

論文 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的研究

宮本 一成*1・勝木 太*2・矢島 哲司*3・魚本 健人*4

要旨 : PC グラウトの流動特性ならび注入条件はその充填性に大きく影響することから, これらの条件の違いが充填性に与える影響を検討した。その結果, ダクトの空隙面積とグラウトの塑性粘度の関係において完全充填と未充填の境界が存在することがわかった。また, この知見の検証を行うために, 実構造物大のモデル試験体を作成し, グラウトが完全充填するような配合を選定して注入実験を行った結果, ほぼグラウトが充填されていたことから, 本研究で得られた知見の妥当性を確認することが出来た。

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, 塑性粘度

1. はじめに

PC 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 (PC) 構造物において, シース中に挿入され緊張定着された PC 鋼材を腐食から保護するとともに, コンクリートとシース中の PC 鋼材とに付着を与えて両者を一体とする極めて重要な 2 つ役割を持ち¹⁾, PC 構造物の耐久性を確保するために不可欠であり, PC グラウト施工の良否が即その構造物の寿命を決めるといっても過言ではない²⁾。これらの役割を果たすためには, シース内に PC グラウトを完全に充填することが必要となるが, 近年, PC グラウトの充填不良に起因した既存構造物の劣化事例³⁾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。

PC グラウトが未充填となる原因としては, シース断面を満たすことなく PC グラウトが流下する先流れ現象が挙げられている。しかし, 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⁴⁾, 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など, 実施工においては先流れが生じないように PC グラウトを充填する方法⁵⁾が用いられている。しかし, PC 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⁶⁾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, PC 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⁷⁾ (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 PC グラウトの充填性に大きな影響を及ぼす PC グラウトの配合や注入条件, 施工性等を要因として挙げ, 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 実験装置による注入実験

(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 PC グラウトの配合ならびに使用材料を表-1 に示す。表に示すように, 水セメント比は一定とし, 混和剤添加率を変化させることによって, PC グラウトの流動特性を変化させた。なお, 混和剤 A, B の主成分は, 高縮合トリジアン系化合物, 水溶性高分子エーテル系化合物となっており, 減水剤と増粘材とを配合した非膨張型

*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 芝浦工業大学助教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

*3 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

*4 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 工博 (正会員)

ノンブリーディングタイプの混和剤であり、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練り混ぜを行った。

PC グラウトの流動特性試験は、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。また本研究では、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⁸⁾により得られた図-1 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。

(2) 注入実験

PC グラウトの塑性粘度（配合）ならびに注入条件が充填性に与える影響を検討するために、図-2 に示すような実験装置により、スクイーズ式グラウトポンプを用いてグラウト注入実験を行った。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 5m の透明シースを用いているため、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を未充填として、残留した空隙等の大きさの測定を行い、空隙等が一切発見できない場合は完全充填として評価を行った。

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、この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。

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（増粘材+減水剤） ・混和剤B：高粘性タイプ（増粘材+減水剤）			

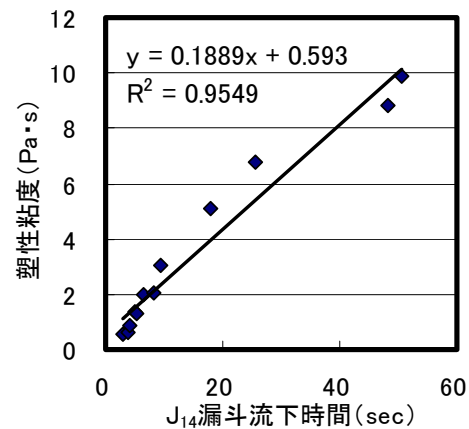


図-1 J14 漏斗流下時間と塑性粘度の関係

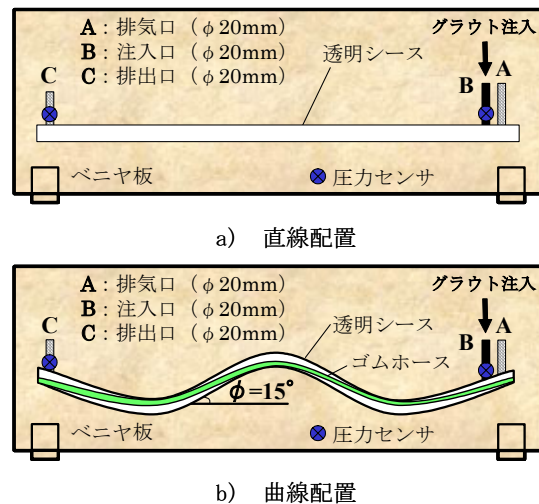


図-2 注入実験装置の概要

表-2 注入条件

配置	シース径 ϕ (mm)	ホース外径 ϕ (mm)	空隙率 (%)	空隙面積 (mm^2)
直線	38	0	100	1140
	50	0	100	2043
曲線	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	

(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 S_p 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。

2.2 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 36N/mm^2 、スランプ値 15cm 、空気量 4.4% である。**表-3**にコンクリート配合を示す。**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。また、試験体の注入延長は、実際の構造物に比べて短いものとなっているが、本研究ではシース管の勾配による影響を検討するために、注入延長をほぼ一定の条件とし、その影響についての検討は行わないものとした。

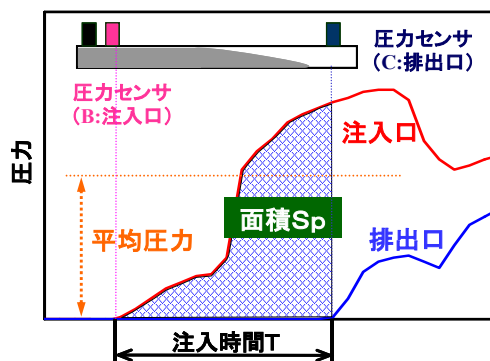


図-3 時間と圧力の関係(平均圧力について)

表-3 モデル試験体のコンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位体積重量(kg/m^3)			
		W	C	S	G
40	41	165	413	702	1017

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

3. 実験結果および考察

3.1 実験装置による注入実験

(1) 直線配置

直線配置では、内部空隙が生じやすいと考え

られる空隙率が 100% の条件で注入実験を行ったが、グラウトの塑性粘度が $1.1\sim 2.4\text{Pa}\cdot\text{s}$ の範囲内においては、全ての条件で完全に充填することができた。

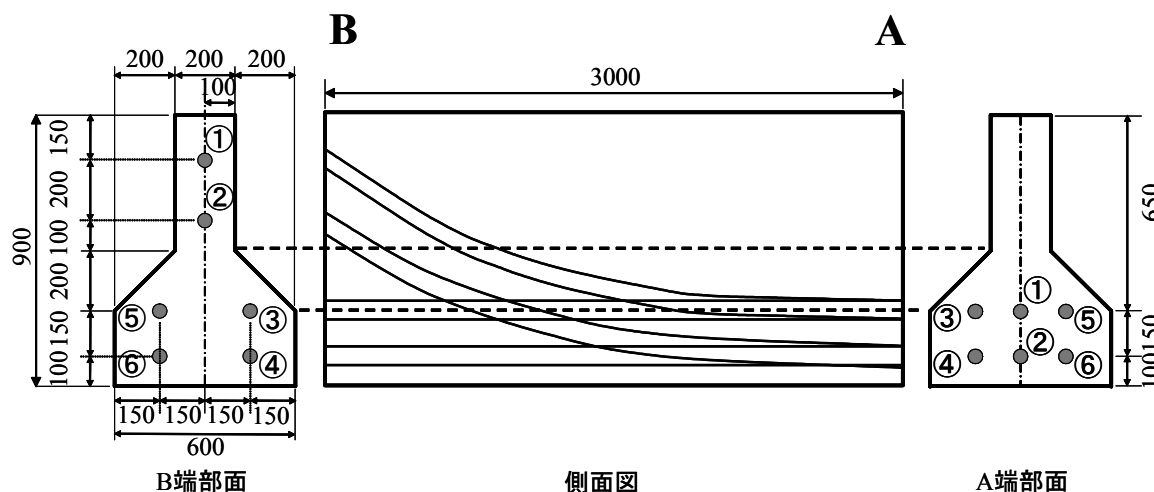


図-4 モデル試験体の概要 (○囲いの数字はシースNo.を示す)

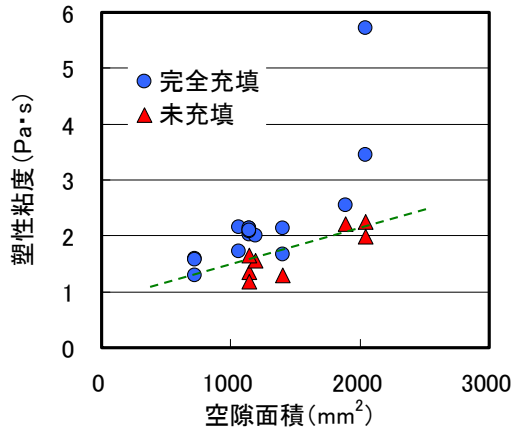


図-5 空隙面積と塑性粘度の関係(曲線配置)

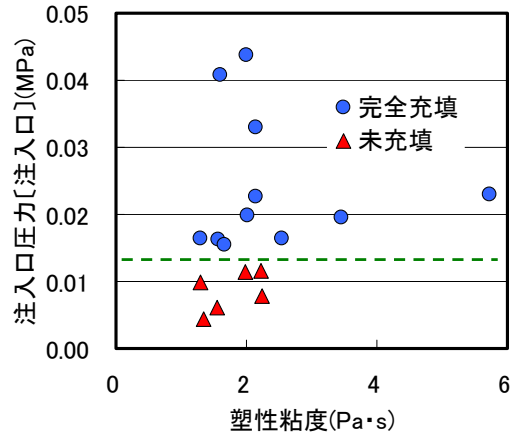


図-6 塑性粘度と注入口の圧力の関係

(2) 曲線配置

図-5 に空隙面積と塑性粘度の関係を示す。なお、空隙面積とはシース断面積と鋼材断面積の差であり、注入すべき隙間の大きさを示す。図より、図中の点線を境界として完全充填と未充填に大まかではあるが分けることができ、空隙面積が大きくなるほど、高い塑性粘度が必要になることがわかる。この結果より、空隙面積に応じて確実に充填することが可能な塑性粘度を選定することが必要であると考えられる。なお、未充填と評価した全てのものについては、先流れ現象を起こし、残留空隙が発生した。

図-6 のように塑性粘度と注入口付近に設置した圧力センサによる注入圧力の関係もまた、0.016MPa を境界として完全充填と未充填に分けることが出来る。これはグラウトの流下の仕方が関係していると考えられ、未充填のとき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おり、注入圧力は小さくなる。一方、完全充填するとき、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すグラウトを流下させるために大きな圧力が必要となり注入圧力が大きくなると考えられる。

また、グラウトポンプ筒先に設置された圧力センサによる注入圧力は図-7 に示すとおり、充填状況に関係なく、塑性粘度が大きくなると共に注入圧力は増加している。これは、単にポンプの性能を示しているに過ぎず、注入口付近での注入圧力

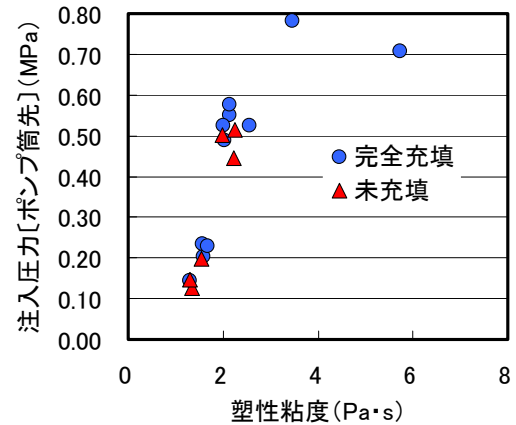


図-7 塑性粘度とポンプ筒先の圧力との関係

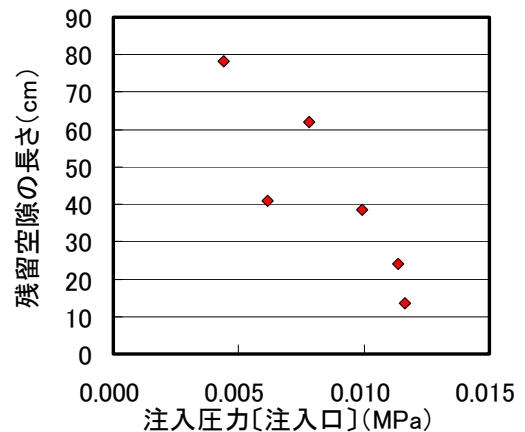


図-8 注入圧力と残留空隙の長さの関係

とは異なり、グラウトの充填性に影響を与えるものではないと考えられる。しかし、図からわかるように、塑性粘度の違いにより圧力は著しく増加していることから、施工性には大きな影響を与えることが考えられる。

図-8は、注入口付近での注入圧力と充填状況が未充填であったときの残留空気の大きさ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とがわかり、先流れの現象が顕著なものほど残留する空隙も大きくなることが考えられる。

3.2 モデル試験体による検証実験

(1) グラウト注入計画

前節では、空隙面積と塑性粘度の関係からグラウトが完全に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とが出来た。この知見を実構造物大の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空隙面積を求め、この注入条件に応じた完全充填となるようなグラウトの塑性粘度を推定した。表-5に要求されるグラウトの塑性粘度を示す。

(2) モデル試験体へのグラウト注入

グラウト注入は、前節の注入実験と同様に行い、注入したグラウトについては表-5に示すように要求性能をほぼ満たすことのできる粘度を確保することができた。グラウト注入時の圧力を図-9に示す。図より、ポンプ筒先の注入圧力は前述と同様、注入するグラウトの塑性粘度が大きくなるほど、圧力が大きくなっている。また、注入口側の圧力は、曲げ下がったシース配置となっているシース No.①,②の注入圧力が低くなっているものの、大きな差は見られなかった。なお、モデル試験体においては、前節の実験装置のように厳密な注入口付近（シースと注入ホースの接合部）に圧力センサを設置することは困難であった。このため、注入口側の注入圧力は注入ホースの影響を受け、前節の値に比べてかなり大きくなっており、圧力センサの設置位置により注入圧力が大きく変化することがわかった。

(3) グラウト充填状況の検証

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

表-5 グラウトの要求性能

および注入したグラウトの流動特性

シースNo.	空隙面積 (mm ²)	要求性能		注入したグラウトの性能	
		塑性粘度 (Pa·s)	J14漏斗流 下時間 (sec)	J14漏斗流 下時間 (sec)	塑性粘度 (Pa·s)
①, ③, ⑤	649.2	1.3 以上	3.74	5.09	1.55
②, ④, ⑥	1755.1	2.0 以上	7.45	7.76	2.06

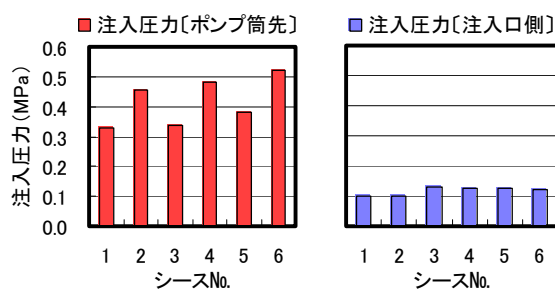


図-9 モデル試験体の注入実験における注入圧力



写真-1 シース管除去後の PC グラウト



写真-2 グラウト上面部の気泡(シースNo.2)

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。はつり出した後の PC グラウトの状

況を写真-1に示す。調査の結果として、シース6本全てにおいて写真-2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一番の原因と考えられる。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-5)の妥当性を確認できた。

4. まとめ

本研究では、PCグラウトの充填性能に大きな影響を及ぼすPCグラウトの配合や注入条件、施工性等を要因として挙げ、これらの条件の違いが充填性能に及ぼす影響を検討した。以下に本研究で得られた知見を示す。

- (1) シースの配置が直線配置の場合では、内部空隙が生じやすい空隙率100%の条件にもかかわらず、塑性粘度が $1.1\sim 2.4\text{Pa}\cdot\text{s}$ の範囲内においてグラウトは完全に充填されていた。
- (2) グラウトポンプ筒先に設置した圧力センサで測定した注入圧力は、充填状況に関係なく、塑性粘度の増加と共に大きくなることから、充填性との関連は少ないと考えられる。
- (3) 曲線配置において、完全充填させるためには、一定値以上の圧力(注入口付近の圧力が 0.016MPa)が必要であることがわかり、この理由としては、グラウトの流下の仕方が影響していると考えられる。
- (4) 未充填となったときに残留する空隙の大きさは、注入口付近に設置した圧力センサによる注入圧力が小さいほど、大きくなる傾向が見られた。
- (5) 連続桁モデル(曲線配置)において、空隙面積と塑性粘度の関係を見ると、完全充填と未充填との境界があり、空隙面積(注入条件)に応じて完全充填する塑性粘度を選定することが可能であると考えられる。
- (6) モデル試験体を作成し、(5)の知見の検証を行った結果、良好な充填状況であったことから、空隙面積と塑性粘度の関係による完全充填と未充填との境界の妥当性が本実験において確認された。

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。

参考文献

- 1) 辻, 池田, 橋本, 浦野: 高強度PCグラウトの製造に関する基礎研究, プレストレスコンクリート, Vol.36, No.3, pp.47-56, 1994.5
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 宮川豊章: 日経コンストラクション, 1997.1
- 5) 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
- 6) 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, No.6, 2001.11
- 7) 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
- 8) 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