

覆工コンクリートの養生効果について

Effectiveness of Curing for Lining Concrete

三澤孝史* 廣中哲也* 白石祐彰* 東 邦和*

要 旨

山岳トンネルの覆工コンクリートの養生方法として、被膜養生剤の塗布および封緘養生台車による養生（バルーン養生）がある。これら2種類の養生方法について、覆工コンクリートのひずみ、応力、坑内の温度、相対湿度等の現場計測を行い、性能を評価した。その結果、コンクリート表面の相対湿度を85%以上にすることがひび割れ抑制に有効であること、また、バルーン養生の保温効果により、コンクリート表面と内部の温度勾配が小さくなり、ひび割れが抑制されることがわかった。さらに、トンネル貫通後の通風によるコンクリート表面の乾燥を防止するために設置した通風防止シートについて保温、保湿効果があることを確認した。

キーワード： ；覆工コンクリート、養生、計測

1. まえがき

近年、山岳トンネルの覆工コンクリートの品質および耐久性の向上が求められている。従来、山岳トンネルの坑内は、貫通前の場合、温度、湿度ともコンクリートにとって比較的、良好な環境に維持されていると言われてきた。しかしながら、覆工コンクリートのさらなる品質および耐久性の向上を目指し、各種の養生技術が開発され、実施されている。したがって、覆工コンクリートにとって最適な養生技術を選択する上で、これらの養生技術の性能を実現現場において評価することが必要となる。

今回、覆工コンクリートの養生技術として、被膜養生剤の塗布およびバルーン養生を取り上げ、コンクリートの品質に与える効果を現場計測により定量的に把握した。

また、トンネル貫通後に、通風により覆工コンクリート表面が乾燥することにより、乾燥収縮によるひび割れ発生を防止するために設置した通風防止シートについても、その効果を現場計測により把握したので報告する。

2. 覆工コンクリートの養生技術の効果

2.1 計測概要

計測した現場は、2車線道路トンネルの新設工事であり、標準部の掘削断面積は約75m²である。図-1に計

測区間のトンネル標準断面図を示す。支保パターンはC Iでありインバートコンクリートはなく、覆工は厚さ300mmの無筋コンクリートである。

計測は、季節変動により坑内環境（温度、湿度等）が変わった時の覆工コンクリートへの影響を把握するために2回（7月と4月）実施した。

表-1に覆工コンクリートの配合を示す。覆工コンクリートの設計基準強度は18N/mm²、セメントは高炉セメントB種を使用している。

覆工コンクリートは延長10.5mを1ブロックとして施工した。隣接した3ブロックにおいて、①被膜養生剤の塗布のみ、②被膜養生剤の塗布に加えてバルーン養生、③無対策の3ケースの養生条件とした。

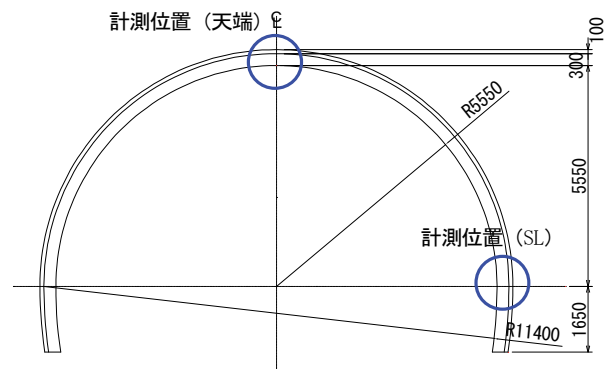


図-1 計測区間の標準断面

*技術研究所

被膜養生剤にはエム・キュアリング（株ノックス社製）を使用し、セントル脱型直後に 100~150g/m² を覆工コンクリート表面に吹付けた。エム・キュアリングは、コンクリート表面に防水性の高い被膜を形成することにより、コンクリート表面の乾燥を抑制する。

養生バルーンは、脱型後、3日間設置した。

表-2 に計測項目を示す。各ブロック中央の天端およびスプリングライン（SL）の2箇所計測機器を配置した。これらの位置で、各計測項目について、コンクリートの表面、深さ 5cm、15cm におけるトンネル円周方向と軸方向の経時変化を測定した。コンクリートの打込み前の計測機器設置状況を写真-1に、脱型直後のコンクリート表面に設置した計測機器の状況を写真-2に示す。

水分の計測は、図-2に示すように直径 6mm、深さ約 20mm の穴を 30mm 離して削孔し、穴に設置した電極間の電気抵抗により水分率を算定する。

2.2 計測結果

図-3 にトンネル坑内の温度、相対湿度の経時変化を示す。

夏季に実施した 1 回目の計測では、坑内温度は 22℃前後、相対湿度はほぼ 85%以上を保っていた。覆工コンクリートの表面は、写真-3に示すように結露し、湿潤状態を保っていた。



写真-1 計測機器の設置状況

表-2 計測項目（1断面当り）

位置	項目	点数		計測機器、配置等
		天端	SL	
覆工内部	応力	2	2	有効応力計 深さ 15cm：軸および円周方向
	ひずみ	5	5	ひずみ計 深さ 5cm、15cm：軸および円周方向、法線方向
覆工表面	温度	1	1	熱電対
	ひずみ	3	3	ひずみゲージ 軸方向、円周方向、45° 方向
	水分	1	1	電気抵抗式水分計
	強度	1	1	針貫入試験、反発硬度試験

表-1 コンクリートの配合

打設部位	骨材寸法 Gmax (mm)	水セメント比 W/C (%)	S/a (%)	設計強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤	
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤	流動化剤
側壁	40	55.0	45.0	18	15±2.5	4.5±1.5	156	284	843	1045	2.84	-
アーチ	40	55.0	45.0	18	18±2.5	4.5±1.5	156	284	843	1045	2.84	1.02

【使用材料】
 セメント：高炉セメントB種、密度 3.05g/cm³（デンカ社製）
 細骨材：陸前高田市竹駒産川砂、密度 2.65、粗粒率 2.75
 粗骨材：①骨材寸法 40mm、気仙沼市八瀬産砕石、密度 2.70g/cm³、粗粒率 8.02
 ②骨材寸法 20mm、気仙沼市八瀬産砕石、密度 2.69g/cm³、粗粒率 6.63
 AE 減水剤：リグニンスルホン酸系、密度 1.094g/cm³（ダーレックス WRDA-L15：グレースケミカルズ社製）
 流動化剤：ナフタリンスルホン酸系、密度 1.023g/cm³（ダーレックススーパー30F：グレースケミカルズ社製）

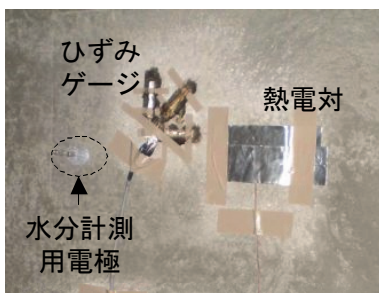


写真-2 計測機器の設置状況
（コンクリート表面）

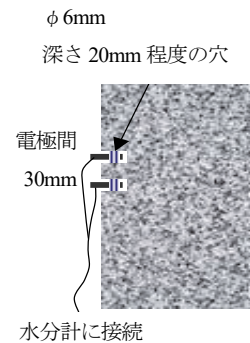
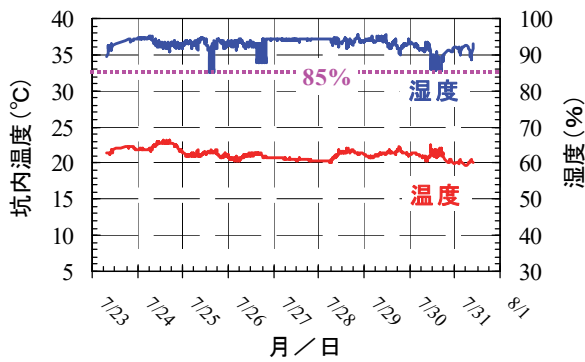


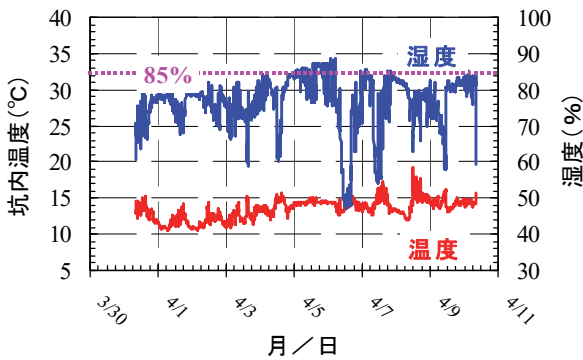
図-2 水分計による計測方法

図-4に1回目の計測結果より、覆工コンクリートの側壁における表面水分率の経時変化を示す。バルーン養生+被膜養生剤のケースが最も水分率が大きい。しかし、被膜養生剤の塗布のみのケースと対策なしのケースと比べ、大きな違いは見られない。これは計測期間を通じて、図-3に示したように坑内温度は22℃前後、湿度は85%以上とコンクリートの養生としては良好な条件で一定に保たれていたため、養生方法の違いが顕著に表れなかったと考えられる。

図-5に、対策なしのケースにおける計測1回目および2回目の覆工コンクリート表面の水分率を示す。図-6に、1回目および2回目における対策なしのスパンの覆工コンクリートのトンネル軸方向の応力を示す。図-7に、同じくトンネル円周方向の覆工コンクリートの



a) 1回目計測結果 (相対湿度 85%以上)



b) 2回目計測結果 (相対湿度 85%未満)

図-3 トンネル坑内の温度および相対湿度



写真-3 コンクリート表面の結露 (相対湿度 85%以上)

応力を示す。

図-5より、坑内相対湿度を85%以上に保つことで、初期材齢(材齢7日)におけるコンクリート表面の水分率は6.5%と、相対湿度85%未満の場合の水分率5.5%に比べ増加し、乾燥が抑制されている。乾燥が抑制されたことにより、図-6、図-7に示すように、コンクリートの引張応力が50%以上低減し、乾燥収縮によるひび割れ発生が抑制されている。

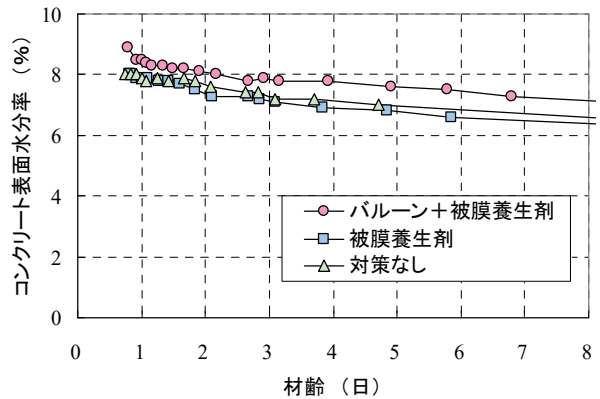


図-4 コンクリート表面の水分率 (側壁) (1回目計測結果)

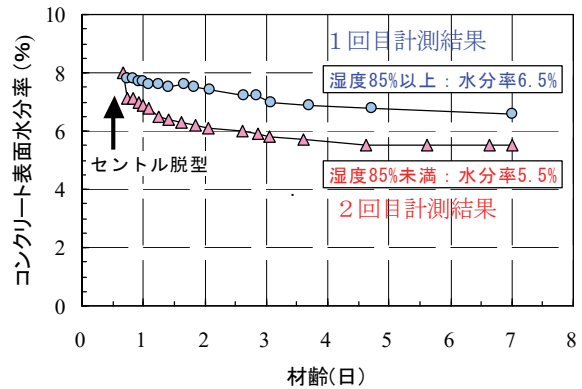


図-5 覆工コンクリート表面の水分率

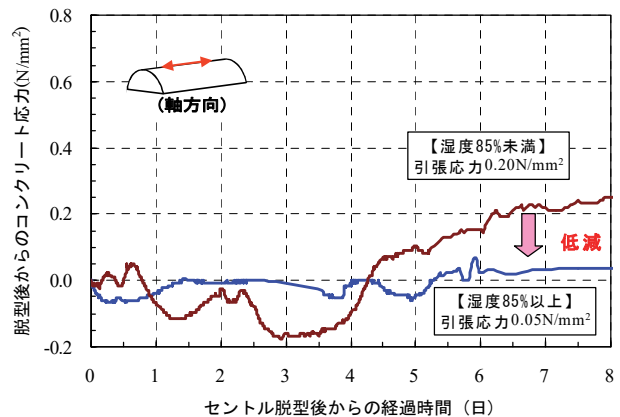


図-6 覆工コンクリートの応力の経時変化 (天端-トンネル軸方向)

これらより、坑内の相対湿度が約 85%以上であれば、特に養生をしなくてもコンクリートの乾燥収縮によるひび割れを抑制できる。言い替えると、相対湿度を約 85%以上に管理することにより、乾燥収縮によるひび割れを抑制できると考えられる。

図-8に、春季に実施した2回目の計測結果より、各養生方法における覆工コンクリート表面近傍の水分率を示す。対策なしのケースに比べ、バルーン養生および被膜養生のケースの方が水分量が 15~30%程度増加することを示しており、湿潤状態を保つことにより、乾燥が抑制されることが明らかである。

図-9に2回目の計測結果における、覆工コンクリート表面と表面から 15cm 深さ位置の温度差を示す。

コンクリート表面と表面から 15cm 深さ位置におけるコンクリートの温度差は、バルーン養生+被膜養生剤のケースが最も小さい。よって、バルーン養生は、その保温効果により温度勾配を小さくし、内部拘束によって生じる引張応力を低減することにより、ひび割れ抑制効果があると考えられる。

図-10に、2回目の計測結果より、覆工コンクリートの応力を示す。図-10(a)は、セントル脱型後 10 日までの比較的若材齢時を、図-10(b)は、セントル脱型後

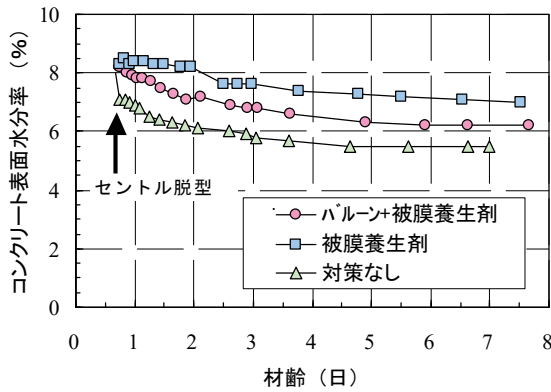


図-8 覆工コンクリート表面の水分量

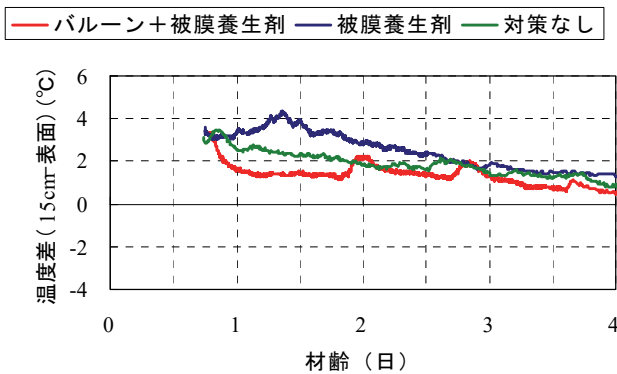


図-9 覆工コンクリート表面と表面から 15cm 深さ位置におけるコンクリートの温度差

3ヶ月以上経過した長期における応力の挙動を示している。有効応力は 10 日後において、バルーン養生+被膜養生剤および被膜養生剤のケースは 0.2N/mm^2 程度であるが、対策なしのケースでは 0.6N/mm^2 程度と約 3 倍の引張応力が生じている。これより、バルーン養生および被膜養生剤を使用することにより、乾燥収縮によるひび割れ抑制効果があると考えられる。

この傾向は長期的にも同じであり、バルーン養生+被

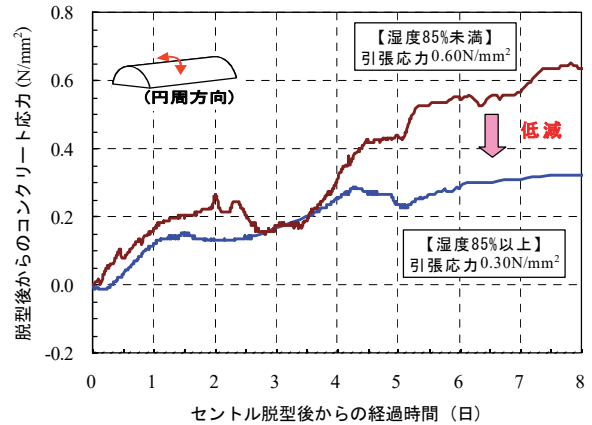


図-7 覆工コンクリートの応力の経時変化 (天端-トンネル円周方向)

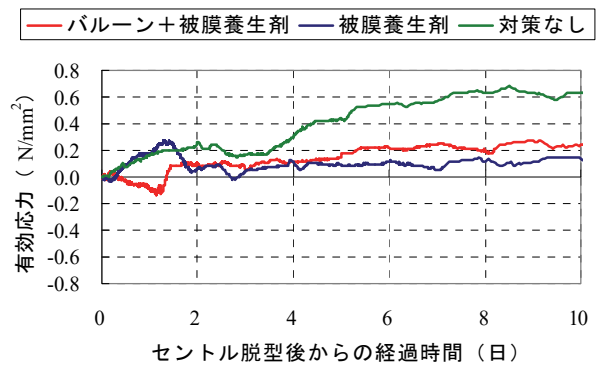


図-10(a) 覆工コンクリートの有効応力 (~脱型後 10 日)

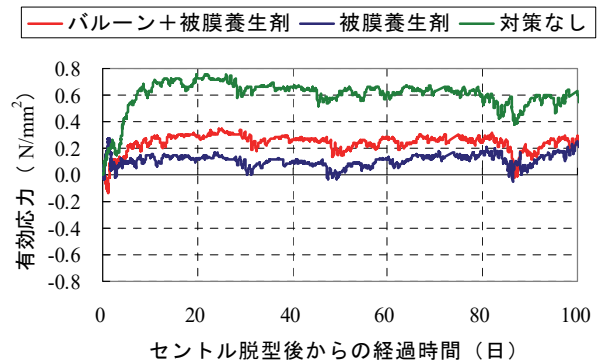


図-10(b) 覆工コンクリートの有効応力

膜養生剤および被膜養生剤のケースは、3ヶ月を越えても対策なしのケースに比べ引張応力は小さい。これより、バルーン養生および被膜養生剤による初期養生することにより、長期的にもひび割れの発生が抑制されると考えられる。

3. 通風防止シートによる乾燥抑制効果

トンネル坑内は、温度変化が小さく、また比較的高い相対湿度に保たれており、覆工コンクリートの養生にとって比較的良好な雰囲気と思われる。しかしながら、貫通後は通風により覆工コンクリート表面の水分蒸発が進み、乾燥収縮によるひび割れ発生の可能性が高くなる。この対策として、貫通後は坑口に通風防止シートを設置する例が多い。現場計測により、通風防止シートによる乾燥抑制効果を確認した。

表-3 計測項目および計測器

計測項目	計測機器	仕様
温度	温度計	使用範囲：-40～85℃
相対湿度	湿度計	使用範囲：0.0～100.0%
風速	風速計	測定範囲：0.05～5.00m/s 表示分解能：0.01m/s

3.1 計測概要

計測項目および計測器の仕様を表-3に示す。計測位置は、トンネル天端およびスプリングラインとし、トンネル中央部および到達側の坑口から200mとした。なお、計測は貫通の約1ヶ月前から開始した。

3.2 計測結果

図-11に坑内の温度、相対湿度、風速の計測結果を、表-4に各測定項目の平均値を示す。図-11および表-4より、以下のことがわかった。

- i. 貫通10日前から坑内の相対湿度の変動が大きくなり、貫通により風速が増加し、坑内の相対湿度および温度が急速に低下する（平均風速 0.50m/s、平均温度 15.9℃、平均相対湿度 56.4%）
- ii. 通風防止シートを到達側坑口部に設置することで、貫通前と同様の坑内環境（平均風速 0.26m/s、平均温度 21.1℃、平均相対湿度 83.7%）に保つことができる

4. あとがき

覆工コンクリートにおける、被膜養生剤、バルーン養生の養生効果を定量的に確認するために現場計測を実施

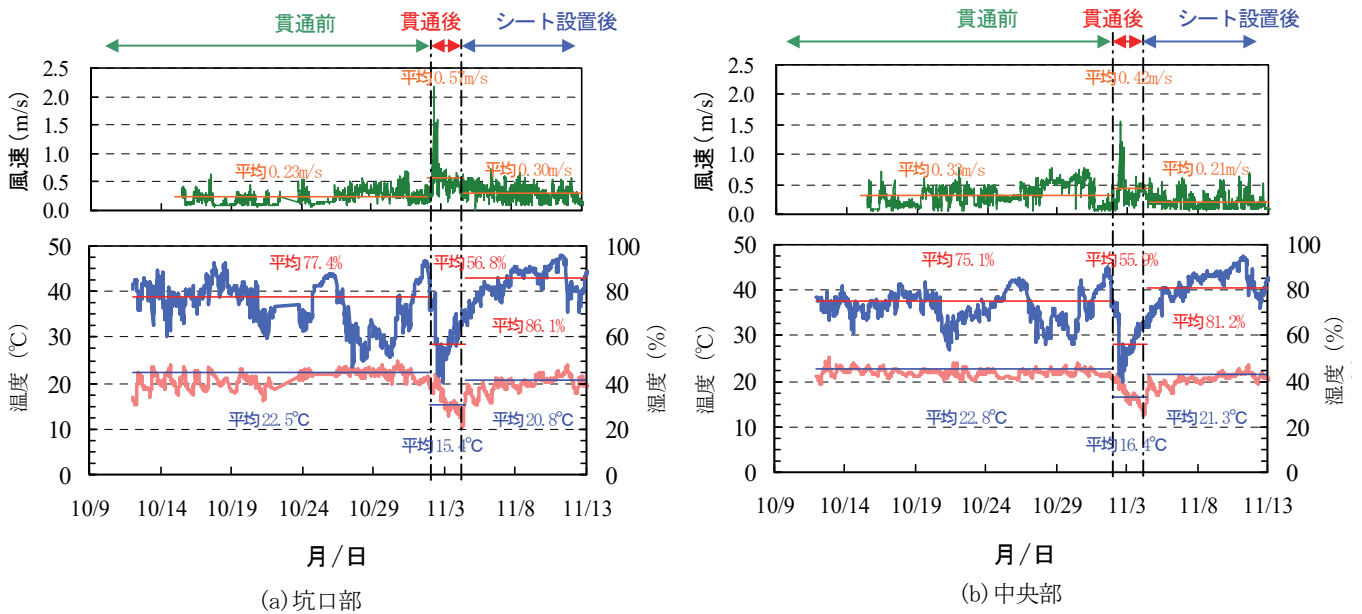


図-11 風速、温度、相対湿度の計測結果

表-4 計測値（風速、温度、相対湿度）の平均値

	各区間の平均値								
	風速(m/s)			温度(°C)			相対湿度(%)		
	坑口 200m	中央	平均	坑口 200m	中央	平均	坑口 200m	中央	平均
貫通前	0.23	0.33	0.28	22.5	22.8	22.7	77.4	75.1	76.3
貫通後	0.57	0.42	0.50	15.4	16.4	15.9	56.8	55.9	56.4
シート設置後	0.30	0.21	0.26	20.8	21.3	21.1	86.1	81.2	83.7

した。今回の現場計測結果より、得られた知見を以下に示す。

- i. 坑内の相対湿度を 85%以上に保つことで、コンクリート表面は結露し、初期材齢（材齢 7 日）のコンクリート表面の乾燥を抑制し、コンクリートの引張応力を 50%以上低減できる
- ii. コンクリート表面の水分量の測定結果より、バルーン養生、被膜養生をすることによって水分量が 15~30%程度増加していることから、コンクリート表面の乾燥が抑制されている
- iii. コンクリート表面と表面から 15cm 深さ位置におけるコンクリートの温度差は、バルーン養生のケースが最も小さかったことから、バルーン養生は保温効果があり、温度勾配を小さくすることにより、内部拘束によって生じる引張応力に起因するひび割れ発生の抑制に効果がある
- iv. 有効応力は 10 日後において、バルーン養生+被膜養生剤および被膜養生剤のケースは 0.2N/mm^2 程度であるが、対策なしのケースでは 0.6N/mm^2 程度と引張応力が約 3 倍生じていることから、バルーンおよび被膜養生剤を使用することにより、乾燥収縮に起因するひび割れを抑制する効果がある
- v. この傾向は長期的にも同じであり、バルーン養生+被膜養生剤および被膜養生剤のケースは、3 ヶ月を越えても対策なしのケースに比べ、引張応力は小さいことから、バルーン養生および被膜養生剤による初期養生を実施することにより、長期的にもひび割れ抑制効果が得られる
- vi. 通風防止シートを設置することにより、貫通後の通風によるコンクリートの乾燥収縮が原因の覆工ひび割れ発生を抑制する効果がある

本報では、覆工コンクリートの養生技術としてバルーン養生および被膜養生剤を取り上げた。その他にも散水養生、ミスト養生、シート養生等、様々な養生技術がある。今後、各養生技術の性能およびその養生技術を使用する養生期間も合わせて、適切な覆工コンクリートの養生技術を検討する予定である。