

東京水産大学 正員 丸山 俊朗

1. はじめに：下水道幹線渠を含めて、トンネル建設において、漏水および地盤の強度上の欠陥のもとである空隙を速決的に能率よく充てんして、工事の安全性を確保する目的で、兼液注入工法が広く使われるようになった。昭和49年7月（凝固剤に関する暫定指針）以降、従来使用されていた主剤としての各種有機系凝固剤は使用禁止となり、水ガラス（珪酸ソーダ、 $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ag）のみが主剤として許可されている。主剤としての水ガラスを凝固させる反応剤は多種類開発されており、主剤と反応剤の組合せは約70種類に上る。これらはセメントを反応剤とする懸濁液型注入剤（一般にLWと称されている）と、例えばグリオキサルを反応剤とし、磷酸を助剤とする溶液型注入剤に大別される。今回は海水域と淡水域におけるLW排水の特性と処理方法について得られた知見のいくつかを述べたい。

2. LW排水の特性：

排水に混入する物質は土砂、セメントと水ガラスの3種類である。セメントの水和・硬化の過程で $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が放出される。水ガラスの Na が化学結合度が高いことによって置換され、架橋重合し、更に H_2O を放出して $(-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-)$ の網目構造を形成してゲル化すると考えられている。従って、珪酸カルシウムのゲル化と考えよく、 NaOH が放出されることになる。一方、水ガラスは珪酸カルシウムの他に珪酸マグネシウム、珪酸鉄、珪酸水酸化物など、種々の組成化合物を析出する。LWのゲル化機構は模式的に示すと図-1のようになるが、モデルの溶出試験の結果から、 Ca の溶出量は極めて小さく、 Na の溶出が著しく多いことが明らかにになっている。

表-1と表-2は各々海底部（LW）と陸上部（セメントのみ）トンネル排水のpHと濁度について、自動記録計の読みを整理した結果である。海水性排水の特性はpHが比較的低く、高濁度で、その変動が大きいとはいえず、濁度が高く、しかも変動が著しく大きいことである。

その原因を知る目的で、海水と蒸留水に普通ポルトランドセメント、3号水ガラス（ $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$ モル比3）、および苛性ソーダを加えてみた。図-2が結果である。海水に普通ポルトランドセメントを少量ずつ加えていくと、濁度は上昇するが、更に添加量が増しても水酸化マグネシウムの析出のために大きなpH緩衝能を示す。水ガラスが混入すると、pHが9.3程度で珪酸カルシウム、珪酸マグネシウム、あるいは両者の複塩が析出する。このpHでは水酸化マグネシウムは析出しない。このようなpH緩衝能が海底部排水のpHを高くしない原因である。図-3は海水に3号水ガラスを加えた場合の汚濁量と $\text{Mg}-\text{Ca}$ の減少傾向を示したものである。汚濁量や水ガラス添加量と比例し、しかも著しく多い。表-2からも明らかで、土砂とセメント起源の濁度は比較的低いというから、海底部排水の濁度の高さと変動の大きさと水ガラス起源であることを理解される。高濁度を示す時は数万リットルに達し、灰白色を呈する。一方、セメントが海水に加わると、 Mg と Ca のなり速度の大きい陽イオン交換作用により、水酸化マグネシウムの析出量は極めて少なく、排水の濁度にはほとんど関係しないと推定される。

淡水性排水の場合は、pHが高く、かつ変動するが、濁度は海底部排水の場合より低く、安定している。図-2から明らかで、pHが高い理由はセメントの

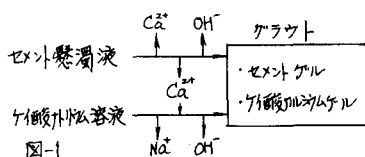


表-1 海水性LW排水の水質例

	L	Turb.				非透過率率値	
		max	min	ave	α	20%	90%
FW	810	11.5	2.7	9.1	0.8	9.5	10.3
Turb (TU)	935	2200	4	170	510	460	1400

表-2 淡水性排水(セメントのみ)の水質例

	L	Turb.				非透過率率値	
		max	min	ave	α	20%	90%
FW	1025	13.3	3.8	10.5	4.3	12.1	12.8
Turb (TU)	690	>1000	10	120	210	110	470

* 測定値は100mlあたり

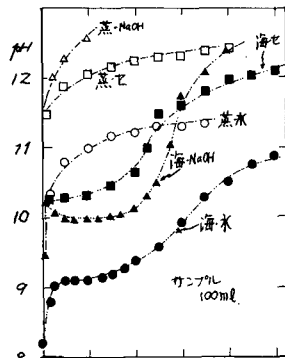


図2 海水(○), 蒸留水(△), 2N-NaOH(●), 3号水ガラス(□)

高濃度懸濁液のpHが12.6で、水がウスのとれが11.4であり、淡水性湯水にpH緩衝能が低いことである。表-3は海水性、淡水性排水の各混入物の組合せとそれらの混入順序の違いによる処理の難易性をまとめたものである。これらのうち、(3)は外觀的には土砂起源の濁りしか示さない。(4)は湯水に木がウスや分散した後、セメントや混入した場合、土砂とセメント起源の濁りの他に、不安定な珪酸アルミニウムサルや析出し、これが乳白色を呈する。図-4は蒸留水に3号珪酸ソーダを分散させた後にセメントを添加した場合の主として、珪酸アルミニウムサル起源の濁度変化を示したものである。2号懸濁液は一定の水がウス量に於いて、セメント添加量が少くともCaの供給量が増え、珪酸アルミニウムの巨大分子に成長して、短時間沈殿する性質のものである。

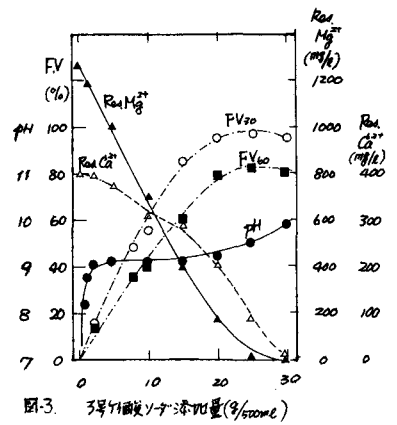


図3. 3号珪酸ソーダ添加量(g/500ml)

一方、海底部排水ではこのような乳白濁水は経験していない。この理由は海底部排水のCa濃度が高く(1200mg/l程度)、濁濃度が600mg/l程度と低いために、珪酸アルミニウムが良好に析出したためである。

3. 処理方法について:

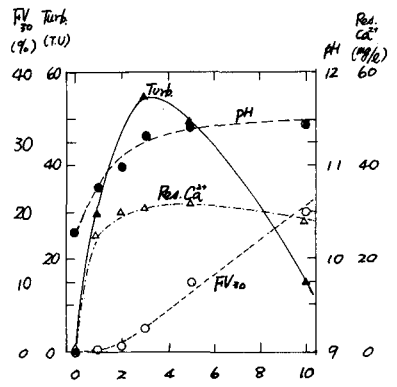
3-1. 海水性LW排水: 海水性LW排水中の土粒子やセメントコロイドは荷電的には高濃度のために中和されており、水がウスは多量のCa⁺⁺により安定な珪酸塩となっていると推定される。Jar TestによるPAC必要量は10~20ppm程度であり、マイクロフロッフのバインダーとして働いていると考えることが出来る。問題は水がウスの管理に配慮することである。

3-2. 淡水性LW排水: 表-3に示す組合せの排水がランダムに混合して排水される。表-3中、(2)(3)の排水はAl塩と凝集剤とした場合、珪酸アルミニウムが析出する。これ自体が沈殿しない、土粒子の凝集剤としても働かない。(5)の排水は析出したように、不安定(不飽和)珪酸アルミニウムがAl塩を消費し、同時に水酸化アルミニウムに転換(図4)されるようである(図-5)。そこで、蒸留水にカオリ200ppm、3号水がウスを18%になるように加えて十分に混合後、セメントを100mg/l加えて十分に混合したものを原水として、5種類の処理法を検討した。PAC添加前のCO₂中和とH₂SO₄中和は珪酸のサル化を期待したものである。CaCl₂添加は海底部排水の特性から不安定珪酸アルミニウムを安定、成長させることを期待したものである。CO₂中和-PAC法は微濁が残る、PAC必要量からも適当でない。H₂SO₄中和-PAC法は明らかに良好な結果を得たものの、実排水にはかなり多量のセメントや混入しており、H₂SO₄必要量が倍増し、適当な方法ではない。PACのみの処理法は乳白色の微濁が残る、汚泥量も著しく多くなる。海水-PAC法は図-3から推定されるように、珪酸Hg、珪酸Caおよびその濃度が析出するものの、少くとも珪酸HgはPACによって凝集させられないので、これをPAC量を増加させてやる。Ca塩のみを添加する方法が最良である。しかし、比色ミリカが残る。

参考文献(1) 炭酸ガスによる珪酸性排水中和に関する研究(田) 林研 報15, 40, 46, 1978/6.

表-3 LW排水の処理性と理由

排水のウス 混入物 混入順序	海水		淡水	
	混入物	理由	混入物	理由
(1) 土セ	土セ	容易	土セ	容易
(2) 土セ	土セ	容易	土セ	容易
(3) 土セ	土セ	容易	土セ	容易
(4) 土セ	土セ	容易	土セ	容易
(5) 土セ	土セ	容易	土セ	容易



セメント添加量(g/500ml DW)
(3号珪酸ソーダ9500ml DW)

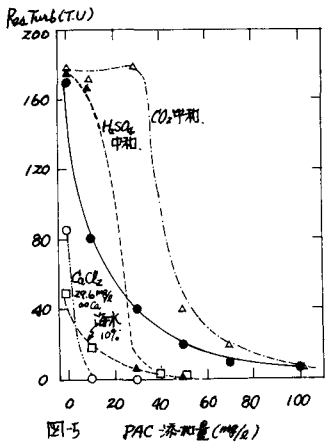


図5 PAC添加量(mg/l)