

名古屋工業大学 正員 ○橋原 秀智
名古屋工業大学 正員 吉田 弥智

1 まえがき

岐阜 長野県境で現在、掘削が進められている安房トンネルは、熱泉が噴出する高熱地域にあるため、トンネル内の岩盤の温度は70℃にも達している。このような高温の岩盤面にコンクリートを覆工した場合、トンネル内コンクリート表面と岩盤との温度差により、コンクリートにひびわれが生じる可能性がある。そこで本研究では、普通ポルトランドセメント使用の吹付けコンクリートおよび内巻きコンクリートを対象とし、温度応力解析を行ってひびわれの可能性を調べ、ひびわれに対する防止策の検討を行った。

2 解析方法

温度応力解析を行うにあたり、必要なコンクリートおよび岩盤の物理特性値を表-1に示す。温度解析の際に必要な断熱温度上昇量および応力解析に必要な初期材令での弾性係数、圧縮強度は、現場と同配合のコンクリートを用いて実験により求めた。ひびわれには、トンネル軸に平行に生じる横ひびわれと、垂直に生じる縦ひびわれの2種類があるので、三次元有限要素法プログラムを用いて解析を行った。しかし、要素分割数が少なくなるため、横ひびわれに対しては、二次元有限要素法プログラムをも用いた。二次元・三次元の解析モデルを図-1に示す。覆工コンクリートの厚さは、吹付けコンクリートが10cm、内巻きコンクリートが30cmで温度測定位置と要素分割が同じになるように、吹付けコンクリートの場合は2層に、内巻きコンクリートの場合は3層に分けて解析を行った。

3 解析結果と考察

図-2に吹付けコンクリートの表面から5cmの位置での温度と材令の関係を、また図-3に内巻きコンクリートの表面から10cmの位置での温度と材令の関係を示す。吹付けコンクリートの場合は、打設後半日で最高温度に達し、その後急速に温度が下っている。二次元解析値も三次元解析値もともにこの状態をよく表わしており、実測値によく合っている。一方、内巻きコンクリートの場合は、材令2日でトンネル内の換気を止めたため、その後トンネル内の空気の温度が40℃近くになり、明確な最高温度が観察されなかった。二次元解析値は材令2日では実測値によく合っているが、それ以後は5℃ほど高くなっている。それに対して、三次元解析値は、材令半日で最高温度を示しており実測値と少し異なるが、材令1日以後はよく合っている。これはトンネルの換気による熱伝達率の変化を考慮し

表-1 物理特性値

	比 熱 (kcal/kg°C)	熱伝導率 (kcal/cm・hr°C)	密度 (kg/cm ³)	熱膨張率 (/°C)
コンクリート	0.22	0.025	0.0023	1.0×10^{-5}
岩 盤	0.205	0.031	0.0027	1.03×10^{-5}

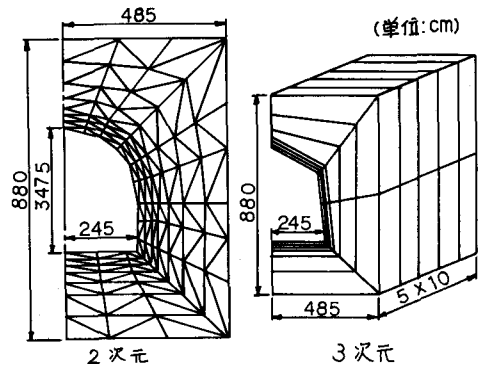


図-1 解析モデル

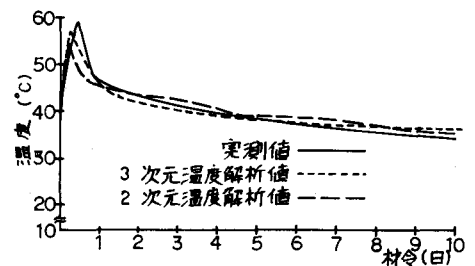


図-2 吹付けコンクリートの温度・材令関係

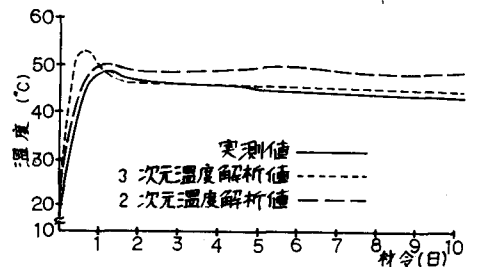


図-3 内巻きコンクリートの温度・材令関係

行ったことが原因と思われるが、全体として、解析値は実験値の傾向を十分とらえていると言えよう。

図-4, 5に、吹付けコンクリート・内巻きコンクリートの応力と材令の関係を示す。ひびわれ発生の判断基準として、CEB-FIPによる引張強度算定式($f_{ct} = 0.607 f_{ck}$)を使用し、圧縮強度が求めた。そして、引張応力が引張強度を越えた時をひびわれ発生とみなした。横ひびわれを生じさせる応力を面内応力、縦ひびわれを生じさせる応力を軸方向応力とすると、吹付けコンクリートでは、材令5日以降に横ひびわれが生じる可能性がある。これは、図-2の温度解析に示されるように急激な温度変化が原因と思われる。しかし、縦ひびわれに関しては、ほとんど可能性がないと言えよう。これに対して、内巻きコンクリートでは、二次元解析と三次元解析で差があるが、横ひびわれはほとんど生じないと思われる。この差の原因としては、図-3の温度解析に示されるように、三次元解析では最高温度が明らかに生じており、これによって応力が生じたのに対して、二次元解析では温度変化が小さいためにほとんど応力が生じない、ということになる。一方、縦ひびわれに関しては、材令1日で生じる可能性があるが、これも三次元解析において、最高温度が生じたためと考えられる。いずれの場合も軸方向応力が面内応力と同程度に生じており、横ひびわれ同様、縦ひびわれの検討が必要であると言えよう。

4 温度ひびわれ防止策

温度ひびわれに対する防止策として、図-6に示すように、横ひびわれに対しては横目地、縦ひびわれに対しては縦目地を設けることにして、温度応力解析を行い、その効果を検討した。なお、施工性から判断して、対象を内巻きコンクリートとした。図-7, 8に横目地、縦目地(厚さ1mm)を設けた場合のコンクリートの応力と材令の関係を示す。目地の効果をみるため、トンネル内空気温度が30℃を一定として解析を行ったので大きな応力が生じている。いずれの場合も、目地を1ヶ所よりも2ヶ所に設けた場合の方が、応力は小さい値を示した。特に、横ひびわれの場合、その効果が顕著である。

5 まとめ

温度応力解析の結果、吹付けコンクリートに対しては横ひびわれの可能性があり、内巻きコンクリートに対しては、トンネル内の換気の問題はあるが、縦ひびわれの可能性があることがわかった。そして、これらのひびわれの防止策として、施工上可能な内巻きコンクリートに対しては、目地を設けることは、かなり効果があると言えよう。

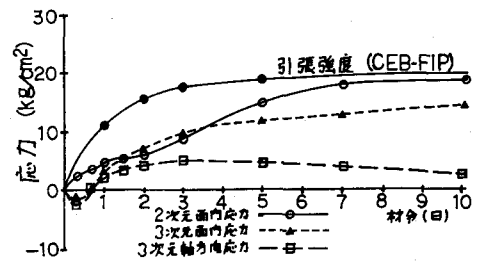


図-4 吹付けコンクリートの応力・材令関係

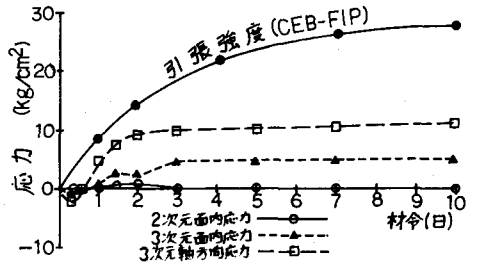


図-5 内巻きコンクリートの応力・材令関係

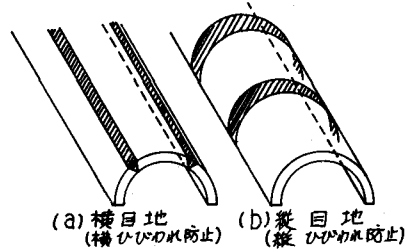


図-6 目地の設置

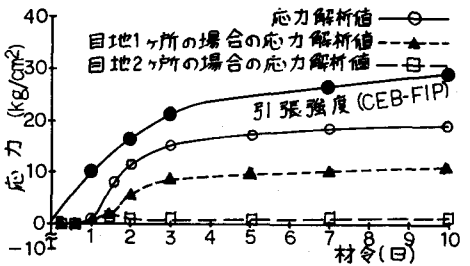


図-7 横目地の場合の応力・材令関係

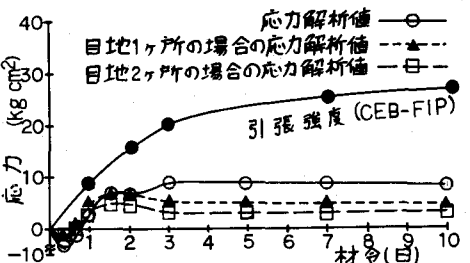


図-8 縦目地の場合の応力・材令関係