

〔短報〕

## パドックから流出する汚水に対する砂層濾過処理と凝集沈殿処理の適用

大越 安吾\*<sup>1</sup> 高橋 圭二\*<sup>1</sup>

パドックから排出されるふん尿主体の汚水は、降雨時に発生する非定量・非定濃度型の汚水であることから、活性汚泥法などの生物処理では適切な処理が行なえなかった。本研究では、深層濾過の一種である砂層濾過と、凝集沈殿法を組合わせた手法について処理効果を検討した。砂層濾過では濾過層厚50mmで網目径0.18mmの篩と同等の効果が得られ、目詰まりした濾過層は逆洗と固形分の掻出しを行なうことで繰返し使用が可能であった。砂層濾過した汚水は鉄塩系凝集剤での凝集が可能であり、汚水の濃度と凝集剤必要量には正の相関が認められた。凝集剤要求量は汚水の透視度から算出することが可能であり、凝集沈殿後の処理水はCOD (Mn) で約90%、T-N で約70%、SS、T-P ではほぼ100%の除去率で、汚水1m<sup>3</sup>中にふん50kgが溶け込んだ汚水までは排水基準を満たすことが明らかとなった。

### 結 言

「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」は、牛舎内外のふん尿の適切な管理と利用を求めている。つなぎ牛舎などに併設されているパドックは乳牛の健康維持と繁殖管理のために必要であるとされている<sup>9)</sup>が、パドックから排出するふん尿主体の汚水は、地下浸透または河川へ流亡し、水質汚染の一因となっている<sup>5)</sup>。このパドックに排泄されたふん尿については、同法律の解説<sup>10)</sup>によると牛舎内のふん尿と同様に、除ふんして堆肥舎への搬出や圃場へ散布するなど、適正に処理する対象である。また降雨によって流出する汚水についても適正な管理をすることが求められており、早急に対策を確立する必要がある。汚水の浄化手法として、沈殿処理や簡易曝気処理等があるが、流出する汚水量や濃度が降雨量によって大きく変動するため、設計要素の定量が難しく処理施設の設計が困難である。本研究は、ふん尿主体の汚水の汚濁成分は、ふん尿中の未消化繊維と消化済みの懸濁・溶解成分から構成されている点に注目し、未消化繊維を砂層濾過による物理的処理、懸濁・溶解成分は凝集沈殿による物理化学的処理を行い、両処理を組合わせた浄化能力について検討した。

### 試験方法

#### 1. 砂層濾過の濾過特性試験

##### 1) 実験装置

図1に示す不透水性容器に濾過液時は排出管と逆洗用多孔管を容器底部に設置した小規模実験装置を製作した。逆洗装置として、容器外にあるエアポンプLP-30A(送気量30L/min)が逆洗用多孔管に接続されている。容器内には粒径1.18~2.00mmに調整した焼砂を砂層厚50mmで充填した。有効濾層面積は0.17m<sup>2</sup>である(図1)。

供試した汚水は、根釧農業試験場内のフリーストール牛舎から回収したふん19.3kgを水道水で希釈して1m<sup>3</sup>に調整したもの(以下、この濃度を汚水濃度19.3kg/m<sup>3</sup>と呼ぶ)を使用した(表1)。この汚水濃度19.3kg/m<sup>3</sup>は、飼養頭数100頭、パドック面積300m<sup>2</sup>、舎内給餌の条件下でパドックに排出されるふん量割合5.8%で、パドック清掃後の残ふん率20%、降雨量10mmの仮定条件で算出した。

##### 2) 実験条件

実験装置の濾過層が流動化しないように、毎分6Lの流量で汚水を投入した。濾過液排出口から濾過液が排出されなくなった時点を閉塞限界として、汚水の投入を中断した。中断後、砂層の濾過能力を回復させるため、濾過液排出口を塞ぎ、砂層表面から深さ約50mmになるまでに汚水を追加し、膨張率を200%に設定して逆洗を行なった。逆洗は送気による空気洗浄のみの単独方式で、逆洗時間は1分で固定した。汚水投入・濾過・逆洗工程を1回として3回繰返した時点で、砂層上部に沈積した未

2005年2月3日受理

\*<sup>1</sup> 北海道立根釧農業試験場, 086-1100 標津郡中標津町

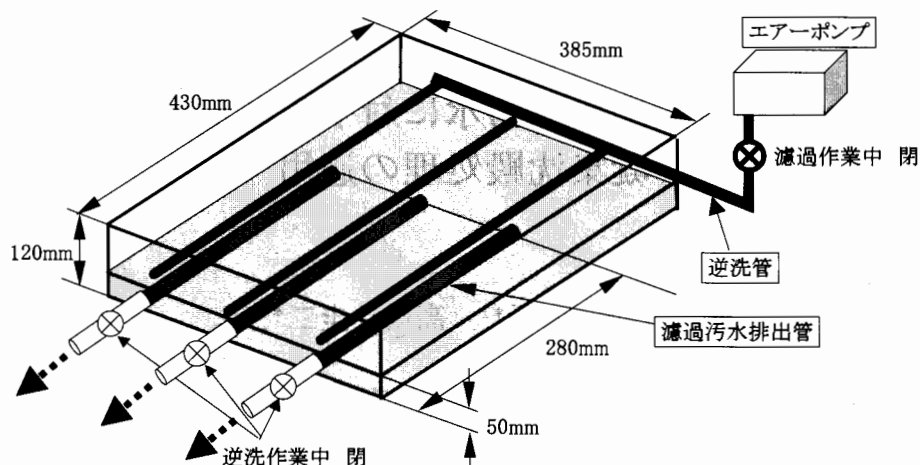


図1 濾過層実験装置の概略図

表1 砂層濾過の試験条件

濾過層	砂粒径	(mm)	1.18~2.00
	濾過層厚	(mm)	50
	濾過層面積	(m <sup>2</sup> )	0.17
濾過水排管	管長	(mm)	280
	本数	(本)	3
逆洗管	管長	(mm)	380
	本数	(本)	3
	送気量	(L/min)	30
	逆洗時間	(min)	1
供試汚水*	濃度	(ふんkg/汚水m <sup>3</sup> )	19.3

\*飼養頭数100頭, パドック面積300m<sup>2</sup>, 降水量10mm, パドック上の残ふん率20%を想定

消化繊維などの夾雑物を掻き出して回収した。砂層上部を敷き均した後に汚水投入・濾過・逆洗を二反復行なった。この時の各閉塞限界までの投入汚水量と、掻き出した夾雑物の乾物重量を計測した。

## 2. 鉄塩系凝集剤による凝集特性試験

### 1) 実験条件

汚水の凝集領域を判定するため、1000ml ビーカーに汚水1000mlを計量・投入し、2検体用ジャーテスターに設置した。ビーカー内にガラス電極式pH計を設置し、薬剤添加時のpH変動を計測した。ジャーテストは任意量の凝集剤とpH調整剤添加時の攪拌を回転数で100rpmで各1分間行い、pH調整剤添加後、攪拌を回転数30rpmで2分間行った。pH調整剤添加後の汚水のpHは8とした<sup>3)</sup>。攪拌後、1000mlのイムホフコーンに凝集汚水を移し替え、30分間静置した。汚水は、汚水濃度を0.3, 1.9, 9.1, 14.3, 50.0kg/m<sup>3</sup>に調整し、網目径0.25mmの金篩で濾過したものを使用した。

### 2) 使用する薬剤

凝集剤は生成するフロックの沈降性に優れて凝集効率

が比較的高い8%塩化第二鉄水溶液、pH調整剤は水酸化ナトリウム水溶液を使用し、凝集剤と同量を混和した時のpHが中和領域となるように10mol/Lに調整した。この他に汚水中の懸濁成分にアルカリ分が消費されることを考慮し、0.08%塩化第二鉄水溶液と0.1mol/L水酸化ナトリウム水溶液を調整し使用した。各汚水濃度の透視度、凝集処理後に生成する凝集フロックの容積、汚水・処理水の成分を測定した。

## 結 果

### 1. 砂層濾過層の濾過特性

#### 1) 濾過層の閉塞限界

濾過層の初回閉塞限界時(1-1回)の投入汚水量は濾過層面積1m<sup>2</sup>あたりに換算すると約360Lであった。逆洗処理後の閉塞限界(1-2回目)の投入汚水量は約80Lであった。再度、逆洗処理を行った時の閉塞限界(1-3回目)の汚水量は約30Lで、閉塞限界(1-4回目)の汚水量は約10Lとなり、回数を重ねるごとに低下した。4回目の逆洗処理後に濾過層上部に沈積した未消化繊維などの夾雑物を手選別で回収した。上記の工程を再反復し、夾雑物を手選別で回収した直後の閉塞限界は(2-1回目)で約330L、(3-1回目)で約325Lと僅かに低下した(図2)。

#### 2) 濾過層の濾過性能

使用した汚水の原料ふんを網目径0.074~2.00mmまで7種の金篩で固形分分画し、乾燥重量を計測した。供試した乳牛ふんの固形分の約50%が0.074mm以下で懸濁性・溶解性を持ち、逆に2.00mm以上の固形分は全体の約21%であった。残りの固形分のうち、0.105~0.85mm間の固形分で約23%を占めた。濾過試験1-4回目で回収した夾雑物の乾燥重量を照合すると、全固形分量の44.6%が回収され、網目径0.18mmの金篩と同様の効

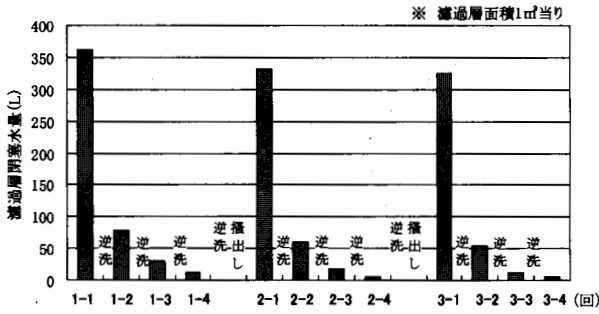


図2 砂層濾過の濾過汚水量

果と算出された(図3)。

2. 鉄塩系凝集剤による凝集特性

1) 凝集剤の最適使用量

任意の汚水に使用する凝集剤量は、凝集剤添加後の処理水の濁度から判定する。濁度の低減とともに生成フロック(SV)量が増加し、これらの相関が高いことが知られている<sup>9)</sup>。生成フロック量から各汚水濃度毎に凝集剤の最適使用量を求めると、汚水濃度0.3kg/m<sup>3</sup>で0.1ml, 1.9kg/m<sup>3</sup>で0.2ml, 9.1kg/m<sup>3</sup>で0.3ml, 14.3kg/m<sup>3</sup>で0.5ml, 50.0kg/m<sup>3</sup>で1.0mlであった。凝集剤の最適使用量と汚水濃度の関係は、一次方程式  $y = 0.0173x + 0.1564$

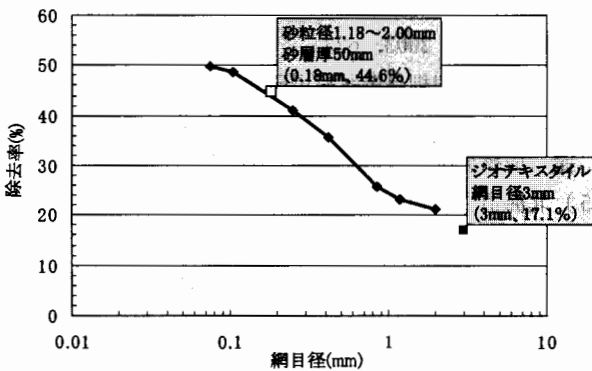


図3 網目径と固形分除去率の関係

に近似した(図4)。

2) 凝集剤要求量の推定方法

汚水濃度と透視度の関係は、実験に供した汚水では汚水濃度0.3kg/m<sup>3</sup>で20.7cm, 1.9kg/m<sup>3</sup>で4.3cm, 9.1kg/m<sup>3</sup>で0.8cmとなり、累乗式  $y = 7.1197x^{-0.9995}$  に近似した(図5)。

高濃度の汚水では透視度の読取り誤差が大きくなるが、汚水濃度の判別に実用できる範囲と判断された。凝集剤の最適使用量と汚水濃度の関係および汚水濃度と透視度の関係から、凝集剤の最適使用量と透視度の関係を求めると、累乗式  $y = 0.3415x^{-0.4169}$  となる(図6)。

3) 凝集後の汚水成分

各成分の排水基準値を超える汚水濃度は、SSが3.3kg/m<sup>3</sup>, CODが3.5kg/m<sup>3</sup>, 全窒素が22.9kg/m<sup>3</sup>, 全リンが11.3kg/m<sup>3</sup>と推定され、SSやCODの負荷が高い傾向であった。各汚水濃度で最適凝集剤量による凝集処理を行なうと、汚水濃度50.0kg/m<sup>3</sup>までは各成分において排出基準値を下回った。各成分の除去傾向は、SSは汚水濃度が高くなると除去率が87%から99.5%と高まり、処理水に残留するSS濃度は8~34mg/Lであった。CODは汚水濃度に拘らず除去率が90%前後で推移し、汚水濃度

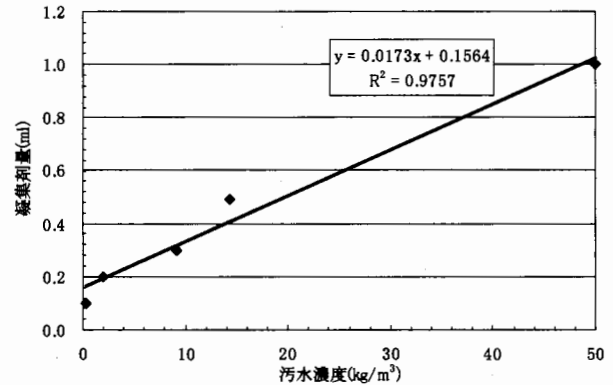


図4 凝集剤の最適使用量と汚水濃度の関係

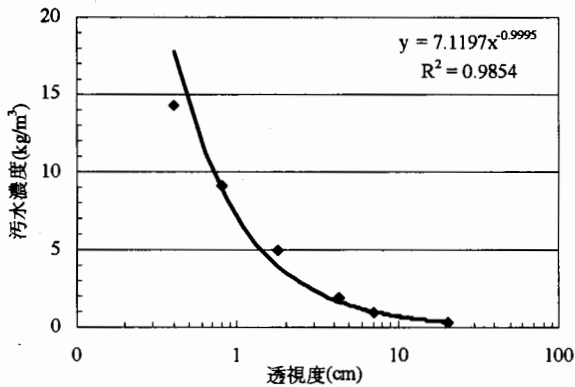


図5 汚水濃度と汚水の透視度の関係

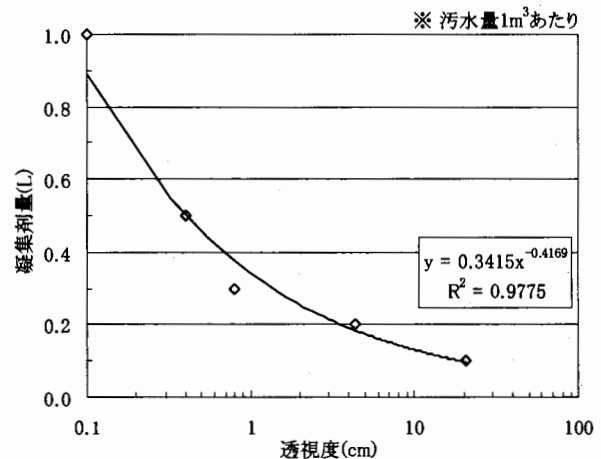


図6 透視度から推定する凝集剤の最適使用量の関係

表2 各汚水濃度と凝集処理水の汚濁成分濃度

汚水濃度 (kg/m <sup>3</sup> )		SS (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
0.3	処理水	8	2.8	0.2	0.0
	汚水 ( )	( 0 )	( 10.5 )	( 0.5 )	( 0.0 )
1.9	処理水	8	6.4	0.8	0.0
	汚水 ( 60 )	( 36.4 )	( 5.7 )	( 1.0 )	
9.1	処理水	34	16.9	7.1	0.0
	汚水 ( 303 )	( 331.8 )	( 26.0 )	( 4.3 )	
14.3	処理水	18	71.4	10.5	0.0
	汚水 ( 371 )	( 512.2 )	( 36.6 )	( 5.7 )	
50.0	処理水	12	118.9	34.4	0.0
	汚水 (2400)	(1727.7)	(130.7)	(36.9)	
排水基準値		150	120	60	8

50kg/m<sup>3</sup>の処理水が118.9mg/Lで、排水基準値120mg/Lに近い値となった。全窒素もCODと同様に汚水濃度に拘らず、除去率が73%前後を推移した。全リンは汚水濃度に拘らず除去率100%に達した。

## 考 察

### 1) 砂層濾過の性能

本試験の条件から、濾過層面積1m<sup>2</sup>で濾過できる汚水に含まれるふん量は6.4kgと算出された。この時の汚水濃度は19.3kg/m<sup>3</sup>であることから、濾過層面積1m<sup>2</sup>当たりの対応飼養頭数は11頭と算出された。

濾過層厚700~2000mm程度の標準的な深層濾過法の逆洗工程では、濾過層上部の表面洗浄と濾過層下部からの上向流洗浄を清水によって膨張率125~135%で水流洗浄するのが一般的<sup>9)</sup>であるが、本試験では濾過層厚50mm、濾過材粒径1.18~2.00mm、L/D比(濾過層厚/濾過材径)が25~42で、深層濾過の基本設計値であるL/D比1000<sup>1)</sup>から大きく乖離する条件であることと、分離・回収する夾雑物と濾過材の比重差を活用するために、濾過層下部から送気する空気逆洗<sup>2)</sup>によって比重の低い夾雑物を液相上部へ浮遊させた。また、膨張率を200%に設定したことで、比重の低い低分面の夾雑物が液相上部で滞留したため、逆洗・掻き出し工程が効果的であった。

閉塞限界時の濾過層表面は比較的粗大な夾雑物が堆積し濾過材が露出しているが、逆洗工程後の濾過層表面は、濾過層内部に深層濾過現象<sup>6)</sup>によって目詰まりしていた多量の微小な夾雑物が浮遊し、粗大な夾雑物の上に沈積するため、濾過材の露出は見られなくなった。

### 2) 鉄塩系凝集剤の凝集性能

鉄塩系凝集剤によるパドック汚水中の懸濁物質の凝集能は、汚濁成分の除去率から観察すると、良好な結果であると言える。凝集工程で煩雑となる凝集剤使用量の推定も、推定式を用いることで簡易に求めることが可能となる。しかし、透視度は測定者の眼を用いた主観的判断

による測定方法であることから、測定者や他の条件によって凝集剤添加量の推定に誤差を生じる。このため、最適凝集剤量の倍量で凝集処理を行なった場合、生成するフロック量は汚水濃度に拘らず、汚水1000mlあたり20~30ml程度の微増であった。実際の場面では、凝集剤の最適使用量を割増することが、安定した凝集処理を行なう上で好ましい。

汚水中の汚濁成分はCOD換算で90%、全窒素換算で70%が凝集可能領域にある懸濁物質であり、凝集処理での汚水浄化が可能であった。また、凝集処理後に深層濾過などを行なうことで、SSが除去されるため、処理水中の汚濁成分は溶解性のCODと窒素分で構成されると推察される。また、リン酸の除去率が100%であるのは、凝集剤中のアニオン系イオンと溶解性リン酸イオン態が凝析・凝集したためである<sup>7)</sup>。

## 引用文献

- 1) 藤田賢二. "急速ろ過池のろ材層厚と粒径とに関する考察". 水道協会雑誌, No.458, 2-14 (1975).
- 2) 藤田賢二. "急速ろ過池における洗浄に関する諸元の水利学的考察". 水道協会雑誌, No.455, 2-31 (1978).
- 3) 藤田賢二. "水処理薬品ハンドブック". 1版第1刷, 技報堂出版, 2003, p23.
- 4) 北海道立根釧農業試験場研究部酪農施設科. "環境負荷低減のためのパドック管理技術". 北海道農業試験会議(成績会議)資料. 2004, p5.
- 5) 北海道立根釧農業試験場研究部草地環境科. "土地利用型酪農・畜産地域における河川水の養分負荷実態と軽減対策". 北海道農業試験会議(成績会議)資料. 2004, p2-9.
- 6) 岩崎富久. "ろ過阻止率の計算, 白陶土と十二の微生物のろ過に就て(其の一)". 土木学会誌. 24(8), 827 (1938).
- 7) 松本順一郎, 西堀清六. "新版下水道工学". 新版第1刷, 朝倉書店, 1982, p146.
- 8) 丹保憲仁, 丸山俊朗, 海老江邦雄. "急速砂ろ過の洗浄効果に関する研究". 衛生工学(北海道大学, 工学部, 衛生工学科). 12号, 37-52 (1966).
- 9) 丹保憲仁. "新体系土木工学88上水道". 1版10刷, 技報堂出版, 1994, p172.
- 10) 畜産環境問題研究会編. "家畜排せつ物の管理の適性化及び利用の促進に関する法律の解説". 地球社, 2000, p46.

**The Application of the Sand Layer Filtration Process and the Coagulation Sedimentation Process for the Wastewater which Flows from the Paddock**

Ango OHKOSHI\*, Keiji TAKAHASHI

- \* Hokkaido Kosen Agricultural Experiment Station, Nakasibetsu, Hokkaido, 086-1100 Japan  
E-mail: angook@agri.pref.hokkaido.jp