環境負荷を考慮した簡易脱水技術の浄水汚泥への適用

長崎大学工学部　学生会員　○WANG QIKAI　長崎大学大学院工学研究科 正会員 大嶺 聖
フェロー会員　蒋 宇静　正会員 杉本 知史　学 フレミー サムエル オイ　学 張 子晨

1. はじめに

現在、地球温暖化など地球全体の環境問題が顕在化し始め、環境負荷の低減、効率性の改善が重要な課題となっている。このような課題に対して、「ライフサイクルアセスメント(LCA)」という環境負荷を定量的に評価する手法が用いられている。土木建設分野に LCA を導入することで、建設のライフサイクルが環境に与える影響を合理的かつ客観的に評価することが期待できる。また、近年、大量生産･大量廃棄の社会経済システムにより建設副産物処分場の確保の問題も深刻化している。従って今後は持続可能な環境の創造の観点から産業廃棄物のリサイクルがますます重要である。その一例として、浄水場で発生する浄水汚泥をセメント原料や盛土材としての有効利用が進んでいる。浄水汚泥は液性限界を超えるような高含水比状態になることが多く、良質な材料として再利用するためには、脱水処理を行う必要がある。本研究においては、東長崎浄水場の浄水汚泥を対象として、繊維素材に着目し低コストで有効な脱水方法を検討するとともに、LCA 評価手法を用いて環境負荷の定量的把握を試みる。

表-1 東長崎浄水場浄水汚泥の物理的特性

試料	液性限界(%)	塑性限界(%)	塑性指数
浄水汚泥	300.00	101.58	198.42

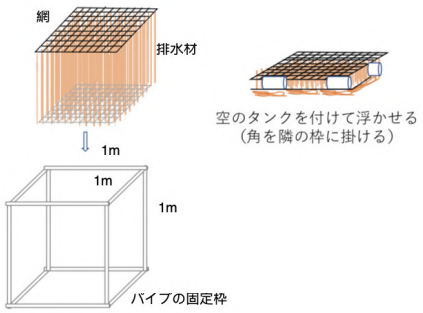

図-1 脱水装置の概要図

2. 浄水場での現場実験

(1) 現場実験の概要　東長崎浄水場の天日乾燥床でパイプの型枠に排水材を固定し、２回脱水実験を行った。用いた浄水汚泥の物理的特性は**表-1** に示す。脱水装置の概要図を**図-1** に示す。１回目の現場実験では、10cm ピッチでクレポリ混燃紐、7.5cm ピッチでクレポリ混燃紐、5cm ピッチで麻紐、フロートを用いる7.5cm ピッチで麻紐を取り付け排水材とすることで脱水させた。これに対して、２回目の現場実験では、排水材となる紐と砂層が接触しないように設置し、7.5cm ピッチ、フロートを用いる 7.5cm ピッチ、フロートを用いる 10cm ピッチ、10cm ピッチでクレポリ混燃紐を取り付け排水材とすることで脱水させた。それぞれ 1 週間ごとにサンプリングを行い、含水比･含水率を測定した。ここで、含水比$w = (m_w/m_s) \times 100$ (%) 、 含 水 率$= \{m_w/(m_w + m_s)\} \times 100$ (%) (m_w:水の質量、m_s:土粒子の質量) と定義されている。

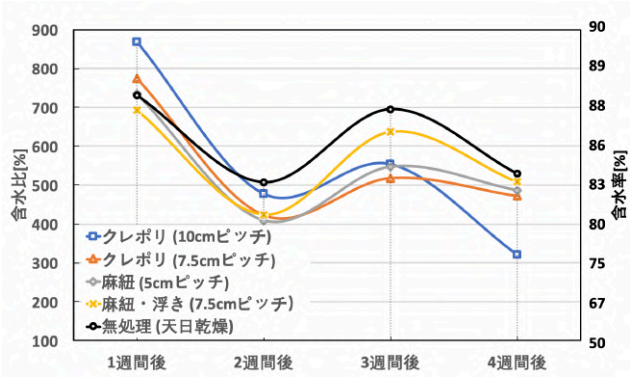

図-2 １回目の現場実験の結果

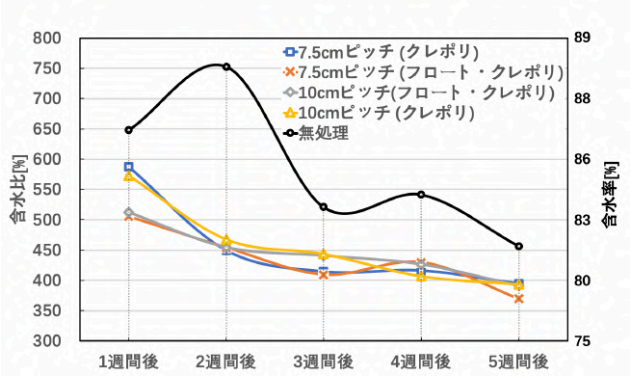

図-3 ２回目の現場実験の結果

(2) 現場実験の結果と考察　１回目の現場実験結果として、中央部(高さ 20cm)における浄水汚泥の含水比･含水率と時間経過の関係を**図-2** に示す。**図-2** より排水材として紐を用いると中央部の浄水汚泥は１ヶ月で含水比が 400%程度までに低下することができた。通常の天日乾燥では、４ヶ月で含水比が 400%までしか下がらないので、排水材として紐を用いて脱水を行い、短期間で搬出するのが可能であると考えられる。また脱水効果を比較すると、**図-2** から 10cm ピッチでクレポリ混燃紐を取り付けたケースが最も優れた効果が得られた。それは角に設置したため、周辺の汚泥の影響が少なかったのではないかと考えられる。更に脱水の５週間目に入ると、含水比が逆に増加したケースが見られた。また底に敷く砂の含水比を測定したところ、111.8%となり、砂層はほぼ飽和状態である。そのため、紐は底面の水分を吸い上げていると考えられる。それを改

善するために、紐と砂層が接触しないように設置し、2回目の現場実験を行った。2回目の現場実験結果として、中央部(高さ 20cm)における浄水汚泥の含水比･含水率と時間経過の関係を**図-3** に示す。**図-3** より 1ヶ月間の脱水でフロートを用いる 7.5cm ピッチでクレポリ混燃紐を取り付けたケースは最も優れた脱水効果が得られた。これは排水距離が短い又は汚泥に対する排水材の接触面積が大きいためであると考えられる。更に脱水の 6 週間目に入ると、また含水比が逆に増加したケースが見られた。これは排水材としての紐が周りの水分を吸い上げているためであると考えられる。そのため、周辺の汚泥からの影響を受けないように、側面に分離装置を設置するのが望ましい。

3. LCA による環境負荷の定量把握と評価

(1) 目的･調査範囲　東長崎浄水場で発生する浄水汚泥を対象として、LCA 評価手法を用いて、浄水汚泥の生成から処分までの過程において発生する環境負荷を算定して比較する。今回は検討対象とする(CO_2排出量)のみを算定する。

(2) イベントリ分析　浄水汚泥を直接処分する場合と有効利用する場合について、3つのシナリオを立てて環境負荷を算定する。3つのシナリオの作業の流れを**図-4** に示す。**シナリオ 1** は、浄水汚泥を長期天日乾燥で含水比 150%(含水率 60%)まで脱水させてから有効利用せず、処分場まで運搬して埋立処分する場合を想定する。**シナリオ 2** は、浄水場で含水比 150%(含水率 60%)まで加圧脱水した浄水汚泥を施工現場に運搬し、セメント固化材をプラントで攪拌混合し、敷き均し･締固め作業を行なって盛土を構築する場合を想定する。**シナリオ 3** は、簡易脱水法で含水比 150%(含水率 60%)まで脱水させた浄水汚泥を施工現場に運搬し、DF 材(フライアッシュを主成分に石膏･セメント･重金属不溶出剤で構成)をプラントで混合し、敷き均し･締固め作業を行なって盛土を構築する場合を想定する。ここでは、$1m^3$の浄水汚泥(含水率 60%)を処分する又は $1m^3$の浄水汚泥(含水率 60%)を改良する場合の二酸化炭素排出量を算定する。セメント安定処理土のセメント固化材と DF 材の量は 120kg/m^3とする。また、浄水汚泥の埋立あるいは中間処理の運搬については、いずれも 100km とする。

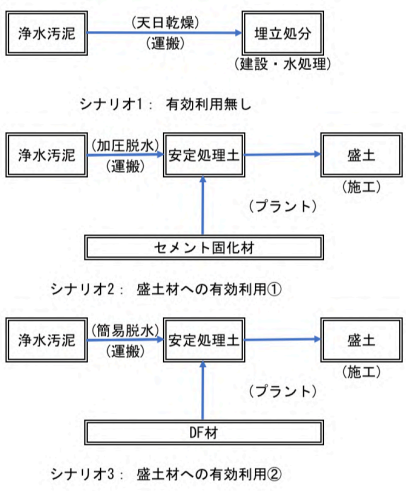

図-4 ３つのシナリオの作業の流れ

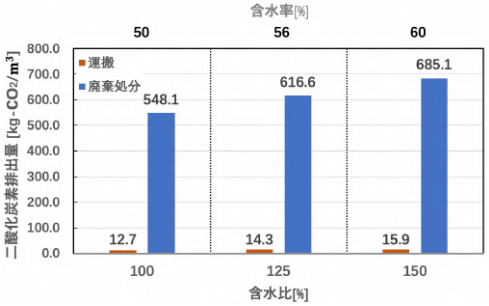

図-5 シナリオ 1 における二酸化炭素排出量

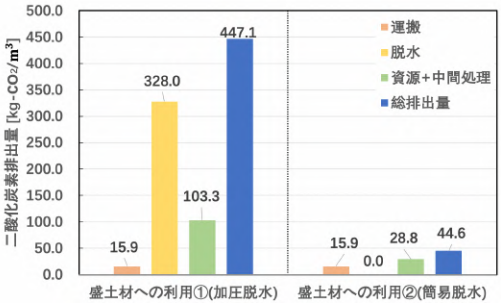

図-6 シナリオ 2･3 における二酸化炭素排出量

(3) 評価　シナリオ 1 におけるCO_2排出量(**図-5**)によって、浄水汚泥を有効利用せず直接処分する場合、廃棄処分(処分場建設･水処理)によるCO_2排出量が多いことが示された。更に、浄水汚泥の含水比･含水率が低いほど、運搬･廃棄処分によるCO_2排出量は少なくなることも示された。また、シナリオ 2･3 におけるCO_2排出量(**図-6**)によって、廃棄処分に比べると、セメント固化材又は DF 材を投入して浄水汚泥に混合することで、CO_2排出量を大幅に低減できることが示された。更に、異なる固化材を投入することを想定して算定したところ、DF 材のほうが、セメントよりCO_2排出量が少ない結果を得た。また、脱水処理に着目すると、機械加圧脱水のほうが、天日乾燥と簡易脱水法よりCO_2排出量が多いことが分かった。但し、天日乾燥の場合、かなりの時間がかかり、短期間で搬出するのが困難である。これに対して、繊維素材を用いた簡易脱水法は短期間で搬出するのが可能である。以上のことから、**シナリオ 3** は最も低環境負荷かつ効率的であると考えられる。

4. おわりに

排水材としての紐を用いることで浄水汚泥は 1ヶ月で含水比が 400%程度までに低下した。周りからの影響を受けやすいと考えられるため、側面に分離装置を設置するのが望ましい。これから脱水装置を改良し、より良い脱水効果が期待できる。また、LCA 評価手法を用いて 3つのシナリオを想定して浄水汚泥の有効利用の有無における環境負荷を算定したところ、**シナリオ 3**(簡易脱水法で脱水させた浄水汚泥を施工現場に運搬し、DF 材をプラントで混合し、敷き均し･締固め作業を行なって盛土を構築する場合)は最も低環境負荷かつ効率的であることが分かった。