

覆工コンクリート施工時の型枠存置期間が初期ひび割れ発生に与える影響に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○村上 浩次
 鹿島建設(株) 正会員 玉村 公児
 鹿島建設(株) 正会員 手塚 康成

1. はじめに

トンネルの覆工コンクリートは、打設から 12~20 時間で脱型することが一般的となっているが、これは他のコンクリート構造物に比べて非常に短い。弊社らが開発した TAF 工法は、2 組のフォームを使用することで、既往の打設サイクルを維持したまま、型枠存置期間を 18 時間から 66 時間に延長することを可能にした技術である¹⁾。型枠存置期間の長期化により得られる、覆工の初期ひび割れの抑制効果について、解析的に検討を行ったので、その成果について報告する。

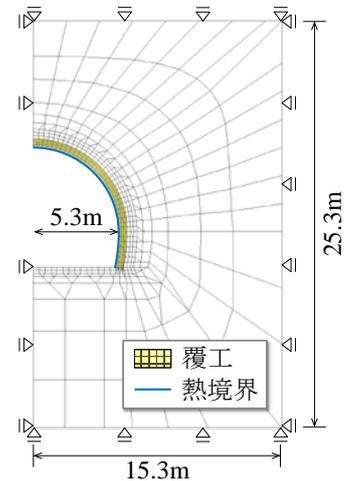


図 1 解析モデル

2. 温度再現解析

検討は、初めに実際のトンネル施工時に計測したデータを使用し、覆工コンクリート温度のトレース解析を行うことから開始する。トレース解析の目的は、種々のパラメータ設定の妥当性の検証を行うことである。本検討では、打設直後の主に周方向の体積・応力の変化によって発生する、トンネル軸方向のひび割れを主な検討対象とする。そのため、解析には図 1 に示す断面 2 次元モデルを使用する。表 1 には環境条件とトレース解析で同定した熱伝達率の値を示す。表 2 には各材料の物性値を示す。

表 1 温度環境条件

項目	入力値
外気温, 周辺岩盤温度	18 °C
コンクリート打ち込み温度	22.8 °C
養生期間中熱伝達率	5 W/m ² °C
脱型後熱伝達率	30 W/m ² °C

解析で得られた天端付近の覆工のコンクリート温度と実測値の比較を図 2 に示す。概ね実測値をトレースできおり、温度の設定条件を初めとした使用モデルの妥当性を確認できる。

表 2 物性値

	覆工	岩盤	吹付け
熱伝導率 [W/m°C]	2.7	3.5	2.6
密度 [kg/m ³]	2,382	2,300	2,300
比熱 [kJ/kg°C]	1.15	0.79	1.05

3. 温度応力解析

続いて、温度応力解析により、型枠存置期間をパラメータにしたケーススタディを実施する。解析ケースを表 3 に示す。入力条件のうち、現場と同配合の供試体を用いた室内試験により求めた、“線膨張係数”、“積算温度-圧強度(圧縮・引張)”を図 3 に示す。

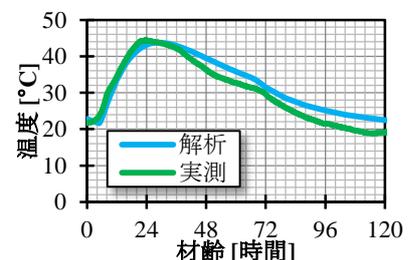


図 2 温度解析結果

本検討の評価指標は、各要素で得られるひび割れ指数とした。図 4 に全解析時間でのひび割れ指数最小値(安全係数)のコンター図を示す。概ね 5 以上の値を示しているが、天端内空側で値が 3 以下を示している。この天端の最も内空側の要素の「温度」、「引張強度」、「トンネル円周方向の応力」、「ひび割れ指数」の経時変化を図 5 に示す。各項目の挙動の特徴は以下の通りである。

表 3 解析ケース

- (1) 温度: 養生 18 時間のケースは温度の上昇過程で外気に晒されるため、ピーク温度到達前に温度低下が始まる。一方、養生 66 時間のケースは、発熱が終了して温度が低下している局面で脱型を迎える。両者とも脱型直後から急激な温度低下が生じる。

解析ケース	型枠存置期間
Case-1	18 時間
Case-2	66 時間

キーワード トンネル, 覆工コンクリート, 温度応力解析, 初期ひび割れ

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設株式会社 土木設計本部 TEL:03-6229-6614

- (2) 引張強度：脱型時の強度は、18時間の0.6N/mm²に対して、66時間は2.3N/mm²と4倍近い値になる。
- (3) 応力：打設後しばらくは、熱膨張により圧縮応力が発生するが、脱型による自重の载荷と急冷によって、応力は引張側にシフトしていく(18時間のケース)。66時間のケースは、ピーク温度に達した後、応力が引張側に移行する過程で脱型を迎える。引張応力の最大値は18時間より大きくなっている。
- (4) ひび割れ指数：66時間のケースは、引張応力の最大値が18時間のケースより大きくなるものの、強度の増進がそれに勝っているため、ひび割れ指数は18時間の1.6に対して、2.3となる。

続いて、式(1)とひび割れ指数により求める、ひび割れ発生確率 $P(\gamma_{cr})$ を図6に示す。TAF工法による養生期間の長期化により、ひび割れ発生確率を従来工法の約1/4以下(8.27%⇒1.92)に低減できることが確認できる。

$$P(\gamma_{cr}) = \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{\gamma_{cr}}{0.92} \right)^{-4.29} \right\} \right] \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

4. まとめ

型枠存置期間の長期化により、天端付近のひび割れ発生を抑制できることを解析により確認した。また実際の施工においても、TAF工法を使用し、標準の型枠存置期間を66時間としたトンネルでの、覆工コンクリートの初期ひび割れ発生の低減を確認できている¹⁾。これらの結果から、トンネル覆工においても、通常コンクリート構造物と同様に、今より長い型枠存置期間が必要であるとの考えに至った。工法の発展・普及を通じて、耐久性の高いインフラ整備に寄与していく所存である。

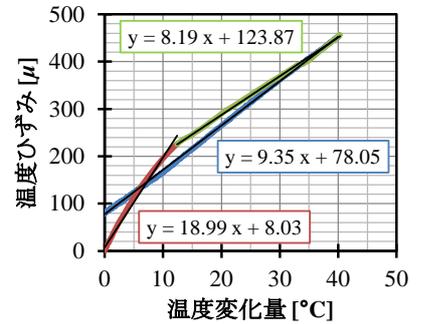
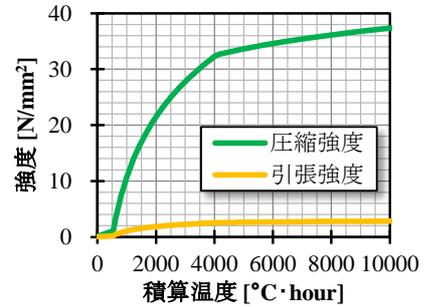


図3 入力条件

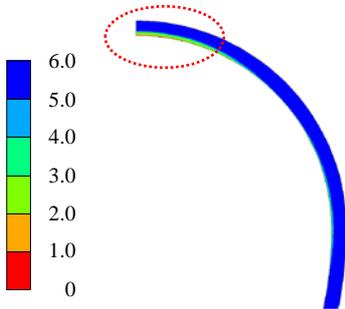


図4 安全係数カウンター

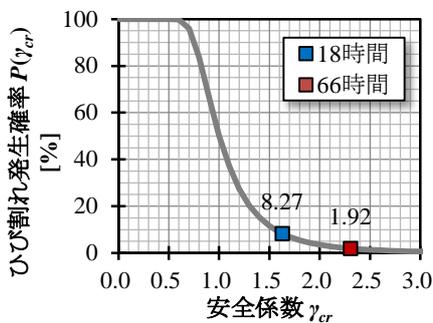
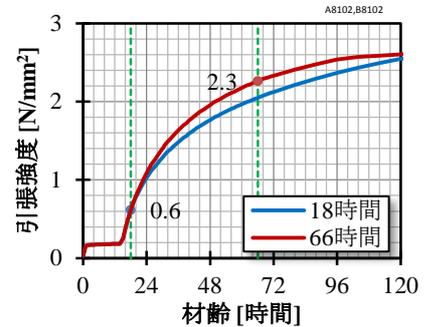
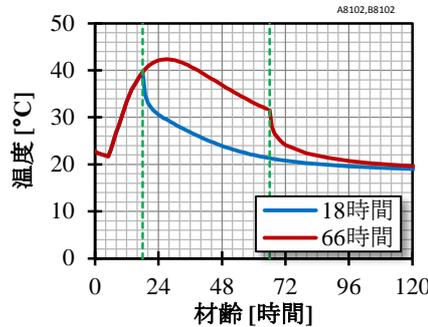


図6 ひび割れ発生確率

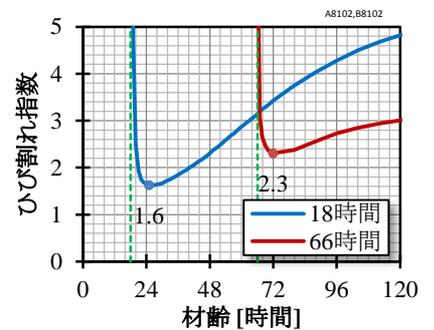
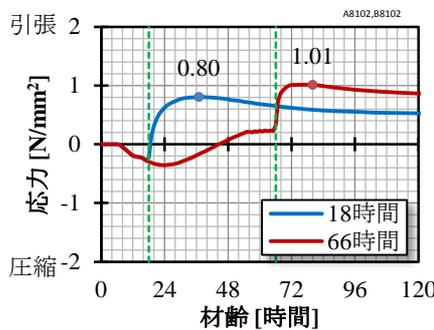


図5 温度応力解析結果

参考文献

1) 西岡 和則, 手塚 康成, 坂井 吾郎, 松本 修治, 村上 浩次: 新型テレスコピックセントル工法を用いて66時間型枠を存置する効果について, トンネル工学報告集, 土木学会, 第24巻, I-5, 2014.