グラウト再注入工における試験施工
－阪神高速道路 PC 桁等大規模修繕工事（27-2-池）－

大阪支店　土木工事部　杉浦一毅

概要：本工事は，阪神高速道路において大規模修繕工事という位置づけで計画された事業で，建設後 50 年を経過した PC 桁を対象とした工事である．工事の目的は，主ケーブルに損傷の疑いがある PC 桁の耐荷性能を現行基準レベルまで向上させ，併せて工区内の全 PC 桁に対する予防保全を実施することである．詳細調査によって主ケーブルのグラウト充填状況を確認し，未充填部に対してグラウト再注入を実施した．この際，模型を用いた試験施工によりグラウト再注入方法を比較検討し，本工事に適した施工方法を選定した．

Key Words：グラウト再注入，試験施工，チューブ，真空

１．はじめに

主ケーブルに対するグラウト再注入方法に関する既往文献は主に，「阪神高速道路株式会社：PC グラウト再注入補修要領，平成 17 年 4 月」[1]（以下，文献 1），「財団法人鉄道総合技術研究所：PC グラウトの再注入等補修マニュアル（案），平成 14 年 8 月」[2]（以下，文献 2），および「日本道路公団試験研究所：PC 橋の耐久性能の向上技術に関する研究　共同研究報告書，平成 15 年 3 月」[3]（以下，文献 3）の 3 つが挙げられる．文献 1 および 3 による施工は，シースを段階的に削孔してグラウト未充填区間を把握し，複数の削孔によって得た排気孔を利用して再注入を実施する方法である．しかし，主桁断面中心側の奥まった位置に配置されたシースはウェブ側面から削孔することが不可能であり，現実的には複数の排気孔を設けることができない場合がある．このため，本工事の施工条件としてグラウト再注入に対する削孔は 1 箇所に限定し，施工方法を比較検討することとした．ここで，文献 2 による削孔 1 箇所に排気チューブを挿入する方法（以下，チューブ法）を検討候補の一つとした．さらに対案として，文献 3 で使用している真空ポンプを用いた方法（以下，真空法）を検討候補とした.本稿ではチューブ法と真空法の双方に対する課題を検証した試験施工について述べる．

２．試験施工の目的

2.1　実構造物を想定した時のグラウト充填結果予測

グラウト再注入を実施する実構造物は建設から年数が経過しており，シース内にはいくつかの状態が想定される．シース内の状態とチューブ法および真空法におけるグラウト充填結果予測を**表-1** に示す．

杉浦一毅

2.1.1　シース内が密閉された状態

理論上の状態であり実構造物ではほぼ見られることはないが，稀なケースとしてはあり得る．チューブ法はシース内に排気チューブを挿入して空気の置換を行うが，シース内の空隙に対して排気チューブの先端が端部まで届いていない場合は，排気チューブの先端位置までしかグラウトを充填できないと考えられる．一方，真空法は一般的に充填可能と考えられているが，本施工条件にて完全に充填可能かどうかは確認できていない．

表-1　グラウト充填結果予測

シース内の状態	グラウト充填結果予測	
	チューブ法	真空法
シース内密閉	排気チューブの先端までしか充填できない	完全に充填可能かどうかは不明
シース内空気漏れ	どの程度影響があるか不明	
内在水分あり	注入作業中に排気孔から内在水分を排出可能	事前に内在水分を排出するしかない

2.1.2　シース内に空気漏れがある状態

定着具後埋めコンクリートの隙間やジョイントシース等の隙間から空気漏れが生じているなど，実構造物はほぼこの状態であると推測される．このとき，チューブ法および真空法ともに，空気漏れがグラウト充填性にどの程度影響を及ぼすかは不明である．

2.1.3　シース内に水分がある状態

建設時のブリーディング水が残っている場合や上縁定着部からの雨水の浸入など，シース内に水分が残る状態は比較的多い．チューブ法は注入作業中に排気孔から水分を排出可能と考えられる．一方，真空法は注入作業を実施する前に水分を排出するしか対応方法はない．

2.2　試験施工の目的

上記におけるシース内の状態ごとに予測されるグラウト充填結果を確認し，本工事においてより適している施工方法を決定することを目的として試験施工を実施した．

３．試験施工方法

3.1　模型の概要

模型に用いた材料は，シースの代わりとして内径 41mm の透明塩ビ管を用い，その中に PC 鋼材を模した φ8mm 塩ビ丸棒を 9 本配置した．さらに，以下の設定にて模型を製作した．

(1) シース内の空気漏れを再現させるため，調整コックを配置した．
(2) チューブ法の排気チューブはシース先端から 100mm 手前までの挿入とした．
(3) シース内に内在水分をためておいた．
(4) 模型の設置勾配は上縁定着ケーブルの標準値である 25 度とした．
(5) 模型の注入孔位置（作業床から注入孔までの高さ）は吊り足場内での実施工と同じ高さとした．

模型の概要を**図-1** および**図-2**，模型の写真を**写真-1** および**写真-2** に示す．

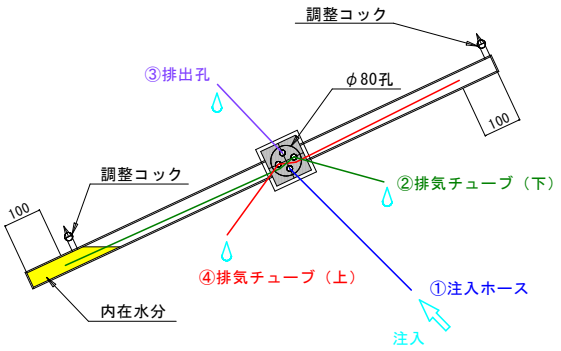

図-1 模型概要（チューブ法）

写真-1 模型（チューブ法）

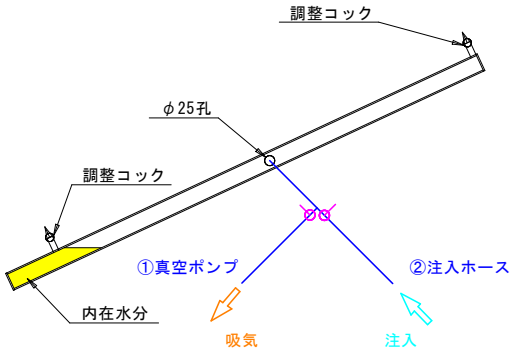

図-2 模型概要（真空法）

写真-2 模型（真空法）

3.2　試験施工方法

3.2.1 シース内の空気漏れ設定

実構造物のシース内の空気漏れの程度を把握し試験施工に反映させるため，事前に実構造物の主ケーブルをランダムに 3 本選び，シース内の密閉度を計測した．計測方法は，真空ポンプを用いてシース内を減圧したあと，真空圧力計ゲージ圧（以下，真空圧力）の経時変化を確認した．計測の手順を以下に示す．

(1) 主桁削孔部を完全に密閉する．
(2) 真空ポンプを用いてシース内を減圧する．
(3) 真空圧力が一定になるまで減圧し，一定になった真空圧力を初期値とする．
(4) 初期値の状態を時間ゼロとして真空ポンプを止め，時間の計測を開始する．
(5) 30 秒ごとに真空圧力を計測し，真空圧力が一定になるまで続ける．

試験した結果，真空圧力の初期値は 0.086～0.088MPa であり，時間経過とともにいずれも 0MPa となった．つまり，シース内に空気漏れがあったことを意味している．また，真空圧力が 0Mpa になるまでの時間は，6 分 30 秒～16 分となった．試験結果を**図-3** および**表-2** に示す．

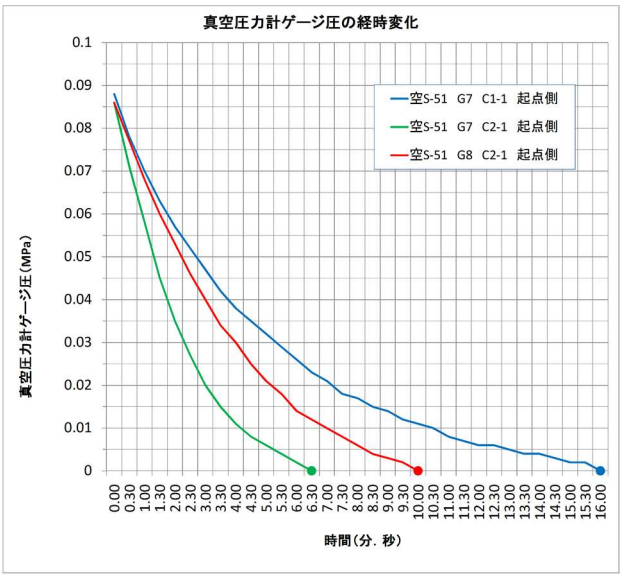

図-3 真空圧力計ゲージ圧の経時変化

なお，**表-2** 右欄の空隙体積は，事前に空圧法により計測したシース内の空隙体積である．これによると，真空圧力が 0Mpa になるまでの時間と空隙体積に相関関係がないことが分かり，シース内の空気漏れの程度は空隙体積の大小に関わらず，その他の要因によってばらつきがあると推測できる．今回の試験施工では，サンプルデータ 3 つのうち真ん中の値（時間 10 分）を用いることとし，模型の調整コックにてシース内の空気漏れの程度を再現することとした．調整方法は下記の通り．

表-2　試験結果

対象	真空圧力(初期値)	時間	空隙体積
G7-C1-1	0.088MPa	16 分	1.55L
G7-C2-1	0.086MPa	6 分 30 秒	0.86L
G8-C2-1	0.086MPa	10 分	2.01L

(1) 模型の調整コックを閉じて真空ポンプにて減圧する．
(2) 調整コックを開け，10 分間で真空圧力が 0Mpa となるよう設定する．

表-3　使用材料

材料	規格	使用量（1 バッチ）
水	水道水	6.75kg
ギャップガード PC	ノンブリーディングタイプ 水中不分離性	20kg

3.2.2 使用材料と使用機材

使用材料を**表-3**，使用機材を**表-4** に示す．なお，文献 3 に示される真空ポンプの目標真空度は，-0.090MPa である．また，材料の練り上がり温度は 27℃，外気温は 29℃，JP ロートによる流動性試験は平均 6.2 秒であった．

表-4　使用機材

機材	型式	性能
真空ポンプ	DA-121D	-0.098MPa

3.2.3 チューブ法の試験手順

図-1 における「注入ホース」から手動ポンプにてグラウトを注入し，「排気チューブ（下）」，「排気孔」，「排気チューブ（上）」の順でグラウトが排出される．調整コックはまず閉じた状態でシース内を密閉として充填状況を確認する．次に調整コックを空気漏れ設定として充填状況を確認する．また，注入途中で「排気孔」から内在水分が排出される様子を確認する．

3.2.4 真空法の試験手順

真空ポンプにてシース内を減圧し，バルブの開閉によってグラウトとシース内空気を置換する．まずは調整コックを空気漏れ設定として充填状況を確認する．次に調整コックを閉じて充填状況を確認する．なお，真空法の場合，材料比重が充填性に与える影響および注入材の設置高さによるヘッド圧が充填性に与える影響を想定した．このため，試験施工では，グラウト材料の代わりに水道水を注入するケース，同じく水道水を用いてさらに注入材の設置高さを高く設定するケースの 2 ケースを追加で実施した．

4．試験施工結果

4.1　チューブ法

チューブ法の試験施工結果を**表-5** に示す．

表-5　チューブ法の試験施工結果

シース内の状態	試験施工結果	
	結果	充填率 1(※1)
シース内密閉	排気チューブの先端まで充填可能（**図-4**，**写真-3**，**写真-4**）	97%
シース内空気漏れ	完全に充填可能（**図-5**，**写真-5** および**写真-6**）	100%
内在水分あり	排気孔および排気チューブから水分を排出可能（**写真-7**，**写真-8**）	－

※1　充填率 1 は内在水分がないときのシース内全体の空隙体積に対する率

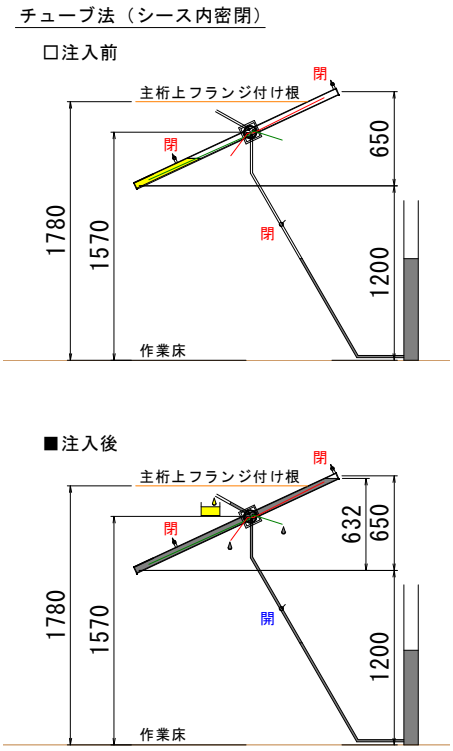

図-4 チューブ法試験結果（シース内密閉）

写真-3 チューブ法注入前（シース内密閉）

写真-4 チューブ法注入後（シース内密閉）

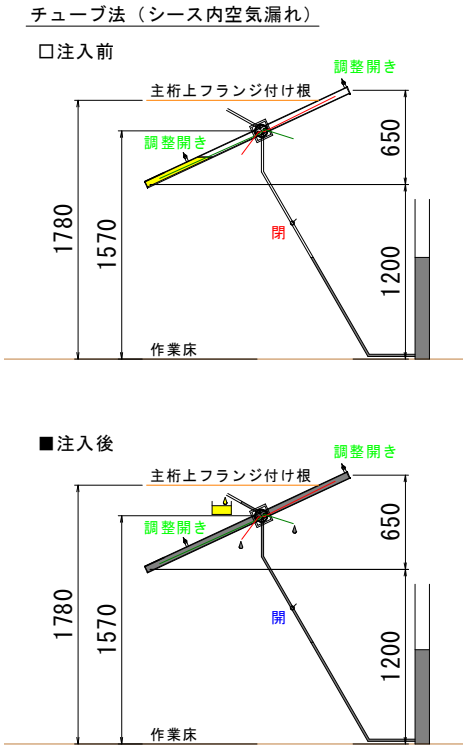

図-5 チューブ法試験結果（シース内空気漏れ）

写真-5 チューブ法注入後（シース内空気漏れ）

写真-6 チューブ法注入後（シース内空気漏れ）

写真-7 チューブ法　水分とグラウトの分離状況

写真-8 チューブ法　排気孔からの水分排出状況

4.2 真空法

真空法の試験施工結果（グラウト材）を表-6 に示す.

表-6　真空法の試験施工結果（グラウト材）

シース内の状態	試験施工結果（グラウト材）		
	結果	充填率 1	充填率 2(※2)
シース内密閉	ほとんど充填できず（図-6，写真-9，写真-10）	57%	80%
シース内空気漏れ	全く充填できず	0%	0%
内在水分あり	今回条件では水分の排出は不可能	－	－

※2　充填率 2 は内在水分がある状態でシース内を減圧できた空隙体積に対する率

シース内に空気漏れがある状態で真空ポンプにて減圧した場合，真空圧力は-0.086MPa となった．この状態でバルブの開閉により瞬時にグラウトを送り込んだところ，シース内に全く充填できなかった．一方，シース内を密閉した場合，真空圧力は-0.090MPa となり，同様にグラウトを送り込んだところ，シース内に流れていったが，ほとんど充填できなかった．

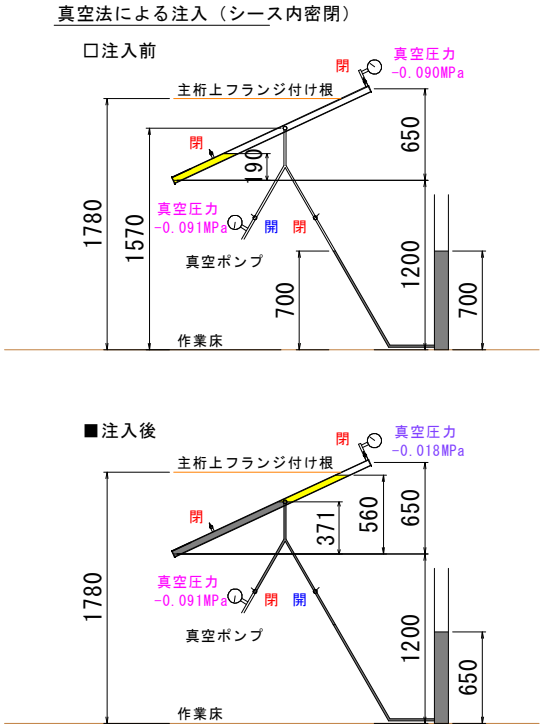

図-6 真空法試験結果（シース内密閉）

写真-9 注入前真空圧力（シース内密閉）

写真-10 真空法注入後（シース内密閉）

真空法の試験施工結果（水道水）を**表-7** に示す.

表-7　真空法の試験施工結果（水道水）

材料の設置高さ	注入孔と材料天端との水頭差（プラスが上）	試験施工結果（水道水）		
		結果	充填率 1	充填率 2
吊り足場内	-570mm	完全に充填できず（**図-7**）	62%	87%
主桁天端以上	+620mm	完全に充填できず（**図-8**）	68%	96%

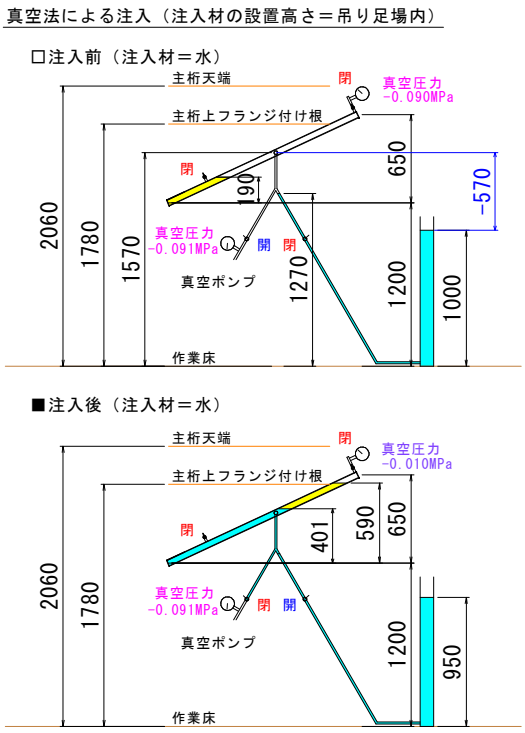

図-7 真空法(水道水)試験結果（シース内密閉）

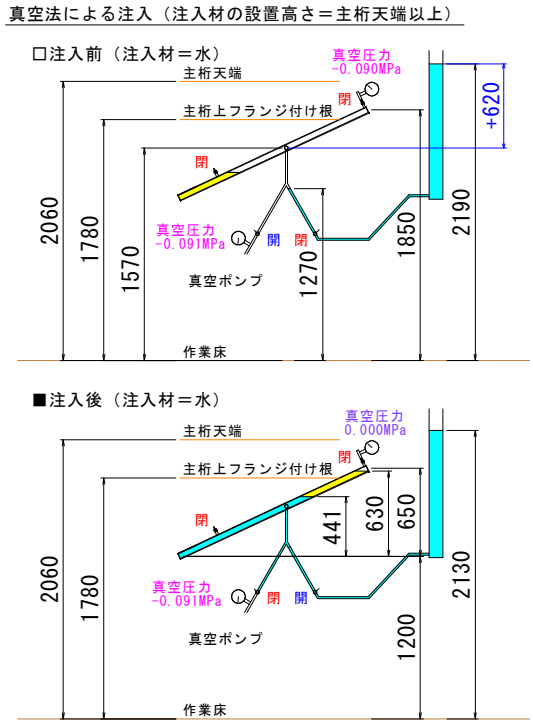

図-8 真空法(水道水)試験結果（シース内密閉）

4.3 硬化後グラウトの断面観察と圧縮強度試験結果

試験施工を実施したグラウトの硬化後，チューブ法および真空法ともに供試体の切り出しを行い，断面を観察してグラウト充填状況を確認した．また，材齢 28 日における圧縮強度試験を実施した．供試体を切り出す寸法は，直径の 2 倍とし（φ40×80），チューブ法と真空法それぞれを切断する位置は，高さ方向に全く同じとなるよう設定した．供試体を**写真-11～14** に示す．

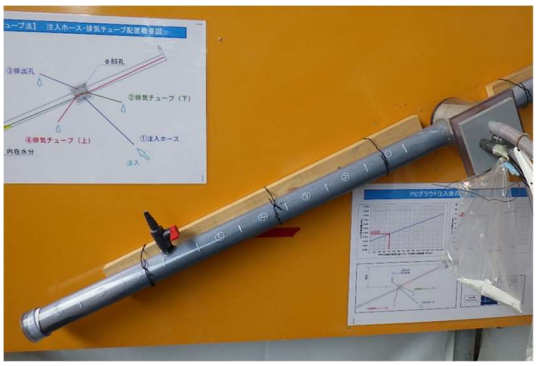

写真-11 チューブ法　供試体（切断前）

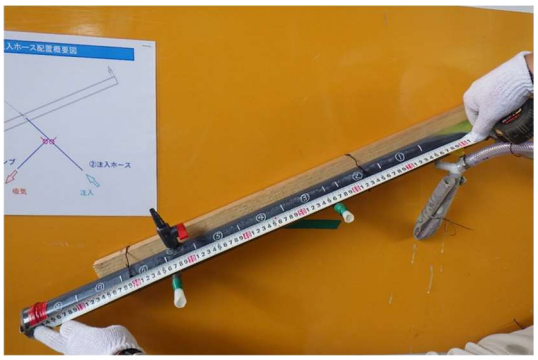

写真-12 真空法　供試体（切断前）

写真-13 チューブ法　供試体断面

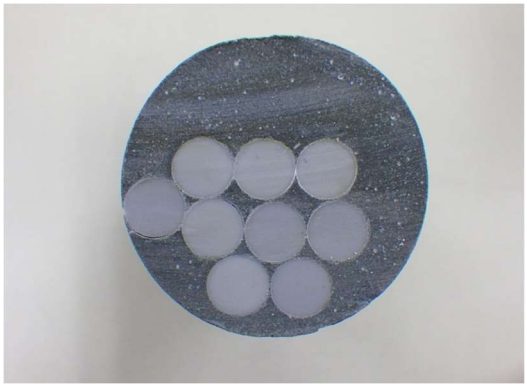

写真-14 真空法　供試体断面

全ての供試体断面を観察し，チューブ法および真空法ともに塩ビパイプの狭隘な隙間までグラウトが充填できていることを確認した．次に圧縮強度試験結果を**表-8** に示す．

表-8　圧縮強度試験結果

	圧縮強度試験結果（N/mm²）※						
	下側　←				→ 上側（注入孔側）		平均
	No.6	No.5	No.4	No.3	No.2	No.1	
(A) チューブ法	50.6	68.9	45.8	51.1	58.6	59.4	55.7
(B) 真空法	55.4	67.6	67.2	71.8	74.6	57.2	65.6
比率 (B)／(A)	1.09	0.98	1.47	1.40	1.27	0.96	1.18

※供試体は内部に塩ビパイプ等が埋設されているため，応力は参考値

供試体は内部に塩ビパイプ等が埋設されているため，応力はあくまで参考値である．サンプル数が少ないため正確な比較ではないものの，本試験結果だけで比較した場合，圧縮強度を比較すると真空法のほうが若干優れていると言える．

５．考察

5.1　試験施工結果まとめ

試験施工結果を一覧表にまとめたものを**表-9** に示す.

表-9　試験施工結果一覧表

施工方法	シース内の状態	注入材	材料の設置高さ	試験施工結果		
				充填率 1(※1)	充填率 2(※2)	内在水分の排出
チューブ法	密閉	グラウト	吊り足場内	97%	－	可
	空気漏れ			100%	－	可
真空法	密閉	グラウト	吊り足場内	57%	80%	不可(※3)
	空気漏れ			0%	0%	不可(※3)
	密閉	水道水	吊り足場内	62%	87%	不可(※3)
			主桁天端以上	68%	96%	不可(※3)

※1　充填率 1 は内在水分がないときのシース内全体の空隙体積に対する率

※2　充填率 2 は内在水分がある状態でシース内を減圧できた空隙体積に対する率

※3　注入中に排出が不可という意味であり事前に排出することはあり得る

以上の試験結果より，本工事のグラウト再注入における施工方法はチューブ法が適していると判断した．具体的な判断基準は以下の通り．

(1) 実構造物ではシース内に空気漏れが生じている可能性が高く，このときのグラウト充填率はチューブ法 100%に対して真空法 0%と圧倒的にチューブ法が優れている．

(2) 実構造物ではシース内に内在水分が溜まっている可能性があり，チューブ法ではグラウト注入と同時に内在水分を排出でき合理的である．

(3) シース内が密閉されている場合，チューブ法は排気チューブ先端までしかグラウトを充填できないが，真空法にとって理想的な密閉状態で試験した場合でもチューブ法の充填率に及ばない．

(4) グラウト硬化後の圧縮強度試験は参考値であるものの，内在水分が存在する中へグラウトを充填した場合でも，チューブ法および真空法ともに，おおむね所要の品質を確保できる．

参考文献

1) 阪神高速道路株式会社：PC グラウト再注入補修要領，平成 17 年 4 月

2) 財団法人鉄道総合技術研究所：PC グラウトの再注入等補修マニュアル（案），平成 14 年 8 月

3) 日本道路公団試験研究所：PC 橋の耐久性能の向上技術に関する研究　共同研究報告書，平成 15 年 3 月