

ロータリーキルンにより焼成・製造した人工骨材の諸特性

太平洋セメント（株） 正会員 ○守屋 政彦

太平洋セメント（株） 佐々木 宏太

東亜建設工業(株) 正会員 笹井 剛

東亜建設工業(株) 正会員 岸田 隆夫

(株)ドラム エンジニアリング フェロー会員 奥村 樹郎

1. はじめに

セメント産業は独自の技術開発や様々な設備投資を行い、セメント製造への使用原単位を増やすことで廃棄物・副産物の使用量を維持、増加させ資源循環型社会への転換に貢献してきた¹⁾。今後、引き続きそして更なる貢献が期待される一方、生産量減少に伴う受入数量の維持も懸念され、セメント製造以外での廃棄物・副産物の有効利用技術の開発が必要となっていた。

本報告は、セメント製造以外での廃棄物・副産物の利用技術として、結晶質（非ガラス質）で高品質な人工骨材の製造技術を開発したので、その製造方法を示すとともに、実際に製造した人工骨材の物理・化学的な性質及び用途等について検討したものである。

2. 製造方法

人工骨材はセメントと同じ工程により製造される。その製造工程²⁾を図1に、人工骨材及び主な原料の化学組成の一例を表1に示す。

セメントの製造工程同様、「原料調合・粉砕工程」で原料を所定の原料組成となるよう調合・乾燥、粉砕し、「焼成工程」の補助燃焼装置（プレヒーター）で予熱した後、ロータリーキルンの中で 1000℃ を超える高温により半溶融状態で焼成され、「仕上げ工程」を経て「出荷工程」に至る。セメント製造との違いは、水和反応性を示さない鉱物組成に原料調合を行うこと、仕上げ工程で石膏は添加せず破砕等の粒度調整を行うことである。

なお、セメント製造同様に、原料の受入基準、品質基準等を設け管理しており、排ガスも含め廃棄物の使用による環境汚染は無い。

3. 化学的性質

人工骨材の微量成分の含有量及び溶出量に関する試験結果を表2に示す。

微量成分の含有量はいずれも十分に低く、その値は土壤汚染対策法による土壤含有量基準を満足することが確認された。含有している微量成分は鉱物中に固定（固溶）されており、その鉱物自体は水和反応性を示さない鉱物として材料設計されていることから、環境中へ移行することもない。

土壤環境基準による溶出試験を行った結果、いずれの成分の溶出量も土壤環境基準を満足する結果となり、人工骨材が環境与える影響は問題のないことが確認された。

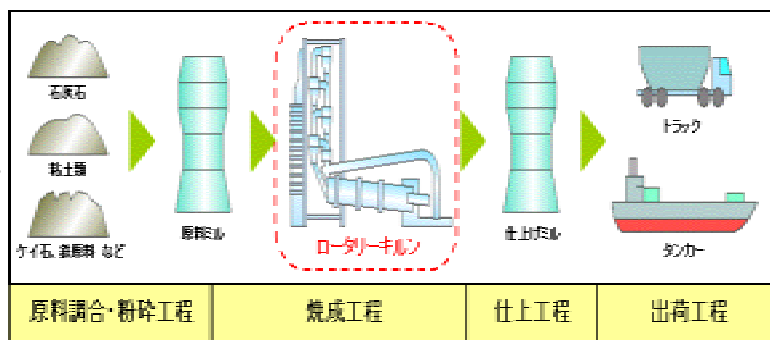


図1 製造工程

表1 人工骨材及び主な原料の化学組成の一例

試料	化学組成 (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl
人工骨材	31.4	11.2	4.1	48.3	1.4	0.81	1.22	0.070
石灰石	2.0	1.0	0.3	52.4	0.39	0.01	0.12	0.001
建設発生土	56.9	14.8	5.0	8.8	1.70	0.20	2.32	0.009
石炭灰	A	46.9	26.4	5.6	10.9	1.60	0.23	1.03
	B	54.5	25.5	4.0	8.3	1.70	0.18	1.13

キーワード 人工骨材 資源循環型社会 建設発生土 石炭灰 地盤材料

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント（株）中央研究所 TEL 043-498-3843

表2 微量成分の含有量及び溶出量の一例

項 目	測定値		基準の数値	
	含有量 (mg/kg)	溶出量 (mg/L)	土壌 含有量基準 (mg/kg)	土壌 環境基準 (mg/L)
カドミウム	< 50	< 0.005	150	0.01
鉛	100	< 0.01	150	0.01
六価クロム	< 50	0.05	250	0.05
ヒ素	< 50	< 0.002	150	0.01
総水銀	< 5	< 0.0005	15	0.0005
アルキル水銀	—	< 0.0005	—	検出されないこと
セレン	< 50	< 0.002	150	0.01
フッ素	300	< 0.4	4,000	0.8
ほう素	100	0.05	4,000	1
全シアン	< 5	< 0.04	50	検出されないこと

注：“<”は定量下限値未満であることを示しており、検出されなかったことを示す。
含有量は環境省告示第19号(H15)に、
溶出量は環境庁告示第46号(H3)により実施。

表3 物理・力学的性質の測定結果

項 目	測定値
見掛比重(g/cm^3)	2.907
吸水率(%)	1.7
一軸圧縮強度(Co , MN/m^2)	33.7
すりへり減量(%)	18.6

表4 石材の圧縮強さによる区分(JIS A 5003)

種 類	圧縮強さ (MN/m^2)	参考値	
		吸水率 (%)	見掛比重 (g/cm^3)
硬石	49.0 以上	5 未満	約 2.7 ~ 2.5
準硬石	49.0 未満 9.8 以上	5 以上 15 未満	約 2.5 ~ 2
軟石	9.8 未満	15 以上	約 2 未満

4. 物理的性質及び力学的性質

物理的・力学的性質の中で見掛比重、吸水率、一軸圧縮強度及びすりへり原料の結果を表3に示す。

得られた結果をもとに表4のJISによる石材の区分によると準硬石に区分されるが、吸水率、見掛比重及びすりへり減量等の結果からは天然の骨材と同等の性質を有した高品質の骨材であると判断できる。

表3の一軸圧縮強度(Co)は、点載荷試験により求まる引張強度を自然石の相関関係により換算したものである³⁾。試験では、人工骨材の中から特に径の大きい試料だけを用いており、供した試料が他の試料に比べ不均一である例が多く観察された。見掛比重・吸水率の試験結果に比べ一軸圧縮強度(Co)が小さいことから、一軸圧縮強度(Co)は実際の一軸圧縮強度よりも小さく評価している可能性が高い。

5. 地盤材料としての工学的性質

人工骨材は、破碎等の粒度調整を行うことにより、砕石や砂等の地盤材料の代替材として利用できる。

粒度調整を行わない製造直後の人工骨材の粒度分布を、図2に示す。粒度特性は、最大粒径75mm、細粒分含有率0.01%、均等係数4.06となっており、粒度とN値による液状化予測・判定⁴⁾から、液状化しない材料であると判定することができる。人工骨材を埋立柱材として用いた場合、埋立柱後の液状化対策が不要となり、また破碎・粒度調整の過程を経ないため、比較的安価に供給できる可能性がある。

5. おわりに

セメントの製造工程で廃棄物及び副産物を主原料に製造した人工骨材は、微量成分などの環境への影響もなく、物理的・力学的性質からも天然の骨材と同等の高品質な骨材であることが分かった。今後は、資源循環型社会への貢献のみならず、資源の枯渇や環境保全の見地からも様々な用途への活用を検討していきたい。

参考文献

- 1) セメントハンドブック 2004年度版、セメント協会、pp.8-10
- 2) 環境報告書 2004、太平洋セメント株式会社、pp.7
- 3) 岩の調査と試験、社団法人地盤工学会、pp.293-298、2000
- 4) 埋立柱地の液状化対策ハンドブック(改訂版)、財団法人沿岸開発技術センター、pp.114-117、1997

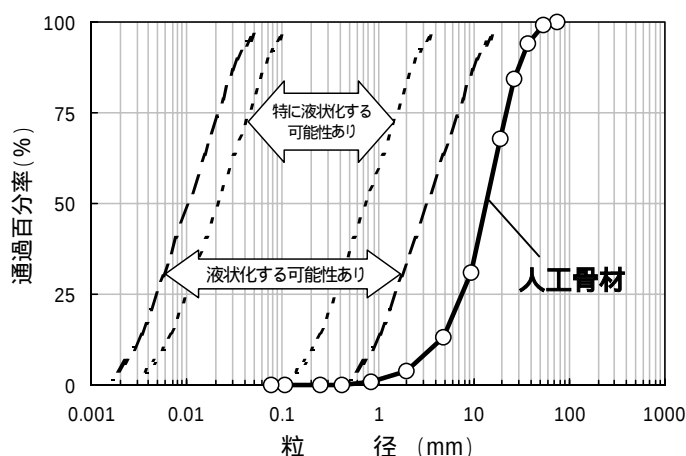


図2 粒径加積曲線

(液状化の可能性のある粒度範囲($U_c \leq 3.5$)⁴⁾に加筆)