

自然加圧修復システムにおけるコロイド溶液の圧力管理に関する研究

(株)奥村組 正会員 森田修二 (独)鉄道・運輸機構 正会員 長谷川利晴

(株)奥村組 正会員 川口光雄 (株)奥村組 小寺健司 (株)奥村組 正会員 大塚義一

1. まえがき

東北新幹線事業に伴う八甲田トンネルの施工にあたっては、掘削ズリを管理する土捨場の一部に最終処分場と同等の仕様の遮水構造を採用した。折紙工区では、二重遮水シート内にコロイド溶液を充填・加圧した漏水検知・修復システムである“自然加圧修復システム”¹⁾²⁾を採用した。本システムは遮水シートに仮に破損事故が生じてても一定加圧維持されたコロイド溶液が土捨場内の保有水の漏洩を防止するシステムである。

今回、本現場において遮水シート内に圧力センサーを複数設置し、コロイド溶液の充填や還流状況の管理および破損箇所を推定する溶液管理システムを構築した。本文ではその精度の検証結果を報告する。なお、本管理システムの構築には当社開発の汎用構造・非構造解析コード“FEAST”を併用した。

2. 管理システムの概要

図-1には、閉じた区画内における圧力センサー（黒丸）の設置状況を示した。コロイド溶液は送液口と排液口から供給し、一定加圧した状態を維持する。実線は区画の締切りあるいは中間隔壁を表している。本管理システムでは合計 15 箇所に設置した圧力センサーによってコロイド溶液の流動特性管理を行う。図中の上部、中部、下部は検証を目的とした圧力変動箇所を示した。管理システムの構築にあたって現地の形状を評価するために数値解析による浸透流解析を併用した。図-2には二重遮水シートの断面図を示したが、二重遮水シート内は中間材と称する空間保持部材によって上載荷重を支持し、空間高さは1cmを確保している。コロイド溶液は水に比べると粘性がやや高く、シート内の流速は十分小さいと予想されるので、流れの運動方程式はダルシー則でモデル化し、シート内コロイド溶液の流れ場を式(1)の平面2次元の浸透流方程式で表した。

$$\frac{\partial}{\partial x} k_b \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_b \frac{\partial h}{\partial y} + Q - S \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

ここで、 k_b は透水量係数（＝透水係数 $k \times$ シート内高さ b ）、 h は全水頭、 Q は流出流量、 S は貯留係数、 t は時間である。透水係数については要素実験を行い、 $k=1 \times 10^{-1}$ cm/s、貯留係数は有効断面積から0.9とした。

図-3には、管理システムのフローを示した。①初期充填時に圧力センサーの測定結果と計算結果の比較から、透水量係数や標高などの条件を再評価する。②圧力センサーの測定値から圧力変動の推定を容易にするために、事前に圧力変動時のデータベースを作成する。③このデータベースと測定値の圧力誤差分布を算定し圧力変動箇所の範囲を推定する。式(1)に関して有限要素法を用いた数値解析によって、50cm区画で圧力

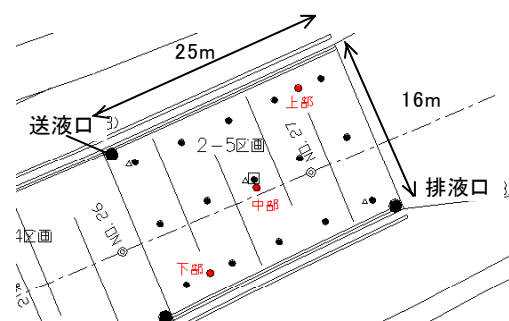


図-1 圧力センサーの配置(平面)

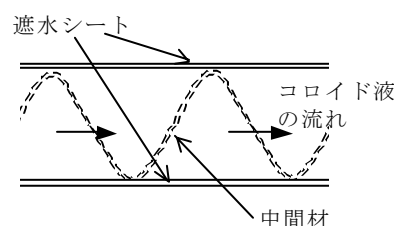


図-2 遮水シート内部の構造

変動時における圧力センサーに関するデータベースを作成した。式(2)に示すデータベースと実測値の差に関する2乗平均和 δ_n を用いて圧力誤差分布を算定する。ここで、 m は圧力センサーの番号、 m_p は測点数、 n はメッシュの節点番号、 $f_m(n)$ は節点 n で圧力変動した場合の圧力センサー m の解析結果、 g_m は圧力センサーの実測値、 δ_n は節点数だけ求められる。

$$\delta_n = \sqrt{\sum_{m=1}^{m_p} (f_m(n) - g_m)^2 / m_p} \quad (2)$$

なお、④状況によって圧力損失や漏液量がデータベースと大きく異なる場合はデータベースの再計算を行う。

3. 管理システムの検証

ここで模擬圧力変動実験に対する検知シミュレーションの1例を示す。×印が圧力変動箇所であり、バルブ調節によりコロイド溶液を一定圧力で排液した。図-4は式(2)で求められる圧力センサーに関する実測値と解析値の圧力誤差コンターを示している。誤差値の小さい所で圧力変動が生じていることを表している。施工時の不具合（丸印が有効な圧力センサー）で当初予定していたほどの精度は得られていないが、実際の圧力変動箇所の圧力誤差は、全体領域の低位4%に含まれており、検知確率は96%と考えられる。

図-5には圧力センサーと流量計の測定値を示した。圧力①～圧力⑫は図-4の圧力計の実測値を表しており、 Q_{in} と Q_{out} は圧力変動バルブからの排液流量とスタンドパイプからの供給流量を表している。測定値はほぼ5分～10分程度で定常状態に達している。本システムでは破損時には自然修復され圧力分布が初期状態に戻るが、この程度の継続的な圧力低下時間があれば管理システムとして成立する。マークは計算結果で圧力誤差が最小となる場合の結果を示したが、流量にやや差があるが遮水シート内の容積(約3.6 m^3)を考慮すれば僅かな差と言える。

4. 結論

本システムでは破損箇所は自然修復するので本来は漏洩箇所を検知する必要はないが、自然修復を確認することが目的の一つと考えられる。模擬実験の結果から圧力変動は十分な精度で検知できており、修復状況を確認できることがわかった。また、検知システムは95%以上の精度で圧力変動箇所を検出しており有効なシステムと考えられる。

【参考文献】

- 1) 大塚義一、他、「遮水シートの大規模破損時における自然加圧修復システムの遮水性能」、土木学会第56回年次学術講演会概要集、VII-026、pp.52-53、2001
- 2) 川口光雄、他、「自然加圧修復システムにおけるコロイド溶液の圧力制御」、第22回全国都市清掃研究発表会講演論文集、II-6-15、pp.381~383、2001

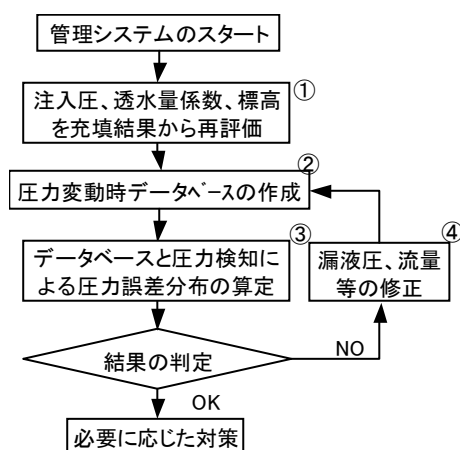


図-3 管理システムのフロー

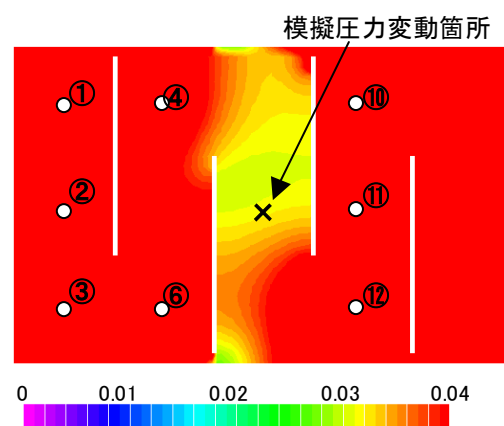


図-4 圧力誤差分布のコンター

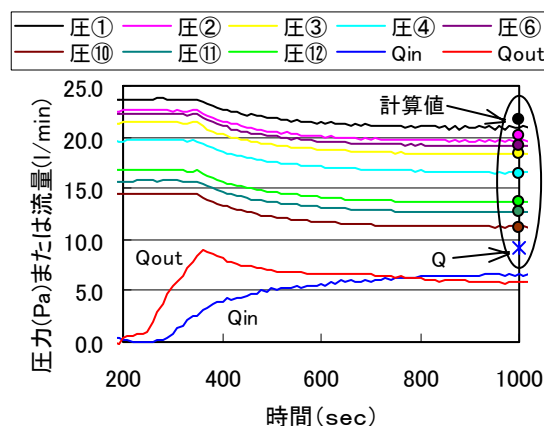


図-5 圧力と流量の変化