中和剤混合による高アルカリ建設発生土の植栽基盤層としての可能性[†]

稲積 真哉* 関谷 美里** 橋田 弘之*** 岡本 郁也**** 中馬 忠司*****

Potential for Planting Base of Highly Alkaline Soils Generated from Construction by Mixing Neutralizing Agents

by

Shinya INAZUMI*, Misato SEKITANI**, Hiroyuki HASHIDA***,

Ikuya OKAMOTO**** and Tadashi CHUMAN*****

In late years, quantity of construction by-products tends to increase in our country. Therefore, dumping restraint of construction by-products and promote those recycling are the most critical issue from a viewpoint of establishing the recycling society. In the other hand, soils generated from construction generally show strong alkalinity because cements are mixed. Thus, the cost at the time of the disposal of soils generated from construction becomes expensive, and it is thought that it has a great influence on environment when the soils is disposed by no improvement. However, it is the present conditions that technique in consideration of the influence on environment with non-appropriate processing is not established. Therefore, a vegetation is applied for an index indicating a recycling potential of soils generated from construction. This paper is inspected experimentally to the potential of soils generated from construction as a planting base by mixing neutralizing agents. It was realized that the soils generated from construction had vegetation by mixing neutralizing agents.

Key words:

Construction by-products, Neutralizers, Planting base, Soils generated from construction

1 緒 言

都市部の建設工事において発生する建設発生土の大部分は廃棄物として投棄され、そのため埋戻しや整地のためには新材として山砂等が搬入される場合が多い。一方で、建設発生土は近年も増加傾向にあり、環境保全および循環型社会構築の側面から建設発生土の更なる発生抑制と再利用の推進が急務とされている^{1),2)}。

その中でも地盤改良工事に伴う建設発生土の多くは建設工事時にセメントが混入しており、セメントの主成分である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が強いアルカリを示す。そのため、結果的に建設発生土は強アルカリ性を示す。よって、建設発生土を無処理で廃棄すると、周辺環境に多大な影響を与えることが考えられる。本研究では上記の建設発生土の問題点を把握した上、建設発生土の植栽基盤層としての再利用に関する実験的な検討を行う。具体的には、植栽基盤層としての再利用の可能性を表す指標として pH および EC (電気伝導度) に着目し、pH 試験、EC 試験および植栽試験を実施する。

2 建設発生土、中和剤および植栽基盤層

2.1 建設発生土の現状

建設発生土は、平成 14 年に中央環境審議会より、「今

後の廃棄物、リサイクル制度の在り方について」が意見され、掘削土砂の埋戻し等による建設発生土砂の搬出の抑制や、発生土砂とその土砂利用に係る情報交換の促進、およびストックヤードの整備等による有効利用の促進等の取組みを体系的に進め、必要な対策を講じていることが適当であるとの指摘を受けている³⁾。一方、一部では大量の土砂が放置や不法投棄等の形で不適正に処理されており、自然環境ならびに生活環境に多大な影響を及ぼしていることも現状として挙げられる。また、大量の建設発生土を内陸受入地に搬出する一方で、その 2 割弱の量に相当する新材を購入するといった極めて歪な状況が様々な弊害をもたらしていることも看過できない。経済性や環境負荷の低減を考慮すると、建設発生土の今後の課題として以下の事項が挙げられる^{4),5)}。

- (1) 建設発生土の不適正処理による自然環境への影響
- (2) 工事間利用が進んでいないことに起因する、新材採取に伴う自然環境への影響

ただし、上記の課題に関しては、有効な対策手法が確立されていない現状である。

建設発生土が産業廃棄物として扱われる主要因は pH が高く、強アルカリの性質を有することである。建設発

[†] 原稿受理 平成29年5月18日 Received May 18, 2017 ©2017 The Society of Materials Science, Japan

* 正 会 員 芝浦工業大学 〒135-8548 東京都江東区 Shibaura Institute of Technology, Koutou-ku, Tokyo, 135-8548.

** 京都大学大学院 〒606-8501 京都市左京区 Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501.

*** スミセ建材(株) 〒112-0004 東京都文京区 Sumice Kenzai Co., Ltd., Bunkyo-ku, Tokyo 112-0004.

**** 賛助会員 (株) エステック 〒551-0021 大阪市大正区 Estec Co., Ltd., Taisho-ku, Osaka, 551-0021.

生土に対する既往の改良工法では、土中で硫酸を生成させることで pH を下げると同時に、残った酸がアルカリ分と反応して塩類を生成することによって EC が上昇する問題がある。EC が上昇すると塩類過多の状態を生み出す他、pH が元の状態に戻るリバウンド現象が現れる可能性がある。すなわち、高アルカリ建設発生土の改良は困難を極めている。本研究では、高アルカリ建設発生土の再利用の可能性を評価する指標として植栽を採用し、建設発生土に各種の中和剤を混合することで建設発生土の植栽基盤層としての利用可能性を検討するとともに、各種中和剤の有効性について検討を行う。

2.2 植栽基盤層の環境条件

本研究では建設発生土の改良目的に植栽基盤層としての植栽の有無に着目しており、植栽の有無を表す指標として pH および EC に着目し、各々の指標で植栽可能な範囲を環境条件（植栽条件）とする。

2.2.1 pH pH とは水素イオン濃度指数を示し、pH 7 を中性とし、値が小さくなるにつれて酸性、値が大きくなるにつれてアルカリ性を示す指標である。極度の酸性、アルカリ性域では植物が育つことは難しい。一方、地盤改良工事に伴う建設発生土の多くは建設工事時にセメントが混入しており、セメントの主成分である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が強いアルカリを示す。本研究では pH を植栽に適している中性（pH 6～8）にすることが第一の目標である。

2.2.2 EC EC とは一般に電気伝導度と呼ばれる指標で、塩類が溶液になると解離してイオン状態になる。イオンが多くなるほど電気が通りやすくなることを利用し土壌溶液中の塩類濃度を測定する^{6), 7)}。

EC が高すぎると、土中の塩類濃度が必要以上に存在するので植物が育つことは難しい。また、EC が低いと十分な塩類が供給されなくなるため、植物が育つことは難しいと考えられる。これまでの改良工法では pH を下げる際に EC が高くなり、植栽に影響を与えるケースが多いため、まずは pH を下げつつ EC も安定させる必要がある。既往研究による pH および EC に関する環境条件⁸⁾を Table 1 に示す。

2.3 使用した建設発生土および中和剤

本研究では、添加する中和剤以外の試験条件を統一させるために、現場で採取した建設発生土を元に試料を模擬的に作製した。模擬建設発生土の成分および植栽条件を Table 2 に示す。さらに、模擬建設発生土の pH をアルカリ性から中性に下げることが目的に、中和剤として 4 種類の材料を選択する。用いた中和剤の初期 pH ならびに模擬建設発生土に対する混合比（質量比）を Table 3 に示す。

2.3.1 クエン酸 柑橘系に含まれる有機化合物であり、ヒドロキシ酸のひとつである。カルボキシル基を 3 つ有する弱酸性で、食品添加物等で多用されている。また、クエン酸の塩はカルシウムイオンとキレート結合するため、水酸化カルシウムが主成分であるセメントとの反応を期待して本研究における中和剤の一つとして利

Table 1 Requirements for planting base

pH	6 to 8
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	400 to 1500

Table 2 Combination and characteristics of simulating soil generated from construction

Solidification agents	Cement
Classification of Soils	Sand
Dry density (g/cm^3)	1.7
Water-Cement ratio (%)	80
Additional quantity of solidification agent (kg/m^3)	300
pH	11
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	600

Table 3 Initial pH of each neutralizing agent and mixing amount (weight ratio)

Neutralizing agents	Initial pH	Mixing amount (Weight ratio)
The citric acid	1	12%
The LCS	4	50%
The wood chip generated from construction	6	50%
The citric acid + the wood chip generated from construction		12% + 50%

用する⁴⁾。

2.3.2 LCS 発酵によって糖類から多量の乳酸を産生し、且つ悪臭の原因になるような腐敗物質を作らないものを乳酸菌という。乳酸菌は比較的低い pH 条件下でよく増殖している。本研究では、水溶液にすると酸性を示すアルコールに強い耐性を持っているラクトバチルス属に分類される LCS を用いる。

また、LCS は 40℃ 前後が最も繁殖しやすい環境であるとされている他、好塩性で塩分濃度が高い環境下では更によく増殖する。

2.3.3 建設発生木材 木材を腐朽させる有機物の内、特に木材に含まれる難分解性のリグニン、セルロース、ヘミセルロースを分解する能力を持つものに木材不朽菌がある。この木材腐朽菌を中和剤として用いるために、建設リサイクル法により再資源化等が義務付けられている建設発生木材を用いる。また、木材腐朽菌は、湿度 85%以上、木材含水率が 20%以上で温度は 20～30℃、高温多湿の環境を好む。また、栄養分は木材に含まれるリグニン、セルロース、ヘミセルロースであるため、本研究の実験条件は木材不朽菌が繁殖しやすい環境下にあるといえる。

2.3.4 クエン酸＋建設発生木材 クエン酸によるセメントとの反応、および建設発生木材に含まれる木材不朽菌による分解能力を合わせて発揮させるために、クエン酸と建設発生木材を混合したものを模擬建設発生土に混合する。

3 植栽基盤層としての可能性に関する実験的検討

3.1 pH 試験および EC 試験

模擬建設発生土 200g に中和剤を各々の分量（クエン酸 24g, LCS 100g, 建設発生木材 100g, クエン酸 24g+建設発生木材 100g）混合し、十分に攪拌した後に 100g を取り出す。なお、各々中和剤の混合量は予備試験の結果を基に決定している。取り出した試料を 250g の水に混合した時点を混合直後とし、混合直後、材齢 2 日、4 日、10 日、28 日における pH および EC を、pH メーターおよび EC メーター（携帯型交流 4 電極方式）により各々測定する。これにより、混合直後から材齢 28 日までの pH および EC の推移が示され、中和剤の混合による模擬建設発生土の pH および EC 指標に関する適用性を検討する。

Fig. 1 は pH 試験の結果を示している。pH の植栽条件は中性域である 6~8 である。模擬建設発生土の pH の時間推移は 11 で一定であったため、植栽基盤層としての機能は期待できないことが確認できる。

Fig. 1 で示すクエン酸を混合した際の pH の時間推移によると、混合直後に pH が 7 となり低下がみられたが、材齢 2 日目から pH は強アルカリ域を示した。液体として混合したクエン酸が、建設発生土中に含まれる細菌によって分解されることにより、気体として放出されるリバウンド現象が生じたと考えられる⁹⁾。

LCS と建設発生木材は混合直後には pH 値に変化は確認されないものの、材齢が経過した後は pH が中性域へと低下する。これは、LCS と木材腐朽菌の双方において繁殖に時間を要する一方で、繁殖後は各々が有機物としての役割を果たすため pH が中性域で安定するものであると考えられる。

クエン酸と建設発生木材を混合した際の pH の推移について、混合直後にはクエン酸の効果が発揮されるため一時的に pH が減少し、その後 2 日目からは木材腐朽菌が繁殖しているためクエン酸によって減少した pH が安定することが考えられる。

Fig. 2 は材齢 2 日における EC 試験の結果を示している。EC の植栽条件は 400~1500 μ S/cm である。模擬建設発生土の EC は 600 μ S/cm であり植栽条件を満たしているが、pH を減少させる際に EC が上昇する場合がある。そのため、pH 試験と並行して EC 試験を行うことによって、中和剤を混合させた場合の EC の変化を観察する。

EC の指標において有効であると考えられるのは、建設発生木材のみを混合する場合とクエン酸と建設発生木材を混合する場合である。これは木材腐朽菌に分解されずに残ったセルロース、ヘミセルロース、リグニンが塩を分解したためであると考えられる。しかしながら、本研究で用いた EC の単位が μ S/cm であり、変化量は微小であるため、EC に大きな影響を及ぼさないと考えられる。

また、クエン酸のみを混合する場合と LCS のみを混合する場合では、EC が各々 2000 μ S/cm, 1900 μ S/cm と植栽

Fig. 1 Change in pH in simulating soil generated from construction mixed with each neutralizing agent

Fig. 2 Change in EC in simulating soil generated from construction mixed with each neutralizing agent

Table 4 Status of vegetation observed in planting experiment

Neutralizing agents	Seminal corrosion	Germination of the plant
Without Neutralizing agents	×	×
The citric acid	×	×
The LCS	×	×
The wood chip generated from construction	●	●
The citric acid + the wood chip generated from construction	●	●

Corrosion: × No corrosion: ●
Germination: ● No germination: ×

条件範囲を大きく上回った。これはクエン酸、LCS に含まれる塩が大きく影響している。これより、クエン酸を混合した場合と LCS を混合した場合は、植栽としての効果は期待できないと考えられる。

3.2 植栽試験

模擬建設発生土 200g に中和剤を各々の分量（クエン酸 24g, LCS 100g, 建設発生木材 100g, クエン酸 24g+建設発生木材 100g）混合して十分に攪拌したものに、ハツカダイコンの種子を植栽し発芽の観測を行う。本研究

では発芽までの期間が5日程度と比較的短期間であるハツカダイコンを採用する。植栽から5日後の発芽の状況を観測し、その他の試験結果と比較する。

模擬建設発生土に各々の中和剤を混合した際の植栽効果の変化を観察する¹⁰⁾。Table 4は植栽試験結果の一例を示している。模擬建設発生土における植栽試験の結果では、ハツカダイコンは種子から芽が出ることがなく腐食していることから、植栽機能sがないことが確認できる。

植栽試験を通して、植栽が可能となる中和剤は建設発生木材、およびクエン酸と建設発生木材を混合したものであることがわかる。Table 4によると、両者ともハツカダイコンが発芽していることが確認できる。また、建設発生木材、およびクエン酸と建設発生木材を混合したものについては、根が伸びていることも確認できたことから植栽基盤としての機能を発揮していると判断できる。

クエン酸、LCSを混合する場合では、ハツカダイコンの種子から発芽の傾向がみられなかった。その要因として、前述のリバウンド現象によるpHの上昇や中和剤に含まれる塩によるECの上昇などが考えられる。

4 結 言

本研究では、高アルカリを呈する建設発生土の植栽基盤層としての再資源化を目標とし、植栽基盤層としての模擬建設発生土のpH、ECおよび植栽状況に対して様々な中和剤の適用性を実験的に検討した。それにより得られた知見を以下に示す。

- (1) 中和剤としてクエン酸を使用した場合、pHの減少が一時的なものであり、材齢2日時点で強アルカリを示す。またECもクエン酸に含まれる塩が大きく影響し、多大な増加が確認された。これより、植栽試験においてもハツカダイコンの発芽傾向は確認されず、クエン酸は中和剤として適切でないといえる。
- (2) 模擬建設発生土にLCSを混合した場合、LCSの繁殖にある程度の期間が必要であるため、混合直後にはpHの変化は確認されないものの、材齢経過後には中性域を示した。一方で、LCSに含まれる塩によりECは急増し、植栽試験においても発芽は観察されなかった。
- (3) 建設発生木材、およびクエン酸と建設発生木材を混合したものはpH試験、EC試験ともに植栽条件を満たした。EC試験では、建設発生木材に含まれる木材腐朽菌が分解しきれなかったセルロース等が塩を分解することによるECの変化は発生したが、変化量は微小であったため大きな影響はないといえる。
- (4) 植栽試験より、模擬建設発生土に植栽機能を持たせることができた中和剤は、建設発生木材、クエン酸と建設発生木材を混合したものであることが確認できた。また、植栽条件を各試験結果と比較すること

で、植栽条件が妥当であることも確認された。

本研究で得られた知見より、中和剤を用いて改良を行うことで、建設発生土に植栽基盤層としての機能を持たせることが可能であることが示された。また建設発生木材は建設リサイクル法にて再資源化が規定されていることから、建設発生土と建設発生木材の再資源化率の増加を同時に実現することが可能となる。今後は植栽基盤層としてより現実的な検討を行うため、植栽条件として重要となる硬度や排水性能について検証を行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) D. Kim, J. Song, T. Setsu, T. Ueda and S. Park, "About create planting base use of construction generating soil and waste system nutritive salts", Kyushu Journal of Forest Research, No.57, pp.140-143, (2004).
- 2) Public Works Research Center (PWRC), "http://www.pwrc.or.jp/books/book_002.html", (1997).
- 3) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), "http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/01/011007_2_.html", (2003).
- 4) Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), "http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/pdf/150616-1_kinki_1.pdf", (2000).
- 5) I. Shima, "Recycling in the tree planting mechanic", Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology, Vol.27, No.4, pp.555-556, (2002).
- 6) S. Saito, T. Kishigami and H. Akagi, "Improvement of lime stabilized soil performance in view of vegetation", Proceedings of the 39th Japan National Conference on Geotechnical Engineering, pp.2685-2686, (2005).
- 7) Y. Tanaka, R. Toyama and H. Akagi, "Neutralizing of strongly alkaline soil and its vegetation properties", Proceedings of the 42th Japan National Conference on Geotechnical Engineering, pp.2093-2094, (2007).
- 8) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), "http://www.mlit.go.jp/common/000205829.pdf", (2012).
- 9) T. Tokunaga, Y. Nagafuchi, S. Tagami, N. Sera and S. Kitamori, "Isolation and characterization of PCE-degrading bacteria", Journal of Water and Environment, Vol.17, No.10, pp.679-686, (1994).
- 10) M. Sekitani, K. Seki, S. Inazumi and H. Hashida, I. Okamoto, "Applicability of alkaline soils generated by constructions to vegetation bed layer by mixing neutralizers", Proceedings of the Twelfth National Symposium on Ground Improvement, pp.229-234, (2016).