

# 刈草を下水汚泥の脱水助剤として活用する技術の開発 ～バイオマス資源の連携活用～

山崎廉予・重村浩之

## 1. はじめに

下水処理場から発生する汚泥の減容化や有効利用が常に課題とされている。汚泥の減容化は、脱水が一般的であるが、脱水後の汚泥の含水率は、機械を用いた場合でも全国平均で約80%と高く、脱水汚泥の処分では、大量の水も合わせて運搬している状況にある。脱水汚泥の含水率を下げ、減容化することは、汚泥を下水処理場外の最終処分場まで運搬する場合は運搬費の削減に、汚泥を下水処理場内で焼却する場合は、熱効率の上昇による維持管理費の削減に直結するため、非常に重要といえる。また、汚泥を脱水する際には、凝集剤(化学薬品)を使用し、汚泥を化学的に凝集させることが一般的であるが、費用が高いという欠点がある。

一方、河川管理においては、近年、堤防や河川敷の刈草、伐木等を農業やエネルギー資源として活用する取組みが新しく進められつつあり、バイオマス資源としての河川の利活用に関する新たなニーズにどのように応えていくかが課題となっている<sup>2)</sup>。

このような中、平成25年5月に閣議決定された循環型社会形成推進基本計画においては、「下水処理場を地域のバイオマス活用の拠点としてエネルギー回収を行う取組や下水汚泥と食品廃棄物など他のバイオマスの混合消化・利用によるエネルギー回収効率の向上を推進する」と明記された。本稿では、河川等で発生する草木(刈草)を下水処理場で受け入れ、汚泥の脱水助剤(汚泥の脱水性の向上を助ける働きをする物質)として活用することにより、下水道事業におけるバイオマス受入れを積極的に進め、河川事業における刈草処分の課題を解決するとともに、両事業におけるエネルギー資源の活用の観点を含めた有用な技術の開発に向けた研究の成果について紹介する。

## 2. 刈草による含水率変化の原理と開発目的

刈草を汚泥に混合したときの汚泥の含水率の変化の原理を図-1に示す。汚泥に刈草(固形物)を投入することで、固形物量が物理的に増えるが、汚泥中の空隙が確保され、汚泥中に水分の通り道ができ、水分が抜けやすくなる<sup>3)</sup>と考えられる。汚泥中の水分が、投入した固形物量以上に減少すれば、含水率及び、水分、汚泥を含めた全体の重量は減少する。このように刈草を汚泥に混合することで、脱水汚泥の含水率を効率的に下げることが可能となれば、図-2に示すように、河川事業においては、刈草の有効利用が確立できるとともに、これまで焼却処分していた場合は、それが不要になり、刈草処分費も削減できる可能性がある。また、下水道事業においては、凝集剤などの汚泥処理にかかる費用の削減が可能となるとともに、脱水汚泥の含水率が低下することで、運搬量が減少し、焼却場への運搬費の削減も可能となる。また、処理場内の焼却炉で焼却する場合においては、固

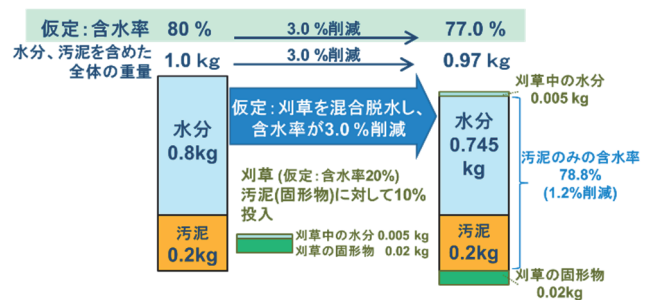


図-1 河川刈草を下水道事業で受入れるケースの一例

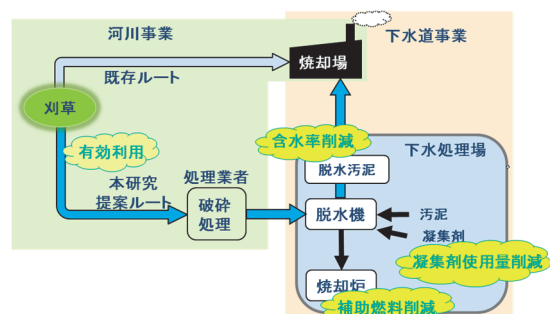


図-2 刈草を混合した時の汚泥の含水率変化の原理(固形物比で刈草を汚泥に対し10%添加した例)

形物量の増加により、補助燃料費の削減に貢献する可能性も考えられる。

そこで本研究では、刈草を汚泥に混合することで、汚泥の脱水性の向上について、実験室レベルでの検証を行った。また、本研究提案技術を導入した際の河川事業における刈草処分費、下水処理場における汚泥処分費の試算を行い、経済的な有意性の有無を検証した。

### 3. 刈草混合による汚泥の脱水性向上の検証

#### 3.1 刈草混合汚泥の脱水試験方法

本研究では、2種類の下汚泥について刈草混合による脱水性の変化を調査した。中規模以上の処理場に多い標準活性汚泥法の汚泥として、A処理場の汚泥（以下「標準汚泥」という。）、小規模処理場に多いオキシデーションディッチ法（OD法）の汚泥として、B処理場の汚泥（以下「OD汚泥」という。）を用いた。標準汚泥は、生物処理前の最初沈殿池汚泥と生物処理後の汚泥を1対1で混合した汚泥である。標準汚泥は、最初沈殿池汚泥中に含まれる繊維質によって比較的脱水しやすい汚泥である。OD汚泥はすべて生物処理後の汚泥で、難濃縮性、難脱水性を示すことが多い。両汚泥は、2017年1月（冬季）に採取した。刈草は、土木研究所敷地内に生息しているイネ科植物を2016年10月に刈り取ったものを使用した。刈り取った後、2～3日放置し、10mm程度にハサミで裁断した（含水率：約15%）。刈草混合率は、広い範囲で検討するため、汚泥の全固形物(Total Solids : TS)に対して刈草のTSで0%、10%、30%、50%とした。凝集剤は、カチオン系の高分子凝集剤を用い、凝集剤添加率は、実下水処理場での添加率が2.0%程度であることを考慮して、汚泥のTSに対して、0%、0.5%、1.0%、2.0%で検討した。脱水試験は、「脱水セル法遠沈管試験」を参考に、50ml容の100メッシュのろ過筒に凝集剤と刈草を混合した汚泥を投入し、遠心分離機で3,000rpm、20分間の遠心分離を行った<sup>4)</sup>。

#### 3.2 刈草混合汚泥の脱水試験結果

各汚泥の脱水試験における含水率の結果を図-3に示す。汚泥よりも含水率が低い刈草を混合することにより、刈草混合脱水汚泥の含水率は物理的に減少する（図-3左）ため、刈草の重さと水分量を差し引くことで、脱水後の汚泥のみの含水率を

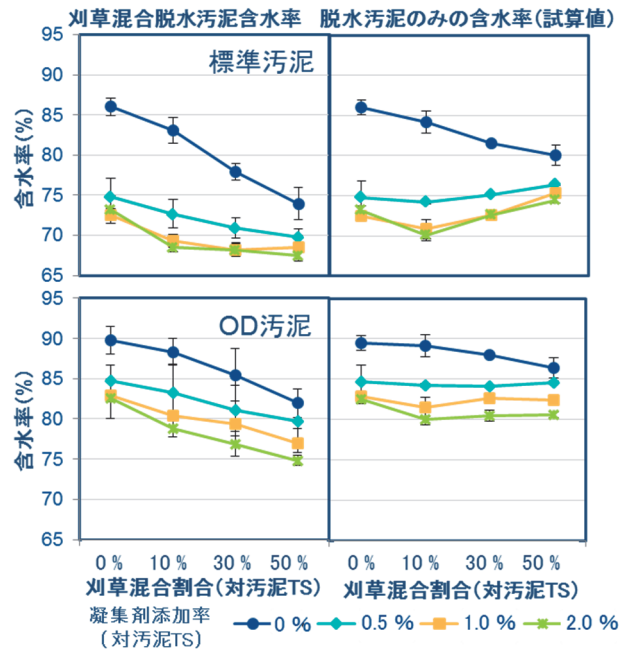


図-3 刈草混合脱水汚泥と脱水汚泥のみの含水率試算し（図-3右）、汚泥に含まれる含水率の変化を示した。

図-3右より、標準汚泥がOD汚泥と比べて全般的に含水率が低い傾向がみられた。これは、標準汚泥がOD汚泥より脱水しやすい汚泥であるためである。両汚泥において、凝集剤0%（図-3右、紺色の線）では、刈草混合割合の増加にほぼ比例して含水率が低下する傾向となり、刈草が汚泥の脱水性向上に寄与していることが示された。刈草を混合した場合、条件によっては含水率の低減効果がみられ、刈草の脱水助剤としての有用性が示された。従来の脱水と近い条件である凝集剤2.0%、刈草0%の結果と、刈草10%の結果を比較すると、標準汚泥では、凝集剤1.0%で含水率が1.6%低下し、凝集剤2.0%で含水率が3.0%低下した。OD汚泥では、凝集剤1.0%で含水率が1.0%低下し、凝集剤2.0%で含水率が2.5%低下することが示された。また、凝集剤1%以上、刈草30%以上の場合、標準汚泥では、含水率の低減効果はほぼみられず、OD汚泥では、刈草10%と同等の含水率の低減効果がみられることが示された。

### 4. 河川事業における刈草処分費の試算

#### 4.1 刈草処分費の試算方法

河川等で発生する刈草を下水道事業に受け渡すことで、破碎処理までの処分となり、焼却処理をした場合と比較すると、刈草処分費が削減される可能性がある（図-2）。そこで、試算により検証

を行った。従来の刈草処分方法として、焼却場に運搬するケース（A）を設定し、本研究提案技術を導入した場合の刈草処分方法として、再資源化施設で破碎後、下水処理場へ受け渡すケース（B）を設定した（図-4）。1回あたりの刈草処分量は、茨城県において有効利用されていない年間発生刈草量の半分（通常草刈りは年2回実施）である1,224t（平成27年度実績）とした。なお、本研究において刈草は、固形物としての利用を目的としていることから、イネ科以外の種類であっても同様の効果があると仮定し、有効利用されていない刈草全量を、利用可能であるものとみなしている。刈草処分費は、運搬費（運搬距離×ガソリン代）と処分費〔（焼却（30,660円/t）または破碎（22,090円/t）の処理費）×刈草処分量〕の合計とした。草刈り場所から処理場所までの片道の運搬距離は、茨城県の総面積や同県内に立地している焼却場の数等を考慮して試算し、1往復の運搬距離は、ケース（A）が17.4km、ケース（B）は、最も短い場合で24.4km、最も長い場合で41.6kmと設定した。運搬には2tトラックの使用を想定し、走行速度30km/h、ガソリン燃費4.9L/h、ガソリン単価を121円/Lより、19.76円/kmと設定した<sup>4)</sup>。

#### 4.2 刈草処分費の試算結果

ケース（A）、ケース（B）における、刈草処分費の試算結果を図-5に示す。1回あたりの刈草処分費は、ケース（B）がケース（A）よりも1千万円程度安くなる試算結果となった。また、運搬費は処分費の0.5~2.0%程度とかなり小さい結果であった。この結果、運搬距離がこれよりも長くなったとしても、刈草を下水処理場に受け渡した方が、刈草処分費は安く抑えられる可能性が示された。なお、汚泥脱水設備に投入する汚泥量を、高分子凝集剤を使用した濃縮汚泥または消化汚泥の脱水を行っている1,212か所の下水処理場における、平成26年度の一カ月あたりの平均値である4,762tとし<sup>1)</sup>、刈草10%混合と仮定すると、1処理場で半年間（通常刈草刈りは年2回実施するため）に利用可能な刈草量は、標準汚泥では212t、OD汚泥では62tと試算される。なお、脱水前の汚泥TSは標準汚泥は2.9%、OD汚泥は、1.1%であった。1処理場での刈草受入量を、平均して132tとすると、茨城県内における、1回あたりの発生刈草量未利用分1,224tは、9処理場あれば処

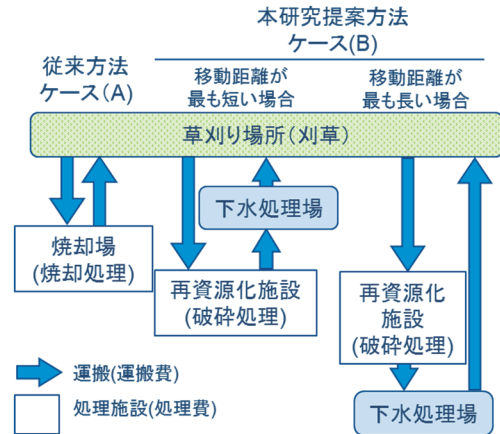


図-4 刈草処分ルートの場合設定

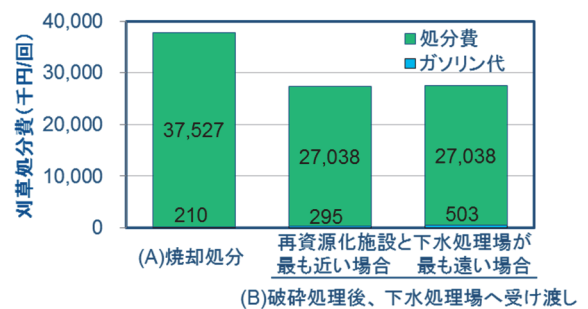


図-5 1回あたりの刈草処分費の試算結果

分できる試算となる。県内には40か所の脱水施設を持つ処理場があることから、十分処分可能であると考えられる。一方、40か所全ての処理場で処分すると仮定すると、約1.4カ月で処分できる試算となり、ストック場所が少なくても対応できると考えられる。

## 5. 下水道事業における汚泥処分費の試算

### 5.1 汚泥処分費の試算方法

刈草を汚泥に混合することで、脱水時の凝集剤使用量や発生する脱水汚泥量の変化によって、脱水汚泥処分費が変化する。そこで、試算による検証を行った。脱水汚泥の処分方法は、本研究では、下水処理場外の焼却場における焼却処分を想定した。汚泥処分費は、脱水時の凝集剤費、下水処理場外への運搬費及び焼却処分や埋立処分費等を含めた脱水汚泥処分費の合計とした。本試算では、刈草の破碎および下水処理場への運搬にかかる費用は河川事業で負担するものとみなし、破碎された刈草の下水処理場での受入れの費用は、実質0円とした。凝集剤費は820円/kg、脱水汚泥処分費は16千円/t(湿重量ベース)とした。汚泥脱水設備に投入する汚泥量は、3.2項と同様に4,762t/月とした。2. の実験条件及び結果（脱水前の汚泥

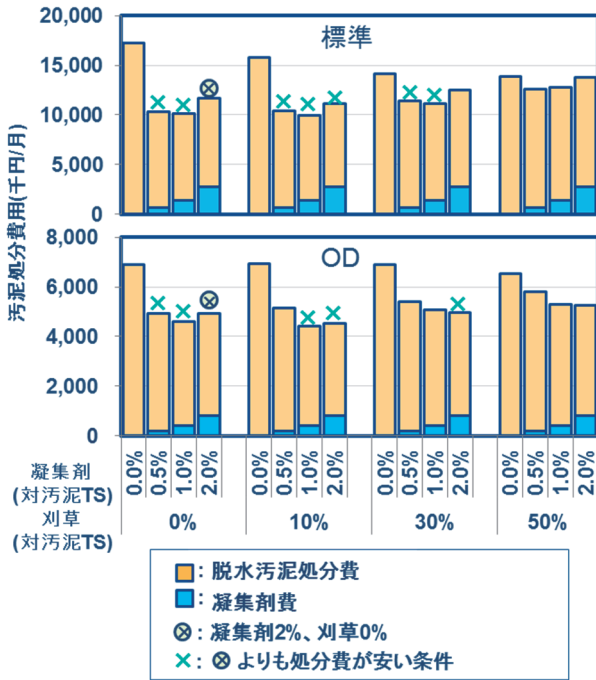


図-6 汚泥処分費の試算結果

TS、脱水後の刈草混合脱水汚泥量の値)を用いて、一カ月あたりの脱水汚泥量を算出し、汚泥処分費を試算した<sup>4)</sup>。

### 5.2 汚泥処分費の試算結果

脱水汚泥処分費の試算結果を図-6に示す。図中に、従来の方法として、凝集剤2%、刈草0%の場合の汚泥処分費を⊗で示した。また、⊗よりも汚泥処分費が安くなる条件に×を付けた。標準汚泥では、凝集剤0.5%、1.0%、刈草10%、30%の場合、刈草を混合することで、従来の方法よりも汚泥処分費が削減できる可能性が示された。図-3右において、刈草30%では汚泥のみの含水率が上昇する傾向を示したが、汚泥処分費としてみると、凝集剤費の削減により、安くなる結果となった。OD汚泥では、汚泥処分費が削減できる可能性のあるケースは、凝集剤1.0%以上、刈草10%であった。どちらの性状の汚泥でも、刈草混合により汚泥処分費が安くなるケースがみられた。

### 6. まとめ

本研究では、バイオマスとしての活用が求められている河川等で発生する刈草に着目し、下水処理場における汚泥の脱水助剤としての有用性を実験室レベルで検証した。また、河川事業における刈草処分費、下水道事業における汚泥処分費の試算を行った。その結果、下水処理場で発生する標準法、OD法の汚泥において、凝集剤を1.0% (対

汚泥TS)に減らしても、刈草を10% (対汚泥TS)混合することで、従来 (凝集剤2.0%) よりも、汚泥の含水率が低減する可能性が高いことが示唆された。河川事業における刈草処分費は、焼却処理するよりも破碎処理後に下水処理場へ受け渡す方が削減できる可能性が示された。下水道事業における汚泥処分費は、下水処理場外での焼却処分を想定した場合、凝集剤1.0%、刈草10%で脱水を行うことで、汚泥処分費が削減できる可能性が示された。

本技術は、河川事業、下水道事業の両事業において、未利用バイオマスの有効活用および経済性の両面において、有用な技術であるといえる。

今後は、刈草の種類や大きさ、脱水方法など条件をかえた場合での実験検証、および刈草を下水処理場で処分した場合での処分費の試算を行うことで、技術の普及に繋げる取り組みを行っていく。

### 謝 辞

A、B下水処理場の関係者の皆様には、汚泥の採取に関して、多大なるご協力を賜りました。ここに記して謝意を示します。

### 参考文献

- 1) 公益社団法人日本下水道協会：平成26年度版下水道統計、第71号、2017
- 2) 社会資本整備審議会：安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について(答申)、2013
- 3) 高橋広治、奈良朋之、安藤健彦、別府智志、加藤順一、林 恭子：繊維状脱水助剤の適用事例報告、第51回下水道研究発表会講演集、Vol.51、pp.979～981、2014
- 4) 山崎廉予、重村浩之：刈草の汚泥脱水助剤としての利用検討、環境工学フォーラム論文集、Vol.73、No.7、pp.365～373、2017

山崎廉予



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ資源循環担当  
 研究員、博士(工学)  
 Dr. Yukiyo YAMASAKI

重村浩之



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ資源循環担当  
 上席研究員  
 Hiroyuki SHIGEMURA