

II-466

セメント・水ガラス系注入材を用いたトンネル工事排水の水質特性

佐藤工業(株) 正会員 ○宮根正樹
東京水産大学 正会員 丸山俊朗

1. はじめに トンネル工事では止水や地盤安定のため薬液注入工法がよく用いられている。その工事排水の水質は、注入材料の種類、注入量等により大きく変化する。このため排水の処理には水質を十分把握しておくことが必要となる。トンネル工事排水の水質データは多少見られるが、一般に工事内容と結びつけた水質事例は非常に少ない。そこで本研究では、工事内容及び注入材料が明らかなトンネル工事における排水の特徴を知ることとを目的とした。本工事に用いた主な注入材料は、水ガラスとセメント(普通ポルトランドまたは高炉コロイド)である。工事は約1か月毎に掘削工程(掘削・削孔・コンクリート打設等)と注入工程(薬液注入・削孔等)を繰返していた。

2. 測定方法 測定項目は、pH・濁度・Ca²⁺濃度・溶解性シリカ(以下s.sio₂と略記)濃度及び排水量とした。1日の測定回数はpHと濁度が4~6回、Ca²⁺とs.sio₂濃度は3回、排水量は1日の積算量とし、それ以外の項目については日平均値として取扱った。測定期間は約8か月(この間掘削工程3回、注入工程3回)とした。測定方法はJISに従った。Ca²⁺とs.sio₂濃度測定には濃液(6種)を用いた。

3. 測定結果及び考察 測定結果を表.1、測定項目毎のヒストグラムを図.1~図.5に示す。

表.1 測定項目別測定値最大・最小及び日平均値最大・最小・平均

測定項目	工程	測定値					データ数
		最小値	最大値	最小値	最大値	平均値	
pH (-)	全工程	7.1	13.8	7.5	13.6	10.5	230
	掘削工程	8.4	13.8	8.6	13.6	11.3	81
	注入工程	7.1	13.8	7.6	11.6	10.2	81
	作業なし	7.3	13.5	7.5	11.4	9.2	51
濁度 (度)	全工程	10	14000	11	5000	1390	225
	掘削工程	10	14000	23	5000	2020	96
	注入工程	10	5500	14	3100	1300	78
	作業なし	10	3400	11	950	190	50
Ca ²⁺ 濃度 (mg/l)	全工程	4.3	495	6.1	192	49.7	85
	掘削工程	4.3	495	6.1	192	46.7	67
	注入工程	11.1	329	24.7	159	58.0	18
	作業なし	2.2	436	10.2	270	64.6	86
溶解性シリカ濃度 (mg/l)	全工程	2.2	120	10.2	108	50.7	68
	掘削工程	2.2	120	10.2	108	50.7	68
	注入工程	31.2	436	41.8	270	114	18
	作業なし	—	—	—	—	—	—
排水量 (m ³ /日)	全工程	40	2730	—	—	947	230
	掘削工程	260	2730	—	—	971	96
	注入工程	160	2050	—	—	951	81
	作業なし	40	2240	—	—	813	51

3.1 pH 全工程における日平均pHは7.5~13.6(測定最大値13.8)、平均値10.5を得た。図.1から、度数のピークはpH 11.2付近にあり、平均値はピークより若干低かった。工程別の分布より、作業なし・注入工程・掘削工程の順に高pH側にシフトする傾向が窺える。注入工程におけるpHの上昇は主に水ガラスとセメントに起因し、掘削工程では主にセメントの影響と考えられる。

3.2 濁度 全工程における日平均濁度は11~5000度(最大値14000度)、平均値は1390度を得た。図.2から、濁度210.5±200度と1410.5±200度にピークがみられる。低濁度で度数が多いのは作業なしの場合で、掘削及び注入工程においては高濁度となる傾向を示した。掘削工程での濁質は主にズリ出しに伴う注入材固結物・岩等の破砕されたものやコンクリート打設によるセメント粒子であり、注入工程では水ガラスとセメント成分との反応物(珪酸カルシウム等)・水ガラスゲル・土砂等であり、濁質はフロック状のものが多かった。また作業なしの場合の濁質は主に土砂であった。

3.3 Ca²⁺濃度 湧水中のCa²⁺濃度は15mg/l(一般に地下水のCa²⁺濃度は5~10mg/l¹⁾)であった。注入工事ではセメントを多量に用いるため排水中のCa²⁺濃度は地下水に比べ遙かに高くなることが予想されたが、セメントと水ガラスの反応状態等により必ずしも高濃度にはならず、むしろ地下水より低濃度となることもあった。全工程における日平均Ca²⁺は6.1~192mg/l(最大値495mg/l)となり、平均値49.7mg/lを得た。工程別には、掘削工程で高濃度の出現頻度が高いが、総じて低濃度側に偏った分布(図.3)を示した。その中でも高濃度のCa²⁺の原因は、注入ゾーンを掘削することにより固結物の一部が溶出すること、コンクリート打設や注入に

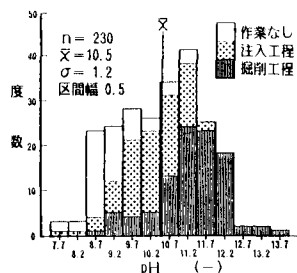


図.1 pHのヒストグラム

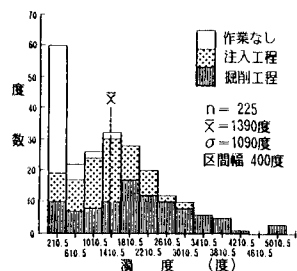


図.2 濁度のヒストグラム

よりセメントが混入してCa²⁺が溶出するためと考えられる。

3.4 s.sio₂濃度 全工程におけるs.sio₂濃度は10.2~270 mg/l(最大値436 mg/l)、25~85 mg/lの間に出現頻度が高く、低濃度に偏った分布(図.4)を示した。特に掘削工程でその傾向が著しく、高濃度となるのは大半が注入工程においてであった。各工程の平均値を比較してみると、注入工程のs.sio₂濃度の平均値は全工程及び掘削工程の約2.3倍であった。注入工程では水ガラスのリーク及び注入機器の洗浄時に高くなる傾向が窺え、掘削工程では既に水ガラスとセメントが反応している注入ゾーンを掘削するため、大部分の排水は一般的な地下水水质¹⁾(10~50 mg/l程度)に近い。

3.5 排水量 日排水量の範囲は40~2730 m³/日(最大値2730 m³/日)となり、平均値947 m³/日を得た。図.5から、度数のピークは539.5 ± 100 m³/日と1739.5 ± 100 m³/日の2か所あった。排水量は掘削工程で多くなる傾向が窺える。この原因は、注入ゾーンを掘削し排水量が多くなると注入工程に切替えるという作業を行ったことによる。排水量は注入による止水状態により大きく変動する。本工事における排水量の最大・最小値からその差は6.75倍となった。

3.6 pHと濁度 本工事排水はpH、濁度とも幅広い分布(図.6)を示すが、特にpH10~12で濁度1000~2000度となることが多く、高濁度・低pHとなる排水はみられなかった。工程別にみると、掘削工程では高pH(10~12)・高濁度(1000~2500度)となることが多い。掘削中ではpH12付近で濁度4000~5000度となることもあった。一方、注入工程ではpH10・濁度1500度付近に多く分布していた。また作業なしでは、pHは7.5~11.4と広く分散しているが、濁度はほぼ100度以下であった。

3.7 Ca²⁺濃度とs.sio₂濃度 図.7から、排水は高Ca²⁺濃度で高s.sio₂濃度となることはなくそれ以外で広く分布し、特にCa²⁺濃度100 mg/l以下でs.sio₂濃度80 mg/l以下になることが多かった。掘削工程の場合は、セメントと水ガラスの反応が十分に行われている注入ゾーンを掘削するため、Ca²⁺濃度とs.sio₂濃度は高くならない。更に、一部コンクリート打設等によるCa²⁺濃度の上昇がある場合は、s.sio₂はCa²⁺と反応して不溶性のカルシウム塩となるため、その濃度は非常に低い値(2.2 mg/l)となる。一方、注入工程においては排水中に未反応水ガラスが混入するため、s.sio₂濃度が高くCa²⁺濃度が低い(4.3 mg/l)排水となる傾向にあった。

4. まとめ 薬液注入工事における排水の特性は表.1に示す通りであった。工程別では、①全工程：各測定項目とも広範囲に分布するが、低pHで高濁度または高Ca²⁺濃度で高s.sio₂濃度の水質とならないこと、②掘削工程：pH及び濁度の高い排水となること、③注入工程：s.sio₂濃度が高い排水となること、及び④作業なし：各測定項目とも他の工程に比べ低くなり、特にpHと濁度が低い排水となること、等が把握された。

<参考文献> 1). 山本荘毅：「地下水調査法」

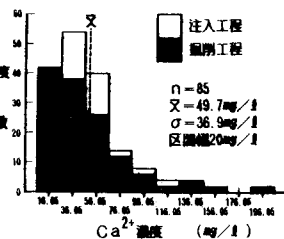


図.3 Ca²⁺濃度のヒストグラム

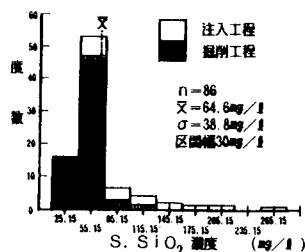


図.4 s.sio₂濃度のヒストグラム

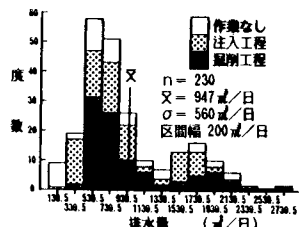


図.5 排水量のヒストグラム

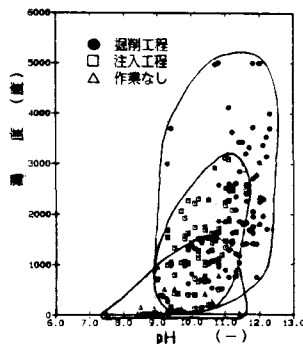


図.6 工程別 pHと濁度の関係

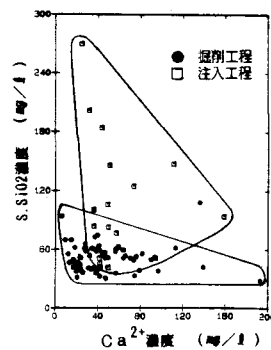


図.7 工程別Ca²⁺濃度、とs.sio₂濃度の関係