

トンネル覆工コンクリートへの給熱養生条件と圧縮強度の関係に関する検討

矢作建設工業（株）（元富山県立大学）
富山県立大学
北陸鋼産（株）

○正会員 佐藤 広樹
正会員 伊藤 始
赤羽 一大 横山 豊也

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの施工において、セントルの脱型と移動は、強度が所定の値に達していることを確認した後に、24 時間以内で行われることが多い¹⁾。しかし、北海道や東北地方などで冬期に施工されるコンクリートにおいて、対策を施さない場合は早期に十分な強度が発現しないことから 24 時間以内に脱型できず、脱型時間が延長される²⁾。

本研究では、セントル内面に電熱線を用いた帯状の発熱体を取り付け、セントルを介してコンクリートを温めることにより脱型に必要な強度を満たすことに着目した。発熱体を適用するにあたり、コンクリートの打込みから養生、脱型までの期間で給熱することは水和反応の観点から強度発現に有効である。それに対して、必要な時点まで稼働した後に停止することは、経済面や現場管理の安全面で有利である。

既報において、円柱供試体における給熱時間と圧縮強度の関係を明らかにした²⁾。本検討では、給熱養生を行った供試体での圧縮強度と有効材齢の関係を明らかにするとともに、覆工コンクリートでの給熱養生条件と圧縮強度の関係を解析的に推定することを目的とした。

2. 研究方法

2.1 研究の流れ

円柱供試体に給熱養生を行い、その供試体を用いて、圧縮強度試験を行った。その後、覆工コンクリートモデルを用いた温度解析を行い、給熱養生条件を変えたときの温度分布から強度分布を推定した。

2.2 給熱養生した円柱供試体の圧縮強度試験

図-1 に円柱供試体の給熱養生方法を示す。20℃の恒温室に断熱材と発熱体の順で配置し、その上に円柱供試体を置き、所定時間給熱した。発熱体には表面温度を約 50℃に保つものを用いた。給熱終了後から圧縮強度試験開始の約 1 時間前まで 5℃の恒温槽に静置した。

給熱養生を行った円柱供試体を用いて圧縮強度試験を実施し、圧縮強度を求めた。試験ケースは、給熱時間と試験材齢を変化させた全 24 ケースとした。

2.3 覆工コンクリートモデルによる温度解析

覆工コンクリートを対象に給熱養生を模した解析モデルを作成し、温度解析を行った。図-2 に解析モデルを示す。熱物性値は土木学会の値に準拠した³⁾。初期温度は、覆工コンクリートを 10℃、その他は 5℃とした。境界条件として、発熱体部分の熱伝達係数は 150w/m²・℃、型枠部分には 4w/m²・℃を与えた。表-1 に解析ケースを示す。解析は、給熱時間、発熱体間隔、および給熱温度を変化させたパラメータ解析を行い、発熱体間の中央での地盤側と内空側の温度履歴を求めた。

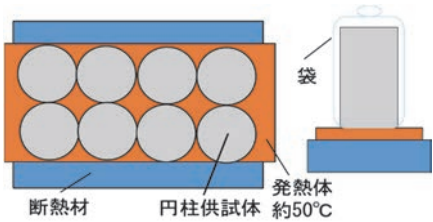


図-1 給熱養生方法

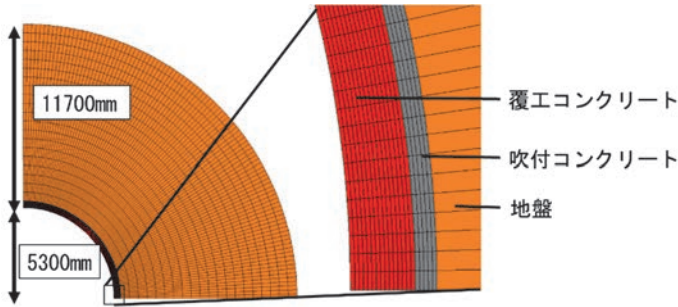


図-2 解析モデル

表-1 解析ケース

		上段：給熱時間（h）/下段：給熱温度（℃）			
		18		24	
		50	60	50	60
発熱体の間隔 （mm）	0	h18-50-0	h18-60-0	h24-50-0	h24-60-0
	160	h18-50-160	h18-60-160	h24-50-160	h24-60-160
	320	h18-50-320	h18-60-320	h24-50-320	h24-60-320
	480	h18-50-480	h18-60-480	h24-50-480	h24-60-480
	640	h18-50-640	h18-60-640	h24-50-640	h24-60-640
	800	h18-50-800	h18-60-800	h24-50-800	h24-60-800
	960	h18-50-960	h18-60-960	h24-50-960	h24-60-960

キーワード トンネル覆工コンクリート、給熱、圧縮強度、強度発現、熱伝達係数、温度解析

連絡先 〒939-0398 富山県射水市黒河 5180 富山県立大学 環境・社会基盤工学科 TEL0766-56-7500

3. 試験結果

3.1 圧縮強度

図-3 に圧縮強度と材齢の関係を示す。既報²⁾で述べたように、12 時間以上の給熱を行った場合に、圧縮強度が脱型強度である 2N/mm^2 を超えた。この結果から、発熱体周囲のコンクリートが材齢 1 日で脱型強度を得るには、12 時間以上の給熱を行う必要があった¹⁾。

図-4 に若材齢における圧縮強度と有効材齢の関係を示す。有効材齢とは温度による反応速度の促進、遅延を考慮した材齢のことである³⁾。若材齢時において有効材齢と圧縮強度は、直線関係となった。よって、圧縮強度 2N/mm^2 を得るためには、有効材齢に換算して 1 日程度に達する必要があることが分かった。

3.2 給熱後の温度分布

図-5 に温度 60°C の発熱体を 480mm 間隔で 24 時間給熱を行った時点の温度分布を示す。発熱体の付近では 60°C 近くまで温度が上昇したが、発熱体から離れるにつれて温度は低下し、地盤側の最低温度は 25°C 程度であった。

3.3 給熱養生条件と圧縮強度の関係

図-6 に発熱体間中央の内空側での圧縮強度と発熱体間隔の関係を示す。圧縮強度は、解析で得られた温度履歴を有効材齢に換算し、図-4 の式を用いて算出した。発熱体間隔が狭い時にはケースごとに異なる圧縮強度をとったが、発熱体間隔を広げるにつれてケースごとの差はなくなった。引張応力が卓越する内空側において有効材齢 1 日すなわち圧縮強度 2N/mm^2 を要求性能と設定する場合、発熱体を 600mm 間隔で設置し、 50°C の給熱を 18 時間行えばよいことが推定できた。なお、この結果は、トンネル内の温度が 5°C の場合であり、異なる条件における解析を用いた推定も可能である。

4. まとめ

- (1) 材齢 1 日で脱型強度を得るためには、12 時間以上の給熱を行う必要があることが分かった。
- (2) 圧縮強度 2N/mm^2 を得るためには、有効材齢に換算して 1 日に達する必要があることが分かった。
- (3) コンクリートの圧縮強度の要求性能に応じた発熱体条件を推定することができた。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針（トンネルコンクリート施

工指針（案）、コンクリートライブラリー102、2000

- 2) 佐藤、伊藤、赤羽、横山：材齢初期の給熱時間が低温環境下で養生したコンクリートの初期圧縮強度に与える影響、令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会、v-55、2020

- 3) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書・設計編、2017

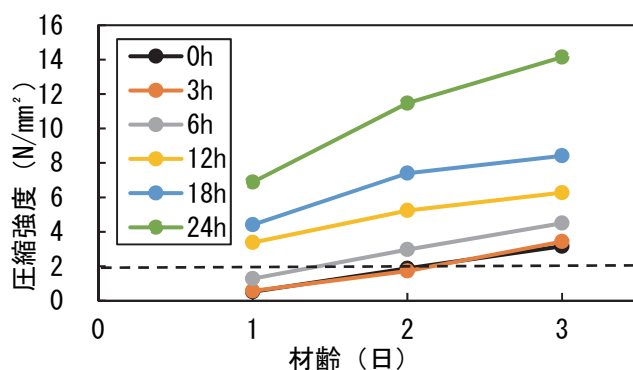


図-3 圧縮強度と材齢の関係

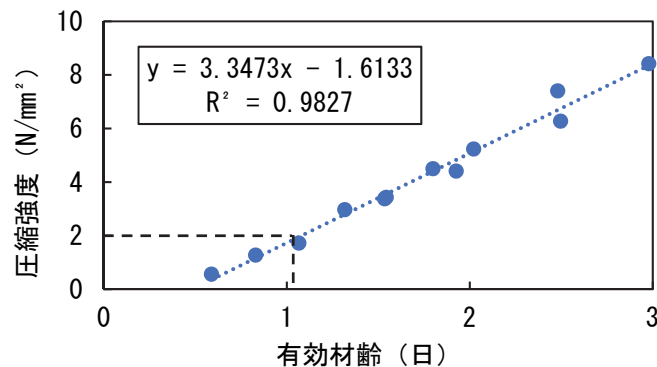


図-4 圧縮強度と有効材齢の関係

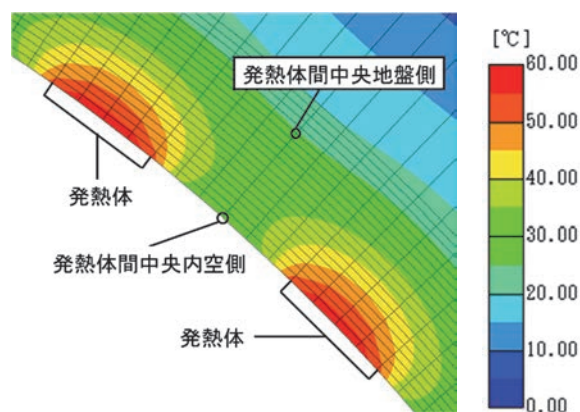


図-5 24 時間給熱を行った時点の温度分布

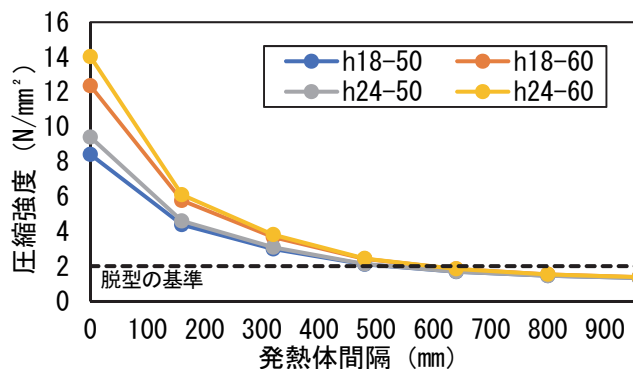


図-6 内空側での圧縮強度と発熱体間隔の関係