

平成20年度方上地区自然浄化試験結果

H21.8.28

八郎湖環境対策室

1 はじめに

八郎湖に係る湖沼水質保全計画（第1期）では、湖内浄化対策のひとつとして、中央干拓地からの排水の水質浄化を目的として、大潟村方上地区でヨシ等を利用した自然浄化施設を H24 年度までに 25ha 整備することを目標として、現在、現地において実証試験を行っている。

八郎湖への流入負荷の4分の1は、中央干拓地からの水田排水に起因するとされ、その大部分は南北の両排水機場から排水されており、中でも窒素・リンの汚濁負荷は南部排水機場排水の方が高い。また、南部排水機場に隣接する方上地区には、大部分にヨシが自生する 242ha の未利用地があり、この土地を利用して自然浄化施設を整備する計画とした。

実証試験施設は、平成 19 年度に同地区内に造成し、平成 20 年度から試験を開始している。



図1 方上地区の位置図



図2 方上地区試験施設位置図

2 試験施設の概要

植生浄化法は、一般的に図3のように分類されており、本試験施設はヨシを利用した全国の事例を元に「湿地法」による「表面流れ方式」を採用し、現地に自生するヨシをそのまま活用する試験区画とした。

試験区画は、長さ50m×幅7m×7区画とし、事業実施時の整備条件の参考とするため、自生ヨシの地下茎を残したまま地表面の不陸を整形した区画と自然状態（不陸もそのまま）の区画を用意した。

導水施設は、中央幹線排水路（南部排水機場から約100m地点）から水中ポンプ（口径100mm、出力3.7kw、吐出量1m³/min）で取水、ポリエチレン管（φ150mm、内径135.4mm）で送水して、沈砂槽、分配槽を通して各試験区画に導水、試験区画からの放流口には放流マスを置いて、既存の排水路に流下させる導水経路とした。

導水量は、湿地法表面流れ方式による自然浄化施設では、滞留時間（区画内の水が入れ替わるための

時間）が浄化効果の大きな要因となるため、水深は0.2mとして地表面の地均しの有無を考慮しながら、区画毎に滞留時間を変えて導水することにし、流量測定は分配槽及び放流マス内の三角堰での計測と容器を用いた計量を行うことにした。

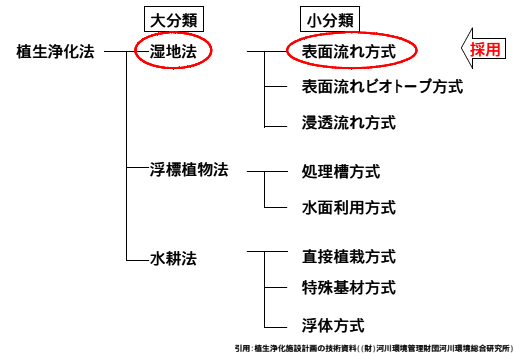


図3 植生浄化法の分類

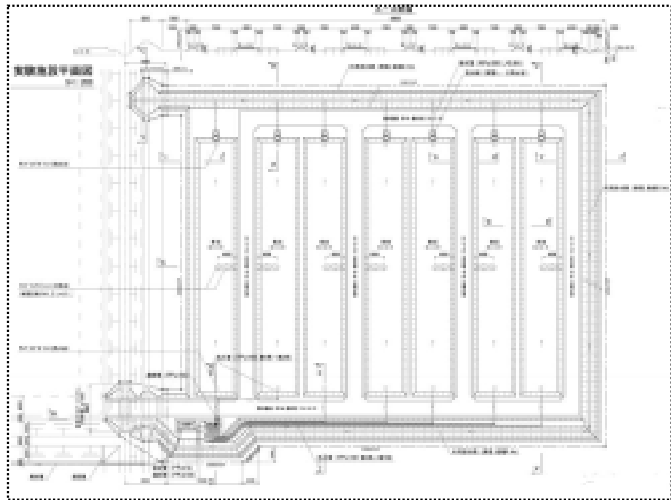


図4 試験施設の平面図

試験区番号	1	2	3	4	5	6	7
水深(m)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
滞留時間(h)	6	12 72	12 72	24	24	48	48
流入量(m ³ /h)	11.7	5.8 1.0	5.8 1.0	2.9	2.9	1.5	1.5
流入量(L/sec)	3.3	1.6 0.3	1.6 0.3	0.8	0.8	0.4	0.4
水面積負荷(m ³ /m ² /日)	0.8	0.4 0.07	0.4 0.07	0.2	0.2	0.1	0.1
地表面の状態	○	●	○	●	○	●	○

流入量 = 50m × 7m × 0.2m ÷ 滞留時間(h)

水面積負荷 = 流入量 ÷ 水面積 = 水深 ÷ 滞留時間(日)

地表面の状態 ○: ヨシ刈り払い撤去 ●: ヨシ刈り払い撤去 + 地均し

2・3系列の滞留時間は、当初12hrを6/20から572hrに変更

表1 試験区画の導水条件

表 1 の補足写真：試験開始前の区画内の地表面状態

奇数列（地均し無し）



偶数列（地均し有り）



3 流入・放流量の結果

流入・放流量の把握は、当初、分配槽及び放流マスに設置した三角堰を使用することにしたが、流量が微量のためその調整と把握が困難であったことから、主たる測定方法は容器の満水時間による方法に切り替えた。

定期的に測定できた 8 月～ 11 月の平均値で比較すると、流入量より放流量の方が高い区画があったり、1 系列、7 系列のように排水路に近い区画の放流率が悪いのは、漏水が原因と見られるなど一定したデータが得られず、区画内毎の水収支を整理するまでには至らなかった。

試験系列	滞留時間 (hr)	設定流量 (L/s)	流入量 (L/s)	放流量 (L/s)	放流率 /
1	6	3.2	4.00	3.60	0.90
2	72	0.3	0.36	0.33	0.92
3	72	0.3	0.31	0.33	1.08
4	24	0.8	0.86	0.83	0.97
5	24	0.8	0.80	0.80	1.00
6	48	0.4	0.43	0.45	1.05
7	48	0.4	0.63	0.46	0.73

表 3 試験区画の流入・放流量

4 水質測定結果

(1) 水温

水温は、流入水と放流水がほぼ同じ動きとなったが、初期には流入水に対して放流水の方が高く、7 月以降は放流水の方が低い状態となった。これは、ヨシが生育する前は水面全体が日光を受ける状態であったが、ヨシの生長と共に水面が日陰になったためと推察される。平均水温は、流入・放流水共に 19 ～ 20 であった。

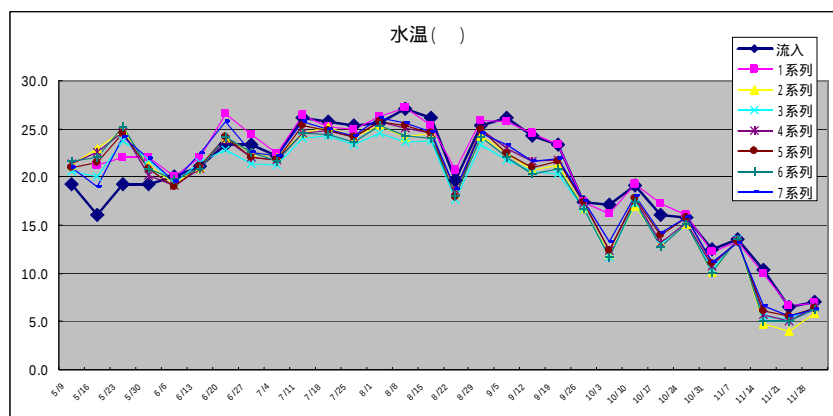


図5 水温の時系列変化

(2) 透視度

流入水の透視度は、2 ～ 15cm (平均 9cm) で、代かき期には 5cm 以下と非常に悪く、その後は緩やかに上昇した。流出水の透視度は、導水開始時には流入水に対して 2 ～ 3 倍程度であったが、約 1 ヶ月後以降には 7 倍程度まで上昇した。これは、ヨシの生育時期と一致することから、裸地状態からヨシの繁茂状態への変化が影響していると考えられる。

当初、透視度計は 50cm 用を使用した but、最大値を示す日が連続したため、7 月 11 日以降は 100cm 用に変更した。

最も改善割合が高かったのは 9 月 19 日の 13 倍で、流入 7cm に対して流出 91cm であった。

地均しの有無による差はほとんどない。

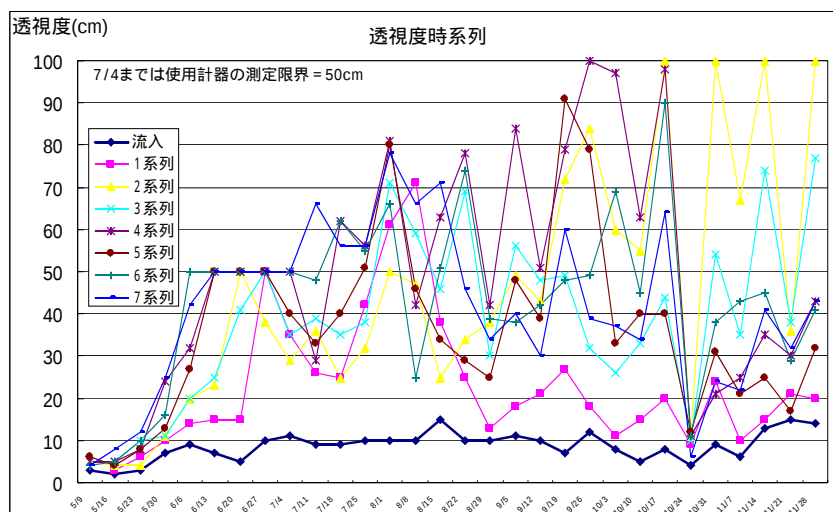


図6 透視度の時系列変化

(3) SS

流入水の SS は、代かき期の 180mg/L をピークに徐々に下降し、全体平均で 66mg/L、代かき期間を除いた平均では 56mg/L であった。平均除去率 ((流入水質 - 流出水質) ÷ 流入水質) は 75% で、放流水の SS は平均で 17mg/L まで低下した。

これは、区画内で SS が沈殿したものと推察されるが、どの滞留時間の区画も 1 ヶ月くらいは地均し無しの区画が除去率が高い値を示した。これは残っていた古いヨシの茎に浮

遊物質が付着することにより沈殿作用を助けたものと考えられるが、地均し有りの区画もヨシが生長するに従って、その差は無くなってきた。

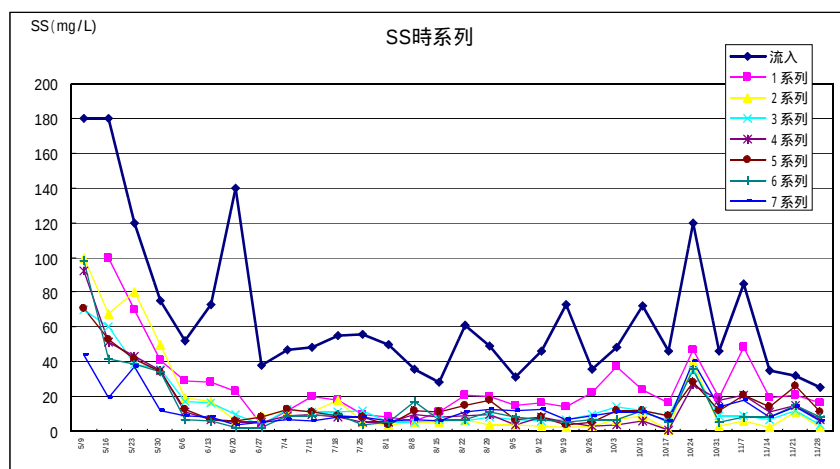


図7 SSの時系列変化

(4) T - P

流入水の T-P は、0.17 ~ 0.63mg/L の間で変化し、平均 0.37mg/L であった。ピークは非かんがい期の 10 月であったが、これは、干拓地内からリン含有地下水の湧出があり、かんがい期には農業用水で希釈されていたものが非かんがい期には希釈効果が薄れ高い数値となるものと考えられる。

平均浄化率は、29%であったが、7 ~ 8 月は流出水の水質が悪くなる逆転現象が見られ、試験区画内においてリンが溶出したものと考えられた。また、地均しの有無による差はほとんどない。

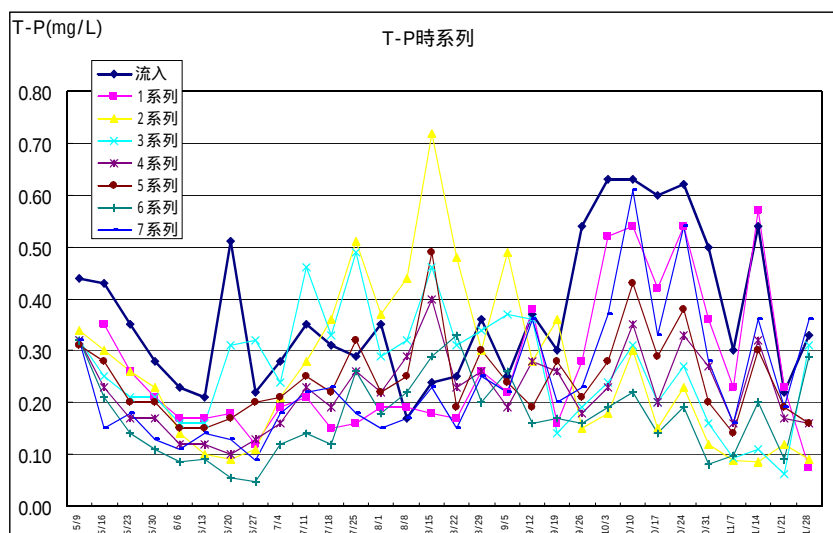


図8 T - Pの時系列変化

(5) T - N

流入水の T-N は、0.62 ~ 2.0mg/L の間で変化し、平均 1.2mg/L であった。ピークは非かんがい期の 11 月であった。

平均除去率は 11%であったが、期間を通じてバラツキがあった。流出水の水質の方が

悪くなる逆転現象は、導水初期と7～8月に目立ち、前者は土壌からの溶出、後者は沈殿物からの溶出が考えられる。

地均しの有無による差はほとんどない。

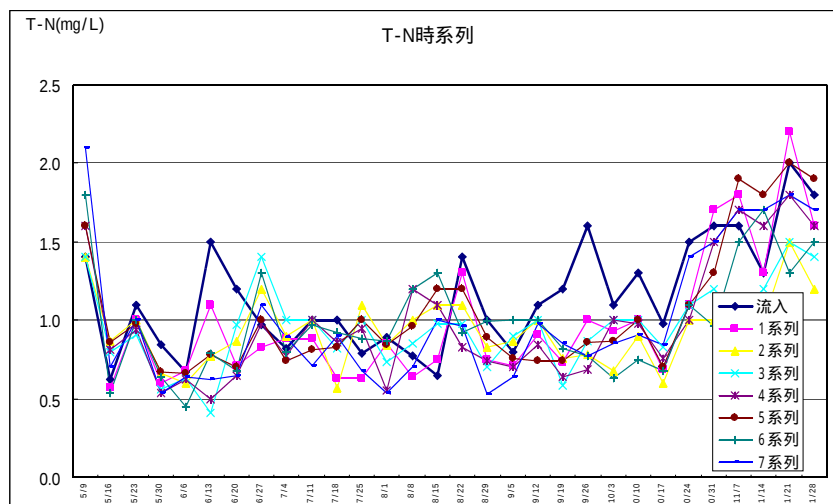


図9 T - Nの時系列変化

(6) COD

流入水のCODは、8.5～18mg/Lで変化し、平均12mg/Lであった。ピークは6月と10月であった。

平均除去率は1%で、全体的に不安定であり、特に7～8月は逆転現象が見られ、試験区画内からの溶出が原因と推察された。しかし、第1区画(滞留時間6hr)だけは期間を通じてプラスの除去率を示し平均16%であった。また第7区画(滞留時間48hr)は一時マイナスの値もあったが平均15%の除去率であった。

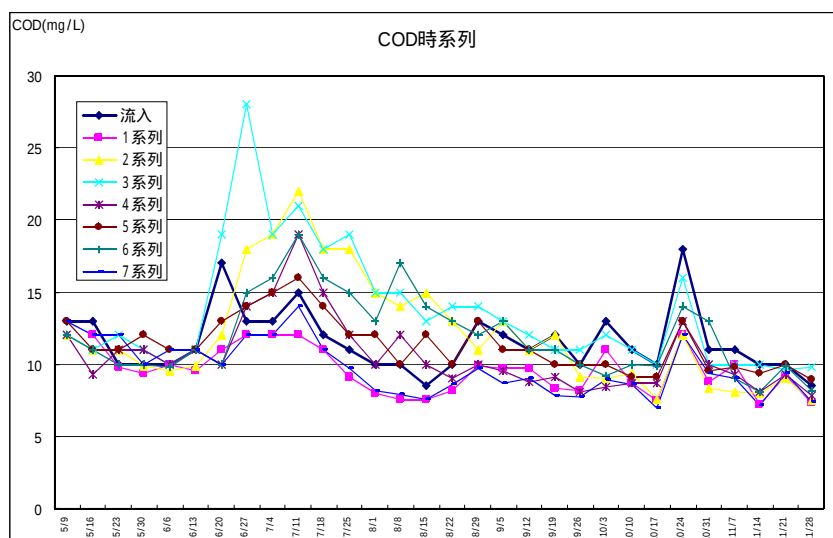


図10 CODの時系列変化

(7) 目標とする除去率の検討

各水質項目によって濃度や除去率にバラツキがあり、時期によっても変わってくるこ

から、どの水質項目を優先するか、除去率をいくらに設定するかが課題となる。

窒素やリンが除去されることが重要ではあるが、浄化施設からの放流水が依然として濁っていたのでは、見た目の感覚として望ましくない。放流水が澄んでいて、なおかつ窒素やリンが除去されることが望ましい。

見た目の水のきれいさは透視度で判断でき、透視度を左右するのは懸濁物質質量（SS）と考えられることから、得られた全データにより SS と透視度の関係を調べると、SS 濃度が概ね 20mg/L 以下となれば、透視度が急激に良くなることがわかる。

期間中の流入水の SS は、代かき期を除いた平均では 56mg/L であったことから、20mg/L 以下となるためには、概ね 70%以上の除去率が必要となる。代かき期には最大で 180mg/L 程度に達したが、期間的には 3 週間程度に限定されるので、目標としては 70%以上に設定することが妥当と考える。

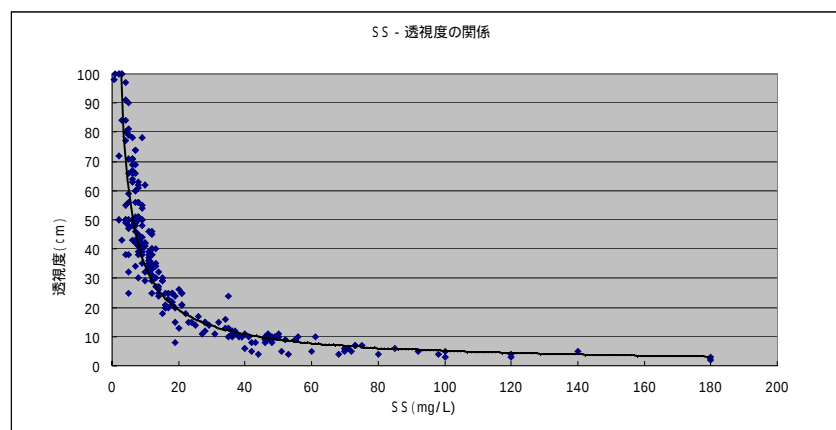


図 11 SS と透視度の関係

5 滞留時間による除去率の検討

前項に示したとおり、特に夏場に各試験区画において区画内からの溶出が原因と見られる流入水質と流出水質に逆転現象が見られ、安定的かつ高い除去率を確保するための課題となる。ここでは、逆転現象となる原因を排除することを前提として、逆転現象時のデータを棄却して、安定的かつ高い除去率となる滞留時間を算定することとする。

このために、逆転現象の原因のひとつは水槽内が嫌気状態にあったためと考えられることから、溶存酸素濃度（DO）と T-P と COD の除去率の関係について見ると、除去率がマイナスとなるのは DO が概ね 4mg/L 以下に集中することから、以下の検討に当たっては DO 3mg/L をデータの棄却条件とすることとした。

なお、逆転現象が見られた夏場の水温（25 程度）から推察すると、飽和溶存酸素量は約 8mg/L と考えられ、棄却条件とした 3mg/L は飽和溶存酸素量の 4 割程度に相当する。

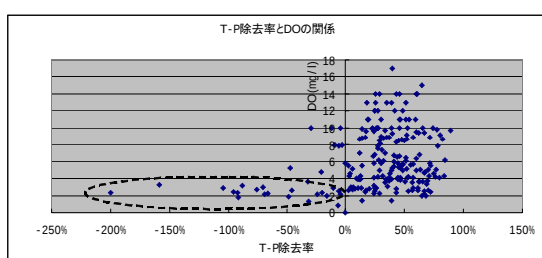


図 12 T-P 除去率と DO

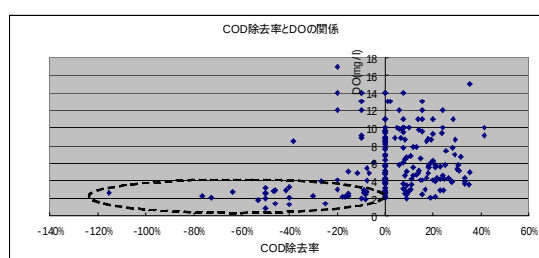


図 13 COD 除去率と DO

各試験区画（滞留時間毎）の除去率は、X 軸に流入水質、Y 軸に放流水質をとり、近似線（切片のゼロ）の傾きから流出率（k）を得て、1 - k を除去率とした。これを滞留時間によって整理し、滞留時間と除去率の関係を調べる。また、試験区画の偶数列と奇数列をそれぞれ調べ、地均しの有無による違いを見た。

（１）SS

滞留時間(x)と SS 除去率(y)は対数式で表すことができ、地均しの有無に大差はない。透視度との関係から SS 除去率 70%以上を得るためには、近似式から 17 時間以上あればよいことになり、概ね 1 日（24hr）と見ることができる。

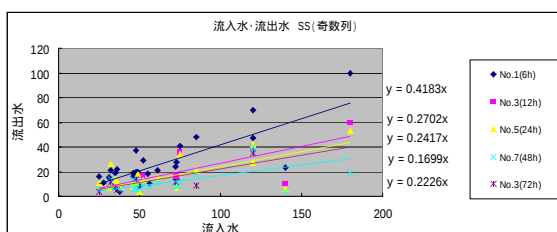


図 14 奇数列の SS 流出率

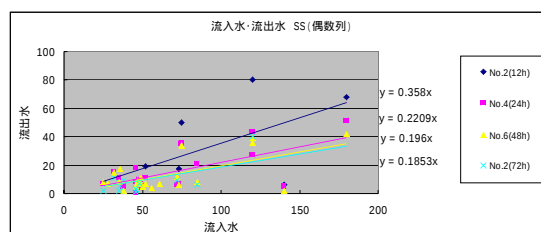


図 15 偶数列の SS 流出率

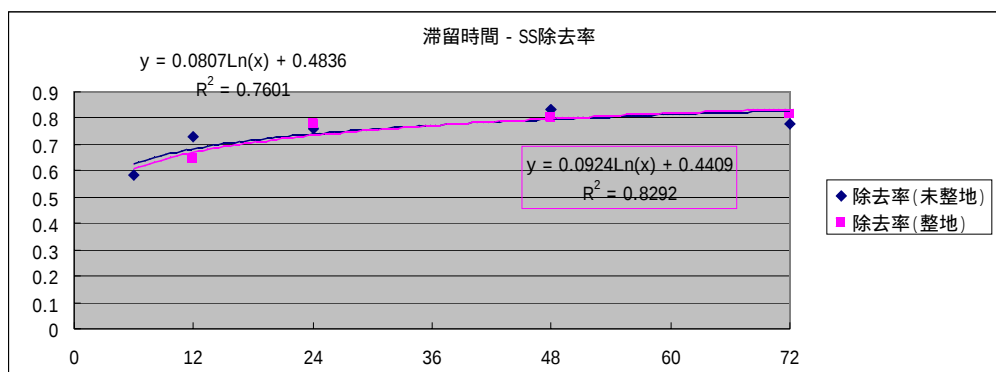


図 16 滞留時間と SS 除去率

（２）T - P

滞留時間(x)と T-P 除去率(y)は対数式で表すことができ、地均し有りの方が高い除去率を示した。先の SS 除去率で得られた滞留時間 24hr では T-P 除去率は約 50%となる。

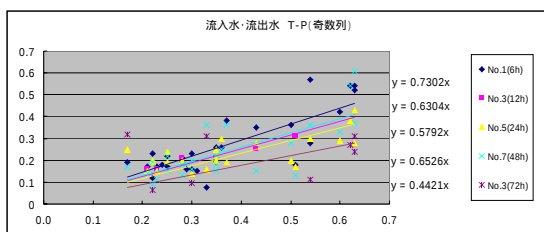


図 17 奇数列の T-P 流出率

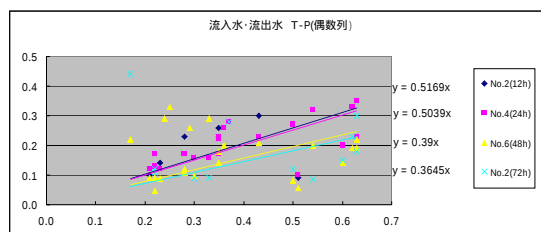


図 18 偶数列の T-P 流出率

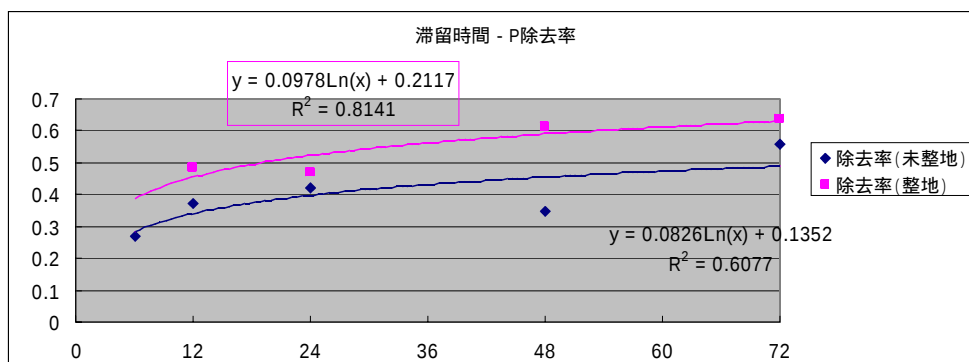


図 19 滞留時間と T-P 除去率

(3) T - N

滞留時間(x)と T-N 除去率(y)の相関は見られず、地均しの有無による違いもはっきりしないが、滞留時間 24hr では概ね 20%程度の除去率となる。

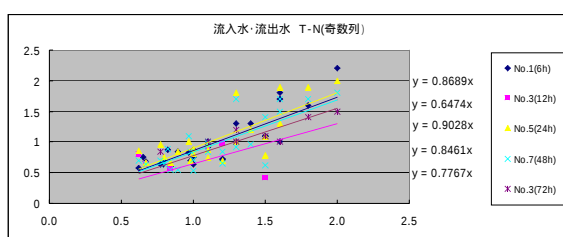


図 20 奇数列の T-N 流出率

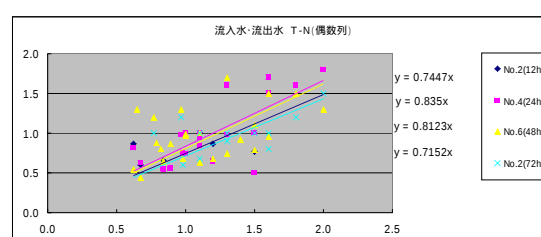


図 21 偶数列の T-N 流出率

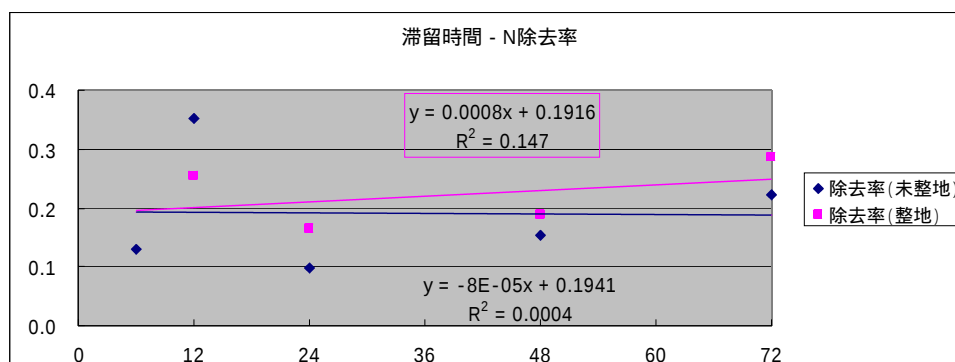


図 22 滞留時間と T-N 除去率

(4) COD

滞留時間(x)と T-N 除去率(y)の相関は見られないが、滞留時間が大きいほど除去率が低下する傾向が見られる。滞留時間 24hr では概ね 10%程度の除去率となる。

地均しの有無による違いもはっきりしない。

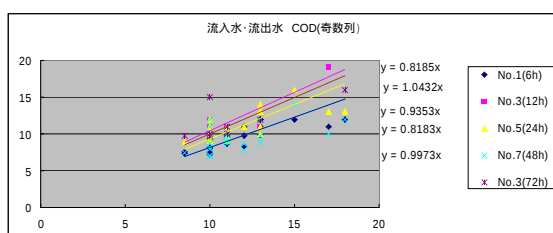


図 23 奇数列の COD 流出率

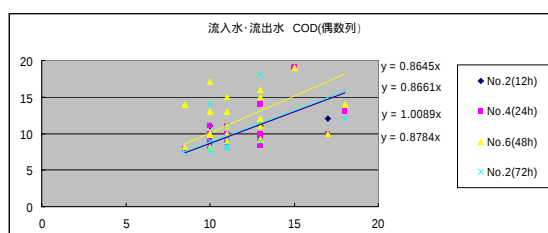


図 24 偶数列の COD 流出率

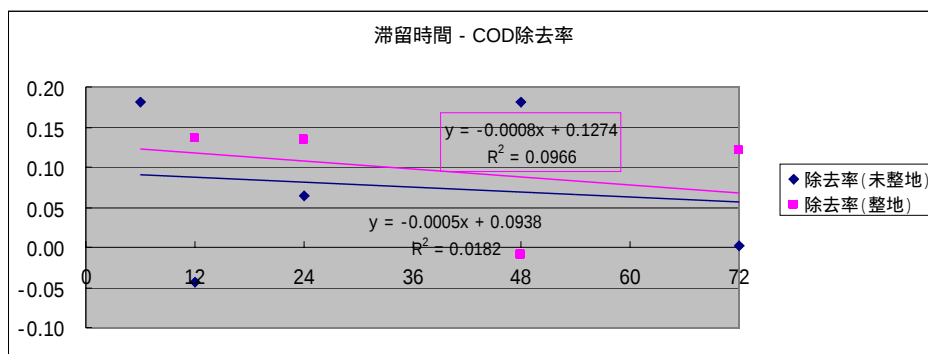


図 25 滞留時間と COD 除去率

(5) 除去率のまとめ

水質予測（シミュレーション）に使用した除去率（全国事例から引用）と本試験による結果は表 3 のとおりである。

単純平均は、全データの流入水質と流出水質の割合から算定し、滞留時間 24hr は、前述の方法で DO 3mg/L のデータを棄却したデータにより回帰式により算定した。

本施設での除去率を滞留時間 24hr のもので評価すると、SS の 70%、T-P の 50%はシミュレーション採用値よりも高い除去率となったが、T-N の 20%、COD の 10%は同等程度となった。しかしこれは、DO 条件で棄却した結果であることから、導水条件などの変更によって DO が下がらないような水環境を管理できるか、またそれによって安定した除去率が確保できるかが課題となる。

	シミュレーション 採用値	単純平均	滞留時間 24hr
SS	15%	75%	70%
T-P	30%	29%	50%
T-N	20%	11%	20%
COD	5%	1%	10%

表 3 除去率のまとめ

(6) 負荷削減量の試算

自然浄化施設の将来構想に基づいた導水条件を表 4 に示す。

H19 シミュレーションの欄は、整備面積を 150ha として、南部排水機場排水から浄化用水を分水する構想とし、水深や滞留時間は全国の事例から設定したもの。

H20 実証試験結果の欄は、南部排水機場からの分水では、導水量や導水時間が南部排水機場の稼働状況に左右されることから、幹線排水路からの直接取水とし、水深や滞留時間は本年度の試験結果を用いて取水可能水量を算定した。整備面積は、未利用地全体 242ha のうち、現段階で想定される最大面積 224ha とした。

○ 導水条件	H19シミュレーション	H20実証試験結果より
整備面積(ha)	150	224
〔取水条件〕		
・浄化施設面積(ha)	135	224
・水深(m)	0.1	0.2
・滞留時間(hr)	5	24
最大取水量(m ³ /s)	7.5	5.19
日最大取水量(千m ³ /日)	648	448
南部排水機場排水量(千m ³) H17年度実績	275,446	275,446
取水可能水量(千m ³)	87,887	83,000
南部排水機場排水割合	32%	30%
〔導水条件〕 ・5/1～10/31(184日) ・排水機場稼働日 且つ降雨量5mm以下 (H17年度実績で試算)	144日	184日 幹排から直接取水 (24時間)

表4 導水条件

この導水条件により、負荷削減量を試算すると表5のとおりとなる。

H19シミュレーション欄の除去率は全国事例から引用したもの、試験結果欄の除去率は前項で算出した数値とした。自然浄化施設に導水できる水量が大きければ大きいほど、負荷削減量も大きくなるが、水量を大きく取ると滞留時間、除去率と相反し、導水コストも大きくなることから、あくまで試験結果から得た滞留時間、除去率で設定した。

表中の比率は、南部排水機場排出量に対する負荷削減量の割合で、最も大きいのはシミュレーションではリンの9%であったが、試験結果ではSSの22%となった。これは、SSの除去率が予想以上に大きかったことによる。

南部排水機場排水量は、中央干拓地排水の約50%に相当することから、中央干拓地からの排出量に対する負荷削減量の割合は、表中の比率の約50%と推定される。

	南部排出量(kg/年)	H19シミュレーション(150ha)			試験結果より(224ha)		
		除去率	負荷削減量(kg/年)	比率	除去率	負荷削減量(kg/年)	比率
SS	9,121,286	15%	457,225	5%	70%	2,015,070	22%
COD	2,061,888	5%	34,237	2%	10%	64,666	3%
T-N	505,547	20%	31,996	6%	20%	30,217	6%
T-P	77,280	30%	7,247	9%	50%	11,407	15%

表5 負荷削減量の試算

6 堆積物調査結果

沈殿による堆積物は、流入部から放流部方向に順次堆積していくと推定され、流入部・中間点・流出部の底部に基準板を埋め込み、試験終了時に基準板上の堆積物を計測した。

結果は表6のとおりで、堆積物が確認できない区画もあり、測定方法に課題を残したが、得られたデータからは、流入部から放流部方向に堆積量の変化が見られ、1年目(7ヶ月間)の堆積量は約8mmと推定された。これによれば、10アール当たり約8m³(乾燥重量約10トン)が見込まれる。

堆積物中の窒素・リン含有量、強熱減量は表 7 のとおりであった。

堆積物厚測定結果		(単位：mm)	
系列	流入部	中間点	流出部
1	40	17	1
2	0	0	0
3	0	0	1
4	18	0	1
5	5	0	2
6	0	1	1
7	0	0	0
最大値	40	17	2
最小値	5	1	1

表 6 堆積物量

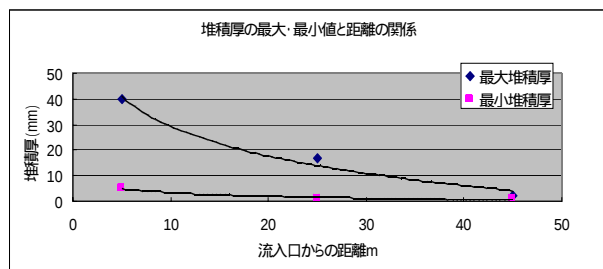


図 26 流下距離と堆積物量

		T-N	T-P	強熱減量
堆積物含有濃度	最大	10000 mg/kg (乾)	3500 mg/kg (乾)	29%
	平均	5300 mg/kg (乾)	1300 mg/kg (乾)	15%
	最小	2900 mg/kg (乾)	700 mg/kg (乾)	9%
堆積物量 (m ³ /350m ²)	最大	5.5		
	平均	2.8		
	最小	0.7		
堆積物密度 (g/cm ³)		2.56		
堆積物含水率 (%)		52%		
除去量 (実験施設7系列 = 2,450m ²)	最大	473 kg/年	166 kg/年	13.7 t/年
	平均	128 kg/年	31 kg/年	3.6 t/年
	最小	17 kg/年	4 kg/年	0.5 t/年

表 7 堆積物の窒素・リン含有量及び強熱減量

(H20 東北農政局土地改良事業計画特殊調査結果より)

7 ヨシの生育量

各試験区画のヨシの生育量（地上部）は、表 8 のとおりであり、地均しの無い区画（奇数列）の生育量が比較的大きかったが、滞留時間による優劣は見られなかった。

全区画の平均値から換算すると、ヨシの生育重量 10 アール当たり約 3 トン（乾燥重量約 1 トン）であった。

窒素含有量は、ヨシの乾燥重量当たり約 3g/kg 乾、10 アール当たり 3kg、リン含有量は、ヨシの乾燥重量当たり約 0.3g/kg 乾、10 アール当たり 0.2kg であった。

	系列1	系列2	系列3	系列4	系列5	系列6	系列7	平均	備考
生育本数 (本/㎡)	93	40	58	70	57	60	75	65	各系列3点の平均値
湿潤重量 (kg/㎡)	4.59	1.16	2.93	2.89	1.82	2.31	3.32	2.72	2,720kg/10a
乾燥重量 (kg/㎡)	1.53	0.3	1.03	0.79	0.59	0.68	1.11	0.86	860kg/10a
窒素含有量 (mg/kg乾)	4,071	2,923	3,842	2,639	4,074	2,727	3,242	3,360	
りん含有量 (mg/kg乾)	337	249	313	205	350	226	255	276	
窒素含有量 (g/㎡)	6.061	0.874	3.971	2.080	2.493	1.867	3.555	2.986	
りん含有量 (g/㎡)	0.502	0.074	0.327	0.161	0.216	0.155	0.282	0.245	

表 8 ヨシの生育量及び窒素・リン含有量

(H20 東北農政局土地改良事業計画特殊調査結果より)

表 8 の補足写真：最終状態

奇数列（地均し無し）



No1

No3

No5

No7

偶数列（地均し有り）



No2

No4

No6

8 ヨシ管理試験（火入れ試験）

全国におけるヨシ原の保全管理の事例から、ヨシの生長維持、雑木などの生長抑制のためには「火入れ」が最も有効な手段と考えられ、本地区においてもその実効性を確認するため、火入れ試験を行うこととした。

当初計画では、7区画のうち3区画において立ち枯れた状態での火入れをおこう予定であったが、刈り払い後の火入れに止まった。

結果は、ヨシ体の密度不足のため燃焼が持続せず、一回の着火で1～3㎡程度しか燃焼しないため、1区画内において何度も着火する必要があった。燃焼状態も不完全燃焼となり、灰の状態まで至らず、茎体が炭化した状態で燃え残ることが多かった。

立ち枯れた状態の火入れであれば、良好な燃焼が確保できたかは分からないが、今回のような刈り払い後の火入れは、作業効率が極めて悪いことが分かった。

9 2年目試験に向けて

(1) 区画及び導水条件

方上地区内は、干拓以来営農が行われていないため、農地内に干拓当時の排水路跡などが残り不陸状態（地表面が平坦でない）にある。自然浄化施設の整備に当たっては整備コストに配慮する必要があるが、不陸状態のまま導水した場合は、水深が 20cm 程度でも、水没しない地表面が相当あり、水の流れを偏らせる原因になると考えられた。また、本年度の結果からはヨシの生長量は地均し無しの方が高かったが、各水質の除去率では地均しありの方が概ね良い結果となり、2年目は地均し未対応の区画について地均しすることとした。

水の滞留時間は、概ね 24 時間が適当と考えられるが、夏場の逆転現象に対する対処方法を検討する必要がある。そこで2年目は、7区画とも滞留時間を 24 時間でスタートし、夏場の逆転現象の発生時期を DO の低下により判断して、滞留時間を短くする（＝流入量を変えず水深を浅くする又は水深を変えず流入量を増やす）ことによって、安定した除去率が確保できるか検証する。

分配槽から各区画への導水管は、微生物の発生などにより閉塞が発生したため、開水路に変更する。

(2) ヨシ管理試験（火入れ試験）

ヨシ原の保全管理のためには、火入れが必要であり、立ち枯れヨシによる火入れ試験を実施し、ばい煙等による影響把握を行う。