特性を解明する研究や、その土砂等の有効利用を促進させるための研究が実施されてきている。近年では、東日本大震災における震災瓦礫および津波堆積物由来の木片混じりの発生土の有効利用のための土質力学特性を調査する研究が実施されている。これによると、用途に応じた要求品質を満たすように適切な取り扱い処理を行えば、建設用地盤材料として利用できることが明らかにされている⁷⁾。さらに他の既往の研究によれば、東日本大震災における木屑等の夾雑物を含む土砂に対して、地盤材料の締固め特性を調査し、有効活用を検討した研究も行われている。実験に使用した岩沼処理区の分別土は、砂質土系で締固め性もよく、有害物質が含まれていないため、岩沼市復興事業「千年希望の丘」の盛土中詰め材としての利用が可能との研究結果が報告されている⁸⁾。平成 28 年台風第 10 号により、岩手県岩泉町、久慈市、宮古市で発生した土砂災害では、土石流、斜面崩壊だけでなく河川の氾濫によって各地で道路上に大量に崩壊土砂が堆積したことが報告されている。その崩壊土砂の有効利用について検討され、崩壊土砂が「砂質・礫質土」に分類され、路体材として仕上がり厚さ 30cm 以下・締固め度 90%以上、路床材として仕上がり厚さ 20cm 以下・締固め度 95%以上の条件を満たすことで、路体材・路床材として利用できることが明らかにされている⁹⁾。

上述したように、東日本大震災によって発生した分別土や津波堆積物のような廃棄物混じり土の有効利用を検討した研究は、積極的に実施されてきている⁷⁻¹¹⁾。一方で、有効利用を停滞させる問題として、東日本大震災で発生し

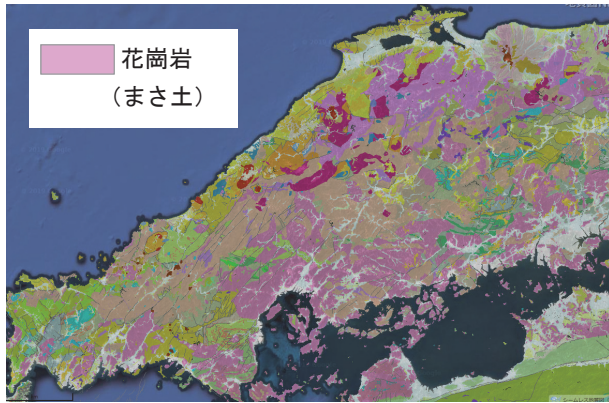
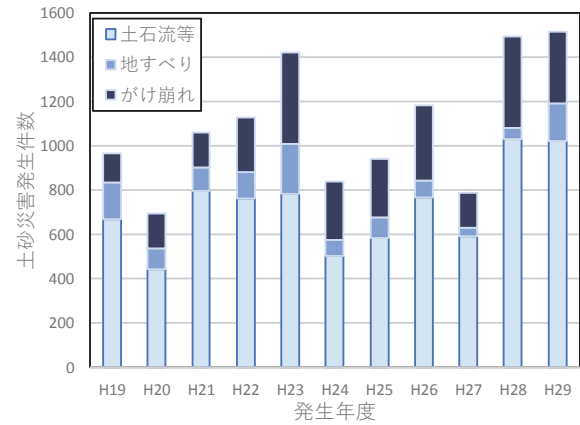

図-1 中国地方の地質図¹⁾

図-2 土砂災害発生件数の推移³⁾


図-3 災害廃棄物混入土砂の発生から有効利用まで

た分別土砂には、除去しきれない細かい木片を主とする夾雑物の混入があることが報告されている¹²⁾。それは、一般環境で遭遇する有機質土や腐植土等に含まれる有機物とは異なる性質を有している。そのため、木片を含む分別土砂の長期的な視点での検討が進められている。具体的には、木片が腐朽することによる力学特性の変化について検討されてきている¹³⁾。加えて、豪雨における土砂災害の発生原因を解明するために、斜面崩壊が発生した地山のまさ土の性質を調査する研究などが実施されてきている¹⁴⁻¹⁵⁾。

しかしながら、豪雨に伴う土砂災害によって発生した廃棄物混入土砂を処理・分別した分別土の土質特性を検討した研究はほとんどない。また、平成30年7月豪雨によって広島県内で発生した豪雨災害廃棄物混入土砂については、復旧が優先であること、土砂災害発生箇所が多いことなどから、分別土砂の土質特性が十分に把握されていないまま利用されているのが現状である。今後、豪雨災害からの復旧・復興における地盤工学の観点からみても、大量に発生した分別土を土木資材に有効利用を促進することは重要である。同時に分別土の土質特性を調査することは、

有効利用をする際に利用用途に応じた品質基準に依拠することから、調査すべき事項だと考える。また、今回の豪雨災害では、地すべりなど斜面崩壊が多く発生しており、木々も土砂と一緒に流されている。このような状況を鑑みると、東日本大震災の分別土砂と同様に木片が混入している可能性もあり、それが確認できる物理特性などを調査し、その土質特性を明らかにすることは重要といえる。

そこで本研究では、平成30年7月豪雨によって広島県内で発生した豪雨災害廃棄物混入土砂を、分別作業によって廃棄物を取り除いた分別土の土質特性を明らかにすることを研究目的とした。また今回採取した分別土は花崗岩の地質特性を有する地域で採取したため、山口県宇部市で販売され、実際の土工材料として用いられている宇部まさ土を用いて、宇部まさ土と土質特性にどのような違いがあるか比較しながら検討することとした。

2. 試料採取および試料の調整方法

本研究では、広島県の広島市および呉市付近の被災現場近くの一次仮置き場と被災現場近くの一次仮置き場から搬出され分別・保管を行う二次仮置き場、そして有効利用先の仮置き場から採取した分別土を試料として用いた。搬入時期の違いや被災場所・分別過程の違いを考慮して分類した合計 6 種類の分別土の土質特性について調査することにし、それらの試料に加えて、宇部まさ土を比較材料として実験に供することとした。

図-4 は、試料を採取した位置情報についてまとめている。図中に示すように、広島県広島市の出島や安芸郡坂町の被災現場や仮置き場などから試料を採取している。図中には、試料を採取した対象地域の崩壊箇所及び地質特性を併せて示している。ピンク色で塗られた箇所は花崗岩の地質特性を示し、緑色で塗られた箇所は海成堆積岩類の地質特性を示している。赤いプロットは、平成 30 年 7 月豪雨における崩壊箇所を示しており、多くの地域で崩壊が発生したことがわかる。産業技術総合研究所地質調査総合センターの地質図の説明¹⁾によれば、土砂災害の被害が大きかった箇所もしくは崩壊箇所の地質特性として、形成時代が中生時・後期白亜紀の花崗岩の地質特性、さらに形成時期の異なる堆積岩の地質特性を有することが報告されており、それらの風化残積土で形成された斜面が崩壊したと考えられる。

採取試料の採取箇所及び時期の詳細を処理フローの区分に対応させて説明する。被災現場近くの一次仮置き場から 2 種類（小屋浦一次仮置き場・坂西一次仮置き場）、被災現場から災害廃棄物混入土砂が搬入され、分別・保管される二次仮置き場から 2 種類（ベイサイドビーチ坂二次仮置き場・北新地二次仮置き場）、そして有効利用先付近の仮置き場から採取時期が異なる 2 種類（出島 8 月採取・出島 9 月採取）の合計 6 種類の試料を採取した。ベイサイドビーチ坂と北新地の二次仮置き場には、それぞれ小屋浦一次仮置き場、坂西一次仮置き場から発生した災害廃棄物混入土砂を分別した土が搬入されている⁶⁾。そして、それら 2 つの試料は出島埋立地に搬入される。ここで、小屋浦一次仮置き場の試料を「小屋浦, Koyaura」、坂西一次仮置き場の試料を「坂西, Sakanishi」、ベイサイドビーチ坂二次仮置き場の試料を「ベイサイド(小), Beisaido(K)」, 北新地二次仮置き場の試料を「北新地(坂西), Kitashinchi(S)」, 出島より 8 月に採取したものを「出島(坂西 8 月), Dejima(S.Au)」, 出島より 9 月に採取したものを「出島(坂西 9 月), Dejima(S.Se)」と略称する。

写真-1 は、採取した試料（原粒度）の一例であり、小屋浦被災現場で採取した分別土である。写真からわかるように、分別土の中には最小径が 50mm の超える岩石等が含まれており、また木片や有機物が若干混入している。目視で取り除けるこれらはわずかであり、調査する土質特性の支配要因とはなり得ないと考えられる。そのため、土質特性を調査するための土質試験では、19mm ふるい通過試料を

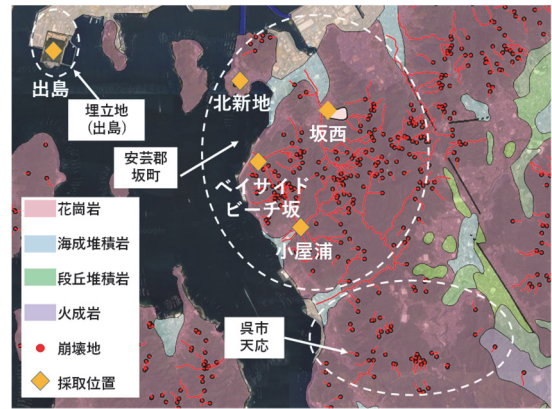


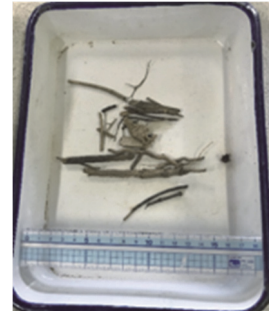
図-4 地質の詳細図¹⁾



(a) 原粒度における分別土



(b) 取り除いた岩石



(c) 取り除いた木片

写真-1 採取した分別土

用いた。粒度調整した試料に対して、粒度試験 (JIS A 1204) および締固め試験 (JIS A 12010) を実施した。また、土粒子密度試験 (JIS A 1202)、強熱減量試験 (JIS A 1226)、液性・塑性限界試験 (JIS A 1205) については、地盤工学会基準に従って実施している。

3. 採取した試料の物理・化学特性

図-5 は、分別土を 19mm でふるい分けして粒度調整したものと、原粒度の試料を比較した粒度分布である。図中、原粒度については、試料名に Ori を付している。

図-6 は、粒度調整した試料のみの粒度分布を示しており、採取した分別土と宇部まさ土の粒径加積曲線を比べると、粗粒分の含有率は、小屋浦やベイサイド(小)に類似しているがそれ以外の分別土とは、最大 20%程度異なる。細粒分含有率についても、宇部まさ土では 10%程度であるのに対し、ほとんどの分別土は 4~9%程度と低い値を示し

表-1 試料の物理・化学特性

Sample	Kitashinchi (S)	Koyaura	Sakanishi	Dejima (S.Au)	Beisaido (K)	Dejima (S.Se)	U.Masado	Miyako(B) ⁵⁾
ρ_s (g/cm ³)	2.617	2.614	2.611	2.610	2.612	2.621	2.632	2.636±0.049
D_{50} (mm)	1.20	1.85	0.78	1.15	1.85	1.10	1.55	/
F_c (%)	6.2	4.5	5.8	7.4	5.2	9.2	10.9	17.7±12.5
U_c	13.5	11.4	9.2	18.1	11.4	22.5	51.3	/
U_c'	1.1	0.9	1.0	0.8	0.9	1.6	3.0	/
L_i (%)	1.41	1.10	1.05	2.01	1.57	2.42	2.41	6.6±3.5
w_P (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	/
w_L (%)	NP	30.9	33.4	NP	NP	31.0	30.5	/
Soil classification	SF-G	SF	SF-G	SF-G	SF-G	SF-G	SF-G	SF/SG

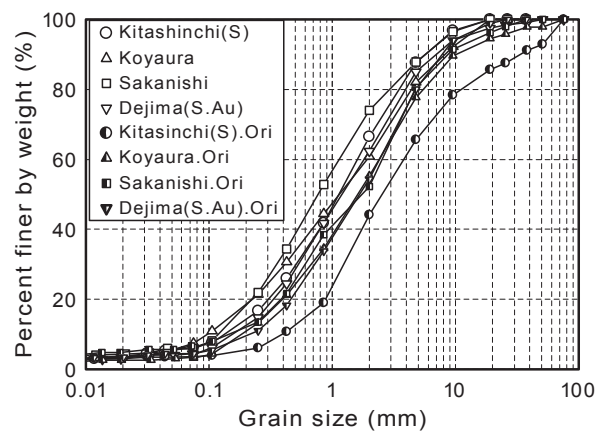


図-5 粒度調整前後の分別土の粒度分布

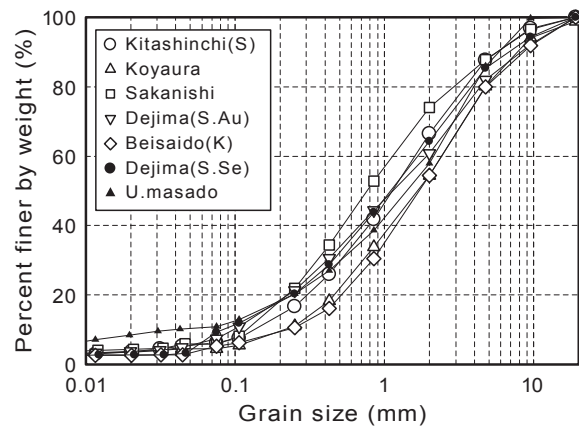


図-6 粒度調整した試料の粒度分布

た。これらのことから分別土は、宇部まさ土に比べ、若干、細粒分が少なく僅かではあるが分級されたような粒度を示しているといえる。

表-1 は粒度調整した試料の物理・化学特性をまとめたものであり、土粒子密度の結果に関して、宇部まさ土と採取した分別土の値はさほど差異はなく、2.6～2.7(g/cm³)の範囲に収まっており、宇部まさ土と近い値を示した。次に均等係数に着目すると、宇部まさ土の値が高く、分別土は全体的に低い値を示した。細粒分含有率に着目すると、被災現場で採取した分別土、仮置き場で採取した分別土、再

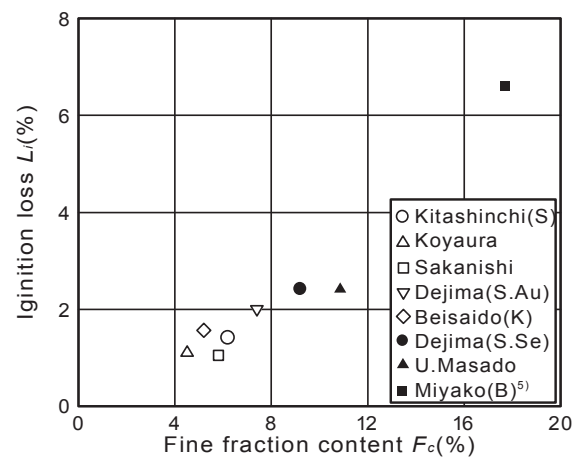


図-7 細粒分含有率と強熱減量の関係

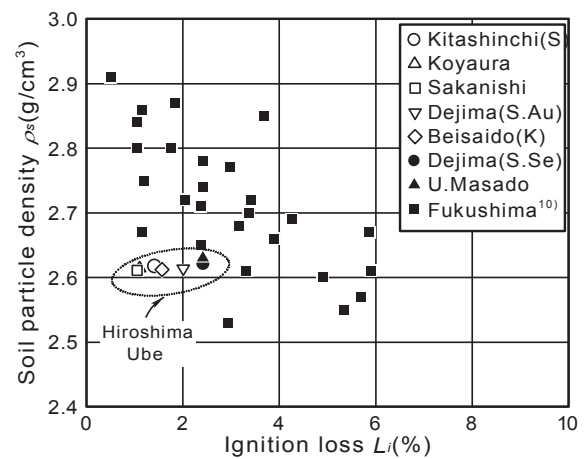


図-8 強熱減量と土粒子密度の関係

利用先で採取した分別土の順で細粒分含有率の値が高くなっていることがわかる。

今回は強熱減量試験を実施することで、東日本大震災によって発生した分別土と豪雨災害によって発生した分別土の有機物含有量を比較し、異なる災害によってどれほど有機物の含有量に差異が生じるのか、木片などの夾雑物の混入が認められるかを調査する。強熱減量の値を比較してみると、宇部まさ土と比べて差異がほとんどないが、東日

本大震災によって発生した岩手県宮古市の分別土(B 種)¹⁰⁾と比べると、豪雨災害によって発生した分別土の値は低く、木片等の有機物がそれ程多く含まれていないことが分かる。これは豪雨災害によって発生した堆積土よりも津波によって発生した堆積土の方が有機物の含有量が多く、豪雨と津波で土の堆積方法の違いによって有機物の量も異なるからだと考える。東日本大震災の分別土の調査結果では、解体家屋や防潮林に由来するもの¹²⁾や、災害前の農地利用時の有機物が含まれている¹¹⁾との報告がある。これに対して、本分別土は、防潮林に由来するものはなく、土砂が溪流に沿って流出したため、農地利用時の有機物が混在する可能性も低い地域であったと推察される。また、土砂災害に巻き込まれた木々は分別できないほど、細粒化されなかったため、有機物の含有量が少なくなったと考えられる。

表-1 に液性・塑性限界試験の結果も併せて示す。すべての試料で塑性限界を測定することができなかったため、非塑性の試料であることが分かった。液性限界についても北新地(坂西)と出島(坂西 9 月)、ベイサイド(小)の 3 試料に関しては、液性限界を測定することができず NP を示した。液性限界を測定できた試料のシルト分は低液性限界である ML に分類された。

本研究では、粒度試験と液性限界・塑性限界試験の結果を用いて、分別土に対して地盤材料の工学的分類を行った。

その結果、小屋浦の粒度調整した試料は礫質砂(SF)に分類され、それら以外の試料はすべて細粒分まじり礫質砂(SF-G)に分類された。

図-7 に、細粒分含有率と強熱減量の関係を示す。また、東日本大震災の際に調査された津波堆積物混入土砂の結果も併せて示す。図より、細粒分含有率が高くなるほど強熱減量の値も高くなり、正の相関関係を示していることが分かる。東日本大震災の分別土には、細粒化した木片等の夾雑物が含まれていることを考慮すると、本研究の分別土は、いずれの値も小さいことから、細粒化した木片などの夾雑物の混入がほとんどないといえる。

図-8 は強熱減量の値と土粒子密度の関係を示している。東日本大震災で福島県に発生した分別土のデータなどから、有機物の含まれる割合が高いほど、土粒子密度の値は低くなり、強熱減量の値も高いことが報告されている¹⁰⁾。しかしながら、本研究の実験結果では、強熱減量の値が増加しても、土粒子密度の値はそれほど大きな差異は生じなかった。つまり細粒分には有機物がそれほど含まれていないことがわかる。含有されている粘土鉱物や無機鉱物内の結晶水が、有機物量として計量されたため、強熱減量の値が高くなったと考えられる。そのため前記した 2mm 以下もしくは細粒分には有機物ではなく結晶水が含まれるシルト分や粘土分の割合が高いと考えられる。

4. 採取した試料の締固め特性

安定性を調査するために締固め試験を実施した。突固め

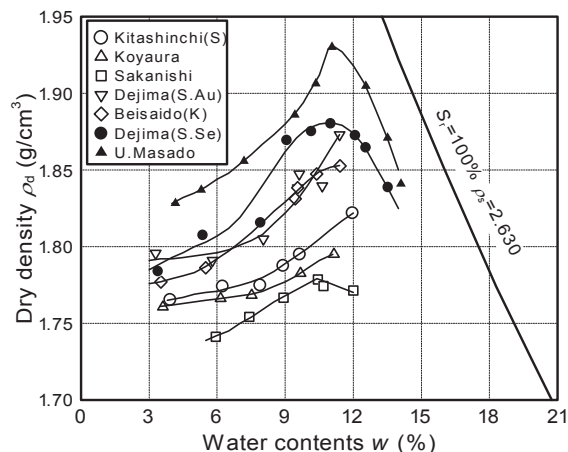


図-9 用いた試料の締固め曲線

表-2 用いた試料の締固め試験結果

Sample	W_{opt} (%)	ρ_{dmax} (g/cm³)	S_{max} (%)	V_{max} (%)
Kitashinchi (S)	12.0	1.820	70.1	8.8
Koyaura	11.1	1.795	62.3	11.8
Sakanishi	10.4	1.782	58.7	13.0
Dejima (S.Au)	11.4	1.868	76.4	6.5
Beisaido (K)	11.4	1.853	71.0	7.5
Dejima (S.Se)	11.6	1.881	73.4	6.2
U.Masado	11.1	1.931	83.8	4.8

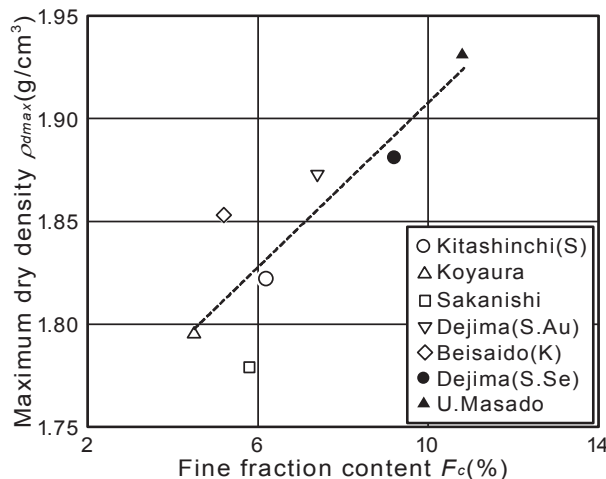


図-10 細粒分含有率と最大乾燥密度の関係

方法の設定をするにあたり、試験に用いる試料が粒子破碎しやすいまさ土とまさ土に近い物理・化学的性質を有している分別土であること、また粒度調整した試料の最大粒径が 19mm であることを踏まえ、締固め試験は A-b 法で実施した。

図-9 は締固め試験の結果によって得られた各試料の締固め曲線を示している。また、表-2 に締固め試験の結果を示す。図-9 より、自然砂である宇部まさ土は締固め曲線が



(a) 小屋浦の締固め後に水が染み出す様子



(c) 小屋浦の $w=10\%$ 時の様子



(e) 宇部まさ土の $w=11\%$ 時の様子



(b) 小屋浦の試料から水が染み出している様子



(d) 小屋浦の $w=12\%$ 時の様子



(f) 宇部まさ土の $w=14\%$ 時の様子

写真-2 締固め試験における試料の様子

凸の形を示し最大乾燥密度と最適含水比の値が明確に表れたのに対し、出島（坂西 9 月）以外の採取した分別土は含水比が約 13%を超えると、試料から水が染み出し、締固めが適切にできなかった。水の染み出しは、時間の経過とともに生じ、定常な状態での含水比測定が困難であったため、計測された含水比の値に本質的な意味がないと考え、水が染み出す範囲におけるプロットは示さないこととした。そのため含水比 13%以降適切に締固めが行えた出島（坂西 9 月）とすでに低い乾燥密度でピークが確認された坂西以外の分別土は上に凸の締固め曲線を描くことができなかった。表-2 に締固め試験の結果を示しているが、セルを灰色に塗りつぶした試料に関しては、水が染み出し、適切に締固めができなかったことを示している。写真-2(a), (b)は、小屋浦で採取した分別土の含水比 13%における締固め試験の様子で、試料から水が染み出していることが確認することができる。したがって、適切な締固めが行われなかった試料の最大乾燥密度は、締固め曲線が描ける範囲での最大値とした。写真-2(c), (d)は、小屋浦の締固め試験後の試料を取り出した際の様子を示している。写真に示すようにいずれの含水比時においても、試料が適切に締固められていない。写真-2(e), (f)は、宇部まさ土の締固めの時の様子を示しており、ピーク時において締固めが適切に行えていることがわかる。また含水比が 14%を超えても、締

固めが行えていることがわかる。

全ての試料の締固め曲線より、宇部まさ土や出島（坂西 9 月）など細粒分含有率の値が 8%を超える試料は、締固め曲線の傾斜が急で、鋭く立った形状をしていることから、粒径幅の広い試料であるといえる。一方で細粒分含有率の値が低い分別土については、締固め曲線はなだらかな形を示しおり、均等係数の結果からもわかるように、粒径幅が狭い試料であることが分かる。

図-10は細粒分含有率と最大乾燥密度の関係を表しており、細粒分含有率の値が高くなるほど最大乾燥密度の値も高くなっていることから、両者には正の相関がある。災害現場で採取した土は細粒分含有率の値が低く、最大乾燥密度の値も低いことから、細粒分含有率の値が低いことが締固め特性にも影響を与えたといえる。

5. 細粒分含有率に着目した締固め試験

前節に示した締固め試験の結果から、豪雨災害分別土において、含水比が約 13%を超えたあたりから、試料より水が染み出し締固めが適切に行えない状態になった。それに伴い正確な最大乾燥密度の値が読み取れなくなったことから、現場の施工において締固めの管理がしにくい材料で

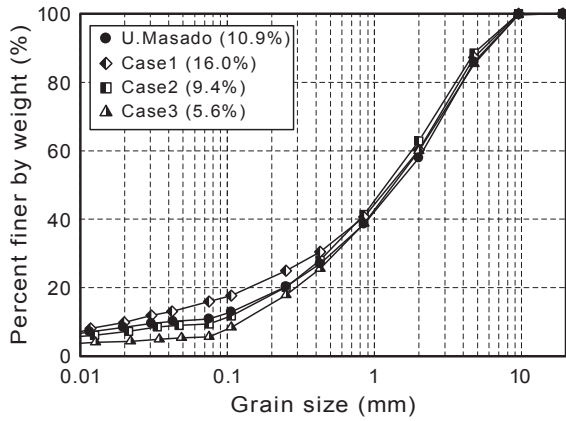


図-11 F_c を変化させた宇部まさ土の粒度分布

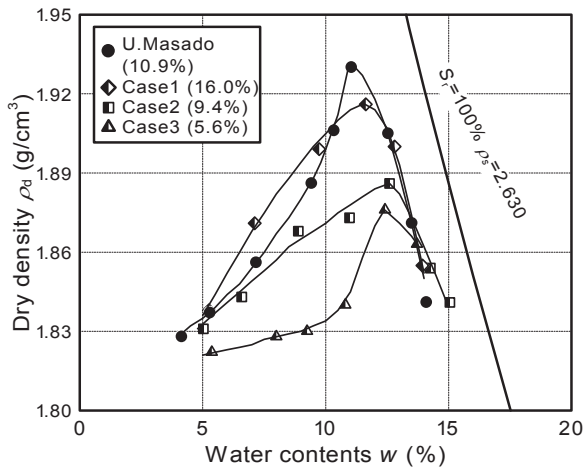


図-12 F_c を変化させた宇部まさ土の締固め曲線

あると考えられる。

締固めが適切に行えない原因として、宇部まさ土の細粒分含有率が約 10%であるのに対し、分別土の細粒分含有率が約 4～9%と低い値を示したことが原因で締固めが適切に行えないと考えられた。

そこで、前節の締固め試験の結果より、締固めが適切に行え、最大乾燥密度が適切に示せる締固め曲線を描いた宇部まさ土を用いて検討する。具体的には、宇部まさ土の細粒分含有率を変化させることで、最大乾燥密度や最適含水比の値に変化が表れるか、もしくは締固め特性がどのように変化するかを調査することとした。細粒分含有率を変化させるにあたり、宇部まさ土を 0.075mm ふるいで細粒分を取り除き、その後、ふるい分けした試料に細粒分を加えることで、任意の細粒分含有率になるように調整した。

図-11 に、細粒分含有率を変化させた宇部まさ土の各ケースの粒度分布をまとめて示している。原粒の宇部まさ土の細粒分含有率は 10.9%のため、ここでの締固め試験では、細粒分含有率を約 5%増やしたケース 1 (16.0%)と、約 1%減らしたケース 2 (9.4%)、約 5%減らしたケース 3 (5.6%)の合計 3 ケースを原粒の宇部まさ土と比較することとした。図-12 は各ケースの締固め曲線を示している。表-3 には粒度試験と締固め試験より得られた結果をまとめて示している。

粒度試験の結果より細粒分含有率を増加させた Case 1

表-3 F_c を変化させた宇部まさ土の試験結果

	U.Masado (10.9%)	Case 1 (16.0%)	Case 2 (9.4%)	Case 3 (5.6%)
F_c (%)	10.9	16.0	9.4	5.6
U_c	51.3	100.0	23.1	16.7
U_c'	3.0	4.4	1.6	1.2
D_{50} (mm)	1.55	1.35	1.20	1.45
ρ_{dmax} (g/cm³)	1.931	1.916	1.886	1.876
W_{opt} (%)	11.1	11.6	12.6	12.4

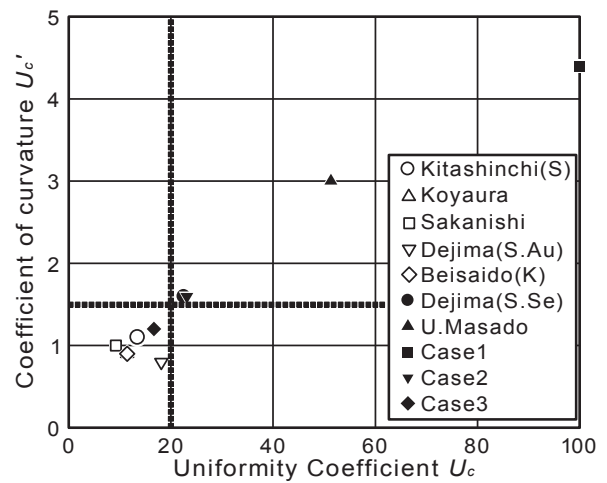


図-13 均等係数と曲率係数の関係

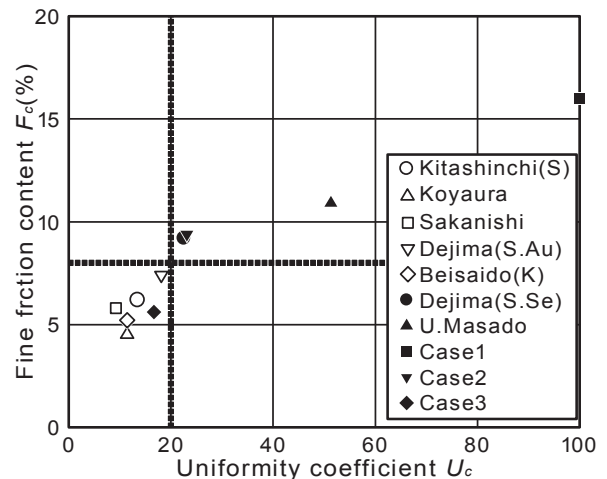


図-14 均等係数と細粒分含有率の関係

においては、均等係数と曲率係数の値が高くなっていることから、粒径幅が広がっている。一方で、細粒分含有率を減少させた Case 2 と Case 3 においては、均等係数と曲率係数の値が原粒の宇部まさ土に比べて、半分以下になった。

図-12 より、最大乾燥密度は原粒の宇部まさ土が一番高い値を示し、ケース 2 とケース 3 では細粒分含有率が低くなるにつれて、最大乾燥密度の値も低下している。これは

細粒分が減少したことによって、水分を保持する能力が低下したためと考えられる。ケース 1 の場合、細粒分含有率の値は高いが、最大乾燥密度の値は高くなり、締固め曲線はなだらかな形を示した。細粒分含有率が高くなることで、水分を保持する能力は高まっているが、多くなった細粒分の影響で締固められにくくなったため、このような結果を示したと考えられる。

さらにケース 3、つまり細粒分含有率を約 5%減らしたものに関しては、含水比が 13%を超えると、締固めをした際に、分別土と同様に突き固め表面から水が染み出し適切に締固めができなかった。このことから、細粒分含有率がある一定値以下になると、水分の保持能力が低下し、その結果、締固め曲線を適切に描くことができなくなるといえる。

締固め特性に影響を及ぼしている要因を調査するために、均等係数と曲率係数、細粒分含有率の関係を検討する。図-13 は、粒度調整した分別土と原粒の宇部まき土及びその細粒分含有率を変化させた合計 3 ケースの均等係数と曲率係数の関係を、図-14 は、それらの均等係数と細粒分含有率の関係を示している。両方の図中に示しているすべての点線は、適切に締固めが行えたか否かの境界を示している。つまり点線で囲まれた右上の部分に結果があるものは、適切に締固めが行えたことを示し、左下に結果があるものは適切に締固めが行えなかったことを示している。これらを数値で示すと、本研究で用いた試料では、均等係数が 20 以下かつ曲率係数が 1.5 以下、細粒分含有率が 8.0% 以下では適切に締固めができないことがあきらかとなった。

6. まとめ

本研究では、平成 30 年 7 月豪雨によって広島県内で発生した災害廃棄物混入土砂を分別処理した豪雨災害分別土の土質特性を明らかにすることを目的とした。

その結果、災害現場で採取した分別土は、物理・化学的性質のデータがまき土と近い値を示し、また地盤材料の工学的分類に関しても、ほぼ同様に分類することができた。しかし、細粒分含有率が宇部まき土に比べて低いことが判明した。強熱減量を調査した結果、採取した分別土は東日本大震災によって発生した分別土と比べて低く、宇部まき土の強熱減量の値よりも低いことから、有機物はほとんど含まれていないことがわかった。

細粒分含有率が低いことは締固め特性に影響を及ぼしており、宇部まき土と分別土の出島（坂西 9 月）以外は含水比が 13%以上になると、締固めを適切に行うことができなかった。それに伴い、適切な締固め曲線を描くことができず、適切な最大乾燥密度と最適含水比を求めることができなかった。

細粒分の変化が締固めにどのような影響を及ぼすか調査するために、自然砂である宇部まき土の細粒分含有率を

所定の割合になるよう配合し締固め試験を行った。その結果、細粒分含有率が減少したことに伴い、均等係数と曲率係数の値も減少し、そして細粒分含有率が 8%、均等係数が 20、曲率係数が 1.5 を下回ると適切に締固めが行えないことが確認された。

謝辞：本研究の一部は、西日本豪雨復興支援（A-STEP 機能検証フェーズ）の助成を受け実施いたしました。なお、災害現場の情報提供や試料採取については、国土交通省中国地方整備局、広島県港湾局の関係各位に多大な便宜を図っていただきました。また、一部の実験については、一般財団法人建材試験センター西日本試験所の関係各位に多くの協力をいただきました。ここに記して、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター：地質図表示システム 地質図 Navi, 2017.
https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#13,34.34214,13.248599_（参照 2019.4.15）
- 2) 北川隆司：花崗岩のマサ化とメカニズムと斜面崩壊、粘土科学、第 39 巻、第 1 号、pp.37-44, 1999.
- 3) 内閣府：平成 29 年版 防災白書 【附属資料 21】土砂災害の発生状況の推移、2017.
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/H29_honbun.pdf（参照 2019.4.15）
- 4) 気象庁 HP：平成 30 年 7 月豪雨(前線および台風 7 号のよる大雨等) 平成 30 年 (2018 年 6 月 28 日~7 月 8 日)
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/20180713.html>,（参照 2019.4.15）
- 5) 公益社団法人 土木学会中国支部：2018 年 7 月西日本豪雨災害調査報告書、p.1, 2018.
- 6) 平成 30 年 7 月豪雨災害に係る広島県災害廃棄物処理実行計画（2018 年 8 月 31 日）
https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/life/543180_1621333_misc.pdf,（参照 2019.4.15）
- 7) 森友宏, 風間基樹, 大沼清孝, 大山浩一, 相川良雄：震災がれきおよび津波堆積物由来の木屑混じり発生土の有効利用のための土質力学特性と社会的コストの評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.10, No.1, pp.67-79, 2015.
- 8) 三反畑勇, 塩崎功, 坂本守, 弘末文紀, 砂山浩紀：木くず等の夾雑物を含む土砂を利用した地盤材料の締固め特性, ハザマ研究年報, Vol.44, No.6, pp.1-7, 2012.
- 9) 八木澤武士, 張磨陽祐, 山川裕美恵, 大河原正文：平成 28 年台風第 10 号により岩手県岩泉町、久慈市、宮古市で発生した土砂災害, 第 52 回地盤工学発表会

- 発表講演集, No.1032, pp.2061-2062, 2017.
- 10) 高井敦史, 保高徹生, 遠藤和人, 勝見武: 東日本大震災における津波堆積物の分布特性と物理化学特性, 地盤工学ジャーナル, Vol.8, No.3, pp.391-402, 2013.
- 11) 高井敦史, 川島光博, 勝見武, 乾徹, 岩下信一, 大河原正文: 東日本大震災で発生した岩手県の災害廃棄物分別土砂の品質とその変化, 土木学科論文集 C(地圏工学), Vol.72, No.3, pp.252-264, 2016.
- 12) 勝見武: 災害廃棄物分別土砂・篩下残渣の物性評価と, 戦略的有効利用に向けた基準化, 平成 27 年度 環境研究総合推進費終了成果報告書(3K133003), 92p, 2015.
- 13) 新木毅, 浜島圭佑, 中野正樹, 野々山栄人: 木材腐朽菌による腐朽促進させた災害廃棄物の力学特性の把握に向けた基礎的研究, 第 46 回地盤工学研究発表会 発表講演集, No.1000, pp.1999-2000, 2014.
- 14) 川村志麻, 三浦清一: 北海道に分布する風化残積土の物理・力学挙動とその工学的評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.13, No.2, pp.159-170, 2018.
- 15) 後田真里, 中出雄也, 中田幸男, 兵動正幸, 吉本憲正: 土石流災害の発生した勝坂および奈美地区におけるまさ土の地盤材料特性, 第 46 回地盤工学研究発表会 発表講演集, No.915, pp.1829-1830, 2011.

(2019 年 6 月 17 日 受付)

