

黄鉄鉱を含む中性土の化学的性質に関する一考察

FUNDAMENTAL STUDY ON CHEMICAL PROPERTIES OF
THE NEUTRAL SOIL INCLUDING PYRITE

山田幹雄*・佐野博昭**・稲澤知洋***・田辺和康****

by Mikio YAMADA, Hiroaki SANNO, Tomohiro INAZAWA and Kazuyasu TANABE

1. はじめに

著者らは、これまでに同じ地山斜面で一緒に採取した黄鉄鉱含有土を対象に、酸化反応の顕在的な土と潜在的な土のスレーキング特性および力学的性質を調べた結果を文献1)で報告した。

その研究では、指標硬度が等しくても土(試料)に含まれる膨潤性粘土鉱物の多少によってスレーキング指数のみならず、透水係数やCBR試験用供試体の吸水膨張量の大きさにも差を生じること、さらに、一軸圧縮強さ、変形係数やせん断強さは未だ酸性化の兆候が現れていない試料の方で大きくなるという知見が得られた。

通常、黄鉄鉱含有土は空気中の酸素との接触に起因する「化学的酸化作用」と、硫黄酸化細菌や鉄酸化細菌などの微生物の生息、活動に起因する「生物的酸化作用」とが相俟って、水素イオン濃度指数(pH)は弱いアルカリ性、中性から強い酸性へと変化していく。この移行速度は、硫黄含量と中和を促す炭酸石灰含量との均衡状態に依存するとされている^{2),3)}。

文献1)の研究で扱った未酸性化の試料に関して、潜在的な期間が恒久であるならばそのまま土質材料に採用しても差し支えないが、施工後間もなくしてひとたび酸化反応が進行し始めると法面保護植生の生育障害、コンクリートや配管の腐食、宅地の盤膨れなどを引き起こす恐れがある。

本論文では当該試料を採取した当時に遡り、それ以降に行ってきたpH測定、X線回折分析、CNS元素分析や微生物の検索について実施した順を追って記述する。加えて、pH(H₂O)≒7の試料にpH(H₂O)≒3の試料を混ぜ合わせ、これを水中浸漬—水分蒸発—空気乾燥(気乾)の状態に置いたときに上述の化学的、生物的酸化作用の出現が見込めるかどうかを検討した結果について報告する。

2. 試料のpH測定歴、元素組成および物性

2010年9月に地山斜面露出箇所にて採取した試料の量は約400kgであり、その外観はほとんどが拳大の塊であった。一見して、全体が灰色もしくは暗灰色の塊(試料-aと称する)と局所的に茶褐色の斑点を晶出している塊(試料-b)とが混在していた。

単色の塊(試料-a)を選び分けたところ、採取量のおよそ2割にあたる85kgとなった。試料-a, bともにビニール袋に小分けし、いずれも封をしないで空気に曝しておいた。選別後1ヶ月足らずで斑点を晶出した塊が6kg近くあったが、これらはそのつど袋から取り出して試料-bの扱いとした。

塊は木槌で叩くと容易に砕ける程度の硬さであり、pH測定、土質試験や各種分析に先立ち2mmふるいで一旦ふるった。

図-1は、JGS 0211の試験方法に準じて測定した試料-a(記号●)およびb(○)のpH(H₂O)の推移を示す。測定期間は、2010年9月以降2013年9月にわたる3ヶ年である。ここで、右の縦軸に記載した弱アルカリ性～極強酸性の8つの領域は「pH(H₂O)による土壌アルカリ性・酸性の区分」⁴⁾にもとづくものである。

試料-aは、採取後経過日数Dが100日に達した2010年12月中旬にpH(H₂O)=6.2の微酸性に低下して化学的酸化作用の始まった兆しが窺えたものの、1.5ヶ月経った2011年2月上旬(D=150日)にはpH(H₂O)=6.5となり、その後は中性域ないし稀に微アルカリ性域にあって再び酸性へは移行しなかった。一方、試料-bのpH(H₂O)はD=0日から85日の間に弱アルカリ性→微アルカリ性→中性→微酸性→弱酸性→明酸性→強酸性へと低下の一途を辿り、D=90日の2010年12月上旬にはpH(H₂O)=4.2の極強酸性を呈した。そして、2011年2月中旬(D=160日)にはpH(H₂O)=3.1となり、以後D=1100日までpH(H₂O)はそのまま推移した。

著者らは、採取後経過日数Dが10日の時点で試料-a, bを対象に酸性化可能性試験⁵⁾を行った。この試験には2mmふるいを通した試料を用い、過酸化水素水に水酸化ナトリウムを加えた溶液で硫化鉄

*福井工業高等専門学校 教授 環境都市工学科 (〒916-8507 福井県鯖江市下司町), **大分工業高等専門学校 教授 都市・環境工学科, ***緑商事株式会社 代表取締役社長, ****福山大学 教授 工学部 建築・建設学科

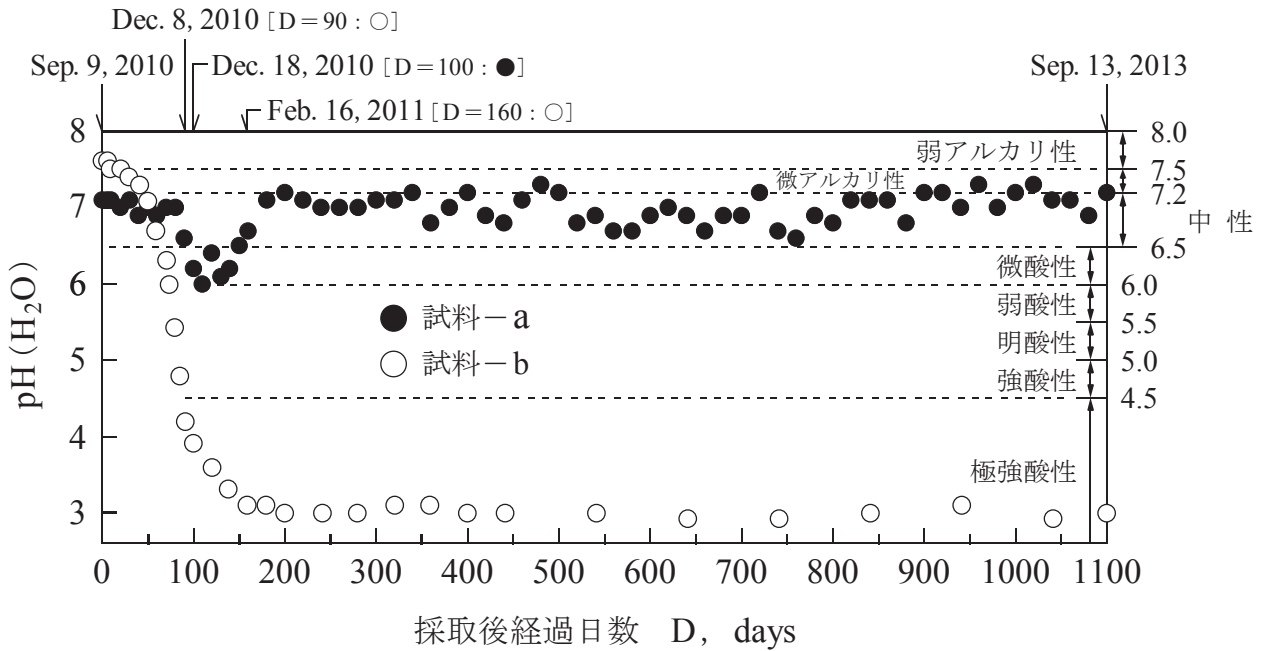


図-1 新潟県村上市産黄鉄鉱含有土における水素イオン濃度指数の推移

表-1 酸性化可能性試験におけるpHの測定値*

採取後経過日数 D (days)	試料-a	試料-b
	pH(H ₂ O ₂)	pH(H ₂ O ₂)
10 [Sep.19,2010]	2.2	2.1
740 [Sep.18,2012]	2.8	—

*「過酸化水素水を用いるpH試験方法」⁶⁾に準拠

を強制的に酸化させてpH(H₂O₂)を測り、その値が3.5以下であれば“長期にわたって酸性化の可能性が高い”と判断する。表-1に示すように、D=10日のpH(H₂O₂)は試料-a,bともに2程度であり、bでは判断通りに酸性化にいたった。ところが、aは2年経った時点(D=740日)でもpH(H₂O₂)≤3.5であるにもかかわらず、依然として中性を保っていた(前出図-1参照)。

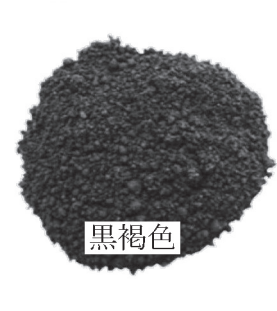
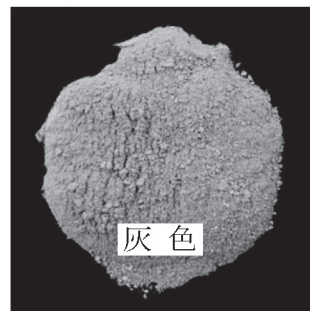
これより、試料-aに関しては、酸性化可能性試験の結果をもって空気や水との接触による酸化反応の進行を予測するのは困難といえる。

写真-1は、採取当日に2mmふるいでふるって以来440日が経過した試料を示す。この間、試料-aの色調に変化は全くみられなかったが、試料-bでは酸化鉄の晶出にともない褐色が徐々に濃くなっていった。先にも述べたように、試料-aは2011年2月を期して概ね中性域に、試料-bは2010年12月を期して極強酸性域にあったのを受けて、以後の記述では前者を中性土、後者を極強酸性土と呼称する。

表-2は、中性土の元素組成(化学成分組成)を示

【試料-a 中性土】
pH(H₂O) = 6.8

【試料-b 極強酸性土】
pH(H₂O) = 3.0



採取後経過日数 D : 440days
[Nov.23, 2011]

写真-1 2mmふるい通過試料の色調

す。主な成分は二酸化ケイ素(SiO₂)、酸化アルミニウム(Al₂O₃)、酸化第二鉄(Fe₂O₃)であり、これは極強酸性土も同様であった。

中性土の土質試験の結果を表-3に示す。粒度組成をみると、砂分比べて細粒分(シルト分+粘土分)の含有量が多い。また、液性限界が高く塑性指数が大きい。したがって、土質材料の工学的分類では「粘土(CH)[高液性限界]」に該当する。

極強酸性土は中性土より細粒分を多く含んでいる(79%)ものの液性限界が低く(60%)、塑性指数が小さい(26)という結果から、「シルト(MH)[高液性限界]」に分類された¹⁾。

表－２ 中性土の化学成分組成¹⁾

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	計 (%)
73.88	13.00	4.55	2.53	1.91	1.47	1.05	0.96	0.39	0.07	0.06	99.87

表－３ 中性土の土質試験結果¹⁾

土粒子の密度 (g/cm ³)	砂 分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数	透水係数 (m/s)	強熱減量 (%)
2.57	32.6	26.7	40.7	123.4	36.4	87.0	7.78×10 ⁻⁷	5.9

注) 土質試験には2mmふるい通過分を使用

3. 中性土の鉱物組成、炭素・窒素・硫黄含有量 および微生物生息検定

3.1 X線回折分析

X線回折分析には定方位法と不定方位法とがあるが、今回は中性土に含まれる鉱物の定量検討を優先して後者を採用した。分析には、メノウ乳鉢の中で播り潰した中性土を供した。本節に述べるX線回折分析および電子線マイクロアナライザー(EPMA)による組成像の観察は、2011年6月～7月に行った。

図－２は、2mmふるいを通した中性土の回折図を示す。回折線の位置(回折角 2θ)から黄鉄鉱[Py]、方解石[C]、石英[Q]、俊男石[T]、曹長石[A]の鉱物が同定されたほか、硫酸と方解石との反応生成物である二水石膏[G]の含有が確認された。

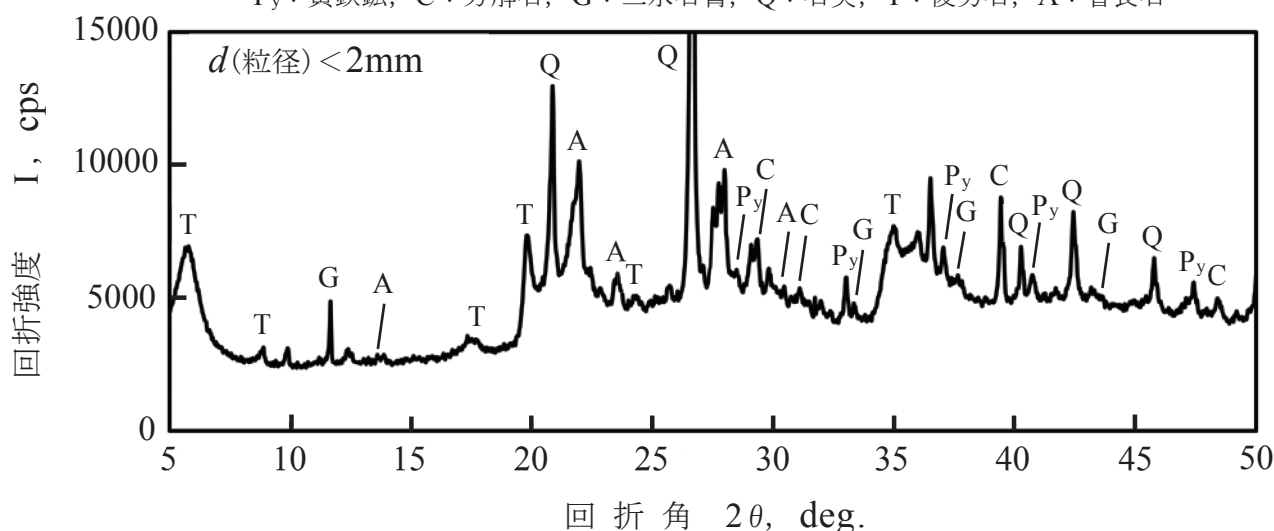
そこで、中性土の粒径 d と回折強度 I との関係を調べるために500 μ m、150 μ m、75 μ mふるいを用いて500 μ m $\leq d < 2$ mm、150 μ m $\leq d < 500$ μ m、75 μ m $\leq d < 150$ μ m、 $d < 75$ μ mに分級し、それぞれの回折

図を求めた。

分析結果を、図－３(a)～(d)に示す。ここでは、ピークリストから本研究でとくに注目すべき黄鉄鉱[Py]、方解石[C]、二水石膏[G]を抜粋して表示してある。黄鉄鉱の回折強度 I 、方解石の I ともに $d \geq 75$ μ mの粗粒分、 $d < 75$ μ mの細粒分の区別なくほぼ同じであり、したがって、これらの量に粒径の大小は関与しないとみなされる。二水石膏も分級した4つの粒度範囲に含まれるが、 I は総じて(a)から(d)の順に、つまり、粒径が小さくなるにつれて大きくなった。当該土に限れば、細粒ほど黄鉄鉱は酸化しやすく、かつ、硫酸と方解石との反応も進み、それが二水石膏の量に影響をおよぼしたと推察される。

電子線マイクロアナライザー(EPMA)で黄鉄鉱の形態を観察したところ、分級した全ての粒度範囲でフランボイド状に散在していた。また、先の図－３と併せて考えると、黄鉄鉱は中性土の特定の粒径に偏らず一様に分布しているといえる。

Py: 黄鉄鉱, C: 方解石, G: 二水石膏, Q: 石英, T: 俊男石, A: 曹長石



図－２ 2mmふるいを通した中性土のX線回折プロファイル

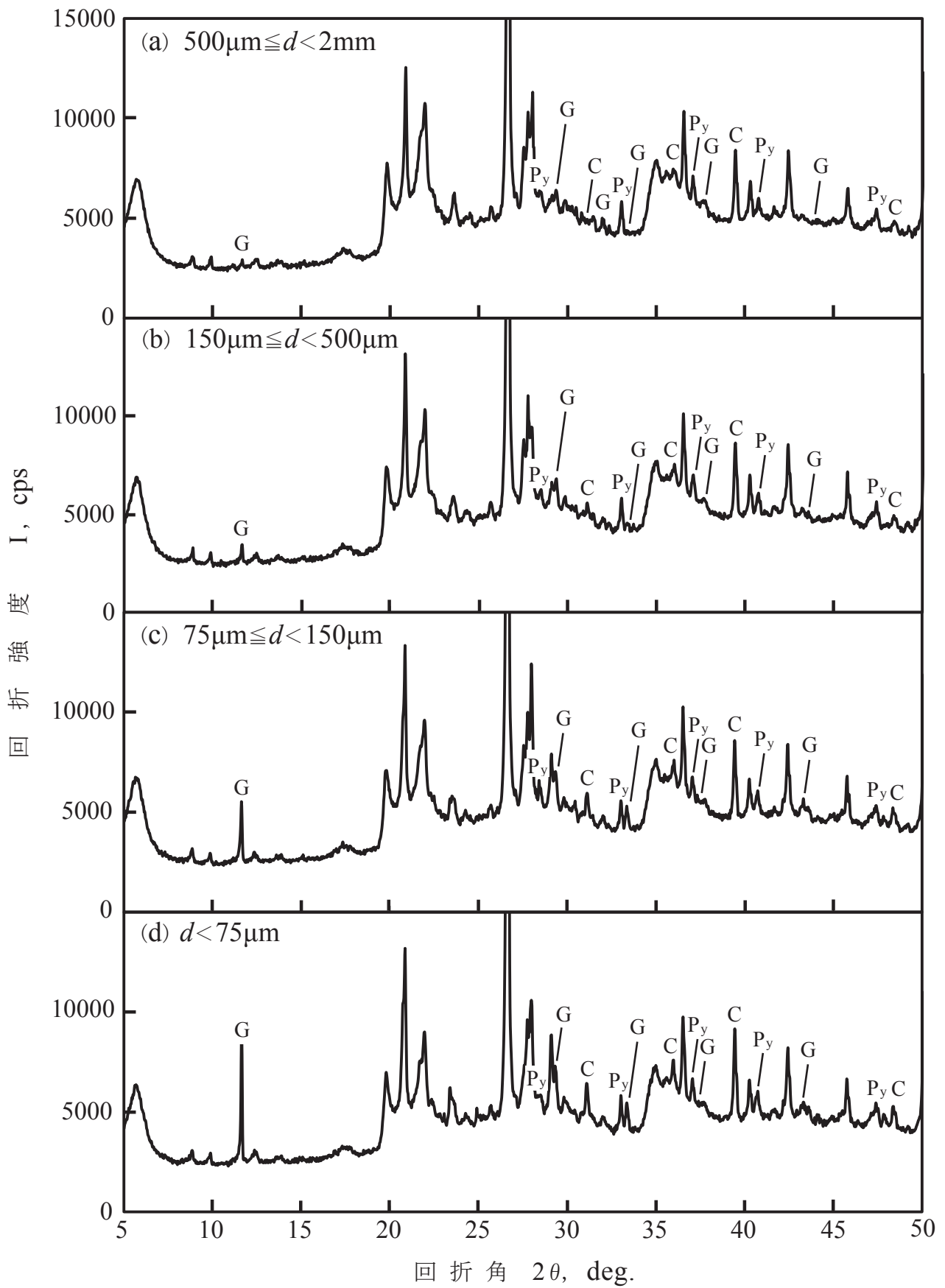


図-3 分級した中性土のX線回折プロファイル

表－４ 中性土の無機炭素(C)・窒素(N)・硫黄(S)含有量とモル比C/S

採取後経過日数 D (days)	pH(H ₂ O)	無機炭素* C	窒素 N	硫黄 S	C/S (mol/mol)
380 [Sep.24,2011]	7.0	0.21 %	0.09 %	1.16 %	0.97
		0.175 mol**	—	0.181 mol**	
400 [Oct.14,2011]	7.2	0.17 %	0.14 %	1.12 %	0.81
		0.142 mol	—	0.175 mol	
440 [Nov.23,2011]	6.8	0.03 %	0.16 %	1.11 %	0.14
		0.025 mol	—	0.173 mol	
540 [Mar. 2,2012]	6.9	0.07 %	0.15 %	1.09 %	0.34
		0.058 mol	—	0.170 mol	
740 [Sep.18,2012]	6.7	0.04 %	0.16 %	1.10 %	0.19
		0.033 mol	—	0.172 mol	

* (全炭素量－有機炭素量)として算出．ここに、有機炭素量は380days＝1.16%、400days＝1.15%、440days＝1.35%、540days＝1.18%、740days＝1.47%.

** 無機炭素、硫黄含有量(%)をそれぞれ炭酸カルシウム、黄鉄鉱の量(%)に換算した後、土壌1kgあたりのモルに変換.

3.2 CNS元素分析

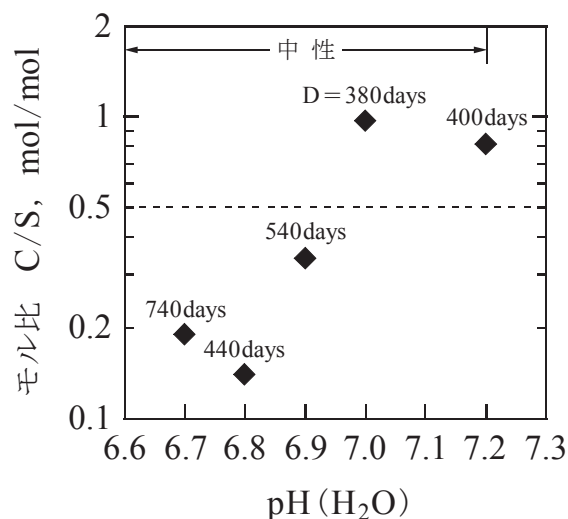
X線回折分析において黄鉄鉱および方解石が同定されたことを踏まえて、中性土が含有する全炭素・窒素・硫黄の定量分析を行った.

これは、硫黄量は黄鉄鉱に、有機炭素量や窒素量は陸成起源植物に由来し、また、全炭素量から有機炭素量を差し引いて求められる無機炭素量は、酸性化に対するpH調整機能(中和能)の優劣の判定に役立つことによる. 方解石(炭酸カルシウム:CaCO₃)は、その無機炭素の代表的な鉱物である⁷⁾. なお、有機炭素量は無機炭素(CaCO₃)を除去するために希塩酸を滴下した中性土を110℃のプレート上で乾かした後、CNS元素分析装置で測定した.

中性土を採取してから1年が経過した2011年9月以降2年目にあたる2012年9月にかけて、定量分析を5回実施した. そのつどのpH(H₂O)、無機炭素(C)・窒素(N)・硫黄(S)の含有量を表－4にまとめた. ここで、例えば経過日数380日のC＝0.21%を炭酸カルシウムの量に換算すると1.75%となり、これは土壌1kg中0.175molに相当する. 同様に、S＝1.16%は黄鉄鉱の量2.18%、0.181mol/kgとなる.

380日の場合、含有量からモルへの変換においてCとSとは拮抗しているのので、黄鉄鉱の酸化によって生じた硫酸は炭酸カルシウムで中和できたとみなしても差し支えない. ところが、C<Sの関係が明らかとなった400日以後もpH(H₂O)に低下の兆候が一向に現れなかった点に疑問が残る.

表－4に併記したモル比C/Sを対数目盛で縦軸に、pH(H₂O)を算術目盛で横軸にとって380～740日の変動を図－4に示した. 黄鉄鉱を含む堆積岩が水との接触で酸性水を発生する可能性を、バッチ溶出試験を通して探究した文献⁸⁾には、モル比C/S

図－4 pH(H₂O)とモル比C/Sとの関係

が1を超えると溶出水は概ねpH≥7.5のアルカリ性になり、0.5～1では酸性・中性よりもアルカリ性に幾分偏り、さらに、0.5を下回るとpH≤5.5の酸性へ移行すると報告されている. しかしながら、今回の定量分析におけるモル比C/SとpH(H₂O)との間にそのような傾向は認められず、通常の酸化反応が潜在的な黄鉄鉱含有土とは異なる挙動を呈している.

経過日数380日には、極強酸性土の無機炭素(C)・窒素(N)・硫黄(S)の含有量も調べた. Cについては全炭素量＝有機炭素量となって0%、Sは0.72%(0.113mol/kg)が得られ、黄鉄鉱の大半はすでに酸化して硫酸塩に変化しているようであった. その結果の現れがpH(H₂O)の低下と継続(前出図－1の記号○参照)であり、これは一般的な化石性酸性硫酸塩土壌の挙動といえる.

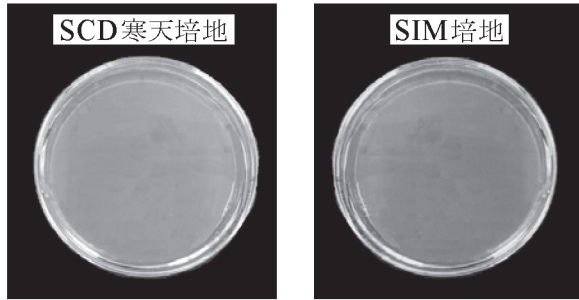


写真-2 希釈平板法による培養

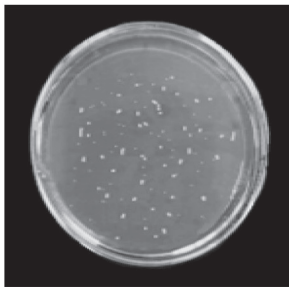


写真-3 コロニー形成の1例(河川水中微生物)

3.3 培養法によるコロニーの検出⁹⁾

次に、培養法の1つである希釈平板法を用いて、中性土中の微生物の種類や数量の推定を試みた。

手順としては、中性土100gをオートクレーブ滅菌済の三角フラスコの中に無菌操作で入れた後、滅菌蒸留水100mLを注いで平行振とう抽出し、固液比1の検液とした。これを孔径3 μ mのメンブランフィルターでろ過して10倍、100倍、1000倍、10000倍、100000倍希釈溶液(検液1mL+滅菌蒸留水9mLの希釈を5段階実施)に調整した。これらの希釈溶液を「選択性が低く、広範囲な菌を発育可能なSCD寒天培地DAIGO」と「硫化水素産生の判定が可能なSIM培地」とに塗抹した。

培養にあたり、インキュベータの温度は37 $^{\circ}$ Cに設定し、期間は21日とした。その際、SCD寒天培地は好気性(=酸素の存在する環境で発育)の条件下に、SIM培地は中性土を空気に長期間曝してあった点を考慮して絶対嫌気性ではなく通性嫌気性(=酸素の有無にかかわらず発育)の条件下に置いた。つまり、後者についてはシャーレに蓋を被せ、隙間をビニールテープで塞いで外気と遮断した。

写真-2は、培養を終えたSCD寒天培地(左)とSIM培地(右)とを示す。微生物が増殖していれば、写真-3のように細胞分裂して肉眼でも観察できるコロニーを形成するが、2つの培地ともにコロニーは全く検出されなかった。なお、無希釈の溶液、すなわち、検液そのものでも微生物個体数の測定には

いたらなかった。

今回は、培養法と併せて直接検鏡法による菌体数測定も実施した。この方法では、まず、予めオートクレーブ滅菌したメンブランフィルターを用いてクリーンベンチ内で検液を無菌操作のもとにろ過した。その後、ろ液を15mLポリプロピレン製遠沈管に採取し、このうちの1mLを100 μ Lの0.1%−アクリジンオレンジ溶液で染色してスライドガラス上に展開した。これを落射型蛍光顕微鏡で観察(倍率1000倍)したところ、暗視野の中で橙色に光って見えるべき細菌は一切確認できず、輪郭がぼやけて見える死菌あるいは懸濁物ばかりが映った。

このように、培養法および直接検鏡法で微生物の存在が認められなかったという結果は、中性土には少なくとも生物的酸化作用を促す鉄酸化細菌や硫黄酸化細菌がないことを意味するものであり、その成因は依然として不明であるものの、前節3.2に述べた疑問を解く一端となった。

4. 中性土・極強酸性土混合試料におけるpHの経時変化

第2章で紹介したpH(H₂O)とpH(H₂O₂)の測定歴、第3章に示したpH(H₂O)−モル比C/Sの関係や微生物生息検定から、本研究で取り扱った中性土は単体では化学的酸化作用および生物的酸化作用を引き起こさない公算が大きいとみられる。

そこで、次の段階として中性土・極強酸性土混合試料のpH(H₂O)を測って、酸化反応の誘起される事象が生じるかどうかについて調べた。

具体的には、表-5に示すように母材である中性土20gに極強酸性土を2g混合(Case N-A₂)、6g混合(N-A₆)、10g混合(N-A₁₀)した試料を個別にビーカーに入れ、そこへ蒸留水を注いだ後に攪拌棒で懸濁してpH(H₂O)を測定した(JGS 0211の試験方法に準拠)。ここに、用意した中性土および極強酸性土の粒径はいずれも2mm未満であり、また、pH(H₂O)は中性土で6.9、極強酸性土では3.1であった。3つのビーカーはラップフィルムで封をして暗所に静置し、測定のとどフィルムを剥がして懸濁した。

表-5 中性土と極強酸性土の混合量

Case	中性土 (湿潤質量 <i>m</i>)	極強酸性土 (湿潤質量 <i>m</i>)	計	混合試料の 含水比 <i>w</i>
N-A ₂	20g	2g	22g	8.6%
N-A ₆		6g	26g	12.3%
N-A ₁₀		10g	30g	15.2%

注) 中性土、極強酸性土ともに2mmふるい通過分を採用

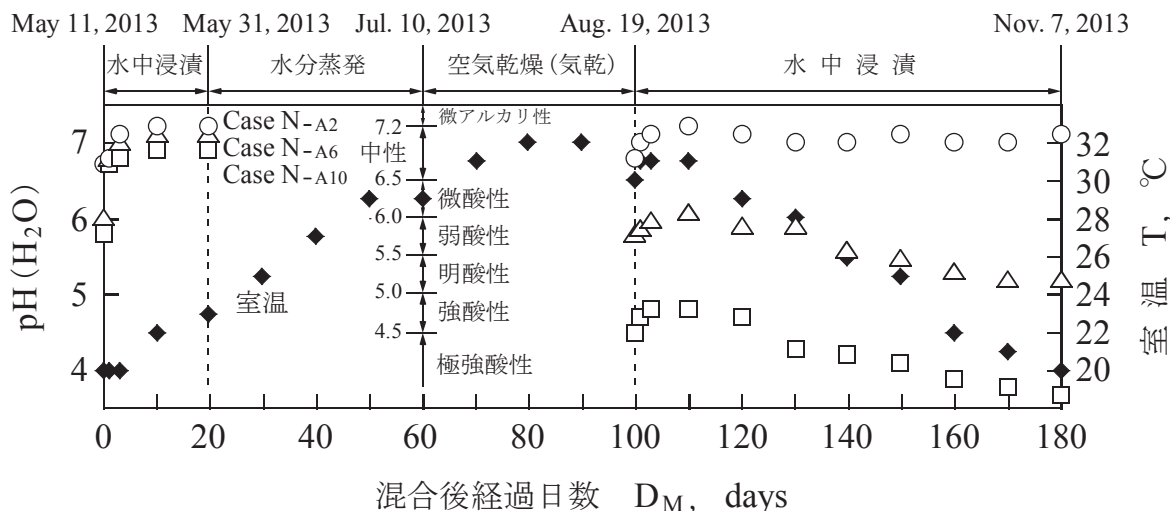
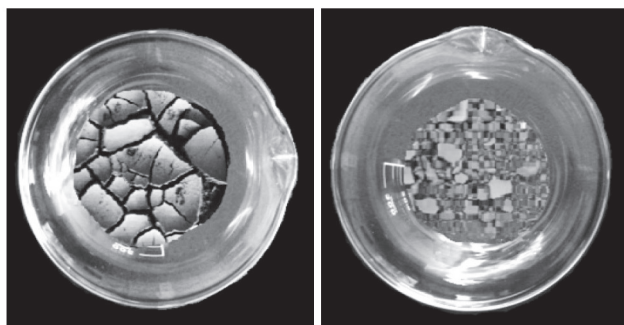


図-5 水中浸漬—水分蒸発—気乾過程を経た中性土・極強酸性土混合試料のpHの測定値



混合後経過日数 D_M : 60 days [Jul. 10, 2013]

写真-4 Case N-A10の外観

図-5は、測定を始めた2013年5月から終了した11月までの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の経時変化を、室温 T (記号◆)や途中の操作をも含めて示したものである。横軸には、中性土・極強酸性土混合試料を作製して以来の日数を「混合後経過日数 D_M 」と表記してある。

Case N-A2(記号○)は、混合試料を水中浸漬の状態に置いた $D_M=0\sim 20$ 日にかけて中性のままであり、N-A6(△)とN-A10(□)は混合当日には微酸性と弱酸性を呈したが、翌日($D_M=1$ 日)以降はともに中性域を推移した。なお、この期間における中性土単体の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は6.8~7.3、極強酸性土単体では2.9~3.2であった。

著者らは、第1の操作として混合後経過日数 $D_M=20$ 日をもって $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の測定を一旦中断し、ラップフィルムでビーカーを覆うのを止めて蒸留水の気化を促した。40日経った7月上旬($D_M=60$ 日)におけるCase N-A10の外観を、写真-4(左)に示す。ビーカーの底に沈殿した塊状の混合試料の表面は、乾いてひび割れが発生していた。しかし、内部には

多少の湿り気が残っていた。

続いて、第2の操作として同じ日($D_M=60$ 日)に塊状の混合試料を攪拌棒の先で圧してほぐし、残存水分を満遍なく散点して空気乾燥(気乾)の状態に置いた。そのときの外観を、写真-4(右)に示す。さらに40日が経過した8月下旬($D_M=100$ 日)の時点でCase N-A2、N-A6、N-A10の含水比 w は計算上でそれぞれ17.6%、15.3%、18.5%となり、混合試料を作製した段階で w の高かったN-A10(前出表-5参照)へと概ね低下していたので、改めて3つのビーカーに蒸留水を注いで $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の測定を再開した。

混合試料を2度目の水中浸漬の状態に置いたのは、測定時の室温が5月上旬の20℃と等しくなった11月上旬までの80日間であった。

Case N-A2は、短く見積もっても40日にわたる好気性の過程(=気乾)を経ても、混合後経過日数 $D_M=0\sim 20$ 日の嫌気性の過程(=1度目の水中浸漬)と同じく中性域を逸しなかった。それに対して、気乾を機にN-A6は微酸性、弱酸性や明酸性の領域にあり、N-A10は $D_M=100\sim 120$ 日にかけて強酸性を、 $D_M=130\sim 180$ 日には極強酸性を呈した。

植生・緑化の分野において、植物は中性から弱酸性の領域で旺盛に生育するけれども、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が低下して強酸性や極強酸性の領域にいたると生育障害を招き、著しい場合には根系が酸に侵されて枯死するとされている¹⁰⁾。これに抛れば、Case N-A10は植生不良の土壌となって石灰資材の投入、中和能に優れる有機質土壌改良剤の散布や客土などの対策工を施す必要がある。

土壌微生物が発育可能な地中温度について、文献11)では嫌気性の硫酸還元菌は28~37℃、好気性の硫黄酸化細菌および鉄酸化細菌は25~37℃および

10～37℃が増殖する範囲としている。ビーカー内の混合試料の温度を直接測るのは困難であったので今回は室温Tを記録したが、このうち気乾状態に置いた40日間は好気性の細菌の発育に支障をきたさない環境下にあったと推察される。

pH(H₂O)の最終測定(混合後経過日数D_M=180日)の後、落射型蛍光顕微鏡で微生物の生息観察を行った。その結果、Case N-A₂では死菌を含む夾雑物と生菌との見分けがつかず、N-A₆やN-A₁₀では夾雑物とは別に橙色に光る細菌が映った。ただし、それが極強酸性土に元来生息していたものか、増殖の痕跡を留めるものかを判定するにはいたらなかった。

いずれにしても、極強酸性土を湿潤質量で3～5割混ぜ合わせた中性土に好气的条件が付加されると酸化反応が現れ、かつ、pH(H₂O)は極強酸性土の混合量を増やすほど低くなることが明らかとなった。

5. まとめ

硫化鉱物である黄鉄鉱を含有するものの、長期にわたり中性を呈する土の化学的性質を調べる目的でふるい分けした土の粒径と鉱物組成との関係、モル比C/SとpH(H₂O)との関係を追究するとともに、培養法および直接検鏡法による微生物存否の確認、さらには、中性土・極強酸性土混合試料を嫌気性、好気性の環境下に置いた場合に酸化反応が進行するか否かの確認を行った。

以下に、本研究で得られた主要な成果を列挙する。

(1) $500\mu\text{m} \leq d < 2\text{mm}$, $150\mu\text{m} \leq d < 500\mu\text{m}$, $75\mu\text{m} \leq d < 150\mu\text{m}$ および $d < 75\mu\text{m}$ に分級した中性土のX線回折分析において、これら4つの粒度範囲の全てに黄鉄鉱、方解石、二水石膏が含まれ、このうち、二水石膏は細粒ほど回折強度Iが大きくなる傾向にあった。

(2) 希釈平板法でコロニーは形成されず、直接検鏡法では生菌の存在を確認できなかった。この微生物生息検定の結果がpH(H₂O) ≤ 3.5でも、さらに、モル比C/S < 0.5であっても中性域を逸しない根拠の1つになっている。

(3) 中性土に極強酸性土を混ぜ合わせ、これを好気性の環境下に一定期間置くと酸化反応が進行する。このような事象は、極強酸性土の混合量が湿潤質量比3割以上で現れ、割合を大きくするほどpH(H₂O)はより低くなる。したがって、中性から酸性へ移行した後は、一般的な化石性酸性硫酸塩土壌に準じた対策を講じる必要がある。

謝 辞

研究の遂行にあたり、多大なご協力ならびに貴重なご助言を頂戴した東京工業高等専門学校 庄司 良准教授、株式会社福井環境分析センター 山口秀尚氏に厚く御礼申しあげる。また、試料の調整、pH測定やデータ整理に携わった福井工業高等専門学校の学生諸君に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 山田幹雄・佐野博昭・稲澤知洋・田辺和康：黄鉄鉱含有土のスレーキング特性と力学的性質、建設用原材料、第21巻、第1号、pp.1-8 (2013年3月)
- 2) 久馬一剛・高谷好一・村上英行・佐々木信夫・北村 信：酸性硫酸塩土壌、アーバンクボタ、第25号、pp.2-31 (1986年3月)
- 3) 岩田進午・喜田大三 監修：土の環境圏、フジテクノシステム、pp.27-30 (1997年5月)
- 4) 農林水産省・新潟県農林水産部編：新潟県における土づくりの進め方 -3 化学性の改善-、pp.71-74 (2005年2月)
- 5) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル -暫定版-、pp.54-55 (2010年3月)
- 6) (社)地盤工学会 地盤調査法改訂編集委員会編：地盤材料試験の方法と解説 -二分冊の1-、pp.314-315 (2009年11月)
- 7) 北田奈緒子・木村隆行・岩城啓美・磯野陽子：理学的試験による堆積環境と地盤特性の評価法 -地盤特性の解釈の精緻化-、土と基礎、第54巻、第8号、pp.22-24 (2006年8月)
- 8) 五十嵐敏文・大山隆弘・斎藤典之：黄鉄鉱を含む堆積岩の溶出水酸性化ポテンシャルに関する実験的検討、応用地質、第42巻、第4号、pp.214-221 (2001年10月)
- 9) 山中健生：微生物が家を破壊する -コンクリートの腐食と宅地の盤膨れ-、技報堂出版、pp.24-60 (2004年8月)
- 10) 中野裕司：極強酸性土壌のり面の緑化について、新潟応用地質研究会誌、第37号、pp.28-39 (1991年12月)
- 11) 陽田秀道：新第三紀層泥岩の生化学的風化現象と被害、土木学会論文集、No.617/Ⅲ-46、pp.213-224 (1999年3月)

(2013年11月3日受付 2014年2月17日受理)