

水と土

No. 161
2010
November

Japanese Association for
the Study of Irrigation,
Drainage and Reclamation
Engineering



① 1号水路橋（上流側）



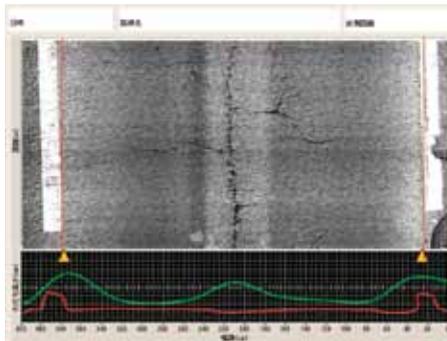
② 伊江地下ダムボーリングコア



④ 犬山頭首工右岸魚道（舟通し型）



③ 反転均平工法作業状況



⑤ ひび割れ率及びびわだち掘れ量（横断凹凸量）測定結果映像



⑥ 関田円型分水工

水と土

Contents

2010 NOVEMBER No.161

◆報文内容紹介 3

◆会員向けに「水と土」のWeb検索サービスについて 5

□巻頭文

現場力で国際協力 — バングラデシュで技術移転を考える — 山田耕士 8

□報文

キーワード

機能診断 寒冷地におけるコンクリート水路橋の補修工法の検討 田中和浩・古本麻衣子 10

環境配慮 カワシンジュガイに配慮した水路設計について 鈴木昭和 16

節水かんがい 茶株面温度により散水量を変える節水型防霜かんがい方式の検討事例 吉村博人 22

トンネル 土砂トンネルの安全性に関する実証調査及び解析 松田貢一・長嶋秀昭・上見謙太 27

コスト縮減 反転均平工法におけるコスト縮減と適合性検証 平山敏幸・田中 望 35

地下ダム 伊江地下ダム建設工事に係る新技術への取り組み 大橋 巧 42

魚道 設計指針「頭首工の魚道」の改定に向けて 上畑信彦 47

機能診断 農業用パイプラインにおける漏水箇所特定手法の検討 門脇一生 51

環境用水 農業水利施設と環境用水 河田直美・松本真樹 56

環境配慮 吉井川二期地区の「環境配慮計画」の策定にあたって 谷 昌史・福島正人 62

路面踏査 鹿児島県の広域農道における路面調査について 上屋昭人 67

住民参加 地域住民参加による鳥獣害防止施設の整備について 川口 裕・前田和徳 75

□歴史的土壌改良施設

七滝用水と水源涵養保安林「緑のダム」の歴史 藤岡義博 79

□技術情報紹介

カドミウム汚染農地対策への電気修復法の適用に関する展望 久保田富次郎・塩濱圭治・三重野俊彦 87

◆会告 90

◆入会案内 91

◆投稿規定 93

- 表紙写真●
- ① 報文「寒冷地におけるコンクリート水路橋の補修工法の検討」より (P.14)
 - ② 報文「伊江地下ダム建設工事に係る新技術への取り組み」より (P.45)
 - ③ 報文「反転均平工法におけるコスト縮減と適合性検証」より (P.36)
 - ④ 報文「設計指針「頭首工の魚道」の改定に向けて」より (P.47)
 - ⑤ 報文「鹿児島県の広域農道における路面調査について」より (P.71)
 - ⑥ 報文「七滝用水と水源涵養保安林「緑のダム」の歴史」より (P.84)

水と土 第161号 報文内容紹介

寒冷地におけるコンクリート水路橋の補修工法の検討

田中和浩・古本麻衣子

国営かんがい排水事業北檜山左岸地区は、昭和41～55年に実施された地区であり、その後利別川地区で改修された地区である。頭首工・用水路・排水路・揚水機場・排水機場と各水利施設が整備されているが、施設の老朽化に加え、北海道特有の寒冷環境下に特にコンクリート開水路は影響を受けている。

本報では、寒冷環境下においてのコンクリート開水路の再補修技術の有効性を検証・開発する目的でコンクリート水路橋において試験施工を実施し、その後のモニタリング調査経過について報告するものである。

(水と土 第161号 2010 P.10 設・施)

カワシンジュガイに配慮した水路設計について

鈴木昭和

中山間地域総合整備事業による農業用水路の改修にあたり、希少種である「カワシンジュガイ」に配慮した水路設計を行った事例紹介である。

現場の状況に対応して適切な設計の見直しを行い、更に地域住民の環境に対する意識の向上を図った。

(水と土 第161号 2010 P.16 設・施)

茶株面温度により散水量を変える節水型防霜かんがい方式の検討事例

吉村博人

鹿児島県曽於地域では、2006年度に「曽於地域における間断散水による茶の防霜かんがい諸元策定」を行った。現在、防霜かんがいは県営畑地帯総合整備事業等により曽於地域を始め、県内各地で間断散水方式により実施されている。

本稿は、間断散水の諸元で2℃～-5.6℃を一律としていた散水量について、温度設定を数通りに区分することにより、さらに散水量の低減を図る「節水型防霜かんがい方式」について検討を行ったものである。

(水と土 第161号 2010 P.22 設・施)

土砂トンネルの安全性に関する実証調査及び解析

松田貢一・長嶋秀昭・上見謙太

造成後60年以上経過している水路施設は、欠損等の老朽化が著しく、水路トンネルの覆工にクラックが連続している所では、補強が必要と判断している。また、施設周辺は混住化が進行する一方、トンネル地表部の陥没事故が頻発している。このため、地表陥没の原因究明と対策検討を行うとともに老朽化トンネルの応力状態を的確に判断できる破壊解析等によりトンネルの力学的安全性を評価した事例について報告する。

(水と土 第161号 2010 P.27 設・施)

反転均平工法におけるコスト縮減と適合性検証

平山敏幸・田中 望

本調査地区はH16年度から経営体育成基盤整備事業を実施しており、その中で試験的に反転均平工法を導入している。反転均平工法が本県の重粘土にも適合するかどうか、従来工法との比較からコスト縮減、稲の生育・収量、地耐力等の項目により検証した内容を紹介するもの。

(水と土 第161号 2010 P.35 設・施)

伊江地下ダム建設工事に係る新技術への取り組み

大橋 巧

沖縄総合事務局伊江農業水利事業所で建設されている地下ダムの工事における、空洞、玉石の存在などの特殊の課題に対応するための新技術（止水壁建設施工の大口径化）を紹介し、その取り組みと成果の報告を行う。

(水と土 第161号 2010 P.42 設・施)

設計指針「頭首工の魚道」の改定に向けて

上畑信彦

環境配慮の考え方の導入を踏まえた、魚道の新築・改修や維持管理に係る実績と魚道に関する新たな技術的な知見や研究成果をもとに、よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針の改定作業状況の報告を行う。

(水と土 第161号 2010 P.47 設・施)

農業用パイプラインにおける漏水箇所特定手法の検討

門脇一生

国営南紀用水地区土地改良事業により造成された、熊岡支線用水路は、熊岡揚水機場からファームポンドへ送水する高圧パイプラインであり、同用水路2号支線において漏水が認められた。農業用パイプラインでの漏水箇所特定調査の実績が少ないため、相関法、AE法、音聴法により調査を行い、調査条件（計測距離、圧力、流れの有無等）を変えることにより他地区で調査手法の有効性について検証、評価することとし、漏水箇所特定調査を行った。

(水と土 第161号 2010 P.51 企・計)

農業水利施設と環境用水

河田直美・松本真樹

景観や生態系の保全に対する国民の意識が高まりつつある中、水田や農業用の水路と一体となって水性動植物を育てている農業用の水路におけるいわゆる「環境用水」の重要性が増してきている。本稿は、平成21年に農林水産省から公表された「農業水利施設を利用した環境用水の水利権取得に関する手引き」の概要を紹介するとともに現在抱えている課題などについてまとめたものである。

(水と土 第161号 2010 P.56 企・計)

吉井川二期地区の「環境配慮計画」の策定にあたって

谷 昌史・福島正人

吉井川二期地区では、農村環境の広域的な保全に向け、本受益全体を対象に、当地区の豊かで多様な資源（生態系、景観、歴史・文化など）を再評価し、農業者のみでなく、地域全員でその内容を共有・活用することにより、農村環境（二次的自然）、農業施設などの地域財産を「守りはぐくむ」取り組みを進め、農業生産基盤整備と併せた田園環境の再生・創造に取組み、農村環境の広域的な保全と特徴を生かした地域作りを推進することを理念とした環境配慮計画の取りまとめを行っているところである。

本報では、ソフト活動を重点とした環境配慮計画の取りまとめにあたっての検討の進め方などのポイントを地区事例を交えて紹介する。

(水と土 第161号 2010 P.62 企・計)

鹿児島県の広域農道における路面調査について

上屋昭人

鹿児島県は昭和40年代始めから1,253億円の事業費を投じ14路線、約340kmの広域農道を整備している。広域農道は本県の農業の発展に貢献しているところではあるが、経年劣化等により損傷が見受けられ、安全な通行に支障をきたすおそれがある。

そこで本県は農道保全対策事業を活用し広域農道の路面点検や橋梁点検を行い、計画的な農道保全対策を行う計画である。今回はその中の広域農道の路面点検について報告する。

(水と土 第161号 2010 P.67 企・計)

地域住民参加による鳥獣害防止施設の整備について

川口 裕・前田和徳

鳥獣害防止施設は邑智西部区域特定中山間保全整備事業において整備する農用地整備の付帯工事として計画された。また、その整備にあたっては、事業コスト縮減と整備施設への愛着心醸成のため、住民直営施工による工事実施を実施し、施工した団地の施工後について調査した内容を報告する。

(水と土 第161号 2010 P.75 設・施)

<歴史的土壌改良施設>

七滝用水と水源涵養保安林「緑のダム」の歴史

藤岡義博

七滝土壌改良区は、秋田県大仙市大曲・仙北、美郷町を区域としている。慶安時代、濁尻沼築造から七滝用水が始まり、水源涵養保安林を抱える全国でも珍しい改良区である。この先人達が築いてきた七滝用水と水源涵養保安林の歴史について紹介する。

(水と土 第161号 2010 P.79)

会員向けに「水と土」のWeb検索サービスについて

1. Web 検索サービスの開始

農業土木技術研究会の会員サービスの一環として、平成20年6月よりWeb上で「水と土」の検索サービスを行っております。平成22年3月現在、第1号（昭和45年）から第152号までの各号を検索・閲覧することができます。

2. アクセス

全国農村振興技術連盟のホームページ（<http://www.n-renmei.jp/>）の「水と土」のコーナーから、もしくは直接、検索サービスページ（<http://mizutotuti.jp/>）を開いて下さい（図-1）。

以下のトップ画面の「ログイン」をクリックし、ユーザー名（U）及びパスワード（P）を入力（図-2）して「OK」をクリックすれば、検索画面（図-3）が立ち上がります。

なお、パスワード等は、不定期に変更する場合がありますので、入力する際は最新号をご覧下さい。

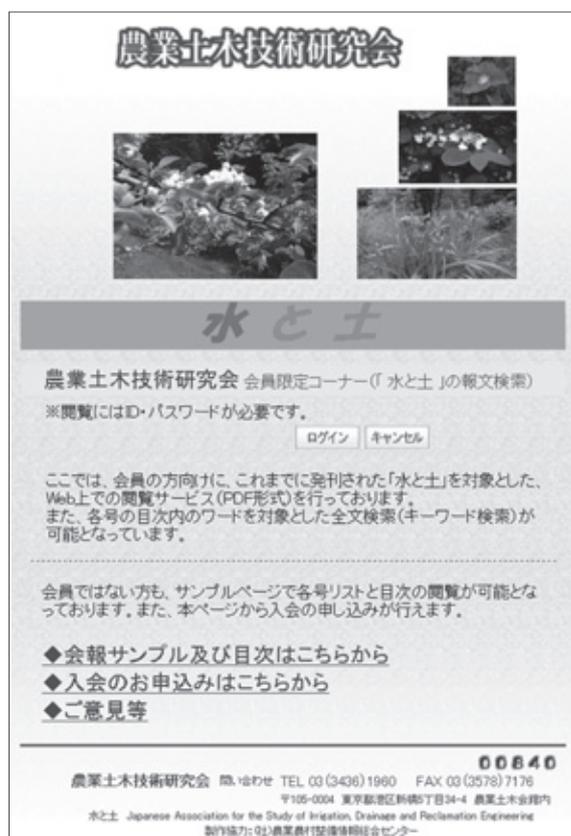


図-1



図-2

水と土

ご覧になるには、アドビシステムズ社が配布しているAdobe Readerが必要です（無償）
 Adobe Readerをインストールすることにより、PDFファイルの閲覧などが可能になります。



年	図書名	項数	PDF(Mb)	目次内検索
平成18年	水と土 第144号	120	14.9	目次
平成17年	水と土 第143号	84	12.9	目次
<hr style="border-top: 1px dashed #000;"/>				
昭和45年	水と土 第2号	68	6.69	目次
昭和45年	水と土 第1号	80	6.41	目次

[▲ページTOP▲](#)

農業土木技術研究会 問い合わせ TEL 03(3436)1960 FAX 03(3578)7176
 〒105-0004 東京都港区新橋5丁目34-4 農業土木会館内
 水と土 Japanese Association for the Study of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering
 製作協力: (社)農業農村整備情報総合センター

図-3

3. 検索

(1)一覧からの選択

一覧の「図書名」をクリックすると当該号が全てPDFファイルで表示されます。
 また、「目次」をクリックすると、当該号の目次が表示されます。

(2)全文検索

目次内検索をクリックすると「目次内全文検索」の画面が立ち上がります（図-4）。

ここでは、全文検索機能を使い、各号「水と土」の目次内にあるキーワードを手がかりに、自分が探したい報文などの抽出を行います。

検索方法は以下のとおりです。

農業土木技術研究会 会員限定コーナー

「水と土」目次内全文検索システム

現在、144 の文書がインデックス化され、6,347 個のキーワードが登録されています。

インデックスの最終更新日: 2007-11-22

検索式: [\[検索方法\]](#)

表示件数: 表示形式: ソート:

図-4

①単一単語検索

調べたい単語を一つ指定するだけのもっとも基本的な検索手法です。

例：ダム

②AND検索

ある単語とある単語の両方を含む文書を検索します。検索結果を絞り込むのに有効です。3つ以上の単語を指定することも可能です。単語と単語の間に and を挿入します。

例：ダム and 工法

andは省略できます。単語を空白で区切って羅列するとそれらの語すべてを含む文書をAND検索します。

③OR検索

ある単語とある単語のどちらかを含む文書を検索します。3つ以上の単語を指定することも可能です。単語と単語の間に or を挿入します。

例：ダム or 工法

④NOT検索

ある単語を含み、ある単語を含まない文書を検索します。3つ以上の単語を指定することも可能です。単語と単語の間に not を挿入します。

例：ダム not 工法

4. 会員申し込み

トップページの「[入会の申し込みはこちらから](#)」をクリックすると入会案内・手続きのページが表示されます。

ここでは、入会申し込みフォームを使ってWeb上での入会申し込みが出来るほか、FAX・郵便の申込用紙をダウンロードすることが出来ます（PDFファイル）。

農業土木技術研究会 入会申込み

年会費・発行等

- 年会費2,300円/1人
- 会誌「水と土」年間4回発行(年度:4~3月)
- 「水と土」バックナンバー閲覧(検索システム)

申込み

農業土木技術研究会への入会申込みは、以下のいずれかの方法でお申込みください

入会申し込みフォームにて [申込みフォーム](#)

FAX・郵便にて (PDF) [FAX・郵便](#)

各職場に研究会連絡員等がおられる場合は、連絡員を通してお申込みください

PDF形式のファイルをご覧になるには、アドビシステムズ社が配布しているAdobe Readerが必要です
(無償)Adobe Readerをインストールすることにより、PDFファイルの閲覧などが可能になります

[Get ADOBE® READER®](#)

連絡先・申込み先

農業土木技術研究会 TEL 03(3436)1960 FAX 03(3578)7176
〒105-0004 東京都港区新橋5丁目34-4 農業土木会館内

図-5

現場力で国際協力 — バングラデシュで技術移転を考える —

山田 耕士*
(Koji YAMADA)

2年間JICA専門家としてバングラデシュへ赴任する機会を得た。我が国の援助で設立された農村開発技術センター（地方行政・農村開発・協同組合省，地方行政技術局）において，職員の技術力強化，特に農村道路整備に関する技術力を強化する技術協力プロジェクトを担当した。農村開発技術センターはバングラデシュ版土地改良技術事務所ともいうべきものだ。

プロジェクトが目指しているのは，自前で諸基準類の整備を行い，これらの基準類を用いて自ら農村インフラ整備を進めていくための技術力の強化である。実際には，派遣先である地方行政技術局（以下LGEDという）においては，米国や北欧諸国の援助によりすでに道路及び道路構造物に係る設計基準が整備され，さらに更新も行われている。もちろん，これらの基準類はASSHTO，ASTM等の米国製基準に準拠して作成されており，記載内容に誤りがあるわけではない。しかしながら，諸基準類の更新のほとんどを，これまで資金面，技術面ともに外国援助に頼っている。農村開発技術センターの自立発展性の確保が課題となっている。

ご承知のとおりバングラデシュは洪水の国だ。筆者が着任した2007年，バングラデシュでは10年に一度の大洪水に見舞われた。LGEDが維持管理する農村道路の約15%が被災，特にガンジス川氾濫域のS県では，同じくLGEDが維持管理する農村道路の約8割が被災する結果となった。毎年のように被災し，改築及び補修を繰り返す箇所が多いため，LGED幹部としては，何とかこうした悪循環を断ち切りたいという思いが強い。

ところで，バングラデシュにおいて農村道路はどのような役割を持っているのであろうか。バングラデシュはガンジス川の最下流に位置する。面積は我が国の約4割，そこに約1億4千万人が生活している。毎年雨季にはガンジス川やその支流が氾濫し，国土の2割が水没する。場所によっては，水没は半年あまり続く。バングラデシュの河川は洪水のたびにその流路を変える一方，小高い自然堤防を生み出し，そこを生活の場として提供する。洪水時にはこの自然堤防は海に浮かぶ小島のような。そして盛土の農村道路はこれらの自然堤防を結ぶ橋の役割を果たす。洪水時の農村道路は，生活物資の運搬を確保し，その路肩が避難場所にもなる，いわば地域住民の生命線である。だからこそ，道路の品質に対する住民の不満も大きいものがある。

それでは，これまでの基準類はなぜ農村インフラの品質向上に結びついてこなかったのか。そこにはバングラデシュ特有の事情がいくつか存在する。

第一の問題は材料，特にコンクリートの供給問題だ。バングラデシュの農村部には生コンの供給体制はない。コンクリートは基本的には現場練りとなる。セメントも非常に高価である。さらに粗骨材については，地域がガンジス川最下流部に位置し，河川堆積物の大部分が細砂及びシルトであるため，レンガチップに頼らなければならない状況である。もちろん既製品のコンクリートブロックなどない。

次の問題は施工技術だ。農村インフラ整備の現場にある機材と言えば，ロードローラー，基礎杭削孔用機材で櫓，ウインチ，打撃式ドリル等を組み合わせた簡素なもの，コンクリートを現場練りするためのミキサー，それくらいである。つまり現場では人力施工が主体であって，機械化されているものもそのレベルは低いのだ。作業員の熟練度も低い。さらに，地盤調査のためのボーリングも標準貫入試験も未熟練作業員の手による。精度は非常に低い。

さらに官側における設計・施工管理作業の極度な簡素化の問題がある。農村インフラ整備の現場では，援助国との関係もあり，事業執行率が非常に重視される。このため，設計は作業の効率性の観点から標準設計に頼りがちとなる。しかしながら，標準設計の適用条件が不明確であり，各現場で適切に運用されているかどうか懸念される。また，施工管理試験も非常に簡素化されているため，施工不良を発見しにくい。

農村インフラの質の向上を図っていくためには，こうした数々の問題をカウンターパートと共有し一つずつ解決

* (現)関東農政局長野農政事務所長
(前)関東農政局農村計画部長

しながら、その結果を基準類に反映していかなければならない。すでに本プロジェクトにおいていくつかの課題についての成果もでていますが、ここではそれは論じない。一方、協力期間4年間のプロジェクトの中で、品質向上のために山積する課題をすべて解決することは困難である。ではどうするのか。

もちろん、個々の技術の移転も大切なことではある。それ以上に大切なことは、月並みな言い方ではあるが、現場をよく観察し、問題点を抽出、分析し、解決策を見いだすという問題解決力を育てること、すなわち、カウンターパートとともに問題を考え、問題解決のプロセスを共有する、このことが大変重要である。

筆者がバングラデシュに赴任する直前、海外勤務経験を有する諸先輩方からお話を伺う機会を得た。その中で、海外技術協力といってもそこには特別な技術が必要ではなく、これまで国内で取り組んできた仕事と同様に取り組んでほしい旨の話をいただいた。我々が普段から現場で行っている様々な問題解決の取組こそが、移転すべき技術の核心であると考えている。

2008年上半期に起こった国際的な穀物価格の高騰の中では、バングラデシュにおいても前年の洪水とサイクロン被害により穀物の需給が逼迫し、価格が高騰、隣国インドが穀物の輸出規制に踏み切るなかで、必要な食料の確保が喫緊の課題となった。バングラデシュに限らず、今多くの途上国において農業・農村整備分野における技術協力を含む援助要請の声は高まっているものと思われる。国際社会における我が国の経済的な地位は、中国など新興国の台頭で相対的に低下しつつあるが、国際社会の一員としてその存在感を高めていくために、途上国に対する支援を続けていくことは大変重要である。

途上国での生活は確かに厳しいものもある。それだけに成果を達成したときの喜びも大きい。そして、農業土木技術研究会の会員諸氏にはその喜びを味わう十分な資格と能力がある。海外技術協力経験者として、協力の輪が広がることを願っている。

寒冷地におけるコンクリート水路橋の補修工法の検討

田 中 和 浩* 古 本 麻 衣 子*
(Kazuhiro TANAKA) (Maiko FURUMOTO)

目 次

1. はじめに	10	6. 試験施工	13
2. 地区の概要	10	7. 補修工法のモニタリング計画	14
3. 試験施工箇所	10	8. モニタリング調査経過	14
4. 表面被覆材の劣化要因	11	9. おわりに	15
5. 補修工法の検討	11		

1. はじめに

開水路は寒冷気象の影響を直接的に受ける施設構造であることから、北海道特有の寒冷環境に適応しつつ、維持管理面を踏まえた補修・補強技術の確立が望まれている。

本報では、国営かんがい排水事業北檜山左岸地区（以下、「北檜山左岸地区」という）で造成された後、国営かんがい排水事業利別川地区（以下、「利別川地区」という）で表面被覆工による改修が行われたコンクリート水路橋において、再補修技術の有効性を検証することを目的として、平成21年度に試験施工を実施したので、モニタリング調査経過とともに報告するものである。

2. 地区の概要

北海道の南西部に位置する本地区は1,920ha（水田1,749ha、畑171ha）の面積を有し、夏季の温暖な気候により水稻耕作に好適な道南有数の米作地帯となっている。

昭和41年～55年度に北檜山左岸地区として、頭首工1箇所、用水路2条、排水路1条、排水機場1箇所が整備され、平成7年～平成18年度には利別川地区として、頭首工4箇所、揚水機場1箇所、用水路5条の整備が行われている。

3. 試験施工箇所

今回、試験施工を行った箇所は瀬棚郡今金町内（図-1）で、北檜山左岸地区で建設された第1幹線用水路

の1号水路橋及び3号水路橋である。1号水路橋は老朽化のため、平成12年度に表面被覆工による改修が行われている（表-1）。

水路橋では、底版における表面被覆材の剥離や側壁の磨耗が顕著であった（写真-1）。



図-1 試験施工箇所

表-1 水路橋現況諸元

	1号水路橋	3号水路橋
形 式	RC-U型	RC-BOX型
構 造	1スパン鋼桁支持	2スパン単純梁
スパン	9.15m	S=23.55+20.15m
断面形	B2.25m×H1.57m	B1.85m×H1.49m
表面被覆	ガラスクロスライニング*	エポキシ樹脂塗装
整備地区 【整備年度】 (経過年)	利別川地区 【平成12年度】 (10年)	北檜山左岸地区 【昭和55年度以前】 (30年以上)

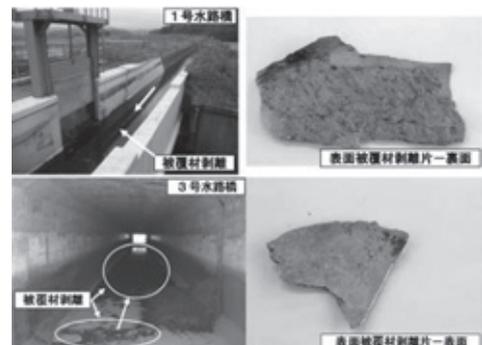


写真-1 剥離・磨耗の劣化

*北海道開発局函館開発建設部農業開発課
(Tel. 0138-42-7652)

4. 表面被覆材の劣化要因

水路橋の表面被覆材の劣化要因を検証するため、近接目視調査の他、表-2に示す試験を行った。

その結果、1号水路橋の側壁では、超音波伝播速度が一般的な基準値3,500~4,000m/sを下回り、底版では圧縮強度が設計基準強度21.0N/mm²を下回るなど、母材組織の脆弱化と剥離が進行していることが確認されており、水路橋の現在の環境面から、滞水と湿潤化による凍害が劣化の要因であると推測される。

一方、3号水路橋では、側壁及び底版とも、圧縮強度、超音波伝播速度は基準値を上回っており、母材組織の脆弱化はあまり進行していないが、水路橋に大きなたわみが発生していることが確認され、このことが母材のひび割れや被覆材の剥離に影響を与えているものと考えられる(図-2、表-3)。

表-2 母材コンクリートと被覆工の試験結果

名称	単位	1号水路橋		3号水路橋	
		側壁	底版	側壁	底版
圧縮強度	N/mm ²	24.2	17.7	33.9	27.2
付着強度	N/mm ²	1.54	0.63	2.09	3.07
中性化深	mm	8	—	2	4
超音波伝播速度	m/s	3000	—	4000	4200

1) 圧縮強度試験はシュミットツマ、付着試験は建研式である。
2) 1号水路橋の「—」は、脆弱により測定不能を表すが、はつり試験により凍害深さを確認した。

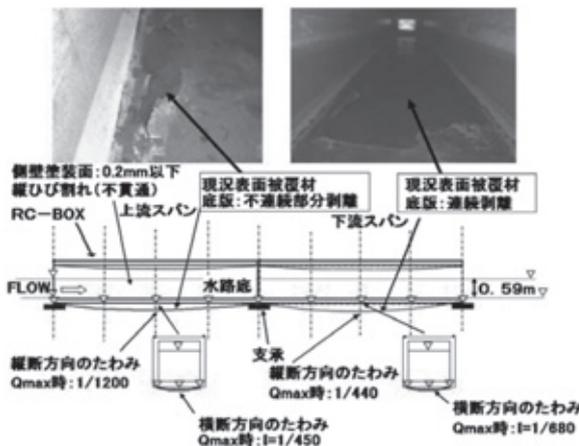


図-2 3号水路橋のたわみと剥離の関係

表-3 桁(側壁)と床(底版)のたわみ(Qmax時)

スパン区分	上流スパン		下流スパン	
	桁: 縦断	床: 横断	桁: 縦断	床: 横断
たわみ	1/1200	1/450	1/440	1/680

これらの調査結果を踏まえ、水路橋の補修工法の検討に向けて、表面被覆材の劣化メカニズムの解明を行った結果(図-3、図-4)、①寒気や風道による乾

燥収縮、②滞水による冷却、結水、凍結融解、③水重及び積雪による加重など、複合的な因子が水路橋の上下面及び内外面に繰り返し作用していることが表面被覆材の剥離の要因であることが示唆された¹⁾。

特にボックス構造である3号水路橋は、河川沿いの風道により水路橋の上下面から寒気が強く作用することから、底版と側壁の外側から数多くの乾燥収縮ひび割れが見られる。このひび割れが進行していくことにより、たわみが増大し、被覆材が追従できなくなって底版部の表面剥離が拡大したものと考えられる。

1号水路橋 母材の脆弱化・剥離の関係

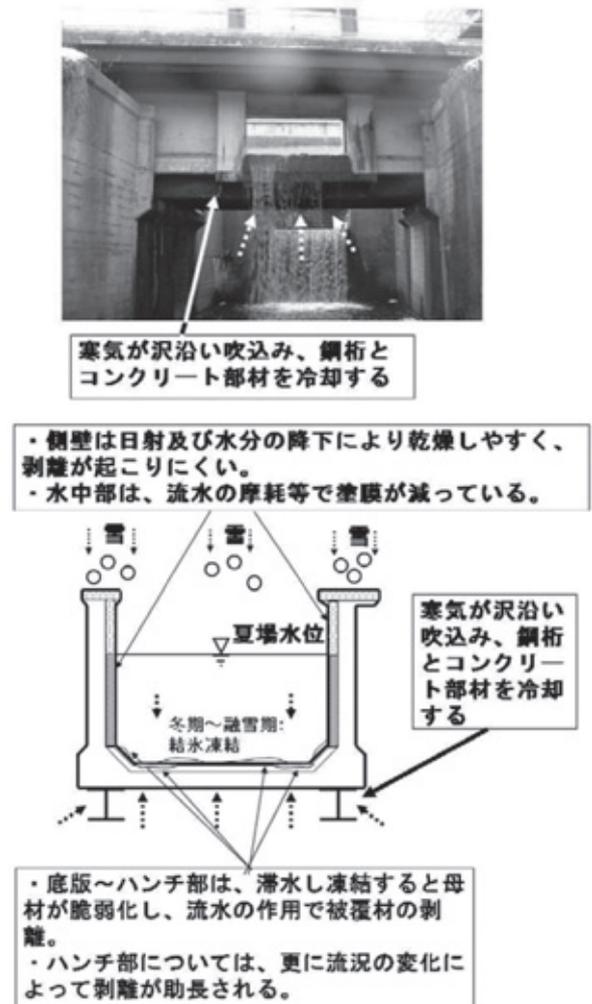


図-3 水路橋劣化のメカニズム(1号水路橋)

5. 補修工法の検討

1号及び3号水路橋の劣化要因を踏まえ、①側壁は比較的劣化が軽度であるため、現況の被覆材を有効利用できること、②底版は劣化が重度なため、脆弱部を撤去し根本的な改善を図ること、を基本方針として、再補修の観点から長寿命化や、維持管理の容易さを考慮し、側壁と底版の耐久性性能がほぼ一致した工法を選定することとした。

各部の側壁、底版における補修工法選定の考え方は以下のとおり（表-4、図-5）。

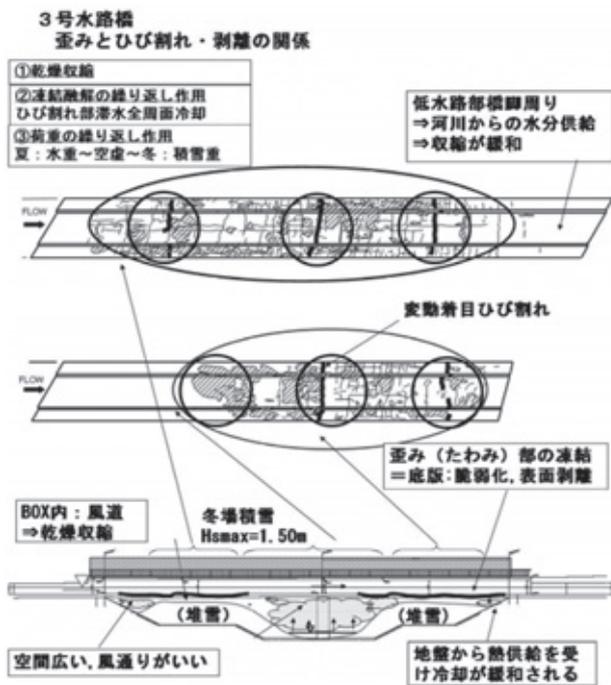


図-4 水路橋劣化のメカニズム（3号水路橋）

表-4 側壁・底版の補修工法選定の考え方

区分	側壁	底版
対策目標	耐用年数を15～20年に長寿命化，維持管理の軽減	耐用年数を15～20年に長寿命化，耐久性の向上
選定工法	1号水路橋 上流側：有機系 高耐久性 上塗材薄膜再塗装 下流側：有機系 標準耐久性 上塗材厚膜再塗装	部分撤去および高耐久性無機系表面保護工再被膜
	3号水路橋 シート材との一体化による有機系再補修	部分撤去および歪み変動への対応から引張強度歪み硬化型の無機系

○1号水路橋側壁

現施設は、ガラスクロスライニングで被覆されており、中塗り材と上塗り材に標準形ポリウレタン（柔軟型ポリウレタン樹脂）が塗布されている。

表面被覆材は、流水によるすり減り摩耗等で中塗り材と上塗り材の厚みが減り、部分的にガラスクロスが露出している箇所がある状態である。

しかしながら、剥離箇所以外の被覆材は健全な状態であるため、既設部分を再利用し、上塗材を再塗装する工法を選定することとした。

再塗装をする上で、有機系の標準型ポリウレタンの上塗材の耐用年数は5～8年とされていることから、耐用年数を底版と同じ15～20年に長寿命化するため、高耐久性材（アクリルシリコン系高耐候性塗料）を用いて薄膜塗布する部分（上流側）と、標準耐久性材料（ポリウレタン系標準耐候性塗料）を標準の2倍厚で厚膜塗布する部分（下流側）とに分けて補修を行い、耐久性の比較をすることとした。

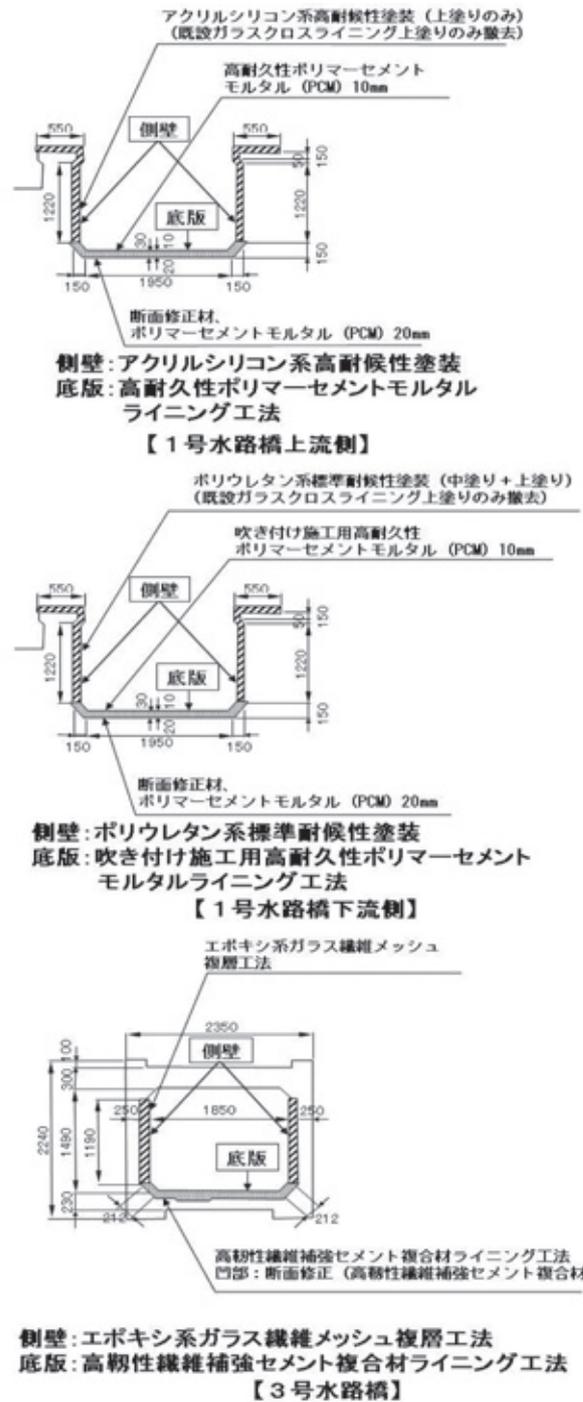


図-5 各補修工法の施工断面

○1号水路橋底版

現施設は、側壁と同様の表面被覆材が塗布されている。

底版については、現在の有機系工法に変え、流水の影響を受けても捲れあおり作用や引っ掻き作用を受けない、耐凍害性と耐摩耗性の耐久性を有する無機系の被覆工法を選定することとした。

凍害による母材コンクリートの脆弱化により、ガラスクロスが剥離してきているため、脆弱化した箇所を撤去して、耐摩耗・耐凍害・耐中性化に優れた高耐久性無機系表面保護工を行うことで、15～20年の耐用年

数を確保することとし、施工方法の違う高耐久性ポリマーセメントモルタルライニング工法(上流側)と吹き付け施工用高耐久性ポリマーセメントモルタルライニング工法(下流側)で、施工性を比較することとした。

○3号水路橋側壁

現施設は、エポキシ樹脂塗装によって被覆されている。表面被覆材は、流水による摩耗等で厚みが減っており、母材コンクリートが露出している状態で縦方向のひび割れが見られる。

この表面被覆材の耐用年数は既に超過しているため、既設のエポキシ樹脂系塗装を全撤去し、ひび割れ抵抗性、耐磨耗性を考慮したシート材との一体化による有機系再補修(エポキシ系ガラス繊維メッシュ複層工法)で機能回復を図ることとした。

○3号水路橋底版

現施設は、側壁と同様にエポキシ樹脂塗装によって被覆されているが、表面被覆材はたわみと凍結融解によって剥離し、母材コンクリートの粗骨材が露出しており、底版裏面もひび割れが多く見られる。

底版も側壁と同様に、既設のエポキシ樹脂系塗装を撤去するとともに、歪みが顕著であるため、引張強度歪み硬化型の無機系材料で内面被覆(高韌性繊維補強セメント複合材モルタルライニング工法)を行うこととした。

6. 試験施工

1号水路橋および3号水路橋における試験施工のポイントを以下に示す(写真-2, 写真-3)。

本施工は、10月末~12月の初冬期(約2ヶ月)が工事期間になるため、以下の点にも留意した。

- ①集中的な降雨が施工区間へ浸入しないよう排水に十分配慮した。
- ②低温期での薄層施工のため、養生にあたっては給熱温度管理で、表面の乾燥化に注意し給熱の仕方、温度計測位置に注意した。
- ③水路橋のため、底版下面や側壁外面から冷気の影響を受けるため温度管理にあたっては、外気温(桁下)も確認し、耐久性・強度の確保のため初期凍害の防止に努めた。
- ④母材コンクリートとの一体性を確保するために、底版では、付着性²⁾の高いはつり方法(ウォータージェット工法)を選定するほか、建研式付着試験やシュミットハンマーによる圧縮強度試験を行い、試験施工材料に必要な性能の確保を図った。

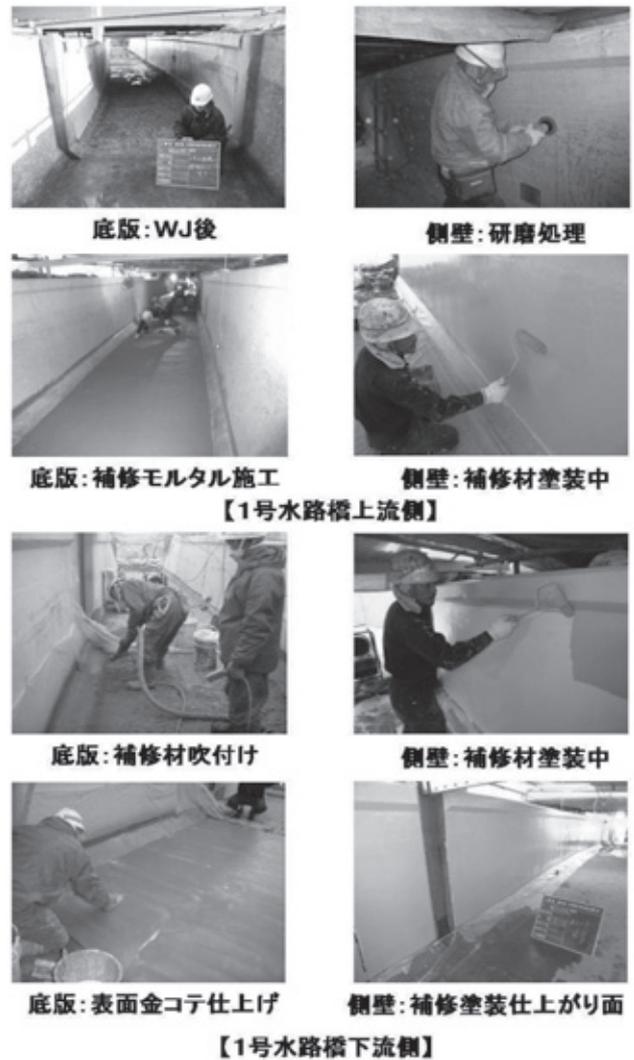


写真-2 施工状況 (1号水路橋)



写真-3 施工状況 (3号水路橋)

7. 補修工法のモニタリング計画

寒冷地のコンクリート水路橋における再補修技術の有効性を確認するため、表面被覆工施工後の劣化状況等を定期的に監視評価³⁾し、定期点検書として整理する経過観察（モニタリング調査）を行うこととした。1号水路橋及び3号水路橋において、表-5、表-6に示す監視計画を策定し、平成22年4月（施工後0.5年目）から監視を開始している。さらに、3号水路橋に関しては、水路橋特有のたわみへの被覆材の追従性を監視するため、図-6に示す位置の定点高さについても測定することとしている。

表-5 監視項目

項目	監視細目
近接目視	割れ、剥がれ、ふくれ、錆汁、白亜化、光沢低下、変退色、磨耗(底版：無機系でピン測定)
歪み調査	3号水路橋：縦断横断方向定点測定によるたわみ監視、外面双眼近接目視(漏水、ひび割れ等)
被膜測定	側壁(有機系塗膜)：水中部、気中部で付着力、膜厚測定
母材調査	側壁：母材コンクリート圧縮強度、中性化(有機系表面被覆工の効果測定)

表-6 監視時期と内容

監視時期・評価	
中間	0.5年, 1.5年 ：近接目視, 歪み調査(外面双眼近接目視) (施工直後の越冬後状況を監視)
定期	1年, 3年, 5年, 10年, 15年 ：近接目視, 歪み調査, 被膜測定, 母材調査



図-6 3号水路橋歪み調査位置

今後、モニタリング調査結果を踏まえて、以下の検証を行っていきたいと考えている。

- ・上塗材再塗装による有機系補修工の有効性
- ・無機系補修材の対凍害性と母材一体性
- ・高靱性繊維補強セメント複合材モルタルライニングのひずみ追従性⁴⁾
- ・施工境界、既設構造物（ゲートなど）境界、工法の境界などの端部処理方法の有効性
- ・試験施工の監視結果の評価方法について有識者、専門技術者との意見交換

8. モニタリング調査経過

モニタリング調査は、監視計画に基づき平成22年4月から開始している。1年目となる今年は、試験施工後はじめての越冬を経たコンクリート水路橋に対して、通水前、通水中（最大流量通水時）、落水後の3段階について監視項目のデータ収集を行う計画である。通水前は、1号水路橋については近接目視調査（写真-4、写真-5）、3号水路橋については近接目視調査に加え、外面全体近接目視とたわみへの被覆材の追従性を監視するため定点高さ調査を行っている（写真-6、写真-7、写真-8）。



写真-4 1号水路橋（上流側）



写真-5 1号水路橋（下流側）



写真-6 3号水路橋（全体）



写真-7 3号水路橋 (内部)

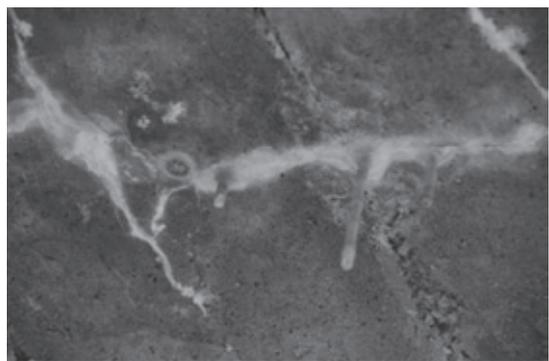


写真-8 3号水路橋 (外観)

各水路橋の調査結果の概要は、以下のとおりである(表-7)。

表-7 近接目視調査結果
(1号水路橋 (上流側))

側壁	一部に施工時のピンホール、液ダレが見られるが、劣化損傷の変状は見られない
底版	ひび割れや剥離など劣化損傷の変状は見られない
目地	ひび割れ、剥がれ、硬化などの劣化損傷の変状は見られない

近接目視調査結果 (1号水路橋 (下流側))

側壁	浮き、剥がれなど劣化損傷の変状は見られない
底版	ひび割れや剥離など劣化損傷の変状は見られない
目地	ひび割れ、剥がれ、硬化などの劣化損傷の変状は見られない

近接目視調査結果 (3号水路橋)

側壁	浮き、剥がれなどの変状は見られない
底版	ひび割れや剥離などの変状は見られない
目地	ひび割れ、剥がれ、硬化などの劣化損傷の変状は見られない
外観	湿気は残るが、相当乾いており漏水もない。たわみは以前と比べ変動がない

各調査において、1号水路橋、3号水路橋とも現在のところ目立った劣化、変状は見られない。

1号水路橋の上流側側壁において、一部施工時に生じたものと考えられるピンホール、液ダレが確認されているが進行性の変状ではない。

3号水路橋においては、施工前から底版下面にエフロレンスが確認されていたが、施工後エフロレンスからの水分の滲出は見られなくなり、完全に止水状態にある。

今後は、監視計画に基づき、1年目(通水中、通水後)、3年目、5年目、10年目、15年目と定期的に監視を続けていき、再補修工法の適用性・耐久性を検証していきたいと考えている。

9. おわりに

寒冷地におけるストックマネジメント技術は、積雪寒冷条件を踏まえた機能診断の実践とともに、再補修工法等の対策後の寒冷環境下でのモニタリング調査経過の検証を踏まえて更なる向上が図られることが期待される。

次年度以降も、監視計画に基づいてモニタリング調査を継続するとともに、寒冷地における再補修技術に関する試験施工の結果を総合的に検証していきたい考えである。

謝辞：国営かんがい排水事業北檜山左岸地区、利別川地区の機能診断および再補修工法等の施工では、関係土地改良区をはじめとする多くの方々のご支援とご協力を頂戴している。末筆ながら、関係者の皆様に対し、深く感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 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, pp.47-51, pp.199-205, pp.238, 2007
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計施工指針(案), pp.104-105, 2006
- 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2003-, pp.106, 2003
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー127 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 設計施工指針(案), pp.1-3, 2007

カワシンジュガイに配慮した水路設計について

鈴木 昭和*
(Akikazu SUZUKI)

目 次

1. はじめに	16	5. 2度目の工法変更	19
2. カワシンジュガイとは	16	6. カワシンジュガイ放流会	20
3. 環境配慮工法	17	7. まとめ	21
4. 捕獲大作戦	18		

1. はじめに

県営中山間地域総合整備事業「野田地区」は、岩手県北東部の太平洋に面した、九戸郡野田村に位置しており、同村中心部を流れる4河川沿いに細長く伸びた平坦地での水田地帯と起伏の多い山間地における畑作地帯を主体とした地域である。(図-1)

本地区は、地域特有の気象である“ヤマセ”を利用した「雨よけホウレンソウ」や「リンドウ」など高収益作物を導入しているものの、生産基盤や生活環境の整備が未整備なことから、農業収益が低く若年層の流出が進み、地域の高齢化による活力の低下が進行している。

よって、地域の生産基盤や生活環境を整備することにより、高収益作物の作付け拡大や農作業の機械化による省力化、さらには農林漁業を通じて地域内外の交

流を積極的に図るため、総合的に本事業を実施している。

本報文は、農業用排水施設の1路線(L=350m)において、絶滅危惧Ⅱ種に指定されている「カワシンジュガイ」の保全に地域一体となって取組み、環境に配慮した工法について報告するものである。(図-2)



図-2 計画一般平面図



図-1 位置図

【県営中山間地域総合整備事業野田地区の事業概要】

◆工 期	H11～22
◆事業費	1,580 百万円
◆事業内容	[生産基盤]
	農業用排水施設 3 路線(L= 805m)
	農道整備 4 路線(L=2, 392m)
	ほ場整備 3 工区(A= 19ha)
	[生活環境]
	農業集落道 10 路線(L=5, 489m)
	農業集落排水施設 2 路線(L= 932m)
	集落防災安全施設 5 基
	農村公園 1 ヶ所
	農村活性化施設 1 棟

2. カワシンジュガイとは

カワシンジュガイは、清流に棲む、貝長約10cmで黒褐色の淡水二枚貝である。環境省では絶滅危惧Ⅱ類、「いわてレッドデータブック」ではCランクに位

*岩手県久慈地方振興局農政部農村整備室
(Tel. 0194-53-4988)

置づけられおり，種の存続基盤が脆弱な種とされている。岩手県内では，洪水や河川改修工事などによって，生息環境が変化し，急速に姿を消している種とされている。（写真-1）



写真-1 カワシンジュガイ

今から2万5千年前の氷河期から生息しており，ヨーロッパではこの貝から真珠が採れたことからこの名前が付いたが，貝100個のうち1個程度でしか真珠が採れず，質も悪いとのことである。

カワシンジュガイは，4月中旬頃に産卵期を迎え，卵からふ化すると，しばらくメスのエラの中で過ごし，その後，幼生（グロキジウム）になると，メスのエラから放出される。

放出された貝の幼生は，ヤマメなど魚のエラに寄生し，貝の大きさが0.4~0.5mmになると，魚のエラから離れて川底の砂の中で成長する。（図-3）

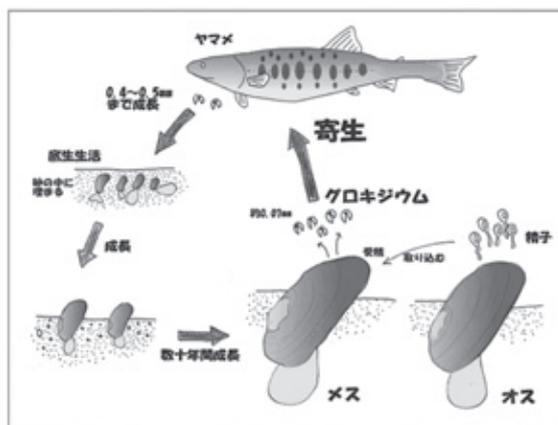


図-3 カワシンジュガイの成長のしくみ

カワシンジュガイの成長は遅いものの，寿命は長く，200年間も生きる貝もある。

岩手県内での主な生息地は，安家川（岩泉町）や馬淵川（二戸市）である。

参考文献：いわて環境学習館ホームページより

3. 環境配慮工法

本農業用水路は，河川から直接取水しており，現況の水路幅は30~40cm程度で，延長は350mの土水路である。上流部は自然林に囲まれており，中・下流部になると宅地に隣接した所を流れている。

地元農家と事業実施に向けた打合せをしている時，「本水路にカワシンジュガイが生息している」との情報があった。早速，有識者と共に，平成19年10月に現地調査を実施した。（写真-2）



写真-2 現地調査の様子

カワシンジュガイは川底に潜って生息していることから，取水量を減らして水深を浅くし，下流部から上流部に向かって調査を行った。下流部や中流部ではカワシンジュガイの生息は確認されなかったが，上流部では，川底から微かに顔を出しているカワシンジュガイを数個確認した。（写真-3）



写真-3 生息が確認されたカワシンジュガイ

上流部は，宅地が無く水質の汚染が少ないことに加え，雑木や竹やぶによる日影が形成されていることから，カワシンジュガイにとって良好な生息環境であったものと考えられる。

また，カワシンジュガイの他にヤマメやウナギなど

の魚類も確認した。

当初計画の水路の構造は、幅60cm×高さ60cmのコンクリート製3面水路で施工する計画であった。

しかし、現地調査の結果、有識者からの指導を基に、カワシンジュガイの保全を目的とした水路として以下のとおり構造の見直しをした。

[工法変更の概要（第1回目）]

- (1)カワシンジュガイの生息場所を確保するため、2面水路（一部底の無い水路）とし、水路底に碎石を厚さ18cm敷き均すこととした。（図-4）

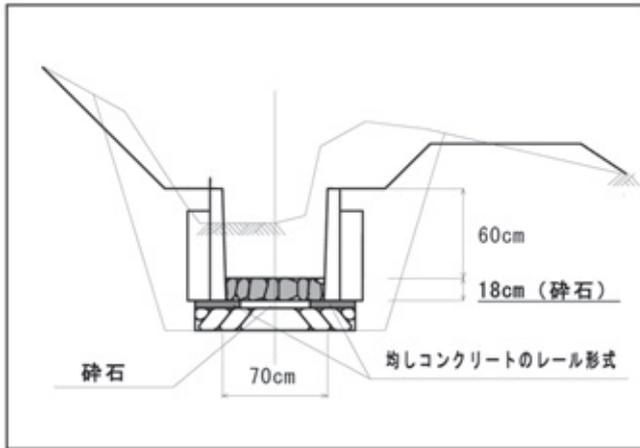


図-4 見直し後の標準断面図

- (2)さらに、2面水路の均しコンクリートをレール形式とし、均しコンクリートの間には碎石を敷くこととした。これは、カワシンジュガイが水路底に敷いた碎石からさらに下部の碎石にも潜れる構造とし、より良好な生息環境を確保することとした。（写真-4）

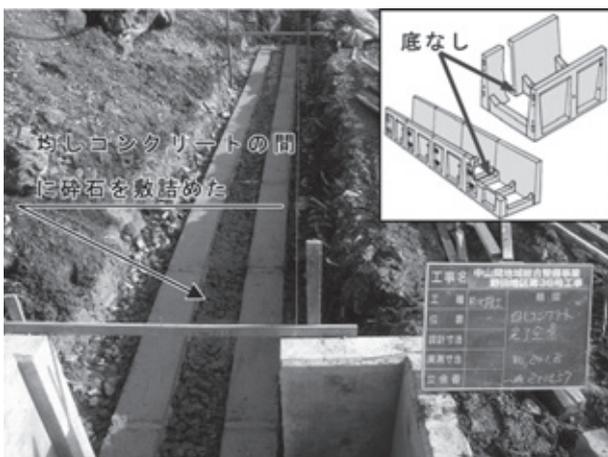


写真-4 均しコンクリートのレール施工

- (3)また、カワシンジュガイの繁殖には、ヤマメなどの魚が必要であることから、それらの生息環境を保全するために、中流部の土水路は、そのまま手をかけないこととした。

次に、工事期間中カワシンジュガイを引越しさせておく必要があることから、以下の条件に見合う、引越し場所を探した。

[引越し場所の選定条件]

- (1)同じ水系で、工事の影響を受けない場所
- (2)洪水により流されない場所
- (3)現況水路に近い環境とし、日陰があり、湧水が流れ込む場所

上記条件に適した場所を探したところ、現地から約1km上流に以前、養魚場として利用されていた施設が適していることが判明し、所有者の協力を得ながら、引越し場所を確定した。

引越し場所を、より現況水路に近い環境とするため、カワシンジュガイを引越すと同時に、現況の水路底の土砂も一緒に運搬し、敷き詰めることとした。

（写真-5）



写真-5 引越し先に決まった旧養魚場

4. 捕獲大作戦

平成20年9月10日に、有識者の指導のもと、工事請負業者5名と久慈農村整備室職員3名とで、カワシンジュガイの捕獲を行った。

昨年の現地調査では、ある程度生息区域と、生息数を把握していたことから、さほど時間を要しないものとの思われ、捕獲作業を開始した。（写真-6）



写真-6 捕獲前のカワシンジュガイ

作業を開始したところ、次々にカワシンジュガイを発見し、予想を大幅に上回る311個も捕獲した。（写真-7）,（表-1）

有識者からは、「小さな水路ではあるが、生態系が豊かであるため、大量に生息していた。」「稚貝と成貝が交じって生息していることは、河川より流れ着いたものではなく、この水路で長い年月を経て繁殖してきたものである。」「今後とも、生態系全体を保護しなければ貝は生きられない。」などの意見があった。

予想以上の大量生息の現状を踏まえ、より一層現況に近い水路環境を確保するため、再度水路の工法を見直すこととした。



写真-7 捕獲したカワシンジュガイ

表-1 捕獲したカワシンジュガイ311個

捕獲した生き物		生息を確認した生き物	
名称	捕獲数	名称	
カワシンジュガイ	311 個	オニヤンマ	
(内稚貝)	52 個)	カエル	
イワナ	2 匹	カワナ	
ヤマメ	7 匹	ヤゴ	
ヤツメウナギ	5 匹	トビゲラの幼虫	

5. 2度目の工法変更

引越し作業を終えた翌日から、他地区における保全対策工法の事例収集に努め、有識者とともに工法の再検討を行い、以下のとおり2度目の工法変更を行った。

[工法変更の概要（第2回目）]

- (1)第1回目の工法変更では、2面水路の底に碎石を敷詰めることとしていた。しかし、生息環境の変化を低減させるために、敷材料を「碎石」から「現況水路底の土砂」に変更とした。（図-5）
- (2)また、水路底の土砂の厚さを18cmとしていたが、水路底部にある梁によって、カワシンジュガイの水路内移動を妨げる恐れがあることから、土砂の厚さをさらに20cm嵩上げし、38cmとして、水路内移動が可能とするように配慮した。（図-5）
- (3)カワシンジュガイの生息に必要な日陰を残すため、水路の計画センターの位置を50cm移動させ、立木の伐採を最小限とした。（図-6）（写真-8）
- (4)ヤマメなど魚の棲みかや、増水時の逃げ場、産卵場所を確保するために、淀み部となる湾処（ワンド）工を5箇所設置することとした。（写真-9）（図-7）

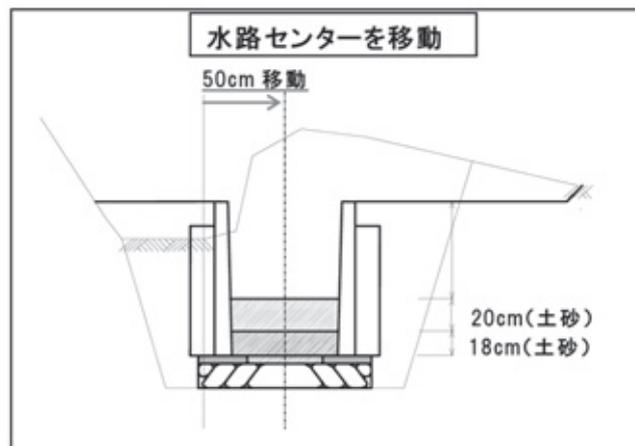


図-6 標準断面図

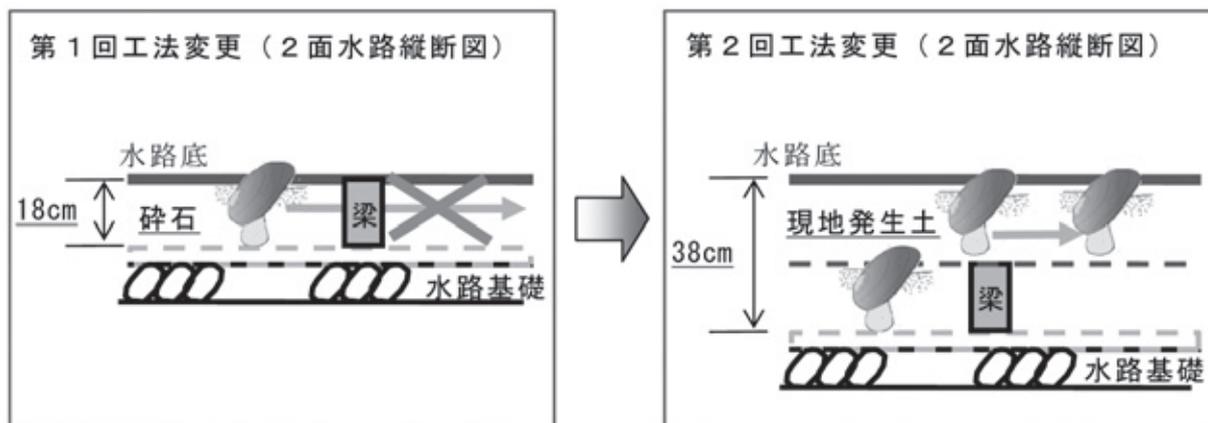


図-5 工法変更



写真-8 日陰を残した状況



写真-9 湾処工

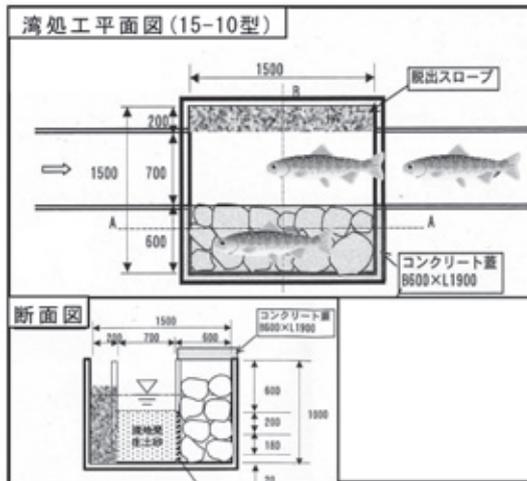


図-7 湾処工構造図

以上、4項目について再度工法変更し、これらの内容について地元受益者からの理解を得た後、速やかに工事を着手した。工事は、翌年の平成21年4月に完了し、水路に通水を開始した。

6. カワシンジュガイ放流会

通水を開始してから3ヶ月後、現地確認をしたところ、水路内壁にコケが付着し、さらに、カワシンジュガイの成長に欠かせない魚や虫などが戻ってきたことから、いよいよカワシンジュガイを引越し先から水路へ戻すこととした。

ただし、カワシンジュガイを戻す際、一度に全個を戻すと、工事の影響や環境変化により全滅の恐れがあることから、放流時期を3回に分けながら、生育の様子を見ることとした。

第1回目は、地元の小学生にカワシンジュガイの生態や環境配慮についての理解を深めてもらうために、平成21年7月18日に「カワシンジュガイ放流会」を開催した。

当日は、小雨にもかかわらず、小学生21名、地域住民10名、地元水利組合など多数の参加があり、事業の概要やカワシンジュガイの成長のしくみ、生き物に配慮した工法、現況水路に生息していたイワナやヤマメ、ヤツメウナギなどの生き物を紹介した後、90個のカワシンジュガイの放流を行った。(写真-10)



写真-10 第1回目放流会の様子

参加した小学生のほとんどは、カワシンジュガイを初めて見る子供達で、中には直接触ることが出来ない子供もいたが、カワシンジュガイや工事後の水路に戻ってきた魚などの生きものを、子供達は生きいきと観察していた。

第1回放流会后、約2ヶ月間経過観察を行い生育に異常が見られなかったことから(写真-11)、残りのカワシンジュガイの放流を平成21年9月30日(写真-12)と平成21年12月3日に行った。

現在もカワシンジュガイは順調に生息されていることが確認されており、2回にわたる水路の工法変更は、確実にカワシンジュガイをはじめ当地域の環境にうまく順応したものと思われる。



写真-11 第1回目に放流したカワシンジュガイ



資料-1 広報のだ平成21年8月号より



写真-12 第2回目放流会の様子

7. まとめ

平成13年度の土地改良法の改正により、環境との調和への配慮が土地改良事業実施の原則として位置づけられており、環境配慮工法は、現在様々な工法により実施されている。

カワシンジュガイを保全するためには、魚が必要であり、この魚が生息するためには、その棲家とエサが必要であることから、本地区では、水路のみならず水

路周辺の環境も含めて保全することで、真の「カワシンジュガイに配慮した水路設計」が出来たものと考えている。

また、工事実施前には一部の地元の方から、「貝などいらない」などの意見があったものの、地元と一体となって保全活動に取り組んだ結果、貝に対する意識の変化が見えてきた。

さらに、放流会に参加した小学生からは、「きれいな川にすむ生き物がこの水路にたくさんいると聞いて、うれしかった」「カワシンジュガイの放流は、初めて行った。きれいな川を大切に守っていききたい」との感想をいただき、次世代を担う子供達にも環境に対する意識の向上が図られたものと実感している。(資料-1)

最後に本工事を実施するに当たり、熱心にご指導をいただいた有識者を始め、設計コンサル、工事施工業者はもとより、環境配慮工法への理解やカワシンジュガイ放流会に多数参加していただいた地域の皆様はこの場をお借りて感謝を申し上げ、終わりとする。(写真-13)



写真-13 第1回目の放流会后(7月18日)

茶株面温度により散水量を変える節水型防霜かんがい方式の検討事例

吉 村 博 人*
(Hiroto YOSHIMURA)

目 次

1. はじめに	22	5. 気温と散水量	24
2. 防霜かんがいの実施状況	22	6. 節水型防霜かんがい方式	24
3. 節水型防霜かんがいの検討	23	7. おわりに	26
4. 散水氷結法のメカニズム	23		

1. はじめに

鹿児島県の茶栽培面積は8,690ha、荒茶生産量は23,400t（いずれも2009年）で、面積、生産量とも全国2位となっている。

茶は、遅霜による被害を防ぐために防霜施設が必要であるが、鹿児島県内で栽培されている茶のうち、防霜が必要な畑7,475haの約85%でスプリンクラーもしくは防霜ファンによる防霜が行われており、防霜が行われている畑6,400haの防霜方式をみるとスプリンクラーが約3割、防霜ファンが約7割となっている。

鹿児島県曾於地域（図-1）では、県内の約20%の茶が栽培されており、国営かんがい排水事業2地区及びこれに付帯する県営畑地帯総合整備事業曾於東部地

区及び曾於南部地区において、940haの防霜かんがいを実施中である。この国営事業の受益地内で2005年度から2006年度にかけて検討し報告した「曾於地域における間断散水による茶の防霜かんがい諸元策定に向けた検討状況の報告」（引用文献1、以下諸元という）に関する基礎資料を基にして、「節水型防霜かんがい方式」の追加調査及び検討を行った。それによれば、外気温が2℃～-5.6℃になると防霜対策を実施し、100秒散水・100秒止水を繰り返すことになっているが、節水型防霜かんがい方式とは、さらに散水量の節減を図る方式のことである。下記に検討結果を述べる。

曾於地域の茶畑の状況を写真-1に示す。



図-1 曾於地域位置図



写真-1 曾於地域の茶畑

2. 防霜かんがいの実施状況

連続散水方式は鹿児島県南薩地域等、広く県内で採用されている一般的な防霜かんがい方式で、散水開始温度まで気温が低下すると散水を開始し、気温が上

*大福コンサルタント(株) (Tel. 099-251-7075)

昇するまで連続して散水する方式であり、散水量は2.9mm/hr程度である。

また、間断散水方式は近年メカニズムの解明がなされたため、鹿児島県内でも採用する地域が増加しつつある防霜かんがい方式で、一定の間隔で散水と止水を繰り返し、断続的に散水する方式である。

諸元では、100秒散水、100秒止水とし、散水量は連続散水時の約55%となる1.55mm/hrを採用している。なお、この方式では計画最低気温は、大隅管内の栽培面積が3割を超える「ゆたかみどり」（表-2参照）の萌芽期より2週間前の3月8日以降を対象として決定している。「くりたわせ」等の極早生種の萌芽期は、「ゆたかみどり」より7日早いことから、計画最低気温を下回ることも予想されるため、これらの品種や局地的寒冷地に対しては連続散水等による散水量の増加も必要となる。

3. 節水型防霜かんがいの検討

茶業に係る鹿児島県農業開発総合センター茶業部大隅分場、曾於農業改良普及センター（現在は曾於畑地かんがい農業推進センター）、JAあおぞら茶業センター、水土里ネット南薩、水土里ネットまつもと及び間断散水を行っている県内の農家から2006年に聞き取り調査を行った。それによると、主な意見は次の通りであった。

- (1)茶の栽培は、排水管理が大切であり、連続散水による多量の散水は湿害の原因となる。
- (2)連続散水で多量に散水すると、地温が下がり、茶の生育に影響がある。
- (3)曾於地域の間断散水を行っている37戸、50ほ場の散水強度は、0.8~2.1mm/hrの範囲にあり、平均は1.3mm/hr。
- (4)気温が設定温度まで低下したら自動的に散水を開始し、日の出後1時間程度で散水終了。通常、午後8時から午前7時までの11時間程度の散水。
- (5)曾於地域37戸では、間断散水が原因で霜害を受けた事例はない。

このことから、間断散水実施農家の散水量の平均は諸元で採用している1.55mm/hrより小さく、また、限られた面積ではあるもののこれまでの被害もないため、間断散水を実施することにより防霜かんがいの水量を節減できる。

間断散水を実施するなかで、より適用性の高い技術の確立に向けて、なお一層の節水ができないか検討する。

4. 散水氷結法のメカニズム

一層の節水に取り組むため、散水氷結法の検討を行う。この方法の原理は、微小水滴が作物体に氷結する

際に発生する潜熱によって作物体を保温することにより、保温効果はもろもろのプロセスによって作物体から失われる熱量と、補給される潜熱量のバランスによって決定される。

散水氷結法は、植物体温をほぼ0℃に保つことが目的であり、植物体に付着した水を氷結させ、植物体を0℃に保つための氷結潜熱をQとすると次の熱収支式が成り立つ。

$$Q = Q_s + Q_L + Q_v$$

ここに、 Q_s ：有効放射、 Q_L ：顕熱、 Q_v ：蒸発潜熱。

・ Q_s （有効放射）

植物体は夜間、放射放熱をする一方、他からの放射も受けるので、その差し引きが植物体を冷却させる量（有効放射量）となる。霜夜のような雲の少ない夜では、有効放射量は、60kcal/m²/hr程度である。この量は風速に左右されない。また、植物体が水の皮膜で覆われていてもほとんど変わらない。

・ Q_L （顕熱）

散水によって植物体温が0℃付近に保持されると、植物体温度は周囲の温度より高くなっているため、植物体から伝達によって熱が失われる。失われる熱量は気温が低いほど、また風速が大きいほど大きい。Niemannの計算結果によると顕熱は図-2のようになる。

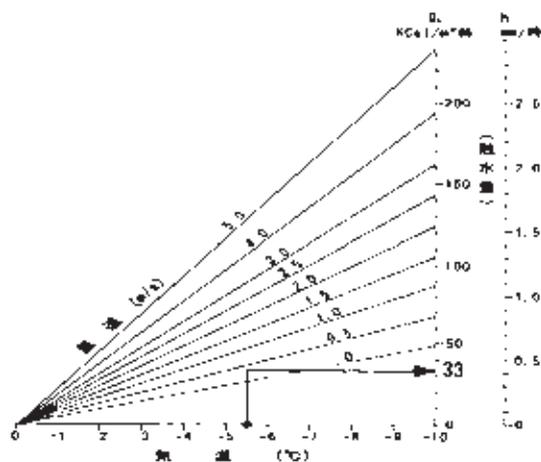


図-2 顕熱算定図

・ Q_v （蒸発潜熱）

湿った植物体表面のすぐ近くの空気は飽和しているが、周囲の空気との間では常に蒸気圧の勾配がある。そこで、植物体の水の表面からは蒸発が起これ、蒸発熱が奪われることになる。失われる熱量は空気が乾いているほど、又、風速が大きいほど大きい。Niemannの計算結果によると蒸発潜熱は図-3のようになる。

必要散水量は、植物体から失われる有効放射、顕熱及び蒸発潜熱の合計を水の氷結潜熱（80cal/cm³）で除して求めた可能氷結量に、散水された水が茶葉にど

れだけ付着するかという付着率を考慮して求める。

これを説明すると次のようになる。

$$\begin{aligned} & (\text{有効放射} + \text{顕熱} + \text{蒸発潜熱}) / \text{水の氷結潜熱} \\ & = \text{可能氷結量} \\ \text{必要散水量} & = \text{可能氷結量} / \text{付着率} \end{aligned}$$

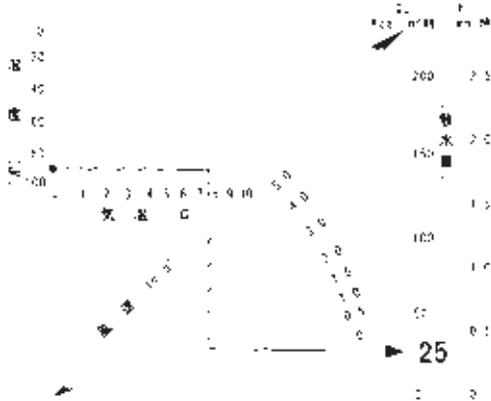


図-3 蒸発潜熱算定図

従来、この付着率は50%とされていたが、付着率試験により、散水氷結中は95%であることがわかった。上記のように、必要散水量の算定には付着率が大きく影響し、付着率として50%を採用するか、95%を採用するかでは必要散水量に大きな差が出る。このことから、間断散水量は連続散水量の50%であるにもかかわらず、なぜ防霜効果があるのかという答を得、散水氷結法のメカニズムの解明ができた。

5. 気温と散水量

(1)既存のデータとして、曾於地域の志布志市有明町の受益地周辺6ヶ所の1977年～2005年のアメダス観測地の気象データを収集した。また、各アメダスと有明町の茶園の気温の相関調査及び気温差の観測を行った。

その結果、気温の相関係数はいずれの観測地においても0.9以上の高い数値を示したことから、受益地の標高にも、距離的にも近い鹿屋を採用した。表-1に現地とアメダスの気温差及び相関係数を示す。

アメダス、現地、茶株面、葉面、それぞれの温度の関連は調査の結果、次のようになった。

表-1 現地とアメダスの気温差及び相関係数

現 場	ア メ ダ ス 観 測 点					
	有明町 (標高90m)	牧之原 (標高384m)	輝北 (標高360m)	都城 (標高154m)	鹿屋 (標高80m)	志布志 (標高70m)
気温差	1.1	0.5	-0.3	-1.2	-0.7	-1.5
平均誤差	1.416	1.162	1.123	1.082	0.834	0.969
相関式	$y=1.033x+0.4796$	$y=1.046x-0.0516$	$y=0.9292x+0.1835$	$y=0.9693x-1.3415$	$y=0.9671x-0.5971$	$y=0.9694x-1.251$
相関係数	0.93	0.95	0.94	0.95	0.97	0.96
換算式	$y=x+1.1$	$y=x+1.2$	$y=x-0.3$	$y=x-1.2$	$y=x-0.7$	$y=x-1.5$

アメダス (0℃のとき), 現地 (-1.2℃), 茶株面 (-3.0℃), 葉面 (-4.8℃)

「用語の解説」

現 地：有明町の茶畑内で高さ1.2mの観測点での温度。

茶株面：茶株面の上で観測した温度。

葉 面：茶葉表面に測温部を直接貼り付けて観測した温度。

(2)霜害防止温度

一般的に茶葉の霜害発生温度は、生育ステージによって異なり、1～2葉期が-2℃程度、萌芽期が-2.5℃とされており、散水氷結法ではこれを防止するため、植物体温をほぼ0℃に保つように散水量を決定している。

また、散水開始日は萌芽2週間前とされている。

曾於地域を含む大隅管内の茶品種別萌芽期及び栽培面積をみると表-2のようであった。

表-2 茶品種別の萌芽期と栽培面積

品種名	晩早性	萌芽期	栽培面積		
			(ha)	割合(%)	累計(%)
くりたわせ	極早生種	3月15日	0.8	0.1	0.1
さえみどり	早生種	3月19日	95.5	6.9	7.0
あさつゆ	中生種	3月20日	25.5	1.9	8.9
ゆたかみどり	早生種	3月22日	350.0	25.5	34.3
あさのか	早生種	3月24日	21.6	1.6	35.9
やぶきた	中生種	3月30日	655.5	47.7	83.5
かなやみどり	中晩生種	4月4日	89.1	6.5	90.0
おくみどり	晩生種	4月9日	110.8	8.1	98.1
やまとみどり	晩生種	4月20日	26.3	1.9	100.0
計			1,375.1	100.0	

(3)制御装置の性能の向上

自動散水、止水制御装置（作物の凍霜害防止用に製作されたパイロット式電磁弁を制御する自動装置）の性能が向上したことにより、温度変化に応じた散水、止水の間隔が複数設定可能になった。

6. 節水型防霜かんがい方式

2006年度に作成した諸元では、散水量の決定に用いる計画最低気温は、茶株面で-5.6℃としている。

諸元では、茶株面温度が2℃に達したら散水を開始し、3℃に上昇したら散水を終了するようになっており、散水量は-5.6℃に対応した1.55mm/hrとしている。(表-3参照)

一方、現在では自動散水、止水制御装置の性能が向上したことから、防霜中の散水量を一定とせず、温度設定を数通り行い、各温度に応じた散水量を設定すれば総散水量の節減が図られると考える。

諸元作成段階では、2℃~-5.6℃の散水量を一律としていたが、今回の検討では、1977年から2005年までの、29年間のアメダスデータ(鹿屋)の1時間最低気温データを用いて①2℃~-1℃、②-1℃~-3℃、③-3℃以下の3通りに区分して必要散水量を算定した。

なお、算定期間はファーム Pond 容量の決定に用いた3月15日から4月30日までとした。

(1) 気温毎の必要散水量の決定

設定温度を①2℃~-1℃、②-1℃~-3℃、③-3℃以下に区分し、その時の散水量の算定には各区分の最低気温を用いた。必要散水量及び散水、止水時間を算定すると表-3のようになる。

ただし、気温は無散水時の茶株面での温度であり、散水氷結中のセンサーの温度と同一ではない。

(2) 散水時間

各区分の散水時間を算定した結果を表-4に示す。

これによると①2℃~-1℃(散水停止となる3℃まで気温が上昇する時間も含む)では1,129時間、②-1℃~-3℃では179時間、③-3℃以下では38時間であり、①2℃~-1℃となる時間が84%を占め、③-3℃以下になる時間は3%であった。このことから、防霜必要温度には達するものの、-3℃以下まで気温が低下する割合は非常に少ないといえる。

温度別散水時間を1ha当たりの散水量に換算すると次のようになった。

- ① 1.00mm/hr × 1,129hr × 10,000m² = 11,290m³
 - ② 1.24mm/hr × 179hr × 10,000m² = 2,219m³
 - ③ 1.55mm/hr × 38hr × 10,000m² = 589m³
- 計 1,346hr 14,098m³

現在行っている間断散水方式による1ha当たりの散水量は、次のようになった。

1.55mm/hr × 1,346hr × 10,000m² = 20,863m³

表-3 気温毎の必要散水量

項目	気温			備考
	①2℃~-1℃	②-1℃~-3℃	③-3℃以下	
ア、気象条件				
気温	-1℃	-3℃	-5.6℃	
風速	0.3m/s	0.3m/s	0.3m/s	実測より
湿度	90%	90%	90%	実測より
イ、放熱量				
有効放射Q _s	60kcal/m ² /hr	60kcal/m ² /hr	60kcal/m ² /hr	
顕熱Q _L	7kcal/m ² /hr	19kcal/m ² /hr	33kcal/m ² /hr	算定図より
蒸発潜熱Q _v	9kcal/m ²	15kcal/m ² /hr	25kcal/m ² /hr	算定図より
放熱量Q	76kcal/m ² /hr	94kcal/m ² /hr	118kcal/m ² /hr	60+33+25=118
ウ、付着水量の算定				
水の氷結潜熱	80cal/cm ³	80cal/cm ³	80cal/cm ³	
可能氷結量	0.95mm/hr	1.18mm/hr	1.48mm/hr	11.8cal/cm ² /hr ÷ 80cal/cm ³
エ、付着率	95%	95%	95%	試験結果より
オ、必要散水量	1.00mm/hr	1.24mm/hr	1.55mm/hr	1.48 ÷ 0.95
カ、散水、止水時間	60秒散水120秒止水	80秒散水120秒止水	100秒散水100秒止水	

表-4 温度別散水時間

単位: 時間							
年	2℃~-1℃	-1℃~-3℃	-3℃以下	年	2℃~-1℃	-1℃~-3℃	-3℃以下
1977	35	2	0	1992	19	0	0
1978	67	20	2	1993	102	6	1
1979	54	10	1	1994	80	15	4
1980	45	16	8	1995	62	8	1
1981	28	10	0	1996	87	7	0
1982	34	8	0	1997	30	0	0
1983	3	4	6	1998	61	2	0
1984	27	19	7	1999	33	0	0
1985	7	6	0	2000	18	0	0
1986	25	16	2	2001	42	0	0
1987	29	8	0	2002	4	0	0
1988	35	2	0	2003	27	0	0
1989	41	7	0	2004	8	2	0
1990	45	2	4	2005	46	7	2
1991	35	2	0	計	1,129	179	38

よって、散水量を比較すると $14,098/20,863=0.68$ となり、温度変化に応じて3通りに散水量を変える節水型防霜かんがい方式を導入することで、32%の節水が可能となることがわかった。

7. おわりに

検討した節水型防霜かんがい方式は、従来型の自動散水、止水制御装置に改良を加え、温度に応じた、多段階の散水量設定を可能にしたことにより、散水量の節減を可能にするものである。

この方式は鹿児島県内各地で普及し始めている状況であるが、設定温度と散水量は、散水氷結法の理論に基づく熱収支のバランスが取れるよう、シビアに設定されるよう願っている。今回検討した、無散水時の茶株面での切り替え温度である -1°C 及び -3°C は、散水氷結中のセンサーの温度と同一ではないと考えられることから、今後、双方の温度差やセンサーの設置方法について、現地試験等で確認する必要がある。

また、本方式の導入面積が直ちに拡大するものではなく、面積の拡大は、本方式の導入について土地改良区内の合意形成が図られ、温度対応制御機が設置された上で検討されるべきことと考える。

このことから、節水型防霜かんがい方式による散水量の節減には、営農面の努力・協力が必要であることを理解いただきたい。

引用文献

1. 「水と土」平成19年第148号「曾於地域における間断散水による茶の防霜かんがい諸元策定に向けた検討状況の報告」吉村博人
2. 「茶業振興対策資料」平成22年度 鹿児島県
3. 茶業研究報告 第106号 別刷 2008年12月

土砂トンネルの安全性に関する実証調査及び解析

松 田 貢 一* 長 嶋 秀 昭** 上 見 謙 太**
 (Kouichi MATSUDA) (Hideaki NAGASHIMA) (Kenta UEMI)

目 次

1. はじめに	27	4. 解析結果	30
2. 現地調査	27	5. まとめ	33
3. 解析手法	29	6. おわりに	34

1. はじめに

高鍋川南地区は宮崎県のほぼ中央に位置している。本地区のかんがい施設の構成は、A～Cの3つ幹線水路からなり、施設延長は水路トンネル（以下「トンネル」という）が10.8km、開水路・サイホンが9.9km、構造はすべて無筋コンクリートライニングである。

これら施設は造成後60年以上経過しているため、欠損や摩耗など老朽化が著しく、特に、一部のトンネル覆工天端には縦断方向に幅2mm程度のクラックが連続しており、機能診断ではこれを塑性土圧（偏圧）による圧ざと判断し、パイプインパイプによる補強工法が必要と判断している箇所がある。

また、トンネル周辺の土地利用状況はB及びC路線を中心に混住化が進行し、多数の家屋や道路等が存在する一方、近年、トンネル地表部の陥没事故（幸いにも人身事故に至ってない）が頻発している問題を抱えている。

このため、地表陥没の原因究明と陥没対策の検討を行うとともに老朽化トンネルのクラック等の変状、応力状態を的確に判断するために各種調査を実施し、これら調査結果から解析を行うことでトンネルの力学的安全性と空洞対策を評価した研究事例について報告する。

表-1 水路工種別延長

項 目	全体延長 km	トンネル						開水路・サイホン	
		2R 標準馬蹄形		3R 赤口形		ホロ形		箇所	km
		箇所	km	箇所	km	箇所	km		
A路線	6.1	18	5.0	0	0.0	0	0	10	1.0
B路線	4.7	0	0.0	2	0.7	0	0	11	4.0
C路線	10.0	12	4.1	0	0.0	7	1.0	24	4.9
計	20.8	30	9.1	2	0.7	7	1.0	45	9.9



図-1 地区概要

2. 現地調査

解析に必要なデータを収集するために、地区内の測量、地質調査、地下水調査、施設機能診断、空洞調査、現場載荷試験を実施した。

2-1 測量調査

図面等の水利施設情報は造成年次が古いためほとんど残っていない。そのため、平面図は関係市町が所有する1/5,000の図面を用い、また水路縦断面図及び土被りの把握に必要な地表標高は測量を実施して、1/1,000の縦断面図を作成した。縦断面図からA路線は山岳部を通過しており土被りが7～25mの岩トンネル、B及びC路線は平野部を通過しており土被りは4～15mの土砂トンネルということが判明した。

*九州農政局南部九州土地改良調査管理事務所
 (Tel. 0986-23-1293)
 **若鈴コンサルタンツ(株) (Tel. 052-501-1361)

2-2 地質調査及び地下水調査

B及びC路線の土砂トンネルの地質調査のためB路線で1孔、C路線で6孔のボーリング調査及び土質調査等を行い、補足調査として空洞調査時に覆工に孔を開けて、そこから地山の状況を評価した。その結果、B及びC路線の延長2/3がN値30~50の玉石混じり砂礫層（Cタイプ）、延長1/3がN値5前後の緩いシルト質粘性土（Dタイプ）と評価した。土質調査（粘着力c, 内部摩擦角 ϕ , 単位体積重量 γ , 標準貫入試験, 孔内水平載荷試験）は、ゆるみ土圧や鉛直荷重, 水平荷重の算定にも使用した。

また、ボーリング孔を利用した地下水位調査からトンネル底版から天端付近まで水位変動があることが判明した。



図-2 土砂トンネル区分図

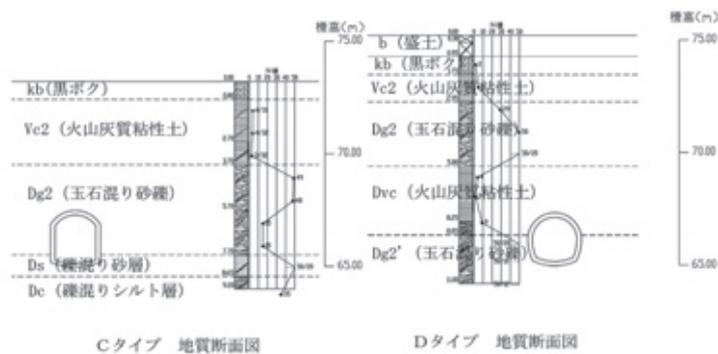


図-3 地質断面図

2-3 機能診断調査

機能診断調査は、近接目視や打音調査等により、ひび割れ、剝離・剝落、コンクリートの浮き、湧水、摩耗レベルを調査し、さらにコア抜き調査、圧縮試験等を行った。コンクリートの圧縮強度は、 $16\sim 40\text{N/mm}^2$ であり無筋コンクリート設計基準強度の 16N/mm^2 を満足しているが、コンクリート面のひび割れや欠損、湧水が各所に散在すること及び空洞ありとの機能診断結果

から補修（改修）が必要とされるS-3評価が開水路で78%、トンネルでは100%となっている。

劣化要因は施工当時のセメント量不足やコンクリートの品質、ジャンカやコールドジョイント等の施工不良が主な原因と考える。

2-4 空洞調査

本地区の問題として水路施設の老朽化に加えて、トンネルの地表陥没事故がある。このため、空洞や地山の比誘電率の違いを利用して覆工背面状況を調査する電磁波レーダにより空洞調査を実施した。この空洞調査は、レーダ調査の補正作業（キャリブレーション）として、トンネル延長30~50m毎に覆工天端に $\phi 2\text{cm}$ 程度の孔を開け、そこから空洞高及び地山状況を確認するとともに、縦断50m毎に横断調査も実施した。

その結果、図-4事例に示すように、ほぼトンネル全線にわたり空洞（覆工背面の崩積土を含む。地区最大で200cm）が確認された。

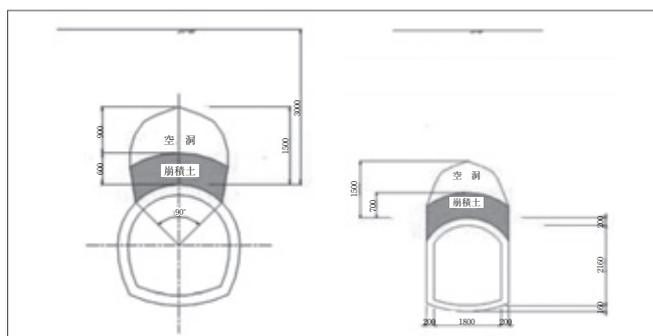
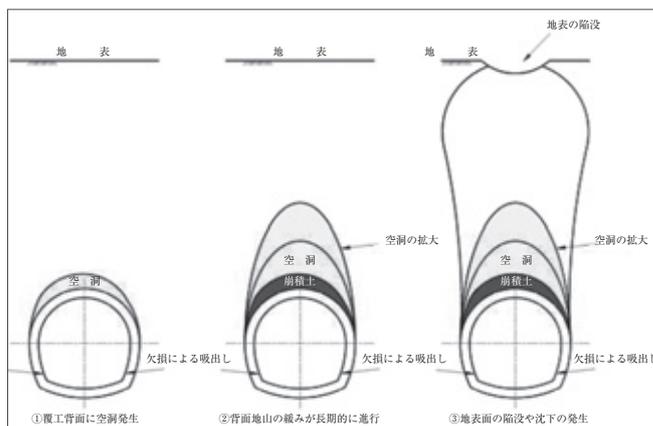
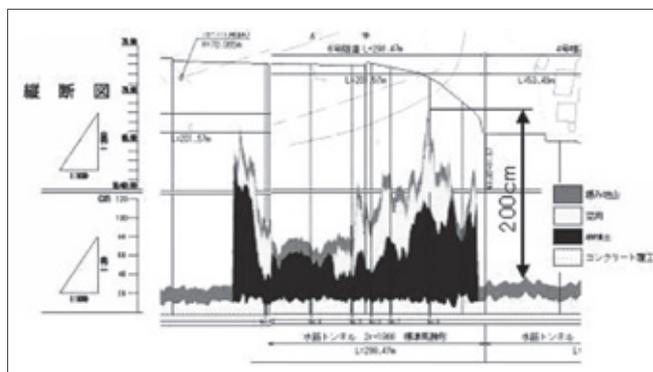


図-4 空洞関係図

空洞調査及び地質調査から本地区の地表陥没の原因は、掘削のため支保工を立て込むため余堀りが充填されず、その後背面地山が経年変化や湧水による地山土砂がトンネル欠損部から吸い出され、地山のゆるみ領域が広がり、地表陥没に至ったものと推定している。

レーダ調査では、天端と天端の左右45°方向の3測線を行う事例が多いが、あるトンネルで空洞量を3測線の場合と天端のみ1測線とで比較したところ、3測線調査が約10%増えた。一方、3測線調査の空洞量とH20及びH21で実施した可塑性モルタルによる空洞充填工事の注入実績量を比較したところ、注入実績が約220%増えた。注入実績が大幅に増えた理由は、地山の凸凹や覆工背面以外の間隙等にも充填されたと考えられ、レーダ調査による空洞解析の精度が悪いものではないと考える。但し、レーダ調査は3測線と1測線の大きな差はなく費用対効果の面から1測線で十分であると判断する。

2-5 現場载荷試験

载荷試験方法は3rホロ形トンネルを対象に、地上部から約6m開削しトンネル覆工上面を露出させここに1mの線荷重を载荷する状態を形成し、20tf重量のバックホウを反力として、油圧ジャッキで1tf毎の载荷と除荷を繰り返した。

同定解析に用いる測定値としては、载荷試験地点のトンネル内部にπ型ゲージ箇所、変位計を3箇所（鉛直方向1箇所、水平方向2箇所）、ひずみ計5箇所で測定した。

荷重は最大100kNまで载荷した時点まで弾性的の変位を示していたが、105kN载荷させ静止した時点で変位に異常が確認されたため、そこで試験を打ち切った。なお、载荷試験前にATENA（計算力学研究センターが扱っている非線形有限要素法解析プログラム）により水平荷重が作用しない状態で破壊シミュレーションをした時の破壊荷重100kNにほぼ近似した。この試験で得られた水平変位データ及びひずみデータを図-5に示す。

3. 解析手法

3-1 解析方法

解析は、ATENAにより破壊解析を行い、その結果を踏まえフレーム解析を行った。解析フローチャートを図-6に示す。

同定解析は、次に行う再現解析の際に求める水平荷重算定のための水平土圧係数及び地盤反力係数を求めることにある。水平土圧係数は载荷試験から得られたデータに解析値が合致するよう試行計算した結果、鉛直荷重としてゆるみ土圧が作用すると仮定した場合は、 $k=1-\sin\phi$ （Jakyの式で ϕ は土質試験から得られた値14°）0.76、また鉛直荷重として全土圧が作用す

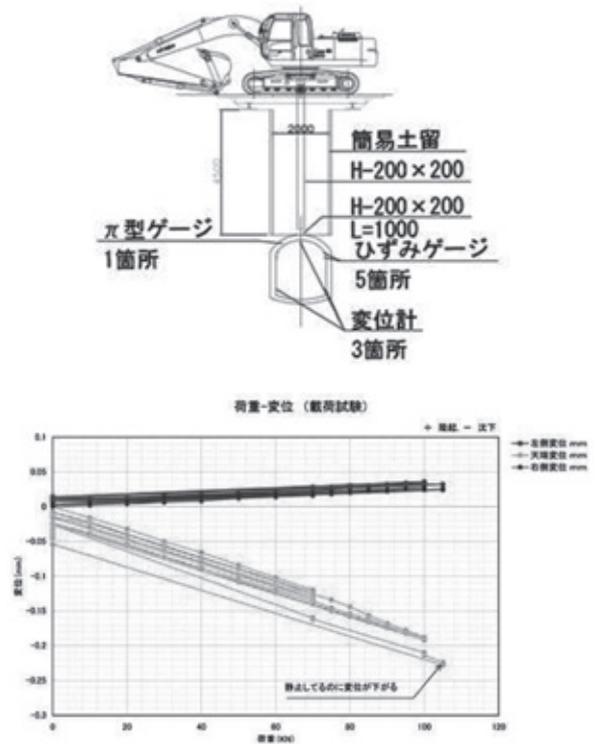


図-5 現場载荷試験

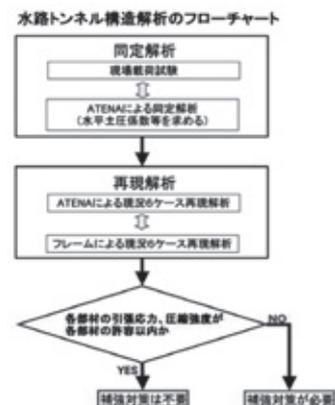


図-6 解析のフローチャート

ると仮定した場合は $k=0.5$ となった。地盤反力係数はボーリング孔内で行った水平载荷試験値を採用した。ATENAにおける破壊の定義とはトライアル計算において変位が収束しなくなる状態をいう。

テルツアギーのゆるみ土圧式

$$P = \frac{\gamma t \cdot B1 - c}{k \cdot \tan \phi} (1 + e^{-k \cdot \tan \phi \cdot H/B1}) + q \cdot e^{-k \cdot \tan \phi \cdot H/B1}$$

$$B1 = BO + 2 \cdot BO \cdot \tan (45^\circ - \phi/2)$$

ここに、 p : 等分布垂直荷重 (kN/m²)

$B1$: 土圧の影響幅 (m)

γt : 土の単位重量 = (kN/m³)

c : 粘着力 (kN/m²)

ϕ : 内部摩擦角 (°)

k : 1 (砂質土の実験値)

q : 群集荷重 (kN/m²)

H : 土被り (m)

3-2 解析条件

解析の検討断面は3rホロ形及び2r標準馬蹄形とし、部材厚及び圧縮強度は、同定解析においては表-2に示すように試験値に合致させるため実測値を用い、再現解析においては設計巻き厚を用いた。なお、3rホロ形と標準馬蹄形の各寸法、アーチ、側壁、インバート等の各部位の呼称を図-7に示す。

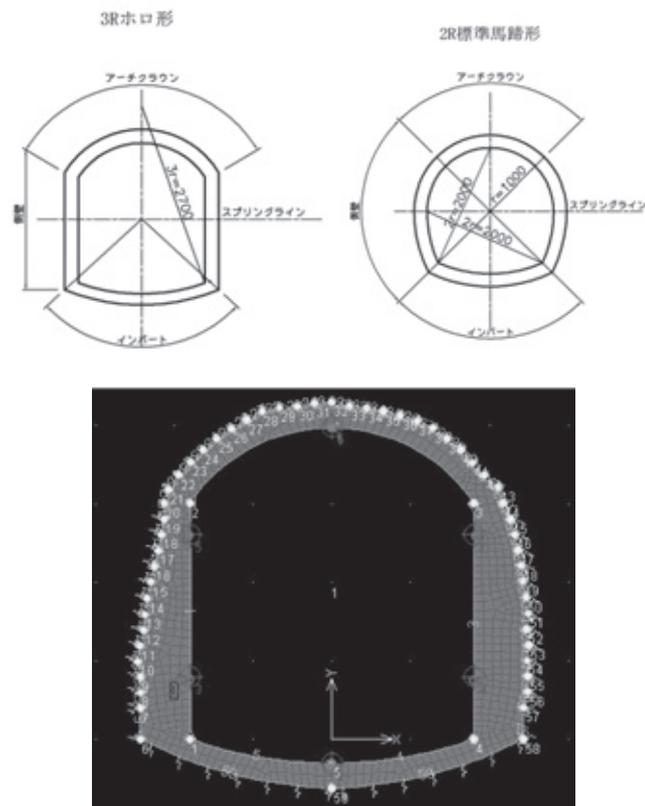


図-7 各解析の検討断面及び各部位の呼称

表-2 解析諸元

内空断面形式	同定解析				再現解析 (フレーム解析)			
	圧縮強度 (kN)	部材厚 (cm)			圧縮強度 (kN)	部材厚 (cm)		
		アーチ	側壁	インバート		アーチ	側壁	インバート
3Rホロ形	23	15.6	実測値	20.0	18	20.0	20.0	-
2R標準馬蹄形	-	-	-	-	18	20.0	20.0	-

再現解析における荷重の組合せとしては、次の3ケースの検討結果を報告する。地下水及び宅地荷重についてはこれらを考慮した場合としない場合を解析したが、この3ケースの解析結果との違いがないのでここでは割愛する。トンネルの地山区分は両方ともCタイプ、土質定数は表-3のとおりである。

表-3 土質定数

名称	3Rホロ型	標準馬蹄形	備考
単位体積重量 (kN/m ³)	19.0	17.5	湿潤密度試験
土の粘着力 (kN/m ²)	19.8	58.6	三軸圧縮試験
土の内部摩擦角 (°)	13.7	8.2	#
地盤反力係数 (kN/m ²)	32.7	93.2	孔内水平載荷試験
土かぶり (m)	5.7	4.5	

表-4 荷重の組合せ

検討ケース	現場状況	鉛直荷重	水平荷重
ケース1	空洞なし (空洞充填)	ゆるみ土圧 (全土圧)	ゆるみ土圧 × 0.76
ケース2	空洞あり (現況)	崩積土	全土圧 × 0.5
ケース3	地表陥没 (現況)	全土圧	全土圧 × 0.5

鉛直荷重は、空洞なしではテルツアギーの式が適用できる土質ではゆるみ土圧を用い、適用できない土質では全土圧を用いた。また、空洞ありでは空洞調査の結果から崩積土約70cm分をホロ形ではアーチ全面に、標準馬蹄形では天端から90°分散したアーチ面に載荷させた。ゆるみ土圧の算定は粘着力c、内部摩擦角φ、単位体積重量γはそれぞれの現場で行った土質調査結果を用いた。

側壁の支持条件は、土砂トンネルではインバートが岩盤で固定されていないので地盤に相当するバネ定数をインバート及び側壁に設定するのが一般的であるが、今回の載荷試験では載荷領域の両端が固定され、トンネル縦断方向の変形が拘束された状態であることからATENAによる再現解析ではバネと固定の両方を検討し、フレーム解析では固定のみで検討した。

なお、フレーム解析において、ATENAの解析結果が側壁基部にひび割れや破壊が発生している場合は側壁基部の支持条件を固定とヒンジの両方検討した。

4. 解析結果

4-1 ATENAによる再現解析

ATENAによる3rホロ形と2r標準馬蹄形の再現解析を行った。いずれも空洞を充填することで安全性が確保されることが判明した。

(1)3rホロ形

検討結果を図-8に示す。現場条件に最も近い空洞あり (ケース2) では、バネでは側壁破壊、固定では側壁基部ひび割れという結果になっている一方、空洞なし (ケース1) では、バネも固定も健全という結果となっている。これは、荷重図に示すように空洞あり (ケース2) では、水平荷重が鉛直荷重に比べて卓越して大きいことから最大曲げモーメントが側壁中央或いは側壁基部に生じる破壊やひび割れとなるが、空洞なし (ケース1) では鉛直荷重と水平荷重の荷重バランス (均衡) がとれているため各部位の最大曲げモーメントも小さくなり健全となるものと考えられる。

(2)2r標準馬蹄形

検討結果を図-9に示す。現場条件に最も近い空洞あり (ケース2) では、固定では側壁基部ひび割れという結果になっている以外はすべて健全である。側壁基部ひび割れとなった原因は、3rホロ形と同様に、空洞あり (ケース2) があると水平荷重が鉛直荷重に比べて卓越して大きいことから、最大曲げモーメントが側壁基部に生じるためと考える。なお、空洞なし

検討ケース	ケース1 (空洞無)	ケース2 (空洞有)	ケース3 (地表陥没)
荷重図			
解析結果	健全	側壁破壊	心ノリ破壊
ばね			
解析結果	健全	側壁基部ひび割	健全
固定			

図-8 ATENAによる3rホロ形ケース別の再現解析

検討ケース	ケース2 (空洞有)	ケース1及び3 (空洞なし、地表陥没)
荷重図		
解析結果	健全	健全
ばね		
解析結果	側壁基部ひび割	健全
固定		

図-9 ATENAによる標準馬蹄形ケース別の再現解析

(ケース1)は現場の土質は粘着力が大きいことからゆるみ土圧が適用できないため、鉛直荷重を全土圧とするケース3に近似すると判断することから解析は割愛する。

4-2 フレーム解析

(1)解析手法

解析を汎用化(ATENAでは負荷した荷重により構造物が健全かどこで破壊するかは解析できるが、当該部位の応力値は算定できない)するためにATENAの再現解析結果に近似するようフレーム解析した。トンネルはホロ形、馬蹄形など構造形式別や、アーチ、側壁、インバートの部材毎にも構造に相違があり、それぞれの構造に応じた耐力があると考えられる。このため、次の手順でアーチと側壁毎のひび割れ応力度と破

壊応力度を求め、フレーム解析の3ケースの応力度結果と照査した。

- ①アーチ及びサイドがひび割れと破壊に達する鉛直荷重と水平荷重をATENAで解析する。
- ②ATENAで算定した鉛直及び水平荷重の条件でフレーム解析を行い、各部位のひび割れ曲げ引張(圧縮)限界応力度と破壊曲げ引張(圧縮)限界応力度を算定する。
- ③3rホロ形と2r標準馬蹄形のヒンジ条件で3ケース(空洞無、空洞有、地表陥没)、固定条件で空洞有のみのフレーム解析を行い、それぞれの部位の断面力(モーメント、軸力、せん断力)による応力度が上記②以下となっているかを検証する。

条件	3rホロ形アーチ部 ひび割れ	3rホロ形アーチ部 破壊	2r標準馬蹄形アーチ部 ひび割れ	2r標準馬蹄形アーチ部 破壊
荷重図				
解析結果	鉛直荷重 231kN/m ² ひび割れ圧縮 3.9N/mm ² ひび割れ引張 2.6N/mm ²	鉛直荷重 257kN/m ² 破壊圧縮 4.3N/mm ² 破壊引張 2.9N/mm ²	鉛直荷重 281kN/m ² ひび割れ圧縮 5.1N/mm ² ひび割れ引張 3.6N/mm ²	鉛直荷重 1274kN/m ² 破壊圧縮 23.5N/mm ² 破壊引張 16.7N/mm ²
条件	3rホロ形側壁部 ひび割れ	3rホロ形側壁部 破壊	2r標準馬蹄形側壁部 ひび割れ	2r標準馬蹄形側壁部 破壊
荷重図				
解析結果	水平荷重 60kN/m ² ひび割れ圧縮 2.6N/mm ² ひび割れ引張 2.4N/mm ²	水平荷重 86kN/m ² 破壊圧縮 3.8N/mm ² 破壊引張 3.5N/mm ²	水平荷重 58kN/m ² ひび割れ圧縮 3.3N/mm ² ひび割れ引張 2.96N/mm ²	水平荷重 82kN/m ² 破壊圧縮 5.4N/mm ² 破壊引張 5.1N/mm ²

図-10 ATENAによる荷重限界のひび割れ及び破壊図

表-5 フレーム解析による3rホロ形のケース別部材断面力

荷重条件	ケース1 (空洞無) ヒンジ		ケース2 (空洞有) ヒンジ		ケース3 (地表陥没) ヒンジ		ケース2' (空洞有) 固定	
モーメント図								
部 位	アーチ	側壁	アーチ	側壁	アーチ	側壁	側壁	側壁基部
モーメント (kN・m)	5.603	9.299	9.874	23.834	9.732	13.039	11.894	25.788
軸 力 (kN)	38.738	83.350	45.061	22.910	59.949	138.810	19.407	26.772
曲げ圧縮発生応力度 (N/mm ²)	1.555	1.439	2.596	2.803	2.656	2.082	1.433	3.041
曲げ引張発生応力度 (N/mm ²)	1.071	0.671	2.033	2.604	1.906	0.875	1.265	2.809
破壊曲げ圧縮応力度 (N/mm ²)	4.3 (3.9)	3.8 (2.6)	4.3 (3.9)	3.8 (2.6)	4.3 (3.9)	3.8 (2.6)	3.8 (2.6)	3.8 (2.6)
破壊曲げ引張応力度 (N/mm ²)	2.9 (2.6)	3.5 (2.4)	2.9 (2.6)	3.5 (2.4)	2.9 (2.6)	3.5 (2.4)	3.5 (2.4)	3.5 (2.4)
判 定	OK	OK	OK	NG	OK	OK	OK	NG

() は、ひび割れ限界応力度を示す。

表-6 フレーム解析による2r標準馬蹄形のケース別部材断面力

荷重条件	ケース2 (空洞有) ヒンジ		ケース1及び3 ヒンジ (空洞なし, 地表陥没)		ケース2' (空洞有) 固定	
モーメント図						
部 位	アーチ	側壁	アーチ	側壁	側壁	側壁基部
モーメント (kN・m)	7.397	13.330	5.843	1.954	7.706	14.972
軸 力 (kN)	41.261	17.911	48.254	73.691	16.321	39.197
曲げ圧縮発生応力度 (N/mm ²)	2.559	2.873	2.133	0.839	1.696	3.339
曲げ引張発生応力度 (N/mm ²)	1.970	2.662	1.444	0.028	1.504	2.878
破壊曲げ圧縮応力度 (N/mm ²)	23.5 (5.1)	5.4 (3.3)	23.5 (5.1)	5.4 (3.3)	23.5 (5.1)	5.4 (3.3)
破壊曲げ引張応力度 (N/mm ²)	16.7 (3.6)	5.1 (2.9)	16.7 (3.6)	5.1 (2.9)	16.7 (3.6)	5.1 (2.9)
判 定	OK	OK	OK	OK	OK	NG

() は、ひび割れ限界応力度を示す。

(2)解析結果

ATENAの解析結果に合致するようフレーム解析を行ったので、ケース2 (空洞有) では側壁或いは側壁基部が所要の安全性を満足しない結果となっている。

3rホロ型は、アーチ部の破壊荷重257kN/m² (土被り換算で13.5m) に比べて側壁の破壊荷重86kN/m²と1/3程度の耐力しかない。また、ひび割れ荷重(231kN/mm²)から破壊(257kN/mm²)に至る荷重が小さいことから、ひび割れが確認された場合は早急に補強を行う必要がある。

2r標準馬蹄形はアーチ部のひび割れ荷重(281kN/mm²)から破壊(1274kN/mm²)に至る荷重が4.5倍と、ひび割れが生じてもすぐには破壊に至らない。これは、2r標準馬蹄形は構造が円形に近い力学的安全性が確保できると考える。

5. まとめ

老朽化した水路トンネルの応力状態を解明するための今回アプローチ(現場載荷試験→ATENAによる破壊解析→フレーム解析)は、現場の変状実態を反映した解析結果となった。特に今回工夫した点は、フレーム解析における部材応力度チェックをアーチ及び側壁の部材毎にひび割れ応力度と破壊応力度で照査したところにある。また、トンネル覆工背面に空洞があるとトンネルの安全性に大きく影響があることが判明した。すなわち、通常鉛直荷重として作用する(ゆ

るみ)土圧が空洞があることで、極めて小さい崩壊土砂程度しか作用せず水平荷重が卓越して大きくなるため、アーチ中央部と側壁中央部に最大曲げモーメントが発生する。その結果、トンネルのアーチ覆工の外側(地山側のため目視確認できない)と側壁の覆工内側に曲げ引張力によるクラックが発生しやすい状態となる。実際に3rホロ形では側壁中央部の一部に連続するクラックを確認している。なお、アーチ覆工の内側に連続するクラックは圧ざとは考えられず、温度やコンクリートの収縮による初期クラックであると考えられる。このように、土砂トンネルの空洞はトンネル自体の安全性及び地表陥没を防止する社会的安全性のため空洞充填を行う必要がある。また、空洞充填は地圧を均等に分布させ、地山反力を構造全体で受けることにより構造が安定し、また注入材料の固結強化がコンクリート覆工の質的また安全性向上などトンネル補強につながる。

本地区の地表陥没やトンネル補強対策としては、トンネル地表部が宅地、農地、山林等の土地利用状況と空洞規模から空洞充填箇所の重要度区分を行うとともに、空洞充填とトンネル内部欠損補修を並行して早急に推進していく必要がある。

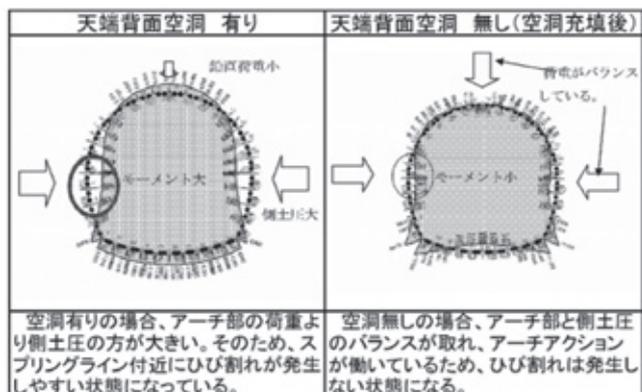


図-11 検討ケース事例

6. おわりに

国内に存在する水路トンネル2千kmの多くが耐用年数を迎えつつある中で、循環型社会の構築と公共事業の一層の削減に応えるためにもこのような補修・補強を行って施設の長寿命化を進めていく必要がある。

既設のトンネルは開水路等と比較して覆工巻き厚（アーチ、側壁、インバート）が縦断方向の検討断面で一定ではないこと、また、経年変化とともに空洞の拡大や地表部の土地利用状況が農地から宅地に変わるなど荷重条件にも留意して機能診断を行う必要がある。

最後に、現場载荷試験及び解析にご協力頂いた島根大学長東教授、石井准教授及び鳥取大学緒方准教授、また、高鍋川南地区水路トンネル施設評価及び対策工法検討委員会で審議して頂いた関係者（委員長：農業工学研究所森上席研究員、委員：宮崎大学中園准教授、鳥取大学緒方准教授）に深甚なる謝意を表します。

参考文献

基礎研究 (B) 18380143 農業水利施設のストックマネジメントのための予防保全対策に関する研究 H21.3
 研究代表者 長東 勇 p164, 165
 設計基準水路トンネル P10, 15, 27, 270, 551

反転均平工法におけるコスト縮減と適合性検証

平 山 敏 幸* 田 中 望*
(Toshiyuki HIRAYAMA) (Nozomu TANAKA)

目 次

1. はじめに	35	3. 反転均平工法の適合性検証	37
2. 反転均平工法の採用とコスト縮減	35	4. おわりに	40

1. はじめに

県営経営体育成基盤整備事業「新道地区」は、NHK大河ドラマ「天地人」の舞台でもある新潟県上越市の都市近郊農用地地帯に位置している。

昭和30年代に5～10a区画で耕地整理され（区画整理区域）、県営ほ場整備事業新道地区で30a区画に整備（土地総区域）されたが、農道幅員は狭小で水路も用排兼用となっている。よって、近代の大型機械化農業に対応できず、農地集積も進んでいないのが現状であった。また、市街化に起因して、用水の水質悪化や地区外排水量の増加により農地湛水被害を生じていた。

この状況を解消し、担い手や農業経営体の育成を図るため、平成16年度より本事業に着手し、標準区画100a（長辺125m×短辺80m）の大区画化を基本に整備を進めている。

本地区は、標高4.2～7.2m程度で、国道18号線バイパスに沿って南北に緩やかに傾斜している。また、土地総区域の標高は3～13m程度で、1級河川関川に沿って南から北へ向かい平均1/800内外の傾斜をなした沖積地帯である。土壌は、母材が非固結水成岩からなる強グライ土壌となっている。

農地の集団化や大型機械の共同利用を進め、水稲転作による複合的な営農により農業経営の安定を図っていくこととして約40haで区画整理を進めているが、事業費コストの縮減を図るため、試験的に一部区域において整地工で反転均平工法を採用した。（写真-1）

なお、本県における同工法の採用は初めてであり、本報では、同地区におけるコスト縮減及び、作物への影響等について、従来工法と比較・検証した調査結果について紹介する。



写真-1 施工位置

2. 反転均平工法の採用とコスト縮減

(1)反転均平工法の概要

反転均平工法は、1998年に北海道で始まった新しい整地工法で、新潟県内での導入は本地区が初めてである。

同工法は、トラクター又はブルドーザーに装着された専用のレーザープラウにより土壌の耕起を行い、表土と心土を反転させるもので、反転して表に出てきた心土を乾燥させた後、運土整地を行う。最終的な均平

*新潟県上越地域振興局農林振興部
(Tel. 025-526-9614)

作業はレーザーレベラーを使用し高い精度の均平作業が可能となる。

従来型工法に比べ経済的で、過度な転圧や練り返しがなく、透水性が良い等のメリットがあるとされている。一方で、表土と心土が完全に分離できない、心土层に石礫がある場合は施工が難しいなど注意すべき事項もある。参考までに同工法の作業フローを図-1及び作業状況を写真-2に示す。



図-1 作業フロー (出典：スガノ農機資料より抜粋)



写真-2 反転均平工法作業状況

(2)コスト縮減効果

本地区では、区画整理面積40haのうち、試験的に15haで同工法を採用し、表土扱いを伴うⅡ工法で施工した。(図-2 工法選定フロー)

工法選定フローチャート

ほ場整備における整地工で、反転均平工法を採用する場合のフローチャートです。反転均平工法の採用には、心土の混入、施工時期、耕起深、土壌条件等の判断がポイントになります。

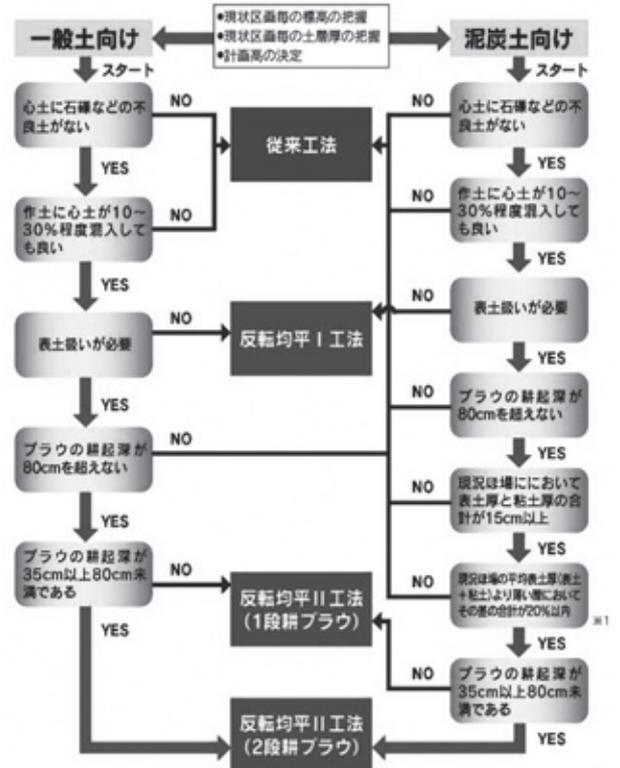


図-2 工法選定フロー(出典：スガノ農機資料より抜粋)

ここでは、同工法と従来型工法の本工事における工事コストを比較する。

本工事では、15haで反転均平Ⅱ工法を採用しているが、うち13.7haでプラウの耕起深が35cm未満であり1段耕プラウを使用、1.3haで耕起深が35~65cmであり2段耕プラウを使用している。従来型工法は、ブルドーザー16t級による基盤切盛、整地、表土はぎ戻し作業で試算している。

表-1で示すとおり、両工法の直接工事費を単価比較した場合、従来型工法と反転均平工法では、約40%の工事コストが縮減された。

従来型工法では、表土扱いが整地工全体の約半分を占めているため、ブルドーザーによる表土はぎ戻しがプラウによる反転耕起に代替したことで大幅なコスト縮減に至っている。

また、同じ反転均平工法であっても、耕起深(田面標高差)によりプラウを使い分けることから、標高差が大きな地域での工事においては、扱う土量が多く、運土・荒整地費も高くなり、コスト縮減率が減少する傾向にあると考えられる。

表-1 整地工事費比較表

工法	項目	単価(千円/ha)	備考
従来型工法	ほ場整備工(表土～基盤造成)	1,190	約40%のコスト削減
反転均平工法	反転耕起(表土～仕上げ)	705	

3. 反転均平工法の適合性検証

(1)調査概要

反転均平工法は、「表土と心土が完全に分離できない」ことや「作物の生育にムラが多い」等の工法的特徴もある。(表-2 反転均平工法の特徴)

このため、実際に水稻等の作付けを行い地耐力や作目の収量等の影響について、従来型のブルドーザーによる表土扱いで施工した水田と反転均平工法により施工した水田を比較・調査し、本県の重粘土に適合するかを検討するものである。

表-2 反転均平工法の特徴

従来型工法	反転均平工法
・ 表土と心土が完全に分離できない	・ 表土と心土が完全に分離できない
・ 過度な転圧による団粒構造の破壊	・ 心土層に団粒構造がある場合、団粒構造が破壊される
・ 表土の均一な処理	・ 作物の生育にムラが生じる
・ 表土の厚さが均一	・ 表土の厚さが不均一

調査にあたっては、均平工法以外の影響ができるだけないように、実証田(H19 実施 反転均平工法)と対象田(H18 実施 従来工法)をそれぞれ1枚選定し、同種の作物を栽培する等、以下の点に留意し、ほ場箇所を選定した。

<留意点>

- ・ 土壌条件、栽培履歴を統一するため、近接したほ場とする。
- ・ 整備前の地形(水路や道路)及び河川の影響が少ないほ場とする。
- ・ 水管理や肥培管理などの栽培管理を統一するため、同一耕作者とする。

(2)調査・試験項目及び方法

調査・試験項目は、反転均平工法の特徴から土壌条件の他、実際の作付けによる水稻への影響なども項目に加え複数年調査を行った。(表-3 調査項目)

表-3 調査項目

調査項目	調査時期	調査実施回数	実施時期	備考
土壌調査	4月	1回	4月	
地下水水位調査	5月、10月	2回	5月、10月	
稲の生育状況調査	5月、10月	2回	5月、10月	
稲の収穫量調査	4月	1回	4月	
稲の生育状況調査	5月、10月	2回	5月、10月	
稲の収穫量調査	5月、10月	2回	5月、10月	
稲の生育状況調査	5月、10月	2回	5月、10月	
稲の収穫量調査	5月、10月	2回	5月、10月	

各調査内容は以下のとおりである。(図-3 観測機器配置図)

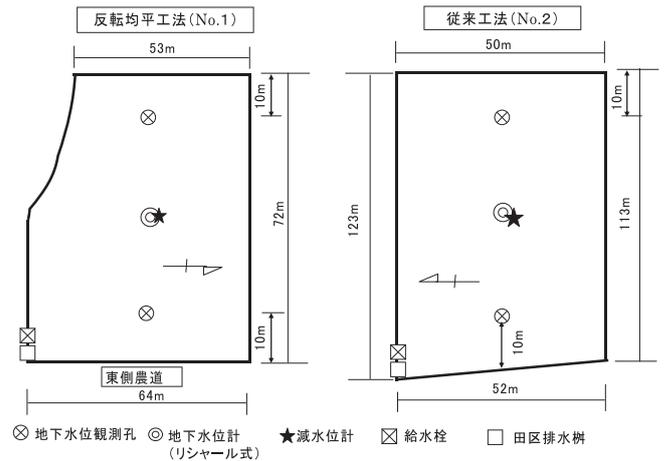


図-3 観測機器配置図

①土壌調査

- ・ 圃場に縦横1m、深さ1m程度掘削し、土壌断面の形態や諸性質及び地下部の土壌条件や作物根の分布状況・グライ反応・試料採取等を行う。また、採取した試料は、土質試験を行い、土壌図資料及び作物の根の伸長阻害や透水不良で緻密な層を把握する。

②地下水水位調査(5月～11月)

- ・ 圃場中央部にリチャール式水位計(写真-3)を設置し地下水位の挙動を観測する。
- ・ 短辺側に2ヶ所観測孔(写真-4)を設け、地下水位を目視にて観測する。

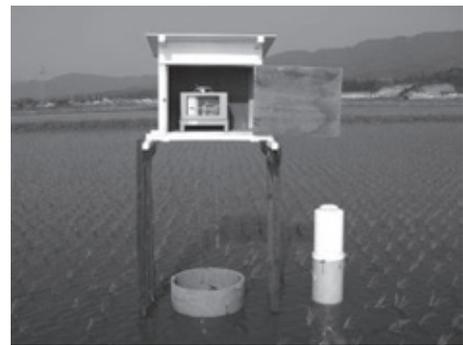


写真-3 リチャール式自記水位計



写真-4 地下水水位観測孔

③減水深調査 (5月～9月)

・圃場中央部に設置し減水位計 (写真-5) により田面水位の挙動を観測する。



写真-5 減水位計

④地耐力調査

・自記式貫入式土壌硬度計により貫入抵抗 (MPa) を測定し、地耐力、作業性、作物根の伸長に対する土の抵抗力を判断する。

⑤生育・収量調査

・生育調査・収量調査により、水稻品種を変更し作物への影響調査を行う。(上越農業普及指導センター実施)

(3)調査・試験結果

平成20年、平成21年調査結果は、以下のとおりであった。

①土壌調査

調査地点の土壌断面柱状図は、図-4に示すとおりで、土壌タイプは反転区 (NO.1)、従来区 (NO.2) ともにグライ層が1層目から表れる、D31強グライ土壌強粘土斑鉄型であった。

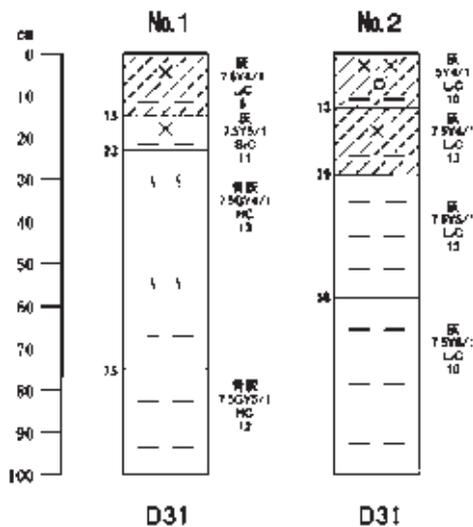


図-4 土壌柱状図

②地下水位調査 (5月～11月)

平成20年の地下水位と降雨量の推移は、図-5に示すとおりである。

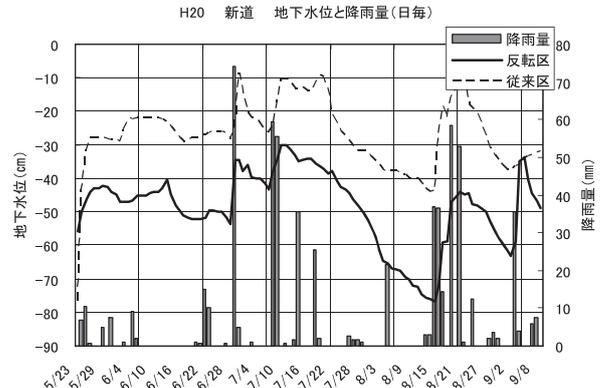


図-5 平成20年地下水位と降雨量

観測期間中における地下水位はいずれの試験区においても降雨により上昇し、その後は緩やかに降下するという動向を示し、推移の状況もよく似た傾向を示している。降雨後の水位低下状況を見ると、7月19日～8月3日の間で従来区が-9cmから-38cmと29cm低下しているのに対し、反転区は-37cmから-65cmと28cmの低下であり、ほぼ同じ水準である。

また、平成21年の地下水位と降雨量の推移 (図-6) も、平成20年と同様の傾向を示している。7月11日～7月16日の6日間で従来区が-15cmから-29cmと14cm低下しているのに対し、反転区は-25cmから-39cmと14cmの低下であり、ほぼ同じ水準である。

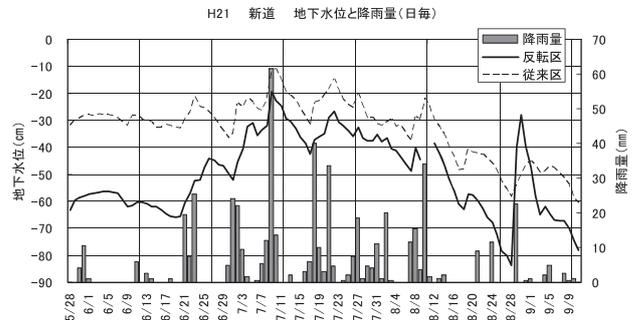


図-6 平成21年地下水位と降雨量

③減水深調査 (5月～9月)

平成20年、平成21年とも減水深は、反転区及び従来区とも、中干し前後で同様な傾向が見られ、工法による違いはなかった。

(表-4 平成20年 平均減水深, 表-5 平成21年 平均減水深)

表-4 平成20年 平均減水深

観測区	観測期間	
	反転区	従来区
中干し前	5/10	5/10
中干し後	8/10	8/10

表-5 平成21年 平均減水深

区	反転区		従来区	
	平均	範囲	平均	範囲
中干式	4.0	0.0-6.0	3.0	0.0-6.0
中干付	4.0	0.0-6.0	3.0	0.0-6.0

④地耐力調査

平成20年の表面から15cmまでの平均貫入抵抗値は、図-7に示すとおりである。

従来区の中央部で0.18MPaとやや低い値を示すが、測定箇所によって多少のバラツキが見られたものの、0.2MPa以上で作業可能な範囲であった。

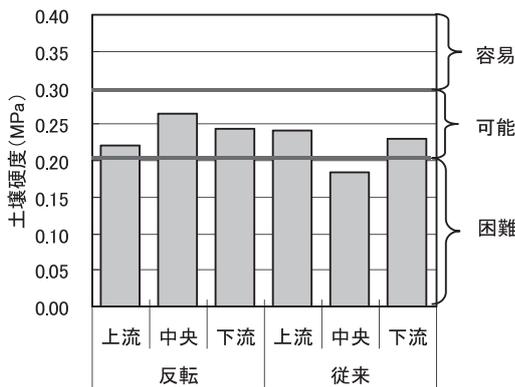


図-7 平成20年土壤抵抗貫入値 (表面から15cm)

また、平成21年 (図-8) は、最低値が従来区下流部の0.29MPaであり、その他の測定箇所はいずれも0.30MPa以上を満たしていた。昨年と比較して大幅な地耐力の向上が認められ、収穫作業が容易な貫入抵抗値を示している。

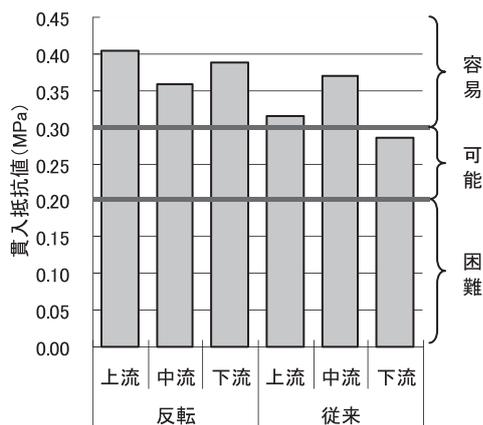


図-8 平成21年土壤抵抗貫入値 (表面から15cm)

⑤生育・収量調査

ア. 平成20年調査結果

実証区 反均転平工法 平成19年度施工
 対象区 従来工法 平成18年度施工
 栽培品種 こしいぶき

・移植期, 出穂期, 成熟期とも同時期であった。(表-6)

表-6

区	育苗様式	移植期	出穂期	成熟期
実証区	稚苗無加温	5月20日	8月2日	9月9日
対象区	稚苗無加温	5月19日	8月3日	9月10日

・生育は、実証区で対象区と比較して草丈やや長く、茎数やや多めとなった。(表-7)

表-7

調査日	実証区				対象区			
	草丈	茎数	葉数	葉色	草丈	茎数	葉数	葉色
6月5日	23.6	86	51	-	23.5	71	5.4	-
6月16日	29.1	237	74	41.3	24.9	187	7.3	41.1
6月25日	42	500	93	41.5	38.6	383	9.3	45.1
7月7日	64	550	106	42.5	59.8	458	11.1	43

・収量構成要素は、実証区では対象区と比較し穂数、一穂着粒数多く、 m^2 当たり籾数は多くなったが、その分、登熟歩合、千粒重が低下し、屑米重は増加した。

また、坪刈りによる精玄米重は、実証区で10aあたり697kg, 対象区で605kgと、実証区の方が1俵以上多かった。(表-8)

・実証区は基盤整備1年目の作付けであることから、土壤の移動に伴う生育差が大きく、盛土部分では生育が過剰気味になり、一部では倒伏も見られた。

表-8

区	精米率	品質評価				成分分析			
		整粒割合	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	割割粒	品質評価値	たんぱく質含有率
実証区	74.1	24.4	4.4	1.9	0.0	0.0	73.3	6.4	18.6
対象区	74.1	22.0	3.0	1.0	0.1	0.0	72.3	6.7	18.7

・玄米品質は、実証区で m^2 当たり穂数、籾数が多くなったことから、株間、一穂内で登熟ムラが発生し、未熟粒が増加したことで整粒割合がやや低下した。(表-9)

表-9

区	品質評価						成分分析		
	整粒割合	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	割割粒	品質評価値	たんぱく質含有率	アミノ酸含有率
実証区	69.4	24.4	4.4	1.9	0.0	0.0	73.3	6.4	18.6
対象区	74.1	22.0	3.0	1.0	0.1	0.0	72.3	6.7	18.7

イ. 平成21年調査結果

実証区 反均転平工法 平成19年度施工
 対象区 従来工法 平成18年度施工
 栽培品種 コシヒカリBL

- ・移植期、出穂期、成熟期とも同時期であった。(表-10)

表-10

H21 育苗、移植期、出穂期、成熟期				
区	育苗様式	移植期	出穂期	成熟期
実証区	稚苗無加温	5月20日	8月8日	9月18日
対象区	稚苗無加温	5月20日	8月8日	9月18日

- ・生育は、初期生育は実証区の方がやや良かったが、最高分けつ期頃からは対象区の生育が実証区に追いつき、幼穂形成期頃の生育は同等であった。また、幼穂形成期にかけての葉色が濃かったことと、7月の日照不足により節間伸長が促進され、成熟期の稈長は長く、ほぼ全面的に倒伏した。
- ・出穂期、成熟期頃の稲姿は両区間でほぼ同等で、稈長は長く、穂数は並みで、紋枯病の発生が少程度見られた。(表-11)

表-11

H21 生育推移(盛土部と切土部平均)								
調査日	実証区				対象区			
	草丈	莖数	葉数	葉色	草丈	莖数	葉数	葉色
6月5日	20.2	84	4.5	-	20.1	71	4.5	-
6月15日	30.4	187	8.3	36.9	29.1	159	8.9	36.9
6月25日	39.7	380	8.5	40.4	37.0	313	8.9	41.1
7月7日	58.5	480	10.0	36.2	60.0	481	10.5	37.8
7月15日	74.6	455	11.0	40.1	75.7	450	11.4	41.0

- ・収量構成要素は、対象区で一穂粒数が増加したこととやや登熟歩合が低下したが、その他の要素は両区間でほぼ同等で、精玄米重は地域慣行よりもやや少なかった。(表-12)

表-12

H21 収量構成要素の推移									
調査日	実証区				対象区				精玄米重
	穂数	穂重	登熟歩合	粒重	穂数	穂重	登熟歩合	粒重	
6月5日	10.2	1.8	1.2	0.2	10.1	1.7	1.2	0.2	1.7
6月15日	18.7	3.6	2.5	0.9	15.9	3.1	2.5	0.9	3.1
6月25日	38.0	7.5	5.5	1.9	31.3	6.2	5.5	1.9	6.2
7月7日	48.0	9.7	7.0	2.7	48.1	9.8	7.0	2.7	9.8
7月15日	45.5	10.5	7.5	3.4	45.0	10.4	7.5	3.4	10.4

- ・昨年度の生育状況から、実証区よりも対象区で一発基肥肥料を多く施用したことにより、登熟期間の栄養条件は対象区の方が良好であったと思われ、粒厚分布、整粒割合は対照区の方がやや良かった。(表-13)

表-13

H21 玄米品質									
区	品質評価						成分分析		
	整粒割合	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	割割粒	品質評価値	タンパク含有率	アミロース含有率
実証区	69.3	29.0	1.0	0.5	0.0	0.0	78.5	5.5	18.7
対象区	72.0	27.2	0.5	0.3	0.0	0.0	78.5	5.5	18.8

(4)考察

室内試験を含む土壌調査については、両工区とも全層からグライ反応があり、強い還元状態であることが確認された。また、透水係数が極めて小さく、三相分布においても気相率が極端に低いことから、排水性の悪い土壌状態であることが示唆された。

地下水位については標高差を加味すると、降雨後に上昇し、その後は低下するという一般的なほ場と同様の傾向を示し、実証区と対象区で地下水位状況に特異な点は見あたらない。

減水深については中干し前後で数値の向上が見られ、中干し後の値は実証区と対象区で8~10.0mm/dayであり、稲作における適正な減水深15~30mmには達しなかったものの工法による違いはない。

地耐力は、平成20年の実証区は全ての測定値において0.2MPa以上であり、営農機械が走行可能な範囲であったが、対象区において中央部が他の測定箇所と比べやや低い値を示した。平成21年は全ての測定値において0.29MPa以上で、営農機械が容易に走行できる範囲であり、地耐力の向上が確認できた。

生育・収量について平成20年は、実証区の調査で、基盤整備後1年目の作付けのため、ほ場内の土壌の移動による生育差は見られたが、その差は従来工法と同程度であった。

また、生育量もやや大きくなり、過剰生育による粒数増加、登熟歩合の低下等が見られるが、従来の基盤整備後の作付けと同様に、基肥を調整した上で生育調節を適正に行い、過剰生育を防止することで適正な収量、品質を確保できるものと思われる。

平成21年は、生育の微差が発生したが、両区で基肥量を調節したことに起因し、工法の違いによる生育差はなかった。また、収量品質は、両区とも遜色なく、同等の収量を確保することができた。

以上、調査結果を項目ごとに検討した場合、重粘土壌での反転均平工法による基盤整備が、従来区との比較において明瞭な違いが見られないことや、水稻の生育、収量、品質に及ぼす弊害がないことから、適合性はあると判断される。

4. おわりに

本地区での反転均平工法の採用にあたり、事業コスト及び作物等への影響について検証してきたが、その結果から、本地区のような重粘土地盤の水田においても、反転均平工法を適用していくことが十分可能だと判断された。

整備した農家からは、反転均平工法に対し、従来工法に比べ、切り土、盛り土の差は感じないことや、生育も従来工法の1年目と比較した場合、ムラは少ないとの感想であった。

また、反転均平工法の留意点としては、心土に石礫が混じるような場合は、施工及び施工後の作付に支障となることから、施工前に調査を行い範囲等の特定が必要となることや、基盤整備後1年目の作付は、従来工法と同様に基肥を調整した上で生育調節を適正に行い、過剰生育を防止する必要があることが挙げられる。

なお、本地区の調査は、平成22年に畑転換後の大豆栽培の検証を行い、畑転換後の状況を見極めた上で、最終的に整理する予定である。

最後に、本調査にあたりご協力いただいた新潟県農業総合研究所並びに新潟県上越農業普及指導センターに深く感謝し調査結果の紹介を終わります。

伊江地下ダム建設工事に係る新技術への取り組み

大 橋 巧*
(Takumi OHASHI)

目 次

1. はじめに	42	5. VE提案の実施方法	44
2. VE提案の概要について	42	6. VE提案の結果	44
3. 事前検討事項について	43	7. まとめ (今後の展望)	46
4. VE提案の課題とその対策について	43		

1. はじめに

沖縄総合事務局が実施している伊江農業水利事業は、沖縄本島北部、本部半島の北西約9kmに位置する離島、伊江島（伊江村）において伊江村の668haの畑作地帯を対象に伊江地下ダムを建設することにより安定的な灌漑用水を確保し、村内農業の振興を図ることを目的としている。

地下ダムは、沖縄の琉球石灰岩が空隙に富むという特徴を生かし、地下に止水連壁を築造することにより、空隙に水を貯留して水源施設としての機能をもった施設である。

伊江地下ダムが建設される伊江島内の地盤は、大部分が琉球石灰岩で構成されており、風化したものから非常に硬質なものまで幅広く混在していることが特徴である。



写真-1 伊江地下ダム建設工事全景

このような地盤においては、地下深部における玉石の存在による止水壁が設計通りに施工できない等の地質面の不安要素もあり、技術的課題として地下ダム止水壁の品質確保が強く求められる。

この課題に対応するために、VE提案として、琉球石灰岩内に先行削孔併用の柱列式原位土攪拌工法を用いてソイルセメント止水壁（以下、「止水壁」と称す）を構築した。大深度部（施工深度 $h=50.0\text{m}$ 以深）の施工を実施する際、止水壁を大口径化することにより、品質の向上、工程短縮及びコスト縮減を図ったので、その概要を報告する。

2. VE提案の概要について

伊江地下ダムの施工に係る先行削孔の口径の選定にあたっては、伊江農業水利事業所において平成16年度に試験工事を行い、標準口径（ $\phi 600\text{mm}$ ）と大口径（ $\phi 750\text{mm}$ ）について施工性、経済性を総合的に検討した結果、標準口径を採用した。今回のVE提案は、施工深度 50.0m 以深の大深度部において、先行削孔の標準口径のパーツを一部組み替え、削孔口径を大口径とし、且つ、三軸削孔を大口径により施工することにより、調整杭の発生を抑制する等、施工精度、出来形及び品質を確保するとともにコストの低減を図った。

2-1 提案した工法

①ケーシングの長尺化

大口径（ $\phi 700\text{mm}$ ）に対応するケーシング径（ $\phi 880\text{mm}$ ）が大きく、施工機械の安定性が確保できないため、試験工事ではケーシング長 20m 以上の施工が不可能であった。そこで、ケーシング径を $\phi 710\text{mm}$ とすることで施工機械の安定性を確保することを提案し、ケーシング長 30m での施工を可能とした。このことにより、先行削孔の孔曲がり精度（鉛直に掘削する精度）の向上が期待された。

*西松建設(株)九州支社

(Tel. 092-771-3122)

②先行削孔のヘッドの大口径化

試験工事では、先行削孔を大口径（ $\phi 750\text{mm}$ ）で施工を行うためには、ケーシング径を $\phi 880\text{mm}$ 以上とする必要があることが分かった。そのため、現設計のケーシング径 $\phi 710\text{mm}$ を使用し、先行削孔ヘッドのみを $\phi 700\text{mm}$ にすることにより、先行削孔の大口径 $\phi 700\text{mm}$ での施工および三軸削孔の孔曲がり精度向上を可能とする提案を行った。

③三軸削孔径

①、②の工法により、三軸削孔 $\phi 700\text{mm}$ の施工が可能となり、孔曲がり精度が向上し、調整杭の本数の低減が期待された。

3. 事前検討事項について

VE提案を行うにあたって、事前に①三軸削孔の仕様、②先行削孔の仕様、③経済性の確保の3項目について検討した。

検討した結果、①三軸削孔の仕様については、 $\phi 600\text{mm}$ に比べて打設間隔が拡大するため施工本数が減少し行程短縮が図れることから $\phi 700\text{mm}$ の削孔径で施工する事が有効であること、また、②先行削孔の仕様については、多様な地質を考慮し、硬質地盤に適応が可能である削孔径 $\phi 700\text{mm}$ の拡大ヘッド（写真-2）で施工することとし、③工事費についても現設計とVE提案について比較したところ、削孔本数の減による経済性も高いことが確認され、VE提案の工法で実施可能であると判断した。



写真-2 拡大ヘッド

4. VE提案の課題とその対策について

拡大ヘッドおよび大口径（ $\phi 700\text{mm}$ ）の三軸削孔による施工に際し、施工上の課題とその対策について検討した。

4-1 課題

①先行削孔工を $\phi 600\text{mm}$ から $\phi 700\text{mm}$ に変更し、拡大ヘッドを使用するため、ケーシング内にオーガーヘッド部分が格納できない。よってオーガーヘッド部がケーシングによって拘束されないため、削孔時に先端が大きく揺動し施工精度の低下が考えられる。

- ②止水壁の三軸削孔機械を大口径化することにより、固化液の攪拌不足による品質の低下が考えられる。
- ③ケーシング削孔から先行削孔への切り替え時にヘッドの取り替え作業が必要となり、サイクルタイムに大幅なロスが発生する。

4-2 対応策

①先行削孔時の施工精度を向上させるために、図-1に示すとおり、オーガーヘッドのビット配列を標準仕様（掘削能力重視）から施工精度重視に変更した。施工精度重視仕様の特徴として、3翼に配列した超硬ビットが外側から順に3翼均等に力が同時に伝わるように超硬ビットを配列し、また、オーガーヘッドの中心に向かって内側に超硬ビットを配列することで、回転時の杭偏芯量を極力抑える効果がある。さらに、ケーシング内に装備するオーガースクリューを極力長尺化する事でジョイント部を減らし、寸法公差（ジョイント部に発生するスクリューの傾き）を抑えることにより、スクリューの剛性を高めて施工精度を向上させる。

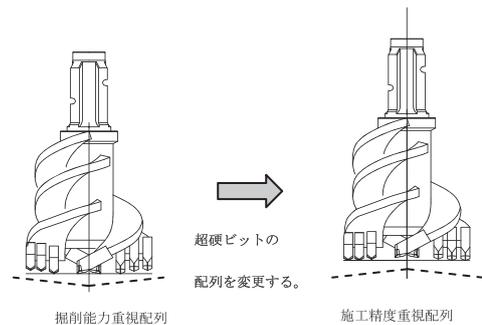


図-1 オーガーヘッド説明図

②通常2.5分/mにて固化液を引上げ攪拌しているが、止水壁の品質を向上させるため、攪拌速度を1.7分/mに減速させることにより攪拌効率を向上させる。

また、三軸削孔に装備されているオーガースクリューにはフライトスクリューが均等に配列されている。このスクリューに適度な穴を設置すること（写真-3）によりターニング時に掘削孔内に乱流を発生させ、攪拌効率を向上させる。

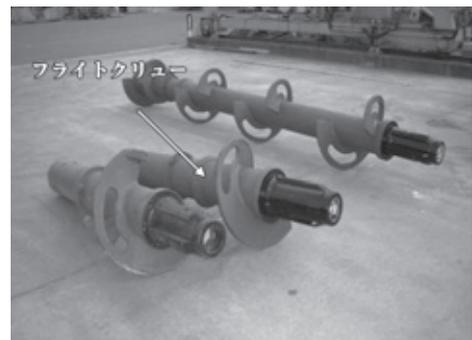


写真-3 オーガースクリュー加工後

③地下ダム工事においては、ケーシング削孔工と先行削孔工を並行して作業する。本提案では、図-2のように、施工間隔が広がるため、ケーシング削孔のみを連続して行っても、孔壁崩壊を起こすことなく地山が自立すると考え、ケーシング削孔を全本数施工してから先行削孔工の作業に入ることにした。したがって、段取り替えの作業は1回実施するだけとなり、サイクルタイムに大きく影響を及ぼす作業ロスの低減が可能となった。

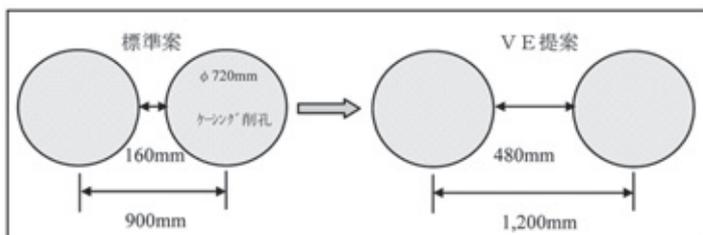


図-2 ケーシング削孔配置参考図

5. VE 提案の実施方法

①施工数量

施工数量は、表-1に示すとおりである。

表-1 施工数量一覧表

項目	規格・寸法	提案数量	実施数量	備考
ケーシング削孔工	φ720mm	46本	46本	L=30.00m
先行削孔工	φ700mm	46本	46本	拡大ヘッド仕様
三軸切崩し工	φ700mm, @600mm	45本	45本	打設間隔 @1,200mm
三軸削孔工	φ700mm, @600mm	45本	45本	打設間隔 @1,200mm
調整杭工	φ700mm, @600mm	2本	0本	施工本数 5%→0%

※材料数量は、大口径のみ計上し、調整杭は計上していない

②施工手順について

地下ダム建設工事の施工手順は、図-3に示すとおりである。

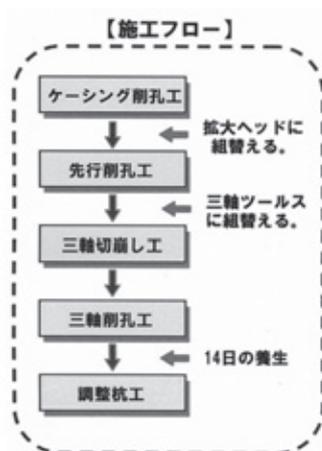


図-3 施工手順

6. VE 提案の結果

非常に硬質な地盤であったため、超硬チップは数多く損傷したものの、今回実施したVE提案では、調整杭の発生もなく最終計画深度まで止水壁を造成することができた。また、チェックボーリングにてコアを確認したところ、止水壁の品質低下は見られず、むしろ品質は向上したと判断できた。サイクルタイムについても、特殊な仕様で施工したにもかかわらず、最後まで作業ロスもなく止水壁の施工を完了することができた。以下、各工程での変位量やラップ量等の評価とその考察について記載する。

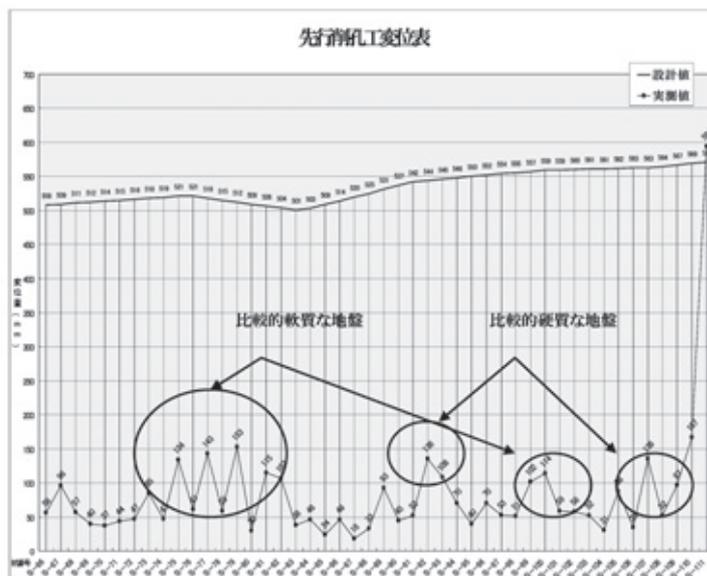
6. 1 施工精度について

①先行削孔工の変位

グラフ-1からも解るように、先行削孔工は、概ね100mm以内 (max : 594mm, min : 18mm) の変位量で施工できている。部分的に100mm以上の変位が発生しているが、その要因としては、基底部層が比較的軟質や硬質の地盤であり、前者は、より軟質側へ削孔方向が流れる傾向があること、後者は玉石の存在などで削孔方向がずれることから大きな変位が発生したと考える。

また工区境 (グラフ-1の右端参照) は、別工事で先行削孔を施工されており、地盤が攪拌されて地盤の抑性力が小さく変異が大きくなった。新規に施工すれば、その施工区間と同様の変位量であったとも考える。

一方、深度方向の変位量については、削孔深度の1%の変位量が設計値であるのに対して、実施工では0.15%であり、高い精度を確保する事ができた。今回のVE提案は、打設間隔が広いため、施工孔周辺の地

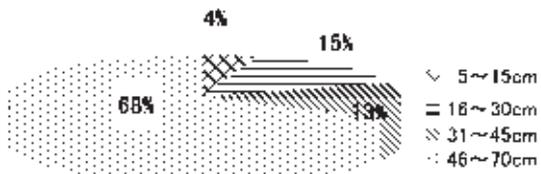


グラフ-1 先行削孔工変位表

山幅も大きくなり、従来施工中に起きていた隣接孔へ引き込まれ現象が少なくなることで、施工精度が向上したと考えられる。

②三軸削孔工の変位

グラフ-2に示されるとおり、三軸削孔におけるラップ長は、設計規格値5cm以上を十分に満足していることが解る。このことにより、調整杭（ラップ長不足による三軸削孔の増杭）を1本も行わずに施工が完了した。また、ラップ長45cm以上を68%以上確保し、高い精度で施工する事ができた。このことは、VE提案によって削孔径が大きくなり、ラップ長が大きくなったことから施工精度を向上させたものと判断する。



グラフ-2 三軸削孔工ラップ長



写真-4 CH-18コア写真



写真-5 CH-72コア写真

6. 2 出来形・品質について

止水壁のボーリングコアおよび一軸圧縮強度を設計図書に定められた仕様と対比することにより、VE提案の品質や出来形の評価を行った。

①出来形確認について（チェックボーリングコア確認）

本工事にて採取されたチェックボーリングコア、CH-18（一般部）、CH-72（大深度部）を対比して評価すると、一般部のコアは、これまで伊江地下ダム建設工事で採取されてきたボーリングコアと同様の特徴をもっていることが分かった。写真-4からも分かるように、各深度において色彩バラツキがあることや、基盤部付近においては礫の混入が非常に多いのが特徴である。

他方、大深度部（VE提案）において採取されたボーリングコア（写真-5）は、品質向上のために実

施した対策の効果もあり、色彩にはバラツキが少なく、また基盤部付近においても礫の混入が少なく、上段まで均一に攪拌混合されていたことが確認できた。

②一軸圧縮強度試験結果（表-2）

一軸圧縮強度試験は、全ての結果において基準値である1.0N/mm²を満足することができた。過去の地下ダム建設工事においては、上段の圧縮強度は中段に比べて著しく低く、また下段は、礫が多く混入しているため、圧縮強度が高く測定されることが多く、その試験値にはバラツキが見受けられていた。しかし、本工事の一軸圧縮強度試験結果（表-2）から評価すると、一般部においては過去と同様の現象が見受けられるが、大深度部（VE提案）については、上段・中段・下段ともに、バラツキも少なく、均等な結果を確認することができた。

表-2 一軸圧縮強度結果一覧表

(単位:N/mm²)

箇所 深度	一般部			大深度部			
	C-18	C-30	C-51	C-72	C-88	C-103	
上段	①	1.80	3.40	4.30	4.20	4.70	5.70
	②	2.10	4.20	4.30	4.40	4.20	5.70
	平均	1.95	3.80	4.30	4.30	4.45	5.70
中段	①	7.30	6.80	7.10	6.20	9.90	6.50
	②	7.30	3.10	7.30	6.20	10.40	6.50
	平均	7.30	4.95	7.20	6.20	10.15	6.50
下段	①	7.80	12.20	9.10	8.50	9.90	9.90
	②	5.20	8.10	8.60	10.10	9.10	10.40
	平均	6.50	10.15	8.85	9.45	9.50	10.15

表-3 現場透水試験結果一覧表

(単位:cm/sec)

箇所 ステーション数	一般部						大深度部					
	C-18		C-30		C-51		C-72		C-88		C-103	
	パッカー法	非常常法										
1	1.46 $\times 10^{-8}$	1.74 $\times 10^{-7}$	3.40 $\times 10^{-7}$	3.30 $\times 10^{-7}$	2.86 $\times 10^{-8}$	1.66 $\times 10^{-8}$	7.42 $\times 10^{-8}$	1.37 $\times 10^{-7}$	2.15 $\times 10^{-7}$	6.88 $\times 10^{-7}$	2.10 $\times 10^{-7}$	1.03 $\times 10^{-7}$
2	4.38 $\times 10^{-8}$	2.12 $\times 10^{-7}$	1.05 $\times 10^{-8}$	2.99 $\times 10^{-7}$	1.85 $\times 10^{-7}$	1.55 $\times 10^{-8}$	1.18 $\times 10^{-8}$	1.50 $\times 10^{-7}$	1.58 $\times 10^{-8}$	9.96 $\times 10^{-7}$	3.87 $\times 10^{-7}$	2.81 $\times 10^{-7}$
3	6.06 $\times 10^{-8}$	9.73 $\times 10^{-8}$	6.73 $\times 10^{-8}$	2.43 $\times 10^{-7}$	1.31 $\times 10^{-7}$	9.15 $\times 10^{-8}$	1.06 $\times 10^{-8}$	5.05 $\times 10^{-8}$	1.45 $\times 10^{-8}$	9.40 $\times 10^{-7}$	4.88 $\times 10^{-8}$	3.97 $\times 10^{-8}$
4	9.52 $\times 10^{-8}$	1.48 $\times 10^{-7}$	3.53 $\times 10^{-8}$	4.95 $\times 10^{-8}$	透水せず	5.52 $\times 10^{-8}$	1.96 $\times 10^{-8}$	2.26 $\times 10^{-7}$	1.79 $\times 10^{-8}$	8.69 $\times 10^{-7}$	1.53 $\times 10^{-7}$	4.66 $\times 10^{-8}$
5	7.42 $\times 10^{-8}$	2.92 $\times 10^{-7}$			1.68 $\times 10^{-8}$	9.26 $\times 10^{-8}$	1.05 $\times 10^{-8}$	4.86 $\times 10^{-7}$	1.79 $\times 10^{-8}$	9.50 $\times 10^{-7}$	2.66 $\times 10^{-7}$	4.82 $\times 10^{-8}$
6							2.97 $\times 10^{-8}$	6.81 $\times 10^{-7}$	2.52 $\times 10^{-7}$	3.00 $\times 10^{-7}$	透水せず	3.36 $\times 10^{-8}$
7												5.05 $\times 10^{-8}$ 2.11 $\times 10^{-8}$
基盤部	1.09 $\times 10^{-8}$	6.15 $\times 10^{-7}$	1.41 $\times 10^{-8}$	8.10 $\times 10^{-7}$	8.65 $\times 10^{-8}$	7.25 $\times 10^{-7}$	3.59 $\times 10^{-8}$	1.09 $\times 10^{-8}$	1.87 $\times 10^{-8}$	9.82 $\times 10^{-7}$	3.59 $\times 10^{-8}$	1.50 $\times 10^{-7}$

③現場透水試験結果（パッカー法・非常常法）

現場透水試験は、ルジオンテスト技術指針に基づいて実施した。その結果、規格値である 1×10^{-6} cm/sec以下の値をパッカー法・非常常法のいずれかにて得ることができた。（表-3 現場透水試験結果一覧表）

孔別にみると、測定値にバラツキがあるが、これは、チェックボーリング時の様々な条件によって変化しているものとする。しかし、一般部と大深度部の深度別に評価すると、大深度部（VE提案）の結果は、一般部の結果よりもバラツキが少なく、コア写真の色彩と同様に、品質向上のために実施した対策の効果を確認することができた。

6.3 サイクルタイム（歩掛り）

施工のサイクルタイムは、一般部（琉球石灰岩基底部層）に関しては先行削孔工・三軸削孔工ともに、計画値と大きな差は生じなかった。事が判断できる。

（表-4参照）

しかしながら、基盤部のサイクルに関しては、大幅に遅延している場合が見られる。これは基盤部が非常に硬質であったことや部分的に介在するチャート等の転石による影響と考えられる。

表-4 サイクルタイム比較表

(単位:分/m)

	計画値	実績値		差	
		(転石含む)	(転石除く)	(転石含む)	(転石除く)
先行削孔工 削孔 (一般)	3.88	4.33	3.83	0.45	-0.05
先行削孔工 削孔 (基盤)	12.40	17.02	13.64	4.62	1.24
三軸削孔工 削孔 (一般)	4.51	4.63	4.63	0.12	0.12
三軸削孔工 削孔 (基盤)	9.91	16.73	13.01	6.8	23.10

※ 転石除く：40分/m以上のサイクルを除いて算出しています。

6.4 環境負荷低減（地球温暖化防止策）について

昨今、地球環境に対する負荷を減ずることが公共工事においても重要な責務となっている。今回のVE提案では、施工深度50m以上の大深度部の施工において、先行削孔のヘッド及び三軸削孔径の大口徑化を行うことからサイクルタイムが延びることなどにより、CO₂の排出量が増えることを懸念し、VE提案に先立ってシミュレーション計算を行い、排出量の増加はないとの検証をしていた。

結果は、VE提案の実施によって、施工本数を縮減することが可能となり、全体的な機械稼働時間が短縮されたため、提案前の総排出量と比較して8.1%の低減を実現することが出来た。（主要機械（ベースマシン・発動発電機）の燃料消費量を算出し、CO₂排出係数（2.62kg・CO₂/L）を乗じて、全体排出量を算出。）

「地球温暖化対策の推進に関する法律施行例（平成18年3月改正）を引用して試算」

7. まとめ（今後の展望）

今回のVE提案である削孔口径の大口徑化により、施工本数を減少させ調整杭の発生を抑制するなど、様々な効果を発揮する事ができた。また、施工精度も予想以上に良く、大口徑仕様でも硬質地盤に対応が可能であることを実証できた。

今後、沖縄、鹿児島県などで地下ダム建設が予定される場合には、地質面で課題を有する大深度部における大口徑施工は有効であるとする。他方、空洞の存在など施工上の新たな課題も起きうることから、それらの課題を想定しつつ、新技術の開発や施工方法の改善に取り組んでいきたいと考えている。

設計指針「頭首工の魚道」の改定に向けて

上 畑 信 彦*
(Nobuhiko UEHATA)

目 次

1. はじめに	47	3. 設計指針「頭首工の魚道」の改定	48
2. 頭首工の魚道とは	47	4. おわりに	50

1. はじめに

我が国の農村においては、水田等の農地のほか、雑木林、用水路、ため池等、多様な環境が有機的に連携し、多くの生物相が育まれ多様な生態系が形成されています。

農業農村整備事業では、多様な生態系を守るため、土地改良法の改正（2001年）により、環境との調和への配慮が事業の実施原則として位置づけられ、河川法改正の中でも、環境が治水・利水とともに目的化されるなど、社会情勢の変化に伴って、環境への配慮が重要となってきています。

私が担当している、『よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針』は、技術者の参考として設計の一助となることを目的に、平成6年（1994）に初刊された後、環境との調和に配慮した施設設計を行うに当たり、これまでの魚道設計の課題や魚道の評価及び調査の内容を追加し、改訂（2002年）され現在に至っています。その後、土地改良事業計画設計基準設計「頭首工」の改訂内容に即して、環境配慮の考え方の導入を踏まえた魚道の新築・改修工事や維持管理に係る実績とこれらに係る技術的な知見、研究成果等が蓄積されたことに伴い、改訂作業に至ったところであります。

今回はこの改訂作業経過に関する報告をします。

2. 頭首工の魚道とは

頭首工の魚道（写真-1）は、頭首工の附帯施設であり、魚類等の移動を容易にするために造られた施設と定義されており、魚道本体（魚道の上り口から下り口まで）と附帯施設（通水量調節装置、呼び水施設、ごみ除去装置など）から構成されています。



写真-1 犬山頭首工右岸魚道（舟通し型）

(1)歴史

我が国の魚道の発祥は、1870年頃に十和田湖に魚を遡上させようと自然の滝に設けられたものであるといわれています。魚道に対して広く関心が持たれるようになったのは、明治末期以降であり、本格的な魚道としては大正1年（1912）に瀬田川（滋賀県）に鰻専用として設置されたものが最初であるといわれています。

その後、大正期には、研究者によって魚道に関する海外の文献が広く紹介される一方、我が国の淡水魚の中で有用であったアユに適応した魚道の研究開発が積極的に進められてきました。

(2)魚道の形式

魚道は、一般にプール（隔壁）タイプ、水路タイプ、オペレーションタイプ、その他のタイプ及び魚道ブロックタイプの五つに分かれます。（図-1）

* 東海農政局土地改良技術事務所 (Tel. 052-232-1057)

プール（隔壁）タイプは、プールが階段状に連なった形で、各プールを仕切る壁（隔壁）を越流し、流速がプール内で減勢されるタイプの魚道。

水路タイプは、水路形式に、植え石、導壁、阻流板で流速変動幅を設けて遡上可能な経路を与えるタイプの魚道。

オペレーションタイプ魚道は、常に何らかの人為的操作を必要とする魚道。

その他タイプは、複数の魚道形式を組み合わせて一つの魚道としたもので、遡上魚類等の遊泳特性に合わせた様々な形式のものを並列等に組み合わせた「併用式」と、例えば、小流量時にはプールタイプとして機能し、流量が増加すると水理的に水路タイプとして機能する「複合式」などがあります。

魚道ブロックタイプは、種々の形式を工場製品化したものです。



図-1 魚道形式の分類

(3)生物の把握

頭首工の魚道の設計では、河川の生態系やその特性、魚類等の生理・生態等を把握しなければなりません。簡単に「生物を把握する」とは言いますが、実際には生物の側に立たないと判明しないことが数多く存在します。これを補完するためには、学識経験者の助言や様々な魚道に関する研究論文、図書等を参考にする方法しかありません。図書等を参考にする場合、河川状況、魚類等の種類、流量等の現場条件により著者の考え方などの差があることから、それらを十分理解して参考とする必要があります。

3. 設計指針「頭首工の魚道」の改定

(1)「改訂」と「改定」

現行図書（よりよき設計のために「頭首工の魚道」

設計指針）は、「設計指針」と名が付いていますが、手引き的な位置付けとなっています。

冒頭で述べましたが、土地改良法の改正等により、「環境への配慮」に対する技術的および社会的要請が高まっていることなどから、「手引き」的なものではなく一般的な調査、設計及び施工についての手法や、配慮すべき事項をとりまとめた「設計指針」の策定を行うこととしたものです。すなわち、文章の追加、修正等の一部を改める「改訂」ではなく、「手引き」から「設計指針」へ改めて定める「改定」に向けた取りまとめを行うこととしたものです。

(2)目次構成

基準類を改定する際に、重要となるのが、目次構成であり、新たに作る場合と同様に章立て・項目立てを決め、再構成の全体像を概定しながら進めていきます。

現行との目次構成の比較を図-2に示します。今回は、現行の「調査・計画」「設計」二章の内容を四章に分割・再編成することです。現行の第2章の「調査・計画」について、改定案では「調査」を単独の章立てとし、「計画」の内容を新たな章に移行させ「設計の基本事項」とします。

現行の第3章の「設計」は、水理設計一般、各魚道形式における特徴、構造設計などが網羅されていますが、改定案では、「設計」の章は水理設計と構造設計の一般事項に限定する一方、各魚道形式における特徴等については、「魚道施設の設計」（第5章）として分離します。

改定案では、第6章として「施工」を追加し、施工計画、施工管理を記述することで、「調査」から「管理・評価」に至る一連の流れが記載されることとなります。

現 行	改 定 案
まえがき	改定の要旨
第1章 総論	第1章 総説
第2章 調査・計画	第2章 調査
	第3章 設計の基本事項
第3章 設計	第4章 設計
	第5章 魚道施設の設計
	第6章 施工
第4章 管理・評価	第7章 管理・評価
資料編	資料編

図-2 目次構成の対比

(3)構成する要素

項目に対する内容を記載する際は、項目に対する構成要素の確認を行い、記載漏れが無いようにすることが必要です。

構成要素の一部（図-3）を示します。魚類等の調査に関し、「調査項目」の構成要素1があり、その下に「魚類等の把握」、「遡上・降下」の構成要素2があります。さらに、「魚類等の把握」の下には、「生活型分類」、「遊泳特性」、「遊泳能力」、「体長・体高」の構成要素3があり、その下には構成要素4と段階的に要素が広がっていきます。さらに構成要素5、6と展開していく場合もありますが、この手法により構成要素を確認していきます。

当初は、構成要素を固定できず、全てを抽出するのに多くの時間を費やしましたが、一連の作業により、現行図書に記載がない項目の洩れや内容の点検・確認が容易となり、今後の作業の体系的展開に道筋をつけるものとなりました。

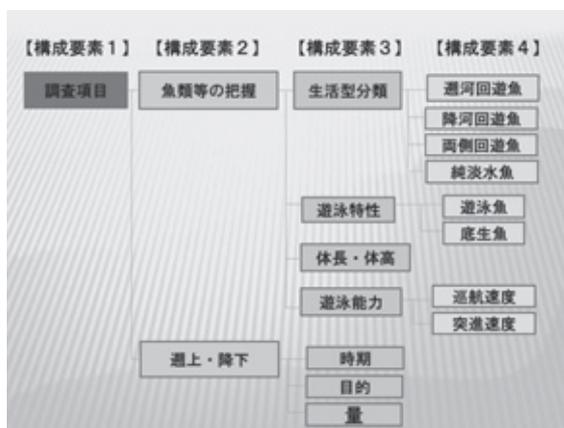


図-3 構成要素

(4) 課題項目の抽出

設計指針への移行に際しては、現行図書の内容等の整備を併せて行う必要があります。このため、「施設管理者対象にアンケート調査による収集分析」、「論文・報文等の検索、整理による新技術の導入や新たな知見の概定」並びに「現行図書の記載内容の点検・確認」を通じて、次の七つの課題項目を抽出しました。

- ①河床低下における遡上阻害
- ②堆砂における機能不全
- ③迷入防止対策
- ④魚道内の流況解析手法の活用
- ⑤突進速度の検証
- ⑥モニタリング調査
- ⑦新工法の活用

(5) 課題項目の検討

①～③については、施設管理者からのアンケートにより収集・分析した課題です。「①河床低下における遡上阻害」は、魚道上り口付近で流水により河床が洗掘されることにより、遡上阻害が生じることであり、河床低下に対応する対策工法の事例を掲載することを検討していきます。

例えば、図-4のように、魚道上り口の洗掘を見越して、あらかじめ根入れを確保するといったような方法などがあります。

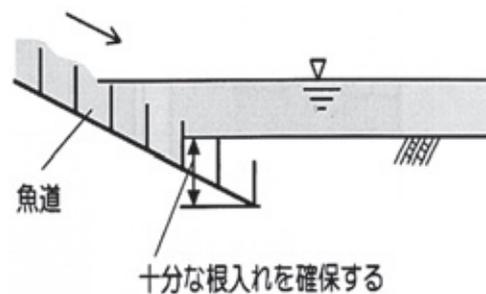


図-4 河床低下対策

「②堆砂における機能不全」では、魚道の機能不全に加えて、管理労力の増大等にも影響することから、堆砂解消と遡上効果の増大ができる改修方法を検討、「③迷入防止対策」については、現行図書では、誘導などによって方向転換させる方法や取水口への進入を抑制あるいは妨害する方法と分けて記載しており、新たな事例について掲載することを検討しています。

「④魚道内の流況解析手法の活用」では、魚道の新設、改修を行う場合、計画した魚道の流況、流速等の必要なデータを収集するとともに、必要に応じて水理模型実験を行うことから、相当の時間と経費を要する課題があります。ここ数年、数値モデルによる研究成果が増加してきたことを踏まえ、内容の充実を図っていく予定です。

「⑤突進速度の検証」では、魚類の突進速度は、魚道流速の決定など設計に重要な値であることから、どの程度を対象とすべきかを検証していくことが必要です。一般的に突進速度は、体長（図-5）の10倍と言われ、魚道の設計でも目安とされています。

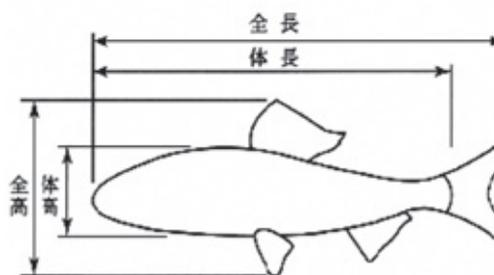


図-5 魚の体長・体高

実際には、研究報文などに多々見受けられるように体長の10倍以上の突進速度で魚類が遡上していることが確認されていることから記述内容等について検討をしています。

「⑥モニタリング調査」については、魚道の評価を行う場合のモニタリング調査について、調査頻度、調

査手法等，調査時における留意事項を追記する予定です。「⑦新工法の活用」については，平成20年度に一部改訂された設計基準「頭首工」に記載されたハーフコーン型の追加や新しい魚道形式や調査方法等最近の研究成果の反映も検討しています。

以上，紹介した課題項目の検討作業は，今後の学識経験者を含めた作業部会等を通じて明確化していくこととなります。

4. おわりに

基準類改定の基礎的作業を経験して感じたことは，図書等の記載内容について，これを盲信することなく，基本的な現場条件・調査手法を考え合わせながら参考にすることです。文献等によっては，河川状況，魚類の種類，流量等の現場条件により著者の考え方などの差があるからです。また，「魚道」という生物が関係する施設の特性は，一通りの文献把握だけでは理解が困難で，様々なフィールド経験をされた各専門分野の学識経験者等に助言をいただくことが重要です。

基準類の整備・管理は，文献等の収集・分析だけではなく，学識経験者等とのネットワークの活用・構築も重要であり，土地改良技術事務所の役割の一つであると強く感じているところです。

参考文献

- よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針 (H14.10)
- 水と土 臨時増刊農業土木技術の変遷 (H7)
- 魚類のそ上降下環境改善のワンポイントアドバイス (H12.3)

農業用パイプラインにおける漏水箇所特定手法の検討

門 脇 一 生*
(Issei KADOWAKI)

目 次

1. はじめに	51	4. 漏水位置特定調査	53
2. 対象施設の概要	51	5. 調査手法の分析	55
3. 漏水範囲の概定	51	6. まとめ	55

1. はじめに

農業用パイプラインの漏水は必要用水量が確保出来ないばかりでなく、ポンプ運転などの運営コストの増大や、第三者へのリスクが発生するなど農業や周辺環境に与える影響が大きい。そのため、施設の重要度に応じた効率的な機能診断や予防保全・事後保全を組み合わせ合わせた対応が必要とされる。しかしながら、農業用パイプラインにおける機能診断調査は、施設の仕様及び現場条件の違いにより特性が十分把握されていないため調査手法の検証が必要とされる。

本報告は、国営南紀用水地区熊岡支線用水路の小口径パイプラインにおける、漏水箇所特定手法の検討事例について報告するものである。

2. 対象施設の概要

2.1 国営南紀用水地区の概要

本地区は和歌山県南部に位置する、田辺市及びみなべ町にまたがる樹園地1,550haの畑地かんがい用水の確保と水田240haの用水補給を行うために、南部川上流に島ノ瀬ダムを新設し、辺川頭首工を改修利用するとともに、南部幹線用水路に導水し、幹線用水路からの分水及び末端に設けている中芳養調整池から各支線用水路に分水し、樹園地の散水かんがい及び防除用水として利用することを目的に昭和49年度から平成7年度に事業が実施された。

2.2 熊岡支線用水路の概要

熊岡支線用水路は、中芳養調整池から取水し、熊岡揚水機場からファームポンドへ送水する管路であり、全線道路下（一部主要県道下）に埋設されている。管

種はDCIPφ250 3種管 T形で水管橋部はSGPである。本報告の対象施設は、図-1に示す2路線のうち2号支線（L=1.96km、ファームポンド1基、空気弁4箇所、排泥工2箇所）（以下「2号支線」という。）で工事は平成3年度から平成7年度に施工された。

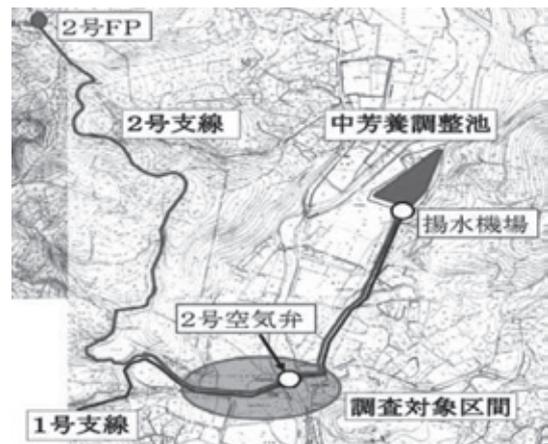


図-1 管路概要

3. 漏水範囲の概定

3.1 現地踏査

平成20年度国営造成水利施設保全対策指導事業の事前調査により、南紀用水土地改良区から施設の現況について聞き取り調査を行ったところ、熊岡揚水機場に設置されている2号支線用圧力計の圧力が10日間程度で0Mpaに低下することから、2号支線において漏水の疑いが生じた。

現地踏査の結果、付帯構造物からの漏水痕、地盤の陥没や漏水痕がないか確認したが、変状が見られなかったため、ファームポンド立ち上がり管に水圧式水位計を設置し漏水量の推定を行ったところ、約10.7m³/日の漏水量があり、この支線の1日当りの標準許容漏水量が最大4.93m³/日であることから、約2倍の漏

*大和紀伊平野農業水利事務所
第二十津川紀の川農業水利事業建設所
(Tel. 0747-52-2912)

水が発生していることが判った。

次に熊岡揚水機場圧力計により2号支線管内の圧力計測を行った結果（図-2）のとおり13日間で1.37MPaから0MPaまで低下することが判った。揚水機場圧力計の計測結果と縦断面図（図-3）を比較した結果、同様の曲線を描けたため、揚水機場圧力計（EL=19.5m）より標高の高い位置に漏水箇所はないと推定された。この結果から揚水機場圧力計より標高が低い位置に漏水箇所があると推定し、漏水範囲の絞り込み調査を行うこととした。

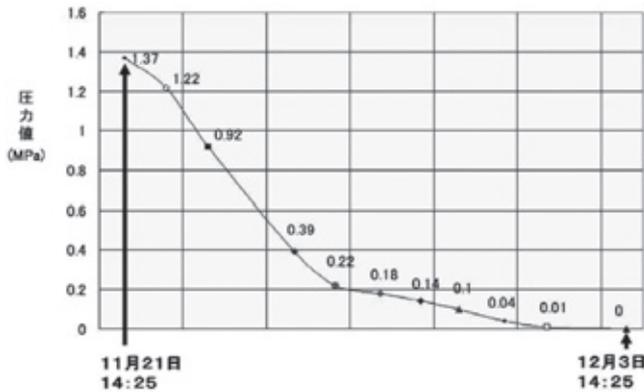


図-2 2号支線管内圧計測結果

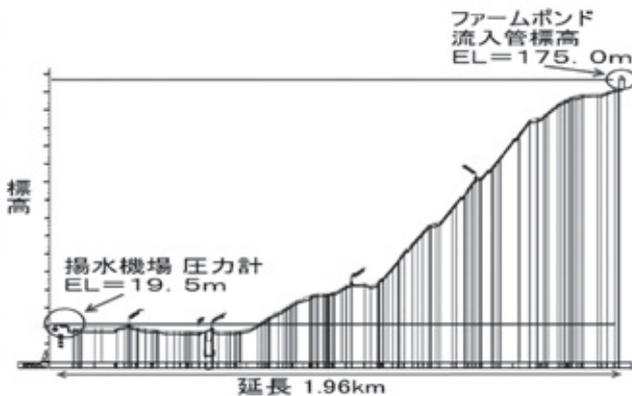


図-3 縦断面図

3.2 調査対象区間の概定

調査は付帯構造物に圧力計を設置して、漏水区間の概定を行うこととした。

まず、機場敷地内の排泥室にある空気弁、1号排泥工及び2号空気弁に圧力計を設置し、計測を行った結果、排泥室空気弁と1号空気弁の区間では、排泥室圧力計の圧力に変化は見られなかった。また、1号空気弁と2号空気弁間の計測では、1号排泥工圧力計が2号空気弁の標高付近で圧力が安定したため、この区間に漏水箇所が無いと推定した。一方、1号空気弁より450m区間の計測では2号空気弁の圧力計が負圧を示したため、2号空気弁の圧力計よりファームポンド側の県道下140m区間に漏水箇所があると概定した。（図-4）

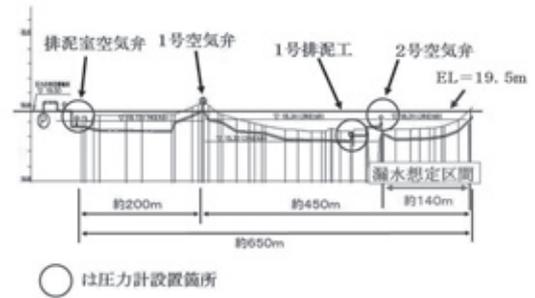


図-4 漏水想定区間

3.3 漏水箇所特定調査手法の検討

農業用パイプラインにおける漏水箇所特定調査の実績が少ないため、水道事業で行われている手法等を参考に調査を実施することとした。調査手法の選定については、音聴法、相関法、アコースティックエミッション法（以下「AE法」という。）及びガス充填法について検討を行った。

(1)相関法は、管路を伝播してくる漏水音を漏水を挟む2つのセンサーでとらえ、漏水地点から各センサーまで伝播する漏水音の時間差から漏水地点を算出するため、計測距離、水圧、雑騒音などによる制約があるが、上水道などでも取り入れられている標準的な漏水調査手法であり採用することとした。（図-5）調査精度に影響するため、計測区間の管種、延長、口径を把握する必要がある。

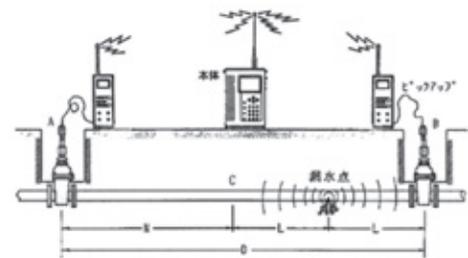


図-5 相関法イメージ

(2)AE法は、相関法の一つであり、高音領域のセンサーにより金属系材料の亀裂等を検出するために利用されている技術であるが、農業用パイプラインにおける漏水調査実績がないため検証を行うこととした。（図-6）

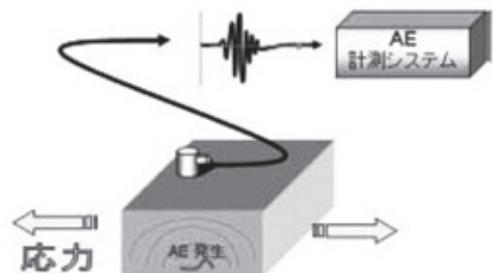


図-6 AE法イメージ

(3)音聴法は、路面に伝播してくる漏水音を漏水探知機により探知する標準的な手法であり調査を実施することとした。騒音、使用水、交通等に影響されるため、通常は夜間作業となる。(図-7)

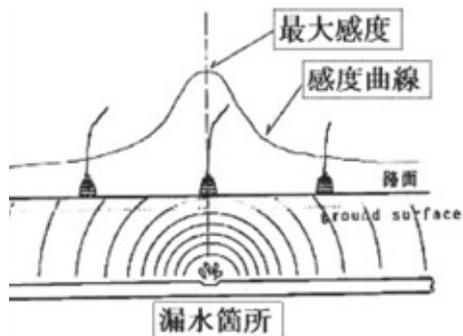


図-7 音聴法イメージ

(4)ガス充填法は、対象区間を閉め切る制水弁が設置されていないため、調査対象外とした。

3.4 現場周辺の状況

調査対象区間の周辺は田園地帯であり、道路沿いには住宅地が点在しているが、計測地周辺の騒音は一般的には40~50dB程度で比較的低く、水管橋下の芳養川は水量が少なく、せせらぎ音程度である。また計測時間中の交通量も2~3台/分程度であり、交通量はかなり少ない。その他の現場条件は次のとおりである。

- (1)調査対象区間が地域主要道路の県道下埋設区間で、土被りは0.7~1.2mである。路線の途中に水管橋(L=25m)がある。
- (2)1号支線水路が平行して埋設されているほか、上下水道管、県営かんがい配水管が埋設されている。

(3)最大圧力1.37MPaの高圧パイプラインである。

(4)長期の断水調査ができない。

4. 漏水位置特定調査

調査条件(計測距離、圧力、流れの有無等)の違いによる調査手法の有効性について検証、評価することとし、次の調査条件により実施した。

4.1 計測区間条件

漏水概定区間(140m)を挟む管路上の空気弁等の2点間で、相関法とAE法による調査を行った。AE法の実用範囲と考えている30~50mの間隔より離れた場合での検証と相関法の調査実用範囲の検証を行うために次の5区間において調査を行った。

区間1①-③(500m)、区間2③-⑤(300m)、区間3②-③(140m)、区間4③-④(45m)、区間5②-④(185m)(図-8)

区間1,2については、通常付帯構造物間(空気弁)において調査を行うこととなっていることから検証を行った。区間3については、計測区間に付帯構造物がないため、センサーを管体に設置するための②観測孔を削孔した。

4.2 圧力条件

調査手法の有効性評価のため、次の圧力条件で調査を行う。[ケース1:ポンプ運転時]、[ケース2:静水圧(1.35MPa)]、[ケース3:静水圧(0.6MPa)]、[ケース4:静水圧(0.3MPa)]、[ケース5:静水圧(0.1MPa)]

圧力は2号空気弁に圧力計を設置し、露出管部にある排泥工より排水し圧力調整を行った。

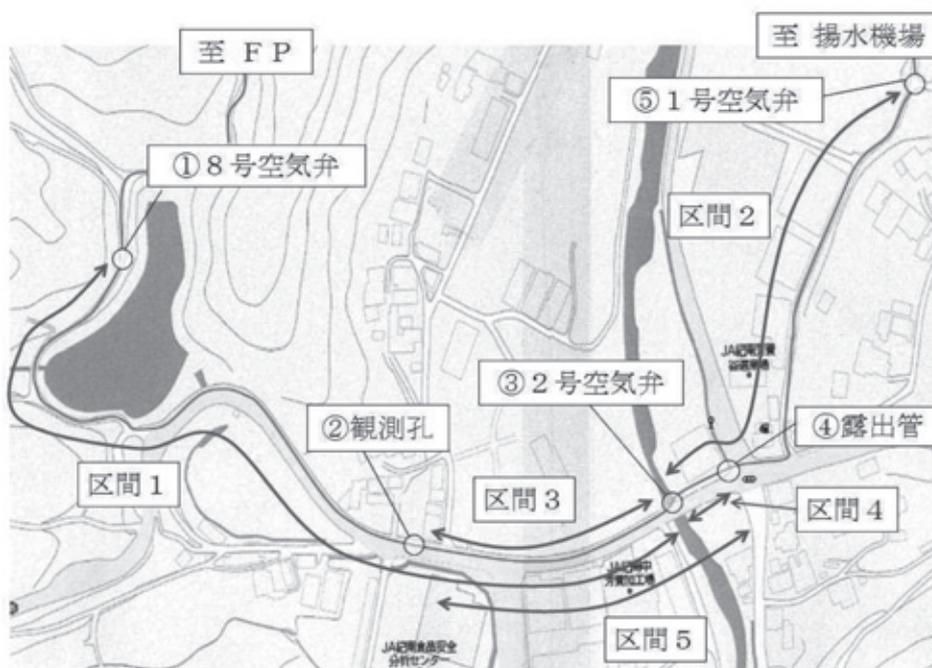


図-8 計測現場位置

4. 3 計測結果

区間1及び区間2の調査では圧力設定ケース1及び2の条件において、相関法、AE法ともに③2号空気弁に設置したセンサーに漏水により発生したと考えられる周波数成分が観察された。(図-9)しかし、①8号空気弁及び⑤1号空気弁のセンサー側では相関法、AE法ともに特徴的な周波数成分(図-10)が認められず、センサーまで漏水音が届いていないと想定されたことから、この区間での漏水箇所の特定は出来なかった。

次に区間3の調査では、圧力設定ケース1及び2の条件において区間1及び区間2同様③2号空気弁に設置した両センサーに漏水により発生したと考えられる周波

数成分が観察されたが、②観測孔に設置したセンサーには特徴的な周波数成分が認められなかった。このことから漏水地点は③2号空気弁の周辺と推測される。

区間4ではそれぞれの圧力ケースにより計測した結果、漏水と思われる波形が計測でき、区間5においても圧力ケース⑤静水圧(0.1MPa)以外において計測できたことから、それらデータより漏水地点を特定すると漏水箇所は区間4の中央部約10mの範囲であることが推定された。そこで漏水位置を確認するために試掘調査を行い、計測結果と漏水位置の測定誤差を確認した結果が表-1及び図-11である。

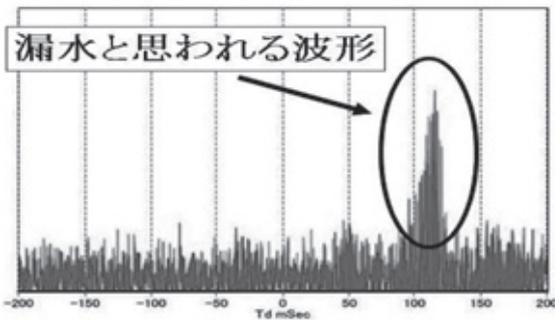


図-9 観測データ(検出)

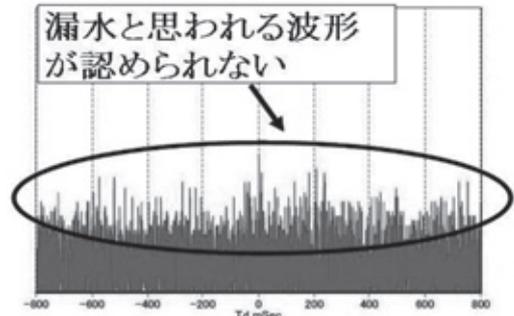


図-10 観測データ(不検出)

表-1 漏水位置測定結果

区間	区間延長(m)	計測条件	漏水位置							
			相関法			AE法			音聴法	
			位置表示	漏水地点からの離れ距離(m)	誤差率(%)	位置表示	漏水地点からの離れ距離(m)	誤差率(%)		
1	500	流水時(ポンプ運転時)	-	-	-	-	-	-	-	
		静水圧(1.35MPa)	-	-	-	-	-	-	-	
2	300	流水時(ポンプ運転時)	-	-	-	-	-	-	-	
		静水圧(1.35MPa)	-	-	-	-	-	-	-	
3	140	流水時(ポンプ運転時)	-	-	-	-	-	-	-	
		静水圧(1.35MPa)	-	-	-	-	-	-	-	
4	45	流水時(ポンプ運転時)	A	-5.22	11.6	I	+2.39	5.3	K	-2.10
		静水圧(1.35MPa)	B	-0.44	1.0	J	+1.19	2.6		
		静水圧(0.6MPa)	C	-0.38	0.8	-	-	-		
		静水圧(0.3MPa)	D	+0.57	1.3	-	-	-		
		静水圧(0.1MPa)	E	-1.58	3.5	-	-	-		
5	185	流水時(ポンプ運転時)	F	+1.34	0.7	-	-	-	K	-2.10
		静水圧(1.35MPa)	G	+1.40	0.8	-	-	-		
		静水圧(0.6MPa)	H	+3.52	1.9	-	-	-		
		静水圧(0.3MPa)	H	+3.52	1.9	-	-	-		
		静水圧(0.1MPa)	-	-	-	-	-	-	-	

注: 誤差率は、離れ÷計測区間で算出

※表中「-」は漏水を検知しなかった。

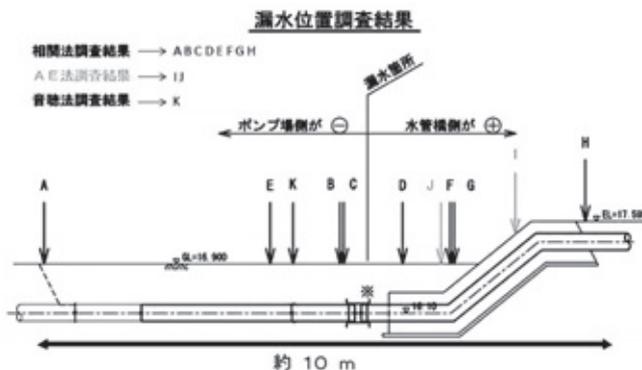


図-11 漏水位置調査結果

4. 4 漏水原因

試掘調査の結果、支線水路本管DCIPと水管橋SGPをつなぐA形継ぎ輪の下流側（鋼管側）継手部のゴム輪付近で発生していることが判明した。そのためA形継ぎ輪を取り外し鋼管の挿口を確認したところ、漏水箇所のゴム輪装着部やゴム輪の内面側に土や錆などの異物が付着しており、漏水の原因は異物が挿口外面とゴム輪の間に入り込み時間を経て錆と混って固形化し、すきまができたために、そこから漏水したものと判断した。（写真-1）

また、その他の漏水原因の調査として、管体の腐食・土壌の腐食性及びC/Sマクロセル腐食に関して調査を行ったが、いずれの結果も漏水につながるものではなかった。



写真-1 漏水箇所

5. 調査手法の分析

(1) 相関法

- ・手軽に操作・計測（1回当たりの計測時間10分程度）ができ、その場で異常音源の位置が確認できる。
- ・今回のように比較的低い騒音環境下で直線に近い路線の場合、漏水音が大きければ区間5（185m）程度の距離でも漏水箇所が区間内にあれば計測が可能であると考えられる。
- ・管路の埋設深に影響されないが、対象区間に占める露出部の区間が長いと漏水音が小さくなるため位置特定の誤差が大きくなる。
- ・ポンプ近傍においては、静水時に比べポンプ運転音の影響を受けるため、位置特定の誤差が大きくなる。
- ・露出している空気弁・制水弁等の区間距離が長い場合、センサーが埋設管に直接接触れることができる観測孔が必要となる。

(2) AE法

- ・計測可能距離は短いですが、漏水量が多い場合には、区間4（45m）程度の距離であれば流水音・ポンプ運転音等に関係なく位置特定ができる。
- ・現地の調査環境に応じて計測周波数範囲を自由に設定できるが、機器本体の据付調整及び室内分析に時間がかかるため、その場での位置特定が困難である。
- ・露出している空気弁・制水弁等の区間距離が長い場合、センサーが埋設管に直接接触れることができる観測孔が必要となる。

(3) 音聴法

- ・手軽に調査が可能であり、交通量が少なく、低い騒音下の環境であればその場で位置の特定ができる。
- ・漏水音の伝達を地表で感知する手法であるため、今回のように漏水地点の埋設深が0.7mでも、最大圧力時のみ明瞭に確認でき、その半分の圧力では検出が難しい状況であったことを踏まえると、埋設深が大きいと判定が困難になると考えられる。
- ・音聴専門調査員の検出能力に大きく依存する。
- ・漏水音がかなり大きい場合に有効であり、相関法、AE法と組み合わせ、区間が絞れた場合に有効であると考えられる。

6. まとめ

以上のように調査手法によっては、農業用パイプラインのように空気弁等の付帯施設の区間距離が長い場合、観測孔の設置などの仮設が必要となる場合があり、漏水箇所を特定するまでに多くの時間と労力を要することとなるため、設計時点から維持管理を考慮した適切な位置に制水弁等を設置することが、漏水調査の迅速化につながり第三者に対する事故のリスクを軽減する観点からも必要と思われる。

農業用パイプラインはダクタイル鋳鉄管等の鋼製管だけではなくPC管やVP管など音を伝えにくい材質のものや、漏水原因、漏水箇所の違いにより漏水箇所特定が困難となる場合があり、漏水箇所特定調査の診断手法については、AE法等のように調査手法が十分検証されていないものが多くあるため、データを蓄積し様々な現場条件に対応していかなければならないと考える。

引用／参考文献

- 1) 農業水利ストックマネジメントマニュアル「参考資料編」, pp. 調-185-190, 2007

農業水利施設と環境用水

河 田 直 美* 松 本 真 樹**
 (Naomi KAWATA) (Masaki MATSUMOTO)

目 次

I. はじめに	56	IV. 環境用水の水利権取得事例（新潟市）	58
II. 水環境を巡る世界の動向	57	V. 環境用水が抱える課題と今後の対応	60
III. 環境用水と水利権	58	VI. おわりに	61

I. はじめに

近年，農業用の水路の大規模化による防護施設（フェンスなど）の設置やパイプライン化などにより，農家や農村の住民が農業水利施設に近づくことが従前より困難になってきているため，生活用水としての利用や子供たちの水遊びなどによって農業用水と接する機会が少なくなっている。また，上水道の整備などにより，当然のことながら，飲用や洗濯といった飲雑用水としての利用も減少している。

一方，水田や農業用の水路と一体となって水性動植物を育てている農業用の水路において，いわゆる「地域用水」の重要性が増してきている。しかし，農地面積の減少や米の生産調整の拡大などに伴い，地域用水としての役割は低下してきている。

農業集落が主に農家によって構成されていた時代には，農業用水の管理を担う農家や土地改良区等と地域用水機能の効果を享受する者はほぼ同一であり，得られる便益に対する費用負担を含んだ維持管理の面から見ても，農村における農業用水の管理は，持続的な仕組みであった。しかし，農業就業者の減少などにより，農村の混住化や都市化が進展し，農村地域の住民の構成は，従来のような農家が大半であったものから，非農家が全体の多数を占める状況となっている。このため，「地域用水の受益者即ち農家」という過去の前提条件が成り立たなくなっている。このように農業用水の地域用水機能の低下や，その受益者と管理費用の負担者である農家の乖離という課題が生じてきている。

表-1 農業用水の分類について

農業用水の機能分類		利用目的	利用形態
農業用水	かんがい用水	かんがい用水	独立した水量
		水路維持用水	
		営農用水①	
	地域用水（注1）	営農用水②	農村地域の生活 農業用水の多面的機能
		飲雑用水	
		防火用水	
		消流雪用水	
		環境用水（注2）	

（注1）地域用水：農業及び農村で利用される農業用水のうち，かんがい用水以外の用水

（注2）環境用水：生活環境又は自然環境の維持，改善等を図ることを目的とした用水（水質改善，親水空間形成，修景，生態系保全等）

*（財）日本水土総合研究所 総括技術監
 （Tel. 03-3502-1387）

**（財）日本水土総合研究所 研究員
 （Tel. 03-3502-1389）

その一方、景観や生態系の保全に対する地域住民を含む市民全体の意識の高まりから、地域住民、市町村及び土地改良区等の関係団体などが一体となって農業水利施設や農業用水を管理する取組もみられるようになってきている。

このような動きから、農業水路への非かんがい期の通水や農業用水から独立した水利権として、「環境用水」を確保することが求められるようになった。

以上のことを背景として、農林水産省と国土交通省は、環境用水としての水利権の取り扱いなどについて共同調査を実施するなど協議を行ってきた。その結果、平成18年には、農業水利施設を活用した地域の環境用水のための水利使用については、かんがいのための水利使用と同様に、河川法第23条の水利使用の目的となり得ることが確認され、国土交通省河川局水政課長及び河川環境課長通知「環境用水に係る水利使用許可の取扱いについて」¹⁾（以下「取扱通知」という。）が発出された。

これを受けて、農業水利施設を利用して環境用水の水利権を取得する際に参考とできるよう平成20年度に「農業水利施設を利用した環境用水の水利権取得に関する手引き」（以下、「手引き」という。）²⁾を農林水産省が発出した。本稿では、手引きの概要を紹介するとともに、現在、環境用水が抱えている課題などについて検討するものである。

II. 水環境を巡る世界の動向

日本学術会議の農学基礎委員会小問題分科会が平成20年8月に公表した提言「変貌する農業と水問題」の中で、環境用水については、「水利用が競合し、流量が人工的に調整される状況下において、生態系などを維持するために河川や湿地などに供給される水を「環境流量」（Environmental Flow, E-flow）と呼ぶもので、新たな水量確保の可能性について検討が始められようとしている。（中略）流域水循環の機能強化に大きく貢献する農業用水は「環境のための水」と一体不可分の性質を有していることから、その特徴を最大限に活用する戦略的対応が重要である。」³⁾と指摘している。

また、世界の水問題や水政策などを幅広く議論している世界水フォーラムでは、第5回大会における閣僚宣言の中で、「5. 世界規模の変化が水資源、水循環や生態系に及ぼす影響について理解を深める。水に関連する森林の機能の強化のため、新たなメカニズムや林業従事者との連携関係を活用して、環境流量の保全、生態系の回復力の増進、劣化した生態系の回復に向けた取組を行う。」⁴⁾と言及している。

既に環境用水が法制度に位置付けられている事例として、オーストラリアのニューサウスウェール

ズ州における2000年水管理法（Water management Act 2000）がある。この中では、環境用水（Environmental water）が次のように定義されている。

ア. 計画環境用水（planned environmental water）

一般的、具体的な期間あるいは具体的な状況の元における、基礎的な生態系の健全性あるいは具体的な環境を保全するための目的を達成するための管理計画（management plans）によって決定される水をいう。また、この水は、これ以外のいかなる用途として取り扱われること、あるいは利用するという決定がなされることはない。

イ. 適応環境用水（adaptive environmental water）

一般的、具体的な期間あるいは具体的な状況の元における具体的な環境を保全するための目的を達成するための権利によって決定される水をいう。⁵⁾

そして、オーストラリアでは、環境用水の水利権を確保するために、水利権の取り引き市場に連邦政府や州政府が購入者として参入している。このような政府による水利権を確保するための行為は、バイ・バック（buy back）と名付けられている。なお、同国における水市場の概要については、筆者らが「オーストラリアにおける水利改革と農業について」⁶⁾で詳述しているので、これを参考にされたい。

また、数多くの環境に関する法律が制定されている米国においても、公共用水域においていわゆる「釣りができて水泳ができる」（Fishable and swimmable）水質を達成するための国家的な目標が、清水法（Clean Water Act）によって定められている。⁷⁾ 環境用途のための用水の確保の事例について、遠藤崇浩の報文⁸⁾では、1991年に大渇水に見舞われたカリフォルニア州において、臨時的に用水の購入と売却を行なうための水銀行（water bank）が設置され、取引によって購入された用水の配分先は、図-1に示すように、工業・生活用水に次いで環境用途であることが報告されている。このように、環境用水に対する社会的な要請の高さが伺われるのである。



図-1 水銀行：水の配分先の内訳

(DWR, The 1992 Draught Water Bank.1993,p10)

注：図中のAFは、acre feetの略であるため、約1,400m³ (4,000m² × 0.35m) となる。

出典：遠藤崇浩「カリフォルニア渇水銀行の一考察」

以上のように、健全な水環境の元で好ましい生態系を維持しようという社会的な要請は、先進国を中心に当然のこととされており、今後とも強まっていくと考えられる。このため、わが国の農業用水の分野においても、このような観点に配慮することが必要になってきているといえる。

Ⅲ. 環境用水と水利権

1. 環境用水の内容

手引きでは環境用水を、「水質、親水空間、修景等生活環境又は自然環境の維持、改善等を図ることを目的とした水利使用」と定義している。環境用水の内容は、以下のようなものを想定している。

- ア. 農業目的以外の水質の改善・浄化で、農業水利施設を活用するもの
- イ. 親水空間の創出で、農業水利施設を活用するもの（レクリエーションや環境教育の場の提供等）
- ウ. 新たな景観の創出や修景で、農業水利施設を活用するもの（水車の設置等）
- エ. 生活環境の維持・改善で、農業水利施設を活用するもの（洗い場等の設置等）
- オ. 生態系の保全のために、農業水利施設を活用するもの（魚類の保全等）
- カ. 生態系の保全のために、冬期に水田に湛水するために農業水利施設を活用するもの（鳥類の保護等）

2. 水利権取得の要件

国土交通省が発表している「日本の水資源」においては、「環境用水は、健全な水循環系を構築する上で、水質改善や良好な景観や親水空間の創出、生物の生息・生育環境の保全・創出等の様々な効果を持ち、ヒートアイランド対策への寄与も期待される重要な要素である」⁹⁾としており、環境用水の利便を享受する側だけでなく、河川管理者側からも一定の評価が得られているといえることができる。

そして、環境用水の水利権を取得するために求められる具体的な要件は、取扱通知に示されており、その概要は、以下のとおりである。

- ア. 公共の福祉の増進に資する水利用であることから、申請者は地方公共団体を原則とする。
- イ. 取水予定量が基準渇水流量から正常流量を控除した水量の範囲内のものであることを原則とする。
- ウ. 環境用水の特有の性格に鑑み、社会実験として、豊水を水源とし取水を許可する場合もある。
- エ. 許可期間は、当分の間、原則3年間を上限とすることとし、更新条項は付さない。
- オ. 豊水を水源とする場合は、劣後条項（注1）を付す。
- カ. 環境用水の取水を行なっている河川において渇水

調整が行なわれる時には、取水を中止する。

（注1）劣後条項の説明（手引きp50から要約）

流水利用の順位には、「後発の水利権は、先発の水利権に影響を与えてはならない」、また、「流域内に複数の事業計画がある場合は、先発計画が優先する」という規則がある。これは、新たな水利用によって既存の水利用に支障が生じてはならないということを保証するものである。環境用水の場合には、取水が行なわれる河川に係る環境改善や後発の水資源開発に対して影響を及ぼさないよう条件を付して許可されるが、優先順位が一番低いいわゆる「最劣後」の流水利用と位置付けられている。

Ⅳ. 環境用水の水利権取得事例（新潟市）

平成19年10月、新潟市は、既存の農業用排水路を利用して、環境用水の水利権を取得した。

1. 亀田郷地域の概要

亀田郷土地改良区のホームページ¹⁰⁾などによると、新潟市に所在する亀田郷は、信濃川、阿賀野川及び小阿賀野川に囲まれた低平輪中地帯である。同地域は、東西12km、南北11km程度で面積は約11,000haであり、このうち農地面積は約4,800haとなっている。また、水田は約4,100haとなっている。新潟市の人口は、約48万人であるが、このうち同地域の人口は約25万人となっており、都市化が進行している。

2. 経緯

地域内の居住者が大幅に増加してきたことに伴って、農業用の水路や小河川に家庭からの排水やゴミが流入し、水質の悪化や悪臭などが発生するようになった。これらの問題は、特に、水路の水量が大幅に減少する非かんがい期に顕著になっていた。このため、農業者や住民から、良好な水環境を再生するように求められていた。

このような要請に対応して、平成13年度以降、関係機関は各種の調査や試験的な通水を行ない、水質浄化のために必要とされる水量や通水期間などのデータ把握に取り組んできた。

また、環境用水を取得するため、関係者が協議会を設立し、様々な活動を通じて地域の協力体制を築いてきた。具体的な構成と活動などは、表-2に示すとおりである。

表-2 協議会などの構成と活動

名称	構成	活動
鳥屋野潟総合整備推進行政連絡会（水環境対策部会）	北陸地方整備局，新潟県，新潟市，亀田郷土地改良区	鳥屋野潟の整備及び水環境の保全対策等の協議・調整を行なう
亀田郷環境整備連絡会	自治連合会，亀田郷土地改良区	治水・利水・環境の面から，地域住民の代表である自治連合会と亀田郷土地改良区が協議し，関係機関に要望を行なう
亀田郷地域用水対策協議会	新潟県，新潟市，自治連合会，亀田郷土地改良区	同協議会には，9つの地区協議会を擁しており，住民や農家が地域の水環境の保全活動を行なう
清流ルネッサンスⅡ地域協議会	北陸地方整備局，新潟県，新潟市，亀田郷土地改良区，北陸農政局	栗ノ木川や鳥屋野潟の水質浄化対策を検討する

（出典）手引き p66 から，筆者が作成

3. 環境用水の内容

上記のような亀田郷土地改良区を中心とする関係者の努力により，平成19年に水質保全，景観保全及び生態系保全のための環境用水の水利権が，新潟市によって取得された。

環境用水の水利権は，4つの時期に区分され，表-3に示すとおり，最小が0.95m³/s，また，最大が2.15m³/sとなっている。

表-3 環境用水の取水量と時期

区分	9月11日から10月31日まで	11月1日から翌年の1月31日まで	2月1日から3月31日まで	4月1日から4月23日まで
最大取水量	2.02m ³ /s	0.95m ³ /s	2.15m ³ /s	2.09m ³ /s

出典：新潟市亀田郷西部地区環境用水 水利使用規則 第3条から

既に取得されているかんがい用水水利権と，環境用水水利権を併せた1年間を通じた通水量は図-2に示すとおりである。これによると，環境用水の水利権を取得する以前には，4月下旬から9月上旬まで5.887m³/sという豊富な水量が確保されていたが，それ以外の時期には河川からの取水ができず，水路の水環境が悪化していたことが理解できる。また，環境用水の許可の開始が9月11日からとなっているのは，かんがい用水の許可期間が9月10日までとなっているからである。同様に終期が4月23日までとなっているのは，かんがい用水の本格的な取水が4月24日から開始されることとなっているためである。

4. 環境用水の管理

水利使用規則では，水利使用者である新潟市に対して，環境用水の管理の方法を次のように規定している。この項目のなかで，環境用水の使用目的に沿って，エとオの項目が義務づけられていることが特徴的である。

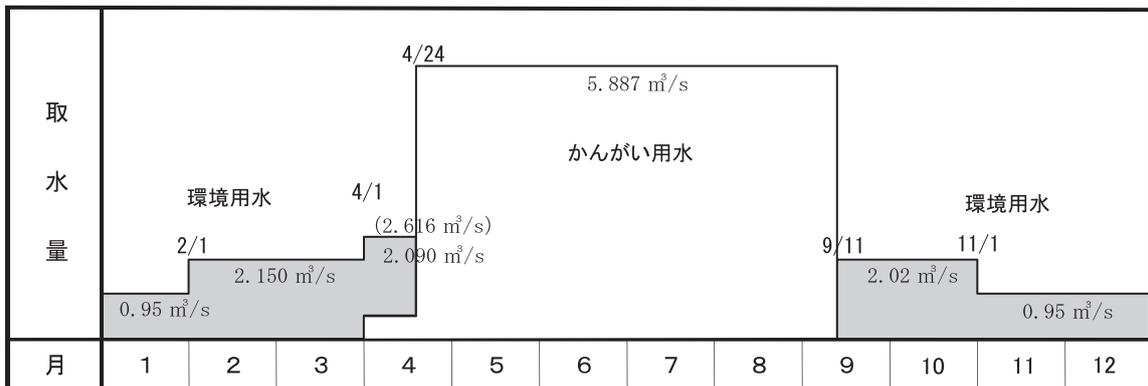


図-2 かんがい用水と環境用水の取水量について

- ア. あらかじめ取水規定を定め、河川管理者の承認を受ける。
- イ. 取水を開始しようとするときは、新潟県知事にその旨を届け出る。
- ウ. 毎日の取水量を測定し、年ごとに結果をとりまとめて、北陸地方整備局長（以下、「局長」という。）に報告する。
- エ. 各排水口の排水量と排水の水質を毎月1回測定し、その結果をとりまとめて局長に報告する。
- オ. 景観保全及び生態系保全の目的を達成できたかを確認するためのモニタリング計画を策定し、年ごとにその結果を局長に報告する。
- カ. 環境用水の許可に係る水利使用の内容などを記載した標識を掲示する。

また、環境用水の通水・管理にあたっては、新潟市と土地改良区が締結した協定書に基づき、農業水利施設を管理している土地改良区が行っている。なお、水質調査に必要な費用などは、新潟市と亀田郷土地改良区が結んだ「環境水利活用推進事業」をもとに新潟市が負担している。

V. 環境用水が抱える課題と今後の対応

1. 流域における水環境

河川法は、平成9年の改正によって、その目的に従来の「治水」と「利水」に加えて、「河川環境（水質、景観、生態系等）の整備と保全」が盛り込まれた。この目的は、河川の環境を改善し、それぞれの河川に固有の動植物の保全や景観の保持などを求める市民社会からの強い要請に応えるものである。

このため、河川管理の面から、それぞれの河川において「動植物の保護、漁業、景観、流量の清潔の保持等を考慮して定める維持流量、および水利流量から成る流量であり、低水管理上の目標として定める流量」¹¹⁾である正常流量を確保すべく積極的な対応を進めてきている。

河川環境の整備と保全に当たり、河川それ自体とその縁辺部に注目することに加えて、河川から取水している農工上水といった水利施設も視野に入れた面的な広がりの中で対応することにより、動植物の保護といった生態系の保全効果が得られると考えられる。そして、このような観点に立った水利秩序を構築することが、今後の課題になると考えられる。

特に、アジアモンスーン地域に位置し、水田農業が卓越しているわが国では、全国の水田地帯に農業用の用排水路網が存在している。このため、河川とそれに連絡する農業水利施設において、環境用水を確保することにより、農村と都市を含む流域の相当部分を対象とする良好な水環境の実現が期待される。

このため、IV.の2.の表-2に示した新潟市の事例

にあるように利水者、河川管理者及び地域住民の代表などによる意見交換の場を設け、科学的な水文データなどに基づいて、河川とその流域の良好な水環境の実現に向けたコンセンサスを形成する必要がある。なお、新潟市の事例では、環境用水を流下させる亀田郷土地改良区の水利施設の取り扱いが各種の協議会による検討の対象となっているが、今後はこのような特定の水利施設にとどまらず、河川も含めた流域の水環境を対象として、地域の水環境の保全に努めることが求められる。

2. 安定した水源

新規の水利権を得るためには、水源とする河川において基準濁り流量から正常流量を控除した時に、河川に一定の水量が存在していなければならないという原則がある。つまり、一般的に水利権を取得しようとする場合に、河川に未利用の水資源が残っていなければ、新しい水源施設を建設しない限り、新規の水利権を取得することができないということである。

ただし、環境用水の水利権は、III.の2.のウ.にあるように豊水を水源とすることを認めており、この場合河川流量が少ない時期には十分な取水が許可されないため、農業用水路内の魚類や植物に関する生態系保全効果が期待できないという問題がある。

一方、前述の提言「変貌する農業と水問題」によれば、「1970年代に工業用水が、1990年代に農業用水が、そして2000年代に生活用水が、それぞれ増大傾向から縮小傾向に変動しつつあることが、新たな水問題となってきた。（中略）そこでは、拡大過程とは原理を異にする新しい水利秩序と水管理の体制の構築が望まれている。」¹²⁾という指摘がある。

わが国の水需要が縮小していく一方、水が「環境」や「生物多様性」にも直結し、そこには新たな水需要が発生しているという視点から、減少する利水量を環境用水の安定水源として活用し、河川と連結する農業用の水路などに環境用水として確保することも、流域内の生態系を保全する観点から効果的であると思われる。また、1.で述べたような関係者から構成される意見交換の場を設け、地域住民や地方自治体などの要望の把握や河川と水路における保全すべき水環境の目標などを検討することが望ましいと考える。

3. 手続きの簡素化

環境用水を取得した場合、水利権の許可期間が3年間と極めて短期である。また、この水利権には、更新条項も付されない。

かんがい用水の許可期間は一般的に10年であり、発電用水では20年とされている。これらに比べ、環境用水は3年間という短期間の水利権であって、かつ、更新が認められないため、環境用水の取得を継続しようとする場合、各種の資料を新たに整理しなければなら

ない。これらの条件は、環境用水を取得しようと計画する地方自治体、土地改良区及び地域住民の意欲を挫きかねないと思われる。

環境用水は、既設の水利施設などを利用して通水させ、環境用水のためだけに新しく多額の投資を必要とすることはほとんど想定されていないが、既設の水利施設の軽微な補修、修景や水との触れ合いのための施設への投資なども計画される場合もある。また、水利施設の維持管理については、通水期間の延長や通水量の増加によって、掛り増し費用が発生する。さらに、環境用水の効果などについて河川管理者から求められるデータの収集や整理のための費用も必要である。

このように、多大な労力や一定の費用負担を行なったうえでも、地域の水環境を改善しようとする動きに対して、河川管理者の理解を求めるとともに、環境用水取得の手続きの簡素化を実施していく必要がある。

VI. おわりに

流域に果たす農業用水の役割は大きく、公共用水域の水環境の改善には、河川だけでなくこれに連結している農業用の水利施設も活用していくことが効果的であることについて、社会的な理解が得られてきていると考える。

このような社会経済状況の変化を踏まえつつ、水環境の改善に努めることは、誰もが住みたくなる街や村を実現していくための手段の一つになると思われる。

それには地域自らの創意工夫により、それぞれの地域ごとの特性に配慮し、地域住民、土地改良区、地方自治体及び河川管理者などが共同して観測された各種の水文データや生態系の状況などを蓄積・共有し、地域にとって好ましい水環境を形成していく努力が求められるのである。

謝辞

「手引き」は、平成19～20年度に農林水産省の農業水利問題検討調査委託事業により、(財)日本水土総合研究所が「農業水利基本問題検討委員会」を設置し、検討を進め、同委員会の三野徹鳥取環境大学教授を委員長として取りまとめられたものであり、農林水産省水資源課から本稿執筆に対する事実関係等の意見を頂いており、この場を借りて関係者の皆様に感謝申し上げます。また、森田昌史(財)日本水土総合研究所理事長から貴重な助言を頂いており、お礼を申し上げます。

引用文献

- 1) 国土交通省河川局水政課長・河川環境課長通知「環境用水に係る水利使用許可の取扱いについて」、平成18年3月
- 2) 農林水産省農村振興局整備部水資源課「農業水利施設を利用した環境用水の水利権取得に関する手引き」、平成21年3月
(http://www.maff.go.jp/tohoku/nouson/kankyoyousui/pdf/guide_00.pdf)
- 3) 日本学術会議農学基礎委員会水問題分科会「変貌する農業と水問題」、p4, 平成20年8月
(<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t62-2.pdf>)
- 4) トルコ外務省・世界水会議「第5回世界水フォーラム 閣僚宣言」、p3, 平成21年3月
(<http://www.mlit.go.jp/common/000035933.pdf>)
- 5) Water management Act 2000,8,Environmental water
(http://www.austlii.edu.au/au/legis/nsw/consol_act/wma2000166/s8.html)
- 6) 河田 直美・鈴木 豊志「オーストラリアにおける水利改革と農業について」、日本治山治水協会、水利科学 53(5), 平成21年
- 7) 吉谷 純一・浅野 考「米国の水資源開発とマネジメントの歴史的変遷と今日的課題」、世界の総合的水資源管理, p454, 平成21年
- 8) 遠藤崇治「カリフォルニア渇水銀行の一考察」、世界の統合的水資源管理, p471, 平成21年
- 9) 国土交通省 土地・水資源局水資源部「平成21年版日本の水資源」、p26, 平成21年8月
- 10) 亀田郷土地改良区ホームページ
(<http://www.kamedagou.jp/>)
- 11) 国土交通省河川局「正常流量検討の手引き(案)」, p2, 平成19年9月
- 12) 3)と同様, p3

吉井川二期地区の「環境配慮計画」の策定にあたって

谷 昌 史* 福 島 正 人*
 (Masashi TANI) (Masato FUKUSHIMA)

目 次

1. はじめに	62	3. 事例紹介	63
2. 検討の進め方について	62	4. 最後に	66

1. はじめに

吉井川二期地区は、岡山県の南東部に位置し、一級河川吉井川から取水した農業用水が各用水路を通じて補給された農地が広がる田園地帯で、農業用水路とともに形成されてきた地域である。

現在、当地区の農村環境の広域的な保全に向け、本受益全体を対象に、当地区の豊かで多様な資源（生態系、景観、歴史・文化など）を再評価し、農業者のみでなく、地域全員でその内容を共有・活用することにより、農村環境（二次的自然）、農業施設などの地域財産を「守りはぐくむ」取り組みを進め、農業生産基盤整備と併せた田園環境の再生・創造に取組み、農村環境の広域的な保全と特徴を生かした地域作りを推進することを理念とした環境配慮計画の取りまとめを行っているところである。

本報では、ソフト活動を重点とした環境配慮計画の取りまとめにあたっての検討の進め方などのポイントを地区事例を交えて紹介する。

2. 検討の進め方について

(1)検討のポイント

農村環境の広域的な保全（「環境配慮計画作り」から「実践活動」まで）を行うために必要なポイントを整理すると以下の3点となる。

- ①環境配慮計画の策定にあたっては、「田園環境整備マスタープラン」を基本としつつ、「生物多様性」「景観資源」「環境保全活動」「環境保全型農業」の環境・地域資源の機能の評価を、文献、環境調査などを通して、それぞれ個別・具体的に評価（現状と課題など）を行い、環境配慮計画に反映すること。
- ②現状と課題を踏まえた当地区の農村環境の広域的な保全に向けての「理念・目標・ビジョン」を明確にし、地域みんなで共有すること。
- ③個性ある地域作りへの動議付けや広域的な活動を効率的、効果的、継続的にするため、実施（実践）に向け、「役割分担」や「実施プロセス」を記載した「行動計画」を定め、地域みんなで共有化すること。



図-1 環境配慮計画に基づく取組のながれ

*中国土地改良調査管理事務所 (Tel. 082-819-1620)

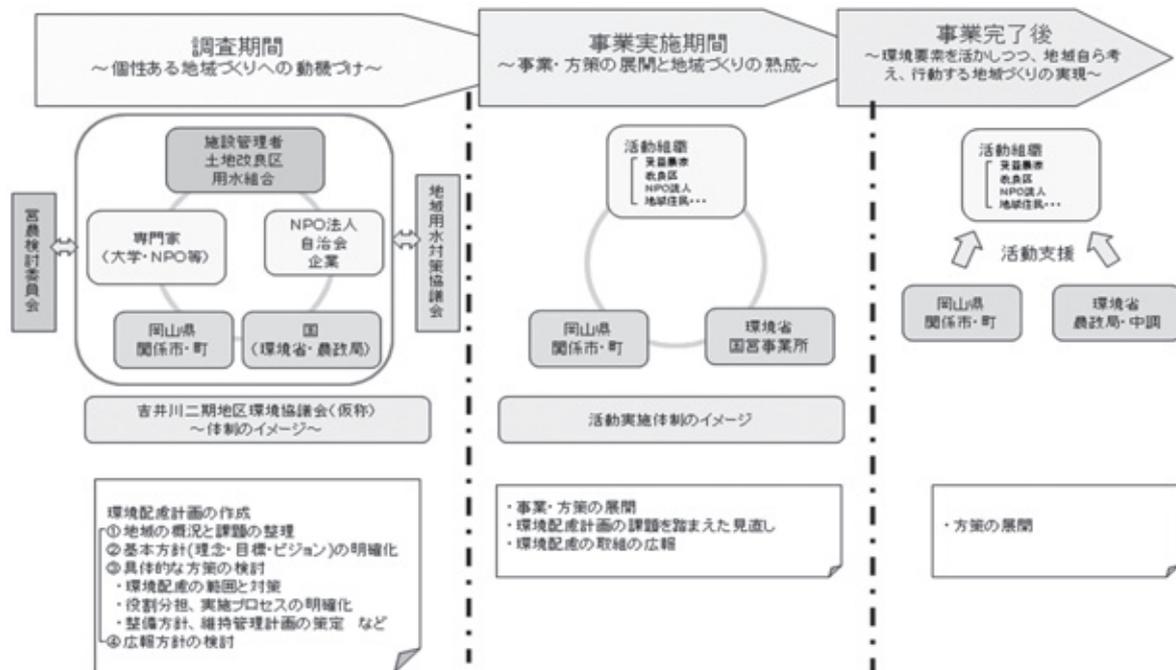


図-2 吉井川二期地区の検討体制

(2)検討の体制

農村環境の広域的な保全に向けた実践活動などの国（農政局，調査事務所や建設事務所）の関与は，一定の限界や制約（調査・事業工期内の関与に限定など）があることから，地域自ら主体的に，継続かつ効果のある取組が必要不可欠であり，調査期間，事業実施期間，事業完了後を通して地元主体の組織（自立組織）づくりも合わせて行う必要がある。

吉井川二期地区の検討体制は，生物の専門家，施設管理者，関係行政機関（環境省，県，市町）はもとより，今後の環境保全活動を継続的かつ具体的に実践して頂く必要から，農地・水・環境保全向上対策事業の実践者や環境保全活動実践者，環境保全型農業の展開を念頭に農業普及技術センターを構成員としている。また，環境保全活動を地域みんなで取り組んでいくためには，環境教育が大きなテーマである。母親に環境の重要性を知って頂き，家庭で，お子さんに環境教育を実践していただくことが広がりある展開に繋がることと考えている。そのため，女性の立場でご意見を頂く女性委員を選出している。

3. 事例紹介

検討のポイントの毎に，地区事例として検討状況を紹介する。

(1)現状と課題の把握

吉井川二期地区の「現状と課題」を把握する中で，当地区は水田を中心とした農業地域であり，多様な環境が有機的に連携し，多様な生態系が形成されているが，全国でも問題となっている農業者数の減少や農業

従事者の高齢化，都市のスプロール化により農村環境，農地や農業水利施設などの保全・管理を取り巻く環境が悪化，新たな環境配慮施設を造った場合，施設の維持管理に新たな労力が必要となるが，農業者の減少や高齢化により施設の管理・環境保全活動の更なる労力負担は限界であり，地域住民，NPO法人や企業などの労力負担の寄与が必要となっていることが浮き彫りになってきた。

このことを整理（評価）した上で，環境配慮計画に反映することが必要である。

当地区の環境・地域資源の機能の評価は，以下のとおりである。

1)社会環境の現状と課題

全国でも問題となっている農業者数の減少や農業従事者の高齢化，都市のスプロール化により農村環境・農地及び，農業水利施設などの保全管理を取り巻く環境が悪化。

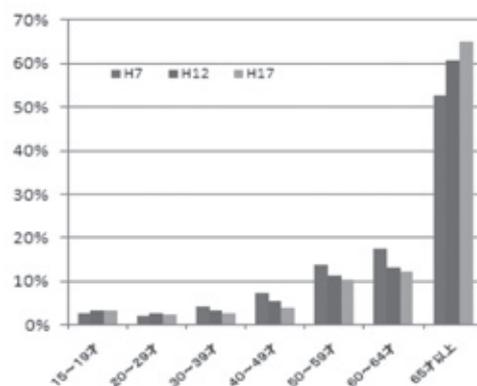


図-3 高齢化率

3) 景観の現状と課題

当地区は、農業用水路とともに形成されてきた地域であり、農業用水路は歴史や地域生活と密接な関わり。吉井川に代表される豊かな自然の風景と草刈りなど管理された美しい田園風景を基調とした景観が形成されており、江戸時代の津田永忠築造の歴史的文化遺産など将来に継承すべき遺産などが存在。



写真-1 吉井川二期地区の全景



写真-2 歴史・文化の保存活動

当地区は、近年の都市部のスプロール化、農村部の宅地化の進行に伴い、市街地周辺の田園風景、丘陵地の緑景観、及び歴史的風景への影響が懸念。また、地域の担い手不足などにより、良好な景観の保全と創造に影響が及ぶことが懸念されており、地域ぐるみでの対策が必要であることが明らかになった。

4) 地域の環境保全活動の現状と課題

当地区の環境保全活動は、地域全域で、さまざまな活動が展開。

当地区の環境保全への様々な取組みは、それぞれが個々バラバラに取組みを実施していることから、今後は継続的で効果的な活動とするため、個々に実施されている活動の輪を広げて行く（ネットワークを形成すること）ことや活動の地域を広げていくことが必要であることが明らかになった。

5) 環境保全型農業の現状と課題

当地区では、安全で良質な農産物を生産する取組みを個々が実践。

当地区では、安全で良質な農産物を生産する取組みを実践しているが、労力がかかることや、経営収支上の課題、一部報道によるアイガモ・アヒルの後始末の問題、周辺との関係（制約）など、広がりのある展開が出来ていない。

「生態系に配慮した整備」と併せて、「環境保全型農業」と「環境保全活動」を展開することにより、多様な生物が生息できる安全・安心な地域で生産された農産物として、地産地消、付加価値化、ブランド化の展開を目指す取組みも必要であることが明らかになった。

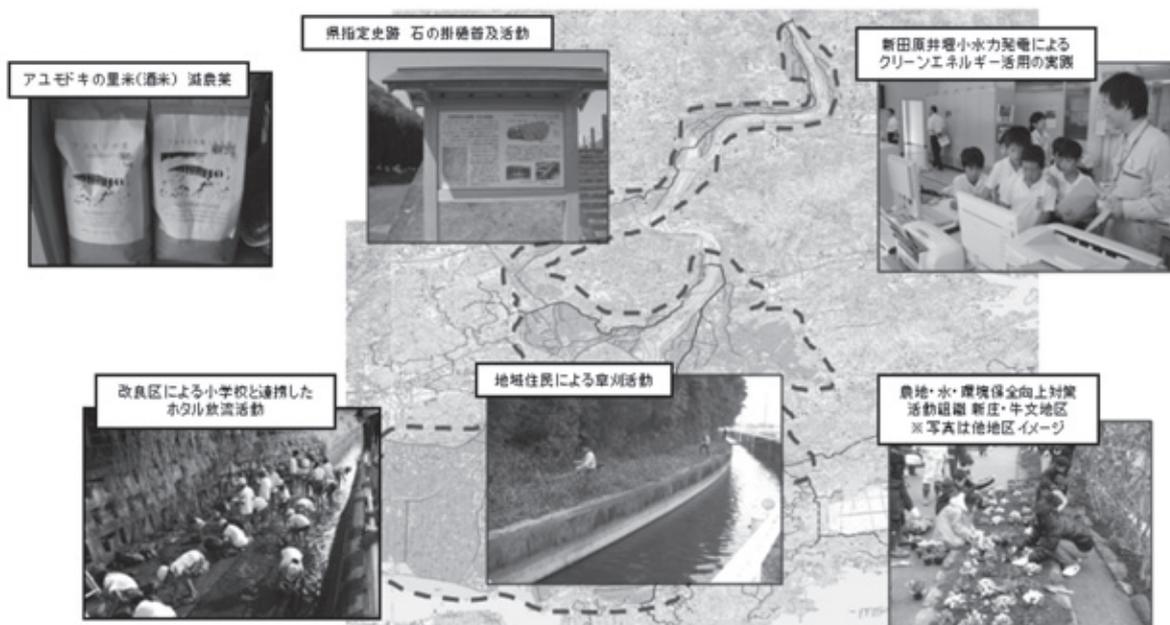


図-7 吉井川二期地区の環境保全活動

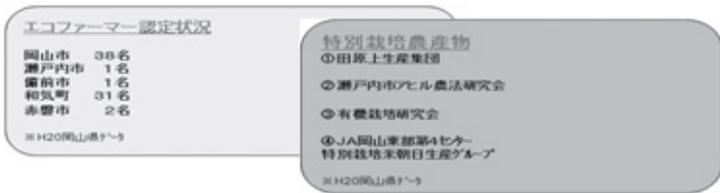


図-8 吉井川二期地区の環境保全型農業の実態

(2)環境配慮の基本方針（理念，目標）

当地区の基本方針としては、(1)のような当地区の現状と課題を踏まえ、温暖な気候「晴れの国岡山」、豊かな自然環境、稲・野菜・果樹などの豊富な農産物、田園・山・川・海や町並みなどの多様な景観、歴史・文化財の存在など、これら地域特有の財産を、モニタリングなどを通して、「きづき」「確認」「評価」することにより、農業者、地域住民やNPO法人などみんなの協働により守り育てる、次の3つの取組みを推進することとし、この内容を「環境配慮に係る検討協議会」で共有するとともに、土地改良区の広報誌を活用し、組合員に情報発信している。

(3)行動計画の策定（今後の予定）

農村環境の広域的な保全のためには、環境保全活動や環境教育、水路の維持・保全活動などを、既存活動をベースとしながら、地区全域への広がりを持った活動へと展開を図る必要がある。当地区の環境保全への様々な取組みは、現状と課題で記述したとおり、地域全域で行われているが、それぞれが個々バラバラに実施しており、それらの取組みを継続的で効果的な活動とするため、個々に実施されている活動の輪と活動地区を広げて行くことが必要である。

このため、国（中国土地改良調査管理事務所）は、広がりのある展開に向けた構想・計画作りに関与し、既存活動の現状と課題を確認した上で、地元検討協議会を開催し、実施に向けて役割分担や実施プロセス（行動計画）を定め、施策ツールを関係者と共有化する

ることを予定している。

また、この行動計画作りには、アンケートやワークショップを開催し、「地域意向の確認・ボトムアップ」や「計画内容を検証」するとともに、活動状況を広報誌などに記載する啓発活動を通して、地域住民の参加の動議付けや意欲の向上に努めることを予定している。

4. 最後に

委員から「よい環境とは人によって違いがあるため『この地域におけるよい環境とはどういうものか』を検討し、定義することが必要」とのご意見があった。環境配慮の考え方や取組みについては、環境保全活動家と施設管理者との価値観の違いから過去にトラブルがあったことも現実としてある。当然作ったものは、維持管理があって初めて機能するものであり、地域みんな、現状と課題を踏まえた環境配慮の基本方針（理念とビジョン）や行動計画を共有し、環境に配慮したハード整備はもとより、ソフト活動を重視した計画作り、活動が必要である。

また、農村環境の広域的な保全は、地域みんなで実践する必要性から、アンケート調査やワークショップ、土地改良区の広報誌やマスコミなどを通して、活動を広く知って頂き、活動に参画して頂くことも重要と認識している。

更に、「生態系への配慮」、「環境保全活動の展開」、「環境保全型農業の展開」を一体的に取り組むことにより、生物の生活の場である二次的環境（農業、農地及び農業施設など）を保全するとともに、「生き物共生米」などの安心・安全な農作物として、地産地消や付加価値への展開に繋げ、売れる農産物の振興を目指し、将来的には、多様な生態系や地域文化を活用したエコツーリズムによる交流など特徴を生かした地域づくりを一層推進することとしている。

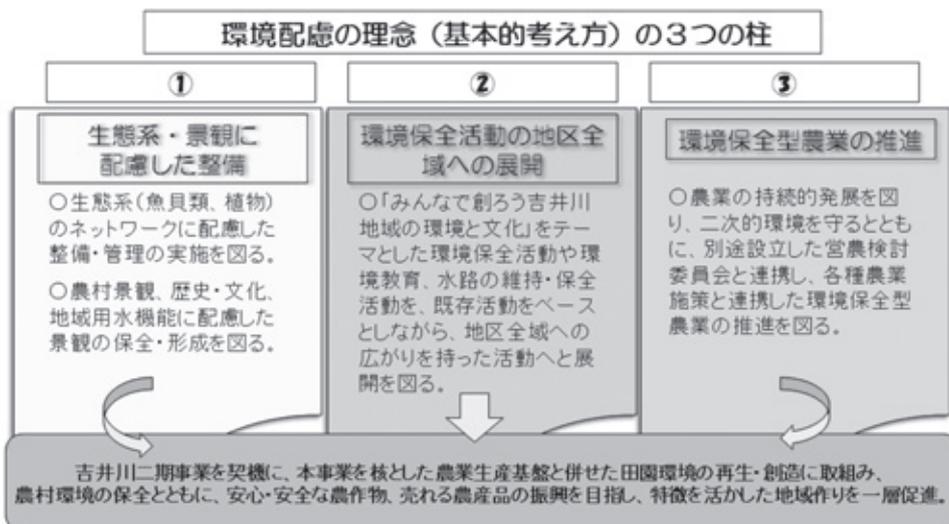


図-9 吉井川二期地区の環境配慮の基本方針

鹿児島県の広域農道における路面調査について

上 屋 昭 人*
(Akito KAMIYA)

目 次

I. はじめに	67	V. 路面点検結果の活用	72
II. 路面点検	68	VI. 今後の鹿児島県の農道保全について	73
III. 路面性状調査状況	70	VII. おわりに	73
IV. 路面性状調査結果	71		

I. はじめに

鹿児島県は、日本本土の西南部に位置し、その総面積は全国第10位で約9,188km²、2,643kmの長い海岸線を持ち、太平洋と東シナ海に囲まれた南北約600kmにわたる広大な県土を有している。また農業産出額は全国第4位を誇り、畜産、水稲耕作及び畑作が盛んな全国有数の農業県である。地形的には2つの半島、多数の離島により構成されており、この地形的条件を克服し農業生産性の向上を図るため934地区の農道整備事業を実施し、輸送体系の効率化に取り組んできた。

なかでも広域農道はこれまで昭和45年の着工に始まり平成25年度までに1,253億円を投資し、14路線で約340kmを整備する計画である。(表-1)



図-1 鹿児島県の広域農道位置図

表-1 鹿児島県の広域農道と農道保全対策実施状況

路線名	整備年度	事業費 (百万円)	事業量 (km)	備考
牧園	S45~H1	4,942	31.0	点検実施
中種子	S45~H1	4,075	26.4	
南種子	S46~S51	471	8.6	
西之表	S48~S52	569	5.1	
南薩	S47~H5	5,415	26.5	
日置	S48~H3	5,453	24.1	点検実施
出水	S53~H7	8,925	29.4	保全実施
曾於	S46~H9	12,812	36.4	保全実施
肝属	S54~H14	12,176	35.8	
伊佐	S57~H16	11,026	25.3	点検実施
川薩	S58~H19	22,098	34.3	点検実施
日置南部	H10~H21	6,466	13.1	
川辺	H3~H25	15,039	23.2	継続
南薩東部	H6~H23	15,926	21.3	継続
計	14 路線	125,393	340.5	

※継続2路線については完了見込みの事業費及び事業量である。

こうして整備した広域農道は鹿児島県の農業の発展に大いに貢献しているところではあるが、経年劣化等により、路面の損傷や橋梁などの構造物にも損傷が見受けられ、安全な通行に支障をきたす恐れがある。整備済み農道の補修や補強は、これまで管理主体である市町村が単独で対応してきたが、財政的・技術的に困難となってきた現状にある。そこで本県では農道保全対策事業を活用し、広域農道を中心に、橋梁点検やアスファルト舗装路面の劣化状況調査を行った。今回この取り組みについて報告する。

本県では、広域農道の農道保全対策事業を平成21年度までに6路線で実施している。平成18年度から曾於地区の有明大橋の鋼橋塗装を始め、平成20年度には出

*鹿児島県農政部農地建設課農道整備係
(Tel. 099-286-3279)

水地区の路面補修や橋梁補修を実施している。

また、平成21年度には広域農道4路線5地区において点検診断事業に着手した。これらの点検診断実施地区は、昭和40年代から昭和50年代にかけて整備に着手し、区間によっては整備後30年から40年が経過し、一般的に示されているアスファルト舗装の耐用年数10年を大幅に超えている区間を有している。部分的な補修はこれまで管理主体である市町村が対応してきたところではあるが農道保全対策事業では路線全体を捉えた一定規模の補修が可能である。

しかし、農道の点検から補修までを計画的に取り組む手法は、現時点では特に定められたものではなく、管理主体を中心に組み込まれてきたところであるが、農道保全対策事業の実施にあたり農道の点検診断から保全対策までの手法を全県的に統一するため農道の路面点検手法について検討した。

II. 路面点検

1. 路面点検の考え方

調査方法や試験方法には目視で簡易的に行うものから高価な機器を用いるものまで様々な方法がある。異常の発見から維持修繕までに行う調査の概要については図-2のとおり日本道路協会より示されている。

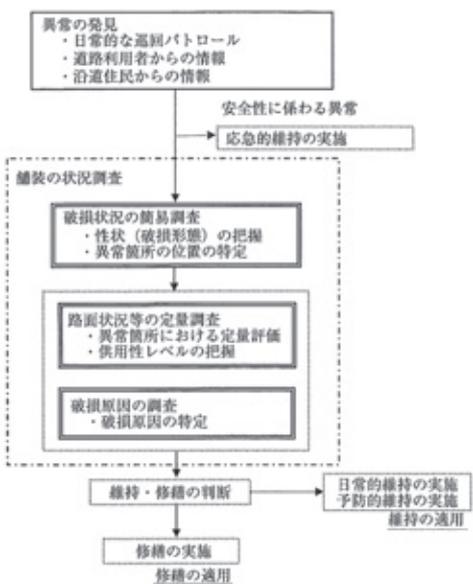


図-2 異常の発見から維持・修繕までに行う調査の概要
【舗装調査・試験法便覧〔第1分冊〕
平成19年6月 社団法人 日本道路協会】

調査方法の決定に際し、既に供用開始している区間での調査となり、時間的な制約を伴うことや、また、路線の現場条件の違いなどから損傷度にも違いがあることから路面点検の実施は以下の点に注意した。

- (1)同一の調査を実施することにより、客観的に損傷の程度を評価できる手法
- (2)交通利用に影響を与えない調査手法

- (3)点検診断から補修計画の作成までを1年間で実施する計画であったことから、調査から解析までの期間を3ヶ月以内に完了できる手法

以上の条件を念頭に、本県では路面状況等の定量調査（以下「路面性状調査」）を行うこととした。

2. 調査方法

路面性状調査はスケッチや人力による調査方法があるが、近年は測定車による高速の自動測定が実用化されてきている。平成21年度は広域農道に加え過去に農免農道整備事業で整備した路線等も含め、調査延長が長距離（L=125km）であることから路面性状測定車により調査を行うこととした。写真-1の測定車は時速40km～時速60kmでの走行調査が可能のため、調査期間を短縮でき、一般通行に影響を与えることなく調査を行うことが可能である。

なお、調査延長（L=125km）の調査日数は現地調査も含め6日間であった。



写真-1 路面性状測定車

路面性状測定車は、ひび割れの発生状況やわだち掘れ量（横断凹凸量）、平坦性（縦断凹凸量）の測定を行うことができる。この調査車はある一定の精度で測定を行えることが必要とされるが、これに関しては、財団法人土木研究センターが性能確認試験を行っており、性能確認試験に合格するには表-2に示す精度を有することが必要とされる。平成21年10月まで有効の性能確認証書が発行された測定車は全国で21台であった。

表-2 路面性状測定車の性能

試験項目	認定範囲
距離測定精度	テープによる実測値に対し、 $\pm 0.5\%$ 以内の精度
ひび割れ測定精度	幅 1 mmのひび割れが識別可能な精度
わだち掘れ測定精度	横断プロフィールメータの測定値に対し、 ± 3 mm以内の精度
平坦性測定精度	縦断プロフィールメータの測定値に対し、 $\pm 30\%$ 以内の精度

3. 路面性状の測定方法

路面性状測定車による調査で求めることができる数値の測定方法を説明する。

(1) ひび割れ率

1) 目的

路面に生じたひび割れの度を測定する。

2) 測定方法

写真-1の車両前方の突起部からレーザーを照射し、この反射により路面の明暗を読み取り、路面のひび割れを測定する。

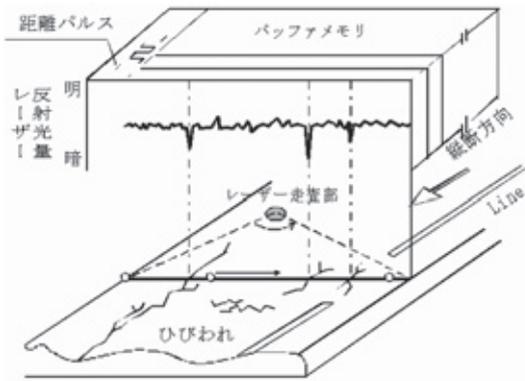


図-3 ひび割れ率の測定方法

3) 計算式

ひび割れ率C

$$= \text{ひび割れ面積 (m}^2\text{)} / \text{調査対象区画面積 (m}^2\text{)} \dots\dots (式1)$$

4) 面積測定方法

0.5m角のメッシュ法により整理する。

① 1マスに1本のひび割れがある場合

1マス0.25m²の内60%の面積0.15m²をひび割れ面積とする。

② 1マスに2本以上のひび割れがある場合

1マス0.25m²の100%をひび割れ面積とする。

以下に図-4の表示例による計算結果を示す。

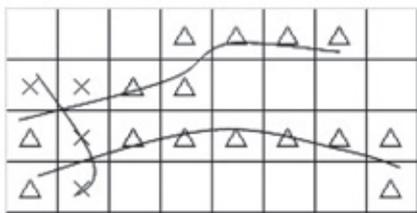


図-4 4m×2mの舗装面積に対する表示例

△：1マスに1本ひび割れが発生しているマス
0.15m²×15マス=2.25m²

×：1マスに2本以上ひび割れが発生しているマス
0.25m²×4マス=1.0m²

全体：0.25m²×32マス=8.0m²

ひび割れ率 = (2.25 + 1.0) / 8.0 = 40.6%

(2) わだち掘れ量 (横断凹凸量)

1) 目的

舗装路面の摩耗、路面の沈下、アスファルト混合物の流動等によって、車輪や走行位置に発生するわだち掘れ量を測定する。

2) 測定方法

写真-1の車両前方の突起部からレーザーを照射し、レーザーの反射を車両に搭載しているカメラで撮影し、路面に対するカメラの視野角度から、路面のわだち掘れ量 (横断凹凸量) を測定する。

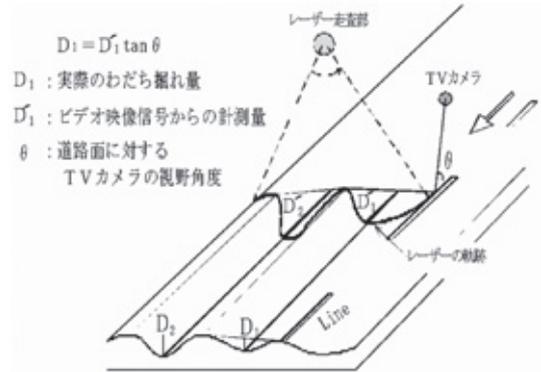


図-5 わだち掘れ量の測定方法

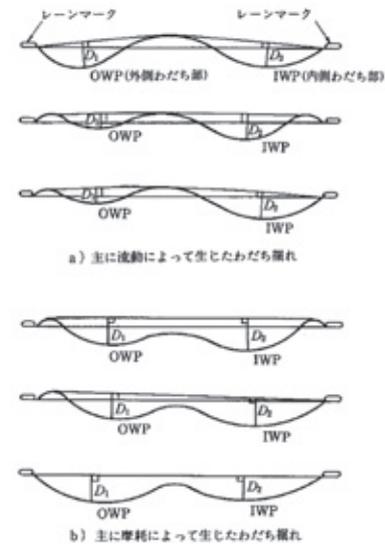


図-6 わだち掘れ量の定義

わだち掘れ量は、図-6に示すとおり車線中央の凸部が両側の凸部より高い流動によって生じたわだち掘れと車線中央の凸部が両側の凸部より低い摩耗によって生じたわだち掘れに区分され、最高点と最低点の高低差がわだち掘れ量となる。

3) 計算式

$$\text{わだち掘れ量 } D = D' \tan \theta \text{ (mm)} \dots\dots (式2)$$

(3)平坦性（縦断凹凸量）

1)目的

車両の走行時における乗心地に影響する道路の縦断方向の凹凸の度合を測定する。

2)測定方法

車体の側底部3箇所から縦断的にレーザーを照射し、レーザーの反射により車体と路面の高低差をそれぞれh1、h2、h3として測定し、h1とh3の平均高さとh2との差を平坦性（縦断凹凸量）とする。

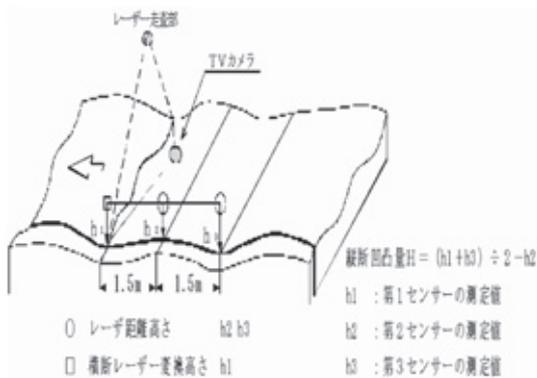


図-7 平坦性の測定方法

3)計算式

平坦性（縦断凹凸量）σ

$$\sigma = \sqrt{\{\sum H^2 - (\sum H)^2 / n\} / \sqrt{(n-1)}} \quad (\text{mm})$$

…… (式3)

$$H = (h1 + h3) / 2 - h2$$

h = 測定値 (mm)

n = データ数

4. 路面性状調査とMCI

国土交通省が使用しているMCI（維持管理指数）は路面の損傷具合を、客観的かつ数量的に評価し、修繕計画の目安を判断しやすいことから、本県ではMCIを用い路面の損傷具合を把握することとした。MCIはこれまでに述べたひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性の3つの要素を諸元とした指数計算を行い、路面の損傷具合を数値的に算出し、路面の状態を客観的に評価することができる。MCIの計算式は（式4）～（式7）に示し、MCIの判断基準は表-3のとおり示されている。MCIは（式4）～（式7）で計算を行い、その計算結果のうち最も小さい値がその区間のMCIとなる。道路の損傷具合を示すMCIの判断基準は表-3のとおりで、10点満点からの減点方式により算出し、低い値ほど損傷が進行した状態であることを示す。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \dots\dots (式4)$$

$$MCI1 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.3D^{0.7} \dots\dots (式5)$$

$$MCI2 = 10 - 2.23C^{0.3} \dots\dots (式6)$$

$$MCI3 = 10 - 0.54C^{0.3} \dots\dots (式7)$$

C；ひび割れ率 (%)

舗装面積全体とひび割れが発生している面積の比率

D；わだち掘れ量 (mm)

横断方向の路面の最高点と最低点の差

σ；平坦性（縦断凹凸量）(mm)

縦断方向の路面の最高点と最低点の差

表-3 MCIの判断基準

望ましい管理水準	5以上
補修が必要	4以下
早急に補修が必要	3以下

【九州地方整備局 土木工事設計要領
道路編 維持補修（2010）】

Ⅲ. 路面性状調査状況

写真-2はレーザーの照射状況である。写真のように、走行しながら路面の状況をスキャンしていく。測定の時間帯は

- ①レーザーの反射が読み取りやすい。
- ②交通量が少なく、また駐停車車両もない。

など調査をスムーズに行う条件が整っていることから夜間に行っている。測定車によっては日中の調査が可能な車両もある。



写真-2 路面性状測定状況

写真-3は測定した数値データを映像変換した写真である。中央のひび割れや左右両側に区画線が確認できる。写真下部は路面のわだち掘れの状態を映像化したもので、輪加重により沈下している状況が確認できる。これらのデータからひび割れ率やわだち掘れ量を算定する。

写真-4は、縦断的な凹凸量をグラフ化したものである。このように調査結果が測定後すぐに確認できるのもこの調査方法の利点である。

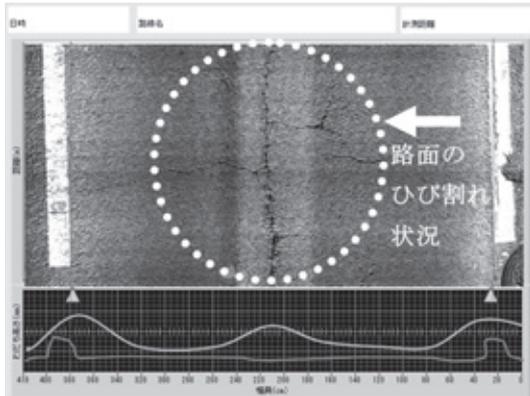


写真-3 ひび割れ率及びわだち掘れ量(横断凹凸量)測定結果映像

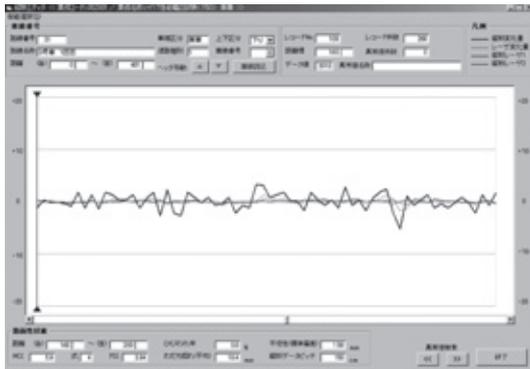


写真-4 平坦性(縦断凹凸量)の解析状況

IV. 路面性状調査結果

1. 測定結果

これまで説明した調査方法で得られた広域農道の路面性状調査結果を表-4に示す。

表-4 路面性状調査結果(平均値)

番号	地区名	所在地	C:ひび割れ率 %	D:わだち掘れ量 mm	σ :平坦性 mm
①	牧園	霧島市	67.1	11.6	3.8
②	牧園	湧水町	46.2	9.6	3.2
③	牧園2期	霧島市	23.2	6.7	2.9
④	日置	いちき串木野市	32.5	8.8	3.5
⑤	伊佐	湧水町	10.8	8.5	2.8

注1)①～③は同一路線。所在地や過去に整備した時期により区分。

①、②牧園地区(S45年度～S51年度整備)

③牧園2期地区(S50年度～H元年度整備)

牧園地区は、牧園2期地区と比較するとひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性の3要素とも大きな値が確認でき、整備年度の違いや区間毎の交通条件の違いにより劣化の進行具合に違いがあることが分かる。以下にそれぞれの路面性状調査結果を説明する。

(1)ひび割れ率

平均ひび割れ率が高い区間は、牧園地区の霧島市区間で67.1%、牧園地区の湧水町区間で46.2%であった。

表-4のひび割れ率は路線の平均値を示しているが、牧園地区で100mごとのひび割れ率をみると、90%を越える区間が全体で2.6km確認できた。写真-5は、こうしたひび割れ率の高い区間の状況である。



写真-5 広域農道牧園地区路面ひび割れ状況

(2)わだち掘れ量(横断凹凸量)

表-4のとおり牧園地区の霧島市区間では平均11.6mmのわだち掘れ量が確認できた。牧園地区では最大37.4mmが確認され、わだち掘れによる損傷が進行していることが分かった。

(3)平坦性(縦断凹凸量)

鹿児島県施工管理基準において平坦性は標準偏差2.4mm以内とされているが、表-4より5地区とも2.8mm～3.5mmであった。最大値は5mm～6mmである。大きな値が確認できる箇所は橋梁等構造物とアスファルト舗装部との接続区間で確認でき、これらの段差については舗装補修等の対応が必要である。

2. MCIによる解析

MCIによる解析結果を表-5に示す。

表-5 路線毎の平均MCI

番号	地区名	調査延長	MCI
①	牧園(霧島市)	18.8km	2.2
②	牧園(湧水町)	15.4km	3.8
③	牧園2期	28.1km	4.4
④	日置	10.8km	3.9
⑤	伊佐	8.2km	5.4
	合計	81.3km	

※ 調査延長は路線の往復延長

牧園地区の霧島市区間のMCIは早急に補修が必要と判断される3以下の2.2と低い値を示している。日置地区や牧園地区の湧水町区間においても補修が必要とされる4以下を示している。MCI5以上が望ましい管理水準とされるが、今回は伊佐地区のみ該当した。これは伊佐地区が昭和57年から平成12年にかけて事業を実施しており、比較的近年に事業が完了しているため、MCIが高い値を示したと推定できる。

表-6 MCIの分布状況 (単位: km)

地区名	MCI				要補修の割合
	3以下	3~4	4~5	5以上	
牧園(霧島市)	15.7	2.2	0.3	0.6	94.4%
牧園(湧水町)	8.7	1.3	1.2	4.2	64.8%
牧園2期	2.7	8.7	7.5	9.2	40.6%
日置	3.3	3.4	2.3	1.8	61.8%
伊佐	0.2	0.4	2.4	5.2	7.3%
計	30.6	16.0	13.7	21.0	57.1%

要補修延長の割合 (%)

$$= \text{MCI4以下の延長} / \text{調査延長} \quad \dots\dots (式8)$$

測定の結果、5地区においてMCI4以下の割合が調査延長全体の57.1%となり、この区間について補修を要するという結果が得られた。距離にして調査延長81.3kmのうち46.6kmが補修を要すると判断された。

地区別にみると整備後の年数が最も長い①牧園(霧島市)地区で調査延長の94.4%が補修を要するという結果であった。整備後の経過年数が長い地区ほどMCIの値が低く、損傷が進行していることが分かる。

MCIの解析により、これまで漠然としていた路面の損傷具合が数値として定量的に評価を行うことができ、今後どの区間を優先的に補修するかを判断する検討材料として有効に使うことができる。

またMCIの結果を図-8のように平面図上に表示すると、路面の損傷が進行している区間を視覚的に確認できる。

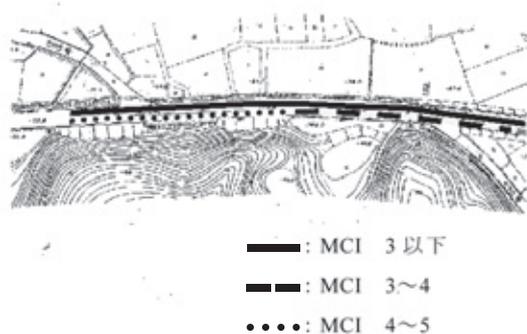


図-8 路面性状調査結果平面図

V. 路面点検結果の活用

今回の路面点検結果から、補修工法の選定までは以下の手順により検討している。

- (1)路面性状調査により路面の損傷具合を評価
- (2)CBR試験により既設路床を評価
- (3)整備後の交通量調査により必要TAを決定
- (4)TA換算係数による既設舗装の評価
- (5)補修厚の決定

農林水産省は土地改良事業計画設計基準設計「農道」(平成17年3月 社団法人農業土木学会)において補修厚の検討に(式9)のとおりTA法による手法を示している。

$$\text{補修に必要な等値換算厚 } t \text{ (cm)} \\ = TA - TA_0 \quad \dots\dots (式9)$$

TA: 必要等値換算厚

TA₀: 残存等値換算厚

i) 必要等値換算厚TA

必要等値換算厚TAは(式10)~(式12)により求める。

$$TA_{90} = 3.84N^{0.16} / \text{CBR}^{0.2} \quad \dots\dots (式10)$$

$$TA_{75} = 3.43N^{0.16} / \text{CBR}^{0.2} \quad \dots\dots (式11)$$

$$TA_{50} = 3.07N^{0.16} / \text{CBR}^{0.2} \quad \dots\dots (式12)$$

TA₉₀: 信頼性90%の必要等値換算厚

TA₇₅: 信頼性75%の必要等値換算厚

TA₅₀: 信頼性50%の必要等値換算厚

N: 疲労破壊輪数

CBR: 路床の設計CBR

CBR試験は路床の力学的性質を示し、TA法による舗装厚の決定に用いる。補修の設計においても路床の設計CBR値が3以上を示しているか確認し、路床の再構築が必要かを判定することができる。通常の路床の設計にあたってはおおむね200mに1箇所割合でCBR試験用の試料の採取を行うこととなっているが、既設の補修の設計にあたっては1kmに1箇所確認を予定している。基本的に既設のCBR値は整備当時から変わることは少ないと考え、確認のため行うこととしている。

なお、交通量調査は整備後に実施した事例が少ない。事業計画策定時点の計画交通量はあくまで推定の交通量であり、路線によっては計画交通量に比べ実交通量が増減することが考えられることから、実際の交通量を把握する必要がある。

ii) 残存等値換算厚 TA₀

TA₀は舗装の破損状況に応じて在来の舗装の強度を評価したものである。TA₀の計算に用いる換算係数を表-7に示す。

表一七 TA₀の計算に用いる等値換算係数

層	既設舗装の構成材料	各層の状態	係数	摘要
表層・基層	加熱アスファルト混合物	破損の状態が軽度で中度の状態に進行するおそれのある場合	0.9	破損の状態が軽度に近い場合を最大値、重度に近い場合を最小値に考え、中間は破損の状況に応じて係数を定める。
		破損の状態が中度で重度の状態に進行するおそれのある場合	0.85~0.6	
		破損の状態が重度の場合	0.5	
上層路盤	加熱瀝青安定処理		0.8~0.4	新設時と同等と認められるものを最大値にとり、破損の状況に応じて係数を定める。
	セメント・瀝青安定処理		0.65~0.35	
	セメント安定処理		0.55~0.3	
	石灰安定処理		0.45~0.25	
	水硬性粒度調整スラグ		0.55~0.3	
	粒度調整碎石		0.35~0.2	
下層路盤	切込砂利及び切込碎石		0.25~0.15	
	セメント安定処理及び石灰安定処理		0.25~0.15	
コンクリート版		破損の状態が軽度または中度の場合	0.9	
		破損の状態が重度の場合	0.85~0.5	

等値換算係数の決定にあたり舗装の破損状態の判断は以下のとおり区分される。

1) 軽度

ほぼ完全な供用性能を有しており、当面の補修は不要であるもの（おおむねひび割れ率が15%以下のもの）

2) 中度

ほぼ完全な供用性能を有しているが、局部的・機能的な補修が必要なもの（おおむねひび割れ率が15~35%のもの）

3) 重度

オーバーレイあるいはそれ以上の大規模な補修が必要であるもの（おおむねひび割れ率が35%以上のもの）

補修厚決定の計算例を以下に示す

【設計条件】

信頼性：90%，路床の設計CBR：6

計画大型交通量：Ⅲ交通

100台以上250台未満

必要等値換算厚TA = 16

ひび割れ率 65%

表一八 既設舗装の等値換算評価

層	材料	厚さ ①	係数		等値換算厚 ① ②
			②		
表層	アスファルト	5 cm	0.5		2.5
基層	アスファルト	5 cm	0.5		2.5
上層路盤	粒度調整碎石	10 cm	0.2		2.0
下層路盤	シラス	20 cm	0.15		3.0
TA ₀ = 10.0					

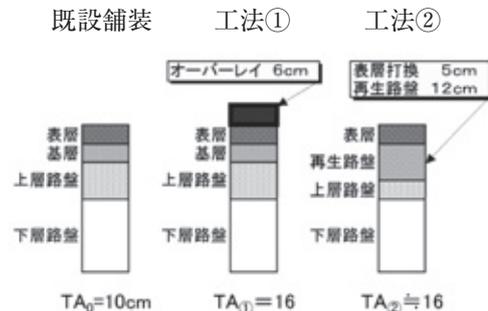
補修厚 $t = TA - TA_0 = 16\text{cm} - 10\text{cm} = 6\text{cm}$

必要TAを確保するため、次の補修工法案が検討できる。

工法①：既設舗装上に6cmのオーバーレイ工

工法②：表層打換5cm + 12cmの路盤再生工法

工法①は既設舗装高が6cm高くなり道路排水施設との段差が生じ、工法②は既設舗装高と同じ高さとなることから②案を採用する。



※再生路盤の等値換算係数は0.65

図一九 既設と補修工法の舗装構成

Ⅵ. 今後の鹿児島県の農道保全について

鹿児島県の農道保全対策事業は、平成21年度までに広域農道6路線、農免農道及び一般農道等6路線の計12路線で実施している。今回はその中でも複数の市町村にまたがる広域農道で実施した路面点検にスポットをあて報告したところである。

今回報告した地区以外にも整備後40年以上経過している農道があることから、同様に路面点検を行い既存施設の状況を把握し、管理主体である市町村と協力し農道の保全に努めていく必要がある。

また路面の他、橋梁やトンネルなどの構造物も整備後40年以上経過しているものがあることから、健全度を測定し早急な補修や補強の必要性を整理する必要がある。特に橋梁については損傷の程度によって莫大な費用と時間を要することも考えられる。通行止めとなると地域に与える影響が多いため、本県では「橋梁定期点検マニュアル（案）（鹿児島県土木部平成19年3月）」に基づき、農道橋梁の一斉点検を予定している。鹿児島県は農道橋梁の保全について、管理主体である市町村と情報の共有化を図り、農道橋梁の適宜適切な保全に努めていきたいと考えている。

Ⅶ. おわりに

農道の保全対策は平成22年2月5日付総務大臣勧告「社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視－道路橋の保全等を中心として－の結果」にもあるように、まだ農道保全対策事業の活用が十分になされ

ているとは言えない。今回本県の農道保全対策事業の実施にあたり、

(1)路面点検の基準は何に基づき実施するか

(2)点検結果が保全対策に活用できるか

が課題となった。

実施にあたっては国土交通省や日本道路協会が技術基準等を定めており、それらを用い一定の方向性を導くことができた。今回の調査結果は農道の適正な管理を行うためにも一つの有効な手法と捉えている。

「新しくものをつくる時代」から「既存のものを長く使う時代」にシフトしている近年、既存施設の保全にどのように取り組んでいくのかは、地方自治体にとって大きな課題である。この調査結果が今後の農道のストックマネジメントを考える上での参考となれば幸いである。

参考文献

「舗装調査・試験法便覧〔第1分冊〕」

(社団法人日本道路協会 平成19年6月)

「土木工事設計要領 道路編」

(国土交通省九州地方整備局 平成22年5月)

「土地改良事業計画設計基準 設計 農道」

(社団法人農業土木学会 平成17年3月)

地域住民参加による鳥獣害防止施設の整備について

川 口 裕* 前 田 和 徳*
(Hiroshi KAWAGUCHI) (Kazunori MAEDA)

目 次

I. はじめに	75	IV. 事業の効果と今後の課題	77
II. 事業実施までの経緯	75	V. おわりに	78
III. 工事の実施	76		

I. はじめに

独立行政法人森林総合研究所森林農地整備センター（以下、森林総研）は、図-1に示す鳥根県浜田市、江津市及び邑智郡邑南町において邑智西部区域特定中山間保全整備事業（以下、特中事業）を実施している。特中事業の目的は、森林・農用地及び農林業用施設などを一体的に整備することにより、森林及び農用地が有する公益的機能の維持増進を図るとともに、農林業の持続的発展を図ることにある。

特中事業では、農用地整備（区画整理、暗渠排水）の附帯工事として鳥獣害防止施設の整備を行っている。

本報では、鳥獣害防止施設整備に際し、地域住民参加型直営施工（以下、住民直営施工という）により、農家・地域住民等により構成される団体（以下、地域住民団体）が行った事例について報告する。



図-1 邑智西部区域位置図

II. 事業実施までの経緯

1. 特中事業における鳥獣害防止施設実施状況

特中事業では、区画整理7団地と暗渠排水3団地において、農用地整備の附帯工事として鳥獣害防止施設整備を延長約17km行うこととしている。具体的な鳥獣害防止施設の内容は、地域農業に最も大きな被害を与えているイノシシに対する防護柵（以下、防護柵）である。なお、鳥獣害防止施設の整備にあたっては、事業コスト縮減と整備施設への愛着心醸成のため、住民直営施工による工事实施を目標とした。

結果として、10団地のうち8団地（延長11.1km）が住民直営施工による工事を選択した。住民直営施工を選択しなかった2団地では、農用地整備工事に含めて建設業者による請負工事で実施した。選択しなかった理由は、地域の労働力不足（作業員が集まらない）である。

2. 工事实施体制と路線配置計画

地域住民団体が住民直営施工による防護柵設置工事（以下、設置工事）を実施するにあたり、表-1のような工事实施体制を整えた。

表-1 設置工事の実施体制

区分	体制
受委託手続	地域住民団体が森林総研から住民直営施工の特認団体としての認定(*)を得て、特中事業分の設置工事を森林総研から受託する。
具体的な路線配置計画の策定	地域住民団体が森林総研と調整のうえ策定する。路線配置に係る協議調整(地権者等の了解取得、門扉位置の決定等)は地域住民団体が主体的に行う。
製品仕様の決定等	防護柵の仕様策定、単価見積、防護柵資材の調達は森林総研が行う。

※特認を受けて住民直営施工を行った8団地の地域住民団体の構成（予定を含む）は、①「農地・水・環境保全向上対策」実施主体が5団体（うち1団体は2団地を包括して実施）、②整備農地全体が加入する水利組合が2団体である。

*（独）森林総合研究所森林農地整備センター
邑智西部建設事業所 (Tel. 0855-92-8021)

各地域住民団体は、路線配置計画の策定にあたり、地域住民への広報・説明会、自治会各班への希望調査等を通じ、具体的な路線配置計画を決定した。

とくに、路線配置計画を決定するまでの合意形成や地域住民への協力呼びかけにあたっては、たとえば「地域を守るために、農地を守る。農地を守るため柵を設置し、地域を守る」という理念をかかげる等、非農家を含めた住民全体に理解してもらうことに重点をおいて活動した。

3. 防護柵の仕様

特中事業では、防護柵として効果の高いワイヤメッシュ柵を導入したが、防護柵の仕様策定にあたっては、施工性や耐久性の視点が欠かせない。そのため、防護柵が備えるべき条件を整理し、表-2及び図-2のような仕様を策定した。

表-2 防護柵の仕様

区分	条件	選定仕様
現場での施工性	<ul style="list-style-type: none"> 軽量であること 傾斜地、不整形地盤への追随性が高いこと 地元住民による住民直営施工及び管理を想定しているため、特殊な機械、技術が必要としない構造 	<ul style="list-style-type: none"> 1メートル当たり重量が軽く、柔軟性に優れ、施工・補修が容易な、亜鉛めっき鉄線を編み込んで作られた柵網と、支柱、控え柱で構成される製品
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> 柵網線鋼材の材料品質 柵網全体の機械的強度 	<ul style="list-style-type: none"> 引張強さ等の機械的性質、亜鉛付着量 縦線・横線の結束構造
寸法等	<ul style="list-style-type: none"> イノシシの跳躍能力を考慮した柵高 イノシシの潜り込み防止機能 仔イノシシ(通称うり坊)の侵入防止機能 	<ul style="list-style-type: none"> 仕上り高1200mm程度 地際に200mm程度の折曲げ余裕長又は同程度の機能を有する構造 地際箇所は、横線の隙間間隔が100mm以下となるよう配置

なお、設置工事に専用の工具等を必要とする場合には、メーカーが工具等の貸出及び使用方法の指導等の技術協力を行うことを製品価格見積の条件とした。

III. 工事の実施

1. 作業推進体制の確立

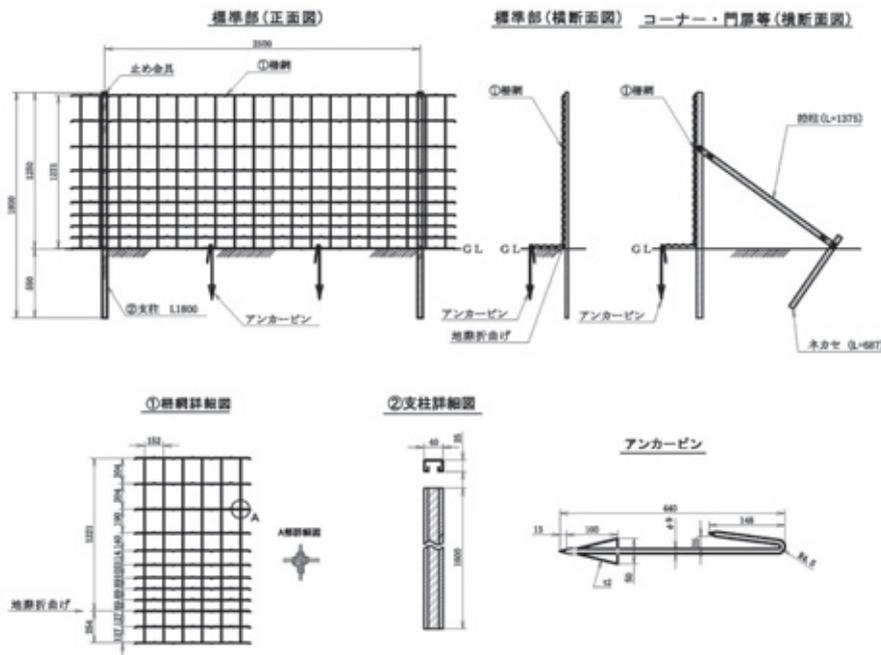
住民直営施工を円滑かつ確実に実施するためには、作業の進行管理や安全管理の責任体制の明確化、作業人員の計画的配置という観点が必要である。

そこで、作業推進体制を精査するにあたっては、管理体制を明確化するため、作業管理事務責任者1名を固定配置するとともに、現場の作業グループごとに現場責任者1名を配置するよう要請することとした。

具体的な作業人員配置は基本的に各地域住民団体へ委任したが、比較的規模の大きい住民直営施工となる住民団体では表-3のような作業計画を作成して対応した。

表-3 住民直営施工の作業計画例

区分	対応
作業員の計画的配置	<ul style="list-style-type: none"> 作業従事希望者に対し、事前に出役調査を行って概略の人員配置計画を作成。 作業従事者不足が予想されるときは、隣接地域住民へも協力を要請するなどして全体的な作業従事者数を確保。
作業計画作成時の配慮	<ul style="list-style-type: none"> 作業従事希望者が都合のよい日(特に好天日)に随時作業に参加できるように、出来るだけ毎日どこかで作業が行われているような作業計画の作成。 防護柵設置作業の最小単位の班編制(4名程度)が組めないときは、資材小運搬作業を中心に作業を計画。



※ ①控柱・ネカセとも横断寸法は同じ。
②支柱長(控柱含む)は、地形等により数パターン準備すると現地適合性がよい。

図-2 防護柵図面

2. 施工技術の研修

施工技術の習得と、現地に即した具体的な作業方法を検討するため、団地ごとに製品メーカーの技術者を現地に招いて施工技術研修会を開催した。作業従事希望者には可能な限り研修会への参加を呼びかけた。研修会では、基本的な設置手順や、専用工具の使用方法についての研修を受けた。（写真-1）



写真-1 メーカーによる施工技術研修

3. 作業の状況

各団地とも、おおむね以下の手順で作業を実施した。

- ①資材の搬入確認
- ②施工技術研修会の開催
- ③施工品質確保、工程管理、安全対策について地域住民団体と森林総研で打合せ確認
- ④作業実施（施工管理は地域住民団体が行う）（写真-2）
- ⑤工事の確認検査（森林総研職員が検査）

結果として、各団地とも事故無く工期内で作業を完了できたことで、完工時には参加者みな充実した達成感を得ていた。



写真-2 住民直営施工による防護柵設置作業の状況

IV. 事業の効果と今後の課題

1. 事業の効果

地域住民団体へのアンケートによる聞き取りの結果、以下のような効果が確認された。（アンケート結果は文末に掲載（表-4））

1) イノシシ被害の抑制

防護柵を設置した後、防護柵内でのイノシシによる被害は発生していない。設置前にみられた、宅地周辺の菜園等の被害や、防護対策が不十分なほ場での被害が防止できたことは、営農意欲の向上や生活安全度の向上に役立ったと農家、地域住民から評価されている。

新設された防護柵の存在や、設置のための作業行為はイノシシにとり大きな環境変化であり、地区への侵入に対する心理的障壁となったと考えられる。ただし、今後イノシシの「慣れ」に伴い防護柵内への侵入を試みる機会も増加するとみられ、監視していく必要がある。

また、被害防止対象としたイノシシ以外の鳥獣（サル、カラス等）対策も今後の課題となっているが、サル被害対策として、集落独自でイノシシ防護柵上に電柵を追加設置した団地もあり（写真-3）、追加対策の効果が注目される。



写真-3 イノシシ防護柵上に電柵を設置した

2) 維持管理労力の軽減

事業実施以前は個人で設置していた固定柵や電柵の補修、また絶縁不良を防ぐための頻繁な下草刈りを各個人が行う必要があった。事業実施後は管理組合等が年に数回、草刈りや弱点・破損箇所の点検・補修を行っている例が多い。このような維持管理体制の整備により、個人による維持管理作業や被害発生地の後始末は大幅に軽減された。また定期的な管理作業は人間の気配をイノシシに感じ取らせることで、侵入忌避につながることを期待される。

3) 住民間コミュニケーション交換の活発化

住民直営施工では、地域が一体となり集中的に防護

柵の配置・設置・管理の計画を作成したことから、その課程において、地域内の話し合いの機会が増加した。「未経験の活動を協同して実施し、防護柵の設置を達成することで、助け合いの精神や連帯感が醸成され、住民間のコミュニケーション交換が活発化し、問題解決への基礎体力を持った集落を創りあげるきっかけになった。」との意見も聞くことができた。

4) その他の効果

計画的に配置された防護柵の効果が認識されるにつれ、規格がバラバラなまま設置されてきた個人設置の柵は順次撤去されてきている。これにより、農村景観が向上したとの意見が多い。

2. 今後の課題

1) 適正な路線配置計画手法の確立

集落の外周林地に防護柵路線を配置した団地の場合、幾つかの課題が明らかとなった。たとえば奥地に防護柵を設置した場合には、管理、点検作業に大変な労力がかかることや、倒木・落枝、熊による破損が生じやすくなることなどである。ただし、樹冠閉塞林内に設置すれば、下草刈り労力は軽減される可能性もある。このことから、路線配置計画を慎重に行うことが重要であり、今後は適正な路線配置計画手法の確立が

課題である。

2) 効果的な情報共有のあり方

今後とも防護柵の効果を維持するためには、イノシシ目撃情報の提供呼びかけ等を行い維持管理作業への地域全体の理解、防護柵設置効果の認知度の向上につなげる必要がある。

また、随時地域の被害危険度情報を収集する等、地域全体を鳥獣害からまもる効果的な情報共有のあり方について、さらに検討する必要がある。

V. おわりに

中山間地域での鳥獣被害対策の重要性が認識されるのに伴い、多様な事業で鳥獣害防止施設の整備が実施されてきている。

今回の取り組みを通じ、整備を実施するに当たっては、地域住民が調整を図りつつ、計画・実施・管理を主体的に行うことが重要かつ有効であることをあらためて認識した。

今後、研究機関等における総合的な鳥獣被害対策研究や、各地の取り組み状況の情報交換等を通じ、より効果的な対策が行われ、中山間地域の定住条件の向上に役立つことを期待する。

表-4 「直営施工（鳥獣害防止施設設置工事）」実施後のアンケート結果（調査対象：5団体 回答：5団体）

設問	選択肢	回答数	備考
1 設置した鳥獣害防止柵の維持管理は、誰がどのように行っていますか。（予定を含む）	地元の管理組合等で年に()回程度行っている	3団体	1回, 2回, 3回:各1団体
	地元農家の交代制で年に()回程度行っている。	1団体	2回
	管理は別の組織に委託している	—	
	その他(自分の耕地周りを各自で草刈り等を行い管理:1団体)		
2 鳥獣害防止柵設置後の作物等の被害の状況について教えてください。	農作物等の被害は全くなくなった。	4団体	
	農作物等の被害はほとんどなくなった。	—	
	農作物等の被害は少なくなった。(猿, カラス等の被害防止を考慮していなかった。)	1団体	
3 鳥獣害防止柵設置の直接的な効果について教えてください。(複数回答可)	個人による鳥獣害防止対策をしなくてよくなり、労働力が軽減され	5団体	
	獣害を気にしなくてよくなり、営農作物の幅が広がった。	1団体	
	鳥獣害防止柵設置前と設置後で特にかわったことはない。	—	
	その他(宅地周りへの被害がなくなった。:1団体)		
4 直営施工(鳥獣害防止柵設置)の間接的な効果について教えてください。(複数回答可)	自分達で設置した鳥獣害防止柵は大切に維持管理しようという気持ちが高くなった。	4団体	
	住民同士が集まるきっかけになった。	4団体	
	若者との交流ができた。	1団体	
	農家と役員との距離が近くなった。	2団体	
	直営施工を機会に集落内の連携が強まった。	1団体	
	直営施工を機会に集落活動(草刈り, 水路清掃等)が活発化した。	2団体	
	農村景観が向上した。	3団体	
5 直営施工(鳥獣害防止柵設置)にあわせて、他の事業を行いましたか。	直営施工のみ行った。	4団体	
	直営施工にあわせて他の事業を行った。(事業名:中山間直接支払+農地・水・環境保全対策を併用)	1団体	
6 林業面など、農業以外での効果は何かありましたか。	年2回(春と夏)防止柵設置周辺の雑木・草刈りを実施することにより山林や宅地等の付近の管理が行き届くようになった。	1団体	

七滝用水と水源涵養保安林「緑のダム」の歴史

藤岡 義博*
(Norihiko FUJIOKA)

目 次

1. はじめに	79	4. 七滝保安林のこと	84
2. 七滝用水の沿革	79	5. 七滝水源涵養保安林を守る取組	85
3. 各施設の紹介	81	6. おわりに	86

1. はじめに

秋田県七滝土地改良区は、秋田県大仙市大曲より東方約8kmに位置する美郷町六郷を中心にその周囲に展開する扇状地形の耕地で、奥羽山系の西斜面に源を発し東西に貫流する丸子川を唯一の水源とする美郷町（旧六郷町，旧千畑町，旧仙南村）の一部の2市町に亘る1,554haの既耕水田の用水を管理している。丸子川に関田頭首工，その上流に仏沢ため池（112万8千t），瀧尻第一ため池（40万5千t），瀧尻第二ため池（19万6千t），一丈木ため池（75万t）などの農業用施設を保有し，用水の確保とその管理に努めているところまでは一般的な土地改良区だが，このような施設の他に奥羽山脈の七滝地区に水源涵養保安林251haを所有している全国でも珍しい土地改良区で，この一連の用水系統を昔から「七滝用水」と称し，この「七滝」の二字が事業所名に冠されたものである。

当土地改良区の組合員1,251名が「森を守り水を育む」を合言葉にこの七滝水源涵養保安林が自然の「ため池」であることを認識し，現在まで永々と保安林への造林を含めた治山事業を施行している。今回はその七滝用水と水源涵養保安林「緑のダム」について紹介する。

2. 七滝用水の沿革

七滝用水は，仙北郡美郷町，大仙市大曲・仙北の2市町に及ぶ用水でそのかんがい面積は1,554haである。用水の取入れ地点は，美郷町六郷東根字関田の丸子川左岸にあり，関田円型分水工により飯詰堰，中野堰，畑屋堰，六郷堰など10ヶ所の堰に対して面積に応じて分水し，更に下流の分水工で佐野堰，天神堂堰，上深井堰などに細分されている（図-1参照）。この地



図-1 七滝土地改良区管内図



写真-1 七滝保安林全景写真

域は丸子川本流が形成した六郷扇状地帯で本用水の取水地点の位置する関田を軸に同心円状に等高線が見られ，その標高30～90mの下層土は殆んどが礫層であるため地下水位が低く湧水地帯を除いては水利には恵まれなかった。

この扇状地の中心である旧六郷町附近は関田で取水する本用水と数多くの湧泉や小河川によって，早くから開発されてきた。

七滝用水は慶安元年（1648）の瀧尻沼築造に始まるが，延宝8年（1680）頃の丸子川水源地七滝山の水利地域は近隣20ヶ村に及び寛政12年（1800）には七滝山

*秋田県七滝土地改良区 (Tel. 0187-84-2137)



写真-2 関田円型分水工

を水野目山として買収してきた。

また、丸子川は鞠子川、丸木川などと呼んだ時代もあり、（大仙市大曲郷土史資料）旧六郷町、旧千畑町、旧仙北町、旧大曲市を流れる川で奥羽山脈黒森山（763m）の北側にある湯田沢に源を発し、途中で善知鳥、赤倉、払田、矢嶋、川口、窪堰、福辺内の小支流を入れ旧大曲市で雄物川に合流する延長19kmに及ぶ一級河川である。

○本地域の開発

六郷の地名は12世紀鎌倉から下向けした二階堂帯刀が武蔵国荏原郡の六郷の地名を移したとも言われる。室町期になると二階堂氏は六郷氏を称し、六郷兵庫頭政乗の父阿波守道行の時に六郷城を新築したという。大正18年（1590）太閤検地の際、この検地に反対して六郷一帯に一揆が発生した。しかし、六郷城主政乗は本領のうち4,971石を安堵し3,076石を太閤蔵入地に設定した。慶長7年佐竹氏の秋田移封に伴い秋田藩主佐竹義宣の父義重が六郷城に入城したが翌8年10月佐竹入部反対の一揆が発生し六郷城を攻撃、その鎮圧後、城下体制の強化につとめた。

慶長17年（1612）六郷城は破却されたが所預りは設定されなかった。旧六郷町は城址を中心に、西に本館村、南に川内池村、町場を継承した六郷高野村の3ヶ村に分割されたが、正保国絵図では3ヶ村を合せて旧六郷町2,483石と図示され、その後享保16年（1731）秋田領郷帳、さらに天保5年（1834）天保郷帳ともに、2,461石で正保4年（1647）以降約200年間殆んど村高の変化は見られない。このように六郷扇状地帯であり平坦部では湧水が多く、用水にも便利なことから17世紀中頃まで、その殆んどが開発されつくしていたものと思われる。しかし六郷東根村では、正保4年（1647）には、1,329石、その84年後の享保16年（1731）秋田領郷帳によれば1,782石余と34%の増加が見られる。天神堂、佐野、飯詰、境田などの属する旧仙南村は六郷扇状地の先端部に位置し、平安中期以後に清原氏の拠点となった地域である。近世佐竹氏領有下には肝煎渋谷照井両家により元和元年（1615）頃より堰の改修などによる

開発で数年間のうちに1,488石余の新田が開かれた。慶長8年（1603）の村高総計は6,296石余であったが享保黒印高帳（1729）によれば村高11,234石余と126年間に78.4%の増加を示している。

このように開発は進んだものの気象の影響と水不足によって困窮し、次男や三男は横手の若勢市などに体を張って家計を助けたりしたことが伝えられている。

また丸子川下流域に位置する旧高梨村は平安末期に信濃国高梨から移住し、当地を開発した人が命名したものといわれ、天正18年12月豊臣秀吉が本堂城主本堂忠親の当知行を安堵した朱印状写に「高梨村」1,321石余とあり本堂領となる以前は戸蒔氏領であったといわれている。

慶長時代の検地帳では田畑屋敷41町歩余、分米324石余であったが、正保時代の検地帳では田畑屋敷167町歩、分米1,813石余と、すさまじい開発が示されている。

なお丸子川の形成する扇頂部及びその上流善知鳥川流域山間部に位置する金沢東根は、金沢西根に対応しての命名といわれ、「文禄3年中郡村々書上写」に六郷城主下の一統衆神尾町氏領として金沢東根村486石うち下相野村226石、上野田村245石と記載、かつて丸子川下流の上野田までが金沢東根（郷）の範囲であったことがわかる。

正保国絵図では873石と図示、享保黒印高帳では村高1,044石余となっており、17世紀を通じて荒川や善知鳥川を水源として、かなりの開発がなされている。

このような開発は本地域が扇状地であるため、その特質として数多く存在する湧泉の利用と荒川、善知鳥川の取水によるところが大きかった。

正徳一享保年間（1711～35）と推定されている「捨四ヶ村荒川善知鳥川水掛り高覚」（六郷郷土史資料）によれば、その水掛高は5,600石余にも及んでいる。

なお正保4年（1647）の正保国絵図による関係村の村高は11,378石であるが84年後には14,852石余と31%増加を示しており、本地域も17世紀から18世紀にかけて著しい開発の進展がみられる。



写真-3 七滝保安林から受益地を望む

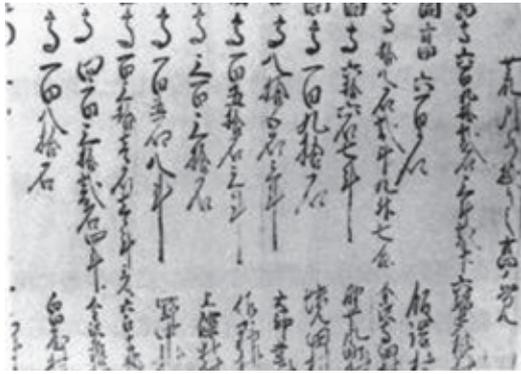


写真-4 当時の水掛りを示す古文書



写真-5 濁尻第二ため池

3. 各施設の紹介

①濁尻沼（濁尻第二ため池）

丸子川を遡った黒森山の中腹にある濁尻沼は、その昔、男濁女濁と呼ばれる自然の池沼に人工を加えて貯水したものといわれ、この水を引水して新田開発が行われ「濁尻村」が出来たとされている。

享保15年（1730）の「六郡郡邑記」によれば、濁尻村は40年以前に開かれ、肝煎（世話人）は六郷東根村が兼ねたが人家はなく濁尻沼は六郷川内池村が管理していた。

旧六郷町明治小史によれば、慶安元年（1648）に築造され天神堂、野荒町、境田、岩野町、六郷東根などの用水であったとされ、これが七滝用水の起源と言われている。

明治元年（1868）4月9日に濁尻沼が欠潰し、大洪水を起し、六郷東根の字筑後屋敷の東より護岸の堤を破り、荒川の水は急流となって西に注ぎ旧六郷町の北（現在の西高方町）に押寄せて本館の出川方面を襲ったと言われている。

また大正9年、濁尻沼は数千円をもって増築されたが、翌10年12月堤防の一部が欠潰し1,005円の工事費でこれを復旧した。

更に大正15年（1926）6月及び7月4日にも欠潰したが、その後関係町村で協議の上、県に陳情を重ね、県当局の設計により9,000円の工事費をもって昭和元年より2年春にわたり増築工事を行った。

その後、老朽化が目立ってきた。堤体には漏水があり、法面の洗掘や法尻の軟弱化がみられ、また余水吐放水路は素掘で洗掘され、取水装置の漏水も甚だしく全般的に危険な状態となっていた。

このようなことから、老朽ため池等整備事業で堤体の漏水防止や法面保護を行うとともに、余水吐については設計基準によって全面的に改修するほか、取水施設もタワーによる取水方法で改修した。この事業は昭和53年度採択と同時に着工し、164,000千円の事業費を投じて56年度完了したものである。

【濁尻第二ため池】

昭和10年完成

- ・中心コア型アースダム
- ・総貯水量 196千m³
- ・満水面積 3.80ha
- ・堤 高 12.90m
- ・堤 長 125.00m

②濁尻ダム（濁尻第一ため池）

濁尻ダムは第二溜池の下流部に位置し昭和25年、この対策として水源の拡張工事の施工により、関係農民の生活の安定と幸福を増進するべく七滝普通水利組合が中心となり、県を始め関係官庁に対して熱意ある陳情を重ねた結果、県において昭和26年より調査に取りかかり、翌27年に県営かんがい排水事業として採択され、29年度より着工の運びとなり、30年10月30日、六郷小学校において起工式典が挙行された。

ダム地点の選定は、当初現在位置の上流1.5kmに予定し、地質調査を進めた結果、基礎地盤の不良から、ダムの築造は困難となり、最終的に現在の位置に決定をみたものである。

工事は仮排水隧道、仮メ切盛土、築堤、取水装置、余水吐の順に施工された。

仮排隧道は取水隧道を兼ね、延長209.42mを全長コンクリート巻立とし、仮メ切堤は本堤の一部を利用し、河川切替と同時に21,833m³の盛土を31年度に完了、引続きダム本体の築堤に着手した。

そして36年度までに堤高31.76m、堤長128.37m、盛土量158,231m³（貯水量405,120m³）の均一式土堰堤を完成したのである。

又、取水装置は35年度、余水吐工事は35年度～36年度にそれぞれ施工し、37年度に全体の完成をみたのであるが、左岸地山の地質状態が不良のため、底樋隧道との関係からもセメント注入による地盤強化に最大の努力を払った。

築堤工事の最盛期にはブルドーザー5台を始め、スクレーパー3台、ダンプ3台を投入し、年間50,000m³の盛土を施工し、延労力345,000人、セメント1.108t、鋼材140tなど多くの資材と2億2,840万円の事業費が投入されたのである。

ダム敷地の大部分は国有林野であったが、これ等の補償等について、秋田営林局の絶大なるご協力をいただき工事の順調な進展をみる事ができたことを特に記さねばならない。

全工事が計画通り完成し、昭和37年11月9日、六郷高校において県営事業の竣工式が盛大に行われ、工事の竣工を喜び合い、今後共、水利施設の維持管理に万全を期することを誓ったのである。



写真-6 湯尻第一ため池

【湯尻第一ため池】	
昭和40年完成	
・均一型アースダム	
・総貯水量	405千m ³
・満水面積	3.953ha
・堤高	31.00m
・堤長	128.00m

③沸沢ため池（仏沢ため池）

当時の計画書によれば、用水量は丸子川掛りで2.67m³/s（第1期）で丸子川及び赤倉川の水量、有効雨量などを差引いた不足水量は1,521,900m³となっており、これに対して湯田溜池841,472m³、沸沢溜池871,525m³合せて1,712,997m³の貯水量を確保し、用水補給をなし、早魃を解消する計画であった。

2ヶ処の溜池は何れも鞠子川の上流に築造するもので湯田溜池は荒川筋旧六郷町湯田部落の下流約300mの地点において川を締切るもので沸沢溜池は鞠子川の支流善知鳥川左岸字沸沢の凹地をメ切り、早魃時に鞠子川に放流し、用水の補給をしようするものであった。

又、現況の取入口が不完全なため渇水時には取水に

多くの労力と紛争を伴うことがあるので、田の尻堰、岩堰、湯の沢の各取入口及関田の分水点にはコンクリート堰堤を設け、更に関田分土工をも改修するとともに高梨への分水路を新設し、漏水を防止する計画であった。

工事は第一期工事として沸沢ため池の築堤と、これに付帯する波除張石工、集水路、取水設備導水路並びに余水吐放水路などで、昭和5年9月着工し、総工費212,300円を投じて昭和10年に完成した。その最大水深は、19.20m、水面積14町歩、貯水量1,128,000m³で、取水装置より善知鳥川に放流され、下流鞠子川に合流後、関田分土工を通じて関係地域965.0町歩にかんがいがされてきた。

その後、築造し50年以上も経過したためその間風水害及び浸透水によってため池全体の老朽化が著しくため池施設としての漏水は堤体、洪水吐、取水施設から見られ特に取水施設の漏水量は甚大であり加えて洪水吐の排水能力も不足して洪水時には能力不足により堤頂越流の危険があった。

これら堤体の決壊原因となる要素放置すると自然災害の発生は確実にその被害は40億円を越える危険にさらされていた。よって国土の保全及び民生の安定、人命の尊重からため池の補強、改修を早急に実施する必要があり、昭和59年度から平成2年度にかけて改修工事を行った。



写真-7 仏沢ため池

【仏沢ため池】	
昭和10年完成	
・中心コア型アースダム	
・総貯水量	1,128千m ³
・満水面積	14.01ha
・堤高	22.50m
・堤長	159.00m

④一丈木ため池

昭和6年10月3日の組合会議において組合長が口頭で諮問している。

「一丈木溜池はその後、調査の結果、地盤、土質が良好ならず30尺も根堀をしなければ岩盤に到達しない、且つ築堤用土も少なく敷地外約1kmの土地より運搬しなければならず、工事費も多額に上るとともに堤体からの浸透のおそれもある。

県の既定計画では総かんがい面積が2,700町歩となっているが、この内湧水掛りの地主は加入する見込みがないので、その面積は1,570町歩に極限される。故に県の意向は薮沢溜池を取止め一丈木溜池を10万立坪程度の貯水量に縮小してもよいということである。農村不振の場合、負担の軽減にもなるし、この際一丈木溜池を縮小し、薮沢溜池を取止めることは如何なるものだろうか。一丈木溜池を縮小し、薮沢溜池を当初計画通り実行するものとすれば、一丈木溜池との均衡上薮沢溜池既定工事費174,000円は旧六郷町外三ヶ町村の負担としなければならず、この辺篤と御考慮の御決定を願いたい。

続いて信太事務所長は「一丈木第2号堤糖の基礎地盤土質は砂礫層で現設計根堀15尺が30尺でなければ岩盤に到達しない。又、用土は買収敷地外約1kmから運搬することになり、工費も増大する。従って、溜池左岸に亘って羽金土を入れることは予算上不可能であり、地形上浸透の最も危険と見られる位置に、予算の範囲で羽金土を入れるので完成後多少の浸透があるかも知れないが、集水面積が大きいので、浸透量の補充についての心配はないと思う。このような状況なので、安全を期するには先ず堤糖高を低下させ、水深を減ずることで仮に10尺下げても貯水量は10立坪を確保できるので、利用回数を多くするにすれば水不足はないと思われる。」と説明している。この結果、組合会議では県の意向に一任することに決定した。

このような経緯により一丈木溜池は、昭和7年5月着工し、総事業費365,000円をもって同、13年5月竣功を見たもので、その堤長203.00m、堤高18.50m、最大水深は13.78mで、貯水量は750,000m³となっており、旧高梨村専用水路により、鞠子川に放流され、高梨村地域の587町歩にかんがいされることになった。

その後、築造30余年の年月を経ており、この維持管理には万全を期してきたが、極度に老朽化が目立ち、堤体下流斜面の下部に全面的な漏水が見受けられ、また余水吐は断面が小さく取水装置も老朽が甚だしいため、これらを全面的に改修するべく老朽ため池等整備事業として申請していたところ、昭和45年度県営事業として採択され、翌46年度に着工、48年度163,420千円の事業費をもって竣功したものである。



写真-8 一丈木ため池

【一丈木ため池】

昭和13年完成

- ・中心コア型アースダム
- ・総貯水量 750千m³
- ・満水面積 11.01ha
- ・堤 高 18.50m
- ・堤 長 203.00m

⑤関田頭首工

七滝用水を丸子川より取水する関田頭首工は、旧六郷町の六郷東根字上関田地内にあり、昭和13年、美郷町の877haをかんがいの施設の要として、数ヶ所あった取水堰を県営用水改良事業によって統合築造されたものであった。

その後昭和30年6月水害により、土砂吐水門越流部堤体及び水叩などが欠潰、又昭和48年7月水害では護床工が流出し、それぞれ復旧がなされたものの、近年土砂吐水門、取水水門及び取水槽等の摩耗が著しく、全般的に機能の老朽化が進み再度欠潰流失の危険が大きくなった。

このため本施設を全面的に改修するべく昭和53年度県営大規模用排水施設整備事業として申請したところ、翌54年度新規事業として採択され57年に完成をみたものである。



写真-9 関田頭首工

【関田頭首工】
 昭和13年完成
 ・最大取水量 1.8m³/sec
 ・堤 長 29.35m
 ・堤 高 1.80m
 ・取 水 門 2門

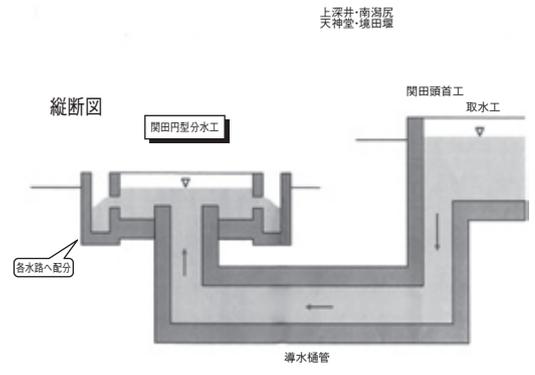


図-2 縦断面図

⑥関田円型分水工

旧六郷町を中心とした七ヶ町村の水供給安定のため、仏沢ため池を加えた丸子川からの水の合理的配分を目的とし、昭和7年設立発起され昭和13年5月完工したものである。3ヶ所の堰口を上関田の頭首工より1.8t取水し180のオリフィス（孔）により水利権と受益面積を基礎に10ヶ所の堰に正確に給水する施設である。

(図-2, 3参照)

この様式は円筒型サイフォン式といい、扇状地の地形を巧みに利用して配分するもので長野県伊那谷の西天竜用水のものと同様で当時我が国誇る最も進んだ分水法で秋田県では唯一である。

この建設は昭和6, 7年と続いた凶作を背景に当時の県議京野孝之助氏のご功績が大きい。

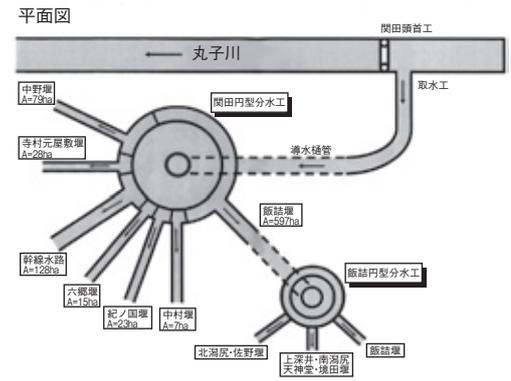


図-3 平面図



写真-10 関田円型分水工

【関田円型分水工】
 昭和13年完成
 ・円筒型サイフォン式
 ・オリフィス 180孔
 ・最大流入量 1.80m³/s
 ・1孔あたり 0.01m³/s

4. 七滝保安林のこと

七滝水源涵養保安林251haの状況は、秋田県仙北郡美郷町の東部、奥羽山系の標高200~700mにあって、縦2.6km、横1.5kmで木の葉のような形をしていて中央に本流の「霧沢」が東西に流下しています。

樹種は、スギの人工林が約46%で、54%はの広葉樹林で主にブナ、ミズナラ、トチ、ケヤキなどが見受けられ、その内の50%が林齢50~60歳の二次広葉樹林で形成されています。



写真-11 ブナの二次林



写真-12 霧沢

七滝保安林の歴史

「七滝山」の歴史は極めて古く、寛文3年（1663）七滝山が「水野目山」として次の御制札にあるとおり禁伐林として藩庁の保護の下にあったことは明らかである。

乍恐口上を以奉願上候御事

一、六郷東根村の内、木和田沢七滝山ニヶ処、林に立置間、下木に而も伐取るべからずもの也
寛文三年十二月

須田内記

このときの水掛りは、20ヶ村でその後廃滅した村などがあり、寛政5年（1794）頃には17ヶ村（現在の1市1町）となり「七滝用水」系態がほぼ確立されている。

本来、木和田沢が御制札山で七滝山は運上山であったが、木和田沢だけでは水不足を感じて、水掛りである20ヶ村が銀二貫四百三十目をその筋へ上納して七滝山も併せて「水野目山」として認可を得たのが元禄時代と言われているが、御制札の年号は寛文3年に遡って発行されている。

以来各地では、開田開発が進み水不足を来たし、又燃料である薪不足が生じ、この山は六郷東根山八郷15ヶ村の運上山であるからと山守人に伐採を強要する事件が起き、山守人は木山方役所へ「七滝山は総称であって、片倉山はその一部であり水野目山であるこれを伐採すれば17ヶ村の田地に益々水不足を来たし、収穫が激減する」と訴え、寛文3年に七滝山の総称をもって禁伐の御制札を載いた証拠を掲げ抗訴し、大多数の代官がこれを聴許して当事件は無事落着した。

そこで藩は、寛政2年（1790）、山守人に対し「心得書」を作成し、水野目山を厳しく吟味するよう申し渡してはいるが、禁制を破って、雪折れだとか風倒木だとかさまざま口実、手段により木を伐採するものが後を絶たず、従来どおりの山の見回り管理だけでは水源が涸渇してしまう恐れから、寛政12年（1800）次

の証文のとおり「七滝山」を文銀一貫三百目で17ヶ村の水掛りの農民たちが山の御制札と共に買い受けて直接山を管理したと思われる。

証文事

仙北郡六郷東根村地形字所七滝山の内、角間ヶ沢両平川、下野、山漆植立候場、於先祖に拜領致し元禄4年（1691）御礼頂戴所持致居候処近年來古木立に相成候に付雑木伐取り漆取立に仕度き段度々願申上候得共

於村方に御障申立候に付き、是迄來双方相難じ迷惑致居候故、比度格別演説書を以て申入候処、銀壹貫三百目指出し右山御札共に申受度く、双方熟談相済候に付き前文通り文銀壹貫三百目引受け、右山永々引渡候処実正也依、之未來頂戴致候梅津半右工門御名印御札並びに親類加判証文相渡候上は、以來右山一件の儀に付き一言之争論毛頭無之候為手元よりも郡方へ御届申上候間於村方に御役屋へ可二申上候為念如 比候
寛政十二年（1800）

申十二月二十五日

親類 信田儀右工門
山主 山方 早太

仙北郡六郷東根村

肝煎惣兵衛殿

外十六ヶ村肝煎殿

5. 七滝水源涵養保安林を守る取組

このような長い歴史を持つ七滝用水。地域の守り神でもある水野目山を守るべく活動として水環境学習会と植樹事業を行っている。

水環境学習会は平成11年度から、植樹事業は平成20年度から実施されている。そして美郷町内、つくば市の小学生がブナの苗木を植樹して水と森林の関わりを知ることで、水の原点がこの七滝水源涵養保安林「緑のダム」であることを再認識する良い機会になっている。



写真-13 水環境学習会



写真-14 植樹事業



写真-15 御台所清水

6. おわりに

「水」は生命の源であります。地上に生息する全ての生物に欠かすことのできない「水」……水源涵養保安林「緑のダム」からの贈り物であり、年中一定の水量で目の前を流れている「水」、数十ヶ所の清水からこんこんと湧きでている「水」、それは農業生産だけの水ではなく我々の日常を支える重要な資源であります。

「七滝用水」の歴史は、まさにこの水資源の確保の戦いであったと言っても過言ではありません。古来我々の先人達が、かんばつや洪水などの困難と戦いながら水源かん養保安林を育成し、又ため池などの施設を築造し幾多の変遷を経ながら血と汗によって築きあげられた「七滝用水」は小さいながら偉大なる遺産であり財産でもあります。我々は、この財産を永久に後世に残すべくその機能の維持と管理育成に努め、次代へ引き継いで行かなければならないと考えております。



写真-16 霧沢

カドミウム汚染農地対策への電気修復法の適用に関する展望

久保田 富次郎* 塩 濱 圭 治** 三重野 俊 彦***
 (Tomijiro KUBOTA) (Keiji SHIOHAMA) (Toshihiko MIENO)

我が国には、全国にかつて多数存在した金属鉱山や精錬所の煤塵等を起源としたカドミウム汚染農地が少なからず広がっている。その中でも富山県の神通川下流域において、灌漑用水を通じて農地に流入・蓄積したカドミウムが農産物の摂取等を通じてイタイイタイ病を引き起こしたことはよく知られているところである。その後、コメ中のカドミウムが基準値以上に検出された全国で約7千haの農地のうち、6千4百haが農用地土壌汚染対象地域に指定され、このうち5千7百ha（89%）では対策事業等が完了し、比較的汚染レベルが高い地域では対策は着実に進められている。

一方、近年、食品中に含まれるカドミウムの国際的な基準値が検討される中で、国内においてもコメのカドミウム基準値が従来の1ppmから0.4ppmへの引き下げが進められるとともに、麦・野菜等の畑作物についても対策が求められている。このため、従来よりも汚染レベルが低い農地のカドミウム対策が必要とされている。

しかし、鉱害対策としてこれまで中心的に実施されてきた客土工法は、コストが高く、広い面積を施工するには限界がある。また、客土は、混住化地区において土砂運搬道路の確保や騒音、住民の安全確保などの施工上および環境上の観点から適用が難しい。さらに、良質の客土材の確保や地力回復にも問題がある。そこで、客土より低コストで、混住化地区の農地にも適用可能な環境にやさしいカドミウム汚染対策技術が求められている。

本稿では、近年、工場跡地などの重金属汚染対策技術として開発が進められてきた電気修復法について紹介すると共に、農地土壌への適用性と実用化に向けた課題を整理したい。

1. 電気修復法¹⁾とは

電気修復法とは、土壌中の重金属や揮発性有機化合物（VOCs）等の汚染物質を掘削せずに原位置で分離・抽出・除去する技術の一つである。重金属を対象とする場合、汚染物質除去の駆動力は、主に直流電圧の印加により生じる電気泳動と電気浸透流である（図-1）。

対象とする土壌・地盤にプラス・マイナスの各電極を配置して、直流電圧を印加する。それにより土壌水中のイオンは電位勾配に従って移動する。それを電気泳動もしくは電気移動といい、土壌水中に溶解したカドミウムイオンや亜鉛イオンなどの陽イオンは陰極側に移動し、塩化物イオンや硝酸イオンなどの陰イオンは陽極側へと移動する。電極周辺には重金属が集積するので、電極槽を設け、電極液を回収することにより集積した物質を効率よく系外に取り除くことができる。

本工法は、原位置浄化であることから掘削を最小限にとどめることができるため、騒音や振動、粉塵等による周辺環境への影響がほとんどなく、既存建物の地下においても施工可能、といった特徴を有する。

海外における初期の電気修復法としては、1989年に塗料工場跡地で実施された現地試験において、最大1万ppmの鉛と5千ppmの銅を含む水路の浚渫土等の平均74%が除去されている¹⁾。また、国内では、塩濱らにより工場跡地等を想定した現地施工試験²⁾が紹介されている。

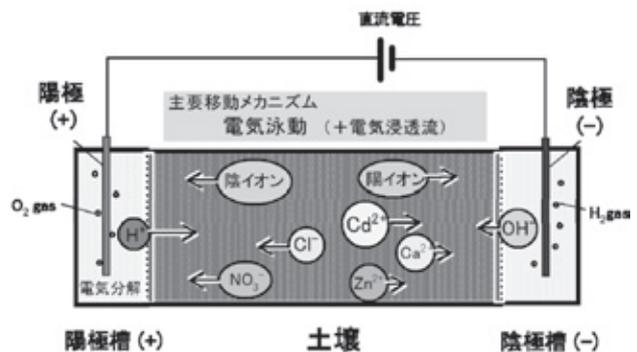


図-1 電気修復法の原理

* 農研機構九州沖縄農業研究センター
 (Tel. 096-242-1150)

** (株)浅沼組技術研究所

*** 元(株)富士エンバイロン

2. 既往の農地のカドミウム対策技術と電気修復法

農地・農作物のカドミウム汚染対策技術は、大きく暫定対策と恒久対策に分けられる。暫定対策としては、作土にカドミウムを残したまま、作物がカドミウムを吸収しないよう水管理・土壌管理等の営農的対応を行うものである。これは、水田の湛水管理や土壌へのアルカリ資材の投入などであるが、これらのコストはごく低廉であるので広く実施されている(図-2)。

また、恒久対策として従来から広く実施されているのは客土工法である。客土には、汚染農地上に30cm程度の非汚染土壌を客土する上乘せ客土、汚染土壌を掘削・搬出後に非汚染土壌を客土する排土客土、そして汚染土を下層に埋設したのち非汚染土壌(層厚15cm程度)を客土する埋込客土等があるが、コスト面から広く実施されているのは、上乘せ客土である。客土については、近年、効果の長期継続性が確認³⁾されており、効果は高いが、①高コスト、②良質の客土材の確保、③地盤高の上昇(上乘せ客土)、④土砂の搬入道路の確保と環境・安全、等の問題点が指摘される。

近年、新たなカドミウム対策技術として、水稻やソルガム、ハクサンハタザオなどの植物を用いた土壌浄化手法(ファイトレメディエーション)や土壌洗浄法による土壌修復技術が開発されてきている。

電気修復法の重金属汚染農地への適用は、国内では、近年着手されたところであり、報告例^{4)・5)}も室内規模の実験に限られている。一方、海外に目を向けると、台湾の重金属汚染水田においてオン・ファーム型の現地実証試験⁶⁾が実施されており(表-1)、他に韓国でも現地試験が実施されている。表-1はカドミウム汚染農地への電気修復法の適用の際に想定される電極配置を示している。表中の4種類の電極配置のうちType IとType IIでは実証試験がなされているが、Type III、Type IVは、野外での実証試験はまだ行われておらず、今後の課題である。

3. 電気修復法の農地土壌への適用性⁵⁾

本項では、国内の2種類の水田土壌への電気修復法の適用試験の一部を紹介することにより、本法の農地土壌への適用可能性と今後の課題について記したい。

(1) 試料と実験方法

供試土壌は、東北地方の金属鉱山下流の水田表土から採取された土壌に人工汚染物質としてZnSO₄(Znとして約500mg・kg⁻¹)を添加したものである。試験土壌の0.1M塩酸抽出による重金属濃度は、カドミウムが0.42mg・kg⁻¹、

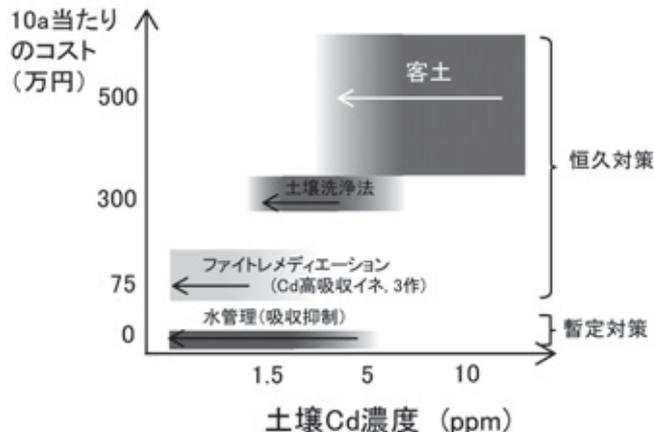


図-2 カドミウム汚染対策技術とコスト

表-1 カドミウム汚染農地を対象とした電気修復法における電極配置

	Type I (鉛直型)	Type II (On-farm 型)	Type III (上方移動型)	Type IV (暗渠利用型)
概念図				
	<ul style="list-style-type: none"> 一定間隔で鉛直に電極設置 Cdは水平方向に陰極に向かって移動させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 水田上に通電装置を設置し、そこに対象土壌を移動し処理する。 	<ul style="list-style-type: none"> 表面湛水中に陰極、土壌中に陽極を設置する。 Cdを上方に移動させ、除去する。 	<ul style="list-style-type: none"> 表面湛水中に陽極を設置し、暗渠内に陰極を設置する。 Cdは下方に移動させる
備考	工場跡地他多数の実績あり。	台湾の重金属汚染水田で実証試験(Chang et al.,2008)	川地ら(2006)	久保田ら(2010)

亜鉛が $349\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ であった。

実験では、図-3に示すカラム試験器を用いて電気修復試験を行った。供試土壌は内径4cm、長さ30cmの亚克力製カラムに充填し、両端を濾紙、ナイロンメッシュ、多孔亚克力板により拘束した。

通電条件は、電流密度が $2\sim 4\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$ 、印加電圧は、 $1.7\text{V} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、通電期間は72日間とした。また、陰極槽はpH1.7の希硝酸で中和するとともにpH2~3の範囲で管理した。

(2)亜鉛とカドミウムの移動・除去効果

電気修復法による重金属の移動・除去効果を、土壌カラム内の重金属濃度分布の変化から確認したい(図-4)。まず、土壌中の亜鉛(Zn)は供試土壌の $349\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ から処理後には平均 $39\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ まで大きく低減した。除去率は89%であった。

一方、カドミウム(Cd)全体の除去率は10%に留まった。しかし、土壌内のカドミウムは、実験後に陰極側へ大きく移動し、当初 $0.4\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ であったカドミウムが、実験後には陽極の近傍で $0.03\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ と大きく低下した。実験では、通電期間をさらに長くすると除去率はより高まったと考えられた。

以上のことから、電気修復法は、水田土壌のカドミウム除去に有効であり、十分な時間をかければ、土壌中のCd濃度をごく低濃度まで低減できる可能性が示唆された。

ただし、電気修復法の適用により土壌pHや交換性塩基、可給態リン等は大きく低下するため、修復後の農地には、アルカリ資材の投入によるpH調整等が必要になる。

4. おわりに

本稿では、カドミウム汚染農地の修復に向けた電気修復法という新しいアプローチについて紹介した。本技術は実用化という観点からは、まだクリアしなければならない課題が少なくない。しかし、土工量を最小限に抑える原位置浄化技術であることと、将来的には電気修復に要する電力を太陽光パネル等の自然エネルギーにより供給が可能なこと、などのメリットを生かして、特色あるカドミウム汚染農地修復技術として確立することが期待されている。

本技術の開発にあたって、各位の忌憚なきご意見・ご批判を賜れば幸いである。

引用文献

- 1) R.Lageman et al. (1989) :
Electro-Reclamation: Theory and Practice, Chemical & Industry, 18, p.585-590.
- 2) 塩濱圭治 (2005) :
技術紹介 重金属汚染土壌の原位置浄化技術 電気修復法 (Electro-Remediation), 土地改良, 245, p.48-50
- 3) 山田信明 (2007) :
農用地における重金属汚染土壌の対策技術の最前線 2. 客土による土壌汚染対策技術と客土効果の持続性, 土肥誌, 78(4), p.411-416
- 4) 川地 武 (2006) :
電気泳動技術を用いた重金属汚染土壌の修復, 農林水産技術研究ジャーナル, 29(10), p.34-37
- 5) 久保田富次郎・人見忠良・濱田康治・白谷栄作・三重野俊彦・塩濱圭治 (2009) :
水田土壌を対象とした動電学的手法による重金属除去試験, 農工研技報, 210, p.83-99
- 6) P.W Chang et al. (2008) :
On-farm remediation and fertility enhancement of cadmium-contaminated silt loam by electrokinetic treatment process in Taiwan, Irrigation and Drainage, 57(2), p 187-201

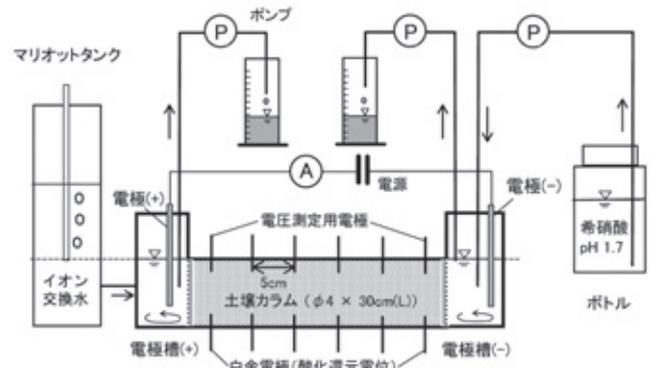


図-3 実験装置

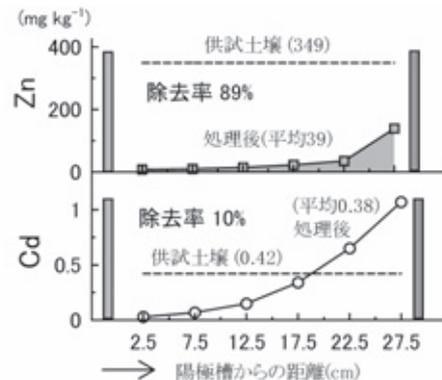


図-4 土壌カラム中の重金属分布の変化

1. 会員の募集

水と土の発行は皆様の年会費によってまかなわれています。今後とも事業地区の技術情報の交流を図るためには会員の確保が重要となっています。会員の皆様には職場の同僚の方々に農業土木技術研究会の成り立ちや「水と土」をPRしていただき、会員の勧誘をお願いいたします。平成22年度の年会費は2,300円です。なお、別紙のPR版を作成しましたので会員の勧誘に活用いただければ幸いです。

2. 報文投稿の募集

「水と土」は会員の皆様からの報文投稿によって支えられています。報文は以下のように様々なテーマが考えられますので、これを参考に皆様が担当されている事業地区の状況を報文にまとめて投稿いただくようお願いいたします。併せて巻末の投稿規定も参照して下さい。

- ① 事業地区の段階は、企画、調査、計画、設計、施工、管理に分けられるので、構造物の施工の有無に関わらず、コスト縮減、創意工夫、新技術導入、環境配慮などの視点から取りまとめた報文
- ② ダム、トンネル、橋梁、揚排水機場等の大規模工事や長期にわたる債務負担行為工事等について、調査、計画、設計、施工の各段階での検討や実績を取りまとめた報文
- ③ 農村工学研究所や県試験場などへの依頼研究の成果について取りまとめた報文(研究依頼先との連名による)
- ④ 土地改良技術事務所、調査管理事務所が対応している技術検討や現場支援業務について取りまとめた報文(当該機関との連名による)
- ⑤ 海外派遣から帰任した職員の派遣先でのプロジェクト等について技術的見地から取りまとめた報文
- ⑥ 建設会社、コンサルタント等の会員について、普及性のある事例や技術検討について取りまとめた報文

農業土木技術研究会 会員の募集

1. 発足40周年を迎えた「農業土木技術研究会」

本研究会は、全国の農業土木技術者の自主的な研究会です。その歴史は、昭和28年の「コンクリートダム研究会」にまでさかのぼり、事業の展開方向に即して変遷してきました。現在の「農業土木技術研究会」としても、平成21年度には発足40周年を迎えた歴史ある研究会です。

〈農業土木技術研究会の変遷〉

- 昭和 28 年 「コンクリートダム研究会」の発足：会誌「コンクリートダム」の発刊
- 昭和 31 年 フィルダムを含めて「ダム研究会」に拡大：会誌「土とコンクリート」に変更
- 昭和 36 年 「水路研究会」の発足：会誌「水路」の発刊
- 昭和 45 年 両研究会の合併
「農業土木技術研究会」の発足：会誌「水と土」の発刊

2. 技術力向上に資する「農業土木技術研究会」

本研究会は、時代のニーズを反映した事業の円滑な推進に必要な技術力の向上のため、農業農村整備事業の計画・設計・施工事例や技術的検討内容などの現場技術情報の発信と交流を一貫して展開しています。

研究会では、現場の技術報文を中心とした会誌「水と土」を年間3回発行し会員の皆様にお届けしています。また、時代に即した技術的な情報を提供する研修会も開催しています。

3. 会員が支える「農業土木技術研究会」

本研究会の活動は、皆様の年会費によってまかなわれています。

21世紀を迎え農業・農村の位置付けがますます重要になっている今日、本研究会に入会いただき、その振興の基礎となる「農業土木技術」に根ざした研究会の活動を支えて頂ければ幸いです。会費は2,300円です（会費は51年度より据置）。

入会の手続きは、研究会へ直接又は各職場の連絡員に会費を添えて申し込んで下さい。

申し込み様式は以下を参考にして下さい。

入会申し込み

平成 年 月 日

私は農業土木技術研究会に入会します。

氏名： _____

職場・所属： _____

職場住所（会誌送付先）：〒 _____

電話番号： _____

問い合わせ先：農業土木技術研究会
〒105-0004 東京都港区新橋5-34-4
農業土木会館内 TEL 03 (3436) 1960
FAX 03 (3578) 7176

投稿規定

1. 原稿には次の事項を記した「投稿票」を添えて下記に送付すること。

〒105-0004 東京都港区新橋5-34-4 農業土木会館内, 農業土木技術研究会

2. 「投稿票」

- ① 表 題
- ② 本文枚数, 図枚数, 表枚数, 写真枚数
- ③ 氏名 (フリガナおよびローマ字表記), 勤務先と勤務先の電話番号, 職名
- ④ 連絡先 (TEL), (E-mail)
- ⑤ 別刷希望数
- ⑥ 内容紹介 (200字以内)
- ⑦ 対象施設 (報文の対象となっている主な施設を記入: ダム, トンネル, 橋梁, 用排水機場, 開水路, 管水路 等)
- ⑧ キーワード (報文の内容を表すキーワードを記入: 維持管理, コスト縮減, 施工管理, 環境配慮, 機能診断 等)

3. 1回の原稿の長さは原則として写真・図・表を含め18,000字程度 (ワープロで作成の場合, A4版8枚程度) までとする。なお, 写真・図・表はヨコ8.5cm×タテ6cm大を288字分として計算すること。

4. 原稿はワープロで作成し, 漢字は当用漢字, 仮名づかいは現代仮名づかいを使用, 術語は学会編, 農業土木標準用語辞典に準じられたい。数字はアラビア数字 (3単位ごとにカンマ (,) を入れる) を使用のこと。

5. ワープロで作成した原稿データについては, プリントアウトした原稿 (写真・図・表入り) とともにCDデータ等にて提出すること。

写真・図・表の画像データは, 原稿データとは別に添付すること。なお, 図・表については白黒印刷においても判読できるように極力配慮しておくこと。

※データと違いがないかをプリントアウトした原稿で必ず確認すること。

6. 写真・図・表は本文中の挿入個所を明確に指定しておくこと。

7. 原図の大きさは特に制限はないが, B4版ぐらいまでが好ましい。原図はトレーサーが判断に迷わないよう, はっきりしていて, まぎらわしいところは注記をされたい。

8. 文字は明確に書き, 特に数式や記号などのうち, 大文字と小文字, ローマ字とギリシャ文字, 下ツキ, 上ツキ, などで区別のまぎらわしいものは鉛筆で注記しておくこと。

たとえば,

C, K, O, P, S, U, V, W, X, Zの大文字と小文字

O (オー) と 0 (ゼロ) a (エー) と α (アルファ)

r (アール) と γ (ガンマ) k (ケイ) と κ (カップ)

w (ダブルユー) と ω (オメガ) x (エックス) と χ (カイ)

l (イチ) と 1 (エル) g (ジー) と q (キュー)

E (イー) と ε (イプシロン) v (バイ) と ν (ウプロシン)

など

9. 分数式は2行ないし3行にとり余裕をもたせて書くこと。

10. 数表とそれをグラフにしたものとの並載せはさげ, どちらかにすること。

11. 本文中に引用した文献は原典をそのまま掲げる場合は引用文に『 』を付し引用文献を本文中に記載する。孫引きの場合は, 番号を付し, 末尾に原著者名: 原著論文表題, 雑誌名, 巻: 頁~頁. 年号, 又は“引用者氏名, 年・号より引用”と明示すること。

12. 投稿の採否, 掲載順は編集委員会に一任すること。

13. 掲載の分は稿料を呈す。

14. 別刷は, 実費を著者が負担する。

FAX 宛先：農業土木技術研究会 03 - 3578 - 7176

★「水と土」をより充実したものとするため、下記様式であなたのご意見をお寄せ頂ければ幸いです。

1. 本号（161号）で興味をもたれた報文について記載下さい

(1) 報文タイトル：_____

(2) 興味を持たれた具体的内容

2. 本号の編集についてご意見をお聞かせ下さい

3. とりあげて欲しいテーマなど本誌に対するご意見やご要望をお書き下さい

所属：_____氏名：_____

編集後記

私事ですが、ここ数年、お盆の帰省にからめて、「どんぐりの木」の世話をしに昔住んでいた町へ立ち寄っています。

この「どんぐりの木」は、地元のイベントに息子と参加して公園に植えた苗木です。

苗木は、その前年に「拾ったどんぐり」を植木鉢に埋めて発芽させ、鉢で1年間世話をした葉っぱが3枚だけついた本当に小さな苗でした。一緒に近隣の小学校が植えた立派な接木苗とは明らかに大きさが違ったみすぼらしい苗。

それでも、自分で植えた作物かわいさに、盆と正月だけですが、地道に草刈りと肥料を施してきました。その甲斐あってか、今夏には辺りで一番大きな幼木に成長してくれました。

ほったらかしの幼木と、少しだけ世話をした幼木

の間で、数年を経て目を見張るほどの成長の差があるとは予想外で、驚きとともに勉強にもなりました。

どんぐりの生長に重ねて、ふと、ある脳学者が書いた本の内容を思い出しました。人の能力は、努力の時間に対して「幾何学的」なカーブを描いて上昇する。努力と成果は、直線的な相関にはならない。(成果はすぐに出ないので、早々にあきらめるなどということ。)

農業土木技術者の端くれとして、何かと変化の激しい時代の中にあっても、弛まぬ地道な技術の積み重ねを忘れずにいたいと思ひ直す今日この頃です。

(水資源機構 笠井)

水と土 第161号

発行所 〒105-0004 東京都港区新橋5-34-4

農業土木会館内

印刷所 〒161-8558 東京都新宿区下落合2-6-22

農業土木技術研究会

TEL 03(3436)1960 振替口座 00180-5-2891

一世印刷株式会社

TEL 03(3952)5651

ダイプラハウエル管 (高耐圧ポリエチレン管)

φ300~3000

経年劣化が少ない材料により長期寿命を実現!

外圧に強い中空リブ構造で高盛土にも適応!

柔構造物なので軟弱地盤でも適応!

コンクリート基礎不要で工期短縮が可能!

公的機関への認可

- 日本工業規格 耐圧ポリエチレンリブ管 (JIS K 6780)
- 下水道協会規格 下水道用リブ付ポリエチレン管 (JSWAS K-15)
- 国土交通省 新技術登録 (NETIS CB-980025) カルバート工 (NETIS CB-980024) 柔構造樋管
- 農林水産省 土地改良事業計画設計基準 (農道)
- 日本道路公団 設計要領第二集カルバート編

農業用水のパイプラインに!

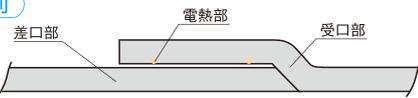
管路の一体化による継手部の信頼性!

EF継手は電熱線の通電により溶融し、受口、差口を一体化させ、万全の気密性を保持できます。

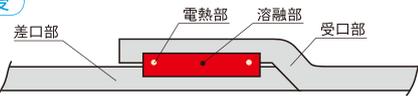
常用使用圧力	0.50 MPa
--------	----------

EF継手 (エレクトロフュージョン)

通電前



通電後



内圧用ダイプラハウエル管



農道下横断管に!

耐圧強度が大きく、
高盛土下に
埋設可能!

カルバート工
として
実績豊富!



ため池の底樋に!

柔軟性に優れ、
地盤沈下にも
対応!

柔構造樋管
として
実績豊富!



ダイプラハウエル管

大日本プラスチック株式会社

本社: 〒541-0053 大阪市中央区本町2-1-6 (堺筋本町センタービル)
TEL.06-6267-1338 FAX.06-6271-3003
東京支社: 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町3-8-4 (第2東硝ビル)
TEL.03-3662-9861 FAX.03-3664-3187

<http://www.daipla.co.jp>

札幌(営) 011-221-3053 仙台(営) 022-223-0761
東京(営) 03-3662-9861 名古屋(営) 052-933-7575
大阪(営) 06-6267-1338 広島(営) 082-221-9921
福岡(営) 092-721-5166 鹿児島(営) 099-227-1577