シールド工事で発生する上総層群泥岩の中性化処理

九州産業大学	学生会員	赤司　かがり	九州産業大学	正会員	林	泰弘
ラサテック	非会員	佐藤　市郎	MT アクアポリマー	正会員	田村	明
中道環境開発	非会員	中道　和徳	九州産業大学	学生会員	岡田	宗一郎
九州産業大学	正会員	松尾　雄治				

1. はじめに

首都圏の大深度地下地盤にはヒ素や黄鉄鉱を含んでいる堆積岩等が幅広く存在しており [1)]、シールド工事等で掘削され大気に触れる過程で酸化・酸性化する。このような現象により掘削土からのヒ素等の溶出量が増加し事後に汚染土と判定される懸念がある。本研究では、このような酸性化する土に炭酸カルシウム、酸化マグネシウム [2)]、製鋼スラグ等のアルカリ資材を添加する中性化処理によって、ヒ素が溶出しにくい環境を整えることを目指した。

2. 試料の特性

使用した試料は横浜で採取された上総層群泥岩（土丹）で、2015 年にシールド立坑工事現場で採取された土丹 A と 2016 年に鉄道トンネル工事現場で採取された土丹 B である（表 1）。採取地点近傍の土丹層からはヒ素の溶出が確認されており、土丹 B は土壌溶出量基準を超過していた。土懸濁液試験による土丹 A 入手時の pH は弱アルカリ性であったが、試験開始時の pH は大きく低下し酸性化が進んでいる。土丹 B は試験開始時でもアルカリ性を示しているが入手時より酸性化が進んでいる。過酸化水素水で強制的に酸化させた酸性化可能性試験の結果より、これからさらに酸性化することが推測される。

表 1　試料の特性

				土丹A	土丹B
入手時	入手年度			2015	2016
	採取場所			横浜	横浜
	土懸濁液試験	含水比	（%）	4.4	36.9
		pH		7.98	8.86
		電気伝導率	mS/m	83	1.32
	環境省告示46号試験	ヒ素溶出量	mg/L	0.007	0.046
試験開始時 2016年 9月～10月	土懸濁液試験	設定含水比	（%）	39.0	37.0
		pH		4.22	7.43
		電気伝導率	mS/m	101	59
	酸性化可能性試験	pH		4.26	4.82
		電気伝導率	mS/m	107	82

3. 試験方法

研究の流れを図 1 に示す。土丹 A は塊状で採取されたため最大粒径 19mm 以下となるように粉砕して用いた。通常のシールド掘削では排出時の土砂は泥状であるためコーン指数が 150 kN/m^{2}になる含水比 39%[3)] に加水して用いた。土丹 B は採取時から泥状であり、コーン指数が 200kN/m^{2}程度だったためそのまま用いた。

図 1　試験の流れ

酸性化する土を作製するための酸性化材として硫酸と黄鉄鉱（スペイン産の最大粒径 32 μm）を用いた。長野の研究成果 [3)] より硫酸の添加率は土丹 A に対して 0.2mol/kg、土丹 B に対して 0.33mol/kg、黄鉄鉱の添加率は 7%とした。酸性化材を添加した土丹は 20±3℃の恒温庫で 3 日間密閉養生したのちアルカリ資材を添加して再び密閉養生した。

4. アルカリ資材の添加率の検討

黄鉄鉱を添加した土丹 B は養生 1 日目では pH はあまり下がらなかったが日を追うごとに pH は下がっていった。それ以外は養生 1 日目で pH が低下していた。

表 2　酸性化土の初期の pH

	酸性化材（添加率）	1日養生後のpH	7日養生後のpH	28日養生後のpH
土丹A	硫酸（0.2mol/kg）	2.69	3.04	3.11
	黄鉄鉱（7%）	3.75	3.14	3.51
土丹B	硫酸（0.33mol/kg）	2.81	2.8	3.91
	黄鉄鉱（7%）	7.21	7.81	4.79

酸性化土に酸化マグネシウムと炭酸カルシウムは 5、10%、製鋼スラグは 10、20%をそれぞれ添加し、均一になるように混合した。恒温庫で密封養生後 7 日ごとに 28 日まで処理土の土懸濁液の pH 試験を実施した結果を図 2 に示す。炭酸カルシウムと酸化マグネシウムは養生期間による pH の変化はあまりみられなかったが、製鋼スラグを添加した場合には pH のばらつきが大きく中性化材としての適用が困難であると判断した。

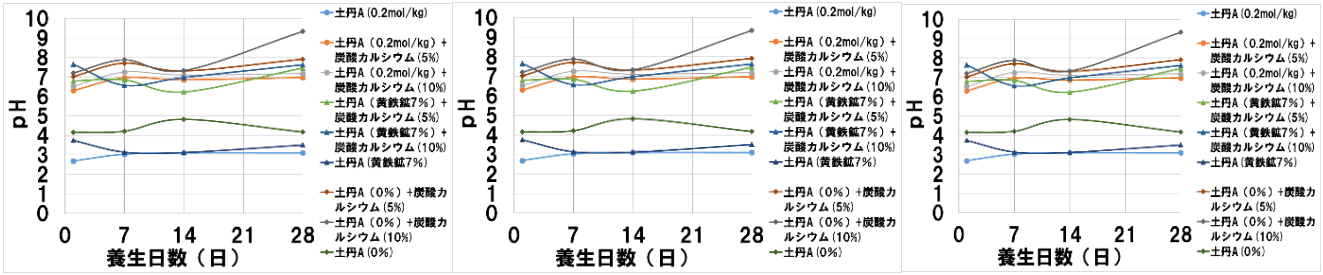

図 2　土懸濁液試験の経時変化

5. 溶出試験結果

図 2 より養生 7 日以降の pH はあまり変化がなかったためアルカリ資材添加率と養生 7 日目の pH の関係（図 3）より pH≒6、8 となるアルカリ資材添加率求め（表 3）、その条件で処理土を作製し、7 日養生後に土懸濁液試験と酸性化可能性試験で pH を測定した結果を図 4、5 に示す。土懸濁液の pH は硫酸を添加した土丹 A に酸化マグネシウム 0.6%を添加した処理土以外は中性域に収まったが、酸性化可能性試験の結果より、硫酸酸性化土にマグネシウムを添加した場合と黄鉄鉱酸性化土に炭酸カルシウムを添加したものは長期的に酸性へ移行することが予想される。

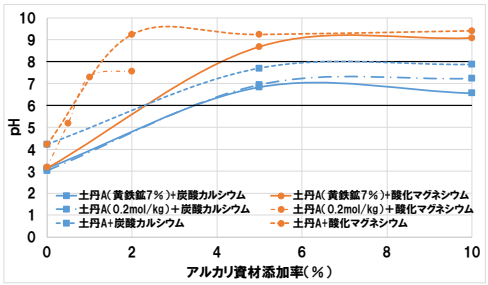

図 3　アルカリ資材添加率と pH の関係

表 3　アルカリ資材添加率

酸性化材		アルカリ資材		
種類	添加率		添加率(%)(pH≒6)	添加率(%)(pH≒8)
−	−	炭酸カルシウム	2.2	6.2
硫酸	0.2mol/kg		3.4	6.0
黄鉄鉱	7.0%		3.4	6.0
−	−	酸化マグネシウム	0.6	1.3
硫酸	0.2mol/kg		0.6	1.2
黄鉄鉱	7.0%		2.3	4.1

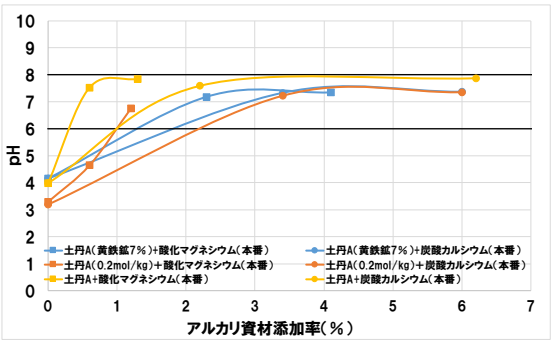

図 4　土懸濁液試験による pH の関係

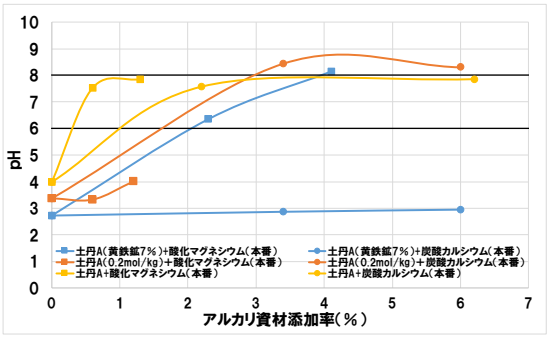

図 5　酸性化可能性試験と pH の関係

表 4　環境省告示第 46 号試験結果

配合条件	pH	Ec(mS/m)	Eh(mV)	溶出試験(mg/L)
土丹A	3.79	162	354	ND
土丹A(黄鉄鉱7%)	3.48	195	362	ND
土丹A(0.2mol/kg)	3.07	350	371	ND
土丹A(黄鉄鉱7%)+炭酸カルシウム(3.4%)	7.52	270	208	ND
土丹A(黄鉄鉱7%)+炭酸カルシウム(6%)	7.49	260	147	ND
土丹A(黄鉄鉱7%)+酸化マグネシウム(2.3%)	9.18	220	89	ND
土丹A(黄鉄鉱7%)+酸化マグネシウム(4.1%)	9.54	200	81	ND
土丹A(0.2mol/kg)+炭酸カルシウム(3.4%)	7.52	270	389	ND
土丹A(0.2mol/kg)+炭酸カルシウム(6%)	7.49	260	240	ND
土丹A(0.2mol/kg)+酸化マグネシウム(0.6%)	7.2	390	196	ND
土丹A(0.2mol/kg)+酸化マグネシウム(1.2%)	4.4	350	290	ND
土丹A	3.82	183	337	ND
土丹A+炭酸カルシウム(2.2%)	8.29	220	196	ND
土丹A+炭酸カルシウム(6%)	8.96	182	184	ND
土丹A+酸化マグネシウム(0.6%)	7.63	220	151	ND
土丹A+酸化マグネシウム(1.3%)	7.61	250	116	ND

6. まとめ

酸性化土を中性化するためのアルカリ資材について検討した。炭酸カルシウムを添加した場合には長期的には酸性となった。酸化マグネシウムを添加すると少量でも中性化できるが、硫酸酸性化土に対して短期的ではその効果はみられなかった。製鋼スラグを添加すると pH がばらつくため利用は困難であった。土丹 B の試験は現在行なっており、結果は研究発表会当日に発表する。

参考文献：1）島田允堯：自然由来重金属等による地下水・土壌汚染問題の本質：ヒ素、pp.47-48、2009 2）Ali Bekin ら：抗排水処理における中和剤としての MgO の適用性について、資源と素材、Vol.114、No.8、pp.553-559、1998. 3）長野佑希ら：アルカリ資材による黄鉄鉱を含む土の酸性化抑制の検討、平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.389-390、2016.3.