

高分子系改質剤を用いた廃棄物土の選別

Waste Separation Technology for Waste Mixed Soil Using Synthetic Polymer Additive

花木 陽人*1 武村 直幸*2 日高 典哉*3
Akito Hanaki Naoyuki Takemura Noriya Hidaka
森田 俊成*3 大山 将*4 吉岡 由郎*5
Toshinari Morita Sho Oyama Yoshiro Yoshioka

要旨

滋賀県栗東市の旧 RD 最終処分場における不適正処理事案二次対策工事において、底面粘土層の修復等のために掘削した廃棄物土は、現場に設置した選別処理施設により廃棄物と選別土に選別し、選別土は場内埋戻しに利用した。選別助剤として使用した高分子系改質剤の適正な添加量の把握を目的として、改質剤添加量や廃棄物土の含水率および選別後の各品目の容積割合について長期的にデータ収集し、それらの相関関係について統計解析手法により考察した。

キーワード：不適正処理事案 廃棄物土 廃棄物選別技術 高分子系改質剤 統計解析

1. はじめに

滋賀県栗東市の旧 RD 最終処分場における不適正処理事案二次対策工事では、位置を特定できた汚染原因物質を含む廃棄物（以下、原因物質等と称す）の掘削除去を行うとともに、底面粘土層の修復と側面に露出した地下水帯水層の遮水を行った。掘削除去された廃棄物を含む土砂（以下、廃棄物土と称す）は、現場内に設置した選別処理施設により廃棄物と選別土に選別され、選別土は場内の埋戻しに利用された。廃棄物土の選別時には、選別助剤として高分子系改質剤を添加・混合することで、選別しやすい状態に改質を行った。

本報告では、廃棄物土に対する高分子系改質剤の添加量や、廃棄物土の含水比および選別処理後の各品目容積割合について長期的にデータ収集し、それらの相関関係についての考察結果を報告する。

2. 工事概要

工事名：平成 25 年度第 RD-3 号旧産業廃棄物最終処分場二次対策工事

発注者：滋賀県琵琶湖環境部最終処分場特別対策室

施工監理者：株式会社建設技術研究所

受注者：鴻池・不動テトラ・八田建設工事共同企業体

工期：2013（平成 25）年 12 月 20 日

～2021（令和 3 年）3 月 25 日

工事目的：旧 RD 最終処分場において、位置を特定でき

た原因廃棄物等の掘削除去を行う。また、底面粘土層の修復と側面に露出した地下水帯水層の遮水を行い、あわせて浸透水を揚水処理することにより、生活環境保全上の支障およびその恐れを除去する。

工事内容：①廃棄物掘削工	1 式
②廃棄物土選別工	1 式
③汚染地下水拡散防止対策工	
鉛直遮水、底面遮水工	1 式
浸透水揚水工	1 式
キャッピング工	1 式
④浸透水処理施設工	1 式

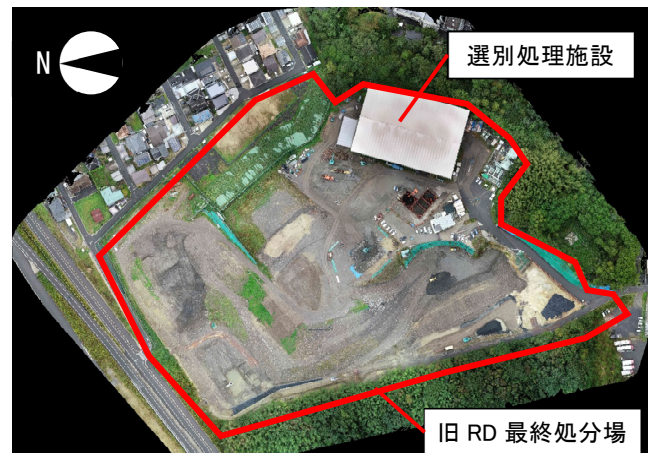


写真 1 現場全景

*1 環境エンジニアリング本部 環境企画部
*4 環境エンジニアリング本部 環境技術部

*2 名古屋支店 土木部 *3 大阪本店 土木部
*5 環境エンジニアリング本部 環境ソリューション部

3. 廃棄物土の選別

3.1 廃棄物土の選別処理フロー

掘削した廃棄物土は、図1に示す選別処理フローにより、埋戻し可能な「選別土」や「選別再生資材」と場外搬出処分する「選別除去廃棄物」に選別した。ここで、選別土とは主に50mm以下の土砂であり、一定量ごとに重金属類溶出量・ダイオキシン類含有量について分析し、管理基準値以下であることを確認した後に場内の埋戻しに利用した。選別再生資材とは主に50mmを超えるアスファルト・コンクリート類で、場内においてフィルター層等の栗石などとして再利用した。選別除去廃棄物とは主に廃プラスチック類・木くずなどの可燃物と瓦・レンガなどの不燃物であり、廃棄物として場外搬出処分した。

まず、廃棄物土は重機・人力により粗選別し、有害物を除去した。粗選別後はスクリーンに投入し、120mm超過のものについては重機・人力により、選別再生資材と選別除去廃棄物に選別した。120mm以下のものは土質改良機に投入し、選別助剤として高分子系改質剤を添加・混合することで選別しやすい状態に改質した。改質後物はスクリーンに投入し、50mm以下、50～100mm、100～120mmに選別した。

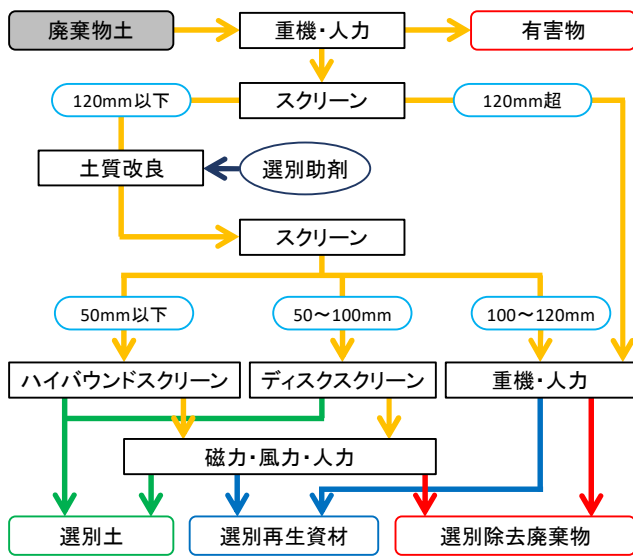


図1 廃棄物土選別処理フロー



写真2 選別処理施設全景（仮設テント内）

50mm以下のものはハイバウンドスクリーン（高精度精砂選別機）に投入し、ふるい下のものは選別土として回収した。50～100mmのものはディスクスクリーンに投入し、ふるい下のものは選別土として回収した。100～120mmのものは重機・人力により、選別再生資材と選別除去廃棄物に選別した。ハイバウンドスクリーンおよびディスクスクリーンのふるい上のものについては磁力・風力・人力により、選別土、選別再生資材、選別除去廃棄物に選別した。

3.2 高分子系改質剤・クリーンウォーター

先述のとおり、廃棄物土の選別時には、選別助剤として高分子系改質剤を添加・混合することで選別しやすい状態に改質を行った。ここで用いた高分子系改質剤は「クリーンウォーター（NETIS番号：KT-130011-A[2020.4掲載終了]、特許5774373号：廃棄物の分別方法）」（以下、CWと称す）であり、本工事のような不適正処分場における埋設廃棄物の処理¹⁾のほか、災害廃棄物・津波堆積物の処理²⁾³⁾や、建設発生土に混入した廃棄物の処理に使用した実績がある。CWによる改質メカニズムを図2に示す。

廃棄物土の従来の改質方法としては、生石灰による改質が挙げられる。生石灰による改質とは、廃棄物土に生石灰を添加・混合することで、生石灰と土砂中の水分との水和発熱反応により土砂含水比を低減させ、選別しやすい性状に改質するものである。しかし、改質した土砂のpHが上昇する点や、改質効果が発揮されるまで養生期間（1日）が必要である点などの問題点があった。一方でCWは、pHが中性であるため中和処理が不要であり、さらに、改質効果が即時に発揮されるなどの特徴を持つ。生石灰とCWの性能比較表を表1に示す。

表1 生石灰・CW性能比較

性能	生石灰	クリーンウォーター
添加量	・30kg/m ³ 以上	・1～2kg/m ³
工程	・養生期間(1日)が必要	・効果が即発揮されるため養生期間が不要
品質	・土砂含水比の低減により分別精度良化	・剥離性の向上により分別精度良化
施工性	・養生スペースが必要 ・土砂pHが上昇するため場合によっては中和処理が必要	・養生スペースが不要 ・土砂pHは中性のままのため中和処理が不要
周辺環境への影響	・分別精度良化により回収土砂量が増加 ・粉体を添加し、乾燥させるため、改質・分別時に粉じんが発生 ・発熱により廃棄物が発火するおそれあり	・分別精度良化により回収土砂量が増加 ・液体製品もあり、改質時に乾燥させないため、改質・分別時の粉じん発生量を低減 ・無発熱のため廃棄物が発火するおそれ無し
価格	・比較的安価	・比較的高価

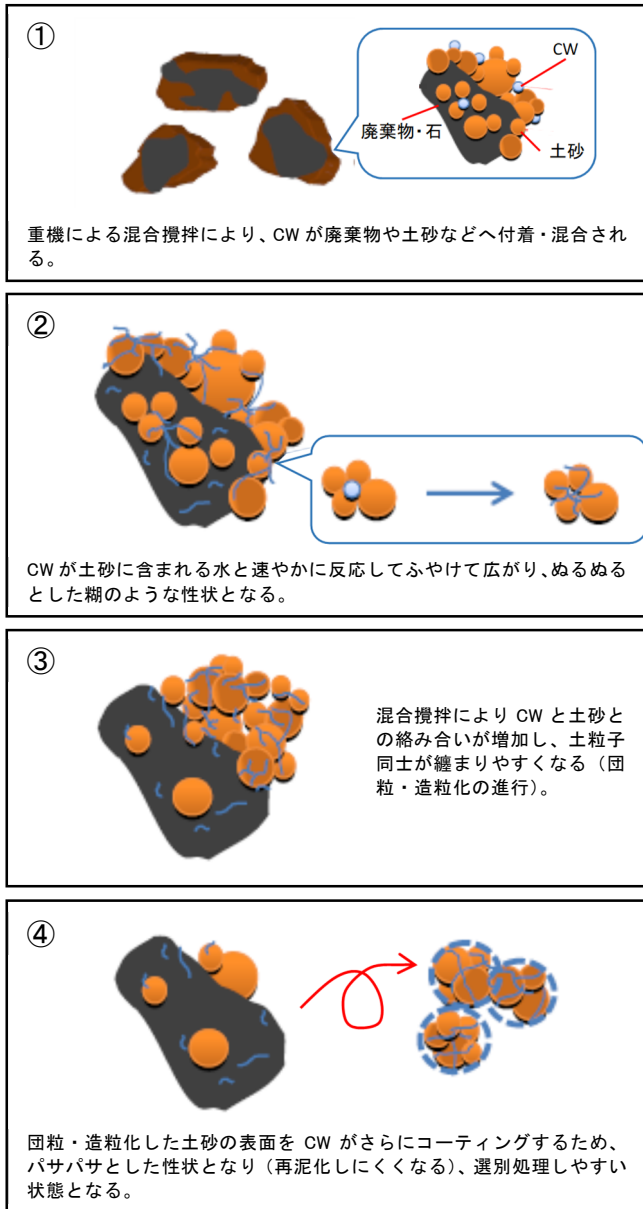


図2 CWによる改質メカニズム

4. CW添加量と廃棄物土含水率および選別後物容積割合の相関関係

廃棄物土に対するCW添加量は通常1~2kg/m³程度である。本工事では、スクリーンによる一次選別後の土質を目視確認することによって適宜、CW添加量を調整していた。しかし、この調整方法には一定の経験が必要である。そこで、廃棄物土に対する適正なCW添加量を定量的に算出することを目的として、現場で長期的に収集した、①CW添加量、②廃棄物土含水率、③選別処理後物の品目別容積割合の各データについて統計解析を試み、それらの相関関係について考察した。

4.1 現場収集データ

統計解析に使用したデータは、現場で作業日ごとに記録されていた実績データのうち、下記の項目である。

- ①CW添加量 (kg/m³)
- ②廃棄物土含水率 (%)
- ③選別処理後物の品目別容積割合 (%) (選別土、アスコン、不燃物、可燃物)

本工事では、CWは液体製品と粉体製品の2種類を使用した。液体製品は主に晴天時の土質改良機を用いた改質を行う際に使用し、粉体製品は主に雨天時の仮設テント内で重機を用いた改質を行う際に作業員の手により散布して使用した。本報告では、より正確に添加量を制御できる液体製品のCW添加量(上記のうち①)のデータについて統計解析に使用した。

また、廃棄物土は掘削ののち、現場内に設置した屋根(透明生地使用)付きの乾燥ヤードに仮置きし、天日乾燥した後に選別処理をしていた。本報告では、選別処理直前の含水率を把握することを目的として、天日乾燥後の廃棄物土含水率(上記のうち②)のデータを統計解析に使用した。

データ収集期間は2015年4月21日~2019年10月16日である。なお、①のデータ数は999、②のデータ数は996であるが、同一作業日に①~③のすべてが揃った際のデータ数は464であった。

4.2 CW添加量と廃棄物土含水率の相関関係

図3に収集したCW添加量データのヒストグラムを示す。全データ数は999である。CW添加量に対し、土質改良機への投入量により重み付した加重平均値は1.23kg/m³となった。本工事において、当初想定したCW添加量は、経験的に含水率15~20%のものに対しては1.00kg/m³であるので、23%増加した。なお、単純平均値は1.28kg/m³(28%増加)である。

図4に収集した廃棄物土含水率データのヒストグラムを示す。全データ数は996である。廃棄物土含水率に対して、土質改良機への投入量により重み付けした加重平均値は20.1%となった(単純平均値は20.3%)。また、表2に廃棄物土含水率の度数とその割合を示す。当初設計では、廃棄

表2 廃棄物土含水率の度数とその割合

廃棄物土含水率	度数	割合(%)
15%未満	32	3.2
15%以上~20%未満	365	36.6
20%以上	599	60.1
合計	996	100

※割合(%)の合計が四捨五入の関係により100にならない。

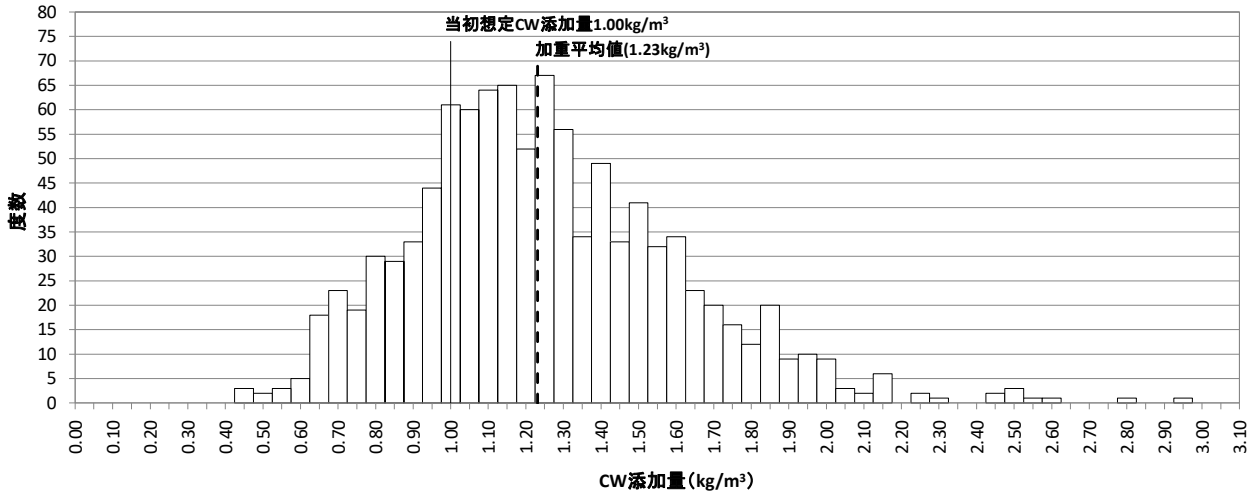


図3 CW添加量ヒストグラム

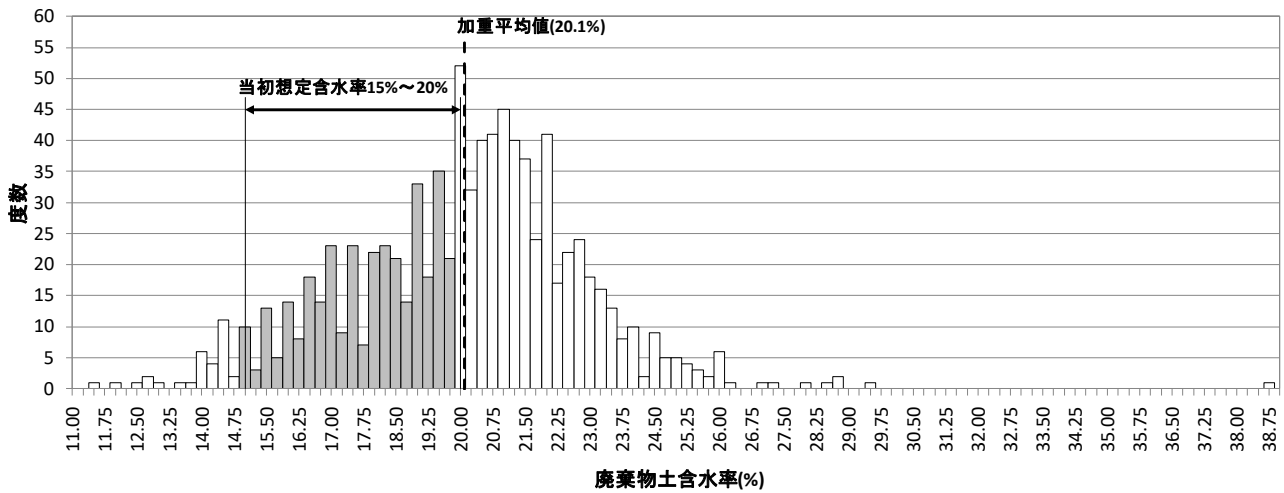


図4 廃棄物土含水率ヒストグラム

物土含水率は15~20%程度であると想定していた。しかし、実際には含水率が15~20%となったのは廃棄物土全体のうち36.6%であり、廃棄物土全体のうち60.1%が含水率20%以上であった。

図5に廃棄物土含水率とCW添加量の関係を示す。なお、4.1の①~③の全項目が同一作業日に全て揃った際のデータ数464をプロットしている。これより、廃棄物土含水率とCW添加量の関係を示す近似式は以下の式(1)のようになった。

$$Q_{cw} = 0.027\mu + 0.757 \quad (1)$$

ここで、 Q_{cw} :CW添加量 (kg/m^3)、 μ :廃棄物土含水率 (%) である。なお、このときの決定係数 R^2 (分析の精度を表す尺度。0.0~1.0の範囲を取る) は0.047となり、非常に低い値となった。

4.3 CW添加量と選別処理後物の品目別容積割合の推移

図6に一ヶ月ごとの平均CW添加量と選別処理後物の平

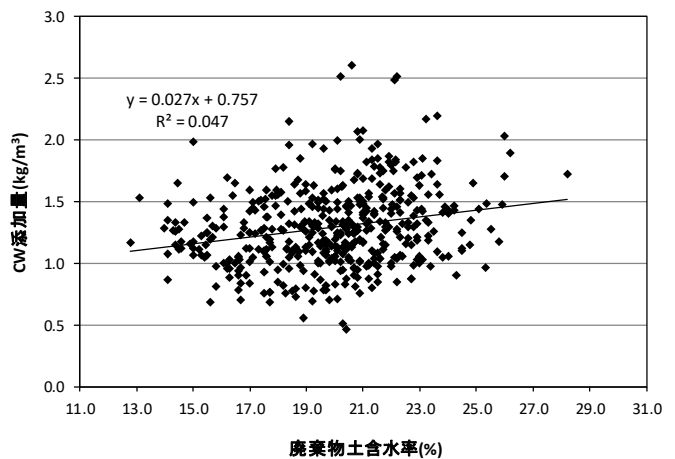


図5 廃棄物土含水率とCW添加量の関係

均品目別容積割合の推移を示す。なお、4.1の①~③の全項目が同一作業日に全て揃った際のデータ数464を使用している。選別処理後物のうち、選別土0~25mm、選別土25~50mmは選別土として、選別再生資材50~100mm、選別再

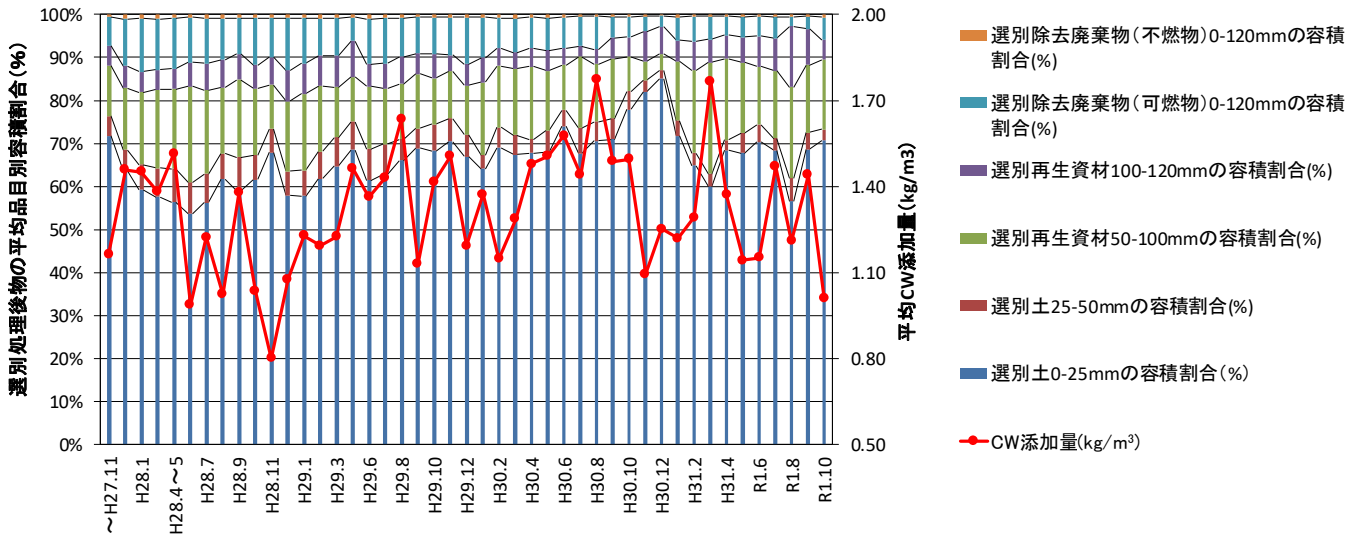


図6 一ヶ月ごとの平均CW添加量と選別処理後物の平均品目別容積割合の推移

表3 選別処理後物の平均品目別容積割合

品目	平均容積割合 (%)
選別土0~25mm	67.8
選別土25~50mm	4.9
選別再生資材50~100mm	13.8
選別再生資材100~120mm	5.3
選別除去廃棄物(可燃物)0~120mm	7.5
選別除去廃棄物(不燃物)0~120mm	0.7
合計	100.0

表4 CW添加量と各項目の相関関係

項目	順位相関係数Rs	p値
廃棄物土含水率	0.22	<0.01
選別土25mm以下の容積割合	-0.05	0.30
選別土25-50mmの容積割合	0.03	0.57
選別土50mm以下の容積割合	-0.04	0.43
選別再生資材50-100mmの容積割合	0.04	0.43
選別再生資材100-120mmの容積割合	-0.07	0.15
選別再生資材50-120mmの容積割合	0.02	0.71
選別除去廃棄物(可燃物)の容積割合	0.04	0.38
選別除去廃棄物(不燃物)の容積割合	0.03	0.56
選別除去廃棄物(可燃物+不燃物)の容積割合	0.04	0.36

生資材 100~120mm は選別再生資材として場内埋戻しに利用した。一方で、選別除去廃棄物(可燃物)0~120mm、選別除去廃棄物(不燃物)0~120mm は選別除去廃棄物として場外搬出処分した。これらの推移から、CW添加量と選別処理後物の平均品目別容積割合との間に何らかの相関は見られなかった。また、表3に全期間を通しての選別処理後物の平均品目別容積割合を示す。選別土、選別再生資材として場内埋戻しに利用できたものの容積割合は 91.8%となり、選別除去廃棄物として場外搬出処分したものの容積割合は 8.2%となった。

4.4 CW添加量と廃棄物土含水率および選別処理後物の品目別容積割合の相関関係

表4にCW添加量に対する廃棄物土含水率および、選別処理後物の品目別割合の相関関係を示す。相関係数はピアマンの順位相関係数を用いた。相対的に最も相関係数の絶対値が大きい項目は廃棄物土含水率となり、「やや相関がある」結果となった。また、このときのp値(相関係数の信頼度を示す数値で0.05以下のとき、その相関係数は信頼できる)は0.01未満となった。一方で、含水率以外の項目については「ほとんど相関がない」結果となり、p値についても全て0.05超過となった。したがって、CW添加量に対し

相関係数	相関関係
0.0~±0.2	: ほとんど相関がない
±0.2~±0.4	: やや相関がある
±0.4~±0.7	: 相関がある
±0.7~±0.9	: 強い相関がある
±0.9~±1.0	: きわめて強い相関がある

て、最も高い相関関係を持つ項目は廃棄物土含水率であることが示唆された。

4.5 CW添加量に関する重回帰分析

廃棄物土に対する適正なCW添加量を定量的に算出することを目的として、CW添加量を目的変数、廃棄物土含水率および選別処理後物の品目別容積割合を説明変数とした重回帰分析を行った。重回帰分析は図7に示すフローに従って行った。その結果、下記の単回帰式が求められた。

$$Q_{cw} = a\mu + b \quad (2)$$

ここでa、bは偏回帰係数であり、それぞれの値を表5に示す。これは、4.2の(1)式と同様のものであり、決定係数も同様に0.047となった。したがって、本単回帰式を用いて、廃棄物土に対する適正なCW添加量を算出することは難しいと言える。

しかし、日々の適正なCW添加量を算出することを目的として、日常的に廃棄物土に対して含水率試験を行うことは、

表 5 偏回帰係数の値

偏回帰係数	値
a	0.0268
b	0.7574

日常的にふるい分け試験を行うことに比べて比較的容易である。ゆえに、重回帰式の説明変数として含水率を用いることは望ましいと考えられる。また、図 8 に実測 CW 添加量と単回帰式により予測した CW 添加量の関係を示す。このとき、実測 CW 添加量の平均値は 1.21kg/m^3 であり、単回帰式により予測した CW 添加量の平均値は 1.32kg/m^3 であった。

5. まとめ

本工事に於いて、掘削除去された廃棄物土は、現場内に設置した選別処理施設により廃棄物と選別土に選別され、選別土は場内の埋戻しに利用された。廃棄物土の選別時には、選別助剤として高分子系改質剤を添加・混合することで、選別しやすい状態に改質を行った。

廃棄物土に対する高分子系改質剤の添加量や、廃棄物土の含水率および選別処理後の各品目の容積割合について長期的にデータ収集した。そして、廃棄物土に対する適正な高分子系改質剤の添加量を定量的に算出することを目的として、これらのデータを用いて重回帰分析を試みた結果、廃棄物土含水率を説明変数とした単回帰式が求められた。しかし、今回は決定係数が非常に低い値となり、求められた単回帰式を用いて適正な高分子系改質剤添加量を算出することは難しい結果となった。

今後も、高分子系改質剤を用いる様々な現場において、廃棄物土含水率と高分子系改質剤添加量を中心に継続的にデータを収集し、知見の蓄積に努める。

参考文献

- 1) 西村良平、長坂典昭、伊藤明ほか：掘り起こし廃棄物土の分別に使用する選別助剤の選定と適用試験について、第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会、D7-5、PP. 493-494、2015. 9
- 2) 西村良平、阿部守、大山将ほか：高分子系改質剤を用いた災害廃棄物および津波堆積物の分別事例、第 18 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集、pp. 356-361、2012. 6
- 3) 西村良平、吉岡由郎、大山将ほか：災害廃棄物の中間処理について（多賀城市での中間処理事例）、鴻池組技術研究報告、Vol. 23、pp. 15-20、2013. 7

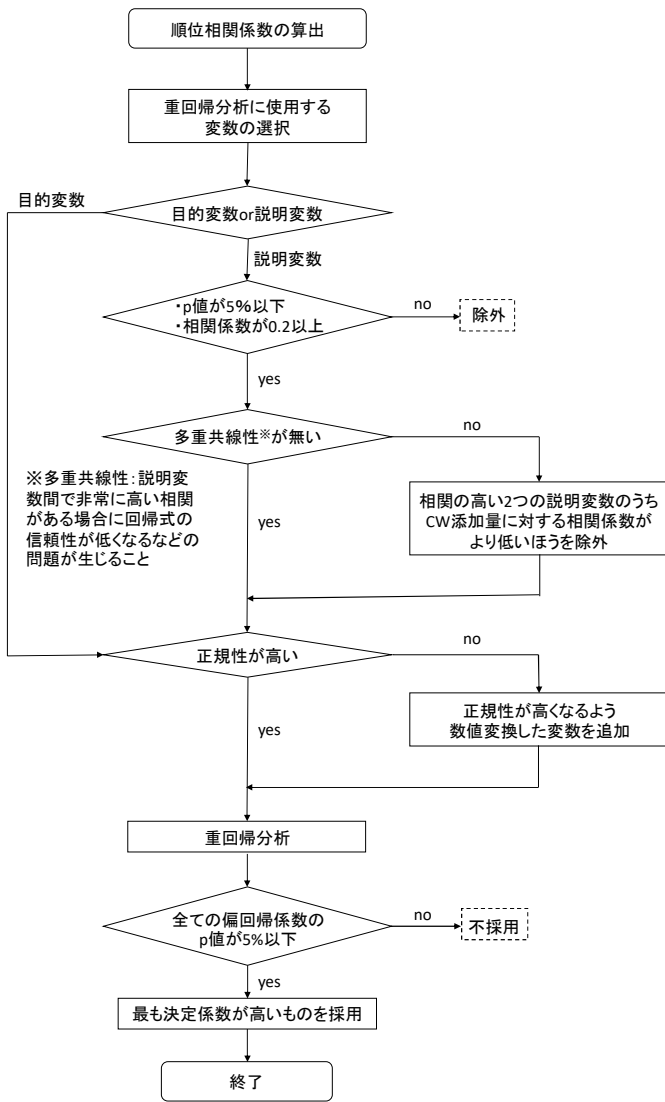


図 7 重回帰分析フロー

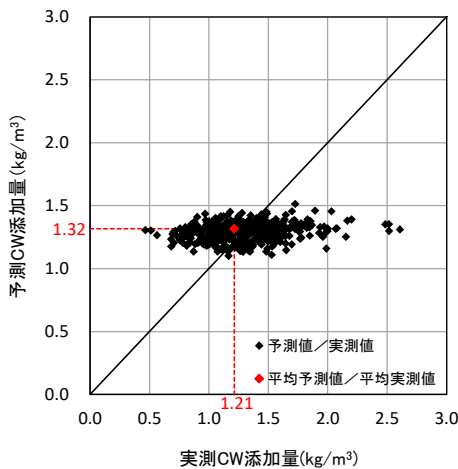


図 8 実測 CW 添加量と予測 CW 添加量の関係