

シース内に鋼材を有するグラウトの充填性に関する実験的検討

関東学院大学工学部 正会員 ○出雲 淳一  
ニコンシステム 山口 征伸

1. はじめに

プレストレストコンクリート (以下、PC と呼ぶ) 用グラウトは、PC 鋼材とシースとの間の空隙を埋めてコンクリートと一体とするとともに、PC 鋼材の腐食を防ぐ働きをしており、PC の強度や耐久性の面で重要な役割を果たしている。グラウトの充填性に影響を及ぼす要因として、注入時のグラウト先端部分の角度が挙げられ、著者らは、これまでグラウトの充填性を定量的に評価する手法の検討<sup>1)</sup>、およびグラウト先端角度の予測式の提案を行ってきた<sup>2)3)</sup>。しかし、これまで開発されたグラウト先端角度の予測式は、シース内に鋼材のない場合を仮定して導出された式であるが、実際のシース内には鋼材が配置されているので、その先端角度の予測はより難しいものとなっている。これまで、鋼材を有するグラウト先端角度に着目した研究はあまり行われておらず、今回、シース管内に鋼材を配置したモデル試験体を製作して、グラウトの先端角度と充填性との関係を明らかにすることを目的として実験を行った。以下に、その実験結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 使用材料

粘性の異なるグラウトを用いて実験を行うために、数種類のノンブリーディンググラウト材を用いてグラウトを製造することにした。実験では、プレミックスタイプの超低粘性型グラウト (タイプ H)、またセメントと混和剤 (メラミンスルホン酸系) を用いた低粘性型グラウト (タイプ G) および高粘性型グラウト (タイプ G2)、および混和剤 (メラミン系) を用いた高粘性型グラウト (タイプ C) の4種類を使用することにした。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、練混ぜ水には上水道を用いた。

2.2 配合

配合は、粘性がグラウトの充填性に及ぼす影響を調べるために、水セメント比を変化させることにより、粘性の異なるグラウト材料を製造することにした。超低粘性型グラウト (タイプ H) は、水セメント比を 31% とした。混和剤を使用するタイプのグラウトについては、混和剤の添加量はセメントに対して一定の 1.0% とし、低粘性型グラウト (タイプ G) は水セメント比を 40%、45% に、高粘性型グラウト (タイプ G2、タイプ C) は、水セメント比を 45%、50% に変化させることとした。1m<sup>3</sup> 当たりのグラウトの配合を表-1 に示す。

表-1 グラウトの配合

記号	グラウトタイプ	W/P (%)	Ad (P×%)	P (kg)	W (kg)	Ad (kg)
H-31	超低粘性	31	0.0	1596	495	0.0
G-40	低粘性型	40	1.0	1305	587	13.0
G-45		45	1.0	1396	558	14.0
G2-45	高粘性型	45	1.0	1305	587	13.0
G2-50		50	1.0	1225	612	12.2
C-45	高粘性型	45	1.0	1305	587	13.0
C-50		50	1.0	1225	612	12.2

<備考>P:セメントを含む結合材, Ad:混和剤, W:水

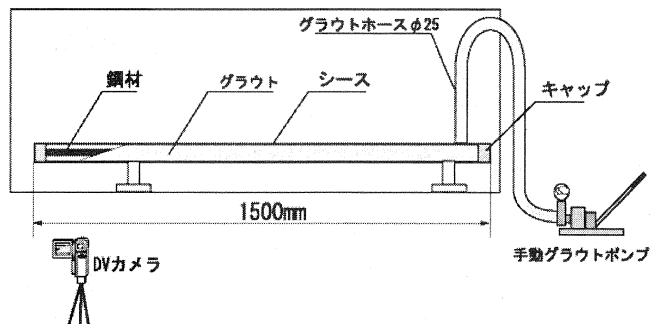


図-1 充填性試験装置の概要図

### 2.3 練混ぜ方法

グラウトの練混ぜは、15リットル容器に水、混和剤の順で投入しハンドミキサーで混ぜながらセメントを投入する。1バッチあたり約6リットルのグラウトを3分間練混ぜて製造した。ハンドミキサーは、回転数の仕様が1300rpmで、ブレードタイプのものを用いた。

### 2.4 試験供試体

試験体には全長1500mmの透明な塩化ビニル管を用い、内径は52mm、79mmの2種類とし、その内部に模擬鋼材を配置できる構造とした。また、管内の空隙率を変化させるために、管内にPC鋼より線を配置することを基本としたが、管と鋼材の組み合わせによっては実験パラメータとしての空隙率を変化させることが難しいために、PC鋼より線以外に鋼管(φ32mm)や塩化ビニル管(φ38mm)を模擬鋼材として管内に配置して空隙率を変化させることにした。試験体の概要を表-2に示す。また、管内に配置する材料の位置の違いによる検討を行うために、鋼材を管の中央に配置した場合、管の底面に置いた場合の2種類について実験を行うことにした。

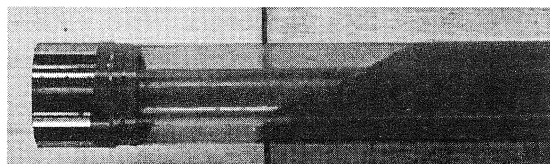
表-2 試験体の概要

試験体タイプ	全長(mm)	管内径(mm)	管内に配置した材料		管断面積(mm <sup>2</sup> )	鋼材断面積(mm <sup>2</sup> )
A	1500	52	PC鋼より線	7S12.4A	2123.7	650.3
B			鋼管	φ32		804.2
C			塩化ビニル管	φ38		1134.1
D			-	-		0
E		79	PC鋼より線	7S15.2B	4901.7	970.9
F			PC鋼より線	7S12.4A	650.3	
G			-	-	0	

空隙率を変化させることが難しいために、PC鋼より線以外に鋼管(φ32mm)や塩化ビニル管(φ38mm)を模擬鋼材として管内に配置して空隙率を変化させることにした。試験体の概要を表-2に示す。また、管内に配置する材料の位置の違いによる検討を行うために、鋼材を管の中央に配置した場合、管の底面に置いた場合の2種類について実験を行うことにした。

### 2.5 実験方法

実験では、試験体を図-1に示すような配置にして、管内を流れるグラウトの充填状況を観察した。注入は手動グラウトポンプを用いて行い、試験体左端の排出口よりグラウトが排出されるまで行った。その際、排出口付近を流れるグラウトの先端部をデジタルビデオカメラで撮影し、コンピュータ上のデジタル画像から、グラウト先端部の角度および平均流速を求めている。実験では、試験体を水平に配置した場合、下り勾配10°に配置した場合、上り勾配10°に配置した場合について行った。注入試験と同時にグラウトの物性を調べるために、デジタル回転粘度計を用いてグラウトの塑性粘度および降伏値の測定および単位体積質量の測定も行った。



(a) 鋼材有り

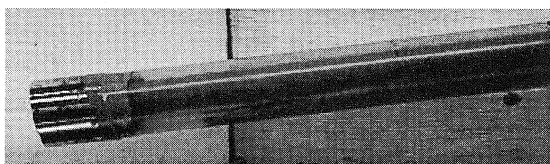


(b) 鋼材無し

写真-1 グラウト先端角度(鋼材の有無)



(a) 上り勾配10°



(b) 下り勾配10°

写真-2 グラウト先端角度(勾配のある場合)

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 充填状況

実験における代表的なグラウトの流動状況を写真-1~3に示す。管を水平に配置した場合、同じ配合のグラウトであっても、管内に鋼材を有する場合のグラウト先端角度は、鋼材が無い場合に比べ角度が大きくなる傾向が認められた(写真-1参照)。また、上り勾配の場合は、管を水平に配置

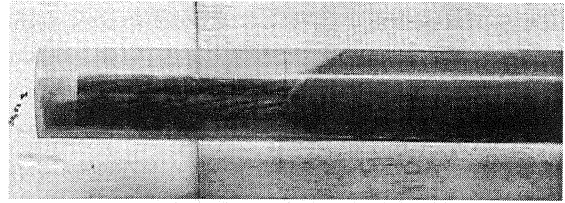
した場合に比べ先端角度は大きくなり、下り勾配の場合は、逆にグラウト先端部が寝てしまい、先流れを生じる結果となった(写真-2 参照)。これは、手動ポンプの場合には注入速度の制御ができずグラウトの注入速度が遅かったためと考えられる。また、鋼材の配置による違いについては、写真-3のように、PC 鋼材を管中央に配置した場合のグラウト先端部分は管の下部から上部にかけてほぼ直線的であったが、PC 鋼材を管底面に配置した場合、グラウトはPC 鋼材の下部より上部を流れやすいために、PC 鋼材を巻き込むように流動することが観察された。

内径 52mm の管を用いた試験体タイプにおいて、PC 鋼より線を用いた場合の試験体は、塩化ビニル管、および鋼管を用いた場合の試験体より、空隙率は大きいにもかかわらず、グラウト先端角度が大きくなる傾向が認められた。これはPC 鋼より線の方が、疑似鋼材として使用した塩化ビニル管および鋼管よりも断面形状が複雑で、グラウトの流動に対する内部抵抗が大きいためと考えられる。実験結果からは空隙率の違いよりも鋼材の形状の方が先端角度に与える影響が大きいものと考えられ、疑似鋼材として用いた塩化ビニル管、および鋼管の場合の先端角度は、実際のグラウトの場合とは異なることが予想される。

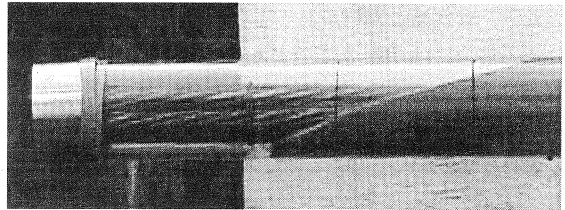
### 3. 2 鋼材位置の違いによるグラウト先端角度

PC 鋼材を管中央に配置した場合、グラウト先端角度は、グラウト先端の中央部でやや膨らむ傾向があるが、簡単のために、写真-4に示すように、管底面と上面のグラウトとの接点を結ぶ直線が管底面とがなす角度として定義することにした。PC 鋼材を管の底面に配置した場合は、写真-5のように、PC 鋼材の下部より空隙のある上部をグラウトが流れやすく、グラウト先端部では、図-2の模式図で示されるように「くの字型」に流動していることが実験では観察された。したがって、この場合には、先端角度を明確に測定することが困難なため、PC 鋼材の上面と管の上面のグラウトとの接点を結んだ直線と、鋼材の上面とがなす角度として定義することにした。

PC 鋼材が管底面に配置された場合、グラウト先端部の流れが、PC 鋼材を中央に配置した場合



(a)PC 鋼材を管底面に配置



(b)PC 鋼材を管中央に配置

写真-3 グラウトの先端角度(鋼材位置の違い)

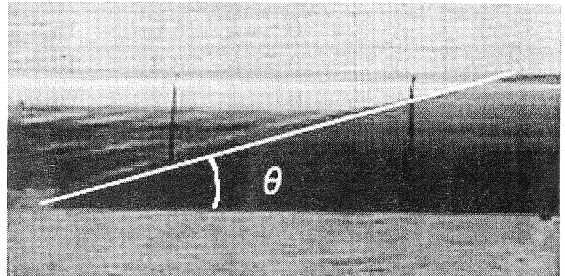


写真-4 先端角度の定義(管中央に配置)

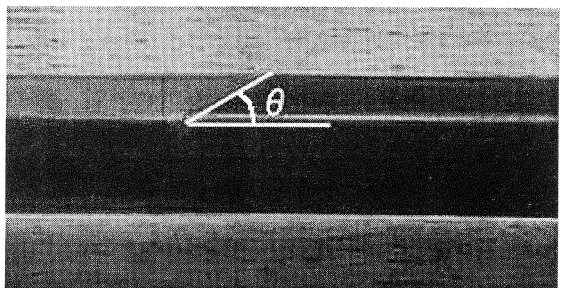


写真-5 先端角度の定義(管底面に配置)

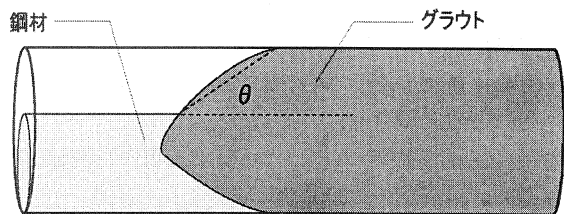


図-2 グラウト先端部の形状

に比べ、その先端角度を評価しにくい点があるが、前述の定義に従って求めた角度の比較を表-3に示している。表-3では、実際の施工で配置されるPC鋼より線(試験体タイプA)のみに着目して、使用材料、試験体タイプおよび勾配の条件が同じで、鋼材の位置の違いによるグラウト先端角度の測定結果を示している。

また、充填状況に関しては、試験体外側からの観察では、PC鋼材を管の中央に配置した場合より、管底面に配置した場合には先端角度が小さくなる傾向があるものの、充填状況に関してはあまり差異が認められなかった。鋼材を中央に配置した場合の先端角度 $\theta_c$ に対する底面に配置した場合の先端角度 $\theta_b$ との比を求めると、 $\theta_b/\theta_c$ は0.49~1.02の範囲にあり、その値にばらつきが見られるものの、平均値では $\theta_b/\theta_c=0.68$ となり、管底面に鋼材がある場合の方が、一般に先端角度は小さくなる傾向がある。これは、鋼材が管底面にある場合には、図-3に示すように鋼材上部にあるグラウトが底面に移動し易い状態にあるために、先端角度が低下するのではないかと考えられる。

表-3 鋼材の位置の違いによる先端角度の比

材料 記号	タイプ	勾配 $\alpha$ (度)	中央 $\theta_c$ (度)	底面 $\theta_b$ (度)	$\frac{\theta_b}{\theta_c}$
C-45	A	0	41.6	32.9	0.79
C-50	A	0	15.6	15.9	1.02
G2-50	A	0	33.8	14.8	0.44
G-40	A	0	39.2	26.3	0.67
G-45	A	0	24.0	11.8	0.49

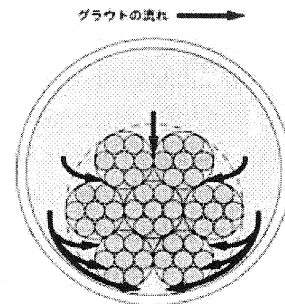


図-3 管断面におけるグラウトの移動

#### 4. まとめ

シース管内に鋼材を有する充填性試験装置を用いた実験を行い、充填性およびグラウト先端角度について検討を行った。今回の検討について以下のことが結論として得られた。

- 1) 管内に鋼材を有する場合のグラウト先端角度は、鋼材が無い場合に比べ角度が立つ傾向にあり、充填状況は良くなる傾向が認められた。
- 2) 管を水平に配置した場合に比べ、上り勾配の場合にはグラウト先端角度は大きくなり、逆に下り勾配の場合には先端角度は小さくなり、流速が小さいと先流れを起こす傾向が認められた。
- 3) 同径の管の場合、PC鋼より線を用いた試験体は、塩化ビニル管、鋼管を用いた試験体よりもグラウト先端角度が大きくなる傾向が認められた。これはPC鋼より線の方が、断面形状が複雑であるために、グラウトの流動に対する内部抵抗が大きいためと考えられ、実験結果からは空隙率の違いよりも鋼材の形状が先端角度に与える影響が大きいと思われる。
- 4) PC鋼より線を底面に配置した場合、先端角度が鋼材を中央に配置した場合に比べ、小さくなる傾向が認められた。これは底面に置いたPC鋼より線内にグラウトが移動し、管の上面を流れるグラウトの量が少なくなったためではないかと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 出雲淳一: PCグラウトの性能試験方法に関する一考察, プレストレストコンクリート, 42巻, 第5号, pp.37-42, 2000.9
- 2) 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
- 3) 水上伸介, 出雲淳一: 数値シミュレーションによるPCグラウトの充填性能および施工性の評価, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.95-100, 2001.11