途上国技術研修用ジャーテスト模擬浸出水の作製に関する検討

久保倉　宏一　・　富田　弘樹　・草野　陽子

福岡市保健環境研究所廃棄物試験研究センター

Development of Artificial Leachate for Jar Test in Technical Training Course for Developing Countries

Koichi KUBOKURA，Hiroki TOMITA　and Yoko KUSANO

Waste Research Center, Fukuoka City Institute for Hygiene and the Environment

Summary

For 7 years Fukuoka City had been carrying country out a focused training course in landfill technology for solid waste management for Malaysia and Pakistan to contribute to the improvement of waste treatment technology collaborating with the Japan International Cooperation Agency (JICA). In this training course preparing an artificial leatchate is required for better performance of coagulation examination. Five kinds of materials were proposed as the artificial leatchate using poly aluminum chlorides and ferric chlorides. Although Chinese ink and extraction solution of composted tree prunings were useful for coagulation examination, further improvement was carried out from the viewpoint of the color and the organic contents. The mixture of Chinese ink and the composted tree prunings was proposed as the final artificial leachate, because the treatment effect was qualitatively measured using a simple COD test kit and transparency meter.

Key Words：凝集沈殿　Coagulation, 埋立場　Landfills,　国際協力 International Cooperation
技術研修 Technical Training,　廃棄物　Wastes, 模擬汚水　Artificial Leachate

Ⅰ　は じ め に

途上国における廃棄物処理は，ほとんどの場合直接埋立処分によって行われているが，オープンダンピングや埋立場未整備であるためで，黒色浸出水の流出による環境汚染などが発生しているケースが報告されている．

福岡市では，途上国における廃棄物の衛生埋立処理技術の普及を目指して，国別集団研修コースをこれまで7年間にわたり実施してきた．研修コースの中で，浸出水処理技術のひとつとして凝集沈殿処理のジャーテストを研修生に実習させるにあたり，技術移転効果を挙げるために実習で使用する模擬浸出水の作成について検討を行ったのでその概要を報告する．

Ⅱ　現状と問題点

1. アジア地域におけるごみ埋立場の現状

アジア地域における都市部の人口は，1990　年代半ばまで3.0～6.5％の割合で成長しており1990年の約10億人から2003年には約26億人と2倍以上に膨れ上がっているといわれる．その人口も都市部に集中しており，世界で 39 都市ある人口 500 万人以上の都市が，アジア地域で22を占めている状態である．

都市ごみの処理は，中国の一部で焼却･堆肥化が導入されているものの，70％以上は埋立てであり，それ以外の国では 90％以上が埋立てされている．しかし，これらの地域においては社会インフラが未発達のため，衛生埋立処分場は数少なく，大半がオープンダンピング処分場である．このため，表流水や浸出水による地下水汚染やごみの飛散による環境汚染が深刻なものとなっている．

図 1 はマレーシアの首都クアラルンプール市郊外にある埋立処分場であるが，大量のごみが小高い山に積みあげられて，そこから黒色浸出水が周辺に流れ出しごみが飛散している．このような処分場は特異的なものではなく，アジア地域においてよく見られる埋立処分場であるが，その改善が必要とされている．

図１ 埋立場より流出する浸出水（マレーシア）

福岡市は，友好都市交流活動，アジア太平洋都市サミットの開催，国連ハビタットへの職員派遣などの技術援助や，研修員の受入による人材開発を通じて，主としてアジア地域のごみ埋立場問題の解決に対して支援 [1,2]を行ってきた．

2 福岡市国別集団研修実施状況

ＪＩＣＡ国内研修には個別研修と集団研修があり，集団研修はこれまでも定期的に各自治体において行われてきた．しかし，集団研修では研修生の出身国がさまざまであり，国の事情や必要とされる技術が異なることも多く，研修計画立案に当たっては困難なことも多い．そのため，同一国からの複数研修生を対象とする国別集団研修が行われるようになってきた．

福岡市では，姉妹都市があるマレーシアを対象として国別特設廃棄物埋立技術研修を平成 11 年度より実施するとともに，平成 17 年度には新たに国別研修パキスタン廃棄物埋立技術研修を開始した．

研修期間約40日の研修コースをこれまで７年間実施し，受入れ研修生は表１のとおり合計 51 人である．

マレーシアについては参加研修生がおよそ国内の全自治体をカバーするまでに達してきたと考えられるので，平成18年を持って終了し，今後はパキスタンを対象とした研修を行っていく計画となっている．

3. 浸出水処理実習と問題点

我々は，研修コース中の環境モニタリングや浸出水処理技術を担当してきており，処理技術の一つである凝集沈殿処理の理論や適用について技術移転に努めてきた．

表１ 福岡市における国別特設研修実施状況

対象国	マレーシア	パキスタン	計
H11	4		4
H12	4		4
H13	5		5
H14	8		8
H15	8		8
H16	7		7
H17	8	7	15
計	44	7	51

座学のみでなく実技も取り入れた方が研修効果が上がるので，ポリ塩化アルミニウム（以下，ＰＡＣ）や塩化第二鉄（以下，塩鉄）を使用して凝集沈殿処理のジャーテストを研修生に実習させ，水処理技術の現場での応用力の移転を行ってきた．

大学での学生実習や凝集剤の開発研究用途などには，ジャーテスト用模擬汚水としてはカオリン溶液（白色濁水）が使用されることが多いようである．しかし，現状でも紹介したような途上国の黒色浸出水とは色等の性状が全く異なるため，研修生が自国の浸出水に適用できる技術か疑問を持つことが考えられるため，実習研修効果が薄いと考えられる．しかし，福岡市には生ごみを直接埋立て処分したり，内部が嫌気的条件下となっているような埋立場はないため，黒色を呈し有機物を含む浸出水を採取してくることもできない．このため，従来まで清掃工場ピット汚水を採取して実習用の汚水として使用してきたが，色調の問題は解決できるが悪臭が非常に強いため取り扱い上で問題があるとともに，衛生上も問題であった．また，ピット汚水の水質が安定していないため，添加する凝集剤の量が年によって大きく変動することもあり，実習運営上色々な点で支障があり改善が求められた．

図２ 埋立技術研修コースにおける水処理実習風景

III 材料･方法

1. 材料および試薬等

・微粉末活性炭　上水道処理用のもの

・プリンタートナー

　レーザープリンタートナーカートリッジから取り出した

・二酸化マンガン　試薬一級

・書道用液体墨

　市販の液体墨を購入して使用した.

・剪定枝葉堆肥化物

　福岡市緑のリサイクルセンターにて，10ヶ月程度発酵堆肥化されたものを使用した.

・塩化第二鉄，ポリ塩化アルミニウム　排水処理用

・パックテスト　共立理化学研究所　CODおよびCOD（H）

・透視度計　プラスチック製，50cm

・ジャーテスター　宮本理研　JMD-8S

　急速攪拌（200rpm，5min）および緩速攪拌（30rpm，10min）の条件で行なった.

2. 剪定枝葉堆肥化物抽出液

剪定枝葉堆肥化物抽出液は，発酵期間10〜14ヶ月の堆肥化物2kg(湿重量)に水道水35Lを加えて十分攪拌し一晩静置したのち，表面の浮遊物を除いた上澄水をサイホンなどを利用して静かに引き抜いて作成した. 必要に応じてガーゼやタオルなどでろ過を行い試験に供した.

3. 模擬汚水材料の検討

凝集沈殿処理のジャーテストを行う上で模擬汚水として求められる条件は，以下のとおりである.

① 色が途上国浸出水と似ているもの

研修生たちが母国で直面している浸出水とまったく異なる模擬水を用いた実習では，研修意欲を刺激することができず研修効果が薄い. 問題解決の手段と考えてもらうには少なくとも概観が似たものが望まれる.

② 簡単に作成(用意)できるもの

一回のジャーテストでは 6〜8Lの試験溶液を使用し，条件や凝集剤を換えて数回の試験を 3 グループの研修生に実習させようとすると，全体で 50〜60Lの模擬汚水が必要となる. また，事前に講師側で予備テストを行っておくことが望ましいのでさらに多くの量が必要である.

③ 凝集効果を把握できるもの

凝集処理により，色度・濁度が除去できることは視覚的に容易に判断できるが，それ以外の水質で凝集処理効果をパックテストなどの簡易検査により判断することが可能であれば，水質検査における簡易検査法の有効性を移転する面からも非常に有用である.

このような条件下で，溶液が黒色から茶色を呈する表 2に示した材料について，PACや塩鉄を用いて模擬汚水の検討材料とした.

表 2　検討材料一覧

1	微粉末活性炭けん濁液
2	プリンタトナーけん濁液
3	粉末MnO_2けん濁液
4	書道用墨汁希釈液
5	剪定枝堆肥化物抽出液

Ⅳ 結果および考察

表 2 の材料について，模擬汚水の有効性を検討した結果を以下に記す.

1. 微粉末活性炭けん濁液

上水処理過程で使用されている微粉末活性炭濃度である数10mg／Lを参考にけん濁液を作成したが，この濃度では水は薄い黒色を呈するが透明度は高いので，汚水と呼べる状態ではなかった. また，微粉末といってもまだ粒子径が大きく，けん濁液を一晩放置しておくと自然沈降により分離するため，模擬汚水には不適であった.

2. プリンタートナーけん濁液

レーザープリンターやコピー機のトナーは黒炭であり，その粒子径も10μmと非常に細かいので粉末活性炭のような自然分離がないと期待されるので検討を行った.

その結果，粒子は細かいがトナーが疎水性であるため水に均一にけん濁させてコロイド状態にすることが出来ず，ほとんどが数ミリメートルの玉となって浮いてしまった. この玉を除去して静置してみたところ，1mm以下の小さな玉が多く存在しており時間がたつと浮上分離してきた. このトナー粉末の玉中に存在すると考えられる空気を超音波で脱気して，均一コロイド状けん濁液とすることを試みたがコロイド状溶液とはできず，模擬汚水として使用することはできなかった.

3. 粉末二酸化マンガンけん濁液

一般に金属酸化物表面には水中で負電位(負電荷)が形成され負コロイドとなることが知られているので，PACや塩鉄などの陽イオンの凝集剤を用いて凝集沈殿を行うことが可能である. そこで，金属酸化物で黒色である二酸化マンガンを用いてけん濁液を作成したが，コロイド溶液とはならず数時間放置すると自然沈降により沈殿してしまい，上澄水は無色透明になってしまった. けん濁液をジャーテスターを用いて凝集試験を行ったところ，凝集性は非常によくフロックの沈降速度も非常に大きかったが，比較対象

の凝集剤を添加しないものも 20～30 分の間にかなり沈殿してしまい，模擬汚水として使用することはできなかった．

4. 書道用墨汁希釈液

1～4 の材料を用いて黒色の模擬浸出水を作成しようとしたが，水中に均一に分散しなかったり自然沈降にて分離するものしかできなかった．そこで，均一に分散しており放置しても自然分離が起こらない黒色のものとして，書道用墨汁の希釈液の模擬汚水としての可能性を検討した．墨汁は疎水性の炭がニカワにより分散している疎水コロイドであるので，これまでの材料のように長時間放置しても自然分離するということはないので，PACや塩鉄での凝集性を市販各種墨汁について検討した．市販の液体墨は，墨汁･墨彩･墨滴･墨液などの名称で販売されており，カーボンブラックを主成分とするが，にかわ系と合成樹脂系などその成分には違いが見られる．また，中には衣服についても大丈夫とうたわれるものもあり，漂白剤と洗剤のつけ置き洗いで落ちる成分となっている．

そこで表3に示す市販 5 種類の液体墨を購入して，希釈溶液を作成し凝集試験を行った．

表 3 試験を行った液体墨一覧

No	液体墨名
1	墨の華
2	不易墨汁
3	墨彩
4	墨滴
5	洗濯で落ちる墨液

希釈倍率は凝集試験用1Lビーカーで背面が見えない程度として，10Lの水に 2mLの液体墨を加えた 5000 倍希釈としたが，No5 液体墨のみが同濃度では背面が容易に透視できる状態であったので 10Lの水に8mLの液体墨添加とした．

この濃度において凝集試験を行ったところ，No1～4 はPAC10～20mg／L，塩鉄 20～40mg／Lの添加で，No5 はその倍程度の添加でフロックの生成が確認され静置沈殿により分離することができた．しかし，No1～4 は上澄水は無色透明となったが，No5 は添加量を変更しても透明になるが，うすい紫色が残り無色にすることはできなかった．

液体墨の希釈に用いる水を，水道水と蒸留水･イオン交換水と比較したところ，蒸留水･イオン交換水では液体墨に凝集が起こらなかったが，これはアルカリ度不足のためであると考えられる．実際の模擬汚水を作成する場合は数十リットルが必要であるので，蒸留水などで作成するより水道水で作成できるというのは非常に実用的である．また，凝集試験を重ねるうちに，No3･4 については汲み置きの水を用いるときれいに凝集するが，蛇口からの水をすぐに使用すると凝集が悪く上澄水が無色透明にならないということがあった．これは残留塩素の違いによるものであると考えられたので，蛇口からの水道水にハイポを加えて残留塩素を消去して再度凝集試験を行なったところ，無色透明の上澄水を得ることができた．これは分散剤などの含有成分の違いに起因すると考えられるが，液体墨には詳細な成分が記載されていないため明確な原因解明はできなかった．

以上の結果より，No1～4 の液体墨の水道水での 5000 倍希釈液を，模擬汚水として用いることとした．また，残留塩素が存在する水道水を用いる場合は，使用できる液体墨が限られることも分かった．

5. 剪定枝葉堆肥化物抽出液

液体墨希釈液は外観の点で途上国浸出水に似ていて模擬汚水として有効であるが，半面凝集効果は色度･濁度でしか評価することができない．そこで，有機物を含む模擬汚水として剪定枝葉堆肥化物抽出液の有効性を検討した．

剪定枝葉堆肥化物抽出液は，1L のビーカーに採った時に背面がかすかに見える程度の濁度をもち，透視度は数cmであった．ビーカー内で更に一昼夜放置しても沈殿物はほとんどなく，自然分離により浄化することはできないような均一溶液であった．

この抽出液を用いて PAC 凝集試験を行なったところ，表 4 のとおりの結果となった．

表 4 PAC による剪定枝葉堆肥化物抽出液の凝集結果

添加量(mg/L)	フロック生成	上澄水	判定
0	―	黒茶色，SS あり	―
30	微細，軽	茶色，SS あり	×
60	良好	無色，SS なし	○
90	良好	無色，SS なし	○
120	やや良，軽	薄茶，SS なし	×
150	やや良，軽	茶色，SS なし	×

実験を行なったPAC添加量 30～150mg／L の範囲内でフロックの生成を認めたものの，60～90mg／Lでフロック状態が非常に良好で，静置沈殿により分離することができ，無色透明の上澄水を得ることができた．

同様に塩鉄を使用した場合も，添加率 100mg／L において無色透明の上澄水を得ることができ，凝集沈殿処理により色度･濁度を除去できることがわかった．

さらに，簡易試験パックテストを用いると，原液の堆肥化

物抽出液はCOD がおよそ100mg／Lであり，凝集試験後の上澄水では条件がよいものは20mg／L以下となり，凝集処理により色度･濁度のみでなく有機物も除去できていることが簡易試験法により確認できた.

このように，剪定枝葉堆肥化物抽出液を用いた凝集試験は，途上国の研修生にとって凝集処理実習と簡易水質測定実習の両方を習得できるという点で有効な方法であるとが分かった．短所を挙げるとすれば，途上国浸出水の黒色と比べるとかなり薄い色であるということである.

6. 埋立処理研修コースとしての模擬汚水の検討

これまで模擬汚水としていたピット汚水やカオリンと今回の模擬汚水材料を検討した結果をまとめると表5のNo1～7のとおりである．この結果，途上国研修生に対しNo6と7が模擬汚水として有用であるものの，両者の有効性を合わせることで更に有効性が高い模擬汚水とすることができると考えられたので検討した.

模擬汚水は，No7の剪定枝葉堆肥化物抽出液に液体墨を全体の色が黒色で1Lビーカーに溶液をとった時に背部が見えない程度の色濁度となるように調整した．その結果，液体墨の添加量は10L堆肥化物抽出液におよそ0.5mlであった.この模擬汚水にたいしてPACを用いて凝集試験を行なった結果が表6であるが，黒色模擬汚水が凝集剤の添加量の過不足でどのように変化するのかはっきりと把握することができた．同時にCODなどの除去効果もパックテストや透視度計を用いて定量的に把握することができ，研修用の模擬汚水として十分利用可能であることが分かった．また，凝集剤として塩鉄を使用した結果が表7であるが，PACを用いた試験同様やはり凝集効果を定量的に把握することができた.

表5 ジャーテスト模擬汚水として検討を行った物質とその特徴

No	材 料	色	臭い	放置安定性	COD	特記事項	総合判定
1	ピット汚水	黒	悪臭	沈殿	高	非衛生，水質不安定	△
2	カオリン	白	なし	沈殿	なし	色が全く異なる	△
3	微粉末活性炭	黒	なし	沈殿･浮遊	なし	自然分離	×
4	プリンタトナー	黒	なし	浮遊	なし	自然浮上	×
5	粉末MnO_2	黒	なし	分離	なし	水に分散困難	×
6	液体墨希釈液	黒	なし	変化なし	なし	調整容易	○
7	剪定枝葉堆肥化物	茶	弱	変化なし	中	調整容易	○
8	液体墨+剪定枝葉堆肥化物	黒	弱	変化なし	中	調整容易，外観良	◎

表6 剪定枝葉堆肥化物抽出液と液体墨混合模擬汚水のPACによる凝集結果 (注：COD値はCOD(H)によるもの)

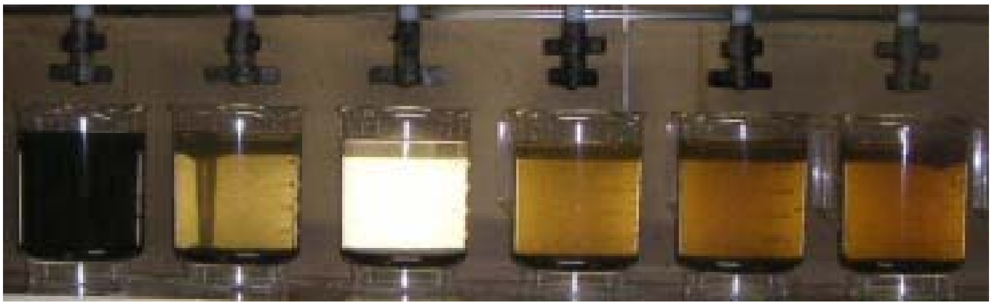
凝集試験沈殿後の様子						
PAC添加量（mg／L）	0	30	60	90	120	150
色調	黒茶色	薄茶色	無色	茶色	茶色	黒褐色
外観など	不透明	透明性あり	透明	SSあり	SSあり	SSあり
簡易試験COD（mg／L）	120	30	20	60	60	90
透視度（cm）	2.5	20	34	10	8	8

表７　剪定枝葉堆肥化物抽出液と液体墨混合模擬汚水の塩化第二鉄による凝集結果　（注：COD 値は COD(H)によるもの）

塩鉄添加量（mg／L）	0	20	40	60	80	100
色調	黒茶色	黒茶色	薄茶色	無色	茶色	茶色
外観など	不透明	フロックなし	SS あり	透明	SS あり	SS あり
簡易試験COD（mg／L）	120	60	20	0	20	30
透視度（cm）	2.5	3.0	12	16	5.5	3.0

凝集沈殿処理による処理効果を判定するのに，一般的に色度･濁度が利用されているが，液体墨と堆肥化物抽出液混合模擬汚水では原水の黒系色調が強く，目視での濁度および色度の判定はできなかった．そこで，透視度計を利用したところ，凝集剤添加量の違いによる処理効果を定量的に把握することが容易であったことから，透視度計は研修生が母国で水質管理を行なうのにも有用であると考えられる．

パックテストによる簡易試験ついても，途上国研修生が母国での環境モニタリングに活用できることから，その利用法を習得してもらうことは有用である．COD パックテストは検出範囲 100mg／Lのものが標準的であり，今回作成した剪定枝葉堆肥化物抽出液の COD もほぼ同じ濃度であった．しかし，標準 COD パックテストでは変色が，液体墨と堆肥化物抽出液混合模擬汚水の色に妨害されて，凝集処理液の COD 判定が困難であった．一方，COD（H)パックテストは測定濃度範囲が 250mg／L であり，模擬汚水の COD はその測定範囲よりも２分の1であり狭い変色域しか利用できないが，凝集処理液に対しては変色判定が明瞭に行なえるので，COD（H)の方が有用であった．

今後は，この汚水に重金属などを添加することで，凝集沈殿により色濁度･COD 除去と同時に重金属除去も可能であるような模擬汚水として研修コースに活用していきたいと考える．

Ⅴ　まとめ

福岡市が実施している国別研修廃棄物埋立技術コースの凝集沈殿処理技術実習における模擬汚水の作成法を検討した．

５種類の材料について模擬汚水としての有用性をＰＡＣや塩鉄を用いて検討したところ，液体墨と剪定枝葉堆肥化物抽出液が有用であった．

しかし，両者とも欠点があったため両者の混合物を用いて模擬汚水を作成したところ，透視度計や簡易試験器具を用いて，色濁度や有機性汚濁物質の除去効果を定量的に把握できる模擬汚水とすることができた．

本研究の概要は，第 27 回全国都市清掃研究･事例発表会（2006. 2. 3　高松市）にて報告した．

文　献

1)　久保倉　宏一：マレイシアにおける廃棄物埋立場の現状，福岡市保健環境研究所所報，28，169-176，2003

2)　平尾　隆道：アジア太平洋地域へ広がった「福岡方式」国際協力のこれまでとこれから，月刊廃棄物，**30**，22-27（9），2004