

# 鉄鋼スラグの道路用材への利用

鉄 鋼 ス ラ グ 協 会

# 目 次

I. 鉄鋼スラグの生成と用途	1
1. 鉄鋼スラグ生成	1
2. 鉄鋼スラグの主な用途	1
3. 鉄鋼スラグ生成量の推移	2
II. 道路用鉄鋼スラグの概要	2
III. 道路用鉄鋼スラグの特性	3
1. 水 硬 性	3
2. 硬質、耐摩耗性	4
IV. 留 意 事 項	4
V. 道路用鉄鋼スラグの品質	5
VI. 道路用鉄鋼スラグ利用状況の構造	6
1. 道路用鉄鋼スラグの利用状況	6
2. 道路用鉄鋼スラグ地域別利用状況	7
3. 生 産 基 地	8
VII. 鉄鋼スラグとグリーン調達	11
付 録	13
I. 道路用鉄鋼スラグ規格化の経緯	15
II. 鉄鋼スラグの生成	16
III. 鉄鋼スラグの性質	17
1. 化 学 組 成	17
2. 溶 出 組 成	17
3. 鉄鋼スラグのエイジング	18
4. 鉄鋼スラグの特性と用途	20
IV. 道路用鉄鋼スラグの実路調査・試験結果例	21
1. 鉄鋼スラグを使用した道路舗装の追跡調査(技術資料-1)	21
2. 鉄鋼スラグを使用した排水性舗装の試験結果(技術資料-2)	23
V. 引 用 文 献	28
VI. 参 考 文 献	28

# I. 鉄鋼スラグの生成と用途

## 1. 鉄鋼スラグの生成

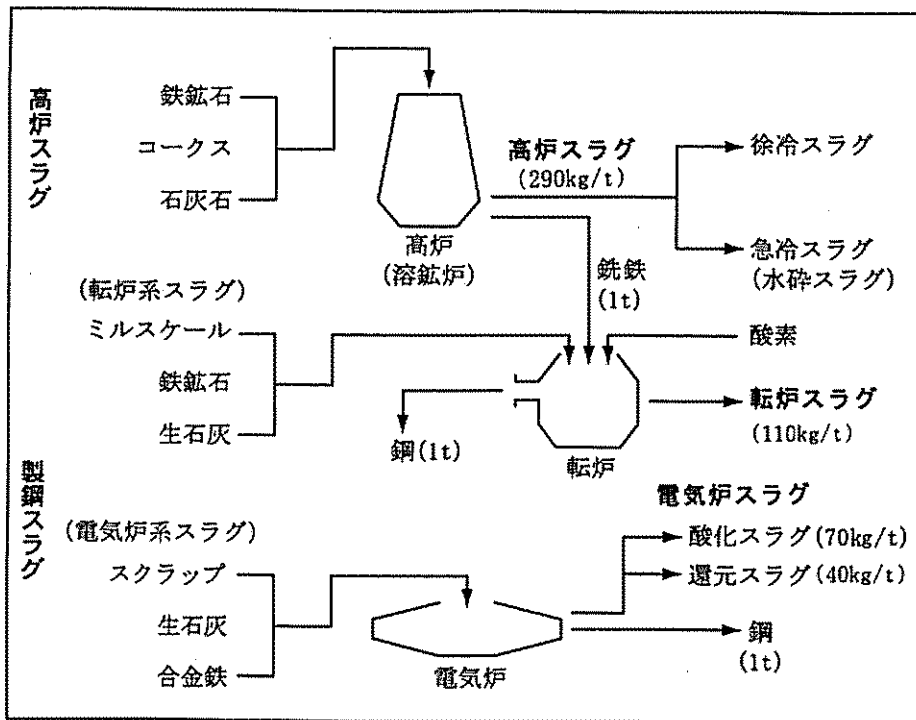


図 1. 鉄鋼スラグ生成の概略

## 2. 鉄鋼スラグの主な用途

表 1. 鉄鋼スラグの主な用途

高炉スラグ	徐冷スラグ	道路用路盤材、コンクリート用粗骨材 セメントクリンカ原料 (粘土代替) ロックウール原料、珪酸石灰肥料
	急冷スラグ (水砕スラグ)	高炉セメント原料、コンクリート用高炉スラグ微粉末原料 コンクリート用細骨材、珪酸石灰肥料、土工用
製鋼スラグ	転炉 (予備処理スラグを含む)・電気炉スラグ	道路用路盤材、アスファルトコンクリート用骨材 セメントクリンカ原料 (鉄原料) 土工用、地盤改良用材、肥料 コンクリート用骨材 (電気炉酸化スラグ)

### 3. 鉄鋼スラグ生成量の推移

副産物として年間に生成する鉄鋼スラグは、高炉（溶鉱炉）で銑鉄を生産する際に発生する高炉スラグが約 2,300 万 t と、転炉および電気炉で鋼を生産する際に発生する製鋼スラグが約 1,400 万 t で、その合計量は約 3,700 万 t にのぼり、これまでほぼ全量が有効に利用されてきています。

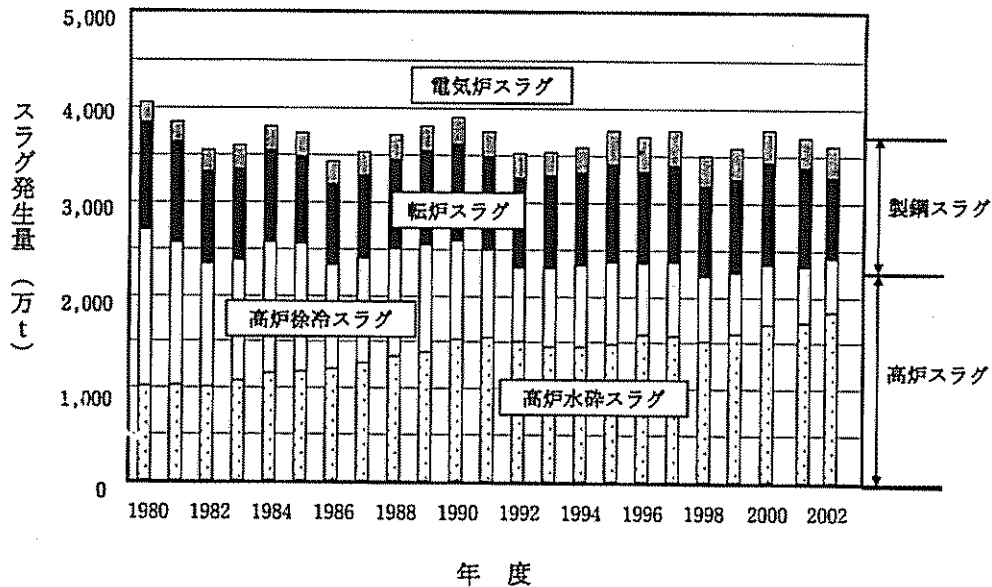


図 2. 鉄鋼スラグの生成量の推移

## II. 道路用鉄鋼スラグの概要

道路用鉄鋼スラグは原料として高炉スラグや製鋼スラグを使用した道路用材料です。

鉄鋼スラグの道路用材料への利用は、昭和 40 年代より研究が開始され、高炉スラグの硫酸に起因する黄色水、製鋼スラグの遊離石灰に起因する膨張を防止するためのエージング技術(付録Ⅲ. 3)、水硬性を活かすための適正な粒度分布などの重要な技術が開発されました。この結果として付録 I に示すように、設計施工指針が作成され、又、アスファルト舗装要綱へ採用されました。

最終的には製品 JIS として規格化されており、用途により次の種類があります。

上層路盤材：水硬性粒度調整鉄鋼スラグ (HMS-25)

粒度調整鉄鋼スラグ (MS-25)

下層路盤材：クラッシュラン鉄鋼スラグ (CS-40, 30, 20)

加熱アスファルト混合物用骨材：単粒度製鋼スラグ (SS-20, 13, 5)

れき青安定処理 (加熱混合) 用骨材：クラッシュラン製鋼スラグ (CSS-30, 20)

### Ⅲ. 道路用鉄鋼スラグの特性

#### 1. 水硬性 ➡ 路盤材

##### (1) スラグの水硬性について

鉄鋼スラグは水と接触すると微量の石灰やシリカが溶け出し、スラグ表面に緻密な水和生成物を形成し、さらにアルカリ性の雰囲気のもとでは、アルミナも加わった水和物を形成し、これがスラグ粒子をつなぐ結合材となって、凝結硬化することによって起きる性質（水硬性）を有しています。

水硬性粒度調整スラグ(HMS-25)は、粒度分布や使用するスラグ品質の厳密な管理を実施することで、この鉄鋼スラグの有する水硬性を確実に発現させるようにしたものです。

HMS-25 を用いた路盤材は水硬性を有するため、付録 IV. 1 に示すように施工後長期間に亘って路盤材の支持力が増大します。

なお、粒度調整鉄鋼スラグ(MS-25)やクラッシュラン鉄鋼スラグ(CSシリーズ)は、水硬性がないわけではありませんが、HMS-25 のようにJIS規格では水硬性の発現（一軸圧縮強度）は保証されていません。

##### (2) 水硬性を生かしたスラグ路盤材の経済性

代表的なスラグ路盤材である水硬性粒度調整スラグ (HMS-25) の等値換算係数は 0.55 と、粒度調整碎石の 0.35 に比べて高く評価されており、少ない材料で施工できます。

さらに、施工後も長期にわたって水硬性を発現するため、耐久性にも優れ、メンテナンスコストが低減します。

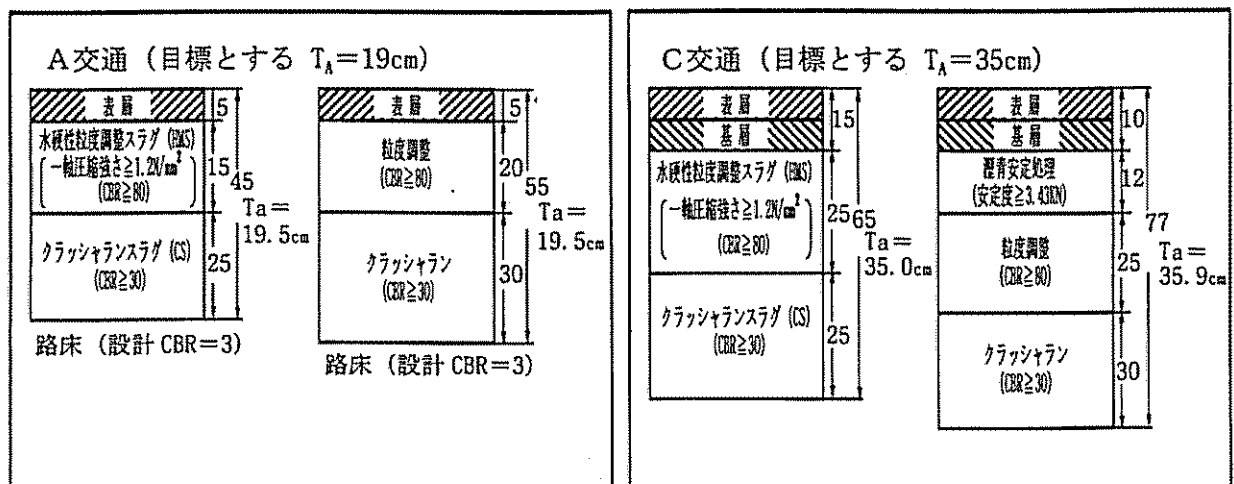
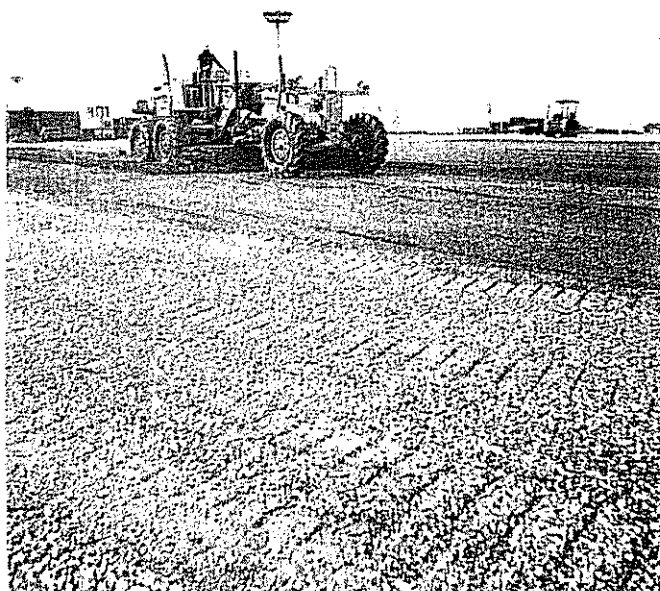


図3. 従来工法との比較設計例

### (3) その他の特性

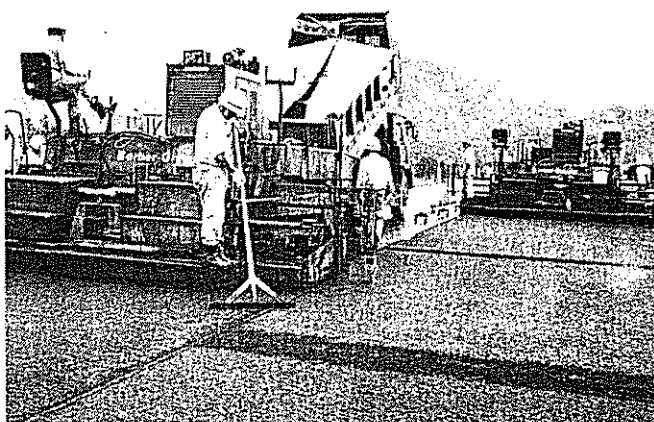
- ①締め固め性状が良好で、施工直後の交通解放が可能です。
- ②含水比に対して鋭敏性が低いので、作業中雨が降り出した場合にも、締め固め作業の続行が可能です。
- ③成分や粒度分布等品質が均一な工業製品です。
- ④施工は、舗装設計施工指針及び舗装施工便覧に従って、通常の施工方法で行って下さい。



路盤工事

## 2. 硬質、耐摩耗性 ➡ アスコン骨材

製鋼スラグが天然骨材に比べて、硬質かつ耐摩耗性に優れていることが、認められ、耐摩耗性を必要とする道路に使用されています。



アスファルト舗装

## IV. 留意事項

水硬性粒度調整鉄鋼スラグ(HMS-25)は、水硬性を十分に発現できるように、施工後水分の散逸がないよう、プライムコート等を施工してください。

溶出水はアルカリ性を呈しますが、通常の使用においては、土壌中を通過することで石灰分が土壌に吸着されるため、周辺に影響を与えることはほとんどありません。河川、湖沼等に直接溶出水が流入する可能性がある場合は、覆土する等の配慮してください。

## V. 道路用鉄鋼スラグの品質

道路用鉄鋼スラグは JIS A 5015 で規格化されており、定められた試験を実施し、規格に適合した製品が出荷されています。

### 関連規格抜粋

#### 1. 道路用鉄鋼スラグ (JIS A 5015) 平成4年10月改正

種類及び呼び名

種 類	呼び名	用 途 (参考)
水硬性粒度調整鉄鋼スラグ	HMS-25	上層路盤材
粒度調整鉄鋼スラグ	MS-25	上層路盤材
クラッシュラン鉄鋼スラグ	CS-40	下層路盤材
	CS-30	
	CS-20	
単粒度製鋼スラグ	SS-20	加熱アスファルト混合物用
	SS-13	
	SS-5	
クラッシュラン製鋼スラグ	CSS-30	れき (瀝) 青安定処理 (加熱混合) 用
	CSS-20	

#### 2. 粒 度

呼び名	粒度 範囲 (mm)	ふるいを通るもの質量百分率 %										
		JIS Z 8801 に規定する網ふるいの呼び寸法										
		53mm	37.5mm	31.5mm	26.5mm	19mm	13.2mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm	425 $\mu$ m	75 $\mu$ m
HMS-25	25~0	-	-	100	95~100	-	60~80	35~60	25~45	-	10~25	3~10
MS-25	25~0	-	-	100	95~100	-	55~85	30~65	20~50	-	10~30	2~10
CS-40	40~0	100	95~100	-	-	50~80	-	15~40	5~25	-	-	-
CS-30	30~0	-	100	95~100	-	55~85	-	15~45	5~30	-	-	-
CS-20	20~0	-	-	-	100	95~100	60~90	20~50	10~35	-	-	-
SS-20	20~13	-	-	-	100	85~100	0~15	-	-	-	-	-
SS-13	13~5	-	-	-	-	100	85~100	0~15	-	-	-	-
SS-5	5~2.5	-	-	-	-	-	100	85~100	0~25	0~5	-	-
CSS-30	30~0	-	100	95~100	-	55~85	-	15~45	5~30	-	-	-
CSS-20	20~0	-	-	-	100	95~100	60~90	20~50	10~35	-	-	-

### 3. 品質規定

呼び名	外観	呈色判定	水浸膨張比	単位容積質量	一軸圧縮強さ	修正CBR	表乾比重	吸水率	すりへり減量
HMS-25	合格	呈色なし	1.5%以下	1.50kg/l以上	1.2N/mm <sup>2</sup> 以上	<80%以上>	-	-	-
MS-25	合格	呈色なし	1.5%以下	1.50kg/l以上	-	<80%以上>	-	-	-
CS-00	合格	呈色なし	1.5%以下	-	-	<30%以上>	-	-	-
SS-00	合格	-	2.0%以下	-	-	-	-	3.0%以下	30%以下
CSS-00	合格	-	2.0%以下	-	-	-	-	-	50%以下

注1) 外観、鉄鋼スラグは、細長いもの又は薄いもの、ごみ、泥、有機物などを有害量含んではならない

2) 呈色判定試験は高炉徐冷スラグを用いた鉄鋼スラグに適用する。

3) 水浸膨張比は製鋼スラグを用いた鉄鋼スラグに適用する。

4) 修正CBR (社) 日本道路協会「舗装施工便覧」に規定されている値である。

## VI. 道路用鉄鋼スラグの利用状況と製造

### 1. 道路用鉄鋼スラグの利用状況

(1) 2002年度 上層・下層路盤材用は高炉スラグ・転炉スラグ・電気炉スラグを合わせて全国で約750万t使用されています。又、アスファルト混合物用は転炉スラグ・電気炉スラグを合わせて全国で約8万t使用され、資源循環の一翼を担っています。

路盤材の利用状況

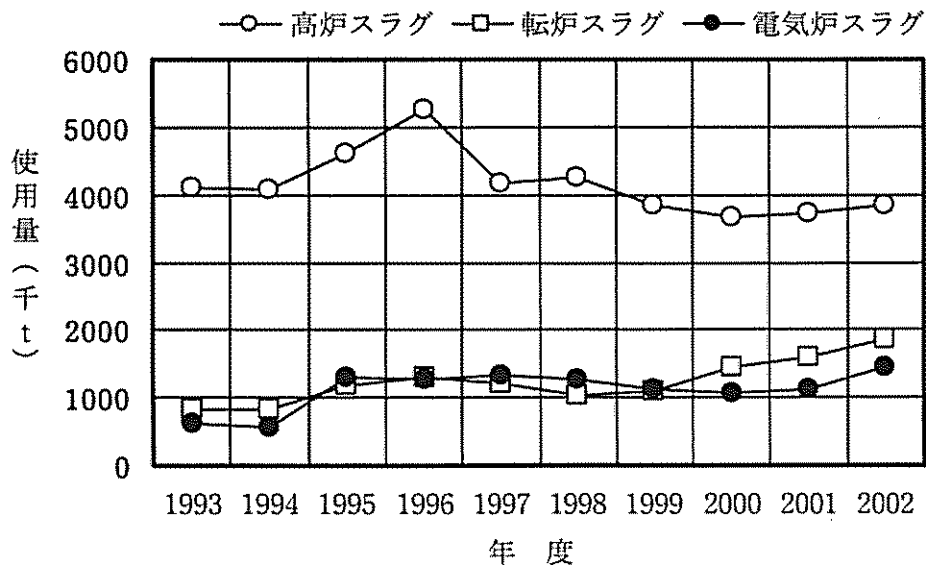


図 4. 道路用鉄鋼スラグ (上層・下層路盤材用) 利用状況 (1993年～2002年度)



## アスコン材の利用状況

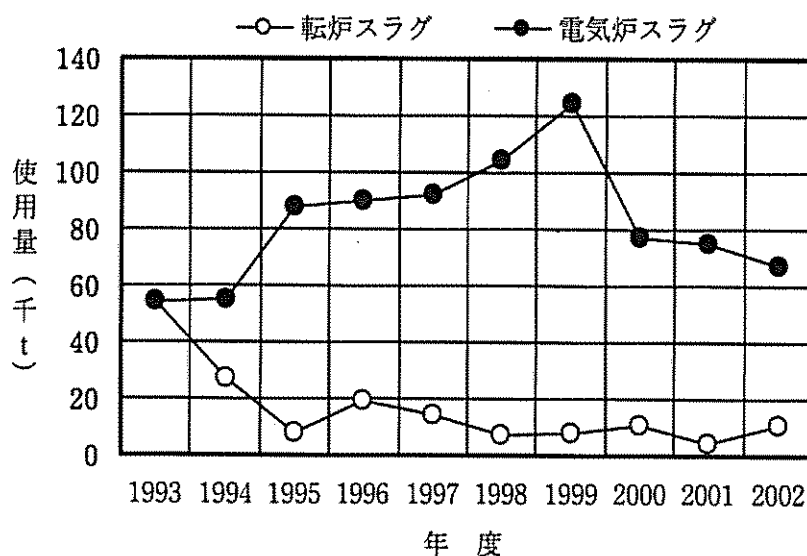


図5. 道路用鉄鋼スラグ（加熱アスファルト混合物用）利用状況  
（1993年～2002年度）

## 2. 道路用鉄鋼スラグ地域別利用状況

高炉・製鋼工場・電気炉工場からの副産物であるスラグを加工し、道路用鉄鋼スラグが製造されています。このため、道路用鉄鋼スラグ地域別利用状況からも見られるように高炉、製鋼工場、電気炉工場の近辺で使用されることが多く、販売に地域性が見られます。

### 道路用鉄鋼スラグ地域別利用状況（2002年度）

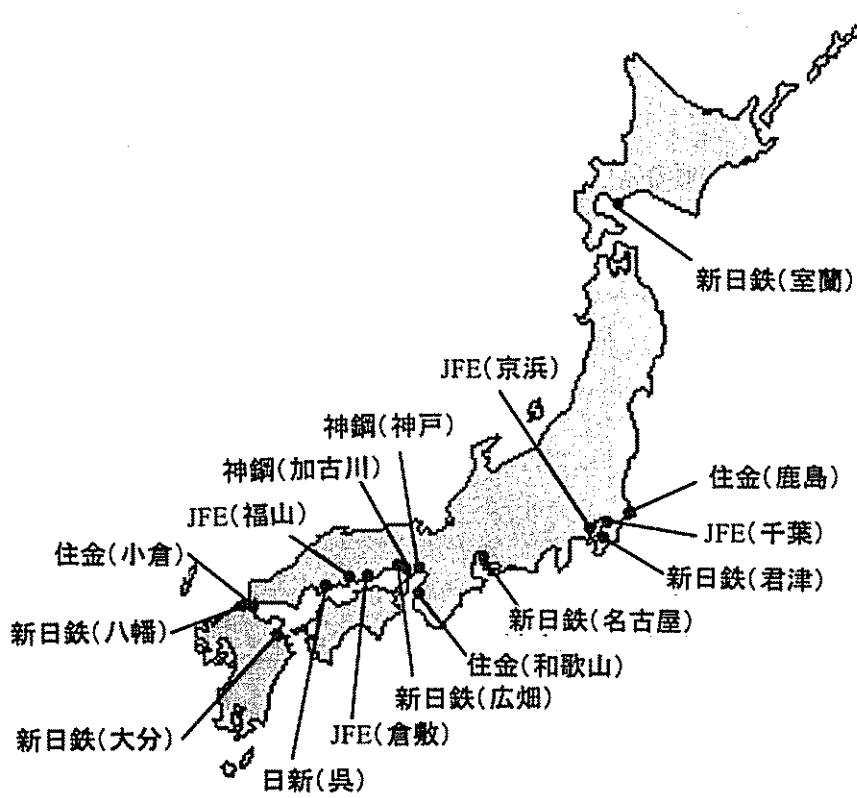
単位：千t

地域	高炉スラグ	製鋼スラグ	
		転炉スラグ	電気炉スラグ
北海道	59	0	24
東北	0	0	95
関東	1,980	225	423
中部	416	252	368
近畿	527	578	192
中国	424	236	203
四国	288	0	0
九州	136	575	136
合計	3,830	1,866	1,441

注：路盤材+アスコン材

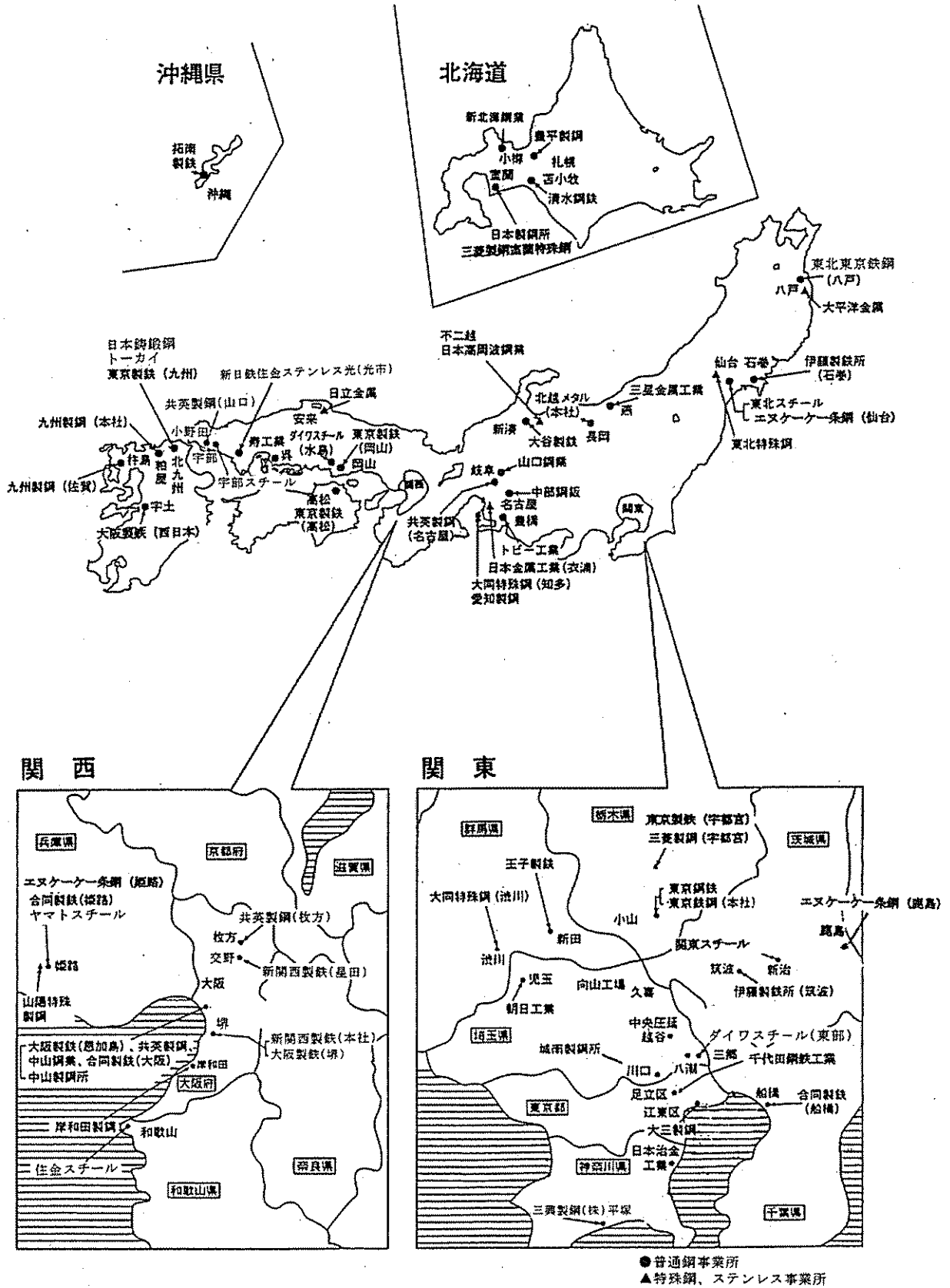
### 3. 生産基地

#### (1) 高炉スラグ・転炉スラグの製造事業所



## (2) 電気炉スラグ製造事業所

電気炉スラグ製造事業所は、ほぼ全国に分布しているが関東・関西地区に約 60%が集中しています。



都道府県別電気炉事業所（高炉会社の電気炉事業所及び中山製鋼所を除く）

都道府県	電気炉事業所
北海道	清水鋼鐵(株)苫小牧製鋼所 新北海鋼業(株) 豊平製鋼(株) (株)日本製鋼所室蘭製作所 三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)
青森県	東北東京鉄鋼(株)
宮城県	(株)伊藤製鐵所石巻工場 エヌケーケー一条鋼(株)仙台製造所 東北スチール(株)
茨城県	(株)伊藤製鐵所筑波工場 エヌケーケー一条鋼(株)鹿島製造所 関東スチール(株) 住金スチール(株)鹿島事業所
栃木県	東京製鐵(株)宇都宮工場 東京鋼鐵(株)小山工場 東京鉄鋼(株)本社工場
群馬県	王子製鉄(株)群馬工場 大同特殊鋼(株)波川工場
埼玉県	朝日工業(株)埼玉工場 (株)城南製鋼所 ダイワスチール(株)東部事業所 中央圧延(株) (株)向山工場久喜工場
千葉県	合同製鐵(株)船橋製造所
東京都	大三製鋼(株)新砂工場 千代田鋼鉄工業(株)
神奈川県	三興製鋼(株) 日本冶金工業(株)川崎
新潟県	北越メタル(株)長岡工場 三星金属工業(株)
富山県	日本高周波鋼業(株) (株)不二越 大谷製鉄(株)
岐阜県	山口鋼業(株)

都道府県	電気炉事業所
愛知県	愛知製鋼(株)知多工場 共英製鋼(株)名古屋事業所 大同特殊鋼(株)知多工場 中部鋼板(株) トピー工業(株)豊橋製造所 日本金属工業(株)衣浦製造所
大阪府	大阪製鐵(株)恩加島工場 大阪製鐵(株)堺工場 岸和田製鋼(株) 共英製鋼(株)枚方工場 共英製鋼(株)大阪工場 合同製鐵(株)大阪製造所 新関西製鐵(株)本社工場 新関西製鐵(株)星田工場 中山鋼業(株)
和歌山県	住金スチール(株)
兵庫県	エヌケーケー一条鋼(株)姫路製造所 合同製鐵(株)姫路製造所 山陽特殊製鋼(株) ヤマトスチール(株)
岡山県	ダイワスチール(株)水島事業所 東京製鐵(株)岡山工場
広島県	寿工業
島根県	日立金属(株)安来工場
山口県	宇部スチール 共英製鋼(株)山口事業所 新日鐵住金スチール(株)光製造所
香川県	東京製鐵(株)高松工場
福岡県	(株)トーカイ若松工場 東京製鐵(株)九州工場 九州製鋼(株)福岡工場
佐賀県	九州製鋼(株)佐賀工場
熊本県	大阪製鐵(株)西日本製鋼所
沖縄県	拓南製鐵(株)新中城工場

## Ⅶ. 鉄鋼スラグとグリーン調達

鉄鋼スラグは、グリーン調達品目に指定されており、環境保全に資する材料として認知された、環境にやさしい材料です。JIS A 5015 道路用鉄鋼スラグは、2002年度グリーン購入法による特定調達品目に指定されています。

鉄鋼スラグ製品の公共工事向けグリーン購入法対象製品一覧

鉄鋼スラグ製品	条 件	環境面のプラス
高炉セメント (2001年度指定)	30%を超える高炉スラグを使用した高炉セメント	・石灰石資源の節約 ・省エネルギー効果 ・二酸化炭素発生量抑制
高炉スラグ骨材 (2002年度指定)	天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂や砕石の代替として使用する高炉スラグ骨材	・自然環境の保護 ・破碎加工時に使用される化石燃料削減と二酸化炭素削減
鉄鋼スラグ混入路盤材 (2002年度指定)	路盤材の道路用鉄鋼スラグ	・自然環境の保護
鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物 (2002年度指定)	加熱アスファルト用の道路用鉄鋼スラグ骨材	・自然環境の保護 ・破碎加工時に使用される化石燃料削減と二酸化炭素削減
鉄鋼スラグを原料としたロックウール (2002年度指定)	ロックウールで、鉄鋼スラグを85%以上使用したもの	・高断熱性でエネルギーを削減 ・アスベストの代替材料
土工用水砕スラグ (2003年度指定)	天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂や砕石の代替として使用する土工用水砕スラグ 例：盛土、港湾用の埋戻し、盛土、裏込め、埋立、覆土等	・自然環境の保護 ・破碎加工時に使用される化石燃料削減と二酸化炭素削減
地盤改良用製鋼スラグ (2004年度指定)	サンドコンパクションパイル工法における、天然物(海砂、山砂)の代替として使用する製鋼スラグ	・自然環境の保護 ・破碎加工時に使用される燃料削減と二酸化炭素削減

### <グリーン購入について>

調達する物品の環境配慮を促進する取組みをグリーン購入といいます。このような動きは、国連や各国の公共機関から始まりました。日本では、平成13年4月に「国等による環境物品等の調達の推進に関する法律」(グリーン購入法)が施行されました。

- ① 国及び独立行政法人等のグリーン購入は責務とされました。
- ② 国は環境物品等の調達の推進に関する基本方針を定めなければならないことになっています。
- ③ 環境物品等購入の目標化も義務づけられています。
- ④ 調達実績の概要の公表も求められています。
- ⑤ 地方公共団体でも環境物品等の調達の推進に努めることになっています。

企業においても、環境マネジメントシステム ISO14001 の要求事項にグリーン購入の内容があり、ISO14001 を取得した組織のグリーン購入促進に影響を与えています。



# 付 録

I. 道路用鉄鋼スラグ規格化の経緯 .....	15
II. 鉄鋼スラグの生成 .....	16
III. 鉄鋼スラグの性質 .....	17
1. 化学組成 .....	17
2. 溶出組成 .....	17
3. 鉄鋼スラグのエージング .....	18
4. 鉄鋼スラグの特性と用途 .....	20
IV. 道路用鉄鋼スラグの実路調査・試験結果例 .....	21
1. 鉄鋼スラグを使用した道路舗装の追跡調査(技術資料-1) .....	21
2. 鉄鋼スラグを使用した排水性舗装の試験結果(技術資料-2) .....	23
V. 引用文献 .....	28
VI. 参考文献 .....	28





## I. 道路用鉄鋼スラグ規格化の経緯

鉄鋼生成と同時に生成する鉄鋼スラグの有効活用を行うため表1のような規格化を進めてきました。

表 1. 鉄鋼スラグ規格化への経緯

年	制 定 ・ 改 正
昭和 51 年(1976 年) 昭和 57 年(1982 年)	「高炉スラグ砕石路盤設計施工指針」制定 「高炉スラグ路盤設計施工指針」改定
昭和 51 年(1976 年) 昭和 60 年(1985 年)	「路盤用高炉スラグ品質管理要綱」制定 「路盤用高炉スラグ品質管理要綱」改定
昭和 53 年(1978 年)	「アスファルト舗装要綱」に採用
昭和 54 年(1979 年)	「道路用スラグ JIS A 5015 」制定
昭和 54 年 ~ 56 年 (1979~1981 年)  昭和 57 年(1982 年)	(旧) 建設省土木研究所、財団法人土木研究所センター、 当協会との三者による製鋼スラグの道路用材への利 用に関する共同研究を実施  「製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針」 改定
昭和 60 年(1985 年)	「製鋼スラグ路盤設計施工指針」改定  「路盤用製鋼スラグ品質管理要綱」改定
昭和 60 年(1985 年)	道路用スラグ JIS A 5015 改定
平成 4 年(1992 年)	道路用鉄鋼スラグ JIS A 5015 改定

## II. 鉄鋼スラグの生成

鉄鋼スラグには、製鉄工程で生成する高炉スラグと製鋼工程で生成する製鋼スラグがあります。

製鋼スラグは、鋼の製造方法の違いによって、転炉スラグと電気炉スラグに分けられます。

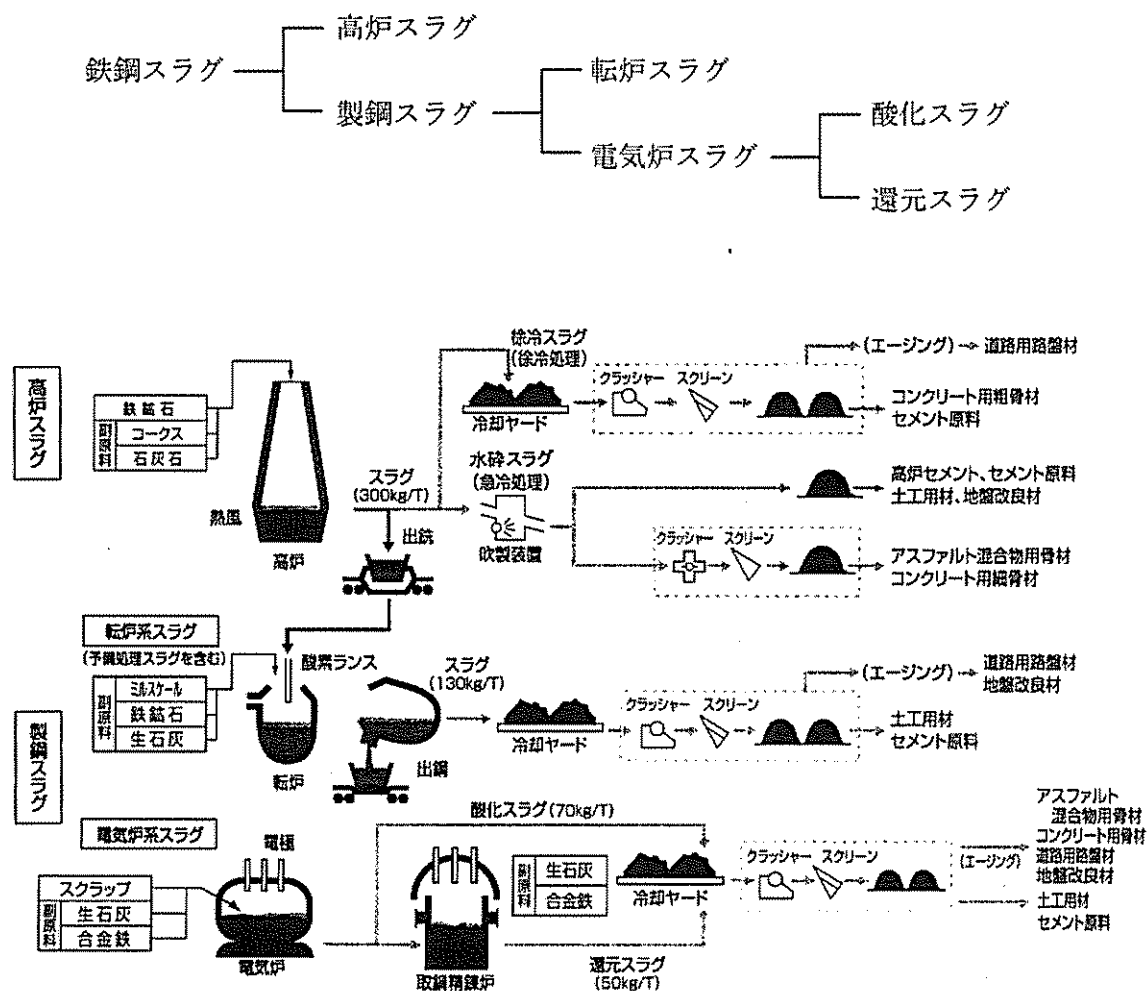


図 1. 鉄鋼スラグの製造フロー

### Ⅲ. 鉄鋼スラグの性質

#### 1. 化学組成

- (1) 鉄鋼スラグは、石灰(CaO)とシリカ(SiO<sub>2</sub>)を主成分としています。鉄鋼スラグは、天然岩石などと同様の成分を有しており、その他の成分バランスや熔融雰囲気の違い等で、それぞれ特有の性質を示します。
- (2) 高炉スラグには、アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、マグネシア(MgO)と少量のイオウ(S)が含有されています。イオウは、高炉スラグの用途である路盤材に使用する際に、特徴的な挙動を示す原因となっています。
- (3) 製鋼スラグには、鉄やマンガン(Mn)などの金属元素が酸化物(酸化鉄等)の形でスラグ中に取り込まれます。遊離石灰(f-CaO)として残るものがあります。これらが製鋼スラグの比重が大きいことや、水と接触した際に膨張する性質を示す原因となっています。

鉄鋼スラグの化学組成例

(単位：%)

	高炉スラグ	製鋼スラグ			安山岩 (参考)
		転炉系スラグ	電気炉系スラグ		
			酸化スラグ	還元スラグ	
CaO	41.7	45.8	22.8	55.1	5.8
SiO <sub>2</sub>	33.8	11.0	12.1	18.8	59.6
T-Fe	0.4	17.4	29.5	0.3	3.1
MgO	7.4	6.5	4.8	7.3	2.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.4	1.9	6.8	16.5	17.3
S	0.8	0.06	0.2	0.4	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.1	1.7	0.3	0.1	—
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2

#### 2. 溶出組成

スラグ製品の重金属溶出試験結果例

(単位：mg/l)

試験項目 種類	カドミウム またはその化合物	水銀または その化合物	6価クロム 化合物	鉛または その化合物	ヒ素または その化合物	セレンまたは その化合物
高炉スラグ	検出限界値以下	検出限界値以下	検出限界値以下	検出限界値以下	検出限界値以下	検出限界値以下
転炉系スラグ	同上	同上	同上	同上	同上	同上
電気炉系スラグ	同上	同上	同上	同上	同上	同上
検出限界値	0.01	0.0005	0.05	0.01	0.01	0.01

(注) 「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令」第4条の規定に基づく、「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」(昭和48年度環境庁告示第13号、平成7年3月に改定)により検定を行った。

<参考> 主な項目についての埋立処理基準

(単位: mg/l)

種類 \ 試験項目	カドミウム またはその化合物	水銀または その化合物	6価クロム 化合物	鉛または その化合物	ヒ素または その化合物	セレンまたは その化合物
埋立処分基準 *1	≤0.3	≤0.005	≤1.5	≤0.3	≤0.3	≤0.3
埋立処分基準 (水底土砂) *2	≤0.1	≤0.005	≤0.5	≤0.1	≤0.1	≤0.1

(注) \*1 「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令」(昭和48年総理府令6、平成6年11月に改定)の埋立処分に係る判定基準である。  
 \*2 「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第5条第1項に規定する埋立場所等に排出しようとする金属等を含む廃棄物に係る規定基準を定める総理府令」(昭和48年総理府令6、平成6年11月に改定)の水底土砂に係る判定基準である。

### 3. 鉄鋼スラグのエイジング

#### (1) 高炉徐冷スラグのエイジング → 黄色水対策

高炉徐冷スラグ中には硫黄が1%程度存在します。このため製造時に水と接触すると黄色を呈したり、温泉臭がすることがあります。この現象を防止するため破碎後空気と硫黄を反応させ安定な硫酸イオンに酸化させたり、炭酸ガスで中性化し黄色水の色や臭気を消失させる処理を行ないます。この処理が高炉スラグのエイジングです。一般に行われているエイジングは、粉碎・ふるい分けした製造直後品を安定するまでヤードに積み付ける方法を実施しています。

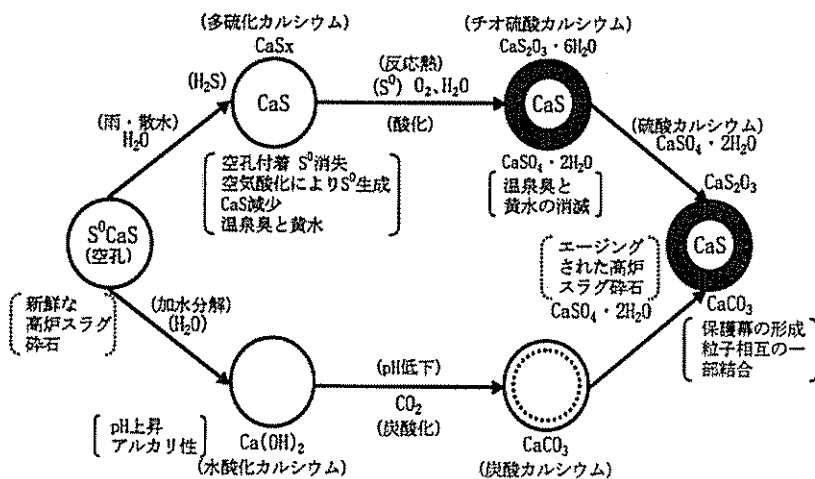


図2. エージングのメカニズム (鈴木(明), 1977)

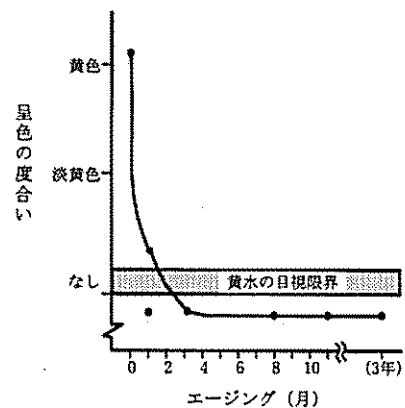


図3. エージング効果例

#### (2) 製鋼スラグのエイジング → 膨張崩壊対策

製鋼原料(銑鉄、スクラップ)の精錬に用いる生石灰は、十分に溶解されないと不安定な状態のままスラグ中に残存します。

この溶解不十分な生石灰は遊離石灰(free CaO)とよばれ、水と反応 (CaO+H<sub>2</sub>O→ Ca(OH)<sub>2</sub>) すると体積が2倍になりアスファルトが下から押され花咲き(ポップアウト)を

起こす場合があります。

この現象を防止するため事前に遊離石灰を水分と反応させて消石灰に変え、体積安定化処理をするエージングをおこなっています。

エージング方法には、次の3種類があります。

- ①破砕後、安定するまでヤードに積み付ける大気エージング
- ②ピットに搬入した製鋼スラグを蒸気（高温・水分多）で処理する方法
- ③オートクレーブに搬入した製鋼スラグを高圧蒸気（高圧・高温・蒸気）で処理する方法

②、③の方法は促進エージングと呼ばれ、現在主流の方法です。

### ①ヤードに積み付け

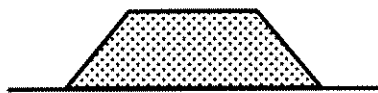


図4. ヤードエージング方式

### ②蒸気によりエージング

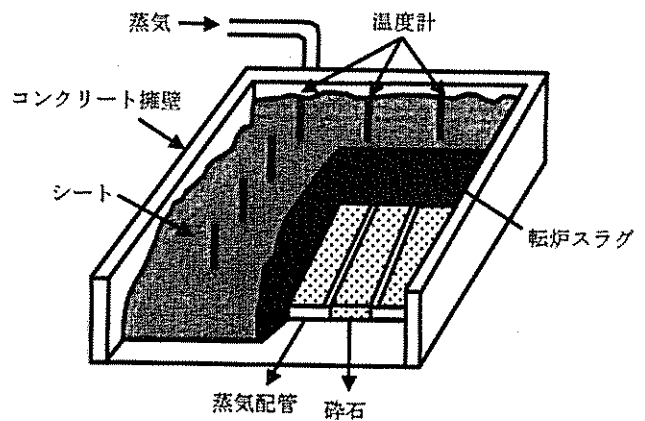


図5. ピット式蒸気エージング設備の概念

### ③オートクレーブによるエージング

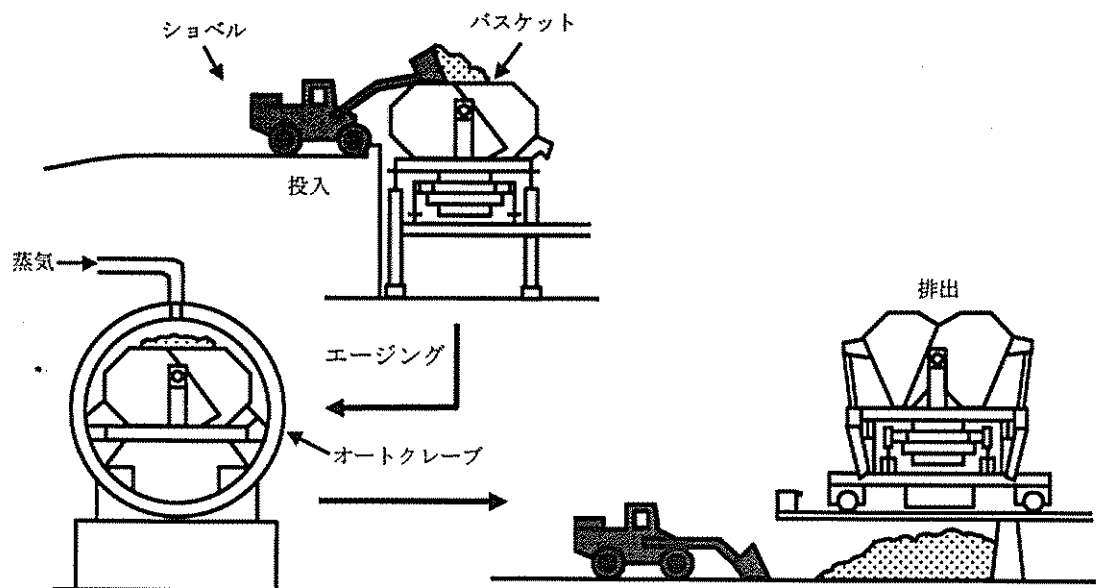


図6. 加圧式蒸気エージング設備の概念

#### 4. 鉄鋼スラグの特性と用途 (一覧表)

		特 性	用 途
高 炉	徐冷スラグ	<ul style="list-style-type: none"> <li>●水硬性 → 道路用 (路盤材)</li> <li>●非反応性 → コンクリート用粗骨材</li> <li>●低アルカリ性 → セメントクリンカー原料 (粘土代替)</li> <li>●繊維化すれば断熱・保温・吸音性 → ロックウール原料</li> <li>●肥料成分 (CaO、SiO<sub>2</sub>) → 珪酸石灰肥料 (ケイカル)</li> </ul>	
	水砕スラグ	<ul style="list-style-type: none"> <li>●微粉砕後の強い潜在水硬性 → 高炉セメント原料 → ポルトランドセメント混合材 → コンクリート混合材</li> <li>●潜在水硬性 → 地盤改良材</li> <li>●低アルカリ性 → セメントクリンカー原料</li> <li>●軽量、内部摩擦角大、透水性大 → 土工用材 (裏込み材、覆土材、盛土材、路盤改良材、サンドドレーン材、グラウンドの排水層等)</li> <li>●硬質で塩分等の有害物資を含まぬ人工の砂 → コンクリート用細骨材、土工用材</li> <li>●肥料成分 (CaO、SiO<sub>2</sub>) → 珪酸石灰肥料 (ケイカル) → 土壌改良材</li> </ul>	
製 鋼	転炉スラグ	<ul style="list-style-type: none"> <li>●硬質・耐摩耗性 → 道路用 (アスコン材)</li> <li>●水硬性 → 道路用 (路盤材)</li> <li>●FeO分・CaO分・SiO<sub>2</sub>分 → セメントクリンカー原料</li> </ul>	
	電気炉スラグ	<ul style="list-style-type: none"> <li>●肥料成分 (CaO・SiO<sub>2</sub>・MgO・FeO) → 肥料および土壌改良剤</li> </ul>	
	還元スラグ	<ul style="list-style-type: none"> <li>●内部摩擦角大 → 港湾工事用材料 (サンドコンパクションパイル用原料)</li> <li>●非反応性 (電気炉酸化スラグ) → コンクリート用骨材</li> </ul>	

## IV. 道路用鉄鋼スラグの実路調査・試験結果例

### 1. 鉄鋼スラグを使用した道路舗装の追跡調査（技術資料－1）

（再生路盤材との比較）

国土交通省 関東地方整備局 千葉国道工事事務所 石坂 幸平  
鉄鋼スラグ協会 東日本支部委員（新日鐵(株)君津製作所）○片桐 健詞

#### 1. はじめに

道路用鉄鋼スラグは昭和54年JISが制定され、主に製鉄所周辺における道路舗装の路盤用材料として利用されてきており十分に実績のある材料である。一方、鉄鋼スラグはリサイクル材であり、近年叫ばれている天然資源保護の観点からも今後とも有効な材料である。道路用鉄鋼スラグの特徴は、水硬性を有し長期的に強度が増加する性質があることで道路舗装の長寿命化が期待できる。しかし、実路での経年に伴う舗装の供用性や性能の変化についてはこれまで十分には調査されていない。そこで平成8年より国土交通省と鉄鋼スラグ協会が鉄鋼スラグ路盤材（以後スラグ路盤材と称す）と再生路盤材を用いた舗装の耐久性に関して共同で研究を進めてきた。今回、同一路線の実路試験においてスラグ路盤材と再生路盤材を使用した道路の供用性と残存 $T_a$ の経年変化について、供用後3年経過までの追跡調査結果が得られたので発表する。

#### 2. 調査対象道路舗装概要

調査対象の道路は、国道16号線の千葉木更津～君津市間の下り車線片側2車線のうちの走行車線である。調査対象区間の施工延長と舗装断面図-1に示す。調査は各舗装断面とも延長100mの区間を設定して実施した。舗装断面の設計条件は、路床の設計CBRが8%、交通量区分がD交通、必要 $T_a$ が34cmである。施工から調査までの工程は、路盤施工が平成8年6～9月、供用開始が平成9年2月、以後の追跡調査を1、2、3年後とした。

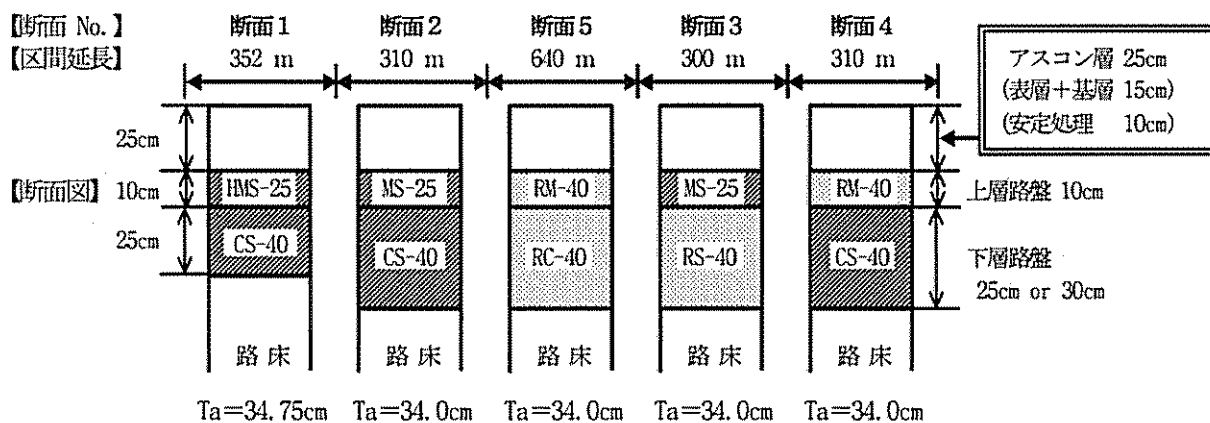


図-1 調査対象区間の配置と舗装断面

調査対象舗装区間に使用した各路盤材の試験成績を表-1に、調査試験項目を表-2に記す。

表-1 各路盤材の試験成績

	種類	修正CBR (%)		一軸圧縮強度
		試験値	規格値	規格 1.2N/mm <sup>2</sup> 以上
スラグ 路盤材	HM-25	153	80	1.57
	MS-25	147	80	-
	CS-40	135	30	-
再生 路盤材	RM-40	103	80	-
	RC-40	72	20	-

表-2 調査試験項目

試験項目	試験方法他
平坦性	3mプロファイルメータ
横断形状	横断プロファイルメータ
ひび割れ	スケッチ法
たわみ量測定	FWD 試験と逆解析による弾性係数推定

### 3. 調査結果

路面の評価については、ひび割れ、平坦性、わだち掘れの調査結果を全て反映したMCIに比較し、舗装の性能評価は、FWD試験結果を用いて得られた舗装各層の弾性係数から等値換算係数を求め、舗装断面の全体を評価する残存T<sub>a</sub>にて比較することとした。

#### 3-1 MCI

各断面毎に経過年別にMCIを計算した結果を図-2に示し、図の中で初期とは併用開始を表わす。各舗装断面のMCIは3年経過時で8.50~8.77となっており、路面性状としてはいずれも良好な状態であり、路盤材料による大きな差は生じていない。各舗装断面とも供用かいし語1年で約0.6~0.9の低下が見られるがその後は大きな変化はない。

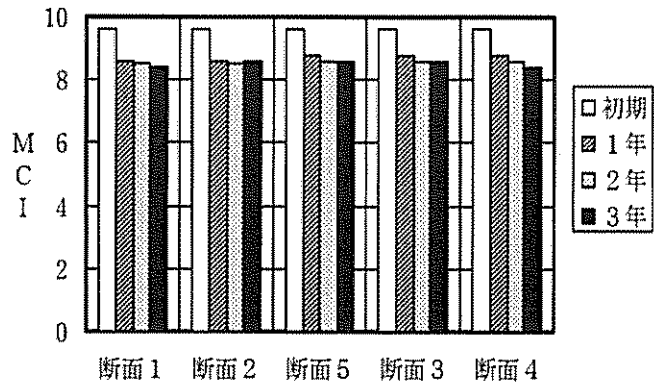


図-2 MCIの変化

#### 3-2 残存 T<sub>a</sub>

各断面毎に経過年別残存T<sub>a</sub>を計算した結果を図-3に示す。残存T<sub>a</sub>は、3年経過してもいずれの断面でも当初設計の34cm以上を保持している。3年経過時と比較すると、スラグ路盤材を上下層両方あるいはそのいずれかに使用した断面1、2、3、4の残存T<sub>a</sub>は高いレベルにあり44.6cm~47.2cmとなっているのに対し、上下層とも再生材を使用した断面低く40.1cmとなっており、その差は4.5cm~7.1cmである。また、各々の断面について供用開始前と3年経過時を比べると断面5は残存T<sub>a</sub>が1.7cm低下しているのに対して、断面1、2、3は1.8~2.3cm増加、断面4は供用開始前と同じ数値となっている。

このように、スラグ路盤材を使用した舗装断面比較的高い残存T<sub>a</sub>を維持しているのは、再生材は経時とともに強度が増加する性質、即ち水硬性があり弾性係数も大きくなるためと考えられる。

この水硬性は、スラグと水が接触すると微量の石灰やシリカが溶け出し、スラグ表面に緻密な水和生成物を形成しスラグの粒子をつなぐ結合材となって凝結硬化することによっておきる性質である。

以上、供用後3年経過までの調査結果から、スラグ路盤材を使用した道路舗装は、再生路盤材を使用した道路舗装に比べT<sub>a</sub>を大きく

評価できることがわかった。このことは、スラグ路盤材を使用することにより道路舗装寿命（特に路盤材支持力）の長期化、あるいは当初の設計舗装厚さを低減できる可能性があると考えられる。

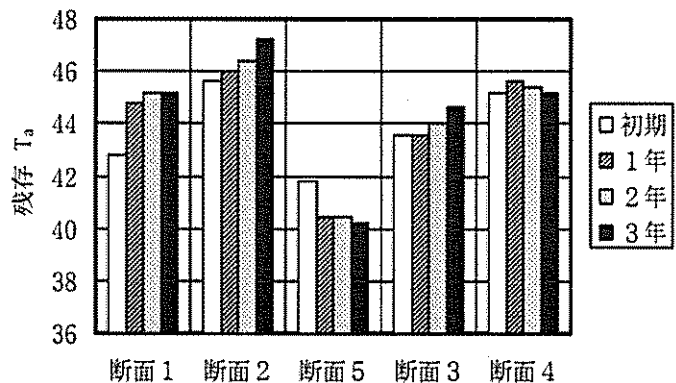


図-3 残存 T<sub>a</sub>の変化

### 4. おわりに

近い将来、道路舗装工事が仕様規定発注から性能規定発注に移行され、今回の調査結果が、道路舗装を設計、施工する際に利用され経済的な道路の建設と保守に結実されれば幸甚である。今後もスラグ路盤材の長期供用後の性状調査を継続し、経年に伴うスラグ路盤材の強度増加による将来の路盤撤去工事の施工性や工事コストについても検討を行い、ライフサイクルコストを評価してスラグ路盤材に関する知見を蓄積していきたいと考えている。



## 2. 製鋼スラグを使用した排水性舗装の試験結果（技術資料－2）

新日本製鐵(株) 広畑製鉄所 設備部  
広鉦技建(株)

### 1. 目的

製鋼スラグの排水性アスファルト混合物の骨材への適用性について、室内試験および実路試験を実施し、一般的な、硬質砂岩を粗骨材として使用した排水性アスファルト混合物との比較を実施した。

### 2. 排水性アスファルト混合物の室内試験結果

※詳細は別紙参照

項目		試験材		比較材	規格値	
材料	粗骨材	名称	製鋼スラグ	硬質砂岩		
	細目砂	名称	河口砂	河口砂		
	石粉	名称	石灰岩粉末	石灰岩粉末		
	アスファルト	名称	高粘度改質アスファルト	高粘度改質アスファルト		
品質	粗骨材	絶対比重	g/cm <sup>3</sup>	3.655	2.707	(表乾比重は2.45以上)
		吸水量	%	1.77	1.08	3.0以下
		単位体積重量	kg/cm <sup>3</sup>	1.874	1.586	—
		すりへり減量	%	13.6	15.6	30以下
		扁平量	%	3.9	3.2	10以下
	細目砂	表乾比重	g/cm <sup>3</sup>	2.493	2.493	—
		絶対比重	g/cm <sup>3</sup>	2.568	2.568	—
		吸水量	%	1.97	1.97	—
		単位体積重量	kg/cm <sup>3</sup>	1.539	1.539	—
	石粉	絶対比重	g/cm <sup>3</sup>	2.71	2.71	—
水分		%	0.1	0.1	1.0以下	
混合物性状	アスファルト量	%	4.2	4.7	—	
	絶対乾密度	g/cm <sup>3</sup>	2.462	2.001	—	
	全体空隙率	%	20	20	20%程度	
	連続空隙率	%	17.5	19	—	
	安定度	kgf	640	625	350以上	
	フロー値	1/100cm	24	28	—	
	残留安定度	%	79	80	—	
	透水係数	cm/15sec	45×10 <sup>-2</sup>	66×10 <sup>-2</sup>	1×10 <sup>-2</sup> 以上	
	D <sub>S</sub> 値	回/mm	800	680	3000以上目標	
	カンタプロ試験	%	4	4.5	—	
ダレ試験		4.5	5	—		

### 3. 試験施工結果

○上記の室内試験結果を受け、実路での試験施工を実施した。

(試験工区：製鋼スラグ、比較工区：硬質砂岩)

#### 3-1. 場所・施工時期

施工場所：神戸市北区（小部明石線）

施工時期：平成6年3月施工

#### 3-2. 舗装断面

<条件>	設計CBR	4%
	交通区分	C交通
	Ta	32cm

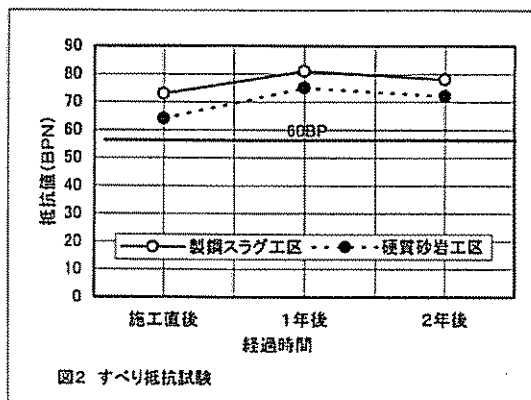
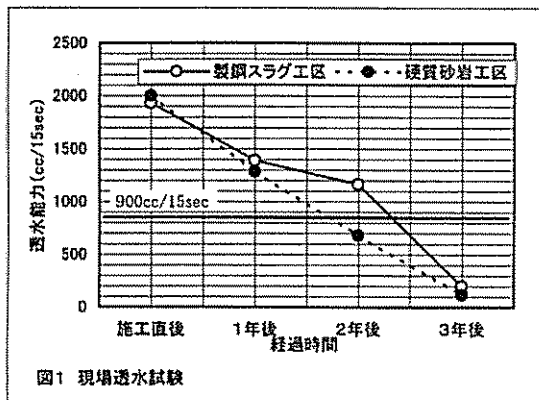
現道面		<等値換算係数>		<舗装厚み>	
60cm	表層（排水性舗装）	1.0	5cm	5 × 1.0 = 5	
	基層（中間層）	1.0	5cm	5 × 1.0 = 5	
	基層	1.0	5cm	5 × 1.0 = 5	
	上層路盤 (水硬性粒度調整鉄鋼スラグ)	0.55	20cm	20 × 0.55 = 11	
	下層路盤 (クッション)	0.25	25cm	25 × 0.25 = 6.25	
	路床土			H=60 Ta=32.25 ≥ 32cm	

### 3-3. 調査結果

※詳細は別紙参照

場所				神戸市北区				規格値	
調査日				施工直後 H6.3.22	1年後 H7.3.29	2年後 H8.3.29	3年後 H9.4.8		
現場 透水 試験	工区	測点	単位					目安 900cc/15sec	
	製鋼スラグ工区	No. 3 (左)	cc/15sec		1864	1099	1029		51
		No. 3 (右)	cc/15sec		2001	1681	1299		346
		平均値	cc/15sec		1933	1390	1164		199
	硬質砂岩工区	No. 7 (右)	cc/15sec		1960	1370	485		18
		No. 10(右)	cc/15sec		2085	1008	211		48
		No. 7 (左)	cc/15sec		1922	1283	1021		207
		No. 10(左)	cc/15sec		2043	1476	1008		197
	平均値	cc/15sec		2002	1284	679	118		

すべり 抵抗 試験	製鋼スラグ工区	No. 3 (左)	BPN	65	81	81	—	60 以上
		No. 3 (右)	BPN	81	80	75	—	
		平均値	BPN	73	81	78	—	
	硬質砂岩工区	No. 10(右)	BPN	62	69	72	—	
		No. 10(左)	BPN	65	81	71	—	
		平均値	BPN	64	75	72	—	



◎製鋼スラグ工区と硬質砂岩工区を比較すると透水性、すべり抵抗性ともに同等レベルである。また、FWDの試験結果（別紙）でも同等以上の力学的特性が得られている

### 4. ま と め

室内試験結果および実路試験舗装での追跡調査の結果、製鋼スラグを用いた排水性アスファルト混合物は硬質砂岩を用いたアスファルト混合物と同等の品質が得られており、製鋼スラグは排水性アスファルト混合物の骨材として十分に適用可能であると考えられる。

### 謝 辞：

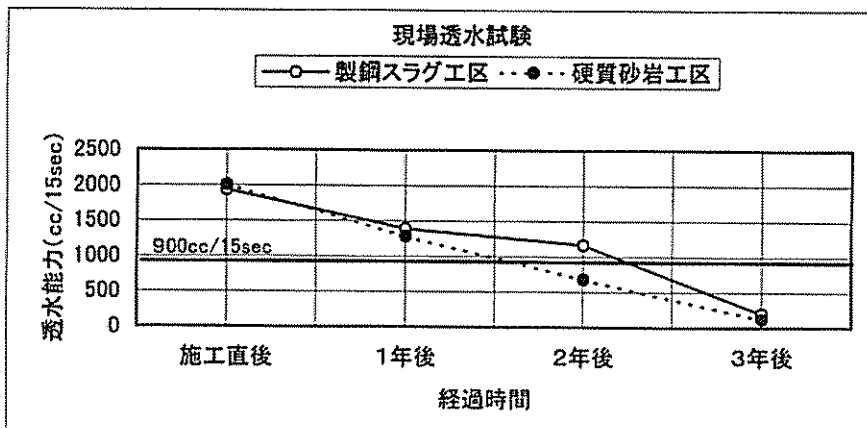
本試験結果の検討に際して貴重なご意見を賜りました神戸大学・西名誉教授、神戸市道路工務課、兵庫県道路建設課の各位へ御礼を申し上げます。

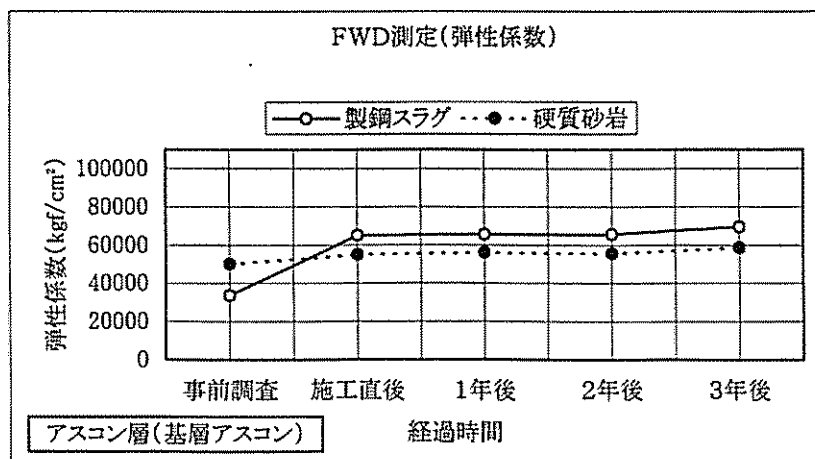
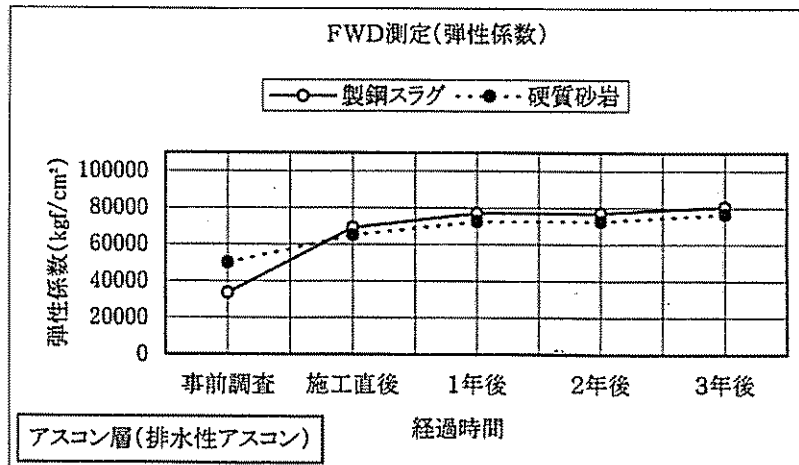
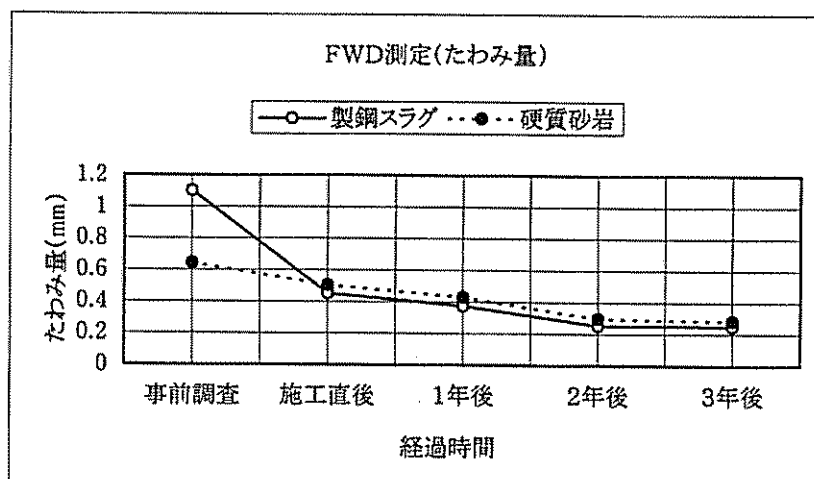
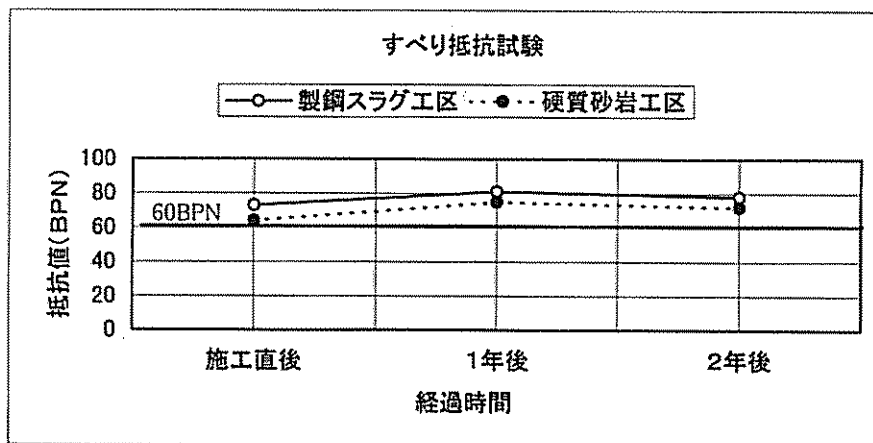
6-1 製鋼スラグを使用した排水性アスファルト混合物の室内試験結果一覧

項目		品名		試験材		比較材		規格値							
材	粗骨材	名称	製鋼スラグ		硬質砂岩										
		産地	兵庫県姫路市		京都府亀岡市										
	細目砂	名称	河口砂		河口砂										
		産地	岡山県笠岡市		岡山県笠岡市										
	石粉	名称	石灰岩粉末		石灰岩粉末										
産地		岐阜県大垣市		岐阜県大垣市											
料	アスファルト	名称	高粘度改質アスファルト		高粘度改質アスファルト										
		産地	愛知県名古屋市		愛知県名古屋市										
品	粗骨材	絶乾比重	g/cm <sup>3</sup>	3.655	2.707	(表乾比重は2.45以上)									
		吸水量	%	1.77	1.08	3.0以下									
		単位体積重量	kg/cm <sup>3</sup>	1.874	1.586	-									
		すりへり減量	%	13.6	15.6	30以下									
		扁平量	%	3.9	3.2	10以下									
質	細目砂	表乾比重	g/cm <sup>3</sup>	2.493	2.493	-									
		絶乾比重	g/cm <sup>3</sup>	2.568	2.568	-									
		吸水量	%	1.97	1.97	-									
		単位体積重量	kg/cm <sup>3</sup>	1.539	1.539	-									
	石粉	絶乾比重	g/cm <sup>3</sup>	2.71	2.71	-									
水分		%	0.1	0.1	1.0以下										
粒	度			硬質砂岩	鉄鋼スラグ	細目砂	石粉	硬質砂岩	鉄鋼スラグ	細目砂	石粉	粗骨材	砂	石粉	
		26.5 mm											-	-	-
		19.0 mm			-	100.0			100.0	-			100	-	-
		13.2 mm			-	95.6			93.6	-			85~100	-	-
		4.75 mm			-	2.4	100.0		1.1	-	100.0		0~15	-	-
		2.36 mm					90.7				90.7		-	-	-
		0.60 mm					66.8	100.0			66.8	100.0	-	-	100.0
		0.30 mm					23.7	-			23.7	-	-	-	-
		0.15 mm					3.3	97.4			3.3	97.4	-	-	90~100
		0.075 mm					1.6	81.6			1.6	81.6	-	-	70~100
骨	材	配合比 (比重補正前)	硬質砂岩	%	-										
			製鋼スラグ	%	-		84								
			細目砂	%	-		-								
			石粉	%	-		11								
	配合	配合比 (比重補正後)	硬質砂岩	%	-		5								
			製鋼スラグ	%	88		-								
			細目砂	%	8.1		-								
石粉	%	3.9		-											
混	合	物	性	状	アスファルト量	%	4.2	4.7	-						
					絶乾密度	g/cm <sup>3</sup>	2.462	2.001	-						
					理論密度	g/cm <sup>3</sup>	3.079	2.5	-						
					全体空隙率	%	20	20	20%程度						
					連続空隙率	%	17.5	19	-						
					安定度	kgf	640	625	350以上						
					フロー値	1/100cm	24	28	-						
					残留安定度	%	79	80	-						
					透水係数	cm/15sec	45×10 <sup>2</sup>	66×10 <sup>2</sup>	1×10 <sup>2</sup> 以上						
					D S 値	回/mm	8000	6800	3000以上目標						
					カンタプロ試験	%	4	4.5	-						
ダレ試験		4.5	5	-											

6-2 製鋼スラグを使用した排水性アスファルト舗装の実路試験結果一覧

項目		場所			神戸市北区					規格値	
調査日					事前調査 H5.8	施工直後 H6.3.22	1年後 H7.3.29	2年後 H8.3.29	3年後 H9.4.8		
現場透水試験	工区	測点	単位							目安 900cc/15sec	
		製鋼スラグ工区	No.3(左)	cc/15sec	-	1864	1099	1029	51		
			No.3(右)	cc/15sec	-	2001	1681	1299	346		
		平均値	cc/15sec	-	1933	1390	1164	199			
	硬質砂岩工区	No.7(右)	cc/15sec	-	1960	1370	485	18			
		No.10(右)	cc/15sec	-	2085	1008	211	48			
		No.7(左)	cc/15sec	-	1922	1283	1021	207			
		No.10(左)	cc/15sec	-	2043	1476	1008	197			
	平均値	cc/15sec	-	2002	1284	679	118				
すべり抵抗試験	製鋼スラグ工区	No.3(左)	BPN		65	81	81	-			
		No.3(右)	BPN		81	80	75	-			
		平均値	BPN		73	81	78	-			
	硬質砂岩工区	No.10(右)	BPN		62	69	72	-			
		No.10(左)	BPN		65	81	71	-			
		平均値	BPN		64	75	72	-			
調査日					事前調査 H6.3.3	施工直後 H6.3.31					
騒音測定	測定回数		単位								
	1回		ホン		64.1	56.5					
	2回		ホン		64.9	59.6					
	3回		ホン		64.2	58.5					
	平均値		ホン		64.4	58.20					
調査日					事前調査 H5.8	施工直後 H6.4.25	1年後 H7.4.12	2年後 H8.4.15	3年後 H9.4.8		
FWD	たわみ量	方向	工区	単位							
		西行	硬質砂岩	mm	0.667	0.466	0.416	0.279	0.260		
		東行	製鋼スラグ	mm	1.079	0.466	0.390	0.258	0.255		
		西行	製鋼スラグ	mm	1.121	0.436	0.355	0.248	0.242		
		東行	硬質砂岩	mm	0.619	0.543	0.442	0.314	0.304		
D測定	弾性係数	排水性アスコン	方向	工区	単位						60,000~100,000
			西行	硬質砂岩	kgf/cm <sup>2</sup>	54,000	70,000	80,000	78,000	82,000	
			東行	製鋼スラグ	kgf/cm <sup>2</sup>	33,000	70,000	72,000	72,000	75,000	
			西行	製鋼スラグ	kgf/cm <sup>2</sup>	34,000	68,000	82,000	82,000	86,000	
			東行	硬質砂岩	kgf/cm <sup>2</sup>	46,000	60,000	65,000	67,000	71,000	
		基層アスコン	方向	工区	単位						
			西行	硬質砂岩	kgf/cm <sup>2</sup>	54,000	66,000	62,000	62,000	65,000	
			東行	製鋼スラグ	kgf/cm <sup>2</sup>	33,000	65,000	63,000	61,000	67,000	
			西行	製鋼スラグ	kgf/cm <sup>2</sup>	34,000	65,000	68,000	70,000	72,000	
			東行	硬質砂岩	kgf/cm <sup>2</sup>	46,000	44,000	50,000	49,000	52,000	





## V. 引用文献

- (1) 第24回日本道路会議 舗装部会 報告論文

## VI. 参考文献

- (1) 製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針
- (2) 高炉スラグ路盤設計施工指針
- (3) 製鋼スラグ路盤設計施工指針

## 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