

## 建設発生土の再生処理における中和剤添加量の理論的検討

芝浦工業大学大学院 ○(学)浅野博哉・(学)椎名基貴・(学)中尾晃揮  
野崎興業 (非)野崎鉄也・(非)早尾清司・(非)土屋弘子  
芝浦工業大学 (非)小泉陸人・(正)稲積真哉

## 1. はじめに

2015年9月の国連サミットにて、持続可能な開発目標(SDGs)が採択されて以降、持続可能でより良い社会の実現に向けた取り組みが世界全体で推進されている。特に建設業は他の産業の生産活動に比べて、膨大な資源を消費し、大量の廃棄物を生み出しており、その果たすべき役割は大きいと考えられる。現在、建設汚泥は焼成処理や熔融処理して固化、粒状にすることによって埋め戻しや裏込め材などの土質材料として再利用されているものの、その種類の多様性や統一的な評価基準が無いこと等によって再資源化率が低い値にとどまっている。

建設業界ではSDGsのあらゆる局面に関与しており、特にSDGs12に設定されている”つくる責任つかう責任”の項目について、環境負荷抑制のために、建設現場で発生するアスファルト、コンクリート塊等の建設資源を再資源化しようという取り組みが活発になってきている。2018年度に行われた建設副産物実態調査結果(表-1参照)によると、どの建設副産物においても概ね目標値をクリアしているが、建設発生土については唯一目標値をクリアしておらず、建設発生土の有効な利用法に関する議論は未だ途上であるといえる。

そこで本研究では、建設発生土をリサイクルすることを目標とし、社会が容易にリサイクルすることができるマネジメントシステムを確立することを目的としている。マネジメントシステムの確立に当たって、本研究では中和剤添加量に着目した。その理由として、現在までに建設発生土に用いられる中和剤は数多く開発されているが、中和剤の適切な添加量に関しての研究は行われておらず、経験則で添加量を決定し、中和処理を行ってきたため、添加量不足による中和不良や、添加過多による土壌汚染が問題視されていることが挙げられる。そのため、中和剤添加量を導くことが出来る理論式を導出することを本研究の目的とする。具体的には、中和剤添加量の理論式を導出し、その算出結果と実試験結果を比較することで、整合性を検討した。

## 2. 中和に必要な中和剤添加量の理論式の導出

本研究では、中和に必要な中和剤添加量の理論式において、式(1)に示す一般的な中和滴定の関係式から導出する。

$$n_a v_a = n_b v_b \quad (1)$$

ここで、 $n_a$ は酸の物質質量(mol)、 $v_a$ は酸の価数、 $n_b$ は塩基の物質質量(mol)、 $v_b$ は塩基の価数である。

続いて、理論式の導出において以下の仮定をする。

- (1) 建設発生土に含まれるアルカリ成分は、全て水酸化カルシウム由来( $v_b = 2$ )のものとする。
- (2) 中和剤および水酸化カルシウムの電離度は1とし、酸および塩基はすべて電離するものとする。
- (3) 中和剤を添加した建設発生土内で生じる中和反応は水溶液内と同様に全方位で中和反応が起こるものとする。

建設発生土に含まれる塩基の物質質量については、建設発生土のpHから推定する。pHから塩基の物質質量を推定する背景として、現時点では建設発生土に対して容易に塩基の物質質量自体を測定する機器は開発されておらず、現場においても比較的測定が容易なpHを採用した。

建設発生土に含まれる塩基の物質質量をpHから算出する際、地盤工学会規定のpH測定法に基づき、建設発生土の炉乾燥質量に対する水の質量比が5になるよう加水し、その水溶液内での塩基の物質質量を導出する。まず、塩基のモル濃度を式(2)から算出する。

$$[OH^-] = 10^{(pH-14)} \quad (2)$$

ここで、 $[OH^-]$ は塩基のモル濃度(mol/L)、pHは建設発生土のpHである。続いて、水溶液の体積を式(3)から算出する。

$$V_{aq} = \frac{5m_s(1-\frac{w}{100})}{\rho_w} \quad (3)$$

表-1 2018年度における建設副産物実態調査結果<sup>1)</sup>

	平成24年度	平成30年度	平成30年度 -平成24年度	建設リサイクル推進計画2014	
				平成30年度 目標値	目標値 達成状況
アスファルト・コンクリート塊の再資源化率	99.5%	99.5%	0.0%	99%以上	達成
コンクリート塊の再資源化率	99.3%	99.3%	0.0%	99%以上	達成
建設発生木材の再資源化・縮減率	94.4%	96.2%	1.8%	95%以上	達成
建設汚泥の再資源化・縮減率	85.0%	94.6%	9.6%	90%以上	達成
建設混合廃棄物の再資源化・縮減率	58.2%	63.2%	5.0%	60%以上	達成
建設混合廃棄物の排出率	3.9%	3.1%	-0.8%	3.5%以下	達成
建設廃棄物の再資源化・縮減率	96.0%	97.2%	1.2%	96%以上	達成
建設発生土有効利用率	77.8%	79.8%	2.0%	80%以上	未達成

表-2 建設発生土の物性値

	建設発生土
湿潤質量 $m_s$ (g)	200 / 20,000
含水比 $w$ (%)	34.5
pH	11.76

キーワード：建設発生土、中性化、中和剤添加量

連絡先：〒135-8548 東京都江東区豊洲3丁目7-5 (TEL: 03-5859-8360; FAX: 03-5859-8401)

ここで、 $V_{aq}$ は水溶液の体積(L)、 $m_s$ は建設発生土の湿潤質量(g)、 $w$ は建設発生土の含水比(%),  $\rho_w$ は水の密度(=998g/L)である。式(2)および式(3)より、塩基の物質量は式(4)から算出される。

$$n_b = [OH^-] \times V_{aq} = 10^{(pH-14)} \times \frac{5m_s(1-\frac{w}{100})}{\rho_w} \quad (4)$$

そして、式(1)および式(4)より、中和に必要な中和剤添加量の理論式を式(5)とする。

$$m_a = M_a \times n_a = \frac{M_a v_b}{v_a} \times 10^{(pH-14)} \times \frac{5m_s(1-\frac{w}{100})}{\rho_w} \quad (5)$$

ここで、 $m_a$ は中和に必要な中和剤添加量(g)、 $M_a$ は酸のモル質量(g/mol)である。

### 3. 建設発生土における中和剤添加による中和滴定試験と理論式の比較

#### 3.1 中和滴定試験

本研究で導出した中和剤添加量の理論式を評価するため、建設発生土を用いた中和滴定試験を実施した。本試験で用いる中和剤としては、市販で購入でき、取り扱いが容易である、クエン酸を採用した。建設発生土 200g に対して手練りで中和剤を混ぜる試験と、建設発生土 20kg に対して中和剤を攪拌機により混ぜる試験を実施した。本試験で用いた建設発生土の物性値を表-2 に示し、中和剤の化学的性質を表-3 に示す。

#### 3.2 中和滴定試験結果と理論式の比較

建設発生土に対する中和剤を用いた中和滴定試験結果を図-1 に示す。まず、試験結果について、中和剤の添加に応じて pH は理論上、指数関数的に変化するが、本試験では線形的に変化することが確認された。このような変化が生じた原因として、土には pH の変化を和らげる pH 緩衝能<sup>2)</sup>があり、土中の溶存種、鉱物、有機物、微生物等が反応を阻害し、本試験においても pH の下降が遅延されたと考える。また、機械練り試験では、中和に必要な中和剤の量が手練り試験よりも少ない結果となった。この要因としては、手練りでは中和剤が建設発生土全体に行き届かず、中和反応が妨げられたことが考えられる。このことから、攪拌過程は中和剤の添加量に大きく影響を与えるため、中和に必要な中和剤を削減するためには、中和剤が全体に行き届くよう攪拌することが必要であると考えられる。

中和時 (pH=7) における理論値と試験結果の比較として、理論値と手練り試験結果は 27.5 倍、手練り試験結果とは 15.8 倍の乖離が生じた。このような乖離が生じた要因としては、理論式では土中の pH 緩衝作用を考慮できていない点、アルカリの原因物質である水酸化カルシウムは僅かしか間隙水に溶出しなため、土中で生じる中和反応は水溶液内での中和反応と異なる点が大きく影響していると考えられる。本理論式において以上の要因を考慮し、理論式の再構築および得られた理論値に安全率を掛ける等の補正が必要であると考えられる。

### 4. おわりに

建設発生土リサイクルのためのマネジメントシステムを確立するため、適切な中和剤添加量の理論式の構築および整合性の検証を行った。本研究では、中和滴定理論および建設発生土の pH から理論式を導出し、実試験結果と比較することで整合性を検討した。本研究の成果を以下に示す。

- 1) 試験結果と乖離があったものの、中和滴定理論および建設発生土の pH から、中和に必要な中和剤添加量を理論的に求めることに成功した。乖離の要因として、土中の pH 緩衝作用を考慮できていない点、土中で生じる中和反応は水溶液内での中和反応と異なる点が考えられる。以上の要因を考慮し、理論式の再構築および得られた理論値に安全率を掛ける等の補正が必要である。
- 2) 試験結果から土中の pH 緩衝作用を確認された。加えて、攪拌方法の違いにより中和に必要な中和剤添加量が異なることが確認された。中和剤が建設発生土全体に行き届かず、中和反応が妨げられたと考えられ、中和に必要な中和剤を削減するためには、攪拌過程が重要であると考えられる。

本研究の課題として、導出した理論式では実現象との乖離が大きいため、土中の pH 緩衝作用等を考慮した理論式を導出する必要がある。そのため理論式の改良と平行して、試験を積み重ねることで整合性の高いデータを取得し、乖離を少なくする必要がある。加えて、土特異の現象である pH のリバウンド現象に関しても考慮する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：平成 30 年度建設副産物実態調査結果【参考資料】、総合政策局公共事業企画調整課、pp.1-5、2018。
- 2) 佐藤努、野澤笑子、西田崇人：土壌の pH 緩衝作用とそのモデリング、土壌物理学、土壌の物理性、第 138 号、pp.21-26、2018。

表-3 中和剤の化学的性質

	クエン酸
価数 $v_a$	3
モル質量 $M_a$ (g/mol)	192.12
pH	2.78

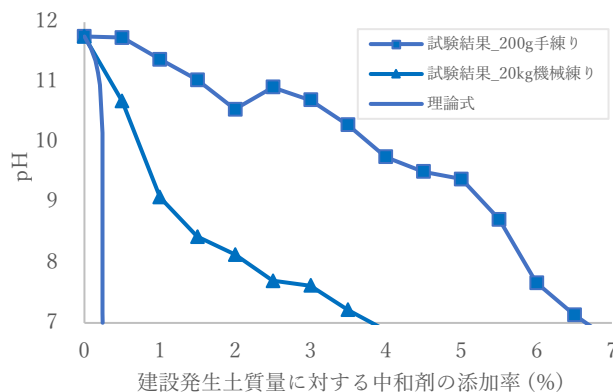


図-1 中和滴定試験結果および理論値