

山岳トンネルのインバート盤ぶくれ対策工の 効果に関する一考察

望月 一磨¹・千代 啓三²・吉森 佑介³・上村 将也⁴

¹正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計部 設計第二課
(〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー)
E-mail: mochizuki.kaz-hy2f@jrtr.go.jp

²正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計部 設計第二課
(〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー)
E-mail: chishiro.kei-8r23@jrtr.go.jp

³正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計部 設計第二課
(〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー)
E-mail: yoshimori.yus-eh85@jrtr.go.jp

⁴鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 長崎鉄道建設所
(〒852-8003 長崎県長崎市旭町 13-5 タワーシティ長崎ウエストコート 2F)
E-mail: kamimura.mas-6y84@jrtr.go.jp

山岳トンネルのインバートコンクリートの盤ぶくれ現象が一部のトンネルで確認されている。この対策として、グラウンドアンカーを打設する方法がとられたが、その対策効果を明確に評価した指標はなく、インバート高さの計測結果を確認し、必要に応じて逐次的に対策を追加せざるを得ない状況にある。本報告ではグラウンドアンカーを打設した2つのトンネルの計測結果から、打設前後の隆起速度の変化に注目し、その効果を整理した。また、将来的にグラウンドアンカーによる対策の目安を示すことを目的に、作用荷重や作用モーメントと対策効果を比較した。2つのトンネルでの計測結果しかないため、定量的な評価を行うことができる段階ではないが、今後、さらに計測データを収集することにより、グラウンドアンカーの効果を評価できる可能性を示した。

Key Words: mountain tunnel, invert, floor heaving, ground anchor, heaving velocity

1. はじめに

古第三紀以降の泥岩や凝灰岩、風化や変質、破砕が進んだ地山などを掘削した山岳トンネルにおいて、トンネル下面のインバートコンクリートやりょう盤コンクリートが数mm/年程度のゆっくりとした速度で隆起する事例が確認されており、これらの現象は盤ぶくれと呼ばれており^{1,2}、盤ぶくれのメカニズムと発生要因、対策に関する研究が進められている^{3,4}。

鉄道・運輸機構では、上記の事例や研究をうけて、盤ぶくれ現象を抑制することを目的に、平成20年以降のすべての山岳トンネルで、原則的に、りょう盤コンクリートではなくインバートコンクリートを施工することとした。さらに、平成26年には、掘削地山の地山分類、浸水崩壊度、地山強度比、スメクタイト含有率を基準と

した対策フロー(図-1)を制定した。図-2に整備新幹線の山岳トンネルにおけるインバート形状の例を示しているが、地山条件に応じて、曲率半径を小さくした盤ぶくれ対策型のインバート形状を適用する対策を実施した。しかし、これらの対策を実施した後も、インバートコンクリートにクラックが確認され、盤ぶくれ現象が疑われることから、一部区間で事後対策を実施したトンネルが発生している。

新設の整備新幹線の山岳トンネルでは、インバートコンクリートに変状が確認されてから開業までの期間が短いことが多く時間的制限があることに加えて、設備工事等により進入路や作業ヤード等に大幅な空間的制限が生じる。また、開業後は、道路トンネルで実施している車両の迂回や片側通行などができないという制限がある。これらの制限により、盤ぶくれ対策としてインバートコ

ンクリートを打ち替えて、形状を変更することが困難なため、インバートの上からグラウンドアンカーを打設し、変形を抑制していることが多い。

盤ぶくれ現象は時間に依存して変形量が変わるため、静的な力のつり合い条件を予測し、必要なグラウンドアンカーの本数を決定することが難しい。また、変形を抑えるために必要な本数は地山状況や施工状況によっても変わると考えられ、この点もグラウンドアンカーの本数の決定を難しくしている。このため、グラウンドアンカーは、隆起量を計測し効果を確認しながら、逐次的に追加せざるを得ない事例が生じている。

本報告では、将来的にインバートの隆起量の計測結果から、グラウンドアンカーの必要本数を推定することを目的に、グラウンドアンカーによる盤ぶくれ対策を実施した新幹線の山岳トンネルでの計測結果を整理し、対策工の規模と効果を比較・考察する。

2. 盤ぶくれ現象発生箇所の施工状況

(1) インバートの形状

新幹線複線トンネルは、図-2 に示すように、SL 高さで覆工外径が約 10m の馬蹄形である。

(a) 標準型のインバートは厚さ 450mm の無筋コンクリートで、インバートの下側を溝状に掘削し、中央集水管を設置した後、周囲を碎石で埋め戻している。この中央集水管は有孔管であるため、(a) 標準型ではインバート下面に地下水が帯水することはない。

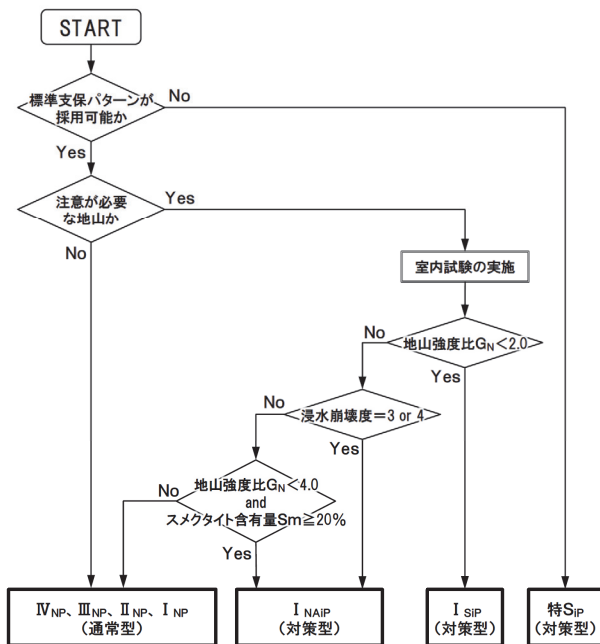
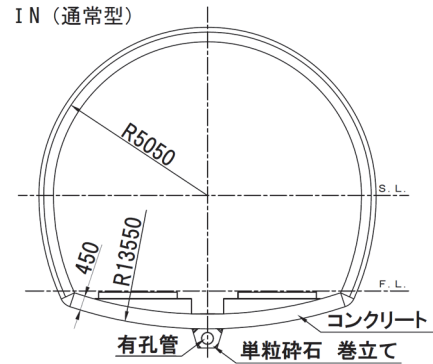
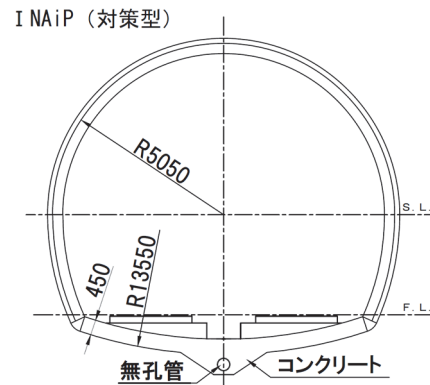


図-1 インバートコンクリートの対策フロー(7)を改変(加筆修正)して転載

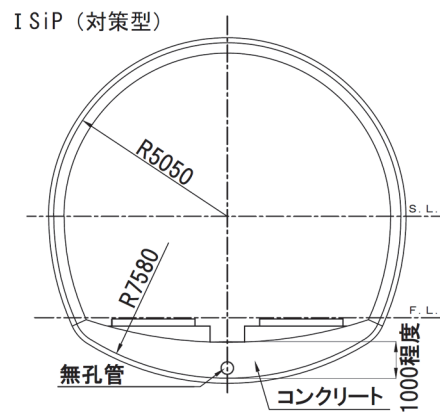
(a) 標準型 I_{NP} : インバート外径/上半外径=2.7



(b) 対策型 I_{NAiP} : インバート外径/上半外径=2.7



(c) 対策型 I_{SiP} : インバート外径/上半外径=1.5



(d) 対策型 特 SiP : インバート外径/上半外径=1.2

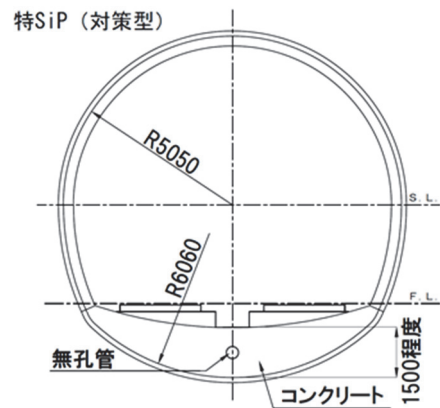


図-2 整備新幹線のインバート形状の例

一方、(b) 対策型は、中央集水管を設置する溝の法面を 1:1.5 の勾配で掘削し、碎石の代わりにコンクリートで埋め戻し、インバートコンクリートの剛性増加を図っている。また (c) 対策型、(d) 対策型は、インバート外径を小さくしてトンネル断面形状を円形に近づけている。(b) 対策型、(c) 対策型、(d) 対策型は、中央集水管をコンクリートで巻き込むため無孔管を用いる。よって、地下水位が FL 高さ程度となるため、インバート下面に地下水が帯水することがある。

(2) 盤ぶくれ発生箇所の地山条件

本研究では、2 つのトンネルにおける計測結果を分析する。2 つのトンネルで盤ぶくれが発生したと考えられる箇所における地山条件を表-1 で比較する。

a) トンネル A

トンネル A で盤ぶくれが確認された箇所は、掘削断面に主に古第三紀の泥岩、砂岩泥岩互層が確認された。新第三紀および第四紀更新世の火山岩類である安山岩や玄武岩が、上記の地層に貫入、もしくは上位に厚く堆積しており、その安山岩との層境付近の砂岩泥岩互層で特に大きな盤ぶくれが確認されている。

泥岩に含まれるスメクタイトの含有量を、X 線回析法により複数の箇所で測定したが、検出限界以下となった。また、SL 高さの内空変位は 140mm と大きく、かつ、変位の収束は切羽が 70m 程度進んだ後に確認された。盤ぶくれが発生していない一般的な区間では、切羽が 20m 程度進むと変位が収束することから、この箇所は経時的に変位が進展しやすい状況であると考えられる。

盤ぶくれの発生メカニズムは、地山強度比が小さい場合、トンネル下部において水平方向応力に対し、鉛直方向応力が小さくなるため塑性化し、路盤が隆起する「スクイージング」と膨潤性粘土鉱物が吸水膨張することにより路盤が隆起する「スウェリング」の 2 つがあるとされる。トンネル A のメカニズムは、「スクイージング」

に分類されると考えている。

b) トンネル B

掘削断面は、主に新第三紀中新世の泥岩よりなり、一部に凝灰岩や砂岩が挟在しており、図-1 の注意が必要な地山に分類される。一軸圧縮強度は 2.0~20N/mm² 程度の箇所が多く軟岩としては比較的硬質であるが、一部に 1.0N/mm² 以下の箇所も見られる。泥岩が卓越して出現しているため、湧水は施工時、施工後を含めて、ほとんど見られない。

スメクタイト含有量が 21% と比較的多い箇所があり、かつ、地山強度比が小さく、内空変位が大きい箇所が見られることから、盤ぶくれの発生区間で「スクイージング」と「スウェリング」が複合的に発生していると考えられる。

(3) グラウンドアンカーによる対策工

トンネル A、B では、盤ぶくれの対策として、グラウンドアンカーをインバートコンクリートの上側から施工しており、対策工の状況は表-2 に示すとおりである。図-3 はグラウンドアンカー全長などの概要を、写真-1 は、軌道工事を実施する前の施工状況を、写真-2 は、軌道工事を実施した後の施工状況を示している。グラウンドアンカーの施工手順は、以下に示すとおりである。

- ① 直径 115mm の孔をパーカッションドリルを用いて、インバート上からアンカー全長深さまで削孔する。
- ② アンカー材を削孔した孔に設置した後で、定着長さまでグラウト材を充填する。
- ③ 上記のグラウト材が強度を発現した後、アンカー材に緊張力を与えた状態で定着長さより上部のグラウト材を充填する。

トンネル A では降伏荷重の 50% 程度である 500kN を、トンネル B では最大引張荷重の 60% 程度である 660kN を定着時の緊張力として作用させている。

整備新幹線では、山岳トンネルのインバート中央部に

表-1 盤ぶくれ発生箇所の地山条件

	トンネル A	トンネル B
土質	古第三紀泥岩、砂岩泥岩互層	新第三紀泥岩、凝灰岩
土被り	70~300m	20~90m
浸水崩壊度 (最大)	4	4
スメクタイト含有量 (最大)	不検出	21%
一軸圧縮強度 (最小)	0.3N/mm ²	0.8N/mm ²
地山強度比 (最小)	0.1	0.6
SL 内空変位量 (最大)	140mm	123mm
天端沈下量 (最大)	95mm	82mm
適用インバートパターン	I _{NP}	I _{NAP} , I _{SP} , 特 SP

表-2 グラウンドアンカーの比較

	トンネル A	トンネル B
アンカー材質	PC 鋼棒	PC 鋼棒 一部、PC 鋼より線
アンカー材直径	36mm	36mm (鋼棒) 12.7mm × 6 本 (より線)
アンカー材最大引張荷重	1,100kN/本	1,100kN/本
定着時緊張力	500kN/本	660kN/本
アンカー全長	15.0m	12.6m
アンカー定着長さ	6.0m	8.0m
グラウト材強度	24N/mm ²	24N/mm ²
1 ブロックあたり打設本数	8~20 本	12 本または 16 本

は中央集水管があり、グラウンドアンカーの打設が難しい。また、覆工コンクリートの根足部は、覆工コンクリートから下向き荷重を受けるため、グラウンドアンカーの効果が小さいと考えられる。このため、トンネル断面におけるグラウンドアンカーは図4のように、中央通路角部や軌道スラブ箱抜き部のような一定の位置に限定され、打設位置は覆工根足からの距離が一定となっている。

1つのインバートブロックあたりのグラウンドアンカーの本数は、トンネルAで8~20本、トンネルBで12本または16本としており、ばらつきが生じている。これは、両トンネルでインバートコンクリートに発生したクラック幅や隆起速度によって当初の打設本数を決定したものの、施工後の対策効果が不十分であった箇所があり、補足対策として打設本数を増やしたことによるものである。

a) トンネルA

トンネルAでは、盤ぶくれ対策として、先に高耐久ロックボルトを施工していたが、特に隆起傾向が大きな箇所を対象にグラウンドアンカーを追加施工した。

アンカー材は、長さ15m、直径36mmのPC鋼棒（引張荷重1,100kN/本、降伏荷重947kN/本）を設置し、深さ6.0m分のグラウト材を打設する。グラウト材が硬化し付着力が確保できた後、500kNで緊張した状態で、上部9.0m分にグラウトを打設した。

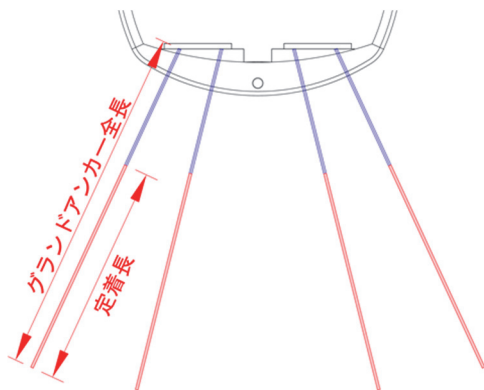


図3 グラウンドアンカー工概要図



写真1 グラウンドアンカー施工状況（軌道工事前）

b) トンネルB

トンネルBでは、基本的にトンネルAと同様の方法でグラウンドアンカーを施工したが、一部の区間でアンカー材にPC鋼棒ではなく、PC鋼より線を使用した。長さ12.6m、定着長8.0mであり、グラウト材硬化後に660kNで緊張した後、上部4.6m分にグラウトを打設した。

(4) グラウンドアンカーによる対策の評価

インバートコンクリートの延長は基本的に10.5m毎に1ブロックとして打設されている。以下では、1ブロックを基準にグラウンドアンカーの効果を確認する。グラウンドアンカーの対策効果の評価方法として、以下の2つの方法が考えられる。

a) グラウンドアンカーの下向き荷重による評価

インバートコンクリートをインバートに作用する上向

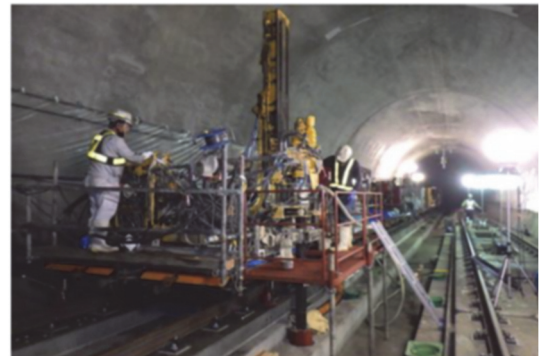


写真2 グラウンドアンカー施工状況（軌道工事後）

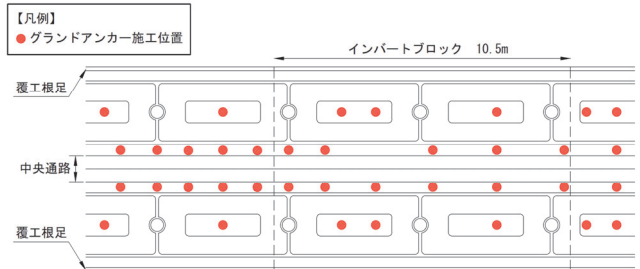


図4 グラウンドアンカー打設位置平面図

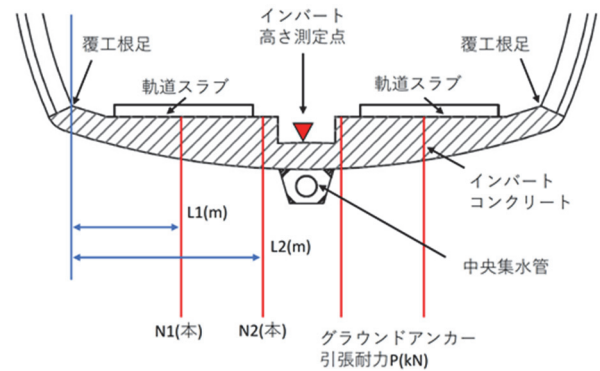


図5 グラウンドアンカー記号説明図

き荷重に対抗する剛体と仮定し、対策効果を、式(1)で示されるグラウンドアンカーがインバートコンクリートに与える下向き荷重の合計値 P で評価する。式(1)で p はグラウンドアンカーの定着時緊張力を使用することとし、 N は1ブロックあたりのグラウンドアンカーの本数を示す。

$$P = p \cdot N \quad (1)$$

b) グラウンドアンカーのモーメントによる評価

インバートコンクリートを覆工根足を支点とした梁と仮定し、グラウンドアンカーによる対策効果をグラウンドアンカーがインバートコンクリートに与える覆工根足を中心とした回転モーメント M で評価する。式(2)で L_i は覆工根足からの距離、 N_i は距離 L_i の位置に配置されているグラウンドアンカーの本数であり、イメージを図-5に示す。 L_i は左右の覆工根足からの距離のうち、短いものとし、 p は a)と同様にグラウンドアンカー定着時緊張力とする。

$$M = \sum_{i=0}^n p \cdot N_i \cdot L_i \quad (2)$$

3. インバート高さの計測方法と結果

(1) 計測方法

インバート高さの測定点は、各インバートブロックで1点を代表とし、トンネル延長方向の中央の横断面の中央通路に測定点を設ける。インバートブロックは1回のコンクリート打設で施工される延長で、基本的に、10.5mである。計測はオートレベルを使用し、週1回～月1回程度の頻度で定期的に測定している。また、計測結果から隆起速度を算出するが、計測期間が短いと誤差が大きくなるため、半年以上の期間、計測が継続的に実施されている地点のデータを使用している。

(2) 計測結果

インバート高さの計測結果の例を図-6に示す。横軸は測定日、縦軸は隆起量を示す。図の赤枠の期間はグラウンドアンカーを施工した時期である。この計測値の近似直線の勾配は、隆起速度を表す。よって、対策前後の近

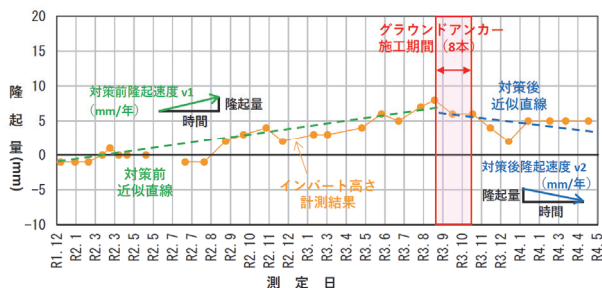


図-6 インバート高さ計測結果例

似直線を最小二乗法により求めることで、対策前の隆起速度 v_1 と対策後の隆起速度 v_2 を算定することができる。

インバート高さは、グラウンドアンカーの打設により一時的に沈下する場合があります。対策前、対策後の隆起速度は、計算に用いる範囲の設定方法によって異なるが、ここでは、対策開始時までの期間を対策前の隆起速度、対策開始以降の期間を対策後の隆起速度を計算する範囲としている。隆起速度は、インバート高さの測量誤差、対象期間が短いことによる誤差の増幅、インバート高さの年周期での変動などの要因によって、ある程度の誤差が生じることを認識して評価する必要がある。

4. グラウンドアンカーによる対策の評価

(1) 対策前後の隆起速度の変化

グラウンドアンカーによる対策前後の隆起速度を表-3と図-7で比較する。隆起速度はインバートブロック毎に測定しているが、ここでは、測定したすべてのインバートブロックを対象としておらず、比較的、隆起速度が大きく、グラウンドアンカーの効果が明確であるブロックを対象としている。

図-7で、横軸は対策前隆起速度 v_1 、縦軸は対策後隆起速度 v_2 を示している。トンネル A はインバート形状が I_{Ap} の1種類であるが、トンネル B はインバート形状が I_{NAp} の区間と I_{Sp} の区間があるため、ここでは、3つのインバート形状に分けてプロットの形を変えている。

赤点線は対策前後の隆起速度が同じで対策効果がなかったことを示しているが、すべての点が赤点線よりも下側にあることから図-7からもグラウンドアンカーが対策効果を有していることが確認できた。

表-3は、3つのインバート形状におけるグラウンドアンカーで対策した前後の隆起速度平均値を比較したものである。表より、対策前後で隆起速度が小さくなっており、グラウンドアンカーの効果が確認できる。

未固結地山でインバート下の土砂が流出している場合やインバート下部の地山が軟弱で継続的にインバートや覆工が沈下している場合を除き、隆起速度は基本的にマイナスとなることがない。今回対象としているトンネル A と B は、インバート下が泥岩や凝灰岩であり、上記に該当しないため、グラウンドアンカーを過剰に打設することにより若干沈下傾向を示すことがあるが、隆起速度が 0mm/年 から大きく低下することはない。このため、同じ対策を実施したとしても、対策前隆起速度 v_1 が小さい場合、グラウンドアンカーの能力が最大限に発揮されず、対策効果 v_1-v_2 は小さな値となると考えられる。特に、トンネル B (I_{NAp}) とトンネル B (I_{Sp}) では、対策後隆起速度がほとんど 0mm/年 となっており、上記の

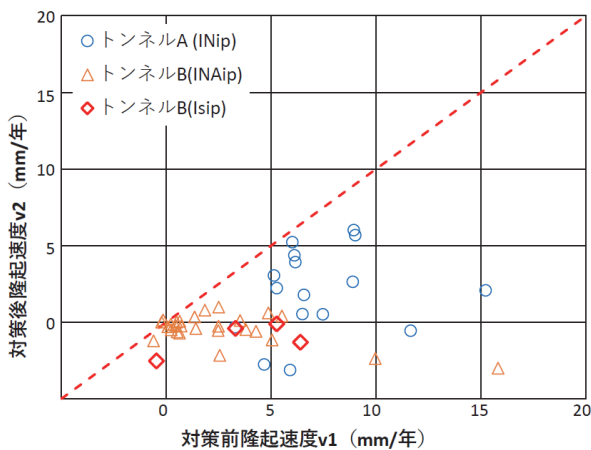


図-7 対策前後の隆起速度

表-3 対策前後の隆起速度平均値の比較

	対象ブロック数	対策前平均値 (mm/年)	対策後平均値 (mm/年)
トンネル A (I _{Nip})	16	7.31	1.95
トンネル B (I _{NAip})	4	2.33	-0.40
トンネル B (I _{Sp})	28	3.63	-1.08

「隆起速度の低減によるグラウンドアンカーの能力制限」が生じていると考えられる。

(2) グラウンドアンカーの下向き荷重による評価

図-8に、各インバートブロックにおけるグラウンドアンカーの作用荷重の合計値と対策効果 $v1-v2$ を比較した結果を示す。プロットは、トンネル A (I_{Nip}) とトンネル B (I_{NAip})、トンネル B (I_{Sp}) の3つのインバート形状でプロットの形を変えている。

プロットの分布から、対策効果 $v1-v2$ の最大値は、作用荷重の増加にともなって大きくなっており、対策効果が向上していることが示唆されている。ここで、最大値よりも小さくプロットされているデータは、「隆起速度の低減によるグラウンドアンカーの能力制限」の影響が大きいと考えられる。

3つのインバート形状のプロットに対して、原点を通過する近似直線を図に示す。近似直線の勾配は、トンネル A (I_{Nip}) で1/900、トンネル B (I_{NAip}) で1/3,200、トンネル B (I_{Sp}) で1/2,200となった。勾配が大きいほど、グラウンドアンカーによる対策効果が高いことを示しており、トンネル A (I_{Nip}) での対策がトンネル B の2つのインバート形状での対策よりも効果が高いという結果となった。トンネル Bは対策型のインバート形状が適用され、インバートコンクリートの剛性が高いことからグラウンドアンカーの対策効果も高くなることが想定されたが、異なる結果となった要因として、トンネル Bで「隆起速度の低減によるグラウンドアンカーの能力制限」の影響

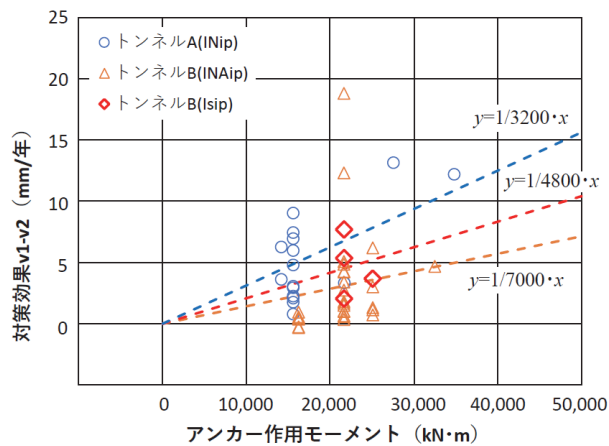


図-8 グラウンドアンカー作用荷重と対策効果

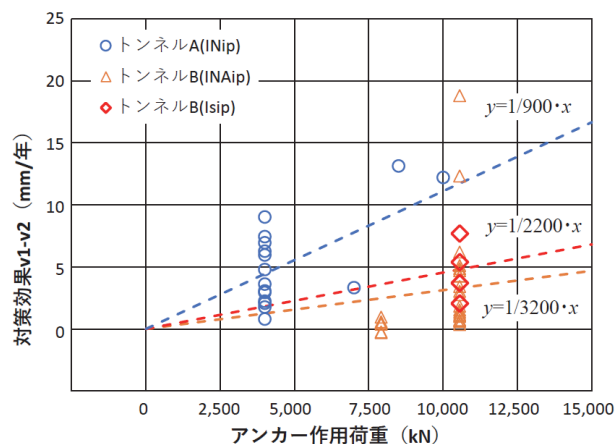


図-9 グラウンドアンカー作用モーメントと対策効果

が大きく、対策効果が低く評価された可能性がある。

(3) グラウンドアンカーのモーメントによる評価

図-9に、グラウンドアンカーの作用モーメントの合計値と対策効果 $v1-v2$ を比較した結果を示す。図-7と同様に、3つのインバート形状を別々のプロットで示すとともに、それぞれに対する原点を通過する近似直線を記載している。

近似直線の勾配は、トンネル A (I_{Nip}) で1/3,200、トンネル B (I_{NAip}) で1/7,000、トンネル B (I_{Sp}) で1/4,800となり、勾配の大きさの順番は図-8と同じだが、作用モーメント値のばらつきが作用荷重に比べて大きいため、傾向がより明確となっている。

また、トンネル B (I_{NAip}) で、モーメントが約22,000kN·mに対し対策効果が10mm/年以上となっている箇所がある。このことから、トンネル B (I_{NAip}) の対策が今回確認された平均的な結果よりも大きな対策効果を発揮する可能性があると考えられる。

(4) 対策評価のまとめ

盤ぶくれ現象は、瞬間的ではなく、長時間かかって生じる変形現象であるため、地質条件や作用荷重を考慮して解析的にグラウンドアンカーによる効果を推定することは非常に難しい。このため、相関の高いと思われる作用荷重や作用モーメントと対策効果の関係を調べることは、必要な対策工の規模を予想するにあたり、有益な情報であり、新たに対策を実施する際の目安にできると考えている。

また、本報告では、作用荷重と作用モーメントの両方で対策効果との関係を整理しているが、作用荷重に比べて、作用モーメントはグラウンドアンカーの本数に加え配置を考慮できるため、図-9のように効果を作用モーメントで整理する方が合理的であると考えられる。

トンネル B (I_{NAp}) のデータにおいて、対策効果が大きなプロットが存在するが、これらの箇所では「隆起速度の低減によるグラウンドアンカーの能力制限」の影響が小さい状態であり、その他の箇所では、上記の影響のため、グラウンドアンカーの対策効果が完全に発揮されていないことが考えられる。この能力の制限は、トンネル B (I_{NAp}) がトンネル A (I_{Np})、トンネル B (I_{Sp}) とインバート形状が異なることに由来し、形状によってグラウンドアンカーの効果が異なる可能性がある。

グラウンドアンカーの打設位置がほぼ同じ位置となっていることから、作用荷重と作用モーメントで整理した結果は大きな差が見られなかった。しかし、インバートコンクリートにクラックが発生していることから、剛体よりも梁としてモデル化し、打設位置の効果を反映させることができる作用モーメントで評価することが適切と考える。今後、作用モーメントによる整理方法でデータを蓄積することにより、グラウンドアンカーによる対策の検討、計画に活用していく必要がある。

5. まとめ

本報告では、山岳トンネルの盤ぶくれ現象に対する対策の一つであるグラウンドアンカー工の効果について、2つのトンネルの3つのインバート形状に対するインバート高さの計測結果を整理した。その結果、下記に示す事項が確認された。

- ・グラウンドアンカーを打設した前後の隆起速度に注目すると、対策前に比べて対策後の隆起速度が小さくなっており、対策効果があることが確認できた。
- ・同じ程度の対策を実施した場合でも対策効果に差が出ている。この要因の一つに、対策後の隆起速度が0mm/年以下では大きく下らないことによる「隆起速度の低減によるグラウンドアンカーの能力制限」が

あり、トンネルAの対策効果がトンネルBに比べて大きいのは上記の要因が大きいと考えられる。

- ・グラウンドアンカーによる作用荷重、作用モーメントが増加するにつれて、対策効果が大きくなる傾向が見られる。このことから、作用荷重や作用モーメントと対策効果に正の相関があるとみなせる。
 - ・グラウンドアンカーの作用荷重、作用モーメントと対策効果の関係をさらに収集することによって、将来的に、盤ぶくれ対策に必要なグラウンドアンカー工の規模を推定できるようになることが期待される。
- 一方、今後、下記の課題に対し検討を進める必要がある。

- ・トンネル B (I_{NAp}) で近似直線に比べ効果が大きな箇所がある。これらの箇所では「隆起速度の低減によるグラウンドアンカーの能力制限」の影響が小さく、本来の対策効果が発揮されている可能性があり、他のトンネルのデータを使用し、さらに対策効果の精度向上を図る必要がある。
- ・3つのインバート形状の近似直線の傾きに差があり、インバート形状によって対策効果が異なる可能性がある。今後、他のトンネルのデータを利用して、対策効果の違いについて、確認する必要がある。

本報告で示した、複数のトンネルにおけるグラウンドアンカーの効果に関するデータが今後の盤ぶくれ対策の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 渡邊康夫, 藍郷一博, 鈴木尊: 供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策, トンネルと地下, Vol.38, No.9, pp.7-16, 2007.
- 2) 丸山勝, 中野清人, 天野浄行, 下村哲雄: 61日間連続車線規制によるインバート再構築工事—上信越自動車道 日暮山トンネル—, トンネルと地下, Vol.44, No.12, pp.17-28, 2013.
- 3) 嶋本敬介, 野城一栄, 小島芳之, 中西祐介, 塚田和彦, 朝倉俊弘: 地山の塑性化に伴う山岳トンネルの盤ぶくれ現象とその対策工に関する研究, 土木学会論文集 F1, Vol.69, No.1, pp.54-72, 2013.
- 4) 小林 寛明・上野 光・磯谷篤実・嶋本 敬介・岸田 潔: 完成後の盤ぶくれを防ぐ新たなインバートの抑制効果, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.75, No.1, pp.116-129, 2019.
- 5) 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.
- 6) 中野清人, 安積淳一, 宮沢一雄, 渡邊浩之, 土門剛, 西村和夫: 盤ぶくれ現象を考慮した対策インバート構造の合理化に関する研究, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.75, No.1, pp.40-55, 2019.
- 7) 斉藤道真, 秋田勝次, 蓼沼慶正, 丸山修, 上野光, 渡辺和之: 山岳トンネルのインバート変状に着目した地山評価と対応策, 土木学会第70回年次学術講演

A STUDY ON THE EFFECT OF THE COUNTERMEASURES
FOR THE FLOOR HEAVING AT MOUNTAIN TUNNELS

Kazuma MOCHIZUKI, Keizo CHISHIRO, Yusuke YOSHIMORI
and Masaya KAMIMURA

In some mountain tunnels, an upheaval of invert floor at slow speed has been measured and is called ‘invert floor heaving’. As a countermeasure to invert floor heaving, we placed ground anchors on the floor. However, since we don’t know the effect of ground anchors completely, we had to measure levels of invert floor and place some ground anchors sequentially as needed. In this study, using the measurements of two tunnels in which ground anchors were placed, we focused on the change in heaving velocity of ground anchors, and checked the effects of ground anchors. Moreover, in order to provide a guideline for implementation of ground anchors, we compared the effect of countermeasures with the load and moment by ground anchors. Because we only have measurement results from two tunnels, we could not make a quantitative assessment, although we suggested the possibility of evaluating the effectiveness of ground anchors by collecting and organizing more data.