

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 日野登四男

1. 緒言

山陽本線下関・門司間に世界最初の海底トンネルとして開通した関門トンネルは、その漏水が高濃度の海水成分を含んでいるため、漏水流量の管理は重要なことでありながらも、戦前（1942年）に建設された経緯もあってトンネル内の排水工には漏水流量の測定機能がとくに準備されていない。このため、これまでは三角ぜきを用いて定期的にその測定をおこなってきた。しかしながら、この作業は測定位置1箇所につき最低1時間を必要とし、また、列車の間合いを利用して作業時間を確保しているため、測定をずいとおこなうことは困難である。

また、測定作業の特性から、作業員4名を要し、作業効率は良好とはいえない。

ところで、海底からトンネル内にしみ込んでくる海水の流量は、トンネルの土被りが厚くない場合は1年を通じて一定である。いっぽう、陸上から地盤を通過してトンネル内に供給される地下水の流量は、トンネル坑口付近の降水量に影響され、じっさい、顕著な季節依存性がある。つまり、流量が一定の海水

は、流量が変動する地下水で希釈されながらトンネル内に流入している。また、トンネル内の漏水流量の変化は陸上から供給される地下水流量の変動に依存している。したがって、漏水中に含まれる海水由来成分の濃度は、漏水流量に一義的に対応しているはずである。そこで、この関係を利用して、関門トンネルの漏水流量を分析化学的に測定することを試みた。その結果、それら2者の関係は直線関係であり、海水由来成分の一つとして漏水中に含まれているナトリウムイオンの濃度を測定することにより、漏水流量を求めうるということがわかった。

2. 実験

2.1 関門トンネルの排水経路

関門トンネルの縦断面図および横断面図を図1および図2にそれぞれしめす。単線断面の本坑2本が並列されているトンネル内の漏水は、上下線別々に本坑の最深部（こう配変更点）に集約され、下り線の漏水は作業坑の門司方へ、上り線のそれは作業坑の下関方へそれぞれ誘導される。そして、たて坑底から地上へボアホールポンプで揚水され、九州または本州の両海岸から関門海峡へ放流されている。下り線の排水系統を図3にしめすが、上り線の場合では排水経路が作業坑のこう配変更点から下関方となって下関方のたて坑で地上に揚水され、下

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

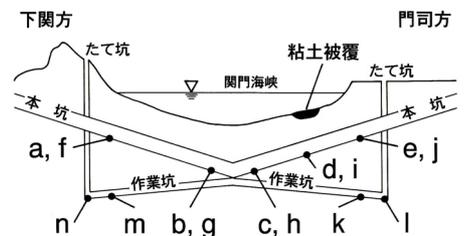


図1 関門トンネル縦断面図

●: 漏水の調査位置.

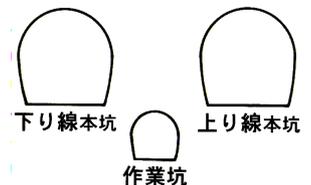


図2 関門トンネル横断面

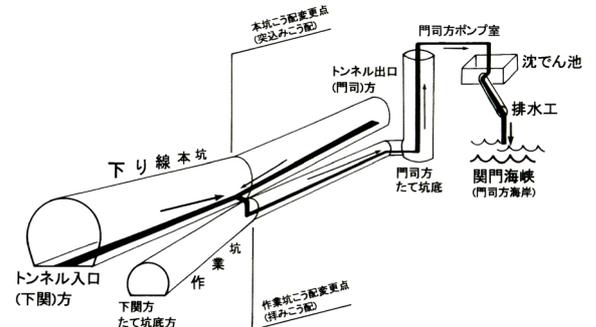


図3 排水経路(下り線系統)

表1 漏水、地下水および海水の化学組成

試料	組成			流量 / m ³ day ⁻¹	
	/ μg mL ⁻¹				
	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
漏水(a)	110	3.0	34	76	320
漏水(b)	860	25	130	110	354
漏水(c)	2500	77	370	180	29
漏水(d)	1900	50	260	150	28
漏水(e)	1500	34	210	140	26
漏水(k)	3000	53	430	210	415
漏水(l)	2700	35	420	250	756
地下水 ^b	13	0.53	2.9	18	---
海水 ^c	11000	330	1500	380	---

^a 1995年12月測定. ^b 北九州市門司区内. ^c 山口県内の山陰海岸.

関方海岸から関門海峡に放流されるほかは、下り線の排水方法とまったく同様である。

2.1 海水由来成分を代表する化学種の選定

漏水中に混入している海水の割合を求めるためには、海底での海水供給から海岸における漏水放流までの間、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必要がある。ナトリウムイオンの場合、門司方の地下水中に含まれるその濃度は漏水中のそれとくらべてきわめて低く(表1)、バックグラウンド濃度は無視してよい。また、元素ナトリウムは存在度がおおきく、水溶媒中でもきわめて安定である。したがって、海底 - トンネル内 - 海岸の循環系における海水のトレーサーとして使用することができる。

2.2 漏水中のナトリウムイオン濃度測定

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採取してただちに密栓し、試料とした。これを、実験室

に持ち戻り、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ピーク面積による絶対検量線法により求めた。また、門司区内の井戸および陸水の影響がない海岸で地下水および海水をそれぞれ採取し、漏水中のナトリウムイオン濃度を求めるさいの標準試料とした。

2.3 漏水流量の物理的測定

トンネル内の排水工の寸法に合うよう製作した合板製三角ぜきを測定位置の排水工に設置し、漏水流量を測定した。なお、このさい、排水工と三角ぜきとのすきまを充てるために建築用粘土を使用するので、漏水試料を汚染しないよう、三角ぜき測定は試料採取が終了した後おこなった。

3. 結果

下り線の各測定位置において三角ぜき測定により求めた漏水流量と漏水試料中のナトリウムイオン濃度との関係を図4に示す。各位置ともそれらの関係は直線関係となっており、漏水中のナトリウムイオン濃度は漏水流量に一義的に依存していることがわかる。なお、海水と地下水の供給はトンネル全線にわたって一様ではなく、ナトリウムイオン濃度 - 漏水流量直線の傾きは各位置相互間に異なっている。

4. 考察

関門トンネルの海底区間にその直上の海底から供給されてくる海水の流量は、1年間を通じて一定であると考えてよい。いっぽうで、降水量に依存する地下水の供給流量は季節に応じて変化する。じっさい、関門トンネルでは秋季から冬季にかけて漏水流量が増大することがその収支計算によってわかっている。図4から、(1)海底から流量一定でトンネル内に流入する海水が、季節的に流量変化する地下水によって定量的に希釈され、(2)漏水の流量はこれに含まれるナトリウムイオン濃度に一次関数的に対応していることがわかった。つまり、各位置において漏水の流量 - ナトリウムイオン濃度関数をあらかじめ求めておき、これに測定した漏水中のナトリウムイオン濃度を代入することで、漏水流量を求めることができる。本法では、物理量である漏水流量が化学量であるナトリウムイオン濃度によって求められており、これは従来の測定方法にはない新規性を有している。

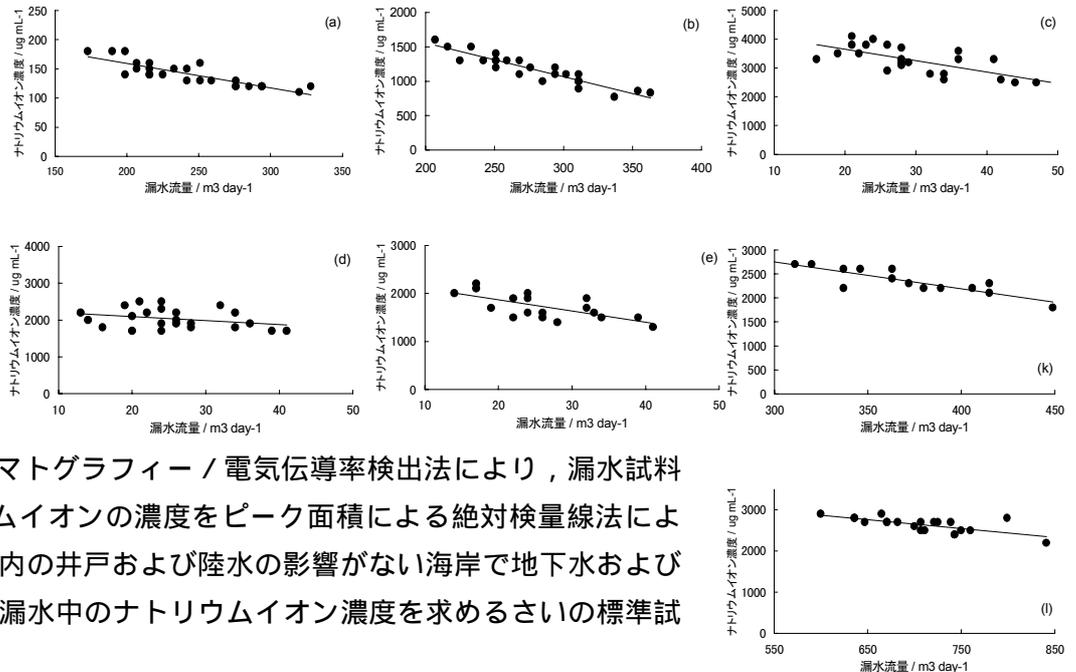


図4 漏水中のナトリウムイオン濃度と漏水流量との関係