

水と土

No.148
2007

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



疏水のある風景「西の湖 水郷 安土地区（滋賀県近江八幡市）」

農業土木技術研究会



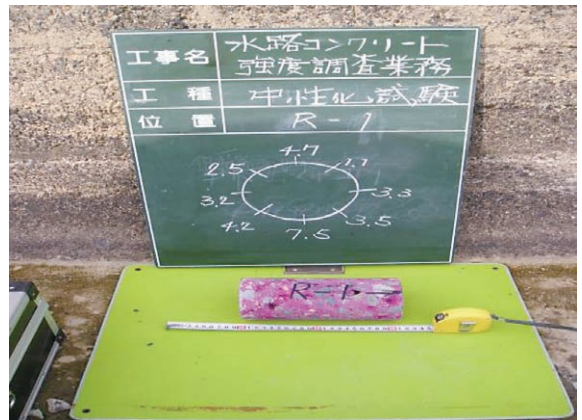
シュミットハンマーのテストアンビルによる検定



コンクリートカナによる研磨状況



研磨終了後フェノールフタレイン溶液による
中性化試験



コンクリートコアによる中性化試験



デジタルノギスでの研磨深さ測定



反発度の測定

衝撃弾性波法による中小口径管(ACP,φ600mm)の機能診断事例(本文60頁)



設置状況 (テレビカメラ)



設置状況 (検査ロボット)



管内走行状況



オペレーション状況

犬山頭首工補修工事における水叩部耐摩耗板の設計・施工(本文69頁)



犬山頭首工全景



耐摩耗板据付



後片付け (施工後)

伊豆沼・内沼周辺における小規模水田魚道の遡上実験に基づく設計(本文81頁)



波付き角形U字溝



遡上状況



加美町 排水路法面 (1:2.0)
設置状況

リサイクル(3R)モデル工事への取り組み(本文94頁)



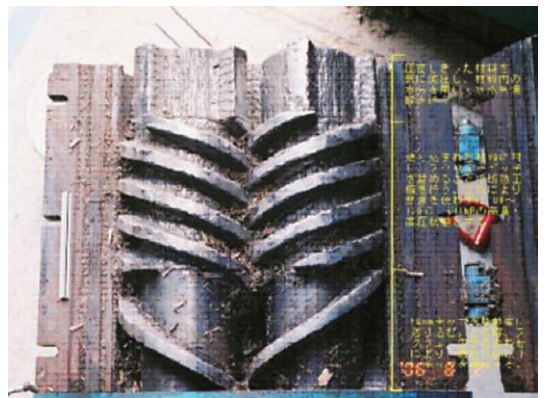
流木回収状況



チップ化

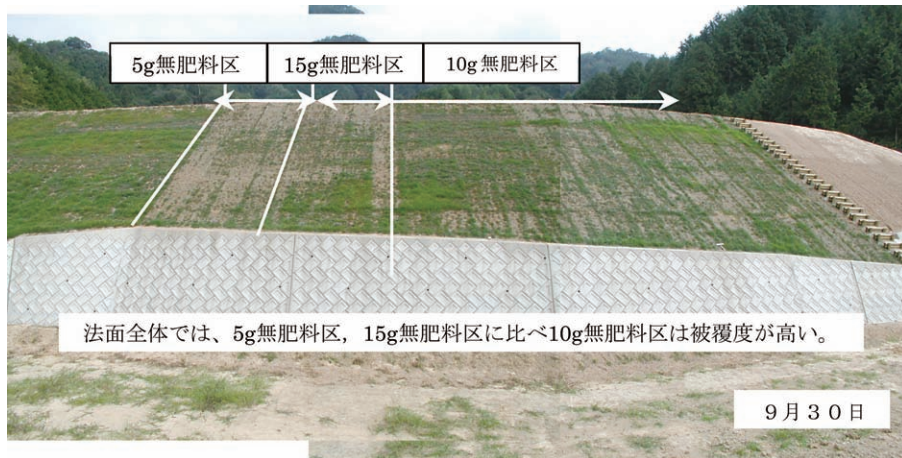


膨軟化状況



二軸スクリー

ため池法面管理の軽減を目指して(本文105頁)



生育最盛期全景



休眠期全景

大井手用水溝の歴史について(本文112頁)



「大井手と遊ぼう」(魚取り大会)



春の大井手用水

水と土

C o n t e n t s

2007 MARCH No.148

◆報文内容紹介 7

◆会員の皆様へお知らせ 9

□巻頭文

「なぜ？」から出発する勇氣

廣瀬峰生..... 11

□報 文

徳富ダムコンクリート打設計画

－超遅延剤を使用したワーカビリティの改善－

矢部知幸・雪田久史..... 13

富入沢ダムの設計施工管理

勝又亮一..... 20

曾於地域における間断散水による茶の防霜かんがい諸元策定に向けた検討状況の報告

吉村博人..... 27

大規模地震動に対する豊川用水盛土水路の耐震性能と照査手法の検討

高上昌也・笠井泰孝・細山田 真..... 38

機能診断のための非破壊試験法の課題と現場適用に向けた実証調査

－シュミットハンマーの有効利用に関する研究－

野口恵二・米山元紹..... 50

衝撃弾性波法による中小口径管（ACP、φ600mm）の機能診断事例

森下達士・大森康弘・藤田 茂..... 60

犬山頭首工補修工事における水叩部耐摩耗板の設計・施工

森田 昇・井口清光..... 69

高清水幹線用水路における通水試験の報告

浅利達朗..... 76

伊豆沼・内沼周辺における小規模水田魚道の遡上実験に基づく設計

三塚牧夫..... 81

粟生用排水路の多面的役割と水路改修計画

－調査編－

瀬川 学..... 90

リサイクル（3R）モデル工事への取り組み

吉村貴幸..... 94

老朽化ため池の統合整備について

今村大志..... 99

ため池法面管理の軽減を目指して

田邊 周..... 105

□歴史的土壌改良施設

大井手用水溝の歴史について

有田 齊..... 112

□技術情報紹介

平成18年度農業土木技術研究会研修会レポート

－「農業水利施設のストックマネジメント確立へ向けた取組」－

編集事務局..... 115

◆会告 124

◆入会案内 125

◆投稿規定 127

会員の皆様へお知らせ

会誌「水と土」の報文電子ファイル化・検索システムを整備しました。

「水と土（農業土木技術研究会会誌）」は、農業農村整備に関わる計画・設計・施工事例や技術的検討内容など、現場技術情報として有益な技術情報がたくさん収録されています。

今回、閲覧や報文検索対応の迅速化を図るため、会誌「水と土」創刊号からNo.140号までの報文を電子ファイル化し、簡易な操作で閲覧及びキーワード検索が可能となるよう検索システムを整備しました。

今後、会員の皆様からの報文検索等のお問い合わせにも、この検索システムを活用し、よりの確かつ迅速に情報提供して参ります。

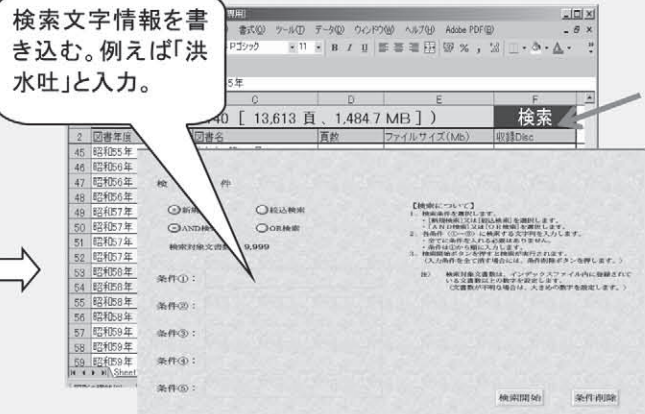
閲覧・検索手順は以下のようなイメージです

水と土DB

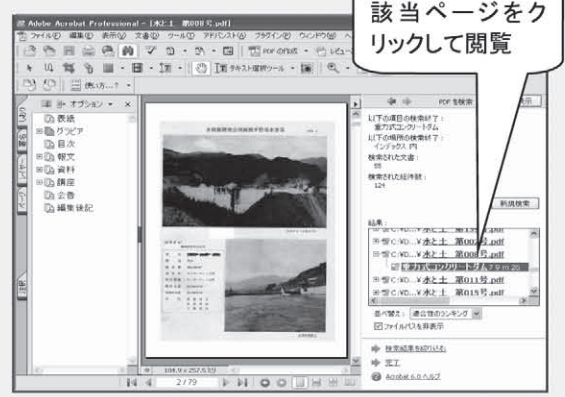
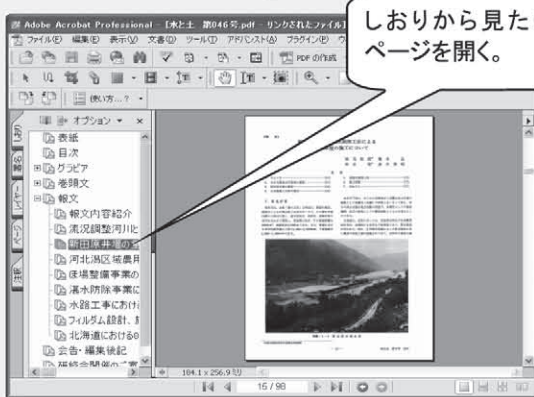
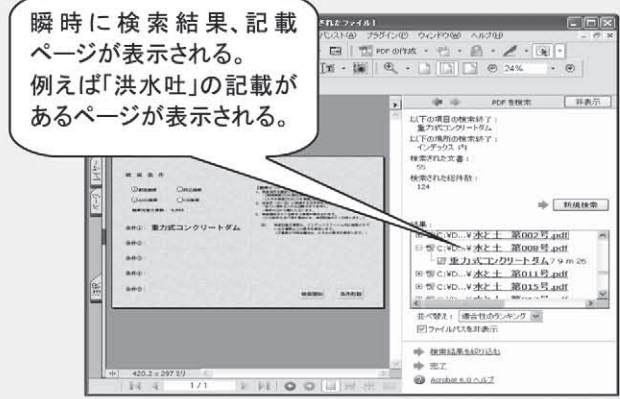
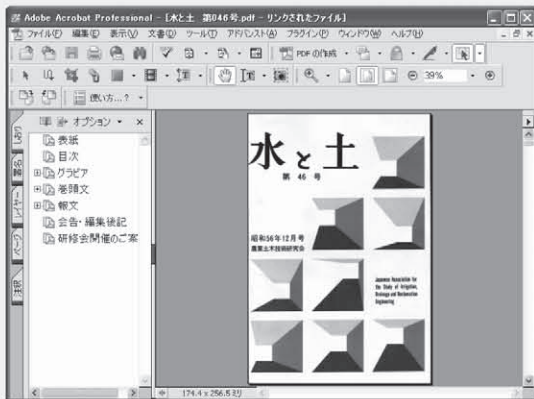
閲覧したい図書名をクリック。例えば100号をクリック。

回数年度	題名	頁数	ファイルサイズ(MB)	収録Disc
43	水と土 第043号.pdf	102	10.29	Disc 1
44	水と土 第044号.pdf	103	11.86	Disc 1
45	水と土 第045号.pdf	108	10.43	Disc 1
46	水と土 第046号.pdf	86	10.25	Disc 1
47	水と土 第047号.pdf	75	8.80	Disc 1
48	水と土 第048号.pdf	99	12.12	Disc 1
49	水と土 第049号.pdf	108	11.71	Disc 2
50	水と土 第050号.pdf	141	20.85	Disc 2
51	水と土 第051号.pdf	134	11.78	Disc 2
52	水と土 第052号.pdf	86	8.84	Disc 2
53	水と土 第053号.pdf	116	10.80	Disc 2
54	水と土 第054号.pdf	107	10.42	Disc 2
55	水と土 第055号.pdf	104	8.85	Disc 2
56	水と土 第056号.pdf	86	8.25	Disc 2
57	水と土 第057号.pdf	117	11.81	Disc 2

キーワード検索機能を付加



2次、3次検索と絞り込みが可能



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
 * 検索資料送付にあたっては実費を頂きます。

水と土 第148号 報文内容紹介

徳富ダムコンクリート打設計画 —超遅延剤を使用したワーカビリティの改善—

矢部知幸・雪田久史

徳富ダムは、樺戸（二期）地区の水源施設として石狩川水系徳富川上流に建設中のRCD工法を採用した重力式コンクリートダムである。徳富ダムの原石にはスメクタイト（粘土鉱物）を含有しており、過早凝結によるワーカビリティの低下が問題となり、超遅延剤を添加することによりワーカビリティの改善を図ることとした。

本報告では、RCDコンクリートのワーカビリティを改善するために実施した試験施工の結果について報告する。

（水と土 第148号 2007 P.13 設・施）

富入沢ダムの設計施工管理

勝又亮一

富入沢ダムは群馬県の中央部、赤城山の中腹に洪水時のピーク流量をカットするための防災ダムとして建設中である。

このダムの基礎には被圧地下水が確認されたため、基礎処理について設計上配慮した。

また、コストを縮減するため、堤体をローム材単体での盛土さらに土取場から直送するなど計画の見直しを行った。これら設計の概要と、ローム材単体盛土の施工管理について併せて報告する。

（水と土 第148号 2007 P.20 設・施）

曾於地域における間断散水による茶の防霜 かんがい諸元策定に向けた検討状況の報告

吉村博人

鹿児島県では現在、スプリンクラーによる茶の防霜が1,600ha余りで実施されており、その大多数は連続散水方式で行われている。管内でも防霜が1,200ha計画されていることから、間断散水方式に変更し施設規模の縮小と維持管理費の節減を図りたい。本稿では、ほ場での試験による間断散水のメカニズムの解明と、気象データを整理して防霜かんがい諸元を決定した経緯を紹介する。

（水と土 第148号 2007 P.27 企・計）

大規模地震動に対する豊川用水盛土水路の 耐震性能と照査手法の検討

高上昌也・笠井泰孝・細山田 真

大規模で発生確率の高い東海地震・東南海地震に対する幹線水路の耐震補強を行うに当たり、施設重要度と施設重要度に応じた定量的な耐震性能、耐震性能の照査法を体系的に整理した。

さらに施設毎の耐震性能の照査法として、液状化・非液状化を考慮した代表断面における動的FEM解析による地震時挙動を解析するとともに、静的解析法であるニューマーク法や静的FEM解析との相関性を解析し、地震時における盛土開水路の変状量を静的解析法により定量的に把握する簡易推定法を導いた。

（水と土 第148号 2007 P.38 設・施）

機能診断のための非破壊試験法の課題と 現場適用に向けた実証調査

—シュミットハンマーの有効利用に関する研究—

野口恵二・米山元紹

農業水利施設の更新事業において、構造物コンクリートの機能診断を非破壊試験法の一つである反発度法で実施している。しかしながら、長期供用後の農業水利施設に適用した場合、コア試験による強度と反発度から推定した強度の相違が大きいことが一般的に知られている。このため、簡単に現地調査で使用できる反発度法の有効利用のための実証調査を行ったところ、現場適用可能な結果が得られたので報告する。

（水と土 第148号 2007 P.50 企・計）

衝撃弾性波法による中小口径管 (ACP, φ600mm)の機能診断事例

森下達士・大森康弘・藤田 茂

香川用水地区では施設が造成後概ね30年を経過し、水路施設の劣化が進行していることなどから、平成15年度から施設機能診断調査を順次進めているところであり、平成17年度には中小口径管（石綿セメント管 [ACP], 600mm）において、弾性衝撃波法を活用した機能診断を実施した。振動波形の周波数分布（高周波成分比）より、管体の残存強度率を推定し、劣化要因を分析したところ、異常加重等を受けやすい道路下及び土被りの大きい区間で劣化が進んでいる実態が明らかになった。

また、石綿セメント管においても弾性衝撃波法による機能診断が有効であることが示唆された。

（水と土 第148号 2007 P.60 企・計）

犬山頭首工補修工事における水叩部耐摩耗板の 設計・施工

森田 昇・井口清光

S38年国営濃尾用水農業水利事業により構築された犬山頭首工の水叩部は、砂礫等の流下により、水叩表面が摩耗（最大400mm）し、必要部材厚の減少が生じている。その対策としてH10新濃尾農地防災事業により、S49年施設整備事業において設置された耐摩耗板（500mm×500mm）の現時点における経年変化を基に、耐摩耗板を改良（2000mm×1000mm）して設置した。改良した耐摩耗板の経年変化については、今後、継続的に調査し、効果を検証する必要があると考える。

（水と土 第148号 2007 P.69 設・施）

高清水幹線用水路における通水試験の報告

浅利達朗

青森県に位置する相坂川左岸地区は事業着手後、28年経過し平成18年度に完了を迎える。この間2回の計画変更を経て当初計画した高清水幹線用水路については取水源の位置変更並びに計画取水量の大幅な変更がなされ、工事施工は事業完了間近前の短期間のなかでパイプライン施工が完了した。

今回そのパイプライン区間で行われた通水試験における試験方法、試験時に生じた漏水並びに漏水対策等について報告する。

（水と土 第148号 2007 P.76 設・施）

伊豆沼・内沼周辺における小規模水田魚道の 遡上実験に基づく設計

三塚牧夫

ほ場整備で分断された水田-排水路間の水域ネットワークを再構築する「小規模水田魚道」の効果は既に実証されている。本実験は、安価で施工が容易な、木材、波付き丸型管、電線管、波付き角形U字溝、ベンチフリュームを材料とし、水田と排水路の落差が1.5mに対応する「小規模水田魚道」の開発、遡上実験である。平成15～18年の実験でドジョウ、メダカ等の遡上が確認でき、その有効性、実用化が可能となった。

(水と土 第148号 2007 P.81 設・施)

粟生用排水路の多面的役割と水路改修計画 -調査編-

瀬川 学

営農上の利水機能と「トミヨ」に代表される水生動植物の生息の場としての役割、そして「トミヨ」の保全活動を中心とした地域活動の拠点としての役割といった多面的役割を担う粟生用排水路において、水路改修が計画されている。

ここでは、本用排水路の特徴である湧水環境とそれを基盤として生息する水生動植物について、現地調査結果を中心に整理し、今後の改修計画に資するものである。

(水と土 第148号 2007 P.90 企・計)

リサイクル (3R) モデル工事への取り組み

吉村貴幸

リサイクル (3R) モデル工事とは、国土交通省、都道府県、政令市、公団等からなる「建設副産物リサイクル広報推進会議」の広内容である大迫ダム法面植生工事において、ダムに集積する流木を腐食促進し植生基盤材としてリサイクルするまでの、設計・施工事例を紹介する。

(水と土 第148号 2007 P.94 設・施)

老朽化ため池の統合整備について

今村大志

本ため池は、上池と下池とで構成されており、当初は水利慣行から上下2箇所のため池をそれぞれ改修することとしていたが、ため池の設置標高差が小さいこと、上流の上池の貯水量が少ないことから、上池を撤去して、下池1箇所に統合する計画に変更した。この結果、建設コスト、維持管理費用及び維持管理労力を大きく軽減することが出来た。

また、ため池改修の実施設計に際して、左岸地山部に漏水が発生していることが判明したため、左岸地山部の漏水対策が必要となったことから、漏水対策計画及び検討経緯についてまとめたものである。

(水と土 第148号 2007 P.99 設・施)

ため池法面管理の軽減を目指して

田邊 周

ため池法面の植生管理は、管理者の高齢化や担い手不足が進む状況の中で、従来、草刈機により年4回程度行われているが、重労働かつ危険を伴い、コンクリート等での法面保護は高価で、景観を損ねる。そこで、草刈労力の大幅な軽減・コスト縮減が可能で、浸食防止効果に優れたセンチピードグラス単一配合の植生シートをため池堤体法面に施工した結果、長大なため池堤体法面でも効果を十分に発揮できることが判明した。

(水と土 第148号 2007 P.105 設・施)

〈歴史的土壌改良施設〉

大井手用水溝の歴史について

有田 斉

戦国大名尼子氏の旧臣亀井茲矩公が鹿野城主として行った大井手用水溝開削の歴史、及び現在、大井手用水路を管理している「水土里ネットおおいで」が水路や自然を守って行くため取り組んでいるPR活動の状況を報告するもの。

(水と土 第148号 2007 P.112)

「なぜ？」から出発する勇気

廣瀬峰生*
(Mineo HIROSE)

学生時代、ダムの設計に関する講義で、「ハンドブックエンジニアになってはいけない」という教えを受けた。

かなりまじめにノートを取ったはずだが、30年以上も前の講義のことである。詳しい内容は覚えていない。ノートもどこかにいってしまった。しかし、この言葉は今なお鮮明に記憶している。

ハンドブックエンジニアとは、ハンドブックに書かれている事柄はよく知っているが、なぜそうなのかは知らない技術者のことである。

そのような技術者が仕事をした場合、ハンドブックが想定している条件に合う限りにおいては、一通りの仕事ができる。しかし、なにか外れたところに出くわすと、立ち往生することになる。

立ち往生するのはまだいい方で、条件の違いに気がつかず、そのまま設計・施工を進めてしまうことも多いだろう。

ハンドブックエンジニアとは、ハンドブックの文言を熟知しているが、内容を理解していない技術者と言いつてもいいかもしれない。

あらゆるハンドブックには限界がある。ハンドブック通りでいい場合もあれば、不都合な場合もある。そこを見極める力こそが真の技術力である。

そのような真の技術力は、「なぜ？」という疑問を胸中に抱きながら、ハンドブックを熟読し、なおかつそれと並行して、現場を詳しく観察することで、はじめて身につくものと思われる。

人から教わることは表面的な知識、それは技術の必要条件であって十分条件ではない。知識に自分で発見したものを加味してこそ技術になる。その意味で、技術は人に属するものといえよう。

ハンドブックは、技術の出発点なのであって、終着点（結論）ではないのだ。

ところで、私が見るところ、現状において、最もハンドブックが幅をきかしているのは、計画にまつわる技術であるように思える。

これには無理もない点もある。無から有を生み出す一次開発の場合、水路ロスや末端ロスなどは、決まりを作ってそれを当てはめる以外にやりようがない。

減水深も実測とはいえ、あくまで抽出調査によって設定されたモデル値であり、各用水ブロックの必要水量は、モデル値から推定するしかない。

計画にまつわるハンドブックは、そのような要請のもとで整備されていった。

もとより、ハンドブックの記述にはすべて根拠がある。けっしていい加減な数字や手法が書かれている

*九州農政局土地改良技術事務所所長 (Tel. 096-367-0411)

わけではない。それは誤解のないように補足しておきたい。

しかし、更新事業の場合、一期事業では推定だった事項が、かなりの確度で実測できるのではないだろうか？ そうなると、ハンドブックの記述よりも、各現場の実測値を優先させることが合理的なのではないだろうか？

一般にプロジェクトなるものは、計画（Plan）→実行（Do）→検証（Check）→改善（Act）の、いわゆる「PDCAサイクル」を繰り返すものとされている（ここで注意すべきことは、検証は、事業完了と同時に、間髪を置かず始まることである。事業完了の翌年度から、更新に向けた準備が始まるのである）。

このパターンからすれば、更新事業に求められる計画は、供用期間中に蓄積されたデータに基づく検証と、それから導き出された改善をふまえたものでなければならない。

そう考えると、単純更新などほとんどあり得ないのではないだろうか？

かねがね私は、農業土木技術の神髄は、「フロンティア開発」にあると感じているが、フロンティアが消滅したかに見える日本国の場合、それを「土地・水利用の最適化」と言い換えてもいいであろう。

そういう立場からすると、農業土木技術の根幹は、「土地・水利用の最適化」を計画する技術であり、構造物の設計積算施工に係る技術は、そのための道具ということになる（だから構造を扱う技術が不要ということではない。大事な道具なので、これはこれで大切にしないといけない）。

ストックマネジメントに注目があつまる昨今、構造物の劣化診断や延命化技術ばかりに光が当てられているように思うのは、私の偏見であろうか？

私が考えるストックマネジメントは、現状施設を「なぜ？」の視点からじっくり検証することから出発するものである。なぜこういう計画なのか？なぜこういう構造なのか？

そのような無数の「なぜ？」を経て、はじめて現状施設の何たるかが理解できる。

そして、そのような深い理解が、確実な検証と有効な改善に結びつくのではないか。

もちろん、今日的な課題として、検証と改善を行うにあたっては、多面的機能や生態系に関する検討が必要である。

「なぜ？」の積み重ねは、内部作業のためにだけ有効なのではない。「なぜ？」を積み重ねることで、外部に対する説明にもおのずと深みが増すはずである。

「なぜ？」から出発する検証には勇気が必要である。不具合があった場合のことを考えると、二の足を踏みたくなる。しかし、それを怠っていれば、農業土木技術は衰退の道をたどるのではないか。

「進化した続けられないといけない。進化がないということは退化していることである」と、プロゴルファーのタイガーウッズも言っているのではないか。

最後に、この文章はハンドブックを軽んずる意図で書いたものではありません。

ハンドブックには貴重な経験が詰まっており、その重要性については疑いないことです。

ただ、それを使うにあたっては、使い方に関する責任があるということを自覚して欲しいのです。

徳富ダムコンクリート打設計画

—超遅延剤を使用したワーカビリティの改善—

矢部 知幸* 雪田 久史*
(Tomoyuki YABE) (Hisashi YUKITA)

目 次

1. はじめに……………13	4. 実施工における過早凝結に対する品質管理……………19
2. コンクリート打設計画……………14	5. おわりに……………19
3. RCDコンクリート試験施工 ……15	

1. はじめに

徳富ダムは、樺戸（二期）地区の水源施設として、石狩川水系徳富川に建設中のRCD工法を採用した重力式コンクリートダムである（図-1、2、表-1参照）。



図-1 ダム位置図

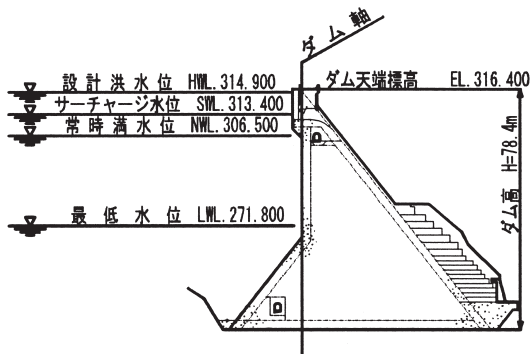


図-2 ダム標準断面図

表-1 ダム諸元

ダム名	徳富ダム
河川名	石狩川水系徳富川
目的	かんがい 洪水調節 流水の正常な機能の維持 水道
堤頂標高	EL.316.40 m
堤高	78.4 m
堤頂長	309.0 m
堤体積	530,000 m ³
集水面積	65.3 km ²
湛水面積	1.59 km ²
総貯水容量	36,100,000 m ³
有効貯水量	33,500,000 m ³

平成14年に本体建設工事を着手し、平成16・17年にRCDコンクリートの試験施工を行い、平成17年から本体RCDコンクリートの打設を開始した。

徳富ダムの細骨材は、X線解析の結果、スメクタイト（粘土鉱物）を5%程度含有している。スメクタイトは、硬化後のコンクリート圧縮強度や耐久性等の性質に影響を与えないものと考えられているが、コンクリート細孔溶液との間でイオン交換をおこし、過早凝結によるワーカビリティの低下が問題になっていることが多い。

スメクタイト（粘土鉱物）を含有している骨材を用いたダムでは、遅延系の混和材を添加して過早凝結対策を実施している事例が多いことから、徳富ダムでもこの対策として、遅延系の混和剤「超遅延剤」を用いてワーカビリティを改善することにした。

本報告では、RCDコンクリートのワーカビリティを改善するために実施した試験施工の結果について報告する。

*北海道開発局札幌開発建設部樺戸農業開発事業所
 (Tel. 0125-76-4397)

2. コンクリート打設計画

2.1 原石採取計画

ダム周辺地域には、新第三期の中新世増毛層（凝灰質砂岩～シルト岩）及び鮮新世の徳富川熔岩集塊岩層（安山岩熔岩，同質自破碎熔岩）を基盤とし，これらを被覆して第四紀の段丘堆積物，河床堆積物，崖錐堆積物が分布している。その中で原石山の選定は品質や必要骨材量（約110万m³）の確保に加え，自然環境への影響，経済性を総合的に検討した結果，貯水池内の河床堆積物及び段丘堆積物とした（図-3参照）。

2.2 骨材及びコンクリート製造計画

コンクリート骨材は，貯水池内から採取した原石（河床堆積物及び段丘堆積物）をダンプトラックで運搬し，ダムサイト上流に配置した骨材製造設備に投入し，破碎・洗浄（湿式）して使用する。また，コンクリートはバッチャープラントミキサ容量3.0m³×2基で製造している。

2.3 コンクリート打設工法

コンクリート打設方法はEL241.00～298.00mまではダンプ直送によるRCD工法（リフト高75cm），EL＝298.00m以上は軌索式ケーブルクレーンによるELCM工法で計画している。また，コンクリートの配合区分は，外部・内部（RCD，ELCM）・構造（Gmax80mm，Gmax40mm，Gmax40mmポンプ）・着岩の7区分としている（図-4，表-2参照）。

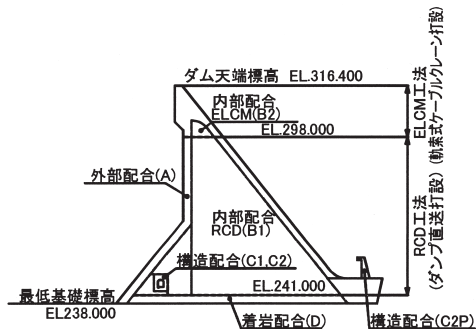


図-4 配合区分図

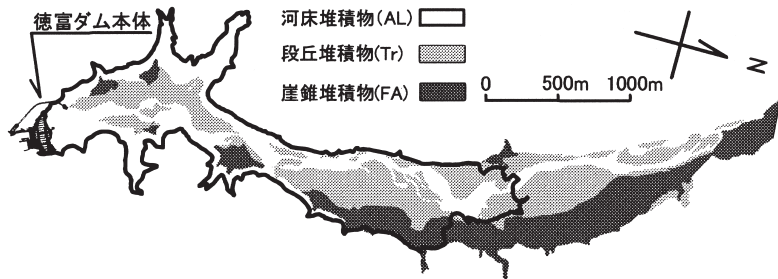


図-3 原石分布図

表-2 配合区分表

配合区分	配合条件					コンクリート量 (m ³)
	最大骨材径 (mm)	スランプ、 VC値	空気量 (%)	結合材種別	結合材量 (kg/m ³)	
外部配合 A	150	3±1cm	3±1	中庸熟+ フライアッシュ (フライアッシュ 置換率30%)	210	127,839 (24.2%)
内部配合 (RCD) B1	80	15±10sec	1.5±1		120	274,447 (51.9%)
" (ELCM) B2	150	3±1cm	3±1		140	36,627 (6.9%)
構造配合 C1	80	5±1cm	4±1		240	50,706 (9.6%)
構造配合 C2	40	8±2.5cm	5±1		280	
構造用 ポンプ打設 C2P	40	10±2.5cm	5±1		320	
着岩配合 D	80	4±1cm	3.5±1		180	38,834 (7.4%)

3. RCDコンクリート試験施工

3.1 RCD試験施工の目的

RCD試験施工は、施工仕様（転圧回数、転圧機種、施工時間）の決定だけでなく、コンクリートの超遅延剤添加量の決定も目的として実施した。試験項目とその目的は表-3に示すとおりである。

表-3 試験項目と目的

試験項目	試験実施目的
沈下量試験	コンクリート打設面の転圧回数毎の沈下量を確認し、数均し厚決定と転圧回数の指標とする。
表面型RI試験	コンクリート打設面表層の転圧回数毎の密度を確認し、転圧回数決定の指標とする。
VC値経時変化試験(小型)	コンクリートの経過時間毎の硬化傾向の確認をする。
コア供試体試験(圧縮強度・単位体積重量)	試験施工箇所から採取したコアが設計値を満足するかを確認する。
コア外観評価	試験施工箇所から採取したコアを目視確認し、不良コアの有無を確認する。

3.2 コンクリートに必要な特性

コンクリートに必要な圧縮強度・単位体積重量・耐久性・ワーカビリティ等の特性のうち、圧縮強度・単位体積重量は徳富ダム設計条件、耐久性は北海道の他ダムの実績、ワーカビリティは他のRCD工法ダムの実績を考慮して設定した(表-4参照)。

表-4 コンクリートに必要な特性

配合区分	硬化コンクリート		フレッシュコンクリート
	圧縮強度・単位体積重量	耐久性	ワーカビリティ
外部コンクリート(A)	・単位体積重量 $2.3t/m^3$ 以上	凍結融解試験による耐久性能指数80%以上	・化学法:無害 ・4hr経過後ブロッカー貫入抵抗値100psi(0.69N/cm ²)程度以下
内部コンクリート(B1)~RCD			・練り上がり後VC値15±10秒(小型)
内部コンクリート(B2)~ELCM			・A配合に同じ
着岩コンクリート(D)			・練り上がり後スランプ4±1cm
構造コンクリート(C1、C2、C2P)	・単位体積重量 $2.3t/m^3$ 以上 ・設計基準強度 $\sigma_{91}=21N/mm^2$ (配合強度 $\sigma_{91}=23.3N/mm^2$)	凍結融解試験による耐久性能指数80%以上	・A配合に同じ ・練り上がり後スランプ5±1cm(C1) 8±2.5cm(C2) 10±2.5cm(C2P)

なお、RCDコンクリートは練り上がり直後から徐々に流動性を失い、一般的な有スランプコンクリートで行われるスランプ試験では測定不可能なため、ワーカビリティを確認する指標としてVC試験を行っている。

3.3 平成16年室内試験

試験施工に先立ち実施した室内試験において、

コンクリートの品質確認を行った。硬化コンクリートの圧縮強度・単位体積重量・耐久性については全ての配合のコンクリートで規格値を満足した。しかし、RCDコンクリートのワーカビリティについては、超遅延剤を添加しない場合、練上りから2時間後のVC値が67秒となり、目標値である4時間後に60秒程度以下を満足できないことを確認した(表-5参照)。

表-5 コンクリート品質管理試験結果

配合名	圧縮強度・単位体積重量	耐凍害性	アルカリシリカ反応性	ワーカビリティ
	試験結果		試験結果	試験結果
外部コンクリート(A)	$\gamma=2.40t/m^3$ $\sigma_{91}=36.8N/mm^2$	82.2%	・化学法:無害でない	・スランプ=3.0cm
内部コンクリート(B1)~RCD	$\gamma=2.45t/m^3$ $\sigma_{91}=16.8N/mm^2$	—	・モルタルバー法(河床堆積物)	・初期VC値=14秒 ・2hr後VC値=67秒
内部コンクリート(B2)~ELCM	$\gamma=2.42t/m^3$ $\sigma_{91}=19.7N/mm^2$	—	40-20mm:0.007% 20-05mm:0.013% 05-00mm:0.012%	・スランプ=2.0cm
着岩コンクリート(D)	$\gamma=2.40t/m^3$ $\sigma_{91}=21.4N/mm^2$	—	(段丘堆積物) 40-20mm:0.019% 20-05mm:0.014% 05-00mm:0.016%	・スランプ=4.0cm
構造コンクリート(C1)(80mm)	$\gamma=2.42t/m^3$ $\sigma_{91}=41.7N/mm^2$	86.4%		・スランプ=4.5cm
構造コンクリート(C2)(150mm)	$\gamma=2.38t/m^3$ $\sigma_{91}=34.2N/mm^2$	85.0%		・スランプ=8.5cm
構造コンクリート(C2P)(40mm)、ポンプ	$\gamma=2.35t/m^3$ $\sigma_{91}=36.5N/mm^2$	86.8%		・スランプ=9.5cm

そこで、超遅延剤の最適添加量^{*1}を把握するために、外気温と超遅延剤添加量を変数とした室内試験を行い、気温15℃、20℃、25℃の場合で、超遅延剤なし、超遅延剤ありのケースで経過時間とVC値の関係を整理した。

気温15℃では、超遅延剤なし、添加量0.1%とともに経過時間4時間後におけるVC値が60秒以上となり、0.2%程度添加する必要があることを確認した(図-5参照)。

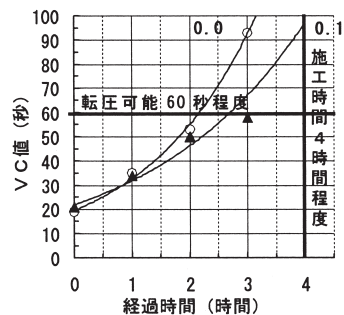


図-5 室内気温15℃ 超遅延剤(なし、0.1%)

次に気温20℃では、添加量0.2%で60秒以上、添加量0.35%で60秒以下となることから、0.3%程度添加する必要があることを確認した(図-6参照)。

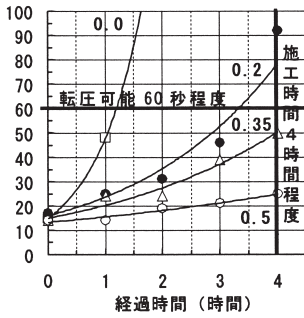


図-6 室内気温20℃
超遅延剤（なし、0.2、0.35、0.5%）

同様に、気温25度では、添加量0.3%で60秒以上、添加量0.45%で60秒以下となることから、0.4%程度添加する必要があることを確認した（図-7参照）。

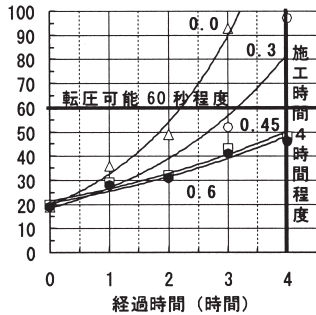


図-7 室内気温25℃
超遅延剤（なし、0.3、0.45、0.6%）

以上の結果から、外気温に応じた超遅延剤添加量を表-6に示すとおり推定した。

3. 4 平成16年屋外試験施工

平成16年の試験施工は、リフト高75cmの施工仕様（転圧回数・転圧機種・施工時間）の決定と、室内試験結果から得られた外気温と超遅延剤添加量の関係（表-6参照）を屋外において確認することを目的とし、減勢工水叩部基礎で実施した。ここではリフト高75cmにおける超遅延剤添加量を選定するために行った試験内容及び試験結果について報告する。

表-6 外気温と超遅延剤量の関係

外気温	11℃未満	11～16℃	16～21℃	21～26℃	26～29℃	29℃以上
RCDコンクリート	添加しない	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%

3. 4. 1 試験施工内容

リフト高75cmのRCD工法は、外部先行打設とし、1リフト75cmを3層打設とする（図-8参照）。

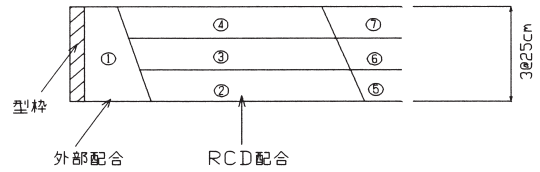


図-8 75cmリフト施工手順

このため、締固め開始時のVC値は各層に放置時間及び気象条件（日照・湿度・風等）が異なることが予想されるため、この現場条件を再現し、VC値の経時変化を測定した。

試験施工当日は、気温が25℃程度と予想されたため、超遅延剤の添加量は0.3、0.4、0.5%の3ケースで実施した。

また、コンクリート硬化後に試験施工箇所からコア（φ200mm）を採取し、単位体積重量試験、圧縮強度試験及びコア外観評価を行った。コア外観評価は、コアの外観をひび割れ及び粗骨材集中の有無、表面の凹凸やモルタルの剥げ落ち程度等を目視観察に基づき、5段階評価（表-7参照）で行い、各層毎の評価点数^{*2}とした。

表-7 コア外観評価基準

評価点		コア外観評価
5	良	モルタルが粗骨材間に充填され、表面が緻密な部分
4	ほぼ良	表面がややポーラスな部分、砂分が少し現れている部分
3	やや不良	表面がポーラスな部分、モルタルがややはげ落ちている部分
2	不良	モルタルが粗骨材のまわりに十分にゆきわたらず、豆板状になっている部分
1	極めて不良	粗骨材がバラバラな部分、またはモルタルが大きく欠損してコンクリートコアの外観をなしていない部分

3. 4. 2 試験結果

コンクリート練上がりから4時間後に、VC値60秒程度以下を満足する超遅延剤の添加量は、実際の気温25～29℃程度においては0.5%程度であった（図-9参照）。

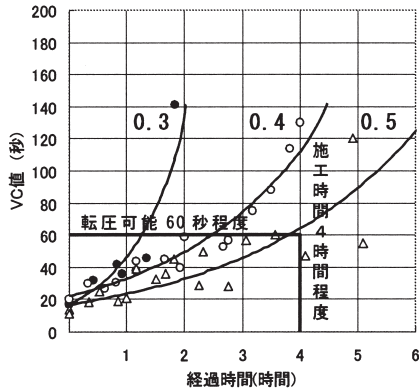


図-9 外気温25～29℃
超遅延剤 (0.3, 0.4, 0.5%)

次にコアの単位体積重量及び圧縮強度の試験結果は、いずれの試験ケースも、設計値を満足している (表-8参照)。

表-8 単位体積重量および圧縮強度試験結果
s/a=30%, 添加量0.5%

		平均値	最大値	最小値	設計値
添加量0.3%	単位体積重量 (t/m ³)	2.49	2.52	2.43	2.30
	圧縮強度 (N/mm ²)	18.6	27.9	14.3	10.0
添加量0.4%	単位体積重量 (t/m ³)	2.49	2.51	2.44	2.30
	圧縮強度 (N/mm ²)	20.3	31.4	16.0	10.0
添加量0.5%	単位体積重量 (t/m ³)	2.49	2.50	2.47	2.30
	圧縮強度 (N/mm ²)	15.9	21.5	14.8	10.0

コア外観評価点は超遅延剤添加量0.3%と0.4%のコアにおいて、評価点 (表-7参照) 1～2点の不良なコアが確認されるが、添加量0.5%のコアでは確認されない (表-9参照)。

表-9 コア外観評価点数

添加量	平均値 (各層)	最大値 (各層)	最小値 (各層)	備考
0.30%	3.7	4.7	2.8	評価点(表-7参照)1～2点の不良なコアを確認された
0.40%	3.8	5.0	2.8	評価点(表-7参照)1～2点の不良なコアを確認された
0.50%	3.9	4.3	3.8	評価点(表-7参照)1～2点の不良なコアは確認されない

以上の結果より、試験施工においても実際の気温25～29℃程度の条件下は、室内試験にて推定したとおり超遅延剤を0.5%程度添加することでコンクリートの所要の品質を満足することが確認できた。

3. 5 平成17年試験施工

平成16年の試験施工は、細骨材率30%で実施しており、RCD配合のモルタル分・ペースト分が少ない (α 値^{*3}=1.15, β 値^{*4}=1.11が小さい) ことによるコンクリートの均質性、コア圧縮強度・単位体積重量は何れも規格値を満足するもののバラツキが課題となった。そこで、平成17年は、より安定した品質を確保するために細骨材率32% (α 値=1.14, β 値=1.24) の配合試験を実施し、試験施工ではリフト高75cm及び1mの細骨材率30%と32%の比較を利水放流設備部及び注水工部基礎で実施した。

ここでは、工期縮減及びコスト縮減等に向けて実施したリフト高1mにおける細骨材率32%での超遅延剤添加量を選定するために行った試験の内容及び結果について報告する。

3. 6 平成17年室内試験

平成16年と同様、試験施工に先立ち、細骨材率32%における超遅延剤の最適添加量を把握するため、外気温と超遅延剤添加量を変数とした室内試験を行い、気温15℃、20℃、25℃の場合で、超遅延剤なし、超遅延剤ありのケースで経過時間とVC値の関係を整理した (図-10～12参照)。

細骨材率32%の場合は30%のときと比べて単位水量が増加 (82kg/m³→86kg/m³) したものの、目標値である4時間後に60秒程度以下になる外気温に応じた超遅延剤添加量は、試験結果に有意な差が見られなかったため (図-5～7, 10～12参照)、外気温に応じた超遅延剤の添加量 (表-6参照) も変更しないこととした。

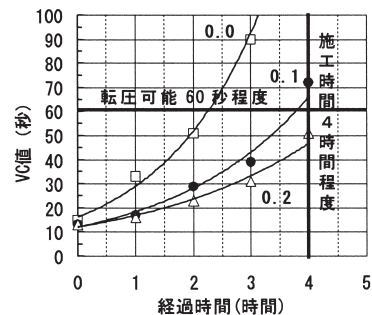


図-10 室内気温15℃
超遅延剤 (なし, 0.1, 0.2%)

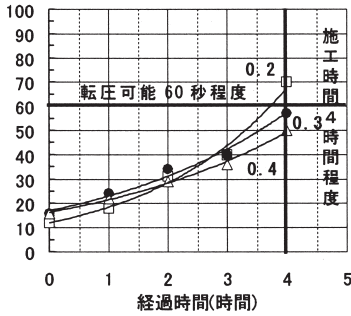


図-11 室内試験20℃
超遅延剤 (0.2, 0.3, 0.4%)

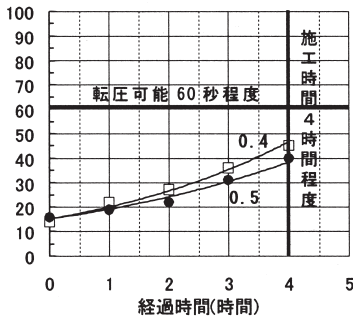


図-12 室内試験25℃
超遅延剤 (0.4, 0.5%)

3. 7 平成17年屋外試験及び試験施工内容

平成16年と同様、VC値の経時変化は、各層に放置時間及び気象条件（日照・湿度・風等）が異なることが予想されるため、この現場条件を再現するとともに、コンクリートの均質性を確認するため、各層におけるVC値の経時変化を測定した。試験施工当日は、気温が30℃程度予想されたため、超遅延剤の添加量は0.6%のケースで実施した。また、コンクリート硬化後に試験施工箇所よりコ

ア（φ200mm）を採取し、単位体積重量試験、圧縮強度試験及びコア外観評価を行った。

3. 7. 1 試験結果

各層の転圧開始時VC値は、34～53秒と60秒程度以内を満たしており、ほぼ最適な転圧開始時VC値を得ていることがわかる（図-13参照）。

次にコアの単位体積重量及び圧縮強度の試験結果は設計値を満足するものであった。また、コア評価点でみると、概ね4点以上となっており、1～2点の不良なコアは確認されなかった（表-10参照）。

表-10 単位体積重量、圧縮強度試験結果、
コア外観評価 s/a=32%、添加量0.6%

	平均値	最大値	最小値	設計値
単位体積重量 (t/m^3)	2.47	2.48	2.45	2.30
圧縮強度 (N/mm^2)	15.0	16.5	12.7	10.0
コア評価点	4.3	4.6	3.9	—

以上の結果より、細骨材率32%における実際の気温30℃程度の超遅延剤添加量は室内試験で推定していたとおり0.6%程度添加することでコンクリートの所要の品質を満足することを確認した。

細骨材率増加（30%→32%）による単位体積重量及び圧縮強度は、僅かながら減少したものの設計値を十分満足している。また、現場の施工状態は、ダンプアップ及びブルドーザ敷均し時の粗骨材の集中がなくなり、コア外観評価においても、1～2点の不良なコアが見られなかったため、均質性の面からも細骨材率32%が有利といえる。

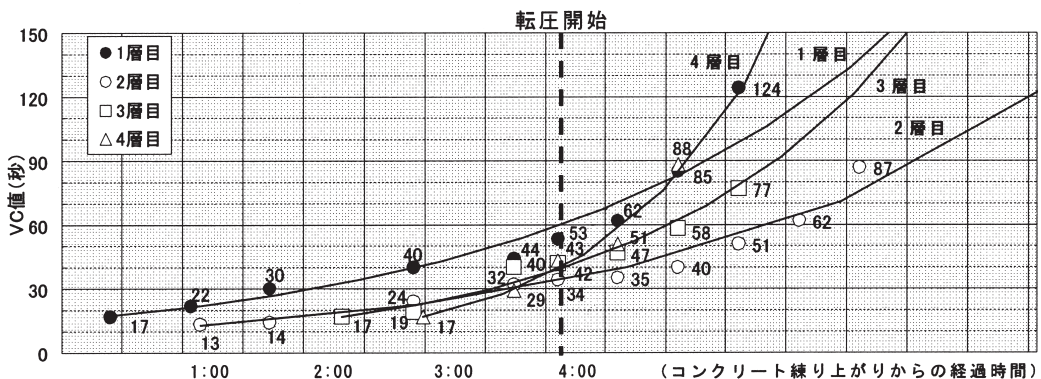


図-13 VC値経時変化

原石（段丘堆積物）投入

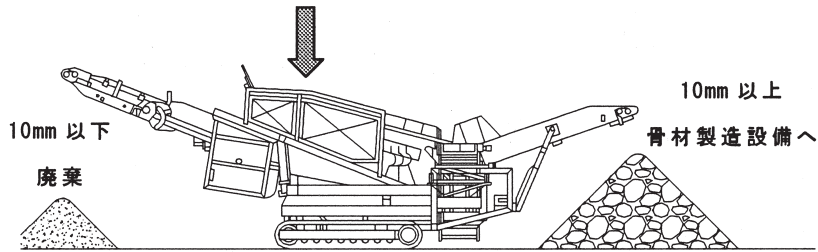


図-14 移動式スクリーンによる細粒分の除去

4. 実施工における過早凝結に対する品質管理

施工における超遅延剤添加以外に行う品質管理は以下に示すとおりである。

4.1 スメクタイト含有量の安定

原石（段丘堆積物）細粒分の中に多く含まれるスメクタイトの含有量を安定化させるため、必要に応じて骨材製造設備投入前に移動式スクリーンに投入し、粒径10mm以下の細粒分を除去する（図-14参照）。

4.2 スメクタイト含有量の把握

スメクタイト含有量を把握するため、X線定量回折試験及び陽イオン交換容量（CEC）試験を月1回程度行い、安定していることを確認する。また、細骨材75 μ アンダー分に多く含まれるスメクタイト量を把握するため、細骨材製造時に粒度試験（1日2回程度）を行い、安定していることを確認する。

5. おわりに

徳富ダムにおけるRCDコンクリートの過早凝結対策は外気温に応じた超遅延剤を添加することにより、ワーカビリティを改善し所定の品質を満足することが出来た。また、細骨材率増加（30%→32%）により、より安定した品質を確保できた。

今後、実施工におけるワーカビリティの確保は、外気温のほか、日射・湿度・風等の影響により変化することが予想されるため、VC値の経時変化試験を随時行いワーカビリティの管理を行う予定である。

*1：超遅延剤添加量 = (C+F) × 添加量 (%)

C：セメント，Fフライアッシュ

*2：コア外観評価点数は、5段階の点数と、その占める割合の加重平均を、評価点数とする。

*3：細骨材の空隙を埋めるセメントペースト量

*4：粗骨材の空隙を埋めるモルタル

富入沢ダムの設計施工管理

勝 又 亮 一*
(Ryoichi KATSUMATA)

目	次
1. はじめに	20
2. 地形・地質概要	21
3. 設計概要	24
4. 富入沢ダムにおける盛土管理	25
5. まとめ	26

1. はじめに

(1)事業概要

富入沢ダムは、群馬県の中央部、赤城山山頂から西南麓中腹にかけて位置する富士見村を流れる利根川水系一級河川細ヶ沢川の支流に建設中の防災ダムである。

本ダムは平成13年度に仮排水トンネル工事が完成したが、その後工事を一時中断してコスト縮減対策を検討した。堤体工は平成17年度にカットオフトレンチの掘削を開始し、平成21年度の完成を目指し工事を進めているところである。

一級河川細ヶ沢は赤城山南麓の標高1,000m～

300mを流下し、一級河川桃ノ木川に合流する。地形勾配は上流部で1/10、下流部で1/25となっており、流域は比較的単調な急斜面となっている。また、地質は固結度の低い火山砕屑物から構成されている。

本ダムは、洪水時のピーク流量をカットし、下流の農地、農業用施設を災害から守るために防災目的のダムを設置するものである。

(2)ダム概要

富入沢ダムは堤高14.4m、堤体積148,000m³、洪水調節容量117,000m³のゾーン型アースフィルダムである。図-1にダム標準断面図を、表-1にダム諸元表を示す。

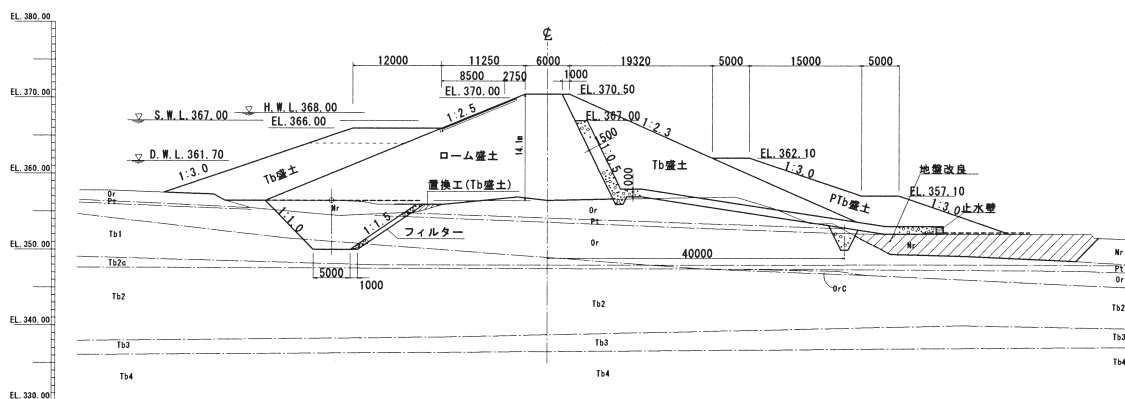


図-1 富入沢ダム標準断面図

*群馬県農業局農業基盤整備課 (Tel. 027-226-3157)

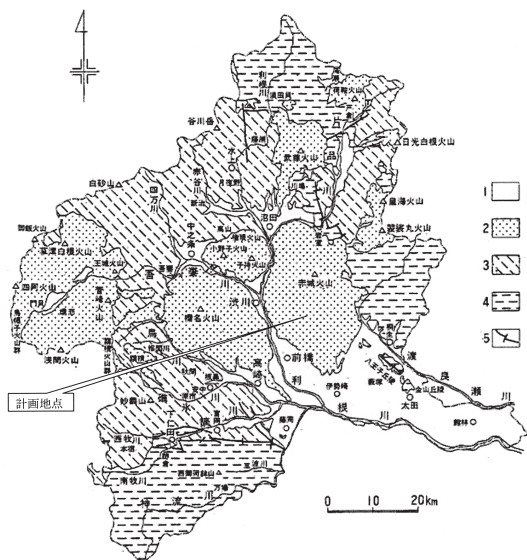
表-1 富入沢ダム諸元

貯水池	基礎	凝灰角礫岩		洪水調節	計画基準雨量	187.8mm/日 (1/50年)	
	流域面積	2.1km ²			形式	斜樋式 (非調節型)	
	総貯水量	138,000m ³			最大放流量	9.9m ³ /S (S.W.L時)	
	有効貯水量	117,000m ³			放流工標高	EL.361.7m	
	堆砂量	21,000m ³			調節工	放流孔 φ1500mm 1門	
	サーチャージ水位	EL.367.0m			形式	トンネル式 (標準馬蹄形)	
	計画堆砂位	EL.361.7m			設計流量	Q _{1/10} =48m ³ /S	
洪水吐	満水面積	3.0ha (常時 1.3ha)		仮排水路	内径	2R=2.7m	
	形式	自然越流式側水路型			トンネル延長	260m	
	設計洪水流量	A=116m ³ /S, B=-, C=118m ³ /S Q _{1/200} ×1.2=118-10.3≒108m ³ /s			形式	ゾーン型アースフィル形式	
	設計洪水位	EL.368.0m			堤高	14.4m (EL.370.5m)	
	越流水深	1.0m			堤頂長	165.0m	
	越流堤長	53.0m			堤頂幅	6.0m	
	減勢工	強制跳水型 Q _{1/100} =85.0-10.3≒75m ³ /S			堤体積	148,000m ³	
堤体	設計震度	KH=0.15		設計震度	KH=0.15		
	ゾーン区分	統一分類	堤体積(千m ³)	γt (t/m ³)	φ (°)	C (t/m ³)	K (cm/S)
	I	CH	55	1.42	32.0	1.0	K ≤ 1.0 × 10 ⁻⁵
	II	SW	51	2.03	32.0	2.0	-
	III	SW	35	1.77	25.0	1.0	-
フィルター	SP	7	2.00	35.0	0.0	1 × 10 ⁻² ~ 1 × 10 ⁻³	

2. 地形・地質概要

(1)地形概要

富入沢ダム計画地点は前橋市の北方、赤城山の南西麓に位置する。(図-2参照)



1 第四系, 2 第四紀火山およびその火砕物, 3 第三系, 4 中・古生界, 5 新第三系

図-2 群馬県の地質と富入沢ダム

山頂には外輪山の一つで、最高峰の黒檜山(1,828m)をはじめ、溶岩円頂丘、爆裂火口などがあり、東西2km、南北4km、深さ60~100mの楕円形のカルデラがある。

裾部は開折がすすみ、深く浸食された谷が東西南北に放射状に伸びている。

計画地点は、富入沢(左岸)及びその支流(右岸)の合流地点であり、河床部と尾根部の標高差は30m前後である。

計画地点を流れる河川(不入沢)は源流より2.5kmの地点であるにもかかわらず、水量は豊かである。

(2)地質概要

計画地点の地質は、赤城火山の新規成層火山形成期の末期に堆積した石質火砕流堆積物群で、火山灰、火山礫、火山岩塊(一部スコリア質)からなる分級の悪い堆積物で構成される。

石質火砕流堆積物群は下位から凝灰角礫岩(Tb)、軽石質凝灰角礫岩(PTb)に区分することができる。

また、これらを覆うように、降下火山灰層(ローム)、河床堆積層が分布している。

図-3に地質平面図を図-4に地質断面図を示す。

3. 設計概要

堤体設計にあたり特に配慮した基礎処理及びローム単独材による盛土について以下に記す。

3.1 基礎処理

〈液状化〉

堤体基礎の河床堆積層（Or層ならびにNr層）には、N値の小さな砂層が狭在する。このため、簡易液状化判定（FL法）を実施した。検討したデータ数170のうち、 $FL < 1$ となり、液状化すると判定されたのは5試料であった。この試料は隣接するボーリング孔では確認されないため、液状化の懸念される範囲は限定的でかつ小規模であると判断した。よって、対象範囲を限定し、地盤改良もしくは置換工法を採用することとした。

〈被圧地下水〉

堤体基礎のTb：凝灰角礫岩は、層中に挟在する不透水層（加圧層）と被圧層が交互となり、4層に区分される（図-5 Tb層の被圧構造参照）。

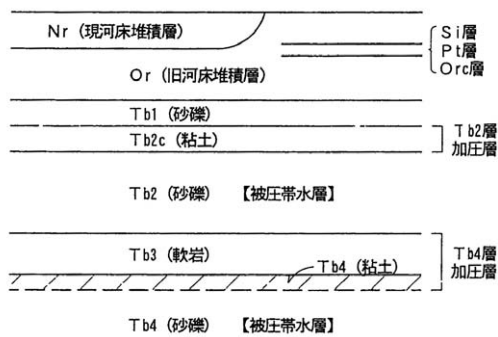


図-5 Tb層の被圧構造

被圧層であるTb2は、カットオフトレンチの掘削による応力開放により、被圧湧水や基盤の緩みが懸念された。このため、上下流の堤敷外に減圧井戸（ポンプ排水）を設け、圧力を開放することとした。減圧井戸から排水される被圧水の量は、右岸地山Tb1～Tb2層中を掘削した仮排水トンネル施工時の湧水量が少なかった実績により、ポンプ排水で十分対応可能と判断し、減圧井戸による被圧水の圧力開放策を採用した。

また、堤敷き全面に分布するOr層は液状化が懸念された一部を除き、比較的粒度が良く、遮水性材（ローム盛土）との間でフィルター条件をほぼ満足する。このため、Or層は天然のフィルターと

しての効果が期待でき、被圧水によるパイピングの可能性は極めて低い。ただし、河床堆積物であるOr層は礫の密集箇所が存在が懸念されるため、カットオフトレンチの下流側にはフィルター層（水平幅1.0m）を設ける。

同時に、ダム軸下流40m付近に下流ドレーンを設け、被圧水、カットオフトレンチからの浸透水を捕捉し、堤体に揚圧力の作用することを防止する。

〈止水ラインの形成〉

富入沢ダムの止水ラインは、堤体として良好な基礎地盤であるTb層までカットオフトレンチを施工し、遮水性材を着岩する形式で形成する。Tb層は $k = 10^{-4}$ (cm/sec) オーダーの難透水層であり、一時貯留を目的とする当ダム建設の目的に対し十分な遮水性の岩盤と判断した。また、Tb層には亀裂等が存在せず、グラウトによる改良効果が小さいため、グラウトは実施しないこととした。

カットオフトレンチの施工では、斜面に露出するOr層の安定性が懸念されたため、減圧井戸のOr層下部にストレーナーを設置し揚水することと、カットオフトレンチのみお筋に排水釜場を設置することで、Or層中の地下水位を低下させ、法面の安定を保った。

3.2 堤体材料（遮水性材）

群馬県全域に分布するローム材は、工学的性質が一般土と異なるため特殊土として設計し、施工方法の検討を行う必要がある。近年建設されるダムの遮水性材でも、ロームを単独で施工する事例は少なく、他材料と混合し、力学特性を改良する例が多い。以下に富入沢ダムのローム材で確認された特質を示す。

(1) 練返しによる強度低下

ローム材は過度の転圧エネルギーを加えることにより、強度低下を引き起こす特性がある。また、練返しは押土作業によっても引き起こされる。このため、撒出前（土取場）の材料管理では、施工により引き起こされる強度低下の程度を確認すること。見込まれる強度低下に対し、設計強度を満足する材料の判別を行う必要がある。転圧後の盛土に対しては、密度、透水係数など、遮水性材としての機能と、強度の管理を必要とする。盛土の強度が設計条件を満足しない場合、施工方法、材料採取基準の検討を行い、設計条件と盛土の対応を管理することが必要である。

(2) 施工管理

ローム材は含水比とせん断強度の関係が乏しい材料であるため、盛土のせん断強度を直接測定し管理する必要がある。

また、ローム盛土では、盛土内の間隙水圧の発生に併せ、せん断強度の低下が起こり、滑りを生じる例が多い。このため施工中の挙動監視（埋設計器による間隙水圧の測定、表面変位計による変位計測）が重要となる。

間隙水圧は、施工を休止することで消散され、盛土の安定性は回復される。このため、必要に応じ施工量を制限し、過剰間隙水圧を消散させる。

(3) 乾燥クラック

含水比が高く細粒分を多く含む材料は、乾燥収縮クラックが発生する可能性がある。このため以下の対策を行った。

- a. ローム盛土が露出しないよう周辺盛土も同様に水平となるよう施工し、同一標高に仕上げる。

- b. 一日の盛土作業の最初に、前日施工部を、2回程程度の再転圧を行いヘアークラックの目潰しを行う。長期に放置した盛土面はスカリファイアー等で掻き起こし再転圧する。また、過度に乾燥した場合は表層部を剥ぎ取り捨土する。

- c. 上流Tb盛土より高い標高部のローム盛土は、乾燥防止の未転圧余盛を行い斜面保護工の直前に仕上げ掘削を行う。また、余盛斜面はむしろ等で養生し乾燥を防止する。

4. 富入沢ダムにおける盛土管理

ダムサイト周辺の土取場で採取されるロームは噴出起源、堆積年代の違いにより、それぞれ異なる力学特性を示す。

図-6に土取場ローム材の含水比とコーン指数の関係を示す。図中の◆は自然含水比を示し、採取試料により含水比、コーン指数の値が異なることが分かる（コーン指数の測定は、標準締固め試験での締固め後の試料に対する測定結果を示す）。

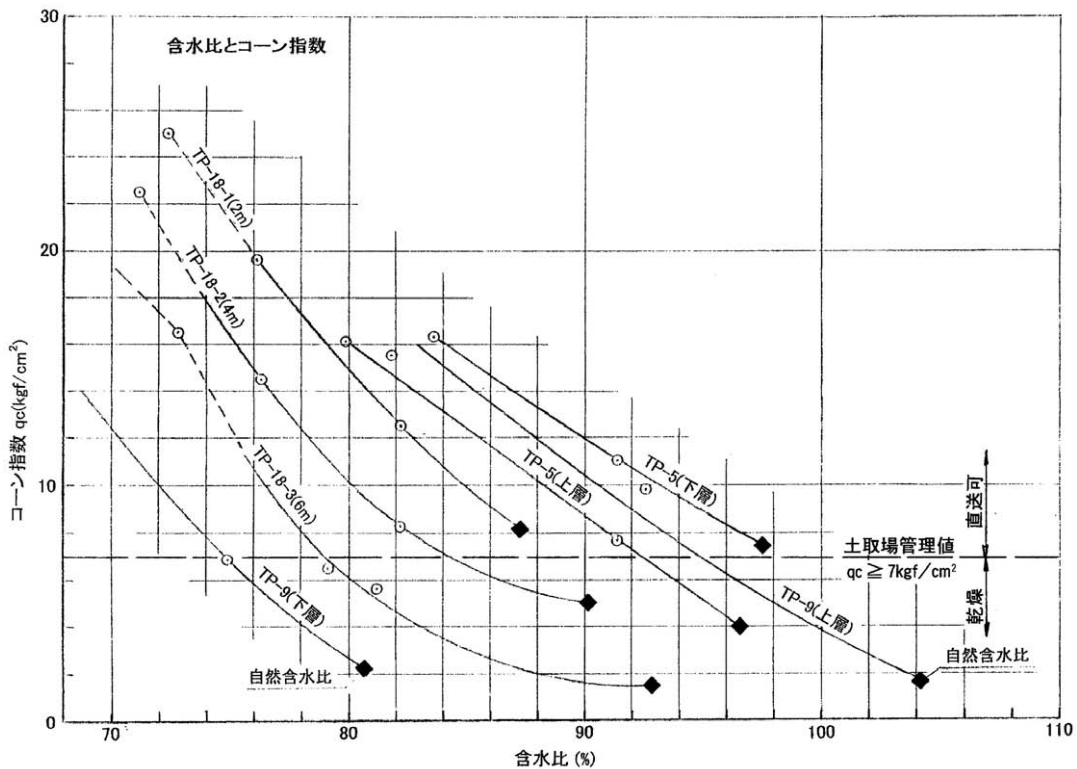


図-6 含水比とコーン指数

以上の事項を考慮して、ローム材の盛土管理は次の手順で実施する。

a. 材料採取（土取り場）

土取場での材料採取は、締固め後のコーン指数により、材料の管理を行う。

土取場尾根部でのテストピット調査で、ロームの地層別せん断強度およびコーン指数と地山状態の土壤硬度の相関性を確認した。材料の採取は、採取範囲に試掘を行い、事前の調査結果を目安に採取範囲（地層）を規定する。現地では土壤硬度による判定が容易であるため、測定を密に行い、採取範囲の概要がつかめた段階で、締固め後のコーン指数の測定を行う。

コーン指数の測定は、自然含水比条件での力学特性の確認であるため、搬出しようとする材料そのままの含水比で行う。これにより転圧による練返後のせん断強度を推測することができる。コーン指数の測定は標準締固め試験で締固めた後に行い、材料採取の基準値は $q_c \geq 700$ (kN/m²)とした。

所定のコーン指数が得られない場合は、土取場での曝気乾燥、もしくは地区外へ搬出する。

b. 盛土（堤体）

盛土で日常的に実施する管理試験は、[透水試験][現場密度試験]の2項目である。

現場透水試験は測定に長時間を要するため、施工の妨げとならないよう試験頻度を1回/1日（3箇所）とした。

現場密度試験の実施頻度との違いから直接透水係数を測定できない場合でも、現場密度測定時に飽和度（Sr）を求めることで、 $k = f \times Sr$ で表され、透水係数を推定することが可能である。

現場密度試験は突き砂による砂置換法を採用した。高含水比の材料で、自然含水比での施工を目的としているため、密度の管理はC値を採用した。C値は現場密度（ ρ_{tF} もしくは ρ_{dF} ）と、室内締固試験密度（ ρ_{tL} もしくは ρ_{dL} ）の比で表される（添字Field現場、Laboratory：室内試験）。

$$C_{\text{値}} = \left(\frac{\rho_{tF} \text{ or } \rho_{dF}}{\rho_{tL} \text{ or } \rho_{dL}} \right) \times 100$$

さらに、締固めの機構が現場と室内では異なること。材料搬出時の練返しので合いが変化するため、盛立現場でコーン指数を測定（3深度）する。同時に、盛土面のコーン指数と、盛土よ

り採取した不攪乱試料の一軸圧縮試験（土取場地層が多様なため、 q_c と q_u の関係を管理すること）により盛土の強度を管理する。盛土面のコーン指数から、材料採取時のコーン指数（土取場）の妥当性を吟味する。

c. 管理基準

本ダムにおける盛土の管理基準は以下のとおり。

土取場 $q_c \geq 700$ (kN/m²) = 7.0 (kgf/cm²)

盛土 C値 ≥ 98 (%)

$k \leq 1 \times 10^5$ (cm/sec)

Sr ≥ 85 (%)

5. まとめ

富入沢ダムは現在コアトレンチの施工が完了し、今後堤体の盛立段階へと工事が進んでいる。写真-1に現在の施工状況を示す。



写真-1 左岸コアトレンチ施工状況

厳しい財政状況を背景に徹底したコスト縮減を図るため、土取場ローム材とTb材とのブレンド計画から、ローム材単体での盛立、さらに、土取場からの直送など施工計画を大きく見直し建設コストの縮減に取り組んできた。

しかし、コストの縮減により安全性（品質）が低下することなく、設計どおりの効果が発揮されるよう、日々の施工管理の中での徹底したチェックをする必要がある。

農地、農業用施設を洪水被害から守るため、富入沢地区の防災ダム事業は平成21年度に無事完成を迎えられるよう慎重に施工を進めていきたい。

参考文献

群馬県地質概図（出典：群馬県10万分の1地質図、群馬県地質図作成委員会1999）

曾於地域における間断散水による茶の防霜 かんがい諸元策定に向けた検討状況の報告

吉 村 博 人*
(Hiroto YOSHIMURA)

目 次

1. はじめに	27	4. 気象観測データ収集と解析	33
2. 農家等への聞き取り調査	28	5. 防霜かんがい諸元	36
3. 防霜かんがいの散水方式	29		

1. はじめに

1-1. 管内概要

鹿児島県曾於地域は、耕地面積20,010haを有する県内第一の農業地帯である（図-1）。現在、国営かんがい排水事業と付帯する県営畑総事業により、約9,200haの畑地かんがいが着々と推進されている。



図-1 曾於地域位置図

表-1 曾於地域地区別受益面積

	畑地かんがい面積	茶防霜計画面積	国営事業施工年度
曾於東部地区	3,130 ha	240 ha	S59~H18
曾於南部地区	4,000 ha	700 ha	H元~H20
曾於北部地区	2,130 ha	260 ha	H 8~H24
計	9,260 ha	1,200 ha	

一方、本県は全国第2位の荒茶生産県となっており、曾於地域の畑地かんがい受益地内にも茶の防霜面積が約1,200ha含まれ年々新植が進んでいる状況である（表-1）。

1-2. 防霜かんがい諸元の作成目的

管内上記3地区の茶の防霜は1回当りの散水時間を8時間、連続散水日数を2日として連続散水方式で計画されているが、畑かん用水（防霜用水）の節水を行うことにより、受益農家の維持管理費の節減とかんがい施設の規模の縮小による建設費の縮減を図るために、曾於地域の防霜には間断散水方式を採用する予定である。しかし、間断散水は20数年前から行われているが、数値的なメカニズムは十分解明されているとはいえない。

このようなことから、ほ場での現地試験を行い、試験データをもとに間断散水のメカニズムを解明するとともに、アメダスデータより解析した気象条件及び試験データから散水量を決定する。

同時に、これまで先進的に間断散水を行っている農家等に聞き取り調査を行う。

また、曾於地域内及び近辺6個所の、1977年以降29年間のアメダスデータを整理して、1回当りの散水時間及び連続散水日数を決定する。

*鹿児島県大隅耕地区事務所 所長 (Tel. 099-482-1111)

1-3. 作業項目及び調査項目

(1)基礎資料の収集整理

既存の気象データ、国営・県営かんがい施設諸元の整理

(2)県内の防霜かんがいの実態調査

(農家等への聞き取り調査)

(3)間断散水方式の散水試験及び解析

(4)曾於地域の気象特性調査

地域の気象特性の把握、現地調査、気象データ取りまとめ、降霜発生状況の整理

(5)防霜かんがい施設諸元の検討

2. 農家等への聞き取り調査

2-1. 調査内容

調査は、茶業に関係する農業開発総合センター茶業部大隅分場、曾於農業改良普及センター、JAあおぞら茶業センター、水土里ネット南薩、水土里ネットまつもと及び間断散水を行っている農家から直接、聞き取り調査を行った。

2-2. 聞き取り調査結果

聞き取りを行った結果の主なものを記す。

(1)間断時間

- ・散水30秒～休止30秒 1ヶ所
- ・散水60秒～休止60秒 2ヶ所
- ・散水90秒～休止90秒 4ヶ所
- ・散水100秒～休止100秒 4ヶ所
- ・散水120秒～休止120秒 1ヶ所

(2)散水開始気温と終了気温

- ・散水開始気温は、「萌芽前」は -1°C ～ 1°C
「萌芽後」は 1°C ～ 2°C
「葉が開く時期」は 3°C
「秋冬期」は -3°C ～ -4°C

など個人差があり、時期により変更して管理している。

- ・散水時間は、気温が設定温度まで低下したら自動的に散水を開始し、終了は日の出後1時間程度。通常午後8時から午前7時までの11時間程度散水している。

(3)散水開始時の散水方法

- ・散水開始時は氷結しやすいようにするため、連続散水して葉面をぬらす。
- ・散水開始から1時間程度は、葉面の氷結を促進するため、連続散水が良い。

(4)散水が茶園の土壌に与える影響

- ・茶の栽培は、排水管理が大切であるので、多量

に散水するとよくない。

- ・スプリンクラー散水は地温が下がる。
 - ・連続散水により散水量が多いところは茶の生育に影響があるかもしれないが、自園は間断散水の採用により散水量が少ないので生育障害は見られない。
 - ・連続散水を行った翌日は畑がぬかるみ、機械作業ができない。このことから間断散水が良い。
 - ・土壌の湿害は間断散水であらばない。
 - ・散水量が多いと春先に落葉する。
- #### (5)秋冬期の散水が茶に与える影響
- ・秋冬期に散水すると耐凍性がつかない。
 - ・秋、冬の防霜散水を10年近くやっている。早生品種は特に必要である。
 - ・秋霜・冬霜による被害は一番茶になる芽のつぶれである。よって、秋霜・冬霜に対しても防霜が必要である。
- #### (6)ファームポンド容量
- ・連続4～5日間防霜できる容量が必要。
 - ・連続3日の降霜はよくある。また、4日連続もまれにある。
 - ・連続降霜日数は最長で5日、平均で3日程度。
- #### (7)散水量
- ・曾於地域の間断散水を行っている37戸、50ほ場の散水強度は、 $0.8\sim 2.1\text{mm/hr}$ の範囲にあり、平均が 1.3mm/hr であった。
- #### (8)スプリンクラーの機種
- ・スプリンクラーの材質は、金属性ノズルが凍りにくいので防霜散水には良い。
 - ・プラスチック製は凍りつきやすいため、目詰まりを起こす。よって、金属製スプリンクラーが良い。(支柱までステンレス製のものが良い。)
 - ・個人で整備した茶園はプラスチックの節水型。事業で整備したところは金属製。ポップアップ式の金属製は、本体が休止時に茶株の中に入っているため、 -3°C ～ -4°C でも凍らない。また耐久性も良い。
- #### (9)間断散水を行って失敗した例
- ・聞き取りした範囲では1例もなかった。また、これまでいろいろな機会に聞いてみたが、失敗したという話はなかった。
- #### (10)その他
- ・夏場に葉水するとダニなどの病害虫の発生を防ぐことができるため、減農薬栽培が可能となる。(葉水とは、茶園を湿らす程度にチョロチョロ

散水すること。)

- ・ 減農薬のため、風水圧20m/sの洗浄防除機で病害虫を洗い流す。

3. 防霜かんがいの散水方式

3-1. 散水氷結法のメカニズム

この方法の原理は、微小水滴が作物体に付着する際に発生する潜熱による保温であるから、その効果はもろもろのプロセスによって作物体から失われる熱量と、補給される潜熱量のバランスによって決定される。

氷結法は植物体温をほぼ0℃に保つことが目的であるから、植物体を0℃に保つための熱量をQとすると次の熱収支が成り立つ。

$$Q = Q_s + Q_L + Q_V$$

ここに、 Q_s ：輻射熱、 Q_L ：伝達熱、 Q_V ：蒸発熱。

各熱量の総和と植物体を0℃に保つための熱量、すなわち潜熱量と等しくなるように散水量を決定するのが氷結法の原理である。

・ Q_s (輻射熱)

植物体は夜間輻射放熱をするが、他からの輻射を受けるので、その差引きがその物体を冷却させる量(有効輻射量)となる。有効輻射量は霜夜のような雲の少ない夜は、熱量60kcal/m²・hr程度である。この量は風速に左右されない。また、植物体が氷の皮膜で覆われていてもほとんど変わらない。

・ Q_L (伝達熱)

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

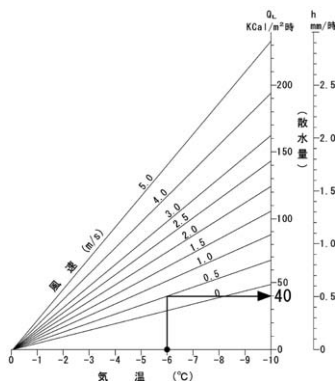


図-2 伝達熱算定図

・ Q_V (蒸発熱)

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

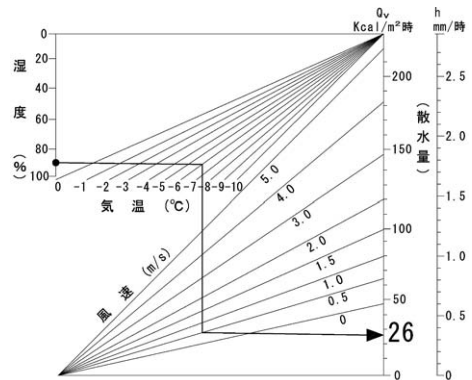


図-3 蒸発熱算定図

3-2. 連続散水

連続散水は、南薩地区等で実施されている一般的な防霜かんがい方式で、散水開始温度まで気温が低下すると散水を開始し、気温が上昇するまで連続して散水する方式である。

南薩地区の防霜計画は次のようになっている。

(1)気象条件

気温：-6℃
風速：0m/s
湿度：60%

(2)放熱量

輻射熱： $Q_s = 60\text{kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$
伝達熱： $Q_L = 31$ 〃
蒸発熱： $Q_V = 33$ 〃
計 124 〃

(3)付着水量の算定

潜熱量：80kcal/m²

必要付着量：

$$124\text{kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \div 80\text{kcal/m}^2 = 1.55\text{mm/hr}$$

(4)必要散水量

付着率：50%

必要散水量： $R = 1.55\text{mm/hr} \div 0.5 = 3.1\text{mm/hr}$

3-3. 間断散水

これまで、曾於地域では南薩地区を参考にした

連続散水方式での防霜かんがいと同時に、主として個人で施工された間断散水方式での防霜かんがいが行われてきた。しかし、連続散水方式は多量の水を必要とするので既存の施設で対応できる散水面積が限られており、茶園の増植がある場合には新たなパイプラインやファームポンド等が必要となる可能性がある。

一方、間断散水は、一定の間隔で散水と止水を繰返し、断続的に散水する方式で、連続散水に比べて散水量が少ないというメリットがある。農家の間では節水かんがいの要望が高いことから、畑総事業でも間断散水を採用したいと考えている。しかし、間断散水の諸元や効果の検証が不十分なことから、間断散水による防霜かんがいが可能かどうかの検証を行う。

3-3-1. 間断散水試験

間断散水は、連続散水の約半分の水量になることから、葉面温度を凍霜害発生の限界温度以上に保つことができるかどうか、間断間隔を60秒、90秒、120秒として試験を行った。

試験ほ場（散水区、対照区）の全景を図-4、図-5、図-6に示す。

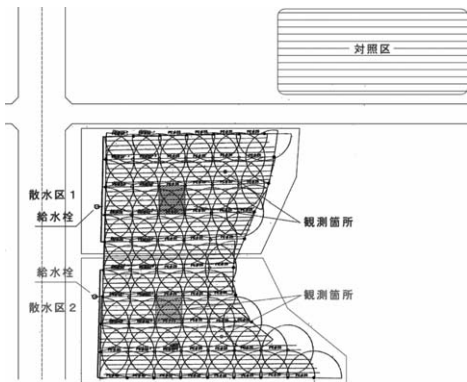


図-4 試験ほ場全景模式図



図-5 散水区1, 2の概観



図-6 対照区の概観

(1) 試験方法

i) 葉面温度、茶株面温度の観測

実際のは場で間断散水を行い、葉面温度及び茶株面温度を記録する。同時に、散水していない対照ほ場でも葉面温度及び茶株面温度を測定する。

用語の解説

間断間隔：散水時間と止水時間の間隔

葉面温度：茶葉表面に測温部を直接貼付けて観測した温度

茶株面温度：茶株面の高さで観測した気温

ii) 散水強度の測定

散水強度測定のため、畝間に容器を設置し、容器内の水量を測定する。この測定では茶園全体の散水強度と、気温が氷点下になる時に茶株に付着せずに畝間に落下する水量を調べる。茶園全体の散水強度は容器を茶株面付近に設置して測定し、畝間に落下する水量は容器を畝間に設置して測定した。

試験は2006年2月3日から2月10日にかけて3回行った。

iii) 試験ほ場について

鹿児島県志布志市有明町内の茶園で行った。

茶園の標高は約60mで品種は「ゆたかみどり」である。

(2) 試験結果

対照区の茶株面最低気温は -7°C であった。間断散水は、60秒、90秒、120秒の3ケースで行った。この時の散水強度は、最低 $1.3\sim$ 最高 2.4mm/hr で、平均が 1.7mm/hr とばらつきがあるものの、連続散水のほぼ半分の散水強度であった。散水による葉面温度は、凍霜害が発生する目安となる -2°C を上回る結果が得られた。これにより、間断散水における防霜効果は認められると判断される。試験結果の概要を図-7、図-8、図-9に示す。

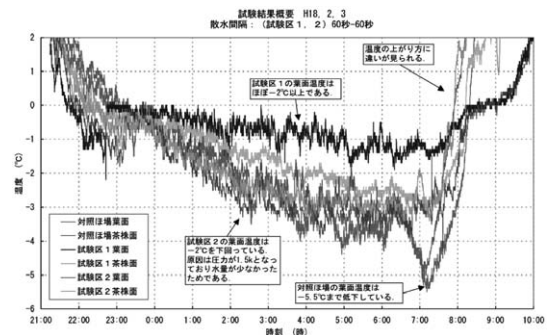


図-7 試験結果概要 (60秒)

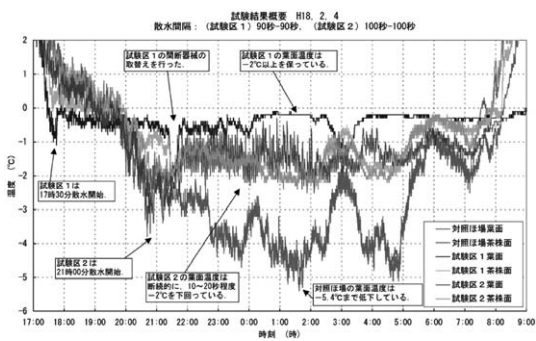


図-8 試験結果概要 (90秒)

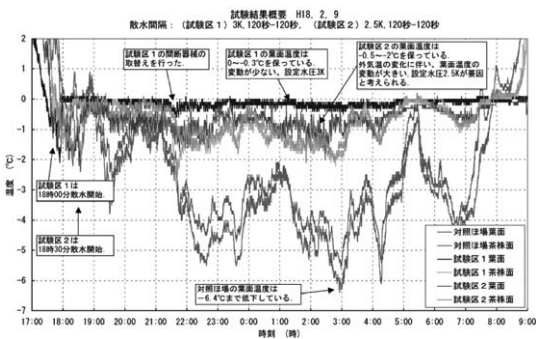


図-9 試験結果概要 (120秒)

また、間断時間に応じて葉面温度が上下している。当初は、間断時間が長い120秒の方が60秒より葉面温度の上下振幅が大きいと考えたが、実際は60秒の方が、振幅が大きかった。これは、スプリンクラーの回転数が60秒では3.5回、120秒では7回であり、120秒の方が、散水ムラが少ないために温度の上下が小さかったと考えられる。今回の農家からの聞き取り調査の結果は100秒が最も多く、また、県営畑総の松元地区でも100秒に設定していることから、本地域においても間断間隔を100秒に設定する。

なお、試験時に散水区の風速と湿度を計測した。3回の平均で、風速は0.3m/s、湿度は91.0%となった。

(3)補足試験

間断散水は連続散水の1/2の散水量に近いと推定されるが、水量は組織容量にも影響することから、ほ場で試験を行い確認することとした。試験は連続散水と100秒の間断散水を行い、水量を比較した。その結果、間断散水は連続散水の50%の水量となった。

3-3-2. 付着試験

連続散水で防霜を行う際に、必要散水量の決定諸元となる付着率は50%とされている。そして、一般的に間断散水にもこの付着率が採用されている。しかし、防霜時の付着率を算定する試験は行われておらず、また、実際には連続散水に比べて散水量が少ない間断散水による防霜も行われており過去に被害を受けていないことから、付着率を見直すことによって連続散水と間断散水の付着水量がほぼ同程度になることを説明できると考えられるので、茶株を用いた付着試験によって付着率を算定した。

(1)試験方法

実際の茶園とは別に、茶株を設置した茶園モデルを作成し、スプリンクラーで間断散水を行う。

i) 茶園モデルの構造

茶園モデルは、根元付近で伐採した茶株5~6株を、現況と同じ配列のまま、底部が網になった金属性の茶株容器に入れたものとする。茶株容器の構造は、茶株の下には引出し可能な受け皿があり、これによって茶株に散水された水のうち、付着せず落下したものが集積される。また、散水強度測定のために、容器の四辺の中央付近に測定用の容器を設置する。4本のスプリンクラーで囲まれた中央部に茶株モデルを設置する。

図-10、図-11、図-12を参照。

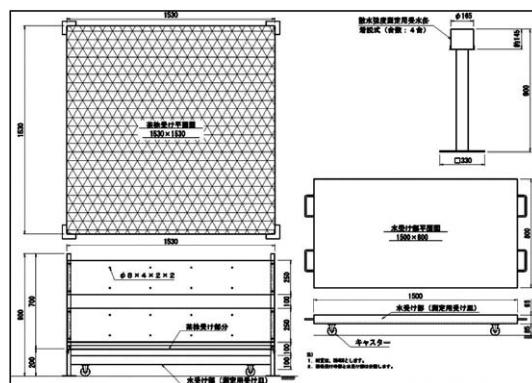


図-10 茶株容器構造図

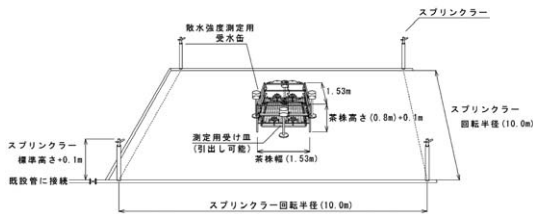
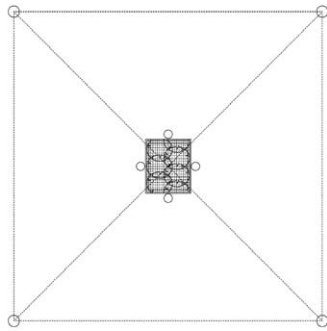


図-11 茶園モデル模式図

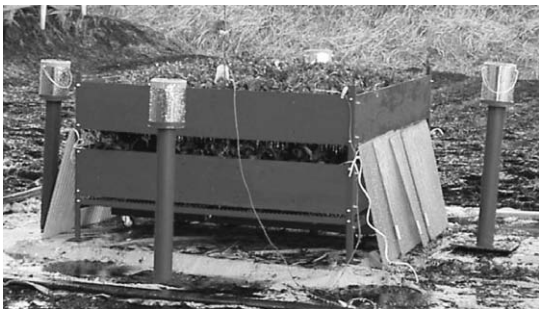


図-12 茶株容器

ii) 茶株面への付着率の算定

モデルを用いて、落水受け皿内の水量および散水強度測定用の容器内水量を1時間ごとに測定する。

茶株周囲の受水皿内水量から計算される4つの散水強度の平均を茶株面への散水強度とし、茶株面への散水量と受け皿にたまった水の差が茶株に付着したものとして、付着率を算定する。散水試験は、間断間隔を60秒と90秒に変化させ2回行う。

(2)試験結果

試験は2006年2月3日及び4日に行った。最低気温は、 -5.5°C と -5.4°C だった。

1時間ごとに算定した茶株面への付着率は次のとおりであった。

100, 95, 100, 100, 96, 99, 97, 98, 99, 100%

以上10回の平均は98.4%であった。

3-4. 間断散水メカニズムの整理

間断散水試験と付着試験の結果より、付着率をほぼ100%にとることにより、散水氷結法のメカニズムが連続散水と間断散水の双方に適用できることが明らかになった。

すなわち、必要付着水量は3-2(3)より

1.55mm/hrで変わらないので連続散水時の必要散水量は、付着率50%で

$$R = 1.55\text{mm/hr} \div 0.5 = 3.1\text{mm/hr} \text{であり,}$$

間断散水時の必要量は付着率100%で

$$R = 1.55\text{mm/hr} \div 1.0 = 1.55\text{mm/hr} \text{となる。}$$

3-5. 間断散水の必要散水量

3-4では間断散水時の必要散水量は、付着率を100%として1.55mm/hrとしたが、これは南薩地域の気象条件(気温 -6°C 、風速0m/s、湿度60%)をもとに決められた数値である。

大隅地域では、過去の気象データ及び試験ほ場で行った散水試験時の気象観測データより気象条件を決定し、散水量を決めることにするが、考慮する事項として次の点が挙げられる。

(1)気象条件の決定及び必要付着量の決定

i) 気象条件

気温： -6°C (過去の気象データの解析結果より。4-3(2)に記載)

風速： 0.5m/s (散水試験データより)

湿度： 90% (散水試験データより)

ii) 放熱量

輻射熱： $Q_s = 60\text{kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$

伝達熱： $Q_L = 40$ 〃

蒸発熱： $Q_v = 26$ 〃

計 126 〃

iii) 付着水量の算定

潜熱量： 80kcal/m^2

必要付着量：

$$126\text{kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \div 80\text{kcal/m}^2 \cdot \text{hr} = 1.58\text{mm/hr}$$

(2)付着率

付着試験の結果は98.4%であったが、安全をみて95%を採用する。

(3)必要散水量

必要付着量： 1.58mm/hr

付着率： 95%

これより、

必要散水量： $1.58\text{mm/hr} \div 0.95 = 1.7\text{mm/hr}$

(4)スプリンクラーの吐出量

間断散水を行うため、スプリンクラーの吐出量の

算定に用いる必要量は1.7mm/hrの2倍の3.4mm/hrを満足する必要がある。

4. 気象観測データ収集と解析

4-1. 気象データ収集

(1) 既存の気象データ

既存のデータとして、受益地の標高に近い次表6ヶ所のアメダスの観測データを収集した(表-2)。

表-2 アメダス観測点一覧表

観測地	牧之原	輝北	都城	鹿屋	志布志	串間
標高	384m	360m	154m	80m	70m	20m
対象期間	1977年~2005年、前年10月1日~5月15日					
	2006年2月~4月20日					

(2) 現地気象観測

各アメダスと曾於地域内の茶園の気温差が何℃あるかを調査した。

2006年2~4月に受益地内の3点で定点観測を行った。観測点は輝北町1点(標高360m福満氏ほ場)、有明町2点(標高90m岩根氏ほ場、60mいろは農園)で、データの記録間隔は1時間である。

4-2. 気象データ解析

過去のアメダスデータから現地での降霜発生状況を調査するため、2006年2~4月のデータを用いて、現地とアメダス観測地との相関及び気温差の観測を行った。有明町(標高90m)の現地とアメダスの気温差および相関を表-3、図-13に示す。

表-3 現地とアメダスの気温差及び相関係数

現場	アメダス観測点					
	牧之原 (標高384m)	輝北 (標高360m)	都城 (標高154m)	鹿屋 (標高80m)	志布志 (標高70m)	串間 (標高20m)
気温差	1.1	0.5	-0.3	-1.2	-0.7	-1.5
平均偏差	1.416	1.162	1.123	1.002	0.834	0.969
相関式	$y=1.03x+0.4796$	$y=1.048x+0.0516$	$y=0.928x+0.1835$	$y=0.968x+1.3415$	$y=0.971x+0.5971$	$y=0.969x+1.251$
相関係数	0.83	0.95	0.94	0.95	0.97	0.96
換算式	$y=x+1.1$	$y=x+1.2$	$y=x-0.3$	$y=x-1.2$	$y=x-0.7$	$y=x-1.5$

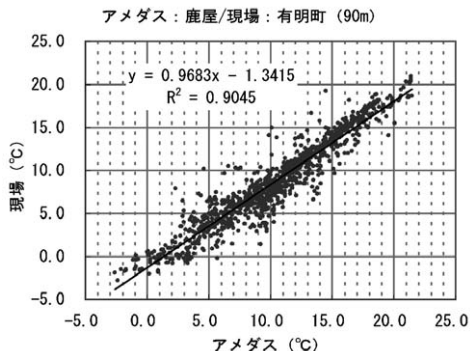


図-13 現地とアメダスの気温相関図

降霜時の相関をとる必要があるため、相関係数は18時から翌日の朝8時までの気温データを用いて算定した。

その結果、相関係数は現地に近いアメダス観測地においていずれも0.90以上の高い数値を示しており、どの地点を基準とすることも可能である。このため、受益地の標高にも近い鹿屋を基準として採用した。その際のアメダスと現場の気温差は-1.2℃である。

4-3. 降霜発生状況

施設設計のために、防霜対象期間、期間の最低気温、1回の散水時間、連続散水日数を設定する必要がある。そこで、前述したアメダスと現場の気温差-1.2℃を用いてアメダスの気温を補正したうえで、過去29年間の散水必要日を調査した。

茶株面温度が2℃以下に低下してから、3℃以上に上昇するまでを散水時間とし、過去29年間の1日当りの散水時間を調べた。一番条件が厳しく、受益地に近い鹿屋での最低気温(補正後)を表-4に、現地での散水を終了する気温4.8℃以下の散水時間を表-5に示す。

表-4 過去の最低気温

現場		アメダス		観測点	
現場	アメダス	観測点	現場	アメダス	観測点
1月	11.8	12.5	12.5	12.5	12.5
2月	8.3	13.1	13.8	14.2	14.8
3月	10.2	15.2	15.9	16.5	17.1
4月	11.2	16.5	17.2	17.8	18.5
5月	12.1	17.6	18.3	18.9	19.6
6月	13.0	18.7	19.4	20.0	20.7
7月	13.9	19.8	20.5	21.8	22.5
8月	14.8	20.9	21.6	23.6	24.3
9月	15.7	22.0	22.7	25.4	26.1
10月	16.6	23.1	23.8	27.2	27.9
11月	17.5	24.2	24.9	29.0	29.7
12月	18.4	25.3	26.0	30.8	31.5
1月	19.3	26.4	27.1	32.6	33.3
2月	20.2	27.5	28.2	34.4	35.1
3月	21.1	28.6	29.3	36.2	36.9
4月	22.0	29.7	30.4	38.0	38.7
5月	22.9	30.8	31.5	39.8	40.5
6月	23.8	31.9	32.6	41.6	42.3
7月	24.7	33.0	33.7	43.4	44.1
8月	25.6	34.1	34.8	45.2	45.9
9月	26.5	35.2	35.9	47.0	47.7
10月	27.4	36.3	37.0	48.8	49.5
11月	28.3	37.4	38.1	50.6	51.3
12月	29.2	38.5	39.2	52.4	53.1
1月	30.1	39.6	40.3	54.2	54.9
2月	31.0	40.7	41.4	56.0	56.7
3月	31.9	41.8	42.5	57.8	58.5
4月	32.8	42.9	43.6	59.6	60.3
5月	33.7	44.0	44.7	61.4	62.1
6月	34.6	45.1	45.8	63.2	63.9
7月	35.5	46.2	46.9	65.0	65.7
8月	36.4	47.3	48.0	66.8	67.5
9月	37.3	48.4	49.1	68.6	69.3
10月	38.2	49.5	50.2	70.4	71.1
11月	39.1	50.6	51.3	72.2	72.9
12月	40.0	51.7	52.4	74.0	74.7
1月	40.9	52.8	53.5	75.8	76.5
2月	41.8	53.9	54.6	77.6	78.3
3月	42.7	55.0	55.7	79.4	80.1
4月	43.6	56.1	56.8	81.2	81.9
5月	44.5	57.2	57.9	83.0	83.7
6月	45.4	58.3	59.0	84.8	85.5
7月	46.3	59.4	60.1	86.6	87.3
8月	47.2	60.5	61.2	88.4	89.1
9月	48.1	61.6	62.3	90.2	90.9
10月	49.0	62.7	63.4	92.0	92.7
11月	49.9	63.8	64.5	93.8	94.5
12月	50.8	64.9	65.6	95.6	96.3
1月	51.7	66.0	66.7	97.4	98.1
2月	52.6	67.1	67.8	99.2	99.9
3月	53.5	68.2	68.9	101.0	101.7
4月	54.4	69.3	70.0	102.8	103.5
5月	55.3	70.4	71.1	104.6	105.3
6月	56.2	71.5	72.2	106.4	107.1
7月	57.1	72.6	73.3	108.2	108.9
8月	58.0	73.7	74.4	110.0	110.7
9月	58.9	74.8	75.5	111.8	112.5
10月	59.8	75.9	76.6	113.6	114.3
11月	60.7	77.0	77.7	115.4	116.1
12月	61.6	78.1	78.8	117.2	117.9
1月	62.5	79.2	79.9	119.0	119.7
2月	63.4	80.3	81.0	120.8	121.5
3月	64.3	81.4	82.1	122.6	123.3
4月	65.2	82.5	83.2	124.4	125.1
5月	66.1	83.6	84.3	126.2	126.9
6月	67.0	84.7	85.4	128.0	128.7
7月	67.9	85.8	86.5	129.8	130.5
8月	68.8	86.9	87.6	131.6	132.3
9月	69.7	88.0	88.7	133.4	134.1
10月	70.6	89.1	89.8	135.2	135.9
11月	71.5	90.2	90.9	137.0	137.7
12月	72.4	91.3	92.0	138.8	139.5
1月	73.3	92.4	93.1	140.6	141.3
2月	74.2	93.5	94.2	142.4	143.1
3月	75.1	94.6	95.3	144.2	144.9
4月	76.0	95.7	96.4	146.0	146.7
5月	76.9	96.8	97.5	147.8	148.5
6月	77.8	97.9	98.6	149.6	150.3
7月	78.7	99.0	99.7	151.4	152.1
8月	79.6	100.1	100.8	153.2	153.9
9月	80.5	101.2	101.9	155.0	155.7
10月	81.4	102.3	103.0	156.8	157.5
11月	82.3	103.4	104.1	158.6	159.3
12月	83.2	104.5	105.2	160.4	161.1
1月	84.1	105.6	106.3	162.2	162.9
2月	85.0	106.7	107.4	164.0	164.7
3月	85.9	107.8	108.5	165.8	166.5
4月	86.8	108.9	109.6	167.6	168.3
5月	87.7	110.0	110.7	169.4	170.1
6月	88.6	111.1	111.8	171.2	171.9
7月	89.5	112.2	112.9	173.0	173.7
8月	90.4	113.3	114.0	174.8	175.5
9月	91.3	114.4	115.1	176.6	177.3
10月	92.2	115.5	116.2	178.4	179.1
11月	93.1	116.6	117.3	180.2	180.9
12月	94.0	117.7	118.4	182.0	182.7
1月	94.9	118.8	119.5	183.8	184.5
2月	95.8	119.9	120.6	185.6	186.3
3月	96.7	121.0	121.7	187.4	188.1
4月	97.6	122.1	122.8	189.2	189.9
5月	98.5	123.2	123.9	191.0	191.7
6月	99.4	124.3	125.0	192.8	193.5
7月	100.3	125.4	126.1	194.6	195.3
8月	101.2	126.5	127.2	196.4	197.1
9月	102.1	127.6	128.3	198.2	198.9
10月	103.0	128.7	129.4	200.0	200.7
11月	103.9	129.8	130.5	201.8	202.5
12月	104.8	130.9	131.6	203.6	204.3
1月	105.7	132.0	132.7	205.4	206.1
2月	106.6	133.1	133.8	207.2	207.9
3月	107.5	134.2	134.9	209.0	209.7
4月	108.4	135.3	136.0	210.8	211.5
5月	109.3	136.4	137.1	212.6	213.3
6月	110.2	137.5	138.2	214.4	215.1
7月	111.1	138.6	139.3	216.2	216.9
8月	112.0	139.7	140.4	218.0	218.7
9月	112.9	140.8	141.5	219.8	220.5
10月	113.8	141.9	142.6	221.6	222.3
11月	114.7	143.0	143.7	223.4	224.1
12月	115.6	144.1	144.8	225.2	225.9
1月	116.5	145.2	145.9	227.0	227.7
2月	117.4	146.3	147.0	228.8	229.5
3月	118.3	147.4	148.1	230.6	231.3
4月	119.2	148.5	149.2	232.4	233.1
5月	120.1	149.6	150.3	234.2	234.9
6月	121.0	150.7	151.4	236.0	236.7
7月	121.9	151.8	152.5	237.8	238.5
8月	122.8	152.9	153.6	239.6	240.3
9月	123.7	154.0	154.7	241.4	242.1
10月	124.6	155.1	155.8	243.2	243.9
11月	125.5	156.2	156.9	245.0	245.7
12月	126.4	157.3	158.0	246.8	247.5
1月	127.3	158.4	159.1	248.6	249.3
2月	128.2	159.5	160.2	250.4	251.1
3月	129.1	160.6	161.3	252.2	252.9
4月	130.0	161.7	162.4	254.0	254.7
5月	130.9	162.8	163.5	255.8	256.5
6月	131.8	163.9	164.6	257.6	258.3
7月	132.7	165.0	165.7	259.4	260.1
8月	133.6	166.1	166.8	261.2	261.9
9月	134.5	167.2	167.9	263.0	263.7
10月	135.4	168.3	169.0	264.8	265.5
11月	136.3	169.4	170.1	266.6	267.3
12月	137.2	170.5	171.2	268.4	269.1
1月	138.1	171.6	172.3	270.2	

く、長時間の散水に対しても防霜散水量全体に及ぼす影響は少ないことから、散水時間決定の対象からはずすこととする。

防霜散水時間算定においては、全面積の累計が8割を超える「やぶきた」以降を対象とし、萌芽期3月30日より約2週間早い3月15日以降を連続散水時間の算定に用いることとする。

この期間の連続散水時間を調べると表-8のとおりである。

聞き取り調査の結果、散水時間については「通常は11時間程度散水する。」という回答が多かったが、調査の結果8時間までの累加回数は76%、9時間までは88%、10時間までは93%となった。

表-7 茶品種別の萌芽期と栽培面積

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

表-8 連続散水時間とその発生回数

連続時間	発生回数 (回)											
	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr	7hr	8hr	9hr	10hr	11hr	12hr
発生回数 (回)	9	20	25	14	16	29	21	16	23	10	6	4
累加回数 (回)	9	29	54	68	84	113	134	150	173	183	189	193
累加割合 (%)	4.6	14.7	27.4	34.5	42.6	57.4	68.0	76.1	87.8	92.9	95.9	98.0
連続時間	発生回数 (回)											
	13hr	14hr	15hr	16hr	17hr	18hr	19hr	20hr	21hr	22hr	23hr	24hr
発生回数 (回)	2	1	1									
累加回数 (回)	195	196	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197
累加割合 (%)	99.0	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
総回数	197回											
対象期間	1977~2005年、3月15日~4月30日											
備考	1日は13時~翌日12時											

(4)連続散水日数

3月15日以降の連続散水日数を見ると表-9のようになっている。

聞き取り調査の結果、連続散水日数については「連続3日はよくある。4日もまれにある。」という回答が多かったが、調査の結果、2日までの累加回数は88%、3日までは96%、4日までは99%となった。

表-9 連続散水時間とその発生回数

連続日数	1日	2日	3日	4日	5日	6日
発生回数 (回)	126	48	16	6	1	-
累加回数 (回)	126	174	190	196	197	
累加割合 (%)	64.0	88.3	96.4	99.5	100.0	
合計回数	197回					
対象期間	1977年~2005年、3月15日~4月30日					
備考	最低気温4.8℃以下の日の連続日数 1日は13時~翌日12時					

4-4. ファームポンド容量

ファームポンドの容量は、過去29年間の連続散水時の総散水時間を基に検討した。総散水時間の解析結果を表-10に示す。この表は条件の厳しい鹿屋を基準とし、ほぼ1/10年確率に相当する3位をまず選択した。(上位3位以上の発生する確率は3回/29年であり、ほぼ1/10年確率となる。)

しかし、表より、3日連続の場合に32、30、25時間であり、2位と3位の開きが大きいことと、4-3(3)、(4)で調査した「連続散水時間」,「連続散水日数」も参考にして安全側の2位を採用した。

表-10 ファームポンドの容量の決定

年	連続散水時間(3/15~4/30)																							
	1日								2日連続		3日連続		4日連続		5日連続									
	最大	1	2	3	4	5	6	7	8	最大	1	2	3	4	最大	1	2	最大	1	2	最大	1	2	
1977	9	9	7	7						14	14				20	20								
1978	12	10	10	12	3	8	9	5		18	12	18	14		25	25								
1979	10	10	9	9	8	9				14	14	11			16	16		19	19					
1980	12	12	4	12	9	6	6			18	18	15	10											
1981	7	7	2	6	4	3	2	2		16	16													
1982	9	7	6	8	5	9				16	16	14												
1983	12	12																						
1984	15	10	15	9	2	2				29	29													
1985	9	3	9																					
1986	11	9	11	2						20	20				25	25								
1987	13	4	2	13	6					21	21	10												
1988	8	8	2	6	7	1				12	12	2			15	15								
1989	9	9	7	8	8	3				15	15	15												
1990	8	6	8	8	1	6				15	15	15			22	22								
1991	10	10	4							17	17	6			20	20								
1992	3	3																						
1993	13	13	2	6	10	3				22	22	17			32	32	26	38	38	35				
1994	11	11	6	10	4	2				19	19	19			25	25		33	33					
1995	11	11	7	10	7					22	22	16			30	30								
1996	11	3	3	11	2	5	8			20	20	8	14		24	24	17	35	35	19	39	39		
1997	9	9	3	8	3					12	12	12												
1998	9	9	7	6						15	15	11			20	20								
1999	4	4	3							7	7													
2000	8	8	4	1	5	5	1	3		12	12	6	7	4										
2001	9	6	6	6	9	6	3			17	17													
2002	9	9	2	1																				
2003	7	7	5	6	7	7				12	12	12	8		16	16								
2004	7	3	7																					
2005	10	10	6	2	5	6	2	2	3	14	14	3			19	19								
発生回数	126回								48回		16回		6回		1回									
【順位】	各年の最大値を採用する															()は1日あたり散水時間								
	1日				2日連続				3日連続				4日連続				5日連続							
1位	15 (15)				29 (16)				32 (11)				38 (10)				39 (6)							
2位	13 (13)				22 (11)				30 (10)				35 (9)											
3位	13 (13)				22 (11)				25 (9)				33 (9)											
4位	12 (12)				21 (11)				25 (9)				19 (5)											
5位	12 (12)				20 (10)				25 (9)															
6位	12 (12)				20 (10)				24 (8)															
7位	11 (11)				19 (10)				22 (8)															
8位	11 (11)				18 (9)				20 (7)															
連続日数：最大4日連続を採用する。 (5日連続もあるが、29年間で1回しか発生していないことから採用しない。)																								
連続時間：29年間で2位の1日あたり最大13時間連続を採用する。 (1/10年確率相当は第3位となるが、実績を考慮して第2位を採用した。)																								
総散水時間：FP容量決定のための総散水時間は、第2位をもとに以下のように決定した。																								
	1日の散水時間				総散水時間																			
1日	13				13																			
2日連続	11				22																			
3日連続	10				30																			
4日連続	9				36																			

そして、受益地の中で最も茶栽培面積が集中し県営ファームポンドの設置が必要となっている松ヶ鼻調整池の支配面積について、1日連続から4日連続までの1日当り散水時間を基に水収支を検討した結果、ファームポンド容量確保のうえから条件の一番厳しかったのは10時間散水、3日連続であった。

今後、県営ファームポンドの容量決定にあたっては「連続散水10時間、連続散水日数3日」を基準とする。

5. 防霜かんがい諸元

5-1. 基本諸元

防霜かんがいの基本諸元として、農家への聞き取り調査、ほ場での現地試験及び気象データの解析より表-11のような検討結果が得られた。

表-11 防霜かんがいの基本諸元

分類	項目	曾於地域	決定根拠
気象条件	茶株面温度	-6℃	
	風速	0.5m/s	実測より
	湿度	90%	実測より
散水時間	連続散水日数	最大 4日	気象データ解析より
	連続散水時間	最大13時間	気象データ解析より
放熱量	輻射熱 Q_s	60kcal/m ² /hr	
	伝達熱 Q_L	40kcal/m ² /hr	算定図より
	蒸発熱 Q_v	26kcal/m ² /hr	算定図より
	放熱量 Q	126kcal/m ² /hr	
散水量	潜熱量	80kcal/m ²	
	必要付着水量	1.58mm/hr	=126÷80
	付着率	95%	試験結果より
	必要散水量	1.7mm/hr	=1.58÷0.95

5-2. 防霜かんがい諸元の決定

防霜かんがいの基本諸元により、曾於地域における防霜かんがい諸元を表-12のように決定する。

5-3. まとめ

ほ場での試験により、これまで行われていた間断散水のメカニズムを解明することができた。今後、曾於地域の茶の防霜かんがいには間断散水方式を採用する。

ほ場試験、聞き取り調査、気象データの解析により次の点を整理した。

表-12 防霜かんがい諸元

分類	項目	曾於地域	決定根拠
気象条件	茶株面温度	-6℃	
	風速	0.5m/s	実測より
	湿度	90%	実測より
放熱量	輻射熱 Q_s	60kcal/m ² /hr	
	伝達熱 Q_L	40kcal/m ² /hr	算定図より
	蒸発熱 Q_v	26kcal/m ² /hr	算定図より
	放熱量 Q	126kcal/m ² /hr	
散水量	潜熱量	80kcal/m ²	
	必要付着水量	1.58mm/hr	=126÷80
	付着率	95%	試験結果より
	必要散水量	1.7mm/hr	=1.58÷0.95
散水器具仕様	散水器	A社全円 B社全円 C社全円	
	使用水压	2.9kgf/cm ² 2.9kgf/cm ² 2.9kgf/cm ²	メーカーカタログより
	ノズル口径	2.4mm 2.4mm 2.4mm	〃
	噴射角度	22.0° 20.0° 23.0°	〃
	散水直径	21.0m 19.6m 21.3m	〃
	散水量	5.7L/min 5.7L/min 5.8L/min	α
	回転速度	3.5回/min 3.5回/min 3.5回/min	メーカー聞き取り
散水器具選定	標準配置間隔	9.0m 9.0m 9.0m	B
	スプリングラ-間隔	11.0m 11.0m 11.0m	L
	散水強度	3.46mm/hr 3.46mm/hr 3.52mm/hr	$Q = \alpha \times (B \times L) \times 60$
	平均散水強度	1.73mm/hr 1.73mm/hr 1.76mm/hr	$\alpha = Q \div \text{間隔率}$ α は平均値1.7mm/hrとする。
散水時間	散水開始時刻	茶株面温度 2℃	実態調査より
	散水(間断)時間	100秒	実態調査より
	停止(間断)時間	100秒	実態調査より
	散水終了時刻	茶株面温度 3℃	実態調査より
	計画散水時間	最大13時間	気象データ解析より
連続散水日数(総散水)	F P容量決定 3日(30時間)	気象データ解析より	
散水効率	95%	設計基準より	
適用効率	80%	80~90%の最低値	
かんがい効率	75%	=80%×95%	
凍害防止散水の組織容量	0.005m ³ /s/ha	= $G \times 10 \div 0.75 \div 3600$	

- (1)防霜期間は3月1日から4月30日とする。
- (2)散水開始は、茶株面温度2℃、散水終了は茶株面温度3℃とする。
- (3)散水量の算定に用いる計画最低気温は、栽培面積が3割を超える「ゆたかみどり」の萌芽期2週間前の3月8日以降を対象として決定し、茶株面で-6℃とする。
- (4)散水量は1.7mm/hrとする。気象条件の見直し及び間断散水の採用により、現基準である3.1mm/hrと比較すると約55%となる。
- (5)ファームポンドが必要な場合の容量は、栽培面積が8割を超える「やぶきた」の萌芽期約2週間前の3月15日以降を対象として決定し、連続散水10時間、連続散水日数3日とする。
- (6)間断間隔は、100秒散水、100秒停止とする。
作成した「曾於地域における間断散水による茶の防霜かんがい諸元」により、連続散水方式を間断散水方式に変更し節水を図りながら、ファームポンドの容量を連続散水8時間、連続散水日数2日としていた現計画を、気象データの解析によりそれぞれ10時間、3日に変更し、茶生産農家が安心して利用できる防霜かんがい施設の整備に努めた。

なお、本地域は国営かん排事業による基幹施設が建設され、県営事業により末端施設を建設するものである。今回検討した防霜かんがいの散水方式の変更に関して、既に建設あるいは設計済みの基幹施設もあることから、国営事業との調整を図りながら事業を推進したいと考えている。

参考文献

- ・ 県営畑地帯総合整備事業
「曾於南部地区委託17-3」報告書
- ・ 鹿児島県茶業試験場
平成16年度「栽培に関する試験成績書」
- ・ 水と土 第72号
「間断散水法による茶園の防霜」黒岩郁夫
- ・ 土地基盤整備基本調査
「松元地区委託58-3, 58-6」
- ・ 「平成16年度茶園面積及び栽培戸数調査表」
鹿児島県大隅農林事務所
- ・ 県営畑地帯総合土地改良事業
「南薩地区 測57-42」
畑地かんがい（防霜）設計業務
- ・ 農土誌 55
「散水氷結法による茶園の凍霜害防止」

大規模地震動に対する豊川用水盛土水路の 耐震性能と照査手法の検討

高上 昌也* 笠井 泰孝* 細山田 真*

(Masaya TAKAUE)

(Hirotaka KASAI)

(Makoto HOSOYAMADA)

目 次

1. はじめに	38	4. 地震時挙動評価（非液状化地盤）	44
2. 性能設計手法とその適用について	38	5. 推定法の適用について	48
3. 地震時挙動評価（液状化地盤）	40	6. 結論	49

1. はじめに

昭和43年の通水開始以来、農水、上水、工水を供給し、地域経済の大動脈として貢献している豊川用水は、経年劣化した水路施設の改築を進めているが、平成14年の東海地震防災対策強化地域の拡大、平成15年の東南海・南海地震防災対策推進地域の指定により、豊川用水地域のほぼ全域がこれらの地域に含まれることとなり、経年劣化に対する水路改築に加え、地震対策に取り組むことが急務となっている。

こうした対策を行うに当たり、耐震対策の是非を判断する際に施設毎に詳細な検討を行うとコストが増高し、検討に長い期間を要するため、簡便な地震時挙動の評価法を確立することは事業の効率的な実施に大変有効なことである。

本報では施設重要度の評価と重要度に応じた耐震性能、耐震性能に応じた盛土変位量の工学的指標を定め、各開水路毎の定量的要求性能の分類を行ったため、その手法について報告する。

さらに盛土下層地盤の液状化・非液状化における各々の地震時の盛土挙動を評価する手法として、動的FEM解析結果を再現する簡易式等を導いたのでここに報告するものである。

2. 性能設計手法とその適用について

2.1 性能設計採用の経緯

盛土水路等の土構造物における簡便な耐震性評価法の一つに、震度法による円弧滑り計算を用いた斜面安定解析がある。

豊川用水の各盛土水路区間において最大加速度が500galを超えるような大規模地震を想定した円弧滑り計算を実施した結果、25kmある盛土開水路（幹線水路全延長112km）のほぼ全てで円弧滑り安全率 $F_s = 1.0$ を下回り、耐震補強が必要との結果を得た。この場合耐震対策に多大な費用と工期を要する。また最大加速度を静的に常時作用させた円弧滑り計算は斜面崩壊の有無の判定には効果的であるが、崩壊の程度を定量的に評価することはできない。

このため合理的な耐震性評価と耐震対策設計の方法の策定を行うことを目的に、施設重要度に応じた要求耐震性能を規定し、その耐震性能を満たす限界状態とその工学的指標を定義する性能設計手法を採用した。

2.2 耐震性能と限界状態

まず盛土水路に必要とされる耐震性能（要求性能）をそれぞれ要求する性能に応じて1～4に区分し、「水路構造」「通水機能」及び「補修（改築）程度」の観点から表-1に示す具体的な限界状態を設定した。

水路の耐震性能については（独）水資源機構の定める「水路工設計指針（案）」に準じ、地震後の変状程度を一般的表現で3段階に区分した。ここで、周辺に重要構造物や民家等が無く、耐震性を有する併設水路が整備される水路は、損傷によ

*（独）水資源機構豊川用水総合事業部第一調査設計課
(Tel. 0532-54-6501)
**（独）水資源機構豊川用水総合事業部新城支所第一工事課長
(前：第一調査設計課班長) (Tel. 0536-26-0076)
***（独）水資源機構豊川用水総合事業部第一調整課長
(前：第一調査設計課長) (Tel. 0532-54-6501)

表-1 水路の耐震性能と限界状態

耐震性能		内容(限界状態)		
種類	表現	水路構造	通水機能	補修(改築)程度
耐震性能 1	健全性を損なわない	変状を超える損傷が生じない(目立った変状が発生しない)	通水に全く支障はない	地震後に補修が不要
耐震性能 2	限定された損傷にとどまる	部分的に降伏を超えるような損傷があるが、全体的に見れば軽微な損傷	冬期用水を確保する	通水しながらの補修が可能
耐震性能 3	致命的な損傷に至らない	大きく変状するが、人命に影響を及ぼす崩壊には至らない	最低限の都市用水を確保する	断水して改築する必要がある
(耐震性能 4)	(耐震設計を実施しない)	—	—	—

表-2 水路盛土の耐震性能と工学的指標

耐震性能	工学的指標			
	基礎地盤が液状化しない場合		基礎地盤が液状化する場合	
種類	通水機能	水路機能	通水機能	水路機能
耐震性能1	円弧滑り安全率1.0以上		(液状化しない)	
耐震性能2	$S \leq S_1$	$S \leq S_3$	$S \leq S_1$	$S \leq S_3, \delta \leq \delta_1$
耐震性能3	$S \leq S_2$	$S \leq S_3$	$S \leq S_2$	$S \leq S_3, \delta \leq \delta_1$
(耐震性能4)	—	—	—	—

S: 推定される盛土沈下量(m)。S₁・S₂: 耐震性能2・3, 通水機能に関する許容沈下量。S₃: 水路機能を保持する許容沈下量。δ: 推定される盛土天端水平変位量(m)。δ₁: 液状化時の水路機能を保持する許容水平変位量

る人命や周囲に及ぼす影響が小さく、最低限の通水を確認しながらの補修が可能であるため、耐震設計の対象としていない。このような水路を便宜上(耐震性能4)と定義する。

また限界状態の設定において「水路構造」は水路の変状と安全性、「通水機能」は地震後に確保出来る通水状態、「補修(改築)程度」は地震後の補修程度と通水状況、という観点から区分した。それぞれの限界状態は耐震性能に適合するよう3段階を設定した。

2.3 限界状態と工学的指標

水路の耐震性能を定量的に評価するためには、盛土の地震時挙動が耐震性能に応じた限界状態を満足するか否か照査する工学的指標が必要となる。よって、工学的指標を通水機能と水路機能から表-2のように設定した。

まず通水機能は、通水断面の確保・越流防止等の観点から盛土水路のフリーボードや盛土天端との余裕に対する地震後の盛土の沈下量により設定した。

水路機能は、盛土の変状(盛土の歪み)の増加が土構造物の亀裂・土骨格の破壊を誘因し、漏水や崩壊量に至るといった観点から図-1に示すよう

に水路の変状断面を3軸試験の供試体と仮定し、水路の沈下量を軸歪みと見立ててその破壊歪み(10~15%)から安全性を考慮して設定した。

さらに基礎地盤が液状化する場合には水平変位が卓越するため、鉛直方向の指標に加え図-2に示すように変状の大きい範囲の高さと水平変位との関係より剪断歪みをマクロ的に想定し、上記と同様に盛り土の破壊歪みから指標を設定した。

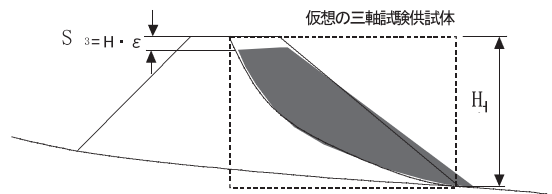


図-1 水路機能を保持する盛土天端の沈下量

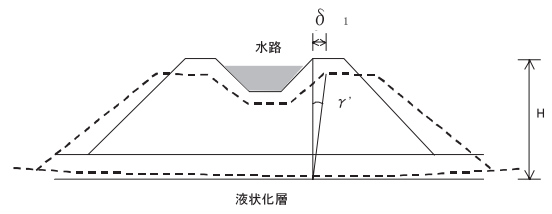


図-2 水路機能を保持する盛土天端の水平変位量

表-3 水路の重要度区分と耐震性能区分

施設重要度	耐震性能			
	レベル1地震動		レベル2地震動	
	併設水路あり	併設水路なし	併設水路あり	併設水路なし
I ランク(イ)	耐震性能1		耐震性能3	耐震性能2
I ランク(ロ)			耐震性能4	
II ランク	耐震性能4			
III ランク			耐震性能4	

I ランク(イ)：重要構造物と交差しており二次災害危険度が高い。I ランク(ロ)：二次災害危険度は高くない。応急復旧困難。II ランク：応急復旧に長期要する。III ランク：影響軽微・復旧容易

2. 3. 1 盛土許容沈下量（通水機能）について
工学的指標として設定した S_1 、 S_2 （表-2）については以下の通りとする。

$$S_1 = H1 / F_s \quad (1)$$

S_1 ：耐震性能2の通水機能に関する盛土天端の許容沈下量（m）

H1：余盛量（m）= 0.8m

F_s ：安全率= 2

この結果 $S_1 = 0.4m$ となる。

$$S_2 = (H1 + H2) / F_s \quad (2)$$

S_2 ：耐震性能3の通水機能に関する盛土天端の許容沈下量（m）

H2：水路フリーボード（m）= 0.4m

この結果 $S_2 = 0.6m$ となる。

2. 3. 2 盛土許容沈下量（水路機能）について
工学的指標 S_3 、 δ_1 （表-2）については以下の通りとする。

$$S_3 = H \cdot \varepsilon \quad (3)$$

S_3 ：水路機能を保持する盛土天端の許容沈下量（m）

H：非液状化地盤では、図-2に示す滑り面の高さ（m）、液状化地盤では液状化層の上端から盛土天端の沈下量（m）

ε ：許容軸歪みで、盛土と切土の構造変化点近傍では一律に3%、構造変化点近傍以外で耐震性能2の場合5%、耐震性能3では7%とする。（盛土の破壊歪みより安全率2、3を考慮）

$$\delta_1 = H \cdot \gamma' \quad (4)$$

δ_1 ：液状化時の水路機能を保持する盛土天端の許容水平変位量（m）

γ' ：水平変位に伴う許容剪断歪み。盛土と切土の構造変化点近傍では一律に3%、構造変化点近傍以外で耐震性能2の場合

5%、耐震性能3では7%とする。（盛土の破壊歪みより安全率2、3を考慮）

2. 4 重要度区分と耐震性能区分

前項までで盛土水路の耐震性能及び性能照査基準を定義した。本項では水路施設が具備すべき耐震性能について、施設重要度と併設水路の有無に応じて区分した。（表-3）

ここで、施設重要度区分は「二次災害危険度」、「応急復旧難易度」および「施設規模（代替水源）」から設定しており、I ランクが最も重要度は大きい。さらにI ランクについては二次災害危険度の大小に応じて順に（イ）（ロ）と分類している。

3. 地震時挙動評価（液状化地盤）

3. 1 検討概要および動的FEM解析の照査

前章では盛土水路の耐震性能とその工学的指標について、盛土沈下量・歪み及び水平変位量により規定した。本項ではこれら照査基準との比較を行うための盛土水路の地震時挙動評価法について言及する。

液状化層を有する土構造物の地震時挙動評価を行う解析法として、過剰間隙水圧の影響や地震動波形を考慮に入れた有効応力動的FEM解析がある。この解析法は地盤を土と水とに分けて考え、それぞれについての釣合い式、水の流入・流出と土骨格の体積変化を考慮した理論的に優れた解析法であり、詳細な土質試験結果に基づき適切なパラメータ設定を行えば再現性は非常に高いとされている。ただし、解析パラメータが多く解析時間がかかるなど、設計実務には適用し難い。

そのため有効応力動的FEM解析を再現する静的な簡易計算法および挙動予測法の検討を行うものである。

ここで有効応力動的FEM解析の計算モデルと

して、非液状化モデルであるR-Oモデル、液状化モデルであるPZ-sandモデルを適用する。R-O (Ramberg-Osgood) モデルとは全応力非線形モデルであり、間隙水圧の上昇・消散による有効応力の変化は考慮出来ないことから粘性土・水位線以上の砂質土に適用する。またPZ-sand (Pator-Zenkiewicz) モデルとは過剰間隙水圧の上昇・消散による有効応力の変化に応じて土の応力-歪み関係を時々刻々変化させて解析すること

が可能な弾塑性モデルであり、液状化層（液状化抵抗率FLに基づく）に適用する。

なお、解析は図-3に示す東部幹線寺沢開水路モデルで実施し、パラメトリックな（盛土高・液状化程度・液状化層厚・液状化深・地層傾斜の入力データを調整した）検討ケースのケース名、各条件値を表-4に、モデルを構成する各土層物性値を表-5に示す。なお、R-Oモデルにおける各パラメータを表-6に示す。

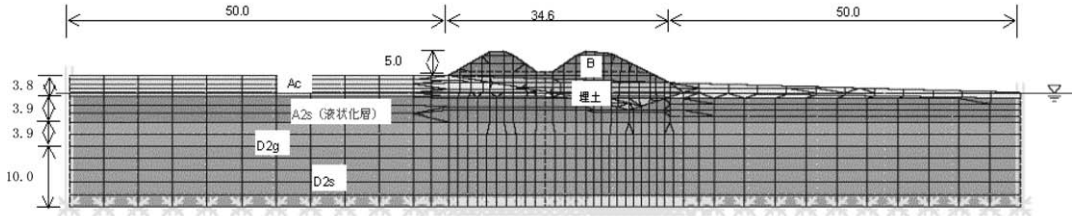


図-3 寺沢開水路解析モデル

表-4 検討ケース

検討ケース	盛土高	液状化程度	液状化層厚	液状化深	地層傾斜
基本断面	4.0m	1	5.0m	0.0m	0.0°
類似断面-1	7.0m	2(難しい)	5.0m	0.0m	0.0°
類似断面-2	4.0m	1	5.0m	0.0m	0.0°
類似断面-3-1	4.0m	1	2.0m	0.0m	0.0°
類似断面-3-2	4.0m	1	10.0m	0.0m	0.0°
類似断面-4-1	4.0m	1	5.0m	4.0m	0.0°
類似断面-4-2	4.0m	1	5.0m	2.0m	0.0°
類似断面-5-1	4.0m	1	5.0m	0.0m	5.0°
類似断面-5-2	4.0m	1	2.5m	2.5m	5.0°

表-5 地盤の物性値と解析におけるモデル

層名	パラメータ名	値	地盤のモデル化	備考
B	N値	10	R-Oモデル	礫混じり砂
	γ (kN/m ³)	18		
	c (kN/m ²)	0		
	ϕ	25		
Ac	N値	6	R-Oモデル PZ-sandモデル	シルト質粘土 砂分を比較的多く含んでいるため、 液状化試験を実施 ($R_r=0.28$:繰返し3軸強度比)
	γ (kN/m ³)	15		
	c (kN/m ²)	36		
	ϕ	0		
A2s	N値	6	PZ-sandモデル	シルト質細砂 (液状化層) $R_r=0.27$ $R_r=0.24$ (道示式)
	γ (kN/m ³)	18		
	c (kN/m ²)	0		
	ϕ	25		
D2g	N値	50	弾性モデル	
	γ (kN/m ³)	21		
	c (kN/m ²)	0		
	ϕ	40		
D2s	N値	37	弾性モデル	
	γ (kN/m ³)	19		
	c (kN/m ²)	0		
	ϕ	40		

表-6 R-Oモデルのモデルパラメータ

名称	記号	単位	B	Ac	備考
初期剪断剛性	G_0	kN/m ²	44,450	91,020	試験値
初期平均有効主応力	σ_m'	kN/m ²	44.3	97.6	ボーリングデータより計算
ポアソン比	ν		0.33	0.33	一般的な値を採用
R-Oモデルパラメータ	$R_0\alpha$		2.06	1.87	$2^{0.01}$
R-Oモデルパラメータ	$R_0\beta$		2.04	1.90	$(2+\pi \cdot h_{max}) / (2-\pi \cdot h_{max})$

またPZ-sandモデルを構成する静的パラメータについては圧密非排水三軸試験（CU試験）から得られる軸差応力（ q ）～軸歪み（ ε_1 ）関係、体積歪み（ ε_v ）～軸歪み（ ε_1 ）関係を再現するようにパラメータ同定を行い、動的パラメータについては繰返し非排水三軸試験から得られる液状化強度曲線を再現するように同定した。各パラメータは表-7に示す。

3. 2 盛土の地震時挙動推定法の提案1（簡易図表）

設計実務では対象地震動が特定される場合に図表により簡易に盛土の挙動を推定することができれば非常に有効である。

本検討では東海・東南海連動型地震における有効応力動的FEM解析結果より、盛土の挙動を推定する簡易図表の作成を行った。

動的FEM解析結果より、液状化断面における盛土天端の変位量はバラツキがあるものの、液状

化指数PL値との相関性が確認された。このバラツキの主な要因として「地盤傾斜の影響」「液状化層の拘束圧の影響」が考えられた。

「地盤傾斜の影響」としては、地盤傾斜により盛土全体が山側から谷側へ側方移動し、水平地盤に比べて鉛直変位よりも水平変位が卓越することが挙げられる。

また「液状化層の拘束圧の影響」としては、偏荷重（盛土高）と変位量の関係や液状化深と変位量の関係から、液状化層の拘束圧が大きくなるため、液状化程度が小さくなり変位量が小さくなる傾向が確認された。

以上より液状化断面の地震時変位量を推定するためのパラメータとして、PL値（PL）、地盤の傾斜角（ θ ）、液状化層の有効拘束圧（ σ_v' ）を抽出し、動的FEM解析結果を回帰分析することにより、地震時の変位量を推定する簡易図表を作成する。

表-7 PZ-sandモデルのモデルパラメータ

パラメータ名	記号	Ac	A2s	備考
限界状態勾配(CSL) 非関連流動則	M_r	0.98	0.98	$q \sim p'$ 曲線よりパラメータ調整
限界状態勾配(CSL) 関連流動則	M_s	1.4	1.4	応力比(q/p')の最大値(1.0~2.0)
応力比(q/p')よりダイレタンシーを決めるパラメータ(塑性流れ直交方向)	α_r	0.45	0.45	ダイレタンシー($d\varepsilon_v/d\varepsilon_s$)～応力比(q/p')曲線の勾配 (=0.45とする場合多い)
応力比(q/p')よりダイレタンシーを決めるパラメータ(塑性流れ方向)	α_s	0.45	0.45	ダイレタンシー($d\varepsilon_v/d\varepsilon_s$)～応力比(q/p')曲線の勾配 (=0.45とする場合多い)
体積弾性係数	K_{ovo}	304	90	$K_{ovo}=K_o/(Pa \cdot (\sigma_n \cdot Pa)^m)$
剪断弾性係数	G_{oso}	182	54	$G_{oso}=G_o/(Pa \cdot (\sigma_n \cdot Pa)^m)$
体積弾性指数	m_v	0.5	0.5	0.4~0.8程度
剪断弾性指数	m_s	0.5	0.5	0.4~0.8程度 一般的に m_v と同値
剪断硬化パラメータ	β_o	0.1	4.2	フィッティングにより調整
剪断硬化パラメータ	β_1	0.001	0.005	フィッティングにより調整
載荷時の塑性係数	H_o	3000	800	相対密度(D_r)の大きさ別の一般値
除荷時の塑性係数	H_{oo}	10000	10000	フィッティングにより調整 4000~10000
載荷時の塑性変形に関するパラメータ	γ	22	21.0	フィッティングにより調整 1.0~25.0
除荷時の塑性変形に関するパラメータ	γ_u	20	19.0	フィッティングにより調整 0.0~25.0
初期平均主応力(kN/m ²)	P_o	97.6	123.2	$P_o=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3$
過圧密比	OCR	1.0	1.0	1.0とする場合が多い

M_r 、 M_s : 応力比 q/p' (q : 軸差応力、 p' : 平均有効応力)の最大値

α_r 、 α_s : ダイレタンシー($d\varepsilon_v/d\varepsilon_s$)～応力比(q/p')曲線の勾配。土の剪断変形時の体積変化現象をダイレタンシーという。

K_{ovo} 、 G_{oso} : 一般的な剪断弾性係数 G_o 、体積弾性係数 K_o を大気圧で除し、無次元化した値。

m_v 、 m_s : 拘束圧と弾性係数との関係を調整する係数。

β_o 、 β_1 : 降伏後の応力-歪み特性と体積変化特性を制御するパラメータ。

H_o 、 H_{oo} 、 γ 、 γ_u : 繰返し非排水三軸試験結果により、一回目の再載荷時、また一回目の除荷時の $q \sim p'$ 曲線の形状から同定する。

(1)鉛直変位

図-4は PL/σ_v' と鉛直変位の関係を示した図である。ここでは地盤傾斜の条件を変化させ3パターン(0°, 3°, 5°)示している。これを見ると、 PL 値を有効拘束圧(σ_v')で除したパラメータと鉛直変位に正の相関がみられることが分かる。また地盤傾斜角が異なると、鉛直変位と PL/σ_v' の関係(傾き)が異なることが分かる。また $PL/\sigma_v' = 0$ つまり非液化化断面の解析結果も併記しているが、その結果は液化化断面に比べて変位量が非常に小さいことから、回帰直線としては原点を通る直線として設定することとした。

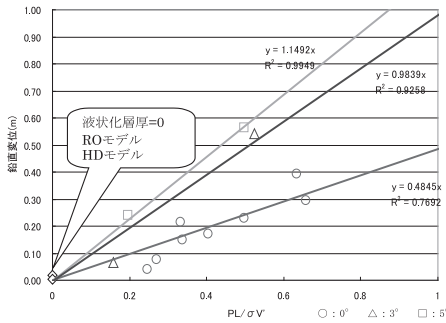


図-4 PL/σ_v' と鉛直変位との関係

(2)水平変位

図-5は PL/σ_v' と水平変位の関係を示した図である。ここでは地盤傾斜の条件を変化させ3パターン(0°, 3°, 5°)示している。これを見ると、 PL 値を有効拘束圧(σ_v')で除したパラメータと水平変位に正の相関がみられることが分かる。また地盤傾斜角が異なると水平変位と PL/σ_v' の関係(傾き)が異なることが分かる。また $PL/\sigma_v' = 0$ つまり非液化化断面の解析結果も併記しているが、その結果は液化化断面に比べて変位量が非常に小さいことから、回帰直線としては原点を通る直線として設定することとした。

以上より得られた簡易図表を図-6に示す。この図では東海・東南海連動型地震に対し、式(5)に示す地盤全体の液化化危険度を示す PL 値と液化化層の拘束圧 σ_v' (有効上載荷重)の関係(図中の PL/σ_v')や地盤の傾斜(図中の θ)といった条件から、簡易に盛土の地震時挙動(鉛直変位・水平変位)を推定するものである。

$$PL = \int_0^{20} (1 - FL) \times (10 - 0.5x) dx \quad (5)$$

PL : 液化化指数 (m^2), FL : 液化化に対する抵抗率, x : 地表面からの深さ (m)

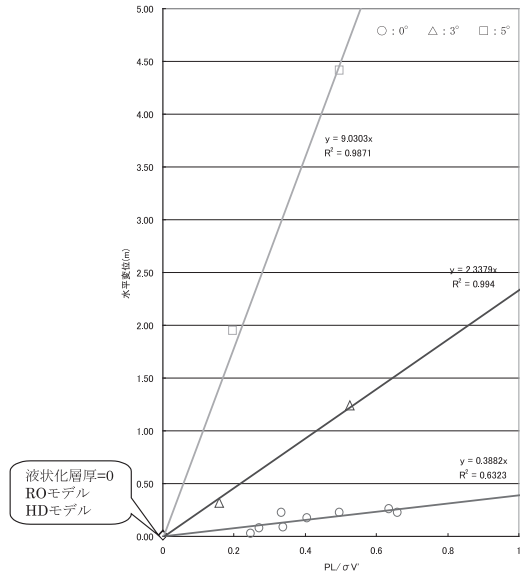


図-5 PL/σ_v' と水平変位との関係

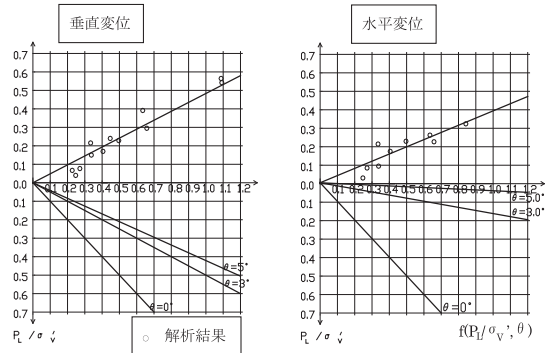


図-6 簡易計算図表

3. 2. 1 簡易図表の適用例

盛土高7m, 地盤の傾斜(θ) = 0°, PL 値と液化化層の拘束圧 σ_v' (有効上載荷重)の関係(図中の PL/σ_v')が0.40という条件を仮定した場合の地震時の鉛直変位量推定値としては、まずグラフ下段の $\theta = 0^\circ$ という直線を用いて、図中下方向 y 座標(PL/σ_v')0.4における x 座標値を得る($\theta = 0^\circ$ の場合 x 座標は0.4)。次にこの x 座標とグラフ上段の関数より得られる y 座標が鉛直変位推定値となる。

以上より鉛直変位量が0.2mが得られる。盛土高7mの場合、鉛直軸歪みは $0.2 \div 7$ より約2.86%となり、耐震性能2での工学的指標5%を満たすことから耐震性能2の機能を持つ盛土という評価ができる。

3. 3 盛土の地震時挙動推定法の提案2 (簡易計算法)

本検討では先の簡易図表に加え、より現場条件を反映した具体的盛土変状を推定するために、静的FEM解析による簡易計算法についても検討した。

この静的FEM解析による液状化時の盛土挙動の推定法は、全応力解析を用いて液状化前(液状化層の剛性低下無し)と液状化後(液状化層の剛性低下)の自重解析の差分挙動を算出するものである。剛性の低減率は動的FEM解析と静的FEM解析の計算結果がほぼ一致するように調整し(表-8)、その関数を導くこととした。図-7は表-8の検討ケースに基づいた解析結果である。

表-8 低減率と有効拘束圧の関係(調整値)

検討ケース	低減率(R)	有効拘束圧($\sigma v'$)
基本	100	54.900
類似-1	50	81.720
類似-2	50	54.900
類似-3-1	200	44.280
類似-3-2	67	71.640
類似-4-1	13	81.540
類似-4-2	50	70.020

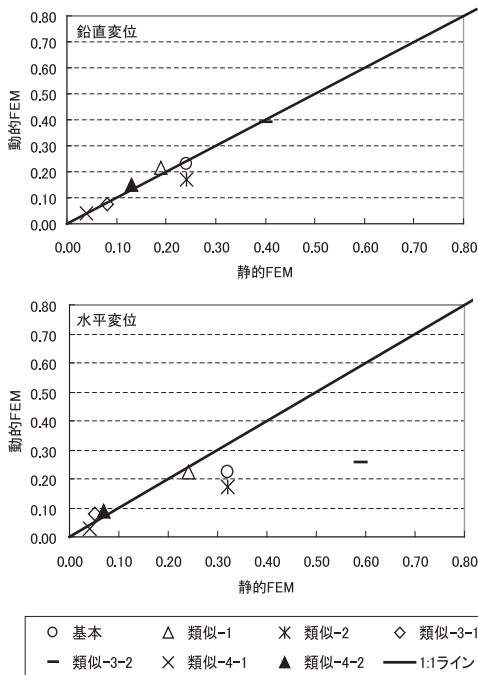


図-7 動的・静的FEM解析結果比較(低減率調整)

以上の結果から得られる剛性低減率と有効拘束圧の関係を整理したのが図-8であり、良い相関を有していることが分かる。プロットした値から回帰式を求め、この回帰式を用いて低減率を設定することにより、静的FEM解析を行うこととする。

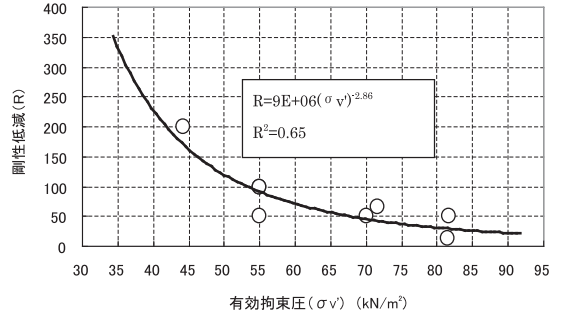


図-8 剛性低減率と有効拘束圧の関係

以上より具体的地盤パラメータの設定法を表-9に示す。静的FEM解析における簡易計算法としては、表-9に示すとおり対象地盤層に応じて地盤の変形係数 E_0 を低減させ、液状化層においては有効拘束圧を $\sigma v'$ をパラメータとした地盤の変形係数 E_0 を用いることで液状化前後の自重解析を行えばよい。

以上の手法を用いることで、静的FEM解析(全応力)により簡易に詳細な動的FEM解析と同等の予測が可能となる。

4. 地震時挙動評価(非液状化地盤)

4. 1 検討概要および動的FEM解析の照査

前章において盛土基礎地盤に液状化層を有する場合の地震時挙動の簡易な推定法について提案した。

本章では基礎地盤が液状化を起こさない場合の地震時挙動推定法について言及する。ここで、地盤の剪断破壊に起因する残留変形問題を解析するに当たり、地盤の動的非線形特性を考慮した動的FEM解析を行うことが望ましいが、地盤の動的非線形モデルとしては種々のモデルが提案されている。

代表的なモデルとしてはR-O (Ramberg-Osgood) モデルやH-D (Hardin-Drnevich) モデルが挙げられる。R-Oモデルの特徴として「剪断強度(剪断応力の上限值)」がなく、剪断歪み(γ)が無限大になると剪断応力(τ)も無限

大になってしまうため、大きな歪みレベルの解析では地盤の剪断強度を過大評価し、地盤の変状量を過小評価する傾向がある。一方、H-Dモデルは剪断強度の概念を持っており、大きな歪みレベルの解析に適していると考えられる。

ここに両モデルを用いて東部幹線水路二川第三開水路を対象に盛土沈下量を算出した。

二川第三開水路の解析モデル、地盤物性値等は図-9、表-9、10の通りである。

このパラメータによる両モデルの、盛土(B)と基礎地盤(風化帯; Tt3)における $\tau - \gamma$ 関係について「変形特性を求めるための繰返し三軸試験」値およびR-Oモデル、H-Dモデルにおける曲線を図-10、11に示す。R-Oモデルに関しては曲線が試験値を再現するようにパラメータ $RO\alpha$ 、 $RO\beta$ を調整した。またH-Dモデルに関しては試験値の再現性が良くなるように初期剪断剛性 Go を1/2~1/3に調整した。

表-9 簡易計算(静的FEM)の物性値

対象地盤	状態	地盤の変形係数 E_s (kN/m ²)	単位体積重量 γ_s' (kN/m ³)	ポアソン比 ν
盛土	液状化前	E_s	湿潤重量	砂質土: 0.33 粘性土: 0.45
	液状化後	$E_s/10$	湿潤重量	砂質土: 0.33 粘性土: 0.45
非液状化層 (液状化層上)	液状化前	E_s	湿潤重量	砂質土: 0.33 粘性土: 0.45
	液状化後 (変更無し)	E_s	湿潤重量	砂質土: 0.33 粘性土: 0.45
液状化層	液状化前	E_s	水中重量	0.33
	液状化後	$E_s/(9 \times 10^4 \times \sigma_v'^{-0.96})$	水中重量	0.499

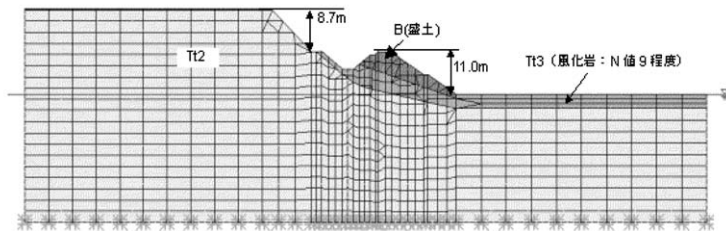


図-9 二川第三開水路解析モデル

表-10 地盤物性値

地層	パラメータ名	値	地盤モデル	備考
B	N値	8	R-Oモデル	レキ混じり粘土
	γ (kN/m ³)	18		
	C (kN/m ²)	25	H-Dモデル	
	ϕ	15		
Tt3	N値	6	R-Oモデル	強風化チャート レキ混じりの土砂状を呈する。 粘着力が大きい
	γ (kN/m ³)	18.5		
	C (kN/m ²)	65	H-Dモデル	
	ϕ	7		
Tt2	N値	50	弾性モデル	土質試験未実施 N値から ϕ を推定
	γ (kN/m ³)	16		
	C (kN/m ²)	0		
	ϕ	42		

表-11 動的非線形モデルのパラメータ

名称	記号	単位	B	Tt3	備考
初期剪断剛性	Go	kN/m ²	79120	124210	共通パラメータ
初期平均有効主応力	σ_m'	kN/m ²	40.5	64.4	共通パラメータ
ポアソン比	ν		0.33	0.33	共通パラメータ
R-Oモデルパラメータ	$RO\alpha$		2.19	3.44	R-O独自パラメータ
R-Oモデルパラメータ	$RO\beta$		2.13	2.78	R-O独自パラメータ

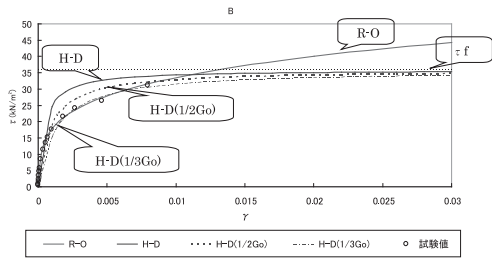


図-10 盛土 (B) の $\tau - \gamma$ 関係

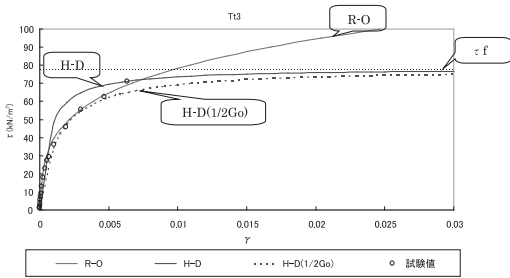


図-11 風化岩 (Tt3) の $\tau - \gamma$ 関係

二川第三開水路における両モデルの適用性を見ると、歪みレベルが小さい範囲 (1×10^{-3} 程度) においてはR-Oモデルが試験値を良く再現しているが、剪断強度の値を持たないため、大きな歪みレベルでは地盤の変位量を過小評価する可能性がある。一方H-Dモデルは歪みレベルが小さい場合はR-Oモデルに比べ再現性が劣るものの、剪断破壊に伴う残留変形等の大きな歪みレベルの解析に適しているモデルであると考えられる。解析結果を以下に示す (図-12、表-12)。

H-Dモデルの結果はR-Oモデルの結果に比べて約4倍の変位量を示している。これは残留変形を伴う地盤挙動を検討する際に生じるR-Oモデルの過小評価の結果であると考えられる。

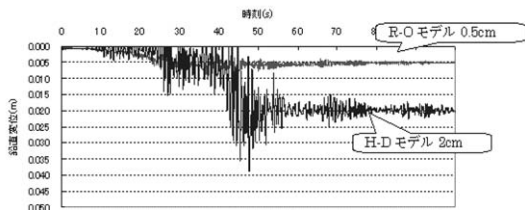


図-12 解析結果

表-12 解析結果

	鉛直変位	鉛直歪み
R-Oモデル	0.5cm	0.45%
H-Dモデル	2cm	1.8%

4. 2 盛土の地震時挙動推定法の提案 (簡易解析法)

前項で示したH-Dモデルをベースに今後述べる簡易解析法と比較・検証を行うことによって簡易な盛土挙動の推定法の提案を行った。

4. 2. 1 円弧滑り計算とニューマーク法の併用による推定

本項で紹介する方法は最初に円弧滑り計算で盛土が滑り始める限界加速度 (水平震度) を推定し、この結果を用いてニューマーク法により土塊の滑り量を推定する方法 (以下、「円弧滑り+ニューマーク法」という) である。

この推定法の考え方は、土塊は限界加速度を超えた時点から滑り始めると仮定し、加速度波形の積分から速度を推定する。ここで、滑り面上の移動量は、変状し始めた盛土が特定の円弧で滑るとは考え難いため、図-13に示すように直線状の滑りを仮定して推定することとした。具体的な計算法は以下による。

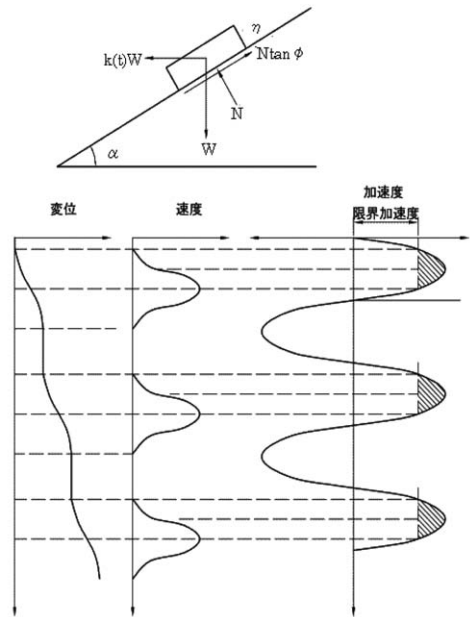


図-13 ニューマーク法による盛土沈下量の推定

- 地震による地表面加速度が限界加速度を超え、盛土が変状する時間帯の加速度 (図-13の斜線部分) を積分して速度を算定する。この際、一度動き出した構造物は地表面加速度が限界加速度を下回っても速度がゼロになるまで動き続けるものとする。

2) 速度を積分し、応答変位を推定する。

なお、盛土が滑り始める限界加速度は円弧滑り安全率が1.0を下回る設計震度の時と仮定し、この際の水平震度に重力加速度（980gal）を乗じて設定した。

ここで、前出の二川第三開水路モデルに対して「円弧滑り+ニューマーク法」による盛土の変位量と、動的FEM解析結果との比較を行った。その際の地盤物性値を表-13に、結果を図-14および表-14に示す。

両解析法を比較すると変状の進み具合に多少の差がみられるものの、最終的な変位量はほぼ同程度となっており、解析法の有効性が確認出来た。また大きく変状を起こす時刻がほぼ同じであることから、剪断破壊を起こす地震加速度が同程度であることが伺える。

表-13 地盤物性値

	γ (kN/m ³)	N値	C(kN/m ²)	ϕ	備考
B	18	8	10	25	H-Dモデル
Tt3	18	9	0	25	H-Dモデル

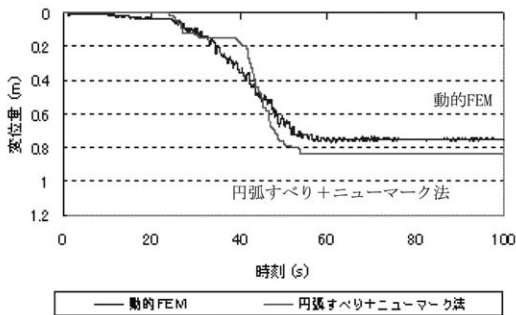


図-14 動的FEMとの比較

表-14 解析結果

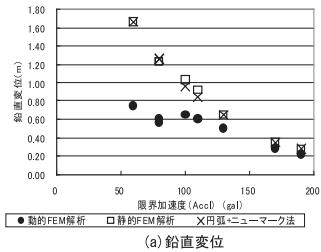
	鉛直変位 (m)	歪み (%)
動的FEM	0.75	6.8
円弧滑り+ニューマーク法	0.84	7.6

4. 2. 2 静的FEM解析による推定法

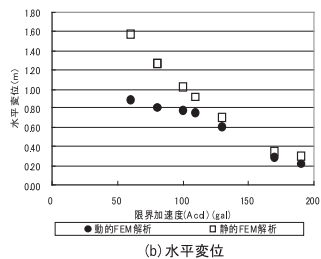
滑り円弧が基礎地盤を通る場合のように、矢板や深層改良工法等の対策を計画する場合には「円弧滑り+ニューマーク法」は適用出来ないことから、静的FEM解析で盛土の変位量を推定する方法を検討した。本解析法は液化化断面における静的FEM解析による自重解析の手法を用いるもので、具体的には常時と地震後（地盤の剛性を低減）において自重解析を行い、挙動の差分により地震時の変位を推定する方法である。

この静的FEM解析においては地震時の剛性低減率を適切に定める必要がある。本解析では「円弧滑り+ニューマーク法」との整合を図る観点より、物性値を6種類設定し「円弧滑り+ニューマーク法」と比較することにより剛性低減率の関数を定めた。検討モデルは同じく二川第三開水路を用い、各物性値を表-15に示す。

図-15に解析結果を示す。鉛直変位については非線形動的FEM解析と今回検討した静的FEM解析、また非線形動的FEM解析と「円弧滑り+ニューマーク法」での計算結果をプロットし、水平変位については非線形動的FEM解析と静的FEM解析の計算結果をプロットする。



(a) 鉛直変位



(b) 水平変位

図-15 簡易計算法と非線形動的FEM解析との比較

表-15 物性値

ケース名		基本	類似1	類似2	類似3	類似4	類似5	
地盤物性値	盛土	c (kN/m ²)	10	10	9	15	15	10
		ϕ (°)	25	25	25	30	25	25
	基礎地盤	c (kN/m ²)	0	0	0	0	0	10
		ϕ (°)	25	26	26	25	26	30

これによると最もその適用が想定される限界加速度100～200galの範囲での再現性が高いことが確認できた。限界加速度が100gal以下では予測結果が過大な傾向を示すため、この範囲は当該手法の適用外とし別途詳細な解析により推定することが望ましい。

図-16に静的FEM解析において「円弧滑り+ニューマーク法」を再現するように設定した剛性低減率と限界加速度の関係を示す。

図の通り両者には相関性がみられ、回帰式により剛性低減率を設定することで式(6)と式(7)のように剛性低減率を限界加速度の関数とした。

$$\text{盛土} : E/E_0 = 1.125 \times 10^5 \times \text{AccI}^{-1.743} \quad (6)$$

$$\text{基礎地盤} : E/E_0 = 1.59 \times 10^4 \times \text{AccI}^{-1.25} \quad (7)$$

AccI : 限界加速度 (gal),
E/E₀ : 地盤剛性低減率

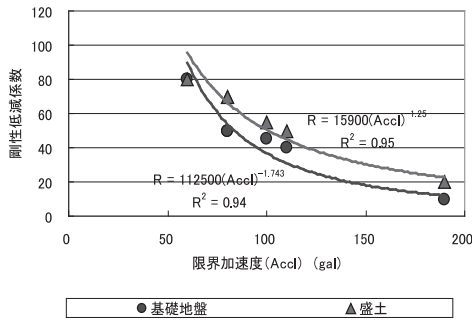


図-16 剛性低減率と限界加速度の関係

4. 3 盛土の地震時挙動推定法の提案 (簡易計算式)

設計実務では、対象地震動が特定される場合に簡易に盛土の挙動を推定することができれば非常に有効となる。

そこで東海・東南海連動型地震動に対する「円弧滑り+ニューマーク法」による盛土の地震時挙動を推定する簡易式の検討を行った。

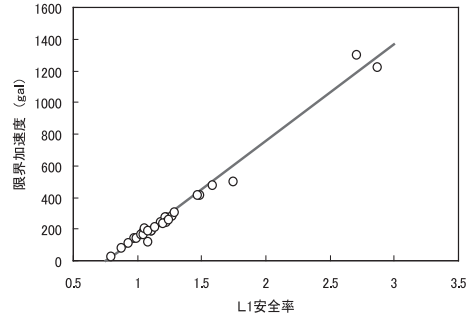
図-17の(a)にはレベル1地震時における円弧滑り安全率と限界加速度の関係を、また(b)には限界加速度と盛土沈下量の関係を、(c)には限界加速度と鉛直歪みの関係をそれぞれ「円弧滑り+ニューマーク法」による計算結果をプロットし、式(8)、式(9)、式(10)を得た。

$$\text{限界加速度 (gal)} : \text{AccI} = 610 \times \text{Fs} - 460 \quad (8)$$

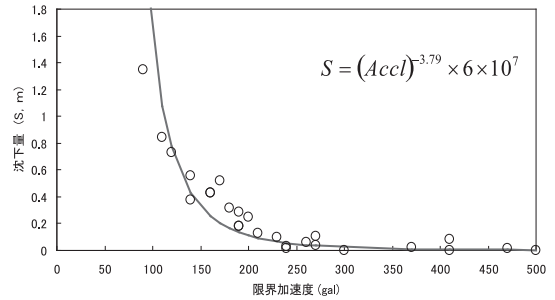
$$\text{残留沈下量 (m)} : S = (\text{AccI})^{-3.79} \times 6 \times 10^7 \quad (9)$$

$$\text{残留歪み (\%)} : \varepsilon = (\text{AccI})^{-3.3} \times 6 \times 10^7 \quad (10)$$

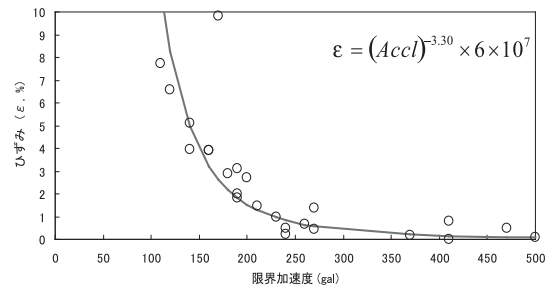
ここに、Fs : レベル1地震時の円弧滑り安全率
この式はレベル1地震時での円弧滑り安全率より、簡易に盛土の地震時挙動を推定するものであり、解析結果と比較的良好な相関性を確認することができた。この結果より今後特定の地震動に対し簡易推定式による盛土の地震時挙動について概ね把握出来ることを確認した。



(a)レベル1地震時における円弧滑り安全率と限界加速度の関係



(b)限界加速度と沈下量の関係



(c)限界加速度と鉛直歪みの関係

図-17 解析結果と簡易計算式

5. 推定法の適用について

今回検討した簡易推定法を用いた地震時の盛土挙動の推定法の流れは、最初に液状化抵抗率FLにより液状化の有無を照査した後、液状化が懸念される場合はまず簡易図表による検討を行い、結

果が当該開水路区間における耐震性能を満足しない場合は静的FEMによる判定を行う。

また液状化の心配がない場合はまず円弧滑り計算により、その安全率から簡易式を用いて地震時挙動の推定を行う。検討開水路区間の耐震性能を満たさない場合「円弧滑り+ニューマーク法」により地震時挙動推定を行い、耐震性能を満足しない場合に静的FEM解析を行う。

以上の通り本簡易推定法のうち、「液状化時の簡易図表」、「円弧滑り+簡易式」、「円弧滑り+ニューマーク法」(以下図式法とする)は、設計の初期段階における耐震性能照査に適用することが考えられ、詳細な検討の必要性を判断する資料として用いることとなる。よって静的FEMを含め簡易推定法による地震時挙動の推定値は、詳細検討と比較して安全側の評価値に設定されている。

よって簡易推定法による照査結果が耐震性能を満たす場合は、動的FEM解析を行う必要がないため前章までで挙げたような動的FEM解析に使用する膨大な数のパラメータについて検討を行う必要がなく、また解析そのものにかかる時間・実務の簡素化を図ることができる。豊川用水において盛土水路を持つ開水路区間数は計90区間にも及ぶ。本簡易推定法を用いず動的FEMによる詳細な検討を行うことを想定した場合、各開水路区間において盛土形状、地質状況、地盤の傾きなどを考慮した上で最も危険な断面を適切に抽出することが可能な場合でも、動的FEM解析を100程度の断面について実施する必要がある。簡易法を用いることで動的解析を行う断面数を減ずることや、各断面毎の実務の簡素化を図ることが出来る。

6. 結論

本検討では豊川用水盛土区間における耐震対策を行う際の基本的な考え方を紹介した。

- 性能設計手法により施設重要度・復旧の容易さなどにより、各開水路区間における地震変位量の許容値を設定した。これにより盛土水路区間全域にわたって大規模な対策工を施す必要がなくなり、合理的な耐震設計が可能となった。
- 盛土水路の基礎地盤が液状化する場合において、設計対象地域の地震動が特定される場合には、有効応力動的FEM解析によらずに地震時挙動を予測する簡易図表の作成、静的FEM解

析により比較的簡易に精度の良い予測が可能であることが確認出来た。

- 盛土水路の基礎地盤が液状化しない場合において、非線形動的FEM解析結果を「円弧滑り+ニューマーク法」や静的FEM解析といった簡易な方法で予測できることを確認した。また設計対象地域の地震動が特定される場合には、簡易式により比較的精度良く地震時挙動の予測が可能であることを確認した。

以上より、対象地震に対する対策工、耐震設計において合理的かつ簡易に検討が可能となった。今後はさらに多くの実験結果やモデルケースでの検討を行うことによって、簡易式として提案した動的FEM解析に対する回帰式の信頼度を高めることや、対策工についてとりまとめることなどが必要となる。また今回提案した盛土水路の耐震性能を規定する工学的指標については、既存の力学的研究あるいは既往の震災事例を元にしたものであるが、今後実施される類似の研究成果を反映させ適宜改訂し、より実用的なものにしていく必要がある。

最後に、本検討方法における4段階の耐震性能、また簡易推定法は、開水路の止水性・安定性を盛土部分に期待したコンクリートライニング水路である豊川用水において適用可能なものである。なお、図式法等の検討に際して算出した回帰式は、東海・東南海連動型地震における加速度波形を使用しているため、今回検討した簡易推定法をそのまま豊川用水以外の開水路に適用することはできないが、同タイプの水路の場合は当該地域における地質条件・地震動条件等を用いることで同様に簡易推定法を得ることができ、またフリーム水路等その他開水路においても本検討アプローチを用いることで評価可能となることが考えられる。

参考文献

- 1) 水資源機構：
水路工設計指針 第9編 耐震対策工，2001.4
- 2) 社団法人日本道路協会：
道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 1996.12

機能診断のための非破壊試験法の課題と現場適用に向けた実証調査

—シュミットハンマーの有効利用に関する研究—

野 口 恵 二* 米 山 元 紹**
(Keiji NOGUCHI) (Motoaki KOMEYAMA)

目 次

1. はじめに	50	9. 現地における実証調査	54
2. 検討の背景	50	10. 磨耗した表面と反発度の関係	56
3. 強度評価のための試験方法	51	11. 中性化と反発度の関係	58
4. 反発度法に関する国内基準	52	12. 非中性化領域の反発度	58
5. 強度推定式	53	13. 推定強度式とコア試験強度	58
6. 強度推定の誤差要因	53	14. 考察	59
7. 基本的な考え方	53	15. まとめ	59
8. 調査方法	53		

1. はじめに

農業水利施設は新規建設から更新の時代に移り、既存の水利ストックの有効利用が重要な政策課題となっている。このためには、農業水利施設を構成する頭首工、水路施設、揚水機場等が要求される性能を満足するように、適切な保全、管理が求められる。従って、それぞれの施設の性能確認及び性能評価が重要な検討課題となる。コンクリート構造物は、農業水利施設に多く用いられ、機能確保、安全性の面で極めて重要な役割を担っている。このコンクリートの性能を評価するための一つの指標である圧縮強度を非破壊試験法で調査することは、性能確認調査として有効な手段である。しかしながら、これまでの調査研究によれば、長期供用したコンクリートへの適用性は誤差が大きいと報告されている^{1) 2) 3)}。このため、これらの誤差要因を取り除き水路施設へ適用するための方法について、現地で実証調査を行ったところ、有効利用のための技術的知見が得られた。これらの内容について報告する。

2. 検討の背景

コンクリート構造物の強度を一定年数経過毎に診断する場合、コアを採取し一軸圧縮強度試験を

実施することは、経費面、時間等の制約から困難な場合が少なくない。

このため、テストハンマーを用いてコンクリート表面の反発度を測定し、得られた反発度からコンクリート強度を推定する調査手法（以下「反発度法」と呼ぶ）がコア試験と併用して、コンクリート強度の診断方法として用いられてきた。しかしながら、この反発度法に関して、既存の知見をみると、

- ①基準として、コンクリートの反発度の測定方法（JISA1155）、硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法（JSCE-G504-1999）、シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針（案）等さまざまな考え方が示されている。
- ②国土交通省通達「土木コンクリート構造物の品質確保について（国官技第61号、平成13年3月29日）に基づく注意点によれば、テストハンマーによる強度推定調査は材齢28日から91日の間に限定。
- ③既往の研究から、反発度法による強度推定結果はさまざまな要因の影響を受け、その推定精度は必ずしも十分には高くはないことが明らかにされていること等の状況にある。

このようなことから、反発度法を用いて、コンクリート強度を推定する場合の条件を明らかにするとともに、農業水利施設で利用し易い方法を調

*東海農政局土地改良技術事業所（Tel. 052-232-1067）

**北陸農政局佐渡農業水利事業所（Tel. 0259-63-3110）

査・実証実験により、明らかにしようとするものである。

3. 強度評価のための試験方法

構造体コンクリート強度とは、「構造物を構成するコンクリートが実際に持っている強さのこと」と定義されている。具体的には農業水利施設を構成するコンクリートの強度と考えられ、試験方法として表-1が示されている。

この試験方法による分類によれば、コア試験、供試体試験、非破壊試験に整理される。

供試体試験は、生コンクリート打設に伴う品質管理の方法とし、農林水産省においても基準化されている（土木工事施工管理基準平成17年5月監修：農林水産省農村振興局整備部設計課）。コア

試験については、構造体コンクリートが供用後、一定期間毎に実施する施設機能診断マニュアル（調査編）（案）（平成16年11月農業水利施設機能診断技術調整連絡会）にも示されている。

非破壊試験のうち、反発度法は今回取り扱う課題である。この反発度法については、国土交通省は通達に基づきコンクリートの品質管理として利用している。なお、農水省ではこの方法は適用されていない。表-1に示されているように、反発度法の適用上の注意点として、「簡便なため広く使われているが、単独で用いず、少数でもコア試験を行い、コア位置の反発度とコア強度の関係から関係式を選定するのがよい。」と指摘している。

以上の三つの試験方法と構造物のライフサイクルとの関係を示すと図-1の通りとなる。

表-1 主な試験方法とその位置付け^①

分類	試験方法	試験の目的 カテゴリー	特徴など
コア試験	コア	1	直接的にコンクリート強度を知ることができるが、構造体を傷つけるという欠点がある。コア強度が本当に構造物中のコンクリート強度を代表するかどうかについては、十分に検討する必要がある。コア試験に代る他の補完的な試験方法や、非破壊試験の向上が望まれる。
供試体試験	供試体による試験	1	建築と土木で考え方が異なっている。建築では現場養生供試体が、土木では標準養生供試体を用いられる。今後、標準養生管理における構造体強度補正值、および簡易断熱養生方法の標準化が望まれる。
	マチュリティー法	2 or 3	主として寒中コンクリートに利用されている。相当材齢方式などの新しい方式も提案されている。
非破壊試験 (破壊程度が小さい試験)	反発度法	2	簡便なため広く使われている。単独で用いず、少数でもコア試験を行い、コア位置の反発度とコア強度の関係から関係式を選定するのがよい。
	超音波法	3	利用範囲はかなり限定される。
	複合法	2	反発度法と超音波法の組み合わせが多い。単独より精度は向上する。
	引抜き法	2	吹付コンクリートの初期強度管理に適用されており、一般コンクリートへの展開が期待される。
	小径コア	3	現在は研究段階であるが、構造体を傷つける程度を小さくできるため、将来有望と考えられる。

(注1) カテゴリー1：【目的】検査や規格化された品質のチェックのための試験方法

(注2) カテゴリー2：【目的】品質管理に用いる試験方法

(注3) カテゴリー3：【目的】研究目的や総合的な評価の一手段として用いるもの。

後者の例としては、維持管理のための点検・診断等があらう。

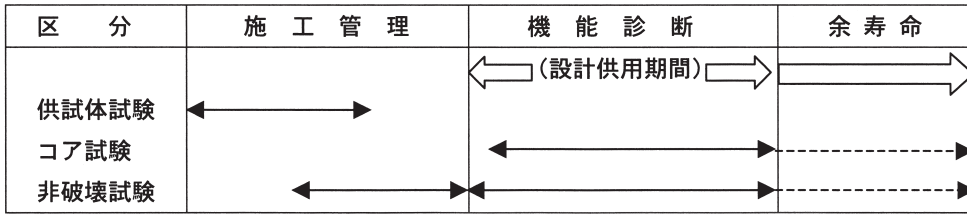


図-1 試験方法適用の範囲

4. 反発度法に関する国内基準

反発度法によるコンクリート強度を推定する場合の国内基準として、コンクリートの反発度の測定方法 (JISA1155), 土木学会規準の硬化コンクリートのテストハンマー強度試験方法 (JSCE-

G504-1999), 日本建築学会のコンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル, 日本材料学会のシュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定指針 (案) が示されている。ここでは, 概要を表-2に示すとともに, 特徴について述べる。

表-2 反発度法に関する国内基準の比較

基準 内容	JIS A 1155(2003) コンクリートの反発度の測定方法 (2003 制定)	土木学会規準 JSCE-G 504-1999 硬化コンクリートの テストハンマー強度の試験方法 (1999 制定)	日本建築学会 コンクリート強度推定のための非破壊 試験方法マニュアル(1983 制定)	日本材料学会 シュミットハンマーによる実施コン クリートの圧縮強度判定方法(1958 制 定)
適用範囲	普通コンクリートの反発度をリバウンドハンマーにより測定する	コンクリート表面を重錘で打撃しその反発度からコンクリートのテストハンマー強度を求める	コンクリート表面を重錘で打撃しその反発度からコンクリートのテストハンマー強度を求める	シュミットハンマー Type N-2 を用いた現場の実施構造物の強度判定を対象としている
測定方法	測定面に常に垂直方向になるよう保持しながらゆっくり押し打撃を起こさせる	バネ式のハンマーは、鋼棒に徐々に力を加えていって打撃を起こさせて測定する。重力式のハンマーは、打撃開始前の重錘をいったん静止状態にして測定する	バネ式のハンマーは、鋼棒に徐々に力を加えていって打撃を起こさせて測定する。重力式のハンマーは、打撃開始前の重錘をいったん静止状態にして測定する	ハンマーには徐々に力を加えて打撃をおこさせ測定する。打撃方向は、水平方向を原則とする
試験用装置	打撃棒(インパクトプランジャー)を介してばねによって重錘で打撃する構造となっている	バネ、または重力を利用してコンクリート表面を重錘で打撃し、反発度が数値として読み取れる構造	バネ、または重力を利用してコンクリート表面を重錘で打撃し、反発度が数値として読み取れる構造	スイスの BBR 製シュミットハンマー Type N-2 を用いる
測定点数	25~50mmの間隔で9点	3cm以上の間隔で20点	3cmの間隔で20点	3cm以上の間隔で20点
各種補正	各種補正することが望ましいと記述	シュミットハンマーの例を紹介	シュミットハンマーの例を紹介	打撃角度など
材齢補正	記載されていない	影響を受けるという記述のみ	シュミットハンマーの例を紹介	3000日で0.63倍(100, 300, 500, 1000日の係数もあり)
強度推定式	反発度を測定する方法に関する規定	シュミットハンマーという限定で $F=1.27 R_0-18$ (R_0 は反発度)	各種の推定式が記載され適宜選定	$F=1.27 R_0-18$

(注) 各基準より抜粋して作成。

5. 強度推定式

各々の試験方法は、構造体コンクリートの反発度を調査し、その値を用いてコンクリートの強度を推定する方法となっている。この強度推定式についてさまざまな式が提案されており、同じ反発度であっても推定強度が異なることになる。今回は、下記の5式により強度推定を行った。

推定式① $F_c = 1.27 \cdot R - 18.00$ (N/mm²)
 …【日本材料学会】

推定式② $F_c = 0.71 \cdot R + 9.78$ (N/mm²)
 …【日本建築学会】

推定式③ $F_c = 0.98 \cdot R - 10.76$ (N/mm²)
 …【東京都材料試験所】

推定式④ $F_c = 1.37 \cdot R - 15.35$ (N/mm²)
 …【芝武式】

推定式⑤ $F_c = 1.18 \cdot R - 15.93$ (N/mm²)
 …【N型強度推定式】

6. 強度推定の誤差要因

コンクリート強度推定の誤差要因としては以下の項目が考えられる。

- ①シュミットハンマーによる推定強度は、表面の湿潤状態により影響され、雨天における測定の場合は、表面の湿潤状態によって推定強度を補正することが必要である。
- ②表面粗度が大きい場合には、強度の低下や変動が大きくなる。
- ③打撃角度は、推定強度に大きく影響し、上方に傾けた場合は、強度の低下や変動が大きくなる。
- ④打撃速度による影響は、比較的小さい。

7. 基本的な考え方

反発度法によるコンクリート強度推定の誤差要因については、①反発度の再現性に関するもの②反発度の測定条件に関するもの③反発度からコンクリート強度を推定することに関するものがあることが指摘されている⁵⁾。また、反発度の測定条件に関するものとして、応力状態、測定面の平滑度・型枠、測定面の含水状態、中性化等が指摘されている。このようなことから、農業水利施設のうち、長期供用後の用水路を想定すると、適切な反発度が測定されない要因として、経年変化による中性化の進行、水路表面の磨耗、湿潤が考えら

れる。このため、これらの誤差要因ごとの影響を判別するため、各々の条件を考慮した反発度を計測することとした。また、合わせて、コンクリート（強度）推定式による変動を検討することとした。

農業水利施設は、農業用水等を通水するための施設であり、線的に広がる水路網を形成している。このため、コンクリート構造物の機能診断を行う場合、反発度法による構造体コンクリートの強度推定は簡便であり、有効な調査手法である。しかしながら、これまでの既往の技術的知見からすると、その適用には、いろいろな課題が存在することが明らかとなった。以下にその内容を整理したものを述べる。

表-3 反発度法適用上の課題

課 題	内 容
1. 強度推定式について	日本材料学会等多くの基準が示されているが適用条件により推定強度が異なるため、農業水利施設を対象とした適用条件の整備が必要。 また、マスコンクリートと通常のコンクリートについての適用区分を明らかにする必要がある。
2. 測定条件 (1) 中性化について	反発度と中性化の間の関係を考えると、中性化した範囲を除去した後、反発度を計測する必要がある。
(2) 測定面の含水状態について	測定面が湿潤状態の場合、反発度が小さく出る傾向にあることから、補正を適切に行う。 (参考：国土交通省の例) (例えば)測定位置が湿っており打撃の跡が黒点になる場合→測定された反発度に補正値3を加える。 測定位置がぬれている場合→測定された反発度に補正値5を加える。
(3) 表面の平滑度	表面が磨耗している場合、反発度が小さく出る傾向にある。このため、平滑度を確保することが重要となる。(1)の中性化と考えあわせると測定する表面を平滑にする必要がある。
3. 測定器具について -N型、M型の使い分けについて-	通常のコンクリート、マスコンクリートについて、測定器具の選定が重要な課題となっている。

8. 調査方法

反発度の調査方法は、「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法（JSCE-G504-1999制定）」による。測定面の平滑度、中性化、含水状態の変動要因については、これらの要因を判別するために、特殊治具を考案して、コンクリート水路の表面から1mmずつ研磨し、各面で反発度を計測する方法とした。調査手順は次の通り。

- ①30×30cmの調査面の設定。
- ②初期状態における反発度の測定、その表面における中性化試験の実施。
- ③特殊治具を用いて平面的にデジタルノギスで

確認しながら1mm研磨する。

- ④1mm深さにおける反発度、及び中性化試験を実施する。以下同様に原則として10mmまで試験を繰り返し同じ手順で作業を行う。中性化の進行、反発度が安定しない場合は、さらに研磨し、調査することとする。

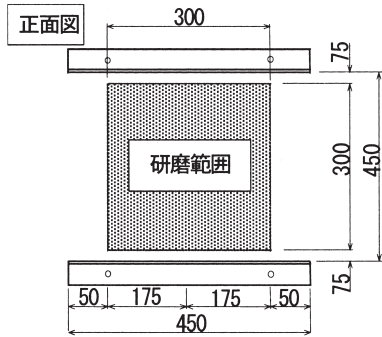


図-2 反発度の調査範囲

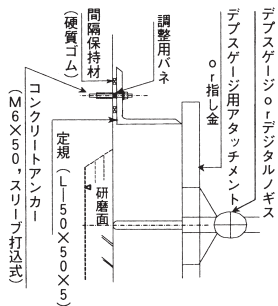


図-3 研磨深さ測定概念図

また、各測定箇所において採取したコアによりコンクリートの圧縮強度試験 (JISA1108) を実施し、推定強度と比較することとした。

経年変化した農業水利施設のうち、構造体コンクリートの強度を非破壊試験法の一つである反発度法を用いて、強度推定する場合、①測定面の含水状態、②表面の平滑度、③中性化の進行により、反発度に影響があることは、既に述べた通りであり、実用上、補正等を行わなければ、反発度法が使用できないことが明らかになっている。また、これまでの研究成果等によれば、経年変化したコンクリートを研磨し、表面の凹凸、中性化領域を除去した内部の新鮮なコンクリート面の反発度を計測すると、コア試験による一軸圧縮強度に近い値が得られるとの報告がなされている。ここでは、農業水利施設の場合について、東海農政局管内の

農業用水路を用いた実験により、これらの点について明らかになった点及び、シュミットハンマーによる調査方法について検証した内容を具体的に以下に述べる。

9. 現地における実証調査

現地における実証調査は、国営濃尾用水事業 (S32~42) で建設された羽島用水路で行った。昭和41年に建設されており、調査時点で40年経過している。調査位置は、開水路の側壁とし、連続した3スパンで、左右岸合わせて8箇所を実施した (図-4参照)。

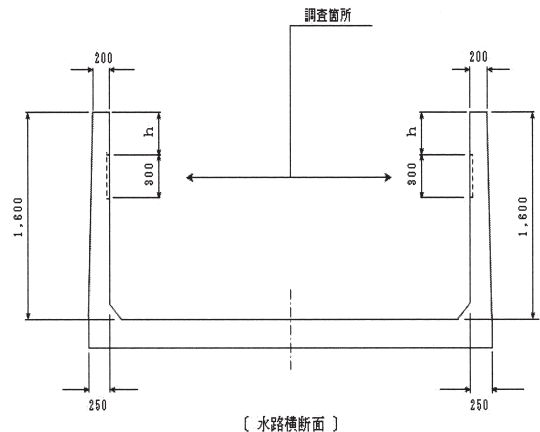


図-4 水路断面図

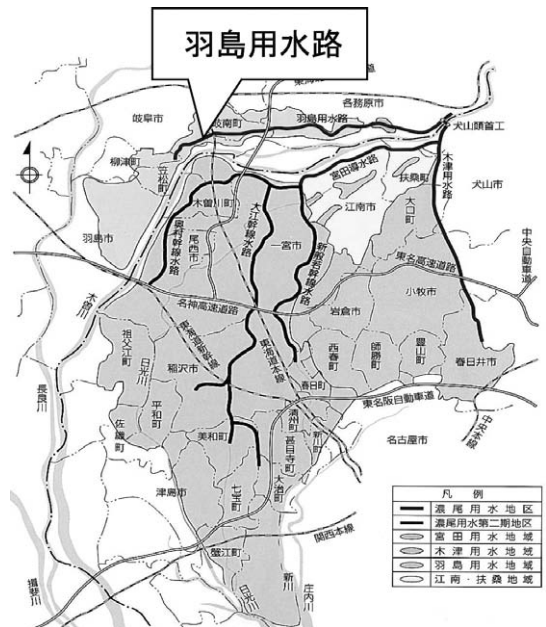


図-5 調査位置図

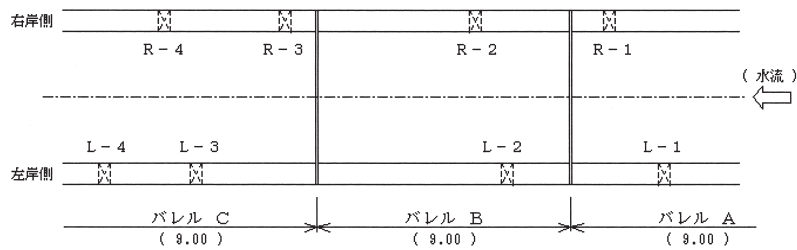


図-6 羽島用水路調査位置平面図

表-4 反発度調査箇所一覧表

記号	区分	測点 (m)	h (m)	摘要
L-1	左岸側	No.159+44.40	0.53	パレル A
L-2	"	No.159+49.40	0.31	パレル B
L-3	"	No.159+60.25	0.39	パレル C
L-4	"	No.159+63.90	0.36	"
R-1	右岸側	No.159+46.30	0.37	パレル A
R-2	"	No.159+51.70	0.35	パレル B
R-3	"	No.159+57.95	0.40	パレル C
R-4	"	No.159+62.35	0.39	"

調査位置については、図-6に示すように、上流から連続する [A], [B], [C] の三つのパレルを選定した。[A], [B] については、左右に1箇所ずつ、パレル [C] について、各々2箇所計8箇所の調査面を選定した。調査箇所は図-4に示

す通りである。調査位置について整理すると表-4の通りとする。

研磨器具、研磨方法、測定方法を写真-1～写真-8に示す。

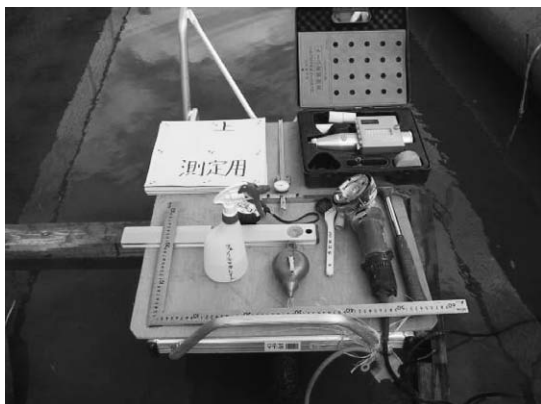


写真-1 反発度測定用特殊治具



写真-2 シュミットハンマーのテストアンビルによる検定



写真-3 研磨前の壁面状況及び研磨深さ測定用治具取り付け



写真-4 コンクリートカンナによる研磨状況



写真-5 研磨終了後フェノールフタレイン溶液による中性化試験

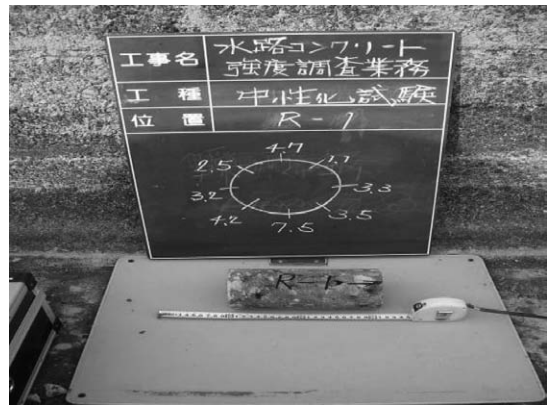


写真-6 コンクリートコアによる中性化試験



写真-7 デジタルノギスでの研磨深さ測定



写真-8 反発度の測定

10. 磨耗した表面と反発度の関係

バレルA, B, Cのデータを整理すると概ね一定の傾向があることがわかった。ここでは、参考として、バレルAの測定データについて整理した結

果を示す。表-5は、各研磨段階毎に測定した反発度を示したものである。研磨段階1は、何もしない現状のままの調査データを示している。平均値は20点の反発度の平均であり、最大、最小は、調査面のデータでの値である。

次に図-7は、X軸に研磨段階、Y軸に反発度の測定データをプロットし、実線で平均値を示したものである。全ての測定データを同様に整理したところ、次のようなことが言える。

水路表面の反発度は、どのデータにおいても小さい値が出ており、表面の凹凸の影響と考えられる。水路表面の反発度は、深部と比べて60%程度であり、他の調査面でも同様の結果であった。これらの調査データから、上述した「表面の平滑度

の影響」が具体的に明らかとなった。このことから、水路施設のように表面が磨耗している場合は、表-6から明らかなかようなかなり低い値を示すことが明らかとなった。健全領域の反発度に対する表面の反発度は、最小で50%、最大で70%、平均で63%であり、その精度から、表面の反発度の計測では、かなり小さめの値を推定することが示された。

表-5 反発度測定値 (R-1, L-1)

研磨段階	R-1			L-1		
	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
1	46.0	21.0	32.9	38.0	10.0	25.8
2	60.0	41.0	50.3	62.0	42.0	51.3
3	68.0	48.0	57.3	60.0	41.0	49.3
4	58.0	43.0	51.4	59.0	43.0	48.8
5	63.0	46.0	53.4	61.0	42.0	50.2
6	59.0	43.0	51.5	62.0	44.0	52.0
7	61.0	41.0	51.2	55.0	41.0	47.3
8	62.0	43.0	52.5	60.0	42.0	51.1
9	59.0	40.0	50.0	64.0	43.0	51.4
10	63.0	44.0	50.5	60.0	42.0	50.0
11	62.0	42.0	50.2	60.0	41.0	49.9
12	61.0	43.0	51.0	58.0	40.0	47.9

□ : 非中性化域

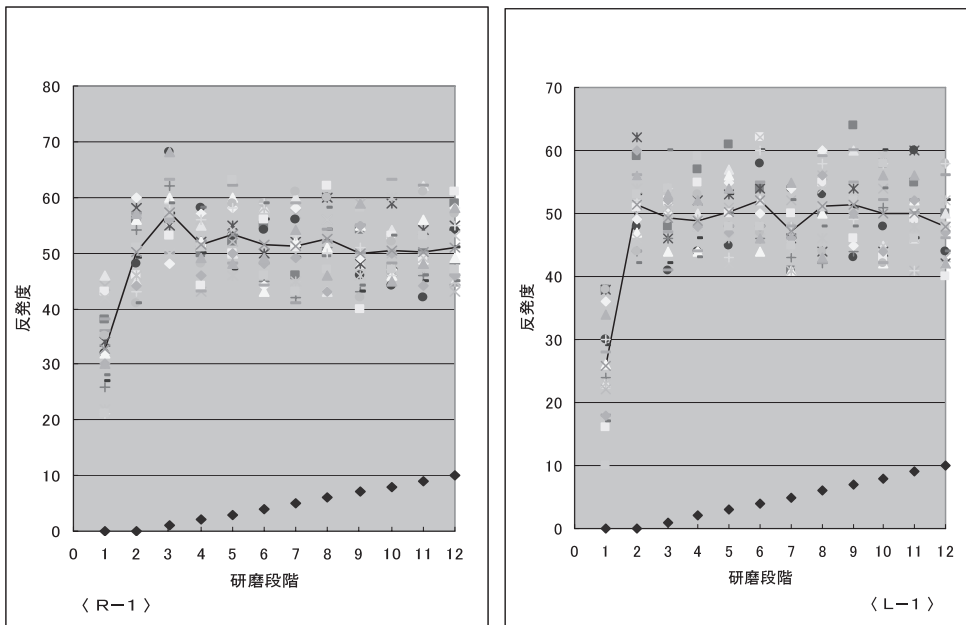


図-7 研磨段階 (研磨深さ) ~反発度 (R-1, L-1)

表-6 反発度の比較表

区分	表面の平均値	中性化領域の平均値	健全領域			摘要
			平均値	最大値	最小値	
R-1	32.9	53.1	51.0	63	40	バレル A
L-1	25.8	50.3	49.8	64	40	
R-2	29.7	53.0	47.9	63	37	バレル B
L-2	30.0	46.4	43.0	55	34	
R-3	32.1	50.5	50.3	62	40	バレル C
R-4	35.9	54.9	53.3	69	42	
L-3	30.9	53.7	53.2	68	43	
L-4	35.8	52.0	54.5	70	44	

11. 中性化と反発度の関係

中性化領域は、中性化が進行していない深部の新鮮なコンクリート面（非中性化域）に比べ高めの反発度を示している。具体的には、8ヶ所のうち6ヶ所で中性化領域が健全領域の値を1~11%を上回っており、平均で6%となっている。その差は必ずしも顕著ではない（表-6参照）。

12. 非中性化領域の反発度

コンクリート面（健全領域）の反発度は、概ね安定した値を示し、研磨を進めても、ほぼ、同様の数値を示している（図-7参照）。

このことから、表面の凹凸部、中性化部分を研磨し、健全な領域のコンクリートを1~2mm程度研磨し、反発度を計測することにより、経年変化した水路コンクリートの強度推定に効果的であることが明らかとなった。

13. 推定強度式とコア試験強度

次に、表面を研磨し、健全領域での試験で得られた反発度を用いた強度の推定及び推定された強度とコア試験強度について比較検討する。

図-8, 9にそれらの関係を示した。図-8において、X軸方向に研磨段階、Y軸方向に推定強度を示している。推定強度は、5の強度推定式に反発度Rを挿入して計算した値を表している。また、図中に示す53.1N/mm²、67.9N/mm²は、同一ヶ所で採取したコア試験（JISA1155）による一軸圧縮強度を表示している。シュミットハンマーの製造メーカーによる測定範囲は、カタログによれば、10N/mm²~70N/mm²とされているが、製造メーカーが実際に確認しているコンクリートの強度の測

定範囲の上限は、45~50N/mm²とされている。このことから、図には参考として45~50N/mm²の範囲を示した。なお、ここでは省略したが、他の試験点でも同様の結果が得られている。このように、非中性化領域における反発度から推定した強度とコア試験からの強度は、比較的近似していることが解った。

今回試験対象となった水路のコンクリート強度が高い値を示していることから、コア試験強度が低いコンクリートに対しての適合性の確認も必要と考えている。

また、反発度Rから、推定強度を算定する各式についても、それぞれ特徴があることが読み取れる。いずれにしても、今回の調査結果から、おおむね、実用的な範囲でシュミットハンマーによる経年変化したコンクリートの強度が推定できることが明らかとなった。

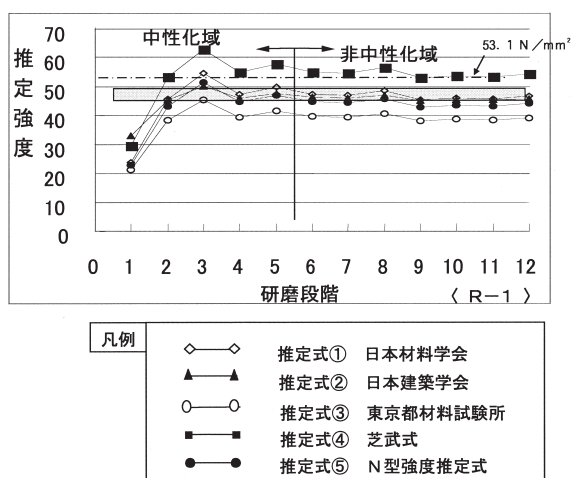


図-8 強度推定式とコア試験の比較(1)

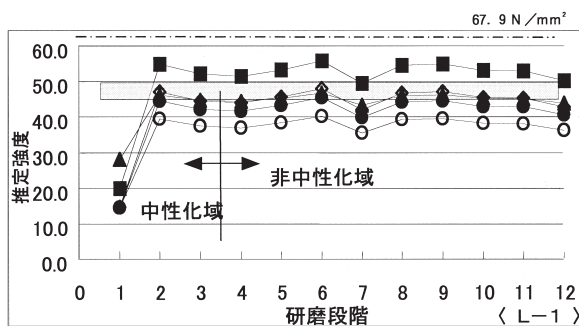


図-9 強度推定式とコア試験の比較(2)

14. 考察

(1) 磨耗した表面と反発度の関係

図-7に反発度と研磨段階との関係が示されているが、水路表面の反発度は、深部の健全領域と比べて約60%程度であり、他の調査面でも同様の結果であった。このことから、水路施設のように表面が磨耗している場合は、かなり低い値を示すことが明らかとなった。

(2) 中性化と反発度の関係

中性化したコンクリート表面の反発度は、非中性化領域のコンクリートよりやや高い値を示した。

(3) 非中性化領域の反発度

図-7からも解るように非中性化領域の反発度は、安定した数値を示している。また、他の調査箇所でも同様の結果が得られている。

(4) コア試験と推定強度

図-7, 8, 9に示すように、非中性化領域における反発度から推定した強度とコア試験により得られた強度は、比較的近似していることが解った。なお、図では、シュミットハンマーの適用範囲が45~50N/mm²であり、実用上問題がないことから、この値を用いて比較した。

15. まとめ

農業水利施設を構成する構造体コンクリートの強度を非破壊試験で推定する場合、表面を研磨し、非中性化領域で反発度を測定することにより、一定の精度で強度を推定できることが明らかとなった。

今後、農業水利施設の機能診断を行う場合、効果的に活用できると考えられる。また、他の異なる条件下での検証を行い、留意点等について検証

することとしている。

参考文献

- 1) 古賀裕久・河野広隆：
「テストハンマーによるコンクリート強度の推定調査について」コンクリート工学 vol.40 No.2 PP.3~7 (2002.2)
- 2) 押田文雄他：
日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）
「反発度法によるコンクリート構造体の強度推定精度向上技術の研究（その1~その4）」
(2003.9)
- 3) 永島明夫 他：
土木学会第43回年次学術講演会
「シュミット・ハンマー法による圧縮強度の推定法に関する研究（その2）表面の湿潤状態、表面粗骨度、個人差の影響」(1988.10)
- 4) 品質評価試験方法研究委員会報告書
(社)日本コンクリート工学協会
(PP167~170:1998.12)
- 5) 古賀裕久 他：
テストハンマーを用いたコンクリート強度推定の課題：土木技術57巻12号：PP33~38 (2002)

衝撃弾性波法による中小口径管（ACP, φ600mm）の機能診断事例

森 下 達 士* 大 森 康 弘* 藤 田 茂**
 (Tatsuo MORISHITA) (Yasuhiro OMORI) (Shigeru FUJITA)

目 次

1. はじめに	60	4. 衝撃弾性波検査の概要	61
2. 管水路施設の現状	61	5. 衝撃弾性波検査結果の分析	67
3. 中小口径管の機能診断手法	61	6. おわりに	68

1. はじめに

香川用水は吉野川総合開発計画の一環として造成されたものであり、吉野川の池田ダム地点から導水し、香川県の山間部及び島嶼部を除くほぼ全域に農業用水・都市用水を供給する全長106kmの基幹水路である。農業用水は県下8市6町、約3万haの農地を受益としている。(図-1)

都市用水との共用区間約47kmは水資源公団営事業（S43～49）で実施されており、水資源機構が管理している。また、農水専用区間約59kmは国営事業（S43～55）で実施されており、農林水

産省が、香川用水土地改良区に管理を委託している。

香川用水地区では施設が造成後概ね30年を経過し、水路施設の劣化が進行していることなどから、維持管理に多大な労力と経費を費やしている状況にあり、平成15年度から農水専用区間において施設機能診断調査を順次進めているところである。

ここでは、平成17年度に国営造成水利施設保全対策指導事業により実施した和田支線水路（石綿セメント管 [ACP], 600mm）の機能診断事例について紹介する。

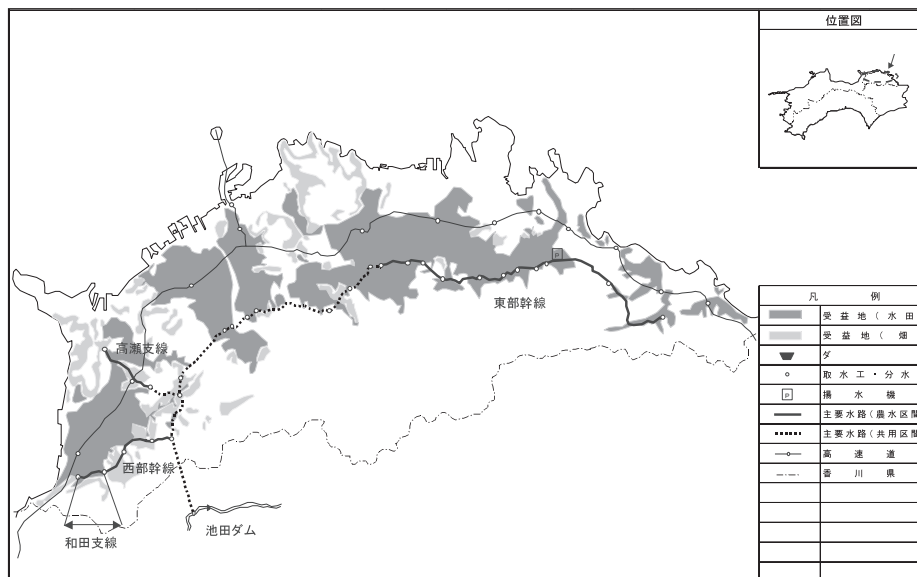


図-1 香川用水地区位置図

*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)日本水工コンサルタント (Tel. 075-352-2262)

2. 管水路施設の現状

香川用水地区（農水専用区間）の水路施設は、開水路、暗渠、トンネル、管水路と多様な形態で構成されている。うち管水路はダクタイル鋳鉄管、PC管、石綿セメント管と多様な管種が使用されており、管径も600mm～1,800mmと多様である。

これまでの機能診断調査から、管水路では、継手ゴム輪の劣化、管本体の経年劣化（中性化、ひび割れ等）などが随所で確認されており、今後の対策検討が必要となっている。

3. 中小口径管の機能診断手法

平成17年度の調査対象とした和田支線水路は、築造後32年が経過した石綿セメント管（ACP）φ600mmの路線である。しかしながら、中小口径管（概ねφ800mm未満）の機能診断（一般調査）を行う場合、以下のとおり、管本体の劣化度評価の手法が明らかにされていない。

- ・大口径（概ねφ800mm以上）では人が入っての管内調査が一般的であり、「施設機能診断マニュアル（調査編）」において調査手法が明記されているが、中小口径管では漏水量調査（水張り試験）のみの記述となっている。（表-1）
- ・石綿セメント管の調査、評価手法は、厚生省生活衛生局水道環境部監修「水道用石綿セメント管診断マニュアル」が用いられているが、適用呼び径は50～300mm程度となっている。

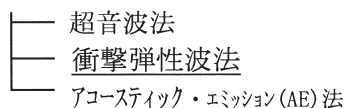
このため、調査対象施設に見合ったより効率的、経済的な調査手法として、衝撃弾性波法（非破壊検査）の導入を試みた。

4. 衝撃弾性波検査の概要

4-1 非破壊検査機器を用いた試験

「コンクリート標準示方書〔維持管理編〕2001年制定」によれば、非破壊検査機器を用いた試験は次のとおりである。

- ① 光ファイバスコープを用いる方法
- ② 反発硬度を利用する方法
- ③ 電気・磁気を利用する方法
- ④ 電磁波を利用する方法
- ⑤ 電気化学的方法
- ⑥ 弾性波を利用する方法



4-2 衝撃弾性波検査の概要

1) 衝撃弾性波検査の計測原理

衝撃弾性波検査（衝撃弾性波法）とは、管内面からラック、管厚み減少、材質の腐食などに起因する強度低下を数値化（残存強度率）する定量的評価法である。

その他の弾性波法（図-2）と比較して、衝撃により弾性波を入力するため入力が容易であり、低い周波数を多く含みエネルギーも大きいことが

表-1 「施設機能診断マニュアル（調査編）」の調査項目
管体〔大口径（概ねφ800mm以上）パイプライン〕

調査項目	調査内容および調査方法
①漏水量調査（水張り試験）	・管内に充水後、一定時間経過後の減水量を測定する。
②ひび割れ状況	・ひび割れ長さおよび幅の形状や状況を観察し、寸法をスケールで計測し図化する。
③たるみ、蛇行、沈下の状況	・管内縦断測量等により、たるみ、蛇行、沈下の状況を確認し、ジョイント番号とその方向を整理する。
④たわみ量の測定	・たわみ量5%を超える箇所を測定する。（垂直方法のみで可）
⑤継手間隔の測定	・間隔の大きい箇所をスケール、ゲージ等により測定する。
⑥堆砂・ゴミの状況	・堆砂・ゴミの有無、量の状況を整理する。

管体〔中小口径（概ねφ800mm未満）パイプライン〕

調査項目	調査内容および調査方法
①漏水量調査（水張り試験）	・管内に充水後、一定時間経過後の減水量を測定する。

らコンクリートのような材料に適している。また、入力点周辺の情報のみならず、管体における全体の情報が反映されるといった特徴が挙げられる。

2) 衝撃弾性波検査の判定原理

受振される波形には、振動理論式（表-2）における共振周波数の成分が含まれており、これを

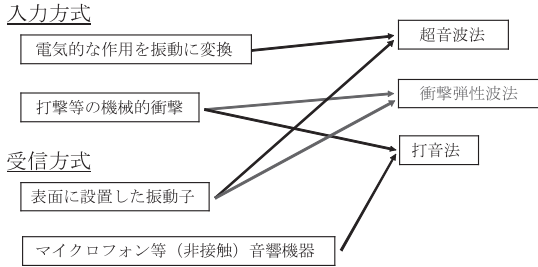


図-2 各種弾性波法の種類

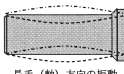

もとに、ひび割れの種類や程度、管厚減少の程度を判定することができる（例えば、管にクラックが生じたり、管厚が減少する場合、管の剛性（EI）が低下する）。

この現象を応用し、振動挙動を反映した周波数分布を解析することで、管の残存強度率の推定、劣化原因の判定が可能である。

4-3 作業概要

1) 作業内容

表-2 管体の振動挙動と理論式

振動挙動	振動理論式
 長手（軸）方向の振動	梁を仮定： $f = \frac{K}{2\pi^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \dots\dots (A)$ f: 共振周波数 K: 固有値 L: 梁長さ E: 弾性係数 J: 断面二次モーメント ρ: 密度
 円管断面の振動	シェルを仮定： $f = \frac{K}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho R^4}} \dots\dots (B)$ f: 共振周波数 K: 固有値 R: 半径 E: 弾性係数 J: 断面二次モーメント ρ: 密度

本調査では、空気弁用T字管のフランジを空け調査機器を設置し、衝撃弾性波検査を実施した。なお、内面調査のため上流側及び下流側に向けたテレビカメラ調査を併せて実施した。（図-3）

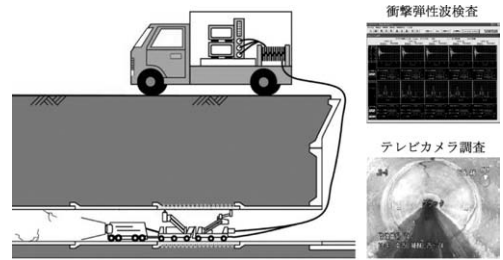


図-3 現場での作業模式図

2) 使用機器の概要

本調査における衝撃弾性波検査には、牽引型検査ロボットによる検査システムを用いた（図-4）。本検査ロボットは、打撃と受振の状況を確認するため、各箇所にてCCDカメラが設置されており、管路内への挿入性を向上させるため、受振ユニットと打撃ユニットの間に折れ曲がる構造になっている。（図-4）。

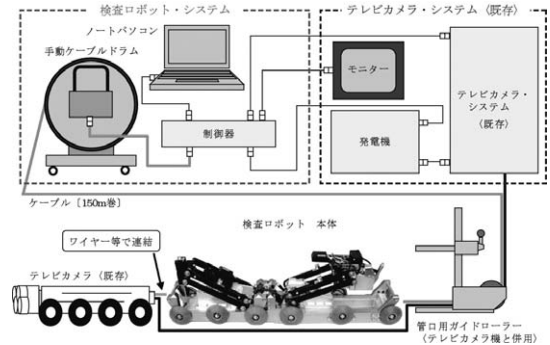


図-4 調査機器の基本構成

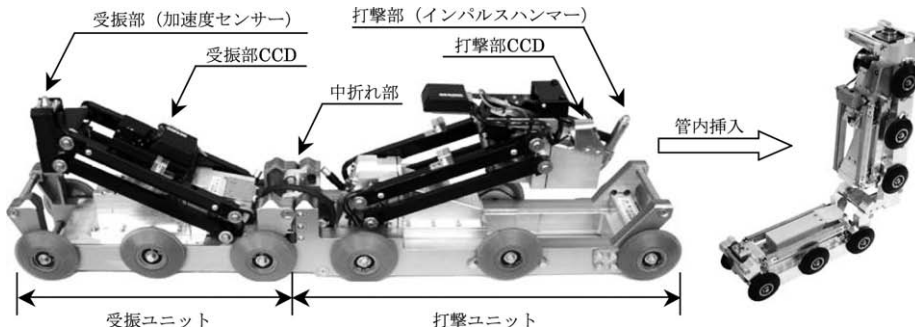


図-4 調査機器の基本構成

管路内設置状況，走行状況等は写真-1～写真-4のとおりである。

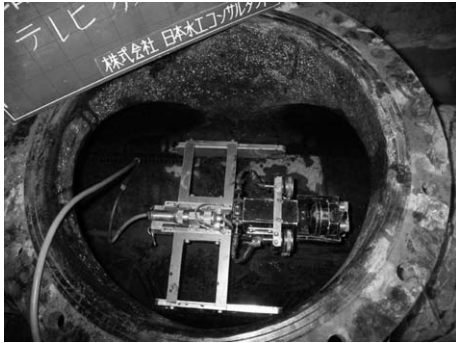


写真-1 設置状況 (テレビカメラ)



写真-2 設置状況 (検査ロボット)



写真-3 管内走行状況



写真-4 オペレーション状況

4-4 計測・解析条件

1) 計測条件

牽引型検査ロボットの打撃部と受振部の間隔は750mmである。調査対象である石綿セメント管(φ600mm)は，有効管長が5mであるため，管体1本当たり6箇所計測を行った(図-5)。また，1回のハンマーの打撃力は，既設管に損傷を与えないよう瞬間最大力で3.5kN程度とした。

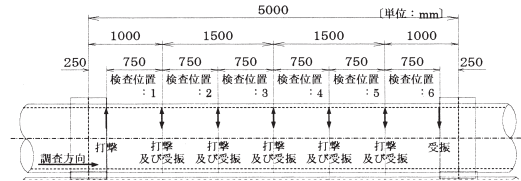
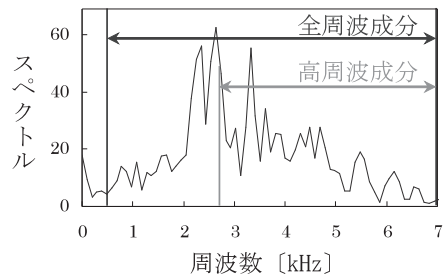


図-5 管体当たりの計測位置

2) 解析条件

検査対象区間から管体を掘り上げ，解析パラメータの選定とその境界基準値を把握するための試験を実施した。その結果から得られる周波数分布の高周波成分比(X)から，残存強度率(G)を推定した(後述)。(図-6)



$$\text{高周波成分比(\%)} = \frac{\text{高周波の成分面積量}}{\text{全周波の成分面積量}} \times 100$$

図-6 高周波成分比の算出条件

4-5 管体の環片圧壊試験結果

1) 供試体の作製

埋設環境下から管体2本を掘りあげ，それぞれから長さ1,000mmの環片を2箇所切り出し，長さ1mの供試体4本について，JIS A 5301 (1983)の環片圧壊試験に準拠した試験を実施した。(図-7，写真-5)

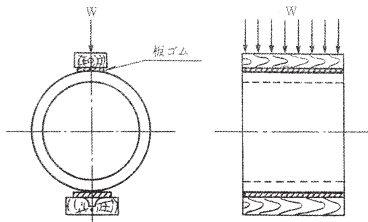


図-7 環片圧壊試験の要領

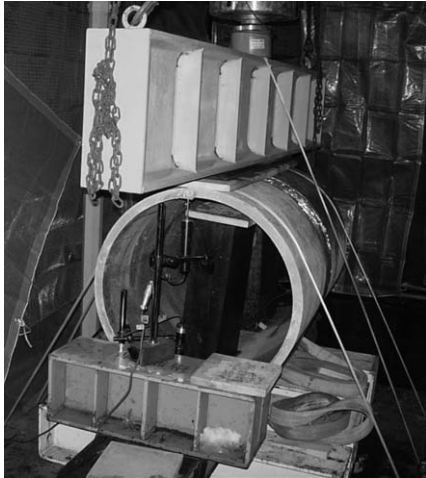


写真-5 環片圧壊試験状況の写真

2) 試験結果

一供試体を除いて、圧壊強度、管厚とも基準値以上であった。(表-3a, 表-3b)

表-3a 環片圧壊試験の結果

供試体 No.	破壊荷重値 [kN]		圧壊強度値 [kgf/cm ²]	
	試験値	JIS 規格値	試験値	老朽度 ランク
1-1	72.2	55.57	524	IV
1-2	25.6		186	I
2-1	58.2		525(487)	IV(III)
2-2	65.7		550	IV

「水道用石綿セメント管診断マニュアル」による
老朽度ランク

表-3b 各供試体形状の計測値

供試体 No.	管 厚 [mm]								平均 T	破壊面 最小管厚	内径 [cm] D _i
	上	右上	右	右下	下	左下	左	左上			
1-1											60
1-2	29.0	30.0	31.0	31.5	29.0	30.0	29.0	30.0	29.9	29.0	60
2-1											60
2-2	29.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.0	26.0	27.0	26.0 (27.0)	59

t = 26.0mmは規格値 (すべて規格値以上の管厚あり)

4-6 衝撃弾性波検査による解析基礎基準値

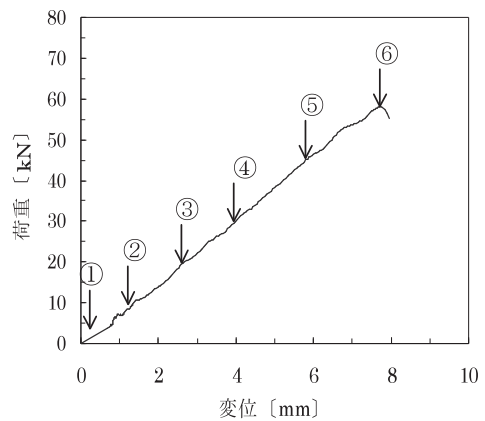
石綿セメント管の破壊挙動を把握するとともに、衝撃弾性波検査における損傷に対する解析パラメータの境界基準値を把握するため、供試体を用いて試験を実施した。

1) 試験方法

供試体 (2-1) を段階的に載荷・除荷し、その過程でその都度、衝撃弾性波検査を実施した。なお、管体への載荷は、JIS A 5301 (1983) の環片圧壊試験に準拠した方法にて実施した。また、衝撃弾性波検査には実際の調査に用いたものと同機種の検査ロボットを用い、打撃と受振の間隔も750mmと同条件で実施した。

2) 試験結果

石綿セメント管の破壊挙動 (載荷と除荷を繰り返したときの供試体の荷重-変位の関係) は以下のとおりである (図-8)。この際、管体の環片圧壊試験の結果から、石綿セメント管の破壊挙動は線形弾性体に極めて近く、載荷曲線と除荷曲線はほぼ同一となるため、ここでは除荷過程を削除し、載荷過程のみを記載している。また、衝撃弾性波検査を実施した荷重レベル点 (荷重除荷点) を同時に記載している。



↓ : 衝撃弾性波検査の実施点

条件①: 載荷前 [0 kN]

条件②: 荷重値 [10.3kN]

条件③: 荷重値 [20.4kN]

条件④: 荷重値 [30.1kN]

条件⑤: 荷重値 [46.9kN]

条件⑥: 破壊後 [58.2kN]

図-8 石綿セメント管の荷重-変位関係

破壊時のクラック発生状況は写真-6のとおり。



(a)管内面-管頂部



(b)管内面-管底部

写真-6 クラック発生状況

3) 衝撃弾性波検査における弾性波挙動

各荷重レベル（図-8の条件①～⑥）で実施した衝撃弾性波検査の結果は以下（表-4）のとおりであり、各荷重レベルでの振動波形の周波数分布（高周波成分比）により評価を行った。（ヒューム管等における解析原理、事例からは、高周波成分比の変化から管体の剛性変化を確認できることが明らかとなっているため、これを石綿セメント管に適用できるものとした）

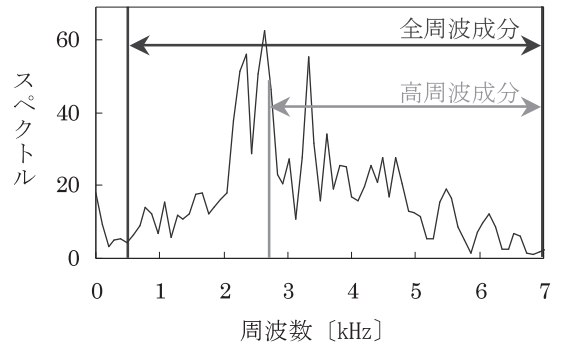
試験結果をもとに、剛性変化をより良く確認できるように、高周波成分比(X)を次のとおり定義した。

$$\begin{aligned} \text{高周波成分比}(X)[\%] &= \frac{\text{高周波の成分面積量}}{\text{全周波の成分面積量}} \times 100 \\ &= \frac{2.7\sim 7.0\text{kHzの成分量}}{0.5\sim 7.0\text{kHzの成分量}} \times 100 \end{aligned}$$

※高周波成分比の算出条件は、6)に詳細を示す。

表-4 各荷重レベルにおける衝撃弾性波検査の結果

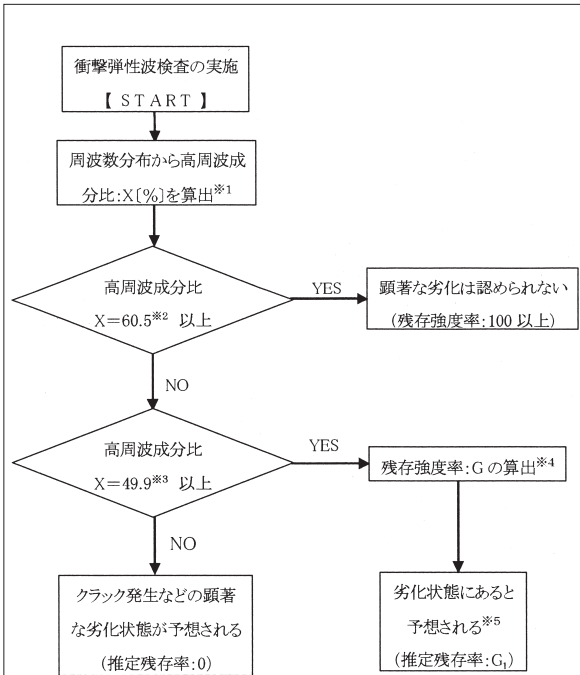
条件	荷重値 (kN)	周波数分布 〔縦軸：スペクトル、横軸：周波数 (kHz)〕	高周波成分比 [%]
① 載荷前	0.0		62.3
②	10.3		61.9
③	20.4		61.4
④	31.0		60.5
⑤	46.9		66.4
⑥ 破壊後	58.2		49.9



4) 衝撃弾性波探査の有効性

以下の知見から、石綿セメント管においても高周波成分比(X)の変化により、管体の剛性変化を確認できると判断される。

- ・圧壊試験による管体の破壊挙動は、管頂、あるいは管底の内側にクラックが生じ、線形弾性体に極めて近い。
- ・弾性変形領域内（条件①～⑤）では、剛性低下に寄与するクラックのような損傷がないため、周波数分布の形状は大きく変化しない。
- ・圧壊によりクラックが発生（条件⑥破壊後）すると管体の剛性が低下し、それに伴い、周波数分布の高周波成分比(X)が減少する。
- ・その時の最小変化量（弾性変形領域内最小値〔条件④〕と破壊時の値〔条件⑥〕の差）は10.6%で、この現象を確認するのに有意な差である。



- *1) 高周波成分比は前出式と同じ条件で算出する。
- *2) 規格強度値を満たす条件①～⑤の範囲での高周波成分比の最小値(60.5%)とした。この値以上の場合、顕著な劣化は認められないと予想される。
- *3) 破壊時の高周波成分比の値(49.9%)とした。この値未満の場合、クラック発生などの顕著な劣化状態が予想される。
- *4) 残存強度率: Gの算出式は、次の2点(高周波成分比, 残存強度率) = (49.9, 0), (60.5, 100)と、ヒューム管等の管種ではそれらが比例関係にあることをもとに導いた。この式に衝撃弾性波検査で得られる高周波成分比: Xの値を代入し、各箇所での残存強度率: G₁を算出する。

$$G = 9.434 \times X - 470.7$$
- *5) 石綿セメント管の破壊挙動は線形弾性体に近い挙動を示すため、鉄筋コンクリート管(ヒューム管など)のようなクラック進展領域がない。そのため、クラックの発生による段階的な剛性変化はなく、衝撃弾性波検査における周波数分布も変化はしない。
 従って、衝撃弾性波検査の結果で残存強度率が0以外で低下している場合は、経年変化による管体の摩耗や材質の劣化、もしくは、品質のバラツキ(管厚みの相違)などによる剛性低下に起因すると考えられる。これは、前出の環片圧壊試験の結果から、外観上の損傷が無いにもかかわらず、圧壊強度値が規格値より下回っていたことから予想される。

図-9 残存強度率の算定フロー

5) 残存強度率の推定手法

衝撃弾性波検査結果から解析パラメータとして、定義した高周波成分比(X)を選定した。また、境界基準値として、規格強度値を満たす条件①～⑤の範囲での高周波成分比(X)の最小値(60.5%)、破壊時の高周波成分比(X)の値(49.9%)を採用した。

ここで、管体の劣化状態を示す残存強度率(G)を推定するため、以下(図-9)のフローチャートを作成した。なお、残存強度率(G)は、顕著な劣化が認められない(弾性変形領域内)状態を「100」、クラック発生(破壊)状態を「0」と定義したうえで、管体の剛性変化を定量的に示すものである。

6) 高周波成分比(X)の算出条件

図-10に載荷前(条件①)の周波数分布を示す。これより、対象管体に起因する特徴が現れる周波数領域は、0～7.0kHz付近であることが確認できる。なお、0～0.5kHzの領域は電気的なノイズの影響が現れやすいため、高周波成分比(X)を算出する際の全周波成分の領域を0.5～7.0kHzとした。

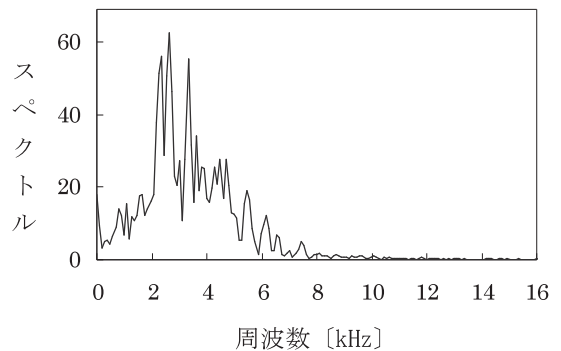
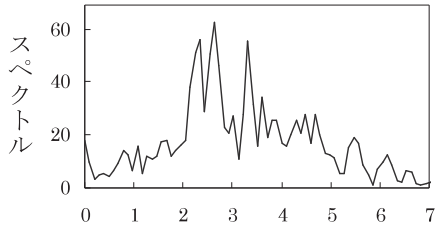
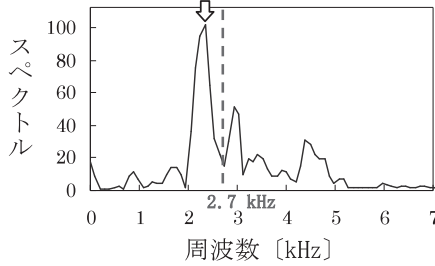


図-10 周波数分布 [載荷前]

図-11に載荷前(条件①)と破壊後(条件⑥)の周波数分布を示す。管体が破壊することにより、周波数分布における低周波成分の割合が多くなり、2.3kHz付近を中心とする位置に特徴的なピークが確認された。そこで、このピークの谷となる2.7kHzを低周波成分と高周波成分の境界位置とし、高周波成分比(X)を算出した。



(a) 載荷前 [条件①]



(b) 破壊後 [条件⑥]

図-11 載荷前と破壊後の周波数分布

5. 衝撃弾性波検査結果の分析

5-1 解析結果

各管体、検査位置毎に、試験で得られた周波数

成分より高周波成分比を算出し、推定残存強度率を各管体1本ずつについて算定した。(表-5)

5-2 解析結果に関する所見

検査を実施した管体について、テレビカメラ調査の結果から外観上に損傷は発見されなかったが、衝撃弾性波検査の結果から、全体の約21.5%管体に異常が確認された。

これは、繰返し荷重、異常荷重等によるマイクロクラックの発生、増加による強度の低下あるいは、経年変化による管材質の劣化などによる剛性低下に起因すると考えられ、環片圧壊試験の結果から、JIS規格管厚が確保され外観上の損傷が無いにもかかわらず、圧壊強度値が規格値より下回っていた供試体があったことから予想される。

なお、衝撃弾性波検査においては、ヒューム管において管厚が減少すれば高周波成分比が減少することが確認されているが、まだ事例が乏しく、高周波成分比の減少率から管厚を推定するまでの研究精度には至っていない現状である。本和田支線においては、施工年度、製品メーカーが同一であり、供試体を見る限り最小管厚は確保されているため、確認された異常はそのほとんどが強度の低下であろうと考えられる。

表-5 衝撃弾性波検査の結果

路線	対象管体	検査位置	高周波成分比 [%]	衝撃弾性波検査 【推定の残存強度率】 平均値	TVカメラ 管内面状況	備考	路線	対象管体	検査位置	高周波成分比 [%]	衝撃弾性波検査 【推定の残存強度率】 平均値	TVカメラ 管内面状況	備考
NO.17 ↓ 下流	1本目	1	-	-	-	異常なし	T字管との接合部	9本目	1	75.6%	100	100	"
		2	40.0%	0					2	84.2%	100		
		3	55.6%	53.8					3	68.7%	100		
		4	53.7%	35.9					4	72.0%	100		
		5	77.3%	100					5	63.8%	100		
		6	-	-					6	71.2%	100		
	2本目	1	83.8%	100	65.0	"	残存強度=0の 区間あり、顕著な 劣化状態が予想さ れる。	10本目	1	76.4%	100	100	"
		2	40.0%	0					2	77.6%	100		
		3	55.6%	53.8					3	80.3%	100		
		4	53.7%	35.9					4	85.1%	100		
		5	77.3%	100					5	73.7%	100		
		6	74.3%	100					6	65.4%	100		
	3本目	1	77.6%	100	100	"	"	11本目	1	74.7%	100	100	"
		2	78.2%	100					2	67.8%	100		
		3	75.9%	100					3	68.8%	100		
		4	74.7%	100					4	63.1%	100		
		5	79.8%	100					5	64.1%	100		
		6	75.1%	100					6	70.4%	100		
	4本目	1	67.3%	100	100	"	"	12本目	1	54.2%	40.6	70.5	"
		2	78.9%	100					2	49.1%	0		
		3	80.4%	100					3	68.6%	100		
		4	71.9%	100					4	67.8%	100		
		5	84.7%	100					5	72.5%	100		
		6	79.9%	100					6	58.6%	82.1		
	5本目	1	86.6%	100	100	"	"	13本目	1	49.2%	0	73.6	"
		2	77.4%	100					2	60.2%	97.2		
		3	79.1%	100					3	62.2%	100		
		4	77.6%	100					4	64.5%	100		
		5	72.1%	100					5	69.4%	100		
		6	68.1%	100					6	54.6%	44.4		
	6本目	1	75.5%	100	100	"	"	14本目	1	61.3%	100	75.5	"
		2	66.8%	100					2	65.1%	100		
		3	69.6%	100					3	60.4%	99.1		
		4	79.4%	100					4	53.8%	58.6		
		5	78.1%	100					5	54.4%	42.5		
		6	79.8%	100					6	57.8%	74.6		
	7本目	1	75.5%	100	100	"	"	15本目	1	67.8%	100	91.2	"
		2	76.1%	100					2	54.9%	47.2		
		3	71.2%	100					3	67.2%	100		
		4	77.3%	100					4	66.1%	100		
		5	71.9%	100					5	74.0%	100		
		6	73.9%	100					6	66.9%	100		
	8本目	1	74.2%	100	100	"	"	16本目	1	66.5%	100	85.9	"
		2	66.9%	100					2	54.8%	46.3		
		3	79.1%	100					3	58.7%	83.1		
		4	74.1%	100					4	80.8%	100		
		5	86.1%	100					5	62.3%	100		
		6	78.3%	100					6	-	-		

5-3 劣化要因の考察

衝撃弾性波検査の結果から劣化要因を考察した。劣化状態にある管体は、道路下及び土被りの大きい区間において多く見られ、異常荷重等を受けやすい環境下にある箇所で管体の劣化が進んでいる実態が明らかとなった。(表-6, 図-12)

表-6 劣化要因

	顕著な劣化状態が予想される管体数	劣化状態あると予想される管体数	考えられる要因
No.11+21.72から上流	1	3	土被りが大きい 横断高速道路下
No.11+21.72から下流	1	6	法面法尻下で地下水位の変動が激しい
No.17から上流	1	3	管理用道路下
No.17から下流	4	3	"
No.22+93.01から上流		1	耕作道路下
No.22+93.01から下流		1	"
		3	比較的土被りが大きい
No.25+81.23から上流		1	横断町道下
No.29+57.44から下流		6	耕作道路下

6. おわりに

石綿セメント管における衝撃弾性波調査の正式採用事例としては始めてであるが、今回の調査により石綿セメント管においても衝撃弾性波調査の手法が有効であることが示唆されたと考えている。中小口径管(φ800mm以下)での管内調査や微小クラックの判定など目視確認が困難なものについて、十分な劣化度評価を行うため、適切な調査手法の選定に努めたい。

また、埋設された石綿管については直ちに人体に影響を及ぼすものではないが、アスベスト製品の代替化が進められつつある昨今において、今回調査による優先度(残存強度)に配慮しつつ、適切な更新手法及び処理方法を検討していきたい。

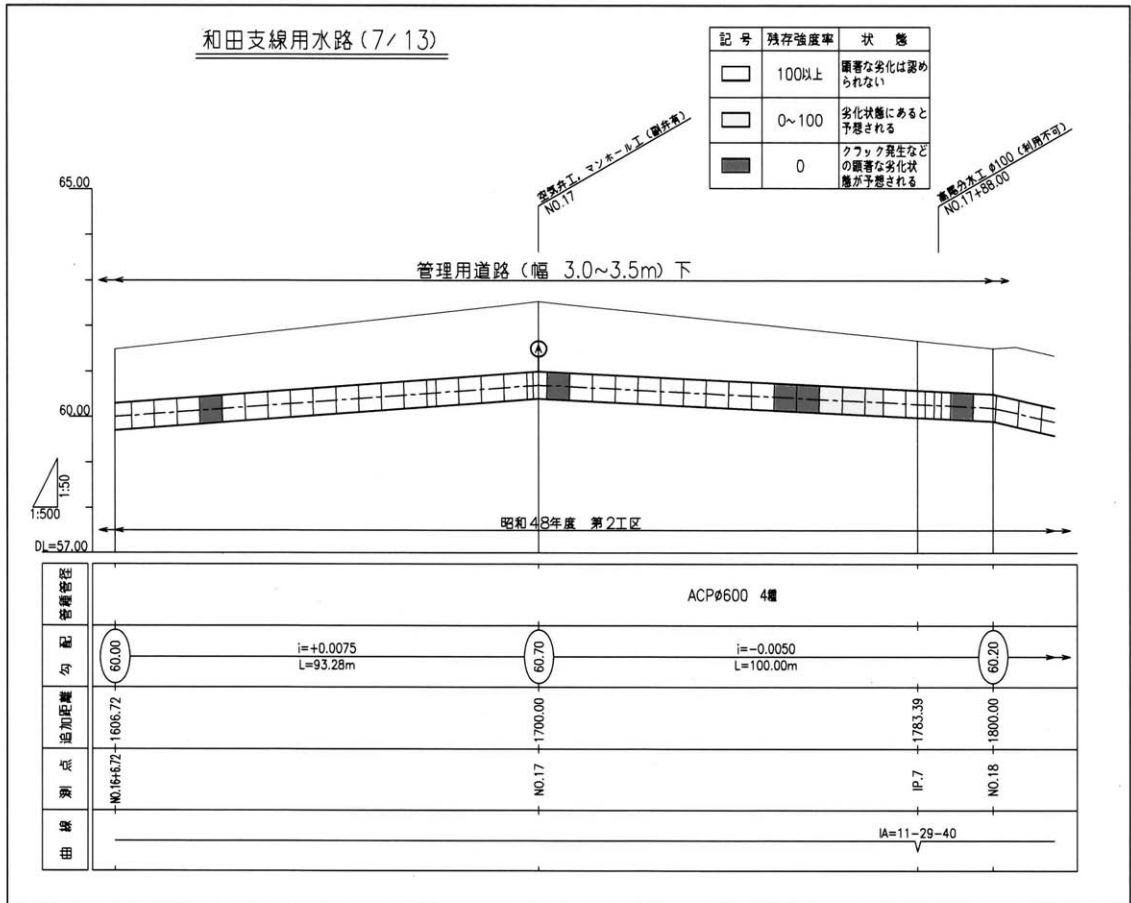


図-12 衝撃弾性波調査結果縦断面図

犬山頭首工補修工事における水叩部耐摩耗板の設計・施工

森田 昇* 井口 清光**
(Noboru MORITA) (Kiyomitsu IGUCHI)

目 次

1. はじめに……………	69	4. 施工……………	71
2. 犬山頭首工における水叩部の現状と対策……………	69	5. 耐摩耗板の耐久性に係る考察……………	73
3. 現在の耐摩耗板の剥離原因と改善策……………	70	6. おわりに……………	75

1. はじめに

1) 犬山頭首工の概要

犬山頭首工（写真-1）は、愛知県及び岐阜県にまたがる、13市20町の濃尾平野の水田及び畑地10,990haにかんがいするための取水施設で、宮田、木津、羽島の3用水を合口して、国営かんがい排水事業「濃尾用水地区」により、昭和38年度に築造された。

その後、国営造成施設直轄管理事業「濃尾用水地区」での、農林水産省犬山頭首工管理事務所による直轄管理の運用が開始された。

また、昭和49年度から昭和54年度には国営造成土地改良施設整備事業により緊急的に必要な補強工事が行われるなど、施設機能の維持に努めてきた。

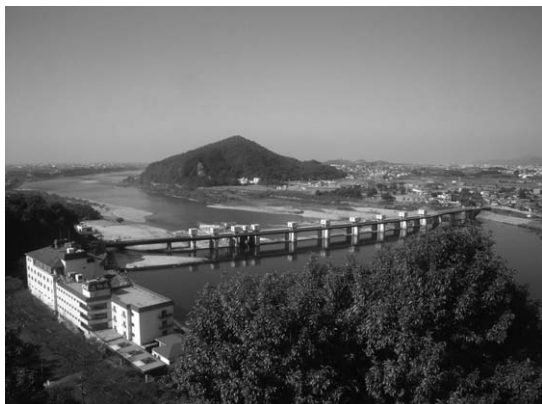


写真-1 犬山頭首工全景



写真-2 洪水状況

しかしながら近年は、度重なる木曾川の洪水（写真-2）による河床低下などによって、基礎、水叩き、護床等の劣化、頭首工の機能低下が著しく進行し、事故につながる危険性が增大している。このため、施設の機能を回復することなどを目的として、平成10年度から国営総合農地防災事業「新濃尾用水地区」に着手し、大江排水路などの改修と併せて本頭首工の補修を行っているところである。

2) 検討の概要

今回は、犬山頭首工の水叩部表面補修に際して、摩耗状況などについて現状調査を行い、剥離原因を特定し、耐摩耗板による対策を講じたので、その経緯と耐久性に係る考察について報告する。

2. 犬山頭首工における水叩部の現状と対策

1) 水叩部の現状

犬山頭首工における水叩は、『越流水による堰体下流の洗堀を防止する』目的で設置された。

*新濃尾農地防災事業所調査設計課（Tel. 0586-47-7720）

**新濃尾農地防災事業所犬山支所（Tel. 0568-62-6201）

犬山頭首工においては、砂・砂礫が浮遊する河川水の高速流下により、この水叩表面が最大40cm摩耗し、水叩コンクリート必要部材厚の減少、これに起因する頭首工本体の崩壊が懸念された。

2) 対策工法の検討

この対策として、数種の工法の中から、稼働頻度が高く、水叩コンクリートの摩耗の進行も著しい洪水吐1号（写真-3）及び2号の堰中心より下流約16m区間については、耐摩耗性をより向上させるため「耐摩耗板工法（別称：弾性板工法）」を採用し、これ以外の部分については「高強度コンクリート工法」を採用することとした。

なお、耐摩耗板工法は、犬山頭首工における施設整備事業において、洪水吐3号及び4号に採用され、現時点において、その耐摩耗効果に実績のある工法である。



写真-3 耐摩耗板設置前（洪水吐1号）

◎「濃尾用水 国営造成土地改良施設整備事業 工事誌 昭和55年3月」より抜粋

耐摩耗板工法の決定

その決定方法として、河川工作物のコンクリートの摩耗原因としては、土石流によるスリヘリと共に転石の流下に伴う衝撃が大きく作用していると思われる。

このことはハンマーを用いてコンクリート面をコツコツと叩き回数を重ねるにしたがって次第にコンクリート面に亀裂が走り、遂に小さな破片となって碎け散ることからも理解される。

実際の河川では流石の衝突が次々と繰り返されることにより衝撃強度の低いコンクリート面が碎け流失し、このようにして一度表面が凹凸になってしまうと衝撃力は局部的に作用することから次々と微細な亀裂が入り込んで進行するものと考えられる。

従って補強工事を計画するに当たっては転石の衝撃摩耗に対処できる材料によるコンクリート面の保護工法を必要と考え、且つコンクリートへの取付方法並びに経済性を検討した結果、衝撃吸収性が大きく取れしかも変形に要する仕事量の大きい一様なバネ系弾性体からなる耐摩耗板（合成ゴム）を採用することとした。

3. 現在の耐摩耗板の剥離原因と改善策

前述のとおり、今回の補修工事にて採用した“耐摩耗板”は、施設整備事業において採用されたものであるが、現状において少数であるが“剥離”している。（写真-4、写真-5）

今回の採用に当たっては、この既設耐摩耗板の現状における剥離の原因を究明し、これを改善し、本施工に望むこととした。



写真-4 既設耐摩耗板剥離状況（洪水吐4号）



写真-5 既設耐摩耗板剥離状況

1) 耐摩耗板の剥離原因

【過程①】耐摩耗板の目地からの浸水

既設耐摩耗板1枚の標準規格は500mm×500mmの方形形状で、摩耗板同士の接続目地には若干の隙間が生じることとなり、その隙間から河川水の浸水が発生する。

【過程②】固定アンカーボルトの離脱

既設耐摩耗板の固定アンカー材質は、SS400であったことから、アンカー及びナットが腐食する。耐摩耗板に作用する揚圧力により発生する微振動により、腐食したアンカーのネジが摩耗し、耐摩耗板の締結力が喪失する。

【過程③】耐摩耗板の捲れ

締結力が喪失したことにより、洪水時等の高速流により耐摩耗板が浮き上がり、さらに、その隙間に河川水内の石礫等が進入し、耐摩耗板の捲り上がりが進行する。

【過程④】耐摩耗板の剥離

最終的には、上記連鎖により、既設耐摩耗板を固定しているアンカーボルト全ての締結力が喪失し、耐摩耗板の剥離に至ったと推察される。

2) 耐摩耗板の剥離原因に対する改善策

【対策①】耐摩耗板規格及び目地形状の改良

耐摩耗板目地部からの浸水を極力抑止するため、耐摩耗板1枚当たり規格を標準2,000mm×1,000mmとした。

また、既設摩耗板では、“突合せ形状”であった目地形状を、今回は“咬合せ形状”とした。

【対策②】耐摩耗板固定アンカー材質の改良

既設摩耗板の固定アンカー材質はSS材であったため、今回の採用に当たっては、より腐食効果の高いSUS材とした。

4. 施工

1) 耐摩耗板の構造

既設摩耗板の欠点を改良し、今回の補修工事に採用した耐摩耗板の構造は添付図のとおり。(図-1～4)

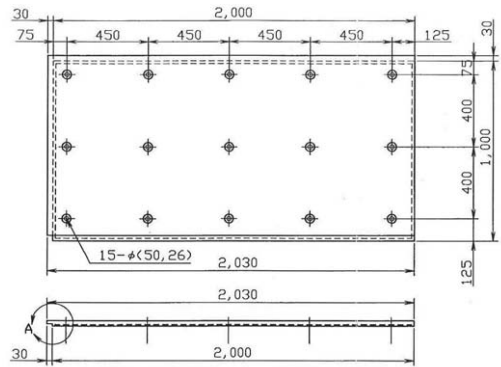


図-3 耐摩耗板構造

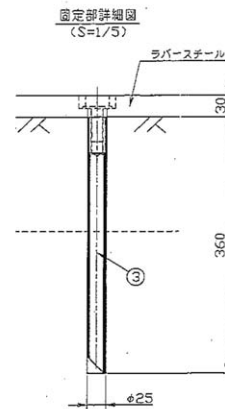


図-4 固定ボルト図

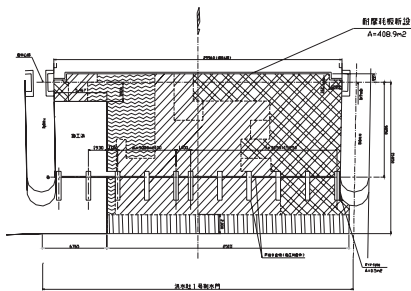


図-1 平面図

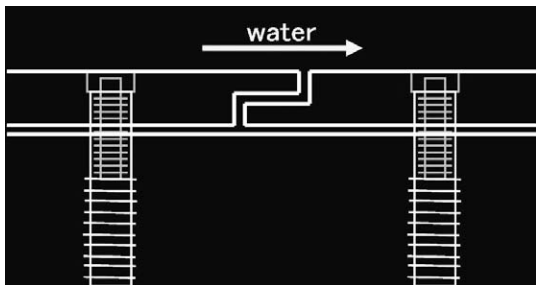


図-2 耐摩耗板の咬合せ形状

2) 施工手順

①準備工（施工前）（写真-6）

工事測量を実施し、中心線、縦断、横断等の確認をする。



写真-6 ①準備工（施工前）

②既設コンクリートはつり（写真-7）

人力にてコンクリートブレーカーで荒掘を行い、ピックハンマーにより規定の高さ（ $10 \leq t \leq 30$ mmモルタル下地材厚）に仕上げ、既設構造物等に損傷を与えないように注意する。



写真-7 ②既設コンクリートはつり

③はつり面洗浄（写真-8）

既設水叩部はつり箇所及び既設コンクリート面上の浮石、堆積物、藻等を除去しながら洗浄機の圧力（15Mpa）、ワイヤーブラシ等により清掃し、異物等が残らないように除去する。



写真-8 ③はつり面洗浄

④コンクリート・モルタル打設（写真-9）

コンクリート面を湿潤養生した上でコンクリートが分離を起こさない様に木ゴテ等で入念に押さえ込み、天端は金ゴテで規定の高さに仕上げる。なお、養生においては、凍結等を起こさない様に養生マット等で覆い養生する。



写真-9 ④コンクリート・モルタル打設

⑤下地処理工完了（写真-10）

調整コンクリートの基準高を確認する。



写真-10 ⑤下地処理工完了

⑥耐摩耗板据付（写真-11）

耐摩耗板設置前に基準線の隅出しを行い、規定の位置に設置する。但し、脚柱部分及びゲート戸当たりの周辺部分においては、隙間が生じるため、ポリマーモルタルで施工する。



写真-11 ⑥耐摩耗板据付

⑦アンカーホール削孔 (写真-12)

削孔長を一定にするため、ドリルビットにマーキングテープをして施工し、削孔後の穴は、ワイヤーブラシ及びプロアー等で清掃する。



写真-12 ⑦アンカーホール削孔

⑧樹脂注入 (写真-13)

樹脂カプセルを削孔した箇所に注入する。

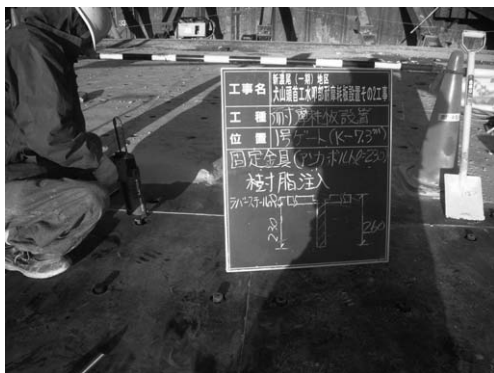


写真-13 ⑧樹脂注入

⑨固定ボルト取付 (写真-14)

アンカーボルト (全ねじボルト) を樹脂量を確認しながら挿入し、アンカーボルト (全ねじボルト) 養生完了後、固定ボルトを取付る。



写真-14 ⑨固定ボルト取付

⑩後片付け (施工後) (写真-15)

施工箇所の清掃等を入念に実施する。



写真-15 ⑩後片付け (施工後)

5. 耐摩耗板の耐久性に係る考察

耐摩耗板を頭首工の水叩コンクリート表面の摩耗抑止材として採用した事例は少なく、耐摩耗板自体の耐久性能については、今後、継続的に調査検証する必要があると考えるが、参考として、施設整備事業において設置された摩耗板の現時点における状況を基に、耐摩耗板の耐久性についての考察を行う。

1) 施設の耐久性

ここでの「施設の耐久性」とは、『現場に設置後どの程度剥離等により損失したか』との観点で検証した。

表-1 損失枚数 (面積) 測定結果

項目	枚数ベース	面積ベース	備考
施設整備設置時	3, 258枚	818m ²	異形品含む
損失数	64枚	16m ²	H16年度時点
現存率	98%	98%	(設置-損失)/設置

2) 物理的耐久性

ここでの「物理的耐久性」とは、耐摩耗板に用いられたゴムの物理特性の経年変化を検証するもので、剥離し回収した既設摩耗板から採取したゴム片により、その物性を試験した結果である。

①厚み (摩耗量)

表-2 厚み (摩耗量) 測定結果

測定位置	A	B	C	D	E	平均
厚 (mm)	24.8	25.3	25.5	25.8	24.6	25.2

既設摩耗板の製品規格厚さはt=25mmであることから、摩耗量は微少である。

なお、上表は、規格厚さを超える結果となつて

いるが、これは製作上の管理値上限で製作していたものと推察される。

②硬度……「加硫ゴム及び熱可塑性ゴムの硬さ試験方法 (JIS K 6253)」準拠

表-3 硬度測定結果

深さ (mm)	層	硬 度				平均
		①	②	③	④	
2	1層目	78	78	78	78	78
6	2層目	72	74	74	74	74
10	3層目	72	72	72	72	72
14	4層目	72	70	70	70	71

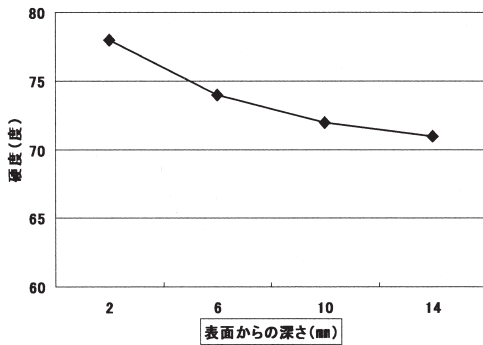


図-5 硬度測定グラフ

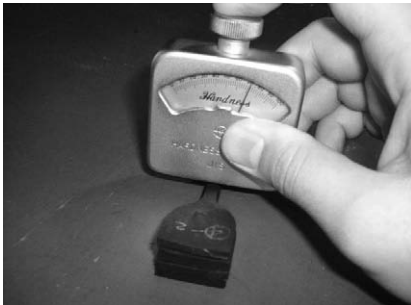


写真-16 硬度測定方法

③引張強度……「加硫ゴムの引張試験方法 (JIS K 6251)」準拠

表-4 引張強度測定結果

深さ (mm)	層	引 張 強 度 (kgf/cm ²)				平均	備 考
		①	②	③	④		
2	1層目	214	231	224	145	223	④は除外
6	2層目	723	215	239	200	218	①は除外
10	3層目	249	205	226	209	222	
14	4層目	239	219	146	209	222	③は除外

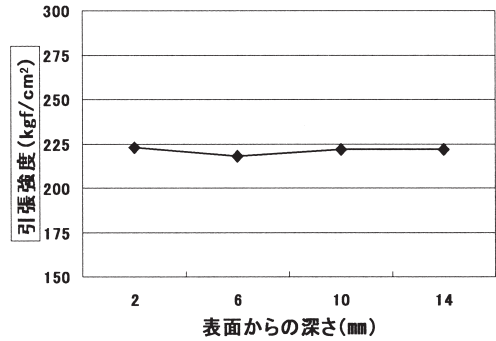


図-6 引張強度測定グラフ

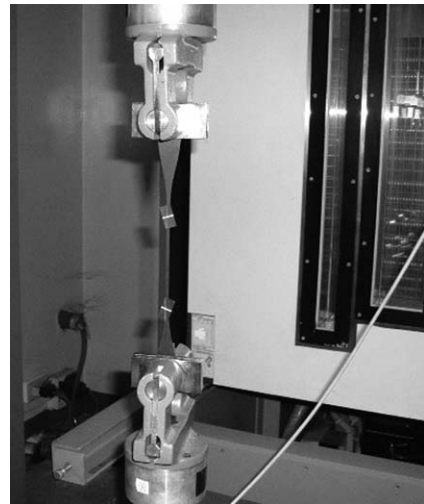


写真-17 引張強度測定方法

④常態規格値との比較 (硬度・引張強度)

表-5 常態規格値

常 態 規 格 値	
硬 度	65以上
引張強度	90 kgf/cm ² 以上

※常態規格値とは、製造時において要求する品質規格値。

表-6 常態規格値との比較

深さ (mm)	層	硬 度		引張強度 (kgf/cm ²)		備 考
		計測値	判定	計測値	判定	
2	1層目	78	OK!	223	OK!	
6	2層目	74	OK!	218	OK!	
10	3層目	72	OK!	222	OK!	
14	4層目	71	OK!	222	OK!	

3) 耐久性に係る考察

施設耐久性については、施設整備事業完了後、約20年経過した現時点での現存率は、98%であり、

定量的指標がないため、これをどのように評価するか意見の分かれるところであるが、概ね良好と考える。

一方、物理的耐久性については、「摩耗量」は微少であり、また、「引張強度」及び「硬度」は、常態規格値を満足していることから性能劣化は認められない。

以上のことから、耐摩耗板については、現在実施している犬山頭首工補修の目標耐用年数である50年後の耐久性は十分有しているものと考ええる。

6. おわりに

今回報告した耐摩耗板工法は、衝撃が大きく作用する摩耗に対し、従来のコンクリート等による“剛の補修”から、“柔の補修”へと着眼を変えることにより、効果的な対策が講じられたと考えている。

今後更新を迎える頭首工はもとより、ダム（洪水吐）、水路系（落差工）、砂防堰等で、摩耗が問題となっている施設においても、有効な選択肢の一つとなりえるものと考ええる。

しかし、増産から減産（生産調整等）に転ずる社会情勢の変化，受益者の事業意識への変化等から受益面積に修正が生じたことを踏まえ，事業途上で2回の事業見直しを経て平成18年度事業完了を迎えたところである。

最終的な事業内容は以下に示すとおりである。

主要工事内容

- 1) 調整池 1ヶ所
(新設 貯水容量 = 550,000m³)
- 2) 頭首工 3ヶ所 (改修2ヶ所, 新設1ヶ所)
- 3) 揚水機場 1ヶ所 (新設)
- 4) 用水路 幹線 8路線 (L = 65.4km)
支線 39路線 (L = 38.3km)
- 5) 排水路 1路線 (L = 9.9km)

事業工期

昭和53年～平成19年3月完了

今回通水試験結果を報告する高清水幹線用水路は，第2回計画変更における新規水源の大幅な見直しにより，取水位置及び路線に変更を行っており，当該工事は平成16年度に完了し，平成17年度に通水（水張り）試験を行った。

2. 高清水幹線用水路計画並びに施工内容

1) 計画

高清水幹線用水路は事業発足時では小川原湖を

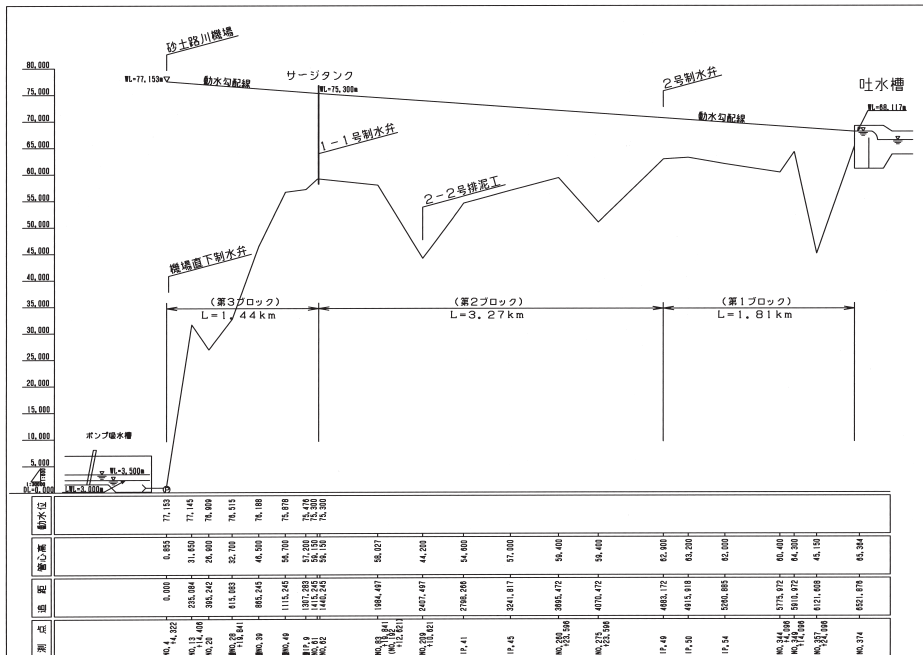
水源として計画されていたが，最終的に小川原湖の支流である砂土路川に変更され，施設規模を見直しのうえ頭首工，揚水機場の新設と併せて同用水路は総延長約7.8km（開水路含む）で管路長分は約6.5km実揚程約65mとなる管水路として新設計画された。

本施設は奥入瀬川からの取水に不足が生じたときに別水系の砂土路川から揚水ポンプを介し同管水路により三本木幹線用水路に注（送）水するものである。

この管水路の設計諸元は次のとおりである。

- ア) 計画取水量 Q = 2.404m³/s (最大時)
- イ) 管路長 L = 6.53km
- ウ) パイプライン形式 クローズドパイプライン
- エ) 口径 φ1350
- オ) 管種 FRPM管 (部分的に鋼管)
- カ) 全揚程 H = 77.0m (実揚程 + 諸損失水頭)
- キ) 実揚程 H = 64.617m
- ク) 附属施設

- ・サージタンク 一基 (形式：PCタイプ，規模：高さ15.4m 内径5.5m)
- ・制水弁 4ヶ所 (手動式バタフライ弁)
- ・排泥工 6ヶ所 (φ400 水道用仕切弁)
- ・空気弁 19ヶ所 (φ150 吸排気型)



高清水幹線用水路水理縦断面図

2) 施工内容

高清水幹線水路の路線計画に当たっては周囲に集落が少ないことを考慮し、施工上の自由度がある農地内の埋設を主とした。

埋設場所は主として水田並びに畑で埋設深は対浮上面、根長作物（長芋類）及び段差地形等を考慮した結果、土被深は2.0mから5.0m程度の深めとなり土工作業での置土及び埋戻計画等、また施工時期が収穫後の冬季となり、短期間での施工と翌年の作付けに間に合う様に原形復旧関係で支障を生じさせないよう慎重な作業が要求された。

高清水幹線水路パイプライン区間は実質3ヶ年で終えている、その年度別施工量は次のとおりである。

平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度	計
L=1,973m	L=3,722m	L=833m	6,528m

3. 通水試験の目的

当該幹線水路の取水源である砂土路川揚水機場を介した圧送による水圧試験の前に管路の漏水箇所の有無と漏水量が許容限度内にあるかどうか確認するため実施した。

なお、ポンプを介した水圧試験並びに急停止を伴う試験は次年度に行うこととした。

4. 通水試験の方法

1) 通水試験を行うにあたっては、以下のことを確認している。

- ① 管路縦断で示すとおり、路線はポンプ場から末端の吐水槽まで約65mの標高差をもって途中に上り下がりがあるものの、全体的に上り路線の典型的なポンプ圧送系の形態をもってしている。
- ② 通水試験に用いる試験水圧は末端の吐水槽側から見て静水圧として3.5m～65m程度見込める。
- ③ 末端の吐水槽側からポンプ場への充水における静水圧は前項で述べた様に十分確保可能で空気弁の機能確認（吐水槽直下の空気弁の静水圧が2m程度であるが支障なし）も十分行える。
- ④ 試験に用いる水の手配は末端の吐水槽側の下流開水路（三本木幹線水路の一部にも貯留）に貯込んでおくことで対応が可能である。

2) 通水試験の方法は、以下のとおり行った。

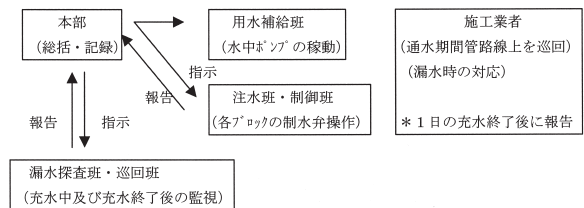
- ① 通水前に管路全体についてジョイント間隔の開き並びにたわみ率の点検を施工管理基準の規定に則り実施し、異常がないことを確認のうえ行った。
- ② 次に通水試験区間を制水弁別にブロック割を行い3ブロックに分割し、その概要は次のとおりである。

ブロック名	第1ブロック	第2ブロック	第3ブロック
試験区間	2号制水弁～吐水槽	1・1号制水弁～2・2号排水工	機場～1・1号制水弁
試験延長	L=1,810m	L=3,270m	L=1,440m
計画通水日数	2日	4日	2日

- ③ 注水は末端の吐水槽側より行う。
- ④ 注水にあたっては吐水槽側の隔壁外の開水路に貯留した水を水中ポンプ（口径150mm又は200mm）を用い送水して行う。
- ⑤ 充水時の注水量は計画用水量の1.5～3.0%の2.0m³/分～4.0m³/分で行った。
（一般的に計画用水量の1/10程度と言われているが、本路線の場合縦断上アップダウンがあり、管路内の排気が十分になされる様に注水量をより小さく計画した）
- ⑥ 1日当たりの試験の通水時間は7時間程度で計画した。
- ⑦ 充水中の管路内の水量を把握する為に、各ブロック毎に空気弁の人孔蓋をはずして中を覗けるように計画した。

3) 通水試験期間中の分担関係

分担関係は図に示すと次のとおりで計画した。



5. 通水期間中に生じた漏水並びに対応

1) 漏水観測

各ブロック毎に充水を終えて24時間を経過してから漏水量の観測を行った。（土地改良計画設計基準パイプライン：基準書・技術書による）

次に許容漏水量は「同パイプライン基準書・技術書p447」より

・標準許容減水量 50～100ℓ/日・cm・km
を準用し、100ℓ/日・cm・kmを許容値に設定。

2) 漏水

通水試験後、ないし通水試験中に各ブロックのそれぞれの路線に漏水が発生した。

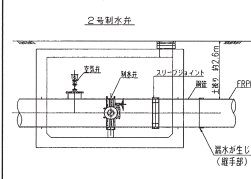
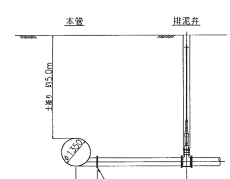
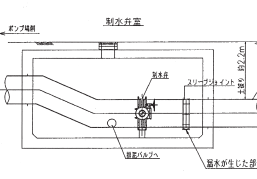
各ブロック別の発生状況等は次のとおりである。

ブロック名	第1ブロック	第2ブロック	第3ブロック
発生状況と漏水判定	通水終了後に計測した吐水槽において許容低下量が大きいことと判定 (許容値1m ³ /hrに対して約2.0～3.5m ³ /hrの漏水量)	通水試験中の巡回中に水田畦畔部より多量の水の噴き出しを確認。	通水試験中の機場直下のスリーブジョイントの接合部からの漏水を確認。
漏水時の二次災害の恐れ	特になかった。	水田部にやや湛水被害を生じさせた。幸いに稲の搬出後であり農作物への被害はない。	制水弁室の中で生じたので特にない。
漏水場所の特定	漏水判定後に行われた路線沿いの巡回2日目に2号制水弁室の埋戻部分の小さな陥没の発見による。	予定時間内の空気弁上昇が見られず確認の為に巡回強化に伴う、水田進入路肩部から水の噴き出し部の発見による。	通水試験中の監視下での漏水発見。

3) 漏水の原因と対応

各々のブロックで生じた漏水の原因と対応は次表(各ブロック別の漏水原因並びにその対策)のとおりである。

表-1 各ブロック別の漏水原因並びにその対策

ブロック名	第1ブロック	第2ブロック	第3ブロック
1. 漏水部の略図	漏水を生じた2号制水弁室の本管継手部(鋼管+FRPM管)の略図を以下に示す。 	漏水を生じた2-2号排泥工部のフランジ継手部の略図を以下に示す。 	漏水を生じたボア場直下の制水弁室内のスリーブジョイントの略図を以下に示す。 
2. 漏水の原因	漏水の原因としては以下のとおりである。 ①継手部は鋼管とFRPM管とを接続する区間で継手構造はゴム輪+押輪によるボルト継手である。 ②漏水部区域の開削を行いこの継手部からの漏水を確認。当初パッキンの不具合と思われたが、調査したところ押輪を固定するボルトのゆるみを確認。 ③この状況下で管内充水を行い再度締め付けにより漏水の止水を確認し、ボルトの締め付け不足によるものと結論に至った。	漏水の原因としては以下のとおりである。 ①この部分の土被りは約5.0mとかなり深い。 ②本管からの分岐管とはフランジ継手である。 ③このフランジの下部より漏水を確認。 ④フランジ部の上端部に対して下端部の開きが大きことを確認。(下端部からの漏水も確認)	漏水の原因としては以下のとおりである。 ①前年度に施工された鋼管同士との接続を制水弁室施工時におこなっている。 ②前年施工の鋼管が土圧荷重を受けて多少真円にたわみが生じていたと思われる。 ③そのため接続部(スリーブジョイント)のゴムパッキン締め付けをおこなったものの隙間を封印させることができずに生じたものと結論に至った。
3. 対策	①フランジボルトの規定トルクによる締め付け。 ②締め付け後に管内充水を行いフランジ部からの漏水のないことを確認。 ③漏水等によりゆるみを生じた砂基礎部分の基礎砂の改良と規定値に基づく再転圧。 ④規定値管理に基づく埋戻。	①フランジ部のゴムパッキンを交換しフランジボルトの規定トルクによる締め付け。 ②不同沈下に対応するために本管の分岐部～排泥バルブ区間までをコンクリートにより巻立て補強。 ③巻立て前に管内に充水を行い漏水のないことを確認。 ④規定値管理に基づく埋戻。	①ゴムパッキンの増設と締め付けを増やすことで処置したが、改善がみられない。 ②スリーブジョイント(パッキン含む)を新品に交換。なおかつ、内面バンドによる補強を行う。 ③管内充水を行い漏水がないことを確認。

6. あとがき

当初計画では10月17日から11月1日までの期間として約2週間で行うこととしていたが、通水中に生じた漏水事故対応等により実質で11月25日までの約1ヶ月半を費やすこととなった。

漏水が生じた中で、第1ブロックの漏水では漏水量が小さく漏水場所の特定にあたり時間を要すと思われたが、偶然に小さな陥没の発見に至って幸運にも短期間で処置することができたこと、更に今回生じた漏水は全体的にみても農地等への二次災害もなく安堵の内で終了したのは幸いであった。

漏水の主原因については、本編の「各ブロック別の漏水原因並びにその対策」に述べたとおりであるが、今回の場合は継ぎ手部に集中しており、継ぎ手部における施工上の確認面あるいは設計面で、若干対処する必要性があったものと感じられた。今後の設計・施工にあたっての参考になればと思っている。

短期間の試験ではあったが、事業所職員、施工業者、管材メーカー並びに改良区職員の協力を受けて無事に終了することができた。

また、本路線は第2回計画変更の確定後の平成14年度から厳しい制約下(用地対策と施工工期並びに事業工期関係)のなかにおいて短期間で実施

され、更には原形復旧工における対応等（長芋等への土壌並びに営農対応）において、その間担当された職員並びに協力をいただいた地元関係者に対し、御礼を申し上げます。

通水試験については、砂土路川ポンプ場施設への電力供給が平成18年4月に可能になったことから、平成18年7月から総合試運転によるポンプ運転、並びに管路を介した水圧試験及び急停止による試験を実施し、ポンプ施設並びに管路区間に異常がないことを確認し無事、試験を終了致しました。

なお、相坂川左岸農業水利事業も先輩諸氏の御苦勞により平成19年3月に完了を迎えることとなりました。本事業で造成された施設が末永く利用されこの地域農業発展への一助になることを願い報告とさせていただきます。

伊豆沼・内沼周辺における小規模水田魚道の遡上実験に基づく設計

三 塚 牧 夫*
(Makio MITSUZUKA)

目	次
1. はじめに	81
2. 実験地の概要	81
3. 小規模水田魚道の構造	82
4. 材質ごとの特徴と構造	83
5. 調査方法と期間	85
6. 調査結果	85
7. 小規模水田魚道設置の留意点	87
8. 小規模水田魚道設置の調査・設計	87
9. 今後の課題	89
10. おわりに	89

1. はじめに

近年、ほ場整備事業実施後の水田は、水田周辺を生息域としていたドジョウ、メダカ、フナ、ナマズなどの魚類や、タガメ、ゲンゴロウ、カエルなどの生きものの減少が見られる。

これらの現象は、ほ場整備事業の用排水路分離により水田と排水路の連続性が分断されたことと排水路のコンクリート三面装工が要因の一つと言える。

そこで分断された水域ネットワークを再構築するため「小規模水田魚道」の実用実験を平成15年から宮城県北部の伊豆沼・内沼周辺の水田で取り組んでいる。

「小規模水田魚道」は、すでに端(1999)¹⁾、宇都宮大学水谷教授、水土里ネット福井鈴木(2000, 2001)^{2) 3)}らが提案し全国各地で取り組みが進められているが、宮城県内に設置されている例はない。

そこで、実際に設置して実証し、普及を図りたいと考え、平成15年3月に農業土木県職員有志及び伊豆沼周辺の農家、地域住民、土地改良区の職員、企業の職員有志が集まり、「伊豆沼・内沼ドジョウ・ナマズ研究会」を結成し、遡上実験に取り組んでいる。

今回、「小規模水田魚道」について、現場での遡上実験を実施した結果、良好な成果が得られたので紹介する。

2. 実験地の概要

実験地は、本研究会の活動拠点である伊豆沼・内沼周辺とした。年毎の実験ポイントは以下のとおり。



写真-1 伊豆沼・内沼位置図

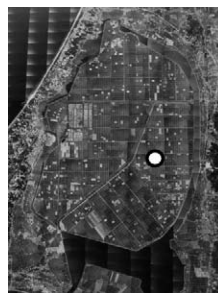


写真-2 大潟村位置図

平成15年

水田と排水路の水位差(以下水位差)が30~80cm範囲で変化する地点4ヶ所。

平成16年

水位差が100~245cmの範囲で変化する地点3ヶ所。加えて秋田県南秋田郡大潟村に1ヶ所。

*宮城県産業経済部農村基盤計画課 (Tel. 022-211-2860)

表-1 各年毎の設置場所と魚道の材質

設置年	設置場所	① 木製		② 波付き丸型管		③ 波付き可とう電線管		④ 波付き角形U字溝		⑤ コンクリートBF	
		規格	勾配	規格	勾配	規格	勾配	規格	勾配	規格	勾配
H15	栗原市築館八沢	B=190mm	11°	D=150mm	8°~12°	150型	8°	-	-	300型	5°~7°
	伊豆沼2工区	B=267mm	8°	-	-	-	-	-	-	-	-
	伊豆沼3工区	B=246mm	8°	-	-	150型	8°	-	-	-	-
H16	登米市米山	-	-	-	-	150型	5°30'	-	-	250型	5°30'
	栗原市築館照越	-	-	D=150mm	8°	150型	8°	-	-	-	-
	栗原市築館八沢	-	-	D=150mm	8°	130型	8°	180型	8°	-	-
	伊豆沼2工区	B=267mm	8°	-	-	-	-	-	-	-	-
	伊豆沼3工区	B=246mm	8°	D=150mm	8°	150型	8°	-	-	-	-
H17	秋田県大潟村	-	-	D=200mm	6°~8°	150型	7°~8°	240型	4°~8°	-	-
	栗原市築館八沢	-	-	D=150mm	15°20'25°	-	-	180型	15°25°	-	-
	宮城県加美町	-	-	D=200mm	15°	-	-	-	-	-	-
	伊豆沼3工区	-	-	D=150mm	15°25'35°	130型	26°	240型	15°	-	-
H18	栃木県宇都宮市	-	-	-	-	-	-	180型	15°20°	-	-
	伊豆沼3工区	-	-	D=150mm	10°	-	-	180型	10°	-	-
	宮城県加美町	-	-	D=150mm	3°	-	-	180型	3°	-	-
	登米市追町新田	-	-	D=150mm	8°	-	-	180型	8°~15°	-	-
	秋田県大潟村	-	-	D=150mm	8°	-	-	180型	13°	-	-
	茨城県つくばみらい市	-	-	D=150mm	10°	-	-	180型	10°	-	-

角度と法勾配の関係

2° (1:28.6) 4° (1:14.3) 6° (1:9.5) 8° (1:7.1) 10° (1:5.67) 15° (1:3.73) 20° (1:2.75) 25° (1:2.14) 30° (1:1.73)

平成17年

周辺水田で、水位差が67~250cmの範囲で変化する地点2ヶ所。

平成18年

周辺水田に2ヶ所。加えて圃場整備完了地区で水位差が50~150cmの範囲で変化する地点、秋田県南秋田郡大潟村に1ヶ所、茨城県に1ヶ所、及び宮城県内は場整備事業実施中の地区に設置指導した1ヶ所も実験地として選定した。

各年毎の設置場所と魚道の材質は、表-1の通りである。

3. 小規模水田魚道の構造

ほ場整備では、排水路底高は田面下1.2mを基準としているので、これに対応可能な材料を選定し構造を決定した。

(1)水田魚道のタイプ(表-2)

水田魚道のタイプには、プールタイプ魚道(a千鳥X型, bハーフコーン型, c切り欠き型)と底面粗度タイプ魚道(aカスケードM型, b波付管の丸型, c波付角形U型)の二つのタイプがあり、プールタイプ魚道は、遊泳能力に応じた遊泳魚・底生魚の遡上が可能であり、底面粗度タイプ魚道は、主として底生魚の遡上が可能である。

表-2 水田魚道のタイプと材料

タイプ	形式	実験に採用した材料
プールタイプ魚道	a 千鳥X型	① 木製
	b ハーフコーン型	④ 波付き角形U字溝
	c 切り欠き型	-
底面粗度タイプ魚道	a カスケードM型	-
	b 波付管の丸型	② 波付き丸型管
	c 波付きU型	③ 波付き可とう電線管 ④ 波付き角形U字溝 ⑤ コンクリートBF

(2)小規模水田魚道の材質と設置状況

本実験では、ドジョウ、メダカ、モツゴ、ヨシノボリ等の小型魚類を対象種として、平成15年は①木製魚道、②波付き丸型管、③波付可とう電線管、⑤コンクリート二次製品ベンチフリュームの4タイプ、平成16年は④波付き角形U字溝を追加し、5タイプの小規模水田魚道を試作し、8°の勾配で据付け遡上実験を行った。

平成17年は過去2ヶ年の遡上実績から、②波付き丸型管内面の凹凸の形状差による遡上比較と8°より急な設置勾配(15°~30°)での遡上実験、④波付き角形U字溝(千鳥X型)の8°より急な設置勾配(15°~30°)での遡上実験と8°より急な勾配(15°~25°)に対応した堰板間隔(FL)についての検討と堰板溢流部の切り欠き形状の調査を行った。

また、栃木県メダカ里親の会が考案した既設構造物に影響を与えず設置可能な水田直結型可動式魚道構造で、設置勾配(20°, 25°)が急な遡上実験を連携して行った。

平成18年は経営体育成基盤整備事業飯島地区の圃場で、水稻の栽培方法による遡上比較のため②波付き丸型管と④波付き角形U字溝を10°の勾配で据付け、遡上実験を岩手大学と共同で行った。

水稻の栽培方法は、冬期湛水(無農薬・無化学肥料)、慣行栽培(農薬・化学肥料使用)、有機栽培(無農薬・無化学肥料・有機堆肥使用)、の3タイプとした。

また、遡上実験と普及活動のため、秋田県南秋田郡大潟村に1ヶ所、茨城県に1ヶ所、及び宮城県加美町の経営体育成基盤整備事業宮崎東部地区に②波付き丸型管と④波付き角形U字溝を設置した。

4. 材質ごとの特徴と構造

①木製魚道

木材は比較的安価で材料が容易に入手可能であるが耐久性に乏しいことや加工技術が必要である。

また、幅の設定を容易にできることや、間伐材の有効利用を狙いとして木製とした。

形状は宇都宮大学水谷教授、水土里ネット福井鈴木(2000, 2001)^{2) 3)}が開発した「千鳥X型」を採用し(図-1)、堰板角度 $\theta = 15^\circ$ 、魚道幅 $B = 197 \sim 267\text{mm}$ 、板間隔 $FL = 100 \sim 250\text{mm}$ 、堰板最低高さ $HD = 80\text{mm}$ とした。

千鳥X型を採用することにより、対象魚種に応じた流量・流速・水深の確保が可能である。

なお、既設水路に設置する場合は、水路法面の勾配によっては土留め工が必要となる。

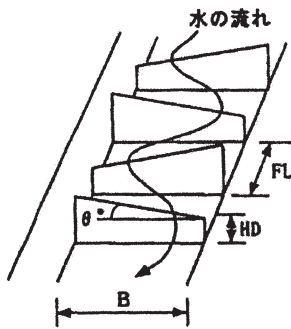


図-1 千鳥X型の形状

平成15, 16年に設置した木製魚道の諸元は表-3のとおりである。

表-3 木製魚道設置諸元

設置諸元	平成15年度			平成16年度	
	紫雲町八次	伊豆沼2工区	伊豆沼3工区	伊豆沼2工区	伊豆沼3工区
設置勾配(°)	11	8	8	8	8
魚道幅B(mm)	197	267	245	267	266
斜長(m)	3.3	3	5.55	4	4
田面と水路の落差(cm)	67	42	78	56	130

②波付き丸型管(ポリエチレン製内面凹凸タイプ、内径 150mm)(図-2)

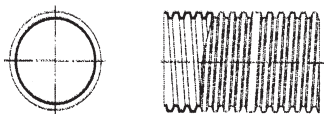


図-2 波付き丸型管形状(小波)

排水路法面に斜めに設置することが可能で、安価に入手できるうえに軽量であり、特別な加工が必要ないことから、据付が容易な利点を持つ。

内面の凹凸の形状(表-4)が適上に影響があるのではないかと考え、比較実験したが差はなかった(図-3)。

ドジョウ、ヨシノボリ等の体高の低い魚種の適上に有効である。

表-4 波付き丸型管の凹凸形状

(単位 mm)

名称	内径	外形ΦD	ピッチP	波高さh
小波	160	173	20	9
大波	150	188	47.4	19
大波	200	252	54.7	26

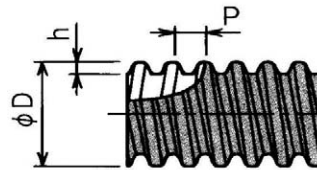


図-3 波付き丸型管凹凸形状(大波)

③波付可とう電線管(ポリエチレン製130型, 150型)

電線を地下に埋設ために用いる、円筒と角形が交互に連続した電線保護管で長さ5.3mを使用し、平成15年は150型を使用して管の据え付け形状(A, B, Cの3タイプ)による比較実験を行った(図-4)(図-5)。

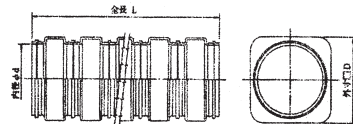


図-4 電線管の形状

Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ

図-5 据付形状

Aタイプは、角型を利用して深いプールにして上面を開口にした。

Bタイプは、暗渠状態にした。

Cタイプは、角形の部分を底面にして上面を開口にした。

いずれのタイプでも遡上を確認したが加工手間を省くことができるためBタイプが良い。

平成16年は、角形凹部（溝10mm、長さ40～50mm）の差が150型と比較して差がないので、材料費を考慮し130型での比較も行った結果、平成15年に使用した150型と同等の遡上であったことから130型が経済的に有利である。

表-5 角形可とう電線管規格

(単位 m m)					
呼 称	内径Φd	外径□D	溝 h	□の長さ	有効長
130型	135	184	10	40	5,300
150型	155	162	10	45	5,300

④波付き角形U字溝

ポリエチレン製であり、木製に比べ耐久性、施工性に優れている（写真-3）。

溝（180～240型、凹部25mm、間隔50mm）に堰板を差込むことにより、千鳥X型が容易に形成できる（写真-4）。



写真-3 波付き角形U字溝



写真-4 遡上状況

また、堰板間隔を自由に变化できることが利点である。

180型、240型の2タイプで遡上実験を行った。

設置勾配が8°以下であればドジョウ、ヨシノボリの遡上には千鳥X型を組み合わせなくとも遡上可能（斜長20m）である。内面の凹凸が休息場所として利用され遡上に有効である。

波付き角形U字溝規格は表-6のとおりである。

表-6 波付き角形U字溝規格

(単位 m m)						
呼 称	内 幅 B	高 さ H	溝 h	溝間隔 P	有効長	kg/本
180型	180	225	25	50	2,040	11
240型	240	300	25	50	2,040	13

また、千鳥X型を形成するため魚道の設置勾配に対応した堰板の間隔は、溢流部に空洞を生じさせない間隔が必要であり、実験により水の流れがスムーズになるように表-7に決定した。

表-7 千鳥X型を形成するための設置勾配と堰板間隔

設置勾配 (°)	4°	8°	10°	15°	20°	25°
堰板間隔 FL (cm)	30	25	20	15	15	10

水の流れをスムーズにするには、堰板の溢流部の切り欠きの形状も重要な要素と考え、比較検討を実施した結果、傾斜型や半円形型がスムーズな流れとなることがわかったので、半円形型を採用することにした。

⑤コンクリートベンチフリューム（二次製品）

旧体を活用しBF300型とBF250型の2タイプで、中間にプール柵を設けた。

製品が重いため、人力での設置は困難である。各魚道の構造と特徴は表-8のとおりである。

表-8 各魚道の構造と特徴

項 目	① 木製魚道	② 波付き丸型管	③ 波付き可とう電線管	④ 波付き角形U字溝	⑤ コンクリートBF
設置状況 (代表例)					
設置場所	伊豆沼3工区	伊豆沼3工区	伊豆沼3工区	伊豆沼3工区	栗原市築館八沢
1. 材質	木 材	ポリエチレン樹脂	ポリエチレン樹脂	ポリエチレン樹脂と木材	コンクリート
2. 形状	千鳥X型	内面凹凸	内面凹凸と角形の凹凸	千鳥X型	底面平滑
3. 規格	B=190mm～267mm	内径 D=150mm 内径 D=200mm	130型(内径135mm) 150型(内径155mm)	180型(B=180mm、H=240mm) 240型(B=240mm、H=300mm)	250型(B=250mm、H=150mm) 300型(B=300mm、H=200mm)
4. 長さ	L=3.3～10.0m	L=5.0～16.5m	L=5.3～15.9m	L=2.6～16.5m	L=5.3～6.3m
5. 設置勾配	8°～11°	8°～30°	5°30'～26°	8°～25°	5°30'～7°
6. 重さ	やや重い	軽い	軽い	軽い	重い
7. 耐久性	劣る	良い	良い	良い(堰板は本製のため交換必要)	良い
8. 加工・据付	延長が長いとやや困難	軽量のため容易	軽量のため容易	軽量のため容易	重いため困難
9. 遡上魚種	8°の設置勾配では、ドジョウ、メダカ、ヨシノボリ、モツゴが遡上した。	10°の設置勾配では、ドジョウ、メダカ、ヨシノボリが遡上した。30°の設置勾配では、ドジョウ、ヨシノボリが遡上した。	8°の設置勾配では、ドジョウ、メダカ、ヨシノボリ、モツゴが遡上した。	8°～15°の設置勾配では、ドジョウ、メダカ、ヨシノボリが遡上した。25°の設置勾配では、ドジョウ、ヨシノボリが遡上した。	5～8°の設置勾配では、ドジョウ、ヨシノボリが遡上した。

5. 調査方法と期間

魚道は水尻－排水路間に据付けたので、魚道の終点に「うけ」(定置網)を設置した(写真-5)。「うけ」は降雨が予想される早朝あるいは夕方に設置し、24時間または12時間経過後に回収して、魚種と尾数、体長を確認した。

調査はかんがい期間(5月～8月)で行った。



写真-5 「うけ」の設置状況

6. 調査結果

平成15年、16年の調査で遡上を確認した魚種、総個体を表-9に示す。伊豆沼・内沼周辺での遡上魚種は、平成15年、16年と同様で、ドジョウが大多数を占めている。

平成17年の伊豆沼3工区の波付き角形U字溝240型の遡上状況は、表-10の通りである。

表-10 伊豆沼3工区遡上数

魚種	波付き角形U字溝240型		
	6月	7月	合計
ドジョウ	37	564	601
メダカ	1	28	29
モツゴ	23	71	94
ヨシノボリ	1	0	1
ブラックバス	0	2	2
フナ	5	13	18
合計	67	678	745

(尾)

表-9 材質毎の遡上魚種と遡上数

魚種	木製		波付き丸型管		電線管		波角U	ベンチフリウム		合計			
	H15	H16	H15	H16	H15	H16	H16	H15	H16	H15	H16	H15	H16
ドジョウ	532	1,084	925	517	355	1,030	160	123	265	1,935	85%	3,056	84%
メダカ	69	142	1	0	17	1	0	0	0	87	4%	143	4%
モツゴ	138	159	1	5	38	32	2	3	2	180	8%	200	5%
ヨシノボリ	24	14	3	1	4	13		0	4	31	1%	32	1%
ブラックバス	18	17	0		16	7		0		34	1%	24	1%
フナ	1	2	0	8	0	2	185	0		1	0%	197	5%
ナマズ	1	2	0		0	0		0		1	0%	2	0%
合計	783	1,420	930	531	430	1,085	347	126	271	2,269	100%	3,654	100%

(尾)

また、波付き角形U字溝240型の流下状況は、写真-6のとおりである。



写真-6 流下状況



写真-7 遡上したドジョウ

平成17年の伊豆沼3工区の排水路法面(1:2.0)に波付き丸型管、電線管を直角に交差させ25°～30°の勾配で設置(写真-8)してドジョウの遡上調査を行った結果は図-6のとおりであり、材質による顕著な差は生じなかった。



写真-8 伊豆沼3工区 排水路法面(1:2.0)設置状況

- ①波付き丸型管 150 小波 25°
- ②波付き可とう電線管 130 26°
- ③波付き角形U字溝 240 15°
- ④波付き丸型管 150 大波 30°

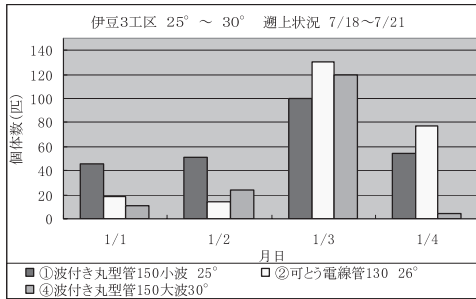


図-6 伊豆沼3工区遡上状況

平成17年の栗原市築館八沢の設置勾配15°の波付き丸型管大波，小波，波付き角形U字溝180型のドジョウの遡上状況は図-7のとおりであり，材質による顕著な差は生じなかった。

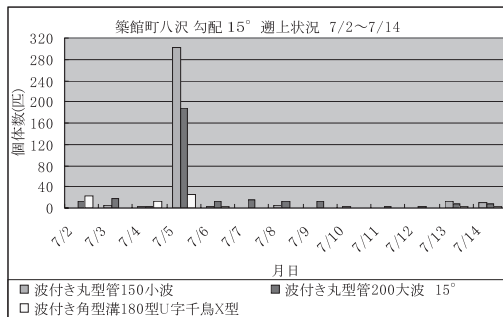


図-7 築館八沢勾配15° 遡上状況

平成17年の栗原市築館八沢の設置勾配25°の波付き丸型管大波，波付き角形U字溝180型の遡上状況は図-8のとおりであり，材質による顕著な差は生じなかった。

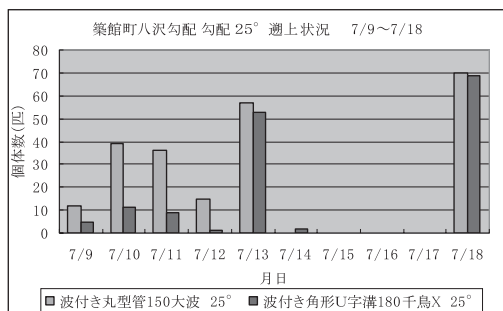


図-8 築館八沢勾配25° 遡上状況

栗原市築館八沢では，平成17年に平成16年に設置した8°で斜長16mの魚道でもドジョウの遡上を確認した。

遡上状況は図-9のとおりである。

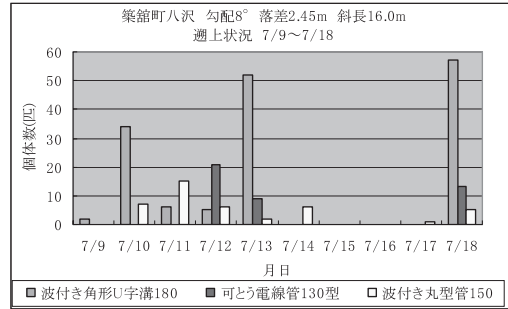


図-9 築館八沢勾配8° 遡上状況

平成17年加美町に設置（写真-9）した波付き角形U字溝（180型，設置勾配4°，斜長20m，堰板なし）と波付き丸型管（150型，斜長20m）と波付き角形U字溝（180型，設置勾配8°，斜長6m）を組み合わせた小規模水田魚道でタモロコ，ドジョウの遡上を確認できた。

遡上結果は表-11のとおりである。

表-11 平成18年 加美町の遡上魚種

遡上魚種	調査月			総数
	6月	7月	8月	
ギバチ	0	0	0	0
ナマズ	0	0	0	0
タモロコ	1	11	56	68
モツゴ	0	0	2	2
フナ	1	0	0	1
アブラハヤ	0	0	11	11
オイカワ	0	1	1	2
ウグイ	0	0	27	27
ドジョウ	107	1,161	2,657	3,925
計	109	1,173	2,754	4,036



写真-9 加美町 排水路路面（1：20）設置状況

平成17年の栗原市築館八沢と平成18年加美町の遡上結果から，設置勾配が8°より緩やかで斜長20mの長さでもドジョウの遡上時流量が確保されれば遡上することが確認できた。

平成18年の水稻の栽培方法によるドジョウの遡上状況（調査期間6.8～7.3）は、冬期湛水1,740匹、有機栽培1,875匹、慣行栽培1,074匹が遡上した。

一年目の調査結果だけで水稻の栽培方法による結論は出せないが無農薬栽培水田に多く遡上した。

また、魚道の設置効果は確認できたが波付き丸型管と波付き角形U字溝の材質による遡上の比較はできなかった。

7. 小規模水田魚道設置の留意点

小規模水田魚道を設置するにあたっての留意点は、次の事項である。

1) 設置勾配

斜路の長さが設置費用に関係するので短くする。

2) 既設構造物との関係

設置する水路が装工されている場合は既設工作物を壊さず設置する。また、改築が必要な場合は最小限とする。

3) 洪水時の対応

洪水時には設置位置をHWLより上に移動可能にするか、通水障害を起こさない様にする必要がある。

4) 維持管理

設置部材を軽量にし、単純な構造とし必要に応じて取り外しを可能にする。

特に、冬期間積雪の多い地域で波付き角形U字溝を使用部材とした場合は取り外しを考慮する必要がある。

5) 設置費用

農家個人が設置できるように安価な材料を選定する。

8. 小規模水田魚道設置の調査・設計

1) 設置事前調査

遡上対象種を把握するための事前モニタリングが重要である。

現地踏査及び文献・聞き取り調査等により、水路の概況を把握するとともに、季節毎の魚類の生息状況や植生を把握する。

また、整備済み地区においては、高齢者の聞き取りをして、かつての生息状況や植生を把握することも重要である。

水路の現地踏査により、下記の事項について把握する。

- ①設置予定水路が落差工により分断されていないか等、用排水路のネットワークの状況。
- ②水路の構造（土水路、装工のタイプと形状）。
- ③常時と降雨時の排水路の水深（水位）、流速。
- ④植生状況。

水田の調査は設置予定農家より水稻の栽培方法について聞き取りを行う。

ア) 慣行栽培か有機栽培

イ) 稲作の水管理（入水、落水、深水管理をしているか、中干しの状況）

2) 設置予定場所の選定

設置事前調査により対象種の生息が把握できたら、設置予定ヵ所の農家（耕作者）に管理方法について説明し、了解を得る必要がある。

3) 測量

設置予定ヵ所の水路の縦断測量と横断測量を実施して水路と水田の落差と溝畔の法面の勾配を把握する。

常時水位や洪水時の水位を痕跡より把握し、聞き取り調査で把握した結果と照合する。

4) 設計

①対象種を決定し、対象種が水田に産卵や生息場所として遡上する時期の水路水位を決定し、水田との落差を決め設置勾配を概定する。

②概算の設置費用を考慮しながら魚道タイプを決定する。

魚道タイプは、底面粗度タイプの波付管の丸型かプールタイプ魚道の千鳥X型を決定する。

底面粗度タイプの波付角形U字溝は、8°より設置勾配を緩やかにすると、千鳥X型を組合せなくともドジョウ、ヨシノボリ、モツゴ、は遡上するので対象種の選定と資材・設置費用を比較し決定する。

底面粗度タイプの波付管の丸型は、魚道下流部と水路（水面）との接続部は水中に先端が深く埋没すると、「水面の流れの変化」や「水音で遡上を刺激する効果」が失われ、魚の遡上が阻害される。

このため、水路の水位変動に対応できるように、末端にフロート（発砲スチロールやペットボトル等）を設置し、管の先端の底面を水面（自由水面）に近づけることが必要である。

③波付き丸型管と波付き角形U字溝の製品規格（長さ）を考慮して、製品を切断しないで使用するように設置長さを決め、設置勾配を決定する。

④水田との取付部

水田との取付部は、稲作の栽培に対応した水位調節を行う必要があるため、波付き角形U字溝で取付ける。

取付部の設置高さは魚道の機能だけを考えると水田の排水を考慮する場合がある。

ア) 波付き角形U字溝を使用し、魚道の機能だけを考えると、田面高+5cm~-5cmの範囲を基準として設置する。

また、魚道本体に自在エルボを使用する場合は斜路の終点の堰板最低高さ (HD = 80mm) の範囲が調整できる利点がある。

イ) 魚道の機能と水田の排水を考えると田面より-15cm~-30cmに対応した構造とする必要があるため、現在試作し実験中である。

⑤水路との取付部

底面粗度タイプの波付き丸型管は、水位変動に対応するためフロートを設置し、移動を可能にする。

プールタイプ魚道の波付き角形U字溝 (千鳥X型) を採用し水路内に設置する場合は、降雨時の排水の支障とならないように取付部の水路断面の拡幅をするか、可動式とする。

水路法面に魚道が取まらない場合は土留め壁の設置も検討する必要がある。

⑥魚道の設置方向

魚道の下流部の先端は水路の流下方向に向けるものとする。

5) 設置

底面粗度タイプの波付き丸型管の据え付けは波付管接続の所要時間は10分程度であるが2人の配置が必要である。

波付き丸型管の設置状況は写真-10のとおりである。

ある。

プールタイプ魚道の波付き角形U字溝 (千鳥X型) の据え付けには、組立てヤードの確保と設置場所までの小運搬が必要である。

延長が6m以下の場合2人で据付作業が可能であるが8mになると3人必要である。

波付き角形U字溝180型の設置状況は写真-11のとおりである。

6) 小規模水田魚道の資材費

(平成18年設置写真 伊豆沼3工区)



写真-10 波付き丸型管150



写真-11 波付き角形U字溝180

平成18年に設置した波付き丸型管 (150mm) と波付き角形U字溝 (180型) の資材費用を、公表されている建設物価 (8月号) の価格より算定すると表-12、表-13の通りであるので、今後設置予定の方は参考とされたい。

ドジョウ、ヨシノボリ、モツゴ等の体高の小さい魚を遡上させるには、波付き丸型管が経済的に有利である。

体高の高いフナを遡上させるには波付き角形U字溝を使用し千鳥X型を採用する必要がある。

遡上対象種により材質の選定が重要である。

表-12 波付き丸型管 (D = 150mm, L = 4m) の資材費

(単位 円)						
設置勾配	落差	長さ	取り付け部	波付き管単価	波付き管価格	合計
1 0°	1.5 m	8.5 m	5,645	3本 (@2,640)	7,920	13,565
1 5°	1.5 m	5.6 m	5,645	2本 (@2,640)	5,280	10,925
2 5°	1.5 m	3.2 m	5,645	1本 (@2,640)	2,640	8,285

表-13 波付き角形U字溝180型 (B = 180mm, L = 2.0m) の資材費

(単位 円)									
設置勾配	落差	長さ	90°エルボ	自在エルボ	角型U字溝本数	角U字溝価格	堰板枚数と単価	堰板価格	合計
1 0°	1.5m	8.5m	19,750	4,600	5本 (@7,090)	35,450	43枚 (@450)	19,350	79,150
1 5°	1.5m	5.6m	19,750	4,600	3本 (@7,090)	21,270	38枚 (@450)	17,100	62,720
2 5°	1.5m	3.2m	19,750	4,600	2本 (@7,090)	14,180	32枚 (@450)	14,400	52,930

9. 今後の課題

設置勾配に対応した遡上時の最適流量と流速の把握や水田と魚道の接続構造の検討が必要である。

また、水田に設置する場合の設置間隔や無農薬・有機堆肥使用、農薬・化学肥料使用、等の栽培方法の違いによって遡上効果がどれくらい異なるかを調査する必要がある。

さらに、稲作期間の水管理（中干し時期等）については、魚の産卵や成長に配慮する必要がある。ドジョウの生息環境としては、水溜まりや底部に泥があることが必要なので、現在多く採用されているコンクリート3面装工の構造については、2面装工の構造にするとともに、ところどころに深い水溜りの部分を設ける必要がある。

今回の遡上実験を通して、魚の生息環境を確保するためには、排水路及び排水路合流地点の垂直な落差の解消と土水路化が一番必要であると感じたので、今後の農業農村整備事業にあっては水路の垂直落差の構造は避けるとともに、装工部分だけでなく土水路の部分も設ける必要がある。

10. おわりに

水路と水田ネットワークは、水田魚道により一部は確立されたが、多様な生物相を復元することに対しては、農法と農業土木技術を結びつけていく必要がある。

また、生き物と共生した農業を展開するには、各分野の専門家と連携し活動する必要がある。

小規模水田魚道については、4ヶ年の実験で実用化が可能となったので、今後は普及活動を実践していきたい。

[引用文献]

1) 端 憲二：

小さな魚道による休耕田への魚類遡上試験,
農土誌67(5), pp. 15~20 (1998)

2) 鈴木正貴, 水谷正一, 後藤瞭：

水田生態系保全のための小規模水田魚道の開発,
農土誌68(12), pp. 19~22 (2001)

3) 鈴木正貴, 水谷正一, 後藤瞭：

水田水域における淡水魚の双方向移動を補償する小規模魚道の試作と実験,
応用生態工学4(2), pp163 - 177 (200)

- 4) 三塚牧夫, 佐山雅史, 結城あゆ美, 進東健太郎：
伊豆沼・内沼の環境保全と環境創造型農業の取り組み
農土誌74(8), pp. 707~712 (2006)

粟生用排水路の多面的役割と水路改修計画

—調査編—

瀬 川 学*
(Manabu SEGAWA)

目 次

1. はじめに	90	4. 現地調査結果と考察	92
2. 水路の現状と構造	90	5. 今後の課題と計画策定に際する留意点	93
3. 現地調査	91	6. おわりに	93

1. はじめに

粟生用排水路は、手取川扇状地中流域の石川県能美市（旧寺井町）新保・粟生地内に位置している。宮竹用水及び湧水によりもたらせられる用水は本水路を流下し、熊田川に至る。また、本水路には石川県の「希少野生動植物種」に指定されている「トミヨ」が生息している。「トミヨ」とは、トゲウオ科トミヨ属に属する純淡水魚で、産卵期になるとオスが水草等を集めて、水中に鳥のような巣を作ることで知られている。現在、県内では志賀町と美川町、能美市（旧寺井町）にしか生息が確認されていない。周辺地域では、この「トミヨ」を保全する活動が、保存会及び小学校で展開されている。

本文は、粟生用排水路の特徴である湧水環境とそれを基盤として生息する水生動植物について、現地調査結果を基に整理し、今後の改修計画に資するものである。



写真-1 水路全景



位置図

2. 水路の現状と構造

改修を必要とする区間は、図-1に示すとおり、粟生方面へ向かう路線（以下「本線(1)」とする。）と根上方面へ向かう路線（以下「本線(2)」とする。）の総延長約500mである。この両路線は、能美市の粟生地区及び根上地区の水田（約290ha）を潤す用排水路として長年利用されているが、水路護岸等の老朽化が著しく（写真-2、3参照）、地元受益者から早急な改修が求められている。

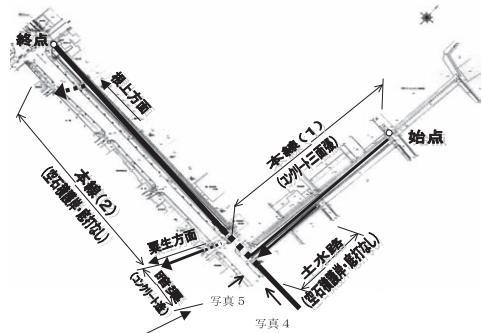


図-1 現況平面図（事業区域）

*石川県南加賀農林総合事務所（Tel. 0761-23-1703）



写真-2 土水路の老朽化状況



写真-5 土水路合流点→上流



写真-3 本線(2)の老朽化状況

なお、水路の流下状況としては、本線(1)は本線(2)より上位を流下し、暗渠区間では2路線が上下2段で流下する水路形態となっている(写真-4参照)。また、本線(2)には支線(以下「土水路」とする。)が流入している(写真-5参照)。水路構造としては、本線(1)区間が水路幅約3.0m、水路高約0.5mのコンクリート三面張造りとなっている。本線(2)及び土水路区間は水路天端幅約4.0m、水路高約1.5mの底打ちなしの空石積(法勾配1:0.5)護岸造りとなっており、湧水をキャッチし易い構造となっている。



写真-4 土水路合流点→下流

3. 現地調査

粟生用排水路の改修にあたっては、現在「粟生用排水路基本計画策定委員会」を設立し、改修計画策定に向けて検討を進めている。その検討の一環として、平成16年灌漑期の8月と非灌漑期の9月に現地調査を実施した。

一般に「トミヨ」の生息条件としては、低温できれいな湧き水があること、流れの緩い水路があること、巣作りの道具となる水草が生育していること、エサが豊富であることが挙げられる。現地調査項目は、その生息条件に関連するものとした。



写真-6 土水路(8月)



写真-7 土水路(9月)

表-1 現地調査結果¹⁾

8月(かんがい期)

路線	生息条件		保全対象		生物要因				環境要因								
	構造		トミヨ		水生植物(巢材)		水生昆虫(エサ)		水温		流速		流量				
	護岸	底部	捕獲数(匹)	有無	種類(種)	有無	種類(種)	有無	(°C)	適性	(cm/s)	適性	(l/s)	湧水量(l/s)	割合(%)		
本線(2)下流	空石積	地山	10	○	コカナダモ他	5	○	コムスムシ他	7	○	19.2~20.1	○	19~34	△	223	128	57.4
本線(2)上流	空石積	地山	16	○	ツルヨシ・セリ他	5	○	ヒメガムシ他	2	○	19.6	○	34	△	95	0	0
土水路	空石積	地山	132	○	ミクリ・バイカモ他	8	○	コムスムシ他	11	○	22.3~29.4	×	2~6	○	19.5	13	66.7
本線(1)	コンクリート擁壁	コンクリート底打ち	0	×	エビモ他	2	○	ヨコエビ	1	○	22.3~23.4	×	18~31	△	190	0	0

9月(非かんがい期)

路線	生息条件		保全対象		生物要因				環境要因								
	構造		トミヨ		水生植物(巢材)		水生昆虫(エサ)		水温		流速		流量				
	護岸	底部	捕獲数(匹)	有無	種類(種)	有無	種類(種)	有無	(°C)	適性	(cm/s)	適性	(l/s)	湧水量(l/s)	割合(%)		
本線(2)下流	空石積	地山	53	○	コカナダモ他	5	○	コムスムシ他	7	○	21.3~21.4	○	8~22	○	49	28	57.1
本線(2)上流	空石積	地山	27	○	ツルヨシ・セリ他	5	○	ヒメガムシ他	2	○	22.3~23.1	○	8~22	○	20	0	0
土水路	空石積	地山	19	○	ミクリ・バイカモ他	8	○	コムスムシ他	11	○	水涸	×	水涸	×	水涸	0	0
本線(1)	コンクリート擁壁	コンクリート底打ち	0	×	エビモ他	2	○	ヨコエビ	1	○	20.7~24.0	△	18~31	△	88	0	0

* ○・・・条件を満たす △・・・部分的に条件を満たす ×・・・条件を満たさない
 * 「トミヨ」の生息条件・・・水生植物・水生昆虫・湧水:有、水温:9~22°C、流速20cm/s以下
 * 9月の土水路で確認された「トミヨ」は本線(2)との合流点でのものである。

4. 現地調査結果と考察

現地調査結果を上記の「トミヨ」の生息条件(生物要因, 環境要因)に対し, 水路ごとに整理した(表-1参照)。

その結果, 水温のみならず, 流速においても一般的な生活基準を外れる水路区間でも「トミヨ」の生息が確認された。(図-2, 3参照)。また, 湧水量と「トミヨ」の生息数の関係にも明確な相関が見られなかった(図-4参照)。そこで, 湧水の流水に与える影響について着目し, 湧水量を総流量に占める割合で表した湧水率と水生動植物との関係について検討した(図-5~図-7参照)。

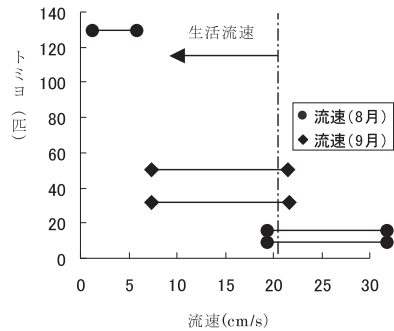


図-3 流速とトミヨ(個体数)

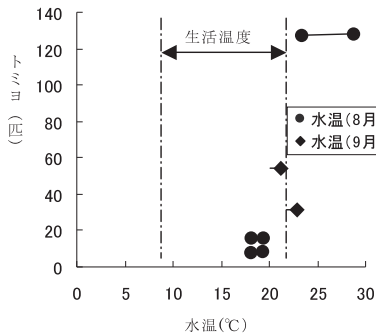


図-2 水温とトミヨ(個体数)

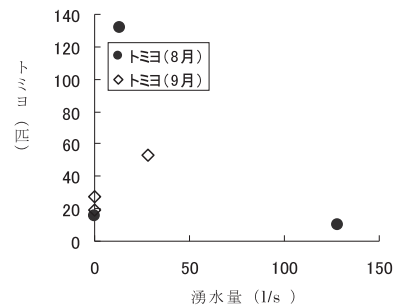


図-4 湧水量とトミヨ

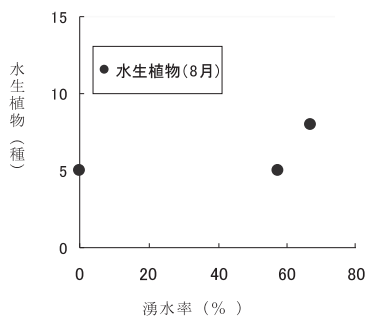


図-5 湧水率と水生植物

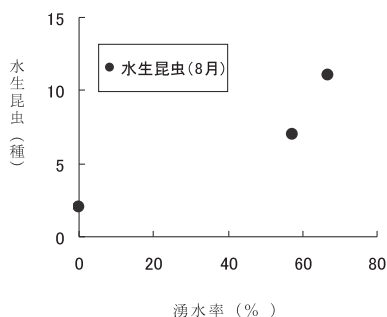


図-6 湧水率と水生昆虫

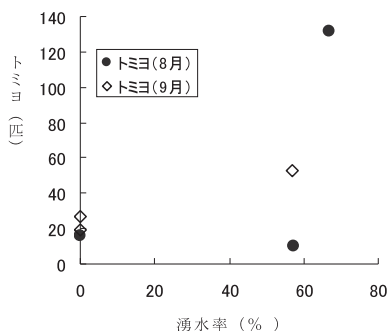


図-7 湧水率とトミヨ

図-5、図-6より、湧水率の上昇に伴い、巢材となる水生植物及びエサとなる水生昆虫の種も増加する傾向が見られる。

図-7より、各路線における水温・流速の条件は異なるが、概ね湧水率の上昇に伴い、「トミヨ」の生息数が増加する傾向が見られる。

表-1の各路線の流量比(8月)、図-2、図-3より、流量が少なく、流れも緩い、水温が上昇し易い環境である「土水路」区間に「トミヨ」が集中する傾向が見られる。

湧水の流入のない本線(1)でトミヨが確認されなかった点、「土水路」の「水涸れ」といった8月か

ら9月にかけて見られた流況の変化に対し、湧水率の高い水路区間に「トミヨ」の生息分布のピークが移行している点、湧水率が高いほど水生植物及び水生昆虫の種の多様性が高くなる点より、本水路では、湧水環境が「トミヨ」とそこに生息する水生動植物にとって重要な環境条件の一つであること、また、他の路線に比べ高い「トミヨ」の生息数、水生植物及び水生昆虫の種の多様性からも、「土水路」が「トミヨ」とそこに生息する水生動植物にとって最も生息しやすい環境であることが確認された。

5. 今後の課題と計画策定に際する留意点

- ① 現地調査の結果から、湧水がそこに生息する生物にとって重要な環境条件の一つであることは明らかであるが、「水涸れ」のような不安定要素も確認された。今後はその季節的変動に着目し、その変動傾向を推定する必要がある。
- ② 湧水を農業用水として利用する粟生用排水路の特徴的な機能を今後も確保する必要がある。
- ③ 湧水環境の持続的な確保に際しては、石積護岸を始めとする水路施設の維持管理が不可欠である。現在、本線水路以外に複数の支線用水路が並走しているため、管理用通路のスペースが不十分な状況である。改修計画の策定にあたっては水路の維持管理面の配慮が必要である。

6. おわりに

本レポートは石川県立大学の上田哲行教授、北村邦彦教授、一恩英二講師および(株)環境公害センターの草光紀子調査部主任によって調査され取りまとめた結果をもとに記載したものである。また、「粟生用排水路基本計画策定委員会」の推進にあたり、石川県立大学の3教員、いしかわ動物園の佐野修課長、能美市、宮竹用水土地改良区、関係地元町会、ハリンコ保存会の方々には多大な御尽力を得た。ここに感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 粟生用排水路基本構想作成業務 成果品 (H16)

リサイクル (3R) モデル工事への取り組み

吉 村 貴 幸*
(Takayuki YOSHIMURA)

目 次

1. はじめに	94	5. 施工工程	96
2. 背景	94	6. 膨軟材の特徴	97
3. 本工事施工地の条件	95	7. 追跡調査	97
4. 工法の選定	95	8. おわりに	98

1. はじめに

日本一の多雨地帯である大台ヶ原の水が流入する大迫ダムでは、多くの流木が流れ込むため、毎年1,000～2,000空m³程度の流木が廃棄物として処分されている。(写真-1)

流木を廃棄物として処分する場合の問題として、「不足しがちな処分場の負荷増大」「輸送による交通負荷」、焼却した場合「二酸化炭素の排出」等が懸念される。

流木をダム法面緑化基盤材としてリサイクルすることにより、「交通負荷の軽減」、「廃棄物として処分する際に発生する二酸化炭素の削減」、「緑化による新規の二酸化炭素固定地の創出」を図ることができる。このようにダム湖に発生する流木を資源化する方法はダム湖周辺の法面の緑化復元と連結させ、リサイクルモデル事業として位置づ



写真-1 流木集積状況

けることができる。

本報文では、流木リサイクル工法の選定及び、採用工法「膨軟化工法」の施工事例を紹介する。

2. 背景

大迫ダム左岸法面(写真-2)においては、昭和42年に比高約180m、幅約200mの大規模な地滑りが発生し、30万m³に及ぶ切り土工をはじめ、地下水排除工、モルタル吹付工、擁壁工、アンカー工を施工した。その後、経年的な老朽化に対応するため平成12年～16年にかけて、グラウンドアンカー工、水抜きボーリング工、吹付法砕工、ロックボルト工により改修を行い、平成17年度より4年計画で全体約13,500m²(法枠内面積)の法面を約6,000空m³の流木によりリサイクルすることによって緑化を図る予定である。本工事は建設副産物リサイクル広報推進会議が主催する「リサイクル(3R)モデル工事」に応募し、登録された工事である。



写真-2 大迫ダム左岸法面

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

3. 本工事施工地の条件

- 1) 当該施工地は、年平均気温が12.7℃と冷温帯であり、特に11月から3月にかけては、平均気温が10℃以下、12月から2月は平均気温が5℃以下、最低気温は氷点下と寒冷な地域である。12月から3月にかけては降雪がみられ、凍結及び積雪のため通行止めになることもある。年間降雨量は1,473mmであるが、時間当り24mm、日当り175mmの降雨を記録している。(大迫ダム管理所に設置されている雨量計の2005年データより。)
- 2) 当該施工地直下には、大迫ダムがあり、農業用水、発電、上水として使用されている。
- 3) 当該施工地は吉野・熊野国立公園に隣接しており、四季を通じて観光客が訪れる地域である。
- 4) 当該施工地の周辺には平坦地がほとんどなく、工事用地として確保できる平坦地は約700m²程度である。
- 5) 層厚12cmのモルタル吹付を行った法枠内に対して施工するため、植生基盤は地山と遮断され、給水は雨水のみとなる。法面上部は北西方向に開かれており、風による乾燥を受けやすい構造となっている。

以上のような条件から流木をチップ化して植生基盤材として利用するためには次の(1)~(8)の要件を満たす必要がある。

- (1)植物の発芽・生長を妨げず期待する植生により被覆できるよう発芽・成長以前にチップ材の腐

食化促進を図ること。

- (2)造成された植生基盤が豪雨等により流失しない構造であること。
- (3)保水性が高く、養分の流失の少ない基盤材であること。
- (4)施工にあたって、薬品等ダム水質に悪影響のある材料を使用しないこと。
- (5)異臭、病害虫の発生がないこと。
- (6)寒冷、積雪、凍結等の気象の影響を受けないこと。
- (7)限られた工事用地の中で処理できること。
- (8)相対コストが安価であること。(流木を廃棄し、基盤材を購入した場合と比較)

4. 工法の選定

流木を植生基盤材としてリサイクルする方法としては、木材破砕機を用いてチップ化した後、次のような方法がある。

- 1) 撒出法：
生チップに客土あるいは改良材を混ぜ法面に吹付ける方法。
 - 2) 堆肥化：
チップに発酵促進剤を混ぜ短期間で堆肥化し法面に吹付ける方法。
 - 3) 膨軟化：
チップを加圧・加温・爆砕することで膨軟化し改良材を混ぜ法面に吹付ける方法。
- 以上、3つの処理方法について(表-1)にまとめ、それぞれについて本工事の条件と比較した。

表-1

工法	撒出法	堆肥化	膨軟化
工法概要	伐採木の生チップと土等を混合し、法面に撒き出す。	伐採木の生チップを現場で堆肥化し、生育基盤材としたものを法面に吹付ける。	伐採木の生チップを膨軟化し、最低限の副資材を混入した基盤材を汎用吹付機で吹付ける。
チップ利用形態	150mm以下	25mm以下	50mm以下
チップ使用量(m ³ 当たり)	0.65m ³ 程度	2.0m ³ 程度	1.68m ³ 程度
コスト	◎	○	○
腐食化促進条件	チップの腐食には10年を要する場合がある。	発芽可能な腐食化促進工である。	発芽可能な腐食化促進工である。
長所	施工能力が高く、m ² 当たり単価が安価である。	堆肥化するので、単位体積当たりのチップ利用率が高い。	加熱・加圧処理により病害虫が死滅しチップの腐敗を防ぐ。保水性・活着性に優れた基盤となる。
短所	チップの腐食には10年以上を要し、その間に植生衰退の可能性がある。リパウンドが多く集積・廃棄処理を要する。	チップの2次破砕または3次破砕が生じる。一定面積のヤードが必要。チップ堆肥化に3ヶ月程度要する。	チップに土砂が混入すると膨軟化コストが高くなる。従来工法(撒出法)と比較して割高となる。

1) 撒出法

撒出法は、コストが安く経済的であるが、チップを直接撒出すため、植物が発芽成長可能となる状態になるまでには長い年月を必要とする。降雨による侵食が起き、また、チップそのものは吸水性・保水性に乏しく、腐食の際に病虫害発生のおそれがある。

要件の(1)(2)(3)(5)より不適と判断。

2) 堆肥化

堆肥化は、発芽成長可能な腐食化促進工である。しかし、一旦乾燥すると吸水性・保水性が低下する。堆肥化には、堆肥化ヤード・大型プラント等の用地や大量の水を確保する必要がある。冷涼な地域では発酵に時間を要する。

要件の(3)(6)(7)より不適と判断。

3) 膨軟化

膨軟化は、発芽可能な腐食化促進工である。チップを加圧・加温・爆砕し、粒度の細かい綿状でよく絡み合うことから柔軟性・吸水性・保水性に優れた基盤材に改良できる。本施工地の条件に対応できることから最適な工法と判断できるが、他より高価な工法となる。

4) 経済性

要件(8)にある「相対コストが安価であること」については、次のa. b. cにコストを分類し、上述1)～3)より最適であると判断された膨軟化工法と一般的な植生工法である厚層基材吹付工法の二つを比較する。

- a. 厚層基盤材を購入し、法面植生を行う工事費（法面植生工事費）
- b. 流木を回収し、廃棄物として処分を行う工事費（ダム管理工事費）
- c. 流木を回収・膨軟化し、法面植生を行う工事費（本工事費）

植生工事を行う面を考慮すると購入材を使用する場合のaと、流木の回収・加工が必要なcでは $a < c$ となり経済的ではないが、本工事cによりダム管理工事bが不要となるためコストの面から考えると $a + b > c$ （法面植生工事費+ダム管理工事費>本工事費）となり、経済的に工事を行うことができる。

さらに、1章の（はじめに）で述べたような金額的換算が難しい効果を含めるとリサイクルによる経済性が十分にある。

5. 施工工程

膨軟化工法を採用した本工事の施工工程を大きく分けると①流木回収、②チップ化、③膨軟化、④吹付となる。

①流木回収（写真-3）

流木回収は掴み装置付きバックホウを使用し、河川敷に横付けする10tトラックに積み込む。回収は、レキ、砂利、泥をよく落とし、チップ製造、膨軟化加工の障害とならないようにする。



写真-3 流木回収状況

②チップ化（写真-4）

流木をチップ破碎場に運搬し、木質破碎機により流木を50mm以下にチップ化する。



写真-4 チップ化

③膨軟化（写真-5）

膨軟化処理装置の内部では、徐々に狭められた二軸スクリー（写真-6）により断熱圧縮され、開口部で一気に減圧されることから水蒸気爆砕を発生させる。



写真-5 膨軟化状況

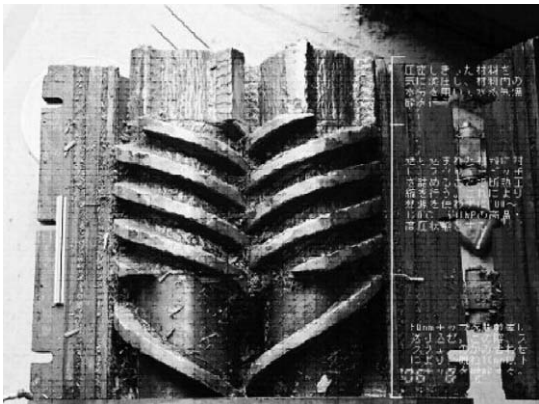


写真-6 二軸スクリュー

④吹付

運搬したチップ材はベルトコンベアを介して投入し、膨軟化→計量→副資材投入→攪拌→吹付による充填まで連続的に作業を行う。本工事施工地では層厚50cmに及ぶ植生基盤を既設法枠内に形成することから、植生基盤材全体に種を混合しても基盤下部では発芽に至らないものが多数である。その為、表層3cmに対し厚層基材に含種し播種を行う。播種は発芽を考慮し3月に施工する。種子については本工事の地域周辺に生息し、在来種といえる草本類・低木類を選定した。

6. 膨軟材の特徴

膨軟材は、吸水性に優れ水に浸けると吸水し90%が沈降する。(写真-7)

チップ材は、水に浸けてもそのほとんどは沈降しない。(写真-8) このことから、膨軟材は沈降試験により品質を確認することができる。



写真-7 膨軟材

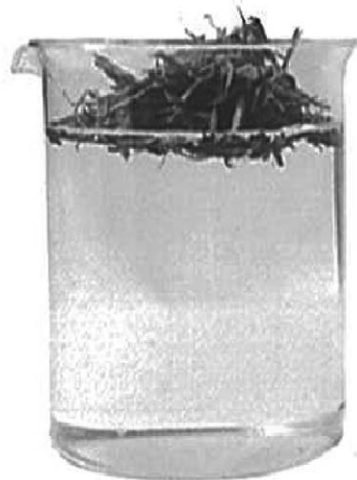


写真-8 チップ材

7. 追跡調査

追跡調査は500m²に一箇所、コドラート調査(1m×1mの枠内より判定)を行う。調査内容は、施工後3ヶ月毎に①目視による耐久性・植物の成立本数の調査、②土壌硬度の判定を行った。①の判定基準は(表-2)による。②は山中式土壌硬度計を用い、基準値は13~23mmとする。

3ヶ月調査判定結果は(表-3)のとおりである。目視調査においては、降雨による浸食・剥離・崩壊、乾燥化によるひび割れは確認されなかった。(写真-9) ただし、鹿、猿、兎等による食害(写真-10)や踏害があり被覆率や土壌硬度に影響が出ている。(平成13年度に行った試験施工範囲に

表-2

評価	評価基準
可	被覆率が30%~50%であり、木本類が10本/㎡以上確認できる。 または、 被覆率が50%~70%であり、木本類が5本/㎡以上確認できる。
判定保留	草本類に70%~80%覆われており、木本類が1本/㎡以上確認できる。この場合、翌年の春まで様子を見る。
不可	植生基盤が流亡して、植物の成立の見込みがない。この場合は、再施工とする。 草本類の被覆率が90%以上で、木本類が被圧されている。この場合、草刈り後、様子を見て対策を講じる。

出典：(社)日本道路協会 道路土工法面工・斜面安定指針「播種後の成績判定の目安」

表-3

調査番号	被覆率 (%)	木本類本数(本/㎡)	土壌硬度	判定	判定理由
19-1	20	4	16	保留	被覆率は最大30%と少ないが、植生基盤は、維持されており、3ヶ月経過時点でも、ヨモギ、メドハギを中心に発芽が見られるため、保留とし経過を観察する。
19-2	30	4	15		
20-1	20	5	13		
20-2	10	13	13		
20-3	10	7	13		
21-1	20	4	14		
21-2	30	3	12		
21-3	15	3	14		



写真-9 現況



写真-10 食害 (21-2)

おいては、鹿等による被害は確認されていなかった。) 調査番号21-2においては表層部の大部分が踏害により掘り起こされた為土壌硬度12mmと基準を下回る結果となったが、侵食・剥離・崩壊・乾燥化は確認されていない。

8. おわりに

本工事においては、膨軟化工法により流木をリサイクルすると共に、降雨による流亡や乾燥による崩落等がない良質な植生基盤の形成ができた。しかし、本文中で紹介した事例は本工事現場特有

の条件下で検討し施工したものであり、他の地区ではそれぞれの条件を解決する必要がある。

植生については、鹿等の食害及び踏害により判定保留の状態とし、早急に対策を行い追跡調査を再開すべく作業中である。また、流木をチップ化するにあたり処理場までの移動等、廃棄物処理法との関連については十分な注意を要すると考えている。

この事例を参考にして、環境に配慮した施工に取り組んでいただければ幸甚である。

老朽化ため池の統合整備について

今村 大志*
(Daishi IMAMURA)

目	次
1. はじめに	99
2. 概要	99
3. 計画の見直し	100
4. 左岸地山の漏水	101
5. 漏水経路の確認	101
6. 対策工法	103
7. さいごに	103

1. はじめに

鬼ヶ口ため池は、県営老朽ため池等整備事業として平成16年度に採択され実施設計を開始した。本ため池は上池と下池とで構成されており、採択時には上池の水利慣行からそれぞれの池の改修を行うこととしていたが、その標高差が小さいことや上池の貯水量が少ないことで、下池の改修計画の変更により、一体的な池としての改修が可能で、水利関係者の理解が得られた。また、現地踏査の結果左岸地山部から漏水が発生していることが判明したため、左岸地山部の漏水対策が必要となった。

本稿では、これらのため池統合整備について報告するものである。



図-1 位置図



写真-1 鬼ヶ口ため池

2. 概要

鬼ヶ口ため池は、福岡県宮若市（旧宮田町）の南側に位置し、遠賀川水系千石川支流に築造された上池と下池で、20.9haの水田をかんがいでいる。

上池は江戸時代以前に築造され、堤体からの漏水が著しく、また、下池との標高差が小さいため、下池の満水時には堤体の一部が水没し、下流側法面が不安定な状態となっている。

下池は、昭和30年代に鉾害による地盤沈下により農業用水の取得が困難となったことから、新たに築造したもので、堤体下流からの漏水や取水設備の老朽化、洪水吐の排水能力不足により、堤体の改修が必要となった。

*福岡県飯塚農林事務所農地整備鉾害課 (Tel. 0948-21-4982)

このため、平成16年度に県営ため池等整備事業鬼ヶ口地区として新規採択を受け、実施設計を行い、後述の平成17年度検討結果により計画変更手続きを実施、平成18年度より工事に着手している。

表-1 当初計画概要

諸元	上池		下池	
	現況	計画	現況	計画
堤高	8.0 m	8.5 m	13.9m	14.0m
堤長	44.3m	44.3m	81.0m	81.0m
体積	5,000m ³	7,200m ³	28,000m ³	35,000m ³
貯水量	5,100m ³	5,100m ³	70,000m ³	69,000m ³
天端幅	1.00m	3.70m	2.50m	4.80m
取水管径	200mm	300mm	250mm	500mm
底樋管径	180mm	600mm	600mm	800mm

3. 計画の見直し

3-1. 上池を残すことによるデメリット

上池及び下池の計画標高は以下のとおりである。

表-2 上池、下池計画標高

計画標高	上池	下池	標高差
堤頂	EL 62.50m	EL 58.50m	4.00m
F.W.L	EL 60.50m	EL 56.20m	4.30m
H.W.L	EL 61.10m	EL 56.82m	4.28m
以下の上池計画標高は、下池満水位以下となる。			
基礎地盤高	EL 54.00m		
底樋呑口	EL 54.00m		
洪水吐静水池	EL 51.49m		

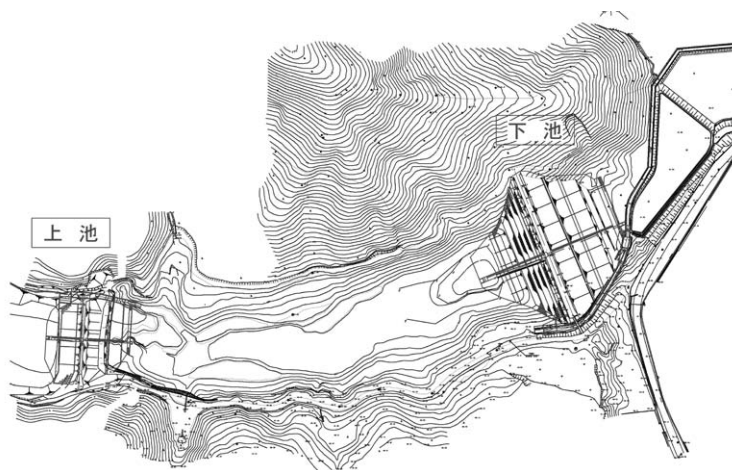


図-2 鬼ヶ口ため池の当初計画平面図

左下表の通り、上池と下池との標高差が小さいため、以下のような懸念が生じた。

- ・上池堤体下流法面の下部が下池常時満水位以下となる。
- ・上池洪水吐末端部が下池常時満水位以下となり、上池洪水流出時の水流により上池堤体や地山の浸食の恐れがある。
- ・堤体が2箇所とも残ることで、草刈り等の維持管理の労務が従前同様に発生し、また、取水設備等の更新費用も2箇所分必要である。
- ・緊急時の管理についても、2箇所の操作が必要となり、上池と下池が近接していることで、複雑な緊急設備の操作マニュアルが必要となる。

3-2. 上池の撤去

上池を撤去するとした場合、下池は70,000m³の貯水量があり、湛水面積の大きさから、常時満水位を0.30m上げると、上池の貯水量5,000m³は確保でき、撤去する堤体は下池ランダム材として流用可能である。

また、上池の貯水池部分に堆砂すれば、下池の貯水機能は保護され、維持管理も容易であり、上池の貯水池部分が浅水域として残ることにより、多様な生物の生息・生育環境も確保できる。

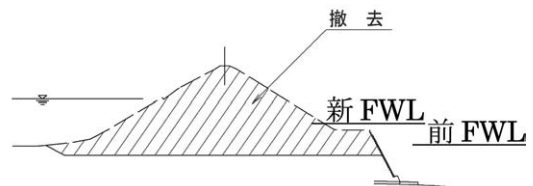


図-3 上池堤体断面図

3-3. コストの縮減

上池と下池を統合することにより、下池の費用は微増するが、上池の築造費用が不要となるため、大きなコストの縮減となった。

また、上池の草刈り等の維持管理費や取水設備等の更新費用、緊急時の防災効果等のライフサイクルコストにおいても、大きな削減を行うことができた。

以下に、変更計画の概要とコストの縮減額を示す。

表-3 計画変更の概要

諸元	上池		下池	
	当初計画	変更計画	当初計画	変更計画
堤高	8.5 m	-	14.0m	14.95m
堤長	44.3m	-	81.0m	85.0m
体積	7,200m ³	-	35,000m ³	35,000m ³
貯水量	5,100m ³	-	69,000m ³	75,000m ³
天端幅	3.70m	-	4.80m	5.00m
取水管径	300mm	-	500mm	500mm
底樋管径	600mm	-	800mm	800mm

表-4 経費の縮減額

諸元	工事費(百万円)		
	変更前	変更後	増△減
1. 工事費	276.0	181.3	△ 94.7
1) 堤体工	157.5	106.0	△ 51.5
2) 洪水吐工	62.5	40.9	△ 21.6
3) 取水設備工	56.0	34.4	△ 21.6
2. 測量試験費	19.5	28.4	8.9
3. 用地補償費	3.9	3.9	0
4. 工事雑費	5.6	5.4	△ 0.2
合計	305.0	219.0	△ 86.0
ため池箇所数	2	1	△ 1

3-4. 計画の見直し

本ため池は、江戸時代以前に上池を築造し、鉾害にともなう用水不足のために、下池を新たに築造したものであるが、旧来からの上池受益者の利水慣行から当初は上池を残す計画としていたが、建設コストや維持管理費用、維持管理労力を大きく軽減できるため池の統合計画について、上池受益者の理解が得られたことから、平成17年度に計画変更の手続きを実施した。

4. 左岸地山の漏水

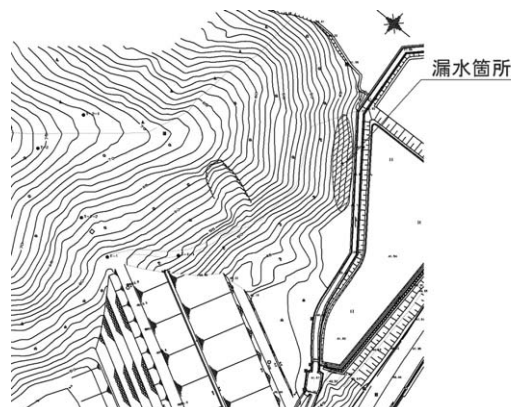


図-4 下池左岸地山漏水位置図



写真-2 下池左岸地山漏水状況

実施設計のために詳細な踏査を実施したところ、左岸地山法先付近から漏水が確認され、貯水時には堤体下流部よりも、左岸地山法先付近での湧水が顕著で、貯水位により湧水量が変化する。

また、地質調査ボーリングを行った結果、左岸地山のボーリング孔内水位が貯水位よりも低くなっており、左岸地山からの漏水が懸念された。

5. 漏水経路の確認

5-1. 漏水の確認方法

漏水の経路確認のため以下の調査を実施した。

- (1). ボーリング調査
 - ・ No.16 No.17 No.18 追加調査
 - ・ 透水試験
 - ・ 孔内水位観測
- (2). 漏水量調査
- (3). 地下水追跡調査
- (4). 地下水検層

5-2. 地形・地質

鬼ヶ口ため池のある丘陵地帯は、中生代の脇野垂層群千石層の礫岩、砂岩、頁岩および流紋岩が分布する。千石層は、白亜紀の湖堆積物とされており、年代的にも古く多くの地殻変動作用を受けているため、ため池周辺の砂岩、頁岩は破碎される傾向にあり亀裂が多い。

周辺地山の地質は、風化が進んだ礫混じり土砂状を呈するが、左岸下流では砂岩、頁岩が互層状に分布する露頭が見られる。

ボーリング結果からは、亀裂の多い砂岩・頁岩が基盤を形成し、上部ほど風化が進み、その上部を崖錘堆積物が覆っている。



図-5 漏水調査位置図

5-3. 孔内水位観測結果

孔内水位は、No.15とNo.17が貯水位よりも低く（-3.0m～-4.0m）、No.14とNo.16は貯水位（-0.5～-1.5）付近となっている。

No.18は、降雨の影響を受けているが、満水位よりも高く安定している。

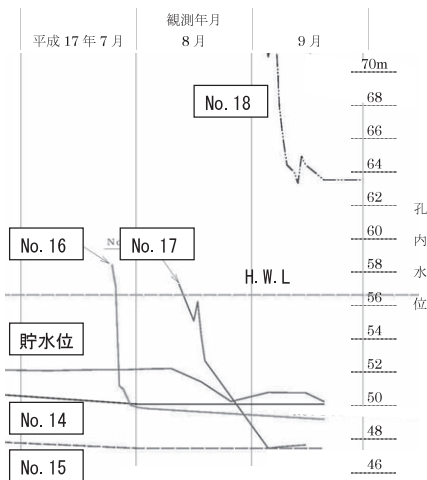


図-6 孔内水位観測結果

5-4. 透水係数

孔番	ステージ	透水係数	岩質
No.16	1	1.57×10^{-4}	風化砂岩・頁岩
	2	7.58×10^{-4}	風化砂岩
	3	5.66×10^{-4}	砂岩
	4	2.01×10^{-4}	砂岩・頁岩
No.17	1	2.15×10^{-4}	風化砂岩・頁岩
	2	2.67×10^{-4}	風化砂岩
	3	4.85×10^{-4}	砂岩・頁岩
	4	2.78×10^{-4}	砂岩・頁岩

5-5. 漏水量

左岸漏水量は、貯水位の変動による水量と底樋、堤体腰石前の承水路が合流した堤体直下流（観測点①）地点での水量（底樋漏水量+堤体漏水量）を差し引いた量とした。

日平均降水量 = $845 \text{ m}^3/\text{日}$

流入量 = $132 \text{ m}^3/\text{日}$

観測点① = $532 \text{ m}^3/\text{日}$

左岸漏水量 $845 + 132 - 532 = 445 \text{ m}^3/\text{日}$

5-6. 地下水追跡

漏水経路を調査するために、一般的な方法としてトレーサ試験があるが、今回の調査では、トレーサとして塩化ナトリウム（食塩）を利用した。

No.14孔から投入されたトレーサは、2.5時間後No.15孔で検出された。そのとき同時に観測した堤体下流および左岸地山法先部（観測点②）では、確認できなかった。

No.15から投入されたトレーサは、7.0時間後に観測点②で検出された。

この結果からは、左岸漏水が貯水池→No.14→No.15→観測点②とつづく漏水経路が確認された。

5-7. 地下水検層

トレーサ投入孔の地下水流を把握するために、地下水検層を実施した。今回の調査期間については貯水位が低かったため、広範囲な調査は出来なかったが、塩分投入後電気抵抗値が地下水の浸入により、緩やかに上昇していることがわかる

5-8. 調査結果

地下水検層の結果からは、No.14およびNo.15のボーリング孔内で地下水位の流動性が確認され、トレーサによる地下水の追跡では貯水→No.14→No.15→地山法先への地下水の動きが確認できた。ただ、地山法先への湧水は、堤体直下ではなく、

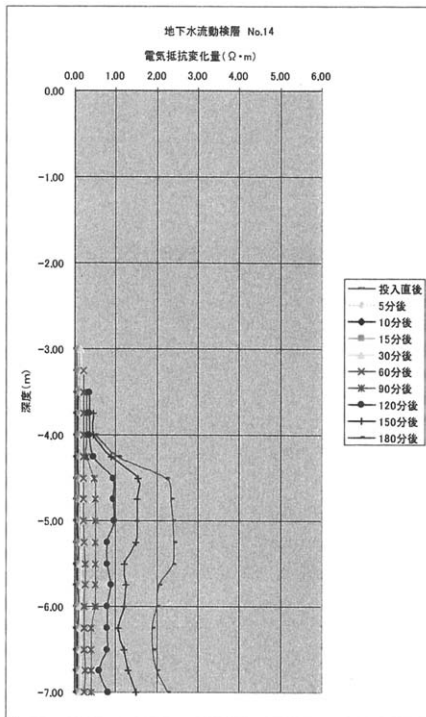


図-7 No.14地下水検層結果グラフ

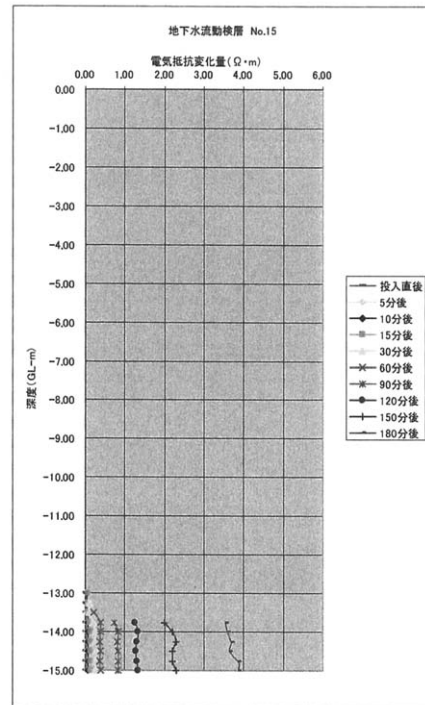


図-8 No.15地下水検層結果グラフ

観測点②と堤体よりも東側の地山法先となっている。

地下水位は、No.16が貯水位付近の水位を示すもののNo.15、No.17が貯水位よりも低いことから、No.16の背面を通じた透水層の存在が危惧される。

6. 対策工法

対策工法については、左岸リム部漏水対策止水工法比較表（次頁参照）に示すとおりであるが、基本的にはブランケット工法による貯水の止水と地山部内の透水層にはグラウトで止水を計画した。具体的な検討項目は以下のとおりである。

- ・ボーリング結果から左岸尾根の地質は砂岩、頁岩が基盤となって、特に砂岩優勢層は亀裂が多く酸化変色していることから、ここが漏水経路となっていると考えられる。
- ・孔内水位の観測からNo.15～No.17を通る左岸地山ラインについては、いずれも孔内水位が低く、No.17まで止水工事を実施しても、No.17上流側地山からの漏水が懸念される。
- ・左岸地山は尾根となっており、堤体軸方向に止水壁を施工しても、尾根内部を通り尾根北東部法先への漏水が懸念される。

- ・No.18の孔内水位は、貯水位に影響されない高位置にあり、この方向へ止水壁を計画する。
- ・地山内部はグラウトで止水性を確保する。
- ・No.15からNo.18を結ぶラインには、崖錘や強風化岩が分布しているため、グラウト孔壁の自立が不完全で、十分なグラウト効果が望めない。このため安価なブランケットをNo.16付近まで施工し、地山表面の止水性を確保する。
- ・グラウト範囲は、No.16とNo.18を結ぶラインで計画する。実施範囲はNo.16の孔内水位とNo.18の孔内水位を結ぶラインとF.W.Lが交差する点までとする。上端はF.W.Lとし下端はボーリング調査により再度検討を行う。

7. さいごに

鬼ヶ口地区については、今回の改修計画の変更で大きなコストの縮減が図られた。なお、下池左岸地山の止水対策については、今後工事を進めていく中で、施工段階毎の効果の確認や施工後の地下水位等の継続調査が止水の評価に大きな影響を及ぼすことから、監視計画を立て慎重に工事を進めたい。

左岸リム部漏水対策止水工法比較表

検討案	採用・不採用理由	横断面図	結果
<p>①</p> <p>プランケット工案</p> <p>No.15, No.16, No.17を結び止水ライン (コア材によるプランケット工法)</p>	<p>プランケット工法だけでは、No.17より上流から地山への浸入を止めることが出来ない。</p>		<p>X</p>
<p>②</p> <p>リムグラウト工案</p> <p>No.15とNo.18を結びライン (セメントミルクによるグラウト工法)</p>	<p>グラウト工は、重層及び強風化岩が分布するもので、有効な止水工法とならない。</p>		<p>X</p>
<p>③</p> <p>プランケット+リムグラウト工案</p> <p>No.15, No.16, No.18を結びライン (プランケット+グラウト工法)</p>	<p>No.15とNo.16を結びラインは、プランケット工法を採用。</p> <p>No.16とNo.18を結びラインは、グラウト工法を採用。</p>		<p>O</p>

ため池法面管理の軽減を目指して

田 邊 周*
(Chikashi TANABE)

目	次
1. はじめに ……………	105
2. 法面緑化工法の選定 ……………	105
3. ため池土壌調査結果 ……………	106
4. 生育期間中（5月～11月）における 降水量の特徴と生育に及ぼす影響 ……………	107
5. 生育状況調査箇所及び調査項目 ……………	107
6. 生育状況調査結果 ……………	108
7. 植生シート施工後の法面土壌 ……………	110
8. 考察 ……………	110

1. はじめに

ため池法面の植生管理は、管理者の高齢化や担い手不足が進む状況の中で、従来、草刈機により年4回程度行われているが、長大な傾斜法面では重労働で危険を伴う。法面専用の草刈機も開発されているが、高価で普及していない。

また、除草剤は、草が枯れることによる表土の流亡や崩壊の危険性が懸念され、コンクリートや特殊シートでの法面保護は高価かつ景観を損ない、経年変化による老朽化や劣化に対する補修管理費の増加が懸念される。

そこで、草刈労力の大幅な軽減や早期の法面緑化が可能で、漏水箇所を早期に発見でき、浸食防止効果に優れたセンチビードグラス（写真-1）による法面保護について検討する。



写真-1 センチビードグラス ランナー伸長状況

表-1 法面緑化工法選定比較表

	種子吹付け	マルチ+定植	植生シート
凹凸への対応	◎	◎	◎
浸食防止機能	×	◎	◎
施工性	○	×	◎
株の定着性	○	◎	○
コスト	◎(24,200 円)* ¹	○(32,600 円)* ²	×(71,100 円)* ³
労働時間	◎(0.70hr)* ¹	×(10.0hr)* ²	○(5.8hr)* ³
総合判定	○	○	◎

2. 法面緑化工法の選定

法面緑化工法としては「種子吹付け」、「マルチ+定植」、「植生シート」がある。

表-1はそれぞれの条件を比較した結果である。

なお、判定は独自の判断によるものであり、100m²当りのコスト・労働時間は同一調査ではないので、参考程度の目安である。

「種子吹付け」は施工費・労働時間共に少なく、最も経済的であるが、吹付け後の降雨による種子の流亡や浸食といった面で確実性がなく不安が残る。

「マルチ+定植」は最も確実な方法と言えるが、マルチの被覆と定植作業に多くの労働時間を要し、施工時に転落の危険性を伴う。

「植生シート」（写真-2、写真-3）は、シート構造のため種子の流亡や土壌浸食の防止機能が高く、シートを展開させて釘等の簡易なもので固定するだけなので、施工性も良い。（写真-4）

*愛媛県宇和島地方局産業経済部農村整備課
(Tel. 0895-22-2341)

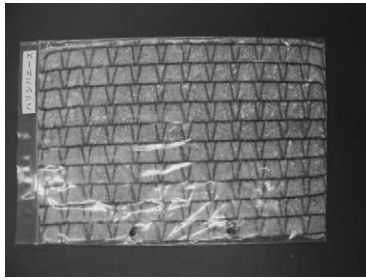


写真-2 植生シート表面



写真-3 植生シート裏面



写真-4 植生シート 施工状況

以上の結果を総合的に判断すると、長大な法面では植生シート工法が最適であると判断されるため、センチピードグラス単一配合による植生シートでため池堤体法面を保護し、生育度合いの追跡調査を行い、工法の有効性の実証に取り組んだ。

3. ため池土壌調査結果

ため池堤体法面の土質を把握するため、経営体育成基盤整備事業三間地区における改修中及び改修後のため池（図-1）で土壌調査を行った。表-2は、ため池土壌調査結果である。



図-1 センチピードグラス植生シート 施工位置図

表-2 ため池土壌調査結果（平成17年5月30日採取）

池名	木綿越池	アシ谷池	築山池	下池
集落名	北増穂	是延	迫目	波岡
土色	黄褐色	橙色	鈍い黄褐色	褐色
土性	砂質土	砂質壤土	砂質土	砂質壤土
硬度 ^{*4}	17mm	13mm	17mm	18mm
水分率	2.7%	2.8%	5.3%	2.1%
PH ^{**5}	5.0	4.9	5.5	5.2
EC ^{**6}	0.04	0.06	0.07	0.06

※土壌分析は、表層面2ヶ所を採取して分析した。

堤体改修後のため池の土壌は、大規模な造成を行っていることもあり、土量の移動も大きく、きれいな更地の状態である。従って従来の水田畦畔におけるグラウンドカバープランツ植付け前の除草・整地作業は必要なかった。

土壌採取は、植生シートのない法面周辺で行った。

土色は、場所によって、黄褐色・橙色・鈍い黄褐色・褐色とそれぞれ深層部土壌の色の違いが堤体法面に現れた。

また、土性はいずれも砂質土壌で粘りは少なく、サラサラした状態で、法面の勾配を考えると、流亡などが起こりやすいため、今回のような植生シート等の構造的な施工が必要であった。

硬度については、今回は法面表土での測定結果であり、通常、根群域まで穴を掘った状態での測定結果ではないため、低い数値になったと思われる。それでも標準よりやや硬い数値となった。

土壌水分率についても、同様であった。

PHは、センチピードグラス自体、酸性からアルカリ性まで比較的適性範囲は広いので、PH5前後であれば、まず問題ないと思われる。

ECについては、肥料成分量の目安となるもので、かなり低く、植物の生育を促進していくうえで肥料成分は必要ではないかと思われた。

4. 生育期間中（5月～11月）における降水量の特徴と生育に及ぼす影響

実証地区におけるセンチピードグラスの生育期間は、5月から11月上旬頃とされ、生育は、この期間の降水量に大きく影響されるとと思われる。芝の特性から、本地区の植生シートは、平成17年5月21日に施工した。図-2のとおり、昨年の特徴として月別降水量は、発芽時期と初期生育を左右する5月の降水量が131.5mm（平年比 58%）、同じく6月58.5mm（平年比 29%）と極端に少なく、発芽時期と初期生育の遅れにつながった。

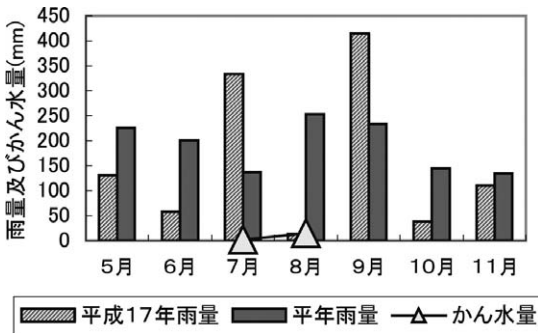


図-2 平成17年度雨量・かん水状況（平年比較）

また、8月の降水量が14mm（平年比 6%）と少なく高温・乾燥が続くなか、早魃の対策として、7月26日～8月18日の間に、灌水を7回（1回2.0～2.5mm程度）行った。9月に入ると、台風の影響で降水量も多くなり、後半の順調な生育につながった。いずれにしても、5月～11月の降水量は1,110.5mm（平年比 83%）と全般的に降雨の少ない乾燥年で、センチピードグラスにとって、生育上厳しい年であった。

5. 生育状況調査箇所及び調査項目

本調査は、経営体育成基盤整備事業三間地区におけるアシ谷池改修中の堤体後法面（法尻）（写真-5）で実施し、植生シート1.0m²当りのセンチピードグラス配合種子量により、調査区を「5g無肥料区」、「15g無肥料区」、「10g無肥料区」及び「10g肥料区」の4調査区に分類し、平均をとるため各区2箇所ずつで調査を行った。なお、施肥状況は、表-3のとおりである。

表-3 施肥回数及び窒素成分量

	化成肥料	窒素成分量	牛ふん堆肥	窒素成分量
7月26日	100g/m ²	8g/m ²		
8月4日			3kg/m ²	41g/m ²
9月20日	70g/m ²	5.6g/m ²		

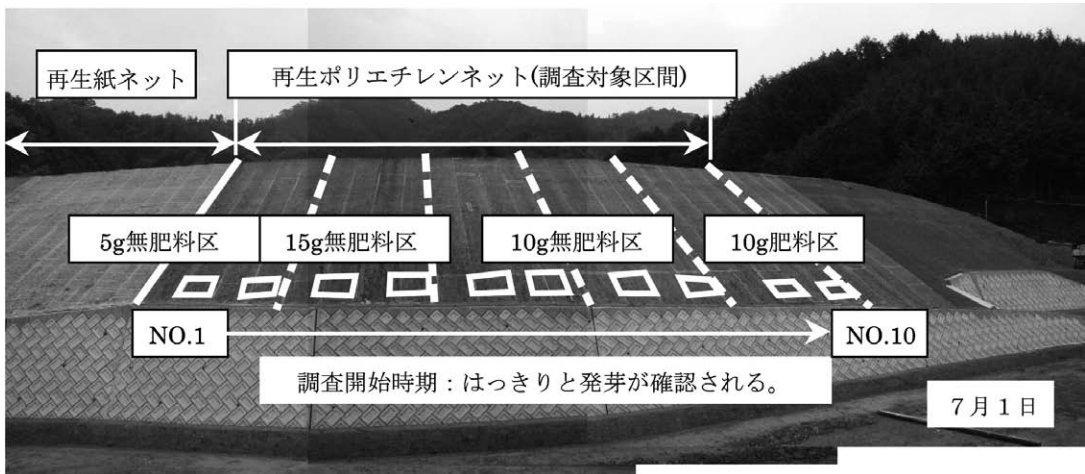


写真-5 生育状況調査箇所

各区を1.0m²で設定し、発芽がはっきり確認でき始めた7月1日より調査を開始した。

調査項目は、発芽数、幹長、葉数、葉長、ランナー本数、ランナー長、雑草種類・本数及び被覆度の8項目とし、前7項目については、概ね平均的な発芽状態と思われる調査区（20cm×20cm）を設定して調査を行った。

なお、被覆度については、調査区（100cm×100cm）での被覆部分の占有率を調査した。

6. 生育状況調査結果

図-3のとおり、発芽数は最初7月1日の調査で、種子量の最も多い15g区で25本あり、早期の緑化が図られた。しかし、7月22日の調査では10g区も20本以上になり、差が縮まった。

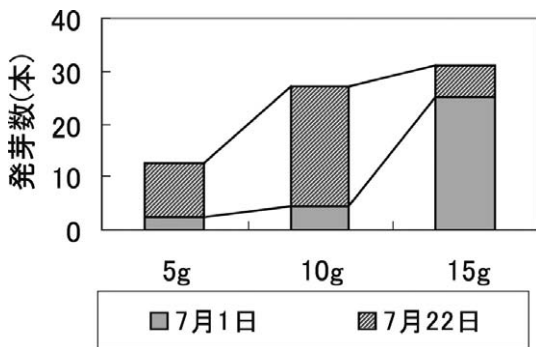


図-3 発芽数の推移

幹長は、肥料区において10月下旬までで5cm、他の区は3cm未満であった。

葉数、葉長においても肥料区での生長が最も優れ、次いで15g区であった。

図-4は被覆度を種子量別で比較したものであり、生育初期の段階では、種子量の多い15g区が最も優れていた。肥料区は9月に入って急激な増加を示しているが、これは、7月～9月に化成肥料と堆肥とを施用したためであり、効果が顕著に現れていることが分かる。

写真-6は、各調査区（20cm×20cm）における被覆状況及び株の分解状況であるが、配合種子量の差や施肥の有無による生育の違いがはっきりしている。

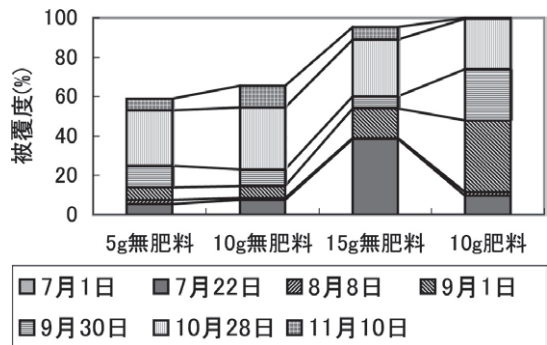


図-4 被覆度の推移

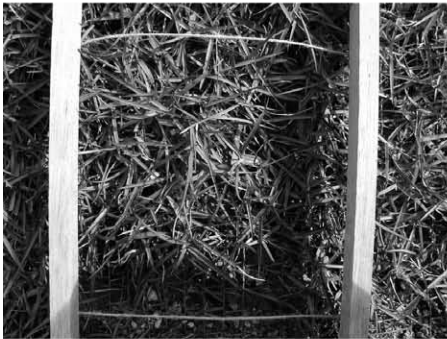
5g 無肥料区 近景



5g 無肥料区 分解状況



10g 無肥料区 近景



10g 無肥料区 分解状況



15g 無肥料区 近景



15g 無肥料区 分解状況



10g 肥料区 近景



10g 肥料区 分解状況



写真-6 20cm枠内における各区被覆状況及び生育状況 (平成17年11月10日 撮影)

7. 植生シート施工後の法面土壤

表-4のとおり、5g無肥料区、15g無肥料区、10g無肥料区では、肥料等の施用は行わなかったもので、いずれもPH・ECとも低く、土壤条件（アルカリ度、肥料成分）としては同じであった。

センチピードグラスの適正PHが4.2～8.5なので、酸性化の傾向がみられた。

10g肥料区では、PHについては差がなかったが、ECについてはかなりの差が見られた。これは、肥料及び堆肥の施用によって土壤肥料分が増加したためであり、生育の差として顕著に現れた。

表-4 土壤分析結果（平成17年11月10日 採取）

	5g 無肥料	15g 無肥料	10g 無肥料	10g 肥料
PH	4.4	4.5	4.5	4.6
EC	0.12	0.10	0.09	0.72

8. 考察

調査の結果、長大なため池堤体法面でも、センチピードグラス単一配合の植生シートは効果を十分に発揮でき、被覆度を高めるには、肥料、堆肥の施用や配合種子量の増加が有効であることが判明した。

表-5のとおり、初年度の施工単価は、従来の標準工法と比較すると高価であるが、長い期間で

の除草手間を考慮すれば経済性も良くなり、トータルコストの縮減や草刈労力の大幅な軽減が可能になることも判明した。更に、新技術工法が堤体法面の緑化工法として一般的に普及することにより、工事費低減が可能と考えられる。

今回の調査で、調査区においては、被覆度を高め、緑化を持続させる有効な方法は化成肥料と堆肥の施用（写真-9）、次に種子量増加であることが実証されたが、調査区の結果だけでは偏りがあり、写真-8から分かるように、堤体後法面全体で見ると10g無肥料区でも十分緑化が図られることが判明した。

今後の課題としては、本調査のように、単年度で1地区のみの調査では、汎用性のあるデータが得られないため、継続的な調査と調査地区の追加が必要と思われる。

また、本調査区に隣接する植生シート施工箇所は、再生紙ネットにより施工されており、初期の生育段階から顕著な差が見られた。（写真-7）これは、再生紙ネット特有の構造である等高線方向のネットにより、法面土壤の流亡がほとんどなかったためと思われる。

表-6のとおり、1m²当りの施工単価は、再生ポリエチレンネットが711円、再生紙ネットが981円で、270円高いが、再生紙ネットの方が生育良好であったことから、費用対効果の整理等、今後検討する必要がある。

表-5 標準工法との比較（1,000m²当り、10年間での検討）

	年間草刈り時間 ^{※7}	年間草刈り日数	年間草刈り費用 ^{※7}
標準工法	8hr×3回=24hr	24hr/8hr=3日	3日×11,500円=34,500円
新技術工法	2hr×2回=4hr（2年目以降）	4hr/8hr=0.5日	0.5日×11,500円=5,750円

	標準工法（混合種子配合）	新技術工法（センチピードグラス単一配合）
1. 直接工事費	596,000円	711,000円（種子代差額(115,000円)込み、10kg配合）
2. 維持管理費	34,500円/年	5,750円/年（2年目以降）
3. トータルコスト	596,000円+(34,500円×10年)=941,000	711,000円+(5,750円×9年)=762,750円 差額(-178,250円)

表-6 植生シート工法の比較（1m²当りの単価）

区分	シートの種類	資材費	労務費	合計
①標準型	再生ポリエチレンネット（混合種子）	400円	196円	596円
②標準型	再生ポリエチレンネット（種子量10g/m ² ）	400円+115円=515円	196円	711円
③環境型	再生紙ネット（種子量10g/m ² ）	670円+115円=785円	196円	981円

※（②及び③は、センチピードグラス単一配合である。）

※（資材費・労務費は、見積結果による。）



写真-7 生育初期全景

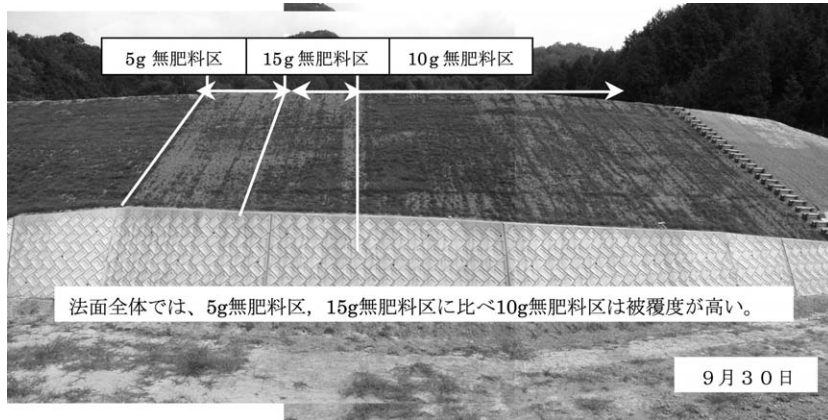


写真-8 生育最盛期全景



写真-9 休眠期全景

引用資料及び参考

- ※1：新技術導入推進事業永長・久保地区実施結果報告書
- ※2：見積結果及び市場単価
- ※3：山武農業改良普及センター調査結果
- ※4：硬度は、土壌の硬さを表したもので、普通畑の場合、15mm以下が最適値

- ※5：PHは、土壌の「酸性・アルカリ性」を表したもので、普通畑の場合、5.5～6.5程度
- ※6：ECは、土壌中の塩類濃度を表したもので、普通畑の場合、0.2～1.5以下程度
- ※7：聞き取り及び新技術導入推進事業永長・久保地区実施結果報告書

大井手用水溝の歴史について

有 田 齊*
(Hitoshi ARITA)

目 次	
1. はじめに	112
2. 亀井武藏守茲矩（これのり）公	112
3. 茲矩公と大井手用水溝	112
4. これから	113
5. 大井手地区の概要	114

1. はじめに

鳥取県鳥取市に四百年前荒れ地に22km用水溝を開削し、農民の安定的な生活基盤を築いた偉人亀井茲矩公（写真-1がいる。四百年前に数十年の治世で未だに亀井さん亀井さんと話にのぼる不思議な人物を懐古したい。



写真-1 亀井公木像（津和野永明寺所蔵）

2. 亀井武藏守茲矩（これのり）公

茲矩公は源氏佐々木の支流であり幼名を湯新十郎と言った。祖父惟宗の代から出雲に住み父永綱は尼子氏に仕えていたが毛利氏に滅ぼされ、孤独となった。元龜三年（1573）17歳のとき、放浪して因幡国に来て、山宮村（現在の逢坂村）で雲州浪人井村覚兵衛の許に身を寄せていた。

覚兵衛も元尼子氏の臣であり同国のよしみで新

*大井手土壌改良区水土里ネットおおいで事務局長
(Tel. 0857-22-2691)

十郎をよく待遇した。同時期に尼子氏の遺臣山中鹿之助が主家の再興を計ろうと因幡に来ていることを知り、自ら進んでこれに従い所々に戦功を収めた。

鹿之助は、新十郎の人柄を見込み、妻の義妹で亀井寿綱の二女時子を妻合せ亀井家の再興を計り、天正二年亀井茲矩と改めた。天正九年（1581）秀吉が因幡来功の際の功により気多郡1万3千石を賜り、慶長五年（1600）関ヶ原の戦功により高草郡2万5千石を加増し、3万8千石となった。

鹿野城主となってからは至極民事に心を用い山林田畑の開発、大井手用水溝開削、湖沼の干拓による新田開発等（現在の土地改良事業）殖産興業に尽力された。

3. 茲矩公と大井手用水溝

高草郡を受領した茲矩公は荒地の多い千代川左岸を開発するため、池田公領地八上郡袋河原から取水を考えた。また、池田公は交通の要所である賀露港を領地とすることを望んでいた。ここに両者の望みが通じ、領地の交換利用が行われた。こうして大井手溝の工事は慶長七年（1602）から7年の歳月を要して開削された。新田、新村が多かった。

地元古老の言い伝えによると茲矩公は郡内を巡視し、水田が少なく、灌漑に乏しいことを知り、自ら数騎を従え、数十日にわたり調査し、馬を河原の岸（樋口神社）に立て、ここから水路とすべき所を進み、その馬蹄の跡が現在の大井手用水溝の法線になっている。

水路開削は夜間各所にちょうちんを立て数キロ離れて高低をみて高さを決めた。

また、山裾を通り、少しでも多くの水田を確保し漏水防止対策は陶器用の白粘土、堤防は赤土混じりの粘土を鋼土としよく突き固められた。

大井手用水溝からの分水は、受益反別により樋口の大きさを決め、水が平等に行き渡るように考慮されている。大井手全域の受益面積は最大時1,278町歩あり、21年普通水利組合が設立され（受益1,278町歩）気高郡長の管理下におかれた。

慢性的な水不足を解消するため大正初期に下流耕地整理組合が設立され（受益631町歩）、古海揚水機が設置された。取水の源河原五枚樋（写真-2）の傍らには明暦年間水路守護の神として市杵島姫命を祀り弁財天社と称したが、明治元年八月境内鎮座の稻荷大明神を合祀して樋口神社と改称した。

土地改良区設立後は昭和27年に、同神社境内に大井手組合員により、茲矩公の頌徳碑が建てられた。また、県営団体営圃場整備事業により（受益800町歩）水田が整備された。



写真-2 大正時代の河原五枚樋

4. これから

以前の大井手用水溝は、ややもすれば農業者以外を遠ざける傾向にあった。

しかし、近年の周辺の都市化の波によって、身近な自然がなくなりつつある現状と大井手用水溝の管理を直接の関係者である改良区や組合員に頼るだけでは難しくなってきた。

そこで、水土里ネットおおいでは、農家、非農家を問わず、住民が大井手用水の維持・保全に関わるような仕組みを構築するための運動を始めた。（写真-3、写真-4）



写真-3 草刈り作業



写真-4 広がる保全活動の輪

水土里ネットおおいでが主催する「大井手と遊ぼう（写真-5、写真-6）」「大井手探検隊」、「ホテル鑑賞会」、「周辺小学校での出前授業（写真-7）」などで歴史ある大井手用水溝の豊かな自然（写真-8）を子どもたちに受け継いでいくために、積極的に「水土里ネットおおいで」や「大井手用水」をPRし、水路や自然を守って行く活動の輪を今後も広げていきたい。



写真-5 「大井手と遊ぼう」（魚取り大会）



写真-6 「大井手と遊ぼう」(川下り)



写真-8 春の大井手用水

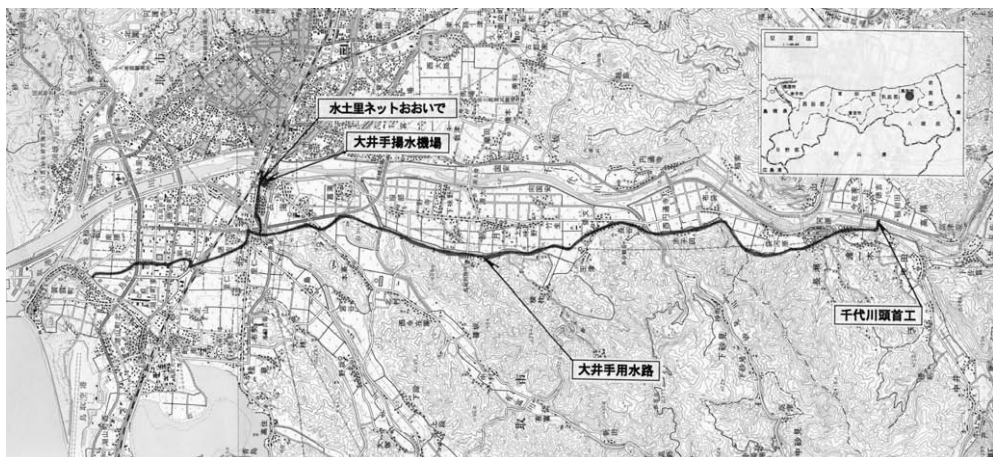


写真-7 周辺小学校での出前授業

5. 大井手地区の概要

本地区は、鳥取県鳥取市の東部に位置し、東は千代川、西は大井手用水路に挟まれた水田中心の穀倉地帯である。水土里ネットおおいでは、受益面積668ha、組合員数1,478名であり、主な施設として、幹線水路（大井手用水）約22km（鳥取市の河原町曳田から賀露町湖山川まで）、のほか、頭首工1箇所、揚水機場1箇所を管理している。

最近では、地域用水機能増進事業、地域用水環境整備事業に取り組み、これまでの地域住民と一体となった活動により、平成15年度には農業農村整備事業広報大賞（主催：全国農村振興技術連盟）を、平成16年度には21世紀土地改良区創造運動中国四国地方大賞（主催：21世紀創造運動大賞中国四国地方選考委員会）を、平成17年度には21世紀土地改良区創造運動大賞（主催：21世紀土地改良区創造運動大賞中央選考委員会）を受賞し、加えて疏水百選（主催：疏水百選選定委員会）にも認定された。



【技術情報紹介】

平成18年度農業土木技術研究会研修会レポート

－「農業水利施設のストックマネジメント確立へ向けた取組」－

編集事務局

平成18年度の農業土木技術研究会研修会が「農業水利施設のストックマネジメント確立へ向けた取組」をテーマに開催されました。その結果を以下に報告します。

I. 研修会の概要

1. 研修日時 平成19年1月24日（水）10：00～16：30
2. 場 所 科学技術館（サイエンスホール） 03-3212-8485
東京都千代田区北の丸公園2-1 （交通）地下鉄東西線「竹橋」徒歩7分
地下鉄半蔵門線「九段下」徒歩10分
3. プログラム

10:00	開会挨拶	農業土木技術研究会 会長	太田 信介
10:10	研究会賞授与式		
10:40	農業水利施設の今後のストックマネジメントのあり方	農村振興局 水利整備課 施設管理室長	米田 博次
11:10	首都高の構造物維持管理へのアセットマネジメント導入	首都高速道路株式会社 保全・交通部長	和泉公比古
11:50	（ 昼 食 ）		
13:00	農業水利施設のストックマネジメントにおける技術的課題の検討状況	関東農政局 利根川水系調査管理事務所 保全対策センター 技術調整官	森 丈久
13:40	農業用河川工作物（頭首工）の維持補修技術	石川県南加賀農林総合事務所 土地改良部環境課 土地改良専門員	大島 弘之
14:20	国営総合農地防災事業新濃尾地区の幹線用水路における施設更新工事について	東海農政局 整備部 防災課 国営防災係長	持山 昌智
15:00	（ 休 憩 ）		
15:10	農業水路の簡易な機能診断と補修技術及び劣化予測について	（独）農研機構 農村工学研究所 農村総合研究部 上席研究員	本間 新哉
15:50	鋼管路の調査・診断と更新・更正技術	日本水道鋼管協会 技術サービス委員長	今井 俊雄
16:30	閉会挨拶	農業土木技術研究会 理事	小林 祐一



写真-1 太田会長の開会挨拶

Ⅱ. 研究会賞授賞式

研修会に先立ち、昨年度に掲載された報文について優秀と認められる報文について、「企画・計画部門」、「設計・施工部門」において第36回農業土木技術研究会賞、奨励賞の表彰を行った。

今年度の研究会賞、奨励賞については、会誌「水と土」142号～145号に掲載された報文45編について、まず、全国より任意に選出された150名の一般会員による投票を行い、その結果について、22名の編集委員で構成する編集委員会で、1). 執筆者が会員かどうか、2). 報文内容が技術情報発信に優れているかどうか、3). 今後の事業展開に大きく貢献する内容かどうか、等について審査を行い、一般会員による投票に編集委員の投票を加算し、その得票総計に基づき、最も得票数の多かった報文を「研究会賞」、得票数が次点のものを「奨励賞」として選考した。

今回表彰の報文名の執筆者、選考理由は次の通り。

○研究会賞（企画・計画部門）

「小水力発電－七ヶ用水発電所の計画・設計と効果について－」（143号掲載）

池田 俊文 石川県 農林水産部 農業基盤整備課

[選考理由]

本報文は、農業用水路の遊休落差を持つ位置エネルギーを有効利用した農業用水従属型の小水力発電計画に取り組み、土地改良区の維持管理の低減を図った事例を紹介したものである。

小水力発電所の計画～設計～建設による効果が順序立てて説明され、具体的な数値等を解説しながら報告されている。今後、同様に小水力発電に取り組む地区において参考となる技術内容となっていることから、本年度の企画・計画部門の研究会賞として選定した。



写真-2 表彰式の模様

○研究会賞（設計・施工部門）

「農業用河川工作物の維持補修技術」（145号掲載）

大島 弘之 石川県 南加賀農林総合事務所

[選考理由]

本報文は、老朽化した固定堰に対して、既設構造物の有効利用を促進するため、機能診断から補強対策工の選定に至るまでの取組事例について現況写真等も交えて、紹介したものである。

詳細調査に基づいた診断を行い、コスト縮減、施設の持つ多面的機能の保持についても配慮し、従来の方式である全面改築を採用するのではなく、補修・補強で施設の長寿命化を図る改修設計を行った技術内容が報告されており、今後、同様な頭首工の改修設計、施工において参考となる内容となっていることから、本年度の設計・施工部門の研究会賞として選定した。

○奨励賞（企画・計画部門）

「ため池の地域住民参加型利活用及び維持管理について」（142号掲載）

北川 啓三 近畿農政局 整備部 防災課

[選考理由]

本報文は、ため池改修整備において取り組まれている住民参加型利活用及び維持管理の活動、ま

た環境配慮取組の実践事例として、具体的な状況報告、写真解説を交えて丁寧に紹介されたものである。

農村地域の混住化が進展する中、地域社会と一体となった事業、維持管理への取組が必要となっている現状下、同様な取組を必要とする地区に対して参考となる情報提供となっていることから、本年度の企画・計画部門の奨励賞として選定した。

○奨励賞（設計・施工部門）

「ため池の旧堤体土を活用した盛土工法（ベントナイト混合工法）について」（142号掲載）

白井 謙二 香川県 中讃土地改良事務所

[選考理由]

本報文は、建設残土の減量化の取組として、ため池改修に当たりベントナイトを用いて旧堤体土の掘削土を鋼土としてリサイクル利用し、コスト縮減を図るベントナイト混合盛土工法の施工・管理状況について、具体的な試験数値を交えて紹介したものである。

ベントナイトの混合材料の選定や、混合土の品質管理の方法の紹介、施工を通じて判明した本工法の課題等を提起する等、留意事項も記されており、今後、同様な状況下でのため池改修の設計、施工において参考となる内容となっていることから、本年度の設計・施工部門の奨励賞として選定した。

Ⅲ. 講演の概要

講演に先立ち、太田農業土木技術研究会会長より、研修会への参集に対する謝意表明と研究会の取り組みの説明後、今回の研修会テーマについて

「今回のテーマであります「農業水利施設のストックマネジメント構築に向けた取り組み」ですが、ご承知の通り、土地改良事業等により造成された基幹的な農業水利施設は、ダム、頭首工、用排水機場等が約7千カ所、農業用排水路が約4万5千kmに上っており、安定的な食料供給に欠かせない重要な社会資本ストックが形成され、末端施設まで含めれば約25兆円の資産価値との評価もされています。

これら基幹的な農業水利施設は、標準耐用年数を経過する施設が相当数に及び、更に増加する状況にある一方で、経済財政諮問会議においても、今後の公共事業は既存ストックの有効活用によるコスト縮減が要請されているところにあります。

このため、現状の機能を診断する技術及び将来の機能変化を予測する技術、採用すべき工法、補修・更新の時期等を総合的に選択する手法を今後確立していく必要があり、農業水利施設の長寿命化、更新適期における更新整備の適切な実施を図るためのストックマネジメントの構築が必要となってきています。

このような状況から、全国各地において、機能診断に取り組まれた事例や、補修・補強に当たった事例等が見られており、これらの整理・普及は意義あるものと思ひ、本日の研修会では、「農業水利施設のストックマネジメント構築に向けた取り組み」を研修テーマとさせていただいたところです。

本日は7名の講師の方々に、施策の展開方向、それぞれの現場における取組、ストックマネジメントに関する専門分野からの講演をお願いしております。特に、今回のテーマに関連して、首都の社会資本として先駆的・先進的な取り組みを行っている首都高速道路株式会社の和泉保全・交通部長をお招きし、道路構造物に対する取り組みについての御講演を頂く機会を設けさせていただいております。

農業水利施設のストックマネジメント確立に向けて、機能診断技術や劣化予測手法、ライフサイクルコスト算定手法等の開発が進められているところですが、今回紹介させていただく実例等からも、今後の各現場での取り組みに参考となれば主催者として幸いです。」との挨拶がなされ、講演が開始された。

◇個別の講演の発表要旨を以下にまとめます。(詳細は、研修会テキストを参照願います。)

1. 農業水利施設の今後のストックマネジメントのあり方

米田講師からは、ストックマネジメントの背景や現状、取組の基本的な考え方や技術的課題などの今後の展開方向に関して以下の講演がなされた。講演の要旨は以下のとおり。

農業水利施設のストックは増大し、その資産価値は再建設費で25兆円にのぼる。標準的な耐用年数を経過している基幹的な水利施設は、再建設費で約1.9兆円になる。一方、農業農村整備事業の予算が削減されている中において、先送りできない農業水利施設の更新・保全管理については重点的に実施しているところである。今後の見通しとして、更新・保全管理に要する費用は増加していくことが見込まれ、限られた予算の中で、効率的に農業水利ストックの機能を維持するための仕組みの整備が必要となっている。

このため、農業水利ストック機能を維持する上で、農業水利システムが持つ特色、例えば、様々な施設が一体となって機能を発揮している点、水利用・水理・構造等の機能の階層性がある点、また、施設によっては性能の低下を許容可能である点、等を踏まえ農業土木独自の技術として機能保全手法の体系化が必要である。

このような視点に立ち、今後の対応として、施設毎の機能診断による劣化度判定に基づき、継続使用可能、予防保全対策、更新整備といった対策を選択実施するストックマネジメントを導入し、施設の長寿命化やライフサイクルコストの低減を図っていくことになる。

ストックマネジメントは、農業水利施設の有する機能に着目し、その性能を最適な手法によって一定の範囲に維持するプロセスであり、複数の機能保全対策シナリオの比較検討により、ライフサイクルコストを低減するシナリオを選択していこうという考え方に立つものである。事業地区の適用にあたっては、現行の標準耐用年数を念頭にした地区全体を一括して更新整備する手法から、既存ストックの有効活用を図りつつ劣化の状況に応じた対策を実施することになる。

ストックマネジメントについては、これからの新たな技術であるため、現在、技術的課題も含め検討を進めている。今後の展開方向としては、現時点では不確定な要素が多いため、現場レベルでの実践を通じてデータや知見の蓄積を行い、フィードバックを繰り返しつつ、技術的な確立を図っていくこととしている。また、国、地方及び改良区がストックマネジメントの認識を共有し、効率的な保全管理体制の確立を図っていく。将来的には、施設劣化のリスクをコントロールしつつ、農業水利ストック全体の更新や維持管理に要する経費を平準化する等のアセットマネジメントとしての展開を目指すこととしている。

なお、性能低下の指標化、劣化予測等の技術的困難性の対応としては、当面、技術的な「手引き」を充実させ、指標・基準化を目指しているところである。また、平成19年度からは国や都道府県が造成した基幹的な農業水利施設を対象に、機能診断から予防保全対策、更新整備までを一貫して実施できる制度を本格的に導入する予定である。



写真-3 米田講師の講演状況

2. 首都高の構造物維持管理へのアセットマネジメント導入

今回の研修テーマに関連して、首都の社会資本として先駆的・先進的な取り組みを行っている首都高速道路株式会社の和泉保全・交通部長様をお招きした。和泉講師からは、構造物維持管理の最適化手法としてアセットマネジメントを首都高に導入した目的と具体的手法について以下の講演がなされた。講演の要旨は以下のとおり。

首都高の営業延長は287km、日利用台数114万台におよぶ重要なライフラインとなっている。首都高の特徴は、高架構造が全延長の8割を占め、交通安全対策施設など膨大な施設数量を有している。一方、施設の4割が30年以上を経過し老齢化が進んでおり、大型車交通量が圧倒的に多い。補修工事については通常夜間作業であるが、ここ数年休日集中工事方式も実施している。損傷に対する補修事例として、PC床版のひびわれには連続繊維シートの貼付、トンネル補修については断面修復+塗装等を実施している。

このような補修について、点検システムとデータベースの活用により計画的な補修を行っている。日常点検、定期点検を通して、その診断結果を緊急度に応じ4段階で判定し、判定結果、対応状況を首都高の管理データベースである「保全情報管理システム」に入力し、構造物のデータ・点検・補修データを一括管理している。(収録データ総件数160万件)

首都高での維持管理へのアセットマネジメント導入にあたり、社会資本（道路）を長い間有効に活用することを目的とし、適切かつ効率的に維持管理を行う管理手法と定義付けている。アセットマネジメントを行う最低限の基本条件は、①管理資産の「量」の把握、②刻々と変わる施設の「質」の把握、③機能判定、LCCを考慮した補修の優先順位付け等、個別資産のマネジメントシステムの確立、であり、これらを整備した上でアセットマネジメントを構築していくことが重要。アセットマネジメントの導入により、維持管理の最適化が可能（ムリ・ムダ・ムラをなくす）となり、サービス内容の明確化によりアカウタビリティの充実に繋がる。

首都高では、老齢化した施設対応、業務の効率化、質の高いサービス提供等に応じていくため平成15年からアセットマネジメントを実務で適用しており、アセットマネジメントのスケルトンとしては、データベースとマネジメントシステム（Plan→Do→Check→Action）の2つの柱で構築している。

点検データについては、従来はABCDの定性的評価だったが、定量的評価をする必要性からレーティング（施設の点検から得られた状態を数値により評価）という手法をとり入れ工夫している。補修計画を立てる個別マネジメントシステムの流れとしては、①管理目標設定、②点検結果の定量評価（レーティング）③施工単位の設定（ゾーニング）④ワーストリスト（悪い順に施工するためのランキング）の作成⑤エンジニアリングジャッジリストの作成⑥補修候補の抽出をし、統合マネジメントシステム（年度の補修計画）に繋げている。なお、②～④はコンピュータシステムにより自動化するが、手順フローは管理者が作成することによりブラックボックスにしないこと、算出結果と日常点検結果との整合が肝要。

今後、ライフサイクルコスト最小化に社会コストを加味した個別マネジメントシステムの構築、目標とする整備水準の達成度を客観的・定量的に示すことができる統合マネジメントシステムの構築を考えている。また、アセットマネジメントを活用して大規模更新のための事業総合評価への展開についても研究中である。あわせて、今後においても新技術の開発・積極採用により目標達成可能性のアップ、点検を重視し点検システムの一層の充実、個別マネジメントシステムの進化、統合マネジメントシステムの開発を進め、維持管理を的確、効率的に実施していくこととしている。



写真-4 和泉講師の講演状況

3. 農業水利施設のストックマネジメントにおける技術的課題の検討状況

農業水利施設のストックマネジメントに必要な劣化予測手法やライフサイクルコスト算定手法等の検討状況について、以下のとおり講演がなされた。講演要旨は以下のとおり。

全国の基幹的な農業水利施設について、既存施設の長寿命化を図り、将来にわたり有効活用していく「ストックマネジメント」の考え方が導入されようとしている。この「ストックマネジメント」実施の手順を示すものとして、①施設状態の把握・評価、②施設状態の将来予測、③適切な予防保全対策工法の選定、④ライフサイクルコストの算定・比較、⑤最適な対策工法、補修等の時期、最適な整備規模等を示す最適運用計画の策定からなる「基本フレーム」を設定している。現在、この「基本フレーム」をより具体的なものとするため、ア.

農業水利施設における施設状態の将来予測に必要な施設データを定量的かつ定期的に把握するための統一的な調査手法、イ. 適切な補修等対策の実施時期を設定するための施設状態の将来予測手法、ウ. 施設の変状の内容や原因に応じた対策工法、対策の実施時期、施工単価、対策工法の耐用年数等の体系化、エ. 農業水利施設のライフサイクルコスト算定に必要な各構成要素の内容・定義、コスト比較手法の検討を行っているところである。これらの検討結果については、最終的に「手引き」の形で取りまとめられ、平成19年度からは、この「手引き」に基づき、ストックマネジメントの本格的な実施が図られることになる。

一方、膨大な量に及ぶ基幹的な農業水利施設について、効率的かつ効果的にストックマネジメントを実施していくためには、施設の機能診断結果、補修等の履歴、維持管理費などの情報を蓄積・分析するためのデータベースシステムが必要となる。このため、ストックマネジメントに必要な各種情報の入力システム、及び蓄積された情報の集計・検索・分析システムからなる「農業水利ストック情報データベース」の開発を行っているところである。

4. 農業用河川工作物（頭首工）の維持補修技術

農業用河川工作物（頭首工）を補修・補強により長寿命化を図った事例として以下のとおり紹介がなされた。

鹿ヶ鼻頭首工は、石川県加賀市に流れる大聖寺川中流域に位置する堤長約40m、落差約2.0mの固定堰である。頭首工は、昭和34年に築造され、老朽化が著しく、護岸破堤の要因となるため、早期改修が望まれていた。しかし、可動堰に改修した場合、自然環境と調和のとれた景観の喪失や、遊泳魚や固定堰を遡上する底生魚などの生息環境を損なうことが懸念される。そこで、経済比較の結果も踏まえ、適切な機能診断に基づく補修・補強による施設の長寿命化対策が望ましいと判断した。



写真-5 森講師の講演の様子



写真-6 大島講師の講演の様子

機能診断については、①コンクリート材料の劣化（材料の評価）、②構造物の安定性（安定性評価）③施設の破損、基礎地盤の洗掘・空洞化（構造物の評価）に着目して実施した。その結果、摩耗や転石等による破損、エプロン部の洗掘、ジャンカ等が確認されたが、コンクリートは、20～31N/mm²の強度を有し、コア確認、中性化試験の結果からも、材料としての安定性が確認できた。また、物理探査等の結果からも空洞化や沈下等の基礎地盤の変状はなく、劣化箇所の適切な補修・補強で頭首工の機能は回復すると判断された。しかし、堰、護床工の重量不足や護岸の根入れ不足など、機能低下の要因も確認された。以上の機能診断に基づき、①劣化部除去と安定性確保のため、コンクリートを増厚、②浸透路長を確保するため遮水工を施工、③破堤の要因となる魚道は、全面改築、④機能を満足しない護岸の全面改修、補強工の実施、⑤重量不足が確認された護床工A（4t型）の設置、の対策工を実施した。

本施工事例については、適切な機能診断に基づく対策工を実施することで、既存施設の有効利用と性能の維持が期待できるだけでなく、廃棄物の大幅な削減と周辺環境と調和の取れた施設の保全が可能となった。

5. 国営総合農地防災事業新濃尾地区の幹線用水路における施設更新工事について

国営新濃尾地区における用水路の更新工事において施設の機能診断を踏まえた補修計画、新技術導入の活用を行った事例について以下のとおり紹介がなされた。

犬山頭首工左岸幹線水路は、構築後40余年経過し、水路表面の摩耗など機能低下が生じており、構築当時の機能に回復すべく平成16年度より新技術を活用しながら補修工事を実施している。この水路補修に関する既設水路の機能診断調査と設計の考え方及び施工後の追跡調査を中心に実施例として報告する。機能診断調査については、物理・力学試験でコア採取し圧縮強度や中性化深の確認やコンクリート診断士による目視や打音等の調査、

路線測量データを用いた変形沈下等の影響の検証、水路の構造計算・水理計算を実施している。機能診断調査の結果、コンクリート本体は、軽微なひび割れ等はあるが良好な状態にあり、取壊す必要がないと判明した。しかし、全域で表面の洗い出しや目地部のゴム製品等の劣化など今後の劣化の促進につながるものが認められた。そこで、設計の基本方針は、劣化した機能を回復させ、今後40年間の供用が可能なものとした。水理機能の回復のためポリマーセメントモルタルによる水路表面のライニング、水利機能の回復のため応力機能目地による目地補修、構造機能の回復のため軽量ポリマーセメントモルタルによるジャンカ・欠損等の断面修復やひび割れ注入工法によるひび割れ補修などを実施することとした。新たに作り直した場合と比べて、工事費は約55%の節約となりLCCの面でも経済的になった。一般的に更新工法に関する技術は、基準も定められていないこともあり、従来の仕様設計に馴染みにくいものである。また、農業用水路として使用した場合の耐久性等の機能が明確になっていないのが現状である。農業用水路で実績のない技術を導入した場合、その技術の信頼性を高めるため、現場の施工時点から竣工後も追跡調査を実施し、施工時の施工管理データや竣工後の劣化状況等のデータを蓄積して解析していくことが大切であり、各技術の評価を進めていく必要がある。本現場では、竣工後、応力機能目地については、ゴムの劣化状況や目地部の挙動を観測し、ポリマーセメントモルタルについては、ひび割れやスリ減等の劣化状況や付着強度を継続的に観察する計画である。更新工法の評価を進めることにより、性能予測の技術が確立され、性能設計の導入を容易にすることが可能であると考えられる。



写真-7 持山講師の講演の様子

6. 農業水路の簡易な機能診断と補修技術及び劣化予測について

住民参加型の簡易な農業用水路点検・簡易な補修技術・モニタリング手法の開発とその劣化予測式及びLCC評価モデルへの適用に向けた研究状況について以下のとおり報告がなされた。

農村工学研究所では、平成19年度から本格実施される「農地・水・環境保全向上対策」に資するため、平成18年度から3年計画で、運営費交付金によるプロジェクト研究「農村地域における生産・環境資源の保全向上技術の開発」を実施している。

この研究課題のうち、住民主体の保全活動において目視等により点検できる農業水路（RC）を対象とした、「LCC低減のための住民参加型の施設の点検・モニタリング手法の開発」と「農業水路（RC）の劣化予測式及びLCC評価モデルの開発」の2つの研究課題に関する説明を行った。その概要は以下の通りである。

「LCCと劣化予測式の策定について」では、LCCの研究が先行している道路橋梁等の分野を対象としたインフラ資産のマネジメントシステムのレビューに基づき、「既存の農業水利施設を対象としたマネジメントシステム」の概念図を紹介。「コンクリート中性化における劣化予測基本式の考え方」では、農業水路（RC）を例として、具体的な劣化予測式の作成方法と点検データによる補正方法を解説。また留意点として、十分なコンクリートかぶり厚が確保されていないと、中性化の進行が早く、鉄筋コンクリートの耐久性に大きく影響することを紹介。「平成18年度農業用水路現地調査の結果」では、開水路の壁面に多く見られる特徴的なひび割れの発生例と主な原因として乾燥収縮が考えられることを紹介。流水の磨耗による壁面の凹凸から壁面の粗さを算定する手法とその適用により、かんがい期水路水面下位付近で粗さが大きいことが表現でき、また、現地での中性化調査結果を基に、中性化の進行は、かんがい期水面上位と水面下位で異なり、水面下位（湿潤状態）の方が中性化の進行が遅い傾向を示すことや、ひび割れ上では、中性化が早く進行していることが紹介された。

7. 鋼管路の調査・診断と更新・更生技術

既設鋼管路の適切な維持管理のために必要な調査・診断・評価方法の基本的な考え方について報告がなされた。

農業用排水における鋼管路の適切な維持管理手法について概説するとともに、特にこの中で重要な、既設鋼管路の属性情報を基にした簡易診断手法について、その基本的な考え方を紹介した。なお、この手法は「鋼管路の診断及び更新・更生計画策定マニュアル」（財団法人水道技術研究センター）の内容を基にしたものである。

鋼管路の適切な維持管理、すなわち最小のコストで、施設健全度を要求される水準に維持するためには、診断により管路機能の低下状況を把握し、

その範囲や評価すべき項目、優先度を考慮した上で詳細調査、総合評価、更新・更生計画を行うべきであ



写真-8 本間講師の講演要旨



写真-9 今井講師の講演の様子

る。したがって、対象となる鋼管属性情報（管仕様に関する情報、布設環境に関する情報、事故履歴に関する情報）から、対象管路の健全度をある程度の精度で評価し、その後の詳細調査や更新・更生措置の必要性判断を行うべき施設の範囲や優先度を定めるための「指標」が必要となる。そこで、鋼管路の機能劣化要因として考え得る種々の要因を整理し、各劣化要因によって管路の更新・更生等の対策が必要となる度合いの高さを目的関数とし、管路の仕様等（経過年数、漏水回数、内面塗装仕様等）を説明変数とした多変量解析によって各説明変数の重み付け（点数配分）ならびに診断表としての整理を行った。また、累積確率値より、各項目の合計評価点数に応じた施設劣化度の判定表を作成した。ちなみにこれらは水道事業体に対するアンケート結果を基にしたものである。これらの指標を用いることで、既設鋼管路の劣化度（局所的な腐食老朽化度、全面的な腐食老朽化度、耐震性能など）に関する一次評価を簡易的に行うことが可能であり、本手法はその後の管体詳細調査や更新・更生の必要性判断など一連の維持管理業務を効率的に進めるための一助となるものと考えられる。

IV. まとめ

各課題の講演後、農業土木技術研究会の小林理事より、参加者及び講師に対する謝意が表されるとともに、「本日の研修会は、農業土木技術者の不断の努力の積み重ねによって造成されてきた農業水利施設の蓄積に対し、これを適切に保全・管理していくための手法や取り組み事例の整理・普及が必要と考え、「農業水利施設のストックマネジメント確立へ向けた取り組み」をテーマに開催させていただきました。本日、農業土木以外の分野からの先進的な取り組み事例もありましたが、日本の農業・農村の基盤として活躍されている全国各地の農業土木技術者にとって、大いに参考にすべきところでもあり、一方で我々のフィールドでの特徴を十二分に踏まえながらより発展させていくことが重要であると感じております。

現在、農業農村整備部会技術小委員会においては、農業水利施設の機能を適切に診断し、計画的な施設の更新・保全管理を実施できるよう「更新・管理の手引き」の策定にむけた検討を行っているところであり、今後、既存ストックの有効活用の観点から効率的な更新整備や保全管理を充実させていくこととしております。

さて、当研究会は、自主的な組織として昭和45年に発足して以来、30年以上の歴史を持ち、前身の「コンクリートダム研究会」から数えると約半世紀になります。

この間、常に現場において工夫された農業土木技術を題材として、蓄積された技術を土台として、分野を拡げながら時代に即応した技術力の向上のための活動に努めてきており、今後とも、一層の技術力の維持、向上の一助となるよう、会誌「水と土」による情報の発信と、今日のような研修会による交流に努めて参りたいと考えております。

併せて、職場に帰りましたら職場の皆様にご当研究会の趣旨、活動をお伝えいただき、一人でも多くの会員の皆様に支えられた農業土木技術研究会の活動が継続してできるよう、特に若い技術者の努力の結晶とも言える“現場情報”の積極的な提供と活動への支援をお願いして、閉会の挨拶とさせていただきます。」との閉会の挨拶がなされた。

◇おわりに

今回の研修テーマは、今後、現場で取り組まれていく更新整備について、「農業水利施設のストックマネジメント確立へ向けた取組」をテーマに、施策方向、現場適用に向けた取組状況、現地の施工事例について各講師からパワーポイントを活用したわかりやすい説明がなされた他、他分野での実践事例の講演もあり、参加者は興味深く聞き入るとともに、質問も活発になされ、有意義な研修となった。

編集事務局と致しましては、今回の研修におけるこのような成果や会員の皆様の期待に応えるべく、農業農村整備を進める上で重要となる「現場技術の視点」から、会誌「水と土」及び技術研修会の一層の充実に努めて参ります。技術情報発信である報文等の投稿等、今後ともよろしくお願ひします。

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18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、コスト削減、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

3. 「水と土」表紙写真の募集

農業土木技術研究会では、会誌「水と土」の表紙を飾る写真を募集しています。

あなたが撮った「美しい農村や農業生産の風景」、「地域にとけこんだ農地、農業施設」、「水・土のふれあい」などを表紙に使わせていただきたいと思います。以下を参考に多数の写真を応募願います。

- ① 写真の種類：カラープリントでサービス版より大きいサイズで提出して下さい。
- ② 枚数：応募点数には制限がありませんが、未発表のものに限ります。
- ③ 応募先：研修会テキスト申し込み先と同じ
- ④ その他
 - (1) 応募写真の裏面にタイトル、コメント、住所、氏名、年齢、職業、性別、写真テーマ、撮影場所、撮影年月日を記入して下さい。
 - (2) 原則として応募写真は返却しません。
 - (3) 採用された写真の著作権は、農業土木研究会に属します。
 - (4) 採否は、編集委員会で決定します。
 - (5) 採用された場合は薄謝を進呈いたします。

農業土木技術研究会 会員の募集

1. 創立30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11年度には設立30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4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, 勤務先, 職名
- ④ 連絡先 (TEL)
- ⑤ 別刷希望数
- ⑥ 内容紹介 (200字以内)

3. 1回の原稿の長さは原則として図, 写真, 表を含め14,500字程度 (ワープロで作成の場合, A4版10枚程度) までとする。

4. 原稿はなるべくワープロで作成し, 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, を入れる) を使用のこと。

5. ワープロで作成した原稿については, プリントアウトした原稿 (図表入り完成形) とともに電子データについてはMOディスク等にて提出すること。

6. 手書きの原稿については, 当会規定の原稿用紙を用い作成すること (原稿用紙は, 請求次第送付)。

7. 写真, 図表はヨコ7cm×タテ5cm大を242字分として計算し, それぞれ本文中の挿入個所を明確に指定しておくこと。写真・図・表は別途, 鮮明な原稿, または電子データにて提出すること。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。

8. 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。

9. 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 (ダブリュー) と ω (オメガ) x (エックス) と χ (カイ)

l (イチ) と 1 (エル) g (ジー) と q (キュー)

E (イー) と ε (イプシロン) v (バイ) と ν (ウプロシン)

など

10. 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。

11. 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。

12. 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。

13. 投稿の採否, 掲載順は編集委員会に一任すること。

14. 掲載の分は稿料を呈す。

15. 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（148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

1947年（昭和22年）生まれを中心とした団塊の世代の退職者が大量に出ることで、発生が予想される問題として2007年問題がある。企業活動の根幹部分の支えてきた、専門的知識や技能を有する人材が一斉に会社を去ることにより、マニュアル化しづらい現場固有の技術の継承が困難になる恐れのみならず、それによって企業活動自体が停滞する恐れがあることを指す。

根本にあるのはスキルを持つベテランが引退の時期を迎える一方、若手が育っていないといった状況にある。我々の身近なところでも人ごとではなく、土地改良事業や管理業務においても2007年問題は避けて通れない問題である。日常の管理業務一つをとってみても先輩にくっついて仕事をして初めて身に付くものが多々ある。

我が職場でも、ここ何年か前から、若手の教育に力を入れており、OJTだ、研修だ、資格を取得せよ、技術の継承だと先輩職員がつばを飛ばしながら叫んでいる。

ついこの間には2000年問題が、世間で大騒ぎされ、その時は一体どうなることかと心配したものだった。しかし、ふたを開けてみると、ほとんど致命的な問題にはならなかったと記憶している。

2007年問題も2000年問題と同じく、杞憂になることを希望したい。これもベテランから若手への技術のバトンタッチがうまくいくかにかかっている。ひとりひとりが、技術の取得に励むことが、この問題を解決する唯一の方法である。

（水資源機構 村上）

水と土 第148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

環境工学は、自然素材を有効活用することにより、
「水」と「土」を中心とした
美しい田園空間や自然を守り、

豊かな農村環境を 創造します。



ストーンネット
排水路での使用例



ストーンネット
親水水路での使用例

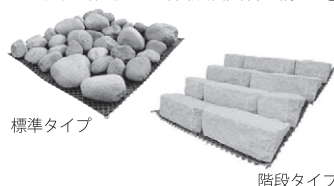


ストーンネット
ため池での使用例

ストーンネット

ARIC (162)

自然石と金網を一体化し敷設する、水辺の生態系に配慮した「自然石固着金網工法」。



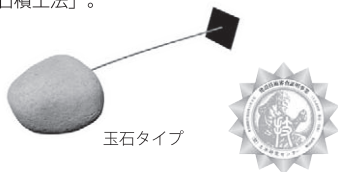
標準タイプ

階段タイプ

ラップストーン

ARIC (163)

アンカー部材付きの自然石を積上げる、コンクリートを使わない「アンカー式空石積工法」。



玉石タイプ



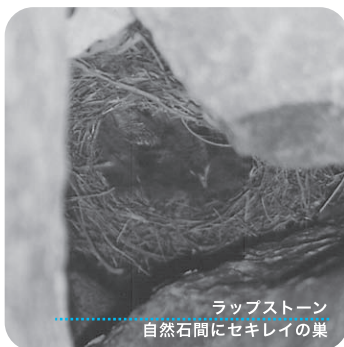
ラップストーン・ストーンネット
親水水路・排水路での使用例



ストーンネット
天然記念物イトヨの保護水路



ラップストーン
排水路での使用例



ラップストーン
自然石間にセキレイの巣



ラップストーン
ホタル水路での使用例

用途：排水路護岸、ため池護岸、ホタル水路、メダカ水路、その他生態系保全（ビオトープ）水路、
親水水路、せせらぎ水路、その他



環境工学株式会社

<http://www.kankyo-kogaku.co.jp/> / メルマガ会員募集中

本社：〒190-0012 東京都立川市曙町2-10-1 ふどうやビル6F
TEL. 042-525-7151 FAX. 042-525-7033

営業所：盛岡 仙台 高崎 東京 名古屋 岐阜 大阪 徳島 広島 福岡