

PC グラウトの充填性に影響を与える各種要因に関する基礎研究

Fundamental Study on Effects of Various Factors on Compactability of PC Grout

宮本 一成*・魚本 健人*

Kazunari MIYAMOTO and Taketo UOMOTO

1. はじめに

PC グラウト (以下, グラウト) は, ポストテンション方式のプレストレストコンクリート (以下, PC) 構造物において, PC 鋼材と部材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おり¹⁾, 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る。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, 近年グラウトの充填不良に起因した既存構造物の劣化事例²⁾ が報告されている。

1997年4月より, ノンブリーディングタイプグラウトへの全面移行が成され³⁾, 高粘性グラウトを使用し, シースの断面を完全に充填 (以下, 全断面流下) させながら注入を行うことにより, グラウトの先流れを防止し, 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⁴⁾ が用いられている。しかし, 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の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 (主に粘性) も変化することが予想される。

そこで本研究では, まずグラウトの充填性に大きな影響を及ぼすグラウトの配合や注入条件を要因として挙げ, これらの条件の違いが充填性に及ぼす影響を検討した。次に, 実験により得られた知見の検証を目的として, モデル試験体により注入実験を行った。

2. 実験概要

2.1 PC グラウトの配合ならびに使用材料

本研究で使用したグラウトの配合ならびに使用材料を表

*東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

1に示す。表に示すように, 水セメント比を一定とし, 混和剤添加率を変化させることにより, グラウトの流動特性を変化させた。なお, 混和剤 A, B は, 減水剤と増粘材とを配合した非膨張型ノンブリーディングタイプのグラウト用混和剤であり, 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。グラウトの練混ぜ方法は回転数 1000 rpm のハンドミキサーを用い, 水と混和剤を投入後 10 秒間攪拌, 続いてセメントを投入し, 3 分間攪拌する工程で行った。また, グラウトの流動特性を把握するためにコンシステンシー試験を行い, 土木学会規準 (2002 年版) による J14 漏斗流下時間の測定を行った。

2.2 装置実験によるグラウト注入実験

図1に示すような注入実験装置を用いて, スクイーズ式グラウトポンプにより PC グラウトの注入実験を行った。注入実験装置は, グラウトの充填状況を目視で確認することができる長さ 5 m の透明シースを用いており, グラウト注入後の充填状況を観察して充填性の評価を行うことができる。このため, 目視により空隙等を発見することができる場合の評価を未充填として残留した空隙等の大きさの測

表1 PC グラウトの配合ならびに使用材料

W/C (%)	混和剤添加率 (C×%)		
	無添加	混和剤A	混和剤B
45	0	0.5, 1	1, 1.25, 1.5

使用材料 普通ポルトランドセメント ($\rho=3.16\text{g/cm}^3$)
 ノンブリーディング型グラウト用混和剤
 ・混和剤A: 低粘性タイプ
 ・混和剤B: 高粘性タイプ

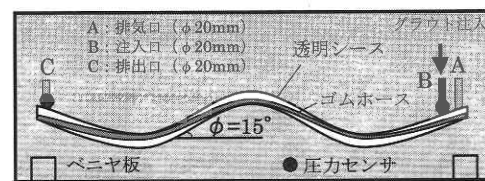


図1 注入実験装置の概要

研 究 速 報

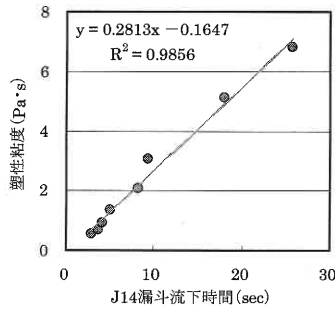


図2 J14 漏斗流下時間と塑性粘度の関係

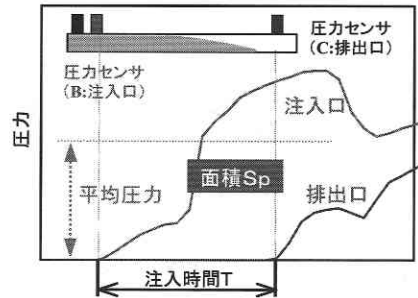


図3 注入圧力の求め方 (時間と注入圧力の関係)

表2 実験装置の注入条件

シース径 φ (mm)	ホース外径 φ (mm)	空隙率 (%)	空隙面積 (mm ²)
38	0	100	1140
	10	93	1066
	23	64	725
50	0	100	2043
	14	92	1889
	28.5	69	1405
	33	58	1188
	41	35	723

表4 モデル試験体の注入条件

シース No.	シース径 (φmm)	鋼材径 (φmm)	空隙率 (%)	空隙面積 (mm ²)	緊張力 (KN)
①	35	21.3	67.5	649.2	22
②	50	17.8	89.4	1755.1	23
③	35	21.3	67.5	649.2	25
④	50	17.8	89.4	1755.1	25
⑤	35	21.3	67.5	649.2	25
⑥	50	17.8	89.4	1755.1	24

定を行い、空隙等が一切発見できない場合を完全充填として評価した。

グラウトの配合条件(流動特性)については、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によって流動特性を評価することとし、著者らの昨年度の研究⁵⁾により得られた図2に示すJ14漏斗流下時間と塑性粘度の関係式を用い、実験で測定したJ14漏斗流下時間から塑性粘度を換算し、その値をグラウトの流動性を示すパラメータとした。また、注入条件は、PC鋼材の代わりに用いたゴムホースをシース内に挿入し、ゴムホースの外径を変化させることにより表2に示すような条件を設定した。図1中にも示しているが、グラウトポンプ筒先、注入口、排出口の3ヶ所に圧力センサ設置し、グラウト注入時における圧力変化の測定も併せて行うこととした。なお、透明シース端部にはゴム栓を取り付け、A：排気口、C：排出口以外からの空気やグラウトの漏れを防止している。

2.3 注入圧力の取り扱い

圧力センサにより測定した注入圧力については、図3に示すように、時間と圧力との関係より得られる面積 Sp をグラウト注入から排出するまでに要する注入時間 T で除することにより求めた平均圧力を本研究での圧力と定義する。

2.4 モデル試験体による検証実験

注入実験装置を使用して行った注入実験により得られた結果の検証を目的として、図4に示すような逆T型断面のモデル試験体を作成し、注入実験を行った。モデル試験体

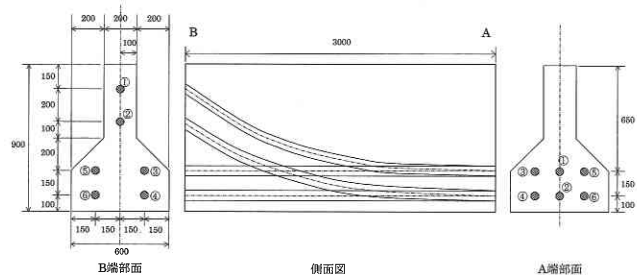


図4 モデル試験体の概要 (○囲いの数字はシースNoを示す)

に用いたコンクリートには早強セメントを使用し、呼び強度が36 N/mm²、スランプ値15 cm、空気量4.4%である。表4は試験体に配置されたシースおよびPC鋼材の直径ならびに空隙率、空隙面積を示す。なお、PC鋼材は弛みが取れる程度に緊張し、緊張後B端部側からグラウト注入を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 実験装置による注入実験

図5に、塑性粘度と注入圧力の関係を示す。図より、図中の点線で示している注入圧力が15 KPaの付近を境界として、完全充填と未充填に分けることができる。また図6は、注入圧力と、充填状況が未充填であったときの未充填箇所のシース長手方向における残留空隙の大きさとの関係を示したものである。図より、注入圧力が小さいほど残留する空隙は大きくなる傾向が見られる。これらはグラウト

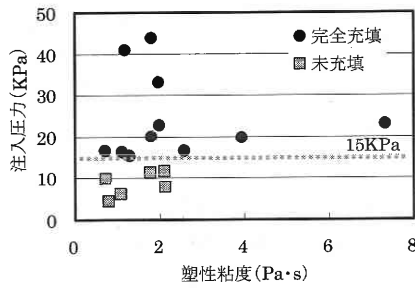


図5 塑性粘度と注入圧力の関係

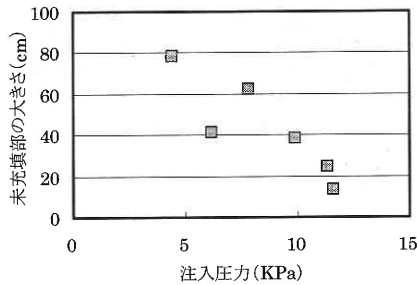


図6 注入圧力が未充填部の大きさに与える影響

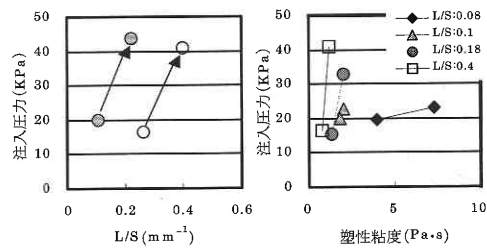
表5 グラウト注入実験の結果例

シース径 ϕ (mm)	ゴムホース外径 ϕ (mm)	空隙面積 (mm^2)	塑性粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	注入圧力 (KPa)	充填状態
38	23	724.8	1.14	16.3	完全充填
50	41	723.2	1.18	40.8	完全充填
38	0	1140.1	1.81	19.8	完全充填
50	33	1188.0	1.79	43.8	完全充填



$$\frac{(\text{シース管の周長} + \text{鋼材の周長})}{\text{空隙面積}} = \frac{L \text{ (mm)}}{S \text{ (mm}^2)}$$

図7 L/Sの説明



A) 塑性粘度一定のとき B) L/S一定のとき

図8 L/Sと塑性粘度が注入圧力に与える影響

の流下の仕方が関係していると考えられ、充填状況が未充填である場合は、グラウトがシース断面を満たさずに流れる先流れ現象を起こしているために注入圧力は小さくなる。一方で、完全充填するときには、グラウトが全断面流下しているため、シース全断面をほぼ満たしているグラウトを流下させるために、より大きな圧力を必要としたためと考えられる。このようなことから、グラウトをシース内に完全充填させるためには、ある一定値以上の注入圧力が必要であることがわかった。

しかしながら、注入圧力はあくまでグラウト注入時の測定結果であること、また注入時に圧力をコントロールすることは非常に難しいことが挙げられる。そこで、グラウト施工において、グラウト注入以前に変更が可能と考えられる塑性粘度と注入条件の2つの要因について検討を行い、これらが注入圧力にどのような影響を与えるか検討を試みた。

注入条件には、通常、空隙率やダクト断面の空隙面積がその指標として用いられることが多い。しかし、表5に示すように、異なる径のシース管とゴムホースを組み合わせて空隙面積を同程度とし、かつ注入したグラウトの塑性粘度もほぼ等しい場合での注入実験結果の一例を見ると、注入圧力に大きな違いが見られる。これは、管内の摩擦が大きく影響していることが考えられるため、図7に示すような管内摩擦の影響を考慮したL/Sという指標を提案した。

L/Sは、シース管周長とゴムホース周長との和を空隙面積で除したグラウトの流れにくさを示す指標である。

図8は、L/Sと塑性粘度が注入圧力に与える影響を示している。A)は塑性粘度を一定とした場合であるが、L/Sが大きくなるほど、注入圧力も大きくなっている。また、B)のL/Sを一定とした場合においても、塑性粘度を大きくすると、注入圧力も大きくなっていることがわかる。このようなことから、L/Sと塑性粘度を変化させて注入圧力を大きくすることが可能であり、両者のバランスにより注入圧力をコントロールできる可能性を示唆することができた。図9は、L/Sと塑性粘度の関係を示している。この関係においても、図5と同様に図中の点線を境界として、完全充填となる範囲と未充填となる範囲のおおよそ境界を見出すことができた。なお、現状においては、設計段階でPC鋼材径が決定し、それに応じたシース管径が決められているため、L/Sに応じてグラウトの塑性粘度の選定を行う方法が妥当である。なお、図中の網掛け部分は、未充填と完全充填が混在しているエリアを示しており、境界には多少の幅が存在するものと考えられる。

3.2 モデル試験体による検証実験

前節では、L/Sと塑性粘度の関係からグラウトが完全充填する範囲と未充填となる範囲の境界をおおよそ見出すこ

研究速報

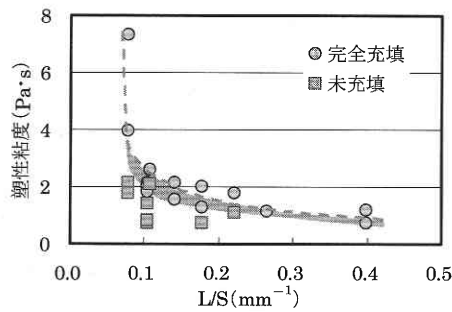


図9 L/Sと塑性粘度の関係

とが出来た。この知見をモデル試験体に適用し、実際にグラウトが確実に充填するか検証を試みた。まず、モデル試験体に配置された各シースのL/Sを求めた。次に、L/Sに応じた完全充填となるようなグラウトの塑性粘度を求め、グラウト注入を行った。なお、注入方法は、前節の注入実験と同様に行った。表6に要求されるグラウトの塑性粘度ならびに実際に注入を行ったグラウトの塑性粘度を示す。なお、注入したグラウトについては、要求性能をほぼ満たすことのできる塑性粘度を確保することができた。

グラウト注入後、十分にグラウト強度が発現するだけの期間を空け、試験体を解体した後、検証作業を行った。試験体の解体は、試験体中心部を切断し、プレストレスを除荷してから、コンクリートをはつり、シース管を取り出した。その後、シースを剥ぎ取り、グラウトの充填状況を目視により調査した。

結果として、シース6本全てにおいて写真-1に示すような気泡が存在していたが、これはモデル試験体に排気口が設置されていなかったことが原因と考えられる。この他に問題はなく、充填状況は良好であることから、本実験で得られた知見(図9)の妥当性を確認できた。

4. ま と め

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 完全充填させるためには、一定値(15 KPa)以上の注入圧力が必要であり、この理由として、グラウトの流下の仕方が影響していると考えられる。
- 2) 未充填となった時に残留する空隙の大きさは、注入圧力が小さいほど、大きくなる傾向が見られた。
- 3) L/Sと塑性粘度は、注入圧力に影響を与える要因であり、これらを変化させることにより、注入圧力を大きくすることが可能であることがわかった。
- 4) L/Sと塑性粘度の関係により、グラウトが完全充填す

表6 グラウトの要求性能と注入したグラウトの性能

シースNo.	シース径 (φ mm)	鋼材径 (φ mm)	L/S (mm ⁻¹)	要求される 塑性粘度(Pa·s)	注入したグラウトの 塑性粘度(Pa·s)
①,③,⑤	35	21.3	0.272	1.0以上	1.27
②,④,⑥	50	17.8	0.121	2.0以上	2.02

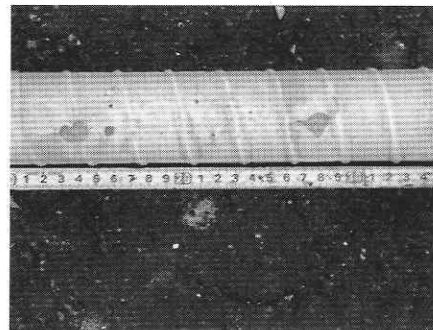


写真1 グラウト上面部の気泡

る範囲と未充填となる範囲の大まかな境界が存在し、それによりグラウトを完全充填させることができる塑性粘度とL/Sを選定することが可能である。

- 5) モデル試験体により、4)の知見の検証を行い、その妥当性を確認することができた。

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を頂きました同研究室の方々、(株)エヌ・エム・ビーの太田 晃氏、杉山 知巳氏、オリエンタル建設(株)の石川 晃氏、二井谷 教治氏に感謝の意を表し、ここに記します。

(2003年4月8日受理)

参 考 文 献

- 1) PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル；(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会，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，No. 3，pp. 75-81，1994
- 3) 宮川豊章：日経コンストラクション，1997.1
- 4) 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，No. 2，pp. 1399-1404，2000
- 5) 宮本，魚本，勝木：各種要因がPCグラウトの充填性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 24，No. 1，pp. 1041-1046，2002