

覆工コンクリート脱型時の圧縮強度に関する日常管理手法に関する検討

中日本高速道路(株) 正会員 ○遠藤 宏朗 正会員 稲垣 太浩 岩崎 真二郎
(株)奥村組 正会員 松本 隆太郎 正会員 齋藤 隆弘 正会員 板谷 裕次

1. はじめに

岐阜県本巣市の東海環状自動車道船来山トンネル(仮称)で覆工コンクリート(以下、「覆工」と略す)の毎日打設および ICT 技術等を活用し、覆工の品質向上と生産性向上を図った取組みの一部分を報告する。NEXCO の覆工の型枠脱型時期は、骨組解析により脱型可能強度(以下「脱型強度」と略す)を求め、覆工打設前に坑内の温度環境を推定した養生条件で作成したコンクリート供試体強度が脱型強度に達したかを確認し決めている。しかし近年脱型時の初期強度不足が起因により損傷したと推定されるトンネルが多くあり、品質管理方法の見直しが必要と考えた。そこで船来山トンネルでは、独自に日常管理として、脱型強度を確認することを追加した。その確認手法は、積算温度による圧縮強度の推定方法と低強度用シュミットハンマー(以下、「低強度用 SH」と略す)による圧縮強度の推定方法の2つを用いた。本文は、新たに試した覆工の脱型強度の日常管理結果を報告する。

2. 脱型強度の管理方法の検討について

覆工の脱型強度は、コンクリートの温度を測定し、養生時間との積で求まる積算温度¹⁾から算出される推定圧縮強度(以下、「積算強度」と略す)に基づき管理した。積算温度および積算強度式はそれぞれ式1および式2によるものとする。

$M = \Sigma(\theta - 8) \cdot t \cdots \cdots$ 式1 M : 積算温度 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$), θ : コンクリート温度 ($^{\circ}\text{C}$), t : 時間 (h)

$\sigma_{(t)} = 0.0248M - 3.0555 \cdots \cdots$ 式2 $\sigma_{(t)}$: 時間 t での圧縮強度 (N/mm^2), M : 積算温度 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$)

式1について、筆者らが確認した積算温度と圧縮強度試験との関係から、脱型時期に必要な圧縮強度や施工時期を考慮したものである²⁾。脱型強度は、適用する TN の諸条件に基づき2次元骨組解析を実施し、 $2.0\text{N}/\text{mm}^2$ と定めた。

積算強度に加え確実に脱型強度を確認するため、低強度用 SH を用いた強度管理をあわせて行った。図1にコンクリート温度測定位置および低強度用 SH 試験の計測箇所を示すが、コンクリート温度については、妻側天端部における計4測点にて計測を行い、その計測結果により、積算強度を算出した。低強度用 SH 試験については、脱型直前に妻側天端中央付近において、覆工を露出させ、その露出面に対し反発度を5回計測し、最大値と最小値を除いた3回の平均を用いることとした。なお反発値から変換される圧縮強度の推定式ではなく、本工事の配合コンクリートを用いた室内実験により、下記の式3を作成し使用した。低強度用 SH の標準測定範囲は製品の性能上1~5 N/mm^2 程度となる。

$\sigma_{(R)} = 0.0007 \times R^2 + 0.0777 \times R - 0.3276 \cdots \cdots$ 式3

$\sigma_{(R)}$: 反発値 R のときの圧縮強度 (N/mm^2),

R : 試験で得られる反発値

3. 測定結果

各ブロックでの、脱型前の低強度用 SH 試験から得られる圧縮強度と、積算強度の関係を図2に示す。

図2は打設後約16時間養生した時点の積算強度と低強度用 SH による強度の関係である。初夏から秋の時期の打設であり圧縮強度は十分に脱型強度を有してい

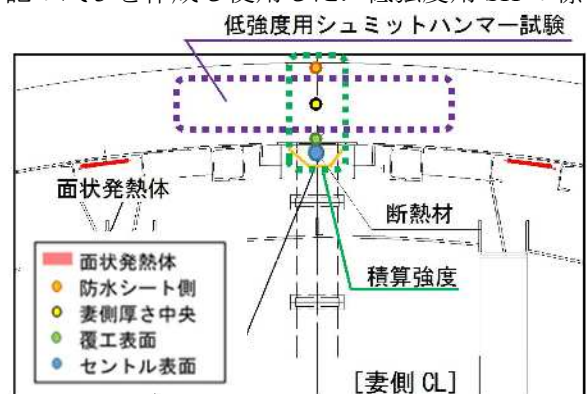


図1 温度測定位置及び低強度用 SH 試験位置 (横断図)

キーワード 山岳トンネル、覆工コンクリート、積算温度、若材齢、シュミットハンマー

連絡先 〒500-8842 岐阜県岐阜市金町4-30 中日本高速道路(株)岐阜工事事務所 TEL 058-267-5100

たことから、低強度用 SH 試験による圧縮強度の適用範囲外（赤枠外）となる結果が多くなった。圧縮強度の適用範囲内（赤枠内）においては、低強度用 SH 試験による圧縮強度と積算強度に高い正の相関がみられ（ $R^2=0.84$ ），室内実験結果ともおおよそ一致する結果となった。おおよそ 1:1 となったが、低強度用 SH 試験による圧縮強度よりも、積算強度の方が若干小さく推定される傾向があり、脱型管理においては積算強度の方が安全側であると言える。

圧縮強度に換算する前の比較として、低強度用 SH 試験による反発度 R と、その時の積算温度との関係について図 3 に示す。図 3 より反発度と積算温度との関係においても、図 2 の圧縮強度に換算した結果と大きな差はみられないことが確認できる。

低強度用 SH 試験と積算強度による計測手法の比較について表 1 に示す。省人化施工を見越した自動化かつ適切な強度管理を行う必要がある。そこで低強度用 SH については、測定に人を配置する必要があること並びに妻面等に測定箇所が限定され、局所的な強度管理しかできない。それに対し積算強度は機械的に常時計測およびモニターで可視化ができ、省人化が可能であること並びにセントル内部等計測位置に任意箇所での強度管理が行えることから、今後の強度管理に推奨していきたい。

4. おわりに

脱型強度の日常管理方法として、積算強度および低強度用 SH による強度管理を実施した。その結果、5 N/mm² 程度までの圧縮強度は積算強度の方が若干小さな値であったが概ね低強度用 SH を用いた場合とでは大きな差はなく脱型強度の日常管理手法とし有効性が確認できた。今後、冬季の施工実績から 2 N/mm² 前後の強度を調べていきたい。なお積算温度と低強度用 SH いずれの手法でも、良好な精度で用いることが可能であることが確認された。そのため、今後省人化を見越した自動的な強度日常管理を行うにあたり、積算温度による強度推定を推奨していきたい。

【参考文献】

1) 土木学会：トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説 / 〔山岳工法編〕・同解説，p. 193，2016。
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。

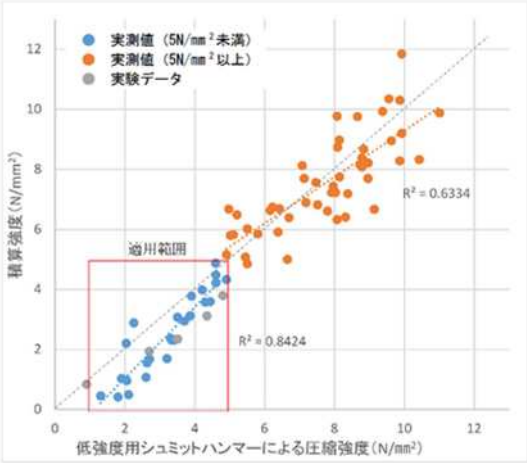


図 2 低強度用 SH による圧縮強度と積算強度の関係

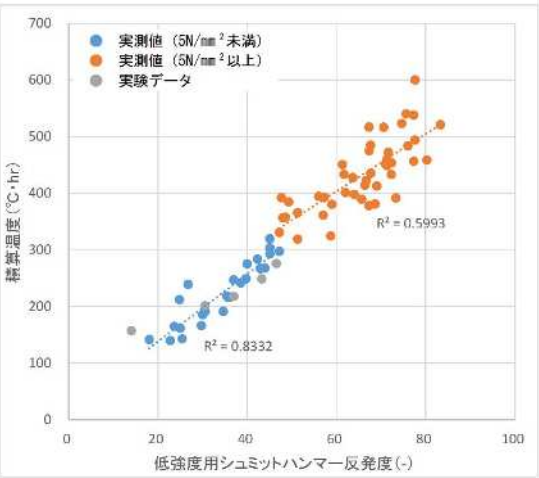


図 3 反発度と積算温度の関係

表 1 積算温度と低強度用 SH による圧縮強度推定手法の比較

非破壊試験手法	積算温度から圧縮強度を推定	低強度用シュミットハンマー試験から圧縮強度を推定
測定方法	・コンクリート内部、またはセントルに熱電対を設置し温度を計測	・コンクリートを露出させ、ハンマーを衝突させ反発度を計測
圧縮強度適用範囲	・任意に設定が可能 ・本工事では～5N/mm ² 程度	・1～5N/mm ² 程度（製品性能に依存）
必要となる事前準備	・圧縮強度推定式の構築	・圧縮強度推定式の構築
必要となる設備	・熱電対 ・データロガー ・圧縮強度を算出する演算システム ・リアルタイム表示モニター	・低強度用シュミットハンマー
作業性	○ ・任意の位置で測点設置が可能 ・セントル面での計測の場合、初めに設置すれば、それ以降の作業はほぼない	△ ・コンクリートを露出させる必要があるため、脱型作業が発生 ・計測は垂直面のための、計測可能な場所が妻面等に限定される
経済性	△ ・費用が比較的高い ・電源が必要	○ ・費用が比較的低い（計測器費のみ）
効率性	○ ・機械的に常時計測、モニター表示が可能 ・通信環境があれば遠隔地での確認が可能	△ ・計測時に測定位置で作業する必要
汎用性	△ ・配合、材料ごとに検討が必要	○ ・一般的なコンクリートに対応