Ⅵ-130　フェロニッケル微粒スラグの裏込め注入材への適用について

前田建設工業（株）　正会員　舟橋政司
前田建設工業（株）　正会員　出頭圭三
日本冶金工業（株）　松森豊己

１．はじめに

フェロニッケル・ルッペを製造する過程で副産物として多量に生ずるフェロニッケルスラグの内、粗粒分についてはコンクリート用細骨材としてＪＩＳにも規定され活用されているが、微粒分については埋立などで処分されており、有効に利用されていないのが現状である。

そこで、本研究ではフェロニッケルスラグの微粒分がセメントとほぼ同等の粒径であることに着目して、セメント系材料の一つとしてシールド工事の裏込め注入材への適用性について検討を行った。

２．試験概要

フェロニッケルスラグの微粒分（以下、微粒スラグと記す）の化学成分、主な含有鉱物、および粒度分布を測定した後、裏込め注入材としての検討を行った。

裏込め注入材は２液混合タイプとし、表-1に使用材料を、表-2に試験項目および目標値（試験条件）を示す。

材料（Ａ液）の練りまぜはハンドミキサーにて行った。材料の投入順序は、水→ベントナイト→安定剤→微粒スラグ→セメントの順である。

試験に用いた配合の一覧表を表-3に示す。No.8は市販品のセメント系固化材の配合である。圧縮強度用供試体はビニール袋で封緘し、20℃の室内で養生を行った。

表－１　使用材料

Ａ　液	Ｂ　液
セメント(普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ) ベントナイト(250ﾒｯｼｭ) 微粒スラグ 安定剤 水	急硬剤

表－２　試験項目一覧

試　験　項　目		目標値または試験条件
配合選定試験	Ａ液フロー値（Ｐロート）	10秒程度
	Ａ液ブリージング率	３％以下（３時間後）
	可使時間測定（Ａ液）	４８時間使用可能
	ゲルタイム測定(Ａ＋Ｂ液混合)	６～10秒
	可塑性変化試験(Ａ＋Ｂ液混合)	静的貫入抵抗値(貫入量10mm以下となる時間30～60分)
圧縮強度試験(4×4×16cm供試体)		1,3時間,1,3,7,28,91日 (1時間で0.3～0.5kgf/cm²)

表－３　配合表

配合	Ａ　液					Ｂ　液
	ｾﾒﾝﾄ(kg)	微粒ｽﾗｸﾞ(kg)	ﾍﾞﾝﾄﾅｲﾄ(kg)	安定剤(ℓ)	水(ℓ)	急硬剤(ℓ)
1	１５０	１５０	２５	2.5	８１８	７０
2	２００	１５０	２５	2.5	７８２	９０
3	１５０	２００	２０	2.0	８０３	７０
4	１７５	２００	２３	2.0	７８４	８０
5	２００	２００	２５	2.0	７６６	９０
6	１９２	４８	３０	2.0	８３８	７０
7	１６８	７２	３０	2.0	８３８	７０
8	２３０(固化材)		３０	3.0	８３０	８０

３．試験結果

表-4,5に微粒スラグの化学成分、主な含有鉱物を、図-1に粒度分布を示す。比重は3.10である。

化学成分は高炉スラグに比べMgO、FeOが多く、Al_2O_3、CaOが少ないのが特徴である。主な含有鉱物としてはMgに富む輝石が多く含まれているという結果が得られた。粒度分布は99％が110μm以下であり、50％粒径（平均粒径）は17μmであった。

表-6に裏込め注入材の試験結果の一覧を示す。Ａ液のフロー値は全ての配合で10±1秒になっており、目標値を満足した。各配合のブリージング率はNo.3以外は3％以内であり、No.3も若干大きめであるがベントナイトの量を少し増すことにより目標値を満足できるものと思われる。可使時間については全ての配合で目標値の48時間以上使用可能であることを確認したので、最終的な可使時間の測定は行っていない。

Ａ液とＢ液を混合してから、流動性を失うまでの時間(ゲルタイム)は目標値(6～10秒)に対しNo.6以外

表－４　化学成分

	成　分（％）						備考
	SiO_2	FeO	Al_2O_3	CaO	MgO	Cr_2O_3	
微粒ｽﾗｸﾞ	53.4	8.1	2.3	5.4	28.7	1.2	
高炉ｽﾗｸﾞ	32.6	0.4	15.8	44.0	3.9	－	参考

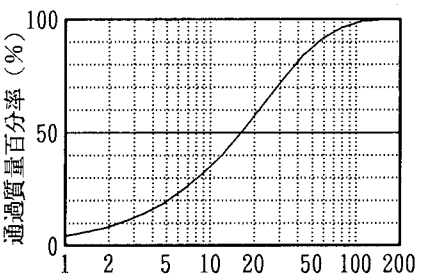
表－５　主な含有鉱物

	主な鉱物			
	Mgに富む輝石	Mgカンラン石	石　英	普通輝石
	(Mg，Fe)SiO_3	(Mg，Fe_2)SiO_4	SiO_2	Ca(Mg,Fe)Si_2O_6
微粒ｽﾗｸﾞ	多	中	少	微少

は目標を満足している。No.6も目標値を僅かに下回っているが、対象とする地山によっては十分使用可能である。

圧縮強度試験と材令の関係を図-2,3に示す。単位セメント量一定で微粒スラグの量を150,200kg/m³とした場合、No.1と3(C=150 kg/m³一定)およびNo.2と5(C=200kg/m³一定)で初期強度はほとんど差がない(図－2参照)。一方図-3(σ_1以降)では、No.2と5を比較するとσ_3以降強度の差が次第に大きくなっている。No.1と3はσ_7までほとんど差がないもののσ_{28}以降ではスラグ量の多い方が若干強度が大きくなっている。

図-4はσ_{28}における圧縮強度とｾﾒﾝﾄ水比(C/W)の関係を示したものであるが、相関係数は0.579と相関は小さい。図-5は圧縮強度と(ｾﾒﾝﾄ+微粒ｽﾗｸﾞ)水比(C+Slag/W)の関係を示したものであるが、相関係数が0.924とｾﾒﾝﾄ水比の相関係数と比べはるかに大きい。すなわち、長期においては、(ｾﾒﾝﾄ+微粒ｽﾗｸﾞ)の総量が強度を支配していると思われる。

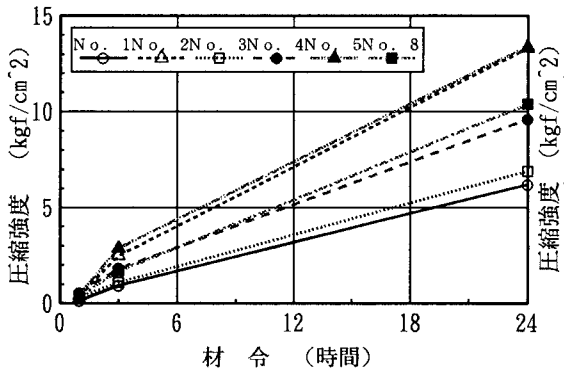


図－１　粒度分布

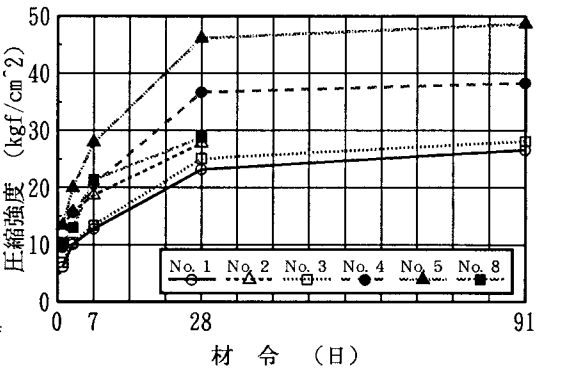
表－６　試験結果一覧

配合	A液 フロー値（秒）	A液 ﾌﾞﾘｰｼﾞﾝｸﾞ率(%)	A液+B液 ｹﾞﾙﾀｲﾑ(秒)	静的貫入(10mm以下)	圧縮強度(kgf/cm²) 1hr	3hr	1day	3day	7day	28day	91day
1	9.2	1.1	7.2	51 min	0.12	0.93	6.2	10.1	12.8	23.2	26.6
2	9.6	1.2	8.9	53 min	0.38	2.49	13.3	15.8	18.7	27.8	注1)
3	9.1	3.3	7.5	45 min	0.30	1.09	6.9	10.4	13.4	25.1	28.1
4	9.4	2.2	8.5	41 min	0.56	1.82	9.6	15.7	20.6	36.7	38.3
5	9.3	1.1	6.9	36 min	0.45	2.88	13.4	20.0	28.0	46.1	48.6
6	10.3	1.0	5.6	58 min	0.17	1.04	6.4	8.9	11.7	17.1	注1)
7	10.5	1.0	7.1	65 min	0.18	1.06	5.6	8.2	10.2	16.8	注1)
8	10.4	1.0	8.4	60 min	0.34	1.69	10.4	13.0	21.4	28.8	注1)

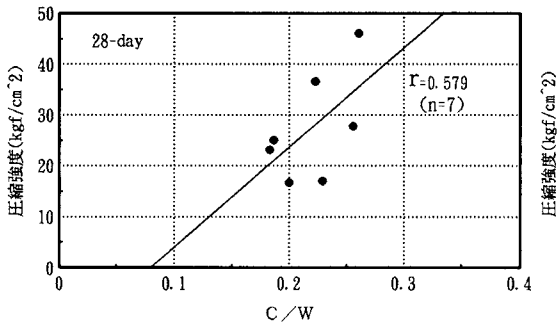
注1)；現時点ではまだ結果が得られていない。



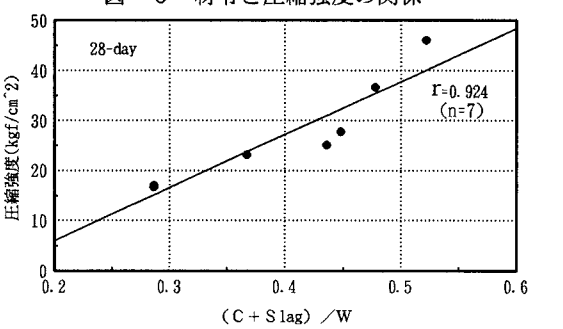
図－２　材令と圧縮強度（初期強度）の関係



図－３　材令と圧縮強度の関係



図－４　C／Wと圧縮強度の関係



図－５　(C＋Slag)／Wと圧縮強度の関係

４．あとがき

今回の試験結果から、フェロニッケルスラグの微粒分（微粒スラグ）を裏込め注入材として十分使用できるとの結果が得られた。今後、微粒スラグを裏込め注入材として実施工へ適用することを検討している。