

V-364

寒冷期におけるトンネルライニングの施工に関する考察

開発土木研究所 正会員 中井 健司
 開発土木研究所 正会員 小林 将
 北海道大学工学部 学生員 湯浅 浩介
 北海道大学工学部 フェロー 三上 隆

1. はじめに

NATMにより施工されたトンネルの2次覆工コンクリートには、気象条件等にもよるが、在来工法に比べて、ひび割れが多く発生する傾向にあると著者らは考えている。2次覆工は、トンネルの機能を長期間保持するための重要な構造物であるが、NATMにおいては地山自身によりトンネルの安定を図るという考え方に立っているため、2次覆工の役割が在来工法における覆工と設計の考え方が異なる面もある。近年、NATMの普及とともにひび割れの原因究明、対策等について調査研究が行われているが、本報告では特に寒冷期に施工されたトンネル2次覆工の事例を基にひび割れ対策、施工方法について検討を行った。

2. トンネル覆工のひび割れ事例

ここに紹介するトンネルは掘断面約100㎡、扁平率=1:0.7と比較的大きな扁平断面トンネルである。標準断面図を図-1に示す。ひび割れは冬期に施工したブロックで発生しており、いずれも無筋コンクリート断面の区間である。ひび割れはトンネル天端の縦断方向に発生しており、円周方向には見あたらなかった。また、ひび割れの深さを測定した結果、貫通したものは見られなかった。

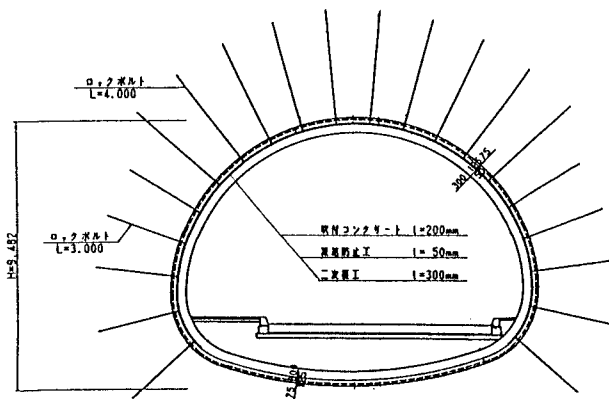


図-1 標準断面図

3. 温度応力解析によるひび割れの検討

今回のトンネル事例でひび割れの発生原因と考えられる型枠の早期脱型、コンクリートの温度応力について、養生温度をパラメーターとして2次元FEMによる温度解析および応力解析を行った。

①解析モデル

解析に用いたモデルを図-2に示す。温度解析の解析範囲はクラウン部とし、境界条件はコンクリート、地盤にそれぞれ初期温度を設定し、2次覆工の坑内側は材齢19Hまでは養生温度（15℃）、それ以降は坑内温度とした。応力解析については2次覆工の自重、覆工内外の温度差を考慮し解析を行った。

②解析ケース

解析は脱型後の坑内温度をパラメーターとした下記の3ケースとし、それぞれ脱型後19H、24H経過した時の2次覆工天端の応力状態について比較した。

CASE 1: 脱型時（19H）まで15℃で養生、それ以降の坑内温度を5℃とする。

CASE 2: 脱型時（19H）まで15℃で養生、それ以降の坑内温度を10℃とする。

CASE 3: 脱型時（19H）まで15℃で養生、それ以降の坑内温度を15℃とする。

キーワード：覆工コンクリート、ひび割れ

連絡先：（札幌市豊平区平岸1条3丁目 開発土木研究所 TEL 011-841-1111 fax 011-820-2714）

③解析結果および考察

解析結果一覧を表-1に示す。解析結果を基にコンクリート標準示方書で示す次式
温度ひび割れ指数 $I_{cr}(t) = f_t(t) / \sigma_t(t)$

$\sigma_t(t)$: 材齢 t 日における部材内の応力の最大値

$f_t(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートの引張強度

表-1 解析結果一覧

	CASE1	CASE2	CASE3
外気温 (°C)	5.0	10.0	15.0
コンクリート打設温度 (°C)	15.0	15.0	15.0
養生温度 (°C)	19H まで ~15°C 以降 ~5°C	19H まで ~15°C 以降 ~10°C	15.0
①脱型時の自重による 引張応力 σ_1 (kg/cm ²)	3.9	3.9	3.9
脱型時のコンクリート温度 (°C)	内	24.2	24.2
	外	30.7	30.7
	差	6.5	6.5
②脱型時の温度による 引張応力 σ_2 (kg/cm ²)	3.6	3.6	3.6
①+② $\sigma_1 + \sigma_2$	7.5	7.5	7.5
脱型時のコンクリート 引張強度 σ_{t1} (kg/cm ²)	9.0	9.0	9.0
ひびわれ指数 $\sigma_{t1} / (\sigma_1 + \sigma_2)$	1.20	1.20	1.20
③最大温度差時の自重による 引張応力 σ_3 (kg/cm ²)	3.1	2.1	1.9
最大温度差時の コンクリート温度 (°C)	内	19.8	22.2
	外	31.2	31.4
	差	11.4	9.2
④最大温度差時の温度による 引張応力 σ_4 (kg/cm ²)	6.5	5.2	4.3
③+④ $\sigma_3 + \sigma_4$	9.6	7.3	6.2
最大温度差時のコンクリート 引張強度 σ_{t2} (kg/cm ²)	9.3	9.5	9.8
ひびわれ指数 $\sigma_{t2} / (\sigma_3 + \sigma_4)$	0.97	1.30	1.58

(要素分割詳細図)



図-2 解析モデル（温度）

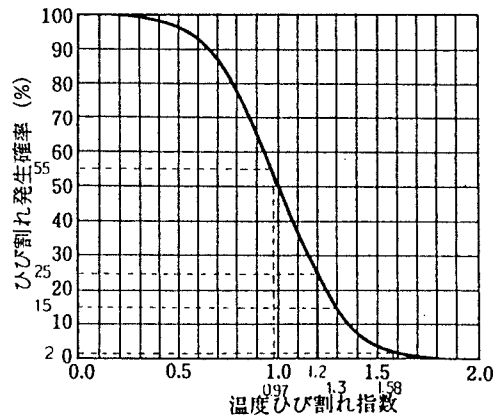


図-3 温度ひび割れ指数～発生確率

により求めた。図-3に温度ひび割れ指数と温度ひび割れ発生確率の関係を示す。脱型時（19H後）におけるひび割れの発生確率は25%、覆工内外の温度差が最大となる時（24H後）はCASE1で約55%、CASE2で約15%、CASE3で2%となる。このことから、脱型後急激に低温状況下にさらされることにより、ひび割れ発生の確立が大きくなることが伺える。また、クラックの発生後は時間の経過と共にコンクリートの硬化温度、外気温の低下による温度収縮、またコンクリートの乾燥収縮等によりクラック幅が進行した可能性が充分考えられる。

5. まとめ

今回の解析結果からも言えるように、冬期施工における型枠の早期脱型、および脱型後の急激な温度変化により生じるコンクリートの温度応力が、ひび割れ発生の大きな要因であると考えられる。特に冬期に防寒のために給熱養生を行うことが、覆工内外の温度差による温度応力を大きくさせていると思われる。したがって、今後給熱養生で施工した覆工コンクリートの打設にあたってはコンクリートの温度降下速度を緩和するなど、養生方法について充分検討する必要があると考えられる。

〔参考文献〕

- 1) コンクリート標準示方書（施工編） 平成8年度 （社）土木学会 pp.182～193