

VI-22 シールドトンネル二次覆工コンクリートのひびわれ防止対策

前田建設工業㈱ 技術研究所 正会員 谷 直樹
前田建設工業㈱ 技術研究所 正会員 出頭 圭三

1. まえがき

シールドトンネルの二次覆工コンクリートにはしばしばひびわれが発生し、その結果漏水等の点で問題となることが多い。このひびわれはコンクリートの温度変化や乾燥によるひずみが背面のコンクリートセグメントに拘束される(以後、背面拘束と呼ぶ)ことによって発生する応力が原因と考えられる。今回、この拘束をなくす方法を考案し、そのひびわれ防止効果を現場計測により確認したので報告する。

2. 対策工

温度応力や乾燥収縮による応力の原因と考えられる背面拘束は、コンクリートセグメント表面の形状から二次覆工コンクリートとの付着は小さいと考えられることから、セグメントを連結する継手ボックス部が原因しているのではないかと考えられた。そこで、この拘束をなくすために、この継手ボックス部をモルタルで充填し金ゴテ仕上げすることにした。(図-1)

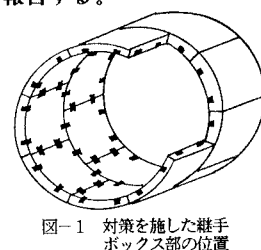


図-1 対策を施した継手ボックス部の位置

3. 計測内容

計測したシールドトンネルは外径7200mm、セグメントは厚さ35cmの平板型コンクリートセグメントである。また、二次覆工は巻き厚25cmで、1スパンを10.5mとして打設した。使用したコンクリートの配合は表-1に示すように、設計基準強度 210kg/cm²で、早強セメントを 309kg/m³ 使用したものである。

計測項目は、二次覆工コンクリートの温度・ひずみ・スパン間の開きおよびひびわれ発生状況の観察、コンクリートの圧縮強度、引張強度、ヤング係数および線膨張係数である。温度は図-2に示すように、45度位置の巻き厚の中心部で計測し、ひずみは同一位置でトンネル軸方向および円周方向で計測した。また、スパン間の開きは90度位置のコンクリート表面の開きを測定した。

4. 計測結果および考察

①二次覆工コンクリートの温度

二次覆工コンクリートの温度は図-3に示すように、27.5℃の打設温度から12時間後に47℃となり、その後材令4日に30℃まで比較的急激に降下し、その後徐々に降下して坑内温度に追従するようになった。この温度の履歴は、対策工の有無にかかわらずほぼ同じであった。

表-1 使用したコンクリートの配合

設計基準 強度 (kgf/cm ²)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランパ (cm)	空気量 (%)	水セメン ト比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 ヴァンクル
210	25	18	4.0	55.0	42.5	170	309	693	951	0.108

②ひずみ

図-4、5に温度とひずみの関係を示したが、ひずみはコンクリートの温度上昇とともに増加し、最高温度からの温度降下とともに減少している。背面拘束がない場合、これらのひずみはコンクリートの線膨張係数に比例して変化すると考えられる。図には無拘束の場合のひずみも示した(図中実線、供試体から求めた線膨張係数 $9.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ より算出)。無対策スパンのひずみは背面拘束の影響がみ

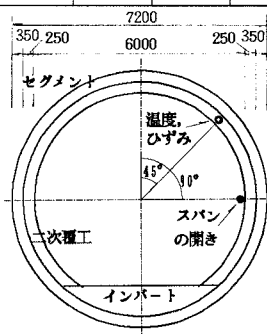


図-2 計測位置

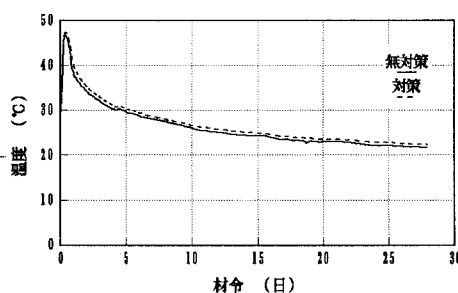


図-3 二次覆工コンクリートの温度履歴

られ、温度が変化してもひずみはほとんど変化していないことがわかる。また、温度降下時の37℃付近からひずみの減少勾配が変化しているが、これは二次覆工にひびわれが発生したことにより背面拘束が解放されたためと考えられる。これに対し、対策工スパンのひずみの減少勾配は無拘束の場合とほぼ等しく、背面拘束の影響は見られない。

対策工スパンのひずみの減少勾配が35℃付近から徐々に変化しているのは、温度変化によるひずみの他に乾燥収縮によるひずみが含まれているためと考えられる。

③スパン間の開き

対策工スパンのスパン間の開きは図-6に示すように、無対策スパンよりかなり大きな開きを示し、打設後25日で約3mmの開きが計測された。ここでも、対策工スパンの背面拘束が減少していることが確認できた。

④コンクリートの応力

計測したひずみより温度変化による拘束ひずみを算出しこれとコンクリートの物性より、無対策スパンに発生した応力を算出した。算出に際して、コンクリートのクリープはCEB-FIPモデルコードの提案式を用いた。発生応力は図-7に示すようになり、円周・トンネル方向ともにコンクリートの引張強度を上回り、ひびわれが発生することを示している。ここで、算出に用いた拘束ひずみは乾燥収縮による拘束ひずみを考慮していないことから、実際の応力はさらに大きかったものと思われる。

⑤ひびわれ発生状況

図-8に示すように、無対策スパンでは円周・トンネル軸方向ともに多数のひびわれが発生したのに対し、対策工スパンのひびわれは顕著に減少し、円周方向に一本発生したのみであった。このひびわれは二次覆工に先行して打設したインバートコンクリートによる拘束で発生した応力によるひびわれと考えられる。

5. まとめ

本計測により、今回実施したセグメントの継手ボックス部のモルタル充填による対策は二次覆工コンクリートの背面拘束を減少させることができ、その結果、コンクリートの温度応力や乾燥収縮による応力を低減することができ、ひびわれ防止に有効であることが確認できた。

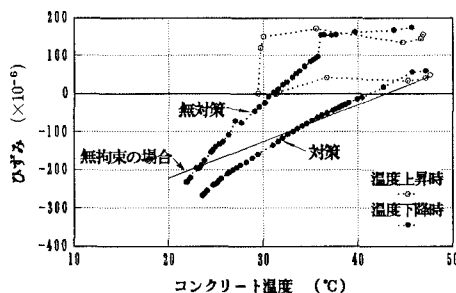


図-4 温度とひずみの関係（円周方向）

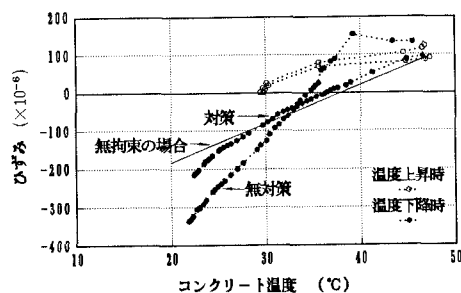


図-5 温度とひずみの関係（トンネル軸方向）

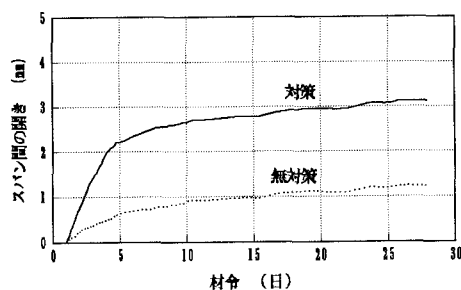


図-6 スパン間の開き

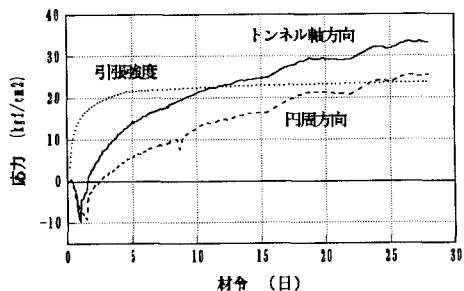


図-7 無対策スパンの応力

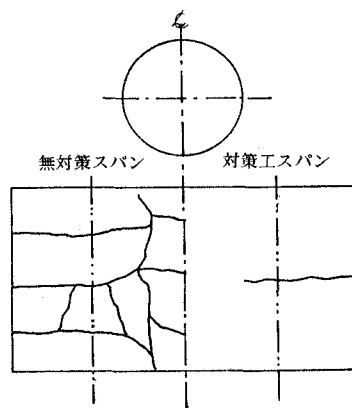


図-8 ひびわれ発生状況