

セントル内の養生温度差が覆工の温度応力ひび割れに与える影響

(株)竹中土木 正会員 ○西村 直人
 (株)竹中土木 正会員 市川 晃央
 (株)竹中土木 正会員 柿澤 雅樹
 首都大学東京 正会員 西村 和夫

1. はじめに

NATM トンネルの覆工は18時間程度で脱型される。冬季においては早期強度増進のため、セントルをシート等で囲いジェットヒーターを用いた給熱養生が行われる。この際、養生空間の上下間温度差と養生終了時の急冷により、覆工に作用する温度応力が大きくなっているものと考えられる。

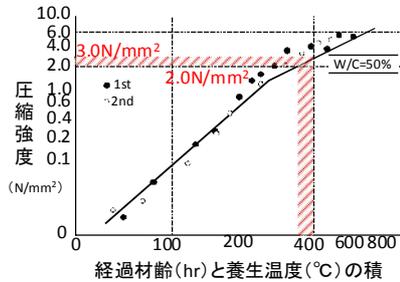


図-1 圧縮強度—経過材齢 (hr) と養生温度 (°C) の積²⁾を修正

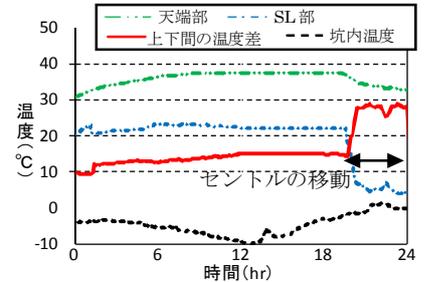


図-2 養生温度の計測値

2. 目的

3次元熱流体解析 (WindPerfectDX) を行い、給熱養生時のセントル内に生じる上下間の温度差を再現し、養生空間内を均一に熱循環させることができる送風機の配置を求める。また、3次元温度応力解析 (ASTEA MACS) を行い、養生空間内の温度差が覆工の温度応力ひび割れに与える影響を把握する。

3. セントル内の養生温度差

一般的な脱型強度 $2\sim 3\text{N/mm}^2$ 程度¹⁾を得るための養生温度を図-1 から算出すると、経過材齢18時間では養生温度が約 20°C 必要になる。実際に計測された養生空間内の温度の一例を図-2 に示す。養生空間のSL部において 20°C 以上を確保しているが、天端部との温度差は 15°C 以上の時もある。

4. 熱流体解析の条件

解析条件を表-1 に示す。ジェットヒーターのみのケース (Case1)、送風機で熱循環させて均一温度とするケース (Case2) で熱流体解析を行った。ジェットヒーターおよび送風機の配置は図-3 に示す。

5. 熱流体解析の結果

解析結果を図-4 に示す。実際に計測された養生空間内の温度 (図-2) を熱流体解析によりほぼ等しく再現することができた (図-4 Case1)。

表-1 解析条件

項目	条件			
1. 外気条件				
外気温度	-5°C			
2. 機器発熱条件				
ジェットヒーター (1台当たり)	吹き出し温度 138°C	風速 2.69m/sec	風量 $13.0\text{m}^3/\text{min}$	
送風機 (1台当たり)	-	風速 4.06m/sec	風量 $70.0\text{m}^3/\text{min}$	
3. 壁貫流・壁面温度条件				
内部シート (通路)	貫流率 $2.98\text{W/m}^2\cdot\text{K}$	面積 75.03m^2	隣室温度 -5°C	
端部シート (外気)	貫流率 $50.0\text{W/m}^2\cdot\text{K}$	面積 217.9m^2	隣室温度 -5°C	
トンネル覆工面	境界温度 15°C			
地面	境界温度 -5°C			

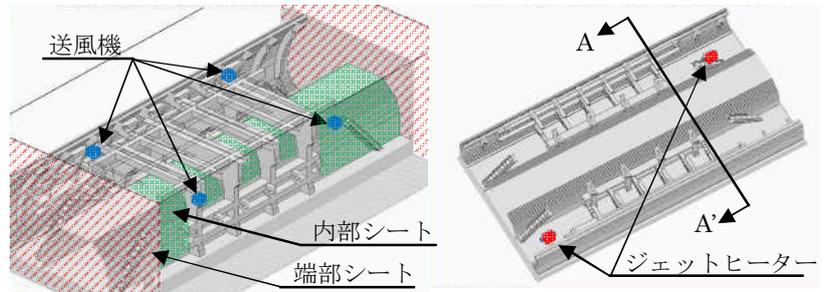


図-3 熱流体解析モデル

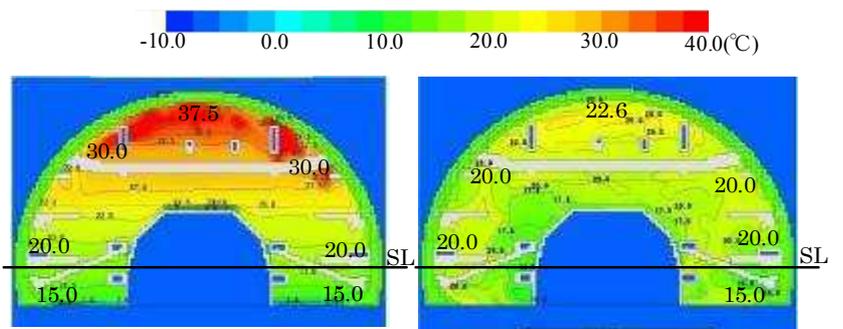


図-4 熱流体解析の結果 (A-A' 断面)

キーワード 覆工, 温度応力ひび割れ, 熱流体解析, 温度応力解析

連絡先 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 (株)竹中土木 技術・生産本部 TEL 03-6810-6215

6. 温度応力解析の条件

温度応力解析の解析条件を表-2、トンネル覆工の1/4解析モデルを図-5示す。解析ケースは、図-6の養生温度に示すように養生空間内に温度差があるケース (Case1)、送風機を用いて熱循環をさせて養生空間内を均一温度としたケース (Case2) の2ケースとした。

7. 温度応力解析の結果

温度応力解析の結果を図-7~9に示す。着目点は養生空間内の温度差が大きくなる天端部とした。図-7にコンクリート温度の推移を示す。Case1の最高温度がCase2に比べ中心部温度で4℃、表層部温度で7℃高い。

図-8に表層部のひび割れ指数、引張強度、主応力の推移を示す。最小ひび割れ指数はCase1の0.92に対し、Case2では1.36となった。引張強度はCase1、Case2で大きな差はなかったのに対し、最大主応力はCase1がCase2より大きい。Case1の表層部において、温度低下に伴うコンクリート収縮量の増大により、主応力が大きくなったと考えられる。

図-9にひび割れ指数の経験値分布を示す。天端部付近において、Case1よりCase2のひび割れ指数が大きく、養生空間温度を均一にすることが覆工の温度応力ひび割れの抑制に効果があることを確認した。

8. おわりに

熱流体解析を行い、養生空間内の温度差を再現することができた。また空間内を均一に熱循環させることができる最適な送風機の配置を求めた。

温度応力解析を行い、養生空間内の温度を均一にすることが温度応力ひび割れ抑制に有効であることを確認した。

今後は実プロジェクトにおいてセントル内における養生温度の均一化を行う。また、覆工に作用する応力を現場計測し、温度応力ひび割れの抑制効果を検証する予定である。

表-2 解析条件

項目	単位	地盤	コンクリート
熱伝導率	W/m°C	3.45	2.7
密度	kg/m³	2650	2400
比熱	kJ/kg°C	0.79	1.15
ポアソン比	-	0.3	0.2
セメント量	kg/m³	-	300
線膨張係数	μ/°C	10	10
断熱温度上昇特性	-	-	JSCE式
圧縮強度	N/mm²	22.6	JSCE式
引張強度	N/mm²	1.96	JSCE式
ヤング係数	N/mm²	500	JSCE式
初期温度	°C	12	18
熱伝達率	W/m²°C	-	14(型枠)

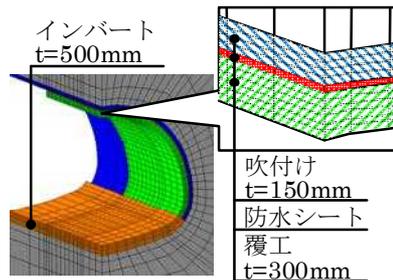


図-5 温度応力解析モデル

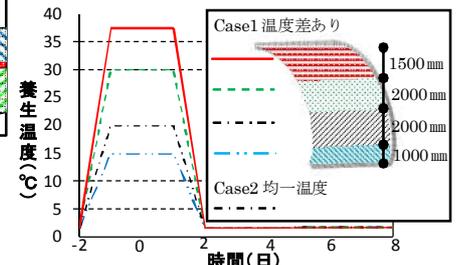


図-6 養生温度

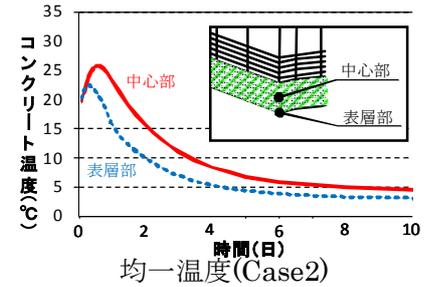
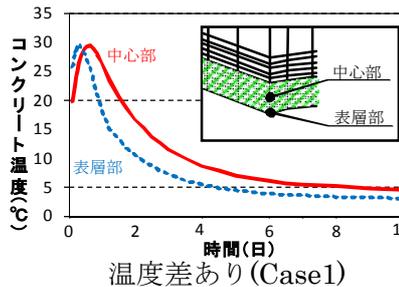


図-7 コンクリート温度

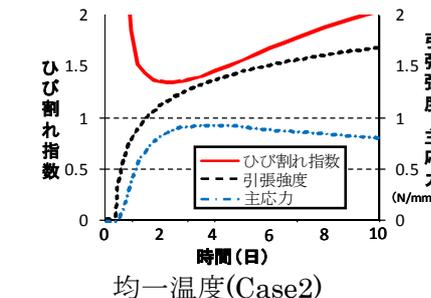
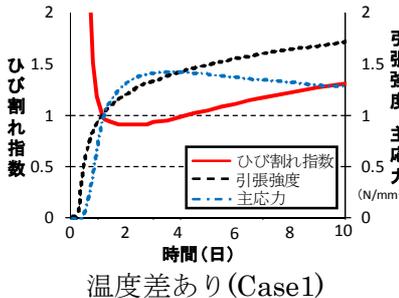


図-8 表層部のひび割れ指数、引張強度、主応力

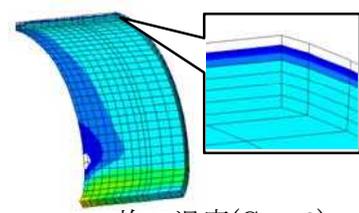
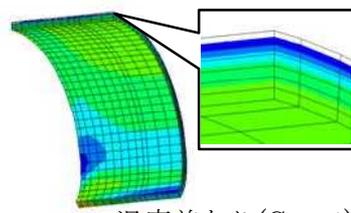


図-9 ひび割れ指数の経験値分布

【参考文献】 1) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針 (案)・同解説, P139, 2000年
 2) 笠井芳夫：コンクリートの初期強度 初期養生に関する研究, P103, 1968年
 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 (設計編), P331-343, 2007年