

## トンネル覆工を対象とした型枠ヒーティングの技術に関する基礎的研究

佐藤工業 正会員 ○渡辺 晋吾<sup>\*1</sup>  
 佐藤工業 正会員 北川 真也<sup>\*1</sup>  
 佐藤工業 正会員 斎藤 達也<sup>\*1</sup>  
 佐藤工業 正会員 宇野洋志城<sup>\*2</sup>

## 1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの施工において、型枠の取り外し時に所定の初期強度を確保することは、若材齢時のひび割れ発生を防止する上で重要である。とくに、冬季の打設は、コンクリートの打込み温度、外気温および高炉セメント B 種を使用する配合などの制約によって初期強度発現が遅れ、予定時期に脱枠ができず、作業工程に支障をきたすなどの問題が生じるケースがある。

そこで、筆者らは、打込み後のコンクリート温度を制御し、初期強度を促進させるための検討を行った。たとえば、コンクリート温度を制御する方法としては、ジェットヒーター等を用いることで打設区間内の気温をコントロールする方法がある。しかし、円周方向、軸方向すべてのコンクリートが鋼製型枠を通して暖められているとは限らない。確実にコンクリートの温度を制御するには、直接型枠を加熱することが必要と考え、型枠を直接加熱する「型枠ヒーティング」技術に着目し、実験によってその効果を確認することとした。以下に、検討結果を述べる。

## 2. 実験概要

## (1) ヒーティング供試体

コンクリートの設計基準強度は 21, 30N/mm<sup>2</sup> の 2 パターンとし、セメントは高炉セメント B 種を使用した。表-1 にコンクリートの配合を示す。供試体寸法は 300mm 寸法の立方体 (図-1) と

表-1 コンクリートの配合

| 配合<br>ケース  | W/C<br>% | s/a<br>% | W<br>kg/m <sup>3</sup> | C<br>kg/m <sup>3</sup> | S<br>kg/m <sup>3</sup> | G<br>kg/m <sup>3</sup> | 混和剤<br>kg/m <sup>3</sup> |
|------------|----------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 21-15-20BB | 60       | 50.4     | 171                    | 285                    | 912                    | 910                    | 2.85                     |
| 30-15-20BB | 49       | 48.0     | 171                    | 349                    | 841                    | 926                    | 3.14                     |

し、断熱状態とするため、型枠周辺を厚さ 150mm の発泡スチロールで囲った。加熱は 50℃ 一定とし、打込み終了直後から開始して、材齢 24 時間まで継続して行った。なお、圧縮強度試験用に供試体 (加熱無し、以下、普通供試体) を同時に作製した。

## (2) 積算温度

コンクリート温度は、熱電対を供試体上面より 75mm, 150mm, 225mm および 300mm 位置に埋め込み計測した (図-1)。積算温度を求める式を式 (1) に示す。

$$M = \sum (\theta - A) \Delta t \quad (1)$$

ここに、M : 積算温度 (°t・t)

$\theta$  :  $\Delta t$  時間中のコンクリート温度 (°C)

A : 定数 (-10°C)

$\Delta t$  : 時間

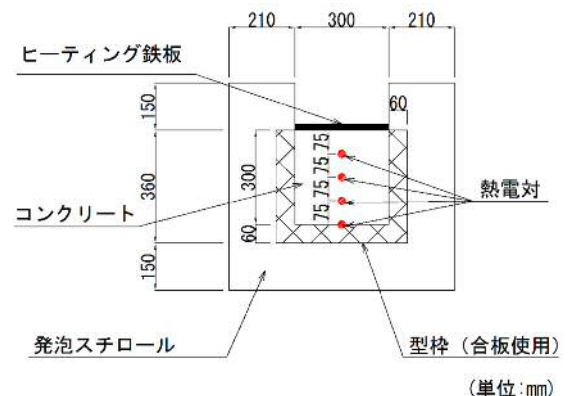


図-1 供試体断面図

キーワード 面状ヒーティング, 養生, コンクリート, 積算温度, 若材齢

連絡先 \*1 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-19 TEL : 03-3661-1572 FAX : 03-3661-1576

\*2 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10 TEL : 046-270-3091 FAX : 046-270-3093

### (3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、普通供試体を用い、材齢 24 時間までに数度行った。図-2 にヒーティング供試体の強度推定方法の例を示す。施工現場では、供試体をヒーティングすることが出来ないことを想定し、普通供試体の試験時の積算温度と一致するヒーティング供試体の材齢を求め、普通供試体の試験結果をその材齢の強度とした。

|                                         |                   |                   |                   |                   |                   |      |      |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|------|
| 普通供試体                                   |                   |                   |                   |                   |                   |      |      |
| 材齢(時間)                                  | 8                 | 9                 | 10                | 12                | 15                | 20   | 24   |
| 積算温度( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{t}$ ) | 200               | 220               | 240               | 280               | 340               | 460  | 580  |
| 圧縮強度試験                                  |                   |                   | 試験実施              | 試験実施              | 試験実施              | 試験実施 | 試験実施 |
| ヒーティング供試体                               |                   |                   |                   |                   |                   |      |      |
| 材齢(時間)                                  | 8                 | 9                 | 10                | 12                | 15                | 20   | 24   |
| 積算温度( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{t}$ ) | 240               | 280               | 340               | 460               | 580               | 860  | 1100 |
| 圧縮強度試験                                  | 普通供試体の10hの圧縮強度を適用 | 普通供試体の12hの圧縮強度を適用 | 普通供試体の15hの圧縮強度を適用 | 普通供試体の20hの圧縮強度を適用 | 普通供試体の24hの圧縮強度を適用 |      |      |

図-2 ヒーティング供試体の強度推定方法

### 3. 結果と考察

普通供試体を用いた積算温度と圧縮強度の関係を図-3 に示す。図-3 より、積算温度と圧縮強度に十分に相関関係があることが確認できる。また、図-4 より、コンクリート表面からのみ加熱しているが、材齢 15 時間後には、コンクリート底面部で約 45～52℃と表面との差が 3～5℃程度となっており、一面からの加熱でも十分にコンクリート内部の温度を上昇させていることが分かる。

これらの結果から、ヒーティング供試体の強度推定を行った。その結果を図-5 に示す。普通供試体の材齢 24 時間での圧縮強度と同等の強度をヒーティング供試体で得るのに必要な材齢は、深さ 75mm では材齢 11.5～14 時間程度、深さ 150mm では材齢 13.5～15 時間程度、深さ 225mm では材齢 14.5～16 時間程度、深さ 300mm では材齢 15.5～16.5 時間程度と短縮されている。コンクリートの深さ方向にも効果が及んでおり、直接加熱されていない箇所においても強度は十分に促進していることがわかる。

以上より、型枠ヒーティングはコンクリートの初期強度を促進させる方法として有効であることが分かった。

### 4. 結論と今後の課題

実験の結果より、型枠ヒーティングによる若材齢時の強度向上が認められた。養生開始時点から型枠内面を 50℃に保持することによってコンクリートの積算温度は大幅に改善され、初期強度発現は促進される。また、その効果は圧縮強度 3N/mm<sup>2</sup> (覆工コンクリートの型枠取り外し時に望ましいといわれている圧縮強度)に達するまでの時間を 7～12 時間程度短縮可能である。今後は、効果的な加熱温度の選定、ヒーティング供試体のコアを用いた初期に高温履歴を受けたことによる長期強度への影響評価などを検討していく予定である。また、影響評価のほか、経済性の検討も同時に実施し、型枠ヒーティングの実現に向けた開発を行う予定である。本技術はわずかな時間でも強度発現を促進させたい場合の補助手段として有効であると考えられ、たとえば、1 日 1 サイクルでの覆工コンクリート打設が要求されるような施工スケジュールにも対応可能と考えられる。

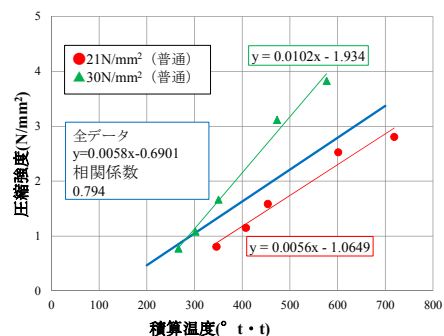


図-3 積算温度と圧縮強度との関係(普通供試体)

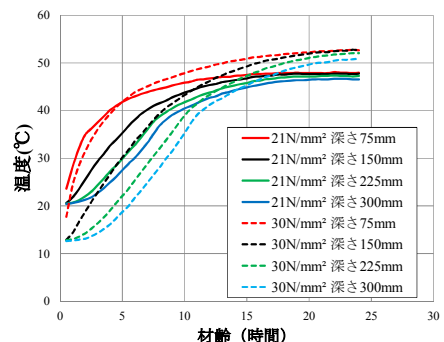


図-4 各測定深さの温度変化履歴

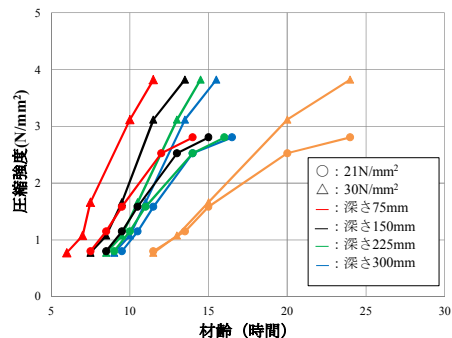


図-5 圧縮強度試験結果