

## 高品質、高耐久性を確保するためのトンネル覆工コンクリートの新しい養生方法

### 「温度制御噴霧式覆工コンクリート湿潤養生工法 (K-tics)」

(株)鴻池組 土木技術部 正会員 ○後藤裕一 山田浩幸 為石昌宏 水町 実

#### 1. はじめに

近年の公共投資の縮減を受けトンネルを含むコンクリート構造物(社会インフラ)のライフサイクルコスト(維持管理、修繕更新費用)の低減、長寿延命化が強く求められるようになり、構造物の重要な構成要素であるコンクリートの高品質化、高耐久性化が必要となってきた。一方、覆工コンクリートの剥落事故等をうけ、既設のトンネルはもとより新設トンネルの覆工コンクリートに対しても、ひび割れ等の変状発生、充填不足による空洞発生等の施工不良などの欠陥に対しては、供用後に重大な事故発生の要因となる懸念があり、工事完了時の調査確認、補修などが必要となっている。

これまでトンネル新設時のコンクリートについては、トンネル坑内環境の特殊性(坑内温度一定、高湿度状態)により特別な養生は必要ないとされ、経済性や工期の問題から、コンクリート打設後2~4時間以内での早期型枠脱枠が一般に施工されてきた。

しかしながら、近年のトンネル坑内作業環境の改善の見直し安全配慮により大容量の換気設備の導入や、トンネル掘削と覆工作業の輻輳作業解消のための早期の貫通等により、覆工コンクリート養生状態の悪化(通風による急激な温度変化、乾燥)が生じている。

その対策のために、覆工コンクリートのセントル脱枠後に覆工全面を覆うシートを有した養生台車(図-1)を用いコンクリート面に微粒の水を霧状に噴霧し湿潤状態を維持し、養生温度を制御することにより高品質なコンクリートを施工する技術を開発した。本報告では、養生方法の概要および養生条件の違いによるコンクリートの強度特性について比較検証した実験について述べる。



図-1 養生台車と噴霧ノズル (CGイメージ)

#### 2. 養生技術の概要

本工法は、覆工セントルの後方に移動式の3スパン相当の養生台車を据え付けることにより、コンクリートを一定期間、湿潤状態に養生できるように工夫した工法である。

##### (1) 構造概要

養生台車には遮水シートおよび端部締め切り用の空気充填膜が取り付けられており、コンクリートとの間に30~60cm程度の密閉された養生空間を確保することができる。養生空間に粒径45~60 $\mu$ m程度の微粒の霧を発生させることにより湿度90~100%の湿潤状態をつくる。また、温度感知センサーと噴霧水の加温制御システムにより養生温度を制御し最適な養生状態を保持することが可能であり、コンクリートへの急激な温度変化等の影響を与えることなく連続的な水和反応の持続を維持できる。(図-2 参照)

覆工コンクリートの打設条件の違いにより3スパンの養生空間をスパンごとに材齢の違い等を考慮して温度制御することも可能でありきめ細かな最適な養生条件を設定できる。

##### (2) 本工法の適用によって得られる効果

- ・噴霧による湿潤養生でコンクリートの水和反応の積極的な促進、強度の増進が得られる。
- ・十分な水和反応の持続によるコンクリート表面の細部構造の緻密化が得られる。
- ・温度の制御による覆工内外の温度差による内部拘束の低減、温度ひびわれ発生の抑制効果が得られる。
- ・乾燥収縮によるひび割れの発生が大幅に低減できる。
- ・上記効果の総合的な成果として長期耐久性の向上、ライフサイクルコスト(維持管理、修繕更新費用)の低減、長寿延命化が得られる。

#### I. 温度解析による養生温度シミュレーション

最適な養生条件の設定のためには、材齢とともに変化する覆工の温度変化にあわせた養生温度の設定が必要。

#### II. 打設温度、目標養生温度の決定

打設温度の設定や、温度解析結果に基づく最適養生温度の設定により、温度変化に伴う引張応力の発生を低減。

#### III. 養生時の計測管理と養生温度自動調整

コンクリート打設後7日までの養生期間においては、温度センサーにより実養生温度の計測を行うとともに、計測結果に連動して自動的に温度調整を実施

#### IV. 覆工コンクリートの品質向上の実現

温度の制御、湿度維持により最適な養生管理の結果として表面の緻密化、強度発現の増進により表面の欠陥の発生を低減。覆工コンクリートの品質性能の向上を図る。

キーワード 覆工コンクリート、トンネル、温度制御、噴霧湿潤養生、高品質高耐久性

連絡先 〒541-0057 大阪府中央区北久宝寺町3-6-1 (株)鴻池組土木技術部 TEL 06-6244-3646

### 3. 噴霧養生の効果確認実験

本工法の効果を確認するために、供試体での要素実験を実施した。試験は、養生の違いによる強度特性の影響を圧縮試験と引っかかり試験（表面強度）について検討を行った。

#### (1) 実験方法

コンクリートは、レディミクストコンクリート工場で製造した 24-15-20BB の配合とし、供試体（φ100×200）は、コンクリートを打ち込み、型枠を付けた状態で 20℃ の恒温室で養生した後、一般的なトンネルの施工（NATM）での覆工コンクリートの脱型時期を考慮し、材齢 18hr で脱型強度（2N/mm<sup>2</sup>程度）を確認し脱型を行った。その後、写真-1 に示すように、材齢 7 日まで噴霧養生（20℃）を実施した後、所定の試験材齢まで気中養生（20℃、50-60%）を実施した。なお、一般的なトンネルでの養生状態を気中養生とし供試体は、コンクリート打ち込み、材齢 18hr で脱型した後、所定の材齢まで気中養生（20℃、50-60%）を実施した。

#### (2) 圧縮強度試験結果

図-3 に圧縮強度試験結果を示す。気中養生のみの供試体の圧縮強度は、強度発現が遅く、かつ材齢 28 日では 19.4N/mm<sup>2</sup>（標準の 55%）であったのに対し、噴霧養生を実施した供試体は、強度発現が早く、かつ噴霧養生を実施しない材齢 7 日以降も順調に強度が増加し材齢 28 日では 35.4N/mm<sup>2</sup> と標準養生（20℃恒温水槽内）

の供試体と同程度であった。このことより、材齢 7 日まで噴霧養生を実施することが、コンクリートの強度発現に極めて有効的に作用することが確認できた。

#### (3) 引っ掻き試験結果

図-4 に引っかかり試験（表面強度）の結果を示す。なお、引っ掻き試験器は、日本建築仕上学会式のものを使用し、引っかかり幅は、クラックスケールを用いて測定した。引っかかり圧の大きい 0.10MPa での引っかかり幅の値に着目すると、気中養生の表面強度は、材齢が経過してもあまり増加が見られない。一方、噴霧養生の場合は、材齢 7 日以降は噴霧を実施していないにも係わらず、材齢の経過に伴い表面強度が大幅に増加（緻密化）することが確認できた。このことより、表面強度は、若材齢時の養生条件の大きな影響を受けることが判った。

### 4. おわりに

今回開発した工法は、これまで養生が不十分であったトンネルの覆工コンクリートにおいて合理的、かつ最適な養生の実施が可能となり、高品質、高耐久性の覆工コンクリートの施工を実現できるものである。また、本工法は他のコンクリート構造物（部材厚の大きいアーチカルバート、ボックスカルバート等）への適用も容易であり、今後の建設される社会資本のライフサイクルコスト（維持管理、修繕更新費用）の低減、長寿延命化に貢献できるものである。

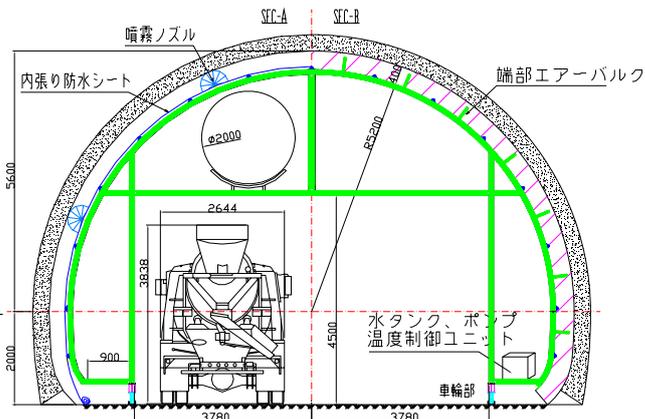


図-2 養生台車断面図（中間部/端部）



写真-1 噴霧養生状況

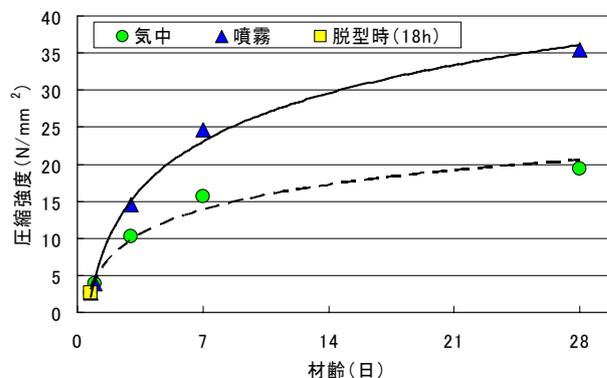


図-3 圧縮強度試験結果

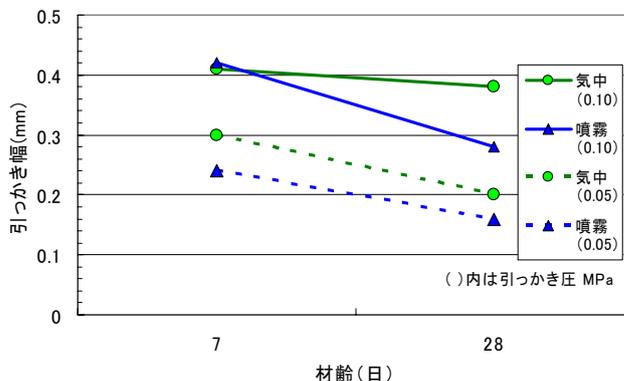


図-4 引っかかり試験結果