

## 論文 各種要因が PC グラウトの充填性に及ぼす影響

宮本 一成<sup>\*1</sup>・魚本 健人<sup>\*2</sup>・勝木 太<sup>\*3</sup>

要旨：PC グラウトは、その品質や施工の良否によって PC 構造物の耐久性に大きな影響を与えることが言われており、シース内の PC 鋼材まわりの隙間にグラウトを完全に充填させることが必要である。近年のノンブリーディングタイプグラウトの普及に伴い、粘性を高めてシース内を充填させながらグラウトを注入し、空気の残留を防止するような施工方法も用いられているが、粘性を高めることによるデメリットとして、施工性の低下等が挙げられる。そこで、本研究ではグラウトの流動特性、シース径や配置条件、施工性を要因として挙げ、これらがグラウトの充填性にどのような影響を与えるか検討を行った。

キーワード：プレストレストコンクリート、PC グラウト、充填性、施工性、粘性

## 1. はじめに

PC グラウトは、その品質や施工の良否により PC 構造物の耐久性に大きな影響を与えるものであり、PC 鋼材と部材本体のコンクリートとの一体性を確保すること、また PC 鋼材を腐食から保護する役割を担っている。<sup>1)</sup> これらの目的を達成するためには、シース内にグラウトを完全に充填することが必要であるが、近年、PC グラウト充填不良に起因した既存構造物の劣化事例<sup>2)</sup>が報告されており、確実に充填することが可能な PC グラウトの品質および施工方法の研究開発が望まれている。

近年のノンブリーディングタイプグラウトの開発により、粘性の高いグラウトを用いてシース断面を充填（以下、全断面流下）させながら注入を行うことにより、シース内に空隙を残留させることなくグラウトを充填する方法<sup>3)</sup>が用いられているが、グラウトの粘性が高くなるほど、注入に要する時間は多くなり、注入するために必要な圧力も大きくなるために施工性<sup>4)</sup>の低下が懸念される。また、実構造物においては、PC 鋼材径やシース径等、注入条件が異なることから、グラウトを全断面流下させるために必

要なグラウトの流動特性<sup>5)</sup>（主に粘性）も変化することが予想される。

このようなことから、PC グラウトの施工においては、グラウトの流動特性と施工性および充填性の 3 要素が関係しており、これらの相互影響を把握することは重要であると考えられる。

そこで、本研究ではシースの直径や配置形状等の注入条件とグラウトの流動特性および施工性（注入時間、注入圧力）を要因として挙げ、これらの相互的な影響を検討するとともに充填性にどのような影響を及ぼすのかを実験的に検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 グラウトの流動特性試験

本研究では、PC グラウトをビンガム流体として表現したときのレオロジー定数（塑性粘度、降伏値）によりグラウトの流動特性を評価するために、まず、水セメント比やグラウト用混和剤の添加率を変化させることにより流動特性にどのような影響を及ぼすか検討を行った。

本研究で用いた PC グラウトの配合および使用材料を表-1 に示す。

\*1 芝浦工業大学大学院 工学研究科建設工学専攻（正会員）

\*2 東京大学教授 都市基盤安全工学国際研究センター 工博（正会員）

\*3 芝浦工業大学助教授 工博（正会員）

表-1 グラウトの配合と使用材料

| W/C (%) | 混和剤添加率 (C × %)    |                      |                    |
|---------|-------------------|----------------------|--------------------|
|         | 無添加               | 混和剤A                 | 混和剤B               |
| 35      | 0 %<br>(セメントペースト) | 1                    | 1                  |
| 40      |                   | 1                    | 1                  |
| 45      |                   | 1, 1.5, 1.75, 2, 2.5 | 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 |

使用材料: 普通ポルトランドセメント  
 混和剤A: ノンブリーディング低粘性グラウト用混和剤  
 混和剤B: ノンブリーディング高粘性グラウト用混和剤

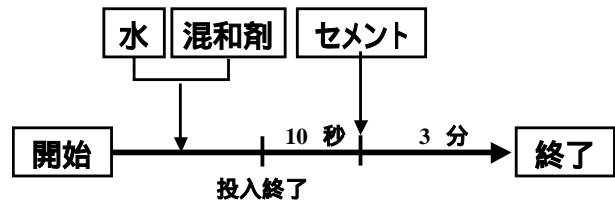


図-1 グラウトの練混ぜ方法

表に示すように、W/C が流動特性に与える影響を検討するために、W/C : 35, 40, 45%の3水準で混和剤無添加のセメントペースト、および混和剤 A, B を 1%添加したグラウトの計 9 配合とした。また、混和剤添加率の影響は W/C : 45%で混和剤添加率を変化させて検討を行った。なお、混和剤 A, B は、ともに分散成分と増粘成分とを配合した非膨張型ノンブリーディングタイプ用混和剤であり、セメント質量に対する添加率分の混和剤を外割で添加した。

また、グラウトの練混ぜには回転数 1000rpm のハンドミキサーを用い、図-1 に示すような練混ぜ時間、手順で練混ぜを行った。

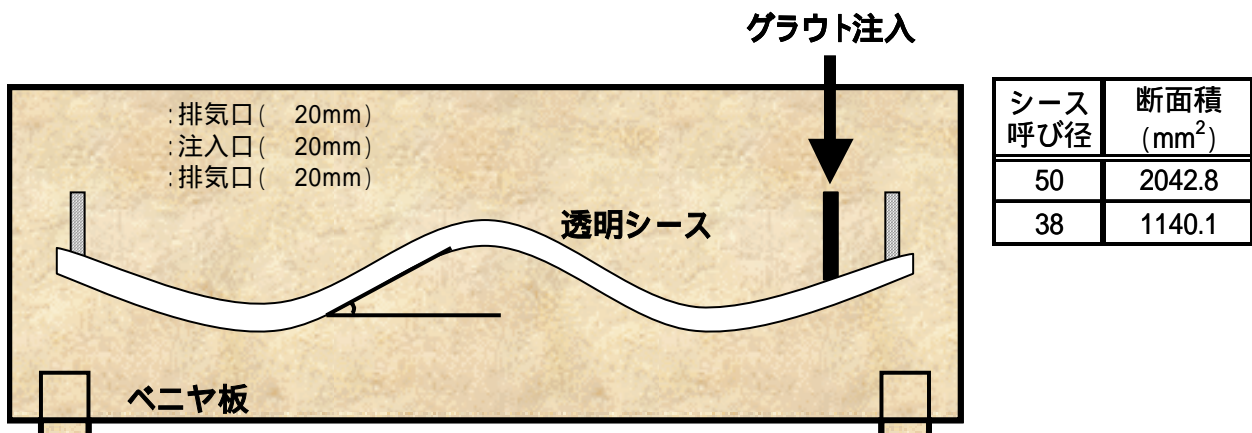
上記 16 配合の全てにおいて、流動特性試験としてコンシステンシー試験およびレオロジー定数の測定を行った。コンシステンシーは、土木学会基準（平成 8 年版）による J14 ロート流下時間とモルタルフローコーン（底面直径 100mm）を用いたフロー値の測定を行った。レ

オロジー定数の測定には、二重円筒型回転粘度計を用いてせん断速度とせん断応力の関係から塑性粘度と降伏値を算出した。

## 2.2 グラウト注入実験

図-2 に示すような形状に長さ 5m の透明シースを固定し、スクイズ式グラウトポンプによりグラウト注入実験を行った。透明シースの配置形状は、図に示すような連続桁を想定した曲線モデル(θ = 15 度)と直線モデルの 2 タイプとし、透明シースの呼び径は、50mm, 38mm の 2 種類であるため、注入条件を計 4 パターンとした。また、グラウトポンプの筒先部分と注入口(図-2 中の )および排気口(図-2 中の )の 3 ヶ所に圧力センサを設置した。なお、シーす端部にはゴム栓等を取り付け、2 つの排気口以外からグラウトや空気が漏れることを防止した。

注入実験で使用したグラウトの配合は、



\* グラウトポンプ, 注入口, 排気口の3ヶ所に圧力センサを設置

図-2 グラウト注入実験の概要図〔曲線（連続桁）モデル〕および透明シーすの呼び径

表-2 グラウトの流動特性試験結果

| 配合      | 練上がり温度(°C) | ロート流下時間(s) | フロー値(cm) | 塑性粘度(Pa·s) | 降伏値(Pa) |
|---------|------------|------------|----------|------------|---------|
| 35CP    | 19         | 8.2        | 17.9     | 3.0        | 17.0    |
| 35A1    | 22         | 36.4       | 20.5     | 6.2        | 41.6    |
| 35B1    | 22         | 47.9       | 24.5     | 8.2        | 38.4    |
| 40CP    | 20         | 3.5        | 22.6     | 1.2        | 7.4     |
| 40A1    | 20         | 9.4        | 28.1     | 2.9        | 15.4    |
| 40B1    | 21.5       | 14.8       | 27.0     | 4.2        | 17.1    |
| 45CP    | 25         | 2.9        | 27.7     | 0.5        | 3.2     |
| 45A0.5  | 25         | 3.8        | 29.8     | 0.7        | 7.6     |
| 45A1    | 25.5       | 5.2        | 36.4     | 1.3        | 4.4     |
| 45A1.5  | 26         | 9.4        | 38.3     | 3.0        | 8.7     |
| 45A1.75 | 25         | 16.9       | 34.6     | 5.1        | 13.9    |
| 45A2    | 26         | 25.7       | 31.9     | 6.8        | 23.1    |
| 45A2.5  | 26         | 50.6       | 30.1     | 9.9        | 38.1    |
| 45B0.5  | 26         | 4.2        | 28.7     | 0.9        | 11.0    |
| 45B1    | 24.5       | 8.2        | 39.6     | 2.1        | 5.5     |
| 45B1.5  | 25.5       | 18.0       | 34.7     | 5.1        | 15.1    |
| 45B2    | 26         | 48.2       | 29.6     | 8.8        | 35.9    |

W/C45%, 混和剤無添加, 混和剤 A, B の添加率 1% を基準とし, 上記の配合実験から得られた知見を基に選定した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 グラウトの流動特性試験

コンシステンシー試験およびレオロジー特性の測定結果を表-2 に示す。また, 図-3, 4 に混和剤添加率とロート流下時間の関係および混和剤添加率とフロー値の関係を示す。なお, 表-2 の配合 は, 以下の規則で記述している。

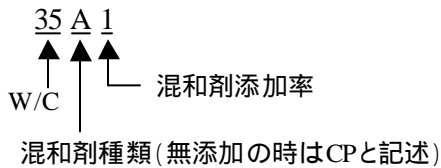


図-3 より混和剤添加率の増加に伴い, ロート流下時間も増大しており, W/C45% では混和剤 A, B とともに指数近似により非常に良い相関が見られ, 添加率が高くなるほどロート流下時間の増加率も大きくなるのがわかる。この理由として, 混和剤の持つ分散効果に比べて増粘効果が大きく寄与しているためと考えられ, 図-4 においても, 混和剤 A では添加率が 1.5%, 混和剤 B では添加率 1% でフロー値が頭打ちにな

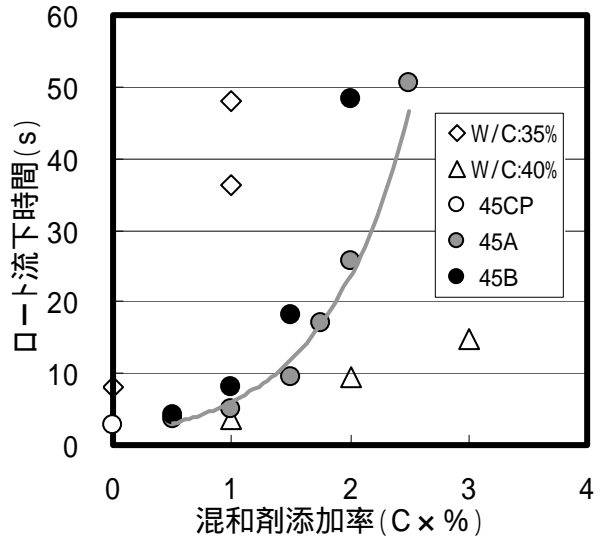


図-3 混和剤添加率とロート流下時間の関係

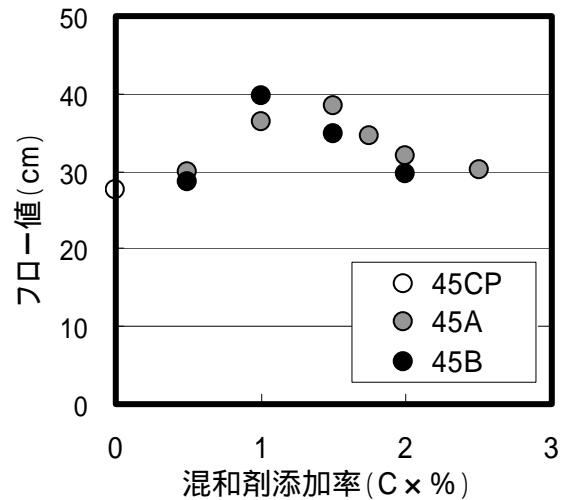


図-4 混和剤添加率とフロー値の関係

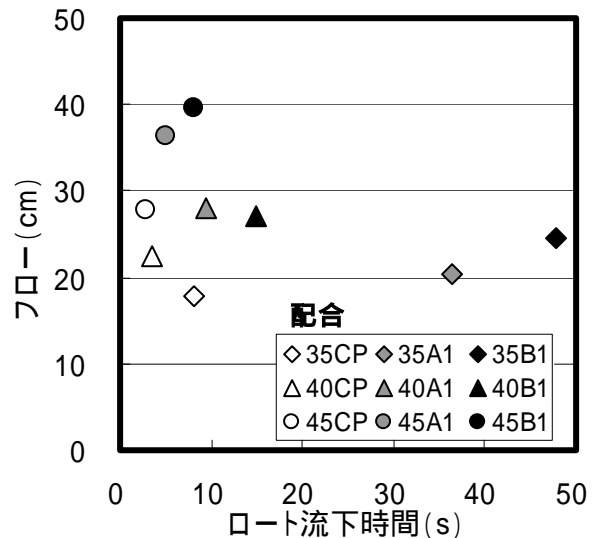


図-5 ロート流下時間とフロー値の関係

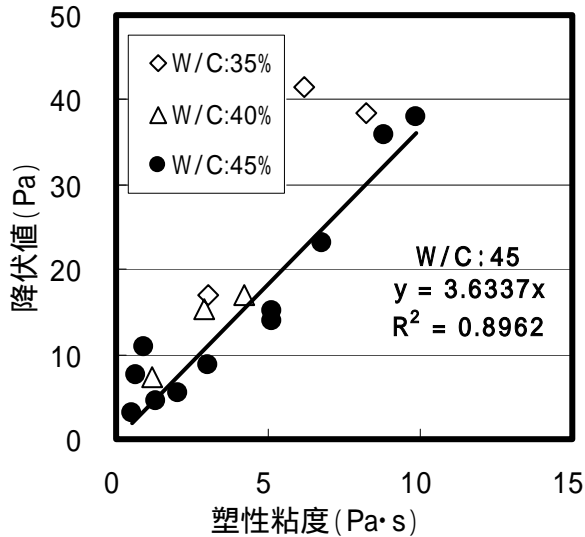


図-6 塑性粘度と降伏値の関係

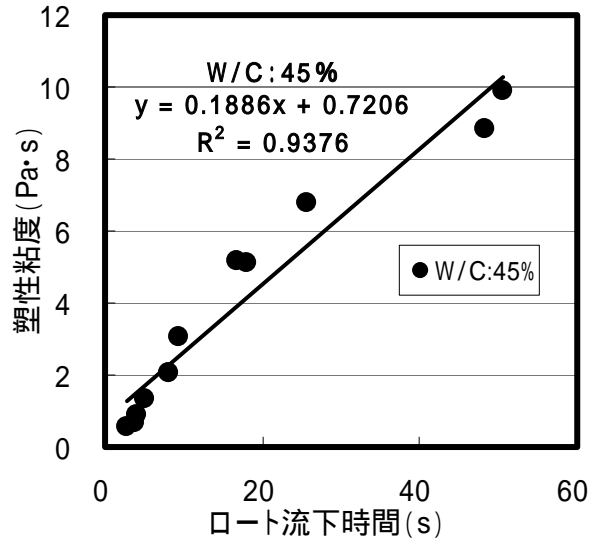


図-7 ロート流下時間と塑性粘度の関係

っていることがわかる。

また、水セメント比の影響として、ロート流下時間とフロー値の関係を示した図-5 を見ても、W/C:40, 35%では混和剤を添加した場合でもフロー値はほとんど増加せず、ロート流下時間のみが大きくなっており、必要な流動性を確保することは難しくなる傾向である。

図-6 に塑性粘度と降伏値の関係を示す。図より、W/C:45%では直線近似により良い相関が得られており、一方のレオロジー定数により他方のレオロジー定数を推定することが可能である。

図-7 に示す W/C:45%におけるロート流下時間と塑性粘度の関係は、直線近似により高い相関関係が見られることから、ロート流下時間を測定することにより間接的ではあるが塑性粘度を算出することが可能である。この結果より、本研究で行うグラウト注入実験では、W/C:45%のグラウトを用い、ロート流下時間を測定することによって間接的に塑性粘度を算出することとした。これは、練混ぜ温度や外気温の変化により、同じ配合であっても同等の流動特性を有するグラウトを製造することが容易でないためである。また、図-8 に示すフロー値と降伏値との関係では、図から見て取れるように混和剤を添加したものと添加していないものとの差が明確にあらわれた。

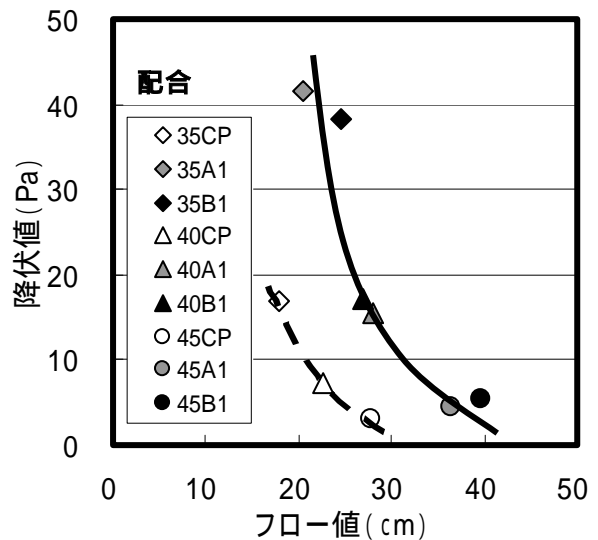


図-8 フロー値と降伏値の関係

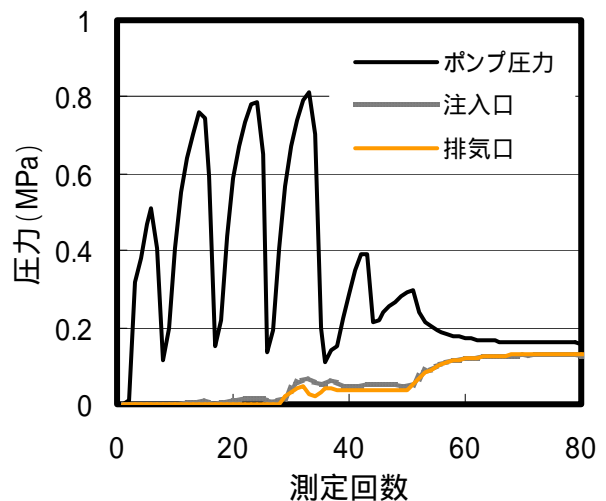


図-9 圧力測定結果 ( 50 曲線-B-1%)

表-3 グラウト注入実験における充填状況および測定結果 (グラウトのW/Cは45%一定)

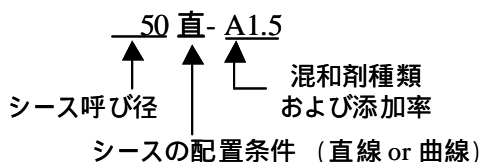
| 実験        | 練混ぜ温度( ) | ロート流下時間(s) | 塑性粘度 (Pa·s) | 圧力ピーク値 (MPa) | 注入時間 (s) | 充填状況 |
|-----------|----------|------------|-------------|--------------|----------|------|
| 38直-A1    | 21.0     | 5.52       | 1.76        | 0.654        | 18.76    | 完全充填 |
| 38直-B1    | 19.0     | 7.42       | 2.12        | 0.898        | 24.12    | 完全充填 |
| 38曲-CP    | 22       | 3.44       | 1.37        | 0.271        | 14.74    | 未充填  |
| 38曲-A1    | 21.5     | 7.03       | 2.05        | 0.724        | 25.46    | 完全充填 |
| 38曲-B1    | 20       | 7.66       | 2.17        | 0.842        | 22.78    | 完全充填 |
| 50直-CP    | 18       | 2.87       | 1.26        | 0.254        | 30.82    | 完全充填 |
| 50直-A1    | 24       | 6.23       | 1.90        | 0.692        | 36.18    | 完全充填 |
| 50曲-A1    | 21       | 6.88       | 2.02        | 0.790        | 30.82    | 未充填  |
| 50曲-B1    | 19.5     | 8.23       | 2.27        | 0.758        | 25.46    | 未充填  |
| 50曲-B1.25 | 23       | 14.60      | 3.47        | 1.124        | 36.18    | 完全充填 |
| 50曲-B1.5  | 22       | 26.58      | 5.73        | 1.364        | 54.94    | 完全充填 |

\*実験 は、シース径：配置タイプ（直線 or 曲線）-混和剤種類：添加率を示している（無添加の場合はCPと記述）

### 3.2 グラウト注入実験

図-9は、W/C:45%、シース径 50、曲線タイプにおいて、混和剤Bで添加率 1%としたときの圧力測定の結果である。図の横軸に示す測定回数は、一定の時間間隔により繰り返し測定を行った回数を示す。図に示すようにポンプ圧力はピーク値に達するとすぐに低下し、再度ピーク値に達し、低下するサイクルを何度か繰り返している。これは、シースの配置が曲線タイプであればシースの上り勾配と下り勾配の切り替わり部分と考えられる。しかし、直線タイプのシース配置においても同様な測定結果が得られたため、ポンプの性能上の問題等、他の原因が考えられる。

表-3は、水セメント比を45%一定として行った注入実験における測定結果をまとめたものである。表中の実験 は、下記の規則により表記してある。



また、表の塑性粘度は、図-7に示す流動特性試験によって得られたロート流下時間と塑性粘度との関係式より算出しており、圧力ピーク値は、図-9と同様の測定を行い、ポンプ筒先で測定した圧力の最大値としている。

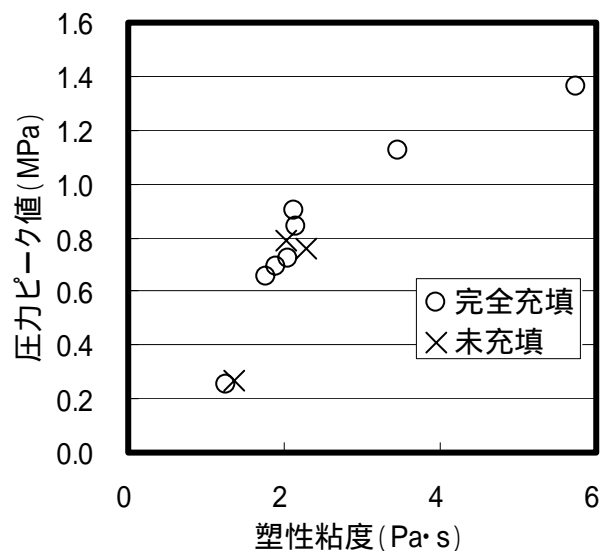


図-10 塑性粘度と圧力ピーク値の関係

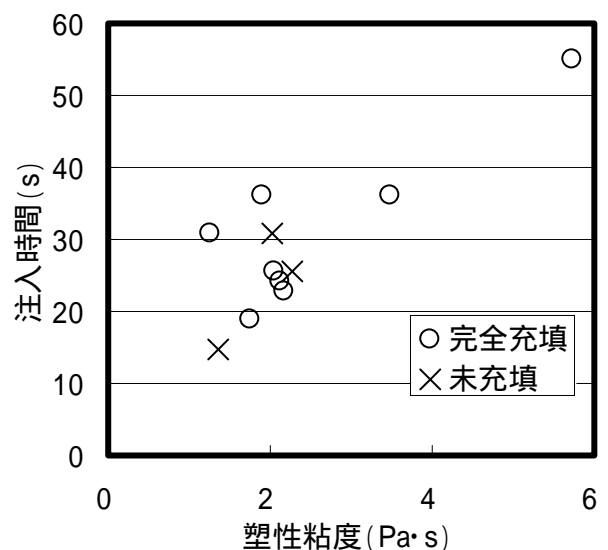


図-11 塑性粘度と注入時間の関係

図-10, 11 は, グラウト注入実験での充填状況(完全充填・未充填)を種別し, それらを塑性粘度とポンプ圧力のピーク値および注入時間との関係に示したものである。図より, 塑性粘度と圧力ピーク値および注入時間は比例関係を示していることがわかる。しかし, 完全充填と未充填との違いは明確にあらわれなかった。この原因として, 本実験での圧力ピーク値はポンプ筒先で測定されたものであり, グラウト注入に要するポンプにかかる負荷を示し, グラウトの塑性粘度に大きく依存した値であるため, 充填状況に影響がなかったことが考えられる。また, 注入時間については, 本実験でのシース長が 5m と短いため, 未充填部の影響が小さく, 完全充填との明確な差があらわれなかったと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究において得られた知見を以下に示す。

- 1) 水セメント比一定で, 混和剤添加率をあげていくと, ロート流下時間は増加し, 指数近似すると非常に良い相関が見られた。
- 2) 混和剤添加率が高くなると, 混和剤の持つ増粘効果が分散効果を上回り, 粘性の増加率が大きくなる。これは, ある混和剤添加率になるとフロー値が頭打ちとなる原因でもある。
- 3) レオロジー定数の測定により, W/C : 45% では, 塑性粘度と降伏値は直線近似すると非常に良い相関関係が見られ, どちらかのレオロジー定数を用いて, グラウトのレオロジー特性を評価することが可能であることがわかった。
- 4) 塑性粘度と J14 ロート流下時間の関係は非常に相関が塑性粘度とポンプ圧力のピーク値および注入時間との関係は, 比較的良い相関関係にあったが, これらの関係でグラウトの充よいことから, J14 ロート流下時間を測定することにより間接的に塑性粘度

を算出することが出来る。

- 5) グラウト注入実験において測定したポンプ圧力は, シースの配置条件を直線, 曲線と 2 タイプで同様の分布を示した。
- 6) グラウト注入実験を行った結果, ロート流下時間から算出した填性に与える影響を把握するには至らなかった。

#### 謝辞

本研究は, 東京大学生産技術研究所 魚本研究室で行ったものであり, 研究に際して多大なご協力頂いた同研究室の方々, 共に研究を行いご助力頂いた千葉工業大学卒論生 榎村能成君には深く感謝致します。また, 実験等でご協力頂いた(株)エヌ・エム・ビーの太田氏, 杉山氏にもここに記し感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 社)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, 1999
- 2) 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, 3, pp.75-81, 1994
- 3) 西村, 伊藤, 魚本: PC グラウトのレオロジー特性および注入条件が充填性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, 2, pp.1399-1404, 2000
- 4) 出雲: PC グラウトの充填性評価の定量化とその施工への適用について, プレストレストコンクリート, Vol.43, 6, 2001.11
- 5) 伊藤, 足立, 魚本: PC グラウトの流動特性が充填性に及ぼす影響, 土木学会第 55 回年次学術講演会, 2000.9