水面埋立処分場で発生する汚水の水質予測方法

山本 攻*・高見澤一裕*・井上 善介*・本多 淳裕**

1. はじめに

廃棄物埋立処分場より発生する汚水は、埋め立てる廃棄物の種類や量、陸上埋立と水面埋立の別などによって水量や水質が大きく異なっている。陸上処分場の汚水は、廃棄物の圧密や分解と降雨が主な発生原因となる。水面処分場では、これらに起因する水量の他に廃棄物が水中に投棄される際に排除する水量があり、この水量が前二者に比べると大きな部分を占めている。一方、処分場に投棄される廃棄物についても、汚濁物質がほとんど溶出ししない安定型廃棄物と呼ばれるものから、有機物を多く含んでいて分解等により多量の汚濁物質が溶出してくる管理型廃棄物とよばれるものまで様々である。このため、処分場の排水処理施設を設計するにあたっては、その処分場より発生する汚水の水量・水質を予測することが重要な作業となる。下水や産業廃水の場合には、過去のデータの蓄積により様々な原単位が算出されており、水量・水質を予測する方法論もほぼ確立されている。ところが、埋立処分場については、データがほとんど蓄積されていないのが現状である。特に、今後建設が進められると予想される海面埋立処分場については、実際の処分場でのデータは数例に過ぎず、水量・水質予測の方法論についても研究の段階である。

埋立処分場より発生する汚水に含まれる各種の物質で問題となるのは、有機汚濁物質と重金属などの有害物質である。有害物質については、処分場内での挙動が明確になっておらず、予測も非常に困難であるので、今回は有機汚濁物質に限って検討を行うことにする。

水面埋立処分場の場合、上述したように発生する汚水量の大部分は水中投入される廃棄物の排除水が占めており、汚水量の予測は比較的容易である。一方、発生する汚水の水質は残存している池の汚染状態を反映

したものであり、経時的に減少していく残存水の水質を予測することは非常に困難である。

本報告は、水質予測方法について検討し、実際の海面埋立処分場に適応を試みたものである。

2. 水質予測方法

水面埋立処分場より発生する汚水についての事例は少ないが、得られたデータよりその特徴として以下の点があげられる。

1) 比較的大規模な埋立となるため、汚水の発生期間が数年から十年近くになる場合がある。

2) このため、埋立方法にもよるが、埋立開始時には水質はほとんど悪化せず、埋立後半になってから水質の急激な悪化を示すことが多い。

このように長期間にわたって発生し変化していく水質を予測するには、水質汚濁現象を模擬するモデルを作成し、そのモデルに基づいて将来予測を行う必要がある。モデル作成方法としては、次の二つがある。

第一の方法は、水中投入される各種廃棄物より溶出してくる汚染物質の溶出量原単位を求め、それらのデータをもとに数式モデルを用いて、水質の経時変化を計算する決定論的方法である。各種廃棄物の溶出量原単位は、ピーカーテストの段階から大規模な模擬池の埋立実験まで、様々な規模での数値が求められている。しかし、これらの原単位は表1に示すように実験条件により大きく異なっており、適正な原単位を定めるにはなお一層のデータの蓄積が必要と考えられる。

第二の方法は、対象とする埋立処分場に類似した処分場もしくは対象埋立処分場での実測データをもとに、水質と他の様々な変数との間にある法則を見い出し、その法則により水質予測を行う経験論的方法である。本方法は第一の方法に比べると、類似した処分場のデータが必要となったり、対象埋立処分場の埋立がある

* 大阪市立環境科学研究所環境工学課 Osamu YAMAMOTO, Kazuhiro TAKAMIZAWA, Zensuke INOUE

** 大阪市立大学 Atsuhiko HONDA

表1 各種の実験より求められた溶出量原単位

	水質項目	溶出量(kg/t)		実 験 条 件	文献番号
		平均	範 囲		
1	BOD	約40		ごみ 1kg を網状のナイロン袋にいれ、 5 ℓ のイオン交換水中に浸漬	1
	COD	約10			
2	BOD	8.1		706㎡の池に、ごみ3.6t/日、下水汚泥 4t/日	2
3	BOD	3.4	2.0-4.5	1070㎡の池に、ごみ20-21t/日を投入	3
	COD	0.71	0.5-0.75		
4	BOD	10.7	6.8-14.9	410㎡の池に、ごみ3.6t/日、下水汚泥 4.5t/日を投入	4
	COD	0.65	0.32-1.23		
5	BOD	4.5		ドラム缶に①ごみ60.6kg、淡水100ℓ ②ごみ61.6kg、海水100ℓ ③ごみ30kg、下水汚泥30kg、海水100ℓ	5
	COD	2.7			
6	BOD	3.5		H工場 13ℓ 容バケツに 焼却灰 8 kg、海水 3 ℓ T工場 焼却灰 6 kg、海水 3.5ℓ	6
	COD	1.7			
	BOD	7.2			
	COD	1.5			
7	BOD	5.9		22ℓ 容バケツに上水汚泥4.7kg	7
	COD	2.2			

程度進捗している必要があるため、適用できる処分場は少ないが、今後各種の水面埋立処分場でのデータに適用して変数選択などの方法論を確立すれば、より実際のものになると考えられる。

また、水面埋立処分場においては、長期にわたる埋立期間中、実際に高度な排水処理施設が必要となるのは埋立の最終段階になってからである。このため、排水処理については、埋立の進捗とともに段階的に処理施設を建設していけばよいことになる。その際、次の処理施設の建設時期を決定するためにも水質予測が必要

表2 予測モデル作成手法

種類	手法
統計的 発見的 図式	自己回帰、移動平均、等 GMDH 簡便法

要となるが、この場合に用いる方法としては経験論的方法が有力な手段となろう。

筆者らは、この経験論的モデル作成方法の作業手順として図-1に示すものを考え、これを経験的水質予測法と呼ぶことにする。図中点線で囲んだ部分については表2に示すような手法がある。これらの手法は、第一の方法と異なり、システムをブラック・ボックスと考えてモデルを作ろうというものである。このうち、統計的モデルは、自己回帰や移動平均などの統計的手法を用いて数式モデルを作成するものである⁸⁾。

GMDHは、変数選択を行ったり、選択した変数を組み合わせて新たな変数を作ったりしながら、モデルを組み立てていく方法である⁹⁾。この両者は、収集した各種のデータを計算機によって処理を行うものであり、他の分野では予測手法として良く用いられている。一方、本報告で適用を試みる予測法は精度の点では劣るが、グラフの外挿を行うことにより簡単に予測することができる方法であり、これを簡便法と呼ぶことにする。

経験的水質予測法において、予測に用いる変数を予測変数、予測変数を用い数式表現または図的表現を行ったモデルを予測モデルと呼ぶことにする。この方法において重要なことは、予測変数の選択、予測モデルによる予測結果の検討、データが新たに蓄積された場合の予測モデルの再検討である。つまり、経験的水質予測法の特徴は、常に実際の水質データとの照合を行いながら、より良い予測結果が得られる変数への予測変数の選択を行っていくところにある。

3. 経験的水質予測法の適用方法

以下に用いる用語の内、水面埋立処分場に関する用語について、図-2に示す。

経験的水質予測法を用いる際に最初に問題となるのは、予測変数として選択する元の変数群にどのような変数を用いるかということである。水面埋立処分場において、水質と関係のありそうな変数として考えられるのは、残存水量、残存水面面積、日埋立容量、日埋立重量などであり、これらを組み合わせた、残存水量当たりの日埋立容量、残存水面面積当たりの日埋立容量などの変数も考えられる。表3に考えられる変数の

図-1 経験的水質予測法

図-2 水面埋立処分場の概念図

表3 水面埋立処分場水質予測のための変数例

	1 次 変 数	2 次 変 数
変数	WA (残存水面面積)	PDW/WA, DW/WA
	WV (残存水容量)	PDV/WA, DV/WV
	PDW (計画日埋立重量)	PDW/WV, DW/WV
	PDV (計画日埋立容量)	PDV/WV, DV/WV
	DW (日埋立重量)	WA/BA, WV/BV
	DV (日埋立容量)	
	BA (埋立開始前水面面積)	
	BV (埋立開始前水容量)	

一覧を示す。しかし、埋立処分場は、以下に述べるように埋立工法や埋立廃棄物の種類により様々に分類されるため、表3に示したすべての変数が対象とする処分場に適用しているとは限らない。そこで、図-1に示したように、対象とする処分場の特徴を考慮しながら予備選択を行って、対象処分場に適用していると考えられる変数を選択しなければならない。

水面埋立処分場で用いられる埋立工法には、図-3に

図-3 廃棄物埋立工法の例

示すように、水深が浅い場合に用いられる片押し工法や、水深が深い場合に用いられる薄層多重工法などがある。両者では埋立廃棄物の水との接触時間が大きく異なる場合が多く、廃棄物からの汚染物質の溶出量が異なると考えられる。また、薄層多重工法を実施したあと片押し工法で浅くなった池を埋め立てるという場合もあり、この場合汚染物質の挙動は複雑である。一方、埋立処分場に埋め立てられる廃棄物は、土砂・瓦礫や廃プラスチック類などのようにほとんど有機汚染を起こす可能性のないもの、木屑や繊維屑などのように長期間を経過する間に分解して汚染を起こすもの、焼却灰や有機性汚泥のコンクリート固化物などのように比較的短時間で汚染物質が溶出してくる可能性のあるもの等様々である。そして、これらの廃棄物の埋立比率が処分場によって全く異なっており、汚染物質の溶出現象についても異なる場合がある。このように、埋立工法や埋立廃棄物の違いにより、水面埋立処分場での汚染物質の挙動が異なっているため、表3に示した変数のうちどの変数を選択するかについては、処分場毎に決定しなければならない。

埋立処分場は、長期間にわたって運営されるものであり、水質予測は埋立開始時に一度行えば良いというものではない。2で述べたように、水質予測は処理施設の建設計画を決定するための判断資料となるものであるが、予測結果については常に最新の水質データでチェックする必要がある。予測は、往々にして外れるものである。また、運営途中には社会情勢の変化等により、投入廃棄物の量・質が変化することも十分に考えられる。このように、残存水水質が予測結果から外れ始めたり、予測の前提となった諸条件が変化すれば、水質予測を再度行うことが重要である。このため、水質予測に用いたデータだけでなく、表3に挙げたような各種のデータを可能な限り収集して蓄積して行くことが必要と考える。

4. 水質予測の適用例

ここでは、埋立途中における水質予測例と、埋立計画段階での水質予測例について述べる。

4.1 埋立途中における水質予測例

今回水質予測を行ったのは、管理型の海面埋立処分場である。この処分場では、全体を四区画に分けて片押し工法により埋立を行っており、発生する汚水は区画内の一部に設けた高率酸化池で処理を行っている。また、高率酸化池以外の残存している池は、そこで嫌気

の処理が期待されるのでこれを自然酸化池と呼んでいる。今回、容量確保のために三池の稼働している高率酸化池のうち二池を埋め立てることが計画され、その最終段階で発生する汚水の水質を予測することが求められた。

第一ステップは変数の予備選択であるが、次のようにして行った。表3に示した変数のうち、残存水量は水深が一定ならば残存水面面積と同一の意味を持つものであり、当該処分場はマクロなスケールで見れば水深はほぼ一定と考えられるので、残存水面面積だけを選択すれば良いことになる。埋立容量については埋立期間を通じて多少の変化はあるものの、ほぼ一定と考えられるので、残存水面面積当たりの日埋立容量 ($D \cdot V / WA$) は残存水面面積の逆数と考えることができる。以上のような考察から、当該処分場の水質予測に用いる変数として残存水面面積を用いることにした。

次のステップはデータの収集である。ここでは、予測モデル検討用のデータ (A系列) と実際に予測に用いるデータ (B系列) を分けて集めることにした。上述したように、この処分場の最初に埋め立てた区画では自然酸化池がほとんど無くなっており、この自然酸化池面積を残存水面面積と考えて、この区画の水質データを予測モデル検討用に用いることにした。一方、予測に用いるデータの場合には、残存自然酸化池面積と高率酸化池面積の両方を併せたものを残存水面面積とすることにした。

収集したデータをみると、水質は残存水面面積が減

図-4 残存水面面積とBODの関係 (A系列)

図-5 残存水面面積とCODの関係 (B系列)

少するに従い急激な悪化を示しており、データを対数変換する必要があった。残存水面面積については、そのままのスケールで用いることにした。図-4、図-5にBODおよびCODと残存水面面積との関係を示す。この区画は約4年間にわたって埋め立てられており、両水質共かなりの変動がみられるが、残存水面面積の減少に伴う水質の悪化は、図中に示した傾向線をたどっていると見ることができる。

予測モデルの検討であるが、埋立後半での水質の悪化は著しく、片対数のグラフでは直線にならないことが分かった。ただ、埋立終了直前では、ほぼ直線的な関係が認められ、埋立の最終段階では水質データの外挿が可能であると判断した。このように、BODもしくはCODと残存水面面積の間には若干の誤差は残るが明らかな関係があると認められたので、B系列の予測は水質データを図示し、残存水面面積の減少に伴う水質悪化の傾向を図-4、図-5を参考にしながら外挿すれば、最終段階の水質は予測可能であると判断した。

次に、実際の水質予測であるが、二区画のうち水面埋立が継続中であり、その後引き続いて高率酸化池を埋め立てる区画のデータを用いることにした。A系列のデータと同様に、残存水面面積とBOD・CODの関係を図示したものが、図-6、図-7である。この区画はA系列の区画とはほぼ同一の面積を持っているにもかかわらず、埋立期間が約2年半と短くなっている。これは、この区画の水深がA系列に比べてやや浅いこともあるが、埋立量の増加によるものである。この負荷の

図-6 残存水面面積とBODの関係およびその外挿線 (B系列)

増大が残存水質の悪化をもたらし、図-4と図-6、図-5と図-7を比較すればB系列の方が、残存水面面積の減少割合に比べて水質悪化速度が大きくなっていることがわかる。このような水質の悪化傾向に基づいて水質予測を行ったものが、図-6、図-7中の点線である。BOD・COD共より一層の悪化が予想されたので、外挿は下にやや凸の曲線とした。図より、水面が無くな

図-7 残存水面面積とCODの関係およびその外挿線 (B系列)

る時点でのBODは4,500mg/l、CODは約950mg/lとなった。A系列の埋立最終段階のデータではBODとCODはほぼ同一の値を示しているが、B系列のデータでは大きく異なっていたので、残存水面面積とBOD/COD比の関係を調べたものが図-8である。図よ

図-8 残存水面面積とBOD/COD (B系列)

り残存水面が少なくなると、BODが急激に増加していることが分かり、予測値のBOD/COD比はやや大きい、BODの過大予測ではないと判断した。

4.2 埋立計画段階での水質予測例

4.1で予測を行った処分場は埋立の進捗に伴い数年を経ずして埋立完了となるが、新たに海面埋立処分場が計画されており、廃水処理施設の建設計画立案にあたって残存水の水質予測を行うこととなった。

新処分場は、埋立面積、水深および投入廃棄物量が既設の処分場とは異なっているため、残存水面の減少速度が異なってくるので、4.1で用いた残存水面だけを変数とするモデルは適用困難と考えられた。そこで、残存水面面積1m²当りの一日埋立廃棄物重量を変数として用いることとした。埋立廃棄物重量については、埋立実績より見れば若干の変動は見受けられるが、ここでは、一日計画埋立重量を用いることとした。モデル作成用のデータとしては、4.1で用いたA系列のものを用いることにする。図-4、図-5の上側の軸に、残存水面面積20,000m²から120,000m²まで20,000m²刻みに求めた残存水面面積1m²当りの一日埋立廃棄物重量を示す。

新処分場は、廃棄物で中仕切を築き、その中を埋め立てる方式が採用される予定であり、残存水面面積は中仕切より外側の面積を用いることにする。このため、残存水面面積は段階的な減少となるので、水質予測も

段階的にしか行えないが、次の中仕切が完成する時点では、中仕切内の水面は殆ど残っていないと考えられるので、経時変化は段階的に求めた値を図-4、図-5を参考にしながら滑らかな曲線で結ぶことにした。

この予測は、全くデータの無いところで行い、しかも、この予測結果をもとに建設計画を立案するのであるから、水質悪化速度が早い場合も想定して、水質予測としては予想上限曲線も求めることにした。そこで、図-4、図-5で上限値の包路線を引き、この線をもとに上限を求めた。

予測結果を、残存水面面積の変化とともに図-9に示

図-9 処分場の計画段階での水質予測曲線

す。この予測結果では、残存水面が無くなる時点の値については、埋立状況が異なるため、明確な値は求めなかった。水面が無くなる時点のデータについては、埋立が進捗した時点で4.1のような予測を行えばよいと考えている。

5. 実測値による予測モデル検討

4.1で予測を行った区画の埋立最終段階の水質データを図-10に示す。埋立は昭和57年10月15日より開始され昭和58年12月27日にポンプ井を残して終了した。埋立開始と同時に残存水内水質が悪化を始め、残存水面が全く無くなって約2週間後にBODが1,800mg/l、CODが810mg/lのピークを示した。この結果と水質予測とを比較すると、BODで2.5倍の過大予測を行っている一方、CODでは1.2倍の違いであった。予測の困難さの違いなどによって予測値は様々の評価がなされているが、今回の場合、CODについては良く合っておりBODはややずれている、と言えよう。BOD/COD比は2.2となっており、残存水面面積が減少して

図-10 残存水面がほぼ0になる前後のBOD及びCOD

も図-8に示した比率とほぼ変わらない値となった。

予測を行う場合には、該当する項目の時系列データのみならず入手可能なあらゆる関連データを用い、それまでに蓄積した経験的知識を基礎として総合的に判断しなければならない。この処分場の過去のデータでは、水質が悪化した場合にBOD/COD比が3を越えることはほとんどなく、水質予測の時点でのデータの収集が不十分であった。ただ、BOD/COD比が、3程度であるとした場合、BODが過大予測であるのかCODが過少予測であるのかの判断は、非常に困難である。

予測モデルの評価であるが、4.1で示したように、埋立がある程度進捗している処分場汚水水質の予測を行う場合には、ほぼ満足する結果が得られると判断した。本方法は図-1に示したように水質予測作業は繰り返し行って予測精度を高める必要があり、予測を担当した者はその後の処分場のデータを収集し、予測のために引いた外挿線と現実の水質とを比較検討していくことが大切である。しかし、埋立が全く行われていない処分場ではこの外挿する方法は採用できない。そのため、4.2に示したように残存水面面積単位面積当たりの日埋立重量(DW/WA)などのデータを他の類似した処分場で収集して、それらの結果より演繹的に予測しなければならない。そして、埋立がある程度進行すればそれらのデータを用いて、予測モデルの修正を行うことが大切である。

6. おわりに

本報告では、水面埋立処分場の残存水水質予測方法として、経験的水質予測法を提案した。そして、予測モデルの作成法としてデータの図的表現を行って水質

変化の傾向線を求める方法を採用し、予測方法はその傾向線を外挿する簡便法を使用して、実際の海面埋立処分場でのデータに適用した。また、現在計画中の海面埋立処分場の水質予測も同様に行った。予測結果はほぼ満足できるものとなり、この方法によっても十分予測が行えることを明かにした。ただ、今回は水面が八割以上埋め立てられてからの予測であり外挿も容易であったが、今後、4.2で行った予測の追跡調査や、様々なケースでのデータを収集して有効性を確認して行きたいと考えている。

予測の目的は、簡易処理、中・高級処理などの処理を必要とする汚水が、どの時点で発生するかということを知ることにある。そして、その時点が来たときには処理施設が完成している必要があるので、予測は建設期間を含めると施設完成の数年前に行っておけばよいことになる。海面埋立処分場では、5年以上の埋立期間を計画している場合が多く、全施設が完成するという最終的な段階での水質予測は埋立が開始されて数年がたった時点で十分であり、その際に用いる手法としては簡便法が適していると考えられる。

経験的水質予測法で提案した作業手順は、本質的にはすべての予測方法で適用されるべきものである。しかし、数式モデルを作成する方法は、そこで用いるパラメータなどを最適化するために計算機を必要とするものである。埋立処分場を管理している部門において、繰り返しモデル化のための計算を行うことは実務上やや困難であると思われる。また、GMDHや時系列モデルでは、計算に用いるプログラムは同一のものを使用できるので繰返計算は容易であるが、常にデータを計算機に入力していく必要があり、現状ではやや手軽さに欠ける面があると考えられる。

一方、本報告で用いた方法はデータを蓄積する体制さえ整えれば、特別な道具を必要とせずに繰り返しモデルの検討や作成が可能であるので、経験的水質予測法の名は簡便法にこそ相応しいとして名付けたものである。

最後に、本研究は大阪市環境事業局・下水道局の協力のもとに行ったものであり、ここに記して謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 本多淳裕, 近藤 潔, 井上善介, 伊藤尚夫, 圧搾固化ごみの腐敗と水質汚濁, 水処理技術, 10, 8, 23 (1969)
- 2) 大阪市下水道局, ゴミと汚泥の埋立に伴う公害防止対策

の検討資料 (1975)

- 3) 山田浩一, 石井栄次, 井上善介, 本多淳裕, 廃棄物埋立に伴う環境汚染防止に関する研究, 用水と廃水, 17, 1513, (1975)
- 4) 山田浩一, 本多淳裕, 井上善介, 南坊憲司, 島崎孝信, ごみと下水汚泥混合物の海面埋立てによる汚濁とその汚水処理, 用水と廃水, 20, 933 (1978)
- 5) 山田浩一, 福山丈二, 井上善介, 本多淳裕, ごみと下水汚泥の水面埋立モデル実験, 用水と廃水, 20, 1293, (1978)
- 6) 高見沢一裕, 山田浩一, 井上善介, 本多淳裕, ごみ焼却灰の海面埋立に伴う汚濁物質の生成量, 用水と廃水, 20, 1347, (1978)
- 7) 池田勝洋, 海水によるスラッジの浸出実験, 大阪市水道局水質試験所調査報告ならびに試験成績, 30, 68, (1978)
- 8) 岩井重久, 住友 恒, 松岡 譲: 水質データの統計的解析, p.124-188, 森北出版, 東京, (1980)
- 9) Ivakhnenko, A.G.: The Group Method of Data Handling - A Rival of the Method of Stochastic Approximation, Soviet Automatic Control, 1, (1968)