

水と土

No. 163
2011
July

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



① 幹線水路鋼管敷設状況



② 大洞農道施工状況



④ ポンプの振動計測



③ 砕・転圧盛土工法



⑤ サイフォン改修状況

水と土

C o n t e n t s

2011 JULY No.163

◆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

東日本大震災 — 備えよ常に (Be Prepared) — 大澤賢修 8

□報 文

キーワード

肥培かんがい 環境保全型かんがい排水事業における肥培かんがい施設整備の効果
吹田勝治・河田修二・三木応也 10

パイプライン 国営神流川沿岸地区における上里幹線水路の改修事例について
柳原 正 14

冬期湛水 農業用水再編を契機とした冬期湛水田に関する考察
— 営農改善と生物多様性配慮による実証試験から —
吉田弘明・東 麻里子・井上健一・小木芳恵 21

軟弱地盤 谷汲深坂・大洞地区における軟弱地盤対策の検討
武藤 剛 31

ダム 野洲川ダム洪水流出予測システムの開発
石隈和崇 39

ため池 砕・転圧盛土工法による谷田大池堤体改修工事
福島伸二・谷 茂・山崎秀昭・三澤宏司 44

機能診断 東部幹線揚水機場ポンプ設備の機能診断調査及び改修設計
酒井雅史・久保田貴純・長野浩一 53

サイフォン JR鹿児島本線下の農業用水路(サイホン)改修
薄鍋貴幸 62

□歴史的土壌改良施設

先人が築いた印旛沼地域の礎を未来に — 印旛沼の水利開発の歴史 —
古川和夫・佐藤秀彦 69

□技術情報紹介

電磁探査法を用いた地下水塩淡境界測定
石田 聡・土原健雄・吉本周平・今泉真之 73

◆会告 76

◆入会案内 77

◆投稿規定 79

- 表紙写真●
- ① 報文「農業用水再編を契機とした冬期湛水田に関する考察 — 営農改善と生物多様性配慮による実証試験から —」より (P.22)
 - ② 報文「谷汲深坂・大洞地区における軟弱地盤対策の検討」より (P.37)
 - ③ 報文「砕・転圧盛土工法による谷田大池堤体改修工事」より (P.46)
 - ④ 報文「東部幹線揚水機場ポンプ設備の機能診断調査及び改修設計」より (P.57)
 - ⑤ 報文「JR鹿児島本線下の農業用水路(サイホン)改修」より (P.67)

水と土 第163号 報文内容紹介

環境保全型かんがい排水事業における 肥培かんがい施設整備の効果

吹田勝治・河田修二・三木応也

国営環境保全型かんがい排水事業別海南部地区では、家畜ふん尿の農地への効率的かつ適正な還元による生産性の向上と、地域環境への負荷軽減を目的として肥培かんがい施設の整備を行っている。

本稿では整備された肥培かんがい施設でのスラリー性状、牧草収量の変化および雑草種子の死滅効果について報告する。

(水と土 第163号 2011 P.10 企・計)

国営神流川沿岸地区における 上里幹線水路の改修事例について

柳原 正

神流川沿岸地区では「埼玉北部農業水利事業」で建設された農業用水利施設を改修する事業を実施している。これらの農業用水利施設は、更新を必要とする時期を迎えていることから、施設の長寿命化を図り、財政負担を軽減しつつ、施設の有効活用を図るよう実施しているところである。機能診断により施設の劣化状況を調べ、その結果に基づき施設の機能を保全するための対策工事を行っているところであり、改修工事の一事例として、上里幹線水路（パイプライン）の工事状況を紹介する。

(水と土 第163号 2011 P.14 設・施)

農業用水再編を契機とした冬期湛水田に関する考察 — 営農改善と生物多様性配慮による実証試験から —

吉田弘明・東 麻里子・井上健一・小木芳恵

環境保全型農業を進める一方策として、大規模圃場整備で乾田化された福井県坂井市坂井町下兵庫地区の水田を実証フィールドとした「冬期湛水」による営農改善と生物多様性配慮の両面から実証試験結果の検証を試みるとともに、今後の検証すべき事象や冬期湛水実現に向けて当地区の抱える克服すべき課題を論じ、その展開方向について考察を行う。

(水と土 第163号 2011 P.21 企・計)

谷汲深坂・大洞地区における軟弱地盤対策の検討

武藤 剛

揖斐郡揖斐川町谷汲深坂・大洞地区は、腐植土（泥炭）が堆積する超軟弱地盤地域である。このため、県営ほ場整備事業（S60～H12）により基盤整備がなされているが、現状施設の一部が沈下等の変状が生じ、営農及び、維持管理に支障をきたしている。今回、農道及び排水路の改良整備にあたり、地域の地質調査を実施すると共に、現状施設の変位の状況等を整理し、その原因及び対策工について検討した結果を報告する。

(水と土 第163号 2011 P.31 設・施)

野洲川ダム洪水流出予測システムの開発

石隈和崇

滋賀県に建設されている野洲川ダムにおいて、的確かつ機動的なダム運用及び適切な洪水管理を行うために、洪水予測システムの開発を行ったことから、その流出モデルの内容を紹介する。

(水と土 第163号 2011 P.39 設・施)

砕・転圧盛土工法による谷田大池堤体改修工事

福島伸二・谷 茂・山崎秀昭・三澤宏司

谷田大池は1895年（M28）に築造された灌漑用ため池（ダム便覧には堤高H=15.0mのダムとして登録されている）で、地震時の安定性が確保されていないため、耐震補強を行うことになった。しかし、谷田大池では堤体改修に必要な築堤土がダムサイト近傍で入手できなかったことや工事に伴う掘削発生土の処分地が確保できなかったため、築堤土に池内の底泥土を利用できる砕・転圧盛土工法の採用により、堤体改修が実施された。谷田大池の砕・転圧盛土工法は、底泥土に工事に伴う掘削発生土のうち仮設工事に使用した残りを加えて混合泥土として利用することで掘削発生土の場外処分がないように計画された。

本稿は、谷田大池における堤体の耐震補強のための砕・転圧盛土工法による堤体ゾーニングとその設計・施工法について報告するものである。

(水と土 第163号 2011 P.44 設・施)

東部幹線揚水機場ポンプ設備の機能診断調査 及び改修設計

酒井雅史・久保田貴純・長野浩一

香川用水地区にある東部幹線揚水機場は昭和53年度から供用されているが、設備の一部は参考耐用年数を経過している。本報文は、これらの設備に対して実施した簡易二次診断調査、機能診断及び機能保全計画立案の内容について報告するものである。

(水と土 第163号 2011 P.53 設・施)

JR鹿児島本線下の農業用水路（サイホン）改修

薄鍋貴幸

水路老朽化の更生事業である。本施工箇所は、福岡県久留米市の市街地内を走る水路であり、数々の難所があるなかの一つ「JR横断」を取り上げたものである。あらゆる工法の中から、施工地域に一番最適な工法を模索・検討した経緯を紹介した。

(水と土 第163号 2011 P.62 設・施)

<歴史的土壌改良施設>

先人が築いた印旛沼地域の礎を未来に
— 印旛沼の水利開発の歴史 —

古川和夫・佐藤秀彦

かつて“あばれ沼”と呼ばれた印旛沼は、周辺に住む人々にとって、暮らしを支える恵みの源であると同時に毎年のように洪水を引き起こし、生命と財産を脅かす存在であった。印旛沼の湛水排除と用水対策は、周辺住民の悲願であり、昭和21年度着工した国営印旛沼干拓事業によって大きく変貌し、県内でも有数の穀倉地帯として飛躍的な発展を遂げたのである。本稿ではこうした印旛沼地域の礎を築いた「先人の偉業」について紹介する。

(水と土 第163号 2011 P.69)

<技術情報紹介>

電磁探査法を用いた地下水塩淡境界測定

石田 聡・土原健雄・吉本周平・今泉眞之

電磁探査によって測定した地盤のみかけ導電率と地下水の塩淡境界深度と間には高い相関があり、近似曲線を作成することによって、コイル間隔を変化させることなく任意の地点の塩淡境界深度を推定することができ、効率的な調査が可能となる。本技術は石灰岩が分布する地域において、島嶼における淡水レンズ水資源賦存量調査や、沿岸部における塩水浸入状況調査などへの活用が期待される。

(水と土 第163号 2011 P.73)

会員向けに「水と土」のWeb検索サービスについて

1. Web 検索サービスの開始

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

2. アクセス

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

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

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

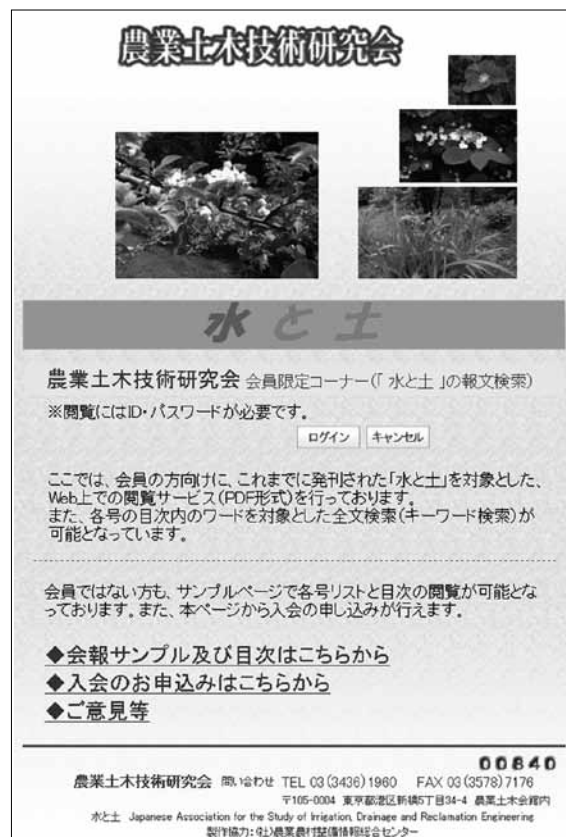


図-1



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	水と土 第2号	68	6.69	目次
昭和45年	水と土 第1号	80	6.41	目次

[▲ ページTOP ▲](#)

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

図-3

3. 検索

(1)一覧からの選択

一覧の「図書名」をクリックすると当該号が全てPDFファイルで表示されます。

また、「目次」をクリックすると、当該号の目次が表示されます。

(2)全文検索

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

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

検索方法は以下のとおりです。

農業土木技術研究会 会員限定コーナー

「水と土」目次内全文検索システム

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

インデックスの最終更新日: 2007-11-22

検索式: [\[検索方法\]](#)

表示件数: ▼ 表示形式: ▼ ソート: ▼

図-4

①単一単語検索

調べたい単語を一つ指定するだけのもっとも基本的な検索手法です。

例：ダム

②AND検索

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

例：ダム and 工法

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

③OR検索

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

例：ダム or 工法

④NOT検索

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

例：ダム not 工法

4. 会員申し込み

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

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

農業土木技術研究会 入会申込み

年会費・発行等

- 年会費2300円/1人
- 会誌「水と土」年間4回発行(年度:4~3月)
- 「水と土」バックナンバー閲覧(検索システム)

申込み

農業土木技術研究会への入会申込みは、以下のいずれかの方法でお申込みください

入会申込みフォームにて [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

東日本大震災 — 備えよ常に (Be Prepared) —

大澤 賢 修*
(Kenshu OHSAWA)

東日本大震災で被災された皆様に心からお見舞いを申し上げますとともに、亡くなられた方々のご冥福をお祈りし、行方不明者の一刻も早い発見を祈念いたします。また、この未曾有の大災害からの復旧と復興に、日夜、力強く取り組んでいる全ての方々に心より敬意を表します。

(岩手・宮城内陸地震)

平成20(2008)年6月14日(土)、午前8時43分頃、仙台市青葉区の宿舎6階の玄関で山道具をリュックにパッキングしていたところ、緊急地震速報が流れ、直ぐにP波(Primary wave)の小さく細かな揺れ、その後、S波(Secondary wave)の大きい震度5の揺れが始まった。最大震度6強の岩手・宮城内陸地震M7.2の発生である。揺れが収まってから、登山の格好のままリュックを背負って、階段を1階まで降り、マウンテンバイクで職場である東北農政局に向かった。災害対応が始まった。百億円を超える規模の初めての大規模直轄災害復旧事業の取り組み開始。

14日は、自衛隊ヘリで東京から飛んでくる政府調査団のアテンドのため、農政局次長に随行して、岩手県一関市災害対策本部、河道閉塞が発生した磐井川の現地及び宮城県栗原市災害対策本部に午後9時半頃までいた。地震後、東北自動車道は通行止めとなっていたが、仙台宮城インターチェンジの事務所をお願いして高速に入れてもらった(若干の段差があり、注意が必要とのこと。勿論、有料。)。入れてもらえなければ、地道しかなく、間に合わなかった。当日中に仙台に帰れない場合もあると考え、一関インターチェンジを降りて直ぐのコンビニで2食分以上の水と食料を買った。政府調査団と合流後は、自由な時間はなく、被災地のコンビニで買えて良かったし、買って良かった。まずは、食料の確保が必要。

その後、仙台に移動し、午後11時頃から農政局整備部災害対策本部会議に出席し、15日朝から学識経験者・宮城県と荒砥沢ダム等の被災状況調査を行うこととなった。早期の被災状況の把握。

(岩手北部沿岸地震)

平成20(2008)年7月24日(木)、午前0時26分頃、宿舎で寝床について10分も経っていなかった。背中にP波が伝わり、その後、S波の揺れが始まった。最大震度6弱の岩手北部沿岸地震M6.8の発生である。午前0時45分には災害対策本部を立ち上げ、震度6以上に見舞われた国造成の重要構造物は、農政局が直接被災状況調査を行うこととなり、夜が明けたら、青森県・岩手県の国造成の重要構造物に調査団を派遣することに決定。農村工学研究所にも協力をお願いした。早期の被災状況の把握。

(東日本大震災の発生)

平成23(2011)年3月11日(金)、午後2時46分頃、職場で参議院予算委員会中継を聞いていたところ、緊急地震速報が流れた。震源は宮城県沖、発生が想定されていた宮城県沖地震の発生と考え、所員に宮城県沖地震発生を告げ、事務室のTVをつけ、ハードディスクに録画を始めた。信じられないほどの巨大津波の映像が始まった。未曾有の大災害だ。

M9.0の巨大地震(気象庁は東北太平洋沖地震と命名)の震源は、宮城県牡鹿半島の東南東130km付近、深さ約24km、宮城県北部の震度7をはじめ東日本一帯が激震に襲われ、北海道から千葉県までの太平洋沿岸部を巨大津波が襲った。加えて、東京電力福島第1原子力発電所では、地震と津波による電力供給停止に伴う原子炉のクーリングシステムダウンによる水素爆発及びベントによって放射性物質が飛散するという原子力発電所事故となった。4月22日現在、死者14,159人、行方不明者13,169人、合計27,328人となっている。

*中国四国農政局土地改良技術事務所長

この地震の断層の規模は、長さ約450km、幅約200km、断層のすべり量は最大20～30m程度、震源直上の海底の移動量は東南東に約24m移動、約3m隆起した。GPS連続観測から得られた電子基準点の地殻変動の最大のは、電子基準点「牡鹿」（宮城県石巻市）が、東南東方向へ約5.3m動き、約1.2m沈下となっている。

4月21日現在、余震は、岩手県沖から茨城県沖にかけて、震源域に対応する長さ約500km、幅約200kmの範囲に密集して発生しているほか、震源域に近い海溝軸の東側でも発生している。特に、福島県から茨城県の陸域の浅い場所では、M7.0の地震が発生し、M4～M5程度の地震（震度3～4）も多発するなど、活発な活動が見られている。余震は、M7.0以上が5回（7.7、7.5、7.4、7.1、7.0）、M6.0以上が73回、M5.0以上が425回、最大震度4以上を観測した余震は121回となっており、災害は今も継続して発生していると言ってもおかしくない状況である。

（被災状況）

4月20日現在、農地・農業用施設の被災状況は、津波による流出・冠水等の被害を受けた農地の推定面積が23,600ha（青森県・岩手県・宮城県・福島県・茨城県・千葉県）、地下埋設物は通水して、施設機械は動かして初めて被災が判明する場合もあるので、今後、被害額が増加する恐れもあるが、農地の損壊が2,062箇所、被害額3,755億円、農業用施設の損壊が10,546箇所、被害額3,051億円で、農地・農業用施設の被害額は6,807億円となっている。この他の農林水産関係の被害額は、農作物等が482億円、水産関係が6,026億円、林野関係が1,016億円である。農林水産関係の被害額合計は14,330億円となっており、新潟県中越地震（平成16年10月）の1,330億円や阪神・淡路大震災（平成7年1月）の900億円と比べても巨大な額となっている。

（復旧・復興の取り組み）

3月30日、農林水産省は、岩手・宮城・福島県からの農業基盤の災害復旧のための技術者派遣要請延べ2,460人・月に対して、延べ約2,530人・月（国職員 約570人・月、都道府県職員 約1,960人・月）が可能と回答した。これらの応援のもと、補助の災害復旧が迅速に進展することを期待して止まない。

（業務継続への取り組み）

宮城県沖地震については、想定M7.5で30年以内に99%の確率で発生すると予測されていたが、想定外のM9.0となった。東海地方については、東海地震が30年以内に87%の確率で発生すると予測されているが、東海地震をきっかけに東南海・南海が連動しM8.7級が予測され、さらには日向灘が連動する恐れも指摘されている。連動すれば東日本大震災に匹敵する静岡県沖から宮崎県沖までの巨大地震となる。また、東日本大震災で起きた地殻変動の影響で、首都圏の地盤に力が加わり、地震が起きやすい状態になっているとの情報もある。

幸いにも東日本大震災によって、東北農政局職員で亡くなられた方はいないと聞いているが、東北農政局の仙台合同庁舎は被災し、業務を継続できなかつたと聞く。今回の被災を明日の教訓としなければならない。職場の耐震性確保、職場が津波被害を受けないことの確認、停電時の自家発電設備（含燃料）の確保、通信設備のマルチ化（電話・携帯（災害時優先電話（発信優先）の確保と活用）・FAX・LAN・衛星電話・無線等）、データのバックアップ体制の確立、断水等に備えた水・食料・燃料の備蓄、災害調査等に必要な資機材の確保、職場での寝泊まりのための寝具等の確保、公用車の燃料確保（常時満タン・携行缶常備）、職員の緊急時対応の資格取得の励行、職員の心肺蘇生法・AED訓練等を含んだ業務継続計画の検討と計画の実行が必要と考えるが、いかがですか。

備えよ常に。

環境保全型かんがい排水事業における 肥培かんがい施設整備の効果

吹田 勝治* 河田 修二* 三木 忠也*
(Katsuji FUKITA) (Syuji KAWATA) (Kazuya MIKI)

目 次

1. はじめに	10	4. 肥培かんがい施設導入における多目的効果 (雑草種子死滅効果)	12
2. 導入地区および肥培かんがいシステムの概要	10	5. おわりに	13
3. 施設導入後の変化	10		

1. はじめに

別海町は、北海道東部に位置する我が国を代表する大規模酪農地帯である。しかし近年、乳牛飼養頭数増加等の規模拡大に伴って、かんがい用水の水需要の集中化により用水が不足し、家畜ふん尿の適正な農地還元が行えない状況となっていた。そのため、国営環境保全型かんがい排水事業では、家畜ふん尿の農地への効率的かつ適正な還元による生産性の向上と、地域環境への負荷軽減を目的として肥培かんがい施設の整備を行っている。

本報告では、肥培かんがい施設導入によるスラリー性状、牧草収量の変化および雑草種子の死滅効果について報告する。

2. 導入地区および肥培かんがいシステムの概要

図-1に別海南部地区および別海西部地区で整備・導入されている肥培かんがい施設の概要を示す。なお、別海南部地区は平成19年度から本格的に施設整備が実施され、西部地区は平成21年度から本格的な整備が開始されている地区である。

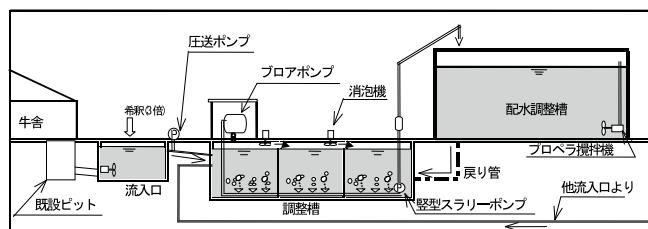


図-1 肥培かんがい施設概要

*北海道開発局釧路開発建設部根室中部農業開発事業所
(Tel. 0154-24-7484)

牛舎から排出されたふん尿は、流入口で3倍に希釈（ふん尿：水=1：2）され、調整槽へ圧送ポンプにより搬送される。この搬送されたふん尿（スラリー）は、フロアポンプによって曝気・攪拌された後、浮型スラリーポンプで配水調整槽へ移送される。配水調整槽に貯留されたスラリーは、ほ場に散布する。

3. 施設導入後の変化

別海南部地区において平成19年から肥培かんがい施設を整備した牧場で、スラリー性状や牧草収量について調査を継続して実施している。また、別海西部地区では施設整備予定の牧場において、平成21年から牧草収量調査を実施している。

(1)スラリー性状の変化

スラリー性状調査は別海南部地区において、流入口および調整槽から試料採取して分析を行った。施設整備後のスラリー性状を確認するため、平成19年6戸、平成20年8戸（前年からの継続6戸含む）、平成21年12戸（前年からの継続7戸含む）を対象に分析を実施した。

図-2に平成21年の流入口と調整槽のBODとpHの関係について秋（10月）の試料採取値を示す。

十勝地域の調査結果によると、スラリーは腐熟化に伴いBODが減少し、pHがアルカリ側に移行（上昇）することが確認されている。

(a)スラリーの曝気効果

流入口と調整槽のスラリーを比較すると調整槽のほうが流入口よりBODは低く、pHが高い傾向であることが明らかであった。特に、曝気時間が4h/日未満では未熟な状態であったが、概ね4h/日以上では腐熟化が促進されていた。図-1で示したように希釈水は、流入口で流入する構造になっていることから、BODの減少およびpHの上昇から判断される腐熟の進行は、フロアポンプによる曝気効果であると判断できた。

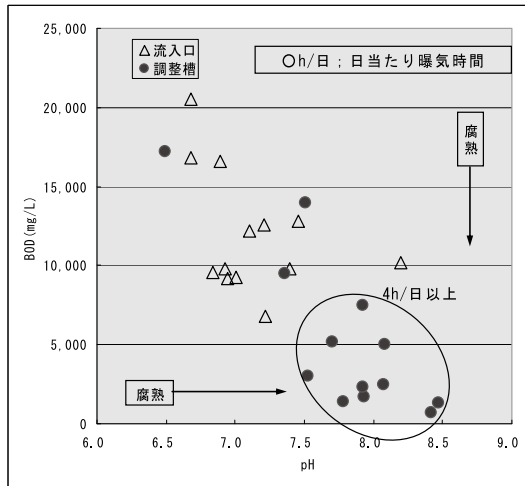


図-2 流入口と調整槽の比較 (H21)

(b)施設管理によるスラリー性状

平成19年より調査を継続しているA, B牧場の平成19~21年の流入口と調整槽のそれぞれ秋(9~10月)の試料採取の分析値(pH, BOD)を図-3~4に示す。

平成19年においては, 農家慣行として, A牧場が1.2倍希釈で5.5h/日曝気, B牧場が1.3倍希釈で5.0h/日曝気, 平成20年からは, 両牧場とも3倍希釈とし, 8~9.3h/日曝気(100~150m³)を実施した。その結果, 平成20年以降は調整槽において, pH, BODのいずれも腐熟化が明らかであり, 施設における希釈および曝気効果が発現しているものと判断される。

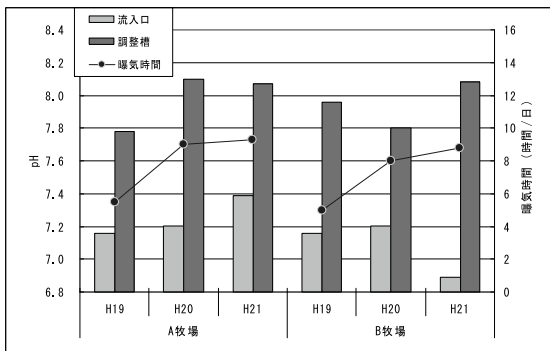


図-3 pHの推移 (H19~21, A, B牧場)

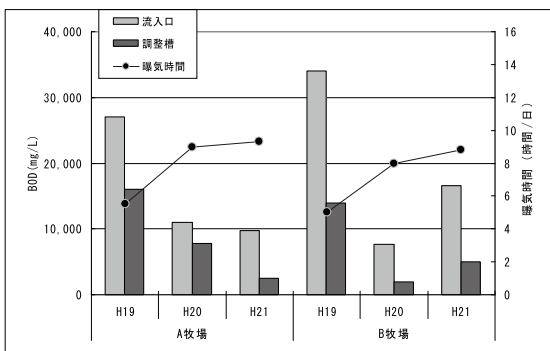


図-4 BODの変化 (H19~21, A, B牧場)

(2)牧草収量

前述のA, B牧場の施設において, 平成20年から採草地に試験区を設置し, 施設管理によるスラリーを用いて牧草調査を実施した。

図-5に平成20~21年の別海町における農耕期間(4~9月)の降水量, 平均気温を示す。降水量(4~9月の積算値)は, 平成21>20年で, 特に平成21年は平年値(1979~2000年)より212mm多かった。また, 平均気温(4~9月の平均値)は, 平成20年>21年であった。以上のことから, 特に平成21年は低温多雨年であったと判断し, 収量調査時にも水分率の高い牧草があったことから水分補正をしている。

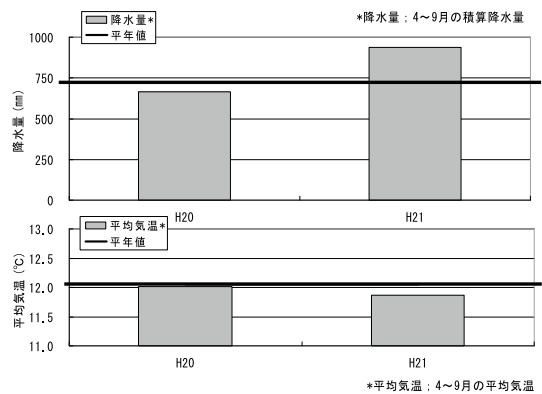


図-5 調査対象年の気象

試験区は事業計画区と対照区を設定し, 事業計画区は処理されたスラリーを計画量相当散布した区である。対照区は, 施設整備前の状況を勘案して, スラリーからの供給量を事業計画の19%(当時の既存施設でのスラリー処理可能量から求めたスラリー量)に制限してスラリー散布を行った区である。両区とも, 化学肥料を追加して標準施肥量¹⁾(窒素100kg/ha, リン酸80kg/ha, カリウム180kg/ha)となるようにした。

平成20, 21年の牧草収量調査結果を図-6に示す。

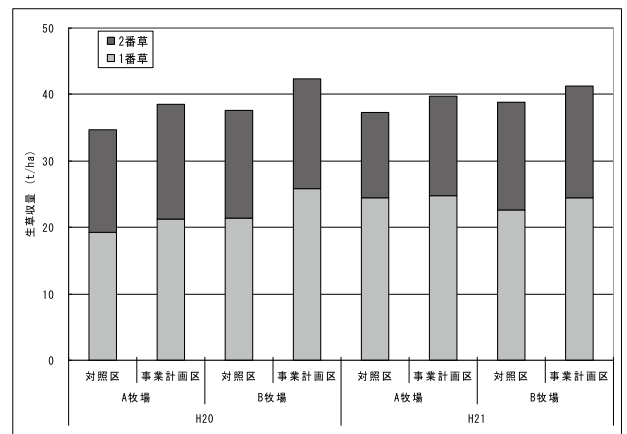


図-6 牧草収量調査結果 (A, B牧場)

いずれの牧場も兩年とも事業計画区が対照区より増収し、対照区を100としたときの比率は107～113であった。この結果から、適正に処理されたスラリーは、牧草の生長に対して化学肥料と同等以上の効果があることを示している。

今後、別海西部地区における牧草収量等の変化も合わせて検証し、施設導入効果を明らかにしていく予定である。

4. 肥培かんがい施設導入における多目的効果 (雑草種子死滅効果)

(1)調査経緯および方法

過年度の調査（平成20年度）において、永年草地で問題となる雑草のうち雑草害の強さ順位が1位²⁾のエゾノギシギシ (*Rumex obtusifolius* L.) を供試種子とし、木村ら³⁾の試験方法に基づき、図-7に示すフローチャートに従い試験を実施した。I 牧場、II 牧場の2牧場で夏期に試験をした結果、調整槽（多槽式調整槽のうち最も高温の槽）に14日間浸漬した種子は100%死滅し、この時の液温は平均で33.4℃、40.2℃であった。また、比較対照とするため、静置したふん尿に14日間浸漬した種子（対照区）は、69～76%が生存しており、この時の液温は22.1℃、23.4℃であった。以上のことから、曝気処理の温度上昇によるストレスや好気性菌による分解作用で種子が死滅したと考えられた。

ただし、この試験では、以下の課題が残った。

- ①多槽式（調整槽が4槽に分割）の調整槽での試験であったが、最も液温の高い槽に14日間の浸漬であったことから、実際の処理過程と異なる。
- ②30℃程度の液温であっても14日以下の浸漬の場合の死滅効果が不明。
- ③単槽式（調整槽が1槽）の調整槽での試験が未実施。

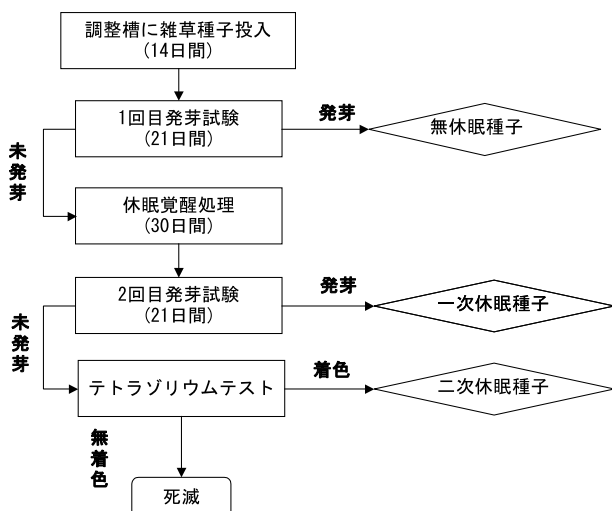


図-7 実施手順

そこで、これらの課題を解消し施設における雑草種子死滅効果をより明確にするため、以下の試験を実施した。

- ①多槽式の調整槽で、実際のふん尿処理過程と同様に1～4次槽を通過するよう種子を浸漬する（1次槽：3日、2次槽：3日、3次槽：4日、4次槽：4日）。
- ②単槽式の調整槽で試験を実施し、あわせて3日、7日、10日浸漬の場合も検討する。この試験により、浸漬日数（滞留日数）と死滅率の関係を明らかにする。

(2)調査結果

試験は、I～III 牧場で実施した。各牧場での雑草種子のスラリーへの浸漬状況を表-1に示す。ここでは、多槽式の調整槽の一つの槽に14日間浸漬した場合および単槽式の槽に浸漬した場合を単槽処理、多槽式調整槽の1～4次槽を通過するようにした場合を多槽処理とする。また、各試験とも未曝気のみふん尿（120Lのポリバケツにスラリーを入れて静置）に種子を浸漬した「対照区」を設けた。

表-1 試験概要

牧場	スラリーへの種子浸漬概要	
	H20年	H21年
I 牧場(多槽式)	最高温槽で14日間(夏、冬) (単槽処理)	1～4次槽で合計14日間(夏) (多槽処理)
II 牧場(多槽式)	最高温槽で14日間(夏、冬) (単槽処理)	
III 牧場(単槽式)		調整槽で3, 7, 10, 14日間(夏) (単槽処理)

(a)処理別の液温と死滅率

図-8に各試験時のスラリー液温の平均値と死滅種子率を示す。なお、図中に示した多槽処理の液温は、実際に通過した槽の液温を平均した値であり、浸漬時の各槽の液温は1次槽（3日間）：28.6℃、2次槽（3日間）：32.9℃、3次槽（4日間）：33.5℃、4次槽（4日間）：29.0℃であった。

曝気処理（単槽処理、多槽処理）した場合（14日間）においても、液温が25℃の場合は死滅種子率が約44%と低く、27℃になると約90%まで上昇し、30℃以上では95%以上の死滅率であった。このことから、雑草種子を高い確率で死滅させるためには液温を30℃程度まで上昇させることが有効であると判断できた。このとき、多槽処理では、14日間の平均液温は31.0℃であったものの死滅種子率は95%で5%の種子が生存していた。今回の多槽処理の試験では前述のように、1次槽（3日間）と4次槽（4日間）に種子を浸漬した時に液温が30℃を下回っていた。これらのことから、雑草種子を完全に死滅させるためには、全ての槽でより液温を高く保つことが望ましいと考えられた。

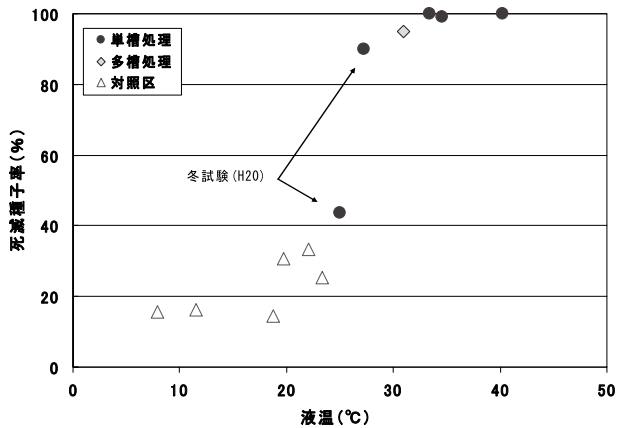


図-8 液温と死滅種子率の関係

(b) 浸漬 (滞留) 日数と死滅率

図-9に単槽処理で3~14日間雑草種子を浸漬させたときの死滅種子率を示す。スラリー液温は、試験期間中を通して概ね35°Cであった。死滅種子率は浸漬日数が3日で27%であったのが、7日で79%に上昇し、10日で93%、14日で99%に達した。したがって、スラリー液温が35°C程度を維持していた場合でも、ほとんどの雑草種子を死滅させるためには14日間の処理過程を経る必要があると考えられる。

以上の結果と、本地区で整備されている肥培かんがい施設の調整槽の計画滞留日数が14日であることから、雑草種子を死滅させるためには35°C程度を維持することが望ましいと考えられた。今後においては、施設を操作していく上で、温度についても考慮した操作方法について助言を行い、より効率的な操作方法について検討していく。

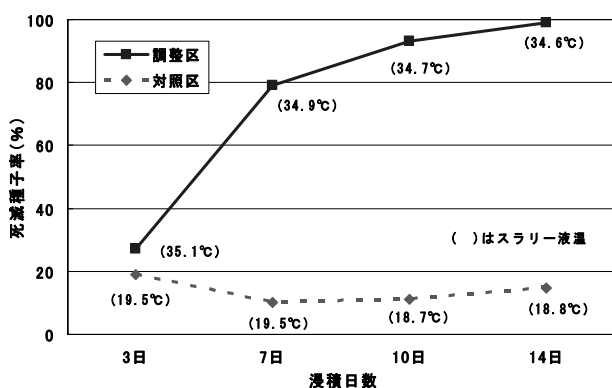


図-9 浸漬日数と死滅種子率の関係

5. おわりに

肥培かんがい施設導入後の施設で、スラリー性状や牧草収量の変化および施設での雑草種子の死滅効果を検証した結果、施設導入前より、スラリーの腐熟化が進行し、牧草の増収傾向がみられた。さらに、雑草種子の死滅効果も認められた。今後、事業の進捗を図るとともに、継続的に肥培かんがいを活用することによって、さらなる施設の有効活用を促進させていきたい。

参考資料

- 1) 北海道農政部道産食品安全室 (2002) 北海道施肥ガイド
- 2) 農業技術普及協会 (1982) 北海道の牧草栽培技術〈基礎編〉
- 3) 木村義彰・梅津一孝・高畑英彦 (1994) メタン発酵処理がエゾノギシギシ (*Rumex obtusifolius* L.) 種子の生存率に及ぼす影響. 日草誌40: 165-170

国営神流川沿岸地区における上里幹線水路の改修事例について

柳 原 正*
(Tadashi YANAGIHARA)

目 次

1. はじめに	14	5. 継手部の対策	19
2. 事業の概要	14	6. 施工	19
3. 上里幹線水路の改修方針	14	7. おわりに	20
4. 管体構造の検証と対策	17		

1. はじめに

国営かんがい排水事業神流川沿岸地区では、「埼玉北部農業水利事業」で建設された農業用水利施設を改修する事業を実施している。これらの農業用水利施設は、更新を必要とする時期を迎えていることから、施設の長寿命化を図り、財政負担を軽減しつつ、有効活用をするよう実施しているところである。機能診断により施設の劣化状況を調べ、その診断結果に基づき施設の機能保全を行うための対策工事を行っている。

神流川より取水する神流川頭首工は既に改修済みであるが、現在上里幹線水路、児玉幹線水路系の改修工事を進めているところである。

本稿では、改修工事の一事例として、上里幹線水路（パイプライン）の工事状況を紹介する。

2. 事業の概要

本地区は、埼玉県北部と群馬県南部に位置しており、埼玉県本庄市他5町と群馬県藤岡市の神流川が形成したなだらかな扇状地に広がる地域である。本地区の農業の特徴としては、首都圏近郊に位置するという立地条件を生かした、水稻と野菜等を組み合わせた複合経営を中心とした営農が展開されている。昭和42年から昭和55年にかけて「埼玉北部農業水利事業」が実施されたが、経年変化によって用水計画と実態の配水に差異が生じた地域もあることから農業用水の再配分が必要になった。また、神流川頭首工、幹線水路等基幹水利施設の老朽化に伴う漏水事故が発生し、その対応に経費がかかるなど、施設の維持管理費の増加が課題になっている。このため、本事業では基幹水利施設

の改修を行い、営農実態に即した用水の配分と施設機能の改善を図ることにより、農業経営の安定と生産性の向上を目指している。

主な工事内容

神流川頭首工 1箇所

用 水 路 7路線

L = 36.1kmの改修及び新設

3. 上里幹線水路の改修方針

上里幹線水路延長は、新神流川幹線水路の青柳分水工を始点とし、県営事業の引継点までの16.9kmで、始点流量3.09m³/sの開水路及びパイプラインにより構成された農業用水路である。本水路は、造成後30年以上が経過し、近年老朽化による開水路の目地部及びパイプライン継目等からの漏水事故が発生している。

本幹線水路は、平成16年～17年に機能診断、平成18年に基本設計、平成19年に実施設計を行い、平成22～23年において、工事を実施中である。

なお、工事区間では畑作を実施しているため、幹線水路改修工事の際、冬期施工としても、短期間（3日間）の断水しかできないことから、仮回し水路を設置している。また、上流側が供給主導型の開水路で、下流側が需要主導型のパイプラインであることから、農家形態の多様化や農家の水利用の変化により、一時的に供給と需要のバランスが崩れ、集中使用時の水不足、水圧不足、水路への空気混入等の課題があり、その解消のため呑口にバッファ容量（操作遅れ+到達遅れ）とファームポンド容量（幹線と末端の時間差）を持たせた調整池（以下、「呑口調整池」という）を造成中である。

* 関東農政局神流川沿岸農業水利事業所
(Tel. 0495-24-3664)

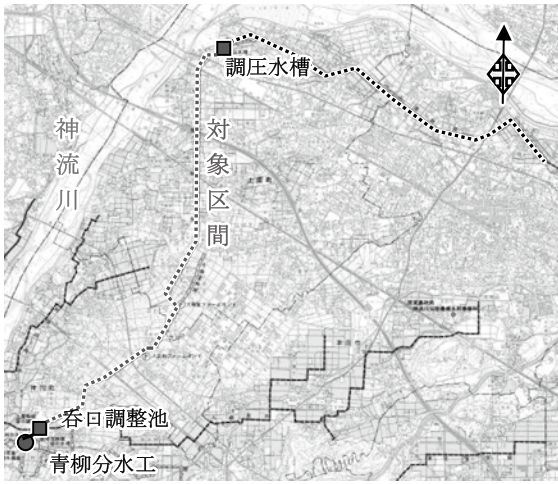


図-1 上里幹線水路概略図

(1)施設状況

上里幹線水路は、青柳分水工を始点とし、上流約500mが開水路（一部暗渠）、それ以降はパイプラインで全長16.9kmの幹線水路である。パイプラインは、約9km下流地点に調圧水槽が設置されたセミクローズタイプである。

本稿では、呑口調整池の下流から調圧水槽に至る区間のパイプライン（主要管PCPφ1,650~1,200mm）の改修工事を対象とする。

①施設概要

表-1 上里幹線水路施設概要表

測点	区間距離	工種（施設）
No. 0		
No. 9+27.00	477.0m	開水路
No. 9+43.40	17.0m	呑口調整池
No.191+73.00	9,063.30m	パイプライン PC 管 φ 1,650~1,200mm
		調圧水槽 φ 5.0m H=14.8m PC タンク
No.337+15.00	7,307.70m	パイプライン PC 管 φ 1,200~1,100mm

※本稿対象は、No.9+43.40~191+73.0パイプライン

②水路縦断状況

上里幹線水路縦断状況として、管路模式図を図-2に示す。

③地上部の経年変化

施設設置以後、場所によっては、道路（拡幅含む）の新設、宅地化又は工業団地造成、ほ場整備による土被り変化等がある。

④土質

上里幹線水路建設時の土質調査（昭和47~50年）によると、地表から約1m程度（場所によっては2m程度の箇所もある）のローム層があり、その下層は砂礫層となっている。主に非かんがい期に行われた土質調査によると、地下水位は、総じて管路より低い位置にある。

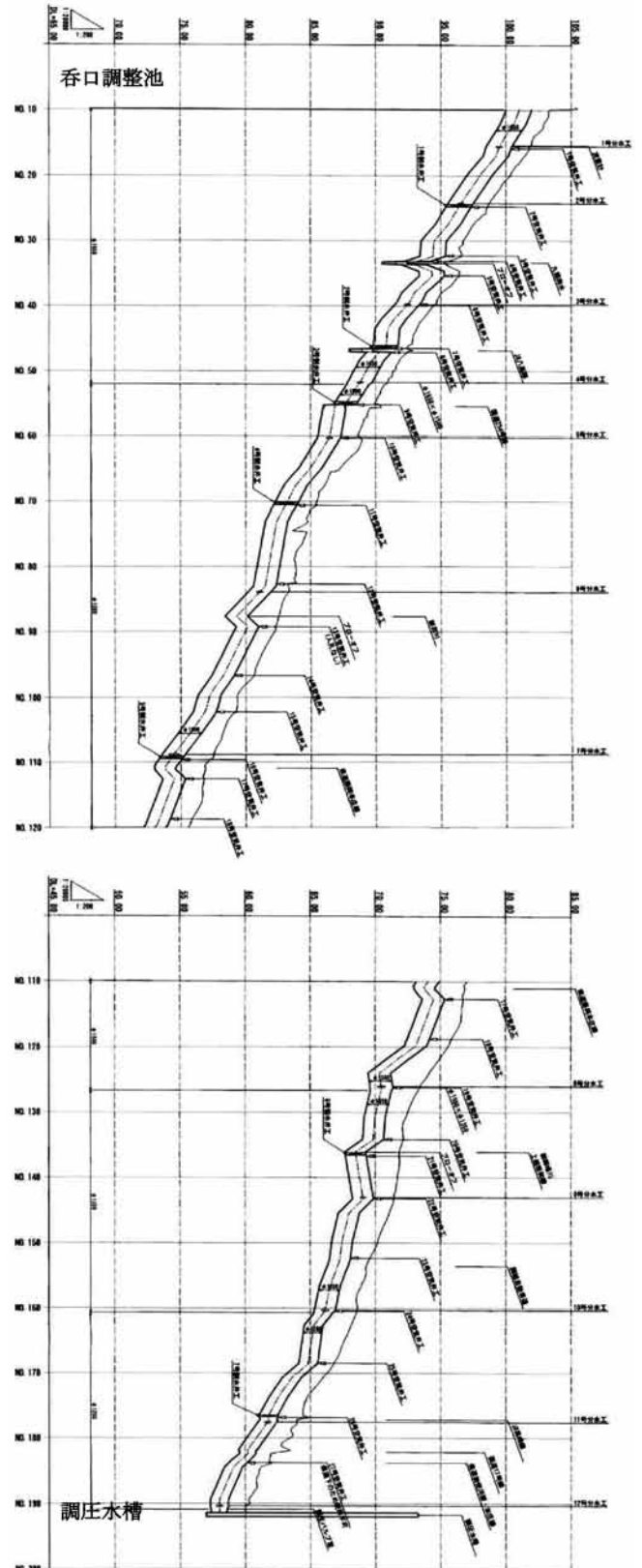


図-2 上里幹線水路管路模式図

(2)機能診断等

本幹線水路は、昭和44年～昭和51年に施工され、施設経過年数は40年～32年（設計時点）である。

PC管の機能診断

a. 目視

特に支障のある状況の報告はない

b. 継目間隔調査

機能診断時における継目間隔実測値において、一部区間で基準値を確保されていない箇所があるが、当該箇所の漏水発生はない。

c. 管体コンクリート中性化試験

中性化は確認されないか、確認されても中性化深さが被り厚さの1/2（3mm）に達するまでの経過時間は、40年であり、現時点では問題はない。

d. 水密性

継手部からの漏水発生が多い。

また、継手ゴムリングの材料としては、当時の状況から天然ゴムが使用されていると判断される。

（文献書「水道用ゴム」によると、昭和41年～昭和54年の間は天然ゴムを使用していたが、微生物による劣化現象が認められ、漏水に至る事例もあったこ

とから、合成ゴムの開発とともにJIS規格改正（昭和56年）が行われ、近年は合成ゴムが主体として使用されている。）このため、天然ゴムの使用が高いことが漏水の主要因と考えられる。

e. 異形管（曲管）

鋼管を使用しており、管内塗装がはがれ、スポット的に錆が確認されている。錆は、管底面に多く、粒子の粗い砂、貝等による塗装摩耗によるものと思われる。

f. 事故歴

事故発生のおほとんどが、継手部の漏水であり、モルタル、エポキシ樹脂及び内面バンドにより補修が行われている。昭和55年から平成16年までの事故発生（漏水）は414箇所であり、上里幹線上流部の継手箇所の18.4%に相当する。

(3)パイプラインの改修方針

パイプラインの改修は、継手部の漏水対策及び内外圧に対する管体強度対策に大別される。それぞれの対策について、口径及び内圧の適用範囲、経済性、施工性等を勘案し、改修工法を選定した。パイプラインの改修工法選定フローを図-3に示す。

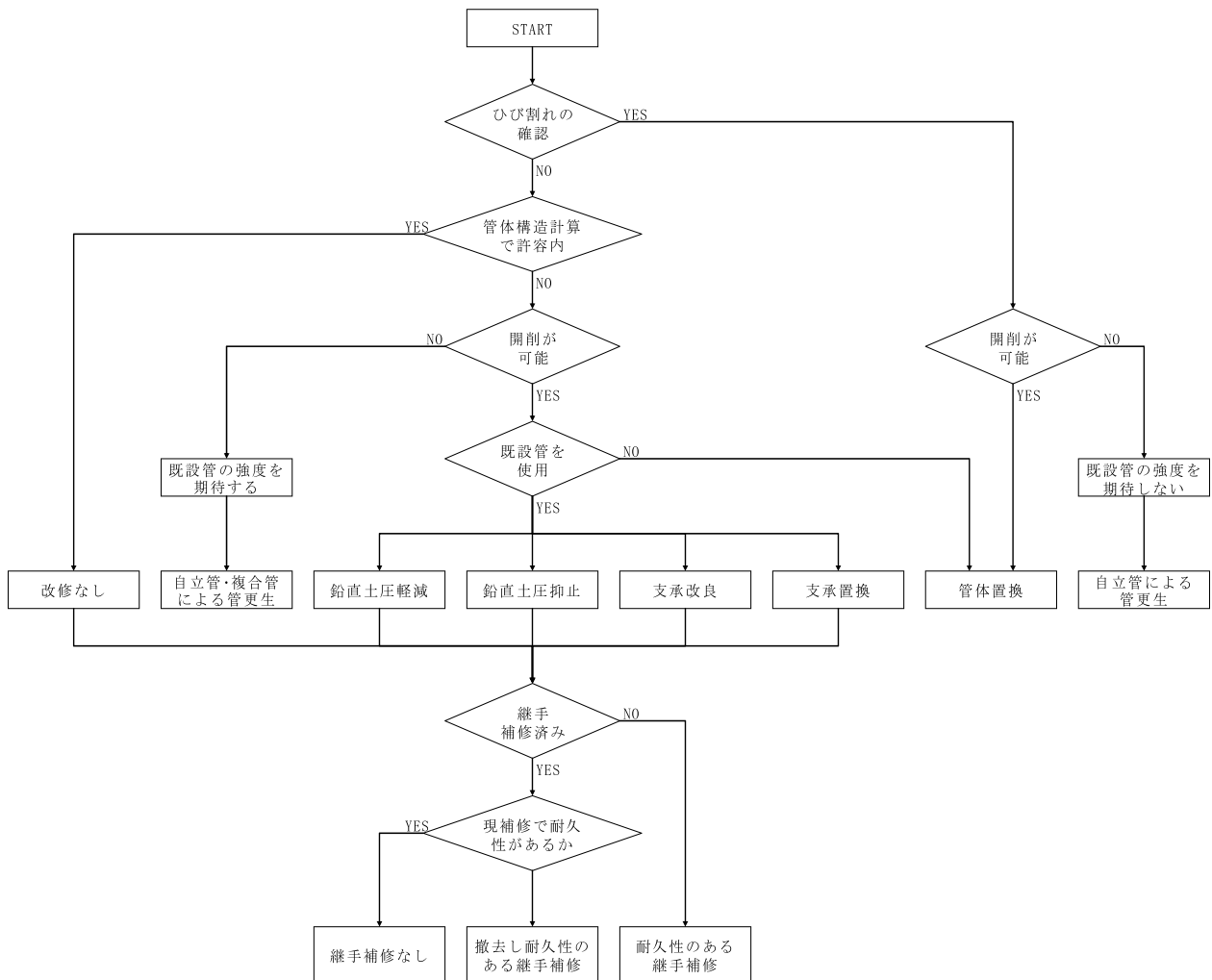


図-3 パイプラインの改修工法選定フロー

機能診断調査で行われた管体のひび割れの確認により、ひび割れが確認された箇所では、既設管の強度を期待せず、自立管等による管更正を行う。

これは、PC管のひび割れは管内部の鋼材を腐食させるため、管体の強度が今後低下していくからである。

管体にひび割れが確認されず健全であると判断された箇所は、その既設管が現在の荷重条件において許容内圧を満足しているかを検証した。検証の結果、許容内圧を満足している場合については、継手の漏水対策を検討する。

機能診断調査結果より、継手部の補修がされていても、今後の耐久性が期待できない場合は、継目補修を行う。耐久性が期待できる箇所については、改修を行わない。

一方、管体の構造検証の結果、許容内圧を満足できなかった箇所については、開削が可能かどうか確認し、開削が可能な場合は、鉛直土圧軽減・抑止・支保改良等の工法を検討する。開削が不可能な場合は、非開削で行うものとし、複合管による管更生工法と自立管による管更正工法を比較の上、工法を決定する。

なお、異形管は、錆が発生しているものの管厚はあり、構造上の支障はない。よって、錆をブラスト処理により鋼面を露出後、再塗装し再利用することとした。

4. 管体構造の検証と対策

(1) 許容内圧の算定

既設幹線水路において、各地点における管種、基礎条件、路面荷重、土圧から最大曲モーメント、線荷重を算出し、許容内圧を求めた。許容内圧が設計内圧を満足できない箇所は何らかの構造的対策が必要である。

管種	PC管2～5種
静水圧	0.054MPa～0.475MPa
設計内圧(静水圧+水撃圧)	0.108MPa～0.825MPa

- ①最上流部からは5種管でおおむね120°基礎であるが、国道254号線まではほぼ設計内圧を満足する(一部設計内圧を若干下回る箇所は適宜対策工法を検討する)。
- ②国道254号線以降の5種管、180°砂基礎区間で、設計内圧を満足するが、下流同種管、120°基礎区間では設計内圧を下回り、対策が必要である。なお、5号分木工下流には、IA=38°、60°、40°の曲部がある。4種管への管級切り上がり以降の区間は、しばらくの間設計内圧を満足する。
- ③6号分木工下流(3種管への管級切り上がり前)の4種管の末端部分で設計内圧を下回り、対策が必要である。以降県道藤岡・本庄線までにおいて3種管を使用している区間は設計内圧を満足するが、一部新

設道路となり4種管を使用している区間は、設計内圧を下回り対策が必要である。

- ④県道藤岡・本庄線以降、3種管が継続しているが、一部土被りが高い区間、また2種管への管級切り上がり前の3種管末端部分で設計内圧を下回り、対策が必要である。
- ⑤上越新幹線手前で2種管使用の区間となるが、以降JR高崎線まで、土被り等荷重条件により3種管との使い分けとなっている。関越自動車道下においては、2種管使用となっている。3種管使用区間における土被りの比較的深い区間で、設計内圧の高まりとも相まって、許容内圧が設計内圧を下回り、対策が必要である。

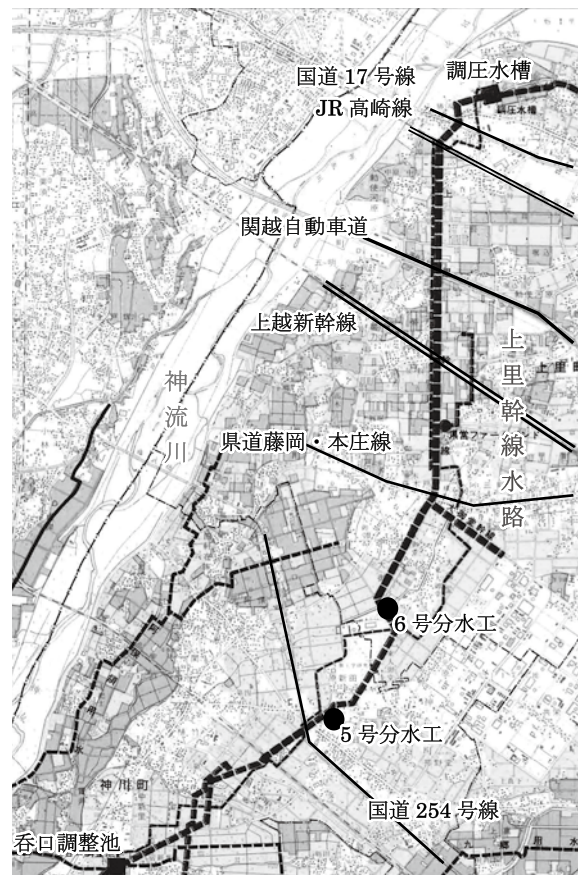


図-4 上里幹線水路路線図

- ⑥JR高崎線以降は、JR高崎線下横断、国道17号線下横断を除いて、3種管使用となっている。調圧水槽上流区間で、設計内圧の高まりにより、許容内圧が設計内圧を下回り、対策が必要である。
- (2) 開削可能部の検討

①鉛直土圧軽減

管体の上部の重量を軽減させ、管体に掛かる荷重(土圧)を軽減させる。管頂上の加重平均重量は、降雨時や湛水時に二次災害とならないよう水の単位重量よりも重くするが、施工誤差を考慮して、 11kN/m^3 として検討した。

検討の結果、この方法では許容内圧が満たされる箇所はなかった。

②鉛直土圧抑止

管体上部に床板を設け、その床板を杭により支えることで管体上部に掛かる荷重を抑止する。しかし、この方法は、杭による管体への影響、抑止としての不確実性、経済性から、他の工法と比較して優位性は認められない。

③支承改良

管体の支承は、現状120°砂基礎であるが、支承条件の良い180°砂基礎やコンクリート基礎にすることにより、管対応力を改善する。検討の結果、支承条件を改良しても、許容内圧が満たされる箇所はなかった。

④支承置換

管体を鉄筋コンクリートで巻き立てて外圧をこの鉄筋コンクリートで負担する。

⑤管体置換の検討

既設のPC管を使用せず、別の管種に置き換える。代替え管種としては、FRPM管、DCIP管を比較し、土被りが3.0mを超える箇所以外では、FRPM管の方が経済的であったため、FRPM管で検討した。

以上の検討をまとめると、表-2のとおり。

表-2 開削可能部の対策検討

方法案	判定	理由
① 鉛直土圧軽減	×	許容内圧が満たされない
② 鉛直土圧抑止	×	管体への影響、支持力不確実
③ 支承改良	×	許容内圧が満たされない
④ 支承置換 (鉄筋コンクリート巻立)	○	
⑤ 管体置換	○	

なお、平均土被り1.5m時を比較したところ、管体置換とする方法が経済的に有利であった。

(3)非開削部の検討

非開削における改修方法として、管更正工法を検討する。

口径、内圧、最大可能延長等より工法を検討し、管更正工法のうち、本地区に適用可能な工法を選定した。

表-3 非開削部管更正工法の検討

工法	円形	口径 (mm)	内 圧 (0.8Mpa 以上)	施 工 可 能 延 長 (m)
反 転 工 法	○	3,000~100	○	制 限 な し
鞘 管 工 法	○	5,000~800	○	制 限 な し
製 管 工 法	○	5,000~250	△ (0.4Mpa)	—

出典「下水管きよ改築等の工法選定手引き(案)」(社)日本下水道協会)の他メーカー問い合わせによる

表-4 管更正工法の概要

工法	工法概要
反転工法	含浸用基材(ガラス繊維または有機繊維等)に樹脂を含浸させた筒状の更正材を反転または引き込み式により既設管路内に挿入し、更正材内部から空気圧や水圧等で既設管内面に密着した状態のまま、温水や蒸気等で樹脂を硬化または紫外線を照射して樹脂を硬化させ更正管を構築する。
鞘管(PIP)工法	既設管内にFRPM管、鋼管またはステンパイプ等を引き込みまたは搬送して接続し、既設管との間隙にモルタル等を充填し一体化する。
製管工法	既設管内に内表面部材となる硬質塩化ビニル樹脂材やポリエチレン樹脂材等を嵌合させながら製管し、製管された樹脂パイプと既設管の間隙にモルタル等を充填することで、一体化した更正管を構築する。

(4)対策工法の決定

区間によって、口径、内圧、区間延長等諸条件が異なるため、開削施工を含めて、区間毎の経済比較を行った。

検討によるおおむねの傾向

鞘管(PIP)工法<(開削施工)<反転工法

- *1 開削施工は、開削可能区間の場合
- *2 製管工法は、内圧条件より適用外の区間
- *3 諸条件(特に延長)が経費に影響を与えるので、最終的には、諸条件を充分踏まえ決定している

比較検討の結果、下記のとおりとした。

- ・ 鞘管工法（FRPM管：標準長4m／本）が経済的となるおおむねの区間で、鞘管工法を採用した。
- ・ 国道254号線前後の短区間（製管工法適用内区間）は製管工法が経済的であり、採用した。
- ・ 5号分土工下流のIA=38°、60°、40°の曲部に対応するため当初反転工法を考えていたが、FRPM短管による挿入管施工を検討したところ1.0～1.2m管／本による鞘管工法が可能との検討結果を得、鞘管工法を採用した。

5. 継手部の対策

上里幹線水路では、昭和56年から昭和59年までエポキシ樹脂等による継手部の補修を行ったものの信頼する効果を認めるに至らず、昭和60年以降内面バンドを使用して補修を行っている。

内面バンドは、クラックや目地からの漏水などの不良箇所に、内側がステンレス製、外側がゴムスリーブに止水用のリップがついた円筒状の複合体の製品を、加圧広径して装着するものである。

内面バンドの補修実施後20年以上経過しているが、当該補修箇所の漏水事故は発生していない。

管更正工法を行わない箇所（モルタルやエポキシ樹脂等による補修箇所を含む）は、今後の止水性能、耐久性に対し不安であることから、原則内面ゴムバンド（SUS製）による補修を行うものとした。また、鋼製内面ゴムバンドにより補修した箇所もSUS製内面ゴムバンドに交換することとした。

なお、内面ゴムバンドの許容内圧は、1.0MPaである。

6. 施工

上里幹線水路の改修工事は、おおむね順調に実施中である。H23年度の施工から、気に留めた点を述べる。

- ・ 施工に伴う管内清掃後の管内面の確認の結果、一部PC管の想定箇所が鋼管であったり、鋼管部位中にフランジ継手と思われる箇所があり、当時としての施工技術上の差異が見られた。
- ・ 制水弁取付にあつては、フランジアダプター中の管体接続部がかなり無理をして接続された状態のため、接合可能となる特別のアダプターの製作を余儀なくされた。
- ・ 機能診断では指摘されていないクラックも確認されたが、通水時期を間近に迎え、古い時期に発生したクラックであり、既に管体に癒着の状態にあるとの関係団体の評価、現段階まで特に漏水上等の支障が生じていないことから、当クラックの処置は非かんがい期に処置することとして現在通水を行っている。

機能診断調査は限られた期間内に行わざるを得ず、把握し切れていない場合もあることから、施工時には、改めて施設の状況を確認し、適切な対応を図ることが必要と感じた次第である。

また、H22年度改修工事後、管内へ通水したところ、未改修区間において多数の箇所の漏水が発生し、その都度漏水復旧対策を講ずる（内面バンドの設置等）状況となり、既施設改修に伴う断水後の通水の困難さを思い知ったところである。

H23工事にあつては、調圧水槽上流部の残区間と合わせ調圧水槽下流区間も対策工事を行う予定であるが、上記の点を念頭に置くとともに、他2点の課題がある。

- ① 既施設の改修工事を行うためには、所要の断水措置が必要であるが、当地区は、畑が多く、冬季も通水を行っているため、営農への影響を最小限に考えた断水計画が求められている。調圧水槽上流区間では仮回し水路の設置により工事期間の用水の確保を手当しているところであるが、調圧水槽下流区間では、弁等付帯機器の交換、既設鋼管の内面塗装が主な工事内容となることから、仮回し水路の設置は予定していない。しかしながら、特に鋼管の内面塗装には所要の日数を必要とするため、工程上のネックとなっており、最小の断水期間となるよう工法等について検討中である。
- ② 調圧水槽下流では、機能診断調査報告書において、鋼管のマクロセル腐食への対策が課題として指摘されており、実際H22.11月には、分土工分岐鋼管においてマクロセル腐食と思われる孔食により漏水があった。併せて当該箇所におけるフランジボルトは腐食が甚だしくネジ山が著しく欠け、接合しているとは言えない状況であった。

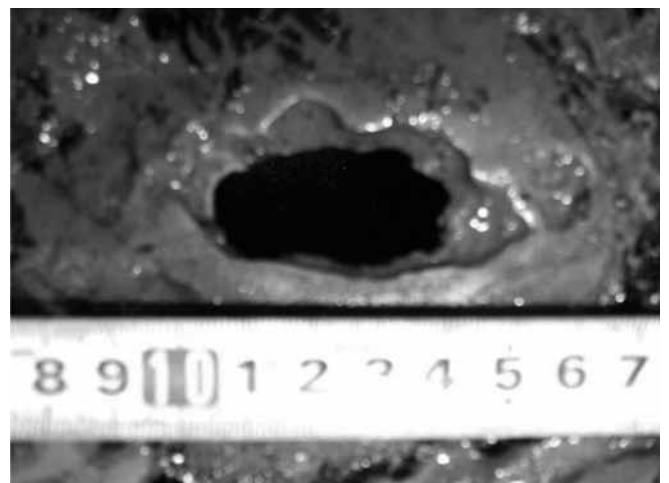


図-5 マクロセル腐食による孔

孔食については、鋼板溶接による暫定措置を行い、フランジボルトについてはステンレスボルトに交換復旧し、現在通水しており、H23年度工事において対策工事を行う予定である。他の箇所においても同様の状態が懸念されるが、事業予定年度（平成24年度）内に、対策を講ずる必要があることから、所要の調査、検討を早急に取り組むこととしている。

7. おわりに

既存施設の改修は、営農に支障を生じないようにあるいは、支障となる影響を最小に留めて、工事を計画する必要がある、まさにストックマネジメント事業で取り組むことの最大の課題である。

また、工事による断水・通水復帰の動作によって、既存施設がずっと通水中であった環境から相当期間の断水（空気にふれ、乾燥化する状態）を経て再び流水にさらされる状態となる。H22工事では、通水復帰の際未改修区間において多数の箇所からの継目部に漏水が発生している。通水状態時は管体と水の間で形成されてきた通水のバランスが、断水をきっかけに不均衡となったことによる現象と推測される。ひとたび漏水があると被害防止措置やその対策工事のために所要の調整、期間、手間、費用がかかる。それらを少しでも回避するため改修区間の設定には一連の区間とすることが望ましい。また、不測の事態にも、通水復帰の時期が遅延することのないよう十分余裕を持った工程と通水復帰予定とすることを自戒の念を込めて記す。

当該事業は、H24年度までの限られた期間を残すところとなっているが、これまでの工事経験による反省事項を改善し、留意点を踏まえ、事業完了時においては、改修事業事例として推奨される地区となるよう事業推進に取り組むつもりである。

参考文献

- ・農業水利施設保全補修ガイドブック

農業用水再編を契機とした冬期湛水田に関する考察

— 営農改善と生物多様性配慮による実証試験から —

吉田 弘明* 東 麻里子*
(Hiroaki YOSHIDA) (Mariko HIGASHI)

井上 健一** 小木 芳恵**
(Kenichi INOUE) (Yoshie KOGI)

目 次

1. はじめに	21	4. 実証試験報告	23
2. 冬期湛水の実施状況とその形態	21	5. おわりに	30
3. 実証地区の概要	22		

1. はじめに

政府は、農業を通じて国民の命と健康を守り、さらには我が国の経済、環境、伝統文化等を含めた国民の生活を豊かなものとするための指針として「食料・農業・農村基本計画（以下、「基本計画」という。）」を平成22年3月に閣議決定した。

基本計画「第3食料、農業及び農村に関し総合的かつ計画的に講ずべき施策」の「2. (8)持続可能な農業生産を支える取組の推進」では、『化学肥料・化学合成農薬の使用低減のみならず、農地での炭素貯留量の増加につながる土壌管理、水田生態系の質的向上につながる冬期湛水管理や地域に土着する天敵昆虫等の生物機能を活用した農法等、環境保全効果の高い営農活動の導入を促進する。また、当該営農活動についての環境保全効果や農業経営への影響を把握するための調査を実施する。さらに、こうした取組を行う農業者のネットワーク化を進め、活動の拡大を図る。』¹⁾との記述がある。

農林水産省では、この基本計画に沿って、農業の持つ自然循環機能の維持・増進を図り、持続的な生産活動を推進するとともに、環境への負荷の低減を図るため、環境保全型農業の取組を推進することとしている（図-1）。

本報では、環境保全型農業を進める一方策として、大規模ほ場整備で整備された福井県坂井市坂井町下兵庫地区の水田をフィールドとし、「冬期湛水」による営農改善と生物多様性配慮による実証試験を行うとともに、今後調査すべき事象や冬期湛水の定着に向けて

当地区の抱える課題を論じ、その展開方向について考察するものである。

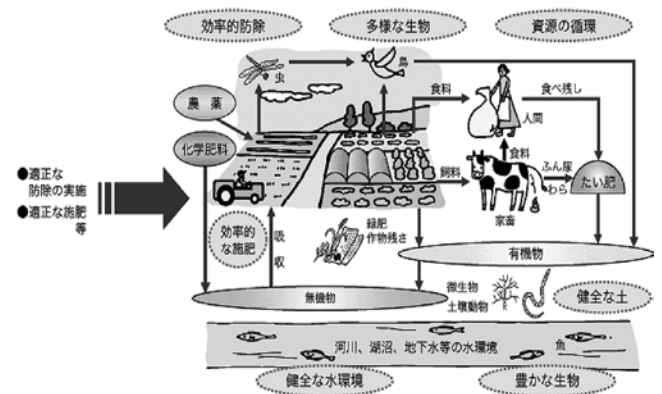


図-1 環境保全を重視した農業生産²⁾

2. 冬期湛水の実施状況とその形態

冬期湛水は、農閑期（冬期から早春期）にも水田に灌漑し水を張る水稻農法のことで、一説には江戸時代の「会津農書」貞亨元年（1684年）の中に冬期湛水の記述がなされ、冬期湛水された水田を「冬期湛水田」と言ったり、「冬水田んぼ」、「田冬水」とも呼ばれることもあり、古くから取り入れられている農業技術と言える。現代にあっては、一般的に排水改良など乾田化対策が施された水田において1990年代から新たに取組まれてきたものである。

冬期湛水に不耕起・疎植・減農薬・減化学肥料・魚道水路設置などを取り入れることにより、自然の再生や環境創造、生物多様性の配慮、水源涵養、地球温暖化ガス抑制などに貢献する可能性が指摘されており、近年、冬期湛水による水田の多面的機能の発揮が期待されている。

*北陸農政局九頭竜川下流農業水利事業所
(Tel. 0776-68-5500)

**福井県農業試験場
(Tel. 0776-54-5100)

冬期湛水の実施状況を記した既往の研究成果としては、栗田³⁾らにより平成15年には全国22県128haで実施されたとのアンケート結果が残っているが、平成19年度から実施されている農地・水・環境保全向上対策（平成23年度からは農地・水保管理支払交付金に変更）の誘導部分においても、不耕起と組合せて農村環境向上活動の具体的な例として挙げられており、現在では、平成15年当時の取組面積をはるかに超えて実施されていることが想定される。また、栗田らは、目的・栽培方法から冬期湛水田の利用形態を表-1のように分類している。最初の「冬鳥型」は、ガン・カモ類などの冬鳥の保護を目的に冬期湛水を実施し、夏期の水稲の栽培方法（施肥・防除・耕起）は慣行通りに実施している例である。2番目の「水田生態系型」は、水田生態系の保全・再生を目的に夏期の水稲作付けを行わず、休耕田、耕作放棄地などを中心に実施している例である。最後の「営農両立型」は、有機栽培、減農薬栽培、不耕起栽培等の慣行以外の環境保全型農業を行うことにより、営農改善と生物多様性配慮との両立を目指す総合型の例である。

本報の下兵庫地区は、農地・水・環境保全向上対策の活動が盛んで、環境保全型農業への関心に加え、安全で安心な米づくりを進める機運も高いため、「営農両立型」の冬期湛水を展開する上で、幅広い視点から実証調査を行うこととした。

表-1 冬期湛水田の利用形態

	実施目的・意図	栽培方法
1. 冬鳥型	○冬鳥の保護	慣行栽培
2. 水田生態系型	○水田生態系の保全・再生	不作付け
3. 営農両立型	○冬鳥の保護○水田生態系の保全・再生 + 環境保全型農業	有機，無農薬，不耕起栽培など

3. 実証地区の概要

(1) 国営九頭竜川下流地区の概要

受益面積が1万2千haからなる国営九頭竜川下流地区は、福井県北東部にあって九頭竜川両岸にまたがる福井市外2市1町の福井・坂井平野に位置し、水稲作を中心とした大規模で先進的な農業が展開されている地区である。

しかし、当地区の農業を支える基幹的用水路は、戦

後まもなく築造されたものも多く老朽化が著しく進んでいる状態にある。

このため国営事業及び関連事業により、老朽化した開水路をパイプライン化（国営幹線用水路：54.8km）し、農業用水の再編を行うことで効率的な水配分が可能となり、水管理労力と維持管理費の軽減、更には地域用水機能の増進を図ることを目的に平成11年度より工事着手している（図-2、写真-1）。



(— 国営幹線用水路事業計画ライン)

(◎ : 実証地区位置)

図-2 九頭竜川下流地区の受益地



写真-1 右岸幹線用水路鋼管布設状況 (φ2,800mm×2連施工)

(2) 下兵庫地区の概要

下兵庫地区は、図-2に示すように坂井平野の中央部に位置する坂井市を代表する稲作地域であるが、昭和30年代の10a区画の水稲単作が主流をなしており、水路の維持管理に多大な労力を要し、さらには狭小な農道、農地の排水不良により、大型機械の導入や効率的な農業経営が困難な状況となっていた。

このため、平成8年度～平成17年度にかけて、県営経営体育成基盤整備事業による2～4haの大区画ほ場の造成を中心に用水路のパイプライン化、排水路及び暗渠排水の再整備を行うことによる、効率的な水管理及び水田の汎用化を図るなどの総合的な基盤整備を機に、生産組合を立ち上げた。その後、平成14年度には地区の農地の一層の利用集積を図るため、下兵庫営農組合を設立、平成20年5月現在で当該地区の営農組合への加入率は、92%（加入面積145ha）となっている。また、水稲作付面積の約8割が直播栽培で、大麦、大豆、ソバの栽培も盛んな地区である。（写真-2）



写真-2 大区画に整備された水田

(3)冬期湛水田への取組機運

前述(2)のとおり、下兵庫地区では、現在、大区画ほ場での効率的な営農体系による生産体制が組まれている。また、平成23年春には、国営九頭竜川下流農業水利事業の幹線パイプラインと県営の末端パイプラインの接続が可能となり、鳴鹿大堰からの自然圧を利用したセミクローズドパイプラインによる配水管理がほ場レベルにまで到達することになる。これにより、既存の加圧揚水機場に頼っていた用水供給は、自然圧を利用したパイプラインシステムに再構築される。この結果、揚水機場の電力使用量等に係る維持管理費の節減、パイプライン化による流着ゴミ処理費の軽減が期待されることである。

さらには、水利権上の課題はあるものの、水利用量が確保できれば非かんがい期の水利用が可能となるなど、より高度で施設利用率の高い水利施設（生産基盤）となることが期待されており、パイプライン化を契機として、従来から進めている「農業生産の効率性」を維持しつつ、「自然環境との共生」の両立を目指したいとの意向である。将来は、集落として農薬や化学肥料を極力使わず、また、生態系に配慮した水管理を行うなど、安全・安心なおいしい米づくりを進めたいとの機運が高まっている。

福井県内の環境保全型農業の先行例としては、越前市の“コウノトリを呼び戻す農法”（写真-3）や若狭町の休耕田などで取組まれている中山間地を中心とした冬期湛水田による取り組みが注目を集めているが、平坦地の冬期湛水田での稲の生育や生物多様性の維持・保全などの特徴を明らかにする下兵庫地区の実証試験は、具体的なケーススタディとして、さらには環境保全型農業への機運醸成や地元組合員への情報提供につながることから、その意義は大きいと思われる。



写真-3 越前市白山地区
（「水辺と生き物を守る農家と市民の会」資料引用）

4. 実証試験報告

(1)実証試験概要

下兵庫地区では、平成19年度から開始された「農地・水・環境保全向上対策」を進める上で、環境保全型農業への取組機運が高まり、冬期湛水田を通じた営農改善と環境保全（生態系を含む）の両面からモニタリング調査を実施し、環境保全型農業の地域農業定着への足掛かりとすべく、平成21年11月1日より冬期湛水を開始した。

実証面積は、全体で60aを下兵庫営農組合から確保し、うち冬期湛水区30a、慣行農法（移植慣行田）での対照区30aとした。

さらに、冬期湛水区の配置と除草剤等の概要を表-2、図-3に示す。

表-2 実証試験の概要

水田区分	圃場番号	面積	除草剤等	除草剤使用量
冬期湛水田	①区	10a	米ぬか(100kg/10a)	不使用
	②区	20a	減除草剤	350g/10a
移植慣行田	③区(対照区)	30a	除草剤	500g/10a

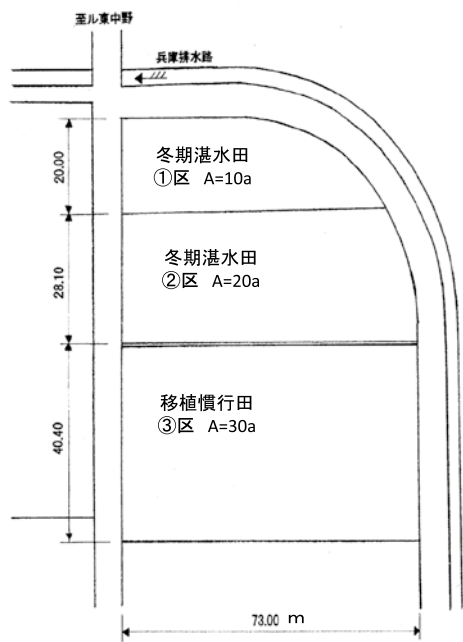


図-3 冬期湛水による実証試験平面図

実証試験は、当該地区の北側に位置する幹線排水路沿いの農地で行った。また、当該地区の冬期間の営農利用の水利権は現在確保していないため、現状は幹線排水路からのポンプアップにより冬期湛水田の用水補給を行っている（写真-4、写真-5）。



写真-4 ポンプアップによる用水供給



写真-5 冬期湛水田（H22.11月撮影）

冬期湛水深は、実証前には全国の先例を参考に水深15cmの水深維持を目指したものの、基盤が礫質系の土壌であり、水深10cm程度にとどまった。

(2)実証試験体制

地元の下兵庫営農組合、下兵庫むらづくり委員会が中心となり、冬期湛水田の水位管理、肥培管理等の営農作業全般を行った。

また、福井県農業試験場では、実証調査の支援と効果の検証という立場から、生育収量調査や土壌養分調査に基づく施肥設計など栽培技術に関する助言、指導を行った。

九頭竜川下流農業水利事業所においては、実証試験ほ場の生物相を中心に調査を進め、生物多様性に関するデータ収集を行った。

なお、これらの実証試験を進めるに当たっては、上記実証試験にかかる担当者のほかに、福井県、関係土地改良区、地元農協などの関係者と検討会を随時開催し、冬期湛水における技術的な情報共有とその後の栽培方針を決定しながら実証試験を行っており、表-3にその作業内容の経過を示す。

表-3 冬期湛水田による実証作業経過

作業月日	作業内容	適用
平成21年10月19日	・実証試験打ち合せ ・地耐力調査等	下兵庫営農組合、JA花咲ふくい、福井県農業試験場、福井県、国営事業所
平成21年11月1日	ポンプによる湛水作業開始	水深15cm程度確保
平成22年2月2日	土壌採取	福井県農業試験場
平成22年3月19日	実証試験検討会	作業工程、施肥計画等
平成22年4月9日	耕起作業	
平成22年4月27日	代掻き作業	
平成22年5月2日	田植え作業	うらら203:45kg/10a施肥
平成22年5月4日	米ぬか投入	冬期湛水田①区:100kg/10a
平成22年5月8日	除草剤投入	ミスターホームランDLジャンボ ②区:350g/10a ③区:500g/10a
平成22年5月19日	生育調査	福井県農業試験場
平成22年6月4日	生育調査	福井県農業試験場
平成22年6月5日	除草対策	①区のみ:中耕除草
平成22年6月9日	生き物調査	国営事業所
平成22年6月15日	実証試験検討会	下兵庫営農組合、JA花咲ふくい、福井県農業試験場、福井県、国営事業所
平成22年6月23日	イトミミズ調査	国営事業所
平成22年7月17日	農薬防除	イモチ病対策
平成22年7月30日	実証試験打ち合せ	福井県農業試験場、国営事業所
平成22年8月13日	生き物調査	国営事業所
平成22年8月19日	生育調査	福井県農業試験場
平成22年8月26日	稲刈り	コンバイン刈り取り
平成22年9月27日	生き物調査	国営事業所
平成22年11月1日	ポンプによる湛水作業開始	水深10cm程度確保を目標

(3) 営農改善に関する実証試験

本調査は、地力低下が指摘される坂井平野で冬期湛水を実践し、水稻生育に及ぼす影響を定量的に明らかにすることを目的として実施した。

営農改善に係る試験区としては、表-2に示す冬期湛水田②区を冬期湛水前の代かき作業の有無で更に区分し、表-4に示す4つの試験区で実施した。

① 試験及び調査方法

- 1) 試験場所 福井県坂井市下兵庫
- 2) 供試品種 ハナエチゼン
- 3) 移植 5月2日
栽植密度 17.3株/m², 植付本数3~5本/株に調整。側条施肥。

4) 表-4：試験区構成

試験区	面積 (a)	施肥量* [Nkg/10a]	除草方法 (資材 kg/10a)	備考
米ぬか区	10.0	9.0	米糠ベレット100 +手取り	①区
冬代区 ***	1.4	9.0	一発除草剤**0.35	②区
冬水区	18.6	9.0	一発除草剤**0.35	②区
慣行区	30.0	9.0	一発除草剤**0.5	③区

*：基肥一括肥料うらら 203 使用。標準より N1kg/10a 減量。
**：ミスターホームラン DL ジャンボ使用。
***：冬水区は冬期湛水前の代かきなし。
冬代区は代かきした波板境界の6条部分に設定。

5) 移植後25日より各区の生育調査（草丈、茎数）を6~14日おきに実施し、葉色については成熟期まで葉緑素計SPADを用いて測定した。

6) 6月30日（移植後59日）に各区の雑草発生程度を調査し、1m²あたりの雑草本数とその風乾重を測定した。

② 試験結果

1) 生育経過

苗の活着は、移植後の気温が低温で推移したため、緩慢であった。活着期では、冬水区の葉色がやや濃く、植え傷みによる枯れ上がりも少なかった。（写真-6）。

6月上旬以降の気温の上昇とともに冬期湛水田（冬代区、冬水区）では慣行区より生育が旺盛となり、草丈が長く、茎数が多く、葉色が濃い傾向が成熟期まで続いた（写真-7, 図-4, 5, 6）。

さらに、7月上旬以降では、慣行区より冬水区のほうが生育旺盛であった（写真-8, 9, 図-4, 5, 6）。なお、生育旺盛な冬期湛水田を中心に収穫前より葉いもちの発生がみられ、一部の場所では枝梗いもちに移行した。そのような場所では、ニカメイチュウや紋枯病の被害も散見された。

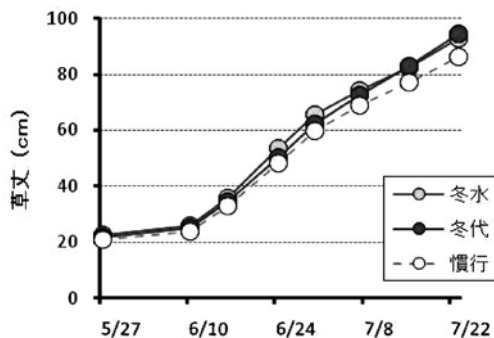


図-4 草丈の推移

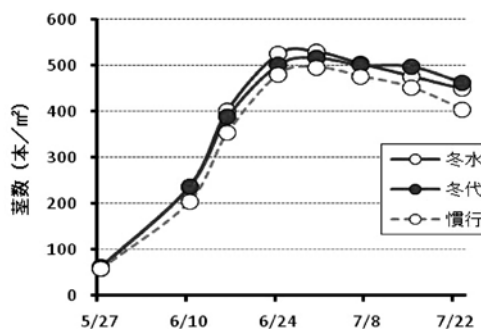


図-5 茎数の推移

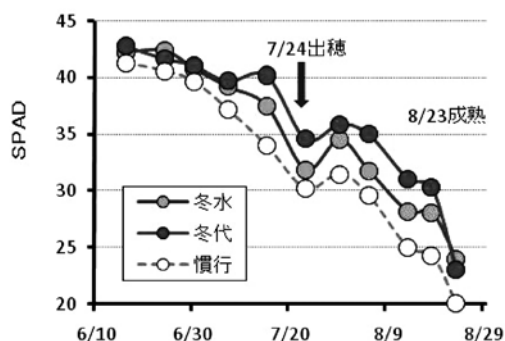


図-6 葉色の推移

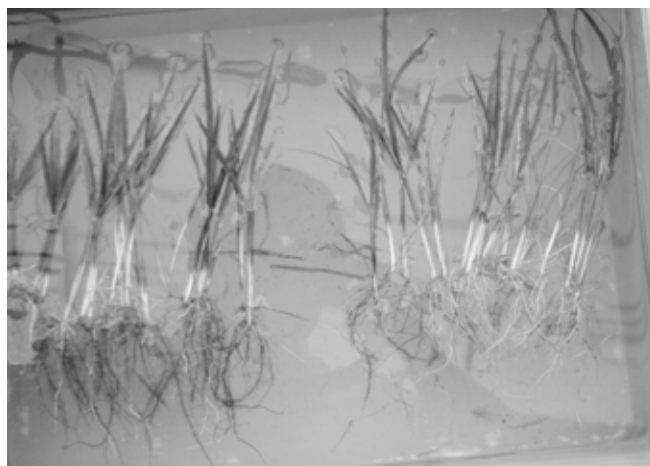


写真-6 活着期のイネ (5.19: 左・冬水区, 右・慣行区)



写真-7 分けつ期
(6.10: 左・冬水区, 右・慣行区)



写真-8 出穂期
(7.24: 左・冬水区, 右・慣行区)



写真-9 成熟期
(8.23: 左・冬水区, 右・慣行区)

2) 雑草発生量

冬水区では、移植後に発生する優占雑草であったアゼナの発生本数、風乾重も少なかった。米ぬか区ではアゼナの発生本数は少ないが、除草剤を使用しないために個体あたり風乾重はやや多かった。これ

は、機械除草により条間に発生した雑草は除草あるいは生育が抑制されたが、株元の雑草は残存して生育量が大きくなったためである。調査後も手取り除草を行ったため、各区ともに雑草害を生じるほどの残草はなかった。

なお、アゼナ以外の雑草の発生は極めて少なく、冬水区、冬代区では除草剤の散布量を30%減らしたにもかかわらず、残草量は慣行区より少なかった(図-7)。

また、冬期湛水田では、冬雑草のスズメノテッポウの発生量が少なく、代かきによりほとんどが土中に埋没したが、慣行区では移植後20日頃まで生存が目立ち、差が顕著であった。

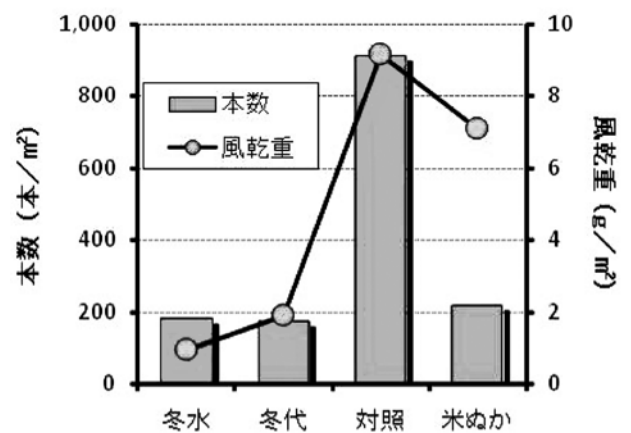


図-7 アゼナ本数と風乾重の比較

3) 収量と品質

収量(精玄米重)は45~49kg/aと全試験区とも低収であった。これは、登熟歩合が著しく低下したため、1.9mmフルイ以下の屑米の割合が試験区によっては20%を上回った。冬代区と冬水区の収量はほぼ同等で、慣行区より8~9%高かったが、これは生育経過に見られたように、1m²あたりの粒数が多かったため、登熟歩合や千粒重は低収ということもあり低下した(表-5)。玄米の見かけの品質(粒ぞろい、光沢などによる判断)には試験区間で大きな差は認められず、良質粒の割合は各試験区とも70%程度であった。また、慣行区ではやや基白粒の発生率が高かった。

(4) 生物多様性配慮に関する実証試験

前述(3)の各試験区とその周辺で栽培されている直播慣行田について、水田に生息する生き物の生息調査を行い、生物多様性の維持・保全に及ぼす冬期湛水の影響について調査を行った。

① 試験及び調査方法

調査時期等は、表-6のとおり。

表-5 収量構成要素

試験区	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒)	m ² 粒数 (百粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a)	慣行比 (%)
米ぬか区	401	77.0	296	77.0	21.4	49.1	108
冬代区	499	67.8	337	69.1	20.9	49.2	109
冬水区	447	72.6	324	70.8	21.0	49.1	108
慣行区	350	79.6	266	79.6	21.2	45.3	100

表-6 生息調査内容

時期	調査項目	実施日
田植え後	底生生物等（虫，両生類含む）	H22. 6/9
中干し後	両生類，爬虫類，陸上昆虫類，クモ類	H22. 8/13 (刈取り前)
		H22. 9/27 (刈取り後)

調査方法として、底生生物のうちイトミミズ、ユスリカについては、コドラート法（球根植え器）により、水田土壌を採取した。（写真-10）



写真-10 球根植え器を使ったイトミミズ調査

その他の水田土壌中に含まれる底生生物，両生類，爬虫類は目視，陸上昆虫類，クモ類については，スウィーピング調査により行なった。（写真-11）



写真-11 陸上昆虫類調査（スウィーピング調査）

1) 田植え後の生息調査結果

田植え後の各実証区において確認された生き物の一覧表を表-7に示す。冬期湛水田の①区，②区は，移植慣行田③区，周辺の直播慣行田に比べ，生き物の種類が多く，生物多様性が豊かであった。

イトミミズやユスリカが土壌中に生息し，土を食べ排出すると，土の粒子が細かくなり，微生物と混じって土がフワフワになると言われている。⁴⁾

この土がフワフワになる状態はトロトロ層とも呼ばれこの層が形成されると流動性が著しく，抑草効果が期待されると言われている。図-8に示すように冬期湛水のみ②区では，少数のユスリカのみ確認であったが，米ぬかを投入した①区ではイトミミズ，ユスリカの生息が一冬の湛水期間にもかかわらず確認され，今後も継続した冬期湛水や有機物の投入により更なる増殖が期待されると思われる。

2) 中干し後の生息調査結果

中干し後の陸上昆虫類，クモ類及び両生類と爬虫類の調査結果を表-8，9，10に示す。各表中の「直播慣行田」とあるのは，実証ほ場周辺の直播慣行田で作付けしている水田について，冬期湛水田と同面積となる範囲を対照区として同様に調査したものである。

陸上昆虫類・クモ類を対象にした調査方法は，捕虫網によるスウィーピング調査により実施し，調査範囲は各水田の周囲とし，定量的な把握を行った。

夏季（8月13日）に実施した各水田の調査では，4目13科14種の陸上昆虫類と3科4種のクモ類をそれぞれ

表-7 下兵庫地区の生息調査結果（田植え後）

調査水田	基本環境情報	区分	確認できたものの種名
1. 冬期湛水田①区 (米ぬか,A=10a)	水温:31.7℃ pH:7.2 ORP:-109 EC:101.9 DO:6.48	底生生物	イトミミズ, ミジンコ, モノアラガイ(準絶滅危惧種)
		虫類	ユスリカ, アメンボ, ミズムシ, ヤゴ
		両生類	アマガエル, オタマジャクシ
		植物	アオミドロ
2. 冬期湛水田②区 (減除草剤,A=20a)	水温:31.3℃ pH:7.66 ORP:-122 EC:121.7 DO:4.31	底生生物	ミジンコ, モノアラガイ(準絶滅危惧種), ヒル, ゲンゴロウ(幼虫)
		虫類	ユスリカ, アメンボ, ヤゴ, ヘビトンボ
		両生類	オタマジャクシ
3. 移植慣行田③区 (除草剤,A=30a)	水温:31.7℃ pH:7.53 ORP:-138 EC:69.0 DO:4.54	底生生物	モノアラガイ(準絶滅危惧種)
		虫類	アメンボ, ヤゴ
		両生類	オタマジャクシ
4. 直播慣行田	水温:29.7℃ pH:7.72 ORP:+164 EC:120.7 DO:5.72	底生生物	確認されなかった
		虫類	
		両生類	

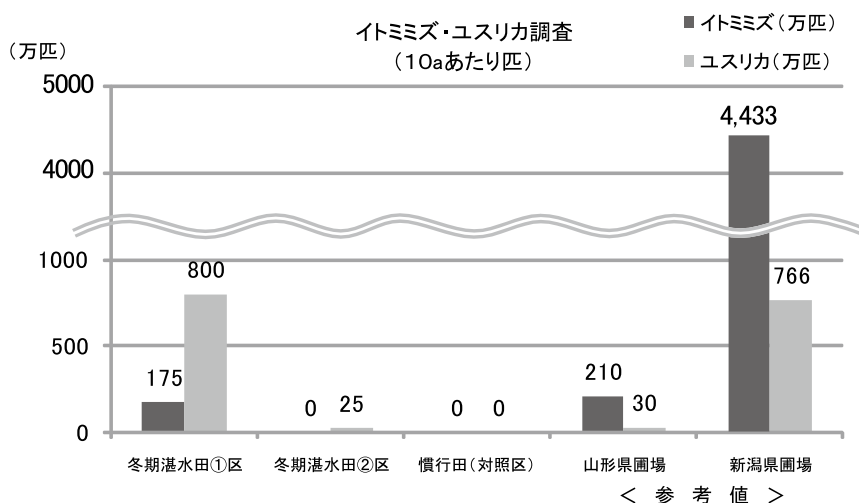


図-8 イトミミズ・ユスリカの生育対比表

れ確認した。各水田の出現種数を比較すると、陸上昆虫類では、冬期湛水田12種、直播慣行田5種、クモ類では冬期湛水田4種、直播慣行田1種をそれぞれ確認し、冬期湛水田の方が陸上昆虫類及びクモ類ともに種数・個体数とも多い結果となった。

また、確認した陸上昆虫類の中では、一般に水田の害虫とされるものとして、ササキリ属の一種、ヒメトビウカ、セジロウカ、エチゴヒメナガカメムシ、アカヒメヘリカメムシの5種を確認し、それらも冬期湛水田に多く確認された。

冬期湛水田では、害虫とされる陸上昆虫類が生息し、それらを捕食する第二次消費者のクモ類も生息している。これらのことから、冬期湛水田においては、多様な種群から構成される良好な水田生態系が機能していると推測できる。両生類では、ニホンアマガエル(写真-12)の個体が冬期湛水田で多く確認されたが、近年、坂井平野ではトノサマガエルやツチガエルが確認されていない。

これについては、ほ場と水路の連続性が失われ、

さらに乾田化によりほ場から水が消える期間が長くなったことにある⁵⁾と言われており、冬期湛水のみの対策では生物多様性を向上させることに限界があり、水田周辺の退避池や移動経路の確保、脱出を助ける施設等の設置を併せ行った環境整備についても検討する必要があると思われる。



写真-12 実証圃場で確認されたニホンアマガエル

表-8 陸上昆虫類及びクモ類調査結果一覧（中干し後）

(個体数)

目名	科名	種名	学名	冬期湛水田	直播慣行田
バッタ	キリギリス	ササキリ属の一種	<i>Conocephalus</i> sp.	1	
カメムシ	ウンカ	ヒメトビウンカ	<i>Laodelphax stratella</i>	15	
		セジロウンカ	<i>Sogatella furcifera</i>	9	
	ヨコバイ	ヒメフタテンヨコバイ	<i>Macrostelus striifrons</i>	1	
	アブラムシ	アブラムシ科の一種	<i>Aphididae</i> sp.	1	
	ナガカメムシ	エチゴヒメナガカメムシ	<i>Nysius expressus</i>	2	
	ヒメヘリカメムシ	アカヒメヘリカメムシ	<i>Rhopalus maculatus</i>		1
ハチ	—	コバチ上科の一種	<i>Chalcidoidea</i> sp.	3	
	アリ	トビイロシワアリ	<i>Tetramorium caespitum</i>	1	1
ハエ	ヌカカ	ヌカカ科の一種	<i>Ceratopogonidae</i> sp.	1	2
	ヤチバエ	ヒゲナガヤチバエ	<i>Sepedon aenescens</i>	1	2
	ハモグリバエ	ハモグリバエ科の一種	<i>Agromyzidae</i> sp.		3
	ショウジョウバエ	ショウジョウバエ科の一種	<i>Drosophilidae</i> sp.	2	
	ハナバエ	ハナバエ科の一種	<i>Anthomyiidae</i> sp.	1	
4目	13科		14種	12種	5種

目名	科名	種名	学名	冬期湛水田	直播慣行田
クモ	アシナガグモ	トガリアシナガグモ	<i>Tetragnatha caudicula</i>	16	
	コガネグモ	ナガコガネグモ	<i>Argiope bruennichii</i>	1	
		ドヨウオニグモ	<i>Neoscona adianta</i>	9	4
	カニグモ	ハナグモ	<i>Misumenops tricuspidatus</i>	1	
1目	3科		4種	4種	1種

表-9 両生類調査結果（中干し後）

(個体数)

科名	和名	学名	稲刈り前		稲刈り後	
			冬期湛水田	直播慣行田	冬期湛水田	直播慣行田
アマガエル	ニホンアマガエル	<i>Hyla japonica</i>	20	2	12	9
1科		1種	1種	1種	1種	1種

表-10 爬虫類調査結果（中干し後）

(個体数)

科名	和名	学名	稲刈り前		稲刈り後	
			冬期湛水田	直播慣行田	冬期湛水田	直播慣行田
ナミヘビ	シマヘビ	<i>Elaphe quadrivirgata</i>	1			
1科		1種	1種			

(5)冬期湛水田の可能性と課題

1)冬期湛水の啓発・普及

従来から冬期間は乾田化することが常識・慣行と取られており、冬期湛水田を活用する場合、どうしても冬期に湛水するための管理労力が必要となり、それに積極的に取組むためには、その優位性を営農改善や生物多様性の観点から立証し、啓発・普及、情報発信に努める必要がある。

本報においては、1年の実証試験結果ではある

が、雑草発生量の抑制による除草剤の削減やトトロ層形成による除草剤使用量の軽減などにつながる可能性が示された。

さらには、安心・安全、環境にやさしい米づくりに繋がり、兵庫県豊岡市の「コウノトリ育むお米」や宮城県大崎市の「ふゆみずたんぼ米」などと同様に、付加価値の付いたブランド米として販売し、農家の安定した収入に貢献する可能性があると考えられる。(写真-13)



写真-13 下兵庫むらづくり委員会による試食品制作

2) 冬期間の用水の確保

水利権協議上のような効果に対して、冬期の必要水量をどの程度確保するかが課題としてあげられ、今後当地区においても冬期の使用水量のデータの把握に努めることが必要と考えられる。

さらには、礫質土壌である当地区では、非かんがい期の水量、水深を維持していくためには、環境に優しい土壌固着資材による畦畔の保護対策等も併せて検討の必要があると考えられる。

3) 冬期湛水実証試験の進め方

下兵庫地区の周辺にはガンの飛来地があることから、冬鳥の保護という視点で、今後生息調査を行う予定である。具体的には、環境保全型農業の推進に伴う餌場としての取組み、二番穂の確保などにより、冬鳥の飛来地としての可能性が高くなるものと考えられる。

また、調査に当たっては、今回の実証試験データを参考に対象となる営農団体等と関係機関が協議・調整しながら、生き物の生息環境の保全再生対策や、営農両立型の可能性について検討を行うことが肝要と思われる。

5. おわりに

筆者らは、地元関係者の創意工夫で地域特性を生かした各種取り組みの実践やその情報の蓄積・共有を図りつつ、地域にとって好ましい環境保全型農業を展開することが、基本計画で記述されている「持続可能な農業生産を支える取組の推進」を具現化するための近道ではないかと思慮する。

本報の冬期湛水田の取組みもその一方策としての潜在的な効果は非常に高いと考えており、引き続き継続的なデータの蓄積や各種条件による実証試験を進め、冬期湛水田のメリット、デメリットを斟酌しつつ、本地区での適用について検討していく所存である。

現在の30aの実証試験から、下兵庫集落全体さらには地域的な取組みとして段階的に規模拡大を行い、パイプライン化を契機に「環境にやさしい米づくり」に挑戦したいとの意欲が集落を超えて高まることを期待している。

最後に、本実証試験に多大なるご協力とご支援をいただいた下兵庫営農組合、下兵庫むらづくり委員会はじめ関係者の皆様にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 「食料・農業・農村基本計画（平成22年3月30日閣議決定）」、P29
- 2) 「環境保全型農業の推進について」農林水産省生産局農業環境対策課資料（平成22年6月）
- 3) 栗田英治ほか（2006）：「生物・生態系保全を目的とした水田冬期湛水の展開と可能性」．農業土木学会誌，74（8），713-717
- 4) 岩澤信夫著（2010）：「究極の田んぼ」，日本経済新聞社，p68
- 5) 「ふくい自然再生ガイドブック」環境ふくい推進協議会事務局，P10

谷汲深坂・大洞地区における軟弱地盤対策の検討

武 藤 剛*
(Tsuyoshi MUTO)

目 次

1. はじめに	31	4. 調査内容及び結果	33
2. 地域概要	31	5. 設計	36
3. 基盤整備状況	32	6. 終わりに	38

1. はじめに

県営中山間地域総合整備事業「谷汲地区」では、岐阜県揖斐郡揖斐川町谷汲地域（旧揖斐郡谷汲村）全域を対象に平成20年度から農業用排水施設整備や農道整備等を実施している。

このうち谷汲の南部に位置する深坂・大洞地区は、1級河川管瀬川上流（通称、江川）沿岸に開けた受益面積135haの水田地帯で、県営ほ場整備事業（S60～H12）により基盤整備がなされている。しかし、本地域は腐植土（泥炭）が堆積し、長期にわたって沈下が継続するなどの特徴を有する超軟弱地盤地域で、現状施設の一部は、沈下等の変状が生じ、営農及び、維持管理に支障をきたしている。今回、農道及び排水路の改良整備を実施するにあたり、本地域の地質調査を実施すると共に、現状施設の変位の状況等を整理し、その原因及び対策工について検討した結果を報告する。



写真-1 空中写真（深坂・大洞地区）

2. 地域概要

(1)地形

本地区は、美濃山地西部を流下する揖斐川支流根尾川右岸域の谷汲山地内に位置する。周辺は標高100～400mの小起伏性山地が連なり、北西に向かうにつれ徐々に高度を増している。この山地の中央には、西北西～東南東に約10kmにわたって延びる左横ずれ変位を示す、谷汲断層が存在し、谷汲断層の活動によって形成された閉塞丘やチャートの差別侵食などによって周辺には小丘陵化した山塊が点在し、複雑な山麓線を示している。これらの山地を侵食する根尾川支流の管瀬川は、断層の活動と相まってその上流で江川や名礼川などに分かれ、それぞれ山地との間に小扇状地を形成し、さらに比較的幅広い谷底低地を形成している。

江川流域（深坂・大洞地域）には谷汲断層の運動によって下流部をせき止められて生じた小盆地が広がり、第四紀後期を通して最大30m近くにおよぶ腐植土層を形成している。

図-2に地盤形成過程を示す。



図-1 位置図

*岐阜県揖斐農林事務所（Tel. 0585-23-1111(435)）

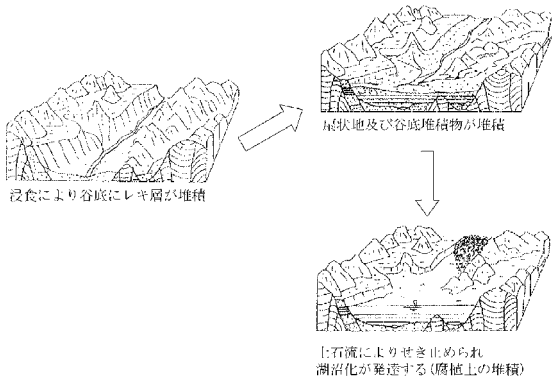


図-2 地盤形成過程

引用文献「平成9年度村道深坂線道路改良比較検討委託報告書(谷汲村)」

(2)地質

周辺山地は、美濃帯と呼ばれる中生代ジュラ紀の砂岩、泥岩を主とする堆積岩複合岩体で構成されている。また、山地間に形成された扇状地、段丘、低地などを構成する地層は、すべて第四紀後期に各河川が山地から運搬した碎屑物(不淘汰の砂礫や泥質岩、砂質岩の風化生成物を主とする堆積物)から構成される。

深坂付近は、かつての湖沼にあったヨシ・スゲなどが腐植して堆積した腐植土層が、前記碎屑物の上に厚く堆積しており、この地点の平地部には数m～最大30m近くまで堆積しているものと推測される。

本地域の腐植土層中には広域火山灰が所々で確認されており、既往研究報告では、GL-10m前後には21000～22000年前を示す始良火山灰が含まれていることが判明している。さらにその上部には始良火山灰以後の時代を指示する広域火山灰が判明しており完新世まで追跡できる。このため、調査地は長期間沈降沼沢地であったことが窺われる。

腐植土(泥炭)は、その大半が有機物から成り、植物繊維は互いに交錯して海綿状(スポンジ状)の組織を形成している。その有機物含有量、圧縮性は極めて大きく、全国的に見ても分布箇所は、限られている。



写真-2 繊維質泥炭

出典「(独)北海道開発土木研究所、泥炭性軟弱地盤対策マニュアル、H14年3月」

3. 基盤整備状況

谷汲地域では、県営ほ場整備事業が、昭和60年から平成12年にかけて実施され、深坂・大洞地域においては、管瀬川の左岸地域(県道～管瀬川)は平成元年～平成5年度に、右岸地域は平成6年～平成10年度に施工された。農道、排水路ともに、軟弱地盤対策(農道:丸太枠組ALC工法等、排水路:敷板丸太杭工法等)が行われている。

(1)農道の施工断面

整備対象2路線の深坂農道、大洞農道は、ともにB=4.0mの砂利舗装された農道である。深坂農道は、当初平成2年度に丸太枠組ソダ工法により施工され、その後、平成11年度に丸太枠組ALC工法により改修され、現在に至っている。

大洞農道は、平成8年度に丸太枠組ALC工法により施工されている(図-3-1、写真-3-1)。

丸太枠組ALC(軽量コンクリート)工法は、不等沈下を防止するため丸太で枠組みを行い、圧密沈下を防止するため砕いた軽量コンクリートを敷設する工法である。

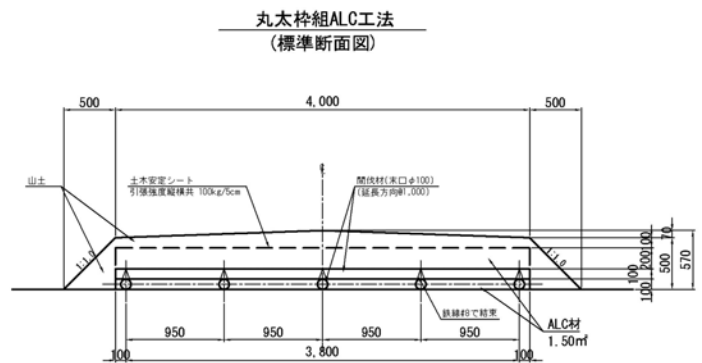


図-3-1 丸太枠組ALC工法標準断面図



写真-3-1 丸太枠組ALC工法施工写真

(2)排水路の施工断面

整備対象4路線は、U型二次製品水路（一部プレハブ水路）で、水路断面B=50cmまでの小規模水路は敷き板工法、50cmを越える水路では、敷板丸太杭工法が採用されている。敷板丸太杭工法は、不等沈下を防止するため丸太杭を打ち込み、敷き板で枠組をし、コンクリートフリームを敷設する工法である（図-3-2、写真-3-2）。

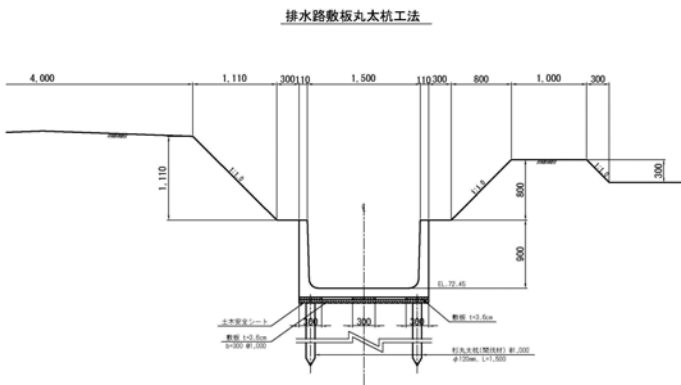


図-3-2 敷板丸太杭工法標準断面図



写真-3-2 敷板丸太杭工法施工写真

4. 調査内容及び結果

今回、従来調査では不明だった腐植土の性状を確認し、地域の実態に即した対策の検討を目的とし、次の調査を実施した。

- ①施設の変状を把握するための「現況調査（沈下量等）」
- ②腐植土の厚さの把握、試料採取のための「ボーリング調査」
- ③腐植土の厚さ、深さ方向の性状を確認するための「3成分コーン試験」
- ④土質を把握するための「室内土質試験」

①現況調査

(1)地区全体

地区全体（200m格子）の地盤高測量を実施し、水田、農道、排水路の施工完了時点の出来形高さから沈下量を整理した。

水田部の沈下は、丘陵地沿いの水田では0.1m程度未滿、管瀬川周辺の水田では0.2～0.3m（最大沈下量0.72m）である。

地元農家は、毎年沈下対策として水田や農道に山土を入れ嵩上げをしながら営農に取り組んでいる。部分的には、ほ場に水が溜まり湿地化し、営農が不可能な状況も見受けられる。

(2)農道

深坂、大洞農道は、起終点の進入口周辺は、交差する農道との接続のため常時盛土等の管理がなされているものの、中間部周辺では沈下や波打ち現象が見られ、農道脇の一部圃場は排水不良により湛水している（写真-4-1）。

最大沈下量は深坂農道で、中間部周辺の0.54m、大洞農道は、0.93mであるが、農道は毎年嵩上げをするなどして手が入れているため、実際の沈下量ももっと大きいものと考えられる。

管瀬川付近の農道、町道は、管瀬川の水はけが悪いため、50mm程度の降雨が生じると冠水する。



写真-4-1 農道の沈下状況写真

(3)排水路

排水路は、施工時からの沈下量は0.2～0.7m程度で、農道側へ回転（転倒）しており、左右の壁高の差は0.1～0.25m程度見られる（写真-4-2）。



写真-4-2 排水路の変状状況写真

不等沈下による、段差、目地部の不接合が見られるが、水路本体（二次製品）は、再利用可能な状態である。

②ボーリング調査

土質ボーリングは、コアリングを行い、土や岩を直接観察し地下の地質構成の把握や、採取した試料を室内試験に使用した。（図-4-1 調査位置図）

不攪乱試料はボーリングNo.1-1（φ66mmオールコア）の脇にφ86mmのボーリングNo.1-2（ノンコア）を掘り、深度3~4m, 8~9m, 14~15mの位置からシンウオールサンプラーにて採取した。

調査結果を既存データと併せ図-4-2 地質断面図（A-A'）に示す。地質分布は、腐植土層は最大で26mの堆積厚で、すり鉢状となって分布している。

過去の調査結果から深坂・大洞地区の地質構成は、上位から腐植土層、沖積粘性土~砂礫互層、沖積砂礫層と区分される。今回ボーリング調査（H20B-1-1）で確認された地質は、道路盛土・腐植土層・沖積粘性土~砂礫互層である。

道路盛土(B)は、地表面からGL-1.35mまで分布する。GL-1.10mからGL-1.20m間には旧対策工（丸太枠組み）の木片が認められた。

腐植土層（湖沼性堆積物）（Apt）はGL-1.35m~GL-15.20mまで分布する。GL-1.35m~GL-13.00m間は暗茶灰色、GL-13.00m~GL-15.20m間は暗灰~暗茶灰色の色調を呈する。GL-8.00m~GL-10.25m間は暗茶灰色のシルト分を多く含む腐植土が認められる。腐植土は大半が植物質の腐植土から構成され、腐植した木片物を多く含有し、土粒子があまり見られないほどである。

図-4-3 腐植土層厚コンターは、「昭和56年度谷汲地区地盤調査業務」において作成された層厚コンター図に「平成9年谷汲地区村道深坂線道路改良比較検討委託」で調査されたボーリングH9-B-1孔及び本地質調査、現地調査結果を加え作成した。

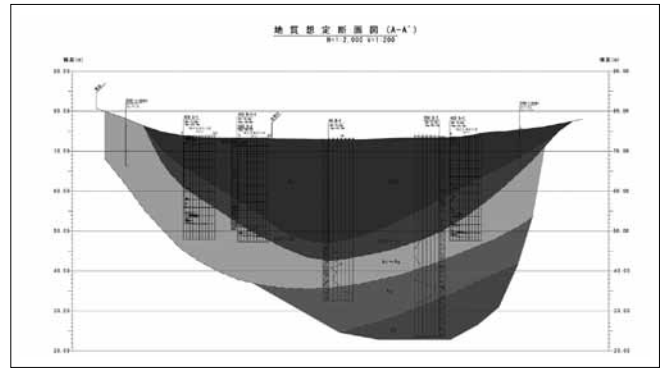


図-4-2 地質断面図（A-A'）

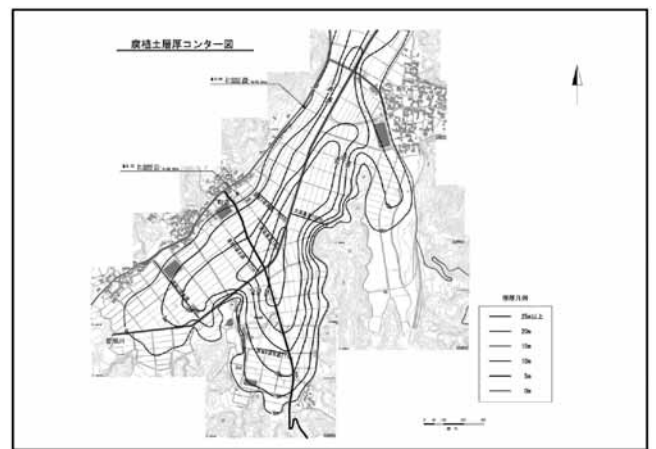


図-4-3 腐植土層厚コンター

③3成分コーン試験

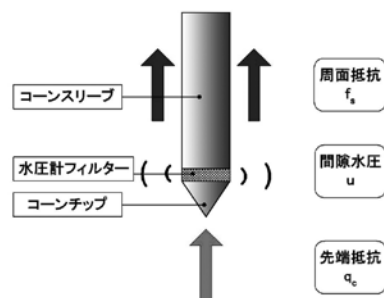
3成分コーンとは、コーンを地中に貫入するときの貫入（先端）抵抗（ q_c ）、周面抵抗（ f_s ）、間隙水圧（ u ）を同時に測定できるコーン貫入試験システムで、H20調査では、図-4-1に示す3地点で3成分コーン試験を実施した。



図-4-1 調査位置図

表-4-1 3成分コーン試験の測定項目

	測定項目	記号	説明
3成分	先端抵抗	q_c	コーンチップで測定する地盤の貫入抵抗
	周面抵抗	f_s	コーンスリーブで測定する地盤の摩擦抵抗
	間隙水圧	u	地盤中の水圧（間隙水圧）



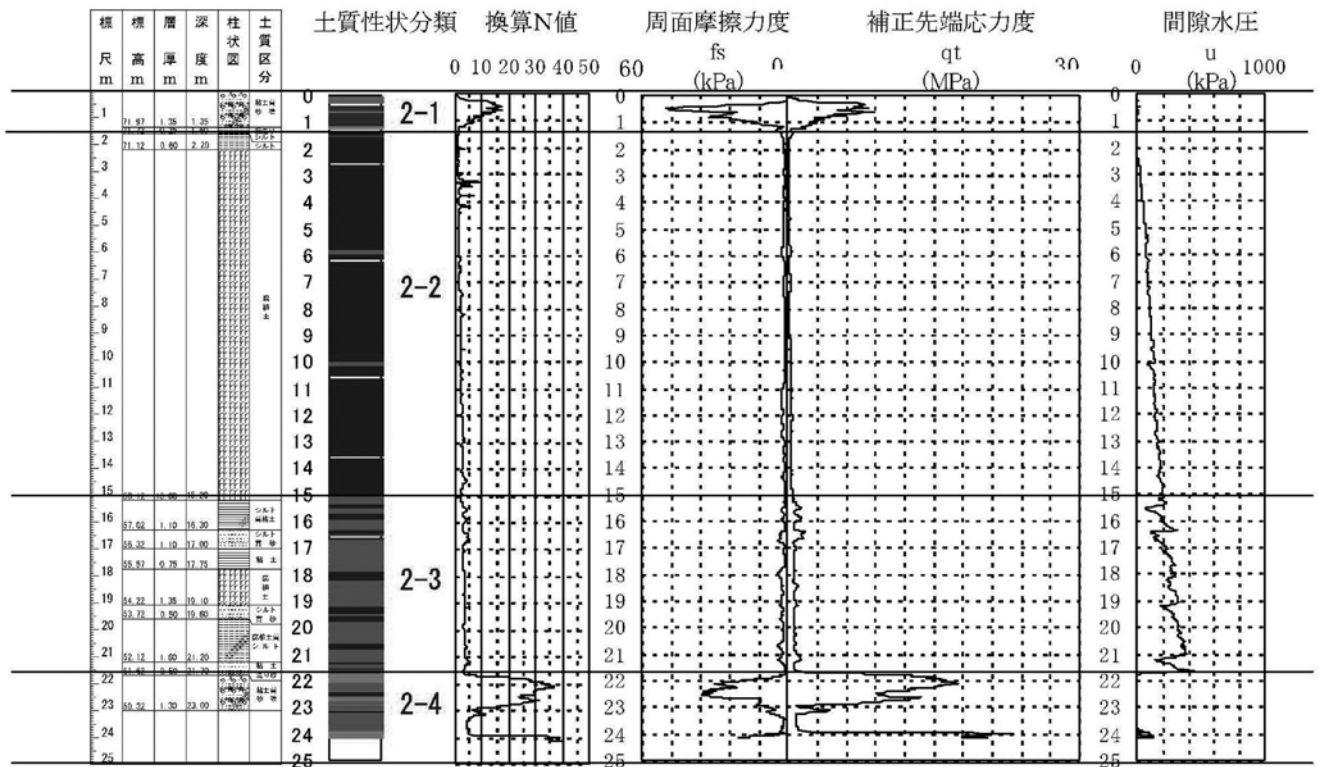


図-4-4 試験結果及び土質性状分類・換算N値：S-2

コーン試験結果 (S-2) と、これを用いて土質性状分類と換算N値を求めた結果を図4-4に示す。また、H20B-1-1 孔のボーリング柱状図も加えて示す。

表層部分 (土質性状分類：2-1) GL-1.54m付近まで砂礫、密な砂、固結粘土を示している。この部分は農道盛土部分である。

土質性状分類2-2はGL-1.54m付近から薄い粘性土が堆積し、以深に腐植土層が厚く堆積している。明確に腐植土層と確認される2-2の下端深度は、GL-15.08mである。その下位に堆積する土質性状分類2-3は、粘土を主体として上部で砂分を混入し、所々に腐植土層を挟んでいる。土質性状分類2-2に比較して換算N値が若干増加する傾向を示している。間隙水圧は砂分などの混入による影響が見られるが、2-2から深度方向に暫時増加する傾向は同様である。このような性状から土質性状分類2-2、2-3を腐植土層と考え、S-2における腐植土はGL-1.54m付近からGL-21.68mに堆積していると考えられる。

土質性状分類2-4は、間隙水圧の測定結果を見ると砂層主体を示している。

なお、土質性状分類は、3成分コーン試験により得られたデータから正規化先端抵抗 q_t と正規化周面摩擦比 F_r を求め、土質分類図にプロットして土質性状タイプを求めた。

換算N値は、コーン試験からN値を求める方法として、今まで実施してきた調査の実績から最も整合性の高いJefferiesらが提案する方法 (1993) を採用し、換算N値を求めた。

深坂・大洞地内の腐植土のコーン先端応力度は、概ね深度 ~5mが100~200kPa (kN/m^2)、深度5~10mが200~300kPa (kN/m^2)、10~15mが300~400kPa (kN/m^2) である。深度が深くなるに従いコーン先端応力度は上昇するものの、地表面付近は超湿地ブルドーザの走行にも支障がでるような超軟弱地盤である。

④土質試験

腐植土に対する土質試験結果を表-4-2に示す。

腐植土はスポンジのように空隙が多いため、乾燥密度は $0.09\sim 0.34\text{g/cm}^3$ と小さく、間隙比は5.8~18.8と大きい。

圧密降伏応力は $7.1\sim 19.0\text{kN/m}^2$ と非常に小さいため、厚さ0.5mの道路盛土荷重 (10kN/m^2) でも大きい圧密沈下を生じるものと考えられる。

含水比は、地表面付近 (深度3~4m) は800~1,100% (平均928%)、深度8~9mは400~800% (平均552%)、深度14~15mは200~270% (平均244%) であり、非常に高い。

湿潤密度は、地表面付近 (深度3~4m) は $0.91\sim$

0.94g/cm³ (平均0.92g/cm³) , 深度8~9mは0.96~1.02g/cm³ (平均1.00g/cm³) , 深度14~15mは1.12~1.21g/cm³ (平均1.16g/cm³) であり, 非常に小さい。深度との関係では深くなるにしたがい湿潤密度は高くなる傾向が見られる。これは深度が深くなるにしたがい, 腐食土の荷重が増加するため, 圧密により密度が増えている。

表-4-2 土質試験結果

項目	H20B-1-2 3.0~4.0m	H20B-1-2 8.0~9.0m	H20B-1-2 14.0~15.0m
土粒子の密度 ρ_s	1.775	2.156	2.297
含水比 w (%)	928.5	552.3	243.9
液性限界 WL (%)	522.0	248.8	242.5
塑性限界 WP (%)	176.2	124.6	95.5
塑性指数 IP	345.8	124.2	147.0
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	0.924	0.999	1.164
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.092	0.162	0.341
間隙比 e	18.8	13.0	5.8
飽和密度 ρ_{sat} (g/cm ³)	1.039	1.083	1.191
圧縮指数 C_c	3.32	1.61	1.06
圧縮指数(除荷時) C_c'	0.50	0.20	0.20
圧密降伏応力 P_c (m ² /kN)	7.1	19.0	15.0
圧密係数 C_v (cm ² /d)	$2.0 \times 10^2 \sim 7.6 \times 10^3$	$9.6 \times 10^1 \sim 1.8 \times 10^3$	$3.0 \times 10^1 \sim 2.7 \times 10^2$
体積圧縮係数 mv (m ² /kN)	$1.7 \times 10^{-3} \sim 6.7 \times 10^{-3}$	$9.0 \times 10^{-1} \sim 3.9 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-1} \sim 2.8 \times 10^{-3}$

(土質調査結果まとめ)

腐植土は, 分解不十分な湿性植物の遺体が堆積してきたもので, その有機物の含有量, 圧縮性は極めて大きく, せん断強さは小さいなどの工学的特性を有する。

深坂地内の腐植土は,

- 含水比は200~1,100%で, 乾燥重量の2~11倍の水分を含んでいる。
- 湿潤単位体積重量は9.1~12.1kN/m³で水と同程度の重量である。
- 地表面付近のコーン支持力は100kN/m²以下で超湿地ブルドーザでも走行に支障をきたす状況である。
- 体積の80%以上が空隙であり, 圧縮性が極めて大きい。
- 腐植土層の分布は, 最大で26mの堆積厚で, すり鉢状となって分布している。

5. 設計

(1) 施設の変状分析

① 農道の変状原因

大洞農道の沈下量は, 0.06m~0.93m程度 (平均0.59m) , 深坂農道は, H11年度の改修から0.21m~0.54m程度 (平均0.31m) 生じている。(図-5-1)

大洞農道における圧密試験結果から計算される最終沈下量は, 腐植土層厚5mで0.84m, 腐植土層厚10mで1.13m, 腐植土層厚20mで1.43mと予測される。

泥炭性軟弱地盤対策工マニュアルに示される計算式による沈下量は, 施工時から30年経過後において腐植土層厚5mで0.73m, 腐植土層厚10mで1.12m, 腐植土層厚20mで1.79mと予測される。(表-5-1)

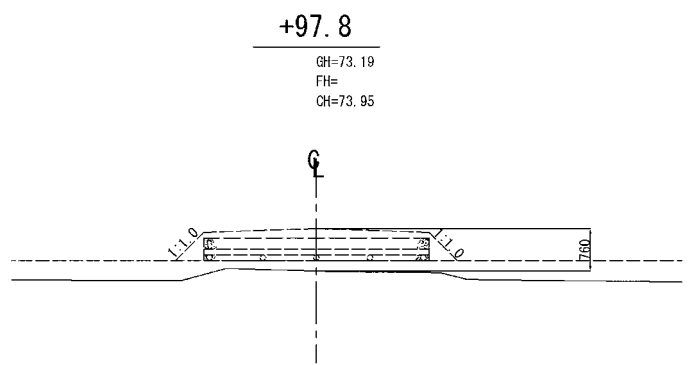
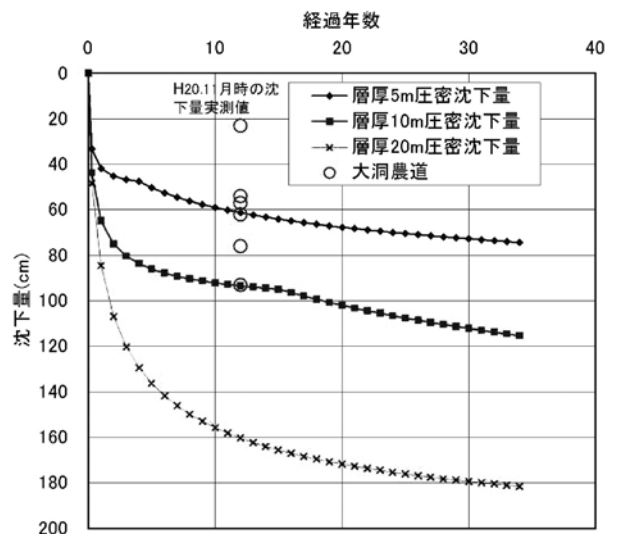


図-5-1 大洞農道の現状横断面図

表-5-1 農道の沈下量予測



表に示すように圧密沈下は, 実測値と計算値を比較すると層厚5~10mでは概ね一致している。一次圧密沈下は施工後5~10年で終了するが, その後の二次圧密沈下は層厚5~10の場合0.5~1.0cm/年の緩やかな沈下速度となり, 30~35年経過すれば概ね収束するものと考えられる。

これらの結果から大洞農道の沈下は, 農道の盛土荷重によって腐植土層が圧密沈下を生じたものであると判断される。今後さらに0.5m (=圧密試験結果による計算値の平均-実測値の平均=1.13m-0.59m) 程度の沈下を生じる可能性がある。

深坂農道についても同様の原因である。

農道の沈下対策は, 現在の農道上に新たな盛土を上載した場合, 盛土荷重が増加し, さらに沈下の進行を招くことになるので, 盛土荷重を現在より減らすような対策工を選定する必要がある。

② 排水路の変状原因

農道脇にある排水路は, 写真-4-2のとおり沈下を伴いながら水路が農道側へ回転している。沈下量は0.2m~0.7m程度であり, 水路壁高は農道側が下がり, 反対側が上がっており, 壁高差は0.10m~0.25m程度である。

FEM解析（弾性解析）により検証した結果、農道脇排水路が農道側へ傾いた原因は、農道の盛土荷重により直下の腐植土層が沈下するとともに側方へ下から上へ盛り上がるように変形し、排水路もこの変形に引き込まれて傾いたものと判断される。

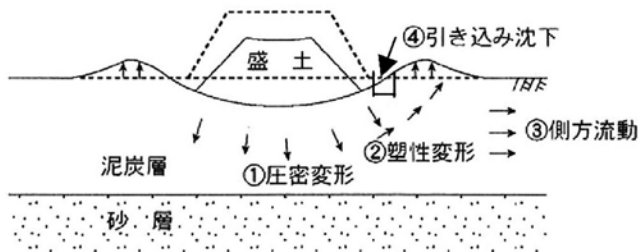


図-5-2 盛土による軟弱地盤の変形

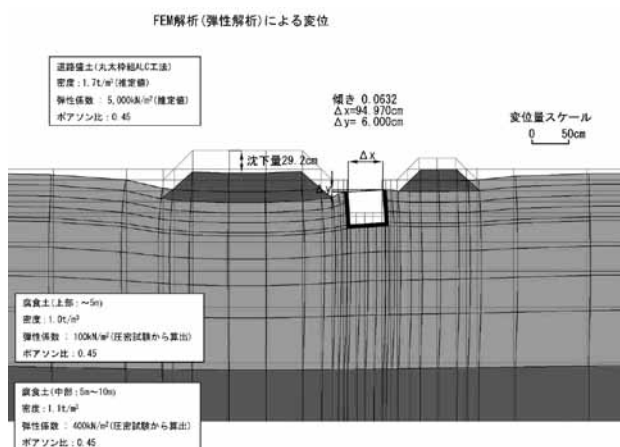


図-5-3 FEM解析（弾性解析）による変位

(2)対策工

①農道の設計

深坂・大洞農道の現在までの農道沈下量は、前述のとおり、それぞれ0.21m～0.54m（9年経過）、0.06m～0.93m（12年経過）である。この沈下にもともない両農道ともに、管瀬川の水位が高い時期（特に夏季）において、沈下量の大きい箇所では路面に水溜りが生ずる状況にあり、走行に支障を来している。また、両農道ともに周辺水田の畦を兼ねているが、農道の沈下のため畦としての機能を果たしていない箇所があり、両農道の嵩上げを行う計画とする。

ただし、農道の計画路面高を施工当初の諸元に設定した場合、新たな盛土荷重の増加に伴い、二次圧密より大きい沈下が継続することから、施工当初の路面高までは高くせず、周辺田面より30cm以上高くなるよう計画した。

対策工法は、次に補修・改修が必要となるまでの期間を予測し、中長期的観点からの経済性及び、施工性を含め、「EPS工法」等との比較を行い、「（人工）軽量盛土工法」を採用した。

計画高を周辺田面より30cm高くした場合、新規盛土（アスファルト舗装、路盤材、軽量盛土材）による荷重が発生する。当地区で沈下を完全に抑制することは不可能であり、この荷重により生ずる沈下に対しての農道の修復が将来再度必要となる。

この再修復を行う沈下量の目安を水田内の湛水20cmから、畦の沈下が10cm生じる期間とし、軽量盛土材の種類、及び、置換え層厚を変えることによって現況荷重と新規盛土荷重の荷重比を変え、再修復を含めた農道の耐用年数40年間での必要費用を算定し、経済的に有利な材料、層厚を検討し、軽量盛土材は、スーパーソル（廃ガラスを粉砕・焼成発泡させたもの、単位体積重量 $3.0\sim 4.0\text{kN/m}^3$ ）を採用した。

また、農道縦断（延長）方向に対しては、コーン貫入試験から得られた地質断面に基づき、各測点（横断面）に対して荷重のバランス計算（掘削した土の重量と新規に盛土する荷重のバランス）を行い、現況荷重を超えない置換深度を求めた。

また、盛土の荷重を分散させ局部的な不等沈下を防止し、軟弱なピート上での作業を行う場合のトラフィカビリティの確保と施工性の向上、及び、盛土荷重によってピート内に生ずる側方流動の抑制を目的にジオテキスタイルの敷設を計画した。

大洞農道標準断面を図-5-4、施工状況を写真-5-1に示す。

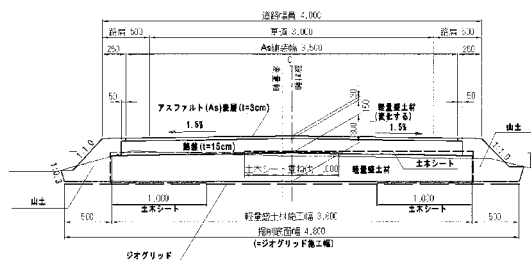


図-5-4 大洞農道標準横断面図



写真-5-1 大洞農道施工状況（H21年度）

②排水路の設計

排水路構造物は、現況のフリュームタイプ二次製品水路の再利用とした。

圧密沈下は、いずれの工法によっても完全に抑制することは不可能であり、将来的には沈下による排水路の補修は必ず必要となり同時に排水路の回転も補修することとなる。対策工法は、現在、農道の盛土荷重は二次圧密の段階にあり、側方流動による排水路への影響は少ないことから、主に排水路の変形（回転）を抑制することを目的とし、現状「松丸太杭工法」と比較し、最も経済的な「ジオテキスタイル工法」とした。

現況水路は、各水路ともに原設計敷高に較べ0.13mから最大1.44m沈下しており、排水状況が極めて悪化している。縦断形状は、原設計に復旧することが望ましいが、排水路末端（管瀬川との合流点）を起点として、上流へ向かってベルヌーイの定理を適用した不等流計算により適切で、必要最小限の敷き上げとし、これに要する土量を減じた。

敷き上げに必要な盛土材は、再修復を含めた40年間の必要費用を算定し、経済的に有利な材料を比較検討し、軽量盛土材のカルストーン（膨張性頁岩を燃焼・発砲させて製造したもの、単位体積重量 14kN/m^3 ）とした。この再改修を行う沈下量は、排水路の土羽部余裕高30cmとした。深坂3排水路標準断面を図-5-5、施工状況を写真-5-2に示す。

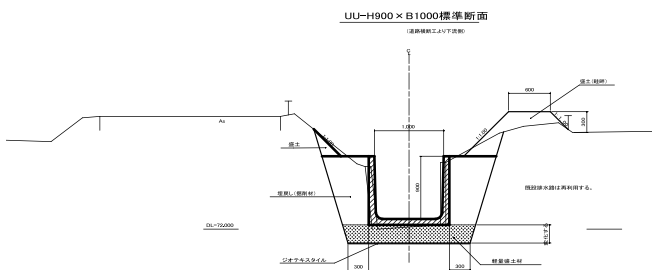


図-5-5 深坂3排水路標準断面



写真-5-2 深坂3排水路施工状況

6. 終わりに

今回の調査は、超軟弱地盤における構造物の沈下等について、土質力学の観点から、その変動の仕組みを明らかにしたものである。調査結果より、構造物の沈下を回避することは出来ないが、将来の沈下予測を行い、その影響をいかにして最小限に抑えるかという視点が重要だと思われる。本対策工事は、農道、排水路とも平成22年度に完了したが、今後、対策後の変動について観測を行い、長中期的なスパンの中で評価・検証をしていく必要があると考えている。

参考文献

1. 谷汲村，昭和56年度谷汲地区地質調査業務，S57年3月
2. 谷汲村・(財)岐阜県建設技術センター，平成9年度村道深坂線道路改良比較検討委託報告書，H9年6月
3. (独)北海道開発土木研究所，泥炭性軟弱地盤対策マニュアル，H14年3月

野洲川ダム洪水流出予測システムの開発

石 隈 和 崇*
(Kazutaka ISHIGUMA)

目 次

1. はじめに	39	3. 考察	42
2. 洪水予測システムの開発	39	4. おわりに	43

1. はじめに

野洲川ダムは滋賀県と三重県の県境にある鈴鹿山脈、御在所岳を水源とする滋賀県最大の河川である野洲川に建設された直線重力式コンクリートダムである。「国営野洲川土地改良事業（昭和22～30年度）」により昭和26年度に完成して以降、「国営造成土地改良施設整備事業（昭和49～53年度）」などで部分的に施設改修工事が行われているものの、造成からは半世紀以上が経過しており、流域の自然的・社会的状況の変化に伴い洪水流下能力の改善が必要となっていた。

野洲川ダムには洪水予測システムがなく、雨量データや気象予報をもとにダム管理者が経験による管理が行われてきたが、平成21年度に洪水時の放流形式をゲート式から自然越流式に変更したことを踏まえ、的確かつ機動的なダム運用を行うため、洪水予測の精度向上と誰が管理しても洪水への対応が可能となるシステムの構築が求められている。

本報文は、流出モデルにより野洲川への河川流入量の変化を捉えると同時に、洪水流出予測システムの開発に係る検討結果を報告するものである。

2. 洪水予測システムの開発

2.1 流出モデルの概要

野洲川ダムに流れ込む流域の流出量（以下、「ダム流入量」という。）を、流出モデルを用いて予測する。

一般に、洪水予測の際は有効降雨の推定が課題となるが、長短期流出モデルを用いて日常的に長期流出解析を行い、降雨時における表層土質の流域湿潤状態を的確に把握することで、洪水時の有効降雨を推定することが可能であることから、本検討においても、野洲

川ダム近傍にある永源寺ダムをはじめ近畿農政局管内の多くのダムで実績のある長短期流出モデル（以下、「タンクモデル」という。）を採用することとした。

タンクモデルは図-1に示すように3段の仮想タンクによって構成されており、1段目のタンクは2層に分かれている。タンクモデルには流出量を表す孔と地下浸透量を表す孔が設けられており、それぞれの孔に地域状況に応じた定数を設定することにより、長短期流出量を予測することができる。

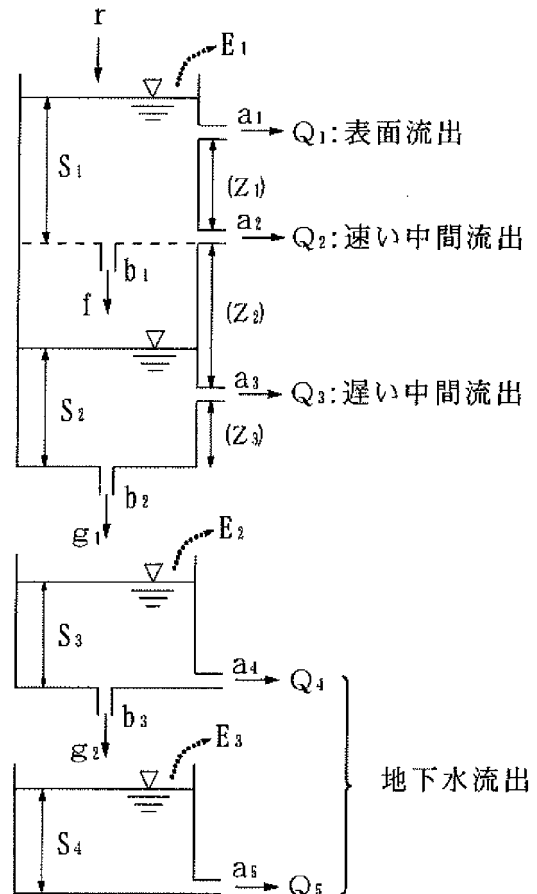


図-1 長短期流出モデルの構造

*近畿農政局大和紀伊平野農業水利事務所工事第一課
(Tel. 0744-21-5100)

2. 2 野洲川流域における流入量の把握

(1)水収支の考え方

タンクモデルを構築するためにはダム流入量を正確に把握する必要がある。

このため、流域内の降雨量をダム流入量と蒸発散量に区分することで推測する。流域内の蒸発散量は、降雨量（平均雨量）からダム流入量の日平均観測値を減じることで算定できるという相関関係にある。(式①)

$$\text{降雨量 (mm)} = \text{ダム流入量の日平均観測値}^{*1} + \text{蒸発散量 (mm)} \dots\dots\dots \text{式①}$$

※1：日平均観測値をmmで単位換算

(2)流域平均雨量の推定

野洲川ダムの周辺には、現在5地点の雨量観測所がある。本検討では直近の20年である平成2年4月1日～平成21年10月15日までのデータを用いることとし、地点毎の観測データがない期間については近傍の観測所データに補正値を乗じてその地点のデータとして概定することとした。

流域内の平均雨量を算出するに当たっては、計算結果と実際のダム流入量との整合性の高い「ティーセン法に標高割増をする手法」を採用した。

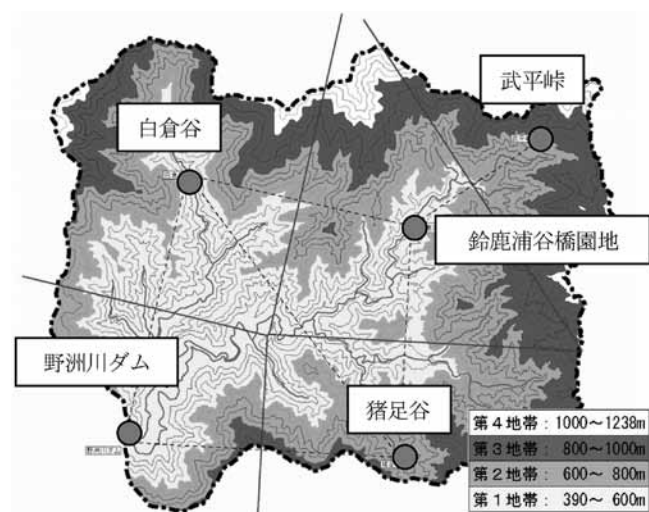


図-2 ティーセン法による多角形網図

まず、図-2のように流域内の観測点を結んで三角網を描き、その三角形各辺の垂直二等分線を挿入して多角形網図を描くことで、当該観測所の支配面積を仮定する。このうち、流域界を含むものはその流域界を境界として、各ブロックの面積を A_i 、観測点の観測値を P_i とし、加重平均によって流域の平均雨量を算定する。(式②)

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^m P_i A_i}{\sum_{i=1}^m A_i} \dots\dots\dots \text{式②}$$

\bar{P} ：流域平均雨量 (mm)

P_i ： i 観測所の雨量 (mm)

A_i ： i 観測所の支配面積

m ：観測点数

また、降雨量は一般に山地の方が平地より多いため、ティーセン法でブロック分けした支配面積に山地が多い場合、観測雨量との誤差が大きくなる。そこで表-1のように各ブロックの平均標高を求め、標高差100mごとに割増率を設定し、流域雨量を増減させることとした。標高差における降雨量の割増率については「河川砂防技術基準（案）同解説」に「増加率+100mにつき5～10%」との指針があるが、本検討では平成20年以降の観測値に整合するように試算し、割増率を2%と決定した。

表-1 流域平均雨量推定に当たっての諸元

観測所名	標高 (EL. m)			各区域の雨量	支配面積 (km ²)	同左割合
	観測地点 ①	代表区域の平均②	②-①			
野洲川ダム	390	556	166	野洲川ダム×1.03	4.747	0.15
白倉谷	480	680	200	白倉谷×1.04	9.046	0.28
鈴鹿浦谷橋園地	500	705	205	鈴鹿浦谷橋園地×1.04	8.456	0.26
猪足谷	660	699	39	猪足谷	6.315	0.19
武平峠	760	850	90	武平峠	3.886	0.12

(3)積雪，融雪量の推定

雨量観測所が冬期の凍結や積雪で正しいデータがとれない場合は推定式により雨量を算定する。この場合は、観測所が設置されている標高を踏まえ、気温が0℃以上の時は雨、0℃以下の時は雪と仮定し、雪については気温上昇により雨となってダムに流入するものとして流出量を算定した。(式③)

なお、野洲川ダム周辺の観測所では、気温の観測が行われていないため、野洲川ダムの日平均気温を基準にして、各ブロックの気温を推定している。

$$m_i = \beta t_i + r_i t_i / 80 \dots\dots\dots \text{式③}$$

m_i ：推定融雪量

β ：融雪の定数 (=0.25mm/hr/℃)

r_i ：第 i ブロックの時間降水量 (mm/hr)

t_i ：第 i ブロックの日平均気温 (℃)

(4)蒸発散量の推定

長期間の流出解析を行うためには、水面や地表面からの蒸発量及び植物からの蒸散量を考慮する必要がある。この蒸発散量は種々の推定式で算定されるが、本検討は観測気象要素が少なくても使用することができ、大迫ダムや永源寺ダムにおいて実績のあるマッキンク式を採用した。(式④⑤)

表-2 野洲川ダムの流域水収支状況

年	① 雨量	② 流出高	③ 蒸発散分 ①-②	マッキンク式	誤 差			備 考
				④ 蒸発散量 推定値(E)	⑤ ④-③	割合(%) ⑤/①	同左平均	
1990 (H2)	3,031	2,316	715	610	△ 105	△ 3.5		
1991 (H3)	2,810	2,274	536	510	△ 26	△ 0.9		
1992 (H4)	2,709	1,895	814	528	△ 286	△ 10.6		
1993 (H5)	2,991	2,544	447	521	74	2.5		
1994 (H6)	2,106	1,801	305	705	400	19.0		
1995 (H7)	2,744	2,350	394	607	213	7.8	平均	
1996 (H8)	1,968	1,519	449	623	174	8.8	4.1%	
1997 (H9)	3,247	2,672	575	652	77	2.4		
1998 (H10)	3,294	3,038	256	595	339	10.3		
1999 (H11)	2,421	1,851	570	630	60	2.5		
2000 (H12)	2,219	1,726	493	652	159	7.2		
2001 (H13)	2,556	2,141	415	669	254	9.9		
2002 (H14)	2,188	1,699	489	602	113	5.2		
2003 (H15)	2,831	2,760	71	528	457	16.1		
2004 (H16)	3,073	2,896	177	613	436	14.2	平均	
2005 (H17)	1,752	1,396	356	599	243	13.9	11.7%	
2006 (H18)	2,361	2,099	262	574	312	13.2		
2007 (H19)	1,802	1,413	389	562	173	9.6		9/24~11/15除く
2008 (H20)	2,773	2,133	640	624	△ 16	△ 0.6	平均	
2009 (H21)	2,015	1,487	528	565	37	1.8	0.6%	1月~10/15
平均	2,545	2,101	444	598	154	6.1		

$$E = \alpha \times E_m \quad \dots\dots\dots\text{式④}$$

E : 流域蒸発散量 (mm/day)
 α : 係数 無降雨日 = 1.0, 降雨日 = 0.5
 E_m : マッキンク式の蒸発量 (mm)

$$E_m = a \times (1 / 1.05 \times 1.4 \exp(-0.0604T)) \times (R_s / (2.5 - 0.0025T)) + b \quad \dots\dots\dots\text{式⑤}$$

T : 気温 (°C)
 R_s : 全天日射量 (Mj/m²)
 a, b : マッキンク式の係数

マッキンク式の係数については彦根¹⁾ 又は津¹⁾ の研究結果を適用できるが、計算結果比較から彦根のものを採用することとした。

計算の結果、蒸発散量の推定値は表-2のとおりであった。

降雨量(平均雨量)からダム流入量の日平均観測値を減じた蒸発散量(式①による)と、マッキンク式による蒸発散量(式④による)の差が0に近いほど水収支バランスがとれているということになる。

マッキンク式による蒸発散量の推定値は、実蒸発散量推定値(mm/y)³⁾ とほぼ同程度であるが、観測年による差については、降雨量や流入量の観測誤差が影響しているものと考えられる。

雨量観測所が5地点となり、ダム流入量の計測が超音波流量計に変わって、より正確な観測ができるようになった平成20年度、21年度のデータでは誤差が極めて少なくなっていることが、その証左である。

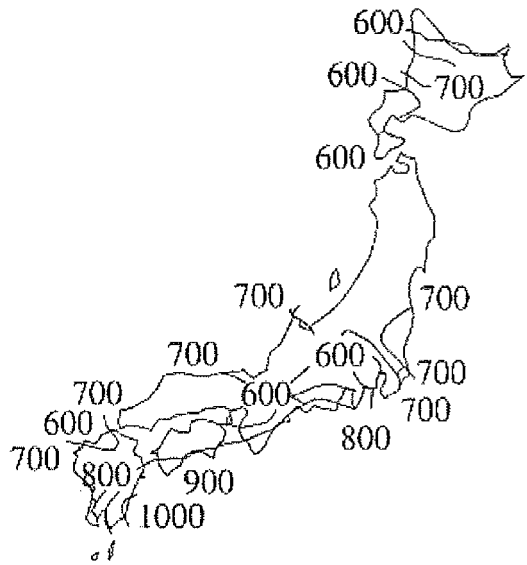
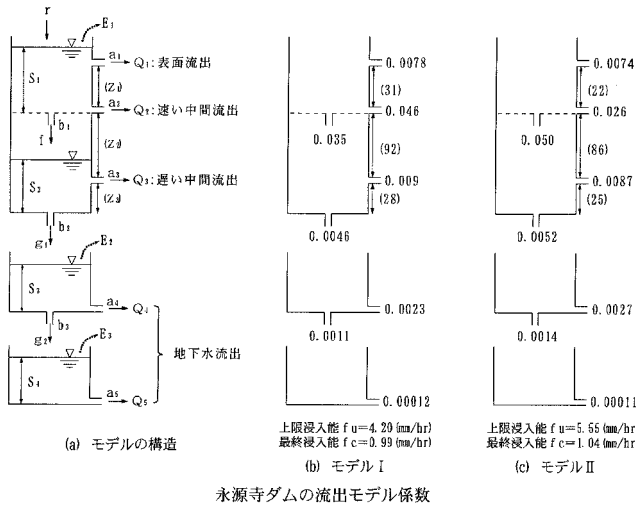


図-3 年間実蒸発散量推定値 (mm/y)

(5) タンクモデルの検討

タンクモデルは、地形、気象などの条件が近似しており、かつ実績も豊富な永源寺ダムモデルを暫定的に使用することとし、相対誤差の程度により補正をする方法を採用した。永源寺モデルはモデルI、モデルIIの2つがあるが、本検討ではその両モデルを比較し、相対誤差の小さいモデルIを無修正で使用することとした。

モデルIを使用し、流域の平均雨量の推定方法について再現流量を検証するため、ハイドログラフを作成したのが図-5である。



永源寺ダムの流出モデル係数

<出典>
 モデルⅠ…永井明博：長短期流出両用モデルの標準的定数について，農業土木学会論文
 集No. 180, p59～p64 (1995)
 モデルⅡ…角屋睦・田中丸治哉・安田史生：長短期流出両用モデルによる実時間的洪水
 予測，農業土木学会論文集No. 177, p43～p50 (1995)

図-4 永源寺ダムの流出モデル係数

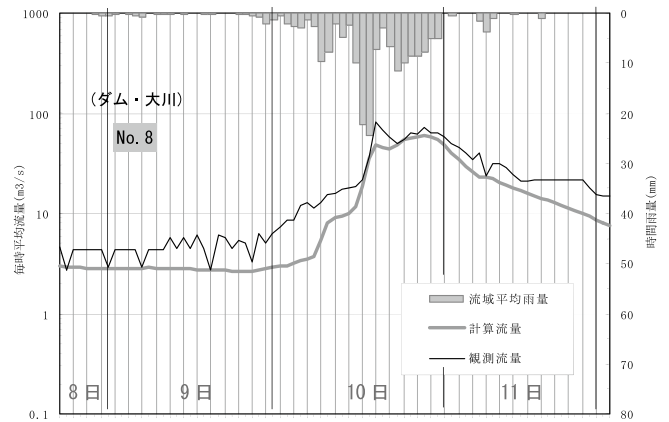


図-6 短期流出時ハイドログラフ（観測2地点）
1993年8月8日～8月11日

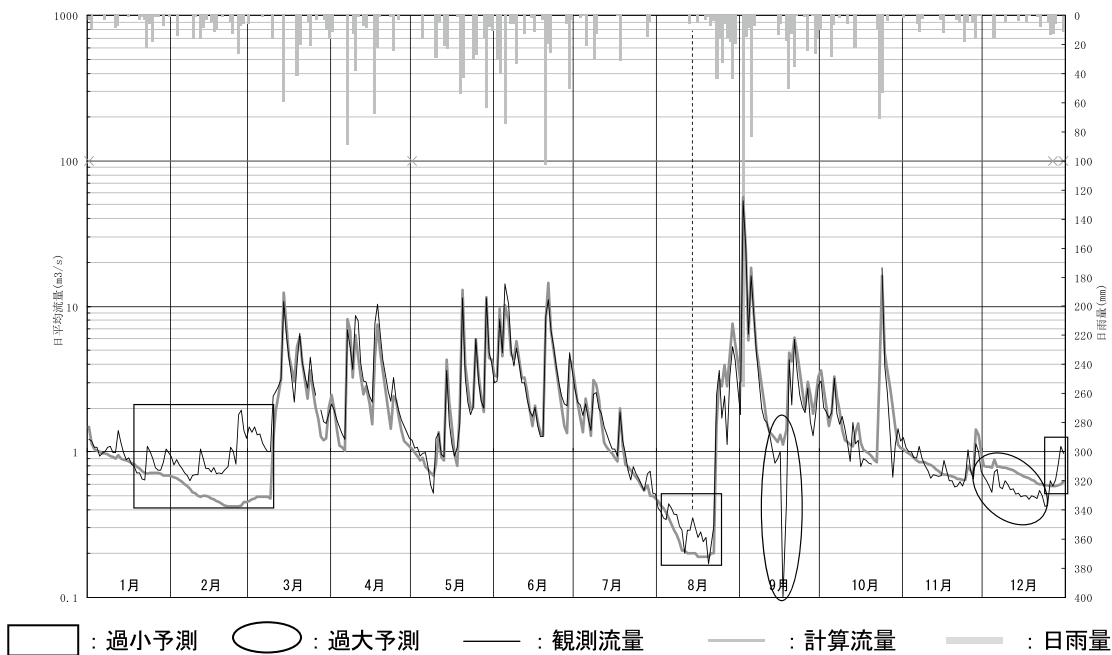


図-5 2008年のハイドログラフ

3. 考察

検証の結果，短期流出時には観測地点が増える後年になるにしたがって改善する傾向にあることがわかる（図-6，図-7）。一方で，長期流出時における不整合の要因は，ダム放流量又は雨量の観測誤差ではないかと考えられる。図-5のハイドログラフによればダム流入量（観測流量）が $1\text{m}^3/\text{s}$ 以下の時に誤差が多い。この傾向はダム放流量の計測機器が放流管から超音波流量計に改善された平成20年より前で特に顕著で

あるが，平成20年以降にも散見される。ダム放流量と貯水位変化量で求められるダム流入量は，貯水位変化量が少ない場合（特に，ダム流入量<ダム放流量の場合）に，放流計の誤差が直接，流入量の誤差になってしまうことが原因であると考えられるが，バルブ放流時の流量計誤差は $\pm 1\%$ 以内であり，これ以上の精度向上は望めない。計算上の流入量と計測された流入量はほぼ整合しており，相対的な誤差も20%程度と小さいことから，洪水予測という観点からは実用的なモデルを構築できたとと言える。

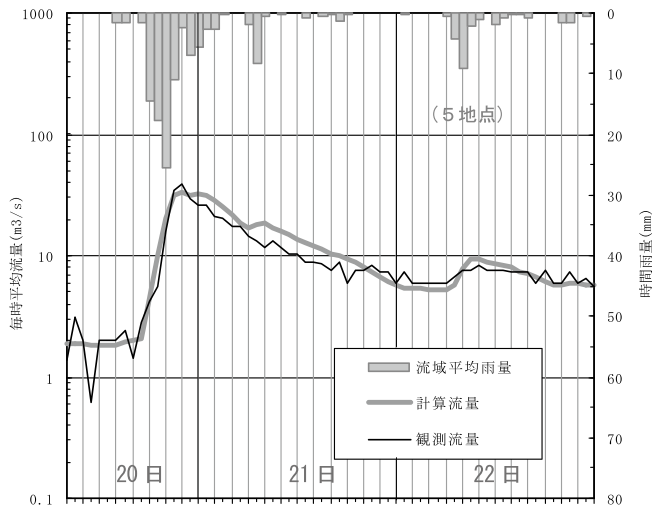


図-7 短期流出時ハイドログラフ（観測5地点）
2008年6月20日～6月22日

4. おわりに

本検討において、実用に足る流出モデルを得ることができたが、観測精度が向上した平成20年度以降のデータは1年半しかないため、降雨状況によっては、誤差が大きくなることも十分に考えられる。

そのため、洪水予測システムの計算流量と観測流量が著しく乖離していないか、水収支誤差が大きくなっていないかを、グラフ上で検証する機能を付加し、システムを再構成した（図-8）。

今後、このデータを蓄積し、乖離状況をモニターして予測システムの妥当性を定期的に検証することで、システムの精度の向上を図り、安全安心なダム管理に活用していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 永井明博・田中丸治哉・角屋睦：ダム管理の水文学，pp.18-36, pp.92-94, pp.106-107, pp.110-123, (2003)
- 2) 日本河川協会：河川砂防技術基準（案）同解説，pp.97, (2005)
- 3) 農業土木学会：農業土木ハンドブック基礎編，pp.50, (2000)

<長期流出>

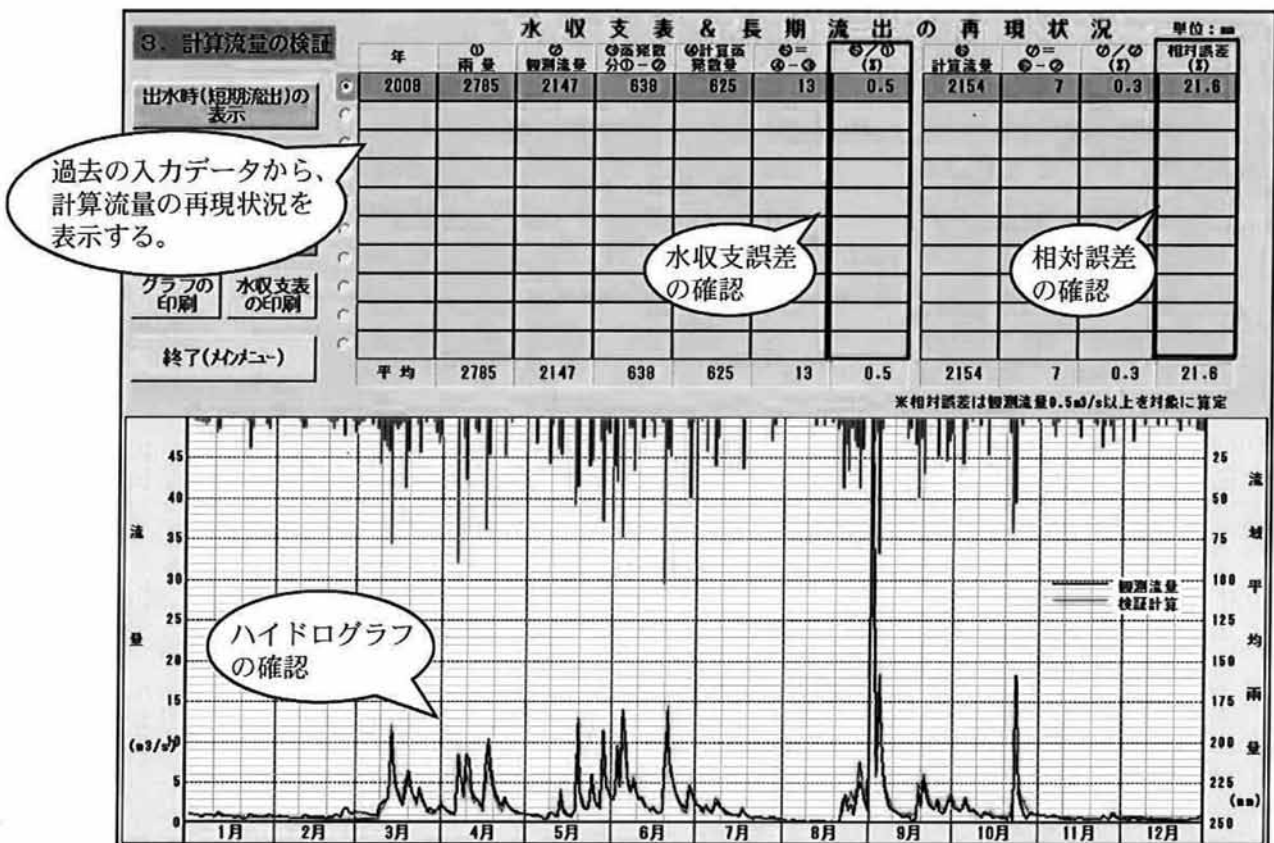


図-8 野洲川ダム洪水予測システムの計算流量検証

砕・転圧盛土工法による谷田大池堤体改修工事

福島 伸二* 谷 茂**
 (Shinji FUKUSHIMA) (Shigeru TANI)

山崎 秀昭*** 三澤 宏司***
 (Hideaki YAMAZAKI) (Kouji MISAWA)

目 次

1. まえがき	44	5. 砕・転圧盛土工法の設計	49
2. 砕・転圧盛土工法の概要	44	6. 砕・転圧盛土工法の施工	51
3. 改修時の堤体ゾーニング	45	7. あとがき	52
4. 室内配合試験	46		

1. まえがき

谷田大池は1895年（M28）に築造された灌漑用ため池で¹⁾、確認されているところでは1944年の東南海地震（M7.9）により堤体上流側の一部崩壊や底樋周囲からの漏水などの被害を受けたため1953～1956年に堤体と底樋の部分改修が、さらに1978～82年に堤体上流側の前刃金工法による改修、洪水吐・斜樋・底樋の全面改築が実施されていた（ダム便覧²⁾には堤高H=16.0mのフィルダムとして登録されている）。谷田大池は、大井川用水農業水利事業（1947～1968）により大井川用水網が整備されたため灌漑用貯水池の役割を終えていたが、同事業において調整池として活用することになり、現行基準「ため池整備」³⁾に合致するように耐震補強と漏水防止を目的とした堤体改修を行うことになった。

しかし、谷田大池では堤体改修に必要な築堤土をダムサイト周辺地域で入手できなかったことや工事に伴う掘削発生土の処分地が確保できなかったため、築堤土に池内の底泥土を利用できる砕・転圧盛土工法⁴⁾が採用されることになった。谷田大池の砕・転圧盛土工法は底泥土に掘削発生土のうちランダムゾーン築造や仮設工事に使用した残りを加えて混合泥土として使用して場外処分を無くすことを目指した。

本稿は、谷田大池における堤体の耐震補強と漏水防止のための砕・転圧盛土工法によるゾーニングと、それを築造するための設計・施工法を報告するものである。

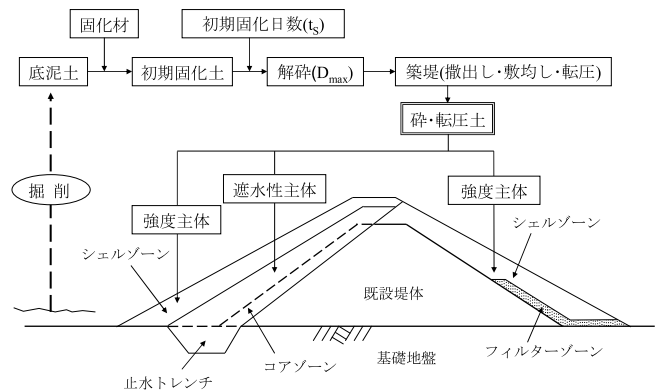


図-1 砕・転圧盛土工法の概念図

2. 砕・転圧盛土工法の概要

築造年代の古いフィルダムやため池の堤体は老朽化による断面不足や漏水等により早急な改修を必要とするものが多い。しかしながら、最近では改修に必要な遮水性や強度に適した築堤土を池近傍で入手することが困難になっている。一方、老朽化したフィルダムやため池には貯水容量低下や水質悪化の原因になる超軟弱な底泥土が堆積し、その除去処分が必要となっているが、土捨て場を確保することが近年ますます難しくなっている。砕・転圧盛土工法は底泥土を固化改良して築堤土に活用することで堤体改修と底泥土の除去処分を同時に達成できるように開発され^{4), 5)}、これまでに数箇所のため池やフィルダムの堤体改修に適用されている⁶⁾。

砕・転圧盛土工法は、図-1に概念的に示すように、底泥土をセメント系固化材により所要の強度と遮水性を有する築堤土に固化改良して堤体の補強や漏水防止のための築堤に利用するのである。築堤は所定の初期固化期間 t_s だけ固化させた底泥土（これを初期固化土という）を規定の最大粒径 D_{max} により解砕して、一層毎

* (株)フジタ建設本部 (Tel. 03-3796-2299)

** (独)農研機構 フェロー (Tel. 029-838-7569)

*** 関東農政局大井川用水農業水利事業所 (Tel. 0547-37-3633)

に通常の築堤土と同様に均一に撒出し、一定層厚に敷均してから転圧して行く（これを砕・転圧土という）。

砕・転圧土の強度は、初期固化土を解砕・転圧するまでの期間 t_s と、その後の経過期間 t_{cc} を合わせた $t=t_s+t_{cc}$ により影響を受ける。また、 D_{max} は強度と遮水性の両方に影響し、 D_{max} が大きいほど強度が高く、かつ透水係数も大きくなる。このため、砕・転圧土により所要の強度と遮水性を有する堤体を築造するには t_s と t_{cc} 、 D_{max} を適切に設定して管理する必要がある。砕・転圧盛土工法は、初期固化土の固化途中中に解砕・転圧した砕・転圧土の再固化時の応力～ひずみ特性が通常の築堤土と同じひずみ硬化型になる性質を利用して、既設堤体と固化改良土の変形性の相違に起因したクラックを生じにくくしたものである。

3. 改修時の堤体ゾーニング

谷田大池の基礎地盤は強風化泥岩層WMcsと泥岩層Mcsから構成され、WMcs層が粘土化により軟弱化しているものの、その下のMcs層が堅硬で十分な支持力と遮水性を有している。既設堤体は、地震力を水平震度係数 $k_H=0.15$ で与えた条件における安定計算では、安全率が $F_s=0.92 (<1.20)$ となり、地震時の安定性が確保されていないことが明らかになった。そこで、堤体の耐震補強のために、コアトレンチをMcs層まで掘り込んだ傾斜コアゾーンによる堤体ゾーニングが検討された。

通常の築堤土による堤体ゾーニングは、使用する築堤土が有している強度に応じて、 $F_s \geq 1.20$ を満足するように堤体の形状や勾配が決められる。これに対して、砕・転圧盛土工法による堤体ゾーニングは、築堤土となる砕・転圧土の強度を固化材添加量の加減により自由に設定できることから、予め決めた堤体ゾーニングの安定計算により $F_s \geq 1.20$ を満足するために必要な砕・転圧土ゾーンの強度を逆算により求められる。

谷田大池の堤体ゾーニングは、堤頂部が道路として利用されているため堤体軸を移動できないうえ、既設

の洪水吐や取水トンネルをそのまま活用するために改修後の堤体が既設堤体内に入るように図-2に示す断面に決定した。すなわち、堤体上流側は、Mcs層まで掘り込んだコアトレンチⅠと遮水機能に必要な幅を確保したコアゾーンⅡを砕・転圧土により築造し、その外側に既設堤体からの掘削土を流用処分するためにランダムゾーンⅢを築造するものとした。堤頂部は地震時に生じる可能性のある局部的なすべり破壊を防ぐことと下流側の堤体安定化のために、約3mまでを掘削除去して砕・転圧土により築造しなおすことにした。なお、コアトレンチ幅は、基礎地盤にせん断抵抗を効果的に付加できるようにコアゾーン底面幅より拡大させ8mとした。安定計算は、砕・転圧土によるコアゾーンⅠ・ⅡとランダムゾーンⅥの強度パラメータ $((c')_{cc}, (\phi')_{cc})$ のうち、 $(\phi')_{cc}$ を室内配合試験で得られた値に余裕をみた $(\phi')_{cc}=14.5^\circ$ と一定にして $(c')_{cc}$ をパラメトリックに変えて実施し、 $F_s=1.20$ を確保できる目標強度

$$(c')_{cc}^*=103\text{kN/m}^2$$

を決定した。

堤体下流側は、WMcs層にせん断抵抗を付加するために既設堤体の外側に掘削発生土によりランダムゾーンを押し盛土的に腹付けし、すべり面がWMcs層を通らないようにその下のMcs層まで掘削して砕・転圧土によるキープロックトレンチⅣを配置することにした。キープロックトレンチⅣの幅は、砕・転圧土ゾーンの強度レベルをゾーンⅠ・Ⅱ・Ⅵと同じ $(c')_{cc}^*=103\text{kN/m}^2$ にして実施した安定計算から $F_s=1.20$ が達成できる値として決定した。

以上のように決定された堤体ゾーニングでの全築堤土はゾーンⅠ・Ⅱ・Ⅳ・Ⅵの砕・転圧土 $12,800\text{m}^3$ とゾーンⅢ・Ⅴの築堤土 $14,800\text{m}^3$ とを合わせた $27,600\text{m}^3$ になった。表-1には改修前・後の堤体仕様を示す。また、写真-1は工事開始直前における堤体上流側の堤体状況を、写真-2はほぼ同じ方向からみた改修後の堤体の状況をそれぞれ示す。

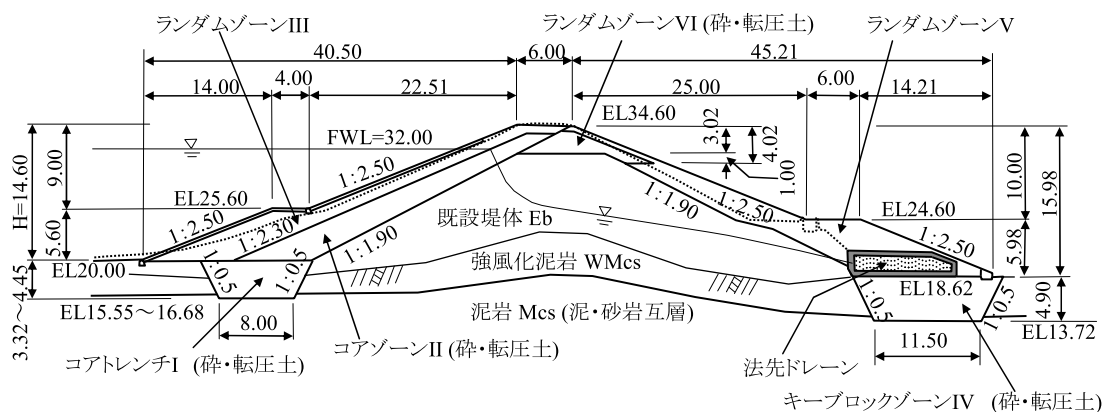


図-2 谷田大池の改修後堤体の標準断面

表一 谷田大池の改修前・後の堤体仕様

堤体仕様		改修前	改修後
堤体形式		傾斜コア(S57改修)	傾斜コア
堤高(m)		16.0	14.6
堤長(m)		136.0	136.0
堤体積(m ³)		71,000	77,400
貯水量(m ³)		131,000	131,000
砕・転圧土量(m ³)		—	約12,800
流用土量(m ³)		—	約14,800
法面 勾配	上流	1:2.3(小段付)	1:2.5(小段付)
	下流	1:1.8	1:2.5
その他の改修		—	洪水吐・斜樋



写真一 改修工事実施前の堤体上流側の状況



写真二 改修工事実施後の堤体上流側の状況

4. 室内配合試験

4.1 底泥土と掘削土の混合割合

谷田大池の砕・転圧盛土工法は、既設堤体とコアトレンチやキープロックトレンチなどからの掘削土のうち、ランダムゾーンⅢ・Ⅴの築造や仮設工事に使用した残りのすべてを底泥土に加えて混合泥土として使用して掘削土の場外処分を無くした。掘削土の場外処分

を無くすることができる底泥土と掘削土の混合割合は、実施工での管理に便利な底泥土の体積 V_{Md} に対する掘削土の体積 V_{Eb} の比で表示すると

$$n_v = V_{Eb} / V_{Md} = 0.50$$

になった。砕・転圧土による築堤量は前述したように $V = \text{約}12,800\text{m}^3$ であるから、これに必要な底泥土は

$$V_{Md} = V / (1 + n_v) = 12,800 / (1 + 0.50) \approx 8,540\text{m}^3$$

となる。

4.2 混合泥土の準備

底泥土の試料は固化ピットヤード造成範囲内の堤体法先から約50m離れた池敷から採取した。試料はよく解きほぐしてから、9.5mmフルイを通して混入していた枯れ葉などの異物を取り除いて調整し、物理特性は含水比 $w_M = 98\%$ 、塑性指数 $I_P = 39\%$ であった。既設堤体からの掘削土の試料は堤体上流右岸側法面を深さ約1mまで掘削して採取・調整し、物理特性は含水比 $w_E = 30.7\%$ であった。底泥土と掘削土の粒度曲線は図-3に示し、底泥土が0.075mm以下の細粒分含有率 $F_C = 88\%$ とほとんど粘土・シルト分からなり、掘削土が最大粒径 $D_{max} = 26.5\text{mm}$ 、 $F_C = 24.0\%$ 、均等係数 $U_c \approx 35$ と比較的粒度分布のよい粗粒土であった。

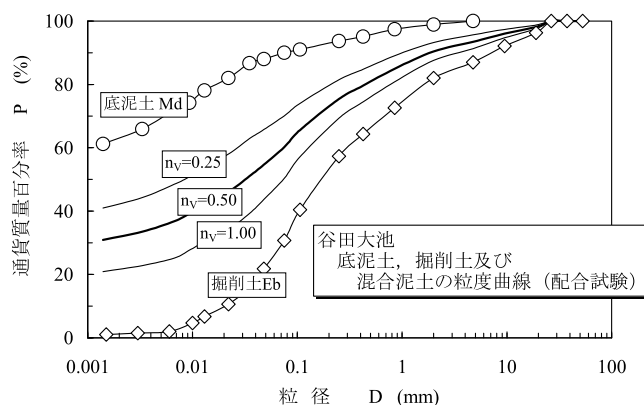


図-3 底泥土、掘削土、混合泥土の粒度曲線

室内配合試験における底泥土や掘削土の基準含水比は、実施工での値に設定することが理想的であるものの、これを推定することは難しい。そこで、底泥土と掘削土の基準含水比はともに採取時の $w_M = 98\%$ と $w_E = 30.7\%$ に設定した。底泥土の湿潤密度 ρ_{tM} は各種のヘドロや泥土について整理された $\rho_t \sim W$ 関係⁷⁾から推定し、 $w_M = 90 \sim 100\%$ における値として $\rho_{tM} = 1.45\text{g/cm}^3$ を採用した。掘削土の湿潤密度 ρ_{tE} は $w_E = 30\%$ における値として $\rho_{tE} = 1.85\text{g/cm}^3$ を採用した。

底泥土と掘削土の混合割合は、実施工では上述した体積比による n_v 値を使用した。室内配合試験では試料準備に便利な湿潤状態でのそれぞれの質量

$$M_{Md} = \rho_{tM} \cdot V_{Md}, \quad M_{Eb} = \rho_{tE} \cdot V_{Eb} \text{ の比}$$

$$n_w = M_{Eb} / M_{Md}$$

を採用した。なお、 n_w と n_v の関係は

$$n_w = (\rho_{tE} / \rho_{tM}) \cdot n_v$$

となる。混合泥土の湿潤密度 ρ_t は

$$\text{質量 } M = M_{Md} + M_{Eb} = \rho_{tM} \cdot V_{Md} + \rho_{tE} \cdot V_{Eb}$$

$$\text{体積 } V = V_{Md} + V_{Eb} \text{ から}$$

$$\rho_t = M/V = (\rho_{tM} + \rho_{tE} \cdot n_v) / (1 + n_v)$$

により算定した。

室内配合試験では掘削土の場外処分が無くなる値として設定した $n_v=0.50$ の混合泥土の試験を中心として、粒度が固化強度に及ぼす影響を調べるために $n_v=0.25, 1.00$ と変えた混合泥土の試験も実施した。図-3には底泥土と堤体土の粒度曲線と、室内配合試験に使用した $n_v=0.25, 0.50, 1.00$ の混合泥土の粒度曲線をそれぞれ示す。また、各混合泥土の含水比 w_T （後述する全体含水比）と F_c は表-2に示す。表中の w は後述する換算含水比である。

表-2 n_v の異なる混合泥土の w_T, F_c, w

n_v	w_T (%)	F_c (%)	$w=(F_{CO}/F_c) \cdot w_T$ (%)
0.25	73.4	68.7	63.3
0.50	61.2 (=w ₀)	59.2 (=F _{CO})	61.2
1.00	49.0	49.6	58.5

4.3 細・粗粒分分離モデル (w-Fcモデル)

底泥土や掘削土はどちらも掘削位置で含水比や粒度が変化するので、これらを加え合わせた混合泥土も含水比と粒度が変化する。混合泥土を目標強度に固化するには含水比と粒度の両方の影響を考慮する必要があるが、これには「細・粗粒分分離モデル（以下、w-Fcモデルと称する）」⁵⁾を利用した。

w-Fcモデルにおける基本底泥土の含水比 w_0 と細粒分含有率 F_{CO} は、図-4に示す土粒子分と水分の模式図から、土粒子分の質量 M_{SO} を $75 \mu m$ 以下の質量 M_{SF} と粗粒分質量 M_{SC} とに分けて扱い ($M_{SO} = M_{SF} + M_{SC}$)、水分質量を M_{WO} とすると

$$w_0 = (M_{WO} / M_{SO}) \times 100$$

$$F_{CO} = (M_{SF} / M_{SO}) \times 100$$

になる。基本底泥土として $n_v=0.50$ の混合泥土を設定すると、表-2より $w_0=61.2\%$ 、 $F_{CO}=59.2\%$ となる。

湿潤質量 M の混合泥土 ($n_v \neq 1.50$) は基本底泥土 (w_0, F_{CO}) に対して粗粒分 ΔM_{SC} が異なっているだけなので、土粒子分質量の変化 $M_S = M_{SO} + \Delta M_{SC}$ と、変化した粗粒分に含まれる水分 ΔM_W を含めた全水分質量が $M_W = M_{WO} + \Delta M_W$ の和となる ($M = M_S + M_W$)。また全体含水比 $w_T (= (M_W / M_S) \times 100)$ は

$$w_T = (w_0 + \Delta w) / (1 + \Delta M_{SC} / M_{SO}) = w / (1 + \Delta M_{SC} / M_{SO})$$

となる。式中の

$$w = w_0 + \Delta w (= (M_{WO} + \Delta M_W) \times 100 / M_{SO})$$

は混合泥土のうちの ΔM_{SC} を除いた基本底泥土の M_{SO}

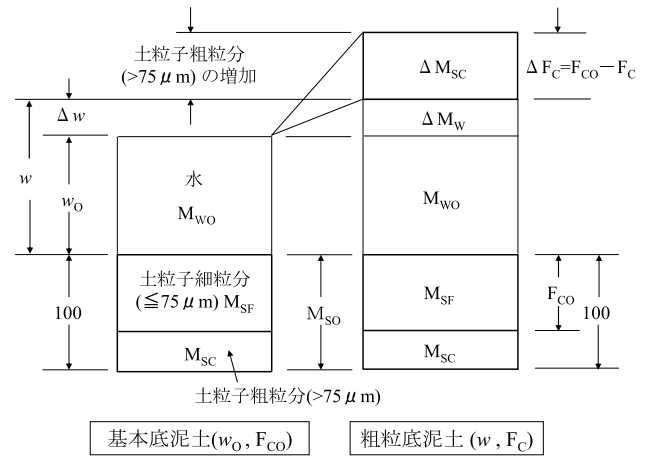


図-4 細・粗粒分分離モデル (w-Fcモデル)

により評価した含水比であり、以降これを換算含水比と称する。 $\Delta w (= (\Delta M_W / M_{SO}) \times 100)$ は ΔM_{SC} に含まれる水分 ΔM_W を M_{SO} により評価した含水比の変化である。したがって、 w は上式と $F_c (= (M_{SF} / M_S) \times 100)$ を考慮すると

$$w = (F_{CO} / F_c) \cdot w_T \quad (1)$$

で与えられる。表-2には n_v を変えた混合泥土の w を基本底泥土 (w_0, F_{CO}) について式(1)により算定した w をそれぞれ示した。

4.4 初期固化土の強度特性

固化材は底泥土のような高含水比粘性土の固化改良に適したセメント系固化材の中から、谷田大池から約30kmの距離にあるセメントステーションから供給を受けられる特殊土用 (GS200) を選択した。固化材添加量は混合泥土の $1m^3$ 当りの質量 ΔM_c (kg/m^3) により表示する。固化材の混合泥土への添加は実施工と同じ水・固化材比 $w/c=1.0$ のスラリー状態で実施し。初期固化土と砕・転圧土の供試体の準備はこれまでの砕・転圧盛土工法に関する指針^{4, 5)}における方法により行った。

基本底泥土とした $n_v=0.50$ の混合泥土 ($w_0=61.2\%$ 、 $F_{CO}=59.2\%$) の初期固化強度に及ぼす ΔM_c の影響を調べるために、 ΔM_c を75, 100, 150, 200, $250kg/m^3$ と変えて準備した初期固化土の一軸圧縮試験を実施した。図-5は試験から得られた目標強度の設定日である $t=t_s=10$ 日目まで固化させた初期固化土の一軸圧縮強さ $(q_u)_{IS10}$ と ΔM_c の関係を示す。ここで、 $(q_u)_{IS10}$ の下添字ISは初期固化土であること、下添数字10は $t=t_s=10$ 日であることを表す。 $(q_u)_{IS10}$ は ΔM_c の増加に対してほぼ比例して増加することから直線

$$\Delta M_c = A + B \cdot (q_u)_{IS10} \quad (A=78, B=0.148) \quad (2)$$

により近似できる。

$n_v=0.50$ の混合泥土の初期固化強度に及ぼす w の影響を調べるために、 w を $w_0=61.2\%$ と、これを乾燥して $w=47.5\%$ に、あるいは加水して $w=72.5\%$ に含水調整した混合泥土による初期固化土の一軸圧縮試験を実施し

た。図-6に試験から得られた $(q_u)_{IS10} \sim w$ 関係を ΔMc 毎に示す。 $(q_u)_{IS10} \sim w$ 関係は $(q_u)_{IS10}$ を $w=w_0$ 時の強度 a により、 w を w_0 によりそれぞれ正規化すると、底泥土の種類や ΔMc に関係なく指数関数

$$(q_u)_{IS10} = a \cdot (w/w_0)^b \quad (b = -1.37) \quad (3)$$

によりほぼ近似できることがわかっている^{4), 5)}。図中の曲線は上式によるものであり良い再現性を有していることがわかる。

図-7に $(q_u)_{IS10}$ に及ぼす粒度の影響を調べるために、 $n_v=0.25, 0.50, 1.00$ と変えた混合泥土を $\Delta Mc=100, 150, 200, 250 \text{ kg/m}^3$ により $t=t_s=10$ 日目まで固化させた初期固化土の一軸圧縮試験から得られた $(q_u)_{IS10}$ と F_c の関係を示す。図の縦軸は、 $(q_u)_{IS10}$ に及ぼす含水比

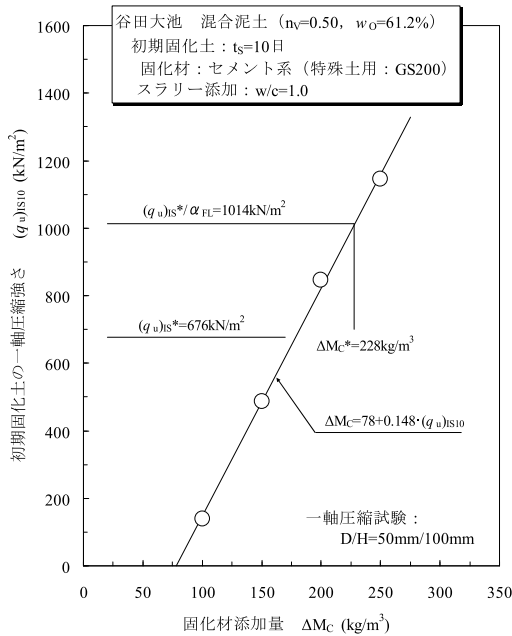


図-5 初期固化土の $(q_u)_{IS10} \sim \Delta Mc$ 関係

の影響を取り除くために、式(3)の含水比項 $(w/w_0)^b$ により正規化した

$$(q_u)_{IS10} / (w/w_0)^b$$

としてある。図から、 $(q_u)_{IS10}$ は ΔMc が同じであれば F_c が減少すると、すなわち粗粒分が増加すると、高くなることがわかる。 $(q_u)_{IS10}$ に及ぼす F_c の影響は、 w - F_c モデルにより w の影響を取り除いて考えると、指数関数

$$(q_u)_{IS10} = c \cdot (F_c/F_{c0})^d \quad (4)$$

により近似できることがわかっている⁵⁾。ここで、 c は ΔMc により決まる基本底泥土 (w_0, F_{c0}) の $(q_u)_{IS10}$ の値、 d は ΔMc によらない係数である。図-7には $d = -1.16$ とした上式による曲線を示しており、上式により $(q_u)_{IS10} / (w/w_0)^b \sim F_c$ 関係をうまく近似できることがわかる。

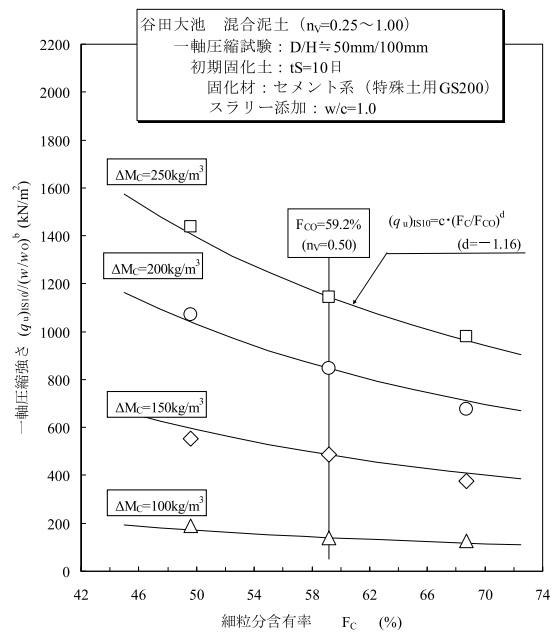


図-7 初期固化土の $(q_u)_{IS10} \sim F_c$ 関係

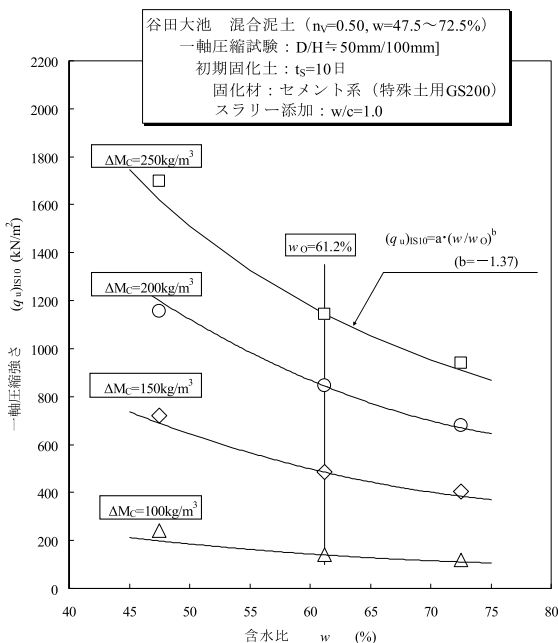


図-6 初期固化土の $(q_u)_{IS10} \sim w$ 関係

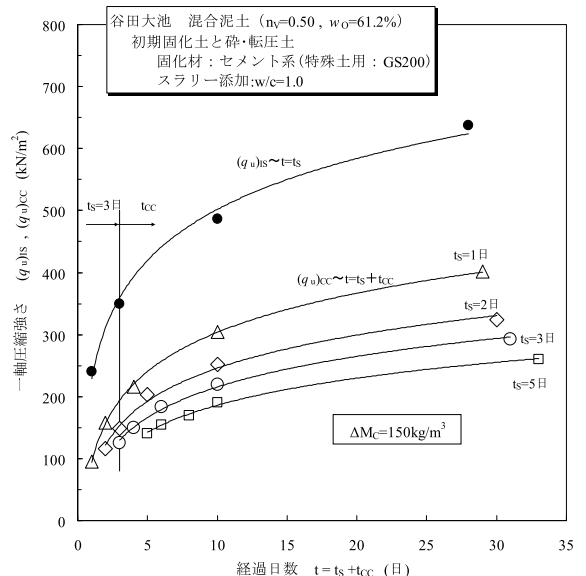


図-8 砕・転圧強度 $(q_u)_{CC}$ に及ぼす t_s の影響

4. 5 砕・転圧土の強度特性

1) 初期固化日数の影響

図-8は $n_v=0.50$ の混合泥土の $\Delta M_c=200\text{kg/m}^3$ による初期固化土の一軸圧縮強さ $(q_u)_{IS}$ と経過日数 $t=ts$ の関係と、初期固化土を $ts=1, 2, 3, 5$ 日目に砕・転圧した砕・転圧土の一軸圧縮強さと経過日数 $t(=ts+t_{cc})$ の関係を比較したものである。ここで、 $(q_u)_{CC}$ の下添字CCは砕・転圧土であることを、また下添数字がある場合には砕・転圧後の経過日数 $t_{cc}(=10-ts)$ 日目の強度であることを示している。図における初期固化土を砕・転圧した直後の $t_{cc}=0$ 日目の砕・転圧土の強度 $(q_u)_{CC0}$ は築堤時の転圧機械のトラフィカビリティに関係する強度である。図から、砕・転圧土の強度 $(q_u)_{CC}$ は初期固化土状態における強度 $(q_u)_{IS}$ よりも小さく、 ts による影響が大きいことがわかる。また、 $(q_u)_{CC0}$ は ts が短い方が低いものの、砕・転圧直後に発揮される $(q_u)_{CC0}$ からの再固化での強度増加が大きいことがわかる。このことは、 ts が短く初期固化時に発揮された強度が低いほど砕・転圧土状態における固化発現余力が残っており、再固化における強度増加が大きくなるためと考えられる。以上のことから、砕・転圧土の目標強度を設定する時には $t=ts$ の影響を考慮しなければならないことがわかる。

実施工における ts は、築堤時の転圧機械のトラフィカビリティを確保するために必要な強度レベルにほぼ達する $ts=3$ 日を標準とし、目標強度レベルや施工性を考慮して適切な ts を選択する。

ts を変えた砕・転圧土の強度特性を調べるために、全経過日数 $t=ts+t_{cc}=28$ 日における初期固化土の砕・転圧による強度低下の比を

$$R = (q_u)_{CC} / (q_u)_{IS} \quad (5)$$

で定義する^{4), 5)}。図-9には図-8に示した $(q_u)_{CC} \sim t(=ts+t_{cc})$ 関係と $(q_u)_{IS} \sim ts$ 関係から読み取った R と ts の関係を示す。図から、初期固化土の砕・転圧による強度低下は $ts=3$ 日までが著しく、標準の $ts=3$ 日の場合には

$$ts=3\text{日} : R_3=0.46$$

であることがわかる。

2) 強度パラメータ(粘着力と内部摩擦角)

$n_v=0.50$ の混合泥土からなる砕・転圧土($t=ts+t_{cc}=3+7=10$ 日)の有効応力表示の強度パラメータである粘着力 $(c')_{CC7}$ と内部摩擦角 $(\phi')_{CC7}$ を等方圧密応力 σ_{3C} を49, 98, 196 kN/m^2 と変えた圧密非排水三軸圧縮試験により求めた。図-10には ΔM_c を変えて準備した砕・転圧土の三軸圧縮試験から得られた $(c')_{CC}$ 、 $(\phi')_{CC7}$ と ΔM_c の関係を示す。図から、砕・転圧土は、 $(\phi')_{CC7}$ が ΔM_c に関係なくほぼ一定で、 $(\phi')_{CC7}=15\sim 18^\circ$ と小さく $(c')_{CC7}$ が卓越した強度特性を有しており、 $(c')_{CC7}$ と ΔM_c の間は直線

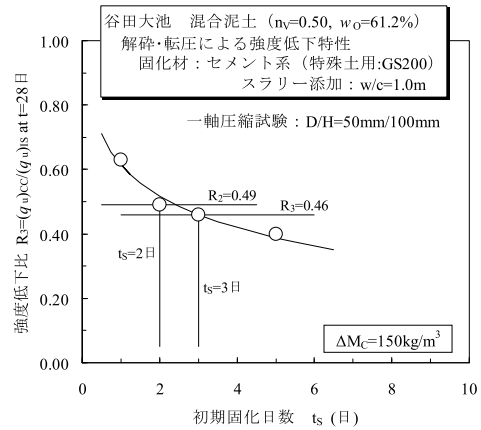


図-9 砕・転圧による強度低下に及ぼす ts の影響

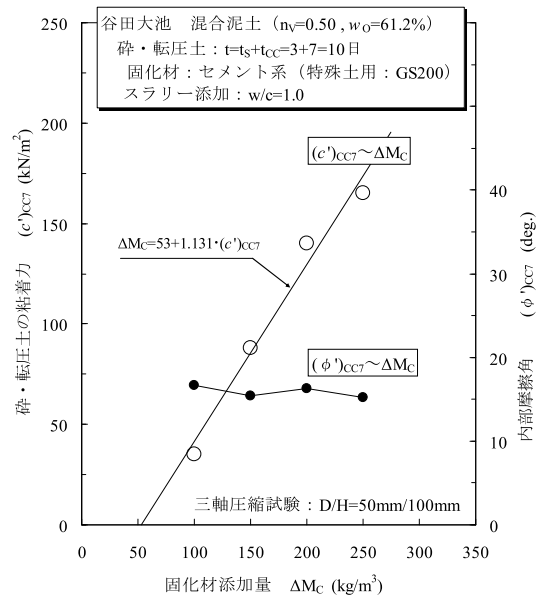


図-10 砕・転圧土の $(c')_{CC} \cdot (\phi')_{CC} \sim \Delta M_c$ 関係

$$\Delta M_c = 53 + 1.131 \cdot (c')_{CC7} \quad (6)$$

により近似できることがわかる。

5. 砕・転圧盛土工法的设计

5. 1 固化材添加量と管理強度

砕・転圧土ゾーンの目標強度は、前述したように、図-2に示した堤体ゾーニングの安定計算から

$$(c')_{CC^*} = 103\text{kN/m}^2$$

と設定した。 $(c')_{CC^*}$ を現場で達成するために必要な固化材添加量 ΔM_c^* は、図-10に示した基本底泥土とした $n_v=0.50$ の混合泥土における近似式(6)の $(c')_{CC7}$ に現場/室内強度比 $a_{FL}(=1/1.5)$ により強度割増しをした室内配合強度 $(c')_{CC^*} / a_{FL}$ を代入して

$$\Delta M_c^* = 53 + 1.131 \times 103 \times 1.5 = 228\text{kg/m}^3$$

として得られる。

$(c')_{CC^*}$ を現場で管理するには一軸圧縮強さ $(q_u)_{IS^*}$ を使用し、 $(q_u)_{IS^*}$ は ΔM_c^* を図-5に示した $\Delta M_c \sim (q_u)_{IS10}$ 関係式(2)を $(q_u)_{IS10}$ について整理した

$$(q_u)_{IS10} = (\Delta M_c - A) / B \quad (7)$$

に代入し、 $(c'_{cc})^*$ の場合と同様に室内配合強度 $(q_u)_{IS10} = (q_u)_{IS}^* / a_{FL}$ を考慮すると

$$(q_u)_{IS}^* = (1/1.5) \times (228 - 78) / 0.148 = 676 \text{ kN/m}^2$$

となる。砕・転圧土状態での強度 $(q_u)_{CC}^*$ は $t_s=3$ 日ににおける強度低下比 $R_3=0.46$ から

$$(q_u)_{CC}^* = (q_u)_{IS}^* \cdot R_3 = 676 \times 0.46 = 311 \text{ kN/m}^2$$

となる。

5. 2 初期固化日数を変えた施工と固化材添加量

1) 初期固化日数の選択

砕・転圧土の強度特性は、図-8と図-9に示したように、初期固化日数 t_s に影響を受けるため、実施工では $t_s=3$ 日を標準として目標強度や施工性を考慮して適切な t_s を選択することになる。一般に、 t_s が3日より短い場合には、初期固化土の解砕・転圧による強度低下が少なく固化効率が良いものの、転圧時の強度 $(q_u)_{CC0}$ が低く転圧機械のトラフィカビリティを確保しにくく施工性に問題が生じる。一方、 t_s が3日より長い場合、

$(q_u)_{CC0}$ が高く施工性は良いものの、初期固化土の解砕・転圧による強度低下が著しく同一強度の達成により多くの ΔM_c を必要とするなど固化効率が悪い。そこで、目標強度が高い場合には施工性が良いので $t_s=3$ 日より短い $t_s=2$ 日とする。また、目標強度が低い場合や底泥土の含水比が高く施工性が悪いので $t_s=3$ 日より長い $t_s=4$ 日とする。谷田大池では目標強度が比較的高く施工性がよいので $t_s=2$ 日と $t_s=3$ 日の組合せを採用し、月曜から木曜までを $t_s=2$ 日、金曜から土曜までを $t_s=3$ 日とする。

2) 初期固化日数と固化材添加量

砕・転圧土の強度特性は混合泥土に固化材を添加してから解砕・転圧するまでの日数 t_s により影響を受けるため、同一の目標強度に必要な ΔM_c は t_s により異なる。このため、 $t_s=2$ 日の初期固化における ΔM_c は標準の $t_s=3$ 日の場合の ΔM_c^* と異なる。以下に、 $t_s=2$ 日における ΔM_c ($t_s=2$)を算定する。

$t_s=3$ 日の場合における一軸圧縮強さ表示での砕・転圧土の $(q_u)_{CC}^*$ が

$$(q_u)_{CC}^* = 311 \text{ kN/m}^2$$

であった。 $t_s=2$ 日の場合に $(q_u)_{CC}^*$ を達成するのに必要な初期固化土状態での $(q_u)_{IS}^*$ は図-11に示した $t_s=2$ 日における $R_2=0.49$ より

$$(q_u)_{IS}^* = (q_u)_{CC}^* / R_2 = 311 / 0.49 = 635 \text{ kN/m}^2$$

となる。したがって、 $t_s=2$ 日における ΔM_c ($t_s=2$)は式(2)から

$$\begin{aligned} \Delta M_c(t_s=2) &= A + B \cdot (q_u)_{IS}^* / a_{FL} \\ &= 78 + 0.148 \times 635 \times 1.5 = 219 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

となる。 $t_s=2$ 日と $t_s=3$ 日の組合せにおける初期固化土と砕・転圧土の強度管理値 $(q_u)_{IS}^*$ 、 $(q_u)_{CC}^*$ を表-3にまとめて示す。

表-3 各ゾーンの初期固化日数と固化材添加量

ゾーン	$(c'_{cc})^*$ (kN/m ²)	$\Delta M_c(\text{kg/m}^3)$, $(q_u)_{IS}^*$ ・ $(q_u)_{CC}^*$ (kN/m ²)			
		$t_s=2$ 日		$t_s=3$ 日	
		ΔM_c	$(q_u)_{IS}^*$ $(q_u)_{CC}^*$	ΔM_c	$(q_u)_{IS}^*$ $(q_u)_{CC}^*$
I・II	103	219	635 311	228	676 311
IV・VI					

5. 3 固化材添加量の含水比と粒度による補正

実施工における混合泥土は、現場で n_v =一定で混合したつもりでも、底泥土や掘削土のそれぞれにおける含水比や粒度の変動のため、 w と F_c が基本底泥土($w_0=61.2\%$, $F_{c0}=59.2\%$)と異なる。基本底泥土とした $n_v=0.50$ の混合泥土(w_0 , F_{c0})と異なる混合泥土(w , F_c)を $(q_u)_{IS}^*$ に初期固化するのに必要な ΔM_c は図-11に概念的に示す室内配合試験から得られる $(q_u)_{IS10} \sim \Delta M_c \sim w$ 関係を用いて以下のように w と F_c により補正を行った⁵⁾。

$w=w$ ($\neq w_0$)にある混合泥土(F_c , w)の配合強度 $a = (q_u)_{IS}^* / a_{FL}$ が、図-11の $\Delta M_c'$ (F_c)に対応する $(q_u)_{IS10} \sim w$ 曲線上の $w=w$ にあるので、同じ $(q_u)_{IS10} \sim w$ 曲線上の $w=w_0$ における a' との間に w の影響を考慮できる式(3): $a = a' \cdot (w/w_0)^b$ により

$$a' = a \cdot (w/w_0)^{-b}$$

の関係がある。また、 a' は F_c が強度に及ぼす影響を近似した式(4): $a' = c' \cdot (F_c/F_{c0})^d$ から基本底泥土(w , F_{c0})の $\Delta M_c'$ (F_{c0})に対応する $(q_u)_{IS10} \sim w$ 曲線上の $w=w_0$ の強度 c' に変換すると

$$c' = a' \cdot (F_c/F_{c0})^{-d}$$

となる。つまり、混合泥土(w , F_c)の $w=w$ における a は $w=w_0$ における a' に、さらに基本底泥土(w , F_{c0})における c' に変換され、上の2式から

$$c' = a' \cdot (F_c/F_{c0})^{-d} = a \cdot (w/w_0)^{-b} \cdot (F_c/F_{c0})^{-d}$$

となる。 ΔM_c は基本底泥土(w , F_{c0})における値に変換された c' を基本底泥土(w_0 , F_{c0})に関する $\Delta M_c \sim (q_u)_{IS10}$ 関係式(2)に代入すれば

$$\begin{aligned} \Delta M_c' &= A + B \cdot a \cdot (w/w_0)^{-b} \cdot (F_c/F_{c0})^{-d} \\ &= A + B \cdot [(q_u)_{IS}^* / a_{FL}] \cdot (w/w_0)^{-b} \cdot (F_c/F_{c0})^{-d} \quad (8) \end{aligned}$$

のように得られる。

例として、混合泥土が $w_T=55.0\%$ 、 $F_c=50.0\%$ であった時に、 $t_s=3$ 日の場合における目標強度

$$(q_u)_{IS}^* = 676 \text{ kN/m}^2$$

を現場で達成させるための ΔM_c は、換算含水比 w が w_T と F_c より

$$w = (F_{c0}/F_c) \cdot w_T = (59.2/50.0) \times 55.0 = 65.1\%$$

と求められるから

$$\begin{aligned} \Delta M_c &= A + B \cdot [(q_u)_{IS}^* / a_{FL}] \cdot (w/w_0)^{-b} \cdot (F_c/F_{c0})^{-d} \\ &= 78 + 0.148 \times 676 \times 1.5 \times \\ &\quad (65.1/61.2)^{1.37} \times (50.0/59.2)^{1.16} = 212 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

となる。

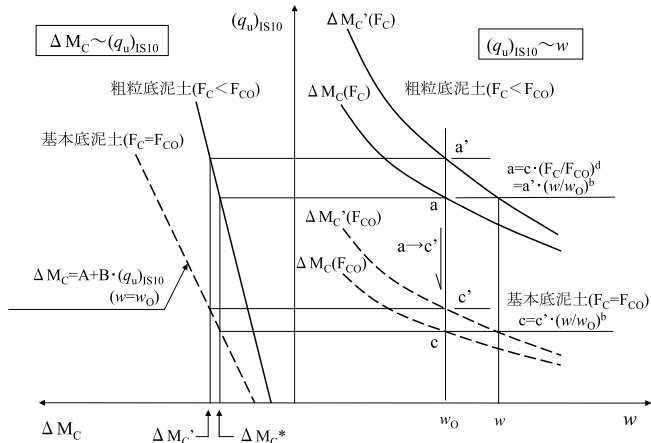


図-11 $(q_u)_{IS10} \sim \Delta M_c \sim w$ 関係



写真-3 固化材のスラリープラント (24m³/hr.型)

6. 砕・転圧盛土工法の施工

6.1 仮設・準備工事

谷田大池の堤体改修工事は図-12に示す施工フローに従って実施し、仮設工事と準備工事の後、砕・転圧盛土工法による築堤を開始した。

仮設工事は、先ず右岸側アバットから池敷内に連絡する管理用道路を築造の後、工事用道路や固化ピットヤードの造成、プラントヤードの整地とプラント設置を行った。写真-3に設置したスラリープラントの状況を示す。準備工事は仮設工事とほぼ並行して既設堤体とコアトレンチ、キーブロックトレンチの掘削をそれぞれ行った。

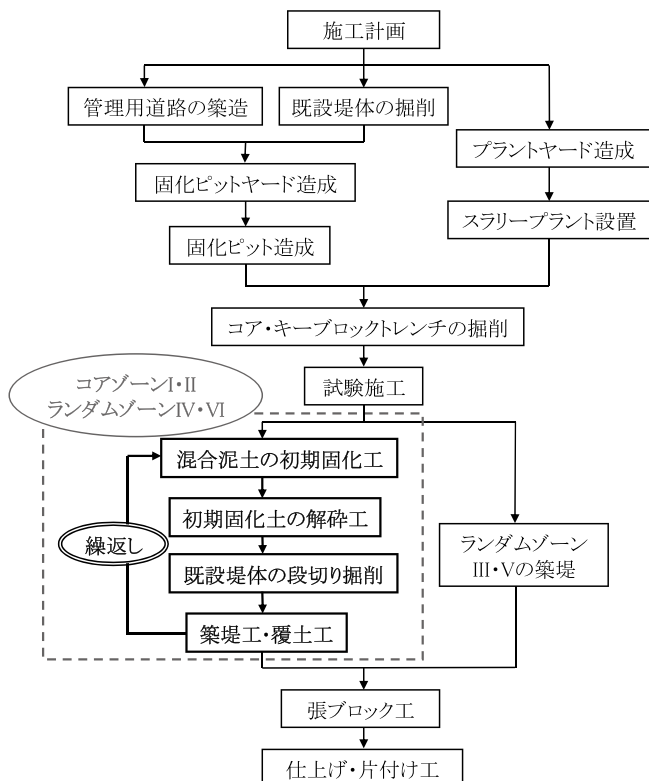


図-12 谷田大池の施工フロー図

6.2 砕・転圧盛土工法の施工工程

固化ピット内での底泥土と掘削土を加え合わせた混合混凝土の初期固化、初期固化土の $t_s=2$ 日目あるいは3日目の解砕、そして築堤の各工程を繰り返すことにより一層毎にコアゾーンⅠ・Ⅱ、ランダムゾーンⅣ・Ⅴの築堤を行った。

1) 初期固化工程

初期固化工程は混合混凝土の準備、混合混凝土の w_T と F_C の測定、混合混凝土を目標強度に初期固化するために必要な ΔM_c の算定、初期固化機によりピット内に ΔM_c に相当する固化材スラリーを添加・混合して $t_s=2$ あるいは3日だけ初期固化させる工程である。

混合混凝土は固化ピット内に底泥土、掘削土の順で $n_v=0.5$ と同じ層厚比 $n_v=Z_{Eb}/Z_{Md}$ になるように準備した。混合混凝土の w_T と F_C の測定は午前・午後の2回、初期固化範囲の固化ピット中央部で初期固化機を空回転させて底泥土と掘削土を攪拌して均一な混合混凝土状態にしてから試料約1.5kgを採取して行った。固化ピット内の混合混凝土(w, F_C)に添加すべき ΔM_c は、基本底泥土($w_0=61.2\%$, $F_{CO}=59.2\%$)に対して決められた ΔM_c^* を式(1)により算定した w と F_C を代入して式(8)により補正して求めた。写真-4に初期固化機によるピット内の混合混凝土と固化材スラリーの混合状況を示す。



写真-4 混合混凝土の初期固化状況

2) 解砕工程

解砕工程は固化ピット内で $t_s=2$ 日間あるいは3日間だけ固化させた初期固化土をバケット式解砕機により掘削して規定の D_{max} で解砕しながら不整地運搬車に積込みを行うものである（初期固化土を解砕した状態を解砕土という）。

解砕機は山積み $0.8m^3$ 級バックホウをベースマシンとして、アタッチメントである最大力 $200kN$ の押土プレート装着した格子バケットにより、掘削した初期固化土の解砕と積込みを行うものである（解砕能力は約 $50m^3/時間$ ）。格子間隔は D_{max} の大きさ $200, 100, 50mm$ の3種類を設定することが可能であるが、谷田谷池では $D_{max}=200mm$ に設定した。写真-5に初期固化土のバケット式解砕機による掘削・解砕・積込み状況を示す。

3) 築堤工程

築堤工程は運搬されてきた解砕土をバックホウで一層毎に撒出し、ブルドーザで一定層厚 $\Delta H=35cm$ 程度に敷均しをしてから、写真-6に示すように、 $20t$ 級振動ローラ（機械質量約 $11t$ ）により規定の $N=8$ 回だけ転圧して砕・転圧土ゾーンⅠ・Ⅱ・Ⅳ・Ⅵを築堤する工程である。転圧回数 $N=8$ 回は試験施工を実施して目標とする強度と遮水性の砕・転圧土を準備できる値として決定した。



写真-5 初期固化土の掘削・解砕・積込み状況



写真-6 解砕土の振動ローラによる転圧状況

7. あとがき

砕・転圧盛土工法は農林水産省官民連携新技術研究開発事業の共同研究により、老朽化したため池やフィルダムの効率的な堤体改修を目指して開発されたもので、池内の底泥土を固化改良して築堤土として有効活用して、底泥土の除去処分と堤体改修を両立させたものである。砕・転圧盛土工法は底泥土を固化処理して遮水性を確保しつつ所要の強度を有する築堤土を人工的に製造できることから急勾配法面での堤体改修が可能で、貯水容量の減少もないなど経済的な改修が期待できる。

谷田大池の砕・転圧盛土工法では、池内の底泥土に既設堤体やコアトレンチ等からの掘削発生土を加えて混合泥土として使用したことにより、底泥土の除去処分だけでなく、工事に伴う掘削発生土の場外処分を無くしたことで経済面だけでなく環境面でも優れた効果が得られた。

参考文献

- 1) 横地村誌編集委員会編：横地村誌，横地村誌編集委員会，pp.113-116. 1986.
- 2) 財団法人ダム協会ホームページ：ダム便覧2010，<http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html>
- 3) 農林水産省農村振興局整備部設計課：土地改良事業設計指針「ため池整備」，農業土木学会，2006.
- 4) 社農業農村整備情報総合センター：ため池改修工事の効率化，-砕・転圧盛土工法によるため池堤体改修-，設計・施工・積算指針（案），2006.
- 5) 社農業農村整備情報総合センター編：砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修，-堆積土・発生土を有効活用したフィルダムのリニューアル技術-，設計・施工・積算指針（案），社農業農村整備情報総合センター，2009.
- 6) 福島伸二，谷茂，北島明，五ノ井淳，西本浩司：固化処理底泥土を用いたため池堤体改修における堤体ゾーニングパターンの事例研究，土木学会論文集C，Vol.65，No.4，pp.789-805，2009.
- 7) 嘉門雅史：ヘドロの工学的性質について，土と基礎，Vol.26，No.1，pp.19-24，1978.
- 8) 農林水産省構造改善局建設部設計課：土地改良事業設計指針「ため池整備」，農業土木学会，p.129，2000.

東部幹線揚水機場ポンプ設備の機能診断調査及び改修設計

酒 井 雅 史* 久保田 貴 純** 長 野 浩 一***
 (Masashi SAKAI) (Takazumi KUBOTA) (Koichi NAGANO)

目 次

1. はじめに	53	4. まとめ	61
2. 機能診断	54	5. おわりに	61
3. 機能保全計画	58		

1. はじめに

香川用水地区は、香川県高松市外7市6町に広がる受益面積が約29,500haの農業地帯であり、主に水稻を中心に大豆、野菜等を組み合わせた複合経営が展開されている。(図-1)本地区区のかんがい用水は、ため池等の地区内水源の他、早明浦ダムからの補給水に依存している。地区内のかんがい施設は、香川用水農業水利事業等により整備されたが建設から約30年が経過しており、老朽化による施設機能の低下によって用水管理、施設管理に対する労力と経費の増加が顕在化してきている。

東部幹線揚水機場は昭和53年度に供用が開始されてから31年が経過している。この内、高圧受変電設備を除く監視操作設備については既に更新されたが、高圧受変電設備、主ポンプ、電動機、弁類の一部については参考耐用年数を経過しても使用されている状況にあった。本機場では過去にベアリングの欠損事故により運転停止となる事態や、近傍の他機場においても電動機の焼損事故が発生したこともあり、施設管理者から早急な対応が求められている。

今回、機能診断調査と機能保全計画を立案したので、以下このことについて報告する。

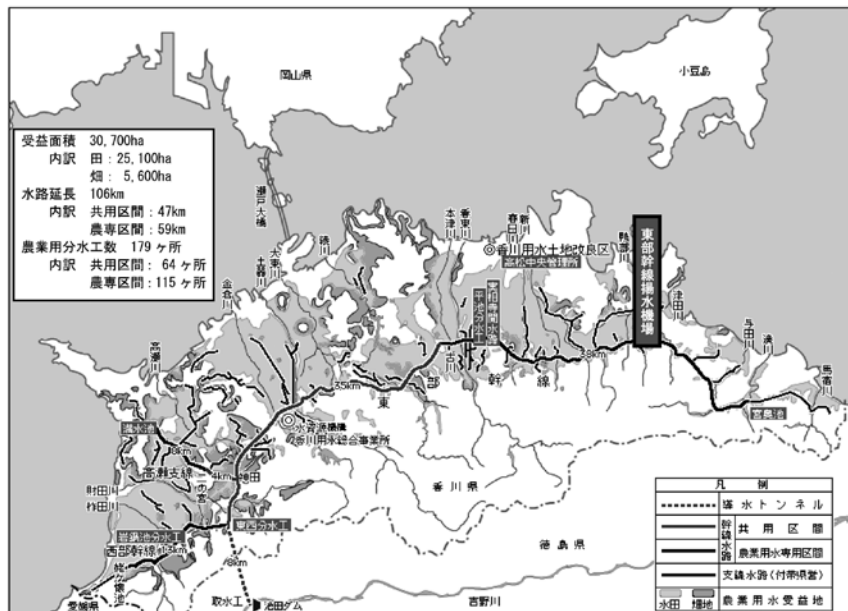


図-1 国営造成土地改良施設整備事業 香川用水地区 概要図

*中国四国農政局香川用水土器川沿岸農業水利事業所
 (Tel. 0875-57-5537)

**中国四国農政局四国土地改良調査管理事務所
 (Tel. 0877-56-8260)

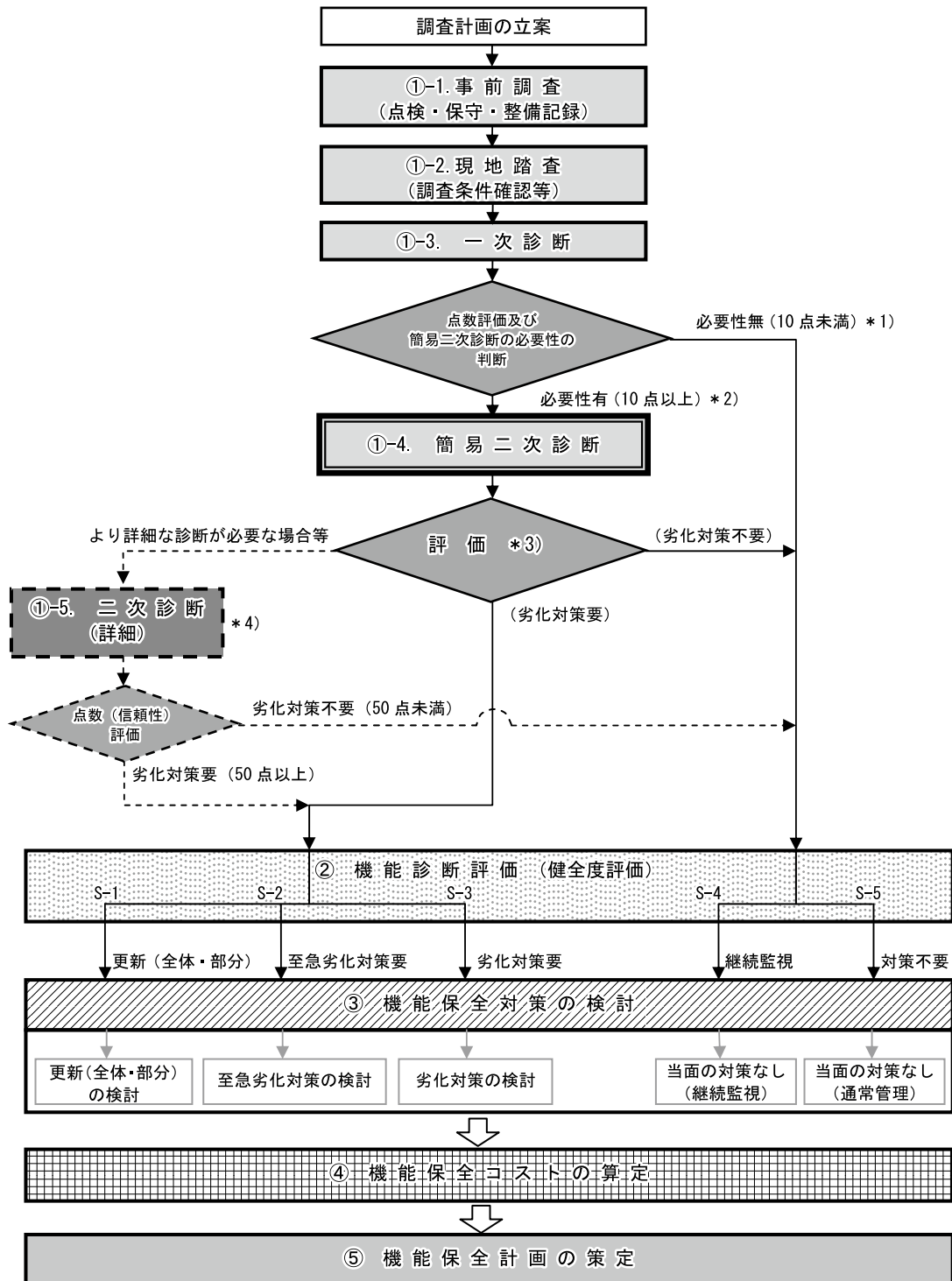
*** (株)三祐コンサルタンツ (Tel. 052-933-7872)

2. 機能診断

(1)機能診断方法

機能診断方法は、主ポンプについては、「農業用施設機械設備ストックマネジメントマニュアル（案）（平成21年6月）」（以降「マニュアル」と称す），

その他については「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）」（以降「手引き」と称す）を適用した。機能診断調査の手順はマニュアルに準じ、以下の図-2に示すとおり、機能診断調査フロー①-1事前調査、①-2現地踏査、①-3一次診断、①-4簡易二次診断、①-5二次診断の順で行った。



- *1) 点数評価が10点以上であった場合でも原因が特定でき、その部位の整備を行うことで10点以下となることが明らかな場合は簡易二次診断を行わない。
- *2) 主ポンプの簡易二次診断を行う場合
- *3) 簡易二次診断に基づく評価は、点数評価を行わないため、健全度評価により判定を行う。この場合、S-5、S-4は劣化対策不要、S-3～S-1は劣化対策要となる。
- *4) 定期整備に合わせて二次診断を行う場合も含む。

図-2 ポンプ設備の機能診断フロー

(2)簡易二次診断調査の対象施設

本機場のポンプ機械・電気設備に対する一次診断調査は、平成15、19年度に実施されており、その結果、詳細調査が必要な設備に対して平成21年度に簡易二次診断調査を実施した。対象とする設備は以下のとおりである。(表-1, 図-3) (表-2, 図-4)

(a)ポンプ設備

表-1 簡易二次診断調査対象設備 (ポンプ設備)

設備名称	構造及び規模	供用開始	経過年数	参考耐用年数
2号, 3号ポンプ	φ 300×200 横軸両吸込単段渦巻ポンプ 揚水量 0.176m ³ /s/台, 全揚程 119m	昭和 53 年	31 年	35 年
2号, 3号電動機	巻線形三相誘導電動機 315kW, 6600V			25 年
2号, 3号液体抵抗器	速度制御用、適用電動機出力 315kw	平成 7 年	14 年	20 年

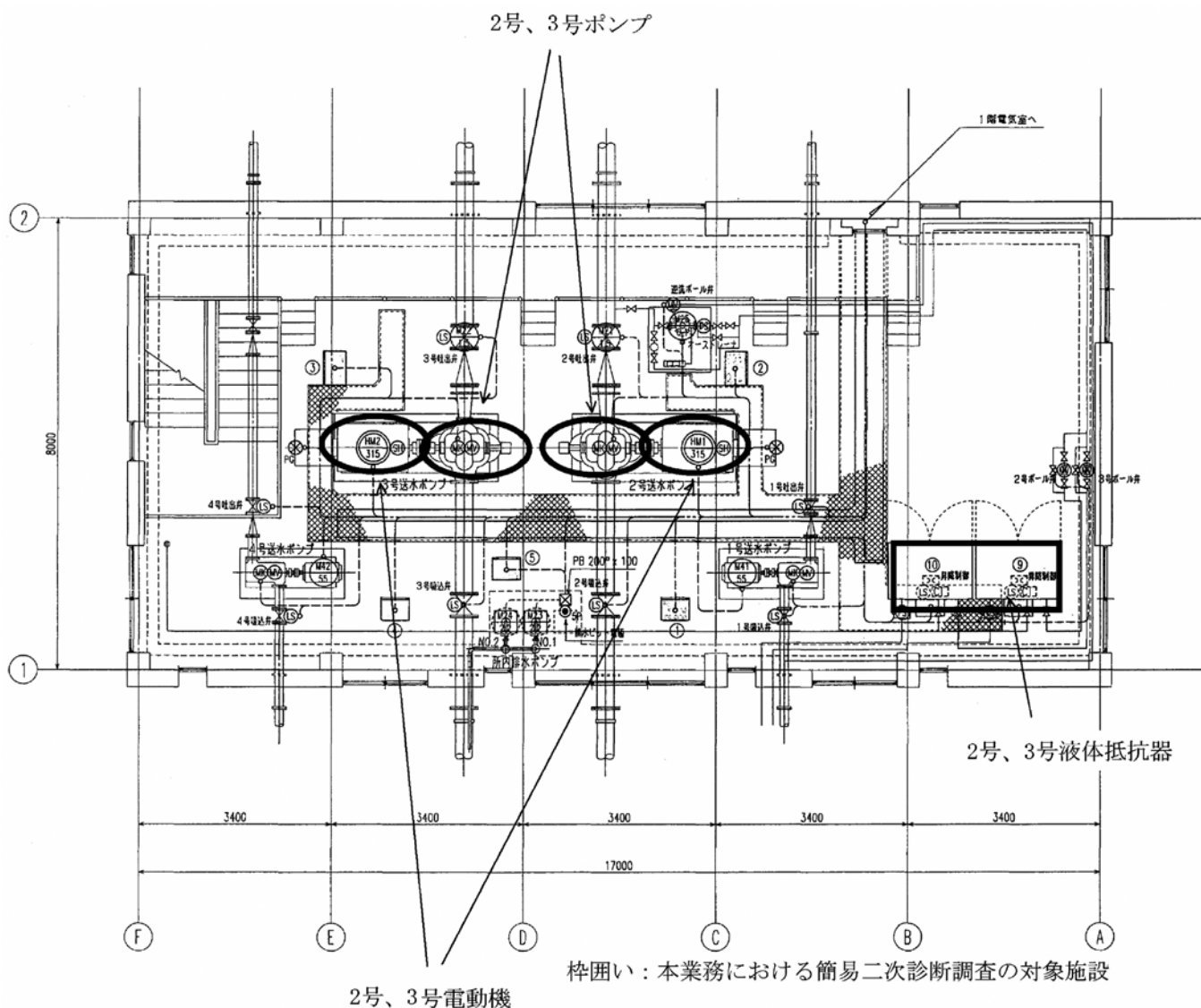


図-3 簡易二次診断調査対象のポンプ設備

(b)電気設備

表-2 簡易二次診断評価対象設備（電気設備）

施設名	構造及び規模	供用開始	経過年数	参考耐用年数
① 高圧引込盤	6.9kV, 600A 1面	昭和53年	31年	20年
② 高圧受電盤	6.9kV, 600A 1面			
③ 動力変圧器盤(ポンプ)	150kVA 1面			
④ 動力変圧器盤(補機)	50kVA 1面			
⑤ 照明変圧器盤	20kVA 1面			

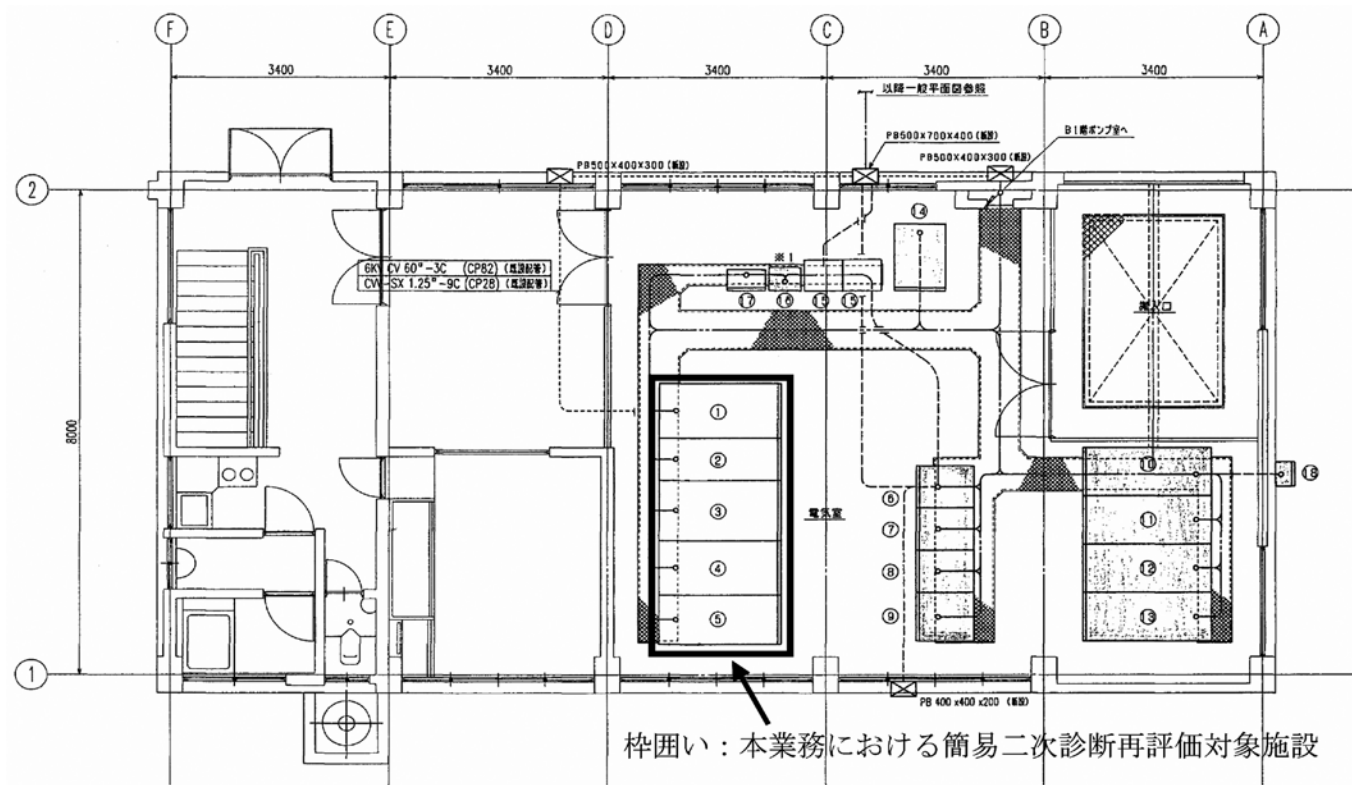


図-4 簡易二次診断評価対象の電気設備

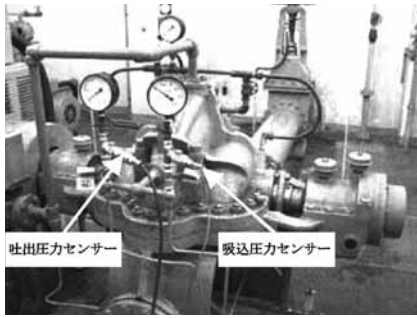
(3)簡易二次診断調査とその評価

(a)主ポンプ

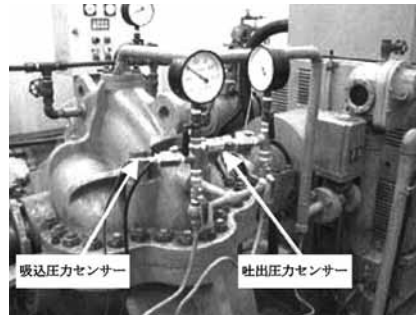
主ポンプに対する簡易二次診断調査の内容は、ポンプを停止してケーシングを開放してインペラやケーシングの摩耗・腐食状態を確認する他、ポンプの運転における吐出能力、振動値を測定する等である。吐出能力は、当初の既存のアナログ式圧力計を用いた計測結果では大幅な低下を示していた。しかし、ケーシ

ング開放調査の結果、吐出能力が大幅に低下していると考えられない状況であったため、計測精度を高める必要があると判断し、高性能のデジタル式圧力計測センサーにより再計測した結果、吐出能力の低下は軽微であることが判明した。また、振動計では、全振幅の他、振動の速度及び周波数も併せて計測した。

健全度の評価方法は、以下の「簡易二次診断における健全度ランク区分」（表-3）により行う。



2号機圧力センサー設置状況



3号機圧力センサー設置状況



データ収録用パソコン

図-5 簡易二次診断に用いた吐出能力測定機器



回転速度計測



データ取込み（圧力）



振動計測（周波数を含む）

図-6 二次診断実施状況

表-3 簡易二次診断における健全度ランク区分

健全度 ランク	部位・設備の状態	現象の目安（例）	対策の目安
S-4	軽微な変状が認められる状態	外観、部位等に軽微な変状が認められるが、当面の使用には支障がない状態 ① 振動、温度、吐出能力、インペラとライナリングの隙間、軸受の寿命時間などが許容値（設計値）以内 ② 損傷、ひび割れ、腐食はほとんど無い ③ ライナリングにガタツキはほとんど無い	継続監視
S-3	顕著な変状が認められる状態 劣化対策が必要な状態	外観、部位等に顕著な変状が認められ、劣化対策が必要な状態 ① 振動、温度、吐出能力、インペラとライナリングの隙間、軸受の寿命時間などが許容値（設計値）を超過 ② 損傷、ひび割れ、腐食が顕著にある ③ ライナリングにガタツキが顕著にある	劣化対策
S-2	危険な変状が認められる状態 至急劣化対策が必要とされる状態	外観、部位、機器等に危険な変状が認められるので、至急劣化対策が必要な状態 ① 振動、温度、吐出能力、インペラとライナリングの隙間、軸受の寿命時間などが許容値（設計値）を大幅に超過 ② 損傷、ひび割れ、腐食が当該箇所全面に顕著にある ③ ライナリングにガタツキが許容できない程度にある	至急劣化対策
S-1	危険な状態が複数の部位において認められる状態 個々の部位の至急劣化対策では経済的な対応が困難で、設備の更新が必要な状態 ※調査部位毎の健全度評価には適用しない	危険な変状が複数の部位において認められ、機器や設備といった一定の部位のまとまりについて至急対策をしなければ施設機能停止の恐れがあるなど、危険な変状が認められる状態	更新 (設備、機器／装置)

(備考) 健全度のSはステージ（段階）の意味

今回の調査の結果は以下のとおりであった。

- ①振動、温度、吐出能力、インペラとライナリングの隙間、軸受の余寿命などが許容値内
- ②損傷、ひび割れ、腐食がほとんどない。
- ③ライナリングにカタツキがほとんど無い。

以上より、主ポンプについては、「軽微な変状が認められる状態」にあることから、健全度ランクを「S-4」（対策の目安：継続監視）と評価した。

(b)電動機・液体抵抗器

電動機及び液体抵抗器の簡易二次診断方法では、電動機の回転軸に対して回転計による非接触測定を行い、回転速度（回転数）を評価するとともに「保全技術の手引き」の「信頼性評価のための点数表」により、劣化対策の必要性を判定する方法とした。

機器全体の点数 \geq 50点——保全(劣化対策)の検討
機器全体の点数 $<$ 50点——継続使用(要注意運転)

（「農業用施設機械設備更新及び保全技術の手引き」P2-48参照）

今回の調査結果では、電動機には回転速度の低下は見られなかった。しかし、上記の点数が162点と50点以上であることと、以下の理由より劣化対策を検討すべき段階にあると評価した。

- ①供用年数が31年であり参考耐用年数（25年）を大きく超えていること。
- ②本機場では過去に電動機の軸受けベアリングの破損が発生している。また、同時期に建設された機場において電動機の焼損事故が発生する等、潜在的なリスクが高まっている。
- ③本機場掛かりの受益面積は広く、事故発生時に地域に与える影響が大きい施設である。
- ④本機場の電動機は設置後31年経過しているが、寿命の平均値は28.1年（電気学会技術報告（第Ⅱ部）159号）であり、更新には妥当な時期である。

液体抵抗器については、目視では大きな変状が確認されなかったが、点数が74点と50点以上であることと、以下の理由により、劣化対策を検討すべき段階にあると評価した。

- ①液体抵抗器は電動機の回転速度を制御する機器であり、電動機の付属品として扱われるため、電動機と同時期に更新される場合がほとんどである。
- ②液体抵抗器の供用期間は14年であり、一般的な更新時期の目安（17年：「水道施設更新指針 更新計画作成支援のガイドラインとして」P.48：更新年数の実績）に近い。
- ③今回、電動機のみを更新した場合、電動機と液体抵抗器が異なるメーカー仕様となる可能性があり、その場合、維持管理費の増加や故障時の連絡先や

連絡体制が煩雑となるなどのデメリットが生じることが想定される。

- (c)高圧受変電設備（引込盤、受電盤、変圧器盤（5面））

高圧受変電設備については、総合評価点が10点であり、更新を要するレベルの30点に満たないが、以下に記す要素を含めたエンジニアリングジャッジ（専門技術者〔1級ポンプ施設管理技術者〕による総合判断）により、「全面更新」とした。

- ①「手引き」による評価方法では耐用年数が反映されないが、「電気通信施設劣化診断要領・同解説（電力設備編）H18」（社建設電気技術協会による評価基準によると、「劣化がかなり進行しているため余寿命が少なく、早急な更新」となる。
- ②盤内部の部品には製造中止部品等があり機器が故障した際には修理が困難である。
- ③土地改良区による定期点検等で部分的な交換をしても盤全体の故障リスクは変わらない。
- ④「四国電気保安協会」より、「引込開閉器の接地抵抗値が基準値以上であり改修が必要」、「高圧受電盤の遮断器の遮断時間が遅いため交換が必要」との提言を受けている。
- ⑤高圧受変電設備は製造後31年が経過しており、法定耐用年数（20年）を超過しており、「電気機器の寿命に関するアンケート調査結果」（電気学会）でも寿命の終期に至っている。

3. 機能保全計画

(1)基本方針

機能保全計画上の基本条件は、「機能保全の手引き」を参考とし、以下の通りとした。

- | |
|------------------------------------------------------------------------|
| ①保全対策工法及びその時期は、機能保全コスト（施設の機能を一定期間保全するためのコストの総額）の比較検討結果より決定する。 |
| ②施設撤去廃棄コストはいずれの案でも同等のため比較条件からは除外する。また、日常的な維持管理費についてもいずれの案で大差がないため除外する。 |
| ③評価期間は機能保全対策策定時から40年とする。（上記の機能保全コストの一定期間） |
| ④残存価値は、定額法で耐用年数経過後の残存価値は0とする。 |
| ⑤社会割引率は4.0%とする。 |

(2)主ポンプ

主ポンプの健全度評価はS-4であるため、当面の間は継続監視を行うが、吐出能力が今後も徐々に低下してゆき、整備が必要になることが想定されるため

に、次回の整備時期について推定した。今回の調査時点（供用後31年）において主ポンプの吐出能力が最大6%低下したことを受けて、この低下率が10%（「マニュアル」では15%程度で対策が必要）となる時期に整備すると考え、次回の整備時期を20年後とした。

一方、ケーシング内の腐食量は供用期間31年で1.0～1.2mmであり、今後、許容腐食量3.0mmに到達するまでの余寿命が46年～62年ある。そこで、主ポンプの吐出能力が限界となる20年後には、ケーシング以外の部品だけを交換し、ケーシング本体は既設利用し、内面に腐食防止と通水性向上のための特殊コーティングを行って延命化を図るケース（シナリオ2）と、参考として平成26年度（対応可能な最短期間）に全面更新する案（シナリオ3）の3つのシナリオを作成し、比較検討を行った。なお、いずれのシナリオでもグランドパッキンやライナリング等の消耗品交換のための整備費を10年毎に見込んでいる。（図-7）

検討の結果、機能保全コストが最も安価なシナリオ2（20年後に整備）する案を採用した。（表-4）

(3)電動機

電動機の機能保全計画は、直ちに「全面更新」する案の他、既存設備を延命化する案として、電動機を工

場にてコイル巻替とベアリング交換等の整備を行い、5年後にも工場での整備によりワニス処理とベアリング交換し、10年後に更新する案の2案について比較検討を行った。なお、絶縁診断はシナリオ1では更新後5年毎に実施し、シナリオ2では更新するまでの期間は2年毎、更新後は5年毎に行うこととしている。（図-8）

機能保全シナリオを検討した結果、機能保全コストは、シナリオ1の方がシナリオ2に比べて安価となることから、経済的かつ事故のリスクの少ないシナリオ1（全面更新）を採用した。（表-5）

(4)液体抵抗器

液体抵抗器の機能保全計画は、直ちに「全面更新」する案（シナリオ1）の他、「整備後更新」する案（シナリオ2）として、液体抵抗器を現地にて精密点検整備（精密点検、電極交換、電解液入替、廃液処分）する案について検討を行った。なお、以降の更新時期は参考耐用年数より20年とし、精密点検整備は4～6年毎、点検（電解液入替、廃液処分）は2～3年毎に実施することを想定している。（図-9）

機能保全シナリオを検討した結果、両者の機能保全コストの差はほとんどないため、故障のリスクの少ない「全面更新」（シナリオ1）を採用する。（表-6）

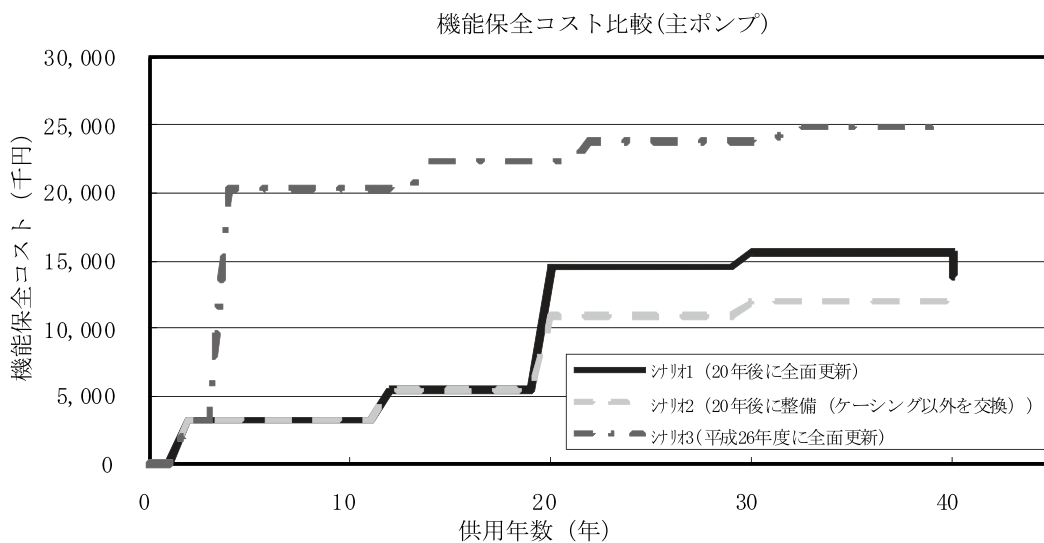


図-7 機能保全比較（主ポンプ）

表-4 主ポンプに対する機能保全コスト比較結果

シナリオ	平成22年度～平成62年度機能保全コスト(千円)	平成59年度残存価値(千円)	残存価値を考慮した機能保全コスト(千円)
シナリオ1	15,629	1,785	13,844 (1.27)
シナリオ2	11,978	0	11,978 (採用) (1.00)
シナリオ3	11,978	0	24,828 (2.07)

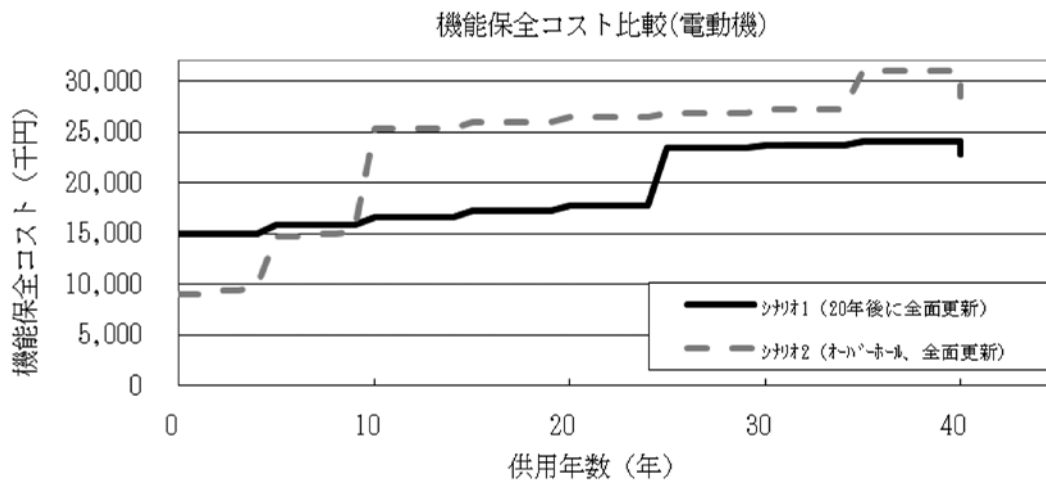


図-8 機能保全比較 (電動機)

表-5 電動機に対する機能保全コスト比較結果

シナリオ	平成 22 年度 ～平成 62 年度 機能保全コスト (千円)	平成 59 年度 残存価値 (千円)	残存価値を考慮した 機能保全コスト (千円)
シナリオ 1	24,005	1,250	22,755 (採用) (1.00)
シナリオ 2	31,028	2,500	28,528 (1.25)

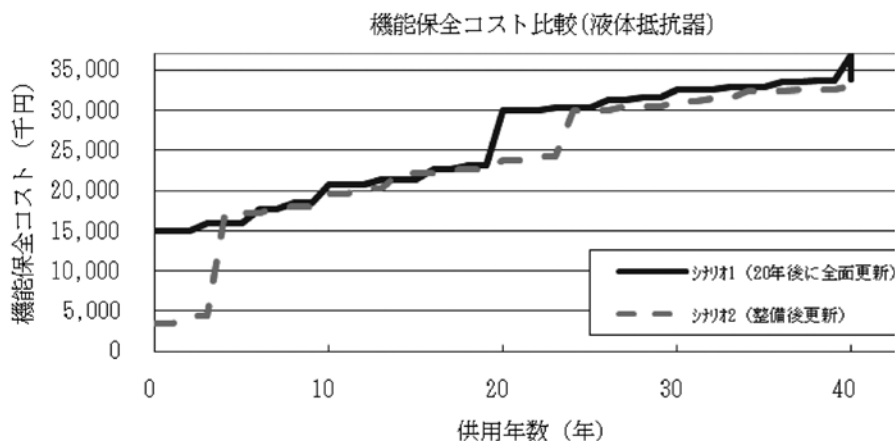


図-9 機能保全比較 (液体抵抗器)

表-6 液体抵抗器に対する機能保全コスト比較結果

シナリオ	平成 22 年度 ～平成 62 年度 機能保全コスト (千円)	平成 59 年度 残存価値 (千円)	残存価値を考慮した 機能保全コスト (千円)
シナリオ 1	36,802	2,968	33,834 (採用) (1.04)
シナリオ 2	33,020	455	32,565 (1.00)

(5)高圧受変電設備 (引込盤, 受電盤, 変圧器盤 (5面))

高圧受変電設備の部分改修の可否について複数のメーカーに問い合わせた結果, 盤のフレームだけを残し

て内部装置のみを取り替えるような部分改修は不可能である回答を得ている。そのゆえに整備後更新や部分改修というシナリオが成立しないため, 「全面更新」とした。

4. まとめ

東部幹線揚水機場は、建設後31年が経過していることから、老朽化対策として、当初は2号機及び3号機の主ポンプを含めて更新する事業計画であった。しかし、今回の二次診断調査の結果より、主ポンプの吐出能力があまり低下していないこと、ケーシングの腐食に対する余寿命も比較的長いことが確認されたことを受けて、今後約20年間は経過観察することとなり、結果的に既存施設の有効活用を図ることができた。

電動機・液体抵抗器について、継続的に使用するにはリスク上の問題があること、部分的な整備を行っても、供用年数40年間の機能保全コスト上では、同等あるいは割高になるため、「全面更新」とした。

5. おわりに

本業務では、「農業用施設機械設備ストックマネジメントマニュアル（案）（平成21年6月）」による簡易二次診断調査により、現地で簡易的な機能診断調査を実施し、従来の二次診断調査に比べて、設備を短時間でかつ安価に診断し、評価することができた。以下に本調査における特筆すべき点と新技術について述べる。

ポンプの簡易二次診断調査において特筆すべき点は、当初は更新が必要と判断されていたポンプが、上ケーシング開放による目視計測調査と圧力計による再調査の結果より健全であると評価されたことである。このことは、簡易二次診断調査で吐出能力調査を行う際には、検定を適切に受けている等一定の精度を有した圧力計を用いることがいかに重要であるかを再認識させられるものであった。

また、その他特筆すべき点としては機能保全計画の立案において、全面更新以外の部分改修の可能性やその方法について検討し、実施可能な部分改修を含めた機能保全コストの比較を行い、最適な整備計画を提案したことである。その結果、主ポンプについては、ケーシングの腐食・摩耗の程度がわずかであったことを反映して、20年後の整備においても主ポンプのケーシングの補修を見越して継続利用する計画としている。かんがいポンプの場合は、他地区での実績からケーシング内も摩耗や腐食量が小さいことが言われており、今回と同様の手法による更新計画は他地区にも適用可能と考えられる。

本業務で提案された新技術としては、主ポンプのケーシング補修工法である「主ポンプ内面に対する特殊コーティング」と「振動値のFFT解析」が挙げられる。「特殊コーティング」とは、20年後に予定しているケーシング内面の劣化抑制対策であるが、主ポンプのケーシング内面や羽根車をセラミックやナイロン、

ガラスフレーク配合ポリエステル樹脂、特殊改造型不飽和エステルジン等で被覆する方法であり、現時点では民間の石油プラントや船内ポンプ等で多くの実績がある工法である。本工法を採用することにより、ケーシングや羽根車の摩耗や腐食を抑制する他、ポンプ効率を5～15%向上させることによって運転経費の節減も期待できる。本工法の工事費は、横軸両吸込渦巻きポンプφ300の場合で約2,000千円と比較的安価であり、今後主ポンプのオーバーホールによる延命整備の際に有効と考えている。更新を計画している他のかんがい用ポンプにおいて、ライフサイクルコストを縮減できる有効な整備方法の1つに挙げられると考える。

また、本業務では、ポンプ設備の振動調査について、全振幅値の他、振動の速度、加速度を測定し、周波数（FFT）解析を実施したので紹介する。振動の発生要因は、振動数が回転数と一致しているか、回転数の倍数と一致しているか、その他規則性があるか、不規則かによって大まかに分類されるが、FFT解析とは、測定した振動データから振動の周波数特性を評価するものであり、主ポンプにおいては、振動の発生要因（回転体のアンバランス、軸受けの摩耗、キャビテーション等）をポンプの分解なしで推定できる技術である。振動の周波数を継続的に測定しその変化を把握できれば、振動の主要因が早期に発見でき、異常箇所に対するピンポイントでの対応が可能となると考える。

今回の調査では、異常な振動は確認していないが、今回の観測記録を初期値として、数年後調査結果と振動特性を比較することにより、主ポンプ内部のどの部位に異常が生じているのか、分解せずに推定することができる有効な調査方法であることから、今後も活用して行きたい。

JR鹿児島本線下の農業用水路(サイホン)改修

薄 鍋 貴 幸*
(Takayuki USUNABE)

目 次

1. はじめに	62	4. 考察	66
2. 目的	62	5. 終わりに	68
3. 工法の検討	63		

1. はじめに

九州新幹線がH23年3月12日開通した。博多～鹿児島中央を1時間19分で走る。交通の利便性が飛躍的に向上したのは言うまでもない。

これからの九州の発展に欠かせない存在になった。私が住んでいる福岡県筑後市にも「筑後船小屋駅」ができた。

新幹線を利用して、あちこち旅行でもいってみようかと夢が膨らむ。

さて、今回私が担当した工事は、この九州新幹線の真下を通る、農業用水路の改修である。

新幹線開通へ向けて、急ピッチで工事が行われていた時期である。

2. 目的

改修する農業水路は、昭和39年3月に完成した。実に、45年の時を経て現在も、農地に水を送り続けている。

しかし、本管の老朽化は否めず、早急に改修し、水路の延命処置をする必要があった。ただ、前述のとおり、新幹線開通工事と同時期に工事を行うこと。また、在来線運行の安全確保など、調整・協議など幾度となくおこなうことになった。



改修前 サイホン内写真1



改修前 サイホン内写真2

*福岡県朝倉農林事務所 (Tel. 0946-22-2740)

写真で見ると、部分的にモルタル補修した箇所がわかる。これは、骨材等が露出し、漏水を防ぐために補修されたものである。45年間こうやって地元は用水の維持管理をおこなってきたのである。

サイホン自体も45年経過し耐力の低下も考えられる。

それらをふまえ

- ①管内面の再構築
- ②漏水防止
- ③補強効果

その3点を改修目的とした。

3. 工法の検討

本来なら管（サイホン）の新設を行うのがベストである。

しかしながら、鉄道敷下において開削工事を行えるはずもない。

現場を初めて訪れた際一番おどろいたのは、その運行本数の多さである。九州の主要鉄道であることは当然だが、とにかくひっきりなしに列車が通って行く。

幹線鉄道なのであたりまえと言えばあたりまえなのだが……。

工法については、目的にあげたように、「管内表面の再構築」・「漏水防止」・「耐力の回復」その3項目をクリアする方法を検討した。

検討を行い、候補は4つ上がった。

(1) 鞘管工法

- ①管内面の再構築

粗度係数が改善される。

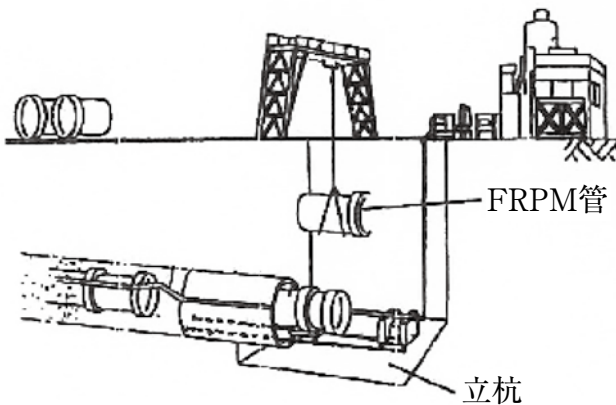
既設管の流量と同等以上の機能発揮

- ②漏水防止

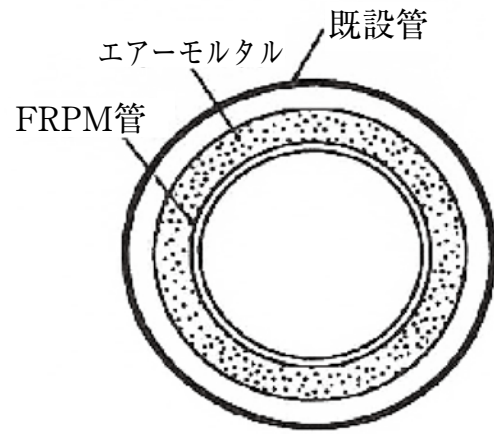
既設管内側へFRPM管が挿入されるため漏水を防げる

- ③補強効果

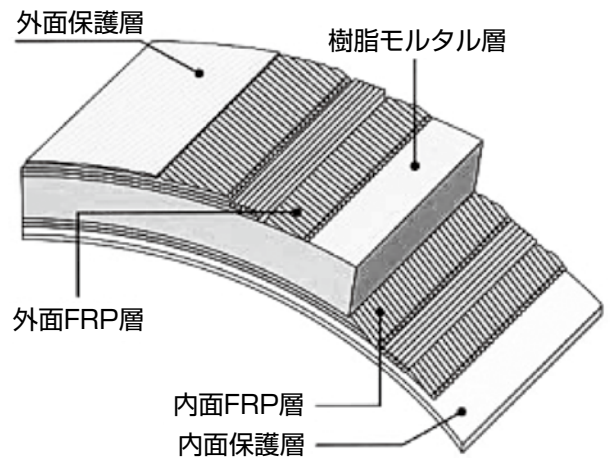
既設管の強度とほぼ同等である。



施工概要



断面図



形状

(2) 形成工法

- ①管内面の再構築

粗度係数が改善される。

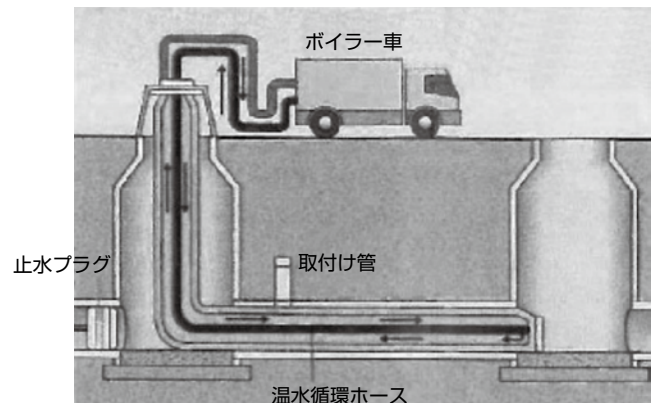
既設管の流量と同等以上の機能発揮

- ②漏水防止

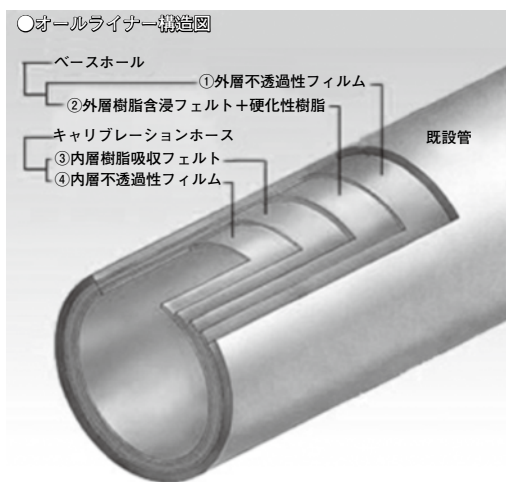
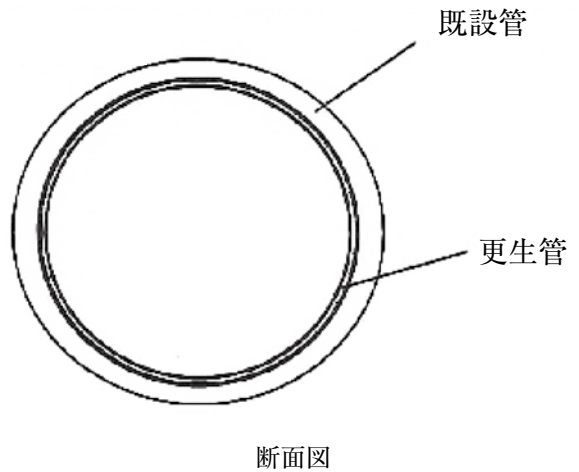
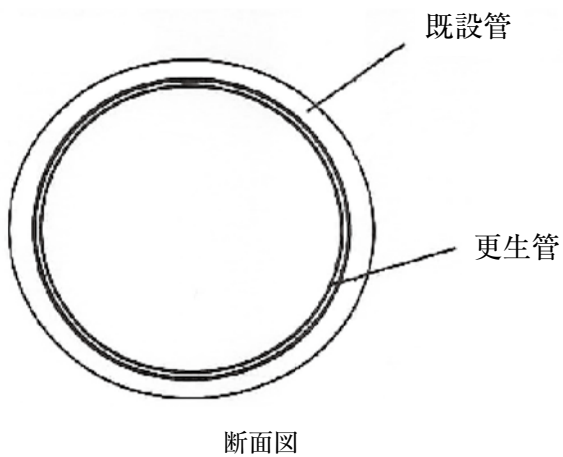
ライナー挿入により漏水を防げる。

- ③補強効果

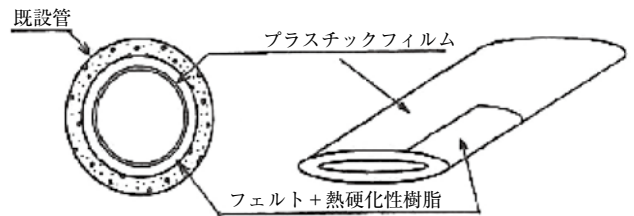
ライナーの厚みを大きくすれば、効果を発揮できる。



施工概要



形状



形状

(3)反転工法

①管内面の再構築

粗度係数が改善される。

既設管の流量と同等以上の機能発揮

②漏水防止

ライナー挿入により漏水を防げる。

③補強効果

ライナーの厚みを大きくすれば、効果を発揮できる。

(4)製管工法

①管内面の再構築

粗度係数が改善される。

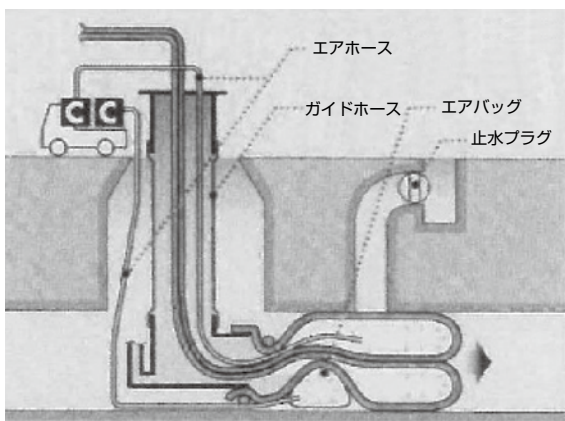
既設管の流量と同等以上の機能発揮

②漏水防止

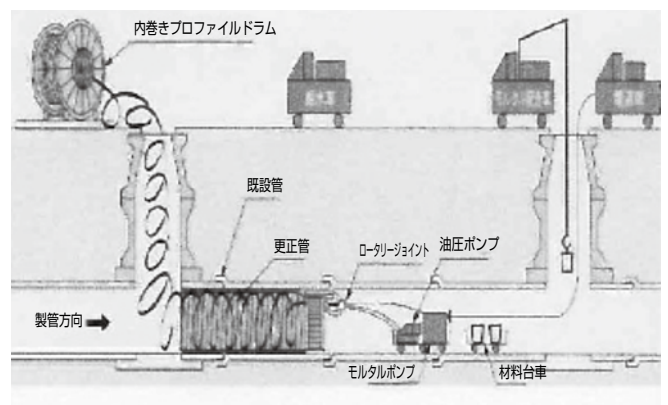
更生管単独で水密性あり。漏水を防げる。

③補強効果

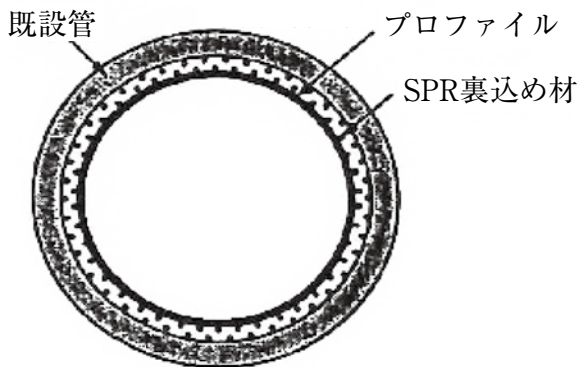
管強度の復元ができる。



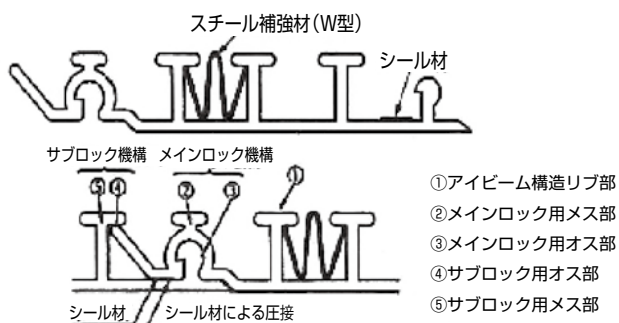
施工概要



施工概要



断面図



形状

いづれの候補も「管内面の再構築」, 「漏水防止」, 「補強効果」の条件を満たした。そこで, 現場の条件を加味して最も適している工法を採用しようと考えた。

現地状況を考えると……。

新幹線開通に向けて急ピッチで工事が進行している。

在来線の運行本数も多く, 工事期間の短縮を考えなければならない。

市街地であり, 周辺の住民の生活環境も配慮しなければならない。(騒音, 振動等)

それらの条件をクリアできる工法はこの製管工法であった。



この工法で一番関心を惹いたのが, 「既設管の耐力復元」である。

以下資料を用いて説明する。

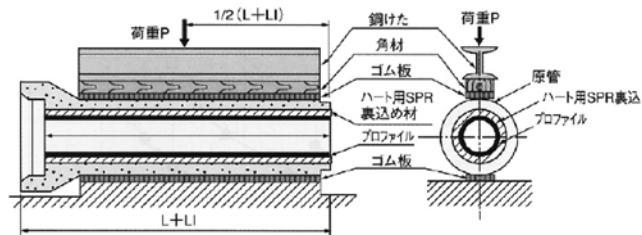


図-1 試検方法

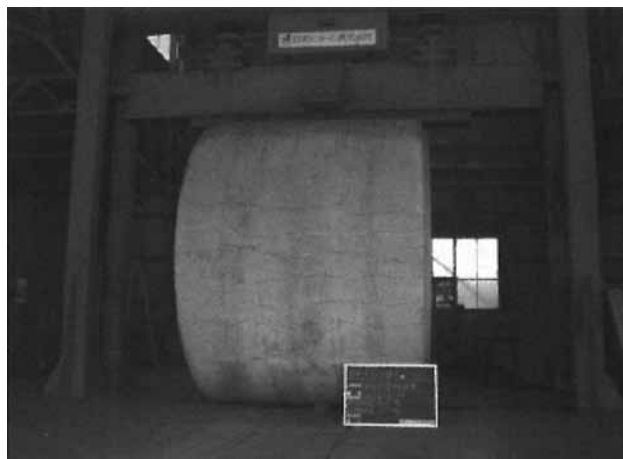


図-2 試検状況

表-1 試検結果

破壊荷重 (KN/m)		
①新管の JIS 破壊 荷重規格値	②新管の 破壊荷重試験値	③複合管の 破壊荷重試験値
65.8	115.7	122.0
	119.0	141.4
平均	117.4	131.7

表-2 破壊比重比

破壊荷重比		
②/①	③/①	③/②
1.78	2.00	1.12

上記はφ1,100 (B型1種) の鉄筋コンクリート管を用いて破壊試験を行ったものである。(JISA5303 遠心力鉄筋コンクリート管外圧試験)

試験フロー

- ①新管へJIS破壊規格荷重（65.8KN/m）の負荷をかける。

↓
異常なし

- ②更に破壊地点まで荷重をかける

↓
(平均) 117.4KN/mで破壊。

- ③破壊された鉄筋コンクリート管へ製管工法にて更生を行う。

- ④更生管に破壊地点まで荷重をかける。

↓
(平均) 131.7KN/mで破壊。

試験の結果なにがわかったか。

新管JIS破壊荷重 < 更生管破壊荷重
(65.8KN/m) (131.7KN/m)

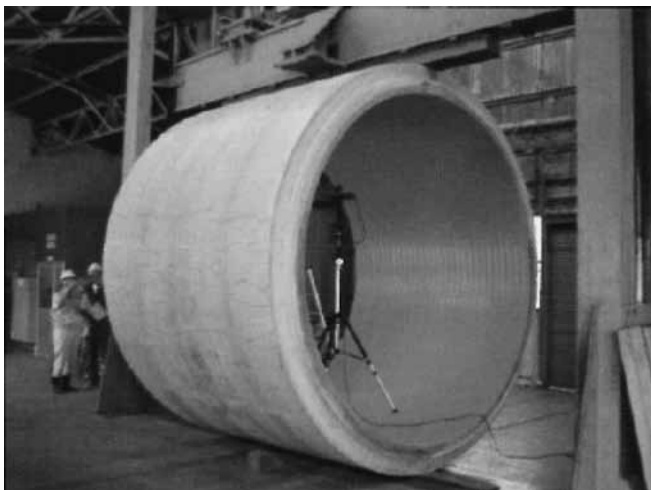
- * 更生管は新管JISより2倍の破壊強度を持つ。

新管破壊荷重 < 更生管破壊荷重
(117.4KN/m) (131.7KN/m)

- * 更生管は新管JISより1.12倍の破壊強度を持つ。

旧管の更生としてこの耐力の復元は、決定する大きな要因となった。

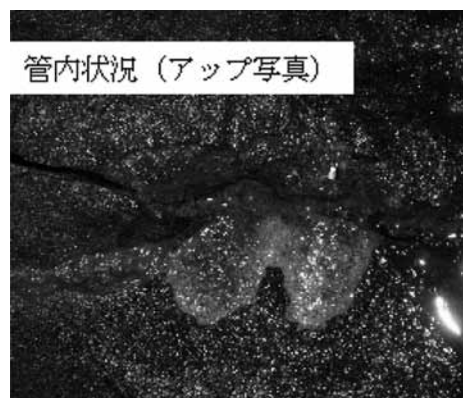
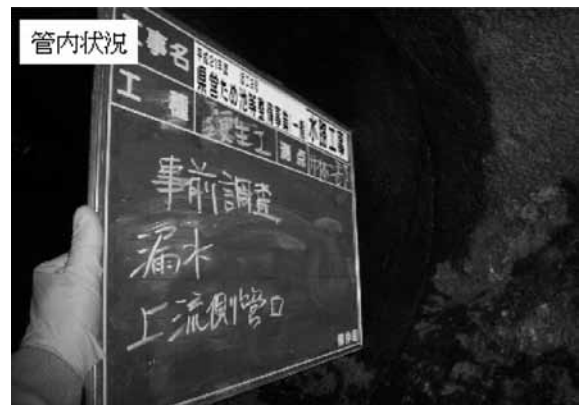
参考文献：ハート SPR 工法技術資料
日本 SPR 工法協会発行



4. 考察

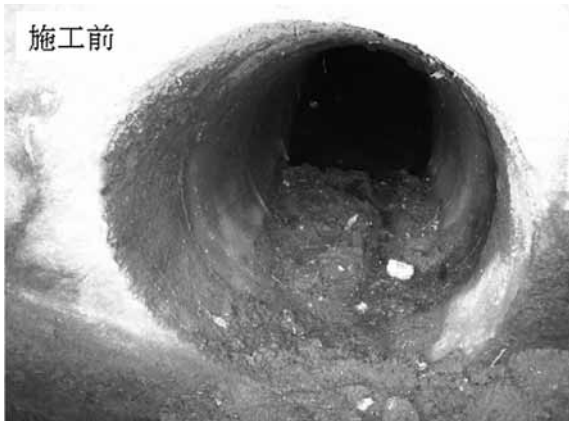


現場状況をもてもらうと、JR本線の真下を用水管が通っているのがおわかりだろうか。写真左手が上り線、右手が下り線となる。以下施工フローにて説明をする。



写真のとおり、45年間使用されてきた用水管はところどころヒビが見られる。

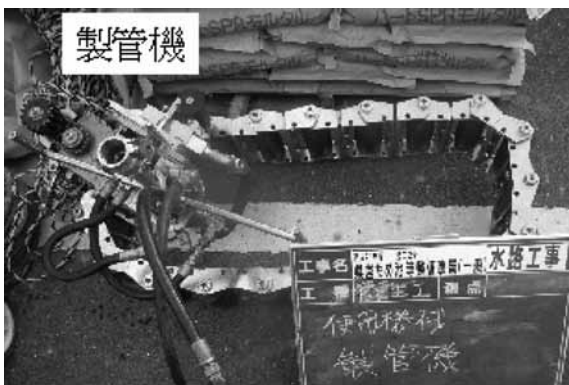




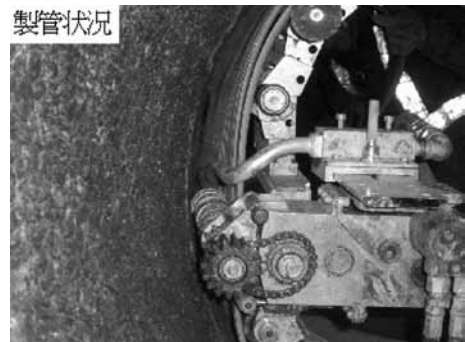
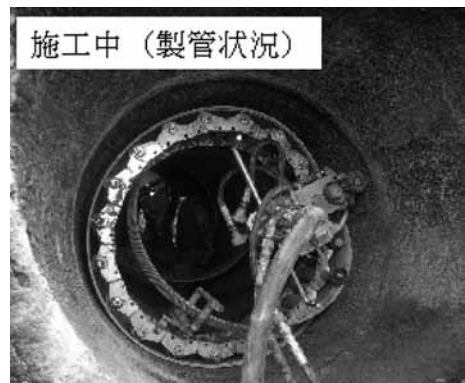
見ると土砂が堆積しているのがわかる。これも通水を阻害していた一因である。



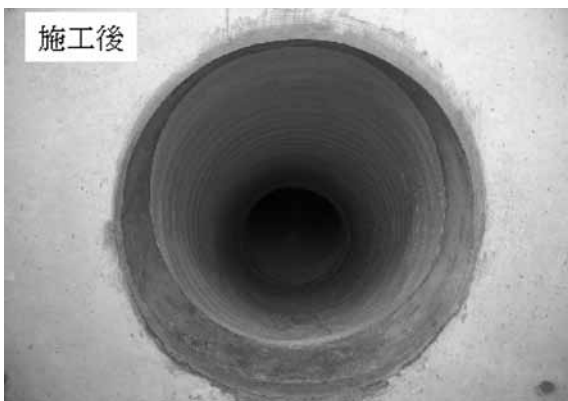
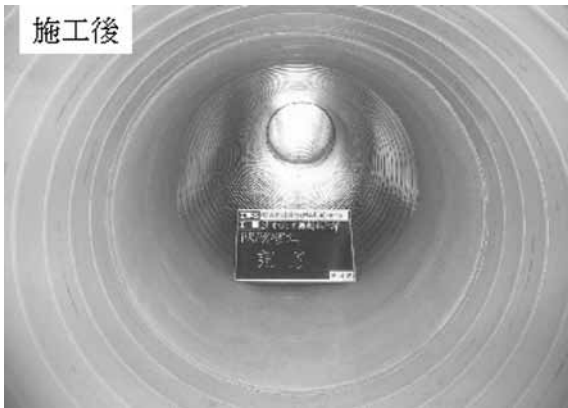
堆積した土砂を取り除き、管内の洗浄をおこなう。



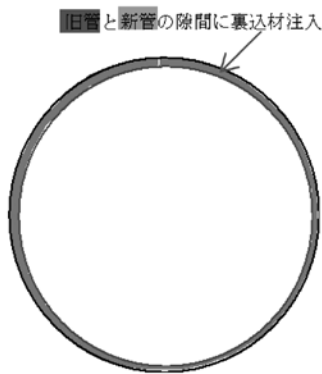
製管機を用いて、材料（プロファイル）を巻き付けていく。イメージするならばトンネルの推進工法に似ている。



材料（プロファイル）を製管機で巻き付けている。機械が円形に沿って回転し、ゆっくりと推進していく。



製管後、旧管との隙間をうめる。



項目	裏込材
比重	1.90以上
圧縮強度	(材齢7日)20N/mm ²
圧縮強度	(材齢28日)35N/mm ²
非拡散性	良好
耐酸性	良好
使用骨材	けい砂
特徴	1.硬化後の耐久性に優れ、安定した強度が得られる。 2.水に溶けにくく、粘性が高いため液だれしない。 3.注入後、硬化収縮がなく、既設管と付着一体化する。
荷姿	フレックス粉体20kg紙袋、エマルジョン18ℓ缶

以上の工程で完成である。内面はきれいな緑色をしている。完成後、内部の状況を確認しようとして中に入ろうとした。その直後、あまりにもツルツルして、あやうくサイホン内にすべり落ちそうになった。身をもって粗度係数の改善を体験できた。

(ちなみにこの材料色は農業用水をイメージして、緑色に決めたとのこと：メーカーより)

5. 終わりに

工事期間も製管に要した日数は7日ほどである。管内の製管（製管機で材料巻き付け）には、実質3日くらいだった。

JR軌道下の工事ということで、心配していた。しかし工事はアツといまにできてしまった。（これは自分の感じ方）

無事に工事完成し、仕事の喜びを感じた。もちろん、土地改良区理事の方々、住民、久留米市役所、JR九州、新幹線機構、そして施工に従事して下さった方、多くの方々のおかげである。

JRを使って博多、天神などへでかける。車窓から、この水路がみえる。そのとき「この下を工事したな」と余韻に浸り、いろいろな思い出が浮かびだす。

とてもよい経験をさせてもらったと感謝している。

先人が築いた印旛沼地域の礎を未来に

— 印旛沼の水利開発の歴史 —

古川 和夫* 佐藤 秀彦*
(Kazuo KOGAWA) (Hidehiko SATOU)

目次

1. はじめに	69	4. 先人が築いた礎を未来に	71
2. 水利開発の歴史	69	5. おわりに	72
3. 印旛沼手賀沼干拓事業～印旛沼開発事業	70		

1. はじめに

かつて“あばれ沼”と呼ばれた印旛沼は、周辺に住む人々にとって、暮らしを支える恵みの源であると同時に毎年のように洪水を引き起こし、生命と財産を脅かす存在であった。流域面積541km²、水面積約26km²の狭長な形状をなしている印旛沼(図-1)は、北部の長門川を通じて利根川に流出しているが、洪水時は利根川の遊水池と化し、加えて沼に流入する河川が氾濫して周辺の耕地のみならず、人命財産に甚大な被害を与えていた。その後、大正年間に安食地先に印旛水門が設置され、利根川からの逆流は阻止できたものの、沼の洪水は行き場を失い、周辺耕地の湛水被害が解消されることはなかった。



図-1 千葉県と印旛沼流域

一方、かんがい施設は貧弱で、足踏み水車や常溜からの引水など雨水に左右された不安定な営農を余儀なくされていた。このように印旛沼の湛水排除と用水対策は、周辺住民の悲願であったが、昭和21年度着工した国営印旛沼干拓建設事業によって大きく変貌し、県内でも有数な穀倉地帯として飛躍的な発展を遂げたのである。本稿ではこうした印旛沼地域の礎を築いた「先人の偉業」について紹介する。

2. 水利開発の歴史

印旛沼を巡る水利開発の歴史は古く、まさに「水との闘い」と言っても過言ではない。この「水との闘い」は、西暦1654年(承応3年)、江戸を水害から守るため、利根川の水流を江戸湾(現在の東京湾)から現在の千葉県銚子沖の太平洋に変えたことに端を発する。所謂、「利根川東遷」である。(図-2)この転流により、以後、印旛沼は利根川の洪水の調整池役を担うこととなり、過酷な水害の歴史を繰り返し、利根川上流から運ばれる土砂が増え、次第に湖沼化が進みW字型の独特な形状となった。(図-3)



図-2 利根川の東遷

* 関東農政局印旛沼二期農業水利事業工事課
(Tel. 043-483-4401)



図-3 大正10年頃の印旛沼

史実に残されている江戸時代の開発経緯を探ると、1724年（享保9年）、下総国郡平戸村の農民、染谷源右衛門らが沼水を検見川地先に疎通し新田開発を図るとした工事を始め、1786年（天明6年）幕府老中田沼意次の印旛沼開疎工事や1840年（天保11年）幕府老中水野忠邦による検見川開作工事を試みたが、いずれも資金難や政変等により治水工事は完成をみず、以降、昭和の初期まで水害に悩まされ続ける運命をたどる。

表-1 開発の経緯

着工年次	事業主体	代表者	挫折の理由
享保9年 (1724)	個人施行	染谷 源右衛門	資金難のため
天明3年 (1783)	幕府直轄	老中 田沼 意次	工事中の水害並びに老中の下野に伴い事業放棄
天保11年 (1840)	幕府直轄	老中 水野 忠邦	老中罷免により中止

明治以降、国又は県において種々の調査計画が行われたが、いずれも実現に至らなかった。抜本的な治水対策が進まない中で、地区内においては明治後期になると水利組合や耕地整理組合が組織化され、堤防の木造樋管を石造樋管に換えたり、蒸気排水機による内水排除も行われるようになった。1922年（大正11年）には長門川と利根川が合流する地点に印旛水門（安食水門）が完成し、利根川から印旛沼に逆流する外水が制御され、浸水被害が緩和された。

しかしながら、この水門によって利根川からの洪水は回避できたものの、印旛沼流域内での洪水、即ち「内水」による被害は治まらず、昭和13年、16年には、周辺耕地約5,000haが壊滅的な湛水被害を被ったのである。

そして、昭和18年に印旛沼・手賀沼沿岸の農民は、両沼の湛水を東京湾に排除するための疏水路開削を求め、嘆願書を東条陸軍大臣に提出し、本格的な直轄事業の事業化への足がかりとなった。

また、終戦直後の深刻な食糧難と帰農者対策という国家的社会事情も重なり、昭和20年の閣議決定に基づ

く緊急開拓事業の一環として、翌21年に国営印旛沼手賀沼干拓事業が着工した。



図-4 印旛沼手賀沼大規模開墾計畫書

3. 印旛沼手賀沼干拓事業～印旛沼開発事業

印旛沼と手賀沼の開拓と湛水排除を目的とした国営印旛沼手賀沼干拓事業計画が昭和21年11月樹立され、事業が本格的に実施されることとなった。

しかしながら、事業の長期化による財政上の問題、事業効果の早期発現、伊勢湾台風等異常気象を踏まえた基準雨量の見直し、工事計画の見直し、新たな用水需要への対応などが原因となって、事業計画は数度に亘って計画変更を余儀なくされた。以下にその内容を記す。

3-1. 当初計画

昭和21年11月に樹立された事業計画は、印旛沼と手賀沼の高位部の湛水を、それぞれ印旛承水路と手賀沼承水路に集めて平戸地点で合流後、印旛疏水路により検見川先の東京湾に排除する計画であった。これにより、計画排水量の60%を自然排水し、自然排水できない40%は木下機場と安食機場で利根川に機械排水する計画とした。（図-5）

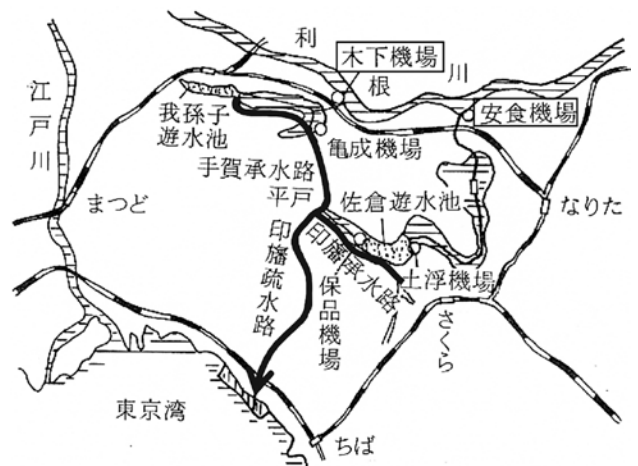


図-5 当初計画概要図

3-2. 第一次改訂計画

印旛疏水路の用地買収が難航し、昭和28年に至っても疏路上流部手賀沼承水路の一部掘削と隣接する平戸干拓（造成田83.5ha）及び鹿島干拓（造成田56.5ha）の工事が行われたのみであった。そこで 事業目的を早期に達成するため、印旛、手賀両沼の一括排水を改め、分離するとともに、周辺既耕地の改良を含めた干拓土地改良事業として、それぞれ地元同意を得て、第1次改訂計画を昭和31年2月に確定した。（図-6）

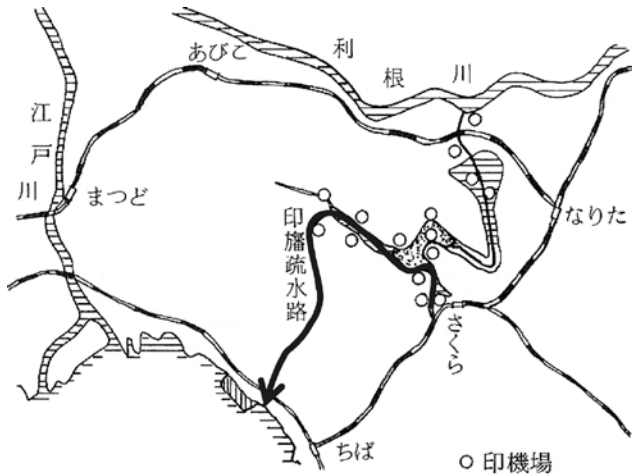


図-6 第一次改訂計画概要図

3-3. 第2次改訂計画

第1次改訂計画で定めた排水計画は、昭和34年、伊勢湾台風などの異常災害が発生したことから、基準雨量の見直しを余儀なくされた。また、印旛疏水路の土質が極めて悪く、大規模掘削に多大な経費を要するとともに自然流下では効果的な排水が期待できないことから、中間点の大和田に排水機場を設置する計画に変更した。

さらに、貯水量の増加を図るため、北部630ha、西部680haを調整池（合計1,310ha）とし、中央部は長さ7kmの中央干拓地を造成した。なお、北部調整池と西部調整池は印旛捷水路により連結するものとした。

（図-7）

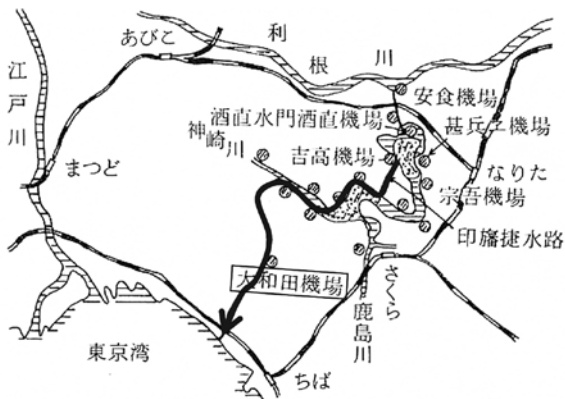


図-7 第二次改訂計画概要図

一方、京葉工業地帯の開発に力を注ぐ千葉県は、工業用水の確保のため、印旛沼を經由して利根川から新規利水するとした方針を打ち出し、本事業へ参加することとなった。これら、事業計画の変更にあたっては、幾度かの異議申立があったものの、昭和38年3月15日に確定をした。

3-4. 水資源開発公団への事業承継

我が国経済情勢の変化に伴い、新たな水需要に対応するため、水資源開発促進法が昭和36年11月制定された。

印旛沼干拓事業は「印旛沼総合開発事業」に名称を変え、干拓事業は水資源開発公団に委託され、付帯する土地改良事業は昭和38年4月、事業に承継されることとなった。

農林省直轄事業で投下された事業費は48億円、公団承継時の総事業費は第2次改訂計画において151億円として承継され、以降、物価変動等による事業費改定を行い昭和43年度に総事業費182億円で事業完了した。



写真-1 中央干拓地を望む

4. 先人が築いた礎を未来に

その後、時代の変遷とともに地域に多大な恩恵をもたらした農業水利施設も老朽化により用水需要の変化に対応できない状態となっており、農業生産を行う上で支障を来すようになった。

一方、昭和30年代に始まった流域の都市化によって生活雑排水等が増大し、その結果、水源である印旛沼は、水質が悪化し、湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼に指定された。現在、水質改善に向けた取り組みが流域全体で行われている。

4-1. 国営印旛沼二期事業

平成元年度、地元からの要望を受け、国営土地改良事業地区調査を開始した。平成9年度には全体実施設計に移行、紆余曲折を経て、全国初となる国営流域水質保全機能増進事業の制度を適用し、平成23年1月12日をもって事業計画が確定した。

本事業は、老朽化した農業用排水施設の再編整備を行い、低地排水路から揚水機場を経て末端水路まで

一貫した循環かんがい施設を整備することにより、反復利用を強化し、農業用水の安定供給、排水不良の改善及び維持管理費の軽減を図るとともに、併せて関連事業による区画整理を実施することによって、農業生産性の向上と農業経営の安定に資するものである。

更に、これらの取組に併せて循環かんがいの実施と環境保全型農業等に取り組むことにより、農業用水の水質保全を図り、もって印旛沼の水質保全に資するものである。

4-2. 事業内容

(1)関係市町（4市2町）

千葉県成田市、佐倉市、八千代市、印西市、
印旛郡酒々井町、栄町

(2)受益面積 5,002ha（水田5,002ha）

(3)事業期間 平成22年度～平成33年度 （施設機能監視期間3年含む）

(4)主要工事計画

揚水機場 3カ所
用排水機場 3カ所
幹線用水路 2条 L=1.2km
幹線排水路 1条 L=1.1km
支線用水路 35条 L=51.7km

(5)国営事業費 332億円

(6)事業制度 国営流域水質保全機能増進事業

昭和28年6月10日に設立された印旛沼土地改良区は、国営印旛沼干拓土地改良事業の推進母体であったとともに戦後造成された農業用排水施設の管理を通して、地域の生業に多大な貢献を果たしてきた。

土地改良区設立後、まもなく60周年を迎えようとしている現在もなお、「水害の恐怖と用水の恩恵は未だに忘れることができない」という土地改良区役員の話聞く度に、これらを克服した土地改良事業の偉大さを痛感する。

国営印旛沼二期事業は、従来の施設更新に併せて循環かんがい施設の整備により、農業用水の水質保全のみならず、印旛沼の水質保全に資するという「流域水質保全機能増進型」の国営事業である。国営事業を着実に推進させ、先人の弛まない努力により築き上げた歴史的遺産を次世代に継承することが責務と考えており、皆様方のご支援とご協力を賜りますよう御願います次第である。

(引用・参考文献)

- ・印旛沼と土地改良設立30周年記念 印旛沼土地改良区
- ・印旛沼開発工事誌1969年3月水資源開発公団印旛沼建設所
- ・土地改良から農業農村整備へ -五十年の歩み- 千葉県

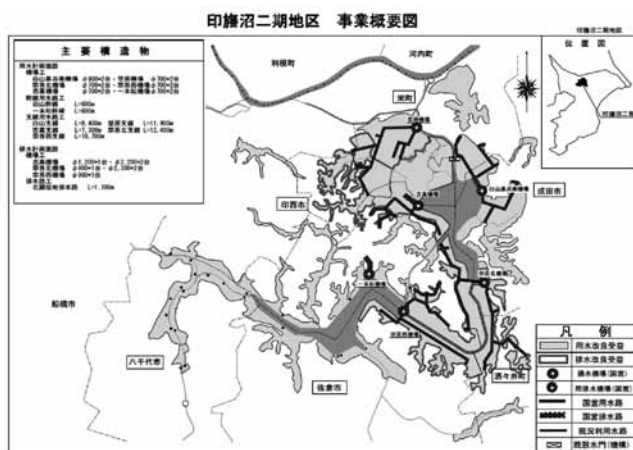


図-8 事業概要図

5. おわりに

幾多の困難と試練を乗り越え、長い歳月を経て完成した歴史的事業は、全国各地に数多く、関東においても栃木県的那須野原地区、千葉県の両総用水地区など多く存在している。

『印旛沼の水が我々の自由にできたらなあ!!』※

印旛沼周辺の農民が先祖代々、水害や干ばつに見舞われる度に一刻も忘れることのなかった「※」夢が印旛沼土地改良区設立趣意書に切実と記載されている。

電磁探査法を用いた地下水塩淡境界測定

石田 聡* 土原 健雄*
(Satoshi ISHIDA) (Takeo TSUCHIHARA)

吉本 周平* 今泉 眞之**
(Shuhei YOSHIMOTO) (Masayuki IMAIZUMI)

目次

1. 使用機器・測定条件	73	4. 島内の塩淡境界深度分布	75
2. 地下水塩淡境界とみかけ導電率の測定	73	5. おわりに	75
3. 測定した導電率と塩淡境界深度との対比	74		

島嶼部や沿岸域において地下水は、帯水層中の下部に海から浸入した塩水が分布し、その上部に淡水が分布する形態をとる。このような地域で地下水資源の利用可能量を算定するためには、帯水層中の塩水と淡水の境界深度（塩淡境界深度）を3次元的に把握する必要がある。一般に帯水層中の淡水域の厚さは、塩水と淡水の密度差により、地下水位標高に比例するとされる（Ghyben-Herzbergの式）。しかしこの式によって塩淡境界深度を地下水位測定だけで決定するためには、長期的な測定値が必要な上、降雨や潮汐による一時的な変動を取り除く必要があるため見積りが難しく、誤った結果を導やすい¹⁾。そのためには調査地域内に地下水をメッシュ状に設置する必要があるが、経済的・技術的に困難な場合が多く、観測孔での測定を補間する調査手法の確立が求められている。本報では物理探査の一手法である電磁探査法によって塩淡境界深度を推定する手法について紹介する。

1. 使用機器・測定条件

電磁探査法は電磁誘導現象を利用して地中の導電率構造を推定する物理探査法であり、電気探査法に比べて接地電極を使用する必要がないという利点を持つ。測定深度が数～数十mの場合、直径数十cm～1m程のコイルを送受信にそれぞれ1つずつ用いるループ・ループ法が用いられる場合が多い。本報では既往研究で最も使用実績の多いループ・ループ法の電磁探査装置であるカナダGeonics社製EM-34を用いる。図-1左は使用した機器類、図-1右は測定状況で手前が受信コイル、奥が送信コイルである。



図-1 電磁探査機器（左）・測定状況（右）

2. 地下水塩淡境界とみかけ導電率の測定²⁾

調査地とした多良間島は沖縄県多良間村に属し、沖縄本島那覇市の南西360km、宮古島と石垣島のほぼ中間に位置している。島の総面積は20km²で、標高十数mの低位段丘が広がり、地質は石灰質砂、石灰藻球、サンゴなどから成る層厚50～60mの石灰岩層が全域に分布する。

地下水は石灰岩帯水層中で塩水の上に淡水がレンズ状に浮く、いわゆる淡水レンズを形成している。島内には塩淡境界を測定できる地下水観測孔が設けられているとともに、地下水取水用の既存井戸が分布している（図-2）。ここでは塩淡境界が実測できる地下水観測孔7孔、および既存井戸12箇所において地下水位を測定するとともに、25℃換算電気伝導度（以下ECと呼ぶ）を地下水面から孔底まで深度1m毎に、塩淡境界付近では0.5m毎に測定した。

* 農研機構農村工学研究所農村総合研究部
(Tel. 029-838-7200)

** 農研機構農村工学研究所農村環境部
(Tel. 029-838-7505)

地下水観測孔におけるEC深度別分布は図-3左に示すように、地下水面から一定深度まで淡水が分布し、その下部にEC値が海水の値まで漸増する汽水域が形成されている。ここで塩淡境界を海水と淡水の中間のEC値2,000mS/mとすると、塩淡境界標高は図-3左の点線で示す位置となる。既存井戸では井戸内に塩水を浸入させないため、井戸底の標高は汽水域より高くなっているため塩淡境界標高は特定できない(図-3右)。

電磁探査は地下水観測孔、既存井戸と同じ地点で実施し、コイル配置は水平ダイポールモード(2つのコイルを地面と垂直な平面に並べる配置)とした。EM-34は1地点につき10, 20, 40mの3通りのコイル間隔(コイル間の距離)での測定が可能であり、それぞれ見かけ導電率を10回測定し平均値を求めた。

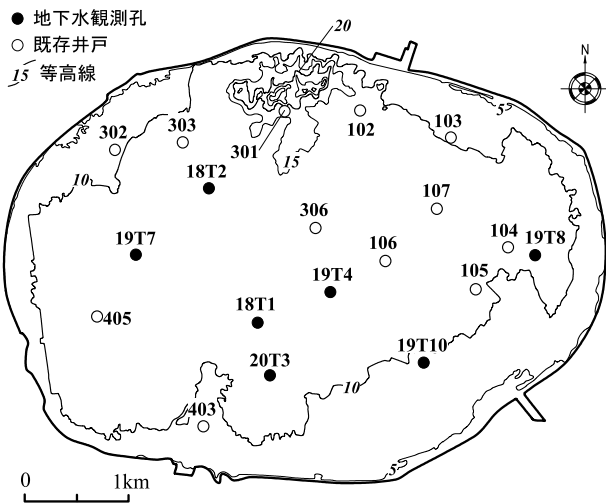


図-2 調査地点位置図

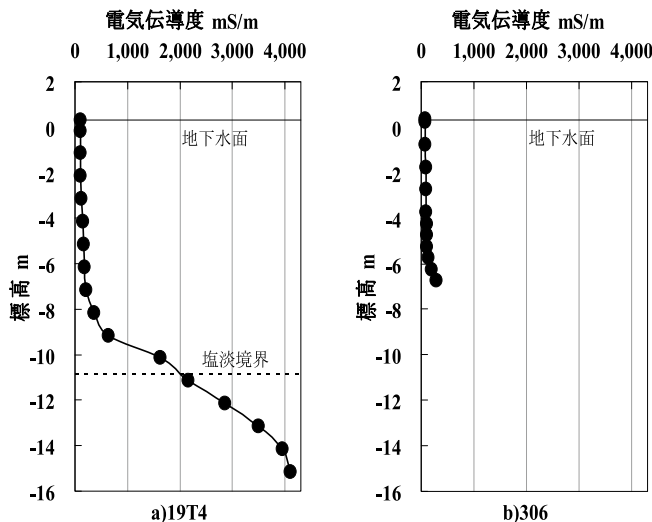


図-3 EC測定結果例(左:観測孔, 右:既存井戸)

3. 測定した導電率と塩淡境界深度との対比²⁾

表-1(左)は各測定地点におけるコイル間隔別の電磁探査結果(見かけ導電率の平均値)である。ここで、電磁探査によって得られる地盤の見かけ導電率に影響を及ぼす要素は、地質構造が同一のフィールド内では地下水位と塩淡境界深度であるが、今回の調査地では、地下水位は場所によって大きく変化しないので、見かけ導電率に最も大きな影響を及ぼす要素は塩淡境界深度であると考えられる。

図-4に、それぞれのコイル間隔によって得られた地盤の見かけ導電率と、地下水観測孔で測定した塩淡境界深度との関係を示すが、いずれのコイル間隔においても両者は負の相関を示す。相関係数はコイル間隔が長くなるほど大きくなり、コイル間隔が20m, 40mの場合 $R^2=0.92$ と非常に高い。これに対してコイル間隔が10mの場合は $R^2=0.36$ となり有意な相関は認められない。これは、EM-34の水平ダイポールモードによる測定深度は、コイル間隔10m, 20m, 40mでそれぞれ7.5m, 15m, 30mとされており、コイル間隔10mでは探査深度が浅すぎて、深度14.5~23.6m以深の塩水域を検知することが出来ないためである。図-4において最も高い相関を示したのはコイル間隔40mの測定値である。得られた近似曲線(図-4)より、塩淡境界深度が未知の既存井戸12箇所について、コイル間隔40mのみ見かけ導電率から塩淡境界深度に推定した値を表-1(右側太字)に示す。表-1(右)にはそれぞれの井戸の深度も示している。換算した塩淡境界深度とそれぞれの井戸深度を比較すると、いずれの既存井戸においても換算した塩淡境界深度の方が大きい。このことは既存井戸内に塩淡境界が存在しないという実測結果と整合的である。

表-1 電磁探査測定によるみかけ導電率(左)と塩淡境界深度

観測地点番号	コイル間隔別見かけ導電率			塩淡境界深度(m)	井戸底(m)
	10m	20m	40m		
18T1	13.18	17.33	49.61	22.08	
18T2	4.45	13.90	50.38	22.41	
19T10	15.74	31.14	74.44	14.63	
19T4	8.38	14.31	46.60	23.71	
19T7	7.76	18.65	58.69	19.47	
19T8	10.76	31.30	80.37	15.49	
20T3	8.90	17.33	54.65	19.20	
102	29.89	26.60	52.17	21.20	12.9
103	20.66	29.87	65.98	17.55	10.8
104	18.15	29.28	71.82	16.20	11.0
105	13.53	23.88	64.29	17.96	13.5
106	9.77	16.69	42.22	24.30	17.8
107	11.66	17.13	51.88	21.28	13.7
301	11.49	17.08	45.57	23.20	15.6
302	12.82	35.94	92.42	12.21	10.0
303	13.53	22.28	61.11	18.76	12.3
306	5.14	10.13	41.69	24.47	21.0
403	11.08	40.50	86.51	13.24	9.0
405	9.10	25.55	76.10	15.27	9.9

単位:mS/m

太字は導電率からの換算値

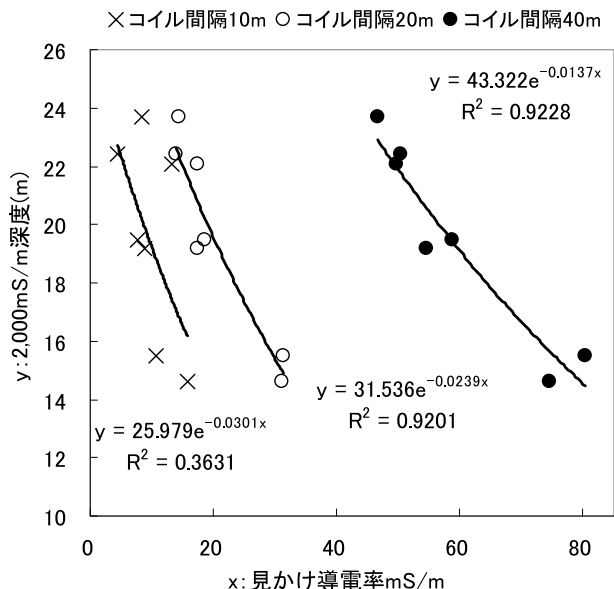


図-4 電磁探査結果（コイル間隔別見かけ導電率）と地下水観測孔で実測された塩淡境界深度

4. 島内の塩淡境界深度分布²⁾

図-5に観測孔での実測および電磁探査法による推定によって求めた地下水中の塩淡境界等標高線図および塩淡境界形状図を示す。塩淡境界は島の中央付近で-10mより深く、縁辺部ほど浅くなり、淡水域が島内にレンズ状に分布していることが分かる。

このように、地下水観測孔の数が限られている場合、電磁探査法を用いることによって、島内全域の塩淡境界深度分布を明らかにすることができる。一般に電磁探査結果の解析は、1地点で得られた複数のコイル間隔によるみかけ導電率を逆解析し、地盤中の導電率の層構造を求めるが、地下水中の塩淡境界は図-3で示すとおり明確な塩淡境界が存在せず、深度に応じて徐々に塩分濃度が高くなることが多い。また、塩水域が地表面に近い調査地では長いコイル間隔での測定そのものが出来ない場合がある³⁾。本報で用いた、単一のコイル間隔による測定結果より塩淡境界深度を推定する手法は、より幅広い現場条件で使用可能であると考えられる。本手法を適用する場合、コイル間隔が大きくなるにつれて対応する測定可能深度は深くなるが、見かけ導電率と塩淡境界深度との相関性は地質状況や地下水質にも左右されるので、適用するコイル間隔はそれぞれの現場において最適なものを求める必要がある。

5. おわりに

本報告では、電磁探査によって測定した地盤のみかけ導電率と地下水の塩淡境界深度と間には高い相関があり、近似曲線を作成することによって、コイル間隔を変化させることなく任意の地点の塩淡境界深度を推

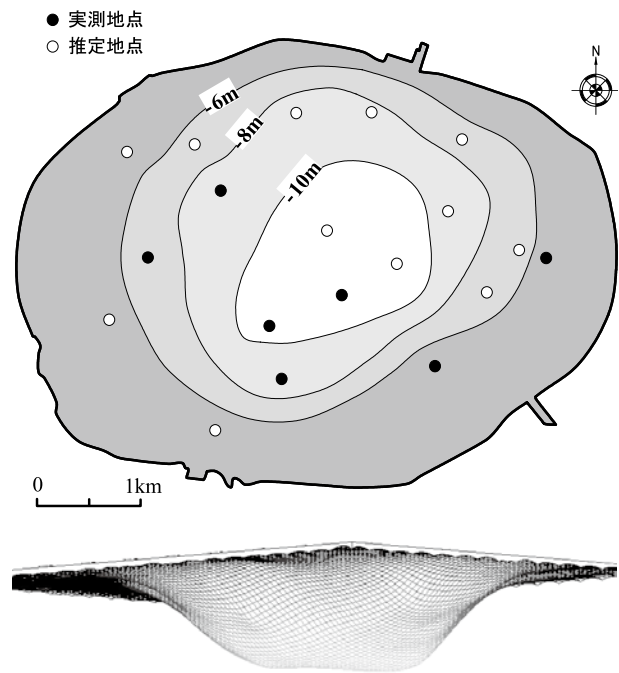


図-5 塩淡境界等標高線図（上）および塩淡境界形状図（下）

定することができ、効率的な調査が可能となることを示した。本技術は石灰岩が分布する地域において、島嶼における淡水レンズ水資源賦存量調査や、沿岸部における塩水浸入状況調査などへの活用が期待される。

謝辞

本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術の開発」（45150）、及び科研費（21580303）の支援を受けて実施した。また現地調査にあたっては内閣府沖縄総合事務局農林水産部土地改良課白旗企画指導官、沖縄総合事務局土地改良総合事務所、多良間村役場むらづくり課にご協力頂いた。関係各位に感謝の意を表す。

引用文献

- 1) Schneider C. James and Kruse E. Sarah : A comparison of controls on freshwater lens morphology of small carbonate and siliciclastic islands : examples from barrier islands in Florida, USA, J. hydrol, 284 ; 235-296, 2003
- 2) 石田 聡・土原健雄・吉本周平・皆川裕樹・増本隆夫・今泉真之：沖縄県多良間島における淡水レンズ形状，農村工学研究所技報，210；1-10，2010
- 3) McNeill, J.D. : Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers, Geonics Limited Technical Note, TN-6 ; 5-15, 1980

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23年度の年会費は2,300円です。なお、別紙のPR版を作成しましたので会員の勧誘に活用いただければ幸いです。

2. 報文投稿の募集

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

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

農業土木技術研究会 会員の募集

1. 発足40周年を迎えた「農業土木技術研究会」

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

〈農業土木技術研究会の変遷〉

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

2. 技術力向上に資する「農業土木技術研究会」

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

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

3. 会員が支える「農業土木技術研究会」

本研究会の活動は、皆様の年会費によってまかなわれています。

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

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

申し込み様式は以下を参考にして下さい。

入会申し込み

平成 年 月 日

私は農業土木技術研究会に入会します。

氏名： _____

職場・所属： _____

職場住所（会誌送付先）：〒 _____

電話番号： _____

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

投稿規定

1. 原稿には次の事項を記した「投稿票」を添えて下記に送付すること。

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

2. 「投稿票」

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

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

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

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

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

※データと違いがないかをプリントアウトした原稿で必ず確認すること。

6. 写真・図・表は本文中の挿入個所を明確に指定しておくこと。

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

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

たとえば,

C, K, O, P, S, U, V, W, X, Zの大文字と小文字

O (オー) と 0 (ゼロ) a (エー) と α (アルファ)

r (アール) と γ (ガンマ) k (ケイ) と κ (カッパ)

w (ダブルユー) と ω (オメガ) x (エックス) と χ (カイ)

l (イチ) と 1 (エル) g (ジー) と q (キュー)

E (イー) と ε (イプシロン) v (ブイ) と ν (ウプロシン)

など

9. 分数式は2行ないし3行にとり余裕をもたせて書くこと。

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

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

12. 投稿の採否, 掲載順は編集委員会に一任すること。

13. 掲載の分は稿料を呈す。

14. 別刷は, 実費を著者が負担する。

「水と土」通信

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（163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

「彼らには権勢欲とか名誉欲などはかけらもなかった。祖国を憂う貴い熱情があるだけだった。」この言葉は、フランスの作家、冒険家、政治家のアンドレ・マルロー氏（1901～1976）が神風特別攻撃隊に対して語った言葉です。

次に、今回の大震災後のツイッターへの書き込みを一つ紹介します。「（交通機関がストップしたため）何時間も歩き続けてきたんだけど、至る所でトイレ貸しますとか、休憩できますとか言うビルや飲食店が沢山あって感動しました。とある企業ビルの人がボランティアで、〇〇線運転再開ですー！とか、休憩できますー！！って呼びかけてるの見て感動して泣きそうになった。日本も捨てたもんじゃないな。」

戦争と未曾有の大震災、共通するのは国家、国民の危機的な状況において、日本人が他者を思いやる行動をとっていることです。この非常事態に、日本人がどう立ち向かっていくのか？他者を思いやり、一人一人が自分のできることに対して全力を尽くすことだと思います。

私も今一度自分を省みて、自分にできることに対してこれまで以上に全力を尽くしていこうと思います。

（財）日本水土総合研究所 高石洋行

水と土 第163号

発行所 〒105-0004 東京都港区新橋5-34-4

農業土木会館内

印刷所 〒161-8558 東京都新宿区下落合2-6-22

農業土木技術研究会

TEL 03(3436)1960 振替口座 00180-5-2891

一世印刷株式会社

TEL 03(3952)5651

ダイプラハウエル管 (高耐圧ポリエチレン管)

φ300~3000

経年劣化が少ない材料により長期寿命を実現!

外圧に強い中空リブ構造で高盛土にも適応!

柔構造物なので軟弱地盤でも適応!

コンクリート基礎不要で工期短縮が可能!

公的機関への認可

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

農業用水のパイプラインに!

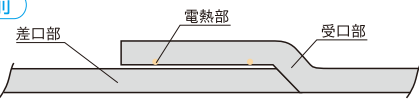
管路の一体化による継手部の信頼性!

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

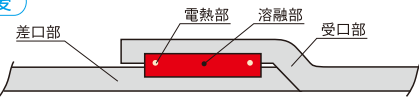
常用使用圧力	0.50 MPa
--------	----------

EF継手 (エレクトロフュージョン)

通電前



通電後



内圧用ダイプラハウエル管



農道下横断管に!

耐圧強度が大きく、
高盛土下に
埋設可能!

カルバート工
として
実績豊富!



ため池の底樋に!

柔軟性に優れ、
地盤沈下にも
対応!

柔構造樋管
として
実績豊富!



ダイプラハウエル管

大日本プラスチック株式会社

本社: 〒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.06-6453-9270 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