

【論文】

中性化処理土の繰り返し水浸養生による長期安定性の評価

EVALUATION OF LONG-TERM STABILITY BY REPETITIVE WATER IMMERSION CURING OF NEUTRALIZED SOIL

赤司 かがり*¹, 林 泰弘*², 佐藤 市郎*³, 田村 明*⁴, 松尾 雄治*²
 Kagari AKASHI, Yasuhiro HAYASHI, Ichiro SATO,
 Akira TAMURA, Yuji MATUO

Sedimentary rocks including arsenic and pyrite such as mudstone in the Kazusa group are crushed and exposed to the atmosphere to oxidize and acidize them. The neutralization treatment was noticed as a method to prevent the contaminated soil from being contaminated by arsenic eluted. The method to estimate the amount of alkaline materials necessary for neutralization and the stability of the pH of the carbonated soil in the long term were examined.

Since it is not realistic to confirm the behavior of pH by the long-term curing and many mix proportion tests, the possibility of the acidification test which is the test to promote the deterioration of the improved soil and the pH obtained by the repeated immersion curing are examined. It was found that the pH value of the acidification test was higher than that in the acidification test. It was suggested that the pH of the pH could be longer than the pH of the sample by the acidification test.

Keywords : Neutralization treatment, Dry and wet curing, pH
 中性化処理, 乾湿繰り返し作用, pH

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上総層群泥岩などの堆積岩が幅広く存在している。このような岩がシールド工事等で粉砕され、地上に土砂として搬出される過程で黄鉄鉱が大気に触れることで酸化・酸性化する。酸性化に伴って黄鉄鉱に不純物として含有されるヒ素等の重金属の溶出量が増大することが懸念されている¹⁾。筆者ら²⁾は、ヒ素の溶出抑制対策として中性化処理に取り組んできたが、対象土の範囲を広げること、中性化処理土の長期的な pH 挙動の安定性を確認が課題である。本研究では土の劣化を促進する試験によって中性化処理土の長期的な pH を評価することを目的とした。

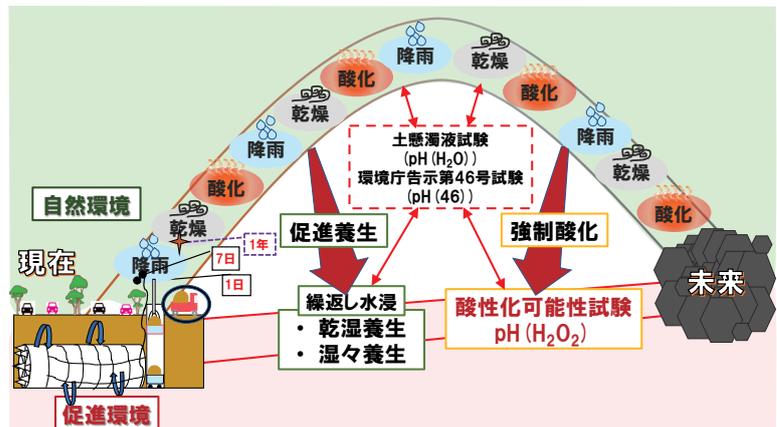


図1 自然環境と促進環境の比較図

2. 研究方法

図1は本研究で想定した自然環境における土の酸化,劣化とそれに対応する促進環境を比較した図を示す。自然環境では降雨と乾燥の繰り返し作用や連続した通水によって試料が劣化する。また、地中深くなど還元環境にあった土が大気にさらされることによって酸化する。このような

*1 大学院工学研究科産業技術デザイン専攻
 *2 建築都市工学部都市デザイン学科
 *3 ラサテック株式会社
 *4 MT アクアポリマー株式会社

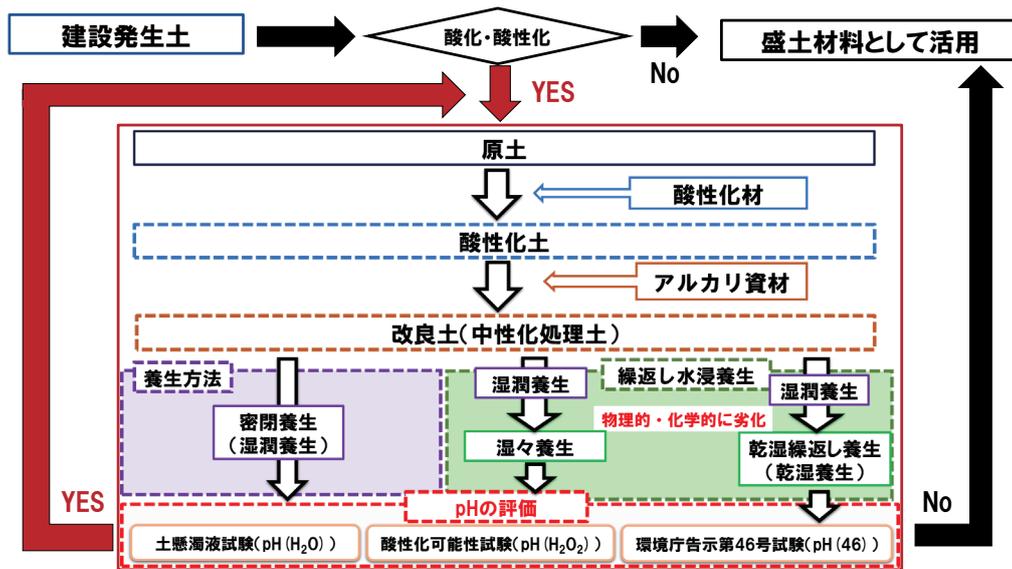


図2 研究の流れ

環境での長期的な pH の挙動を短期間で把握するために、降雨と乾燥の繰り返しや連続する通水環境を試料に与える「促進養生」や試料の酸化の促進のために過酸化水素を用いて土を強制的に酸化する「酸性化可能性試験」といった「促進分析」を設定した。

図2は研究の流れを示す。建設発生土のうち酸化・酸性化する可能性があるものを盛土材料などとして活用する場合を想定して酸性化剤（硫酸または黄鉄鉱）を添加して酸性土を作製し、アルカリ資材を添加することで中性化処理土（処理土）を作製した。これらの処理土をそのまま密閉した「湿潤養生」、土が仮置きされた時の乾燥・湿潤の繰り返し養生環境を模擬した促進養生である「乾湿繰返し養生」と土が酸性雨にさらされた状態を模擬した促進養生である「湿々繰返し養生」によって3種類の試料を準備した。それぞれ養生によって得られた試料を「湿潤試料」「乾湿試料」「湿々試料」と呼ぶ。これらの試料と図2の「pHの評価」に示す試験によって、中性化処理土の長期的な pH の評価方法を検討した。

3. 試験方法

表1に試料の特性を示す。土丹Bは鉄道工事現場で採取された上総層群泥岩、土丹Dは横浜市で採取された上総層群泥岩、浚渫土は関門航路を浚渫し、新門司土砂処分場に投入された土砂である。

コーン指数が 200kN/m^2 となるような含水比（調整含水比）に調整された試料に硫酸または黄鉄鉱を添加し、pH=

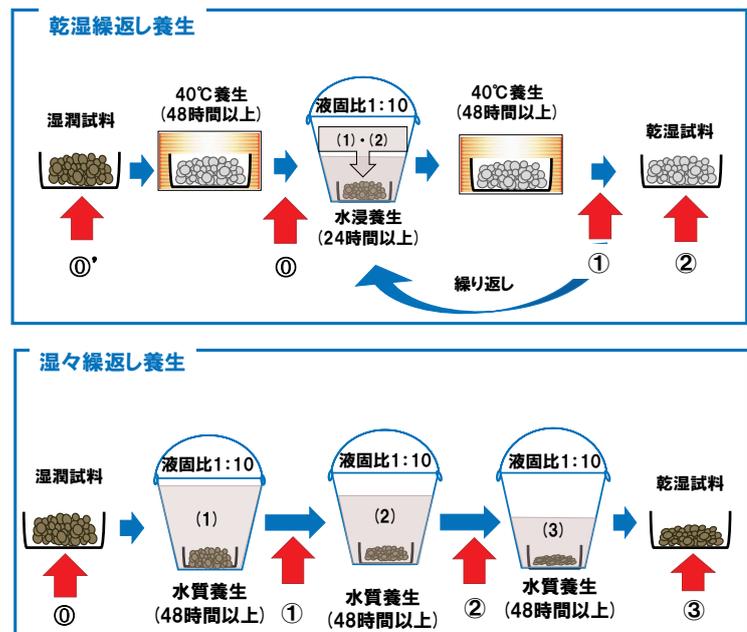


図3 促進養生の方法

3または4の酸性化土を作製した。硫酸添加量は土丹Bが 0.33mol/kg (pH≒3)、 0.16mol/kg (pH≒4) 土丹Dが 0.17mol/kg (pH≒3)、浚渫土が 0.6mol/kg (pH≒3) とした。黄鉄鉱は酸化・酸性化の時間を要することから pH(H₂O₂) より添加量を7% (pH≒3) とした。

酸性化土を作製後、アルカリ資材を添加して処理土を作製した。アルカリ資材は炭酸カルシウム (CaCO₃)、酸化マグネシウム (MgO)、苦土石灰を使用した。炭酸カルシウムは pH≒8 程度で、消石灰よりも安価であり、坑排水の中和処理施設に使われている。酸化マグネシウムは pH≒10 程

表 1 試料の特性

試料名称		土丹B	土丹D	浚渫土
試験前含水比	%	36.9	28.6	86.9
調整含水比	%	37	29	52.5
土粒子の密度	g/cm ³	2.602	2.649	2.604
砂分	%	34.2	49.5	7.6
シルト分	%	51.7	45.2	31.6
粘土分	%	14	5.3	60.8
均等係数 U_c		27.2	374.2	4.5
曲率係数 U_c'		2.35	7.85	0.68
液性限界 w_L	%	53.2	33.5	88.1
塑性限界 w_p	%	28.3	20.3	34.9
塑性指数 I_p		24.9	13.3	53.2
分類名		粘土 (高液性限界)	砂質粘土 (低液性限界)	砂まじり粘土 (高液性限界)
分類記号		CHS	F-CL	CH-S
強熱減量 L_i	%	3.35	-	7.54
pH (H ₂ O)		8.86	7.05	7.43
pH (H ₂ O ₂)		5.21	10.39	7.2
ヒ素合溶出量		0.001未満 ※0.046	0.009以下 (検出限界)	0.009以下 (検出限界)

度で重金属の地盤材料の不溶化材として使われている。苦土石灰は pH≒9 程度で肥料としても使用され土に混ぜると酸性を弱アルカリ性よりの土質へ改良できる。

図 4 は炭酸カルシウムと酸化マグネシウムの pH を示す。酸化マグネシウムはもとの pH は高かったが、酸化によって pH=7~8 の中性~弱アルカリを示し $pH(H_2O) \geq pH(H_2O_2)$ となった。炭酸カルシウムは $pH(H_2O) \approx pH(H_2O_2)$ となった。この違いが中性化処理土の酸化による pH の変化に影響を及ぼす可能性がある」と推察した。

中性化処理土は以下の 3 通りの方法で養生した。湿潤試料は処理土を密閉容器に入れ、20±3℃の恒温庫で所定日数湿潤状態を保ったまま養生した。乾湿試料は処理土を物理的・化学的に劣化を促進させるため、1 日もしくは 7 日間養生した湿潤試料を JGS A 2124-2009 「岩石のスレーキング試験方法」を参考に図 3 の上図に示す 40℃の乾燥と室温下での水浸を 2~3 サイクル与える乾湿繰り返し養生³⁾をおこなった。湿々試料は図 3 の下図に示す水の入れ替えのみをおこなった。なお、促進養生(図 3)において水浸する際の水量はタンククリーニング試験⁴⁾を参考にし、液固比を 1:10 とし、水質は酸性雨を想定して超純水にまたは蒸留水に硝酸を加えて pH≒4 に調整した水を使用した。

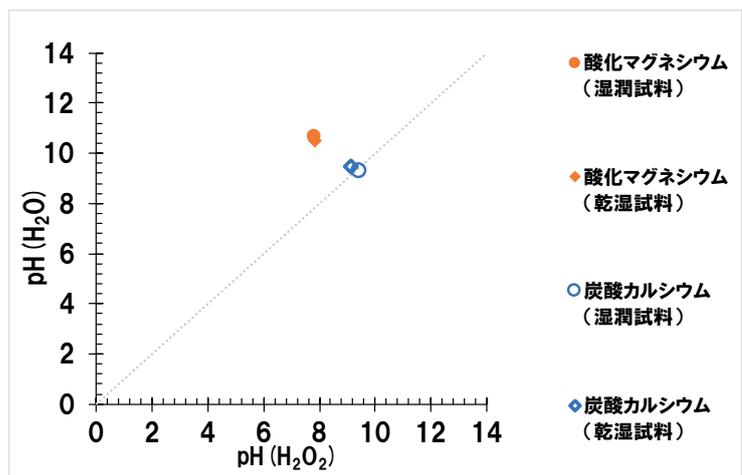


図 4 アルカリ資材の pH

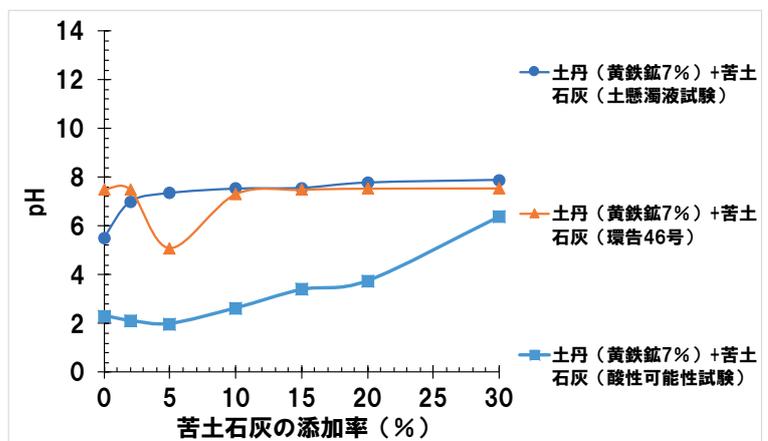


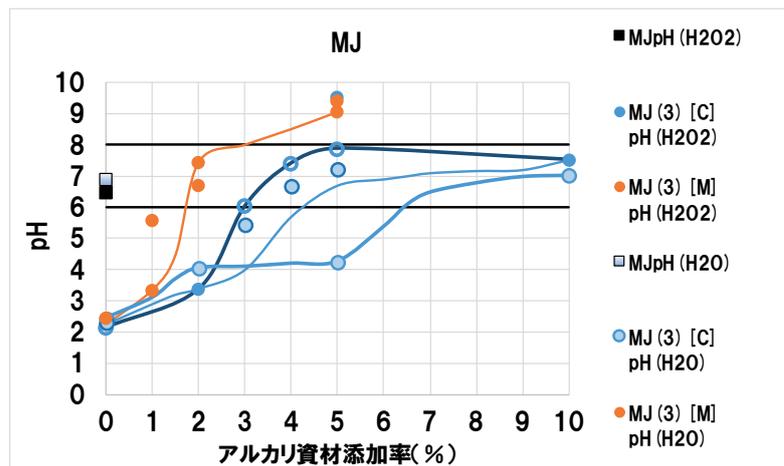
図 5 苦土石灰の添加率と pH の関係

表3 アルカリ資材添加量

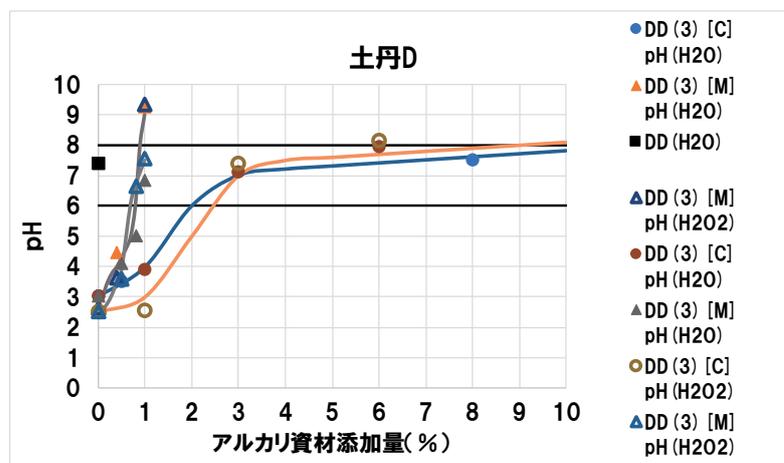
原土	酸性化材		アルカリ資材		表記方法
	種類	添加量	種類	添加率 (%)	
土丹B	黄鉄鉱	7%	CaCO ₃	4	DB (f) [C4.0]
				10	DB (f) [C10]
			MgO	0.5	DB (f) [M0.5]
				2.0	DB (f) [M2.0]
	硫酸	0.33 (mol/kg)	CaCO ₃	4.0	DB (3) [C4.0]
				10	DB (3) [C10]
			MgO	0.5	DB (3) [M0.5]
				2.0	DB (3) [M2.0]
硫酸	0.16 (mol/kg)	CaCO ₃	1.1	DB (4) [C1.1]	
			2.5	DB (4) [C2.5]	
		MgO	0.6	DB (4) [M0.6]	
			1.2	DB (4) [M1.2]	
土丹D	0.17 (mol/kg)	CaCO ₃	4	DD (3) [C4.0]	
MgO		1	DD (3) [M1.0]		
浚渫土	0.6 (mol/kg)	CaCO ₃	10	MJ (3) [C10]	
		MgO	1	MJ (3) [M1.0]	

図5は苦土石灰の添加率とpHの関係を示す。苦土石灰の添加量を増加するとともに土懸濁液試験によるpH(H₂O)が大きくなる傾向にあるが、添加量2%~10%の範囲ではその変化は小さくpH≒7~8であった。酸性化可能性試験によるpH(H₂O₂)は添加量が20%以下の範囲内ではpH≒2~3を推移しており、添加量を30%にすることでpH≧6となった。後述する炭酸カルシウムと酸化マグネシウムに比べて添加量多すぎるため使用するのを断念した。

炭酸カルシウムを2%~10%、酸化マグネシウムは0.5%~5%添加した場合の浚渫土と土丹Dのアルカリ資材添加量とpHの関係を求めたものを図6に示す。この図からpH(H₂O)もしくはpH(H₂O₂)から処理土がpH≒6もしくはpH≒8となるアルカリ資材添加量を求めた結果を表3に示す。なお、今後の試料の名称は表3の表記方法に示すように、最初の2文字が土の種類、()内は酸性化の方法で、fは黄鉄鉱、3はpH≒3となるような硫酸添加量、4はpH≒4となるような硫酸添加量、【 】内はアルカリ資材(記号)と添加率(数字)で示している。



(a) 浚渫土



(b) 土丹D

図6 アルカリ資材添加量とpHの関係

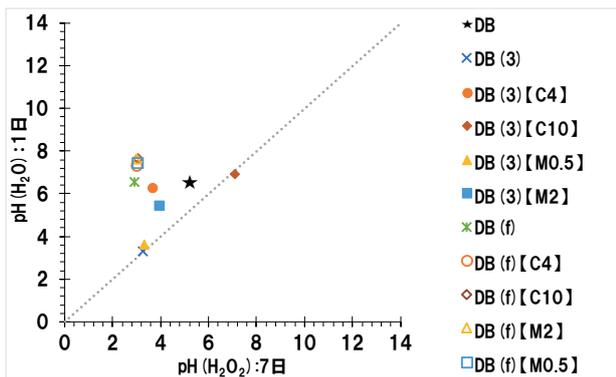


図7 養生1日と養生7日のpH(H₂O)の関係

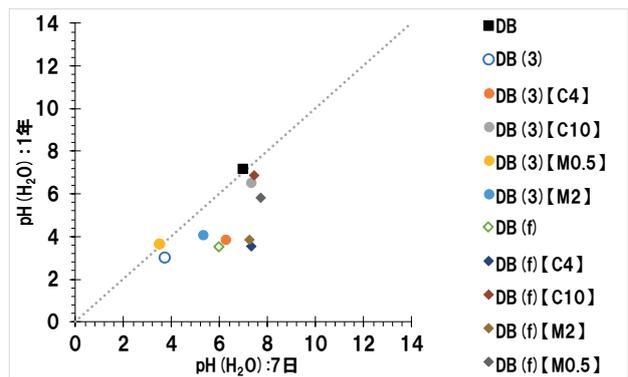
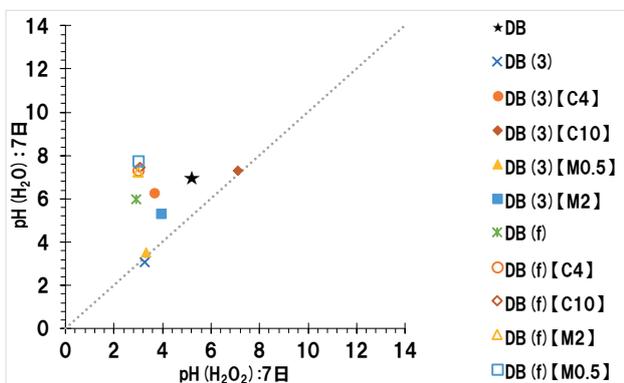
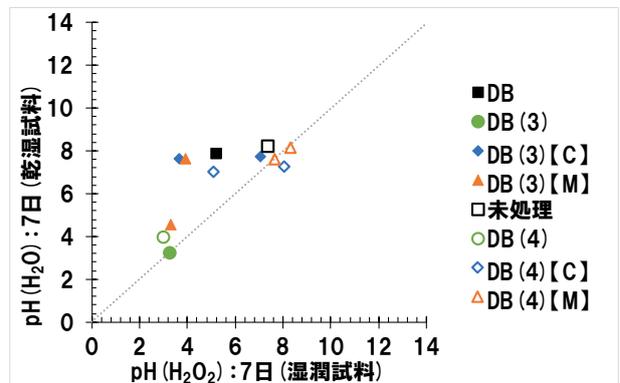


図8 養生1日と養生7日のpH(H₂O)の関係



(a) 2016年度作製



(b) 2017年度作製

図9 養生7日pH(H₂O)と養生7日pH(H₂O₂)の関係

4. 湿潤試料のpH

湿潤試料の養生期間によるpH(H₂O)の変化を7日養生した試料を基準に検討する。

図7は養生1年と養生7日pH(H₂O)の比較である。酸性化土とアルカリ資材の添加量が少ないものは養生1年≦養生7日となったがそれ以外は養生1年≒養生7日となった。図8は養生1日と養生7日のpH(H₂O)の比較である。酸性を示すBD(3)【M0.5】のみ養生1日pH(H₂O)≒養生7日となったが、おおむね養生1日≧養生7日といえる。

養生7日の試料のpH(H₂O)とpH(H₂O₂)の関係を図9に示す。(a)と(b)は作製した時期が異なる試料である。アルカリ資材の添加量が多いものはpH(H₂O)≒pH(H₂O₂)となったが、それ以外は養生7日のpH(H₂O)≧養生7日のpH(H₂O₂)であった。

図10は養生1年pH(H₂O)と養生7日pH(H₂O₂)の関係を示す。DB(f)のアルカリ資材が多いものは1年養生後もpH(H₂O)≧pH(H₂O₂)になっているが、そのほかは養生1年のpH(H₂O)≒養生7日目pH(H₂O₂)であったため、養生1年pH(H₂O)≧養生7日pH(H₂O₂)である。DB(f)のアルカリ資材添加量が多いpHの低下にはさらに長時間要すると考えら

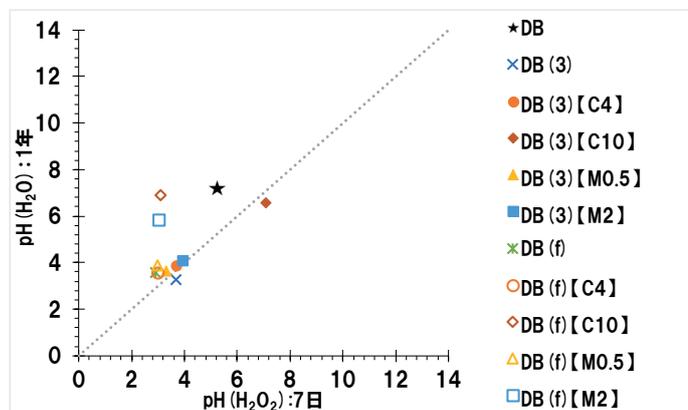
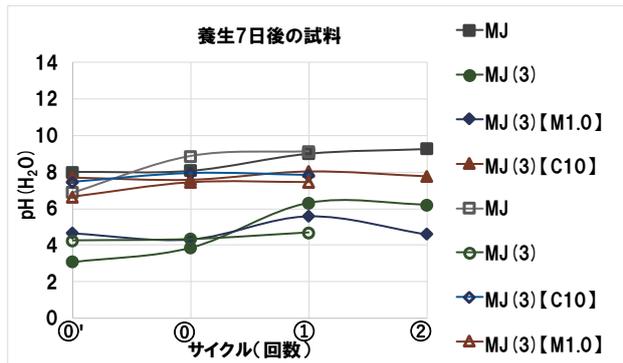


図10 養生1年pH(H₂O)と養生7日(H₂O₂)の関係

れる。以上より、湿潤試料については、酸性化可能性試験のpH(H₂O₂)が最も長期のpHを示していると考えた。

5. 促進養生試料のpH

中性化した浚渫土について、促進養生過程において、図3に示すそれぞれの測定時期における処理土のpH(H₂O)と養生水のpHの関係を図11, 12に示す。乾湿試料、湿々試料ともに処理土と養生水は7日養生したMJ(3)【M1.0】

図 11 養生途中の処理土の pH (H₂O)

のみ1サイクル目から pH (H₂O) ≥ 6 であり、そのほかはばらつきがあるが中性を保ったままだった。

図 13 は養生後の乾湿試料と湿々試料の pH (H₂O₂) の関係を示す。土丹 D は処理土も含めて、乾湿試料≒湿々試料となった。MJ (3) 【M1.0】の pH (H₂O₂) は他とは異なり、乾湿試料≧湿々試料となる傾向を示した。表 3 に示すように対象土によらず酸化マグネシウムの添加量を同じに設定したが、浚渫土の硫酸添加量や炭酸カルシウムの添加量が土丹よりも多いことから、酸化マグネシウムの添加量が不足していた可能性があると考えられる。図 13, 14 は湿潤試料と湿々試料または乾湿試料の pH (H₂O₂) の関係を示す。図 14 では、MJ (3) 【M1.0】 pH (H₂O₂) ≤ 6 ではあるが、おおむね湿々試料≒湿潤試料となった。図 15 では乾湿試料≒湿潤試料となった。

つまり、促進養生を行っても酸性化可能性試験による pH (H₂O₂) は影響を受けないことがわかった。

6. まとめ

中性化処理した処理土の長期的な pH を評価するために劣化を促進する試験によって検討した。

中性化処理土の湿潤試料は養生とともに pH が低下し、酸性化可能性試験で得られる pH (H₂O₂) が最も長期の pH が得られることが示唆された。また、促進養生をしても pH (H₂O₂) はあまり変わらなかった。ことから短期養生の湿潤試料の pH (H₂O₂) を求めることで、長期的な pH の値が得られる可能性が高いことがわかった。

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) 赤司かがりら：中性化処理した上総層群泥岩の長期的な pH の評価, 第 13 回地盤改良シンポジウム発表論文集, pp.295-298, 2018.10
- 3) 永秋健ら：土質安定処理した島尻層群泥岩のスレーキングによる設計 CBR への影響, 平成 29 年度土木学会全国大会第 72 回年次学術講演会概要集, pp.115-116, 2017.9
- 4) 国交省技術調査係：平成 13 年度タンクリーチング試験について, <http://www.mlit.go.jp/tec/kankyou/6cr/tank.pdf>

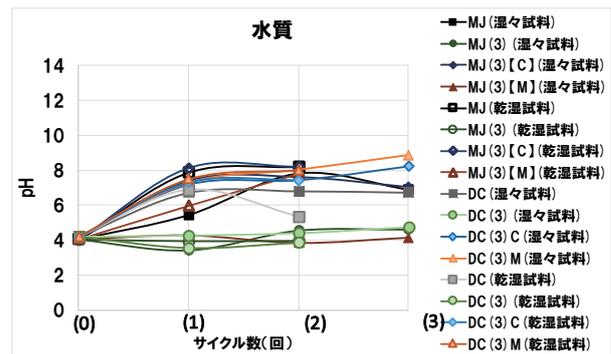
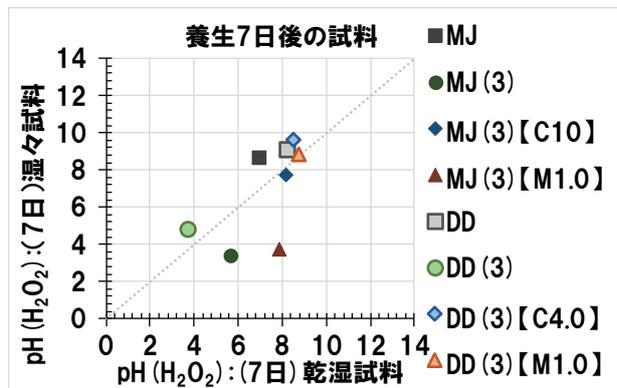
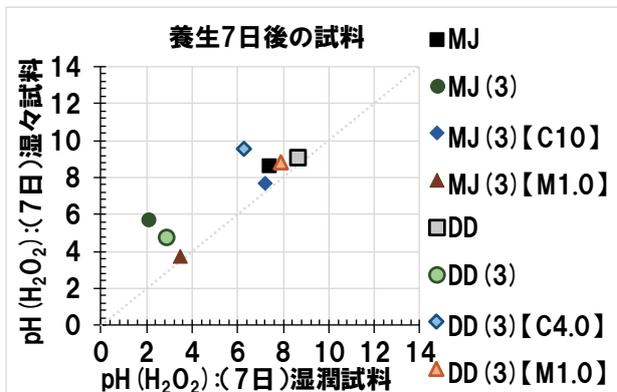
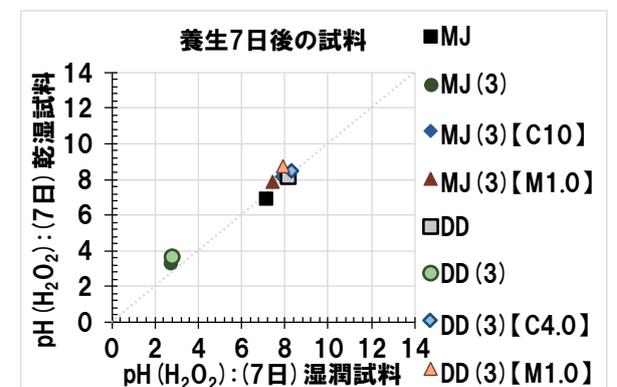


図 12 養生水の pH

図 13 乾湿試料と湿々試料 pH (H₂O₂)図 14 湿潤試料と湿々試料 pH (H₂O₂)図 15 湿潤試料と乾湿試料 pH (H₂O₂)