

VI-147 NATMにより施工されたトンネル配水池の湛水時の変形挙動

神戸大学都市安全研究センター 正会員 芥川真一¹⁾
 神戸大学工学部建設学科 正会員 桜井春輔²⁾
 (株)長大 大阪支社 数原麗香³⁾
 神戸市水道局技術部 湊 隆⁴⁾

1. はじめに

NATMにより掘削されたトンネル形式の配水池において上水を貯留する場合、湛水によって2次巻きとしての覆工コンクリートにひずみが発生するが、その原因は通常、水圧、温度変化の2つであると考えられることが多い。しかし、実際にはトンネルと地山の間の接触状態など、現場で遭遇する諸要因も覆工の変形挙動に影響を及ぼすことが考えられ、その挙動の詳細については不明な点も多い^{1)~5)}。そこで、本研究では供用に先駆けて完成したトンネル配水池の一部分を利用して、湛水時にトンネルが示す実際の変形挙動を詳細に計測し、変形のメカニズムとその要因を明らかにすることを試みた⁶⁾。本文では得られた挙動に関する結果の概要を報告し、覆工コンクリートに生じたひずみの原因について考察する。

2. 現場の概要と計測及び湛水試験の方法

湛水試験を実施したNATMで掘削されたトンネルの断面（SLレベルでの全幅約7.5m、高さ5.65m）と計測器の埋設位置を図-1に示す。本トンネルは上水の貯留を目的とし、維持・管理用に設けられたトンネル中央部の隔壁を介して左右2つの貯水槽を持つ鉄筋コンクリート構造である。吹付けコンクリート施工後、地下水の流入防止とコンクリート層間の分離機能を兼ねて、防水シート及び緩衝材（合計厚さ約3.4mm）を吹付けコンクリート表面に配置した後、覆工コンクリート（厚さ450mm）を打設した。さらに、表面保護と貯留水の覆工への浸入を防止する目的でコーティング材を覆工コンクリート表面に塗布した。計測用に、底盤部を除いた9ヶ所（測点1～測点9）にひずみ計を3個ずつ埋設した。覆工コンクリートと吹付けコンクリートの間の開閉度を計るため継目計を図-1(a)に示す5ヶ所に設置した。

3. 覆工コンクリートの挙動

右側注水完了時（T=7時間）のひずみの大きさ及び分布は、覆工コンクリートが水圧に対して弾性的に反応したと仮定した場合のものに近くなっていたが、その後、約17時間その状態を保持したところ、特に右側周辺の水没部分（特に測点7と8）において顕著なひずみの増加が確認された（図-2参照）。続いて左側に注水し（25≦T≦30時間）、これを約20時間保持した後およそ24時間かけて両池を同速度で排水した。その後、約4日間放置した後、右側に注水し、これを約2週間保持した。この間、覆工コンクリートは各場所において不均一な膨張を続け、最終的に図-3に示すような状態となった。この時、測点8の内側におけるひずみは 87×10^{-6} であった。

これらの計測結果から、覆工コンクリートは注水した直後の極短時間においては水圧に対応した弾性挙動を示すが、時間の経過に伴い不均一な膨張挙動が卓越する様子が分かる。また、この現象は、排水後も水との直接接点が無いにも関わらず継続し、これはダミーブロックの挙動からも確認された⁶⁾。

4. 膨潤ひずみと境界圧力の逆解析

本湛水試験においては、注水を開始して以降、時間の経過と共にコーティング材を通過して水分が覆工コンクリートに浸入し、その結果、膨張ひずみが不均一に発生したことが分かる。このとき、覆工コンクリートにひずみが発生させている原因の内、既知のものは(1) 水圧、(2) 温度変化、また、未知のものは、(3) 吸水による膨張挙動、(4) 吹付けコンクリートとの間に存在する境界圧力である。本湛水試験においては(2)の成分が存在することに加え、(3)、(4)の要因も覆工コンクリートの挙動に影響を及ぼしていると考えられる。従って、覆工コンクリートに発生している応力・ひずみの状態を正しく評価するために、逆解析⁶⁾を行い、上記の未知成分を明らかにした。

キーワード：トンネル配水池、覆工コンクリート、吸水膨張、逆解析

- 1), 2) 〒657神戸市灘区六甲台町1-1 TEL 078-803-1026 FAX 078-803-1050
 3) 〒550大阪市西区新町2-20-6 TEL 06-541-5793 FAX 06-541-5485
 4) 〒650神戸市中央区加納町6-5-1 TEL 078-322-5903 FAX 078-322-6174

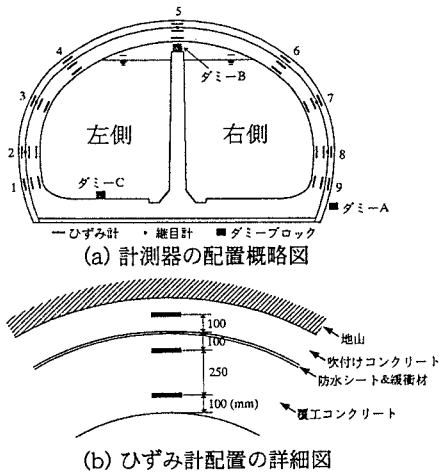


図-1 トンネルの断面の計測器の位置

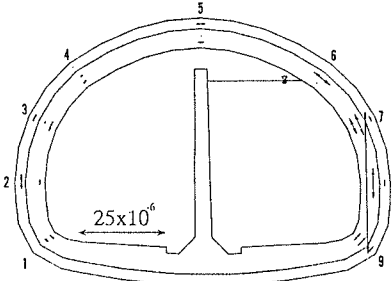


図-2 左側注水直前における計測結果

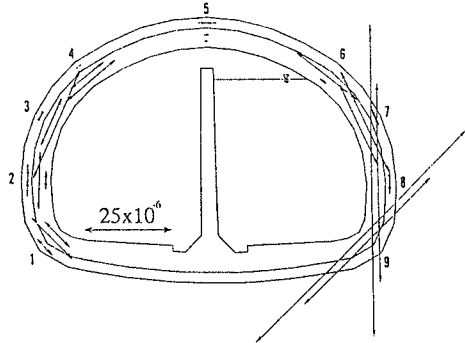


図-3 最終状態における計測結果

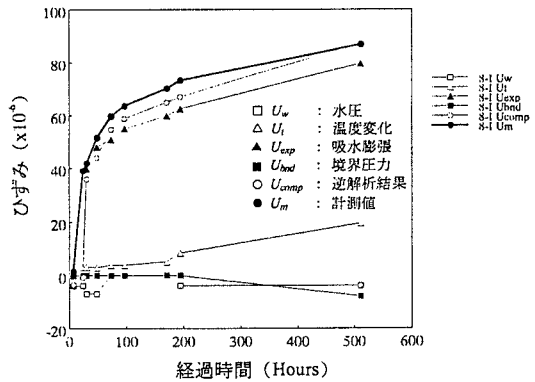


図-4 ゾーン8のひずみ計でのデータ成分の時間的推移

その結果に基づき、最も膨張挙動の大きかった箇所におけるひずみ成分の時間的推移を求め、図-4に示した。ここで、 U_w 、 U_t 、 U_{exp} 、 U_{bnd} はそれぞれ、水圧、温度変化、吸水膨張、吹付けコンクリートとの境界圧力によって測点8の内側に発生したひずみである。また、 U_m （太線）は計測値、 U_{comp} は逆解析の結果から全ての要因によるひずみを重ね合わせたものである。最終状態におけるひずみは 87×10^{-6} となっているが、その内、膨張挙動によるものが 80×10^{-6} （全体の約91%）となっており、測点8の内側で計測されたひずみが、膨張挙動に大きく影響されていることが分かる。

5. おわりに

NATMによりトンネル形式の配水池を建設する場合、防水シート及び緩衝材を介した2次覆工コンクリートの形式を採れば、一般に乾燥収縮時のひび割れ防止などの観点からも有利であるといえる。しかし、本文で示したように、実際の湛水試験においては従来の設計では考慮されていなかった吸水による膨潤挙動によって、覆工コンクリートの変形挙動が影響を受けることが分かった。本トンネルの場合、実際に発生した不均一なひずみによる応力の変化は許容値以内であったと判断されるが、今後、同形式のトンネル配水池を建設する場合には、本文で示されたような膨潤挙動の不均一性を考慮し、最終的に発生すると予想されるひずみ・応力の状態に対して覆工コンクリートが十分な耐力を有していることを設計段階で慎重に検討することが必要である。

参考文献：1) 立石：山岳トンネルの防水技術(1)、トンネルと地下、Vol.20, No.7, pp.73-77, 1989.7. 2) 定塚、田島、八木：山岳トンネルの防水技術(2)、トンネルと地下、Vol.20, No.8, pp.75-79, 1989.8. 3) 西脇、山崎、国見、小野：都市NATMトンネル覆工コンクリートのひび割れ制御対策選定に関する研究、土木学会論文集、No.367/VI-4, pp.81-89, 1986.3. 4) 滴尾、片瀬：NATM 2次覆工の温度応力解析、トンネルと地下、Vol.16, No.11, pp.33-40, 1985.11. 5) 片瀬、谷本、中島：NATMにおける2次覆工の温度応力とひずみ測定(1)、トンネルと地下、Vol.15, No.3, pp.43-54, 1984.3. 6) 櫻井、芥川、数原、徳山、湊：岩盤内トンネル配水池の湛水時における変形挙動の計測と評価、土木学会論文集、(掲載予定)、1997.