

鉄鋼スラグのコンクリート骨材への利用

鐵 鋼 ス ラ グ 協 会

F S - 8 8



古紙配合率100% 白色度70%再生紙を使用しています。

目 次

I. 共 通 編

1. 鉄鋼スラグ生成と用途	1
(1) 生成フロー	1
(2) 鉄鋼生産量と鉄鋼スラグ生成量の推移	1
(3) 2002年度の用途別使用実績	2
2. コンクリート用骨材の概要	4
(1) コンクリート用骨材の種類	4
(2) コンクリート用骨材の規格化の経緯	4
(3) 砂採取規制動向	6
(4) グリーン購入法特定品目指定	7

II. 高炉スラグ骨材編

1. 細 骨 材	9
(1) 製造フロー	9
(2) 種 類	9
(3) 品 質	10
(4) 特 徴	10
(5) 使用上の留意点	11
(6) 関連規格・指針	12
(7) 生 産 基 地	12
(8) 販 売 実 績	13
(9) 参 考 文 献	13
2. 粗 骨 材	14
(1) 製造フロー	14
(2) 種 類	14
(3) 品 質	15
(4) 特 徴	16
(5) 使用上の留意点	16
(6) 関連規格・指針	17
(7) 生 産 基 地	18
(8) 販 売 実 績	18
(9) 参 考 文 献	18

III. 電気炉酸化スラグ骨材編

1. 製造フロー	19
2. 種類	20
3. 品質	21
4. 特徴	21
5. 使用上の留意点	24
6. 関連規格・指針	25
7. 参考文献	25
8. 施工実績	26

I. 共通編

1. 鉄鋼スラグ生成と用途

(1) 生成フロー

図 I-1-1 に鉄鋼スラグの生成フローを示す。

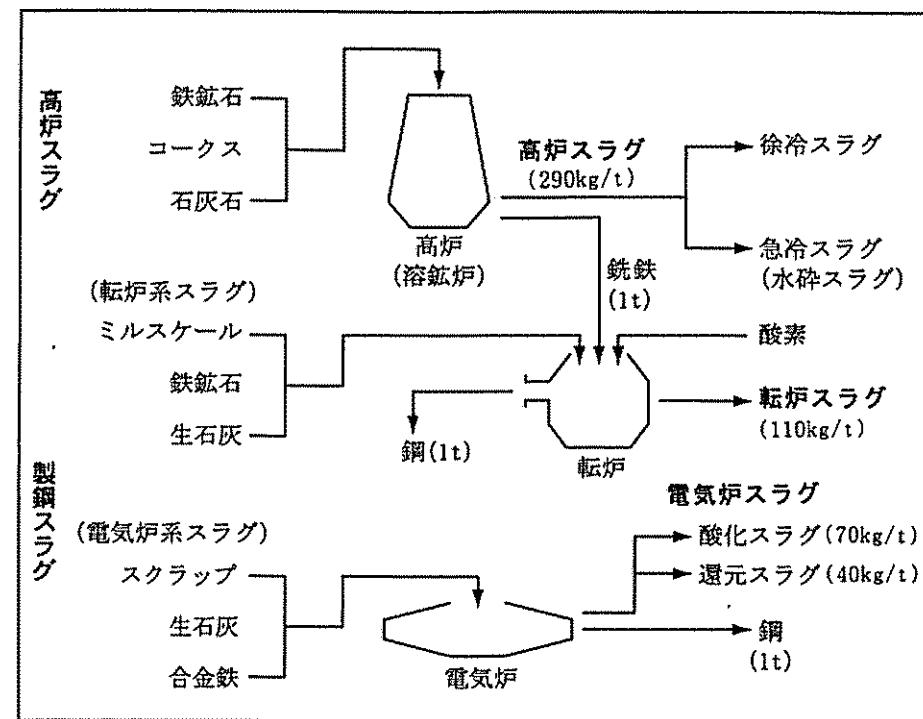


図 I-1-1 鉄鋼スラグの生成フロー

(2) 鉄鋼生産量と鉄鋼スラグ生成量の推移

表 I-1-1 に鉄鋼生産量と鉄鋼スラグ生産量の推移を示す。

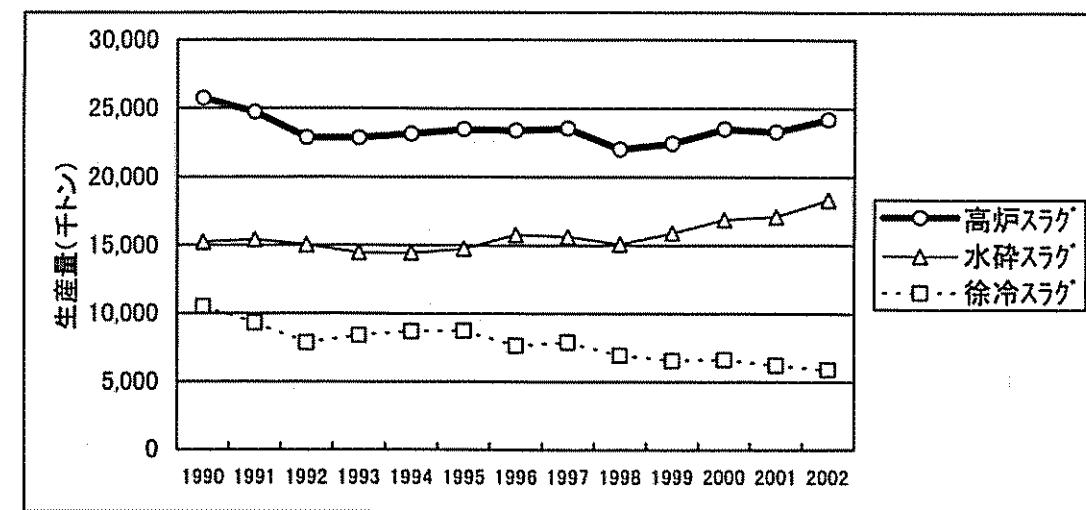
表 I-1-1 鉄鋼生産量と鉄鋼スラグ生産量の推移(千トン)

(鉄鋼スラグ協会統計年報)

年度	鉄鋼生産量		鉄鋼スラグ生産量								合 計	
	銑 鉄	粗 鋼	高炉スラグ			転 炉	電気炉スラグ					
			水 碎	徐 冷	計		スラグ	酸 化	還 元	計		
1990	80,835	111,710	15,234	10,514	25,748	10,236	1,552	1,255	2,807	38,790		
1991	77,830	105,853	15,414	9,318	24,733	9,965	1,452	1,153	2,605	37,303		
1992	73,029	98,937	15,032	7,855	22,886	9,564	1,394	1,171	2,565	35,015		
1993	72,989	97,095	14,457	8,396	22,853	9,843	1,339	1,126	2,465	35,161		
1994	74,726	101,363	14,458	8,694	23,151	9,851	1,408	1,260	2,668	35,670		
1995	74,637	100,023	14,748	8,732	23,479	10,439	2,061	1,488	3,549	37,467		
1996	75,680	100,793	15,771	7,637	23,408	9,739	2,115	1,533	3,649	36,796		
1997	78,312	102,800	15,636	7,906	23,542	10,246	2,178	1,514	3,693	37,481		
1998	73,553	90,979	15,084	6,929	22,013	9,617	1,889	1,323	3,212	34,842		
1999	76,486	97,999	15,889	6,551	22,440	9,922	1,905	1,366	3,270	35,632		
2000	80,704	106,901	16,874	6,625	23,498	10,640	2,099	1,368	3,467	37,605		
2001	78,969	102,064	17,095	6,202	23,297	10,508	1,931	1,282	3,214	37,019		
2002	81,538	109,789	18,321	5,884	24,205	8,839	2,087	1,261	3,348	36,392		

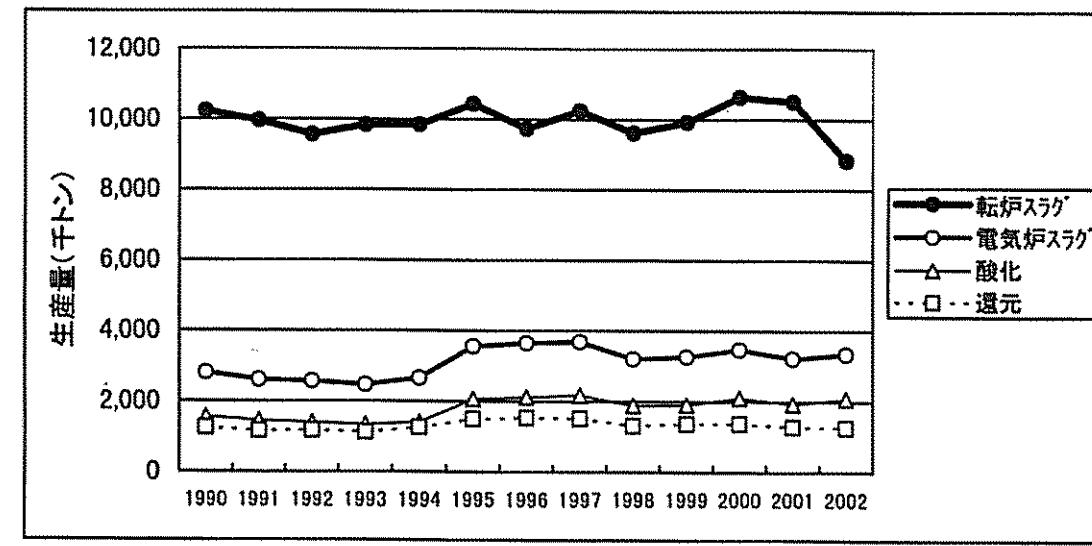
我が国では、年間約3,500万～3,700万トンの鉄鋼スラグが生産されており、内訳は高炉スラグが約2,300万～2,400万トン(約65%)、転炉スラグが900万～1,000万トン(約25%)および電気炉スラグが300万～350万トン(約10%)である。

図I-1-2に高炉スラグ生産量推移、図I-1-3に製鋼スラグ生産量推移を示す。



(鐵鋼スラグ協会統計年報)

図I-1-2 高炉スラグの生産量年度推移



(鐵鋼スラグ協会統計年報)

図I-1-3 転炉スラグおよび電気炉スラグの生産量年度推移

(3) 2002年度の用途別使用実績

図I-1-4に高炉水碎スラグ使用内訳、図I-1-5に高炉徐冷スラグ使用内訳、図I-1-6に転炉スラグ使用内訳および図I-1-7に電気炉スラグ使用内訳を示す。

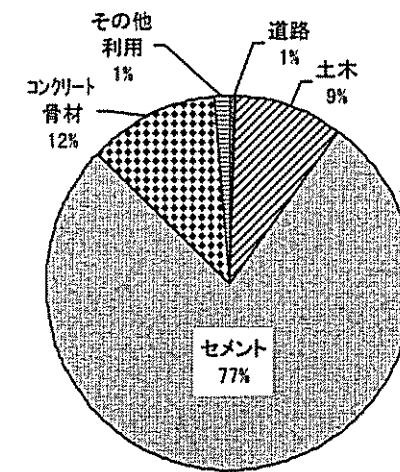


図 I - 1 - 4 高炉水碎スラグ使用内訳
(2002年度：鉄鋼スラグ協会統計年報)

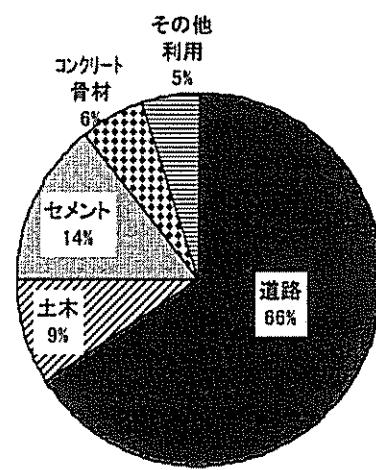


図 I - 1 - 5 高炉徐冷スラグ使用内訳
(2002年度：鉄鋼スラグ協会統計年報)

高炉水碎スラグは、水硬性をもつことから、大半がセメントの原材料（高炉セメントの混合材、普通ポルトランドセメントの增量材、コンクリート混和材など）として使用され、コンクリート骨材としては、約12%(213万トン)が細骨材に使用されている。

高炉徐冷スラグは、粒状材料としての特性をいかして、主に道路路盤材などに使用され、コンクリート骨材としては、約6%(33万トン)が粗骨材に使用されている。

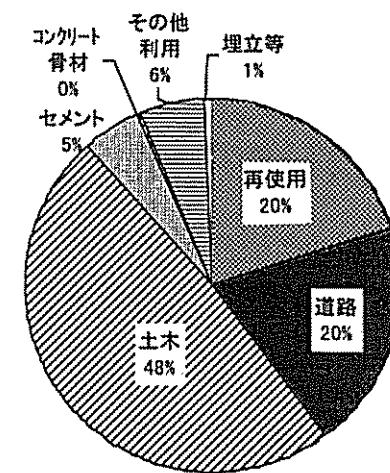


図 I - 1 - 6 転炉スラグ使用内訳
(2002年度：鉄鋼スラグ協会統計年報)

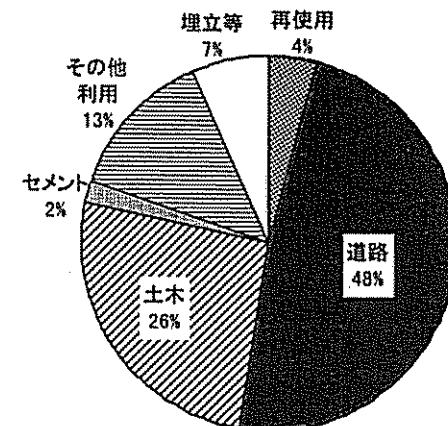


図 I - 1 - 7 電気炉スラグ使用内訳
(2002年度：鉄鋼スラグ協会統計年報)

転炉スラグは、大半が道路路盤材や土木工事材料として使用されている。コンクリート骨材としては、2002年度に各種の固化体の骨材に約4万トンが使用された。

電気炉スラグも大半は道路路盤材や土木工事材料として使用されている。コンクリート骨材としては、2002年度では使用実績がないが、2003年度にコンクリート用電気炉酸化スラグ骨材のJISが制定された。電気炉酸化スラグ骨材は、密度が大きい骨材として、消波ブロックや放射線遮蔽コンクリートなどへの使用が期待されている。

2. コンクリート用骨材の概要

(1) コンクリート用骨材の種類

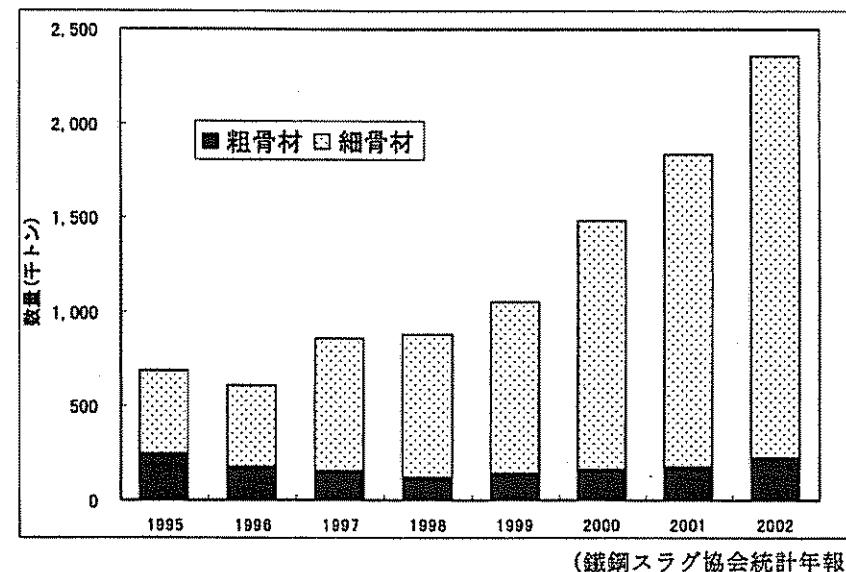
鉄鋼スラグのコンクリート用骨材には、「高炉スラグ骨材」および「電気炉酸化スラグ骨材」があり、それぞれ「粗骨材」と「細骨材」とがある。

「粗骨材」は、高炉もしくは電気炉において溶けた鉄と同時に生成する溶融スラグを徐冷し、粒度調整した骨材である。

「細骨材」は、同様に生成する溶融スラグを水、空気などで急冷し、粒度調整した骨材である。

「高炉スラグ骨材」は、1980 年前後に J I S 化されて以降、安定して利用されており、「電気炉酸化スラグ骨材」も 2003 年に J I S 化された。

近年、海砂採取の規制を契機とした天然骨材枯渇への対応という社会的ニーズの高まりに対して、鉄鋼各社共に供給体制も進んでおり、コンクリート用骨材の販売量は急増している状況にある。



(鉄鋼スラグ協会統計年報)

図 I - 2 - 1 コンクリート用高炉スラグ骨材の販売実績推移

(2) コンクリート用骨材の規格化の経緯

1970 年代までの経済成長期においては、国内の鉄鋼業の拡大に伴い急増した鉄鋼スラグではあったが、製鉄所の新設や増設に必要な土木資材として積極的に自家使用されていた。

その後、製鉄所の建設も一段落したことに加え、1973 年の石油危機以降の省資源化・省エネルギー化の流れと相まって、鉄鋼スラグの利用分野拡大のための利用技術の開発が開始された。

コンクリート用高炉スラグ骨材は、当時の川砂の枯渇問題に対応する要請もあり、早い段階で J I S 化活動が開始された。1977 年には粗骨材、1981 年には細骨材の J I S が制定され、その後、数度の改正を経て現在に至っている。

また、(社)日本建築学会、および(社)土木学会が制定する各種の施工指針にも、順次織り込みがなされ、主要な資材としての地位を占めるに至っている。

電気炉酸化スラグの骨材については、1995年からのJIS化検討の結果、2003年にJISが制定、(社)土木学会の設計・施工指針に織り込まれた。

表 I - 2 - 1 鉄鋼スラグ骨材規格化の経緯

JIS関係	<p>1972年：コンクリート用高炉スラグ骨材のJIS化活動開始 (専門委員会の発足)</p> <p>1974年：建材試験センターによる骨材標準化研究(日本鉄鋼連盟の委託) の開始(~1980年)</p> <p>1977年：コンクリート用高炉スラグ粗骨材(JIS A 5011)の制定</p> <p>1981年：コンクリート用高炉スラグ細骨材(JIS A 5012)の制定</p> <p>1992年：コンクリート用スラグ骨材(JIS A 5011)の改正 「高炉スラグ粗骨材・細骨材規格の統合」</p> <p>1995年：電気炉酸化スラグのコンクリート骨材JIS化に向けて 検討開始</p> <p>1997年：コンクリート用スラグ骨材(JIS A 5011)の改正 「部編成制を採用。高炉スラグ骨材は第1部(JIS A 5011-1)に 編成。」</p> <p>2003年：コンクリート用スラグ骨材(JIS A 5011)の改正 「電気炉酸化スラグ骨材を第4部(JIS A 5011-4)として制定」</p>
(社)日本建築学会 関係	<p>1978年：高炉スラグ碎石コンクリート設計施工指針(案)制定</p> <p>1979年：建築工事標準仕様書(JASS-5) 「鉄筋コンクリート工事」に粗骨材記載</p> <p>1983年：高炉スラグ細骨材を用いるコンクリートの設計施工指針制定</p>
(社)土木学会関係	<p>1978年：高炉スラグ碎石コンクリート設計施工指針(案)制定</p> <p>1982年：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計施工指針(案)制定</p> <p>1993年：高炉スラグ骨材コンクリート施工指針制定</p> <p>2003年：電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針 制定</p>
その他	<p>1976年：「コンクリート用高炉スラグ碎石」 建築基準法に基づく材料認定</p> <p>1983年：「コンクリート用高炉スラグ細骨材」 材料認定【建設省・住宅局】</p>

(3) 砂採取規制動向

全国のコンクリート用骨材の需要量は約5億トン程度（日本碎石協会調べ）と言われている。現在、骨材は「天然の砂利、砂および岩石加工による碎石」が中心である。地域的には、北陸、中部以北では山砂利・砂等が主で、中国・四国以西では海砂が主体となっている。

しかしながら、かつて川砂が枯渇したように、環境保全の観点からも、天然の骨材使用には問題が多い。現在は、海砂利・海砂について、厳しい採取規制がなされている。

国土交通省のアンケート調査結果によると、特に、瀬戸内海地区での採取禁止規制が進み、西日本では海砂供給不足が見通されており、スラグ骨材等の代替砂資源の確保が重要課題となっている。

表 I - 2 - 5 主な都道府県における今後の採取許可量方針^{※)}

(⇒ : 現状維持、▲ : 削減、× : 禁止、- : 方針なし)

都道府県	川砂利・砂		海砂利・砂	
秋田県	▲	削減	⇒	現状維持
千葉県	×	H11～全面禁止	×	H7～全面禁止
東京都	×	S39～全面禁止	-	-
神奈川県	⇒	現状維持	/	(回答なし)
静岡県	×	富士川禁止	-	-
三重県	⇒	現状維持	×	全面禁止
滋賀県	×	湖中砂利は廃止	-	-
京都府	×	指定河川禁止	/	(回答なし)
大阪府	×	原則禁止	-	-
岡山県	×	原則禁止	▲	削減予定
広島県	-	-	×	H10～全面禁止
山口県	×	認可予定なし	⇒	現状維持
徳島県	⇒	現状維持	×	全面禁止
香川県	/	(回答なし)	×	H17～全面禁止
愛媛県	▲	新規認可せず	⇒	県内需要量のみ
高知県	-	-	⇒	上限100万m ³
福岡県	-	-	⇒	現状維持
佐賀県	⇒	現状維持	⇒	現状維持
長崎県	/	(回答なし)	▲	減少調整中
熊本県	-	-	-	検討中
宮崎県	▲	削減	×	許可予定なし
鹿児島県	-	-	▲	削減

※) 国土交通省HP（「骨材需給動向調査」～西日本の砂需給動向とその対応～）および中国技術（vol.120、p.4、2001.10）より抜粋

(4) グリーン購入法特定品目指定

スラグ骨材は、その使用により、「天然資源の開発抑制による環境保全」、「天然資源の採掘、破碎加工エネルギーの削減」が可能となる。

のことから、高炉スラグ骨材は、2002年度に、グリーン購入法に基づく特定調達品目に追加された(表 I - 2 - 3)

公共工事に使われる資材として、「天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂又は碎石の一部若しくは全部を代替して使用できる高炉スラグを使用した骨材であること。」を判断の基準として取り上げられている。

グリーン購入法(国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律、2001年4月施行)は、「国等による環境物品等の調達の推進」、「情報の提供その他の環境物品等への需要の転換を促進」によって、環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築を図ることを目的としている。(表 I - 2 - 4)

なお、国等の機関が特に重点的に調達を推進する環境物品等の種類である「特定調達品目及びその判断の基準」については、環境省が設置した学識経験者等によって構成される特定調達品目検討委員会によって定められている。

表 I - 2 - 3 環境物品等の調達の推進に関する基本方針 (抜粋)

(環境省HPからの抜粋)

15. 公共工事

(1) 品目及び判断の基準等

公共工事	【判断の基準】	
	○契約図書において、一定の環境負荷低減効果が認められる表1に示す資材、建設機械、工法又は目的物の使用を義務付けていること。	

注) 義務付けに当たっては、工事全体での環境負荷低減を考慮する中で実施することが望ましい。

表1 (抜粋)

特定調達品目	分類	品目名		品目ごとの判断の基準
		(品目分類)	(品目名)	
公共工事	資材	コンクリート用 スラグ骨材	高炉スラグ骨材	表2

表2 (抜粋)

品目分類	品目名	判断の基準等
コンクリート用 スラグ骨材	高炉スラグ 骨材	【判断の基準】 ○天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂又は碎石の一部若しくは全部を代替して使用できる高炉スラグを使用した骨材であること。

表 I - 2 - 4 グリーン購入法の仕組み

(環境省HPからの抜粋)

グリーン購入法の仕組み

国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律(平成12年法律第100号)

目的 (第1条)

環境負荷の低減に資する物品・役務(環境物品等)について、

- ① 国等の公的部門における調達の推進 ⇒ 環境負荷の少ない持続可能な社会の構築
- ② 情報の提供など

国等における調達の推進

「基本方針」の策定 (6条)

調達推進の基本的方向、特定調達品目及びその判断の基準など各機関が調達方針を作成する際の基本的事項などについて定める。

国等の各機関 (第7条)

(国会、裁判所、各省、独立行政法人等)

毎年度「調達方針」(特定調達物品等及びそれ以外の環境物品等の調達目標等について定める)を作成・公表

調達方針に基づき、調達推進

調達実績の取りまとめ・公表
環境大臣への通知

環境大臣が各大臣等に必要な要請 (第9条)

地方公共団体 (第10条)

- ・毎年度、調達方針を作成
- ・調達方針に基づき調達推進
(努力義務)

環境調達を理由として、物品調達の総量を増やすこととならないよう配慮(第11条)

事業者・国民 (第5条)

物品購入等に際し、できる限り、
環境物品等を選択
(一般的責務)

情報の提供

製品メーカー等 (第12条)

製造する物品等についての適切な環境情報の提供

環境ラベル等の情報提供団体 (第13条)

科学的知見、国際的整合性を踏まえた情報の提供

国(政府)

- ◆ 製品メーカー、環境ラベル団体等が提供する情報を整理、分析して提供(第14条)
- ◆ 適切な情報提供体制のあり方について引き続き検討(附則第2項)

II. 高炉スラグ骨材編

1. 細骨材

(1) 製造フロー

図 II-1-1 に高炉水碎スラグから高炉スラグ細骨材を製造する工程の一例を示す。水碎スラグを破碎・整粒し、水碎スラグの角を取り、粒度分布を調整する。その後、保管中の固結を防止するため、固結防止剤を添加している。

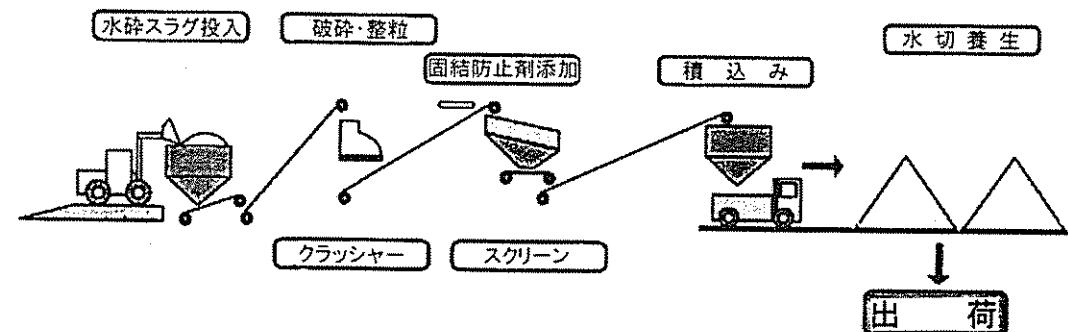


図 II-1-1 高炉スラグ細骨材の製造フロー例

(2) 種類

高炉スラグ細骨材は粒度により、表 II-1-1 のように区分されており、それぞれの粒度の範囲が規定されている。ふるい分け試験は JIS A 1102 による。

現在、主に粗粒率 2.4~2.6 程度の中目砂と粗粒率 3.2~3.5 程度の粗目砂が製造・出荷されている。

表 II-1-1 高炉スラグ細骨材の種類とその粒度範囲

種類	記号	ふるいを通るもののは質量百分率 (%)						
		10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
5mm 高炉スラグ細骨材	BFS5	100	90~100	80~100	50~90	25~65	10~35	2~15
2.5mm 高炉スラグ細骨材	BFS2.5	100	95~100	85~100	60~95	30~70	10~45	2~20
1.2mm 高炉スラグ細骨材	BFS1.2	—	100	95~100	80~100	35~80	15~50	2~20
5~0.3mm 高炉スラグ細骨材	BFS5~0.3	100	95~100	65~100	10~70	0~40	0~15	0~10

(3) 品 質

高炉スラグ細骨材の品質は、JIS A 5011-1 で表II-1-2のように定められている。

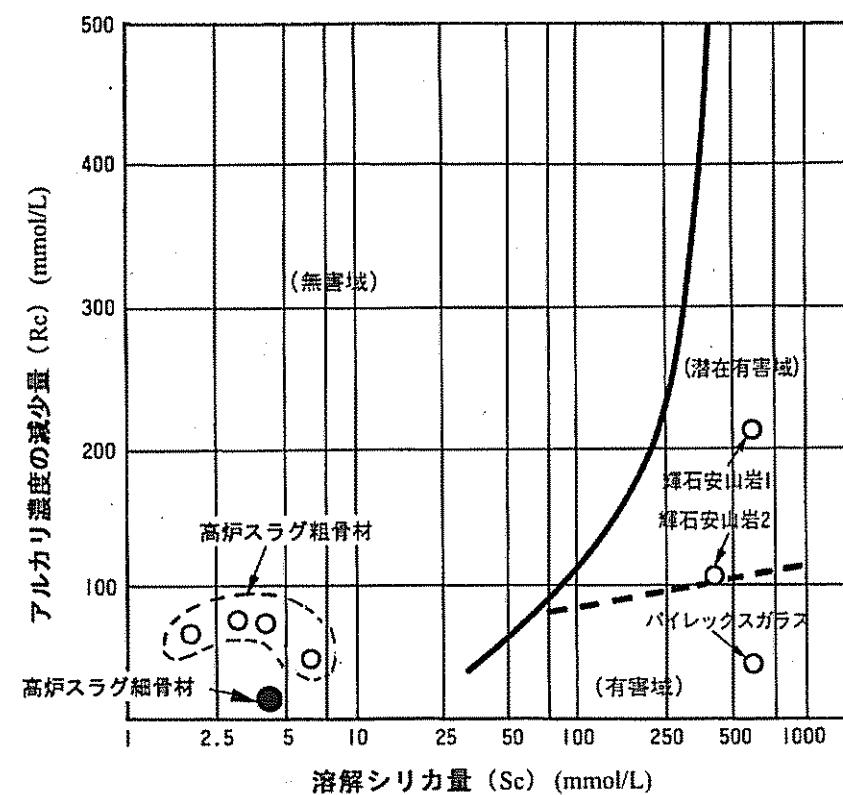
表II-1-2 高炉スラグ細骨材の品質 (JIS A 5011-1)

項 目		規定値	実績例
化学成分	酸化カルシウム (CaOとして) %	45.0 以下	41.3
	全硫黄 (Sとして) %	2.0 以下	0.78
	三酸化硫黄 (SO ₃ として) %	0.5 以下	0.02
	全鉄 (FeOとして) %	3.0 以下	0.42
絶乾密度 g/cm ³		2.5 以上	2.64
吸水率 %		3.5 以下	1.04
単位容積質量 kg/l		1.45 以上	1.53

(4) 特 徴

(a) 骨 材

高炉スラグ細骨材は、十分な品質管理のもとで製造された工業製品であり、しかもコンクリートの耐久性に影響を及ぼす有機不純物、粘土、貝殻などを含まず、粗粒から微粒に至るまで同一の化学成分のものである。また、表II-1-2に示すように、骨材とアルカリの反応によって溶出するシリカの量は数mmol/L程度であり、アルカリ骨材反応の恐れがない。



図II-1-2 化学法によるアルカリシリカ反応性試験結果¹⁾

(b) 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリート

① ワーカビリティ

高炉スラグ細骨材は、良質な川砂および海砂と比較すると一般に粒形が角張っているので、単独で用いると単位水量が多くなる傾向が見られるが、高炉スラグ細骨材 20~60%に天然砂などを混合することにより、ほぼ同等の単位水量で良好なワーカビリティが得られる²⁾。

② 圧縮強度

高炉スラグ細骨材および川砂を用いた同じ配合条件のコンクリートで10年にわたる強度試験の結果、高炉スラグ細骨材の圧縮強度は同等の配合の川砂コンクリートよりも材齢1年では約 8 N/mm²、材齢10年では約 16 N/mm²高い値を得た。この強度の増加は内部組織の電子顕微鏡観察や水和層の元素分析から、高炉スラグ細骨材の潜在水硬性によることが確認された³⁾。

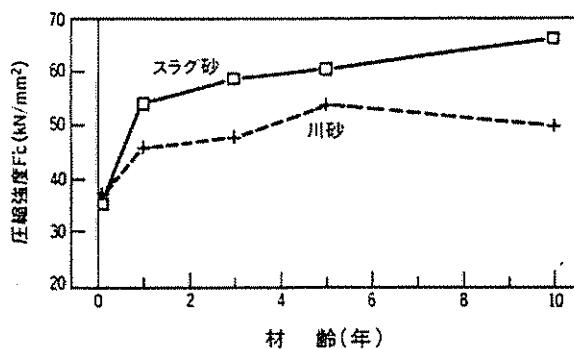


図 II-1-3 圧縮強度の経時変化³⁾

(5) 使用上の留意点

(a) 固結

高炉スラグ細骨材は、高炉水碎スラグを加工したものであり、高炉水碎スラグ同様に、長期間の貯蔵時には自らがアルカリ成分である Ca²⁺イオンを溶出させ、固結する。これは、Ca²⁺イオンが溶出する際、SiO₂ や Al₂O₃ も溶出し、セメントと同じように CaO-SiO₂-H₂Oなどの水和物を生成するために生じる現象と考えられている⁴⁾。この現象は気温の高い夏季の貯蔵時に生じやすい⁵⁾。

その対策として、高炉スラグ細骨材は保管時における固結を抑制するため、一般に製造プラントで固結防止剤が散布されたものが販売されている。

現在、固結防止剤はオキシカルボン酸塩系化合物やポリアクリル酸塩系化合物のものが開発され、実用化されている^{4)~9)}。

固結防止剤散布後の高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートは、60~90分程度の凝結遅延を生じさせことがある。しかし、材齢3日の圧縮強度など、その他の物理には影響を及ぼさないことが確認されている⁴⁾。

また、固結防止剤を用いる以外の方法として、山砂などの天然砂(石灰石は除く)を緩衝材としての目的で、高炉スラグ細骨材と一定の割合で混合することも固結抑制に有効な方法であることが確認されている⁷⁾。

(b) ブリーディング

高炉スラグ細骨材は、ガラス質で保水性が小さく、粒形が角張っているため、良質な川砂を用いたコンクリートよりもブリーディングがやや大きく、ブリーディング速度も速い傾向にある¹⁰⁾。

高炉スラグ細骨材に碎砂などを混合し、粒度分布の改善を図ることにより、実積率の大きい混合砂として用いることができる。その結果、ワーカビリティの改善、ブリーディング量の低減を図ることができる¹⁰⁾。

(6) 関連規格・指針

○ JIS

- ・JIS A 5011-1 第1部：高炉スラグ骨材（2003改正）

○ (社) 日本建築学会

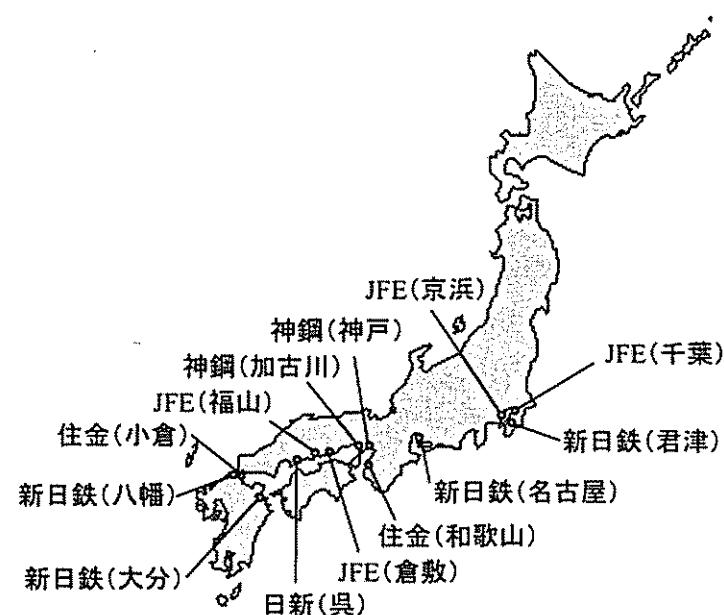
- ・高炉スラグ細骨材を用いるコンクリート施工指針・同解説（1983）

○ (社) 土木学会

- ・高炉スラグ骨材コンクリート施工指針（1993）

(7) 生産基地

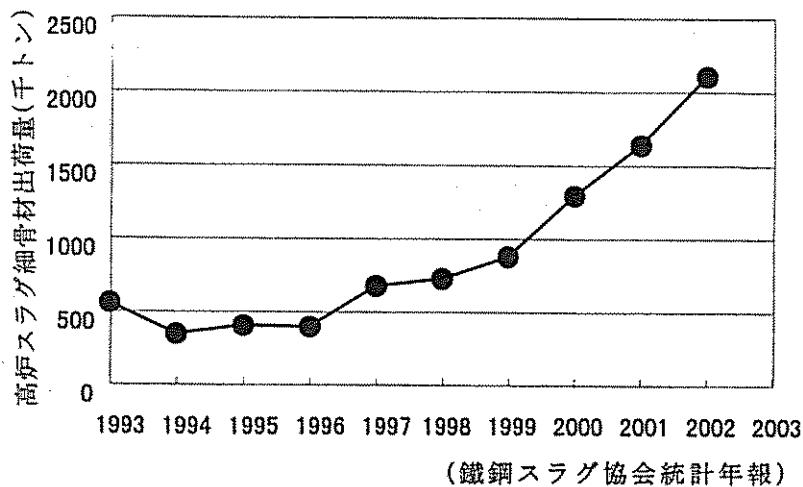
高炉スラグ細骨材の製造は、現在、図II-1-4に示す全国13ヶ所の製鉄所内で行われている。



図II-1-4 高炉スラグ細骨材生産基地

(8) 販 売 実 績

近年、瀬戸内地方を中心とした海砂採取規制による海砂の代替需要、関東地方の輸入粗目砂代替需要の増加に伴い、高炉スラグ細骨材の出荷量は年々増加している。2002度の出荷量は210万トンと、1996年度の5倍超となっている。



図II-1-5 高炉スラグ細骨材出荷年度実績

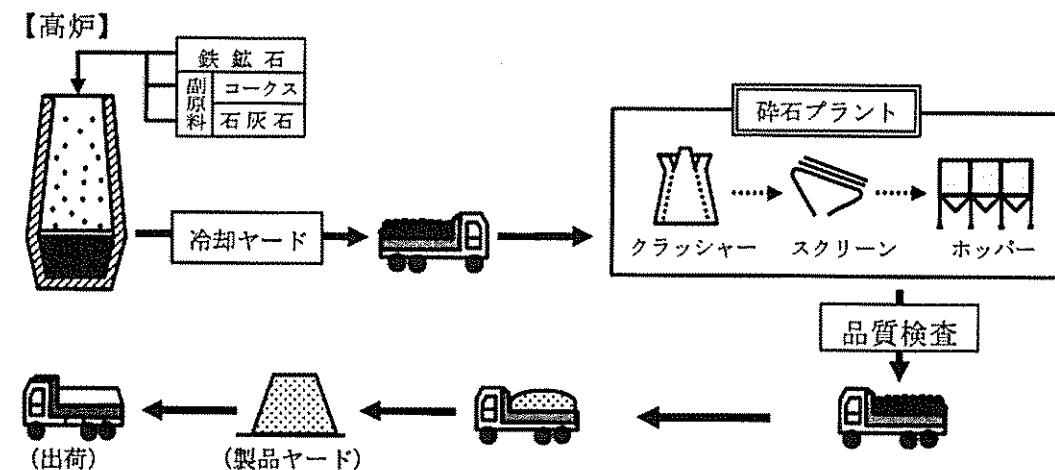
(9) 参 考 文 献

- 1) 山本親志、千賀平造、森山容州、沼田晉一：高炉スラグ骨材コンクリートのアルカリ反応に対する安定性、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、Vol. 8th, pp157～160, 1986. 6
- 2) 日本鉄鋼連盟：コンクリート用高炉スラグ細骨材評定申込資料、1982. 4
- 3) 下山善秀、國府勝郎：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの10年試験結果、セメント・コンクリート No70, pp18～23, 1995. 10
- 4) 高橋智雄、木之下光男、吉澤千秋、光藤浩之：高炉スラグ細骨材用固結防止剤の開発、コンクリート工学、Vol. 40, No. 11, 2002, 1
- 5) 白石 力、光藤浩之、高橋智雄、木之下光男：コンクリート用高炉スラグ細骨材の固結に及ぼす温度の影響、材料とプロセス、第143回 日本鉄鋼協会講演論文集、Vol. 13, p851, 2000
- 6) 野村高照、榎戸恒夫、鈴木章平、徳永良邦、稻山邦彦：高炉水碎スラグの硬化特性とその抑制策、製鉄研究、第301号、pp19～28, 1980
- 7) 金谷宗輝・松井 純、伊藤康子、市川牧彦：高炉スラグ細骨材の固結とその抑制技術、無機マテリアル pp301～306, 2000. 7
- 8) 高橋智雄、木之下光男、吉澤千秋、光藤浩之：高炉スラグ細骨材用固結防止剤の開発、第54回セメント技術大会講演要旨、pp66～67, 2000. 4
- 9) 光藤浩之、和田 隆、吉澤千秋、山口 篤、高橋智雄、木之下光男：ポリアクリル酸 塩 添加による高炉スラグ固結防止剤の固結防止効果(高炉スラグ細骨材の固結防止技術の開発-4)、材料とプロセス、第146回 日本鉄鋼協会講演論文集、Vol. 16, p1014, 2003
- 10) 日本鉄鋼連盟：コンクリート高炉スラグ細骨材標準化に関する研究、コンクリート用高炉スラグ細骨材標準化研究委員会、1979. 6

2. 粗骨材

(1) 製造フロー

図II-2-1に、高炉徐冷スラグから高炉スラグ粗骨材を製造する工程の一例を示す。



図II-2-1 高炉スラグ粗骨材の製造フロー例

(2) 種類

(a) 製品区分と粒度範囲

高炉スラグ粗骨材は、溶鉱炉で銑鉄と一緒に生成される溶融スラグを徐冷し、破碎したものであり、表II-2-1に示す6種類の粒度を調整した製品がJIS A 5011-1により定められているが、粗骨材2005(BFG20-5)が多く使用されている。

表II-2-1. 高炉スラグ粗骨材の粒度範囲

区分	記号	ふるいの呼び寸法						
		ふるいを通るもののは質量分率 (%)						
		50	40	25	20	15	10	5
高炉スラグ粗骨材4005	BFG40-5	100	95~100	—	35~70	—	10~30	0~5
高炉スラグ粗骨材4020	BFG40-20	100	90~100	20~55	0~15	—	0~5	—
高炉スラグ粗骨材2505	BFG25-5	—	100	95~100	—	30~70	—	0~10
高炉スラグ粗骨材2005	BFG20-5	—	—	100	90~100	—	20~55	0~10
高炉スラグ粗骨材2015	BFG20-15	—	—	100	90~100	—	0~10	0~5
高炉スラグ粗骨材1505	BFG15-5	—	—	—	100	90~100	40~70	0~15

(b) 絶乾密度、吸水率及び単位容積質量による区分

表II-2-2. 高炉スラグ粗骨材の絶乾密度、吸水率及び
単位容積質量による区分

区分	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)
L	2.2以上	6.0以下	1.25以上
N	2.4以上	4.0以下	1.35以上

(3) 品 質

粗骨材の品質は、一般に JIS A 5011-1 に規定された品質規格(表II-2-3)および(社)土木学会「コンクリート標準示方書【施工編】」の規準(表II-2-4)により管理されている。

前述の標準示方書においては、微粒分試験で失われるものの量の限度を5.0%とし、石炭、亜炭等で密度1.95の液体に浮くものについても、適用されないこととされている。

これは高炉スラグ粗骨材の微粒分試験によって失われるものが、破碎処理の工程で発生する無機質の鉱物粉であり、骨材粒の表面に気孔が多いため、微粉末が気孔に付着し、微粒分試験で失われ、含有量がいくぶん大きくなる傾向があるものの、粘土あるいはシルト類のようにコンクリートの品質に悪影響をおよぼすものではないことによる。

表II-2-3. コンクリート用高炉スラグ粗骨材品質規格

区分	高炉スラグ粗骨材		実績例 N
	L	N	
化学成分	酸化カルシウム(CaOとして) %	45.0以下	42.1
	全硫黄 ^{※1)} (Sとして) %	2.0以下	0.79
	三酸化硫黄 (SO ₃ として) %	0.5以下	0.11
	全鉄 (FeOとして) %	3.0以下	0.39
絶乾密度	g/cm ³	2.2以上	2.56
吸水率	%	6.0以下	4.0以下
単位容積質量	kg/l	1.25以上	1.35以上
水中浸せき ^{※2)}	き裂、分解、泥状化、粉化などの現象があつてはならない。		
紫外線(360.0nm)照射 ^{※3)}	発光しないか、又は一様な紫色に輝いていなければならぬ。		

※1) : 高炉スラグ粗骨材中に硫黄分が多いと、コンクリート中の鋼材を腐食させる恐れがある。

また高炉スラグ中の硫黄は硫化物 (CaS) として含まれているが、酸化されて硫酸塩に変化した後、セメント中のアルミニ酸三石灰と反応してエトリンガイトを生じ、コンクリートを損傷させる恐れがある。このため、S、SO₃の規格があり、使用上問題の発生する恐れはない。

※2) : 高炉における鉄の還元が不十分であつたりして、鉄化合物が多く含まれた高炉スラグ粗骨材は、水と反応して崩壊するものがある。このようなスラグが高炉より排出されることはないが、十分な安定性保証の目的でFeOの含有量の限度を3.0%とし、水中浸せき試験による方法を規定している。

※3) : 結晶質の高炉スラグ粗骨材中に酸化カルシウムが多いと、結晶中に不安定な鉱物が生成し、これがコンクリート中で崩壊することが考えられる。

高炉スラグ粗骨材にはほとんど見当たらないが、崩壊が起りつつある部分、起こる可能性がある部分は、紫外線を照射すると異常な発光をする。

そこで紫外線照射試験方法を規定する。

表 II-2-4 粗骨材の有害物含有量の限度（質量百分率）

種類	最大値	
	高炉スラグ粗骨材	他の粗骨材
粘土塊	0.25 ^{※1)}	
微粒分試験で失われるもの	5.0	1.0 ^{※2)}
石炭、亜炭等で密度 1.95 の液体に浮くもの コンクリートの外観が重要な場合	適用しない	0.5
その他の場合	適用しない	1.0

※ 1) 試料は、JIS A 1103 による骨材の微粒分試験を行なった後にふるいに残存したもののから採取する。

※ 2) 破石の場合で、微粒分試験で失われるものが破石粉であるときは、最大値を 1.5% にしてもよい。

(4) 特 徵

(a) 骨 材

高炉スラグ粗骨材は、天然材には得難い特性と安定した品質を有しており、省資源の観点からも有効な資材であり、以下の特徴がある。

- ① 溶融シリカ量が少なく、アルカリ骨材反応が起こりにくい。（図 II-2-2）
- ② 粘土、有機不純物といった有害物質を含んでいない。

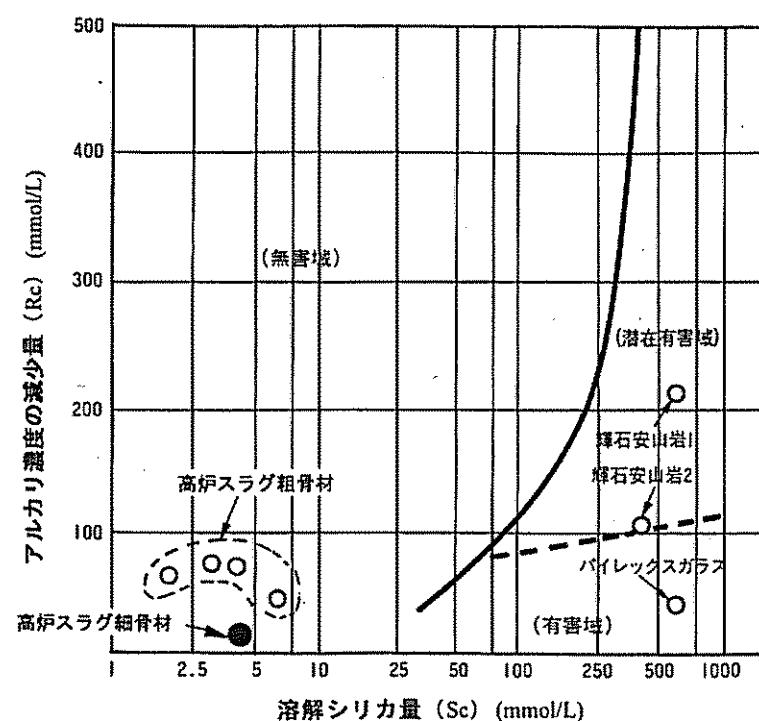


図 II-2-2 化学法によるアルカリシリカ反応性試験結果¹⁾

(b) 高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリート

区分 N の高炉スラグ粗骨材を用いると、一般に通常の碎石を用いた水セメント比が同一のコンクリートと大差のない強度を示す。このような傾向は、引張強度、曲げ強

度、ヤング係数についても認められる。また、初期強度の発現が良く、高い強度が得られる²⁾。

(5) 使用上の留意点

(a) プレウェッ칭ング

- ・通常の砂利、碎石と比較して吸水率が大きく、時間の経過に伴い、吸水される水量が大きくなる傾向があり、乾燥状態で使用した時、コンクリートの運搬や打ち込み中に品質が変化することが考えられるが、人工軽量骨材のプレウェッ칭ングと同じような吸水処置を行うことにより抑制できる。
- ・区分Lの高炉スラグ粗骨材を気乾状態で用いる場合、骨材がミキサー内で吸水し、コンクリートのコンシスティンシー、強度等の品質変動の原因となるので、乾燥した骨材を用いる場合は特に注意する必要があるが、上記プレウェッ칭ングを行ない、吸水処置を行うことにより抑制できる。

(b) アルミナセメント

アルミナセメントを高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートに用いると、急結する恐れがあるので使用しないほうがよい。

(c) 骨材修正係数

高炉スラグ粗骨材は骨材粒の内部に空隙を有するため、一般に、骨材修正係数を、河川砂利と比較して1～2%大きい値にする必要がある。

(d) すり減り減量

舗装コンクリートに用いる場合の高炉スラグ粗骨材のすりへり減量は35%とする。

(e) AEコンクリート

高炉スラグ粗骨材コンクリートは、所要のワーカビリチーを得るために必要な単位水量が河川砂利を用いた場合に比べて大きくなったり、コンクリートの耐久性が劣つたりする場合があり、常にAEコンクリートとすることが望ましい。

(6) 関連規格・指針

○ JIS

- ・JIS A 5011-1 第1部：高炉スラグ骨材（2003改正）

○ (社) 土木学会

- ・高炉スラグ骨材コンクリート施工指針（1993）

(7) 生産基地

高炉徐冷スラグが生成される高炉メーカーに、生産基地が存在する。

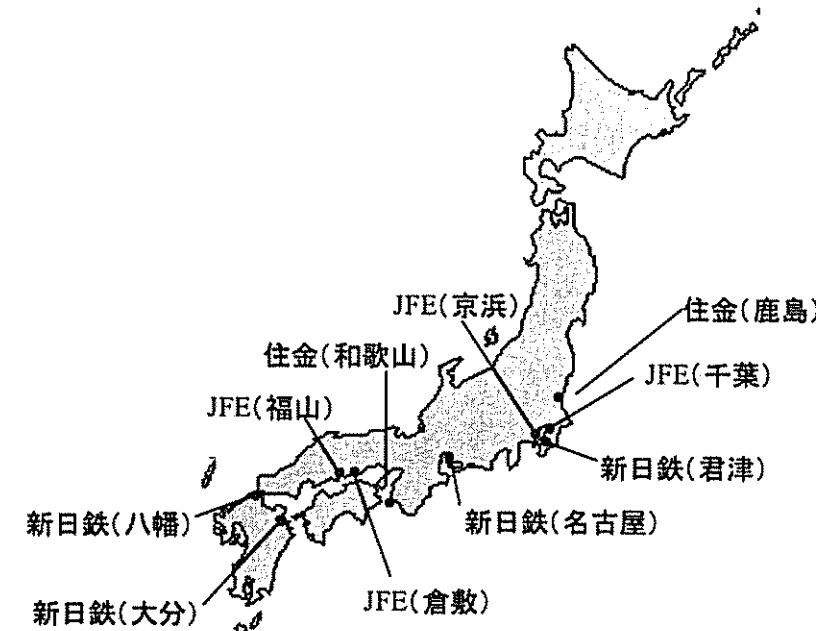
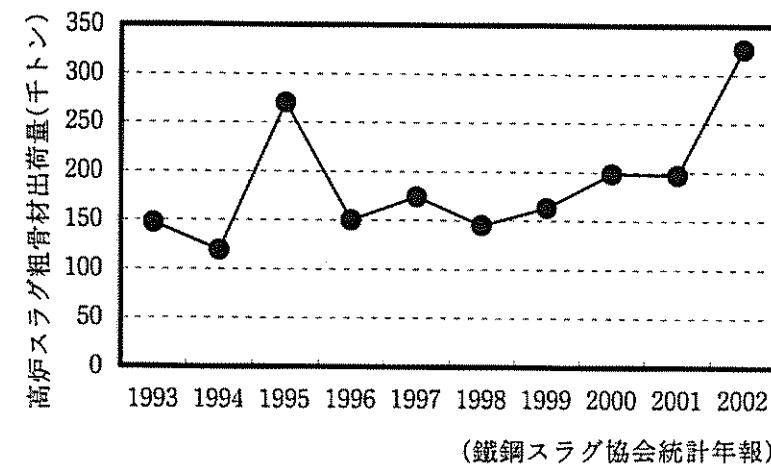


図 II - 2 - 3 高炉スラグ粗骨材の生産基地

(8) 販売実績

粗骨材の販売実績推移を下図に示す。各年度、200～300千トン程度が使用されている。



(鐵鋼スラグ協会統計年報)

図 II - 2 - 4 高炉スラグ粗骨材出荷年度実績

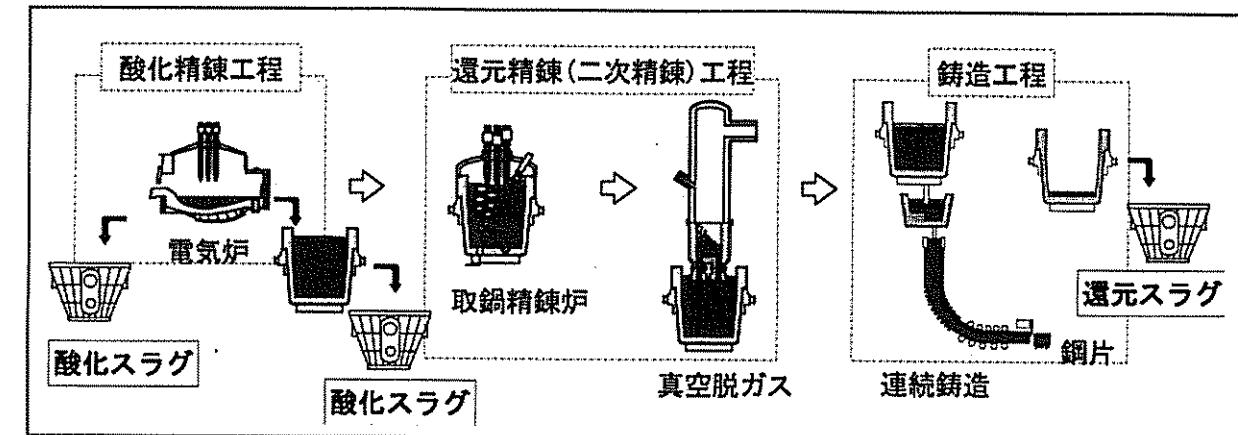
(9) 参考文献

- 1) 山本親志、千賀平造、森山容州、沼田晉一：高炉スラグ骨材コンクリートのアルカリ反応に対する安定性、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、Vol. 8th, pp157～160、1986. 6
- 2) 吉田弥智：各種スラグがコンクリートの特性に及ぼす影響について；名古屋工業大学土木工学科資料、1973. 3
- 3) 高炉スラグ碎石コンクリート施工指針案・同解説 日本建築学会
- 4) 高炉スラグ碎石コンクリート設計施工指針案 土木学会

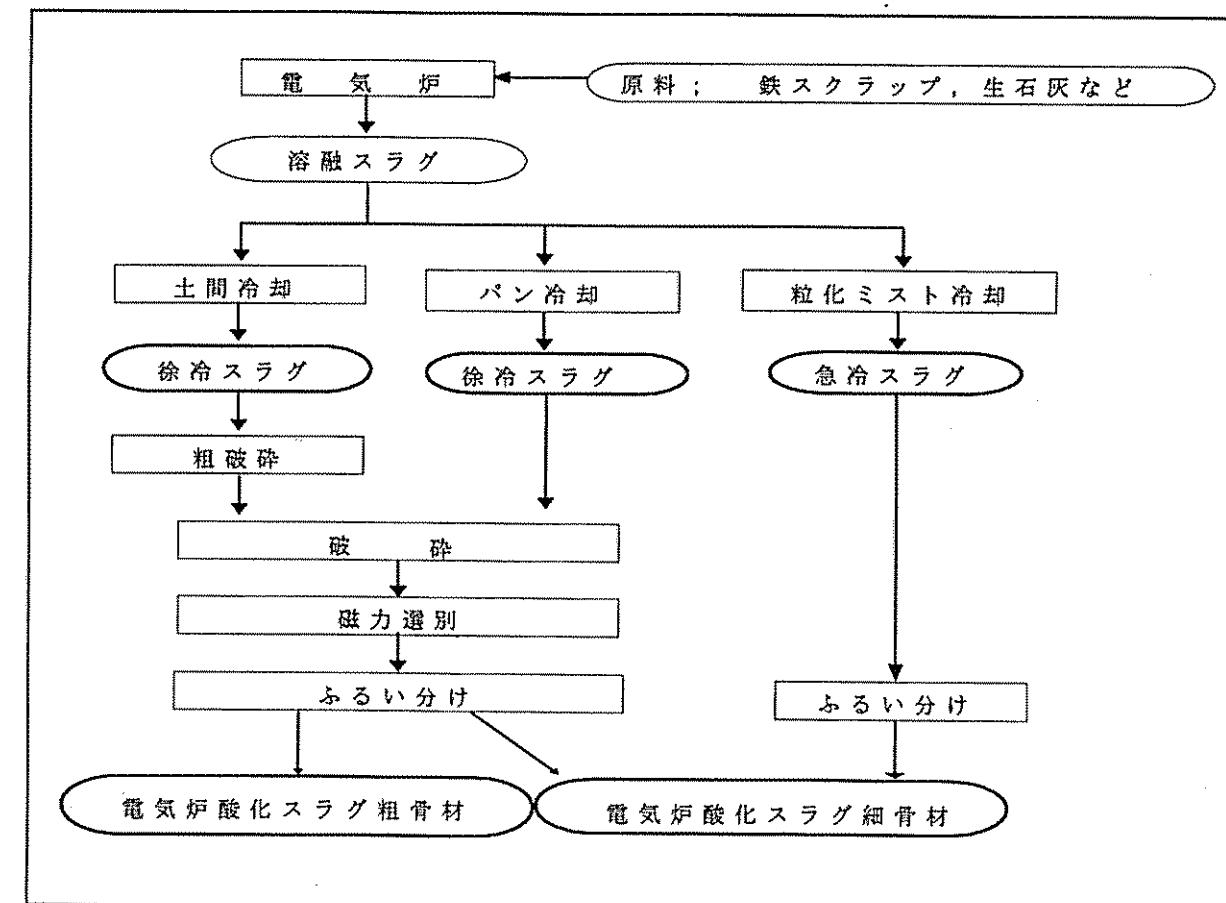
III. 電気炉酸化スラグ骨材編

1. 製造フロー

図III-1-1に電気炉製鋼工程及びスラグの発生工程を、図III-1-2に電気炉酸化スラグ骨材の製造工程の概要を示す。



図III-1-1 電気炉製鋼工程及びスラグの発生工程



図III-1-2 電気炉酸化スラグ骨材の製造工程概要

2. 種類

(1) 種類

電気炉酸化スラグ骨材の種類と記号を表III-2-1に示す。

表III-2-1 電気炉酸化スラグ骨材の種類と記号

種類	記号
電気炉酸化スラグ粗骨材	EFG
電気炉酸化スラグ細骨材	EFS

(2) 粗骨材の粒度による区分

JIS A 5011-4では、電気炉酸化スラグ粗骨材を粒度によって、表III-2-2のように4種類に区分している。

表III-2-2 電気炉酸化スラグ粗骨材の粒度による区分

区分	記号	ふるいの呼び寸法						
		ふるいを通るもののは質量分率 %						
		50	40	25	20	15	10	5
電気炉酸化スラグ粗骨材 4020	EFG40-20	100	90~100	20~55	0~15	—	0~5	—
電気炉酸化スラグ粗骨材 2005	EFG20-05	—	—	100	90~100	—	20~55	0~10
電気炉酸化スラグ粗骨材 2015	EFG20-15	—	—	100	90~100	—	0~10	0~5
電気炉酸化スラグ粗骨材 1505	EFG15-05	—	—	—	100	90~100	40~70	0~15

消波ブロック等では最大寸法40mm程度までの粒度が要求されるのでEFG40-20を設けている。汎用性の高い粒度はEFG20-05であるが、粒度分布の管理と安定性を考慮してEFG20-15とEFG15-05を設けている。

(3) 細骨材の粒度による区分

JIS A 5011-4では、電気炉酸化スラグ細骨材を粒度によって、表III-2-3のように4種類に区分している。

表III-2-3 電気炉酸化スラグ細骨材の粒度による区分

区分	記号	ふるいの呼び寸法						
		ふるいを通るもののは質量分率 %						
		10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
5mm電気炉酸化スラグ細骨材	EFS5	100	90~100	80~100	50~90	25~65	10~35	2~15
2.5mm電気炉酸化スラグ細骨材	EFS2.5	100	95~100	85~100	60~95	30~70	10~45	5~20
1.2mm電気炉酸化スラグ細骨材	EFS1.2	—	100	95~100	80~100	35~80	15~50	10~30
5~0.3mm電気炉酸化スラグ細骨材	EFS5~0.3	100	95~100	45~100	10~70	0~40	0~15	0~10

電気炉酸化スラグ細骨材は、普通細骨材の細目、中目または粗目のいずれのものとも混合使用できるよう、4種類の粒度が設けられている。5mmおよび2.5mm電気炉酸化スラグ細骨材は、コンクリート用細骨材として単独に使用することができる。

電気炉酸化スラグ骨材に含まれる0.15mm以下の微粒分は、粘土やシルトではないので、その混入割合を増やしても単位水量の増加は少なく、また、ブリーディングを抑制する効果をもたらす。この点を考慮して、JIS A5011-4では、EFS2.5及びEFS1.2の0.15mmふるいを通るもの量を、それぞれ5~20%および10~30%と多く許容している。

3. 品 質

JIS A 5011-4では、電気炉酸化スラグ骨材の品質を表III-3-1のように規定している。電気炉酸化スラグ骨材の品質実績例を表III-3-2に示す。

表III-3-1 化学成分および物理的性質

項 目		粗 骨 材		細 骨 材	
		N	H	N	H
化 学 成 分	酸化カルシウム (CaOとして) %	40.0 以下			
	酸化マグネシウム (MgO) %	10.0 以下			
	全鉄 (FeOとして) %	50.0 以下			
	塩基度 (CaO/SiO ₂ として)	2.0 以下			
絶乾密度 g/cm ³		3.1 以上	4.0 以上	3.1 以上	4.0 以上
		4.0 未満	4.5 未満	4.0 未満	4.5 未満
吸 水 率 %		2.0 以下			
単位容積質量 kg/l		1.6 以上	2.0 以上	1.8 以上	2.2 以上

表III-3-2 電気炉酸化スラグ骨材の品質実績例

	化 学 成 分				物理的性質		
	CaO (%)	MgO (%)	FeO (%)	CaO/SiO ₂	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)
EFG20-05	23.2	3.8	33.4	1.50	3.54	0.78	1.99
EFS5					3.65	0.80	2.36

4. 特 徵

(1) 骨 材

① 密度が高い

電気炉酸化スラグ骨材は、表III-4-1に示すように密度が高いのが特徴であり、その使用量が増加するほど、コンクリートの単位容積質量が増加する。EFS混合率が30%未満であれば、単位容積質量は普通コンクリートよりも100kg/m³程度増加するだけであるが、粗・細骨材の全量に電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの単位

容積質量は 3000kg/m^3 前後となる。

このため、単位容積質量の上限が指定されている場合には、骨材の密度及び EFS 混合率等に留意する必要がある。一方、消波ブロック、ピット、建物の連結基礎、防音、放射線遮蔽用等のような、重量が要求されるコンクリートへの適用に有利である。

表III-4-1 コンクリート用細骨材の絶乾密度規格の比較

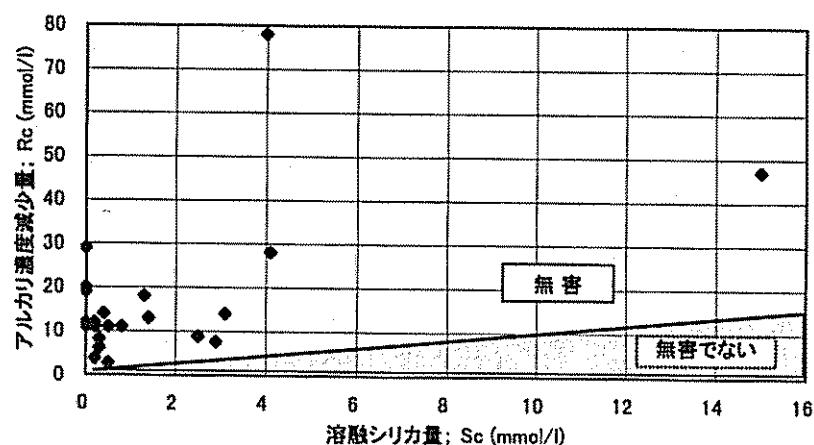
碎砂	スラグ骨材 (g/cm^3)			
	高炉スラグ	フェロニッケルスラグ	銅スラグ	電気炉酸化スラグ
2.2 以上	2.5 以上	2.7 以上	3.2 以上	3.1~4.5

② 塩化物含有量が少ない

電気炉酸化スラグ骨材は、製造工程ではスラグの冷却等に海水を使用していないため、塩化物含有量は極めて少ない。したがって、塩化物や粒度が基準を満たさず、単独で使用できない海砂や山砂、碎砂等に適切な粒度区分の電気炉酸化スラグ細骨材を適當な割合で混合使用することにより、細骨材の品質を改善することができる。

③ アルカリシリカ反応性

電気炉酸化スラグ骨材のアルカリシリカ反応性は、図III-4-1に示すように溶融シリカ量が少なく、化学法による結果では、全て無害と判定されている。モルタルバー法でも、骨材の塩基度が 2.0以下では膨張率が 0.040%以下であり、無害と判定されている。



図III-4-1 アルカリシリカ反応性試験（化学法）の判定結果

④ すりへり抵抗、すべり抵抗が大きい

III-4-2 に粗骨材のラベリング試験結果を表III-4-3 に粗骨材の P S V 試験結果を示す。電気炉酸化スラグ粗骨材は硬くて、すり減り抵抗性、すべり抵抗性に優れることから、舗装コンクリートへの利用が期待できる。

表III-4-2 骨材のラベリング試験結果

	横断形状	重量損失	
	摩耗量 (cm ²)	損失量 (g)	換算摩耗量 (cm ³)
普通骨材	0.410	62.0	23.57
電気炉酸化スラグ骨材	0.335	58.0	16.29

表III-4-3 粗骨材のPSV試験結果

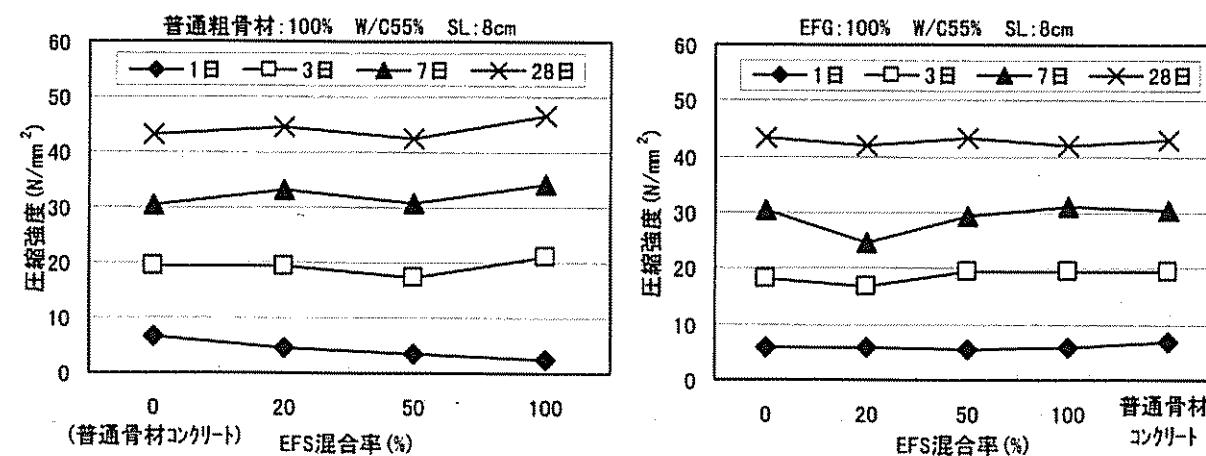
	研磨前	研磨後
普通骨材	67	58
電気炉酸化スラグ骨材	72	66

(2) 電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリート

① 圧縮強度

細骨材に電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は、粗骨材が普通骨材であるか電気炉酸化スラグであるかにかかわらず、普通骨材コンクリートとほぼ同程度の値が得られる。(図III-4-2)²⁾。

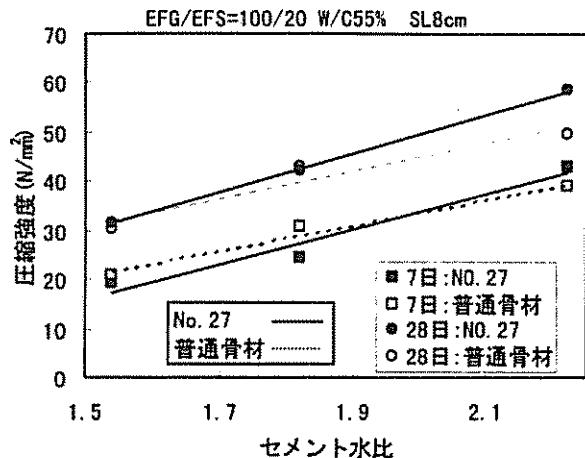
また、水セメント比と圧縮強度は、一般のコンクリートと同様に、直線回帰できる。(図III-4-3)²⁾。



(a)粗骨材=普通粗骨材100%の場合

(b)粗骨材=EFG100%の場合

図III-4-2 EFS混合率と圧縮強度の関係²⁾



図III-4-3 セメント水比と圧縮強度の関係²⁾

② 耐久性

電気炉酸化スラグ骨材コンクリートは、凍結融解作用に対する耐久性を確保するため適切な空気量を有するAEコンクリートとする必要がある。電気炉酸化スラグ骨材コンクリートの耐凍害性は、EFG0%/EFS50%以下やEFG100%/EFS30%以下の範囲であれば、ブリーディングを抑制すること、水セメント比を小さくすること、所定の空気量を得ること等の対策を適切に講じれば所要の耐凍害性を満足するコンクリートを製造することができる。

5. 使用上の留意点

(1) 骨材の品質確認

JIS A 5011-4では、電気炉酸化スラグ骨材は『電気炉酸化スラグ骨材の全製造工程において、還元スラグが混入しない対策が講じられた工場で製造されたものに限定する』と規定している。電気炉酸化スラグ骨材の使用に際しては、骨材の製造工程の管理及び製品の品質が第三者機関によって認証されたJIS認定工場で製造されたことを確認する必要がある。

(2) 配合設計

電気炉酸化スラグ細骨材を砂や碎砂の30%(容積比)程度混合して使用する場合には、単位容積質量の増加は100kg/m³を超えることは少なく、ブリーディングや凝結性状等フレッシュコンクリートの品質や硬化コンクリートの品質も、通常のコンクリートと大差ないものとなる。したがって、この範囲の混合率では一般土木構造物に特別の配慮を必要とせずに用いることができる。

ただし、電気炉酸化スラグ骨材を粗骨材に用いた場合や、細骨材の混合率が大きくなっ場合、コンクリートの単位水量やブリーディングが増加する傾向にある。そのため、配合設計に当たってはできるだけ単位水量を少なく選定する、適切な混和材料を使用する等の対策をとる必要がある。

6. 関連規格・指針

○ JIS

- ・JIS A 5011-4 『コンクリート用スラグ骨材－第4部：電気炉酸化スラグ骨材
(2003年制定)』

○ (社) 土木学会

- ・『電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工・指針(案)
(2003年3月)』

○ (社) 日本建築学会

- ・『電気炉酸化スラグ骨材品質調査研究小委員会報告書(2004年3)』

7. 参考文献

- 1) (社)日本鉄鋼連盟, 普通鋼電炉工業会, 鐵鋼スラグ協会 電気炉スラグ特別委員会: 電氣炉酸化スラグ利用研究委員会別資料, 1999.8
- 2) (社)日本鉄鋼連盟, 普通鋼電炉工業会, 鐵鋼スラグ協会 電気炉スラグ特別委員会: 電氣炉酸化スラグ利用研究委員会報告書, 2001.8

8. 施工実績

表III-7-1 電気炉酸化スラグ骨材コンクリートの施工実績

No.	施工時期	使用箇所	混合率 (vol.%)		設計基準 圧縮強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	f _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			圧縮強度 (N/mm ²)	ボンブ 压送の 有無	
			EFS	EFG							W	C ¹⁾	S ₂₎	G		
1 '92.10	道路	70 0	34	8	4.0	25	47.0	42.3	151	321	759	232	0	1085	3.21	34.6 46.7 無
2 '93.7	機械基礎	60 0	21	18	4.5	25	62.0	48.2	162	261	744	356	0	983	2.81	17.9 25.0 無
3 '93.9	工場水槽	60 0	21	12	4.5	25	58.0	46.0	153	264	713	311	0	1019	0.53	14.7 32.1 有
4 '93.9	薬液処理槽	60 0	21	18	4.5	25	62.0	48.2	162	261	744	356	0	983	2.81	17.5 26.3 有
5 '93.10	加熱炉基礎	60 0	21	18	4.5	25	58.0	48.0	162	279	727	346	0	964	0.56	15.1 32.4 有
6 '94.7	機械基礎	100 0	21	18	4.5	25	62.0	49.0	162	261	1263	0	0	974	2.81	17.4 24.0 無
7 '95.3	看板基礎	100 0	24	8	4.5	20	55.4	48.3	144	260	1271	0	0	1009	2.60	20.5 38.1 無
8 '97.3	病院棟 鋼管柱充填 (圧力注入工法)	70 0	50 55x55	3.0	20	35.0	49.0	170	486	823	242	0	864	8.75	41.6 73.6 有	
9 '97.4	病院棟 鋼管柱充填 (トレミー管注入工法)	70 0	50 55x55	3.0	20	35.0	49.0	170	485	823	242	0	815	8.75	42.6 66.3 有	
10 '97.6	病院建屋 (放射線施設)	90 0	24	15	4.5	20	51.4	49.9	149	290	1197	90	0	913	2.90	21.1 38.9 有
11 '99.2	製品置場	90 100	27	15	4.5	20	50.0	50.0	160	320	1161	89	1280	0	3.20	17.9 42.4 有
12 '99.2	製品置場	90 100	36	15	4.5	20	40.0	48.0	160	400	1070	82	1280	0	4.00	25.8 55.6 有
13 '99.2	製品置場	90 100	24	15	4.5	20	54.5	52.0	160	294	1222	93	1243	0	2.94	19.4 43.4 有
14 '99.3	建屋連絡地中壁	90 0	30	15	4.5	20	50.0	46.0	160	320	1057	81	0	988	3.20	有

注 1) N₃, N₅, N₇, N₈, N₉, N₁₀, N₁₄, N₁₆, N₂₀ は高炉セメントB種を、その他は普通ポルトランドセメントを使用。

2) N₂₀~N₃₃ は破碎スラグを、その他は急冷スラグを使用

3) N₈, N₉, N₁₇, N₁₉, N₂₀, N₂₆ は高性能A-E減水剤を、その他はA-E減水剤を使用。

No.	施工 時期	使用箇所	混合率 (vol. %)	設計基準 圧縮強度 EFS EFG (N/mm ²)	スラ ンブ (cm)	空気量 (%)	G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	W C ¹¹	単位重量 (kg/m ³)			圧縮強度 (N/mm ²) 7日	28日	ポンプ 送の 有無
											EFS	EFG	粗骨材	混和剤 ³⁾		
15 '99. 6	病院建屋 (放射線遮蔽)		40 0	27	15 4.5	20	59.0 50.8	163	277	531	548	0	928	2.94		有
16 '99. 7	病院建屋 (放射線遮蔽)		90 0	27	15 4.5	20	50.0 46.0	160	320	1067	81	0	988	3.20		有
17 '99. 9	余張橋・ランサー		100 100	16	12 3.0	20	57.6 55.0	190	330	1536	0	1101	0	0.99		有
18 '99. 10	建屋・床・壁(遮音)		100 0	24	20 4.5 (モルタル)	50.0 100.0	240	480	2134	0	0	0	0	0.60	37.1	53.2 有
19 '99. 10	機械基礎		0 100	24	15 4.5	20	56.6 49.2	185	327	0	844	1258	0	3.27	26.9	37.9 有
20 '00. 9	建屋ベースマット(転倒防止)		100 100	24	12 1.0	20	39.5 44.3	150	380	1177	0	1428	0	2.09	43.1	55.1 無
21 '01. 2	道路表層(排水性舗装)		0 100 4.5以上	0	16.4 15	27.9 12.3	83	297	0	199	2024	0	30	4.1	5.0 無	
22 '02. 06	工場土間		30 0	21	18 4.5	20	55.0 45.4	180	327	337	552	0	980	3.27	20.9	28.6 有
23 '02. 06	工場土間		30 0	21	12 4.5	20	55.0 44.6	169	307	339	555	0	1020	3.07	24.5	21.7 有
24 '02. 06	工場土間		30 0	21	12 4.5	20	55.0 47.0	180	327	349	572	1278	0	3.27	21.9	29.8 有
25 '02. 09	工場土間		30 0	24	15 4.5	20	57.0 51.0	169	297	381	651	0	1020	2.23	—	35.0 有
26 '02. 10	建屋(X線遮蔽)		0 30	27	15 4.5	25	55.0 46.2	168	305	0	798	273	804	3.05	16.7	38.0 有
27 '02. 11	工場土間・機械基礎		30 0	24	18 4.5	20	55.0 45.4	180	327	337	552	0	980	3.27	28.1	37.9 有
28 '02. 11	工場土間・機械基礎		30 0	24	18 4.5	20	55.0 44.6	169	307	339	555	0	1020	3.07	28.4	38.4 有
29 '02. 11	工場土間・機械基礎		50 0	24	12 4.5	20	55.0 44.6	174	316	559	393	0	1007	3.16	28.5	35.7 有
30 '02. 11	工場土間・機械基礎		0 100	24	12 4.5	20	55.0 44.6	174	316	0	785	1353	0	3.16	25.1	35.4 有
31 '02. 11	工場土間・機械基礎		30 100	24	12 4.5	20	55.0 47.0	180	327	349	572	1278	0	3.27	27.4	37.4 有
32 '02. 11	工場土間・機械基礎		30 0	24	8 4.5	20	55.0 47.0	165	300	361	591	0	983	3.00	27.2	37.0 有
33 '02. 11	工場土間・機械基礎		50 0	24	8 4.5	20	55.0 47.0	170	309	594	417	0	972	3.09	24.4	35.2 有

注) 1) No.3, No.5, No.7, No.8, No.9, No.10, No.14, No.17, No.20 は高炉セメントB種を、その他は普通ポルトランドセメントを使用。

2) No.20~No.33 は破碎スラグを、その他は急冷スラグを使用

3) No.8, No.9, No.17, No.19, No.20, No.26 は高性能AE減水剤を、その他はAE減水剤を使用。

鐵鋼スラグ協会

本部事務所 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町2-12-5(カワイビル3F)

☎ 03-5643-6016 FAX 03-5643-6018

E-mail:koho@slg.jp

URL:<http://www.slg.jp>

大阪事務所 〒550-0003 大阪市西区京町堀1-4-16(センチュリービル4F)

☎ 06-6448-5817 FAX 06-6448-5805