
スラグのグラウト材への利用に関する研究

Study on the Utilization of Slag as Grouting Material

松尾 弘一(Hiroichi Matsuo)

要旨：

近年、海洋構造物の発展にともない、構造物の基礎工に水中コンクリートの施工例が多く見られるようになったが、その施工にはグラウト材料が必要である。このグラウト材料に使用するセメント、フライアッシュおよび砂のうち、フライアッシュは石炭の使用激減により、また砂はグラウトとして適当な粒度のものが少ないことにより、いずれも入手が困難になりつつある。この対策として、当社水島製鉄所で製造している徐冷スラグの粒径 5 mm 以下のものを従来のフライアッシュと砂の代替として使用し、各種実験を行った。グラウト材料としてプレパクト用および水中充填用に大別し、配合実験、流動性、強度試験を行った。その結果、セメント：徐冷スラグの配合割合 1 : 1.3~2 で従来のグラウト材料に劣らない成績が得られ、徐冷スラグはグラウト材料として十分使用できるという確信を得た。

Synopsis：

With the recent development of marine structures, an increasing number of structures are built on the foundation that uses underwater concrete. The established execution method using underwater concrete includes the prepacked concrete system, the underwater grouting system, etc., all requiring grouting materials which conventionally consist of cement, fly ash and sand. A drastic decline in the use of coal, however, has resulted in the difficulty of getting fly ash as residue, while the sand suitable in particle size for grouting is scarce, making the manufacture of grout increasingly difficult. Against such background, slow-cooled slag in its diameter of 5.0mm or under by-produced at Mizushima Works of Kawasaki Steel Corporation was subjected to various tests to see if it could be used as possible alternatives to fly ash and sand. The result has been convincing on the use of slow-cooled slag as grout material in the ratio between 1.3-2 to 1 of cement.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

スラグのグラウト材への利用に関する研究

Study on the Utilization of Slag as Grouting Material

松尾 弘 一*

Hiroichi Matsuo

Synopsis:

With the recent development of marine structures, an increasing number of structures are built on the foundation that uses underwater concrete. The established execution method using underwater concrete includes the prepacked concrete system, the underwater grouting system, etc., all requiring grouting materials which conventionally consist of cement, fly ash and sand.

A drastic decline in the use of coal, however, has resulted in the difficulty of getting fly ash as residue, while the sand suitable in particle size for grouting is scarce, making the manufacture of grout increasingly difficult.

Against such background, slow cooled slag in its diameter of 5.0mm or under by-produced at Mizushima Works of Kawasaki Steel Corporation was subjected to various tests to see if it could be used as possible alternatives to fly ash and sand. The result has been convincing on the use of slow-cooled slag as grout material in the ratio between 1.3~2 to 1 of cement.

1. まえがき

近年、海洋構造物の発展にともない、構造物の基礎工に水中コンクリートの施工例が多く見られるようになった。水中コンクリートの施工法にはコンクリートをトレミー管により直接水中に打設する方法、あらかじめ型枠内に粗骨材を投入しておき、その空隙にグラウトを注入するプレバッキングコンクリート工法、および深海での基礎工と岩盤との間にグラウトを注入する水中充填法があり、これらの方法は、海洋構造物を施工する場合には必ず必要となってくる。

このような用途のグラウト材は、ポンプで圧送し粗骨材間あるいは空隙に充填するものであるか

ら、その性質として、

- (1) 流動性のよいこと
- (2) 粘性を有し材料分離を起こさないこと
- (3) 大きい温度上昇がないこと
- (4) 所要の強度を有すること
- (5) 経済的であること

等が要求される。これらの条件を満足するため、グラウトには無機質混和材としてフライアッシュが不可欠のものとして使用されてきた。

すなわち、グラウトの成分はセメントのほかフライアッシュ(混和材)、砂(細骨材)、水および助剤からなるものであった。

最近、この種のグラウトに使用される細骨材が不足し、グラウト材として適当な粒度のものが得られないこと、および石油の使用によって石炭の

* エンジニアリング事業部建設技術部建材・海洋技術室

使用量が減少し、この残渣であるフライアシュの生産が激減したことにより、グラウト材の製造が困難になってきた。そこで当社水島製鉄所で製造している粉碎スラグの粒径5mm以下の細粒品が、フライアシュと砂との混合物に相当するものと想定し、これを用いたグラウト材の適否を次の2用途について研究した。

- (1) プレバックドコンクリート用
- (2) 水中充填用

当社水島製鉄所では、高炉スラグから道路用バラスあるいはコンクリート用粗骨材を製造する際5mm以下の粒体が発生するが、従来はこれを乾燥してふるい分け、2.5mm以上のものはさらに2.5mm以下に粉碎し、けい酸質肥料として販売していた。この5mm以下の粒体をコンクリート用細骨材として試用した結果、天然砂よりすぐれた特性が得られたことは先に報告^{1,2)}した。

グラウト材に用いたスラグの化学成分を表1に示す。この表からわかるように外国のスラグの例とよく合致している。

2. 使用スラグの粒度の検討

2-1 プレバックドコンクリート用としてのスラグの粒度

この工法は、わが国では施工実績も多く、最も信頼性の高い水中コンクリート工法と考えられている。施工材料としては、一般的なグラウトとしての所要の性質のほかに、使用される細骨材の粒度もプレバックドコンクリート施工指針(案)³⁾に示された標準粒度に合致しなければならない。

このグラウト用として、従来けい酸質肥料として販売していた2.5mm以下のスラグの粒度を標準

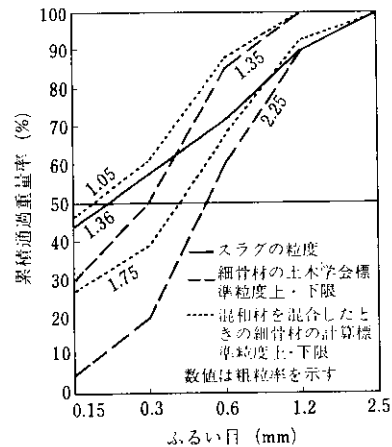


図1 プレバックドコンクリート用グラウト材料としてのけい酸質肥料用スラグの粒度分布

粒度と比較して図1に示す。0.15mm以下の粒体が標準よりも多いため、これを利用することの可否を調べる必要がある。

従来のプレバックドコンクリート用配合例として、セメント：フライアシュ：砂を1：0.4：1.4と定める。この場合フライアシュを細骨材の一部と考えれば、セメント1に対し標準粒度の細骨材1.4に0.15mm以下の細骨材0.4を追加したことになる。このようにして求めた合成粒度を図1に点線で示す。

けい酸質肥料は、フライアシュと砂との両者の代りに使用できる粒度分布を有しているといえる。

2-2 水中充填用としてのスラグの粒度

図2に示すように、たとえば海底の岩盤を掘削して基礎構造物を設置する場合、岩盤と構造物の間に空間ができる。このような比較的狭い水中の空間に粗骨材を十分充填することは非常に困難

表1 高炉スラグの化学成分

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	MnO	塩基度
当社	本試料	31.3	15.7	0.5	40.3	5.7	0.4	1.0	1.97
	一般的範囲	32~37	13~18	0.1~0.7	38~43	3~7	0.05~0.2	0.5~1.0	
外国例	米国 ACI 201	32~40	10~17	2~5	30~49	3~14	0.5以下	2以下	
	フランス	29~36	13~19	4以下	40~48	6以下			

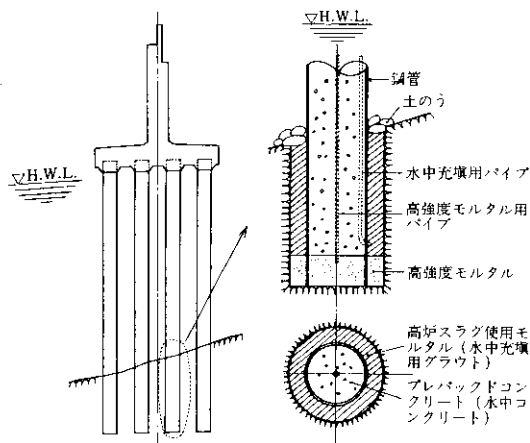


図2 水中充填法の一例

であり、かつ深い水中にグラウトを輸送する場合はほとんど垂直に施工する必要があるので、グラウトの流速が大となって水中で材料分離を起こす危険があり、過大な粗骨材は用いられない。このようなグラウトには、流出速度を制限する特別な装置を必要とする。

しかし、2・1で述べたプレパックドコンクリート用グラウトに比べ、粗骨材間への充填という条件がなくなるので、水中充填用グラウトの流動性はいくぶん劣るものでさしつかえないし、かつ細骨材の粒径も材料分離を起こさない範囲で大きめのものを使用することができる。

以上のことから、バラス等を製造する際発生する5mm以下のスラグを細骨材として用いた。その粒度分布を図3に示す。もちろん2.5mm以下の粒体を使用することもできる。

3. スラグを用いたプレパックドコンクリート用グラウトの性能

現在までスラグを細骨材として用いたプレパックドコンクリートに関する報告は皆無であるので、配合を定めるため数種の子備試験を行った。その結果、最大粒径2.5mmのスラグを用いて、表2に示すように4種類のセメントを用いた4種の配合について、流動性、圧縮強度、使用水量等を試験した。

最終的には、プレパックドコンクリートとして

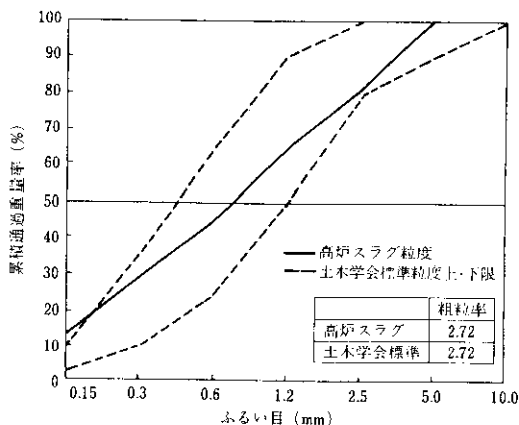


図3 水中充填用グラウト材料としての高炉スラグ(粒径5.0mm以下)の粒度分布

表2 プレパックドコンクリート用グラウトの配合および圧縮強度

SC比	セメント種類**	配合率(kg/m ³)			強度(kg/cm ²)	
		セメント	細骨材	上水	7日	28日
1.0	A	850	850	442	300	350
	B	810	810	454	255	356
	C	806	806	451	285	404
	D	809	809	446	307	384
1.3	A	730	950	437	277	328
	B	720	935	447	232	312
	C	710	925	443	227	340
	D	710	925	425	249	351
1.6	A	670	1 070	418	254	301
	B	630	1 010	442	208	298
	C	640	1 025	433	206	294
	D	640	1 025	433	214	296
2.0	A	580	1 160	418	227	276
	B	560	1 120	437	199	291
	C	550	1 100	429	181	263
	D	550	1 100	429	170	260

助剤: K.G.A.(セメントの0.4%)

* SC比: スラグ(細骨材)/セメント

** A: 普通ポルトランドセメント

B: 高炉セメントB

C: " C

D: 耐酸セメント

最低200kg/cm²の圧縮強度を得ることを目標とした。そのためには、従来の実験結果によりグラウトとして300kg/cm²以上の28日圧縮強度が必要であると判断された。表2にグラウトの7日および

び28日強度を示す。いずれのセメントを用いてもセメント：スラグ（粒径2.5mm以下のもの）は1：1.3とすれば十分である。

つぎにグラウトの流動性は一般市販のフローコーンを用いて測定した。吐出口は径12.7mm、容量1725cm³であり、これよりの流出時間は18±2sを目標とした。表3に流出時間とその目標値達成に必要な水の配合率W(kg/m³)をセメント配合率C(kg/m³)やスラグ配合率S(kg/m³)との関係で示した。所要水比は、W/CよりW/(C+S)で表す方が便利である。すなわち、C/Sが1/1, 1/2の配合の範囲で目標流出時間を得るに要する水量比W/(C+S)の差は、同一セメント内で2.1~2.5%、異なるセメント間で2.2~2.6%とその差はW/Cの場合よりはるかに小さい。

4. スラグを用いた水中充填用グラウトの性能

水中充填用グラウトは粗骨材のせまい間隙に充填する必要がないので、プレパックドコンクリート用グラウトに比べて施工上支障のない範囲において流動性の劣るものでも使用できる。またコンクリートの耐食性を増す一つの重要な要素としてもその組織の密実性が強調されるので、その両者を勘案し細骨材としてスラグの粒径5mm以下のものを使用し、使用水量をなるべく減少させた。表4にグラウトの配合と圧縮強度を示す。ポルトランドセメント使用の場合は1：3、他のセメントを使用する場合は1：2以上の配合が適当である。

表4 水中充填用グラウトの配合および圧縮強度

SC比*	セメント種類*	配合率(kg/m ³)			強度(kg/cm ²)	
		セメント	細骨材	上水	7日	28日
2.0	A	620	1240	380	318	395
	B	610	1220	384	278	335
	C	610	1220	380	250	322
	D	610	1220	366	268	339
3.0	A	490	1470	365	273	315
	B	470	1410	360	216	266
	C	470	1410	353	212	256
	D	470	1410	352	210	267
4.0	A	380	1520	353	171	202
	B	390	1560	341	133	178
	C	380	1520	342	154	187
	D	380	1520	338	164	211

*表2注参照

つぎに、流動性の測定には市販のフローコーンの吐出口12.7mmを16mmに改良したものをを用い、流出時間は18±2sを目標とした。この流出時間は従来のフローコーンの2倍に相当する。表5に流出時間と所要水量を示した。プレパックドコンクリート同様W/(C+S)で表すと、配合別、セメント別による差が非常に小さいので便利である。

5. プレパックドコンクリートの強度について

プレパックドコンクリートの試験にあたって、前述のとおり、コンクリートとして200kg/cm²の強

表3 プレパックドコンクリート用グラウトの流動性*と所要水比**

SC比***	セメント種類***												最大最小差	
	普通セメントA			高炉セメントB			高炉セメントC			耐酸セメントD				
	F	G	H	F	G	H	F	G	H	F	G	H	G	H
1.0	19	0.258	0.52	19	0.280	0.56	20	0.280	0.56	20	0.276	0.55	0.022	0.04
1.3	20	0.247	0.57	19	0.272	0.63	20	0.271	0.62	19	0.271	0.62	0.025	0.06
1.6	20	0.240	0.63	18	0.266	0.69	17	0.262	0.68	19	0.260	0.68	0.026	0.06
2.0	18	0.233	0.70	16	0.258	0.78	19	0.257	0.77	16	0.255	0.77	0.025	0.08
最大最小差	-	0.025	0.18	-	0.022	0.22	-	0.023	0.21	-	0.021	0.22	-	-

* F：流出時間(s)

** G：W/(C+S)

H：W/C

***表2注参照

表5 水中充填用グラウトの流動性*と所要水比*

SC比**	セメント種類												最大最小差	
	普通セメント A			高炉セメント B			高炉セメント C			耐酸セメント D				
	F	G	H	F	G	H	F	G	H	F	G	H	G	H
2.0	19	0.203	0.61	20	0.210	0.63	19	0.207	0.62	17	0.200	0.60	0.007	0.03
3.0	19	0.186	0.75	20	0.192	0.77	19	0.188	0.75	16	0.187	0.75	0.006	0.02
4.0	16	0.186	0.93	16	0.175	0.88	19	0.180	0.90	16	0.178	0.89	0.011	0.05
最大最小差	—	0.017	0.32	—	0.035	0.25	—	0.027	0.28	—	0.022	0.29	—	—

* 表3注参照

** 表2注参照

度を得るに必要なグラウトの強度（供試体 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ ）は、従来の実験より少なくとも $300\text{kg}/\text{cm}^2$ を必要とするので、表2により使用グラウトの配合をセメント：細骨材 = 1：1.3 と定めた。細骨材、助剤、流動時間目標値は表2の場合と同様にした。粗骨材として用いた川砂利は次のとおりである。

粒 度：25～20mm 60%
 20～15mm 30%
 15～10mm 10%

空隙率：42%

平均間隙：2.8cm³/個

表6に圧縮強度試験および流動性、所要水量を示す。

(1) $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上というプレバクドコンクリートの圧縮強度目標値は、室内実験ではあるが満足できた。

(2) 高炉スラグ（粒径 2.5mm 以下）は、プレバクドコンクリート用細骨材として十分使用できる。

(3) 耐酸セメントを用いた場合、他のセメントを用いた場合に比べて強度が低い、これは使用水温が他のセメントの場合（20～23℃）より低く（14～16℃）、その影響であると思われる。

6. あとがき

海洋構造物の基礎工を施工する場合、必ず必要となるグラウト材料のフライアッシュと砂との代りに高炉スラグを用いた室内実験を行った。

表6 プレバクドコンクリートの特性*

試験日	月	日	セメント種類**	助剤	流動性、水比***			圧縮強度 (kg/cm ²)	
					F	G	H	7日	28日
10	11	A	PO	19	0.250	0.58	191	247	
		B	"	19	0.272	0.63	160	220	
		C	BF	17	0.266	0.61	177	229	
		D	"	17	0.261	0.60	97	173	
10	24	A	PO	20	0.255	0.59	184	223	
		B	"	21	0.272	0.63	175	223	
		C	BF	18	0.272	0.63	120	177	
		D	"	21	0.270	0.62	84	158	
10	31	A	PO	19	0.258	0.59	163	212	
		B	"	18	0.272	0.63	146	236	
		C	BF	16	0.277	0.64	136	215	
		D	"	18	0.272	0.63	—	159	
11	7	D	"	17	0.277	0.64	77	165	

* 供試体寸法：φ10×20cm

供試体養生水温：14～16℃

** PO：ポルトランドセメント用

BF：高炉セメント用

***表2, 3注参照

その結果、高炉スラグは十分使用できるという確信を得た。しかし、今後は実際水中での実験を行い、現場での確認を行う必要があると思われる。

最後に、本実験研究を御指導くださった摂南大学久保教授、大阪工業短期大学藤倉教授に深く感謝します。

参考文献

- 1) 鳴文雄ほか：川崎製鉄技報，7（1975）3，97

- 2) 久保直志ほか：セメントコンクリート、(1976) 353, 32
- 3) 土木学会：プレバッドコンクリート設計施工指針(案)、(1972)

