



キーワード	建設発生土、残土処分、リサイクル、再生改良土、溶融スラグ		
フェーズ	<input checked="" type="checkbox"/> 基礎研究段階	<input type="checkbox"/> 実証・応用研究段階	<input type="checkbox"/> 実装段階

## 研究内容

### 1. 研究の背景と目的

国土強靱化事業により、近年土砂発生量が増加の一途を辿っている。静岡県内では、建設発生土(図-1)のリサイクルへの取組を推進する一方、有効活用できない場合には残土処分場において、3割弱が処分されているのが現状である<sup>1)</sup>。また、熱海土石流以来の盛土規制強化<sup>2)</sup>により、残土処理施設における管理水準の高度化の下、リサイクル化の動きが鈍いのが現状である。公共建設工事では、「リサイクル原則化ルール」により、50 kmの範囲内の他の建設工事への搬出を検討するが、利用困難な場合、経済比較(運搬・処分費等)を行い最も安価となる残土処分場へ搬出している。しかし、袋井市をはじめとする西部地区では残土処分場は減少傾向にあり、処分場の容量が不足しているため、今後一層の逼迫が懸念される。したがって、建設発生土の発生抑制と共に、建設発生土の利用基準や土質改良土等の品質基準の整備を行い再利活用促進が必要となる。そこで、現行の各種「発生土利用基準」や「盛土規制法」<sup>2)</sup>などにおいて、建設材料として適用用途を満たさない不良土の場合、他の材料との組み合わせ改良によって再利用を可能とする「再生改良土」の利用推進に向けた基礎的検討を行うものとした。

### 2. 研究の流れ

研究の全体像を図-2に示す。(1)基本条件の整理、(2)物理・力学基本特性の把握、(3)用途別指標の整理、(4)再生改良土の品質評価手法のうち、ケーススタディとして、R5年度は(1)と(2)を行い、現場の実証を経て、スラグの利用促進とガイドラインの提案を最終目標としている。

### 3. 使用材料

#### (1)建設発生土(写真-1(a))

建設発生土には、第1種から第4種までの建設発生土がある。第1種が最も使い勝手が良く埋戻し材や裏込材として、また、道路盛土、宅地造成、構造物の裏込材や河川築堤材料などに利用される。このように、各種基準で求められる地盤材料としての要求性能や、現場ごとに発生土の品質が異なるが、今回は、袋井市建設残土再生事業協同組合により袋井市友永の現場からの材料提供を受けて、再生改良土の母材として用いた。

#### (2)改良材(写真-1(b))

鉄の製造時の副産物である鉄鋼スラグなどは、港湾工事を中心に、既に多くの現場において土工材料として利用されてきた実績がある。水和反応によって、スラグ粒子間にセメンテーション効果を生ずる、所謂水硬性があることも知られていることから、通常の設計では母材として用いられるが、積極的に利用しようとする場合にはc材料として扱うことも出来る。一方、本研究では、排ガスの放出や最終処分場への持ち込み量の低減化、鉄鋼スラグを含め、ごみの再資源化に資することを念頭に、この製鉄の高炉技術を用いたガス化溶融炉により、廃棄物や下水汚泥の焼却灰等を1300℃以上の高温で溶融し冷却・固化させた材料<sup>3)</sup>を用い、母材としての適性を調べた。

### 4. 試験結果

母材となる発生土(原土と呼ぶ)への溶融スラグの混入率は、0%(原土のみ)、10%~50%、100%(溶融スラグのみ)とする。これらに対し、粒度試験、締固め試験、三軸CD試験を実施し、物理、力学的性質を把握した。

#### (1)基本的性質と粒度特性

図-3に粒度試験結果を示す。「ふるい分け前」とは、原土提供時の材料をそのまま改良土の母材として用いた試験結果であり最大粒径が $D_{max}$ が37.5mmの石が多量に混入している。一方、「ふるい分け後」は、三軸試験の実施が可能になるよう、9.5mmふるい通過分の材料を用いており、 $D_{max}$ が4.75mmとし、ふるい分け前の粒径加積曲線からの推定結果を示している。なお、原土は細粒分質礫質砂(SFG)、スラグ混入土は細粒分まじり礫質砂(SG-F)、スラグは砂(S)に分類される。コーン指数などによる評価から、原土は第2b種と判断され、スラグを混入することで第1種の判定となった。図-4は、ふるい分け前の均等係数 $U_c$ ( $\geq 10$ が良質土)と曲率係数 $U_c'$ (1~3が良い良質土)を示しているが、スラグ混入率が40%を上限に、粒度が良いと判断される。

#### (2)締固め特性

図-5にふるい分け前後の締固め曲線を示す。ふるい分け前については、スラグ単体を除き礫含有率が多く凸状の曲線形状を描くが、ふるい分け後はなだらかな曲線を示す。図-6にスラグ混入率と最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ および最適含水比 $w_{opt}$ の関係を示す。 $\rho_{dmax}$ については、スラグ混入率が50%以上でふるい分けの影響が薄れる、つまり粒度の影響が無くなる傾向を示し、 $w_{opt}$ はスラグ混入率が40%以上で同様な傾向を示していることからスラグ混入率が40%程度以上の範囲で、材料品質や施工性に変化がなくなると推察される。

#### (3)力学特性

土木設計上、母材として評価するため、圧密排水三軸圧縮試験(CD試験)を実施した。供試体は、ふるい分け後締固め試験結果より、締固め度 $D_c$ が95%と85%に密度調整して試験を実施した。前者は、土工の管理基準値相当であり、後者は施工不良をイメージしている。有効拘束圧 $\sigma'_c = 40, 100, 200$  kPaで試験を実施し、図-7に $\sigma'_c = 100$  kPa、原土とスラグ混入率50%における応力-ひずみ関係を示す。締固め度が低い場合には、粒度改善を行ったスラグ混入土でもひずみ軟化挙動を示し効果が少ないが、締固め度が高く、スラグ混入により、膨張的挙動を示していることがわかる。図-8に示す内部摩擦角 $\phi$ は、スラグ混入による効果は見られず35°程度を示しているが、締固め度が高いと粘着力 $c_d$ はスラグ混入率に応じ増加していることがわかる。

### 5. まとめ

実際の建設発生土に溶融スラグを混入させ、改良材としての性質や品質を評価した。今回の使用材料と試験条件では、物理特性や締固め特性からスラグ混入率が40~50%程度が適切であり、力学特性から、締固め度 $D_c$ が95%の条件において、スラグ混入率の増加に応じ、せん断強度が増加する現象が見られた。この結果に基づき、改良土を母材として設計上取り扱い、水硬性を生ずる場合は、粘着力を付加的要素と捉えることが出来る。締固め管理も容易でとなることから、埋設管の埋め戻しなどへの適用を可能にする判断できそうである。

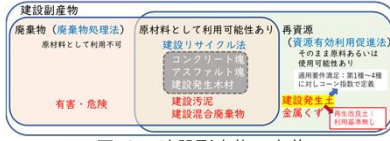


図-1 建設副産物の定義

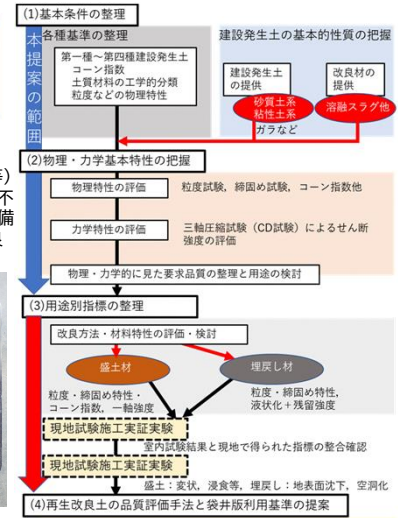


写真-1 試験材料

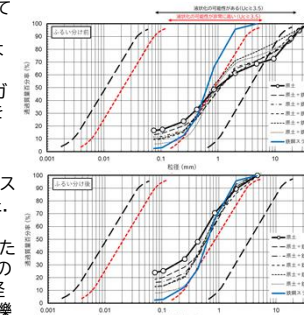


図-3 粒度試験結果

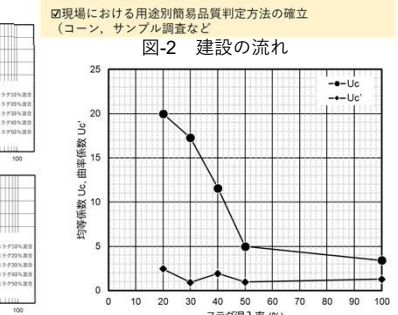


図-4 粒度特性

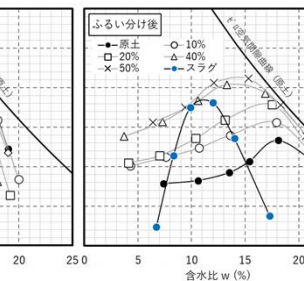


図-5 締固め試験結果

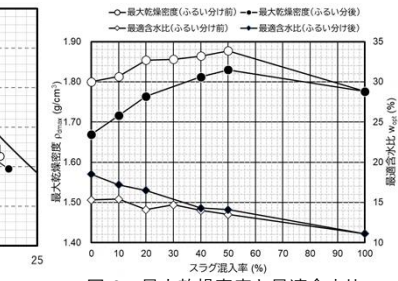


図-6 最大乾燥密度と最適含水比

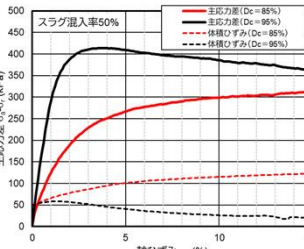


図-7 応力-ひずみ関係

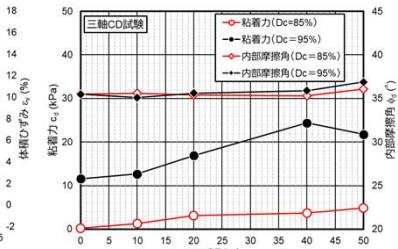


図-8 内部摩擦角と粘着力

【参考文献】1) 静岡県交通発達部:みらいの国土研究會, <https://www.pref.shizuoka.jp/machizukuri/kokyo/koji/1040865/1052389.html>, 2024.02.24閲覧。2) 国土交通省:盛土規制法の概要, <https://www.mlit.go.jp/toshi/web/content/001490955.pdf>, 2024.04.20閲覧。3) [https://www.eng.nipponsteel.com/csr/report/environmental\\_solution/utlization\\_of\\_the\\_slag.html](https://www.eng.nipponsteel.com/csr/report/environmental_solution/utlization_of_the_slag.html), 2024.02.24閲覧

応用例、PRポイント、特許情報等 (適宜編集)	課題、連携を希望する企業・分野等 (適宜編集)
<ul style="list-style-type: none"> <li>県内の建設発生土の課題解消に向けた取り組み</li> <li>R6年度から、現場実証実験を開始予定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>静岡県・袋井市と情報共有・協議しながら実施</li> <li>袋井市建設残土再生事業協同組合と連携 (現在)</li> </ul>

### 【研究者情報、その他の業績】

<https://researchmap.jp/nakazawa-geotech>



### 【本事業の研究成果・シーズ集】

<https://www.sist.ac.jp/social/inds/fiic/research>



### 【お問い合わせ】

ふくろい産業イノベーションセンター  
〒437-8555 静岡県袋井市豊沢2200-2 静岡理工科大学内  
TEL: 0538-45-0136 E-mail: [shakai@sist.ac.jp](mailto:shakai@sist.ac.jp)  
HP: <https://www.sist.ac.jp/social/inds/fiic/>