

漏水中の海水由来成分をプローブとした海底トンネル構造物の健全度観測

鉄道総合技術研究所 正会員 坂井宏行
 興和化成 正会員 平岩征一郎
 九州旅客鉄道 正会員 江崎俊岳

1. 緒言

1942年に開通した関門トンネルは、世界ではじめて建設された海底トンネルであり、構造物の強度に十分配慮した設計と施工とがなされている。このため、しゅん工後60年たった現在でも初期の健全度が維持されている。しかしながら、このトンネルが位置しているところは最大流速 4.335 m s^{-1} の潮流が発生する関門海峡であり、海底部における潮流の洗掘力が大きいので、海底の表面状態の変化がトンネル構造物の健全度に与える影響について、つねに留意しておく必要がある。

ところが、海底の表面状態を直接はあくするためには、おおがかりな潜水調査をおこなう必要があり、これには高額のコストをともなうので、ずい時実施できない事情がある。

ところで、海底トンネルの場合、流量一定で海底からトンネル内にしみ込んだ海水が、流量が季節変化しながら陸上から供給される地下水によって定常的に希釈されたものが漏水となっている。そこで、トンネル構造物の安定性に変化がなければ、漏水中に含まれる海水由来成分の濃度は季節に応じて連続的に変化することに着目した。すなわち、トンネル構造物やその周辺の地山が不安定になると、安定時よりも漏水中の海水由来成分の割合が増大することを期待した。そして、季節に対する漏水中の海水由来成分濃度のパターン化を試みた。その結果、このパターンよりも漏水中のその濃度が上昇する現象があらわれ、このことがトンネルの止水機能の低下と関連していることををみだした。ここでは、海水由来成分が海底トンネル構造物の健全度を調べるためのプローブとして使用できる用途をえたので、その概要を報告する。

2. 実験

2.1 関門トンネルの構造

関門トンネルの構造は図1および図2に示すとおりである。平行に建設されている単線断面の本坑2本の漏水は、上下線別々にそれらの最深部（図1中に示す本坑と作業坑との接続点）に集約され、作業坑を經由して下り線の本坑は門司方へ、上り線のそれは下関方の陸上部に位置するたて坑底に誘導される。そして、ここで地上へ揚水されて関門海峡へ放流されている。

2.1 海底トンネル内—海岸系における海水由来成分の輸送

漏水中の海水を追跡するためのトレーサーとして採用する化学種には、海底における海水供給から海岸での漏水放流までの間、漏水中に共存する他の化学種による吸着や共沈、生物による取りこみがなく、ふんい気のpH変化などに影響されないことが要求される。そこで、これらすべての

キーワード: トンネル, 漏水

連絡先 (JR総研): 所在地, 185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38; 電話, 042-573-7265; FAX, 042-573-7398



図1 関門トンネル縦断面図

●: 漏水の調査位置.

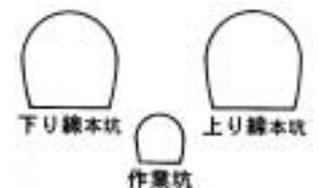


図2 関門トンネル横断面図

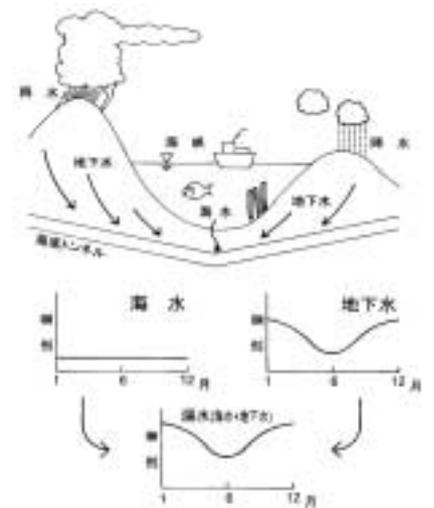


図3 関門海峡および関門トンネルにおける海水成分の循環系

条件を満足しているナトリウムイオンを海水のトレーサーとして使用することにした。なお、ナトリウムイオンを含む海水は図3に示すように海底 - トンネル内 - 海岸の循環系においてつねに輸送されている。ここで、海水面変動による圧力変化を無視し、トンネル直上の海底地山やトンネルの覆工材料、トンネル構造物そのものに変化がなければ、海水は流量を一定に保ちながらトンネル内に流入していると考えてよい。これに対し、陸上から供給される地下水は付近の季節的な降水量に応じてその流量が変化し、漏水流量や漏水の化学組成の季節的な変化として観測されている(図3)。

2.2 漏水中のナトリウムイオン濃度のパターン化

図1に示す各採取位置において漏水100mLをポリエチレンびんに毎月採取し、試料とした。これを、実験室に持ち帰り、イオンクロマトグラフィー/電気伝導率検出法により漏水試料中に含まれるナトリウムイオンの濃度を定量して季節に対するその濃度のパターン化をおこなった。なお、この漏水組成の観測は5年間継続して実施した。

3. 結果

上り線本坑の測定位置g、iおよびjにおいて採取した漏水試料中のナトリウムイオン濃度の季節変化を図4に示す。各位置とも冬季から夏季にかけてナトリウムイオン濃度が増大し、10月ころピークを迎えた後、冬季に向かい減少している。なお、ナトリウムイオン濃度の極小は毎年2月~3月ころとなっている。この海水由来成分濃度の季節変化パターンは、地下水による海水の希釈が夏季では小さく、冬季では大きいことを意味している。なお、この関係は上り線系統の他の測定位置や下り線系統のそれらの漏水についても同様である。ところで、ある年の6月、9月、11月およびその翌年の1月に従来のナトリウムイオン濃度パターンからはずれ、その濃度が上昇したことがあった(図4の(i)および(j)中の印)。一方、同時期にトンネル構造物を目視観察したところ、止水材料の一部に局所的な移動をみだした。なお、その程度は、構造物の安定性に直接影響を与えるものではなく、列車の運行にもまったく支障しないものであった。

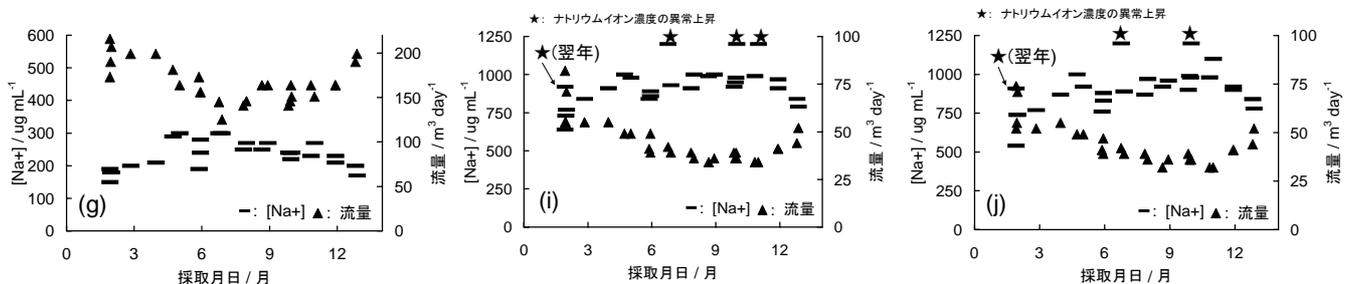


図4 季節に対する漏水中のナトリウムイオン濃度変化のパターン(英字は測定位置を示す。(g)は漏水中のナトリウムイオンがその濃度パターンからずれていない代表例。(i)および(j)では漏水中のナトリウムイオン濃度が濃度変化パターンからずれている。なお、いずれの図も5年間分のデータをプロットしてある)

4. 考察

関門トンネルに流入する海水の流量は一定であるが、これが季節的に流量変化する地下水によって希釈されるため、結果的に漏水中のナトリウムイオン(代表的な海水由来成分)濃度は季節的に連続変化する(図4)。このパターンは観測した年により多少の変動はあるが、ナトリウムイオン濃度は周期的になめらかに変化する一般的な傾向がある。ところで、採取位置iおよびjでは、漏水中のナトリウムイオン濃度が平年よりも上昇し、同時期にトンネル構造物に使用されている止水材料に機能の低下をみだした。この漏水成分の分析結果と観察した現場の状況との一致は、漏水中のナトリウムイオン濃度とトンネル材料の健全度との間に関係があることを示している。つまり、トンネル構造物の健全度はあらかじめパターン化しておいた季節 - 漏水中のナトリウムイオン濃度曲線からのずれを目安のひとつとして使用できる可能性がある。このことは、漏水中の海水由来成分をプローブとすることで構造物の健全度を非破壊的に、しかも簡易にモニタリングできることを示唆している。