

溶融還元石の河川護岸材料(捨石)への適用事例

溶融スラグ石材研究会(会員企業：中部リサイクル株式会社)

大河内 宝^{*}、村瀬 吉孝^{*}、佐藤 弘志^{**}

所属 ^{*}溶融石材部、^{**}営業部 (TEL 052-611-1511)

はじめに

東日本大震災は、各所に未曾有の災害をもたらし、現在、その復興・復旧工事が多方面で緊急に進められている。その内、海岸、河川河口部では、地震動および大津波で崩壊した護岸の復旧工事が行われている。工事のためには、大量の建設資材が必要であり、その確保が課題の一つになっている。

弊社は「ゼロエミッションファクトリー」をコンセプトに掲げ、平成 11 年の創立以来、主としてごみ焼却灰を電気抵抗炉により還元溶融して再資源化する事業を進めている。この再資源化プロセスより生産されるものに溶融還元石があり、関係自治体のリサイクル認定も取得し、道路・河川工事への実績を積んできた。

この度の激甚災害の復旧に際し、当該材料の護岸工事への利用を提案したところ、工事関係者より材料承認等が得られ、護岸工事の捨石として採用されたので、適用事例としてここに報告する。

1. 溶融還元石について

弊社の製造フローを、**図-1**に示す。搬入されたごみ焼却灰は、あらかじめ金属資源としての鉄が磁選分離されたのちに電気溶融炉に投入され、1,500℃前後の高温強還元雰囲気中で溶融される。

溶融炉内では、溶融スラグが徐々に生成されるが、同時に磁選されなかった金属（銅・ステンレス、亜鉛、鉛等）及びその酸化物が溶融還元されてメタルとなる。この内、沸点の低い金属（亜鉛、鉛等）は飛灰としてバグフィルターで捕集され、さらに濃縮工程を経て亜鉛・鉛原料として売却される。一方、蒸発しにくい金属（鉄、銅、金、白金、パラジウム等）は炉底にたまり、溶融スラグと間欠的に出銑される。

出銑された溶融メタルと溶融スラグは、溶融状態で比重分離して回収される。溶融メタルは冷却破碎後に銅山元へ売却され、他方、溶融スラグはスラグパン内で徐冷されて結晶化スラグ(岩石状の固形物)となり、需要に応じて破碎後、土木資材等として利用されている。

このように、ごみ焼却灰は還元溶融によってすべて製品となり、特に溶融スラグは天然石材と同等の品質が得られているため、その名称を「溶融還元石(エコストーン)」と呼ぶこととしている。

なお、補足ながら、弊社の再資源化プロセスは、「2005 愛知環境賞」の優秀賞の荣誉に浴している。

2. 溶融還元石の適用事例

2.1 河川災害復旧工事の概要

工事の概要を以下に示す。溶融還元石(エコストーン)は護岸基礎工の捨石として使用されている。

工事発注者：宮城県

工事名：(平成 25 年度)砂押川外河川災害復旧工事(その 3)

工事場所：多賀城市大代一丁目地内外

設計・仕様：**図-2**の標準横断図参照。なお、捨石の設計数量は 12,800 m³で、その内、溶融還元石(エコストーン)の使用数量は約 1,250 m³である。(写真-1、写真-2 参照)

キーワード 溶融スラグ、徐冷スラグ、溶融還元石、護岸基礎、捨石、割ぐり石

連絡先 〒455-0026 名古屋市港区昭和町 18 番地 中部リサイクル株式会社 TEL 052-611-1511

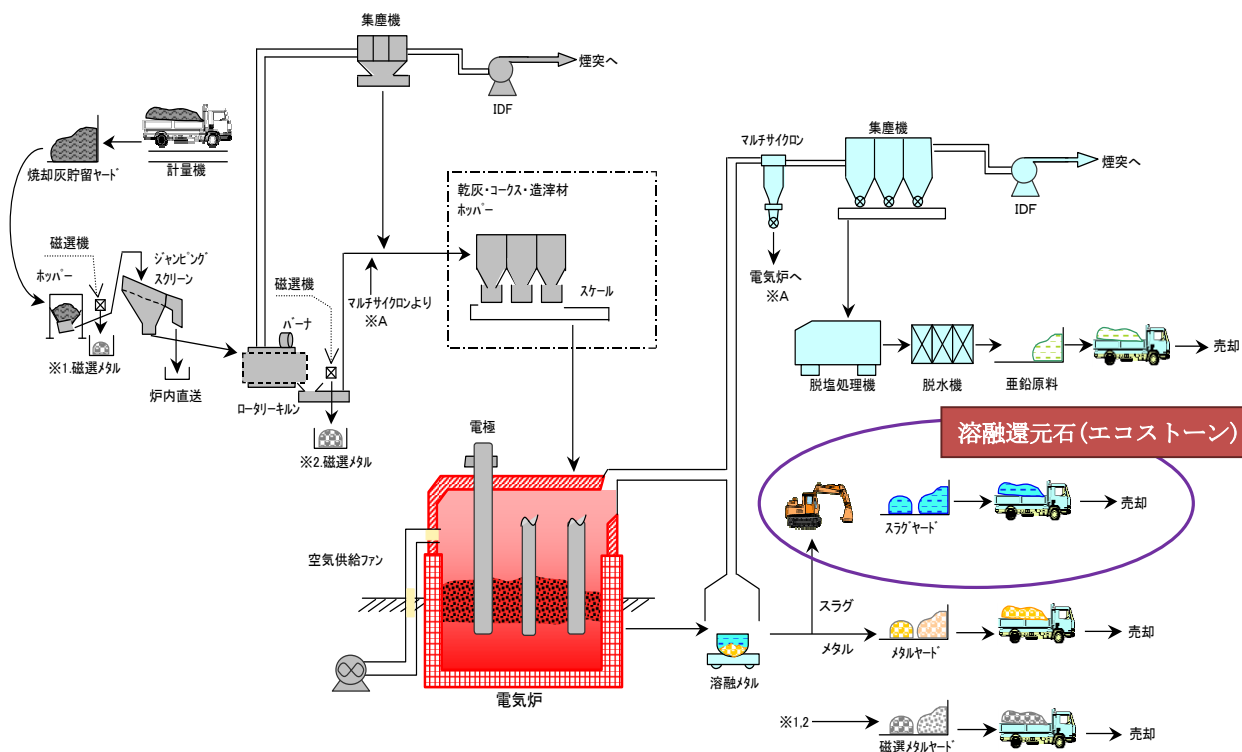


図-1 再資源化の製造フロー

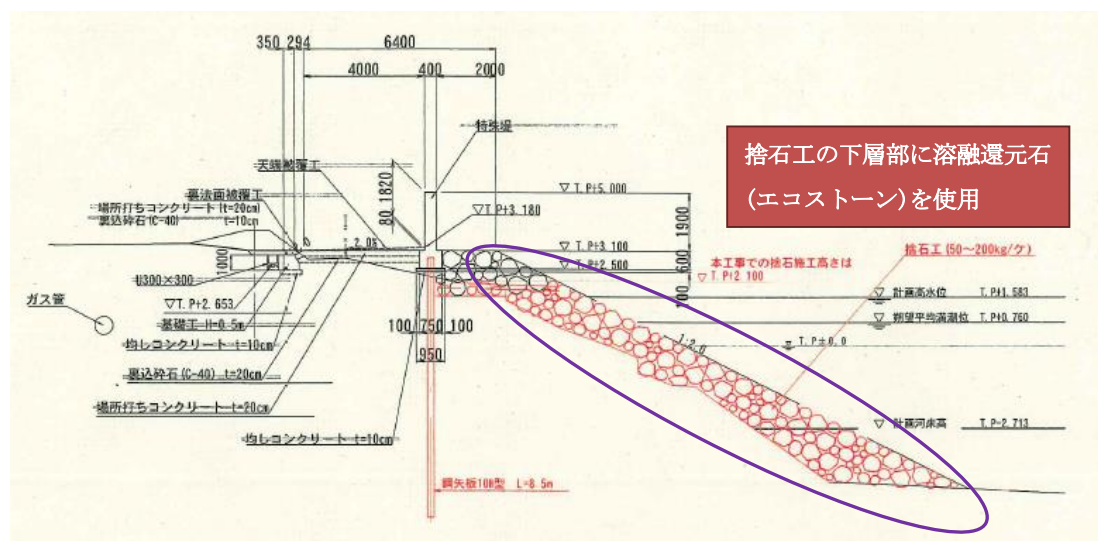


図-2 標準横断図



写真-1 溶融還元石（エコストーン）保管状況



写真-2 同左、拡大写真

2.2 溶融還元石の物性

溶融還元石(エコストーン)の物性試験結果を、表-1に示す。同表に示すように、天然材と比較して見掛比重はやや大きく、吸水率は小さいなどの特徴がある。また、JISA5006「割ぐり石」の品質基準では、その圧縮強さによって硬石・準硬石・軟石に区分されるが、溶融還元石(エコストーン)は硬石に区分される品質を有している。

このような溶融還元石(エコストーン)の物性は、製造時に以下の点を考慮している結果である。

- ① 溶融状態から固化冷却までを2日間掛けており、徐冷(0.3~0.5℃/分)することで、ガラス化を抑え、結晶化を進めている。
- ② 塩基度(CaO/SiO₂)を0.85以上に調整し、結晶化の条件をコントロールしている。

表-1 溶融還元石(エコストーン)の物性試験結果

品名	溶融還元石(エコストーン) (200~150)	溶融還元石(エコストーン) (150~50)	割ぐり石 JIS A 5006
試料採取日	H25/10/19	H25/10/19	—
うすっぺら	0.90、0.87、0.61	0.76、0.88、0.86	厚さが幅の1/2以下を除く
細長	1.32、1.50、1.35	1.05、1.17、1.43	長さが幅の3倍以上を除く
見掛比重 (g/cm ³)	2.77		約2.7~2.5(参考値)
吸水率(%)	0.07		5未満は硬石と判定(参考値)
圧縮強さ (N/cm ²)	11,101		4903.3以上で硬石と判定

2.3 環境安全性

表-2は、溶融還元石(エコストーン)の溶出量試験(JIS K 0058-1による)・含有量試験(JIS K 0058-2による)の結果である。

溶融還元石(エコストーン)は、製造過程の溶融炉内で、焼却灰中の有害金属類(鉛、カドミウム、クロム等)およびその酸化物は強還元され、金属として溶融メタルまたは溶融飛灰中にその殆どが移行して分離される。したがって、溶融還元石(エコストーン)中に残留する量は非常に少なく、有害金属類の含有量・溶出量はJIS基準値をはるかに下回る数値となり、安全性の高い材料となる。

表-2 溶融還元石(エコストーン)の溶出量・含有量試験結果

成分	溶出量試験			含有量試験		
	単位	基準値	実測値	単位	基準値	実測値
			H25.1.7			H25.1.7
鉛(Pb)	mg/l	<0.01	<0.005	mg/kg	<150	3
カドミウム(Cd)	〃	<0.01	<0.001	〃	<150	<0.5
六価クロム(Cr(VI))	〃	<0.05	<0.04	〃	<250	<1
ヒ素(As)	〃	<0.01	<0.005	〃	<150	<1
総水銀(T-Hg)	〃	<0.0005	<0.0005	〃	<15	<0.01
セレン(Se)	〃	<0.01	0.003	〃	<150	<1
フッ素(F)	〃	<0.8	<0.1	〃	<4,000	460
ホウ素(B)	〃	<1.0	<0.1	〃	<4,000	140

表－3は、水底(浚渫)土砂を埋立場所に排出する際、その可否を判定するための分析試験(環境庁告示14号)の結果である。なお、同表の判定基準は省令(昭和48年2月17日総理府令第6号)によるものである。

分析項目は、前述の溶出量試験項目と一部重複するが、当該分析試験においても、その試験結果はいずれも「水底土砂に係る判定基準」を満足している。

なお、ダイオキシン類の分析は溶融還元石(エコストーン)中の含有量を測定しているが、環境基準値に対して十分に小さい値を示していることが分かる。

以上、環境安全性についての確認試験結果を示してきた。当該施工箇所は仙台塩釜港の仙台港區に流入する河川の河口部に当るが、隣接する海岸および海域には良好な漁場・養殖場などを擁しており、環境安全性には特に配慮が求められ、これに応えたものである。

2.3 施工状況

写真－3は、災害復旧工事の施工状況である。溶融還元石(エコストーン)は量的な制限もあることから護岸基礎工の下層部捨石に使用された。施工上の問題は特に無く、工事は順調に進捗したものとする。

おわりに

当河川災害復旧工事用の捨石として、溶融還元石(エコストーン)を承認頂くに際しては、宮城県土木部河川課および仙台土木事務所の関係者の皆様や宮城県環境生活部の担当者の方々、さらには宮城大学の北辻政文教授からも多大なご指導と助言等頂きました。この場をお借りし感謝申し上げます。

表－3 水底土砂に係る分析試験結果一覧表

分析項目 ※1	単位	分析結果	判定基準
アルキル水銀化合物	—	ND	検出されないこと
水銀又はその化合物	mg/l	<0.0005	0.005以下
カドミウム又はその化合物	mg/l	<0.005	0.1以下
鉛又はその化合物	mg/l	<0.02	0.1以下
有機リン化合物	mg/l	<0.1	1以下
六価クロム化合物	mg/l	<0.04	0.5以下
ひ素又はその化合物	mg/l	<0.01	0.1以下
シアン化合物	mg/l	<0.1	1以下
PCB	mg/l	<0.0005	0.003以下
銅又はその化合物	mg/l	<0.01	3以下
亜鉛又はその化合物	mg/l	<0.01	5以下
ふっ化物	mg/l	0.2	15以下
ベリリウム又はその化合物	mg/l	<0.1	2.5以下
クロム又はその化合物	mg/l	0.04	2以下
ニッケル又はその化合物	mg/l	<0.01	1.2以下
バナジウム又はその化合物	mg/l	<0.01	1.5以下
チラウム	mg/l	<0.006	0.06以下
シマジン	mg/l	<0.003	0.03以下
チオベンカルブ	mg/l	<0.02	0.2以下
セレン又はその化合物	mg/l	0.02	0.1以下
ダイオキシン類 ※2	pg-TEQ/g	0.27	150以下 ※3

※1：分析項目の内、有機化合物等の結果は記載を省略したが、いずれも判定基準を満足する。なお、溶融還元石(エコストーン)は1,500℃前後の高温溶融を行って製造されており、有機化合物等は分解あるいは揮発するために含有しないと判断される。

※2：ダイオキシン類は、環境省告示第92号に基づき分析した。これは、石材中の含有量を測定したことになる。

※3：「水底の底質」についての環境基準値(環境庁告示第68号)である。今回の分析値はこれを十分に満足している。



写真－3 災害復旧工事 施工状況