

分別土砂中の木屑の分解・消失を模擬した土の変形特性の評価

体積ひずみ 相対密度 模擬実験

愛知工業大学 国際会員 ○中村吉男
 愛知工業大学 辻 直紀
 (一社) 泥土リサイクル協会 正会員 野口真一
 (株) アイコ 正会員 嶋田 稔
 国立環境研究所 国際会員 肴倉宏史

1. はじめに

東日本大震災では約 3, 100 万トンの災害廃棄物が発生¹⁾した。復興・復旧作業においては土砂をはじめとする多量の復興資材が必要となったことから、一般の土工では廃棄される木屑などの夾雑物が混じる分別土砂についても地盤工学特性の解明に取り組み、復興資材として利活用された。しかしその用途は、多少の沈下が許容される海岸防災林の植栽基盤などに制限されたり、利活用の際にモニタリングが義務付けられるなどの付帯条件が課せられた。これは木屑などの夾雑物は将来的に腐朽して消失することが懸念されるが、夾雑物混じり分別土砂の中長期的挙動には未解明な点が多く、夾雑物混じりの分別土砂の積極的な利活用を阻む要因となった。本研究は、木屑などの夾雑物が混入した分別土砂の中長期的な挙動のうち、変形特性の解明を目的として、土砂(珪砂)に木屑を模擬したミョウバンを混入させた模擬分別土砂を作製し、土の締まり具合や夾雑物混入率が土砂の変形特性に及ぼす影響について評価するものである。

2. 実験概要

2.1 実験条件 本実験では三軸圧縮試験機を用いて模擬分別土砂の変形特性を評価した。具体的には、三軸圧縮試験機に供試体をセットし、等方圧力状態での体積ひずみを測定した。実験要因と水準を表-1に示す。

2.2 実験試料 模擬分別土砂の母材としては5号珪砂を使用し、夾雑物である木屑としては水溶性のミョウバンを用いた。母材として珪砂を選定した理由は、本実験においてはミョウバンを木屑に見立てて混合するが、木屑の消失、すなわちミョウバンが分別土砂から溶出しきったことを確認するのに、浸出水の電気伝導率を測定することによって行うため、浸出水の電気伝導率に影響を及ぼすことが少ない珪砂を選定した。また、ミョウバンは1価の陽イオン(K, NH₄, Naなど)の硫酸塩M₁I₂(SO₄) (M:アルカリ金属)と3価の金属イオン(Al, Fe, Crなど)の硫酸塩M₃I₂(SO₄)₃の複塩の総称であり、単にミョウバンといった場合は硫酸カリウムアルミニウム十二水和物AlK(SO₄)₃・12H₂O(通称、カリミョウバン)を指す。水に溶けやすく、高温でより多く溶けるといった特長を有する。カリミョウバンは食品添加物にも指定され、市販の焼きミョウバンより水溶性が高いことから、本実験ではカリミョウバンを使用した。珪砂およびミョウバンの物理特性を表-2に示す。

2.3 実験方法 (1) 供試体の作成方法 珪砂とミョウバンを所定の混合比となるように計量し、バットの上で均質になるように混合した。混合した試料を直径10 cm、高さ20 cmのサミットモールドに、所定の相対密度になるように、2.5 kgランマーを用いて5層で突固めて供試体を作成した。模擬分別土の母材は非粘着土(珪砂)であることから、脱型後の供試体が自立しないこと、及びDr=60%の供試体は各層のエネルギーを一定にした密度の均一性を確保することから、モールドに試料を詰める際に、締固め密度調整と自立を目的としてφ5 mm程度の氷片をフードミキサーで破碎し、締固め度に応じて各層あたり10~20 g添加した。さらに、供試体の自立性を高めるため、モールドに詰めた状態で供試体を-18℃の冷凍庫に入れ、24時間静置して凍結させた。

(2) 変形試験 24時間凍結させた供試体は脱型し、ゴムスリーブを被せて三軸圧縮試験機にセットし、所定の側圧で等方圧力を作用させた状態で、三軸圧縮試験機の背圧装置を利用し、上向流で30m l/minの脱気水(純水)を供試体内に通水させた。この作業は、試料を飽和させること及びミョウバンを溶解して消失させることを目的としている。また、

表-1 実験要因と水準

要 因	水 準	摘 要
相対密度 (Dr)	3	95, 80, 60 (%)
ミョウバン混入率 (P _m ^{注1)})	4	0, 5, 7, 10 ^{注3)} (%)
等方圧力σ ₃ ^{注2)}	3	100, 200, 300 (kPa)

注1) P_m=M_m/(M_s+M_m)P_m: 分別土砂中のミョウバン混入率 (%)M_m: ミョウバンの乾燥質量 (g)M_s: 珪砂の乾燥質量 (g)

注2) JGS 0524において規定される“圧密圧力”

注3) P_m=10%はDr=95%のみ実施

表-2 珪砂およびミョウバンの物理特性

項 目	5号珪砂	ミョウバン
粒子密度 (Mg/m ³)	2.625	1.76
最大粒径 (mm)	0.85	0.15
粗砂 (%)	0.2	0.4
中砂 (%)	95.4	13.8
細砂 (%)	4	39.4
粘土・シルト分 (%)	0	46.4
工学的分類	分類名 記号	砂 SF

浸出水を回収し、電気伝導率 EC を計測してミョウバンの溶解状況を確認した。すなわち、ミョウバンの溶解量と電気伝導率 EC の関係を別途求めておき、回収した浸出水の電気伝導率からミョウバンの溶解量を算定して分別土砂に混有したミョウバンの質量と比較することで、木屑に見立てたミョウバンの消失状況を確認できる。一方、等方圧力状態での供試体の体積変化は、二重管式三軸セルを用いて内側セルの水位変化量を測定することにより求めた。上記方法で供試体内のミョウバンが完全に消失したことを確認し、その時の体積変化量 (ΔV) と初期体積 (V_0) より、変形の程度を表す諸量として体積ひずみ ($\varepsilon_v = \Delta V/V_0$) が求められる。

4. 実験結果及び考察

図-1 はミョウバンの混入率 $P_m=0\%$ のときの σ_3 と ε_v の関係を示す。 σ_3 の増加に伴って ε_v も増加し、相対密度が小さくなるにつれて ε_v が増加している。図-2 は分別土砂中のミョウバン混入率をパラメータとしたときの σ_3 と ε_v の関係を示したものである。 σ_3 の増加に伴って ε_v は増加するとともに、ミョウバンの混入率が大きくなるにつれて、同様に ε_v は増加する。また、相対密度が小さくなるにつれて ε_v が大きくなっている。しかし、 σ_3 の増加に伴う ε_v の増加は減少傾向にあり、しかも $Dr=60\%$ 、 $P_m=7\%$ での試験条件では σ_3 が増加しても ε_v はほぼ一定となっている。このときの供試体の間隙比を求めると、ミョウバンが消失したことにより生じた間隙には等方圧力の作用によって土粒子が充填され、供試体の初期間隙比と等方圧縮後の間隙比は等方圧力の大きさに関わらず一致していることが確認されている。図-3 は、ミョウバンの消失に伴う σ_3 と $\Delta \varepsilon_v$ の関係を示したものである。これは図-2 において、ミョウバンを混入したときの ε_{vm} から、ミョウバン混入率 $P_m=0\%$ のときの ε_{v0} を差し引いたものである。本研究ではこれを消失ひずみ ($\Delta \varepsilon_v$) と称し、 $\Delta \varepsilon_v = \varepsilon_{vm} - \varepsilon_{v0}$ として定義する。この結果から、ミョウバンの消失に伴う変形量 $\Delta \varepsilon_v$ は、ミョウバン混入率が高くなると大きくなること、相対密度が大きくなると大きくなることに加え、等方圧力の大きさに依存しないことが伺える。ここで、ミョウバンの質量混入率 (P_m) とミョウバンの粒子密度 (ρ_m) および締固め乾燥密度 (ρ_d) からミョウバンの体積混合率 (P_v) は形式的に $P_v = P_m \times \rho_d / \rho_m$ で表される。図-4 は、模擬分別土砂中のミョウバンの P_v とミョウバンの消失に伴う $\Delta \varepsilon_v$ の関係を示したものである。 $Dr=60\%$ の試料においては、 $P_v \approx \Delta \varepsilon_v$ を呈するが、ミョウバンの混入量が少なく、相対密度が大きくなると $\Delta \varepsilon_v < P_v$ なる関係を呈し、 $\Delta \varepsilon_v$ の抑制には土の締め固めが重要であるものと推定される。これには、ミョウバンが消失しても、土粒子の骨格が変形に抵抗していることが起因しているものと考えられる。木屑が完全に消失した場合の地盤の変形は木屑が消失した体積分の変形が生じるとして、分別土の利用が躊躇されてきたが、この結果から、締め固めが十分行われるならば、木屑の消失により木屑が占める体積が全て空隙となったとしても、土の骨格等により空隙の全てが変形に寄与するものではないことが示唆される。

5. まとめ

分別土砂中の木屑が消失した場合の地盤の変形特性に関して、ミョウバンを用いた模擬実験から以下の知見が得られた。

- ① 木屑等の混入率が同じ場合、締め固めがルーズなほど変形は大きくなる。
- ② 地盤の締め固め具合が同じ場合、木屑等の混入率が大きくなるほど地盤の変形は大きくなる。
- ③ 分別土砂中の木屑が消失しても、地盤の体積減少は木屑等の消失体積より小さく、木屑の消失により木屑が占める体積が全て空隙となったとしても、土の骨格等により空隙の全てが変形に寄与するものではないことが示唆された。

【参考文献】

- 1) 環境省：東日本大震災等の経験に基づく災害廃棄物処理の技術的事項に関する報告書平成 29 年 3 月

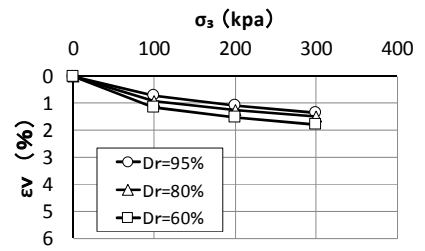


図-1 σ_3 と ε_v の関係 ($P_m=0\%$)

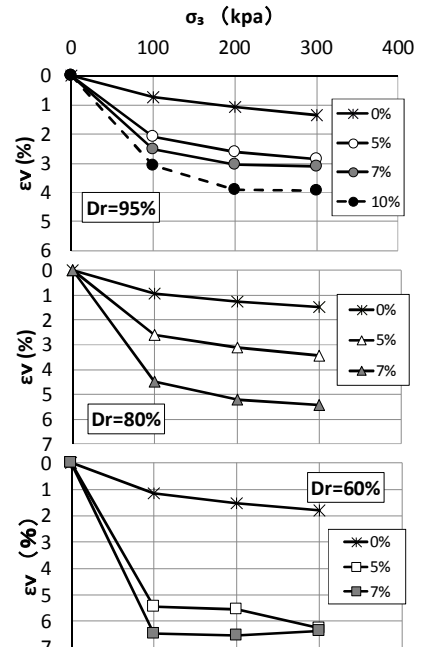


図-2 σ_3 と ε_v の関係 ($P_m=0, 5, 7, 10\%$)

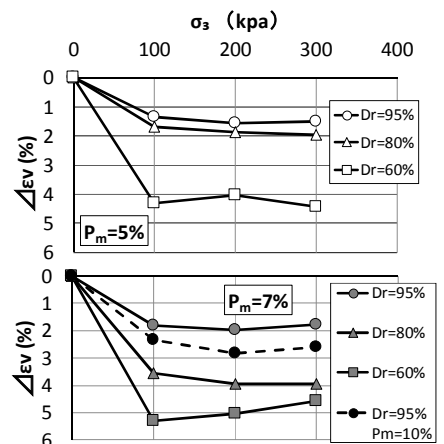


図-3 σ_3 と $\Delta \varepsilon_v$ の関係

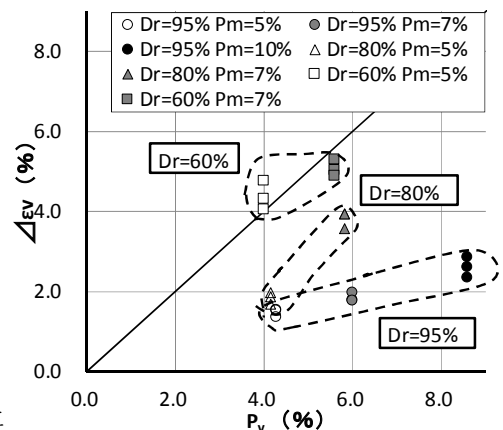


図-4 P_v と $\Delta \varepsilon_v$ の関係