

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 盤ぶくれが生じにくい山岳トンネルを建設する

山岳トンネルにおいて、供用開始後に盤ぶくれが徐々に進行し、軌道変位となって現れることがあります。この盤ぶくれ現象は、比較的緩慢であることが多いですが、維持管理上の問題となる場合もあります。供用開始後に問題が生じることがないように、建設時に盤ぶくれの可能性を判断し、必要な場合は、盤ぶくれが生じにくいインバート構造としておくことが大切です。ここでは、山岳トンネルにおいて盤ぶくれが発生しやすい条件や盤ぶくれが生じにくいインバート構造、その構造を選択するフローについて紹介します。



**野城 一栄**  
Kazuhide Yashiro  
構造物技術研究部  
トンネル研究室  
室長  
[専門分野] 山岳トンネル



**嶋本 敬介**  
Keisuke Shimamoto  
防災技術研究部  
地質研究室  
主任研究員  
[専門分野] 山岳トンネル



**川越 健**  
Takeshi Kawagoe  
防災技術研究部  
地質研究室  
室長  
[専門分野] 土质地質



**佐原 圭介**  
Keisuke Sahara  
鉄道建設・運輸施設  
整備支援機構  
設計部  
設計第二課長  
[専門分野] トンネル、  
地質

## はじめに

現在、整備新幹線の建設が着々と進められており、2022年度中に、北陸新幹線金沢・敦賀間、九州新幹線（西九州ルート）武雄温泉・長崎間が開業予定です。さらに、北海道新幹線の延伸が進められています（図1）。トンネルの占める割合は、北陸新幹線金沢・敦賀間では総延長125kmの約3割ですが、九州新幹線（西九州ルート）武雄温泉・長崎間では総延長67kmの約6割、北海道新幹線新函館北斗・札幌間

間では総延長211kmの約8割となっています。そのほとんどが、掘削機械や発破によりトンネルを掘削した後、吹付けコンクリートや鋼製支保工、ロックボルトにより地山を支保し、最終的にインバートや覆工を設置することによる、山岳工法で建設されています。

その山岳トンネルにおいて、最近、建設時あるいは建設後に盤ぶくれによる変形が生じて問題となった場合が多くみられます。盤ぶくれは、路盤隆起が徐々に進行する現象で、軌道変位と



図1 整備新幹線の建設状況

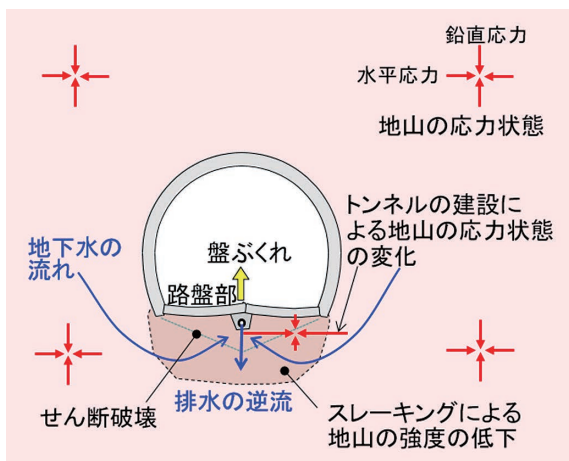


図2 盤ぶくれの模式図<sup>2)</sup>を修正

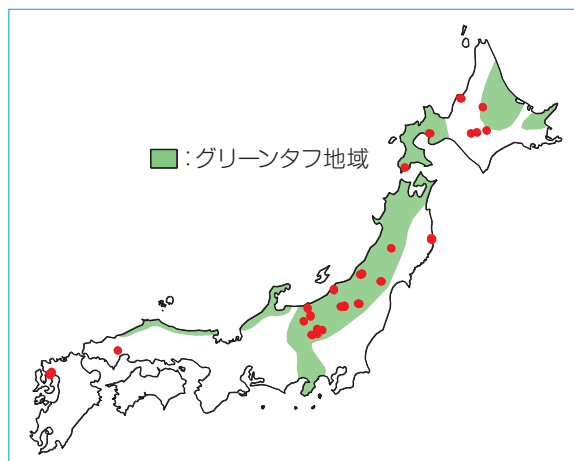


図3 盤膨れが生じたトンネルの分布<sup>3)</sup>



図4 スレーキングの例

なって現れ、維持管理上の問題となる場合もあります。

盤ぶくれは建設年代の新しい整備新幹線のトンネルにおいてもみられています。整備新幹線ではトンネル内もスラブ軌道が用いられますが、構造物側の問題に起因する軌道高低の調整は一般に難しく、供用開始後に盤ぶくれが生じると維持管理上の問題箇所となってしまいます。ここでは、盤ぶくれが発生する条件と盤ぶくれの発生を防止するための最近の試みについて紹介します。

### 盤ぶくれが発生する条件

図2に盤ぶくれの模式図を示します。トンネルを掘削すると、路盤部では、水平応力が増加し、鉛直応力が減少します。このような応力状態の路盤部において、何らかの理由により地下水が供給され、後述するスレーキングにより地山の強度が低下し、作用している応力が地山強度を上回ると地山が破壊

して発生します。

盤ぶくれが見られる地山は、堆積した年代が比較的新しい、泥岩、凝灰岩などからなるものが多く、また、日本に広く分布しています。図3には、グリーンタフ地域とよばれる、新第三紀中新世の堆積層が広く分布する地域をあわせて示していますが、盤ぶくれしているトンネルの多くがこの地域に含まれていることがわかります。

盤ぶくれは、一般に、地山強度比<sup>(注)</sup>が小さく、スレーキング<sup>(注)</sup>を生じやすい性状を有する地山で起こることが多いことがわかっています。

実際に完成後に盤ぶくれが確認された新幹線トンネルにおいて、建設時あるいは完成後に行われた地質調査結果の再整理が行われていますが、盤ぶくれが発生した事例のほとんどが、スレーキングのしやすさを表す指数が3(スレーキングを生じる)または4(著しいスレーキングを生じる)、あるいは

は、地山強度比が4以下の範囲に分布することが確認されています。

図4にスレーキングの例を示します。これは、スレーキングしやすい泥岩のサンプルを乾燥炉で完全に乾燥させたあとに水に浸けた結果ですが、24時間後には、形を留めないまでに崩れてしまっていることがわかります。また、

#### 注 地山強度比

トンネルの深さにおいて作用している地山の鉛直応力に対する地山の強度の比で、値が大きいほうが相対的に強度が高く安定しているといえます。

#### 注 スレーキング

土塊、岩塊が、乾湿の繰り返し作用を受けて細片化、土砂化する現象です。地圧による変形が問題となるトンネルは、スレーキングしやすい泥岩、凝灰岩等の軟岩地山に多いことが確認されています。スレーキング特性はスレーキング試験により調べることができます。

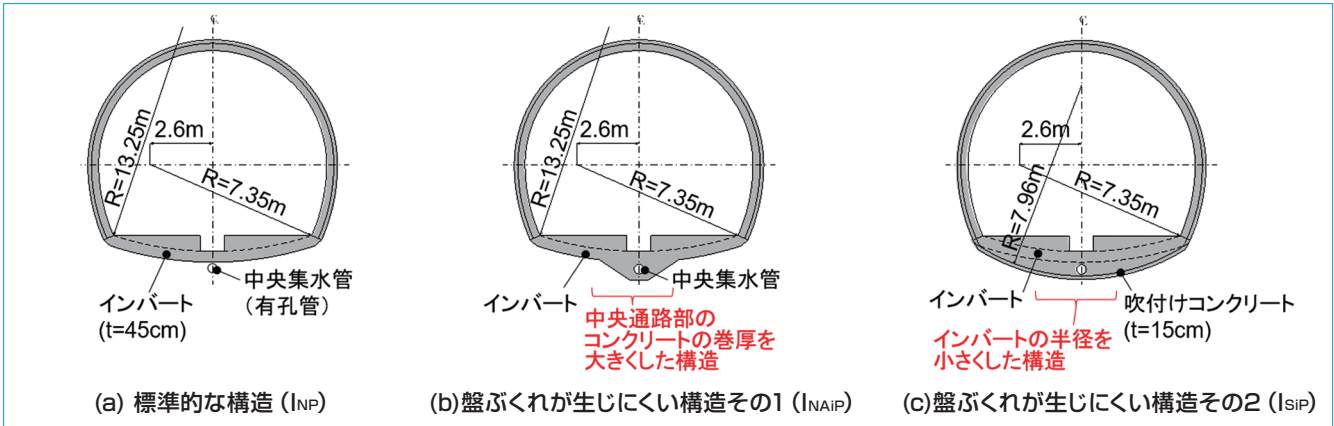


図5 盤ぶくれが生じにくいインバート構造

このような岩石は、空気に触れることにより多少乾かしただけでも、再度水が滲み込んだ時に強度が低下してしまうこともわかっています。

また、トンネルは地中にあり、かつトンネル自体の存在によりつねに地中の水を引き込み排水し続けることになるので、周囲には常に水の流れます(図2)。

このような地山においては、将来的に盤ぶくれが生じやすくなっていることを理解した上で設計を行うことが求められます。

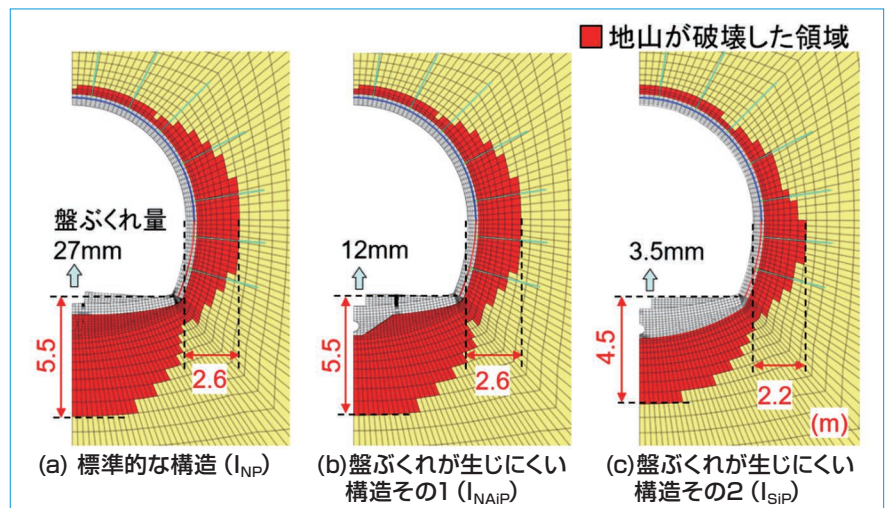


図6 盤ぶくれが生じにくいインバートの効果(数値解析)

### 盤ぶくれが生じにくいインバート構造

供用開始後に発生した盤ぶくれに対する対策としては通常ロックボルト(長さ6~9m程度の鋼棒)をインバートから地山に向けて打設することによる補強工がよく用いられますが、トンネル内からの施工となりますので、夜間の間合いでの施工となり、補強を終了するまでに長い期間を要する場合があります。このため、建設時にあらかじめ盤ぶくれを生じにくい構造としておくことが重要です。

図5に、整備新幹線において最近用いられている、盤ぶくれが生じにくいインバート構造を示します。盤ぶくれに対する強さは、(a) < (b) < (c)の順で大きくなります。

図5(a)は、盤ぶくれのおそれがない一般的な地山条件で用いられるインバート構造です。中央集水管はインバートの下部に埋設されています。また、中央集水管には有孔管が用いられ、地山からの湧水をここに導きます。

図5(b)は、相対的な弱点部である中央通路部のコンクリートの巻厚を大きくした構造です。あわせて、中央集水管をコンクリート内に収めることにより、中央集水管からインバート下の地山へ水が逆流することを防いでいます。

図5(c)は、掘削直後に底盤の地山に接する部分に吹付けコンクリートをただちに施工するとともに、インバートの半径を小さくした構造です。掘削しなければならぬ土量が増えますが、円に近い形状となり、外力を受けた場

合に軸力も増加することから、曲げモーメントの影響が相対的に小さくなるため、盤ぶくれに対し強い構造となります。

図6に、それぞれの構造の効果を数値解析で評価した結果を示します。これは、建設後にトンネル周囲の地山の強度が低下する場合を想定して行った予測解析の結果ですが、この例では、盤ぶくれが生じにくい構造とすることで、同じ地山条件では、将来的に予想される盤ぶくれ量を27mmから12mmと3.5mmに小さくできています。

### 盤ぶくれが予想される場合のインバート構造の選択フロー

整備新幹線においては、図5で示し

た盤ぶくれが生じにくいインバート構造を制定するとともに、地質、地山強度比、スレーキングのしやすさなどを元に、これらの構造を選択するフローが制定されています(図7)。これによれば、地山強度比が2より小さい場合、あるいは、スレーキングのしやすさを示す指数が3、4の場合、または、地山強度比が2~4の間でも、岩石に含まれる膨潤性(☞参照)を有する粘土鉱物の割合が高い場合などには、盤ぶくれが生じにくいトンネル構造を選択するようになっていきます。また、トンネルは一般に建設前に詳細な地山の情報を取得しておくことが難しいため、インバート施工時には、掘削時に得られた地山の情報や、計測結果を踏まえて構造を再度見直すフローになっています。割れ目が多い地山の区間では、十分な検討が求められます。

図8に、選択フローに基づきインバートが施工されているトンネルの例を示します。これは、北陸新幹線加賀トンネルの事例で、施工前に入手した地質情報に基づき、インバート構造を決定し、また、施工時の計測結果によりこれを再度見直すことで施工されています。

### おわりに

供用開始後の山岳トンネルの盤ぶくれ対策は、<sup>きょうあい</sup>狭隘な空間における限られた時間内での施工となり、実施できる対策工が限られます。盤ぶくれが生じにくい構造や選択フローを用いて、将来の盤ぶくれ可能性を最小限に抑えることが重要です。一方で、盤ぶくれについては未解明な点も残っています。さらなるリスク低減を目指し、盤ぶくれを生じさせる他の要因の究明、建設時点での精度の良い地山物性の判定、選択フローのさらなる改良などの技術開発が期待されています。[RRR]

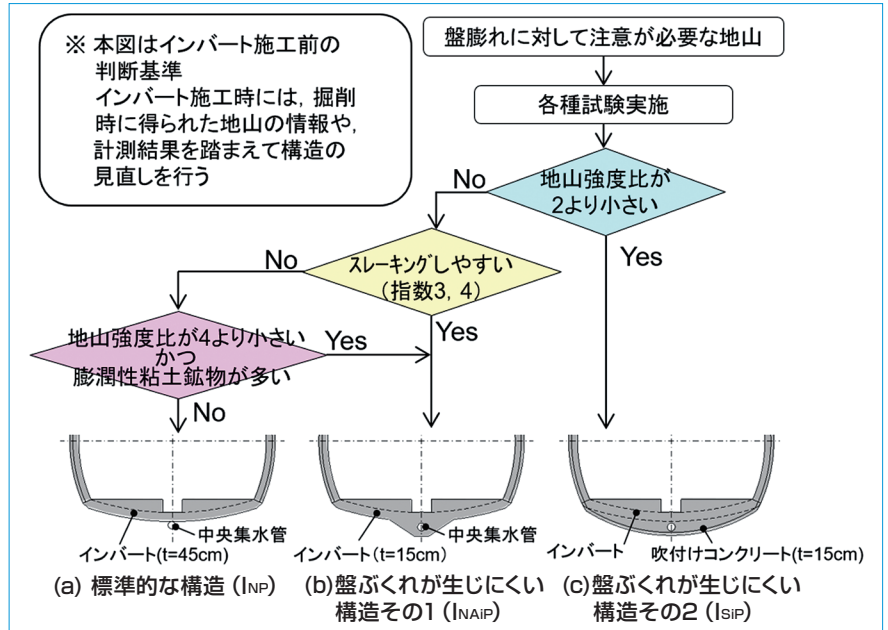


図7 盤ぶくれが予想される場合のインバート構造の選択フロー

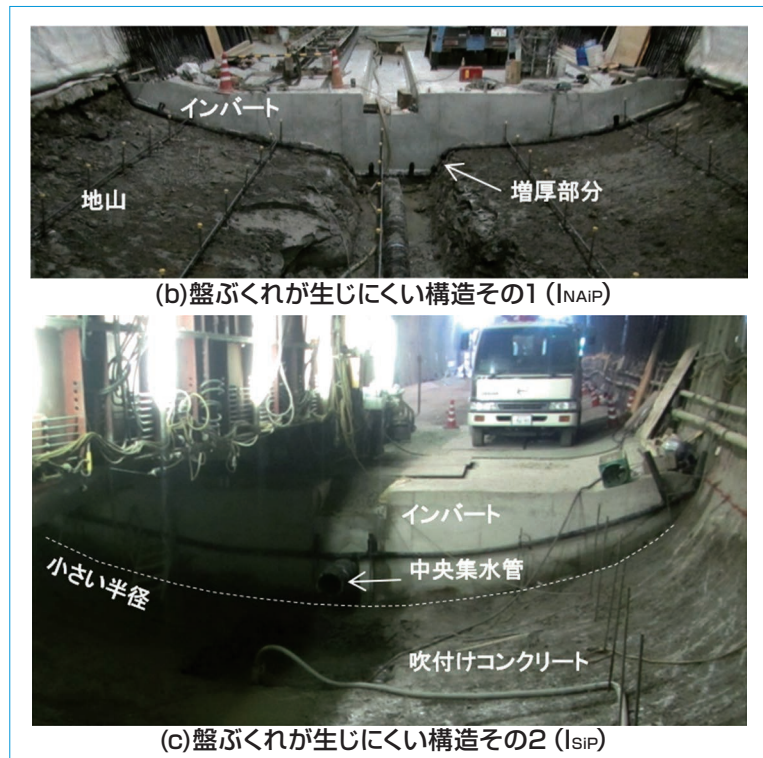


図8 盤ぶくれを生じにくいインバート構造による施工例(北陸新幹線・加賀トンネル)

### ☞ 膨潤性

粘土鉱物の結晶の、吸水すると体積が増加する性質。膨潤性を有する鉱物を総称してスメクタイトとよびます。代表的なものとしてモンモリロナイトがあります。

### 文献

- 1) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構：北海道新幹線 北海道特有の自然環境に配慮したトンネル工事、<https://www.jrtt.go.jp/project/working-report/hokkaido/no59/> (入手日：2020年4月28日)
- 2) 嶋本敬介，野城一栄：山岳トンネルの盤ぶくれ対策工の効果を予測する，RRR，Vol.76，No.10，pp.20-23，2019
- 3) 嶋本敬介，川越健，野城一栄，小林寛明，磯谷篤実：含水比変化に着目した山岳トンネルの盤ぶくれメカニズムの推察，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.76，No.1，pp.34-48，2020