

製鋼スラグを利用した路盤材料の供用性に関する研究

PERFORMANCE OF ROAD BASE COURSE MATERIALS MADE OF STEELMAKING SLAG

山田 優*・藤井 基高**・小出 浩**・浜崎 拓司**
by Masaru YAMADA, Mototaka FUJII, Hiroshi KOIDE and Takuji HAMAZAKI

1. まえがき

鉄を製造する過程において、副産物として生成されるスラグには、銑鉄製造過程で生成される高炉スラグと鋼の製造過程で生成される製鋼スラグとがある。

現在、高炉スラグは、路盤材料などとして幅広く使用されている。しかし製鋼スラグは、高炉スラグと同様に潜在水硬性を期待できるが、遊離石灰が含まれることから水和反応により膨張する性質を有する。

よって路盤材料として使用するためには、大気中で長期間（6ヵ月以上）エージングをする必要がある。

しかし、そのために広い敷地面積を要するため、我国では路盤材料としての使用量は少ない。平成5年度統計年報によると、生成量900万tのうち、わずか8%程度が使用されたにすぎない。

そこで、製鋼スラグを迅速および確実なエージング方法として期待されている蒸気エージング法の採用により短期間（5日間）の安定化処理を行い、室内材料試験と実路試験施工において、水硬性粒度調整製鋼スラグ路盤材としての品質の確認、施工性、路盤の支持力等について調査した。その内容、結果について以下に報告する。

2. 蒸気エージングによる安定化処理

2.1 設備の概要

製鋼スラグに含まれる遊離石灰の水和反応 ($CaO + H_2O = Ca(OH)_2$) を促進するには、高温、高湿雰囲気にする必要がある。

コンクリートの擁壁内底部に蒸気配管を敷設し、製鋼スラグを積上げ、その上を耐熱シートで覆うことでスラグを「蒸し状態」にする設備を設置した。

写真1は蒸気配管より蒸気の噴出状況であり、写真2は製鋼スラグのエージング中の状況である。

2.2 水浸膨張比とエージング時間の関係

図-1に水浸膨張比と蒸気エージング経過時間の関係を示す。

約15時間後にはJIS品質規定1.5%以下を満足するとともに、24時間後には0.5%以下になり更に安定化は進んだ。

* 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)、**住友金属工業(株)和歌山製鉄所

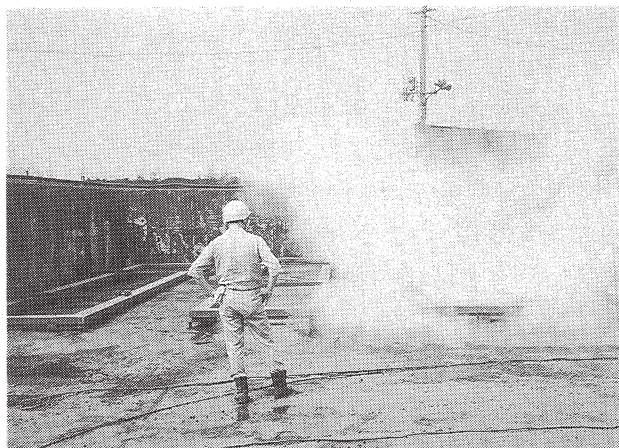


写真1 蒸気の噴出状況

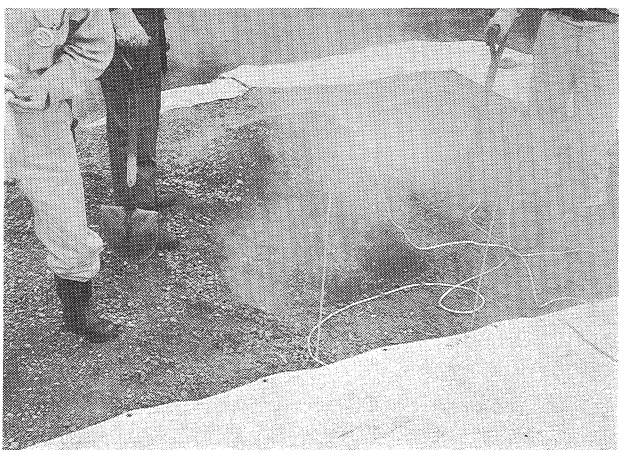


写真2 製鋼スラグのエージング中の状況

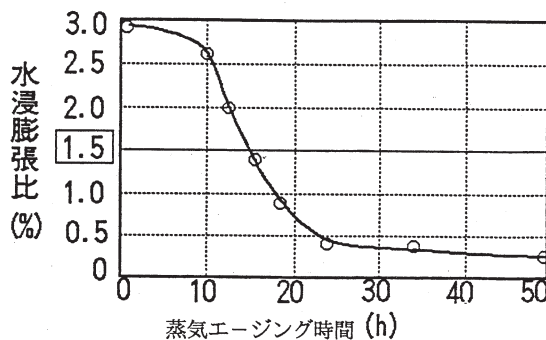


図-1 水浸膨張比と蒸気エージング時間の関係

3. 室内材料試験

3. 1 製鋼複合スラグの配合および比較材

製鋼スラグ単一では、一軸圧縮強度が8~16 kg/cm²とバラツキが大きいため、高炉徐冷スラグまたは高炉水砕スラグ*と複合し、一軸圧縮強度の安定化を図ることでHMS 25相当品を品質目標として製造した。

配合割合については、数々の予備試験を経て、表-1に示すと通りの3ケースを設定した。

また、比較材として高炉徐冷スラグ単一品および粒調碎石についても同様に材料試験を実施した。

3. 2 材料試験結果

材料試験結果を表-2に示す。

全試験項目について、JIS品質規定を満足した。

図-2に修正CBR試験結果を、図-3に一軸圧縮試験結果を示す。

各々について製鋼複合スラグと比較材を対比した。

修正CBRについては、比較材に比べ160~188%と高い値を示した。

一軸圧縮強度については、比較材である高炉徐冷スラグ単一品とほぼ同等である14.7~16.6 kg/cm²の値を示した。

表-1 製鋼複合スラグの配合設計

材 料	配合割合 (%)		
	製鋼90 水砕10	製鋼75 水砕5 徐冷20	製鋼75 徐冷100
製鋼(転炉)スラグ	90	75	75
高炉水砕スラグ	10	5	0
高炉徐冷スラグ	0	20	25

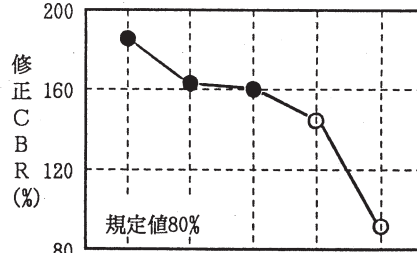
表-2 材料試験結果

試験項目	配合 (%)	製鋼複合スラグ			比較材		JIS 規定値
		製鋼90% 水砕10%	製鋼75% 水砕5% 徐冷20%	製鋼75% 徐冷25%	徐冷 100%	粒調碎石	
加積通過	26.5mm [31.5]	100	100	100	100	100	95 - 100
質量百分 率 (%)	13.2 [19.0]	78	78	77	79	75	60 - 80
	4.75 [4.75]	48	46	43	48	43	35 - 60
[]は粒調 碎石ふるい 寸法	2.36 [2.36]	36	34	31	35	29	25 - 45
	0.425 [0.425]	13	14	15	18	12	10 - 25
	0.075 [0.075]	6	6	7	8	8	3 - 10
単位容積質量	(kg/l)	2.216	2.116	2.094	1.776	1.683	1.5以上
最大乾燥密度	(g/cm ³)	2.684	2.582	2.592	2.130	2.230	-
最適含水比	(%)	6.9	7.5	7.7	10.5	6.0	-
修正CBR	(%)	188	162	160	145	90	80以上
一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	14日	16.6	15.1	14.7	15.3	-	12以上
	28	20.9	19.2	17.0	18.5	-	-
	91	34.8	31.7	28.4	29.0	-	-
	80	47.7	53.4	45.3	31.1	-	-
水浸膨張比	(%)	0.08	0.30	0.38	0	-	1.5以下

* (注) 高炉スラグは徐冷スラグと水砕スラグに大別される。

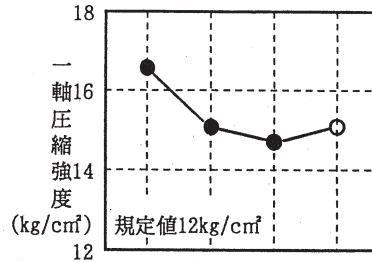
徐冷スラグ：溶融スラグを冷却ヤードに流し込み自然放冷と適度の散水によって冷却、結晶質の岩石状スラグとなる。

水砕スラグ：溶融スラグに加圧水を噴射し急激に冷却、ガラス質の砂状スラグとなる。



製鋼90 水砕10 製鋼75 水砕5 徐冷20 製鋼75 徐冷25 徐冷100 粒調碎石

図-2 修正CBR試験結果



製鋼90 水砕10 製鋼75 水砕5 徐冷20 製鋼75 徐冷25 徐冷100 粒調碎石

図-3 一軸圧縮試験結果

4. 実路試験

4.1 舗装構造

舗装構造の概要を図-4に示す。

試験舗装に構内道路の一部を使用、直線部125mを配合別に5工区に分割した。

製鋼スラグ路盤材を2~4工区に施工し、比較用として1工区には高炉徐冷スラグ路盤材、また5工区に粒調碎石路盤材を各々上層路盤に施工した。

なお、本道路の交通量は大型車720台/日・方向でアスファルト舗装要綱の交通区分B交通の範囲にある。

[平面]

	長25m	25m	25m	25m	25m
幅 4m	1工区	2工区	3工区	4工区	5工区

[断面]

5cm	密粒度アスファルト混合物					表層
5cm	粗粒度アスファルト混合物					基層
20cm 厚	徐冷 100% (比較)	製鋼90 水砕10	製鋼75 水砕5 徐冷20	製鋼75 徐冷25	粒調 碎石 (比較)	上層 路盤
	C-30					下層 路盤
15cm						路床

設計CBR = 8

図-4 舗装構造

4.2 施工性

上層路盤の施工状況を写真3に示す。

製鋼複合スラグ路盤材については、いずれも材料の分離は見られなかった。また、最適含水比が低く、かつ締固め曲線が滑らかであるため、締固めが容易であり施工性については、施工者から「良好である」との評価を得た。

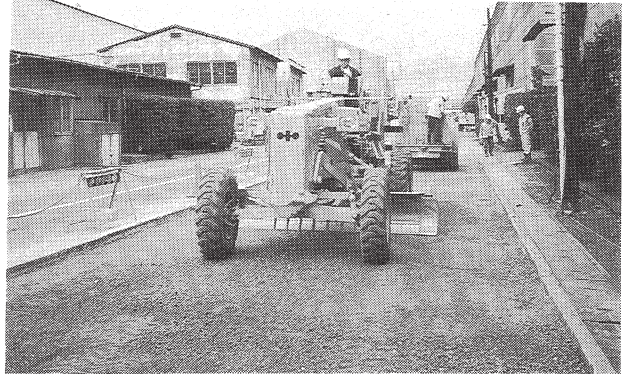


写真3 上層路盤の施工状況

4.3 支持力と路面性状の試験結果

施工時および1年経過後に試験を実施した。

試験結果を表-3示す。

製鋼複合スラグ路盤については、一年後において路盤支持力は増加し、潜在水硬性を発揮したと推定できる。

また、高炉徐冷スラグ路盤と比較しても同等以上の支持力を示した。

表-3 支持力と路面性状の試験結果

試験項目		工区		試験 時期	1工区		2工区		3工区		4工区		5工区		
					上層	表層	上層	表層	上層	表層	上層	表層	上層	表層	
繰返平板載荷 KODAN103	変形係数 (kg/cm ²)	1	1	施工 時	1080	-	1510	-	1580	-	1620	-	1050	-	
		2			1370	-	1560	-	1250	-	1230	-	920	-	
		平均			1230	-	1540	-	1420	-	1430	-	990	-	
	地盤係数(kg/cm ²)		69		-	87	-	80	-	81	-	56	-		
	変形係数 (kg/cm ²)	1	1		一年 後	1770	-	1370	-	1550	-	1560	-	860	-
		2				935	-	2060	-	1770	-	1370	-	920	-
平均		1350		-		1720	-	1660	-	1470	-	890	-		
地盤係数(kg/cm ²)		76	-	97		-	94	-	83	-	50	-			
たわみ量 (mm)	舗装試験法便覧	施工	1.28	0.81		1.09	0.75	1.20	0.83	1.25	0.88	1.49	1.17		
		一年	-	0.68		-	0.52	-	0.72	-	0.71	-	0.99		
平坦性 (mm)	同上	施工	-	2.17	-	2.05	-	1.92	-	2.81	-	2.45			
		一年	-	2.03	-	2.65	-	2.03	-	3.76	-	5.64			
わだち掘れ(mm)	同上	施工	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0			
		一年	-	1	-	2	-	1	-	1	-	3			

地盤係数(kg/cm²)K₃₀は、第3段目の载荷における変形係数から、次式により算出した

$$K_{30} = \text{変形係数} / 1.18 \times r \quad (r = 15\text{cm} : \text{载荷板の半径})$$

各試験項目ごとに製鋼複合スラグ路盤材と比較材の試験結果を比較して示すと図-5~8のとおりである。

たわみ量試験結果より、各工区とも施工時より一年後の方がたわみ量が小さくなっており、経年とともに良好な締固め状態となっているのがわかる。

また、製鋼複合スラグ路盤は碎石路盤に比べ高い支持力を示した。

繰返し平板載荷試験では、たわみ量試験と同様に一年後の方が高い支持力を示しているが、碎石路盤については若干の亀裂が生じ、支持力は低下した。

平坦性・わだち掘れ試験では、一年後の結果にて若干ではあるが碎石路盤に比べて良好な値を得た。

なお、2年後に目視観察調査を実施した。

碎石路盤区間の路面には、30%程度のひび割れが入っていたが、製鋼複合および高炉徐冷スラグ路盤区間は、ひび割れなどの異常は観察されなかった。

(凡例) ○ 1工区 ● 2工区 ▲ 3工区
■ 4工区 △ 5工区(碎石路盤)

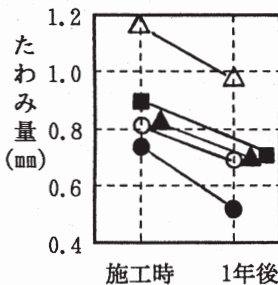


図-5 たわみ量試験結果

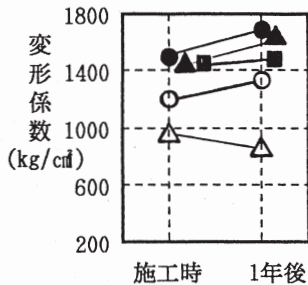


図-6 繰返し平板載荷試験結果

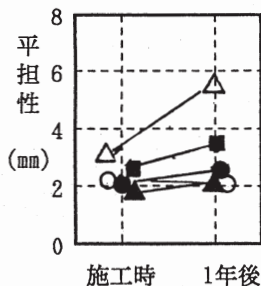


図-7 平坦性試験結果

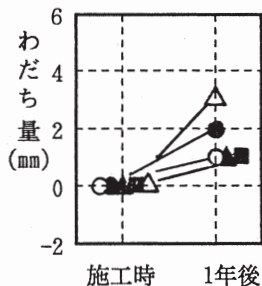


図-8 わだち量試験結果

5. 等値換算係数の推定

繰返し平板載荷試験結果およびたわみ量試験結果より、比較材の等値換算係数を基準にして、製鋼複合スラグ路盤材の等値換算係数を推定した。

推定方法については、変形係数およびたわみ量が上層路盤の等値換算係数と単純な関係にあると仮定し、比較路盤として使用した粒調碎石と高炉徐冷スラグの等値換算係数がそれぞれ0.35と0.55であることから、図-9および図-10を描いて推定した。

結果は図が示すとおりであり、製鋼複合スラグ路盤材は碎石路盤材よりも支持力が優れており、また高炉徐冷スラグ路盤材と比較しても同等、もしくはそれ以上の支持力を有する路盤材料であり、等値換算係数を0.55とすることができるかと判断する。

(凡例) — 施工時の結果 - - - 1年後の結果

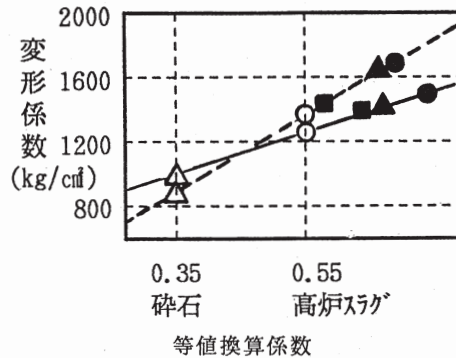


図-9 変形係数との関係による等値換算係数の推定

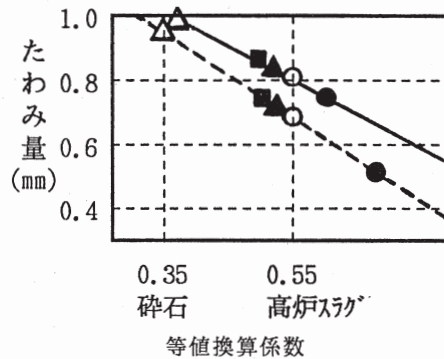


図-10 たわみ量との関係による等値換算係数の推定

6. 結論

製鋼スラグの路盤材料としての利用について、安定化処理技術開発から実路試験による供用性の確認まで、種々の調査、研究を約7年間の歳月をかけて実施してきた。

本文は、その結果の一部であるが、路盤材料としての品質、施工性および路盤での支持力、いずれもが従来から使用されている高炉徐冷スラグと比較しても同等以上の評価を得たことから、高炉スラグと複合させることにより、水硬性粒度調整鉄鋼スラグの材料として使用できることを確認した。