

# 水と土

No. 181

2017  
JULY

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



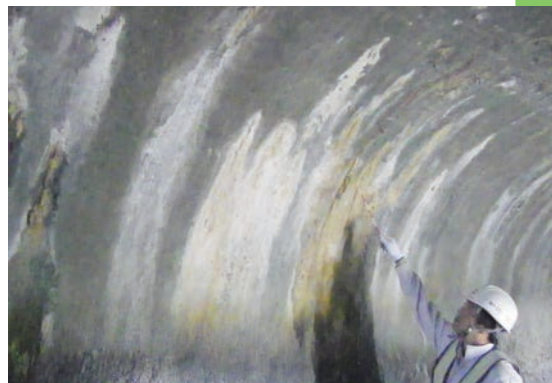
① ワイン用ぶどう園



② 御坂サイホン水路橋



③ セケ用水給水口



④ 機能診断 (漏水・遊離石灰状況)



⑤ ドローン撮影 (土地利用状況)



⑥ ドローン撮影 (立ち入り困難施設)



◆報文内容紹介	2
◆会員向けに「水と土」のWeb検索サービスについて	4

### □巻頭文

中国四国農政局が独自に新設した専門技術研修について	八木正広	7
---------------------------	------	---

### □報文

キーワード		
モニタリング,植物調査	希少植物に配慮した排水路整備の取組について -カワユエンレイソウの移植事例-	清水秀成・林 寿範・木内正彦 9
原因究明,耐震性照査	藤沼ダムの復旧について	渡邊浩樹 15
ドローン	ドローンよ、どこへ行く！ -Plan, Do, See各段階の試験飛行-	中里良一・古川和弘・岡本憲明・三原康哲 23
老朽化施設補修,歴史的建造物	老朽化した用水路トンネルの補修工法の検討	山田 治・宮田恵介 27
維持管理対策,新工法導入	犬山頭首工エプロン部における摩耗対策工法の試験施工	清水啓生・横山清文・志野尚司 31
耐震調査,堤体	たんかいいけ 淡海池レベル2地震動堤体耐震性能照査における崩壊解析手法の選定 (ニューマークD法・FLIP法)	中川信次 36
耐震調査,地盤定数	ベーンコーンせん断試験によるため池堤体部の地盤評価例	脇屋和久・石本裕己 40
熊本地震,災害復旧	熊本地震による有明海及び八代海沿岸農地海岸復旧計画(直轄代行事業)について	木村 敬・松浦 裕・友田康博 45
管水路漏水,備蓄資機材	香川用水高瀬支線で発生した漏水への対応について -水資源機構における復旧資機材備蓄の取り組み-	寺澤明人 52
機能更新,耐震性能	海外における既設ダムの機能更新の事例	愛宕徳行 56

### □歴史的土壌改良施設

他藩からの引水の歴史と新しい技術の導入から現在へ「淡河川・山田川疏水」	福田信幸	62
-------------------------------------	------	----

### □技術情報紹介

斜面崩壊により被災した農業用ため池への土砂流入に関する検討 -UAV調査と土砂流入解析の試み-	正田大輔・吉迫 宏・紺野道昭・井上敬資・楠本 博・原田耕平・橋本知宗	68
新たな技術開発計画について	佐々木明德・寺田周平・新井尉介	72

◆会告	79
◆投稿規定	80
◆入会案内	81

#### ●表紙写真●

- ①②は、兵庫県の東播用水地区にある神戸ワイン用のぶどう園と淡河川疏水成功のポイントの1つとなった御坂サイホン(明治24年完成)
- ③④は、石川県の手取川流域地区にあるセウ用水の給水口とトンネル内の被覆材料(セメントモルタル)の剥離など老朽化状況
- ⑤⑥は、ドローンで撮影された土地利用状況と立ち入りが困難な施設

# 水と土 第181号 報文内容紹介

## 希少植物に配慮した排水路整備の取組について —カワユエンレイソウの移植事例—

清水秀成・林 寿範・木内正彦

国営総合農地防災事業「美留和地区」は、排水路周辺の動植物の生息・生育環境との調和に配慮しながら、事業を進めている。本地区には、生活史過程が明らかになっていない地域固有種のカワユエンレイソウが生息していることが確認されている。

本報告は、排水路整備にあたり実施した希少植物のカワユエンレイソウの移植試験について報告するものである。

(水と土 第181号 2017 P.9 企・計)

## 藤沼ダムの復旧について

渡邊浩樹

藤沼ダムは、福島県中通り地方の須賀川市に位置し、2011年3月に発生した東日本大震災で被災したダムである。

地震により堤体が決壊、貯水された水が流出し、下流域で家屋流失や8名の人命が失われるなど甚大な被害をもたらした。本報は、安全で安心できるダムの再建の取り組みと併せて、被災後の決壊原因究明から、その原因を踏まえた設計、耐震性照査から施工までについて紹介する。

(水と土 第181号 2017 P.15 設・施)

## ドローンよ、どこへ行く！ —Plan, Do, See各段階の試験飛行—

中里良一・古川和弘・岡本憲明・三原康哲

当事務所では「ドローン推進G」を設置し、農業農村整備の調査・計画(Plan)、工事(Do)、維持管理(See)の各段階におけるドローンの活用方策を検討するため、試験飛行を繰り返し行っている。

本報告では、試験飛行で先行しているSeeの段階で実施する農業水利施設の機能診断について、ドローンを活用した機能診断調査への導入検討、今後の活用検討の方向性を述べ、合わせて農業農村整備におけるドローンの活用方策の概要を述べる。

(水と土 第181号 2017 P.23 企・計)

## 老朽化した用水路トンネルの補修工法の検討

山田 治・宮田恵介

検討対象とした幹線用水路のトンネル区間は明治36年に供用開始し、既に100年以上が経過しており、現在は世界かんがい遺産及び土木遺産として認定されている歴史的建造物である。この区間はレンガ造りの隧道で過去の改修工事で、樹脂系表面被覆がされている。補修にあたり下地処理による既設躯体の劣化部が確実に除去されていることを確認するため付着力試験を行ったが、付着力の確保が難しいとの結果を得た。そこで、試験結果を踏まえた現況の表面被覆の撤去方法、新たな表面被覆工法の選定及び施工後の安定性の確認試験を行ったので、その内容について報告する。

(水と土 第181号 2017 P.27 設・施)

## 犬山頭首工エプロン部における 摩耗対策工法の試験施工

清水啓生・横山清文・志野尚司

本稿は、ストックマネジメント技術高度化事業により実施した犬山頭首工エプロン部における摩耗対策試験工事結果について報告するものである。工事実施後4年が経過したため、試験工事における対策工法の選定、モニタリング調査結果等についてとりまとめた。

本試験工事では、4工法による比較施工を実施しており、各工法のモニタリング調査結果を現地適合性と耐久性に着目し、とりまとめたものである。

(水と土 第181号 2017 P.31 設・施)

## 淡海池<sup>たんかいいけ</sup>レベル2地震動堤体耐震性能照査における 崩壊解析手法の選定 (ニューマークD法・FLIP法)

中川信次

滋賀県高島市にある淡海池<sup>たんかいいけ</sup>は大正14年に竣工した受益地98.7haを灌漑している水源施設であり、営農上欠くことのできない存在である。一方、築堤後の維持管理にもかかわらず、取水施設や堤体の老朽化が進んでいる。特に堤体については基準の安全率 $F_s=1.2$ を満たしておらず、早急な対応が必要となっている。

このため、淡海池は農村地域防災減災事業により平成26年度から改修事業を進めており、平成28年度はその計画堤体断面について耐震性能照査を行っている。今回はその経過を報告する。

(水と土 第181号 2017 P.36 設・施)

## ベンコンせん断試験による ため池堤体部の地盤評価例

脇屋和久・石本裕己

ため池堤体の耐震性能を調査・解析を実施する上で使用する地盤定数は、原則三軸圧縮試験に基づいた。

試験が出来ない場合は、N値より地盤定数を換算した。

N値による地盤定数は、C及び $\phi$ のいずれかを0としたため、所定の安全率を満足しない結果となる場合があった。

本論では、三軸圧縮試験とベンコンせん断試験の地盤定数を比較し、ベンコンせん断試験の結果の信頼性を検証したAため池(仮称)の事例を紹介する。

(水と土 第181号 2017 P.40 設・施)

## 熊本地震による有明海及び八代海沿岸農地海岸 復旧計画(直轄代行事業)について

木村 敬・松浦 裕・友田康博

平成28年4月14日夜(前震)と16日の夜半(本震)に熊本県・大分県を最大震度7の地震が発生しました。この地震により被害を受けた、熊本県下の有明海及び八代海に面した12農地海岸のうち7農地海岸については、直轄代行により九州農政局が災害復旧を行うこととなりました。

本稿では、その直轄代行事業の復旧計画について述べるものです。

(水と土 第181号 2017 P.45 設・施)



## 香川用水高瀬支線で発生した漏水への対応について —水資源機構における復旧資機材備蓄の取り組み—

寺澤明人

香川用水高瀬支線で発生した管水路からの漏水への応急復旧対策の実施にあたり、復旧資材の調達を漏水発生時から製作を始めるのではなく、事前に備蓄している資材を活用し、調達時間を短縮している。結果として、応急復旧完了までの時間を大幅に短縮したことから、復旧資材を備蓄しておく効果について本事例により報告するものである。

(水と土 第181号 2017 P.52 設・施)

## 海外における既設ダムの機能更新の事例

愛宕徳行

国内において整備されてきたダムは、供用期間の長期化が進行している。また、農林水産省では土地改良長期計画に基づき大規模地震に備えた耐震性能照査が進められており、ダムの耐震補強を含めた機能更新技術の知見に対する必要性が増している。ダムの機能更新技術は国際的にも関心が高く、世界のダム技術者・研究者が技術的な課題について情報交換や討議を行う国際大ダム会議（International Commission on Large Dams：ICOLD）第84回年次例会では、シンポジウムのテーマの一つとして「長寿命化のための補修技術の進歩」が取りあげられ注目を集めている。本稿では、同シンポジウムにおいて報告された論文のうち、3カ国の機能更新技術に関する事例を紹介する。

(水と土 第181号 2017 P.56 企・計)

### 〈歴史的土壌改良施設〉

## 他藩からの引水の歴史と新しい技術の導入から 現在へ「淡河川・山田川疏水」

福田信幸

明治・大正期に実施された淡山疏水の背景（他藩から引水）、開国の影響を受けた和綿価格の暴落と地租改正による重税に喘いだ農民の苦悩とそれを救った人々、淡山疏水構想の起源から着工への歴史を紹介する。

淡山疏水によって新たに生まれた農村景観と疏水を守ってきた人々が、時代の変化に応じて求めた新しい疏水事業と組織存続へのこだわりから生じた管理体制の変遷、淡山疏水と東播用水を一体的に継承するための国営東播用水二期農業水利事業の着工と効果を紹介する。

(水と土 第181号 2017 P.62)

### 〈技術情報紹介〉

## 斜面崩壊により被災した農業用ため池への 土砂流入に関する検討

—UAV調査と土砂流入解析の試み—

正田大輔・吉迫 宏・紺野道昭・井上敬資・  
楠本 博・原田耕平・橋本知宗

平成26年8月豪雨では、斜面崩壊等により下流の農業用ため池が被災した。一方で、被災したため池のほとんどが貯水池内に土砂を受け止めて、ため池下流に対する減災効果を発揮した。

本報告では、京都府福知山市で平成26年8月豪雨時の斜面崩壊により被災したため池を対象に、UAVを用いた堆積土砂量推定等の調査と、個別要素法を用いたため池への土砂流入と貯水の挙動についての再現解析の試みを紹介する。

(水と土 第181号 2017 P.68)

### 〈技術情報紹介〉

## 新たな技術開発計画について

佐々木明德・寺田周平・新井尉介

新たな技術開発計画については、平成28年8月24日に閣議決定された新たな土地改良長期計画に位置付けられた6つの政策目標を達成するため、政策課題の解決に直結し、事業のストック効果の最大化に資する技術の開発・普及を推進するため、計画期間を平成29年度から平成33年度までの5年間を計画期間として策定した。

(水と土 第181号 2017 P.72)

# 会員向けに「水と土」のWeb検索サービスについて

## 1. Web 検索サービスの開始

農業土木技術研究会の会員サービスの一環として、平成20年6月よりWeb上で「水と土」の検索サービスを行っております。平成29年7月現在、第1号（昭和45年）から第174号までの各号を検索・閲覧することができます。

## 2. アクセス

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

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

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

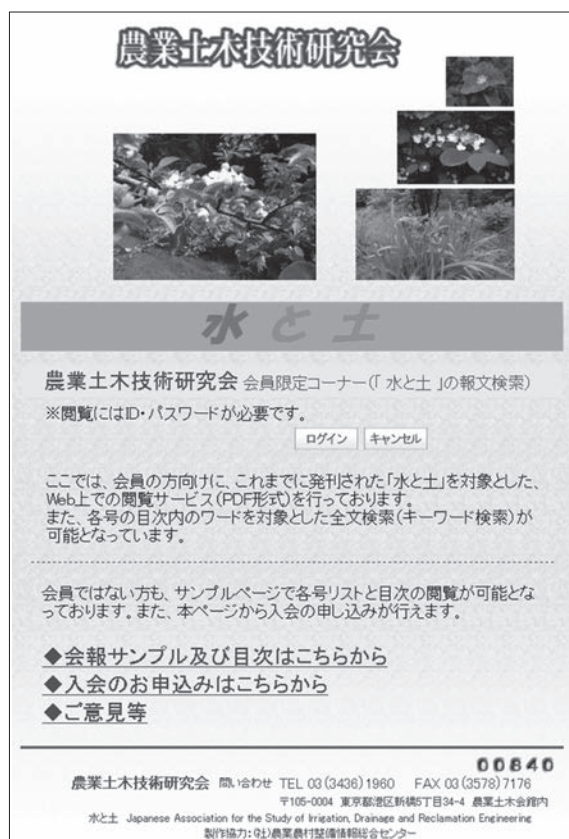


図-1



図-2

水と土

---

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



年	図書名	項数	PDF(Mb)	目次内検索
平成18年	<a href="#">水と土 第144号</a>	120	14.9	<a href="#">目次</a>
平成17年	<a href="#">水と土 第143号</a>	84	12.9	<a href="#">目次</a>

---

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

[▲ ページTOP ▲](#)

---

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

図-3

### 3. 検索

#### (1)一覧からの選択

一覧の「図書名」をクリックすると当該号が全てPDFファイルで表示されます。

また、「目次」をクリックすると、当該号の目次が表示されます。

#### (2)全文検索

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

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

検索方法は以下のとおりです。

## 農業土木技術研究会 会員限定コーナー

### 「水と土」目次内全文検索システム

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

インデックスの最終更新日: 2007-11-22

---

検索式:   [\[検索方法\]](#)

表示件数:  ▼ 表示形式:  ▼ ソート:  ▼

図-4

①単一単語検索

調べたい単語を一つ指定するだけのもっとも基本的な検索手法です。

例：ダム

②AND検索

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

例：ダム and 工法

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

③OR検索

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

例：ダム or 工法

④NOT検索

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

例：ダム not 工法

4. 会員申し込み

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

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

**水と土**

農業土木技術研究会 入会申込み

**年会費・発行等**

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

**申込み**

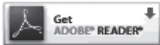
農業土木技術研究会への入会申込みは、以下のいずれかの方法でお申込みください

○入会申込みフォームにて

○FAX・郵便にて (PDF)

○各職場に研究会連絡員等がおられる場合は、連絡員を通してお申込みください

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



**連絡先・申込み先**

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

図-5



## 中国四国農政局が独自に新設した専門技術研修について

八木正広\*  
(Masahiro YAGI)

土地改良技術事務所の主たる任務は、NN関係者の技術力向上を図ることと国営事業（務）所等NN関係者への技術支援を行うことですが、この技術力向上については私が入省時から言われ続けてきた古くて新しい問題です。さて、私たち行政職に求められる技術力とは一体どんな技術力でしょう。それは、現場で自分が関わる工事を対象に、設計内容とその根拠（設計基準等）を確認し、受注者・地元・県・市町の意見を聞いて、国の事業制度で対応出来る範囲・方法の整理を踏まえて設計内容の修正なり現場対応をする、その各々の場面での適切な考え方なり適切な対処の仕方が求められる技術力だと考えます。さらに公共事業執行者の立場としては、適切な品質を確保できる技術力、および受注者と対等に議論できる技術力が求められ、その客観的な証である資格取得が必要となっています。以上を満足するためには幅広い知識と十分な現場経験が必要で、当然ながらその知見を修得するための十分な時間が必要となります。

一方、行政職を取り巻く環境としては、行政事務について細部までの妥当性を求められる傾向は一貫して強まっており、それに伴い個人の裁量で判断できる余地は減り、客観的な妥当性を提示するための作業量が増大しました。そんな中で人員削減は継続され、その結果職員一人当たりの所掌事務の範囲・量は拡大し、一方で業務合理化と残業縮減が強く求められる状況にあります。業務合理化については、業務の廃止も含めた不断の取り組みを求められています。それなりの必要性があって実施してきているので、簡単に廃止したり効率化できるような業務はほとんどないのが実態です。ということで、一口に「技術力向上」と言っても、私の入省時と現在では、現在の方が遙かに困難度が高くなっています。

技術力向上が最も求められている若手職員の技術力向上を図るためには、それなりの時間を技術力向上のために充てることが不可欠ですが、範囲・量が拡大した目の前の業務処理に追われていたらまず技術力向上は不可能でしょう。ですから、まず若手職員の目の前の業務量を物理的に減らす必要があります。その手段としては、現場技術業務や事業促進業務の積極的活用もありますが、基本的には若手職員の業務をベテラン職員が肩代わりして減らしていくしかないと思います。今まで判断さえしていればよかった管理職等のベテラン職員が係長の実務を担っていく必要があるということです。また、現在の人員不足の状況下では、再任用職員は貴重な戦力であり、文字通り「係長」としての業務を遂行してもらわなければなりません。定年退職後の超ベテラン職員でさえ係長としての実務をする訳ですから、「超」が付かない現役のベテラン職員が実務をしない理由はないでしょう。

このような必要性を勘案し中国四国農政局では独自に以下の専門技術研修を立ち上げました。

### (1) 「標準積算システム・CADの基本操作」講習会（H29年度～）

国営事業（務）所においては、人員削減の中での業務量増に対処するため、今後再任用職員を配置していく必要があります。再任用職員は標準積算システムから遠ざかっていた者や図面作成ソフトのCADシステムを扱えない者が多く、係長としての実務に対応できない状況にあります。

このため、中国四国農政局では主に再任用を目前にした職員を対象に、標準積算システムによる積算及びCADシステムによる図面修正等の作業が自分でできるレベルを目指す標記講習会を平成29年度から新たに実施すること

---

\*中国四国農政局土地改良技術事務所長

としました。カリキュラムは、標準積算システムの基本操作及びCADシステムの基本操作の2本立てで、標準積算システムについては操作に熟練している現役職員（係長）を内部講師とし、CADの基本操作については外部講師を招いて実施する予定です。平成29年4月現在、想定研修人員10名に対し、13名の受講希望があります。

このほか、技術者の人材育成・確保のため、ここ2年間で立ち上げた専門技術研修は次のとおりです。

#### (2) 「災害復旧技術」講習会（H27年度～）

この講習会は、災害発生時に災害査定の応援調査官として災害査定現場に派遣できる人材育成・確保を目指す講習会です。カリキュラムは、災害査定制度や査定の進め方等の座学と机上・実地形式の模擬査定を行う3日間の技術研修です。この講習会の修了または全国災害査定応援調査官会議に出席した後に、災害査定に同行して査定官の一連の作業を実地で学べば、応援調査官として災害査定現場に派遣可能となります。

#### (3) 「入札契約、設計・積算・施工の基礎」講習会（H28年度～）

技術者が知っておくべき設計・積算・施工に係る基準書・技術書類は非常に多岐にわたり、その内容はもとよりどれだけの関係図書が存在するかすら把握しにくい状況にあるため、採用1年～3年目の若手技術系係員を対象に、その図書類の一覧と概要をはじめとした現場事業（務）所で業務を円滑に遂行するために必要な基本的知識を付与する研修です。併せて、当該研修を通じて受講係員同士、また、講師となる農政局及び土地改良技術事務所の職員との人的つながりを構築し、気軽に技術的な相談ができるようにすることも目指しています。

先述したとおり、係長の実務を肩代わりするため、今後は現役のベテラン職員に対しても、上記（1）の研修が必要になってくるかもしれません。

# 希少植物に配慮した排水路整備の取組について

－カワユエンレイソウの移植事例－

清水 秀 成\* 林 寿 範\*\* 木 内 正 彦\*\*\*  
 (Hideaki SHIMIZU) (Toshinori HAYASHI) (Masahiko KIUCHI)

## 目 次

1. はじめに	9	5. 平成 27 年度調査結果について	12
2. 地区周辺の自然環境	9	6. 平成 28 年度の実施状況	13
3. 移植試験内容	10	7. おわりに	14
4. 移植試験の実施状況	12		

## 1. はじめに

国営総合農地防災事業「美留和地区」は、北海道釧路総合振興局管内の北部に位置する弟子屈町にある受益面積 753ha の牧草を主体とした酪農地帯である（図－1）。本地区の農地は、泥炭土に起因する地盤沈下の進行により排水路等の機能低下が生じ、湛水・過湿被害等が農業経営に大きな支障をきたしている。このため、排水路並びに暗渠排水等の整備を行い、それらの機能を回復することにより、農業生産の維持及び農業経営の安定化、併せて国土の保全に資することを目的として、平成 25 年度より事業に着手している（表－1）。

事業では、平成 25～26 年度において整備前の自然環境把握及び環境配慮対策の検証を目的とした環境調査を実施し、地区内において地域固有種のカワユエンレイソウが生育していることを確認している。当該種

表－1 美留和地区の概要

事業名	: 国営総合農地防災事業
受益面積	: 753ha
関係市町村	: 弟子屈町
主要工事	: 排水路整備 8 条 農地保全工(暗渠排水, 整地工)

は地域に広く分布しているものの、一部の排水路整備において個体消失が想定されることから、移植試験を実施し、当該種の保全回復を図ることとした。

本発表では、平成 26 年度から実施しているカワユエンレイソウの移植試験について報告を行うものである。

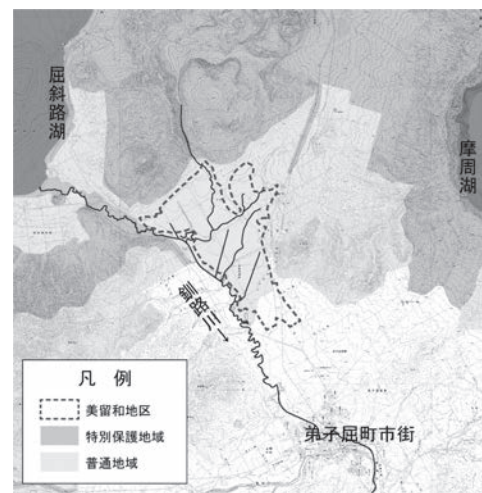
## 2. 地区周辺の自然環境

### (1) 自然環境概要

本地区は、屈斜路湖・摩周湖の外輪山に囲まれ、大部分が阿寒国立公園の普通地域に位置している（図－2）。地区内の大部分は採草地として利用されている平坦な地形であり、樹林地は地区外縁や河川、排水路沿いに見られる程度である。



図－1 美留和地区位置図



図－2 美留和地区周辺の環境概要

\*北海道開発局釧路開発建設部釧路農業事務所  
(Tel. 0154-24-7445)

\*\*北海道開発局札幌開発建設部  
夕張川ダム総合管理事務所 (Tel. 0123-85-2311)

\*\*\*北海道開発局帯広開発建設部帯広農業事務所  
(Tel. 0155-24-3196)



(2) カワユエンレイソウについて

a) 一般的生態



地域固有種のカワユエンレイソウ (*Trillium channellii*) は、以下のような特徴を持つユリ科エンレイソウ属の植物であり、オオバナノエンレイソウとミヤマエンレイソウの雑種と考えられている。

- ① 花卉は幅広く丸みがあるのが特徴である同種は、北海道の川湯温泉で発見され、1996年に発表された<sup>1)</sup>。
- ② オオバナノエンレイソウに似ているが、葯<sup>やく</sup>の長さ<sup>かし</sup>と花糸との比率が異なっている(表-2)。
- ③ 花期は5~6月で生育地は山地である<sup>2)</sup>。

当該種の生活史過程については明らかとなっていないが、同属のオオバナノエンレイソウでみると、種子から発芽して4~5年は葉が1枚しかなく、開花までにはさらに4~5年と、種子から開花までは10年以上の年数が必要となる。しかし、一度開花した個体の生存率は非常に高く、その後、毎年安定した開花・結実を繰り返す典型的な多回繁殖型多年草である<sup>3)</sup>。

なお、当該種は、環境省の第4次レッドリストにおいて絶滅危惧IB類(EN)に選定されている。

表-2 カワユエンレイソウの特徴

カワユエンレイソウ	オオバナノエンレイソウ	ミヤマエンレイソウ
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・高さ20~40cm</li> <li>・花は横向き</li> <li>・花卉の先は丸みがある</li> <li>・花卉とガクがほぼ同長</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高さ30~70cm</li> <li>・花は上~斜め上向き</li> <li>・花卉の先はとがらず</li> <li>・花卉はガクより長い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高さ20~40cm</li> <li>・花は横~やや下向き</li> <li>・花卉の先はとがる</li> <li>・花卉とガクがほぼ同長</li> </ul>

b) 地域及び地区内における生育状況

本種は、弟子屈町周辺では道路沿いの林床等にオオバナノエンレイソウと混在する状態で大規模な群落を形成している。

一方、地区内では大部分が採草地として利用されているため、一部の排水路沿いや採草地外周に存置されている樹林地の林床等に局所的に分布している状況にある(写真-1)。



写真-1 地区内の生育地

3. 移植試験内容

(1) 移植計画の工程

本地区における移植作業は図-3に示すフローで実施した。移植に際しては、地区内で先行して整備が進められたA排水路周辺で生育する株等で移植試験を実施し、この結果を踏まえ他排水路の移植作業を進めている。

また、比較検討に必要な株数を確保するため、B排水路からも10株程度を移植試験のために使用した。

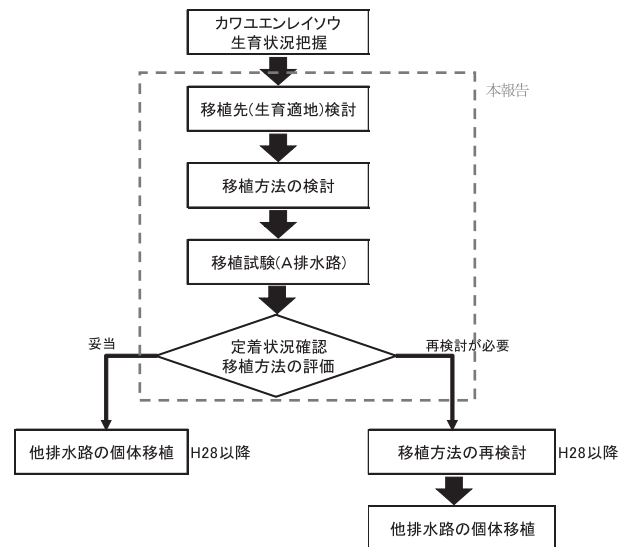


図-3 移植計画フロー

(2) 移植方法の検討

カワユエンレイソウの移植については、本事業の内容と周辺環境の状況をふまえ、他事業で実績のある草本類の移植方法の中から当該種の特徴、現実性及び作業効率を考慮し、「株移植」を採用することとした(表-3)。

表-3 移植方法一覧表

移植方法	利点	欠点	判定
株移植	移植個体の生存率が高く、移植後の成長も早い。	移植適期(休眠期)に移植を実施する場合には、事前にマーキングが必要。	○
表土移植	対象が高密度に分布する場合に有効。おおよその分布範囲を把握していれば、マーキングが不要。	移動する土砂量が多くなる。株移植と比べて攪乱されるため、生存率が低下。	△
播種	礫が多いなど、掘り取りが困難な土壌条件や、個体数の増加を必要とするときに有効。	エンレイソウ属は、一般的に開花に至るまで10年近くの期間を必要。オオバナノエンレイソウとミヤマエンレイソウの雑種のため、種子の発芽状況の確認が必要。	×
栄養繁殖(株分け)	株移植の一種であり、個体数の増加を必要とするときに有効。	株の分割方法など、事前に移植試験が必要。	×



### (3) 移植先の選定

移植先は、以下の条件に合致する箇所としてA排水路の整備区間より上流に位置する地点を選定した。

- ・当該種の生育環境となる林床であること
- ・整備による改変影響を受けないこと
- ・土地所有状況に問題がないこと
- ・現況において当該種が生育していること

移植地内の移植環境については、踏み荒らし等の人為的な影響を回避するため排水路法面周辺とした。

また、植物生育上必要な日照・水分状況の差異による定着状況を把握する目的で、環境（水面からの距離、樹冠の有無等）が異なる箇所に分散して移植を行うこととし、1箇所当たり5個体（4×5=計20個体）を移植した（表-4、図-4、写真-2、3）。

表-4 移植先での環境区分

水面からの距離	樹冠の有無	移植地No
法面下部(A)	有り(a)	1-A-a
	無し(b)	1-A-b
法面上部(B)	有り(a)	1-B-a
	無し(b)	1-B-b

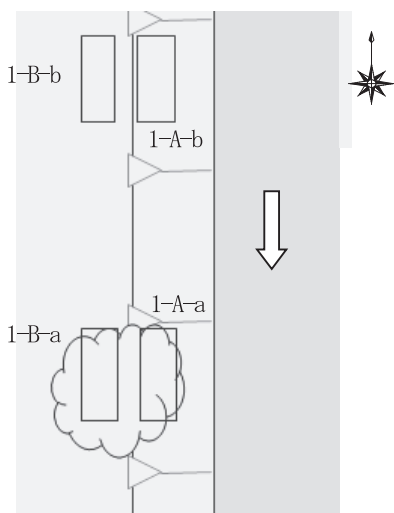


図-4 移植先のイメージ図



写真-2 移植地1-A-a（法面，樹冠あり）



写真-3 移植地1-B-a（法肩，樹冠あり）

### (4) 移植先の生育基盤の評価

選定箇所について、移植先としての適性を判定するため、移植元（A、B排水路）と移植先の基盤環境（土壌水分、土壌pH、相対照度）のデータを測定し比較を行った（図-5～図-7）。比較にあたっては、各調査地の地点数が等しくなく、正規性もないと判断されたことから、ノンパラメトリック（非計量）の分散分析としてクラスカル・ウォリスの検定法<sup>\*1</sup>を用いた。この結果、表-5に示す理由により選定した箇所は移植先として適性であると評価した。

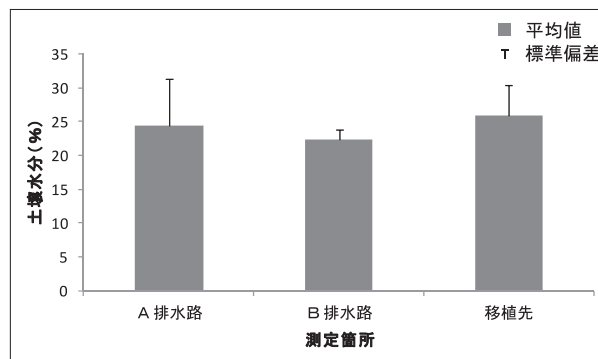


図-5 土壌水分測定結果の平均値と標準偏差

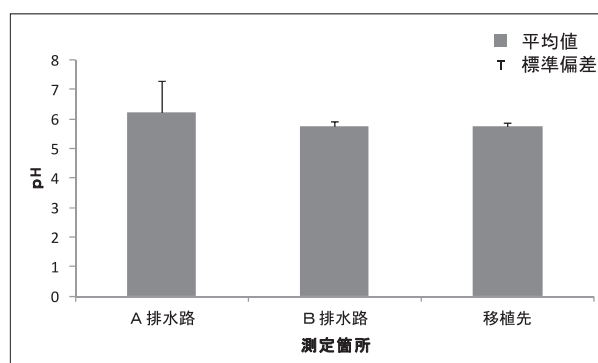


図-6 土壌pH測定結果の平均値と標準偏差

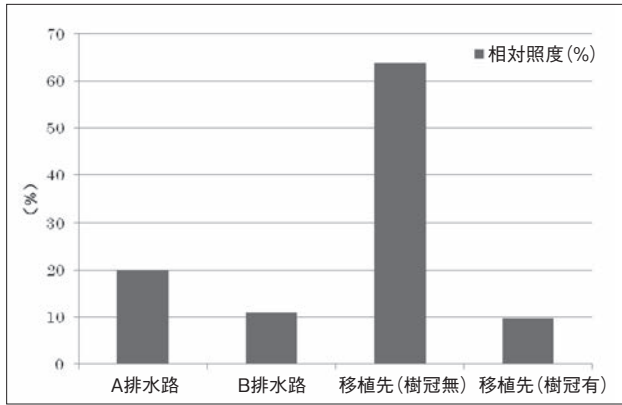


図-7 相対照度測定結果

表-5 移植先の適性評価

項目	基盤環境測定結果
土壤水分	移植先の土壤水分の平均値がやや高いが、現在の環境との差はない※
土壤pH	移植先のpHの平均値がやや低い、現在の環境との差はない※
相対照度	○B排水路と移植先(樹冠有)の値はほぼ同等 ○A排水路の値は若干高い ※樹冠の効果を観察するために設定した樹冠無(日向)の試験区は他の生育地と比べると相対照度は明らかに高く、日射が良好に入射する環境下である。

※クラスカル・ウォリス検定の結果、有意差なし

#### 4. 移植試験の実施状況

移植試験の時期は、事業の工程をふまえ、ミヤマエンレイソウの移植適期が9月中旬<sup>4)</sup>であることを参考に、個体の掘取りから運搬、植え付けまでの作業を、地元関係者参加のもと平成26年9月29日に実施した(写真-4)。

移植作業の具体的な作業工程は以下の通りであり、特に来年の花芽(写真-5)と根茎を傷つけないよう留意し作業を行った。

- ・移植対象株の周囲25～30cmを、深さ30cmを目安に株と平行にスコップの刃を差し込み、根茎の土が崩れないよう掘取る。
- ・掘取った株を、根茎周りの土を崩さないようビニール袋に入れ、袋の底部に手を添えて運搬する。
- ・移植先において、掘取りと同様の規模の穴を50cm間隔で掘る。
- ・移植先の穴に根茎周りの土を崩さないようはめ込む。
- ・仕上げとして植え付けた個体の周りを軽く踏み込み隙間を詰め水やりを行う。



写真-4 移植作業状況



写真-5 来年の花芽

#### 5. 平成27年度調査結果について

##### (1) 調査諸元

移植したカワユエンレイソウの開花状況を把握するモニタリング調査を、平成27年5月22日～23日に実施した。調査は、移植地と自生個体の生育地(A、B排水路)を対照区として選定し、実施した。調査項目は表-6の通りである。

なお、天空率は魚眼レンズを用いたデジタル写真撮影によって全天写真を撮影(対象種の生育高の地表面50cm程度)し、画像解析ソフト解析した。相対照度

表-6 移植先での生育状況調査

調査項目	調査目的	
移植個体の生育状況把握	枯死の有無(生存率)	生育が継続できているか否かを把握するため
	開花の有無(開花率)	生育段階の後退等の有無から生育状況の良否を把握するため
	生育高	生育段階の後退や生育不適地におけるダウンサイジングの有無を把握するため
	葉のサイズ(長径, 短径)	
	葉緑素(SPAD値)	根系の健全性を把握し、かつ、生育の良否を定量的に把握するため
移植地周辺の生育環境把握	土壤水分	植物の生育上、必要な水分状態を把握するため
	土壤pH	
	天空率	植物の生育上、必要な日照状態を把握するため
	相対照度	



の測定は、光量子計を用い、地表面 50cm 程度で照度を測定した。また、太陽光が 100% 当たる場所で測定した照度を基準に、相対照度 (%) とし、林内の明るさを観測した。

## (2) 調査結果と評価

### 〈生育状況の評価〉

各項目（生存率、生育高、開花率、葉サイズ、葉緑素濃度）の調査結果を平均値で比較すると、微差が確認された（表-7）。

この微差について、各移植地の生育状況の特徴を定量的に評価するため、各項目の最も高い値を 1 とし、それ以下の値は最高値 1 に対する比率を算出した（以下、「定量評価手法」）。結果を図-8 に示す。評価値を比較すると次の特徴があった。

- ・生存率は 1-A-a 以外がすべて 0.8 である。
- ・開花率は 1-A-b が最も高く、次いで 1-A-a が高い。
- ・生育高と葉サイズは 1-B-b が他に比べて大きい。
- ・1-B-a は生育高と葉サイズが比較的小さい。
- ・1-B-b は開花率が他に比べて低い。

これらの点において、法面下部と上部で生育状況にわずかな違いがみられた。しかし、クラスカル・ウォリス検定及びスティール・デュワスの多重比較<sup>\*2</sup>の結果、対照区を含めて、それぞれの移植先における生育状況の各調査項目に有意差は認められなかった。

### 〈生育環境の評価〉

各項目（土壌水分、天空率、相対照度、土壌 pH）の調査結果を平均値で比較すると、微差が確認され、移植前の調査とも同様の傾向がみられた（表-7）。

この微差について、各移植地の生育環境の特徴を定量的に評価するため、生育状況の評価と同様に定量評価手法を用いた。結果を図-9 に示す。評価値を比較すると次の特徴があった。

- ・土壌水分には移植先ごとに若干の差がみられる。
- ・天空率と相対照度から、1-A-a が薄暗い環境である。
- ・他の移植地は 1-A-a と比較して明るい環境である。

これらの点において、生育環境にわずかな違いがみられた。しかし、クラスカル・ウォリス検定の結果、対照区を含めて、それぞれの移植先における生育環境の各調査項目に有意差は認められなかった。

以上のように、法面上下部での生育状況と、各移植地での土壌水分や明るさにわずかな差異はあるものの、各移植地の環境因子と本種の生育状況の間に明瞭な因果関係は確認できなかった。このことから、平成 27 年度調査における生育状況の差は、環境因子の違いによるものではないと考えられる。

環境因子以外の要因としては、移植した個体の平成 26 年度における根の栄養蓄積が考えられ、平成 28 年度の生育状況も同様に、栄養蓄積の影響が考えられることから、平成 28 年度以降のモニタリングにより、

生育段階の変化、個体サイズの変化等を継続的に観察し、環境因子の影響を検証することとしている。

表-7 各調査結果（平均値）

	生存率 (%)	生育高 (cm)	開花率 (%)	葉のサイズ (cm)		葉緑素 (SPAD値)	土壌水分 (%)	天空率 (%)	相対照度 (%)	土壌pH
				長径	短径					
1-A-a	100	22.75	80	9.52	10.11	38.07	25.72	23.2	31.75	5.48
1-A-b	80	24.29	100	9.66	10.58	37.19	22.74	25.4	37.38	5.33
1-B-a	80	18.40	75	8.45	8.73	41.98	23.64	24.7	34.29	5.47
1-B-b	80	25.83	50	10.63	11.26	39.45	20.64	29.3	38.34	5.42
対照区1	100	25.60	100	10.03	10.61	37.32	21.25	25.2	26.20	5.21
対照区2	100	23.62	87.5	9.13	9.91	40.74	28.09	24.9	38.13	5.20

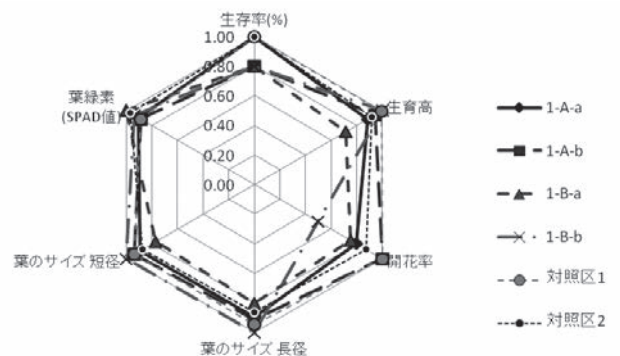


図-8 生育状況のレーダーチャート

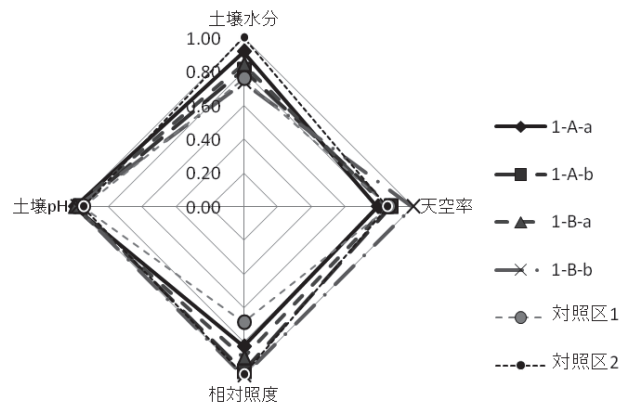


図-9 生育環境のレーダーチャート

## (3) 移植方法の評価

移植した 20 個体のうち 17 個体の生存が確認され、各移植地での生存率も 80～100% を示した。また、現時点では移植時のダメージによる生育状況の著しい衰退がみられず、生育状況は良好であると推察できる。

以上から、平成 26 年度に実施した移植方法及び移植時期、移植先については、概ね適切であったと評価する。

## 6. 平成 28 年度の実施状況

平成 28 年度は、平成 26 年度に移植した個体のモニタリング調査を継続し、経過観察による生育段階の変化や個体サイズの変化等に基づく環境因子の影響につ

いて検証を進めている。また、平成28年度以降に整備を予定している排水路において、本報の評価に基づく個体移植を実施している。なお、今後は平成28年度の移植個体を含めモニタリング調査を引き続き実施し、経過観察をしていく予定である。



写真-6 平成28年度のモニタリング調査状況



写真-7 平成28年度の移植作業状況

## 7. おわりに

美留和地区では、環境との調和への配慮を行いつつ整備を進めているところである。本報で報告した移植作業は環境配慮の一環であり、その他動植物に配慮した対策も並行して行っている状況にある。今後は、移植を含めた環境配慮対策の効果を継続調査により検証することで、後発事業に有用な知見の蓄積を図れば良いと考える。

また、今回の移植作業においては、弟子屈町役場、JA 摩周湖及び地元農家等と協働して実施し、弟子屈町の広報誌にもカワユエンレイソウが取り上げられるなど、地元の理解と意識向上に寄与したものとする。カワユエンレイソウは、地域環境を知る上で適した教材であり、今後も環境教育や地域連携のきっかけ作りとして活用できると考える。

最後に、本報の移植計画の立案、移植の実施に際し

では、藤江晋氏（一般財団法人自然公園財団）から多大な助言及び指導を賜った。ここに厚く感謝の意を表す。また、移植作業にご協力いただいた受益者及び関係機関の方々に深く感謝申し上げる。

### 【参考文献】

- 1) I Fukuda.1996. JSTOR Novon,Vol.6,No.2, 164-171
- 2) 林弥栄編. 2009. 「山溪カラー名鑑日本の野草」門田裕一監修,山と溪谷社
- 3) 河野昭一. 2004. 植物生活史図鑑 I 春の植物No1,北海道大学図書刊行会
- 4) 北海道山草会編. 1989「鉢で育てる北海道の山野草」,北海道新聞社

### ※1 【クラスカル・ウォリス検定について】

独立した多群の差の検定方法（3つ以上の母集団の平均値または中央値に差があるかどうか）の一つがクラスカル・ウォリス検定（Kruskal-Wallis test）である。

本検定は、全データに順位付けをし、それぞれの集団の分散を比較することで、集団間の分散比が異なるかどうかを観察する手法であり、母集団のサイズが異なるケースで良く使用される。

### ※2 【スティール・デュワスの多重比較について】

クラスカル・ウォリス検定は、集団間の分散比がわかるものの、どの集団間で差が出たのか特定できない。

本検定は、母集団の分布によらないノンパラメトリック検定の一つで、全集団間（ペア）に対して同時に差の検定を行うことができる。



# 藤沼ダムの復旧について

渡 邊 浩 樹\*  
(Hiroki WATANABE)

## 目 次

1. はじめに	15	7. ダムの復旧工法	17
2. 決壊による被害状況	15	8. 施工方法	19
3. 藤沼ダムの被害	16	9. 盛立材の管理結果	20
4. ダムの決壊原因	16	10. 堤体の挙動	21
5. 安全・安心なダムの復旧に向けた取組	17	11. おわりに	22
6. ダムの復旧方針	17		

## 1. はじめに

東日本大震災により福島県内では、農業用ダム及びため池 3,730 箇所のうち 871 箇所が被災し、中でも決壊した藤沼ダムは、安全・安心なダムの復旧を目指し様々な取り組みを行ってきた。本報では、藤沼ダムの決壊原因を踏まえた設計から施工までについて紹介する。

## 2. 決壊による被害状況

藤沼ダムは、福島県の中央部にある須賀川市（旧長沼町）の西部に位置し、昭和 12 年から昭和 24 年にかけて、農業用水不足の解消を目的にかんがい面積 837ha、総貯水量 150 万 m<sup>3</sup> の農業用ダムとして、本流を堰止める本堤及び、副堤の 2 つの堤体と、洪水吐、取水工が築造された。

貯水池周辺は、温泉・宿泊施設、パークゴルフ場等、水辺の景観を生かした藤沼自然公園として整備されており、市民を始めとする多くの人々の憩いの場として親しまれていた。

しかし、東日本大震災（平成 23 年 3 月 11 日 14:46 発生東北地方太平洋沖地震（M9.0）ダムから約 3 km の須賀川市長沼支所で震度 6 弱）により、ダムの本堤が決壊し貯留水が下流域の集落に向かって流出し、死者・行方不明 8 名、家屋被害 123 戸、農地へ土砂が流入約 90 ha という甚大な被害をもたらした（写真-1、2、3、図-1）。

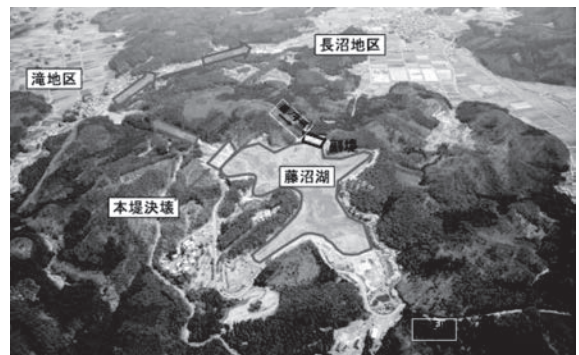


写真-1 決壊箇所と流出方向



図-1 決壊による下流域の被災範囲



写真-2 下流水路の流失後の状況

\*福島県県中農林事務所 (Tel. 024-935-1351)



写真-3 農地への流入・土砂堆積状況

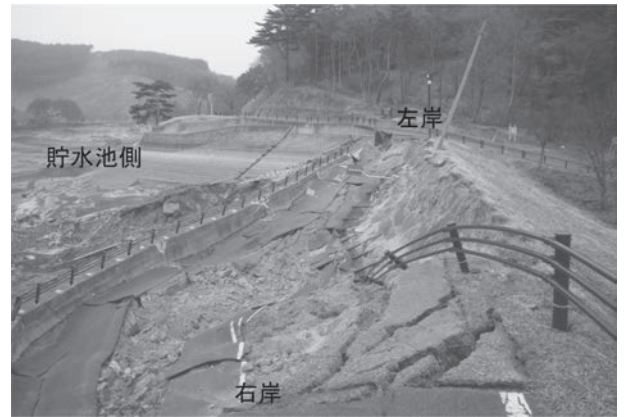


写真-6 副堤（右岸から左岸を望む）の状況

### 3. 藤沼ダムの被害

地震時の貯水位は、ほぼ満水位に近い状態で、本堤（築造時堤高18.5m 堤長133.2m）は、堤体全長にわたり決壊、特に右岸側は、貯水池底敷までの堤体がほとんどが流失した。副堤（築造時堤高10.5m 堤長72.5m）は、貯水池側に崩落した他、副堤の対岸に位置する親水護岸（張りブロック）も変形や崩壊の被害が発生した（写真-4, 5, 6, 7）。



写真-7 親水護岸の崩壊・変形状況



写真-4 上空から見た被災後のダム貯水池

### 4. ダムの決壊原因

東日本大震災では、藤沼ダムを含めた多くのフィル型形式の農業用ダム及びため池が被災したことから、県では平成23年8月に学識経験者3名で構成する「福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会」を設立し、県内農業用ダム及びため池の耐震性検証を行うとともに、藤沼ダムについて被災前の評価と決壊について原因究明を行っている。

昭和24年築造からその後の老朽化対策工事を含め被災前の堤体は、安定性を確保するため特別な対策を講じなければならない状態ではなかったものと評価されたが、検証の結果、①地震応答解析によると堤頂部の地震動が最大442galに達し、かつ50gal以上の地震動が100秒間も継続した過去に経験のない地震動であったこと（図-2）、②堤体は近代的な施工に比べると締固め度が小さく、特に砂分に富む上部盛土は水で飽和されている部分があり、今回のような地震動を受けると更に強度低下を示すこと（図-3）が判明した。

これらの結果から、藤沼ダムの決壊は、強い地震動がもたらした上部盛土の強度低下により、貯水池側へ初期すべり1,2が発生し、堤体越流・侵食を誘発し、すべり3やさらに下流側のすべり4が順次発生したことにより、決壊に至ったと推定された（写真-8）。

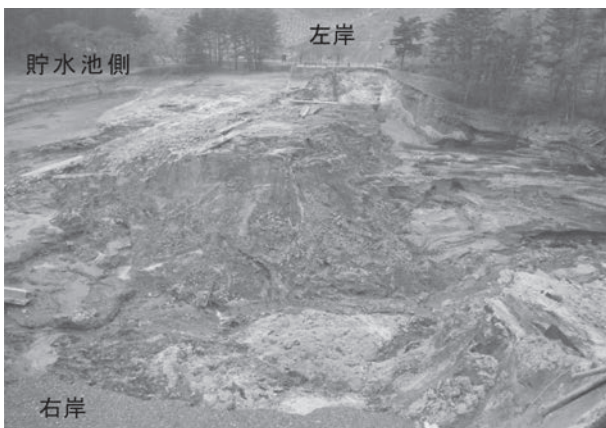


写真-5 本堤（右岸から左岸を望む）堤体が全面にわたり決壊した状況



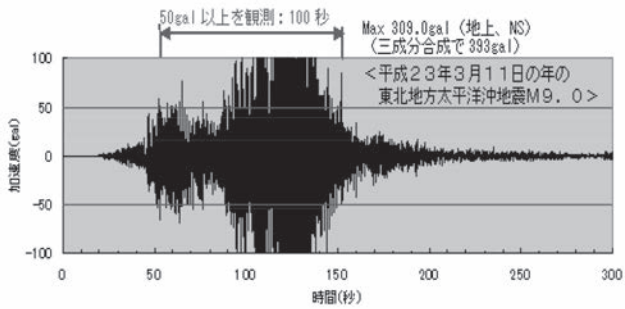


図-2 3.11の地震動 (kik-net長沼観測所)

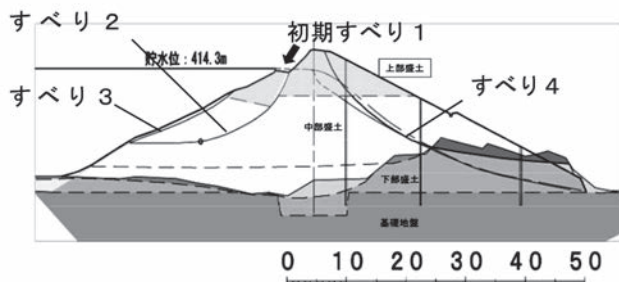


図-3 旧堤体の盛土層及びすべり面

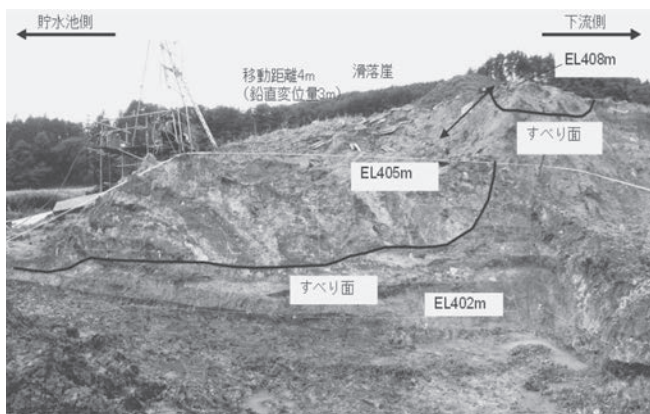


写真-8 すべり面の状態 (本堤部)

## 5. 安全・安心なダムの復旧に向けた取組

藤沼ダムの復旧にあたり、県では平成24年6月に学識経験者により技術的な課題を専門的な立場から検討する「福島県藤沼ダム復旧委員会」を設置し、設計、施工等に関する技術的な課題を総合的かつ具体的に検討し、指導や助言を得ながら、安全なダムの建設を進めている。また、工事の実施状況等によりとりまとめた「藤沼ダム通信」の発行や建設現場に「見学広場」を設置するなど、地域住民へ丁寧な情報提供に努めながら、安心できるダムづくりにも取り組んでいる。

## 6. ダムの復旧方針

ダムの復旧にあたっては、決壊原因を踏まえ、現行のダム基準に基づき、耐震性を備えた堤体の設計・施工により、東日本大震災と同様な地震動を受けてもダムの機能を損なわない復旧を基本方針としている。

## 7. ダムの復旧工法

### (1) ダムの基礎地盤

ダムサイトの本堤の地質は、基盤岩として第四紀更新世前期の白河層に属する弱溶結凝灰岩 (Tf) 及び、火山碎屑物 (Vm) からなり、上位の被覆層として崖錐堆積物、腐植土等の有機物を伴う非火山性堆積物 (a1) が覆っている。支持力のばらつきがある (a1) 層を除去し、新鮮な基盤岩である白河層 (Tf, Vm) を基礎地盤として設定している。基礎地盤のN値は20以上、透水係数は  $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$  程度で、亀裂性の岩盤ではないことから止水性に問題はないと判断しダムの基礎地盤としている。

副堤は非火山性堆積物 (a1) の層厚が薄く基礎地盤のN値は5以上と設定している。

なお、FEM解析で築堤直後の縦断変形量予測解析を行っているが、本堤、副堤ともに基礎地盤に破壊が発生する恐れはなく、盛立後の最大沈下量は本堤で11.1cm、副堤で21.5cmと予想した。

### (2) ダム形式

決壊した藤沼ダムは均一型であり、初期の貯水池側へのすべりが堤体越流・侵食を誘発し、止水効果の低下などによる副次的な下流側のすべりを伴い決壊に至ったものと考えられる。堤体の形状、タイプは、これらを踏まえ盛立材料やゾーン区分の検討を行い、本堤・副堤とも安定性に対し信頼性の高い中心遮水型とした。

基本断面は、現行の土地改良設計基準の震度法による安定計算 (レベル1) により安全率1.2を確保し決定している (図-4、表-1)。

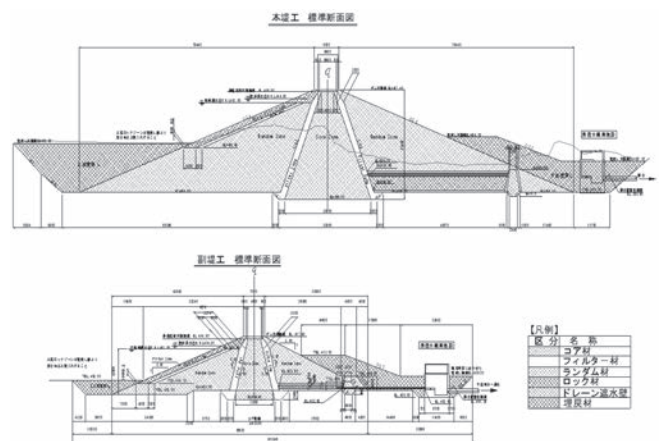


図-4 本堤・副堤標準断面図

区分	名称	規格
	コア材	細粒土：礫質土 = 1 : 3
	フィルター材	砕石 C-40
	ランダム材	流用土：砕石C-40 = 1 : 3
	ロック材	砕石 0~600mm
	ドレーン遮水壁	細粒土：礫質土 = 1 : 3
	埋戻材	流用土

図-4のゾーン区分

表-1 復旧前後のダムの諸元

区分	本堤	副堤
型式	中心遮水型(均一型)	
堤高	31.4m ( 18.5m)	18.0m (10.5m)
堤長	149.2m (133.2m)	86.8m (72.5m)
堤長幅	8.0m ( 6.5m)	7.0m ( 5.5m)
( )は被災前の築造時を示す		

(3) ゾーンの構成と盛立材料

コア材(遮水性材料)は、ダム近傍を調査した結果、質・量とも期待できる土取場がなかったことから、細粒材と礫質土を購入し、乾燥重量比1:3に混合調整を行い盛立材とした。

ランダム材(半透水性材料)は、基礎掘削から発生する白河層の材料と購入碎石を乾燥重量比1:3に混合し盛立材とした。

フィルター材(透水性材料)は、コアゾーンからの浸透水を速やかに排除すると共に、水位降下時にランダム材及びコア材の吸い出しを防止するためのものであるが、安定的入手が可能で一般に使用されている購入碎石C-40とした。

ロック材は、被災前の張りブロックに変わり、地震を受けても一気に崩壊する恐れが少ないロック材0~600mmを貯水池側の表面に配置した。

(4) 耐震性照査

ダム形式の決定後、安全・安心な農業用ダムとして復旧するため、海溝型(東日本大震災相当)及び、内陸活断層型のレベル2地震動を設定し耐震性の照査を行った。

耐震性の照査は、動的応答解析によって堤体内のせん断応力を時刻歴で求め、室内試験(100EC, 200EC)の2種類の締固エネルギー条件による単調載過繰り返し三軸圧縮試験)で得られた盛立材の損傷曲線から累積損傷度及び地震中のピークせん断強度の低下を計算し、累積すべり変位量を求める手法(詳細ニューマークD法)により行った。

解析の結果、推定される変位量は本堤で0~3.3mmと工学的に問題とならない僅かな変位量で、これらの地震動に対し高い耐震性能を有することを設計段階で確認した(表-2)。

表-2 本堤耐震性照査総括表

(※CASE9は、被災前のパラメータによる)

検討ケース	解析条件			すべり変位解析結果 [d)降伏変位k <sub>h</sub> , e)土塊の最大水平変位k <sub>max</sub> , f)活動変位量 $\sigma$ ]
	パラメータ	圧密条件	入力波	
Case-9	旧堤体(上部盛土/中部盛土/下部盛土)	異方等価線形解析	海溝型(KIK-net長谷地表面)	a)479.2gal(応答倍率1.81倍) b)4.08cm c)約0.30%
Case-12	コアE=JIS×200%ωopt+ランダム Eo=JIS×100%ωopt+%	等方等価線形解析	海溝型(KIK-net長谷地表面)	a)501.0gal(応答倍率1.85倍) b)4.08cm c)約0.17%
Case-13	コアE=JIS×200%ωopt+ランダム Eo=JIS×100%ωopt+%	等方等価線形解析	内陸活断層型(会津東越前断層帯)	a)335.6gal(応答倍率1.8倍) b)6.04cm c)約0.35%
Case-14	コアE=JIS×100%ωopt+ランダム Eo=JIS×100%ωopt+%	等方等価線形解析	海溝型(KIK-net長谷地表面)	a)455.9gal(応答倍率1.89倍) b)4.1cm c)約0.20%
Case-15	コアE=JIS×100%ωopt+ランダム Eo=JIS×100%ωopt+%	等方等価線形解析	内陸活断層型(会津東越前断層帯)	a)608.1gal(応答倍率1.8倍) b)7.98cm c)約0.84%

(5) 盛立仕様と品質管理基準

コア材、ランダム材、ロック材、フィルター材は現場で使用する機械により盛立試験を行っている(写真-9)。

コアゾーン及び、ランダムゾーンの基準値の設定には3つの含水比(最適含水比付近、湿潤側、乾燥側)を設定して、それぞれ締固回数を変化させ盛立試験を実施し、転圧後密度と施工含水比の関係を求め、耐震性(設計強度の確保)、施工性、経済性、コア材については遮水性(現場透水係数 $1 \times 10^{-5}$ cm/sec以下)が確保されることを考慮し、盛立仕様と品質管理基準を決定した。

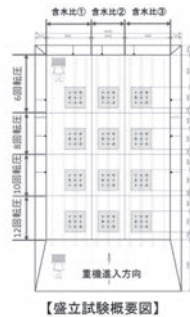


写真-9 盛立試験状況

また、本ダムでは締固め度を指標とした従来の密度管理基準に加え、最適飽和度に着目した飽和度管理基準を取り入れた。最適飽和度とは、締固め曲線上の最大乾燥密度・最適含水比時の飽和度を示し、締固めエネルギーが変化しても概ね一定値を示す。

飽和度の管理を同時に行うことで、盛土材の含水比管理と締固めた盛土の密度管理のみでは完全には防ぐことが難しかった土質の微妙な変化に伴う品質確保の他、浸水による土の強度低下や沈下及び、オーバーコンパクション(過転圧)による強度低下を回避することができ、さらに適切な盛土の施工管理を行うこととした(表-3, 図-5)。



表-3 飽和度の指標を加えた締め管理表

管理境界	土構造物の要求性能の実現に必要な物性管理	a)高い強度・剛性の確保				b)水浸による強度低下、沈下の抑制		c)必要な透水性の確保		e)過転圧の防止	
		含水比下限線: WL	含水比上限線: WU	締め度下限線: DL	締め度上限線: SL	含水比下限線: WL	含水比上限線: WU	締め度下限線: DL	締め度上限線: SL	含水比下限線: WL	含水比上限線: WU
締めめに用いる盛土材に対する管理境界	含水比下限線: WL	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
締めめた盛土に対する管理境界	含水比上限線: WU	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	締め度下限線: DL	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	締め度上限線: SL	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	締め度上限線: SU	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

●: 要求項目の確保に非常に重要な管理境界 ○: 要求項目の確保に重要な管理境界

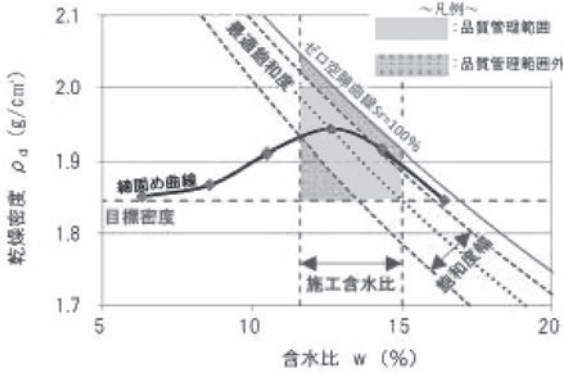


図-5 盛土飽和度管理の概念図

以下に盛立試験より得られた本ダムコア材(遮水性材料)およびランダム材の盛立仕様と盛立管理基準を示す(表-4, 5, 6)。

表-4 盛立仕様

ゾーン区分	層別	造出し工程				転圧工程		
		造出し機種	造出し厚さ	仕上り厚さ	最大粒径 Dmax	転圧機種	転圧回数	
コアゾーン (遮水性材料)	コンタクトレイ	人力	5cm程度以上	5cm程度以上	≦9.5mm	エアータンローラー	3回/㎡程度	
	コンタクトコア材	前面部(水車輪)150cm 河床部	バックホウ	15cm±5cm	10cm±5cm	≦53.0mm	11ton振動ローラー	8回
	標準コア材	標準部	11ton振動ブルドーザー	25cm±5cm	20cm±5cm	≦150mm	19ton振動タンピングローラー	8回以上
ランダムゾーン (半遮水性材料)	寄合部(前面部)	バックホウ	15cm±5cm	10cm±5cm	≦53.0mm	11ton振動ローラー	1回	
	寄合部(河床部)	バックホウ	15cm±5cm	10cm±5cm	≦53.0mm	4ton振動ローラー	4回	
	標準部	11ton振動ブルドーザー	25cm±5cm	20cm±5cm	≦150mm	19ton振動タンピングローラー	8回以上	

表-5 コア材の品質管理基準

対象材料	土数値(検査値)		盛立現場	
	コンタクトコア	標準コア材	コンタクトコア	標準コア
材料の種類および状態	【単粒材】 細粒材	【単粒材】 礫質土	【混合材】 細粒材:礫質土=1:1(乾燥量含水比)	
施工含水比 w(%)	-		wopt-1~+2% (目標値:wopt-0.5%)	
塑性指数 Ip	-		Ip≦15	
粒度条件	最大粒径 Dmax(mm)	Dmax≦37.5mm	Dmax≦150mm	Dmax≦53.0mm
	過分含有率 P4.75(%)	-	0.0≦P4.75≦5%	P4.75≦2.0%
	細粒分含有率 Fc200(%)	Fc200≧20%	Fc200≦10%	Fc200≧25%
管理密度	相対密度 Drel(%)	-	Drel≧95%	
	飽和度 Sr(%)	-	Sopt-5~+5%(目標値Sopt)	
現場透水係数 k(cm/sec)	-		k≦1×10⁻⁴cm/sec	
せん断強度① (完成直後:U+testによる)	粘着力 Cu(kN/㎡)	-	Cu≧45.0kN/㎡	
	内部摩擦角 φu(°)	-	φu≧13.0°	
せん断強度② (完成直後:Ubar+testによる)	粘着力 Cu(kN/㎡)	-	C'≧13.0kN/㎡	
	内部摩擦角 φu(°)	-	φ'≧30.0°	

表-6 ランダム材の品質管理基準

対象材料	ランダムゾーン (半遮水性材料)			
	試験用土 f:砂質C-40-I-3(乾燥量含水比)			
材料の種類および状態	wopt-1.0~+1.0%(目標値:wopt)			
施工含水比 w(%)	-			
塑性指数 Ip	-			
粒度条件	最大粒径 Dmax(mm)	Dmax≦53.0mm	Dmax≦150mm	Dmax≦53.0mm
	過分含有率 P4.75(%)	-	P4.75≦4%	-
	細粒分含有率 Fc200(%)	-	Fc200≦2.0%	-
管理密度	相対密度 Drel(%)	Drel≧95%		
	飽和度 Sr(%)	Sopt-15~+5%(目標値Sopt)	Sopt-15.5~+4.5%(目標値Sopt)	
現場透水係数 k(cm/sec)	-			
せん断強度① (完成直後:U+testによる)	粘着力 Cu(kN/㎡)	Cu≧55.0kN/㎡		
	内部摩擦角 φu(°)	φu≧7.0°		
せん断強度② (完成直後:Ubar+testによる)	粘着力 Cu(kN/㎡)	C'≧40.0kN/㎡		
	内部摩擦角 φu(°)	φ'≧34.0°		

## 8. 施工方法

### (1) 掘削後の基礎地盤

基礎掘削時にポータブルコーン貫入試験, 簡易動的貫入試験を行うとともに, コアゾーン, ランダムゾーンの堤体底敷については, 平板載荷試験により支持力を確認し本堤(変形係数13~112MN/m²)・副堤(変形係数18~44MN/m²)とも基礎地盤としての支持力には問題ないことを確認した。

また, 本堤左岸の一部で, 設計時に火山砕屑物(Vm)と想定していた箇所に砂岩層が確認され, 湛水時に浸透破壊(パイピング)の懸念があったため, 現状のサンプルを採取しパイピング試験を行った結果, 浸透破壊に対し安全であることを確認している(図-6)。

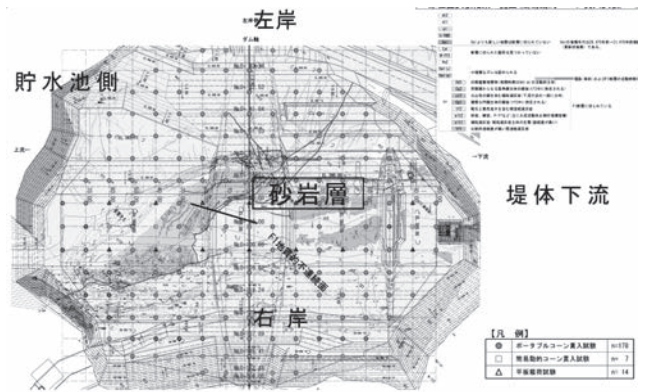


図-6 本堤最終地質平面図及び原位置試験位置

基礎の透水性については, 現場透水試験を実施し本堤・副堤とも設計時に想定した透水係数と同等の本堤  $1 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ , 副堤  $(3 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-5})$  で設計時に想定した透水係数と大きく乖離するものではなく問題はないと判断した。



写真-10 本堤コア敷部基礎掘削完了状況

### (2) 盛立施工

堤体の大部分を占めるコア材とランダム材はそれぞれ現場のストックヤードで2種類の材料を混合して盛立材に用いている。特にコア材は, 細粒材(粘性土)と粗粒材(礫質土)の混合材で, 細粒材の自然含水比が90%程度と高いため混合後の自然含水比が28%程度となり, 所定の含水比約16%程度まで曝気・混合作業を行う必要があった。細粒材単独の曝気「ブルドーザー敷均しとバックホウ攪拌曝気後の天日乾燥」し, その後「ブレンドパイル造成と併せてスタビライザー混合攪拌曝気」を行うことで, 曝気と併せて均一な材

料となり、含水比を確認したうえ盛立を行った（図-7、写真-11、写真-12）。

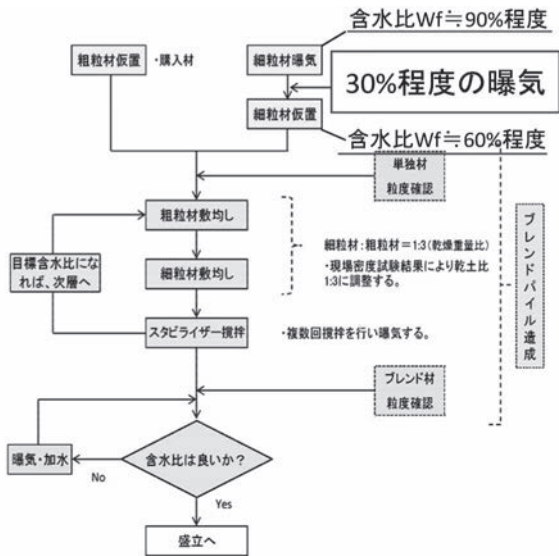


図-7 コア材造成フロー



写真-13 コア材が基礎地盤に接続する箇所のコンタクトクレイ施工状況



写真-14 タンピングローラコア転圧状況



写真-11 コア細粒材（粘土）単独材バックホウ曝気状況



写真-12 コア細粒材と粗粒材スタビライザーによる混合状況



写真-15 コア転圧状況の近景

## 9. 盛立材の管理結果

盛立管理は、「①日常管理試験」、「②定期管理試験」を行っている。日常管理試験は、日常的に実施する現場密度試験（D値、飽和度）、現場透水試験である。定期管理試験は、定量的に実施する試験であり、3,000m<sup>3</sup>毎又はストックパイル毎に盛立材の粒度試験、締固め試験（D値算定・間隙比算定）を行うものとして位置付け実施している。その他、定期確認試験として、盛立材の力学特性に関し設計値を満足しているか確認を行うことを目的に、工事とは別に、締固め試験・三軸圧縮試験・透水試験を行っている。



(1) コア材の管理結果 (日常管理)

本堤盛立開始直後と比較すると礫分 (P+4.75mm) のバラツキが小さくなり、より均一な材料で施工されている。

飽和度  $S_r$  は平均値 = 最適飽和度  $S_{ropt}$  - 0.1% 程度であり、十分な締固めが行われている。

含水比調整が十分に行われ、飽和度管理も管理基準値内の湿潤側での施工となっており、遮水性材料として良好な施工がされている。

材料特性、乾燥密度、D 値に大きな差異はなく、均一な材料で安定した施工がなされている。

盛土上部に向かうほど乾燥密度、D 値が下がっている傾向が見受けられるが、管理基準値を全て満足している。

透水係数は管理基準値以下であり、問題となる結果はない (図-8)。

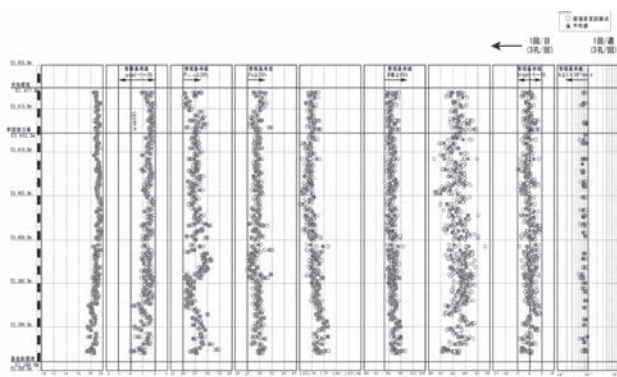


図-8 本堤コア材の日常管理結果

(2) ランダム材の管理結果 (日常管理)

最適含水比  $\omega_{opt}$  に対しては、-1.0 ~ +0.9% 程度に調整されており、全て管理基準値を満たしている。礫分 (P+ 4.75mm) は 47 ~ 60% 程度、平均 51.3%、および細粒分含有率 ( $F_c - 75 \mu m$ ) は 12 ~ 19% 程度、平均 15.7% と非常にバラツキの少ない均一な材料で施工された。

締固め度 D 値は 96 ~ 100% であり、管理基準値 95% 以上を全て満たしている。

最適飽和度  $S_{ropt}$  に対しては -10.0 ~ 3.0%、平均 -2.2% であり、管理基準値のほぼ中央の狭い範囲で調整されており、良好な締固めが行われている (図-9)。

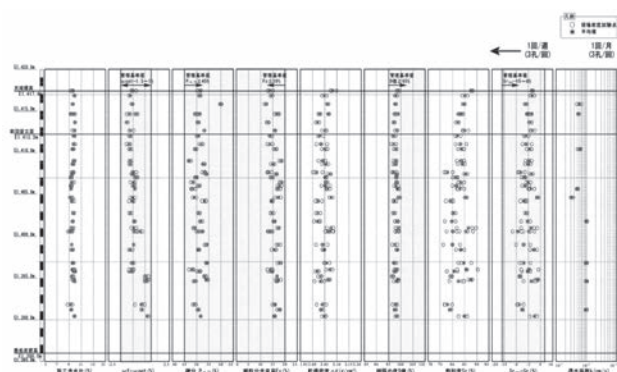


図-9 本堤ランダム材の日常管理結果

その他定期管理試験においては、特に日常管理と違う事項はなく、確認試験における三軸圧縮試験におけるせん断強度についても、全応力強度および有効応力強度において全ての試験点において管理基準値を満足することが確認され、適正に盛立が完了していることが確認された。

10. 堤体の挙動

ダムを監視するための堤体挙動観測計器として、堤体及び基礎地盤に間隙水圧計、土圧計、層別沈下計、岩盤変位計、浸透水観測計器、表面変位観測点を設置している。本堤は平成 28 年 10 月、副堤は平成 27 年 10 月に盛立を完了しており、盛立後平成 29 年 12 月時点までの挙動を一部紹介する。

本堤の基礎地盤の変位は、盛立開始の平成 27 年 7 月から 33mm の沈下が観測され、その後ほとんど増加傾向は見られず盛立荷重による基盤面の沈下は収束したものと評価している (図-10, 11)。

副堤は平成 26 年 10 月から盛立を開始しているが、140mm の沈下が観測されている。FEM 解析による沈下予想の 215mm 以内で、収束状況にはなっているものの注視して監視することとしている (図-12, 13)。

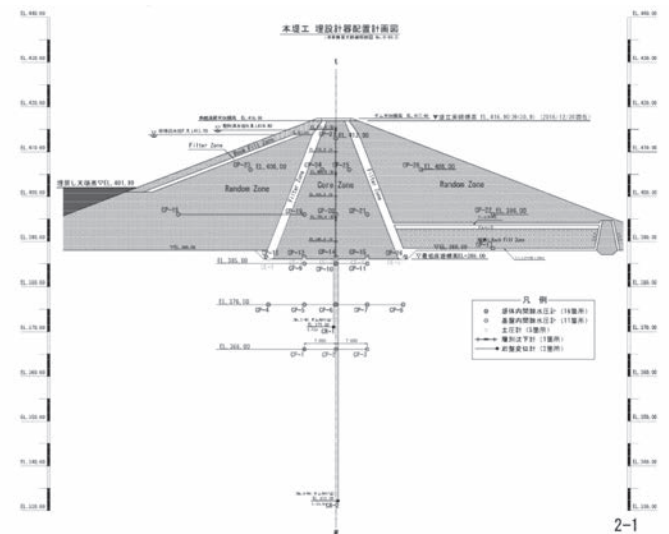


図-10 本堤堤体挙動観測器配置図

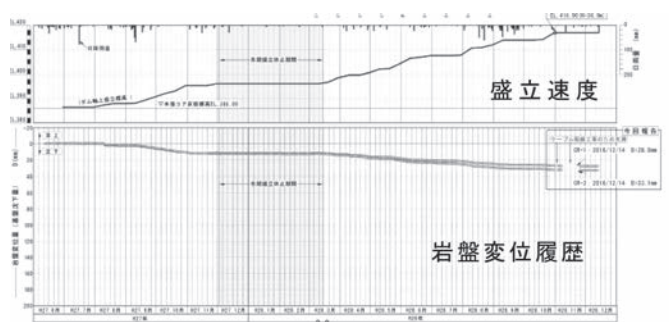


図-11 本堤岩盤変位履歴図

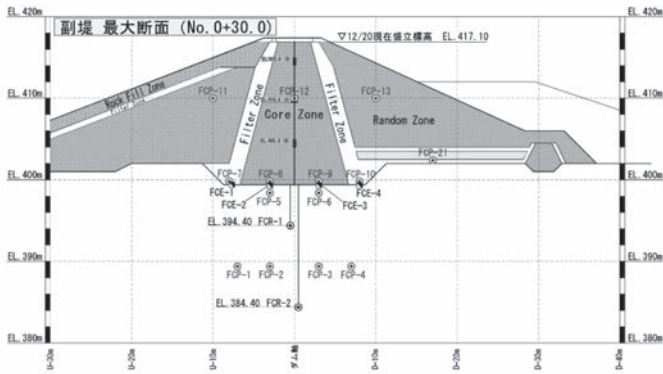


図-12 副堤堤体挙動観測計器配置図

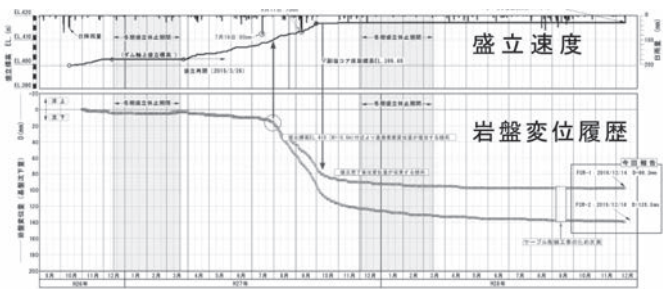


図-13 副堤岩盤変位履歴図

## 11. おわりに

藤沼ダム本体の復旧工事は、平成25年10月の着手から約3年を経て平成28年度に完了した（写真-16）。平成29年1月からは試験湛水を開始し4月には7年ぶりにかんがい用水供給が始まった。今年度はダム周辺整備工事等を行い年度内の完了を目指しており、完成後は、今回の地震による被害を踏まえ安心できる維持管理体制を構築し、藤沼ダムが被災前にも増して地域の発展の拠点となるよう取り組んでいきたいと考えている。

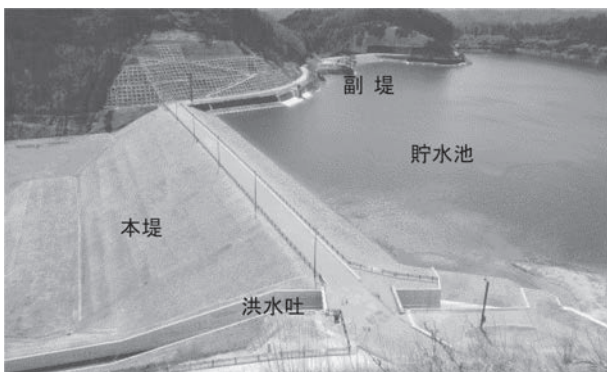


写真-16 平成29年4月の藤沼ダム  
本堤左岸より貯水池を望む

## 【参考文献】

- ・福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会：藤沼ダムの決壊原因調査報告書



# ドローンよ，どこへ行く！

－Plan, Do, See各段階の試験飛行－

中 里 良 一\* 古 川 和 弘\* 岡 本 憲 明\* 三 原 康 哲\*  
(Ryoichi NAKAZATO) (Kazuhiro FURUKAWA) (Noriaki OKAMOTO) (Yasunori MIHARA)

## 目 次

1. はじめに	23	4. 今後の活用検討の方向性	25
2. 日本におけるドローンの状況	23	5. 農業農村整備におけるドローンの活用方策	26
3. ドローンを活用した機能診断調査への導入検討	24	6. おわりに	26

### 1. はじめに

初めてドローンを飛ばす時，タイトルのような気持ちになるが，実際に飛ばしてみると，操作は思いのほか難しくない。

当事務所では「ドローン推進G」を設置し，農業農村整備の調査・計画（Plan），工事（Do），維持管理（See）の各段階におけるドローン活用方策を検討するために，職員の操作技術向上を図るため，試験飛行を繰り返し行っている。

当事務所の約1/3の職員はドローンを飛ばすことができ，一人あたりの累積飛行時間も多くなってきており，ドローンの操作技術が向上してきている。

本報告では，試験飛行で先行しているSeeの段階で実施する農業水利施設の機能診断について，ドローンを活用した機能診断調査への導入検討，今後の活用検討の方向性を述べ，合わせて農業農村整備におけるドローンの活用方策の概要を述べる。

### 2. 日本におけるドローンの状況

#### (1) 改正航空法

日本国内でドローンが注目されたのは，2015年4月22日に，総理官邸の屋上においてドローンが発見された事案であり，それを契機に，ドローンの安全な飛行の確保に向けた基本的なルールを整備が進められた。特に航空法の一部改正により，諸外国の法規制と比較しても同等程度の措置がなされた。

2015年12月15日に施行された改正航空法の概要は以下のとおりである。なお，対象となる無人航空機の定義は，飛行機，回転翼航空機等であって，人が乗ることができないもの（ドローン，ラジコン機等）のうち，

遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの（200g未満のものを除く）となっている。

#### 1) 飛行の許可が必要となる空域の設定

- ①空港等の周辺（進入表面等）
  - ②地表又は水面から150m以上の高さの空域飛行
  - ③国勢調査の結果を受け設定されている人口集中地区
- ※①②③以外の空域は飛行可能。

#### 2) 無人航空機の飛行の方法

- ①日中（日の出から日没まで）に飛行させること
- ②目視（直接肉眼による）範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること
- ③第三者又は第三者の物件との間に（30m）を保って飛行させること
- ④祭礼，縁日など多数の人が集まる催し場所の上空で飛行させないこと
- ⑤爆発物など危険物を輸送しないこと
- ⑥無人航空機から物を投下しないこと

#### (2) 政府の取り組み

現在，政府として小型無人機の基本的なルール整備や急速な技術開発への課題を解決する体制として，以下の2つの組織を設けている。

#### 1) 小型無人機に関する関係府省庁連絡会議

小型無人機の運用ルールの策定と活用の在り方，関係法令の見直し等について，関係行政機関相互の緊密な連携・協力を確保し，総合的かつ効果的な推進を図ることを目的として設立。

#### 2) 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会

小型無人機に係るビジネス展開と技術開発の急速な発展に対応した課題を解決するため，関係する幅広い関係者の知見を結集し，これに継続的に取り組む体制が必要との判断の下，官民の専門家・関係者が一同に会し協議を行う場として設立。「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップと制度設計に関する論点整理（案）」が示されており，今後，官

\* 関東農政局利根川水系土地改良調査管理事務所  
(Tel. 04-7131-7141)

民が一体となって開発を進めいく新技術の社会実装、多様な分野における新たな利活用や飛行ニーズの実現に必要な制度について検討を継続することとなっている。

### 3. ドローンを活用した機能診断調査への導入検討

現在の機能診断調査については、調査員による直接的調査であり、調査対象箇所容易に立ち入れないことや、足場等の仮設が必要となるケースもあるため、調査の効率化、調査費用の軽減を図ることを目的とし、今年度より新たにドローンを活用した調査の検討を始めたものである。

現状では調査内容や調査手法などを検討するための基礎資料の収集が必要であることから、資料収集を目的とする現地調査を実施した。



写真-1 現地調査に用いたドローン

#### (1) クラックスケール撮影による基礎資料収集

構造物からの距離と撮影写真の解像度との関係を確認し、実際の機能診断調査における撮影距離の基礎資料とするため、構造物に固定したクラックスケールを対象とした撮影を行った。

##### 1) 撮影内容

構造物に固定したクラックスケール（ポリエステル製、スチール製）を対象に機体と構造物との距離を0.5mから5.0mまでの0.5m刻みで順次変化させた状態で写真撮影する。

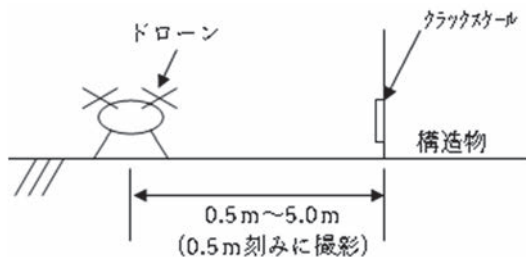


図-1 撮影状況図

なお、今回の撮影に使用したカメラの諸元は以下に示すとおりである。

表-1 カメラ諸元

型 式	Zenmuse X5S
静止画解像度	4:3 5,280×3,956 16:9 5,280×2,970
センサー	CMOS 4/3"
焦点距離	30mm (35mm換算)

#### 2) 撮影結果

撮影結果の評価は、「農業水利施設の機能保全の手引き（平成27年8月）」P.61「ひび割れのタイプ及び幅に基づく健全度評価」に示されるひび割れ幅の評価値である0.2mmから1.0mmの目盛りが画像データ上で線として判別可能か否かの観点にて評価した。

表-2 クラックスケール撮影結果

撮影距離	ポリエステル製		スチール製	
	0.2mm	1.0mm	0.2mm	1.0mm
0.5m	○	○	○	○
1.0m	○	○	○	○
1.5m	○	○	○	○
2.0m	○	○	○	○
2.5m	○	○	△	○
3.0m	○	○	△	○
3.5m	△	○	△	○
4.0m	×	○	×	○
4.5m	×	○	×	△
5.0m	×	○	×	×

凡例 ○：鮮明に判別可能なもの

△：不鮮明であるが、目盛り線があることは判別できるもの

×：目盛り線が判別できないもの

※ 今回の評価は、目盛りの線が判別可能か否かの観点のみで評価しており、線自体の太さを判断可能か否かについて含まれたものではない。

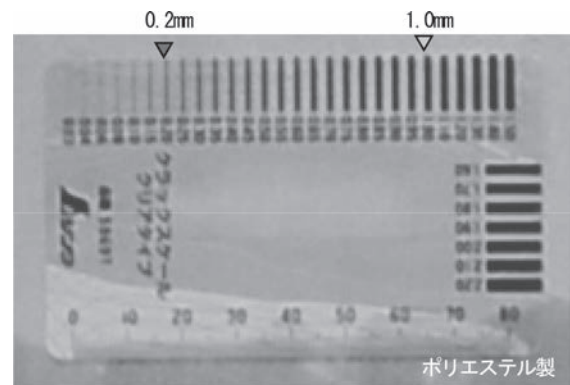


写真-2 撮影写真（撮影距離2.0m）

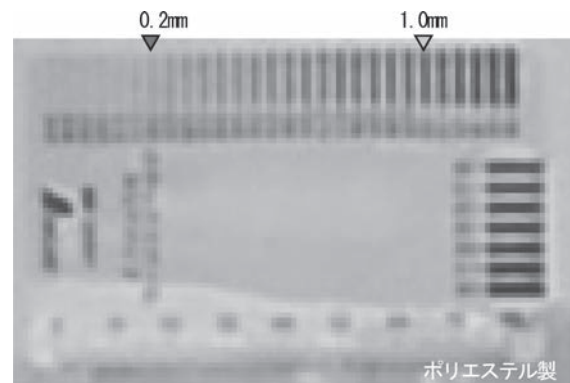


写真-3 撮影写真（撮影距離4.0m）

上記の撮影結果より、今回使用した機材の条件においては0.2mmまで判別可能とするには2.0m程度の距離、1.0mmのひび割れを判別可能とするためには4.0m程度の撮影距離が限界と考えられる。

また、現場条件などの関係でこれより大きな離隔を確保して飛行を行う場合には、望遠レンズによる撮影などを検討する必要がある。

## (2) 頭首工堰柱部のひび割れ撮影

過年度の機能診断調査で判明しているひび割れ部を対象にドローンにて写真を撮影し、写真の画像データからひび割れの判別を行うために必要な撮影距離の検討の基礎資料とする。

### 1) 撮影内容

構造物からの離隔距離を段階的に変化させた状態でひび割れ部を撮影する。

今回の撮影では、4段階の距離とした。

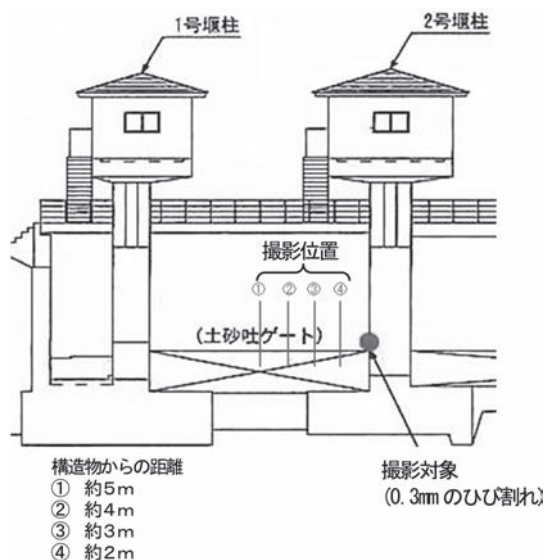


図-2 撮影位置図

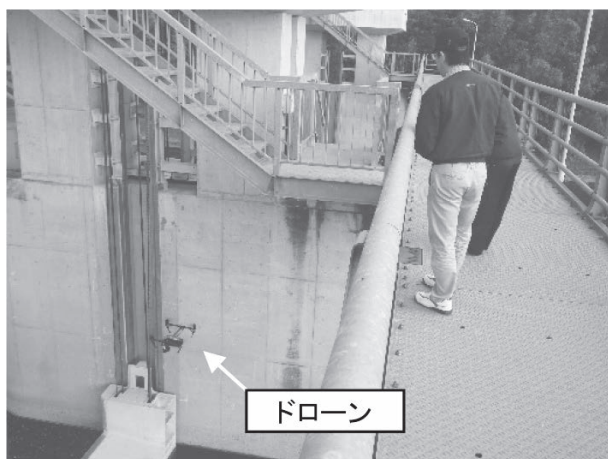


写真-4 撮影状況

### 2) 撮影結果

撮影結果の評価は、撮影対象である幅0.3mmのひび割れが画像データ上の線として判別可能か否かの観点にて評価した。

表-3 ひび割れ撮影結果

撮影距離	撮影結果
2.0m	○ (幅0.3mm ひび割れ判別可)
3.0m	○ (幅0.3mm ひび割れ判別可)
4.0m	○ (幅0.3mm ひび割れ判別可)
5.0m	○ (幅0.3mm ひび割れ判別可)

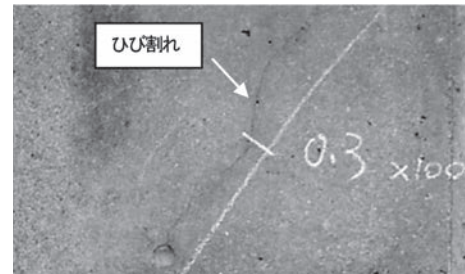


写真-5 撮影写真 (撮影距離4.0m)

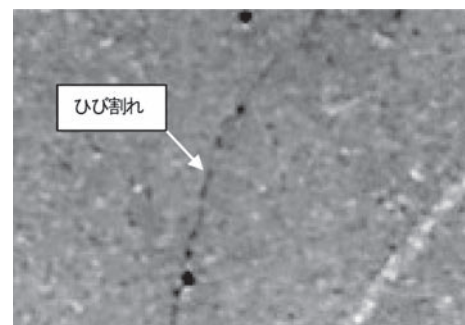


写真-6 ひび割れ部拡大 (撮影距離4.0m)

上記の撮影結果より、今回使用した機材の条件においては5m程度離れた位置からであっても、幅0.3mmのひび割れを判別可能であった。

先に行ったクラックスケールの撮影試験では、5mの距離があると目盛りの線が不明瞭になる傾向であったが、実際に構造物を撮影した場合には、0.3mm程の細かいひび割れでも判別可能であった。

この結果の違いは、被写体の照度や線と周囲のコントラスト、色彩など、カメラの性能や撮影距離以外の要素が関係していると考えられるが、これらの要素が及ぼす影響については今後の検討課題である。

## 4. 今後の活用検討の方向性

### (1) 現地調査の実施・詳細検討

今回実施した現地調査においては、撮影距離と画像解像度の関係の基礎資料の収集を行ったところであり、今後は、機能診断調査の調査手法や適用性の評価に必要な現地調査の実施や詳細検討を行うものとする。

#### 1) 適用可能な工種の検討

ドローンの活用により効率化等が見込まれる「頭首工」、「PCタンク」、「機場建屋」、「水管橋」などの工種について現地調査を実施し、活用検討のための資料を収集する。

#### 2) 目視調査結果との比較検討



過年度に目視調査にて実施した機能診断調査結果との比較検討を行うことでドローンによる機能診断調査の適用性を評価する。

### 3) 分析手法の検討

撮影した写真からひび割れを抽出する画像解析ソフトを活用して健全度評価を行う手法の他、三次元モデルを作成して構造物の変位量を調査する手法等、ドローンで撮影した画像を用いた各種分析手法の導入検討を行う。

## (2) 機能診断マニュアルの検討

ドローンを活用した機能診断調査において必要とする機材の諸元、機能診断調査手法、調査内容、撮影写真の分析方法、機能診断結果の評価など、機能診断調査における一連の作業に関して整理したマニュアルの整備を行うものとする。

また、このマニュアルには施設管理者が維持管理の一環として行う施設監視、日常点検への活用手法についても検討を行う予定としている。

## 5. 農業農村整備におけるドローンの活用方策

先に述べた機能診断調査に関する導入検討の他、農業農村整備事業全般の各段階における活用検討を進めるため、所内各部署の各業務段階においてドローンの活用を図っている。

本項では、現時点での当事務所における活用内容の一部を紹介する。

### (1) 調査・計画 (Plan)

営農、土地利用、施設状況調査、環境調査、事業計画策定等への活用を実施。

(活用例)

土地利用把握にあたり、既存の台帳では区別できない普通畑と樹園地の利用状況を農地の上空から撮影することで広範囲にわたり確認する。



写真-7 土地利用状況の撮影

### (2) 工事 (Do)

施工状況の確認、施工段階ごとの記録、事業誌の基礎資料等への活用を実施。

(活用例)

工事の仮設計画作成に際し、現場全体を空撮することで、図面では把握できない実際の現場全体の状

況、条件などを確認する。



写真-8 法面工事の仮設計画のための状況写真

### (3) 管理 (See)

機能診断調査、施設利用状況調査、河川協議等への活用を実施。

(活用例)

放水路の占用の更新協議(河川法第24条)にあたって、草などが茂っていて直ちに人が立ち入りできない現況施設の状況を把握する。



写真-9 立ち入り困難な施設状況の撮影

## 6. おわりに

現在、本事務所で推進している「大学レンケイ」のテーマのひとつとしてもドローン活用方策を掲げており、「ドローン推進G」の取り組みとあわせ、今後、業務の最適化、効率化に向けPlan, Do, Seeの各段階における活用方策を整理した「農業農村整備におけるドローンの活用参考案」、「UAVを活用した機能診断マニュアル案」をとりまとめる予定としている。

また、読者からドローンの研修会の開催や災害時の対応等の要望があればご相談に応じていきたいと考えている。

### 【参考文献】

- 1) 首相官邸ホームページ
- 2) 国土交通省：無人航空機（ドローン、ラジコン機等）安全な飛行のためのガイドライン
- 3) 農林水産省：農業水利施設の機能保全の手引き P.61 (2015)



# 老朽化した用水路トンネルの補修工法の検討

山 田 治\* 宮 田 恵 介\*  
(Osamu YAMADA) (Keisuke MIYATA)

## 目 次

1. はじめに .....	27	4. レンガ層の状況 .....	28
2. 現況状況 .....	27	5. 表面被覆材の仕様 .....	29
3. 既設表面被覆撤去工 .....	28	6. まとめ .....	30

### 1. はじめに

検討を行った用水路は白山頭首工に隣接する総延長約 930 m の農業用水路であり、供用後 110 余年が経過し老朽化が進行した水路躯体に対して、構造体としての安定性や通水機能等の向上を目的とした水路内面の補修・補強を行うものである。

この用水路には開水路、水路橋及びトンネル等と様々な区間があり、七ヶ用水の給水口（写真－1）である「トンネル2」区間はレンガ造りの隧道として明治 36 年に供用を開始し、現在は世界かんがい施設遺産として認定されている歴史的建造物である。この区間は平成 10 年の改修工事で樹脂系表面被覆が施工されているため、既設表面被覆の撤去方法や撤去後の再補修の方法を限られた停水期間内に現場状況に応じて選定する必要があった。本報は「トンネル2」区間の経年劣化の状況把握と補修方法の選定を整理したものである。



写真－1 七ヶ用水の給水口

### 2. 現況状況

#### 2-1 既設表面被覆の老朽化状況

現在、トンネル内の表面に被覆されている材料はレンガ面に対し、格子網筋とセメントモルタルにより不陸修正が行われた上に繊維強化型の有機樹脂材が塗布されており、かなり強固な塗膜であった。現況の近接調査を行なったところ既設表面被覆には部分的な浮き、剥離及び遊離石灰が多数点在し、全体的な評価としては、かなり老朽化が進んでいる状況であった。また、不陸修正層に設置された格子網筋は腐食しており、発生した錆により付着力を阻害している状況も確認できた（写真－2～写真－3 参照）。



写真－2 漏水・遊離石灰状況



写真－3 網筋の腐食状況

\*北陸農政局手取川流域農業水利事業所  
(Tel. 076-256-3080)

## 2-2 付着力の確認

表面被覆の補修にあたり、下地処理工により既設躯体内面の劣化部の除去が確実に行われている必要があるため、付着力試験により事前試験を行った。

下地処理工の仕様については予め既設塗膜を全て撤去することを踏まえ、ウォータージェット工法の吐出圧力を80MPa、100MPa、150MPa、200MPaの4通りとし、付着力の確認と塗膜の除去の状況確認を行った。

試験結果は表-1の付着力試験結果一覧表に示すとおり、全ての吐出圧力において既定の付着力である1.0N/mm<sup>2</sup>に満たない結果となった。また、既設塗膜が残存している状態とレンガ面まで露出させた状態のいずれの状態においても付着力が確保できず不合格の判定となった。

以上のように付着試験ではいずれの下地処理方法においても良好な結果が得られなかったが、既設表面被覆の劣化状況から、現状の老朽化した有機塗膜材とモルタル不陸修正層及び腐食した網筋を残した状態で新たに表面被覆材を塗布しても、長期の一体化に悪影響が生じることが明白であることから、劣化した既設表面被覆は全て撤去したうえで新たに表面被覆材を検討する方針とした。

以下に下地処理工による付着力試験結果一覧表を示す。下表の付着力試験は建研式付着力試験器を用いて1測点当り3回試験を行い、平均値を算出するものとし、全ての試験値において規定値の1.0N/mm<sup>2</sup>以上の場合を合格としている。

表-1 トンネル2区間 付着力試験結果一覧表

吐出圧力	部位	平均付着力 (N/mm <sup>2</sup> )	判定
WJ 80Mpa	頂版	0.53	不合格
	左岸	0.25	
	右岸	0.22	
WJ 100Mpa	頂版	1.04 <sup>※</sup>	不合格
	左岸	0.30	
	右岸	0.17	
WJ 150Mpa	頂版	0.75	不合格
	左岸	0.56	
	右岸	0.38	
WJ 200Mpa	頂版	0.41	不合格
	左岸	0.49	
	右岸	0.31	

※1 平均は規定値を上回っているが、1点の値が規定値を下回っているため不合格の判定

## 3. 既設表面被覆撤去工

既設表面被覆の撤去方法についてはウォータージェット工法と電動工具及びピックハンマーによる人力撤去による試験施工を行い、経済性、施工能力、工期から最適な方法を選定するものとした。ウォータージェット工法の仕様については既設の強固な樹脂塗膜層の撤去として高い能力が必要になることが予測

されたことから、付着力試験と並行して吐出圧力を80MPa、100MPa、150MPa、200MPaの4通りとして塗膜の撤去能力と付着力の比較試験を行った。以下に試験施工の結果を簡単に整理した。

表-2 トンネル2区間 表面被覆撤去工及び下地処理工

工法/仕様	試験結果
WJ80Mpa	塗膜の撤去は不可能であった。
WJ 100Mpa	塗膜の撤去は不可能であった。
WJ 150Mpa	塗膜の撤去は不可能であった。
WJ 200Mpa	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1分以上の噴射により繊維強化型有機塗膜材は除去可能である。</li> <li>・モルタル、網筋の不陸修正層撤去に非常に時間がかかる。(結果工期とコストで不利となる)</li> <li>・不陸修正層まで撤去すると同時にレンガ面まで破壊され施工面が荒れる。</li> </ul>
人力撤去	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モルタル、網筋の不陸修正層撤去が可能。</li> <li>・レンガ面を荒らさないように手加減が可能。</li> <li>・繊維強化型有機塗膜材の撤去に非常に時間がかかる。(結果工期とコストで不利となる)</li> </ul>

以上の試験施工の結果より、ウォータージェット工法200MPaにより繊維補強型樹脂塗膜を撤去したのち、人力施工によりモルタル及び網筋の不陸修正層を撤去する併用案が最も効率が良いと判断されたことから、これにより既設の塗膜を全て撤去する方針とした。また、トンネル内アーチ部等の部分的に既設塗膜が浮いている箇所については人力撤去で全て撤去の方が作業効率が良い結果となったため、既に浮いている部分については繊維補強樹脂塗膜層も人力で撤去するものとした。

## 4. レンガ層の状況

既設塗膜を撤去した後の露出したレンガ面の状況は目立った損傷は見られず、レンガの抜け出しや剥離等も無く良好な状態であった。また、当初懸念したレンガ目地からの漏水や湧水状況は少なく、安定した状況であった。この状況から既設の表面被覆工法が躯体の保護として長年に渡り十分に機能していたことが推察される(写真-4参照)。

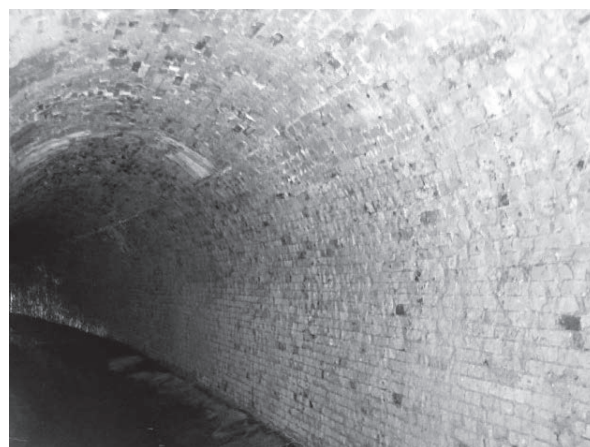


写真-4 レンガ表面状況



また、コア採取によりレンガ層と背面地山の状態を確認したところレンガは密実で良好な状態であり、地山についても空洞や帯水層は無く良好な状態であった。

## 5. 表面被覆材の仕様

### 5-1 工法の選定

当初設計の表面被覆材である HPFRCC（高性能セメント複合材）は既設の施工面に接着させることにより、その性能を発揮することが可能であるが、「トンネル2」区間の付着力試験結果では既設躯体（レンガ造）の施工面における付着力のバラつきが大きく、結果として必要な平均付着力が確保できない状況であった。そこで既設面との現状の付着力に付加する対策案としてアンカーでパネルまたは表面被覆材を固定する方法について、比較検討を行った。

比較検討の工法としては表-3のとおり、アンカー固定式のパネル工法と HPFRCC+ラス網筋工法、HPFRCC+ガラスグリッド工法、HPFRCC+炭素繊維グリッド工法の4工法とした。この4工法について、5つの視点から総合的に検討した結果、（ケース3 HPFRCCとガラスグリッド筋による工法）を採用した。

### 5-2 アンカー引き抜き力の照査

この施工方法による既設躯体との一体化の考え方はアンカー固定方式パネル工法と類似するため、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】（案）<sup>\*2</sup>」のアンカー固定方式パネル工法のアンカー引抜照査方法を参考にして表面被覆材自体の荷重に対して使用するアンカー及び配置の検討を行うものとした。

なお、浸透水圧に対してはコア採取調査からもレンガ背面の地山に空洞や水ミチは無く良好な状態であったこと、及び表面被覆工の施工範囲に水抜き孔及び導水工を設置し背面水を排水させる計画となっていることから、今回の検討からは除外した。

アンカー1本当りの引抜強度

$$P = (S \cdot t \cdot \gamma_m \cdot B \cdot L) / A = 1.2 \text{ kN/本}$$

以下にアンカー引抜強度の計算条件

項目	数値	
P	アンカー1本あたりに必要な引抜強度	1.2kN/本
$\gamma_m$	靱性モルタルの単位体積重量	19.3kN/m <sup>3</sup>
t	靱性モルタルの厚み	0.16m
B	グリッド材の定尺幅	2.0m
L	グリッド材の定尺長	3.0m
A	グリッド定尺面積当たりのアンカー打設数	30本
S	安全率(長期荷重)	2.0

使用アンカー

コンクリートアンカー：M8 コンクリートアンカー（許容引張荷重 = 1.42kN/本）

以上より、M8 コンクリートアンカーを定尺面積当たり30本（5本/m<sup>2</sup>）で配置するものとした。

### 5-3 HPFRCC グリッドの押抜き性能試験

本工事で採用した HPFRCC グリッド工法については、アンカーで固定したガラスグリッド筋と表面被覆材である HPFRCC が硬化後、パネル工法同様に、ある程度強度を有した合成板として自立しなければならない。そこで現場で作成した供試体を用いてコンクリート片及びレンガ片を落下させない剥落防止性能を判定するための押抜き試験を土木学会の試験方法（JSCE-K 533-2013：写真-5参照）に基づき行った。

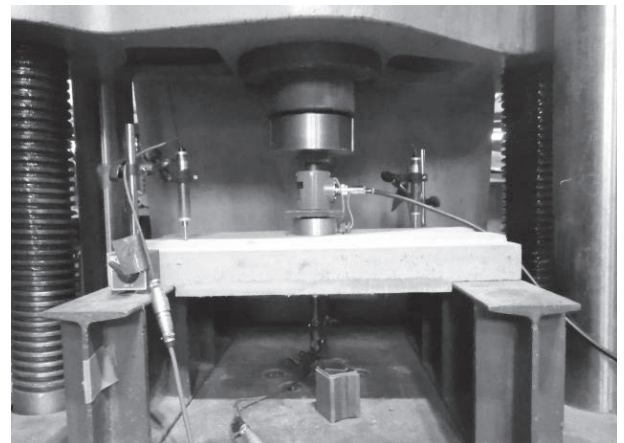


写真-5 JSCE-K 533-2013 押抜き試験状況

表-3 工法比較表

ケース	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
工法	アンカー固定式 パネル工法	HPFRCC +ラス網筋工法	HPFRCC +ガラスグリッド工法	HPFRCC +炭素繊維グリッド工法
接着性	アンカーで固定 ○	腐食すると剥離する ×	アンカーで固定 ○	アンカーで固定 ○
施工性	曲面加工が必要 △	曲面に対応できる ○	曲面に対応できる ○	曲面に対応できる ○
耐久性	比較的高い ○	網筋が腐食しやすい ×	比較的高い ○	比較的高い ○
工期	工場製作期間が必要 ×	調査後直ちに施工可能 ○	調査後直ちに施工可能 ○	調査後直ちに施工可能 ○
経済性	1.4 (加工費別) ×	0.8 ○	1.0 △	1.8 ×
判定	×	△	◎	○



試験の結果は表-4に示す通りで、土木学会の表面保護工法設計施工指針（案）<sup>※3</sup>に記載の荷重 1.5kN 以上（変位 10mm）で合格とし、HPFRCC グリッド工法が押抜き力に対して高い抵抗力を有する結果を得ることができた。

表-4 JSCE-K533-2013 押抜き試験結果

供試体	最大荷重	変位	判定
t=13mm	3.39kN	10mm 以上	合格
t=16mm	4.68kN	10mm 以上	合格

## 6. まとめ

今回、老朽化が進行した水路躯体と表面被覆材の付着力の確保が難しいレンガトンネルの内面補修（再補修）にあたり工程、耐久性、経済性に優れた HPFRCC グリッド工法を選定し、配置するアンカー筋の引き抜き力照査を行ったうえでアンカーの配置計画を行った。また、施工後においてはアンカー引抜き試験によりアンカー強度の確認を行い、別途行った押抜き試験では剥落防止性能に適合することが証明され、トンネル内面の表面被覆材として十分な性能を有することが確認できた。

今後の課題として設計時の性能照査にとどまらず、停水時の定期点検により引き続き採用した表面被覆材の経年劣化等のモニタリングを行っていくことが必要である。

出典：※2 農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室：平成 27 年 4 月

※3 （公社）土木学会：2005 年 5 月

協力：(株)小山組・(株)デーロス・ジャパン

# 犬山頭首工エプロン部における摩耗対策工法の試験施工

清水 啓生\* 横山 清文\* 志野 尚司\*\*  
 (Takao SHIMIZU) (Kiyofumi YOKOYAMA) (Tskashi SHINO)

## 目 次

1. はじめに	31	5. 対策工法の選定	32
2. 犬山頭首工の概要	31	6. モニタリング調査と評価	34
3. 既設エプロン部の摩耗状況	32	7. おわりに	35
4. 要求性能の設定	32		

### 1. はじめに

頭首工エプロン部は、供用とともに摩耗を主体とした劣化の進行が始まるが、摩耗量が一定値を超えるとエプロンとして必要な性能の確保が困難となる。また、この状態のまま放置すれば修復に多額の費用を要する修復限界を迎える。このような状況とならないようにストックマネジメントに取り組み、施設の長寿命化を図り、ライフサイクルコスト（以下、「LCC」という。）を低減することが重要である。しかし、LCCの低減に必要な対策工法等の技術情報は十分に蓄積されていない。

本稿では、ストックマネジメント技術高度化事業（以下、「高度化事業」という。）により、補修対策技術の高度化を目的として犬山頭首工エプロン部で実施した試験施工工事に関する対策工法の選定、モニタリング調査及び現時点での評価について報告する。

### 2. 犬山頭首工の概要

高度化事業の実施対象とした犬山頭首工は、一級河川木曾川中流部に位置し、宮田、木津、羽島、江南、扶桑の各地域への用水供給を目的に岐阜県と愛知県にまたがる堤長420m、最大取水量約51m<sup>3</sup>/sの施設で、国営濃尾用土地改良事業（S32～S42）により造成された（図-1、図-2、表-1）。

造成後は、国営造成土地改良施設整備事業（S49～S54）、国営総合農地防災事業（H10～H18）により、各施設の機能回復が実施されてきた。なお、エプロン部に限れば、制水門1号から5号は国営総合農地防災

事業により弾性板貼付工法並びに高強度コンクリート工法で改修されているが、本報の試験施工対象箇所である制水門6号は頭首工建設ときに真空コンクリート工法で施工されてから（昭和37年度完成）、補強対策等の改修は実施されていない。



図-1 位置図

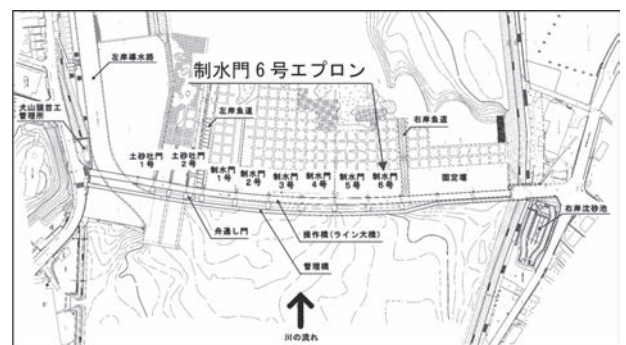


図-2 犬山頭首工平面図

表-1 犬山頭首工の諸元等

河川名	一級河川木曾川水系木曾川
位置	左岸：愛知県犬山市 右岸：岐阜県各務原市
型式	兩岸取水、一部可動堰、一部固定堰
堤長	420m
計画洪水量	12,500m <sup>3</sup> /s
最大取水量	51.06m <sup>3</sup> /s
受益面積	9,363ha

\* 東海農政局木曾川水系土地改良調査管理事務所  
 (Tel. 052-791-3191)

\*\* 東海農政局土地改良技術事務所  
 (Tel. 052-232-1057)

### 3. 既設エプロン部の摩耗状況

平成17年度以前は、河川流量の増加に伴い制水門1号から6号の順に操作されていたため、制水門6号は最も使用頻度が少ない施設であった。

その後の平成18年度以降は、平成11年度から平成18年度に国営総合農地防災事業により、制水門6号の右岸側に魚道が新設されたことに伴い、誘導流を確保するために制水門の管理規程が変更され、河川流量の増加に伴い制水門1号、制水門6号の順番に操作することになり、制水門6号の操作回数が増大した(表-2)。

これに伴い、制水門6号エプロンの摩耗量は、昭和37年度から平成11年度までの37年間で平均22mm(年平均0.59mm)の摩耗量であったが、平成11年度から平成22年度までの11年間で平均60mm(年平均5.45mm)と制水門の管理規程変更前後で9倍程度の摩耗進行速度となっている。これは、平成18年度以降は放流の影響を受ける頻度が多くなったことに起因すると思われる(表-3)。

表-2 制水門6号の放流状況の例

項目	平成11年度	平成21年度
放流日数[day]	22	239
総放流量[千m <sup>3</sup> ]	276,178	957,017
日当たり平均放流量[千m <sup>3</sup> /day]	12,554	4,004
平均放流量[m <sup>3</sup> /s]	145.3	46.3
平均ゲート開度[m]	全開	0.40 (下端放流)

表-3 制水門6号エプロンの摩耗量の推移

年度	摩耗量[mm]	
	平均(年平均)	最大(年平均)
昭和37年度 (供用開始)	0 (0)	0 (0)
供用開始～平成11年度 (37年間)	22 (0.59)	70 (1.89)
平成11年度～平成22年度 (11年間)	60 (5.45)	196 (17.82)

※(年平均)は、累積摩耗量/経過年。また、摩耗量は記録が残っている平成11年、22年を境として整理している。

### 4. 要求性能の設定

設計基準「頭首工」では、エプロンに必要な機能を、①流水等の流下による上下流部の洗掘防止、②浸透水によるパイピング防止としている。また、この他に耐久性を有することが必要としている。

そのため、対策工法選定に当たっての要求性能として、耐久性のうち耐摩耗性に着目することとした。

摩耗の要因としては「衝撃摩耗」と「掃流摩耗」に

大別されるが、一般的には頭首工エプロン部の摩耗は掃流摩耗が主な要因である(表-4)。

表-4 摩耗の要因別定義

要因	定義
衝撃摩耗	堰堤上部から洪水とともに比較的大きな土石類が水叩き表面に落下するように、コンクリート表面に力が直接作用することに起因する摩耗。または、凸部に流れが衝撃することによる摩耗。
掃流摩耗	ゲート放流時に水流・砂礫等がコンクリート表面を流下するようにコンクリート表面に力が平行に作用することによる摩耗。

### 5. 対策工法の選定

設計基準「頭首工」では、コンクリート表面保護工法を①コンクリート表面に耐摩耗層をつくる方法(石張工法、弾性板工法など)、②コンクリートに耐摩耗材を混入する方法(鉄粉コンクリート工法など)、③コンクリートの品質を向上させる方法(真空コンクリート工法、高強度コンクリート工法など)、等に分類し、各工法の特徴が示されている。

全国での採用事例は、①及び③が主流で②が少なく、東海農政局管内の施工実績に限れば③の工法が最も多い。

そのため、試験施工する新工法と比較するために実施する従来工法には、東海農政局管内で施工実績が多くあること、施工性、経済性に有利な工法であることから、③に分類される「高強度コンクリート工法」を採用した。

新工法は、農業農村整備民間技術情報データベース(NNTD)及び新技術情報システム(NETIS)を活用し、頭首工エプロンの他、砂防ダムの床止め工、取水堰水叩き床版等に適用可能な新技術・工法から耐摩耗性を含む各種性能や経済性を総合的に評価し、①に分類される「高強度プレキャストコンクリート板工法」、②に分類される「耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法」及び③に分類される「高強度コンクリート+浸透性常温硬化ガラス形成材塗布工法」の3工法を選定し、平成24年度に試験施工工事を実施した(図-3)。

選定した各工法の特徴と施工標準図を以下に示す。

#### (1) 高強度コンクリート工法(従来工法)

設計基準強度50N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートを既設上に打設する工法で、既設コンクリートと同質材料のため一体性が確保される。普通コンクリートより密実なため、耐摩耗性が向上する(図-4)。

#### (2) 高強度コンクリート+浸透性常温硬化ガラス形成材塗布工法

コンクリートの表面に浸透性常温ガラス形成材を塗布する工法(NNTD1066)で、浸透性常温ガラス形成材がコンクリート内部に浸透し、不溶性結晶体が形成



される。耐摩耗性は普通コンクリートの1.9倍である。試験施工では、従来工法として選定した高強度コンクリートの表面に塗布した。なお、施工コストは従来工法の約1.3倍である(図-5)。

### (3) 高強度プレキャストコンクリート板工法

高強度コンクリートのプレキャスト板(圧縮強度100N/mm<sup>2</sup>級)を下地コンクリートにアンカーボルトで固定する工法(NETIS TH-090010-A:2015年11月掲載終了技術リスト, PAT.3442067)で、耐摩耗性は

普通コンクリートの1.4倍となる。なお、施工コストは従来工法の約8倍である(図-6)。

### (4) 耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法

既設コンクリート表面に耐摩耗性エポキシ樹脂コンクリート及びエポキシ樹脂モルタルを打設する工法で、普通コンクリートの約20倍の耐摩耗性と高い耐衝撃性を有している。なお、施工コストは従来工法の約13倍である(図-7)。

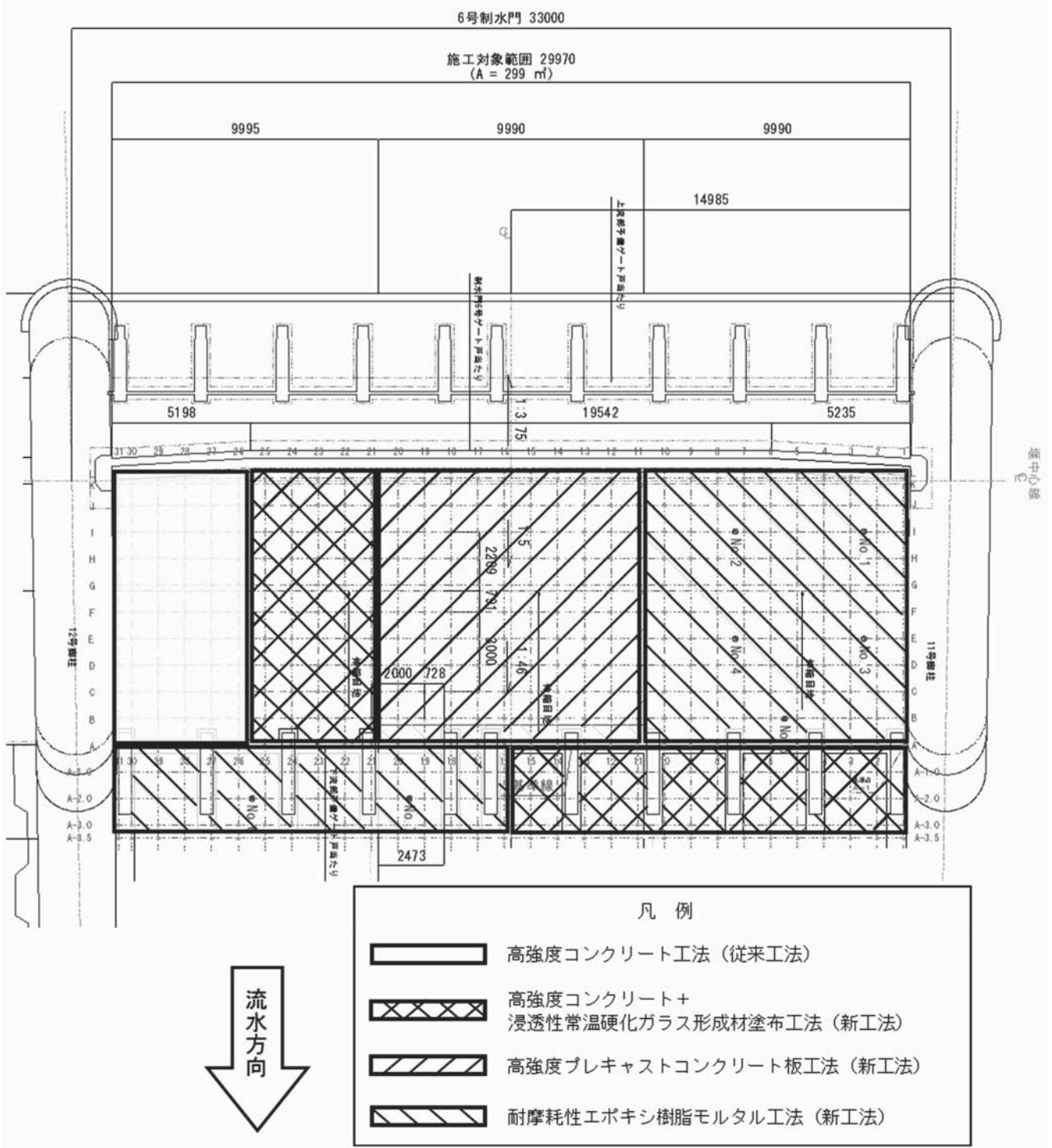


図-3 摩耗対策工法平面図

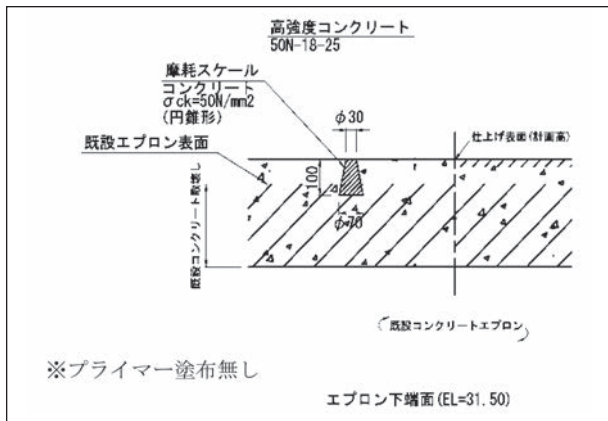


図-4 高強度コンクリート工法標準図

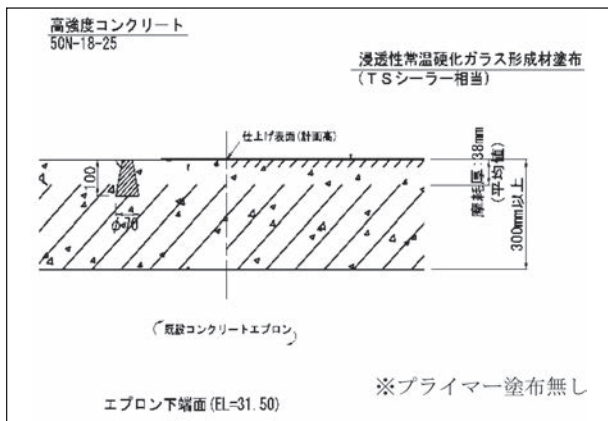


図-5 高強度コンクリート+浸透性常温硬化ガラス形成材塗布工法標準図

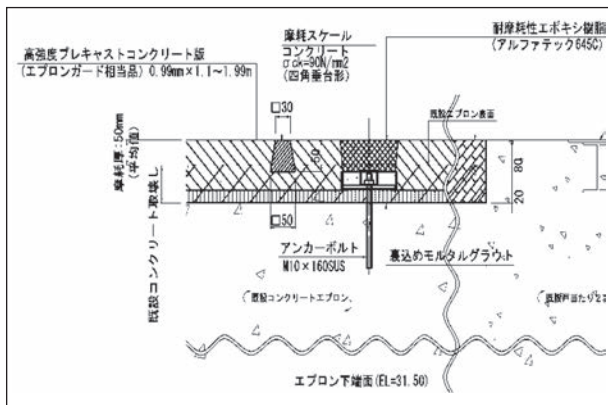


図-6 高強度プレキャストコンクリート板工法標準図

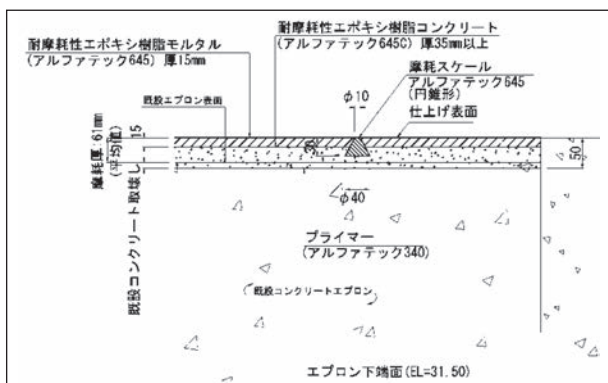


図-7 耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法標準図

## 6. モニタリング調査と評価

### (1) 調査計画

性能低下は、施工直後から発生する現象と長期にわたって発生する現象により進行することから、モニタリング調査は施工後から5年経過するまでは毎年、5年目以降は3年毎に実施する計画とした。

各工法のモニタリング項目としては、現地適合性及び耐久性に着目し、①変状確認（目視調査）、②摩耗状況確認（水準測量）、③付着強度試験（建研式：耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法が対象）により確認するものとした（表-5）。

表-5 モニタリング調査項目と内容

項目	内容
目視等調査	ひび割れ調査： ひび割れの幅、長さの測定をクラックスケール、ルーペ等を用い行う。
	材料劣化調査： 材料の浮き、剥離、錆汁、エフロレッセンス、変色、漏水（痕跡）、鉄筋露出などの変状の有無、箇所数、位置を目視により確認する。
摩耗状況調査	エプロン表面を格子状に水準測量し摩耗量の直接計測を行う。スタッフは、mm単位の読み取りが可能となるよう先端に鉤を取付けたものを使用する。
付着強度試験	材料劣化に伴う付着強度の低下を測定する。

### (2) 調査結果

平成28年度（試験施工後4年目）に実施したモニタリング調査結果を表-6（次頁）に示す。

### (3) 対策工法の評価


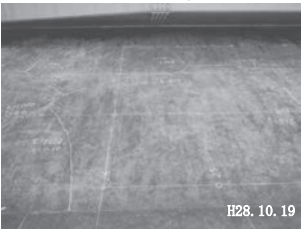
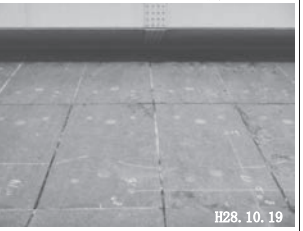
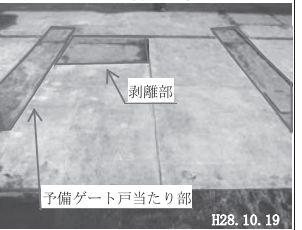




各対策工法について、モニタリング計画で述べたとおり現地適合性と耐久性に着目し、発生した劣化状況を基に評価を行った（表-7）。

表-7 対策工法の評価結果

工法名	耐久性評価
高強度コンクリート工法	施工直後からひび割れが発生しているが、構造上問題となるような規模、位置でのひび割れは見られない。また、変状についても同様である。摩耗耐久性を有している。
高強度コンクリート工法+浸透性常温硬化ガラス形成材塗布工法	施工直後からひび割れが発生しているが、構造上問題となるような規模、位置でのひび割れは見られない。また、変状についても同様である。摩耗耐久性を有している。
高強度プレキャストコンクリート板工法	コンクリート版と母材との間に空洞及び目地材の剥がれが発生しているが、アンカーボルトにより固定されているため機能上の問題ではない。摩耗耐久性を有している。
耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法	樹脂モルタルの剥離が発生している。原因は、端部で熱膨張率の差による浮き、付着強度の低下、水流による衝撃と推察される。摩耗耐久性を有している。



表-6 モニタリング調査結果

工法	【従来工法】 高強度コンクリート工法	【新工法】 高強度コンクリート+浸透性常温硬化 ガラス形成材塗布工法	【新工法】 高強度プレキャストコンクリート版 工法	【新工法】 耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法
摩耗調査	H24からの累積平均：4.9mm H27からの年間平均：1.3mm	H24からの累積平均：4.4mm H27からの年間平均：1.2mm	H24からの累積平均：2.6mm H27からの年間平均：1.2mm	H24からの累積平均：4.7mm H27からの年間平均：1.4mm
目視調査  現場 状況	ひび割れ状況 過年度に確認できなかった箇所及び急流部と緩勾配部に新たなひび割れを確認した。	過年度は見られたひび割れが確認できない箇所があった。	ひび割れは見られない。	下部予備ゲート戸当たりの隅角部に新たなひび割れが見られた。
	材料劣化状況 過年度と同じ位置、規模で欠損が見られた。	過年度と同じ位置、規模で欠損が見られた。	目地材の欠損が見られた。また、既設コンクリートとの空洞が確認された。	予備ゲート戸当り部に、浮き及び剥離が見られた。また、急流部及び緩勾配部に空洞や横断的な不陸が確認された。
	ひび割れ発生状況  H28. 10. 19	ひび割れ発生状況  H28. 10. 19	目地モルタルの欠損  H28. 10. 19	浮き・剥離発生状況  H28. 10. 19 剥離部 予備ゲート戸当たり部
	 H28. 10. 19	 H28. 10. 19	 H28. 10. 19	耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル層  H28. 10. 19 浮き
付着強度試験	—	—	—	7箇所中2箇所が1.0N/mm <sup>2</sup> 以上、その他は母材接着面等で破断した。
総括	ひび割れの進展(長さ・幅)が若干認められたが、構造上問題とされる変状は確認できなかった。	ひび割れの進展(長さ・幅)が確認されず、構造上問題とされる変状は確認できなかった。	コンクリート版自体の変状はなく、過年度に確認された空洞は拡大していない。目地の剥がれ等が確認された。	水勢が衝突する部分で剥離、欠損、急流部において、横断的な不陸が確認され、空洞も過年度と同位置で確認された。また、母材との付着強度が1.0N/mm <sup>2</sup> を下回る箇所が確認された。

「高強度コンクリート工法」、 「高強度コンクリート+浸透性常温硬化ガラス形成材塗布工法」及び「高強度プレキャストコンクリート板工法」については、耐久性能は満足しており対策工法として適していることが確認された。「耐摩耗性エポキシ樹脂モルタル工法」は、試験施工箇所の構造的な要因による水流の衝撃等が原因と思われる剥離が確認されており、施工端部の処理方法について留意する必要があること、母材との付着強度が低下していることが課題である。

## 7. おわりに

各工法とも必要な摩耗耐久性を有しているものの、その性能には差異が認められた。ただし、本報は犬山頭首工6号制水門エプロン部に限定したもので、実際の適用においては、流水の状況などの現場条件や施工条件等にも留意した選定が必要である。

また、試験施工後4年という短期間での調査による評価を行ったが、材料特性によるものか否かの見極めや長期的な耐久性についても評価する必要がある、継続してモニタリング調査を実施する予定である。

今回の事例が、頭首工エプロンの摩耗対策工検討の一助になれば幸いである。

## 【参考文献】

- ・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「頭首工」：社団法人農業農村工学会
- ・各工法の特徴は新技術各社カタログ等を参考とした。



【報 文】

たんかいいけ

# 淡海池レベル2地震動堤体耐震性能照査における崩壊解析手法の選定 (ニューマークD法・FLIP法)

中 川 信 次\*  
(Shinji NAKAGAWA)

## 目 次

I. はじめに	36	IV. 選定結果	37
II. 現状と課題	36	V. 解析の進捗状況と解析結果の予測	37
III. 解析手法の選定条件	37	VI. まとめおよび今後の課題	38

### I. はじめに

滋賀県高島市にある<sup>たんかいいけ</sup>淡海池は大正14年(1925年)に竣工した受益地98.7haを灌漑している水源施設であり、地区住民の営農上欠くことのできない存在である。また、琵琶湖国定公園第1種特別地域内に位置し、周辺の豊かな自然と共に美しい空間を造り、多くの人々から愛されている(図-1、写真-1)。一方、築堤後の維持管理にもかかわらず、取水施設や堤体の老朽化が進んでいる。特に堤体については基準の安全率 $F_s=1.2$ を満たしておらず、早急な対応が必要となっている。

このため、淡海池は農村地域防災減災事業により平成26年度から改修事業を進めており、平成28年度はその計画堤体断面について耐震性能照査を行っている。今回はその経過を報告する。



写真-1 淡海池

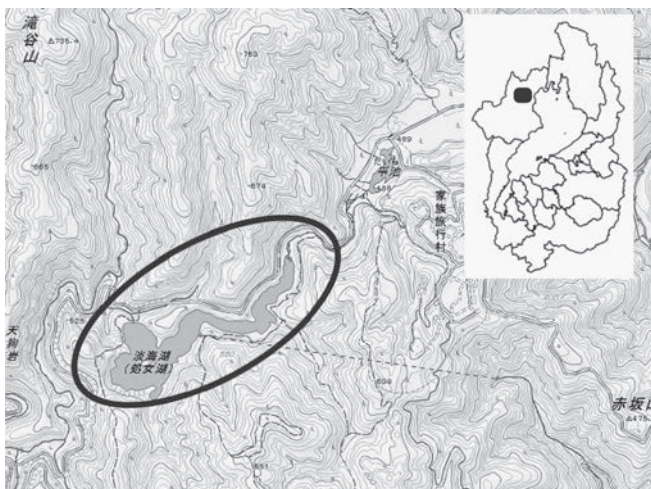


図-1 淡海池位置図

### II. 現状と課題

淡海池は堤高が27.3mとなっており、設計基準では「ダム」に分類される(淡海池の諸元を表-1に示す)。ダムの場合には社会的重要な度が高い構造物であることから、レベル2地震動(現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動)に対しても所定の耐震性能を満足させる必要がある。

ここで、レベル1地震動に対する計画堤体断面の耐震性能の評価については、昨年度の業務において検討

表-1 淡海池ダム諸元

	現況	計画
ダム形式	中心コア式 アースダム	中心コア式 アースダム
受益面積	98.7ha	98.7ha
堤 高	27.3m	27.3m
堤 長	39.5m	39.5m
法面勾配	上流側 1:2.7 下流側 1:2.0	上流側 1:3.0 下流側 1:2.0

\*滋賀県高島農業農村振興事務所  
(Tel. 0740-22-6035)

を行い、安全率  $F_s=1.2$  を満たすことを確認している。

本年度の業務ではレベル2地震動に対する耐震性能の評価を行う必要があり、そのためには、レベル2地震動に対する崩壊解析を実施する必要があった。しかし、地震動により堤体が強度低下を起こす可能性がある場合、その解析手法は研究途上であり、どの手法を採用すべきか明確に記された基準書がないのが現状である。設計指針等に記述のある手法だけでも8種類に及ぶが、その選定方法や選定基準は明確に示されていない。また、林田(2008年)らは耐震照査の解析手法により同一の堤体でも結果が大きく異なることを示している。

すなわち、平成28年度においては堤体のレベル2地震動に対する耐震性能を適切に評価することが重要であり、そのためには、採用する崩壊解析の手法選定が課題であった。

### Ⅲ. 解析手法の選定条件

#### 1. 堤体計画断面図

淡海池における堤体計画断面図を図-2に示す。改修計画としては堤体上流側に押さえ盛土を予定している。

#### 2. 選定における注意点

今回、堤体の崩壊解析にあたり、過年度の成果から注意すべき点があった。それは以下の2点である。

- (1) 堤体上流側ランダム土には液状化・強度低下の恐れがある。
- (2) 堤体下流側基礎地盤に有機質土があり、繰り返し载荷により強度低下する恐れがある。

#### 3. 解析手法選定のポイント

前述2.の注意点から次の2点を解析手法選定のポイントとして捉えた。

- (1) 「すべり破壊に伴う残留変形量(後に残る変形量)」を求める必要性

堤体上流側に液状化の可能性があることから、すべり破壊の危険性はぬぐえない。よって、

“すべり破壊に伴う残留変形量”を考慮できる手法の選択が必要である。

- (2) 「せん断剛性の低下による残留変形量(後に残る変形量)」を求める必要性

堤体上流側および基礎地盤には強度低下する可能性があるため、すべり破壊以外の沈下などの変形も無視できない。このため、“せん断剛性の低下による残留変形量”も考慮できる手法の選択が必要である。

### Ⅳ. 選定結果

前述のポイントに加え実績、経済性などを考慮し選定を行った。比較検討の結果を表-3に示す。当初は一つの解析手法の選択を考えていたが、上流側と下流側で崩壊形態が異なることも想定され、それぞれの崩壊形態に適した解析手法が必要と考えた。よって、2つの解析手法を採用することとし、「ニューマークD法」と「FLIP」を併せて採用することとした。すなわち、「ニューマークD法」により、すべり崩壊のような破壊形態を考慮し、「FLIP」により沈下のような破壊形態を考慮することとした。

### Ⅴ. 解析の進捗状況と解析結果の予測

#### 1. 進捗状況

修正ニューマークD法を用いて変形量を求めるためには、損傷ひずみ( $\epsilon_D$ )と損傷内部摩擦角( $\phi_{cuD}$ )の関係を得ることが必要となるが、現在はそのために必要な土質試験が完了し、崩壊解析を実施中である。なお、土質試験は図-3に示す4つの土質に対して行い、その結果は図-4~7に示す。

そして、導き出された損傷ひずみ( $\epsilon_D$ )と損傷内部摩擦角( $\phi_{cuD}$ )の関係式の一覧を表-2に示す。

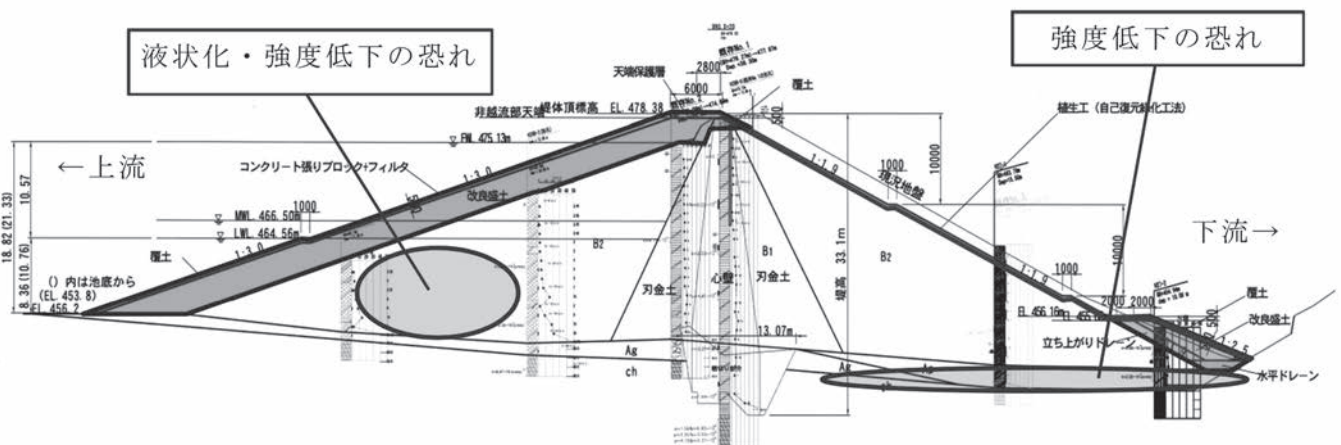


図-2 堤体断面図



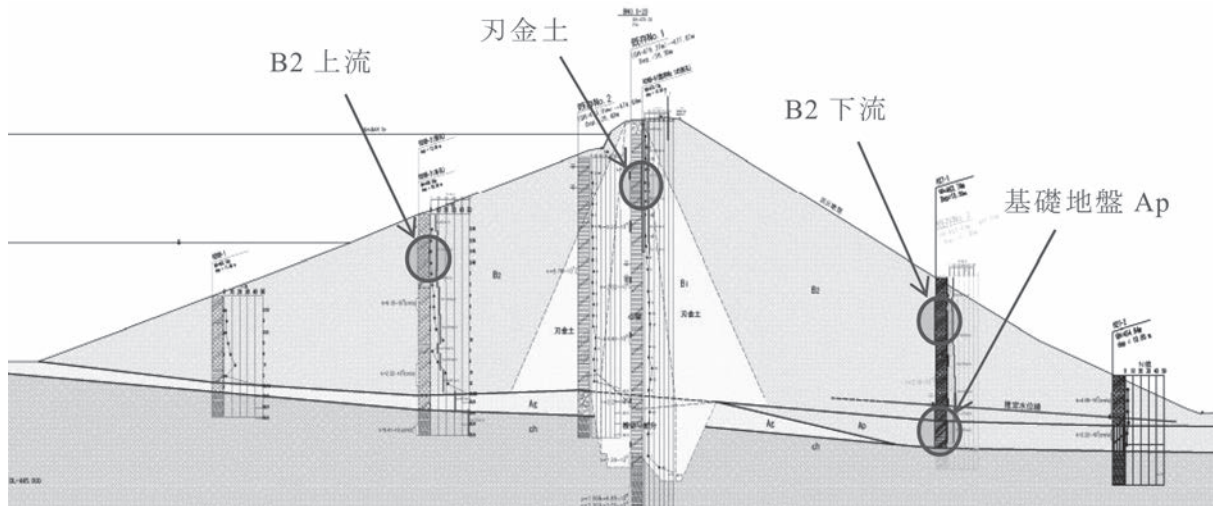


図-3 修正ニューマークD法 土質試験箇所

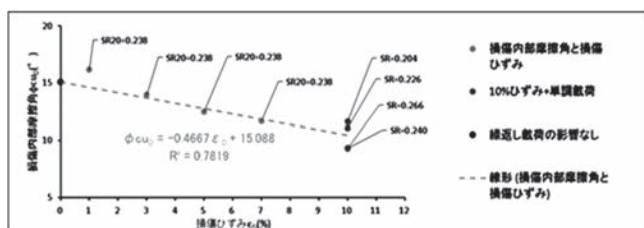


図-4 刃金土  
損傷ひずみ  $\epsilon_D$  - 損傷内部摩擦角  $\phi_{cuD}$

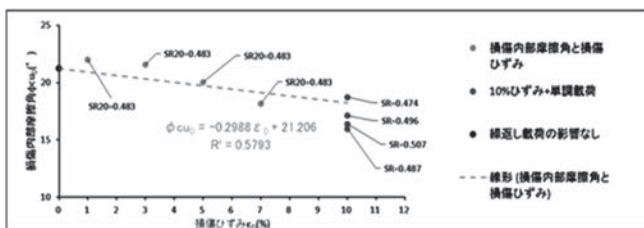


図-5 B2上流  
損傷ひずみ  $\epsilon_D$  - 損傷内部摩擦角  $\phi_{cuD}$

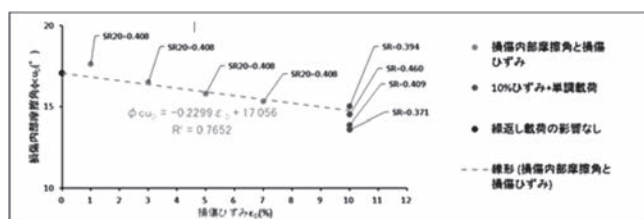


図-6 B2下流  
損傷ひずみ  $\epsilon_D$  - 損傷内部摩擦角  $\phi_{cuD}$

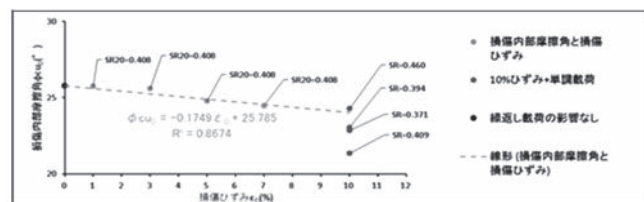


図-7 基礎地盤  
損傷ひずみ  $\epsilon_D$  - 損傷内部摩擦角  $\phi_{cuD}$

表-2 損傷の増加に伴って低下する非排水強度の算出結果

刃金土	$\phi_{cuD} = -0.4667\epsilon_D + 15.088$
B2上流	$\phi_{cuD} = -0.2988\epsilon_D + 21.206$
B2下流	$\phi_{cuD} = -0.2299\epsilon_D + 17.056$
基礎地盤Ap	$\phi_{cuD} = -0.1749\epsilon_D + 25.785$

表-2の式からは損傷ひずみ ( $\epsilon_D$ ) の増加に伴って損傷内部摩擦角 ( $\phi_{cuD}$ ) が0.17 ~ 0.47の勾配で低下することがわかる。すなわち、損傷ひずみ ( $\epsilon_D$ ) が1%増加するのに対して、内部摩擦角 ( $\phi_{cuD}$ ) は0.17 ~ 0.47度低下することとなる。その中でも、刃金土の低下率ももっとも大きい結果となった。

また、FLIP法についても過年度に実施した土質データをもとに解析を進めている。

## 2. 解析結果の予測

予測としては、堤体上流側に押さえ盛土を施工するために、上流側のすべり破壊による変形量は僅かになるのではないかと考えている。ただし、刃金土の内部摩擦角 ( $\phi_{cuD}$ ) の低下率が他よりも大きいことが、堤体全体へどのような影響を与えるのか気になる点ではある。

また、基礎地盤の変形量については土層厚が薄いため、堤体に深刻なダメージを与えないと予測している。

## VI. まとめおよび今後の課題

結果的には二つの解析手法を採用することでコスト高になった面もあるが、それぞれの手法の不得手とする部分を補い合っており、安全性に十分配慮した設計となると考えている。今後、2つの解析結果(2つの手法により算出された沈下量)をもとに、淡海池における堤体耐震性能の総合的な評価を行っていく。その際、2つの解析結果をどのように合わせて評価していくかが検討課題として残されている。



最後に、レベル2地震動に対する堤体の崩壊解析の手法は研究途上の技術であり、基準書に明確に示せない理由も理解できる。このような問題を解決していくためには事例を蓄積していくことが重要だと考える。

特に一つの堤体で複数の解析手法を用いた事例は貴重である。技術の進展のためには、積極的に事例を報告し、技術者同士で情報を共有することが重要であると考える。

表-3 淡海池における解析手法比較

解析方法	考え方	長所、短所	採用根拠（総合評価）	採用可否
FLIP (フィリップ)	繰り返し地震動とそれに伴うせん断剛性の低下による残留変形量を求める。	【長所】 ・解析費が安価。 ・繰り返し地震動とそれに伴うせん断剛性低下による残留変形量を考慮できる。 ・堤防構造物で実績多数。 【短所】 ・すべり破壊に伴う残留変形量が算出できない。	FLIP単独解析では、すべり破壊に伴う残留変形量が算出されないことから、すべり・局所崩壊のような不連続な破壊形態の可能性がある堤体では不向き。	○
LIQCA (リッカ)	同上	【長所】 ・繰り返し地震動とそれに伴うせん断剛性低下による残留変形量を考慮できる。 【短所】 ・すべり破壊に伴う残留変形量が算出できない。 ・本地区においては追加土質試験必要。	LIQCA単独解析では、すべり破壊に伴う残留変形量が算出されないことから、すべり・局所崩壊のような不連続な破壊形態の可能性がある堤体では不向き。	△
MuDIAN (ムーディアン)	同上	【長所】 ・繰り返し地震動とそれに伴うせん断剛性低下による残留変形量を考慮できる。 【短所】 ・すべり破壊に伴う残留変形量が算出できない。 ・ダム解析事例が少ない。	MuDIAN単独解析では、すべり破壊に伴う残留変形量が算出されないことから、すべり・局所崩壊のような不連続な破壊形態の可能性がある堤体では不向き。	△
Nonsolan (ノンソラン)	同上	【長所】 ・繰り返し地震動とそれに伴うせん断剛性低下による残留変形量を考慮できる。 ・ダム解析事例多し。 【短所】 ・すべり破壊に伴う残留変形量が算出できない。 ・本地区の見積り結果では解析費用が最も高い。	Nonsolan単独解析では、すべり破壊に伴う残留変形量が算出されないことから、すべり・局所崩壊のような不連続な破壊形態の可能性がある堤体では不向き。	△
ニューマークD法	すべり破壊に伴う残留変形量を求める。	【長所】 ・解析費が比較的安価。 ・実績が増えつつある。 【短所】 ・繰り返し地震動とそれに伴うせん断剛性低下による残留変形量を考慮できない。 ・ニューマークD法に特化した追加土質試験が必要。	繰り返し地震動とそれに伴うせん断剛性低下による残留変形量が考慮できないことから全変形量が算出できないため、この解析結果だけでは完全な評価はしにくい。	○
ALID (アリッド)	有限要素法に基づく静的解析を行う。	【長所】 ・簡便である。 ・ $\Delta u$ 法と比較して実際の土の特性を反映している。 【短所】 ・地震動の特性が考慮されない。 ・圧密による沈下は簡易的にしか考慮されない。	左記短所により却下	×
東畑モデル	流体力学に基づく永久変形解析を行う。液状化層を粘性流体、非液状化層を弾性体とする。	【長所】 ・簡便である。 【短所】 ・液状化の程度による土の特性の変化が考慮されない。 ・原則的に1層の液状化層しか考慮できない。2層以上の場合は工夫が必要。 ・圧密による沈下は考慮されない。	左記短所により却下	×
$\Delta u$ 法	液状化による土の強度低下を考慮した円弧すべり計算法	【長所】 ・極めて簡便である。 【短所】 ・地震動の特性が考慮されない。 ・液状化の程度による土の特性の変化が考慮されない。	左記短所により却下	×
ニューマークD法+FLIP	ニューマークD法とFLIPの両者を実施する。	【長所】 ・すべり破壊に伴う残留変形量と繰り返し地震動とそれに伴うせん断剛性低下による残留変形量の両方を考慮できる。 【短所】 ・解析費が高い。	解析事例も数例あり、本地区においては最も適合したものと判断できる。 但し解析費用が高価となる。	◎

参考文献 1)国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル 平成24年3月 農林水産省農村振興局

参考文献 2)河川堤防の地震量の予測 平成14年2月 国土技術研究センター

参考文献 3)土地改良事業設計指針「ため池整備」平成27年5月 農林水産省農村振興局整備部監修

参考文献 4)土地改良事業設計指針「耐震設計」平成27年5月 農林水産省農村振興局整備部監修

参考文献 5)林田洋一:複数の解析コードによる動的有効応力解析結果の比較

農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp.638-639,2008

地形図：国土地理院の電子地形図に滋賀県白地図、丸枠を追記して掲載

# ベーンコーンせん断試験によるため池堤体部の地盤評価例

脇 屋 和 久\* 石 本 裕 己\*\*  
 (Kazuhisa WAKIYA) (Hiromi ISHIMOTO)

## 目 次

1. はじめに	40	4. 試験・取りまとめ方法	41
2. 過年度業務概要	40	5. 試験・解析結果	44
3. 平成 27 年度業務の追加調査解析の方針	41	6. おわりに	44

## 1. はじめに

山口県では、平成 25 年度より大規模地震時のため池堤体の耐震性評価を進めてきた。耐震性評価は、新たに実施した群列ボーリングによる地質調査結果、水位観測孔による地下水観測結果、現場透水試験による透水係数の算定結果、室内土質試験による地盤定数の算定結果に基づき実施されている。解析に用いた地盤定数は、基盤岩類を除き原則室内三軸圧縮試験に基づき算定した。ただし、礫が多い地層では乱さない試料のサンプリングが困難な場合、或いはサンプリングが出来ても供試体作成が困難な場合などのやむを得ない場合があった。その場合の地盤定数は、N 値と地盤定数との換算式から得たものを解析に用いた。通常、土砂の場合、換算式による地盤定数は、粘着力 C 及び内部摩擦角  $\phi$  のいずれかを“0 (ゼロ)”とすることから、実際の地盤強度より小さな値に見積もってしまう場合が多い。従って、その様な地盤定数を用いて解析を行ったため池の堤体は、所定の安全率を満足しない結果となる傾向があった。

本報告では、平成 25 年度業務で所定の安全率を満足しなかった河内前ため池において、平成 27 年度業務でベーンコーンせん断試験を追加調査し、地盤定数を再設定して解析事例を紹介する。

河内前ため池は、山口県北西部に位置する堤高 8 m、堤長 40m のため池である。

## 2. 過年度業務概要

平成 25 年度業務では、図 - 1 に示す調査解析測線

\* 山口県農林水産部農村整備課

(Tel. 083-933-3424)

\*\* (株)宇部建設コンサルタント 調査部

(Tel. 0836-72-0392)

で上流～下流にかけて 3 箇所群列ボーリングを実施した。地質調査結果によると河内前ため池は均一型ため池で堤体下位の基礎地盤は、上位から沖積層粘性土、沖積礫質土、頁岩からなる (図 - 2、写真 - 1)。

乱さない試料採取は、堤体で 2 箇所、沖積粘性土及び沖積礫質土でそれぞれ 1 箇所ずつ、合計 4 箇所を実施した (図 - 2)。ただし、沖積礫質土は、礫が多く乱さない試料を採取できなかった。また、乱さない試料を用いた三軸圧縮試験は、堤体盛土で 2 箇所とも実施出来たが、沖積粘性土では供試体に礫が多く含まれ

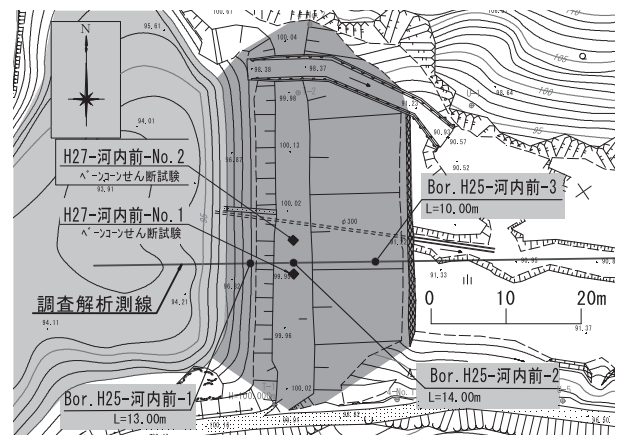


図 - 1 調査位置図

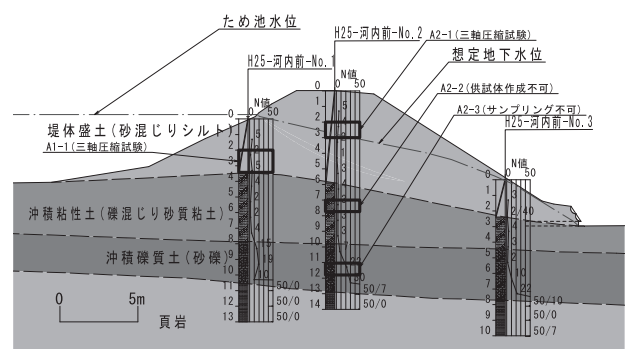


図 - 2 地質断面図

るため供試体が作成出来ずに実施出来なかった。そのため、耐震性評価の解析に用いた地盤定数は、堤体盛土では三軸圧縮試験値、沖積粘性土及び沖積礫質土ではN値による換算式からの算定値とした(表-1)。沖積粘性土及び沖積礫質土は、本来C及び $\phi$ の両方を一定の評価をすべきであるが、片方を“0(ゼロ)”を採用した。



写真-1 H25-河内前-No.2のコア写真

表-1 平成25年度業務で用いた地盤定数

地層名	設計N値	湿潤単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_t$	飽和単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_{sat}$	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> ) c	せん断抵抗角 (°) $\phi$	設定根拠
盛土 (砂混じりシルト)	3	18.9	19.1	16.2	35.7	室内土質結果より
沖積粘性土 (標混じり砂質粘土)	3	14.0	14.8	25.1	0.0	$\phi=0$ , Peck: $c=1/2qu$ , $qu=16.7N$
沖積礫質土 (砂礫)	15	19.0	19.8	0.0	31.5	$c=0$ , Peck: $\phi=0.3N+27$
基盤岩 (頁岩)	259	21.0	21.8	469.9	21.4	$\gamma_t = (1.173+0.4 \cdot \log N) \times 9.807$ $c=16.2N^0.606$ $\phi=0.888\log N+19.3$

耐震性評価における解析方法は「土地改良事業設計指針ため池整備<sup>1)</sup>」に従い、円形すべり面スライス法で下記の5つのケースで実施した(表-2)。基準となる安全率は、5つのすべてのケースで1.20以上とした。

表-2 平成25年度業務の耐震性評価結果

ケース	水位	検討箇所	設計震度	基準	平成25年度業務耐震性評価結果
常時満水位	満水位	上流側	常時(0%)	1.20以上	2.00
			地震時(100%)	1.20以上	<b>1.13(OUT)</b>
		下流側	常時(0%)	1.20以上	<b>1.15(OUT)</b>
			地震時(100%)	1.20以上	<b>0.93(OUT)</b>
水位急降下	満水位-2.0m	上流側	地震時(50%)	1.20以上	1.40

その結果、河内前ため池では5つのケースのうち3つのケースで基準となる安全率を満足することが出来なかった。この要因として、基準を満足していない3つのケースでは最小安全率円弧が三軸圧縮試験ができず、N値より推定したせん断強度定数を採用している沖積粘性土を通っているためと考えた。沖積粘性土の地盤定数は、比較的多くの礫を含むにも関わらず $\phi$ を

“0(ゼロ)”としているため、地盤定数を適切に評価することが課題となっていた。

### 3. 平成27年度業務の追加調査解析の方針

沖積粘性土及び沖積礫質土は、礫を含むため乱さない試料の採取が出来なかった或いは試料採取が出来ても三軸圧縮試験用の供試体の作成が出来なかった。再度、試料採取を試み、室内三軸圧縮試験を実施するという選択肢があったが、試料採取及び供試体作成が必ずしもうまくいくとは限られないことから、平成27年度業務ではベーンコーンせん断試験による地盤定数の算定を試みることにした。試験対象地盤は、堤体盛土と沖積粘性土である。沖積礫質土への適用は、礫が多いと礫と羽根付き先端コーンが噛み合い、異常値となることから、適用外とした。ベーンコーンせん断試験とは、独立行政法人土木研究所が主体となって開発した試験機で、土層内の所定の深度に羽根付き先端コーン(ベーンコーン)を設置し、ロッドの押し込み力と土層のせん断に必要なロッドおよびベーンコーンの回転トルクを複数の荷重条件で測定することにより原位置での粘着力と内部摩擦角を測定する試験のことである。

ベーンコーンせん断試験の採用するに当たり、その利点を以下に示す。

- ・ベーンコーンせん断試験のみで地盤定数が算定可能
- ・試験深度や試験箇所の変更により、同一地層で複数の地盤定数データの取得が容易

堤体盛土については、H25年度業務で三軸圧縮試験値が得られているため、ベーンコーンせん断試験値を比較することが出来る。平成27年度業務では三軸圧縮試験値及びベーンコーンせん断試験結果を比較した上でベーンコーン試験値の妥当性を検証した。その上で沖積粘性土についてもベーンコーンせん断試験値よりC、 $\phi$ を算定し、耐震性評価した。

### 4. 試験・取りまとめ方法

#### (1) 試験方法

ベーンコーンせん断試験機を写真-2に示す。

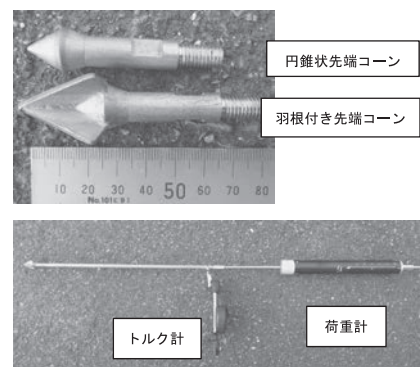


写真-2 ベーンコーンせん断試験機



調査方法は、「調査マニュアル（案）」<sup>2)</sup>に従った。試験の手順の概要を以下に示す。

- ①スウェーデン式試験用ロッドによる試験孔の作成
- ②円錐状先端コーンの試験深度への設置
- ③円錐状先端コーン回転による周面摩擦の測定
- ④ロッドを引き上げ、先端コーンを羽根付き先端コーンに交換
- ⑤羽根付き先端コーンの試験深度への設置
- ⑥所定の上載荷重下でロッドに回転を与え、トルクを測定
- ⑦ベーンコーンせん断試験ロッドの抜き取りと試験機の異常の有無の確認
- ⑧水分及び土の付着状況などの特記事項の記載
- ⑨上載荷重を変えて、⑤から⑧の5～6回繰り返して試験終了

## (2) 現場での留意点

ベーンコーンせん断試験を実施するにあたっての現場での留意点を次に示す。

### 〈留意点①〉

ベーンコーン試験の対象深度は、一般的には5m以内といわれている。これは、ロッドと周辺地盤との周面摩擦抵抗が増えることを考慮していると、土木研究所のマニュアルに記載がある。本論では、5mよりも深い深度の試験を行うため、ロッドと周辺地盤との摩擦抵抗を極力少なくするためにベーンコーン試験のロッド直径(16mm)に対し、一回り大きいスウェーデン試験の器具(先端直径 $33 \pm 0.3\text{mm}$ )で試験孔を作成した。

### 〈留意点②〉

試験中にトルク値が異常に上昇する、或いは跳ね上がるようにはじける場合は礫あたりの影響の可能性が高いため、深度を変えて試験をやり直した。

### 〈留意点③〉

試験深度に見合った上載荷重を考慮して試験した。

#### 例1) 試験深度：1mの場合

上載荷重は1m(深度)  $\times 18\text{kN/m}^3$ (土の重さ)  $=18\text{kN/m}^2$ となり、上載荷重を0～36 $\text{kN/m}^2$ で設定した。(0, 9, 18, 27, 36)

#### 例2) 試験深度：5mの場合

上載荷重は5m(深度)  $\times 18\text{kN/m}^3$ (土の重さ)  $=90\text{kN/m}^2$ となり、上載荷重を0～180 $\text{kN/m}^2$ で設定した。

上記の例のように、上載荷重の設定を整数で行うことは現場では困難であるため、あくまで目安とした。現場では試験深度の上載荷重を挟むように荷重をセットして試験した。なお、上載荷重は後述図-3中の $W_{vc}$ の値に相当する。

ベーンコーンせん断試験は、表-3のH25年度の三軸試験の側圧設定との関係を考慮した。なお、上載荷

重の設定については、土木研究所のマニュアルでは特別な設定はない。ベーンコーンせん断試験における側圧は図-3のデータシートの $\sigma$ の値に相当する。

表-3 H25年度業務時の三軸圧縮試験側圧の設定

堤高 H (m) (堤頂からの土被り厚)	側圧 $\sigma_3$ ( $\text{kN/m}^2$ )		
	1段階	2段階	3段階
$H < 5$	30	50	80
$5 \leq H < 10$	30	50	100
$10 \leq H < 15$	50	100	150

(山口県農村整備課:ため池耐震調査実施要領(案))

ただし条件によっては、三軸試験の側圧を再現できない場合があった。以下にその例と対処法、データの取り扱いを示す。

【例1】写真-3に示すように上載荷重は人力によるため、高負荷の荷重を試験中の一定時間、一定に保つことが困難であった。無理に人力による高負荷環境下で取得したデータの信頼性が下がることとなる。

### 〈例1の対処法〉

現場では、一定時間の間、一定の荷重を与える上限の荷重を設定し、その上限値を上回らないようにする。取りまとめにおいては、 $\tau$ と $\sigma$ のグラフにおいて、荷重ごとデータをプロットした時のデータの直進性の相関性が良ければ、上載荷重による変化がないと判断した。

### 〈例1のデータの取り扱い〉

決定係数 $R^2$ の値が高い場合はその地盤定数の信頼性が高いと判断した。決定係数 $r^2$ の値が低ければ、そのデータは破棄した。今回の試験ではほとんどの箇所がこの例に該当した。



写真-3 ベーンコーンせん断試験状況

【例2】地盤が軟弱な場合、高負荷の上載荷重を与えると試験中の貫入量が大きくなる。

### 〈例2の対処法〉

ひねりながらのせん断となるため得られる地盤定数の精度が問題となる。そのため、大きく貫入しない程度に上載荷重を与える必要があった。取りまとめにおいては、 $\tau$ と $\sigma$ のグラフにおいて、荷重ごとのデータをプロットした時の直進性の相関性が良ければ、上載荷重による変化がないと判断した。

〈例2のデータの取り扱い〉

決定係数 $r^2$ の値が高い場合はその地盤定数の信頼性が高いと判断できる。決定係数 $r^2$ の値が低ければ、そのデータは破棄する。今回の試験では該当なし。

### (3) 試験結果取りまとめ方法

試験結果の整理方法は、前述マニュアルによると相関式法と経験式法の二通りある。相関式法は、横軸を $W_{vc}$ （ベーンコーンにかかる鉛直荷重）、縦軸を $T_{vc}$ （ベーンコーンにかかるトルク）としたグラフを作成し、測定点（土質）ごとにその回帰式のY切片（粘着力に比例）と近似直線の傾き（内部摩擦角 $\phi$ の $\tan \phi$ に比例）を作成し、さらに幾つかの地点で室内強度試験（一面せん断試験や三軸圧縮試験）を実施して $c$   $\phi$ を求め、両者の比較から相関式を作成して求める方法である。一方、経験式法は経験式により鉛直応力とせん断応力を求め、横軸を鉛直応力、縦軸をせん断応力としたグラフを作成して測定点毎に回帰式を求め、「経験式による粘着力」 $c$   $dk'$ 「経験式による内部摩擦角」 $\phi$   $dk'$ を求める方法である（図-3、式-1～式-2）。今回は、三軸圧縮試験値が未知の地層への適用となるため、経験式法を採用した。

ベーンコーンせん断試験(経験式法 Ver.4.1)									
調査件名	河内前ため池			試験年月日	2016年2月4日		時刻		
測点番号	WAB07-06-1	深度	3.15 m	試験者(所属)	宇都建設コンサルタント		天候	晴	
経験式による粘着力 $cdk' = 19.5kN/m^2$		経験式による内部摩擦角 $\phi dk' = 22.2^\circ$		重力加速度		9.81(m/s <sup>2</sup> )			
地盤の含水状態(測定前数日間の天候などを記述)等:									
先端コーンと450mmロッドの合計質量 $m_0$	0.330kg	3.237N	500mmロッド質量 $m_1$	0.320kg	3.139N				
ベーンコーンと初期質量 $M_0$	0.025	回転速度/分	60	地下水位(GL-m)	3.76				
測定深度	$T_0$	$n$	$W_{vc}$	$T_{vc}$	$W_{vc}$	$T_{vc}$	$\sigma$	$\tau$	$\epsilon$
(m)	(N·m)	(本)	(N)	(N·m)	(N)	(N·m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	
3.15m	0.10	6	0	1.40	22.07	1.30	5.30	19.50	1
			25	1.50	47.07	1.40	11.30	21.00	2
			50	2.00	72.07	1.90	17.30	28.50	3
			75	2.20	97.07	2.10	23.30	31.50	4
			100	3.00	122.07	2.90	29.30	43.50	5
			125	1.60	147.07	1.50	35.30	22.50	6

※ $T_0$ : 先端コーンで $W_{vc}=0$ (荷重なし)の場合の最大回転トルク(ロッドと孔壁の摩擦)(N·m)、 $n$ : 全ロッド数から最初のロッド(450mm)を除いた本数、 $W_{vc}$ : 荷重計の読み値(N)、 $T_{vc}$ : ベーンコーンで $W_{vc}$ の荷重の場合の最大回転トルク(N·m)、 $W_{vc}=WN+(m_0+nm_1)g$ 、 $T_{vc}=TN-T_0$ 、 $g$ : 標準重力加速度 9.81m/s<sup>2</sup>  
 (土木研究所資料第4176号 土質強度検査による斜面の土質調査マニュアル(案)より)

経験式法  $\sigma = 2.4 \times 10^3 W_{vc} (N/m^2)$ 、 $\tau = 1.5 \times 10^3 T_{vc} (N/m^2)$   
 経験式による粘着力 $cdk' = 19.5kN/m^2$ 、傾き( $\tan \phi dk'$ ) = 0.4071、経験式による内部摩擦角 $\phi dk' = 22.2^\circ$   
 (Y切片) (直線の傾き)  $R^2 = 0.2586$

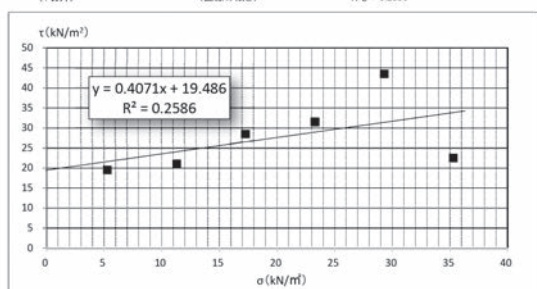


図-3 試験結果グラフ及びデータシート(例)

$\sigma$ 及び $\tau$ の算定式

$$\sigma \approx 2.4 \times 10^3 W_{vc} (N/m^2) \text{ (式-1)}$$

$$\tau \approx 1.5 \times 10^3 T_{vc} (N/m^2) \text{ (式-2)}$$

ここに、

$W_{vc}$ : ベーンコーンにかかる鉛直荷重 (N)

$T_{vc}$ : ベーンコーンにかかるトルク (N·m)

なお、 $W_{vc}$ および $T_{vc}$ は、

$$W_{vc} = WN + (m_0 + nm_1)g (N/m^2)$$

$$T_{vc} = TN - T_0 (N \cdot m)$$

であり、ここに、

$T_0$ : 先端コーンで $W_{vc}=0$ (荷重なし)の場合の最大回転トルク (N·m)

$TN$ : ベーンコーンで $WN$ の荷重の場合の最大回転トルク (N·m)

$WN$ : 荷重計の読み値 (N)

$m_0$ : 先端コーンと最初のロッド(450mmのもの)の合計質量 (kg)

$n$ : 全ロッド数から最初のロッド(450mmのもの)を差し引いた本数

$m_1$ : 500mmのロッド1本の質量 (kg)

$g$ : 標準重力加速度 9.81 (m/s<sup>2</sup>)

### (4) 試験結果取りまとめ時の手順

試験結果取りまとめ時の手順を以下に示す。

#### 〈手順①〉

ある試験箇所計測された $\tau$ のうち、相関式の $\pm \sigma$ の範囲外を異常値として除外し、3点以上ならべて $c$ 、 $\phi$ を求めた(図-4及び図-5)。ベーンコーンの先端で礫あたりすると、 $TN$ 値が大きな値を示すこと等があるため、信頼性のあるデータ(平均からのズレが $\pm \sigma$ 内に含まれるデータ)を選択した。一般に平均からのズレが $\pm \sigma$ 内に含まれる割合は7割程度といわれており、便宜的に $\pm \sigma$ の範囲外の値を異常値として扱った。

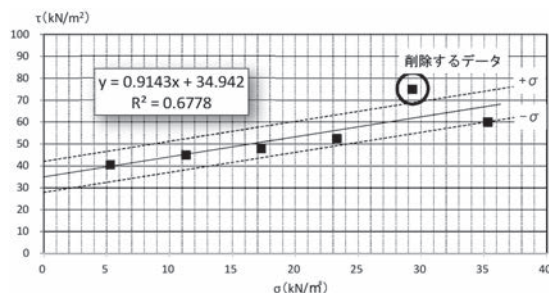


図-4 データ処理例(±σの範囲外異常値を除外)

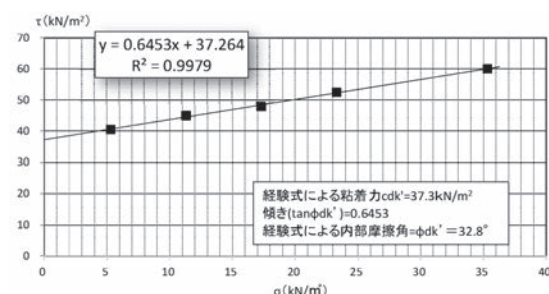


図-5 データ処理例(異常値を除外後)



〈手順②〉

そのC, φがφ 40°以下, Cが“0 (ゼロ)”以上, 決定係数0.7以上となっているときはそのc, φは試験箇所  
の地盤定数を表していると判断した。例えば「道路土工指針 盛土工指針, H22年度版」の設計時に用いる土質定数の仮定値では, φの最大値が40, Cの最小値が“0 (ゼロ)”であった。決定係数が0.7以上の値を採用することについて, 岩永ほか編著 (2011)<sup>3)</sup>を参考にした。決定係数 (r<sup>2</sup>) とは, 相関係数 (r) の2乗の数字であり, 回帰方程式の精度を表現するものである。相関係数 (r) と相関の程度の表現の対応関係については, 「0.7 ≤ 相関係数 (r) ≤ 1.0: かなり高い相関がある。」となる。回帰方程式を算定するデータが多い場合であれば, 決定係数 (r<sup>2</sup>) が0.5 (≡ r<sup>2</sup>=0.7 × 0.7) 以上で十分と考えられる。ベーンコーンせん断試験によりC, φを設定する際のデータ数が3~6つと少ないため, 本論の解析で用いる決定係数は通常の精度よりも高い精度の0.7を採用した。

“かなりの高い相関がある場合”の相関係数の平均値 (=0.85=(0.7+1.0)/2)

今回の解析で用いる地盤定数を算出する際の決定係数 (r<sup>2</sup>) 0.7 (≡ 0.85 × 0.85 ≡ 0.72) 以上

〈手順③〉

上記の作業により堤体盛土でc, φが複数個取得し, H25年度の室内土質試験値との比較検討を行い, ベーンコーンせん断試験で得られた地盤定数の妥当性を検証した。

5. 試験・解析結果

〈ベーンコーンせん断試験値の妥当性の検証〉

図-6のため池堤体の地盤定数によると, 今回得られた堤体盛土の粘着力は, 6.5~31.1 (kN/m<sup>2</sup>), 平均値19.0 (kN/m<sup>2</sup>) である。また, 内部摩擦角は, 28.8~35.9 (°), 平均値31.6 (°) である。H25の試験値16.2 (kN/m<sup>2</sup>), 35.7 (°) は, 散布図に基づく今回のばらつきの範囲に入り, 平均値とも大きく変わらない。従って, ベーンコーン試験で得られた地盤定数は, 信頼性が高いと評価した。

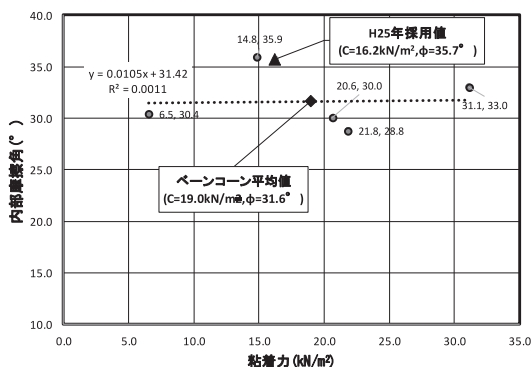


図-6 ため池堤体部の地盤定数算定結果

〈沖積粘性土のベーンコーン試験結果〉

試験を行った沖積粘性土についても, 取得できたデータ数は少ないものの盛土堤体部と同様に信頼性が高いデータと考えた (表-4, 図-7)。

表-4 沖積粘性土の地盤定数算定結果

調査年度	C (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	備考
平成25年度	25.1	0	N値より算定
平成27年度	10.4	35.9	ベーンコーンせん断試験の平均値

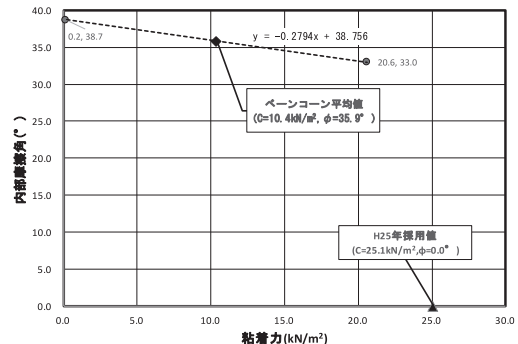


図-7 沖積粘性土の地盤定数算定結果

ベーンコーン試験で得られた個々の地盤定数は, 異常データを除外した後の信頼性のあるデータであり, ベーンコーン試験で得られた個々の地盤定数のばらつきは, 地盤の不均一性に起因すると考えることが妥当と判断した。ため池堤体部と沖積粘性土の地盤定数をベーンコーン試験結果によるものに置き換えて, 再び耐震性評価を実施した (表-5)。その結果, すべてのケースにおいて基準となる安全率を満足することができた。

表-5 安定解析結果

ケース	水位	検討箇所	設計震度	基準	平成25年度業務耐震性評価結果	
					2.00	2.30
常時満水位	満水位	上流側	常時 (0%)	1.20以上	1.13 (OUT)	1.42
			地震時 (100%)	1.20以上	1.16 (OUT)	1.92
		下流側	常時 (0%)	1.20以上	0.83 (OUT)	1.26
			地震時 (100%)	1.20以上	1.40	1.63
水位急降下	満水位-2.0m	上流側	地震時 (50%)	1.20以上	1.40	1.63

6. おわりに

三軸圧縮試験は, 対象する地盤の種類によっては不攪乱試料の採取が難しいこと, 高額であることなどにより, 試験数を多くすることが難しい場合がある。今回, ベーンコーンせん断試験を実施し, 適切にデータ処理を行うことで, 地盤強度のばらつきを評価した上で, 地盤定数を適切に評価することが出来た。

【参考文献】

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修: 土地改良事業設計指針「ため池整備」, p.218, 2006. 2.
- 2) (独) 土木研究所材料地盤研究グループ編: 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル (案), p.40, 2010. 7.
- 3) 岩永ほか編著: 改訂版 社会調査の基礎, (財) 放送大学教育振興会 p.285, 2011. 2.



# 熊本地震による有明海及び八代海沿岸農地海岸復旧計画 (直轄代行事業) について

木 村 敬\* 松 浦 裕\* 友 田 康 博\*  
(Takashi KIMURA) (Yutaka MATSUURA) (Yasuhiro TOMODA)

## 目 次

1. はじめに .....	45	3. 熊本農地海岸特定災害復旧事業による復旧計画 …	48
2. 熊本地震による農地海岸被災状況等 .....	45	4. おわりに .....	51

### 1. はじめに

平成 28 年 4 月 14 日夜 (前震) と 16 日の夜半 (本震) に熊本県・大分県を最大震度 7 の地震が発生しました。この地震により被害を受けた、熊本県下の有明海及び八代海に面した 12 農地海岸のうち 7 農地海岸については、直轄代行により九州農政局が災害復旧を行うこととなりました。

本稿では、その直轄代行事業の復旧計画について述べるものです。

### 2. 熊本地震による農地海岸被災状況等

平成 28 年 4 月 14 日 (木) の 21 時 26 分に最大震度 7 (益城町) を記録する地震が発生しました (震央は御船町, マグニチュード 6.5, 深さ 11km)。

また、2 日後の 16 日 (土) の 1 時 25 分には、最大震度 7 (益城町と西原村) を記録する地震が発生しました (震央は熊本県嘉島町, マグニチュード 7.3, 深さ 12km, 及び震央は大分県由布市, マグニチュード 5.7, 深さ 12km)。

この熊本地震の影響により、熊本県下の有明海及び八代海に面した農地海岸が被害を受けました。被害は 12 農地海岸 70 箇所におよび、液状化による堤防の

沈下 (最大約 1 m), 波返しの傾斜・ずれ・クラック, 管理用道路等のクラック・空洞化などが生じました。

この被害を受けて、平成 28 年 5 月 13 日に「大規模災害からの復興に関する法律」に基づき、熊本県知事から特定災害復旧等海岸工事の直轄代行に係る要請が農林水産大臣になされ、12 農地海岸のうち 7 農地海岸については、特定災害復旧事業として、直轄代行により災害復旧を行うこととなりました。

対象となった海岸の海岸保全施設は、干拓により創出された農地を保全するため、干拓事業により整備されたものです。

対象となる海岸の諸元を表-1 に示します。

図-1 には、直轄代行事業の海岸付近の震度分布図を示しています。

本震であった平成 28 年 4 月 16 日 1 時 25 分の地震では、各農地海岸が位置する市町村において、以下の規模の震度が記録されています。

熊本市西区 (飽託海岸) …… 震度 6 強  
熊本市南区 (四番海岸, 海路口海岸) …… 震度 6 弱  
宇城市, 氷川町 (和鹿島海岸) …… 震度 6 弱  
八代市 (文政海岸, 昭和海岸, 郡築海岸) …… 震度 6 弱

また、各海岸においては、下記のような被災状況となりました。

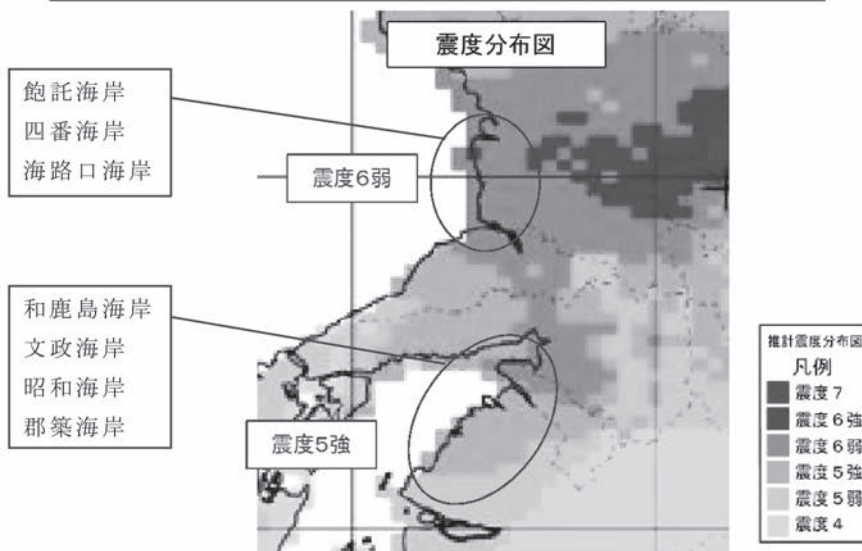
表-1 直轄代行事業の対象となる海岸の諸元

海岸名	所 在	総延長	海岸管理者	備考
飽託	熊本市西区沖新町 地先	3,518m	熊本県知事	S48年度竣工
四番	熊本市南区畠口町 地先	1,644m		S48年度竣工
海路口	熊本市南区海路口町 地先	3,024m		S48年度竣工
和鹿島	八代郡氷川町 地先	7,412m		S42年度竣工
文政	八代市鏡町 地先	6,092m		S2年度竣工
昭和	八代市昭和同仁町 地先	2,657m		T15年度竣工
郡築	八代市郡築町 地先	3,081m		M37年度竣工

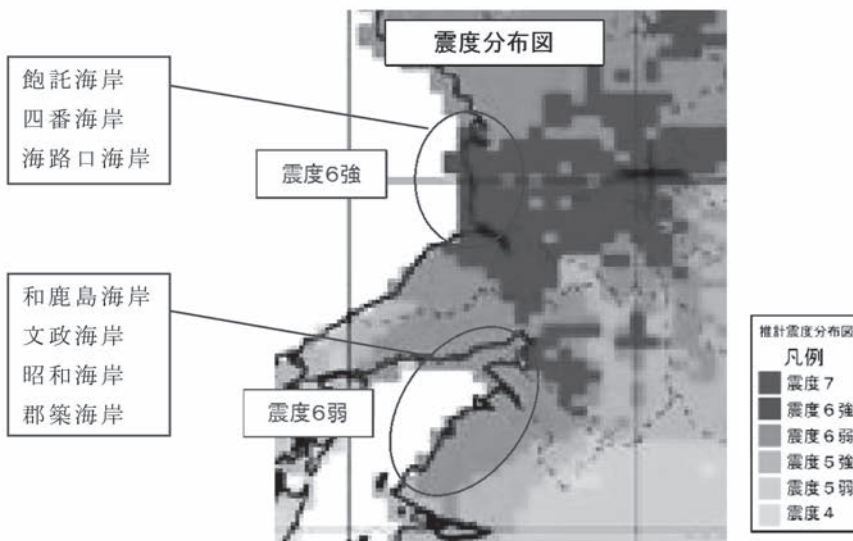
\*九州農政局土地改良技術事務所

(Tel. 096-367-0411)

平成 28 年熊本地震（平成 28 年 4 月 14 日 最大震度 7）



平成 28 年熊本地震（平成 28 年 4 月 16 日 最大震度 7）



平成 28 年 5 月 13 日地震調査研究推進本部地震調査委員会  
「平成 28 年熊本地震の評価」より抜粋

図-1 直轄代行事業の海岸付近の震度分布図

なお、各海岸の位置及び被害状況の写真を図-2に示します。

○<sup>ほうたく</sup>飽託海岸（被災延長：411 m）

堤防裏法尻部の基礎地盤が液状化したことから、地盤が不安定化し、波返し工や天端・裏法面被覆工が損壊しました。

○<sup>よばん</sup>四番海岸（被災延長：31 m）

堤体に地震時慣性力が作用したため、波返し工が海側へ傾斜し、天端・裏法面被覆工が破損しました。

○<sup>うじぐち</sup>海路口海岸（被災延長：18 m）

地震動により、波返し工の目地開き・クラック・欠損、天端被覆工のクラックが生じました。

○<sup>わかしま</sup>和鹿島海岸（被災延長：1,029 m）

基礎地盤や盛土材料の液状化により沈下が生じ、天端・裏法面被覆工、管理用道路等が破損しました。

○<sup>ぶんせい</sup>文政海岸（被災延長：1,094 m）

地震動により、基礎地盤や堤体盛土材の沈下等が生じ、波返し工や裏法面被覆工が破損しました。

○<sup>しょうわ</sup>昭和海岸（被災延長：381 m）

地震動による地盤の液状化で、潮遊池護岸が変形し、堤防小段盛土や管理用道路のクラックが生じました。

○<sup>ぐんちく</sup>郡築海岸（被災延長：227 m）

地震動により潮遊池護岸に変位が生じ護岸がはらみ、管理用道路の沈下及び舗装のクラックが生じました。





図-2 直轄代行海岸の被災状況写真及び位置図



### 3. 熊本農地海岸特定災害復旧事業による復旧計画

熊本農地海岸特定災害復旧事業は、計画総事業費：1,680百万円、事業工期：平成28年度～平成30年度の3年間で実施する計画としています。

復旧工法の概要は下記により示しますが、災害復旧ですので、必要に応じて損壊した施設の撤去等を行い、従前の機能まで原形復旧することを基本としています（図-3参照）。

#### ○飽託海岸

堤防裏法尻部の基礎地盤が再度液状化しないよう地盤改良を行い、従前の安定度まで原形復旧することとしました。その上で、破損した波返し工や天端・裏法面被覆工を撤去し、原形復旧することとしました。

#### ○四番海岸

破損した波返し工や天端・裏法面被覆工を撤去し、原形復旧することとしました。

#### ○海路口海岸

波返し工の目地開きは特殊シートを設置し、ク

ラックはコンクリート充填により修復することとしました。また、破損した天端被覆工を撤去し原形復旧することとしました。

#### ○和鹿島海岸

堤防裏法尻部の基礎地盤が再度液状化しないよう地盤改良を行い、従前の安定度まで原形復旧することとしました。その上で、破損した波返し工や天端・裏法面被覆工を撤去し、原形復旧することとしました。

#### ○文政海岸

破損した波返し工や裏法面被覆工を撤去し、原形復旧することとしました。

#### ○昭和海岸

破損した潮遊池護岸は、水路断面の安定性を確保するため、原位置で地盤改良を行い、石積護岸により復旧することし、堤防小段盛土や管理用道路のクラックも補修することとしました。

#### ○郡築海岸

破損した潮遊池護岸は石積護岸により復旧することし、破損した管理用道路は撤去し原形復旧することとしました。

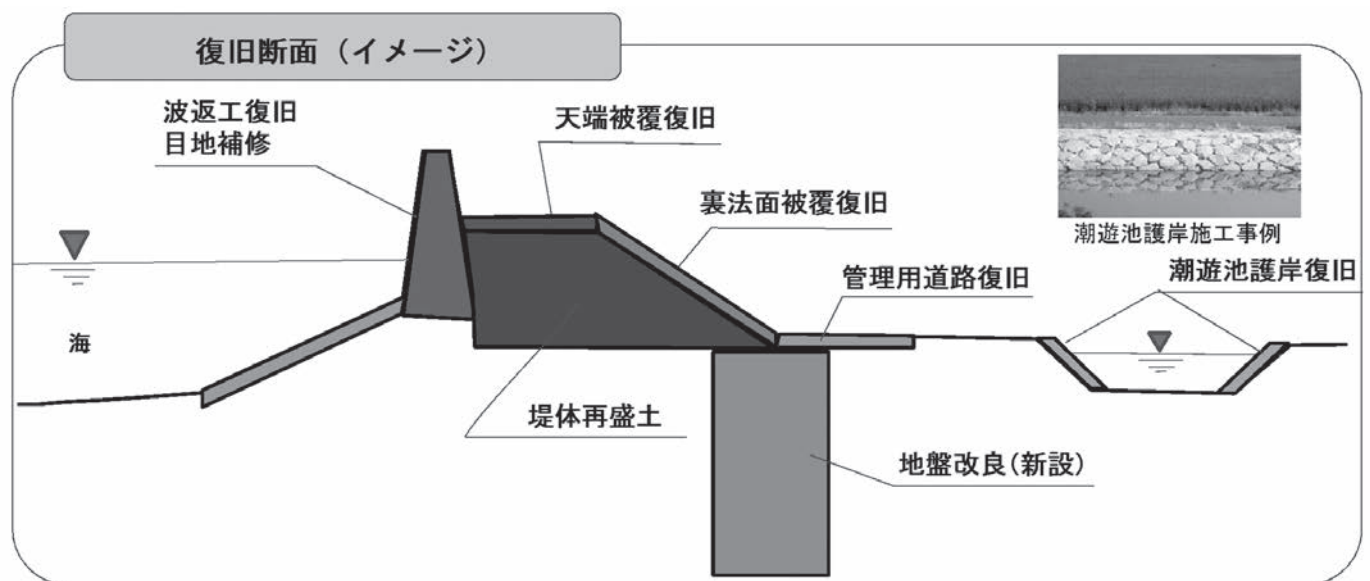


図-3 直轄代行海岸の復旧断面（イメージ）

なお、平成 28 年度には、海路口海岸において、堤内地における排水機場樋管部周辺から海水が漏水していたことから、堤体内への海水の浸入防止のため緊急応急工事として止水処理工を実施しています（図-4 参照）。

止水処理の方法は、薬液注入工（二重管ストレナ工法）で注入材料は非水ガラス系の懸濁型（アルカリ性）を使用しました。注入範囲は図-4 の斜線部です。

今回の止水処理は、排水機場樋管の下部にも処理を施すため、一部斜め方向に注入しています。図-5 は、図-4 の平面図の A-A 断面です。43°、63°、80° と角度を変え注入しています。（斜線部が注入範囲）

海路口海岸緊急応急工事により、海路口海岸の堤内地における排水機場樋管部周辺から海水の漏水が完全になりました（図-7 参照）。

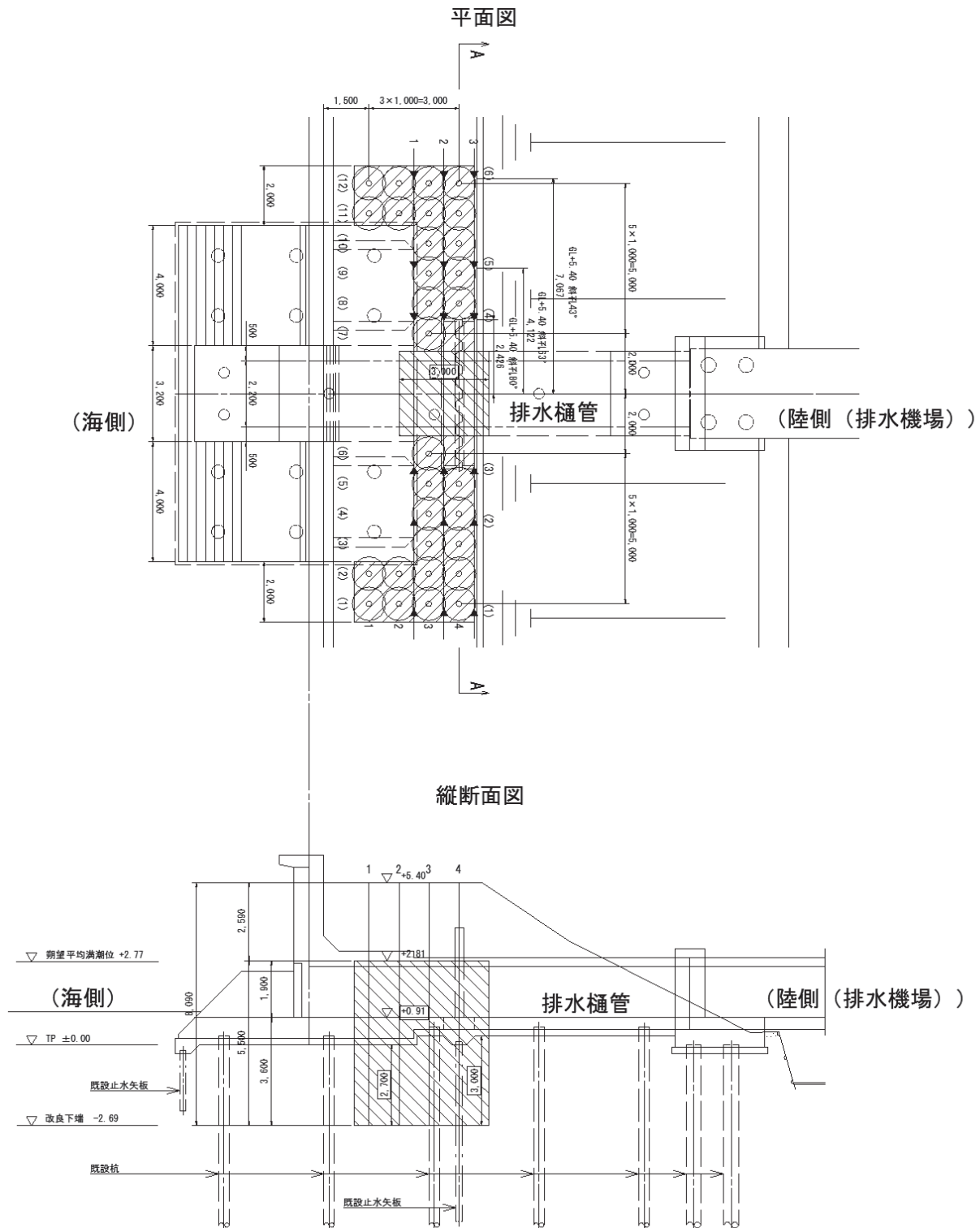


図-4 緊急応急工事 図面 (1)

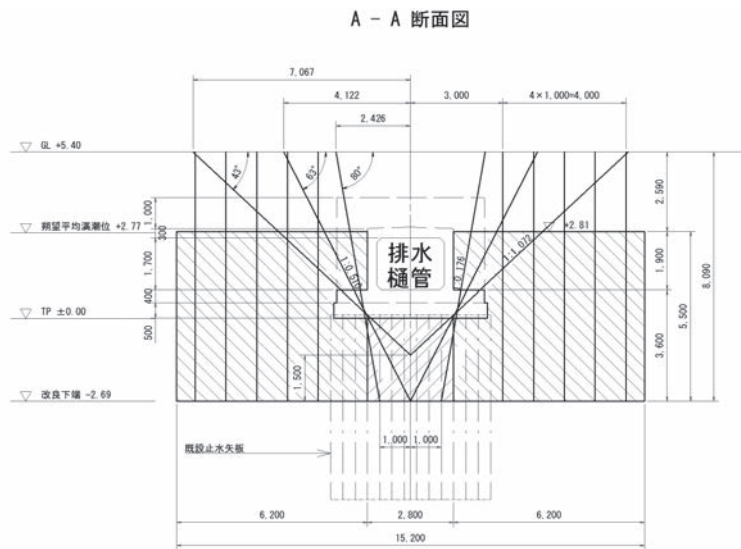
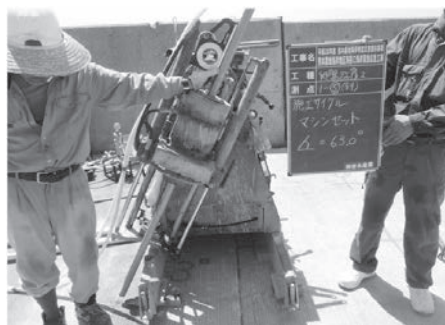


図-5 緊急応急工事 図面 (2)



施工状況 (43°)



施工状況 (63°)

図-6 緊急応急工事 施工状況写真

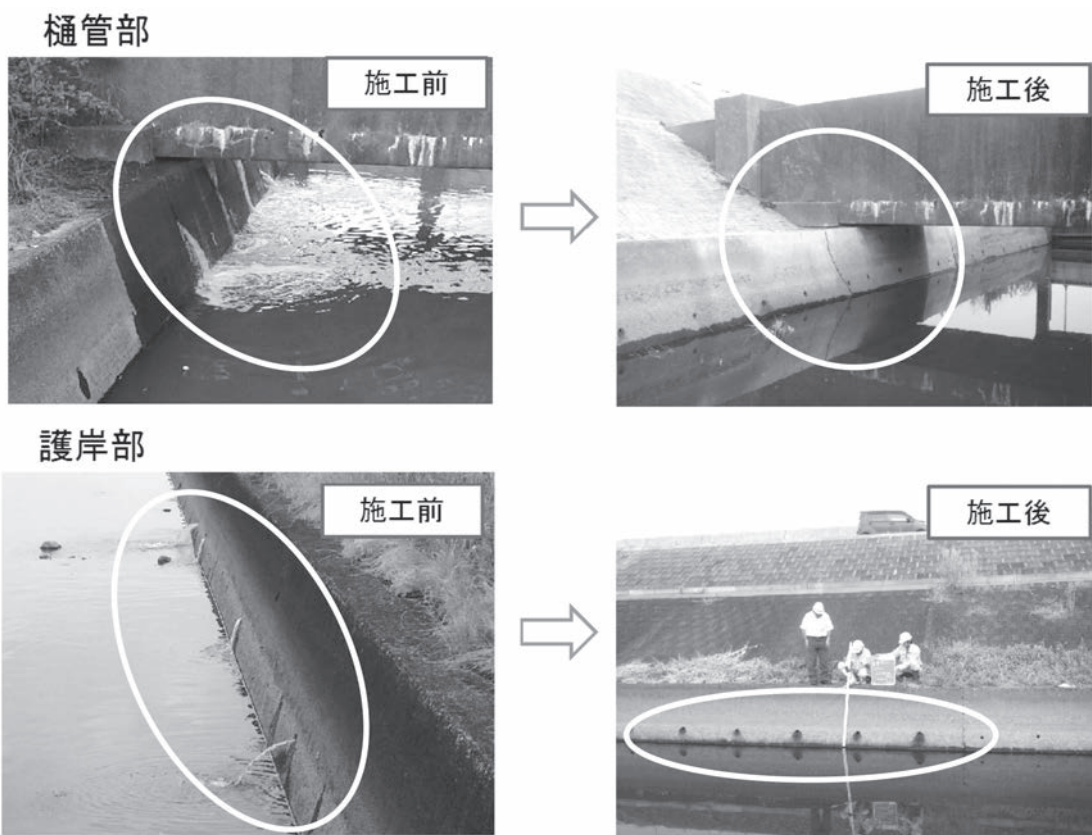


図-7 緊急応急工事 施工前施工後写真



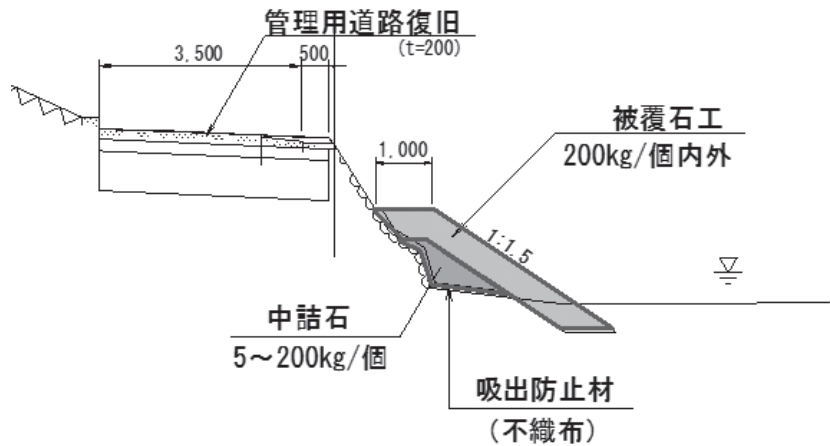


図-8 潮遊池護岸復旧断面図

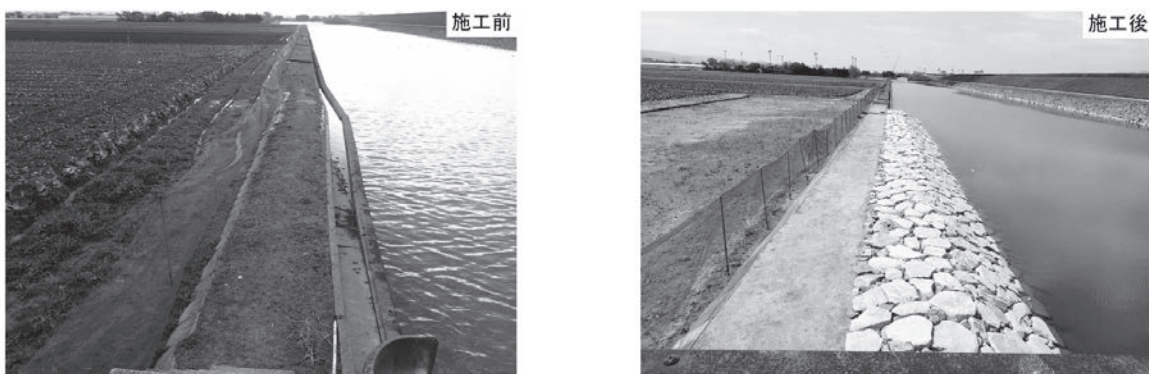


図-9 潮遊池護岸復旧 施工前施工後写真（郡築海岸）

また、同じく平成 28 年度には、被災した潮遊池の護岸に対して石材による保護を実施する復旧工事を郡築海岸及び和鹿島海岸で実施してきました（図-8、図-9 参照）。

潮遊池の既設の護岸は石積みもしくはブロック積みですが、熊本県内の海岸の潮遊池においては、護岸改修は安価であり耐久性のある被覆石により行われています。

平成 28 年の熊本地震では、石積み、ブロック積みの護岸は被災を受けましたが、被覆石により改修されていた護岸には被災はありませんでした。

平成 29 年度からは、7 農地海岸の本格復旧工事に着手しており、平成 30 年度に完了する予定です。

#### 4. おわりに

熊本地震から 1 年 2 ヶ月が過ぎました。

熊本地震により被災した公共土木施設等の復旧・復興は、着実に進んでいるようです。しかし、そのよう

な中、熊本県内の復旧・復興の工事発注においては、建設業者の技術者不足による入札不調・不落も出てきている状況のようです。

直轄代行業も、今年度からようやく本格的な復旧工事に入ったところですが、同じく工事発注において、建設業者の技術者不足による入札不調が出てきているところ。平成 29 年度予定工事においては、複数回の入札不調が発生しましたが、現時点（平成 29 年 6 月）で、予定された工事の約 9 割が契約済みの状況となっております。残りの工事の発注につきましても、今後工程管理を行い発注に向けた対応を進めていくこととしており、平成 30 年度までの完了を目指していきます。

そろそろ台風の時期にも入ってきます。被災した海岸保全施設の早期の復旧は、地元住民の不安を解消することにもなります。そのためにも、直轄代行業を、熊本県や地元関係者と十分な調整を図りつつ進めていき、円滑な復旧を図っていきたいと考えています。

# 香川用水高瀬支線で発生した漏水への対応について

－水資源機構における復旧資機材備蓄の取り組み－

寺澤 明人\*  
(Akito TERAZAWA)

## 目 次

1. はじめに	52	4. 漏水の応急復旧について	53
2. 香川用水施設の概要	52	5. 備蓄資機材の効果	55
3. 高瀬支線および香川用水調整池の概要	53	6. おわりに	55

### 1. はじめに

香川用水は、「吉野川総合開発」の中核早明浦ダム（高知県本山町）の建設によって生み出される年間 855 百万 m<sup>3</sup> の水の中から、香川県に分水される年間 247 百万 m<sup>3</sup> の水を香川県内に導水し、水道用水、農業用水及び工業用水として利用し、香川県の水不足を抜本的に解消し、農業の近代化、産業基盤の強化発達、生活環境の整備を図るもので、徳島県の吉野川より取水し阿讃トンネルを抜けて全長約 106km の水路によって、香川県全域に農業用水、水道用水及び工業用水を供給する香川県の主要なライフラインである（図－1）。

通水開始から既に 40 年以上が経過していることから、施設の老朽化が進んでいる。

このような状況の中、平成 27 年 2 月及び平成 27 年 4 月に高瀬支線宮川サイホンにおいて漏水が発生し

た。漏水の応急復旧工事に水資源機構が備蓄している資機材を活用して対応した。

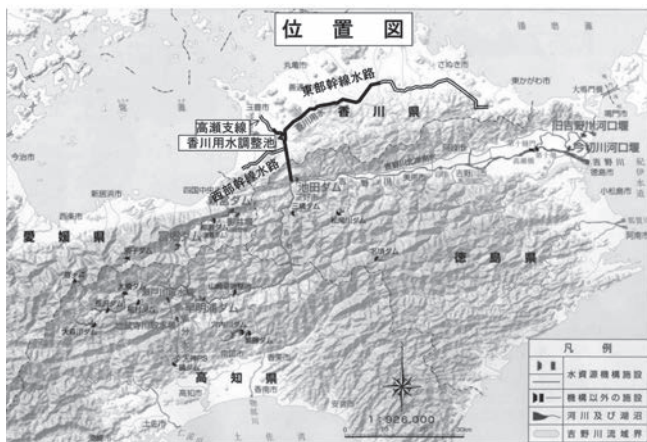
本稿では、平成 27 年 2 月に発生した漏水における応急復旧工事で活用した備蓄資機材の有効性について報告するものである。

### 2. 香川用水施設の概要

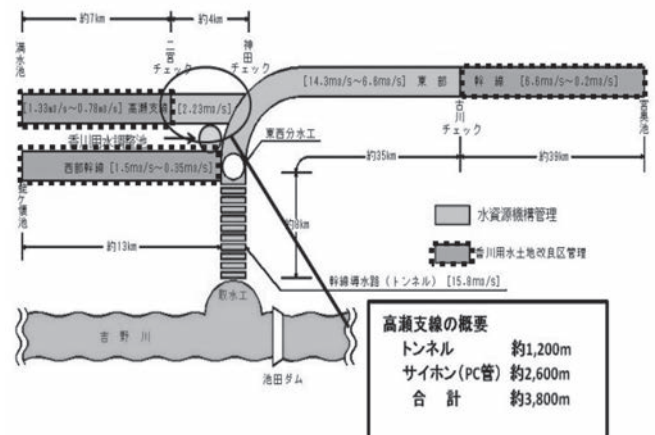
香川用水施設は、吉野川から水を取り入れる取水工、香川県に導く幹線導水路（阿讃トンネル）、県内の広い範囲に水を運ぶ東部幹線水路、西部幹線水路、高瀬支線に分かれており、水路の総延長は約 106km に及ぶ。

このうち水資源機構が建設・管理している区間は、農業用水、水道用水及び工業用水が流れている「共用区間」であり、取水工から東西分水工までの 8 km と東部幹線水路の上流部約 35km 及び神田チェックから分岐している高瀬支線の上流部約 4 km の計約 47km の区間である。

なお、東西分水工、西部幹線水路及び水資源機構管理区間から下流の農業用水専用区間の約 59km は、香川用土地改良区が管理する、国営造成施設である（図－2）。



図－1 香川用水施設位置図



図－2 香川用水施設管理モード図

\* (現)水資源機構 愛知用水総合管理所下流管理所  
(Tel. 0569-43-0401)  
(前)水資源機構 香川用水管理所



### 3. 高瀬支線および香川用水調整池の概要

#### 3.1 高瀬支線（水資源機構管理区間）の概要

今回、漏水が発生した水資源機構管理区間の高瀬支線（以下「高瀬支線」という。）は、香川県三豊市山本町から三豊市高瀬町にかけて建設された全長約3.8kmの水路で、2箇所（トンネル）と3箇所（サイホン）で構成されている。このうち3箇所（サイホン）はφ1,350mmとφ1,500mmのPC管が採用されている。

これまで高瀬支線では、27回の漏水が発生しており、漏水の大部分はPC管の継ぎ目部から発生している。今回発生した漏水は平成19年5月以来であり、香川用水施設緊急改築事業で施工された香川用水調整池（以下「調整池」という。）が完成してから初めての漏水であった。

#### 3.2 調整池の概要

調整池は、香川用水が水道用水を供給している香川県水道局の西部浄水場、中部浄水場、綾川浄水場及び東部浄水場の全ての水源となるよう、取水工から約13km下流にある神田チェック上流に香川用水緊急改築事業において建設、平成20年度に完成した施設である。

調整池と高瀬支線で水資源機構管理区間の終点になる二宮チェックとの間は、高瀬支線を通る水道用水代替水路となる連絡水路が建設されている。応急復旧対策の実施期間中は、調整池から連絡水路を経由して二宮チェックには調整池揚水機場の電動機駆動のポンプで水道用水が供給できる（図-3）。

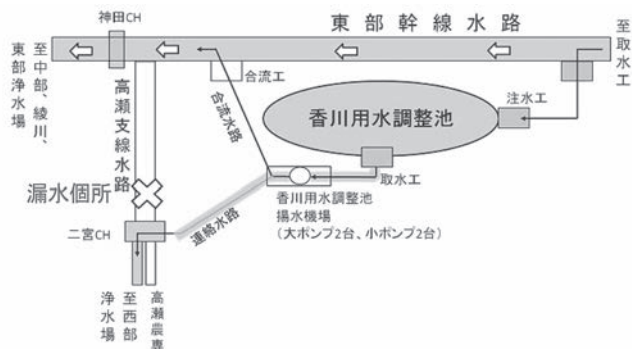


図-3 香川用水調整池、連絡水路模式図

### 4. 漏水の応急復旧について

#### 4.1 水資源機構が備蓄する資機材

水資源機構では、大規模地震等の発生後に被災した施設の通水機能の早期復旧と被害軽減に資するため、管路等の継ぎ目の漏水補修に用いる各種口径の内面バンド（図-4）をはじめとする、製作に数週間程度を要する応急復旧に必要な補修資材や可搬式ポンプ設備を、備蓄資機材基地として全水系に分散配備している。

#### 4.2 調整池の完成以前に発生した漏水への対応

高瀬支線は、水道用水及び農業用水を通水しているが、水道用水は、香川用水以外に代替水源が無く長くても半日程度の断水しか出来なかった。そのため、調整池が完成するまでは、高瀬支線に漏水が発生した場合には、限られた断水時間の中で漏水の応急復旧対策を行うこととなり、漏水個所の詳細な調査が実施できない状況であった。

また、継ぎ目からの漏水の止水に用いる内面バンド（図-4）は、受注生産が基本であり、製作に1週間程度を要することから、漏水発生後に速やかに応急復旧対策を実施することが難しかった。

平成19年5月に発生した漏水では、10時間程度の断水を3日に分けて行い、応急復旧対策を実施しているが、断水時間が短いため漏水箇所の特定制や止水に苦労している。

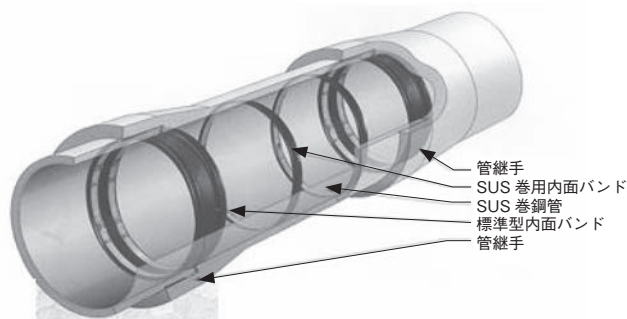


図-4 継ぎ目の漏水補修に用いる内面バンド

#### 4.3 今回の漏水への対応

平成27年2月12日に香川用土地改良区から「香川用水高瀬支線の宮川サイホンから漏水している。」という連絡が入り、現地を確認したところ、以前から確認していた漏水箇所の上流となる地点（図-5）の管路上で毎秒50リットル程度の水が、隣接する圃場を経由して近隣の河川に流入していることが判明した（写真-1）。

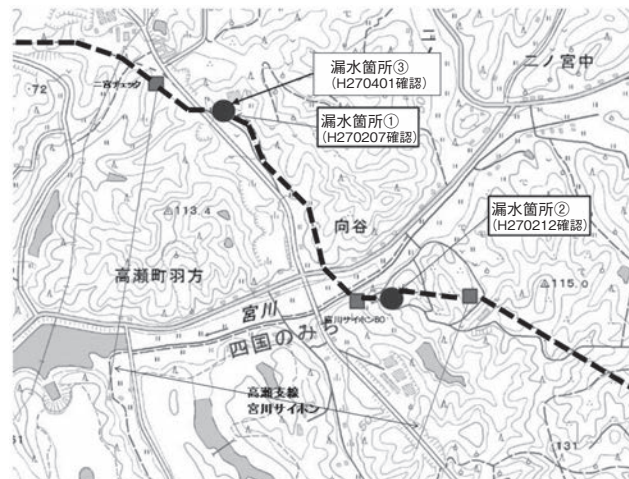


図-5 高瀬支線宮川サイホンでの漏水箇所





写真-1 宮川サイホンでの漏水状況



写真-2 既設内面バンドの劣化状況（水の噴出）

応急復旧対策を行うため、直ちに関係機関と協議、調整を行い、農業用水については1週間程度であれば代替水源の確保が、水道用水については調整池から連絡水路を經由して二宮チェック（西部浄水場）に供給ができることから高瀬支線の断水が可能となった。

当日中に、農業用水は断水、水道用水は調整池からの供給に切り替えを行い、高瀬支線の通水を停止した。その後、漏水箇所の宮川サイホンの管内排水作業と管内調査を引き続き実施し、管体や継ぎ目の破損の有無を確認した。

管内調査の結果、管体や継ぎ目に明らかな破損が確認されなかったことから、継ぎ目にある止水ゴム及び既設内面バンドの劣化による漏水（写真-2）と判断し、新たに内面バンドを設置する応急復旧対策を実施することとした（図-6）。

香川用水管理所では、高瀬支線の漏水に備え管理所が単独で保有している内面バンドと、水資源機構が全国の拠点に分散配備している備蓄資材のうち吉野川管内に配備していた内面バンドの両方を用いることとしたが、今回の宮川サイホンの応急復旧対策で使用する数量としては不足することが判明した。

早急に漏水を止水する必要があることから、水資源機構が全国に備蓄している資材を使用することを決断し、埼玉県のリ根導水総合事業所の備蓄倉庫及び愛知県の愛知用水総合管理所の備蓄倉庫にある内面バンド（φ1,350mm, φ1,500mm）を、漏水発見から2日以内に香川用水管理所に集めることとした（写真-3）。

リ根導水総合事業所の備蓄倉庫に保管されている内面バンドは運送会社を使い輸送し、愛知用水総合管理所の備蓄倉庫に保管されている内面バンドは、香川用

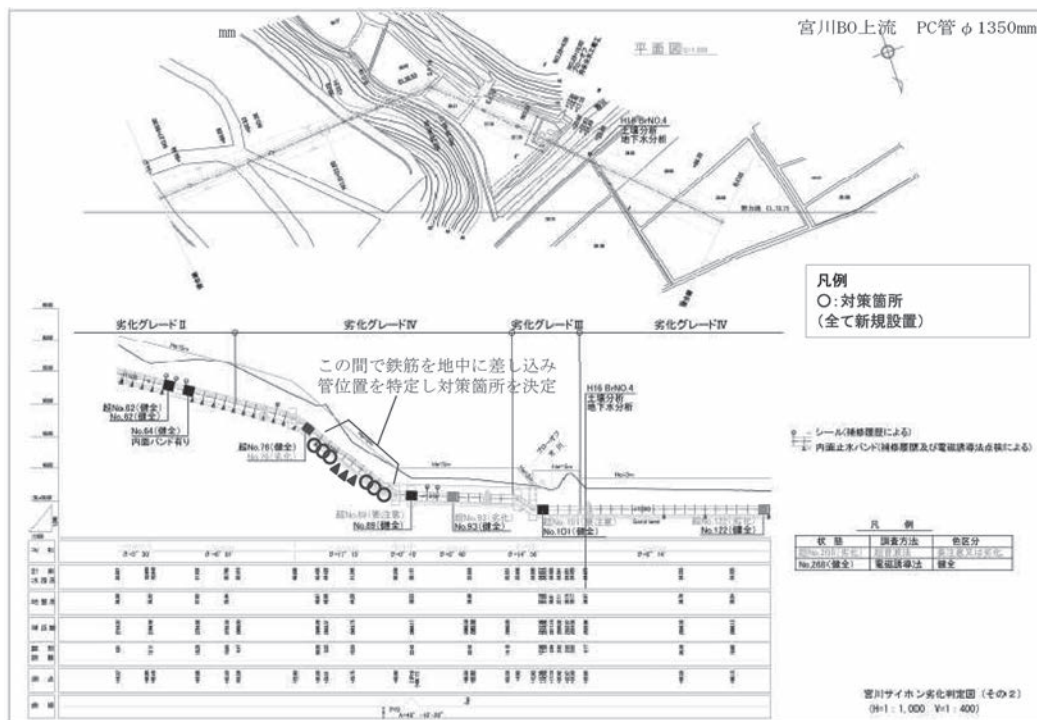


図-6 内面バンドの施工箇所

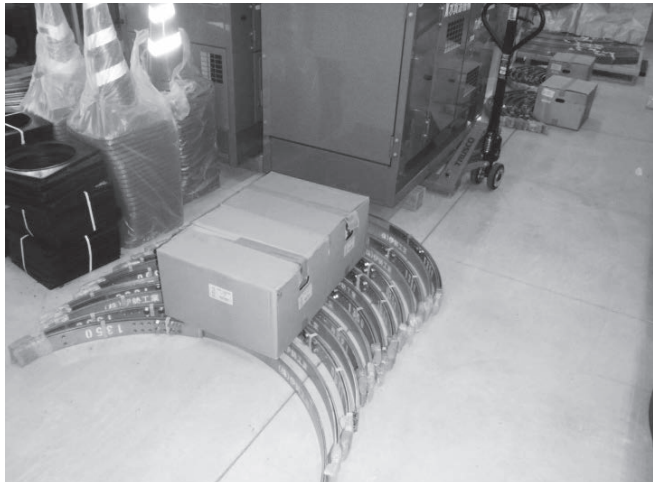


写真-3 集積された資材（内面バンド）

水管理所から職員がトラックを走らせて愛知用水総合管理所の備蓄倉庫まで受け取りに行った。

漏水の発見から、施工業者の手配、補修資材の手配、水道用水の通水切り替え作業、漏水箇所の補修、高瀬支線への通水切り替えまでの応急復旧対策を、2月12日から2月19日までの8日間で完了した。

応急復旧対策には漏水の発見から速やかに着手しているが、途中で宮川サイホンローオフのフランジ蓋に使用している止水パッキンを交換するために2日間の休止期間が発生した。なお、それ以外は滞りもなく順調に応急復旧対策を実施した。

応急復旧対策の経過と主な内容は表-1に示すとおりである。

表-1 応急復旧対策の実施状況

日付	時刻	事柄
2月12日	7:40	香川用水土地改良区より漏水発見の通報
	18:00	高瀬支線から連絡水路(香川用水調整池運用)に通水切替
2月12日	19:00	↓ 高瀬支線(宮川サイホン)管内排水作業
2月13日	18:00	
2月13日	21:20	宮川サイホン内の管内調査(管体破損の有無の確認、漏水箇所の特定)
2月14日	12:40	内面バンド設置による応急復旧作業 (φ1,350mm 6基, φ1,500mm 6基)
	18:30	
2月17日	9:00	↓ 高瀬支線(宮川サイホン)管内充水作業
2月18日	19:00	
2月19日	10:00	連絡水路(香川用水調整池運用)から高瀬支線に通水切替

## 5. 備蓄資機材の効果

高瀬支線宮川サイホンで発生したPC管継ぎ目からの漏水に対し、内面バンドを用いた応急復旧対策を実施した。

応急復旧対策の実施期間中は、農業用水は完全断

水となるため、農業用水利水者からは、代替水源として利用可能な水源の容量に限界があるため、7日間以上の断水を回避したい要求があり、水道用水は調整池経由で用水供給は継続されるものの、調整池から二宮チェックまでの送水に電動ポンプを使用するため、水道用水利水者からは、長期間の電動ポンプの使用は電気料金が嵩むことから、費用縮減の要求がある。

これら両利水者からの要求に対応するためには応急復旧対策の実施による高瀬支線の断水期間を可能な限り短くする必要がある。

今回の漏水対応の場合では、補修用資材（内面バンド）に水資源機構が備蓄している資材を活用したことにより、受注後製作から工事完了までに約14日間が必要になるところを、今回工事では約8日間と6日間短縮することができ、利水者からの要求である断水日数の短縮やポンプ運転経費の抑制に応えることができた。

## 6. おわりに

本報では、漏水の応急復旧対策に水資源機構が備蓄していた資機材を活用した効果を報告した。

水利施設を管理すると、施設からの漏水は避けて通れない課題といえる。例えば、かんがい期開始前の試験通水時に漏水が確認された場合では、緊急の対応を行う必要があり、漏水箇所の補修対策を行うために資材を短時間で手配し、確保することは非常に重要なことだといえる。その際に備蓄している資材があれば、補修対策が速やかに実施でき、通水の早期復旧や安定的な確保にもつながると考える。

特に、大口径管等の製作や調達に時間を要する資機材を全国レベルで備蓄や融通を行うことは、備蓄資機材の回転率を上げる観点からも効果的な対策であると考える。

最後に、高瀬支線宮川サイホンで発生した漏水の応急復旧対策にあたり関係者の皆様から多くの協力を頂いたことについて、本誌を借りて感謝申し上げます。



# 海外における既設ダムの機能更新の事例

愛 宕 徳 行\*  
(Tokuyuki ATAGO)

## 目 次

1. はじめに	56	4. バットレスダムの潜在的破壊の解析事例 (スウェーデン)……	58
2. 国内における 既設農業用ダム等の機能更新技術	56	5. 歴史的重力式石積ダムの復旧 (イラン) ……	59
3. ジオメンブレン再更新の事例 (フランス) …	57	6. おわりに	61

### 1. はじめに

2013年の統計<sup>1)</sup>に基づくと、我が国の既設ダム数は2,642基にのぼり、そのうち895基が戦前に建設されている。一般にダムの耐用年数は100年(費用対効果分析上は80年)とされるが、ダムの供用期間が長期化を迎える中で、老朽化や機能増強のために耐用年数を待たずに部分的な機能更新を実施しているダムもある<sup>2)</sup>。また、用水量の需要や降雨の傾向の変化により既設ダムの再開発を行う例もある。さらに、現在全国で進められているレベル2地震に対する耐震性能照査による安全性評価を踏まえて、補強・復旧工法の重要性が増している。

ダムの機能更新技術は日本だけでなく、世界的にも注目されている。平成28年5月に南アフリカ・ヨハネスブルグで開催された国際大ダム会議(International Commission on Large Dams : ICOLD)では、国際シンポジウムのテーマの一つとして長寿命化のための補修技術の進歩が設定され、注目を集めている。本稿では、国内における機能更新技術とともに国際大ダム会議加盟各国から提出された最新論文のうち、日本でも

今後の適用が有用と考えられる機能更新技術の研究論文について三ヶ国の事例を紹介する。

### 2. 国内における既設農業用ダム等の機能更新技術

土地改良事業の設計基準<sup>3)</sup>では、既設ダムの再開発の目的及び手法について、表-1の通り分類している。(以下、この項において使用目的の説明がないダムは、かんがいを主な目的としている。)

表-1 再開発の分類

目的	手法
①貯水容量の増大	1)既設堤体の嵩上げ 2)貯水池内の掘削
②貯水池の運用変更	1)取水・放流設備の新設等により貯水池の運用を変更 2)貯水容量の再配分
③洪水時の安全度の向上	1)既設洪水吐の改修等による能力の増大 2)洪水吐ゲートの改修やゲートレス化
④既設堤体や取水放流設備及び貯水池の機能の回復あるいは改善等	1)劣化等により機能または安全性の低下した施設の改修 2)排砂設備及び貯砂ダムの新設 3)水質保全対策の実施等

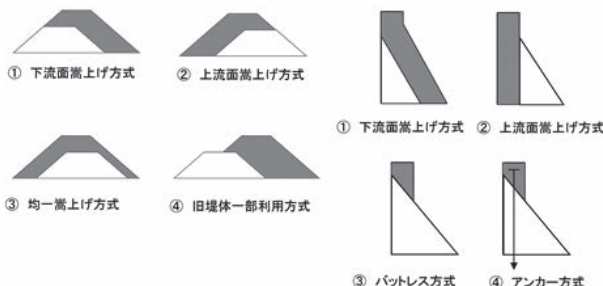


図-1 既設ダムの嵩上げ方式<sup>2)</sup>

このうちダム堤体に関するものは①1)に示す既設堤体の嵩上げと④1)に示す既設堤体の機能回復あるいは改善に分かれ、本報告ではこれらを既設ダムの機能更新として定義する。

#### (1) 嵩上げによる機能更新

嵩上げによるダムの機能更新について、フィルダム及びコンクリートダムで考えられる方式を図-1に示す<sup>2)</sup>。

\*一般財団法人 日本水土総合研究所  
(Tel. 03-3502-1380)



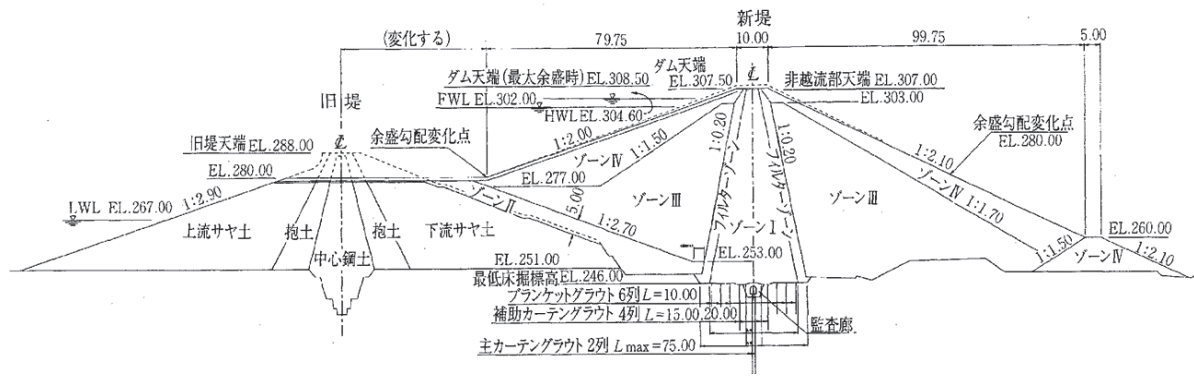


図-2 山王海ダムにおける機能更新の事例<sup>3)</sup>

フィルダムにおける嵩上げの代表的な例として、山王海ダム（東北農政局）がある。1952年に竣工した旧山王海ダムは、我が国最初の近代的フィルダムとして知られており、試験、設計、施工の各分野でアメリカ合衆国の技術が取り入れられている。現在の山王海ダムは、水田の汎用化などに伴う用水需要により貯水量を増やすため、既設堤体の下流側にダム軸を移動して嵩上げし、ロックフィルダムを築造している（図-2）。フィルダムの嵩上げによる機能更新は、この他に大谷内ダム（北陸農政局）、宿の沢ダム（宮城県）及び倉橋溜池（奈良県）などに事例が見られる。

コンクリートの嵩上げによる事例としては、利水容量増大のため既設ダムの下流側に断面を増厚した野洲川ダム（近畿農政局）の他、三高ダム（広島県）及び既設の水道用容量に加えて洪水調節機能の向上を行った新中野ダム（北海道）などがある<sup>4)</sup>。

### (2) 既設堤体の機能の回復・改善

貯水容量の増加等の必要が無く、既設の堤体の劣化や安全性の低下した施設の改修を行うものでは、必ずしも嵩上げを必要とせず、補修や補強工事でダムの機能の回復・改善を行う。

フィルダムにおける機能の回復・改善の例としては、水道用水として利用されており、上下流に盛土による耐震補強を行った山口貯水池（東京都水道局）及び下流側にジオテキスタイル補強土で強化する工法を採用した村山下貯水池（東京都水道局）がある<sup>5), 6)</sup>。レベル2地震に対する耐震性を強化する目的で施工されており、強化後は滑り安全率に対しては1.0以上を確保し、沈下も軽微な範囲に収まるように設計されている。コンクリートダムでは、十曾ダム（鹿児島県）で劣化したコンクリートを削り新たにコンクリートを打設するとともに、堤体内部の空洞を埋めるためのグラウトを実施した事例がある。

この他に間知石積のマルチプルアーチダムである豊稔池（香川県）は、老朽化の復旧工法としてアーチ全面に1.8m厚の張コンクリートを施工して改修された。当該ダムでは歴史的構造物としての価値を残すために、表面に石張が施されている。

国内でも上述のようにダムの老朽化に伴う機能低下、耐震性能の確保及び再開発の必要性を背景とした機能更新の需要が増してくると考えられる。機能更新技術の選択を広げる上で、次に海外での事例を紹介したい。

## 3. ジオメンブレン再更新の事例（フランス）<sup>7)</sup>

### (1) ジオメンブレンによる1期工事

ジオメンブレンは、合成ゴムや合成樹脂などの合成高分子を材料とした透水性の極めて小さい、または不透水性の膜状の土木用遮水材である<sup>8)</sup>。人工の遮水材として1990年代に目覚ましい技術革新を遂げ、日本でも万場調整池（東海農政局）や丸山調整池（北海道開発局）の遮水材として用いられている<sup>9)</sup>。

フランスにあるChmbonダムは、フランス電力会社が所有する1935年に完成した堤高137mの重力式コンクリートダムである。ダム軸は右岸と中央部で直線形上であるが左岸部ではカーブしている。1958年にダムの挙動に異常が発見され、調査の結果、激しいアルカリ骨材反応（以下AARという。）の影響を受けていたことがわかり、1994年に上流側へ防水保護のためにジオメンブレンを設置した（図-3）。

使用されたジオメンブレンはポリ塩化ビニル樹脂系で、面定器具によって張力をかけて設置され、メカニカルシールによって水密性が確保されるとともに、裏側には全面を覆う排水層がある。この防水システムの他に、AARによる膨張のためのダムの内部応力の解放のために堤体への溝の切削も行われた。溝の切削に



図-3 ジオメンブレンが使用されて16年後のChambonダム

当たり、その部分のジオメンブレンは一次撤去と再設置が行われている。1997年には溝の一部が閉じてダムの上部が減圧されたことが確認されている。

## (2) 2期工事

その後、有限要素解析モデルの開発とともに2007年から2010年にかけて、コアボーリングによる動力テストによりコンクリートと岩盤の接触面の応力状態の検査を実施した。調査により、ダムの曲線区間に発生したダム軸に沿って平面的にできた数cm幅の亀裂の存在や、中期的に見てコンクリートと岩盤の接触面にせん断につながる応力が発生することが確認された。この対策として、ダム堤長の下と曲線部分へ上下流にPC鋼材(テンドン)の設置によるダム躯体一体化と内部応力の解放のための溝の再切削を行うことを計画した。工事後には、防水性の確保から以前と同じジオメンブレンの施工をダムの上部40mに再び設置する。

新たな工事は2013年から2014年にかけて実施した。躯体の一体性を回復するテendonは50年の耐用年数を持つように設計した。いくつかのテendonは、将来的に再緊張の必要があるかを判断するため監視を行う。また、小ブロックコンクリートの剥落を防止するとともにテendonの耐震性を強化するため、カーボンバンド網を設置する。複合材料を作るためにエポキシ樹脂で繋がれた幅20～30cmの炭素繊維をテendonの頭部に縦、横、斜めに配置し網状に繋げる(図-4)。内部応力の解放のための溝の切削は、1990年代と同様の場所に切削幅16mmで溝を設ける。

防水対策は1995年に完成したのと同じ設計思想であるが、より高度な抗貫通性を増すためにジオテキスタイルの単位面積質量を従来の $200\text{g}/\text{m}^2$ から $500\text{g}/\text{m}^2$ に増加した厚さ2.5mmのPVCジオメンブレンを用いる。ジオメンブレンは張力がかかるようにダムの高度1040.4mから1003.5mまでの総面積 $9,065\text{m}^2$ の上流面全体に設置され、水密性の高いシールで留められる(図-5)。また前回と同様に裏面に排水システムが設置されている。

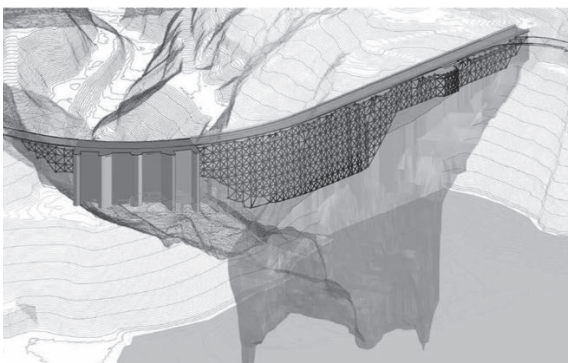


図-4 テンドン及びカーボンバンド設置イメージ



図-5 ジオメンブレンの設置状況

## (3) ジオメンブレンの評価と施工結果

旧ジオメンブレンが撤去され構成部品の確認を行ったところ、これらが極めて良好な状態であることが確認された。このため、排水用ジオネットの40%とステンレス鋼製の固定用器具は取り外し時に損傷がなく再利用された。旧ジオメンブレンも、常に水面上でUVに露光されている部位に僅かな変状が確認される程度で、柔軟性を保持している状態であった。本事例は、ジオメンブレンによる防水工法を一旦撤去し、ほぼ20年前に既に設置されていた同じ構成部品の大部分を利用して再設置を行った世界初の事例である。

## 4. バットレスダムの潜在的破壊の解析事例 (スウェーデン)<sup>10)</sup>

### (1) 対象ダムの概要

スウェーデンにあるRameseleダムとStorfinnfosen(図-6)ダムは、ともに1950年代に築造された薄型コンクリートフラットスラブバットレスダムである。止水壁の1ブロックは幅8m、高さ40m程度で2m幅のバットレス壁で支持されている。止水壁の厚さはダムの高さとともに変化し、堤敷きで2.5m、堤頂で1.5mである。両基の止水壁の下流側に、1960年代に初めて亀裂が確認された。これらの亀裂は、止水壁下部の傾斜部分にあり、バットレス壁を通して土台に向かって斜めに走っている。その他、止水壁の垂直部分の上流側に、広範囲に及ぶ凍結融解による損傷が確認された。



図-6 Storfinnfosenコンクリートバットレスダム



更なる凍結融解による損傷を防ぐため、1990年代に、バットレス壁と止水壁の間を取り囲む範囲に断熱壁を設置した。しかし、復旧の10年後には、さらなる亀裂がバットレス壁に確認された。亀裂は止水壁に達するものもあり、図-7で示す亀裂タイプの(3)、(4)及び(5)に分類されるものである。その後の復旧計画により、ダム の安定性を向上するために岩にテンドン(グラウンドアンカー)及び新しい断熱材が設置された。

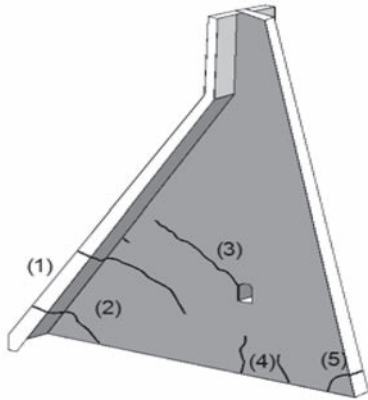


図-7 躯体で観察される典型的な亀裂タイプ

(2) 非線形有限要素漸増載荷解析による潜在的破壊の評価

解析モデルは3次元要素で作成され、確認されている亀裂については、有限要素解析モデルに離散亀裂としてあらかじめ設定される。また、躯体には補強鋼材が使われているため、これらはコンクリートに埋め込まれたトラス構造として、組み込まれる。図-8に示す通り基盤の岩に固定された4本の垂直のテンドンが躯体を固定しており、堤趾部にも水平方向に3本のテンドンが設置されている。これらのテンドンによる補強策についても、トラス要素として亀裂を挟む形でモデルに組み込まれた。

亀裂間の無傷な状態のコンクリート材料は、弾性係数 25GPa, ポアソン比 0.2, 密度 2,300kg/m<sup>3</sup> の線形体として、補強鋼材及びテendonは、図-9に示す応力-ひずみ曲線を持つ非線形体として設定している。

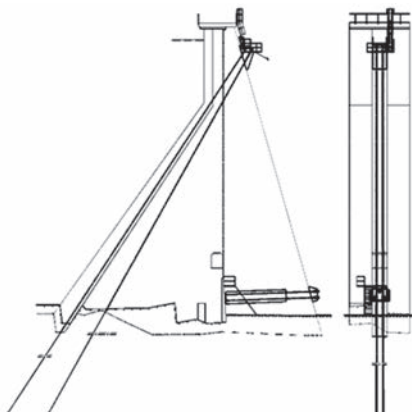


図-8 岩に固定されたテンドン

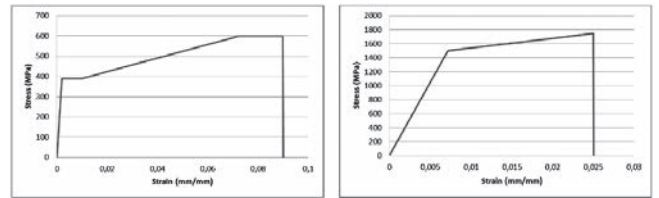


図-9 補強鋼材(左)及びテendon(右)の応力-ひずみ特性

解析では、重力負荷、氷負荷、止水壁下の揚圧力及び静水圧が考慮された。静的漸増載荷解析(Push-over analysis)を用いてダム破壊をシミュレーションするため、ダムにかかる全ての転倒力を、数値解析においてダムが強制的に決壊するように設計値を超えて漸進的に増加させた。

(3) 解析結果

解析で得られた転倒破壊に至る荷重係数の結果を表-2に示す。亀裂のある躯体では、亀裂部分で内部破壊を引き起こしたことにより、荷重係数が低いことが確認できる。亀裂のないダムの数値解析結果では、テndonの降伏は荷重係数 2.46 であり、テndonの極限能力に対してさらに負荷を上げると、終局破壊に至る最大荷重係数は、3.52 となる。この負荷では、ダム本体の堤敷き付近の広い範囲が、コンクリートの引張強度を超える応力にさらされるため、注意が必要である。離散亀裂を配したモデルでは、テndonが降伏し始める時の荷重係数は 2.13 という結果となった。このモデルでは、テndonは破断しないが、荷重係数が 2.15 となった時点で亀裂を横切る補強材が破断ひずみに達し、応力を再配分できなくなるので破壊を生じる結果となる。解析の結果、安全率はRIDAS(ダム安全性のためのスウェーデン水力発電会社のガイドライン)の基準を満たしているが、亀裂を考慮しないモデルに比べて破壊に至る荷重係数が低いことから、観察された亀裂が躯体の安全性に著しい影響を与えていることが示された。

表-2 解析による破壊時の荷重係数

FEモデル	テndonの降伏	終局破壊
亀裂なし	2.46	3.52
亀裂あり	2.13	2.15

5. 歴史的重力式石積ダムの復旧(イラン)<sup>11)</sup>

(1) ダムの概要

イランは長い歴史を持つ国の一つであり、多くの遺産が石工材料で築造されている。Golestanダムは、イランの首都テヘランから北東 1,050km の位置に約 520 年前に建設された歴史的な重力式石積ダムである(図-10)。ダムの堤体は 1947 年に 5m 嵩上げされており、



現在の基礎からの高さは最大 22.5m、堤頂長は 132m である。堤頂幅及び堤敷幅は、10.5m と 29.6m である。ダムは灌漑用に使われているが、高水位になると漏水が大きな問題であり、上流の左岸側に大きな亀裂が数条入っている。地震に弱い歴史的な石積構造物に対しての設計目標は、歴史的素材が持つ価値への影響を最小限に抑えて改修を行うことである。



図-10 歴史的な建造物であるGolestanダム

## (2) 現地調査と評価

ダムの現状を評価するため、コア採取を含む現地調査及び数値解析によるシミュレーションが行われた。ルジオン試験では、ダムの下部での透水係数は約 $10^{-5}$  m/sであることが分かった。ダムの浸透メカニズムを評価するため、基礎及びアバットメントにピエゾメーターを配置した。数値シミュレーションによる浸透解析の結果を、観測値を用いて調整している。改修の設計に必要なグラウト材の特徴をつかむため、グラウト試験も行われた。既存材料の試験用サンプルと化学分析により、石積部のモルタルは、主に石灰で出来ており、コア部は石灰と粘土モルタルで出来ていることが分かった。グラウチングのため、既存の材料と化学的に一致する新しいタイプの石灰ベースの材料を使用することとなった。石積部のグラウト注入圧力は、間隙水圧超過による破壊を防ぐために圧力試験が行われ、最大許容注入圧力は2.2barという結果が得られた。グラウト材により強度は最大60%、ひずみは20%改善することが分かった。調査結果から、石積部のモルタルは空隙が多いことも確認された。グラウチングの有効性は、十分な試験がなければ明確に出来ないことから、材料特性の不確実性を含めて、安全率は1.5と設定された。

## (3) 耐震安全評価

安全性評価の結果、Golestanダムでは、①地震荷重条件におけるダムの新旧接合部分でのせん断強度不足、②堤体の漏水が大きな問題であることが確認された。図-11に浸透流解析から得られた導水勾配の分布図を示す。ダム本体の低位部で許容値を上回る導水勾配が確認された。ダム堤体内の空隙の間隙水圧も、地震荷重条件時の許容応力度の限界を超える問題が確認された。

詳細なダムの挙動を確認するため、動的解析及び非

線形解析が実施された。スペクトル解析によるダムに生じる最大せん断応力と最大垂直応力の結果を図-12に示す。基礎で応力が許容値を上回る結果が出ており、地震発生時に上流部に亀裂が入る可能性があることが確認された。

亀裂は、一般的に行われている分布型クラックによる手法 (smeared crack approach) により、図-13に示す石積部の応力-ひずみ特性を用いて検討された。解析において荷重を66%増やした結果、改修の前後における亀裂のパターンは、図-14に示すものとなる。

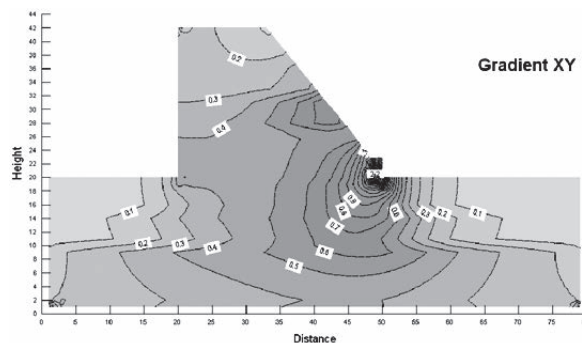


図-11 浸透流解析から得られた動水勾配分布

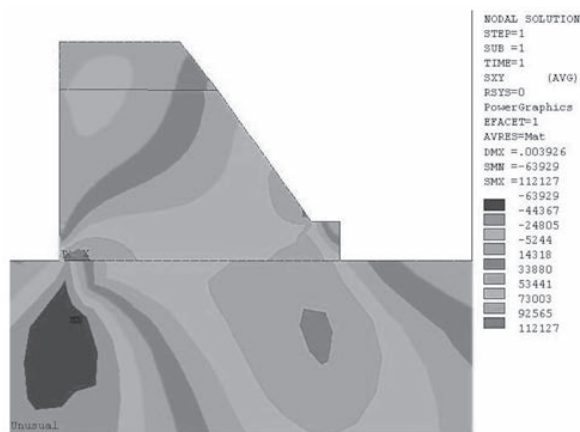


図-12 スペクトル解析から得られた最大せん断応力

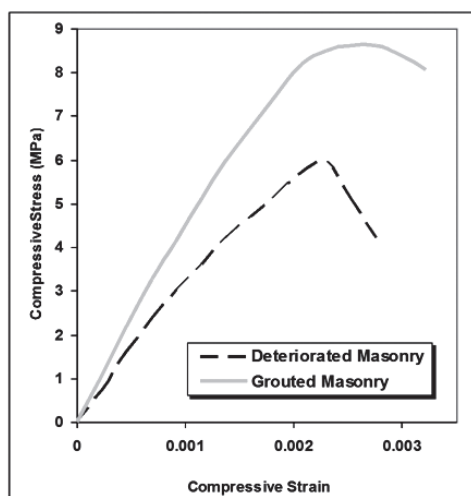


図-13 劣化した条件とグラウト注入後条件における石積部材料の応力ひずみ挙動

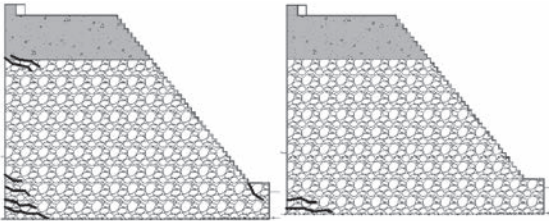


図-14 最大限界状態においてダム部分で予測される改修前後の亀裂パターン（左：対策前，右：対策後）

#### (4) 改修計画と考察

耐震安全評価の解析結果より，次の改修計画を策定した。

- ・ 上流壁面に接続するコンクリートスラブと上流基礎部に対するグラウトカーテンの施工
- ・ 上流石積み部及びダム本体と基礎の接合部へ石灰ベースのセメント改良材を注入
- ・ 目地補修，ポリマーシーラーによる上流面の防水及び石積み表面の補修等

本研究では，歴史的建造物である石積ダムの耐震性，性能評価の解析及び復旧についてまとめている。改修計画は，ダムの歴史的な特徴に沿ったものでなければならず，構造物の外観に影響を与えない条件の下に検討された。今回の検討により，歴史的な石積ダムの耐震改修に対して，次のことが分かった。

- ・ 間隙水圧及び浮上の影響が石積ダムの安定性に影響するが，防水対策により耐震挙動が改善される。
- ・ 歴史的な石積ダムの地震時の基礎での滑りという問題があるが，基礎との接触面に対するグラウトによりこの問題が改善される。
- ・ グラウト材の特性及びグラウチングの手順と圧力は慎重に決定するべきである。
- ・ 非線形解析の応答評価から，古い石積を効果的かつ局所的にグラウチングすることで，材料強度と全体的挙動が改善することが確認された。
- ・ 古い重力式石積ダムでは，最大荷重条件で類似のパターンを有し，耐震復旧工事は，大部分が上流側に集中する。
- ・ 歴史的な石積ダムのモデル化における重要な問題は，材料特性の不確実性が非常に大きいことである。グラウト圧力試験と非破壊試験によって，長期間にわたる漏水問題を抱える石積ダムは，非常に不均質な媒体を持つことが明らかになった。今後，研究者によりさらに正確なモデルを開発することが望まれる。

## 6. おわりに

本報文では，海外のダムの機能更新事例の中でも，特色があると思われるジオメンブレンによる遮水性の確保と再設置，亀裂の発生したコンクリートダムにおけるテンドンの設置及び歴史的な価値を持つ石積構造

物の機能更新の3事例を選定し，概要の紹介を行った。堤体の嵩上げや増厚などの事例は日本国内のダムでも一般的であるが，今回取り上げた新素材やアンカーによる安定化工法なども適用の可能性があると考える。ダムによる水源開発が一定の水準に達したと考えられる中，今後は既存のダムの機能更新技術の知見の収集や適用に向けた体系的な整理が必要である。そのような観点からも，本報告が今後の日本のダム技術の参考になれば幸いである。

#### 【引用文献】

- 1) (財)日本ダム協会：ダム年鑑2013
- 2) 青山成康：既設ダムの機能更新技術，農業土木学会誌 第69巻 第1号 2001
- 3) 土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」技術書（フィルダム編）農林水産省農村振興局 2003
- 4) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年度版 第5巻 設計Ⅱ編 2005
- 5) 佐々木史郎，村山眞：既設アースダムの耐震強化工事－山口貯水池堤体強化工事－，ダム技術，No.227，2005.8
- 6) 田村聡史，村山眞：既設アースダムの耐震性強化－村山下貯水池堤体強化工事－，ダム技術，No.242-11，2006.11
- 7) A UNIQUE CASE:NEW WORKS AT CHAMBON DAM, A Scuero, G Vaschetti, J Machado do Vale, ICOLD International Symposium 2016
- 8) 土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」基準書技術書（共通編）農林水産省農村振興局 2003
- 9) 長束勇：貯水池表面遮水工法に関する研究，農業工学研究所報告38 1999
- 10) ANALYSIS OF POTENTIAL FAILURE MODES AND REINSTRUMENTATION OF A CONCRETE DAM, R.Malm, E.Nordstrom,C-O. Nilsson, R.Tornberg and J Blomdahl, ICOLD International Symposium 2016
- 11) PERFORMANCE BASED APPROACH FOR REHABILITATION OF GOLESTAN HISTORICAL MASONRY GRAVITY DAM, M.Safi, ICOLD International Symposium 2016

# 他藩からの引水の歴史と新しい技術の導入から 現在へ「淡河川・山田川疏水」

福田 信幸\*  
(Nobuyuki FUKUDA)

## 目 次

1. はじめに	62	8. 国営東播用水農業水利事業との係わり	65
2. 疏水構想の始まり	62	9. 疏水土地改良区との合併	66
3. 疏水事業実施の契機	63	10. 未来に向かって疏水を継承	66
4. 淡河川・山田川疏水プロジェクト	63	11. 現在の疏水施設の改修	66
5. 事業着手に関係した賢人たち	63	12. 疏水による地域農業の発展	66
6. 疏水事業成功のポイント	64	13. おわりに	67
7. 疏水事業によって生まれた地域景観	65		

### 1. はじめに

明治生まれの「淡河川疏水」と大正生まれの「山田川疏水」は、二つの疏水の頭文字をとって「淡山疏水」と呼ばれ地域住民に親しまれています。

兵庫県の南部中央を流れる県下最大の1級河川「加古川」の支流、淡河川と山田川に命の水を求めた各疏水は、農民が求めた用水確保の歴史と工夫を重ねた施設群が現在に引き継がれ、地域にとって貴重な水利ストックとして、国営東播用水農業水利事業関係施設と一体的に機能しています。

淡山疏水は、神戸市西区西部、明石市西部、加古川市東部、三木市南西部と加古郡稲美町のほぼ全域が受益地であり、その地域は「いなみ野台地」\*1と呼ばれ

る県下でも有数のため池地帯です。(図-1, 2を参照)

「いなみ野台地」は、加古川・美囊川・明石川などの河川より30～40mほど高い位置にあります。そのため周辺河川の水を利用することが困難であり、降水量の少ない瀬戸内地域の中にあっても、特に水に恵まれない地域でした。

先人たちは、こうした農業や生活を営む上で厳しい条件下にあっても、台地を流れるわずかな水をため池に集めて荒野を開拓しました。

\*1 「いなみ野台地」：加古川とその支流美囊川、志染川に囲まれ、さらに東側を流下する明石川に挟まれた台地状の地域を云い、万葉集では「いなみ（伊奈美・印南・稲日・稲見・不欲見）野」と詠まれ、古くから人々が生活していました。



図-1 「いなみ野台地」の位置



図-2 「いなみ野台地」の概略図

### 2. 疏水構想の始まり

水不足の「いなみ野台地」に水を引くため、1771年(明和8)や1826年(文政9)に山田川からの疏水が計画

\* 東播用水土地改良区 専務理事  
(Tel. 0794-87-0545)



されましたが、その時点では起工には至りませんでした。

これには次のような課題があったといわれています。

- ①技術・資金面で困難であった。
- ②水源地域（淡河川・山田川）の大部分は明石藩領であった。
- ③かんがいする「いなみ野台地」は、図-3のとおり姫路藩と複数藩にまたがっており、藩、村落間の地域的対立という、これらの社会的な関係が大きな問題であったといわれています。

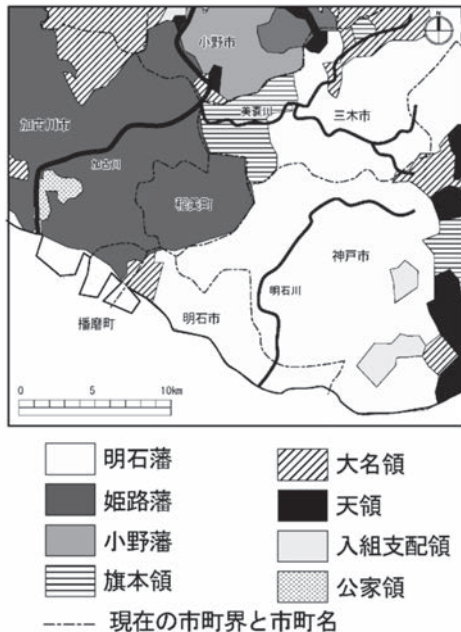


図-3 所領配置図

### 3. 疏水事業実施の契機

東西約20km、南北15kmという広大な「いなみ野台地」の開発の歴史は古く、弥生時代に始まったといわれています。

「いなみ野台地」の大部分は、近世になるまで荒野のまま放置されていましたが、古墳時代以降に大陸から伝わった土木技術に加え、戦国時代から発達してきた築城や鉱山採掘などの技術が、用水路の開削やため池の築造にも生かされるようになりました。

江戸時代に入り新田開発が盛んになり、「いなみ野台地」においても中小河川を水源とする用水の開発が行われました。

これらの用水はいずれも取水期間が制限されていたので、取水した水を貯めておくために多くのため池が造られました。

「いなみ野台地」の新田開発が一通り達成された1710年頃を境に、年貢の増大、農業生産の拡大などで水利用が増加したのに加え、干ばつによる凶作・飢饉によって、水争いが頻発しました。これが台地から遠く離れた淡河川や山田川を水源とする疏水の計画に踏み出すきっかけになっています。

### 4. 淡河川・山田川疏水プロジェクト

淡河川・山田川疏水計画は、山田川疏水構想の1771年（明和8）が最初で、淡河川疏水が着工（1888年（明治21））された100年以上昔のことでした。

その後、何度となく山田川からの水路の計画・測量が繰り返されましたが、実現には至りませんでした。

明治に入り、地租改正による重税が疏水実現に向かって大きな障害になりました。他方、重税は生産力向上のための疏水開発の大きな起因ともなりました。これを解決するきっかけとなったのが、印南新村（現、稲美町印南の地域）への国営葡萄園の誘致でした。その用地売却金を滞納地租の支払いに充てることで、疏水事業の実現への途が開かれました。

その後、山田川疏水の実測が行われましたが、岩盤が多く地質が不良であることから、断念せざるを得なくなりました。しかし、鉄管サイフォンなどの最新技術を用いることで淡河川からの導水が可能であることがわかり、淡河川に水源を求めることに変更され、淡河川疏水工事が着工されました。

1891年（明治24）淡河川疏水の完成に伴い周辺の農村では開発意欲が増大し、水を求める地域も広がったことなどから、廃案となった山田川疏水の復活が計画されました。

山田川疏水の事業費は、淡河川疏水のように官費の補助を受けることができず難航しましたが、銀行からの借入によって、1911年（明治44）に着工できました。

1915年（大正4）に山田川疏水が完成し、その後、すべての支線水路とため池の工事を終え、1919年（大正8年）、淡河川・山田川疏水、すなわち「淡山疏水」が完成しました。

### 5. 事業着手に関係した賢人たち

淡山疏水の着工に苦労、苦心した主な人々を紹介します。

・神出庄東村某氏

1771年（明和8）山田川疏水最初に立案

・福田嘉左衛門（国岡新村）

1826年（文政9）山田川疏水を発起し実測、図面を作成し工事費を見積り姫路藩へ出願したが、水源や水路が他藩にわたっていることから廃案

・藤本増右衛門（神出庄東村）

1868年（明治元）悲惨な干ばつを目の当たりして、山田川からの取水路を独力で測量

・魚住完治（野寺村惣代）ほか

1872年（明治5）山田川疏水の計画・測量を実施

・岩本須三郎（蛸草新村）

1878年（明治11）魚住完治ら近隣新村の惣代とともに山田川疏水の水利実測願を兵庫県令に提出し、実質的にはこれが第一歩といえます。

・北條直正（写真－1）

1879年（明治21）加古郡長に就任，魚住完治らは山田川疏水を嘆願，郡長は疏水係選任書記として魚住逸治（完治の甥）を任命し計画を進めました。

1880年（明治13）国営播州葡萄園開園，北條郡長は地租納入に苦しむ印南新村に誘致し用地買収代価をもって地租代入する案を提唱，1880年（明治13）2月に買収され滞納中の地租に振り向けられ，山田川疏水事業を推進する環境が整ったといえます。



写真－1 北条直正

## 6. 疏水事業成功のポイント

どのような事業も実施段階に入ると地質など現地状況により問題が発生するものですが，着工した山田川疏水事業においても固く急峻な地形のところ，当時の技術などから工事費の高騰が見込まれる結果になり，淡河川から引水する淡河川疏水に変更されました。淡河川疏水には御坂というところで志染川を越えなければならないことが大きな問題となり，当時，横浜の水道の監督をしていた英国人（ヘンリー スペンサー パーマー氏）が御坂の谷をサイフォンで越えることを提案しました。

・ヘンリー スペンサー パーマー（写真－2）

1881年（明治14）ビクトリア女王皇帝孫の随員として来日し，1882年（明治15）内務省神奈川県付顧問技師として横浜水道報告書を作成しました。

1885年（明治18）横浜水道監督工師として来日し，1887年（明治20）淡河川疏水路の実地視察に同行し，プロジェクトの主要な土木工事部門に関する意見が求められ，サイフォンの主材料としてマイルド・スチール（錬鉄，比較的軽量）の使用を提唱しました。

サイフォン管は，3種類の直径（約81cm・86cm・91cm）の管（約6m）を入れ子にして船積み方法及び重量に工夫し工事費を節約しています。

1888年（明治21）淡河川疏水御坂サイフォンの設計監督を行いました。

パーマー氏は，御坂サイフォンの完成は，当時，英字新聞「ジャパン・ウィークリー・メール」1891年（明

治24）7月4日号に「兵庫県におけるかんがい工事」という記事で紹介されています。



写真－2 ヘンリー・スペンサー・パーマー肖像

・ハーリー バグバード

淡河川疏水御坂サイフォン工事では，パーマーの監督のもと，サイフォンとその付属品の敷設・接続工事にあたりました。

・田辺義三郎

山田川疏水の計画にあたっては，1886年（明治19）4月に3級技師として現地を訪れ，水源を淡河川に変更する案を提唱しています。

・粕谷素直

明治中期に技手として兵庫県に勤務し，田辺義三郎の水源変更案提唱を受けて，県の測量主任として山田川・淡河川から「いなみ野台地」までの三角測量・水準測量を行いました。

測量結果に基づき，淡河川を水源とする工事計画を1887年（明治20）5月に立案し，御坂サイフォン橋（写真－3）の設計と工事，サイフォン上下流部の水路工事を担当するなど，淡河川疏水工事の中心的な役割を果たしました。

このように内外の高度な技術者に恵まれたことが疏水事業成功のポイントの一つと言えるでしょう。



写真－3 御坂サイフォン水路橋

御坂サイフォンの初代の水路橋で淡河川と山田川が合流した地点に架けられています。水面に映る姿から地域の人々は「めがね橋」と呼んでいます。





写真－４ 御坂サイフォン露出管

平成４年に国営東播用水農業水利事業によって全面改修された御坂サイフォンの呑口部から下流方向、対岸を望むものです。

## 7. 疏水事業によって生まれた地域景観

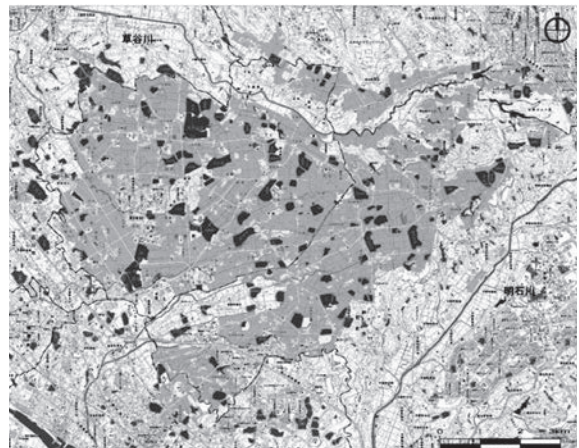
淡山疏水の受益地域である「いなみ野台地」では、江戸時代までの新田開発により、少しずつ集落が形成され、その水利を確保するために、小さな谷を堰き止めたため池を作って小規模な水田と畑作が中心であったため、畑地の水田化のために古くからいろいろな時代に多くの方が苦心してきました。

明治から大正初期にかけて開発された淡山疏水は、水源地域において、頭首工、トンネル（写真－５）、梯形開水路などが築造され、現神戸市北区淡河町、三木市志染町などでは疏水が通過する地域の景観を大きく変化させ、近代技術の展示場のようなのです。

「いなみ野台地」では、非かんがい期の余水を引き込むために大変多くのため池が築造され、一大水辺空間が形成されたことから、古くから癒しの地域空間が形成されていたことになり、いなみ野が万葉集に詠まれたススキや萱に覆われていた未開発地が疏水事業によって開発が進み、水源地域の景観を変え、さらに受益地域である「いなみ野台地」を「ため池のある里」へ変貌させたといえるでしょう。



写真－５ 淡河川疏水のれんがトンネル



図－４ 土地利用図 2009（平成21）

「いなみ野台地」の水田（中間調アミ）・畑地（薄いアミ）の利用状況を示すもので、ため池（濃いアミ）が多いことが解ります。

疏水事業によって作り上げられた水利施設は、新しい農村景観を作り、地域にとって大きな付加価値を与えたといえます。

## 8. 国営東播用水農業水利事業との係わり

1919年（大正8）に完成した淡山疏水は、その後も新たな水源開発（山田池、僧尾川引水路、山田川引水路、神田導水路）や引水期限の延長（山田川疏水）など水源強化の努力が引き続き行われました。

日常の維持管理に加えて、県営により大規模な改修工事が1949年（昭和24）～1961年（昭和36）に実施されています。

一方、1960年頃以降における「いなみ野台地」を含む播磨工業地帯の急激な工業化・都市化により、農業用水のほか都市用水の需要が増大してきました。

このような背景から「いなみ野台地」を中心とした地域における大規模水利開発が構想され、1963年（昭和38）に国営事業計画調査地区に採択され、1970年（昭和45）には加古川上流の篠山川から導水する東播磨総合開発構想のもと、国営東播用水農業水利事業（以下「国営東播用水事業」という。）が発足、事業が推進され、1992年（平成4）に完成し、淡山疏水は現在の東播用水水利システムに引き継がれ生まれ変わりました。

国営東播用水事業は、篠山川で取水する川代ダム、東条川を貯留する大川瀬ダム、山田川を貯留する呑吐ダムを導水路で連結し、神戸市、明石市、加古川市、三木市、稲美町の約7,300haに農業用水を供給し、さらに広い地域の上水道としても利用されています。

1771年（明和8）に発意された山田川疏水は、その時代が求めた“水”への思いが、多くの人々に引き継がれ、246年経過した現在に至るまで、今も「いなみ野台地」を潤し続けています。

淡山疏水の水源地や「いなみの台地」の各地で見られる当時の技術や言い伝えは、私たちにとってかけがえのない財産として現在から未来へ引き継がれていきます。



## 9. 疏水土地改良区との合併

1979年（昭和54）12月の吞吐ダムの着工が迫り、起工の条件として兵庫県淡河川山田川土地改良区（以下、「淡山土地改良区」という。）が持つ淡河川と山田川の水源水利権を農林大臣に移管することが着工の必須条件でした。

淡山土地改良区に対する正式な参加が要請され、国・県から条件提示されましたが、2年余りに亘る折衝の後、双方大筋の合意を得て、関係ため池委員長に諮り、淡山土地改良区の理事会、総代会の承諾を得て調印に至りました。

こうして吞吐ダムの着工に至り、国営東播用水事業が飛躍的な進捗を見ることになりましたが、国営東播用水事業が完成した平成5年3月においては、淡山土地改良区は淡山疏水関係施設及び淡山疏水地域で新たに整備された水路を管理し、東播用水土地改良区は、淡山疏水地域より上流部の幹支線水路等の施設を管理するという2元管理体制を強く主張された結果、国営造成施設の管理は両土地改良区に分割した形で委託管理されることになりました。

このような経緯から東播用水土地改良区と淡山土地改良区が連携して国営東播用水事業の受益地域に用水供給を進めてきました。

その後も組織合併を念頭においた協議が進められ、1995年（平成8年）には水利調整及び日常管理を淡山土地改良区から受託することの合意に至り、農業用水を適切に送水するための管理体制が整いましたが、管理組織は一体にはなりません。

しかし、このような形態は望ましいものではなく、淡山土地改良区に対する経費負担もあることから、さらに適切な管理体制を整え、管理技術の向上、日常の維持管理を行うことを組合員が求めるものとなり、組織合併の協議が加速し、2016年（平成28）4月1日に合併に至りました。

## 10. 未来に向かって疏水を継承

淡山疏水は、歴史的な施設が多いこと、貴重な水利遺構も多く残っていることから、未来へ継承すべく新たな取り組みを進めようと考え、両土地改良区が協議し「淡山疏水・東播用水未来遺産運動」（以下、「TT未来遺産運動」\*2という。）の基本計画を策定し、東播用水とともに100年後の人々に遺産として引継ぎ、活用して行くという基本理念を基に、淡山土地改良区は、具体的な運動計画を展開することを東播用水土地改良区に委ねることになりました。

TT未来遺産運動の拠点施設として、淡山疏水の歴史と東播用水の新たな歴史を紹介、展示する「淡山疏水・東播用水博物館」を設置し、広く地域住民への働

きかけを行っています。

\*2 TT未来遺産運動の詳細及び博物館（写真-6）の概要は、東播用水土地改良区のホームページでご覧いただけます。



写真-6 淡山疏水 広報拠点（TT博物館）

この博物館は、一般的に言われる「博物館」ではなく、土地改良区が地域住民など多くの人々に淡山疏水と東播用水に係る展示を見ていただくこと、疏水を活用することに着目して、手作りの展示を行っているもので、学芸員を配置しているものではありません。

玄関先には屋外展示として「御坂サイフォン」の鉄管が展示されています。

昨年、2016年（平成28）の来館者数は、約1,700人を超え、リピータも多いようです。

## 11. 現在の疏水施設の改修

淡山疏水の施設は、国営東播用水事業及び県営かんがい排水事業（1981年（昭和56）～1996年（平成8））によって改修をしましたが、それ以降20年を経過したことや平成7年1月の兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）の影響を少なからず受けたことから老朽化が進行したことにより、改修・補強が必要になりました。

農林水産省は、淡山疏水関係施設を含んだ内容の事業計画をもって、国営東播用水二期農業水利事業を2013年（平成25）9月に事務所を開設し事業を着手させました。

この事業では老朽化が進行した山田川疏水と淡河川疏水を一本化し、安定的に用水の送水を行い、さらに通過する地域の安全安心を図るため、現在シールド工法による管水路工事を進めています。完成後は旧施設部分を閉塞する計画ですが、東播用水土地改良区は、疏水建設時に大変苦勞したトンネル部分もあるため、歴史的な水利施設として部分的に保存し展示したいと考えています。

## 12. 疏水による地域農業の発展

淡山疏水が完成する以前は、前述のとおり綿、葉タバコなどの水を多く必要としない作物が中心でしたが、疏水完成後は稲作が大きく拡大され、農家経済も安定しました。

現在の「いなみ野台地」は、ほ場整備事業が行われほ場条件が大幅に改善され、国営東播用水事業によって水利条件が飛躍的に良くなっています。

それによって、水田農業の定着と経営規模拡大はもちろん、都市近郊型農業が広く展開され、多様な農産物の生産と高収益性作物の導入、地域ブランドの創設など新たな時代を迎えています。

さらに、JAは大規模な直売施設を設置し、生産物の流通傾向を大きく変化させています。

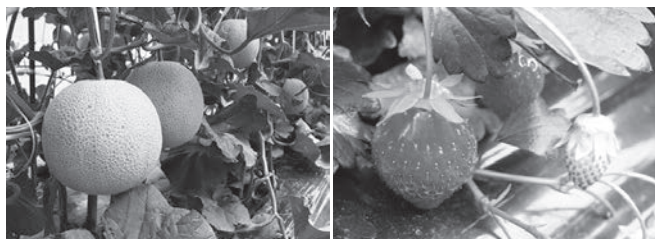
写真-7及び写真-8の作物のほか、淡山疏水の水路を經由して送水された国営農地造成団地ではワイン用ブドウの栽培が盛んです。そのブドウを原料として「神戸ワイン」(写真-9)が生まれました。

淡山疏水の起工には、「国営播州葡萄園」のための用地確保による租税の納入が可能になったことによって大きく前進しました。

現在は、その淡山疏水を經由して供給される用水によって、新たに生まれた「神戸ワイン」、これは淡山疏水と東播用水の二つの疏水の歴史と土地改良事業の効果と言えるのではないのでしょうか。



写真-7 いなみ野台地の黄金色に染まった大麦の収穫



(左：いなみ野メロン・右：イチゴ)



(左：もも・右：アスパラガス)

写真-8 いなみ野台地で栽培されているいろいろな農産物



写真-9 神戸ワイン

東播用水土地改良区では、葡萄生産者への支援、事業効果の検証として、神戸ワインを生産する神戸みりの公社と連携し特別斡旋販売(2回程度・年)を行っています。興味を持たれた方はお問い合わせいただければ幸いです。

### 13. おわりに

「淡山疏水」という歴史的な施設を県営事業で大改修し、国営東播用水事業で、さらに国営東播用水二期農業水利事業によって、改修、補強、水利再編などを行い、新たな歴史づくりに向かって歩みだしています。

TT未来遺産運動の展開を通して地域住民と連携し歴史と施設を活用し守り、土地改良区の本来的な事業である維持管理事業を推進することによって、「いなみ野台地」の農業の高度な展開に寄与して行きたいと考えています。

全国の皆様に疏水百選、世界かんがい施設遺産のほか社会・文化的な評価を受けている「淡山疏水」のご紹介ができたことを幸いに思っております。

近年、「淡山疏水」よりも歴史的に高く評価された疏水が東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)、熊本地震のほか多くの水害で被災する現実がある中、私たちは歴史の有無に関わらず、先人に感謝し、土地改良施設の維持保全に努めることが責務だと考えています。

引き続き、東播用水土地改良区へのご指導ご支援をお願い申し上げます。

#### 【参考文献】

淡河川・山田川疏水開発の経路をたどる  
「いなみ野台地を潤す“水的路”」2010. 3 いなみ野ため池ミュージアム運営協議会



# 斜面崩壊により被災した農業用ため池への土砂流入に関する検討

－ UAV調査と土砂流入解析の試み －

正田大輔\* 吉迫 宏\* 紺野道昭\* 井上敬資\*  
 (Daisuke SHODA) (Hiroshi YOSHISAKO) (Michiaki KONNO) (Keisuke INOUE)  
 楠本博\*\* 原田耕平\*\* 橋本知宗\*\*  
 (Hiroshi KUSUMOTO) (Kohei HARADA) (Tomomune HASHIMOTO)

## 目次

1. はじめに	68	5. 個別要素法を用いた簡易な土砂流入と貯水の挙動についての検討	70
2. 災害の概要	68	6. まとめ	71
3. ため池周辺での土砂災害危険度状況	68		
4. UAVによる崩壊土砂量の推計	69		

## 1. はじめに

平成26年8月豪雨では、広島県と、京都府、兵庫県において豪雨による斜面崩壊等により下流の農業用ため池が被災した。一方で、被災したため池のほとんどが貯水池内に土砂を受け止めて、ため池下流に対する減災効果を発揮した。

本報告では、京都府福知山市で2014（平成26）年8月豪雨時の斜面崩壊により被災したため池を対象に、UAVを用いてため池周辺を撮影し、その結果を用いた堆積土砂量の推定等の調査<sup>1)</sup>と、個別要素法を用いたため池への土砂流入と貯水の挙動についての再現解析<sup>2)</sup>の試みを紹介する。なお、被災したため池の諸元は、表-1の通りである。

表-1 ため池の諸元

堤高 (m)	貯水量 (m <sup>3</sup> )	堤長 (m)	洪水吐
5	4,000	45	越流堰型 幅2.9 m×高さ0.8 m

## 2. 災害の概要

2014年8月15日から20日にかけて、前線が本州付近に停滞し、西日本と東日本の広い範囲で大気の状態が非常に不安定となった。15日から18日までに観測された最大48時間降水量が、京都府福知山市福知山で341.0mm、兵庫県丹波市柏原で278.5mmとなり、それぞれ観測史上1位の値を更新した。

図-1は、調査対象ため池周辺の気象庁の1時間

レーダーアメダス1kmメッシュデータについて、被災時（2014年8月16日から18日）の時間雨量と積算雨量を示す。被災時において、最大時間雨量74.0mm、48時間積算雨量513.0mmであり、ため池周辺においても記録的な豪雨であったことがわかる。

被災後の2014年9月に踏査を基本とする主な調査結果<sup>3)</sup>は以下のとおりである。ため池堤体の一部が決壊したが、ため池貯水池内で土砂を受け止めて、下流への被害は軽微であった。左岸側の洪水吐のコンクリート構造物と堤体土の境界部が決壊位置であったが、洪水吐が正面越流型であることや、堤体下流側に抑え盛土がされていたことから、比較的最近に改修が行われたことにより、被害が軽微になったと考えられる。

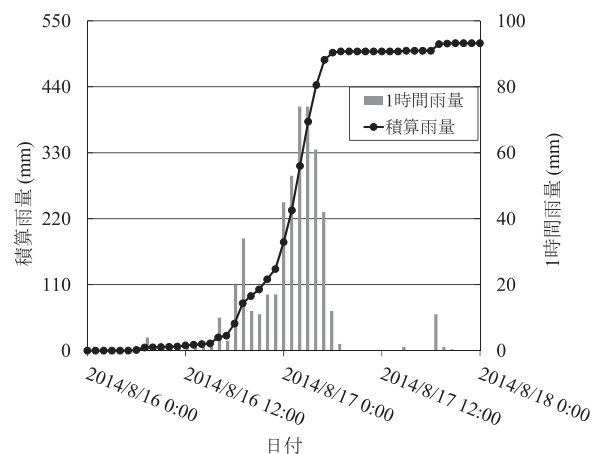


図-1 被災時の時間雨量と積算雨量

## 3. ため池周辺での土砂災害危険度状況<sup>1)</sup>

当該ため池周辺において、RBF (Radial Basic Function) ネットワークを用いて土砂災害発生基準線 (クリティカルライン: CL) の基となる応答曲面を求めた。解析に用いたデータは、対象ため池周辺の被災

\* 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
 農村工学研究部門 (Tel. 029-838-7671)  
 \*\* (株)アスコ大東 (Tel. 03-5641-2186)



時のレーダーアメダス，過去の雨量（気象庁の5kmメッシュの1時間レーダーアメダスを2001～2014年分）である。

ため池周辺の雨量データによる応答曲面を図-2に示す。数値が小さいほど土砂災害の危険性が高くなる。ため池が被災したのは8月17日未明であり，0.1の曲面より危険側に外れた結果になっており，対象ため池周辺において土砂災害の危険性が高かったことがわかる。

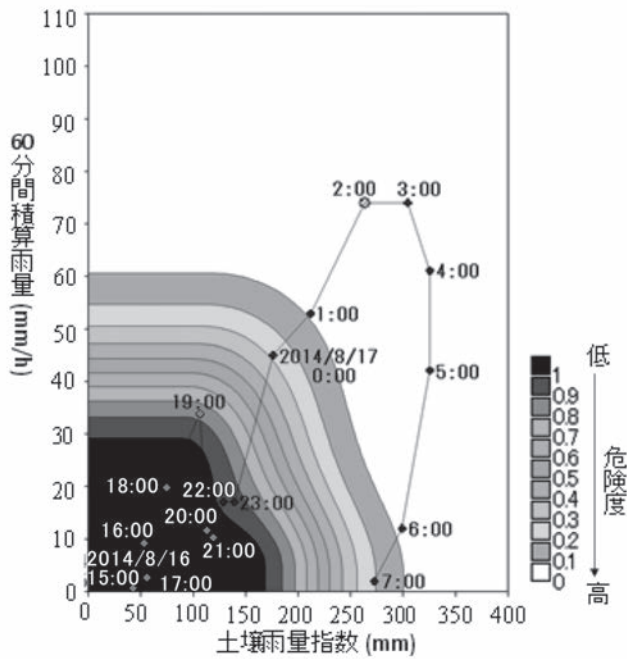


図-2 ため池周辺の雨量データによる応答曲面

#### 4. UAVによる崩壊土砂量の推計<sup>1)</sup>

##### 4.1 UAV調査で使用した機材

UAVはDJI(S800EVO)を使用した。飛行範囲は半径約200m以内で，飛行時間は約10分である。カメラにはSony NEX-7(画素数2,400万画素)を使用した。また，固定式レーザFARO FOCUS 3Dスキャナとトータルステーションを用いて，UAVの精度検証を実施した。

##### 4.2 三次元モデルと検証

取得した写真画像で，Acute3D Smart3D Captureを使用して，画像相関により三次元モデル(図-3)を作成した。

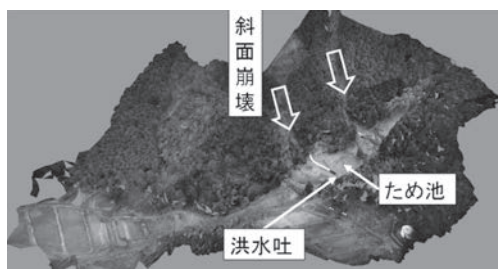


図-3 画像から作成した三次元モデル

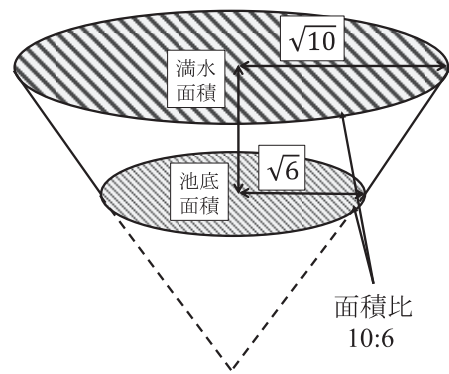


図-4 仮定したため池の構造

使用写真枚数381枚，ペア数2,183，総ポイント数113,145であった。作成した三次元モデルには縮尺をもたせるため標定点測量を実施した。

画像データから作成した三次元モデルの精度を確認するため，固定式レーザとトータルステーションにより比較を行った。固定式レーザでは5点で検証した結果，較差が水平方向平均0.091m，高さ方向平均-0.047mであった。また，トータルステーションでは5点で検証した結果，較差が水平方向平均0.042m，高さ方向平均-0.007mであった。今回の検証では，25cm以内にいずれも収まっていることから地図情報レベル500程度の精度があったと考えられる。

#### 4.3 三次元モデルを活用した調査

##### (1) 堆積土砂量の比較

表-1に示す小規模ため池において，土砂災害前のため池貯水池の容量算出には以下のように決定した。ため池の構造については，満水面積と池底面積の比を10:6とした(吉迫・小川，2009)。また，堆積高については洪水吐天端まで土砂で埋没していたことから，ため池堤高から洪水吐の高さ0.8mを差し引いた高さとした。堆積土砂容量は，円錐台の容量と仮定して算出した。

満水面積についてはUAVによる測量結果を用いており，以下のように算出した。ため池の貯水池内である土砂堆積範囲を，現地踏査時の写真とGoogle Earthにより判定し，面積を算出した。図-5中の点線箇所が該当箇所であり，1,140m<sup>2</sup>であった。この値から円錐台の容量と仮定して土砂容量を算出すると，3,700m<sup>3</sup>であった。過去の災害復旧図面等の既存資料を参考にして，災害査定時に横断測量で求めた流入土砂量は3,380m<sup>3</sup>であり，本報対象のため池では目安としてUAVにより試算できると考えられる。

さらに，ため池に流入した土砂量を，計画規模の年超過確率の降雨量によって運搬できる土砂量(国土交通省国土技術政策総合研究所，2016)により，算出した。ここで，式中使用される流域面積と24時間雨量については現地の値を採用し，その他の値について

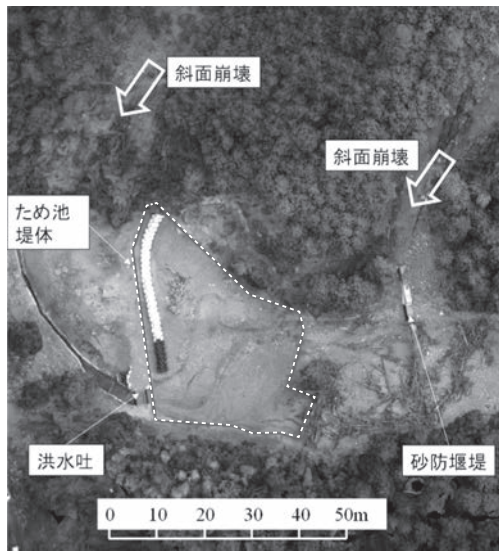


図-5 ため池周辺写真

は参考値を採用している。算出結果は $5,411\text{m}^3$ となった。ため池への土砂流入量の予測として、今後も災害現地で式を適用し、雨量や集水面積等の未知数の最適な設定のために事例収集が必要である。

(2) 洪水吐寸法の比較

図-6に示すように洪水吐である箇所をソフト(Acute3D Smart3D Capture)上で計測すると、幅3.2m、高さ0.9mであった。実測では幅2.9m、高さ0.8mであった。簡易に計測する際に有効なツールと考えられる。



図-6 洪水吐の拡大写真

5. 個別要素法を用いた簡易な土砂流入と貯水の挙動についての検討<sup>2)</sup>

5.1 解析モデルの作成

解析対象範囲については、ため池の上流域の谷筋をGIS上で図-7のようにトレースし、抽出された点の座標と標高値から解析断面を図-8のように作成した。標高データは国土地理院の基盤地図情報10mメッシュより作成した。

図-9に解析概略図を示す。地表面から洪水吐天端までの高さ、表-1に示す堤高から洪水吐高さを引いた値の4.2mを解析上の堤高に採用した。

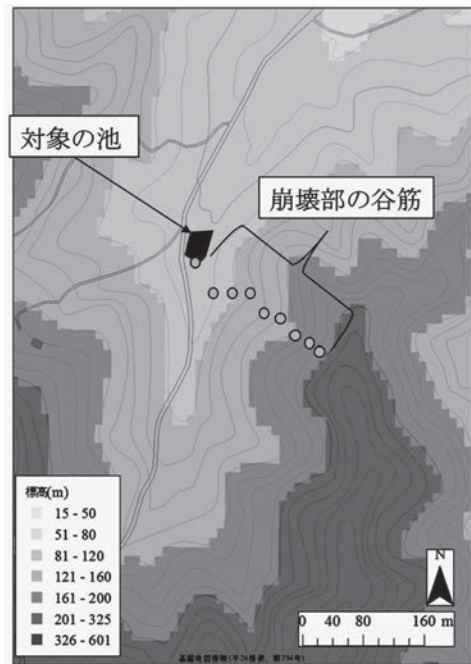


図-7 ため池上流域崩壊部の谷筋のトレース(国土地理院発行の基盤地図情報を背景図に使用)

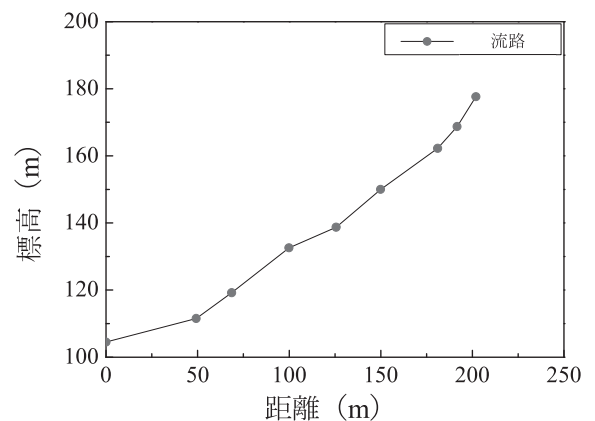


図-8 解析に使用した断面図

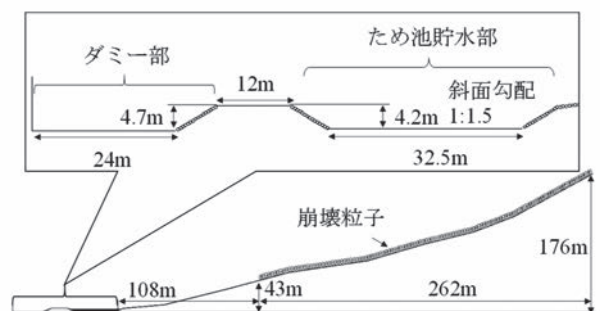


図-9 解析概略図

総粒子数は1,545個とし、斜面については粒子で形成し、変位を拘束した。流入する土砂は解析斜面上に240個を配置した。流入粒子の密度は $2.77 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 、貯水池内の粒子密度は $1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ とした。

5.2 解析結果

図-10に、各時刻での粒子配置図を示す。15秒後に粒子の流入により、貯水池内粒子が下流方向へ移動



している。また、30秒後には貯水池内粒子が、流入粒子の影響により堤体を越流して下流側に押し出され、流入粒子が貯水池内に埋没した。45秒後には、30秒後のような粒子配置が維持され、この後時間が経過しても粒子の大きな移動は見られなかった。図-5のような状態を定性的ではあるが表現できている。

崩壊粒子が貯水池内部に留まり、本報告のように簡易な土砂流入と貯水の挙動の検討について、個別要素法が1つの検討手法として使用できると考えられる。一方で、パラメータの設定や崩壊部・貯水部のモデル化等、課題が多くあり、今後の研究課題である。

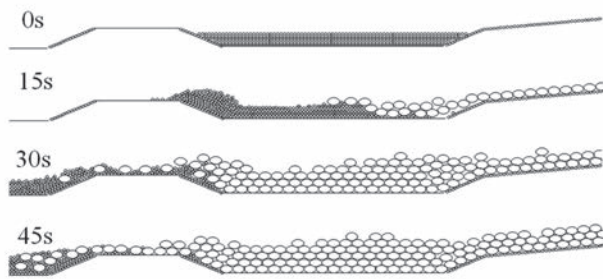


図-10 各時刻での粒子配置図

## 6. まとめ

本報告では、UAVによる被災ため池の調査を実施し、堆積土砂量についての推定を行った。また、個別要素法により、崩壊粒子・貯水池内粒子の挙動に着目して、定性的な検討を行い、以下の結論を得た。

UAVにより満水面積を計測し、円錐台の容量と仮定して崩壊土砂容量を算出すると、 $3,700\text{m}^3$ であった。災害査定時に横断測量で求めた流入土砂量は、 $3,380\text{m}^3$ であり、本報でのUAVによる試算値と近い値を示した。

さらに、ため池に流入した土砂量を、計画規模の年超過確率の降雨量によって運搬できる土砂量(国土交通省国土技術政策総合研究所, 2016)により算出すると、算出結果は $5,411\text{m}^3$ となった。ため池への土砂流入量の予測精度向上のため、今後も災害現地で式を適用し、事例収集が必要である。

個別要素法については、解析終了時に、崩壊粒子の流入により貯水粒子は、堤体を越流し下流側へ押し出された。崩壊粒子は堤体内部に留まり、被災ため池のように貯水池が土砂で埋没した状態を定性的ではあるが再現できた。一方で、パラメータの設定や、崩壊部のモデル化等には課題を残しているため、今後更なる研究が必要である。

## 〔謝 辞〕

土砂災害発生基準となる応答曲面の算出には、(有)山口ティー・エル・オー(著作者 荒川雅生, 倉本和正, 古川浩平, 中山弘隆)の「RBFネットワークを用いたCL作成プログラム」を使用した。

個別要素法は、京都大学防災研究所澤田純男教授の開発された“DEMS”を改良して共同研究として実施した。

現場でのUAVの調査時には京都府農林水産部農村振興課に、情報提供を賜った。関係各位に記して感謝申し上げます。

## 【引用文献】

- 1) 正田大輔・鈴木尚登・吉迫 宏・西川泰史・小泉繁信・楠本 博(2015):平成26年8月豪雨による土砂流入で被災したため池のUAV調査, 第54回(公社)日本地すべり学会研究発表会, 98-99.
- 2) Daisuke Shoda, Hisato Suzuki, Hiroshi Yoshisako, Keisuke Inoue and Michiaki Konno (2015): A CASE STUDY OF SMALL EARTHFILL DAM DAMAGED BY DEBRIS FLOW IN JAPAN, PAWEES-INWEPF joint international conference 2015, PIJIC2015\_17.
- 3) 正田大輔・吉迫 宏・紺野道昭・井上敬資・鈴木尚登(2016):平成26年8月豪雨被災ため池での流入土砂の実態, 農村工学研究所技報, 217, 839-842.
- 4) 吉迫 宏・小川茂男(2009):ため池における利水容量の転用による洪水調節容量の創出—東広島市六道池における検討—, システム農学, 25(1), 63-70.
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所(2016):国土技術政策総合研究所資料 砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説, 34.



# 新たな技術開発計画について

佐々木 明 徳\* 寺 田 周 平\* 新 井 尉 介\*  
 (Akinori SASAKI) (ShuheI TERADA) (Yasuyoshi ARAI)

## 目 次

1. はじめに	72	3. 技術開発の実施方針	74
2. 技術開発の基本方針	73	4. あとがき	75

### 1. はじめに

農業農村整備に関する技術開発計画（以下、「技術開発計画」という。）は、土地改良長期計画の政策目標の達成に向けて必要となる技術開発の推進方向を示すものであり、今般、

- ①昨年8月に策定された新たな土地改良長期計画に即して土地改良事業等を効果的・効率的に推進する観点からの技術の開発・普及の一層の促進
- ②情報通信技術（ICT）の急速な発達、気候変動等に伴う災害リスクの顕在化等を踏まえた技術開発の的確な推進

を図る観点から、農村振興局は平成29年度から33年度までの5年間を計画期間とする新たな技術開発計画を策定するものである。

今回の技術開発計画については、①新たな「土地改良長期計画」等の関連する計画、②現行の技術開発の進捗状況、③技術開発のニーズ及びシーズの状況等について整理を行い、食料・農業・農村政策審議会、農業農村整備部会の技術小委員会における3回の審議、本年3月に技術小委員会から農業農村整備部会に対して技術開発計画案を報告した上で、本年4月に策定したところである。

以下に新たな技術開発計画の概要を示す。

## 新たな技術開発計画（概要）

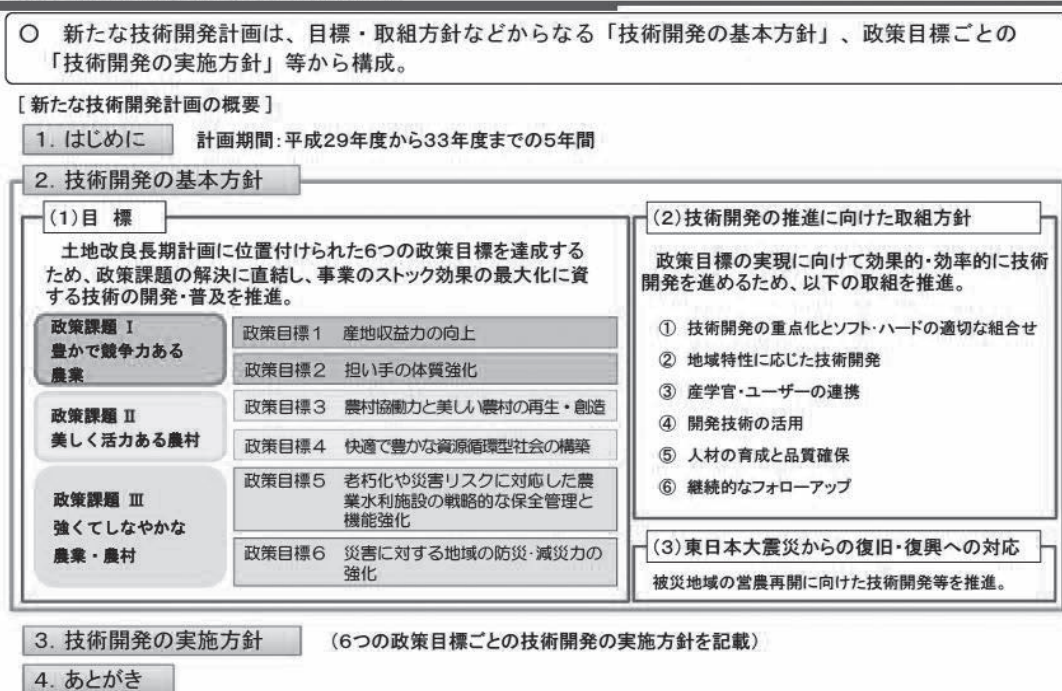


図-1 新たな技術開発計画（概要）

\* 農林水産省農村振興局整備部設計課  
 (Tel. 03-3591-5798)

## 2. 技術開発の基本方針

### (1) 目標

土地改良長期計画は、計画の基本理念として「社会資本の継承・新たな価値の創出と農村協働力の深化」を掲げるとともに、「豊かで競争力ある農業」、「美しく活力ある農村」、「強くてしなやかな農業・農村」という3つの政策課題に対応した以下の6つの政策目標を定め、個性と活力ある豊かな農業・農村の実現を目指すこととしている。

技術開発計画では、土地改良長期計画に位置付けられた6つの政策目標を達成するため、政策課題の解決に直結し、事業のストック効果の最大化に資する技術の開発・普及を推進する。

〔政策課題Ⅰ〕豊かで競争力ある農業

【政策目標1】産地収益力の向上

【政策目標2】担い手の体質強化

〔政策課題Ⅱ〕美しく活力ある農村

【政策目標3】農村協働力と美しい農村の再生・創造

【政策目標4】快適で豊かな資源循環型社会の構築

〔政策課題Ⅲ〕強くてしなやかな農業・農村

【政策目標5】老朽化や災害リスクに対応した農業水利施設の戦略的な保全管理と機能強化

【政策目標6】災害に対する地域の防災・減災力の強化

### (2) 技術開発の推進に向けた取組方針

#### ①技術開発の重点化とソフト・ハードの適切な組み合わせ

限られた人的資源、財政事情等の下で効果的・効率的に技術開発を進めるためには、政策目標の達成に大きな効果が期待される課題に特に重点を置いて技術開発を推進する必要がある。また、技術の開発・普及に当たっては、ハード対策に係る技術のみならず計画策定や農村協働力を活かした合意形成といったソフト対策に係る技術を適切に組み合わせるとともに、国、地方公共団体、土地改良区等が施行する事業での活用はもとより、農業者自らが行う簡易な施工、施設の管理、営農等での活用も十分に考慮して、技術の開発・普及を効果的に推進していくことが重要となる。さらに、ICTの発展に伴い、IoT (Internet of Things)、ビッグデータ、ロボット、人工知能 (AI) 等に関する新たな科学技術の進展が社会の課題解決と経済成長に大きな役割を果たすことが期待される中で、農業農村整備分野においてもICTを最大限に活用して技術開発を推進していく必

要がある。

こうした観点から、官民連携新技術研究開発事業により本計画に即した技術開発を公募して重点的に推進するとともに、戦略的イノベーション創造プログラム、プロジェクト研究等を活用する等、本計画に即して技術開発を効果的に推進していく。

#### ②地域特性に応じた技術開発

我が国の農業・農村の姿は地域により多様であり、個性と活力ある豊かな農村の実現に当たっては、地域の特性を最大限に活かした整備方法と、その整備方法に見合った最適な技術を適用することが重要となる。

また、既に実用化している技術の現地適用上の課題やコストの問題を解決し、より広範な地域への導入を図っていく観点も重要となる。

上記の観点から、地域特性に応じた技術の開発・導入、開発技術の検証・普及を推進していく。

#### ③産学官・ユーザーの連携

技術の開発・普及を持続的かつ効果的に進めていくためには、現場における課題の把握、技術の開発、現場での実証・活用の段階を通じて、技術開発の担い手と開発された技術を利用するユーザー並びに両者をつなぐ行政間における情報共有・連携を一層促進していかなければならない。そして、技術開発に関する十分な情報がユーザーに提供されることによって現場での活用が促進され、現場活用から得られた意見・情報が更に蓄積されて技術が改良されることによって普及が拡大するサイクルを積み上げていく必要がある。

このため、公益社団法人農業農村工学会の研究部会・講演会、地域ブロック単位での交流会・研修会、関係機関による共同研究等の積極的な活用・実施を通じて、試験研究機関、大学、民間企業、土地改良区、行政間の連携、多様な学術分野との連携を促進し、新たな技術シーズの醸成、ニーズに即した技術の開発、現場における実証・普及を推進していく。

#### ④開発技術の活用

新技術の普及を一層促進していくためには、開発された時点の技術情報に加え、現場で利用された際の効果・課題、現場適用性の検証を経てその後に改良された情報等について、関係者に共有されることが重要となる。このため、開発技術の現場適用結果等の信頼性を確保し、その情報を共有する取組を促進していく。

また、新技術の導入に先進的に取り組む事業現場において継続的なモニタリングを行い、技術開発から現場導入に至るプロセス、現場適用後の検証、技術の改良・最適化等に係る情報を横展開していくことも重要である。



特に、国営事業については、広大な事業エリアにおける地域特性を活かしつつ、農業用水の再編、防災機能の向上、農地の再編整備の集中的実施等を通じて、資源循環、環境保全、ストックマネジメント等の様々な分野に係るソフト・ハード技術の効果的な組み合わせや総合化を図ることにより事業効果を最大限に高めていくこと等、新技術の普及推進の先導的役割を果たしていく必要がある。

上記の観点から、開発技術の現場への普及を積極的に推進するとともに、現場への普及の状況等に応じて、国の計画設計基準等の技術図書に適切に反映することにより、技術の標準化を図っていく。

#### ⑤人材の育成と品質確保

近年、農業構造の変化、気候変動等に伴う自然災害リスクの高まり、社会資本ストックの劣化の進行等、政策課題が多様化し、科学技術の進歩が急速に進む中で、農業農村整備に係わる技術者に求められる資質は益々高度化、多様化している。

このため、産学官が連携し、交流、研修、国の計画設計基準等の技術図書の普及、新技術導入等による品質確保、継続的な技術者教育等を通じて、時代の要請に即した実践的な技術力を有する人材を育成していく。

#### ⑥継続的なフォローアップ

技術開発計画の実効性を高めるためには、地域の特性に応じ、地域による創意工夫の下で開発技術が効果的に活用されるよう、技術開発・普及の状況をフォローアップし、情報の共有を図ることが重要である。

農村振興局、農研機構農村工学研究部門等の試験研究機関、農業農村工学会等の学術団体等が連携し、本技術開発計画に基づく技術開発・普及の進捗やその評価等に関する情報を取りまとめ、定期的に情報提供することとする。

### (3) 東日本大震災からの復旧・復興への対応

引き続き、原子力災害被災地域での営農再開に向けて、除染後農地等における省力的な維持管理や農業用水の効率的な水質監視などに関する技術開発等を推進していく。

## 3. 技術開発の実施方針

### (1) 産地収益力の向上

ア. 農業生産の拡大・多様化による収益の増大に資する技術

水田の汎用化・畑地化に係る簡易で効率的な整備技術、畑地における効率的な水管理を可能とするかんがい技術の開発を推進する。

また、農業施設を活用した園芸栽培における農業生産の多様化・収益の増大を図る観点から、熱エネ

ルギーの活用促進、生育環境の制御機能の向上、農業用ハウスの耐災害性の向上等、効率的な施設園芸の展開に資する技術開発を推進する。

### イ. 6次産業化等による雇用と所得の創出に資する技術

地域特有の営農体系に対応できるフレキシブルな農業用水の送水システム、生産物の品質コントロールに対応できる配水システム、効率的な農業経営に資するエネルギー変換システム等に関する技術開発を推進する。

### (2) 担い手の体質強化

ア. 農地の大区画化等や省力化技術の導入による生産コストの削減に資する技術

担い手の農作業に係る労力軽減・安全確保、営農形態の変化に対応した水利用の高度化を図るため、ICTを導入して、作物の生育状況や農地の用排水状況等の常時監視や農地の用排水管理・施肥・防除等の遠隔操作・自動制御を可能とする新たな農業水利システムを開発する。また、基幹的な農業水利施設について、水路系ごとの水需要・排水条件の違いや経営規模・営農作物の変化、地球温暖化等に的確に対応して、広域な地域全体で水資源を効率的に制御する技術を構築する。加えて、大区画化に合わせた末端水路の再編整備、畦畔除去、農道拡幅、暗渠排水整備等に係る低コスト整備技術、末端の管理（草刈・泥上等）を省力化する整備技術、女性農業者が能力を十分に発揮できる基盤整備技術、高齢者等の農作業中の事故を防止する整備技術の開発を推進する。

### イ. 担い手への農地の集積・集約化の加速化に資する技術

担い手への農地の集積・集約化を促進するためには、地域における農地、農業用水等に関する有用な情報が担い手に提供されることが重要となる。このため、農地、農業用水等に関する各種情報を効率的に調査・収集し、担い手等に分かりやすく提供する技術の開発を推進する。

ウ. 農業経営の法人化の促進に資する技術

農業経営の法人化を促進する観点から、上記ア、イに掲げる技術の開発を推進する。

### (3) 農村協働力と美しい農村の再生・創造

ア. 農村協働力を活かした地域資源の保全管理体制の強化に資する技術

農村地域の資源（農地・水・生態系・エネルギー等）・景観等の調査・評価・管理に係る技術、農業水利施設等のストック効果の最大化に資する農村協働力を



活かした施設の保全管理技術の開発を推進する。

#### イ. 美しい農村環境の創造を通じた地域づくりに資する技術

環境への負荷の軽減・回避，環境の再生・創造を推進し，美しく活力ある農村の創造を図るため，水域における水質等の環境への影響評価及び水質保全技術，地域の農業者等による農村協働力を活かした簡易な生態系の保全・再生技術等，環境への負荷や影響の回避・低減，環境の保全・再生・創造に係る技術の開発を推進する。また，土地改良区などの農業水利施設の管理者や多面的機能支払交付金等を活用する活動組織・農業者等が，生態系の保全・再生や施設の簡易修復等に効果的に取り組めるよう，優先して修復すべき箇所の抽出技術，簡便で分かりやすい環境の指標化に関する技術の開発を推進する。

#### (4) 快適で豊かな資源循環型社会の構築

ア. 農村の生活基盤の効率的な保全管理に資する技術  
農道・農業集落排水施設の機能診断や老朽化対策に係る技術開発を推進する。また，地域の特性に応じた効率的な農業集落排水施設の再編統合に関する計画技術等の開発を推進する。

#### イ. 小水力発電の導入等の再生可能エネルギーの拡大に資する技術

農村地域の再生可能エネルギーの創生及び利活用の促進を図るため，水路の小落差エネルギー，パイプラインの圧力水頭，頭首工の落差等を活用した低コストの小水力発電技術の開発を推進する。

また，集落排水汚泥や他の地域資源（雑草・雑木，家畜ふん尿等）等の効率的なエネルギー化技術，農業水利施設等から得られる電気・熱エネルギーを地域の農業生産・生活基盤に活用する技術の開発を推進する。

#### (5) 老朽化や災害リスクに対応した農業水利施設の戦略的な保全管理と機能強化

ア. 農業水利施設の長寿命化とライフサイクルコストの低減に資する技術

農業水利施設等が有する機能を安定的に発揮させるため，施設の長寿命化とライフサイクルコストの低減を念頭に置いた保全管理技術の開発を推進する。

トンネル，パイプライン，開水路，ポンプ場等については，非破壊センサー・ドローン等を活用した施設の診断・状態監視技術や劣化予測技術の開発を推進する。また，管水路については，漏水箇所を特定する漏水探査技術，施設の変状や漏水状況等を定期的に監視するモニタリング技術，施設の破損等に対するリスク評価技術の開発を推進する。さらに，水利施設の長寿命化を図るための新材料の導入によ

る補修・補強技術，管水路の効率的な更新・補修技術，農家が施工できる簡易な水路補修技術の開発を推進する。農業用ダムについては，流域からの土砂流出特性を踏まえた堆砂予測技術等，堆砂の管理・除去に関する技術の開発を推進する。

#### イ. 農業水利施設の機能強化による災害リスクの軽減に資する技術

ため池や農業用ダムの合理的な耐震性評価・耐震対策技術，水利施設の耐震対策技術（パイプライン接続部の離脱防止対策等）の開発を推進するとともに，気候変動に伴う洪水・渇水リスクの増大や巨大津波の発生等のリスクを踏まえた防災減災技術の開発を推進する。

#### (6) 災害に対する地域の防災・減災力の強化

ア. 農村協働力を活かした防災・減災力の強化に資する技術

豪雨，地震時におけるため池等の農業水利施設等の情報をリアルタイムで監視・収集し，施設等の危険度，周辺地域の被害予測を即座に情報提供する仕組み・技術の開発を推進する。また，水田やため池等の農業水利施設の持つ貯留機能を活かした洪水対策技術，ため池群を活用した下流域の防災・減災技術，豪雨，津波，高潮等の災害時における安定した排水管理技術，渇水に強い農業水利施設の管理技術等，既存の土地改良施設等を活かして低コストで地域の防災・減災機能を高める技術の開発を推進する。さらに，実効性の高いBCP策定手法の開発等，地域住民自らの取組により農村地域の防災力を高める手法の開発を推進する。

## 4. あとがき

土地改良長期計画の実現に向けて必要となる技術は，水管理・営農の省力化，地域の防災・減災力の強化，再生可能エネルギーの導入促進，環境の保全・再生・創造等，多様な分野に及ぶ。そしてこれらに関わる技術が，ICTの進展等を踏まえて今後一層高度化していくことが見込まれる。

これらを踏まえれば，農業農村整備に関する技術開発が果たす役割，技術開発に関する様々な成果情報等を幅広く発信・提供していく取組がこれからはますます重要となる。

行政，試験研究機関，大学，民間事業者及びユーザーの連携の下でこうした取組が促進されることにより，現場に有効な技術の開発・普及が着実に進展することを期待したい。

#### 【新たな技術開発計画】

（農林水産省HP）

<http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/gokanen/index.html>

## 重点化する技術開発

事項		重点化技術開発
(1)	ア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・センシング技術の活用等による農地の土壌・水分特性や栽培体系に応じた畑地の水管理技術（地下水水位制御システム等）の開発</li> <li>・簡易で長寿命な暗渠排水整備技術の開発</li> </ul>
	イ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源や水源が乏しい傾斜地ほ場等における省エネルギー型かんがいシステム技術の開発</li> <li>・営農・経営形態の変化を踏まえた水需要予測技術及び水管理技術の開発</li> </ul>
(2)	ア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ICT を導入して作物の生育状況や農地の用排水状況等を常時監視し、農地の用排水管理等を遠隔操作・自動化する水利システム技術の開発</li> <li>・広域な地域全体で水資源を効率的に制御する水利システム技術の開発</li> </ul>
	イ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローン等を活用した農地・施設情報の広域収集・可視化及び利活用技術の開発</li> <li>・農地情報等を用いた広域的な農地整備計画策定手法と効率的な農地利用調整手法の開発</li> </ul>
(3)	ア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中山間地域や島しょ部等の地下水資源の安定利用に資する地下水の動態分析及び利活用技術の開発</li> <li>・多面的機能支払交付金等を活用する活動組織・農業者等による農村協働力を活かした水域環境の省力的な管理手法の開発</li> </ul>
	イ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域の農業者等による農村協働力を活かした簡易な生態系の保全・再生技術や修復指標の開発</li> <li>・自然環境の恵み（生物の生息環境の提供、気温上昇の抑制等）を積極的に活かした整備技術の開発</li> <li>・酪農地帯における水環境の評価及び保全対策技術の開発</li> </ul>
(4)	ア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農業集落排水施設の再編統合計画策定技術の開発</li> <li>・農業集落排水施設の低コスト管理技術の開発</li> <li>・農道・農業集落排水施設の長寿命化技術（農業集落排水施設の処理過程で発生する硫化水素に対する防錆剤による電気設備の腐食対策等）の開発</li> </ul>
	イ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低落差・高効率な小水力発電技術の開発</li> <li>・農業水利施設や園芸施設等における太陽光・熱エネルギー利活用技術の開発</li> </ul>
(5)	ア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農業水利施設等の不可視・難アクセス部に係る監視・点検・診断手法の開発</li> <li>・農業水利施設等の劣化予測技術の開発</li> <li>・新材料の導入による補修・補強技術の開発</li> <li>・農業用ダムの堆砂の予測・管理技術の開発</li> </ul>
	イ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強震動に対する基幹的農業水利施設の耐震性評価・対策技術の開発</li> <li>・農地・農業用施設の浸水被害軽減手法の開発</li> <li>・パイプラインの耐震対策技術の開発</li> </ul>
(6)	ア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震・豪雨時等におけるため池等の危険度評価・情報提供を瞬時に行う技術の開発</li> <li>・豪雨時等における施設の排水管理技術の開発</li> <li>・沿岸部における海岸堤防や排水路等の防災機能評価技術の開発</li> <li>・農村地域の自主防災力を強化することによる農村地域の防災・減災手法の開発</li> </ul>



## 新技術の導入モデルⅠ（水田地域における産地収益力の向上と担い手の体質強化）

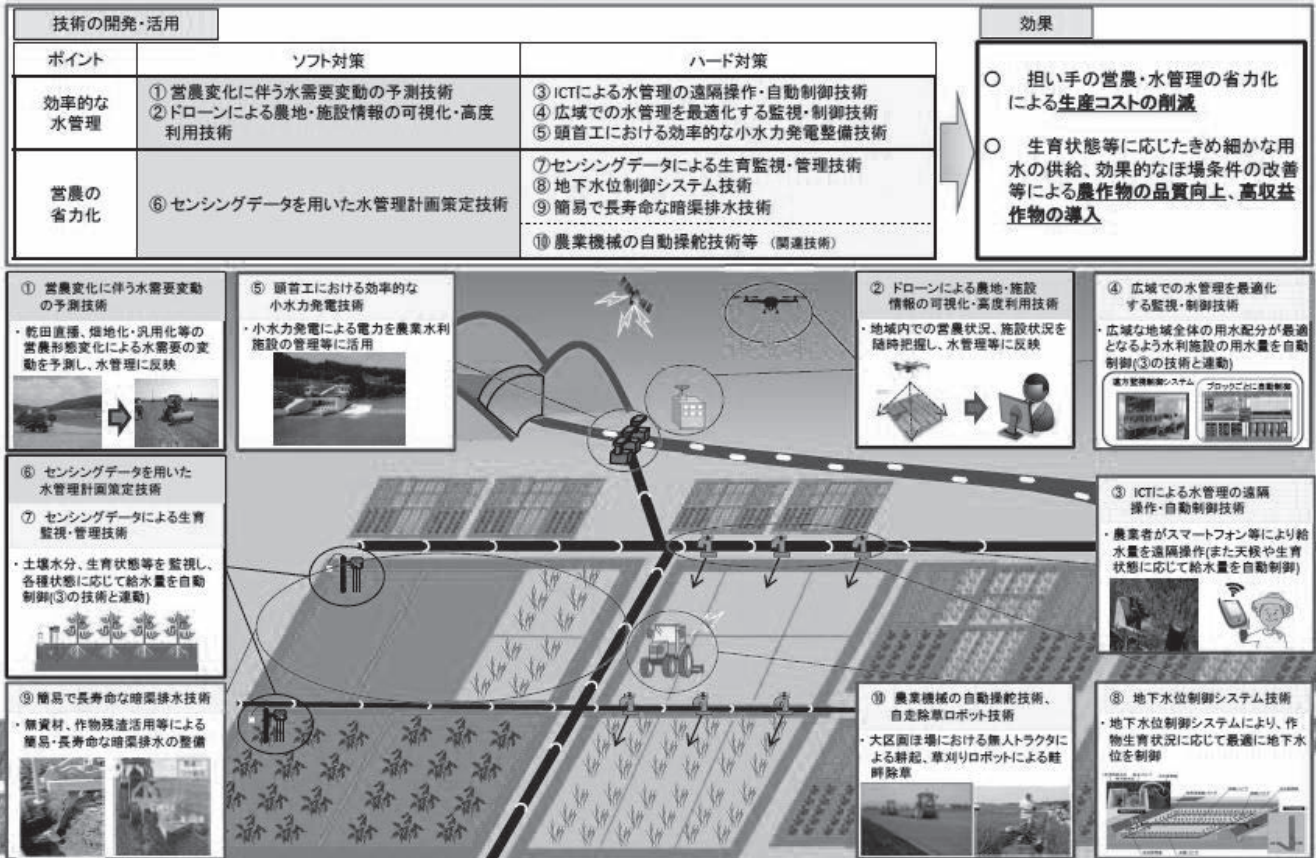


図-2 新技術の導入モデルⅠ（水田地域における産地収益力の向上と担い手の体質強化）

## 新技術の導入モデルⅡ（畑地域における産地収益力の向上と担い手の体質強化）

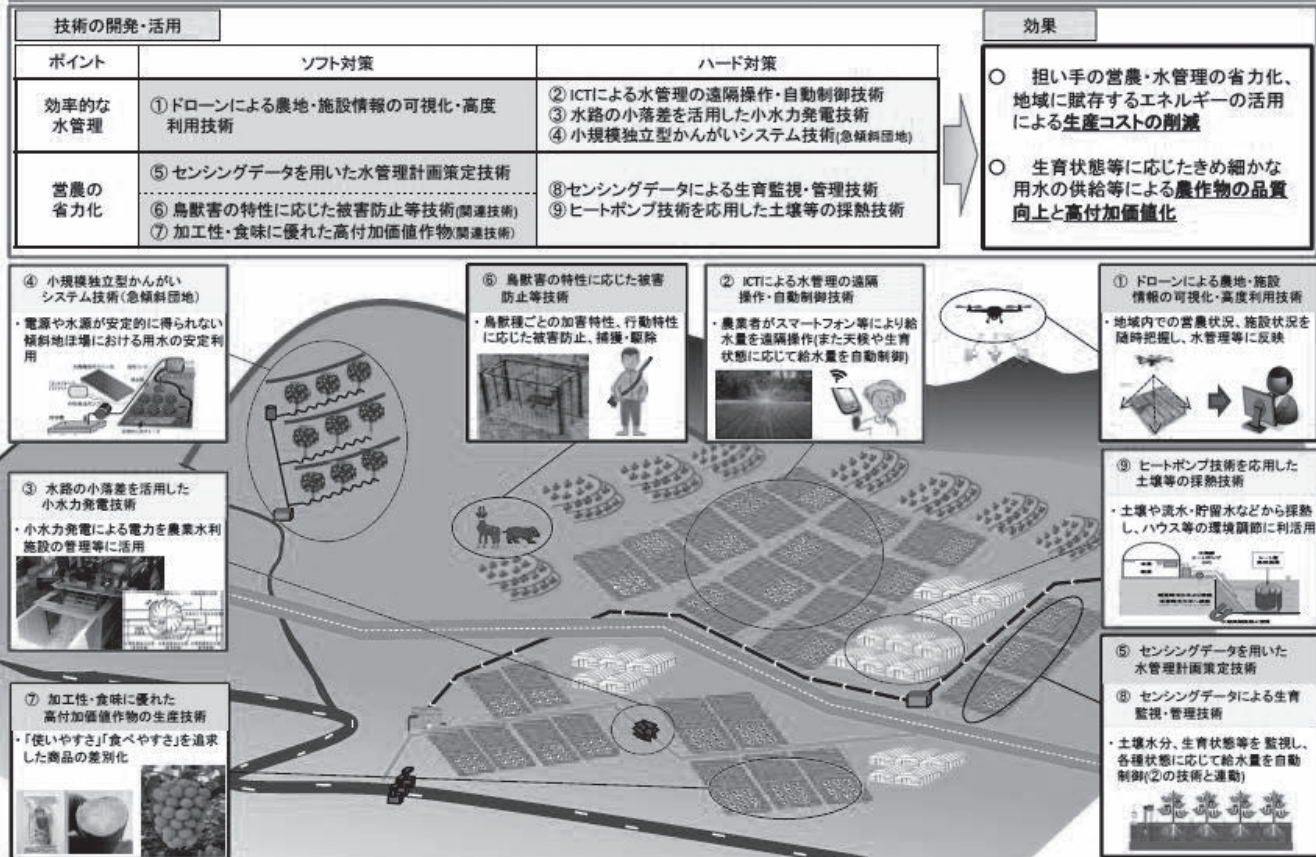


図-3 新技術の導入モデルⅡ（畑地域における産地収益力の向上と担い手の体質強化）



### 新技術の導入モデルⅢ（施設の戦略的な保全管理）

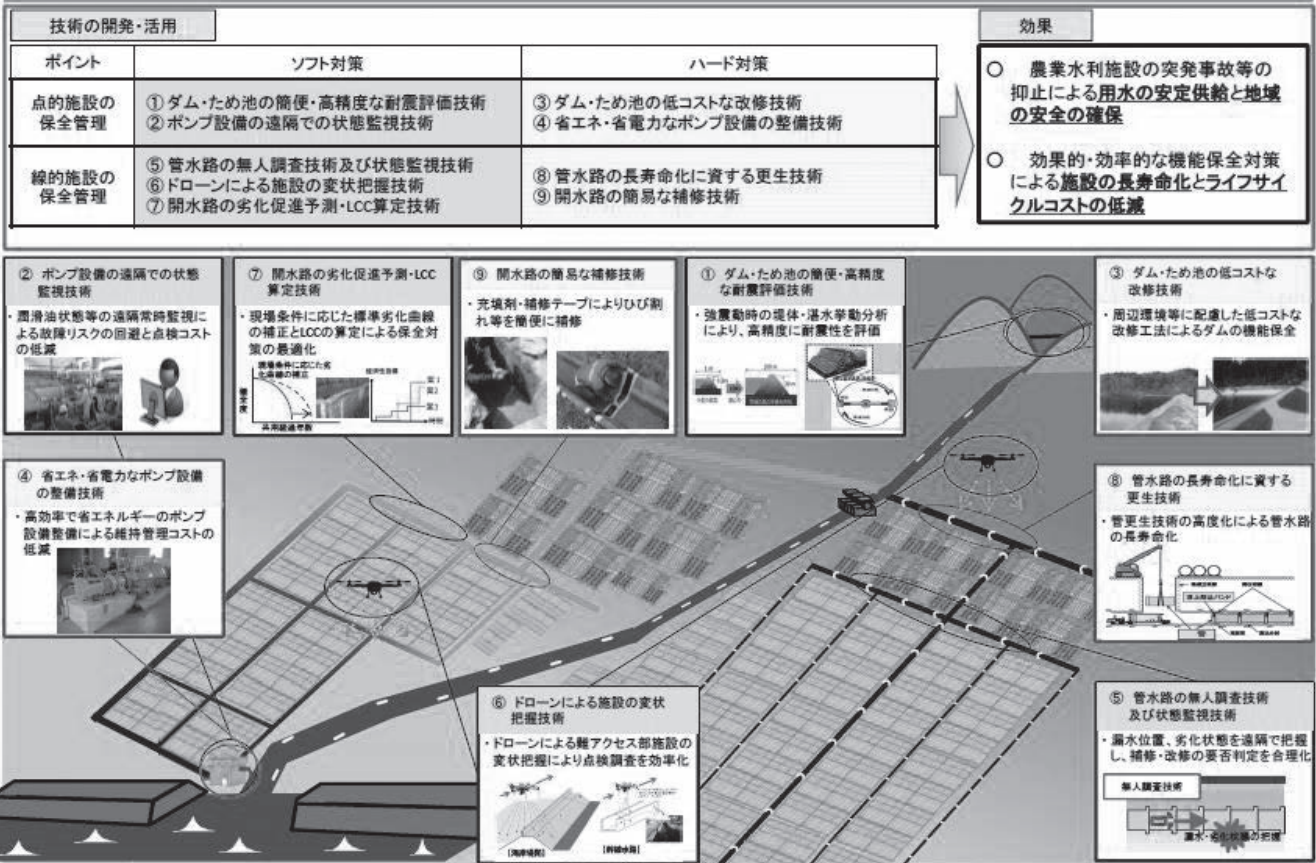


図-4 新技術の導入モデルⅢ（施設の戦略的な保全管理）

### 新技術の導入モデルⅣ（農村協働力を活かした地域の防災・減災力の強化）

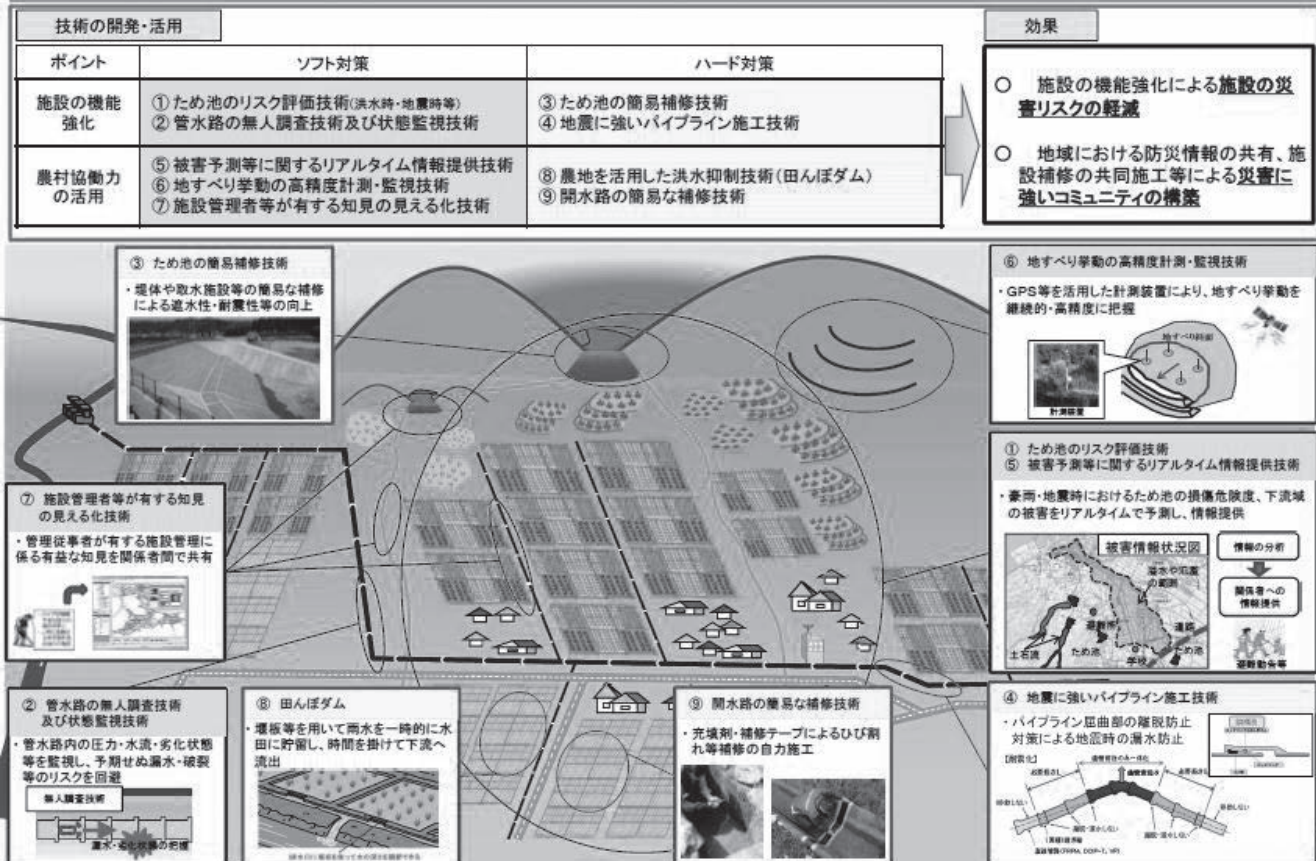


図-5 新技術の導入モデルⅣ（農村協働力を活かした地域の防災・減災力の強化）

## 1. 会員の募集

水と土の発行は皆様の年会費によってまかなわれています。今後とも事業地区の技術情報の交流を図るためには会員の確保が重要となっています。会員の皆様には職場の同僚の方々に農業土木技術研究会の成り立ちや「水と土」をPRしていただき、会員の勧誘をお願いいたします。平成29年度の年会費は2,300円です。なお、別紙のPR版を作成しましたので会員の勧誘に活用いただければ幸いです。

## 2. 報文投稿の募集

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

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



# 投稿規定

1. 原稿には次の事項を記した「投稿票」を添えて下記に送付して下さい。

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

2. 「投稿票」

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

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

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

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

写真・図・表の画像データは, 原稿データとは別に添付して下さい。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下さい。

※データと違いがないかをプリントアウトした原稿で必ず確認して下さい。

6. 写真・図・表は本文中の挿入個所を明確に指定して下さい。

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

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

たとえば,

C, K, O, P, S, U, V, W, X, Zの大文字と小文字

O (オー) と 0 (ゼロ)                      a (エー) と  $\alpha$  (アルファ)

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

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

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

E (イー) と  $\varepsilon$  (イプシロン)        v (ブイ) と  $\nu$  (ウプロシン)

など

9. 分数式は2行ないし3行にとり余裕をもたせて書いて下さい。

10. 数表とそれをグラフにしたものとの並載せはさけ, どちらかにして下さい。

11. 本文中に引用した文献は原典をそのまま掲げる場合は引用文に『        』を付し引用文献を本文中に記載して下さい。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”と明示して下さい。

12. 投稿の採否, 掲載順は編集委員会に一任して下さい。

13. 掲載の分は原稿料が支払われます。

14. 別刷は, 有料になります。

15. CPDの登録が可能です。1ページ10CPD, 上限40CPDとなります。申請 (本人) に当たっては, 証拠書類 (論文, 掲載号の表紙, 目次) が必要となります。

# 農業土木技術研究会 会員の募集

## 1. 発足40周年を迎えた「農業土木技術研究会」

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

### 〈農業土木技術研究会の変遷〉

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

## 2. 技術力向上に資する「農業土木技術研究会」

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

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

## 3. 会員が支える「農業土木技術研究会」

本研究会の活動は、皆様の年会費によってまかなわれています。

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

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

申し込み様式は以下を参考にして下さい。

### 入会申し込み

平成 年 月 日

私は農業土木技術研究会に入会します。

氏名： \_\_\_\_\_

職場・所属： \_\_\_\_\_

職場住所（会誌送付先）：〒 \_\_\_\_\_

電話番号： \_\_\_\_\_

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



## 「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（181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

本年4月に上京してから、数ヶ月が経ちました。これまで、現場に出る機会が多かったのですが、直接的な現場の雰囲気を感じる機会が少なくなり、多少の寂しさを感じているところです。

生活面では、田舎から都会に移ったことで、通勤を初め、これまでほとんど乗ることのなかった電車やバスを利用することが多くなりました。子供と一緒に出かけるときは、必ず車だったのが、電車が交通手段に加わったので景色を眺めながらの移動などは、新鮮な感覚です。こちらのほうは土地勘もなく知らないところばかりなのでいろいろと出かけてみたいと思っております。

まとまりのない文章となりましたが、最後に、この編集後記が掲載されているページの上半分は、「水と土」通信となっております。本号で興味を持たれた報文、本号の編集についてのご意見、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送り頂けますと、今後の編集方針の参考となります。読者の方々のご興味に添える会誌にするため、ご意見等を反映させたいと考えております。

こちらにもご意見・ご感想をお送りいただき、ご協力頂きますようお願いいたします。

（「水と土」編集委員）

### 水と土 第181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



大地に刻む農の文化

# 一般社団法人 土地改良建設協会

*Land Improvement Construction Association of Japan*

会 長 宮 本 洋 一

専務理事 齊 藤 政 満

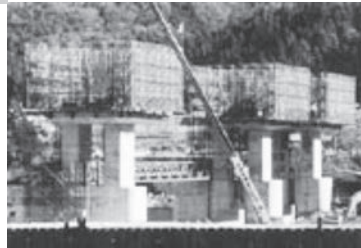


土地改良事業  
の推進



土地改良事業の  
建設工事に関する  
広報活動

工事施工技術に  
関する  
調査研究



公共事業の  
円滑な実施  
に関する  
調査研究



〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-4 (農業土木会館)

TEL 03-3434-5961 FAX 03-3434-1006

<http://www.dokaikyo.or.jp/>

# ダイプラハウエル管<sup>®</sup> (高耐圧ポリエチレン管)

**信頼性の高い、本埋設管として様々な公的機関で認可されています。**

## 規格

日本工業規格 耐圧ポリエチレンリブ管 (JIS K 6780)  
下水道協会規格 下水道用リブ付ポリエチレン管 (JSWAS K-15)

## NETIS

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

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

## 道路基準

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

## 電気技術規定

J E S C 水力発電設備の樹脂管 (一般市販管) 技術規定

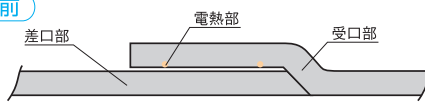
## 農業用水のパイプラインに！

### 管路の一体化による継手部の信頼性！

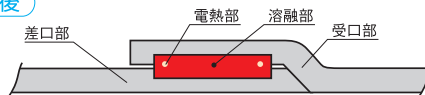
EF継手は電熱線の通電により溶融し、受口、差口を一体化させ、万全の気密性を保持できます。また、融着品質のばらつきがなく、作業が容易なため、工期短縮・コスト縮減が実現出来ます。

## EF継手(エレクトロフュージョン)

### 通電前



### 通電後



内圧用ダイプラハウエル管



## 農道下横断管に！

耐圧強度が大きく、  
高盛土下に  
埋設可能！

カルバート工  
として  
実績豊富！



## ため池の底樋に！

柔軟性に優れ、  
地盤沈下にも  
対応！

柔構造樋管  
として  
実績豊富！



ダイプラハウエル管

**大日本プラスチック株式会社**

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

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

札幌(営) 011-221-3053 仙台(営) 022-223-0761  
東京(営) 03-5463-8501 名古屋(営) 052-933-7575  
大阪(営) 06-6453-9285 広島(営) 082-221-9921  
福岡(営) 092-475-1350 鹿児島(営) 099-227-1577