

## III-125 NATMトンネル二次覆工のクラックの発生に関する一考察

東急建設技術研究所 正会員 ○後藤有志  
同上 正会員 西岡 哲

## 1. まえがき

NATMの施工において、吹付けコンクリートと二次覆工の間に止水シート等のアイソレーション材を用いない場合には、二次覆工には、主にコンクリート打設時に発生する水和熱による温度応力により、不規則で発生間隔が狭くひび割れ幅も小さいクラックが生じることがよく知られている。しかし、アイソレーション材を用いた場合でも、インバートの打設継目から発生し、二次覆工の打設継目にかけて、ひびわれ幅の大きいクラックが生じることがある。本報告は、二次覆工に生じたクラックの温度変化による開口幅の変化を調査し、さらに、FEM解析により、温度変化に伴う応力の発生状況を調べた結果について述べたものである。

## 2. 計測

二次覆工に発生したクラックの発生状況の例を図1に示す。クラックはすべて図のようにインバートの打設継目から発生し、二次覆工の打設継目の方向に最大幅2mm程度で伸びている。これらのクラックの開口幅と温度の関係を調べるために亀裂変位計を9個、コンクリート温度計を10個、坑内温度計を3個取り付けた。これらの計測結果の経時変化の例を図2に示す。さらに、このデータにおけるクラック幅の変化とコンクリート温度の関係を図3に示す。これらの図からわかるように覆工コンクリートの温度とクラック幅の変化は非常に良い相関を示し、温度1℃あたり、約0.1mmの変化を示している。したがって、クラック幅の変化は、温度にのみ影響を受けていると言え、クラックの発生は、温度変化に原因があると考えられる。

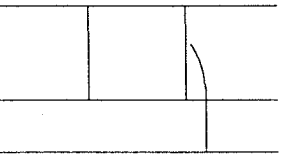


図1 クラックの発生状況図

クラック幅の変化とコンクリート温度の関係を図3に示す。これらの図からわかるように覆工コンクリートの温度とクラック幅の変化は非常に良い相関を示し、温度1℃あたり、約0.1mmの変化を示している。したがって、クラック幅の変化は、温度にのみ影響を受けていると言え、クラックの発生は、温度変化に原因があると考えられる。

## 3. FEM解析

温度変化により発生する応力を推定するためにFEMによる応力解析を行なった。

解析は、トンネル覆工およびインバートのコンクリートを図4のように平面にしたモデルを用いて、温度が10℃低下した時の応力を二次元平面応力解析により求めた。解析ケースは、以下に示す3ケースである。

- ・ケース1. 二次覆工とインバートの打設継目が2mの場合（図5）
- ・ケース2. 二次覆工の打ち継目の中間にインバートの打設継目のある場合（図6）

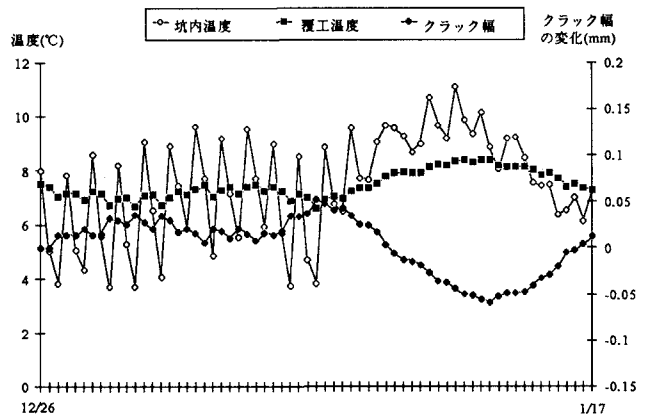


図2 経時変化図

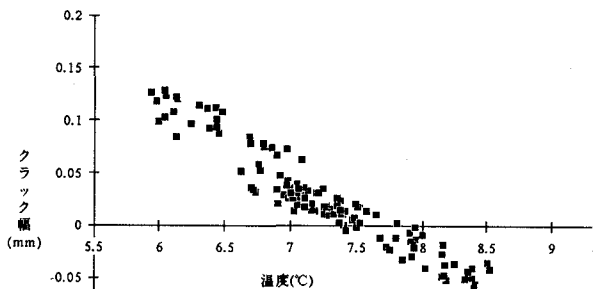


図3 コンクリート温度とクラック幅の変化の関係

## ・ケース3．二次覆工とインパートの打設継目が一致する場合（図7）

解析に用いた定数を表1に示す。

ケース2、ケース3の解析結果の応力図を図8、図9に示す。解析では、ケース2で $42\text{kg}/\text{cm}^2$ 、ケース3で $36\text{kg}/\text{cm}^2$ の引張応力が、打設継目付近に生じる。これはコンクリートの引張強度が $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度であることから考えると、クラックの発生に十分な応力である。しかし、ケース4では、応力はまったく発生していない。したがって、この結果から、打設継目をどのようにとっても食い違いが存在する限りクラックの生じる可能性が高く、打設継目を同じにすれば、クラックは生じないことがわかる。

解析による変位は、ケース2における二次覆工の打設継目の開口幅の変化が温度 $1^\circ\text{C}$ あたり約 $0.11\text{mm}$ とほぼ計測結果と等しい。これは、本トンネルの二次覆工がシートによって吹付けコンクリートとほぼ完全に縁が切れ、変形を拘束されていないことを示している。

## 4. あとがき

以上の計測および解析の結果より、アイソレーション材を用いた場合にも、クラックはインパートによる外部拘束により発生し、二次覆工とインパートの打設継目に食い違いをどのようにとっても、 $10^\circ\text{C}$ 程度の温度低下で十分にクラック発生可能性があること、

これを避けるためには打設継目を同一箇所に設ける必要があることがわかった。

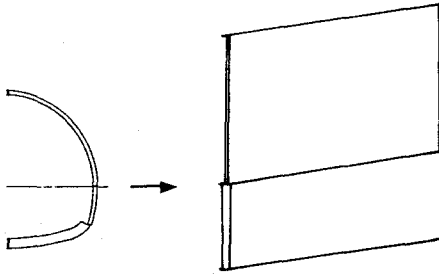


図4 FEMのためのモデル化

| 表1 解析に用いた物性値 |                                |
|--------------|--------------------------------|
| 弾性係数         | $100,000\text{kg}/\text{cm}^2$ |
| ポアソン比        | 0.17                           |
| 熱膨張率         | 0.00001                        |
| 引張強度         | $30\text{kg}/\text{cm}^2$      |
| 厚さ インパート     | 50cm                           |
| 二次覆工         | 35cm                           |
| 温度荷重         | $-10^\circ\text{C}$            |

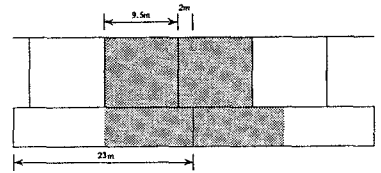


図5 モデル図(ケース1 2m)

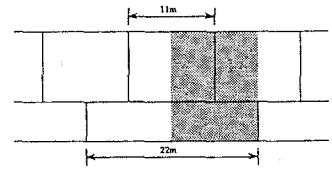


図6 モデル図(ケース2 中間)

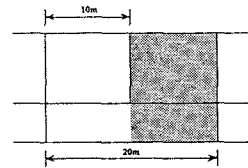


図7 モデル図(ケース3 同一)

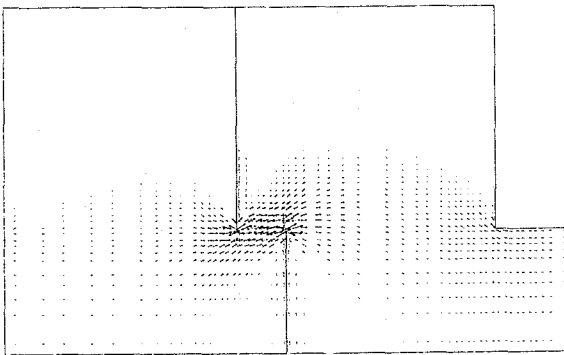


図8 主応力図(ケース1 2m)  
最大引張応力 $42\text{kg}/\text{cm}^2$

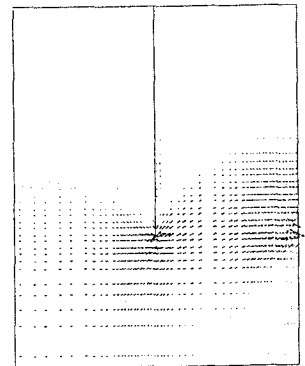


図9 主応力図(ケース2 中間)  
最大引張応力 $36\text{kg}/\text{cm}^2$