

PC グラウト充填不足部における空隙量の計測方法に関する検討

技術本部	技術部	大村信暁
技術本部	技術部	青山敏幸
技術本部	技術部	白水祐一
土木本部	原子力室	諸橋克敏

概要：施工時期が古い PC ポストテンション橋の一部では、PC グラウトの充填不足が確認されている。このような箇所には、PC グラウトの再注入による補修が行われているが、材料の必要数量の把握や、PC グラウト注入量管理のためには、施工前に PC グラウト未充填部の空隙量を把握することが望まれる。そこで著者らは、高度な計測機器を用いず、真空ポンプと真空計およびシリンダーを用いた簡易な空隙量の計測方法を開発した。その結果、室内試験および実構造物による空隙量の計測により、本計測方法による空隙量の推定の妥当性が確認できた。

Key Words：PC グラウト充填不足，空隙量計測，真空法

1. はじめに

ポストテンション方式のPC橋の耐久性を損なう要因のひとつに、シーす内部のグラウト充填不足部によるPC鋼材の腐食がある。特に、凍結防止剤が散布される環境下では、橋面あるいは桁端部からシーす内へ塩化物イオンを含む水が浸入するため、局所腐食に起因する脆性的な破断や、それに伴う構造安全性の低下が生じる可能性がある。

このような環境に対して、亜硝酸リチウム水溶液先行注入型のPCグラウト再注入工法（以下、本補修工法と称す）¹⁾がある。本補修工法は、最初に注入用のコアを削孔し、高弾性の細径排気チューブの挿入長から空隙量の算出と漏気の状態を確認する。次に、PC鋼材の防錆効果を高めるために亜硝酸リチウム水溶液（以下、水溶液と称す）の注入と排出を行い、最後にセメント系の補修材の充填を行う。補修材の充填は、排気チューブからの排出をもって完了としている。しかし、本補修工法では補修材に加えて水溶液も使用するため、施工期間中の材料不足による作業中断や、余剰材料の発生によるコストへの影響が大きくなる。このことから、施工開始前にグラウト充填不足部の空隙量を精度良く把握できれば、材料の不足や余剰の発生リスクが低減されるものと考えられる。

空隙量の計測は、本補修工法のように空洞区間の長さから算出する方法と、計測機器を用いた空圧法^{2), 3)}や真空法^{2), 4), 5), 6)}等がある。前者の方法はシーす内状況や区間長計測者により誤差が生じやすい。後者の方法は、空隙部や計測容器の圧力変動を連続的に計測することで空隙量を推定するが、圧力計や真空計を連続的に読み取るための高度な計測機器を用意しなければならないことや、計測結果を解析しなければならない等の煩雑さがある。



大村信暁



青山敏幸



白水祐一



諸橋克敏

そこで著者らは、高度な計測機器を用いず、現場技術員が計測可能な簡易な方法でグラウト充填不足部の空隙量の計測方法を検討した。本稿では基礎的な検討として、室内試験で空隙容量と空隙内部の密閉度の違いが計測誤差に及ぼす影響を把握するとともに、これらの計測誤差に応じた補正係数を算出し、その値を実構造物に適用した場合の計測結果についての報告する。

2. 計測原理

今回検討したグラウト充填不足部の内部の空隙量の計測概要を図-1に示す。

本計測法は、接続キャップ、接続キャップ、真空ポンプおよび計測用シリンダーまでの接続ホース、真空計、三方口バルブ、空隙量を計測するためのシリンダーとパッキンから構成される。計測は、シース内の空隙部から真空ポンプまでの区間を連通状態とし、真空ポンプにてシース内を減圧し、真空計が定常状態となったときの圧力を計測した後にバルブを切り替え、シース空隙部からシリンダー間を大気圧にした時のシリンダー内のパッキンの移動量から、式(1)により空隙量を算出する。

$$V_{\text{計測値}} = \pi \times d^2 \div 4 \times L \times 1000 \quad (1)$$

$$\alpha = V_{\text{設計値}} \div V_{\text{計測値}} \quad (2)$$

$$V_{\text{推定値}} = \alpha \times V_{\text{計測値}} \quad (3)$$

ここに、 $V_{\text{設計値}}$ ：模擬空隙の寸法計測により算出した空隙量の設計値(ℓ)、 $V_{\text{計測値}}$ ：本計測法により計測する空隙量の計測値(ℓ)、 $V_{\text{推定値}}$ ：空隙量の推定値(ℓ)、 α ：補正係数、 d ：シリンダー内径(mm)、 L ：パッキンの移動量(mm)

その際、使用する装置固有の計測誤差に加え、実構造物での定着部の後埋め部分の損傷や、シースに沿ったコンクリートのひび割れ等に起因した空隙内部の密閉度にもばらつきがあるものと考えられる。そこで、室内試験により空隙容量と密閉度を变化させた各条件下での空隙量を式(1)から、補正係数 α を式(2)から算出し、空隙内の圧力を変数とした α の近似曲線を求める。現地では、空隙内部の圧力に応じた補正係数を用いて、式(3)により空隙量の推定を行う。

3. 試験概要

3.1 試験要因

試験要因を表-1に示す。本試験では、空隙容量と空隙内部の密閉度をパラメータとした。空隙内部の密閉度は、密閉状態と定常状態で-0.09~-0.03MPaの範囲で0.01MPaずつ变化させた。空隙内部の密閉度が高いほど真空計の圧力は小さく、密閉状態の圧力は-0.094~-0.097MPaであった。

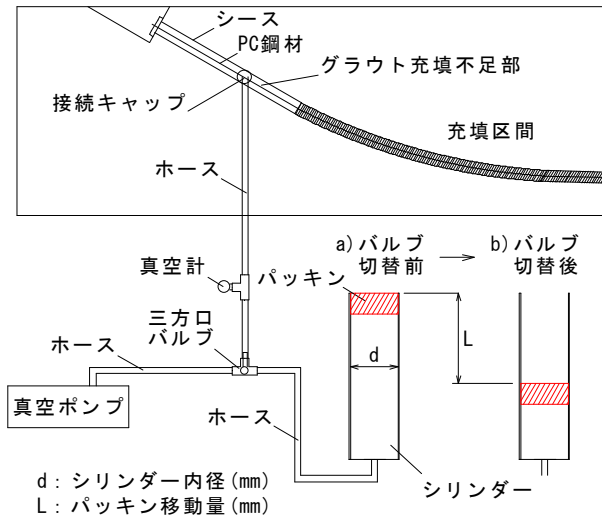


図-1 空隙量の計測方法の概要

表-1 試験要因

試験要因	設定値
空隙量 ^{※1}	1.22, 2.54, 3.86, 5.18, 7.16ℓ
圧力 (密閉度)	密閉状態 ^{※2} , -0.09, -0.08, -0.07, -0.06, -0.05, -0.04, -0.03MPa

※1 空隙量は、模擬空隙接続部-三方口バルブまでのホース空隙(0.56ℓ)を含む値

※2 密閉状態の圧力値は-0.094~-0.097MPa



写真-1 試験状況

3.2 試験方法

試験状況を写真-1 に示す。模擬空隙部は、外径 48mm、内径 41mm の透明塩ビ管を長さ 0.5~5mm で変化させた。透明塩ビ管の片側の端部にはホース継手を、もう片側の端部には密閉度調整バルブを接続することで、模擬空隙内部の圧力を調整した。ホースは内径 15mm の耐圧ホース、真空ポンプは実行排気速度 120 l/min のダイヤフラム型ドライ真空ポンプ、真空計は圧力レンジが -0.1~0MPa のアナログ式の小型真空計を使用し、三方口バルブと真空ポンプ間に水の吸入を防ぐためのフィルターを設けた。シリンダーは、外径 114mm、内径 104mm、全長 500mm、片側の端部にはホースの接続が可能な継手を設けた構造とし、シリンダー内には周辺をスポンジで被覆したパッキンを用いた。今回の試験では、シリンダー 2 本を並列に接続し、合計の移動量から式(1)から空隙量を算出した。試験は同一条件下で 3 回の計測を行い、3 回の計測前毎にシリンダーおよびパッキンの周辺にシリコンスプレーを塗布した。

4. 試験結果と考察

4.1 パッキン移動量のばらつき

本計測法のシリンダー内のパッキンの移動量について、同一条件下でのばらつきの影響を評価するため、各試験条件下で 3 回の計測を行った際の空隙量の計測値の標準偏差を算出した。標準偏差が小さいほど、計測のばらつきが小さいことを意味する。各圧力状況下での空隙量の設計値と標準偏差の関係を図-2 に示す。一部のデータを除き、3 回の計測の標準偏差は 0.04 l 以下であり、空隙量や空隙内の圧力の違いによる影響も認められないことから、本計測法は、安定した計測ができるものと考えられる。

4.2 空隙量と計測誤差

各圧力環境下での空隙量の設計値と計測誤差の関係を図-3 および図-4 にそれぞれ示す。ここに、計測誤差は空隙量の設計値と計測値との差を示し、図-3 の計測誤差は l で、図-4 の計測誤差は空隙量の設計値に対しての割合で示す。

図-3 に示す結果から、空隙内部の密閉度が低く、空隙量の設計値が大きいほど計測誤差が大きくなる傾向にある。一方、図-4 に示す結果から、本計測法は、空隙内部が密閉状態であっても空隙量の大きさによらず、設計値に対して約 10%の誤差が

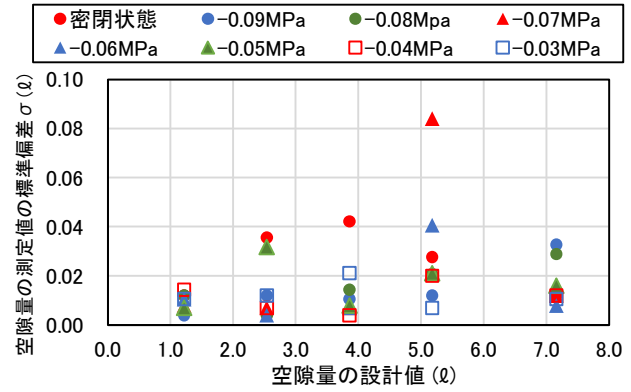


図-2 パッキン移動量のばらつきの影響

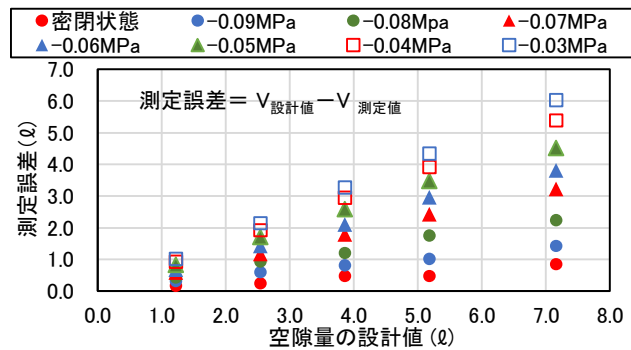


図-3 空隙量と計測誤差 (l) の関係

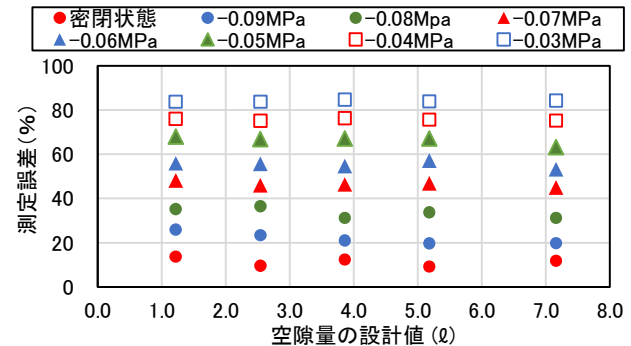


図-4 空隙量と計測誤差 (%) の関係

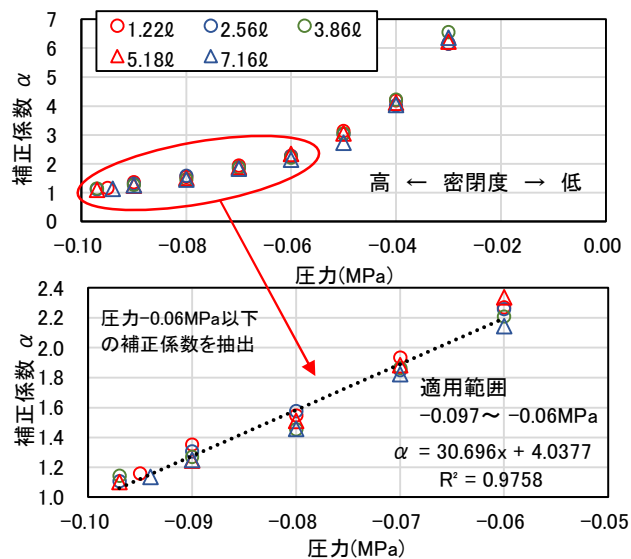


図-5 空隙内部の圧力と補正係数の関係

生じている。この理由は、パッキンの移動時の摩擦損失、シリンダーとパッキン間およびホースの接続部の微量な漏気や気体移動時の時間ロス等、各種の要因が考えられる。

4.3 補正係数

空隙内部の圧力と式(2)により算出した補正係数の関係を図-5に示す。

図に示す結果から、密閉度が低くなるにつれ補正係数が大きくなり、圧力が -0.06MPa よりも大きくなるとその傾向が顕著に認められる。そこで本試験では、空隙内部の圧力が $-0.06\sim-0.097\text{MPa}$ を適用対象とし、その範囲の補正係数を圧力の関数として線形近似した。

5. 実構造物への適用

5.1 計測の概要

本計測法の妥当性は、ポストテンション方式 PCT 桁のグラウト充填不足が確認された主ケーブル 6 本を対象に、本計測法による空隙量の計測と、本補修工法の実施時の空隙内部への水溶液の注入量の比較により行った。空隙量の計測状況を写真-2に示す。水溶液の注入量の計測は、注入前後の重量の差を水溶液の比重で除して算出した。なお、今回の計測対象となる空隙内部を真空ポンプで減圧した際の圧力の定常値は $-0.087\sim-0.093\text{MPa}$ の範囲にあり、全般的に空隙内部の密閉度は高い傾向にあった。

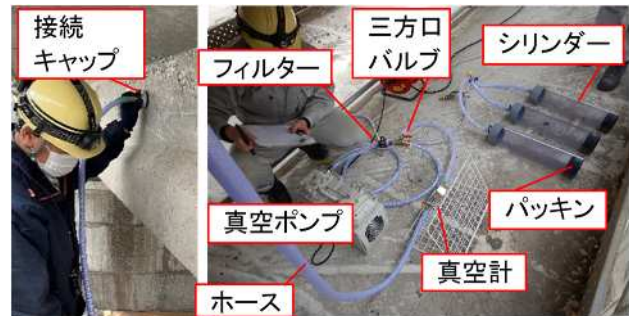


写真-2 空隙量計測状況

5.2 計測結果と考察

空隙量の推定値と水溶液の注入量の関係を図-6に示す。図中には、式(1)により算出した空隙量の計測値と、式(3)により算出した空隙量の推定値を示す。式(1)にて算出した推定値は、6箇所全てにおいて水溶液の注入量が多い結果となるのに対して、式(3)に図-5で算出した補正係数を用いた値は水溶液の注入量との差は最大 0.2l 程度となり、本計測法による空隙量の推定の妥当性が確認できた。今回は、全体的に空隙内部の密閉度が高い環境での計測となったが、今後も実構造物での空隙量の推定値と実際の注入量のデータの蓄積とその傾向を把握することで、本計測法の信頼性が向上するものと考えられる。

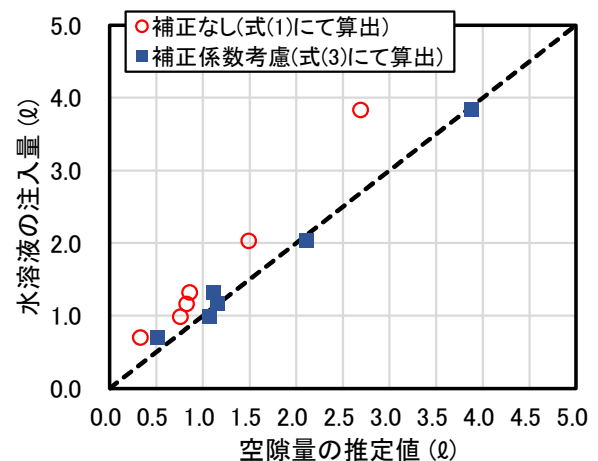


図-6 空隙量の推定値と水溶液の注入量の関係

6. まとめ

PCグラウト充填不足部の空隙量を、高度な計測機器を用いず簡易な方法で推定することを目的として、室内試験で空隙容量と空隙内部の密閉度の違いが計測誤差に及ぼす影響を把握するとともに、これらの計測誤差に応じた補正係数を算出し、その値を用いて実構造物での空隙量の推定を行った。以下に、本試験により得られた結果を示す。

- 1) 本計測法のパッキン移動量による計測値は、空隙量が約 7l 以下の条件に対して、空隙内部が密閉状態でも設計値に対して約 10% の計測誤差が生じた。この理由は、パッキン移動時の摩擦、シリンダーとパッキン間の漏気、気体移動時の時間ロス等が考えられる。また、密閉度が低いほど、空隙量が多いほど計測誤差が大きくなる。
- 2) 真空時の空隙内部の圧力が -0.06MPa 以下の環境を計測対象として、計測誤差に応じた補正係数を圧力の関数として算出した。

3) PCT 桁のグラウト充填不足部のケーブル 6 本を対象として、本計測法による空隙量の計測と、空隙内部の圧力に応じた補正係数を用いた場合の空隙量の推定値は最大でも 0.2ℓ 程度であり、本計測法による空隙量の推定の妥当性が検証できた。

今後は実構造物での空隙量の推定値と実際の注入量のデータを蓄積し、その傾向を把握することで、本計測法を汎用性の高い計測方法として確立させていきたい。

参考文献

- 1) 鴨谷知繁他：亜硝酸リチウムを用いた PC グラウト充填不足部の新しい補修方法の腐食抑制効果と実橋への適用事例，コンクリート工学，Vol. 50，No. 12，pp. 1084-1091，2012
- 2) プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き [PC グラウト再注入工法]，一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会，pp. 53-55，2020 年 4 月
- 3) 井隼俊也他：既設ポストテンション PCT 桁の補修についてーグラウト再注入および支承取替えー，プレストレストコンクリート Vol. 55，No. 6，2013. 11
- 4) 西口裕之他：気体流量センサを用いた PC グラウト充填不足部における新たな空隙体積推定手法の提案，土木学会第 72 回年次学術講演会，pp. 531-532，平成 29 年 9 月
- 5) 井隼俊也他：既設ポストテンション PC 桁のグラウト充填不足に対する補修方法の研究，第 25 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp. 105-110，2016. 10
- 6) 上原玲士他：グラウト充填不足箇所における真空法による空洞量推定の適用性検討，第 30 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp. 413-416，2021. 10