

# 国営・県営かんがい排水事業における水質改善について

大潟土地改良区 事務局長

下山 昇

## 1. はじめに

令和3年度から国営かんがい排水事業「八郎潟地区」が着工し、幹線用水路の「パイプライン化」や、支線排水路末端の「沈砂池」により、八郎湖への水質負荷軽減を図る事業計画となっている。併せて国営附帯県営事業でも小用水路のパイプライン化に取り組むこととなった。パイプライン化とは、水道のようにパイプを地下に埋設し、必要量をバルブにより取水する方式で、無効放流をゼロにすることができる。地上を流す方式の農業用水路（開水路）は水量の制御が難しく、用水路末端から使われずに放流される水量が多くなる。ほ場に水を入れる水位を保つためにやむをえない水量で、「ゲタ水、無効放流」等と呼ばれており、小用水路の無効放流量は年間119百万 $m^3$ あり、南北排水機場の排水量456百万 $m^3$ の26%を占めている。この水を削減できれば、八郎湖の水質改善に大きな効果が期待できることから、大潟土地改良区では巡視活動を行い、無効放流の削減を指導してきたが、開水路では現状を大きく改善することはできなかった。パイプライン化により八郎湖への排水量が減ることで、どのような水質改善効果が現れるのか等、秋田県立大学と共同研究を実施したので報告する。

なお、八郎湖の水質改善は、無効放流削減だけでなく、対策を総合的に実施する必要がある。代かき泥水はパイプライン化に関係なく排出されることから、その対策が必要で、国営事業で新たに設置される支線排水路末端沈砂池での排泥管理が必要となる。また、代かき泥水を排水しない自動操舵装置付き田植機による無落水田植も有効と考え、大潟土地改良区では自動操舵装置を平成30年度に8機を購入、令和3～5年度において51機購入を予定している。

その他、大潟土地改良区では秋田県立大学との共同研究により、排水路の泥の栄養分に基づいた泥上げによる水質改善効果、魚類の栄養分に基づいた外来魚等の捕獲による水質改善効果、八郎湖流域のブナ植樹による栄養分の保持能力

の向上、水質モニタリング、などの調査を行っている。

## 2. 小用パイプライン化による水質改善効果の調査概要

### 1) 用語の説明

- ・小用水路：ほ場へ給水する水路で、以下「小用」と略記。
- ・幹線用水路：大潟村の場合、小用に給水する水路で、以下「幹用」と略記。
- ・小排水路：ほ場から直接排水する水路で、以下「小排」と略記。
- ・支線排水路：小排水路からの排水を受ける排水路で、以下「支排」と略記。
- ・幹線排水路：支線排水路からの排水を受ける排水路で、以下「幹排」と略記。
- ・懸濁物質(SS)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、化学的酸素要求量(COD)、()で略記。

### 2) 調査概要

図1の⑧と⑨のほ場を受益とした排水は、小用（開水路、赤2路線）の無効放流と小排（青1路線）の排水であり、この3路線の排水量測定を「小用パイプライン化による排水量の削減および水質改善効果」として、秋田県立大学に委託し2017～2020年度の4年間調査を行った。なお、小用の無効放流量は⑦⑩のほ場分と面積按分し調整した。小用がパイプライン化されれば無効放流はゼロとなるので、現況の小用無効放流量が重要となる。また、水質調査（かんがい期2回、非かんがい期2回）については、2003年から継続して委託調査している。これらのデータを基に、小用パイプライン化による無効放流削減量と水質改善効果を算定した。排水量の調査期間は、かんがい用水を使用する5～8月とし、特に代かきによりSS濃度が高くなる5～6月は個別に集計した。期別の小用無効放流量（＝小用パイプライン化による削減量 $m^3$ ）にSS・T-N・T-P濃度(mg/L)を掛けることで、水質改善効果(t)を算定した。

### 3. 小用パイプライン化による水質改善効果の調査結果

図1に示した3箇所のは場（A19、B28、F12）で4年間排水量を測定した結果は、表1のとおりである。水稻による全体放流量を算定するために、実測値を水深換算し、水稻面積を掛けて全体放流量を算定した。

水質改善効果の算定では、小用パイプライン化により無効放流が無くなった場合、八郎湖へ排水されるSS濃度がどのように変化するか算定することは難しい。つまり、泥水を希釈する水量が減ればSS濃度は上昇するが、小用の無効放

流が排水路に落ちるときに発生する泥の巻き上げが減少することや、流量が減り流速が30cm/秒以下に遅くなることで掃流力が減少し、排水路に泥が沈殿し易くなるとともに、泥土が流されにくくなるという、SS濃度が低下する要因もある。そこで、「小用パイプライン化で八郎湖へ排水されるSS濃度は変わらない」と仮定し、SS削減量(=八郎湖への排出削減量)の算定を行った。一方、T-NとT-Pについては、期別の影響が少なく一定しており、無効放流量の削減がT-NとT-Pの削減に直結する。



図1 調査位置図

表1 放流量実測値(m³)の水深(m)換算と、水稻による全体放流量

流量単位：m³ 秋田県立大学・近藤正准教授による測定

	調査農区	耕地面積 m²	放流量(5~6月)			減少率	放流量(かんがい期5~8月)			減少率
			①小排	②小用	③計	②/③	①小排	②小用	③計	②/③
H29年度	A19	232,420	105,298	200,265	305,563	66%	357,330	257,671	615,001	42%
H30年度	A19	232,420	69,581	263,871	333,452	79%	154,347	356,595	510,942	70%
R01年度	B28	263,735	113,793	161,868	275,661	59%	201,007	218,990	419,997	52%
R02年度	F12	276,043	194,731	189,346	384,077	49%	398,821	240,012	638,833	38%
平均						63%				50%

※減少率：パイプライン化で②をゼロとすることができることから、減少率を②/③とする。

水深換算：m、上記表の値を耕地面積で除した値

	調査農区	耕地面積 m²	放流量(5~6月)			減少率	放流量(かんがい期5~8月)			減少率
			①小排	②小用	③計	②/③	①小排	②小用	③計	②/③
H29年度	A19	232,420	0.453	0.862	1.315	66%	1.537	1.109	2.646	42%
H30年度	A19	232,420	0.299	1.135	1.435	79%	0.664	1.534	2.198	70%
R01年度	B28	263,735	0.431	0.614	1.045	59%	0.762	0.830	1.592	52%
R02年度	F12	276,043	0.705	0.686	1.391	49%	1.445	0.869	2.314	38%
平均			0.472	<b>0.824</b>	1.296	63%	1.102	<b>1.086</b>	2.188	50%

無効放流↑

泥水が激減↑

無効放流↑

1/2に減少↑



水稻耕地面積10,933haで

**52**      **90** 百万m³

**120**      **119** 百万m³

◆水稻耕地面積(H26~30年平均) = (主食6370+主食外4402-方上の調整水田233) / 本地率0.964 = 10,933ha

※国営土地改良事業「八郎潟地区」営農計画(2020.3)P57より

### 1) かんがい期全体(5~8月)の排水量

(単位:百万m³)

南北機場302 = 小用無効放流119 + 小排120 + 幹用無効放流等 \* 63 (計算値)

上記「等\*」は、地下浸透水、畑作及びほ場外流域からの排水量等で差し引きした計算値である。小用無効放流と小排の排水は、稲作10,933haからの排水。小用無効放流量は南北排水機場の39% (=119 / 302) を占め、パイプライン化によりゼロにできる。なお、小排の排水量は、降雨量で変動する。

### 2) 濁水期(5~6月)の排水量(単位:百万m³)

南北機場175 = 小用無効放流90 + 小排52 + 幹用無効放流等 \* 33 (計算値)

小用無効放流は南北機場の51% (=90 / 175) を占める。小排の排水量では、この時期の降雨量は少ないが、アメリカザリガニ等による漏水が相当量あると思われる。ザリガニは小排からほ場までの間にトンネルを掘り、漏水や法面のスベリ崩壊を引き起こす。この時期に小排の調査を行うと、田面から渦を巻いて漏水していたり、場所は特定できないが漏水の音が聞こえることがよくある。

### 3) 小用パイプライン化による水質改善効果

小用パイプライン化により、5~8月の無効放流をゼロにすることができ、119百万m³削減できる。南北排水機場の年間排水量456百万m³(4年平均)の26%にあたる。幹用パイプライン化により無効放流が無くなれば、さらに改善される。なお、参考値として、八郎湖の総貯水量は133百万m³、玉川ダムの総貯水量は254百万m³である。

毎年4回(4、5、8、10月)水質モニタリング調査を行っており、そのデータ(H29~R2年度)を基に、SS,T-N,T-Pの年間削減量(5~8月)を求めた。小用の無効放流量削減によりSS削減量は13,360tとなり、南北排水機場の年間排出量全体33,774tの40%を占める計算になる。T-N削減量は197tで全体751tの26%、T-P削減量は28tで全体105tの26%となる。

南北排水機場から排出されるT-NとT-P(濃度)は年間一定しており、これらを削減するには年間排水量を削減する必要がある。また、SS(重量)は5~6月で年間の71% (=24,074 / 33,774) を排出するので、特に5~6月の排水量を削減することが有効となる。

また、5～6月にCODが1.3倍に増加し、T-NとT-Pが変化しないことから、SSの成分はCODを増加させる炭水化物や油脂が多く、窒素を含むタンパク質やリンを含む生物は少ないと考えら

れる。アオコの発生抑制には「T-NやT-Pの削減」が効果的であるが、「SS削減」も有機質の養分とミネラルを減らすという点で、必要と考えられる。

表2 南北排水機場の月別水質(mg/L)と排水量(m³)

単位：mg/L						秋田県立大学・近藤准教授による測定					
<4月>		SS	COD	T-N	T-P	<5月>		SS	COD	T-N	T-P
H29	南部	43	13.6	1.7	0.28	H29	南部	164	15.6	1.7	0.35
	北部	30	13.5	1.6	0.18		北部	144	13.4	1.5	0.26
H30	南部	38	10.7	2.0	0.28	H30	南部	180	15.9	1.9	0.30
	北部	35	9.3	1.5	0.19		北部	114	13.9	1.5	0.23
R1	南部	30	9.8	1.2	0.70	R1	南部	84	14.3	1.6	0.23
	北部	36	9.4	1.0	0.13		北部	128	17.7	1.6	0.23
R2	南部	33	12.3	1.2	0.22	R2	南部	174	13.6	1.6	0.30
	北部	25	11.5	1.2	0.12		北部	110	11.8	1.4	0.20
☆平均	南北	33.8	11.26	1.43	0.263	☆平均	南北	137.3	14.53	1.60	0.263

◆南北排水機場1-4月 単位：トン						◆南北排水機場5-6月 単位：トン					
		69,219,000 m³	2,336	99	18			175,405,000 m³	24,074	281	46

☆平均値は端数処理をしていない

◆小用無効放流5-6月					
		90,087,000 m³	12,364	144	24

<8月>						<10月>					
		SS	COD	T-N	T-P			SS	COD	T-N	T-P
H29	南部	39	11.3	1.9	0.19	H29	南部	29	12.2	1.6	0.23
	北部	36	10.7	1.7	0.12		北部	15	11.5	1.0	0.12
H30	南部	34	13.3	1.7	0.18	H30	南部	59	8	1.7	0.61
	北部	34	13.1	1.8	0.13		北部	37	6.6	1.1	0.15
R1	南部	31	9	2.0	0.14	R1	南部	36	9.8	1.6	0.21
	北部	31	11.6	1.9	0.10		北部	56	11.4	3.1	0.14
R2	南部	33	9.4	2.0	0.18	R2	南部	16	14.3	1.7	0.59
	北部	40	9.5	1.9	0.13		北部	31	12.4	1.0	0.09
☆平均	南北	34.8	10.99	1.86	0.146	☆平均	南北	34.9	10.78	1.60	0.268

◆南北排水機場7-8月 単位：トン						◆南北排水機場9-12月 単位：トン					
		126,655,000 m³	4,401	236	19			84,933,000 m³	2,962	136	23

◆小用無効放流7-8月					
		28,645,000 m³	995	53	4

表3 南北排水機場の年間排出負荷量(t)と小用パイプライン化による負荷削減量(t)

<年間排出量>	単位	SS	T-N	T-P	排水量(H29～R2年度の平均)
◆南北排水機場	トン	33,774	751	105	456,212,000 m³/年
◆小用(5-8月)	トン	13,360	197	28	118,732,000 m³/年
小用/排水機場		40%	26%	26%	26%

☆T-NとT-Pは年間を通して変化が少ない。SSは5月が4.0倍(=137.3/34.5)になる。

CODは5月が1.3倍(=14.5/11.0)になる。

## 4. 考 察

### 1) 泥土の処理計画

大瀨村の稲作では、土壌の性質から代かき後時間が経過しても泥が沈殿しなく、田植機のマーカが見えないので、泥水を全量排水してから田植えを行う。このような農業を続ける限り、排水路には泥が沈殿し、八郎湖にSSが流出する。代かきによるほ場排水のSSは800 mg/L程度であり、南北排水機場の代かき期のSSは小排・支排・幹排で沈殿し140 mg/L程度となる。そのため、排水路に溜まった泥土を取り除く必要があり、泥土の処理計画を検討した。

代かき直後の高濃度のSSは小排と支排に多く沈殿することから、バックホーによる泥上げで対応し、八郎湖に排水される140 mg/L程度のSSは、国営事業で設置される支排末端沈砂池に沈殿させ、除去する計画とする。

なお、頼泰樹准教授の令和2年度調査によると、小排と支排の泥土には有機物の成分となるT-Cが4.34%、T-Nが0.4%含まれている。またヘドロ土壌は砂土壌に比べ、T-Cが5.0倍、T-Nが4.3倍多く、ミネラル分も多いことが解った。これらの結果から、小排と支排の泥上げによる栄養分の除去量を算定することができる（本論文では省略する）。

### 2) 支排E1沈砂池における泥土の除去計画

幹排に泥土が流入した場合、本格的に撤去するための浚渫工事費は20,000円 / m<sup>3</sup>程度となり、実施困難であるとともに、多くの泥土が八郎湖に放流されてしまう。そのため、幹排の手前（＝支排の末端）で泥土をできるだけ沈殿させ、除去する方法が実現可能と考えられ国営事業で計画された。

泥土の撤去方法は、バックホーによる掘削除去が計画されたが、令和3年度に着工するE1沈砂池は、軟弱地盤のため作業に危険を伴うことから、スベリによる沈砂池の損傷が懸念されることから、永吉武志准教授のブレードレス水中ポンプによる除去（案）を計画した。

#### ○E1沈砂池における計画年間除去泥土量

南北排水機場の年間SS排出量は、表3に示したとおり33,774 tであり、パイプライン化工事が始まるまではこの量のSSが毎年排出される。これを湿潤土の体積に変換すると（湿潤密度1.3、含水比200% [水重2 : 土重1]）33,774 t × 300%

/ 1.3 = 77,940 m<sup>3</sup>となる。この泥土を除去するためのE1沈砂池で受け持つ量を流域面積で按分し、E1沈砂池の当面の計画年間除去泥土量とする。

流域面積比 = 1,029.2 ha (E1) / 15,083.0 ha (沈砂池の流域面積計) = 6.82%

77,940 m<sup>3</sup> × 6.82% = 5,300 m<sup>3</sup> / 年とする。

#### ○泥水貯留池の設計（図2参照）

泥水貯留池の構造は、面積20,000 m<sup>2</sup>、周長700 m、断面積(上幅1 m + 下幅4 m) × 高1.5 m / 2 = 3.75 m<sup>2</sup>とし、周囲に高さ1.5 m程度の盛土を行い、その中で沈殿させながら泥土を溜める。

#### ○100 mmブレードレス水中ポンプによる5・7・9月の排水量

1.0 m<sup>3</sup>/分 (送水距離が長く揚程20 m) × 60分 × 24時間 × 30日 × 3ヶ月 × 1/3 (効率: 移動、泥土置き場の水位調整等) = 43,200 m<sup>3</sup>とする。

#### ○ポンプ排水量を湿潤土に換算

ポンプ排水が可能な含水比は400%以上であるが、目詰まりの防止と相当量の水を吸い込むと想定されるので、含水比2000%の泥水を泥水貯留池に排水する計画とする。これを自然含水比の200%に脱水した場合の泥土量（体積）を求める（W<sub>w</sub> : 水重、W<sub>ss</sub> : SS重量、と表記）。

43,200 m<sup>3</sup> = W<sub>w</sub> / 比重1.0 + W<sub>ss</sub> / 真比重2.0 = 20.5 W<sub>ss</sub> (W<sub>w</sub> = 20 W<sub>ss</sub>, 2000%)

上記式からSSの乾燥重量を求めると、W<sub>ss</sub> = 2,107 t

次に、自然含水比200%の湿潤土の体積を求める。乾燥密度は0.4程度であり、

V<sub>200%</sub> (湿潤土体積) = 2,107 t / 0.4 = 5,267 m<sup>3</sup>となり、概ね、計画年間除去泥土量5,300 m<sup>3</sup>となる。

#### ○泥水貯留池の容量と安全性の検討

・年間堆積泥土厚 : 5,267 m<sup>3</sup> / 20,000 m<sup>2</sup> = 0.26 m

・泥水厚 (総量) : 43,200 m<sup>3</sup> / 20,000 m<sup>2</sup> = 2.16 m (1 m以下にコントロールし貯水しながら脱水)

経験上、支排・幹排に盛土荷重によるスベリ等の悪影響を及ぼさない程度の泥土厚・泥水厚と考えられる。

・泥土荷重を減少させるため、4年に1回程度、堆積泥土の運搬撤去が必要 (0.26 m × 4年 ≒ 1 m)

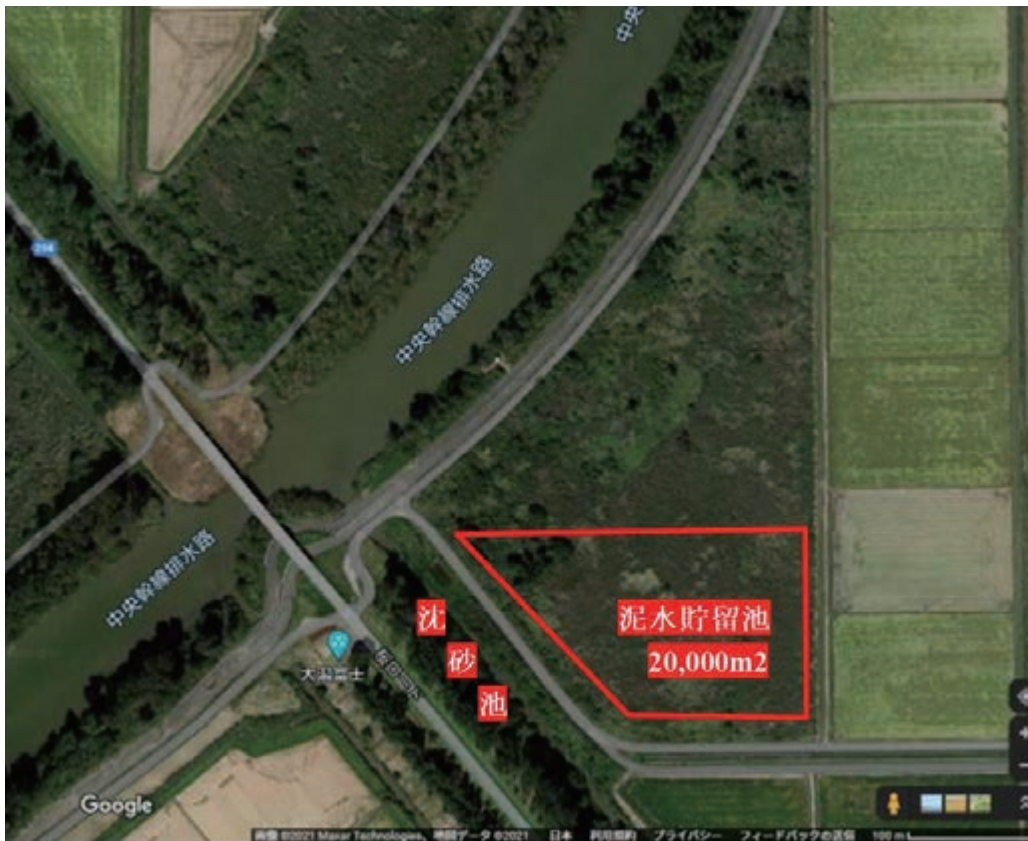


図2 支排E1沈砂池及び泥水貯留池(予定地)

## 5. まとめ

秋田県立大学との共同研究により、小用のパイプライン化により削減される無効放流量と、SS、T-N、T-P等の削減量を明らかにすることができた。南北排水機場からの年間放流量は456百万 $m^3$ で、その内、小用の無効放流量は119百万 $m^3$ であった。これによりSS排出総量の33,774 tの内13,360 t、T-N排出総量751 tの内197 t、T-P排出総量105 tの内28 tがそれぞれ小用無効放流で排出される計算結果になった。また、SS濃度が高く環境負荷の大きい濁水期（5～6月）の無効放流量は90百万 $m^3$ で、南北排水機場からの放流量175百万 $m^3$ の51%に及んでいる。これが小用のパイプライン化により削減可能となる。ただし、小用無効放流の減によって、SSの濃度がプラスマイナスの両方に変化する要因があることから「濃度変化は無し」という仮定と、「3地点のみの実測に基づいた計算値」であることを念頭に置き、今後20年以上に亘る工事期間における水質モニタリングを通じて、検証していく必要がある。

また、八郎湖へ排水されている現時点のSS量

33,774 tについて、国営事業により設置される支排沈砂池により、全量のSSを除去する計画を示した。ただし、この計画のとおり泥土が沈殿し除去できるかは、やってみないと解らない。作業を行いながら計画に近づくよう対応していくことが必要である。

## 謝 辞

秋田県立大学には、佐藤敦名誉教授のほか多くの先生方に御協力頂き、感謝申し上げます。

## 参考文献

- 近藤正（2017～2020）小用パイプライン化による排水量の削減および水質改善効果（2017～2020）水質モニタリング
- 近藤正・佐藤敦・早川敦（2018～2020）GNSS田植機効果検証業務
- 頼泰樹・永吉武志（2020）排水路の土壌調査と維持管理手法の検討
- 国営土地改良事業「八郎潟地区」営農計画（2020.3）P57