

電気炉スラグの土木材料としての利用

UTILIZATION OF ELECTRIC FURNACE SLAGS AS CONSTRUCTION MATERIALS

桑山 忠*・山田 優**・本多 淳裕***

By Tadashi KUWAYAMA, Masaru YAMADA
and Atsuhiko HONDA

1. はじめに

くず鉄の増加にともなってこれを主原料とする電気炉鋼生産量が全鉄鋼生産量に占める割合は最近10年間で16.4から23.2%に増加し、電気炉製鋼の比重が大きくなりつつある。電気炉は電弧熱を外部熱源として原料であるくず鉄を溶解する溶鋼炉であり、炉内雰囲気は酸化性、還元性のどちらにも変えることができる。酸化性雰囲気では溶鋼中に含まれる不要成分を除去し(酸化精錬)、これらの不要成分を含むスラグを排除した後に還元性雰囲気中で脱硫・脱酸と鋼材としての成分調整が行われ(還元精錬)、再びスラグが排出される。近年、溶鋼の成分調整が厳密になり、還元精錬に取り鍋精錬を行い酸化期と還元期とで別炉を利用することが多くなってきている。電気炉スラグは、その前半の酸化期に排出する酸化スラグ、後半の還元期に排出する還元スラグの2種類に分かれる。利便性のある電気炉は多く利用されており、電気炉スラグの排出場所は各地に分散し、1事業所当たりのスラグ排出量が少ない。そのため電気炉スラグの有効利用に対する関心は低く、埋立処分する割合が高かったが、廃棄物の再資源化の観点から利用するようになり、酸化スラグが75%、還元スラグが55%まで利用率は上昇してきた¹⁾。しかし、高炉スラグのそれはほぼ100%、転炉スラグは85%であり、電気炉スラグの利用率は他種のスラグに比べると低い。これらスラグのうち高炉スラグはセメントの原材料への利用が多いが^{2~4)}、製鋼スラグと総称される転炉、電気炉スラグはその大部分が道路の路盤材料などに天然材料の代替として利用されている^{5~9)}。

電気炉スラグには膨張と水硬の2つの性質を持っており、スラグの膨張性は路盤材料などに利用するときの支障となってきたが、水硬性は路盤材料以外の土木材料への利用にとって有利な特性である。しかし、これらの特性はほとんど明らかにされてこなかったために利用率が低いままとなっている。

この報告では、土木材料としての性質を示すとともに天然材料にはみられない膨張および水硬特性を示し、これらの特性を持つ電気炉スラグの土木材料としての利用について紹介する。

2. 電気炉スラグの土木材料としての性質

電気炉スラグには酸化スラグと還元スラグの2種類があり、その産出形状が異なっている。酸化スラグは徐冷によって塊状となり、利用に際しては破碎処理される。還元スラグは製鋼条件と化学成分の相違により、徐冷によって塊状となるものと粉状になるものがある¹⁰⁾。

2.1 化学特性と物理特性

酸化スラグと還元スラグでは化学成分組成が異なっている。酸化スラグの成分は Fe_2O_3 が30~40%、 CaO が20~30%、 SiO_2 が10~25%、 MnO が6~13%、 Al_2O_3 が5~10%、 MgO が5~8%、 Cr_2O_3 が1~4%の範囲にある。一方、還元スラグの化学成分は CaO 、 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 の4成分が全体の85~93%を占めているが、精錬時の鋼種ごとに化学成分は数%の範囲で変動している。

図-1は13事業所で排出している電気炉スラグの主要成分である SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 、 MgO 、 Fe_2O_3 に関する三元状態図を示している。

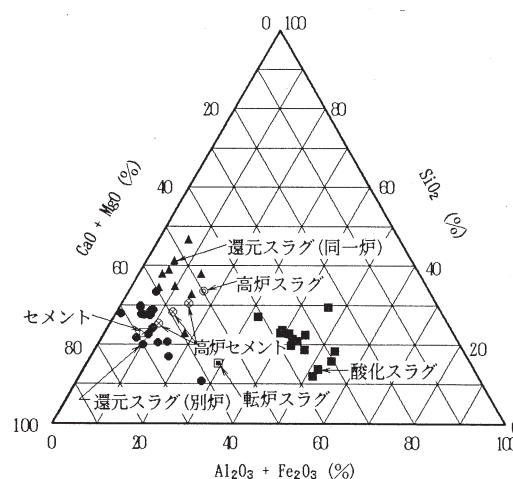


図-1 電気炉スラグの主要成分に関する三元状態図

スラグの成分組成によって比重が異なり、原子量の大きいFe、Mn成分の含有量が天然の碎石に比べて多いので比重は大きい値を示す。図-2は (Fe_2O_3+MnO) の含有量と電気炉スラグの比重の関係を示している。成分組成は溶鋼時に挿入される副原料であるフラックスの使用量に左右されている。

酸化スラグと塊状の還元スラグは利用に際して破碎処理される。図-3は破碎処理後の粒度組成を示したものである。なお、粉状還元スラグは25試料の粒度分布の範囲で示した。

*大同工業大学建設工学科 助教授 (〒457 名古屋市中区白水町40)、**大阪市立大学 助教授 工学部土木工学科、***大阪市立大学 教授 工学部土木工学科

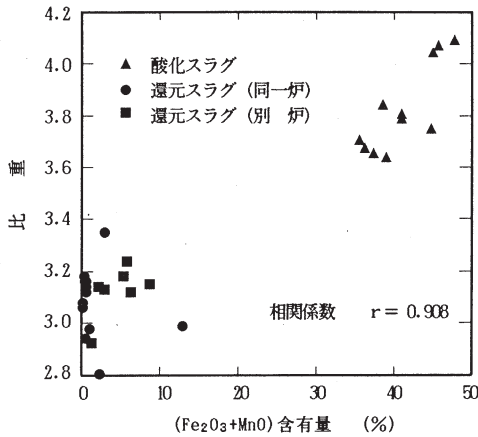


図-2 (Fe₂O₃+MnO)含有量と比重の関係

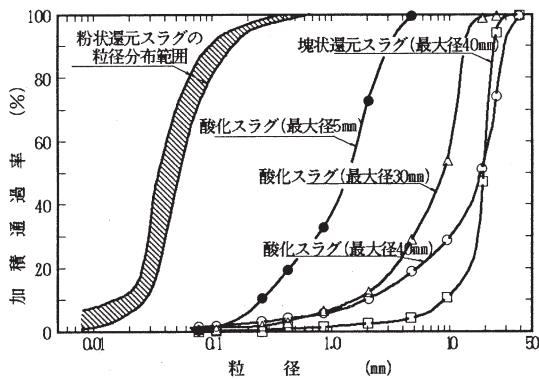


図-3 破碎処理後の電気炉スラグの粒径分布曲線

表-1 は破碎処理直前の粗破碎酸化スラグの骨材としての性質を天然碎石と比較したものである。比重は化学成分組成によって大きい値を示しているが、ロサンゼルス試験機によるすり減り減量は天然碎石に劣らない値を示す。しかし、酸化スラグは酸化スラグ内に捕捉されている鋼球¹¹⁾が破碎処理によって離脱し、磁選によって回収されるので、粗粒分には鋼球が残っている割合が高く、粒径が大きくなると比重の値が大きくなる¹²⁾。

2.2 締固め特性

図-4 に酸化スラグと粉状還元スラグの締固め特性を示したこの試験はJIS A 1210の締固め方法に準じて行ったものであり、図中のNの値は直径15cmのモールドで3層に分けて締め固めたときの、1層当たりのランマー(質量4.5kg、落下高さ45cm)の落下回数を示している。締固めによる密度の増加には粒子破碎による細粒化も寄

表-1 粗破碎酸化スラグと天然碎石との諸物性の比較

試料	電気炉酸化スラグ			碎石6号	
	A事業所	B事業所	C事業所	砂岩	安山岩
比重	3.71	3.75	4.06	2.68	2.67
吸水率	1.14	0.87	0.47	0.91	0.91
ロサンゼルス試験機によるすり減り減量(%)	19.1	17.6	13.2	23.5	17.8
圧縮強度 (kgf/cm ²) (φ=35mm, h=70mm)	954	1095	1108	693	816
煮沸安定性 (%)	0.4	0.3	0.3	0.9	0.2
(Fe ₂ O ₃ +MnO)含有量(%)	34.20	43.14	46.85	-	-

与しているが、酸化スラグはN = 150 回以上の締固めでは細粒化と締固め密度に頭打ちの傾向が認められ、塊状還元スラグはN = 50~100回の打撃回数で細粒化の中だるみがあり、N = 100~200回で再び細粒化効果が現れてくる。酸化スラグ、塊状還元スラグとも、締固めによる粒子の破碎は粗粒子で起こっており、細粒子は締固めでは破碎されにくい。このため破碎処理直後の塊状還元スラグの粒径は酸化スラグの粒径に比べて粗粒分が多いが、締固めによる細粒化で酸化スラグの粒度組成に似かよってくる。

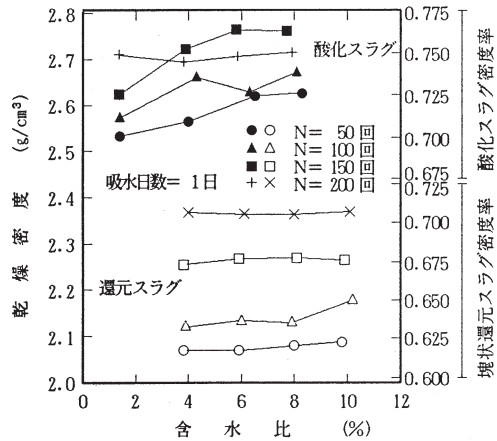


図-4 酸化スラグと塊状還元スラグの締め固め曲線

2.3 一軸圧縮強度

(1) 酸化スラグ

粒径 2 mm 以下の酸化スラグと粉状還元スラグを直径 5 cm、高さ 10 cm の円柱供試体にランマー(質量 1 kg、落下高さ 10 cm)を用いて $E_c = 5.6 \text{ cm} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^3$ のエネルギーで締固め、飽和湿潤養生後に圧縮試験を行った。図-5 は酸化スラグの締固め時の含水比と養生日数および一軸圧縮強度の関係を示したものである¹³⁾。

破碎処理した酸化スラグの細粒分にも水硬性が認められ、その強度は含水比によって異なり、養生期間の増加にしたがって大きくなる。

(2) 粉状還元スラグ

粉体化直後に色状の異なる3種類(P-1、P-2、P-3)の粉

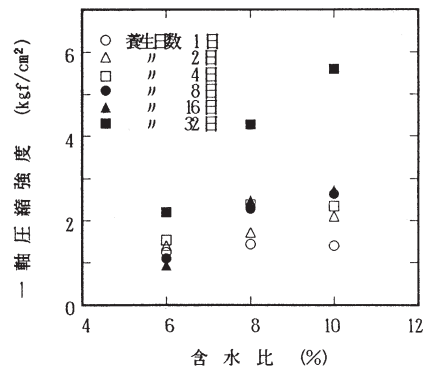


図-5 最大径 2 mm の酸化スラグの一軸圧縮強度

状還元スラグを採取しこの一軸圧縮強度を求めた。採取した還元スラグは降雨の影響を受けない室内で1回/日の割合でスラグ全体が大気に曝されるように攪拌し、試料採取後の経過日数を粉状還元スラグの大気エージング日数として、大気エージング日数、締固め時の含水比および養生日数を変化させて求めた。図-6に締固め含水比20%、養生日数8日の場合の大気エージング日数と一軸圧縮強度の関係を示した。水硬性の大きいP-1とP-3は大気エージングが10日までは強度が増加し、その後低下してくる。採取時の試料温度が大気温度と同じになるまでに3~4日を要したことから、常温になるまでに水硬性鉱物の変化が継続しているとみられる。しかし、水硬性の小さいP-2では温度低下による強度の変化はみられない。

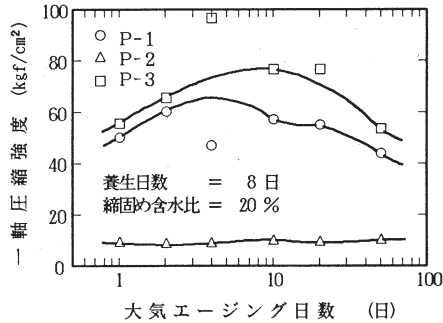


図-6 粉状還元スラグの大気エージング日数と一軸圧縮強度の関係

図-7は大気エージング日数が50日ときの締固め含水比または養生日数と一軸圧縮強度との関係を示している。水硬性の大きい還元スラグの場合は短期強度を發揮してから強度が低下してくる。供試体にクラックなどは観察されなかったが、後述する還元スラグの膨張によって強度を低下させたものと考えられる。

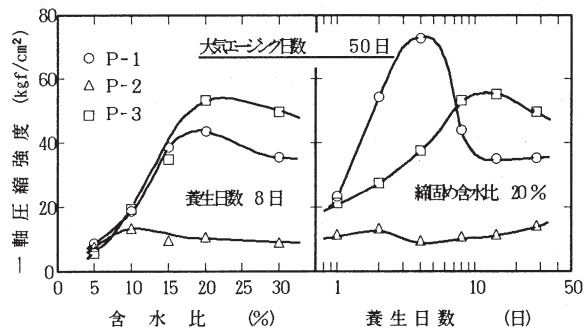


図-7 粉状還元スラグの初期含水比または養生日数と一軸圧縮強度の関係

(3) 酸化スラグと粉状還元スラグの混合スラグ

酸化と還元スラグはほぼ6:4の割合で産出されている。破碎処理された酸化スラグのみでは舗装要綱¹⁴⁾で定められた粒度調整材料として細粒分が不足するが、酸化スラグに粉状還元スラグを混合すると粒度調整路盤材料の規格に適合してくる。そこで、酸化スラグと粉状還元スラグの混合物の一軸圧縮強度を求めた。酸化スラグと

粉状還元スラグの混合割合は合成粒度が粒度調整路盤材料の規格に近くなるように8:2とした。供試体は直径10cm、高さ20cmの円柱、締固めには質量4.5kg、落下高さ45cmのランマーを用い、路盤材料に利用することを考慮して、締固めエネルギー $E_c = 25.6 \text{ cm} \cdot \text{kgf/cm}^3$ で5層に分けて締固めた。締固め後の供試体を所定期間飽和湿潤養生し一軸圧縮試験を行った。

図-8に締固め含水比と一軸圧縮強度および養生日数と一軸圧縮強度の関係を示した。

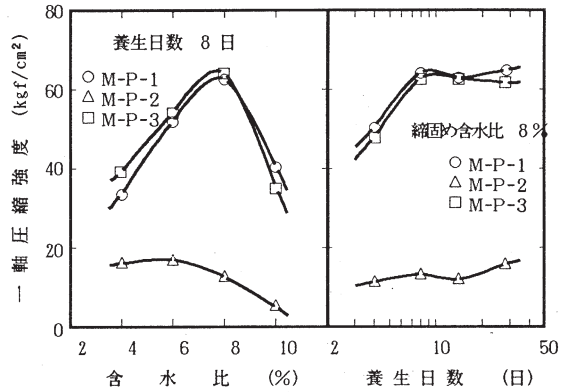


図-8 混合スラグの初期含水比または養生日数と一軸圧縮強度の関係

水硬性の大きい粉状還元スラグ(P-1、P-3)を混合した場合には大きい強度を示し、粉状還元スラグ単独で見られた養生日数の増加による強度低下傾向がみられなくなる。水硬性が小さい粉状還元スラグ(P-2)の場合でも、水硬性路盤材料に必要とされる一軸圧縮強度12kgf/cm²以上を示している(舗装要綱¹⁴⁾の方法と供試体の寸法が異なる)。なお、養生日数7~14日にかけて強度低下がわずかに認められるが、養生期間中に供試体の崩壊はなかった。これは供試体の間隙がセメントコンクリートのようになく(e=0.147)のために後述する水硬性の發揮にともなう体積膨張がこの間隙で吸収されたため、あるいは膨張圧以上の強度を有していたためとみられる。

2.4 水浸膨張特性

転炉スラグにはフラックスとして添加したCaOが未溶解の遊離石灰(f-CaO)として残っており、これが水と反応してCa(OH)₂に変化するときに膨張するが^{15)、16)}、酸化スラグは精錬時の温度が転炉に比べて高いため、未溶解のf-CaOの残留量が少なく、これに起因する膨張は小さいとみられる。

図-9はA、B事業所から排出した2種類の酸化スラグと粉体化した還元スラグを用いて行った80℃水浸膨張試験¹⁷⁾の結果を示したものである。エージング処理前の2種類の酸化スラグのみの膨張特性には相違が認められるが、製鋼条件の相違は溶鋼温度のみで、この相違はA事業所の酸化スラグではカルシウム・アルミネートが水和物で存在し、B事業所の酸化スラグにはカルシウム・

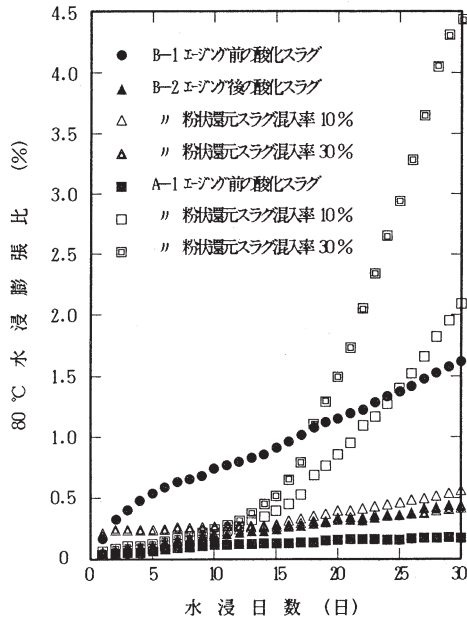


図-9 電気炉スラグ(A、B事業所)の長期水浸による膨張量

アルミネートがそのまま存在していたためとみられる。それぞれの酸化スラグに、同じ事業所より排出した粉状還元スラグを混合したときの膨張特性には大きな相違が現れてくる。A事業所の酸化スラグのみの水浸膨張比は比較的小さいが、粉状還元スラグを混合することによって、水浸膨張比が大きくなり、しかも、水浸日数が13日以降に大きく現れる。後述する粉状還元スラグの膨張現象の遅延に起因したものと考えられる。この傾向は粉状還元スラグの混合割合が変化しても変わらない。一方、B事業所のスラグでは水浸日数の少ない段階で膨張の多くが終了している。

2事業所の混合スラグの水浸膨張比の相違は、電気炉の使用条件（A事業所は酸化精錬と還元精錬に別個の炉を使用し、B事業所は同一の炉を使用する）による粉状還元スラグの化学成分、鉱物相の相違に起因するとみられ、道路の路盤材料などに利用するには粉状還元スラグの水浸膨張性を低下させるためにエージングなどの安定化処理を必要とする。

3. 電気炉スラグの吸水膨張と安定化処理

電気炉スラグの吸水膨張は道路の路盤、盛土などに利用するときの大きい障害となっている。転炉スラグでも同様な現象がみられ、この主たる原因は遊離石灰(f-CaO)が消石灰(Ca(OH)₂)に変化するときの体積膨張であることが明らかにされている^{15)・16)}。しかし、電気炉スラグの膨張は転炉スラグの膨張の原因である f-CaOばかりでは説明が付き難く、種々な水和反応による体積変化があると推定される。

電気炉スラグを路盤材料などに利用する場合には膨張を安定化させるエージング処理をしたスラグが用いられる。

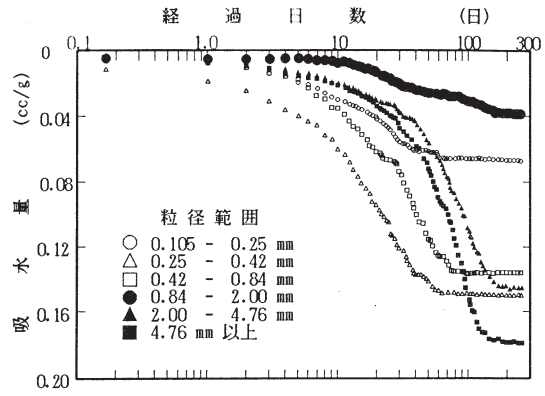


図-10 酸化スラグの大気圧吸水量と経過時間の関係

3.1 電気炉スラグの吸水膨張

(1) 酸化スラグ

図-10に破碎処理後酸化スラグの粒径別の大気圧吸水量の経時変化を示した¹⁸⁾。

大気圧吸水量は粒径によって異なり、一定の大気圧吸水量に達するまでの時間は粒径が大きくなるほど長くなる。また、吸水量は数日から10日間以上にわたって一定量を示して増加する現象を繰り返しながら飽和吸水量に達する。スラグ粒子の細孔に水が浸入して水和反応による体積変化で粒子にクラックを発生させ、新たな水の浸入が始まる。再度、水和反応によって粒子にクラックを発生させる。新たなクラックの発生によりスラグ粒子内で独立した細孔が露出され、クラックばかりではなく細孔にも水が浸入し、これが吸水量として測定される。次のクラック発生までは水和反応のみに必要な水量が測定されるので吸水量は多くならないと考えられる。この試験ではスラグを粒径の大きさに区分して試料としたため、水和物の生成に起因するクラックの発生までの期間が同時期に集中してこのような現象が現れたものとみられる。

吸水試験後の試料のX線回折による鉱物相から CaOがCa(OH)₂に変化していることが判明し、転炉スラグの膨張と同様に CaO から Ca(OH)₂ への水和反応によって膨張すると考えられる。しかし、未溶融のf-CaOを数%含有する転炉スラグ^{15)・16)}に比べると酸化スラグの f-CaO含有量は少ないので酸化スラグの膨張は少ないといえる。一方、走査電子顕微鏡では多くの結晶が観察され、カルシウム・シリケートなどの水和物を生成しているとみられるが、X線回折像では確認できなかった。

(2) 還元スラグ

図-11に水銀圧入式ポロシメーターを利用して行った粉状還元スラグの吸水試験¹¹⁾の結果を示した。

還元スラグは徐冷によって結晶化する際の相転移によるクラックが多くあり、吸水による粒子の細粒化は確認できなかったが、X線回折用の粉末試料を作成するときの粉碎が吸水試験前の試料と比べると非常に容易であったことから、酸化スラグと同じクラックの発生が起

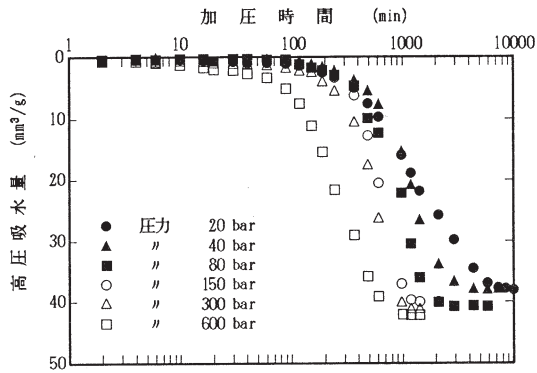


図-1 1 高压吸水量と加压時間の関係

っていると考えられる。

還元スラグのX線回折では吸水試験前に MgO 、 $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ 、 $\gamma-2CaO \cdot SiO_2$ に該当する強いピークと CaO 、 $\beta-2CaO \cdot SiO_2$ のピークが認められた。 MgO 、 $\gamma-2CaO \cdot SiO_2$ は安定した鉱物相で、水との反応が非常に遅いが、 $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ は急硬セメントに添加される鉱物相であり、 CaO とともに水和反応が速い。吸水試験後にはこの鉱物の水和物である $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ 、 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 、 $Ca(OH)_2$ 、 $2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ を同定することができた。 CaO 、 $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ の水和物の生成は大きい体積変化をとめない、スラグの膨張現象として現れる。すなわち、還元スラグの膨張は CaO 、 $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ の水和反応による体積膨張が主たる原因であると考えられる。

$12CaO \cdot 7Al_2O_3$ は反応当初に多くの水を必要とするが、安定したカルシウム・アルミネートへの反応が進行するにしたがって、取り込んだ水分を逆に放出するため、反応当初に十分な水分の供給のもとで膨張し、その後、収縮側に転ずると考えられる。 CaO の反応は転炉スラグの膨張と同じ機構と考えられるが、粉状還元スラグは細粒でクラックの多い粒子状態となっているため、反応は初期の段階で終了するが、この反応で生成される水和物は主として $2CaO \cdot SiO_2$ の相転移で発生したクラックを充填し、膨張現象として現れてこない場合が多いとみられる。その後、 MgO 、 $2CaO \cdot SiO_2$ (β 、 γ 型) の水和反応による水和物の生成が膨張現象となって現れてくるとみられる。図-9 に示した酸化スラグと粉状還元スラグの混合による水浸膨張が長期にわたって継続するのは、粉状還元スラグの膨張が前述した反応の早い CaO 、 $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ の水和反応に続いて、 MgO 、 $\gamma-2CaO \cdot SiO_2$ 、 $\beta-2CaO \cdot SiO_2$ などの遅延性水和反応が進行し、長期にわたる膨張となったものと考えられる。

3. 2 電気炉スラグの安定化処理

スラグの膨張の安定化処理にはエージングが行われる。エージングは大気中に放置して安定化する方法、水蒸気などを利用して膨張を促進して安定化を早める方法が取られている。粉状還元スラグは膨張が長期にわたるので、

水蒸気を利用するエージングが行われている。水蒸気エージングは底部に配管されたエージングヤードに 4 ~ 5 m の高さに粉状還元スラグを盛土し、底部から $110^\circ C$ 、 1.0 kgf/cm^2 前後の圧力の水蒸気を吹き出してエージングの促進を行う方法である。盛土の表面は蒸気の損失を少なくし、エージングの進行を早めるためにシートで覆われる。どのエージング方法を採用しても、製鋼スラグ路盤設計施工指針に従った $80^\circ C$ 水浸膨張試験¹⁷⁾ で求められる膨張比が 1.5% 以下になるまでエージングは継続される。しかし、この試験は粉状還元スラグのような膨張現象が遅延して現れるスラグには正しい膨張比が求めにくい。そこで膨張試験にも水蒸気を利用して試験時間の短縮を計った。図-1 2 は酸化スラグと粉状還元スラグを混合した試料で求められた膨張試験の比較を示したものである。電気炉スラグの場合、製鋼スラグ路盤設計施工指針に従った $80^\circ C$ 水浸膨張試験による膨張比は正しい膨張比を与えないことが分かる。

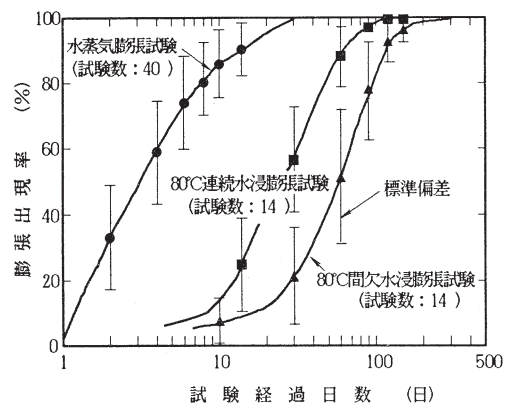


図-1 2 膨張出現率と試験経過日数の関係

酸化スラグは遅延性の膨張を示さず、早く膨張が終了するので、エージングは転炉スラグと同様の大気エージングが安定化処理に採用されているが、還元スラグは膨張が長期にわたって継続するので、水蒸気を利用してエージングの促進を計っている。この方法でもエージングの終了までに20日間以上が必要である。

図-1 3 は水蒸気エージングを行ったときの試料を採取して水蒸気膨張試験を実施し、その結果を示している。

蒸気エージング日数が増加すると膨張比は減少し、蒸気エージングの効果が顕著であることを示している。

同じ方法で供試体を作成しても供試体の間隙(間隙の大きさ、分布および総量)が常に一定にはならないので、同一条件のスラグで求められる膨張比は供試体の締固め密度に支配される。そこで、密度の相違が膨張比に反映されるように、試験で求められた膨張比に供試体作成時のスラグ体積に対する供試体の体積比 f (土の状態を表す体積比に相当する) を掛け合わせた補正膨張比を求め図-1 3 に膨張比とともに示した。

蒸気エージング3日目の試料は膨張比が大きく、エー

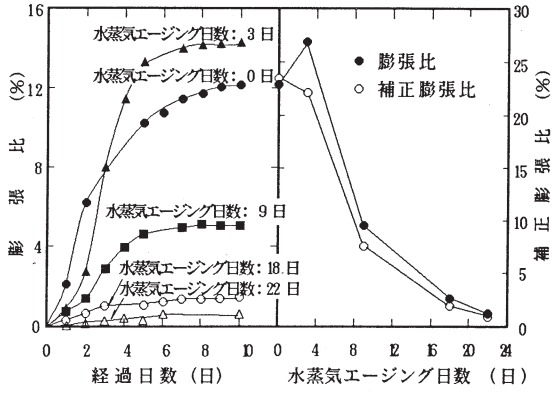


図-13 エージング日数と粉状還元スラグ膨張比の関係

ジングの効果を発揮していないようにみられるが、密度の相違を反映させた補正膨張比ではエージングの効果があつたことを示している。しかし、3日間ではエージングの効果が膨張比には大きく現れてこない。これは当初の水和反応による体積変化がスラグ粒子のクラックに吸収されたためあるいは $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ の水和反応が大きく水を取り込む第1段階の途中にあるためとみられる¹⁹⁾。このことは還元スラグの膨張が遅延することと一致している。

水蒸気膨張試験でも10日間以上を要するので、水和物から結晶水を取ったときの強熱揮発量¹¹⁾を求め、補正膨張比と強熱揮発量の関係を図-14に示した。

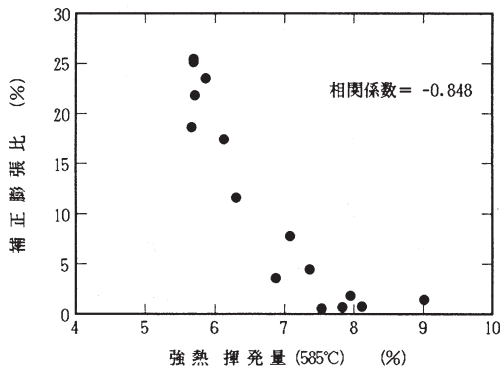


図-14 強熱揮発量(585°C)と補正膨張比の関係

強熱揮発量の増加に従って補正膨張比は急激に低下し、これが蒸気エージング進行に伴う粉状還元スラグの膨張特性とみられる。わずかの強熱揮発量の変動で補正膨張比が大きく変動することが課題として残るが、遅延して現れる粉状還元スラグのエージングの判定のために多くの時間を要して求められる膨張比の代替として強熱揮発量を利用することが可能と考えられる。

4. 電気炉スラグの水硬特性

酸化スラグの水硬性は吸水により水和物を生成するために発揮されるが、生成量が少ないためそれほど顕著ではない。しかし、徐冷によって粉状となる還元スラグは一般に化学反応性が高く、化学成分の含有比率から求め

られる塩基度の高いものは顕著な水硬性を示す²⁰⁾。また、石膏を添加することによって水硬性が大きく増進する。図-15は粉状還元スラグのみの水中養生した供試体の水硬性を示し、図-16は同じ養生をした粉状還元スラグに石膏を添加した供試体の水硬性を示している。

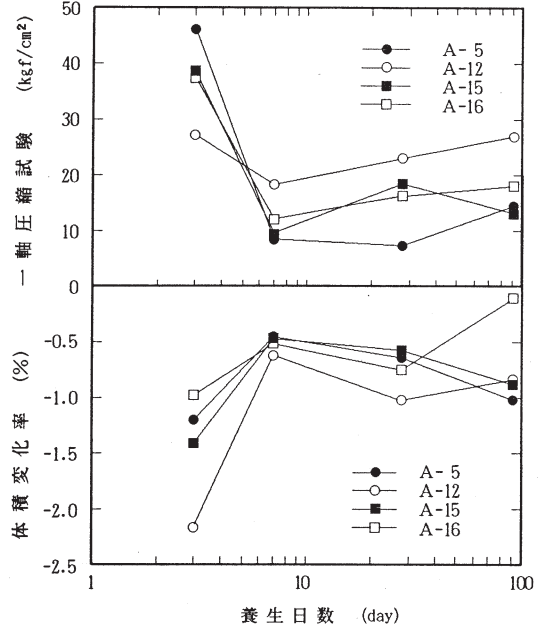


図-15 還元スラグの水硬特性

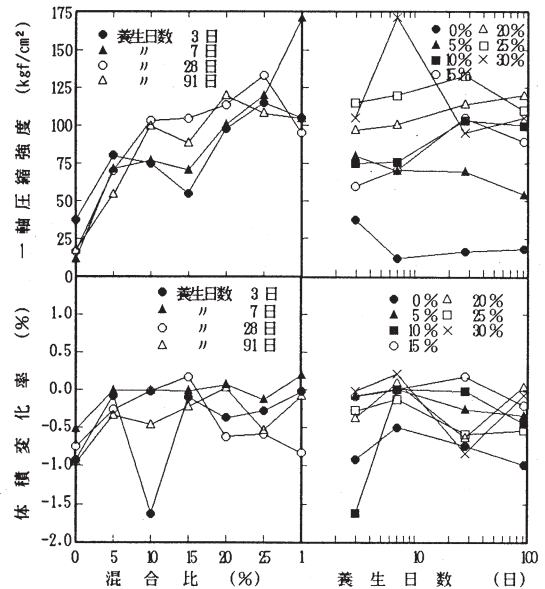


図-16 石膏添加による還元スラグの水硬特性の変化

還元スラグのみの一軸圧縮強度は3日養生で大きい強度を発揮した後、7日養生で低下し、その後また徐々に増加している。この現象は水和反応の速い $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ が早期の強度発現に寄与するが、多くの結晶水を取り込んだ水和物($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$ など)を生成する段階でいったん収縮し、その後、水和物の生成量が多くなるとともに膨張して強度を低下させているとみられる。

粉状還元スラグに石膏を添加すると5%の添加で無添加時の2~3倍の強度に達し、25%添加まで緩やかに強度は増加するが、30%になると強度には頭打ちの傾向がみられる。28日養生ではほぼ最大強度になるが、3日強度が28日強度の90%以上に達し、早強セメントと同程度の速さで強度発現をする。石膏を添加した場合は無添加時に生成されるC-H-S(CaO, SiO₂で構成される水和物)、C-A-H(CaO, Al₂O₃で構成される水和物)、C-A-S-H(CaO, Al₂O₃, SiO₂で構成される水和物)などのほかに、新たに結晶水を多く取り込んだ膨張性の水和物である3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O(エトリンガイト)が生成されて大きい水硬性を発揮するようになる。

粉状還元スラグの水硬性は12CaO·7Al₂O₃によって支配されているが、この鉱物相を産出スラグすべてについて調べることは適切ではないので、簡便に水硬性を判断する方法として煮沸吸水量²⁰⁾と一軸圧縮強度の関係を調べ図-17に示した。

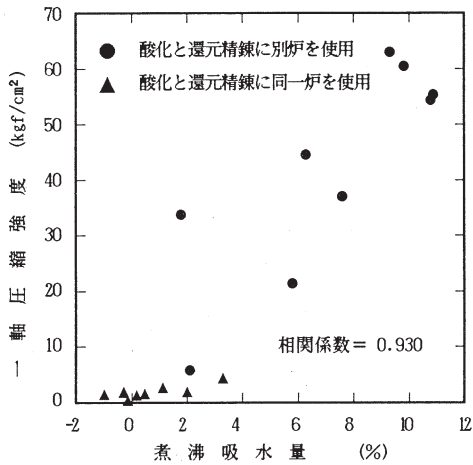


図-17 煮沸吸水量と一軸圧縮強度の関係

煮沸吸水量には常温時にはない化学反応が起こりえることを考慮すると、還元スラグを水硬材料として利用するときとは異なる水和物の生成を考えなくてはならないが、煮沸吸水量によって還元スラグの水硬性の判定が可能である。

図-18は石膏を添加した粉状還元スラグを不攪乱状態の一軸圧縮強度が0.3kgf/cm²程度の軟弱粘土の土質改良材料としたときの強度の変化を示したものであり、供試体は水中養生したものをを用いた。この材料はセメントの1/2から1/3の強度を有しており²⁰⁾、土質改良材としてセメントと同程度の改良効果が期待できる。

5. おわりに

電気炉スラグの産出量は増加傾向にあり、資源の再利用の観点から電気炉スラグの有効利用は重要である。ここでは土木材料として有効に利用するための基礎的な性質を紹介し、適切な処理を行うことによって道路の路盤材料やセメントの代替材料などに利用することができる

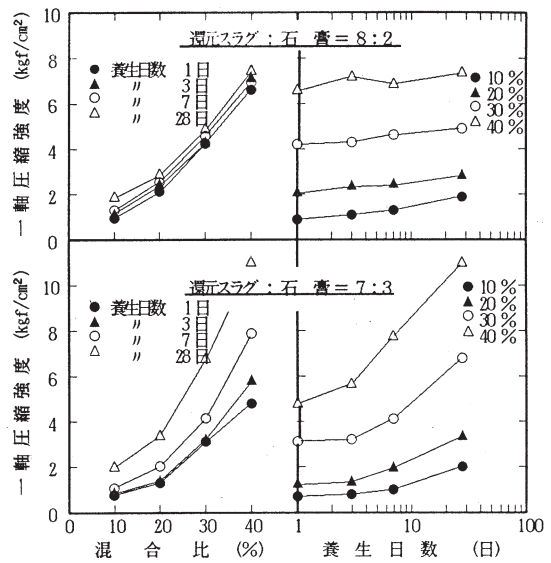


図-18 石膏を添加した還元スラグによる沖積粘土の土質改良効果

ことを示した。

最後に、試料の提供で協力していただいた各事業所の方々に記して感謝する。

<参考文献>

- 1) 桑山忠, 山田優, 本多淳裕, 三瀬貞: 電気炉スラグの有効利用の可能性, 骨材資源, Vol. 21, No. 84, pp. 207~214, 1990.
- 2) 沼田晋一: 高炉スラグ微粉末の利用, コンクリート工学, Vol. 25, No. 9, pp. 28~39, 1987.
- 3) 町田篤彦: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工上の問題点, コンクリート工学, Vol. 26, No. 2, pp. 8~14, 1988.
- 4) 国府勝郎: 高炉スラグ微粉末, コンクリート工学, Vol. 26, No. 4, pp. 25~31, 1988.
- 5) M. R. かみざり, 内田一朗, 出光隆: 転炉スラグの路盤材への利用について, 土木学会論文報告集, No. 282, pp. 101~113, 1979.
- 6) 飯島尚, 小島一平, 吉村栄司: 製鋼スラグの道路用材への利用, 土木技術資料, Vol. 23, No. 2, pp. 89~94, 1981.
- 7) 飯島尚, 小島一平, 吉村栄司: 製鋼スラグの道路用材への利用 II, 土木技術資料, Vol. 24, No. 1, pp. 15~20, 1982.
- 8) 石井晃一, 見島正人: 製鋼スラグの実路試験とその施工過程の影響について, 第42回土木学会年次学術講演会概要集第5部門, pp. 64~65, 1987.
- 9) 石井晃一, 川津禎男, 見島正人: 製鋼スラグの実路試験と力学的性状について, 第43回土木学会年次学術講演会概要集, pp. 50~51, 1988.
- 10) 桑山忠, 山田優, 本多淳裕, 三瀬貞: 電気炉製鋼スラグの物理的、化学的性質, 土と基礎, Vol. 38, No. 12, pp. 23~28, 1990.
- 11) 三瀬貞, 桑山忠, 本多淳裕, 山田優, 真嶋光保: 電気炉の吸水による膨張特性, 土質安定材料シンポジウム発表論文集, pp. 23~28, 1987.
- 12) Kuwayama, T., Mise, T., Yamada, M. and Honda, A.: Properties of electric furnace slags as geomaterials, Proceedings of the 32nd Japan Congress on Materials Research, pp. 213~218, 1989.
- 13) 桑山忠, 椎名聖太郎, 片山弘次: 電気炉スラグの土質工学的性質について, 第14回土質工学研究発表会講演集, pp. 93~96, 1979.
- 14) 日本道路協会: アスファルト舗装要綱, 丸善, 1988.
- 15) 水渡英昭, 横幕豊一, 林田由美子, 高橋愛和: 転炉滓中の遊離石灰による風化崩壊, 鉄と鋼, Vol. 63, No. 14, pp. 50~59, 1977.
- 16) 成田貴一, 尾上俊雄, 高田仁輔: 転炉スラグの風化崩壊機構, 鉄と鋼, Vol. 64, No. 10, pp. 68~77, 1978.
- 17) 鉄鋼スラグ協会, 製鋼スラグ共同研究委員会: 製鋼スラグ路盤設計施工指針, 1985.
- 18) 桑山忠, 三瀬貞, 本多淳裕: 電気炉スラグの吸水による膨張特性, 材料, Vol. 37, No. 422, pp. 26~31, 1988.
- 19) 桑山忠: 大阪市立大学学位請求論文, 1990.
- 20) 桑山忠, 本多淳裕, 山田優, 三瀬貞: 電気炉還元スラグの水硬性とその利用, 廃棄物学会論文誌, Vol. 1, No. 1, pp. 1~10, 1990.