

1 まえがき

銅スラグは重質で遮蔽用プレバックド用グラウト混和剤として有用であり、充填性が良く分離も少い。フライアッシュを混和剤として用いた場合、水中における比重差からセメントとの分離がしばしば問題となる銅スラグ微粉末の場合もセメントとの比重差が大きい粒子が不整形のため動水抵抗が大きく、分離しにくい^{1~2)}。本研究は、高性能減水剤を添加したグラウト用混和剤を活用して銅スラグ混入グラウトの強度およびワーカビリティを改善し、充填性が良好で分離の少ないプレバックドコンクリート用モルタルグラウトの開発を試みたものである。なお、本研究の実施にあたり、東京都立大学名誉教授、村田二郎博士から懇切なご助言を賜った。ここに記して謝意を表します。

2 使用材料

実験に用いた銅スラグは、三井金属鉱業の日比製煉所において銅製煉時に発生する産業副産物であって、微粉末状と砂状の2種類を用いた。銅スラグの物性値および化学成分を表-1に示す。

表 1 銅スラグの物性値および化学成分

セメントは、日本社製の普通ポルトランドセメントで比重 3.16 である。グラウト用混和剤は、NMB社製のリグニンスルホン酸化合物とアルミニウム粉末をミックスしたGF 610を用いた。その標準使用量は結合材質量の1%である。細骨材は愛知県矢作川産の川砂で、比重 2.58、吸水率2.56%、粗粒率2.81である。

区 分	比重	粉末度 ($\mu\text{m}^2/\text{g}$)	化学成分 (%)						
			Cu	Fe	SiO_2	CaO	MgO	その他	合計
銅スラグ微粉末 D	4.45	3800	0.47	51.8	21.1	0.02	0.37	26.2	99.96
銅スラグ砂 Ds	3.45	FM 3.36	0.67	38.1	33.2	2.9	1.0	24.1	99.97

3 実験方法

モルタルグラウトの流動性判定は傾斜管試験法を用いた。傾斜管を用いるとモルタルグラウトのレオロジー一定数（塑性粘度および降伏値）を算定でき³⁾、したがって、試験結果を注入モルタルのパイプラインの設計の基礎資料にも利用できる。実験は、銅スラグの使用量、水結合材比および混和剤の使用量を適宜組み合わせ、Pロート流下時間、ブリーディング、膨張率、圧縮強度およびレオロジー一定数を求めた。その要因を表-2に示す。

4 結果および考察

表-2の実験計画にしたがって、土木学会規準に示されているプレバックドモルタルグラウトのPロート流下時間を16~20秒の範囲に入るように設定したが、銅スラグを混入しない試料については、この範囲を大きく越えるものもあった。ただし、この場合グラウト用混和剤を用いると、すべての試料が20秒以下になった。銅スラグ砂の混入率が增大すれば流下時間も増大する傾向にあるが、混和剤の併用により流動性を相当に改善できることが明らかとなった（図-1参照）。しかし、Pロート流下時間の場合、試料の温度による差異が傾斜管流量ほど明瞭に表われない（図-2参照）。図-2に示すように銅スラグ砂混入率が増すほど不整形粒子の影響で傾斜管流量は減少傾向を示すが、混入率が60%程度以上になるとグラウト自重の影響が卓越し、動水勾配が大となり流量は増大する。粗骨材間隙へのグラウトの充填は、重力作用に依存する部分が多いから、銅スラグの使用はグラウトの充填性の改善に有用であると思われる。

ブリーディングについては、銅スラグ砂の使用量が多いほど少なくなり混和剤の使用により更に減少する

表 2 実験計画

水結合材比 $W/(C+D)=0.45, 0.47, 0.50$
 銅スラグ微粉末混入率 $D/(C+D)=0, 0.10, 0.20, 0.30$
 銅スラグ砂混入率 $Ds/(S+Ds)=0.20, 0.40, 0.60$
 グラウト用混和剤混入率（結合材×wt. %）0, 1.0
 砂結合材比 $S/(C+D)=0.4$
 試料の温度 10、20、30℃

注) D：銅スラグ微粉末，C：セメント，W：水
 S：川砂，Ds：銅スラグ砂

傾向が見られた（図-3参照）。したがって、銅スラグ砂の混入率 $Ds/(S+Ds)$ を 0.6 とし、混和剤を併用すれば、すべての配合においてプレバッキングドモルタルに関する土木学会規準の 3%/3h をクリアできると思われる。この場合、膨張率についても同規準の 5~10% を満足していることが確かめられている。なお、この場合のグラウトの単位容積質量は、試料の温度 20℃ で 2.24 g/cm³ であった。

プレバッキングドコンクリートの圧縮強度については、銅スラグ砂混入率の影響は顕著に現れないが混和剤の影響は大であった（図-4参照）。これはグラウトを構成する粒子の分散効果により緻密な構造体となり強度が増加したものと思われる。一方、レオロジー定数については、銅スラグ砂の混入率が大となれば塑性粘度および降伏値とも大となる傾向が見られた。粒形が不整形のため試料の剪断抵抗性等の増大が原因と考えられる。

以上のことから、モルタルグラウトに銅スラグを利用し、また、グラウト用に特に開発された混和剤を併用することによって十分実用に供することができると思われる。

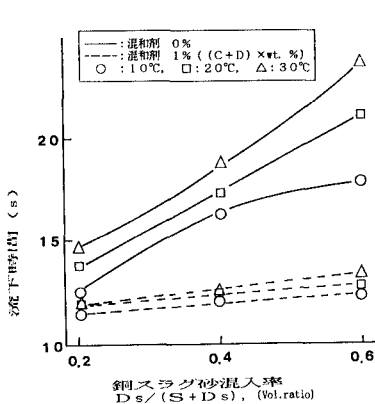


図 1 銅スラグ砂混入率とフロー時間
D/(C+D)=10% (vol. %), W/(C+D)=4.7% (wt. %)
S/(C+D)=4.0% (wt. %)

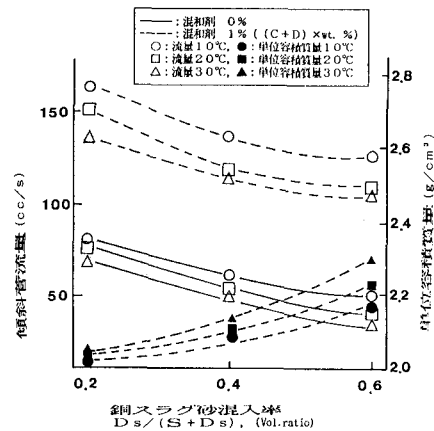


図 2 銅スラグ砂混入率と単位容積質量
および傾斜管流量 (φ=10°)
D/(C+D)=30% (vol. %), W/(C+D)=4.7% (wt. %)
S/(C+D)=4.0% (wt. %)

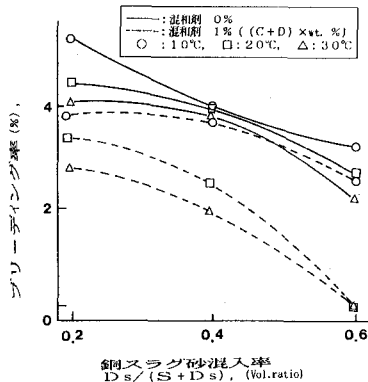


図 3 銅スラグ砂混入率とブリーディング率
D/(C+D)=10% (vol. %), W/(C+D)=4.5% (wt. %)
S/(C+D)=4.0% (wt. %)

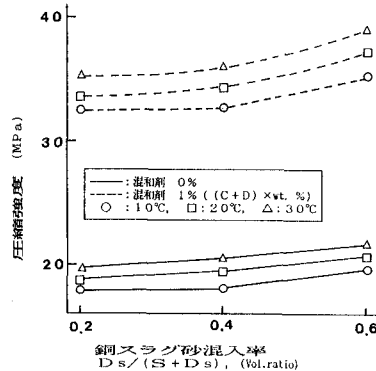


図 4 銅スラグ砂混入率と圧縮強度
D/(C+D)=10% (vol. %), W/(C+D)=4.7% (wt. %)
S/(C+D)=4.0% (wt. %)

参考文献

- 1) 村田二郎、鈴木一雄、大作 淳、清水 昭：銅スラグを用いたプレバッキングドコンクリートに関する研究、セメント技術年報 35、1981
- 2) 村田二郎、清水 昭、斎藤良夫、大作 淳：銅スラグ微粉末を用いたプレバッキングドコンクリート用グラウトの充填性および均等性に関する研究、土木学会論文集第 366号/V-4、1986 年 2 月
- 3) 村田二郎、鈴木一雄：注入モルタルの新しいコンシステンシー試験方法、セメント N0.413、July、1981