

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

中日本高速道路(株) 正会員 遠藤 宏朗 岩崎 真二郎 稲垣 太浩
 (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

1. はじめに

NEXCO 中日本の保全の現場では、覆工コンクリート(以下、「覆工」と略す)の損傷によって点検を必要とするトンネル(以下、「TN」と略す)が近年増加している。中でも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 TN が多くある。そこで、そのような覆工の損傷を防止するには、脱型までの限られた養生時間内に初期強度を得る必要があり、加温養生により初期強度をコントロールするシステムが有効と考えた。本稿では、コンクリートの練上がり温度と養生温度をパラメータとして、若材齢のコンクリート温度の測定と圧縮強度試験を行い、積算温度との関係から覆工の脱型時における圧縮強度の推定方法を検討した結果について述べる。なお、本内容は、岐阜県本巣市の東海環状自動車道船来山 TN(仮称)で覆工の品質向上と生産性向上の課題に対して、ICT 技術を活用して解決を図る取組みの一部分の報告である。

2. 実験方法

実験には中流動コンクリートを使用し、表-1 に示す配合とした。供試体は $\phi 100 \times 200$ mm で作製し、コンクリートの温度測定、凝結試験、圧縮強度試験を実施した。なお、練上がり温度は目標温度 $\pm 3^\circ\text{C}$ で管理した。

実験ケースを表-2 に示す。実験方法は、覆工の脱型時の実態やこれまでの知見をもとに、脱型の目安とされる圧縮強度を $2\text{N}/\text{mm}^2$ 、脱型時期を材齢 16 時間と想定し定めた。

実験ケース数は、練上がり温度を $10 \sim 30^\circ\text{C}$ 、 $2\text{N}/\text{mm}^2$ が得られるまでの養生(以下、初期養生と略す)の温度を $10 \sim 50^\circ\text{C}$ で組み合わせた計 10 ケースとした。初期養生温度について、No.1~No.8 は供試体作製後から各ケースで定めた目標温度で一定とした。No.9 と No.10 は 25°C で養生を開始し、No.9 は 5 時間後に 30°C 、No.10 は 12 時間後に 40°C の上限温度に徐々に達する設定とし、到達後はその温度で一定とした。初期養生では任意の温度環境を設定できる恒温槽で封かん養生し、 $2\text{N}/\text{mm}^2$ 発現後は 20°C 環境で封かん養生した。

コンクリートの温度は、温度測定用の供試体中央部に配置した熱電対を用いて測定した。また、コンクリートの水和反応に伴う硬化性状と圧縮強度試験を開始する材齢の目安を把握するため、JIS A 1147 に準じて凝結試験を実施した。圧縮強度試験は JIS A 1108 を参考に実施した。実験ケースごとに、凝結試験の終結時間を目安に圧縮強度試験を開始し、概ね練上がり後 20 時間までの間に 4~6 材齢で試験を行うことを基本とした。

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 ± 1.5	50.0	52.2	25	175	350	904	838	3,500	7
備考 設計基準強度 $\sigma_{ck} = 24\text{N}/\text{mm}^2$, 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)										

表-2 実験ケース

ケース No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
コンクリートの練上がり目標温度 ($^\circ\text{C}$)	10	15	15	20	20	20	20	30	15	15
初期養生温度 ($^\circ\text{C}$)	10	15	30	20	30	40	50	30	25-30	25-40
$2\text{N}/\text{mm}^2$ 発現後の養生温度 ($^\circ\text{C}$)	20									

3. 実験結果

凝結試験の結果を図-1 に示す。凝結の始発や終結の時間は、練上がり温度や初期養生温度が高いほど早い。

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, 加温養生

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

また、凝結の始発と終結の間隔は、練上がり温度や初期養生温度が高いほど短い。練上がり温度や初期養生温度の違いが水和反応初期の硬化性状の違いとして現れた結果である。

圧縮強度試験の結果を図-2に示す。凝結試験と同様、練上がり温度や初期養生温度が高いほど強度が早期に発現した。圧縮強度は、練上がり温度と初期養生温度がともに20℃以上(No.3~No.10)であれば材齢16時間で2N/mm²以上が得られるが、15℃以下(No.1, No.2)であると2N/mm²を下回っている。練上がり温度が20℃を下回る条件において、材齢16時間で2N/mm²を得るには、初期養生温度を加温等により高める処置が必要である。

4. 圧縮強度推定方法の検討

圧縮強度と積算温度の関係を図-3に示す。ここで、図-3の積算温度は文献²⁾をもとに式1を用い、定数 $\alpha=10$ として算出した。これより、圧縮強度と積算温度には正の相関が認められ、決定係数 R^2 は0.77であった。

$$M = \sum(\theta + \alpha) \cdot t \quad \cdots \cdots \text{式1}$$

ここに、M：積算温度(℃・hr)、t：時間(hr)、

θ ：コンクリート温度(℃)、 α ：任意の定数

ここで、積算温度による圧縮強度の推定精度をより向上させることを目的に、式1の α について $-20 \leq \alpha \leq 20$ の範囲で検討を行った。その結果、図-4に示すとおり $\alpha = -3$ を用いることで最も高い決定係数 $R^2=0.95$ が得られた。図-4における圧縮強度と積算温度の関係から、圧縮強度を推定する式を式2に示す。

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

ここに、 $\sigma(t)$ ：時間tでの圧縮強度(N/mm²)、

M：積算温度(℃・hr)

5. おわりに

脱型前の若材齢における圧縮強度を精度よく推定する目的で、積算温度による方法に着目し、現場の養生条件(加温養生条件)を想定した室内実験を実施した。その結果、現行の積算温度の算出式を見直すことで、若材齢の圧縮強度と積算温度の相関が高くなる結果を得た。この相関関係から求まる圧縮強度の推定式を用いることで、覆工脱型時の圧縮強度を精度よく推定する方法が提案できた。今後は、加温等による圧縮強度発現の向上効果やコンクリートの影響範囲などを把握することを目的とした大型供試体を用いた室内実験および現場での実証実験を実施する。

【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) 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.

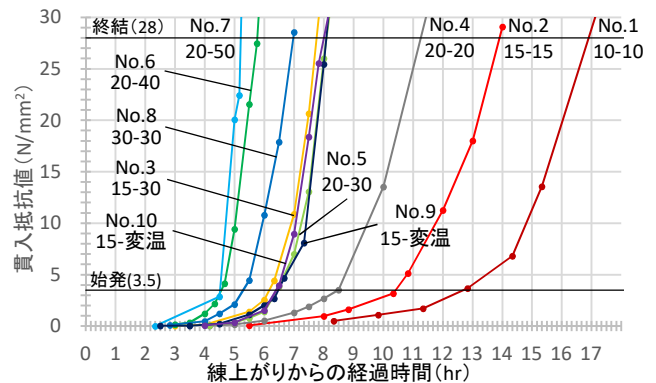


図-1 凝結試験の結果

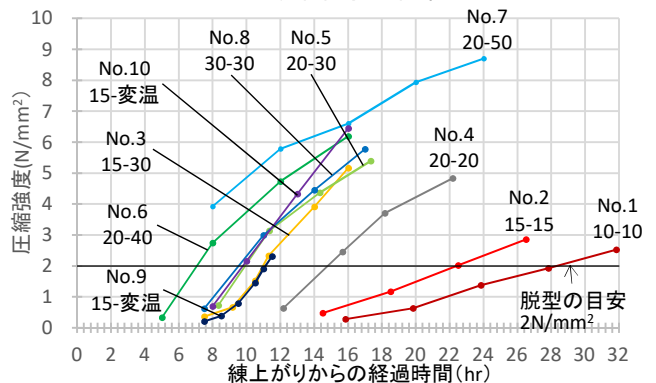


図-2 圧縮強度試験の結果

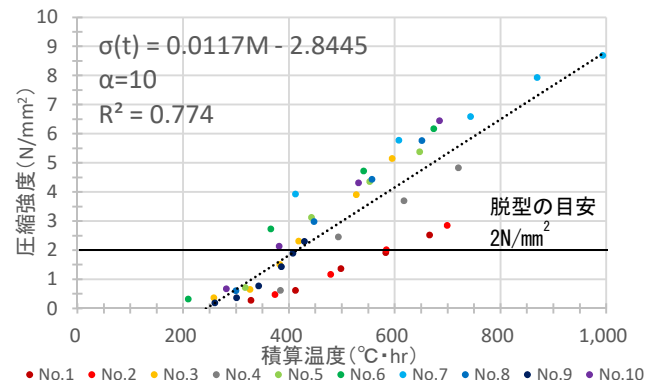


図-3 圧縮強度-積算温度の関係 ($\alpha = 10$)

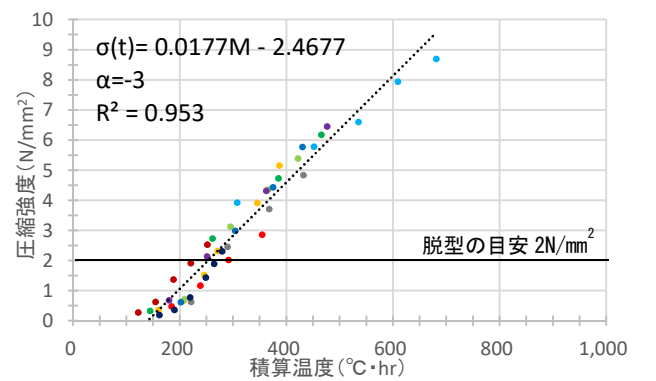


図-4 圧縮強度-積算温度の関係 ($\alpha = -3$)