

## セグメント間の繰返し目開き変化による膨張性シール材の止水性能に関する実験的検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○石村利明, 森本 智, 佐々木亨, 日下 敦

## 1. はじめに

シールドトンネル内への漏水は、主にセグメント間の継手面、セグメント本体に発生したひび割れ・隅角部等の欠けや割れ、裏込め注入孔等から発生する場合が多い。トンネル内への漏水は各部材等の劣化を促進させる可能性があるためトンネルの耐久性の面から防止することが重要である。筆者らは、これまで文献<sup>1),2)</sup>により供用中のシールドトンネルを対象とした長期的な計測により、セグメント間の目地部が1年間の周期で繰返し変化していること、その繰返し変化により非膨張性シール材の止水性能が低下することを示した。本報文は、膨張性シール材を対象として供用後において坑内の温度変化により毎年繰返される継手面の目開き量の変化が止水性能に与える影響について実験を行った結果を報告する。

## 2. 実験

図-1に実験装置の概要を示す。実験装置は計測機器、シール溝、シール材、帯水層等から構成される。計測機器は目開き量を計測する変位計、界面応力を計測する圧力計から構成される。帯水層は加圧ポンプおよび水槽と接続し、一定の水圧を保持することが可能である。シール材は市販の膨張率3倍の膨張性シール材を用いた。

シール材の設計は文献<sup>2)</sup>と同様に設計目開き量を2.2mmに設定し、目開き変化量についても直径12mのRCセグメント規模を想定した部材長にRC構造物の線膨張係数 ( $10 \times 10^{-6}$ ) と年間温度変化量を乗じた1.0mmと1.5mmとした。実験ケースを表-1示す。実験手順は、図-2に示すように、シール材を実験装置に設置後、組立前の目開き  $\delta_0$  (【A<sub>0</sub>】) から設計目開き量  $\delta_1$  (【A<sub>1</sub>】) まで圧縮試験機により圧縮し、ボルトで固定した。その状態を保持しながら試験機から取り外し、低圧 (約0.01MPa) で帯水層内へ水を注入して180~240日間程度シール材を水膨潤させた。シール材の界面応力が収束 (【A<sub>2</sub>】) した後に実験装置を圧縮試験機に設置 (【B<sub>0</sub>】) し、目開き変化量  $\delta'$  を載荷 (【C<sub>i</sub>】) する繰返し載荷を50回実施した。なお、繰返し載荷速度は0.5mm/分で1ステップの時間は数分程度であるため、1年の温度変化を想定した実際の時間とは異なる。繰返し載荷実験が終了 (【B<sub>50</sub>】) した後、ケースNO.2・3を対象に、目開き量調整用のボルトを手動により徐々に緩めながら目開き量を拡大し、漏水状況を確認した。

## 3. 実験結果

図-3にシール材を設計目開き量  $\delta_1$  に圧縮した後の水膨潤時の界面応力の経時変化を示す。各ケースの界面応力は、シール材が膨潤することにより5~6カ月程度において約0.2MPaから徐々に増加し、0.55~0.65MPa程度で収束していることが分かる。シール材の水膨潤時の界面応力の増加率は約2~3倍程度であった。

図-4にシール材を圧縮する前から繰返し載荷1回目までの界面応力とシール材の変形量の関係を示す。全ケースともに、設計目開き量まで載荷した際の界面応力の値は、約0.2MPaで、文献<sup>3)</sup>で試算される値と同程度となった。その後、水膨潤後の界面応力0.55

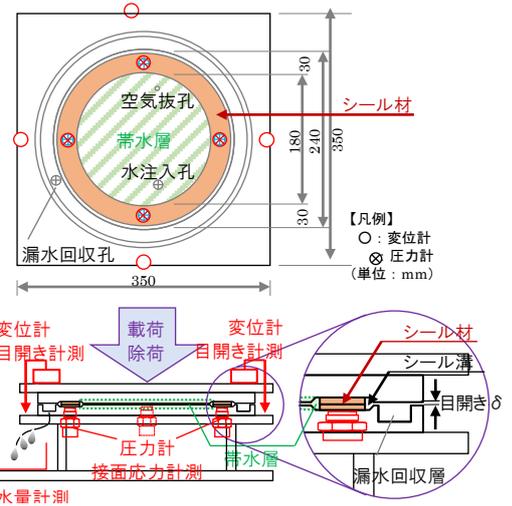


図-1 シール材の実験装置の概要

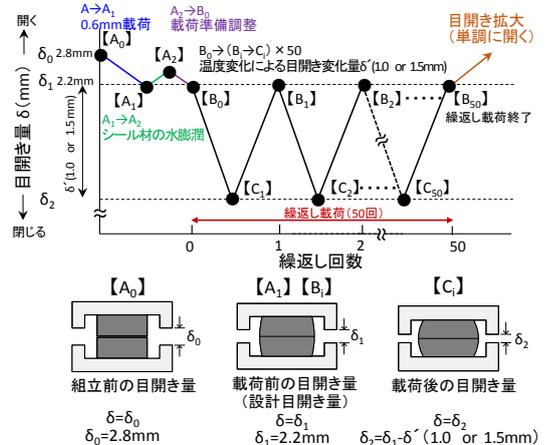


図-2 実験手順の模式図

表-1 実験ケース一覧

ケースNO.	水圧 (MPa)	載荷前の目開き量 (設計目開き量) $\delta_1$ (mm)	目開き変化量 (目標値) $\delta'$ (mm)	載荷後の目開き量 $\delta_2 = \delta_1 - \delta'$ (mm)	載荷速度 (mm/min)	繰返し回数 (回)
1	0	2.2	1	1.2	0.5	50
2	0.3	2.2	1.5	0.7	0.5	50
3	0.3	2.2	1.5	0.7	0.5	50

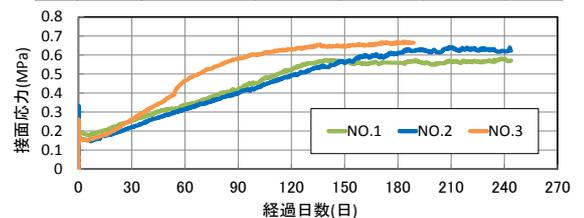


図-3 水膨潤時のシール材の界面応力

キーワード シールドトンネル, 膨張性シール材, 目開き変化, 材料劣化, 止水性

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 TEL 029-879-6791

～0.65MPaから、荷重準備調整のために設計目開き量  $\delta_1$  (【B<sub>0</sub>】) になるように再度設定することで各ケースの接面応力は約0.75～0.9MPaまで増加する。その後、【C<sub>1</sub>】までの荷重により各ケースの接面応力は最大約1.9～3.6 MPaまで増加後、目開きが  $\delta_1$  (【B<sub>1</sub>】)まで戻った段階で約0.6MPaまで低下する。なお、各ケースともに荷重時に目標値の目開き変化量  $\delta_2$ には至らなかったが、文献<sup>3)</sup>で試算される接面応力に近い値を示した。

図-5に、その後繰返し荷重を50回まで行った際の各段階の設計目開き量  $\delta_1$  (【B<sub>i</sub>】)における接面応力の変化を示す。図からは50回の繰返し荷重を行うものの、繰返し荷重終了時点における接面応力は目開き変化量  $\delta_1$  が1mm(NO.1,NO.2)の場合で約0.53～0.57 MPa、 $\delta_1$  が1.5mm(NO.3)の場合で約0.5MPa程度であった。これより、目開きの変化が大きくなると接面応力の低下が若干あるものの、本実験条件の範囲では接面応力の低下についての顕著な差は認められず、全ケースともに高い接面応力を維持し、漏水の発生は無かった。なお、非膨張性シール材での同様な条件下での繰返し荷重時の接面応力は、荷重前の約0.33MPaが1回目の荷重後に水圧0.3MPaを下回る約0.23MPaまで低下し、7回目付近で漏水が発生した<sup>2)</sup>ことから、非膨張シール材と比較すると膨張性シール材は高い止水性が確保されることが確認できる。

ケースNO.2, NO.3を対象として50回の繰返し荷重終了後、設計目開き量  $\delta_1$ の状態0.3MPaの水圧を保ったまま、徐々に目開きを拡大した。図-6に目開き拡大時における目開き量、漏水量の挙動を示す。NO.2では、実験開始後約90分で目開き量  $\delta$  が4.7mmとなった時点でNO.1付近の圧力計付近から滴水程度の漏水があったため、そのまま放置したところ約120分過ぎた時点で漏水が急増した。図-7に目開き拡大時の目開き量と接面応力との関係を示す。目開き拡大前の接面応力は約0.6 MPaであったが目開き量の拡大とともに低下し、目開き量約3.2mmで接面応力がほぼゼロまで低下したが漏水は確認されなかった。ケースNO.3についてもNO.2と同様な挙動を示しており、設計目開き量の2倍程度の目開き量4.5mmまでは漏水は確認されず、以降の漏水が発生している状態においても接面応力の平均値は約0.05MPa程度であった。その後、目開き量の拡大に応じて漏水量の増加が認められた。

以上より、本実験条件に範囲において、膨張性シール材による止水性能は、繰り返しの目開き変化量が大きくなると接面応力の低下が若干あるものの、本実験条件の範囲では接面応力の低下についての顕著な差は認められなかった。また、目開きが設計目開きの2倍程度までは止水性が確保されることが分かった。なお、両ケースともに、接面応力が荷重水圧0.3MPaを下回る状態においても漏水が発生しなかったのは、シール溝端部でシール材の変形を抑制することにより、文献<sup>4)</sup>で示されている「閉塞効果」と同様な効果が生じたことが一因と考えられる。

【参考文献】

- 1) 坂本昇, 森本智, 砂金伸治, 日下敦: シールドトンネルの覆工における挙動発生要因に関する一考察, (公社)土木学会第トンネル工学研究発表会講演集, 第27巻 II-5, 2017.11
- 2) 森本智・砂金伸治・日下敦・坂本昇: シール材に着目した漏水発生メカニズムに関する一考察, (公社)土木学会第トンネル工学研究発表会講演集, 第27巻 II-6, 2017.11
- 3) (社)日本トンネル技術協会: セグメントシール材による止水設計手引き, 1997.1
- 4) 加賀宗彦, 松浦純子: 軟質ゴムシール材の閉塞効果による止水メカニズム, 土木学会トンネル工学研究論文・報告集第8巻, 1998年11月

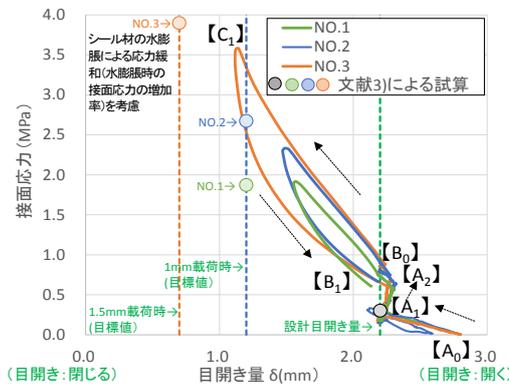


図-4 目開き量の変化量と接面応力との関係

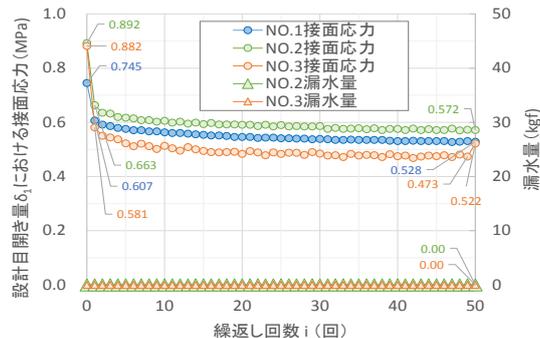


図-5 目開き変化の繰返し回数と設計目開き量【B<sub>i</sub>】における接面応力の関係

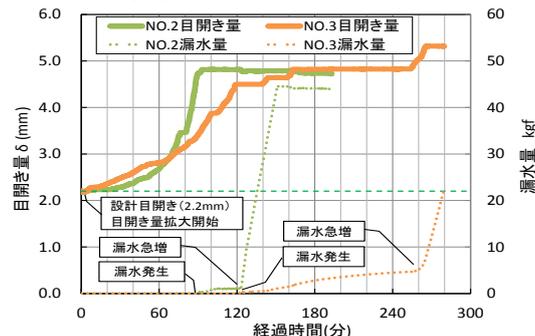


図-6 目開き拡大時における諸数値の経時変化

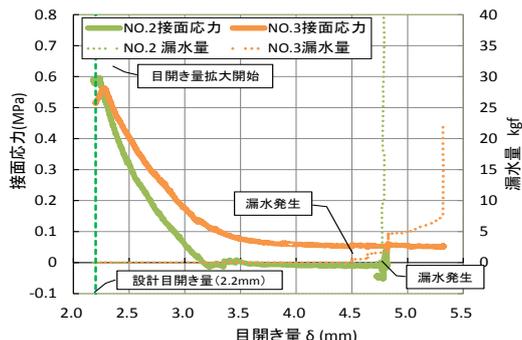


図-7 目開き量と接面応力・漏水量の関係