

# 鉄鋼スラグ路盤設計施工指針の発刊 ～鉄鋼スラグの水浸膨張比の規格値検討～

安藤和彦・寺田 剛・坂 修平

## 1. まえがき

路盤用鉄鋼スラグに関する指針類は、これまでに昭和57年6月発行の「高炉スラグ路盤設計施工指針」<sup>1)</sup>と、昭和60年9月発行の「製鋼スラグ路盤設計施工指針」<sup>2)</sup>の二つがあり、鉄鋼スラグの種類に応じて使い分けられてきた。しかしその後、高炉スラグと製鋼スラグを単独または組み合わせて使用することが一般化され、両指針の統合が求められていた。さらに平成25年3月に改正されたJIS A 5015:2013 (道路用鉄鋼スラグ)<sup>3)</sup>では、道路用鉄鋼スラグに対する環境安全品質基準が新たに追加され、これを指針に織り込む必要性も生じた。

また「製鋼スラグ路盤設計施工指針」については、制定当時、製鋼スラグの膨張安定性を確保するためのエージング処理 (2.3参照) は、長期のエージング期間を必要とする大気エージングのみであったが、その後短期にエージングできる促進エージング方法が主流となり、促進エージング方法によるエージング処理についても指針に示す必要が生じた。加えて、製鋼スラグの膨張安定性の指標となる80℃水浸膨張比 (80℃水浸膨張試験方法<sup>2),3)</sup>による膨張比)の規格値 (1.5%以下) を満足する鉄鋼スラグ路盤材を使用した路盤で、膨張による不具合が発生したことがあることから、規格値の見直しが求められた。

これらのことから、独立行政法人土木研究所 (現 国立研究開発法人土木研究所) と鉄鋼スラグ協会は平成22年度から3か年にわたり、製鋼スラグの許容膨張比の見直しに関する共同研究を行い、さらに、上記の共同研究成果やJISに準拠した環境安全品質基準を取り入れた新たな指針を作成するため、平成25年度～26年度の2か年に渡り、一般財団法人土木研究センター内に路盤用鉄鋼スラグ設計施工指針作成委員会を設け検討を行った。

以下、新たな指針<sup>4)</sup>を発刊するに至ったので概要を紹介する。

## 2. 鉄鋼スラグ製品の概要

### 2.1 鉄鋼スラグの種類

鉄鋼スラグの種類としては、高炉でせん鉄を製造する際に生成する高炉スラグと、転炉等でせん鉄から鋼を製造する際、または電気炉で鉄スクラップを熔融・精錬する際に生成する製鋼スラグに大別される。鉄鋼スラグの種類を、図-1に示す。

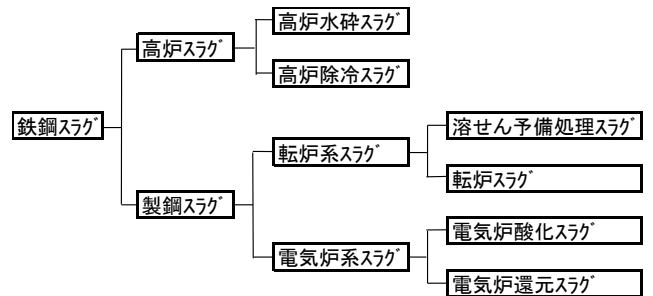


図-1 鉄鋼スラグの種類

### 2.2 路盤用鉄鋼スラグの種類

路盤に用いる鉄鋼スラグは、高炉スラグおよび製鋼スラグを素材とし、これらの素材を単独または組み合わせて製造したものであり、品質に応じて水硬性粒度調整鉄鋼スラグ、粒度調整鉄鋼スラグ、クラッシュラン鉄鋼スラグの3種類がある。

表-1 路盤用鉄鋼スラグの種類及び呼び名

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	

### 2.3 路盤材製品の主な品質管理

#### (1) エージング処理

##### 1) 高炉徐冷スラグの黄色水発生防止のためのエージング

高炉徐冷スラグ中には硫黄とカルシウムイオンが結合した硫化カルシウムが0.8%前後存在し、雨水等に晒されると加水分解して多硫化イオンを生成し、溶液は黄色を呈して温泉臭を発する。そこで高炉徐冷スラグは、この現象を抑えるため、路盤材製造時に大気中の酸素で、硫黄を反応させチオ硫酸イオンなどに酸化させたり、炭酸ガスに中性化させたりして安定化し、溶液の色や臭気を消失させるためエージング処理が行われている。

2)製鋼スラグの膨張抑制のためのエージング

製鋼原料（せん鉄，スクラップ）の精錬に副原料として用いる生石灰は、十分スラグ化されないと不安定な状態のままスラグ中に残存する。この石灰分は通常遊離石灰とよばれ、水と反応すると体積は約 2 倍になりスラグの膨張崩壊をもたらす。

そこで、製鋼スラグを道路用材料として用いるため、路面に悪影響を及ぼさなくなるまでに安定化させるエージング処理を行う必要がある。代表的エージング処理としては、まず徐冷した製鋼スラグを適切な粒度に破碎した後、以下のような方法がとられている。

- ①蒸気エージング；蒸気により膨張反応を短期間で終了させるエージング処理（促進エージング）。わが国では広く行われ、主流となっている。蒸気エージングには、配管蒸気エージングと加熱蒸気エージングの 2 種類がある。
- ②大気エージング；大気中に放置して十分水和反応を起こさせ安定化するエージング処理。エージングのために広大な敷地と期間を必要とする。この他の代表的な方法としては、温水を散布する温水エージング方法もある。

(2)鉄鋼スラグの環境安全品質

鉄鋼スラグの環境安全品質を保証するため、平成 25 年 3 月に改訂された JIS A 5015:2013（道路用鉄鋼スラグ）に、環境安全品質基準及び検査方法が導入された。

3. 新たな指針の作成に当たっての検討

3.1 規格値の検討<sup>5)</sup>

(1)実路での調査

蒸気エージングを各社が導入し、その実路実績も多くなっていることから、全国の蒸気エージング材を対象に、路盤用鉄鋼スラグの出荷実績及び施工後の路盤膨張によるトラブル（クレーム）発生の有無について鉄鋼スラグ協会加盟会社にアンケート調査を行った（対象期間：平成 4 年～平成 25 年）。調査結果を表-2 に示す。この結果、水浸膨張比が 1.0%以下ではトラブルが発生していないことが分かった。

(2)モデル路盤による調査

製鋼スラグ路盤材を使用したモデル路盤を構築し、経時による路面状況の変化を調査した。

表-2 トラブル調査結果

製品の 80℃水浸膨張比 (%)	製品出荷量 (t)	トラブル発生量 (t)	トラブル発生率 (%)
0.3 以下	15,171,002	0	0
0.3 を越え 0.4 以下	2,333,110	0	0
0.4 を越え 0.5 以下	1,345,799	0	0
0.5 を越え 0.6 以下	1,014,305	0	0
0.6 を越え 0.7 以下	868,366	0	0
0.7 を越え 0.8 以下	829,983	0	0
0.8 を越え 0.9 以下	379,724	0	0
0.9 を越え 1.0 以下	387,306	0	0
1.0 を越え 1.1 以下	289,591	300	0.10
1.1 を越え 1.2 以下	204,055	850	0.42
1.2 を越え 1.3 以下	239,018	3,840	1.61
1.3 を越え 1.4 以下	184,499	160	0.09
1.4 を越え 1.5 以下	579,401	10,000	1.73
全体	23,826,159	15,150	0.06

1)施工ヤード

モデル路盤は、土木研究所舗装走行実験場内に構築した。モデル路盤は周囲をセメントコンクリート壁で囲み、底面から順に路盤、密粒度アスファルトコンクリート、スラグ路盤、その上に表層として密粒度アスファルトコンクリートを舗設した構造とし、路盤の膨脹を促進させるために、コア抜き箇所から定期的に給水を行った。

2)使用材料及び配合

使用したスラグの種類及びエージング方法は表-3 に示すとおりである。今回の検討は、従来の規格値 1.5%よりも小さい膨張比での特性を把握することが目的であったため、使用材料製造時に 80℃水浸膨張比が 1.5%、1.0%、0.5%となるようにエージング期間を調整した製鋼スラグを試料として用いた。なお実際の 80℃水浸膨張比は、使用したスラグを用いて室内試験で測定した。

3)モデル路盤試験結果

規格値を検討する指標として、モデル路盤の膨脹量と路盤厚との比（以下「路盤の膨脹比」という。）と舗装のひび割れ率に着目した。試験結果を図-2～図-5 に示す。

図-2 と図-3 の結果から、ばらつきがあるものの 80℃水浸膨張比が大きくなると路盤の膨脹比、ひび割れ率とも大きくなる事が分かる。しかし、モデル路盤は通過する交通荷重がないため、参考にできるひび割れ率の規格値がない。そこで、中間的な交通量区分である N<sub>5</sub><sup>6)</sup>における舗装構成を道路舗装の代表値として位置付け、コンクリート舗装とア

土研センター

表-3 各工区の使用材料

No.	スラグの種類	エージング方法		配合
		方法	期間/水浸膨張比	
1	転炉系スラグ	大気エージング	0か月*	製鋼100%
2			3か月*	
3			6か月*	
4		配管蒸気エージング	1.5%目標	
5			1.0%目標	
6				
7			0.5%目標	
8				
9				
10		加圧蒸気エージング	1.5%目標	
11			1.0%目標	
12			0.5%目標	
13				
14		0.5%目標		
15	電気炉系スラグ	大気エージング	0.5%目標	製鋼100%
16		配管蒸気エージング		
17		加圧蒸気エージング		
18	転炉系スラグ	大気エージング	6か月 0.5%目標	製鋼100%
19	-	-	-	砕石 M-30

\* 大気エージングは、水浸膨張比を設定できないため、エージング期間を変えて水浸膨張比の水準を調整

スファルト舗装の路盤構成がほぼ同等であることから、コンクリート舗装の路盤上の目標支持力係数である「 $K_{30}=200\text{MPa/m}$ 」をアスファルト舗装の路盤の支持力比較の基準として、水浸膨張比の規格値を検討する指標とすることにした。

開削時の約 2 年間後の支持力係数と路盤の膨張比の関係を図-4 に示す。この図からコンクリート舗装の  $N_5$  交通における目標支持力係数である  $200\text{MPa/m}$  以上を確保するためには、路盤の膨張比は  $3.5\%$  以下であることが必要となる。

次に  $80^\circ\text{C}$  水浸膨張比と路盤の膨張比の関係について、骨材の粒度分布が所定範囲をはずれた不適データを除いて示したものが図-5 である。この線形回帰結果により基準値を検討した場合、路盤の膨張比を  $3.5\%$  以下にするためには、 $80^\circ\text{C}$  水浸膨張比は  $1.2\%$  以下で管理すればよいといえる。

3.2 検討結果

- ① 実路での実態調査の結果、 $80^\circ\text{C}$  水浸膨張比が  $1.0\%$  以下であれば、実路トラブルの発生は防げるものと考えられる。
- ② モデル路盤の試験の結果でも、路盤の膨張比を

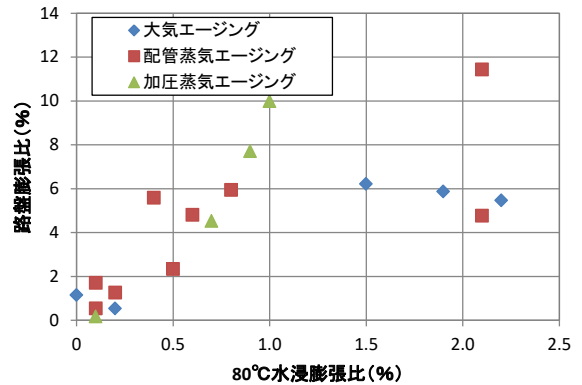


図-2  $80^\circ\text{C}$  水浸膨張比と路盤の膨張比との関係 (全データ)

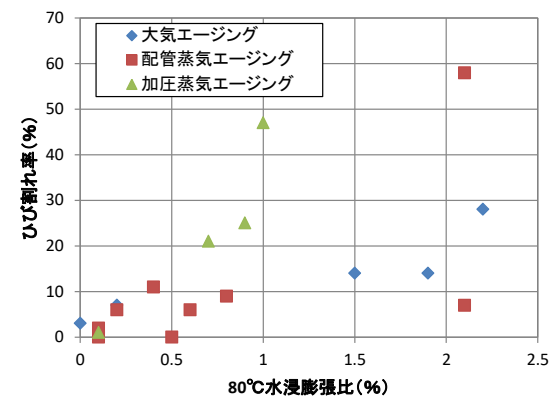


図-3  $80^\circ\text{C}$  水浸膨張比とひび割れ率との関係

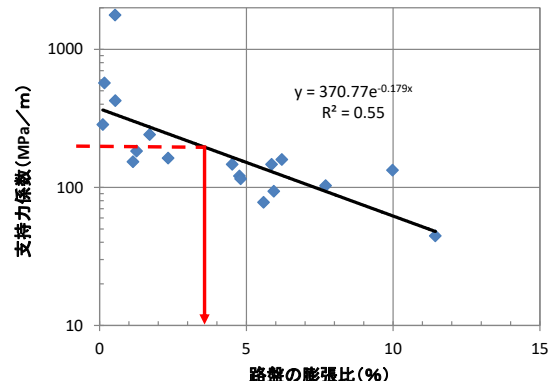


図-4 路盤の膨張比と支持力係数との関係

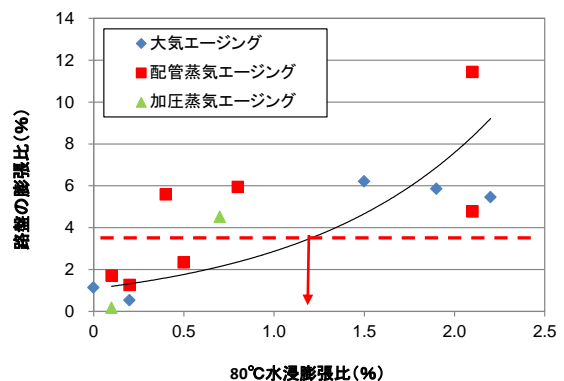


図-5  $80^\circ\text{C}$  水浸膨張比と路盤の膨張比との関係 (不適データ除外後)

3.5%以下にするためには、80℃水浸膨張比は1.2%以下で管理すればよいことがいえる。

以上の結果から、蒸気エージング技術が確立された現在においては、80℃水浸膨張比の規格値を1.0%以下に強化することが妥当であり、実運用上、より安全側の規格値変更と判断する。ただし、今後も継続して実路でのトラブル調査を継続・蓄積して確認していく必要がある。

また、エージング期間は、各事業所の促進エージング設備能力や製鋼スラグの品質管理特性により適正なエージング期間が変わるため一律に規定できないが、各事業所がエージング時間と水浸膨張比の関係を調査し、エージング完了時に完了品のバラツキを小さくするようにエージング時間の設定を行い、適正なエージング期間を把握して管理する必要がある。

### 3.3 JIS に準拠した環境安全品質の設定

JIS A 5015:2013 に準拠し、路盤用鉄鋼スラグの環境安全品質を、以下のとおりとした。

#### (1)環境安全品質基準

鉄鋼スラグの環境安全品質は、表-4 に適合しなければならない。

#### (2)環境安全品質検査

路盤用鉄鋼スラグの環境安全品質の検査は、環境安全形式検査と環境安全受渡検査とに区分し、表-5 の○印で示す項目について行う。

## 4. あとがき

道路の路盤に使用する鉄鋼スラグに関する指針類としては、「製鋼スラグ路盤設計施工指針」（昭和60年、鉄鋼スラグ協会）および「高炉スラグ路盤設計施工指針」（昭和57年、鉄鋼スラグ協会）が用いられてきたが、これら指針類は発行後年数が経過し、現在の鉄鋼スラグ製造技術や品質管理の実態に即するものとはなっていない。そこで、これらの指針類を統合した新たな指針が作成された。

表-4 環境安全品質基準

項目	溶出量 mg/L	含有量 mg/kg
カドミウム	0.01 以下	150 以下
鉛	0.01 以下	150 以下
六価クロム	0.05 以下	250 以下
ひ素	0.01 以下	150 以下
水銀	0.0005 以下	15 以下
セレン	0.01 以下	150 以下
ふっ素	0.8 以下	4000 以下
ほう素	1 以下	4000 以下

表-5 環境安全品質の検査項目

項目	形式検査		受渡検査	
	溶出量	含有量	溶出量	含有量
カドミウム	○	○	—	—
鉛	○	○	○	○
六価クロム	○	○	○	○
ひ素	○	○	—	—
水銀	○	○	—	—
セレン	○	○	○	○
ふっ素	○	○	○	○
ほう素	○	○	○	○

新たな指針には、土木研究所と鉄鋼スラグ協会による3か年間（平成22～24年度）の共同研究の成果が取り入れられ、またJIS A 5015:2013に準拠した環境安全品質が加筆されるなど、最新の知見が反映されたものとなっている。新たな指針が活用され、鉄鋼スラグの普及に寄与することを期待したい。

#### 参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会：高炉スラグ路盤設計施工指針、昭和57年6月
- 2) 鉄鋼スラグ協会：製鋼スラグ路盤設計施工指針、昭和60年9月
- 3) (一財)日本工業標準調査会：JIS A 5015-2013 道路用鉄鋼スラグ、平成25年3月
- 4) 鉄鋼スラグ路盤設計施工指針作成委員会、(一財)土木研究所：鉄鋼スラグ路盤設計施工指針、平成27年3月
- 5) 寺田他：促進エージングされた鉄鋼スラグの水浸膨張比の規格値に関する検討、舗装、Vol.50、NO.8、平成27年8月
- 6) (公社)日本道路協会：舗装設計便覧、平成18年2月

安藤和彦



(一財)土木研究センター  
技術研究所道路研究部長  
Kazuhiko ANDO

寺田 剛



土木研究所道路技術研究  
グループ舗装チーム 主任  
研究員  
Tsuyoshi TERADA

坂 修平



鉄鋼スラグ協会道路  
ワーキンググループ  
Syuhei SAKA