

# 高熱トンネル覆工コンクリートの温度ひびわれ特性に関する研究

名古屋工業大学 正員 吉田 弥智  
 名古屋工業大学 正員 梅原 秀哲  
 名古屋工業大学 学生員 ○松田 寛志

## 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℃以上に達している。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って、コンクリートにひびわれが生じる可能性がある。昨年度は内巻きコンクリート・吹付けコンクリート（普通ポルトランドセメント・高炉セメントB種）の4種類を対象とし二次元温度解析・応力解析を行うことによってトンネル軸に平行に生じるひびわれ（横ひびわれ）の可能性の検討を行った。今回は三次元解析を行うことによりトンネル軸に垂直に生じるひびわれ（縦ひびわれ）について検討を行ったので報告する。

## 2 解析方法

温度解析および応力解析を行うにあたって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。温度解析に必要な初期材令での弾性係数・圧縮強度は、各種コンクリートに対して、現場と同配合のコンクリートを用いて実験より求めた。温度解析において、コンクリートの熱伝達率を $10 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ と仮定した。解析方法として、8節点アイソパラメトリック6面体要素を用いた三次元有限要素法を使用した。なおトンネル断面は左右対称であるので図1に示すようなモデルを用いた。

## 3 温度解析結果と考察

覆工コンクリートの厚さは、吹付けコンクリートで10cm、内巻きコンクリートで30cmであり、温度解析を行うにあたり、吹付けコンクリートの表面から5cm、内巻きコンクリートの表面から10cmの位置で実測値・二次元解析値・三次元解析値を比較した。図2・図3に例として、普通セメント使用の吹付けコンクリート・内巻きコンクリートの結果を示す。吹付けコンクリートの場合、最高温度に関して三次元解析値は二次元解析値と同様実測値とほぼ一致しているが、最高温度から温度が低下する割合は実測値よ

|        | 比 熱<br>(kcal/kg $^\circ\text{C}$ ) | 熱伝導率<br>(kcal/cm $\cdot$ hr $^\circ\text{C}$ ) | 密 度<br>(kg/cm $^3$ ) | 熱膨張率<br>( $1/^\circ\text{C}$ ) |
|--------|------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| コンクリート | 0.220                              | 0.01800                                        | 0.0023000            | 0.0000100                      |
| 岩 盤    | 0.205                              | 0.03070                                        | 0.0026700            | 0.0000103                      |

表-1 コンクリート岩盤の物理特性値

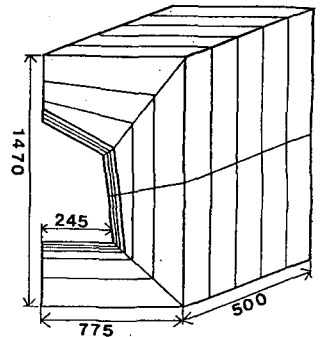


図-1 解析モデル

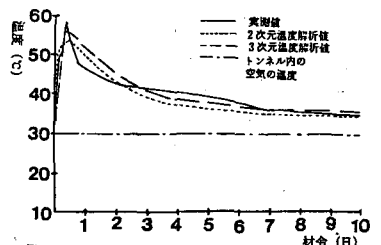


図-2 普通セメント使用吹付けコンクリートの温度・材令の関係

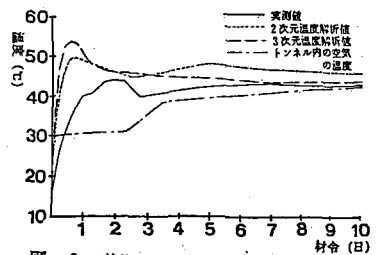


図-3 普通セメント使用内巻きコンクリートの温度・材令の関係

り少ない傾向を示している。一方 内巻きコンクリートの場合  
は、二次元解析値と同様に三次元解析値は全体的に実測値に比  
べ温度が高く、最高温度で10℃ほど差が生じている。実測値は  
表面から10cmの位置の温度センサーによるものであるが、材令  
3日で空気の温度とほぼ一致している。このことから判断して、  
実際はセンサーの位置が少し表面に近い場所に設置されたため、  
トンネル内の空気の影響を受けたものと考えられる。

#### 4 温度応力解析結果と考察

4種類のコンクリートについての温度応力解析結果を図4～  
図7に示す。いずれの場合も、壁面において最大引張応力を生  
じたので、その位置での応力経時変化を表わしている。ただし  
二次元解析値は温度に実測値を入力した結果である。またひび  
われ発生判断規準として、CEB-FIPによる引張強度算  
定式( $f_t = 0.607 f_c^{2/3}$ )を使用し、圧縮強度 $f_c$ より求めた。

吹付けコンクリートの応力結果を比較すると、普通セメント  
使用の場合、二次元解析では面内応力(横ひびわれを生じさせ  
る応力)が4～5日で引張強度を越えたが、三次元解析におい  
ては、7日で引張強度に達した。高炉セメント使用における面  
内応力は、二次元・三次元解析ともに引張強度に達しながった。  
どちらも二次元解析値が三次元解析値よりも大きな値をとる傾  
向となったが、これは三次元温度解析における最高温度からの  
温度低下が、実測値に比べ緩やかであったことが考えられる。  
軸方向応力(縦ひびわれを生じさせる応力)については、普通  
セメント・高炉セメントともに面内応力より小さく、縦ひびわ  
れの可能性は低いと言えよう。一方 内巻きコンクリートに関  
しては、図3に示すように温度において三次元解析値は実測値と  
差があるため、二次元解析値と少し異なった傾向を示した。す  
なわち二次元解析ではほとんど引張応力が生じないのに、三次  
元解析において面内および軸方向両方とも大きな引張応力が生  
じている。しかし軸方向応力はほとんど面内応力と同じような値をとっており、それほど差が生じて  
いないと思われる。今回は、覆工コンクリートの縦ひびわれの可能性を、三次元解析を用いて軸方向  
応力を求めることによって検討を行ったが、軸方向応力は面内応力と同じような傾向を示し、値もそ  
れほどかわらなかった。したがって、今回用いたようなモデルでは、横ひびわれが生じれば、縦ひび  
われも同程度に生じる可能性があることを示していると言えよう。

謝 辞 本研究で使用した三次元有限要素法のプログラムは、電力計算センター 川原場 博美  
氏によるもので、深く感謝の意を表します。

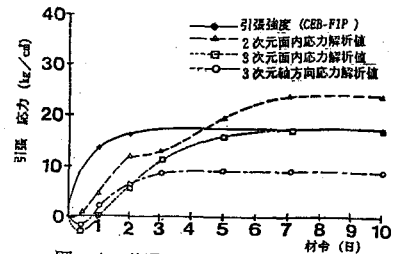


図-4 普通セメント使用吹付けコンクリートの応力・材令の関係

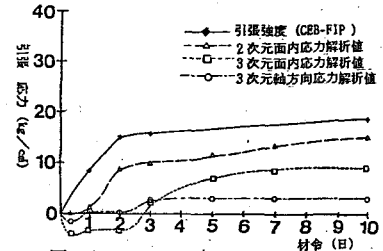


図-5 高炉セメント使用吹付けコンクリートの温度・材令の関係

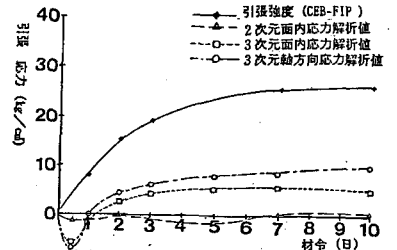


図-6 普通セメント使用内巻きコンクリートの応力・材令の関係

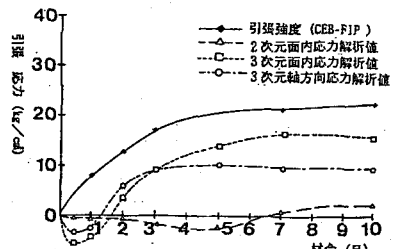


図-7 高炉セメント使用内巻きコンクリートの応力・材令の関係