

# 硫黄添加によるアルカリ性土壌の中性化実験

## — 製鋼スラグで地盤改良された表層の植栽基盤への検討 —

### Neutralization Experiment of Alkaline Soil by Sulfur Addition

#### - Investigation of the Surface Layer of Soil Improved by Steelmaking Slag for Basement of Planting -

白石祐彰\* 奥野隆司\*\*

#### 要 旨

軟弱な地盤に対する地盤改良の化学的処理工法のひとつに製鋼スラグを原料とする改良材を土と混合する工法がある。しかし、製鋼スラグ製品が含有する石灰の影響で土壌の pH が 10~12 (アルカリ性) に上昇するため、植栽基盤には適さない。そのため、アルカリ性土壌を場外搬出し、良質客土を搬入して植栽基盤にすることが多いが、アルカリ性土壌に市販の資材を混合して中性に近づけることができれば、植栽基盤となり得る。そこで、土地区画整理事業において腐植土層を軟弱地盤改良用製鋼スラグにより混合改良したアルカリ性土壌 (pH11 程度) を用いて、硫黄添加による中性化実験およびコマツナ栽培試験を実施した結果、自然降雨および直射日光の条件下で硫黄酸化細菌の働きにより pH が低下することが確認できた。また、硫黄の添加量は、上記の製鋼スラグ混合土壌 1kg に対し 12g~24g が適量であることが分かった。

キーワード：製鋼スラグ、アルカリ性土壌、中性化、植栽基盤、硫黄酸化細菌

#### 1. まえがき

地盤の強さが、計画している構造物を支えるだけの耐力がなく、建物に悪影響 (主に沈下) を及ぼすような軟弱な地盤に対しては、地盤改良が行われる。地盤改良では、施工実績や使用材料が製品化され、入手しやすいということから、化学的処理工法である固結工法が多用されている。固結工法のひとつにセメント・石灰系の材料を改良材として土と混合する工法があるが、近年、製鋼スラグを原料とする改良材が開発された。製鋼スラグとは、高炉で製造された溶銜やスクラップから、韌性、加工性のある鋼にする製鋼工程で生成される溶融スラグを冷却・固化し、所定の粒度に加工調整した碎石状の土工用材料である。

固化材の原料を製鋼スラグに変えることにより、以下のような利点がある。

- i. 材料費が安価となるので、経済性の向上が図れる
- ii. 粒度改善効果が得られるため、早期強度発現が可能となり、施工性の向上が図れる
- iii. 施工時の発塵が殆どなくなるので、防塵対策が不要となり、作業環境が向上する

しかし、製鋼スラグ製品は、含有する石灰の影響で土壌の pH が 10~12 (アルカリ性) に上昇し、植物に生育

障害を生じさせる。植物生育への影響を防止するためには、街路樹や緑地帯などの土地の利用状況に応じて、植物の根の深さを目安に掘削して、アルカリ性土壌を場外搬出 (最終処分場で産業廃棄物として処理) し、その後黒土などの良質土を購入して敷ならす作業が必要になる。しかし、アルカリ性土壌を中性 (pH で 8 以下) に近づけることができれば、運搬・処分・資材購入にかかる費用を削減でき、安価な地盤改良工法となる。

そこで、土地区画整理事業において、腐植土層 (田んぼ跡のため稲根等有機物を含む軟弱土) を軟弱地盤改良用製鋼スラグにより混合改良したアルカリ性土壌を入手し、これを中和矯正することで植栽基盤として成立させるための試験を実施したので報告する。

#### 2. アルカリ土壌中性化実験

##### 2.1 市販の資材による実験

市販されているアルカリ土壌中和剤 (4 種類) を添加混合することによる土壌 pH 低下の効果について調べた。

##### a. 実験方法

軟弱地盤改良用製鋼スラグにより改良されたアルカリ性土壌は、バックホーによる混合攪拌であったためスラグの塊が存在していたので、土壌をモルタルミキサーで

\* 技術研究所環境研究グループ \*\* 投資開発事業本部不動産開発部

攪拌し、スラッグの塊を粉砕してから使用した。土壌の pH は 11.2 であった。

ワグネルポット（作物栽培試験用の容器：φ240mm 高さ 294mm）にアルカリ性土壌と中和剤を入れ、攪拌機で 1 週間に 1 回攪拌した（写真-1、2）。なお、対照として、中和剤を添加しない実験ケースを設けた（表-1）。ワグネルポットを屋外に置き、土壌 pH をおよそ 2 週間に 1 回測定した。



写真-1 攪拌機

写真-2 攪拌状況

表-1 実験ケース

試料名	資材(中和剤)	添加量
なし①		-
なし②	なし(pH11.2)	-
Dr.pH汚泥用	ドクターペーパー汚泥用	122kg/m <sup>3</sup>
アルカリメイトL	アルカリメイト	30L/m <sup>3</sup>
アルカリメイトH		60L/m <sup>3</sup>
硫黄L	試薬用硫黄粉末	0.75kg/m <sup>3</sup>
硫黄H		1.5kg/m <sup>3</sup>
硫酸マグネシウムL	硫酸マグネシウム	0.04kg/kg
硫酸マグネシウムH		0.08kg/kg

b. 実験結果

経過日数にともなう pH の変化を図-1 に示す。実験開始からおおよそ 50 日後、pH 減少効果があった中和剤は、ドクターペーパー汚泥用、試薬用硫黄粉末、硫酸マグネシウムであった。試験結果から資材コストを勘案し、アルカリ土壌中和剤として工業用の微粉硫黄（大型のローラーミル粉砕機により粉砕・分級した、粉末状の硫黄）を選択した。

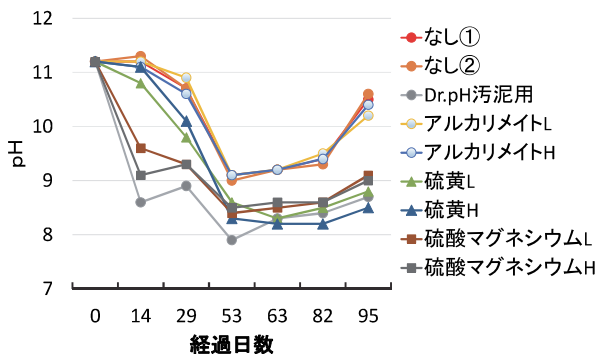
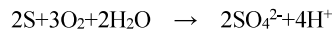


図-1 経過日数にともなう pH の変化

2.2 硫黄添加に関する室内実験

アルカリ性土壌に硫黄を添加すると、土着の硫黄酸化細菌によって以下の反応が行われ、酸が発生することで、土壌 pH が低下する。硫黄酸化細菌は土壌や底質中に普遍的に存在する。



硫黄酸化細菌の細胞内には、硫黄を消化（代謝）する様々な酵素が存在し、硫黄をエネルギー源として利用する。

アルカリ性土壌に硫黄を添加し、常温に静置して室内実験を行い、土壌 pH の低下状況を経過観察した。

a. 実験方法

軟弱地盤改良用製鋼スラッグ混合土壌と微粉硫黄をモルタルミキサーで混合攪拌し、ディスポカップ（ポリプロピレン製）300mL 容器に 500g 詰めた。底にはφ3mm 排水孔を開けた。微粉硫黄の添加量を表-2 に示す。ディスポカップに詰めた土壌は、低濃度、中濃度、高濃度それぞれ 7 個ずつで用意した。恒温・恒湿室（20℃、60%）にディスポカップを静置し、1 週～10 日に 1 回、50～100mL を散水した。なお、実験期間中に土壌の攪拌は行わなかった。土壌 pH は、ディスポカップの土壌を全量取出し、均一化して計測した。

b. 実験結果

経過日数にともなう pH の変化を図-2 に示す。実験開始の pH は 11.2 であった。実験開始からおおよそ 130 日後に、高濃度の実験ケースでは pH が 8 以下となり、実験開始からおおよそ 250 日後に中濃度の実験ケースで pH が 8 以下となった。

2.3 屋外実験

室内実験により、アルカリ性土壌に硫黄を添加すると、

表-2 微粉硫黄の添加量

名称	土壌1kgに対する添加量
低濃度	8g
中濃度	16g
高濃度	24g

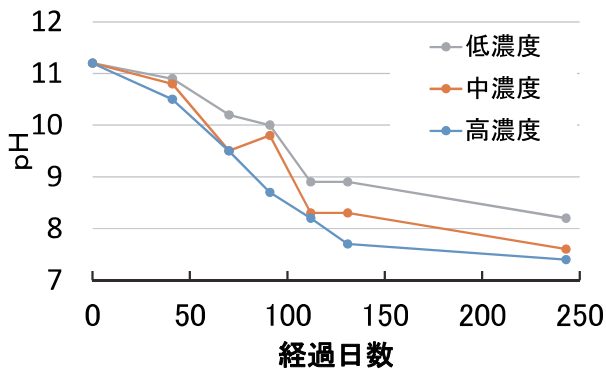


図-2 経過日数にともなう pH の変化

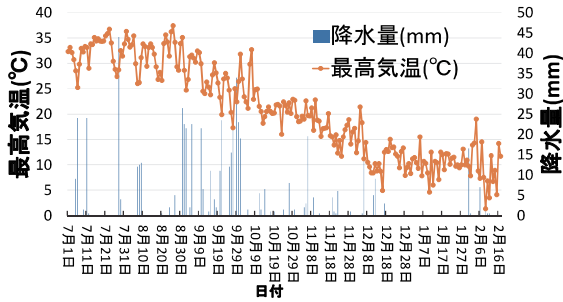


図-3 つくば市の最高気温と降水量の推移

土壌 pH が低下することを確認できたことから、直射日光および自然降雨の条件下で同様の効果を発揮することを確認するため、屋外実験を実施した。

a. 実験方法

土壌を2軸パドルミキサーで攪拌し、スラグの塊を粉碎してから使用した。土壌の pH は 11.0 であった。

80cm×80cm×深さ40cmの木製の容器を製作し、底には排水目的にφ9mmの穴を49個開けた。容器の下層10cmはアルカリ性土壌105kg敷設した。

土壌と微粉硫黄を2軸パドルミキサーで混合攪拌した後、容器に土壌315kgを詰めて上層30cmを形成した。微粉硫黄の添加量を表-3に示す。土壌を詰めた容器は屋根のない屋外に静置した(2018年6月29日)。静置状況を写真-3に示す。容器に詰められた土壌の表層は直射日光の影響があったと考えられる。実験を実施したつくば市の実験期間中の最高気温と降水量の推移を図-3に示す。

土壌 pH 計測のため、検土杖(けんどじょう)を用いて深さ0~25cmの土壌を採取した。検土杖は、主に表層地質調査などに用いられる道具で、ハンドルを回転させながら土壌に差し込み、削り取られた土壌が先端の円形筒状の溝(採土部)に収まり、引き抜くと採土される(写真-4、5)。

ケース	土壌1kgに対する添加量
L1	12g
L2	
M1	24g
M2	
H1	36g
H2	



写真-3 試験開始の状況



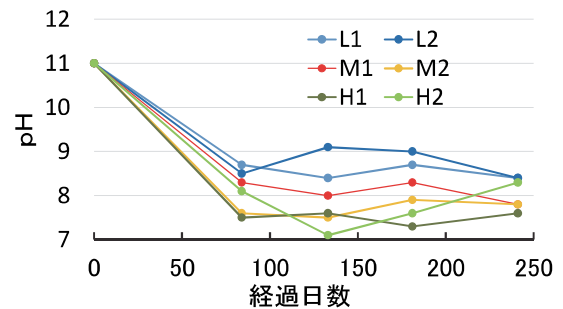
写真-4 検土杖

写真-5 採土部

b. 実験結果

経過日数にともなう pH の変化を図-4に示す。実験開始からおよそ80日後に、実験ケース M1、M2、H1、H2 では pH が 8 前後となり、その後も pH が 8 前後で推移した。この結果、人為的に散水を行わなくても、自然降雨だけで硫酸化細菌が働き、硫黄から酸を生成することで、土壌 pH が低下することが分かった。

図-4 経過日数にともなう pH の変化



c. 土壌の膨張

試験開始から3か月程度経過した頃に、土壌が膨張した。すべての実験ケースで天端から土壌が隆起し、いくつかの実験ケースでは木製の容器の木枠が押し広げられた(写真-6、7)。膨張した土壌について、3D計測ソリューションにより体積計測を実施した。計測結果を図-5に示す。実験開始時に容器に詰めた土壌の体積(256L)と膨張した土壌の体積から、土壌の膨張率を算出した結果、膨張率は6%~18%であった。土壌の膨張率と土壌1kgに対する硫黄添加量との関係を図-6に示す。図より、膨張率は概ね添加量に比例していた。

製鋼スラグには、遊離石灰の水和反応による膨張特性があり、道路用路盤材として使用する前にはエージング処理(遊離石灰の膨張を事前に進行させることで、製鋼スラグの膨張を抑制)がされている。膨張率は、JIS A 5015-2013により1.5%以下に定められている。

土壌の膨張率の原因について調査した範囲では、製鋼スラグの成分と硫黄からエトリンガイト(3CaO・Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・3CaSO<sub>4</sub>・32H<sub>2</sub>O)が生成し、その際の体積膨張によるものと推察される<sup>1,2)</sup>。



写真-6 天端からの土壌の隆起



写真-7 木枠が押し上げられた状況

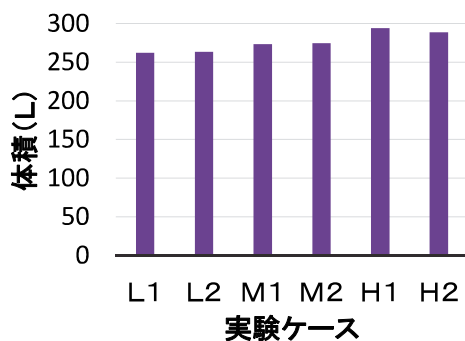


図-5 膨潤した土壌の体積

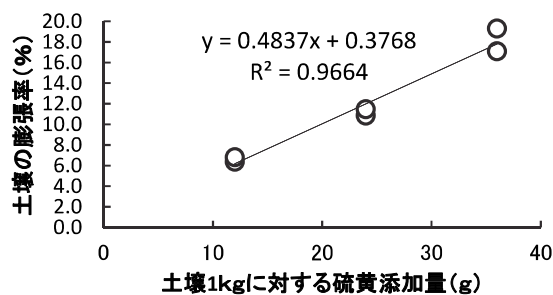


図-6 土壌の膨張率と硫黄添加量との関係

#### 2.4 土壌膨張の再現実験

今夏の実験では、木製（木材を組み立てて作成した）の容器を用いたため、土壌の膨張によって木枠が押し上げられた。そこで、堅固な容器（材質：ハイインパクトスチロール樹脂）であるワグネルポット（約 15.4L）を用いたときに天端から土壌が隆起する様子を観察するための実験を行った。

#### a. 実験方法

土壌を2軸パドルミキサーで攪拌し、スラグの塊を粉砕してから使用した。土壌のpHは11.7であった。

土壌と微粉硫黄を2軸パドルミキサーで混合攪拌した後、ワグネルポットに土壌 18.3 kg を詰めた。微粉硫黄の添加量を表-4に示す。土壌を詰めた容器は屋根のない屋外に静置し（2019年6月12日）、土壌の膨張は目視により観察した。

#### b. 実験結果

実験開始から51日後（2019年8月2日）の試験体の状況を写真-8に示す。WM および WH で土壌の膨張が認められた。天端から隆起した土壌の高さを画像処理から概算し、天端から隆起した土壌の体積Vについて、球を一つの平面で切り取った空間図形（球欠）として、下式により算出し、さらにワグネルポットの容量（約 15.4L）に対する膨張率を求めた（表-5）。

$$V = 16 \pi h (3c^2 + h^2)$$

ここで、 $h$ ：天端から隆起した土壌の高さ

$c$ ：ワグネルポットの円筒の半径（128mm）

実験開始から103日後（2019年9月23日）の試験体のpHを表-6に示す。

#### 2.5 圃場試験

土壌の膨張がワグネルポットを用いた実験でも確認できた。ポット試験は、一定条件で試験を行うので再現性がある点で意義はあるが、ポットは小面積で側面も外気に触れているために温度条件は圃場の場合と大いに異なる<sup>3)</sup>。そこで、実地盤での施工に少しでも近づけるために圃場に 1.4m×1.4m×深さ 0.4m の区画を掘削し、そこに製鋼スラグ混合土壌に硫黄を添加した土壌を入れ整地した。木枠とポットという小規模かつ限定された条件下で確認された膨張にくらべ、時間経過により地面からどの程度隆起するかを長期的に観察する圃場試験を実施することで、実環境で再現されるのかを確認する。微粉硫黄の添加量を表-7に示す。圃場試験を数年継続し、観察を続ける予定である。

#### 3. ポリプロピレン鉢を用いたコマツナ栽培試験

製鋼スラグは、鉍さいけい酸質肥料、副産石灰肥料、鉍さいりん酸肥料、特殊肥料の原料として用いられている<sup>4)</sup>。したがって、軟弱地盤改良用製鋼スラグは植物に害を与えないと考えられるが、コマツナを栽培することで確認した。

表-4 微粉硫黄の添加量

試験体名	土壌1kgに対する添加量
WG-1, 2, 3	0g
WL-1, 2, 3	6g
WM-1, 2, 3	12g
WH-1, 2, 3	18g





写真-8 実験開始から51日後の試験体の状況  
 左上：WG-1、2、3 右上：WL-1、2、3  
 左下：WM-1、2、3 右下：WH-1、2、3

表-5 天端から隆起した土壌の高さと体積と膨張率

	高さ(mm)			体積(L)			膨張率(%)		
	-1	-2	-3	-1	-2	-3	-1	-2	-3
WL	20.5	18.3	18.3	0.52	0.47	0.47	3.4	3.1	3.1
WM	33.8	34.8	34.8	0.89	0.92	0.92	5.8	6.0	6.0
WH	30.7	34.6	34.6	0.81	0.91	0.91	5.3	5.9	5.9

表-6 実験開始から103日後の試験体のpH

	-1	-2	-3
WG	10.4	10.5	10.5
WL	7.9	7.7	7.8
WM	7.2	7.2	7.3
WH	7.2	7.0	6.5

表-7 圃場試験における微粉硫黄の添加量

	土壌1kgに対する添加量
区画A	0g
区画B	12g

### 3.1 試験方法

#### a. 供試土壌

2.3 屋外実験において天端から隆起した土壌を鋤取り、供試土壌として用いた。対照として、硫黄を添加していない製鋼スラグ混合土壌を用いた（試験ケース：N）。栽培試験開始時のpHを表-8に示す。土地区画整理事業から入手した製鋼スラグ混合土壌は、テント倉庫内に盛られて2年弱の間、保管されていたため、空気中の二酸化炭素により中性化が進み試験ケースNのpHは8.4まで低下していた。天端から隆起した土壌は、太陽からの日射で加熱されやすく、硫黄酸化細菌の働きが活発になり、検土杖を用いて採取した深さ0~25cmの土壌よりもpHが低くなっていたと推察された。

#### b. 栽培試験の手順

- ① 土壌2.5kgと化成肥7.5gを混合攪拌した
- ② ポリプロピレン鉢に土壌を詰めた
- ③ コマツナ40粒を播種した（2019年4月16日）

- ④ 適宜散水し、病害虫対策として農薬散布を行った
- ⑤ 間引いて、4個体残して栽培した
- ⑥ 植生調査を実施した（2019年6月25日）

### 3.2 試験結果

H1およびH2は出芽したが、初期生育が不良で、すべて枯死した。pHが低すぎたことが原因と考えられ、製鋼スラグ混合土壌1kgに対し硫黄添加量が36gでは多すぎたことが分かった。

植生調査を実施したときの試験ケースN、L、MのpHを表-9に示す。試験ケースMのpHが試験開始時よりも上昇しているが、これは製鋼スラグ混合土壌に含まれる石灰によって、試験期間中にH<sup>+</sup>イオンが減少し、Ca<sup>2+</sup>イオンが増加したことによると推察される<sup>9)</sup>。

植生調査として採取したコマツナの葉数、地上部の高さ、地上部重量、地下部重量、地上部乾燥重量、地下部乾燥重量を測定した。4個体の平均を図-7~12に示す。Hを除くすべての試験体において葉数に差はほとんどなかった。しかし、地上部の高さ、地上部重量、地下部重量、地上部乾燥重量、地下部乾燥重量は M > L > Nの順であった。これらの結果により、硫黄添加量は、製鋼スラグ混合土壌1kgに対し12g~24gが適量であることが分かった。また、軟弱地盤改良用製鋼スラグは植物に害を与えないことが確認できた。

表-8 試験開始時のpH 表-9 植生調査実施時のpH

ケース	鉢1	鉢2	鉢3	ケース	鉢1	鉢2	鉢3
N	8.4	8.4	8.3	N	8.8	8.8	8.7
L1	7.6	7.6	7.7	L1	7.9	8	8.1
L2	7.7	7.6	7.7	L2	8.2	7.8	8.0
M1	4.7	4.9	5.2	M1	7.0	7.1	7.3
M2	5.6	5.3	5.2	M2	7.6	7.3	7.2
H1	3.7	3.9	3.7				
H2	3.9	3.9	3.9				

### 4. 土壌中の硫黄酸化細菌の同定と定量

試験に用いた腐植土層に土着の硫黄酸化細菌が存在することを明らかにし、硫黄添加に順応して硫黄酸化細菌が増殖・活性化していることを定量的に把握するために、分子生物学的解析手法を用いた。近年の分子生物学的手法の急速な進歩により、細菌DNAの塩基配列の決定が容易になった。DNAの塩基にはアデニン(A)・チミン(T)・グアニン(G)・シトシン(C)の4種類あり、この並び方を塩基配列という。

PCR (Polymerase Chain Reaction: ポリメラーゼ連鎖反応) は非常に有効な遺伝子増幅法で、その開発により微量のDNAが増幅・解析できるようになった。リアルタイムPCRは、増幅していく過程をリアルタイムでモニタリングすることができ、迅速性と定量性に優れた分析を行うことが可能である。

また、次世代シーケンサー (DNA) の塩基配列を読

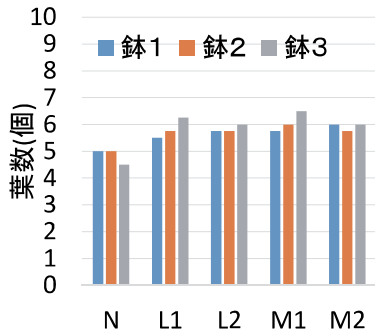


図-7 葉数の測定結果

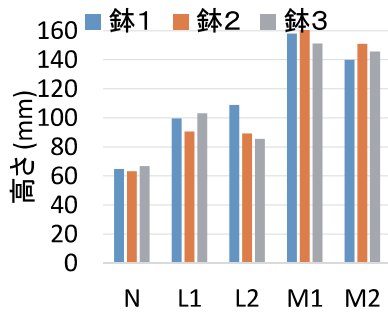


図-8 地上部の高さの測定結果

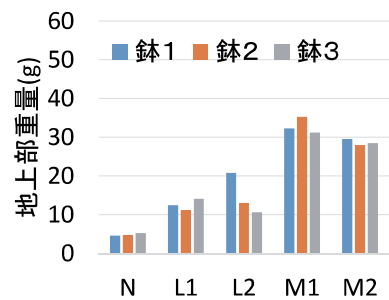


図-9 地上部重量の測定結果

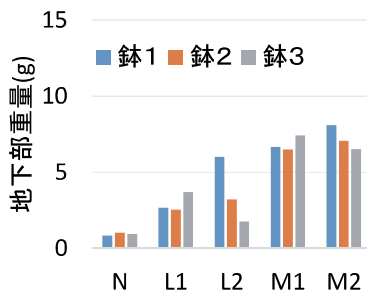


図-10 地下部重量の測定結果

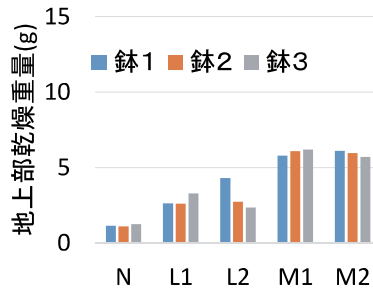


図-11 地上部乾燥重量の測定結果

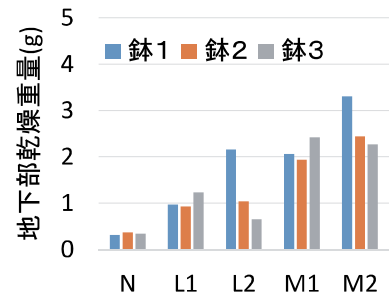


図-12 地下部乾燥重量の測定結果

甲

み取る装置)を使用した細菌の全塩基配列(全ゲノム)解析から細菌の特定領域の塩基配列を決定し、既存データベースの登録配列との一致率を比較することにより、同定を行うことができる。

表-10 微粉硫黄の添加量

試験体名	混合土壌1kgに対する硫黄の添加量
WN	0 g
WL	6 g
WM	12 g
WH	18 g

表-11 試験開始時および開始から3か月後のpH

試験体名	試験開始時	開始から3か月後
WN		10.5
WL	11.7	7.7
WM		7.3
WH		6.5

#### 4.1 分析方法

##### a. 供試土壌

軟弱地盤改良用製鋼スラグ混合土壌と微粉硫黄を2軸パドルミキサーで混合攪拌し、ワグネルポット(体積14L)容器に約18.3kg詰めた。微粉硫黄の添加量を表-10に示す。試験体は、技術研究所(茨城県つくば市)の屋外に静置した(2019年6月13日)。試験開始時および開始から3か月後(9月23日)のpHを表-11に示す。

##### b. 細菌叢解析

土壌からDNAを抽出して精製し、表-12に示すプライマー(DNAの合成・複製に必要な試薬)を用いたリアルタイムPCRを実施し、土壌試料中のバクテリア、硫黄酸化細菌の定量を行った。*Thiobacillus*属細菌は、最も代表的な硫黄酸化細菌である<sup>9)</sup>。また、硫黄酸化細菌を含む細菌属について同定するために、次世代シーク

表-12 リアルタイムPCRに使用したプライマー

プライマー名	配列	標的遺伝子	標的細菌
Bac1055YF	ATGGYTGTCGTCAGCT		
Bac1392R	ACGGGCGGTGTGTAC	16SrRNA遺伝子	バクテリア
Bac1115Probe	CAACGAGCGCAACCC		
soxB-710F	ATCGGYCAGGCYTTYCCSTA	soxB遺伝子	硫黄酸化細菌
soxB-1184R+	MAVGWGCCGTTGAARTTGC		( <i>Thiobacillus</i> 属細菌を含む)
BONE663cF	AGGGGGGTRGAATTCCA	16SrRNA遺伝子	<i>Thiobacillus</i> 属細菌
THIO840R	TCGTTACTAAGGGATTTCAC		(硫黄酸化細菌)

エンス解析を行った。

4.2 分析結果

リアルタイム PCR による各細菌種の定量結果を表-13 に示す。バクテリアの検出数は、試料 WM≒WH>WL>WN の順で多かった。一方で硫黄酸化細菌は、*Thiobacillus* 属細菌も *Thiobacillus* 属細菌を含む硫黄酸化細菌も試料 WH>WM>WL>WN の順で検出数が多かった。硫黄の添加量が多くなるにともない、バクテリアおよび硫黄酸化細菌が増加した。とくに *Thiobacillus* 属細菌については、WL は WN の約 10 倍、WH と WM は WN の約 100 倍と著しい増加が認められた。

次世代シーケンス解析によって同定された硫黄酸化細菌は、*Paracoccus* 属、*Sulfuriferula* 属、*Thermithiobacillus* 属、*Thiobacillus* 属、*Thiomonas* 属、*Thiovirga* 属、*Bosea* 属、*Dyella* 属、*Mesorhizobium* 属であった。試料における各硫黄酸化細菌属の検出割合を表-14 に示す。*Thiobacillus* 属に次いで、*Sulfuriferula* 属が優占していることが分かった。

5. まとめ

土地区画整理事業において、腐植土層を軟弱地盤改良用製鋼スラグにより混合改良したアルカリ性土壌を用いた硫黄添加による中性化実験およびポリプロピレン鉢を用いたコマツナ栽培試験の実施により、以下のことが分かった。

- i. 軟弱地盤改良用製鋼スラグにて改良されたアルカリ性土壌に硫黄を添加し混合すると、その後攪拌しなくても自然降雨および直射日光の条件下で硫黄酸化細菌の働きにより pH は低下する
- ii. 製鋼スラグ混合土壌 1kg に対し、硫黄の添加量は

12g~24g が適量である

また、分子生物学的解析手法を用いて、以下のことが分かった。

- iii. リアルタイム PCR による各細菌種の定量結果において、腐植土壌には土着の硫黄酸化細菌が存在し、硫黄の添加量が多くなるにともない、硫黄酸化細菌が増加した
- iv. 次世代シーケンス解析によって、最も代表的な硫黄酸化細菌である *Thiobacillus* 属に次いで、*Sulfuriferula* 属が優占していることが分かった

6. あとがき

製鋼スラグで改良されたアルカリ性土壌は、市販の微粉硫黄を適量添加することで中和矯正でき、コマツナの生育も確認できた。一方で、エトリンタイトの生成による土壌の膨張が見られた。

今後は圃場実験を通して、土壌膨張の課題解決を図りたいと考えている。

【謝辞】

本研究では、東京農工大学農学部 土壌学研究室 田中治夫准教授に技術指導をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 山田幹雄、佐野博昭、稲澤知洋、小木曾晴信、「石灰質の安定材を添加した酸性硫酸塩土における強度増分とエトリンタイト生成量との関係」、材料、Vol.67、No.1、pp.67-70、2018
- 2) 野澤里渚子、斎藤 豪、佐藤賢之介、佐伯竜彦、「乾燥条件および温度履歴がエトリンタイト結晶中の水分状態に及ぼす影響」、セメント・コンクリート論文集、Vol.70、No.1、pp.2-8、2016
- 3) 高橋英一、「長期圃場試験の意義」、化学と生物、Vol.13、No.12、pp.787-796、1975
- 4) 伊藤公夫、「製鋼スラグの肥料用途」、新日鉄住金技報、No.399、pp.132-138、2014
- 5) 梅津芳生、「硫酸酸性水の石灰石による析出セッコウ」、石膏と石灰、No.234、pp.299-305、1991
- 6) 山田常雄、前川文夫、江上不二夫、八杉竜一、小関治男、古谷雅樹、日高敏隆、「岩波 生物学辞典 第2版」、p.41、1977

表-13 各細菌種の定量結果

試料名	硫黄酸化細菌		
	バクテリア	<i>Thiobacillus</i> 属細菌を含む全体	<i>Thiobacillus</i> 属細菌
	[copies/g]	[copies/g]	[copies/g]
WN	3.9 × 10 <sup>7</sup>	2.0 × 10 <sup>6</sup>	1.8 × 10 <sup>5</sup>
WL	6.6 × 10 <sup>7</sup>	6.7 × 10 <sup>6</sup>	2.6 × 10 <sup>6</sup>
WM	1.1 × 10 <sup>8</sup>	2.4 × 10 <sup>7</sup>	1.5 × 10 <sup>7</sup>
WH	9.6 × 10 <sup>7</sup>	5.1 × 10 <sup>7</sup>	2.8 × 10 <sup>7</sup>

表-14 各硫黄酸化細菌属の検出割合 (%)

属名	WN	WL	WM	WH
<i>Paracoccus</i> 属	0.02	0.04	0	0
<i>Sulfuriferula</i> 属	0.01	0.20	4.55	14.28
<i>Thermithiobacillus</i> 属	0	0.22	0.23	0.12
<i>Thiobacillus</i> 属	0.04	2.01	7.27	13.54
<i>Thiomonas</i> 属	0	0	0.84	3.14
<i>Thiovirga</i> 属	0	0	0.01	0.01
<i>Bosea</i> 属	0.07	0	0.08	0
<i>Dyella</i> 属	0	5.21	0	0.47
<i>Mesorhizobium</i> 属	0.14	0.09	0.09	0.07