

PCグラウトの性能試験方法に関する一考察

出雲 淳一*

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。しかし、既存構造物の調査において、グラウトの充填不良による構造物の劣化事例も報告^{1), 2)}されており、注入が確実にされるようなPCグラウトの施工が必要となっている。

グラウトにおけるブリーディングがゼロであることはシース内の空隙を少なくするとともにPC鋼材の腐食を防ぐために、耐久性の面から望ましいと考えられ、プレストレスト・コンクリート建設業協会(PC建協)では、従来型のグラウトからノンブリーディングタイプグラウトに移行した³⁾。また、土木学会「コンクリート標準示方書(施工編)」⁴⁾、およびその他各機関の「示方書」、「施工マニュアル」においてもノンブリーディングタイプグラウトの使用を推奨する傾向にあり、今後ノンブリーディングタイプグラウトの施工は増加するものと考えられる。

グラウトの流動性試験は、JA漏斗あるいはJ14漏斗を用いて行われるが、ノンブリーディングタイプグラウトの場合には一般に粘性が高いために従来最適とされてきたJA漏斗の流下時間を逸脱するために、土木学会「コンクリート標準示方書(施工編)」において、グラウトの流下時間はとくに規定されていない。一方、「PCグラウト・プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改訂版)」⁵⁾においては、ノンブリーディングタイプグラウトの粘性型の定義が新たに示されることになり、J14漏斗の流下時間に応じたノンブリーディングタイプグラウトの適用範囲が明確になった。しかし、漏斗試験から得られる流下時間はグラウト注入の指標となるものの、充填性評価としてはその性質を異にするのではないと思われる。たとえば、グラウトの粘性が増加すると、流下時間は著しく長くなったり、漏斗内で閉塞したりする傾向にある。このような性質のグラウトの充填性は良いと判断できるものであろうか、あるいは、グラウト注入を容易にする流動性とダクト内を完全に充填させるのに必要な粘性とを兼ね備えたグラウトを漏斗試験のみによって評価できるものであろうか、などのグラウトの充填性評価に関する検討すべき点が残されているように思われる。

一方、ブリーディング試験は「コンクリート標準示方書(規準編)」⁶⁾によると、“PCグラウトのブリーディング率および膨張率の試験方法(ポリエチレン袋方法)(JSCE-F532-1994)”，および“PCグラウトのブリーディング率および膨

張率の試験方法(容器方法)(JSCE-F533-1994)”とによって行われるが、一般には、ブリーディング率の測定には簡易なポリエチレン袋による方法が用いられているようである。しかし、ポリエチレン袋によるブリーディング試験から数十メートルに及ぶ実際のダクト内に生じるブリーディングをどの程度評価しうるかということに対する明確な見解は、著者の知る限りにおいては示されていないようである。ノンブリーディングタイプグラウトの性能を確認するために、ポリエチレン袋方法によるブリーディングの評価のみに留まらず、結局のところ実構造物レベルのケーブル配置によるグラウト注入試験によって、その評価が行われている⁷⁾。実構造物レベルの試験によってグラウトの性能を確認するのが理想的であるが、工事ごとにそのような試験を行いグラウトの性能を確認することは、実際には難しい。

このような状況を鑑み、グラウトの充填性およびブリーディングを評価するための試験方法を新たに考案するとともに、従来の試験方法との比較検討を行うことにした。今回の実験によって新たに得られた知見を以下に報告する。

2. PCグラウト試験

2.1 充填試験装置

現行の「コンクリート標準示方書(施工編)」においては、PCグラウトの流動性の評価にはJA漏斗を用いた流下時間によって行うことを標準としている。しかし、ノンブリーディングタイプグラウトの場合には一般に粘性が高いために従来最適とされてきたJA漏斗の流下時間の範囲で評価することが難しく、とくに流下時間は定められていない。「PCグラウト・プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改訂版)」⁵⁾においては、製品の種類によって流動特性の異なるノンブリーディングタイプグラウトに対して、流下時間の目安が示されるようになった。

J漏斗試験によって得られるグラウトの流下時間は、グラウト注入の指標となると考えられるが、グラウトの充填性評価の指標とはその性質を異にするのではないと思われる。すなわち、注入作業を容易にするグラウトの流動性とダクト内部に残留空気を生じさせることなく全断面を満たすためのグラウトの流動性とは本来相矛盾する性質のものと考えられる。グラウトに要求される充填性能は、その粘性に依存するために、現行の試験から得られるグラウトの流動特性から充填性能を間接的に予測することも可能と考えられるが、その場合にはJ漏斗による流下時間と充填性能との関係を明確にする必要があるのではないと思われる。

著者はJ漏斗による流下時間からグラウトの充填性能を評

* Jun-ichi IZUMO : 関東学院大学 工学部 土木工学科 教授

価するよりも、直接充填性能を評価する試験方法を新たに検討した方がよいのではないかと考え、実験室でも行える規模の試験方法を考案した。図-1にその試験装置の概要を示している。全長3mの塩化ビニール管のうち、鉛直高さが1.5mになるような流下部分を設け、さらに45度の上り勾配と水平部分を設けている。粘性が高くなると管水平部からの水頭差も大きくなることが予想されるために、管鉛直部はできる限り高く設定した方がよいと考えられるが、一方では、グラウトを流し込む際の作業性を考慮するとあまり高いのは好ましくないと考えられる。このような理由から管鉛直部高さを1.5mに設定することにした。また、管径はあまり大きくなると管の曲げ半径が大きくなり、鉛直高さを1.5mにしても管水平部からグラウトを流し込む右端部までの鉛直距離を十分確保することができないこと、および流体と管内の摩擦係数が同じであれば管径が小さくなると相対的に流体に対する摩擦抵抗力が大きくなり、グラウトの粘性の違いが水頭差にも現れてくると考えられる。水頭差の違いはグラウト注入圧力に関する一つの指標となると考えられる。今回の試験装置においては、外径38mm、内径32mmの塩化ビニール管を用いることにした。ちなみに、シースの空隙率を50%と考えた場合には、内径32mmの管は内径45mmのシースに相当することになる。

上り勾配と水平部分は、シースが曲線配置された場合のクラウン部分をモデル化したものである。図-2は水のように粘性がない場合および粘性がある場合の充填状況を模式的に示している。粘性がない流体の場合には、管の右端から自然落下によって管内に流体を流しても、水平部分の管内を満たすことはなく流れ出る。しかし、粘性がある流体の場合には、管の右端から自然流下したグラウトは管内の全断面を満たしながら上り勾配を上がり、水平部分の管内も満たしながら流れ出ると予測される。このような装置を用い、グラウトを自然流下によって流すことにより、グラウトの自己充填性能を評価することにした。

2.2 ブリーディング試験装置

ブリーディング試験には、「コンクリート標準示方書（規準編）」“PCグラウトのブリーディング率および膨張率の試験方法（JSCE-F532-1994）”によるポリエチレン袋方法が一般には用いられている。しかし、比較的小さなポリエチレン袋の試験体においてブリーディングがゼロであるグラウトが、数十メートルに及ぶシース内においてもブリーディングがゼロとなるかどうかということを確認する試験方法も必要ではないかと思われ、ポリエチレン袋よりも大きい試験体でしかも実験室でも容易に行える程度のブリーディングの測定方法を今回試作し、ポリエチレン袋方法によるブリーディング試験との対応について検討することにした。

ブリーディング率を測定するために図-3に示すような実験装置を考案した。全長3mの塩化ビニール管をU字形に配置し、グラウトの注入目標位置として端部から100mmの位置にマーキングを施しておく。塩化ビニール管の外径および内径は38mmおよび内径32mmである。ブリーディング率は、グラウト注入後、それぞれの端部からグラウト面までの距離を測定し、その長さを全長3mから差し引くことによ

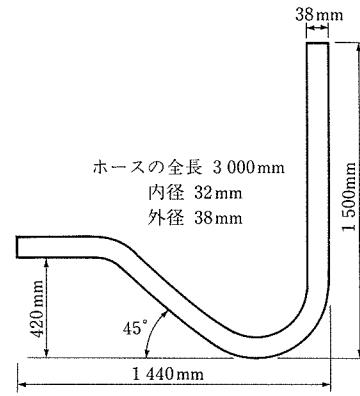


図-1 充填性試験装置図

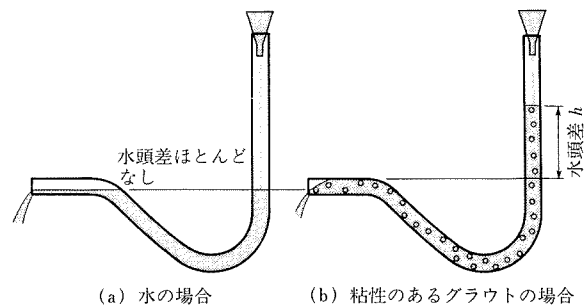


図-2 管内を流れる粘性流体の模式図

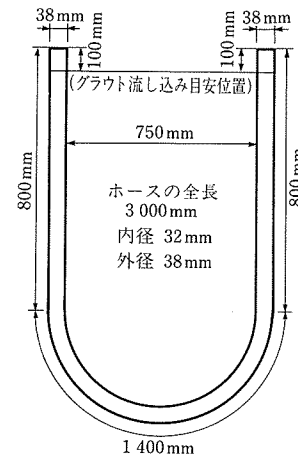


図-3 ブリーディング試験装置図

り、注入後のグラウト全長 (L) を求めることができる。3時間後のブリーディング率は、それぞれの端部に発生するブリーディング水の長さを測定することにより、次式で求めることにした。

$$B = \frac{L_L + L_R}{L} \times 100$$

ここに、 B はブリーディング率(%), L_L は左端管に発生したブリーディング水頭の長さ(mm), L_R は右端管に発生したブリーディング水頭の長さ(mm), L はグラウト全長(mm)である。

3. 実験計画

3.1 使用材料

実験に用いた材料には、普通ポルトランドセメント、高

炉スラグ微粉末およびナフタリンスルホン酸塩を主成分とする高性能減水剤を用い、練混ぜ水には上水道水を用いた。また、ノンブリーディングタイプグラウトの混和剤として、GF-1700、およびGF-1720を用いた。

高炉スラグ微粉末は、公称のブレン値がそれぞれ1万 cm^2/g 、1万3000 cm^2/g 、1万5000 cm^2/g の3種類を用いることにした。

3.2 配合

ブリーディングを抑制するとともに適度の流動性を保持するグラウトを製造するために、普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末と高性能減水剤を添加したタイプのグラウトを3種類、混和剤を添加して製造するノンブリーディングタイプグラウトを2種類、従来型のグラウトに高性能減水剤を添加して製造するグラウトを1種類の計6種類のグラウトを実験に用いることにした。水セメント比はいずれのグラウトに対しても45%を設定した。これは、「コンクリート標準示方書（施工編）」において、水セメント比の上限が45%であること、およびノンブリーディングタイプグラウトの配合例として水セメント比45%が採用されていることから⁵⁾、今回の実験においても水セメント比を45%に設定することにした。

高炉スラグ微粉末でセメントを置換したグラウトの配合には、著者の研究⁸⁾を参考にして、スラグ置換率はスラグのブレン値に応じてセメント質量に対して30%あるいは40%とした。また、高性能減水剤の量はセメント質量と高炉スラグ微粉末の質量の総質量に対して0.3%あるいは0.5%とした。

このような配合のほか、従来型のセメント系グラウトに高性能減水剤を加えたグラウトも製造することにした。ノンブリーディングタイプグラウトには、ノンブリーディング型およびノンブリーディング・粘性型のタイプのグラウトを製造することにし、それぞれのグラウトの製造には混和剤GF-1700およびGF-1720を用いた。混和剤の量は、グラウトの配合例を参考にして、いずれの場合にもセメント質量の1%を添加させて、ノンブリーディングタイプグラウトを製造することにした⁵⁾。今回の実験では、それぞれのグラウトを1バッチあたり6l練ることとした。1 m^3 あたりのグラウトの配合を表-1に示している。

3.3 練混ぜ方法

グラウトの練混ぜにはハンドミキサーを用い、1バッチあたり6lのグラウトを一括練りで3分間練混ぜてグラウトを製造した。ハンドミキサーには、回転数の仕様が1300r.p.mのものを用いた。グラウトの練混ぜは実験室内で行い、練混ぜ後のグラウトの練上り温度は、 $17 \pm 1^\circ\text{C}$ の範囲であった。

3.4 充填性試験

図-2に示す試験装置に右端から製造したグラウトをゆっくりと流し込み、グラウトが塩化ビニール管内を上りはじめ、左端の排出口からグラウトが流出するまでの管内の充填状況を観察する。この試験では、グラウトの注入に際して特別なポンプなどは使用しないで、グラウトを右端注入口からゆっくり自然流下させながら、左端排出口からのグラウトの流出が一定となる状態まで右端からグラウトを流し込む。そのような状態に達したら、塩化ビニール管の水平部を流れるグラウト上面と管の鉛直部分のグラウト面との距離（ここでは水頭差と呼ぶことにする）を管に沿って固定した定規によって測定する。写真-1はグラウト注入後の試験装置の全体を示している。また、従来の流動性試験との関連についても検討するためにJ14漏斗による流下時間の測定を「コンクリート標準示方書（規準編）」“PCグラウトの流動性試験方法（JSCE-F531-1994）”に従って実施した。

3.5 ブリーディング試験

図-3に示す試験装置の両右端から製造したグラウトをゆっくりと流し込み、あらかじめマーキングを施しておいた注入目標位置（管端部から10cmの位置）近傍にグラウトが達するまで注入を行う。写真-2はグラウト注入後の試験装置全体を示している。グラウト注入後、試験装置の端部からグラウト面までの距離を測定する。注入後はブリーディング水が蒸発しないように、両端部をラップで覆うことにし、両端のグラウト端面に生じたブリーディング水の長さを管の側面から定規を用いて測定する。また、ポリエチレン袋方法によるブリーディング率の測定を「コンクリート標準示方書（規準編）」“PCグラウトのブリーディング率および膨張率の試験方法（JSCE-F532-1994）”に従って行った。ブリーディング率の測定はグラウト注入後1時間、3時間および6時間後に行った。今回製造したグラウトの20時間以後のブリーディングはほとんど発生しないことが予想されるために、今回の実験においては20時間以後のブリーディング率の測定は行わなかった。

4. 実験結果および考察

4.1 充填性試験

流動性試験結果を表-2に示している。J14漏斗の流下時間は、従来のセメント系グラウトに高性能減水剤を添加した試験体の場合が2.6秒と一番短い。セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換したグラウトの場合、流下時間はスラグのブレン値、スラグ置換率、高性能減水剤の添加量に

表-1 グラウトの配合

試験番号	グラウトタイプ	W/C (%)	スラグ置換率 (%)	SP使用量 (C+SI) × %	Ad使用量 (C × %)	C (kg)	W (kg)	SI (kg)	SP (kg)	Ad (kg)
No.1	ブレン	45	0	0.3	0.0	1305	579	0	4	0
No.2	スラグ添加 (BL10000)	45	40	0.3	0.0	783	579	522	4	0
No.3	スラグ添加 (BL13000)	45	30	0.3	0.0	914	579	391	4	0
No.4	スラグ添加 (BL15000)	45	30	0.5	0.0	914	578	391	7	0
No.5	ノンブリーディング型	45	0	0.0	1.0	1305	587	0	0	13
No.6	ノンブリーディング・粘性型	45	0	0.0	1.0	1305	587	0	0	13

ここに、C：セメント、W：水、SI：スラグ、SP：高性能減水剤、Ad：ノンブリーディング用混和剤

◆ 研究報告 ◆

よって影響を受ける⁸⁾。セメントの一部をスラグで置換したグラウトの流下時間は、4.0秒～6.9秒であった。一方、ノンブリーディング用混和剤を添加したグラウトの場合、流下時間は5.8秒～7.0秒となり、高炉スラグ微粉末を添加したグラウトに比べ流下時間が若干長くなる結果となった。また、ノンブリーディング・粘性型グラウトとノンブリーディング型グラウトとの比較では、粘性が高いノンブリー

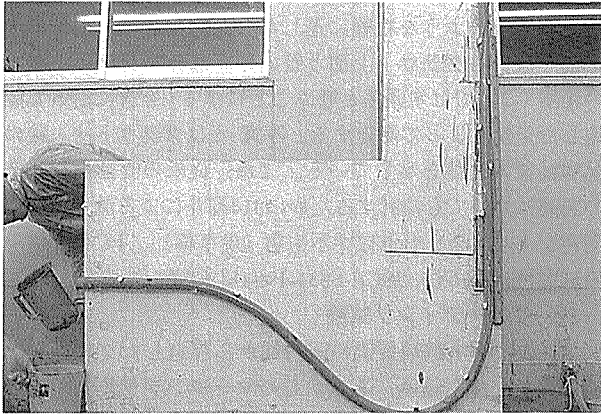


写真-1 充填試験装置

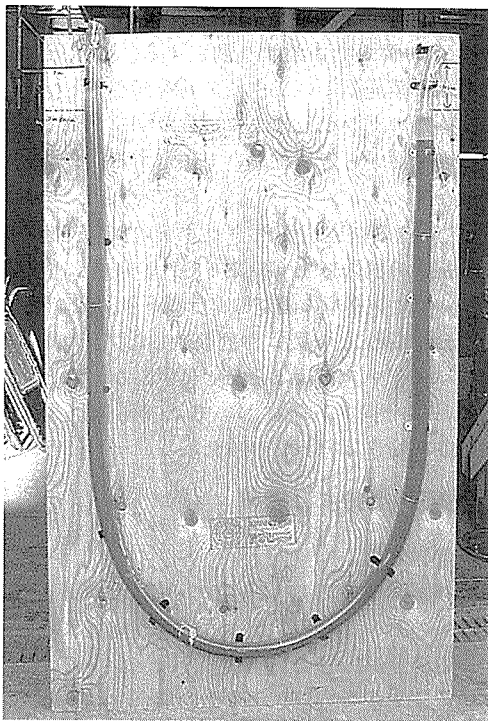


写真-2 ブリーディング試験装置

ディング・粘性型グラウトの流下時間の方が若干長い。

写真-3は、試験装置に水を流した場合の様子を示している。管内を流れる水の様子を分かりやすくするために水を青インクで染めている。この場合、管水平部は水で充填されることはなく、水頭差もほとんど生じない結果となる。写真-4～6は塩化ビニール管水平部の各グラウトの充填状況を示している。従来のグラウトに高性能減水剤を添加した場合には、水の場合と同様に管水平部はグラウトで充填されることはなかった。また、グラウトの粘性も低いと考えられるために、水頭差も1.2cmと小さい値となっている。

高炉スラグ微粉末を添加したグラウトの場合、試験装置右端から自然流下によって流し込まれたグラウトは傾斜角45度の管内を満たしながらゆっくりと上りはじめ、管水平部分では空隙がまったく発生することなく、左端口から流れ落ちていく様子を観察することができた。写真-4には充填状況の一例を示している。一方、ノンブリーディング用混和剤を添加したグラウトの場合、粘性タイプおよび通常のノンブリーディングタイプグラウトの場合には、管水平部分において一部空隙部分を残してグラウトが流れ落ちる結果となった(写真-5)。図-4には、実験から得られたJ14漏斗の流下時間と水頭差との関係を示している。プレーンタイプのグラウト、およびノンブリーディングタイプグラウトの場合、流下時間と水頭差の間には強い相関関係が認められる。参考までに、水を流下させた場合のJ14漏斗の流下時間(水頭差はゼロを仮定した)も図中にプロットしている。これらの点はほぼ一直線上にあると判断される。ノンブリーディングタイプグラウトは、僅かの割合の混和剤を加えることにより、プレーンタイプのグラウトに粘性を付加させたグラウトと見なすことができ、図-4においても、プレーンタイプのグラウトとノンブリーディングタイプグラウトは、粘性の増加に伴い流下時間および水頭差が増加する傾向が認められる。

一方、高炉スラグ微粉末を添加したグラウトの場合、実験データが少ないこともあるが、流下時間と水頭差との間に相関関係を見出し難い。

今回製造した高炉スラグ微粉末を添加したグラウトは、ノンブリーディングタイプグラウトよりもJ14漏斗の流下時間、水頭差は相対的に小さく粘性も低いことが考えられるが、今回提案した試験装置による充填性の評価に関しては、高炉スラグ微粉末を添加したグラウトの方がよい結果となっている。高炉スラグ微粉末を添加したグラウトの場合、スラグの粉末度、セメントとの置換の割合によって、

表-2 試験結果

試験番号	グラウトタイプ	練上り温度 (℃)	ブリーディング率(%)						流下時間 (秒)	水頭差 (cm)	充填状況
			ポリエチレン袋方法			U字管方式					
			1h	3h	6h	1h	3h	6h			
No.1	プレーン	18	1.3	3.3	3.2	0.4	2.7	2.7	2.6	1.2	未充填
No.2	スラグ添加 (BL10000)	17	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	4.6	4.0	良好
No.3	スラグ添加 (BL13000)	17	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	4.0	3.0	良好
No.4	スラグ添加 (BL15000)	17	0.1	0.3	0.1	0.1	0.3	0.0	6.9	3.0	良好
No.5	ノンブリーディング型	17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	6.0	一部空隙
No.6	ノンブリーディング・粘性型	17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	8.5	一部空隙

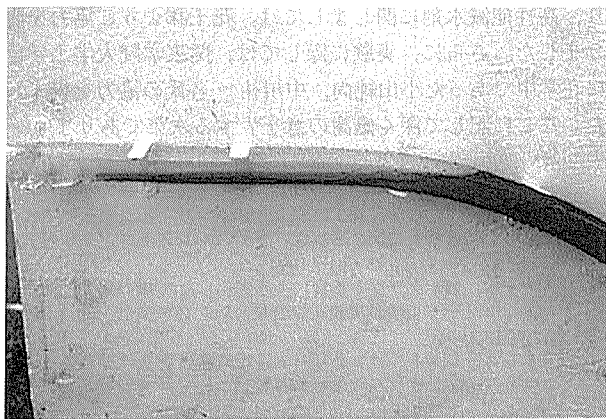


写真-3 水の充填状況

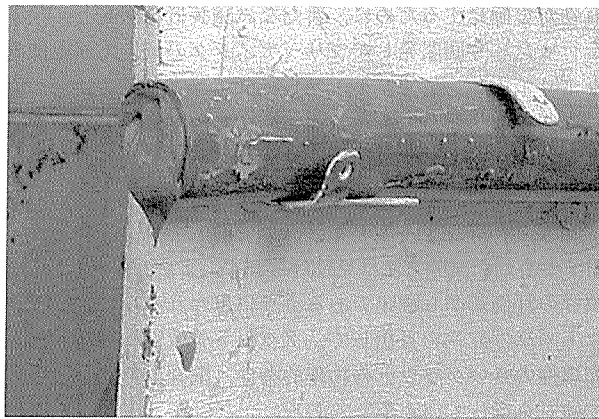


写真-5 高炉スラグを添加したグラウトの充填状況の例

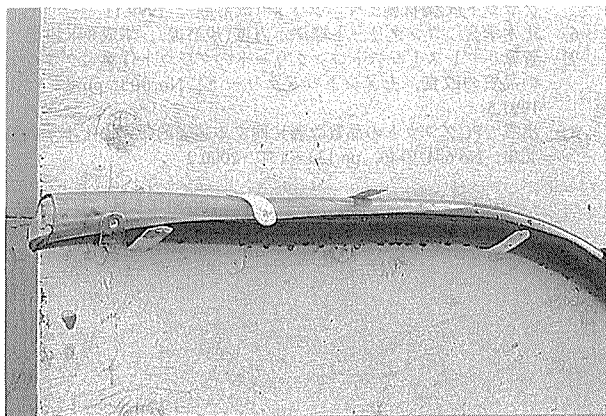


写真-4 従来のグラウトの充填状況

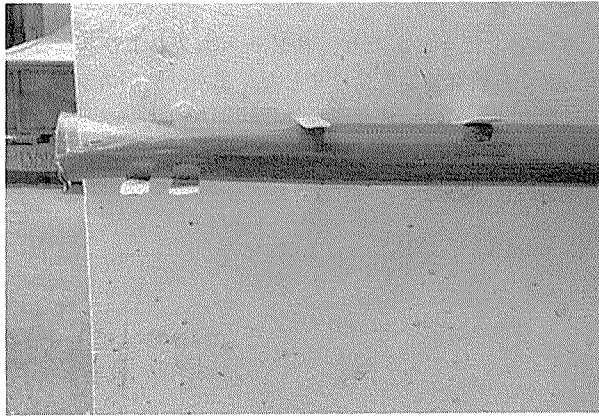


写真-6 ノンブリーディングタイプグラウトの充填状況の例

グラウト自体の密度も変化すると考えられる。密度の変化は、J14漏斗の流下時間、水頭差にも影響を及ぼすと考えられ、これらの要因が実験結果にも現れているのではないかと考えられる。

今回の実験においてはデータが少ないために、材料パラメーターを種々に変化させた場合のノンブリーディングタイプグラウトおよび高炉スラグ微粉末を用いたグラウトの充填性能についての検討を現在も進めており、研究結果のとりまとめができ次第、また本誌での報告を予定している。

今回の実験に関する限りにおいては、J14漏斗による流下時間と今回提案した試験装置から観察された充填性との間には明確な関係を見出し難いようであり、J漏斗による流下時間によってグラウトの充填性能を評価できるかどうかについては、さらに検討が必要と考えられる。

4.2 ブリーディング試験

表-2にはブリーディングの試験結果を示している。今回の実験において、セメントを高炉スラグ微粉末で置換したグラウトは、ブリーディングの発生を抑える配合を採用しているので、グラウト製造1時間、3時間および6時間後のブリーディング率は極めて低い。また、ノンブリーディングタイプグラウトは、当然のことながら製造後の時間に関係なくブリーディングはゼロとなっている。このような場合には、ブリーディングがほとんど発生していないこともあって、U字管によるブリーディング率とポリエチレン袋法によるブリーディング率との測定値はほぼ一致していると

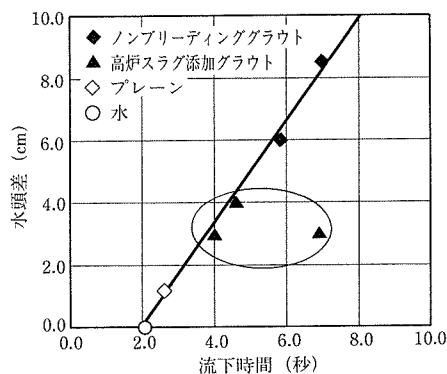


図-4 流下時間と水頭差との関係

判断される。

一方、従来のグラウトに高性能減水剤を添加した場合には、U字管によって測定された3時間後のブリーディング率は2.7%、ポリエチレン袋法によって測定されたブリーディング率は3.3%であった。今回提案したU字管によるブリーディング率の値は、ポリエチレン袋法によって測定されたブリーディング率とほぼ同程度の値となっている。今回の実験に関する限り、ブリーディングの測定長が長くなることの影響は認め難い結果となっている。

5. ま と め

グラウトのブリーディングおよびシース内への充填性を評価するための試験方法として、現行の試験法がどれだけ

◆ 研究報告 ◆

有効性を確認するために、新たな試験装置を開発して検討を行った。今回開発したブリーディングの測定方法と簡易なポリエチレン袋法によるブリーディング試験方法との間には明確な差異が認められず、簡易なポリエチレン袋法によるブリーディング試験方法は有効な評価方法であることが確認できたものと思われる。

しかし、グラウトの充填性評価に関しては、現在それに対する有効な試験方法は見受けられず、またJ漏斗による充填性の評価基準も曖昧であるように思われる。今後はグラウトの高性能化を目指して、グラウト充填性の評価基準、充填性の良いグラウトの物理的・化学的・配合条件などについて検討を行っていく予定である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、(株)ピー・エスおよび(株)ニューテックから研究補助を受けました。また、高炉スラグ微粉末に関しましては、住金鹿島鉱化(株)より、ノンブリーディンググラウト用混和剤に関しましては、(株)エヌエムビーよ

り、高性能減水剤に関しましては、花王(株)よりご協力を賜りました。さらに、実験に際しては、関東学院大学工学部に在学中であった小山純尚、中川祐一 各氏の協力を得ました。ここに記して深く感謝の意を表する次第であります。

参 考 文 献

- 1) 小林, 宮川, 杉江, 森: PC構造物のグラウト不良とその補修のための注入材料に関する実験, プレストレストコンクリート, Vol.36, No.3, pp.75~81, 1994
- 2) 佐々木, 堺: グラウト不良により劣化したPC橋の調査と補修, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No.1, pp.1089~1094, 1996
- 3) プレストレスト・コンクリート建設業協会 耐久性委員会: ノンブリーディンググラウトへの移行について, プレストレストコンクリート, Vol.40, No.3, pp.71~75, 1998
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書(施工編), 平成8年制定
- 5) プレストレスト・コンクリート建設業協会: PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改訂版), 1999.11
- 6) 土木学会: コンクリート標準示方書(規準編), 平成8年制定
- 7) 菅原: プレストレストコンクリートのグラウト作業とグラウトの品質の改良, セメントコンクリート, No.603, pp.8~15, 1997.5
- 8) 出雲: PCグラウトの品質改善に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.641/V-46, pp.133~151, 2000.2

【2000年5月16日受付】

◀ 刊行物案内 ▶

PC構造物の耐震設計の現状

—— 第27回PC技術講習会 ——

(平成11年2月)

頒布価格: 5 000円(送料500円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会