

諫早湾干拓中央遊水池での汚濁負荷削減等試験結果(2011年度)

川口 勉

Study for alleviation of water Pollution in Flood Prevention Reservoir of Land Reclamation in Isahaya Bay

Tsutomu KAWAGUCHI

Key words: Isahaya Bay detention pond, land reclamation, water purification

キーワード: 諫早湾干拓、調整池、水質浄化

はじめに

諫早湾干拓調整池への水質汚濁負荷削減に向けた適用手法の一環として、調整池に排出される遊水池において、各種手法を用いた水質浄化試験を実施してきたが^{1)~4)}、これらの結果を踏まえ、2011年度は遊水池内に設置した浮島型植物植栽等設備での植物栽培試験を実施するとともに、遊水池水質・底質調査を実施したので、その結果について報告する。

研究内容及び調査方法

1 浮島型植物植栽等設備での植物栽培試験

(1) 浮島型植物植栽等設備

遊水池内での栽培については、遊水池内に設置した浮島型植物植栽等設備(図1)内において実施した。

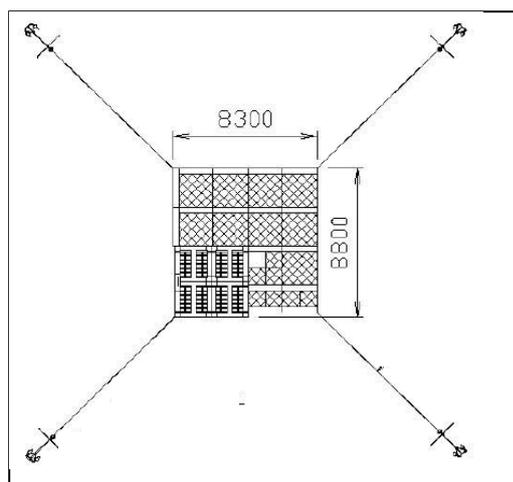


図1 浮島型植物植栽等設備平面図

図1において、設備内にリサイクルマット区画とプランター区画を併設した。リサイクルマットは2×2 m及び1×1 m(いずれも厚さ10 cm)を1単位としたものを連結して使用し、当初植栽間隔としてはポット苗を9個/m²配置するものとした。プランター区画においては、2.1×2.1 m(厚さ30 cm)の樹脂製基盤の中に0.65×1.6 mの植栽用区画を2個用意し、植栽用区画1個につき植栽鉢(約26×26×29 cm)を2列×6個の計12個設置する方式とした。プランター区画は樹脂製基盤を4個連結することにより構成し、リサイクルマットの連結の際には、植物観測用の足場フロートを各所に併設した。また、中央部に観測用区画を設置した。

中央干拓地からの排水は、幹線排水路を通じて遊水池に流入し、排水機場方向へ集合するが、試験設備はこの流路の途中に設置した(図2)。



図2 試験設備設置場所

(2) 供試植物

供試植物としては、2008～2010 年度に実施した遊水池での植物成育状況を考慮し、表 1 のとおり選定した。

なお、ソルガム及びイタリアンライグラスは、ボラ土及び培養土を充填した植栽鉢で種から栽培し、これをプランター内植栽培区画設置する方式とし、これら以外の植物は市販のポット苗をリサイクルマットに植え込む方式とした。

表 1 供試植物

区分	実施時期	
	夏季	冬季
抽水植物	シュロガヤツリ	
湿性植物	ヒマガマ、セキショウ、カサスゲ、ミソハギ	
海浜植物	ハマアザミ、ツワブキ	
飼料植物	ソルガム	イタリアンライグラス

(3) 栽培時期

夏季については、2011年6月30日から遊水池内試験設備での植物栽培試験を開始し、11月中旬頃まで観測を実施した。

冬季については、2011年12月7日から遊水池内試験設備での植物栽培試験を開始した。

(4) 調査方法

(i) 植物栽培試験

栽培期間における植物の成育度について、背丈等の推移により、遊水池における水耕栽培への適性を評価した。

(ii) 植物体栄養塩類吸収量調査

遊水池内で栽培した植物の地上部を刈り取り、植物中に含まれる窒素、リン含有量、植物体の重量を測定した。植物の地上部について、80℃で乾燥し、ミルで粉碎した。

窒素については粉碎試料を適量取り、水、濃硫酸及び分解試薬(硫酸カリウム、硫酸銅五水和物)を加え、ケルダール分解を行った。その後、さらに過酸化水素を加え、十分に分解を行った後、分解液について水蒸気蒸留を行った。留出液について 630 nm の吸光度を測定し、標準アンモニア態窒素液の検量

線から、試料溶液中の窒素含有量を求めた。

リンについては粉碎試料を適量取り、濃硝酸及び過塩素酸で加熱分解した試料溶液について、バナドモリブデン酸法にて 410 nm の吸光度を測定し、標準リン酸態リン液の検量線から、試料溶液のリン含有量を求めた。

2 遊水池現況調査

遊水池においては、2008 年度から年 10 回(5 月～2 月)水質調査を実施しているが、今後の遊水池内での水質浄化適用手法の開発の検討に資するため、以下の調査を追加して実施した。

(1) 停滞時水質調査

- ・調査地点: 地点①、②、③(図 3)
- ※ 地点②は表層、底層(池底から 50cm 上)
- ・調査時期: 月 1 回(5～10 月)
- ・調査項目: 一般項目及び栄養塩類等

(2) 排水負荷量調査

- ・調査地点: 地点①、②、⑥(図 3)
- ※ 地点②は表層、底層(池底から 50cm 上)
- ・調査時期: 月 1 回程度
- ・調査項目: 一般項目及び栄養塩類等

(3) 底質調査

- ・調査地点: 地点③、④、⑤(図 3)
- ・調査時期: 年 1 回(8 月)
- ・調査項目: 含水量、強熱減量、COD、T-N、T-P、硫化物

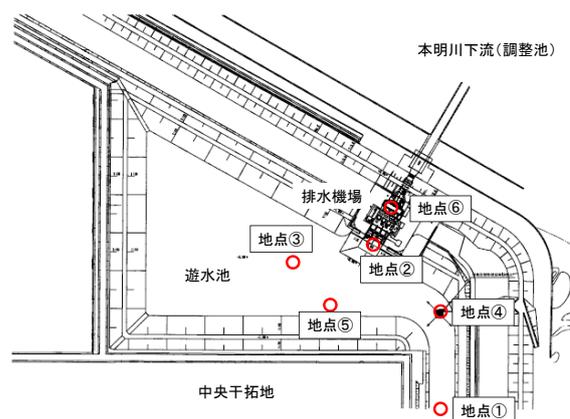


図 3 遊水池内調査地点

結果と考察

1 植物による浄化試験

(1) 植物栽培試験

試験設備での栽培試験開始時(6月末)及び夏季栽培試験終了時(11月上旬)の全体概況について、図4に示す。



図4 試験設備での栽培状況

また、遊水池における植物個別の生育状況について表2に示す。

表2 植物個別の生育状況

植物名	種類	生育状況
ヒメガマ	野草	○
シュロガヤツリ	鑑賞用	◎
ソルガム	飼料用	○
イタリアンライグラス	飼料用	△
カサスゲ	野草	△
セキショウ	野草	△
ミソハギ	野草	△
ツワブキ	野草	×
ハマアザミ	野草	×

栽培試験開始当初は、ヒメガマ(16 m³, 144 株)、シュロガヤツリ(16 m³, 144 株)、ツワブキ(5 m³, 45 株)、ハマアザミ(6 m³, 54 株)、ソルガム(16 m³, 96 鉢)で開始した。植物栽培にあたっては、遊水池での訓育期間を約1週間設定し、2011年6月30日を観測開始日とした。

これらの植物のうち、観測開始後約2週間での背丈の伸長率に関し、ヒメガマは約1.5倍、シュロガヤツリは約1.3倍、ソルガムは約1.4倍となるなど、これらの3種類の植物については順調な生育が確認された。

一方、塩生植物として選定したツワブキ及びハマアザミについては、植栽鉢を用いた2010年度の栽培試験では生育には特に支障は見られなかったが、1週間の訓育時点でハマアザミについては1度枯死したものの、新芽が再生するなど全ての固体の生存が確認された。しかしながら、観測開始後2週間の時点でツワ

ブキの生残率が約13%、ハマアザミの生残率が54%と成育が思わしくなかった。新芽が多く再生したハマアザミについても、根を確認したところ先細りしているものが多く、定着度が思わしくなかったため、7月28日まで継続観測を実施したものの、ツワブキとハマアザミについては、今後の安定した成育の可能性なしと判断した。

2010年度の栽培方法では植栽鉢を使用しており、水面が根より10 cm以下にあり、土壌を介した間接的な水分補給が行われ、塩分による影響が緩和されたこと、波浪時であっても遊水池水が植物に直接触れる機会がなかったことから、今回枯死が多く発生したのは遊水池水が根に直接的影響を与えたためと考えられる。

このため、ツワブキ及びハマアザミを栽培していた区画(計11 m³)について、植物の補充を実施した(カサスゲ、セキショウ、ミソハギ、ヒメガマ、シュロガヤツリ(各2 m³, 各18株))。カサスゲ、セキショウ及びミソハギについては過去の文献⁵⁾、他地域での利用実績等から選定し、ヒメガマ及びシュロガヤツリについては試験設備での栽培が良好であり、確認のために再度時期を変えて栽培を開始したものである。

カサスゲ、セキショウ、ミソハギについては8月中旬に観測を開始した。ミソハギは9月上旬までは新芽が多く見られたが、9月末時点で枝を残してほぼ枯れてしまったため、生育状況としては不明な部分もあったが、3月上旬時点で18株中14株の新芽が確認されるなど、今後の成育に期待される。カサスゲについては3月上旬時点で18株中13株の新芽が確認されるなど、今後の成育に期待される。また、セキショウについては、観測開始後1ヶ月で18株中6株が枯死したが、3月上旬時点で18株中11株の新芽が確認された。これらの植物については、ツワブキ及びハマアザミと異なり、生存個体の根の定着がよく、次年度も経過観察することとしている。

ソルガムについては7月下旬から一部に穂が始め、9月中旬まで順調な成長が確認され、最終的に11月上旬まで観測を行い、最終的な平均背丈は約1.5 m(穂含む)であり、その後刈り取りを行った。ヒメガマについては9月下旬までの成育が旺盛であり、その後11月上旬まで緩やかな成長が確認されたが、2011年度はヒメガマの穂は途中確認できなかった。最終的な平均背丈は約1.3 mであり、11月上旬に刈り取りを行ったが、3月末時点で刈り取り後に新芽が出ているのが確認された。シュロガヤツリについては観測開始後

1ヶ月の伸びは緩やかであったが、8月中旬から11月中旬にかけての成育が旺盛であり、特に分けつ芽が多く、他の植物と比較して縦方向だけでなく横方向への繁殖が目立った。最終的な平均背丈は約1mであり、11月中旬時点で生存個体が多数あり、根元上部で全て刈り取りを行ったが、3月末時点で新芽は確認できなかった。シュロガヤツリは越冬性があり、地上部は枯れたようになって、春になれば発芽することが知られているが、今回の刈り取り方法に問題があった可能性があるため、部分的な刈り取りを行うことにより生存個体をまばらに残すなど、複数年の連続栽培を行ううえで、管理方法を検討する必要がある。

また、冬季にはプランター方式栽培区画において、ソルガムの代わりにイタリアンライグラスの栽培を行った。当初順調に成育すると思われたが、12月中旬に鳥と思われる食害を受け、地上部が1cm程度のレベルまで減少してしまった。3月上旬時点で平均背丈が4cm程度、その後順調に成長したが、途中の食害によるダメージが深刻であったため、栽培開始時期を検討するなど対策をとる必要がある。

(2) 植物体栄養塩類吸収量調査

刈り取り後、ヒメガマ、シュロガヤツリ、ソルガム、カサスゲ、セキショウについては、地上部の栄養塩類含有率調査を行った結果を表3及び表4に示す。

表3及び表4において、栄養塩類含有率は、栽培途中での植物の成長段階に応じて差異がどのくらい見られるか調査することを目的として、栽培開始前、収穫後のほか、必要に応じて栽培途中に約1ヶ月おきに2回実施した。

表3 栄養塩類含有率(窒素)

植物種	窒素含有率(%)			
	前	途1	途2	後
ヒメガマ	0.73	1.13	1.40	1.84
シュロガヤツリ	1.50	0.99	1.20	1.47
ソルガム	1.03	0.21	0.43	0.37
カサスゲ	0.93	-	-	1.89
セキショウ	1.10	-	-	2.00

表4 栄養塩類含有率(リン)

植物種	リン含有率(%)			
	前	途1	途2	後
ヒメガマ	0.26	0.22	0.17	0.22
シュロガヤツリ	0.25	0.18	0.16	0.17
ソルガム	0.36	0.11	0.12	0.08
カサスゲ	0.41	-	-	0.24
セキショウ	0.19	-	-	0.22

これらのうち、地上部の収穫量が1kg以上となったヒメガマ、シュロガヤツリ、ソルガムの3種類で比較すると、収穫時点での窒素・リン含有量はヒメガマ、シュロガヤツリの順となり、ソルガムは低い値となった。

このとき、単位面積当たりの収穫量はヒメガマ 0.78 kg/m²、シュロガヤツリ 2.33 kg/m²、ソルガム 2.07 kg/m²であり、水分がヒメガマ 75.9%、シュロガヤツリ 79.5%、ソルガム 59.2%であったことから、実質の栽培日数を加味して窒素回収量、リン回収量を算出した結果を表5に示す。

表5 植物(地上部)による栄養塩類回収量

植物種	単位当たりの収穫量(kg/m ²)	窒素回収量(g/m ² /日)	リン回収量(g/m ² /日)
ヒメガマ	0.78	0.034	0.004
シュロガヤツリ	2.33	0.070	0.008
ソルガム	2.07	0.031	0.006

単位面積当たりの収穫量を加味した窒素・リン回収量はシュロガヤツリで最大となり、窒素 0.070 g/m²/日、リン 0.008 g/m²/日であった。

なお、ソルガムについては植栽用面積としては約8.3 m²程度であるが、プランター基盤の占有面積で算出しているため、低めの数値となっている。また、シュロガヤツリについては上部での最終的な繁茂状況から判断するにすぎず、9個/m²での植栽密度でも支障ないと思われたが、ヒメガマについては十分に余裕が見られ、16個/m²の植栽密度でも成育が可能と思われる。

いずれの植物においても、刈り取りの頻度を高めることで栄養塩類回収量が増加するか、今後とも検討する必要がある。

2 遊水池現況調査

(1) 停滞時水質調査

2012 年度以降に遊水池内で物理手法を用いた水質浄化試験を行うにあたり、遊水池中心付近である地点③を含め、遊水池内の水温が上昇する 6 月から 10 月までの間の晴天時に実施した水質調査結果について、表 6 及び表 7 に示す。

表 6 停滞時水質調査(その 1)

地点	溶存態	COD (mg/L)	溶存態	T-N (mg/L)	溶存態	T-P (mg/L)	クロロ フィル a (µg/L)
	COD (mg/L)		T-N (mg/L)		T-P (mg/L)		
地点①	16 (15)	26 (23)	4.9 (3.7)	6.3 (4.8)	0.14 (0.12)	0.37 (0.32)	210 (270)
地点② (表層)	16 (16)	30 (25)	2.1 (3.0)	4.3 (4.5)	0.096 (0.13)	0.40 (0.33)	470 (340)
地点② (底層)	16 (16)	26 (25)	3.0 (3.0)	4.5 (4.6)	0.16 (0.15)	0.48 (0.40)	260 (340)
地点③	15	32	2.3	4.8	0.094	0.46	480

注) 括弧内は平成 20~22 年度同期間平均値

表 7 停滞時水質調査(その 2)

地点	DO(mg/L)				
	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
地点①	7.6	17	7.3	12	12
地点② (表層)	13	14	9.0	12	15
地点② (底層)	4.5 [3.7 m]	3.8 [4.0 m]	0.7 [4.0 m]	1.4 [3.5 m]	9.3 [3.3 m]
地点③ (直上水)	6.0 [0.75 m]	4.0 [1.0 m]	4.2 [1.0 m]	14 [0.60 m]	19 [0.40 m]

注) 括弧内は水深を示す。

表 6 及び形態別窒素、形態別リンの結果によると、地点②表層と地点③表層の水質傾向はほぼ同一の挙動を示した。また、表 7 において、地点③底質直上水の溶存酸素(DO)については、水深が 1 m 程度であった 6 月及び 7 月は約 4 mg/L であったが、水深が約 0.5 m の場合には 12 mg/L 以上と、地点②表層と同程度の値となった。このとき、水深が低いため底層まで光が届き、光合成が行われている可能性が示唆される。

また、地点③底質における酸化還元電位(ORP(mV

vs NHE))は、6~9 月までマイナスであり、特に 6 月及び 8 月は -200 mV(vs NHE)以下となったが、10 月にはプラスに転じた(date not shown)。

これらのことから、平均水位約 1 m の遊水池で物理手法を用いた直接浄化を検討するにあたっては、実施時期及び水深条件の設定が重要であることが示唆された。

(2) 排水負荷量調査

遊水池に集合する排水については、新干拓地内の畑地を通過した浸透水が集合したものであり、排水操作により調整池へ排出される。自動ポンプ 1 台、手動ポンプ 3 台の能力及び稼働時間から、排水量を推定することができるが、これらの記録をもとに遊水池から調整池への月別排水量を計算した結果について、図 5 に示す。

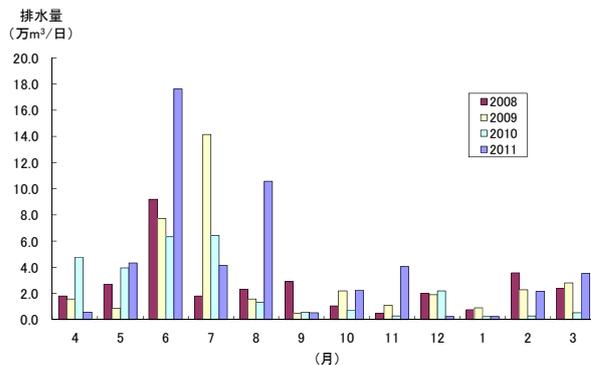


図 5 遊水池から調整池への月別排水量

図 5 によると、年度ごとに排水ピーク月は異なるが、6~8 月の排水量が年間排水量の約 40~60%を占めている。

ここで、遊水池における 2008~2011 年度の定期モニタリング調査結果のうち、年平均濃度を表 8 に示す。

表 8 遊水池年平均濃度

年度	溶存態	COD (mg/L)	溶存態	T-N (mg/L)	溶存態	T-P (mg/L)	SS (mg/L)
	COD (mg/L)		T-N (mg/L)		T-P (mg/L)		
2008	15	24	2.7	4.0	0.058	0.25	94
2009	16	24	3.3	4.7	0.13	0.35	93
2010	15	23	4.6	5.5	0.14	0.31	83
2011	14	24	3.8	5.1	0.12	0.37	83

過去3ヶ年の年間平均値はCOD 24 mg/L、T-N 4.8 mg/L、T-P 0.30 mg/Lであったが、2011年度の年間平均値はCOD 24 mg/L、T-N 5.1 mg/L、T-P 0.37 mg/Lと、CODは例年と同程度、T-N及びT-Pは若干高めの値で推移した。

遊水池の各月の濃度と月別平均排水量の積から各月別の排水負荷量を求め、これらの平均値から、遊水池からの排水負荷量として算出した。年度ごとのバラツキが大きい、過去3ヶ年の平均負荷量はCOD 620 kg/日、T-N 140 kg/日、T-P 10 kg/日であった。2011年度は例年よりも降水量が多く、遊水池からの排水量が約1.5倍に増加したため、負荷量としてはCOD 1,000 kg/日、T-N 210 kg/日、T-P 15 kg/日と相対的に増大した。また、年9回の排水時採水調査を加味すると排水時の平均濃度は定期モニタリング調査と比較してCOD 約1.2倍、T-N 約1.4倍、T-P 約1.5倍であった。

なお、今後も排水時等水質調査を行い、これまでの結果とあわせ、現状に即した排出負荷量を見積もるとともに、排出水の年間水質特性及び各水質項目の関連性を整理することとしている。

(3) 底質調査

遊水池の底質調査結果を表9に示す。遊水池の平均水深は地点②を除き、1 mに満たない程度であり、調整池の平均水深よりもやや浅くなっているが、2011年度に実施した調整池での調査結果と比較すると、遊水池流路沿いある地点④及び有明川河口付近であるP.2で低めの値となった。

表9 底質調査結果(2011年8月)

区分	場所	乾燥 減量 (%)	強熱 減量 (%)	COD (mg/g ・dry)	T-N (mg/g ・dry)	T-P (mg/g ・dry)	硫化物 (mg/g ・dry)
遊水池	地点③	61.0	9.6	11	1.3	0.64	0.31
	地点④	40.6	6.2	6.7	0.90	0.61	0.46
	地点⑤	63.6	11	13	2.0	0.72	0.83
調整池	St.1	54.9	7.0	10	1.3	0.66	0.13
	St.2	72.5	9.7	15	2.0	0.81	0.27
	St.3	59.1	7.2	10	1.3	0.78	0.15
	St.6	64.4	9.5	14	1.7	0.76	0.11
	St.7	71.4	9.1	15	1.9	0.74	0.26
	P.2	54.7	6.7	8.9	0.92	1.1	0.17

また、表9において、硫化物を除き、遊水池と調整池では同様の数値となっているが、硫化物においては遊水池が2倍程度高い値を示している。河川及び湖沼においては硫化物としての基準はないが、水産用水基準の海域の基準(0.2 mg/g・dry以下)と比較すると、1 mg/g・dryを超過する地点はないものの、やや高めの値といえる。なお、調査時の遊水池底泥のORPは平均して-200 mV(vs NHE)であり、採泥時点での水深は、地点③で約80 cm、地点④で約50 cm、地点⑤で約60 cmであった。

まとめ

2011年度は遊水池内に設置した浮島型植物植栽等設備において植物栽培試験を実施し、生育状況の確認を行ったが、ヒメガマ、シュロガヤツリ等の上方に成長し、茎が太いタイプの植物が植栽浮島での生育に適していることが分かった。今後も引き続き植物栽培試験を実施し、ヒメガマ、シュロガヤツリ等の多年草について、刈り取り後の発芽状況を踏まえ、複数年栽培時の窒素、リン回収量で評価することとしている。

また、2012年度以降に遊水池内で物理手法を用いた水質浄化試験を行うにあたり、遊水池現況調査を実施したが、遊水池においては、栄養塩類濃度が高く、クロロフィルa濃度が100 µg/Lを超えることが多く、アオコを形成する藍藻類を代表とした植物プランクトンが異常繁殖しやすい環境にある。今回の結果を踏まえ、今後実施するオゾンや超音波を含む水流を遊水池内滞留水に作用させる水質浄化手法の検証方法について検討することとしている。

参考文献

- 1) 川口 勉, 他: 諫早湾干拓中央遊水池の水質浄化試験結果, 55, 64~68, (2009)
- 2) 石崎修造, 他: 諫早湾干拓中央遊水池の水質浄化試験結果, 55, 69~72, (2009)
- 3) 川井 仁, 他: 諫早湾干拓中央遊水池の水質浄化試験結果, 55, 73~82, (2009)
- 4) 川口 勉, 他: 諫早湾干拓中央遊水池の汚濁負荷削減等試験結果(2010), 56, 49~55, (2010)
- 5) 縣 和一, 他: 水面利用の植物栽培 水質浄化と水辺の修景 ー無土壌水面栽培法による新しい展開ー, (2002)