

トンネル覆工養生技術「アドバルーン工法」の実用化への取り組み Efforts to commercialize of curing system for tunnel lining concrete “Ad-Balloon method”

高木 雄介*

Yusuke Takagi

八巻 大介***

Daisuke Yamaki

椎名 貴快**

Takayoshi Shiina

要 約

アドバルーン工法は、細田教授（横浜国立大学）と大嘉産業株式会社が共同で開発した、山岳トンネル覆工コンクリートの新しい養生技術である。セントル脱型後、覆工面を水や空気を遮断する養生シートで覆うことで、若材齢コンクリート自体が持つ水分やセメント水和熱を活かして保温・保湿養生を行う。また異なるトンネル断面に転用できるため、同じシステムを一般部と拡幅部の両方に適用できるなど、従来工法にはない特長を有している。本稿では、工法の概要や実トンネルでの施工検証結果について報告する。

目 次

§ 1. はじめに

§ 2. アドバルーン工法

§ 3. 現場施工検証

§ 4. まとめ

§ 1. はじめに

近年、山岳トンネルの覆工コンクリート工事では、コンクリートの品質や耐久性の向上を目的として、様々な養生方法が導入されている。しかし、大規模な養生架台が必要な工法は導入費用が高額な上、異なるトンネル断面に転用することが難しい。また遮水性の高い養生シートを貼り付ける方法は、シートの転用ができないため、トンネル延長が長くなるほど大量の廃棄物が発生する。このため、1つのシステムで様々なトンネル断面に転用でき、導入費用も安価な養生技術が求められていた。

そこで、細田教授（横浜国立大学）と大嘉産業株式会社が共同で開発した、新しい覆工コンクリート養生工法「アドバルーン工法」*を実用化した¹⁾。本工法は、覆工コンクリート表面への給水作業が不要であり、システム自体が軽量なので現場での作業性が高い。

本稿では、アドバルーン工法の技術概要および実トンネルでの施工検証結果について報告する。

* 技術研究所土木技術グループ

** 技術研究所

*** 北日本（支）五郎窪トンネル（出）

（現：北日本（支） 計画課）

§ 2. アドバルーン工法

2-1 工法概要

アドバルーン工法の概略イメージを図-1に、現場導入例を写真-1に示す。気密性と遮水性に優れた養生シートを、直径φ150mmの小径バルーンを使って覆工コンクリート表面に押し当てて覆工面を覆う構造である。

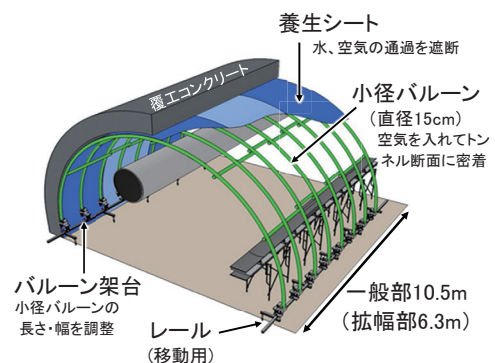


図-1 工法概略イメージ



写真-1 現場導入例

※『アドバルーン』は大嘉産業株式会社の商標登録です。

小径バルーンは、トンネル延長方向に1.5m間隔で配置することを標準とし、移動時のねじれを防止するため、トンネル延長方向に連結する小径バルーン同士も配置する。なお、小径バルーンは内部に空気を注入することで自立し、かつ外側に向かって膨らむので、養生シート自体を支えつつ、覆工面へ簡単に押し当てることができる。

(1) トンネル断面への追従密着性

バルーン脚部には、独自開発した小径バルーン専用のジャッキアップ・スライド機構（写真－2）を備えている。トンネルのアーチ断面長に合わせてバルーン長さを調整でき、さらにシステム全体の上下動や水平移動を可能にする。これによって養生時には、写真－3のように、小径バルーンを覆工表面に密着させることができ、解析面からも河端教授（横浜国立大学）の協力で効果を検証済みである（図－2）。また異なる断面形状のトンネルにも転用できるため、環境にも優しい工法である。

(2) 養生効果

バルーン間を養生シートにより覆うことで、密閉空間を作りだし、若材齢コンクリートのセメント水和熱やコンクリート自体が持つ水分によって保温・保湿養生効果を得られる。その結果、養生中に給水を行わなくてもコンクリート表層品質が改善され、耐久性向上を期待できる。

(3) スパン移動方法

養生完了後、路盤上に敷設したレールを使って次スパンへと移動できる。なお移動時にはジャッキアップ・スライド機構を使って覆工面からバルーンを離し、覆工面との間にわずかな離隔を設けるだけでバルーン全体を容易に動かすことができる。

(4) 組立・導入

本工法の基本ユニットは、小径バルーンと養生シート、バルーンへの給排気システムで構成される。鋼製架台を使わないため、延長10.5mでの全体重量が約250kgであり、従来の給水タイプの養生工法に比べると大幅な軽量化を実現している。また現場での組み立て作業が容易なため、短期間で現場導入することができる。

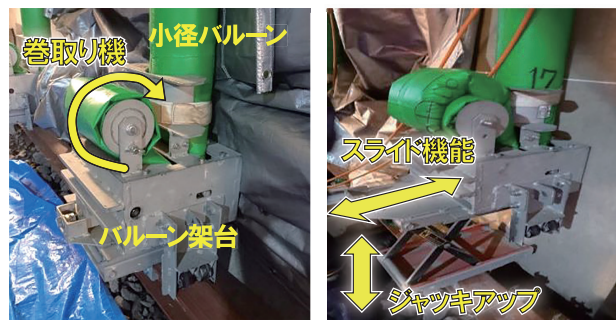
§ 3. 現場施工検証

3-1 概要

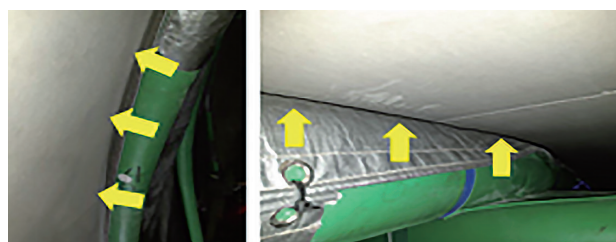
アドバルーン工法をトンネル3現場に導入し、組立・走行性、養生性能（温度、湿度）、養生効果（コンクリート表層品質）などの施工検証を行った。

3-2 トンネル現場 A

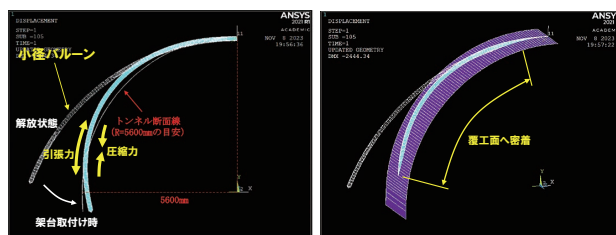
本トンネルは、内空断面積が87m²で、一般的な二車線道路トンネルである。ここではアドバルーン工法の組立や移動に関する歩掛りなどを検証した。写真－4は現場での組立導入状況を示している。以下に現場への導入フローの概要を示す。



写真－2 小径バルーン専用架台



写真－3 小径バルーンの覆工面への密着性



断面への追従性と作用荷重の検討 覆工面への密着性の検討
図－2 小径バルーンの覆工面追従性評価解析

① 資機材の搬入

システム1基（10.5m）につき10tユニック車1台のみで搬入する。軽量かつコンパクトに搬入可能であり、比較的狭隘なスペースに資機材を仮置きでき、坑内交通に対しても安全な走行路を確保できる。

② 架台の組立・取付

養生システム走行用に必要なレール受け架台およびレールを敷設し、小径バルーンのジャッキアップ・スライド機構を備えた架台を設置する。小径バルーンの片端を架台に取り付ける。



①資機材の搬入



②架台の組立・取付



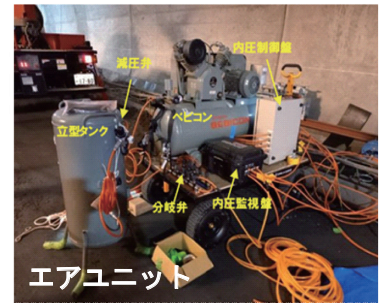
③バルーン設置



④空気注入 (バルーン内へ)



⑤設置完了



エアユニット

写真－4 トンネル坑内での組立状況



(左：一般部（標準断面）、右：拡幅部（非常駐車帯））

写真－5 異なるトンネル断面での養生システム展開状況

③ バルーン設置

天端の風管や坑内のズリ出し用ベルトコンベアなどを避け、反対側の架台にバルーンを取り付ける。システム1基につき8本の小径バルーンで構成されている。

④ 養生バルーンインフレーション工

小径バルーン内へ空気を注入する設備（インフレーション用設備）の設置を行い、バルーン内への空気の注入を行う。

⑤ 養生シート展開工

各小径バルーン間の養生シートを展開し、養生システムを完成させ、養生を開始する。1スパン分の組立時間は半日ほどである。

⑥ レール架台移設工

延長方向にレール受け架台を移動し、レール高さ等の調整の後、バルーンを展開しながら移動を行う。

⑦ その他

バルーンシステムの移設は、手巻きウインチで簡単

に実施でき、作業員2人1組で10.5mを移動させた。

写真－5は、同一トンネル内で標準断面と拡幅断面に対してシステムが追随している状況を示している。ジャッキアップ・スライド機構を使って小径バルーンの長さを変化させることで、異なるトンネル断面への適用を可能としている。これにより、1つのトンネル現場に複数の養生システムを導入する必要がなく、他のトンネル現場にも転用ができ、環境性能にも優れている。

3-3 トンネル現場 B

本トンネルは、内空断面積が96m²の道路トンネルである。一般的な道路トンネル断面に比べてやや大きな断面であるが、前記のトンネル現場Aで用いた養生システムをそのまま転用している。ここでは養生システムの保温・保湿効果を確認するため、3本の養生バルーンを用いて、1スパン10.5mの内、3m幅に養生システムを配

置し、残り 7.5 m 幅は比較のため無養生とした。計測位置は覆工の天端部とし、養生箇所では養生シートで覆われた雰囲気環境の温度および湿度の変化を計測した。なお、計測期間は養生システムを設置する前から、養生を終了するまでの 8 日間とした。

図-3 に温度、図-4 に湿度の変化を示す。アドバルーン工法で養生した場合、無養生と比較して温度が最大 10℃ 近く高くなっており、高い保温性を有していた。また、湿度は無養生箇所では平均 60% 程度であったが、養生箇所では平均 90% 以上を保持し、高い保湿性があつた。

以上より、本工法では散水を行わなくても良好なコンクリートの養生環境を保持できることが示された。

3-4 トンネル現場 C

本トンネルは、内空断面積が 75 m² の道路トンネルであり、断面の大きさは標準的なサイズである。ここでは、コンクリート表層品質試験として、表面吸水試験 SWAT²⁾ および表層透気試験 (Torrent 法) で測定し、養生効果を確認した (写真-6)。表層品質の評価グレードは表-1 に示したとおりである。覆工コンクリートの配合は 21-15-20N (水セメント比 59.9%) で、覆工打込み翌日にセントルを脱型し、脱型後 7 時間以内にアドバルーン養生を開始し、養生期間は 6 日間とした。なお、トンネルは未貫通で坑内の温度・湿度とも高い環境であつた。

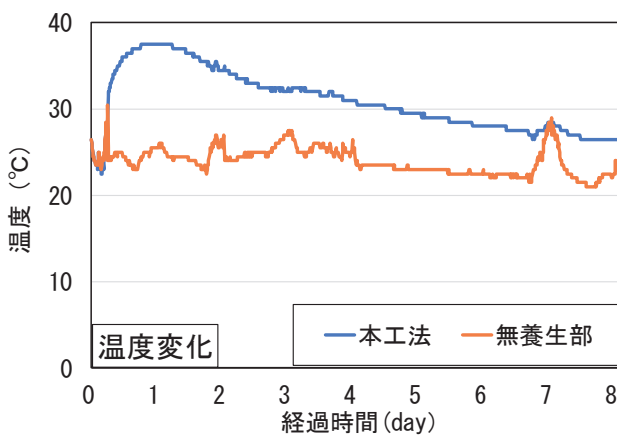


図-3 温度履歴 (トンネル現場 B, 覆工天端)

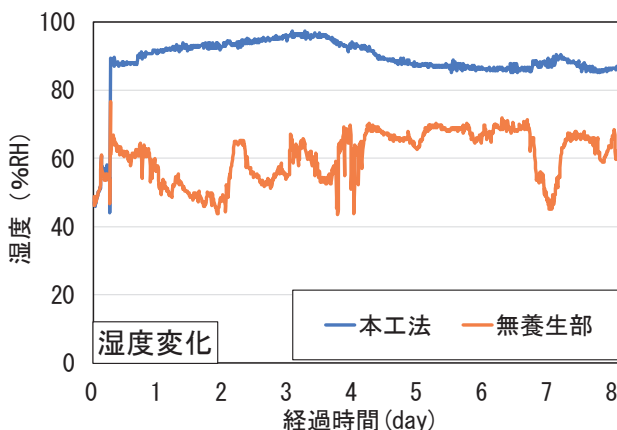


図-4 湿度履歴 (トンネル現場 B, 覆工天端)

覆工コンクリートの品質評価として、図-5 に表面吸水速度、図-6 に表層透気係数の結果を示す。表面吸水試験では 10 分時点での吸水速度 p_{600} を用いて評価を行った。無養生箇所 (セントル脱型後、無対策) での測定結果は 0.245 ml/m²/s であり、評価グレードは一般に近い「良」に分類される結果であつた。一方で、アドバルーン工法で養生した箇所では 0.182 ml/m²/s の「良」評価であり、約 26% 向上し、養生によって高い吸水抵抗



写真-6 表層品質試験状況 (トンネル現場 C)

表-1 表層品質評価グレード

表面吸水速度 P_{600} (ml/m ² /s)	良	一般	劣		
	0.00~ 0.25	0.25~ 0.50	0.50 以上		
表層透気係数 kT ($\times 10^{-16}$ m ²)	優	良	一般	劣	極劣
	0.001 ~0.01	0.01 ~0.1	0.1 ~1	1 ~10	10 ~100

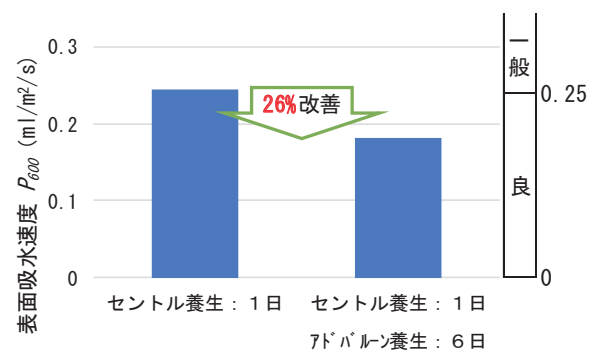


図-5 表面吸水速度 (トンネル現場 C)

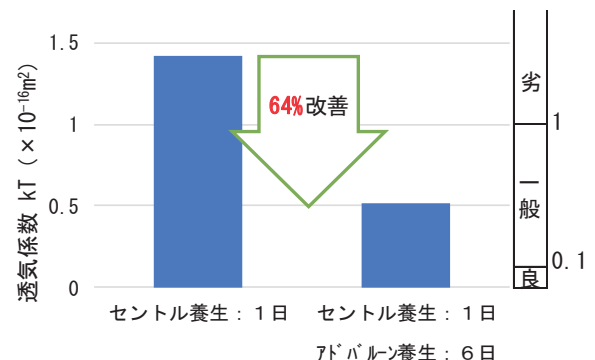


図-6 表層透気係数 (トンネル現場 C)

性を確認できた。表層透気係数は、無養生箇所では $1 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ 以上で「劣」と評価されたが、アドバルーン工法で養生した箇所では $0.5 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ の「一般」に評価がランクアップし、養生によってコンクリート表層の品質が大きく改善した。

§4. まとめ

本稿では、山岳トンネル覆工コンクリートの新しい養生技術として開発した「アドバルーン工法」について、その概要と現場での施工検証結果について報告した。本検証で得られた知見を以下に示す。

- (1) 若材齢コンクリートが有するセメント水和熱やコンクリート中の水分によって保温・保湿養生効果が得られる。
- (2) 養生中に給水を行わなくてもコンクリート表層品質を大きく改善し、耐久性向上を期待できる。
- (3) 養生システムは軽量で組立作業性が良く、短時間で現場導入することができる。

- (4) トンネル断面の異なる箇所（一般部、拡幅部）に同じシステムを使うことができ、さらに他のトンネル現場にも転用できる。

謝辞. 本技術の開発および現場での試験計測を実施するにあたり、横浜国立大学の細田暁教授および河端昌也教授には多大なるご指導をいただきました。また大嘉産業株式会社には養生システムを用いた現場施工や試験計測にご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考論文

- 1) 細田暁，揖斐剛，Raphael N. UWAZURUONYE，八巻大介：小径バルーン構造による養生システムを用いたトンネル覆工コンクリートの養生効果の調査，コンクリート工学年次論文集，Vol. 43, No. 1, 2021.
- 2) 林和彦，細田暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2, Vol. 69, No. 1, pp. 82-97, 2013.