

# トンネルバルーン—覆工コンクリートトータル養生工法— Tunnel Balloon —Total Curing Method for Tunnel Lining Concrete—

小野 利昭*	安部 俊夫**
Tosiaki Ono	Toshio Abe
佐藤 幸三***	新藤 敏郎***
Kozo Sato	Toshiro Sindoh
松井 健一****	椎名 貴快****
Kenichi Matsui	Takayosi Siina

## 要 約

一般的に、トンネルの二次覆工は、施工サイクルを確保するためコンクリート打設後15～20時間程度でセントルを脱型し、その後は初期養生がなされていない場合が多い。しかし近年、トンネル施工では粉塵等の作業環境を考慮して、坑内換気量を増大させるケースが多くなってきているため、打設したコンクリートに十分な温度、湿度が確保できずに覆工コンクリートに悪影響をおよぼす恐れが大きくなっている。

トンネルバルーンは、二次覆工コンクリート打設時および脱型後に繊維シートによるエアマットでセントルおよび覆工コンクリートを覆うことにより、坑内環境（温度、湿度、風）からコンクリートを保護し適切な初期強度発現と長期耐久性に優れたコンクリートを施工するトンネル覆工コンクリートのトータル養生工法である。

本報では、トンネルバルーンの施工法と関東支店飯山トンネル出張所での計測結果を中心に報告する。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. トンネルバルーンの概要
- § 4. 効果確認現場試験
- § 5. おわりに

### § 1. はじめに

一般的に、トンネルの二次覆工コンクリートの施工では、施工サイクルを確保するためコンクリート打設後15～20時間程度でセントルを脱型し、その後はほとんど初期養生がなされていない。このため、覆工コンクリート表面での急激な温度低下や乾燥を招くことにより、収縮ひび割れの発生やポーラス化の原因となっている。

トンネルコンクリート施工指針には、「覆工コンクリー

トは、打ち込み後、硬化に必要な温度および湿度の条件を保ち、有害な作用の影響を受けないように、適切な期間にわたり十分養生しなければならない」と記載されているが、貫通前のトンネル坑内は湿潤状態に保たれていると考えられていたため、特に付加的な養生は行っていないのが一般的であった。

しかし近年、トンネル現場の環境改善を目的として、粉塵量に対するガイドラインが示された。その基準値を満足させるために、各現場では低粉塵吹付けコンクリートの採用や、換気風量の増大等の対策を講じている。

飯山トンネル（東菅沼工区）では、有害ガスの発生も予測されていたために、高品質吹付けコンクリートと併せて、換気風速を0.5m/sと通常よりも大きな値としている。そのため、覆工コンクリート表面の温度低下、乾燥がより進みやすい状況となっていた。

その対策として、二次覆工コンクリート打設直後のセントル全体及びセントル脱型後の覆工表面を繊維シート製の風船（以下、バルーン）で覆い、坑内環境（温度、湿度、風）からの影響を遮断することにより、セントルの早期脱型を可能とし、高品質のコンクリートを施工する養生技術「トンネルバルーン」を開発した。

\* 関東（支）飯山トンネル（出）

\*\* 北陸（支）

\*\*\* 技術管理部

\*\*\*\* 技術研究所

今回、そのトンネルバルーンの養生効果を確認するために、飯山トンネルにおける施工で各種計測を行った。

本報では、バルーンでの養生工法の施工方法と計測結果を中心に報告する。

## § 2. 工事概要

- ①工事件名：北幹，飯山T（東菅沼）他 1， 2
- ②発注機関：（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
鉄道建設本部
- ③企業体名：西松建設・東亜建設工業・植木組・中元組  
特定建設共同企業体
- ④工事場所：新潟県新井市東菅沼地内
- ⑤内空面積：71m<sup>2</sup>
- ⑥工事内容：全体工区延長158km985m～162km785m  
をNATM工法により施工する。  
・他1工事分 作業坑（斜路全長L=316m）  
全断面 機械掘削（本坑に向かい12%  
下り勾配）  
本坑（全長L=2,250m）  
上半先進ショートベンチ 機械掘削

掘削方法：機械掘削

掘削工法：上半先進ショートベンチ掘削

その他：有害ガスがある

掘削標準断面図を図-1に、覆工完了状況を写真-1に示す。

## § 3. トンネルバルーンの概要

トンネルバルーンは、セントルバルーンとコンクリート用バルーンから構成されている。以下に、各バルーンの目的および効果を示す。

### 3-1 トンネルバルーンの構成および材質

#### (1) セントルバルーン

覆工コンクリートの打設後からセントル脱型時までの初期強度を確保する目的で開発したバルーンである。

打設直後のセントル（覆工コンクリート型枠）全体をバルーンで覆い、コンクリートの打設から脱型までの初期養生温度を保つことによって、冬季においてもセントルの早期脱型が可能となる。写真-2にセントルバルーンを示す。

#### (2) コンクリート用バルーン

セントル脱型後の覆工コンクリートの初期ひび割れ発生等を低減する目的で開発したバルーンである。セントル脱型後の覆工コンクリート表面をバルーンで覆うことにより外気の影響を遮断し、脱型後の覆工コンクリートの温度・湿度を保ち覆工コンクリートの品質を向上させる。写真-3にコンクリート用バルーンを示す。

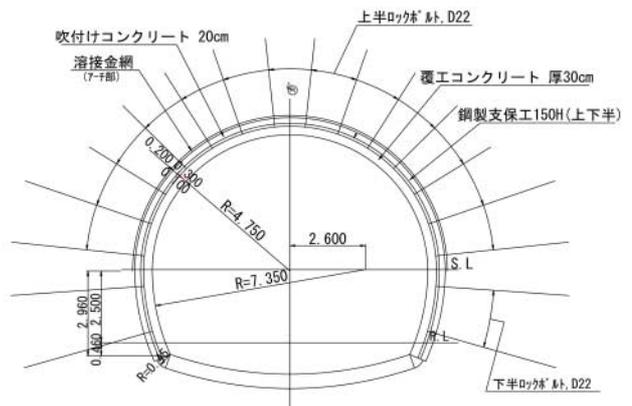


図-1 掘削標準断面



写真-1 覆工完了状況



写真-2 セントルバルーン



写真-3 コンクリート用バルーン

(3) 材 質

セントルおよびコンクリート用バルーンは、特殊ナイロンタフサで出来ており、「自己消火性」(消防法に基づく「MVSS 防災試験 (JIS D 1201-6)」に合格)を有している。表-1 にバルーン原反の物性表を示す。

(4) 形状および寸法

セントルバルーンはセントルに直接設置して、セントルとともに移動する形式となっている。コンクリート用バルーンには、風管の仮支え、移動のために台車にセットしている。図-2, 3 にコンクリート用バルーンの構造図を示す。

3-2 施工手順

飯山トンネルでのトンネルバルーンの施工手順は以下のとおりである。図-4 に施工手順を模式図にしたものを示す。

① セントルバルーンでセントルを密閉する

覆工コンクリートの打設時セントルの妻部に設置したセントルバルーンの中に空気を充満させ展開する。これによって、セントル部分が密閉され初期養生温度が確保される。

セントルおよびコンクリート用バルーンの展開には、図中に示すような小型の送風機を使用する。展開に要する時間は5分程度と短時間であり、セントルの移動時間に大きな影響を及ぼすことは無く工期の遅延は無い。作業自体も作業員を増員する必要もないので、バルーン関係のコスト以外に工事費の増加に対する影響は少ない。

② セントルおよびコンクリート用バルーンの移動

セントル脱型後、次に打設する箇所にセントルを移動する。脱型された覆工コンクリートに対して、早急にコンクリート用バルーンを設置する。コンクリート用バルーンは、小型クレーンやセントル等で移動する。セントルおよびコンクリート用バルーンの移動時には、バルーンの空気を抜いた状態で行う。

③ コンクリート用バルーンでの養生開始

所定の位置にセットされたコンクリート用バルーンを展開し養生を開始する。セントルおよびバルーン相互の接続はファスナー等を用いて確実に行う。

コンクリート用バルーンは、1基で約2日、3基で概ね1週間の養生が可能となる。飯山トンネルでは、コンクリート用バルーンを2基使用して、約4日間の養生を行った。

§ 4. 効果確認現場試験

セントルバルーンの効果については、既に幾つかの現場における施工実験で、この養生システムを用いることにより給熱養生を施さなくても十分な初期強度が確保できることが確認されていたが、コンクリート用バルーンの養生効果については定量的な検討はなされていなかった

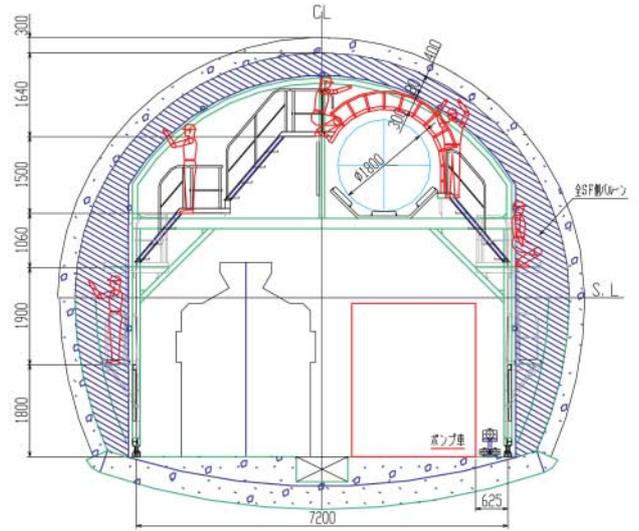


図-2 コンクリート用バルーン構造図 (断面)

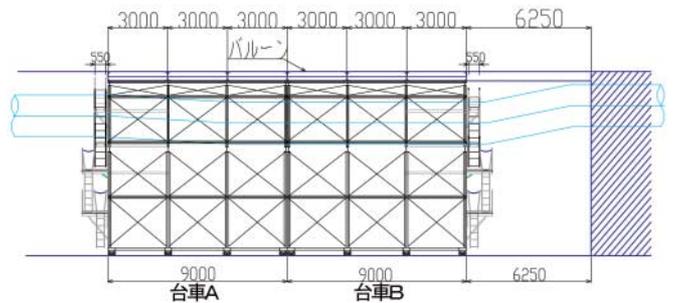
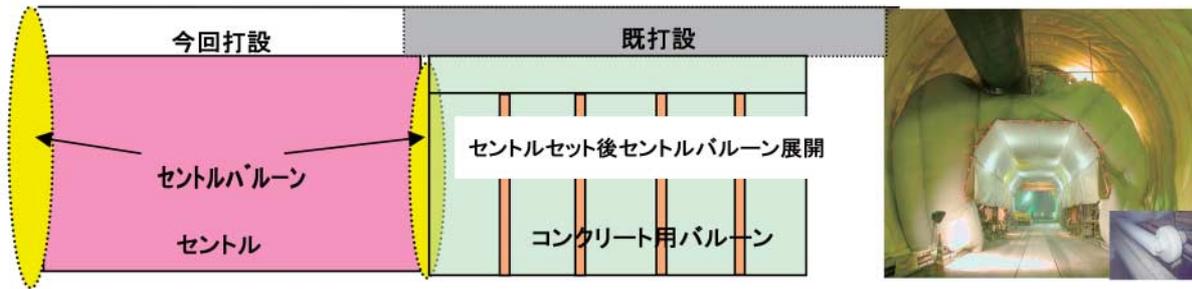


図-3 コンクリート用バルーン構造図 (側面)

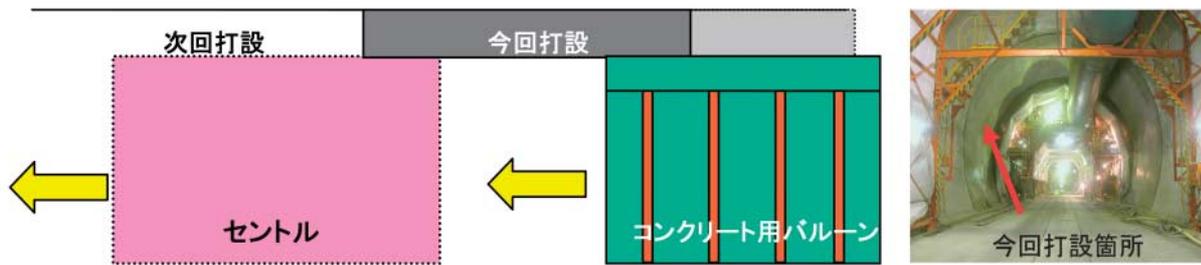
表-1 バルーン原反物性表

項 目	単 位	性 能
破 断 強 度	N/3cm	タテ 644
		ヨコ 436
伸 度	%	タテ 48.1
		ヨコ 49.1
引 裂 強 度	N	タテ 38
		ヨコ 50
耐 酸 性		20% 硫酸
		7% 塩酸
耐アルカリ性		異常なし
		60% 苛性ソーダ溶液
		28% アンモニア溶液
重 量	g/m <sup>2</sup>	148
		厚 み
色		白
防 炎 性		自己消火性

① セントルバルーンでセントルを密閉する



② セントルおよびコンクリート用バルーンの移動



③ コンクリート用バルーンでの養生開始

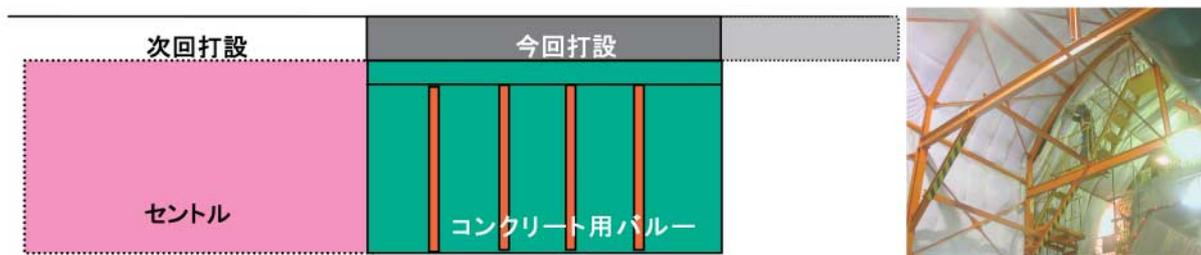


図-4 トンネルバルーン施工手順

た。そこで、今回現場施工のなかでコンクリート用バルーンの養生効果に関する確認試験を行った。養生期間は、セントル脱型後4日および7日間とした。

面と内部での温度差は殆どない状態が保たれている。7日養生と4日養生での大きな差異は見られなかった。それに対し無養生の場合、覆工内外温度差は最大11℃(材

4-1 試験概要

現場試験は、飯山トンネルの二次覆工コンクリートを使用して、セントルバルーンでの養生後セントルを脱型し4日間および7日間コンクリート用バルーンで養生したものとコンクリート用バルーンを使用しないもの(以下、無養生)とを比較した。本試験の概要をまとめると表-2のとおりとなる。覆工断面における測定位置は図-5に示すとおりである。(肩部とは、S.L.から3.6m上、下端部とはインバート表面から1.5m上)

表-2 試験概要表

実験期間	平成16年2月26日～
断面形状	複線新幹線型断面
打設BL長	10.5m
覆工コンクリート配合	21-15-40N
覆工厚	300mm
脱型時間	22時間後
計測項目	内部温度、表面温度 表面湿度、表面ひずみ 表面硬度
養生期間	4日間、7日間、無養生

4-2 試験結果

(1) 温度

覆工コンクリート内部、表面及び坑内での温度計測結果を図-1に示す。

バルーン養生を実施した場合、覆工コンクリートの表

齢1.5日)に達した。全ての温度は、材齢14日程度で坑内温度と同程度になった。

コンクリート用バルーンは、移動するためにバルーン内の空気を抜く必要がある。そのためコンクリート表面の温度が一時的に低下するが、バルーンを再セットすることにより、温度が再び上昇することが分かる。本坑は他工区に挟まれ、両坑口が閉塞された状態となっていたため坑内全体の温度が20℃程度と安定していた。そのため、バルーン養生の有無による差が小さくなっているが、冬季および貫通後などの坑内温度が低くなった場合はその効果が大きくなると考えられる。

(2) 湿度

覆工表面および坑内での湿度計測結果を図-7に示す。

バルーン養生を実施している期間は、覆工表面を湿潤状態に保つことができる。これに対して、無養生の場合は、脱型後は坑内湿度と同様である。

表面湿度に関しても温度と同様にバルーンの移動に伴う低下が見られる。バルーン移動時の作業時間を極力短縮することが必要である。

(3) 表面硬度

覆工表面3箇所(天端、肩部、下端部)での材齢28

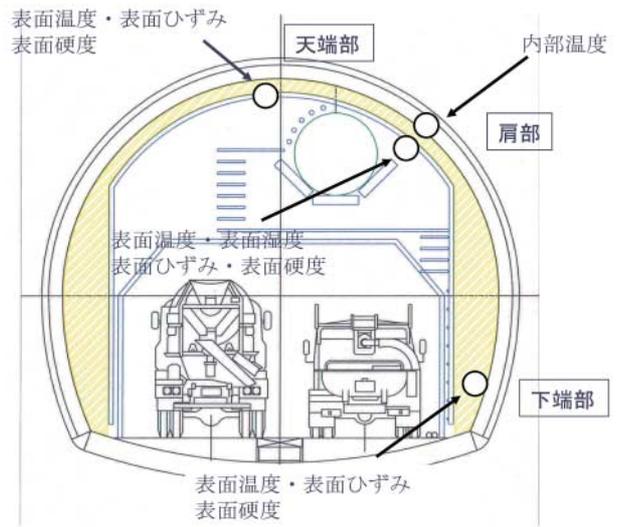


図-5 測定位置図

日における表面反発度の値を図-8に示す。

バルーン養生を行った場合、無養生に対してコンクリートの表面硬度が増大していることが確認できた。特に、7日養生の天端部では無養生に比べて約1割増加した。これは、バルーンによる保温・湿潤養生効果と思わ

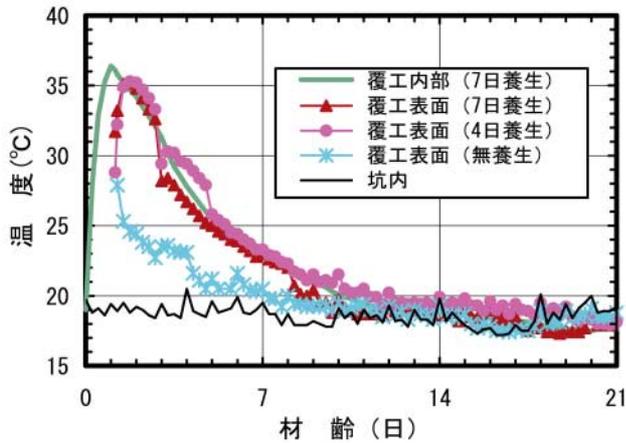


図-6 温度測定結果

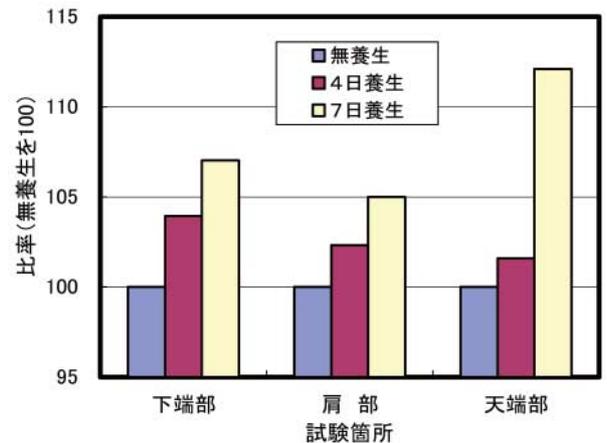


図-8 表面硬度測定結果

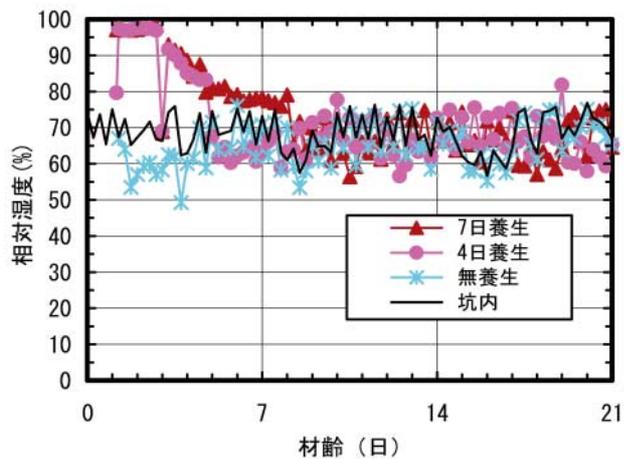


図-7 湿度測定結果

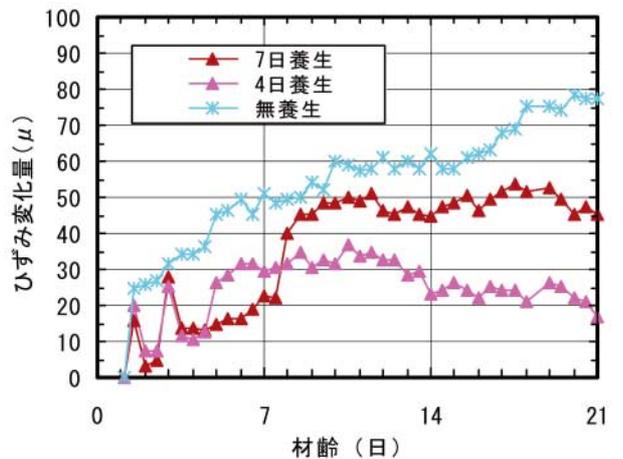


図-9 表面ひずみ測定結果

れる。

#### (4) 表面ひずみ変化量

覆工表面（下端部）での軸方向収縮ひずみの変化量を図-9に示す。但し、材齢1日を初期値としている。

今回の測定は材齢21日までの初期材齢で行ったため、乾燥収縮ひずみの絶対量についての評価は難しいが、無養生の場合、覆工表面での急激な温湿度の低下に伴う収縮ひずみ増大の傾向が顕著に現れている。ひずみ変化量は、4日養生及び7日養生ともに無養生を下回った。

### 4-3 考察

コンクリート用バルーンを用いた養生は、材齢初期における覆工内外温度差を小さくでき、表面を湿潤状態に保つことができる。このため、温度差から発生する内部拘束や初期乾燥収縮が低減され、覆工コンクリートの初期ひび割れの発生を抑制する効果が期待できる。

但し、湿潤養生はコンクリートの水和を促進し、強度発現の増進に寄与するが、あまり長い初期の（湿潤）養生は養生終了後の収縮を増大させ、さらに強度増進による拘束率が上がるため、逆に収縮ひび割れの発生危険度が高くなるといわれている<sup>1)</sup>。このため、バルーンによる養生期間は、無養生に対する強度とひずみの結果から、7日程度の存置期間が良いと思われる。

### § 5. おわりに

今回の試験により、脱型後の覆工コンクリートにコンクリート用バルーンを設置することで、外気を遮断した密封養生となり、給熱や散水等の養生に代わる有効な工

法であることが確認できた。既にセントルバルーンについてもコンクリートの初期強度発現に有効な方法であることについても確認している。

近年、トンネル覆工コンクリートのひび割れ低減に関して発注機関の関心が高まっており、日本道路公団<sup>2)</sup>、鉄道建設機構等でも種々の検討が行われている。また、入札時VEの課題としても採用されてきている。トンネルバルーンもトンネル覆工コンクリートのひび割れ低減技術の一つとして、現在20現場程度に採用されており今後も増加が見込まれる。よりいっそうの普及を図るためにも、トンネルバルーンの長期的な効果を検証してゆく方針である。

なお、「トンネルバルーン」は、平成16年12月13日付で新技術情報提供システム（NETIS）に登録された。（登録番号：HR-040005）

**謝辞：**本実験の実施にあたり、（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構鉄道建設本部の関係者殿に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 笠井芳夫，横山清，松井勇，白須富士夫：初期拘束と拘束程度を変えたコンクリートのひびわれ，セメント技術年報，No. 38，pp. 393-396，1984.
- 2) 馬場弘二，伊藤哲夫，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対する研究，土木学会論文集，No. 742，pp. 27-35，2003.