

水と土

No. 166

2012

July

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



① 津波による堆積土砂の鋤取り撤去状況 (宮城県名取市)



④ 低周波音対策後の越流状況 (細川頭首工)



② ポンプ設備の振動調査作業



⑤ 地下水解析モデル検証のための人工降雨試験 (那賀川地区)



③ 水路トンネルの電磁波レーダー探査



⑥ 物部川合同堰 (高知県)

水と土

Contents

2012 JULY No.166

◆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	

ノウハウ蓄積の視点 合屋善之 …… 8

□報文

キーワード

機能診断	振動調査技術の農業用ポンプ設備診断への適応	蒔苗英孝・西田真弓 …… 10
機能診断	水路トンネル診断技術検証事例について	金平修祐・江崎正美 …… 18
機能診断	農業水利施設の変状要因と対策に関する現場実態	橋爪康寿・原山昭彦・池田富雄・塩野智美 …… 24
ライフサイクルコスト	ラオス・タゴン (Tha Ngon) 地区の機能診断調査に基づくLCCの試算	中村義文・渡邊 博・鈴木浩之 …… 30
機能診断	大口径パイプラインの機能診断事例について	愛宕徳行 …… 36
低周波音	細川頭首工における低周波音調査と対策について	白枝 健 …… 42
土留め工	隣接家屋への影響を考慮した土留め工の設計と施工	横守伸彦 …… 48
地下水解析	工事施工が地下水に与える影響についての評価 - 地下水解析について -	黒田裕一・西村 稔・蒲地紀幸 …… 54
畑地かんがい	関係機関と農家が一体となって総力戦で進める畑地かんがい営農の推進 ～「宮崎県畑地かんがい営農ビジョン」から～	戸高久吉・工藤正臣 …… 60
除塩工	塩害を受けた水田の除塩実証試験について	鈴木浩之・渡部丈夫 …… 67

□歴史的土壌改良施設

野中兼山と山田堰 釣井利勝 …… 74

□技術情報紹介

我が国の水力発電ポテンシャル評価に関する展望 上田達己・後藤真宏・浪平 篤・廣瀬裕一 …… 77

◆会告	85
◆投稿規定	86
◆入会案内	87

- 表紙写真●
- ① 報文「塩害を受けた水田の除塩実証試験について」より (P.72)
 - ② 報文「振動調査技術の農業用ポンプ設備診断への適応」より (P.11)
 - ③ 報文「水路トンネル診断技術検証事例について」より (P.20)
 - ④ 報文「細川頭首工における低周波音調査と対策について」より (P.47)
 - ⑤ 報文「工事施工が地下水に与える影響についての評価 -地下水解析について-」より (P.58)
 - ⑥ 歴史「野中兼山と山田堰」より (P.76)

水と土 第166号 報文内容紹介

振動調査技術の農業用ポンプ設備診断への適応

蒔苗英孝・西田真弓

農業用ポンプ設備の点検・整備は、ポンプの劣化状況に関係無く定期的に実施されていることが多く、ポンプ設備の劣化状況を正しく把握し、劣化状況に合わせた適正な時期に点検・整備を行うことが課題となっている。

そこで、ストックマネジメント技術高度化事業により、工業用ポンプ設備の点検に利用されている安価で数値による定量的な判定が可能な振動調査の適応について検証を行った。

(水と土 第166号 2012 P.10 設・施)

水路トンネル診断技術検証事例について

金平修祐・江崎正美

H20年度、H21年度と同一トンネルにて異なるトンネル診断技術手法を用い、比較検討を行った。今回取上げるのは①電磁波レーダの測線数の違いによる推定空洞量の検討②非破壊及び微破壊診断手法、ボーリング調査によるクロスチェック結果の検討③トンネル重要度に応じて必要とされる診断項目の提案、取りまとめである。今後水路トンネル維持管理に当たって、本論文が参考となれば幸いである。

(水と土 第166号 2012 P.18 設・施)

農業水利施設の変状要因と対策に関する現場実態

橋爪康寿・原山昭彦・池田富雄・塩野智美

農業水利施設（鉄筋コンクリート開水路）を対象に、施設機能診断調査や補修補強工事を実施した施設について、発生した変状とその施設的环境条件や立地条件、そこに施した対策工の工法やその目的等の関連性について、現場の実態を整理・分析し、農業水利施設の長寿命化技術の体系化に向けた各種技術資料作成の一環で行っている作業の紹介。

(水と土 第166号 2012 P.24 設・施)

ラオス・タゴン(Tha Ngon)地区の機能診断調査に基づくLCCの試算

中村義文・渡邊 博・鈴木浩之

東南アジアの諸国政府では、最も有効に財源を投資するための、農業水利施設の改修に関する判断基準を模索している。

今回、ラオス・タゴン地区におけるコンクリートブロックの表面張替え、中品質の同工法全面張替え、高品質の鉄筋コンクリートライニングの部分施工、同工法の全線施工という4つのシナリオを設定し、LCC（ライフサイクルコスト）を求め試算として示した。

(水と土 第166号 2012 P.30 設・施)

大口径パイプラインの機能診断事例について

愛宕徳行

「宮竹サイホン」は宮竹用水への導水を行う施設である。φ2,400mmの鋼管製大口径パイプラインであり、40年以上に渡り安定的に農業用水を供給している。本施設は、逆サイホン形式のため、これまで管内の機能診断調査が実施されたことはなかったが、平成21年に初めて水を抜いての機能診断調査と対策工法の検討を行った。本報は、逆サイホン形式の鋼管における機能診断の手法と保全対策工法について報告を行うものである。

(水と土 第166号 2012 P.36 企・計)

細川頭首工における低周波音調査と対策について

白枝 健

細川頭首工において、洪水吐起伏ゲートの更新を行ったところ、工事完成後に近隣住民から低周波音の影響と考えられる苦情が寄せられた。原因を調査の結果、洪水吐越流量及び周辺の風向・風速等の気象要素において特定条件が揃うと、低周波音が発生することを確認した。そこで、既設スポイラの間隔を狭くする対策を行ったところ、その効果が確認された。本報では低周波音調査と対策工法の検討及び対策工事後の調査結果を紹介する。

(水と土 第166号 2012 P.42 設・施)

隣接家屋への影響を考慮した土留め工の設計と施工

横守伸彦

施工区間の左岸側には家屋が連立し、施工中の振動により家屋基礎の擁壁の倒壊が懸念される現場である。さらに試掘調査を行ったところ、水路の背面に1m程の大塊のコンクリート殻が投棄されていることが判明した。このことから当初設計していた鋼矢板打設工法では施工できなくなり、大幅な設計変更を余儀なくされた。本稿文では、設計変更にあつた土留め工法の比較と本現場での隣接家屋への影響に考慮した対策について述べる。

(水と土 第166号 2012 P.48 設・施)

工事施工が地下水に与える影響についての評価 —地下水解析について—

黒田裕一・西村 稔・蒲地紀幸

那賀川地区は、徳島県南東部の那賀川下流域に展開する県下有数の農業地帯である。生活雑排水が水路に流入して水質悪化が問題となっているため、那賀川農地防災事業により水路の用排水を分離し農業用水の水質保全を図る計画となっている。

この水路整備の一部区間において、取水井戸（満州井戸）が近接する区間があり、この区間での掘削工事により濁水が発生し、取水される地下水の水質に影響を及ぼすことが懸念される。このため、事前に室内実験、地下水解析モデル、現地試験を実施し地下水への影響を予測したので、報告する。

(水と土 第166号 2012 P.54 設・施)

**関係機関と農家が一体となって総力戦で進める
畑地かんがい営農の推進**
～「宮崎県畑地かんがい営農ビジョン」から～

戸高久吉・工藤正臣

畑地かんがいを活用した新たな営農の展開を図るために今年3月に策定した「宮崎県畑地かんがい営農ビジョン」の内容に沿って本県の今後の取組方針を紹介する。

畑地かんがいが畑作営農を変えられる3つのチカラ（可能性）として①生産性の向上と経営の安定・強化、②気象・自然災害対策の強化、③環境保全型農業の展開に注目し、関係機関と農家が一体となって「儲かる」「災害に強い」「持続可能な」農業の実現に向けて取り組む。

（水と土 第166号 2012 P.60 企・計）

塩害を受けた水田の除塩実証試験について

鈴木浩之・渡部丈夫

東日本大震災により、東北・関東地方の太平洋沿岸地域の約2万4千haの農地が津波により被災した。

被災農地では、塩害による作物の生育障害が懸念され、営農再開に向けた除塩が喫緊の課題であった。

このため、日本水士総合研究所では、効果的な除塩方法を検証することを目的に、現地実証試験を宮城県名取市の被災農地で、平成23年6月から8月にかけて実施した。本報文は、その結果をとりまとめたものである。

（水と土 第166号 2012 P.67 設・施）

<歴史的土壌改良施設>

野中兼山と山田堰

釣井利勝

高知県内で最大の受益面積を有している現在の物部川合同堰（通称山田堰）は、江戸時代からあった8つの堰のうち上流側の2つを統合して昭和48年に完成したもので、元の山田堰の上流側に県営かんがい排水事業により新設されており、下流の6堰は昭和38年の台風9号の災害復旧により統合され物部川統合堰として昭和41年に完成した。

本稿では、県の農業水利に大きく貢献した野中兼山とその代表的な築造物である山田堰（現合同堰の前身）を紹介する。

（水と土 第166号 2012 P.74）

<技術情報紹介>

我が国の水力発電ポテンシャル評価に関する展望

上田達己・後藤眞宏・浪平 篤・廣瀬裕一

我が国では、水力発電のポテンシャル調査が明治時代から精力的に行われてきた。これら調査は、それぞれ独自の手法に依って評価を行っており、得られた結果も大きく異なっている。そこで本稿は、これまでに実施された主要な調査の評価手法・結果を相互比較することによって、今後の評価の精緻化に向けた展望を議論する。主として農業用水を利用した発電ポテンシャルの議論に重点をおく。

（水と土 第166号 2012 P.77）

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24年3月現在、第1号（昭和45年）から第156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ください。

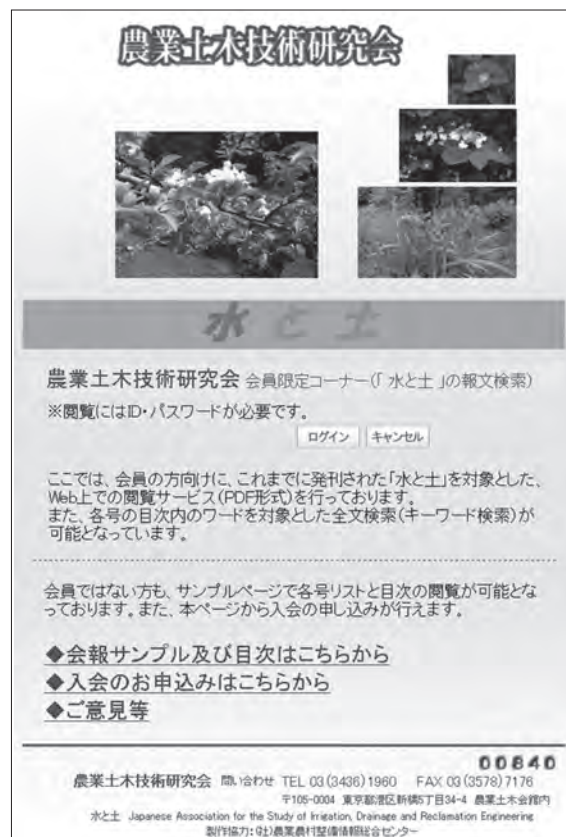


図-1

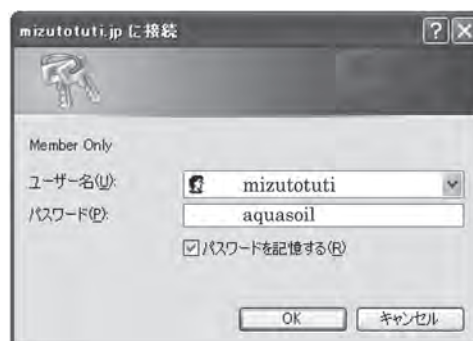


図-2

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
~~~~~				
昭和45年	<a href="#">水と土 第2号</a>	68	6.69	<a href="#">目次</a>
昭和45年	<a href="#">水と土 第1号</a>	80	6.41	<a href="#">目次</a>

[ページTOPへ](#)

---

**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最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](#)」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）。

**水と土**

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3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



## ノウハウ蓄積の視点

合 屋 善 之*  
(Yoshiyuki GOUYA)

マイクロコンピュータの実装上の課題にフリーズ対策がある。自動車のブレーキシステムからパチンコ台まで、フリーズしてからリセットしなおすまでに時間をかけることが許されないものがある。複数のマイコン装着や静電気対策といったコストはかかるが重装備とするものもある一方、最近では高レジリエンス（回復力）技術といったバックアップとリセットを定期的に繰り返しレジュームをより安定的に短縮するというフリーズレス技術開発の記事が載っていた。

ここまで瞬時的な対策を行うものとは単純には比較できないが、農業用施設の改修や補修の際に農業用水の供給を中断できない場合もある。宮崎県にある一ツ瀬川地区の東原調整池での部分的な漏水個所の補修を南部九州土地改良調査管理事務所で行った。日頃の土地改良区の努力により管路をはじめ築30年の調整池は適切に管理されており、今回は取水塔周りの部分的な止水補修となった。本地区では開発された水を利用した施設園芸など多様な作付体系に変わり、従来の用水補給とともに周年栽培の農業が展開されている。このため、土地改良区では管路の漏水事故などで断水が起きないように、施設管理の合理化を行うとともに迅速な復旧の体制をとっており、今回の東原調整池の補修工事に際しても、漏水個所を特定するための事前の調査や工事による長時間の断水が許されない状況であった。

一般に貯水池の改修では一旦落水するが、ここでは事前の漏水個所特定の段階から水位を下げずに行う必要があったため、音響式漏水調査、漏水に伴う水流変化をつかむ調査、濁度水の追跡調査などが試された。漏水個所の把握は容易ではなく最終的には濁度水の追跡調査で漏水範囲を絞り込んだうえで、潜水目視で取水塔周り特定できた。補修工事では、調整池内を二つに締め切って仮貯留部分とドライ施工範囲を確保し、仮貯留部分から直接取水塔に接続して、最小限の地区内送水を確保できる冬期に短期間で取水塔周辺をドライにして止水補修をした。その際、管の接続は水中施工にならざるを得ず、管内に吸い込まれないよう作業員の安全性を確保しつつ、接続口の密着性を確実にすることが難作業となり時間を要したものの、用水の供給を止めることなく無事補修を行うことができた。

水路改修などでも、敷設切り替えで給水継続をするようされているが、このように貯水池では供給を継続しつつ事前の調査や工事を行う場合は、地元の協力と連携のもとソフトとハード面での工夫が重要となってくる。

国営造成施設の長寿命化に向けた取り組みやストックマネジメント事業が実施される中で、施設情報の体系的整備の検討が進められている。地区概要、施設カルテ、健全度マップ、賦課金の実態、事前積立取り組み方針、営農・水利用状況などのいわゆる地図情報の作成と合わせ、効率的な対策と実施を行い体系的に技術の蓄積と向上を図るものとなっている。このような情報整備は同時に実際の管理の合理化ときめ細かな維持管理にも役立つものであるから、東原調整池などでの経験も含め、地域の水利用に柔軟に対応するために工夫していくノウハウの蓄積とも合わせて整備していくことが望ましいと考えられる。

東日本大震災を踏まえて農業用施設の重点課題の検討が進められており、ダム等の貯水池についてはレベル2地震動に対する安全性照査となるが、レベル2であれば一定の構造物の損傷は許容しながらも緊急的な操作はできることが求められることになるので、構造上の安定性に加え緊急操作と暫定的でも継続的な使用を行っていくという

---

*九州農政局整備部次長

視点が必要となってくる。

例えばダム試験湛水前の一部使用検査でのことだが、機側でのゲートの手動作動確認を行った。非常時でも緊急的に手動で開けられるよう人力回転できるトルクが設計上規定されるため、全開には数分間も回し続けることになる。緊急放流ゲートや取水ゲートなど複数となるとかなりの重労働となってしまうことを改めて実感することとなった。最近では充電式の携帯モーターで回すものが発売されているようだが、即応時間や操作者の高齢化など、緊急時を想定した新たな視点から十分な検証をしておく必要がある。国交省でも東日本大震災の堤防ゲートの緊急操作の観点から検討しているとのことだった。

前述のツ瀬川地区では土地改良区が管路の補修等の緊急的かつ迅速に対応できるように、事故処理簿を整備するなど各種GISデータとともに管理している。ユーザーである農家の立場からすれば、緊急的な施設管理、日常の維持管理、長寿命化のための対策などは同一のルーチンに乗っている。施設の構造上の安全性の確保とともに、使用者の視点にも配慮し、問題発生時から適切に回復させることも意識し、用水供給と維持管理をより効率的で適切に継続するための課題と対応方法を現場から拾い上げ、今後の技術的な知見として蓄積することも大切であると考ええる。

# 振動調査技術の農業用ポンプ設備診断への適応

蒔 苗 英 孝* 西 田 真 弓*  
(Hidetaka MAKANAE) (Mayumi NISHIDA)

## 目 次

1. はじめに .....	10	4. 振動調査の課題と今後の展望 .....	16
2. 農業用ポンプの特徴と調査概要 .....	10	5. ストックマネジメント1次診断への活用 ..	16
3. 調査結果 .....	12	6. おわりに .....	17

### 1. はじめに

農業用ポンプ設備の点検・整備は、施設管理者による目視や聴診を中心とした巡回点検や定期点検が行われ、オーバーホール等の大規模な点検・整備については劣化状況に関わらず7年～10年毎の時間計画保全(TBM)により実施されている。

そのため、設備が劣化する前に整備を行われ、整備費用が過大となっている可能性がある。

一方、オーバーホールを行うためには専門的な知識や技術が必要なことからポンプメーカー等に依頼している場合が多く、どうしても点検費用が高むことから、点検・整備頻度がおざなりになっている場合も多い。

そのため、設備の劣化状況に合わせた適正な時期にオーバーホールを実施し維持管理費の低減を図るためには、ポンプ設備の劣化状況を正しく把握することが課題となっている(状態監視保全:CBM)。

それに対し、石油化学工業や鉄鋼業等、長期間の停止が難しい工業用ポンプでは、稼働中の回転体振動値を判定基準(ISO 10816シリーズ)により点検が行われ、劣化状態を把握している(以下「振動調査」という。)

それらを踏まえ、農業用ポンプ設備の点検・整備に係る維持管理費低減やストックマネジメントにおける一次診断技術の向上を目指し、農業用ポンプ設備診断に対して、数値による定量的な判定が可能な振動調査の適応について検証した。

### 2. 農業用ポンプの特徴と調査概要

農業用ポンプは、かんがい期や洪水期のみの利用で落水停止期間が有るというだけでは無く、「フル運転-制御運転」を繰り返す場合が多く、施設規模も小規模な揚水ポンプから大規模な排水ポンプと幅広く、ポンプ型式も多種にわたる。また、砂混じりの河川原水を扱うなど使用条件にも特徴がある。

本調査では、まず工業用ポンプ等で実施している簡易診断測定(全振幅・振動速度実効値)時の振動判定基準(ISO 10816-1, JIS B8301)について、適応の可否や利用する場合の課題抽出について検証を行い、更に、精密診断(周波数解析)による劣化部位の特定の可能性について確認を行うこととし、北海道石狩・空知地域(図-1)の農業用ポンプ施設(延べ、35揚水機場66台・5排水機場15台)を対象に、3ヵ年調査(平成21年度～平成23年度)として実施した(表-1)。



図-1 位置図

表-1 調査数量

調査項目	揚水機場	排水機場	簡易診断		精密診断	芯ぶれ調査
			全振幅	振動速度実効値	周波数解析	
平成21年度調査	2機場 5ポンプ	-	5ポンプ	5ポンプ	5ポンプ	5ポンプ
平成22年度調査	10機場 14ポンプ	5機場 15ポンプ	29ポンプ	29ポンプ	24ポンプ	-
平成23年度調査	23機場 47ポンプ	-	47ポンプ	47ポンプ	1ポンプ	46ポンプ

*国土交通省北海道開発局札幌開発建設部農業整備課  
(Tel. 011-611-0247)

(1)調査対象施設の諸元と調査方法

振動調査は、ポンプ設備の回転軸の異常を早期に発見するため、劣化の目安として振動に着目した調査手法であり、ポンプの停止や開胴を伴わずに調査が可能である。

調査対象施設は、対象口径φ125mm～φ1,800mm、出力30kW～650kWの農業用ポンプである(表-2)。ポンプ施設の劣化状況と振動値の関連性を検証するため、劣化状況を確認する事前調査を行った。対象施設は施設管理者により適正に管理され、比較的良好に保たれていた。

表-2 ポンプ施設一覧表

機場の種類	諸							元				
	ポンプ諸元							モーター諸元				
	ポンプ形式	メーカー	製造年	No.	口径	全揚程 m	揚水量 m ³ /min	メーカー	製造年	出力 kW/ps		
揚水機場	横軸渦巻型	エバラ	1996	No.1	φ250	67.0	5.91	明電舎	1996	110		
				No.2	φ250	67.0	5.91			110		
	横軸渦巻型	エバラ	1996	No.1	φ125	46.4	1.78	東芝	1996	30		
				No.2	φ125	46.4	1.78			30		
				No.3	φ125	46.4	1.78			30		
	横軸渦巻型	エバラ	2003	No.1	φ800	13.7	84.36	富士電機	2003	260		
				No.2	φ800	13.7	84.36			260		
				No.3	φ800	13.7	84.36			260		
	横軸渦巻型	エバラ	1990	No.1	φ1,000	24.2	124.50	三菱電機	1990	640		
				No.2	φ1,000	24.2	124.50			640		
				No.3	φ1,000	24.2	124.50			640		
	横軸渦巻型	西島	1993	No.1	φ1,000	22.0	136.26	三菱電機	1993	650		
				No.2	φ1,000	22.0	136.26			650		
				No.3	φ1,000	22.0	136.26			650		
	横軸渦巻型	電業社	1995	No.1	φ1,000	22.0	131.70	三菱電機	1995	640		
				No.2	φ1,000	22.0	131.70			640		
				No.3	φ1,000	22.0	131.70			640		
	横軸渦巻型	エバラ	2002	No.1	φ700	24.0	69.30	日立	2002	380		
				No.2	φ700	24.0	54.54			300		
	横軸渦巻型	日立	2004	No.1	φ800	12.1	90.24	日立	2004	240		
	排水機場	横軸渦巻型	エバラ	1993	No.1	φ700	8.9	57.42	明電舎	1993	120	
					No.2	φ400	9.8	22.14			55	
					No.3	φ700	28.5	62.22			390	
					No.4	φ500	29.2	36.48			250	
		横軸渦巻型	日立	1996	No.1	φ800	14.2	80.70	日立	1996	250	
					No.2	φ500	15.0	34.32			132	
		横軸渦巻型	日立	1955	No.1	φ600	17.0	38.60	日立	1965	190	
		横軸渦巻型	電業社	1979	No.1	φ450	11.5	23.88	明電舎	1979	65	
横軸渦巻型		クボタ	1973	No.2	φ800	18.0	87.60	明電舎	1979	360		
横軸斜流型		日立	2002	No.1	φ1,000	7.3	129.00	日立	2002	220		
				No.2	φ1,000	7.3	129.00			220		
				No.3	φ1,000	7.3	129.00			220		
横軸斜流型	日立	2001	No.1	φ900	4.8	101.73	日立	2001	132			
			No.2	φ900	4.8	101.73			132			
			No.3	φ800	8.7	64.68			132			
横軸渦巻型	日立	1989	No.1	φ600	25.3	46.20	日立	1989	270			
横軸渦巻型	日立	1987	No.1	φ500	24.9	33.64	日立	1988	200			
横軸渦巻型	電業社	1990	No.1	φ200	27.2	4.02	日立	1990	37			
横軸渦巻型	電業社	1991	No.1	φ250	39.7	7.56	日立	1990	75			
横軸斜流型	日立	1968	No.1	φ1,000	6.8	115.00	日立	1988	190			
			No.2	φ1,000	6.8	115.00			201	190		
横軸斜流型	エバラ	1964	No.1	φ1,200	6.2	177.72	富士電機	1987	250			
横軸渦巻型	エバラ	1952	No.3	φ600	5.5	44.88	富士電機	2001	75			
横軸斜流型	エバラ	1988	No.1	φ1,000	3.8	116.46	富士電機	1987	110			
横軸斜流型	西島	1990	No.1	φ700	10.3	51.96	三菱電機	1989	125			
			No.2	φ500	5.3	34.32			45			
			No.4	φ450	58.0	29.07			390			
			No.4	φ450	58.0	29.07			390			
排水機場	横軸斜流型	エバラ	1990	No.1	φ1350	4.6	27.00	ダイハツ	2001	350		
				No.2	φ1350	4.6	27.00			350		
	横軸斜流型	三菱重工	1969	No.1	φ1,000	2.4	4.00	ヤンマー	1969	100		
				No.2	φ1,000	2.4	4.00			100		
	横軸斜流型	西島	1972	No.1	φ1300	2.4	16.00	ダイハツ	1972	180		
				No.2	φ1300	2.4	16.00			180		
				No.3	φ1300	2.4	16.00			180		
				No.4	φ1300	2.4	16.00			180		
	横軸斜流型	西島	1994	No.1	φ1800	4.1	28.20	ヤンマー	1994	580		
				No.2	φ1800	4.1	28.20			580		
				No.3	φ1800	4.1	28.20			580		
				No.4	φ1800	4.1	28.20			580		
横軸斜流型	日立	1990	No.1	φ1650	4.5	52.50	ヤンマー	1990	530			
			No.2	φ1650	4.5	52.50			530			
			No.3	φ1650	4.5	52.50			530			

【事前調査】

- ・目視観察(変状箇所、煙、臭いの確認)
- ・触診(指触による異常温度、異常振動の確認)
- ・軸受部の温度測定(赤外線温度計確認)
- ・聴診(聴覚による運転音確認)

(2)簡易診断測定(全振幅・振動速度実効値)

軸受部から発生する全振幅、振動速度実効値を計測することによって、ポンプ設備の異常を推定する方法であり、短時間で調査が可能である。評価方法は、①絶対基準法(観測値による判定)、②相対判定法(変化量による判定)、③相互判定法(類似の判定値との比較)に区分されるが、本調査では、①絶対基準法により検証を行うこととした。

測定箇所は、ポンプ・減速機・原動機(電動機)等、ポンプ主要設備の各軸受ベアリングで測定することを基本とし、直交(H)方向、垂直(V)方向、軸(A)方向の3方向での調査を行い、事前調査結果との比較や異常が推定された場合には開胴による確認を行うこととした(図-2)。

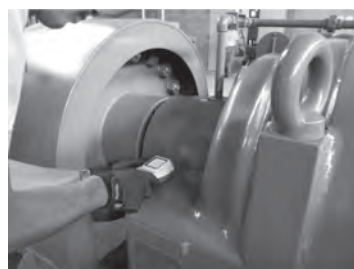


写真-1 振動調査作業

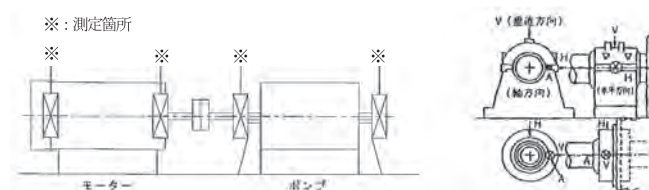


図-2 測定位置(横軸渦巻ポンプ例)

(3)精密診断(周波数解析)

軸受部から発生する振動を採取し、周波数スペクトル解析を行うことで劣化部位及び劣化度合いを推定する方法で、対象機場のうちオーバーホールが実施された5機場について、オーバーホール結果と周波数解析結果の比較検証を行った(図-3)。

<精密診断により推定できる劣化要因>

- ・アンバランス(軸のふれ回り)
- ・ミスアライメント(軸芯のズレ)
- ・歯車の噛み合い不良
- ・転がり軸受けの劣化、各部ガタ、磨耗等

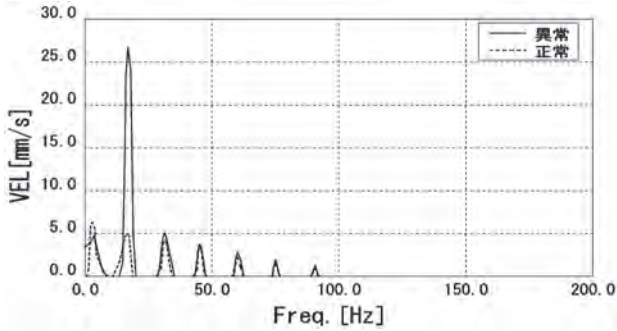


図-3 アンバランスの発生例

### 3. 調査結果

#### (1)簡易診断測定結果

##### ①振動速度実効値

図-4にH23年度調査の23揚水機場47台ポンプを調査した振動速度実効値の計測結果をグラフ化した。測

点はポンプ1箇所につき4～6箇所の軸受部があり、それぞれの軸受部で水平方向(H)、鉛直方向(V)、軸方向(A)の振動計測を行っているために測点1～測点621のプロット数となる。

図-5に示す振動速度実効値の既存判定基準ゾーン分けでは、本調査対象ポンプは原動機の出力からクラスⅡおよびクラスⅢに分類され、既存判定基準に照らし合わせた場合は、621点全ての計測箇所において、A及びBゾーン（長期運転可能）範囲内であった（図-6）。これは、事前調査により確認したポンプ劣化状態（比較的良好）と一致する結果であり、農業用ポンプ設備の機能診断（健全度評価）「S-4」判定基準として既存評価基準「ISO 10816-1 クラスⅡおよびクラスⅢのA、Bゾーン」を利用可能であると判断できる。

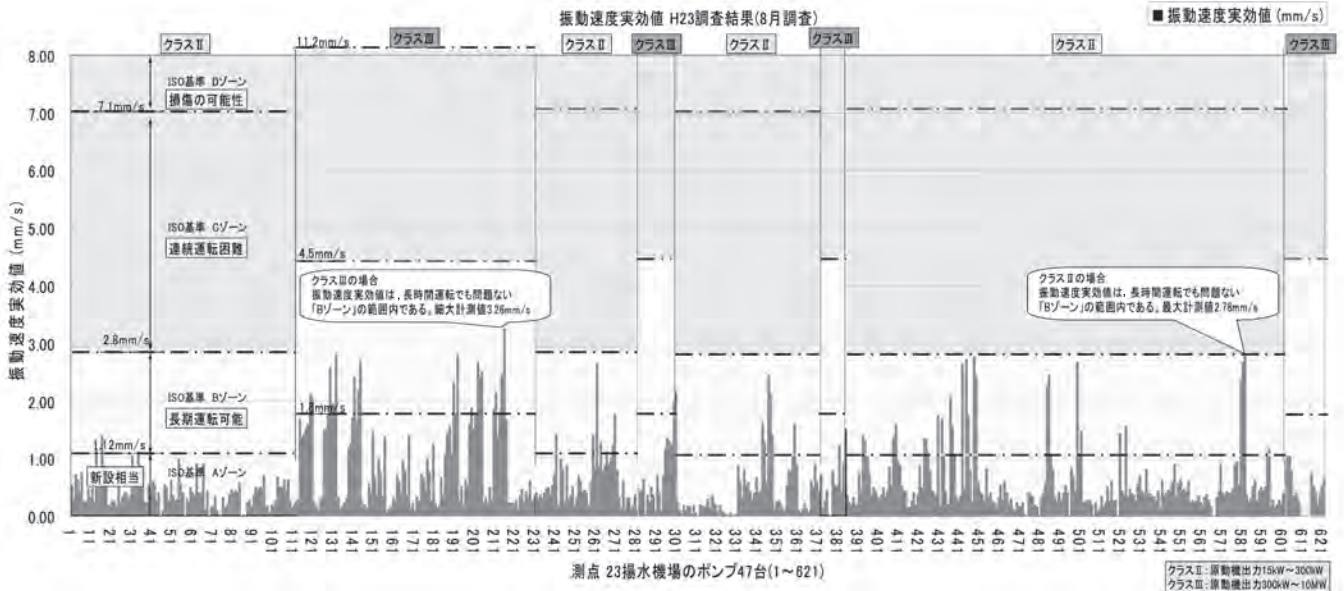


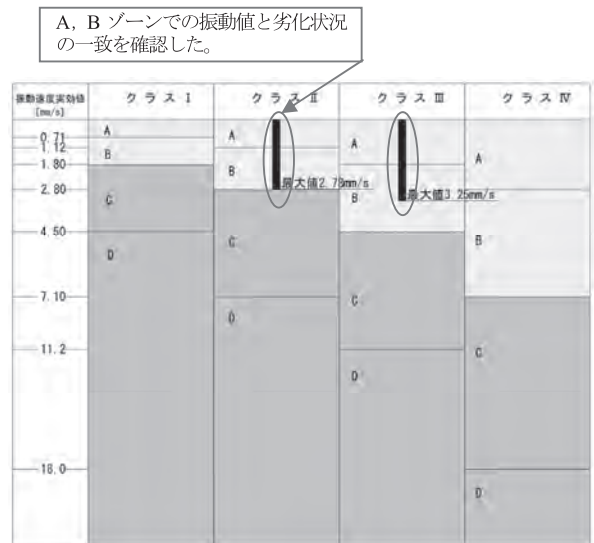
図-4 振動速度実効値 計測結果

振動速度のrms値 [mm/s]	クラスⅠ	クラスⅡ	クラスⅢ	クラスⅣ
0.28	A	A	A	A
0.45	(0~0.71mm/s)	(0~1.12mm/s)	(0~1.80mm/s)	(0~2.80mm/s)
0.71	B	B	B	B
1.12	(0.71~1.80mm/s)	(1.12~2.80mm/s)	(1.80~4.50mm/s)	(2.80~7.10mm/s)
1.80	C	C	C	C
2.80	(1.80~4.50mm/s)	(2.80~7.10mm/s)	(4.50~11.2mm/s)	(7.10~18.0mm/s)
4.50	D	D	D	D
7.10	(4.50mm/sを超える)	(7.10mm/sを超える)	(11.2mm/sを超える)	(18.0mm/sを超える)
11.2				
18.0				

1.クラス分けについて  
 クラスⅠ：通常の運転条件下で、全体の完成種の一部構成要素として組み込まれたエンジン及び機械（代表例 出力15kW以下の汎用電動機）  
 クラスⅡ：特別の基礎をもたない中型機械（代表例 出力15kW~75kWの電動機）、及び特別な基礎の上に堅固に据え付けられたエンジン又は機械（300kW以下）  
 クラスⅢ：大形原動機及び大形回転機で、剛基礎又は振動の測定方向に比較的高い剛性をもつ重い基礎の上に据え付けられたもの  
 クラスⅣ：大形原動機及び大形回転機で、振動の測定方向に比較的柔らかな剛性をもつ基礎の上に据え付けられたもの（代表例 出力10MW以上のターボ発電機セット及びガスタービン）

2.評価ゾーンについて  
 ゾーンA：新しく設置された機械が示すと予想される振動値  
 ゾーンB：一般に何の制限もなく長期運転が可能であると考えられる振動値  
 ゾーンC：長期間の連続運転は期待できないと考えられる振動値  
 改善措置のための適切な機会が生じるまでの限定した期間だけ運転が可能となる程度  
 ゾーンD：損傷を起こすのに十分なほどに厳しいと考えられる振動値

図-5 ISO 10816-1による振動値判定基準



※上図は図-4の621点の振動速度実効値をISO判定基準にプロットしたものである。

図-6 ISO基準へのプロット結果

②全振幅

ストックマネジメントにおける一次診断に用いられる全振幅調査について、振動速度実効値と同じ測定条件で計測した結果を図-7に示す。全ての測点において振幅値20/1000mm以下となり、既存判定基準「JIS B8301」では全て安全域にあり、これも事前調査により確認したポンプ劣化状態と一致していることから、安全域内であれば利用可能であると判断できる。

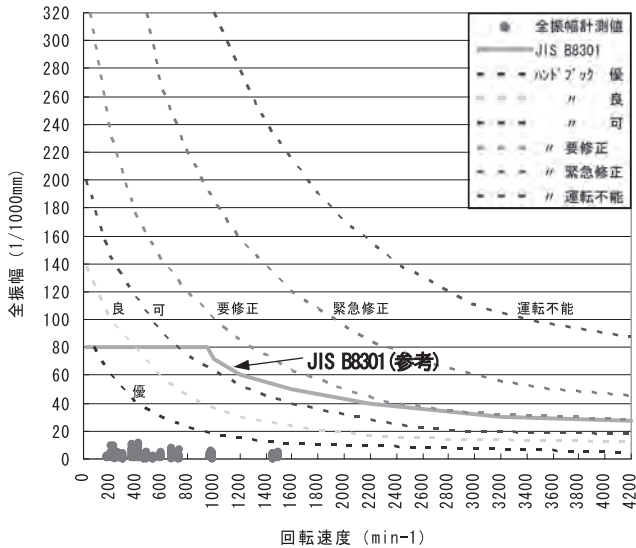


図-7 実務家のためのポンプ設備工学  
ハンドブック改訂版P.72

(2)振動速度実効値の特性

①オーバーホールによる振動値の変化

オーバーホールを実施したポンプ（4揚水機5台ポンプ）を利用して、その前後を計測し振動値の変化を確認した。

図-8に示すとおり、いずれのポンプもオーバーホールにより状態が改善し、5台全てのポンプ（59測点）において振動速度実効値は低下する結果となった。

しかし、揚水機場2のようにポンプによってはオーバーホールにより軸受ベアリングの交換を行ったにもかかわらず、振動値がBゾーン上限にとどまっているものも確認された。

これは、このポンプがギャップ値（遊び）の大きいベアリングを採用していることが影響しているものと考えられ、この結果から採用されたベアリングの種類によっては、ISO判定基準が適応できない場合もあることが確認された。

②排水機場における振動値

排水機場において振動調査を行う場合、平常時の吸水位が低下している場合や排水調整池の残容量により、ポンプ稼働条件（振動計測）に制約を受ける場合がある。

その場合には、ポンプ内に水を充水しないでポンプ運転する「空運転」、吐出弁の開度を絞るあるいは全

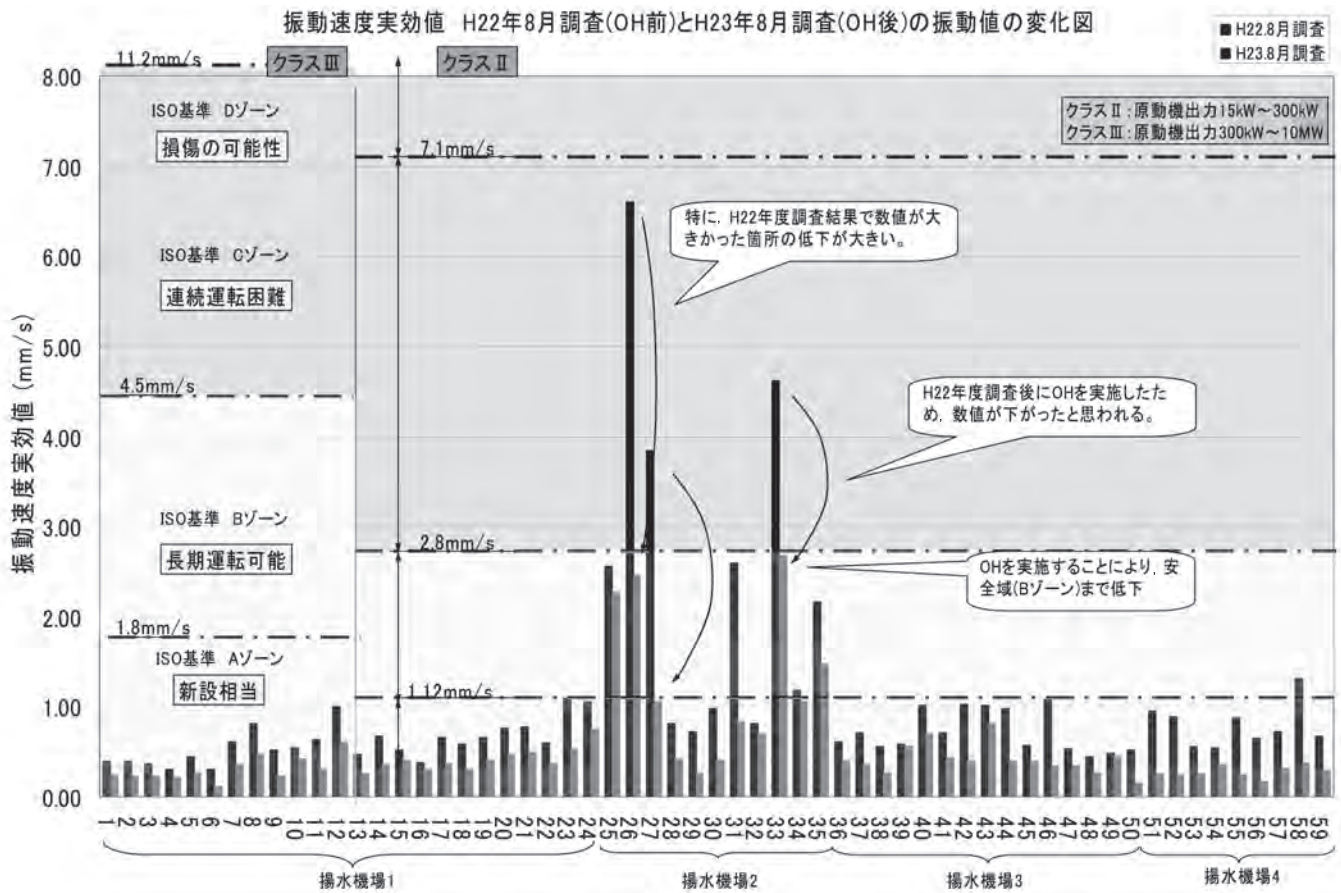


図-8 振動値のオーバーホールによる変化

閉で行う「吐出弁締切運転」，軸継手を切り離して原動機側のみ運転する「限定運転」等の運転制約を受けての振動計測を行うことになる。

本調査において各排水機場の計測にあたって，運転条件の制約を受けて計測した結果，変状が見られないポンプ施設であっても，C～Dゾーン（損傷の可能性有り）の大きな振動速度実効値が発生することが確認された。

排水機場では計測時の運転条件は様々であり，運転条件により振動値も大きく異なることから，排水機場における振動調査では既存の判定基準の採用は難しく，これに変わって，運転条件が同じもとの振動値の変化量を調査する相対判定法が有効であると考えられる。

### ③ 芯ぶれ値や面ズレ値と振動値の関係

ポンプを長時間運転すると軸芯に「ぶれ」や軸接合面に「ズレ」が生じることがある。一般的に軸心のぶれ等が発生すると振動が大きくなり，これを放置すると軸受けベアリングの損傷や異常振動などの不具合を起す可能性が高くなる。芯ぶれ等の計測は，各ポンプメーカーに依頼することとなり，構造によっては大がかりな分解作業が必要となることから，比較的施設管理者の負担が大きくなる。そのため，23揚水機47台ポンプにおいて振動値との関連性を検証したが，関連性は確認できなかった。

これはポンプ設備が健全であったため，芯ぶれ値や振動値の値そのものが低く，関連性を見いだすまでに至らなかったことに加え，接合継手は「たわみ軸（フレキシブル継手）」が主流であり，ゴムブッシュが芯ぶれを吸収していると推察される。

なお，面ズレ値と振動速度実効値には「やや相関（相関係数 0.27）」が見られ（図-9），振動速度実効値がISO判定基準のBゾーン（安全域）以内であれば，面ズレ値は許容値以内であることが確認された。従って，おおよそ振動速度実効値がBゾーンを超える

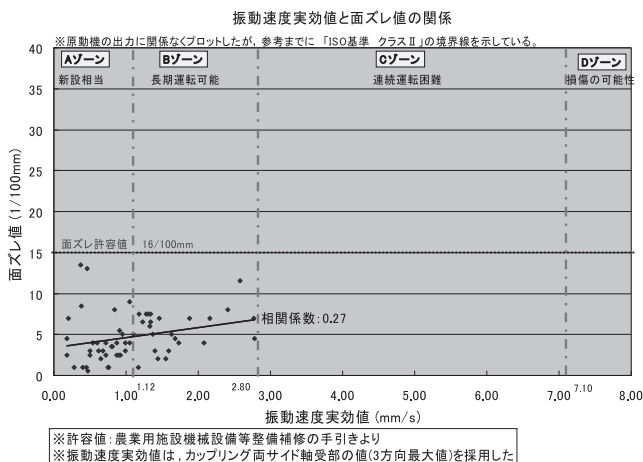


図-9 面ズレ値と振動速度実効値の相関図

場合は，面ズレ許容値を超えていることが推測できる。

### (3) 精密診断結果（周波数解析）

オーバーホールを実施した5機場について，周波数解析結果とオーバーホール結果を比較検証した。

5機場のうち回転体は24部位であり，表-3に示すとおり，周波数解析により劣化部位が特定できたと思われるものは4部位/24部位であり，変状無しを特定できたと思われるものは10部位/24部位であった。

しかし，解析結果は「軽微の摩耗を検知」「変状無いことを検知」程度であり，劣化部位の特定が可能な調査とは言い難い状況である。また，劣化の度合いの推定としても有効な調査か否かという点についても未確認である。周波数解析における検知例を述べる。

#### ① 減速機歯車部の噛み合わせ不良の検知例

##### ○ 周波数条件

$$\text{軸回転周波数} 280\text{rpm} \div 60\text{sec} = 4.7\text{Hz}$$

$$\text{回転周波数 } f \ 4.7\text{Hz} \times 5 \text{ 枚} = 23.5\text{Hz}$$

$$\text{モーター軸回転周波数} 1455\text{rpm} \div 60\text{sec} = 24.3\text{Hz}$$

$$\text{噛み合わせ周波数モータ側} 31\text{枚} \times 24.3\text{Hz} = 753\text{Hz}$$

$$\text{噛み合わせ周波数} 159\text{枚} \times 4.7\text{Hz} = 747\text{Hz}$$

- ・ 図-10 低周波領域（700～800Hz）付近に小さいピークが観察される（A部）。これは減速機歯車の噛み周期に一致していることから，減速機歯車部の噛み合わせ不良の兆候と推定される。
- ・ 中間周波領域（1200Hz～1600Hz）付近にピークが観察される（B部）。これは噛み合わせ周波数の2倍に相当する高調波であると判断されることから噛み合わせ不良に起因するものと推定する。

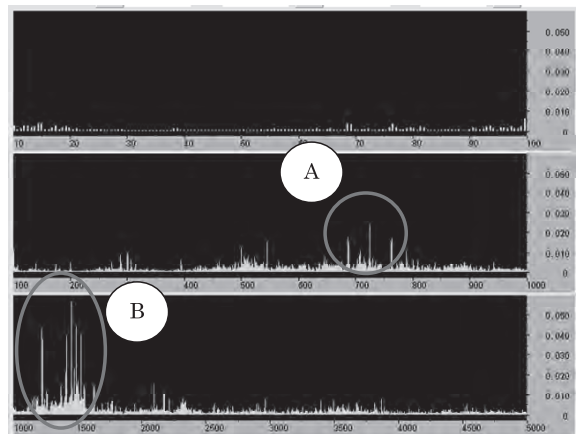


図-10 減速機歯車部の噛み合わせ不良の検知例

#### ② ミスアライメントの検知 失敗例

##### ○ 周波数条件

$$\text{回転周波数 } f \ 730 \div 60 \times 6 \text{ 枚} = 73\text{Hz}$$

- ・ 図-11 回転周波数 f の分調周波数（45～48Hz=2/3f）にピークが観察され，その2倍周期（90～96Hz），3倍周期（140Hz 付近）にピークが生じている。このことから，周波数のピークが整数倍で発生しているため，

主軸間もしくは軸受と主軸間にミスアライメントが生じていると推定された。

- しかし、回転軸の芯ぶれを計測した結果4/100mm（据付基準値以内）で問題ない状態であった。検知失敗の要因は、劣化が極軽微である為、固有のスペクトル波形自体が小さく、本来は変状には値しない程度のを解析評価したために相違が発生したものと考えられる。

(4)振動加速度実効値の確認

ポンプ振動調査技術の有効性を確認するために、補足調査として「振動加速度実効値」の計測を行った。

ポンプ回転軸の劣化部位となるベアリングは、ポン

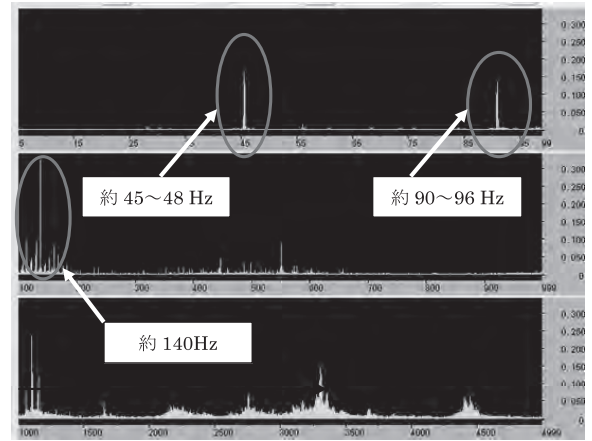


図-11 ミスアライメントの検知失敗例

表-3 周波数解析結果と整備点検結果比較

		区分	周波数解析結果	整備点検結果	評価	判定	
平成22年度調査	由良第2揚水機場	主軸	ミスアライメントを検知	ミスアライメント4/100mmであり問題なし	基準値(5/100mm)以下であり、検知失敗	×	
		ベアリング	検知なし	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○	
		ベアリングケース	—	汚損	回転体ではないため要因特定不能	—	
		羽根車	検知なし	ライナーリング摺動部に磨耗 ライナーギャップ基準値以上 羽根に微小の磨耗が均等にみられる	検知失敗(均等な磨耗は特定困難)	×	
		ケーシング	—	錆・汚損あり	回転体ではないため要因特定不能	—	
		ライナーリング	—	錆、汚損	羽根車として評価	—	
		グランドスリーブ	検知なし	摺動により磨耗	検知失敗(均等な磨耗は特定困難)	×	
		グランドパッキン	—	劣化	回転体ではないため要因特定不能	—	
	電動機	固定子	—	コアやコイルに塵埃付着	回転体ではないため要因特定不能	—	
	回転子	回転子の緩み、ガタ	コアやコイルに塵埃付着	ガタツキは分解点検では検証できない。振動速度はCゾーンとなっておりガタツキを検知したことと一致する。	○		
	ベアリング	検知なし	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○		
	揚水機場	電動機	固定子	—	コアやコイルに塵埃付着	回転体ではないため要因特定不能	—
	回転子	検知なし	汚れ	傷・破損はみられず、解析結果と一致	○		
	ベアリング	検知なし	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○		
西南揚水機場	主軸	アンバランス ミスアライメント	ミスアライメント4/100mmであり問題なし	基準値(5/100mm)以下であり、検知失敗	×		
	ベアリング	検知なし	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○		
	羽根車	検知なし	ライナーリング摺動部に磨耗 塗膜劣化	検知失敗(均等な磨耗は特定困難)	×		
	水中軸受	検知なし	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○		
	ケーシング	—	塗膜劣化	回転体ではないため要因特定不能	—		
	ライナーリング	—	錆、汚損	羽根車として評価	—		
	グランドスリーブ	軸受付近の磨耗	摺動により磨耗	軸受周辺部の磨耗として検知	○		
	グランドパッキン	—	劣化	回転体ではないため要因特定不能	—		
舞鶴揚水機場	主軸	ミスアライメント	ミスアライメント5/100mmであり問題なし	基準値(5/100mm)以下であり、検知失敗	×		
	ベアリング	検知なし	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○		
	羽根車	検知なし	ライナーリング摺動部に磨耗	検知失敗(均等な磨耗は特定困難)	×		
	水中軸受	検知なし	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○		
	ケーシング	—	塗膜劣化	回転体ではないため要因特定不能	—		
	ライナーリング	—	発錆	羽根車として評価	—		
	グランドスリーブ	検知なし	摺動により磨耗	検知失敗(均等な磨耗は特定困難)	×		
	グランドパッキン	—	劣化	回転体ではないため要因特定不能	—		
平成23年度調査	由良第1揚水機場	主軸	弱いアンバランス	汚れ	変状は確認されず、解析結果と一致	○	
		ベアリング	軽微な磨耗	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○	
		ベアリングケース	—	汚損	回転体ではないため要因特定不能	—	
		羽根車	検知なし	ライナーリング摺動部に磨耗 羽根に微小の磨耗が均等にみられる	検知失敗(均等な磨耗は特定困難)	×	
		ケーシング	—	錆・汚損	回転体ではないため要因特定不能	—	
		ライナーリング	—	錆、汚損	羽根車として評価	—	
		グランドスリーブ	検知なし	摺動により磨耗	検知失敗(均等な磨耗は特定困難)	×	
		グランドパッキン	—	劣化	回転体ではないため要因特定不能	—	
	電動機	固定子	—	コアやコイルに塵埃付着	回転体ではないため要因特定不能	—	
	回転子	回転子の劣化、偏芯	カーボンブラシの磨耗	回転子の磨耗を検知	○		
	ベアリング	検知なし	転動面疲労があるが、傷・破損等はみられない	解析結果と一致	○		

は回転体の構成部品を示す。

は解析結果と分解確認が一致した箇所を示す。

太文字は、劣化を検知した箇所



ブ設備構成部品の中でも最も硬い材料であるため、その異常は衝撃振動となり加速度（高周波領域）として現れることが一般的に知られている（図-12）。振動加速度実効値の計測を行った47台のポンプについて、聴音棒による聴診結果と比較した。

ただし、振動加速度は現時点でJISやISOによる指標が確立していないことから、目安値として振動加速度が $8.0\text{m/s}^2$ 以上を異常として整理した。その結果、「何かしらの聴音異常」の一致が確認できたのは4台のみで、関係性を確認するまでには至らなかった。

また、軸受部の温度と振動加速度との比較も同様であり、健全なポンプ設備を対象にした調査では関係性は見受けられない。

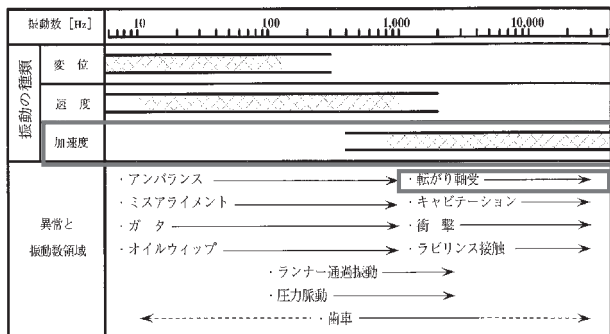


図-12 振動数と振動の種類

#### 4. 振動調査の課題と今後の展望

ポンプ振動調査結果を踏まえて、農業用ポンプ設備の診断に対して、ストックマネジメント1次診断への活用を含め振動診断技術の確立に向けて、次の3点を明確にする必要がある。

- (1)簡易診断における判定基準の確立  
(既存基準の適応性検証)
- (2)精密診断に対する有効性の再検証  
(劣化部位の特定, 劣化度合いの確認)
- (3)施設延命化のための運用方法の検討

##### (1)簡易診断における判定基準の確立のために

本調査では、比較的良好なポンプ設備による検証となってしまったため、今後は「中度の劣化」や「重度の劣化」状態のポンプにより振動サンプルを採取し、既存判定基準との一致を検証する必要がある。

また、劣化が進行した場合に、どのタイミングでどのような処置（オーバーホール含む）を実施するかが重要であり、測定した振動値から劣化度合いと整備内容を示すことが可能かどうかについて検討を行う必要がある（図-13）。

さらに、振動には変位・速度・加速度があるため、振動の種類と劣化部位の関連を見出すことが出来れば、簡易診断においても、ある程度の劣化部位の予測が可能となり、振動技術の精度向上につながるものと

思われる。

芯ぶれと面ズレについても振動速度との関係性が見出せれば、振動値を確認することにより、芯ぶれ等の度合いが把握可能となり安価な代替調査となり得る。

特に、劣化が進行していないポンプ（A～Bゾーン）において面ズレにやや相関（相関係数0.27）が得られていることを踏まえ、ポンプ劣化が進行（C～Dゾーン）したポンプを対象に、芯ぶれ等と振動速度の関連性確認を行い全体的な評価を行う必要がある。

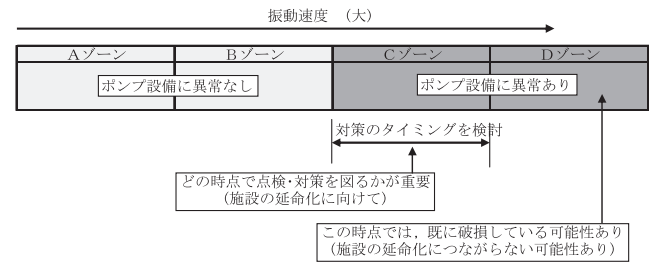


図-13 簡易診断結果における整備のタイミング

##### (2)精密診断の有効性の再検証

本調査により、概ね変状無いことの確認に対する有効性は確認できたが、劣化部位の特定には至っていない。

今後は劣化の進行したポンプを対象に周波数解析を行いオーバーホール結果と比較して、その有効性確認の精度を向上させる必要がある。また、ポンプ劣化の進行度合いを把握するために、同一ポンプを対象に経年的に周波数解析を実施し、スペクトル波形の山の高さ変化を確認することも思慮される。この方法が確認されればオーバーホールのタイミングを図る目安の1つになるものと思われ、再調査が必要である。

##### (3)施設延命化のための運用方法の検討

ポンプ施設の延命化に向けてオーバーホールのタイミング方策を打ち出すことが重要課題となる。このため、簡易診断結果との組合せ評価やスペクトル波形の変化率、周波数解析の傾向管理が可能か等を検証し、周波数解析の有効性を見出すことも必要である。

また、振動速度実効値の測定については、軸受部に初期異常がある場合の調査結果を補完することにより、軸受温度との関連性や聴音異常との関連性を確認することで振動加速度調査の有効性が確立可能となる。そうした場合、簡易診断ではポンプ設備の劣化予測において、「ベアリング」の構成部位も加わることになり、振動技術の普及に貢献するものと思われる。

#### 5. スtockマネジメント1次診断への活用

農業用ポンプ設備の1次診断では、施設管理者が行う日常点検項目を中心にしたものであるため定性的な調査が主体であり、軸受部の振動計測も全振幅のみで、比較的に劣化が進行していなければ振幅値として

現れにくい状況にある。

そのため、1次診断に振動調査（振動速度及び振動加速度、周波数解析）を盛り込むことにより定量的な調査結果が得られる可能性があり、診断精度も向上するものと思われる（図-14）。

## 6. おわりに

本検証における調査対象ポンプは、施設管理者により適正に維持管理が実施されており、劣化変状の少ないポンプ施設であった。これは、ポンプ診断技術の確立により、整備点検を簡略化して維持管理費低減の余地が残されていると言える。また、維持管理の手が行き届かず劣化が進行してしまったポンプ設備について、簡易な振動調査でその適正な整備時期が把握可能となれば、大事に至る前に分解整備を実施することができ過大な修理費用の節減に役立つことは言うまでもない。

簡易診断費用は、施設管理者自ら行えば振動計のリース費用（10千円～50千円程度）のみで、ポンプの

状態を把握することが可能であり、精密診断（周波数解析）費用についても解析業者によって異なるが、おおよそ500千円/台である。

ポンプ口径φ500mm以上のオーバーホールや簡易二次診断費用6,000千円/台（メーカー実績）に比べ安価であり、簡易診断や周波数解析の有効性が確立されれば、ポンプ劣化調査の有効な手段となろう。

今後、本業務の調査結果の活用や更なる確認調査を行うことにより、農業用ポンプ設備の診断技術の確立に1歩近づけば幸いである。

## 参考文献

- 1) 「実務家のためのポンプ設備工学ハンドブック改訂版P.72」
- 2) 「ISO基準に基づく機械設備の状態監視と診断」P.48
- 3) 「農業用施設機械設備更新及び保全技術の手引き平成18年6月全面改訂版」

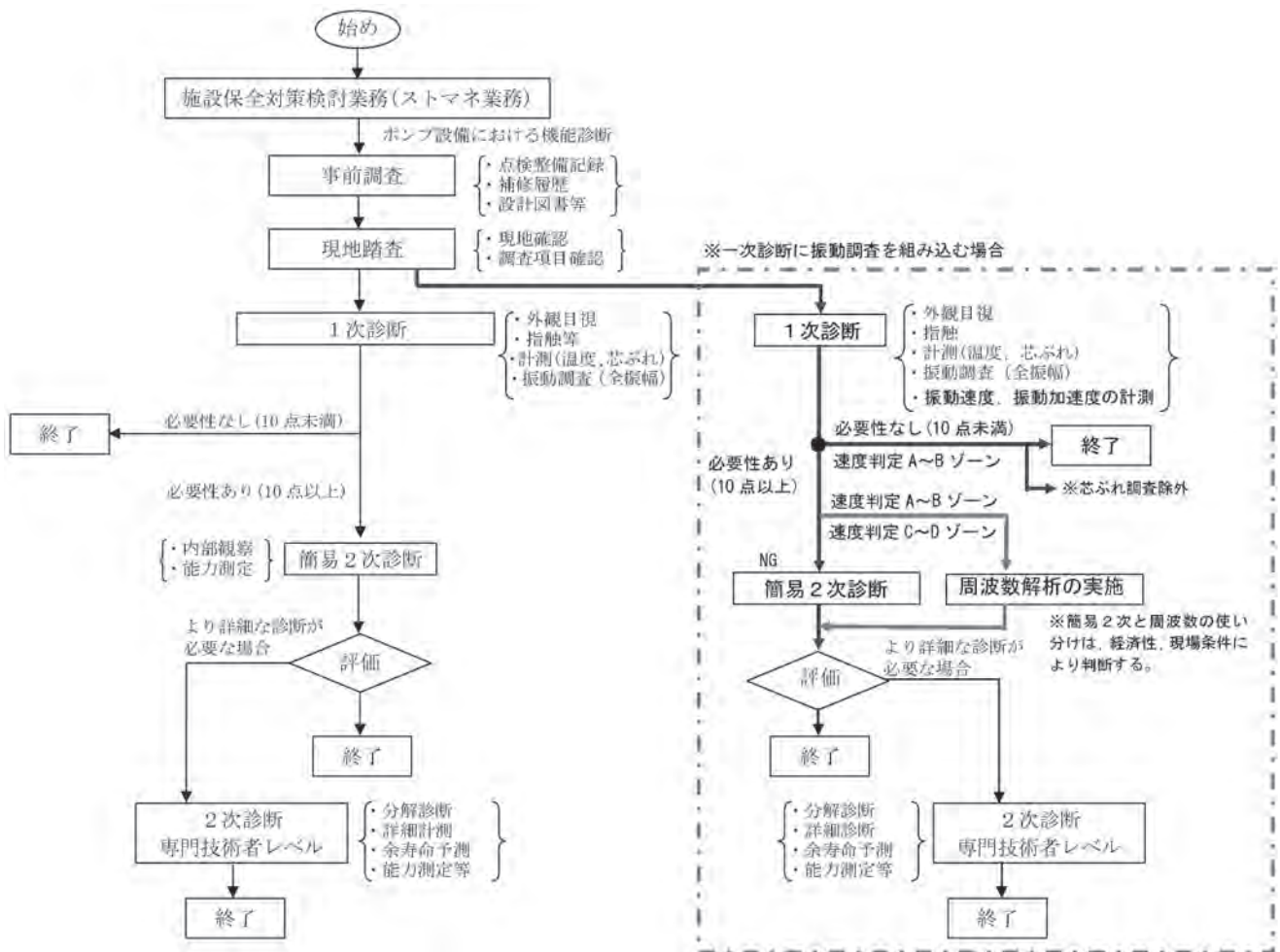


図-14 スtockマネジメント1次診断調査に振動調査を組み込む場合

# 水路トンネル診断技術検証事例について

金 平 修 祐* 江 崎 正 美**  
(Syusuke KANEHIRA) (Masami ESAKI)

## 目 次

1. はじめに .....	18	3. 取組内容 .....	18
2. トンネル概要 .....	18	4. 最後に .....	23

### 1. はじめに

東北農政局内では、H20年度、H21年度と2カ年に渡りストックマネジメント技術高度化事業で、国営A地区のトンネル（ $2r=1.75\text{m}$ 標準馬蹄形、 $L=114\text{m}$ ）を対象に異なるトンネル診断システムを導入し手法の比較検討を行った。

同じトンネルの同一区間でも診断手法や解析技術の違いにより推定空洞量に差が生じている。他の施工事例でも補修工事を行うに当たり診断結果によるグラウト充填量の差が顕著となり、補修工事量の大幅な増減を招くなど大きな問題が生じている。

本取組みでは、①電磁波レーダの測線数の違いによる推定空洞量の検討、②非破壊及び微破壊診断手法、ボーリング調査によるクロスチェック結果による検討、③空洞推定量とグラウト施工及び実績充填量の差の考察検証、④トンネル重要度に応じて必要とされる診断項目の提案・取りまとめを行ったのでその結果を報告するものである。

### 2. トンネル概要

今回取り上げるトンネルは完工後40年以上となり、経年劣化が確認され、今回調査するに至ったものである。

### 3. 取組内容

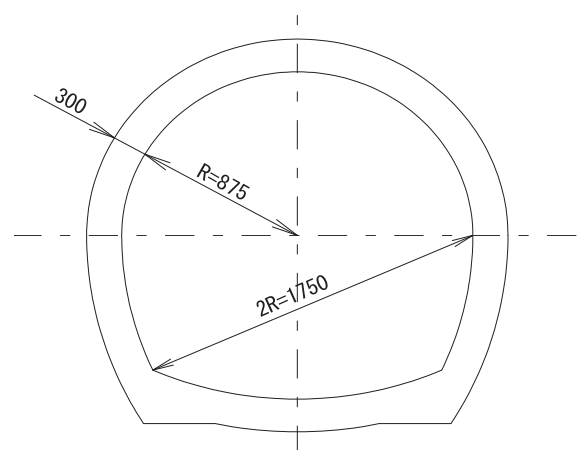
トンネル診断に当たって、対象事象内容の精度を上げるため調査項目をクロスチェックするシステム化された診断手法が提案されている。その中でも著者らは、①H20年度に奥村組のトンネル診断システムと②H21年度に水路連続非破壊調査システムの2つを取り

上げ、同一トンネルの同一区間を対象に実践的実証調査を行ったものである。その内容については、図-1のとおりである。

H20年度とH21年度システムの大きな違いは、H20年度のシステムは背面の深部までの地盤性状を捉えるのに調査重点をおいているのに対し、H21年度のシステムは、地山貫入計測により浅い地盤性状を捉えてい



トンネル内部状況写真



トンネル断面構造

*東北農政局土地改良技術事務所  
(Tel. 022-295-5547)

**アジアプランニング(株)  
(Tel. 096-372-6440)

る。せいぜい1m程度となる。技術者は構造劣化が著しいと評価されトンネル背面深部まで情報が必要な場合、施設の重要度を考え、H20年度に行われた坑内弾性波探査、孔壁弾性波探査、BTVシステムなどの調査項目の実施を決定しなければならない。トンネル背面調査において、クロスチェックする項目が多く、H20年度の方が調査経費が高くなる。

表-2 推定空洞量一覧表

縦断探査	横断探査	平成20年度 (m3)	平成21年度 (m3)
1 測線	—	46.7	39.5
1 測線	4 断面	40.6	36.3
3 測線	—	27	32.7
3 測線	4 断面	26.9	32
参考	26 断面	26.9	25.6

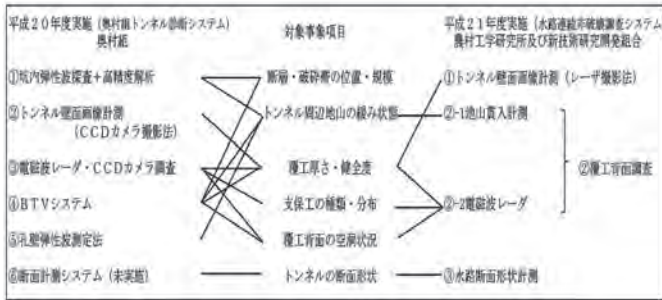


図-1 トンネル診断システム比較表

本報告では、双方で実施されたトンネル診断の主軸をなす電磁波レーダ探査探査結果を中心に述べる。

電磁波レーダは、物質の特性値の一つである比誘電率の違いを基に物質との境界面で反射する電磁波を利用した調査法であり、レーダ発振子から発せられた信号をレーダ受振子で受信した時間から、反射物体までの距離（部材厚さ）を求めるものである。

表-1 主な物の比誘電率表（ε）と計算式

材 質	比誘電率	材 質	比誘電率	材 質	比誘電率
真 空	1	石灰石（乾燥）	7	間重ローム（湿潤）	10~40
空 気	1	石灰石（湿潤）	8	砂 石	5~9
清 水	81	頁 石（湿潤）	7	永久凍土	6~13
海 水	81	砂 岩（湿潤）	6	コンクリート（乾燥）	4~12
清水氷	4	砂（乾燥）	3~6	コンクリート（湿潤）	8~20
海水氷	6	砂（湿潤）	10~25	アスコン	4~6
雪（かたまり）	1.4	土（乾燥）	2~6	発泡スチロール	1
銅影石（乾燥）	5	土（湿潤）	10~30	導 体	∞
銅影石（湿潤）	7	間重ローム（乾燥）	2~5		

物質の電磁波速度  $V = C / \sqrt{\epsilon}$  (m/S)  
 $V$ : 物質の電磁波速度 (m/S)  
 $C$ : 真空中電磁波速度  $= 3 \times 10^8$  (m/S)  
 反射物体までの距離  $D = V \times T / 2$   
 $D$ : 反射物体までの距離 (m)  
 $T$ : 反射波の往復時間 (S)

①電磁波レーダの測線数の違いによる推定空洞量の検討

電磁波レーダ探査において縦断方向に1測線、3測線と横断方向に4断面、26断面計測探査結果から推定空洞量を算定し精度を求めた。

表-2に示すように、H20年度は1測線より3測線の方が空洞量は少なく、H21年度は若干少ないという結果となった。それに横断探査の結果を加味すると1測線では4断面探査が横断探査未考慮よりやや少ない空洞充填量であるのに対し、3測線では横断探査考慮したものと未考慮の充填量はほぼ同じで横断探査の影響がほとんど見られない。

また、参考を示した26断面横断探査の結果と、H20年度が3測線+4断面探査から求まる充填量と同じで

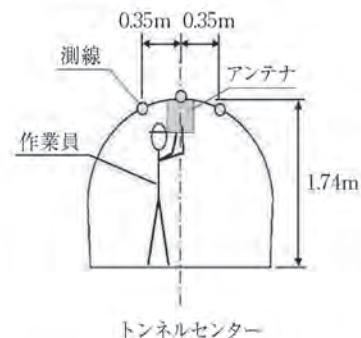
あるのに、H21年度は3測線+4断面探査の充填量より少ないという結果となった。

H21年度縦断探査試行的に5測線を実施し、スプリングラインの一部区間において薄い空洞の存在が明らかになった。精度向上につながるが数量の変化も少なく経済性という面では採用が難しい。トンネルにおいて一般的に縦断探査3測線により推定空洞充填量が算出されており、小規模なトンネルではあるが今回の結果からもこの方法が精度とコストの面で有効性が高いことが確認された。

図-2から天端1測線縦断探査時にスプリングラインから空洞線の始まりとなるのに対し、3測線時は空洞線の始まりがほぼ特定されそれが推定空洞量差がとなっていることが明らかとなった。

H20年度、H21年度で推定空洞量の違いが生じた原因として、電磁波レーダ探査設定周波数の違い（図-3参照）や診断解析業者の経験値による解析差が存在することも確認された。コンクリート厚さ・空洞・崩

天端3測線施工方法



天端1測線

天端3測線

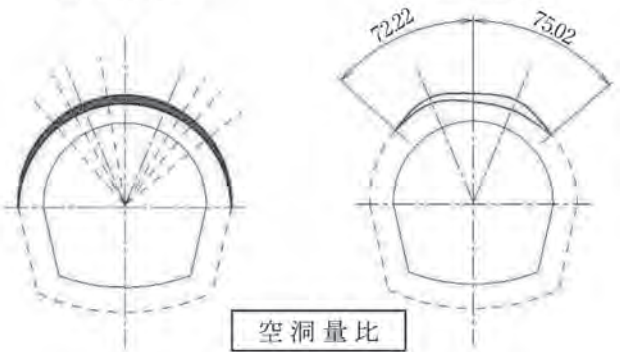


図-2 電磁波レーダ探査方法と測線数

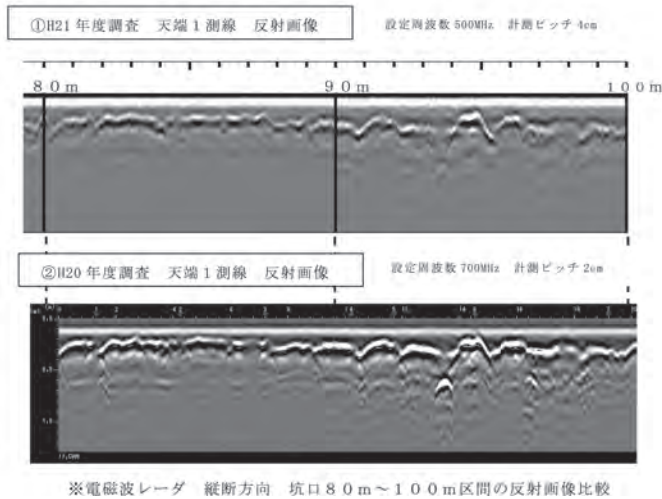


図-3 電磁波レーダ：設定周波数の違い

積土高さにおける比誘電率の設定の違いにより、解析の違いが生じている。まとめると表-3のとおりである。

H20年度調査の中で空洞1、空洞2と比誘電率の違いがある。その違いは多重反射画像があるなしである。コンクリート背面の空洞だけの場合比誘電率は、表-1より1.00となるが、比誘電率の異なる層を複数通過するために電磁波が減衰するとの判断から比誘電率を算出している。電磁波レーダ調査専門業者は多くの実績から独自に解析手法を確立しているが、解析手法の規格化や統一化が分野である。これから土木技術者や計測技術者が明らかにしなければならない課題であろう。

②非破壊及び微破壊手法、ボーリング調査によるクロスチェック結果の検討

電磁波レーダによる3断面の横断探査結果は、全円周の反射画像を基に求めたものであり他の診断手法（線、点情報）より精度が高いとの仮定で、その値を1.00として各種診断手法の値の比率及び値の範囲を整理した（表-4参照）。

CCDカメラ探査及びボーリング調査結果は点情報であり、電磁波レーダ縦断探査や横断探査の線情報に

表-3 対象物質の比誘電率設定値

対象物質	H20年度	H21年度	備考
コンクリート	12.25	8.90	
崩積土	12.25	16.00	
空洞1	4.00	1.00	多重反応なし
空洞2	36.00		多重反応あり

表-4 覆工に関する各種診断手法の結果表

坑口からの距離 (m)	調査項目	電磁波レーダ横断探査	電磁波レーダ縦断探査	CCDカメラ探査	ボーリング調査
3.0	覆工厚	14.64(1.00)	14.82(1.01)	11.00(0.75)	12.00(0.82)
	崩積土厚	0.00(1.00)	0.00(1.00)	0.00(1.00)	0.00(1.00)
	空洞厚	28.11(1.00)	28.11(1.00)	16.00(0.57)	22.00(0.78)
6.0	覆工厚	14.05(1.00)	14.27(1.02)	12.00(0.85)	11.00(0.78)
	崩積土厚	0.00(1.00)	0.00(1.00)	0.00(1.00)	0.00(1.00)
	空洞厚	17.34(1.00)	16.68(0.96)	16.00(0.92)	18.00(1.04)
9.0	覆工厚	18.15(1.00)	18.12(1.00)	15.00(0.83)	16.00(0.88)
	崩積土厚	0.00(1.00)	0.00(1.00)	0.00(1.00)	0.00(1.00)
	空洞厚	28.48(1.00)	28.46(1.00)	49.00(1.72)	46.00(1.62)

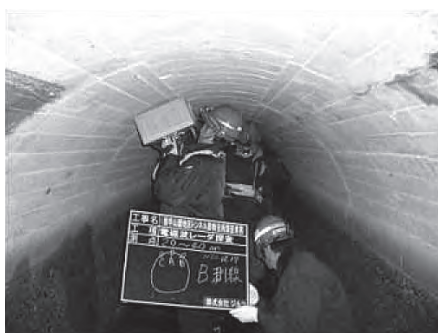
注1) 表の数字の単位はcm。( )の値は電磁波レーダ横断探査に対する比率である。

差がある。CCDカメラ（ファイバースコープ）探査では、横断探査結果に対し0.75~1.72の比率となり、ボーリング調査では、0.78~1.62、縦断探査との比較では、1.02~0.96となった。点情報だけでは大きな散らばりが発生する。線情報の散らばりは少ない。

しかしここで注意しなければならないのは、電磁波レーダによる線情報は、ボーリング調査やCCDカメラ探査の点情報とキャリブレーションにより、含水比により変化するコンクリート比誘電率の設定を行うものであることである。クロスチェックにより精度の高い計測が可能となる。頻度が精度に関係しており経済性を勘案して対応が求められるであろう。

③空洞推定量とグラウト施工及び実績充填量の差の考察検証

空洞材料はエアミルクを選定し、空洞を充填するための坑入口、坑出口は土砂厚が薄いためそれぞれ6m離れた地点から天端に注入孔を設定し、トンネル延長114mに対し18箇所の注入孔を設けた。注入孔の隣接孔からリーク等があり、設計注入圧0.1~0.2MPaに対し7箇所孔からの注入となった。最大0.15MPaで総注入量は、50.4m³となった。グラウト注入材硬化後に3



電磁波レーダ探査



CCDカメラ探査



ボーリング調査

注2) H20年度調査の実施状況写真

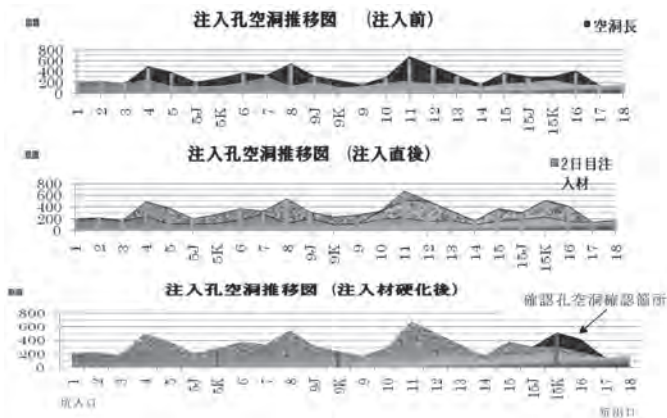


図-4 実績注入状況

注3) グラフの縦軸は覆工方向厚さ(単位mm)、横軸は水平方向測点位置を示す。

注4) No.数字J(充填状況確認孔)、No.数字K(充填完了確認孔)を示す。

箇所の確認孔を設け、No.5 K孔とNo.9 K孔では隙間なく充填され、No.15 K孔では21cmの空洞が確認された。しかし、No.15孔について0.15MPaまで上昇している。一度はグラウトで満たされたが周辺の地下水の影響で地山岩盤の亀裂に生じた水みちからリークした可能性が考えられる。また確認孔空洞確認箇所に可塑性材の注入も考えられるが空洞が小さく構造的影響が小さいと判断し作業を終えた。トンネル覆工地山調査結果、地下水位が懸念されると可塑性材で設計することもあるが、トンネル空洞を第一段階で比較的安価なエアミルク、エアモルタルで充填、グラウト硬化後の確認孔で処理できなかった空洞量に対し可塑性材を行うなどの手法も有効と思われる。いずれ実際空洞充填工事の場合、現地の地盤状況や施設重要度を勘案しての対応となる。

(参考) 横断26断面による推定空洞量(26.9m³(H20年調査)、25.6m³(H21年調査))に対し1.87(H20年調査)~1.97(H21年調査)、縦断3測線のみによる推定空洞量に対し1.87(H20年調査)~1.54(H21年調査)という比率となった。2倍弱の実績量となったが、その原因については①地山内への浸透②緩み・崩落土内への浸透③空洞の見落としがあるのではないかという結論となった。

低圧といえども圧力による浸透量の把握は、土質や含水量、亀裂状況や地下水の影響、その他現場条件が影響するため、現時点では調査の段階で正確なグラウト量の把握は困難を極めている。データベース化され、条件等が整理された段階でより精度が増すものと思われる。そのためには調査フォーマットを精査した上で工事实施後に記載して整理するなどを行う。これらは、トンネル工事に携わる者全般に課せられた課題であろう。

④トンネル重要度に応じて必要とされる診断項目の提案・取りまとめ

東北農政局管内ではトンネル規模として、最小2r=1.5m~最大2r=5.0mの水路トンネルが建設されている。このトンネル規模は一部の管理用トンネルを除いて受益面積と比例関係にあることから、施設の規模・重要度を指標として取り扱うこととした。施設重要度の評価事例を示す。

受益面積による施設重要度区分

区分	受益面積A (ha)	対象路線・区間	備考
I	A ≥ 10,000	幹線用水路	
II	10,000 > A ≥ 3,000	幹線用水路、支線用水路	
III	3,000 > A		

社会的影響による施設重要度区分

区分	社会的被害	対象区間	備考
I	社会的被害の可能性大(非農業部門への相当程度の影響)	宅地・工場隣接区間 道路下区間	
II	非農業部門への影響あり	—	
III	非農業部門への影響なし	その他区間 Iの対象区間以外の区間	

施設重要度の総合評価判定

		受益面積		
		I	II	III
社会的被害	I	AA: 宅地・工場隣接区間		B
	A: 道路下区間			
	II	A	B	B
III	B: その他区間		C	

設計基準「水路トンネル」では、改修及び補修のための調査として、以下の調査項目が示されている。

2.7.1 調査項目

改修及び補修工事のための調査は、既設トンネル内の作業を伴うことが多いので、地山の崩壊や酸欠等に十分注意して、安全を確認しながら行う。

一般に、改修及び補修工事のための調査項目には、次のようなものがある。

- ① 坑内路線測量
- ② ボーリング調査(既設ライニング及び周囲の地山を対象)
- ③ 坑内地質踏査(無ライニングの場合)
- ④ 試料試験(一軸圧縮強度、密度、超音波速度等)
- ⑤ 湧水調査
- ⑥ 漏水調査
- ⑦ ライニングの状況(変形、亀裂、摩耗、劣化、目地、剝離等の状況)
- ⑧ ライニング厚さの現況
- ⑨ ライニング背面の空隙状況
- ⑩ 地表の路線測量(土かぶり調査等)

土地改良事業計画設計基準  
設計「水路トンネル」(P.152)

トンネル変状として地圧(塑性圧・緩み圧・変圧)による覆工のひび割れ等もあり、変状が確認されるトンネルは地山の地質特性の把握が必要である。

また調査の段階において、地山の種類によって一般的に選定される調査方法が示されている。既設トンネルの機能診断では、工事实施調査の段階となる。

トンネル機能診断調査では、調査の段階と施設の重要度及び変状に応じた診断フローによる体系化が望ま

表-2.3.1 地質調査の段階と調査方法

調査の段階	調査方法	資料調査	空中写真判読	現地踏査	地表面踏査	弾性波探査	電気探査	ボーリング	孔内試験				室内土質岩石試験	
									標準貫入試験	物理試験	孔内載荷試験	孔内漏水圧試験		
計画調査	硬岩	○	○	○										
	軟岩・土砂	○	○	○										
基本設計調査	硬岩	○	○	○	○	○		○						△
	軟岩・土砂	○	○	○	○	○		○	○	△	○			○
工事実施調査	硬岩			○	○	○	△	○		△			△	△
	軟岩・土砂			○	○	○	△	○		○	○		△	○

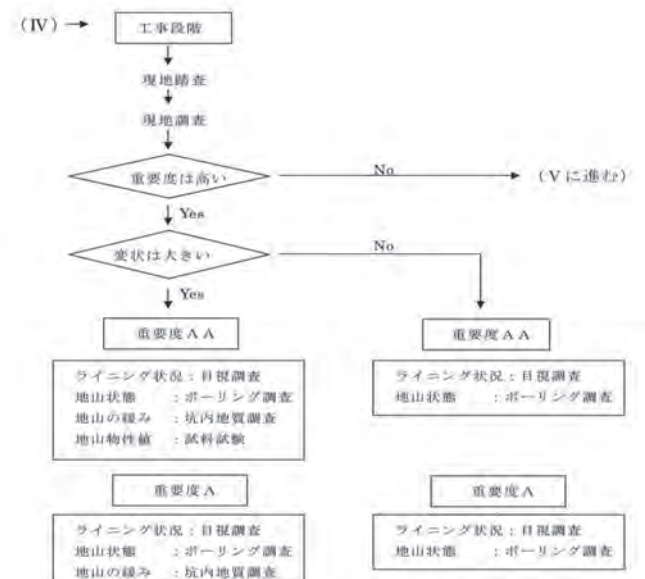
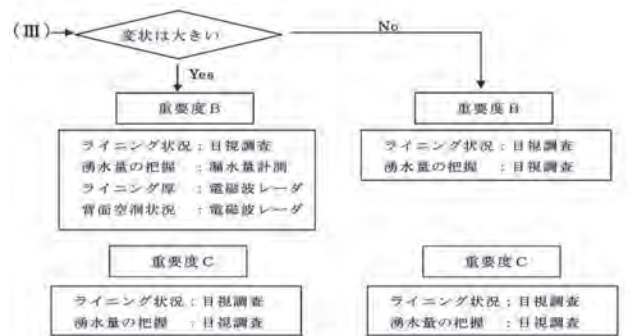
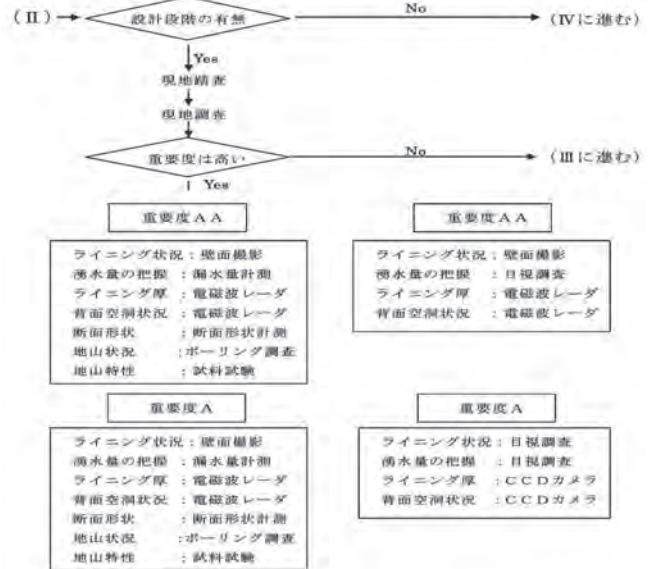
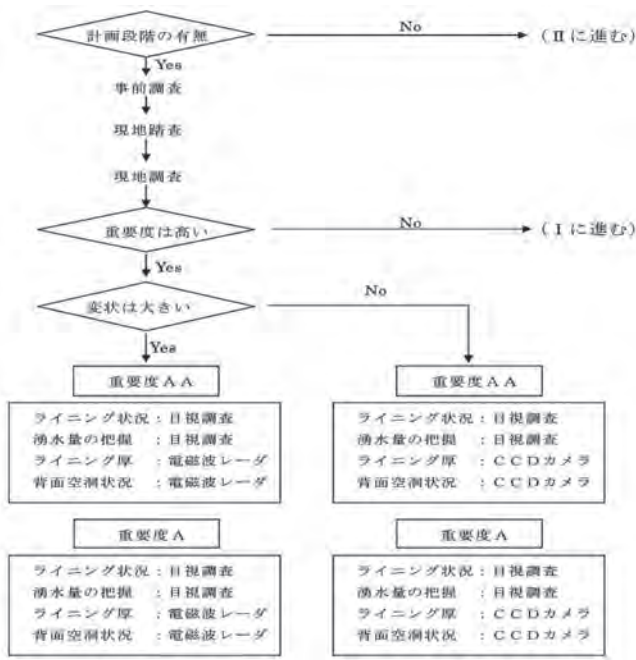
(注) ○：一般に実施する調査 ○：よく実施する調査 △：必要に応じて実施する調査

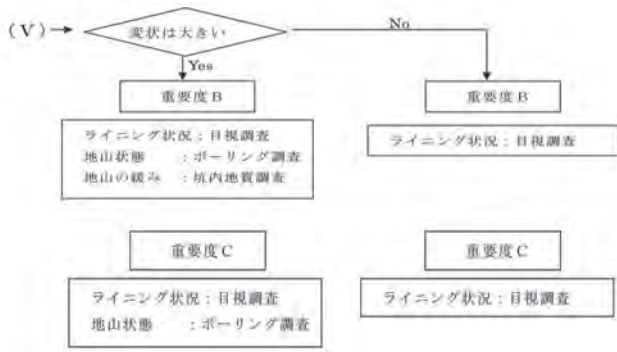
土地改良事業計画設計基準 設計「水路トンネル」(P.92)

しく、診断調査は施設の変状や劣化の進捗程度にじて適宜組合せが重要で、今後診断情報の収集・蓄積により適切な組合せ技術の検証が必要である。

次に現時点で勘案し、今回検討作成した診断フローを示す。

トンネル診断調査フロー





注) トンネル診断に当たっては、地山状態を明らかにするボーリング調査はBTV、地山の状態の坑内地質調査は坑内弾性波探査、孔壁弾性波探査、地山貫入計測などライニング厚さは電磁波レーダや超音波法、CCDカメラ撮影など非破壊、微破壊の診断技術が採用されている。

#### 4. 最後に

今まで、水路トンネルの施工に当たり新設する技術に重点が置かれていたように思われる。

そのため、補修や補強の技術情報は少なく、対策工法を実施するにしても工法の選定などに迷いが生じる。今置かれている状況をつかみ、診断し、原因を特定し、劣化予測を行い、機能保全コストを考えるとといったプロセスとストーリー性を持った考え方を導入する必要がある。また補修、補強技術の現地への適用性などを確認するためにモニタリング調査を行うといった取組も必要であろう。

水路トンネルの診断調査に当たっては、今回提案させていただいたように段階かつ重要度を考慮しての組み合わせ技術によることでコスト縮減や精度の向上が図られるものと思われる。

土木技術は長い年月の中で経験的に構築されてきた。水路トンネルの補修・補強に当たっても、地道に一步一步問題を解決することが我々に課せられた課題と信ずるものである。



# 農業水利施設の変状要因と対策に関する現場実態

橋 爪 康 寿* 原 山 昭 彦*  
 (Yasuhisa HASHIZUME) (Akihiko HARAYAMA)  
 池 田 富 雄** 塩 野 智 美*  
 (Tomio IKEDA) (Tomomi SHIONO)

## 目 次

1. はじめに .....	24	3. 鉄筋コンクリート開水路の対策工法 .....	27
2. 鉄筋コンクリート開水路の変状要因 .....	24	4. おわりに .....	29

### 1. はじめに

現在，高度経済成長期に国営土地改良事業等によって造成された農業水利施設は，順次，更新時期を迎えており，厳しい財政状況の中，既存施設を有効利用し，施設の機能を長期にわたり保全する長寿命化対策の推進が課題となっている。

このためには，農業水利施設の変状要因を十分に把握した上で，施設の要求性能に適した機能診断調査手法や対策工法を選定するための考え方を整理し，多種多様な長寿命化技術の体系化¹⁾及び対策工事の品質確保を図ることが必要となる。

そのため，平成23年4月に土地改良技術事務所内に設置された技術支援センター（関東農政局），保全技術課（各地方農政局）では，鉄筋コンクリート開水路を対象に，機能診断調査・対策工事を実施した事例をもとに，補修や補強等の対策が必要な施設，現場で実際に対策工を実施した施設の使用環境，変状要因，対策工等の関連性について整理した。さらに，施設の劣化状態や変状の程度，対策工の目的，劣化過程等に応じて，実際に現場でどの様に工法等を選定しているか調査した。今後，現場で長寿命化対策を行う場合に，適切な工法選定を行えるよう，これらの調査結果をもとに，長寿命化技術の体系化に向けた評価・分析を行い，技術参考資料を作成していくこととしている。

### 2. 鉄筋コンクリート開水路の変状要因

#### (1)調査事例数

鉄筋コンクリート開水路の変状要因を表-1に示す過去の事例129施設（全国でH19～H21に実施した国営造成水利施設保全対策指導事業とH16～H22に国営

表-1 調査対象施設数

地域	調査対象施設数
北海道	11
東北	15
関東	34
北陸	7
東海	13
近畿	28
中国四国	10
九州	11
計	129

事業で実施された対策工事から選定)を対象に整理した。

#### (2)地域別変状要因の傾向

機能診断調査結果から，変状要因の地域別傾向を調査した。(図-1)

凍害による変状が発生しやすい施設の割合は，北海道，東北，北陸，関東地域の順で，アルカリ骨材反応による変状が発生しやすい施設の割合は，北陸，東海地域で多い傾向が見られた。

一方，塩害による変状が発生しやすい施設は全般的に少ないが，北海道，東北，中国四国，九州地域の一部でみられた。

次に，機能診断調査時に判定された施設の使用環境について整理した。(図-2)「最低気温0℃以下」は，北海道，東北地域等の寒冷地，「反応性骨材の使用」は，アルカリ骨材反応の割合が多い北陸地域でみられ，一定の地域性が現れた結果となっている。

なお，複数の使用環境に該当する施設があるため，地域別の総数は100%を超える。

*関東農政局土地改良技術事務所  
 (Tel. 048-254-0529)  
 **関東農政局印旛沼二期農業水利事業所  
 (Tel. 043-483-4401)

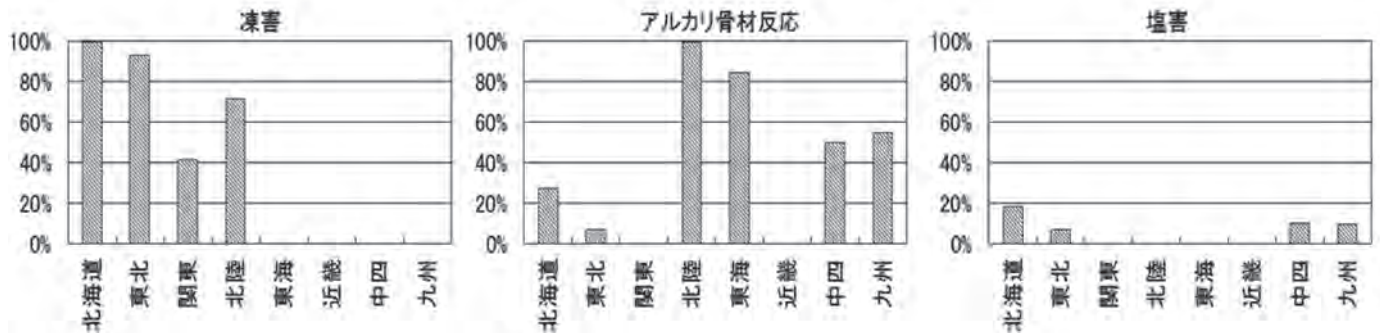


図-1 変状要因の地域別傾向

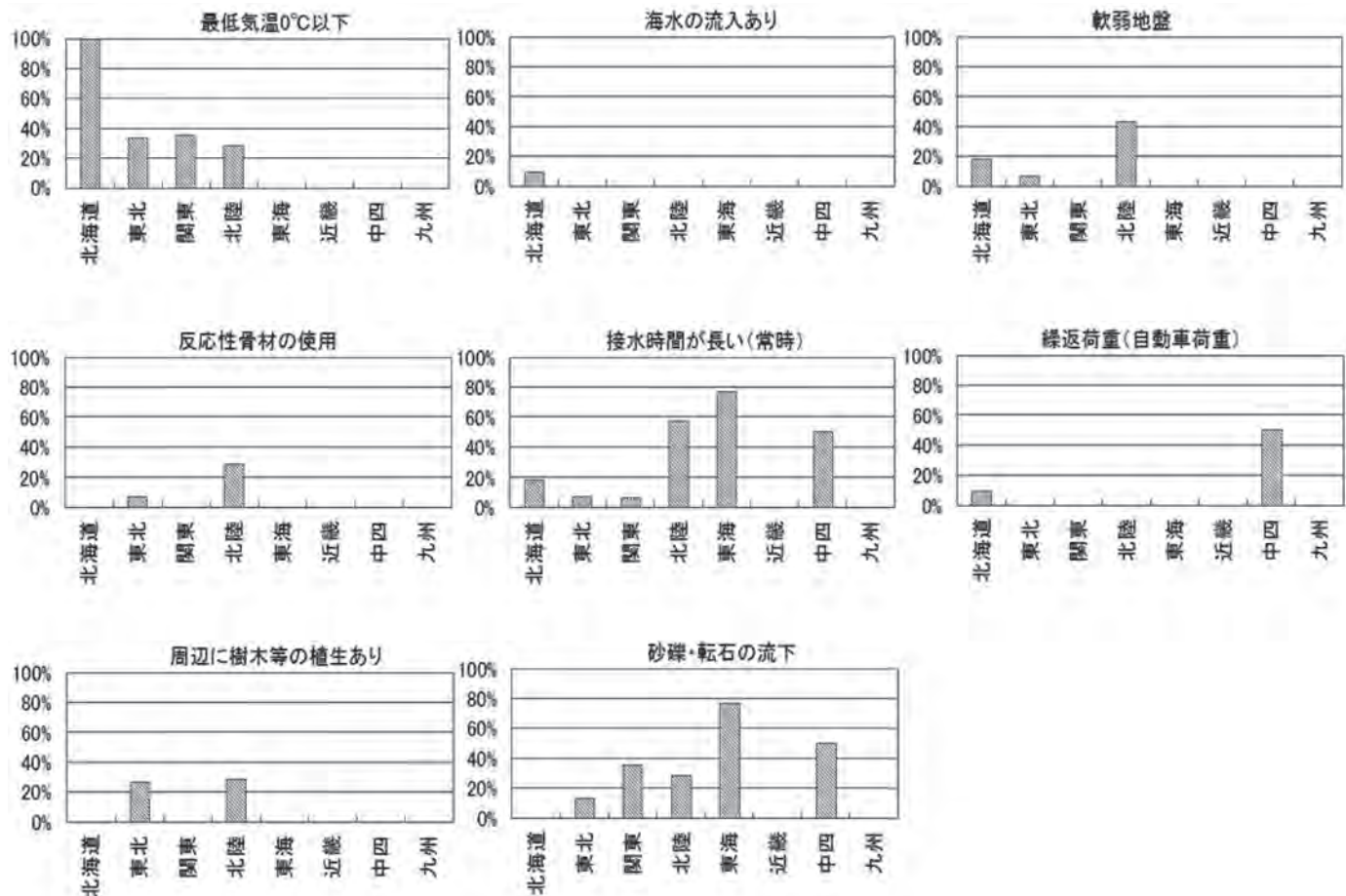


図-2 施設の使用環境の状況（地域別）

### (3)地域別の変状発生状況

今回集計の鉄筋コンクリート開水路の主要な変状発生状況（図-3）は、「摩耗」38%、「ひび割れ」30%、「目地の損傷」16%で、合わせて全体の8割以上を占めた。特に「摩耗」、「目地の損傷」は、他の土木構造物にあまり見られない農業水利施設特有の変状と思われる。

これらについて地域別の傾向を整理（図-4）すると、摩耗は各地域に分布するが、ひび割れは関東、北海道、北陸、九州地域で多く、目地の損傷は近畿、中国四国地域で多い傾向が見られた。

次に、「ひび割れ」の発生要因を整理した。（図-5）最も多かったのは「不明」38%、次いで「初期欠

陥」35%、「凍害」13%であった。

全体の約4割がひび割れの発生要因を「不明」としていることから、現場におけるひび割れ発生要因の判断が難しいことが伺える。

また、地域別のひび割れ発生要因（図-6）は、初期欠陥は東北を除いてほぼ全ての地域で見られているが、凍害は北海道、東北、関東、中国四国地域で見られている。

なお、複数の変状がみられた事例については、主たる変状1種類について整理した。

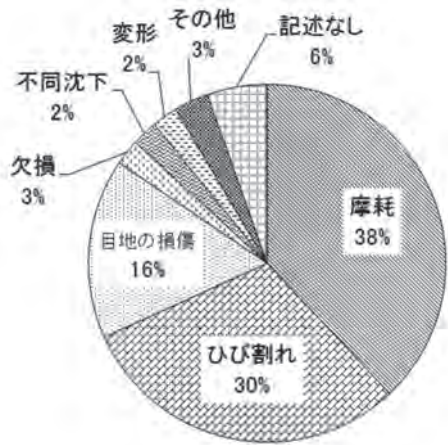


図-3 鉄筋コンクリート開水路に発生した変状

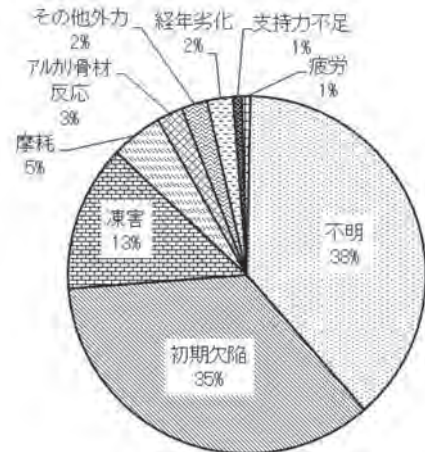


図-5 鉄筋コンクリート開水路のひび割れ発生要因

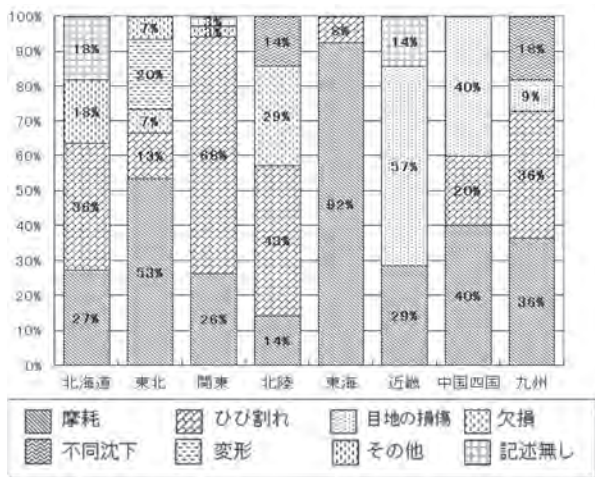


図-4 鉄筋コンクリート開水路に発生した変状(地域別)

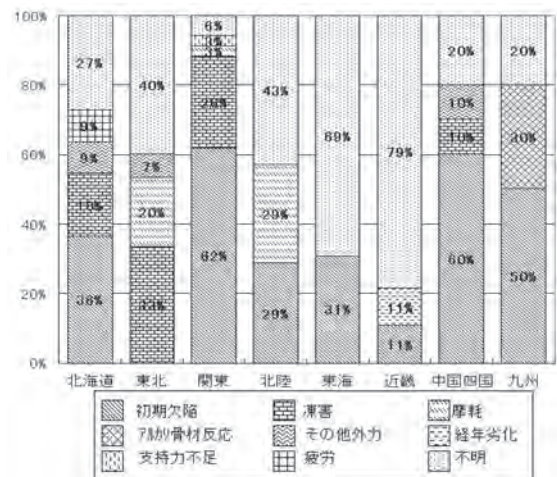


図-6 鉄筋コンクリート開水路のひび割れ発生要因(地域別)

(4) 周辺環境から想定される発生要因との関係

機能診断調査結果によるひび割れ発生要因と、周辺環境から想定される発生要因との関係を整理した。

(図-7)

周辺環境から「凍害」によるひび割れの発生が想定される施設の場合、機能診断調査結果の発生要因は、「初期欠陥」24%、「凍害」94%、「アルカリ骨材反応」0%、「その他外力」60%、「経年劣化」0%、「摩耗」83%、「不明」18%であり、周辺環境が「凍害」が想定される地域であっても「摩耗」や「その他外力」等、凍害以外の要因によりひび割れが発生している。

また、施設の周辺環境から「アルカリ骨材反応」によるひび割れの発生が想定される地域の場合、機能診断調査によるひび割れの発生要因は、「アルカリシリカ反応性骨材の使用」67%によるものが突出しているが、その他にも「摩耗」33%、「初期欠陥」24%、「その他外力」20%と、アルカリ骨材反応特有の発生要因以外によるひび割れも多く発生している。これは、周辺環境から想定されるひび割れ発生要因の他にも様々な要因が絡み合ってひび割れが発生していることが推察される。

一方、施設の周辺環境から「塩害」によるひび割れの発生が想定される地域の場合、特出した結果が出ていない。これは、事例数が少ないことが影響しているのではないと思われる。

なお、複数回答の施設があるため、地域別の総数は100%を超える。

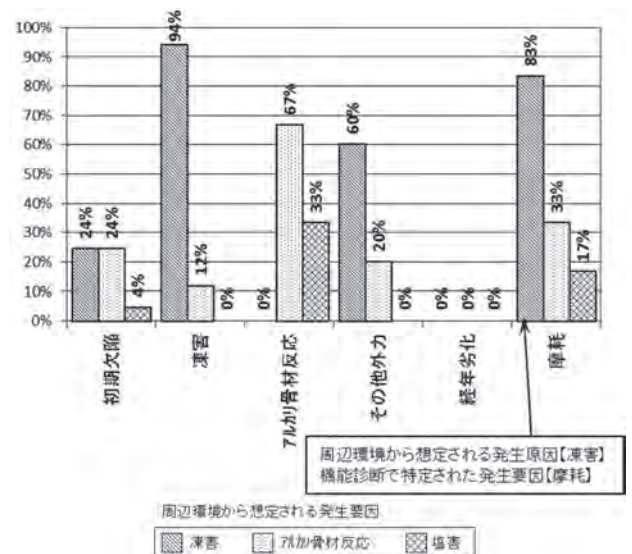


図-7 機能診断調査結果によるひび割れ発生要因と周辺環境から想定される発生要因との関係

### 3. 鉄筋コンクリート開水路の対策工法

#### (1)調査事例数

変状や劣化要因等と対策工法の関係を明らかにするため、鉄筋コンクリート開水路に発生した変状に対して、実際に現場でどのような工法を選定し、対策を実施しているか表-2に示す156施設（H16～H22に国営事業で実施された対策工事から選定）で分析した。

表-2 調査対象施設数

地域	調査対象施設数
北海道	0
東北	5
関東	79
北陸	0
東海	30
近畿	24
中国四国	12
九州	6
計	156

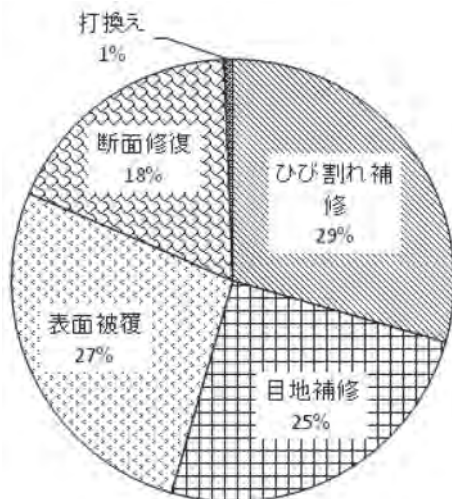


図-8 現場で施工された対策工

#### (2)対策工の種類と変状

現場で施工された対策工の種類（図-8）は、「ひび割れ補修」、「表面被覆」、「目地補修」、「断面修復」等、現場では様々な対策が行われている。これを地域別に整理した結果（図-9）、関東は「ひび割れ補修」、「表面被覆」、「断面修復」が平均的に行われているが「目地補修」は少ない。近畿は「目地補修」が突出している。

次に対策工が施工された施設の変状を整理した結果（図-10）、対象となった変状は、「ひび割れ」41%が最も多く、次いで、「目地の損傷」29%、「摩耗」26%で、この3種類の変状で全体の約9割を占めた。

また、地域別の対策工が施工された施設の変状（図-11）では、関東地域は「ひび割れ」、近畿地域は「目地の損傷」、中国四国地域は「目地の損傷」、「ひび割れ」、九州地域は「摩耗」がそれぞれ突出している。

変状として割合の多い「ひび割れ」、「目地の損傷」、「摩耗」に対して、実際に現場でどのような対策工を施工しているかを整理した結果（図-12）、変状要因別に対策工を使い分けられていることがわかる。ま

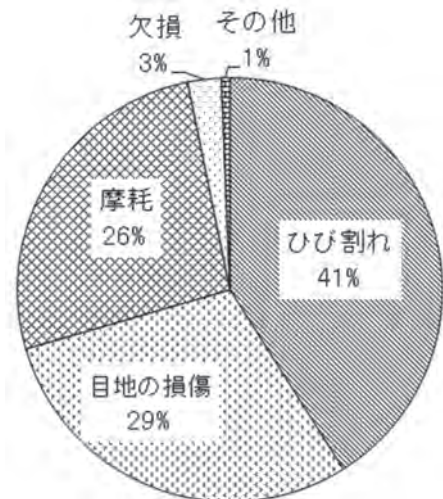


図-10 対策工を施工した施設の変状

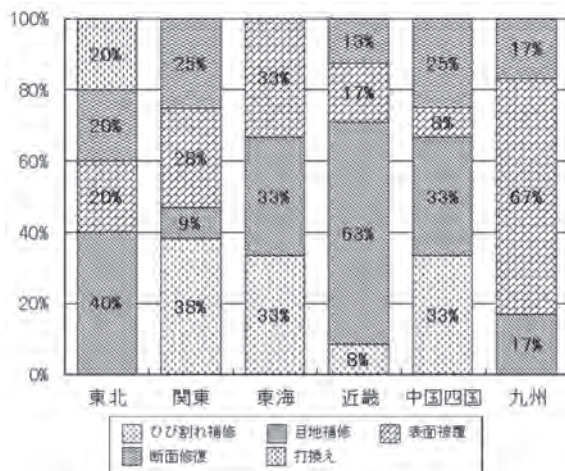


図-9 対策工の実施状況（地域別）

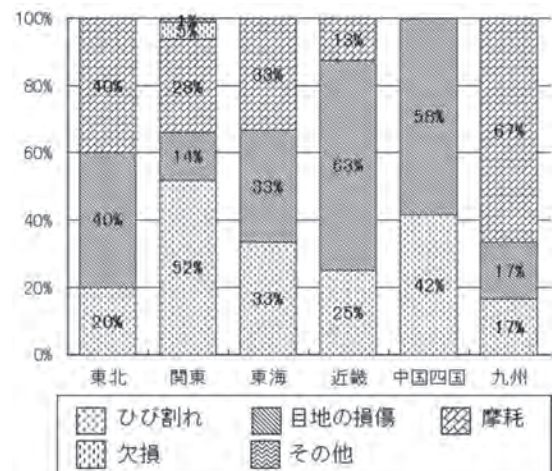


図-11 対策工を施工した施設の変状（地域別）

た、対策工が施工された施設の変状の程度を整理した結果（図-13）では、「ひび割れ」の場合は「部分的」な変状が発生した時点での対策が多い。一方、「目地の損傷」、「摩耗」は「全体的」に変状が発生した時点での対策が多い傾向となった。

この結果から、「ひび割れ」は早期の対策、「目地の損傷」、「摩耗」はある程度広い範囲で変状が発生した場合に実施されることが多いと推察される。

次に、対策工が施工された施設の変状の発生要因を整理した。（図-14）「ひび割れ」の場合は「初期欠陥」が最も多く、次いで「凍害」となっている。目地の損傷の場合は「不明」が約7割以上を占めており、変状が発生した要因が特定されていない場合が多い傾向となった。

今後は、開水路における目地の変状要因を明らかにしていく必要がある。

次に対策工の目的を以下のとおり区分し、変状要因別に整理（図-15）すると以下のとおりとなる。

- ・構造の改善：劣化した部材の耐荷性が懸念される箇所を補強する。
- ・劣化因子の遮断：コンクリート表面を保護し、劣化要因の侵入を遮断する。

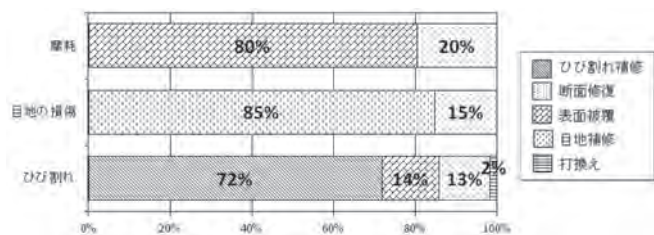


図-12 対策工の状況（変状要因別）

- ・劣化因子の抑制：鉄筋腐食の進行速度を抑制する。
- ・劣化因子の除去：ひび割れ、浮きが生じたコンクリートを取り除く。

「摩耗」、「目地の損傷」に対しての対策工の目的は、「構造の改善」が半数以上を占めている。一方、「ひび割れ」の場合は「劣化因子の遮断・抑制・除去」が7割以上を占めていることから、「摩耗」、「目地の損傷」は、耐荷性がある程度低下した時点での対策、「ひび割れ」は劣化因子への対策が多いことが推察される。

次に、主要変状要因別に対策工の実施に至った劣化過程を整理（図-16）したが、いずれも「不明」としている事例が最も多く、機能診断調査時点での劣化過程の特定が困難であることが伺える。

そのため、対策工の実施に至った劣化過程を「不明」とした施設を除いて整理した。（図-17）「ひび割れ」、「摩耗」は、「Ⅱ進展期」、「Ⅲ加速期前期」の中期段階で対策がとられる傾向がみられる。一方、「目地の損傷」は「Ⅳ劣化期」以降で対策がとられる傾向がみられる。

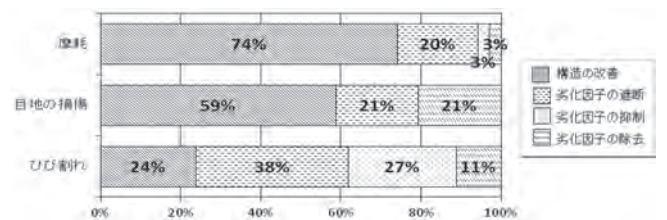


図-15 対策工の目的

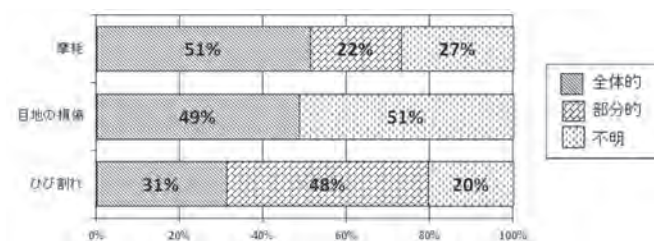


図-13 対策工を施工した変状の程度

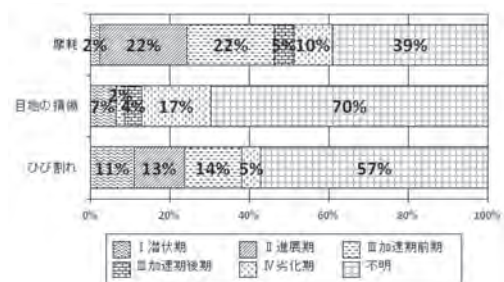


図-16 変状別の劣化過程割合

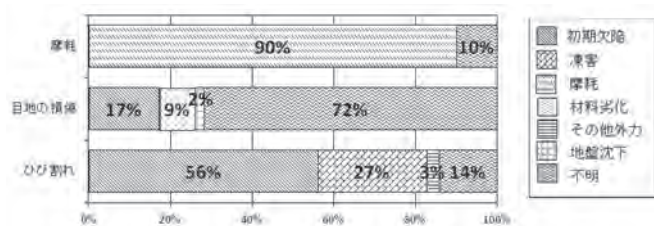


図-14 変状発生要因

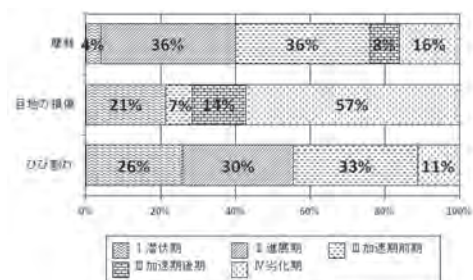


図-17 変状別の劣化過程割合（「不明」を除く）

#### 4. おわりに

今回の整理で、一定の傾向が見られた項目もあるが、データ数が少ないこと、およびデータの偏りにより、劣化変状の地域特性や施設使用環境の整理がまだ不十分であることから、今回の分析結果が必ずしも正しい傾向を示しているとは限らないと思われる。

今後も引き続きデータの蓄積を行い、分析精度を高めることで、農業水利施設における劣化変状の特徴をつかみ、現場における工法選定の充実に繋げていきたい。

最後に、本分析において御協力いただいた関東農政局利根川水系土地改良調査管理事務所保全技術センターならびに各地方農政局土地改良技術事務所保全技術課等、関係者に感謝を申し上げて末筆と致します。

#### 参考文献

- 1) 農業水利施設の長寿命化のための手引き  
農林水産省農村振興局 平成23年5月

# ラオス・タゴン (Tha Ngon) 地区の機能診断調査に基づくLCCの試算

中 村 義 文* 渡 邊 博** 鈴 木 浩 之***  
 (Yoshifumi NAKAMURA) (Hiroshi WATANABE) (Hiroyuki SUZUKI)

## 目 次

1. はじめに .....	30	5. シナリオ作成の基本方針 .....	31
2. タゴン地区の概要 .....	30	6. ライフサイクルコストの算定手法 .....	32
3. 劣化状況 .....	30	7. シナリオ別ライフサイクルコスト .....	33
4. 劣化予測方法 .....	30	8. おわりに .....	35

### 1. はじめに

東南アジアの諸国政府では、最も有効に財源を投資するための、農業用水利施設の改修に関する判断基準を模索している。今回、ラオス・タゴン地区におけるコンクリートブロック張り幹線用水路の機能診断結果を基に、整備工事として低品質のコンクリートブロックの表面張替え、中品質の同工法全面張替え、高品質の鉄筋コンクリートライニングの部分施工、同工法の全線施工という4つのシナリオを設定し、LCC（ライフサイクルコスト）を求め試算として示した。

今回の試算では劣化モデルとして単一劣化曲線モデルとマルコフ連鎖モデルを用いた。単一劣化曲線モデルは、個別施設の対策実施時期の設定に適用しやすく、判断基準が明確であるが、劣化速度が全施設同じになるためグループ毎の整備対策量が固定されてしまう欠点がある。一方、マルコフ連鎖モデルは施設群としての予想に適用しやすく、劣化度の確率分布を求めるため、より現実に近い予測が可能だが、整備対策のタイミングを判断する劣化度の占有率の設定基準が明確でない。したがって、双方の手法の弱点を相互に補完させるため、今回はじめて試算として両モデルを適用し、劣化予測を行った。シナリオ1、2では対策のタイミング判断で単一劣化曲線モデルの結果を、対策整備量はマルコフ連鎖モデルを用い、シナリオ3、4ではタイミング判断及び対策整備量にマルコフ連鎖モデルを用いた。なお、劣化モデルの検討にあたっては、本来、複数年データによることが基本であるが、

本報文は2007年に幹線用水路8kmの機能診断を行い、その結果に基づき4つのシナリオのLCCを比較した。このプロセスを試算として示す。

### 2. タゴン地区の概要

第1期工事は1971年着工、1974年に完成し、1987年から1989年に改修工事援助が行われた。LCC試算は幹線用水路のみを対象とした。調査時点の経過年数は20年である。

①受益面積：水田灌漑800ha（計画）、2007年1月末現在658ha②幹線用水路：コンクリートブロック張り8.8km③用水機場：ポンプ3台④排水機場：固定ポンプ2台 フローティングポンプ1台⑤貯水池：No.1, No.2

### 3. 劣化状況

中村ら¹⁾は施設機能診断マニュアル（調査編）（案）（2004）²⁾の調査表をもとに海外の現地の特性に合わせて変更した水路診断判定区分表を用いて10m毎に評価し1ユニット100mとして点数を求めた。機能診断結果では、A：早急に整備が必要なもの、B：整備の緊急性が低いもの、C：整備の必要がないもの、の3ランクで評価したが、ライフサイクルコストを検討するうえで、さらに細かい評価による対策のシナリオ作成を行うことを想定し、5段階の健全度ランクに対応して評価を行うものとする。機能診断の評価ランクとストックマネジメントマニュアル³⁾の健全度ランクは、表-1のように対応する。

### 4. 劣化予測方法

劣化予測は、個別劣化現象の進行過程に着目したモデルと施設の健全度の統計的推移に着目したモデルに大きく区分される。詳細な劣化予測には個別劣化現象モデルを用いる方が望ましいが、個別の農業水利施設

*（現）環境省関東地方環境事務所（Tel. 048-600-0521）  
 （前）NTCコンサルタンツ（株）

** NTCコンサルタンツ（株）（Tel. 03-3357-6133）

***（現）農林水産省防災課（Tel. 03-3502-8111）  
 （前）財）日本水土総合研究所

表-1 機能診断評価とストックマネジメント健全度の対照表

モデル地区機能診断評価			ストックマネジメントマニュアル における区分			
評価	点数	ユニット数	健全度	ユニット数	健全度分布	
C	整備の必要 なし	0~20 21~40	S-5	26	34.2%	
B	整備の必要 性は低い	41~60 61~80	S-4	38	50.0%	
A	早急に整備 が必要	81~100	S-3	7	9.2%	
		101~120	S-2	5	6.6%	
		121~140				
		141~160	S-1	0	0.0%	
合計		76		76	100%	

がどのような劣化原因で劣化しているのかも明らかにならなならず、本モデルを適用するための十分なデータがないため、本検討では統計モデルの適用が現実的であると判断した。

4-1. 単一劣化曲線モデル

単一劣化曲線モデルの適用においては、対象施設は、新設時点では健全度（S-5）であったと仮定し、以下の式で劣化傾向を近似する。

$$y = ax^2 + 5$$

ここに a：係数

y：健全度（S-1～5）

x：供用年数

図-1に示す単一劣化曲線上の黒丸は機能診断時の供用年数と健全度の交点を示すが、健全度S-5の場合、a=0となり、永久に劣化しないことになるので、便宜的にS-4とS-5の中間値で劣化するものと仮定し、健全度4.5とした。

最も占有率の高いS-4を本地区の代表とすると、本地区の平均耐用年数は概ね40年と推定される。

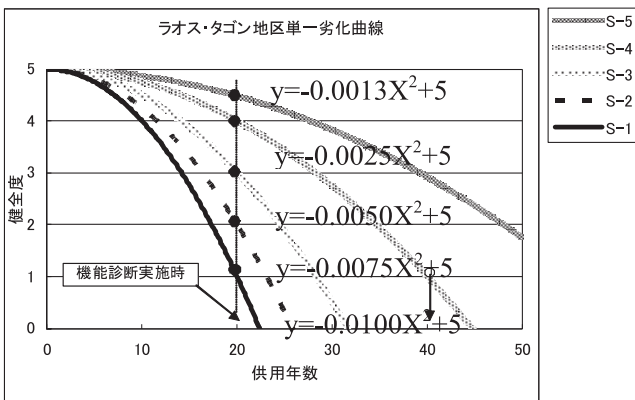


図-1 劣化単一曲線

4-2. マルコフ連鎖モデル

幹線水路全体で診断結果を集計し、健全度がどの程度あるかを整理し、診断時点の各健全度が全体に占める割合を計算する。機能診断時における健全度分布を元に健全度占有率の変化予測を行った結果は図-2に示すとおりである。供用開始時の健全度は全てS-5

とし、機能診断時の健全度ランク分布に一致するように遷移確率を表-2のように求めた。マルコフ連鎖モデルは、ある健全度を示す施設ユニットが、次の年に健全度ランクを落とす確率（p）を表-2のように求め、現状の健全度ランクが維持される確率を（1-p）とする。

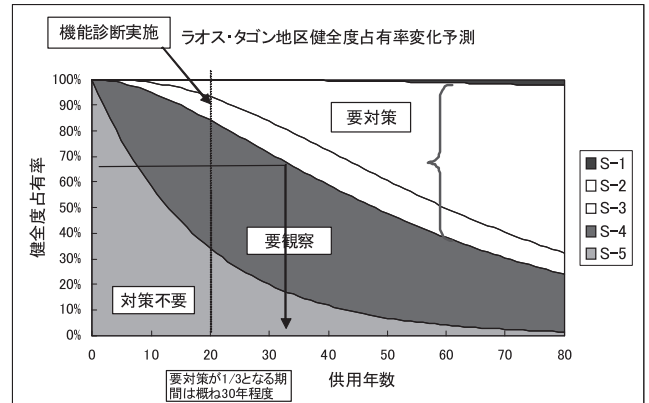


図-2 マルコフ連鎖モデルによる健全度占有率

表-2 遷移確率

$p$	遷移	確率
$p_1$	S5→S4	5.23%
$p_2$	S4→S3	2.50%
$p_3$	S3→S2	8.80%
$p_4$	S2→S1	0.10%

5. シナリオ作成の基本方針⁴⁾

5-1. 対策の実施時期

(1)シナリオ1 単一劣化曲線モデルにより補修・補強整備対策の時期の判断を行う。シナリオ1は機能診断時にS-1～3と評価された施設は直ちに整備対策を実施する。整備後の劣化は、耐用年数20年の劣化曲線とする。

(2)シナリオ2 機能診断時にS-1～2と評価された施設は直ちに整備対策を実施する。整備後の劣化は、耐用年数30年の劣化曲線とする。

(3)シナリオ3及びシナリオ4 一方、水路のような線形施設にあっては、水理ユニット（路線単位）に占める要対策施設の割合から整備対策時期を判断することが一般的である。施設群全体評価の考え方として、施設群における劣化状態の占有率から、以下のような評価方法が提案されている。

（機能診断マニュアル³⁾に準じた考え方）健全度S-3以下の占有率が全体の1/3に達する時期に整備を実施する。（ストックマネジメントマニュアル⁴⁾に準じた考え方）健全度S-3以下の占有率が全体の1/2に達する時期、又はS-2以下の占有率が全体の1/4（25%）に達する時期に対策を実施する。



シナリオ3及びシナリオ4は、この3つの評価方法から、「健全度S-3以下の占有率が全体の1/3に達する時期」を用い整備を実施する。

### 5-2. 整備対策の頻度と対策工法

整備対策の頻度と対策工法の品質はトレードオフの関係にあり、高頻度・低品質整備、中頻度・中品質整備、低頻度・高品質整備の3タイプとし、さらに整備対象が要対策と判断される施設に限定した場合（シナリオ3参照）と全線を整備するケース（シナリオ4参照）を想定する。検討工法は、当該地区で実績のある無筋コンクリートブロック工法をベースとし、高品質工法は、側壁、底版のひび割れ、剥離などに対する抑止効果が高い鉄筋コンクリートライニングを想定する。（表-3）

### 5-3. 工法別の耐用年数

工法別の耐用年数は以下に基づき設定した。

(1)低品質工法（シナリオ1） 劣化部の無筋コンクリートブロック $t=100\text{mm}$ の表面張替えにとどめる。耐用年数は明確でないが、無筋コンクリートブロック全面張替えとした場合の30年より耐用年数は短いと想定されるので、20年と仮定した。

(2)中品質工法（シナリオ2） S-2以下は裏込土の補修を含む無筋コンクリートブロック $t=100\text{mm}$ の全面張替えとする。マルコフ連鎖モデルによる劣化予測を行った場合、上記1. に示す機能診断マニュアルに準じた考え方から、図-2に示すように健全度S-1～S-3の占有率が全体の1/3以上となる時期が概ね32年であることと下記(3)高品質工法より耐用年数は短いと想定されるので、30年と仮定した。なお、図-1に示す単一劣化曲線では最も占有率の高いS-4を本地区の平均とすると、40年程度となるが、耐用年数が短くなるマルコフ連鎖モデルを優先した。

(3)高品質工法（シナリオ3及び4） 単鉄筋コンクリートライニング $t=200\text{mm}$ については実績がないので、日本における農業水利施設の標準耐用年数から耐用年数40年を使用した。

表-3 整備対策のシナリオ

シナリオ	対策頻度	整備段階	対象施設	対策工法品質	耐用年数
1	高頻度 5～10年単位	S-3以下	S-3以下となる水路	低品質工法 無筋コンクリートブロックの表面張替え	20年
2	中頻度 10～20年単位	S-2以下	S-2以下となる水路	中品質工法 無筋コンクリートブロック全面張替え(裏込土の補修含) S-3は低品質工法で対応	30年
3	低頻度 20～40年単位	S-3以下が全体の1/3以上	S-3以下となる水路	高品質工法 鉄筋コンクリートライニング $t=200\text{mm}$ (複鉄筋)	40年
4		S-3以下が全体の1/3以上	全線		

## 6. ライフサイクルコストの算定手法

### 6-1. 基本式

ライフサイクルコストの算定式は以下のとおりである。

$$LCC=C_i + \sum (C_m \times F_{pw}) + C_r \times F_{pw}$$

ここに  $C_i$ : 初期建設コスト

$C_m$ : 対策実施コスト 補修等実態調査からコスト推定, マルコフ連鎖モデルで実施量を推定

$C_r$ : 施設の廃棄・撤去コスト (本検討では考慮しない)

$F_{pw}$ : 現価係数 ( $= 1 / (1 + i)^t$ )

$i$ : 社会的割引率 (資本利子) = 10%

$t$ : 費用発生年次

ストックマネジメントにおいては、現時点から将来にわたる一定期間の対策コストの合計を機能保全コストとして計上するものとし、評価期間は、ストックマネジメントマニュアル (共通編)³⁾ に準じて、保全計画立案時点から40年とする。

$$\text{機能保全コスト} = \sum_{t=1}^{40} (C_{i-m} \times F_{pw}) - \sum_{t=1}^{40} (C_{i-m} \times R_e / D_u)$$

このとき、

$C_i \cdot m$ : 評価期間40年で実施される初期建設・保全対策・廃棄の全ての工事費

$R_e$ : 評価期間終了時点の残耐用年数 (ただし、 $R_e \geq 0$ )

$D_u$ : 個別対策の耐用年数

### 6-2. 保守点検費

当該地区における工法別の保守点検費の実績や劣化による漏水被害等の損失は現段階ではデータが不足しており、保守点検費は考慮しない。

### 6-3. 水路標準図

現在の水路標準図を図-3、水路諸元を表-4に示す。

### 6-4. 整備費用単価

現地の建設単価により求めた整備費用を表-5に示す。

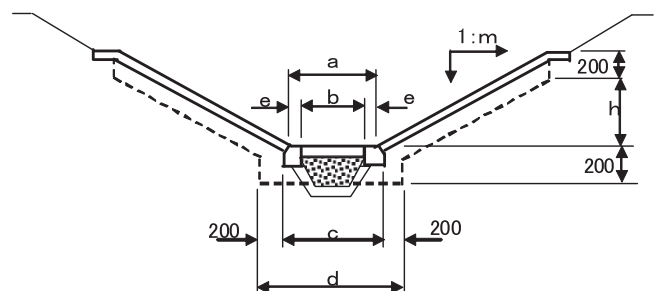


図-3 タゴン地区水路標準断面図

表-4 水路諸元

水路タイプ	総延長	m	a	b	c	d	e	h	※コンクリート量
A	5,300 m	1.25	600	420	720	1,120	90	1,000	500 m ³ /km
B	2,220 m	1.25	500	320	620	1,020	90	800	415 m ³ /km
C	700 m	1.25	400	220	520	920	90	650	335 m ³ /km
D	280 m	1.00	300	150	450	850	75	550	250 m ³ /km
計	7,800 m								

表-5 工法別整備費用 (単位Kp: キップ)

水路タイプ	延長	ブロック表面張替え		ブロック全面改修		RCライニング	
		単価(Kp)	金額(1000Kp)	単価(Kp)	金額(1000Kp)	単価(Kp)	金額(1000Kp)
A	5,300	524.411	2,779.378	721.555	3,824.242	1,508.203	7,993.476
B	2,220	419.529	931.354	585.700	1,300.254	1,202.926	2,670.496
C	700	340.867	238.607	454.688	318.282	958.463	670.924
D	280	255.650	71.582	338.484	94.776	709.133	198.557
計	8,500		4,020.922		5,537.553		11,533.453
m当り			473		651		1,357

6-5. 残存価値

評価期間を40年とした場合、機能保全のための投資が回収されないまま、評価期間を終了するケースが生じる。また土地改良事業は、耐用年数や機能の異なる複数の施設を一体的に整備することが一般的であり、評価期間の経過時点における残存価値が比較的大きい場合が想定されることから、耐用年数を残している施設の残存価値を定額法に基づいて算定する⁵⁾。残存価値は、評価期間最終年においてS-4 (評価B: 対策の緊急性が低い)、S-5 (対策不要) の残存耐用年数と占有率から求めた。

$$\text{残存価値} = \text{建設コスト} \times \text{残存耐用年数} / \text{耐用年数} \times \text{残存S-5, S-4の施設量}$$

$$\text{ここに、建設コスト: 対策整備に要するコスト}$$

$$\text{残存耐用年数: 耐用年数 - 整備後の供用年数} \geq 0$$

$$\text{施設量: マルコフ連鎖モデルから求まる S-5, S-4の占有率} \times \text{総施設量}$$

上式から残存耐用年数が0であれば耐用年数経過後の残存価値は0%となる。

7. シナリオ別ライフサイクルコスト

7-1. シナリオ1

①機能診断時にS-1~S-3と評価された施設は無筋コンクリートブロック表面張替え。②整備後の劣化は、図-4に示す耐用年数20年の劣化曲線。残存耐用年数20年 (= 20年 - (2048 - 2048)) ③整備時期はほぼ等間隔のため、単一劣化曲線に従って表-6のように整備時期を決定する。対策時期に基づいてマルコフ連鎖モデルにより健全度占有率の変化を求めると図-5のようになる。各対策時期の整備量はほぼ同水準であり、対策時期の選定は妥当であると判断できる。なお評価期間最終年度(2048年)は、対策時期と重なっており、残存価値は100% (表-7)となる。現価係数は、 $1 / (1 + i)^t$  に社会的割引率(i) 10%と経過年(t)を適用して求めた。現価累計は、現在価値を表-8で得た必要経費(整備費)に現価係数を乗じて求め、それを累計した。残存価値は、S-4

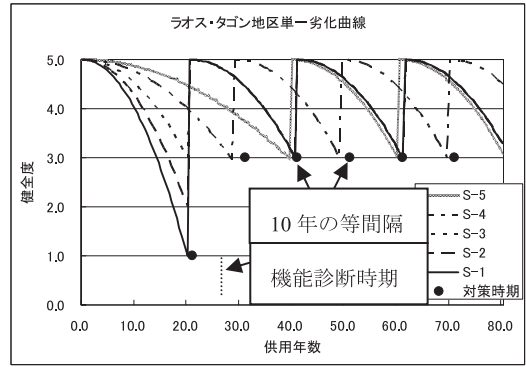


図-4 S-3で整備を行った単一劣化曲線 (シナリオ1)

表-6 対策時期の決定 (シナリオ1)

	劣化曲線による対策時期		補整(計画) 対策時期		備考
1	21年	2008年	21年	2008年	評価期間
2	29年	2016年	31年	2018年	
3	40年	2027年	41年	2028年	
4	49年	2036年	51年	2038年	
5	61年	2048年	61年	2048年	
6	70年	2057年	71年	2058年	評価期間外

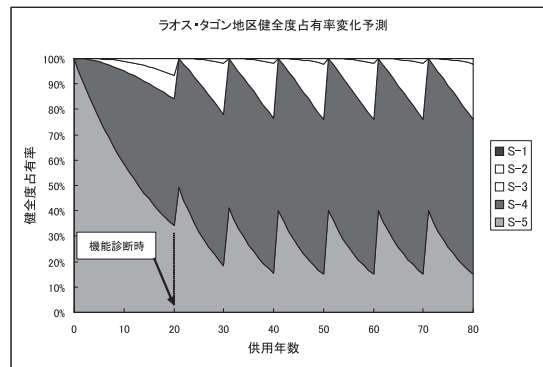


図-5 各健全度施設の対策整備量 (シナリオ1)

表-7 評価期間における対策時期と整備量 (シナリオ1)

シナリオ1(ラオス・タゴン地区)

健全度	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	残存
	2008年	2018年	2028年	2038年	2048年	2048年
S-5	34.2%	18.5%	15.4%	15.0%	15.0%	※39.9%
S-4	50.0%	59.6%	61.0%	61.1%	61.1%	※60.1%
S-3	※9.2%	※20.2%	※21.7%	※21.9%	※21.9%	0.0%
S-2	※6.6%	※1.8%	※2.0%	※2.0%	※2.0%	0.0%
S-1	※0.0%	※0.0%	※0.0%	※0.0%	※0.0%	0.0%
S-1,2,3計	※15.8%	※22.0%	※23.7%	※24.0%	※23.9%	残存率※100.0%

表-8 整備費と残存価値 (シナリオ1)

整備時期	整備費			
	整備量 (%)	整備延長 (m)	単価 (千Kp)	金額 (千Kp)
2008年	15.8%	1343.0	473	635,239
2018年	22.0%	1870.0	473	884,510
2028年	23.7%	2014.5	473	952,859
2038年	24.0%	2040.0	473	964,920
2048年	23.9%	2031.5	473	960,900
残存価値	100.0%	8500.0	473	4,020,500

表-9 現価累計の計算 (シナリオ1)

資本利子率=10.0%

年次	経過年	現価係数	シナリオ1(単位: 千Kp)			
			必要経費	経費累計	現在価値	現価累計
2008	0	1.0000	635,239	635,239	635,239	635,239
2018	10	0.3855	884,510	1,519,749	340,979	976,218
2028	20	0.1486	952,859	2,472,608	141,595	1,117,813
2038	30	0.0573	964,920	3,437,528	55,290	1,173,103
2048	40	0.0221	960,900	4,398,428	21,236	1,194,339
残存価値		0.0221	4,020,500		88,853	1,105,486

とS-5の残存率1.0(100.0%)×総延長8,500m×整備費用473(1000Kp/m)×残存耐用年数20年/耐用年数20=4,020,500(1000Kp)となる。4,020,500(1000Kp)に現価係数0.0221を乗じて求めた残存価値88,853(1000Kp)を控除し1,105,486(1000Kp)が残存価値控除後のLCCである(表-9)。

### 7-2. シナリオ2

①S-1~S-2と評価された施設は無筋コンクリートブロック全面張替え(裏込土の補修含)。S-3は低品質工法で対応。②整備後の劣化は、耐用年数30年の劣化曲線。残存耐用年数は、20年(=30年-(2048-2038))。③整備時期の近いところを、整備間隔15年で平準化する。以下シナリオ1と同様に、残存率0.721(72.1%)、総延長8,500m、整備費用651(1000Kp/m)、20年/30年、現価係数0.0221、求めた残存価値を控除したLCCは1,090,295(1000Kp)(図-6, 7, 表-10, 11, 12, 13)。

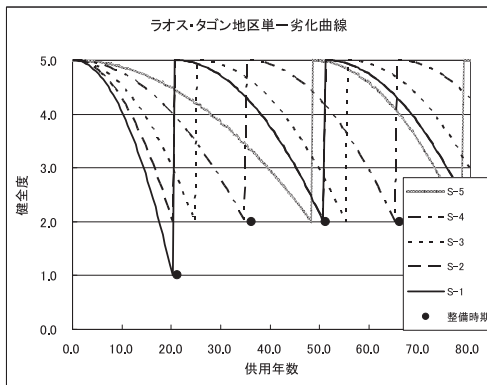


図-6 S-2で整備を行った単一劣化曲線(シナリオ2)

表-10 対策時期の決定(シナリオ2)

	劣化曲線による対策時期		補整(計画)対策時期		備考
	年	年	年	年	
1	21年	2008年	21年	2008年	評価期間
2	25年	2012年	36年	2023年	
3	35年	2022年			
4	48年	2035年	51年	2038年	
5	57年	2044年			
6	61年	2048年	66年	2053年	評価期間外
7	71年	2058年			

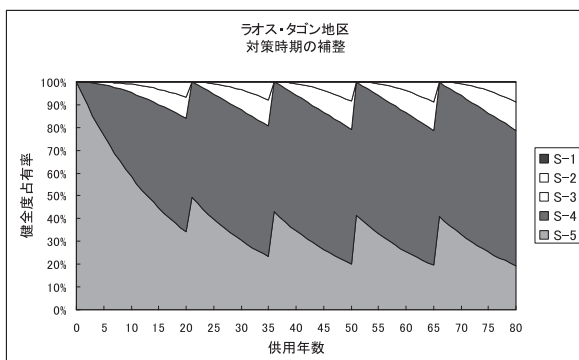


図-7 各健全度施設の対策整備量(シナリオ2)

表-11 評価期間における対策時期と整備量(シナリオ2)

シナリオ-2(ラオス・タゴン地区)

健全度	第1回	第2回	第3回	残存
	2008年	2023年	2038年	
S-5	34.2%	23.3%	20.3%	※24.2%
S-4	50.0%	57.3%	59.0%	※60.7%
S-3	9.2%	11.6%	12.3%	10.3%
S-2	※6.6%	※7.8%	※8.5%	4.7%
S-1	※0.0%	※0.1%	※0.0%	0.1%
S-1,2計	※6.6%	※7.9%	※8.5%	残存率※84.9%

表-12 整備費と残存価値(シナリオ2)

整備時期	整備費				S-3対応費用				合計(千Kp)
	整備量(%)	整備延長(m)	単価(千Kp)	金額(千Kp)	整備量(%)	延長(m)	単価(Kp/m)	金額(千Kp)	
2008年	6.6%	561.0	651	365,211	9.2%	782.0	473	369,886	735,097
2023年	7.9%	671.5	651	437,147	11.6%	986.0	473	466,378	903,525
2038年	8.5%	722.5	651	470,348	12.3%	1045.5	473	494,522	964,869
残存価値	84.9%	7216.5	651	3,131,961					3,131,961

表-13 現価累計の計算(シナリオ2)

資本利子率=0.10

年次	経過年	現価係数	Bシナリオ-2			
			必要経費	経費累計	現在価値	現価累計
2008	0	1.0000	735,097	735,097	735,097	735,097
2023	15	0.2394	903,525	1,638,622	216,304	951,401
2038	30	0.0573	964,869	2,603,491	55,287	1,006,688
残存価値		0.0221			69,216	937,472

### 7-3. シナリオ3

①S-1~S-3の占有率が全体の1/3に達した時点でS-1~S-3の施設を高品質工法の鉄筋コンクリートライニングt=200mm(複鉄筋)で整備。②耐用年数は40年、整備のタイミングは、単一劣化曲線は用いず、マルコフ連鎖モデルによる。残存耐用年数は、37年(=40年-(2048-2045))。以下シナリオ1, 2と同様、残存率0.959(95.9%)、整備費用1,357(1000Kp/m)、37年/40年、現価係数0.0221、求めた残存価値を控除したLCCは1,941,651(1000Kp)(図-8, 表-14, 15, 16)。

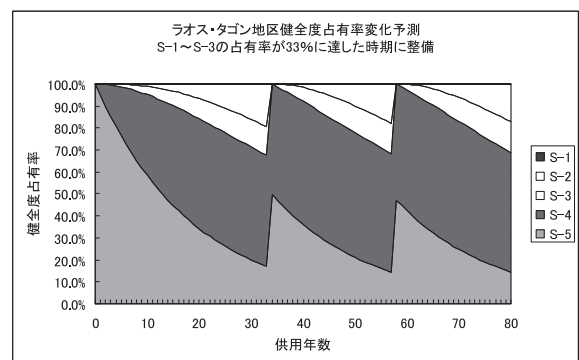


図-8 各健全度施設の対策整備量(シナリオ3)

表-14 評価期間における対策時期と整備量(シナリオ3)

シナリオ-3(ラオス・タゴン地区)

健全度	第1回	第2回	残存
	2021年	2045年	
S-5	17.0%	14.5%	※40.0%
S-4	50.5%	53.6%	※55.9%
S-3	※13.0%	13.9%	3.7%
S-2	※19.3%	17.8%	0.3%
S-1	※0.2%	0.2%	0.0%
S-1,2,3計	※32.5%	31.9%	残存率※95.9%

表-15 整備費と残存価値 (シナリオ3)

整備時期	整備費			
	整備量 (%)	整備延長 (m)	単価 (千Kp)	金額 (千Kp)
2021年	32.5%	2762.5	1,357	3,748,713
2045年	31.9%	2711.5	1,357	3,679,506
残存価値	95.9%	8151.5	1,357	10,231,967

表-16 現価累計の計算 (シナリオ3)

資本利子率=0.10

年次	経過年	現価係数	C.シナリオ-3			
			必要経費	経費累計	現在価値	現価累計
2021	13	0.2897	3,748,713	3,748,713	1,086,002	1,086,002
2045	37	0.0294	36,795,060	40,543,773	1,081,775	2,167,777
残存価値		0.0221	10,231,967		226,126	1,941,651

7-4. シナリオ4

①S-1~S-3の占有率が全体の1/3に達した時点で全線の整備を行う。②耐用年数は40年、整備のタイミングは、単一劣化曲線は用いず、マルコフ連鎖モデルによる。残存耐用年数は、12年(=40年-(2048-2020))。以下シナリオ1, 2, 3と同様、残存率0.752(75.2%)、整備費用1,357(1000Kp/m)、12年/40年、現価係数0.0221、求めた残存価値を控除したLCCは3,284,037(1000Kp)(図-9, 表-17, 18, 19)。

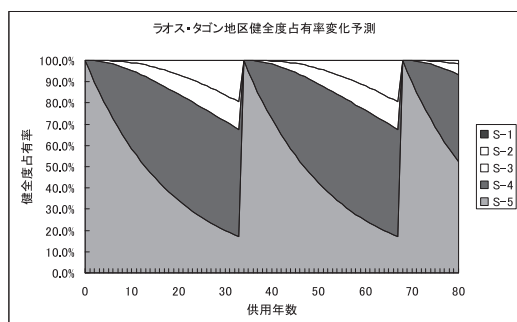


図-9 各健全度施設の対策整備量 (シナリオ4)

表-17 評価期間における対策時期と整備量 (シナリオ4)

シナリオ-4(ラオス・タゴン地区)

健全度	第1回	残存
	2021年	2048年
S-5	17.0%	※23.4%
S-4	50.5%	※51.8%
S-3	※13.0%	11.8%
S-2	※19.3%	12.9%
S-1	※0.2%	0.1%
計	※32.5%	残存率※75.2%

表-18 整備費と残存価値 (シナリオ4)

整備時期	整備費			
	整備量 (%)	整備延長 (m)	単価 (千Kp)	金額 (千Kp)
2021年	100.0%	8500.0	1,357	11,534,500
残存価値	75.2%	6392.0	1,357	2,602,183

表-19 現価累計の計算 (シナリオ4)

資本利子率=0.10

年次	経過年	現価係数	D.シナリオ-4			
			必要経費	経費累計	現在価値	現価累計
2021	13	0.2897	11,534,500	11,534,500	3,341,545	3,341,545
残存価値		0.0221	2,602,183		57,508	3,284,037

7-5. シナリオの比較

図-10に示すように残存価値を含めたLCCが最も低くなるシナリオは、シナリオ2中頻度・中品質整備の現価累計937,472(1000Kp)が最も低くなった。

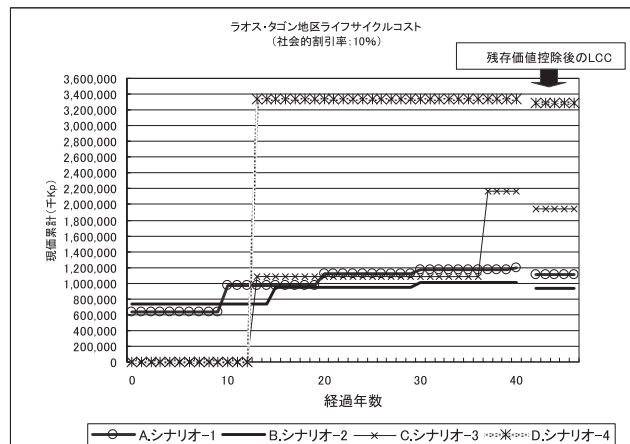


図-10 シナリオ別ライフサイクルコスト

8. おわりに

同様にシナリオ別LCCの比較を行った他地区の事例では、高頻度・低品質整備が最も低くなった。これは当地区の整備費はシナリオ1の473(1000Kp)/mからシナリオ2の651(1000Kp)/mへ増加したが、耐用年数が20年から30年への増加することによるLCCへの影響度合いが幾分か大きかったためである。

対策工法は整備費用のみならず耐用年数、対策頻度にも関係するため、対策工法の選択によりLCCが異なることを認識して対策工法を選択する必要がある。

調査の実施に当たっては、農林水産省国際協力課他関係者のご指導を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村義文, 皆川 猛, 白山 幸一, 鳥越 和貴: 東南アジアにおける灌漑施設の機能診断調査法, 農業農村工学会誌76(5), pp.29~34, (2008)
- 2) 農業水利施設機能診断技術調整連絡会: 施設機能診断マニュアル(調査編)(案), p. I-33, 表-7-6, p. II-86, pp. II-62~68, (2004)
- 3) 保全対策センター: 農業水利施設ストックマネジメントマニュアル共通編, p. 共-57.-85, -89, -92 (2007)
- 4) 財日本水土総合研究所: 平成19年度効率的な農林業経済協力に関する調査委託事業報告書(2008)
- 5) 大成出版社: 新たな土地改良の効果算定マニュアル, p.41 (2007)

# 大口径パイプラインの機能診断事例について

愛 岩 徳 行*  
(Tokuyuki ATAGO)

## 目 次

1. はじめに .....	36	4. 健全度評価 .....	39
2. 宮竹サイホンの概要 .....	36	5. 対策工法の検討 .....	40
3. 機能診断調査 .....	37	6. おわりに .....	41

### 1. はじめに

石川県の手取川流域に広がる水田地帯は、扇状地に広がる肥沃な土壌と白山連峰を水源とする豊富な水量により、県内で随一の穀倉地帯を形成している。白山市鶴来に位置する白山頭首工は、昭和12年に手取川水力発電株式会社により築造され昭和24年に農林水産省により嵩上げ工事が実施されて現在に至っており、手取川両岸に広がる農業用水を一括取水する施設となっている。白山頭首工から取水された農業用水は、手取川流域の8,600haの農地へ配水されている。

白山頭首工より取水された農業用水は、幹線水路に設けられた背割り分水工で分水され、手取川七ヶ用土地改良区が管理する右岸側の5,800haと宮竹用土地改良区が管理する左岸側の2,800haの農地へ配分される。分水後は、右岸側から左岸側へ手取川の河床下を

φ2,400mmの鋼管製の管水路で渡河するサイホン形式となっている。

このサイホンは、宮竹用水への導水を行う施設であることから「宮竹サイホン」と呼ばれ40年以上に渡り安定的に農業用水を供給している。本施設は、逆サイホン形式となっていることから、停水期でも常に水が抜けられないため40年以上常時水につかった状態となっていた。

これまで管内の機能診断調査が実施されたことはなかったが、平成21年に初めて水を抜いての機能診断調査と対策工法の検討を行った。本報では、逆サイホン形式の鋼管における機能診断の手法と保全対策工法について報告を行うものである。



図-1 石川県と宮竹サイホン

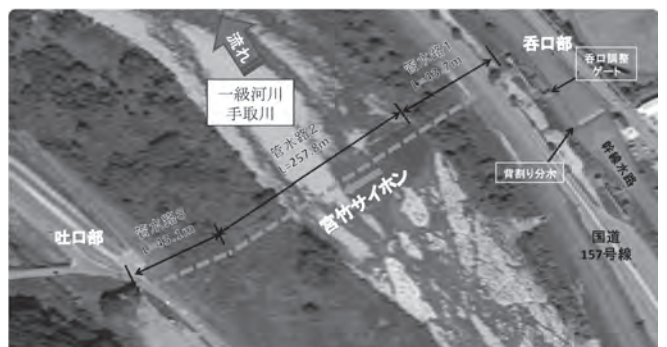


写真-1 調査位置

### 2. 宮竹サイホンの概要

#### (1) 諸元

宮竹サイホンは、1968年に鋼管で築造されており、通水量はピークの代かき期（4月20日～5月3日のうち1週間）で13.33m³/s、その他のかんがい期（4月13日～9月10日）で10.2m³/sであり、このほかに非かんがい期には水路維持用水として4.87m³/sの流量が流下している。

* (現)北陸農政局整備部設計課 (Tel. 076-232-4706)  
(前)北陸農政局西北陸土地改良調査管理事務所



写真-2 宮竹サイホン鋼管の全景（造成時）

## (2) 構造

宮竹サイホンは分水してから呑口部のコンクリート水槽とトランジション部を流下し、340.8mの鋼管部分を経て吐口部の水槽へと吐出しされる。管路は、流入口から手取川の河床に向かって河川堤防下に勾配約1/3.7で埋設され、河床部の勾配変化点まで43.4mの延長となっている。さらに手取川をほぼ垂直に勾配1/208.6で対岸の変化点まで255.8m、さらに河床部から吐口に向けて勾配1/4.2で上り41.6mの延長となっている。堤防埋設部分はコンクリート巻き立てされており、鋼管の厚みは12mm、河床下は18mmの厚みで設計されている。

## 3. 機能診断調査

### (1) 潜水調査

管内の水を抜き取って調査を実施するのに先立ち、鋼管の概略の状態を把握する目的で潜水夫による調査を実施した。

調査項目は鋼管の機能診断項目である定量調査のうち、潜水夫による調査が可能で水を抜いた際の安全性を判断できる項目として、錆の発生状況、管厚及びたわみ量を計測することとした。

測定位置は管の曲がり部と土被りの最大・最小部及び被り厚の変化点とした。

#### ①調査結果

水中カメラによる目視では、管内に錆が瘤上に点在しているほか、管の底面は砂による摩擦で塗装が削られている状況が確認できた。また管厚とたわみの測定の結果を表-1に示す。

表-1 潜水夫による調査結果

測定位置(バレル)		最小管厚 (部位)	たわみ (%)
上流曲がり部	バレル29	17.0mm(底)	0.4%
最小土被り部	バレル100	16.3mm(底)	1.7%
最大土被り部	バレル127	16.7mm(底)	3.5%
下流曲がり部	バレル155	16.8mm(底)	0.8%

#### ②安全性の判定

調査結果を踏まえ、座屈及びたわみに対する観点から判定を行った。

### 1) 座屈に対する検討

水中で測定した管厚の結果を基に、外圧に対して管が安全であるか検討を行った。鋼管の許容座屈応力 $P_k$ は、土地改良事業計画設計基準 設計「水路トンネル」より次式で示される¹⁾。

$$P_k = \frac{\sigma_N}{\frac{R}{t} \left( 1 + 0.35 \frac{R}{t} \cdot \frac{(\sigma_F^* - \sigma_N)}{E_c^*} \right)} \cdot \frac{1}{S}$$

$S$ :安全率 (1.5以上)

$R$ :管厚中心半径 (mm)

$t$ :管厚 (mm)

$$\mu: 1.5 - 0.5 \cdot \frac{1}{(1 + 0.002 \cdot E_c / \sigma_F)^2} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_F^*: \mu \cdot \frac{\sigma_F}{\sqrt{1 - \nu - \nu^2}} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

$\nu$ :管材のポアソン比

$\sigma_F$ :材料の降伏点 (kN/mm²)

$\sigma_N$ :変形を生じた部分の管銅板の  
円周方向軸応力 (kN/mm²)

$$E_c^*: \frac{E_c}{1 - \nu^2}$$

$E_c$ :管の圧縮弾性係数 (kN/mm²)

ここで、宮竹サイホンの円周方向軸応力 $\sigma_N$ を口径2,400mm、管厚を水中測定での最低値である $t=16\text{mm}$ と設定し、鋼管のヤング係数 $200\text{kN/mm}^2$ 、ポアソン比を0.3として算出すると $86.716\text{N/mm}^2$ である。

また、鋼材の降伏点 $\sigma_F$ を $225\text{kN/mm}^2$ とすると、限界座屈応力は $1.119\text{kN/mm}^2$ となる。

これに対して、鉛直応力はサイホンの最深部で発生するため、最大土被り5m、土の単位体積重量を飽和状態の $20.0\text{kN/m}^3$ と設定し、安全率1.5として $0.186\text{kN/mm}^2$ と算定される。

この結果より、限界座屈応力は鉛直応力より大きいため問題ないと判断した。

### 2) たわみに対する検討

たわみに対する安全性の判定は、土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」による設計たわみ率と比較して判定を行った²⁾。

土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」では許容たわみ率を5% (表-2参照)としており、今回測定した値は許容範囲内であったため、偏土圧や転石等による点加重が発生している可能性は低いと考えられたことから、安全性に問題がないと判断した。

表-2 設計たわみ率

締固めの程度	締固めⅠ	締固めⅡ
許容たわみ率(%)	5	5
たわみ率のばらつき(%)	±2(±1)	±1
設計たわみ率(%)	3(4)	4

注) 締固めの程度は次のとおりとする。

締固めⅠ・・・締固め度90%平均

締固めⅡ・・・締固め度95%平均

(2) 機能診断調査

潜水夫による簡易調査により安全性が確認できたことから、管内の水を排水し機能診断調査を実施した。管内の水は約1,850m³であり、口径100mm及び200mmの水中ポンプを1台ずつ用いて約24時間をかけて排水を行った。

①計測管理方法

鋼管は2mの製品を工場で4mに溶接して現場に搬入し、さらに現場で溶接して施工されている。このため、溶接毎にバレルNoを付して観測の管理を行った。

バレルは、始点の1バレル～25バレルがサイホンの下り傾斜部で延長41.508m、26～156バレルが河床部で延長255.835m、157～179バレルがサイホンの上り傾斜部で延長41.644mである。

これらのバレルのうち勾配変化点や上載加重変化点で12の定点を設定した。

調査は、管の機能診断調査項目として定量的な把握が可能な以下の項目とした。

- 1) たわみ量測定, 2) 塗膜厚測定, 3) 管厚測定,
- 4) 発錆分布調査

②調査結果

- 1) たわみ量測定

表-3 たわみ量測定結果

定点 (バレルNo)	鉛直方向(mm,%)		水平方向(mm,%)	
	測定値	たわみ率	測定値	たわみ率
1(24)	—	—	—	—
2(29)	—	—	—	—
3(46)	241.0	+0.42	238.8	-0.50
4(64)	241.3	+0.54	239.2	-0.33
5(94)	238.8	-0.50	241.4	+0.58
6(100)	234.3	-2.38	245.5	+2.29
7(103)	233.8	-2.58	246.2	+2.58
8(122)	233.0	-2.92	246.2	+2.58
9(127)	231.5	-3.54	247.5	+3.13
10(142)	239.0	-0.42	241.0	+0.42
11(155)	239.0	-0.42	241.2	+0.50
12(166)	—	—	—	—

たわみ量は全ての定点で許容値の5%以内に収まる結果となった。定点4までは鉛直方向のたわみがプラ

スであることから、側面からの圧力が鉛直方向より大きく、それ以降は鉛直方向のたわみがマイナスであり、側面からの土圧より鉛直方向の加重が大きいと推定される。

また、3%を超えたバレルNo.127～142については、鉛直方向にパイプサポートを設置した。

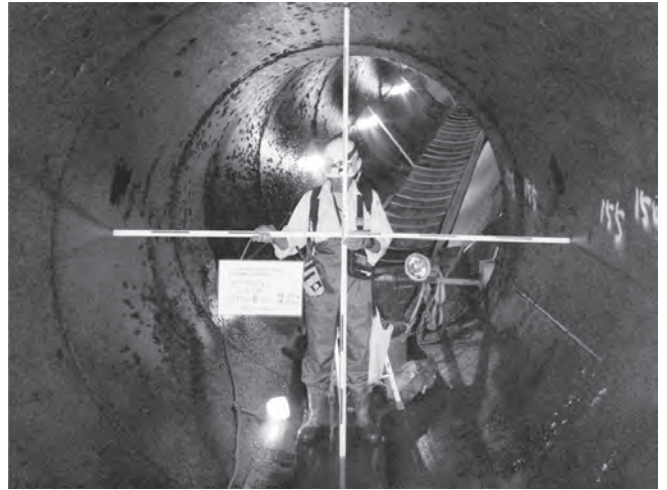


写真-3 たわみ量測定状況

2) 塗膜厚測定

表-4 塗膜厚測定と腐食割合調査結果

定点 (バレルNo)	塗膜厚(μm)				腐食 割合 (%)
	天	左	右	底	
1(24)	160	150	160	0	28%
2(29)	190	150	160	0	39%
3(46)	250	160	190	0	21%
4(64)	110	100	110	0	18%
5(94)	120	140	90	0	19%
6(100)	130	110	100	0	46%
7(103)	150	100	80	0	47%
8(122)	150	120	90	0	26%
9(127)	160	150	200	0	35%
10(142)	150	110	100	0	37%
11(155)	130	90	100	0	27%
12(166)	140	130	100	0	35%

塗膜厚は、管の底面については砂礫により剥離していることが確認された。

また、管の側面及び天井部で錆瘤が発生せずに塗膜が残っている部位において計測を行った結果、100μm以上の塗膜厚が残っていることが確認された。

### 3) 管厚測定

表-5 管厚測定結果

定点 (ハレルNo)	管厚(mm)				錆除去後(mm) (ハレルの最薄値)	
	天	左	右	底		部位
1(24)	11.7	11.8	11.6	11.4	11.0	右
2(29)	17.9	17.7	17.8	17.1	17.5	右
3(46)	17.8	17.7	17.7	17.3	16.5	右
4(64)	17.5	17.5	17.5	16.8	16.3	右
5(94)	17.5	17.7	17.9	17.5	17.2	左
6(100)	17.6	17.8	17.7	17.2	17.6	左右
7(103)	17.5	17.4	17.2	17.1	16.9	右
8(122)	17.7	17.7	17.6	16.9	17.3	左右
9(127)	17.8	17.8	17.6	17.1	16.2	右
10(142)	17.4	17.8	17.5	17.5	16.2	右
11(155)	17.4	17.8	17.5	17.5	16.6	右
12(166)	11.8	11.7	11.7	11.7	11.2	右

管厚の設計値は定点1及び12についてはコンクリート巻立て区間であることから12mm, その他の河床部は18mmである。それぞれの設計値に対して錆こぶを除去した状態で、最薄値は11.0mm及び16.2mmであった。

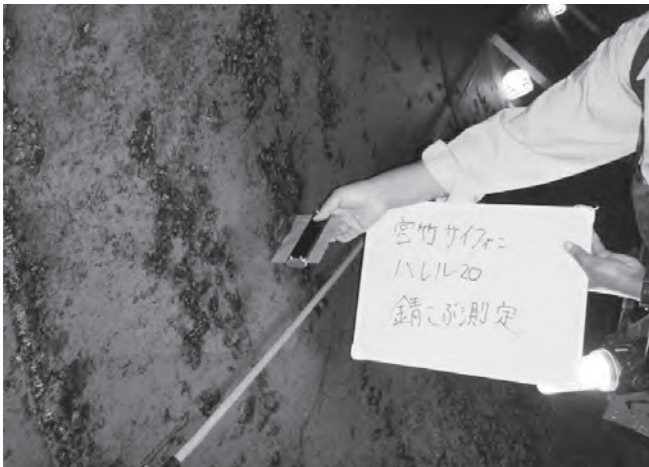


写真-4 錆こぶ測定の状態

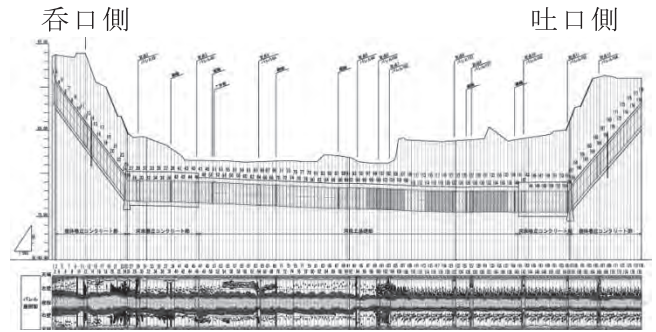
### 4) 発錆分布調査

発錆は全ハレルで確認され、形状の違いを次に示すとおり4分類に分けて発生範囲を調査した。

錆の発生状況の特徴としては、鋼管の底部では砂礫の影響で塗膜層が剥離し、管表面の腐食等も削られて金属光沢が確認される状況であった。管の側面では錆の堆積や錆こぶが広く分布している状況であった。管の天井部位には赤さびの発生が確認された。

また、管の溶接は工場溶接と現場溶接が交互にあるが、現場溶接部については溶接部位に錆こぶが全週に渡り確認された。これは、現場溶接時の火花等により塗膜が損傷したことが原因と考えられる。

定点における錆の発生割合は表-6の通りである。



発生部位	表示記号	備考
管天端		全体的な赤錆(錆第1段階)および部分的な点錆や錆こぶ(錆第2,3段階)
管側面~底面		錆の堆積(錆第2段階)および突起のある錆こぶ(錆第3段階)
管側面		部分的(単独)な錆こぶ(錆第4段階)
管底面		流水・土砂等により管表面の摩耗に伴い、腐食や錆が進行(錆は、錆こぶが摩耗により削られ、全体的に板厚が減少)

項目	表示記号	備考
たわみ		3%以上

図-2 発錆状況展開図

表-6 錆の発生割合

定点 (ハレルNo)	錆の発生割合 (%)
1(24)	14%
2(29)	20%
3(46)	11%
4(64)	8%
5(94)	9%
6(100)	23%
7(103)	24%
8(122)	13%
9(127)	18%
10(142)	19%
11(155)	14%
12(166)	16%

## 4. 健全度評価

### (1) 健全度評価

パイプラインの健全度評価は、「事故履歴・漏水量」、「管内面調査」及び「管外面調査」に区分される³⁾。宮竹サイホンはこれまでに事故は発生しておらず、本調査において漏水は確認されなかったことから、事故履歴・漏水調査は問題がないとした。また、外面調査については河床下に埋設されていることから調査ができなかったため、内面調査を対象に評価を行った。

調査項目の健全度評価に対応して施設の状態を評価



した結果、腐食及び発錆については「S-3：補修レベル」、たわみ及び蛇行・沈下については「S-5：変状無し」と評価された。

表-7 パイプライン施設状態評価と診断結果

評価項目	健全度ランク			
	S-5	S-4	S-3	S-2
内面塗装の劣化	10%未満		10%以上	—
発錆状況	0.3%未満	5.0%未満	5.0%以上	—
たわみ量	5%以下		5%超	—
蛇行・沈下	無し	管口径の1/4未満	管口径の1/4以上	—

□ : 宮竹サイホンの診断結果

注) 健全度ランクの施設状態の区分

- S-5・・・変状なし
- S-4・・・変状兆候(要観察)
- S-3・・・変状あり(補修)
- S-2・・・顕著な変状あり(補強)
- S-1・・・重大な変状あり(改築)(参考)

(2) 劣化予測

劣化予測については、単一劣化曲線モデルやマルコフ連鎖モデルに代表される統計モデルと個別劣化現象モデルに大別されるが、本調査についてもこれらを適用した。

①統計モデル

本施設は、宮竹サイホンのみを対象として劣化予測を行うものであるため、単一劣化曲線を適用して劣化予測を行った。築造の年度、機能診断の評価年度及び健全度ランク「S-3」により劣化曲線を作成した。この結果、S-1までの到達年度は現在より17年後と診断された。

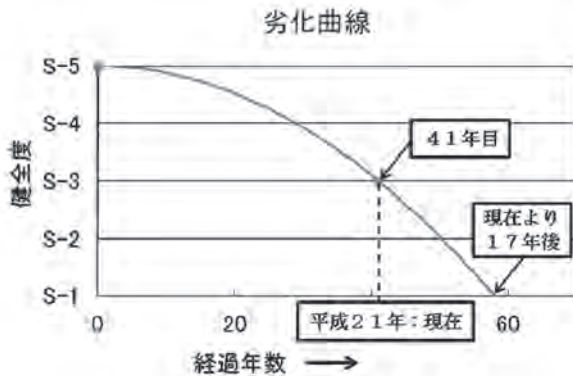


図-3 劣化曲線

5. 対策工法の検討

(1) 対策シナリオ

対策のシナリオについては、補修、補強、改築の3工法を次に示す工法により検討を行った。

- ①補修 モルタル吹きつけによる内面補修
- ②補強 パイプインパイプ (PIP) 工法による管更正補強
- ③改築 推進工法による改築

対策工法を適用したシナリオを図-3に示す。

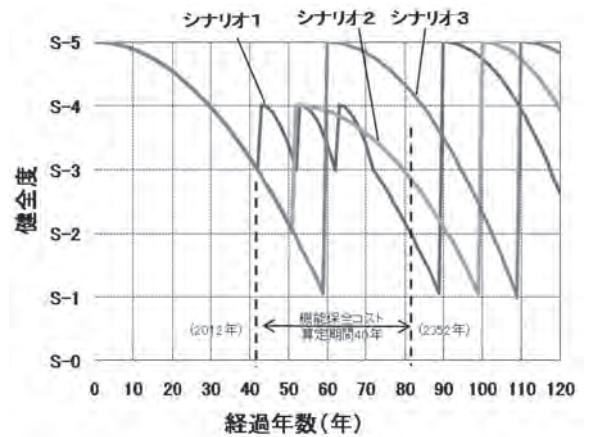


図-4 シナリオ別劣化曲線

(2) 機能保全コストの比較

機能保全コストの算定に当たって、現時点を2012年、検討対象期間を40年間として設定した。割引率は4%とし、40年後の2052年における換算係数は0.20829として算定を行った。

また、補修工法で採用するモルタル吹きつけによる耐用年数を10年、PIP工法では鋼管自体は新しく挿入されるため耐用年数は40年、改築の耐用年数はサイホンの50年とした。

機能保全コストの算定結果について表-8及び図-5に示す。これらの算定の結果、PIP工法による改修が最も高い評価と判断された。

表-8 宮竹サイホン機能保全コストの比較

シナリオ	対策工法	保全対策費用(千円)	現在価値への換算(千円)	2052年時残存価値(千円)	機能保全コスト(千円)	評価
1	補修(モルタル吹きつけ)	185,000 × 3回	393,984	26,944	367,040	2
2	補強(PIP工法)	400,000	281,036	35,409	245,627	1
3	改築(推進工法)	984,000	505,156	87,107	418,049	3

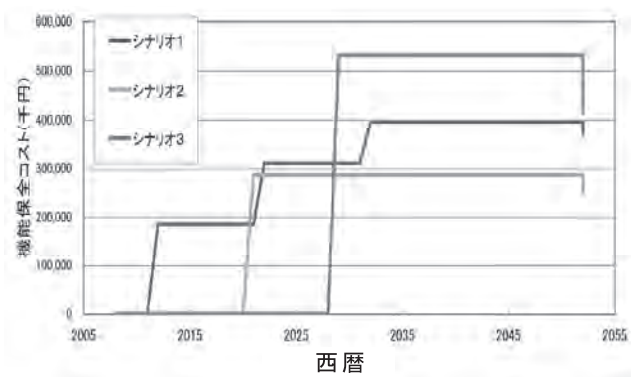


図-5 シナリオ別機能保全コスト

#### 参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準設計「水路トンネル」平成8年10月 技術書P339
- 2) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修，社団法人農業農村工学会発行：土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」技術書P302
- 3) 食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会，農業農村整備部会技術小委員会：農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」平成21年4月 P51



写真-5 PIP工法の事例

## 6. おわりに

今回の機能診断では大口径パイプラインの逆サイホンについて限られた日数の中で水を抜いて内部調査を行うというものであった。水を抜ける期間は1週間という制約があったため、事前の潜水夫による診断や仮設計画，調査，充水といった段取りを綿密に計画することで機能診断を無事に実施することができた。

今回の機能診断調査の結果，土地改良区をはじめ地域が心配していたパイプラインの状態が正確にわかり，今後の対策について最新のストックマネジメントによる保全対策計画を検討することができた。

本地区では，平成22年度より地域整備方向検討調査に取り組み，24年度より地区調査の実施を予定している。この機能診断結果を踏まえて宮竹サイホンの国営事業による改修計画を策定しているところである。

今後，本報告が全国で老朽化が進む大口径パイプラインの施設機能診断の一助となれば幸いである。

最後に，本調査の実施に当たり神戸大学の河端俊典教授に様々なご助言とご指導を頂いた。また石川県及び宮竹用土地改良区に調査に対する多大なるご協力を頂いた。この場を借りて深く御礼申し上げます。

# 細川頭首工における低周波音調査と対策について

白 枝 健*  
(Takeshi SHIRAEDA)

## 目 次

1. はじめに	42	4. 対策工法の検討	46
2. 低周波音が人体や周辺環境に与える影響	42	5. 対策後の低周波音調査	46
3. 低周波音調査	42	6. おわりに	47

## 1. はじめに

細川頭首工は、矢作川第二農業水利事業によって昭和42年に築造されたフローティングタイプの頭首工で、一級河川矢作川水系巴川の下流部に設置されている。本頭首工は施設の老朽化への対応として、新矢作川用水農業水利事業により平成17～18年度に洪水吐ゲートの更新、土砂吐ゲート、魚道ゲート、放流工ゲート、流量調整ゲートなどの補修が行われた。

工事完成後、施設管理者により適切なゲート操作、管理を行ってきたところであるが、最近になって近隣住民から低周波音によるものと思われる不快音に関する苦情が寄せられ、その発生原因の調査と対策についての検討を行った。本報では、その内容について報告する。



写真-1 細川頭首工

## 2. 低周波音が人体や周辺環境に与える影響

低周波音は、周波数100Hz以下の音であり、概ね20Hz以上は可聴音として人間の耳で感じる事が出来る。

低周波音の影響は、住宅の建具や家具等が、共鳴振動する物理的問題を発生させることがある。また、

「頭が重い」、「イライラする」、「疲労感がとれない」、「不眠」といった心理的、生理的問題を誘発することがある。

「低周波音問題対応の手引き」（環境省H16.6）によれば、物的苦情と心身に係る苦情に分け、その参考値が示されている。物的苦情に関する参考値は31.5Hzで87dB、心身苦情に関する参考値は31.5Hzで64dBとなっている。

## 3. 低周波音調査

### 3.1 事前情報の収集と整理

低周波音調査の測定箇所を選定するため、事前情報を下記の通り整理した。

#### (1)近隣住民から寄せられた情報

不快音は、頭首工下流方向へ約110m離れた地点において、冬季の西風が比較的強い日に限って感じられるとのことであった。

#### (2)低周波音の発生源として考えられる施設

農業用水利施設に関連して、過去にも低周波音が発生した例があり、越流堰などで越流水が落下水膜を形成し水膜振動と膜裏空洞固有振動の共鳴が原因であるとされている。細川頭首工でも同様の原因によるものとすれば、その発生源となり得るのは次の3施設であることから、これらの施設を対象に調査を行った。

- ①洪水吐起伏ゲート (B25.5m×H1.65m×2門)
- ②流量調整起伏ゲート (B5.6m×H0.95m×3門)
- ③放流工起伏ゲート (B4.0m×H1.05m×1門)

### 3.2 低周波音測定位置の選定

計測位置の選定に当たっては、発生源と推測される施設に近い地点と民地との境界地点を選定した。民地との境界地点の選定は、相談者宅との境界地点の他にこれより近い位置にある2地点を追加して、表-1及び図-1に示す6地点において低周波音の測定を行った。

* (独)水資源機構豊川用水総合事業部  
(Tel. 0532-54-6501)



写真-2 洪水吐起伏ゲート



写真-4 放流工起伏ゲート



写真-3 流量調整起伏ゲート

表-1 低周波音測定場所

測定点	場 所	備 考
A	流量調整ゲート付近	相談者宅との境界
B	放流工ゲート暗渠出口	
C	洪水吐ゲート下流	1号, 2号ゲート
D	放流工ゲート直上流	
E	頭首工左岸斜め上流	近隣家屋との境界
F	頭首工左岸横	近隣家屋との境界

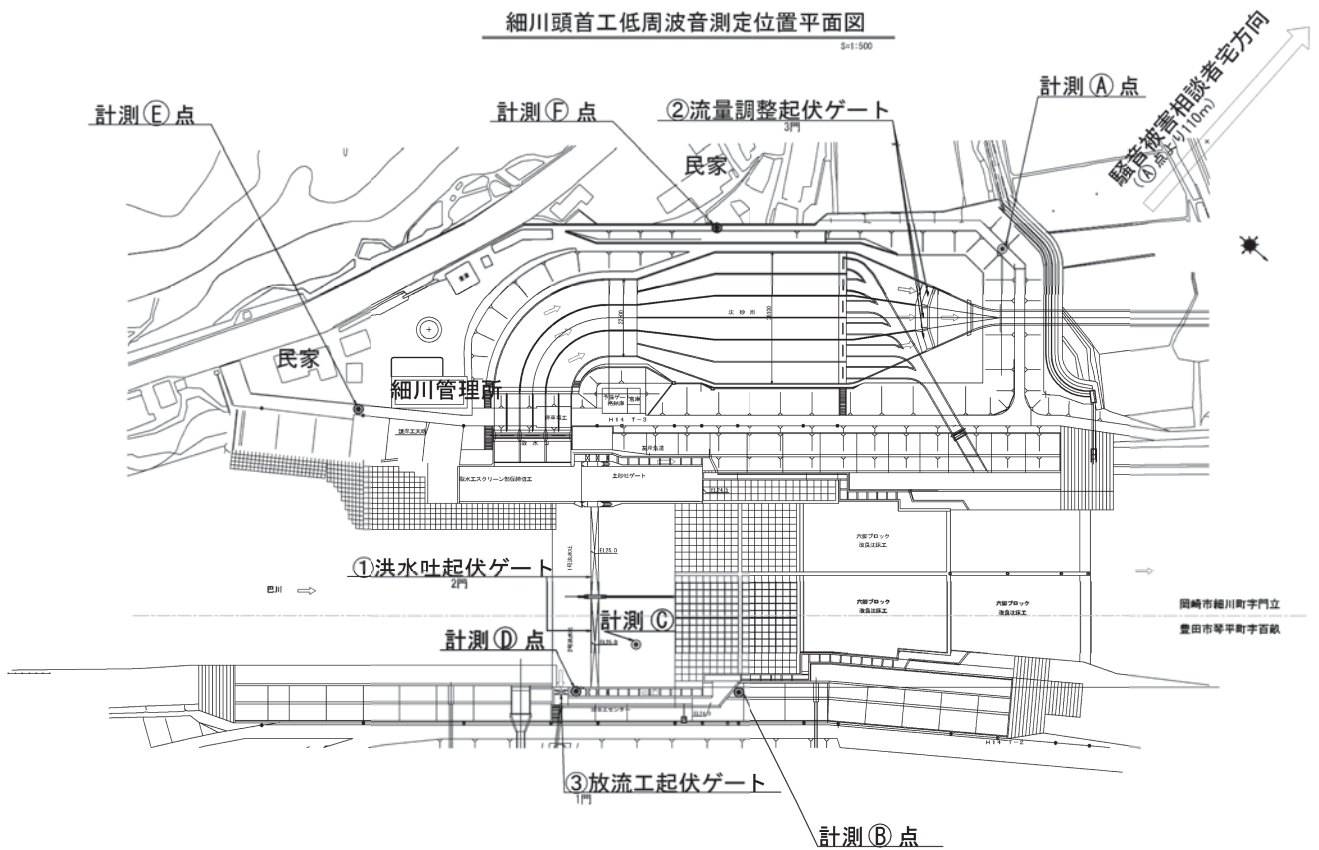


図-1 低周波音測定場所位置図

### 3.3 測定日の気象状況および測定方法

測定日は、西風が比較的強く吹く冬型の気圧配置となった平成22年3月3日に実施した。当日の気象状況は、晴れ、気温11.8℃～13.1℃、風速1.7m/s～3.4m/s、最多風向は北西よりの風で頭首工の堰から越流水が落下する方向と逆方向であった。

低周波音の測定は、低周波音の測定に関するマニユ

表-2 低周波音の測定機器

測定機器	数
マイクロホン(セラミックマイクロホン)	6個
低周波音圧レベル計(リオン製) NA-18A	6台
レベルレコーダ	6台
データレコーダ	3台
周波数分析器	1台

アル¹⁾を参考に表-2に示す機器を用い、測定量はG特性音圧レベル(L_G)及び1/3オクターブバンド音圧レベルL_{p,1/3OCT}、測定周波数範囲は、1/3オクターブバンド中心周波数1Hz～80Hzとし、調査対象ゲートの越流パターンを変えて各点で測定を行った。

### 3.4 調査結果

測定の結果は表-3に示すとおりであり、2号洪水吐ゲート下流地点で100dBを超える値が観測され、1号洪水吐ゲートおよび放流工ゲートの越流を停止してもなお100dBを超える値が観測された。このため、2号洪水吐ゲートが発生源であると特定された。また、越流量を変化させて測定した結果、1.9m³/s(越流水深h=0.12m)より少ないときに発生することも確認された。

調査データから周波数解析を行い、1/3オクターブバンド周波数のピーク値を整理すると、図-2に示されるように、25Hz以上の周波数で比較的大きな値を示

表-3 計測スケジュールと31.5Hzの音圧レベル

測定回	水利施設(ゲート操作)							備考
	洪水吐【C点】		流量調整	放流工【D点】	魚道		土砂吐	
	1号	2号			右岸	左岸		
第1回目	13.3 m ³ /s 73dB	1.1 m ³ /s 104dB	1.4 m ³ /s	1.6 m ³ /s 86dB	0.3 m ³ /s	0.3 m ³ /s	停止	A: 80dB, B: 93dB E: 71dB, F: 74dB
第2回目	15.5 m ³ /s 73dB	1.1 m ³ /s 103dB	1.2 m ³ /s	停止 88dB	0.3 m ³ /s	0.3 m ³ /s	停止	A: 78dB, B: 91dB E: 73dB, F: 69dB
3回目	15.5 m ³ /s 69dB	停止	1.4 m ³ /s	1.6 m ³ /s 67dB	0.3 m ³ /s	0.3 m ³ /s	停止	A: 74dB, B: 71dB E: 54dB, F: 55dB
4回目	1.1 m ³ /s 73dB	停止	1.1 m ³ /s	1.6 m ³ /s 67dB	0.4 m ³ /s	0.4 m ³ /s	13.5 m ³ /s	A: 59dB, B: 64dB E: 51dB, F: 54dB
5回目	1.9 m ³ /s 75dB	停止	1.1 m ³ /s	1.5 m ³ /s 66dB	0.3 m ³ /s	0.3 m ³ /s	17.5 m ³ /s	A: 58dB, B: 64dB E: 54dB, F: 54dB
6回目	停止	1.1 m ³ /s 101dB	1.4 m ³ /s	1.7 m ³ /s 90dB	0.4 m ³ /s	0.4 m ³ /s	17.6 m ³ /s	A: 76dB, B: 94dB E: 70dB, F: 73dB
7回目	停止	2.4 m ³ /s 75dB	1.3 m ³ /s	1.6 m ³ /s 65dB	0.3 m ³ /s	0.3 m ³ /s	13.4 m ³ /s	A: 64dB, B: 68dB E: 53dB, F: 54dB
8回目	停止	1.9 m ³ /s 75dB	1.3 m ³ /s	1.6 m ³ /s 68dB	0.3 m ³ /s	0.3 m ³ /s	13.4 m ³ /s	A: 77dB, B: 84dB E: 72dB, F: 76dB
9回目	停止	1.5 m ³ /s 100dB	1.1 m ³ /s	1.6 m ³ /s 90dB	0.3 m ³ /s	0.3 m ³ /s	13.4 m ³ /s	A: 79dB, B: 94dB E: 75dB, F: 72dB
10回目	停止	停止 62dB	停止	停止 52dB	0.3 m ³ /s	0.3 m ³ /s	17.5 m ³ /s	A: 56dB, B: 55dB E: 55dB, F: 55dB
終了	越流	越流	越流	越流	越流	越流	停止	

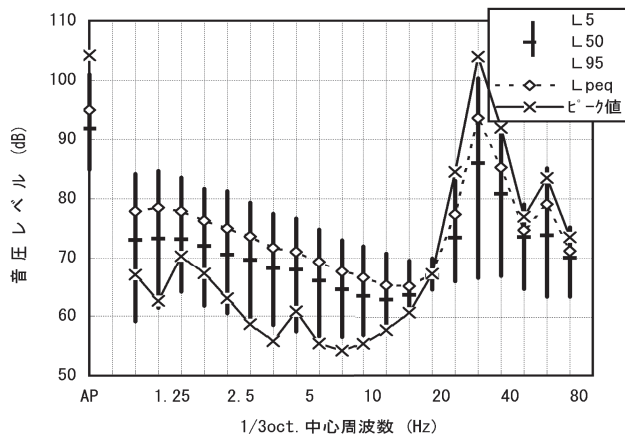


図-2 周波数分析結果

し31.5Hzがピークとなった。

また、現地における、低周波音の発生状況と風の関係について調査した。風速が概ね2.0m/s以上で比較的強く、北西風の時にうなり音とともに低周波が発生していた。落水水膜が壊れ上流側へ水しぶきが舞い上がる非常に強い風の際は、音は消え低周波音が発生しないことが確認された。

低周波音が発生しているときの2号洪水吐ゲートからの越流水の落下状況を見ると、スポイラの間隔毎に大きな水膜が形成され、一眼レフカメラで撮影したところ下部では波打っていることが確認された(写真-5, 6)。なお、肉眼で見た場合は、落水水膜の波打ち状況は確認できなかった。

その一方、低周波音が発生していないときは水膜が形成されずに、すだれ状に落下することが肉眼でも確認できた(写真-7)。

### 3.5 周辺環境への影響の確認

低周波音は、「低周波音問題対応の手引き」²⁾によれば、距離が遠くなるにつれ減衰することが解明されており、その値は点音源の1/4音場における伝播理論式を用いて推測することができる。

$$L=L_w-20\cdot\log_{10}r-5$$

L : 予測点における音圧レベル (dB)

L_w : 音源のパワーレベル (dB)

r : 音源から予測点までの距離 (m)

図-3のとおりC点の計測値は104dBでありA点の計測値80dBで、音源から離れるほど減衰していることがわかる。この結果を基に、相談者宅の音圧を推測すると75dBとなり、心身の苦情に係る参考値64dBを超える値である。

このことから、施設の境界地点A点で64dB未満に低減するため、音源で113dB、C-2地点で88dB未満にする必要がある。



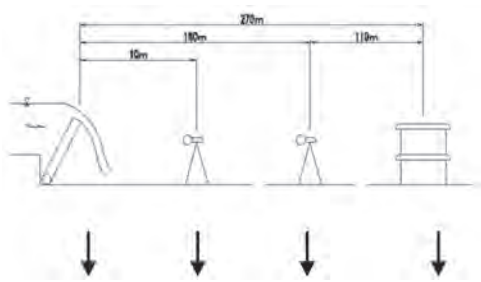
写真-5 低周波音発生時の状況 (1)



写真-6 低周波音発生時の状況 (2)



写真-7 低周波音が発生していない状況



	音源	C-2	A 点	相談者宅
計測値		104	80	
推定値	129		80	75
目標値	113	88	64	60

※) 計測値は、第1回計測のピーク値(31.5Hz)である。

図-3 音源と距離による減衰

#### 4. 対策工法の検討

2号洪水吐ゲートには、既に低周波対策として、落下水膜とゲートに囲まれた空洞の圧力を解放するためにスポイラを設置している。しかし、スポイラ間隔が一定でなく、間隔の広い箇所(1m以上)で水膜振動が生じていた。また、スポイラ間隔が広い場合でも、その間に現場組立用の吊りフックや継ぎ手補強板があると、これらがスポイラの役目を果たし落下水膜が形成されないことがわかった(写真-5)。

そこで、スポイラ間隔を狭くするほど10Hz~1,000Hzの音圧レベルが低くなるという農村工学研究所研究報告³⁾を参考に、本施設のスポイラ間隔の広い部分に、等辺山形鋼(SUS304)9×75×75を間隔が最大でも1m未満となるように設置した。

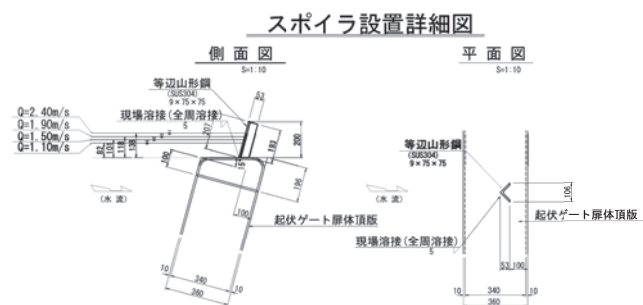


図-4 スポイラ設置構造図

#### 5. 対策後の低周波音調査

測定方法は、対策前と同条件となる西風が比較的強く吹く冬型の気圧配置となった平成23年3月3日に実施した。当日の気象状況は、薄曇り、気温6.0℃~6.5℃、風速4.1m/s~5.6m/s、最多風向は北西よりの風で頭首工の堰から越流水が落下する方向と逆方向であった。対策前の調査日に比べ風速が強かったが、落

下水に影響を与えるほどではなかった。

調査の結果は表-4のとおりであり、C-2地点での目標値(31.5Hz, 88dB)を下回る値となった。また、施設の敷地境界地点(A点)の値は低周波音による心身に係る苦情に関する参考値(31.5Hz, 64dB)を下回っていた。

また、対策前の周波数分析結果(図-2)では、31.5Hz付近が突出して高かったが、対策後は図-5のとおり突出した周波数帯はなかった。

なお、測定1回目および2回目の音圧レベルが3回目から5回目より大きくなっているが、越流量が少ないことから低周波の発生は考えられず、風の影響により数値が大きくなったものと推測される。

表-4 スポイラ設置後の音圧レベル(31.5 Hz)

測定回	洪水吐越流量(m ³ /s)		音圧レベル(dB)	
	1号	2号	A点	C-2点
1	10.2	—	61	73
2	10.2	0.7	71	76
3	10.2	1.1	57	69
4	10.7	1.5	61	68
5	10.7	1.9	62	68

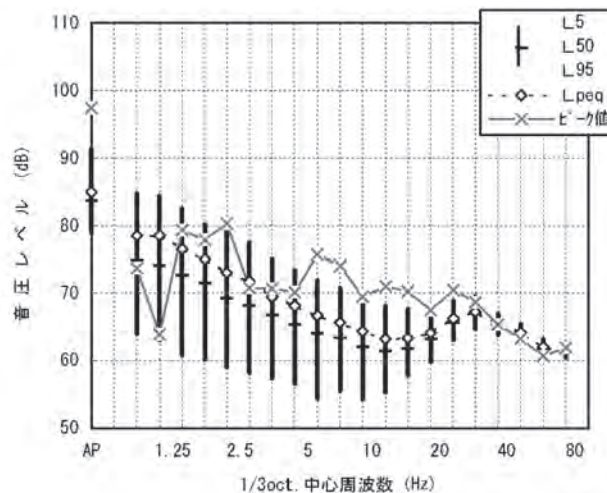


図-5 周波数分析結果(対策後)

落下水の形状は、対策前のような水膜(写真-5, 6)の形成はみられず、すだれ状で落下していた(写真-8, 9, 10)。

また、点音源の1/4音場における伝播理論式を用いて第3回目の測定値より推定値を算出すると31.5Hzの発生源のパワーレベルは94dB、A点の音圧レベルは45dBと推定される。A点の実測値は57dBであるが風の影響により一致しないものと考えられる。

相談者宅での推定値を算出すると40dBとなり、心身に係る苦情に関する参考値(31.5Hz, 64dB)を大幅に下回っていた。



写真-8 スポイラ設置後の越流状況 (1)



写真-9 スポイラ設置後の越流状況 (2)



写真-10 スポイラ設置後の越流状況 (3)

以上の結果から、スポイラ設置により低周波音対策の効果を確認することができた。

## 6. おわりに

平成22年3月3日の調査において、細川頭首工2号洪水吐ゲートの越流水膜の振動が低周波音の発生源と特定されたため、対策工事を実施するまでの期間は2号洪水吐ゲートの越流量を $2\text{ m}^3/\text{s}$ 以上で運用したことから、低周波音の発生はみられなかった。

今回の調査では、肉眼で確認できなかった落下水膜

の振動状況を一眼レフカメラにより撮影することができた。また、突出した周波数31.5Hzは可聴域であり現場において発生状況を確認することができた。

1号洪水吐ゲートは低周波音の発生源ではないが、2号洪水吐ゲートと同じ構造であるため、今後の管理において低周波音の発生がないか注視する必要がある。

## 参考文献

- 1) 環境庁大気保全局：低周波音の測定方法に関するマニュアル，（2000）
- 2) 環境省大気保全局：低周波音問題対応の手引き，（2004）
- 3) 後藤眞宏，浪平篤，小林宏康，常住直人，関谷明，：農工研技報207「ゲートの越流水の低周波音とスポイラによる低減効果」，（2008）



# 隣接家屋への影響を考慮した土留め工の設計と施工

横 守 伸 彦*  
(Nobuhiko YOKOMORI)

## 目 次

I. はじめに	48	IV. 隣接家屋への影響を考慮した施工	51
II. 当初の施行計画	48	V. おわりに	52
III. コンクリート殻の出現による工法変更	49		

## I. はじめに

小田井水路は、紀州藩が大畑才蔵に命じて造らせた農業用水路の一つで、1707年から約20年かけて完成させたものである。その後、1965年（昭和40年）頃から約10年間かけ農林水産省等によりコンクリート製の用水路に整備され、現在は全長約30kmの農業用水路として、紀の川右岸の橋本市、かつらぎ町、紀の川市、岩出市に広がる678haの農地に水を供給している。

本年度に改修している小田井水路の高野口区間は、高野口町（現在は橋本市）と農林水産省の共同工事により平成2年度から平成6年度に実施された国営造成施設整備事業「紀の川地区」（以下「施設整備事業」という）により大部分（2,270.0mのうち1996.2m）が改修された。当時高野口町では、都市化・混住化が進み生活雑排水の混入が多くなり、小田井水路の維持管理に支障をきたしていた。そこで施設整備事業により、用水路を暗渠化して水路内の藻の発生を防ぎ、さらに町の公共下水道計画と併せることで効果的に用排分離を行い、小田井水路の維持管理を改善させた。

橋本市内の小田井水路の改修状況を図-1に示す。施設整備事業完了時には全延長L=2,270mのうち、273.8mを残して用排分離された。その後、未改修区間は、平成13年度から実施されている国営農業用水再編対策事業「大和紀伊平野地区」に引継がれ、平成22年度までにL=75.4mが改修された。平成23年度は、残り198.4mのうち41.5mの開水路区間の改修を行っている。

平成23年度改修区間は、左岸側に家屋が連立し、施工中の振動により家屋基礎の擁壁の倒壊が懸念される現場であり、鋼矢板による土留め工法を計画していた

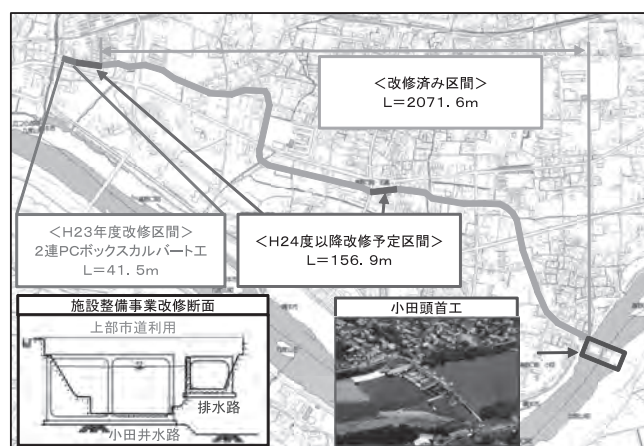


図-1 橋本市内の小田井水路改修状況

が、鋼矢板の打設前に試掘調査を行ったところ、水路の背面に1m程の大塊のコンクリート殻が投棄されていることが判明した。これにより当初設計していた鋼矢板打設工法では施工できなくなり、大幅な設計変更を余儀なくされた。

本稿では、設計変更に当たっての土留め工法の比較及び選定の過程と本現場で講じた隣接家屋への影響対策について述べる。

## II. 当初の施工計画

### 1. 周辺状況

本現場は写真-1に示すように、右岸側（写真左側）の市道に対して左岸側には高さ2m程の重力式擁壁があり、この上に家屋が建っている。擁壁の一部は水路側へ大きく傾いている。また、この擁壁下部にある水路壁については目地がずれていることから、家屋の荷重が水路にも影響を与えていることが想定される。

### 2. 土質及び地下水位

近傍でボーリング調査を1地点で実施した結果、深度5.4m付近でN値が78となったが、この深度のみで異

*近畿農政局紀伊平野農業水利事業建設所  
(Tel. 0736-69-5331)



写真-1 施工区間全景（下流より）

常に大きな値となったことから玉石に当たった異常値として除外し、土留め工法の検討ではN値50以下（26～46）の砂礫層とした。またボーリング孔から測定した地下水位は、水路敷高より5.8m低いことが確認された。

### 3. 荷重条件及び施工手順

荷重条件及び施工断面図を図-2に、施工フロー図を図-3に示す。

本現場の荷重条件は図-2に示すように、右岸側の荷重に対して、隣接家屋がある左岸側が非常に大きな荷重となっている。そのため、一次埋戻しの掘削時に

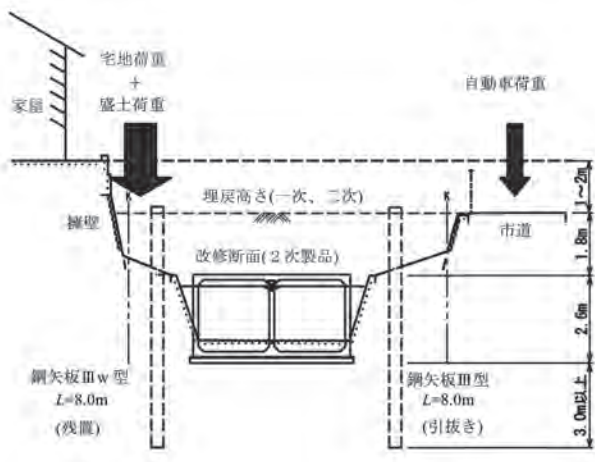


図-2 荷重条件及び施工断面図



写真-2 試掘で確認されたコンクリート殻

左岸側の鋼矢板の変位が右岸側に比べて大きくなり、隣接家屋に影響することが特に懸念された。また、左岸側の鋼矢板は、引抜きによる擁壁及び家屋への影響が懸念されるため存置することとした。

鋼矢板の打設は、隣接家屋があることから無振動で打設する必要があるため、N値が50以下であったことから、当初設計においてはウォーター・ジェットを併用した油圧注入で施工することとしていた。

## Ⅲ. コンクリート殻の出現による工法変更

### 1. 試掘調査

平成23年12月5日から水路内の一次埋戻しを開始し、12月7日には右岸側の鋼矢板打設箇所を試掘して、地質状況の確認を行った。その結果、写真-2のような1m³程のコンクリート殻が、水路壁の背面に投棄されていることが確認された。その後、右岸市道に影響を与えない範囲で水路壁に沿って試掘を行った。また、左岸側も隣接家屋に影響のない範囲で確認を行った結果、左右岸共にコンクリート殻が確認された。

### 2. 土留め工法の再検討

水路壁背面にコンクリート殻があるため、ウォーター・ジェットを併用した油圧注入での鋼矢板打設が困難となった。そこで本現場で採用が可能と考えられ

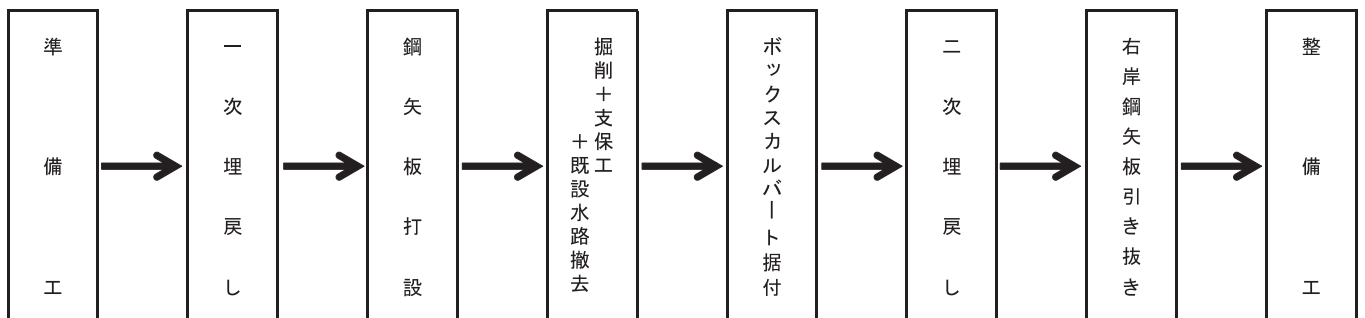


図-3 施工フロー図

るプレボーリング式親杭横矢板工法，硬質地盤クリア工法，ロックオーガ先行掘削＋アースオーガ併用油圧注入工法の3工法について検討した。各工法の概要及び検討結果を表-1に示す。

検討の結果，水路線形を変更する必要があること，

工期が長くなることが欠点ではあったものの，許容範囲内であり，施工の確実性が高い，ロックオーガによる先行掘削の後，鋼矢板をアースオーガ併用油圧注入する工法を採用した。

表-1 土留め工法の概要及び検討結果

工法	プレボーリング式親杭横矢板工法	硬質地盤クリア工法	ロックオーガ先行掘削 ＋アースオーガ併用油圧注入
施工写真	 削孔状況	 圧入状況	 先行掘削状況
	 H鋼建て込み状況	 圧入状況	 圧入状況
工法概要	杭打機に装備したアースオーガによって一定間隔で削孔し，杭の支持層となる深さまで達した時点で根固め液（セメントミルク）を注入，アースオーガを引抜き後に親杭としてH鋼を建て込んで沈設する。その後掘削の進行と共に，親杭間に横矢板として木矢板や鋼矢板をはめ込んでいく工法。地下水位が掘削深以下の場合に採用できる。	既に打込んだ鋼矢板を掘んで反力とした圧入機により鋼矢板を建込む。鋼矢板とオーガを連動させながら，オーガで鋼矢板先端部の硬質層を掘削することによって，圧入抵抗力を減少させて圧入する工法。	鋼矢板打設の前に鋼矢板幅より大きなケーシングのロックオーガにて先行掘削する。掘削完了後，オーガスクリーナーのみ引抜くことで，粉碎したコンクリート塊や玉石を除去する。ケーシングを引き抜く際は，ケーシングにある穴から埋戻土の投入を行い，再度挿入したオーガスクリーナーを逆回転させることで掘削孔の埋戻しと締固めを行う。先行掘削の後，アースオーガを併用して鋼矢板の圧入を行う工法。
検討結果	地下水位（GL=57.46m）が掘削深（GL=62.86m）より深いことから本現場での採用を検討したが，横矢板をはめ込む際にコンクリート殻のはつり作業，もしくは撤去が必要となる。はつり作業時にコンクリート殻の落下による危険性を伴うことと，撤去した場合に矢板背面に大きな空洞が生じてしまい，市道や宅地擁壁に影響を与える可能性がある。よって，施工の安全性及び周辺への影響から本現場での採用は不可と判断した。	N値180まで対応しており，コンクリート構造物がある地盤でも施工可能である。しかし，今回のように大塊コンクリート殻が散乱している地盤の場合，打設位置が大きく偏心する可能性が高いため，施工の確実性が保証されない。よって，施工性から本現場での採用は不可と判断した。	ロックオーガで水路底1mまでの先行掘削により，コンクリート殻を確実に除去することが可能である。ただし，先行掘削した後に矢板の圧入を行うため，工程が長くなる。また，ロックオーガでの先行掘削を左岸側の家屋擁壁と既設水路壁との離隔で行うことが不可能なため，鋼矢板打設位置及び水路線形を既設水路内側へ変更する必要がある。 工期算定した結果，通水に影響がないと確認できた。また，水路線形を変更しても取付工で対応可能であり，用地境界も侵さないことが確認できたため，本現場での採用を決定した。
	×	×	○

#### Ⅳ. 隣接家屋への影響を考慮した施工

##### 1. 施工前の擁壁挙動調査

関係者からの聞き取り調査から家屋基礎の擁壁は、施工着手前から水路側へ大きく傾き、変状が進行している可能性があった。そこで写真-3に示すように、工事着手前から継続的に擁壁の目地開きを計測することで、挙動調査を行った。なお測点は写真-3に示す2点とし、目地開きが増加する方向をプラスとした。

調査結果は図-4に示すように、9月頃から目地開きが大きくなっていることが確認された(図-4①部分)。8月25日の台風12号による降雨の影響があったと考えられる。その後、小田井水路の通水停止後から目地開きの広がりやすさが速まった(図-4②部分)が、水路内の一次埋戻しを行ったところ挙動は収束している(図-4③④部分)。従って、水路内の用水の水圧により、水路壁及び擁壁の変状が抑制されていたと想定できる。

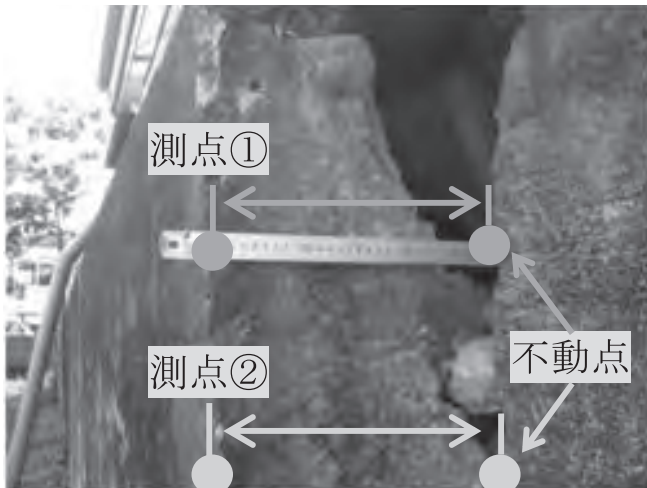


写真-3 擁壁挙動調査状況

##### 2. 施工中の擁壁挙動調査

施工中も継続して家屋基礎の擁壁及び鋼矢板の変位量を計測することで、施工による影響の有無を確認しながら慎重に施工を進めることとした。なお、測点は写真-4に示す3点とした。

施工中の調査結果を図-5に示す。先述のとおり、一次埋戻し後は擁壁の挙動は収束していたが、矢板打設中の2月13日から再び挙動が確認された。擁壁に隣接した箇所への矢板打設は2月6日の計測までに完了していたことから、矢板打設による影響は小さいと考えられる。2月7日に降雨量が65.5mm/日の豪雨があり、雨水による影響の方が大きかったと想定される。その後、後述する対策を行い施工した結果、整備工を実施している段階において、着工前からの変位量はおよそ20~24mmにとどまっている。

##### 3. 施工における対策

施工前の挙動調査により擁壁が非常に不安定な状態であることが確認されたことから、施工においては、



写真-4 施工中の調査測点

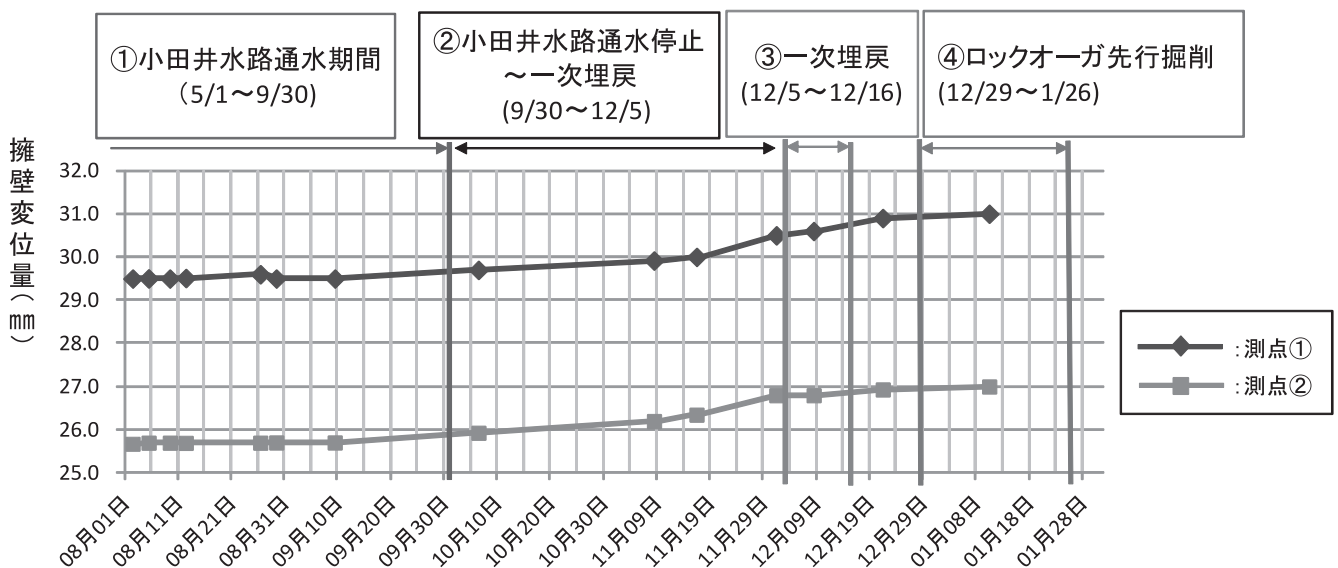


図-4 隣接家屋の擁壁挙動調査結果 (施工前から先行掘削まで)

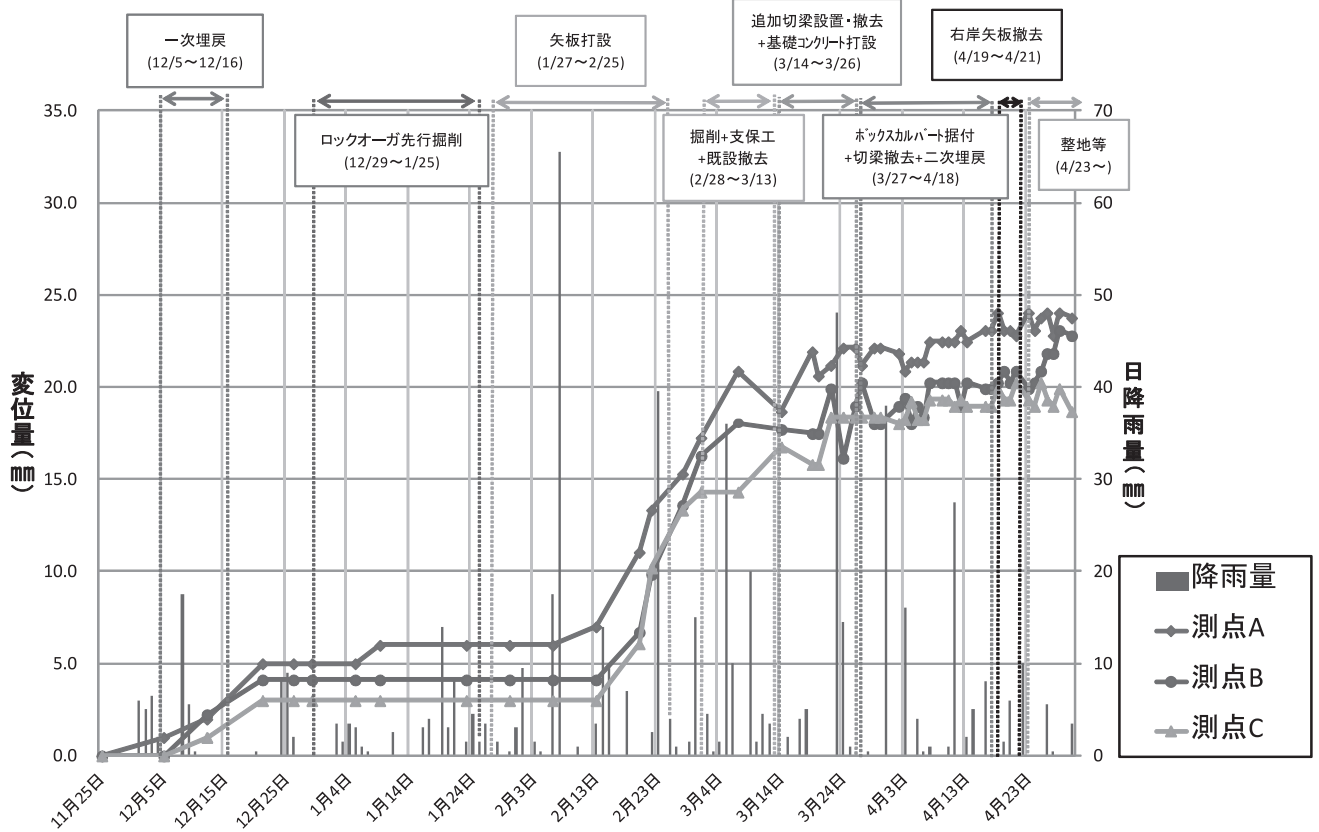


図-5 隣接家屋の擁壁挙動調査結果（施工中）

一次埋戻し土の土圧による擁壁の変位抑止効果及び特に影響が懸念された鋼矢板の変位抑止効果を期待し、以下の対策を行った。

1点目は水路外側からの土圧により擁壁の挙動の進行を抑制するために、一次埋戻しの施工を、傾きが進行している家屋擁壁の区間から開始した。さらに、一次埋戻しは市道地盤高までであったが、家屋擁壁は市道地盤よりも高いため、写真-5に示すように、一次埋戻後に家屋擁壁前面に大型土のうによる仮押さえを行った（12月16日設置）。また、2月20日の計測で大きな挙動が確認されたため、大型土のうの増設を行った（2月21日増設）。



写真-5 大型土のう設置状況

2点目は鋼矢板周辺の地盤の緩みを抑制するために、存置する左岸側の鋼矢板打設時にセメントミルク注入により地盤改良を行った。

3点目は鋼矢板の変位を抑制するために、当初設計では1段だった切梁を2段に変更し、底盤には底梁として水路本体の基礎を兼ねたコンクリート打設を行った（ $t=100\text{mm}$ ）。

以上の対策を行った結果、図-5に示すとおり一次埋戻しを行って大型土のうを設置した後は、2月7日の豪雨があるまでは挙動が安定していることから、対策の1点目である大型土のう等による仮押さえは効果があったと考えられる。また、特に隣接家屋への影響が懸念された鋼矢板打設後の一次埋戻し土及び既設水路撤去時の擁壁挙動は3mm程度とごくわずかに抑えられており、対策の3点目であるセメントミルクによる地盤改良や3点目の切梁増設等による鋼矢板の変位抑制の効果もあったと考えられる。

## V. おわりに

本現場は施工着手前からすでに傾きの進行している家屋擁壁に隣接しており、施工による影響に細心の注意が必要であった。さらにコンクリート殻の出現により、当初想定していた工法・水路線形・仮設構造の変更対応を早急に迫られることとなり、非常に課題の多い現場であった。本現場では施工着手前から継続して

調査を行い、その結果を基に随時対策を講じることにより、施工による隣接家屋への影響を最小限にして施工を進めることができた。今後の事後調査の結果を待つ必要があるものの、家屋への影響は現在のところ見られていない。また、大幅な変更対応では、綿密な打合せ及び工程管理を行うことで、通水に影響を与えることなく本体工を完成させることができ、5月中旬時点で残すは整備工事となっている。

家屋に隣接した施工現場は多いことから、本報文で報告した対策が少しでも参考になれば幸いである。

#### 参考文献

(株)日本水工コンサルタント：平成21年度大和紀伊平野農業水利事業（二期）紀伊平野県営右岸幹線水路（小田井水路改修その13）設計業務報告書，2011

# 工事施工が地下水に与える影響についての評価

－地下水解析について－

黒田 裕一* 西村 稔* 蒲地 紀幸*  
 (Yuuichi KURODA) (Minoru NISHIMURA) (Noriyuki KAMACHI)

## 目 次

1. はじめに .....	54	4. 地下水解析モデルの再現性の確認 .....	58
2. 室内実験 .....	54	5. おわりに .....	59
3. 地下水解析 .....	55		

### 1. はじめに

那賀川地区は、徳島県南東部の一級河川那賀川の下流域に展開する県下有数の農業地帯で、京阪神への主要な生鮮食料供給基地としての役割を担っている。しかし、都市化の進展により農業用水の水質が悪化し、営農上の問題となっている。加えて、那賀川の3箇所の頭首工については、経年劣化による機能低下と共に安全性が低下している。

このため、本事業により幹支線水路の用排水を分離し、生活雑排水等の地区内用水路への流入を防止すると共に、3箇所の頭首工を統合し、水利施設の機能回復による農業用水の水質保全と災害の未然防止を図ることにより、農業生産性の向上及び農業経営の安定に資するものである。

本事業において、幹線水路整備の一部区間に取水井戸（満州井戸）が近接する区間があり、この間での掘削工事により濁水が発生して、現在取水されている地下水の水質に影響を及ぼすことが懸念される。このため、現地の土を採取して室内実験を行って土の物性値を求め、その値を使用した地下水解析モデルを構築して、掘削工事が地下水に与える影響を予測した。さらに、地下水解析モデルの妥当性を検証するために、現地で試験を行って、実測値と地下水解析モデルの予測値の比較を行った。（図-1 参照）

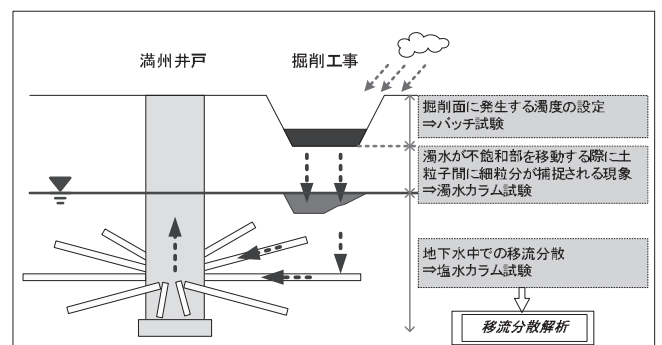


図-1 地下水解析の概要

### 2. 室内実験

室内実験については、地下水解析に必要な値を求めするために実験を実施した。

#### (1) バッチ試験

水路掘削面に発生する可能性がある濁水の最大濁度を測定するため、土の細粒分（75 $\mu$ m未満）と水を混ぜて濁度を測定するバッチ試験を行った。試験には現地で採取した土の細粒分を使用し、濁度の測定法は透過光測定法とした。しかし、透過光測定法では濁度100度以上の場合、試料を希釈して測定、換算して濁度を算出するため、細粒分で飽和状態の濁度（これ以上混ぜても溶けない）が確認できないため、「細粒分添加量と濁度の関係」に加え、「細粒分添加量と吸光度の関係」も求めることとした。この結果、吸光度は概ね12,000～16,000mg/Lで飽和となることが確認され、現地で発生しうる最大の細粒分添加量は16,000mg/Lと設定した。（図-2 参照）

一方、測定した吸光度から、2.(2)で述べるフィルター効果を検討するためには、水質分析と同じ尺度である「カオリン濁度」に変換する必要があるため、「吸光度とカオリン濁度の検量線」を作成し、測定された吸光度をカオリン濁度に換算して評価した。（図-3 参照）

*中国四国農政局那賀川農地防災事業所調査設計課  
 (Tel. 0884-23-3833)

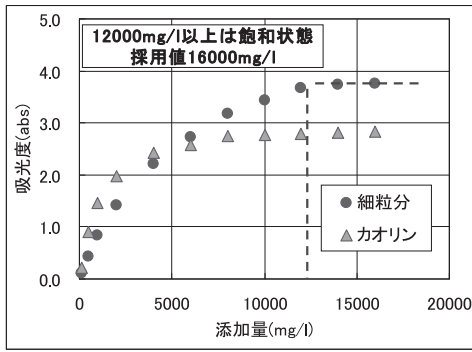


図-2 細粒分添加量と吸光度の関係

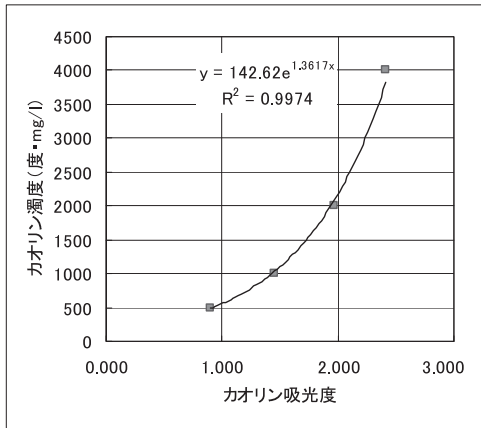


図-3 吸光度とカオリン濁度の関係

## (2) 濁水カラム試験

掘削工事の際、掘削底面において濁水が発生し、地下水へと浸透する際に、不飽和土を通過する間に土粒子間に濁水中の細粒分が補足され、濁度は低減される。(以下、このことを「フィルター効果」と呼ぶこととする。)地下水解析モデル構築の際に、このフィルター効果をパラメータとして設定するために、濁水をカラムに流し、流出する濁水の濁度、流出量、試験開始から流出するまでの時間を求めた。(概要及び条件は図-4及び表-1参照)結果、カラム長と流出水の濁度、試験開始から流出するまでの時間については高い相関が認められた。(図-5参照)この試験結果から導かれる、現場の条件に即した掘削底面から地下水面までの距離4.6mに対応するパラメータは、 $C$  (流出水の濁度) /  $C_0$  (濁水の初期濁度) = 0.0008、掘削底面における濁水発生から地下水面に浸透するまでの時間は1時間となった。(図-6参照)

表-1 カラム試験条件

項目	条件	備考	
カラム径	φ200mm	充填試料の最大粒径37.5mm×5倍	
カラム長	0.5m, 1m, 2m	距離減衰を把握するため	
土質の特徴	層相	砂礫	
	細粒分含有率	6~10%	
	湿潤密度	2.0g/cm ³	現場密度測定結果
	透水係数	1E-4~1E-3m/s	現場透水試験結果
カラム充填試料	37.5mmフルイ通過試料		
カラム通水流速	1E-3m/s	現場浸透試験結果	
注入水頭	2m	予定掘削深に雨水等が流入すると仮定	

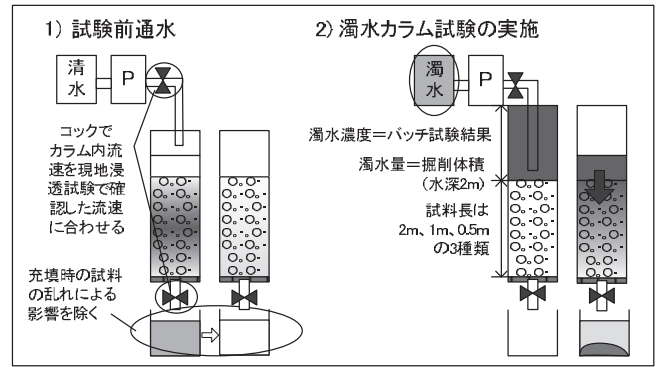


図-4 カラム試験概要

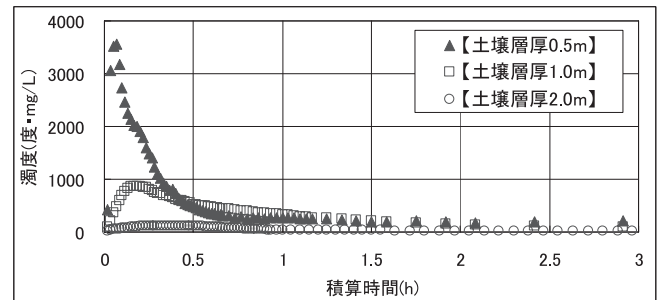


図-5 カラム試験結果

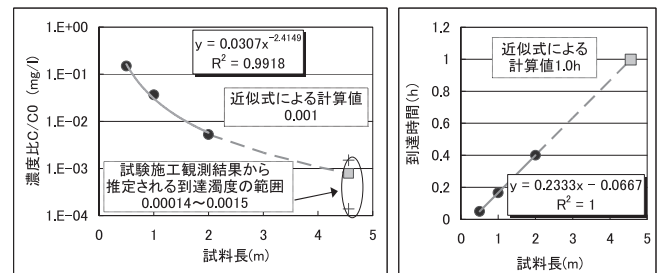


図-6 試験長とC/C0m, 試験長とピーク時間の関係

## 3. 地下水解析

工事による取水井戸への影響を定量的に予測・評価することを目的に地下水解析モデルを作成した。地下水解析モデルは、広域モデルと詳細モデルの2種類を作成した。

### (1) 広域モデル

広域モデルは、取水井戸周辺の広域地下水流動を再現し、最適な水理定数と詳細モデルの境界条件となる地下水位分布を設定するために作成した。

広域モデルを作成するために、調査地の地形、地質、地下水位に関する文献を収集整理した。支配方程式とプログラムの選定において、本地区の特徴(表流水の利用が主であること、地下水は河川水と雨の影響を受けやすい)、課題(表流水と周辺地下水位の関連性を連続的に表現できる解析手法が必要)、プログラム選定条件(地下水流動と表流水の流動を一体的に取り扱えるものであること、三次元モデルであること、実績があること)を考慮した結果、地表水と地下水を



一体的・連続的にシミュレーションできる三次元統合型水循環モデル（地表水・地下水結合解析プログラム）を採用し、解析ソフトは「GETFLOWS」を用いた。

検討範囲は地下水取水地点を中心に東西方向約4km×南北方向約6kmであり、深度は40mとした。図-7のように水理地質モデルを作成し、表-2の条件で再現計算を行った。既存数値計算結果の透水係数を用いて再現計算を行った結果、旧河道の透水係数について、1オーダーを超えない範囲で小さくして、最終数値計算結果の透水係数とすると、現況の地下水位がよく再現された。（図-8参照）

(2) 詳細モデル

詳細モデルは、取水井戸付近の地下水流動状況を予測し、施工中の濁水の影響を検討した。

取水井戸の構造が、井戸内壁から多孔集水管を水平

放射状に配置している満州井戸であり、この取水井戸の集水ボーリング工の占める領域をある厚さをもつ透水性のよいゾーンとして、取水井戸本体ストレナ区間と各多孔集水管をそれぞれモデル化することとした。（図-9参照）解析ソフトは「Dtransu-3D・EL」を用いた。

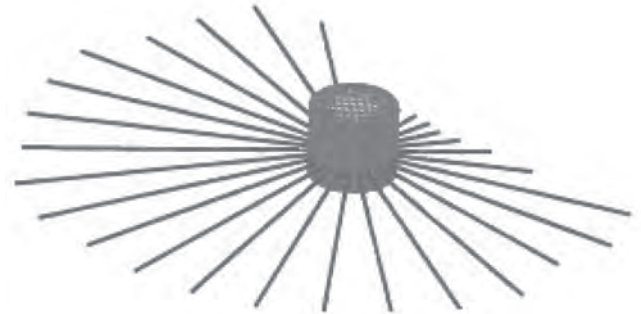


図-9 井戸のモデル化

検討範囲は地下水取水地点を中心に東西方向700m×南北方向450m。深度は10.5mとした。解析は、取水井戸近傍の100mを全区間同時に施工する場合と20mずつ分割施工する場合に分けて解析を行った。解析の結果、飽和帯中での地盤のフィルター効果を見込む条件では、水路整備区間の全区間を同時に施工する場合と20mずつ分割施工する場合共に、井戸内の全体取水量中で水質基準値である2mg/Lを超えることはないという結果が出た。（表-3参照）

一例として、集水井戸に最も近い箇所を20m施工した場合の解析結果を示す。（図-10参照）1号井において、一部水質基準値を超える範囲があるが、1号井全体の取水量中で水質基準値を超えていなければ良いという学識経験者からの助言を得ており、水質は問題ないという結果となった。

表-3 解析結果

評価時期	評価条件	全区間同時施工	20mずつ分割施工
雨水浸透による流出	地下水中でのフィルター効果あり	○	○
	地下水中でのフィルター効果なし	×	○

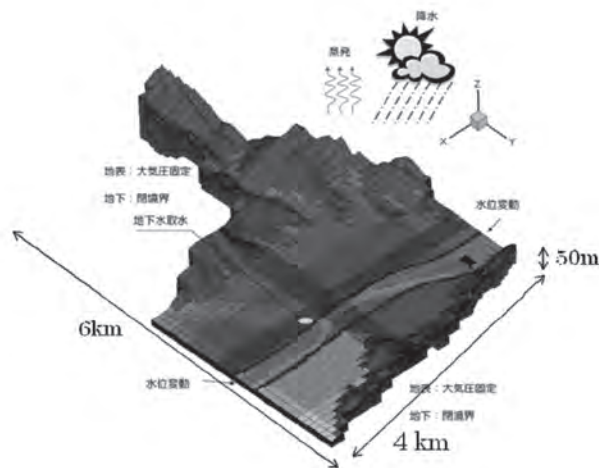


図-7 広域モデル概要

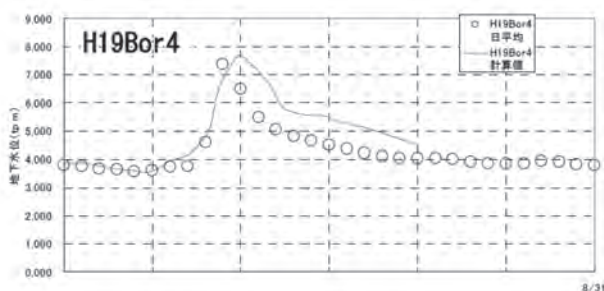


図-8 広域モデル計算結果の一例

表-2 各地層の試験条件及び解析結果

地層名	記号	層相	透水係数			有効間隙率		貯留係数
			既存数値計算結果	最終数値計算結果	文献値(文献1)	文献値(文献1)		
沖積層	A1g	砂礫主体	5.00E-03	1.00E-03	0.15	0.15	不飽和帯につき有効間隙率と同等と評価	
	A1gR	礫主体	2.00E-02	5.00E-03	0.15	0.15		
	A1gS	砂主体	5.00E-04	5.00E-04	0.15	0.15		
	A2g	砂礫主体	2.00E-02	1.00E-03	0.15	0.15		
	A2gR	礫主体	5.00E-03	5.00E-03	0.15	0.15		
洪積層	D1g	砂礫主体	1.80E-03	1.80E-03	0.15	0.15	文献値(文献1)	
	D2g	砂礫主体	3.00E-05	3.00E-05	0.15	0.15		
基盤岩			1.00E-07	1.00E-07	0.07	0.15	文献値(文献2)	

文献1) 水理公式集,1974

文献2) 河野伊一郎: 地下水工学, 鹿島出版会, 1989

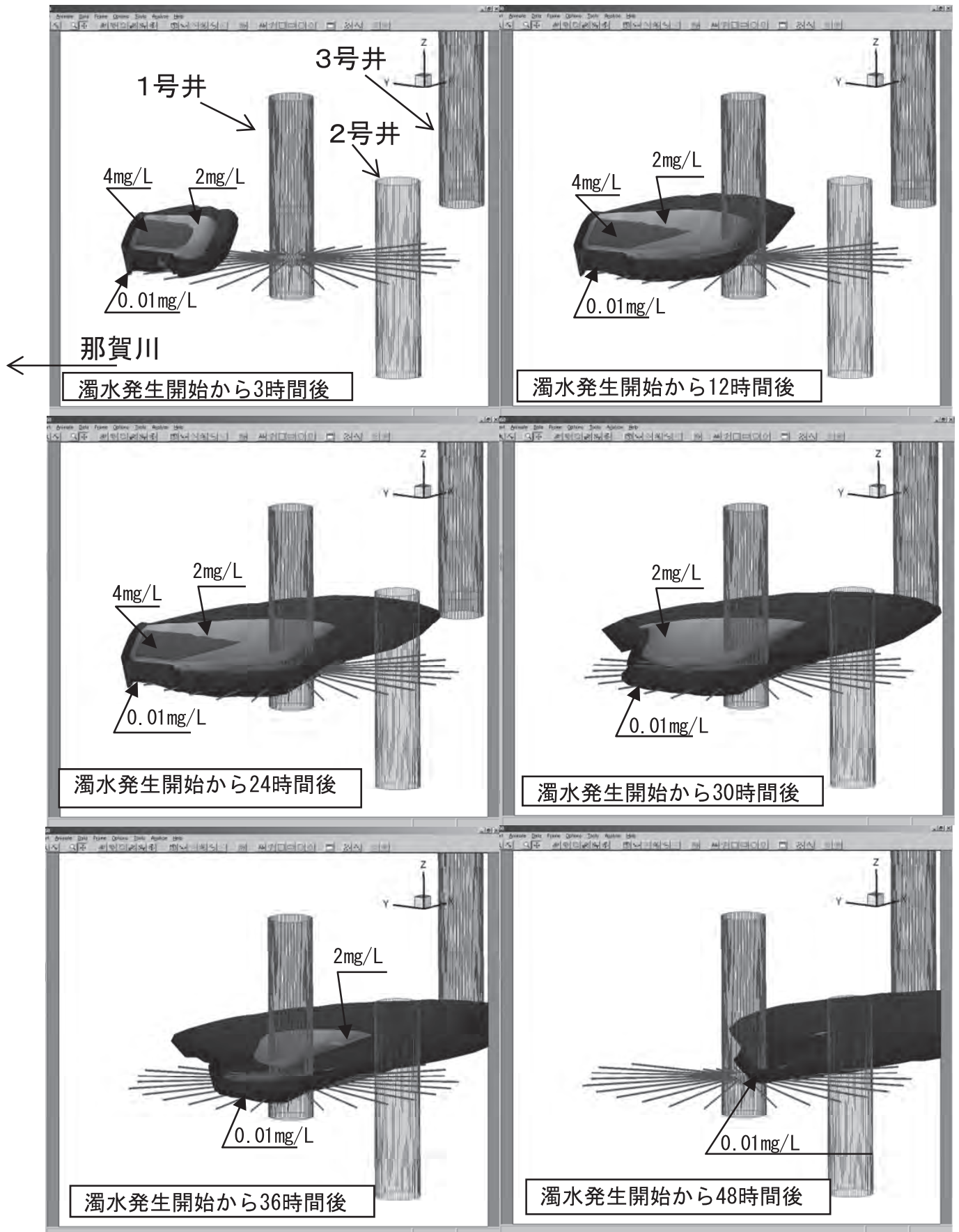


図-10 詳細モデル解析結果の一例

#### 4. 地下水解析モデルの再現性の確認

現地において人工降雨試験を行い、地下水解析モデルで現地試験結果を再現することにより、地下水解析モデルの妥当性を検証した。

##### (1) 現地試験

現地試験では揚水孔から水を汲み上げ、観測孔に人工降雨装置を用いて降雨強度80mm/hの降雨を行った。「那賀川水系河川整備基本方針」において計画降雨量は640mm/2日であり、8時間で降った場合を仮定して、降雨強度は80mm/hとした。揚水孔の近くのボーリング孔H22Bor1（観測孔、揚水孔から3m）及びH20Bor5（揚水孔から13m）、H20Bor6（揚水孔から約100m）における地下水の変動を測定した。また、観測孔及び揚水孔から汲み上げた水の濁度を測定した。（図-11、写真-1、2参照）

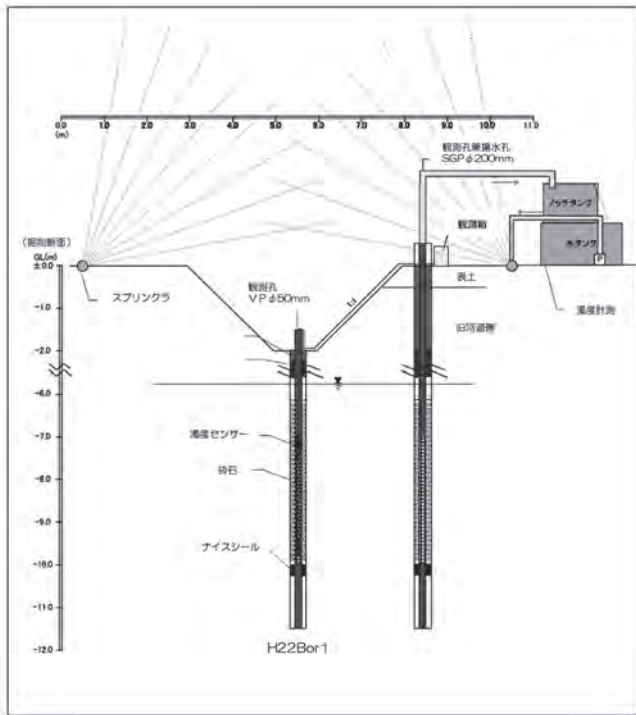


図-11 現地試験の概要



写真-1 人工降雨試験遠景



写真-2 人工降雨試験中の掘削底面

地下水位は揚水孔から3mのH22Bor1で18cm、揚水孔から13mのH20Bor5で13cmの地下水位低下が生じたが、揚水孔から100mのH20Bor6では地下水の低下は生じなかった。

観測孔の濁度では、散水を開始しておよそ2時間後に掘削面中央付近で濁水濃度が上昇しはじめ、散水から4～5時間後に3mg/Lで濃度が一番大きな値となった。揚水孔では濁水濃度変化は見られなかった。

（図-12参照）

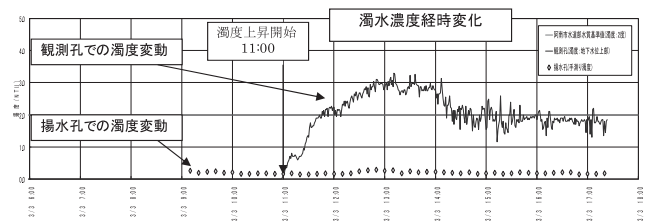
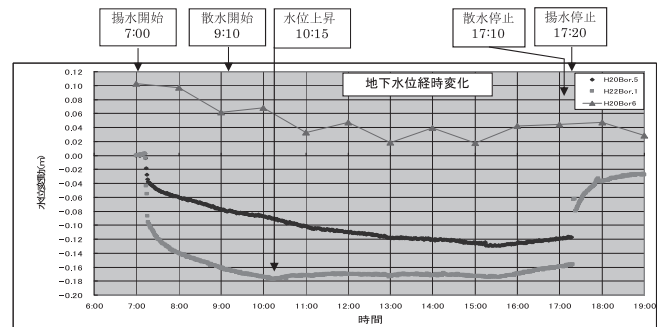


図-12 地下水位・濁度の経時変化

##### (2) 地下水解析モデルを用いた再現性の確認

地下水解析モデルを用いて、地下水位変動の再現及び濁水移動の再現を行った。透水係数については地層A1gの透水係数を $10^{-2}$ m/sとした場合に地下水位の変動が最も精度良く再現ができた。また、濁度について解析した結果、現地試験結果と同様に、濁度の上昇はほとんど生じなかった。また、濁度の最大値を示したのは、解析結果と現地試験の両方とも同じ時間であった。（図-13参照）

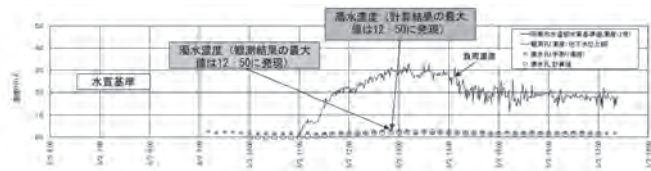
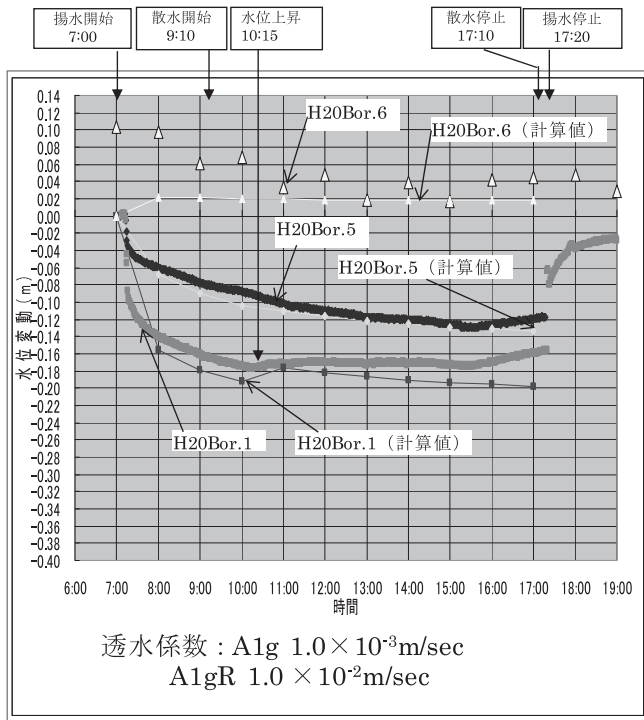


図-13 地下水位・濁度再現計算結果

よって、地下水解析モデルは現地試験結果を精度良く再現できているため、地下水解析モデル及び解析結果の信頼性は高いと考えられる。

### 5. おわりに

今回行った解析結果より、フィルター効果を考慮した場合、工事施工が地下水の濁度に及ぼす影響は、基準値以下であるとの予測結果を得た。また、地下水解析モデルを用いて、現地試験における地下水位及び地下水中の濁度変動を精度良く再現できた。この地下水解析モデル及び解析結果は、協議先である取水井戸の所有者から紹介された有識者に説明を行い、妥当であるという評価をいただいた。今後は、解析結果を元に、地下水への工事の影響が軽微になるよう、対策工法の検討を行う。

# 関係機関と農家が一体となって総力戦で進める畑地かんがい営農の推進 ～「宮崎県畑地かんがい営農ビジョン」から～

戸 高 久 吉* 工 藤 正 臣*  
(Hisayoshi TODAKA) (Masaomi KUDO)

## 目 次

1. はじめに	60	4. 未来像の実現に向けた課題と取組	64
2. 本県における畑作農業の現状	60	5. 畑地かんがい営農の推進に向けた関係機関の体制と役割分担	66
3. 畑地かんがい営農の未来像	61	6. おわりに	66

### 1. はじめに

本県の農業は、これまで施設園芸や畜産を中心に発展してきましたが、耕地面積の約半分を占める畑地の多くでは、天水（雨水）に頼った不安定な畑作農業が行われてきました。

一方、近年の加工業務用野菜の需要に対応した露地野菜等の土地利用型農業の推進や口蹄疫からの再生・復興に向けた畜産と耕種のバランスのとれた農業構造への転換が求められるなど、畑地を有効に活用した収益性の高い農業への転換が本県農業の振興を図る上で大変重要となっています。

そこで、これまでの天水に頼った営農から一歩前進し、県内で整備を進めている畑地かんがいの「水」を活用した収益性の高い安定した畑作営農の実現に向けて、県、市町村、JA、土地改良区等の関係団体及び農家の方々、さらには地域が一体となって取り組んでいくための指針として、「宮崎県畑地かんがい営農ビジョン」を今年3月に策定しました。

以下、ビジョンの内容に沿って本県の最新の取組状況について紹介します。

### 2. 本県における畑作農業の現状

#### (1)本県畑作農業の概要

飼料作物が畑の作付面積の約52%を占め、次いでかんしょ、だいこんと、比較的、乾燥に強いと言われる品目の作付が多い現状にあります（図-2、表-1、表-2）。また、平成15年と平成22年の主な品目の作付面積を比較すると、だいこん、ごぼうの作付は減少し、逆に焼酎原料用かんしょ、加工用ほうれんそうは大きく増加しています（表-2）。



図-1 宮崎県畑地かんがい営農ビジョンの構成

このため県では、「畑作地帯における加工・業務用野菜の生産振興方針」（平成21年）を策定し、高品質、安定生産のための畑地かんがい等の生産条件の整備、農業団体との連携による取引ニーズに適応した的確な販路開拓、農地の集積や高性能機械の導入による大規模機械化生産体系の構築を重点項目として取り組んでいます。

*宮崎県庁農政水産部農村計画課  
畑かん営農推進室 (Tel. 0985-26-7129)

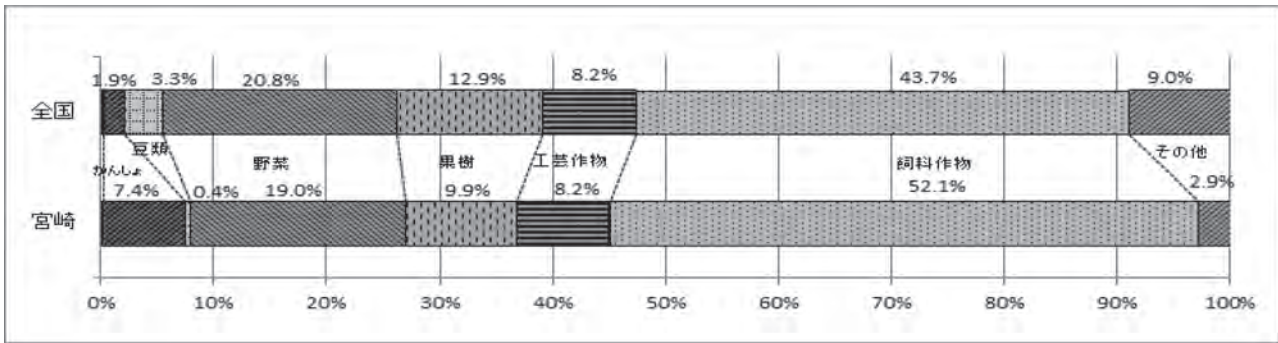


図-2 畑地の農作物作付（栽培）割合（平成21年度）

※農林水産省 耕地及び作物面積統計

表-1 耕地面積（平成22年）

	宮崎	全国
水田	37,400ha (54%)	2,496,000ha (54%)
畑地	31,600ha (46%)	2,097,000ha (46%)
合計	69,000ha	4,593,000ha

(%)は合計に対する割合

※ 農林水産省 耕地及び作物面積統計

表-2 本県の作付面積の推移

品目	平成15年	平成22年	増減%
だいこん	2,480ha	2,100ha	-15%
かんしょ	2,100ha	3,040ha	+45%
さといも	1,210ha	1,220ha	+1%
ごぼう	800ha	655ha	-18%
キャベツ	528ha	527ha	-0%
ほうれんそう	478ha	700ha	+46%

※ 農林水産省 耕地及び作物面積統計

### (2)畑地かんがい施設の整備状況

このような中、本県では国営かんがい排水事業7地区で畑地かんがい施設の整備を進めており、既に5地区が完了し、実施中の尾鈴、西諸地区も、近く完了の



図-3 本県の国営かんがい排水事業

予定です。

しかしながら、関連事業では、平成22年度までの受益面積に対する整備率は約50%、畑地全体に占める整備率は約25%にとどまっており、事業効果の早期発現のためには、関連事業の計画的な推進とともに畑地かんがい営農の推進が待ったなしの状況となっています。

### 3. 畑地かんがい営農の未来像

#### (1)畑地かんがいによる新たな営農の展開

畑地かんがい施設の整備とそれを利用した営農をさらに推進していくことで、近い将来に目指す新たな畑作営農の姿を以下に示します。

- ① 県内15,000haの畑では、畑地かんがい施設とともに区画整理や排水施設の整備が行われ、効果的に利用されています。
- ② 雨の少ない時期でも、作物に散水することができ、農家は安心して計画的な作付けを行っています。
- ③ 農地には作付規模や栽培品目に応じた様々な散水器具が設置され、集積・大区画化された農地では自走式スプリンクラーが無人走行しながら散水するなど、省力かつ効率的な農業が行われています。
- ④ 効果的な水利用による収量・品質の向上、農業所得の増加により、生産者は「儲かる農業」を実感しています。

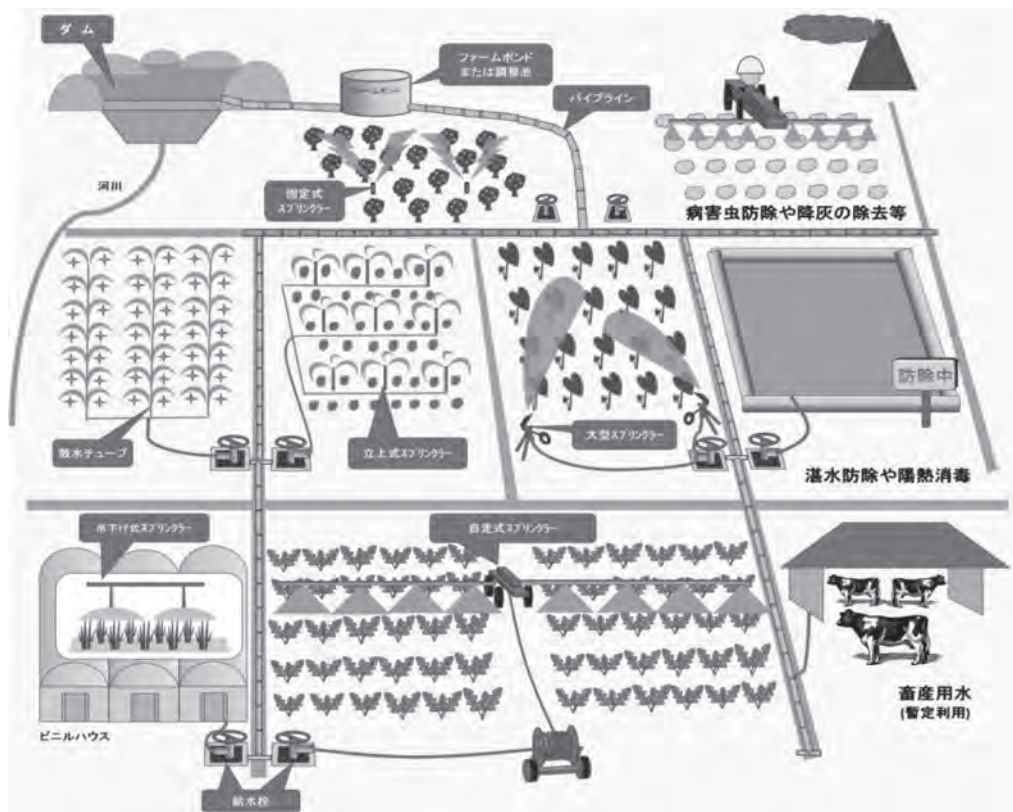


図-4 畑地かんがい営農のイメージ

(2)畑作営農を変える畑地かんがいの3つのチカラ

畑地かんがい施設の整備とその利用は、これまでの畑作営農を一步先の新しい畑作営農に変える可能性を持っています。これから、その可能性を「3つのチカラ」として示します。

〈チカラ1〉生産性の向上と経営の安定・強化→  
「儲かる」農業の実現

① 収量・品質の向上

昭和63年頃から実施してきた実証展示は調査から、畑地かんがいを利用した適期散水により、播種後の発芽率や定植後の活着率の向上、生育期の肥大促進等の効果を確認してきました。慣行区に対する収量向上としては、さといもで約1.5倍、しょうがでは1.8倍の効果が認められています。

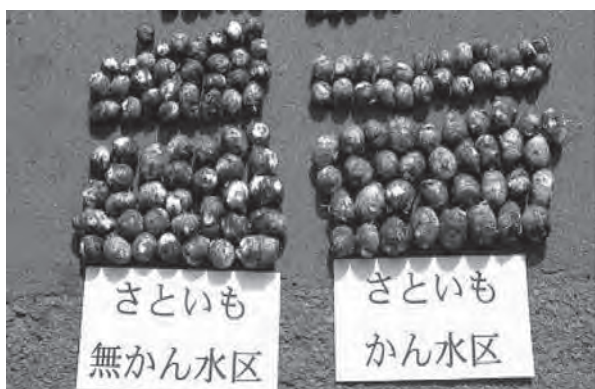


写真-1 かん水によるさといもの肥大促進効果



写真-2 かん水によるしょうがの肥大促進効果

また、うんしゅうみかんにおける根域制限マルチ点滴栽培による糖度向上や、洋ランの細霧散水による施設温度管理等に畑地かんがい利用の効果が認められており、品質向上に役立っています。

② 天候に左右されない計画的な営農

降雨が少ない時期には畑地の乾燥が原因で畝たてや播種、苗の定植が困難な場合があり、年間を通した作付計画に大きな影響を及ぼします。

そこで畑地かんがいを利用することで、計画的な作業が可能となり、年間の正確な作付計画に基づく輪作体系にも取り組みやすくなります。

特に本県では加工・業務用等の契約取引による価格の安定化を進めていくこととしており、産地と加工業者の信頼構築のためにも、畑地かんがい施設の整備による計画的な生産体制の構築が期待されます。



写真-3 畝たて前散水による計画的作付

### ③ 農作業の効率化と経営の安定・強化

県営畑地帯総合整事業等を活用し、散水器具や給水栓等の畑地かんがい施設の整備はもとより区画整理や排水施設の整備を進めることで、機械化や規模拡大が可能な作業効率の高い農地が確保でき、経営の安定・強化が図られます。



写真-4 自走式散水機による散水実演

〈チカラ2〉気象・自然災害対策の強化→「災害に強い」農業の実現

#### ① 渇水対策

本県では、平成16年、18年、20年、23年と少雨による渇水が発生しました。特に昨年の上半期は記録的な渇水となり、定植後のかんしょが枯れる等の被害が見られました。

このような中、畑地かんがい施設が整備された地域では、スプリンクラー等による散水が行われ、渇水の影響を最小限に抑えることができました。



写真-5 土壌水分不足で枯死寸前のかんしょ (畑かんが整備されていないほ場)



写真-6 散水により健全に生育するかんしょ (畑かんが整備されたほ場)

#### ② 霜害対策

茶の生産では、晩霜害による収量と品質の低下が大きな課題となっています。これまでは、上部の比較的温かい空気を送風することにより霜害を防ぐ防霜ファンの設置が進められてきましたが、より気温が下がった場合でも防霜効果が高い散水氷結法による防霜が一部地域で導入されています。



写真-7 散水氷結法による茶の霜害対策

#### ③ 降灰対策

平成23年1月の新燃岳の噴火に伴う降灰は、茶や収穫目前のほうれんそう等に大きな被害をもたらしました。これらの被害を最小限に抑えようと、緊急的に畑地かんがいを活用した火山灰の除去試験を行い、今後の対策に向けた検討を行いました。





写真-8 降灰のあった茶園での散水

〈チカラ3〉環境保全型農業の展開→「持続可能な」農業の実現

畑地かんがいを利用した土壌消毒や茶のクワシロカイガラムシの防除等に活用することで、化学農薬の使用低減が図られ、薬剤抵抗性の発現を抑えながら、将来に渡って持続可能な環境保全型の農業を展開できる可能性が広がっています。

例えば、綾川地区では、露地畑において土壌を1～2ヶ月間、水を溜めた状態にすることでセンチュウを防除する湛水防除を実施する畑が拡大しています。

また、施設栽培では、施肥・畝たて等の作業を行った状態で散水した後、農業用フィルムで被覆し、太陽



写真-9 湛水防除の実施状況

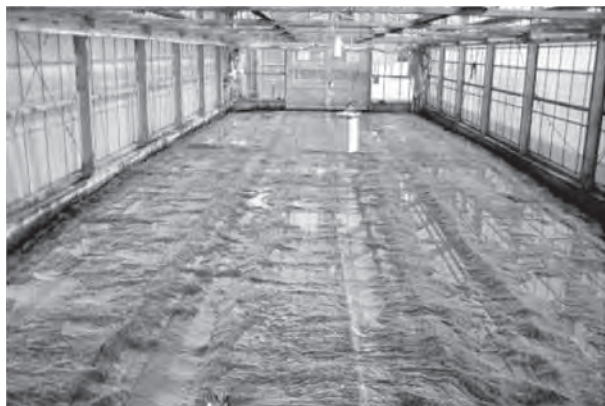


写真-10 宮崎型改良陽熱消毒の実施状況

熱を利用して地温を40℃以上に保ち、センチュウや土壌病害を防除する宮崎型改良陽熱消毒法が普及しています。

4. 未来像の実現に向けた課題と取組

前述の3つのチカラを活かした畑地かんがい営農の未来像を実現するために、今後3年程度で重点的に取り組む2本の柱と7つの取組を以下に示します。

(1) 農家、関係団体、行政など、地域が一体となった畑地かんがい営農の推進

① 県、市町村、JA、土地改良区等で構成する畑作営農改善推進協議会等の体制及び連携の強化

地域における畑地かんがい営農の普及を図るため、畑作営農改善推進協議会を中心に、新たな戦略的作物の検討、栽培試験ほの設置、かん水効果の調査、年2回（春・秋）の作付調査等に関係機関の連携のもと精力的に取り組めます。

また、営農振興協議会地区協議会等ともより一層の連携を図り、効果的かつ効率的な畑地かんがい営農を推進していきます。



写真-11 関係機関の連携による展示ほ現地検討会

② 先駆的な農業者が実践する畑地かんがい営農を地域へ拡大するための畑かんマイスターの育成・活用

畑地かんがい営農に先駆的に取り組んでいる農家を「畑かんマイスター」として委嘱し、畑地かんがい事業への提言や地域農家への実践事例のPR等を行っていただく制度を本年度からスタートしました。このようなマイスター制度は茨城県や鹿児島県で先駆けて取り組まれており、これらの先進事例を参考にマイスターの育成と効果的な活動に取り組めます。

③ 関係機関の連携による畑地かんがい営農のPR・啓発

畑地かんがいだよりやホームページ、県政番組等を活用し、畑地かんがい営農を分かりやすくPRします。また、本年度は、畑地かんがい営農推進大会を開催し、畑地かんがい営農推進の機運の醸成を図ります。

宮崎県庁ホームページへのアクセス方法

「宮崎県畑地かんがい」で検索

<http://www.pref.miyazaki.lg.jp/nousei/nouson/nh/hatakan.html>



図-5 県庁ホームページによる営農情報PR



写真-12 県政番組を活用したテレビでのPR

④ 計画的な畑地かんがい施設の整備促進

畑地かんがい事業推進委員会を中心とした座談会や土地利用計画等の話し合いを通して地域農家への畑地かんがい事業の理解促進と地域営農ビジョンの樹立を図ります。



写真-13 座談会開催による畑かんの理解促進

(2) 「儲かる農業」の実現に向けた畑地かんがい営農技術の確立と地域への普及

① 畑地かんがいを活用してこそ可能となる新たな営農技術の開発・実証

畑地かんがいの効果を最大限に引き出すためには、水利用効果の高い品目や栽培方式等を開発する必要があります。

県総合農業試験場では、10アールの平均的な単収が約4トンのジュース用にんじんの栽培を、畑地かんがいを活用した散水を基本として播種深度、播種密度を変えることで、単収9トンを可能にする技術を開発しました。これを受け、慣行栽培と新たな栽培方法を比較する現地実証試験の取組を始めています。



写真-14 にんじん9トンどり技術試験の様子

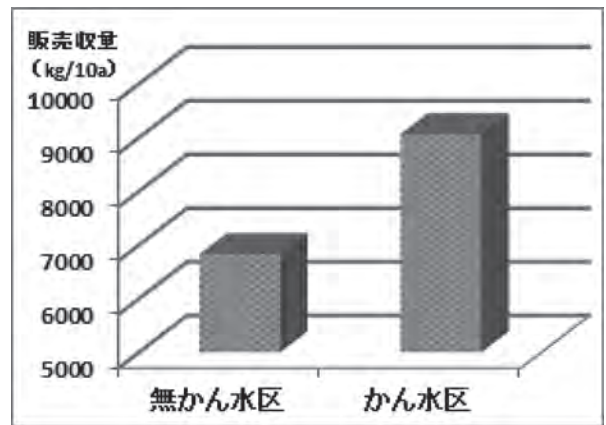


図-6 ジュース用にんじんのかん水効果

② 畑地かんがい営農技術及び経営の普及

新たに開発・実証された技術は、実証データに基づく畑地かんがい営農技術マニュアルを作成・活用することにより、地域の農家へと普及していきます。その際、技術の切り売りではなく、経営も含めた普及が必要であり、高収益畑地かんがい営農輪作体系モデルとして普及していくことを目指しています。

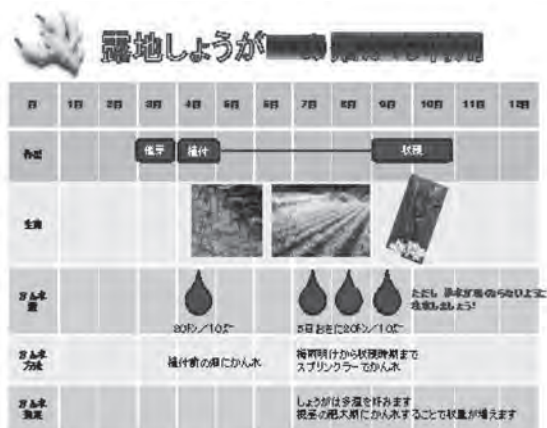


図-7 畑かん営農マニュアルのイメージ

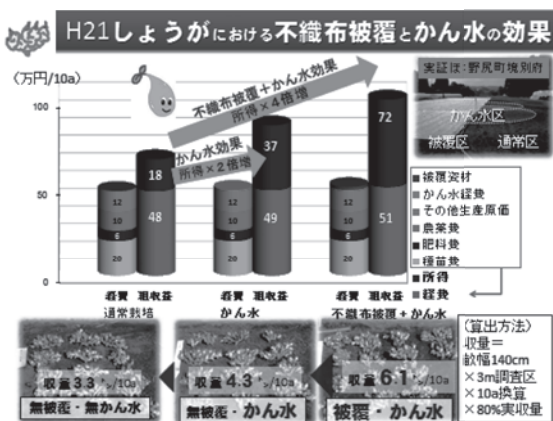


図-8 畑かん利用による経営収支向上のPR

③ 水が自由に使える優良農地の確保と意欲的な担い手への農地の集積

畑地かんがい施設、区画整理及び暗きょ等の基盤整備の推進による気象災害に強い優良農地の拡大を図るとともに、関係機関の連携による受益地を中心とした作付調査を実施し、その結果を活用して意欲的な担い手への農地の面的集積を促進します。

作付調査については、これまで印刷した地図をもとに現地確認を行っていましたが、水土里情報とGPSによるパソコンを活用した効率的な調査手法の確立に取り組んでいます。



写真-15 作付調査の実施状況

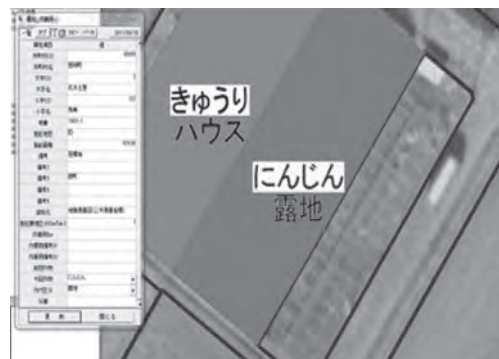


図-9 水土里情報を活用した作付情報表示

5. 畑地かんがい営農の推進に向けた関係機関の体制と役割分担

地域段階では、県農林振興局の畑地かんがい営農推進担当がコーディネート役を担いながら、県、市町村、JA、土地改良区等で構成する畑作営農改善推進協議会の情報共有、連携強化を図ります。

また、本庁段階では、畑かん営農推進室を中心に関係各課との連携を図るため畑地かんがい営農推進連絡会議を開催し、併せて、JA中央会、JA経済連等と連携して取り組む畑作振興プロジェクト会議、さらには営農技術の向上を目的とした営農振興協議会等との連携を強化します。

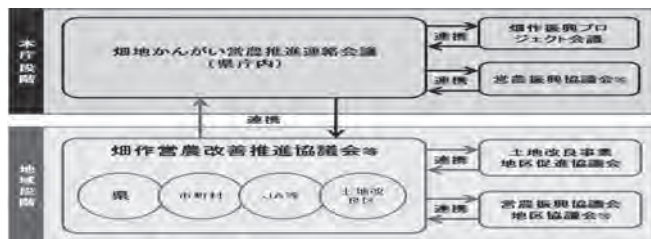


図-10 関係機関の推進体制

6. おわりに

本県農業は温暖、多日照という条件を活かした施設栽培を中心に発展してきましたが、畑地かんがい施設の整備により、農地の約半分を占める畑作地帯の生産性を一気に向上できる可能性が高まってきました。特に本県農業の課題である、口蹄疫からの再生・復興を加速するための畜産と耕種のバランスの取れた産地の育成、農商工連携や6次産業化等の促進による加工・業務用野菜等の産地育成についても畑地かんがいの果たす役割と可能性が大いに期待されています。

「太陽とみどりの国」という豊かな自然環境、「食料供給基地」「食の宝庫みやざき」という自負のもとにこれまでに取り組んできた安全・安心な食料生産・供給体制に、「3つのチカラ」を秘めた畑地かんがいを組み合わせることで、関係機関と農家が一体となり、総力戦で「儲かる」「災害に強い」「持続可能な」農業の実現に向けて取り組んでいきます。

# 塩害を受けた水田の除塩実証試験について

鈴木 浩之* 渡部 丈夫*  
(Hiroyuki SUZUKI) (Masurao WATANABE)

## 目 次

1. はじめに .....	67	4. 現地実証試験 .....	69
2. 実証試験ほ場の位置と概況 .....	67	5. 現地実証試験結果 .....	71
3. 現地予備調査 .....	68	6. おわりに .....	73

### 1. はじめに

平成23年3月11日の東日本大震災によって、大規模な津波が発生し、東北地方及び関東地方の太平洋沿岸地域のおよそ2万4千haの農地に海水が浸入し、甚大な被害が発生した。津波により被災した農地では、海水の塩分が土壌中に残留しており、塩害による作物の生育障害が懸念され、現状のままでは作物の作付けが困難な状態であったことから、営農再開に向けた除塩が緊急の課題であった。このため、被災農地の状況に応じた効果的な除塩方法を検討・立案し、現地実証試験により、その効果等の検証を行った。

本報文は、宮城県名取市の海水の浸入を受けた水田における除塩の実証試験について、取りまとめたものである。

### 2. 実証試験ほ場の位置と概況

#### (1)実証試験ほ場の位置

実証試験ほ場は、実証試験を短時間で効率的に実施するため、「用排水施設の機能に問題がないこと」、「除塩用水が確保できること」及び「ほ場に津波で運ばれたガレキ類がないこと」などの条件を満足する、宮城県名取市館腰地内の、海岸から約4km離れた仙台空港西端の北側のほ場を選定した。図-1に実証試験ほ場の位置図を示す。

#### (2)実証試験ほ場の概況

実証試験ほ場は、1区画30aで暗渠排水が整備されたほ場であり、実証試験前の水田には、海水の浸入に伴う土砂が平均して3cm程度堆積している状況であった。

写真-1に実証試験前のほ場の状況写真を示す。

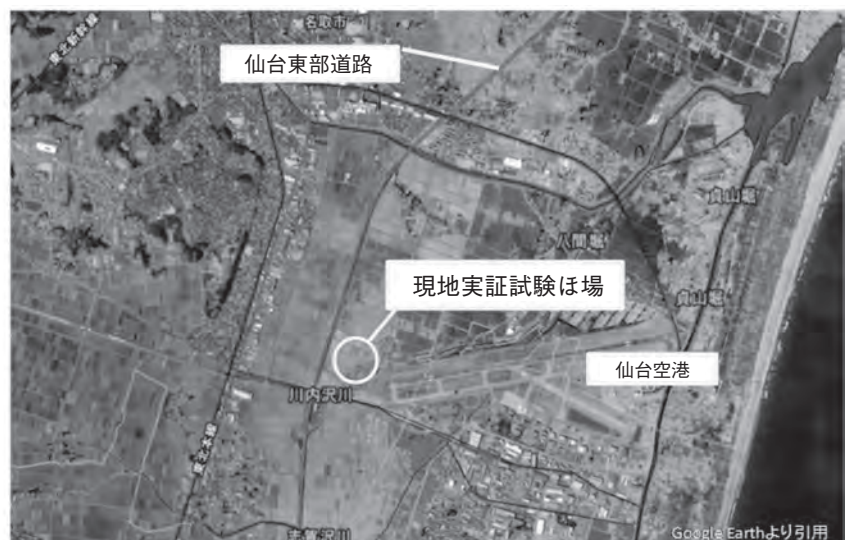
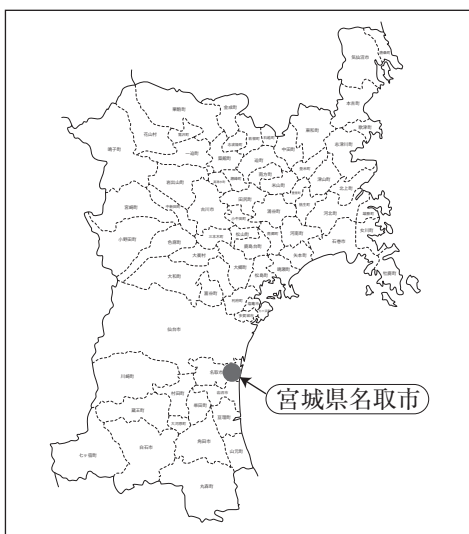


図-1 実証試験ほ場の位置図

* (財)日本水土総合研究所 (Tel. 03-3502-1387)



写真-1 実証試験前のほ場の状況

### (3)ほ場の土壌特性

実証試験ほ場の土壌特性を把握するため、土層の調査と土壌の物理性に関する試験を行った。

#### 1)土層

試験ほ場の土層は、耕作土が15cm程度であり、田面-15cm~-30cmは砂質土、-30cm~-60cmは砂混じりの粘性土、-60cm以深は砂質土であった。写真-2に試験ほ場の土層を示す。

#### 2)土壌の物理性

実証試験ほ場の作土層から試料を採取し、土壌の物理性に関する試験を行った。土性は埴壤土で、飽和透水係数は $9.0 \times 10^{-4}$ と比較的透水性の高いほ場であることがわかった。

表-1に試験結果を示す。

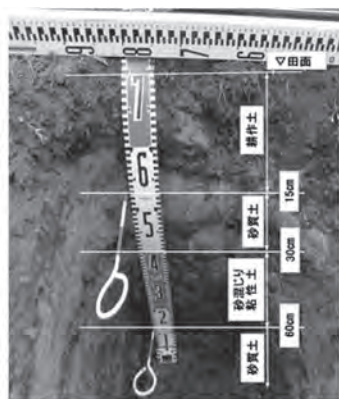


写真-2 試験ほ場の土層

表-1 試験ほ場の土壌の主な物理性

	粒 径 組 成			土 性	土粒子の密度 ( $g/cm^3$ )	飽和透水係数 ( $cm/s$ )
	砂	シルト	粘土			
作土層 (0cm~-10cm)	58%	26%	16%	埴壤土 (CL)	2.46	$9.0 \times 10^{-4}$

※粒径組成：ピペット法 土性：国際土壌分類による  
土粒子の密度：JIS A1202による 飽和透水係数：変水位法による

## 3. 現地予備調査

### (1)実証試験ほ場周辺の広域的な塩素濃度調査

現地予備調査において、広域的な被害の程度を把握するため、試験ほ場の周辺に500m×500mのメッシュを設定し、メッシュの交点40地点(図-2)か

ら6月下旬に試料を採取して、塩素濃度の調査を行った。試料は1地点につき、堆積土砂、表層(田面-5cm)、下層(田面-20cm)の3箇所て採取した。

この調査結果より、海側に近いほど、また表層よりも下層の方が塩素濃度が高い傾向にあることがわかった。図-3に塩素濃度の調査結果を示す。



図-2 試験ほ場周辺の塩素濃度調査位置

試験ほ場周辺農地の表層、下層の塩素濃度

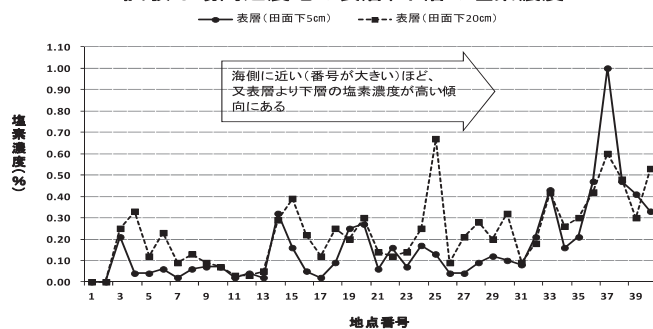


図-3 試験ほ場周辺農地の表層、下層の塩素濃度

### (2)塩素濃度と電気伝導度の関係

塩素濃度と電気伝導度(Electric Conductivity: 略称EC)には相関性があり、塩素濃度を示す尺度としてECが用いられている。本調査では、この相関を求め、比較的測定が容易な電気伝導度による管理を行うこととした。

相関性の調査は、実証試験ほ場周辺の広域的な塩素濃度調査における塩素濃度の測定とあわせて電気伝導度の測定を、1地点当たり3検体、合計120検体の試料を採取し実施した。

この結果、式1に示す相関式が得られた。

$$[CL (\%)] = 0.17 [EC] - 0.03 \dots (式1)$$

相関係数:  $R = 0.99$

#### 4. 現地実証試験

##### (1) 除塩の方法

除塩の方法には、ほ場に湛水した水が降下浸透する際に土壤中の塩水を下方に押し出すことにより除塩する縦浸透法と、土壤中の塩分を湛水中に溶出させた後、ほ場の水尻から塩水を排水して除塩する溶出法の2つがある。図-4にこれらの方法による除塩の概念図を示す。

##### (2) 除塩効果の検証方法

除塩効果を促進するためには弾丸暗渠の設置や代かき及び石灰質資材の施用等が考えられることから、これらに着目した試験ほ場タイプを設定し、各試験ほ場タイプの除塩効果を比較することにより除塩方法の違いや弾丸暗渠、代かき及び石灰質資材の施用の有無等による除塩効果を検証することとした。

##### 1) 試験ほ場タイプの設定

暗渠が整備されたほ場と暗渠が整備されていないほ

場において、弾丸暗渠や代かき及び石灰質資材の施用の有無により7つの試験ほ場タイプを設定した。なお、用水及び排水系統の問題から、暗渠排水が整備されていない透水性の低いほ場を確保できなかったため、実証試験ほ場のタイプ4からタイプ6については、暗渠が整備されたほ場で水閘を閉めた状態（以下「暗渠未使用」という）で実証試験を実施した。また、タイプ7のほ場（対照ほ場）は各試験ほ場タイプの除塩効果や降雨のみによる除塩効果を検証するため、堆積土砂を撤去し自然状態で放置した。図-5に実証試験のほ場位置とほ場タイプを示す。

##### 2) 除塩効果の検証パターン

タイプ1からタイプ6の各ほ場タイプを組合わせて試験することにより、除塩方法の違いや弾丸暗渠、代かき及び石灰質資材の施用の有無による除塩効果の違いを検証することとした。

これらの検証パターンをとりまとめたものを表-2に示す。

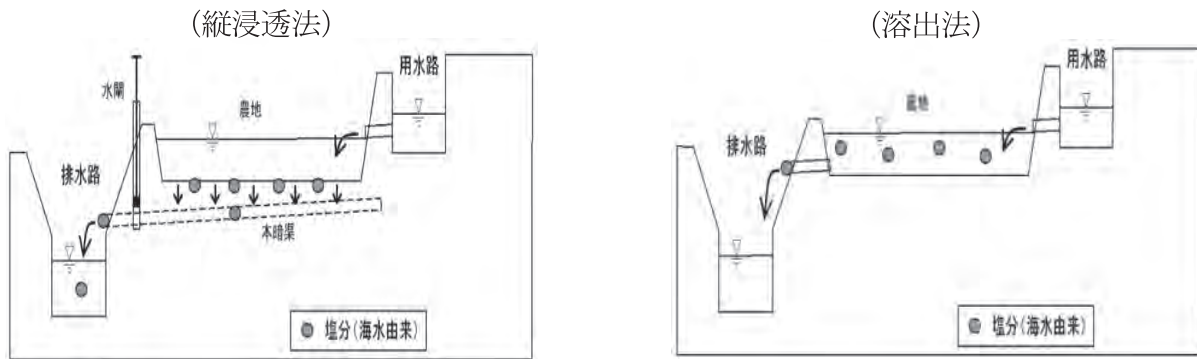


図-4 縦浸透法と溶出法による除塩の概念図

除塩方法 ほ場No.	縦 浸 透 法					
	⑩ <タイプ1> 堆積土砂撤去 【自然状態や放置】	① <タイプ1> 塩素濃度測定 暗渠 有	② <タイプ2> 塩素濃度測定 暗渠 有 弾丸暗渠	③ <タイプ1> 塩素濃度測定 暗渠 有	④ <タイプ2> 塩素濃度測定 暗渠 有 弾丸暗渠	⑨ <タイプ3> 塩素濃度測定 暗渠 有 弾丸暗渠 石灰質資材
実証試験タイプ 暗渠有		掘 起	掘 起	掘 起	掘 起	掘 起
		退 水	退 水	退 水	退 水	退 水
		暗渠から排水	暗渠から排水	暗渠から排水	暗渠から排水	暗渠から排水
		塩素濃度測定	塩素濃度測定	塩素濃度測定	塩素濃度測定	塩素濃度測定
除塩方法 ほ場No.	溶 出 法					
	⑤ <タイプ4> 塩素濃度測定 暗渠 未使用	⑥ <タイプ6> 塩素濃度測定 暗渠 未使用 石灰質資材	⑦ <タイプ4> 塩素濃度測定 暗渠 未使用	⑧ <タイプ5> 塩素濃度測定 暗渠 未使用	⑪ <タイプ7> 堆積土砂撤去 【自然状態や放置】	
実証試験タイプ 暗渠未使用		掘 起	掘 起	掘 起	掘 起	
		退 水	退 水	退 水	退 水	
		水尻から排水	水尻から排水	水尻から排水	代 か き	
		塩素濃度測定	塩素濃度測定	塩素濃度測定	塩素濃度測定	

図-5 実証試験のほ場位置とほ場タイプ

表-2 除塩効果の検証パターン

検証パターン	除塩方法 検証内容	縦浸透法による除塩					溶出法による除塩				自然状態		
		ほ場No.	①	②	③	④	⑨	⑤	⑥	⑦	⑧	⑩	⑪
		ほ場タイプ	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ6	タイプ4	タイプ5	タイプ7	タイプ7
1	弾丸暗渠の効果		○	○									
2	石灰質資材施用の効果					○	○						
3	〃							○	○				
4	代かきによる効果									(○)	(○)		
5	縦浸透法と溶出法の除塩方法の違いによる効果				○						○	○	
6	自然状態(比較ベース)												暗渠有 暗渠未使用

※○印のついたタイプを比較して検証する。

※( ) 書きの検証パターン4のほ場No.⑦及び⑧は、検証パターン5を兼ねる。

3) 除塩作業の実施方法

① 堆積土砂鋤取り、撤去

実証試験ほ場には、海水の浸水に伴う土砂が平均して3cm程度堆積していたため、この土砂を鋤取り、撤去することとした。

② 弾丸暗渠の設置

φ75の砲弾型のモールドを使用し、深さ50cm程度の位置に5m間隔で本暗渠と直交するように弾丸暗渠を設置することとした。

③ 石灰質資材の施用

タイプ3(ほ場No.⑨)とタイプ6(ほ場No.⑥)のほ場において、それぞれ硫酸カルシウム(石膏)と炭酸カルシウムを施用した。その施用量については、他県の事例等を考慮して、150kg/10aとした。

④ 耕起

湛水した用水が作土層にしみ込みやすくするため、すべてのタイプ(タイプ7のほ場は除く)のほ場で、耕盤を傷めることのないようにほ場全体を1回耕起することとした。

⑤ 代かき

各湛水毎にほ場全体を1回、心土(耕盤)を傷め

ることのないよう代かきを実施することとした。

⑥ 湛水-排水作業

湛水深は10cmとした。また、排水に当たっては、縦浸透法による試験ほ場では、湛水後すぐに暗渠の水閘を開けて排水することとし、溶出法による試験ほ場では、湛水後2日間静置した後に水尻からのみ排水することとした。排水後、土壌のEC値を測定し、EC値が0.79mS/cm(塩素濃度0.1%に相当するECの値)以下になるまで湛水-排水作業を繰り返すこととした。

⑦ 作業工程

除塩作業の工程は、図-6に示すとおり行った。

⑧ 土壌検体の採取

実証試験ほ場の土壌の塩素濃度を把握するため、「試験開始前」、各「湛水-排水後」及び「試験終了後」に土壌を採取し、EC値(1:5水浸出法)を測定した。

検体の採取は図-7に示すように、試験ほ場ごとに3箇所で行った。また、図-8に示すように5cmと20cmの深度で採取し、各深度ごとに3箇所分を混合し、1つの検体を作成した。

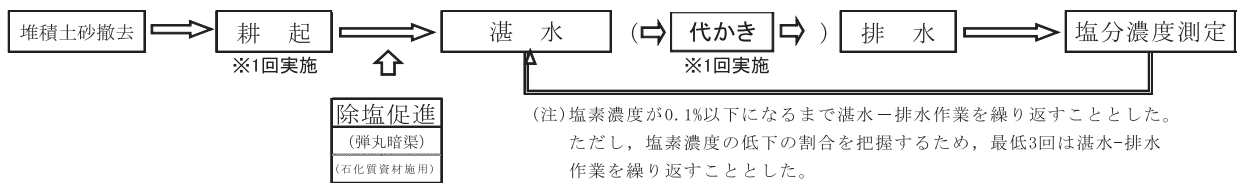


図-6 除塩作業の工程

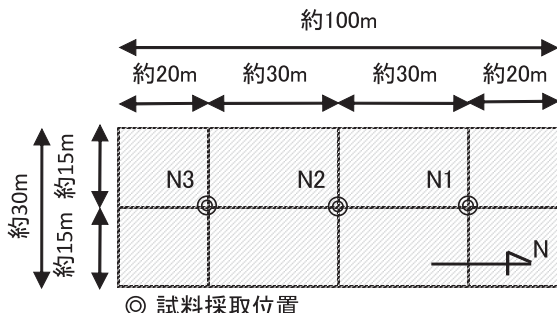


図-7 実証試験ほ場平面図

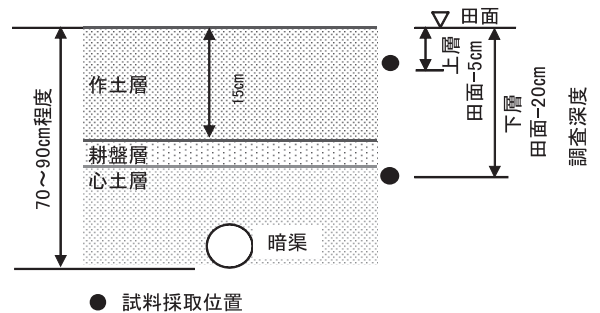


図-8 実証試験ほ場断面図

## 6. 現地実証試験結果

### (1)除塩の結果及び評価

#### 1)縦浸透法の効果

縦浸透法による湛水と排水を繰り返すことにより、土壌中の塩素濃度を目標値である0.1%以下に確実に低下させることが確認された。今回の試験ほ場が比較的透水性の高いほ場であったことから、2回の除塩作業で下層（田面下20cm）まで塩素濃度を低下させることができた。

#### 2)弾丸暗渠の評価

弾丸暗渠を施工したほ場では下層部まで確実に塩素

濃度が低下していることから、弾丸暗渠による塩分の降下浸透の促進効果が確認された。暗渠が整備されたほ場では、縦浸透法により弾丸暗渠を併用して除塩を行うことが有効である。また、暗渠が未整備のほ場においても、除塩溝や弾丸暗渠を設置して塩分の効果浸透の促進を図る方法が効果的であると考えられる。

なお、このような弾丸暗渠の設置による縦浸透の促進を図る除塩方法は、下層部まで確実に塩分を低下させることができることから、表層のみを除塩した場合に、中干し等に伴い毛管現象により下層の塩分が土壌表層に上昇して、塩害が再発する現象を防止する点からも有効である。

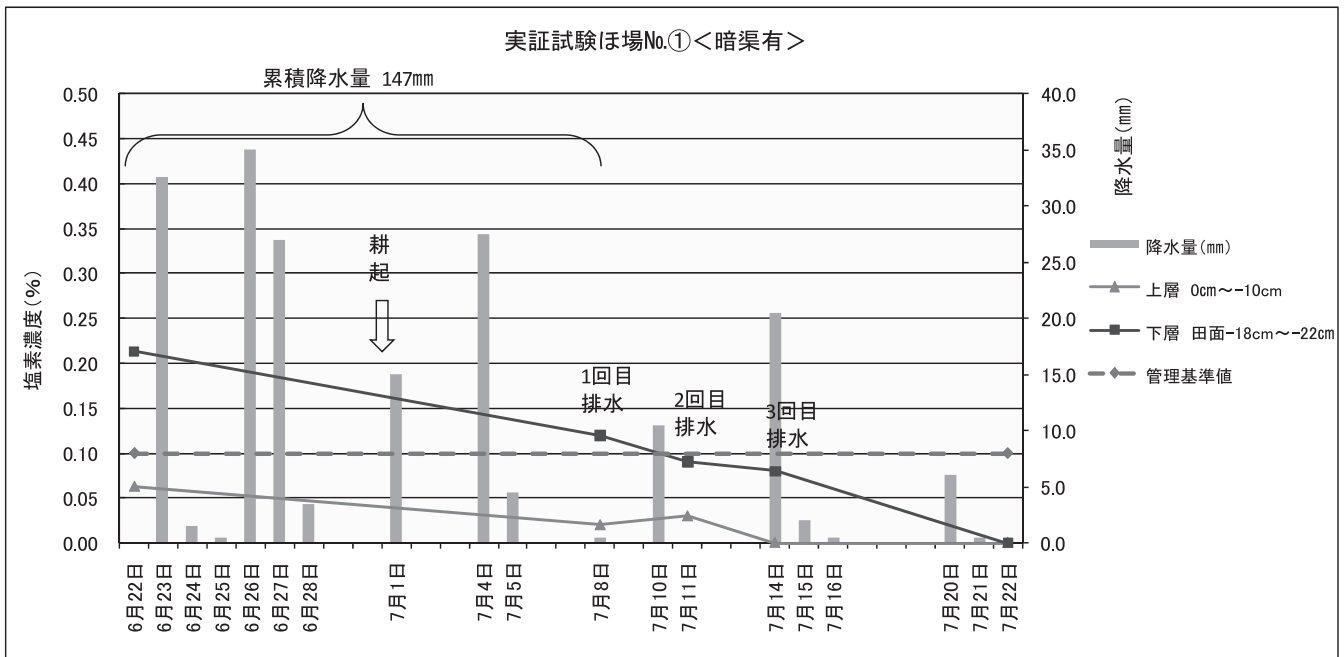


図-9 実証試験の結果（暗渠あり）

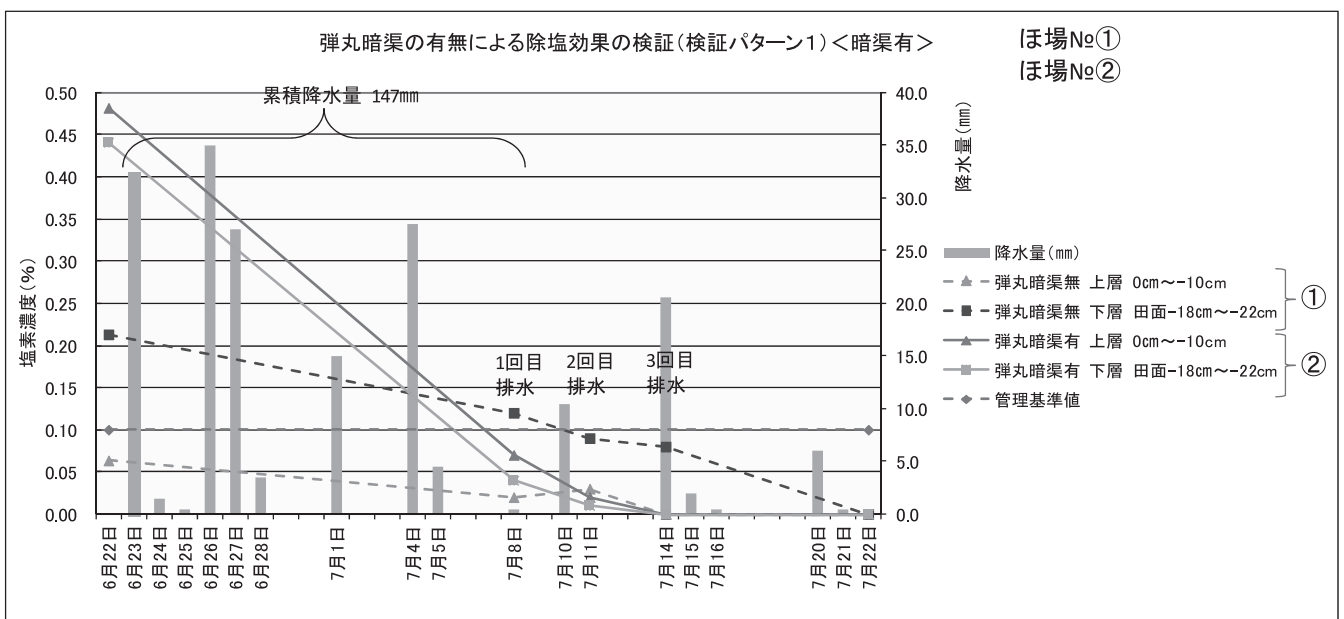


図-10 弾丸暗渠の有無による除塩効果の違い



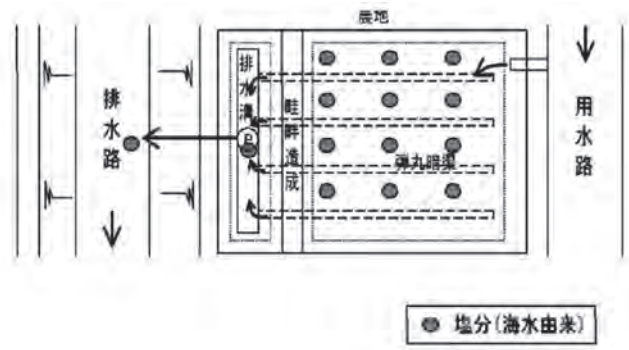
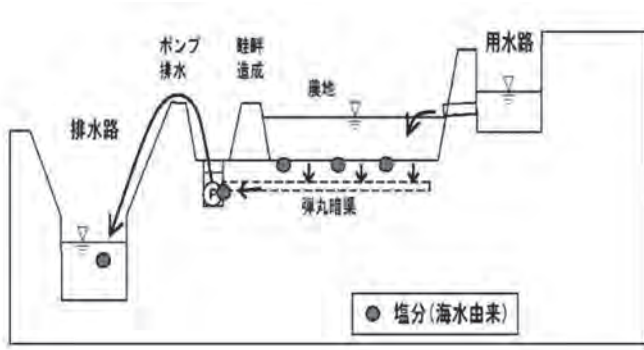


図-11 暗渠未整備の場合における弾丸暗渠による除塩の概念図

### 3) 縦浸透法と溶出法の評価

今回の実証試験では、暗渠が整備されたほ場で、暗渠の水閘を閉めた状態にし、小排水路を堰止めして水位を高くして擬似的に排水不良のほ場を作り溶出法の試験を実施したが、結果として土壤の排水性が良く縦浸透により塩分が低下したことから、溶出法の検証は実施できなかった。

弾丸暗渠の併用による縦浸透法の効果が確認できたことから、暗渠が整備されたほ場においては縦浸透法による除塩が効果的である。また、暗渠が未整備のほ場においては溶出法によることとしているが、下層部に残留した塩分が表層部に上昇することにより塩害が再発する事例が確認されており、溶出法による場合には、中干しを行わないなどの営農面での配慮が求められる。

れる。

### 4) 石灰質資材の施用及び代かきの評価

試験ほ場の水田が砂質系の透水性の高いほ場であったため、縦浸透による塩素濃度の低下が卓越したため、石灰質資材の施用及び代かきの効果については有効なデータが得られていない。粘土質系の透水性の低いほ場では、石灰質資材の投入が土壤の透水性改善に効果があるが、その種類及び施用量によっては、除塩後の土壤のpHに影響を与える場合があるため、注意が必要であると言われている。

また、縦浸透法による除塩を実施する場合に代かきを実施すると、代かきにより縦方向の浸透が抑制されることがあることから、代かきを併用しない方が良いと考えられる。

表-3 堆積土砂鋤取り撤去の歩掛 (日施工量)

作業の種類	名称	規格	土質名	数量(m ³ )
				障害なし
堆積土砂の鋤取り撤去	バックホー運転	排出ガス対策型(第1次基準値) クローラ型 法面バケット(0.45 m ³ 級)	砂、砂質土	3,277

表-4 弾丸暗渠の歩掛

機械名	規格	単位	数量	摘要
農業用トラクタ	乗用:ホイール型 四輪駆動、33ps	h	1.48	1ha当り運転時間

### (2) 降雨による除塩の促進効果

降雨のみによる除塩効果を確認するための対照ほ場を設置したところ、ほ場によりばらつきが見られるものの、降雨による塩素濃度の低下が確認された。

また、宮城大学による調査の結果から、暗渠を利用することで降雨により除塩が進むことが確認されている。

### (3) 除塩作業の歩掛り調査

今回の実証試験では、本格的な除塩事業の実施にあたっての参考資料とするため、除塩に係る各種作業の歩掛り調査を実施した。その結果、堆積土砂のす



写真-3 堆積土砂の鋤取り撤去状況

き取り撤去はバックホーによる作業で1日当たり約3,300m³、弾丸暗渠の施工は農業用トラクターによる作業で1haあたり1.48時間等の歩掛りが算出された。特に、堆積土砂のすき取り撤去については、事例の少ない特殊な作業であり、今回の調査結果が活用されることが期待される。

## 6. おわりに

日本水土総研では、昨年12月より農水省生産局の補助を受けて、「農地の除塩技術に関する研修会」を、被災地の宮城県、福島県、岩手県、青森県で実施している。研修会における項目の中には今回の実証試験の成果を反映した内容を数多く盛り込んでいるが、石灰質資材に関する知見については、東京農業大学土壌学研究室の後藤逸男教授に御指導をいただいた。

後藤教授は、自ら福島県相馬市で農地の除塩に関する現地指導を实践されており、津波による堆積土砂の扱いに関しては、成分調査の結果有害物質が含まれていない場合には、農地にすき込むことを奨励されている。堆積土砂を撤去した場合には、その処理に膨大なコストがかかることもあり、除塩事業を本格的に開始した宮城県においても堆積土砂に関してその扱いに苦慮しているとのことである。

また、塩害の被災農地では、イヌビエ等の耐塩性の雑草が繁茂しており、その処理も大きな課題となっている他、地盤沈下の著しい農地では、単なる除塩だけではなく、表土の客土や農地の嵩上げのための良質な土の確保が課題となっているとのことである。

2万ha以上に及ぶ大規模な塩害は、近代の我が国ではいまだかつて経験したことがない事態であり、その被災地の状況も刻一刻と変化している。農地の復旧・復興に向けて、行政、研究機関、民間企業などの関係者が連携して最新の技術を提供し、農家を支援していくことが肝要である。

## 【参考文献】

平成23年度 農地の除塩実証調査業務委託報告書  
(財)日本水土総合研究所

# 野中兼山と山田堰

釣井利勝*  
(Toshikatsu TSURUI)

## 目次

1. はじめに .....	74	4. 物部川合同堰の概要 .....	76
2. 野中兼山と新田開発 .....	74	5. おわりに .....	76
3. 山田堰の歴史 .....	75		

### 1. はじめに

江戸時代の初代土佐藩主である山内一豊が築造した高知城から眼下を見下ろせば、県庁や市役所をはじめ電車通りや日曜市が開かれる追手筋など、かつては城下町であった街並みが広がっている。

ここから東へ約15km、香美市から太平洋に至る物部川に物部川合同堰（通称山田堰）が設置されており、堰の下流にある香美市や香南市、南国市、高知市の4市に跨る水田では、3月下旬から極早稲の田植えが始まり、その水田を潤す水は物部川の2つの堰から供給されている。（図-1）

県内で最大の受益面積を有している現在の物部川合同堰は、江戸時代からあった8つの堰のうち上流側の2つを統合して昭和48年に完成したもので、元々あった山田堰の上流側に県営かんがい排水事業により新設されており、下流の6堰は昭和38年の台風9号の災害

復旧により統合され物部川統合堰として昭和41年に完成した。

本稿では、高知県の農業利水に大きく貢献した野中兼山（写真-1）とその代表的な築造物である山田堰（物部川合同堰の前身）を紹介する。



写真-1 野中兼山像（長岡郡本山町の帰全山公園）



図-1 山田堰の位置図

### 2. 野中兼山と新田開発

野中兼山の父、野中良明は山内一豊に家老として従えていたが、一豊の死去後に浪人となっており、その後、播磨国（現兵庫県）姫路で兼山が生まれた。父の死後、野中兼山は土佐に戻り、父の従兄弟で奉行職の野中直継の養子となった後、18歳で奉行職に就き、土佐藩の二代藩主山内忠義の下で総奉行として藩政を担うこととなった。

1600年代初頭の土佐藩は、領地の面積の割に水田が少なく長曾我部地検帳によれば約2万4千町歩（ha）の状況であり、武士に与える俵米でさえ不足するなど、台所事情は芳しくなかったと思われる。

こうした状況の中で、幕府に収める負担を賄うために藩政改革の命を受けた兼山は、新田開発や港湾・堤防の整備、森林資源の活用などを推進し、財政の立て

*高知県農業振興部農業基盤課  
(Tel. 088-821-4564)

直しに貢献している。

特に新田開発は藩政を豊かにする基盤事業として推進され、堰や用水路の建設は多大な年月と労力を要する大事業であったが、物部川をはじめ県中部の仁淀川や県西部の四万十川支流後川などの水系において数多くの利水事業を手掛けており、兼山の関わった新田は県内全域で7千町歩を超えとも言われる。

この外、我が国で最初の掘込港湾とされる香美郡夜須町の手結港など歴史的に価値のある土木事業を指揮したことや、兼山神社をはじめ県内各地で兼山を祭る社が多くあることなど、その功績は広く知られている。

しかしながら、兼山の晩年は不遇に見舞われ、三代藩主忠豊の時代に入ると3人の家老から弾劾を求める訴書が出され、寛文3年（1663年）7月に職を解かれた後は舟入川を見渡す土佐山田町中野で隠居の身となり、その僅か3ヶ月後に49歳で急死する。また、兼山の妻子は宿毛に幽閉され、野中家はとりつぶしとなった。

弾劾の訴因の一つとして強制的な新田開発に伴う農民への賦役が過重で逃げる者がいたことなど事業を強力に推進する兼山の政治手法を批判する内容が記されている。

### 3. 山田堰の歴史

物部川流域から高知市東部に至る香長平野は、今でこそ県内最大の農業地帯であるが、江戸時代の初期は水田に供給する農業用水がなく、利用することができないただの荒地だったと言われている。

兼山は、この香長平野の土地を開拓し、物部川の水を新田に送水すれば、穀物を増産できると考えて開発に着手した。

山田堰の工事は、土佐藩の有する優れた土木技術により、「大水に耐える堰を造るのには、水に逆らわない形が一番良い」との考えに基づき、川に縄を流してその曲がった縄の形どおりに堰を造るという「湾曲斜め堰」という形式を採用するとともに、松丸太を用いた四ツ杵工法により堰を構築したと伝えられる。（図-2、3）

関連の用水路も含め寛永16年（1639年）から寛文4年（1664年）までの約26年間の工期を費やして行われた工事は、建設機械のない時代であったため、多くの労働者を動員して人力だけで施工され、大きさは、全長180間（324m）、幅6間（10.6m）、高さ5尺（1.5m）、建設資材として松材42,800本と石材1,100坪が使用されたと言われている。

また、右岸側の上井川、中井川、舟入川、左岸側に父養寺井の合わせて4つの水路（表-1）が設けられ、特に舟入川は、上井川と中井川から南側への落ち



図-2 旧山田堰修築工事の想像図



図-3 土佐藩政史料「皆山集」の山田堰見取図

表-1 水路の概要

水路名	完成年	延長	かんがい面積	断面寸法 幅×深
中井川	寛永16年 1639	2里19町 9,925m	434町余	3~5間 ×3~5尺
上井川	正保2年 1645	1里7町 4,690m	126町余	9尺 ×1~3尺
父養寺井	明暦元年 1655	1里10町 5,017m	42町余	9尺 ×1~3尺
舟入川	万治元年 1658	2里24町 10,545m	1,109町余	平均4間半 ×2~4尺
計		30,177m	1,711町余	

水を生かして水量が豊富なことや水路幅が6~8m程度と広がったため、高知城下の浦戸湾に至る運河として木材など物資の輸送に活用された。

山田堰は、昭和4年に県指定文化財（史跡）として指定を受けた後も堰の機能を維持していたが、老朽化に伴う能力の低下は否めず、昭和42年から県営かんがい排水事業を導入して上流側に可動堰を新設する工事が始まる。

物部川合同堰の完成により300年以上を経過した山田堰は昭和48年4月1日にその機能を停止し、その後、堰は撤去されたが、右岸側の高水敷に一部を残して公園整備を行い、復元した取水門を隣接地に存置するなど、地元有志による保存活動によって当時の名残を今に伝えている。(写真-2)



写真-2 旧山田堰の撤去前の風景

#### 4. 物部川合同堰の概要

山田堰の用水系統を引継いだ物部川合同堰は、旧山田堰の上流700mに設置され、洪水吐ゲート2門(油圧転倒式・幅40m×高2.3m)、土砂吐ゲート1門(幅10m×高3.15m)、魚道や管理棟などを整備している。(写真-3)

かんがい期は、毎秒8.41m³(現在の許可水量)の取水を可能とし、右岸側の旧山田堰の取水地点までは水路トンネルを通じて開水路へ接続している。コンクリート3面張りの幹線水路は、泥上げの労力を大きく軽減させたことと併せて重要な役割である降雨時の排水機能も有しており、地域住民の生活環境を支える大切な水路として広く知られている。

また、堰の新設に合わせて水利権を慣行から許可へ切り替えているが、当時の香長平野は水稻二期作が行われていたため、4月から10月までのかんがい期を通じて最大取水量を取水する用水計画となったのは、田植えが4月の極早稲、6月の普通期、8月の2番作(極早稲の後作水稻)と3回のピーク水量を積み上げた結果であり、全国的にも珍しい作付体系であった。

明治以降に本格的な二期作が始まったと言われてい



写真-3 現在の物部川合同堰(下流からの風景)

るが、多収技術や米価の後押しを受けた大正から昭和の初期にかけて作付面積が5千haを超えるまで拡大した後、やや減少傾向に転じたことや戦争に伴う二期作の空白期間が生じている。

昭和21年以降の食料増産政策により、昭和36年には4,340haにまで回復したものの、昭和40年代後半からは野菜など園芸作物への転換などに伴い二期作は急激に縮小した。

この地域が高知の穀倉地帯と言われるのは二期作の普及が大きな要因であったと思われるが、現在は二期作の実態はなくなっており、露地や施設の園芸作物が拡大してきたため、水利権の更新時に水利使用規則の取水量や期間を見直している。

#### 5. おわりに

江戸時代の山田堰や用水路が、補修や改修を繰り返しながら香長平野の1,849ha(現在の受益面積)へ農業用水を安定供給し、県内最大の穀倉地帯として発展してきた歴史は今後も引き継いでいかなければならない。

例年9月の秋分の日には、農業用水の大切さを県民の方々に理解していただく行事として「舟入川ウォーキング」を継続的に実施する中で、山田堰井筋土地改良区を中心とする実行委員会やボランティアの方々や野中兼山や山田堰などの歴史を伝える活動に取り組んでいる。

現在の堰が新設された頃は、高度経済成長期の終盤であったが、その後も農地の転用や宅地・商用地の開発が続く、農家の減少と受益地内の混住化に伴う問題も多様化してきた。特に、最近では年々農家の数が減ることに加えて、高齢化も一段と進み、これまでと同様の水路の管理を継続することが難しくなってきている。

このため、地域ぐるみで農業用施設の保全管理を行っていく体制を整えることや施設の維持補修により延命化を図る取組を推進することが重要である。

物部川合同堰は、完成から40年近くを経過し、老朽化に伴う機能の低下や管理上の不具合もみられるため、基幹水利施設ストックマネジメント事業を導入して平成22年度から頭首工の予防保全工事に着手しており、現在は工事用の仮設橋を施工中であるが、平成24年の秋からゲート本体の取り換えなど主要な工事を進めていく予定である。

工事期間の取水への影響を極力抑えるように努め、平成26年の春には完成した施設によって農業用水の安定供給が確保されることを期待している。

#### 参考文献

「山田堰井筋20年史」発行：山田堰井筋土地改良区

# 我が国の水力発電ポテンシャル評価に関する展望

上田 達己* 後藤 眞宏*  
 (Tatsuki UEDA) (Masahiro GOTO)  
 浪平 篤* 廣瀬 裕一*  
 (Atsushi NAMIHIRA) (Yuichi HIROSE)

## 目次

1. はじめに .....	77	4. 農事用電力需要との比較 .....	83
2. 既往の水力発電ポテンシャル調査のレビュー ..	77	5. おわりに .....	84
3. 各調査の比較および考察 .....	81		

### 1. はじめに

豊富な水資源に恵まれかつ急峻な地勢をもつ我が国では、そのポテンシャルを活かした水力発電が電力供給の一翼を担ってきた。さらに、水力発電は、自給可能で運転時に温室効果ガスを排出しない、災害時のリスク分散にも資する再生可能エネルギーの一つとして、今後の普及が期待されている。

このような背景から、我が国においては、水力発電のポテンシャル調査が明治時代から現在に至るまで精力的に行われてきた。これら調査は、それぞれ独自の手法に依って評価を行っており、当然得られた結果も大きく異なっている。そこで本稿は、これまでに実施された主要な調査をレビューし、その評価手法および結果を相互比較することによって、今後の評価の精緻化に向けた展望を議論する。水力発電一般を議論の対象としつつも、主として農業用水を利用した発電ポテンシャルの議論に重点をおく。

なお、本稿では、ある地点の落差や最大出力、年間可能発生電力量を指す一般用語として「ポテンシャル」という単語を用いるが、これは以下に述べる「包蔵水力」、「賦存量」等の概念を含む広義の意味で用いる。これに対して、2-3節で用いる「導入ポテンシャル」という用語は、そこで引用する調査で厳密に定義された用語であるので区別されたい。また、調査によって「最大出力」、「設備容量」という2つの用語が併用されているが、本稿では両者を同義語として扱い、「最大出力」に統一する。

### 2. 既往の水力発電ポテンシャル調査のレビュー

#### 2-1. 『日本の理論包蔵水力』

この調査¹⁾は、総降水量を根拠に、我が国の水力発電ポテンシャルを評価する試みである。すなわち、全国各地の降水量およびその観測地点の標高データから、その降水がもつ位置エネルギーを計算し、それを国土全体にわたって積分したものである。

ここで、ある地域の「理論包蔵水力」(THPE)は、「ある地域(流域)の降水が、蒸発・浸透等すべての損失なしに、海面標高(0m)まで流下するものとして、その間になしうる仕事」をもって定義される。すなわち、

$$THPE = \int_0^{H_m} g \left\{ \oint_{S_h} P dS \right\} dh \text{ ----- (1)}$$

$P$ : 降水量,  $h$ : 標高,  $S_h$ : 標高 $h$ m以上の区域の面積,  $g$ : 重力加速度,  $H_m$ : 地域内の最高標高値

上式にしたがって全国の理論包蔵水力を積算した結果、平均出力で9,300万kW、年間可能発生電力量で約814,000,000(MWh)が得られた。この値は、我が国の有する水力ポテンシャルの物理的限界を示唆している。しかしながら、現実的に水力発電に用いることができる水資源はあくまで表流水のみであることから、蒸発・浸透を無視している点において、この値は、理論的仮想値と考えてもやや過大評価である。そこで工藤¹⁾は、流出係数を75%、水路損失・機械損失等を考慮した総合効率を80%、水力発電ポテンシャルの利用効率を76%と仮定した。ここでいう利用率とは、現実の貯水池・発電施設の配置が有限箇所であるため、実際に利用可能なポテンシャルは、(1)式で示されるような連続的な積分値ではなく、階段状の積算値になることに起因するポテンシャルの損失分を加味した係数である。そして、これらの仮定をすべて考慮した場合の

* (独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所  
 資源循環工学研究領域 (Tel. 029-838-7583)

「水力電源開発限度」を、平均出力で4,240万kW、年間可能発生電力量で約371,400,000 (MWh) と推定した。

なお、この推定値には、上記以外の技術的、制度的、経済的制約要因が一切反映されていないことに留意する必要がある。

## 2-2. 『発電水力調査』による包蔵水力(経済産業省資源エネルギー庁)

ここでいう「包蔵水力」とは、『発電水力調査』により明らかとなった我が国が有する水資源のうち、技術的・経済的に利用可能な水力エネルギー量のことを指す²⁾。この調査は、1910年(明治43年)の第1次調査に始まり、現在まで繰り返し行われてきた調査であり、歴史的には調査を経るごとに包蔵水力の総量は漸増している。すなわち、第1次(1910年～3カ年)、第2次(1918年～5カ年)、第3次(1937年～5カ年)、第4次(1956年～4カ年)の各発電水力調査において、最大出力の合計(既開発・未開発含む)は、それぞれ342,743,2,004,3,537(万kW)と増加した³⁾。工藤¹⁾はこれを、開発が進むにつれて調査範囲が拡大し、技術の進歩、経済成長につれて開発可能の限度が上がっていくためであるとしている。林ら³⁾によると、第1次調査では調査地点は全て水路式として計画され、最大発電使用水量は河川の渇水量(355日流量)をとっていた。第3次調査では、水路式のほかできるだけダム式計画をとり入れ、最大発電使用水量は豊水量(95日流量)を標準とした。さらに、第4次調査においては、技術の進展にともない大容量ダム式発電所やピーク式発電を重視した評価が行われ、最大発電使用水量は次の基準により定められた。

流込式地点：年間設備利用率=60%

調整池式地点：(最大使用水量)／(常時使用水量)=6  
年間設備利用率=40～60%

貯水池式地点：(最大使用水量)／(冬期平均使用水量)=6～4

年間設備利用率=16.6～40%

『発電水力調査』は、上記の第4次調査の後も随時行われているものの、その評価手法や未開発の包蔵水力を見積もる際の技術的・経済的基準(しきい値)は現在公表されていない。ただし、2-4節で後述するように、本調査の姉妹編である『未利用落差発電包蔵水力調査』⁴⁾の対象となっている、既設の多目的・農業用ダムの利水放流や農業用水路網内の落差などを利用した発電ポテンシャルの一部(主に未開発分)は、『発電水力調査』でいう包蔵水力には含まれていない。

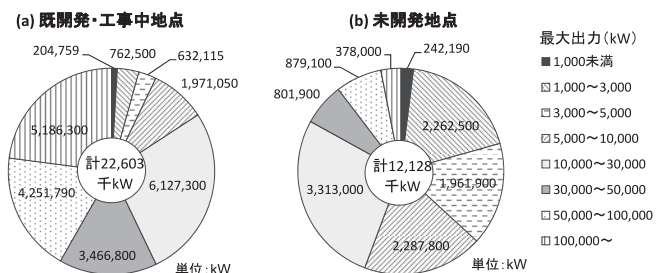
ここでは、資源エネルギー庁²⁾で入手可能な、2009(平成21)年度時点の発電水力調査結果を要約する。これによると、包蔵水力の総計は、最大出力で4,621万kW(うち既開発・工事中2,717万kW、未開発1,904

万kW)、年間可能発生電力量で約136,380,000 (MWh)である(表-1)。これを発電施設の規模(最大出力)別にみると、既開発・工事中地点では、総出力に対して、3万kW以上の地点の出力が57.1%、1万kW以上の地点の出力が84.2%を占めている(図-1(a))。一方、未開発地点では、3万kW以上の地点で17.0%、1万kW以上の地点で44.3%を占めるに過ぎない(図-1(b))。これらのことから、我が国の水力発電開発は、大規模発電所から始まり、残された未開発ポテンシャルのほとんど(83.0%)は、3万kW以下の中小規模発電所が占めるということが出来る。

表-1 『発電水力調査』による包蔵水力(平成21年度)

	地点数	最大出力(kW)	年間可能発電電力量(MWh)
既開発	1,635	26,416,350	86,808,085
工事中	21	750,367	2,043,638
未開発	2,731	19,044,390	47,528,798
計	4,387	46,211,107	136,380,521

注1)一般水力発電所、および混合揚水発電所の自分流発電量の合計を示す。  
注2)「既開発」は、「工事中」および「未開発」地点の事業実施に伴い廃止される発電所のポテンシャルを除いて集計した。



注)「一般水力」に区分される地点のみ勘定している(混合揚水発電所の自分流発電量は除く)。

図-1 『発電水力調査』による最大出力別包蔵水力

## 2-3. 『再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査(中小水力発電)』(環境省)

この調査⁵⁾(以下『再生エネ調査』という)は、我が国の河川部および農業用水路、上下水道、工業用水道における中小水力発電の賦存量等を推定するものである。まず地形条件等から「賦存量」を推計し、その値をベースとして、社会条件等の制約条件を重ね合わせて「導入ポテンシャル」を、さらに事業採算性の条件を重ね合わせて「シナリオ別導入可能量」を、段階的に絞り込んでいくという手法をとっている。また、前述の『発電水力調査』と異なり、最大出力30,000kW以下のいわゆる中小水力発電に特化した調査である。同調査の推計手法および結果を以下に要約する。

### (1) 河川(ダム)利用

第一に、「賦存量」の推定は、河川の標高・流量データを基本にして、農業用水の取水量を控除して行う(ただし、これらデータを全ての流域について計算することは実際には困難なため、計算手順はかなり簡略化されている)。まず、河川流路を、2つの支流の合流地点を終点とした「リンク」と呼ばれる区間に分

割し、リンクの上端で堰を設け取水し下端の「仮想発電所」において発電し河川に戻すことを基本とする。この想定のもとでは、当然その上端・下端の間では、発電のために取水した水量を他の用途に用いることができないため、河川流量から発電使用可能水量をどのように抽出するかが問題である。ここでは、まずリンク内で最小となる流量観測地点を選択し、その流量を以下で用いる。次に、河川維持流量に農業用水の平均取水量を加算した次式を「修正維持流量」として発電使用可能水量から控除する。

$$(\text{修正維持流量}) = (\text{流域面積} \times 0.2 / 100) + \text{年間総取水量} / 365 \text{ ----- (2)}$$

最後に、技術的に発電可能な流量範囲を決定する。すなわち、発電可能最小流量を同最大流量の1/4とする。

また、リンクの有効落差は、リンク全体の高低差（総落差）から、リンクの流路1mあたり0.002m（1/500）の損失水頭を控除したものとする。

ポテンシャルの積算から除外する地点としては、まず、既設の30,000kW以上の大規模水力発電所が設置されている河川区間（取水点～放流点）に位置する仮想発電所を除外する。さらに、仮想発電所のうち、中小水力発電に分類されない最大出力30,000kW以上、および発電単価500円／（kWh／年）以上と見込まれる地点を除外する。

第二に、以上で求めた「賦存量」をベースとして、「導入ポテンシャル」の絞り込みを行う。絞り込み（開発不可）条件は以下のとおりである：最大傾斜角20度以上、および国立・国定公園、都道府県立自然公園、世界自然遺産地域、自然環境保全地域、鳥獣保護区等に指定されている地区。

第三に、現在の発電コストレベルを前提とし、「電気事業者による再生エネルギー電気の調達に関する特別措置法案（FIT法案）」で想定されている買取価格および買取期間によって採算性がある（プロジェクト内部利益率8.0%以上）と考えられるエネルギー量を、「シナリオ別導入可能量」として抽出する。ここでは、買取価格（円／kWh）・買取期間がそれぞれ「15円・15年」、「15円・20年」、「20円・20年」の3つのシナリオを想定したが、これらは、簡単のため、それぞれkWあたり事業単価（建設単価）が60万円、80万円、91万円以下に相当するとみなされている。

調査結果の要約は、表-2のとおりである。賦存量は、最大出力1,655万kW、導入ポテンシャルは、同1,398万kWである。シナリオ別導入可能量をみると、買取価格、買取期間が、それぞれ20円／kWh、20年間のケースにおいても、導入可能量が導入ポテンシャルのおよそ2割（284万kW）にとどまっております。経済的な制約要因が重要であることが示唆される。ま

た、導入ポテンシャルを最大出力別にみると、1,000～5,000kW規模の割合が最も大きい（図-2(a)）。

以上の手法の問題点としては、第一に、「賦存量」の推定にあたって、農業用水以外の水利用を考慮しておらず、また農業用水の取水量の控除方法についてもその季節変動を十分考慮したものとなっているかが必ずしも明らかではない。第二に、既設の中小規模ダム（30,000kW以下の発電用ダムを含む）の存在を捨象して仮想発電所を配置する手法をとっているため、結果として得られた賦存量は、それらのダムにおける既開発の発電ポテンシャルを内数として含んだものとなっており、未開発のポテンシャルのみを評価する場合には別途検討が必要である。第三に、リンクの上端が水利権などの観点から取水可能な条件にあるかどうかは明示的に考慮されていないため、この調査でいう仮想発電所が全て実現した場合には、本調査で控除した大規模発電ダム以外の中小規模ダム等の運用や河川環境に少なくない影響を与えると思われる。したがって、発電事業者以外の河川利用者の水利権等の事情を充分に考慮した評価となるよう、今後の分析の精緻化が望まれるところである。

表-2 『再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査（中小水力発電）』による最大出力

	賦存量	導入ポテンシャル	シナリオ別導入可能量		
			15円、15年間	20円、15年間	20円、20年間
電力買取価格(kWh)、買取期間					
河川部	16,550,000	13,980,000	900,000	2,130,000	2,840,000
農業用水路	320,000	300,000	160,000	200,000	200,000
上下水道・工業用水道	180,000	160,000	-	-	-
合計	17,050,000	14,440,000	-	-	-

(単位:kW)

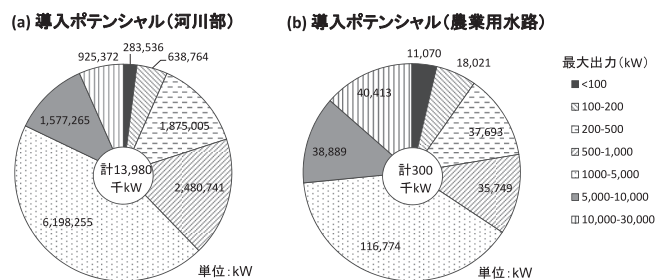


図-2 『再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査（中小水力発電）』による最大出力別導入ポテンシャル

(2) 農業用水路利用

「賦存量」の推計手法は以下のとおりである。まず、農業用水路のネットワーク図を、平成7年基幹水利施設整備状況調査基図のデータと数値地図25000に基づき作成する。続いて河川部の推計手法にならい、用水路網を、用水路の分水地点を起点とする「リンク」区間に分割し、リンク上端で取水し下端で発電することを想定する。リンク内の流量は、各リンクの水路延長に比例して、リンク直上流の流量を、そこから分岐する下流リンク区間の流量に按分する。発電使用



水量は、発電が技術的に不可能な流量範囲を除き、基本的に灌漑取水量の全量を発電に用いると想定する。リンクの有効落差は、河川部と同様に推定する。

ポテンシャルの積算から除外する地点は、以下のとおりである。最大取水量が $0.3\text{m}^3/\text{s}$ 未満の取水点は除外する。また、取水量について流況曲線を描いた際の、345日確率流量/20日確率流量の比が0.25以下となる取水点を除外する。このことは、非灌漑期に送水が停止または流量が著しく低下する用水路の多くは対象外となることを示唆している。さらに、発電単価 $500\text{円}/(\text{kWh}/\text{年})$ 以上と見込まれる地点を除外する。

次に、以上で求めた「賦存量」を基にして「導入ポテンシャル」および「シナリオ別導入可能量」を絞り込む。その方法は、河川部で用いたものと同様である。

調査結果の要約を、表-2、図-2(b)に示す。賦存量は最大出力32万kW、導入ポテンシャルは同30万kWである(表-2)。導入ポテンシャルを最大出力別にみると、1,000~10,000kWのポテンシャルが過半(52%)を占めている(図-2(b))。

この推計手法の問題点は、第一に、河川部での賦存量推計手法と同様に、リンク内の上端~下端の間の落差を最大限活用するために、発電用のパイプラインで用水を圧送することを想定するため、現在開水路で送水されている区間では、並行して新たにパイプライン、分水工、減勢工などを設ける必要がある。第二に、灌漑用水路の勾配は、基本的に用水の送水に必要な勾配を勘案して設計されているため、用水路が持つ既存の送水機能を損なわずに上記シナリオで想定される発電機能を付加することは、地点によっては容易ではないと考えられる。これらのことから、上記のポテンシャルを全て実現するためには、エネルギー利活用を考慮した用水路システム全体の路線計画の見直し⁶⁾も場合によっては必要となろう。それを踏まえたうえで、本調査は農業用水路システムのもつ小水力ポテンシャルの物理的な可能性を示したものとして評価される。

#### 2-4. 『未利用落差発電包蔵水力調査』(経済産業省資源エネルギー庁)

本調査⁴⁾(以下『未利用落差調査』という)の目的は、2-2節で述べた『発電水力調査』における包蔵水力には計上されていなかった、既設構造物(ダム・水路)における遊休落差や余剰水圧(これらを「未利用落差」と呼ぶ)を利用した包蔵水力を明らかにすることである。したがって、この調査で得られた包蔵水力は、基本的に『発電水力調査』にいう包蔵水力の外数と位置付けられるものの、『未利用落差調査』における「既開発」包蔵水力の大部分(99.8%)は、『発電水力調査』でも既開発分として既にカウントされて

いる⁴⁾。そこで、本稿では、簡単のため『未利用落差調査』での「既開発」包蔵水力は、両調査の重複部分に等しいとみなす。

調査対象は、ダム利用、水路利用の2部からなる。ダム利用として、発電専用ダムにおける河川維持用水利用発電、多目的ダムおよび上水・工水専用ダムにおける利水放流水利用発電、農業専用ダムにおける農業用水利用発電、砂防えん堤利用発電である。水路利用として、農業用水路、上水道、工業用水道、下水道の各施設である。以下にその調査手法および結果を要約する。

##### (1) ダム利用

この調査は、前述の『再生エネ調査』と異なり、既存の水利施設にすでに存在する未利用落差を利用することを想定しているため、その評価手法も、地形情報、河川流量データ等から推定するのではなく、原則として既設の施設構造物の諸元(ダム堤高や放流量等)に則った評価である。まず、ダム年鑑や砂防便覧などの文献調査によってこれら諸元データを収集し、それらに基づいて、次式よりポテンシャルを概算する。

$$P=9.8 \times Q \times H_e \times \eta \text{ ----- (3)}$$

$$E=24 \times 365 \times P \times \zeta \text{ ----- (4)}$$

$P$ : 出力(kW),  $Q$ : 最大使用水量( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H_e$ : 有効落差(m),  $\eta$ : 水車・発電機の総合効率,  $E$ : 年間可能発生電力量(kWh/y),  $\zeta$ : 設備利用率(%)

ただし、 $Q$ はダム最大放流量(砂防えん堤利用発電は平水量×流域面積);  $H_e$ は治水目的のあるダムが堤高の65%, それ以外のダムが堤高の80%;  $\eta$ は発電施設の規模に応じて72~85%(大規模の方が高効率);  $\zeta$ は河川維持用水利用発電が65%, それ以外が55%である。 $H_e$ の仮定より、基本的にダム・えん堤の直下流で発電することを想定していることがわかる。続いて、代表的な地点において個別調査を行い、その結果を上記の評価にフィードバックし、結果を修正する。

包蔵水力の絞り込み条件としては、まず魚道放流量を除外し、さらに出力10kW以下、有効落差1.5m以下の地点を除外する。一方、発電単価等の経済的制約要因による発電地点の絞り込み条件は明示されていない。

評価結果の概要を表-3に示す。農業専用ダムにおける農業用水利用発電の包蔵水力(最大出力)は、13.6万kW(うち未開発11.1万kW, 既開発2.5万kW)である。これを、最大出力別にみると、出力1,000kW以上の地点の包蔵水力が63%を占めている(図-3(a))。なお、この他に、多目的ダムのなかには灌漑利用が含まれるダムも存在するため、厳密な内数を特定することはできないが、表-3の利水放流水利用発電の一部も農業用水に関連する包蔵水力と考えられる。

表-3 『未利用落差発電包蔵水力調査』による包蔵水力

		合計			未開発			既開発		
		地点数	最大出力 (kW)	発生電力量 (MWh)	地点数	最大出力 (kW)	発生電力量 (MWh)	地点数	最大出力 (kW)	発生電力量 (MWh)
ダム利用	河川維持用水	244	44,606	195,779	223	27,988	142,231	21	16,618	53,548
	利水放流水	291	235,555	1,015,114	227	153,792	741,690	64	81,763	273,424
	農業用水	410	136,061	598,196	392	110,765	524,804	18	25,296	73,392
	砂防えん堤	168	184,830	624,235	129	16,828	85,268	39	168,002	538,967
	小計	1,113	601,052	2,433,324	971	309,373	1,493,993	142	291,679	939,331
水路利用	農業用水路	176	21,179	118,391	151	8,257	60,471	25	12,922	57,920
	上水道	223	18,557	102,601	178	9,923	77,914	45	8,634	24,687
	工業用水道	25	1,934	15,062	23	1,916	15,062	2	18	0
	下水道	72	2,146	14,567	66	1,828	13,607	6	318	960
	小計	496	43,816	250,621	418	21,924	167,054	78	21,892	83,567
	計	1,609	644,868	2,683,945	1,389	331,297	1,661,047	220	313,571	1,022,898

(2) 水路利用

ここでは、農業用水路の評価手法に限り記述する。他の水路利用もおおむね同様の手法によっている。農業用水路で調査対象としたのは、水路延長が30km以上、受益面積が100ha以上で専従職員がいる土地改良区である。また、評価地点は、急流工、落差工、階段落差工、減圧弁、減圧スタンドである。このように、本調査は具体的な遊休落差の存在する「点」を対象に評価を行っているのが特徴であり、前述の『再生エネ調査』で「リンク」という「線」を対象に評価したのとは対照的である。ただし、本調査は全国の土地改良区へのアンケート調査に基づいて発電地点をリストアップしているため、地区によっては考慮すべき地点が抜け落ちている可能性は否定できない。

包蔵水力の絞り込み条件としては、出力10kW以下、有効落差1.5m以下、通水期間185日以下の地点を除外する。したがって、灌漑期のみ通水している用水路は、一般に除外されていると考えられる。

包蔵水力の計算は、ダム利用と同様に、(3)、(4)式に基づく。ただし、Qは通年通水地点では非灌漑期流量（非灌漑期流量が0.03m³/s以下の場合は灌漑期流量）、それ以外の地点では灌漑期流量；H_eは遊休落差または余剰水圧（詳細は略）；ηはダム利用と同様；ζは各地点の流量設備利用率マイナス5%、である。

評価結果の概要を表-3に示す。農業用水路の包蔵水力（最大出力）は、2.1万kW（うち未開発0.8万kW、既開発1.3万kW）である。これを、最大出力別にみると、農業ダム利用に比べて規模が小さい地点の割合が多く、出力100~1,000kWの地点の包蔵水力が57%を占めている（図-3(b)）。

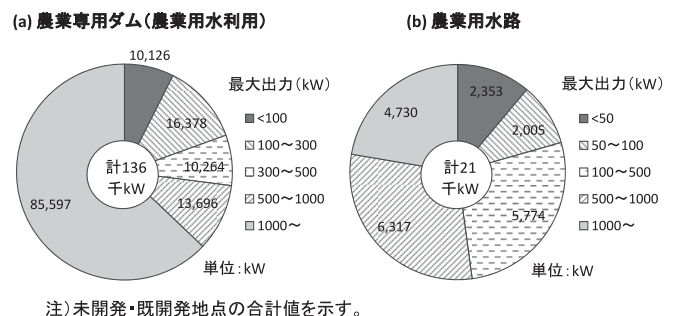


図-3 『未利用落差発電包蔵水力調査』による最大出力別包蔵水力

3. 各調査の比較および考察

3-1. 河川(ダム)利用

河川(ダム)利用分の各調査の比較を表-4に示す。ただし、『理論包蔵水力』および『発電水力調査』(既開発分)では、水路利用分を内数として含んでいることに留意されたい。なお、地点数および最大出力については、『再生エネ調査』との比較のため、30,000kW規模以下の地点のみを抽出した。また、表-4では、『発電水力調査』と『未利用落差調査』の重複部分を取り除いたので、後者は前者の外数と把握できる。

第一に、『理論包蔵水力』と『発電水力調査』を比較すると、年間可能発生電力量にして、前者では後者のおよそ2.7倍のポテンシャルが計上されている。両者の差は、我が国のもつ降水量のうち、技術的にも水力発電利用が困難な水資源が相当量あることを示唆している。

第二に、『発電水力調査』・『未利用落差調査』と『再生エネ調査』を比較すると、前者2調査に比べて『再生エネ調査』では1,000kW以下が占める地点数お

表-4 河川（ダム）部のポテンシャル調査の比較

発電地点の規模(kW)	『理論包蔵水力』 ³⁾	『発電水力調査』 ^{3),4)}			『未利用落差調査』 ⁵⁾		『再生エネ調査』	
	水力電源開発限度	既開発・工事中	未開発	合計	未開発合計	うち農業用ダム	賦存量	導入ポテンシャル
地点数 ¹⁾								
<1,000	-	482	371	853	923	364	22,428	18,229
1,000-10,000	-	885	2,095	2,980	48 ⁶⁾	28	3,966	3,413
10,000-30,000	-	369	209	578	-	0	82	61
30,000 以下計	-	1,736	2,675	4,411	971 ⁶⁾	392	26,476	21,703
最大出力(設備容量)(kW) ¹⁾								
<1,000	-	204,759	242,190	446,949	101,518	45,104	6,260,223	5,278,046
1,000-10,000	-	3,365,665	6,512,200	9,877,865	207,855 ⁶⁾	65,661	9,019,629	7,775,520
10,000-30,000	-	6,127,300	3,313,000	9,440,300	-	0	1,266,917	925,372
30,000 以下計	-	9,697,724	10,067,390	19,765,114	309,373 ⁶⁾	110,765	16,546,769	13,978,938
年間可能発生電力量(MWh) ²⁾								
合計	371,400,000	88,851,723	47,528,798	136,380,521	1,493,993	524,804	-	-

- 1) 地点数, 最大出力は, 30,000kW 以下の地点のみ計上した。
- 2) 年間可能発生電力量は, 発電地点の最大出力の大小にかかわらず(30,000kW 以上の地点も含めて), 全て計上した。
- 3) 『理論包蔵水力』, 『発電水力調査』(既開発分)には, 水路利用分のポテンシャルが内数として含まれる。
- 4) 地点数, 最大出力では「一般水力」地点のみ計上した。年間可能発生電力量では, これに加え「混合揚水」地点の自流分を含めた。
- 5) 『発電水力調査』との重複部分におおむね相当する既開発分を除き, 未開発分のみを計上した。
- 6) 原データで 1,000kW 以上の細区分がないため, 全てこの行に含める。なお, 最大出力の最大値は, 46,611kW である。

よびポテンシャル（最大出力）が多いことが特徴的である。このことから、『再生エネ調査』は、小規模の発電地点を比較的丹念にカウントしていると考えられる。しかし、30,000kW規模以下の地点の最大出力合計でみると、『発電水力調査』の1,977万kWと『再生エネ調査』（賦存量）の1,655万kWはオーダー的に近い。したがって、技術的観点から、30,000kW以下の中小水力発電のために利用可能な水力発電ポテンシャルの上限値（既開発を含む）はこの辺りにあるのではないかと示唆される。

ただし、2-3節でも議論したように、現状の河川流量のうち、今後どれだけの水量を水力発電の新規開発のために利用できるかは、水利権や河川環境などの観点から慎重に検討する必要があるだろう。この意味では、今後の水力ポテンシャル調査は、単に賦存量等を積算するだけでなく、それが実現した暁には、他の河川利用者にどのような影響を与えるのか（あるいは与えないのか）をも明らかにしていく必要がある。

他方で、『未利用落差調査』で明らかにされたポテンシャルのように、例えば多目的ダムにおける利水放流を利用した発電など、発電関連の必要最小限の設備投資のみで開発でき、かつ既存の河川利用者に悪影響を与えないと考えられるポテンシャルは、今後むしろ積極的に開発できるよう水利権調整手続きの簡素化など制度面の後押しがあることが望まれる。

### 3-2. 農業用水路利用

農業用水路に賦存するポテンシャルを明示的に取り扱ったのは、『未利用落差調査』および『再生エネ調査』の2つである（表-5）。地点数で比較すると、『再生エネ調査』では『未利用落差調査』のおよそ3.5倍の地点が対象となっている。さらに、『再生エネ調査』では、『未利用落差調査』に比べて、1,000kW以上の比較的大規模な地点のポテンシャルが過半を占めているのが特徴的である（表-5および図-2(b), 図-3(b)）。これらのことから、『未利用落差調査』では、土地改良区へのアンケート調査段階でリストアップされなかった開発可能地点がある可能性も否定できない。他方で、『再生エネ調査』でリストアップされた地点の中では、2-3節で議論したように、用水路の送水機能を確保することを勘案すると、発電所の付設が困難な地点もあると考えられる。一方、小林⁷⁾は、両調査とも用水路のポテンシャルを過小評価しているのではないかとしている。

このように、これら2つの調査ともまだ改善の余地がみられるが、他方で、全国各地の用水路網の発電可能地点を逐一現地調査で明らかにすることは現実的ではない。したがって、今後の評価の精緻化のためには、例えば、扇状地などの地形条件ごと、あるいは水田灌漑・畑地灌漑などの水利用条件ごと等に用水路網を類型化し、それぞれの類型の事例地区について詳細な発電可能地点・ポテンシャルを明らかにすることに

表-5 農業用水路分のポテンシャル調査の比較

発電地点の規模 (kW)	『未利用落差調査』			『再生エネ調査』	
	既開発 ¹⁾	未開発	合計	賦存量	導入ポテンシ ャル
地点数					
<1,000	22	151	173	537	527
1,000-10,000	3	0	3	69	66
10,000-30,000	0	0	0	3	2
30,000 未満計	25	151	176	609	595
最大出力(設備容量)(kW)					
<1,000	8,192	8,257	16,449	105,602	102,533
1,000-10,000	4,730	0	4,730	168,071	155,663
10,000-30,000	0	0	0	51,226	40,413
30,000 未満計	12,922	8,257	21,179	324,899	298,609
年間可能発生電力量(MWh)					
合計	57,920	60,471	118,391	-	-

1) 既開発分の99.5%は、『発電水力調査』の既開発分の内数である。

より、同じ類型の用水路網については、水路延長などの比較的簡単な諸元から発電ポテンシャルを類推する手法を開発することも一案である。

なお、両調査とも、通水量の少ない地点および非灌漑期に通水量が著しく低下する地点を除外してポテンシャルを見積もっている。このことは、現行の水車技術および農業用水路への取水パターンを前提とする限り、発電施設の採算性を確保するためにはやむを得ないことかもしれない。しかし、今後低流量向けの水車の改良が進み、また仮に非灌漑期に小水力発電のため取水量を増加できるほど河川流量に余裕のある地点があるならば、農業用水路を利用した発電可能地点およびポテンシャルはさらに増加する可能性もあろう。これは、今後の検討課題である。

#### 4. 農事用電力需要との比較

土地改良事業による小水力発電事業は、農業水利施設の運転操作に必要な電力を供給することを元来の目的としている。したがって、コストの面から農業水利施設で発電した電力はいったん電力会社に売電されることが多いものの、農業用水を用いた発電ポテンシャルが、農業水利施設の電力需要をどの程度満たすことができるのか検討することは有益である。そこで、本節では、農業用水を利用した発電ポテンシャルがどの程度農事用電力需要を充足できるかを都道府県ごとに検討する。

第一に、「農業用水を利用した発電ポテンシャル」の定義を、『未利用落差調査』にいう「農業専用ダムにおける農業用水利用」および「農業用水路」の2項目の年間可能発生電力量を、既開発・未開発分を合わ

せて計上したもの、とする。この他に、多目的ダムにおける利水放流利用発電の一部にも農業用水利用が含まれているが、内数を特定できないため、ここでは考慮しない。

第二に、電力料金体系の一つである「農事用電力」とは、農業用の安い価格設定の電力であり、その需要はおおよそ灌漑排水施設のための電力需要を示すといわれている⁸⁾。ただし、統計区分上の問題により、2005年以降は中規模以上の灌漑排水用電力需要を「農事用電力」の区分で把握することができなくなっている⁸⁾。そこで、ここではまず2004年度『電力調査統計・用途別電灯電力需要実績』（資源エネルギー庁）より、各電力会社管内の農事用電力需要データ（年間積算量）を収集する。次に、『都道府県別エネルギー消費統計』（資源エネルギー庁）における都道府県別農林水産業電力需要量の比を用いて、電力会社管内の農事用電力需要量を都道府県別の需要量に按分する。ただし、静岡県は、東京電力と中部電力の管内にまたがっているため、市町村の面積比を用いて両会社の管内に按分する。同様に、複数の電力会社管内にまたがっている県が他にもいくつかあるが、簡単のため県域の大部分が属する会社管内に一括して振り分ける。

まず、全国の積算量をみると、上述の「農業用水を利用した発電ポテンシャル」は、716,587MWh（うち既開発131,312MWh、未開発585,275MWh）と計算される。一方、全国の年間農事用電力需要量は、1,484,302MWhである。これらより需要量の充足率を単純計算すると、48%である。

次に、都道府県別の充足率（図-4）をみると、北海道、東北地方、北陸地方において比較的充足率が高

い。他方で、比較的土壌が平坦でかつ農事用電力需要量が大きい関東地方で充足率が低くなっている。ただし、すでに述べたように、『未利用落差調査』が農業用水を利用した発電ポテンシャルをもれなく勘定しているかどうかは今後の検討をまたなければならないので、図-4は、あくまで予備的な結果を示すと考えるのが妥当であろう。

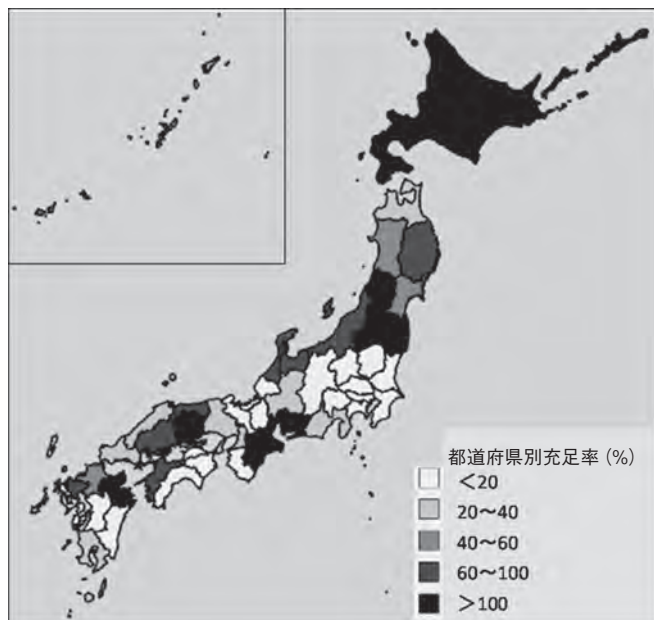


図-4 農業用水を利用した発電ポテンシャルによる農事用電力需要量の都道府県別充足率の試算

## 5. おわりに

本稿では、これまでに実施された主要な水力発電ポテンシャル調査の結果を概観・相互比較するとともに、農業用水を利用した発電ポテンシャルが農事用電力需要量をどの程度充足できるのかを検討した。河川部のポテンシャル評価については、我が国の表流水はすでに相当開発が進んでいるため、そのような既往の水利用と整合性をもった新たな水力発電開発がどの程度可能かどうかを見極めることが今後の主な課題であろう。農業用水路のポテンシャル評価については、個々の発電地点のポテンシャルが河川部に比べて小規模であるため、これまで詳細な評価が立ち遅れてきたことは否めない。評価の技術的な方法論を含め、今後の研究の進展が望まれるところである。

## 参考文献

- 1) 工藤宏規 (1957) : 日本の理論包蔵水力, 東洋経済新報社
- 2) 資源エネルギー庁 (2012) : 「水力のページ」, 経済産業省資源エネルギー庁  
<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/index.html>
- 3) 林泰造, 谷田沢正治 (1966) : 発電計画, 沼知福三郎, 本間仁監修「水工学便覧」所収, 571-591
- 4) 新エネルギー財団 (2009) : 平成20年度中小水力開発促進指導事業基礎調査(未利用落差発電包蔵水力調査)報告書, 経済産業省資源エネルギー庁委託調査
- 5) 環境省 (2011) : 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書
- 6) 後藤眞宏, 上坂博亭, 小林久 (2009) : 南ドイツにおける小水力発電の調査報告とわが国の農村地域の小水力発電の今後の展望, 農工研技報, 210, 169-178
- 7) 小林久 (2011) : 農山村の再生と小水力からみる小規模分散型エネルギーの未来像, 現代農業2011年11月増刊, 54-59
- 8) 吉田修一郎 (2011) : 低平地水田におけるかんがい排水用エネルギー投入の実態分析, 農業農村工学会論文集, 275, 41-49

## 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24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

# 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  $\alpha$  (アルファ)

r (アール) と  $\gamma$  (ガンマ)                k (ケイ) と  $\kappa$  (カッパ)

w (ダブルユー) と  $\omega$  (オメガ)        x (エックス) と  $\chi$  (カイ)

l (イチ) と 1 (エル)                      g (ジー) と q (キュー)

E (イー) と  $\varepsilon$  (イプシロン)        v (ブイ) と  $\nu$  (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。

# 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



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（166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

今年で32歳になります。最近少しずつ、自身の健康維持のため、生活スタイルを改善しようという意識が高まっております。

例えば、学生時代から朝食をとらない生活が長く続いていたのですが、一年ほど前から、自宅でおにぎりを食べてから出勤するようになりました。健康に良いことをしているという実感があり、朝ごはんを食べていない時に比べ、朝から気分が良いです。

さらに、先週の職場の健康診断では、自ら希望し、生まれて初めてバリウムを飲んでの胃のレントゲン検査を受診しました。今後通知される診断結果をよく理解して、反省すべきところは反省し、今後の生活に役立てていこうと思います。

また、最近は特に、不規則な生活習慣（日によって睡眠時間が大きく違うなど）を是正しなければならな

いと思うようになりました。そのためには、日々の業務や家庭の仕事を計画的にこなし、心身ともにゆとりのある生活を送るよう努力することが重要と考えております。しかしながら、今この瞬間において、この編集後記を締め切り日の終電間際に作成しており、まだまだ努力が足りないことを痛感しております。

最後になりますが、全国農村振興技術連盟会員各位の今後のますますのご健勝とご多幸をお祈り申しあげまして、編集後記とさせていただきます。

(水資源課 鈴木将英)

## 水と土 第166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)

**信頼性の高い、本埋設管として様々な公的機関で認可されています。**

## 規格

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)

## NETIS

国土交通省 新技術登録 (NETIS CB-980025-V) カルバート工  
(NETIS CB-980024-A) 柔構造涵管

22年度・23年度 準推奨技術 新技術活用システム検討会議 (国土交通省)  
「ダイプラハウエル管による道路下カルバート工の設計・施工方法」

## 道路基準

日本道路協会 道路土工 カルバート工指針  
日本道路公団 設計要領第二集カルバート編  
農林水産省 土地改良事業計画設計基準 (農道)  
林野庁(日本林道協会) 林道必携 技術編

## 電気技術規定

J E S C 水力発電設備の樹脂管 (一般市販管) 技術規定

## 農業用水のパイプラインに！

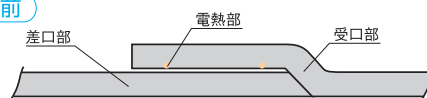
### 管路の一体化による継手部の信頼性！

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

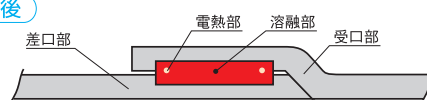
常用使用圧力	0.50 MPa
--------	----------

## 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！

柔構造涵管  
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：〒530-0001 大阪市北区梅田3-1-3(ノースゲートビルディング16階)  
TEL.06-6453-9285 FAX.06-6453-9300  
東京支社：〒108-6030 東京都港区港南2-15-1 (品川インターシティA棟30階)  
TEL.03-5463-8501 FAX.03-5463-1120

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

札幌(営) 011-221-3053 仙台(営) 022-223-0761  
東京(営) 03-5463-8501 名古屋(営) 052-933-7575  
大阪(営) 06-6453-9285 広島(営) 082-221-9921  
福岡(営) 092-721-5166 鹿児島(営) 099-227-1577