

下水汚泥の減量化調査

1. はじめに

定山溪水再生プラザから発生した汚泥には、温泉排水由来のヒ素が含まれていることから、西部スラッジセンターの定山溪脱水施設で脱水後、焼却による減量工程を経ることなく、脱水汚泥のまま北斗市のセメント製造工場に搬出し、セメント原料として有効利用を図っている。しかし、この脱水汚泥の含水率は80%以上であり、その重量のほとんどを水分が占めている。そのため、本調査では運搬費用の削減のため、発酵技術を用いた減量化ができないか検討することを目的とする。

平成28年度の「下水汚泥の減量化予備調査」において、有機分が少ない定山溪水再生プラザの脱水汚泥を発酵技術の利用によって減量化できる可能性が示唆されたことから、平成29年度の調査では時間経過に伴う混合物の重量変化を計測することにより減少率についての把握を行う。併せて、一度発酵・乾燥させた混合物をふるい分けし、水分調整用の副資材として繰り返し利用できるか確認を行う。図-1に減量化試験のフローを示す。

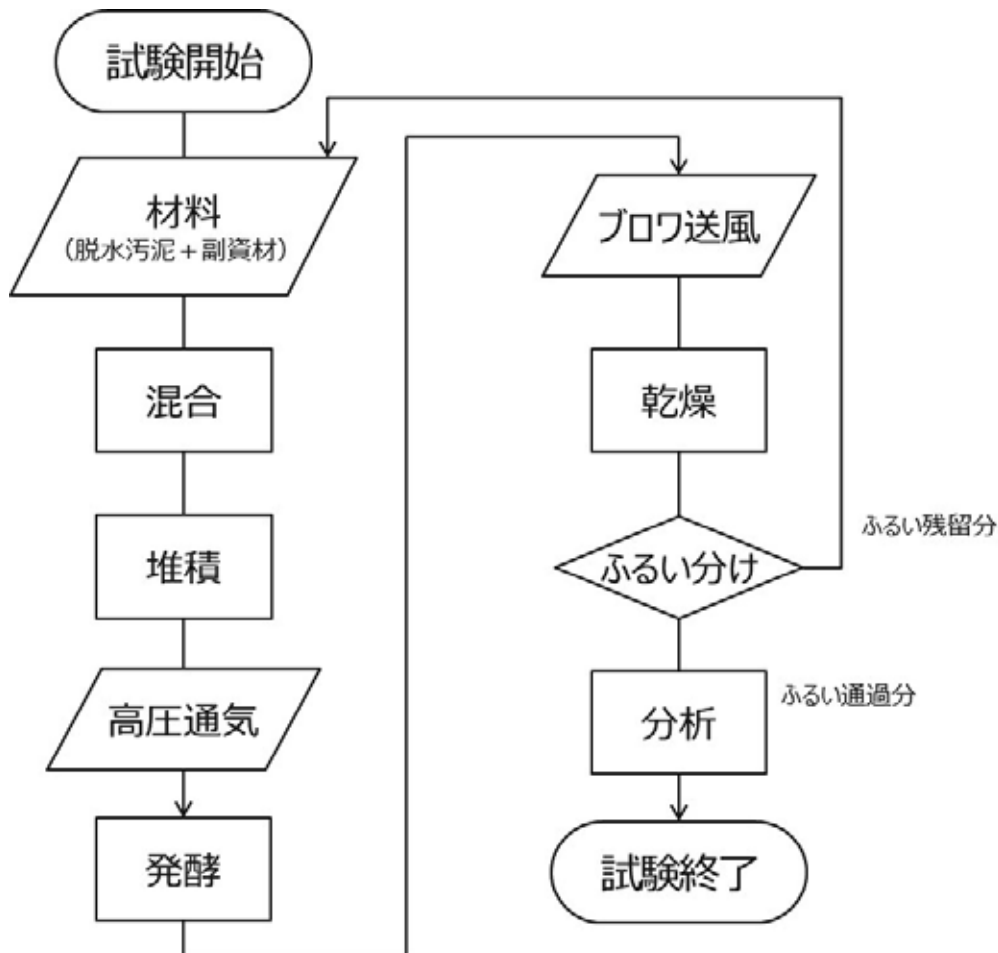


図-1 減量化試験のフロー

2. 試験方法

1) 材料等

①原料（脱水汚泥）

写真－1に定山溪再生プラザの脱水汚泥を示す。定山溪水再生プラザの汚泥は、西部スラッジセンターの脱水過程で消石灰（平成28年度実績：71.1%）が注入されているが、この脱水汚泥は発酵原料としての有機分が少ないため、単一原料としてそのまま使用した場合、発酵不良に至ることが予想される。上記の理由から本調査では、消石灰70%注入後の脱水汚泥ではなく消石灰10%注入後の脱水汚泥（強熱減量：約40%）を使用することとした。なお、この脱水汚泥の含水率は約84%と高いものの、粘性が低いことから加水せずに副資材と混合している。



写真－1 定山溪水再生プラザの脱水汚泥（消石灰10%注入）

②副資材（剪定枝チップ）

写真－2に剪定枝チップ（一般財団法人札幌市環境事業公社から提供）を示す。剪定枝チップとは公園・街路樹等の余剰枝葉を剪定・回収したものを、破砕機により全長15cm程度に破砕したものである。副資材としては通気性の改善および原料と混合した際の水分低下を主目的として使用している。また、多孔質な構造であることからアンモニアなどの臭気の吸着効果も期待している。なお、含水率は約49%である。



写真－2 剪定枝チップ

③混合物

写真－3に脱水汚泥と副資材の混合物を示す。なお、含水率は約60%に設定している。



写真－3 脱水汚泥と副資材の混合物

2) 原料および副資材の混合割合

表－1に原料および副資材の混合割合を示す。本調査では、減量化試験を試験1回目（9月20日～10月18日）と試験2回目（11月18日～12月14日）の2回に分けて実施している。

試験1回目では副資材には剪定枝チップを使用し、テスト槽毎に原料と副資材の混合割合を変えて比較している。また、試験2回目では副資材に返送物（試験1回目の発酵工程および乾燥工程を経た混合物を4mm目幅のふるいでふるい分けした後の残留分）を使用し、テスト槽毎に原料と副資材の混合割合を変えて比較している。

表－1 原料および副資材の混合割合

	テスト槽	重量比	使用する副資材
試験1回目	A-1	原料：副資材 = 1：2	剪定枝チップ
	B-1	原料：副資材 = 1：1.3	剪定枝チップ
試験2回目	A-2	原料：副資材 = 1：0.66	返送物
	B-2	原料：副資材 = 1：0.78	返送物

3) 通気条件

表-2に通気条件を示す。本調査では、高圧通気による好気発酵を目的とした発酵工程を2週間行い、その後、ブロワによる水分蒸発を目的とした乾燥工程を2週間行った。

表-2 通気条件

	テスト槽	発酵工程 (高圧通気の設定供給圧力)	乾燥工程 (ブロワ送風の設定風量)
試験1回目	A-1	0.5 MPa	0.09 m ³ /分
	B-1	0.5 MPa	0.17 m ³ /分
試験2回目	A-2	0.5 MPa	0.09 m ³ /分
	B-2	0.5 MPa	0.17 m ³ /分

4) 調査項目

表-3に調査項目を示す。

表-3 調査項目

項目	備考
減量化状況記録	堆積状況、内部状況、色調など
含水率	試験毎に各テスト槽で4回実施
混合物温度・室温	試験実施中連続
灰分	試験毎に各テスト槽で2回実施
臭気(アンモニア濃度)	試験毎に各テスト槽で4回実施(検知管)
比重	試験毎に各テスト槽で2回実施
重量	試験毎に各テスト槽で実施
成分等分析	一財)札幌市下水道資源公社が別途分析

5) 試験装置

①混合装置（ミキサー）

写真－4にミキサーを示す。構造は傾胴型で、胴内に練混ぜ羽を有している。



写真－4 ミキサー（750W：100V、容量：60L）

②高圧通気装置（コンプレッサーおよび高圧通気用微細ノズル）

写真－5にコンプレッサーおよび高圧通気用の微細ノズルを示す。高圧通気による好気発酵では、コンプレッサーで圧縮した空気を微細ノズルから放出することで、混合物内部に均一に空気を供給し、内部を常に好気状態に保つことができる。そのため、嫌気発酵による腐敗や低級脂肪酸・硫黄系ガスなどの悪臭の発生を抑制することが期待できる。また、好気発酵の継続によって重機による混合物の切返し頻度も削減できることから、臭気発生のお機を少なくすることが可能である。



写真－5 コンプレッサー（1.5kW：3相200V）および高圧通気用の微細ノズル

③乾燥装置（ブロワ）

写真-6にブロワを示す。高圧通気のみでは減量化に必要な風量が不足することからブロワ送風による乾燥を実施する。なお、ブロワ配管は高圧通気配管と平行となるようにテスト槽の底面に敷設してある（写真-7）。



写真-6 ブロワ (0.1kW : 100V)

④発酵設備（テスト槽）

写真-7にテスト槽を示す。テスト槽の内面は断熱材を貼り付け、保温性を高めてある。容量は約1.4m³である。



写真-7 テスト槽 (H×W×L = 1,400×1,200×1,000mm)

⑤フロアスケール

写真-8にフロアスケールを示す。



写真-8 フロアスケール（最小計測誤差：±0.5kg）

⑥電動ふるい

写真-9に電動ふるいを示す。構造はシンプルで、モーターで回転する胴内を混合物が通過する際に、重力と遠心力にてふるい分けを行うものである。そのため含水率が低い混合物においては、粉塵が発生・飛散する恐れがある。剪定枝チップを副資材として作製した混合物は、完成品（4mmふるい通過分）と、返送物（4mmふるい残留分）にふるい分けを行っている。



写真-9 電動ふるい（0.04kW：100V、目幅：4mm）

3. 試験場所

減量化試験は西部スラッジセンターの焼却棟1, 2系焼却施設の薬品貯蔵庫で実施した。図-2に西部スラッジセンター全体平面図を示す。また、図-3に焼却棟1, 2系焼却施設薬品貯蔵庫平面図(1階)を示す。

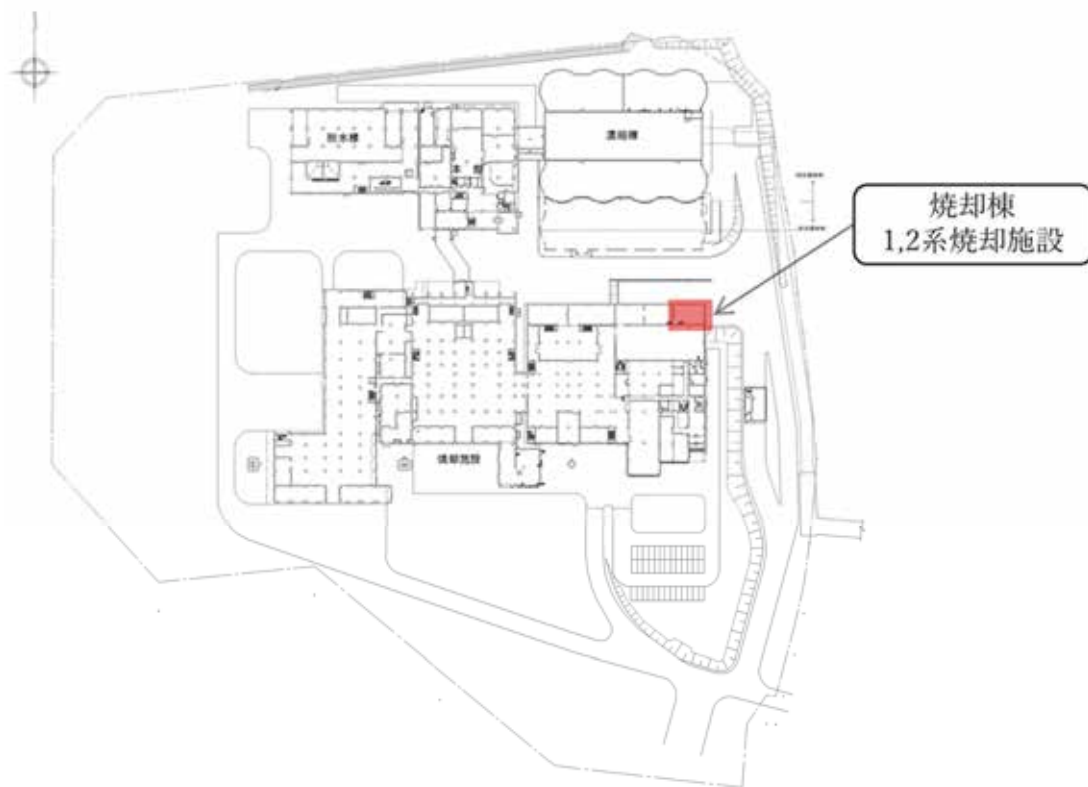


図-2 西部スラッジセンター全体平面図

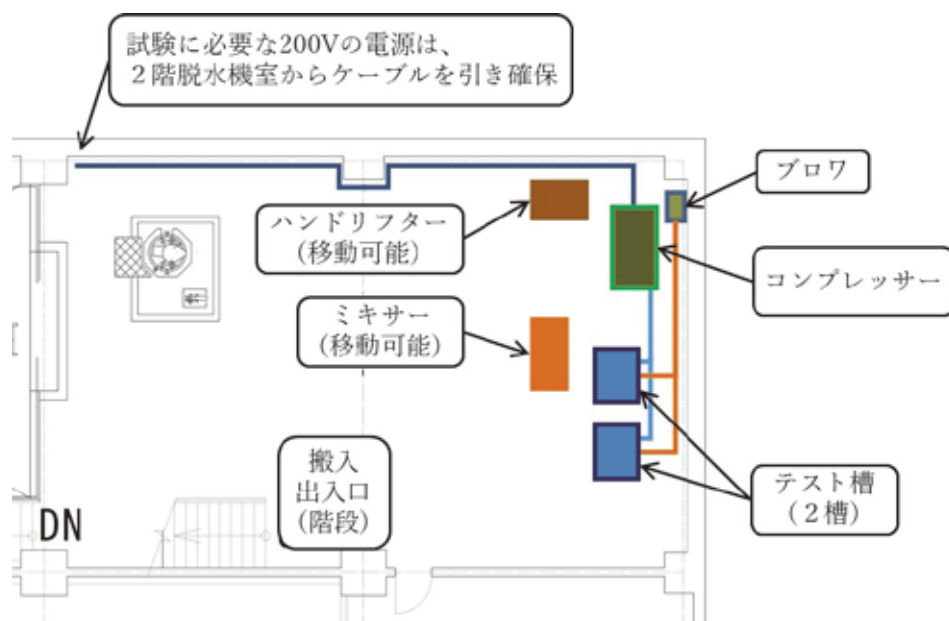


図-3 焼却棟1, 2系焼却施設薬品貯蔵庫平面図(1階)

4. 試験 1 回目の結果

1) 分析結果

表-4、表-5にA-1およびB-1の含水率等の推移をそれぞれ示す。表-6、表-7にA-1およびB-1の脱水汚泥と乾燥汚泥の重量および含水率を示す。

表-4 A-1 (脱水汚泥：剪定枝=1:2)の含水率等の推移

	含水率 (%)	灰分 (%)	臭気 (ppm)	比重	重量 (kg)	前週比 (kg)	重量減 (%)
試験開始時	59.7	42.8	-	0.33	301.5	-	-
1週経過時	51.0	-	3.0	-	260.5	-41.0	13.6
2週経過時	39.8	-	2.0	-	237.0	-23.5	21.4
3週経過時	39.3	-	1.0	-	215.0	-22.0	28.7
4週経過時	45.9	44.8	1.0	0.26	204.5	-10.5	32.2

表-5 B-1 (脱水汚泥：剪定枝=1:1.3)の含水率等の推移

	含水率 (%)	灰分 (%)	臭気 (ppm)	比重	重量 (kg)	前週比 (kg)	重量減 (%)
試験開始時	60.3	46.6	-	0.34	332.5	-	-
1週経過時	52.0	-	6.0	-	285.5	-47.0	14.1
2週経過時	49.3	-	7.0	-	246.0	-39.5	26.0
3週経過時	47.5	-	3.0	-	219.5	-26.5	34.0
4週経過時	46.1	51.7	1.5	0.28	206.0	-13.5	38.0

表-6 A-1の脱水汚泥と乾燥汚泥(ふるい分け後)の重量と含水率

	全重量 (kg)	水分重量 (kg)	固形物重量 ^{*2} (kg)	重量減 (%)	含水率 (%)
脱水汚泥 ^{*1}	101.4	83.4	18.0	-	82.2
乾燥汚泥 ^{*1}	28.4	12.0	16.4	72.0	42.3

※1 いずれの重量についても、含水率から算出

※2 固形物重量については、既往の調査結果から9%が分解された場合を想定

表-7 B-1の脱水汚泥と乾燥汚泥(ふるい分け後)の重量と含水率

	全重量 (kg)	水分重量 (kg)	固形物重量 ^{*2} (kg)	重量減 (%)	含水率 (%)
脱水汚泥 ^{*1}	142.5	118.0	24.5	-	82.8
乾燥汚泥 ^{*1}	42.3	20.0	22.3	70.3	47.3

※1 いずれの重量についても、含水率から算出

※2 固形物重量については、既往の調査結果から9%が分解された場合を想定

2) 混合物温度のデータ

図-4、図-5にA-1およびB-1の混合物温度の推移をそれぞれ示す。ch.1はテスト槽中央、ch.2は高圧通気配管直上での位置で計測している。なお、室温は発酵熱の影響を受けない位置で測定している。

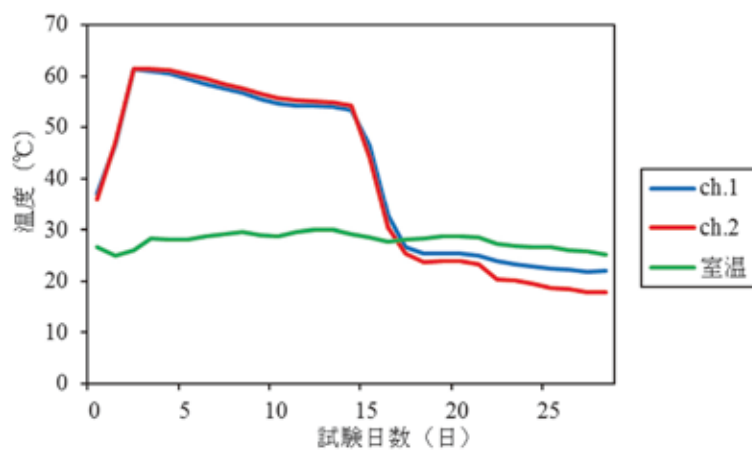


図-4 A-1の混合物温度の推移

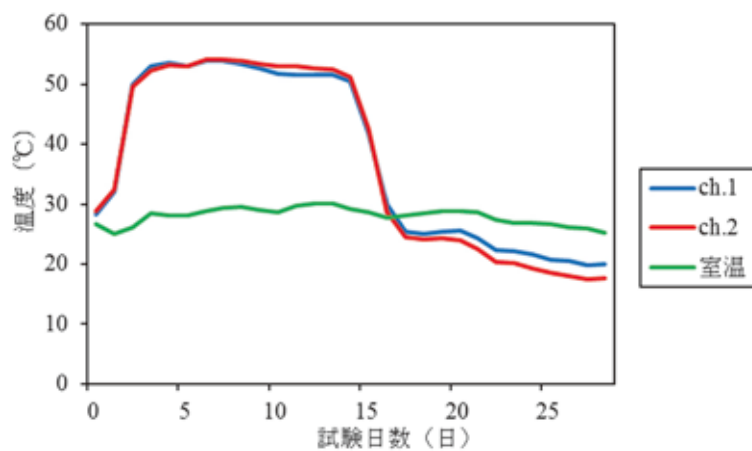


図-5 B-1の混合物温度の推移

3) 試験1回目の考察

①含水率

試験開始時はA-1、B-1ともに60%程度であったが、4週経過時においてA-1は45.9%、B-1は46.1%にそれぞれ低下した。なお、A-1については2週経過時で40%を下回っていることから、4週経過時の含水率の高さはサンプリングによる誤差の可能性が大きいものと考えられる。

②灰分

試験開始時から4週経過時までにA-1は2ポイント、B-1は5.1ポイントの灰分上昇を示した。B-1の灰分が高い理由としては、副資材に対する脱水汚泥の割合が多いため、易分解性成分の量も多くなり、無機化が多く生じたものと考えられる。

③臭気

検知管によるアンモニア濃度測定の結果、A-1、B-1とも試験期間中を通じて最大で7.0ppmと比較的に低い値を示した。また、時間経過に伴ってアンモニア濃度は低下し、試験終了時には1ppm～1.5ppmにまで低下することが分かった。

④比重

試験開始時の値がA-1で0.33、B-1で0.34を示した。高圧通気を利用した発酵技術に関するこれまでの調査において、試験開始時に0.4を下回ると混合物の通気抵抗が温度上昇に対して理想的な状態となり、かつ汚泥中の有機物の分解に望ましい条件となることが分かっている。今回の試験ではそれらの条件を満たしていたものと考えられる。なお、試験終了時のA-1は0.26、B-1は0.28にそれぞれ低下を示した。

⑤混合物重量

2週経過時までの発酵工程において、A-1は21.4%、B-1は26.0%の重量減少を示した。すなわち、発酵による有機物の分解および水分蒸発によって、混合物重量は2割程度減少することが分かった。なお、A-1と比較してB-1が大きな減少を示した理由としては、B-1の脱水汚泥量が40kg程度多かったため、水分蒸発量が多くなったものと推察される。

また、4週経過時の乾燥工程において、A-1は32.2%、B-1は38.0%の重量減少を示した。すなわち、乾燥による水分蒸発によってさらに1割程度の混合物重量が減少することが分かった。なお、今回の調査ではブロワ乾燥の効果を検証するため、B-1のブロワ風量をA-1の2倍に設定し比較したが、先の発酵工程においてB-1の減少が大きかったことを考慮すると、ブロワ風量の違いによる顕著な差は少なかったものと考えられる。そのため、混合物温度が高いうちにブロワを使用すると発酵が阻害され、かえって減量化が進まない可能性があることが示唆された。

⑥ふるい分け後の乾燥汚泥重量

乾燥汚泥とは、発酵・乾燥・ふるい分けの工程を経て、副資材と原料に再び分けられた際のふるい通過分を言う。本調査では、乾燥汚泥重量は測定していないため、含水率から重量を算出している。その結果、乾燥汚泥重量は当初の脱水汚泥重量からA-1で72.0%、B-1で70.3%それぞれ減量したことが推察される。すなわち、脱水汚泥自体の重量は、約1/3～1/4に減量化できることが示唆された。ただし、乾燥汚泥が固化して副資材に付着している場合もあったことから、正確な知見を得るためには、乾燥汚泥の重量の計測および、副資材への付着量の把握などの更なる検証が必要であると考えられる。

⑦混合物温度の推移

定山溪水再生プラザの脱水汚泥は強熱減量が40%台と低いため、混合物温度が上がるかが懸念されたが試験開始から数日でA-1は60℃以上、B-1は50℃以上に達し、その後1週間程度にわたり50℃以上を維持した。混合物温度に関しては15日目より急激に低下しているが、これはブロワによる通気に切り替えたためである。

5. 試験2回目の結果

1) 分析結果

表-8、表-9にA-2およびB-2の含水率等の推移をそれぞれ示す。表-10、表-11にA-2およびB-2の脱水汚泥と乾燥汚泥（ふるい分け後）の重量および含水率を示す。

表-8 A-2（脱水汚泥：返送物=1：0.66）の含水率等の推移

	含水率 (%)	灰分 (%)	臭気 (ppm)	比重	重量 (kg)	前週比 (kg)	重量減 (%)
試験開始時	59.0	50.4	-	0.44	336.0	-	-
1週経過時	57.5	-	10.0	-	295.0	-41.0	12.2
2週経過時	50.3	-	3.0	-	264.5	-30.5	21.3
3週経過時	52.2	-	6.0	-	251.0	-13.5	25.3
4週経過時	48.2	54.5	4.0	0.33	241.0	-10.0	28.3

表-9 B-2（脱水汚泥：返送物=1：0.78）の含水率等の推移

	含水率 (%)	灰分 (%)	臭気 (ppm)	比重	重量 (kg)	前週比 (kg)	重量減 (%)
試験開始時	62.4	54.5	-	0.42	356.0	-	-
1週経過時	55.0	-	28.0	-	308.0	-48.0	13.5
2週経過時	56.6	-	6.0	-	276.0	-32.0	22.5
3週経過時	50.1	-	6.0	-	262.0	-14.0	26.4
4週経過時	49.1	58.0	5.0	0.36	251.5	-10.5	29.4

表-10 A-2の脱水汚泥と乾燥汚泥（ふるい分け後）の重量と含水率

	全重量 (kg)	水分重量 (kg)	固形物重量 ^{*2} (kg)	重量減 (%)	含水率 (%)
脱水汚泥 ^{*1}	201.6	169.4	32.2	-	84.0
乾燥汚泥 ^{*1}	56.5	27.2	29.3	72.0	48.1

※1 いずれの重量についても、含水率から算出

※2 固形物重量については、既往の調査結果から9%が分解された場合を想定

表-11 B-2の脱水汚泥と乾燥汚泥（ふるい分け後）の重量と含水率

	全重量 (kg)	水分重量 (kg)	固形物重量 ^{*2} (kg)	重量減 (%)	含水率 (%)
脱水汚泥 ^{*1}	200.0	168.2	31.8	-	84.1
乾燥汚泥 ^{*1}	57.5	28.6	28.9	71.2	49.7

※1 いずれの重量についても、含水率から算出

※2 固形物重量については、既往の調査結果から9%が分解された場合を想定

2) 混合物温度のデータ

図-6、図-7にA-2およびB-2の混合物温度の推移をそれぞれ示す。

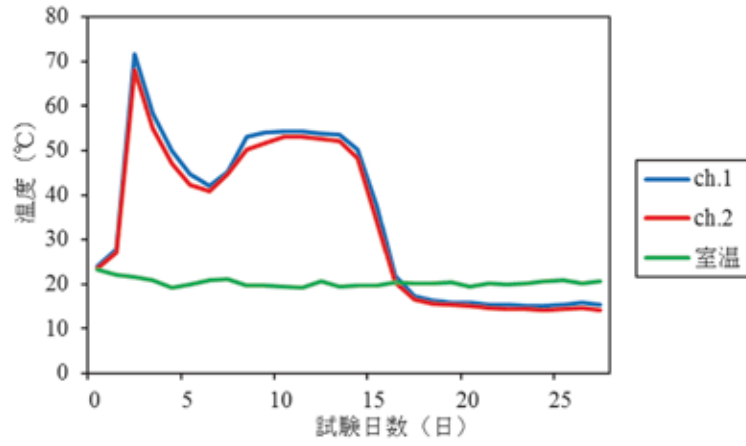


図-6 A-2の混合物温度の推移

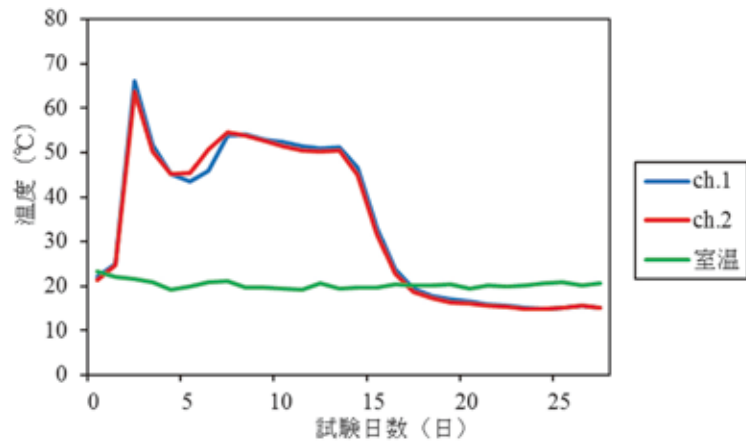


図-7 B-2の混合物温度の推移

3) 試験2回目の考察

①含水率

4週経過時においてA-2は48.2%、B-2は49.1%であった。

②灰分

A-2は4.1ポイント、B-2は3.5ポイントの上昇があり、どちらのテスト槽においても無機化の進行が見られた。A-2の灰分がB-2と比較して高い理由としては、脱水汚泥の割合が副資材に対して多いため、総じて易分解性成分の量も多くなり、無機化が多く生じたものと考えられる。

③臭気

A-2では1週経過時に10ppmを示したが、その後は一桁台であった。B-2では1週経過時に28ppmを示したが、2週目には6ppmまで低下し、その後は一桁台であった。今回、B-2の臭気が高かった理由は、不明である。

④比重

試験2回目では、副資材に対して脱水汚泥の割合を多くしたことから、試験開始時のA-2、B-2の比重はそれぞれ0.44、0.42となっており、発酵に優位とされる0.4をやや上回った。しかし、混合物温度の上昇も見られたことから特に問題のない水準であったと考えられる。

⑤減少率

2週経過時までの発酵工程において、A-2は21.3%、B-2は22.5%の減少率を示した。これは、試験1回目とほぼ同程度の水準となっている。最終的な混合物重量の減少率はA-2、B-2ともに3割程度となっている。試験1回目同様に試験2回目においてもブロワ乾燥の効果を検証するため、B-1のブロワ風量をA-1の2倍に設定し比較したが、ブロワ風量の違いによる顕著な差は少なく、試験1回目での結果および推察を傍証する結果となった。そのため、混合物温度が高いうちにブロワを使用すると発酵が阻害され、かえって減量化が進まない可能性があることが改めて示唆された。

⑥ふるい分け後の乾燥汚泥重量

乾燥汚泥重量は当初の脱水汚泥重量からA-2で72.0%、B-2で71.2%それぞれ減量したことが推察される。すなわち、脱水汚泥自体の重量は、約1/3～1/4に減量化できることが示唆された。ただし、乾燥汚泥が固化して副資材に付着している場合もあったことから、正確な知見を得るためには、乾燥汚泥の重量の計測および、副資材への付着量の把握などの更なる検証が必要であると考えられる。

⑦混合物温度の推移

A-2、B-2とも1週目の混合物温度が急激に下がる現象が見られたが、乾物減少量の変化との相関については明確にならなかった。なお、室温に関しては試験期間中を通じて26℃程度の温度をほぼ維持していた。

6. まとめ

1) 減量化について

すべての試験を通じて、発酵工程では2割程度の混合物の減少が確認され、その後の乾燥工程においてさらに1割減少することが確認され、発酵と乾燥によって約30%の混合物重量が減量化することが分かった。なお、本調査では、積極的な水分蒸発を目的として2週経過時からブロワ乾燥を実施したが、ブロワによる減量効果は限定的であるという結果になった。混合物温度が高い場合は高圧通気で通気を継続するほうが、減量化の観点からは有効であると思われる。

また、脱水汚泥自体の重量は、発酵・乾燥・ふるい分けによって、約1/3～1/4に減量化できることが示唆された。

2) 副資材の繰返し利用について

本調査では、試験1回目で発酵・乾燥させた混合物を水分調整用の副資材として繰返し利用できるか確認するため、試験2回目で再利用し検証を行った。その結果、混合物温度の上昇および重量の減少が確認されたことから、副資材の繰返し利用は可能であることが明らかとなった。ただし、試験1回目と試験2回目では混合物に占める脱水汚泥の割合が大きく異なること、平均室温が6℃程度異なること、繰返しの検証が1回のみであったことなどを考慮すると、減量化に向けてより発酵工程と乾燥工程の設定方法について詳細な検証が必要と考えられる。



写真-10 剪定枝チップの積込



写真-11 試験実施場所



写真-12 汚泥回収時の養生



写真-13 脱水汚泥の採取



写真-14 A-1 槽の混合物



写真-15 B-1 槽の混合物



写真-16 A-1 槽 (試験開始時)



写真-17 B-1 槽 (試験開始時)



写真-18 臭気測定



写真-19 サンプルング作業



図-20 A-1槽 (試験終了時)



図-21 B-1槽 (試験終了時)



図-22 A-2槽の混合物



図-23 B-2槽の混合物



写真-24 A-2槽 (試験開始時)



写真-25 B-2槽 (試験開始時)



写真-26 A-2槽 (試験終了時)



写真-27 B-2槽 (試験終了時)



写真-28 ふるい分け作業



写真-29 乾燥汚泥 (ふるい通過分)



写真-30 乾燥汚泥のホッパへの投入作業



写真-31 乾燥汚泥の積出作業