

トンネル覆工コンクリートの初期ひび割れ抑制に関する検討

大成建設(株) 土木技術研究所 正会員 ○武田 均  
正会員 臼井 達哉  
正会員 村田 裕志  
正会員 谷 卓也

1. はじめに

本稿は、トンネルの覆工コンクリート(以下、覆工)における初期ひび割れの発生原因について検討したものである。若材齢時に発生するひび割れとしてトンネル天端に発生する軸方向のひび割れを想定した。トンネル掘削においては地山条件等により余掘りが生じ、余掘り量の多少によって覆工厚が異なる場合がある。そこで、異なる覆工厚の条件により、内外温度差に起因する初期の温度応力やセントル型枠ダウンの影響を温度応力解析により検討した。その結果、若材齢時においては内部拘束応力とセントル型枠ダウン時の自重の作用によりひび割れの発生が助長される場合があることが示された。

2. 検討概要

検討条件を表-1 に、トンネル断面形状を図-1 にそれぞれ示す。断面形状、覆工厚、打設時期、セントル型枠ダウン時期を要因として、覆工に発生する応力を検討した。発生する応力としては、温度応力および自重の作用による応力を想定した。解析モデルは、先行ブロック中央を断熱境界とする3次元モデルとした。解析期間は後行ブロック打設後15日までとした。解析条件を表-2 に、解析モデルを図-2 にそれぞれ示す。なお、支保撤去材齢の検討では、セントル型枠ダウンのタイミング(材齢1.0、1.5、2.0日)で自重を作用させた。

3. 解析結果

3.1 トンネル覆工に発生する温度応力

図-3 に断面1(覆工厚1000mm、8月施工)の応力履歴を示す。また、図-4 に主応力の分布を示した。材齢2日までに内空側表面付近では引張応力のピークが観察され、それ以降覆工内部の各点で引張応力が増大する。材齢2日までの期間に内空側表面に発生する引張応力は図-4 のように横断面方向であり、それ以降はトンネル軸方向の引張応力が発生する。したがって、材齢2日程度の初期には内部拘束による応力が発生し、それ以

表-1 検討条件

| 項目                  | 条件                     |      |                       |      |      |
|---------------------|------------------------|------|-----------------------|------|------|
| 断面形状                | 断面1                    |      | 断面2                   |      |      |
|                     | SL幅 14.7m<br>CL高 10.3m |      | SL幅 11.0m<br>CL高 8.4m |      |      |
| 覆工厚(mm)             | 500, 1000, 1500        |      | 300, 600, 900         |      |      |
| 打設時期(月)             | 4                      | 6    | 8                     | 10   | 12   |
| 打設温度(℃)<br>(外気温+5℃) | 17.6                   | 27.5 | 31.0                  | 22.4 | 13.3 |
| 支保撤去材齢              | 1.0日、1.5日、2.0日         |      |                       |      |      |

表-2 解析条件

| 項目                                    | 条件                                                                                                                   |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 解析ブロック                                | 1.5ブロック(先行ブロック考慮)                                                                                                    |
| 断熱温度上昇量,℃                             | $Q_{(t)} = K(1 - e^{-\alpha t})$<br>$K=59.9^{\circ}\text{C}$ , $\alpha=1.528$                                        |
| 熱膨張係数                                 | $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$                                                                                  |
| ヤング係数, N/mm <sup>2</sup><br>(有効ヤング係数) | $E_{(t)} = \phi \times 6300 \times \sqrt{f'_{c(t)}}$<br>$\phi=0.42(\sim 1.0\text{d})$ , $\phi=0.65(1.0\text{d}\sim)$ |
| 表面熱伝達率                                | 14W/m <sup>2</sup> ℃(メタルフォーム)                                                                                        |

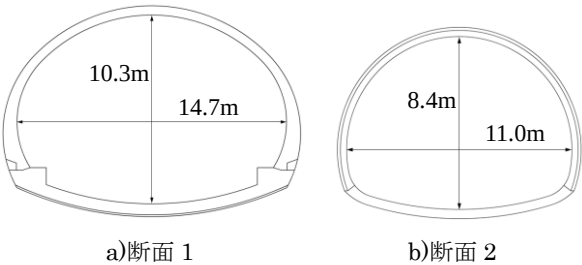


図-1 横断面図

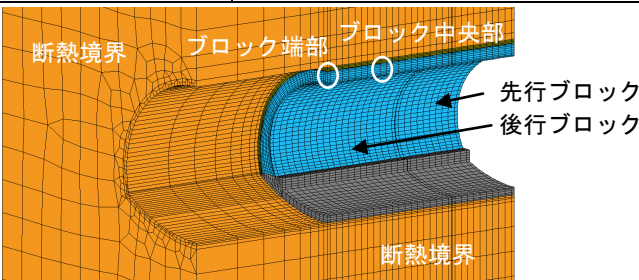


図-2 解析モデル

キーワード トンネル、覆工コンクリート、ひび割れ、温度応力、自重作用  
連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7230

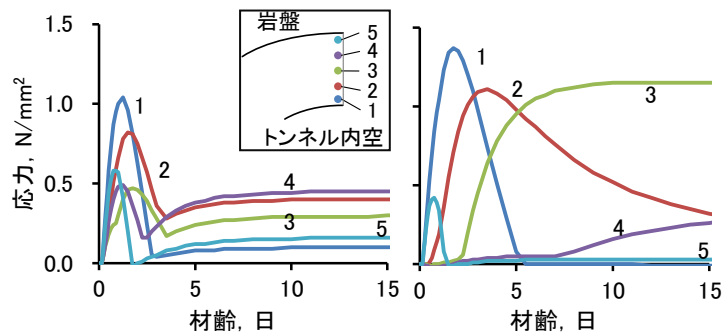


図-3 断面内主応力の履歴と分布 (+引張)  
(断面1, 覆工厚1000mm, 8月施工)

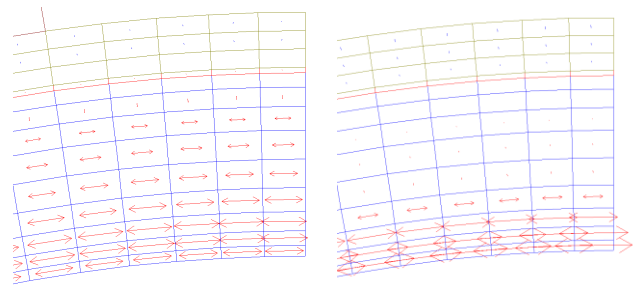


図-4 材齢2日の横断面内応力分布  
(断面1, 覆工厚1000mm, 8月施工)

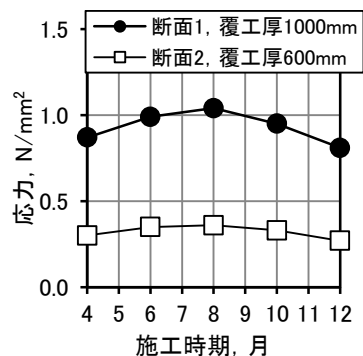
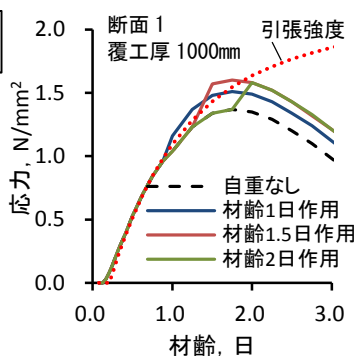
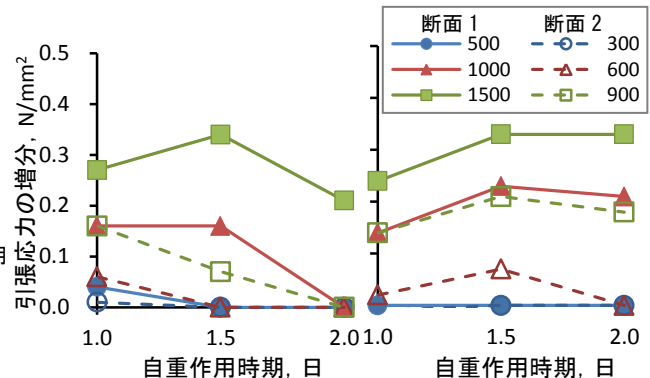


図-5 施工時期と内空側表層  
応力の関係



a) 表層応力の履歴(断面1)



b) ブロック端断面応力の増分 c) 中央断面応力の増分

図-6 自重作用時期による応力の増分(8月施工)

降は温度降下に伴い外部拘束による応力が発生すると考えられる。ブロック端部では内部拘束の影響が大きい。

図-5に施工時期と材齢2日までに天端表層に発生するピーク応力の関係を示す。ピーク応力は、断面1および断面2ともに施工時期によって異なり、8月施工の場合に大きくなった。内外温度差は断面1で12℃、断面2で6.5℃程度であり、いずれの施工時期でも同様であった。一方、ピーク応力時の断面内最高温度は断面1の8月施工では51℃、4月施工では38℃であり、初期に発生する内部拘束応力の大きさは、その時点の断面内温度と相関があった。これは、温度履歴によりヤング係数の発現が異なることと関係していると考えられる。

### 3.3 自重の作用がひび割れ発生に及ぼす影響

図-6a)に断面1(覆工厚1000mm, 8月施工)表層の応力履歴を自重作用時期毎に示す。図にはJCI指針<sup>1)</sup>による引張強度(28日圧縮強度:30N/mm<sup>2</sup>)の履歴も合わせて示した。若材齢時においては、自重作用の影響によって、引張強度を上回る応力が発生する場合があることがわかった。図-6b), c)に、自重作用時期と応力の関係における覆工厚の影響を示す。当然ながら覆工厚が大きいほど自重の影響は大きい。本検討の範囲では断面形状の影響はほとんどなかった。自重の作用時期に着目すれば、覆工厚により傾向が異なるものの、材齢1.5日で自重が作用した場合に応力の増分が大きくなる傾向がある。ひび割れの発生は応力と引張強度との関係で決まるので、発現強度が小さい時期に自重が作用することはひび割れの発生を助長する可能性がある。一方、自重の作用時期を遅らせることはひび割れの抑制に有効と考えられる。

## 4. まとめ

若材齢時の覆工に発生する応力は主として内外温度差に起因する内部拘束応力であると考えられ、内空表面ほど発生引張応力は大きい。自重の作用による応力の増分は比較的大きく、ひび割れの発生を助長する可能性がある。若材齢時における圧縮強度と引張強度の関係により脱型時期を判断する等の対策が考えられる。若材齢時の温度応力解析の精度向上のためには、強度およびヤング係数の発現を把握することが重要と考えられる。

## 参考文献

1) (社)日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008.11