

## PCグラウトの充填設計に関する一提案

関東学院大学工学部 学生会員 ○坂本 竜樹  
 関東学院大学 正会員 出雲 淳一

### 1. はじめに

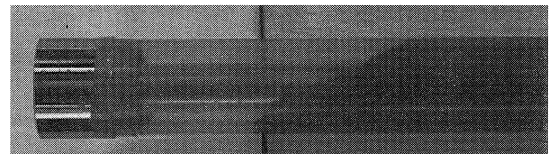
プレストレストコンクリート（以下、PCと呼ぶ）用グラウトは、PC鋼材とシースとの間の空隙を埋めてコンクリートと一体とするとともに、PC鋼材の腐食を防ぐ働きをしており、PCの強度や耐久性の面で重要な役割を果たしている。我が国においてもPCグラウトの重要性が再認識されており、PC技術協会、土木学会などにおいてPCグラウトの確実な充填が行われるための材料の開発、施工システム、検査方法など様々な観点からの検討が行われている<sup>1) 2)</sup>。

既往の研究からは、グラウトの充填性に影響を及ぼす要因として、グラウト注入時のグラウト先端部分の角度が挙げられ、グラウト先端角度と先流れによる残留空気量との間には相関関係が認められることが報告されている<sup>3)</sup>。本研究では、確実なグラウト施工を行うために、グラウト先端角度を施工計画に取り入れて、先流れを生じない施工方法、排気口位置の選定などを行うための、グラウト充填設計性手法を提案することを目的としている。

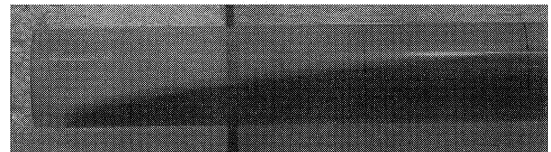
### 2. グラウト充填のメカニズム

注入時のグラウト先端角度に着目した既往の実験についてまずレビューすることにする<sup>3)</sup>。著者らは、シースとその内部に鋼材を有する試験体を製作して注入実験を行い、グラウト先端角度の観察を行っている。写真-1に示すように、同じ配合のグラウト材料を用いた場合、管水平部におけるグラウト先端角度は、管内に鋼材が有る場合の方が、鋼材が無い場合に比べ角度が大きくなる傾向が認められている。また、上り勾配の場合には、管を水平に配置した場合に比べ、先端角度が大きくなる傾向にある。下り勾配の場合は、管を水平に配置した場合に比べ、先端角度は小さくなる傾向にあり、注入速度が小さいと先流れを生じやすくなることが実験的に示されている。

鋼材の配置による違いについては、鋼材を管中央に配置した場合のグラウト先端部分は管の下部から上部にかけてほぼ連続的な曲線形状を示すが、鋼材を管底面に配置した場合には、グラウトは鋼材の下部より上部を流れやすいために、写真-2に示すように先端部分が「くの字」のような形状となって鋼材を巻き込むように流動することが観察されている。すなわち、管中央部に鋼材がある理想的な状態では、先端角度は、鋼材がない場合

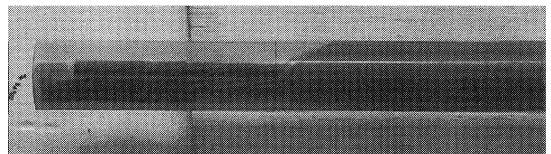


(a) 鋼材有り



(b) 鋼材無し

写真-1 グラウト先端部



(a) 鋼材を管底面に配置



(b) 鋼材を管中央に配置

写真-2 グラウト先端部(鋼材配置が異なる場合)

に比べて、充填は良い方向に進むが、鋼材が底面にある場合には逆に鋼材の上をグラウトが流れ、先流れ現象を起こしやすい状態となっていることが理解される。特に、下り勾配方向へのグラウト注入において、鋼材がシース下面に配置された場合には、先流れが生じやすくなり、空気溜まりも生じやすくなる。実物大レベルの注入実験においても、そのような傾向が認められており、先端角度と空気溜まりの長さの間には、相関関係があることも指摘されている。また、空気溜まりが発生した場合でも、排気口が適切な位置に配置されている場合には、空気溜まりを解消できることが実験から確認されている。

### 3. 排気口の位置

水のように粘性が低い流体を注入した場合、下り勾配においては先流れが生じやすい。その後水平部からは再びシース管内を全断面充填しながら流れると、下り勾配部分には空気が閉じこめられることになる。しかし、排気口を図-1に示すように曲げ下げ部付近に設けておくと、閉じた空間の中で、空気は上部へ移動し空気溜まりを解消することができることは容易に想像することができる。一方、極端に粘性が高い流体の場合には、先流れを起こすことなく全断面を満たしながらシース内が充填されるので、空気溜まりを生じることはない。その中間の粘性の場合、空気溜まりが下り勾配部に生じることが考えられる。その場合の空気溜まりの量は、水ほどは多くなくその発生位置は、下り勾配終了点部から上部方向に向かって生じる。このような場合、排気口が下り勾配開始点付近にあると、どのくらい注入を続けるかにもよるが、空気溜まりが上部に移動して、排気口まで達して空気が排出されることは難しい。したがって、排気口は空気溜まりが生じる区間付近に設けておく方が、空気溜まりの排出にはより有効となる。空気溜まりの位置とその量を厳密に予測するには、FEMを利用した解析手法に委ねるのが望ましく、グラウトの流体解析の発展に期待したいが、ここでは、簡便な方法として先端角度から推定する方法を提案する。

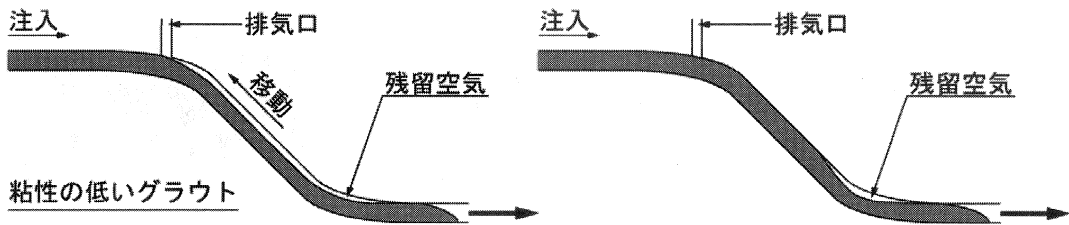


図-1 グラウト充填時の先流れ図

## 4. グラウト充填設計

### 4.1 充填設計の流れ

ここでは、グラウト施工において、シース内に空隙を生じないグラウト注入方法を検討することを充填設計と呼ぶことにする。充填設計の流れを図-2に示す。

第1段階として、グラウト材料およびポンプの注入量の設定を行い、構造設計において決められたシース配置において注入圧力が制限値以内であることを照査する。グラウトポンプの注入圧力は、管内での流量が一定ならば流速も一定となり、次式で表すことができる。すなわち、水頭差による圧力と距離に比例した損失による圧力で表すことができる。

$$P = \rho g(z_2 - z_1) + \rho v^2 f \frac{l}{D} + \rho v_0^2 f_0 \frac{l_0}{D_0} \quad (1)$$

ここに、 $f$ 、 $f_0$ は抵抗係数、 $v$ は流速、 $p$ は圧力、 $z_1$ および $z_2$ はそれぞれ、ポンプの位置での高度水頭およびグラウト先端部での高度水頭、 $l$ は注入口からグラウト先端部までの長さ、 $D$ は管の内径、 $l_0$ はポンプから注入口までのポンプホース長、 $D_0$ はポンプホース内径を表している。抵抗係数 $f$ は、一般にレイノルズ数と関係があり、著者らは式(2)で抵抗係数が表されることを報告している<sup>4)</sup>。

$$f = k \frac{64}{Re} \tag{2}$$

ここに、 $k$ は係数であり、 $Re$ はビンガム流体の層流におけるレイノルズ数で、次式で求められる。

$$Re = \frac{\rho v D (4a\alpha)}{\mu} \tag{3}$$

ここに、 $a = \frac{\tau_f}{\tau_f + \mu \left( \frac{8v}{D} \right)}$  ,  $\alpha = \frac{d^4 - 4a + 3}{12a}$

係数 $k$ の値は、予め実験などから求めておく必要があるが、例えば、PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改訂版)<sup>2)</sup>に示されているグラウトの流量と注入圧力のデータから、係数 $k$ の値を求めると0.39程度と推定される。

第2段階として、グラウト先端角度の算定を行い、先流れを生じるかどうかを判定する。

シース管内を流れるグラウト先端角度 $\theta$ について、著者らはグラウト先端部分を切り出した自由物体図における力のつり合い条件から以下のように定式化している<sup>3)</sup>。

$$\tan \theta = \frac{4 \left( \tau_f + \mu \frac{v_m}{D-d} \right) (D + kd)}{\rho g (D^2 - d^2) (C_1 + 2C_2)} - \frac{\sin \alpha}{C_1 + 2C_2} \tag{4}$$

ここに、 $\theta$ はグラウト先端角度 (rad)、 $v_m$ はグラウトの流速 (m/s)、 $D$ は管の内径 (m)、 $d$ は鋼材の見掛け上の外径、 $k$ は鋼材の周長の影響を表す補正係数、 $\tau_f$ はグラウトの降伏値 (Pa)、 $\mu$ はグラウト塑性粘度 (Pa・s)、 $\mu_0$ は水の粘性係数 (Pa・s)、 $\rho$ はグラウトの密度 (kg/m<sup>3</sup>)、 $g$ は重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)、 $\alpha$ は管の傾斜角度 (rad) である。 $C_1$ および $C_2$ は静水圧係数、圧力係数である<sup>5)</sup>。

先端角度の定義としては、実際にはグラウト先端の中央部がふくらむ傾向にあるが、便宜上管底面と上面のグラウトとの接点を結ぶ直線と、管底面とのなす角度として定義している。鋼材が管底面にある場合には、グラウトは鋼材の上部の

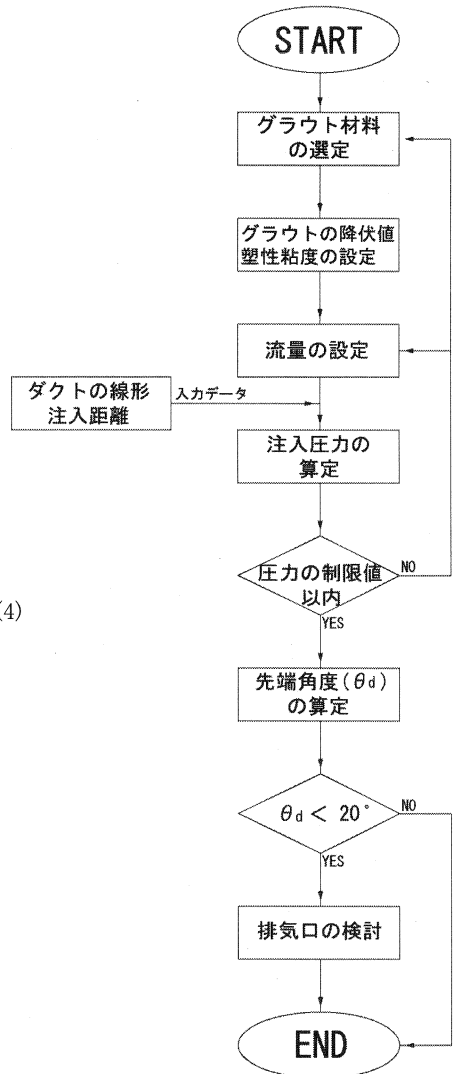


図-2 充填設計の流れ図

空間を先流れしやすい。この場合の先端角度を直接求めることは難しいので、式(4)を準用することにした。すなわち、鋼材上部の先流れの場合、鋼材の周面摩擦の影響は小さいと考えて、 $k=0$ として先端角度 $\theta_1$ を求めることにする。また、先端角度は鋼材の影響を考慮しない方が、一般に小さくなる傾向にある。したがって、鋼材の影響を無視して $d=0$ とした場合の先端角度 $\theta_2$ を求め、設計で用いる先端角度 $\theta_a$ は、先端角度 $\theta_1$ と $\theta_2$ の小さい方を採用することにする。

図-3は、実物大レベルのグラウトの注入実験において観察された空気溜まりの長さ $\theta_a$ との関係を示したものである。ただし、空気溜まりの長さは、下り勾配部の長さで無次元化している。また、実験に用いられたグラウトの降伏値および塑性粘度は直接測定されていないので、J14漏斗の流下時間より推定している。先端角度と空気溜まりの発生長さには相関性が認められる。したがって、先端角度に応じて排気口の位置の選定に利用することにした先端角度 $\theta_a \geq 20^\circ$ の場合には排気口は設けなくてもよいことにし、 $\theta_a < 20^\circ$ の場合には、 $0^\circ$ の時に排気口位置が1.0(すなわち、シースの曲げ下げ開始位置)になるような線形関係を仮定することにした。ただし、設計での排気口位置は、計算より求めた値を0.5mないしは、1m単位に切り上げた位置に設置するのが実用的であると考えられる。

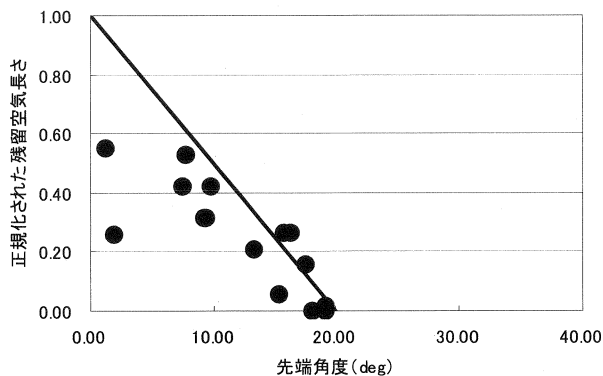


図-3 先端角度と残留空気

5. おわりに

グラウトの充填が確実に進むために、施工段階における充填設計方法について検討を行なった。今回提案する充填設計方法を実施工に適用するためには、これまで行われた実験ならびに実施工における結果をフィードバックさせながらより信頼性の高い手法を今後確立していく必要があると考える。さらに、FEMを用いた流体解析などを用いることにより、今後、より信頼性のあるの施工方法を確立することができると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省学術フロンティア推進事業(平成16年度~平成20年度)の補助を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 社団法人 プレストレスト・コンクリート建設協会：PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改訂版)，2002
- 2) 社団法人 土木学会：コンクリート技術シリーズ No. 52 PC構造物の現状の問題点とその対策，2003.6
- 3) 出雲淳一，山口征伸：シーソ管内の鋼材がグラウトの充填性に及ぼす影響について，プレストレストコンクリート，46巻，第6号，pp. 84-93，2004年11-12月
- 4) 出雲淳一：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，pp. 104-109，2001. 11-12
- 5) 水上伸介，出雲淳一：PCグラウトの充填性能評価に関する一考察，プレストレストコンクリート，43巻，第5号，pp. 71-80，2001年9-10月