



建設資材としての非鉄スラグ

栗 栖 一 之

日本鋳業協会は、銅、ニッケル、フェロニッケル、亜鉛、鉛、金、銀等を鉱石から製錬している業界団体である。我々にとって非鉄金属製錬に副生して、非鉄金属の2倍以上発生する非鉄スラグの再生利用は重大な課題である。この非鉄スラグをコンクリート用骨材として利用するための基準としてコンクリート用骨材 JIS を作成・工場認定を取得し、さらに、昨年度、(財)沿岸技術研究センター刊「港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル(案)」として港湾用途や道路用途のマニュアルをまとめたので紹介する。各非鉄スラグは工場製品であり安定品質で均一な性状を持ち、土粒子密度が大きく、吸水率が低く透水性が高いといった特徴を有し、これらを活かした用途への利用拡大が望まれる。

キーワード：リサイクル、環境保全、環境安全性、コンクリート、舗装、港湾材料

1. はじめに

非鉄スラグは、ステンレス鋼の製造に用いられるフェロニッケルを製錬する際に副生するフェロニッケルスラグ(FNS)と、銅を製錬する際に副生する銅スラグ(CUS)と亜鉛を製錬する際に副生する亜鉛スラグ(ZNS)がある。最近10年間の平均の生産量は、表1に示す様に、フェロニッケルスラグ255万トン/年、銅スラグ270万トン/年、亜鉛スラグは20万トン/年で99.2%が再利用されている。このスラグを有効に利用することは、資源の再利用のみならず、フェロニッケル、銅、亜鉛の安定的供給のためにも重要な課題であるといえる。

フェロニッケルスラグは、粒子が堅硬で吸水率が低いという特長を有するため、コンクリート用骨材とし

での用途開発は、スラグ骨材の中でも比較的早く1960年代当初より一部の企業で開発され、コンクリート二次製品などに使用されていた。1980年からは日本鋳業協会に『フェロニッケルスラグ研究委員会』が設置され、1992年10月JIS A 5011-2「コンクリート用スラグ骨材—第2部：フェロニッケルスラグ骨材」として規格化されている。そのほか、天然骨材と同等以上の特性を生かして道路用材料、土工用材料に使用されている。

銅スラグは、酸化鉄と二酸化ケイ素を主成分とする特長を生かしてのセメントの鉄原料と、堅硬で粒状である特性を生かしてのプラスト材に使用されてきた。1997年10月にJIS A 5011-3「コンクリート用スラグ骨材—第3部：銅スラグ骨材」として規格化されている。建設用資材としては、コンクリート用骨材のほか

表1 非鉄スラグの用途別使用量と生産量(最近10年間の平均)

区分	用途	フェロニッケルスラグ(千トン)	銅スラグ(千トン)	亜鉛スラグ(千トン)	比率(%)
建設用	コンクリート用骨材	200	200	0	
	道路用材料	800	0	0	
	土工用材料	950	350	55	
	その他	150	0	0	
	小計	2,100	550	55	49.6
その他	セメント原料	0	1,500	100	
	造滓材	400	0	0	
	プラスト材	50	650	0	
	小計	450	2,150	100	49.6
最終処分		0	0	45	0.8
合計(生産量)		2,550	2,700	200	100.0

土粒子密度が大きいという特長を生かしてケーソン中詰材に使用されている。

亜鉛スラグは、銅スラグと同様に酸化鉄と二酸化ケイ素が主成分であり、鉄源としてセメント原料や土粒子密度が大きいという特長を生かして1968年頃からケーソン中詰材に利用されている。

昨年度、国土交通省港湾局のリサイクル指針の改定が行われた。その一環として、東北地方整備局と日本鉱業協会の共同研究である「非鉄スラグの港湾・空港工事用材料活用技術研究委員会」の成果を「港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル（案）」として取りまとめた。その中の、港湾用途、コンクリート用途、道路用途について説明する。

2. 非鉄スラグ骨材の製造方法と用途

(1) フェロニッケルスラグ

①製造方法

フェロニッケルスラグは、ロータリーキルンや電気炉でフェロニッケルを製造する際に副生する熔融スラグを冷却し、図一の工程概要図に示すように破碎・粒度調整を行ったものである。フェロニッケルスラグを製造している会社は、国内では、日本冶金工業(株)大江山製造所、(株)日向製錬所、大太平洋金属(株)の3製造所

がある。

ロータリーキルン法は、水で急冷されたクリンカーを、フェロニッケルと選別・回収する目的で細かく破碎されるため、他の方法に比べて粒径が小さいFNS-1.2を製造している。また、電気炉からは、加圧空気による風砕、徐冷、および水砕の3種類の冷却工程によるスラグが製造されている。風砕スラグは丸みを帯びた球状、電炉水砕スラグはグラニュー状として製造され、電炉徐冷スラグは塊状スラグを破碎・粉碎し、製造される。

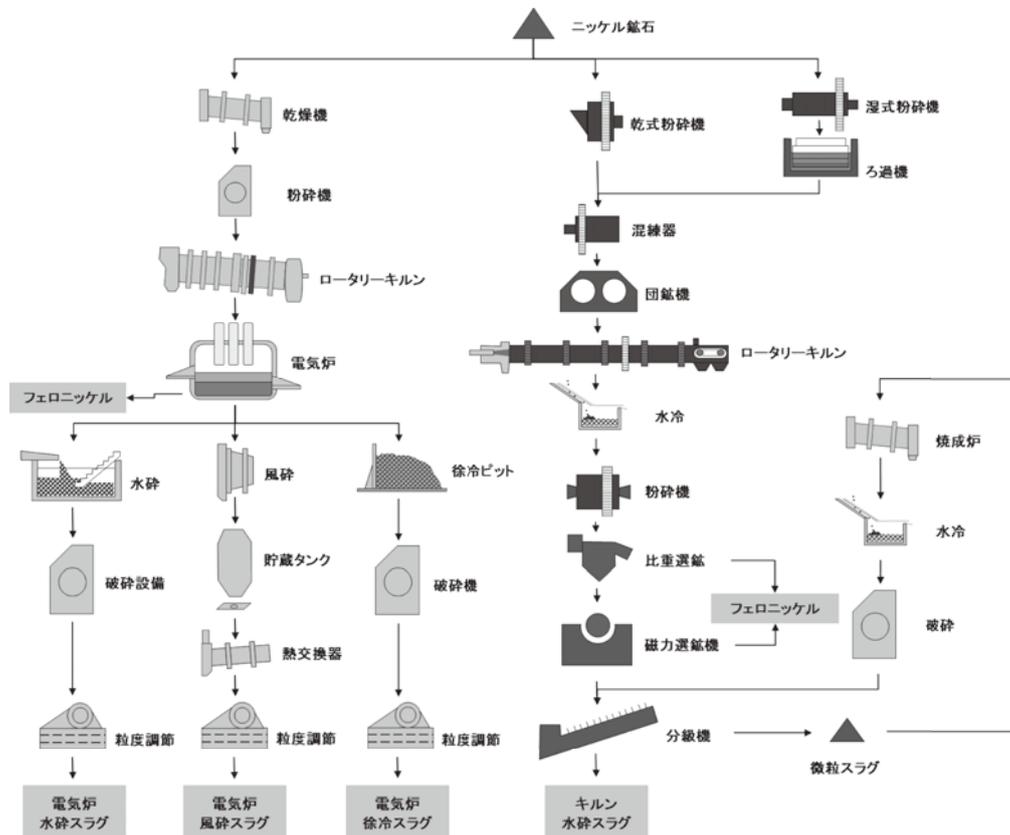
②生産量と用途

フェロニッケルスラグの年間の生産量は、表一に示されるように255万トン/年。その82.4%がコンクリート用骨材、道路用材料、土工用材料などの建設用資材に使用されている。

(2) 銅スラグ

①製造方法

銅スラグは、自溶炉法、連続製銅法及び反射炉法などの炉で銅を製錬する際に、鉄分が酸化されて副生される熔融スラグを、水砕して製造される。銅スラグを製造している製錬所は、我が国では小名浜製錬(株)小名浜製錬所、三菱マテリアル(株)直島製錬所、日比共同製錬(株)玉野製錬所、住友金属鉱山(株)東予工場、パンパシフィック・カッパー(株)佐賀関製錬所の5製錬所がある。



図一 フェロニッケルスラグの製造工程

製錬に使用する炉は、3種類あるが、いずれも酸化製錬プロセスで、原料となる銅精鉱がほぼ同等の品質のものであること、また、いずれの製錬所とも、発生した熔融状態のスラグを水砕して粒状とする方法で製造していることにより、製錬所間のスラグの特性には大きな差は生じない結果となっている。図-2に、一例として、パンパシフィック・銅（株）佐賀製錬所の製造工程を示す。

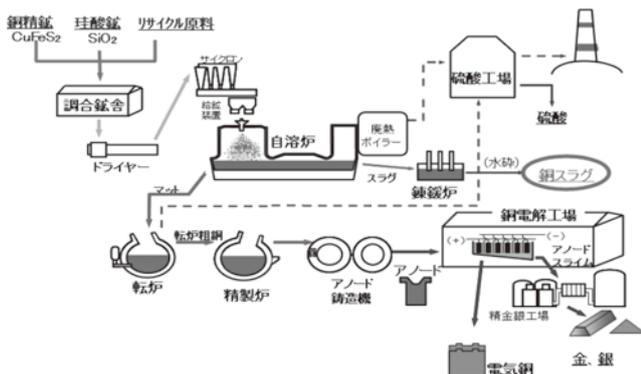


図-2 銅スラグの製造工程(パンパシフィック・銅(株)佐賀製錬所)

②生産量と用途

国内の5製錬所の銅スラグの生産量は、表-1に示す様に270万トン/年である。用途は、セメント用鉄原料とサンドブラスト材が主体であり、全体の80%に達している。建設用資材としては、ケーソン中詰材とコンクリート用骨材である。

(3) 亜鉛スラグ

①製造方法

亜鉛スラグは、図-3に示す様に、亜鉛を製錬する際、鉄分が他の脈石成分と熔解・混合して副生される熔融スラグを、水砕して製造される。我が国の亜鉛

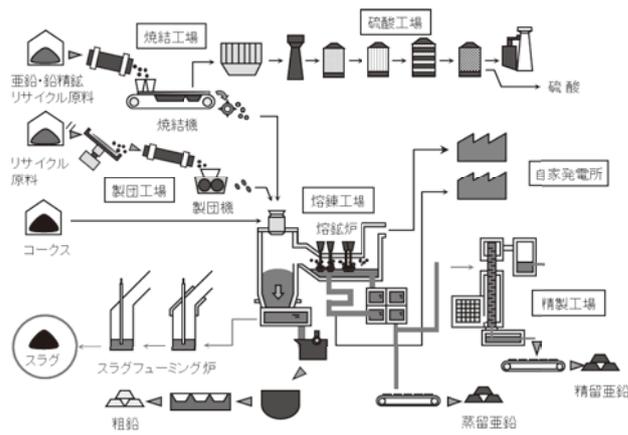


図-3 亜鉛スラグ製造工程図(八戸製錬株)

スラグを製造している製錬所は3カ所ある。そのうち八戸製錬株、三池製錬株がスラグ製品を販売している。

②生産量と用途

3製錬所の亜鉛スラグの生産量は、表-1に示す様に20万トン/年である。用途は、セメント原料とケーソン中詰材であり、一部は最終処分されている。

3. 非鉄スラグの諸性状

(1) フェロニッケルスラグ

①化学成分と鉱物組成

フェロニッケルスラグの主要な化学成分は、SiO₂、MgOおよびFeOである。ロータリーキルン法では製錬に際し石灰石を使用するので、CaOが5%程度存在する点が異なる。代表的な化学成分を表-2に示す。フェロニッケルスラグの鉱物組成は、エンスタタイトやフォルステライトであるが、製造方法により鉱物の結晶相(ガラス相)の程度も相違することが知られている。通常、主な鉱物組成であるエンスタタイトやフォルステライトはアルカリシリカ反応を示すことはな

表-2 フェロニッケルスラグの代表的な化学成分(%)

製造方法	酸化カルシウム (CaO)	酸化マグネシウム (MgO)	全硫黄 (S)	全鉄 (FeO)	金属鉄 (Fe)	二酸化珪素 (SiO ₂)
キルン水冷	5.18	27.8	0.06	7.57	0.65	55.6
電炉風砕・徐冷	0.81	33.8	0.05	7.01	0.18	53.8
電炉水砕	0.28	33.2	0.03	10.4	0.19	51.3
JIS A 5011-2	≤ 15.0	≤ 40.0	≤ 0.5	≤ 13.0	≤ 1.0	-

表-3 フェロニッケルスラグの代表的な物理的性質

製造方法	粒度区分	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率	0.15 mm 通過率 (%)
キルン水冷	FNS1.2	3.11	0.35	1.81	58.3	1.69	21.9
電炉風砕	FNS5	2.88	0.83	1.84	63.8	2.75	8
電炉水砕	FNS5	2.96	0.82	1.95	67.3	2.62	8.3
JIS A 5011-2		≥ 2.7	≥ 3.0	≥ 1.50	-		※ 1

※ 1 : FNS5 = 2 ~ 15, FNS2.5 = 5 ~ 20, FNS 1.2 = 10 ~ 30

い。しかし、カルシウムの少ないスラグでは、一般に溶融スラグの急冷の速度によっては、非晶質中のシリカ分が増加してアルカリシリカ反応性を示す場合もある。

②物理的性質

フェロニッケルスラグ細骨材の代表的な物理的性質を表一3に示す。フェロニッケルスラグ細骨材の絶乾密度および単位容積質量は、それぞれ約2.9～3.1 g/cm³ および約1.8～2.0 kg/lの範囲にあり、一般的な細骨材(2.5～2.6 g/cm³)程度よりも多少大きい。吸水率は、細骨材では、1%以下と非常に小さく、密実な骨材であることが特徴である。粗骨材では、1～2%と多少高めではあるが、碎石の規格と(3.0%)比較すると十分に低い値を示している。

③化学物質の溶出特性

フェロニッケルスラグの化学物質の溶出量を表一4に示す。徐冷スラグでフッ素が検出された以外、他の成分は全て検出限界未満である。

(2) 銅スラグ骨材

①化学成分と鉱物組成

銅スラグの主要な化学成分は、FeOとSiO₂である。製錬方法により、CaO分に多少の差はあるが、全体的には同一のものと考えてよい。代表的な化学成分を表一5に示す。鉱物組成は、ファイヤライト(2FeO・SiO₂)である。製造工程上、約1250℃の溶融状態から水砕により急冷固化させるため、粒子は均質で、ガラス質となっており安定した物質となっている。

②物理的性質

銅スラグの代表的な物理的性質を表一6に示す。銅スラグの絶乾密度および単位容積質量は3.5 g/cm³程度および2.1 kg/l程度であり、一般的な砂(2.5～2.6 g/cm³程度)よりも大きい傾向にある。吸水率は、0.5%以下と非常に小さくなっている。

③化学物質の溶出特性

銅スラグの化学物質の溶出量を表一7に示す。成分は全て検出限界未満であり、環境影響は非常に小さいことが示された。

表一4 フェロニッケルスラグの環境安全品質(溶出量)の一例(単位:mg/l)

製造所区分	A	B	C	C	C	基準値 (一般用途)	基準値 (港湾用途)
骨材種類	FNS5-0.3	FNS1.2	FNS5-0.3	CS20	CS40		
カドミウム	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	≤ 0.003	≤ 0.009
鉛	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	≤ 0.01	≤ 0.03
六価クロム	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	≤ 0.05	≤ 0.15
ヒ素	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	≤ 0.01	≤ 0.03
水銀	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	≤ 0.0005	≤ 0.0015
セレン	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	≤ 0.01	≤ 0.03
ほう素	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	≤ 1.0	≤ 20
ふっ素	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.4	0.3	≤ 0.8	≤ 15

表一5 銅スラグの代表的な化学成分(%)

製造所銘柄	酸化カルシウム (CaO)	全硫黄 (S)	三酸化硫黄 (SO ₃)	全鉄 (FeO)	塩化物量 (NaCl)	二酸化珪素 (SiO ₂)
A	5.98	0.50	< 0.05	47.2	0.018	34.0
B	2.67	1.11	< 0.05	48.2	0.010	32.5
C	1.84	0.76	< 0.05	50.9	< 0.01	33.2
E	2.12	0.64	< 0.05	49.5	< 0.01	33.1
F	1.48	0.65	0.006	50.1	0.018	33.7
JIS A 5011-3 規格値	≤ 12.0	≤ 2.0	≤ 0.5	≤ 70.0	≤ 0.03	-

表一6 銅スラグの代表的な物理的性質

製造所銘柄	粒度区分	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率	0.15 mm 通過量(%)
F	CUS2.5	3.50	0.35	2.18	62.1	2.54	8.2
	CUS1.2	3.49	0.09	2.47	70.8	1.84	19.1
	CUS5-0.3	3.48	0.21	1.89	54.1	3.40	0.87
JIS A 5011-3 規格値		≥ 3.2	≤ 2.0	≥ 1.80	-		※1

※1: CUS5 2～15, CUS2.5 5～20, CUS1.2 10～30, CUS5-0.3: 0～10

表一七 銅スラグの環境安全性（溶出量）の一例（単位：mg/l）

製造所区分	A	B	C	D	E	基準値 （一般用途）	基準値 （港湾用途）
骨材種類	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3	CUS5-0.3		
カドミウム	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	≦ 0.003	≦ 0.009
鉛	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	≦ 0.01	≦ 0.03
六価クロム	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	≦ 0.05	≦ 0.15
ひ素	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	≦ 0.01	≦ 0.03
水銀	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	≦ 0.0005	≦ 0.0015
セレン	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	≦ 0.01	≦ 0.03
ほう素	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	≦ 1.0	≦ 20
ふっ素	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	≦ 0.8	≦ 15

表一八 亜鉛スラグの化学成分分析の一例

化学成分	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Zn	Cu
分析値(%)	31.30	7.20	21.30	10.20	17.90	2.10	3.40	0.75

(3) 亜鉛スラグ骨材

① 化学成分と鉱物組成

亜鉛スラグの主要な化学成分は、FeO と SiO₂ である。製錬方法により多少の差はあるが、全体的には同一のものと考えてよい。代表的な化学成分を表一八に示す。鉱物組成は、ファイヤライト (2FeO・SiO₂) である。製造工程上、約 1,350℃ の溶融状態から水砕により急冷固化させるため、粒子は均質で、ガラス質となっており安定した物質となっている。

② 物理的性質

亜鉛スラグの絶乾密度および単位容積質量は 3.6 g/cm³ 程度及び 2.1 kg/l 程度であり、一般的な砂 (2.5 ~ 2.6 g/cm³ 程度) よりも大きい傾向にある。

③ 化学物質の溶出特性

亜鉛スラグの化学物質の溶出量を表一九に示す。港湾用途の環境安全品質基準をクリアーしている。

4. コンクリート用骨材の改善

(1) フェロニッケルスラグ粗骨材製造技術の開発

① 粗骨材の製造方法

製造方法は、キルン法と徐冷方法がある。キルン法は、微粒スラグを再焼成し、それを破碎し製造する方法で、徐冷法は、徐冷スラグを破碎して製造する。

② 骨材特性

表一十にフェロニッケルスラグ粗骨材の物理的性質を示す。その品質は製造方法により異なっているも



写真一 1 フェロニッケルスラグ粗骨材の写真

表一九 亜鉛スラグの溶出量試験結果の一例

分析対象	カドミウム	鉛	六価クロム	ひ素	水銀	セレン	ふっ素	ほう素
溶出量 (mg/l)	< 0.001	< 0.005	< 0.01	0.02	< 0.0005	< 0.005	0.20	< 0.1
環境安全品質基準 (港湾用途)	≦ 0.009	≦ 0.03	≦ 0.15	≦ 0.03	≦ 0.0015	≦ 0.03	≦ 15	≦ 20

表一十 フェロニッケルスラグ粗骨材の代表的な物理的性質

製造方法	粒度区分	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率	すりへり減量 (%)	BS40tf 破碎値 (%)
キルン焼成	2005	2.54	1.77	1.56	61.5	6.30	17.6	10.0
電炉徐冷	2005	2.97	1.11	1.79	59.6	6.49	10.0	6.9
JIS A 5005 ※ 2	2005	≧ 2.5	≦ 3.0	-	-	-	≧ 40	-

※ 2：碎石の規格

のの、JIS A 5005 に示されるコンクリート用碎石の品質規格値を満足している（写真—1）。

(2) 銅スラグ細骨材の品質改善

①品質改善方法

粒子形状は、特段の処理を行わない場合、写真—2 に示すとおり、凹凸の多い角張ったものとなる。水砕銅スラグを磨砕処理によって形状改善し、砕砂の混合用細骨材としての有効性について検討²⁾を行った。



(左：磨砕なし、右：磨砕処理後)
写真—2 銅スラグ細骨材の粒子形状

②品質改善効果

銅スラグの磨砕処理により、粒形判定実積率が54%から59%に改善されブリーディングが小さくなり、石灰石微粉末の添加等の対応をしなくても一本砂として使用が可能となった²⁾。

5. 港湾工事に用非鉄スラグ

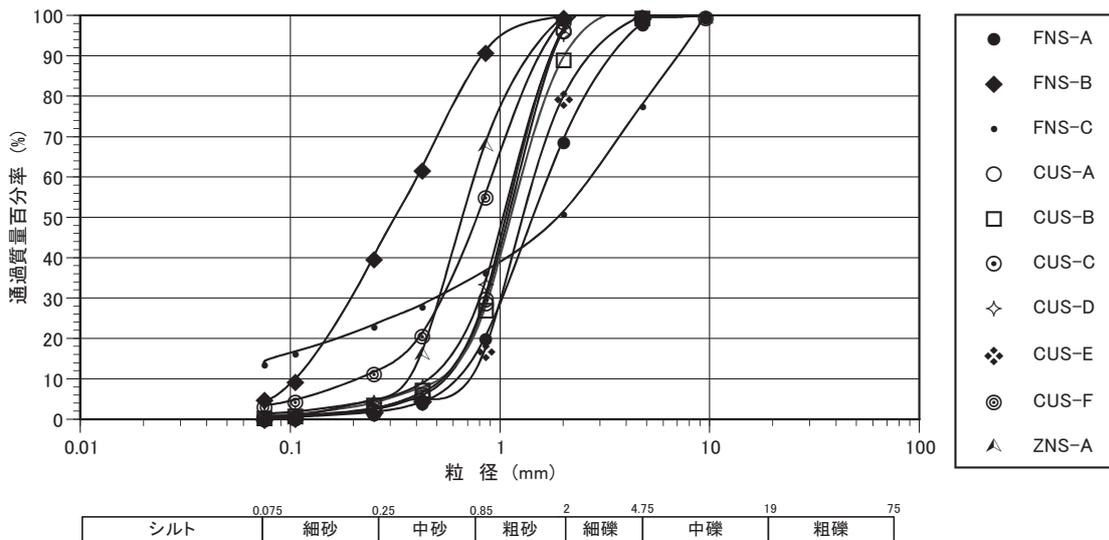
(1) 種類

港湾工事に使用される非鉄スラグは、フェロニッケルスラグ、銅スラグ、亜鉛スラグの3種類がある。天然材と比較して土粒子密度が大きいという特長を生かしてケーソン中詰材、消波ブロック用等の重量コンクリート用骨材として使用されている。

(2) 骨材の特性

①粒度分布特性

港湾用非鉄スラグの粒度分布特性を図—4 に示す。



図—4 各スラグの粒度分布

表—11 各スラグの密度試験結果

スラグ種	名称	対象スラグ	土粒子密度 (g/cm ³)	最少乾燥密度 (ρ _{dmin}) (g/cm ³)	最大乾燥密度 (ρ _{dmax}) (g/cm ³)	Dr60% 乾燥密度 (ρ _d) (g/cm ³)	
フェロニッケルスラグ	FNS-A	水砕品	FNS-5-0.3	2.984	1.41	1.71	1.58
	FNS-B	加工品	FNS-1.2	3.107	1.49	1.91	1.72
	FNS-C		FNS-5	3.193	1.73	2.32	2.04
銅スラグ	CUS-A	水砕品	CUS-5-0.3	3.551	1.68	2.04	1.88
	CUS-B		CUS-5-0.3	3.606	1.74	2.16	1.97
	CUS-C		CUS-5-0.3	3.641	1.77	2.15	1.98
	CUS-D		CUS-5-0.3	3.548	1.72	2.16	1.96
	CUS-E		CUS-5-0.3	3.539	1.62	1.94	1.80
	CUS-F		加工品	CUS-2.5	3.626	1.91	2.46
亜鉛スラグ	ZNS-A	水砕品	FNS-5-0.3	3.622	1.77	2.18	1.99

水砕品は単粒度であるが、加工品はブロードとなっている。

②密度

港湾用非鉄スラグの密度を表—11に示す。土粒子密度は、フェロニッケル 3.1 g/cm³、銅スラグ 3.6 g/cm³、亜鉛スラグ 3.6 g/cm³となっている。Dr60%乾燥密度は、フェロニッケルスラグ水砕品 1.6 g/cm³、加工品 2.0 g/cm³、銅スラグ水砕品 1.9 g/cm³、加工品 2.2 g/cm³、亜鉛スラグ水砕品 2.0 g/cm³と天然資材より20～30%大きくなり、さらに、加工品は15～20%高い値を示し港湾材料としての優位性を示している。

③透水係数

港湾用非鉄スラグの透水係数を表—12に示す。スラグ

種に関係なく水砕品は10⁻³～10⁻⁴ cm/s、加工品10⁻⁴～10⁻⁵ cm/sとなっており、天然材と同等の特性を示している。

④三軸圧縮試験 (CD) 結果

三軸 CD 試験を実施し、c_d および φ_d を求めた。得られた c_d および φ_d の一覧表を表—13に示す。非鉄スラグは粒状体であるが、せん断抵抗角に多少の拘束圧依存性があるため、見かけ上、水砕品で7～18 kN/m²程度の粘着力 c_d が得られた (Dr = 60%の場合)。せん断抵抗角 φ_d は、水砕品に比べて加工品の方がやや大きくなる傾向を示した。具体的には、スラグ種が加工品の FNS-B、FNS-C、CUS-F の場合には36～38°程度であり、水砕品 (32～35°程度) に比べ10%程度大きかった。

表—12 透水係数の一覧 (Dr60%)

名称	透水係数 k (cm/s)	10%粒径 D10 (mm)	試験時の ρ _d (g/cm ³) (Dr60%)	平均粒径 D ₅₀ (mm)	均等係数 U _c
FNS-A	5.08 × 10 ⁻³	0.64	1.58	1.39	2.64
FNS-B	1.62 × 10 ⁻⁴	0.11	1.72	0.33	3.64
FNS-C	2.04 × 10 ⁻⁵	0.042	2.04	1.94	66 以上
CUS-A	3.65 × 10 ⁻³	0.56	1.88	1.13	2.16
CUS-B	3.49 × 10 ⁻³	0.54	1.97	1.11	2.33
CUS-C	3.70 × 10 ⁻³	0.56	1.98	1.10	2.09
CUS-D	2.02 × 10 ⁻³	0.48	1.96	1.07	2.40
CUS-E	3.31 × 10 ⁻³	0.75	1.80	1.33	2.04
CUS-F	1.62 × 10 ⁻⁴	0.21	2.21	0.79	4.36
ZNS-A	1.09 × 10 ⁻³	0.38	1.99	0.68	2.08

表—13 三軸 CD 試験結果による c_d および φ_d

	スラグ種	Dr = 40%		Dr = 60%		Dr = 80%	
		c _d (kN/m ²)	φ _d (°)	c _d (kN/m ²)	φ _d (°)	c _d (kN/m ²)	φ _d (°)
FNS-A	水砕品	6.9	30.4	8.3	32.2	9.7	32.5
FNS-B	加工品			18.2	36.9		
FNS-C				14.4	38.0		
CUS-A	水砕品	6.4	33.3	8.3	34.9	10.9	35.3
CUS-B				9.3	34.0		
CUS-C				10.2	34.3		
CUS-D				7.4	35.2		
CUS-E				15.1	32.6		
CUS-F		加工品			10.0	37.7	

表—14 舗装用非鉄スラグの粒度 (表・基層)

種類	呼び名	ふるいを通すものの質量百分率%						
		JIS Z 8801-1 に規定する金属製網ふるいの公称目開き						
		26.5 mm	19 mm	13.2 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	75 μm
単粒度 非鉄スラグ	SN-20	100	85～100	0～15	—	—	—	—
	SN-13	—	100	85～100	0～15	—	—	—
	SN-5	—	—	100	85～100	0～25	0～5	—
非鉄スラグ スクリーニングス	FN-25 FC-25	—	—	—	100	85～100		0～20 (0～10)

() 内は、望ましい粒度範囲

表一15 舗装用非鉄スラグの粒度 (路盤)

種類	呼び名	粒度範囲 (mm)	ふるいを通すものの質量百分率%									
			JIS Z 8801-1 に規定する金属製網ふるいの公称目開き									
			53 mm	37.5 mm	31.5 mm	26.5 mm	19 mm	13.2 mm	4.75 mm	2.36 mm	425 μm	75 μm
粒度調整 非鉄スラグ	MN-40	40 ~ 0	100	95~100	-	-	60~90	-	30~65	20~50	10~30	2~10
	MN-30	30 ~ 0	-	100	95~100	-	60~90	-	30~65	20~50	10~30	2~10
	MN-25	25 ~ 0	-	-	100	95~100	-	55~85	30~65	20~50	10~30	2~10
クラッシュラン 非鉄スラグ	CN-40	40 ~ 0	100	95~100	-	-	50~80	-	15~40	5~25	-	-
	CN-30	30 ~ 0	-	100	95~100	-	55~85	-	15~45	5~30	-	-
	CN-20	20 ~ 0	-	-	-	100	95~100	60~90	20~50	10~35	-	-

6. 舗装工用非鉄スラグ

(1) 種類

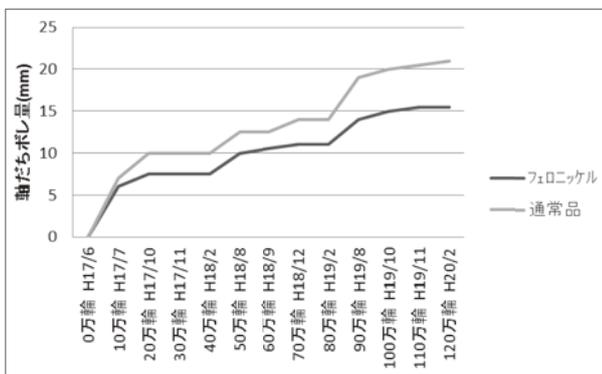
舗装工に用いられる非鉄スラグには表一14, 15に示す様に, 単粒度非鉄スラグ, 非鉄スラグスクリーニングス, 粒度調整非鉄スラグおよびクラッシュラン非鉄スラグがあり, 非鉄スラグ単独あるいは通常の骨材と混合して使用される。これらの非鉄スラグは舗装用非鉄スラグと総称されている。

(2) 使用事例

①フェロニッケルスラグのアスファルト混合物への使用
表一16に示す様なフェロニッケルスラグを10%添加したアスファルト混合物で載荷試験を行った結果を図一5に示す。轍ボレ量は約30%低減でき, 且つ, ひび割れ量は約25%削減でき, 舗装材料として優れた特性を示している。

表一16 載荷試験に供したAs材

工区	表層	基層	工区延長
1工区	再生密粒度 As 舗装 (20) フェロニッケルスラグ 10%配合	再生粗粒 As (20)	24.0 m
2工区	再生密粒度 As 舗装 (20)	再生粗粒 As (20)	24.0 m



図一5 載荷試験結果

②フェロニッケル路盤材

フェロニッケル路盤材の特性を表一17, 工事写真

表一17 フェロニッケル路盤材の試験結果

項目	単位	種類	
		CS40	CS20
塑性指数 Tp		Np	Np
最大水深膨張量	%	0.000	0.022
最大乾燥密度	g/cm ³	2.361	2.359
最適水分量	%	5.04	5.20
修正 CBR 値	%	97.6	90.2



写真一3 八戸港改修道路工事 (工期: 2012/3 ~ 9)

を写真一3に示す。修正 CBR 値は90%以上と非常に高い値を示し, 且つ最大水浸膨張量は他の材料と比較して非常に低い値を示し, 路盤材として非常に優れた特性を示している。

JCMIA

【参考文献】

- 1) 阿波稔: コンクリート工学論文集 第21巻第3号2010年
- 2) 上野敦, 中嶋香織, 宇治公隆: 銅スラグ細骨材による砕砂モルタルのフレッシュ性状の改善に関する検討, 土木学会第63回年次学術講演会講演集, 第5部 pp.729-730, 2008
- 3) 日本鉱業協会: 非鉄スラグ製品の有効利用におけるリスク解析調査報告書 -2008
- 4) (財) 沿岸技術研究センター: 港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル (案) 2011

【筆者紹介】

栗栖 一之 (くりす かずゆき)
日本鉱業協会
スラグ委員会
委員長

