

## バイオフィーム形成抑制によるトンネル排水阻害の改善

日本は山がちで、JRの20,000kmちかい営業線のうちの70%は山岳路線です。トンネルは3,624本あり、その総延長は2,234kmにもなります。このうち、海底トンネルが4本(津軽海峡線・青函、東海道貨物支線・羽田、山陽本線・関門および新幹線・新関門)あります。トンネルの側壁や天井からは地下水が滴り落ちたり、にじみ出てくるのをよく見かけます。この地下水をトンネル健全度とのかかわりから分類すると、漏水と湧水とに分けることができます。トンネル計画時には水文調査などがなされ、湧水の有無やその湧出量があらかじめ見積もられ、排水の設計がされています。しかし、想定外の出水を認めることがあります。この水を漏水といい、ときには、トンネル構造物の変状等の懸念にかかわってくることもあります。一方、設計に盛り込まれている出水のものを湧水といい、排水設備が設計どおりに整備されていれば、湧出量が多くてもとくに問題となるものではありません。むしろ、出てくる湧水を阻害させることは、トンネル覆工裏の圧力を上昇させるほか、路盤が冠水して土木材料の品質を低下させたり、鉄道保安のための電気・通信設備に悪影響を与えることがあり、重大な事故や故障を招くおそれがあります。

このような排水阻害は、トンネル内中央に設備されているセンター・ドレインが、ゴミなどによって閉そくされても容易におこるものです。トンネルにはたいていこう配がついていますので、上りこう配では機関車などが空転防止のために砂まきをします。レールと車輪との間に入って粉々になった砂は、排水溝に堆積していきます。このため、こう配のきついトンネルでは、年に数回のしゅんせつをおこなっています。あるトンネルでは、この費用だけでも年間600万円にのびます。いわば人為的に発生したこのようなゴミのほかに、トンネルの排水を阻害するものとして、古くから知られているものに、鉄バクテリアがあります。これは、バクテリアが増殖するさいの代謝生成物が沈んでしてスライムとなったものです。これがしだいに集積し、排水溝を詰まらせてしまいます。ある海底トンネルでは、このスライムのしゅんせつだけで年間数千万円の費用がかかっているところがあります。

この鉄バクテリアは、たんなる排水阻害を起こすだけでなく、やっかいなのは、代謝の過程で排水のpHを低下させてしまうことです。トンネルはレンガ積みのものであってもその目地にはセメントが使用されていますし、近代的なコンクリート覆工のもので、材料はやはりセメントです。アルカリ性であるセメントは、鉄バクテリアの存在によって徐々に中和され、長い間にはトンネルの覆工材料の劣化を引き起こしてしまうこともあります。このため、鉄バクテリアの除去方法については、国鉄時代から延々と研究が重ねられていました。当初は、バクテリアを死滅させる目的

で、種々の消毒・殺菌剤が開発されていましたが、残念ながら効果は今ひとつでした。鉄バクテリアにはたくさんの種類があり、全種類に効く薬剤の開発はむずかしいのです。また、湧水によって流失しやすいこれらの薬剤を補充しながら永遠に使い続けることが、はたして可能なのか、といった現実的な問題もありました。

鉄バクテリアは生き物ですので、それにとって快適な環境が整わなければ増殖はしません。その条件にはいろいろとありますが、そのひとつとして酸素の存在があります。代謝のさいには、地下水中の酸素が消費されます。仮にこの酸素が十分に供給されなければ、鉄バクテリアは代謝を行うことができず、結果的にスライムの発生を抑制できることとなります。地下水中の酸素は、トンネル内部の大気からつねに供給されていますので、これをいかに制限できるかがかぎとなります。

ところで、鉄バクテリアが発生しやすいところには、特徴があります。たとえばトンネル側壁のコンクリート表面でザラザラしたところです。表面に凹凸が多いと、表面積が大きくなり、大気との接触面積が大きくなります。したがって、大気から酸素が地下水へよく溶け込みます。トンネル側壁で地下水がゆっくりとにじみ出てくるところに鉄バクテリア・スライムの発生が多いのは、この理由によります。

この理屈を考えると、トンネルの湧水を、これになるべく空気を取り込まさせないように静かにトンネル外へ誘導し、酸素の地下水への溶解を低減すれば、鉄バクテリアの増殖を抑制することができると思当をつけました。そこで、はっ水材をトンネル側壁に塗って湧水が大気と長時間接触しないよう工夫をし、この処置をしない部分との比較を行いました。その結果、はっ水材を塗ったトンネル側壁とそうでないところでは、スライムの発生量が大きく異なることがわかりました(図1)。そのときは、実験段階でしたので、材料の化学的安定性が高く、施工性に優れているシリコーン・グリスを用いました。施工後、半年間程度は、この材料が機能していることもわかりました。

この方法は、根本的な対策ではないのですが、大規模な改築や現場施工がしにくいトンネルの特性を考えると、現実的な対処方法であると考えています。材料も、たとえば、ワセリンのように、化学的安定性と施工性が確保されているものであれば、高価なシリコーン・グリスを使う必要はなく、低廉な予算で施工できる可能性があり、保守を省力化できます。

(環境工学研究部 生物学 坂井宏行)



図1 鉄バクテリア抑制材料の効果