

論文

覆工コンクリートにおける脱枠時期および養生手法が表層品質に与える影響

村上 順菜*¹， 辻田 陽一郎*¹， 二村 憲太郎*¹， 伊代田 岳史*²

Effect for Concrete Surface Quality by Remolding Age and Curing Method on Tunnel Lining Concrete

Ayana MURAKAMI*¹, Yoichiro TSUJITA*¹, Kentaro NIMURA*¹ and Takeshi IYODA*²

要旨： 山岳トンネル（NATM）における覆工コンクリートでは，施工サイクルを確保するため 20 時間前後の脱枠が一般的であり，これまで養生に関する検討はあまりなされてこなかった．近年，コンクリートの高品質化による構造物の長寿命化が着目され，養生の重要性が再認識されてきている．そこで本研究では，実現場において，覆工コンクリートの型枠の脱枠時期およびその後の養生手法による表層品質の相違を透気試験・表面吸水試験により定量的に明らかとした．その結果，コストも考慮すると脱枠直後にビニール（ポリフィルム）を貼り付ける養生が最も効果が高いことを明らかにした．

キーワード： 覆工コンクリート，脱枠，養生，透気試験，表面吸水試験

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートは，施工サイクルを確保するため，打込みから 20 時間前後で脱枠されるのが一般的である．トンネル標準示方書（山岳工法）¹⁾では，貫通前のトンネルは坑内の温湿度が安定し湿潤状態に保たれるため，脱枠後の付加的な養生については規定されていない．ただし，貫通後の打込みについては，外気の通風を遮断し養生に適した坑内環境を確保するように規定している．また，覆工コンクリートの官積算で，トンネル延長を問わず一般的なコンクリート構造物のように養生費用が明確に計上されていない．特に延長の短いトンネルの場合，高価な養生設備を導入するとイニシャルコストの占める割合が高いため，費用対効果が低く原価を大きく圧迫する．

本研究では，施工上，貫通後の打込みとなり通風

の影響を受ける短距離トンネルにおいて，汎用的かつ低コストで実施可能な覆工コンクリートの養生手法として通風遮断に加えビニール養生，ミスト養生，不織布養生を採用し，これらが表層品質に与える相違を定量的に評価するため，実現場において熱画像カメラ，水分計，透気試験（トレント法），表面吸水試験（SWAT）を用いて比較検討した．

2. 実験概要

2.1 現場概要

現場は，延長約 200m の市街地道路トンネルであり，曲線部を有していることから延長の短い 6.0(m/BL)のセントル台車を使用し，貫通後に覆工コンクリート（27-15-20BB）（表-1）を秋～冬期にかけて打ち込んだ．施工サイクルはセントルダウンから打込みまで 1 日でおこなう方法で実施した（図-1）．なお，

表-1 配合表

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
BB	53	45	164	310	806	1024

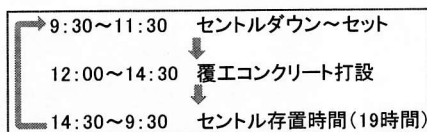


図-1 施工サイクル

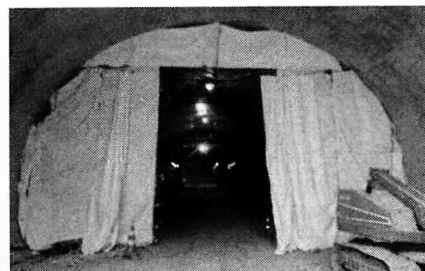


図-2 通風遮断状況

*1 西武建設（株）土木事業部エンジニアリング部

*2 芝浦工業大学工学部土木工学科 教授

覆工コンクリート施工期間中は両坑口において簡易な通風遮断(図-2), セントル台車両端部にブルーシートをそれぞれ掛け、坑内環境の確保を図った。

2.2 養生手法

覆工コンクリートの養生手法を表-2に示す。通風遮断に追加して、ビニール養生, ミスト養生, 不織布養生を連続して配置した²⁾³⁾。さらに, セントル存置時間を延長した場合も実施した。

(1) ビニール養生

セントル脱枠後約3時間が経過した時点で, ビニール(ポリフィルム: $t=0.2\text{mm}$)を固定した。養生期間は材齢20日までとした。

(2) ミスト養生

2tダンプトラックの荷台に3軸ミスト機(噴霧量約6L/min, 到達距離15~20m)(図-3), ポンプ, 水タンク, 発電機を搭載した移動式養生設備を使用した。噴霧時間は, 朝(6:00~7:00), 夕(15:00~16:00)とし, 養生区間断面中央部よりミストが均等になるよう噴霧した。養生期間は材齢2~10日までとした。

(3) 不織布養生

ビニール養生同様, セントル脱枠後約3時間が経過した時点で, 不織布(アクリル繊維: $t=2.0\text{mm}$)を固定した。養生期間は材齢14日までとした。

(4) 通風遮断のみ

ビニール養生, ミスト養生の効果をより定量的に把握するため, 同様に5BL連続した区間で, 供試体(1.0m×1.0m×30cm)を各BL打込み日に作製し, セントルダウン時刻に脱型後, 通風遮断のみの環境

で養生した。

(5) セントル存置+各養生

不織布養生を除く各養生区間のうち1BLにおいて, セントルおよび供試体型枠を1日(24時間)延長して存置し, 43時間脱枠とし, 各養生を実施した。

2.3 養生の定量化

養生効果を評価する指標として, 覆工コンクリート表面の温度, 水分量を測定した(表-3)。

(1) 熱画像カメラによるコンクリートの表面温度

不織布養生を除く各養生区間1BLにおいて, セントル脱枠翌日からハンディタイプの熱画像カメラ(測定範囲0~250°C)(図-4)で覆工コンクリートの表面を定点写真撮影した。撮影間隔は1枚/日とし, 期間は材齢14日までとした。また, 坑内温度との差分を取るため, 各養生区間に温度計を設置した。

(2) 水分量

材齢3, 7, 14, 28日(いずれも12:00)において, ハンディタイプの高周波水分計(測定範囲0~12%)を用いてすべてのBLおよび供試体のコンクリート表面を計測した。

2.4 コンクリート表層品質の定量化

表層品質を定量的に評価するため, 透気試験(トレント法), 表面吸水試験(SWAT)を実施した(表-3)。

(1) 透気試験(トレント法), 表面吸水試験(SWAT)

各BLが材齢56~74日となる日に, 透気試験⁴⁾, 表面吸水試験⁵⁾(図-5)を実施した。測定位置は, 覆工コンクリートとインバートコンクリートの継目より高さ50cmの位置とした。

表-2 養生手法 BL 数

脱枠時期	ビニール	ミスト	不織布	通風遮断のみ
19H脱枠	4	4	2	4
43H脱枠	1	1	0	1

表-3 養生および表層品質の定量化実施項目

試験項目	ビニールミスト通風遮断のみ		不織布	
	19H脱枠	43H脱枠	19H脱枠	43H脱枠
熱画像	○	-	○	-
水分量	○	○	○	-
透気試験	○	-	○	-
表面吸水試験	○	○	○	-



図-3 ミスト養生設備



図-4 熱画像カメラ

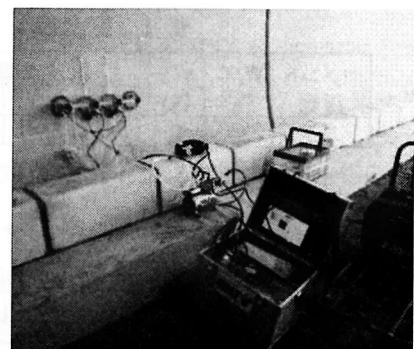


図-5 表面吸水試験

3. 実験結果

3.1 熱画像カメラによるコンクリートの表面温度

熱画像カメラの画像を解析し、覆工コンクリート表面温度と坑内温度の結果（坑内温度は熱画像カメラ撮影時と同時刻）に加え、初期値差分（材齢表面温度－測定初日表面温度）と、坑内差分（材齢表面温度－坑内温度）の結果を図-6～11に示す。これらの結果より、ミスト養生はミストの噴霧により表面温度の低下がみられた。これは、撮影時刻が一定でないため、コンクリート表面のミストの状態（乾湿）

が影響を及ぼしていると考えられる。また、ビニールの初期値差分に着目すると、ミスト養生、通風遮断のみと比較して若材齢期間の温度勾配が若干緩やかであった。これは、壹岐らの研究⁹⁾と同様に、ビニール養生によりコンクリート表面とビニールの間で空気の層が形成され、この層により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。

3.2 水分量

セントル存置時間別の水分計の測定結果（各養生手法の代表値）を図-12, 13に示す。ビニール養生の

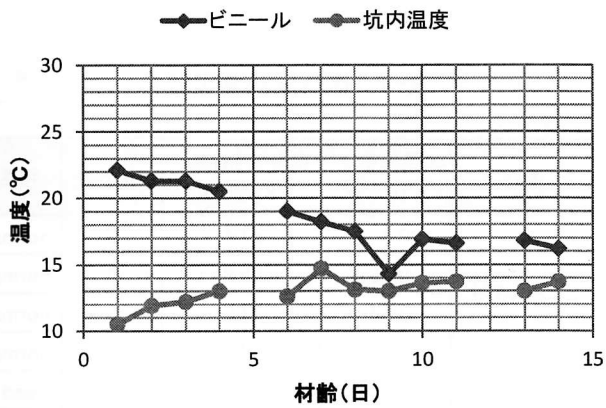


図-6 ビニール養生熱画像結果

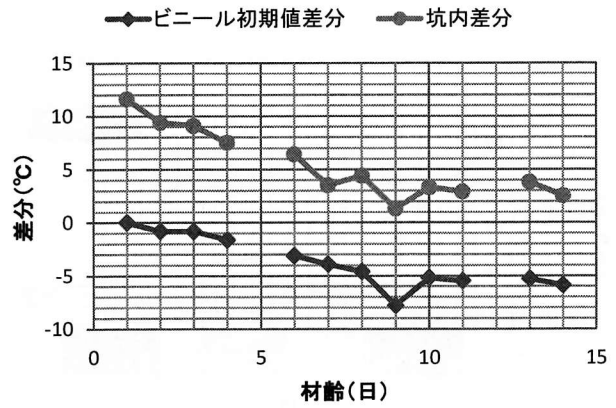


図-7 ビニール養生差分

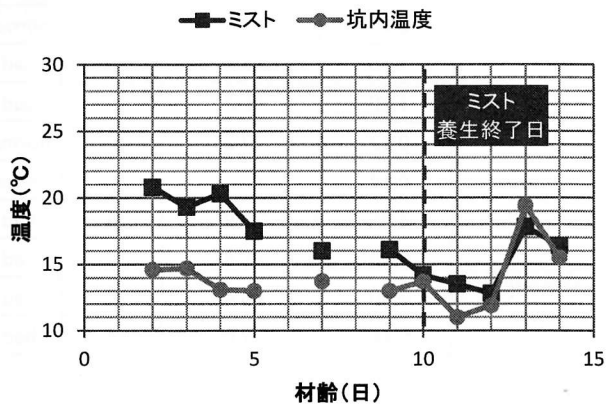


図-8 ミスト養生熱画像結果

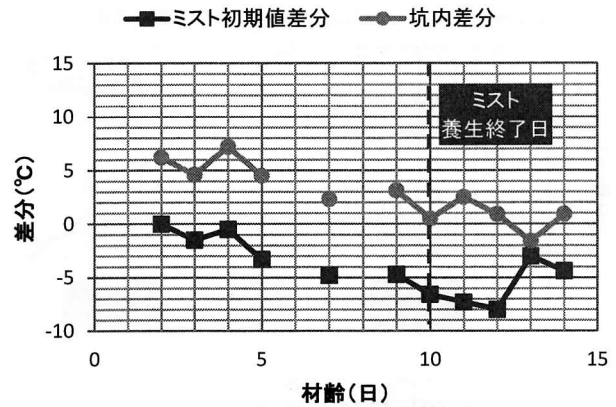


図-9 ミスト養生差分

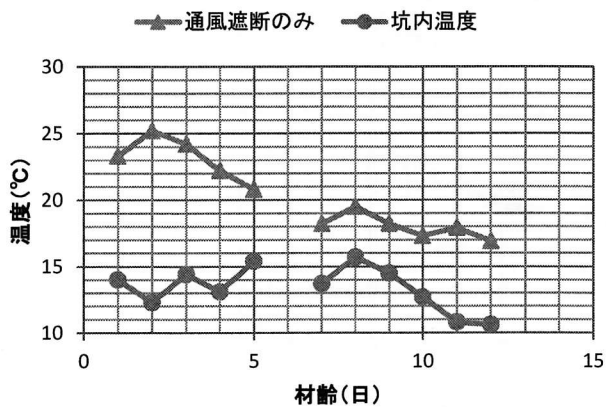


図-10 通風遮断のみ熱画像結果

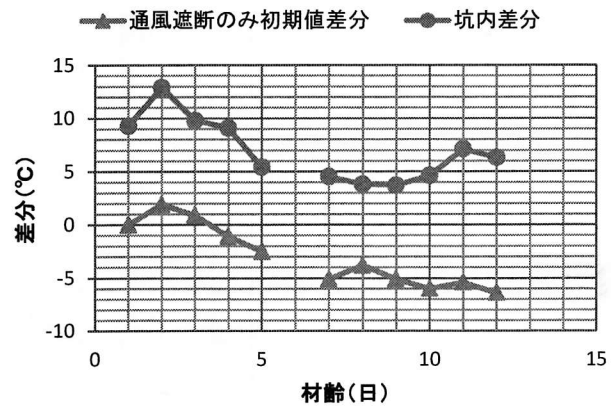


図-11 通風遮断のみ差分

12%は、水分計のオーバーレンジを表している。脱枠時間に関わらず、水分量の高い順にビニール養生、ミスト養生、不織布養生、通風遮断のみとなった。また、材齢3日の通風遮断のみにおいて、19時間脱枠と比較して43時間脱枠の水分量が顕著に高い値を示した。さらに、各養生終了後に水分の減少が見られ材齢28日目にはいずれも同程度の値へと収束した。

3.3 透気試験（トレント法）

各BLにつき1箇所測定した透気試験結果を表-4に示す。各養生のグレードはビニール養生3、ミス

ト養生と不織布養生は3または4、通風遮断のみ4という結果となり、ビニール養生、ミスト養生、不織布養生、通風遮断のみの順で透気係数が高くなった。なお、水分状態が大きく変わらないため、電気抵抗値による判定の補正は必要なかった（図-14）。

3.4 表面吸水試験（SWAT）

表面吸水試験の測定結果を図-15, 16に示す。評価の閾値は、試験より求めた表面吸水率($\text{ml}/\text{m}^2/\text{sec}$)が0.25未満を密、0.25以上0.5未満を普通、0.5以上を粗とした⁵⁾。19時間脱枠の場合、ビニール養生は密、ミスト養生は密～普通、不織布養生は普通～粗、通

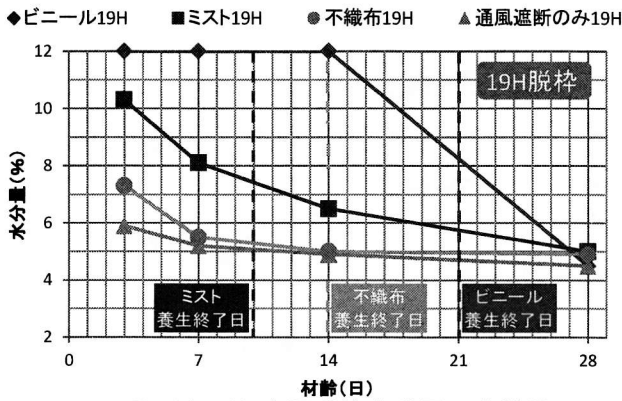


図-12 19時間脱枠水分量測定結果

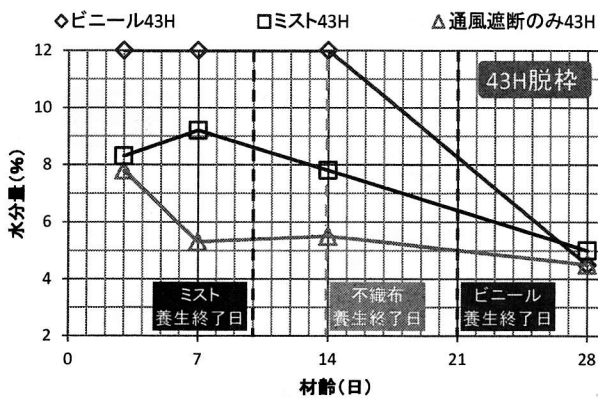


図-13 43時間脱枠水分量測定結果

表-4 透気試験測定結果

手法	透気係数: kT ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	電気抵抗値: ρ ($\text{k}\Omega \text{cm}$)	グレード	判定
ビニール養生	0.87	37.4	3	normal
	0.58	35.8	3	normal
	0.64	34.0	3	normal
	0.26	46.4	3	normal
ミスト養生	1.30	45.9	4	bad
	1.10	44.2	4	bad
	0.21	35.2	3	normal
不織布	0.76	37.6	3	normal
	1.60	48.8	4	bad
	1.20	40.3	4	bad
	0.22	47.2	3	normal
通風遮断のみ	0.24	41.8	3	normal
	4.20	78.9	4	bad
	3.30	69.5	4	bad
	7.60	86.4	4	bad
	5.40	72.6	4	bad

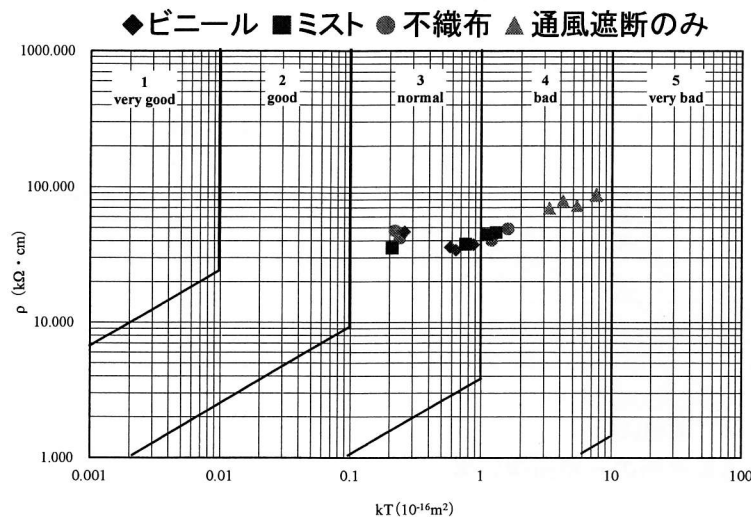


図-14 透気試験評価

風遮断のみは粗という評価になった。また、43時間脱枠の場合、ビニール養生およびミスト養生が密となり、通風遮断のみが普通となった。よって、19時間脱型ではビニール養生、43時間脱型ではビニールおよびミスト養生が密となることから、表層品質向上に効果があると考えられる。

3.5 表層品質向上手法の考察

(1) 表面吸水率-透気係数

表面吸水率と透気試験の関係を図-17、判定結果の一覧を表-5に示す。二つの試験値では相関関係は

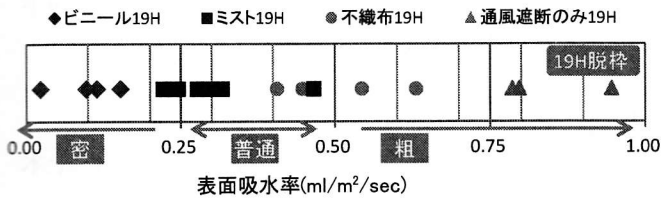


図-15 19時間脱枠表面吸水試験結果

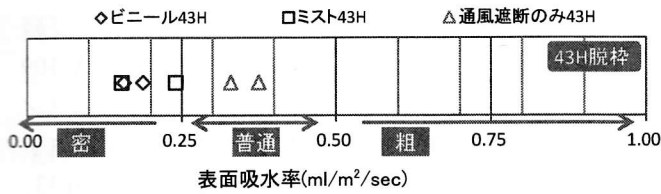


図-16 43時間脱枠表面吸水試験結果

示せなかったが、判定結果については概ね高い相関関係があることが分かった。そこで、表層品質を表面吸水率で評価できると考え、次に養生中の水分量との関係を示す。

(2) 表面吸水率-水分量

材齢別の表面吸水率と水分量の結果を図-18~21に示す。評価が粗となる場合は材齢3日で水分量およそ5%を下回っており、密の場合は材齢7日でおおよそ8%以上を維持している。したがって、養生手法に関わらず、若材齢期間においてコンクリート表

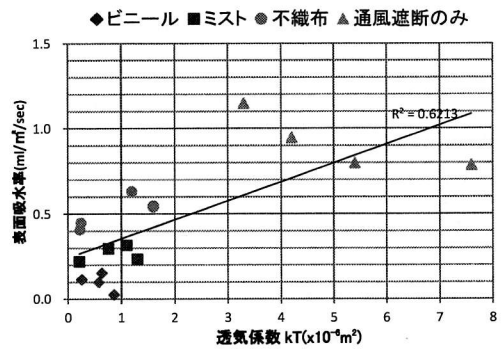


図-17 表面吸水率と透気係数の関係

表-5 判定結果比較

試験項目	判定結果			
	ビニール	ミスト	不織布	通風遮断のみ
透気試験	normal	normal~bad	normal~bad	bad
表面吸水試験	密	密~普通	普通~粗	粗



図-18 材齢3日目 表面吸水率と水分量

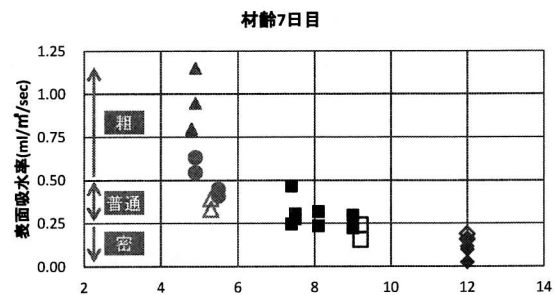


図-19 材齢7日目 表面吸水率と水分量

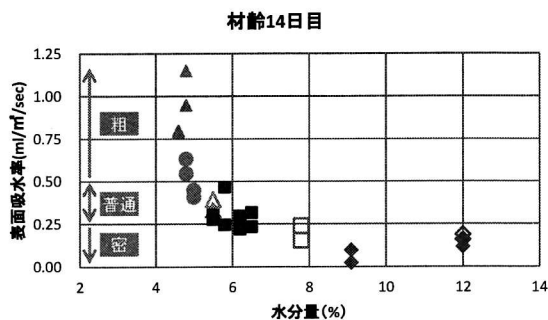


図-20 材齢14日目 表面吸水率と水分量

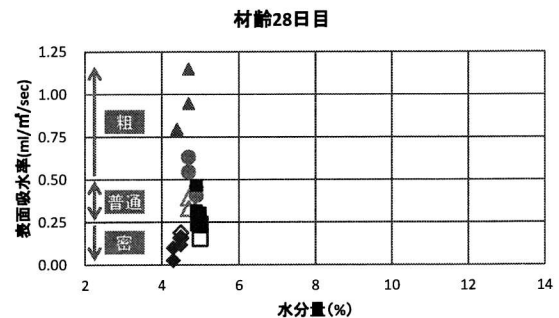


図-21 材齢28日目 表面吸水率と水分量

面の水分量を維持した場合、コンクリートの表層品質向上が期待できると考えられる。

3.6 目視調査

表面吸水試験、透気試験の同一日に目視で各 BL の調査を実施した。養生手法によって色が異なること無く、目視確認できるひび割れも発生しなかった。

4. まとめ

本研究において得られた、脱枠時期および養生手法が表層品質に与える影響を以下にまとめる。

(1) ビニール養生のみに若干の保温効果があり、ミスト養生および通風遮断のみでは水温や坑内温度の影響を受け温度変化が生じる。これは、本現場では確認されなかったが、内部拘束による温度ひび割れ発生の誘因となるおそれがある。

(2) 外観上の差異は認められないが、養生手法によってコンクリート表層品質（透気抵抗性、吸水抵抗性）は大きく異なる。

(3) 施工サイクル上 20 時間前後で脱枠する場合は、表面吸水率と透気係数の判定結果が概ね高い相関性であることに着目すると、ビニール養生が表層品質を確保するのに効果的であると考えられる。しかし、40 時間程度セントルを存置可能な場合は、ビニール養生、ミスト養生ともに同程度の効果が得られた。

(4) 表面吸水率と水分量の関係より、ある材齢までコンクリート表面水分率を維持すれば（本研究では材齢 7 日で 8% 以上）、表層の品質は確保されることが考えられる。

覆工コンクリートのビニール養生に関する既往の研究⁶⁾では、通風の影響が小さい中距離トンネルにおける事例である。本研究では、通風の影響を大きく受ける貫通後の打込みとなる短距離トンネルにおいても、ビニール養生が表層品質の確保に寄与することがわかった。さらに、同トンネル内のため養生手法以外は同一条件にもかかわらず、養生手法によって水分量、透気試験、表面吸水試験結果で差異が生じた。特に、坑口を通風遮断しミスト機を使用した養生環境の確保、改善のみでは、必ずしも透気試

験および表面吸水試験で良好な結果を得られないケースも確認された。これは、両坑口を遮断しても、工事車両の出入りにより一時的に解放され、良好な養生環境が損なわれたことによるものと考えられる。したがって、貫通後に覆工コンクリートを施工するトンネルについては、コンクリート表面に対して、直接的におこなう養生方法が重要である。また、トンネル養生についても適切に設計へ反映する必要性がある。

本研究で検証したトンネルの施工場所は比較的気象環境の安定した地域であった。今後の課題として、より気象条件の厳しい山間部や寒冷地における短距離トンネルの覆工コンクリートについても同手法による養生効果の検証をしていきたい。

参考文献

- 1) 2006 年制定トンネル標準示方書[山岳工法], 土木学会, p.176 第 133 条
- 2) 二村憲太郎, 辻田陽一郎, 新井靖典, 関隆幸, 高崎道彦, 伊代田岳史: 好環境下の実施工におけるコンクリート養生用製品の強度・耐久性および施工性比較, 土木学会第 68 回年次学術講演会, V-109
- 3) 宮沢明良, 田中秀周, 村松道雄, 羽瀧貴士: コンクリート構造物の垂直面に適用する噴霧養生手法の検討, コンクリート工学年次論文集 Vol.33, No.1, pp.1391-1396, 2011
- 4) R.J.Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Mater. Struct., Vol.25, No.150, pp.358-365, July 1992
- 5) 林和彦, 細田暁: コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1769-1774, 2011
- 6) 壹岐直之, 須貝亮, 山田祐二, 吉武勇: プラスチックフィルムを用いた覆工コンクリートの養生試験, トンネルと地下, Vol.40, No.12, pp.873-879, 2009.12