

## P C グラウト充てん管理における加圧検査方法の提案

オリエンタル白石(株)	技術研究所	正会員	○中村	敏之
オリエンタル白石(株)	大阪支店		高井	英知
オリエンタル白石(株)	福岡支店		尼子	大輔
オリエンタル白石(株)	大阪支店		高畑	政行

Abstract : In order to improve the reliability and durability of PC Grout, the better outstanding filling management method is searched for. Then, we developed the pressurization inspection method which is a new method. This method is measuring the pressure value and injection rate of PC Grout in re-pressurization, and computes remained air in a duct from the amount of change. As a result of experimenting, it turned out that the pressurization inspection method can distinguish poor filling effectively. So, this paper discusses the pressurization inspection method, and a pouring experiment.

Key words : PC Grout , Filling management , Re-pressurization

## 1. はじめに

P C グラウトは、P C 鋼材を腐食から保護する性能と部材コンクリートとP C 鋼材を一体化する性能が要求され、ポストテンション方式のプレストレストコンクリートにとっては重要な項目のひとつである。P C グラウトの不良に起因した構造物の不具合はこれまでに多く報告されており、現在においてもその信頼性が問われている。そのため、要求性能に対して施工前および施工中において適切な方法で照査・検査をする必要がある。P C グラウトの設計施工指針<sup>1)</sup> (以下、指針)によれば、そのひとつとして、有害となる残留空気がないことを確認することとしており、施工前の照査として実物大実験または条件が同等である過去に実績のある実物大実験によるものとしている。一方、施工時の検査では、従来から排気・排出口位置での目視による充てん確認とグラウト流量計による注入量の確認が行われてきた。最近ではより確実にP C グラウトを充てんさせるための方法がいくつか開発され、従来の検査と組み合わせることで、よりリスクを減らした施工を行うことができるようになった。しかしながら、これらは比較的労力を要し、また間接的または部分的な検査方法である。そこで、より簡便で、かつ直接的、定量的に評価できるP C グラウト充てん検査方法として、定量的な残留空気量を算出する加圧検査方法を提案することとした。

## 2. 加圧検査方法の概念

フレッシュ状態のP C グラウトは圧力を与えても体積が変化しない非圧縮性である。一方、空気は圧力を与えると体積が変化する圧縮性である。この性質を利用すると、図-1に示すように残留空気を含むP C グラウトを加圧した場合、P C グラウトを媒体として残留空気が圧縮され、温度一定と仮定すると、式(1)のボイルの法則が成立する。

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \quad (1)$$

$$V_2 = \frac{P_1 \times \Delta V}{\Delta P} \quad (2)$$

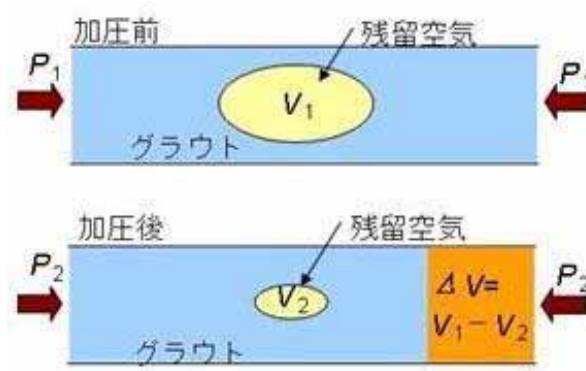


図-1 加圧検査方法の概念図

ここに、加圧前後の圧力をそれぞれ $P_1$ ,  $P_2$ , 加圧前後の残留空気の体積をそれぞれ $V_1$ ,  $V_2$ である。さらに、 $\Delta P = P_2 - P_1$ ,  $\Delta V = V_1 - V_2$ とすると式(2)が得られる。右辺の値は、 $P_1$ : 加圧前の圧力,  $\Delta V$ : 加圧前後の残留空気の体積変化 (すなわち, 加圧によるPCグラウト注入量),  $\Delta P$ : 加圧前後の圧力変化, 与えられるため, 加圧後の残留空気の体積 $V_2$ を求めることができる。

### 3. 実験

#### 3-1 ボイルの法則式の検証実験

##### (1) 実験方法

PCグラウトを媒体として空気を圧縮したときの圧力と空気の体積の関係において、式(1)が成り立つことを実験によって確認することとした。媒体としてPCグラウトを用いた実験と、比較のため非圧縮性が既知である水を用いる実験も行うこととした。PCグラウトは超低粘性型を使用した。写真-1に実験装置を示す。透明な容器(直径100mm, 高さ250mm)に高さの半分程度までPCグラウト(または水)を注入した後、容器を完全密閉し、注入装置で下方からPCグラウト(または水)を圧入することで、容器の上半分に閉じ込められた空気に圧力を与えるものとした。圧力は空気層天端(容器上面)に取り付けた圧力センサで計測し、空気の体積はスケールで測定した高さに容器の断面積を乗じて求めた。注入圧力を徐々に上げていき、0.4MPaまで0.1MPa間隔で測定を行った。なお、圧力センサの測定値は大気圧での状態を初期値としているため、算出に用いる圧力値は圧力センサにより得られた測定値に大気圧(0.1MPa)を加えるものとした。



加圧前(水) 加圧後(水, PC グラウト)  
写真-1 実験装置

##### (2) 実験結果

表-1に実験結果を示す。PCグラウトおよび水を用いた実験のいずれも注入圧力 $P \times$  空気体積 $V$ はほぼ一定の値を示しており、式(1)が成り立つことが確認できた。また、 $P \times V$ の算出値において、水の平均が0.188に対しPCグラウトの平均が0.186であり、ほぼ等しいことからPCグラウトは非圧縮性であり、PCグラウトを媒体として空気に圧力を与えた場合、式(1)を適用できることが確認できた。

表-1 実験結果

	圧力 $P(\text{MPa})$	空気体積 $V(\text{L})$	$P \times V$
水	0.196	0.973	0.191
	0.296	0.632	0.187
	0.401	0.459	0.184
	0.498	0.381	0.190
PC グラウト	0.181	1.028	0.186
	0.296	0.636	0.188
	0.385	0.479	0.184
	0.482	0.385	0.185

#### 3-2 シースを用いた実験

##### (1) 概要

続いて、実際のシースを用い、PCグラウトの施工手順<sup>2)</sup>に準じた注入作業を行い、加圧検査による残留空気量の算出の可否について確認した。確認方法は、注入完了後における加圧前後の圧力と注入量を測定して、式(2)より算出した残留空気量と、PCグラウト硬化後に試験体を解体し、実際に生じた残留空気の体積の実測値と比較することとした。圧力と注入量の測定にはそれぞれ圧力センサ、流量センサを用い、注入ノズルに取り付けることとした。これ



写真-2 試験体

は、ポンプホースやグラウトホースは内部のグラウトが加圧されると内径が大きくなり見掛けの注入量が大きくなってしまふことから、その影響を少なくするためである。なお、事前に行った確認では、グラウトホースφ19mm、グラウトの増圧0.6MPaの場合で、直径が約1mm（体積換算で約0.03L/m）大きくなった。

(2) 試験体および実験方法

写真-2に試験体を示す。型枠にPC鋼より線を挿入したシースを配置してコンクリートを打設するものとした。グラウト長は2.8mとし、シースは内径φ80のポリエチレン製を用いて、5°勾配の直線配置とした。シース内にはPC鋼より線φ15.2を12本配置した。PCグラウトは超低粘性型とし、グラウト本数は4本とした。そのうちNo.1,2は低い側から注入し、十分な排出をした良好な注入方法とし、一方で、No.3,4は高い側から注入し、排出直後にホースを閉じた、あえて残留空気を生じさせる注入方法とした。注入完了後はいずれのグラウトも0.6MPaまで加圧を行い、その前後における圧力と注入量を測定した。グラウト硬化後にコンクリートからシースをはつり出し、硬化グラウトを欠落させないようにシースを剥ぎ取った。生じた空隙（残留空気）は粘土で成形し、その体積を測定することで実測値を求めた。

(3) 実験結果

表-2に加圧前後における圧力と注入量のセンサによる測定結果を示す。設計グラウト量は9.55Lであり、注入完了時点では、No.1,2は設計に対し十分な注入量で良好な施工であり、No.3,4は設計とほぼ同じ注入量であり、排出量が少ないため良好とはいえない施工である。表-3に得られた測定値から式(2)により算出した残留空気量 $V_2$ を示す。なお、 $P_1$ は加圧前の圧力に大気圧0.1MPaを加えた値としている。 $\Delta V$ は加圧による残留空気の体積変化、つまりPCグラウトが加圧によって注入された量であることから、加圧前後の積算流量の差とした。 $\Delta P$ は同様に加圧前後の圧力値の差とした。この結果からは、No.1,2は残留空気が生じておら

表-2 圧力および注入量の測定結果

	加圧前		加圧後	
	圧力 $P$ (MPa)	注入量 $V$ (L)	圧力 $P$ (MPa)	注入量 $V$ (L)
No.1	0.203	28.386	0.677	28.405
No.2	0.114	26.669	0.657	26.677
No.3	0.129	9.848	0.633	11.036
No.4	0.071	9.733	0.637	11.137

表-3 測定による残留空気量の算出結果

	$P_1$ (MPa)	$\Delta V$ (L)	$\Delta P$ (MPa)	$V_2$ (L)
No.1	0.303	0.018	0.474	0.012
No.2	0.214	0.008	0.543	0.003
No.3	0.229	1.188	0.504	0.539
No.4	0.171	1.404	0.566	0.425

表-4 実験値の比較

	残留空気量(L)		算出値 /実測値
	算出値	実測値	
No.3	0.539	0.510	1.06
No.4	0.425	0.340	1.25



(a) No. 1, 2



(b) No. 3, 4

写真-3 硬化グラウトの空隙状況

ず、No. 3, 4 は比較的大きな残留空気が生じていると推測できる。写真-3に解体後の硬化グラウトの空隙状況を示す。測定による算出結果から推測できたように、No. 1, 2 は残留空気が生じておらず、No. 3, 4 は高い側に大きな残留空気が生じていた。表-4にNo. 3, 4 の残留空気の実測値と実測値に対する算出値の割合を示す。実測値に対し算出値が大きいのは、式(2)における $P_1$ が注入口における値であり、管内損失の影響から残留空気が生じた位置の圧力より大きいからであると考えられる。しかしながら、算出には安全側であり、No. 1, 2 のような良好な充てんとの違いを判断するには許容できる範囲であるといえる。このことから、

加圧検査は注入作業中に残留空気の有無を定量的に判断することに有効であり、残留空気があると判断した場合は再注入することでグラウト未充てんを未然に防ぐことが可能であると考えられる。

4. 実施工における試行

実施工における検証として、単純ポストテンションT桁のグラウト施工において加圧検査を実施した。諸元はP C鋼材12S12.7, シース径φ70mm, ケーブル長がおよそ28mである。設計グラウト量はおよそ76Lであり、グラウトは超低粘性型を使用した。積算流量の管理や排出ホースの目視確認などの従来の検査では、良好な充てんであったことを確認している。表-5に加圧検査の測定結果、空隙体積算出結果および設計グラウト量に対する空隙体積の割合を示す。16ケーブルにおいて算出された空隙体積は平均0.068Lであり、設計グラウト量に対する割合は平均0.09%であった。いずれもわずかな値であり、先述したグラウトホースの膨張による見掛けの空隙体積(0.03L/m)を考慮すると、十分な充てんがされたと定量的に判断できる。

5. まとめ

本稿では、P Cグラウトの充てん管理において、従来の排出ホースの目視確認やグラウト流量計による流量管理に加えて、さらに信頼性を高めるため、加圧検査方法を提案し、それが適用可能であること、有効に未充てんが判断できることを述べた。本稿の範囲では、充てん・未充てんのしきい値を定めるに至らなかったが、大きなリブ形状を有するポリエチレンシースなどの評価では有害となる空隙体積量を設定する必要がある、今後の課題である。しかしながら、加圧検査を実施し、算出値を確認することで、少なくとも未充てんのリスクは確実に減るものと考えている。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：P Cグラウトの設計施工指針， 2005. 12
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会：P Cグラウト&プレグラウトP C鋼材 施工マニュアル（改訂版）， 2006. 6

表-5 実施工における加圧検査結果

桁番号	ケーブル番号	設計グラウト量(L)	算出値				設計量に対する空隙体積の割合(%)
			$P_1$ (MPa)	$\Delta V$ (L)	$\Delta P$ (MPa)	空隙体積 $V_2$ (L)	
G1	C1	75.8	0.271	0.125	0.481	0.071	0.09
	C2	75.7	0.344	0.078	0.482	0.055	0.07
	C3	75.6	0.371	0.055	0.446	0.046	0.06
	C3	72.5	0.421	0.030	0.303	0.042	0.06
G2	C1	75.8	0.401	0.043	0.406	0.043	0.06
	C2	75.7	0.343	0.069	0.446	0.053	0.07
	C3	75.6	0.269	0.184	0.513	0.097	0.13
	C3	72.5	0.362	0.073	0.440	0.060	0.08
G3	C1	75.8	0.338	0.138	0.508	0.092	0.12
	C2	75.7	0.345	0.080	0.407	0.068	0.09
	C3	75.6	0.339	0.116	0.406	0.097	0.13
	C3	72.5	0.345	0.133	0.551	0.084	0.12
G4	C1	75.8	0.347	0.102	0.383	0.092	0.12
	C2	75.7	0.410	0.073	0.484	0.062	0.08
	C3	75.6	0.423	0.113	0.545	0.088	0.12
	C3	72.5	0.453	0.022	0.204	0.048	0.07
平均						0.068	0.09