高炉スラグ微粉末を混入した PC グラウトの流動性および充填性

技術本部　開発技術部　桐川 潔
技術研究所　鈴木雅博

概要：ブレーン値が 10,000cm²/g を超える高炉スラグ微粉末を，PC グラウト中のポルトランドセメントと置換した PC グラウトは，ブリーディングを減少させ，先流れを抑制し，ずり速度が上昇すると見掛け粘度が低下する性質を有している．本稿では，この性質を応用し，急な曲げ下がり部においても先流れを生じず，低い注入圧力で充填できるグラウト材を開発するため，注入試験により高炉スラグ微粉末を用いたグラウトの流動性，充填性および注入圧力を測定した．その結果，高炉スラグ微粉末を 50%置換したグラウト材は，曲げ下がり角度が 30 度の場合においても，先流れが発生せず，従来の高粘性型グラウトよりも低い注入圧力で充填できることが判った．

Key Words：高炉スラグ微粉末，曲げ下がり角度，先端角度，注入圧力

1．はじめに

PC グラウトは PC 鋼材を腐食から守り，コンクリート部材との一体化を図るため極めて重要な役割を果たしている．そのため，PC グラウトが確実に充填される材料や施工システムの開発が必要となっている．特にシース曲げ下がり部では，グラウトの先流れによる空隙が発生しやすいため，真空ポンプの併用による施工方法 [1]なども検討されているが，現状では粘性の高いグラウトを用いて施工する場合が多い．しかし，粘性が高いグラウトの場合，注入長が長いと，注入圧力がポンプやホースの許容圧力を超えてしまい，シース内でグラウトが閉塞したりグラウトの漏れが発生することも考えられる．

ブレーン値が 10,000cm²/g を超える高炉スラグ微粉末をセメントと置換したグラウトは，ブリーディングを減少させ，先流れを抑制し [2]，流動状態では見掛け粘度が低下する性質を有している．本稿では，この性質を応用すれば，先流れを抑制し，かつ注入圧力の低いグラウト材を開発できるのではないかと考え，曲げ下がり部を模擬した実験装置により注入試験を行い，高炉スラグ微粉末を混入したグラウトの流動性，充填性および注入圧力の測定したので報告する．

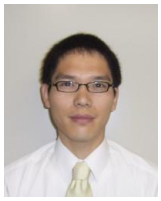
2．実験概要

(1) 使用材料

普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³，ブレーン値 3,290cm²/g），高炉スラグ微粉末（密度 2.90g/cm³，ブレーン値 12,400cm²/g），ポリカルボン酸系の粉末状高性能減水剤，増粘剤およびメラミンスルホン酸系化合物である既往の高粘性型と低粘性型混和剤を使用した．

(2) 配合

グラウト配合を表-1 に示す．粘性特性の違いや高炉スラグ微粉末の置換量が流動性および充填性に与える影響を調べるため，高粘性型グラウト，低粘性型グラウト，スラグ置換型グラウト（置換率 40，50，60%）の 5 種類のグラウトを製造した．スラグ置換型グラウトについては，これまでの予備試験の検討結果から，フロー値(JIS R 5201)が

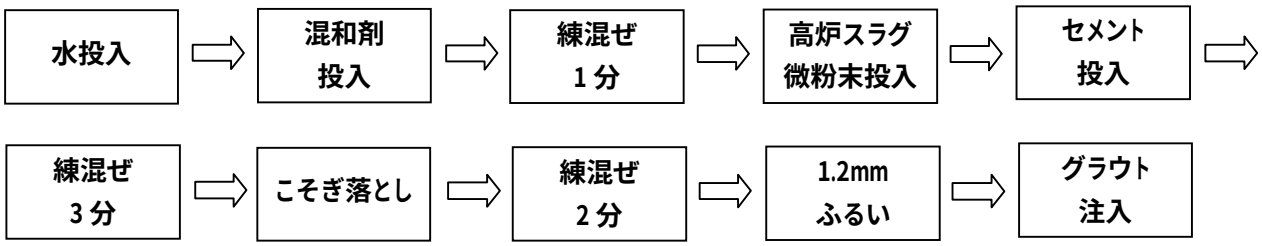

桐川 潔

鈴木雅博

150±20mm の範囲内に収まる配合を選定した．高粘性型グラウトおよび低粘性型グラウトについては，PC グラウト施工マニュアル [3]を参考にして配合を選定した．

(3) 練混ぜ方法

グラウトの練混ぜは，回転数 1,000rpm，練混ぜ容量 100ℓのグラウトミキサを使用して行った．使用材料の投入順序および練混ぜ時間は，下記のとおりとした．ただし，既往の高粘性型および低粘性型グラウトの場合は，PC グラウト施工マニュアル [3]に従い，こそぎ落とし，練混ぜ 2 分を省略した．



(4) 実験装置および測定項目

本試験に使用した実験装置を図-1 および写真-1 に示す．透明な塩化ビニルパイプを用いて，直線部および下り勾配部からなる実験装置を製作し，管底面には PC 鋼線を配置した．この実験装置に，連続的にグラウトが注入できるスネーク式グラウトポンプ (約 13ℓ/分) でグラウトを注入し，グラウトの先端角度(図-2)，ポンプの注入圧力およびグラウトの充填状況を測定した．ポンプには注入時の圧力を計測するためポンプ吐出口に圧力計を取付けた．注入時のグラウトの先端角度および平均速度は，直線部に 1 台，および下り勾配部に 2 台設置したデジタルビデオカメラの撮影画像を解析することにより求めた．また，グラウトのフレッシュ性状を明らかにするため，流下時間(JSCE-F 531-1999)，フロー値および回転粘度計による粘度を測定した [4]．

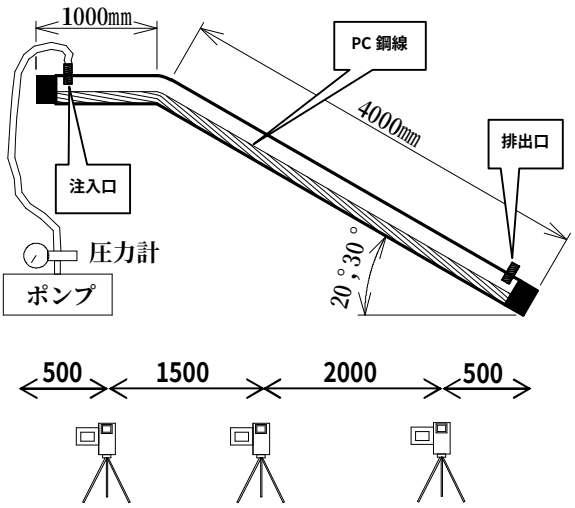


図-1 実験装置概要図

写真-1 実験状況

表-1 グラウト配合

試験体記号	グラウトタイプ	水粉体比 (%)	置換率 (%)	単位量(kg/m³)					
				C	BS	W	SP	SF	Ad
B-40	スラグ置換型	43	40	792	528	567	0.0	26.4	—
B-50		43	50	657	657	565	5.3	19.7	—
B-60		43	60	524	786	563	10.5	13.1	—
HG	高粘性型	42.5	—	1349	—	573	—	—	13.5
LG	低粘性型	44	—	1322	—	582	—	—	13.2

※ C：普通ポルトランドセメント，BS：高炉スラグ微粉末，W：水道水，SP：高性能減水剤，SF：増粘剤，Ad：混和剤

(5) 実験パラメータ

本実験のパラメータを表-2 に示す．グラウトタイプ，スラグ置換率，傾斜角およびシース径を実験パラメータとした．曲げ下がり部での流動状況および充填状況の違いがより明確となるよう，傾斜角は，PC 橋の中で最も曲げ下がり角度が大きいと考えられる斜版橋やフィンバック橋の傾斜角を想定し，20 度および 30 度とした．また，シース径は使用頻度の高い 12T12.7 用シース径と，空隙率は同等であるがより先流れの発生しやすい 12T15.2 用シース径とした．

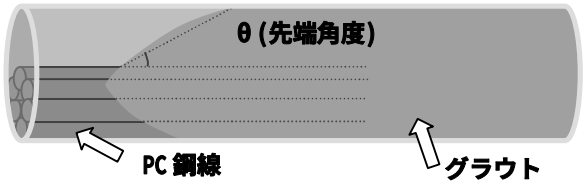


図-2 先端角度の定義

表-2 実験パラメータ

No	試験体記号	傾斜角(度)	PC 鋼材	シース内径(mm)
1	B-40	20	12T12.7	68
2	B-40	30	12T12.7	68
3	B-50	20	12T12.7	68
4	B-50	30	12T12.7	68
5	B-60	20	12T12.7	68
6	B-60	30	12T12.7	68
7	HG	20	12T12.7	68
8	HG	30	12T12.7	68
9	LG	20	12T12.7	68
10	LG	30	12T12.7	68
11	B-40	20	12T15.2	79
12	B-40	30	12T15.2	79
13	B-50	30	12T15.2	79

3．実験結果および考察

(1) フレッシュ性状

JP 漏斗流下時間，フロー値および回転粘度計による粘度の測定結果を表-3 に示す．スラグ置換型グラウトの場合，JP 漏斗流下時間はグラウトが閉塞して計測できなかった．また，見掛け粘度も高粘性型グラウトより高い値を示した．しかし，図-3 に示すように，回転粘度計により求めたずり速度とずり応力との関係からは，スラグ置換型グラウトは高粘性型グラウトや低粘性型グラウトと違い，ずり速度とずり応力とが直線関係ではないことが判る．すなわち，スラグ置換型グラウトの場合，見掛け粘度は一定ではなく，ずり速度の上昇に伴い低下することが判った．

各種グラウトのフロー状況を写真-2 に示す．スラグ置換型グラウトは，高粘性型グラウトおよび低粘性型グラウトに比べてフロー値が小さく，フローコーンの形状が残存した．

(2) 充填状況

実験における各種グラウトの代表的な流動状況を写真-3 に示す．スラグの置換率が高くなるほど，先端角度が大きくなる傾向が認められた．また，粘性の違いに着目すると，スラグ置換型＞高粘性型＞低粘性型の順に先端角度が大きい傾向が認められた．空隙については，

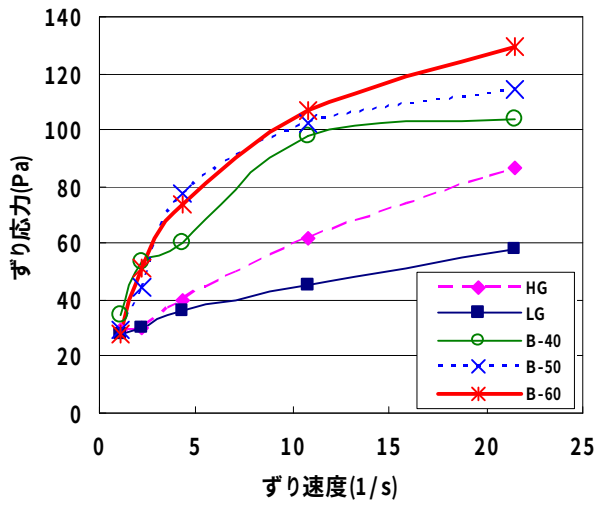


図-3 ずり速度とずり応力の関係

表-3 フレッシュ性状

No	試験体記号	流下時間(秒)	フロー値(mm×mm)
1	B-40	閉塞	155×155
2			
3	B-50	閉塞	155×155
4			
5	B-60	閉塞	150×155
6			
7	HG	20.8	220×230
8		18.1	255×255
9	LG	11.1	225×225
10			
11	B-40	閉塞	155×155
12		閉塞	165×170
13	B-50	閉塞	150×150

高粘性型グラウトで傾斜角 20 度の場合を除き，高粘性型および低粘性型グラウトにおいて先流れが発生し，管内に空隙が生じた．スラグ置換型グラウトは，すべてのケースにおいて先流れは発生せず，空隙も生じなかった．これは，スラグ置換型グラウトは，傾斜部の先端角度が高粘性型グラウトおよび低粘性型グラウトに比べて大きかったため，全断面流下となり，管内に空隙が生じず充填できたものと考えられる．

(3) 先端角度

先端角度の実測値を表-4 に示す．グラウトの充填性は先端角度に大きく影響を受けることが明らかになっており，先端角度が 20 度以上であれば，確実な充填が確認されている [5]．本試験におけるスラグ置換型グラウトでは，先端角度が 20 度以下であっても先流れによる空隙を生じず，充填することが可能であった．しかし，先端角度が 10 度程度である，スラグ置換率が 40%で傾斜角 30 度の注入試験では，写真-3 に示すように，グラウト先端部が「くの字型」となり，先流れの危険性があった．

以上を考慮し，グラウト先端部の形状，その他の先端角度の試験結果が 15 度以上となることから，スラグ置換型グラウトにおいても，先端角度が 20 度以上であれば，空隙を生じず充填することが可能であると考える．

表-4 先端角度の実測値

No	試験体記号	先端角度 (度)			
		水平部	傾斜部		
			上部	下部	平均
1	B-40	27.1	23.2	—	23.2
2	B-40	37.0	7.2	—	7.2
3	B-50	47.5	20.4	—	20.4
4	B-50	44.5	8.7	22.7	15.7
5	B-60	52.6	25.7	—	25.7
6	B-60	36.1	15.2	—	15.2
7	HG	35.7	21.7	8.5	15.1
8	HG	—	2.4	—	2.4
9	LG	46.6	4.7	3.1	3.9
10	LG	47.8	3.2	—	3.2
11	B-40	27.1	21.5	—	21.5
12	B-40	24.3	9.1	—	9.1
13	B-50	25.3	19.5	—	19.5

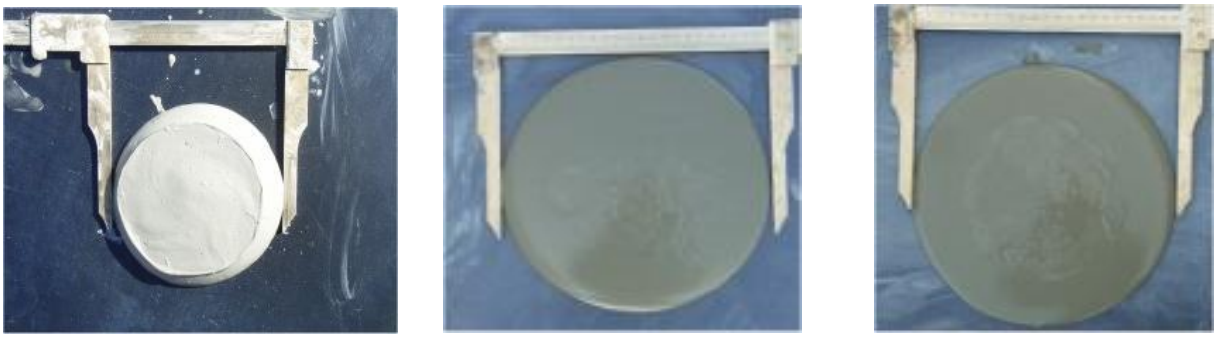


写真-2 スラグ添加型･高粘性型･低粘性型グラウトのフロー状況

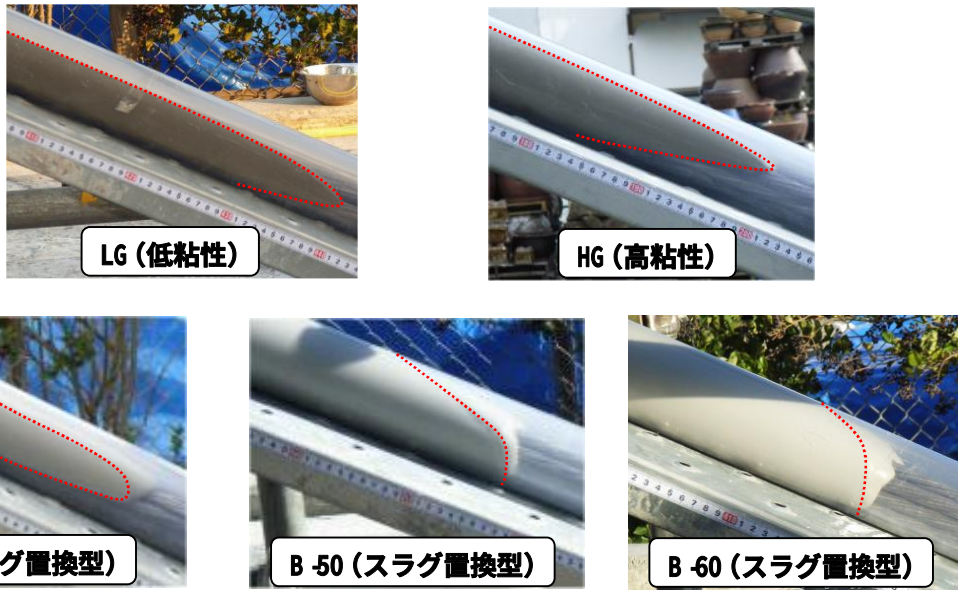


写真-3 先端部 (LG,HG,B-40,B-50,B-60)

(4) 注入圧力

注入試験時におけるグラウトポンプの注入圧力を図-4に示す．高炉スラグ微粉末の置換率が高くなるに従い，注入圧力が上昇する傾向が認められた．これは，スラグ置換率が高くなるに従い，見掛け粘度が上昇するためであると考えられる．

また，スラグ置換型グラウトは，傾斜角度 20 度における置換率 60%のタイプを除けば，高粘性型グラウトより注入圧力が低かった．これは，スラグ置換型グラウトは，ずり速度の上昇に伴い見掛け粘度が低下する性質があるため，管内面をグラウトが流動することによって見掛け粘度が高粘性型グラウトの塑性粘度より小さくなり，注入圧力が高粘性型グラウトと同等以下になったと考えられる．

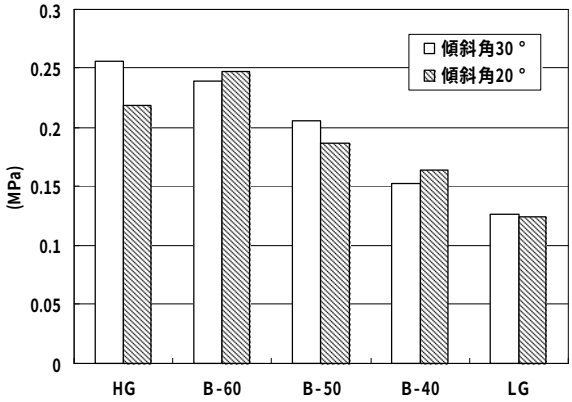


図-4 ポンプ注入時最大圧力

4．まとめ

グラウト注入を模擬した下り勾配部からなる実験装置を用いて実験を行い，高炉スラグ微粉末を用いたグラウトの，流動性，充填性および注入圧力について確認を行った．本実験により，以下のことが結論として得られた．

(1) ブレーン値 12,000cm²/g 程度の高炉スラグ微粉末を用いたグラウトは，スラグ置換率の上昇に伴い，粘性が上昇する傾向が認められ，30 度の下り勾配においても先流れすることなくグラウトを充填することができる．

(2) ブレーン値 12,000cm²/g 程度の高炉スラグ微粉末を用いたグラウトは，スラグ置換率を高くすると，グラウトポンプの注入圧力が上昇する傾向が認められた．

(3) スラグ置換率 60%以下であれば，高粘性型グラウトと同等以下の注入圧力で，グラウトを注入することができる．

謝辞

本研究を行うにあたり，グラウト材料に関しては，三菱マテリアル㈱よりご協力を賜りました．また，実験に際しては，関東学院大学の出雲淳一教授に多大なご助力を受けました．ここに記し，感謝の意を表します．

参考文献

1) SEEE 協会グラウト特別分科会：真空ポンプを併用した PC グラウト注入工法について，プレストレストコンクリート，Vol.45，No.1，pp.97-104，2003.1
2) 山口征伸，水上伸介，河村幸典，鈴木雅博，出雲淳一：実物大レベルにおける PC グラウトの流動性および充填性に関する基礎的実験，プレストレストコンクリート，Vol.45，No.5，pp.87-91，2003.9
3) PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル（改訂版），プレストレスト・コンクリート建設業協会，2002.10
4) 水上伸介，出雲淳一：PC グラウトの充填性能評価に関する一考察，プレストレストコンクリート，Vol.43，No.5，pp.71-80，2001.9
5) 出雲淳一，山口征伸：シース管内の鋼材がグラウトの充填性に及ぼす影響について，プレストレストコンクリート，Vol.46，No.6，pp.84-93，2004.1