

覆工コンクリートの脱型前加温養生と積算温度に基づく脱型管理の現場適用

(株)奥村組 正会員 ○松本 隆太郎 正会員 浜田 元 正会員 齋藤 隆弘
加藤 英一 黒木 孝洋 生田 光輝
中日本高速道路(株) 正会員 稲垣 太浩 正会員 遠藤 宏朗

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートでは、通常打設後 12～20 時間の若材齢時に脱型が行われ、確実な圧縮強度発現を目的に、脱型前に加温養生が行われることがある。脱型管理は、積算温度から推定される圧縮強度（以下、推定圧縮強度）により実施されることが多く、一般的な推定圧縮強度は、比較的長期の積算温度に基づいて算出される¹⁾。このため、若材齢においては圧縮強度の推定精度が低下することが懸念され、筆者らは若材齢に着目した積算温度と圧縮強度の関係から、より精度の高い推定式を提案した²⁾。今回、東海環状自動車道船来山トンネル（仮称）の覆工コンクリートの施工では、提案した推定式に基づいた脱型管理を実施するとともに、脱型までに確実な圧縮強度を発現させるために、面状発熱体を用いて脱型前に加温養生を行った。本稿では加温養生の効果と施工に用いた脱型管理手法およびその結果について報告する。

2. 加温養生と脱型管理の検討

覆工コンクリートはトンネル貫通後の 2022 年 7 月から 11 月にかけて施工した。図-1 に、面状発熱体と脱型管理に用いるコンクリートの温度測定位置を示す。面状発熱体は約 80℃までの任意の温度に設定可能で、過度な加温を防ぐため設定温度に到達後は自動で設定温度を維持する仕様とした。

脱型に必要な圧縮強度を表-1 に示す。覆工コンクリート全体に対しては、自重に耐えうる圧縮強度を骨組構造解析から定めた。また、表面に対しては、はく離を防ぐために過去の施工実績から、覆工厚さが 300mm の際に 2.0N/mm² を定めた。脱型は、いずれの条件も満足したときに実施することとした。圧縮強度の推定式は、筆者らが確認した積算温度と圧縮強度試験との関係²⁾から、脱型に必要な圧縮強度や施工時期を考慮して式 1 および式 2 を定めた。

脱型を管理するコンクリート温度の測定位置を定めるため、初期の施工で図-1 に示す測点で温度を測定した。測定値から求まる推定圧縮強度の推移を図-2 に示す。脱型に必要な 2 N/mm² 程度までにおいては、妻側

M = Σ(θ - 8)t 式 1

M：積算温度（℃・h）、

θ：コンクリート温度（℃）、t：時間（h）

σ_t = 0.0248M - 3.0555 式 2

σ_t：圧縮強度（N/mm²）

表-1 脱型に必要な圧縮強度

設計覆工 厚さ（mm）	覆工全体（N/mm ² ）	覆工表面（N/mm ² ）
	骨組構造解析結果	施工実績 （はく離が生じない）
300	0.93	2.0

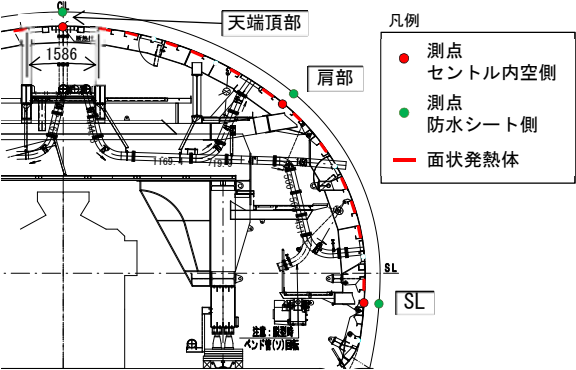


図-1 面状発熱体と測点位置（センター妻側断面）

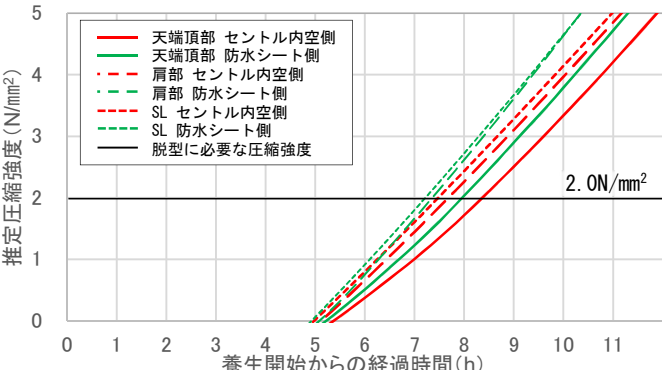


図-2 推定圧縮強度の推移（管理位置検討時の施工）

キーワード 山岳トンネル、覆工コンクリート、積算温度、加温養生、脱型管理、若材齢

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

の天端頂部が最も小さくなった。このことから、妻側天端頂部を脱型の可否を判断する位置とし、その位置のより詳細な温度の把握を目的に図-3に示す4測点を定め、これら全てが表-1に示す圧縮強度以上であることを確認した後脱型を行うこととした。

3. 温度測定結果と推定圧縮強度および脱型管理

加温の効果を把握するため、設計覆工厚さ 300mm において同時期に施工した加温あり（40℃設定）のケースと加温なしのケースとで比較を行った。図-3に示す測点で測定したコンクリート温度の推移を図-4に、推定圧縮強度の推移を図-5に示す。図-4(a)のセントル側のセントル内空側とセントル覆工側の測点では、打設完了直後のコンクリート温度は、いずれも加温有の方が若干高いが、養生時間の経過に伴い温度差は徐々に大きくなり、打設完了後8時間経過時点では加温有の方が約3.5℃高くなった。加温により水和反応が促進されたことが、温度の違いとして現れたと考えられる。一方、図-4(b)の地山側の防水シート側と厚さ中央の測点では、加温の有無による温度差はみられなかった。図-4(a)と(b)から、本施工条件において、妻側天端頂部では打設完了後16時間程度までの時間で、加温の効果がセントル側に限定される結果となった。

図-4(a)と(b)の4測点を比較すると、コンクリート温度は地山側が最も高くセントル側に向かうほど低くなっている。セントル側2測点の推定圧縮強度の推移を図-5に示す。推定圧縮強度は加温の有無によらず、セントル覆工側の方がセントル内空側よりも短時間で2.0N/mm²に達しており、その差は約0.5時間となった。この時間差は脱型管理を行ううえで大きな支障とはならないと考える。また、同じ経過時間における推定圧縮強度はセントル内空側の方がセントル覆工側よりも若干小さく、安全側の判断が行える。加えて、熱電対の設置や保守はセントル内空側の方が有利であり、経済的である。以上から、簡易かつ効率的な脱型管理を実現する方法として、セントル内空側の温度測定に基づく脱型の可否判断が有効と考える。

4. おわりに

脱型までのコンクリート温度は、妻側天端頂部が最も低く、覆工厚さ方向は地山側よりもセントル側の方が低くなることがわかった。妻側天端頂部のセントル内空側に測点を設けることで、合理的な脱型管理が行えると考える。

脱型前加温養生と提案した積算温度に基づく脱型管理の結果、全ての施工で初期不良なく脱型を行えた。加温養生による加温の効果はセントル側で確認されたものの、加温効率を高める工夫が必要と考える。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説，pp. 166-168，2010。
- 2) 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，VI-251，2022

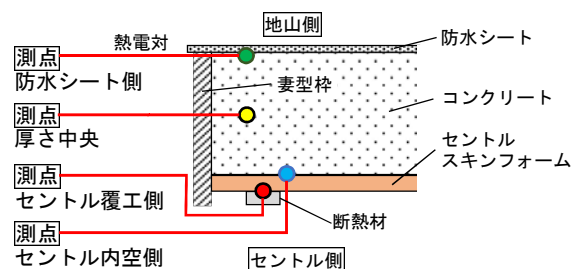


図-3 コンクリート温度測定位置（妻側頂部）

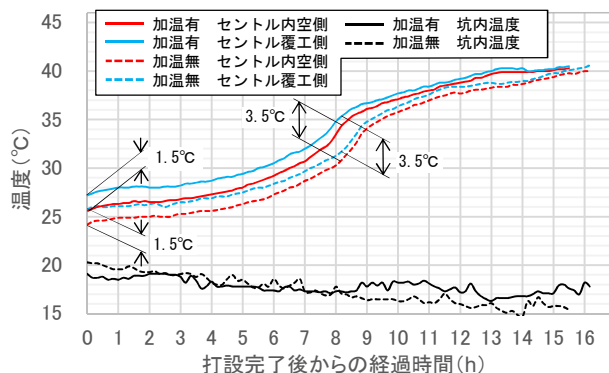


図-4(a) コンクリート温度の推移（セントル側）

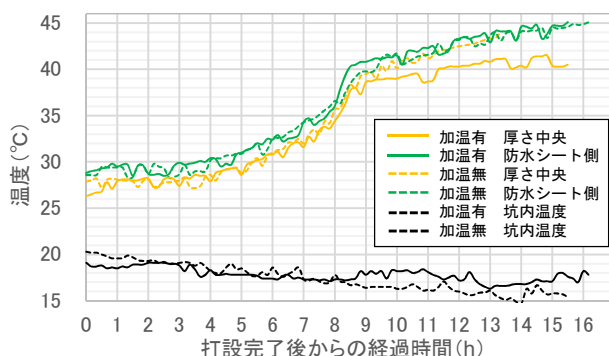


図-4(b) コンクリート温度の推移（地山側）

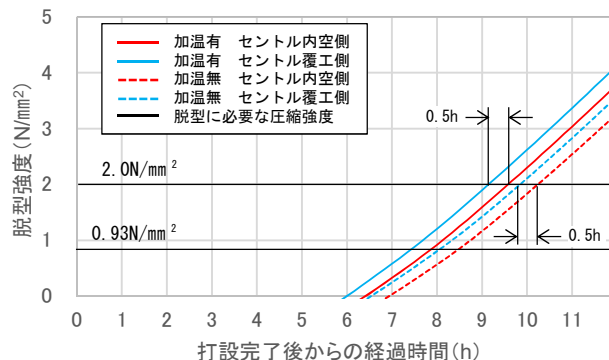


図-5 推定圧縮強度の推移（セントル側）