

加温養生時の覆工コンクリートの若材齢における温度推移と強度発現性状

(株)奥村組 正会員 ○松本 隆太郎 正会員 齋藤 隆弘
 正会員 川口 昇平 Rajib Kumar Biswas 島津 裕介
 中日本高速道路(株) 正会員 遠藤 宏朗 岩崎 真二郎 稲垣 太浩

1. はじめに

覆工コンクリートは打設完了後 12~20 時間程度で脱型を行うことが一般的で、脱型に必要な強度を所定の時間で確実に確保するために加温養生が検討される。若材齢時のコンクリートの圧縮強度は温度履歴の影響を大きく受けることから、脱型時の強度管理には、コンクリートの内部温度を的確に把握することが重要である。本研究では、コンクリートの練上がり温度、加温養生、雰囲気温度が、若材齢時のコンクリートの内部温度推移、およびそれに伴う強度発現性状に及ぼす影響を把握することを目的とした。加温養生を行ったコンクリート供試体について、供試体内部の温度を測定し、積算温度から強度発現性状を検討した結果を報告する。

2. 実験方法

コンクリートの示方配合を表-1 に示す。中流動コンクリートを使用し、コンクリートの練上がり温度の目標値は 15°Cとし、 $\pm 3^\circ\text{C}$ で管理した。

表-1 示方配合

スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	粗骨材 最大寸法 (mm)	単位量 (kg/m ³)				単位量 (g/m ³)	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能 AE 減水剤	AE 剤
35~50	4.5 \pm 1.5	50.0	52.2	25	175	350	904	838	3,500	7

備考 設計基準強度 σ_{ck} =24N/mm², W: 水道水, C: 普通ポルトランドセメント, S: 細骨材(長良川水系), G: 粗骨材(長良川水系砂利)

打設前の供試体型枠の状況を写真-1 に示す。供試体は 30cm 角の立方体とし、供試体の 1 面にセントルのスキンプレートを模擬した厚さ 9mm の鋼板、その他の面には 45 mm の断熱材を配置した。鋼板の外側に温度制御が可能な面状発熱体を設置した。面状発熱体は、設定温度 (40°C) を上限値として、面状発熱体に設置した熱電対の測定温度により制御した。加温条件は、加温あり (設定温度 40°C) に加え、比較のため、加温なしの 2 ケースを設定した。

発熱体による加熱は、コンクリート打込み前から開始し、発熱体の温度が定常状態になった後でコンクリートを打ち込んだ。発熱体による加温は打込み後 16 時間までとした。

供試体はコンクリート打込み前から測定終了まで 20°C の恒温室内にて静置した。熱電対は、鋼板のコンクリート側 (鋼板からの離隔 0 cm) および外側、コンクリート内部 (写真-1 中の赤丸、鋼板からの離隔は、3, 15, 27 cm) に設置し、温度測定は、コンクリート打込み前から打込み後 16 時間までとした。

3. 実験結果

コンクリート内部の温度履歴を図-1 に示す。加温なしでは、コンクリートの内部温度はセメントの水和熱により緩やかに上昇し、16 時間では 24°C~25°C となった。深さ方向での温度の差は、経過時間によらずほとんど見られなかった。加温ありにおいて、面状発熱体の温度は、発熱量と放熱量との関係から、打設前に 35°C で定常状態となった。コンクリートの打込みに伴い 24°C 程度まで急激に低下した。その後、面状発熱体の温

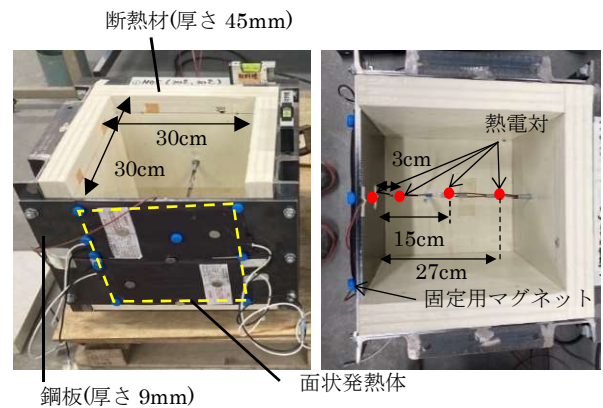


写真-1 供試体型枠の状況

キーワード 山岳トンネル, 覆工コンクリート, 加温養生, 内部温度, 積算温度, 面状発熱体

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組技術研究所 TEL 029-865-1521

度は徐々に上昇し、設定温度の40°Cに達するのに12時間程度を要した。それ以降、面状発熱体の温度は、温度制御により設定温度の40°C前後で小刻みに変化した。なお、鋼板のコンクリート側の温度は、コンクリート打込み以降、面状発熱体の温度と同様の推移を示した。

加温ありの場合、鋼板から3cmの位置では、比較的早期に温度が上昇し、打込み後5時間で28°Cに達した。これに対して、鋼板から15cm、27cmの位置では、比較的緩やかに温度が上昇し、13時間程度で鋼板のコンクリート側の温度を上回り16時間では40~43°C程度となった。この結果、加温なしの場合と比べ16時間で20°C程度内部温度が高くなった。発熱体による熱が鋼板を介してコンクリートに伝導するのに加え、コンクリートの水和反応が加熱により促進された結果、加温ありの内部温度の方が加温なしよりも高くなったと考えられる。

4. 積算温度および推定圧縮強度の検討

若材齢時の圧縮強度試験の結果¹⁾にもとづき、積算温度は式-1¹⁾により、推定圧縮強度は式-2¹⁾により算出した。

$$M = \sum(\theta - 3) \cdot t \quad (\text{式-1})$$

ここに、M：積算温度 (°C・hr)，
θ：コンクリート温度 (°C)

$$\sigma(t) = 0.0177M - 2.4677 \quad (\text{式-2})$$

ここに、σ(t)=時間tでの圧縮強度 (N/mm²)，
M：積算温度 (°C・hr)

コンクリート内部の積算温度を図-2に示す。加温なしでは、深さ方向で積算温度の差は少なく、16時間までの積算温度の最小値は、246 (°C・hr)となった。この数値は式-2から推定圧縮強度1.9N/mm²に相当する。加温ありでは、いずれの経過時間でも鋼板に近いほど積算温度が高くなった。式-2に示す圧縮強度と積算温度の関係から、鋼板に近いほど強度発現が促進されているといえる。鋼板から27cmの位置は最も積算温度が低く、この位置での16時間までのコンクリート内部の積算温度は409 (°C・hr)である。この数値は、推定圧縮強度4.8N/mm²に相当する。

文献²⁾では、脱型時の圧縮強度の目安として、2.0N/mm²程度としている。コンクリートの練上がり温度が15°Cの場合、加温なしでは積算温度から推定される圧縮強度が2.0N/mm²を若干下回るのに対し、加温ありでは積算温度が増加し、脱型可能目安とされる圧縮強度が16時間で確実に得られたといえる。

5. おわりに

本研究により、加温養生時の若材齢時の覆工コンクリート内部の温度推移の傾向を確認した。また、コンクリートの練上がり温度が15°Cの場合、設定温度を40°Cとして加温養生することで脱型可能な圧縮強度の目安とされる2.0N/mm²を16時間で十分確保できることを確認した。今後は覆工コンクリートに加温養生を適用し、本研究の成果を展開する予定である。

【参考文献】

- 1) 遠藤ら：積算温度を用いた覆工コンクリート脱型時の圧縮強度推定に関する検討，土木学会第77回年次学術講演会，投稿中
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書 [山岳工法編]，p193，2016

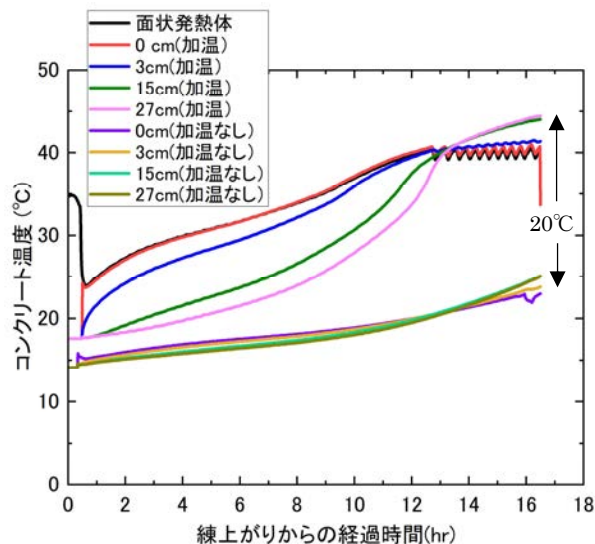


図-1 コンクリートの内部温度推移

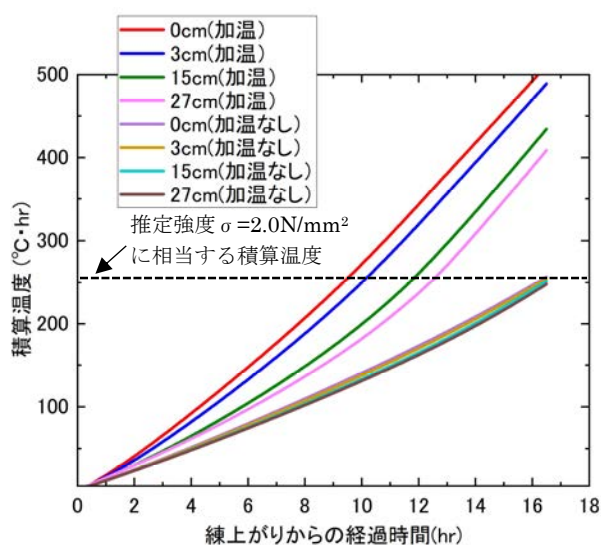


図-2 コンクリート内部の積算温度