

# 産業副産物を主原料とした再生球状骨材の高度利活用に関する研究

[研究代表者] 中村吉男 (工学部社会基盤学科)

[共同研究者] 野口真一 (一般社団法人泥土リサイクル協会)

小田原卓哉 (株式会社熊野技建)

## 研究成果の概要

2020年1月24日、国土交通省より公表された2018年度の全国の建設工事から排出された建設副産物に関する再資源化および排出量等の調査結果(確定値)によれば、建設汚泥の再資源化・縮減率は目標値90%を上回る94.6%となっている。しかし、内訳をみると、再資源化施設後再利用が83%、再資源化施設減量化11%となっており、再資源化施設での処理に依存することが極めて大きいことが分かる。一方、産業副産物の石炭灰の発生量は2021年度の実績で12,557千t(電気事業8,849千t、一般産業3,708千t)であり、有効利用量の合計量は、12,132千t(電気事業8,556千t、一般産業3,576千t)となっているが、海外に輸出されている石炭灰(867千t)および海洋投入に近い海面埋立柱材として用いられた石炭灰(1,710千t)の量を差引くと日本国内で石炭灰を原材料として有効利用された量は9,555千tと算出され、有効利用率(実質国内石炭灰有効利用率)は76.1%となる。更に、このうちの7,309千tはセメント分野に集中した利用形態となっており有効利用の多様化が喫緊の課題となっている。

本研究は、建設汚泥、コンクリート廃材、ばいじん等の産業廃棄物を処理し再資源化する過程で発生する残渣物に高炉セメントと石炭灰を添加し様々な粒径からなる再生球状骨材の製造することと、再生球状骨材の付加価値を見出し利用用途として液状化対策等の耐震補強材、軟弱地盤改良材、水質浄化材、軽量盛土材、軽量骨材等への利活用の適性を吟味・検討し、残渣物ならびに石炭灰の利用促進の観点から環境負荷低減を目指すものであり、SDGsの目標9.12に関連する研究である。

## 研究分野：地盤工学

キーワード：建設汚泥、石炭灰、リサイクル、再資源化、SDGs、造粒型軽量骨材

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 建設汚泥およびコンクリート塊の再資源化の現状<sup>1)</sup>

建設汚泥の再資源化・縮減率は94.6%となっているが、再資源化施設後再利用が83%、再資源化施設減量化11%となっており、再資源化施設での処理に依存することが極めて大きく、特に再資源化する過程で発生する残渣物の有効利用が喫緊の課題である。全国の工事現場から搬出されるコンクリート塊の発生量は36,896千tであり、そのほとんどが道路の路盤材等の再生砕石等として利用され、約99%の36,647千tが再資源化されている。しかし、都心部を含め道路整備が進み、今後の公共工事の減少等によりコンクリート塊の需給バランスが崩れるなどして、供給過多となることが懸念されている。

#### (2) 石炭灰の再資源化の現状<sup>2)</sup>

実質国内石炭灰有効利用は9,555千tであり、この内の76.5%に相当する7,309千tはセメント分野(セメント原材料、セメント混合材、コンクリート混和材)に集中した利用形態であることから石炭灰の有効利用の多様化が喫緊の課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究は、建設汚泥、コンクリート廃材、ばいじん等の産業廃棄物を処理し再資源化する過程で発生する残渣物に高炉セメントと石炭灰を添加し様々な粒径からなる再生球状骨材の製造することと、再生球状骨材の付加価値を見出し利用用途として液状化対策等の耐震補強材、軟弱地盤改良材、水質浄化材、軽量盛土材、軽量骨材等への利活

用の適性を吟味・検討し、残渣物ならびに石炭灰の利用促進の観点から環境負荷低減を目指すものであり、SDGsの目標 9.12.に関連する研究である。

3. 研究の方法

(1) 再資源化施設の概要と再生球状骨材の製造方法

本研究で利用した再資源化施設は、コンクリート廃材等再生工場、建設発生土再資源化施設、汚泥・ばいじん等再資源化工場の3施設からなり、各工程で発生する残渣物を再資源化するゼロエミッション型施設構成となっている。以下、処理施設の概要を示す。

① コンクリート廃材等再生工場

当該施設は、コンクリートを粉砕して骨材として再生するものであり、図-1に示す様に、破砕機(古いコンクリートを破砕し、適切な粒度の骨材や粉砕物を生成する)、選別機(破砕されたコンクリートから異物や不要な部分を取り除き、再生骨材の粒径を区分・分別)、保管エリア(破砕・選別された再生骨材や粉砕物を一時的に保管し、必要に応じて逐次供給する)から構成される。

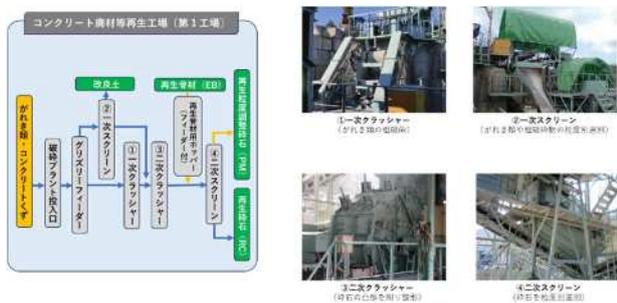


図-1 コンクリート廃材等再生処理施設

② 建設発生土再資源化施設

当該施設は、建設発生土の分級施設であり、図-2に示す様に、プレートフィーダ(建設発生土を岩塊・砂利と土砂に区分する)、振動篩分級(土砂の粒径区分を行う)から構成される。



図-2 建設発生土再資源化施設

③ 汚泥・ばいじん等再資源化工場

当該施設は、球状骨材を製造する施設である。この施設においては、建設汚泥や建設発生土製造過程における副産物である高含水汚泥を原材料として、専用の混合攪拌機に

よりばいじんや固化材等を混合攪拌することで様々な粒径の再生球状骨材(EB)を製造する施設である。施設の主な構成要素とその役割を以下に示す。

- ・トロンメル・分級機: 汚泥ならびに再生土と水との混合物を円筒形のデバイスに送り、遠心力を利用して粒度によって仕分け混在している砂利や不純物等を本施設で除去し再生砂を製造する。一方、高含水の汚泥が残渣物となって発生するが、この残渣物は球状骨材の原材料として流体輸送される。

- ・沈殿プール: 分級機から排出される土粒子を含んだ濁水に水溶性の高分子凝集剤を添加混合し、沈殿プールで沈降分離を行う。

- ・解泥ミキサー: 沈殿プール内に堆積した汚泥を解泥ミキサーに投入し、再生骨材を製造する造粒ミキサーにポンプ圧送する。

- ・造粒ミキサー: 造粒ミキサーに、建設汚泥、建設発生土再資源化施設残渣物(汚泥)、ばいじん、セメント等の固化材が定量供給し、混合攪拌することで再生骨材が製造される。この造粒ミキサーは自社特許技術であり、特殊開口部を調整することで異なる粒径の再生骨材を製造することができる。

- ・建設汚泥の一次処理施設: 搬入された建設汚泥は一旦専用の汚泥保管プールに貯留される。貯留した汚泥を二軸式のパドルミキサーへバックホウで投入し、ばいじんやセメント等の固化材を混合攪拌し、流動性を呈さない状態に改質する。改質した処理土をスクリーンに投入し含水比調整材の粒径にふるい分ける。

当該施設において、再生砂(RS)と再生球状骨材(EB)が製造され、再生球状骨材の粒径は、0~7mm、7~20mm、20mm オーバーの3種類に選別される。当該施設の概要を図-3に示す。



図-3 汚泥・ばいじん等再資源化施設

## (2) 再生球状骨材の材料特性試験

再資源化施設で生成し、材料特性試験に供した再生骨材試料を図-4に示す。材料評価試験は、粒径5mm以上の粗骨

表-1 材料特性評価試験項目

試験項目	試験方法	対象試料
骨材のふるい分け試験	JIS A 1110	全試料
粗骨材の密度及び吸水率	JIS A 1110	ED-5 mm以上
細骨材の密度及び吸水率	JIS A 1109	ED-5 mm未満
岩石の点載荷試験	(JGS 3421)	ED-15 mm以上
ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験	JIS A 1121	ED-15 mm以上
設計 CBR	JIS A 1211	ED-5 mm未満
環境安全性	環告第 46 号	ED-5 mm未満



図-4 生成された再生球状骨材 (室内試験試料)

材と5mm未満の細骨材について、JIS規格およびJGS基準等に準じ表-1に示す項目について行った。

## 4. 研究成果

### (1) 材料特性

#### ① 物理特性

再生球状骨材の粒度特性を図-5に示す。粗骨材は直線的な単一粒度を示すが、細骨材は粒径の低下とともに低勾配の曲線を示し土質材料にみられる特性を示す。コンクリート用砕石および砕砂 (JIS A 5005:2020) 並びに道路用砕石

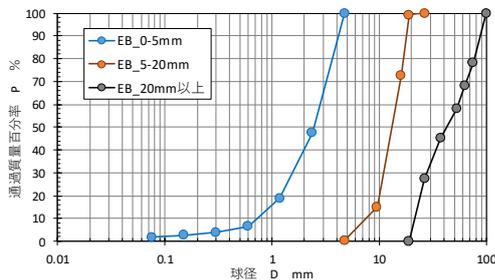


図-5 粒度曲線

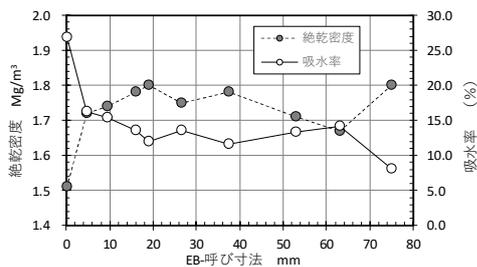


図-6 呼び寸法 (球径) と絶対比重・吸水率の関係

(JIS A 5001-1995)の規定によると、規格値は絶対密度 $2.5\text{Mg/m}^3$ 以上、吸水率3%以下となっている。図-6に示す通り再生球状骨材は規定値を満足しないことから、軽量骨材、軽量盛土としての用途を検討する必要がある。

#### ② 強度および耐久性

球径と骨材強度 (点載荷強度) の関係を整理し図-7に示す。 $I_s(50) \geq 1.5\text{MPa}$ を確保することで人工骨材の要件は満たすものと思われ。ただし、球径が40mm以下になると強度のばらつきが大きくなる傾向にあり、この要因が製造方法に起因するものか組成によるものかを吟味・検討する必要がある。一方、する減り減量値は34.5%を得た。前述の砕石・砕砂の規定値 (35%もしくは40%以下) を満足する。更に、ED-5mm以下の細骨材の設計 CBR 値は40%を得ており、設計 CBR 値 $\geq 20\%$ であることから細骨材は良好な路盤・路床の構築材料となる。以上より、再生球状骨材の強度・耐久性の観点から建設資材として有用な性状を有していることが判明した。

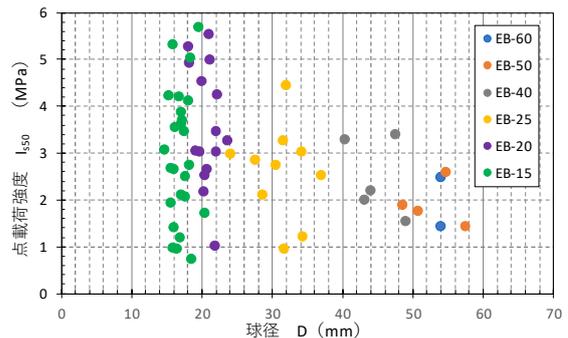


図-7 球径と点載荷強度

#### ③ 環境安全性

再生球状骨材は、土壤環境基準 (環告 46 号) 規程の溶出試験 (28 項目) 結果において全て基準値を満足しており、環境安全性の観点からも地盤改良材や環境修復材としても幅広く利用できるものと考えられる。

## 5. 本研究に関する発表

無し

## 参考文献

- 国土交通省：平成30年度建設副産物実態調査結果 (確定値) 参考資料、<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001334705.pdf> (最終閲覧日 2024 年 5 月 21 日)
- 一般財団法人石炭フロンティア機構：石炭灰全国実態調査報告書 (2021 年度実績)、2023 年 3 月  
<https://www.jcoal.or.jp/ashdb/upload/d4f609f662bb73ac60ea461832a141e14d868dfc.pdf> (最終閲覧日 2024 年 5 月 21 日)