

水質保全に配慮した暗渠排水整備の効果検証について —疎水材に石灰石を用いた暗渠排水の効果—

留萌開発建設部 天塩地域農業開発事業所 ○田中 稔
辻内 剛
梶 雅之

国営総合農地防災事業「富士見地区」では、排水路周辺に生息する動植物の生息環境と地域資源に配慮した排水路整備や水質対策を行い事業を進めてきた。暗渠排水の施工においては排水本川の下流域の漁業への影響を考慮し、泥炭土からの鉄分流出を抑制するため、暗渠排水の疎水材に石灰石を使用している。本報では平成18年度から継続している水質調査により、水質対策効果の検証結果を報告するものである。

キーワード：自然環境、水質、疎水材

1. 地区の概要

北海道留萌振興局管内の北部に位置する天塩町の土壌は約40%が泥炭土であり、本地区の農地は泥炭土に起因する圃場面の不等沈下並びに排水路等の機能低下により過湿被害が生じており、生産性が低く飼料自給率は低位にとどまっている状況であった。このため安定的な農業経営に向けて排水路の改修と併せて暗渠排水等の農地保全工事を行っている。

事業概要：国営総合農地防災事業「富士見地区」

- ・受益面積 919ha
- ・排水路整備 5条（L=7.1km）
- ・農地保全工（暗渠排水等）752ha



図-1 富士見地区位置図

2. 地域の状況・課題

地区の排水先である天塩川の河口部ではヤマトシジミが漁獲され、これは天塩町の重要な水産資源であるとともに、北海道の地域ブランドとしてその地位を確立して

いる。しかし、近年は漁獲高の減少に加え貝殻の赤色化（赤さびの付着）も多く見られるようになり、ヤマトシジミ資源の生息環境保全等を目的とした「天塩しじみ資源環境対策委員会」が平成13年に設立され、国・道・町・漁協等地域一体となって原因解明と対策に取り組んでいる。

ヤマトシジミの赤色化は、そのメカニズムが解明されていないものの、原因の一つとして、地域の排水に含まれる鉄分（溶解性二価鉄、 Fe^{2+} ）の影響が考えられ、本地区による暗渠排水の整備により泥炭からの排水が促進されることで、天塩川への鉄分流出負荷の増加が懸念されていた。

3. 水質対策の検討

(1) 環境配慮方針

自然状態の河川水等には泥炭や営農の影響、事業の実施に関わらず、一定量の鉄分が含まれている。

このため、環境配慮方針として、工事の実施前から存在している鉄分（溶解性二価鉄、 Fe^{2+} ）の量を把握し、それ以上の Fe^{2+} の流出を防止することとした。また、地区上流部の林地と農地の境界部の河川水の Fe^{2+} 濃度（H18年度調査平均値1.0mg/l）を泥炭や営農の影響を受けていない区域の現況水質とし、これを改善の目安として設定した。

(2) 対策工の検討と実施

a) 暗渠疎水材

暗渠排水の実施設計にあたっては、鉄分流出抑制に有

効な疎水材の選定のため、平成17年度に試験圃場を設け、砂利・笹幹・木材チップ・石灰石・ホタテ貝殻・ロックウールを疎水材に使用した試験施工を行った。

平成17～18年度に暗渠排水口の水質調査を行い、鉄分流出抑制効果がみられ、pHが極端にアルカリ性とならない石灰石を採用した(図-2,3)。

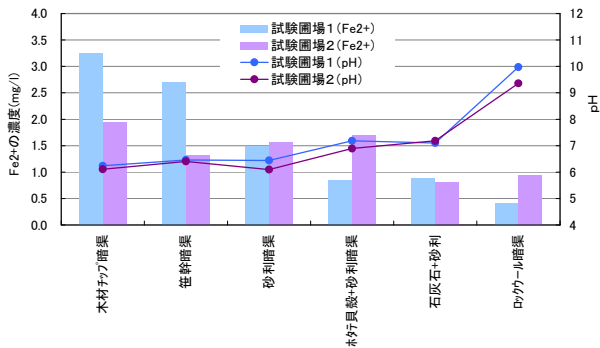


図-2 疎水材別Fe²⁺濃度とpH

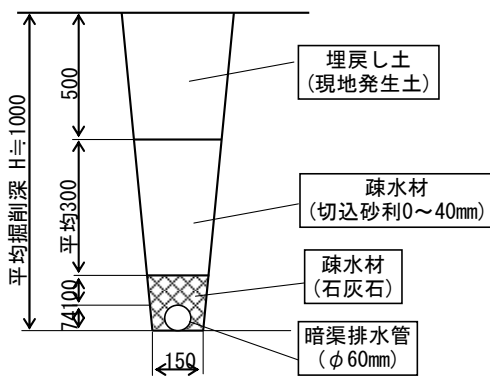


図-3 暗渠標準断面図

この効果は、石灰石により疎水材の周辺がアルカリ性になり、Fe²⁺イオンが水酸イオンと結合し不溶性の水酸化第一鉄を形成することによりFe²⁺の流出が抑制されることによるものである。

b) 排水路流入工

地域の水質は暗渠以外にも水路法面からの絞り水の流出等、不特定要素を含んでいる。このため、排水路整備区間の流入工において、水質対策として排水路への流入部に石灰石を敷設している。



写真-1 流入工

c) 沈砂池

排水路下流に設ける沈砂池では、その構造から空気と接する面積が大きく、酸化が促進されることによって、Fe²⁺が水酸化第二鉄 (Fe(OH)₂) となり、沈殿やヨシなどの植物への付着効果が期待されることから、沈砂池へのヨシの移植を行っている。



写真-2 沈砂池

d) 排水路護岸

排水路整備にあたっては、フトン箆等の鉄製品はFe²⁺濃度上昇を助長する恐れがあるため使用せず、ヤシ繊維シートによる法面保護、繊維製カゴマットによる護岸により施工している。



写真-3 護岸

e) 附帯明渠

暗渠施工時に圃場脇の附帯明渠排水路下流にネット等による汚濁処理施設を設置している。また、附帯明渠排水路の掘削時には、切土部分が露出しないようにヤシ繊維シートにより被覆している。



写真-4 汚濁処理施設

f) その他

地域の取組として、定期的に天塩川の清掃活動を行っているほか、天塩町の商工会が中心となって、河川・排水路の水質浄化のため、排水路への木炭の設置を行うなど、環境・水質に対する関心が高い。

4. 施工後の水質調査

(1) 暗渠排水水質調査

平成18, 19年度に暗渠排水工を施工した圃場において施工後の暗渠排水口の水質を計測している。平成19~21年度は各年度の施工圃場から2ヶ所ずつ選定し、計4ヶ所で調査を実施したが、平成22年度以降は、それまでの調査でH18施工圃場1とH19施工圃場1のFe²⁺濃度は低い値で推移していたことや、排水路の水質調査に関連した圃場を選定したことから、H18施工圃場2とH19施工圃場2の2圃場で調査を継続している。

試験圃場の2ヶ所でも平成17年から疎水材に砂利を使用した暗渠と石灰石を使用した暗渠の水質調査を実施しており、平成22年以降はH18, 19施工圃場の調査に合わせて試験圃場2で調査を継続している。

平成23年からは、営農の影響を受けていない地区近傍の自然泥炭地の地下水についても比較対象として調査を実施した。本報告では、調査を継続している圃場の結果を整理した(表-1)。

表-1 調査の内容(暗渠排水)

測定区分	箇所数						pH	溶解性二価鉄	カルシウム(*1)	測定回数
	H17, 18	H19	H20, 21	H22	H23	H24				
H18施工圃場1	-	4	4	-	-	-	○	○	○	3回/年 6, 8, 10月 (H17年は 11, 12月)
H18施工圃場2	-	4	4	4	4	4	○	○	○	
H19施工圃場1	-	-	4	-	-	-	○	○	○	
H19施工圃場2	-	-	4	4	4	4	○	○	○	
試験圃場1	4	4	4	-	-	-	○	○	○	
試験圃場2	4	4	4	4	4	4	○	○	○	
自然泥炭地					3	2	○	○	○	

(*)カルシウムの分析はH23年のみ
 : 本報告に使用しているデータ

(2) 排水路水質調査

暗渠排水工整備圃場を流域に含み、天塩川へ流下する排水路(主に本地区の整備対象路線5条)について、32ヶ所で水質調査を実施した。

本報告では、各路線を代表するヶ所の結果を整理した。

また、泥炭や営農の影響を受けていない地区上流端の水質についても継続して調査を行っている(表-2, 図-4)。

表-2 調査の内容(排水路)

排水路路線	測定区分	箇所数		pH	溶解性二価鉄	測定回数	箇所番号	
		H18~21	H22~24					
第1, 2号	基準観測点	1	1	○	○	3回/年 6, 8, 10月	①	
	補足観測点	5	3	○	○		②, ③	
	簡易観測点	4	-	-	○		-	
第3, 4号	基準観測点	1	1	○	○		-	④
	補足観測点	3	2	○	○		-	⑤, ⑥
	簡易観測点	-	-	-	○		-	-
第5号	基準観測点	1	1	○	○		-	⑦
	補足観測点	3	2	○	○		-	⑧
	簡易観測点	12	1	-	○		-	⑨
その他	基準観測点	1	2	○	○	-	-	
	補足観測点	1	5	○	○	-	-	
	簡易観測点	-	-	-	○	-	-	
地区上流端		7	7	○	○	-	○	

基準観測点: 各排水路7ヶ所に1ヶ所設定された基本となる観測点
 補足観測点: 基準観測点の上下流に設定され、排水路全体を把握するための観測点
 簡易観測点: 排水路に流入する支線に設定された観測点
 箇所番号: 本報告のデータに使用している箇所。観測が継続され、路線を代表する箇所

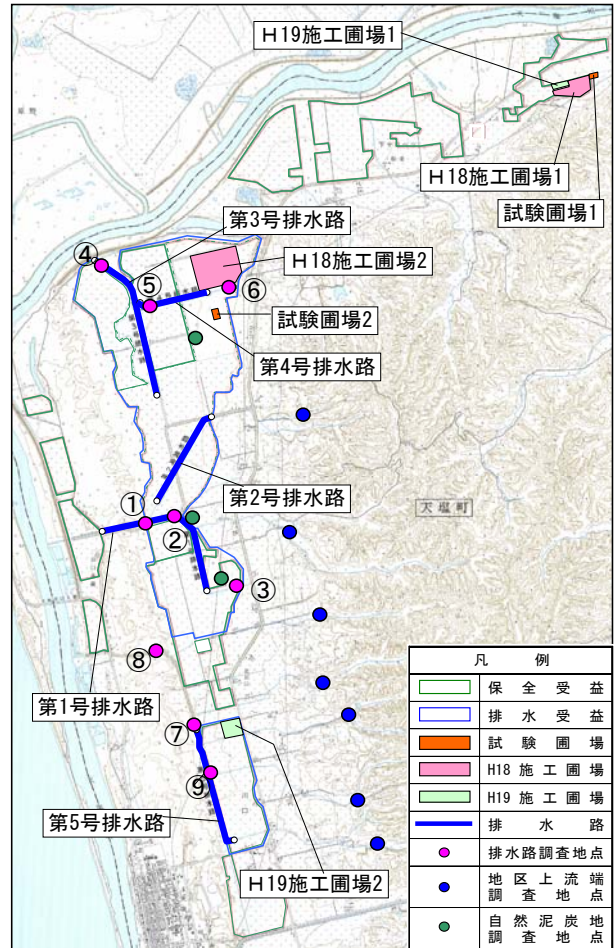


図-4 排水路および調査位置図

(3) 調査期間の気象

暗渠水や河川水の水質は降雨や気温などの気象の影響を受けやすいことから、調査期間の気象状況について整理した。

調査を開始した平成18年から平成24年の降雨量を図-5に示すが、平成18年、平成22年の降雨量が多かったことが特徴的である。平成18年は8月、10月、平成22年は7月、8月の降雨が多く、5月からの累積降水量も例年に比べ300mm程度多い状況であった。気温についても平成18年は7月、8月、平成22年は6月から9月にかけて例年を上回る高温となっている。また、平成24年9月は例年に比べて2℃程度高くなっているのが特徴的である。その他の年はほぼ同様の傾向を示し、月によってばらつきはあるものの異常年の2ヶ年を除けば5月から11月の降水量は概ね600mmとなっている(図-5, 6)。

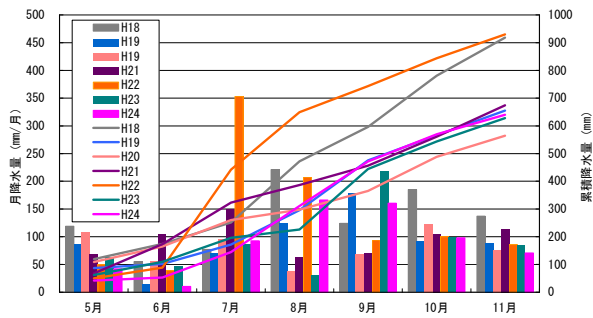


図-5 平成18年～24年の月降水量(天塩アメダス)

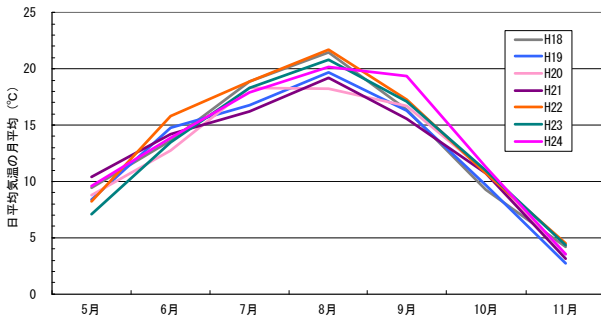


図-6 平成18年～24年の日平均気温(月平均)
(天塩アメダス)

暗渠の Fe^{2+} 濃度が $3.0mg/l$ と砂利暗渠よりも高い値となったが直後の補足調査では $2.2mg/l$ まで低下しており、その後は石灰石暗渠は砂利暗渠より Fe^{2+} 濃度が低い値となっており、疎水材に石灰石を使用したことによる Fe^{2+} 濃度抑制の効果が継続していることが伺われる。

平成 23 年、24 年の自然泥炭地との比較においても、全体的な傾向では自然泥炭地の値が最も高く、次いで砂利暗渠、石灰石暗渠の順に低くなっていることが確認できた(図-8)。

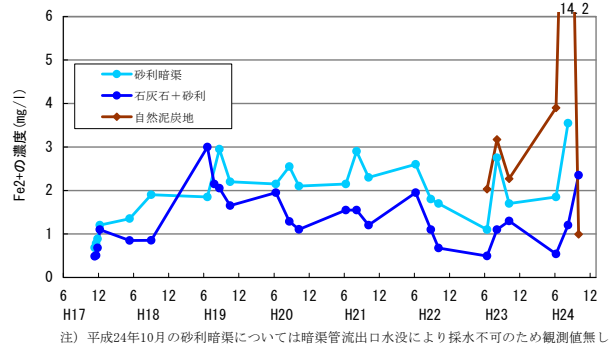


図-8 砂利暗渠と石灰石暗渠の Fe^{2+} 濃度

pH 値についても自然泥炭地が最も酸性が強く、次いで砂利暗渠、石灰石暗渠の順に中性に近い状況となっている(図-9)。

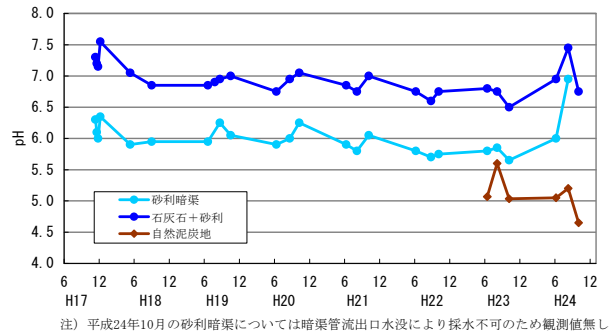


図-9 砂利暗渠と石灰石暗渠のpH

5. 効果の検証

(1) 地区上流端、自然泥炭地の水質

地区上流端の Fe^{2+} 濃度は概ね $0.5\sim 1.5mg/l$ の範囲で推移し、8月には一時的に高くなるが、6月、10月の調査では低くなる傾向がみられる。これまでの平均値は $0.8mg/l$ で、平成 18 年に設定した目安の $1.0mg/l$ と概ね同程度である。

平成 23 年、24 年には営農の影響を受けていない地区近傍の自然泥炭地の地下水の Fe^{2+} 濃度を測定したところ平成 24 年 8 月に一部の観測値が $14.2mg/l$ と高濃度を示したが、それを除くと $1.0\sim 3.9mg/l$ であり、地区上流端より $0.5\sim 2.4mg/l$ ほど高い値となっており、これも 8 月に高くなる傾向がみられた(図-7)。

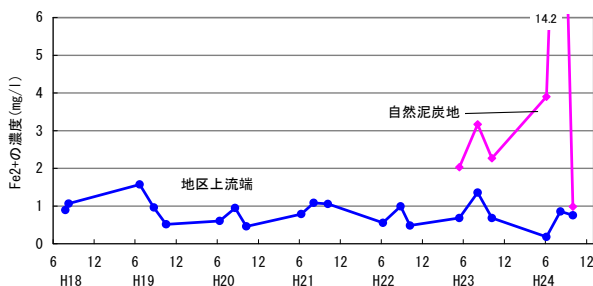


図-7 地区上流端および自然泥炭地の Fe^{2+} 濃度

(2) 試験圃場の水質

地区内の試験圃場では砂利暗渠と石灰石暗渠の水質を平成 17 年から継続している。平成 19 年 6 月に石灰石

(3) 暗渠施工圃場の水質

H18 年施工圃場の Fe^{2+} 濃度については、目安としている $1.0mg/l$ や調査時点の地区上流端の値と同程度で推移していた。平成 22 年 8 月には突然 $5.6mg/l$ 程度の高濃度を示したが、10 月には $1.7mg/l$ まで低下した。以降、 $0.4\sim 2.0mg/l$ で推移していたが、平成 24 年 10 月に $3.8mg/l$ に上昇した。

H19 年施工圃場については施工直後の平成 20 年 6 月調査で $1.3mg/l$ と高い値が検出されたが、平成 21 年 6 月までは $0.5mg/l$ 以下の低濃度であった。しかし、平成 21 年 8 月には突然 $3.0mg/l$ となり、地区上流端の値を超えたものの 10 月には約 $0.5mg/l$ 以下と例年の値程度に低下しており、8 月の値は夏期間に一時的に上昇したものと考えられた。

しかし、平成22年では6月に9.9mg/l、8月で36.0mg/lと再度高い値となったが、10月には2.3mg/lまで低下した。平成23年～24年には0.01～1.5mg/lで推移している（図-10）。

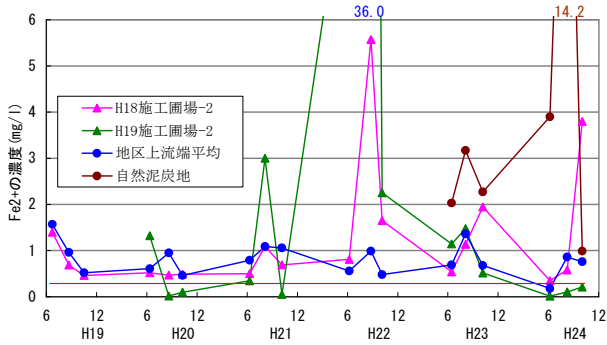


図-10 H18, H19施工圃場のFe²⁺濃度

H18, 19 施工圃場の pH 値については概ね 6.5～7.5 の範囲にあり、自然泥炭地の pH が 4.7～5.6 と酸性を示すのに比べて中性側にあることがわかる（図-11）。

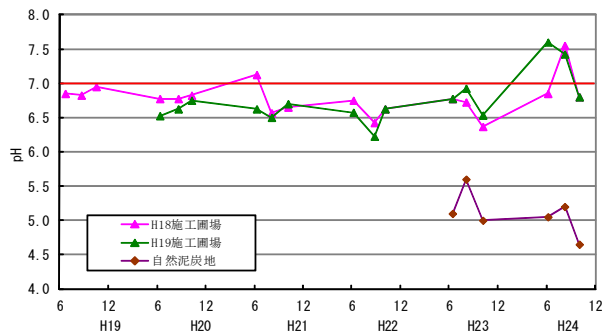


図-11 H18, H19施工圃場の pH

(4) 排水路の水質

第1号、2号排水路については施工前の平成18年ではFe²⁺濃度が最大3.5 mg/lであったのが流域圃場の暗渠工事の進捗に伴って濃度低下が認められている。平成21～24年ではFe²⁺濃度が8月に一時的に1.3～1.8mg/lとなるが、その後は1.0 mg/l以下となっている。

第3号、4号排水路の平成19年～22年のFe²⁺濃度は一時的に1.3～2.1mg/lまで高くなることもあるが、概ね1.0mg/l以下で推移しており、施工前の濃度が0.5～3.3 mg/lであったことと比べると対策効果が確認されている。

第5号排水路については他路線と比べてばらつきが大きいですが、施工前の濃度0.6～4.0mg/lに対して、0.1～3.2mg/lと、全体的な傾向として低くなっている（図-12）。

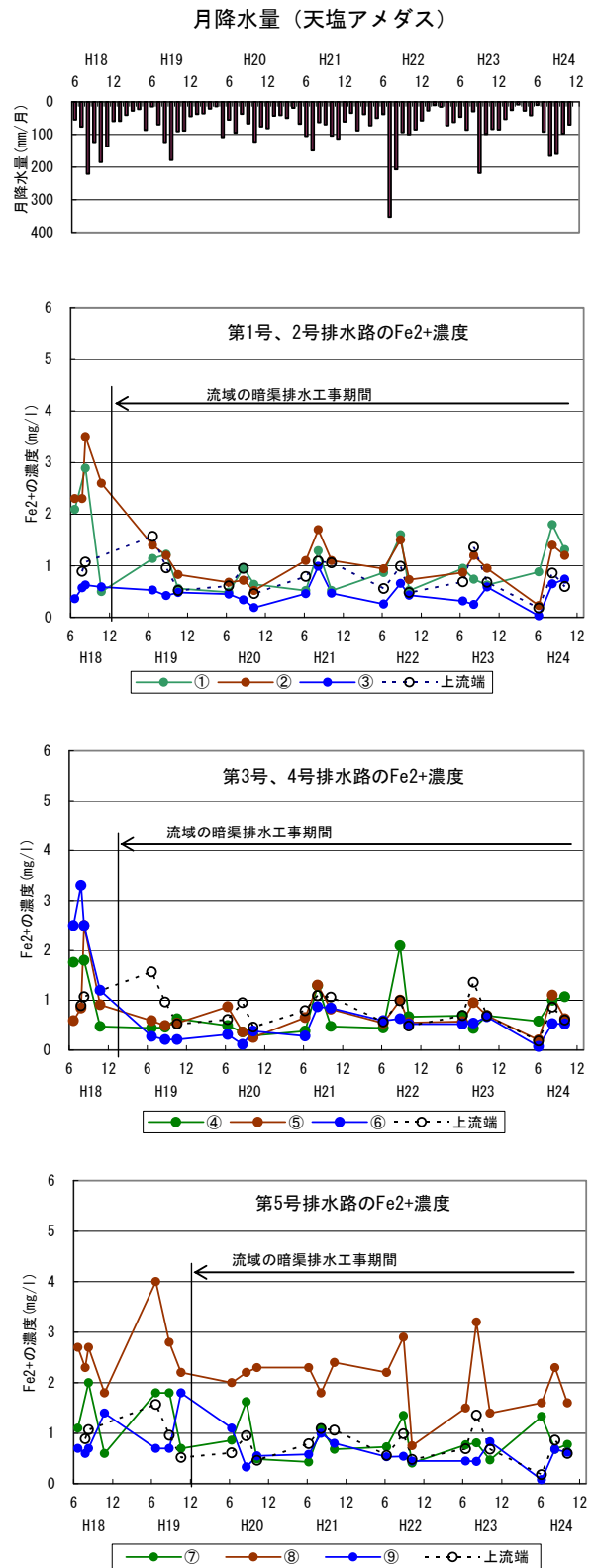


図-12 各排水路のFe²⁺濃度

(5) 考察

疎水材に石灰石を使用した効果については、砂利を使用した暗渠と比較するとFe²⁺濃度が低く、pHが高くなっており、石灰石の効果が持続している状況が伺われる。H18, 19 施工圃場については、平成22年の調査で、

10mg/l を超える高濃度の Fe²⁺ を観測した。この値はそれまで極めて低濃度であったものが突然高濃度になったことから何らかの特別な条件変化によるものと推察される。

要因としては平成22年は夏期間に例年を大きく上回る記録的な降雨があり、累積降水量が極めて多く、地下水位や明渠排水路の水位が上昇したため、土中の還元状態が進み、その結果 Fe²⁺ の濃度が前年より高くなったと推定する。また、気温についても6～8月の日平均気温が例年より2℃程度高く推移しており、地温の上昇に伴い、土中の微生物の活動が活発化し、土中の酸素の消費により還元状態となったことも影響していると推定される。9月以降は降水量・気温ともに概ね例年並みとなっており Fe²⁺ 濃度についても低下傾向が見られた。

平成 24 年の 10 月調査において再び H18 年度施工圃場の暗渠水の Fe²⁺ 濃度が 3.8mg/l と高濃度となった。これについては平成 24 年 9 月の気温が例年より 2.5℃高く、また、8,9月の降水量も平年より多かったことも有り、調査日の 10 月 2 日にはまだこの影響が残っていたと考えられる。

その他の期間については、概ね Fe²⁺ 濃度は低い値で推移しており、通常の気象条件下では鉄分流出抑制効果が認められるものと推定される。

なお、暗渠排水の pH についても概ね 6.5～7.5 となっており、石灰石により中性に近い状態を保っている状況が確認されている。

各排水路の水質調査結果でも施工前と比較して Fe²⁺ 濃度は低下しており、各取組による鉄分流出抑制効果が現れているものと判断している。

6. 効果の持続性に関する検討

これまでの調査で石灰石疎水材が Fe²⁺ 濃度軽減に対して効果があることが明らかになった。また、試験圃場の調査結果からもこの効果は7年間は効果が持続していることが実証された。ここではさらに将来的にこの効果が持続する期間を予測する調査を行った。

(1) 調査方法

平成 23 年の暗渠排水水質調査においてカルシウム濃度を分析し、流量を掛け合わせるにより負荷量を算定した。これを基に1年間に流出するカルシウム量を求め、各暗渠に敷設した石灰石の量を除すことにより石灰石疎水材が無くなるまでの年数を試算した。

(2) 検討結果

各暗渠から流出するカルシウムは調査時期によって量も濃度もかなりの差があるが、それらを平均して1年間の流量と見なして計算した。その結果、各暗渠の石灰石疎水材に含まれるカルシウムのすべてが完全に溶出するには平均で約 80 年を要する結果となった。

カルシウムの残存量と Fe²⁺ 軽減効果との関係は不明であり、暗渠排水流出量の設定、自然状態でのカルシウム含有量等、不確定な要素もあるが、本試算によれば暗渠の耐用年数 40 年に対して約 2 倍の安全率を有していることになり、このまま推移していけば特に問題なく効果が持続すると考えている（表-3）。

表-3 石灰石疎水材の寿命の試算

調査地点	カルシウム敷設量	暗渠からのカルシウム流出量			石灰石(カルシウム)寿命	
		暗渠排水流出量	暗渠排水のカルシウム濃度	カルシウム流出負荷量 6,8,10月平均		
	①	②	③	④=②×③ /60/24 ×1,000,000	⑤=①/④/244日× 1,000,000	
圃場	暗渠路線	t	ml/分	mg/L	g/日	年
H18施工圃場	A	2.07	110 ~ 1,290	91 ~ 124	71.01	119
	B	2.20	70 ~ 3,810	53 ~ 113	108.80	83
	C	1.89	362 ~ 4,020	46 ~ 113	142.76	54
	D	2.01	736 ~ 1,080	48 ~ 595	68.34	121
H19施工圃場	A	1.30	1 ~ 980	168 ~ 173	79.94	67
	B	1.01	34 ~ 980	136 ~ 167	86.04	48
	C	1.62	12 ~ 1,390	161 ~ 169	116.84	57
	D	1.95	5 ~ 20	93 ~ 101	1.70	4701
試験圃場 石灰石+砂利	No.4-1	1.62	220 ~ 1,800	95 ~ 104	103.47	64
	No.4-2	1.62	260 ~ 1,050	106 ~ 124	83.38	80
合計/平均		17.29			862.28	82

244日：4～11月（暗渠排水口の凍結期間を除く）

7. おわりに

暗渠排水工の疎水材に石灰石を用いる工法が Fe²⁺ 濃度軽減に一定の効果があることが確認された。

その他の取組については、計画の段階から各関係機関との調整等により実施しており、データとして明確に効果を確認できてはいないが、結果として排水路の Fe²⁺ 濃度を低下させることができ、事業の円滑な推進の一助となった。

これらの取組は排水の鉄分対策を必要とする他の地区での応用が可能であり、参考としていただきたいと考えている。

最後に、本地区の推進、水質調査の実施及び本報告に関してご協力いただいた関係機関の方々に深く感謝申し上げます。