

# プラスチックフィルムを用いた トンネル覆工コンクリートの長期養生

壹岐直之・吉武 勇

山岳トンネルの二次覆工コンクリートにおいて、プラスチックフィルムを用いた封かん養生の適用性を確認するため試験施工を行い、養生環境内の温度および湿度の計測と、供試体による強度試験と透気性試験などを行った。封かん養生の期間中、相対湿度78%の環境下において、養生内の相対湿度は99%以上を保つことができた。また、外気温の変動に対して養生環境の温度変化を緩和する効果が確認された。封かん養生を行った供試体での圧縮強度は、気中養生に比べて29%、標準養生に比べて11%高くなった。また、封かん養生を行うことによって、コンクリートの透気性を若干低下できることがわかった。

キーワード：トンネル、覆工コンクリート、封かん養生、長期養生、現場計測

## 1. はじめに

コンクリートの強度や耐久性など所要の品質を確保するためには、打込み後一定の期間は適当な温度のもとで、十分な湿潤状態を保って養生しなければならない。とくに、湿潤状態を保つことは水和反応を十分にを行うために重要である。土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕<sup>1)</sup>では、湿潤養生の期間をセメント種類や環境温度に応じて3～12日程度を標準としているが、湿潤養生は施工上可能な限り長く実施することが望ましいと記されている。水セメント比が大きい場合には湿潤養生期間を長くすることによる組織の緻密化が重要であることを示唆した文献<sup>2)</sup>や、養生の期間が長いほど劣化に対する抵抗性が向上するとした文献<sup>3)</sup>もある。

一方、山岳トンネルの二次覆工コンクリートは、一般的に施工サイクルの制約から材齢1日以内で脱型され、その後は特別な養生が行われなため若材齢時に乾燥の作用を受けることになる。近年では、コンクリートの耐久性を向上させるため材齢初期の養生が通常のコンクリートと同様に重要とされ<sup>4)</sup>、覆工コンクリートの養生方法としていくつかの方法が提案されている。その方法として、空気の圧力によってシートをコンクリート表面に押付けて乾燥から保護する方法<sup>5)</sup>や、ミストを散布して湿潤状態に保つ方法<sup>6)</sup>などある。しかしながら、これらの方法は設備が大掛かりであり、長期的に養生を継続する場合は経済的な負担が大きくなる懸念される。

そこで、施工性や経済性に優れた材料として軽量のプラスチックフィルムに着目し、これを簡便な方法で定着させて行う封かん養生について検討を行った。本報告は、この封かん養生の適用性を確認するために行った試験施工の結果について述べるものである。

## 2. 工事概要

試験施工を行ったトンネルは、徳島県の主要地方道神山鮎喰線の養瀬バイパス工区における「(仮称)養瀬トンネル」であり、NATMで構築される全長531mの山岳トンネルである。トンネルの標準的な断面を図-1に示す。このトンネルの1スパン10.5mに、封かん養生を行った。なお、封かん養生を行ったスパンの覆工コンクリートは、トンネルが貫通した後に打設したものであり、坑口からおよそ100mの位置にある。

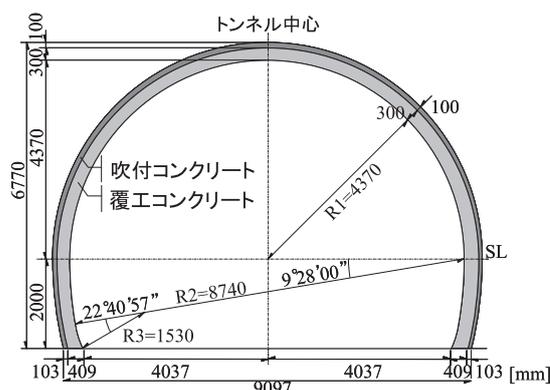


図-1 トンネルの標準的な断面

覆工コンクリートの使用材料および配合を、表—1 および表—2 に示す。この配合は、山岳道路トンネルの覆工コンクリートとして一般的なものである。

表—1 使用材料の特性

材料	成分・性質
水： W	上澄水・地下水
セメント： C	高炉セメントB種(密度:3.04 g/cm <sup>3</sup> )
細骨材： S	砕砂（阿波市小月産，密度：2.56 g/cm <sup>3</sup> ）
粗骨材： G	砂利（吉野川産，最大寸法40 mm，密度:2.59 g/cm <sup>3</sup> ）
混和剤： Ad	AE減水剤（標準形I種） リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体

表—2 コンクリートの配合 (21-15-40BB)

W/C [%]	スランプ [cm]	空気量 [%]	s/a [%]	単用量 [kg/m <sup>3</sup> ]				
				W	C	S	G	Ad
59.1	14.0	4.7	41.5	172	291	730	1041	4.34

### 3. プラスチックフィルムを用いた封かん養生の適用性

#### (1) 封かん養生の実施方法および施工性

施工中の1スパン全体に対してプラスチックフィルム（以下、フィルムと略す）による封かん養生を行い、この養生の施工性や持続性を確認した。封かん養生に用いた材料は、厚さ0.02 mm程度の高密度ポリエチレン製のフィルムであり、材料費は10～20円/m<sup>2</sup>である。このフィルムを、覆工コンクリート表面に噴霧した水の表面張力を利用して貼付け、フィルムの端部をテープでコンクリートに密着させることによって空気の浸入を防止し、大気圧によって長期的な密着性を確保した。フィルムを貼付けた状況を写真—1 に示す。貼付けに接着剤や化学薬品などを使用せず、フィルム端部のテープは強い接着性を必要としないため、コンクリートへの悪影響はない。

また、フィルムの破損やテープの剥離などによってフィルムが剥落することを防止するため、トンネルの内面に沿ったアーチ状でアルミパイプ製の支柱をスパン端部の目地に取付け、両端の支柱を太さ0.8 mm程度のナイロン製の糸で繫いだ。ナイロン製の糸の円周方向の間隔は2 m程度とした。

封かん養生の期間は打設から28日間とした。なお、今回の実験では養生期間を28日間としたが、例えば供用開始まで、養生期間を延長できると考えている。

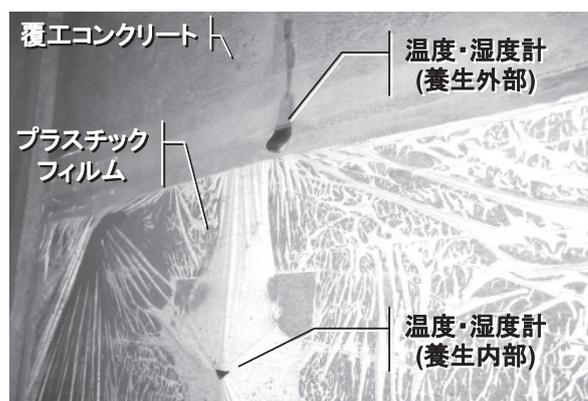
今回の試験施工では、覆工コンクリート打設の施工性に配慮して、セントルから1スパン分離れたスパン

を封かん養生の対象とし、封かん養生の開始はセントル脱型から4日経過した後とした。このため、脱型直後から封かん養生を開始した場合の効果把握することを目的として、脱型直後のスパンの一部に対してフィルムによる封かん養生を実施した。部分的に封かん養生を行った位置を写真—1 に、この位置での温度湿度の計測状況を写真—2 に示す。この部分において、養生中の温度および湿度を計測した。計測は温度・湿度データロガーを地面から高さ2 mの位置に取付け、1時間ごとに自動計測した。

フィルム貼付けの施工性について、1スパン分の養生を3人×1日で行うことができ、覆工コンクリートの打設工程に対して悪影響を及ぼさないことが確認できた。なお、貼付け作業の3人×1日は、高所作業車を使用した場合の作業量であり、効率的な方法を用いれば作業時間をさらに短縮できるものと予想される。この養生方法によって、従来の養生ではH型鋼などで製作された架台や台車などを使用し設備が大掛かりになりがちであった欠点を克服することができ、施工性や経済性を向上できると考えている。また、この養生を実施工として行う場合は、覆工コンクリートの打設と養生シート貼付けの作業を予め計画することにより、セントル脱型直後から封かん養生を実施できると考えている。



写真—1 プラスチックフィルムの設置状況



写真—2 部分的な封かん養生位置での計測状況

(2) 封かん養生の経過観察

フィルムによる封かん養生の状況変化を、貼付け直後から4週間後まで観察した。1週間ごとの撮影を写真-3に示す。

貼付け直後(写真-1), シートはコンクリートに密着し、気泡は確認されなかった。1週間後には天端付近を中心に気泡が生じ、2週間後には気泡の面積が増えた。これ以降、気泡の面積の増加は確認されず、4週間後、気泡の面積はシート全体の1/3程度であった。4週間を通して、フィルムの破損や剥落は生じず、フィルムの内部には4週間後にも水滴が残っていた。

(3) 封かん養生内部の温度および湿度

封かん養生を行ったフィルムの内部および外部で計測した温度を図-2に、相対湿度を図-3に示す。計測はセントル脱型後(材齢1日後)から開始したものである。また、トンネル施工現場から15km程度離れた場所にある気象庁気象台が公表した徳島市内の温度および湿度も同図に示した。

養生開始時(図-2中では0日)において、フィルム内部の温度はトンネル内の外気よりも7.5℃高かった、これは、コンクリート表面とフィルムの間に空気あるいは水の層が形成され、この層によってコンクリートの水和熱が保温されていたためと考えられる。

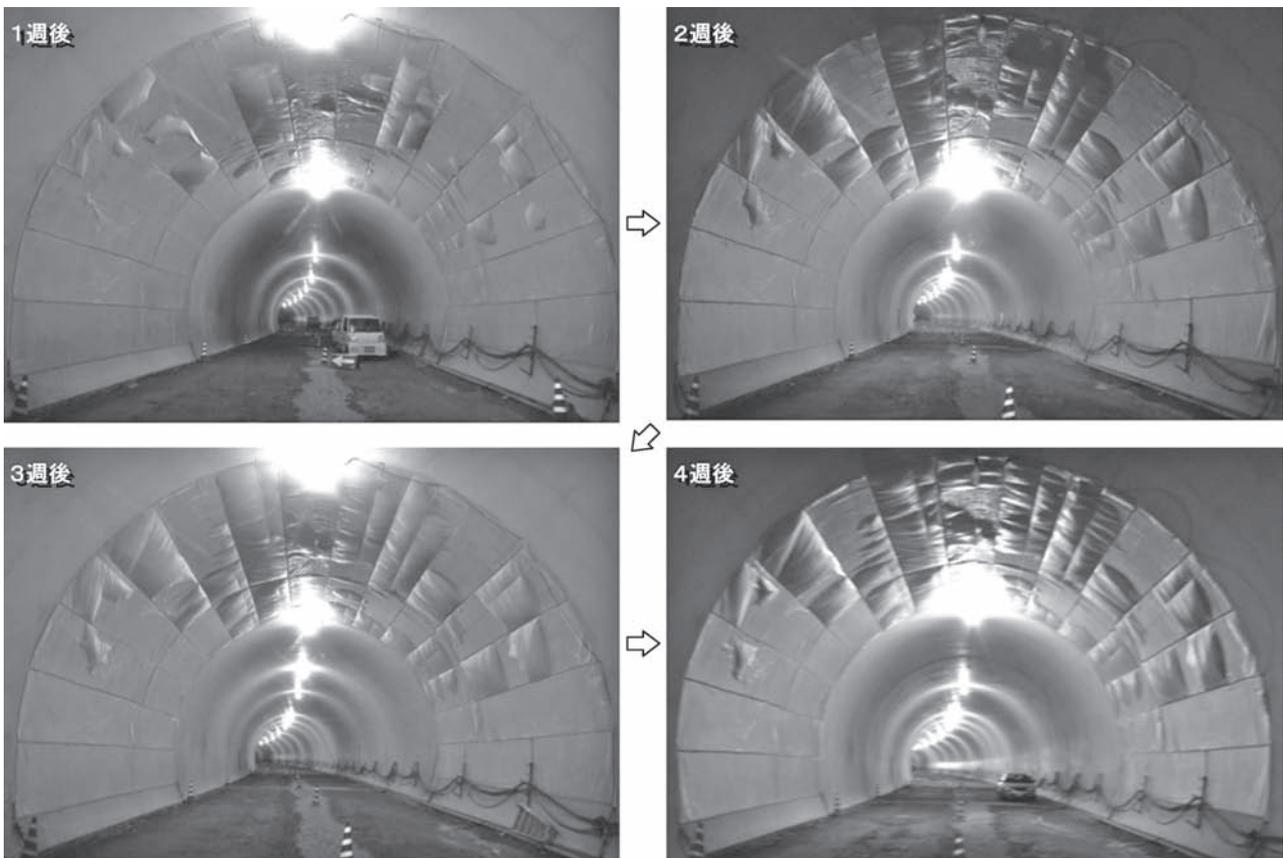


写真-3 プラスチックフィルムの状況変化(貼付けの1週間後～4週間後)

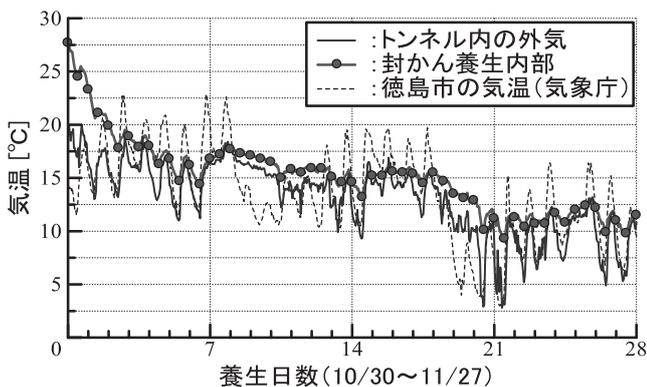


図-2 封かん養生内外での温度の計測結果

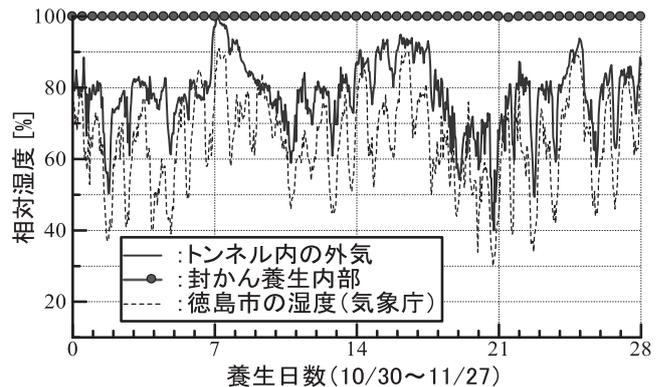


図-3 封かん養生内外での相対湿度の計測結果

トンネル内の外気温の変化に対して、フィルム内部の温度変化は振幅が若干小さく、とくにトンネル内の外気温が低下した際にフィルム内部の温度低下が少なかった。

トンネル内の外気の相対湿度は40～99%で推移し、計測した28日間の平均値は78.2%であった。一方、フィルム内部の相対湿度は、99.0～99.9%で推移し、28日間の平均値は99.9%であった。この計測はトンネルが貫通した後に行ったものであり、貫通前と比較して乾燥しやすい環境である<sup>4)</sup>。そのような環境においても、フィルムによる封かん養生を行うことによってコンクリート表面を高湿度に保つことができた。

#### 4. 封かん養生によるコンクリートの品質向上

##### (1) 試験方法

施工する覆工コンクリートと同じコンクリートで実験用供試体を作製し、養生終了後に圧縮強度試験、引張強度試験、および透気性試験を行った。計測項目と試験方法を表一3に示す。本研究では表一4に示した3種類の養生を施した供試体φ125×250mmを用い、圧縮強度試験を材齢7、28、56日に、割裂引張強度試験を材齢7、28日に試験を行った。なお、材齢56日の圧縮強度試験に用いた供試体は、材齢28日までは表一4に示した養生を行い、その後28日はすべてトンネル施工現場における気中に静置した。

透気速度の試験は、封かん養生および現場気中養生についてφ150×50mmの供試体3体ずつとして行った。養生方法は表一4に示したとおりである。φ150×150mmの供試体を製作し、施工中のトンネル内で28日間養生した。養生終了後、供試体の打設時の底

表一3 計測項目

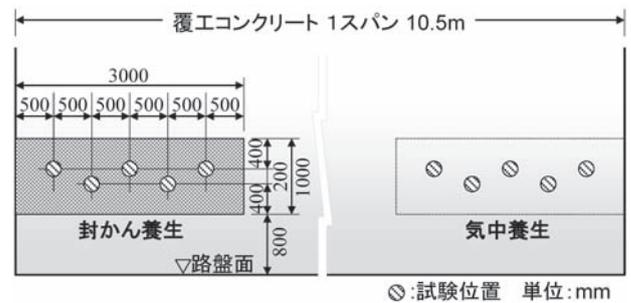
計測項目	計測方法など
養生内外の温度	温度・湿度データロガーによる1時間毎
養生内外の湿度	の自動計測
圧縮強度	JIS A 1108:2006に準拠 供試体φ125×250mm
割裂引張強度	JIS A 1113:2006に準拠 供試体φ125×250mm
透気速度	RILEM規格TC116-PCDに準拠 供試体φ150×50mm

表一4 供試体を用いた養生方法の比較ケース

養生の名称	養生材料や養生期間など
封かん養生	材齢1日で脱型し、その直後に厚さ0.02mmのプラスチックフィルムで封かん、材齢28日まで養生実施。
標準養生	材齢1日で脱型し、その直後から20℃の水中に静置、材齢28日まで養生実施。
現場気中養生	材齢1日で脱型し、その直後から現場環境に静置。

面側を厚さ50mmに整形し、試験前養生として50℃環境で10日間の乾燥処理を行った。その後、RILEM TC 116-PCD<sup>7)</sup>に準拠して透気性試験を実施した。

また、実構造物の覆工コンクリートにおいて、脱型直後から28日間フィルムによって封かん養生を行った区画と、気中養生を行った区画を対象にして、硬化コンクリートのテストハンマー強度試験を行った。テストハンマー強度試験(JSCE-G 504-2007)を行った位置を図一4に示す。封かん養生を行った区画と、気中養生を行った区画での試験位置は同じである。一区画の大きさは封かん養生を行った3m×1mであり、一区画あたり5箇所試験を行い、試験位置の中心間隔は横方向に500mm、縦方向に200mmとした。試験はコンクリート打設から91日経過した後に行った。

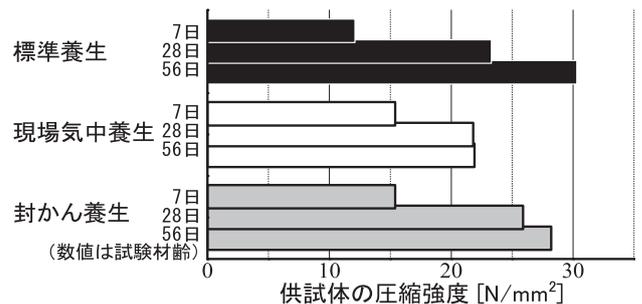


図一4 テストハンマー強度試験の実施位置

##### (2) 強度の試験結果

圧縮強度の試験結果を図一5に示す。材齢28日の圧縮強度で比較すると、標準養生では23.3 N/mm<sup>2</sup>、現場気中養生では21.8 N/mm<sup>2</sup>、封かん養生では25.9 N/mm<sup>2</sup>であった。標準養生での圧縮強度に対して、現場気中養生での圧縮強度は6.4%低下し、封かん養生では11.2%向上した。

材齢56日(=28日間養生の後、28日間は気中養生)の圧縮強度で比較すると、標準養生では30.3 N/mm<sup>2</sup>、現場気中養生では21.9 N/mm<sup>2</sup>、封かん養生では28.2 N/mm<sup>2</sup>であった。現場気中養生では材齢28日からの圧縮強度の増進はほとんどみられないが、封かん養生では2.3 N/mm<sup>2</sup>増進した。標準養生での圧縮強度

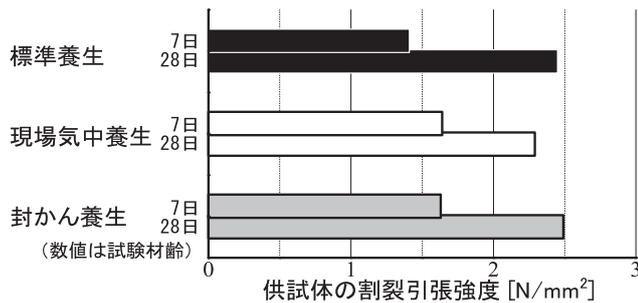


図一5 供試体による圧縮強度の試験結果

の増進はさらに著しく、7.0 N/mm<sup>2</sup>の増進であった。

割裂引張強度の試験結果を図一6に示す。材齢28日の割裂引張強度で比較すると、標準養生では2.45 N/mm<sup>2</sup>、現場気中養生では2.29 N/mm<sup>2</sup>、封かん養生では2.49 N/mm<sup>2</sup>であった。封かん養生での割裂引張強度は、気中養生に対して109%、水中養生に対して102%であった。

以上のことから、フィルムを用いた長期的な封かん養生を行うことによって、コンクリート強度の向上が期待できると考える。



図一6 供試体による割裂引張強度の試験結果

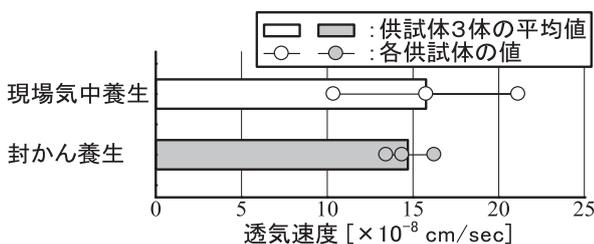
(3) 透気性の試験結果

透気速度の計測結果を図一7に示す。透気速度は試験から得た透気量を用い、式(1)により計算した。ここに、 $K_s$ : 透気速度 [mm/sec],  $Q_i$ : 透気量 [mm<sup>3</sup>/sec],  $A$ : 試験体の断面積 [mm<sup>2</sup>],  $L$ : 試験体の厚さ [mm],  $P_a$ : 印加圧力 [N/mm<sup>2</sup>],  $P_i$ : 大気圧 [N/mm<sup>2</sup>],  $\gamma$ : 気体の単位容積重量 (窒素:  $1.25 \times 10^{-3}$ ) [g/mm<sup>3</sup>],  $g$ : 重力加速度 [mm/sec<sup>2</sup>] である。

$$K_s = \frac{2 \cdot \gamma \cdot g \cdot P_a \cdot L \cdot Q_i}{P_i^2 - P_a^2} \cdot \frac{1}{A} \times 10 \quad (1)$$

封かん養生を施した供試体の透気速度は、気中養生の供試体と比較して供試体ごとの値の差が少なく、透気速度の平均値は若干小さい値であった。封かん養生を行うことによって透気速度が低下し、中性化などに対する抵抗性が若干向上したと考えられるが、これが有意な差であるかについては、継続調査中である。

なお、水セメント比が50~60%のコンクリートにおける一般的な透気速度は  $10 \sim 100 \times 10^{-8}$  cm/sec



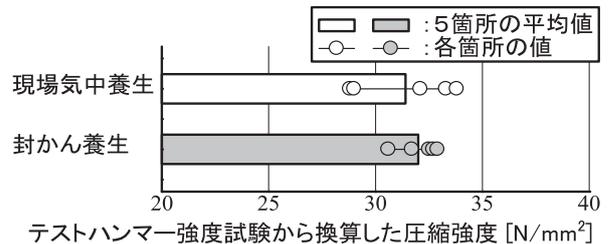
図一七 供試体による透気速度の試験結果

程度であり<sup>8)</sup>、透気速度は骨材の使用量によって変動するとされている<sup>9)</sup>。本実験において、透気速度は上述と同程度の値であったが、各供試体の試験値に差があったのは、粗骨材の最大寸法が40 mmであり、供試体作製時において粗骨材の混入比率に差があったことが影響したと考えている。

(4) テストハンマー強度試験の結果

実構造物の覆工コンクリートを対象にして行った硬化コンクリートのテストハンマー試験結果を図一8に示す。現場気中養生を行った区画で推定された圧縮強度は、28.9~33.8 N/mm<sup>2</sup>で分布し、平均値は31.4 N/mm<sup>2</sup>であった。一方、封かん養生を施した区画で推定された圧縮強度は、30.6~32.9 N/mm<sup>2</sup>で分布し、平均値は32.0 N/mm<sup>2</sup>であった。封かん養生を行った区画の強度は、現場気中養生の区画と比較して各試験箇所での差異が小さかった。

実構造物においても、フィルムを用いた長期的な封かん養生を行うことによってコンクリートの圧縮強度が向上することを確認できた。



図一八 硬化コンクリートのテストハンマー強度試験結果

5. まとめ

プラスチックフィルムを用いた封かん養生の覆工コンクリートへの適用性を確認するため、試験施工を行った。結果を以下にまとめる。

- ①プラスチックフィルムによる封かん養生のフィルム貼付け作業は、覆工コンクリート打設工程に悪影響を及ぼさないことがわかった。また、貼付けたフィルムは28日間にわたって剥落や破損を生じず、長期的に封かん養生の環境を維持できることが確認できた。
- ②封かん養生の期間中、相対湿度78% (平均値) の環境下において、養生内の相対湿度は99%以上を保つことができた。また、外気温の変動に対して養生環境の温度変化を緩和する効果が確認された。これらによって、覆工コンクリート表面の内的応力を緩和し、ひいてはひび割れの抑制に効果があったと

考えられる。

③封かん養生を行うことによって、コンクリートの強度が増加した。封かん養生を行った供試体での圧縮強度の比率は、気中養生に比べて129%、標準養生に比べて111%であった。強度の増加は、テストハンマー強度試験によって実構造物においても確認された。

④封かん養生を行うことによって、コンクリートの透気性が若干低下した。

以上のことから、プラスチックフィルムを用いた封かん養生は、実施工において有用であり、覆工コンクリートの品質向上に寄与することが確認できた。なお、プラスチックフィルムを用いた封かん養生のうち、そのフィルムの貼付け方法について特許出願中である。

J C M A

#### 《参考文献》

- 1) 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書【施工編】，2008
- 2) 郭 度連，國分勝郎，宇治公隆，上野 敦：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす水セメント比および養生条件の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.743-749，2003
- 3) 遠藤裕丈，谷口史雄，島田久俊：養生と乾燥日数が異なるコンクリートの凍害と塩害の複合劣化特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.741-746，2002
- 4) 馬場弘二，伊藤哲男，城間博通，宮野一也，中島浩，谷口裕史：施工中のトンネル坑内環境と覆工コンクリートの湿度変化に関する研究，土木学会論文集，No.742 / VI-60，pp.27-35，2003

- 5) 佐藤幸三，椎名貴快，新藤敏郎，安部俊夫，小林雅彦：バルーンを用いたトンネル二次覆工コンクリートの養生方法と効果について，土木学会年次学術講演会講演概要集第6部，Vol.59，pp.364-365，2004
- 6) 濱田洋志，大山 茂，須田政成，羽瀨貴士：噴霧養生装置による覆工コンクリートの乾燥収縮低減対策の効果，土木学会年次学術講演会講演概要集第6部，Vol.60，pp.8-9，2005
- 7) RILEM TC 116-PCD：Permeability of concrete as a criterion of its durability Final report：Concrete durability - An approach towards performance testing，Materials and Structures，Vol.32，pp.163-173，1999
- 8) 金 武漢，權 寧璣，朴 宣圭，姜 錫杓：モルタルおよびコンクリートの中性化に影響を及ぼす透気係数に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.1，pp.193-198，2000
- 9) 塚原絵万，加藤佳孝，魚本健人：欠陥を有するモルタル試験体の透気性に関する実験的考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.823-828，2001

#### 【筆者紹介】

壹岐 直之（いっき なおゆき）  
若築建設㈱  
総合評価対策室  
総合評価対策課長



吉武 勇（よしたけ いさむ）  
山口大学大学院  
理工学研究科  
准教授

