

報 文 集

平成26年度



第26号

一般社団法人 北海道土地改良設計技術協会

報 文 集 第26号 目 次

異常降雨に備えた開水路水抜工の点検と機能保全について…………… 1

藤 本 嘉 三・鈴 木 稔

オープンタイプパイプラインの新たな流況安定方法…………… 7

後 藤 秀 樹

ほ場設計における自律小型ヘリの利用……………17

大 井 隆 宏

気候変化予測モデルによる土壌流亡リスクの検討……………25

米 山 晶・丹 羽 勝 久

積雪寒冷地におけるコンクリート用水路の凍害剥離に対する機能診断調査……………35

柳 川 健 一・矢 野 健一朗

国営農地再編整備による省力低コスト化の効果検証……………45

伊 藤 寛 幸

異常降雨に備えた開水路水抜工の点検と機能保全について

藤本 嘉三・鈴木 稔

1. はじめに

2007年に公表された政府間パネル第4次評価報告書（以下、IPCC-AR4 という）では、気候変動システムの温暖化には疑う余地がないことが示された。IPCC-AR4 は、「最も厳しい緩和努力をしても今後数十年の気候変動の更なる影響を回避することができないため、適応は特に資金の影響への対応において不可欠であり」、「緩和されない気候変動は、長期的には自然システム、人為システム及び人間システムの適応能力を超える可能性が高い」としている。また、IPCC-AR4 をもとにした、「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート『日本の気候変動とその影響』（2012年度版文部科学省気象庁・環境省）」では、日本の年降水量の予測結果は複数の気候モデルによるシナリオの予測結果において、「21世紀末には20世紀末に対して平均的

に5%程度増加する傾向を示し、シナリオによる差異はほとんどない。ただし、降水量については予測の不確実性とともに年々の変動が大きいことに注意する必要がある」としている。

近年、北海道においても各地で過去に経験したことの無い大雨による被害が発生している。農業用水路では降雨強度が大きい場合、雨水が大量に地下浸透して水抜工の能力を超えて地下水位が上昇し、非かんがい期の水路内空虚時には水路の浮上原因ともなり雨水機能の著しい低下を招くおそれがある。

本報告は、大雨によって水路浮上が生じた、斜面をもつ開水路において、対策前後の降雨量と水路背面の地下水位の観測を行い、水路浮上の要因推定とともに、対策後の水抜工の機能検証を行った事例を紹介し、開水路における水抜工の機能点検調査と機能保全について考察を行った。



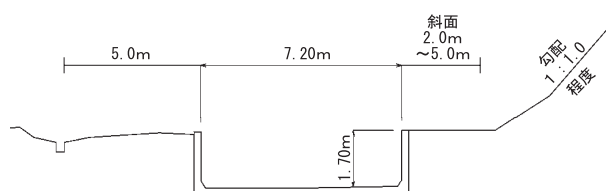
北海道新聞 平成23年12月17日（夕刊）

2. 水路概要

水路は、底幅7.2m、高さ1.7mのフルーム水路で水抜工は口径φ100～φ250mmのサイドドレーンを左右両側に配置し、水路右岸側の一部区間は山地斜面をひかえた開水路である（表－1、写真－1、図－1）。水抜工は1/10 確立降雨強度で設計された、水路外排水型ドレーンである。

水路落水期間中の空虚時に、設計降雨強度を超える大雨により（図－2）、地下水位が上昇して水路の浮上を招く結果となったものである。水路浮上区間は通水機能が著しく低下したため、改修が行われた。

水路改修にあたっては、山地斜面からの表面水を処理するバームディッチの設置、及び一部区間を水路内排水とし、併せてウィープホールを設置するとともに、斜面下で浮上しなかった区間についても後付け式のウィープホールが追加設置された（図－3）。



図－1 水路の横断形状（山地部）

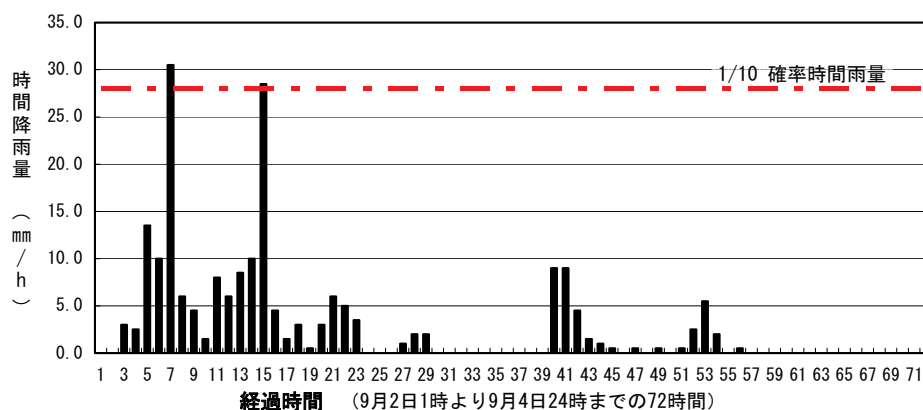
表－1 水路諸元

断 面	現場打ちフルーム
設計流量	13.545 m ³ /s
水路勾配	1/2700
水 深	1.44 m

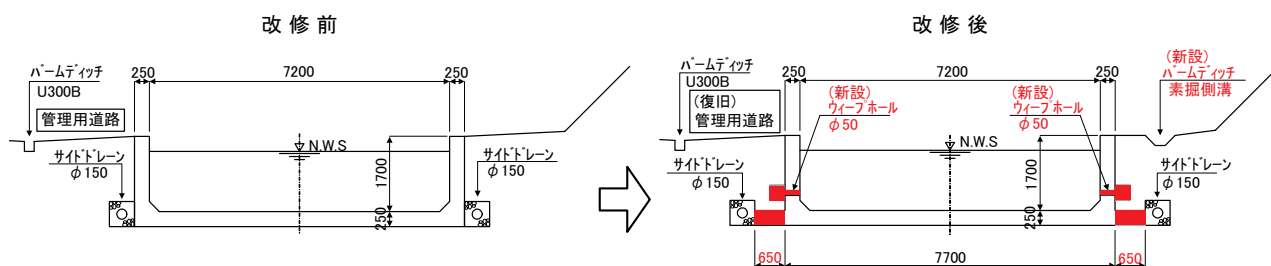


写真－1 改修前の右岸形状

- 1日目：日雨量159.5mm
時間最大30.5mm
- 2日目：日雨量31.0mm
時間最大9.0mm
- 3日目：日雨量11.5mm
時間最大5.5mm



図－2 降雨経時変化図



図－３ 改修前後の水路断面

３．改修前の「降雨－地下水位」の状況と水路浮上の要因

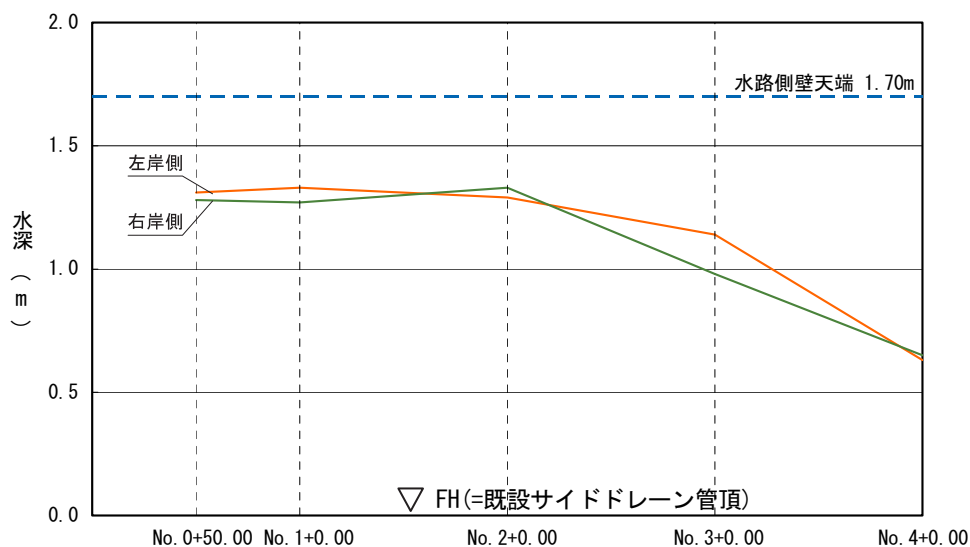
降雨後、左右のサイドドレーン点検桝の水位痕跡から推定した最大地下水位を表－２、図－４に示す。なお、地下水位は、点検桝の水位痕跡を現地目視により確認し、桝天端からの距離を測定して求めた。この結果から、ドレーン管内の流れは図－４のNo. 0 + 50.00～No. 2 + 0.00 に示されるようにパイプフロー（圧力水路）となっていることが示唆された。本水路右岸側には比較的急峻な山地を抱えているが、通常の降雨であれば樹木や植生がフィルターとしての

機能を発揮する。

しかし、前出の豪雨は降雨強度が大きく、長時間続いたため、サイドドレーンの排水能力を超えてパイプフローとなり、地下水位が異常に上昇したことが水路浮上の要因と判断された。水路左岸側は水路と併行して管理用道路が設けられており、斜面を抱える水路右岸側に比し集水面積は小さいが、水路基礎砂利の透水性が良いためおおむね水路右岸側と同程度の水位痕跡が確認されている。水位痕跡から推定した地下水位は水路浮上の許容値 $h_a = 0.55\text{m}$ を超過している（表－２）。

表－２ サイドドレーン点検桝の水位痕跡から推定した最大地下水位

測点 (No)	左岸側			右岸側			判定 $h_a \leq 0.55\text{m}$
	桝天端から水位痕跡までの距離 (m)	水路底を基準とする地下水位 $h(\text{m})$	水頭差(m)	桝天端から水位痕跡までの距離 (m)	水路底を基準とする地下水位 $h(\text{m})$	水頭差(m)	
0 + 50.00	0.39	1.31		0.42	1.28		> h_a
1 + 0.00	0.37	1.33	-0.02	0.43	1.27	0.01	> h_a
2 + 0.00	0.41	1.29	0.04	0.37	1.33	-0.06	> h_a
3 + 0.00	0.56	1.14	0.15	0.72	0.98	0.35	> h_a
4 + 0.00	1.07	0.63	0.51	1.05	0.65	0.33	> h_a



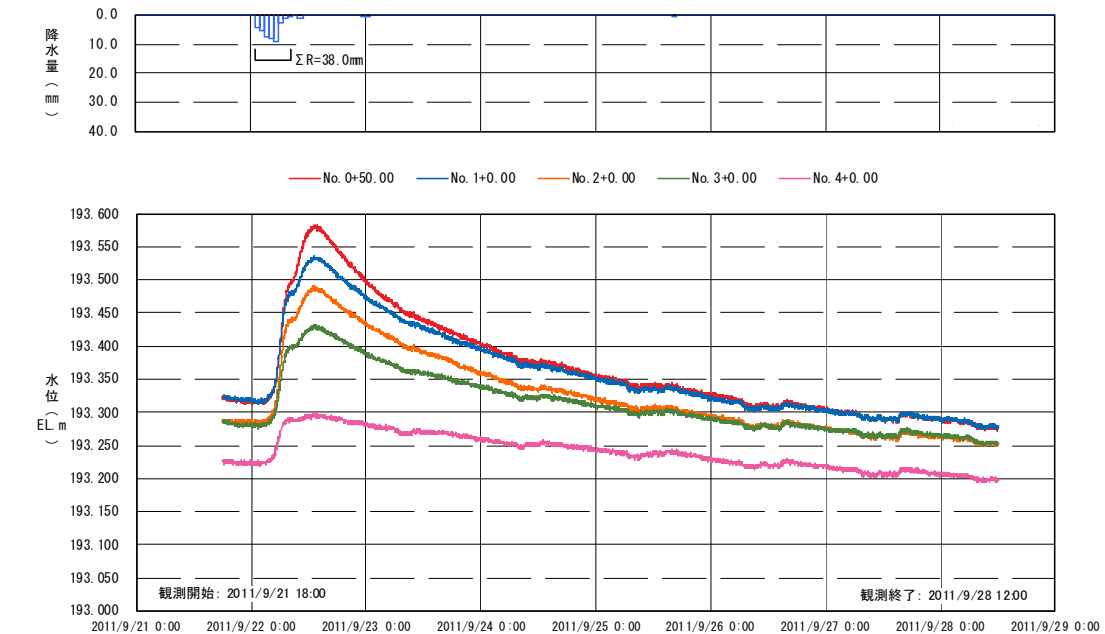
図－４ 側壁背面の地下水位推定動水勾配線図

4. 地下水位の変化

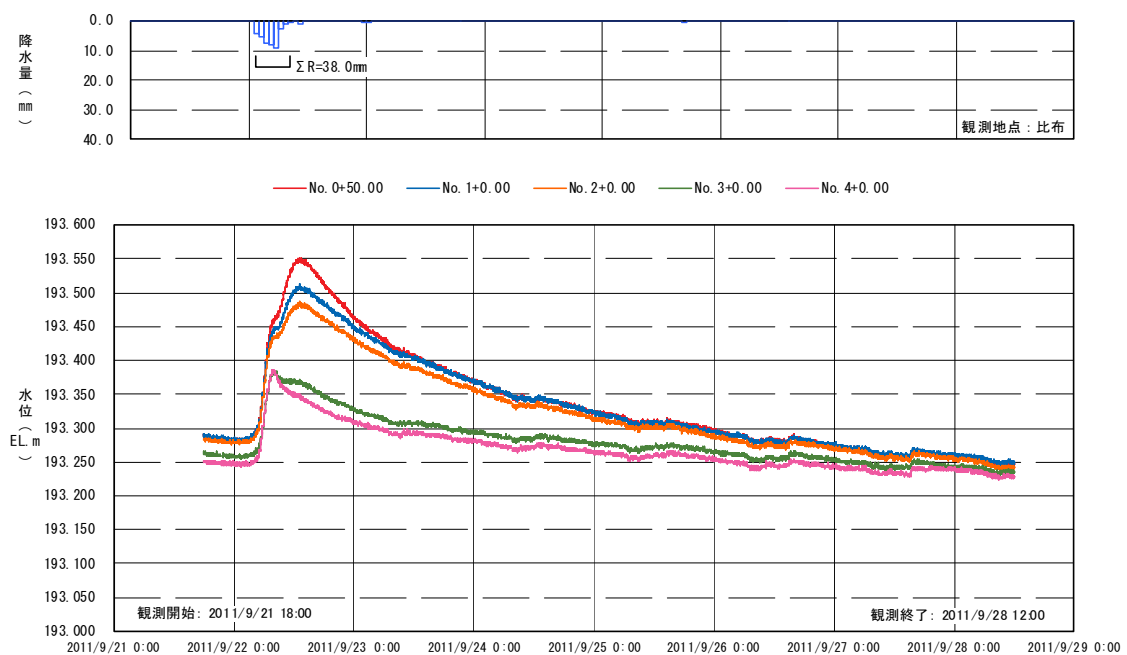
4.1 改修前の地下水位の変化

水路の浮上が確認された後、降雨による地下水位の変動状況を確認するため水路左右両側のドレーン点検桝に自記水位計を設置し水位観測を実施した。連続雨量が38mmを観測したときの地下水位の変化を図－5、図－6に示す。降雨量は近傍のアメダスデータによった。

地下水位は、降雨後の立ち上がりが早く、上流側ほど水位が高く上昇量も大きい。また、ピーク到達後の水位低下は水位上昇に比べて極めて緩慢であること、ピーク時からおおむね降雨前の状態に戻るまで4日程度要していることが分かった。このことから、前出の豪雨時では地下水位が一層上昇するとともに長時間高い水位で維持されていたことが推測される。



図－5 改修前－左岸側－地点別地下水位経時変化図

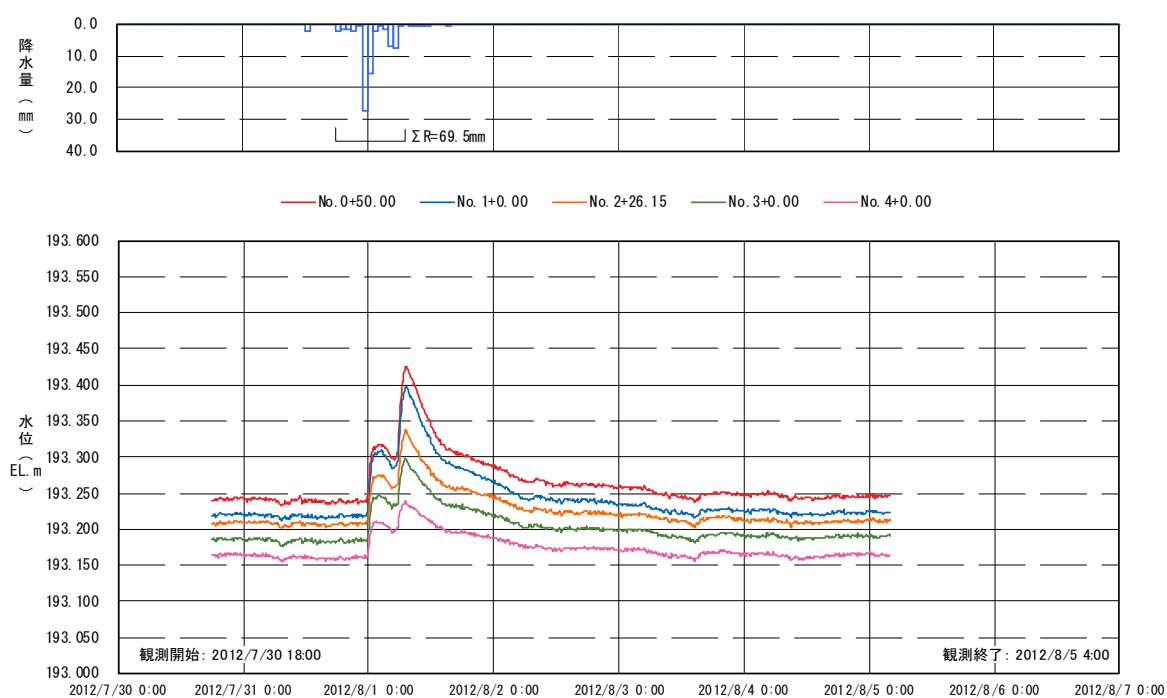


図－6 改修前－右岸側－地点別地下水位経時変化図

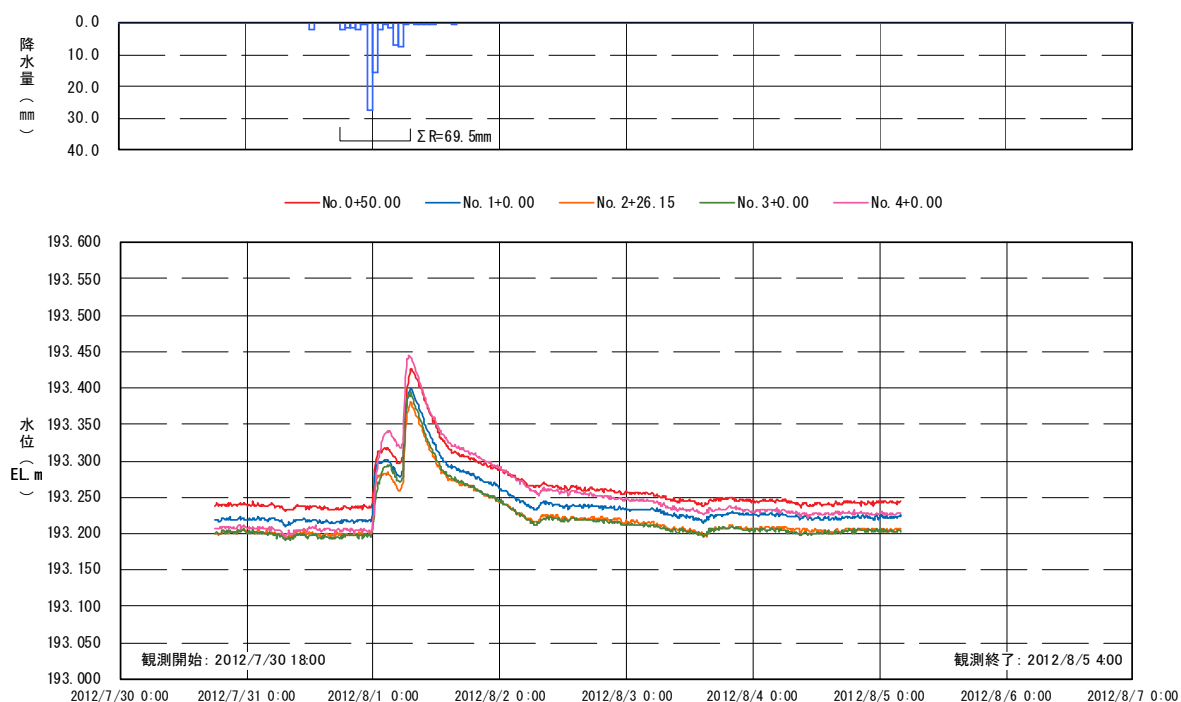
4.2 水路改修後の地下水位の変化

水路改修は、浮上が発生したNo. 1+5.00～No. 2+25.00 までのL=120mについて、No. 2+24.55地点においてサイドドレーンを水路内排水とし、両側にウィープホールを新設。その上流側100m区間の既設水路に後付け式ウィープホールが設置された。また、斜面下には表面排水工が新設された（写真－2）。

ドレーン点検柵に自記水位計を設置し、融雪後5～8月にかけて地下水位を観測した。降雨量は改修前と同様に近傍のアメダスデータを使用した。連続雨量が69.5mmを記録した時の観測結果を図－7、図－8に示す。これら水抜工と排水施設の整備により、ピーク後の水路背面地下水位の変化（低下）は鋭敏になっている。



図－7 改修後－左岸側－地点別地下水位経時変化図



図－8 改修後－右岸側－地点別地下水位経時変化図

いま、地下水位が、ピークに達した後の1時間当たりの水位低下量（以下、低下速度(cm/hr)という）を改修前後について算定すると表－3の結果となった。本表より、ピーク後6時間後までの低下速度は改修前に比べ改修後はおよそ2～3倍となっている。

また、地下水位のピークから降雨前の地下水位に回復する時間も2日程度に短縮されている。

以上は、水路改修における水抜工及び排水対策による効果と考えられる。



写真－2 改修後の右岸バーム

表－3 改修前後のピーク後の地下水位の低下速度

[改修前]

経過時間	左岸側			右岸側		
	No.1+0.00	No.2+0.00	No.3+0.00	No.1+0.00	No.2+0.00	No.3+0.00
6時間後	0.6	0.6	0.4	0.6	0.5	0.5
12時間後	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3
24時間後	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.1
48時間後	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
72時間後	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
96時間後	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

単位:cm/hr

[改修後]

経過時間	左岸側			右岸側		
	No.1	No.2+26	No.3	No.1	No.2+26	No.3
6時間後	1.6	1.1	1.0	1.6	1.6	1.8
12時間後	0.4	0.3	0.2	0.4	0.4	0.4
24時間後	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.4
48時間後	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
72時間後	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
96時間後	－	－	－	－	－	－

単位:cm/hr

5. 水抜工の機能点検と水路機能保全

農業用用水路は地形条件から山裾や傾斜地に造成されたり、掘り込み式となったりして、雨水が水路背面に流入し、浸透しやすい場面が少なくない。ま

た、平坦な地形条件であっても気候変動に伴う異常降雨によって想定を超える雨水浸透のおそれが潜在している。想定を超えた降雨に対しても水抜工の機能維持、あるいは後付け式の水抜工の設置によって水路機能への影響を回避し、または抑制する可能性がある。

開水路の機能保全・長寿命化においては水路本体はもとより、水抜工の機能維持は水路の安定性保持において極めて重要である。開水路調査に当たっては水抜工や表面排水工の機能点検とともに、重点箇所においてはより詳細な機能調査を実施して用水路システムの重要な構成要素の一つとして機能診断評価を行うことが望ましいと考える。

6. おわりに

以上は、水路浮上が生じた開水路における水抜工の機能に着目して改修前後の側壁背面の地下水位を観測して水路浮上の要因解明の一助とし、改修後は水抜工の機能が従前より改善され機能が発揮されていることを確認した。また、今回の調査により、水抜工の機能調査において用水路に附随する点検柵を有効に活用することで定量的な診断が可能になると考えられた。

今回の水路側壁背面の地下水位観測を通して、開水路の維持管理において水抜工の点検及び機能保全の重要性を再認識した。一方、水抜工は目詰まりなどで経年により機能が低下する。このことを踏まえた上で、開水路の機能診断調査等において水路の安定性保持の観点から水抜工の機能点検、調査が必要である。

最後に、本報文集に寄稿の機会を与えていただいた（一般社団法人）北海道土地改良設計技術協会の各位に対し厚く御礼申し上げます。

（㈱アルファ技研）

オープンタイプパイプラインの新たな流況安定方法

後藤 秀樹

本稿は、本州における事例であるが、道内においても広く活用が期待できることから、その実験結果を紹介するものである。

1. はじめに

福島県会津若松市に位置する門田幹線用水路のオープンタイプパイプライン区間では、脈動現象を生じ、冬期の最小流量である維持流量の際、オーバーフロースタンド型分土工の10号スタンドの水位変動で溢水するという課題を有していた。このような場合、通常は¹⁾ 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「パイプライン」に沿ったスタンド規模の確保や図-1、図-2、表-1、表-2に示したシール高(S 、 S_o)を確保する改修方法を採用することで、管内への空気混入を抑制した流況としている。

しかし、本地区（特に10号スタンド）では施設周辺が宅地化し、スタンドの規模拡大やシール高の確

保等の改修を行うことができず、「基幹施設管理強化対策事業会津南部地区管理強化委員会」（主催：会津南部土地改良区連合）が設けられ、専門家による技術検討が行われた。その委員会では、10号スタンドを別の場所に新設し（以下、新10号スタンド）、これまでの10号スタンドは廃止することと、新10号スタンドの流況を安定させるため、現地での脈動流観測を基に水理実験と水理基礎実験を実施することになった。実験の結果、2次水槽（下流側の水槽）流入部のシール高 S 、 S_o （接続管路管頂内壁から直上流水面までの水被り）は確保せず、管内が開水路の流れになっても、管内流況は特に問題はなく、下流側に位置するスタンドの流況が安定する新10号スタンドの形状が分かった。その水理構造を生かした設計・施工を行い、現地において顕著な改善が確認された。本報では、²⁾ 脈動流観測、³⁾ 水理実験と水理基礎実験を示すものである。

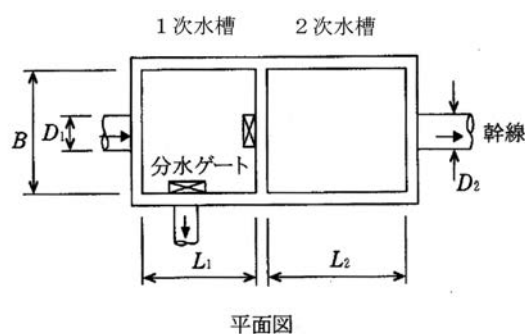
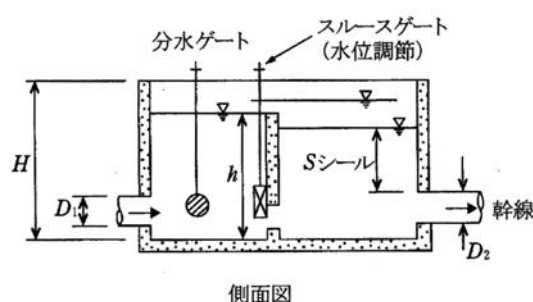


図-1 オーバーフロースタンド型分土工の例

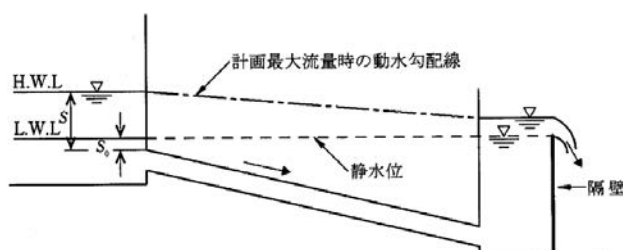


図-2 オーバーフロー型分土工の例

表-1 シール高 S （計画最大流量時）

口径 D_2 (m)	シール高 S (m)
1.00未満	$2D_2$ かつ0.3以上
1.00～1.20	$1.3D_2 + 0.5$
1.30～2.40	$1.2D_2 + 0.5$
2.50～3.00	$1.1D_2 + 0.5$

表-2 シール高 S_o （静水時）

口径 D_2 (m)	シール高 S_o (m)
1.00未満	0.3
1.00以上3.00以下	0.5

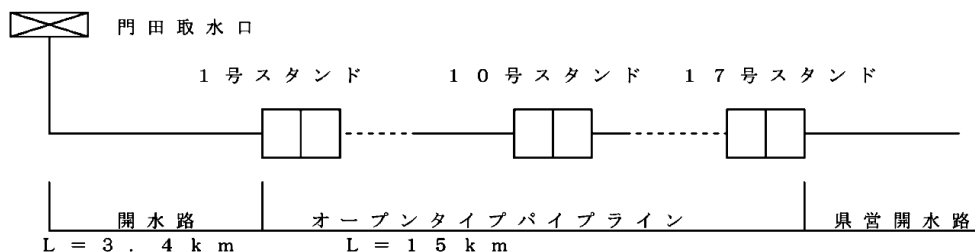
2. 施設概要

門田幹線用水路は、総延長18.4kmで頭首工（集中管理）の取水口から最大で約6 m³/s取水して、頭首工から上流3.4kmが開水路（排水の流入があり、降雨の影響で管内流量が変化してスタンドの水面が変動する）、トンネル、サイホンで構成された開水路区間、その下流はオープンタイプパイプラインが15km、その区間にオーバーフロー型スタンドが19ヶ所ある。また、各スタンドの分水は、1次水槽（上流側の水槽）から分水する方法と管路から分水する小流量のクロズド型分土工がある。門田幹線用水路は設計当時の設計基準や標準設計を用いて設計され、平成元年度から随時供用を開始したが、供用区間が延びるに従い流況が不安定になり、特に12号スタンドから下流のスタンドにおいて騒音、水位変動による溢水を生じる状況になった。このため、平成3～5年度にパイプラインの非定常解析を含む総合的な水理検討や流況調査が行われ、空気塊を放出する通気孔の追加、越流隔壁の延長、12号・13号スタンドの調整池化等の改善策が講じられてきた。これらの改修により、調整池下流の流況は、溢水しない状況

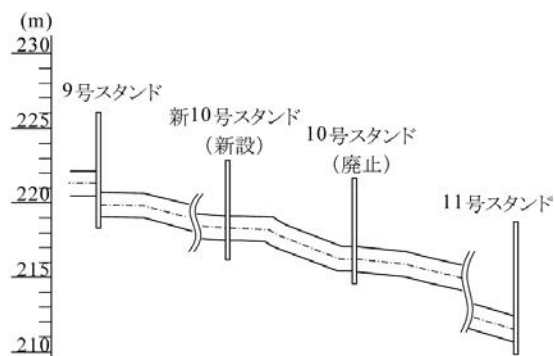
まで改善し、計画流量を流下できるようになった。しかし、調整池上流に位置する10号スタンドでは分水操作のない冬季の維持流量（最小流量の1 m³/s）時に突発的な溢水が生じるため、改善の必要性が求められていた。

調整池上流側のスタンドは、ほぼ全て容量不足、越流水深が過大、下流水槽流出管のシール高が確保されていないなどの欠点がある。スタンド諸元を表－3に示した。現地における脈動流観測の結果、検討区間はパイプラインのほぼ中央9号～11号スタンド間とした。計画最大通水量約4.1 m³/s、管長2.3km、管路平均勾配約1/280、管径1,650mmである。次に水理諸元とスタンド諸元、門田幹線用水路の概要図を図－3示す。

なお、図－4は9号～11号スタンド間の縦断模式図であり、新10号から10号スタンドまでの管路延長は311.8mで、上流側110.8m区間は布設勾配約1/1,500で、その下流の161.0m区間は布設勾配約1/80で、さらに、その下流の水平布設部40mの後に10号スタンド地点となる。



図－3 門田幹線用水路概要図



図－4 9号～11号スタンド間の縦断模式図

表－3 スタンド諸元

スタンド名		9号	新10号	10号	11号
1次水槽	長さ(m)	5.00	7.30	5.00	5.00
	幅(m)	3.90	6.75	3.90	3.90
隔壁	幅(m)	3.90	21.35	3.90	3.90
	越流幅(m)	3.30	14.05	3.30	3.30
	高さ(m)	5.40	5.00	5.50	6.68
2次水槽	長さ(m)	6.60	2.00	4.10	4.60
	幅(m)	3.90	19.85	3.90	3.90
側壁高(m)		6.90	6.50	6.78	8.05
区間長(m)			629.0	311.8	1,359.1
流入管・流出管の高低差(m)		1.40	0.00	0.00	0.19

3. 脈動流の観測

3.1 観測方法

現場における脈動流観測方法は、次のとおりである。

- ① 観測時の流量 $Q=1.00$ 、 1.50 、 2.00 、 2.50 、 3.00 、 3.50 、 $4.00\text{m}^3/\text{s}$
- ② 観測場所 6号スタンド～15号スタンドの1次水槽と2次水槽
- ③ 観測方法 各スタンドに人員を配置して同時観測を行った。
- ④ 観測目的 各流量時、流量変化時別における水位変動の把握と水槽内の流況確認である。

3.2 水槽内の状況

水槽内の流況は、1次水槽からの落下水脈により2次水槽内は白濁していた。また、流出管は気泡の流下と噴出を繰り返し、流出管直下流の通気管からは、空気と水が間欠的に噴出するブローバック現象

が発生していた。

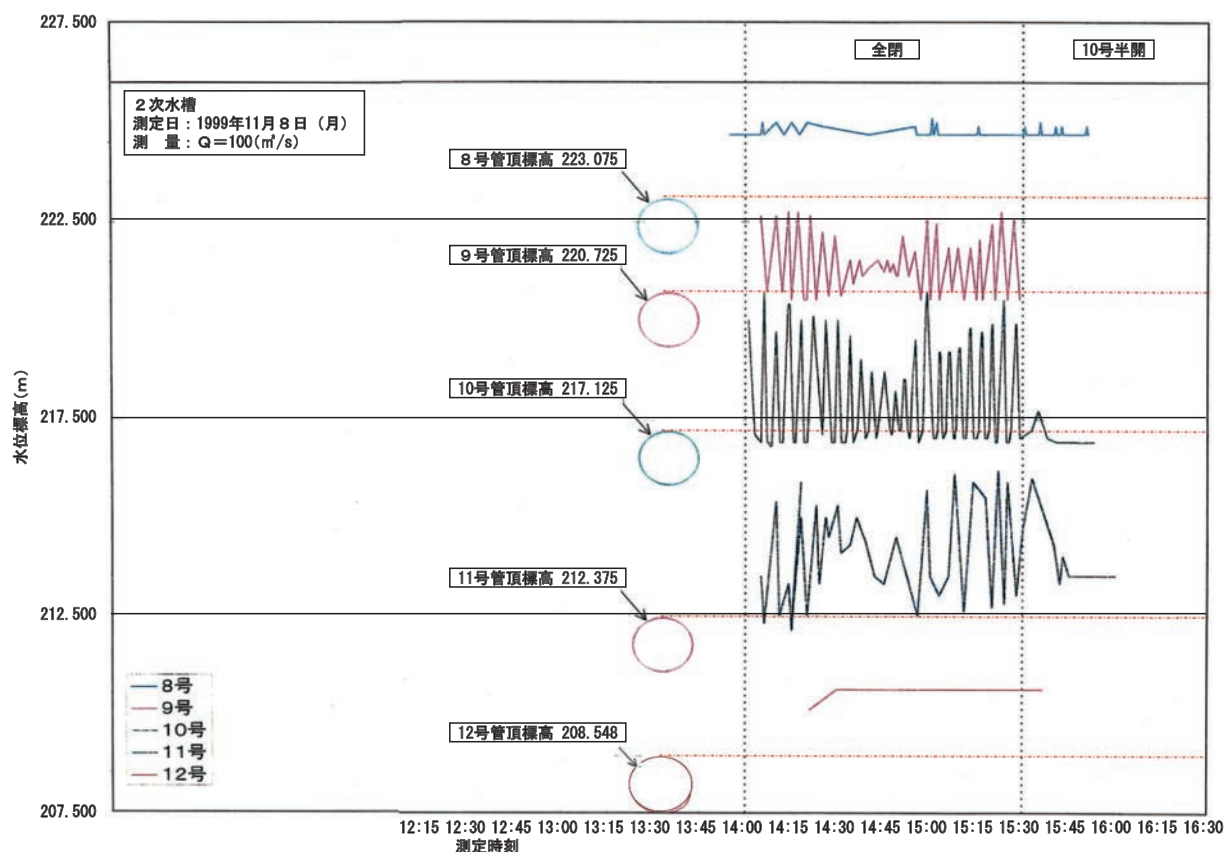
3.3 最大水位変動量

各ケースの2次水槽における最大水位変動量を比較した結果は表－4、図－5のとおりである。

- ① $1.00\text{m}^3/\text{s}$ 時と $1.5\text{m}^3/\text{s}$ 時の最大変動量について10号、11号スタンド水位調整用ゲート（ $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ ）を全閉にした場合、10号スタンドは $1.00\text{m}^3/\text{s}$ 時に水位変動量が大きく、11、12号スタンドは $1.50\text{m}^3/\text{s}$ 時に水位変動量が大きかった。

表－4 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 水位調整ゲート全閉時最大水位変動量

名 称	2次水槽面積(m^2)	最大水位変動量(m)	
		$1.00\text{m}^3/\text{s}$ 時	$1.50\text{m}^3/\text{s}$ 時
8号スタンド	25.74	0.40	観測記録無
9号スタンド	25.74	2.20	2.10
10号スタンド	15.99	3.80	3.40
11号スタンド	17.94	3.50	4.80
12号スタンド	118.86	0.50	2.50



図－5 $1.00\text{m}^3/\text{s}$ 水位調整ゲート全閉時 8～12号スタンドの2次水槽の水位変動

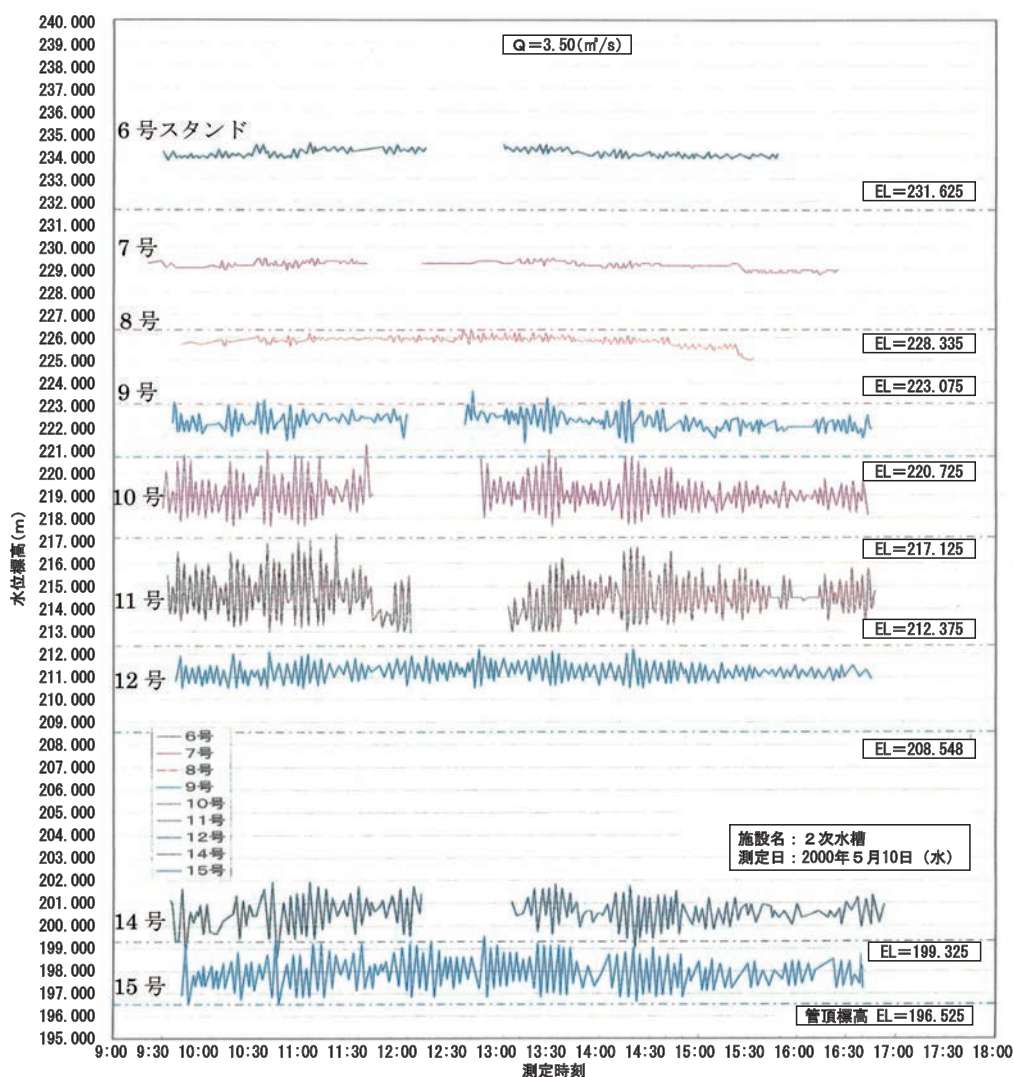
② 8号、9号スタンドのゲート操作状態別最大水位変動量

Q=3.50m³/sで8、9号スタンドの水位調整ゲートを全閉及び全開した状態の最大水位変動量は表－5、図－6のとおりであり、8号、9号スタンドのゲートを全開にした場合水位変動が小さくなる。また、表－4の1.00m³/s時と表－5の3.50m³/s時にお

いて8号、9号ゲートを全開にした場合の最大水位変動量を比較すると、後者は8号、12号スタンドの水位変動量が少し上昇するが、他の水位変動は著しく低下した。この結果から、水位変動量を小さくするためには、分水位が確保できる範囲でゲートを開放することが望ましいことが分かった。

表－5 3.50m³/s 水位調整ゲート全閉時8号～12号の2次水槽における最大水位変動量

名 称	下流水槽 面積(m ²)	最大水位変動量(m)	
		8、9号ゲート全閉	8、9号ゲート全開
8号スタンド	25.74	0.50	0.50
9号スタンド	25.74	1.90	1.00
10号スタンド	15.99	3.40	1.50
11号スタンド	17.94	3.90	2.30
12号スタンド	118.86	1.70	1.00



図－6 3.50m³/s 水位調整ゲート全閉時 6号～15号スタンドの2次水槽の水位変動

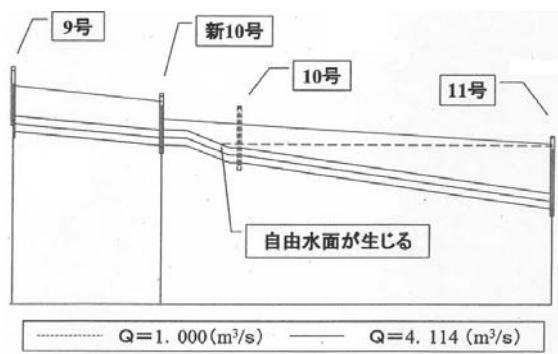
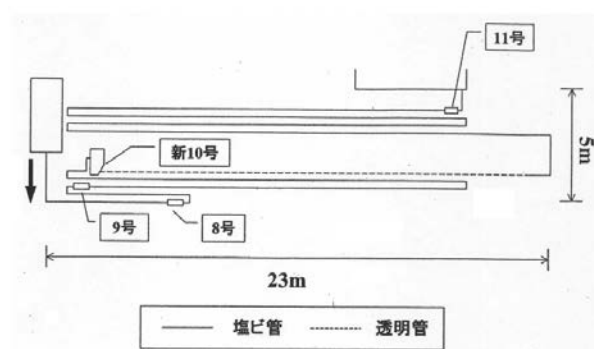
3.4 脈動流観測の考察

オープンタイプパイプラインにおける2次水槽の水面変動は、水位調節ゲートを解放することで幾分改善される事が解った。しかし、この方法ではスタンドからの溢水の解消には限度があり、一方、管内の流況が明確でないので、模型実験等により、現象を解明してから改修方法を決定することにした。

4. 水理実験

4.1 実験装置

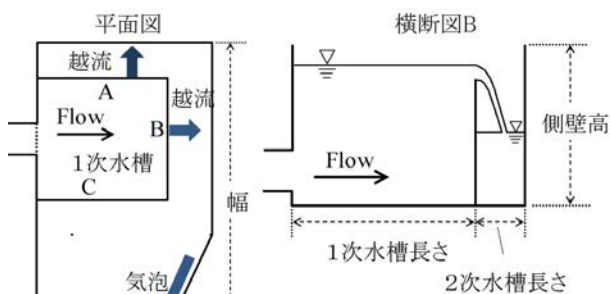
実験装置はフルード相似則 1/16.5 で 9号～11号区間を製作した。総管路長は約140mで、新10号スタンド下流約20m区間を硬質透明アクリル管とし、他の管路は塩ビ管を用いた。各スタンドは両側壁が硬質透明アクリル板製の木製スタンドである。路線は直線ではなく約23mごとに折返し（曲り部に排気管設置）とし、幅約5mの平面内に実験装置をセットした。



図－7 実験装置の概要図

4.2 実験当初の新10号スタンド模型における流況

新10号スタンドは、用地的な制約と2次水槽直下流の鉄道横断工（推進管）のため、当初、図－8のような平面形状とした。また、2次水槽の側壁Cを越流壁とした場合、気泡を多く発生することが予想されたため、1次水槽A、Bを越流壁とし、Cからは越流させない構造とした。越流壁は長さ7.7m、高さ4.6mであり、Cは外周の側壁と同じ高さにした。しかし、図－9のように気泡が接続管路に流下し、流況は改善されなかった。



図－8 新10号スタンド模式図（当初）



図－9 新10号スタンドにおける気泡の発生状況（当初）

4.3 改良した新10号スタンド模型における流況

当初の模型実験では、落下水脈によって生じた気泡が下流の接続管路に直接流れ込む現象を確認した。このため、図-10のように整流壁を設け、気泡を大気に解放させて流入管への気泡の流下を防ぐことができることを確認し（図-11参照）、この新10号スタンドの模型を用いて実験を行った。

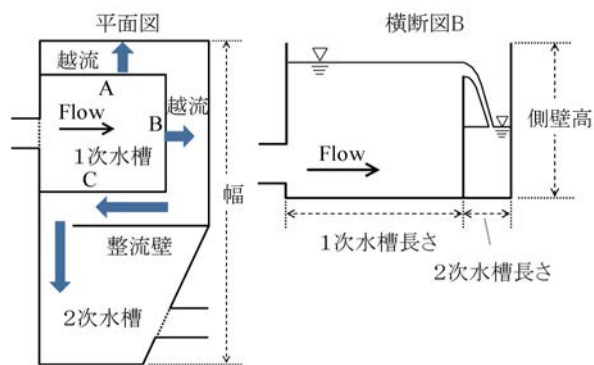


図-10 新10号スタンドの模式図（改良）



図-11 改良した新10号スタンドにおける流況

4.4 流れの様子

実験流量 $0.9 \sim 3.72 \text{ l/s}$ （想定流量は、 $1.0 \sim 4.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ）を上流部に設置したJIS規格の三角堰によって計量し、通水した。実験は、水理設計時に算出された新10号2次水槽水位を実現させて行なった。最初に新10号2次水槽水位と水槽に接続する管頂の内壁が等しい約 2.81 l/s 付近の流量を通水した。図-12の①のように、 2.61 l/s を通水したところ、管内自由水面となる流れであった。 $2.7 \sim 3.11 \text{ l/s}$ を通水したところ、図-12の②のように管流入口（接続部）では開水路流れで水面変動後、その直下流は管水路流れ（満流）になり、満流になる付近から、 $3 \sim 4 \text{ cm}$

程度の空気塊を伴い、その下流では管上部に細長い空気塊を有する流れであった。この細長い空気塊は、流れとは逆の新10号スタンド側に向かって徐々に成長して2次水槽流出口に達し、大気に開放される。この過程を繰り返していたが、2次水槽水位の変化は顕著でなかった。 3.21 l/s を通水すると、図-12③のように管敷設勾配の変化点付近において安定的な空気塊を有し満流で流下する。

次に、どのような条件下で空気を伴う流れが生じるのかを調べた。 $0.9 \sim 3.72 \text{ l/s}$ を通水し、新10号スタンドの下流に位置する11号1次水槽水位を変化させて行なった。その結果は図-13で、この流れの発生領域は流量にほぼ無関係で、新10号2次水槽接続管路管頂内壁付近の水位 $130 \sim 150 \text{ mm}$ （模型の値）で発生していた。

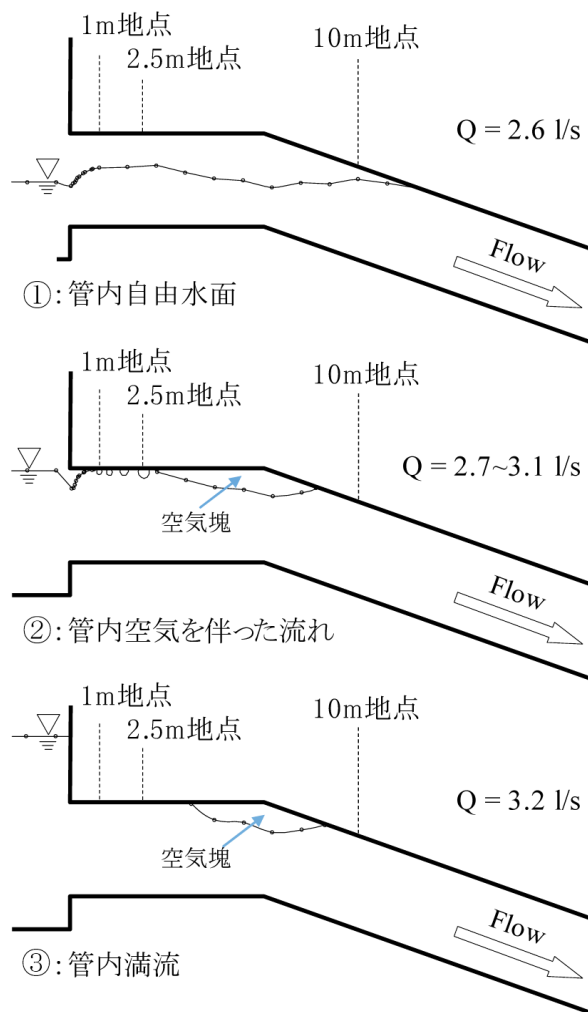
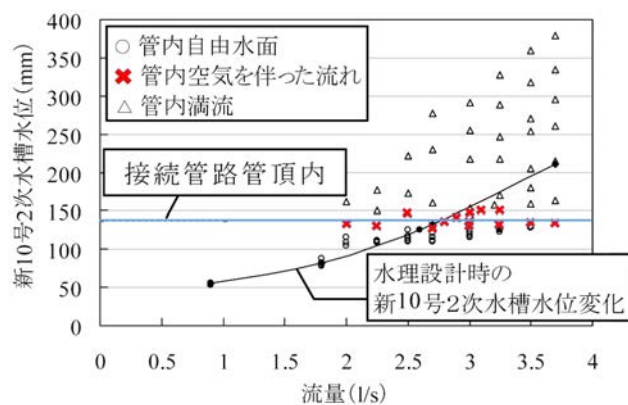


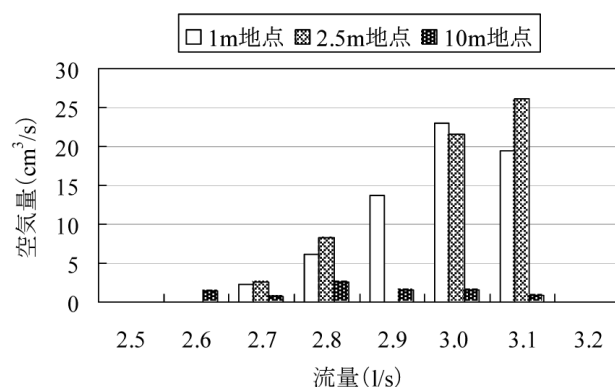
図-12 管内流況図

参考のため、空気塊のサイズを透明管外側に目盛をつけて計測した。空気塊の大きさが平面で1.0cm×1.0cm未満を「小」、1.0cm×1.0cm以上で2.0cm×2.0cm未満を「中」、2.0cm×2.0cm以上を「大」として分けた。管流入口から1m、2.5m、10mの3地点において「小」・「中」は個数のみ、「大」は個数とその大きさを計測（2分間）した。空気量は、計算によって「小」を0.0109cm³未満、「中」を0.0109cm³以上で0.1874cm³未満、「大」を0.1874cm³以上と近似した。

図－14は、実験流量と空気量の関係で、流量などによって空気量（空気の移動）が異なることがわかった。



図－13 新10号2次水槽と接続管路の流況



図－14 実験流量と空気量の関係

5. 緩勾配単一管路における管内諸流況の水理基礎実験

管路の流れは通水量、管径、管長、管路粗度、管路の流入口と流出口等の水理条件によって種々の流況を呈する⁴⁾。宋ら（1999）は、急勾配敷設管路における諸流況の発生領域を究明している⁵⁾。しかし、緩勾配敷設管路において、管内にどのような流況パターンが生じるかは明確になっていない。

ここでは緩勾配単一管路における諸流況を分類し、各流況の発生領域を実験的に調べた。図－15は管内流れの模式図であり、この流れにおける管内全域満流のエネルギー式は次式で示される⁵⁾。

$$H_0/D - H_3/D = (1 + f_i + fL/D)8/\pi^2 \times Q^2/gD^5 - \angle Z_{0-3}/D \cdots (1)$$

ここで、 Q : 流量、 D : 管径、 H_0 、 H_3 : 管流入口と管流出口の下端をそれぞれ基準0とした時の各水深、 f_i : 管流入口の損失係数、 f : 摩擦損失係数、 L : 管長、 $\angle Z_{0-3}$: 管流入口と流出口間の標高差、 g : 重力の加速度、 f はManningの n を与件とし $12.7gn^2/D^{1/3}$ 式で算出。

実験装置は次のようである。上流水路は、長さ3.0m、幅0.3m、水路側壁高0.4mで、管流入口より上流0.75m間の両側壁は硬質透明アクリル板製で他の部分は耐水ベニヤ製である。

実験管路は硬質透明アクリル管（内径100mm）、長さ6.15mである。実験管路は管路敷設勾配 $I=1/500$ 、 $1/750$ 、 $1/1,000$ の3つの勾配に敷設した。下流水路は、長さ2.5mである。実験流量1.0～5.0(l/s)を上流部に設置したJIS規格の三角堰によって計量し、通水した。

実験流況を基に管内流況を模式的に図－16のように大別した。

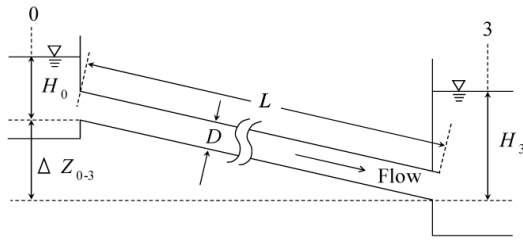


図-15 管内流れの模式図

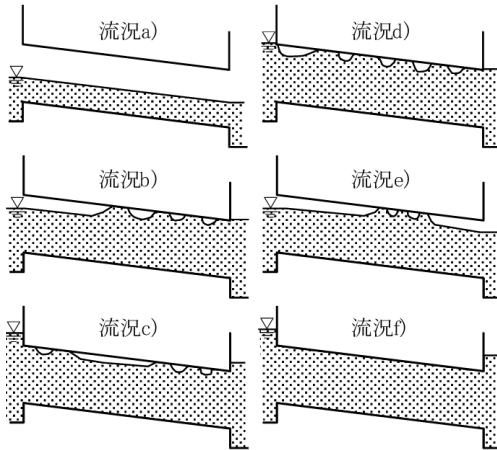


図-16 管内流況の模式図

流況a)は、開水路流れ、流況b)は管流入口において水面が管上部に接触せず管路内で満流となる部分が存在する流れ、流況c)は H_0 が呑口上流より幾分高い状態で呑口から空気を吸込み、管内満流において滞留する長い空気塊を伴った流れ、流況d)は呑口で空気を吸込み管内を複数の空気塊が流下する流れ、流況e)は管流入口において水面が管頂に接触せず管路内で満流となり、その後自由流出になる流れ、流況f)は、管内全域満流の流れである。

H_3/D と $Q^2/(gD^5)$ の関係を図-17に示した。下流水位の設定は所定の水位より低い状態から上げて設定した場合と高い状態（満流）から下げて設定した場合の2ケースで流況を調べた。図-17で流況c)と流況f)が重なっているのはこのためである。図中には円形堰流れとオリフィス流れとの境界（ $Q^2/gD^5 \approx 0.25$ ）と管末端における自由流出時と潜り流出時の境界（ $H_3/D=1$ ）を点線で挿入した。

≈ 0.25)と管末端における自由流出時と潜り流出時の境界（ $H_3/D=1$ ）を点線で挿入した。

(1)式において、 $H_0/D=1$ とすると、 H_3/D と $Q^2/(gD^5)$ についての式となり、この関係を図中を実線で示した。 $I=1/500 \sim 1/1,000$ において、上流が開水路流れのときは $Q^2/(gD^5) < 0.025$ 、下流側が開水路流れの

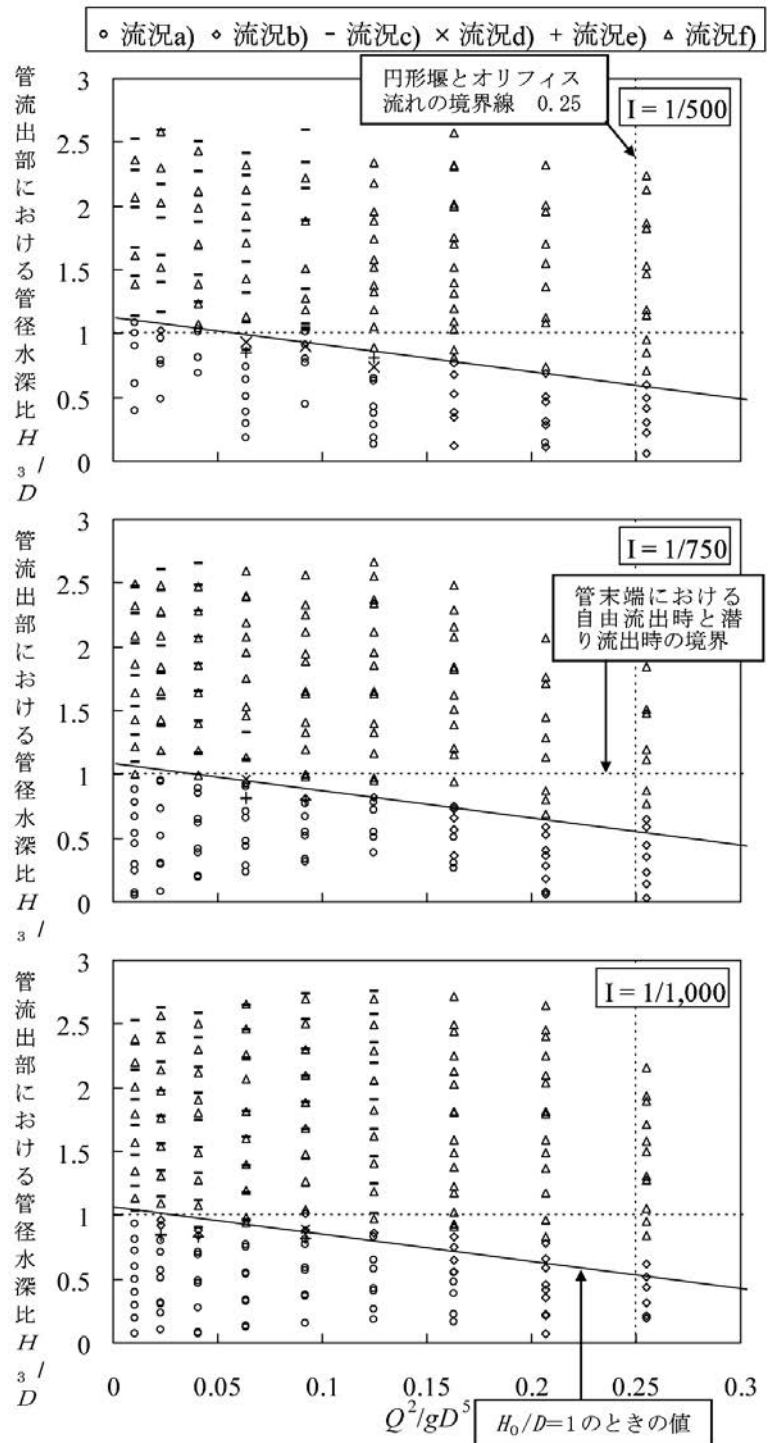


図-17 H_3/D と $Q^2/(gD^5)$ の関係

ときは $Q^2/(gD^5) > 0.15$ の範囲、流況d)と流況e)は $Q^2/(gD^5) < 0.15$ で(1)式付近で生じていた。

このように、緩勾配単一管路においては種々の流況は生ずるが、どの流況も問題となる顕著な脈動現象は見られなかった。また、今回の実験では、シール高が小さいせいか、通気管では空気塊を排除することができなかった。このため、通気管は、接続管路直上流の負圧防止用しか設置しなかった。

参考のため、空気塊のサイズを透明管外側に目盛をつけて、管流入口から1 m、2.5 m、5 mの3地点において計測(2分間)した。図-18に実験流量と空気量の関係例を示す。

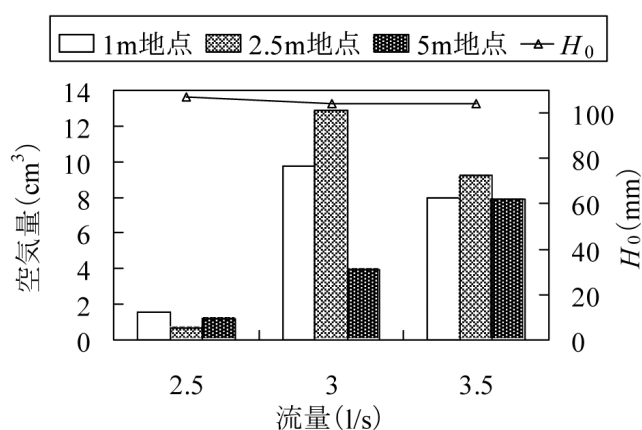


図-18 1/500の実験流量と空気量

実験によると、勾配I毎に空気量が最大となる実験流量が異なっていた。また、勾配Iが急になると空気量が最大となる実験流量は大きくなることがわかった。

なお、下流水位を順次上げていったとき、水位の上昇に伴う空気量の変化は見られなかった。満流状態から下流水位を下げたとき、上流水位が管頂部付近で空気量が多くなり、その後減少する。

6. おわりに

門田幹線管路のオープンタイプパイプラインのオーバーフロースタンド型分土工において脈動現象が生じ、施設周辺が宅地化している10号スタンドは、既設分土工の規模拡大を図ることができないため、別

の場所に新設した。水理模型実験によって、本施設のように緩勾配でシール高が小さく、管内が管水路の流れや開水路流れになる場合は、図-19の設計基準で示されている通気孔(7~10D)を設けない施設方法で安定的な流況が把握され、特に不安定な流

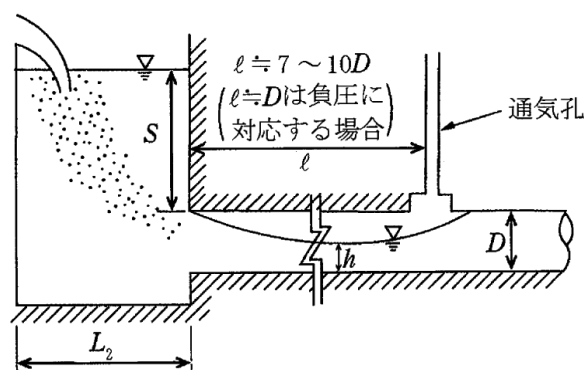


図-19 空気塊排出用通気孔の設置方法¹⁾

況が生じないことなどがわかった。また、その後、新10号スタンドは、シール高(S、S₀)以外は設計基準に沿った寸法を用いて実施設計を行い、施工された。このようなパイプラインシステムは初めての試みであるため、初めての通水試験の際は、うまくいくよう祈っていた。そして、門田幹線用水路の新10号スタンドにおいて現地測定が行われ、その結果、現地の流況と実験による流況に大差はなく、顕著な流況改善が確認された。現在は、新10号スタンド前に事業の記念碑が立ち、土地改良区からも感謝され、人の役に立つことができたことを非常に嬉しく思っている。一般に、スタンド間の管路は地形に応じて布設するが、今回は管路勾配が緩い区間にスタンドを移設することにより、脈動現象の発生を抑止することが可能であった事例を示し、検討方法を加えた。

また、設計基準に示されているスタンドの形状寸法は、落下水脈により生じる気泡を接続管路に入れないことを目的として決定されているものであり、空気塊排出用の通気孔は、シール高を確保して、空気塊が大気圧より高い圧力を有している時に効果的なものである。このため、これらの条件を満たしていないパイプラインでは、安易な設計基準の流用よ

るスタンド形状の決定や通気孔の設置は避け、模型実験を行う必要がある。委員会では、今回のこの方法以外に、施設を全廃してクローズドタイプのパイプラインにする案、スタンドを全て更新してみシール高を確保する案が最初に提案された。しかし、事業が完了して間もないパイプラインにそのような対策を採用するわけにいかず、模型実験による保証を得てから今回の方法を採用している。この方法は、調査から施工まで3年を要したが、今回の事例では、この方法が流況安定には最良の方法であり、経済的な方法であったと思っている。

実験及び設計に際し、「基幹施設管理強化対策事業会津南部地区管理強化委員会」の委員長であった当時の山形大学教授（現在、山形大学名誉教授）前川勝朗氏からの御指導や山形大学農学部卒の渡邊義孝氏、成田晃洋氏、山下沙織氏の協力を頂いた。記して謝意を表する。

（NTCコンサルタンツ㈱）

引用文献

- 1) (社)農業農村工学会：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計 パイプライン、pp. 455～457, 469 (2009)
- 2) 後藤秀樹・前川勝朗：現地オープン型パイプラインにおける脈動流観測、平成13年度 農業土木学会大会講演 講演要旨集、pp48、49 (2001)
- 3) 前川勝朗・後藤秀樹：オープン型パイプラインにおけるスタンド溢水防止の新工法、農業農村工学会誌第78巻 4号 小特集 パイプラインの再生技術pp11～14 (2010)
- 4) 宋徳全・前川勝朗・大久保博：急勾配単一管路における管内流況と管路底圧ーオープン型パイプラインの水理特性（Ⅰ）、農業土木学会論文集、198、pp95～105 (1998)
- 5) 宋徳全・前川勝朗・大久保博：急勾配単一管路における管内諸流況の発生領域ーオープン型パイプラインの水理特性（Ⅱ）、農業土木学会論文集、202、pp37～46 (1999)

ほ場設計における自律小型ヘリの利用

大井 隆宏

1. はじめに

1.1 無人航空機

無人航空機UAVは、Unmanned Aerial Vehicleの略称であり、無人で飛行する航空機（人間の乗っていない航空機全般）の総称です。

世界での無人航空機の大半は、軍事目的が主体で、アメリカ、イギリス、ドイツ、フランスなどで、アジアでは中国、韓国、日本などの各国が開発・導入が進められています。

無人航空機は、全幅30mを超える大型から手の上に乗る小型まで様々大きさのものが存在し、その操縦は、基本的に無線操縦で行われ、機影を目視しながらの操縦や衛星回線を利用して制御可能なものまで様々であり、近年では飛行ルートを座標データとして予めプログラム入力することで、GPSなどの援用で自律型飛行を行う機体も存在しています。

1.2 我が国の無人航空機

我が国を含む一部の国では、無人航空機の使用目的を軍事目的以外の民間用としても使用しており、農薬などの薬剤散布・写真撮影・災害調査などに利用されています。

我が国では「日本産業用無人航空機協会」により、安全かつ健全な利用の促進が行われており、無人航

空機は大きく分けて、下記の3種類に分類されています。

- ① 回転翼機・・・無人小型ヘリ
- ② 固定翼機・・・無人小型飛行機
- ③ 小型固定翼機・・・電動用

1.3 自律型小型ヘリ利用の事例報告

本文では、小型固定翼機の自律型小型ヘリを、ほ場設計の現地一次調査に使用した事例を報告するものです。

一般的に発注者から貸与される図面は、事業開始当初の有人飛行で撮影された航測写真から現況平面図（縮尺1/1,000）が作成されています。

しかし、撮影当初からの経過年数や営農形態の変化等により、ほ場形状及び施設の変更が反映されていないことが多く、設計実施時点において、補足調査による図面修正が必要となっています。

今回、自律型小型ヘリによる空撮写真で、最新の現況状況を確認、ピンポイントでの調査カ所の判別など、現地調査時間を大幅に短縮することができました。また、関係者との協議では、最新の鮮明な航測写真を利用できたことは、資料として極めて有意義な成果となりました。

種類	回転翼機(無人ヘリ)	固定翼機(飛行船等)	小型固定翼機(電動用)
定義	人が乗らない無線誘導式回転翼機	人が乗らない固定翼機 自律飛行機能及び 遠隔操作飛行機能が前提	人が乗らない推進装置が電動 自律飛行機能及び 遠隔操作飛行機能が前提
運用	対地高度150m以内の飛行		
代表的な機体写真			

－無人航空機（UAV）の分類－

2. 最新鋭の自律型小型ヘリ

今回、ほ場設計で活用をした自律型小型ヘリは、世界でも最新鋭の機体と云えます。

前項の分類では小型固定翼機に属し、空中撮影用カメラを装備しており、静止画（赤外線・RGB2画面カメラ）や動画等の撮影が可能です。

また、GPSによる位置情報を受信して飛行制御が可能であるため、手動制御の回転翼機（無人ヘリ）に比べて撮影精度等に大きな優位性を持っています。

2.1 手動制御と自律制御の比較

一般に小型ヘリの飛行は、シングルローター式（飛行のためのプロペラ形式）のため、天候状況により左右されることが多く、強風（横風）や雨天時には飛行への弊害が生じています。

今回採用した自律型小型ヘリは、羽根が4～8枚のマルチローター式（右表の機体写真参照）であるため、強風（横風）などの天候状況の影響を受けることが少なく、飛行が安定している。また、予め設定した飛行計画をコントローラにて制御することで、空中撮影など精度の高い情報収集を容易に行うことができます。

2.2 自律型小型ヘリの活用

空撮写真をほ場設計に利用するためには、鮮明であることに加え、写真（画像）の正確な位置座標が必要となります。

今回利用の試みでは、Aeryon Labs 社（右表の説明資料参照）を使用して空撮を行い、オルソ画像を作成し、これを基に詳細調査必要箇所の絞り込みや現地踏査及び測量調査カ所の選定などに利用する計画としました。この小型ヘリによる空撮画像は従来の航空撮影や人工衛星画像比べて、地上120m程度の低空からの撮影データであり、精細な画像は自由な加工が可能のため、関係者間での現況認識を共有することが可能と考えました。

機種名	Aeryon Scout
社名	Aeryon Labs社(エリヨン)
主動プロペラ枚数	プロペラ4枚タイプ
生産国	カナダ製
採用用途例	アメリカ、カナダ、中東など 偵察・テロ対策用に採用
機体重量	2.4kg
機体大きさ	幅 約90cm
飛行時間(1バッテリー)	50分
稼働温度範囲	-30～+50℃
飛行可能風速	18m/s～25m/sまで可能
操作可能距離	約5.0km
最大上昇高度	約450m
搭載カメラ情報	赤外線・RGBカメラ切替可 独自開発カメラ(ユニット)
操作・撮影方法	タブレット操作(自律制御飛行)
その他	アタッチメント分解式 全天候型 バッテリー切れ、通信障害時に自動帰還 操作タブレットで撮影状況確認可能 飛行トラブルでの機体損傷はメーカー補償 簡易オルソ画像などグリッド撮影可能
参考価格	約1200万円
機体及び操作機器の写真	

—今回使用した自律型小型ヘリ—



—現地撮影作業状況—

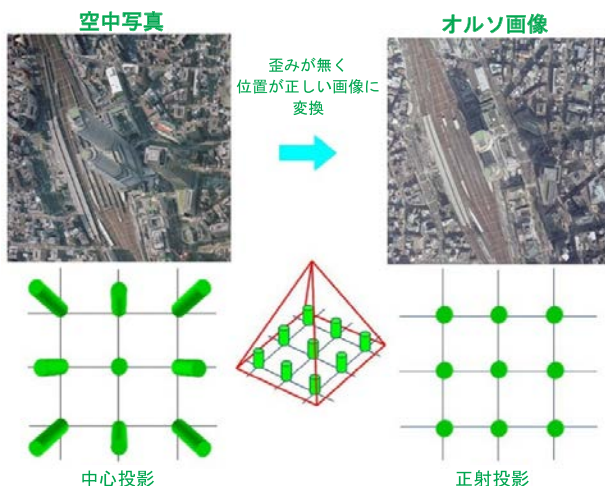
2.3 空撮からの仕組みと撮影方法

(1) オルソ画像

空撮写真は、写真中央レンズの中心に光束が集まる中心投影なので、レンズの中心から対象物までの距離の違いにより、画像に歪みが生じます。

空中写真では、高層ビルなどの高い建物や周縁部の建物は、写真の中心から外側へ傾いているように写ります（下記画像変換概念図参照）。オルソ画像は、標高データを用いてこの像の歪みをなくし、真上から見たような傾きのない画像に変換したものです。

標高データは、通常同じ場所を重複して撮影した隣接する2枚以上の写真を用い、画像相関などにより作成します。オルソ画像は、画像の形状に歪みがなく、位置も正しく配置されているため、画像上で位置、面積及び距離などを正確に計測することが可能です。

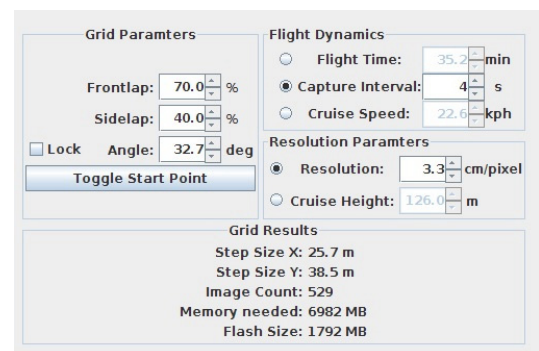


—空中写真からのオルソ画像変換概念図—

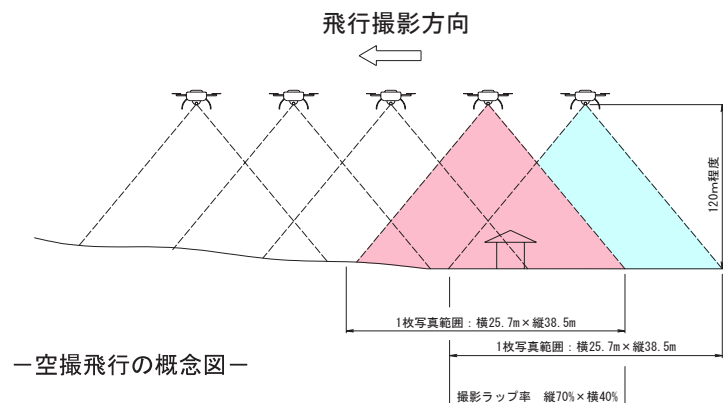
(2) 空撮の撮影方法

鮮明な空撮写真及び正確な位置座標を得るには、自律型小型ヘリがGPSからの受信により常に安定した飛行を行う必要があります、撮影のための飛行計画が重要となりました。

今回実施した撮影では、下図の飛行計画により撮影写真1枚の大きさが横25.7m×縦38.5mとして、30haのほ場区画で529枚の写真を撮影しています。また、1枚の写真の飛行進行方向には70%、横方向には40%の重複撮影行い、オルソ画像の作成を行っています。



—撮影の飛行計画と撮影グリッド—



—空撮飛行の概念図—

3. 「ほ場設計」における利用

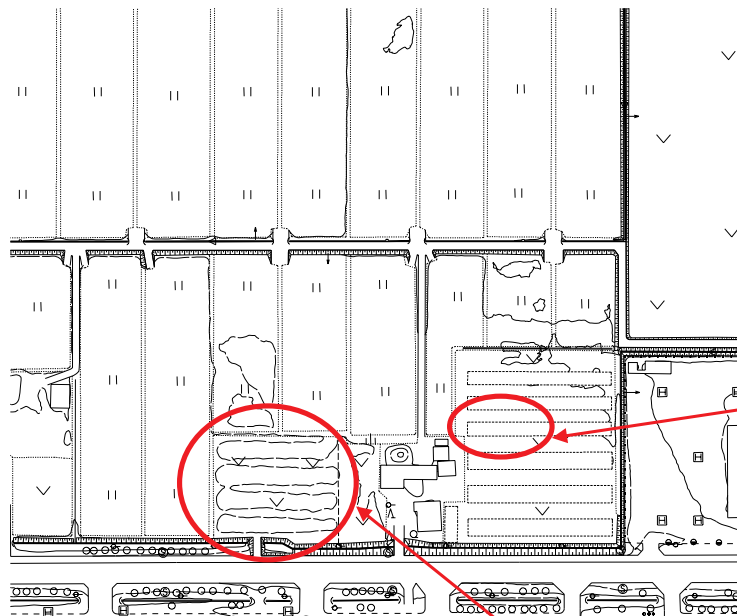
空撮実施状況の詳細は下記のとおりです。

- ① 撮影場所：空知郡中富良野町
- ② 調査状況：ほ場設計の現地一次調査
- ③ 撮影機材：Aeryon Labs 社（エリヨン）
Aeryon Scout（エリオン・スカウト）
- ④ 撮影状況：風速1.5～2.5m/s
飛行高度地上126m
- ⑤ 対象ほ場面積：30ha 4カ所
- ⑥ 作業工程：H25.5.24～26 3日間

3.1 貸与図面との比較修正

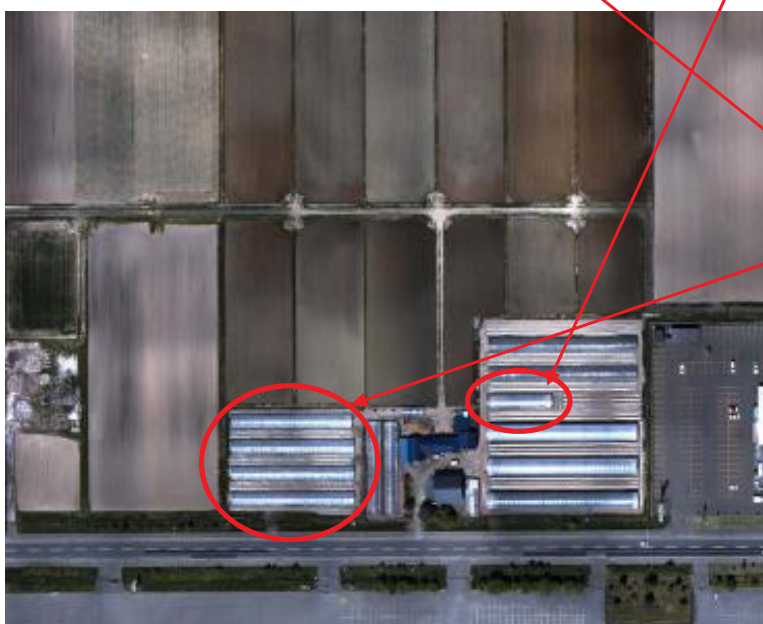
貸与図面の現況平面図は、5年以上を経過しており、今回撮影のオルソ画像による精細画像を利用することで、正確な附帯施設位置を容易に確認することができました。さらに、既設ハウスや作物の作付状況が俯瞰的に把握でき、貸与図面の補足修正が容易となりました。

下に貸与現況平面図と今回撮影のオルソ画像の対比の一部を記載します。



－貸与図面の現況平面図－

既設ハウスの形状変更



ハウスの増設

－空撮写真からのオルソ画像－

3.2 用水系統の俯瞰的把握と現況状況

今回の空中写真撮影では、対象圃場だけでなく隣接圃場や周辺の排水路や道路との関連も含めて俯瞰的に現地状況が把握できることから、道路・排水系統や現況施設・補償物件の位置の把握が容易なものとなりました。

さらに、画像解像度が高いことから、鮮明な画像からの既設水路や排水路の延長などを計測する作業にも利用可能となりました。



—既設水路（開水路）起点部柵—



対象 30ha 区画

—ほ場整備におけるオルソデータの現況写真（Cほ場）—



鋼製水路 V-400 実測値 L=128.15m

鋼製水路 V-400 オルソ画像計測値 L=128.19m



—既設水路（開水路）曲点部柵—

地上対空標

4. 利用における課題と対策

今回、自律型小型ヘリを導入した経験で判明した課題等を以下にまとめます。

① 気象状況

今回導入を行った自律型小型ヘリは、全天候型であり、雪・雨に対しても万全の設計構造となっている。また、風に対しては台風並の風速25m/s以下であれば飛行可能な機材であった。

しかし、自律制御の要となるGPS受信機が太陽フレアの影響で電波が途絶え、撮影中に上空での位置情報を確認するためにホバーリングして待機していることがしばしば見受けられた。

よって、自律型小型ヘリ使用時は、GPS飛来情報なども把握した工程計画を検討する必要がある。(H23.5.13～カーナビなどのGPS障害発生)

② 撮影時期及び現況状況

今回の撮影場所は、水田地帯のほ場整備に伴う現地調査で活用したものです。

水田地帯は、上空への障害物が無いことから撮影に良好の環境で、撮影時期は5月中旬の田起こしの最中であったため撮影を開始した。

しかし、水田への給水後の代掻き最中であれば、上空からの撮影では水田内の水が乱反射を起こすため撮影精度、オルソ画像処理に難が生じる状態となっていた。

さらに、上空から地上が確認出来ない森林地帯などは、樹木が風で揺れるなど、オルソ画像

の処理に歪みを生じる結果となります。

よって、撮影前に現場状況に応じた適切な撮影時期を把握して工程を計画する必要がある。

③ 位置精度と標高誤差

今回の撮影は、実験的に活用を試みたものであり、自律型小型ヘリでのオルソ画像は、有人飛行での航測図化の精度よりは高い値である。

平面的精度(座標値X、Y)は実測値と数センチであるが、標高精度は実測値と10～15cm程度の誤差が生じた部分もあった。これは、現況での耕起箇所や水田畦畔の影響なども考えられるが、今後の画像処理技術が向上することにより、標高精度も向上の可能性が考えられる。よって、利用する際は、誤差及び精度についての認識をする必要がある。

5. 我が国での小型ヘリ開発状況

「自律型小型ヘリ」ビジネスは、日本でも研究開発が行われ、千葉大学の野波健蔵教授が2001年より約50機以上の試作を繰り返し、2012年にコンソーシアムを設立し、参加は60機関(企業52社)を超えています。このコンソーシアムには、中小企業その他、産業技術総合研究所や自治体、大手電機メーカーや機械メーカーも参加しています。

現在は、MS-06のプロペラ6枚型とMS-12のプロペラ12枚型からの改良型MS-06L型、MS-06LL型(下表参照)などの自律型無人ヘリを開発し、警察

種類	MS-06L	MS-06LL
主動プロペラ枚数	プロペラ6枚タイプ	プロペラ6枚タイプ
用途例	農業散布など	農業散布、特殊空撮用
機体重量	2.2kg	2.7kg
機体大きさ	幅 約115cm	幅 約145cm
飛行時間(1バッテリー)	40分	40分
最大積載	5.0kg(バッテリー除く)	10kg(バッテリー除く)
機体等の写真		

－ 自律型小型ヘリの改良型 －

の防災や東日本大震災での被災した福島県での放射線計測など、多彩な分野で活躍しています。

また、東京電力福島原発では大型の放射線測定器を搭載し、人が立ち入れない場所でも作業可能な大型積載可能（最大積載30kg）なMS-06VL型も開発され、被災地で活躍しています。現在、このコンソーシアム組織にて400万円以下の安価な機材として実用化が近くなっています。

6. 今後の応用展開

自律小型ヘリによる空撮でのデータは画像結合処理を行うと、平面写真や立体写真（3D）まで作成可能です。また、成果品としての必要精度により、空撮での写真pixelを替える事で、高精度の成果が可能となります。

今後は、国産の安価な機体が供給されると、手動制御の小型ヘリに替わり自律型小型ヘリへの普及が進むものと考えます。またそれに伴い、従来の「鳥瞰図」や「人が到達不可能な場所」（右写真：土砂崩落）などに加えて、更に多様な利用が可能であると考えます。

特に、自律制御型はGPSによる位置座標を有効利用した飛行計画が可能のため、ピンポイント（定位置や路線）における空撮調査が安価で敏速、俯瞰的及び近接的な調査と利用展開へ繋がるものと考えます。

農業土木分野での例として、調査に大きな労力を費やしている「ストックマネジメント」への活用が考えられます。一度の飛行計画で繰り返し調査が可能な①ダム・頭首工などの深所や高所の調査、②上空が開放されている開水路の調査、③管水路などの地上状況調査などの定点・定期的な調査、などの活用が可能と考えられます。

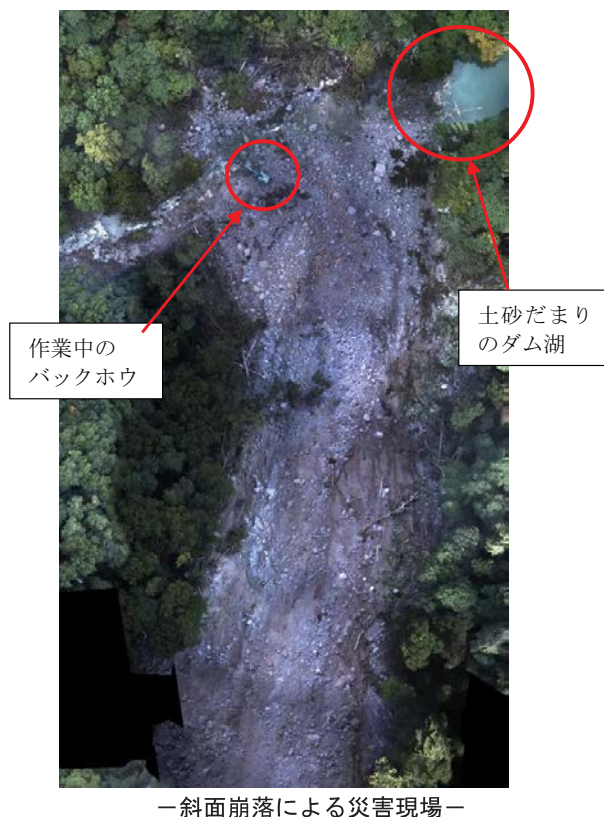
UAV技術は目的を軍事から民間へと転換して、安価・簡単・高性能への進化が加速しています。

弊社は、他社との共同作業とすることで、本文で紹介した最新鋭のUAVに接する機会を得ました。

今後も多様な技術や情報に着目し、これら最新技

術を農業土木分野において活用していきたいと考えます。

（株）三幸測量設計社）



参考文献

- ① 日本産業用無人航空協会
- ② 自律型小型ヘリ
・Aeryon Labs 社（エリヨン）
日本代理店：（株）ネクシス光洋
- ③ 国交省国土地理院HP
- ④ 自律飛行電動ヘリ研究資料
千葉大学大学院工学研究科野波健蔵著
- ⑤ ミニサーバイヤーコンソーシアムHP
- ⑥ 空撮資料（株）ネクシス光洋旭川市

気候変化予測モデルによる土壌流亡リスクの検討

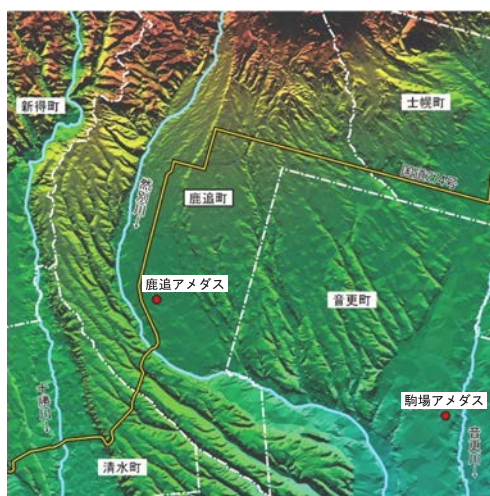
米山 晶・丹羽 勝久

1. はじめに

鹿追町は、十勝管内の北西に位置し、火山性土壌が広く分布する耕地面積12,200haの畑酪混合地域であり、小麦・てんさい・ばれいしょ・豆類の輪作を中心にキャベツ等の野菜を取り入れた畑作経営と酪農経営が行われている。

また、地域では、国営農地再編整備事業（中鹿追地区）をはじめ、道営畑地帯総合整備事業（北鹿追地区）が進められている。

町内は然別川が南北に貫流し、その東側は北高南低で緩やかな波状を呈する扇状地形が、西側は侵食の大きい台地が広がっている（図－1）。



図－1 位置図（陰影図）

近年、当該地域において大雨による土壌の流亡が発生し、また、排水路では管理者による浚渫を行う状況にある。実際、鹿追アメダスにおける1978年からの観測史上10位までのランキングには、2000年以降の年降水量が5件、日降水量は6件が含まれており、局地的な降雨も増加傾向にあるなど、地球温暖化による降雨形態の変化が顕在化している。そのため、土壌の流亡による農地や排水路の被害、大雨に

よる排水路施設被害、農業機械の大型化に伴う作土直下の堅密化による排水不良等、地域が抱えるリスクの増大が懸念されている。

このような背景から、平成24年3月、十勝総合振興局、鹿追町、JA等の関係機関で構成する鹿追地域農業生産基盤整備方向検討会が設立され、農地・排水路の総合的排水対策に取り組むこととなった。本報告は、その一環として実施した委託業務から、土壌流亡量算定と気候変化予測モデルを用いた将来的なリスク算定について報告するものである。

2. 土壌流亡算定方法

2.1 土壌流亡量の算定方法

一般的に、土壌流亡量算定にはUSLE（Universal Soil Loss Equation）が用いられることが多く（緑資源機構, 2004）、本調査においても、USLEを用いて土壌流亡量を評価した。USLEは各降雨の流亡土量を予測するのではなく、長期間の平均的な土壌流亡量を予測するのに用いられる経験モデルであり、算定には下記に示す6パラメータが必要である。

予測式（USLE）を以下に示す。

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{式－1}$$

A：単位面積あたり流亡土量。（ $\text{tha}^{-1}\text{y}^{-1}$ ）

R：降雨係数。降雨侵食指数EI値の年間合計
（ $\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{y}^{-1}$ ）

K：土壌係数。土壌固有の係数（ $\text{thMJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ）

L：斜面長係数。基準斜面長（20m）に対する比率

S：傾斜係数。基準勾配（ 5° ）に対する比率

LとSを統合して地形係数として取り扱うことが多い

C：作物係数。作物別の係数

P：保全係数。畝立て方向、等高線栽培など保全的耕作の効果を示す係数

なお、各パラメータの詳細については、次項で詳述する。

2.2 利用した気象データ

前述のU S L Eによる土壌流亡量の算定に必要な気象パラメータは降雨係数（R）であり、降雨係数を算出するためには、その基となる降水量のデータが必要である。

降水量の現状値には、1 kmメッシュ気象データ（1982年～2011年：最小時間単位は1時間）を（一財）日本気象協会から入手して利用した（現状値（実測））。

一方、降水量の将来予測値には、MIROC3.2-HIRES（K-1 model developers, 2004）の気象予測値（2011年～2100年）を、内法より3次メッシュまでダウンスケールした値を利用した。この値は、温室効果ガス排出シナリオA1B（IPCC, 2000）に基づいて算出したものを（Okada et al., 2009）、CDF法（飯泉ら, 2010）によりバイアス補正したものである。

表-1には、参考に、温室効果ガス排出シナリオを示す。

表-1 気候変化シナリオ

A1FI	化石エネルギー源を重視しつつ、高い経済成長を実現する社会
A2	経済の地域ブロック化と高い人口増加を実現する社会
A1B	すべてのエネルギー源のバランスを重視しつつ高い経済成長を実現する社会
B2	経済、環境の持続可能性を確保した地域共存型社会
A1T	非化石エネルギー源を重視しつつ、高い経済成長を実現する社会
B1	環境保全と経済の発展が地球規模で両立する社会

3. 土砂流亡算定のためのパラメータ算定

3.1 降雨係数R

降雨係数は、侵食性降雨（積算降雨量が12.7mm以上で連続無降雨時間が6時間以内のもの）ごとの総降雨エネルギーEとその降雨の最大30分間降雨強度 I_{30} との積 EI_{30} の年間合計値と定義されている。

降雨係数の算定式を以下に示す。

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n (E_i \times I_i) \quad \text{式-2}$$

R：降雨係数（MJmmha⁻¹h⁻¹y⁻¹）

R_i ：降雨係数（各降雨）= $E_i \times I_i$ （以降、10分データを用いる場合は R_{i10} 、1時間データを用いる場合は R_{i60} と記述する）

i：対象年におけるi番目の降雨イベント（積算降水量 ≥ 12.7 mm、降雨開始後無降雨が6時間以上続くと次の降雨イベントとする）

n：対象年の降雨イベント回数

E_i ：i番目の降雨イベントにおける運動エネルギー（MJha⁻¹）

I_i ：i番目の降雨イベントにおける最大30分間降雨強度（降雨強度 mm h⁻¹）

10分データを用いる場合は、降雨イベントにおける最大30分間雨量（mm） $\times 2$ であり、1時間データを用いる場合は、最大時間雨量である。

降雨イベントにおける運動エネルギーの算定式を以下に示す。

$$E_i = \sum_{a=1}^T [0.119 + 0.0873 \log(I_a) \times r_a] \quad \text{式-3}$$

i番目の降雨イベント時間内における、

I_a ：a番目の降雨強度（mm h⁻¹）

10分データを用いる場合は10分間雨量（mm） $\times 6$ であり、1時間データを用いる場合は各時間の雨量である。

r_a ：a番目の降水量（mm）

T：降雨イベント終了までのデータ数

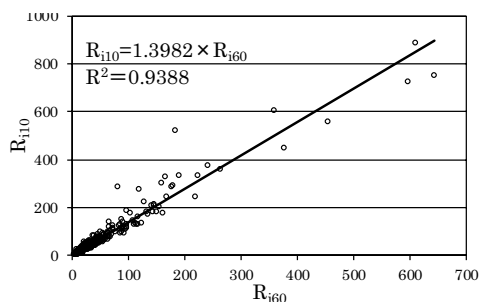
（1）降雨係数（現状値）の算定方法

降雨係数（現状値）においては、現状値（実測）の降水量の最小単位が60分単位であったため、その条件で降雨係数を算出した（ R_{i60} ）。

一方、鶴木ら（2013）は10分間データなど短時間雨量データから算出する降雨係数は、時間雨量データから算出した降雨係数の1.37～1.85倍であり、1

時間降雨量から算出した降雨係数は現状を過小評価すると報告している。

そこで、調査区域のアメダスデータ（鹿追、駒場）において10分間データから算出した降雨係数 R_{110} と時間別データから求めた降雨係数 R_{160} を比較した（図－2）。



図－2 R_{160} と R_{110} の比較（鹿追）

その結果、両者の間には非常に高い正の相関関係が認められたが、 R_{110} は R_{160} の1.40倍（鹿追、図－2）、1.43倍（駒場、図－省略）となり、鶴木ら（2013）が報告した通り、1時間データは降雨係数を過小評価することが改めて示された。

上述した関係を基に、各メッシュの降雨係数の補正には各メッシュと両アメダスポイント（鹿追、駒場）の距離を求め、より近いポイントの相関式を利用することで、降雨係数を補正し、その広域評価を行った。

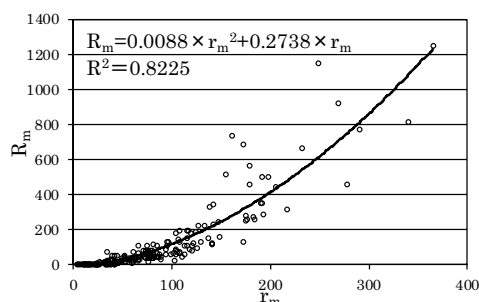
なお、土地改良事業計画指針農地開発（改良山成畑工）（農林水産省構造改善局計画部、1992）では融雪に伴う多量の土壌流失を補正するため、根雪月の降水量に0.06を乗じた値を加算するとされている。このことから、近傍気象官署（帯広）の根雪（長期積雪）平年値12月10日～3月21日を勘案し、12月～3月の降水量を用いて降雨係数を補正した。

（2）降雨係数（将来予測値）の算定方法

MIROC3.2- HIRIES (K-1 model developers, 2004) の降水量（2011年～2100年）は、最小単位が日別であるが、その算出方法は、月別降水量の予測値に乱数を用いて日々変動を与え、擬似的に日別値とする手法を取っている。

このことから、本報告では、乱数を与える前の基データである月間降水量（ r_m ）を利用し、その値を降雨係数に変換した。

具体的には調査区域の1995年から2011年のアメダスデータ（鹿追、駒場）を利用して、月間降水量と10分間降水量から求めた降雨係数 R_{110} の月別積算値の関係を求め（図－3）、その関係に基づいて、2011年から2100年の月間降水量（予測値）を月間降雨係数に変換し、年合計して降雨係数の将来予測値を算出した。

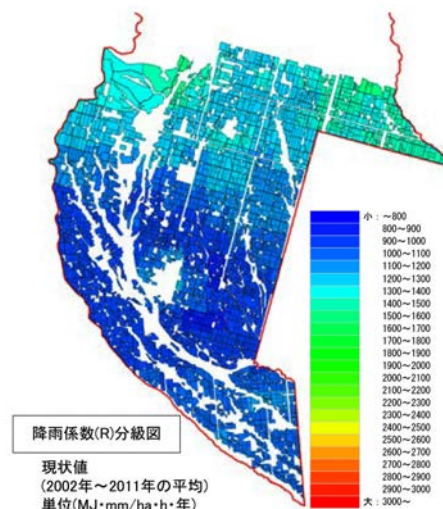


図－3 月間降水量と月別降雨係数の比較（鹿追）

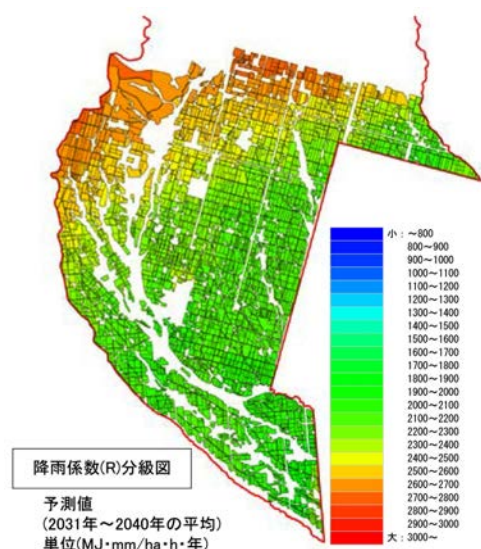
月間降水量（ r_m ）が大きいほど両者の関係はばらついたが、2次式における決定係数は0.82（鹿追、図－3）、0.76（駒場、図－省略）と強い相関関係を確認できたことから、その回帰式に基づいて、降雨係数の将来予測値を広域評価した。なお、広域評価や融雪補正は降雨係数（現状値）の算出と同様の方法を利用した。

（3）算定結果

算出した結果を、図－4、図－5に示す。



図－4 降雨係数分級図（現状値）



図－5 降雨係数分級図（将来予測値2040年）

現状の降雨係数は、856-1586 ($\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{y}^{-1}$) の範囲で算出され、南部で低く、北部で高い傾向を示した（図－4）。その傾向は、将来においても同様であるが、降雨係数は、2040年には1937-2792 ($\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{y}^{-1}$) (1.7倍)（図－5）、2100年には、2127-3082 ($\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{y}^{-1}$) (2.0倍)（図－省略）の値となった。

3.2 土壌係数K

地力保全基本調査によると鹿追町の土壌は11種類の土壌統に区分される（表－2）。

土壌係数（K）は、谷山（2003）の方法を用い、

調査区域の各土壌統（全11統）を対象として算出した。

なお、土壌係数の算定方法は下記の通りである。

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \quad \text{式－4}$$

M : (シルト含量% + 極細砂含量%) × (100 - 粘土含量%)

a : 表層土の腐植含量 (%)

ただし、腐植含量の最大値は12%とした。

b : 表層土の土壌構造コード

c : 土壌断面の透水性級位

そのうち、地域の代表である2土壌統（表層腐植質黒ボク土、厚層多腐植質多湿黒ボク土）については、土壌調査および分析を行い、その結果を用いた。その他の土壌統については十勝総合振興局が過去に実施した調査結果を活用した。

計算結果を表－2に示す。

本調査で算定した土壌係数Kを一般値（谷山、2003）と比較すると、洪積土グループ、沖積土グループの中でも、表層に火山灰土層を有するタイプの土壌係数Kは、褐色森林土を除き一般値に比べて低い値となった。

表－2 土壌係数算定結果

土壌グループ	土壌タイプ	土壌係数K ($\text{thMJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$)		備 考*
		本調査で算定	谷山(2003)	
① 火山性土	厚層多腐植質黒ボク土	0.019	0.001	火山性土
	表層腐植質黒ボク土	0.019	0.011	火山性土
	厚層多腐植質多湿黒ボク土	0.013	0.012	火山性土
	厚層腐植質多湿黒ボク土	0.033	0.019	火山性土
② 洪積土	細粒褐色森林土	0.042	0.028	表層に火山灰土層(厚さ20cm未満)
	細粒灰色台地土	0.013	0.040	表層に火山灰土層(厚さ20cm未満)
③ 沖積土	細粒褐色低地土	0.015	0.050	表層に火山灰土層(厚さ20cm未満)
	中粗粒褐色低地土	0.060	0.056	表層に火山灰土層なし
	礫質褐色低地土	0.024	0.048	表層に火山灰土層(厚さ20cm未満)
	礫質灰色低地土	0.015	0.045	表層に火山灰土層(厚さ20cm未満)
	礫質強グライ土	0.015	0.044	表層に火山灰土層(厚さ20cm未満)

*北海道立中央農業試験場(1993)：北海道土壌区一覧、北海道立中央農業試験場(1979)：北海道の農牧地土壌分類 第2次案に基づいて整理

3.3 地形係数 L S

地形係数は、十勝総合振興局提供のほ場図と国土地理院が公開している10mメッシュ数値標高データを基に、GIS (MicroImages, Inc TNT-mips) の流水経路作成機能を利用して流路長 (l) とその流路高低差から算定する勾配 (θ) を求め、農地開発指針の式 (式-4) を用いて地形係数 (L S) を決定した。なお、ほ場内に複数の流水経路がある場合は、そのうちの最大 L S をほ場の代表値として採用し (図-6)、流水経路が無い場合は、重心付近の傾斜ベクトルを用いて L S を算定した。

$$LS = \left(\frac{l}{20.0} \right)^{0.5} (68.19 \sin^2 \theta + 4.75 \sin \theta + 0.068) \quad \text{式-5}$$

ここに、l : 斜面長 (m) θ : 勾配 (degree)



図-6 流水経路と L S の決定

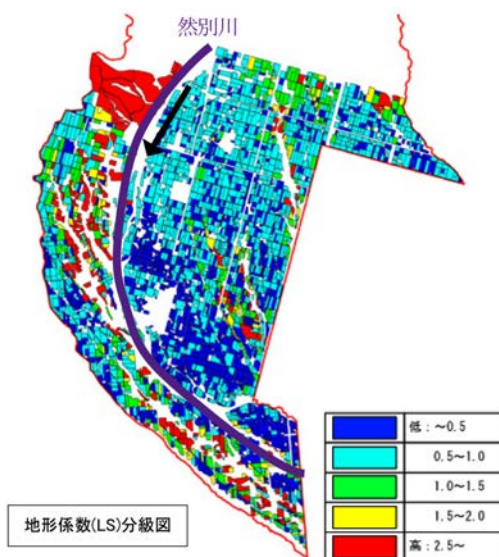


図-7 地形係数分級図

図-7に地形係数の算出結果を示す。

然別川左岸の平地部分については、地形係数は低い値 (概ね1.0未満) であったが、然別川右岸の台地状の地域については、2.5以上の箇所が多数あり地形係数は高い値となった。

3.4 作物係数 C

今回算定する土壌流亡量は年ごとの値ではないため、本地域の輪作体系 (小麦・てんさい・ばれいしょ・豆類の4品) を考慮して、農地開発指針に示された主な畑作物の作物係数 (C) (表-3) から平成23年度の鹿追町全域の作付面積による加重平均値 (0.363) を作物係数とした。ただし、牧草は比較的作付が固定されていることから、牧草の係数を使用した。

表-3 作物係数 (C)

作物	作物係数	作物	作物係数
牧草	0.02	トウモロコシ	0.4
コムギ	0.2	テンサイ	0.4
キャベツ	0.3	ダイズ	0.4
バレイショ	0.3	インゲン	0.5
ソバ	0.3	アズキ	0.5

農地開発指針より抜粋

3.5 保全係数 P

鹿追町の大部分は、ほ場長辺方向と傾斜方向が一致していることから、表-4に示す上下耕 (P=1.0) として計算した。なお、横畝栽培の導入による土壌流亡抑制効果の算定に当たっては、畑面の勾配別保全係数を採用した。

表-4 保全係数 (P)

畑面の勾配	横畝栽培	平畝・上下耕
1° ~ 4°	0.27	1.0
4° ~ 7°	0.30	
7° ~ 10°	0.40	
10° ~ 15°	0.45	
15° ~ 25°	0.50	

農地開発指針より抜粋・加筆

4. 土壌流亡量の算定結果

(1) 単位流亡量分級図からみた傾向

前項までに決定したほ場毎の各パラメータと4区分の降雨係数（現状値：2002年～2011年の平均、予測値2040：2031～2040年の平均、予測値2070：2061～2070年の平均、予測値2100：2091～2100年の平均）を用いて単位流亡量（ $t\ ha^{-1}y^{-1}$ ）を算出し図化した（図－8）。なお、図に示している4つの地域（鹿追、瓜幕、美蔓、幌内）は、地形（傾斜）、土壌分布、国営事業の実施区域（中鹿追地区の一部）を勘案して設定したものである。

図－8から、瓜幕地域と幌内地域は北側に流亡量の多いほ場が集中しており、鹿追地域と美蔓地域では河川に近い一部のほ場で流亡量が多いことが明らかになり、対策を重点的に進めるべき地域が明確となった。

また、鹿追町全域における現状の土壌流亡量は48,529（ ty^{-1} ）であるが、2040年で現状の2倍（98,602（ ty^{-1} ））となり、2070年には一旦減少するものの2100年には、現状の2.2倍（107,484（ ty^{-1} ））まで上昇する結果となった（表－5）。さらに、横畝栽培を導入した場合の試算から、2100年の流亡量は現状の約8割（38,182（ ty^{-1} ））に抑制できる（図－9）結果となり、土壌流亡対策は気候変化に伴って重要性を増すことが明らかとなった。

ただし、横畝栽培の導入に当たっては、農地再編整備事業等による換地や排水路・暗渠等の一体的な整備が必要となる。

なお、現状値の妥当性を検証するため、鹿追アメダスにおける総雨量67mmの降雨（2012.11.6～8）

後に現地で流亡状況を確認した結果、流亡量が多いと算定された地域でガリ侵食が発生していた（写真－1、写真－2）。また、関係機関からも流亡が多い地域の傾向が算定結果と一致していることを確認している。



写真－1 ガリ侵食の例（2012年美蔓）

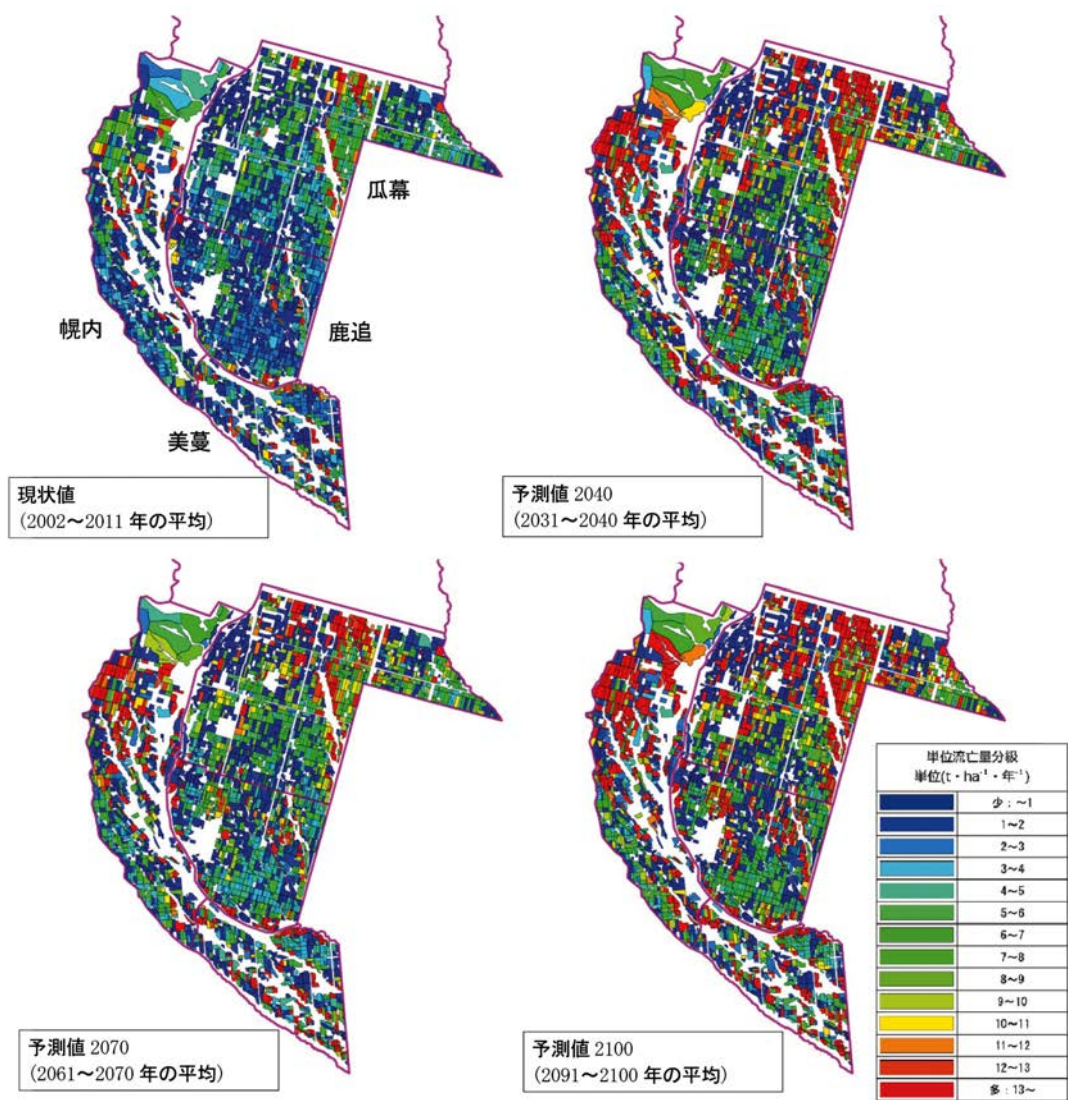


写真－2 ガリ侵食の例（2012年瓜幕）

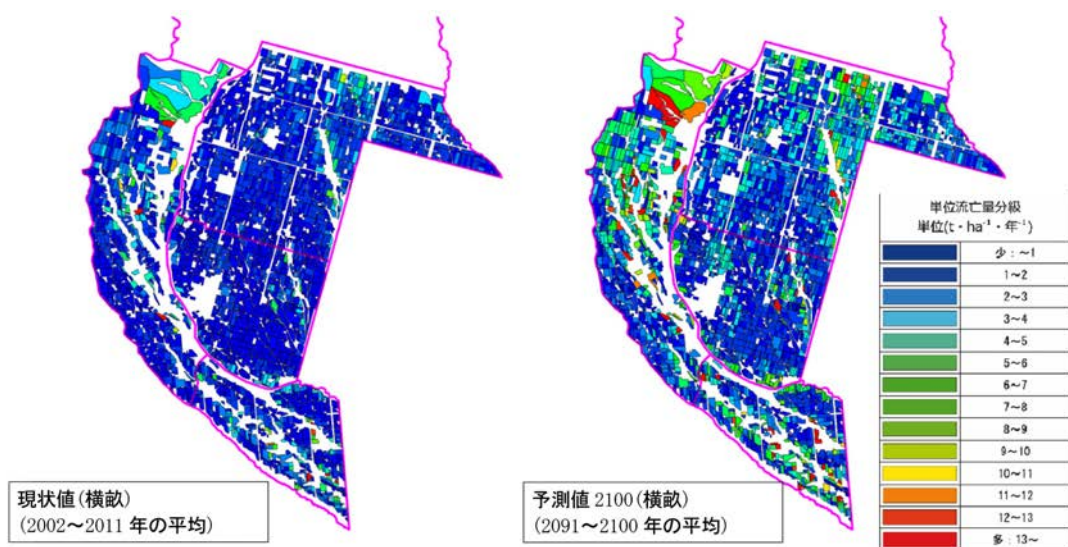
表－5 土壌流亡量算定結果

ほ場数	面積 (ha)	平均 ほ場面積 (ha)	現状の流亡土量 (ty^{-1})		将来の流亡土量(ty^{-1})					
					2040年		2070年		2100年	
			合計	haあたり	合計	haあたり	合計	haあたり	合計	haあたり
3,165	12,267	3.88	48,529	3.96	98,602 (2.03)	8.04	80,190 (1.65)	6.54	107,484 (2.21)	8.76
横畝栽培の導入					35,024 (0.72)	2.86	28,436 (0.59)	2.32	38,182 (0.79)	3.11

※()は現状の流亡土量に対する比率



図－8 単位流亡量分級図の遷移（現状～2100年）



図－9 単位流亡量分級図の遷移（横畝栽培、現状、2100年）

（２）リスク軽減のための対策（瓜幕地域の例）

委託業務では４つの地域（鹿迫、瓜幕、美蔓、幌内）において土壌流亡リスク軽減のための対策を示したが、ここでは代表として瓜幕地域について述べる。瓜幕地域のUSLEパラメータと流亡土量を表－６に示す。

本地域は、流亡土量および単位流亡土量ともに表層腐植質黒ボク土が最も多い。この土壌は地形係数が高い（0.70）ことから、傾斜改良が最も効果的である。ただし、表層腐植質黒ボク土は一般に有効土層が厚い土壌と位置づけられるが、現地調査で下層に礫を富む土層が認められた（図－10）。したがって、表層腐植質黒ボク土区域内においても、局所的

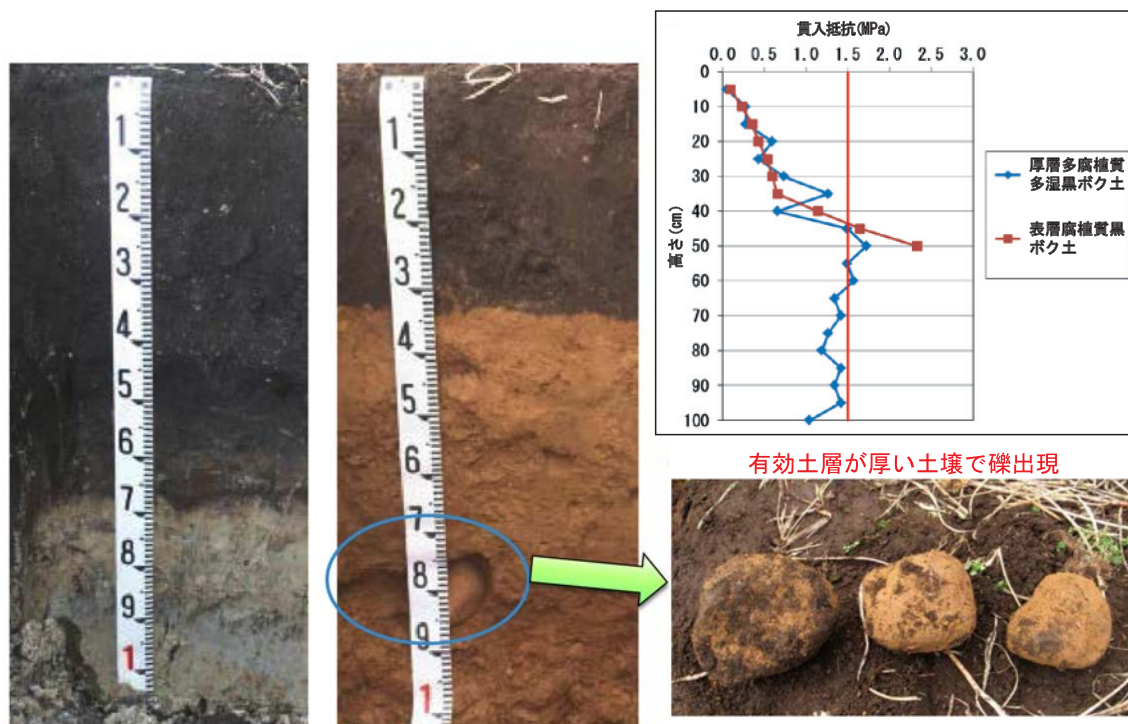
に礫を含む土層が出現すると考えられる。そのため、基盤を切盛する際には礫の混入程度を把握し、礫を作土に混入させない等の配慮が必要である。

傾斜改良を行えない場合は、①斜面長の短縮（ほ場中央を横断する小排水路の配置）、②横畝栽培の実施、③牧草作付などの効果が高い。これらを実施する場合は、耕作者に十分な理解と協力が必要である。

また、土壌調査の結果、発達程度は強くないものの耕盤層が認められたため（図－10）、降雨時に発生する余剰水を作土以深に速やかに排除できるような管理（定期的な心土破碎等）も重要である。

表－６ 瓜幕地域の土壌流亡量（現状値）

土壌タイプ	面積 (ha)	土壌係数	傾斜 (度)	地形係数	流亡土量 (ty^{-1})	単位流亡土量 ($\text{tha}^{-1}\text{y}^{-1}$)
			平均	平均	合計	平均
表層腐植質黒ボク土	3,111	0.019	1.64	0.70	15,201	4.89
厚層多腐植質多湿黒ボク土	628	0.013	1.86	0.74	1,655	2.64
細粒灰色台地土	53	0.013	1.07	0.46	91	1.72
細粒褐色低地土	561	0.015	1.02	0.55	1,165	2.08
中粗粒褐色低地土	24	0.060	0.91	0.36	32	1.32
礫質褐色低地土	592	0.024	1.09	0.55	1,635	2.76
礫質灰色低地土	26	0.015	0.98	0.65	41	1.60
合 計	4,994				19,820	



図－10 土壌調査で出現した礫と耕盤層

3. まとめ

本報告では、1kmメッシュの気象データや10mメッシュの標高データ等、空間解像度の高いデータをGISで一元化し、ほ場毎にUSLEの各係数と土壌流亡量を算定した。これによって、どの地域の土壌流亡リスクが高いか、すなわち、土壌流亡対策を行う地域の優先順位を示すことができた。また、横畝栽培の導入による土壌流亡量の削減効果を試算するとともに、地域の土壌や地形の特徴を踏まえた土壌流亡リスクの軽減策（傾斜改良、小排水路の配置、作付の変更）も提示した。

これらを、平成25年4月に実施した鹿追地域農業生産基盤整備方向検討会に報告することで、将来に対する備えの重要性と耕作者の協力が必要な点を認識していただくきっかけとなった。

4. 今後の課題

本報告は、MIROC3.2 (hires) という一つの大気・海洋結合大循環モデルによる気象予測値を用いた結果であり、気象予測には不確実性の問題を内在していることに留意が必要である。例えば、IPCC (2007) の第4次報告書の中でも、不確実性が議論されており、気温上昇や海面上昇等、各モデルの予測値には大きな予測幅を有していることが示されている。

しかしながら、これらの気象予測モデルも日進月歩であることから、今後の展開としては、新たな気象予測値が公表された段階で、本調査結果を更新していくことが重要である。

また、USLEに用いる各係数については、様々な研究が行われているものの、実際の流亡量把握が困難であることも一因となって、流亡量の目安を算定しているのが現状である。本報告では地域特性を把握するため、可能な限り現地のデータを活用したが、黒ボク土の土壌係数が低く算定されるなどの課題もある。このため、全国で行われている研究成果の収集や実験的検討により係数を精緻化していくことが今後の課題である。

(株式会社ズコーシャ)

参考文献

- 1) Glenn, O. Schwab, Delmar, D. Fangmeier, William, J. Elliot, Richard, K. Frevert (1993): Water Erosion and Control Practices, Soil And Water Conservation Engineering, 4th ed., Jhon Wiley & Sons, p. 91-113
- 2) 北海道立中央農業試験場 (1993) : 北海道土壌区一覧, 北海道立農業試験場資料, 21, 123pp
<http://www.agri.hro.or.jp/center/kankoubutsu/shiryou/21/21all.pdf>, (参照2013-09-19)
- 3) 北海道立中央農業試験場 (1979) : 北海道の農牧地土壌分類第2次案, 北海道立農業試験場資料, 10, 89pp.
<http://www.agri.hro.or.jp/center/kankoubutsu/shiryou/10/10all.pdf>, (参照2013-09-19)
- 4) 飯泉仁之直・西森基貴・石郷岡康史・横沢正幸 (2010): 統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門, 農業気象, 66(2), 131-143,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/66/2/66_66.2.5/_pdf, (参照2013-09-19)
- 5) IPCC (2007): Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996pp.
<https://www.ipcc-wgl.unibe.ch/publications/wgl-ar4/wgl-ar4.html>, (参照2013-09-19)
- 6) K-1 model developers (2004): K-1 coupled GCM (MIROC) description. K-1 technical report, 1, Hasumi, H. and Emori, S. eds., Center for Climate System Research, University of Tokyo, 34pp.
http://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~hasumi/miroc_description.pdf, (参照2013-09-19)

- 7) 気象庁 (2013):地球温暖化予測情報, 第8巻,
88pp.
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/index.html>, (参照2013-09-19)
- 8) 松本光朗・光田靖 (2009): 吸収源としての森林の役割-2050 年への展望~日本の森林・林業のフルカーボンモデルによる将来予測から~, 平成21年度独立行政法人森林総合研究所公開講演会, 11-16
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/kouenyoushi/documents/h21.pdf>, (参照2013-09-19)
- 9) 緑資源機構 (2004): 農地・土壌侵食防止対策技術指針
<http://www.green.go.jp/green/gyoumu/kaigai/manual/bolivia/>, (参照2013-09-19)
- 10) 農林水産省構造改善局計画部 (1992): 土地改良事業計画指針農地開発 (改良山成畑工), 158-178.
- 11) Okada, M. Iizumi, T. Nishimori, M. and Yokozawa, M. (2009): Mesh climate change data of Japan Ver.2 for climate change impact assessments under IPCC SRES A1B and A2. Journal of Agricultural Meteorology, 65 (1), 97-109.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/65/1/65_65.1.4/_pdf, (参照2013-09-19)
- 12) 田中信行 (2009): 温暖化で危惧される自然林への影響, 平成21年度独立行政法人森林総合研究所公開講演会, 17-22
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/kouenyoushi/documents/h21.pdf>, (参照2013-09-19)
- 13) 谷山一郎 (2003): 農耕地からの表面流去水の発生に関わる土壌要因の解明とMIの策定, 農林水産業及び農林水産物貿易と資源・環境に関する総合研究, 研究成果, 414, 149-152
<http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039014597.pdf>, (参照2013-09-19)
- 14) 鶴木啓二・小檜山雅之・中村和正 (2013): アメダスデータによる北海道全域の降雨係数の算出, 国土交通省北海道開発局第56回 (平成24年度) 北海道開発技術研究発表会,
<http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/giken/h24giken/JiyuRonbun/GT-39.pdf>, (参照2013-09-19)
- 15) Yukimoto, S. and Noda, A. (2002):Improvements of the Meteorological Research Institute Global Ocean-atmosphere Coupled GCM (MRI-CGCM2) and its climate sensitivity. CGCR's Supercomputer Activity Report, 10, 37-44,
http://www.mri-jma.go.jp/Dep/cl/cl4/publications/yukimoto_CGER2002.pdf, (参照2013-09-19)
- 16) 横沢正幸・飯泉仁之直・岡田将誌 (2009): 気候変化がわが国におけるコメ収量変動に及ぼす影響の広域評価, 地球環境, 14(2), 199-206
http://www.airies.or.jp/attach.php/6a6f75726e616c5f31342d326a706e/save/0/0/14_2-10.pdf, (参照2013-09-19)

積雪寒冷地におけるコンクリート用水路の 凍害剥離に対する機能診断調査

柳川 健一・矢野健一郎

1. はじめに

農業農村整備の進展に伴い、農業水利施設のストックは膨大な量になっており、その活用と維持更新は重要な課題となっている。しかし、施設管理者である土地改良区や地方公共団体では、昨今の財政的事情から、維持更新に必要な経費を十分に充てることが困難な状況が存在する。このため、ライフサイクルコストや将来の施設状態を予測して適切な維持管理・保全を行ない、長寿命化を図るストックマネジメントの考え方が必要不可欠となっている。

このような情勢の中で近年、農業水利施設の機能診断調査が重要性を増している。今後、耐用年数を迎える施設も多く、施設毎の状態を的確に把握、評価する事は、ライフサイクルコストや施設状態の予測を行う上で重要な事項である。

北海道などの積雪寒冷地では、コンクリート部材の様々な変状を考える上で、凍結・融解の繰り返し

による凍害は重要な劣化要因の一つである。特にコンクリート用水路は、一般のコンクリート構造物に比べ部材厚が薄く、落水後は水路の全面が冷気に曝されるため、凍害の影響を受けやすい施設の一つである。

コンクリート用水路における凍害劣化に関しては、現在までも多くの調査、研究がある^{1,2)}。これによれば、凍害劣化の要因やメカニズムは環境条件によって異なり、幾つかの要因が複合的に作用していることも少なくないとされる。今後、多くの事例を積み重ね、それぞれの劣化形態に応じた有効な調査・評価手法と対策工法を確立していく必要がある。

凍害劣化の代表的な形態の一つにスケーリングがある。本稿は、空地南部地域の由仁幹線用水路を事例に、凍害によるスケーリング（凍害剥離）に対する機能診断調査について報告するものである。



図-1 調査地位置図

2. 施設概要

由仁幹線用水路は、大夕張地区総合かんがい排水事業（1963－1967年）で造成され、道央地区総合かんがい排水事業（1987－2004年）で改修されたフルーム用水路である。水源は夕張川の川端ダムで、最大通水量＝15.84m³/s、受益面積＝3,812haである。

路線全延長は7,756mで、現地踏査区間は上流側（SP＝2800～3267）と下流側（SP＝6625～6900）の合計延長は742mである。踏査区間における施設諸元は表－1のとおりである。調査年における経過年数は14～22年である。

表－1 由仁幹線用水路の踏査区間諸元

構造	No.	供用開始 (経過年数)	SP (延長)	施設規模 (幅×高さ・m)
現場打ち フルーム	1	1993～1996 (17～20年)	2800-3267 (467m)	8.10×1.90
	2	1991～1999 (14～22年)	6625-6900 (275m)	2.00×1.50

注) Noは踏査区間番号(図-1)。供用開始は西暦年。経過年数は調査年(2012年)現在における年数。

施設の劣化状況について、施設管理者である由仁土地改良区で聞き取り調査を行なったところ、以下(1)～(2)の情報が得られた。なお、機能診断調査としては、平成20年度に全線踏査が実施されているが、以下の点については触れられていない。

(1) 底版表層剥離について

- ・毎年、底版コンクリートが表層で剥離し、水路をスコップで清掃した際に簡単に剥がれる。
- ・この変状は、本路線の全域及び周辺の現場打ちフルームに共通して見られる。
- ・通水に影響はないが、剥がれたコンクリート殻が分土工から圃場へ流れ出る事があった。

(2) 側壁天端剥離について

- ・踏査区間－2のSP6700付近では、側壁天端に、凍害とみられるコンクリートの剥離があつて、粗骨材が露出している。

3. 現地踏査

聞き取り内容をもとに、現地踏査を行なったところ、主に下記(1)～(2)の変状が確認された。これら2つの変状はいずれも凍害剥離によるものとみられるが、劣化の特徴は大きく異なっていた。

(1) 底版表層剥離

- ・剥離は底版全体の表層部に、まだら状に見られる(写真－1)。
- ・未剥離部でも浮きが生じている。
- ・非灌漑期に、底版の僅かな不陸で滞水し易い箇所では、特に剥離が進んでいる(写真-1)。
- ・踏査区間－1の上流側(SP2800～2940)は滞水しにくく、経過年数も17年程度で、変状箇所も比較的少ない(写真－2)。
- ・同様の変状が、踏査区間のほぼ全線に見られる。



写真－1 底版表層剥離（踏査区間－1 SP3040付近）



写真－2 底版の状況（踏査区間－1 SP2800付近）

(2) 側壁天端剥離

- ・踏査区間－2（SP6700）の右岸側側壁に、天端剥離がみられる（写真－3）。
- ・スパン長は9mで、変状はこの1スパンの右岸（南向き）側壁のみに見られる。
- ・エフロレッセンスと錆汁を伴って膨れを生じ、粗骨材が露出している（写真－3）。



写真－3 側壁天端剥離（踏査区間No.2 SP6700付近）

4. 性能低下要因の推定

(1) 底版表層剥離に関して

コンクリートの凍害のメカニズムについては、水圧説と浸透圧説によって説明されており、細孔構造に応じてこれらが同時に作用すると考えられている。また凍害が、塩害、ASR、中性化との複合劣化として作用する場合もある²⁾。このように、凍害には様々な要因が複雑に関係しており、状況により様々な劣化過程を示す。本報告では、調査項目を絞り込んでいくための仮説として、以下のような推定を行なった。

底版表層剥離は、現場打ちコンクリートフルーム底版の全体にまだら状に分布しており、二次製品トラフには見られない剥離である。微視的にみると、底版の凹凸により剥離箇所の分布に差がみられる。すなわち落水時に水溜まりになりやすい凹部では剥離が広く進行しており、水溜まりにならない凸部では剥離が比較的少ない状況が踏査で観察された。このことから、凍結融解の頻繁に起きる特に初冬期において、水分の供給により凍害が助長された可能性が考えられる。

側壁の常時水面より上部には、ひび割れやスケールリングがほとんど見られず、経過年数17～22年でも健全な状態を保っていた（写真－2）。また、表層剥離を起こした底版の剥離片は、細骨材が浮き出て、脆くなって、中性化を起こしていた（写真－4）。しかし表面は、極めて平滑な形状を保っていた。これらのことから、施工当初の底版表面のモルタルは密実なものであったと想定される。

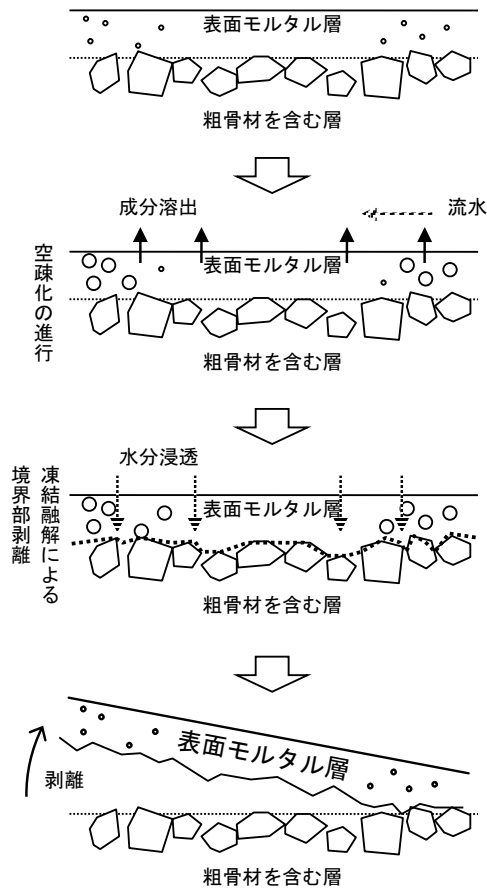


写真－4 剥離片の状況

一方、側壁の常時水面より下部では、部材表面のポーラス化と粗骨材露出が見られた。同様に底版においても、用水の流下により、セメント分の成分溶出とポーラス化が徐々に進行してきた可能

性が考えられる。ポーラス化した表面モルタル層を通して、水分が内部に供給されると、表面モルタル層と粗骨材の境界部（遷移帯）に浸潤する。そして、冬期の凍結融解作用によって、微細間隙の多い表面モルタル層と粗骨材の境界部で、部材の剥離が進行した可能性が考えられる。

表面モルタル層は空疎化によって粗大間隙が大きくなり、凍結融解による破壊作用を受けにくくなる。そのため表面モルタル層が一体となったまま、粗骨材表面を境界として面的な剥離が生じたと考えれば、やや特異な劣化に見える表層剥離も凍害の一種として説明可能である（図－２）。



図－２ 底版表層剥離の推定メカニズム

(2) 側壁天端剥離に関して

側壁天端剥離は、劣化の特徴から典型的な凍害剥離と見られ、析出物や錆汁が見られることから、劣化は鉄筋にまで及んでいると考えられる。前後のスパンに同様の変状が無いことから、施工時における初期欠陥の可能性も否定できない。

5. 現地調査方法

性能低下要因の推定結果を踏まえ、下記(1)～(5)の現地調査を行なった。各調査地点における調査項目と調査目的（変状）を表－２に示す。

調査地点－１は踏査区間の代表となる地点として設定している（代表定点）。このため主な調査目的は、全線に分布する「底版表層剥離」への対策検討である。これに対して調査地点－２は、局所的な劣化の激しい地点に対して保全対策を検討することを目的に設定している（対策定点）。したがって、主な調査目的は「側壁天端剥離」への対策検討である。

表－２ 現地調査の内容

調査地点	測点(SP)	調査項目	調査目的(変状)
1	3040-3050	(1)(2)(3)(4)	代表定点 (底版表層剥離)
2	6700-6710	(1)(2)(3)	対策定点 (側壁天端剥離)
川端ダム	0	(5)	採水地点 (底版表層剥離)

注) 調査地点は図-1 参照。
調査項目は下記(1)～(5)参照。
調査目的は、各変状に対する保全対策検討のため

(1) 近接目視調査

劣化状況の全般的把握と劣化範囲の特定のため、コンクリート表面の劣化損傷を目視、打音、簡易計測によって調査した。簡易計測では、クラックスケール及びメジャーを用いて、ひび割れ幅や変状の長さ・大きさ・深さ等を測定し、変状展開図に表した。調査地点は２地点とした。

(2) コンクリート強度推定調査

リバウンドハンマーを用いて、部材表面の反発度を計測し、表面圧縮強度を算出した。調査地点は２地点とし、１地点当りの測定点を２点（表層剥離のない底版及び側壁）とした。

(3) 中性化深さ調査

表面モルタル層における成分溶出の進行度合いの把握のため、ドリル法により中性化深さを調査した。調査地点は２地点とし、１地点当りの測定点を２点（表層剥離のない底版及び側壁）とした。

(4) 建研式によるコンクリートの引張強度試験

引張強度試験は、部材内部における剥離の進行度の把握を目的に行なった。建研式接着強度試験機を用い、コンクリートの引張強度を計測した。調査地点は1地点で、測定点を2点（表層剥離のある底版及び表層剥離のない底版）とした。1点につき深さを3段階（表面、深さ5mm、深さ10mm）に変化させてそれぞれ計測した。

(5) 水質調査

水質調査は、用水流下によるコンクリートからの成分溶出の可能性把握を目的に行なった。上流の川端ダムの取水口から河川水を採取し、試験室において硬度及び遊離炭酸含有量を測定した。試料数は1試料とした。

6. 現地調査結果

現地調査の結果については表-3にまとめた。底版の全体的な粗骨材露出により、踏査区間の全線が健全度評価S-3と評価された。また局所的な劣化の激しい調査地点-2については、側壁の全体的な剥離からS-3と評価された。

表-3 現地調査結果のまとめ

		調査地点-1 (代表定点)	調査地点-2 (対策定点)
近 接 目 視	底版	粗骨材露出(全)	粗骨材露出(全)
	側壁	ひび割れ(W0.25) 細骨材露出(全)	剥離(全)・錆汁・エフロ ひび割れ(W0.30) 細骨材露出(全)
圧 縮 強 度	底版	14.4N/mm ²	16.8N/mm ²
	側壁	37.8N/mm ²	40.0N/mm ²
中性化 残 り	底版	48.3mm	34.8mm
	側壁	51.6mm	73.8mm
健全度評価		S-3	S-3

注) (全): 全体的 (W): ひび割れの最大幅 mm
健全度評価は「農業水利施設の機能保全の手引き(開水路)」³⁾による。強調文字はS-3レベルの変状を示す。

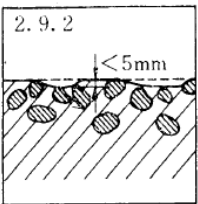
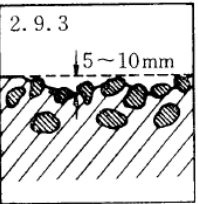
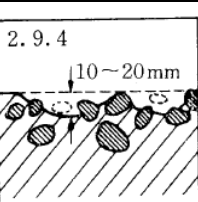
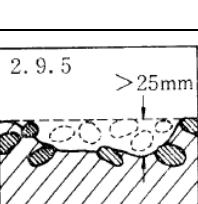
(1) 近接目視調査

調査地点-1における主要な劣化は、底版における粗骨材露出(全体的)であった。このほか側壁では、目地間中央の垂直ひび割れ(最大幅0.25mm)

や細骨材露出(常時水面以下)が見られた。

これら主要な劣化のうち底版の粗骨材露出(全体的)は、聞き取り調査・現地踏査における底版表層剥離によるものである。剥離の状況は場所によって異なるが、表層5mm程度が剥離し、未剥離部でも浮き上がって、内部で劣化が進んでいる。RILEM(国際構造材料試験所連盟)のスケーリングの程度では、「軽度」ないし「中程度」に該当する(表-4)。

表-4 スケーリング程度の区分(RILEM)

区分	定義	
軽度	表面のモルタルのみの損失の場合。最大5mmまで。	2.9.2 
中程度	粗骨材の間のモルタルも損失する場合。深さ5~10mm。	2.9.3 
強度	骨材粒のまわりのモルタルが失くなって、コンクリートの表面から骨材が完全に露出している状態。深さ10~20mm。	2.9.4 
激しい	25mm以上コンクリートが失った場合、20mm以上の深さまで粗骨材を含めてコンクリートが失った場合。	2.9.5 

出典) コンクリートの凍害⁴⁾

調査地点-2における主要な劣化は、右岸側壁上部から天端にかけての剥離(全体的)であった。剥離箇所の一部では、エフロレッセンスと錆汁を伴って膨れを生じ、粗骨材が露出していた。また、テストハンマーによる打音調査によれば、変状個

所とその周囲の広範囲で、コンクリート内部の空疎化が起きていた。このほか底版では、調査地点－1と同様に粗骨材露出（全体的）が認められた。また側壁では、特徴的な形状を示さないひび割れ（最大幅0.30mm）や細骨材露出（常時水面以下）が見られた。

(2) コンクリート強度推定調査

調査地点－1における表面圧縮強度は、底版の未剥離部で14.4N/mm²を示し、設計基準強度の75%未満であった。また、側壁（右岸側）の変状の起きていない箇所では、37.8N/mm²で、設計基準強度を上回っていた。

調査地点－2における表面圧縮強度は、底版の未剥離部で16.8N/mm²を示し、設計基準強度の75%以上100%未満であった。また、側壁（右岸側）の変状の起きていない箇所では、40.0N/mm²で、設計基準強度を上回っていた。

(3) 中性化深さ調査

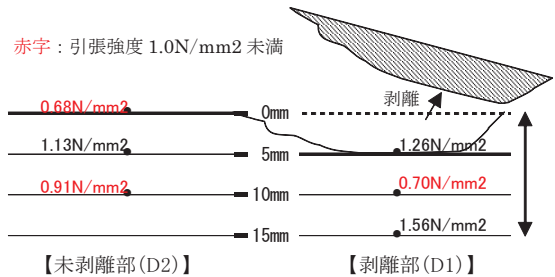
調査地点－1における中性化深さは、底版の未剥離部で1.7mm（中性化残り＝48.3mm）、側壁（右岸側）の変状の起きていない箇所で2.7mm（中性化残り＝51.6mm）であった。

調査地点－2における中性化深さは、底版の未剥離部で1.5mm（中性化残り＝34.8mm）、側壁（右岸側）の変状の起きていない箇所で2.9mm（中性化残り＝73.8mm）であった。

(4) 建研式によるコンクリートの引張強度試験

引張強度試験の結果を図－3に示す。土木学会の基準により、引張強度が1.0N/mm²以上となった面を健全と評価する⁵⁾。未剥離部における表層0mm及び10mmに付着強度の弱い層があって、剥離部における表層から5mm付近にも付着強度の弱い層が見られる。調査箇所周辺の剥離片の厚さが約5mm程度であることから、剥離部の表層は元のコンクリート面から約5mm下がった位置にあると推

定される。このことから、付着強度の弱い層は元のコンクリート面の表層から最大で15mm程度の範囲であることが分かった。



図－3 引張強度試験の結果

(5) 水質調査

水質分析の結果を表－5に示す。遊離炭酸及び硬度については、表－6の評価分類1に該当し、コンクリートに対する水の浸食性はほとんど無いことが分かった。データは水源における冬期の1試料によることから、落水後の用水路底版の溜まり水や積雪についても、今後調査の必要がある。

表－5 水質分析結果

計量項目	分析結果	単位換算 (10 万分率)
遊離炭酸	4.01 mg/l	0.40
硬度(Ca・Mg)	45.0 mg/l	4.50

表－6 自然水の浸食性評価基準

分類	硬度 (CaCO3換算 /100,000)	遊離炭酸ガス (1/100,000)	コンクリートに対する水の浸食性
① 1	>3.5	<1.5	事実上無し
2	>3.5	1.5～4.0	わずか
	0.35～3.5	<1.5	わずか
3	>3.5	4.0～9.0	中程度
	0.35～3.5	1.5～4.0	中程度
	<0.35	<1.5	中程度
4	>3.5	>9.0	大きい
	0.35～3.5	>4.0	大きい
	<0.35	>1.5	大きい

出典) コンクリート診断技術 '07 ④

7. 保全対策の検討

前述の調査結果から、踏査区間の全線が健全度評価のS－3に相当することが分かった（表－3）。すなわち、「変状が顕著に認められるが、劣化の進行を遅らせる補修工事などが適用可能な状態」である。したがって、本施設は補修等の保全対策を講ずる必要があると判断された。

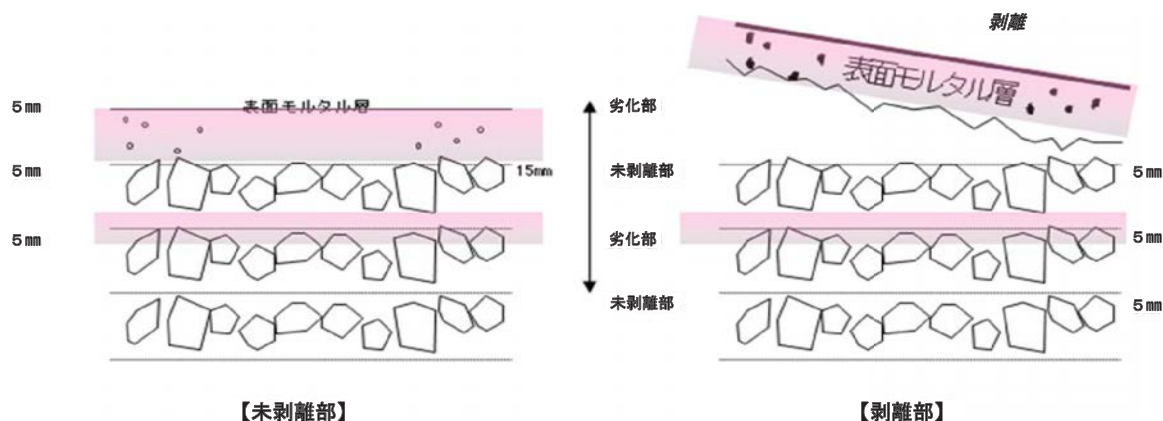
必要な保全対策は、ほぼ全線で見られる底版表層剥離に対するものと、局所的な劣化の激しい調査地点－２に見られる側壁天端剥離に対するものに大別される。

(1) 底版表層剥離に対する対策

調査の結果から、変状の起きている深さは、元のコンクリート面から最大で15mm程度の範囲であることが分かった。したがって現段階では、変状は鉄筋位置まで及んでいない。しかし、現状の剥離層のさらに下層に付着強度の弱い層が確認されていることは、さらに次の剥離層が準備されている可能性を示している。つまり表層剥離は進行性の劣化と推定される（図－４）。

対策としては表面の劣化部分を完全に取り除いたうえで、内部への水の浸入を防ぐことが必要と考えた。工事実績、施工性、耐久性、経済比較等多方面から検討した結果、工法としては、無機系の「韌性モルタル工法」が妥当と考えた（表－７）。韌性モルタル工法は、下地処理後に高韌性繊維補強セメント複合材を吹き付け・塗布する工法である。モルタル1層のシンプルな構造で工期短縮が可能である。施工厚は10mmまたは6mmが標準であるが、15mmも施工可能である。

施工面では、湿潤面でも施工が可能で、プライマーが不要であることや、複雑な形状の水路でも施工が可能であるなどの長所がある。ただし天候や周辺環境により飛散養生の検討が必要である。



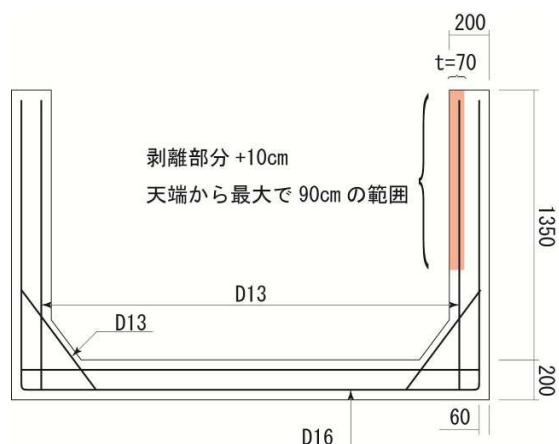
図－４ 底版表層剥離の進行過程（推定）

耐摩耗性は従来のポリマーセメントモルタルよりも格段に高い。また室内実験において、凍結融解に対する抵抗性も確認されている。

(2) 側壁天端剥離に対する対策

調査の結果から、変状の起きている面は、剥離の生じている箇所とその周辺のエフロレッセンスを含んで広範囲に及んでいる事が分かった。また、錆汁を生じていることから、変状は鉄筋位置まで及んでいると推定される。

対策としては、現時点（S－３評価）で、劣化部分を完全に取り除いたうえで、断面修復により施設補強を行なうことが妥当と考えた。劣化部分が側壁内側の鉄筋までの場合は、鉄筋の裏側までをハツリ、鉄筋防錆処理を施したうえでポリマーセメントモルタルによる断面修復（ $t=70$ mm）を施す（図－５）。なお、劣化部分が更に深層に及んでいる場合は、部分打ち替えが必要である。



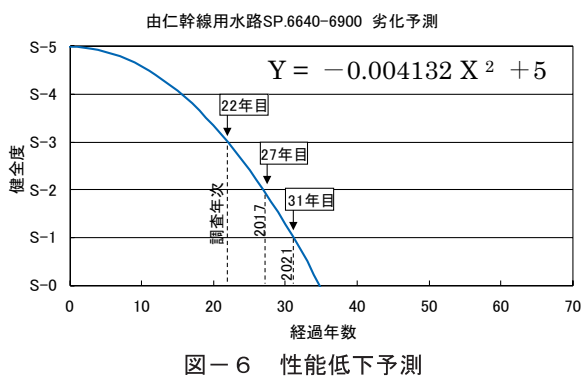
図－５ 側壁天端剥離の断面修復

表－7 対策工法の評価

工 法 名	朝性モルタルライニング工法	エフモル15ライニング工法	TMモルタルハード	スプリードエースアーク	OMライニング工法	エコガード工法	クイックパネル工法	
概 要	無機系	無機系	無機系	無機系	有機系	有機系	パネル系	
	下地処理後、朝性モルタル（高粘性繊維増強セメント集合材）を吹き付け、硬化する工法。モルタル層のみシンブルな構造で工期短縮が可能である。	ひび割れ抵抗性、塩害や凍害などに対する耐久性に優れた補修用ボリマーセメントモルタルを使用する工法である。道床材。	抗磨耗性、接着性及び耐久性に優れたボリマーセメントモルタルを使用する方法である。プライマーと被覆モルタルの2層施工である。	抗磨耗性、接着性及び耐久性に優れたボリマーセメントモルタルは水に触れると固化するためドライ施工とする。	耐摩耗性に優れたボリマーセメントモルタルを使用する工法である。プライマーと被覆モルタルの2層施工である。	無溶剤特殊ボリワレタラ樹脂塗料（ミゼロ）を主体としてプライニング層を形成する。シンクリート面に類似した防水被膜を形成する。水経保護・補修工法である。	柔軟性に富むボリワレタラ樹脂を下塗り（一液型）、上塗り（二液型）の2層に分けて塗布する有機系ライニング工法。	板の表面及び裏面にFRP層、中間部に樹脂モルタル層を配し、サンドイッチ構造に両面プレス成形した既定固定金具で取付け、パネル材を隙間に注入し一体化させる工法。
施工性	・施工厚は10mmまたは6mmが標準であるが、15mmも施工が可能である。	・施工厚については、朝性モルタルライニングとほぼ同様。	・施工厚は5～25mmまで施工可能である。	・TMバグダーハードは水に触れると固化するためドライ施工とする。	・施工厚は15mmも施工可能である。	・施工厚は1～3mm程度で、厚過ぎない。15mmの施工厚であれば、断面修復を行う必要がある。	・ボリワレタラ塗膜厚は2.5mm程度で、厚過ぎるが、断面修復で10mm程度まで調整可能。	・FRP板の板厚は10mmが標準。
	・濡潤面でも施工が可能である。				・ドライ施工を基本とする。	・濡潤面での施工は不可能である。	・濡潤面でも施工が可能である。	・アンカー設置時に内部鉄筋に当り、施工に時間がかかる。またFRP版設置後、モルタル注入を行う必要がある。
耐久性	・プライマーは不要である。				・プライマーとして特殊エポキシ樹脂（アクアハード）を使用する。	・プライマーを必要とするため、工程が複雑になる。	・複雑な形状の水路でも施工が可能。	・複雑な形状の水路では適用が困難。
	・複雑な形状の水路でも施工が可能。				・天候や周辺環境により飛散養生の検討が必要である。	・天候や周辺環境により飛散養生の検討が必要である。	・天候や周辺環境により飛散養生の検討が必要である。有機系のため臭気発生が著しい。	・天候や周辺環境により飛散養生の検討が必要である。有機系のため臭気発生が著しい。
安全性	・耐摩耗性は従来ボリマーモルタルよりも優れている。	・耐久性については、朝性モルタルライニングとほぼ同様。	・抗磨耗性、接着性及び耐久性に優れている。	・抗磨耗性、接着性及び耐久性に優れている。	・凍結融解に対する抵抗性は、現在のところ不明。	・凍結融解に対する抵抗性は、現在のところ不明。	・管内流動において、凍結融解に対する抵抗性についても実証されている。	・本来の耐久性を発揮できるかどうかは、アンカー箇所での母材の耐久性に依存するところが多い。
	・背面からの雨水があっても水ぶくれ等の損傷は生じない。	・有害となるひび割れの発生が極めて少ない。	・背面からの雨水があっても水ぶくれ等の損傷は生じない。	・背面からの雨水があっても水ぶくれ等の損傷は生じない。	・背面からの雨水があっても水ぶくれ等の損傷は生じない。	・路面面と塗面の間の水分を、完全に遮断する工法である。これが長所である反面、中に水分が入り込んだ場合、水ぶくれなどの症状を呈することがある。	・路面面と塗面の間の水分を、完全に遮断する工法である。これが長所である反面、中に水分が入り込んだ場合、水ぶくれなどの症状を呈することがある。	・凍結融解に対する抵抗性は、現在のところ不明。
表面被覆量	16 千円/㎡	13 千円/㎡	19 千円/㎡	17 千円/㎡	13 千円/㎡	16 千円/㎡	14 千円/㎡	
断面修復量	0 千円/㎡	0 千円/㎡	0 千円/㎡	0 千円/㎡	13 千円/㎡	13 千円/㎡	13 千円/㎡	
合計車価	16 千円/㎡	13 千円/㎡	19 千円/㎡	17 千円/㎡	26 千円/㎡	29 千円/㎡	27 千円/㎡	
	・継ぎ目補強されているため、耐摩耗性が従来ボリマーモルタルよりも優れる。	・継ぎ目補強されているため、耐摩耗性が従来ボリマーモルタルよりも優れる。	・凍結融解に対する抵抗性に関する情報がない。現在のところ不明である。	・凍結融解に対する抵抗性に関する情報がない。現在のところ不明である。	・完全なドライ条件とすることが難しい。万一、成分溶出などの被害があった場合に、用水路ではリスクが高い。	・メリット及びデメリットについては、OMライニング工法とほぼ同様。	・ハネルの耐久性・耐摩耗性・耐水性は優れるが、施工目地コーキング部の劣化が懸念される。	
	・工程が特に早く、施工性に優れる。	・道床材であり、経済性の面で朝性モルタルより安価である。	・耐摩耗性に優れる。	・耐摩耗性に優れる。	・用水路での施工実績があるが、小面積にとどまる。	・用水路での施工実績があるが、小面積にとどまる。	・工程が長く、施工性に劣る。	
	・安全性に優れる。	・下地処理の「はつり工」において、ウォータージェットを用いて、朝性モルタルライニング工法と同様の工程を行うことにより、耐久性が向上する。	・現在のところ、用水路での施工実績がみられない。	・現在のところ、用水路での施工実績がみられない。	・必要があり、工事費が高くなる可能性がある。	・必要があり、工事費が高くなる可能性がある。	・劣化した母材の強度を確保するため、断面修復工を併用した場合、工事費が高くなる可能性がある。	

8. 性能低下予測とシナリオ設定

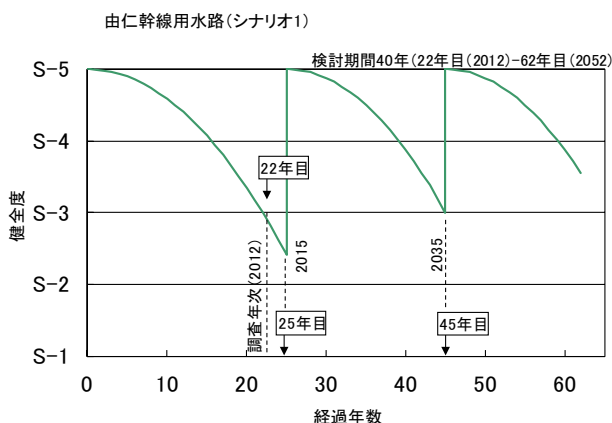
本調査における調査区間の調査年次（2012年）における経過年数は、最も延長の長いSP=6640～6900の22年目と設定すると、単一劣化曲線による劣化予測は図－6のように予測される。27年目の2017年には施設補強の必要なS－2となり、31年目の2021年にはS－1となる。



(1) シナリオ－1

現時点（S－3評価）で施設補修を行なって、長寿命化を図る予防保全的なシナリオである。工法としては、底版の表面被覆工（全線）と側壁の断面修復工（SP6700付近）を選定した（前述参照）。

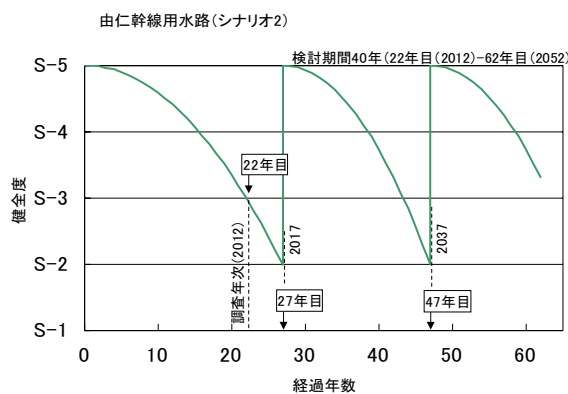
1回目の施設補修を、調査年次（2012年＝22年目）の3年後、すなわち2015年（25年目）と想定する。表面被覆工の耐用年数は20年程度と考えられるので、2回目の施設補修は2035年（45年目）となる。検討期間（40年）のうちに2回の施設補修が計画されることになる（図－7）。



(2) シナリオ－2

劣化が更に進んでS－2評価での施設補強を行なうシナリオである。底版表層剥離がさらに進んで、鉄筋に影響を及ぼし始めた段階を想定する。このため鉄筋の裏側までをハツリ、鉄筋防錆処理を施した上でポリマーセメントモルタルによる断面修復工（ $t=70\text{mm}$ ）を施す計画とする。

1回目の施設補強を、S－2段階となる2017年（27年目）と想定する。断面修復工の耐用年数は20年程度と考えられるので、2回目の施設補修は2037年（47年目）となる。検討期間（40年）のうちに2回の施設補強が計画されることになる。



(3) シナリオ－3

S－1評価となる2021年（31年目）に事後保全的な対策（全面更新）を行なうシナリオである。

9. まとめと今後の課題

底版表層剥離に関しては、変状の起きている深さは、元のコンクリート面から最大で15mm程度の範囲であることが分かった。現段階では、変状は鉄筋位置まで及んでいないが、表層剥離は進行性の劣化と推定された。対策としては表面の劣化部分を完全に取り除いた上で、内部への水の浸入を防ぐことが必要と考えた。工法としては、「韌性モルタル工法」による表面被覆工が妥当と考えた。

側壁天端剥離に関しては、剥離の生じている箇所とその周辺のエフロレッセンスを含んで広範囲に劣化が及んでいることが分かった。錆汁を生じている

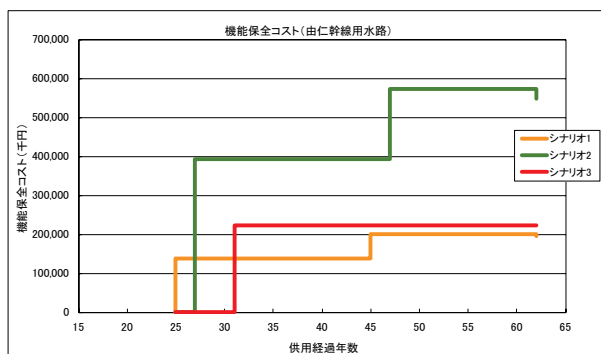
ことから、変状は鉄筋位置まで及んでいると推定される。「ポリマーセメントモルタル」による断面修復工が妥当と考えた。

これらの対策に若干のひび割れ対策などを織り込んだ形で、シナリオ１を設定した。シナリオ１の機能保全コストの合計は、195,525千円となりライフサイクルコストが最小と計算された。このうち初回対策（2015年）の対策費は137,573千円となった（表－８、図－９）。

表－８ 機能保全コスト

年	経過年数	割引係数	機能保全コスト（千円）		
			シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
2015	3	0.88900	137,573		
2017	5	0.82193		393,162	
2021	9	0.70259			223,515
2035	23	0.40573	62,787		
2037	25	0.37512		179,435	
2052	40	0.20829	-4,835	-24,908	
			195,525	547,689	223,515

注）経過年数：調査年次（2012年）＝0年目



図－９ 機能保全コストの比較

現地での観察によれば、今回の調査区間以外でも底版表層剥離は多くの箇所で見られており、側壁天端でのスケーリングが著しい区間もある。これらの問題を路線全体としてトータルに保全しようとした場合、対策費は莫大なものとなることが予測される。したがって今後、対策実施の優先順位を、路線全体で検討しておく必要がある。

底版表層剥離の要因やメカニズムについては、未だ不明な点が多く、今後の課題として残された。しかし、変状箇所の分布や様態から見て、落水後の溜

まり水が底版表層に何らかの影響を与えていることは十分に考えられる。これに従来の凍害が複雑に関係していることが予想される。今後さらなる調査、検討が進められることが望まれる。

側壁天端剥離については、対策として断面修復工を選定しているが、側壁の部材厚が20cmであるため、劣化部分を大きくハツリ取った時に部材の強度が極端に低下する可能性が考えられる。現在のところ変状の深さは、鉄筋かぶり（70mm）分程度と考えているが、施工時の状況から変状が更に進んでいると判断される場合には、部分打ち替えも視野に入れておく必要がある。

本調査の報告にあたり、発表の機会を与えていただきました北海道開発局札幌開発建設部様、並びに資料を提供下さり、現地調査においては多大な便宜をはかって頂きました由仁土地改良区様に深くお礼申し上げます。

（北王コンサルタント㈱）

【引用文献】

- 1) 北海道開発局農業水産部農業計画課・函館開発建設部・旭川開発建設部・独立行政法人土木研究所寒地土木研究所：寒冷地における用水路の劣化と保全－ストックマネジメントの取組み－ 国土交通省北海道開発局第53回（平成21年度）北海道開発技術研究発表会（2009）
- 2) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所：凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）
- 3) 食料・農業・農村政策審議会_農業農村振興整備部会_技術小委員会：農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」（2010）
- 4) 洪悦郎：コンクリートの凍害．コンクリート工学 13, 3. p. 33-44（1975）
- 5) 土木学会コンクリート委員会_表面保護工法研究小委員会：表面保護工法設計施工指針（案）
- 6) 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'07〔基礎編〕（2007）

国営農地再編整備による省力低コスト化の効果検証

伊藤 寛幸

1. 序 論

1.1 課題の背景

今日、北海道の農業は、後継者不足や農業経営者の高齢化の進展、輸入農産物との競争の激化など、農業経営環境が大きく変化しつつある。特に、担い手不足、農地の分散錯雑をはじめ、経年劣化を起因とする排水機能低下による農作物収量の減少など、営農を取り巻く環境も一段と厳しさを増しており、営農環境の改善策として、農業用排水施設の整備、農地の利用集積が希求されている。

こうしたなか、稲作を基幹とする土地利用型農業経営では、規模拡大によって生産にかかる費用の低減を図り、収益を確保することが肝要である。なかでも、ほ場の大区画化による生産性向上に対する期待が大きい。

国営農地再編整備事業「富良野盆地地区」は、既存耕地の再編整備（大区画化）と農地造成（地目変換）を一体的に行なうとともに、農業用の道路や用排水路の整備などが計画実施されており、大型機械による効率的で生産性の高い農業経営を目指している。事業の実施（既存耕地の再編整備（大区画化・地目変換））によって得られる効果は、農用地の利用集積および大型機械の導入によって、事業実施前と比較して、営農時間の短縮および営農経費の節減、すなわち、省力低コスト化が図られる計画となっている。事業計画においても、事業実施によって発現が見込まれている効果のうち、年総効果額に占める営農経費節減効果は過半を占めるにいたっている（表－1）。さらに、水稻作における営農経費節減効果の内容から、大区画化は、他の要因（機械の大型化・排水改良など）と比較して、より多くの栽培作業ステージにおいて節減効果に寄与することが計画

時点で期待されていると確認できる（表－2）。水稻作における営農経費節減効果の要因の多くが、ほ場の大区画化によるものであることから、事業を契機とした経営合理化への期待は大きい。

ほ場の大区画化は、大型農業機械の導入を通じて、効率的なほ場作業を可能とし土地生産性を飛躍的に向上させる効果を有し、効果は便益として計測されている。

一方、国営農地再編整備事業など土地改良事業の採択にあたっては、事業の必要性、効率性、公平性をはじめ、技術的可能性、環境への配慮など、多岐にわたる評価視点が設定されている。特に、事業の効率性については、「すべての効用がそのすべての費用を償うこと」と法定化されている。国営農地再編整備の事業化に資するための新規採択時の評価において、事業効果が便益として計測され事業の効率性としてその有効性が諮られていることから、発現する効用の定量化の重要性は、強く認識されなけ

表－1 年総効果額に占める各効果項目別割合

効果項目	区分	年総効果額に占める割合 %
作物生産効果		31.5
品質向上効果		13.9
営農経費節減効果		50.8
維持管理費節減効果		-1.7
営農に係る走行経費節減効果		0.2
災害防止効果（農業関係資産）		2.4
災害防止効果（一般資産）		0.2
地域用水効果		0.1
一般交通等経費節減効果		0.1
災害防止効果（公共資産）		1.6
景観・環境保全効果		0.9
合計		100.0

注）国営農地再編整備事業「富良野盆地地区」経済効果算定資料を参考に筆者が作成

表－２ 営農経費節減効果における栽培ステージ別節減要因（水稻）

作業名	使用農機具等作業手段	節減要因			
		機械大型化	大区画化	排水改良	農道ターン
融雪促進	スノーモービル用プロートキャスター				
ほ場整備	スコップ、鍬		○		
堆肥散布	フロントロータリー				
	マニュアルスプレッダー		○	○	○
施肥	プロートキャスター	○	○	○	○
	トラック				
耕耘	ロータリーテラー	○	○	○	○
育苗	人力				
代かき	代かき機	○	○	○	○
移植・施肥	田植機	○	○	○	○
	トラック				
除草	人力				
畦畔、用排水路、草刈1	草刈り機		○		
	トラック				
畦畔、用排水路、草刈2	草刈り機		○		
	トラック				
水管理1	人力		○		
水管理2	人力		○		
水管理3	人力		○		
水管理4	人力		○		
病虫害防除1	人力				
病虫害防除2	栽培管理ビークル		○	○	
	トラック				
病虫害防除3	栽培管理ビークル		○	○	
	トラック				
収穫・運搬	コンバイン	○	○	○	○
	トラック				
乾燥・調製	乾燥調製施設				
	トラック				
稲わら収集・運搬	レーキ		○	○	○
	ロールベアラー		○	○	○
	フロントロータリー				
	トラック				
透排水性改善	サフソイラー		○	○	○
	溝切り機		○	○	○

注) 国営農地再編整備事業「富良野盆地地区」経済効果算定資料を参考に筆者が作成

ればならない。

大区画化による作業効率の効用を省力低コスト化として整理すると以下となる。ほ場の大区画化を通じて作業能率が規定される（注１）。耕区長辺長の長いほ場区画は、高い作業能率を実現するための基礎的条件である。ほ場内での機械作業は、基本的に、直線的な進行作業と方向転換のための回転作業で構成される。特に、回転作業が、作業能率に影響を与える。耕耘などほ場内作業において、単位面積作業当たりの回転数が少ないほ場ほど、作業能率は向上する。すなわち、回転せずに作業を続けることができるほ場が、原則的に能率が高い。一方、区画の拡大は、耕作道、用排水路、畦畔の延長および面積を変化させ、作業能率に影響を与える。耕作道、用排水路、畦畔も、区画の面積や形状によって変化するが、耕区長辺長に強く支配される。すなわち、耕区長辺を拡大する方向に区画を拡大・再編すると、耕作道、用排水路、畦畔は一定間隔で廃止される。管理延長等の縮小によって、水管理などほ場を管理する時間が短縮される効果がある。

以上を鑑み、代かき機による代かき、田植え機による移植、コンバインによる収穫および人力による水管理などを中心に、大区画化効果の発現が見込まれる営農経費節減の作業ステージととらえる。

1.2 本研究の目的

前述の課題の背景を踏まえて、本稿では、国営農地再編整備事業「富良野盆地地区」の受益農家を対象に生産にかかるコストに関する聞き取り調査を実施し、生産にかかる費用を推計することによって、事業により発現が期待されている省力低コスト化効果を検証することを目的とする。なお、農業経営の成果は、営農スタイルの差異により一様ではなく、一面的に評価することは困難であり、生産面のみならず、財務・技術など多角的に総合評価される必要がある。農作物の生産技術や将来を見通した経営戦略についての踏み込んだ分析は本稿の課題を超えるため、生産性分析や収益性分析などには立ち入らない。

分析対象作物は、地域の基幹作物であり、減農薬栽培に取り組んでいる水稻とする。地域では、今後もしばらく引き続き消費者のニーズに沿った「売れる米づくり」の推進が図られる。このことから、地域の基幹作物である水稻を分析の対象とすることで、本稿でえた結果は、富良野盆地地区における今後の営農展開に対して、有益な情報提供となりうると考える。

2. 分析対象の概要

富良野盆地地区は、北海道上川管内富良野市および空知郡中富良野町に位置し、富良野盆地の中央部に位置する水田地帯である。本地域の農業は、水稻や小麦、豆類等の土地利用型作物に加えて、収益性の高い野菜を導入した複合経営が展開されている。しかし、本地区の農地は、ほ場区画が狭小で、土壌に起因する排水不良な湿田が多いことから、効率的な機械作業が行えず生産性も低かった。加えて、地区内の農家の経営規模は、中小規模層が多く、離農跡地の継承に伴い農地が分散化しており、効率的な稲作複合経営を展開するうえで大きな支障を来していた。このため、既耕地を再編整備する区画整理と水田の地目変換による農地造成を一体的に施行し、生産性の高い基盤の形成と、土地利用の整序化を通じ、農業経営の合理化と効率的な土地利用を図ることを目的に平成20年度より事業展開されている。事業概要を表－3に示す。



写真－1 中富良野町北星山より富良野盆地を望む

表－3 分析対象地区の概要

項目	内容
関係市町村	北海道富良野市、空知郡中富良野町
地区面積	2,560 ha
受益面積	2,217 ha
主要工事	区画整理 1,943 ha
	農地造成 274 ha
	用水路工 1 条 L= 0.8 km
	排水路工 4 条 L= 3.1 km
	農道 1 条 L= 2.8 km
主要作物	水稻、たまねぎ、大豆、にんじん など
工期	平成20年度～平成30年度（予定）

3. 分析方法とデータ

3.1 分析の枠組み

本稿では、生産にかかるコスト、すなわち「費用」に関する聞き取り調査をもって、事業による省力低コスト化を検証する。分析の仮説として、事業による省力低コスト化への波及を以下に設定する。

- ・事業を契機として、“生産単位が拡大”され、“労働時間の短縮など労働生産性が向上”する。

- ・“生産単位の拡大”は、農機具費や建物費などの固定費を引き下げる。

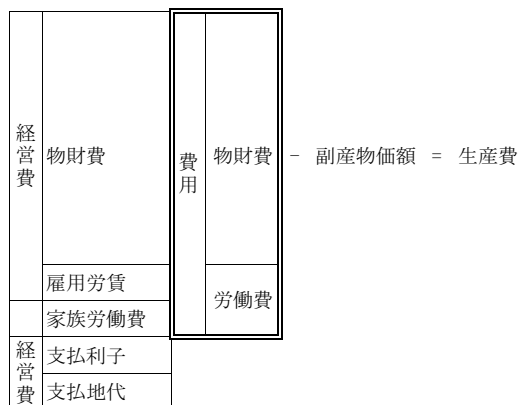
- ・“営農時間の短縮など労働生産性の向上”は、労働にかかる費用の引き下げとして顕在化される。

なお、本稿では生産にかかるコストを「費用」としてとらえる。「費用」のほかに類義語として「経営費」という用語があるが、「経営費」とは、物財費に雇用労賃・支払地代・支払利子を加えたものであり、「費用」とは異なる概念である。

「生産費」の計算単位が、農畜産物1単位の計算

であるのに対して、「経営費」の計算単位は、1会計期間の計算である。また、「生産費」の計算範囲が、農畜産物個々の部門計算であるのに対して、「経営費」の計算範囲は、経営全体の計算である。これらの点が、「生産費」と「経営費」の基本的な概念の相違である。さらに、家族労働の費用化の扱いがある。「生産費」では、家族労働を費用に含めるのに対して、「経営費」では費用に含めない点が最も大きな相違点である。

なお、農林水産統計では、家族労働費を含む労働費と肥料代金などの物財費との和を「費用合計」と称する。「費用合計」から「副産物価額」を差し引いた残余が「生産費（副産物価額差引）」、それに支払利子と支払地代とを加えたものが「支払利子・地代算入生産費」であり、さらに自己資本利子と自作地地代とを加えたものが「資本利子・地代全額算入生産費」（全算入生産費）」である。この点も、本稿でとらえようとしている省力低コスト化の概念との相違である点に留意されたい。「経営費」、「費用」、「生産費」の関係を図－1に示す。



図－1 経営費・費用・生産費の概念整理

以上をふまえたうえで費目等調査事項を整理する。本稿における費用とは、農産物の一定単位量の生産に資する物財費と労働費からなる費用とする。

さらに、本稿では、大区画化による営農時間の節減効果を労働費の節減便益として評価することから、個人経営の家族労働を擬制的に評価する。労働費は、雇用労働費に擬制的に評価する家族労働費を加えたものとする。

3.2 分析対象費目と算定方法

分析対象費目および費目内容は、国営農地再編整備事業「富良野盆地地区」の営農計画を参考とする。費目別内容を表－4に示す。

算定方法は、国営農地再編整備事業「富良野盆地地区」の営農計画の経営収支の試算方法を援用する。機械化体系および資本装備など聞き取り調査ではえられにくいデータについては、事業計画時の諸元値を用い、代表的な機械利用体系などに再設定のうえで推算する。

表－4 費目別内容

区 分	含まれる内容
① 家 族 労 働 費	農産物の生産に投下した家族労働の賃金評価
② 雇 用 労 働 費	雇用労働への支払賃金
③ 種 苗 費	種苗の購入または譲り受け等に要した費用
④ 肥 料 費	化学肥料、有機質肥料の購入費用
⑤ 農 薬 費	殺菌剤、殺虫剤、除草剤等の購入費用
⑥ 光 熱 費	重油、軽油、ガソリン、混合油の購入費用、電気料金
⑦ 資 材 費	育苗箱、米用紙袋等の購入費用
⑧ 建 物 費	納屋、農機具庫などの再調達価額から推計される修繕費
⑨ 農 機 具 費	代かき機、田植機、栽培管理ピークル、コンバイン、溝切り機などの再調達価額から推計される修繕費
⑩ 賃 料 々 金	農協賦課金、農業共済掛金、検査料、水利費、乾燥調整費
⑪ 生 産 物 出 荷 費	出荷に要する経費
⑫ その他諸経費	①から⑩の合計金額の10%を計上

3.3 分析の留意点

生産にかかる費用は、経営全体に係る性格のものであり、単作栽培を除けば、各費目は一体不可分な関係にある。しかし、調査票による費用データの収集結果は、対象作物を限定しているとはいえ、経営全体に係る費目も含まれるので、単作栽培を除けば費用を構成する費目は調査対象作物単体に限定されるものではない。したがって、作物部門共通費は、各部門でどれだけ発生したかを把握することが困難であることから、一定の基準で当該作物部門に配分する必要がある。同一経営体で作付けしている複数の作物に共通な費目は、配賦率によって按分し推計する。費用の調査対象作物への配賦率を以下に示す。

$$\text{時間法による配賦率} = \frac{\text{当該作物の労働時間}}{\text{総労働時間}}$$

$$\text{価額法による配賦率} = \frac{\text{当該作物の粗収益}}{\text{粗収益の総計}}$$

本稿では、労働費および雇用労働費などについては、『時間法』（各作物の生産に要した総時間を基準に間接費発生額を配賦する方法）を採用する。

一方、光熱費などについては、作物生産量と単価を反映させた『価額法』を採用する。

3.4 分析の手順

聞き取り調査で得たデータをもとに、以下の手順で整理・集計する。手順を以下に示す。

- ① 調査票データを費目別に整理する。
- ② 対象作物に限定された費目データは当該作物の費用として計上する。
- ③ 対象作物に限定されない費目データは配賦率によって按分する。
- ④ 集計された費用を作付面積で除して単位面積当たりの費用を算出する。
- ⑤ 対象ほ場を耕作する経営体における、推計された単位面積当たりの費用（整備前のほ場農家の費用と大区画に整備された農家の費用）を比較し、ほ場の大区画化による省力低コスト化を評価する。

3.5 聞き取り調査の概要

（１）調査の趣旨

区画整理によるほ場の大区画化によって発現が見込まれる営農にかかる効果検証を目的に、施工状況を鑑みて地区受益農家のなかから、調査協力が可能な農家のほ場として、整備水準の異なるほ場（整備前のほ場（対照区）および整備後のほ場（試験区））を選定した。特に、試験区のほ場選定にあたっては、事業計画上２タイプの大区画（注２）があることから、本調査にあたっても、事業計画上のタイプに近い大区画ほ場の選定に留意した。選定されたほ場の農家を対象に、生産にかかる費用に関する聞き取り調査を実施した。

（２）調査方法

- ・農家による調査票への直接記入方式とした。
- ・調査票への記入は、データ精度向上を保持しつつ、農家の記入に対する負担軽減に努めた。
- ・調査票の配布・回収は、中富良野町農業センター協力のもと実施した。
- ・調査時期：平成24年８月２週目に調査票を配布し、平成24年11月３週目に回収を終了した。

（３）調査対象ほ場および農家の概要

整備前は１経営体、整備後は２経営体を選定した（注３）。調査対象ほ場および調査対象農家の概要を

表－５ 調査対象の概要

区分		対照区	試験区			
		整備前	大区画Ⅱ-1	大区画Ⅱ-2	大区画Ⅰ-1	大区画Ⅰ-2
調査対象ほ場形状		131.0m×29.6m	128.1m×90.0m	128.1m×90.7m	248.3m×90.3m	258.5m×90.2m
調査対象ほ場本地面積		0.37 ha	1.13 ha	1.15 ha	1.99 ha	2.29 ha
経営体名		A	B		C	
経営形態		個人経営体	法人経営体		個人経営体	
構成戸数		1 戸	2 戸		1 戸	
土地	経営面積	10.3 ha	22.3 ha		21.8 ha	
作付作物	水稲	4.3 ha	2.3 ha		11.9 ha	
	小麦	1.7 ha	7.4 ha		3.7 ha	
	たまねぎ	3.3 ha	12.3 ha		2.1 ha	
	メロン	0.8 ha	- ha		1.7 ha	
	スイートコーン	0.2 ha	0.3 ha		1.2 ha	
労働力	家族労働力	3 人	4 人		4 人	
	雇用労働力	なし	あり		あり	
建物・構造物	農機具庫	230 ㎡	238 ㎡		231 ㎡	
	納屋	106 ㎡	178 ㎡		237 ㎡	
農機具		個人利用	2戸で共同利用		8戸で共同利用	

表－５に示す。

対照区は、0.37haのほ場を有する経営体A、試験区は、大区画Ⅱ（1.13haと1.15haの2タイプ）を有する経営体Bおよび大区画Ⅰ（1.99haと2.29aの2タイプ）を有する経営体Cの3経営体である。経営体Aは、経営面積10.3ha、家族労働力3人の個人経営体である。経営体Bは、経営面積22.3ha、雇用労働力を導入している法人経営体である。経営体Cは、経営面積21.8ha、雇用労働力を導入している個人経営体である。

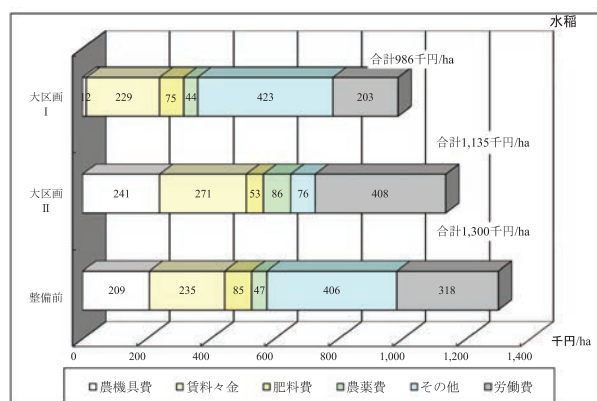
4. 分析結果と考察

分析結果を表－6、図－2および図－3に示し、整備水準別の費用の推計結果を考察する。

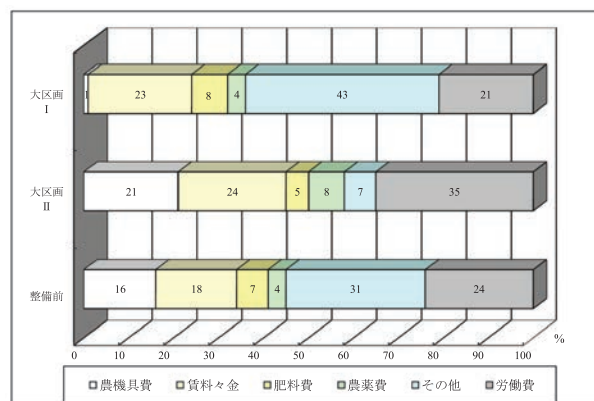
表－6 整備水準別費用推計結果

区 分	水 稻		
	整備前	大区画Ⅱ	大区画Ⅰ
① 家 族 労 働 費	318	396	169
② 雇 用 労 働 費	—	12	34
③ 種 苗 費	11	13	10
④ 肥 料 費	85	53	75
⑤ 農 薬 費	47	86	44
⑥ 光 熱 費	7	3	8
⑦ 資 材 費	322	23	338
⑧ 建 物 費	14	3	6
⑨ 農 機 具 費	209	241	12
⑩ 賃 料 々 金	235	271	229
⑪ 生産物出荷費	2	2	2
⑫ その他諸経費	52	32	58
計	1,300	1,135	986

注) 四捨五入端数処理のため、各費目の合計値と計が必ずしも一致しない点に留意されたい。



図－2 整備水準別費用推計結果（実数）



図－3 整備水準別費用推計結果（割合）

整備前のほ場を有する経営体Aの費用は、約1,300千円/ha、費用の内訳は以下である。その他費用（種苗費、光熱費、資材費、建物費、生産物出荷費、その他諸経費の合計）が全体の31%を占めるほか、労働費が24%、賃料料金が18%を占める。

大区画Ⅱのほ場を有する経営体Bの費用は、約1,135千円/ha、費用の内訳は以下である。労働費が全体の35%を占めるほか、賃料料金が24%、農機具費が21%を占める。労働費が、他の2つの経営体と比較して相対的に高い要因は、経営体Bは、法人経営体のため、本来変動的な性格を有する労働費が、固定的なコストとして明示的に計上されたことによる差と推察される。

大区画Ⅰのほ場を有する経営体Cの費用は、約986千円/ha、費用の内訳は以下である。その他費用（種苗費、光熱費、資材費、建物費、生産物出荷費、その他諸経費の合計）が全体の43%を占めるほか、賃料料金が23%、労働費が21%を占める。農機具費が、他の2経営体と比較して低い要因は、経営体Cは、農機具を8戸で共同利用していることにより戸当りの経費負担が低く抑えられた結果と推察される。

費用を総体でとらえた場合、ほ場区画が拡大された経営体の費用の合計は総じて低下した結果をえた。ただし、調査協力農家は、水稻作を中心とした営農とはいえ、資金および人員などの資源配分の違いが、営農費用および各費目の構成割合の違いとなって顕在化したと推察される。

5. 結 論

本稿では、国営農地再編整備事業「富良野盆地地区」の受益農家を対象に生産にかかる費用に関する聞き取り調査などを実施し、生産にかかる費用を推計することによって、事業により発現が期待されている省力低コスト化効果を検証することを目的とした。事業効果の検証結果を以下にまとめる。

- ・事業を契機として生産基盤を整備した経営規模の大きな経営体では、整備前のほ場を有する経営体と比較して、省力低コスト化が図られ、営農経費の節減効果が得られた。
- ・営農経費の節減効果は、1割から2割程度の削減率を得た。

なお、本稿に用いたデータは、限定された農家を対象とした平成24年単年度の調査結果に基づく分析である点に留意されたい。本稿で得た知見が、本事業においてどの程度一般性を持つかなどさらなる検証を必要とする。今後は、追加的な調査によって可能な限り豊富なサンプル数を確保し、頑健性の高い推定によって国営農地再編整備による省力低コスト化の実証が望まれる。

謝 辞

本稿は、北海道開発局旭川開発建設部富良野地域農業開発事務所による検討業務の一部をとりまとめたものです。本報文の投稿にあたり多大なご理解とご協力を頂戴しました北海道開発局旭川開発建設部富良野地域農業開発事務所の担当者の方々へ深く感謝申し上げます。

また、中富良野町農業センターの多大なるご協力により、聞き取り調査および現地調査を含む検討業務を無事遂行することができました。調査協力農家への連絡や諸データの迅速なご提供など、懇切丁寧に対応していただきました中富良野町農業センターの役職員の皆様へ心より感謝の意を表します。

最後に、今回、投稿の機会を与えていただきまし

た北海道土地改良設計技術協会へも深く御礼申し上げます。

(株)ルーラルエンジニア

注1) 有田(2000)などが詳しい。

注2) 事業計画上の水田耕区の大区画計画値は、付表に示す2タイプである。

注3) 本業務では、費用に関する本調査のほかに、大区画化による営農時間節減効果の検証調査も同時に実施しており、整備前については、対照区として1経営体の1ほ場、整備後については、試験区として2経営体各2ほ場をその調査対象ほ場として選定している。

付表 事業計画上のほ場タイプ

地目	タイプ	形状		面積
		長辺	短辺	
田	大区画Ⅰ	258m	× 89m	2.3ha
	大区画Ⅱ	172m	× 89m	1.5ha

引用参考文献

- [1] 有田博之(2000)「構造政策に対応した圃場区画の大規模化」『農業土木学会誌』68(11), pp. 79-85.
- [2] 長谷川和彦・武下和幸・福田学(2011)「農地再編整備事業における効果発現に関する調査手法の紹介」『農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集』60, pp. 2-7.
- [3] 中村英人・佐藤清美・上原智昭(2009)「国営農地再編整備事業「富良野盆地地区」における農地整備手法―地元調整状況および施工方法の検討」『農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集』58, pp. 80-83.
- [4] 武下和幸・長谷川和彦・野中一瞳(2013)「農地再編整備事業「富良野盆地地区」の事業実施による効果検証について」『農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集』62, pp. 30-35.

報 文 集 第26号

平成26年 9 月30日

編 集 (一社)北海道土地改良設計技術協会

広報委員会 明田川洪志・林 嘉章・福田 正信
松崎 吉昭・館野 健悦・古田 彰
山岸 晴見・源 秀夫・平山ちぐさ

発 行 (一社)北海道土地改良設計技術協会

〒060-0807 札幌市北区北 7 条西 6 丁目NDビル 8 階
電 話 (011)726-6038 F A X (011)717-6111

印刷 (株)三誠社 電話 (011)622-9211



●表紙写真●

第28回「豊かな農村づくり」写真展
北の農村フォトコンテスト応募作品

「丘の芋拾い」

ー美瑛町ー

斉藤 宏和 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association