

PCグラウトにおける真空ポンプ併用の効果について

SEEE協会 (三井住友建設)	正会員	○田村多佳志
SEEE協会 (川田建設)	正会員	吉松 秀和
SEEE協会 (オリエンタル建設)	正会員	西須 稔
SEEE協会 (エスイー)	正会員	河田 洋志

1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物におけるグラウト (以下、PCグラウトという) には、PC鋼材と部材コンクリートとを一体化するとともにPC鋼材を腐食から保護する機能があり、特に部材の耐久性向上の面から、より確実な充填方法が求められている。SEEE協会では、諸外国で行われているPCグラウトに真空ポンプを併用する方法 (以下、真空グラウトという) の有効性に着目し、グラウト特別分科会を設置して、注入試験等の実施により真空グラウトの効果について検証してきた¹⁾²⁾。本文では、実橋規模の試験体を用いた真空グラウト注入試験の結果と真空グラウトの効果に関する考察について報告する。

2. 真空グラウト注入試験の概要

1) 注入試験体

真空グラウト注入試験体は、内ケーブル12S15.2が配置されている4径連続桁を想定し、図-1、写真-1に示すように、水平長を150mとして中間に高低差1.7mの山を3カ所設けた。ダクトは内径φ75mmの半濁ポリエチレンシースを使用し、定着体はSEEE/FUT12T15を用い、ダクト内に鋼線を配置した。定着体とシースおよびシース相互の接合部は事前に耐圧試験を行い、-0.09MPaの真空と1.0MPaの加圧に耐えることを確認した。

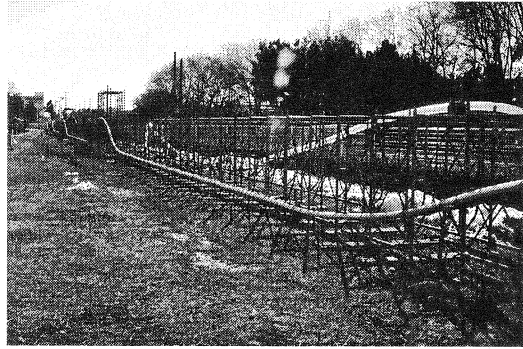


写真-1 試験体全体写真

注入試験では、ノンブリーディング高粘性タイプのグラウト材を使用した。

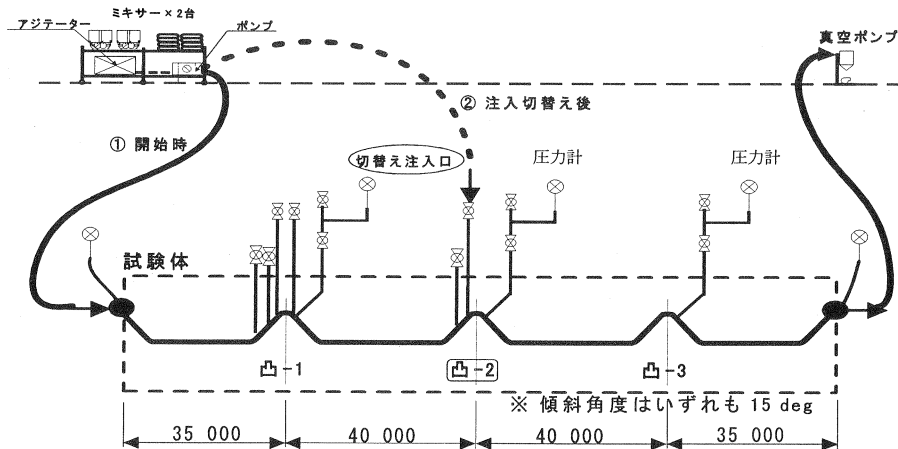


図-1 試験体全体概要図

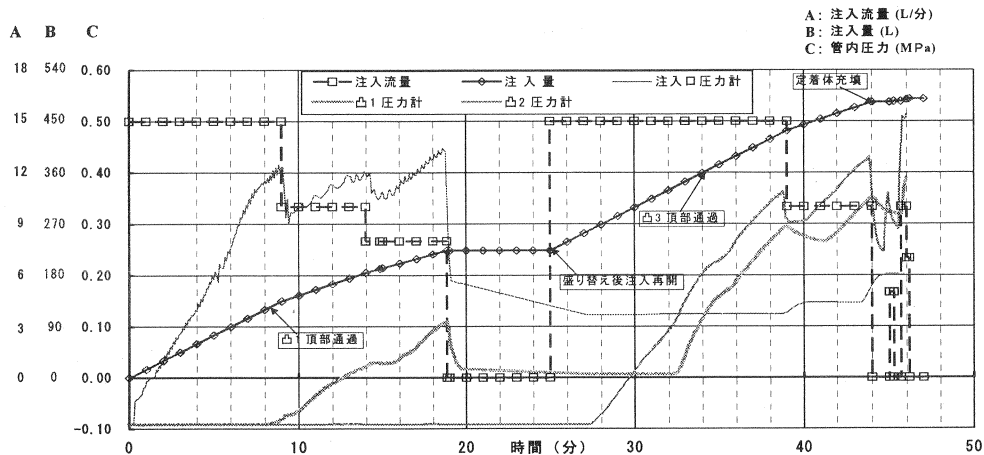


図-2 注入量(単位時間, 累計) - 管内圧力グラフ

2) グラウト注入方法

真空グラウトは、排出側に設置した真空ポンプにより、密閉したダクト内を -0.09 MPa (ここで圧力は、大気圧を 0 としたゲージ圧力で示す) まで減圧し、これを維持しながら注入ポンプによりグラウトを注入する。本試験では、実施工を考慮し、図-1 に示す凸-2 に中間注入口を設け、ステップバイステップ方式で注入を実施した。なお、ダクトには圧力計の設置と充填状況の確認のために数本のホースを設置したが、ホース端部は機械的に閉栓し、ここからの排気作業は全く行っていない。

3) 注入状況

グラウト注入流量とダクト内圧力の測定結果を図-2 に示す。注入は、ダクトの耐圧性を考慮し、注入口圧力が 0.5 MPa 以下となるように流量を変化させながら行った。ダクト長 150 m の試験体に対し、盛り替え時間 6 分を含み 44 分で注入を完了した。正味の注入時間 38 分間の平均注入流量は 12.8 L/分であり、真空ポンプの併用により、比較的大きな注入流量で安定した注入が行えた。

3. 真空グラウトの充填性状

1) グラウト先端部性状

真空グラウトにおいては、比較的に急な下り勾配においても、図-3 に示すように、PC鋼材の中及びダクト内上部をグラウトが先走る傾向があり(鋼線内先充填)、既往の試験においてPC鋼材素線間に注入されるグラウト量が増加する結果が確認されている¹⁾。本試験でもグラウト先端部でこのような性状が確認された。

2) 未充填部の縮減性状

試験では、真空グラウトの注入中に、1)に示した鋼線内先充填の傾向から、特にダクト下り勾配でグラウ

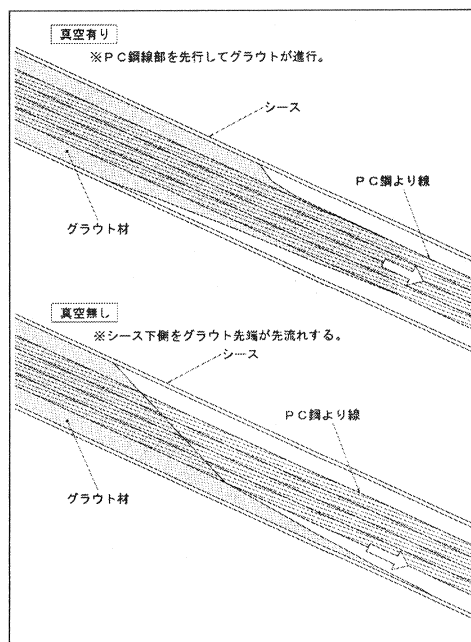


図-3 注入時グラウト性状概念図

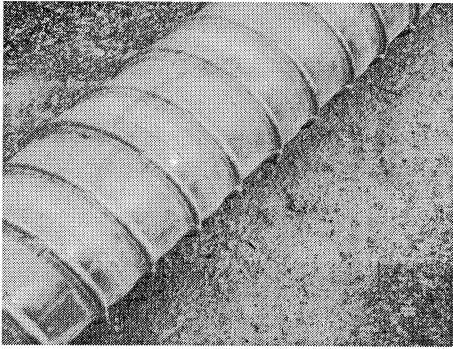


写真-2 ダクト内充填状況 (シース剥取り後)

トが断面内を充満して流れず、排気作業も行わないため、ダクト内に真空状態の残留空気による未充填部が確認された。しかし、図-4 に示すように、真空状態の空気が未充填部として残留しても、グラウト圧力の増加に反比例して、その体積は著しく縮小される (-0.09 MPa の真空状態で残留した未充填部は、注入途中で大気圧 0.0 MPa に戻った状態で既に体積は 1/10 になっている)。したがって、グラウト排出口閉栓後に 0.5 MPa まで再加圧を行った時点の観察では未充填部は消滅していた。

さらに、加圧完了後もダクト内を密閉し、圧力を維持することによって、残留した未充填部の体積が縮小した状態でグラウトが硬化する。グラウト硬化後に、試験体を切断しシースを剥取り充填状況を確認したところ、未充填部は認められず、シースのリップ内部までよく充填されている状況が確認された (写真-2)。

4. 真空グラウト注入時のダクト内圧力

1) グラウト圧力の変化状況

真空グラウト注入時のダクト内圧力の変化状況を流量変化と合わせて図-2 に示したが、凸-1 に設置した圧力計について、圧力計設置位置をグラウト先端が通過した後の圧力の変化状況を拡大して図-5 に示す。このとき、グラフの横軸は圧力計設置位置からグラウト先端までの距離とした。ダクト内の圧力は、グラウト先端が数m進んでからゆっくりと増加し始め、全体の下に凸の形状から上に凸に形状変化しながら、ゆるやかに増加している。

2) グラウトのダクト内圧力損失の推定

図-6 に示すように、圧力の観測時刻 T_i から T_{i+1} の時間でグラウトの注入流量 (Q) が一定であれば、その間 ($\Delta t = T_{i+1} - T_i$) における圧力計示度の変化 ($\Delta P = P_{i+1} - P_i$) をグラウトが進む距離 (L) で割ることによ

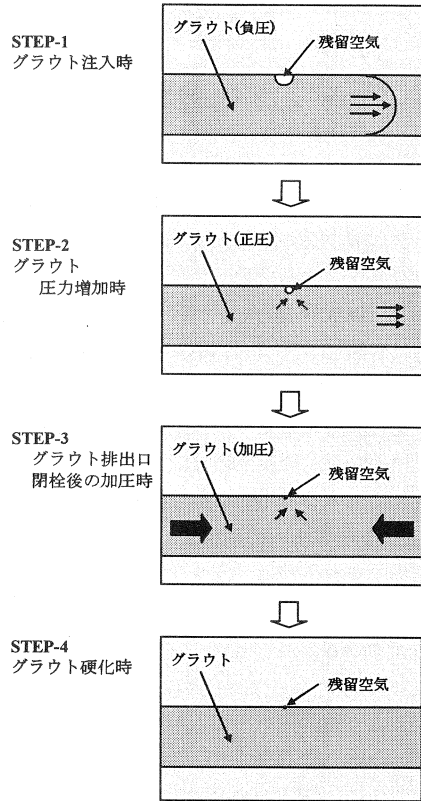


図-4 未充填部の体積変化

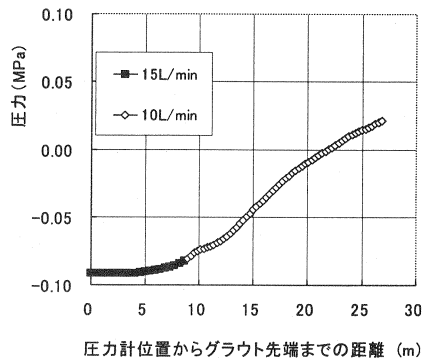


図-5 グラウト先端通過後の圧力の変化

って、ダクトの単位長さあたりの圧力損失 (α) を推定することができる。すなわち、

$$\begin{aligned} \alpha &= \Delta P / L \\ &= \Delta P / [(Q/A) \cdot \Delta t] \\ &= \Delta P \cdot A / (Q \cdot \Delta t) \quad \dots\dots (1) \end{aligned}$$

ここに、A : ダクト内空隙断面積

図-5 に示した凸1の圧力計測結果から、(1)式により算出したダクトの圧力損失を図-7 に示す。ダクト内の圧力損失は、グラウト通過後数mは非常に小さく、その後直線的に増加し、流量が15L/minから10L/minへ変化する箇所までV字型に変動し、その後は8000 Pa/m程度から漸減している。なお、ダクト内圧力損失はグラウト計画において注入可能最大長を算出する上で非常に重要な要素であるが既往の研究例は少なく、今後実験等により、ダクト径や流量条件等の変化に対する実用的な値を確認していく必要がある。

3) 長大ケーブルへの適用性

真空グラウトでは、グラウト先端と注入口の相対的な圧力差の増大とダクトの摩擦損失の低下によって、注入圧の増加が緩やかになるため、今回の試験でも、長さ150mの内ケーブル12S15.2のダクトに対し、1回の盛り換えにより短時間での注入が可能であった。また、外ケーブル19S15.2に対して、実橋施工試験において194mのダクトの一括注入を実施しており³⁾、特に長大ケーブルに対して、真空グラウトは作業性の向上を図ることができる有効な方法と考えられる。

5. まとめ

以上に示したように、真空グラウトには、鋼線内先充填と未充填部の加圧縮小によるグラウト充填度の向上効果、およびグラウト先端と注入口の間の相対的圧力差の増大とダクト内圧力損失の低減による注入作業性の向上効果が期待されることが本研究の範囲内で確認された。

SEE協会グラウト特別分科会では、現在、今までの研究の結果より得られた留意点をまとめて「真空グラウト施工マニュアル」を作成中である。今後、真空グラウトの活用、普及がPCグラウトの品質向上の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) SEE協会グラウト特別分科会：真空ポンプを併用したPCグラウト注入工法について、プレストレストコンクリート、Vol.45, No.1, Jan.2003
- 2) 牧, 前田, 今尾, 都倉：真空ポンプを併用したPCグラウト注入試験 (I, II期試験) について、土木学会第58回年次学術講演会, 2003.9
- 3) 大岡, 藤ノ木, 野永, 平山：真空ポンプを併用したPCグラウト注入試験 (III期試験) について、土木学会第58回年次学術講演会, 2003.9

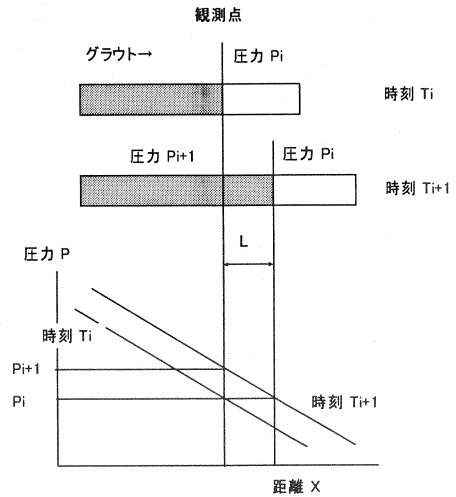


図-6 圧力損失の推定方法

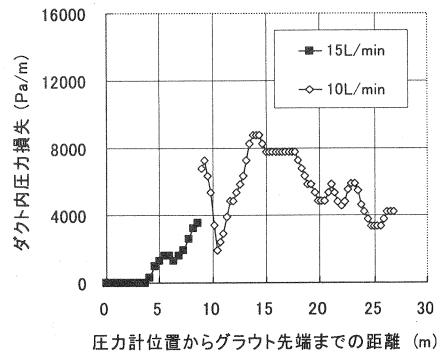


図-7 ダクト内圧力損失の変化