

溶融スラグからリサイクル建材を作る エコチャート技術



所属名：鹿島建設(株)

発表者：吉村 美毅

1．リサイクル材という名の廃棄物が増えるジレンマ

最終処分場の許容限界へのカウントダウン、海洋埋立て等による環境破壊問題の顕在化などにより、年間約5億トンといわれる廃棄物の処分が限界を迎えつつある。この膨大な量の廃棄物に対し、循環型社会形成推進基本法では、第1に発生抑制を、第2に再使用の促進を、第3にマテリアルリサイクルの推進を、第4にサーマルリサイクルの推進を掲げ、特に大量に発生する下水汚泥や都市ごみ焼却灰については、積極的に溶融し、スラグをリサイクル材として活用しようという試みが続けられている。しかし実態は、大量のスラグの利用先が確保できず、本来リサイクル材であるはずのスラグを最終処分場に埋めるという現象が起きている。

そこで、溶融スラグを結晶化させることで天然の石と同等の人工の石を作る技術が開発された。溶融/結晶化して生成された人工の石(人工石材)は、天然石と同等の強度を有するなど物理的安定性と、重金属等の有害物質の溶出がほとんど無い化学的安全性を兼ね備えた、優れたリサイクル材となり、有効な資源としての利活用が期待できる。

2．原料としての人工石材

ある固体物質がガラス質であるか結晶質であるかは、図-1に示すようにその物質を構成する原子の配列状態が不規則配列か規則配列かによって決まる。焼却灰や下水汚泥を溶融した後、水冷または空冷により急冷し原子配列が規則的に並ぶ前に固化し、不規則配列のガラス質となったものが溶融スラグである。

この溶融スラグは、強度的に脆く、一般廃棄物や下水汚泥に微量含まれる重金属等も物理的包含状態となっている。

そこで、ガラス質の溶融スラグの不規則配列を、再度加熱することで自由度を持たせ、時間をかけて規則配列としたものが結晶質の人工石材(結晶化石材や結晶化スラグとも呼ぶ)である。この人工石材は強度的に強く、かつ重金属等も原子の化学結合により確実に固定され溶出回避性が格段に高まったものとなっている。

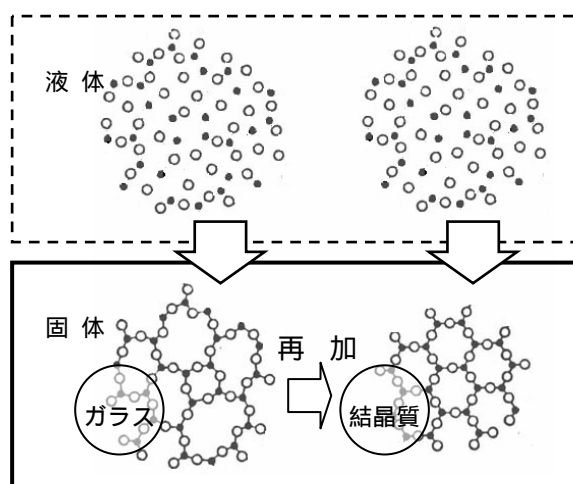


図 1 ガラス質と結晶質の違い

写真 - 1 に空冷または水冷した溶融スラグを再加熱して結晶化させた人工石材(粗石材と細石材)を示す。



写真 1 人工石材(粗石材と細石材)

3. 建設資材への人工石材の活用

(1) 外装壁タイルの活用

大量の廃棄物をリサイクルするには、大量に使用する建設資材への適用が最も効果的である。最初に開発に着手したのが建物外壁に張る外装壁タイルである。これは、最も厄介な廃棄物を、最も綺麗で高品質な建設資材へリサイクルすることが可能となれば、その後の建設資材へのリサイクル技術開発は容易となるとの発想に基づいている。従来から、廃棄物を建築で使用するタイルへ適用する試みはなされてきたが、それらは都市ごみ等の焼却灰を直接原料としたり、非結晶質(ガラス質)の溶融スラグを原料としたために内装や床用の一般的なタイルに限られ、外傷や凍結融解による破損に耐え得る非常に高品質な外装壁タイルへ適用されることはなかった。

今回、物理的安定性と化学的安全性を兼ね備える人工石材を原料とすることで廃棄物混合率 50~70 重量%の非常に高い外装壁タイルを開発することができた。外装壁タイルとしては我が国初のエコマーク商品の認定を受けることができ、既に多くの建物外壁や高速道路等トンネル側壁への施工が行われている(写真 2、写真 3)。

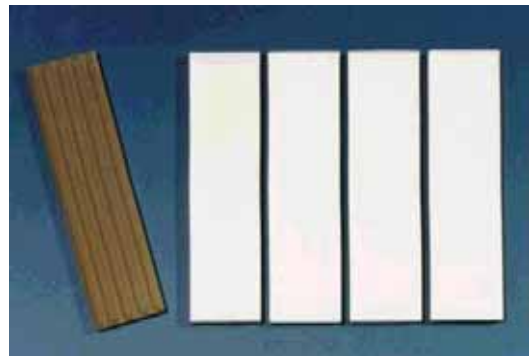


写真 2 リサイクル外装壁タイル



写真 3 リサイクル外装壁タイルのトンネル側壁施工状況

(2) 排水性舗装材への活用

人工石材は排水性舗装の粗骨材としての活用が可能である。図 - 2 に一般的な排水性舗装の概要を示す。空隙率の高い(一般的には 20%程度)多孔質なアスファルト透水層を厚さ 20~100mm で道路表層に用い、下部には不透水性のコンクリート層等を設けて、多孔質表層から浸透してきた水が不透水層の上を流れて側溝へ排水されるような構造となっているのが特徴である。

排水性舗装は雨天時に路面に水溜りができないことから走行視認性や制動性の確保による安全

性の大幅な向上と、走行騒音の低減も期待でき、近年急速に普及してきている（写真 - 4）。

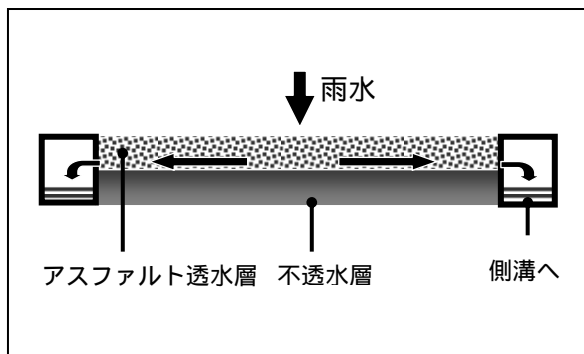


図 2 一般的な排水性舗装の概要



写真 4 排水性舗装の排水状況
(写真提供: 日本道路公団)

(3) 透水/不透水性セラミックブロック

一般に、道路や歩道用ブロックには、インターロッキングブロックなどの加圧成形（常温）と焼結成形（1000 以上）がある。今回開発した「透水/不透水性セラミックブロック」は、焼結成形によりセラミックス化しているために強度が高く、歩道のみならず道路用としての使用が可能である。また、本商品もエコマーク認定商品として市販し、既にいくつかの施工実績も有している。

使用した人工石材

本セラミックブロックは、前述の人工石材（細石材）を原料として、50～80 重量%人工石材を含有した高いリサイクル率を誇る商品である。

透水性セラミックブロック

20%程度の空隙率を持つ、優れた透水性と強度を有したブロックで、降雨時は雨水を地中に還元し、下水処理の負担軽減や河川の増水や汚濁を回避すると共に、晴天時には地中からの水分蒸発による路面温度の低減化に寄与するものである（写真 - 5）。

不透水性セラミックブロック

人工石材等の原料の粒度調整と適度な混同割合により、非常に緻密なセラミックブロックとなっており、50～80wt%の高いリサイクル率と高い強度を有し、耐汚れ性と耐磨耗性に優れている。



写真 5 透水性セラミックブロック

4. 人工石材の安全性

外装壁タイルなどの廃棄物を活用したリサイクル建設資材は、実際の建設に使用されることから、雨水等に洗われることもあり、人が直接手で触れることもある。さらには解体時等で河川や海岸等へ捨てられる懸念もあることから、原料となる人工石材の安全性には法的基準のほか生態系への影響評価を行うなど十分な環境配慮の検討を行うことが重要である。

(1) 我が国における溶出基準

我が国における重金属等の有害物質溶出に対する基準は環境庁告示第46号「土壤汚染に係わる環境基準」しかなく、近年の酸性雨の影響並びに生態系への影響評価基準はないのが現状である。表-1にその環境基準における溶出試験結果を示す。

表-1 溶出試験結果(環境庁告示第46号法)

項目	結果	定量下限値
Pb	ND	0.002 mg/リットル
Cd	ND	0.002 mg/リットル
As	ND	0.002 mg/リットル
Hg	ND	0.0005mg/リットル
Cr ⁶⁺	ND	0.03 mg/リットル
Se	ND	0.002 mg/リットル

(NDは定量下限値未満であることを示す)

(2) 海外における溶出基準

欧州には酸性雨に対する危機感が強く、酸性域での溶出基準を持つ国が多いことから、オランダにある建設資材令(NEN7343)によるpH=4での溶出試験も実施し、人工石材はその基準の中で「Category 1: どこでも使用可(使用限定なし)」の評価を受けた。

(3) 生態系への影響評価

貝類への影響

人工石材を浸し、十分に攪拌させた海水を用いて貝類(アコヤガイとクロアワビ)を飼育し、観察することによって人工石材の急性毒性を評価した(写真-6)。

その結果、いずれも死亡率0%、異常行動なしと評価された。これにより人工石材が直接、河川や海などに投棄等された場合でも、貝類等への影響がないと評価された。



写真 6 アコヤガイ試験

ウニの卵受精・成長に対する影響

最もきれいな海水域に生息すると言われるウニを用いて、人工石材を直接投入した海水中での受精および成長(卵割~のう胚形成~幼生:写真-7)を評価した。

結果は、受精率、卵割、のう胚形成及び幼生の正常発生率にいずれも問題なく、貝類を用いた試験結果同様、人工石材がウニに対しても問題がないと評価された。

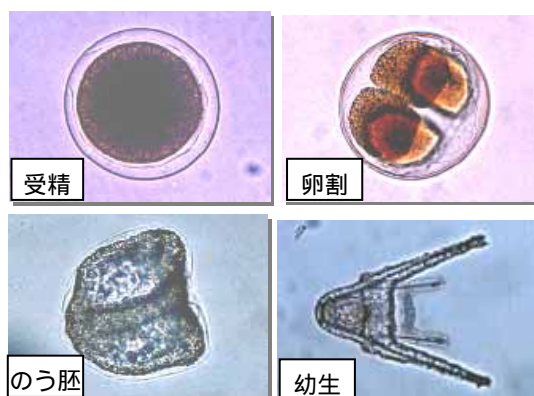


写真 7 ウニの受精試験

5．未来に向けて

ここで紹介したエコチャートシリーズは、昨年末時点で、34 件の土木建築工事に採用され、延べ 7 万 m² を超える施工実績がある。その背景には、高い安全性と高い品質、そして従来の建設資材と変わらぬ価格で提供することを第一に取り組んできたことが、市場に評価されたものと自負している。

環境問題への関心の高まりと共に、廃棄物問題に対する国や地方自治体、製造企業、消費者など多くの人々の考え方も「人ごとではなく自分自身のこと」とここ数年で明らかに代わりつつあることを実感する。廃棄物を原料とした建設材料の市場定着を図るには、大量の廃棄物を活用するためにも定常的に使用される建設資材へ高いリサイクル率で活用することが重要であり、エコチャート技術がさらに活用されることを期待する。