

地下トンネルのひび割れ漏水における注入補修材料の充填性に関する実験的検証

日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所
日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所

正会員 ○石川琢也¹ 川端一嘉
非会員 出口大志

1. はじめに

地下トンネル構造物は、経年劣化などで発生したコンクリートひび割れなどにおいて、しばしば漏水が発生する。漏水は構造の劣化を進行させることが多く、補修などの対策が行われている。

漏水補修工法の一つとして、ひび割れなどに補修材料を注入する注入補修工法が採用されている。注入補修工法は、補修材料と構造物との一体化を図ることも可能であり、漏水補修工法として広く普及している。

NTTのシールドトンネル（以下、シールドとう道）においても注入補修の実施例が数多くあり、いくつかの実施例においては補修箇所からの再漏水が報告されている。

注入補修における再漏水の要因として、ひび割れの経路を推定し、水が充満した条件で水压に対抗し、補修材料を微細なひび割れの奥まで完全に充填することはほぼ不可能であり、また、補修時において材料が十分に充填されているかを判断することが極めて難しいと考えられる。

そこでシールドとう道について、注入補修材料がひび割れ漏水に対して、どの程度充填されるかを検証するための実験を実施した。

2. 実験方法

実験ではシールドとう道の二次覆工コンクリートのひび割れ漏水を模擬した補修時の注入状態を表現できる実験装置を作成し、材料が規定の範囲内に充填されるまでの時間を計測した。

漏水の条件はNTTの補修基準に基づき点滴程度の漏水とした。

充填範囲は、シールドとう道の二次覆工コンクリートの標準的な奥行300mmとし、ひび割れ幅の違いによる充填時間を検証できることとした。

3. 実験装置

実験装置を図1に示す。1枚の亚克力板とステンレス板を組み合わせることで、注入補修材料の充填の状態を可視化した。亚克力板とステンレス板の間には、高さ360mm、横幅200mm、厚さが0.1mm、0.3mm、1.0mmのステンレス製の中枠を挟むことでひび割れを表現した。

装置の上方向からは圧力で水を注入し、下方向からは補修材料を圧力で注入する。中枠内で水と補修材料の置換が起こることでひび割れ漏水への注入補修を模擬できる装置とした。圧力の調整により漏水の条件と補修材料の注入圧を変更することができる。今回の実験条件による点滴程度の漏水を漏水量0.06ℓ/minとし、装置における水の注入圧力は0.005MPaとなった。

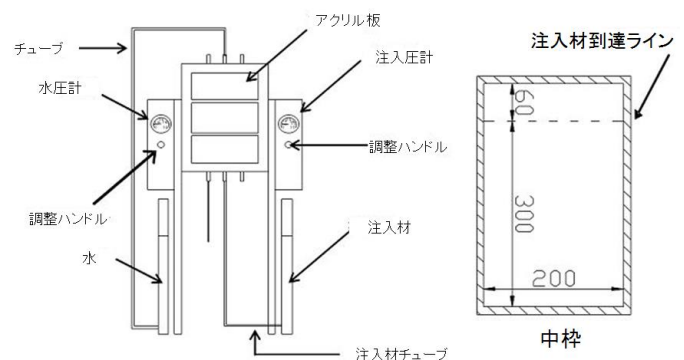


図1 実験装置と中枠

4. 実験手順

実験では、装置内で硬化しないために、補修材料を模擬した注入材料を用い、市中工法で用いられる数種類の補修材料の粘度を基にして、粘度10cps、100cps、500cps、1,000cps、14,000cpsの5種類の油や粘度計校正用標準液を注入材料として用いた。

あわせて注入圧力についても、市中工法を参考に、0.06MPa、0.25MPa、0.5MPaの3パターンで実施することにより、注入材料の粘度と圧力による充填時間の変化について確認した。

キーワード 通信用トンネル、注入工法、漏水、ひび割れ、

¹連絡先〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所 TEL 029-868-6240

実験は、以下の繰り返しにより実施した。

- i. 実験装置上部から水を圧入し、中枠内部を水で満たし、漏水を模擬する
- ii. 実験装置下部から注入材料を圧入し、横幅200mm、奥行き300mmの充填到達ラインの範囲に材料が充填するまでの時間を測定する

5. 実験結果

図2は、中枠の厚さ0.3mmの実験結果であり、各プロットは粘度5種類の注入材料の結果を示している。横軸が注入材料の注入圧力、縦軸は充填されるまでの時間である。

粘度の値を一定とした場合、注入圧力の増加に対して充填時間は短くなる傾向がみられる。逆に、圧力の値を一定とした場合、粘度の値が大きくなるにつれて充填時間が長くなる傾向がみられる。

この結果から、低粘度の材料と比較して、高粘度の材料を注入する際には目標の範囲が充填されるまでに非常に長い時間を要すると考えられる。

また、図2中の実線は、粘度を有する材料が圧力により注入されるまでの充填時間を求める計算式（1）により求めた曲線である。

$$t = (12 \cdot \mu \cdot l^2) / (\Delta p \cdot h^2) \quad \cdots \text{式 (1)}$$

t : 充填時間 (s), μ : 粘度 (N/m²・s),

l : 充填範囲 (m), Δp : 圧力差 (N/m²),

h : ひび割れ幅 (m)

実験結果と計算式の値は非常に合致しており、実験装置が現象をよく表現できていると考えられる。

次に、図3は粘度100cpsの材料を用いて中枠の厚さを変化させた実験の結果である。

結果より、中枠の厚さが薄いほど、すなわち、ひび割れ幅が小さいほど、充填時間は長くなる。これに関して、図3中の点線は注入補修材料が硬化する時間（可使時間）を100秒と仮定した場合であり、ひび割れ幅が0.3mm、1.0mmでは、可使時間前に注入補修材料は目標の範囲内に充填できると判断できる。一方で、ひび割れ幅0.1mm、注入圧0.06MPaの時は、目標の範囲内に充填される前に、可使時間を迎えてしまい、充填が十分でないことが予測される。

これらの結果より、ひび割れ幅が小さい場合や、注入補修材料の粘度が大きく注入圧力が小さい場合、および充填時間に対して可使時間が短い場合には、注入補修材料が十分に充填されない状態が発生すると考えられる。

6. まとめ

シールド工の覆工コンクリートひび割れからの漏水における注入補修工法の充填性について、実験装置を用いた検証結果から、漏水箇所の条件と使用する補修材料や注入圧力との組み合わせによっては、充填時間前に補修材料が硬化してしまい、十分な充填ができない可能性があることが判明した。

今後は、より複雑なひび割れやより高い水压などの条件に対する注入補修材料の充填性の検証など、現場でのひび割れ漏水の補修における再漏水の解消を目的とした検討を予定している。

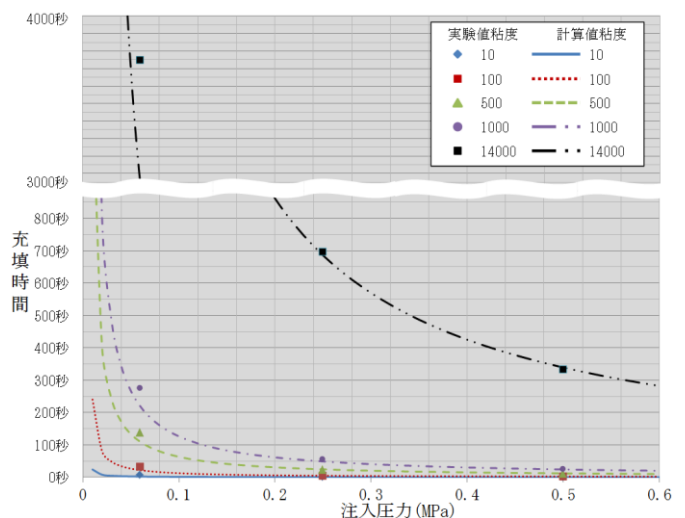


図2 厚さ3mmの中枠における充填時間

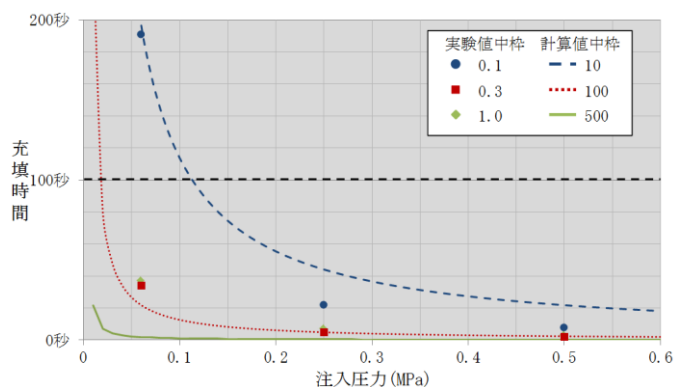


図3 粘度100cpsの注入材料における充填時間

参考文献

- 1) 松尾一泰：流体の力学—水力学と粘性・完全流体力学の基礎 2007