盤ぶくれが生じたトンネルの調査及び修繕計画について

西日本高速道路株式会社　四国支社保全サービス事業部　正会員　○筒井　将仁
西日本高速道路株式会社　四国支社保全サービス事業部　正会員　永易　慎二
西日本高速道路株式会社　四国支社保全サービス事業部　正会員　中原　浩昭
西日本高速道路株式会社　四国支社保全サービス事業部　正会員　山本　泰造

１．目的

西日本高速道路株式会社四国支社管内（以下「四国支社」）高知自動車道の笹ヶ峰トンネル（図－1）において、路面隆起が発生しており（図－2)、特定更新等事業の盤ぶくれ対策の対象箇所となっている。しかし、走行性に問題を起こすような変状は発生しておらず、隆起量も明確ではないため、対策範囲を決定するための調査・検討を実施している。

盤ぶくれ対策はインバートの設置を基本としており、既設トンネルの対策には、供用区間の長期間の交通規制が必要であり、通行止めを伴う場合もあるため、盤ぶくれ対策範囲は、社会的影響を考慮し、客観的なデータに基づき合理的な方法を用いて決定する必要がある。当社で検討している盤ぶくれ対策範囲を決定するための調査及び総合評価方法について述べる。

２．盤ぶくれ量の把握

数kmにわたる長大トンネルの盤ぶくれ状況を水準測量で縦横断方向に把握するためには、長期間の交通規制が必要であるり現実的ではない。一方、3D レーザースキャナ測量（以下「3D 測量」という）は、交通規制が不要であり、路面だけでなく、覆工、監視員通路、その他施設の 3 次元座標を取得することが可能である。今回 3D 測量結果から盤ぶくれ量を算出するにあたり、建設時の基準高さが不明確であったため、変形の生じにくい既設インバート施工区間に基準点を設け、建設時の計画縦断と 3D 測量結果から補正することにより、想定基準線を設定し（図－3)、3D 測量結果と比較することで盤ぶくれ量を算出した。

また、平成 27 年～平成 29 年の 3D 測量データをもとに、盤ぶくれの進行量を把握しようとしたが、3 年間で概ね±5 ㎜程度の変動量が確認された（図－4)。これは、3D 測量では、路面の細かい凹凸まで測定してしまうため、各年度の機械の設置位置のずれや基準

図-1　四国支社の盤ぶくれ対策トンネル

図 - 2　路面隆起状況

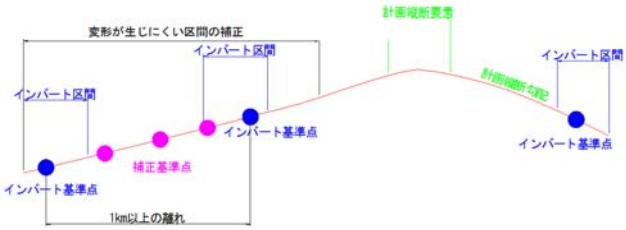

図 - 3　想定基準線の設定

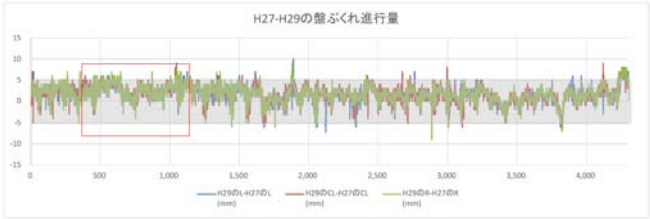

図 - 4　3D 測量結果

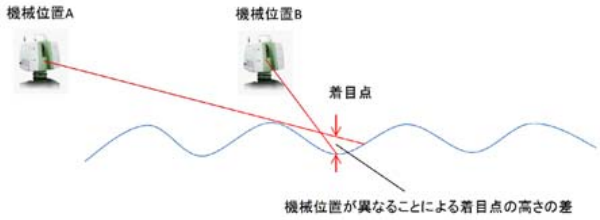

図 - 5　3D 測量の計測誤差

キーワード　特定更新等事業、盤ぶくれ対策、インバート設置、3D レーザースキャナ測量
連絡先　〒760-0065　香川県高松市朝日町４丁目１番３号　西日本高速道路株式会社四国支社　ＴＥＬ087-823-2111

点からの距離のずれにより発生した測定誤差と考えられる（図－5)。3D 測量に合わせて実施した路面性状調査（図－6）や点検結果においては、変状が確認できなかった。

３．盤ぶくれ発生地質の調査

盤ぶくれ発生箇所でボーリング調査を実施し、表 - 1 に示す盤ぶくれの判定指標に関する試験を実施し、盤ぶくれが発生する地質の判定を行った。もっとも盤ぶくれ発生している箇所では地山強度比が 0.55 となり、軽度の押し出し性または地圧が大きいと推定され、さらに膨潤性を示すスメクタイトが検出された。

４．地中変位の計測

盤ぶくれの進行状況を確認するために孔内傾斜計を設置し、動態観測を実施した。平成 28 年 5 月～平成 29 年 12 月（19 カ月）の計測で、破砕部付近は、0.2 ㎜／月程度の隆起となっており、盤ぶくれの進行は極めて緩やかである（図－7)。

５．盤ぶくれ対策箇所の選定

現在発生している路面隆起量と、盤ぶくれとの相関性が高いと思われる各種調査結果・建設時施工記録等について、複数のトンネル技術者の経験に基づく重み付けを行い、路面隆起量を目的変数とする回帰分析を実施し、今後の盤ぶくれ対策実施箇所の選定や優先順位付けのための評価を行った。その結果、路面隆起量は盤ぶくれ進行性、Ⅱ期線インバートの有無、岩質、内空変位、建設時補助工法の有無及び土被りとの相関性が高いことが判明した（表－2)。

６．まとめ

3D レーザースキャナ測量は、トンネル全体の相対的な変状を効率的に把握する手法として有効であるが、基準点誤差の影響や機械誤差の影響が大きく、数ミリ単位の変動把握には適さないことが確認された。

盤ぶくれ量は、進行性、Ⅱ期線インバートの有無、岩質、内空変位、建設時補助工法の有無及び土被りとの相関性が高いことが判明した。

特定更新等事業では、盤ぶくれが生じている範囲は、修繕が必須となるが、施工に伴う社会的影響が大きいため、今後も測量精度の向上と、隆起傾向の把握を行い、盤ぶくれ発生箇所の判定を客観的なデータに基づき合理的な方法を用いて行い、適切な範囲を施工対象として決定したい。

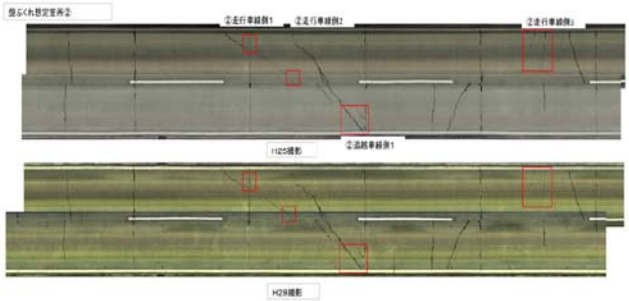

図 - 6　路面性状調査の比較

表 - 1　盤ぶくれに対する評価指標及び試験結果

岩　質	試験結果※4				盤ぶくれ判定指標
深度（GL-m）	埋め戻し土 0.6～1.45	破砕部1 2.45～4.95	新鮮部 5.65～7.60	破砕部2 9.20～9.45	
自然含水比（%）	7.7	6.9	－	6.4	≧20※1
地山強度比	－	－	0.55	－	≦4※2
単位体積重量 γ_t（kN/m^3）	－	－	－	－	≦21※1
塑性指数 I_p	14.1	12.7	－	13.3	≧60※1
2μm以下粒子含有量(%)	9	4	－	6.5	≧25※1
吸水膨張率（%）	－	0.18	－	0.21	≧2.0※1
浸水崩壊度	－	－	A	－	C，D判定※1
CEC試験（meq/100g）	10.3	3.2	－	4.3	≧20※1
X線回折（スメクタイト含有量）	微量	微量	－	少量	少量以上※1
一軸圧縮強さqu（MN/m^2）※1	－	－	6.38	－	－
変形係数(MN/m^2)	－	40.9	435.5	－	－

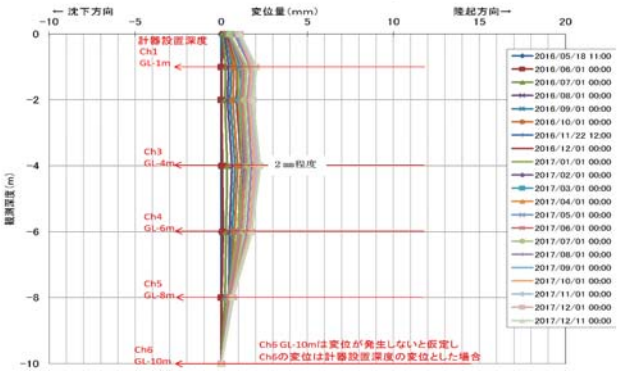

図 - 7　孔内傾斜計の測定結果

表 - 2　トンネル技術者の経験に基づく配点案

トンネル技術者の経験に基づく評価（案）

項目	配点	分類 比率				備考
① 路面隆起量(cm)	25	0～3cm	3～6cm	6～9cm	9cm～	
		0	5(1/5)	15(3/5)	25(5/5)	
② 盤ぶくれ進行性	25	無し		有り		
		0		25		
③ Ⅱ期線インバート	10	無し		有り		
		0		10		
④ 岩質（スメクタイト）	10	砂質片岩	泥質片岩	砂質片岩・泥質片岩互層		
		0	5(1/2)	10(2/2)		
⑤ 内空変位	10	0～5cm	5～10cm	10～20cm	20cm～	
		0	2(1/5)	6(3/5)	10(5/5)	
⑥ 補助工法	5	無し		有り		
		0		5		
⑦ 土被り	5	土被り(200m未満)		土被り(200m以上)		
		0		5		
	90					

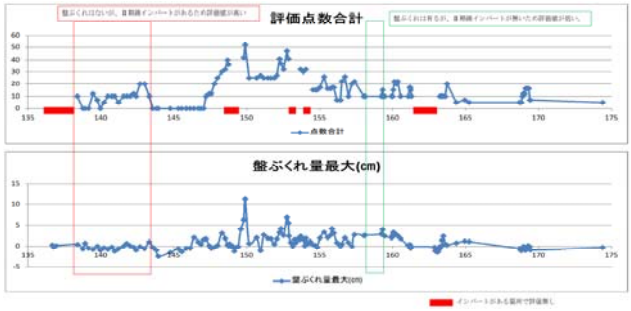

図 - 8　盤ぶくれ量とトンネル技術者の経験に基づく配点との相関関係