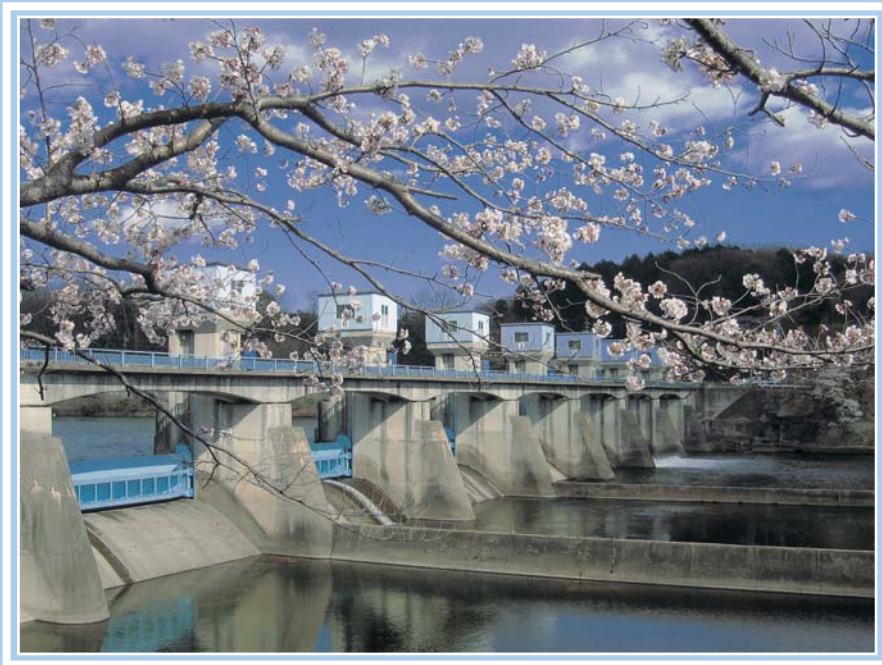


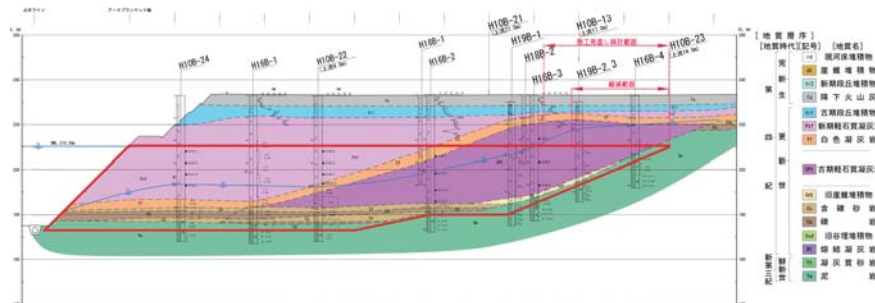
# 水と土

No.156  
2009

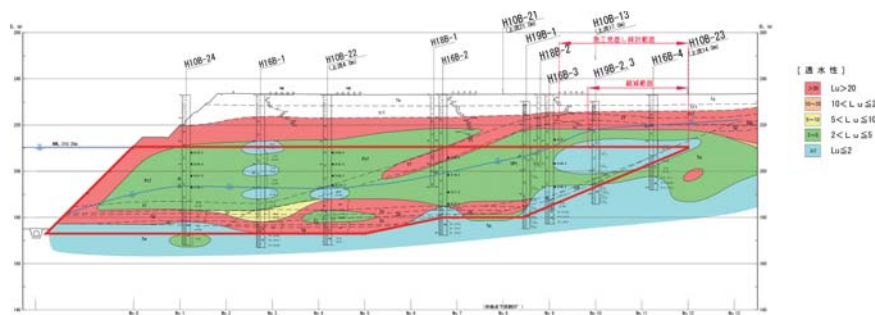
Japanese Association for  
the Study of Irrigation,  
Drainage and Reclamation  
Engineering



桜咲く明治用水頭首工

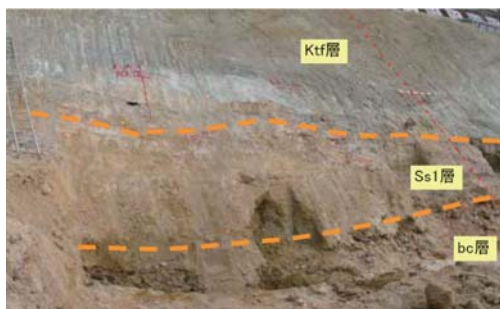


地中連続壁地質縦断面図

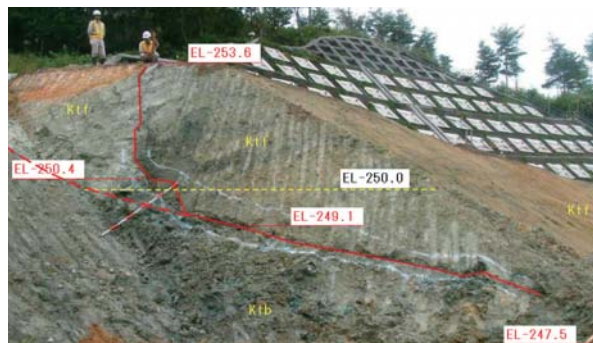


地中連続壁ルジオンマップ

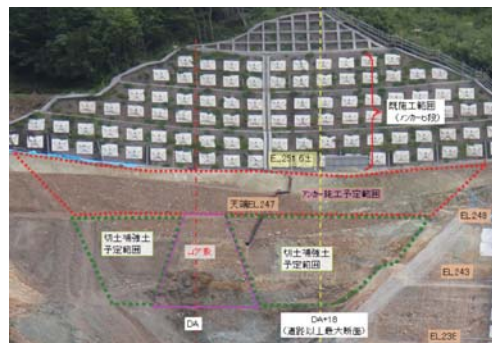
### 基礎地盤内に存在する不均一層の評価方法と考察 (本文21頁)



開削状況

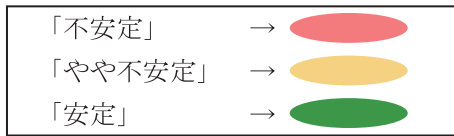


Ktf層の小崩壊状態

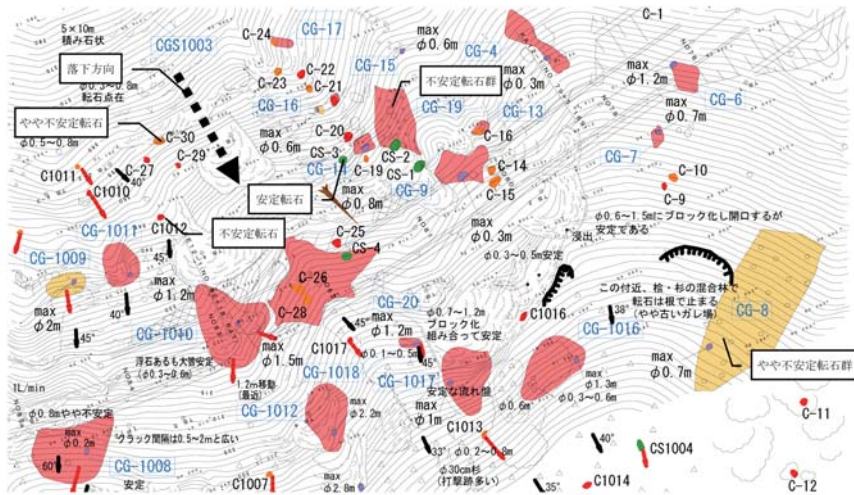


対策工実施予定図

# 農業用道路建設における地山の転石対策について (本文49頁)



【補足説明】  
 C (G) (S) - ○○  
 (区間) (群) (安定) (番号)  
 max は、転石群中の最大転石を示している。



転石・転石群分布図 (例)

# ストックマネジメントにおけるパイプライン機能診断実施に伴う課題 (本文65頁)



自走式TVカメラ



汚泥・カビの付着



付着汚泥除去状況

# 水と土

## C o n t e n t s

2009 MARCH No.156

◆報文内容紹介..... 5

◆会員向けに「水と土」のWeb検索サービスを開始..... 7

### □巻頭文

補修・補強技術の指針整備の必要性 中野 實..... 11

### □報 文

さしくほ  
指久保ダムにおける地中連続壁の検討経緯と施工について 高井和洋..... 13

基礎地盤内に存在する不均一層の評価方法と考察  
北川陽介・米山元紹・山本裕介..... 21

砕・転圧盛土工法による老朽化フィルダムの堤体改修の設計法(1)  
福島伸二・谷 茂・北島 明・五ノ井 淳..... 31

導水トンネル無筋コンクリート覆工の耐震検討  
漆畑貴俊・齊藤 正..... 41

農業用道路建設における地山の転石対策について  
伊東正年・新井 誠..... 49

中海干拓事業（斐伊川左岸地区）のコスト縮減について  
吉松 猛..... 59

ストックマネジメントにおけるパイプライン機能診断実施に伴う課題  
宇野健一..... 65

十勝地域の畑作農業における排水改良の効果について  
－甜菜の単位収量と排水改良事業の関係の検証－  
加藤広宣・中村泰弘..... 70

日本初、再生水利用による大規模かんがい計画について  
－国営土地改良事業地区調査「島尻地区」の概要－  
仲村 元・鋼鉄幸博・荒川浩成..... 74

### □歴史的土壌改良施設

渡島平野農業の発展に寄与した「大野かんばい」 松田俊之..... 83

### □技術情報紹介

平成20年度農業土木技術研究会研修会レポート  
「広域的な生態系保全の環境配慮対策」  
～生物のネットワークの保全・形成を視点に～ 編集事務局..... 88

◆会告..... 98

◆入会案内..... 99

◆投稿規定..... 101

# 水と土 第156号 報文内容紹介

## 指久保ダムにおける地中連続壁の 検討経緯と施工について

高井和洋

指久保ダムの特徴であるダムサイト右岸の止水対策工（アースプランケットと地中連続壁）の中から、地中連続壁の計画から実施に至る各段階での検討（工法と施工範囲）と現在の施工内容を報告するものである。

（水と土 第156号 2009 P.13 設・施）

## 基礎地盤内に存在する不均一層の評価方法と考察

北川陽介・米山元紹・山本裕介

新潟県佐渡市で建設中の外山ダムにおいて、左岸部の基礎地盤の一部に、当初設計の段階で想定していなかった軟質な層が存在することがトレンチ調査等により明らかとなった。このため、基礎地盤に対する安定性について、進行性破壊モデル、ブロックすべりモデルで照査した。本報では、照査のために行った検討の考え方及び評価方法について報告するとともに、現場における業務の進め方について考察する。

（水と土 第156号 2009 P.21 設・施）

## 砕・転圧盛土工法による老朽化フィルダムの 堤体改修の設計法(1)

福島伸二・谷 茂・北島 明・五ノ井 淳

砕・転圧盛土工法は老朽化ため池（堤高H<15m）の補強や漏水防止のために開発された堤体改修法であり、池内に堆積した底泥土を固化処理して所要の強度と遮水性を有するように製造した築盛土を用いて堤体築造を行うものである。築造年代の古いフィルダムは堤高H=30m未満の比較的小規模で、かつため池と同様に均一型かあるいはこれに近い堤体構造をしているのが多く、ため池で採用される改修法がそのまま適用できると考えられる。そこで、本稿では、砕・転圧盛土工法をフィルダムの堤体改修に適用するために、フィルダムとため池の間の相違点を考慮した設計法について説明した。設計法の特徴は、ダム基準に整合させるために固化処理底泥土の強度パラメータの応力レベルによる影響を考慮したバイリニア型破壊規準を導入した堤体安定性の検討を提案し、さらに含水比と粒度の影響を考慮した底泥土の固化処理時の強度管理法と、改良土である砕・転圧土と既設堤体の間に極端な強度差が生じない堤体ゾーンングについても提案している。

また、今後の課題として、砕・転圧盛土工法のフィルダム堤体改修への適用実績を経てから、ため池の堤体改修との共通事項を活用して、フィルダム版の砕・転圧盛土工法の設計・施工・積算指針の整備を挙げている。

（水と土 第156号 2009 P.31 設・施）

## 導水トンネル無筋コンクリート覆工の耐震検討

漆畑貴俊・齊藤 正

本報は三方原用水地区の導水トンネルをモデルとして、無筋コンクリート覆工の耐震性能についての照査結果を報告するものである。

トンネルは、耐震性に優れた構造物であるとされているが、大規模地震に対する安全性の照査は未知である。トンネルの背面空洞はないとの条件のもと、照査手法には2次元FEM動的解析を採用し、レベル1地震動では許容応力度法、レベル2地震動では限界状態設計法を用いた。

（水と土 第156号 2009 P.41 設・施）

## 農業用道路建設における地山の転圧対策について

伊東正年・新井 誠

美濃東部区域農用地総合整備事業では、岐阜県関市他4市1町1村において農用地と基幹農業用道路の一体的な整備を行っている。基幹的農業用道路は、全幅員7.0m、延長23.5kmの急峻な山間部を通過するルートであり、本報文では白川町地内4工区建設における地山の転圧対策について報告する。

（水と土 第156号 2009 P.49 設・施）

## 中海干拓事業（斐伊川左岸地区）の コスト縮減について

吉松 猛

国営中海干拓事業（斐伊川左岸地区）における、廃止処理計画の変更（機場の売却、既設管の存置、他事業での利用等）に伴うコスト縮減について報告する。

（水と土 第156号 2009 P.59 設・施）

## ストックマネジメントにおける パイプライン機能診断実施に伴う課題

宇野健一

国営造成水利施設については、平成19年度から平成23年度までの5ヵ年間で、一部を除く全ての基幹的水利施設に対して機能診断及び機能保全計画の策定を行い、施設管理者に対し施設の保全に関する指導・助言を実施することとなっている。

本報告では、パイプライン施設を対象に機能診断を行った業務の中で、実際に現地において課題となった事柄について考察を加え報告する。

（水と土 第156号 2009 P.65 企・計）

## 十勝地域の畑作農業における排水改良の 効果について

—甜菜の単位収量と排水改良事業の関係の検証—

加藤広宣・中村泰弘

十勝地域の農業は、寒冷な気象条件と排水不良の状況下において、今日では我が国有数の大規模畑作農業地帯として展開している。

本報告では、甜菜を検証の対象作物とし、甜菜の単位収量と排水改良事業の関係について、重回帰分析による定量的な検証を行った。

（水と土 第156号 2009 P.70 企・計）

日本初、再生水利用による大規模かんがい計画について

—国営土地改良事業地区調査「島尻地区」の概要—

仲村 元・鋼鉄幸博・荒川浩成

国営土地改良事業地区調査「島尻地区」は、下水処理水を再処理した水（再生水）を農業用水として利用する調査計画が進められている。再生水を農業用水として利用するにあたっては、再生水及び再生水により栽培した作物の安全性を確認する必要がある。

この報文は、これまでに行ってきた各種検討内容や調査結果に基づいた本地区独自の水質管理指標の策定に向けた取り組みについて報告するものである。

(水と土 第156号 2009 P. 74 企・計)

〈歴史的な土地改良施設〉

渡島平野農業の発展に寄与した「大野かんばい」

松田俊之

北海道でも有数の観光地である函館市周辺にひろがる渡島平野では、農業の歴史も古く「北海道水田発祥之地」として知られている。本報告では、地域農業発展の契機となった国営総合かんがい排水事業、通称「大野かんばい」について紹介する。

(水と土 第156号 2009 P. 83)

# 会員向けに「水と土」のWeb検索サービスを開始

## 1. Web検索サービスの開始

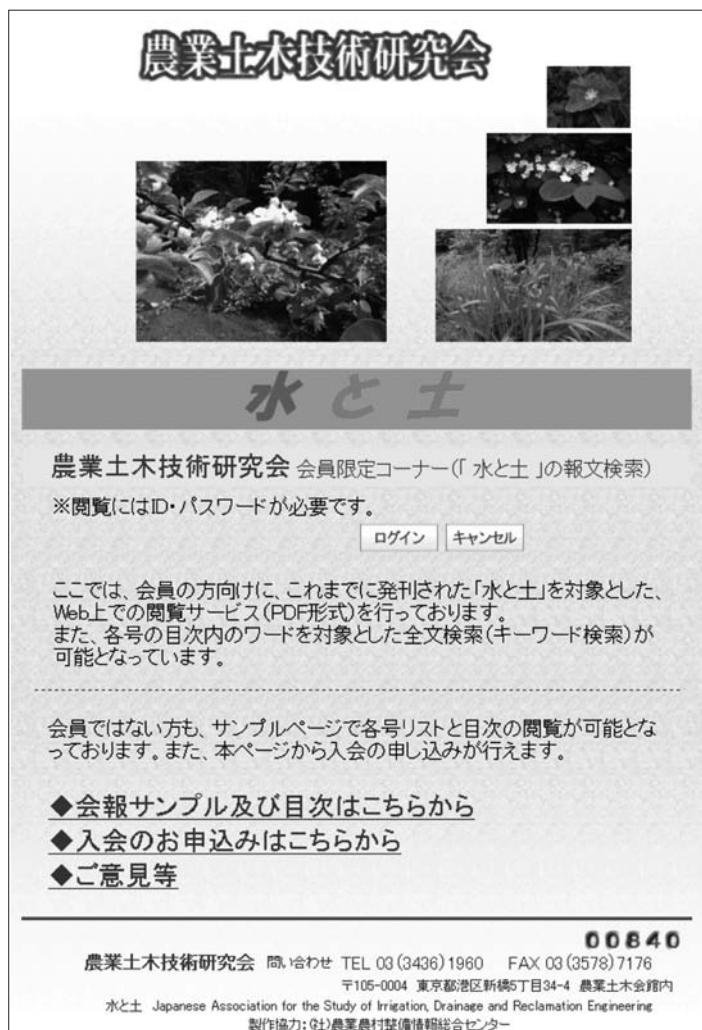
農業土木技術研究会の会員サービスの一環として、平成20年6月よりWeb上で「水と土」の検索サービスを開始しました。平成21年3月現在、第1号（昭和45年）から第144号までの各号を検索・閲覧することができます。

## 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。



**農業土木技術研究会**

**水と土**

農業土木技術研究会 会員限定コーナー(「水と土」の報文検索)  
※閲覧にはID・パスワードが必要です。

ここでは、会員の方向けに、これまでに発行された「水と土」を対象とした、Web上での閲覧サービス(PDF形式)を行っております。  
また、各号の目次内のワードを対象とした全文検索(キーワード検索)が可能となっています。

会員ではない方も、サンプルページで各号リストと目次の閲覧が可能となっております。また、本ページから入会の申し込みが行えます。

◆[会報サンプル及び目次はこちらから](#)  
◆[入会のお申込みはこちらから](#)  
◆[ご意見等](#)

00840  
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: (株)農業農村整備情報総合センター

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へ](#)

---

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

図-3



### 3. 検索

#### (1)一覧からの選択

一覧の「図書名」をクリックすると当該号が全てPDFファイルで表示されます。

また、「目次」をクリックすると、当該号の目次が表示されます。

#### (2)全文検索

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

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

検索方法は以下のとおりです。

## 農業土木技術研究会 会員限定コーナー

### 「水と土」目次内全文検索システム

現在、144 の文書がインデックス化され、6,347 個のキーワードが登録されています。  
インデックスの最終更新日: 2007-11-22

---

検索式:   [\[検索方法\]](#)

表示件数:  表示形式:  ソート:

図-4

#### ①単一単語検索

調べたい単語を一つ指定するだけのもっとも基本的な検索手法です。

例：ダム

#### ②AND検索

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

例：ダム and 工法

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

#### ③OR検索

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

例：ダム or 工法

#### ④NOT検索

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

例：ダム not 工法

#### 4. 会員申し込み

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

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

# 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4回発行(年度:4~3月)
- 「水と土」バックナンバー閲覧(検索システム)

### 申込み

農業土木技術研究会への入会申込みは、以下のいずれかの方法でお申込みください

入会申込みフォームにて

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

## 補修・補強技術の指針整備の必要性

中野 實\*

(Minoru NAKANO)

東海農政局管内では、戦後、愛知用水事業、豊川用水事業、矢作川用水事業、濃尾用水事業、宮川用水事業など、数多くの大規模農業水利事業が実施され、その農業水利施設のストックは2兆円余となっている。これらの施設は、既に30～40年以上が経過し、劣化の進行への対応と社会環境条件の変化に適応した性能の向上が求められている。

このため、現在、国営事業として、新矢作川用水農業水利事業、新濃尾農地防災事業、および宮川用水第二期農業水利事業において、改修・改築工事が進められている。工事は、既存施設の有効利用、長寿命化を図る補修・補強の工事が中心である。それぞれの現場において、創意工夫を凝らしながら、低コスト化のための新技术を取り入れるとともに、試行錯誤も繰り返し、日夜工事に取り組んでいる。

しかしながら、補修・補強の技術は比較的新しく、現場職員も経験は少なく、指針などが整備されていないことが多いため、いくつかの問題も生じている。

設計段階でのいくつか例をあげる。

鉄筋コンクリートフルーム水路に住民などの要求で蓋がけをするとき、断面を補強する必要があるが、通常は水路の内側（通水側）から補強せざるを得ない。この場合、側壁にかかる土圧および外水圧、底版にかかる地盤反力および揚圧力により構造物に生じている応力は解消されない。この状態で補強することを前提に構造計算を行うことになる。しかし、現場ではこの応力過程を無視し新設水路と同じ構造計算を行い、結果、不安定構造物になっている場合がある。構造計算を専門にしているコンサルタントでも間違えやすい。補強の設計の体系的な指針などが整備されていないこともこのような間違いの一つの原因ではないかと思う。

また、暗渠などの地下施設に当初設計以上の土盛りがされ構造物の耐力が不十分で、補強することになる場合がある。この場合、当然、従来からの許容応力度法により補強工を設計することになる。しかしながら、土盛りを取り除いて工事することが周辺状況などから不可能で、対策補強工法が既設構造物の内側からのものに限られることもある。このとき、通水断面の確保などの問題から、従来からの許容応力度法により設計しても、設計基準を満足する工法が見当たらないことが往々にしてある。また、既設構造物そのものに発生している応力が許容応力を超えてしまっている場合もある。したがって、許容応力度法の設計領域である弾性域を超えた、塑性域を考慮した補強工法を検討することが現場で求められるが、補強におけるこれらの設計手法について明確にされているものはない。

さらに、補修・補強を考える上で、基本的な問題がある。農業水利施設の標準耐用年数は通常40年であ

\*東海農政局土地改良技術事務所（Tel. 052-232-1057）

るが、技術基準は、技術水準の向上などにより10～20年で改定されている。補修・補強の対象施設は、当然であるが造成時点の技術基準（旧技術基準）が適用されている。しかしながら、補修・補強の設計において最新の技術基準を採用することが技術的、あるいはコスト的にも難しくなる場合がある。こうした場合における技術基準の取り扱いについては、必ずしも明確になっていない。

施工段階の例をあげる。

水路のコンクリート磨耗補修対策が東海の現場では多く行われているが、その工法は、ポリマーセメントモルタル塗り被覆と成形板の大きく2つのものがある。成形板工法の材料ひとつとっても、FRPM板、レジンコンクリート板、超高強度コンクリート板など多種にわたる。また、この板の既設コンクリートへの貼り付けは、樹脂注入接着方式とアンカー固定方式に分かれる。例えば、この中で、ポリマーセメントモルタル塗り被覆を採用した場合、施工方法は、その専門業者、業者の協会などの資料を各現場で検討し決定していくことになるが、その指針などが不十分なため、各現場により実際の施工が少しずつ違ってくる場合がある。また、施工管理基準も整備されていないため、手探りで施工管理していくことになる。その結果、その品質は各現場で違ってくる可能性がある。成形板を用いた場合も同様な問題を生じている。

今後の農業水利施設の技術は補修・補強に関するものが大きな部分を占めていくと思われる。これまで、各方面で努力が行われ、補修・補強の前提である機能診断のための指針などが整備されてきている。これらを用いた機能診断の結果を受けて、現場で補修・補強を行うことになるが、採用される技術が新しいこともあり、指針などの整備が体系的になされていないのが現状ではないだろうか。病気の診断技術の進展にあわせ治療技術も確実に進めていかないといけない。

幸いにも、新技術での補修・補強工事のモニタリングが昨年度より各農政局土地改良技術事務所と利根川水系土地改良調査管理事務所で開始されている。また、今年度、各農政局に新技術などの評価などを行う第三者による委員会が設置された。これらを通じて、機能診断のための指針などの整備にテンポをあわせ、補修・補強の指針などを早期に整備していくことが、現在の土地改良技術事務所のひとつの重要な役割となっている。

# さしくほ 指久保ダムにおける地中連続壁の検討経緯と施工について

高井和洋\*  
(Kazuhiro TAKAI)

## 目 次

1. はじめに	13	5. 地中連続壁の工法検討経緯	14
2. 指久保ダムの概要	13	6. 地中連続壁の施工範囲	15
3. ダムサイト右岸の地質概要	13	7. 地中連続壁（ソイルセメント）の施工	18
4. 右岸止水対策の基本方針	14	8. 今後の課題	20

### 1. はじめに

指久保ダムは青森県南東部の十和田市に位置し、二級河川奥入瀬川の支流河川である「後藤川」上流に建設中の農業用の利水ダムである。

本文では、本ダムの特徴であるダムサイト右岸の止水対策工（アースプランケットと地中連続壁）の中から、地中連続壁の計画から実施に至る各段階での検討（工法と施工範囲）と現在の施工内容について述べるものである。

### 2. 指久保ダムの概要

指久保ダムは、県営かんがい排水事業指久保地区の基幹施設として建設中の堤高37.8m、堤頂長200m、総貯水量2,922千m<sup>3</sup>の中心遮水ゾーン型ロックフィルダムであり、堤体標準断面図を図-1に示す。また、ダムサイト右岸の止水及び斜面保護を目的としたアースプランケットを堤体に連

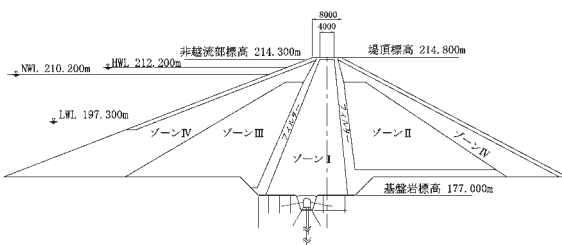


図-1 堤体標準断面図

続して施工しており、これを含めると堤長は572mにも及び、さらに右岸上流側の地山内には止水目的で地中連続壁を設置するという特徴を有している。

### 3. ダムサイト右岸の地質概要

ダムサイトの地質は、固結度の高い新第三紀鮮新世の基盤岩（泥岩層（Tm）や凝灰質砂岩層（Tt））を固結度の低い第四紀更新世の凝灰岩層（Tf）、新期軽石質凝灰岩層（Pt<sub>f</sub>）が最大厚さ50m程度谷埋めした構造をなし、この基盤岩と凝灰岩類の境界には旧河川堆積物である礫岩層（Cg）及び含礫砂岩層（Cs）を挟んでいる。

ダムサイト右岸では、図-2 ダムサイト右岸の地質層序に示すとおり、台地の深部に幅300～400mの旧河道が上下流方向に連続しており、基盤岩である泥岩層（Tm）は、その山側で高まる構造となっている。

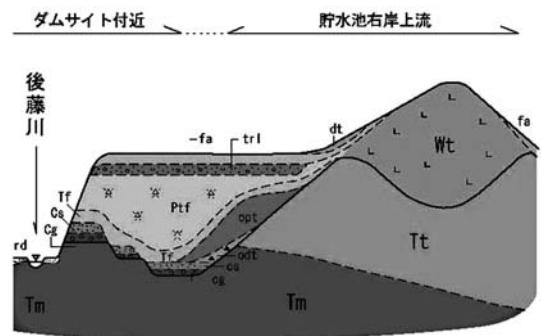


図-2 ダムサイト右岸の地質層序

\*青森県上北地域県民局地域農林水産部水利防災課  
(Tel. 0176-23-5245)

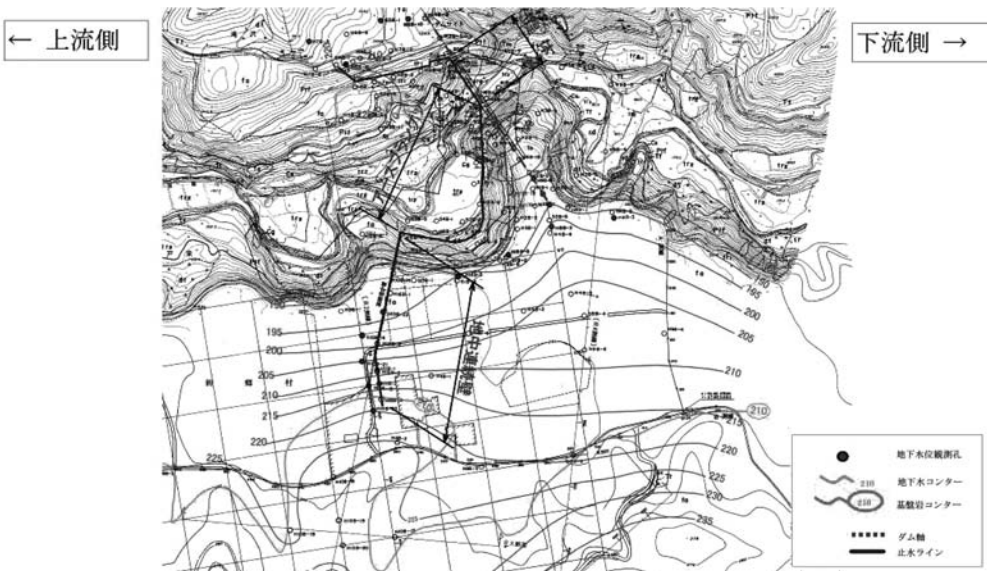


図-3 地下水位コンター図

また、ダム軸右岸は半島形状となっており、その下流側で分布している凝灰岩層 (Tf) から自然状態で湧水が認められるなど、止水対策上の課題として挙げられる。

なお、第四紀層の透水係数は次のとおりである。

- ・礫岩 (Cg) :  $k = 1.0 \times 10^3 \text{cm/s}$
- ・含礫砂岩 (Cs) :  $k = 1.0 \times 10^7 \text{cm/s}$
- ・凝灰岩 (Tf) :  $k = 1.0 \times 10^{3-4} \text{cm/s}$
- ・新期軽石質凝灰岩 (Ptf) :  
 $k = 1.0 \times 10^4 \text{cm/s}$

ダムサイト右岸の地下水位分布は、図-3地下水位コンター図に示すとおり台地尾根から山側にかけて高まり、基盤岩である泥岩層 (Tm) の張り出し部分 (地中連続壁の設置法線上) で地下水位コンターが調和的な分布となっている。

#### 4. 右岸止水対策の基本方針

右岸に厚く分布する凝灰岩類は固結度が低く、割れ目のない塊状地盤であり、また湧水の状況等から浸透破壊抵抗性が低いと総合的に判断し、当初は次のような基本方針を設定した。

- ①ダム軸右岸 (半島形状) の地山耐力を低下させないため、ダム軸右岸を止水ラインとしない。
- ②右岸の止水ラインをダム軸上流に移動するため、堤体右岸から右岸上流部については、遮水と斜面保護を兼ねた構造で検討する。(右岸：アースブランケット)

- ③ダム右岸全体の地山耐力の低下を防ぎ (半島下流部を押え盛土構造とする)、確実な止水を行うため、右岸の基盤岩方向に向かって止水対策を実施する。(ただし、第四紀層は礫岩層等のため、グラウチングによる改良が困難であると判断し、地中連続壁による対応とする)
- ④施工深度については、基盤岩である難透水性を示す泥岩層 (Tm) に1m以上入れ込み、施工範囲については、止水の重要性から施工壁高が右岸奥側山手の基盤岩 (Tm) に到達する程度までとする。

#### 5. 地中連続壁の工法検討経緯

##### <RC連続壁の採用>

当初の基本方針に基づき、地中連続壁は原位置攪拌工法であるソイルセメント連続壁では止水性に不安を残すため、止水の確実性と施工実績を考慮し、RC連続壁で施工する計画とした。その際、図-4 アースブランケット標準断面図に示す、アースブランケットの遮水 (コア) とRC連続壁との接合が課題となった。

この課題に対しては、他ダムの連壁頭部とコア部の取り合い形状を参考に、コアへの「異物」の影響を緩和し、かつ止水線を確実に繋ぐため、図-5 接合部の取り合い形状に示す方法で対応した。

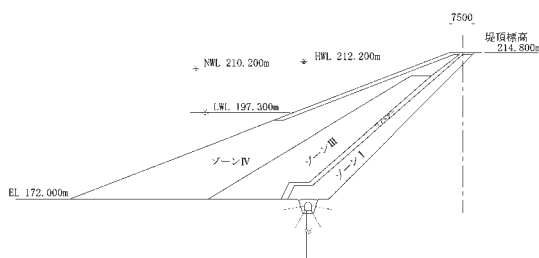


図-4 アースブランケット標準断面図

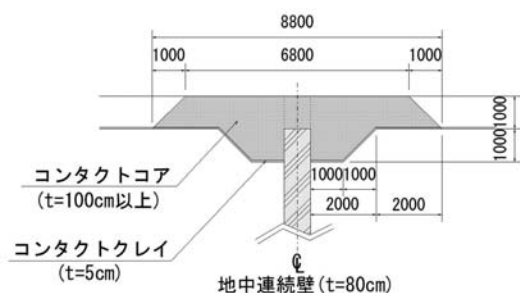


図-5 接合部の取り合い形状

#### <掘削土再利用連壁工法への変更>

しかし、RC連続壁は止水工法として実績が多いものの、次のような課題が考えられた。

- ①工事費が比較的高い。
- ②ソイルセメント連続壁に比較し、掘削残土が多い。(青森県では、安定液として泥水又はベントナイト泥水を使用した以外は、泥状を呈していない場合でも土砂ではなく、産業廃棄物扱いの建設汚泥に分類)
- ③第四紀層地盤との変形性の差が大きい。(RC連続壁の変形係数20,000MPa以上、第四紀層で100MPa前後)

そのため、RC連続壁と原位置攪拌工法であるソイルセメント連続壁との折衷的な工法である、新技術として審査証明された掘削土再利用連壁工法(以下、CRMソイル連壁という)に着目し、本ダムでの主目的である止水性について実績確認と室内配合試験を実施のうえ、次のような特徴と利点を総合的に検討し、本工法を採用することとした。

- ①RC連続壁に比較して安価となる。
- ②RC連続壁では掘削土砂は全て残土となるが、CRMソイル連壁では室内配合試験結果から60から70%利用可能であるため、残土処理が大幅に削減できる。

- ③CRMソイル連壁の変形係数は、室内配合試験結果から200MPa程度で第四紀層との差が少ない。
- ④掘削をRC連続壁と同様である水平多軸回転カッターで行う方法があり、硬質地盤への適用が可能で掘削精度も高い。(後述する施工済みのRC連続壁で、基盤岩の上位に位置する礫岩層等の掘削実績がある)
- ⑤掘削残土を地上に全て排出することから、ソイルセメントの材料として利用する予定の土砂と利用しない土砂を掘削深度で区分でき、さらに専用のプラント設備により均質なソイルセメントの製造が期待できる。
- ⑥RC連続壁では壁中に設置する鉄筋かごの製作・建て込み作業が必要であったが、CRMソイル連壁を本工事で採用した場合は鉄筋かご又は芯材となるH鋼の設置が不要となる。

なお、アースブランケットの基礎掘削前に、予め背面部の連続壁を建設する必要があったため、アースブランケットから約46mをRC連続壁で施工済みであり、新たにRC連続壁とCRMソイル連壁との接合方法について課題が生じたが、次の対策で対応することとした。

- ①図-6 RC連続壁との接合部に示すとおり、“柔”なCRMソイル連壁で“剛”なるRC連続壁を包み込む構造とする。
- ②接合部の止水機能の監視を行う目的で、連続壁の上下流に地下水位観測孔を設けて観測し、さらに連続壁直近のアースブランケット内に間隙水圧計を設置し観測する。

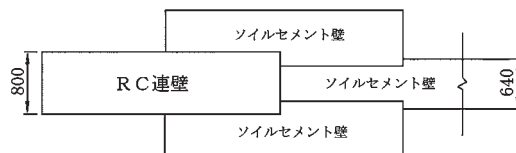


図-6 RC連続壁との接合部

## 6. 地中連続壁の施工範囲

<当初計画：RC連続壁>

地中連続壁の施工範囲については、前述4の基本方針に基づき実施した、地中連続壁の線形上でのボーリングコア及び透水試験、並びに地下水位観測により得られた結果から総合的に検討することとした。

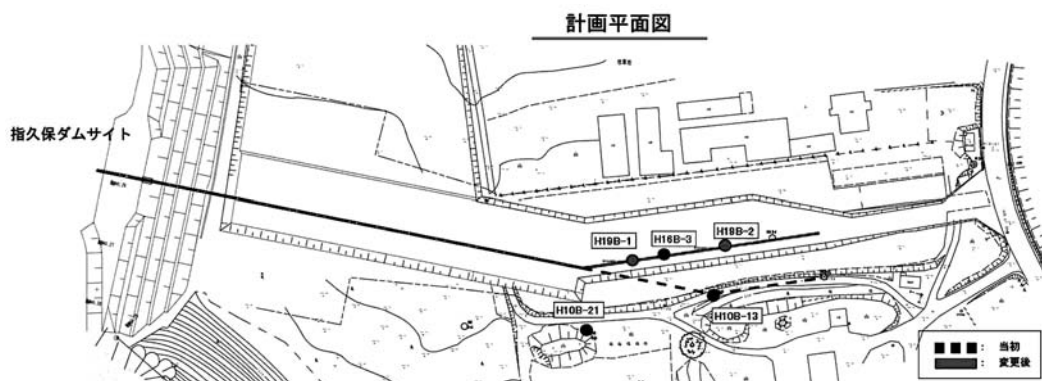


図-7 地中連続壁の設置平面図（当初，変更）

なお、地中連続壁による止水対策は、グラウチング技術指針・同解説のリムの考え方にに基づき、当初計画（案）では本ダムにおける地中連続壁の設置壁高をサーチャージ水位相当（グラウチング技術指針・同解説の改正後に、常時満水位に変更）とし、季節の変動を考慮した地下水位と交差する地点までを施工範囲とした。

しかし、以下にまとめた点を考慮し、この設定水位と基盤岩である泥岩が交差する地点までを当初計画とし、「より確実な止水」を図ることとした。

- ①地下水位観測を実施している観測孔（H10B-13、H10B-23）は設定水位より高い位置に水位が分布している。しかし、観測当初のH10B-13の挙動において、設置後3ヶ月後を経た時点で急激に6m程度上昇するという不審な点がある。（季節的変動把握前であったことも考慮）
- ②H10B-13の観測位置は、基盤岩である泥岩層（Tm）がせり上がり、高透水性を示す礫岩層（Cg）は存在せず、ルジオン値も低い状況である。しかし、旧地表面の存在を考慮すると、地中連続壁の法線上の限定的なボーリングデータだけでは高透水部の存在を否定できない。

〈第1回変更計画：CRMソイル連壁〉

当初計画で決定した線形において、地中連続壁を施工する上で支障となる物件が判明したことから、H16に地中連続壁の線形を一部見直し（奥側山手の屈曲位置を変更）することとし、これに合わせて、地中連続壁直下における基盤岩である泥岩（Tm）の分布及び基盤岩付近の透水性（ルジオン試験）の確認を行った。

その結果、H16B-3孔の地下水位（掘進完了時）は常時満水位とほぼ同じ水位標高に分布している

ものの、長期にわたる地下水位を観測していたH10B-13（設置当初以外は不審な変動はなく、常に常時満水位以上を示す）と20m程度離れていることから、線形変更のみとした。

なお、当初計画、第1回変更計画、最終変更計画の線形とボーリング位置を図-7 地中連続壁の設置平面図に示す。

〈最終変更計画：施工範囲〉

①追加調査の実施（目的）

CRMソイル連壁の施工を地形・施工上の理由から2回に分けて実施することとし、その1回目（現在施工中）の作業床の建設（H19）に合わせ、地中連続壁直下でかつ基盤岩である泥岩（Tm）が高まる範囲についての地質層序及び性状を再検証することとした。

これは、従来の透水性や地下水位が、地中連続壁から約20m上流側の当初計画の線形上で確認したH10の地質・地下水位条件を基本としていたため、第1回変更計画の連壁直下での確認（照合）と施工範囲の縮減の可能性を検討する目的で行ったものである。

追加調査は、次の内容で2地点（3孔）のボーリング調査及び透水試験を行った。

②追加調査の内容

- H19B-1：コア採取，透水試験  
H10B-21対応  
常時満水位より低
- H19B-2：透水試験  
H10B-13対応  
常時満水位より高
- H19B-3：コア採取  
(H19B-2と同地点)



③追加調査結果による考察

追加調査結果による，地中連続壁地質縦断図を図-8に，地中連続壁ルジオンマップを図-9に示し，以下に考察を述べる。

- 基盤岩である泥岩 (Tm) を覆う礫岩層 (Cg : 高透水性) は旧河川の氾濫原堆積物であるが，H16B-3地点から旧地形斜面部では分布が認められない。この理由としては，基盤岩が高まっているため，旧河川の氾濫原自体が存在せず，礫岩層の堆積が起こらなかったと考えられる。
- 旧地形斜面部には，基盤岩直上に2次堆積状の泥質堆積物が層厚2m程度認められ，比較的締りは良い。(古い時期の崖錐堆積物 (Odt) と考えられる)
- 旧地形斜面部には，基盤岩と第四紀層の境界に旧崖錐堆積物 (Odt) を挟んでいるが，高透水部は認められず，限界圧力も特に小さい状況ではない。
- 地下水位の分布が，高透水性を示す凝灰岩層 (Tf) の分布に影響を受けていること。(凝灰岩層 (Tf) の分布のせり上がり) と地下水位の高まりが調和的である)

- 地下水位が常時満水位に高まる位置までを地中連続壁の施工範囲とした場合でも，第四紀層中の高透水層 (礫岩層 (Cg) 及び凝灰岩層 (Tf)) の分布範囲全体を覆うことができること。
- 当初不審な変動を示したH10B-13及びH10B-23の地下水位は，降雨や融雪に応じた緩やかな変動を示すが (H10B-13 : EL.217.0程度，H10B-23 : EL.222.0程度)，常に常時満水位 (EL.210.2) を超えており，旧崖錐堆積物 (Odt) 上位の古期軽石質凝灰岩層 (Opt) の透水性2~5Lu (ルジオン) 程度を反映した変動と考えられ，高透水を示す変動ではないと考えられること。
- H19B-2 (H10B-13に対応) は常時満水位より常に高く (EL.222.0程度)，変動傾向はH10B-23に近似している。
- 右岸台地部では，地中連続壁の奥側山手にかけて，第四紀層中で広範囲の地下水位の高まりを確認していること。
- 湛水により浸透流が発生しても，第四紀層中で地下水位が高まる地点では，現況以上に動水勾配が大きくなると判断できること。

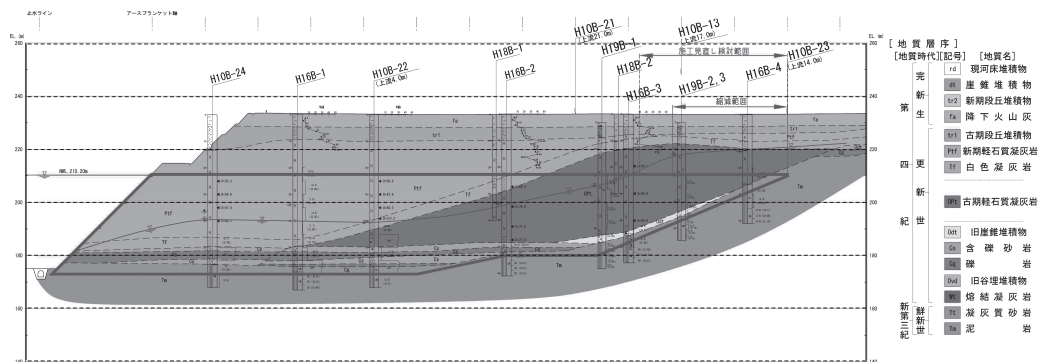


図-8 地中連続壁地質縦断図

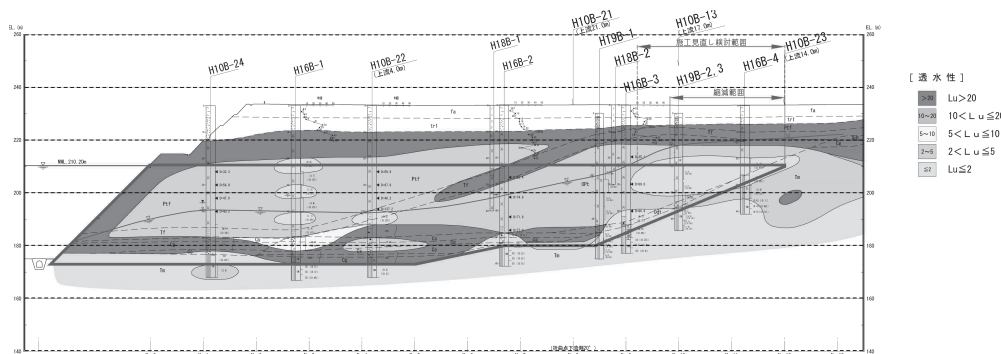


図-9 地中連続壁ルジオンマップ

#### ④最終計画

地中連続壁直下及びその上流約20mにおけるボーリング調査等により、ア)長期にわたって地下水水位が常時満水位以上である地点が把握でき、イ)旧地形斜面部の基盤岩付近及び常時満水までの間には、高透水ゾーンの存在が認められないことから、グラウチング技術指針・同解説の基本に基づく、「地下水水位が常時満水位となるH16B-3付近まで（施工見直し範囲）」と考えられる。

しかし、H16B-3は長期にわたる観測データを有していないため（掘進時の水位データのみ）、確実な止水対策を図るため、施工範囲をH10B-13の相当位置（地中連続壁直下で行ったH19B-2付近）までとし、第1回変更計画に比較して43.4m縮減するという最終計画を策定した。

また、地中連続壁の止水効果を監視するため、前述したRC連続壁とCRMソイル連壁との接合部に設けることとした連続壁上下流の地下水水位観測孔（2孔）のほか、連続壁沿いに7孔設け、試験湛水前1年間の状況を把握する体制を整備することとしている。

### 7. 地中連続壁（ソイルセメント）の施工

#### ①室内配合試験（施工前）による指標

CRMソイル連壁を実施するに当たり、ソイルセメント材料となる軽石質凝灰岩層について室内配合試験を行ったが、図-8に示す凝灰岩層（Tf）の上部と下部で性状が異なることから（軽石の混合状況、細粒分の含有率）から、上部を新期軽石質凝灰岩層（Ptf）、下部を古期軽石質凝灰岩層（Opt）と区分した。これは、細粒分の含有量がソイルセメントの透水係数に影響を及ぼすこと、連続壁の延長方向で上部と下部の厚さが異なること、材料と使用する場合は混合していることを考慮したためである。

なお、要求品質を表-1、使用材料を表-2、また、それぞれ単独で満足した配合を表-3に示すが、ボーリングで採取した材料は全てほぼ飽和した状態であり、施工時の含水状態から判断すると特に問題にならないものと考えたものである。

この上部と下部の混合割合については表-4の6ケースとしたところ、A③で要求性能であるブリージング率を満足しなかった以外は全て満足した結果が得られている。

表-1 要求品質

一軸圧縮強度	1.5N/mm <sup>2</sup>
透水係数	1.0×10 <sup>-6</sup> cm/s
ブリージング率	1%未満
スランプ・フロー値	160~300mm

表-2 使用材料

試料土	軽石質凝灰岩（露頭及びボーリング採取土）
固化材	高炉セメントB種（八戸地区産）
ベントナイト	ベントナイト（赤城）
混練水	上水

表-3 配合

A配合	上部（Ptf）単独
セメント量	230 kg/m <sup>3</sup>
ベントナイト	50 kg/m <sup>3</sup>
水セメント土比	70%
B配合	下部（Opt）単独
セメント量	240 kg/m <sup>3</sup>
ベントナイト	80 kg/m <sup>3</sup>
水セメント土比	65%

表-4 混合土の試験ケース

ケース	上部Ptf :下部Opt (重量比率)	細粒分 比率 (%)	比重 2分後	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	飽和 含水比 (%)	適用 配合
①	1:0	36.3	1.0180	2.362	44.8	A
②	2:1	22.9	1.0105	2.438	37.7	A
A③, B③	1:1	19.7	1.0105	2.518	34.2	A, B
④	1:2	16.8	1.0090	2.601	30.4	B
⑤	0:1	9.0	1.0040	2.721	25.2	B

\* 沈降分析による2分後の比重は、含有する0.004mm程度以下の浮遊土粒子量に対応した数値である

また、混合土の物性値に基づき、掘削位置の混合割合を把握する必要があるため、土質試験を行って土の各指標値間の相関を調べたところ、各指標値間の相関性は高く、土の密度試験、含水比試験、沈降比重により混合状態の推定が可能と判断した。

結果として、上部と下部の混合比が2:1~1:1(ケース②及びケース③。簡易比重試験値=1.0105)付近で配合切替を行う必要があることがわかったため、簡易比重試験値1.01以上でA配合、1.01未満でB配合を適用することとし、切替位置を決定した。

なお、その際に試験した変形係数 E50は150~420 (MPa) となっており、地山に近い値となっている。

#### ②環境保全対策

連続壁の施工に先立ち、基盤岩である泥岩(Tm)を一定間隔で確認するボーリングが必要であったため、配合切替付近でボーリングを行うとともに試料土(軽石質凝灰岩)を採取し、室内配合試験の再確認と六価クロム溶出試験を行い、六価クロムが基準値以下であることを確認している。

また、ソイルセメント打設により、地下水に影響がないことを確認するため、半島下流部で湧水量を観測しているピットを利用し水質調査を実施することとし、施工前と施工中では基準値内であることを確認している。

#### ③掘削精度対策

連続壁の鉛直精度は、一般に、掘削断面が設計断面を侵す掘削誤差の最大値を掘削深さで除した値で表され、偏位計(傾斜計)による確認と超音波溝壁測定により確認し、必要な精度を超えた場合は修正掘削が必要である。

本工事では連続壁上下流方向で1/2,900、連続壁延長方向で1/1,160が必要とされ、水平多軸回転カッターでの一般値1/500~1/1,000(傾斜計使用)より精度が求められたため、超音波溝壁測定後の修正掘削も必要と判断していた。しかし、70mを超える掘削の場合に推奨されるAPS絶対位置計測装置(絶対位置を1/2,000以下の誤差で計測可能)を施工者が導入したことにより、掘削精度の確保と時間短縮が図られた。

(APS絶対位置計測装置とは、ドリル本体と地上の2セットのAPS本体がワイヤーロープで鉛直状態にて接続されており、ドリル本体の動きを直接検知するシステム。偏位計はドリル本体にセットされたセンサー傾斜を、信号ケーブルで送信・検知するシステム。)

#### ④ソイルセメント製造・打設(品質管理)

製造に際しては、材料としての土の含水比試験と簡易沈降比重試験を行い、配合後にスランプ・

フローとブリージング率を確認し、品質管理として供試体をエレメント毎に作成のうえ、一軸圧縮試験を行う流れである。(壁体1基:1エレメントという)

また、打設後の確認については、次の理由から地表付近まで打設したエレメントにおいて、ボーリングコアを採取して一軸圧縮試験を行うこととした。

- 連続壁は、作業床から約20m~60m地下に構築するが、その間のコア採取に際しては、ボーリング孔の掘進時の変位等により壁体を破損する恐れがあること。(掘削後に予め配管する等も検討したが、壁体に異物を混入する等の弱点を設けることとなるため不採用)

- グラウトのチェック孔に準じて、4エレメント=12m(1エレメント=約3m)毎に強度を確認する必要があること。

- 作業床から連続壁天端までの約20mについては、掘削幅が64cmで転圧等が不可能なため、不等沈下等を防止する目的で、貧配合のソイルセメントを打設することとしていたこと。

さらに、壁体の接合部の止水性をデータで確認するため、連続した3エレメントを地表付近までソイルセメントで施工し、その場所(接合部2箇所)での透水試験を行うこととした。

#### ⑤掘削土砂の再利用

掘削土砂の軽石質凝灰岩類はソイルセメント材料として再利用するが、残った軽石質凝灰岩類についても、その性状から管理用道路の路床として再利用し、産業廃棄物の抑制を図る計画とした。

この掘削土砂は、安定液と混合した泥土として地表に排出し、土砂分離装置やマッドセパマシン(遠心分離機)により土砂分と安定液(循環)を分離する一連のシステムで生み出されるが、本工事で使用する安定液が水やベントナイト以外のCMC(ポリマー)、分散材、劣化防止剤、逸液防止剤を使用しているため、再利用するためには事前に有害物質を発生させないことを確認する必要がある。

そのため、第一種特定有害物質(揮発性有機化合物)、第二種特定有害物質(重金属類等)、第三種特定有害物質(農薬類等)に分けて分析を行い、その分析結果は全ての項目が基準値を下回っており、泥土から分離された土砂は無処理で利用可能と判断されている。

## 8. 今後の課題

本ダムの特徴であるダムサイト右岸の止水対策工（アースブランケットと地中連続壁）の中から、地中連続壁の計画から実施に至る各段階での検討（工法と施工範囲）と現在の施工内容について述べてきた。

この地中連続壁は、今後施工する残りの連続壁の構築により完成することとなり、連続壁全体の最終的な品質確認（止水性）は、試験湛水の結果をもって最終評価することとなる。

また現在、アースブランケット止水により、右岸山側から供給される地下水が河川側へ自然排水されず、下流に向かって排水されている状況（アースブランケット背面の地下水位が上昇し、ダム軸右岸尾根下流部から湧水量増加が認められるが、湧水に濁り等の異常はない）と、湛水時に想定されるアースブランケットからの浸透による地下水位の変動状況を踏まえ、監視体制を整備のうえ継続観測を行う必要があると考えている。

最後に、結果として地中連続壁の大幅なコスト縮減を図ることができ、平成20年度に堤体とアースブランケットの盛立が終了する現在、今後は確実なデータ把握や維持管理を低コストで行うなどの最終段階を迎えているため、確実なダム完成に一層努めたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 高島 哲雄, 山田 尚人, 矢島順一郎：  
ソイルセメント地中連続壁による地山止水処理への適用, ダム工学17(4)

# 基礎地盤内に存在する不均一層の評価方法と考察

北 川 陽 介\* 米 山 元 紹\*\* 山 本 裕 介\*\*  
 (Yosuke KITAGAWA) (Motoaki KOMEYAMA) (Yusuke YAMAMOTO)

## 目 次

1. はじめに	21	3.5. 試験施工区間の開削調査と土質試験等による 物性値の検討	26
2. 左岸部の安定性の考え方と課題	21	3.6. 仮設の検証	26
3. 照査のための考え方と作業手順	24	3.7. 解析のためのモデル化	27
3.1. 地下水調査	24	4. 課題の整理と評価の考え方	27
3.2. トレンチ調査	25	5. 現場施工に向けた検討	29
3.3. ボーリングコアの再評価と地質層序の検証	25	6. 考察とまとめ	29
3.4. グラウチングによる改良試験	25		

## 1. はじめに

ダムの基礎地盤は、堤体の自重、貯水に伴う水圧等に対して浸透破壊やすべり破壊が生じないように力学的、水理的に安定していなければならない。ダムの設計に当たっては初期段階において、基礎地盤の力学的性や透水性を把握するための調査を実施し、必要とされる安定性を照査することが求められる。しかし、調査が進むことにより、現場条件が当初想定していた設計条件と異なり、改めて安定性を照査する必要がある場合がある。新潟県佐渡市で建設中の外山ダムにおいて、左岸部の基礎地盤として予定している石英安山岩質凝灰角礫岩（Ktb層）の一部に、当初想定していなかった軟質な層が存在することがトレンチ調査等により明らかとなった。

本報告では、外山ダム左岸部の基礎地盤の安定性を照査するために行った検討の考え方及び評価方法についての事例を報告するとともに、現場における業務の進め方について考察する。

## 2. 左岸部の安定性の考え方と課題

外山ダムは、佐渡農業水利事業の基幹施設として、新潟県佐渡市南西部に位置する羽茂川水系羽茂川に建設中の重力式コンクリートダムで、左岸側に一部フィルを含むいわゆる複合ダムである

(表-1, 図-1, 図-2, 写真-1)。外山ダムの受益面積は、水田710haと畑・樹園地250ha, あわせて960haである。

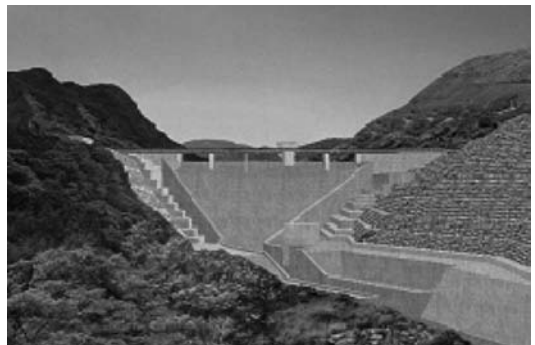


図-1 外山ダム完成予想図

表-1 外山ダム諸元表

項目	諸元	
一般	位置 新潟県佐渡郡赤泊村上川茂地内	
河川名	羽茂川水系羽茂川(二級河川)	
基礎地質	新第三紀中新世安山岩、凝灰角礫岩	
貯水	流域面積	7.7 km <sup>2</sup>
	満水面積	22.0 ha
	総貯水量	2,600,000 m <sup>3</sup>
	有効貯水量	2,250,000 m <sup>3</sup>
	計画堆砂量	350,000 m <sup>3</sup>
	設計洪水位	H.W.S 244.50 m
	サーチャージ水位	S.W.S 244.10 m
	常時満水位	F.W.S 242.60 m
	計画低水位	L.W.S 223.90 m
	利用水深	18.70 m
堤	型式	複合ダム：重力部 (フィル部)
	堤高	46.1 m ( 10.0 m )
	堤頂長	L = 181.0 m 161.0 m ( 20.0 m )
	堤体積	68,000 m <sup>3</sup> ( 9,600 m <sup>3</sup> )
	非越流部標高	EL.246.1 m (EL.246.5+保護層0.5m)
	最低基礎地盤標高	EL.200.0 m (EL.237.0 m)
	上流面勾配	鉛直 (EL.212.0 以下 1:0.3) ( 1:3.0 )
	下流面勾配	1:0.8 ( 1:2.0 )
	設計震度	0.12 ( 0.15 )

\*現：北陸農政局整備部水利整備課 (英国留学)

前：北陸農政局佐渡農業水利事業所

\*\*北陸農政局佐渡農業水利事業所 (Tel. 0259-66-4440)

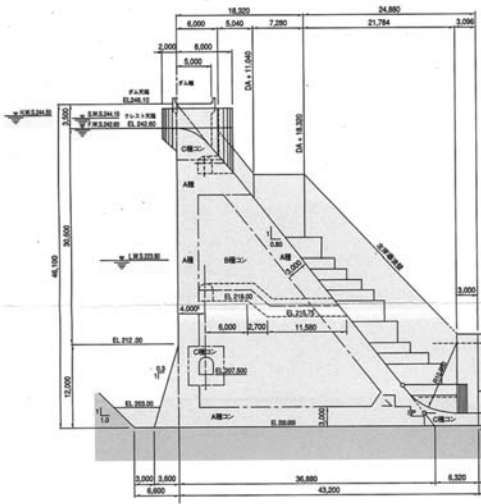
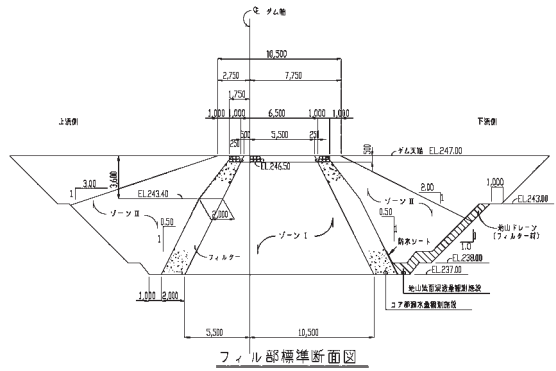


図-2 外山ダム標準断面図 (左：重力部, 右：フィル部)



フィル部標準断面図



写真-1 施工中の外山ダム (下流から上流を望む)

表-2 外山ダム地質層序

地層時代	地層名	記号	地質・岩石名
第四紀	現河床堆積物	rd	砂・円礫
	崖錐堆積物	dt	粘性土・角礫・円礫
新第三紀	鶴子・中山層	Nms	泥岩
	経塚山層・豊岡層相当層	Kbr	石英安山岩質火砕岩
		Ktf	流紋岩質軽石凝灰岩
		Kms	泥岩
	豊岡層	Tbr	石英安山岩質凝灰角礫岩※
	三瀬層	aAn	細粒安山岩
		PAAn	粗粒安山岩
貫入岩	Po	斑岩	

※Ktb層について、下記単相を細分した

Ss1 低固結砂岩層 Ktb(bc) 基底礫岩

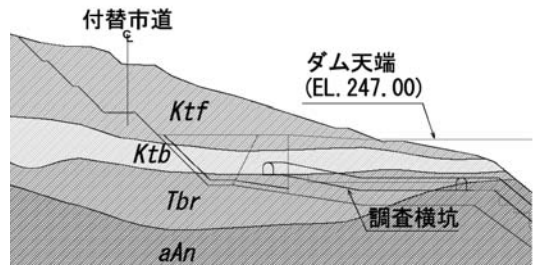


図-3 左岸部地質縦断概念図

### (1)地質の概要

ダムサイト左岸部には、経塚山層の流紋岩質軽石凝灰岩 (Ktf層)、石英安山岩質凝灰角礫岩 (Ktb層) が、安山岩質角礫凝灰岩 (Tbr層)、細粒安山岩 (aAn層) を覆うかたちで、ほぼ水平に広く分布している (表-2, 図-3)。

Ktf層はダムサイトに広く分布し、青灰色～淡緑灰色を呈する軟質岩である。Ktb層は低温の火砕流堆積物と考えられ、下位にあるTbr層を取り込みながら地層を形成したと推測される。このため、低固結砂質凝灰岩を基質とし、安山岩質角礫岩及び円礫を含み、部分的には亜炭層等が見られる複雑な地層である。本報告では、主にKtb層内に存在する軟質部を対象とした調査、検討方法及びKtf層の特徴を考慮した法面の安定性の考え方

について述べる。

当初、Ktb層は全体として比較的難透水性であり、また力学的にもダムフィル部のアバット部の基礎として必要な設計数値を十分に満足するものと判断していた。しかしながら、地下水位観測・

評価等の結果、Ktb層内に高透水性を示すゾーンの存在の可能性が明らかとなった。この点について過去に実施された地質調査資料の整理・把握及び課題の抽出を行うとともに、調査方法、グラウチング試験施工、原位置試験、対策方法等について検討を進めることとした。これらの検討対象となる地層のうち、Ktb層内の上部に位置する砂質性の層を低固結砂岩層（Ss1層）、下部に位置する礫の混入率が高い層を基底礫岩（bc層）と定義した。Ss1層は比較的軟質な地質であり、一部が粘土化している等力学性に課題があるとともに、低固結部においては、グラウトミルクの注入量が多量になる等、透水性での課題もある。bc層は礫の混入率が高く、力学的安定性は確保されるものの、透水性の面で課題がある。

(2)力学的安定性評価の考え方

左岸部の法面安定性の評価は、当初進行性破壊モデルを用いて検討している（図-4）。以下に、進行性破壊モデルの概念について述べる。斜面を掘削し、切土の法面が形成されると、法尻付近に応力が集中する。次の段階として法尻付近に変位が発生し、ヘアクラックができ水がその部分に集まる。地山の荷重分の正規圧密まで水分を吸収すると地盤は軟化し、それが進行すると応力を支えきれなくなりすべりが発生する。更にヘアクラックは深部まで進行し、地盤内の軟化が進行すると、

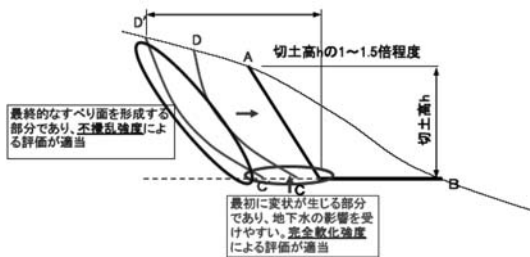


図-4 進行性破壊モデル

最終的には地表面に達するすべり面が形成される。このような現象は一般的に進行性破壊と呼ばれている。この概念に基づき、左岸部地山法面をモデル化し安定性の照査を行った。

(3)照査方法

左岸部に生じると考えられる進行性破壊の現象を時系列で全て再現することは困難である。特に、変化する地盤の強度定数を試験で求めることは現実的には不可能である。このため、進行性破壊モデルを用い、応力の集中する法先部から一定の奥行きまでを完全軟化強度とし、すべり面上部は初期強度である不攪乱強度を適用した。ダムのアバット部であることを考慮し、照査方法としては安全側の照査を採用することとした。モデル化した断面を図-5に示す。また、照査に用いた物性値を表-3に示す。

(4)地盤の不均一性に基づく課題

現場における調査によると、Ktf、Ktb層が表-3に示す物性値でモデル化することが困難であり、安定性の評価が必要な軟質部の存在が否定できないと判断された。Ktb層は火砕流堆積物とされ、また化石地すべりについての議論がなされてきた斜面でもある。既往の調査においても、Ktb層は

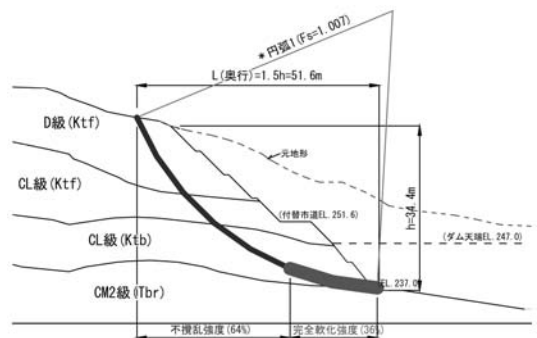


図-5 左岸部法面安定性評価モデル図（堤体基礎掘削時）

表-3 照査に用いた物性値（当初）

ゾーン区分		単位体積重量		不攪乱強度 (三軸圧縮試験値)		完全軟化強度 (一面せん断試験値)	
		湿潤重量 (kN/m <sup>3</sup> )	飽和重量 (kN/m <sup>3</sup> )	粘着力c (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 φ(°)	粘着力c (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 φ(°)
地山	Ktf層(D級)	16.13	16.79	57.82	13.80	19.90	10.33
	Ktf層(CL級)	16.56	16.85	57.82	13.80	19.90	10.33
	Ktb層(CL級)	18.19	18.39	98.00	14.10	22.40	12.12
	Tbr層(CM2級)	19.77	20.08	813.40	38.00		

様々な特性を有することについての理解及び検討もなされていた。

しかしながら、①地下水位観測孔のデータに高低のばらつきがあること、②地下水位が低い根拠としてTbr層に設置された横坑の影響としていたが不透水性層との間に矛盾があること、③本体掘削に先行して実施したトレンチ調査等から、高透水性の層の存在と連続性が確認されたこと等から、基礎地盤の安定性を再評価することが必要と判断された。以上のことから、

- i) Ktf, Ktb層の中に水理的特性が異なる層が存在する。
- ii) 軟質部としての評価が必要な層が存在し、基礎掘削時にこの軟質部に沿ったすべりに対する安定性の照査が必要である。

との仮説のもと、この課題に対し基礎掘削時、貯水時の安定性を照査するための調査計画を立案した。以下にその考え方について述べる。なお、これらの検討の考え方は、上述の進行性破壊モデルに基づく照査に加え、軟質部を通るすべり破壊（ブロック状すべり）に対する照査を行うことを意味する。

### 3. 照査のための考え方と作業手順

外山ダム左岸部の安定性の照査にあたり、基礎地盤を構成するKtf, Ktb層の安定性は表-3に示す物性値でモデル化できるものと考えていた。しかし、これらのすべり破壊モデル以外についての照査も必要であると考えられ、以下の視点から検討作業を進めることとした。

- ①左岸部の地質は複雑であり、このような場合ボーリングコアから得られる情報には限界があるため、トレンチ調査を極力実施する。
- ②地下水面は連続した一つの面として存在するとしてオールストレーナー式の地下水位観測孔としていたが、複数の地下水位が存在することを前提とした評価を行う。なお、ダムの湛水に向け、複数の地下水位の測定が可能となるように、各層を対象とした地下水位観測孔を新たに設置する。
- ③物性の異なる層を対象に水理的、力学的特性の改良を期待したグラウチング試験を行う。また、グラウチング施工した箇所を直接開削してサンプリング試験、現位置試験を行いグラウチングによる改良効果の評価を行う。

左岸部基礎地盤に関する課題の設定から、解析のためのモデル化までの一連の考え方のフローを図-6に示す。次にフローの具体的な内容を以下に述べる。

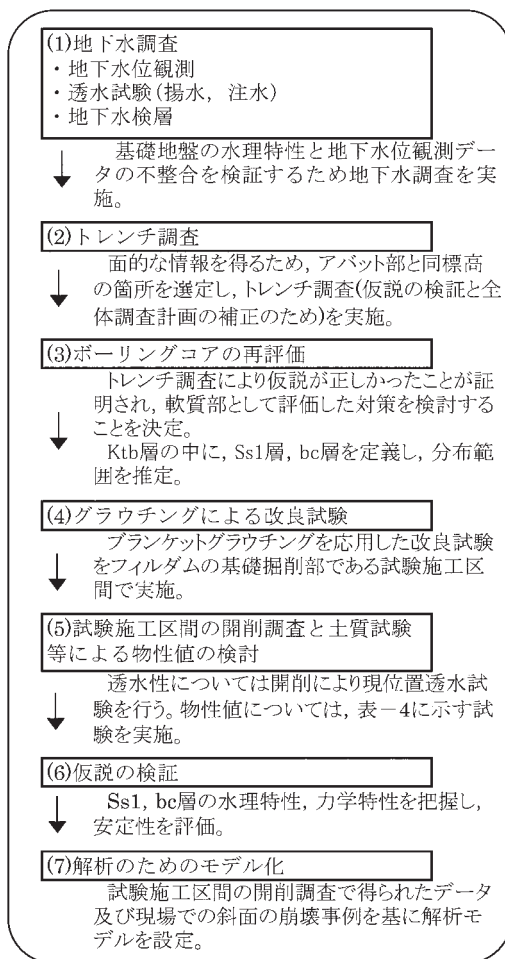


図-6 検討フロー

#### 3. 1 地下水調査

左岸部地山基礎部の水理特性と既設観測孔の地下水位データの間には矛盾があり、その原因を探るため地下水位観測孔用いて、簡易な試験を行った。その結果、概ね5Lu以下とされる層において、注水、揚水試験を実施したところ、いずれの場合においても短時間で一定の高さに水が戻る現象が確認された。特に、ベイラーと呼ばれる器具で揚水したが、ある高さで孔周辺からの集水により水位が低下しない現象が生じた。この現象は、これまで想定していなかった高透水性ゾーンが存在し、



地下水が集水していることを示唆していた。このことから、基礎地盤の透水係数の把握と高透水性ゾーンを調査するため、他のボーリング孔においても透水試験（揚水法、注水法）を実施した。透水性については、試験方法、岩盤特性、また平均的な透水性の評価となり判定は難しい面はあるが、最大で $7.80 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 程度の透水性を示す層の存在が確認された。なお、この調査は現象を解釈するための予備調査と位置付けて行ったものである。

また、地下水検層の結果から、地下水の流動が特定の標高で卓越し、本体掘削時の法面上に位置するとともに、ダム満水位より下に位置することが確認された。このことにより、基礎掘削時の法面の安定性、貯水時の浸透に対する安定性についての照査が必要と判断し、さらに調査を進めることとした。

### 3. 2 トレンチ調査

このような課題がある複雑な基礎地盤の性状を正確に把握するためには、ボーリングコアによる観察には限界がある。このことから、アバット部に近接する同標高部でのトレンチ調査が必要不可欠と判断した。掘削場所は、ダム軸から約30m下流とした（図-7）。トレンチ調査の結果、ボーリングコアの観察では評価が困難であったSs1、bc層が明確に確認された（写真-2）。

### 3. 3 ボーリングコアの再評価と地質層序の検証

トレンチ調査の結果、Ktb層の中に物性の異なるSs1層、bc層を定義することが必要と判断した。また、既往のすべてのボーリングコアを再検証し、各層の分布範囲図を作成した。この結果、ダムの満水面以下の基礎掘削法面に、これらの層が出現するとともに、法面の深部にも連続している可能性があることが明らかとなった。このため、並行して計画されていたブランケットグラウチングを応用して、改良試験を実施することにした。

トレンチ断面の調査及びKtb層の生成過程及び最近の技術的知見等から、化石地すべりの存在はあり得ると考えられるが、地質層序については、基本的に表-2に示す通りで問題ないと判断した。

### 3. 4 グ라우チングによる改良試験

基礎掘削時、法面に現れるSs1、bc層を含む軟質部の物性の改良が求められた。この範囲については、ブランケットグラウチングが計画されており、その効果を期待することを考えた。このため、

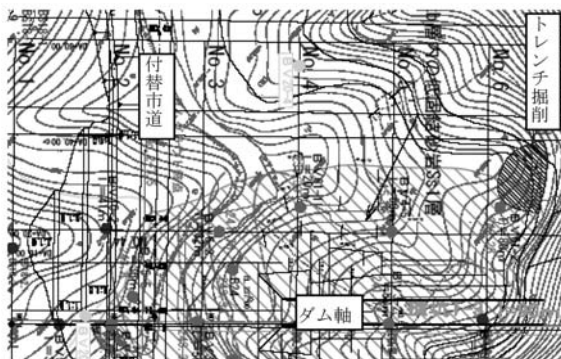


図-7 トレンチ掘削位置図

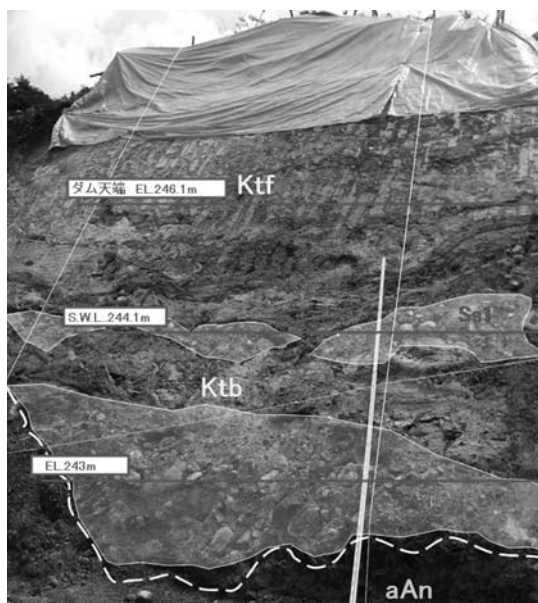


写真-2 トレンチ掘削面

基礎掘削面に現れるSs1層、bc層を想定した改良試験を行った。なお、実際の施工時において一部追加グラウチングを施工し、遮水ゾーンを形成することとした。

ダム基礎部における透水性の改良には、グラウチングを採用することが一般的である。フィルアバット部に出現するSs1、bc層は、フィル盛立部で基礎掘削により除去してしまう部分（以下、「試験施工区間」という）にも存在した。そこで、ブランケットグラウチングの施工と併せて、試験施工区間のSs1、bc層に対しても図-8に示すようにグラウチングを試験的に実施し、改良効果を判定することにした。

Ktf層及びKtb層はボーリング孔壁を維持すること及び限界圧力が低いことから、気泡ボーリングにより削孔し、注入圧力測定にあたっては孔内圧力計を使用する等慎重な施工とした(写真-3)。

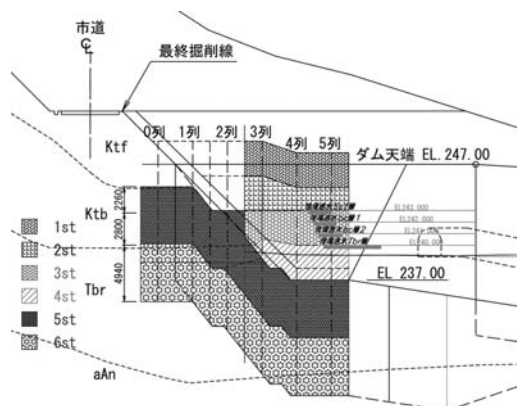


図-8 グラウチングステージ図



写真-3 グラウチング施工状況

### 3. 5 試験施工区間の開削調査と土質試験等による物性値の検討

ブランケットグラウチングを施工した試験施工区間において、地質状況の目視確認と土質試験等を実施するために、開削調査を行った(写真-4)。開削調査では、Ktf層やKtb層等の各層で試料採取し土質試験等が実施できるように、数段に分けて掘削した。試験施工区間で実施した主な試験は表-4のとおりである。今回実施した試験結果を評価するとともに、円弧すべり法及びブロックすべり法により再検討した。bc層は、開削調査により確認したところ、力学的には安定していると判断されたことから、透水試験のみ実施した。

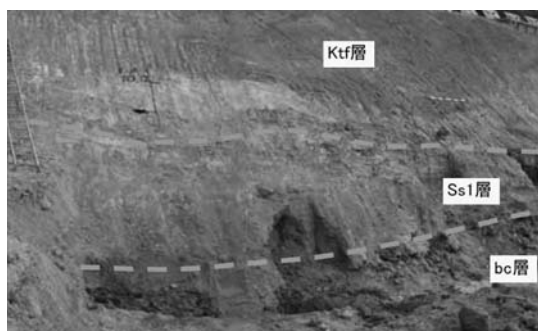


写真-4 開削状況

表-4 試験施工区間における実施試験一覧表

対象とする地層	試験方法
・ Ktf 層	一軸圧縮試験
・ Ktb 層 (Ss1 層)	一面せん断試験
	三軸圧縮試験(UU)
	現場透水試験
・ Ktb 層(bc 層) ・ Tbr 層	現場透水試験

### 3. 6 仮説の検証

#### ①高透水性ゾーンの存在

現場における簡易な地下水調査によりその存在が懸念された高透水性ゾーンは、トレンチ調査やルジオン試験により、その存在が明らかとなった。ただし、試験施工区間において開削による現位置透水試験を実施したところ、透水係数 $k = 0.96 \sim 2.85 \times 10^{-7} \text{m/sec}$ であり、グラウチングの効果により遮水性を確保できていることが確認できた(写真-5)。



写真-5 現場透水試験状況

## ②軟質部に沿ったすべり

試験施工区間において、基礎掘削面の法先15m付近まで改良効果を確認するために開削し、試料採取を行った。また、試料採取にあたっては、気泡ボーリングにより削孔した（写真-6、7）。表-4に示す試験を実施した結果、表-5に示す物性値が得られ、完全軟化強度（表-3）よりも高い物性であった。



写真-6 気泡ボーリングの施工状況



写真-7 石膏で固めたサンプリング試料

表-5 Ss1層内の細粒凝灰岩の試験結果

	三軸強度		一面せん断強度	
	c(kN/m <sup>2</sup> )	φ(°)	c(kN/m <sup>2</sup> )	φ(°)
No.1	65.00	14.60	159.4	17.1
No.2	64.00	9.10	102.8	14.9
No.3	75.00	16.80	45.2	14.7

## 3. 7 解析のためのモデル化

フィル部の基礎掘削期間中における法面の安定性を照査するため、従来から実施している円弧すべり

べり（進行性破壊）モデルに加えて、ブロック状すべりモデルを用いて検討することとした。Ktf及びKtb層の中の細粒凝灰岩等の軟質部がすべり面になると考えられるため、境界面に沿ったブロック状のすべりを表現している（図-9）。

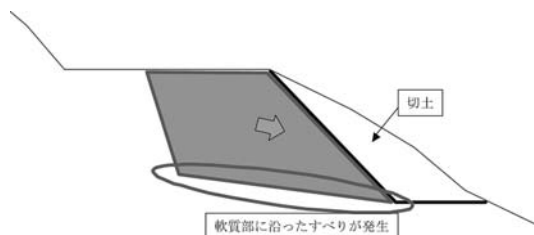


図-9 ブロック状すべりモデル

## 4. 課題の整理と評価の考え方

軟質部を通るブロック状すべりモデルによる照査とこれらに必要な調査・試験を行っていたところ、約1割勾配、高さ6mで掘削したKtf層の法面の一部が小崩壊する現象が生じた（写真-8）。すべり面を調査したところ、潜在亀裂面（軟質部）を通るブロック状の土塊がすべる現象であった。このため、横断方向に数箇所Ktf層の表面を削り取り、亀裂の調査及びトレンチを行ったところ、潜在亀裂が確認された。このことからブロック状すべりが発生する可能性が極めて高いと判断されたため、逆解析を用いて物性値の評価を行った。これらの現象及び解析から、左岸部の安定性の照査を行う上で多くの知見が得られた。小崩壊は不幸中の幸いであり、4. で述べた解析モデルによる照査の必要性が明確となった。

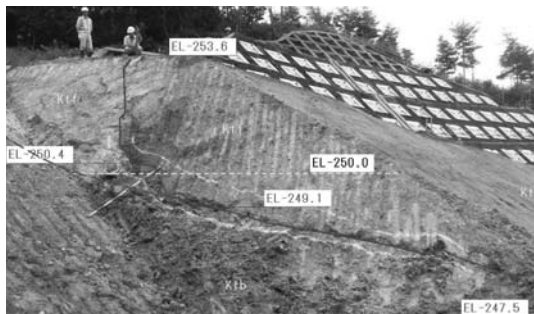


写真-8 Ktf層の小崩壊状態

### (1)法面の安定性評価

これまで述べたように、従前の考え方では、法

表-6 法面安定性の照査方法の比較

区分	従前の照査の考え方	今回行った照査の考え方
解析モデル	①進行性破壊モデル	①進行性破壊モデル ②ブロック状すべりモデル
照査区分(1)	①市道掘削断面 ②堤体掘削断面(基礎掘削時) ③堤体築堤断面(完成時)	①市道掘削断面 ②堤体掘削断面(基礎掘削時) ③堤体築堤断面(完成時)
照査区分(2)		2つの破壊モデルを用いて市道～基礎掘削面までの各断面について照査する(注:詳細は5-(1)-2)に述べる)

※照査区分(1) : Ktf 層, Ktb 層を一樣な断面と想定した照査  
照査区分(2) : Ss1 層などの軟質部を通るすべりを考慮した照査

表-7 ブロック状すべりモデルにおける物性値

区分	軟質部			細粒凝灰岩	
	$\gamma_s$	c	$\phi$	c	$\phi$
Ktf(D級)	16.79	8.7	4.7	45.2	9.1
Ktf(CL級)	16.85	8.7	4.7	45.2	9.1
Ktb	18.39	8.7	4.7	45.2	9.1

※軟質部 : 小崩壊からの逆算値  
細粒凝灰岩 : 不攪乱試料を用いた試験結果(表-5 参照)

表-8 安定性の照査のケース

区分	検討モデル	照査結果と対策
市道からダム天端 (永久法面)	進行性破壊モデル	OK(常時, 地震時)
	ブロック状すべりモデル	NG対策工必要(常時, 地震時共)
市道から Ss1 層下面(EL. 243) (施工時, ダムセンター)	進行性破壊モデル	NG対策工必要(常時, 地震時共)
	ブロック状すべりモデル	OK(常時, 地震時)
市道から Ss1 層下面(EL. 241.5) (施工時, ロックゾーン)	進行性破壊モデル	NG対策工必要(常時, 地震時共)
	ブロック状すべりモデル	OK(常時, 地震時)

面を構成する Ktf, Ktb 層は, 表-3 に示す物性値でモデル化でき, 進行性破壊モデルに基づく方法により照査が可能であると考えてきた。しかしながら, これまで述べてきたように, ① Ktb 層内の軟質部である Ss1, bc 層の力学的な評価が必要と考えられたこと, ② Ktf 層の潜在亀裂を評価することが必要なこと等の理由から, 表-6 に示す考え方により法面の安定性の照査を行うこととした。

1) 物性値

進行性破壊モデルにおける照査に用いる物性値は表-3 の通りであるが, ブロック状すべりモデルで照査する場合の物性値は, 表-7 とした。軟質部のせん断強度は Ktf 層の小崩壊断面において, 安全率  $F_s$  を 0.95 とし, 細粒凝灰岩の繰り返し一面

せん断試験で得られた関係式  $\tau = 0.083 \sigma + 14.93 \text{ kN/m}^2$  及び安全率が 0.95 となる組み合わせを試算し, 逆算することにより求めた。細粒凝灰岩強度については, 軟質部でサンプリングした試料を用いて行った三軸試験値, 一面せん断試験値のうち安全側を考慮して最低包絡値を採用することとした(表-5 参照)。

2) 解析断面の設定と安定性の照査

現場における調査の結果, Ktb 層のうち bc 層の進行性破壊は考えられないことから Ss1 層下端面を通るすべり面を想定する。また, それぞれの標高については現地における調査結果を用いて解析断面を設定することとした。表-8 に示すような検討ケースを想定し, 必要な対策工法を決定した。

なお、bc層下端面でのブロック状すべりは考慮しなかったが、確認のために照査したところいずれの場合についても必要な安全率を確保していた。

対策工は、写真-9に示すとおり、永久法面においてはアンカー工を、フィルダムのロック敷においては切土補強土を施工する予定である。

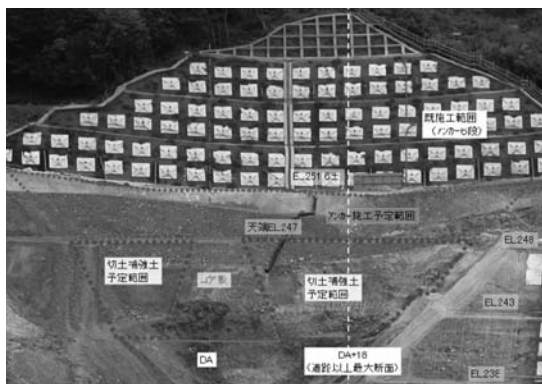


写真-9 対策工実施予定図

## (2)透水性の評価

試験施工区間で実施したブランケットグラウチングにおけるルジオン試験結果では、bc層付近において高透水性の層の存在が確認されていた。高透水性の層に対するグラウチングの改良効果を確認するために、開削し現場透水試験を実施した。Ss1層、bc層（上部・下部）、Tbr層の4断面で現場透水試験が実施できるように、試験施工区間を各層毎に分けて掘削した。試験方法は、オーガー法（注水法）を採用した。各層で実施した現場透水試験の結果を表-9に示す。現場透水試験の結果から、透水係数が $10^{-7}$ m/secオーダーであった。このことから、ブランケットグラウチングによる改良効果が確認された。

表-9 現場透水試験の結果

試験区分	透水係数 m/sec	備考
Ss1層	$2.85 \times 10^{-7}$	各面6か所のデータの平均値
bc層上部	$2.57 \times 10^{-7}$	
bc層下部	$0.96 \times 10^{-7}$	
Tbr層	$1.97 \times 10^{-7}$	

## 5. 現場施工に向けた検討

外山ダム左岸掘削法面は、①進行性破壊モデル、②ブロック状すべりモデルの2つの破壊メカニズムを想定して安定性の評価を行った。また、掘削対象となるKtf、Ktb層とも潜在亀裂が多く存在することが想定され、またスレーキングが激しい地層であることが確認されている。このようなことから、以下の点を考慮して現場施工を行った。

### (1)スレーキング対策

アンカー工の施工にあたって、全断面掘削工法では施工中にスレーキングが進行するため、千鳥に施工するとともに施工法面形成後、速やかにモルタルを吹き付け被覆する。また、千鳥に施工することにより地山の緩みを極力防止することとした。

### (2)長期耐久性対策

付替市道法面のアンカー受圧板施工予定箇所は、法面形成後約1年が経過している。上述のように、トレンチ掘削調査等により観察したところ、潜在亀裂面が酸化していることが明らかとなった。このため、道路予定路面下20cmをコンクリートで置き換え、法面のモルタル吹付けと連続性を持たせることにより、基礎地盤の耐久性を確保する対策を行った。

### (3)地表水、地下水対策

基盤となる法面の被覆対策と併せて、地表水、地下水が基礎地盤に浸入しないような排水対策を行っている。

### (4)動態観測

左岸部法面については、GPS、光波測量、ロードセル等を用いた動態観測を法面掘削作業開始前より行っている。これに加え、置換えコンクリート上に設置した鈎の変位を直接計測する方法を追加し、掘削、削孔、緊張の各施工段階毎に動態観測を行う。

このように、法面の安定性を照査した内容を現場で確認できるような管理方法とした施工計画を立案している。

## 6. 考察とまとめ

外山ダムの基礎掘削、ブランケットグラウチングの試験施工等の着手に当たり、法面の安定性、遮水性に関する基本的な設計思想を検証する過程において生じた矛盾点を、上述のような考え方と

手順に従って検討した。結果として、施工段階において明らかとなった事実に基づく照査を行い、対策工を実施することになった。これらの検討経過を考察すると以下の通りである。

#### (1)現場における現象の解釈

ダムに限らず農業水利施設は、面的に広い範囲の地盤状況を限られた地質情報等を基に、構造物の断面決定を行うためにモデル化する必要がある。特に、複雑な基礎地盤のモデル化は極めて困難である。かといって、現場条件を再現しないようなモデルを用いて照査したとしてもその安全性に対する保証はない。現場技術者にとって常につきまとう課題である。今回の事例では、モデル化された基礎地盤の物性値、水理特性が「現場における地下水位データ、地下水調査、トレンチ調査と整合しているのか。」という疑問を確かめることからスタートしている。「それぞれの現象が適切に解釈できるのかどうか。」という設問に対し、現場技術者が自ら答えることが重要である。

#### (2)解析モデルの施工段階での確認

外山ダムにおいても複雑な地盤構造を評価し、二次元の解析モデルを用いて安全性を照査している。今回、この解析モデルと現場条件との整合性を確認することが可能となる施工方法を採用した。具体的には、先行して掘削できる断面を用いて評価（土質試験等）することにより、完成断面が解析モデルの照査条件を満足するか否かを予測しながら進めることとした。掘削手順としては、計画された断面に基づき施工性を優先した段取りで進めたいところであるが、解析モデルと現場の地盤が異なった場合、選択できる対策が限られることになる。外山ダムは、解析モデルを施工段階で確認する方法としたため、手戻りなく施工を進めることができた。このようなことから、それぞれの現場条件にあった施工段階での地盤確認について創意工夫することが必要であろう。

#### (3)外力（作用）、安全性の照査と施工断面との関係

施工途中段階においては多様な断面が生じ、それぞれの条件に対応して安全性の照査がなされている。一般的には「仮設断面」として、外力、安全率は、完成時に比較して割り引いている。しかし、外山ダムについては以下の懸念があるため、外力として地震力を考慮し、安全率についても完成時と同様とした。①部分的な小崩壊が法面全体の不安定化を招く危険があること。②遮水対策を

行ったアバット部に影響があること。③基礎掘削断面の状態が2年以上あること。④過去2年間に震度Ⅳが4回発生していること等から、仮に法面に亀裂等が発生した場合、修復が困難であり地山全体の再施工が必要となる可能性がある。外山ダムの例のように、「一律に仮設断面である。」として照査するのは必ずしも適切ではない場合が少なくない。安全性の照査に当たっては、事例毎に重要度区分の概念を用いることが必要であると考えている。

#### (4)設計思想の確認と動態観測

施工現場に安全な施設を完成させるためには、設計思想を満足するかどうかを直接、施工段階で確認することが重要である。今回のケースについては、上述のような施工上の工夫と動態観測を行いながら施工を進めることとした。

#### (5)まとめ

施工現場においては、当初想定した設計条件と異なる場合が少なくない。特に、地質、地下水については、掘削して初めて明らかとなる情報も多くある。このような場合、設計条件が異なり、構造物や斜面の安定性の照査を見直す必要が生じる。施工段階でこのような事態になると工事中断や手戻りが生じる。これを防ぐためにも現場計測の活用が必要と考えている<sup>1)</sup>。

今回の事例においても、当初段階で明らかになっていた課題を施工段階で順次トレンチ調査、土質試験等で確認することにより、適切な判断材料が得られるとともに、安定性の照査ができたものと考えている。

設計思想を施工現場で確認することが重要であることは言うまでもないが、現場を担当する技術者は現地を良く見て判断することが最も重要であると言える。

#### 参考文献

- 1) 米山元紹：現場計測を活用した設計施工事例と考察，農土誌，2005，pp569～572

# 砕・転圧盛土工法による老朽化フィルダムの堤体改修の設計法(1)

福 島 伸 二\* 谷 茂\*\* 北 島 明\*\*\* 五ノ井 淳\*

(Shinji FUKUSHIMA) (Shigeru TANI) (Akira KITAJIMA) (Jun GONOI)

## 目 次

1. まえがき	31	3. フィルダムとため池の相違	33
2. 砕・転圧盛土工法による堤体改修	31	4. 底泥土の固化処理強度に及ぼす粒度の影響	35

### 1. まえがき

国には築造年代の古いフィルダム（堤高 $H \geq 15\text{m}$ ）が約1,700～1,800箇所あるとされている<sup>1)</sup>。これらのうちの多くは、堤体が老朽化して侵食等による断面不足により安定性が不足している、堤体や基礎地盤から漏水しているなど早急な堤体改修を必要とされており、あるいは貯水池内に底泥土が厚く堆積して貯水容量の減少や水質悪化により機能低下に陥っているなど底泥土の除去処分や機能更新を必要とされる事例が多い。特に、大規模地震の発生が想定されている地域に立地しているものは早急な耐震補強が必要であり、集中豪雨に対する洪水対策や少雨による渇水対策が求められるものは機能回復のための改修が必要である。しかし、最近では堤体改修に必要とされる強度と遮水性を有する築堤土を入手することが困難になってきたことや底泥土を処分するための土捨て場がなくなってきたことから、改修が計画的に進まない状況にある。このような状況はため池（ $H < 15\text{m}$ ）の場合と同様であるが、フィルダムでは規模が大きいことから改修には大量の築堤土を必要とし、かつ大量の底泥土を除去処分しなければならないなど、より深刻である。

これまでに、筆者らはため池を対象として池内に堆積した底泥土をセメント系固化材により固化処理することで、築堤土を人工的に製造し、堤体の補強や漏水防止のための築堤を可能とする砕・転圧盛土工法を開発し<sup>2)～5)</sup>、10箇所のため池の堤体改修に適用してきた<sup>6)～10)</sup>。砕・転圧盛土工法は

堤体改修と底泥土の除去を同時に達成でき、かつ所要の強度を有する築堤土を人工的に製造できることから、より急勾配法面での改修が可能などの利点を有している。

老朽化したフィルダムは堤高 $H = 30\text{m}$ 未満の比較的小規模で、かつため池と同じように均一型か、あるいはこれに近い堤体構造をしている事例が多く、ため池で採用される改修法をそのまま適用できるものと考えられる。しかし、フィルダムはため池に比較して単に堤体規模が大きいだけでなく、(1)流入河川が大きく池内には底泥土だけでなく砂礫質土も堆積するなど底泥土の粒度が池内の堆積位置で大きく変化する、(2)堤体規模が大きいために安定計算で対象となるすべり面上の応力レベルが高い、(3)堤体安定に必要とされる砕・転圧盛土工法による築堤土の強度レベルが高い、などの相違点がある。

本稿ではフィルダムの堤体改修を砕・転圧盛土工法を適用して行うことを想定し、フィルダムとため池の以上の相違点に起因した問題点と、これらを考慮した設計法を提案するものである。

### 2. 砕・転圧盛土工法による堤体改修

#### 2.1 砕・転圧盛土工法の概要

砕・転圧盛土工法は、図-1に概念的に示すように、ため池やフィルダムの堤体改修と池内の底泥土の除去処分を同時に達成するために、底泥土をセメント系固化材により固化処理して所要の強度と遮水性（現場での透水係数 $k \leq 1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ ）を有する築堤土に改良し、堤体の補強や漏水防止のための築堤を行うものである。築堤土は一定期間 $t_s$ だけ固化させた底泥土（これを初期固化土という）を規定の最大粒径 $D_{\text{max}}$ で解砕することで製

\*株式会社土木本部 (Tel. 03-3796-2297)

\*\*独農研機構農村工学研究所

\*\*\*株式会社技術センター

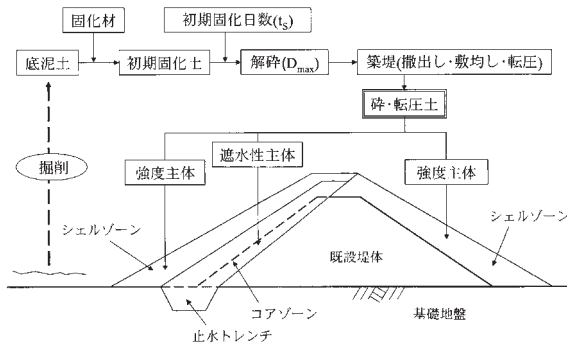


図-1 砕・転圧盛土工法の概念図

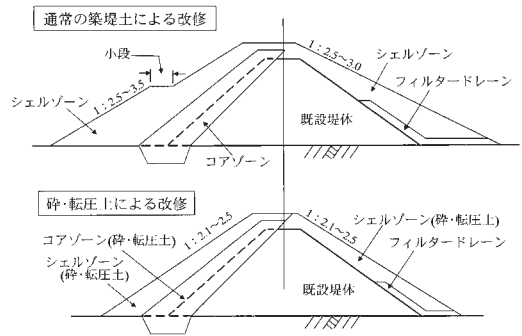


図-2 通常の築堤土と砕・転圧土による堤体改修の比較

造し、築堤は一層毎に通常の築堤土と同様に均一に撒出し、一定層厚で敷均して転圧して行うものである（これを砕・転圧土という）。

砕・転圧土は一定の初期固化期間 $t_s$ だけ経過した固化途中の初期固化土を解砕・転圧したものであり、その全養生期間は解砕・転圧後の養生期間 $t_{cc}$ を合わせた $t = t_s + t_{cc}$ になる。 $t_s$ は解砕・転圧直後の強度やその発揮される再固化強度に影響する。また、 $D_{max}$ は遮水性と強度の両方に影響し、 $D_{max}$ の大きい砕・転圧土ほど強度が大きく、透水係数も大きくなる。このため、砕・転圧土により所要の強度と遮水性を有する均一な堤体を築造するには $t_s$ や $D_{max}$ を適切に管理することが必要であり、この点が一般の土質改良工と異なる点である。

従来、底泥土のような軟弱土の固化処理土は埋戻し材や裏込め材として各種工事で有効利用されてきた<sup>11)</sup>。しかしながら、これらは単なる底泥土の固化処理土（ここでいう初期固化土）であり、固化処理強度を固化材添加量 $\Delta M_c$ の加減により容易に制御できるが、通常の築堤土に比較して破壊ひずみが小さく脆性的なひずみ軟化型の応力～ひずみ特性にある。このため、既設堤体に腹付けた場合を想定すると、既設・新設堤体間に極端な強度や変形性の相違に起因するクラックが生じやすく貯水用の堤体には使用できなかった。砕・転圧盛土工法は、このような固化処理土を築堤土として使用する場合における問題を、初期固化させた底泥土を固化途中に解砕して通常の築堤土と同様に転圧して築堤すると、再固化時の応力～ひずみ特性が通常の築堤土に近いひずみ硬化型になる性質を利用して既設堤体との密着性（なじみ）を良くしたものである。

## 2.2 砕・転圧盛土工法による堤体改修の特徴

フィルダム堤体の補強や漏水防止は、図-2に概念的に示すように、既設堤体の上流側に遮水のためのコアゾーンと補強のためのシェルゾーンを、下流側に浸潤面が法面途中に現れないように浸透水を速やかに排水できるフィルタドレーンを配置してシェルゾーンを腹付けるのが普通である。

通常の築堤土は強度と遮水性のどちらにも優れたものではなく、強度に優れたものは遮水性に劣り、逆に遮水性に優れたものは強度面で劣るのが普通である。したがって、貯水機能を受け持つコアゾーンには遮水性に優れた細粒分の多く含む粘性土系の築堤土、堤体安定化を受け持つシェルゾーンには強度に優れた築堤土のようにゾーン毎に築堤土を使い分ける必要がある。しかしながら、実際の堤体改修では、ダムサイト近傍でコアゾーンに適した築堤土とシェルゾーンに適した築堤土をそれぞれ必要量確保できるわけではなく、入手可能な築堤土が強度に優れた場合でも使用せざるをえないことが多い。このため、堤体上流側は水位急降下時の残留間隙水圧による有効応力低下から法先部が不安定化しやすく、はらみ出し変形が生じることがある。したがって、通常の築堤土による堤体改修は、図-2の上の図に示したように、築堤土が有する強度に応じて勾配を緩くするか、あるいはすべり抵抗を大きくするために小段や幅広のシェルゾーンを採用して安定性を確保することになる。結果として、堤体土工量を大幅に増加させ、かつ貯水容量を大幅に減少させてしまう。

砕・転圧盛土工法による砕・転圧土は、固化材の水和反応による土粒子の化学的固結構造のために粘着力成分が卓越した強度特性を有し、かつ細



粒分を多く含む底泥土を原料土としているため遮水性にも優れている。したがって、砕・転圧土は固化材添加量の加減により強度を簡単に制御できることから、図-2の下の方の図に示したように、急勾配法面で強度と遮水性のあるコアゾーン、あるいはシェルゾーンを築造することが可能で、改修に必要な堤体土工量を大幅に抑制できる利点がある。また、池内に堆積した底泥土を築堤土に利用するため堤体改修による貯水容量は減少することはない。

### 3. フィルダムとため池の相違

#### 3.1 底泥土の堆積位置による粒度の相違

フィルダムはため池に比較して貯水池内に堆積している土砂の粒度が池内の場所で大きく異なる場合が多い。ため池は平地に設けられ、流入河川が小規模で勾配も緩く、貯水池も小規模な場合が多い。したがって、池内に堆積する底泥土はほとんどシルト・粘土のような細粒分からなる高含水比土となることが多く、底泥土を固化処理した時の強度は含水比だけで管理することが可能である。

一方、フィルダムは中山間地のような傾斜地に設けられ、ため池に比較して貯水池や流入河川の規模が大きく、池内には洪水時に貯水池内に砂礫のような粗粒土砂が流れ込むこともある。このため、底泥土は池内堆積位置により粒度が異なり、図-3に概念的に示すように、河川流入部の上流域では砂礫等の粗粒分を多く含む低含水比土になりやすいが、堤体付近には砂礫分が到達しにくく細粒分を多く含む高含水比土になりやすい。したがって、フィルダムでは粗粒から細粒までの広範囲な粒度をもつ底泥土を固化処理することになり、強度管理には含水比だけでなく粒度の影響を考慮しなければならない。また、粗粒分を多く含む底泥土は少ない固化材で高強度を達成できることが

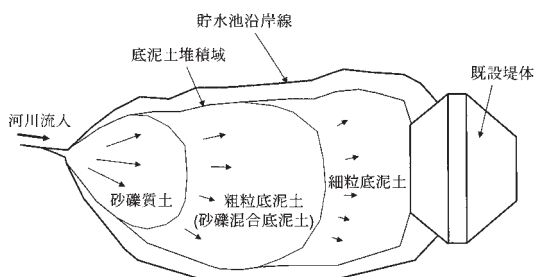


図-3 フィルダム貯水池に堆積する底泥土や砂礫土

利点となるが、細粒分の不足により遮水性を確保しにくくなることに注意しなければならない。

そこで、フィルダムの堤体を砕・転圧盛土工法により改修するには、図-4に概念的に示すように、堤体を急勾配法面でも安定化できる強度を要する堤体部（シェルゾーン）と、貯水機能を果たすための遮水性を要する堤体部（コアゾーン）とに分けて築造することを基本とする。すなわち、コアゾーンは堤体に近い細粒分の多い底泥土を用いて、強度よりも遮水性を重視した砕・転圧土により築造する。また、シェルゾーンは堤体から離れた上流域の粗粒分を多く含む底泥土を使用して強度主体の砕・転圧土により築造する。底泥土を粒度により使い分けると、固化材添加量を節約できる利点が生じる。すなわち、コアゾーンでは遮水性を確保するために細粒分が多い底泥土を使用するが、必要とする砕・転圧土の強度レベルが低く少ない固化材添加量でよいことになる。また、シェルゾーンでは強度レベルの高い砕・転圧土が必要であるが、粗粒分が多い底泥土を用いることで少ない固化材添加量で高強度が達成できる。なお、河川流入部付近に砂礫のような良質土が堆積している場合には、堆積土は固化処理することなくそのままシェルゾーンの築造に使用するものとする。

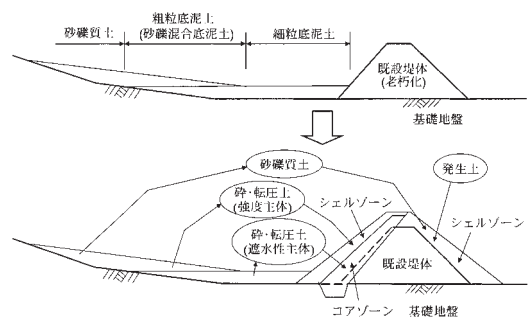


図-4 砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修

#### 3.2 安定計算で対象となる応力領域の相違

砕・転圧土のような固化処理土の強度は、通常の築堤土のように密度や土粒子間のかみ合わせによるものではなく、固化材による化学的な固結構造強度が重要な役割をしている。しかしながら、固結構造強度がある応力レベルを超えると降伏することから、砕・転圧土の強度特性は応力レベルの影響を強く受け、強度パラメータは、図-5に概念的に示すように、応力レベルが固結構造強度

に影響を及ぼす応力レベル  $\sigma'_{IP}$  (後述する固結構造降伏応力) を超えると粘着力が卓越する材料から摩擦性材料材へと大きく変化する。すなわち、砕・転圧土の破壊規準は  $\sigma'_{IP}$  を境にした低応力領域LP:  $\sigma' \leq \sigma'_{IP}$  だけでなく、高応力領域HP:  $\sigma' > \sigma'_{IP}$  での広範囲な応力領域での強度パラメータを表現できるバイリニア型破壊規準を採用するのが合理的である。

フィルダムは、図-5に概念的に示したように、ため池に比較すると堤体規模が大きいので、安定計算で対象とするすべり面上の応力領域が広くかつ高い。すなわち、ため池は堤体規模が小さく、安定計算で対象となるすべり面上の応力領域  $\sigma'_{SD}$  が応力レベル  $\sigma'_{IP}$  より低い範囲 ( $\sigma'_{SD} \leq \sigma'_{IP}$ ) にあり、砕・転圧土の応力レベルによる強度特性の相違を考慮する必要はなかった。これに対して、フィルダムは堤体内を通るすべり面上の応力レベル  $\sigma'_{LD}$  が  $\sigma'_{IP}$  を超えることもあり ( $\sigma'_{LD} > \sigma'_{IP}$ )、砕・転圧土の応力レベルによる強度特性の相違を考慮する必要がある。

したがって、フィルダムの砕・転圧土による堤体補強における安定計算では応力レベルの影響を考慮した強度パラメータを採用しなければならない。

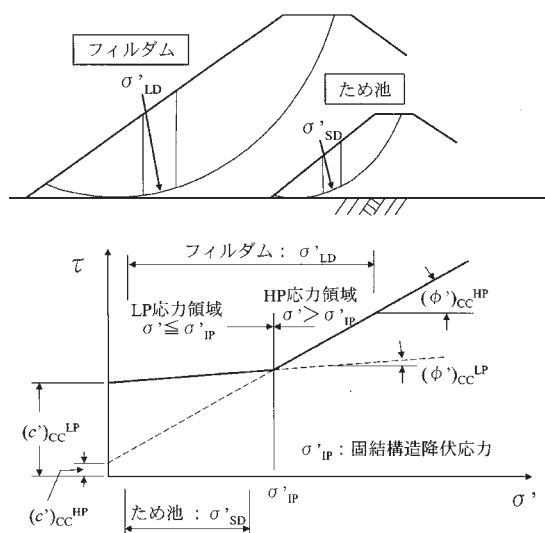


図-5 フィルダムとため池における安定計算で対象となる応力領域の比較

### 3. 3 砕・転圧土の強度レベルの相違

フィルダムではため池よりも規模が大きいことから、一般に堤体安定に必要な砕・転圧土の強度

レベルはため池の場合よりも高く設定することになる。このため、砕・転圧土による新設堤体と既設堤体との間に生じる極端な強度や変形性の相違に起因した影響を緩和するための対策が必要となってくる。この方法として、砕・転圧土による新設堤体と既設堤体との間で強度や変形性が急変しないように強度レベルを変えてゾーニングすること、すなわち図-6に示す水平ゾーニングや、図-7に示す傾斜ゾーニングをして築堤することが考えられ、これらは堤高Hに応じて以下のように使い分けられよう。

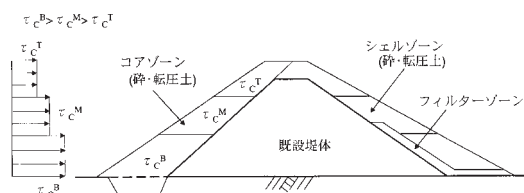


図-6 水平強度ゾーニング

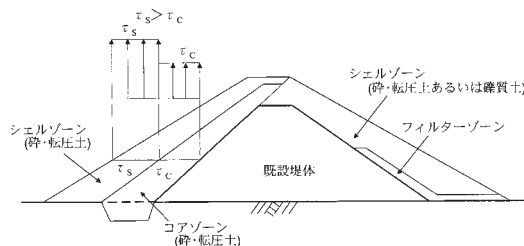


図-7 傾斜強度ゾーニング

#### a) 堤高が小さい場合 (15m ≤ H < 20mが目安)

水平ゾーニングは、図-6に概念的に示すように、砕・転圧土部をコアゾーンだけにして、その中の強度レベルを堤体の高さ方向に段階的に変化させるもので、堤体下層部ほど堤体安定上有利なように高強度の砕・転圧土により、地震時に堤体が大変形して極端な強度や変形性の相違の影響が大きい堤体上層部を低強度の砕・転圧土により築造するものである。

水平ゾーニングはコアとシェルに分けて傾斜ゾーンとする図-4に示したような堤体改修の基本形式と異なるが、堤高がこの範囲の堤体では堤体安定に必要な強度がそれほど高くなく、遮水性を満足させつつ強度も確保できると考えられる。また、このゾーニングパターンは同一築堤面において1種類の配合の砕・転圧土による堤体改修が

可能であり、規模の小さい堤体工事に適しているといえる。

#### b) 堤高が大きい場合 (20m ≤ H < 30m が目安)

堤高がさらに大きい堤体では、砕・転圧土の強度レベルが急勾配で堤体を安定させる必要から高くなるので、遮水性を満足させながら強度を確保することが難しい。このため、堤体改修は、図-7に概念的に示すように、既設堤体からコアゾーン、シェルゾーンに向かって、あたかもロックフィルダムのコアゾーン、トランジションゾーン、ロックゾーンのように段階的に強度レベルを高くして傾斜ゾーニングすることが考えられる。

コアゾーンは強度よりも遮水性を満足するように細粒底泥土から製造した低強度の砕・転圧土により、シェルゾーンは遮水性よりも強度を重視した粗粒底泥土から製造した高強度の砕・転圧土により築堤するものとする。コアゾーンとシェルゾーンからなるゾーニングパターンとしても、なお強度差が生じてしまう場合には、両ゾーン間にさらに緩衝ゾーンとして中間の強度をもつトランジションゾーンを追加するものとする。

### 4. 底泥土の固化処理強度に及ぼす粒度の影響

#### 4.1 底泥土の細・粗粒分分離モデル

フィルダムでは、池内の底泥土の粒度が堆積位置により大きく異なり、堤体近くには細粒分を最も多く含む高含水比底泥土が堆積し、堤体から離れた上流域ほど粗粒分の多い底泥土が堆積しているのが普通である。底泥土は主に流域内の降雨による土砂流出や流入河川が河床を掃き流した土砂が堆積したものなので、その物理化学的性質は流域や河床の地質状況に規定されるものと考えられる。このことから、同一池内にある底泥土の物理化学的性質は基本的に同じであり、上流域に堆積した底泥土は、洪水時に堤体付近にある細粒分が最も多く含む底泥土に物理化学的性質に影響を及ぼすことが少ない粗粒分だけが加わったものと考えられる<sup>12)</sup>。

底泥土の物理化学的性質は微小な粘土粒子とその周囲の水との間の界面作用であるが、指標として界面作用の大きな粘土粒子を多量に含むほど大きな値を示す塑性指数 $I_P$ が適している。また、底泥土の粒度の指標は、粒径 $75\mu\text{m}$ 以下の粘土・シルトの細粒分含有率 $F_c$ が遮水性の目安となることや、現場で簡単に実施できる液性・塑性限界試験

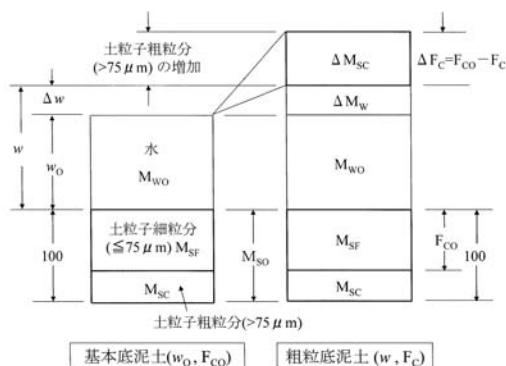


図-8 底泥土の細・粗粒分分離モデル

が適していよう。

底泥土の粒度の影響は、堤体付近に堆積した細粒分を最も多く含む底泥土を基本として、図-8に概念的に示す $75\mu\text{m}$ 以下の細粒分とこれを超える粗粒分に分離したモデルを用いて扱うことにする。基本底泥土の基準含水比 $w_0$ と細粒分含有率 $F_{co}$ は、土粒子の質量を $M_{s0} = M_{sf} + M_{sc}$  ( $M_{sf}$ は $75\mu\text{m}$ 以下の土粒子分の質量、 $M_{sc}$ は $75\mu\text{m}$ を超える土粒子分の質量)、水分の質量を $M_{w0}$ とすると、それぞれ

$$w_0 = (M_{w0}/M_{s0}) \times 100 \quad (1)$$

$$F_{co} = (M_{sf}/M_{s0}) \times 100 \quad (2)$$

になる。これに対して、池上流域に堆積した底泥土は基本底泥土に粗粒分 $\Delta M_{sc}$ とこれに含まれる水分 $\Delta M_w$ が加わったもので、土粒子分の質量が $M_s = M_{s0} + \Delta M_{sc}$ 、基本底泥土と粗粒分に含まれる水分変化 $\Delta M_w$ を含めた全体の水分質量が $M_w = M_{w0} + \Delta M_w$ となる。したがって、上流域の底泥土の全体含水比 $w_T = (M_w/M_s) \times 100$ は、 $w = w_0 + \Delta w$ を基本底泥土に新たに加わった粗粒分 $\Delta M_{sc}$ を除いた基本底泥土状態での含水比とすると、 $\Delta w = (\Delta M_{sc}/M_{s0}) \times 100$ を考慮すると

$$w_T = w / (1 + \Delta M_{sc}/M_{s0})$$

となる。したがって、 $F_c = (M_{sf}/M_s) \times 100$ は上式を考慮すると

$$F_c = F_{co} \cdot (w_T/w) \quad (3)$$

となる。なお、上流域底泥土の $\Delta w = 0$  ( $\Delta M_w = 0$ )における全体含水比 $w_T = w_{T0}$ は基本底泥土( $w_0, F_{co}$ )に水分の増加なしに粗粒分 $\Delta M_{sc}$ だけが加わった時の基準全体含水比

$$w_{T0} = (F_c/F_{co}) \cdot w_0 \quad (3)'$$

である。

## 4. 2 初期固化土と砕・転圧土の供試体の作製

### 4. 2. 1 粒度調整底泥土の準備

試験には基本底泥土として西大谷ダム（静岡県）から採取した底泥土I<sub>03</sub>（F<sub>CO</sub> = 95%，w<sub>0</sub> = 72%，I<sub>F</sub> = 27%）を選択し、これに粗粒分として単粒の3種類の砂7号（粒径範囲0.07～0.2mm），5号（0.3～0.7mm），3号（1.2～2.5mm）を空気乾燥状態で質量比1：1：1の割合で混合した粒度調整砂（ここでは砂753という）を使用した。

基本底泥土に混入させた粗粒分との混合比は底泥土I<sub>03</sub>の体積V<sub>Mud</sub>と砂753（空気乾燥状態）の体積V<sub>Sand</sub>の比

$$m_v = V_{\text{Sand}}/V_{\text{Mud}} \quad (4)$$

により表示する。室内試験における供試体の作製には体積比m<sub>v</sub>では不便なので、質量比m<sub>w</sub>

$$m_w = M_{\text{Sand}}/M_{\text{Mud}} = (\rho_{\text{IS}}/\rho_{\text{IM}}) \cdot m_v \quad (4)'$$

を用いた。なお、基本底泥土I<sub>03</sub>の密度ρ<sub>IM</sub>はヘドロや泥土のρ<sub>t</sub>～w関係<sup>13)</sup>により推定したρ<sub>tM</sub> = 1.55g/cm<sup>3</sup>とし、砂753の密度ρ<sub>IS</sub>は乾燥状態で水中落下させたときの平均値1.80g/cm<sup>3</sup>とした。図-9には底泥土I<sub>03</sub>と砂753、およびこれらを一定の割合m<sub>v</sub>で加えた粒度調整底泥土の粒度曲線をそれぞれ示す。また、表-1には各m<sub>v</sub>の粒度調整底泥土におけるF<sub>c</sub>と、式(3)により算定したw<sub>TO</sub>をそれぞれ示す。

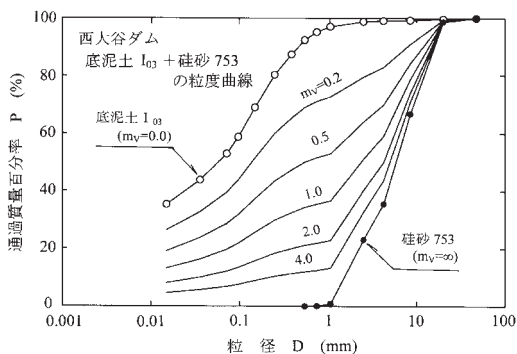


図-9 底泥土I<sub>03</sub>と砂753、及びこれらを一定割合で混合し粒度調整した底泥土の粒度曲線

表-1 粒度調整底泥土の含水比w<sub>TO</sub>と細粒分含有率F<sub>c</sub>

混合比 m <sub>v</sub> =V <sub>Sand</sub> /V <sub>Mud</sub>	基準含水比 w <sub>TO</sub> (%)	細粒分含有率 F <sub>c</sub> (%)
0.0	72 (=w <sub>0</sub> )	95.0 (=F <sub>CO</sub> )
0.2	53.9	71.1
0.5	39.0	51.5
1.0	26.8	35.3
2.0	16.4	21.7
4.0	9.3	12.3

### 4. 2. 2 初期固化土と砕・転圧土の供試体の作製

固化材は高含水比粘性土の固化処理に適したセメント系のうち一般軟弱土用を使用した。固化材添加量は底泥土1m<sup>3</sup>当りの質量ΔM<sub>c</sub> (kg/m<sup>3</sup>)として表示し、質量Mの底泥土の初期固化に必要な固化材量M<sub>c</sub>は固化対象である底泥土の密度ρ<sub>t</sub>から算定した(M<sub>c</sub> = M · (ΔM<sub>c</sub>/ρ<sub>t</sub>))。なお、粒度調整底泥土の密度ρ<sub>t</sub>は基本底泥土単体のρ<sub>tM</sub>と砂753の密度ρ<sub>IS</sub>から次式

$$\rho_t = (\rho_{tM} + m_v \cdot \rho_{IS}) / (1 + m_v) \quad (5)$$

により算定した。底泥土への固化材の添加はスラリー状態（水・固化材比w/c = 1.0）にして加え、小型ミキサーにより2分間だけ攪拌してまだ固まらない固化処理土を準備した。

初期固化土の供試体は、また固まらない状態にある固化材を加えた底泥土を内径Dと高さHがD/H = 50mm/100mmの成型モールド内に気泡が残らないように詰めて作製し、所定期間t = t<sub>s</sub>だけ養生して試験に使用した。

砕・転圧土の供試体は以下のように2段階に分けて作製した。まず、内寸法D/H = 100mm/200mmの大型成型モールドにより所定期間t<sub>s</sub>だけ養生した初期固化土を準備する。次に、初期固化土をストレートエッジにより辺長15mm程度のサイコロ状に解砕してから、内寸法D/H = 50mm/100mmの成型モールド内に2層に分けて「突固めによる土の締固め試験JIS A1210」のA法と同じ締固めエネルギーE<sub>c</sub> = 550kJ/m<sup>3</sup> (5.625kgf · cm/cm<sup>3</sup>)になるように質量1.5kgのランマーにより突き固めて所定期間t<sub>cc</sub>だけ養生して試験に使用した。

### 4. 3 初期固化土の強度に及ぼす粒度の影響

底泥土の粒度が初期固化土の強度に及ぼす影響を調べるために、w<sub>0</sub> = 72%にある基本底泥土I<sub>03</sub>に砂753をm<sub>v</sub> = 0.0, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0で加えた初期固化土にΔM<sub>c</sub> = 75, 100, 150kg/m<sup>3</sup>を加えた初期固化土の一軸圧縮試験を実施した。図-10には初期固化土の強度(q<sub>u</sub>)<sub>IS10</sub>（添字のISは初期固化土であること、10は養生日数t = 10日目の強度であることを表す）をF<sub>c</sub>に対して整理した結果を示す。図から、粒度調整底泥土の固化処理時の強度は粗粒分が増加してF<sub>c</sub>が低下すると急増することがわかる。細粒分を多く含む基本底泥土に粗粒分が加わった底泥土の固化処理強度は、基本底泥土による固化処理土をモルタルに例える

と、粗粒分を加えた底泥土による固化処理土は粗骨材を含むコンクリートに相当するものと考えられる。このような粗粒分増加 ( $F_c$ の減少) による強度 ( $q_u$ )<sub>IS10</sub> は、図-11に示すように、両対数グラフ上で  $F_c$  を  $F_{c0}$  により正規化した  $F_c/F_{c0}$  に対してプロットすると  $\Delta M_c$  によらず傾きがほぼ一定の直線

$$(q_u)_{IS10} = c \cdot (F_c/F_{c0})^d \quad (6)$$

により近似できることがわかる。ここで、 $c$  は  $\Delta M_c$  により決まる基本底泥土  $I_{03}$  ( $w_0$ ,  $F_{c0}$ ) の  $(q_u)_{IS10}$  の値、 $d$  は  $\Delta M_c$  や  $F_c$  によらない一定な直線の傾きである。図-10には上式により近似した  $(q_u)_{IS10} \sim F_c$  関係を示すが、これらの関係をうまく表現できることがわかる。上式の関係を利用すれば基本底泥土の  $w = w_0$  時の強度  $c = (q_u)_{IS10}$  がわかれば  $F_c$  による強度変化をうまく推定できる。なお、 $(q_u)_{IS10} \sim F_c$  関係の近似式はここで示した指数関数式が最も優れているわけではなく、他の関数でも近似可能と思われる。しかし、ここで指数関数にいたる近似式を採用した理由は、後述するように、 $(q_u)_{IS10}$  に及ぼす  $F_c$  と  $w$  の影響を個別に考える時に、これまでの研究<sup>4)</sup>で得られている  $(q_u)_{IS10} \sim w$  関係の近似式と同形式の方が便利であるからである。

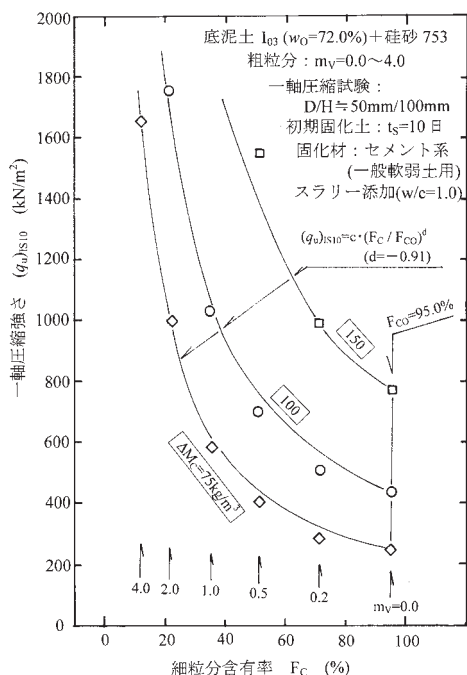


図-10 初期固化土強度  $(q_u)_{IS10}$  に及ぼす粒度  $F_c$  の影響

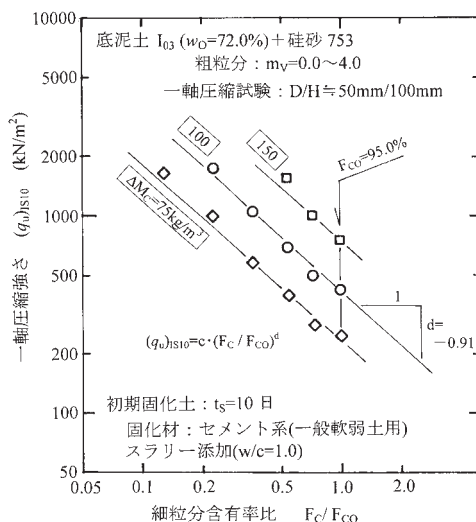


図-11 両対数上の強度  $(q_u)_{IS10}$  と粒度  $F_c$  の関係

#### 4. 4 初期固化土の強度に及ぼす含水比の影響

粗粒分を含む底泥土の  $(q_u)_{IS10}$  に及ぼす  $w$  の影響を調べるために、ある一定の  $m_v$  をもつ粒度調整底泥土を乾燥あるいは加水して基本底泥土状態での含水比が  $w = 60\%$ ,  $90\%$  になるように含水調整してから、 $\Delta M_c = 75 \text{ kg/m}^3$  を加えた初期固化土の  $(q_u)_{IS10}$  と  $w$  の関係を図-12に示す。 $(q_u)_{IS10} \sim w$  関係は  $w \neq w_0$  の強度  $(q_u)_{IS10}$  を  $w = w_0$  時の強度  $a$  により、 $w$  を  $w_0$  によりそれぞれ正規化して両対数グラフにプロットすると、底泥土の種類や  $\Delta M_c$  によらずに指数関数

$$(q_u)_{IS10} = a \cdot (w/w_0)^b \quad (b = -1.37) \quad (7)$$

によりほぼ近似できることがわかっている<sup>4)</sup>。図中の曲線は上式によるものであるが、粗粒分量  $m_v$  に関係なく比較的良い近似となっていることがわかる。このことは粗粒分を含む底泥土であっても  $w = w_0$  での強度  $a$  がわかれば粗粒分を除いた基本底泥土  $I_{03}$  のみの  $w$  の変化による強度を推定できること、すなわち粒度と含水比が強度に及ぼす影響を分離して評価できることを示している。

#### 4. 5 砕・転圧土の強度に及ぼす粒度の影響

粗粒分を含む底泥土からなる砕・転圧土の強度特性を調べるために、基本底泥土  $I_{03}$  に  $m_v = 0.5$  の粗粒分を加えた粒度調整底泥土を  $\Delta M_c = 100 \text{ kg/m}^3$  で初期固化させた時の  $(q_u)_{IS} \sim t_s$  関係 (●印) と、同配合の初期固化土を  $t_s = 1, 3, 5$  日に解砕・転圧した砕・転圧土の  $(q_u)_{CC} \sim t (= t_s + t_{cc})$  関係 (◇, ○, □印) の比較を図-13に

示す（添字のCCは砕・転圧土であることを表す）。図中の左半分黒塗りの記号は初期固化土を解砕・転圧した直後の $t_{CC} = 0$ 日目における強度 $(q_u)_{CC0}$ を示しているが、これは築堤時の施工機械のトラフィカビリティーに関する強度である。図から、砕・転圧土の強度 $(q_u)_{IS}$ は初期固化土状態における強度 $(q_u)_{IS}$ よりも小さく、 $t_s$ による影響が大きいことがわかる。また、 $(q_u)_{CC0}$ は $t_s$ が短い方が低いものの、 $(q_u)_{CC0}$ からの再固化時の強度増加が大きいことがわかる。このことは、 $t_s$ が短く初期固化程度の低いほど砕・転圧土状態における固化余力が残っており、再固化時の強度増加が大きくなるためと考えられる。実施工における $t_s$ は、築堤時の施工機械のトラフィカビリティーを確保するために必要な強度レベルにほぼ達する $t_s = 3$ 日を標準としている。

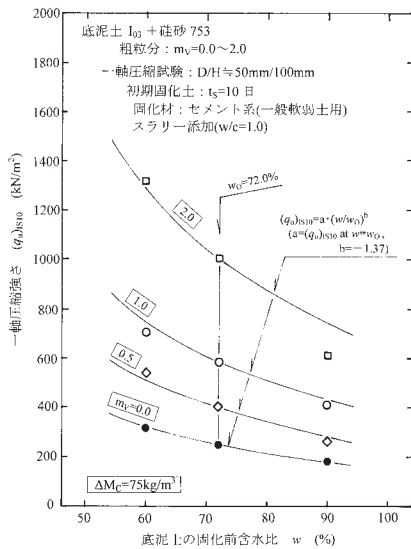


図-12 初期固化土の強度 $(q_u)_{IS10}$ と含水比 $w$ の関係

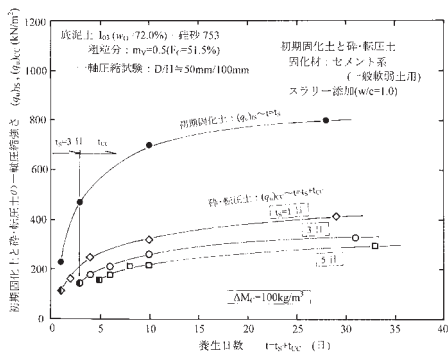


図-13 初期固化土の $(q_u)_{IS} \sim t_s$ 関係と砕・転圧土の $(q_u)_{CC} \sim t_s + t_{CC}$ 関係の比較 ( $\Delta M_c = 100 \text{ kg/m}^3$ )

図-14には、初期固化土からの解砕・転圧による強度低下に及ぼす $t_s$ の影響を調べるために、 $t = t_s + t_{CC} = 28$ 日目における強度比

$$R = (q_u)_{CC} / (q_u)_{IS} \quad (8)$$

を定義し、粗粒分 $m_v = 0.0$ と $0.5$ の底泥土からなる砕・転圧土の $R$ と $t_s$ の関係を示す。図から、 $m_v = 0.0$  (●印)と $0.5$  (○印)とでどちらも初期固化日数 $t_s$ が長いほど解砕・転圧による強度低下が大きく、かつ粗粒分が多いほど強度低下が大きく $R$ 値は小さくなることがわかる。

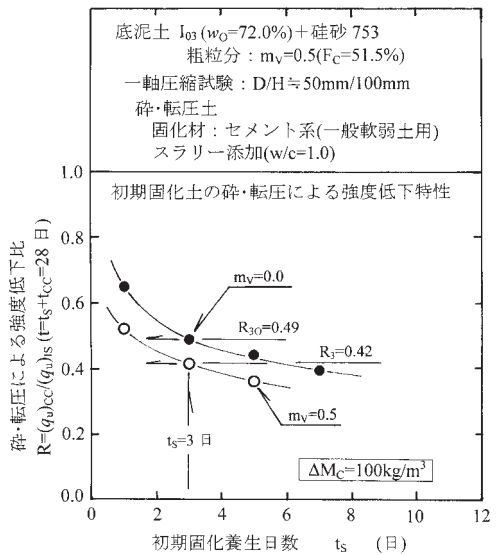


図-14 強度低下比 $R$ に及ぼす初期固化日数 $t_s$ の影響

図-15には粗粒分 $m_v$ を変えた底泥土からなる $t_s = 3$ 日の砕・転圧土 ( $\Delta M_c = 100 \text{ kg/m}^3$ ) について実施した図-13に示したような試験から得られた強度低下比 $R_3$ と $F_c$ の関係を示す。図から以下のことがわかる。粗粒分が増加するほど $R_3$ の値は小さくなり、解砕・転圧による強度低下の割合が著しいことを示している。 $R_3 \sim F_c$ 関係は $\Delta M_c$ による影響が少ないことを確認しているが、この関係は片対数上ではほぼ直線になり

$$R_3 = R_{30} + C_3 \cdot \log_{10} (F_c / F_{c0}) \quad (9)$$

により表示できることがわかる。ここで、 $R_{30}$ は $(F_c / F_{c0}) = 1.0$ の時の直線の切片に相当する $R_3 = 0.49$ で、 $C_3$ は直線の傾きである。

砕・転圧盛土工法は後述するように目標強度を $t = 10$ 日目までに発揮される強度により設定している。そこで、強度 $(q_u)_{CC0}$ と、これが $t = 10$ 日ま

でに発揮される強度，すなわち  $t = 10$  日から解砕・転圧日  $t_s = X$  日を差し引いた  $t_{cc} = 10 - X = ?$  日目までに発揮される強度  $(q_u)_{cc7}$  の関係を図-16に示す。 $(q_u)_{cc7} \sim (q_u)_{cc0}$  関係は，築堤中の施工機械のトラフィカビリティーを確保するために必要な目標強度を設定するために必要なもので，図から  $m_v$  や  $\Delta M_c$  の影響が少なく，ほぼ  $t_s$  だけで決まる直線関係にあることがわかる。標準の  $t_s = 3$  日に相当する  $(q_u)_{cc7} \sim (q_u)_{cc0}$  の関係は

$$(q_u)_{cc7} = 50 + 1.43 \cdot (q_u)_{cc0} \quad (10)$$

により近似できる。

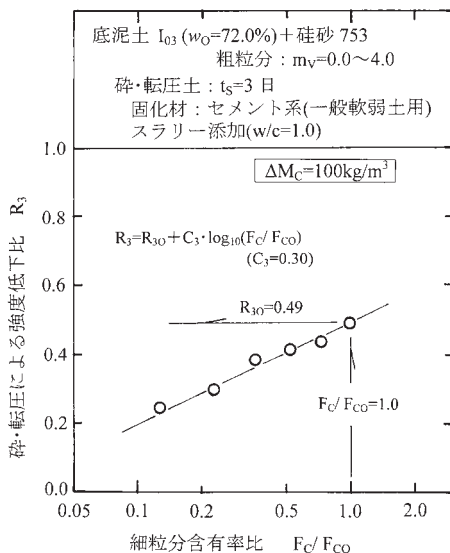


図-15 強度低下比  $R_3$  に及ぼす粒度  $F_c$  の影響

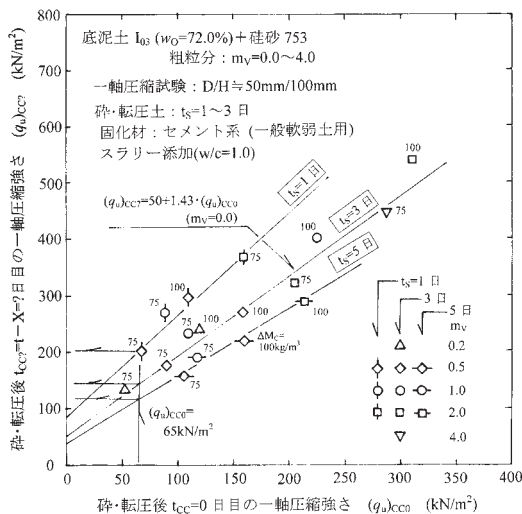


図-16 砕・転圧土の  $(q_u)_{cc7} \sim (q_u)_{cc0}$  関係

#### 4. 6 底泥土の含水比と粒度を考慮した固化材添加量の決定法

$F_c$  と  $w$  が変化する底泥土 ( $F_c, w$ ) を所定の目標強度  $(q_u)_{IS^*}$  に固化処理するための強度管理法について以上示した試験結果をもとに説明する。

$(q_u)_{IS^*}$  を現場で達成するには，これまでのため池の場合の取扱い<sup>3), 5)</sup>と同様に，室内試験と現場の混合条件の相違を補正するための現場/室内強度比  $a_{FL}$  により強度割増しをした配合強度  $(q_u)_{IS^*} / a_{FL}$  を考える。なお， $a_{FL}$  の値はこれまでの砕・転圧盛土工法における実績から  $a_{FL} = 1/1.5$  としている<sup>3), 5)</sup>。

強度管理はまず，固化材添加前の底泥土の  $F_c$  と  $w_T$  を測定して，基本底泥土状態での  $w$  を基本底泥土 ( $F_{c0}, w_0$ ) との粗粒分の相違を考慮して式(3):  $w = (F_{c0}/F_c) \cdot w_T$  により算定することから始める。次に， $w$  と  $w_0$  とを比較して， $w = w_0$  の場合と  $w \neq w_0$  の場合とに分けて， $(q_u)_{IS^*}$  を現場で達成できる固化材添加量  $\Delta M_c^*$  を決定する。以下の説明は  $(q_u)_{IS10} \sim \Delta M_c \sim w$  関係を概念的に示す図-17を用いて行うが，図の右側は図-12の  $(q_u)_{IS10} \sim w$  関係を，左側は後述する図-18の  $\Delta M_c \sim (q_u)_{IS10}$  関係をそれぞれ示している。

a) 基本底泥土状態で含水比  $w$  が基準値  $w_0$  と一致する場合

基本底泥土状態での  $w$  が  $w_0$  と同じ場合には  $F_c$  が強度に及ぼす影響のみを考慮するものである。図-17において固化対象の底泥土 ( $F_c, w_0$ ) の  $\Delta M_c(F_c)$  に対応する  $(q_u)_{IS10} \sim w$  曲線上の  $w = w_0$  における配合強度を  $a = (q_u)_{IS^*} / a_{FL}$  とする。aは式(6)から

$$a = (q_u)_{IS^*} / a_{FL} = c \cdot (F_c / F_{c0})^d$$

となる。aは基本底泥土 ( $F_{c0}, w_0$ ) の  $\Delta M_c(F_{c0})$

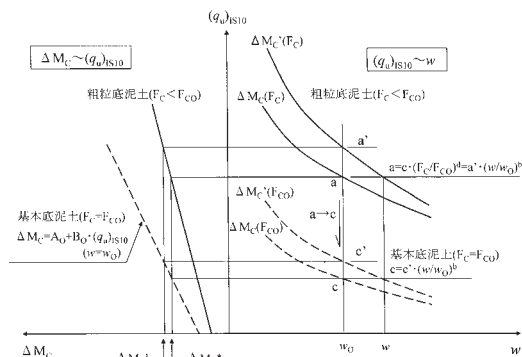


図-17  $(q_u)_{IS10} \sim \Delta M_c$  関係に及ぼす  $w$  と  $F_c$  の影響

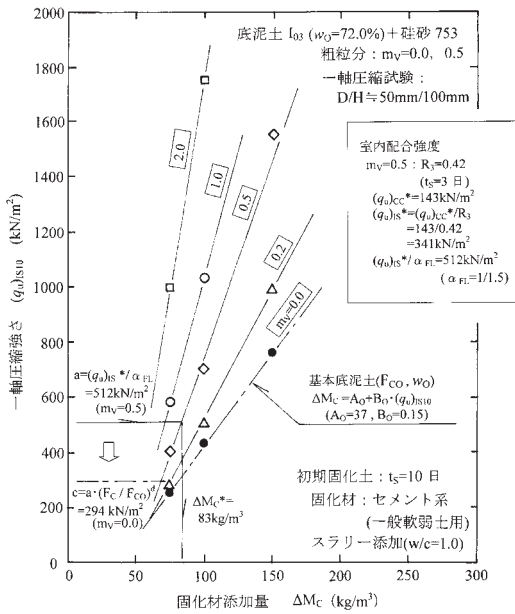


図-18 初期固化土の $(q_u)_{IS10} \sim \Delta M_c$ 関係

に対応する  $(q_u)_{IS10} \sim w$  曲線上の  $w = w_0$  における配合強度  $c$  に

$$c = a \cdot (F_c / F_{co})^{-d} = [(q_u)_{IS}^* / \alpha_{FL}] \cdot (F_c / F_{co})^{-d} \quad (11)$$

のように変換できる ( $a \rightarrow c$ )。基本底泥土 ( $F_{co}, w_0$ ) に粗粒分を  $m_v = 0.0 \sim 2.0$  の範囲で変えた底泥土 ( $F_c, w_0$ ) の  $(q_u)_{IS10} \sim \Delta M_c$  関係を図-18にまとめて示したが、これらの関係は各  $m_v$  において直線式

$$\Delta M_c = A + B \cdot (q_u)_{IS10} \quad (12)$$

によりほぼ近似できる ( $A, B$  は  $m_v$ , すなわち  $F_c$  による直線の切片と傾き)。式(12)は基本底泥土 ( $F_{co}, w_0$ ) では

$$\Delta M_c = A_0 + B_0 \cdot (q_u)_{IS10} \quad (A_0 = 37, B_0 = 0.15) \quad (12')$$

となる。したがって、底泥土 ( $F_c, w_0$ ) を  $(q_u)_{IS}^*$  に現場で初期固化するために必要な  $\Delta M_c^*$  は、 $F_c$  の影響を考慮して基本底泥土 ( $F_{co}, w_0$ ) での強度に変換した  $c$  を式(12')に代入して得られる。

例えば、粗粒分  $m_v = 0.5$  の底泥土を  $(q_u)_{IS}^* = 355 \text{ kN/m}^2$  に初期固化する場合を考えてみる。 $(q_u)_{IS}^*$  は  $a_{FL}$  により強度割増しをすると配合強度

$$a = (q_u)_{IS}^* / a_{FL} = 355 \times 1.5 \div 533 \text{ kN/m}^2$$

になり、さらに式(11)により基本底泥土の  $w = w_0$  における強度  $c$  に変換すると

$$c = 533 \times (51.5/95.0)^{0.91} \div 305 \text{ kN/m}^2$$

となる。 $\Delta M_c^*$  は  $c$  値を式(12')に代入して

$$\Delta M_c^* = 37 + 0.15 \times 305 \div 83 \text{ kg/m}^3$$

となる。以上の方法により得られた  $\Delta M_c^*$  は図-18の試験データから直接得られる  $\Delta M_c^* \div 85 \text{ kg/m}^3$  に近い値になっており、提案法が実務上の適用性を十分有していることがわかる。

b) 基本底泥土状態での含水比  $w$  が基準値  $w_0$  と異なる場合

基本底泥土状態での  $w$  が  $w_0$  と異なる場合には  $F_c$  と  $w$  の両方の影響を考慮しなければならない。図-17において  $w = w'$  にある底泥土 ( $F_c, w'$ ) の強度  $a$  は  $\Delta M_c' (F_c)$  に対応する  $(q_u)_{IS10} \sim w$  曲線上の  $w = w'$  にあるが、同じ  $(q_u)_{IS10} \sim w$  曲線上の  $w = w_0$  における  $a'$  との間には  $w$  の影響を考慮できる式(7):  $a = a' \cdot (w'/w_0)^b$  により

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

の関係がある。 $a'$  は  $F_c$  の影響を考慮できる式(6)から

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

から基本底泥土 ( $F_{co}, w'$ ) における  $\Delta M_c' (F_{co})$  に対応する  $(q_u)_{IS10} \sim w$  曲線上の  $w = w_0$  での強度  $c'$  に

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

のように変換される。つまり、底泥土 ( $F_c, w'$ ) の  $w = w'$  における  $a$  は  $w = w_0$  における  $a'$  に、さらに  $a'$  は基本底泥土における値  $c'$  に変換されるので (図-17における  $a \rightarrow a' \rightarrow c'$ )、 $c'$  は上の2式から

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

となる。したがって、底泥土 ( $F_c, w'$ ) を  $(q_u)_{IS}^*$  に初期固化させるのに必要な  $\Delta M_c^* (F_c, w')$  は上式の  $c'$  を式(12')に代入すれば

$$\begin{aligned} \Delta M_c^* &= A_0 + B_0 \cdot (q_u)_{IS10} \\ &= A_0 + B_0 \cdot a \cdot (w'/w_0)^{-b} \cdot (F_c / F_{co})^{-d} \end{aligned} \quad (13)$$

として得られる。

(次号に続く。なお、参考文献は次号にまとめて記す。)



# 導水トンネル無筋コンクリート覆工の耐震検討

漆 畑 貴 俊\* 齊 藤 正\*\*  
 (Takatoshi URUSHIBATA) (Tadashi SAITO)

## 目 次

1. はじめに	41	4. 検討結果	44
2. 耐震検討概要	42	5. 考察	47
3. 検討条件設定	43	6. おわりに	47

### 1. はじめに

本報は三方原用水地区の導水トンネルをモデルとして、2次元FEM動的解析を用いたトンネル無筋コンクリート覆工の耐震性能についての照査結果を報告するものである。

三方原用水地区は静岡県浜松市に位置し、導水トンネルは約15.5kmの延長を5本のトンネルで結ぶ基幹用水路となっている。トンネルの断面は2.5R馬蹄形D=3.50m、勾配I=1/1,500の規模で、農業用水の他に工業用水・上水道を含む静岡県との共有施設として昭和42年から利用されている。

本地域は、平成14年3月、内閣府に設置された東海地震対策専門調査会の報告による東海地震防災対策強化指定地域に位置することから、大規模地震対策を検討する必要がある地域である。(図-1、2参照)

そこで、施工時の掘削記録から地盤条件を推定し、計算条件を一般化した標準的なモデルによる事例検討を行うこととした。

耐震検討手法としては、「土地改良施設 耐震設計の手引き（平成16年3月）農業土木学会」を基本とし、他機関で定めている基準類を参考としたトンネル覆工の構造安定照査を実施する。

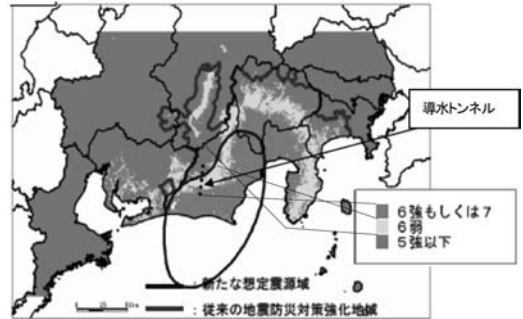


図-1 東海地域震度の分布図

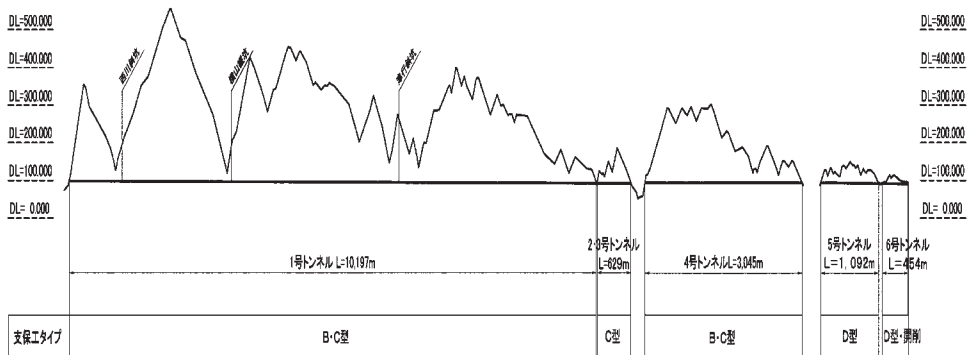


図-2 三方原用水地区導水トンネル縦断模式図

\* 関東農政局西関東土地改良調査管理事務所計画第2係長 (Tel. 0537-35-3251)  
 \*\* ㈱日本水工コンサルタント関東支店長 (Tel. 048-441-3780)

## 2. 耐震検討概要

### 2.1 耐震検討を必要とする適用条件

ある程度以上の土被りがある山岳トンネルの場合、地震時におけるトンネルの挙動は地盤の変形にほぼ追従すると考えられるため、土被りが大きく良好な地盤中のトンネルであれば、地震の影響は比較的小さいと考えられている。しかしながら兵庫県南部地震、新潟県中越地震などの大規模地震において一部のトンネルに崩壊や覆工の滑落が生じたことから、設計地震力を大きく設定したり、部材の靱性を高めたりするなど、トンネルについても耐震設計の考え方が見直されてきている。

現時点で、地下構造物の設計のために検討手法を記述している基準としては

- ・「土地改良施設 耐震設計の手引き(平成16年3月)」農業土木学会<sup>1)</sup>
- ・「水道施設耐震工法指針と解説(平成9年版)」日本水道協会<sup>2)</sup>
- ・「鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法トンネル」(平成14年版)<sup>3)</sup>
- ・「 $\kappa$  耐震設計(平成11年版)」鉄道総研<sup>4)</sup>
- ・「下水道施設の耐震対策指針と解説(2006年版)」日本下水道協会<sup>5)</sup>

などがある。

都市部山岳工法トンネルが適用される洪積世および新第三期鮮新世の堆積岩等の固結が進んだ地山では、地震時のせん断変形が小さいため通常の条件では耐震設計は不要といわれている。ただし、以下に示すような条件がある場合にはトンネルの地震時挙動が周辺地山の挙動に大きく影響され、地震による影響が無視出来ない場合がある。

(条件1) 沖積層等の軟弱な地山にトンネルが存在する場合

一般に耐震設計の必要性の判断は、初期せん断弾性波速度(弾性波探査やPS検層により得られる実測値)を用いて算定される地盤の固有周期(TG)が0.5秒以上となることを目安とされる。

(条件2) 地盤の剛性が深さ方向に急激に変化するところにトンネルが位置する場合

基盤層との層境(不整合面等)等、地盤の剛性が深さ方向に急激に変化するところにトンネルが位置する場合は、地震時に地盤変位の深さ方向の

変化量が大きくなる。このため図に示すようにトンネルが基盤層との層境あるいはその直上に位置する場合、せん断変形が強制されることにより大きな断面力が発生する可能性がある。(図-3参照)

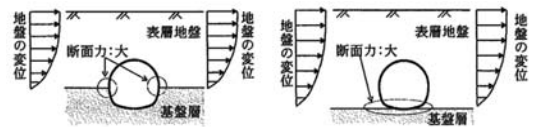


図-3

ここで基盤層は砂質土でN値50以上、粘性土でN値30以上の連続地層、或いはせん断弾性波速度が $V_s = 400\text{m/s}$ 以上の連続地層としている。

(条件3) 不安定な偏圧斜面中にトンネルがある場合

不安定な偏圧斜面中にトンネルが位置する場合は斜面の影響により地震動が増幅し、また発生する断面力もトンネルの左右で不均等となることがある。このような場合においては斜面安定対策も含めて地震の影響の検討が必要となる。(図-4参照)

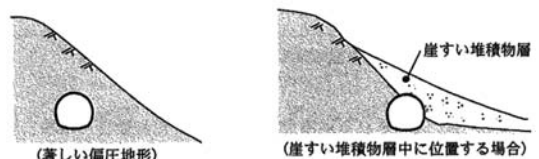


図-4

(条件4) 地盤条件がトンネル軸方向に著しく変化する地山に位置する場合

埋没谷、おぼれ谷等地盤条件がトンネル軸方向に局所的に変化する場合は、地盤反力もトンネル軸方向に変化するため、不釣り合い力が2次覆工およびインバートのせん断力となって他の部分に伝播する。(図-5参照)

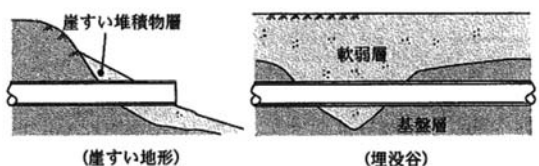


図-5

(条件5) トンネル断面、剛性が極端に変化する場合  
 拡幅断面との接続部、立坑・斜坑との接続部等  
 のトンネル断面・剛性が極端に変化する場所では  
 地震による影響を検討する必要がある。

本検討では周辺一帯の弾性波分布、地質状態が  
 把握出来ていないことから、トンネル施工時の地  
 質状況と支保工タイプから、条件1, 2, 4に対し  
 ての基本的な検討を行うこととした。

## 2. 2 トンネルの耐震性能と限界状態の設定

導水トンネルの機能としては「トンネルの計画  
 流量を保持し通水を確保する」といったことが重  
 視される。都市部山岳工法トンネル覆工の具備す  
 べき地震時耐震性能として

耐震性能1：地震後も無補修で機能維持

耐震性能2：地震後に補修・補強により早期に  
 機能が回復

耐震性能3：構造物が崩壊しない

が定義されているが、本検討ではレベル1地震動  
 で耐震性能1を、レベル2地震動で耐震性能2を満  
 足することを照査する。

トンネル覆工は過去の実験結果<sup>6) 7)</sup>によると、  
 周辺地山に弾性支持されたアーチ構造と考えられ、  
 破壊に至るまでの挙動が梁部材などの一般的な  
 な部材と異なることが指摘されている。

トンネル覆工部材の具体的照査指標としては、  
 以下を設定する。

### (1)無筋コンクリート覆工 (図-6参照)

- ・レベル1地震動でコンクリートの発生応力度が  
 許容応力度 (圧縮・せん断) 以下とする。
- ・レベル2地震動でコンクリートが圧縮破壊・せん  
 断破壊しない。

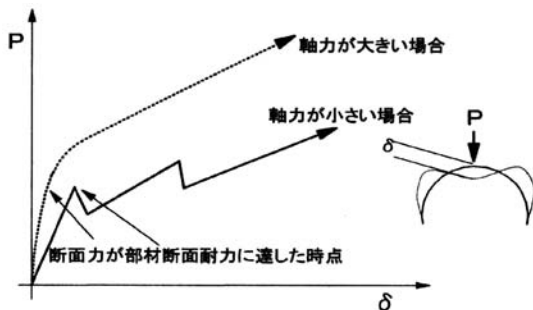


図-6 無筋コンクリート覆工の変形挙動

### (2)鉄筋コンクリート覆工 (図-7参照)

- ・レベル1地震動で鉄筋・コンクリートの発生応  
 力度が許容応力度 (圧縮・せん断) 以下とする。
- ・レベル2地震動で覆工部材が曲げ耐力・せん断  
 耐力・軸圧縮耐力を確保する。

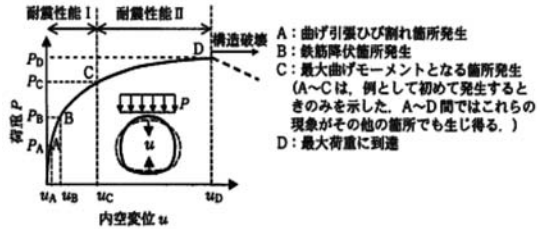


図-7 鉄筋コンクリート覆工の構造体としての荷重～  
 変位関係と耐震性能

## 3. 検討条件設定

### 3. 1 検討用地震動の設定

地下構造物における設計地震動の考え方として、  
 レベル1地震動、レベル2地震動に対してそれ  
 ぞれ耐震基盤に対する速度応答スペクトルによる  
 地震動の強さが定義されている。

(レベル1地震動) 全ての基準が同じ速度応答スペ  
 クトルで規定されている。

(レベル2地震動) 鉄道基準では減衰定数20%で  
 $S_v = 83\text{cm/s}$ が上限値で規定されている。一方、  
 水道基準では15%減衰定数の非超過確率90%・  
 70%で $S_v = 100 \cdot 70\text{cm/s}$ の上限値、下水道基準で  
 は15%減衰定数の非超過確率80%で $S_v = 80\text{cm/s}$   
 の上限値が規定されている。

本検討では上工水との共用施設であることから、  
 水道基準で規定されている速度応答スペクトル  
 を用いた。(図-8～11参照)

### (1)速度応答スペクトル

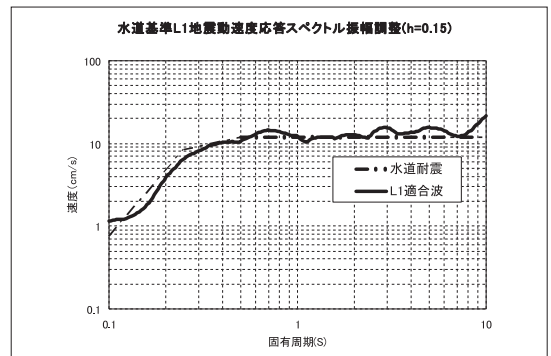


図-8 L1 速度応答スペクトル振幅調整結果

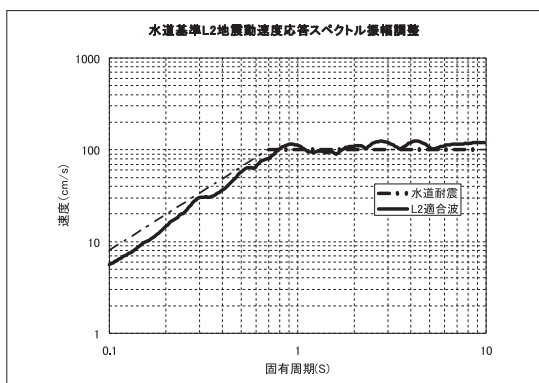


図-9 L2 速度応答スペクトル振幅調整結果

### (2)時刻歴波形

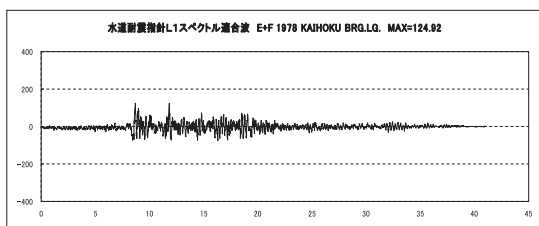


図-10 L1 検討用地震動波形

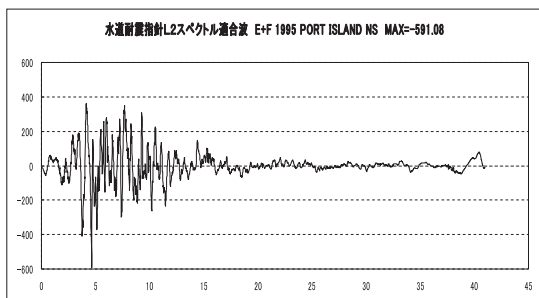


図-11 L2 検討用地震動波形

### 3. 2 土質条件

導水トンネル周辺の地質は、施工時の記録から地質状況を推定する。また、耐震検討においてトンネル位置と耐震設計上の基盤面の位置関係が重要となるが、これについては「トンネル構造物設計要領・耐震設計編（平成15年5月 首都高速道路公団）」<sup>8)</sup>を参考とし、基盤面が想定出来ない場合の条文を適用して、一律トンネル直下5.0mを基盤面とする。さらに、地質区分とトンネルタイプ、地盤の弾性波速度（ $V_p$ ）については「土地改良事業計画設計基準（農林省構造改善局 昭和50年8月改訂）トンネルタイプ判定基準 表-6. 3. 2」<sup>9)</sup>

により標準的な値を設定する。（表-1, 2参照）

なお、耐震検討ではトンネル背面は充填され、空洞はないものと仮定する。

表-1 トンネルタイプと物性値(1)

タイプ	弾性波速度		動ホ <sup>o</sup> アソ <sup>o</sup> 比
	$V_p$ (km/s)	$V_s$ (km/s)	$\nu_D$
A	3.75	2.00	0.30
B	3.25	1.33	0.40
C	2.50	0.70	0.46
D	1.30	0.25	0.48

表-2 トンネルタイプと物性値(2)

タイプ	単位重量 $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$V_s$ (m/s)	$G_0$ (KN/m <sup>2</sup> )
C	22.0	700	1,100,000
D:砂礫	21.0	250	134,000
D:砂質土	20.0	250	128,000
D:固結粘土	19.0	250	121,000
開削部	19.0	150	44,000

ここで、せん断弾性波速度 $V_s$ ：

$$V_p/V_s = \sqrt{2(1-\nu)/(1-2\nu)}$$

初期せん断弾性係数 $G_0$ ：

$$G_0 = \gamma \cdot V_s^2/g$$

### 4. 検討結果

#### 4. 1 縦断方向の照査（5号、6号トンネル）

トンネル縦断方向の検討方法としては応答変位法が一般的であるが、応答変位法は地表面の複雑な不陸、地盤の不均一性は条件として組み入れることは出来ないことから2次元FEM動的解析により縦断方向の検討を行う。ここで、1～4号トンネルについてはCタイプ基盤層（ $V_s = 700\text{m/s}$ ）以上にトンネルがあるため検討を省略し、Dタイプ以下である5号、6号トンネルについて検討することとした（図-12参照）。

検討の結果、レベル1地震時については谷部で軸力分布が大きくなるものの覆工コンクリートの発生断面力としては許容軸力 $N_a = 29,547\text{kN}$ に対して $N = 11,340\text{kN}$ （図-13参照）、許容せん断力 $S_a = 1,558\text{kN}$ に対して $S = 430\text{kN}$ （図-14参照）と安全である。

レベル2地震時においても同様な分布傾向を示

すが、トンネル覆工の軸方向耐力  $N_u = 35,725\text{kN}$  に対して  $N_d = 49,106\text{kN}$  (図-15参照) となり、終点側坑口より238mから195m区間で軸方向圧縮

耐力を超える箇所が発生する。せん断については、せん断耐力  $S_a = 2,317\text{kN}$  を超える箇所はない (図-16参照)。

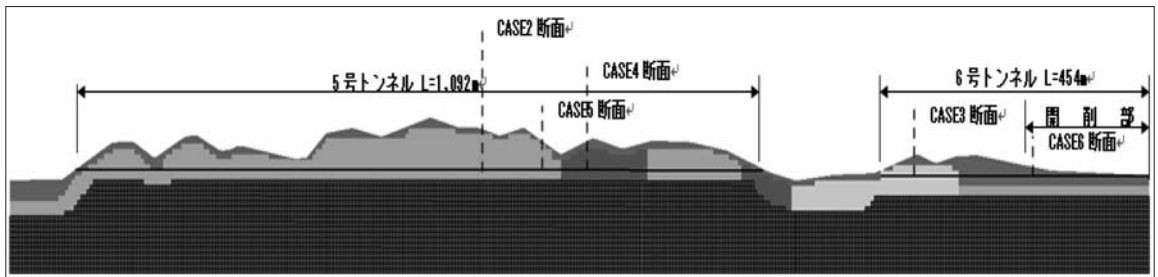


図-12 5, 6号トンネル縦断方向解析モデル

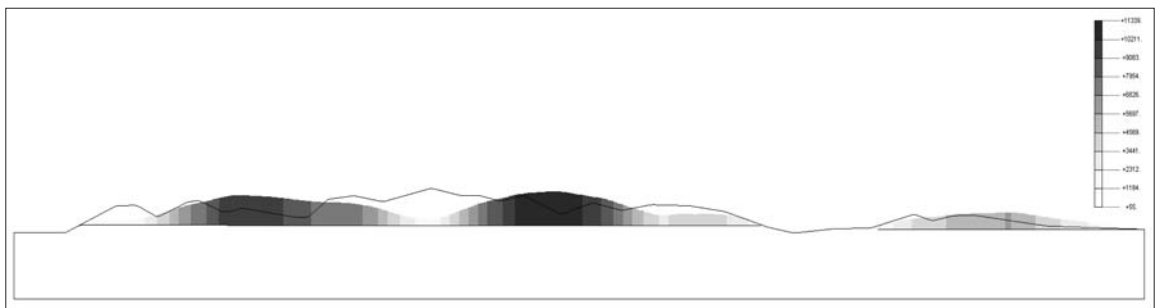


図-13 L1 地震時最大軸力分布 (最大軸力  $N = 11,340\text{kN} < \text{許容軸力 } N_a = 29,547\text{kN}$ )

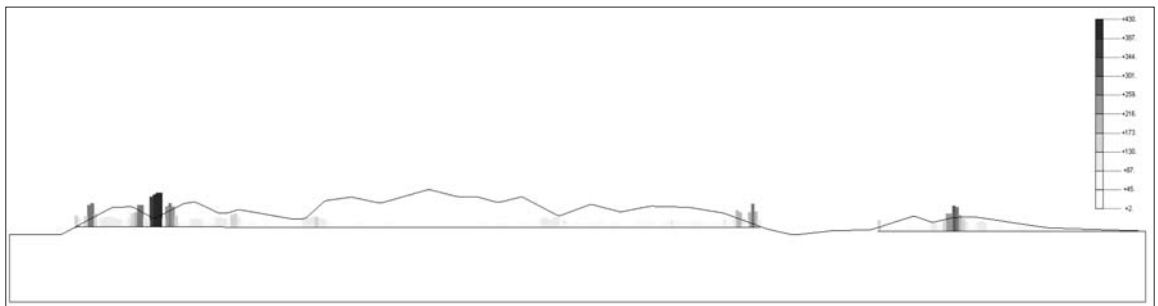


図-14 L1 地震時最大せん断力分布 (最大せん断力  $S = 430\text{kN} < \text{許容せん断力 } S_a = 1,558\text{kN}$ )

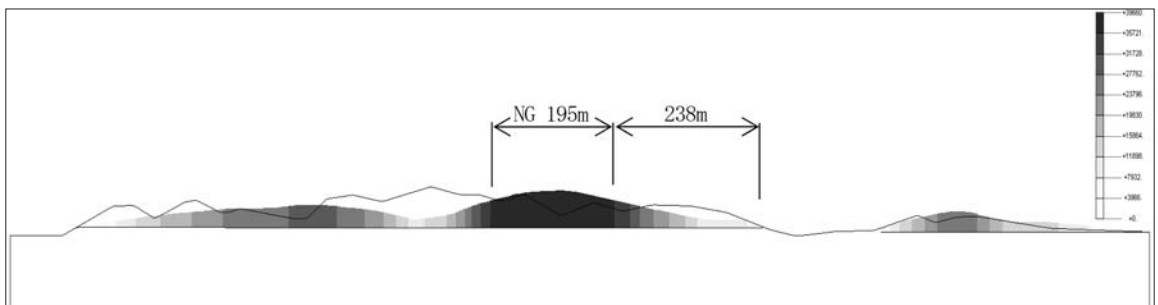


図-15 L2 地震時最大軸力分布 (最大軸力  $N = 49,106\text{kN} > \text{終局耐力 } N_u = 35,725\text{kN}$ )

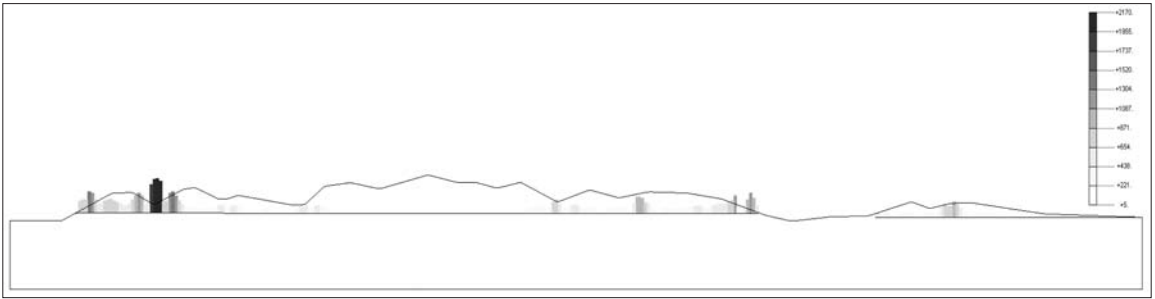


図-16 L2地震時最大せん断力分布（最大せん断力 $S=2,170\text{kN}$ ＜終局耐力 $S_u=2,317\text{kN}$ ）

#### 4. 2 横断方向の照査（2・3号, 5号, 6号トンネル）

横断方向の検討断面はトンネルが基盤内にあるCタイプで土被り（平均土被り $H=37\text{m}$ ）の小さい2・3号トンネルからC2型断面の1ケース、トンネルが土砂地盤内にあるDタイプで5号, 6号トンネルからD型断面の5ケースとした。検討手法としては覆工構造が無筋コンクリートで梁断面として平面保持の仮定が成り立たず、梁バネモデルとして断面算定を行うことが出来ないため、鋼製支保工を考慮した2次元FEMによる動的解析で照査した。

開削部については覆工が鉄筋コンクリート構造であるため梁バネモデルが適用出来ることから応答変位法で照査を行った。ここでは結果のみ示すものとする。（表-3～7, 図-17～20参照）

なお、レベル1地震時に関しては許容応力度法による覆工コンクリート照査を行った。照査項目としては、無筋コンクリートについては圧縮応力度・せん断応力度、鉄筋コンクリートではコンクリートの圧縮応力度・せん断応力度、鉄筋の曲げ引張応力度である。

レベル2地震時に関しては終局限界状態による覆工コンクリートの照査を行った。照査項目としては、無筋コンクリートは圧縮耐力・せん断耐力、鉄筋コンクリートは曲げ耐力・せん断耐力である。

表-3 横断方向検討ケース

ケース	トンネルタイプ	地質	$V_s(\text{m/s})$	土被り(m)
CASE1	C TYPE	基盤層	700	40
CASE2	D TYPE	砂礫層	250	40
CASE3	D TYPE	砂質土層	250	40
CASE4	D TYPE	固結粘土層	250	40
CASE5	D TYPE	砂礫層	250	20
CASE6	開削部	埋土(砂礫)	150	8

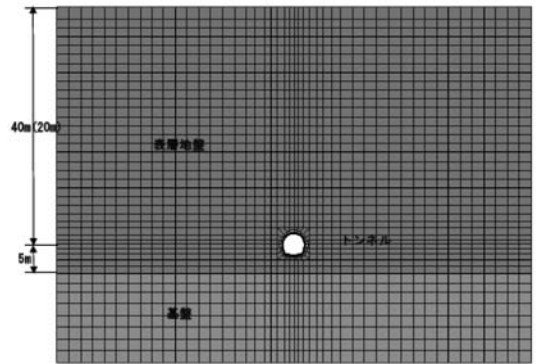


図-17 トンネル横断方向解析モデル（CASE1～5）

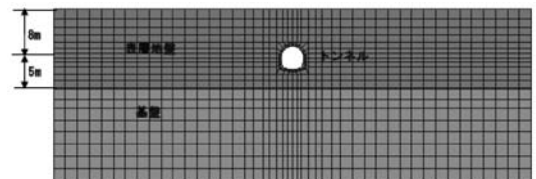


図-18 トンネル横断方向解析モデル（CASE6）

表-4 L1 無筋覆工照査結果

ケース $\sigma_{ck}=18$	単位: $\text{N}/\text{mm}^2$				判定
	圧縮応力度 $\sigma_c$	同左許容値 $\sigma_{ca}$	剪断応力度 $\tau_c$	同左許容値 $\tau_{ca}$	
CASE1	0.47	6.75	0.22	2.70	○
CASE2	5.07	6.75	2.35	2.70	○
CASE3	4.68	6.75	2.17	2.70	○
CASE4	5.20	6.75	2.41	2.70	○
CASE5	4.69	6.75	2.18	2.70	○

表-5 L1 RC 覆工照査結果

ケース $\sigma_{ck}=21$	単位: $\text{N}/\text{mm}^2$					判定	
	圧縮応力度 $\sigma_c$	同左許容値 $\sigma_{ca}$	引張応力度 $\sigma_s$	同左許容値 $\sigma_{sa}$	剪断応力度 $\tau_c$		同左許容値 $\tau_{ca}$
CASE6	4.69	6.75	4.69	6.75	2.18	2.70	○

表-6 L2 無筋覆工照査結果

ケース $\sigma_{ck}=18$	単位: N/mm <sup>2</sup>				判定
	圧縮ひずみ $\epsilon_c(\%)$	終局ひずみ $\epsilon_{cu}(\%)$	剪断力 Vd	同左耐力 Vyd	
CASE1	0.066	0.35	4.81	4.89	○
CASE2	0.160	0.35	11.65	4.89	×
CASE3	0.161	0.35	11.01	4.89	×
CASE4	0.212	0.35	15.44	4.89	×
CASE5	0.144	0.35	10.48	4.89	×

※無筋コンクリート部材のため、応力度で照査した。

表-7 L2 RC 覆工照査結果

ケース $\sigma_{ck}=21$	$\gamma_i * M_d / M_{ud}$	$\gamma_i * V_d / V_{yd}$	判定
CASE6	1.256	5.069	×

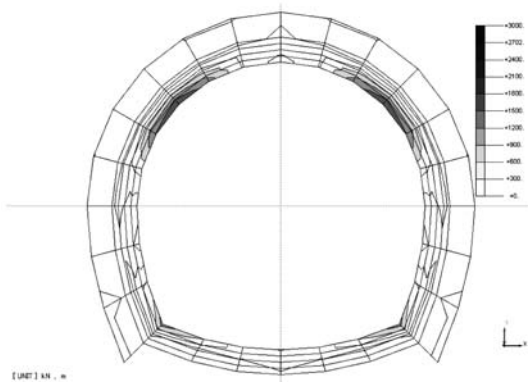


図-19 L1 最大せん断応力分布 (CASE4)

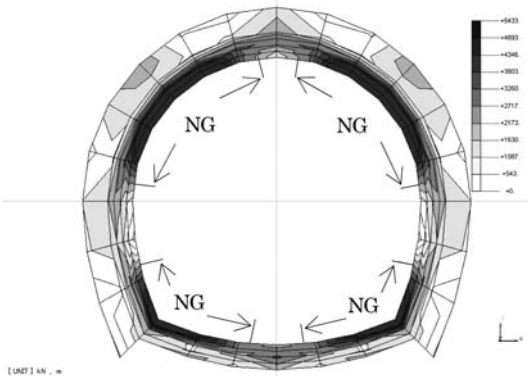


図-20 L2 最大せん断応力分布 (CASE4)

## 5. 考察

トンネル縦断方向に関しては、土砂トンネルである5・6号トンネルについて地質分布を仮定して

動的解析による照査を行った。比較的急峻な山岳部におけるトンネルの場合、表層地盤の層厚が急激に変化することになるため地盤の相互作用（ゆれ方の違い）により谷部にひずみが集中する。本検討ではトンネル土被りが15m程度の谷部にその傾向が出ており、レベル2地震時ではトンネル軸方向圧縮力がコンクリートの終局ひずみの1.37倍となる箇所が確認された。対象覆工は無筋コンクリートであるため、圧壊剥離する箇所が生じる可能性が高いといえる。本検討ではトンネル覆工背面が充填されていることを前提として解析を行ったが、空洞が存在すると覆工崩落の危険性も予想される。

トンネル横断方向に関しては、地山のせん断弾性波速度( $V_s$ )が300m/s以下のところではレベル2地震時に覆工がアーチ部45°方向を中心に損傷を受けることが確認された。損傷としてはコンクリートが圧縮破壊（コンクリートの終局ひずみに達する）ほどではないが、せん断圧縮破壊耐力は超えると予想されるため大きな斜めひび割れや表面コンクリートの剥落は発生する。新潟県中越地震で多く発生していたトンネル覆工コンクリートの剥落は、ほとんどがせん断圧縮破壊である。

今回のレベル2地震動で目標とした耐震性能は、「耐震性能2：地震後に補修・補強により早期に機能が回復」することとしており、そのためにはコンクリートの剥落を防ぎ、早期の補修・補強工事が行える条件として、靱性の高い素材による表面の剥落防止工や既に発生しているアーチ部のひび割れの補修充填を行うことが、最低限必要な対策工法であると考えられる。

本検討では地山区分Bクラス以上の箇所は検討を行わなかったが、斜坑や分岐・拡幅による特殊構造部については地質条件（断層・破碎帯の分布）を確認した上で詳細な検討が必要となる。

## 6. おわりに

トンネルは明かり構造物と異なり、地震時には周辺地山と一体となった挙動を示すため、耐震性に優れた構造物であるとされている。今回の検討ではトンネル覆工背面の空洞はないとの条件の下、レベル1地震動に対しては全ての区間で許容値を満足する結果を得て、従来から言われている、安全性を検証できたと言える。

一方、レベル2地震動に対しては、Dタイプ

(土砂)トンネルにおいて、土被りが薄く谷を形成する箇所でトンネル軸方向のコンクリートひずみが終局ひずみを越えることが確認され、圧壊剥離する可能性が高いといえる。また、Dタイプトンネル横断方向ではコンクリートのせん断圧縮破壊耐力を超えるため、大きな斜めひび割れや表面コンクリートの剥落の発生もあるが、鋼製支保工とインバートの断面耐力が確保されるためトンネル崩壊には至らない。すなわち既設のDタイプトンネルは「耐震性能3：構造物は崩壊しない」の状態にあると考えられる。

以上の検討結果より、標準的な地質構造のトンネルにおける耐震上の弱点となる箇所として、次のとおり整理することができる。

- ・Dタイプ(土砂)トンネル
- ・坑口付近、土被りが薄く地質構造の変化が著しい箇所、断層破碎帯周辺
- ・斜坑、立坑接続部、断面変化箇所

これらは従来から指摘されていることと一致するが、当面の課題としてはトンネル背面の空洞充填を進める方策が期待される。

#### 参考文献)

- 1) 土地改良施設 耐震設計の手引き(平成16年3月) 農業土木学会
- 2) 水道施設耐震工法指針と解説(平成9年版) 日本水道協会
- 3) 鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法トンネル(平成14年版) 鉄道総研
- 4) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計(平成11年版)」 鉄道総研
- 5) 下水道施設の耐震対策指針と解説(2006年版) 日本下水道協会
- 6) 今田徹, 石橋正穂, 平江哲: トンネルコンクリート覆工の強度に関する実験報告, 建設省土木研究所資料, No921, 1974
- 7) 朝倉俊弘, 小島芳之: トンネル覆工の力学挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集, fsNo493/3-27, pp79~88, 1994, 6
- 8) トンネル構造物設計要領・耐震設計編(平成15年5月 首都高速道路公団)
- 9) 土地改良事業計画設計基準(農林省構造改善局 昭和50年8月改訂)



# 農業用道路建設における地山の転石対策について

伊 東 正 年\* 新 井 誠\*  
(Masatoshi ITO) (Makoto ARAI)

## 目 次

I. はじめに	49	IV. 落石対策工の検討と施工状況	55
II. 地形・地質概要	50	V. おわりに	58
III. 転石調査	51		

## I. はじめに

### 1. 事業概要

美濃東部区域農用地総合整備事業（以下、「本事業」という。）は、岐阜県のほぼ中央に位置し（図-1）、典型的な中山間地域である。地形的な制約により集落は谷沿いに形成され、地域の発展も川に沿って南北方向に指向されてきた。更に区域の東部と西部にそれぞれ南北方向に高速道路が整備されたことにより、市場拡大が期待されるものの、東西方向への交通体系の整備が遅れている状況にある。



図-1 美濃東部区域位置図

そこで本事業では、農用地の整備（圃場整備おむね122ha）と東西方向の基幹的農業用道路（おむね23.5km）の整備を一体として、総合的かつ集中的に実施することにより、区域の農業生産性の向上と農業構造の改善を図るとともに、地域の活性化に資することが目的となった。

事業は平成10年度に着手し、平成24年度の完成を予定している。

### 2. 転石調査に至る背景

農業用道路4工区（以下、「本工区」という。）は、岐阜県加茂郡白川町水戸野地内の県道下呂白川線から町道泉白山線をつなぐL=4.5kmの新設区間である。（図-2）



図-2 農業用道路4工区位置図

転石調査実施に至る背景は、下記のとおりである。

- ①No.55～No.100のL=0.9km区間について、農業用道路測量設計時の現地踏査の結果、数多くの転石・浮石が確認された。（写真-1）

\*独森林総合研究所森林農地整備センター美濃東部建設事業所  
(Tel. 0573-28-3201)



写真-1 計画路線上に立ちはだかる不安定な岩の露頭

②本工区下方には集落があり、集落周辺は一部保安林区域に指定されている。近隣住民も落石の懸念される地形であることを把握しており、農業用道路建設における落石対策について、注目されていた。

よって、本事業においても、詳細な転石調査を実施し、工事施工中及び施工後の対策工法を検討し、工事を進めることとした。

以上のことから、本稿では、岐阜県加茂郡白川町地内の農業用道路4工区建設における地山の転石対策について報告する。

## II. 地形・地質概要

### 1. 地形概要

本工区調査位置は、飛騨川の支流で北東から南北方向に流れる白川の右岸側にあたる。蛇行する白川沿いには河岸段丘面やその上に崖錘堆積物が乗った緩斜面が断続的に分布しており、茶畑等の農地や宅地として利用されている。道路建設予定地は、標高270～365mの山腹斜面上に位置し、40°～60°で急傾斜している。

### 2. 地質概要

本工区に分布する地質は、白亜紀～古第三紀の火成岩である「濃飛流紋岩類」の夕森山-金山溶結凝灰岩層と第四紀の「崖錘堆積物」から構成される。(図-3) また本工区周辺において、「白川断層帯」の存在が確認されている。

#### (1)濃飛流紋岩

本工区には、斜長石の結晶破片を多量に含む流紋岩デイサイト質の溶結凝灰岩(暗緑灰色ないし緑灰色)が分布する。溶結凝灰岩の露頭は主に岩壁状に分布し、節理に沿って開口亀裂が発達して

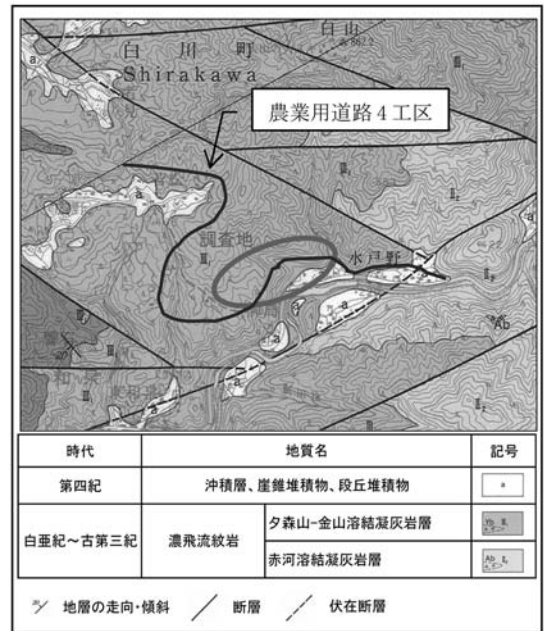


図-3 周辺の地質図

【参考文献】水谷伸治郎他(1992),5万分の1地質図幅金山地域の地質に一部加筆

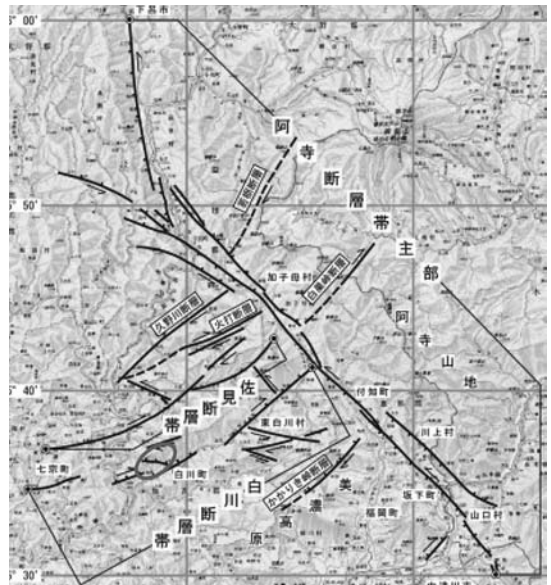


図-4 白川断層等の位置図

いる。開口亀裂の発達により、浮石や転石が多く分布している。

#### (2)崖錘堆積物

流紋岩デイサイト質溶結凝灰岩の岩塊(転石)を主体とし、粘土、砂、礫が間隙を充填している。

溶結凝灰岩の岩塊（転石）は主にφ0.2～0.8mの角礫状を呈している。

中にはφ2～4mに及ぶ岩塊も分布する。

### (3)白川断層帯

白川断層帯は、旧加子母村から加茂郡東白川村、白川町を経て、七宗町に至る断層帯である。この断層帯は、白川断層、白川口～水戸野断層、若松断層、宇津尾断層等から構成され、これらの断層が概ね5kmの幅をなして断続的に分布する。（図-4）

## Ⅲ. 転石調査

### 1. 調査範囲

調査範囲は、本工区No.55～No.100までの延長約L=900m、幅約200m（道路センター両側各100m）とした。調査範囲が広範囲に及ぶ為、調査域を明瞭な尾根地形・谷地形を境にして、A～Gの7つに区分した。（図-5）

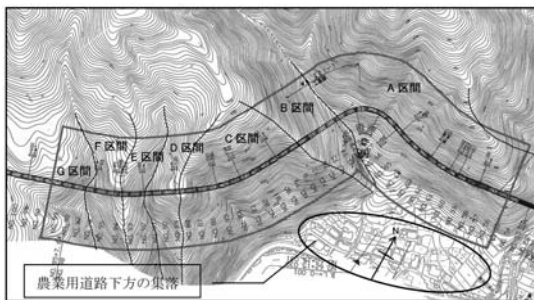


図-5 転石等調査範囲

### 2. 調査内容及び方法

調査内容は、『落石対策便覧』〔平成12年6月(社)日本道路協会〕を参考に、落石対策工の検討までに必要な最低限の項目を実施することとした。ここでは、右記フロー（図-6）における(1)～(5)について説明したい。

#### (1)地表踏査

計画平面図（縮尺1/500及び1/2,500）をもとに地形、地表地質の状況（岩盤の割れ目の種類と性質、岩盤の風化や緩み状況）、浮石や転石の形状と分布状況等の把握を行った。

#### (2)転石形状調査（点在している転石等）

①地表踏査により所在が明らかとなった転石について、外径寸法（長辺・短辺・高さ）を測定した。

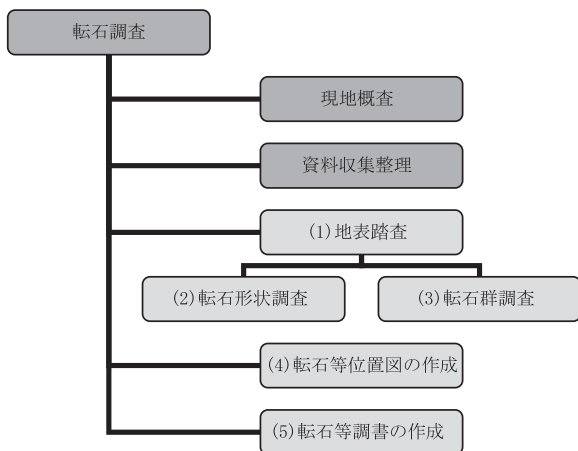


図-6 転石等調査フロー図

②外径寸法はテープにより測定し、番号を付し写真記録を行った。（写真-2）









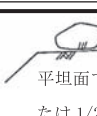

不安定転石	A	-	4
	(A区間)		(通し番号)
安定転石	A	S	3
	(A区間)	(安定)	(通し番号)






写真-2 不安定転石

③転石位置は、携帯型GPS等により位置を確認することとしていたが、山中で電波の受信が困難であった為、道路センターを基準としてオフセットにより位置確認を行った。

④番号を付した転石については、安定度評価を5区分で行ない、最終的に安定・やや不安定・不安定の3区分にとりまとめた。（図-7）

安定度評価				安定性評価
安定状態	転石	浮石	安定性	
1	 木で停止	 完全に分離	近い将来必ず落ちると考えられるもの	不安定
2	 急崖上で停止, または完全露出	 下部の浸食が進行	時期は予測できないが、いずれ滑落すると考えられるもの	
3	 下部やや緩傾斜または2/3以上露出	 不安定な形状	滑落する可能性が大きい	やや不安定
4	 下部に平坦面あり, または2/3~1/2程露出	 亀裂が発達	滑落する可能性がある。	
5	 平坦面で停止, または1/2以下露出	 ほぼ健全	滑落の可能性がほとんどない。	安定

安定性評価	転石・浮石
不安定	<ul style="list-style-type: none"> <li>以下のようなものが多数散在する場合。</li> <li>①直径のほぼ2/3以上が地表から露出するもの。</li> <li>②完全に浮いており、人力で容易に動くと思われるもの。</li> <li>斜面下まで転がり落ちるものが多い。</li> </ul> 
やや不安定	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記①②のようなものが少ない。</li> <li>露出の程度が小さい。</li> <li>やや浮いているが、人力では動かせない。</li> <li>転がり落ちてもすぐに止まるものが多い (斜面下まで到達しない。)</li> </ul> 
安定	<ul style="list-style-type: none"> <li>転石・浮石がない。</li> <li>あっても比較的安定しているもの。</li> </ul> 

【参考文献】「落石対策便覧」

図-7 転石等安定性評価基準

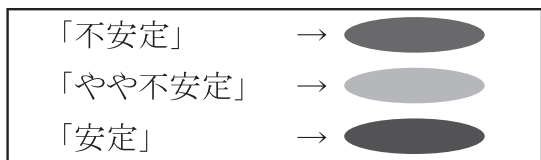
(3) 転石群調査 (まとまっている転石等)

- ① 地表踏査により所在が明らかとなった転石群について、面積を測定した。
- ② 転石群は、番号を付し写真記録を行った。
- ③ 転石群位置は、転石と同様に位置確認を行った。
- ④ 番号を付した転石群について、転石と同様に安定度評価を行った。(写真-3)
- (4) 転石・転石群等分布図の作成 (図-8)



写真-3 不安定転石群

- ① 地表踏査, 転石形状調査, 転石群調査の結果をもとに1/500平面図上に転石・転石群分布図を作成した。
- ② 転石・転石群は、傍らに番号を付し (A-4など), また安定性評価結果に基づき, 次のように表示した。(グラビア参照)



(5) 転石等調書の作成 (図-9)

転石形状及び転石群調査を実施した転石等のうち、「不安定」・「やや不安定」と評価されたものについては、工事範囲内と範囲外に分けて、調書を作成した。

- ③ その他露岩の位置や形状, 岩盤の節理の走行・傾斜, 崖錘堆積物の分布範囲, 表層崩壊地形, 湧水, 倒木の分布, 斜面傾斜などのほか, 現地踏査時のコメントを図中に記載した。

【補足説明】

C (G) (S) - ○○

(区間) (群) (安定) (番号)

max は、転石群中の最大転石を示している。

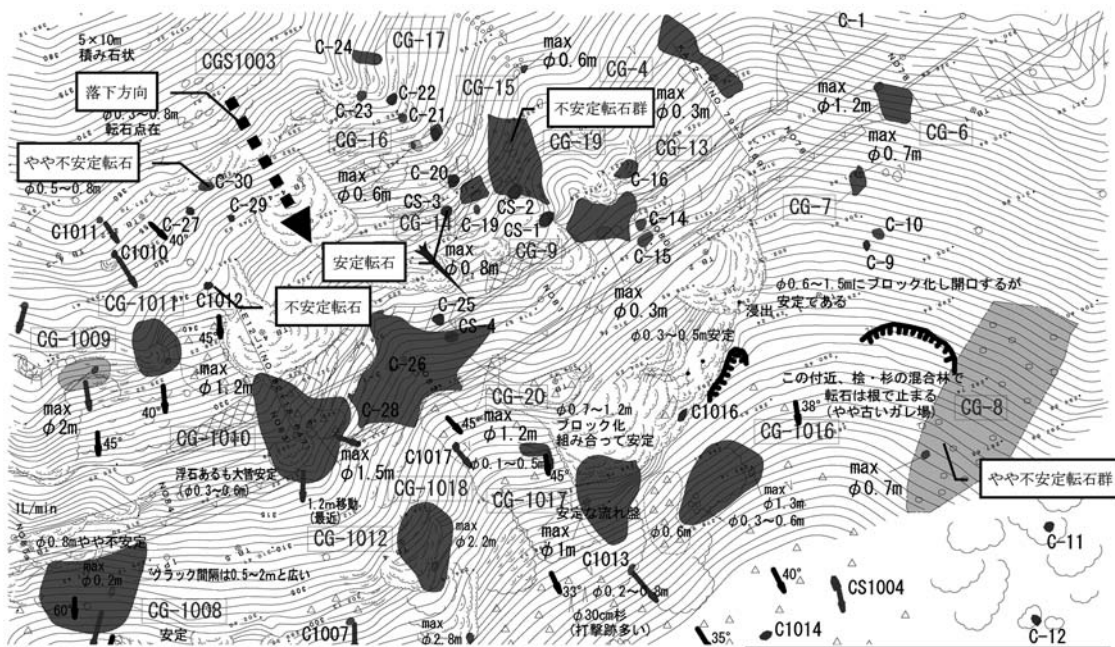


図-8 転石・転石群分布図 (例)

転石番号	A-19			
調査年月日	平成18年2月17日	位置	N35° 36' 1.86"	E137° 13' 40.59"
形状	<input type="checkbox"/> 楕円体 <input type="checkbox"/> 立方体 <input checked="" type="checkbox"/> 直方体 <input type="checkbox"/> 菱形柱 <input type="checkbox"/> 平板状 <input type="checkbox"/> 三角柱 <input type="checkbox"/> くさび形 (扁平な三角柱～扁平な台形柱) <input type="checkbox"/> その他			
大きさ	長辺 1.2 × 中辺 1.2 × 短辺 0.8		斜面傾斜	36°
体積	1.15m³ ※長辺×中辺×短辺。ただし、三角柱・くさび形の場合は1/2乗 じることとする。		重量	2995kg (29.95kN)
直下の地質 (表土は除く)	<input checked="" type="checkbox"/> 硬質岩盤 <input type="checkbox"/> 風化軟岩 <input type="checkbox"/> 亀裂性軟岩 <input type="checkbox"/> 岩塊、転石 <input checked="" type="checkbox"/> 崖錘、土砂 <input type="checkbox"/> その他 ( )			
停止形態	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土に埋まって停止している転石 (落石) <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> 2/3 以上露出   <input type="checkbox"/> 2/3～1/2 露出   <input type="checkbox"/> 1/2 以下露出</li> </ul> </li> <li>・ その他状況で停止している転石 (落石) <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> 斜面や岩盤に乗っているだけ   <input checked="" type="checkbox"/> 木に支えられている   <input checked="" type="checkbox"/> 石に支えられている</li> <li><input type="checkbox"/> その他 ( )</li> </ul> </li> <li>・ 岩盤から分離した転石 (浮石) <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> 底面は流れ盤   <input type="checkbox"/> 底面は平坦   <input type="checkbox"/> 底面は受盤</li> </ul> </li> </ul>			
コメント	<p>①～③よりなり、①が最大で、上記の寸法は①のもの。①は木に当たっており、②とも接触している。②は木に当たっており、③上に乗っている。③は土中に少し根入れがある。計画路線の直下であり、非常に不安定な状態のため、施工時に除去することが望ましい。</p>			
安定度評価	<input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5			
安定性評価	<input checked="" type="checkbox"/> 不安定 <input type="checkbox"/> やや不安定 <input type="checkbox"/> 安定			
対策の優先度	<p><input checked="" type="checkbox"/> 施工中～施工後に落下し道路や下方の民家等に重大な被害を及ぼす可能性があり、対策工の必要性は高い。</p> <p><input type="checkbox"/> 施工中～施工後に落下する可能性は比較的小さい。または、落下する可能性があるが重大な被害に至る可能性は比較的小さいため、対策工は必要であるが優先度は次点である。</p> <p><input type="checkbox"/> 比較的安定しており、落下する可能性は比較的小さい。または、落下しても保全対象まで至る可能性がないため、対策工の必要性は低い。</p>			
写真				

図-9 転石等調査票 (例)

### 3. 調査結果

図-5における調査範囲において、総計189個の転石が確認された。このうち安定性評価で「不安定」と判定されたものが74個、「やや不安定」と判断されたものが74個、「安定」と判断されたものが41個であった。(図-10)

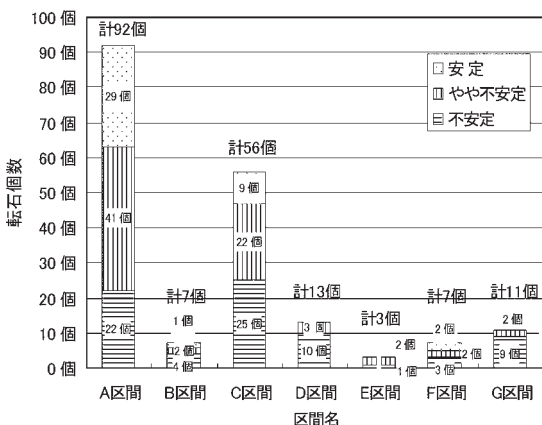


図-10 転石分布個数

転石群については、総計82箇所延べ6.48haの転石群が確認された。このうち「不安定」と判断されたものが38箇所延べ2.46ha、「やや不安定」と判断されたものが37箇所延べ3.97ha、「安定」と判断されたものが、7箇所延べ0.05haであった。(図-11)

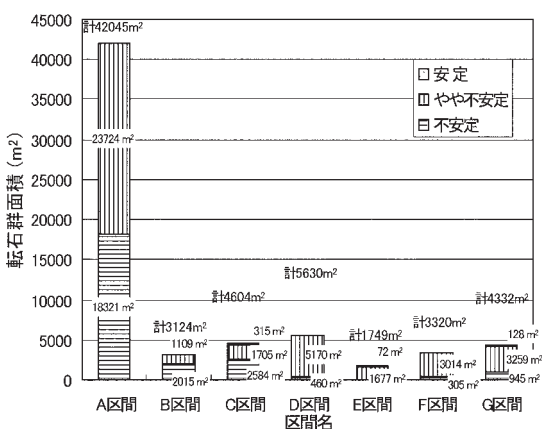


図-11 転石群分布面積

### IV. 落石対策工の検討と施工状況

#### 1. 落石対策工検討の基本方針

落石対策工には、発生源対策としての「落石予防工」と発生した落石による被害を軽減するための「落石防護工」がある。本工区における検討に際しては、下記を基本方針とした。

- ① 転石調査により、不安定、やや不安定と判断された箇所について対策を行う。
- ② 落石対策工の資材及び施工機械は、なるべく軽量でモノレール等により運搬が容易である工法とする。
- ③ 落石対策工は急斜面での施工に適し、施工中に落石を発生させる危険が少ない工法とする。
- ④ 落石対策工に伴う用地対策がなるべく発生しない工法とする。
- ⑤ 立木は落石を防護する役割があること、また環境にも配慮し、施工や資材搬入時になるべく木を伐採しない工法とする。
- ⑥ コスト縮減を念頭におき、経済的な工法とする。

#### 2. 本工区で採用可能な落石対策工法

落石対策工検討の基本方針及び『落石対策便覧』P92、93の対策工選定フローチャート等から、本工区において選定される適切な落石対策工法は下記(表-1)のとおりとなった。

表-1 本工区で選定される落石対策工

落石予防工	落石防護工
(1) ロープ伏工	(3) ポケット式落石防護網工
(2) ワイヤロープ掛工	(4) 落石防護柵工
	(5) 高エネルギー吸収柵工

#### 3. 落石対策工の選定手順

落石対策工の検討は、不安定・やや不安定と判定され、対策が必要な転石等を含む尾根間で区間分けし、尾根毎にそれぞれ比較検討を行った。

落石対策工法は、図-12に示すように、落石予防工(発生源対策)と落石防護工(待ち受け捕捉対策)を並列的に検討し、この検討によって選定された複数の工法に対して経済性、施工性、安全性等を比較して決定した。状況に応じて、落石予防工と防護工の併用案についても検討した。

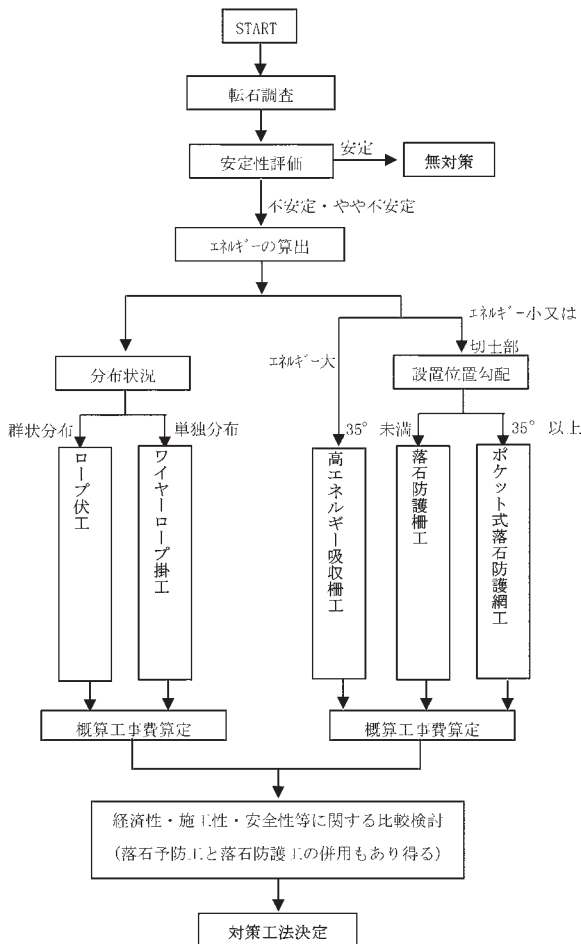


図-12 落石対策工法の検討フロー

#### 4. 各工法の紹介

##### (1) ロープ伏工 (写真-4~7)

ロープ伏工はワイヤーロープを縦・横に斜面に沿わせて格子状に張り、主ワイヤーロープの交点(標準2.0m間隔)をアンカーボルトで固定し、その間に補助ロープを張って(標準0.5m間隔)斜面の転石群を押さえ込む工法である。補助ロープ間隔を50cmまで狭くすることが出来、場合によっては金網を併用することも出来るため、小径の転石にも効果を発揮する。よって本工区においては、転石群箇所に採用した。ワイヤーロープを現地形状に合わせて立ち木間に張るので伐採の必要がないため、自然林の美観を損なうことがなく、除根作業に伴う落石発生の危険もない。また大型機械を必要とせず、人力施工が可能であるため、本工区の落石対策としては最適な工法であった。



写真-4 ロープ伏工施工後状況



写真-5 岩部アンカー削孔状況



写真-6 岩部アンカー挿入状況



写真-7 ワイヤーロープ等設置状況



## (2)ワイヤーロープ掛工 (写真-8)

ワイヤーロープ掛工は、個々に単独で分布する浮石・転石を複数本の横ロープ用いて角度をとって抱き込むように張設し、両端部のアンカーで斜面上に固定させ、滑動・転落を防止する工法である。横ロープにバランスよく負荷させるためと間隔保持材の役目を兼ねて縦ロープ及び縦補強ロープを張設し、交点を十字アンカークリップやクロスクリップで留める。ロープ径は、φ12mmからφ18mmのワイヤーロープを組み合わせて設計を行う。アンカーは岩盤部にセメントアンカー、土砂部にロケットアンカー等を使用する。

ロープ伏工と同様に立木伐採の必要がなく、また大型機械を必要とせず、人力施工が可能な工法である。

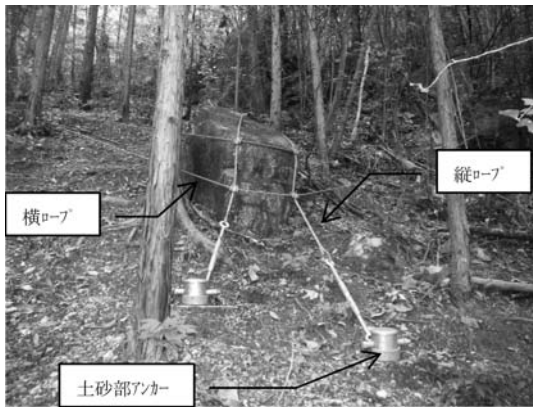


写真-8 ワイヤーロープ掛工

## (3)ポケット式落石防護網

ポケット式落石防護網とは吊ロープ、支柱、金網、ワイヤーロープ等からなり、上部に落石の入口を設け、金網に落石が衝突することにより、落石の持つエネルギーを吸収する。本工区では、落石エネルギーが比較的小さい箇所または切土法面箇所等に採用した。

本工区においては、現時点において未施工であり、本体工事の進捗に併せ施工する計画である。

## (4)落石防護柵工

落石防護柵工は、斜面下部にH鋼を支柱としワイヤーと金網を張った柵を設けて、落石の道路への到達を防止する工法である。本工区では落石エネルギーが比較的小さく設置箇所の勾配が緩い箇所等に採用した。

本工区では、今後施工を予定している。

## (5)高エネルギー吸収柵工 (図-13, 写真-9~13)

高エネルギー吸収柵工は、落石の運動エネルギーを剛な構造で対抗するのではなく、リングネットの大きな変形及びブレーキリングによってエネルギーを吸収する可撓性の落石防護柵である。比較的大きな落石エネルギーに対応可能で、250kJ~2,000kJの規模のものに対応できる。

本工法は、円形に巻き上げたリングをユニットとそれらを4箇所で見交させ編み組したリングネット、リングネットを吊るために設置するサポートロープと支柱、支柱の頭部を地山につなぎとめるリテイニングロープ等から構成される。

基礎ベースアンカー、アップスロープアンカー等について、ロータリーパーカッションで削孔する為、支柱の前後に足場の設置が必要となることから、10m幅程度の伐採が必要となる。しかし地山を緩めるようなことはなく、また資材や使用機械等についても比較的軽量で、モノレールで運搬可能であった。

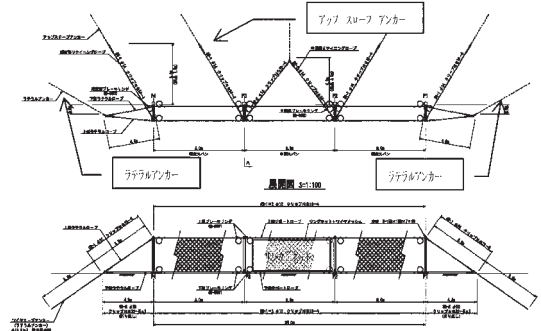


図-13 高エネルギー吸収柵工 構造図



写真-9 高エネルギー吸収柵工

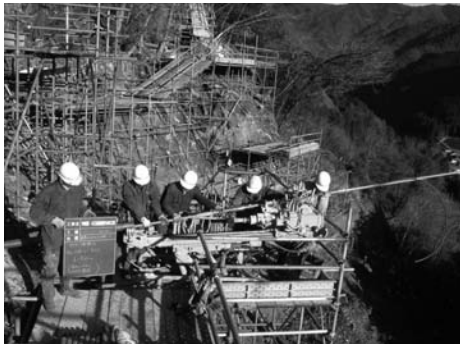


写真-10 ロータリーパーカッションによる削孔後の支柱基礎ベースアンカー挿入状況



写真-11 アップスロープアンカーの設置状況



写真-12 支柱設置状況



写真-13 リングネット設置状況

## V. おわりに

今回の農業用道路建設に係る地山の転石対策に際し、転石調査、落石対策箇所での用地交渉等に時間を要した。しかしながら、農業用道路工事施工中の作業員及び近隣集落に対する安全と安心感、供用開始後の車両の通行に対する安全性を確保することができたと考える。(写真-14, 15)



写真-14 施工済の高エネルギー吸収柵で捕らえた20×30×20cm程度の転石



写真-15 地山の転石対策後の農業用道路工事状況

## 引用／参考文献

- ・落石対策便覧 平成12年6月 (社)日本道路協会
- ・道路土工 のり面工・斜面安定工指針 平成11年3月 (社)日本道路協会
- ・5万分の1地質図幅 金山地域の地質 1992 水谷伸次郎, 小井土由光
- ・ロープネット工技術資料 CCM協会
- ・建設技術審査証明(砂防技術)報告書 リングネット落石吸収柵工法 (助砂防・地すべり技術センター)

# 中海干拓事業（斐伊川左岸地区）のコスト縮減について

吉 松 猛\*  
(Takeshi YOSHIMATSU)

## 目 次

1. はじめに.....	59	4. コスト縮減効果.....	63
2. 斐伊川左岸地区概要.....	59	5. おわりに.....	64
3. 廃止処理計画（コスト縮減方針）.....	60		

### 1. はじめに

国営中海干拓事業（以下、「本事業」という）は、中海の干拓と宍道湖・中海の淡水化による農業用水の確保を目的として着工したが、諸情勢の変化から本庄工区の干陸と宍道湖・中海の淡水化は中止（以下、「淡水化中止」という）されることとなった。この淡水化中止に伴い、既に整備されていた中浦水門等の淡水化施設及び沿岸既耕地の農業用施設については、利用目的を失ったことから財産処分（取こわし、売払い、譲与等）を行うこととなった。

今回、沿岸既耕地の斐伊川左岸地区（以下、「本地区」という）の財産処分において地元関係者と協議した結果、廃止処理事業費のコスト縮減を図ることができたので、その結果を報告する。

### 2. 斐伊川左岸地区概要

本地区は、一級河川斐伊川の左岸の島根県出雲市平田町に広がる農地900haに、淡水化された宍道湖から農業用水を補給する計画で、斐伊川左岸揚水機場、斐伊川左岸幹線用水路及び檜山配水槽等の各施設は、昭和55年度から昭和62年度にかけて建設された。（図-1、表-1参照）

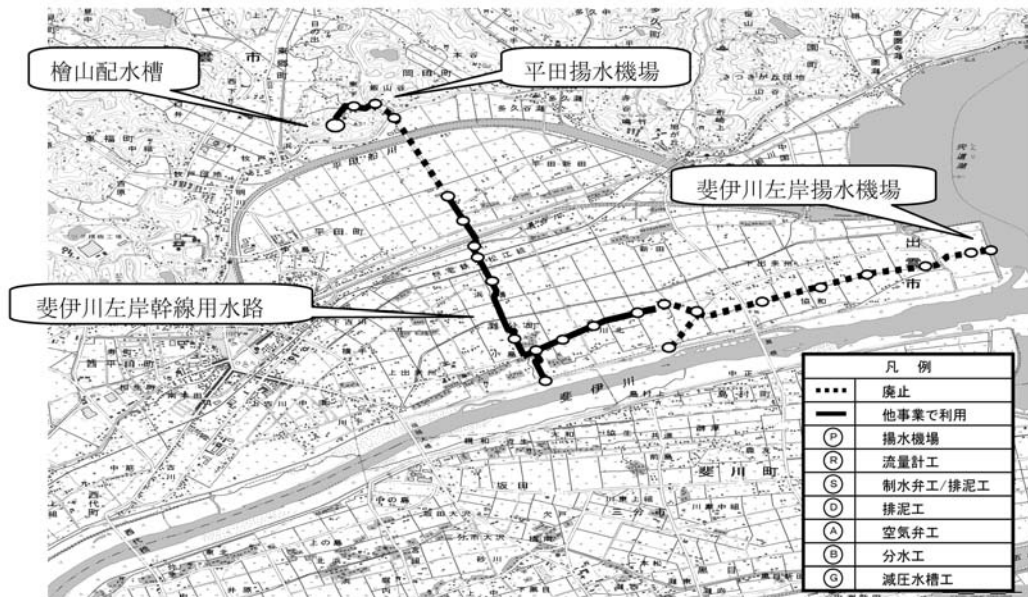


図-1 斐伊川左岸地区平面図

\*中国四国農政局中海干拓建設事業所（Tel. 0852-76-2171）

表-1 斐伊川左岸地区主要施設

施設名	数量	規模
斐伊川左岸揚水機場	RC2F 430m <sup>2</sup>	200mm×1台、500mm×3台、Q=1.543m <sup>3</sup> /s
平田揚水機場	RC1F 180m <sup>2</sup>	125mm×1台、350mm×2台、Q=0.526m <sup>3</sup> /s
斐伊川左岸幹線用水路	L=6.1km	FRPM管φ1,100mm～φ700mm
檜山配水槽	1箇所	PCタンク内径D=23.0m、H=3.1m
檜山配水槽送水管	L=0.3km	DCIP管φ700mm

昭和63年に宍道湖・中海の淡水化が延期され、かんがい用水に困った地元農家は、地区内河川水を揚水機場で補給かんがい（反復水利用）することとして機場等を整備すると共に、国営施設の一部を暫定利用し、水稲の他ブロッコリーや青ネギなど露地野菜の産地として営農を行っている。

### 3. 廃止処理計画（コスト縮減方針）

#### (1) 当初廃止処理計画

国が平成16年度に決定した廃止処理計画では、地元が暫定利用していた檜山配水槽及び檜山配水槽送水管は引き続き利用することとして関連事業に整理替え、斐伊川左岸揚水機場、平田揚水機場及び斐伊川左岸幹線用水路については、利用する計画がないため取こわし（撤去）することで同意を得た。（表-2参照）

表-2 当初廃止処理計画

施設名	廃止処理方針
斐伊川左岸揚水機場	取こわし
平田揚水機場	取こわし
斐伊川左岸幹線用水路	取こわし
檜山配水槽	関連事業に整理替え
檜山配水槽送水管	関連事業に整理替え

取こわしにあたっては、平田揚水機場は民家が隣接しているため、振動、防塵対策が必要である。斐伊川左岸揚水機場及び斐伊川左岸幹線用水路は地盤が砂質土であり、地下水位が高いため、掘削

にあたって切梁式鋼矢板土留めや地盤改良が必要となってくる。

このため、廃止処理計画の同意の際に一部地権者から斐伊川左岸幹線用水路撤去について、「管水路を建設して20年程経過しているので、沈下等が収束して地盤の状態が安定している。」「水田を掘り起こして既設管を撤去した後、地盤が現状のようにすぐ安定するのか。」等の意見があり、実際の工事の前に改めて地元関係者の意見を聞くこととした。

#### (2) 変更廃止処理計画

平成17年度より本地区の廃止処理を行うため関係機関と協議した結果、当初廃止処理計画を決定した際の地元要望への対応や総事業費の縮減を図る目的から、以下の廃止処理方針で地元説明を行った。（表-3参照）

表-3 変更廃止処理計画

施設名	廃止処理方針
斐伊川左岸揚水機場	売払い
平田揚水機場	売払い
斐伊川左岸幹線用水路	2.75kmは関連事業で利用 3.35kmは中詰め充填後、存置
檜山配水槽	関連事業に整理替え
檜山配水槽送水管	関連事業に整理替え

取こわし（撤去）予定であった斐伊川左岸揚水機場及び平田揚水機場は、地元関係者と協議を行い売り払いの方針を確認した。

斐伊川左岸幹線用水路は、関連事業で利用でき

ないか検討した結果、現在暫定利用をしている区間を含む中間付近2.75km（図-1実線区間）について利用することとし、残り区間は中詰め充填して存置することとした。

### (3) 通水試験

関連事業で斐伊川左岸幹線水路の再利用について検討する際、以下の通水試験を行った。

通水試験は、再利用予定区間（φ1,000mm～900mm）を3区間に分けて平成18年9月から10月に行い、設計基準の漏水量以下であることを確認した。（表-4、写真-1～写真-3参照）

表-4 通水試験結果

#### ① 漏水量試験

区間名	延長	許容漏水量	実測漏水量
1 スパン	383m	1,724 リットル/日	36 リットル/日
2 スパン	876m	4,380 リットル/日	103 リットル/日
3 スパン	1,213m	6,065 リットル/日	0 リットル/日

（実測漏水量は2日間の平均）

#### ② 水圧試験

漏水試験時0.2Mpa、水圧試験時0.4Mpa



写真-1 充水状況



写真-2 水圧計測状況



写真-3 土地改良区立会

#### (4) 幹線水路廃止処理計画

通水試験により漏水等の問題がないことが確認できたので、関係機関及び土地改良区と協議した結果、中間の2.75kmについては再利用することとした。

再利用しない上下流区間（L=3.35km）については、現況の水田を掘り返すことのデメリット（表-5参照）が多いことを考え、エアモルタルを充填して存置することで関係地権者に説明を行った結果、理解が得られたので、変更廃止処理計画どおりの工事を行うこととした。

なお、付帯施設（分土工、空気弁工等）については、隣接する水田より1m下まで撤去して、真砂土と表土で埋め戻す計画とした。

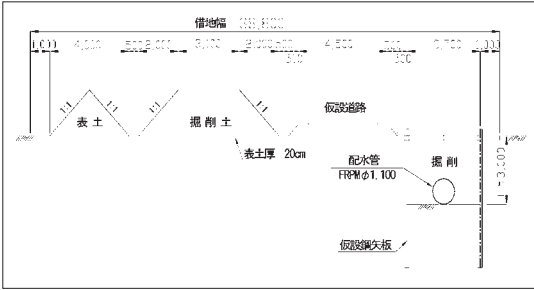
表-5 既設埋設管撤去のメリット、デメリット

メリット	デメリット
<ul style="list-style-type: none"> <li>パイプがなくなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事用道路を建設することにより水田を荒らす範囲が広がる。</li> <li>鋼矢板打設のため大型機械が入り水田を圧密する。</li> <li>地下水位が高いため、埋戻し後地盤の安定する期間が確定できない。（写真-4参照）</li> <li>多大な工事費を必要とする。</li> </ul>

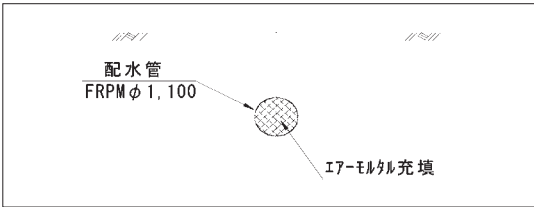


写真-4 試掘状況

当初計画図



変更計画図



付帯施設撤去計画図

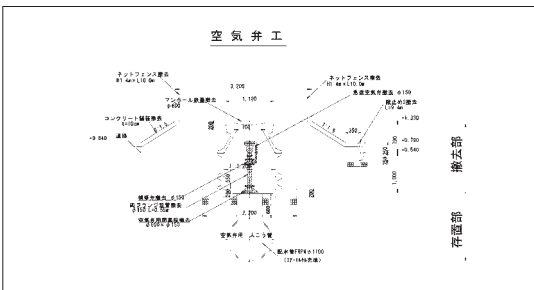


写真-6 充填状況

②付帯施設撤去工 (写真-7, 写真-8参照)



写真-7 分水管撤去状況

(5) 幹線用水路廃止処理工事

①エアモルタル充填工 (写真-5, 写真-6参照)



写真-5 プラント



写真-8 分水管撤去状況

(6) 廃止処理後の整理

既設管廃止処理後(充填後)は、地上権を抹消した。また、構造物を撤去した付帯施設部分の土地は、隣接地権者に売却を行った。(写真-9, 写真-10参照)



写真-9 流量計室撤去前



写真-10 流量計室撤去後

#### (7)河川・道路協議

今回の廃止処理計画において、河川・道路の管理者である出雲市との協議（占用廃止）が問題となったが、農地については地権者の理解のもと既設管を存置するため、河川・道路部分を撤去となると、工事に際して隣接する農地の借地等も発生し農家の理解が得られない。また、横断箇所数が多く工事費も期間も多大にかかることから、既設管を存置したまま占用廃止の協議を行うことで了解を得た。

### 4. コスト縮減効果

今回の廃止処理計画の見直しにより、以下のコスト縮減を図ることができた。

#### (1)斐伊川左岸揚水機場

項目	廃止処理内容	工事費
当初	全面取こわし	49,000 千円
実施	一部取こわし、 売払い	30,000 千円
コスト縮減額		19,000 千円

#### (2)平田揚水機場

項目	廃止処理内容	工事費
当初	全面取こわし	30,000 千円
実施	売払い	0 千円
コスト縮減額		30,000 千円

#### (3)斐伊川左岸幹線用水路

##### ①一部路線の再利用に伴うコスト縮減

項目	廃止処理内容	工事費
当初	全線撤去 (L=6.1km)	680,000 千円
実施	一部撤去 (L=3.35km)	402,000 千円
コスト縮減額		278,000 千円

##### ②既設管を存置したことによるコスト縮減

項目	廃止処理内容	工事費
当初	撤去工法	402,000 千円
実施	存置工法	60,000 千円
コスト縮減額		342,000 千円

#### (4)檜山配水槽、檜山配水槽送水管

当初計画どおり

#### (5)コスト縮減額計

施設名	コスト縮減額
斐伊川左岸揚水機場	19,000 千円
平田揚水機場	30,000 千円
斐伊川左岸幹線用水路	620,000 千円
檜山配水槽	0 千円
檜山配水槽送水管	0 千円
計	669,000 千円

## 5. おわりに

本地区の地元説明にあたっては、本事業休止期間中の県営事業の整備内容について把握するとともに、既設の国営施設の現状を確認することが最初の作業となった。

この中で、再利用区間の分木工を確認したところ、分木工内の施設は地下水が充満して完全な水没状態にあったが、水替えをして施設の状況を確認したところ、錆もほとんど無く十分使用に耐えられる状態であった。(写真-11参照)

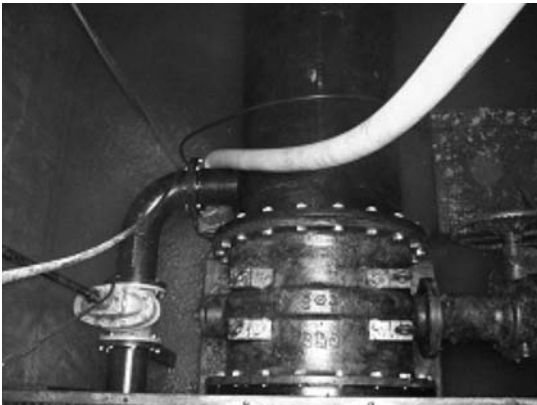


写真-11 既設分木工洗浄後

このことにより地元関係者も施設の再利用について理解を示された。

また、存置区間については損失補償を行うとともに、既設境界杭の撤去を行うなどの対策を講じた。

本地区は昨年度、幹線用水路の廃止処理、整理替えが終わり、今年度は揚水機場の売払いを行う予定であるが、このように短期間で廃止処理が行えたのも地元関係者の理解、協力があったからである。併せて、今回の廃止処理計画の変更により多大なコスト縮減が図られた。

今後、本地区の用水確保は、斐伊川沿岸農業水利事業によって図られることとなるが、早期の事業完了により地域の農業がより一層発展することを祈念したい。



# ストックマネジメントにおける パイプライン機能診断実施に伴う課題

宇 野 健 一\*  
(Kenichi UNO)

## 目 次

1. はじめに……………	65	4. パイプライン機能診断現地調査における課題……	66
2. パイプラインにおける機能診断……………	65	5. むすび……………	69
3. 機能診断の事例（東条川地区3号幹線水路サイホン区間）…	66		

## 1. はじめに

これまでの農業水利施設の機能を維持するための手法は、劣化の進行に伴う施設性能の著しい低下や、営農形態の変化等に伴う施設改良の必要が生じた場合に、更新整備を行うものであった。部分的な損傷等については維持管理の一環として補修等の対策が行われてきた。今後は限られた予算の中で、効率的に農業水利ストックの機能を維持するために、施設機能診断の結果に基づいて効率的・効果的な対策を選択実施するストックマネジメントを導入し、施設の長寿命化・ライフサイクルコストの低減を図らなければならない。国営造成水利施設については、平成19年度から平成23年度までの5ヵ年間で、一部を除く全ての基幹的水利施設に対して機能診断及び機能保全計画の策定を行い、施設管理者に対し施設の保全に関する指導・助言を実施することとなっている。実際に、パイプライン施設に対して機能診断を行った際に、多くの課題に直面した。今後、効率的にストックマネジメントを実施していくためには、発展途上であるストックマネジメント技術の様々な技術的課題を解決する必要がある。

本報文では、滋賀県日野川流域地区、及び兵庫県東条川地区・東播用水地区・加古川西部地区におけるパイプライン施設の一部を対象に機能診断を行った業務の中で、実際に課題となった事柄について考察を加え報告する。

## 2. パイプラインにおける機能診断

### 2-1. 基本的な考え方

パイプラインは地下埋設構造物であるため、管体の状態を日常的に把握することは困難である。そのため、漏水事故や通水障害などの具体的な劣化症状が現れてから対策を立てる、いわゆる事後保全的な対応が多いのが実情である。しかしながら、施設の長寿命化を図るためには可能な限り予防保全的な対応が必要であり、不具合が軽微な段階で効果的な対応をとることが必要となる。

### 2-2. 現地調査の方法

農業水利施設ストックマネジメントマニュアルによれば、パイプラインの機能診断における現地調査は次の3つの段階で実施することとなっている。

#### (1)事前調査

設計図書や施設管理者が有する維持管理記録資料等の収集及び聴き取り調査

#### (2)現地踏査（概査）

埋設位置の地盤陥没、地すべり、水管橋等の地上配管等から把握できる変状などの施設の劣化状況を把握する調査

#### (3)現地調査（精査）

漏水の有無、漏水量、水圧、流量の調査（管内面調査や管体の掘起しは必要に応じて実施）

実際は漏水量や圧力の数値のみから予防保全的な対応を行うのは困難であり、高い精度の評価を行うためにはできる限り長い区間について管内面の直接目視による調査が必要とされる。平成19年度は管内面調査に重点を置いたが、調査の過程において様々な課題が判明した。次章以降、診断事例と併せてそれらの課題を述べる。

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

### 3. 機能診断の事例（東条川地区3号幹線水路サイホン区間）

#### 3-1. 施設諸元

昨年度に機能診断を行った東条川地区3号幹線水路サイホン区間の施設諸元は次のとおりである。



写真-1 土砂の堆積

所在 兵庫県小野市曾根町内他  
延長 1,055m  
管種 鋼管（φ942mm）  
施工年 昭和29年度（国営東条川農業水利事業）

#### 3-2. 診断手法及び結果

当サイホンは口径がφ942mmであるため、調査員が直接管内に進入して目視を行うことが可能であり、また管内状況の記録を映像で残しておきたいことから、直接目視・TVカメラ併用で現地踏査（概査）を行った。なお、現地調査（精査）は全て直接目視で行うこととしている。現地踏査した範囲及びその結果概要は図-1のとおりである。

現地踏査から、管内面の塗装面に全体的に微細な錆こぶ、ひび割れが発生していることがわかった。特に下流末端110m区間では腐食が激しく、再塗装が必要なまでに劣化が進んでいることがわかった（写真-2）。聴き取り調査から県道横断部分ではコンクリート巻立てで施工されていることが判明したため、コンクリート／土壌マクロセル腐食による漏水事故の可能性が疑われた。

この区間では過年度にマクロセル腐食によるものと推察される漏水事故も発生している。このため、試掘による詳細な調査が必要であると判断した。同じようにその他の区間についても精査を行い、今後施設機能劣化予測を経て機能保全計画を策定することとしている。



写真-2 浮き錆の発生

### 4. パイプライン機能診断現地調査における課題

#### 4-1. 進入口（人孔）の数に関する課題

パイプラインを直接目視するにあたり、調査員が出入りできる人孔の少なさが課題となることが

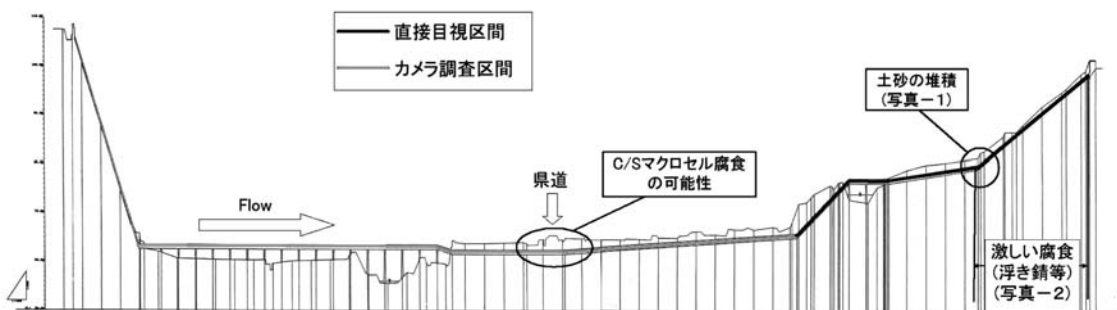


図-1 調査区間の概要（3号幹線水路縦断面図）

ある。全国の農業用水路の分土工間の平均距離は1.15kmと言われているが、今回調査地区についても全般に人孔が少なく、そのため調査員が進入不可能な区間の対応が課題であった。さらに人孔の少なさは排砂できない区間が生じるなど、管理面において不便を強いられることもある。本年度業務のうち東播用水地区岩岡支線水路については排泥工がないために、管理者からの設置要望を受けて施工されている土砂撤去のための県営追加人孔設置工事(写真-3及び図-2)と併せて機能診断を行うことにより、目視延長を長めに確保することができた。追加人孔を設置することは機能診断延長を伸ばすことができるだけでなく、管理に要する労力の軽減も図られるため、両面において望ましいことと言える。特に小口径パイプラインでは人の進入不可能な区間が多く、排泥工を兼ねた縦孔が必要である。十分な数の人孔を設けることはパイプライン内への出入りを容易にし、維持管理をより効率的に行うことを可能にすることとなる。



写真-3 追加人孔設置状況

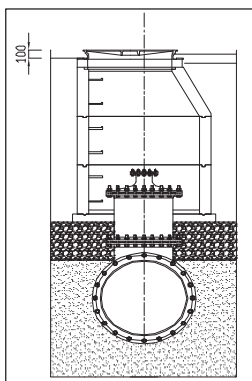


図-2 人孔断面図

#### 4-2. 進入口（人孔）の位置に関する課題

パイプラインの人孔は、交通量の多い道路上に設置されている場合もある。このような人孔から入り管内を直接目視で診断するには、写真-4のような交通誘導員の確保や道路協議などが必要となる。このため調査の実施に際し多くの時間や手間を要することとなったり、またきめ細やかな維持管理の妨げにもなる。数箇所程度ならまだしも、数十箇所もある道路上の人孔から順次機能診断を行うことは大変難しい。このような人孔は管理面でも支障をきたすため、新設時には何らかの配慮が必要であると思われる。



写真-4 交通誘導状況

#### 4-3. 管内カメラに関する課題

φ80mm未満の小口径パイプラインを管内目視調査するためには、写真-5及び写真-6に示すような管内カメラを用いる必要がある。しかし管内カメラによる機能診断は映像で記録を残せる利点があるものの、単価が高いうえにクラック幅などの計測を正確に行うことはできず、画像からは細かな変状を捉えることはできないなどの欠点も有する。管内カメラによる調査可能な範囲は表-1のとおりであり、曲がる角度や勾配に限界があること、延長の制限もあるため、どのような条件下でも使用できるわけではない。しかし現在のところ小口径パイプラインにおける機能診断ではカメラによる調査、漏水調査（水張り試験等）、及び試掘調査以外に適当な方法はなく、今後新しい診断技術の開発が必要とされている。

表-1 管内カメラによる調査可能な範囲

管 径	φ 500mm以上	※ただし、現場条件によっては数値が悪くなることもある。
最大曲がり	約15度～30度	
最大勾配	約30度	
最大延長	600m(上下流で1,200m)	

て目視を行う場合であれば部分的に汚泥を除去して表面を確認することができるものの、管内カメラにより観察する小口径パイプラインの場合は汚泥を直接除去することはできない。また管内洗浄を行えば1,000～1,200円/m程度の費用がかかるため現実的な選択肢ではない。結果として、管内カメラでは表面の状態を把握することはほとんどできない。業務発注段階で汚泥の付着状態を予測することは困難であり、実際に管内に入るまでわからないのが実情であるので、内面状況を事前に推測するための手法が必要であると思われる。



写真-5 自走式TVカメラ設置状況

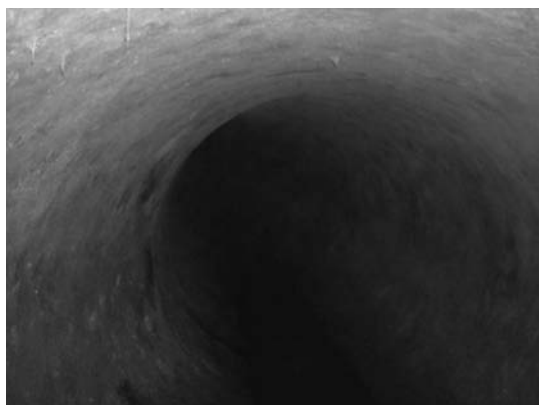


写真-7 汚泥・カビの付着



写真-6 自走式TVカメラ



写真-8 付着汚泥除去状況

#### 4-4. 管内面に付着する汚泥に関する課題

パイプラインでは、内面全体にわたり汚泥が付着していたり、カビ等が繁茂していることがあり（写真-7、写真-8）、こうした付着物を取り除かない限り表面の状態を把握することはできない。しかし、全てを取り除くためには多大な労力がかかるため現実的でない。調査員が直接進入し

#### 4-5. 空気弁类等部品交換に伴う機能診断費の大幅増

機能診断を行う際、進入口を確保するために空気弁の取り外しが必要となる。鉄製（SS）のボルトを使用している場合は錆の影響により元通り締

め直すことができなかつたり、ボルトを緩めることが出来ず切断を余儀なくされることもある（写真-9、写真-10）。できるならば今後は当初からステンレス製（SUS）のものを使用するなど、施設の長寿命化の視点を踏まえた設計も大切であ

る。例えば、表-2に示すようにSS製のボルトを用いた弁類当初設置費では1箇所あたり約85,000円、SUS製のボルトを用いた場合は約116,000円でありイニシャルコストはSS製が31,000円有利であるが、数年後あるいはそれ以降に定期的にボルト等の交換が生じる場合はSUS製を用いたほうが長期的に有利となり、ライフサイクルコストを低減させることとなる。

## 5. むすび

ストックマネジメントが本格的に始まったのはごく最近のことであり、いまだ発展途上の段階にある。そのため、機能診断等を行うにあたり、まだ不明確な点、技術的に難しい点、現地にうまく適用できない点が多々見受けられる。特にパイプラインは地下埋設構造物であるため課題が多く、正確に診断することが難しい。当初予測できなかったような現場の不具合、機能診断費の大幅増などもみられ、これらの課題を1つ1つ整理・解決してゆくことが即ちストックマネジメント技術の向上蓄積になると考える。

さらに重要なことは、施設管理・施設保全を見据えた設計・施工を行うことである。適切な維持管理を行い難い構造を持った施設は自ずと損傷が早くなり、結果として多大な維持管理費の支出を余儀なくさせることになりかねない。ライフサイクルコストの低減や施設の長期的な有効活用をするために、設計・施工段階からストックマネジメントの視点を持つことが非常に重要なことであると考えられる。



写真-9 鉄製ボルトの切断



写真-10 ステンレス製ボルトにより再設置

表-2 弁類設置費の比較（SS使用時とSUS使用時，1箇所あたり）

	SS製ボルトナット (当初設置)	SUS製ボルトナット (当初設置)	SS製ボルトナット (再設置)	SUS製ボルトナット (再設置)
ボルトナット 材料費	6,240円	36,448円	6,240円	0円
パッキン類他 材料費	9,000円	9,000円	9,000円	9,000円
据付費	70,580円	70,580円	70,580円	70,580円
再設置費 合計	85,820円	116,028円	85,820円	79,580円

※M24X110Lボルトナット 16本使用の人孔の場合

※参考 SS製ボルト切断費 7,000円/箇所

# 十勝地域の畑作農業における排水改良の効果について

—甜菜の単位収量と排水改良事業の関係の検証—

加藤 広 宣\* 中村 泰 弘\*  
(Hironobu KATO) (Yasuhiro NAKAMURA)

## 目 次

1. まえがき	70	3. 重回帰分析による解析	71
2. 検証の対象とする作物の選定	70	4. あとがき	73

### 1. まえがき

北海道十勝管内では、寒冷な気象条件と排水不良が著しい湿性型火山性土等が6割を占める状況下において、寒冷地に対応した営農技術の導入と並行して、排水改良等の土地基盤整備が積極的に進められてきた。

その結果、甜菜、馬鈴薯、豆類、小麦の4作物を主要作物とした安定的輪作体系を確立し、我が国有数の畑作農業地帯となり、現在では北海道の畑面積の28%、農業産出額の1/4を占めている。

十勝地域では、これまでに戦後直後に創設された直轄明渠排水事業を始めとし、国営かんがい排水事業、畑地帯総合土地改良パイロット事業等により基幹排水路1,160km（受益面積で約10万ha）、道営事業等により暗渠排水5万4千haが整備されている（図-1）。

本報告は、十勝地域における畑作物の単位収量と排水改良事業の関係を解析し、排水改良が畑作農業に果たした効果を検証するものである。

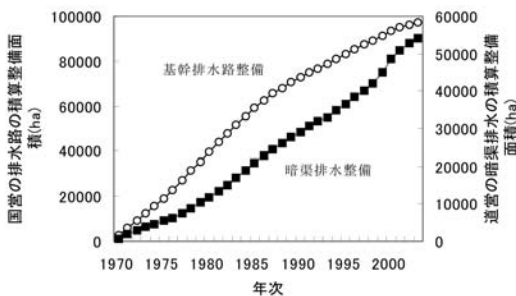


図-1 各事業の整備面積の推移

### 2. 検証の対象とする作物の選定

甜菜は、十勝地域における農業産出額の11%を占めるとともに、小麦、馬鈴薯、豆類を組み合わせた輪作体系を安定的に行う上でも重要な作物である。しかしながら、甜菜は他作物に比べて降水量の多少に敏感に反応し、多雨降雨年には単位収量が著しく低下したことが報告されている（菊地、1998）。

一方、北川（2005）は、十勝地域で暗渠設置圃場と未設置圃場において冷湿害年に相当する1996年の甜菜及び馬鈴薯の単位収量を調査し、両作物とも暗渠設置ほ場で単位収量が上回っており、その程度は馬鈴薯に比べて甜菜が顕著であると報告している（図-2）。これらのことから、畑地の排水改良が甜菜の生産量の安定化に関係することが示唆される。

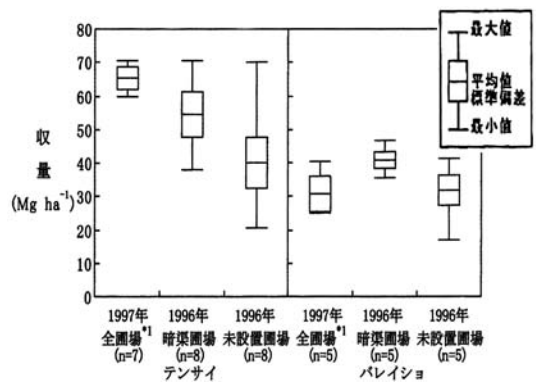


図-2 十勝地域の冷湿害年(1996年)における暗渠圃場、未設置圃場の作物単位収量の推移（北川、2005）

\*北海道開発局帯広開発建設部農業開発第2課  
(Tel. 0155-24-4124)

また、「甜菜の収量，糖分，糖量の推移からみた土地盤整備事業の効果：十勝支庁（2005）」で、1970年以降の各年の甜菜の単位収量が集落別に整理されており，検証に用いることが可能である。

そこで，本報告では「甜菜」を検証の対象とする作物とした。

### 3. 重回帰分析による解析

甜菜の単位収量と排水改良事業との関係を，重回帰分析（変数増減法）により検討した。

重回帰分析では，目的変数を「甜菜単位収量」，説明変数を，(1)気象要因，(2)栽培要因，(3)排水改良事業要因の3因子とした。

なお，甜菜単位収量には北海道農林水産統計年報（1970～2003）を使用した。

#### (1)気象要因

甜菜は他作物に比べて降水量の多少に敏感に反応し，多量降雨年次には単位収量が著しく低下することが示されている（菊地，1998）。また，初期生育期に水分過多の条件ほど単位収量低下の危険性が增大するとされている（菊地ら，2002）。

丹羽ら（1999）は，十勝地域において，水分過多条件と乾燥条件での甜菜の生育状況を調査し，甜菜移植後，6月下旬の時点で生育差が発生し，土壌水分の過剰な条件ほど甜菜の地上部（草丈），地下部（根周）の生育が劣り，根系発達も阻害されるとしている。なお，9月になると，両条件の根茎発達には差が認められなくなるが，6月下旬に発生した生育差を埋めることができず，最終的な単位収量は水分過多の条件の甜菜で劣るとしている。

1970～2003年の各年の十勝地域における作物の単位収量と5月以降の積算降水量及び積算気温（十勝管内の気象観測所20箇所の平均値より）を重回帰分析した結果を（表-1）に示す。各作物の単位収量は積算降水量と負の関係にある。中でも甜菜の単位収量と降水量の相関は他の作物より高く，特に生育前半の5～6月の積算降水量と甜菜の単位収量には最も高い相関が認められる。

これらのことから，1970～2003年の各年の5月～6月の積算降水量を気象要因の説明変数とした。

#### (2)栽培要因

甜菜は，1986年に従前の重量取引から糖分取引切り替わったことに伴い，糖分含量を増加するための品種改良や肥培管理が行われるようになり，

表-1 十勝地域に作付されている主要畑作物の1970～2003年の単位収量と各気象要因と相関係数

	小麦		ばれいしょ		てんさい		大豆		小豆	
	相関係数	判定	相関係数	判定	相関係数	判定	相関係数	判定	相関係数	判定
積算降水量										
5月	-0.34	*	-0.28		-0.48	**	-			
5～6月	-0.41	*	-0.51	**	-0.72	**	6月	-0.34	*	-0.42
5～7月	-0.36	*	-0.45	*	-0.64	**	6～7月	-0.26		-0.20
5～8月			-0.23		-0.52	*	6～8月	-0.41	*	-0.25
5～9月			-0.20		-0.38	*	6～9月	-0.30		-0.12
5～10月					-0.20					
積算気温							積算気温			
5月	-0.08		-0.25		-0.02		6月	0.40	*	0.43
5～6月	0.14		-0.02		0.27		6～7月	0.66	**	0.54
5～7月	0.00		-0.19		0.12		6～8月	0.72	**	0.59
5～8月			-0.35		-0.01		6～9月	0.72	**	0.62
5～9月			-0.33		-0.01		5～10月			0.05
5～10月					0.05					

\*：5%水準で有意，\*\*：1%水準で有意

これ以降は栽培方法が大きく変化した。このことから，取引形態の違いが，栽培管理形態の違いと連動するとして，1970～2003年までの取引形態を栽培要因の説明変数とし，ダミー変数（1970～1985年＝重量取引：0，1986～2003年＝糖分取引：1）とした。

#### (3)排水改良事業要因

排水改良事業は，基幹排水路から圃場末端レベルの暗渠排水の整備が完結してはじめて，農作物単位収量に直接的な影響を与えると想定されたことから，排水改良事業要因の因子として，1970～2003年の各年の国営事業による基幹排水路の整備量（面積ベース）と暗渠排水の両方の積算整備面積を主成分分析し，国営事業による基幹排水路と暗渠排水の整備面積の合成変数を作成し，その合成変数を説明変数とした。

なお，国営事業による基幹排水路の整備量は十勝管内において行われた100ha以上の排水路を路線毎にその支配面積を事業年度で配分し整備された面積とし算定，暗渠排水については十勝管内の全ての農協で保有されていた年度毎の整備率に普通畑面積（北海道農林水産統計年報より）を乗じ算定した。

#### (4)甜菜単位収量と各説明変数の相関

甜菜の単位収量と各説明変数との相関係数は，5～6月の積算降水量と排水改良事業に関する合成関数で大きく，栽培管理に関する変数で小さい値を示した（表-2）。気象要因と甜菜単位収量の相関係数は負の値であり，降水量が増大すると甜菜単位収量が低下することを示す。また，排水改良事業要因と甜菜単位収量の相関係数は正の値であり，整備面積が増加すると甜菜単位収量が増加することを示す。

表-2 各説明変数と甜菜単位収量の相関係数

相関係数	気象要因 (5~6月の積算降水量)	栽培要因 (栽培管理 (取引形態)のダミ 一変数)	排水改良 事業要因 (排水改良 事業の合 成変数)	甜菜単位収 量
甜菜単位収 量(t/ha)	-0.72	0.38	0.56	1.00

(5)重回帰分析の結果

重回帰分析の結果、説明変数の中でも甜菜単位収量と最も相関係数の低い結果となったのは「栽培要因」因子であり、「5~6月の積算降水量」と「排水改良事業の合成変数」が甜菜単位収量と比較的相関が高い因子であった。

ここで、(表-3)のとおり気象要因及び排水改良事業要因の2要因による甜菜単位収量の決定係数は0.68で、これら2つの説明変数を用いて、甜菜単位収量を高い精度で推定することが可能である(図-3)。

さらに重回帰式は、「5~6月の積算降水量」は甜菜単位収量に対してマイナスに働き、「排水改良の合成変数」はプラスに働くことを示す。

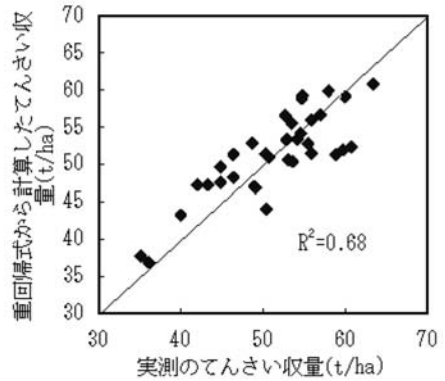


図-3 実測の甜菜単位収量と重回帰式による算出との関係

= 重回帰式 =

$$Y(\text{甜菜収量: t/ha}) = -0.06 \times (\text{5~6月の積算降水量: mm}) + 8.6 \times 10^{-5} \times (\text{排水改良事業の合成変数}) + 61.6 \quad R^2 = 0.68$$

以上のことから、排水改良事業要因が甜菜単位収量を増加させることが示唆された。

表-3 5~6月の積算降水量と国営事業による基幹排水路の整備面積と道管による暗渠排水の整備面積の合成変数

年次	国営幹線排水路の積算整備量(ha)	暗渠排水の積算整備量(ha)	5~6月の積算降水量(mm)	国営事業による基幹排水路の整備面積と道管による暗渠排水の整備面積の合
1970	41,846	797	156	-59177
1971	44,973	1,961	236	-55870
1972	48,581	2,927	178	-52238
1973	51,615	3,965	112	-49072
1974	54,716	4,643	362	-46017
1975	58,399	5,386	353	-42420
1976	62,279	6,055	138	-38683
1977	66,205	7,663	127	-34462
1978	70,602	8,717	261	-30091
1979	74,734	10,496	130	-25608
1980	78,748	11,581	144	-21560
1981	83,013	13,224	207	-17022
1982	87,013	15,130	160	-12588
1983	90,982	16,988	238	-8212
1984	94,889	18,844	137	-3891
1985	98,325	20,859	47	91
1986	101,611	22,783	151	3903
1987	104,714	24,334	99	7359
1988	107,240	25,948	194	10349
1989	109,725	27,725	275	13367
1990	112,010	29,110	110	16036
1991	114,200	30,591	69	18670
1992	116,013	31,812	184	20845
1993	118,144	32,807	285	23195
1994	120,425	35,032	137	26257
1995	122,255	36,368	234	28502
1996	124,294	38,325	256	31224
1997	126,430	40,140	180	33965
1998	128,420	42,176	217	36673
1999	130,652	45,062	215	40004
2000	132,532	48,446	171	43258
2001	134,157	50,757	99	45782
2002	135,527	52,733	87	47923
2003	136,588	54,114	118	49510



#### 4. あとがき

本報告では、重回帰式を用い甜菜の単位面積当たり収量と排水改進黨業に関する合成関数の間に正の相関があることが検証された。

排水改進黨業の效果については、さらに、排水改進黨業と土壤水分過多の解消との関係の検証に加えて、他作物や市町村単位或いは集落単位等の小さな区域においての検証も必要であると考えられ、今後の研究等に期待するものである。

#### (参考文献)

- ・帯広開発建設部：十勝地域排水改進黨業效果検証業務報告書（2006）
- ・北川 巖：積雪寒冷地における排水改進黨業の現状と今後の課題，土壤の物理性，100，（2005）
- ・十勝支庁：てん菜の収量，糖分，糖量の推移からみた土地基盤整備事業の效果，（2005）
- ・菊地晃二：十勝管内における土地生産性に及ぼす気象要因の影響，（1998）
- ・菊地晃二・丹羽勝久：北海道を例とした積雪寒冷畑作地帯における農地整備，農土誌，70，（2002）
- ・丹羽勝久・辻修・大淵清志・菊地晃二：細粒質褐色低地土畑の耕盤層破碎による土壤物理性改良と甜菜の根系発達，ペドロジスト，（1999）
- ・農林水産省北海道統計事務所：北海道農林水産統計年報，農業統計市町村別編（1970～2003）

# 日本初、再生水利用による大規模かんがい計画について

—国営土地改良事業地区調査「島尻地区」の概要—

仲 村 元\* 鋼 鉄 幸 博\* 荒 川 浩 成\*\*  
 (Hajime NAKAMURA) (Yukihiro HAGANE) (Hironari ARAKAWA)

## 目 次

1. はじめに……………	74	5. 島尻地区水質管理指標……………	80
2. 水資源のリサイクル状況……………	74	6. 今後の検討事項……………	81
3. 島尻地区の調査概要……………	75	7. おわりに……………	81
4. 再生水実証試験……………	76		

### 1. はじめに

水資源に恵まれているとされてきたわが国においても、しばしば大規模な渇水が各地で発生しているが、ダム適地の減少、自然環境保全意識の高まりにより、新たな水源開発は困難になりつつある。こういった社会背景から、特に都市近郊を中心として水を循環させる「水のリサイクル（再循環）」に対する関心が高まっており、下水処理水を水洗用水や修景用水等へ再利用する事業が各地で展開されている<sup>1)</sup>。

今回報告する沖縄本島南部に位置する島尻地区では、下水処理水を再処理した水（再生水）を農業用水として利用する調査計画が進められている。再生水を農業用水として利用するにあたっては、再生水及び再生水により栽培した作物の安全性を確認する必要がある。

この報文は、これまでに行ってきた各種検討内容や調査結果に基づいた本地区独自の水質管理指標の策定に向けた取り組みについて報告するものである。

### 2. 水資源のリサイクル状況

#### (1)わが国における再生水利用の状況

国土交通省にて設置された「下水処理水の再利用のあり方に関する懇談会」中間とりまとめ（平成20年4月）によると、わが国における再生水利用量は、平成17年度で約2億m<sup>3</sup>であり、下水処理水の再利用率は約1.4%となっている。

また、再生水利用量のうち農業用水として利用されている割合は5.9%となっている（表-1）。

表-1 わが国における再生水利用実績  
 （平成17年度）<sup>2)</sup>

用途	処理場数	千 m <sup>3</sup> /年	割合
水洗トイレ用水	43	6,592	3.4%
環境用水			
①修景用水	87	48,340	24.7%
②親水用水	18	3,299	1.7%
③河川維持用水	8	63,797	32.6%
融雪用水	35	42,599	21.7%
植樹帯散水	73	1,330	0.7%
道路・街路の清掃・散水	34	65	0.0%
工事現場の清掃・散水	43	214	0.1%
<b>農業用水</b>	<b>28</b>	<b>11,630</b>	<b>5.9%</b>
工業用水道への供給	3	2,807	1.4%
事務所・工場への直接供給	47	15,243	7.8%
計	241	195,916	

#### (2)海外での再生水のかんがい利用の事例

再生水のかんがい利用は、米国をはじめイスラエル、フランス、クウェートなどの国で行われており、日本でも主に水稻用として行われている。

米国では、20世紀初期から本格的な排水再利用が進められてきた。中でも、カリフォルニア州は排水再利用の先駆的な州であり、1978年に「タイトル22条例」と呼ばれる州独自の排水再生基準が定められている。

\*沖縄総合事務局土地改良総合事務所（Tel. 098-856-6868）  
 \*\*アジアプランニング(株)（Tel. 096-372-6440）

「タイトル22条例」では、通常の生物学的排水処理にろ過及び塩素消毒を加えた三次処理で、病原性微生物のほとんどない再生水を生産できると規定しており、微生物学的衛生評価に対しては大腸菌群数のモニタリングに依存している。「タイトル22条例」は、排水再利用の水質基準と施設基準の両方を規定しており、米国においても最も厳しい規制基準の一つとされている（表-2）<sup>3)</sup>。

表-2 カリフォルニア州排水再生基準  
（「タイトル22条例」）

項目	再 利 用 水 質 基 準
大腸菌群数	<ul style="list-style-type: none"> <li>・7日間の中央値は2.2MPN/100mL未満</li> <li>・30日間で23MPN/100mLを超えるものは1サンプルまで</li> <li>・240MPN/100mLを超えるサンプルがあつてはならない</li> </ul>
濁度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・24時間の平均が2NTUを超えない</li> <li>・24時間の5%が5NTUを超えない</li> <li>・常時10NTUを超えない</li> </ul>

MPN：確率統計的に大腸菌群数を測定した単位。  
NTU：濁度の単位。水中に光を当てたときに、遮断される割合を表したもの。

### 3. 島尻地区の調査概要

#### (1)地区概要

沖縄本島の南部に位置する島尻地区は、主にジャーガルと島尻マージからなる土壌と温暖な気候条件及び都市近郊という立地条件により、豊かな農業地帯を形成している（図-1）。主な作物はサトウキビであるが、サヤインゲン、レタス、チンゲンサイなどの野菜や小ギクなどの花卉類も地区全体で広く栽培されている。しかし、周辺に利用可能な河川やダム適地がなく、地表水・地下水

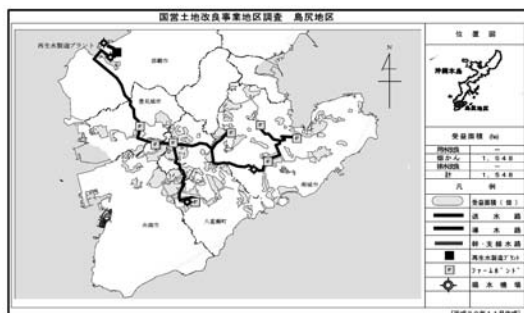


図-1 島尻地区事業構想図

を利用した畑地かんがい制限されることから、高収益作物の導入が困難な状況となっている。

このようなことから、那覇浄化センター（沖縄県人口の1/4：約37万人）の下水処理水を再処理した水（再生水）を約1,550haの畑地へのかんがい用水として供給する事業構想を検討している。

#### (2)再生水実証プラントの概要

本地区では、平成14年度に再生水実証プラントを那覇浄化センター内に設置し、処理工程のシミュレーションを行うとともに、再生水の「人への安全性」、「農作物への影響」、「環境への影響」について検討を行っている。

再生水実証プラントの基本的な設計の指針には、米国カリフォルニア州の排水再生基準である「タイトル22条例」を採用した。タイトル22条例は、カリフォルニア州における再生水の水質基準及び施設基準であり、再生水の用途によってその基準値は異なってくるが、島尻地区ではレタスやオクラ、マンゴーなど生食用作物へのかんがいを想定していることから、タイトル22条例の中でも最も厳しい要求事項（大腸菌群数2.2MPN/100mL以下、濁度2NTU以下）をクリアする水質を目標とした。

プラント設置当初は、消毒工程を2系統（塩素・紫外線）に分けて、それぞれの消毒方法の特性を調べていたが、塩素と紫外線を効果的に組み合わせることによって、ユスリカ等の発生による再生水水質のバラツキが解消されたことから、平成18年1月より処理工程を一本化して、図-2に示されるとおり、前後の塩素処理を含む「凝集・沈殿処理→砂ろ過処理→紫外線消毒」の工程で30m<sup>3</sup>/日の運転を行っている<sup>4)</sup>。

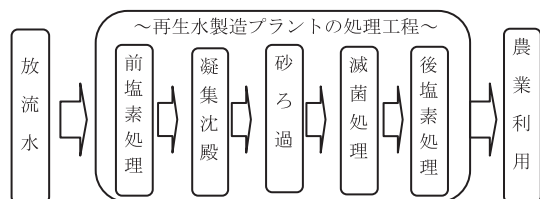


図-2 島尻地区再生水処理フロー<sup>5)</sup>

凝集・沈殿処理工程では、凝集剤にPAC（ポリ塩化アルミニウム）を使用しており、50mg/Lの設定注入率で約5分間の急速攪拌を行った後、約40分間かけてフロックと呼ばれる小さな固まりを

形成させ、水面積負荷（流入水量を沈殿槽の水面積で除した粒子沈降速度の理論値）43m/日で沈殿させている。砂ろ過処理工程ではアンストライト（粒径1.5～2.0mm）、砂（粒径0.6～0.7mm）及び支持砂利の多層ろ過を使用しており、2基で300m/日の運転を行っている。さらに、紫外線消毒工程では0.1kWの低圧水銀ランプ2基で運転を行っている（写真-1）。なお、施設に発生するスライムやユスリカ等の抑制（防除）を目的として、凝集・沈殿処理工程の前と紫外線消毒工程の後に塩素を注入している。図-3に再生水実証プラントの概略図を示す。

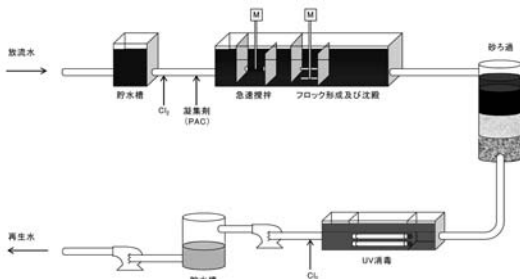


図-3 島尻地区再生水実証プラントの概略図



写真-1 紫外線消毒装置

#### 4. 再生水実証試験

本地区の調査検討スキームを図-4に示す。

島尻地区では「人への安全性」、「農作物への影響」、「環境への影響」を柱に各種試験を行ってきた。

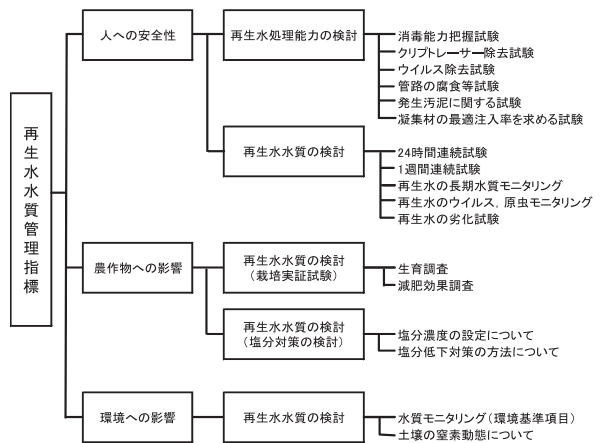


図-4 調査検討スキーム

具体的には、「人への安全性」に対する再生水処理施設能力の検討として、クリプトレーサー除去試験、ウイルス除去試験、凝集剤の最適注入率を求める試験等を行った。また、再生水水質の検討として、再生水のウイルス・原虫モニタリング、再生水の長期水質モニタリング、再生水の劣化試験等を行った。

「農作物への影響」に関する検討については、農作物の生育調査及び減肥効果調査、さらに水源の塩分対策については営農上支障のない塩分濃度の検討や塩分低下対策の検討を行った。

「環境への影響」に対する再生水水質の検討については、水質モニタリング（環境基準項目）や土壌の窒素動態を把握するライシメーター等試験を行った。

##### (1) 「人への安全性」に関する試験の結果

###### 1) クリプトレーサー除去試験

現行処理システムにおいて、クリプトスポリジウム（原虫）をどの程度除去できるか確認するために、クリプトレーサー（クリプトスポリジウムの疑似物質）を用いて除去試験を行った。

試験結果より、「凝集・沈殿工程」及び「砂ろ過工程」の両工程で約2.3log（≒99.5%）の除去率が得られており、既往の試験結果である2.0～3.5log（≒99～99.97%）<sup>6)</sup>と比較しても大差ないことがわかった。

したがって、現行処理システムでは、除濁工程は十分に機能していると判断される。

###### 2) ウイルス除去試験

また、ウイルスに関して、現行処理システムで

どの程度除去（不活性化）できるかを確認するために、大腸菌ファージ（大腸菌群に感染するウイルス）を用いて除去試験を行った。

試験結果より、前塩素＋除濁工程で0.78log、消毒工程で4.41log（紫外線照射量を表すIT値が140mW・s/cm<sup>2</sup>の場合）、後塩素処理で0.12log、全工程で5.31log（≒99.9995%）の除去率が得られることから、「タイトル22条例」で要求されるウイルス除去率（システム全体で5log以上、即ち99.999%以上）を満足することがわかった（図-5）。

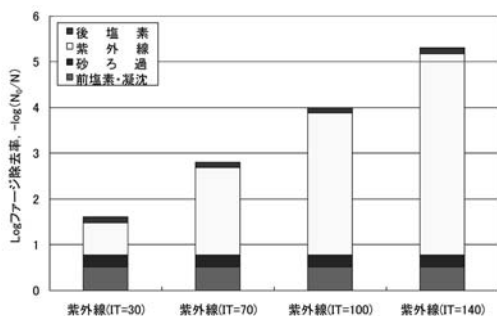


図-5 各工程におけるウイルス除去能力試験結果

### 3) 凝集剤の最適注入率を求める試験

維持管理費低減を図る観点から、凝集剤注入率を現行の50mg/Lから25mg/L、10mg/L、0mg/Lと低減した場合の水質試験を行った。

試験結果は、いずれも大腸菌群数が「タイトル22条例」の基準を満足しなかったことから、凝集剤注入率は現行の50mg/Lのままとした。

### 4) 再生水のウイルス・原虫モニタリング

自然に存在する原虫（ジアルジア、クリプトスポリジウム）及びウイルス（腸管系ウイルス等）をモニタリングした結果、現行処理システムの再生水からは一度も原虫及びウイルスは検出されなかった。

### 5) 病原性微生物のモニタリング

前述の処理条件で再生水を1年間モニタリングした結果、大腸菌群数は37検体中1検体しか検出されず、しかも3.1MPN/100mLときわめて低い値であった。このことから、本試験結果は「タイトル22条例」で規定される水質基準を十分にクリアしており、再生水の安全性については問題ないレベルであることが実証された。

### 6) 再生水の劣化試験

再生水を30日間貯留した場合の再生水の水質劣化状況を確認することを目的として、日光あり、日光なし（遮光）の区分でかんがい用水としての適否の検討を行った。

試験結果より、日光ありの条件下では急激な濁度の変動が見られたが、日光なしの条件下では濁度はほぼ一定で低い値であり、緑藻類の発生も抑制された。また、SS濃度も全て1mg/L以下であった。クロロフィルa濃度でも最大で6.2μg/Lであり、アオコの許容限界濃度とされる30～47μg/L以下<sup>7)</sup>を下回っていることがわかった。

このことから、島尻地区のファームポンドを有蓋構造にすることにより、アオコなどの緑藻類を抑制し、かんがい施設の日詰まりを防ぐことが可能であることがわかった。

### (2) 「農作物への影響」に関する試験の結果

#### 1) 作物の生育調査

再生水が作物に与える影響を確認するため、平成15年度より平成18年度まで栽培実証試験を実施した。露地栽培では小ギク、カボチャ、施設野菜ではサヤインゲンにおいて、再生水と既存利用水（ため池）による農作物の生育及び収量等に与える調査を実施した。また、露地サトウキビにおいて、畑かんによる増収効果の調査も行った。

生育調査を行った結果、既存水源（ため池）と比較して、生育、収量及び品質等に差異は見られず、再生水での栽培に支障を来さないことがわかった（写真-2）。



写真-2 再生水による栽培実証試験状況（サヤインゲン）



(写真-2の続き)

また、平成18年度のサトウキビ収量調査では、かんがいによって約40%の収量が増加するとの結果が得られた(表-3)。

表-3 サトウキビ収量調査結果

	収穫量(kg/10a)	降水量	かん水量・回数
かん水区	8,249(137%)	1,780mm	257mm・13回
無かん水区	6,005(100%)	1,780mm	—

降水量及びかん水量は2月1日から1月5日までの合計値  
降水量は調査ほ場最寄りの糸数観測所による観測結果

## 2) 減肥効果調査

再生水には窒素分が多く含まれている。本調査は、再生水を使用することによって窒素分による減肥効果が期待できることから、「標準施肥量区」、「2/3施肥量区」、「1/3施肥量区」に区分した圃場にチンゲンサイ(夏)、レタス(冬)を作付け、再生水をかん水した場合のそれぞれの生育、品質、収量等を測定、比較した。

調査結果より、全窒素約20mg/L(H10~H17年平均)<sup>8)</sup>の再生水をかん水したところ、標準施肥量区と比較して1/3施肥量区では減収傾向が見られたが、2/3施肥量区では収量に明確な差が見られず、窒素肥料分を1/3程度削減できる可能性が示唆された。

また、上記成果を踏まえつつ、窒素収支の面からの減肥効果を検証するため、ライシメーターを用いて調査を行ったところ、2/3施肥量区は標準施肥量と比較して収量及び作物体への窒素吸収量は同程度であった(表-4)。

表-4 減肥効果調査結果

	施肥量からの窒素量 kg/10a	再生水の窒素量 kg/10a	収量(全重) kg/10a	植物体への窒素吸収量 mg/kg	窒素利用効率 (%)
「標準施肥量+水道水」	17	0	2,765 (3090)	7.52	44.24
「標準施肥量+再生水」	17	2.6	2,645 (3008)	7.35	37.5
「2/3施肥量+再生水」	12	2.6	2,561 (2956)	6.94	47.53

### 3) 再生水の塩分低下対策の検討

那覇浄化センター放流水の塩分濃度(塩素イオン濃度:年間平均550mg/L)は高く、作物への影響が懸念される。

本地区では、栽培作物上の適正な塩分濃度の設定について検討するため、作物の耐塩性や発芽率等を確認するための塩水生育試験を行った。

①塩水生育試験を行ったところ、塩分濃度500~1,000mg/Lでは島尻地区の多くの主要作物に支障があることがわかった。

②この試験結果等を農業関係機関等へ説明したところ農家に納得してもらうには塩分濃度を下げるべきではないかとの意見が示された。

作物の耐塩性については、上記の理由から、島尻地区のかんがい用水の塩分濃度は、隣接する完了地区である沖縄本島南部地区と同等の200mg/L以下とするのが適当と考えられる。

また、塩分濃度が高い原因は、海面下の下水道管等へ海水が浸入しているためと考えられる。設定した塩分濃度以下に抑える対策として、下水道管に海水の浸入を防ぐ管更正案と、塩分調査結果を基に塩分濃度が比較的低い下水道路線のみを使用するバイパス案を検討することとした。

管更生案については、以下のような検討結果が得られた。

①海水が浸入している区間の全てを管更生するための費用は概算で5~25億円程度である。

②この管更生が完了すれば再生水の塩分濃度は作物栽培上支障のない200mg/L以下に低下する。

③他地区の例から適正な管理により低下した塩分濃度が再び大きく上昇する可能性は低いと思われるが、全ての海水浸入箇所を特定することは困難であり、かつ塩分濃度の安全性に不安がある。

次に、バイパス案については、以下のような検討結果が得られた。

- ①バイパス等を整備するための費用は2～13億円（1系ポンプ場の更新費用を含む場合は更に13～17億円が必要）である。
- ②バイパス等を整備すれば再生水の塩分濃度が作物栽培上支障のない200mg/L以下に低下する。
- ③管渠の破損等により一度低下した塩分濃度が再び上昇する可能性は管更生案より低い。
- ④農家負担に係る維持管理費の増分がある場合も僅かである。

これらのことから、海水浸入を完全に遮断することが困難と考えられる管更正案よりも塩分濃度の低い処理水を確実に集約可能なバイパス案が適当と考えられる（図-6）。

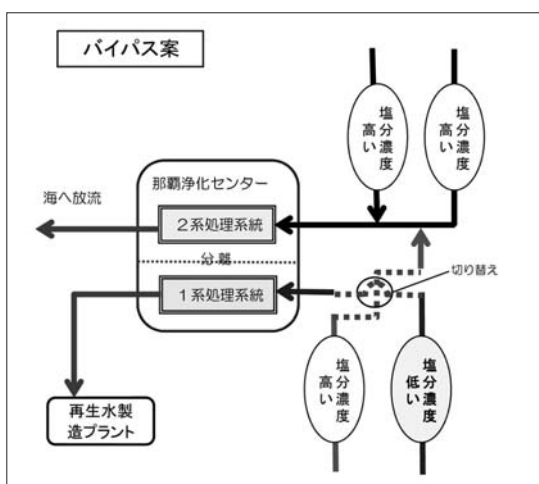
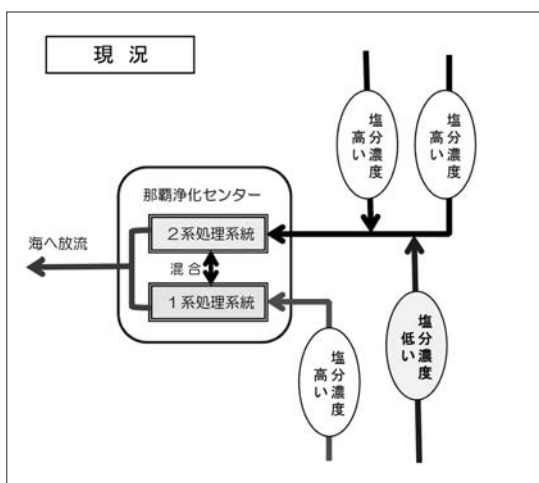


図-6 バイパス案イメージ図

(3)「環境への影響」に関する試験の結果

1) 再生水の水質モニタリング

再生水の「環境への影響」を把握するために、環境基準、消毒副生成物、環境ホルモン等項目の水質モニタリングを行ったところ、各基準値を下回る結果が得られた。

2) 窒素動態調査

再生水には窒素分が多く含まれているため、再生水をかんがい水として利用する場合には、再生水の窒素分が地下水に与える影響を把握する必要がある。

調査は沖縄県農業研究センターハウス内に「標準施肥量+水道水」、「標準施肥量+再生水」、「2/3施肥量+再生水」を区分したライシメーターを設置し、施肥窒素量、再生水の窒素量、溶脱量、作物体の窒素量を測定し、窒素の動態を調べた（図-7、写真-3）。

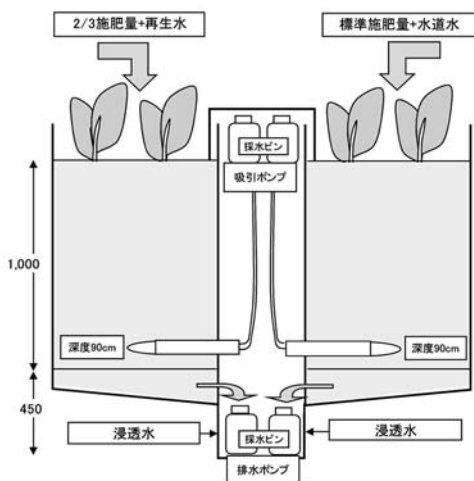


図-7 ライシメーター構造図



写真-3 窒素動態調査状況

調査結果は図-8のとおりであり、チンゲンサイを植え付けして、全窒素30mg/L前後の再生水をかん水したところ、「2/3施肥量+再生水」と「標準施肥量+水道水」（現状に近い）との間で、窒素溶脱量に大きな差は見られなかった。

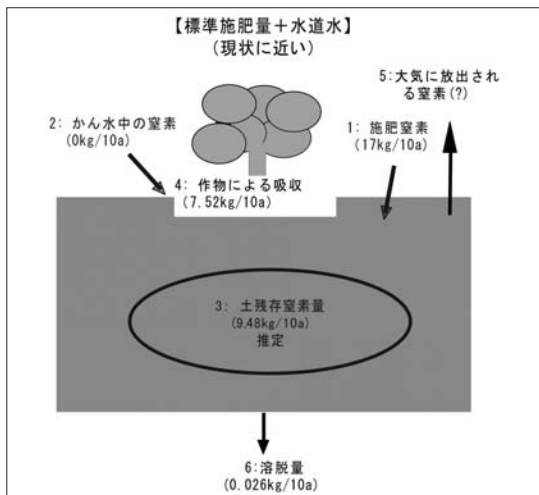
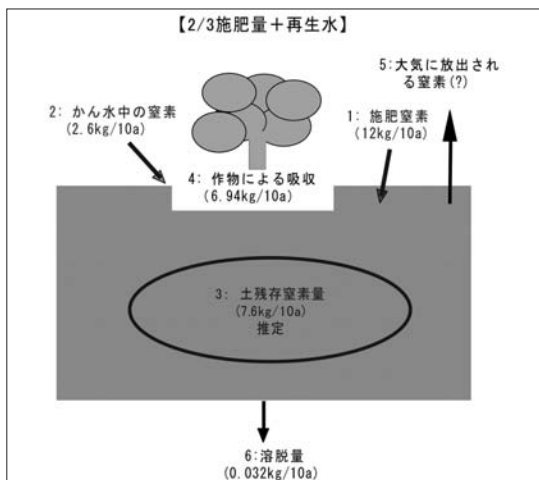


図-8 窒素動態の概略図

このようなことから、環境への影響の観点から検討を行ってきた再生水の「全窒素」については、再生水の窒素分がむしろ施肥の一部として有効に作用することが明らかとなっており、別途、適正施肥を明示した栽培指針を定めることにより、再生水を農業用水として利用することは問題ないものとする。

## 5. 島尻地区水質管理指標

先述のとおり、本地区では那覇浄化センターの放流水を再処理し、島尻地区の畑地帯を対象にかんがい用水として再利用する調査計画を進めている。

一方、下水処理水の再利用については水洗用水、散水用水、親水用水等の取り組み事例が多数存在し、日本国内でも都市用水再利用に関する水質基準はあるものの、農業用水（特に畑地かんがい用水）への再利用にあたっては、日本国内には水質基準がないことから、島尻地区の水質特徴を踏まえた再生水水質管理指標を策定する必要がある。

本地区では下水処理水を農業用水に利用するにあたっての特殊性として次のことを基本として、平成10年度から各種調査・試験並びに島尻地区再生水利用検討委員会で議論してきたところである。

- ①再生水の利用に際し、人（農家、消費者）の健康に影響がないこと。【人への安全性】
- ②再生水を利用して、安全な農作物の生産が可能であること。【農作物への影響】
- ③再生水の利用に際し、環境に影響を与えないこと。【環境への影響】

再生水水質管理指標は、これまでの各種調査・試験及び島尻地区再生水利用検討委員会で議論を踏まえ、取りまとめたものであり、島尻地区としては本再生水水質管理指標を事業計画や今後の維持管理に役立てていくこととする。

下水処理水を再生水として利用するにあたっては、【人への安全性】の観点から「大腸菌群数」と「濁度」、【農作物への影響】の観点から「水素イオン濃度」及び「塩素イオン濃度」の4項目を再生水水質管理指標の水質項目とした。

【環境への影響】の観点から検討を行ってきた再生水の「全窒素」については、再生水の窒素分がむしろ施肥の一部として有効に作用することから、適正施肥を明示した栽培指針を定めることにより、再生水を農業用水として利用することは問題ないものとする。このため、再生水の窒素については水質管理指標の項目に入れないこととする。

- (1)再生水水質管理指標の水質管理値の考え方
  - ①大腸菌群数（人への安全性を確保するための指標）



大腸菌群数は、人畜の糞便等による汚染の可能性を示す指標であるが、下水処理水を農業利用する際の基準が日本国内では規定されていないため、先行実施地区であり、かつ世界で最も厳しい基準である「タイトル22条例」の大腸菌群数の値を用いることとする。

②濁度（人への安全性を確保するための指標）

濁度は衛生学的安全性のうち原虫類への対応及び処理の信頼性の観点から設定しているが、大腸菌群数と同様、下水処理水の農業用海水質基準が国内には存在しないため、「タイトル22条例」の濁度の値を用いることとする。

③水素イオン濃度（農作物への影響に対する安全性を確保するための指標）

植物の育成限界（4～9）、水稲用の農業用海水質基準（6.0～7.5）を踏まえ、鳥尻地区における再生水を使用した実証栽培を行った結果、導入予定作物の育成上での影響が確認されなかったことから、原水となる那覇浄化センターの放流基準値を用いることとする。また、水質管理値の日間平均値の考え方は「水質汚濁に係る環境基準について」に準拠することとする。

④塩素イオン濃度（農作物への影響に対する安全性を確保するための指標）

本地区に隣接している国営沖縄本島南部地区（受益市町：糸満市、八重瀬町）の「塩水管理マニュアル」に示す許容塩素イオン濃度値を用いることとする。また、水質管理値は、「塩水管理マニュアル」に準拠し、日間平均値で監視することとする。

(2)再生水水質管理指標（再生水処理施設地点）

以上の考え方を踏まえ、再生水水質管理指標を表-5に示す。

表-5 鳥尻地区再生水水質管理指標

水質項目	水質管理値	影響項目	
		安全性	農作物
大腸菌群数	・1回/日の観測 ・7日間の中央値が2.2MPN/100mlを超えない ・30日間で23MPN/100mlを超えるサンプルは1つまで ・240MPN/100mlを超えるサンプルがあってはならない	○	
濁度	・1回/時間の観測（濁度計による連続観測） ・24時間の平均が2NTUを超えない ・24時間の5%が5NTUを超えない ・常時10NTUを超えない	○	
水素イオン濃度（pH）	・1回/時間の観測（pH計による連続観測） ・日間平均値が5.8～8.6		○
塩素イオン濃度（Cl <sup>-</sup> ）	・1回/時間の観測（EC計による連続観測） ・日間平均値が200mg/L以下		○

6. 今後の検討事項

以下に示す検討事項については、これまでの再生水利用検討委員会での議論の中で、試験に実際の施設を用いる必要がある試験項目や詳細設計が必要な項目など、事業着工以降でしか検討出来ない事項について示している。

(1)再生水処理能力の検討（前塩素の注入量や処理方法の検討）

前塩素の最適注入率の確認や現行より更に経済的かつ信頼性が高い除濁工程並びに消毒方法など、より最適な水処理技術を検討する必要がある。

(2)再生水水質の検討

大腸菌群数の測定法については、鳥尻地区では委員会の了解を得てMMO-MUG法（特定酵素基質培地法）を用いることとするが、参考のために、抜き打ち的にBGLB法（プリリアントグリーン乳糖胆汁ブイヨン培地直接MPN法）での検査も行い、データを蓄積する必要がある。また、その他水質項目（病原性微生物、消毒副生成物、環境ホルモン）についても、継続してデータを蓄積していく。

(3)供給過程における残留塩素管理対策及び送水路の腐食対策

再生水の供給過程において、再生水の残留塩素濃度が減少し消失すると、微生物の再繁殖による管内面あるいはファームポンド内壁へのスライム付着などが考えられること、また、高い残留塩素濃度はパイプ等の腐食リスクを高めると考えられることから、再生水の残留塩素濃度管理対策及びパイプ腐食対策を引き続き検討を行う必要がある

7. おわりに

再生水利用による大規模かんがい計画「鳥尻地区」の調査計画を進める上で、「再生水を農業利用する」という単純な内容に対し、調査に時間を費やすこととなったのは、「人への安全性」、「農作物への影響」、そして「環境への影響」といった三つのキーワードからであった。

今後は、残された課題解決に向け、農家や関係機関の意見も聞きながら計画していくことが重要であると考えている。本プロジェクトの実施に向けた取組が今後の農業振興、資源循環の参考になれば幸いである。

なお、本調査にあたっては、再生水利用検討委

員会が設置され、大屋一弘琉球大学名誉教授をはじめとする数多くの委員の方々より、専門的な見地からご指導とご助言を頂戴したことに謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 仲間雄一・加藤浩一・藤田智康・荒川浩成 (2005), 再生水を利用したかんがい計画について－国営土地改良事業地区調査「島尻地区」の概要－, 第86回農業土木学会九州支部講演会, P36－39
- 2) 国土交通省 (2008), 下水処理水の再利用のあり方に関する懇談会中間とりまとめ (平成20年4月), P3－4
- 3) 田中宏明・浅野孝 (2006), 農業灌漑への下水処理水再利用－沖縄でのわが国初の本格的な計画－, 再生と利用, Vol.29, No.114, P6－13
- 4) 鋼鉄幸博・荒川浩成 (2007), 再生水の畑地かんがい利用に関する研究, 第15回衛生工学シンポジウム論文集, 北海道大学衛生工学会, P79－82
- 5) 中里良一・仲村元・鋼鉄幸博 (2008), 日本初, 再生水利用大規模かんがいプロジェクトの推進方策等について－もったいない水のリサイクルプロジェクト－, 平成20年度農業農村工学会講演要旨集, P136－137
- 6) 藤原正弘・永井泰敏・田中昭弘・金子光美 (2001), 代替粒子を用いた浄水処理におけるクリプトスポリジウムの除去特性に関する研究, 第1回環境技術研究協会年次大会要旨集, 環境技術学会, P59－62
- 7) 鈴木光剛 (2003), 畑作物の水質環境－食の安全とおいしさを求めて－, (社)畑地農業振興会, P57
- 8) 沖縄県下水道管理事務所 (1998－2005), 下水道維持管理年報, 平成10年度－平成17年度

# 渡島平野農業の発展に寄与した「大野かんぱい」

松田俊之\*  
(Toshiyuki MATSUDA)

目次	
I. はじめに	83
II. 事業の経過	83
III. 大野川幹線水路	85
IV. 事業の効果	86
V. おわりに	86

## I. はじめに

北海道南部渡島半島の秀峰駒ヶ岳を頂く大沼国立公園をご存じでしょうか。近年は、アジアなど海外も含め、年間約200万人が訪れる道南屈指の観光地となっている。(写真-1)



写真-1 駒ヶ岳と大沼

「大野かんぱい」は、この公園内にある大沼・小沼の湖水を利用し、道南の中心都市である函館市と隣接する北斗市（平成18年に上磯町と大野町が合併）及び七飯町にまたがる渡島平野の農地を対象に昭和36年度から昭和53年度の間、実施された国営総合かんがい排水事業である。

この地域は、本州に近いという地理的条件から農業の歴史も古く「北海道水田発祥之地」として知られている。(写真-2)

### 【地域の略年表】

- ・寛文年間（1661～72）  
松前藩主の命により、大野及び文月で米の試作をした。
- ・貞享2年（1685）  
文月の高田吉右衛門、押上に田をひらいた。
- ・元禄5年（1692）  
亀田の作右衛門、五六の田20枚、文月の野田某、420坪の水田をひらき、それぞれ相当の収量を得た。



写真-2 水田発祥の碑

## II. 事業の経過

渡島平野のかんがい用水は、古くから大野川及び久根別川などを利用して確保してきたが、時代の移り変わりとともに増田事業が進展し、次第に用水不足が深刻となっていた。(図-1)

水路の築造は、江戸時代の文化、文政の頃から始まったが、元々、平野部に広がる水田に対し

\*函館開発建設部函館農業事務所 (Tel. 0138-42-7111 内線281)

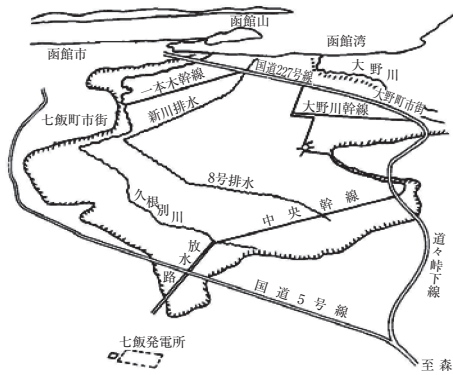


図-1 現況概要図

て計画的な用水手当をしたわけではなく、増田とともに延長され、用水利用の慣行は、長い年月を経て複雑化した。このため、地域では、かんがい用水の不足に起因した水争いが少なくなかった。

明治25年には、水不足を解消するため、地域の理事者が、港湾の調査に来函した北海道庁の広井勇技師に大沼の水を導水する計画（表-1）を持ちかけたという経緯も残されている。

「大野かんばい」は、こうしたかんがい用水の不足により農業経営の発展を大きく阻害する状況におかれた地域の悲願達成を目的とした計画である。



写真-3 渡島平野の眺望

表-1 大沼疎水計画

大沼疎水計画
<p>渡島平野の造田およびかんがいは、大野川と久根別川を水源として発達してきた。したがって、両川の水量に見合う限界の面積がおのずからあった。当地域の水田経営は300年もむかしの寛文・貞享の頃から行われてから、用水利用の権利と慣行は複雑で、かんがい期における水争いが絶えなかった。</p> <p>周辺部から進んだ平野の土地改良は、明治25年ごろ、ついに中央部までにおよび、さらに造田開発へ移行する形勢にあった。大野村の理事者たちは、計画の隘路となっている用水源を大沼に求める意向を固めた。大沼と峠下の間に隧道をうがって平野部に流水させる大沼疎水計画は、こうした背景をもっていた。道庁の広井技師により、概算の工事費は約3万2千円と見積られた。しかし、とうてい一村一組合がよく負担しうる事業ではなかった。</p> <p>明治35年、園田長官のとき、地域産業開発振興の政治問題としてこの計画が取り上げられ、七飯・亀田・大野・上磯の4か村で大沼疎水組合を結成した。一村より5名づつ村会議員を選出し、これを役員として活動した。しかし、発電側との交渉など問題が結着つかず、また各村の得失もあって計画だおれになった。</p> <p>戦後、食糧増産の見地から、渡島平野3千町歩の用水供給と発電を行う、いわゆる総合開発事業として昭和26年、北海道開発局において計画に着手した。つまり、大沼疎水計画(一時期大沼導水ともいった)は、広井技師のときからおおよそ60年後に、具体的なルールにのったことになる。</p>

なお、大沼では、従来から発電用水としての利用が進められていたことから、北海道電力株式会社と土地改良事業の一部と共同事業化することにより、大沼と渡島平野の約100m余りの落差を利用し、新たな発電所を建設する計画も併せて実施されることとなった。

本地区は、昭和27年の事業申請以来事業計画に対する反対や異議申し立てが続いたこと、3回の計画変更を実施したことなど幾多の困難を経て昭和53年度に完了することとなった。図-2に最終的な事業計画平面図を示す。

以下、本事業の特色ある施設を紹介する。

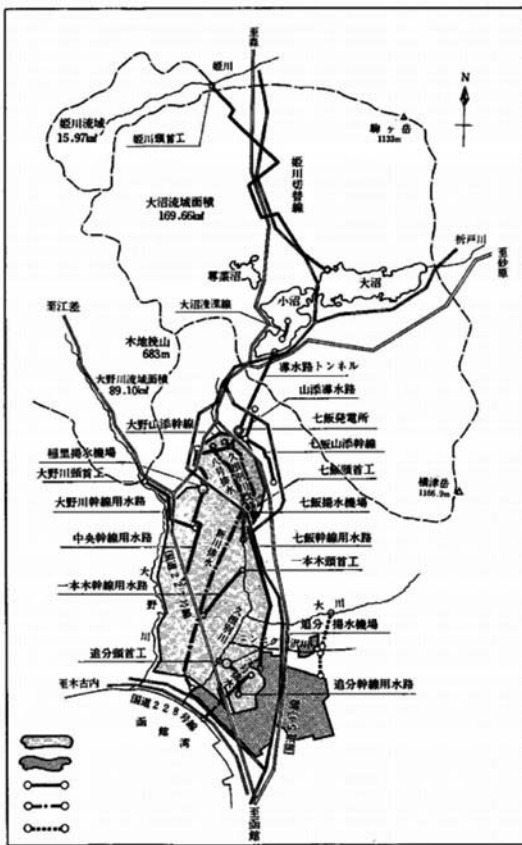


図-2 事業計画概要図 (第3回変更計画)

### Ⅲ. 大野川幹線用水路

「大野かんぱい」は、かんがい用水を大沼から確保する計画であったが、これだけでは、必要量の確保が見込めないため、図-3に示すとおり、不足分については、大野川頭首工から確保する計

画としていたが、水深の浅い大沼の湖水と比較すると河川勾配が大きく源流からの流達距離の短い大野川の水温は低いため、水稻作に与える影響が少なくないことから、事業を進める上での懸念となっていた。

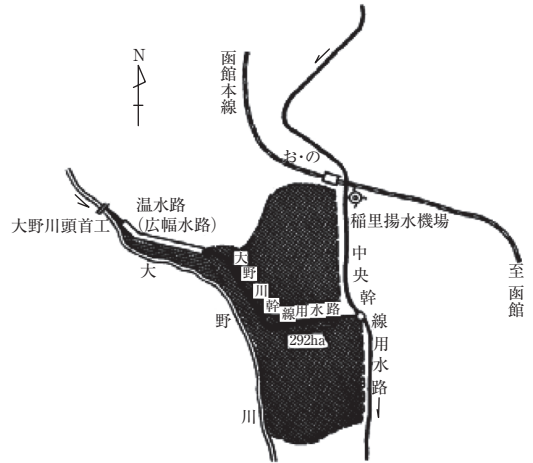


図-3 大野川幹線用水路

ここで参考に昭和44年の観測データをもとに大沼直接掛りと大野川頭首工付近の水温差を比較すると観測期間総平均で9時の水温は5.9℃、12時は5.2℃、16時は4.0℃と前者の方が高い状態にあることが確認されている。

この水温差を解消すべく施設の設計に当たって温水溜池など複数案が検討されたが、投資効果、用地確保などの条件を勘案し、最終的には、大野川頭首工下流の1.2km区間を平均幅約23m、落差工18箇所、水面積2.38haの広幅水路を整備することとなった。(写真-4、図-4)



写真-4 大野川幹線用水路

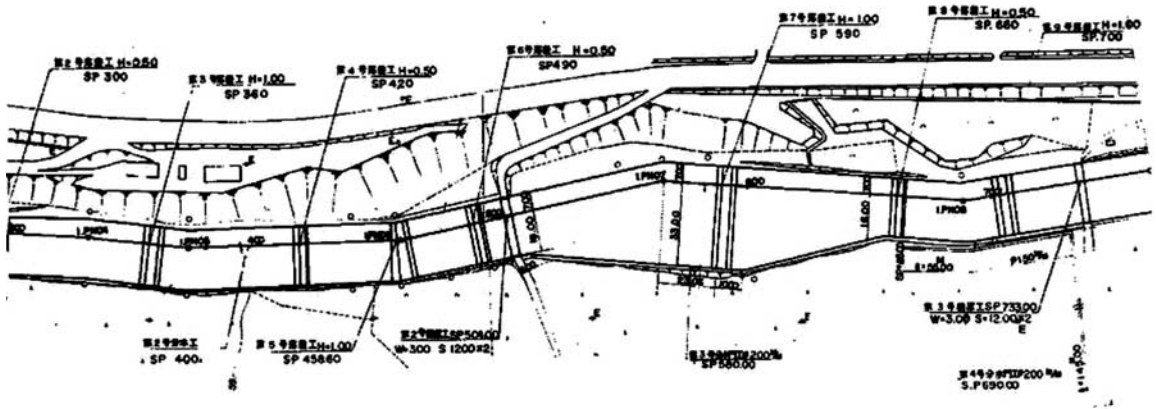


図-4 大野川幹線用水路平面図（幅広水路部）

なお、設計時における水温上昇の期待値と施工後の実測値を表-2に示す。

表-2 幅広水路における水温上昇度

単位℃

項目	7月上旬（日最高気温）						
	気象状況	気温	流入水温	平衡水温	流出水温	上昇度	特記事項
10年平均試算値	曇量0.78・風速2.3	20.8	15.4	24.0	16.4	1.0	
47年 実測値	晴天（15時）	25.0	17.5	—	19.3	1.8	温水路一部未完成

#### IV. 事業の効果

本事業の実施による効果については、水稻の品種改良や栽培技術の向上によるところもあるが、

「…大沼の水がこの平野に流入後、今まで、心配していた水不足も解消し、①農作業に合わせたかんがい、②適期に田植えができる。又、水温が高いため、除草剤の効果も高く、機械化された農作業も順調に行われ、早害の心配もなく、大沼掛りは青立稲も見当らなくなり、米の収穫量も単当520kgを超え（約1.6倍）安定した米作りができるようになった。…」

と「大野かんぱい事業誌」への寄稿で表現されたこと、当時の農林統計を基に水田の単収を算定すると調査時の約1.8倍、事業着工時の約1.4倍となったことなどを踏まえると、事業の効果が現れたものと考えている。

#### V. おわりに

近年、地域では良質・良食味米生産に向けた取組が進められ、平成10年からの「函館育ち」ブラ

ンド化による品質・規格の統一化や、平成12年には乾燥調整貯蔵施設「函館育ちライスターミナル」の整備（写真-5）、あるいは道南生まれの新品種「ふっくりんこ」（平成15年採用）の生産など農業の振興に向け積極的な展開を図っているところである。



写真-5 函館育ちライスターミナル

こうした状況の中、「大野かんぱい」で整備した施設は、築造後30～40年が経過し老朽化に伴う機能低下や維持管理費の増高等によりかんがいの取水管理が困難になってきている。

また、近年、周辺地域の都市化、混住化に伴い農業水利施設に求められる機能が多様化している状況にある。

このため、平成18年度から用水システムの再編、施設の更新に加え、景観保全など地域用水機能の増進を目指す「国営農業用水再編対策事業（地域用

水機能増進型) 大野平野地区」に着手し鋭意事業の促進を図っている。

世界の穀物市場が高騰し、食糧自給率向上の話題が何かと多い昨今、地域では、農作物の生産だけでなく、住民が参加したイベント(写真-6)の開催などを通じて農業や土地改良施設への理解を深める取組などを進めている。

「大野かんぱい」を契機とした地域の取組が今後ますます農業の発展に寄与することを期待したい。



写真-6 ウォーキング

#### 参考文献

大野かんぱい事業誌(昭和54年3月)  
函館開発建設部函館農業事務所

## 平成20年度農業土木技術研究会研修会レポート

「広域的な生態系保全の環境配慮対策」  
～生物のネットワークの保全・形成を視点到～

編集事務局

平成20年度の農業土木技術研究会研修会は、平成21年1月29日に東京都千代田区の科学技術館において全国より212名の参加者を得て開催されました。

その概要について以下に報告します。

### 1. 研修会の概要

1. 研修日時 平成21年1月29日（木）10：00～16：30

2. 場 所 科学技術館（サイエンスホール） 03-3212-8485  
東京都千代田区北の丸公園2-1 （交通）地下鉄東西線「竹橋」徒歩7分  
地下鉄半蔵門線「九段下」徒歩10分

### 3. プログラム

- 10：00 開会挨拶 農業土木技術研究会 会長 太田 信介
- 10：10 研究会賞授与式
- 10：30 広域的な農村環境の保全  
農村振興局 設計課 計画調整室 課長補佐 山本 郷史
- 11：10 環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の技術指針  
(社)農村環境整備センター 研究第1部長 坂根 勇
- 11：50 ( 昼 食 )
- 13：00 環境との調和に配慮した国営中信平二期農業水利事業について  
関東農政局 中信平二期農業水利事業所 次長 伊藤 忠夫
- 13：40 環境に配慮した水路整備に必要なモニタリング  
岐阜県 揖斐農林事務所 農村整備課 技術課長補佐 熊谷 昌紀
- 14：20 コウノトリ野生復帰と生物多様性  
兵庫県 豊岡市 コウノトリ共生部 コウノトリ共生課 コウノトリ共生係長  
坂本 成彦
- 15：00 ( 休 憩 )
- 15：10 農業と湿原の共生を目指して ～サロベツ地区の取り組み～  
北海道開発局 稚内開発建設部 稚内農業事務所 第1工事課長 加茂 榮哉
- 15：50 生態系保全対策の課題と展望  
(独)農研機構 農村工学研究所 農村環境部 生態工学研究室 室長  
森 淳
- 16：30 閉会挨拶 農業土木技術研究会 理事 鮫島 信行





写真-1 太田会長の開会挨拶

## II. 研究会賞授賞式

研修会に先立ち、昨年度に掲載された優秀と認められる報文について、第38回農業土木技術研究会賞、奨励賞の「企画・計画部門」、「設計・施工部門」における表彰を行った。

今年度の研究会賞、奨励賞については、会誌「水と土」150号～153号に掲載された報文51編について、まず、全国より任意に選出された150名の一般会員による投票を行い、その結果について、24名の編集委員で構成する編集委員会で、①執筆者が会員かどうか、②報文内容が技術情報発信に優れているかどうか、③今後の事業展開に大きく貢献する内容かどうか、等について審査を行い、一般会員による投票に編集委員の投票を加算し、その得票総計に基づき、最も得票数の多かった報文を「研究会賞」、得票数が次点のものを「奨励賞」として選考した。

今回表彰の報文名の執筆者、選考理由は次の通り。

### 【企画・計画部門】

#### ○研究会賞

「“ぬばたま貝”によるため池水質浄化の取り組み」(151号掲載)

三輪 顕 兵庫県 農政環境部 農政企画局 総合農政課  
(前任 兵庫県 三木土地改良事務所)

#### [選考理由]

本報文は、兵庫県東播磨地域の在来種である“ドブ貝(愛称:ぬばたま貝)”を使ったため池の水質浄化の取り組みについて紹介したものである。

ぬばたま貝によるため池の水質浄化の取り組み等を通じて、歴史的、文化的財産であるため池群への地域の保全活動の状況が、明瞭に示されており、環境保全に対する地域住民参加型の実践事例として他地区の参考となる内容となっていることから、本年度の企画・計画部門の研究会賞として選定した。



写真-2 表彰式の模様

## ○奨励賞

「地下ダムを利用したかんがい農業の効果について

－国営宮古地区の概要と事業効果－」（150号掲載）

仲間 雄一 沖縄総合事務局 土地改良課

（前任 沖縄総合事務局 土地改良総合事務局）

古木 信也 沖縄総合事務局 土地改良総合事務局

〔選考理由〕

本報文は、平成12年度に事業完了した地下ダムを水源とする国営「宮古地区」の事業効果や多面的機能について紹介したものである。

完成した地下ダムの水利用の結果、地域の営農の変化のみならず、多面的機能が発揮されている状況は、新しい水源開発手法である地下ダムの役割を知る上で、参考となる内容であることから、本年度の企画・計画部門の奨励賞として選定した。

## 【設計・施工部門】

### ○研究会賞

「小動物のための脱出用水路の検討について」（153号掲載）

坂本 義浩 (独)森林総合研究所 森林農地整備センター

岡 直子 (独)国際農林水産業研究センター

高阪 快児 (独)森林総合研究所 森林農地整備センター

東北北海道整備局盛岡事務所

〔選考理由〕

本報文は、区画整理に伴う用水路のコンクリート化によるカエル等の小動物の生活圏分断を防ぐために設置した脱出スロープ付き用水路の有効性の検証や、脱出機能の向上について検討した内容を紹介したものである。

実際にアマガエルを流下させての実験内容、その結果の考察、事業化に至る過程等が、写真図表を効果的に用いて整理されており、生態系保全対策手法として同様な事業地区の参考となる内容となっていることから、本年度の設計・施工部門の研究会賞として選定した。

## ○奨励賞

（該当なし）

## Ⅲ. 講演の概要

講演に先立ち、太田農業土木技術研究会会長より、研修会への参集に対する謝意表明と研究会の取り組みの説明後、今回の研修会テーマについて以下の挨拶がなされた。

「今回のテーマに関連して環境配慮への取り組みを顧みますと、昭和63年の農業水利施設高度利用事業を創設したころから取り組みが本格化し、多様化が進む中で、食料・農業・農村基本法へ環境配慮が明記され、環境に対する国民一般の関心の高まりの中、平成13年の土地改良法改正により、「環境との調和に配慮すること」が、土地改良事業の原則とされ、すべての農業農村整備事業において、自然と共生する環境の創造に貢献する事業が進められています。

また、平成16年に「環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き」がとりまとめられ、環境配慮の基本的事項や各施設設計の考え方が整理されています。

さらに、平成19年に「農業農村整備事業における生態系配慮の技術指針」が策定され、生物のネットワークの重要性や工種横断的な環境配慮の手法等がより具体的に示されています。

これにより、今後の国営事業実施に当たっては、環境配慮計画の作成が義務化されており、重要な事業要件のひとつとして位置づけられています。

このような状況から、環境との調和に配慮した事業実施に際して、幅広い計画、設計、施工技術等の取得が一層必要となっていると考え、地域住民や有識者の意見を活用した事業実施例や検証例、技術的課題に対する現場での工夫の事例の整理・普及は意義あるものと思ひ、本日の研修会では、「広域的な生態系保全の環境配慮対策」を研修テーマとさせていただいたところです。

本日は7名の講師の方々に、施策の展開方向、それぞれの現場における取組、生態系保全に関する専門分野からの講演をお願いしております。

各現場では、必ずしも生態系保全に取組やすい環境が整っているわけではなく、様々な制約条件の中で、地域の実情に応じた取組がなされております。今回紹介させていただく各事例から、今後の各現場での取り組みに参考となるヒントを見つけていただければ主催者として幸いです。」

◇個別の講演の発表要旨を以下にまとめます。

## 1. 広域的な農村環境の保全

農村振興局設計課の山本講師からは、施策の展開方向として、農村環境の広域的な保全に向けた取り組みについて講演がなされた。講演の要旨は以下のとおり。

平成13年の土地改良法の改正を踏まえ、平成14年度から農業農村整備事業の計画・実施に当たっては、「環境との調和への配慮」を実施しているところである。しかしながら、環境配慮の取組が施設周辺の生態系の保全や施設の色彩のデザインの工夫にとどまり、地域全体の農村環境の保全につながっていない事例も見られる。

一方で、兵庫県豊岡市のコウノトリの野生復帰をシンボルとした取組など農業農村整備事業やそれを契機とした地域の環境保全に係る取組を通じて、農村環境の保全とともに、環境に優しい農産物の販売など、農村の振興・地域づくりに結びつく取組が進められている事例もある。このような取組を進めていくためには、地域の豊かで多様な資源を把握し、関係者で共有・活用することにより、持続的な農村環境の保全管理を進め、もって地域の振興に活かしていくことが必要である。

このため、農村環境の広域的な保全について、①農村環境の保全を通じた地域づくり目標の設定、②多様な環境要素・地域資源の活用、③広域的な調査・評価手法の導入、④調査計画設計の各段階に応じた構想の具体化、⑤保全管理・モニタリングに係る広がりのある体制づくり、の5つの視点から検討していくこととしている。

農水省では、食料・農業・農村政策審議会農業農村振興整備部会技術小委員会において、農村環境の広域的な保全に向けた構想づくりについて、平成20年度から検討を開始したところである。今後の検討状況についてフォローいただき、今後の農村環境の保全に当たって、地域全体の農村環境の保全の基本的な方向を考えながら、環境配慮の取組を進めていただきたいと考えている。



写真-3 山本講師による講演

## 2. 環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の技術指針

農村環境整備センターの坂根講師からは、技術指針の制定に関し、基本的な思想、全体像や重要なポイントについて講演がなされた。講演の要旨は以下のとおり。

まず、技術指針を現場で用いる際に、現場の技術者の皆さんに特に配慮をお願いしたい事項として、次のとおり理解していただきたい。①技術指針を、環境配慮しましたという“言い訳”や“免罪符”として使わない、②多くの事例を紹介しているが、それらをそのまま引き写さない、③生態学的な見方、考え方に立脚する。地域特性が強い生きものとその多様性に留意する、④「生態系ネットワーク」＝「生息、生育環境（ハビタット）」＋「移動経路（コリドー）」をトータルなシステムとして捉える、⑤ミティゲーション5原則には優先順位があることを理解する、の5点である。特に③は、技術指針を通じて貫かれている基本的な思想であり、その他は基本的な心構えとして理解していただきたい。

次に、何故、環境に配慮しなければならないのか？という“そもそも論”について解説した。農業は、自然の物質循環の恵みを「基盤」（プラットフォーム）として活用したものである、その恵みをもたらしている基盤を壊してはいけない。農業生産をハード面で支援する土地改良事業・農業農村整備事業について（もちろん、営農等のソフト面でも）、経済性や効率性を過度に追求しすぎると、この自然の物質循環の恵みを壊してしまう。このような「基盤」を良く理解し、大事にしながら、農業の生産性を賢く上げよう（ワイズユース）！と呼びかけた。

農業農村整備が対象とする場所の特性として、「二次的自然」が広がっていることを認識しておいて欲しい。これは、水田・畑やため池、雑木林など、人間が昔から手を加え利用してきた自然のことであり、多様な生物が存在する豊かな場所である。近年、農業や地域コミュニティの衰退により、このような「二次的自然」が荒廃する危機に直面している地域が多くなってきていることに十分な留意が必要だろう。もちろん、整備後の姿として、適切な人間の関与が継続できるような工夫が必要である。

最後に、今後の課題として、計画・設計の段階でなされてきた環境への配慮が施工段階に適切に反映できていない残念なケースが散見されることへの対応が必要なことについて述べ、工事の発注者が作成して施工者に渡す「施工指針」の策定の考え方を、環境整備センターが作成中であることを紹介し、このことに対する現場からの実践事例の提供などの協力をお願いした。

### 3. 環境との調和に配慮した国営中信平二期農業水利事業について

関東農政局中信平二期農業水利事業所の伊藤講師からは、環境配慮対策の取り組み事例の一つ目として、希少生物保護対象等を検討する委員会や施設改修において地域住民等の意見による景観検討ワークショップの内容と進め方について講演がなされた。講演要旨は以下のとおり。

本地区は、長野県の中央部に位置し梓川の左右岸に広がる受益で、上高地に近く自然環境豊かなところである。安曇野や北アルプスを代表する景観や希少生物が多く生息する地域であるため、環境との調和に配慮した事業を進めている。



写真-4 坂根講師による講演

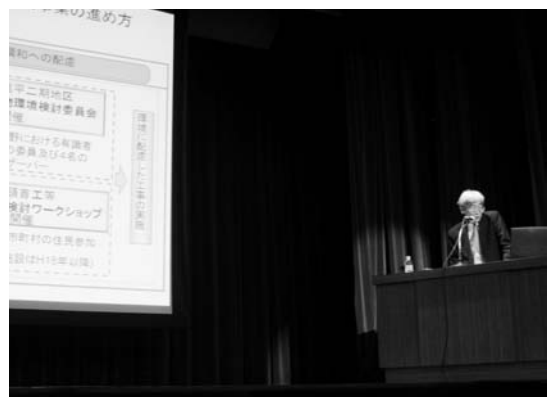


写真-5 伊藤講師による講演

計画段階から、環境との調和に配慮した事業の進め方を検討し、事業着工後、「生物」と「景観」に着目し、生物に関しては、各分野における有識者や改良区連合等オブザーバーにより構成された「生物環境検討委員会」を設置、また、景観については、受益地域住民から公募した方々によるワークショップで施設の景観を検討する等の取り組みを進めている。

生物環境検討委員会では、計画時に確認された希少生物を再度確認し、様々な生物に関する配慮・対策等取り組みについて検討され、希少植物の移植や低振動低騒音機械を使用するなど実施してきた。

また、モモジロコウモリを保全するための調査や猛禽類への影響の有無を確認する調査を実施し、クマタカについては頭首工などの工事中であっても繁殖していることから影響していないとしている。

景観に関する配慮については、「梓川頭首工景観ワークショップ」・「梓川幹線赤松発電所下流部改修の景観ワークショップ」・「農業用水路の安全柵の景観ワークショップ」を開催した。それぞれに、当地区の受益市町村住民から公募されたメンバーにより開催し、意見の対立もありながらも最終的に様々な提案を戴いた。

最後に、生物環境への配慮については、梓川頭首工工事や梓川下流部改修工事が平成21年3月に完了するため、猛禽類調査、コウモリ調査、魚類調査等を平成21年度に工事完成後のモニタリング調査として実施する予定である。また、景観ワークショップについても、それぞれのワークショップのメンバーに工事完了後の姿を点検していただくこととしている。

#### 4. 環境に配慮した水路整備に必要なモニタリング

岐阜県揖斐農林事務所の熊谷講師からは、環境配慮対策の取り組み事例の二つ目として、水路整備における事前調査結果を反映させた環境配慮対策の実施と効果検証に必要な事後調査方法について講演がなされた。講演要旨は以下のとおり。

平成19年8月に発表された環境省レッドリストでは、汽水・淡水魚類における絶滅危惧等指定種が76種から144種と大幅に増えている。これは田んぼや水路といった農村地域の身近な水辺環境が、大きく変化していることの裏付けでもあり、農業農村整備事業における環境配慮への取り組みは、今後より重要性を増していくものと考えられる。

岐阜県の西部、濃尾平野の西北端に位置する大野地区では、農村振興総合整備事業で松山水辺公園を整備するにあたり、平成14年度から事前調査を行いつつ整備計画を策定し、平成18年度に工事を実施して、現在、事後調査を2年間継続している。

本地区では、事前調査の初期段階では確認されていなかったホトケドジョウ（環境省レッドリスト絶滅危惧ⅠB類）が、整備計画確定後、平成17年度の前調査で発見されたため、将来の施設管理者となる町や地域住民、有識者等と再度調整を行い、現況水路の保存、多目的広場の規模縮小など整備計画の大幅な見直しを行った経緯がある。

環境配慮対策の実践には、モニタリング調査が不可欠であり、生物の生活史的に把握するための事前調査、具体的なデータに基づく効果検証を可能とする事後調査の在り方は、それぞれの現場で条件が異なることから、マニュアル化するには限界がある。

このため、モニタリング調査により蓄積されていくデータは、その地域における今後の環境配慮対策にとって、極めて貴重な財産と言っても過言ではないと考えられる。

農業農村整備事業における生態系保全の環境配慮対策の推進は、農村地域自体が、過疎・高齢化、混住



写真-6 熊谷講師による講演

化などにより地域力が低下しつつある中、地域住民が主体となって環境配慮への取り組みを継続していく体制へと、いかに導けるかにかかっている。

そのためには、先ず農業農村整備事業に携わる関係者が、自然共生や環境保全に必要な知識、評価能力及び技術の修得に対する自己研鑽に努めることが大切ではないだろうか。

## 5. コウノトリ野生復帰と生物多様性

兵庫県豊岡市の坂本講師からは、環境配慮対策の取り組み事例の三つ目として、コウノトリ野生復帰の現状とその生息環境を支える田んぼのあり方、生物多様性について講演がなされた。講演要旨は以下のとおり。

コウノトリが絶滅した原因の一つに「田んぼ」があった。豊岡でかつて「ジル田」と呼ばれた湿田は生きものの宝庫で、コウノトリにとって大切なえさ場だった。しかし、圃場整備によって乾田化され、農業によって生きものを失った田んぼの前に、コウノトリは減少の一途をたどった。

したがって、コウノトリ復活のための重要なポイントは農業の変革だった。アイガモ農法、ビオトープ水田、冬期湛水・中干延期稲作、水田魚道の設置、環境創造型農業の推進など。たゆまず続けられてきた人工飼育の努力と、様々な環境整備によって、コウノトリは再び豊岡の空を舞った。

コウノトリは田んぼの生態系の頂点に立つ鳥。コウノトリがいるということは、それを支えるピラミッドの下層部がしっかりしているということ。目に見える生きもの、目に見えない生きものを含め、溢れんばかりの命が豊岡にはある。そして、それを追いかける子どもたち。まさに生物多様性である。

地球温暖化対策と生物多様性は環境における二大問題だが、センセーショナルな映像で伝えられる温暖化対策を「義務目標」と感じる一方、危機感が伝わりにくい生物多様性は「努力目標」的イメージで捉えられかねない。しかし、私たちにとって重要な課題であることは間違いなし、皆様が守り続けてこられた農業、田んぼが、実はこの分野で日本・アジアから世界に向けて発信できる非常に大切なツールであると言える。

1960年に豊岡で撮られた有名なモノクロ写真がある。農家の女性と7頭の但馬牛、12羽のコウノトリが手を伸ばせば届くほどの距離にいる。写真の女性は言われた。「あの頃は心が本当に豊かでした」と。彼女は自然の内側にいて、自然と一体化していた。

コウノトリの取り組みを通じて私たちが手にしつつあるのは、「命への共感」であり、内側から見る「生きものへのまなざし」だ。現在豊岡では、土地改良中だった田んぼを湿地へと方向転換する工事が進められている。かつては考えられなかった象徴的なできごとと言えるだろう。

昔に戻ることがいいという訳ではない。私たちは現代に生きているのだから。しかし、現代的な暮らしの中でも、命への共感、生きものへのまなざしを持つ姿勢が求められているのではないかと思う。

## 6. 農業と湿原の共生を目指して ～サロベツ地区の取り組み～

北海道開発局稚内開発建設部の加茂講師からは、環境配慮対策の取り組み事例の四つ目として、サロベツ湿原の自然再生を目的とした緩衝帯・沈殿池の設置の取り組み経緯と緩衝帯実証試験の状況について講演がなされた。講演要旨は以下のとおり。



写真-7 坂本講師による講演

国営総合農地防災事業「サロベツ地区」は、北海道宗谷支庁管内西部の豊富町に位置し、酪農を基幹産業とする地域である。地区は泥炭地特有の地盤沈下に起因する農用地の排水機能低下を回復するために2007年度に着工した。地区の周辺には利尻礼文サロベツ国立公園に指定されているサロベツ湿原が広がっていることから、農業と湿原の共生を目指して緩衝帯と沈砂池を実施することになっている。

サロベツ湿原は、低地に形成された高層湿原としては日本最大の面積を有しており、1974年に利尻礼文サロベツ国立公園に指定され、湿原地下水位の低下や湿原域の湖沼群の面積縮小などが進行していることから、その自然再生を目指して「上サロベツ自然再生協議会」が2005年に設立され、その翌年には上サロベツ自然再生全体構想が策定された。この全体構想に基づき緩衝帯と沈砂池に係る自然再生実施計画書が策定され、稚内開発建設部、豊富町、サロベツ農事連絡会議の3者が共同実施者としてその実現に取り組んでいる。

緩衝帯は、湿原と農用地が隣接する区間において、湿原の地下水位を維持しつつ農用地の適度な地下水位の低下を図るため、湿原と農用地の間に設置する（6箇所、8ライン、およそ10km）。また沈砂池は、農用地及び農業用排水路からサロベツ湿原の下流域への土砂流出の軽減を図るため、サロベツ地区で整備する排水路22条の下流端付近に1箇所ずつ設置する。

緩衝帯については、2006年度から2008年度までに緩衝帯を設置した実証試験によって、農用地の地下水位の低下と同時に湿原の地下水位の高位安定傾向が得られることが確認でき、また植生についても、湿原と緩衝帯において確認種数の増加傾向がみられるなど、農用地と湿原に好ましい地下水位の調整手段として有効に機能することが実証できた。

緩衝帯や沈砂池の計画や実現にあたっては、地域の農業者をはじめ多くの関係機関や専門家の協力を頂いている。皆様に深く感謝すると同時に、魅力ある地域づくりに寄与するように、サロベツ地区の事業実施を進めていきたいと思う。

## 7. 生態系保全対策の課題と展望

農村工学研究所の森講師からは、生態系保全に関する研究事例として、生物種保護にとどまらない生態系配慮対策の考え方、現地における留意点と今後のあり方について講演がなされた。講演要旨は以下のとおり。

環境配慮対策を講じようとするとき、希少種などの特定種の保護に目が行きがちだが、お互いに影響を及ぼし合っている、普通種を含めた他の生物や環境要因をも注視すべきである。キーワードは群集、環境、相互作用である。多様な普通種が住める多様な環境が守られてこそ希少種も保全される。

農業農村整備事業は、生態系の視点からみれば

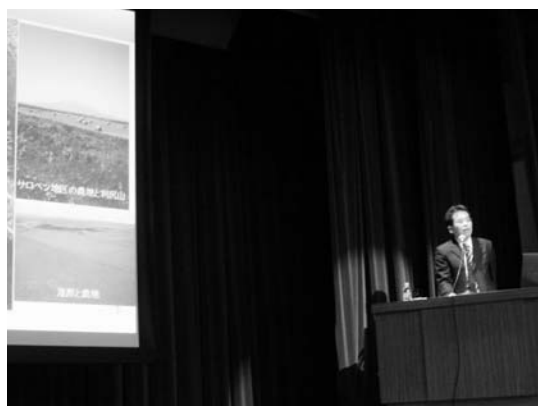


写真-8 加茂講師による講演



写真-9 森講師による講演

生息空間の潰廃をとまなう新設事業である。創出された生息空間は、従前と比べて質が劣化し、復帰可能性が低下する。復帰できないほど劣化した生態系にはアマガエル、ドジョウなど適応力の強い種が優占する。

こうした水田生態系のカタストロフィックシフトを避けるためには水路の縦横断面を画一的にせず、現況勾配、曲線、流速・水深の分布状況、水路の底の材料（底質）などを「できるだけ」変えないことが必要である。流水エネルギーが多様になることによって、多様な物理性を持つ空間が生まれ、生物の選択可能な幅が広がる。このことが生物多様性の構成要素である生態系の多様性が保全される。もちろん、全区間にわたってこのような工法を採用する必要はない。

二面張り水路は、経年変化によって水域環境が単純化する恐れがある。流速や底質がどう変化するか、竣工後も目を配って頂きたい。カエルの脱出スロープ工法の導入は慎重に行うべきだ。これにより個体群やカエル相が保全されたという報告はない。

生態系配慮工法を現場で工夫し提案することは素晴らしいが、技術として位置づけるには、作業仮説の提示－施工（実験）－検証（モニタリング）－改良という作業が必要である。生態系配慮工法が逆に生態系のバランスを失わせる危険性もあること忘れてはならない。こうした現象を早めに気づくためにも、モニタリングは必要だ。

今後農業農村整備事業には水田生態系の復元のための取り組みが求められる。環境問題を通じて、農業土木技術者はこれまで以上に社会貢献ができる。

#### IV. まとめ

各課題の講演後、農業土木技術研究会の鮫島理事より、参加者及び講師に対する謝意が表されるとともに、以下の閉会の挨拶がなされた。

「本日は「広域的な生態系保全の環境配慮対策」というテーマを設けました。生態系の保全は、時間的、空間的な生物の動き、棲方等を念頭において、対策を講じる必要があろうかと思えます。

平成13年6月に土地改良法に環境配慮という言葉が、盛り込まれてから間もなく8年になろうとしています。この間の生物を把握する技術、保全する技術等の蓄積の中で、平成19年の2月には、生態系保全のための技術指針というものも生まれました。

先程のご講演の中で、豊川市の宇根豊さんという方のお話ができました。宇根さんは、有機農業の分野では、誰も知らない人はいないというぐらいの有名人ですが、この方が、日本政策金融公庫の、AFCフォーラムという広報誌の昨年12月号に、環境保全型農業について触れられており、その中で農業土木技術が、いち早くこの生物環境を把握する技術を形成し、それに基づいて環境に配慮した技術も築き上げたということを非常に強調しておられました。我々の技術が他分野の権威ある方から、このように高く評価されることに大変嬉しく思います。ただ、この技術を機械的に適応するのではなく、多様な自然体系、生態系に応じて心を入れながら、活用していただきたいと思えます。

本技術研究会は、昭和45年に設立し、そろそろ40年を迎えます。この間、一環として、水と土による、現場の情報の提供、そして、このような現場の技術交流をやってまいりました。しかし、本研究会は、この10年間で会員数が半減近く下がっております。やはり技術者というものは、とにかく研鑽が必要であり、そのためには、技術情報誌を読み、このような所で勉強することが必要ですので、皆さんどうかこの研究会を支えていただきたいと思います。」



写真－10 鮫島理事の閉会の挨拶



◇おわりに

今回の研修会では、各講師より、「広域的な生態系保全の環境配慮対策」のテーマに即し、環境配慮に関する施策の展開方向、各地において取り組まれている環境配慮対策の事例、研究事例等について、現地の写真等を多く交えたパワーポイントにより、分かりやすいご講演を頂いた。農業農村整備事業における環境配慮への取り組みは、今後、より重要性を増していくことから、研修参加者は熱心に講演を聞くとともに、現場での取り組みの参考とするため、各講演後に質疑応答がなされた。また、会場で実施したアンケート調査では、本研修が業務の参考になったとする意見が圧倒的に多く、有意義な研修となった。

編集事務局と致しましては、今回の研修会の成果やアンケート調査結果を基に、今後の技術研修会の一層の充実を図りますとともに、会誌「水と土」についても会員の皆様の期待に応えるべく、現場技術情報の発信に努めて参りますので、今後とも当研究会に対するご支援の程よろしく申し上げます。



写真-11 研修会の様子

# 会 告

## 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20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

## 3. 「水と土」表紙写真の募集

農業土木技術研究会では、会誌「水と土」の表紙を飾る写真を募集しています。

あなたが撮った「美しい農村や農業生産の風景」、「地域にとけこんだ農地、農業施設」、「水・土のふれあい」などを表紙に使わせていただきたいと思います。以下を参考に多数の写真を応募願います。

- ① 写真の種類：カラープリントでサービス版より大きいサイズで提出して下さい。
- ② 枚数：応募点数には制限がありませんが、未発表のものに限ります。
- ③ 応募先：研修会テキスト申し込み先に同じ
- ④ その他
  - (1) 応募写真の裏面にタイトル、コメント、住所、氏名、年齢、職業、性別、写真テーマ、撮影場所、撮影年月日を記入して下さい。
  - (2) 原則として応募写真は返却しません。
  - (3) 採用された写真の著作権は、農業土木研究会に属します。
  - (4) 採否は、編集委員会で決定します。
  - (5) 採用された場合は薄謝を進呈いたします。

# 農業土木技術研究会 会員の募集

## 1. 創立30周年を迎えた「農業土木技術研究会」

本研究会は、全国の農業土木技術者の自主的な研究会です。その歴史は、昭和28年の「コンクリートダム研究会」にまでさかのぼり、事業の展開方向に即して変遷してきました。現在の「農業土木技術研究会」としても、平成11年度には設立30周年を迎えた歴史ある研究会です。

### 〈農業土木技術研究会の変遷〉

昭和28年 「コンクリートダム研究会」の発足：会誌「コンクリートダム」の発刊

昭和31年 フィルダムを含めて「ダム研究会」に拡大：会誌「土とコンクリート」に変更

昭和36年 「水路研究会」の発足：会誌「水路」の発刊

昭和45年 両研究会の合併

「農業土木技術研究会」の発足：会誌「水と土」の発刊

## 2. 技術力向上に資する「農業土木技術研究会」

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

研究会では、現場の技術報文を中心とした会誌「水と土」を年間4回発行し会員の皆様にお届けしています。また、時代に即した技術的な情報を提供する研修会も開催しています。

## 3. 会員が支える「農業土木技術研究会」

本研究会の活動は、皆様の年会費によってまかなわれています。

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

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

申し込み様式は以下を参考にして下さい。

## 入会申し込み

平成 年 月 日

私は農業土木技術研究会に入会します。

氏名： \_\_\_\_\_

職場・所属： \_\_\_\_\_

職場住所（会誌送付先）：〒 \_\_\_\_\_

電話番号 \_\_\_\_\_

問い合わせ先：農業土木技術研究会

〒105-0004 東京都港区新橋5-34-4

農業土木会館内 TEL 03(3436)1960

FAX 03(3578)7176

# 投稿規定

1. 原稿には次の事項を記した「投稿票」を添えて下記に送付すること。

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

2. 「投稿票」

- ① 表題
- ② 本文枚数, 図枚数, 表枚数, 写真枚数
- ③ 氏名, 勤務先, 職名
- ④ 連絡先 (TEL)
- ⑤ 別刷希望数
- ⑥ 内容紹介 (200字以内)

3. 1回の原稿の長さは原則として写真・図・表を含め14,500字程度 (ワープロで作成の場合, A4版10枚程度) までとする。なお, 写真・図・表はヨコ7cm×タテ5cm大を242字分として計算すること。

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

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

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

※データと違いがないかをプリントアウトした原稿で必ず確認すること。

6. 手書きの原稿については, 当会規定の原稿用紙を用い作成すること (原稿用紙は, 請求次第送付)。また, 写真・図・表は本文中の挿入個所を明確に指定しておくこと。

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

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

たとえば,

C, K, O, P, S, U, V, W, X, Zの大文字と小文字

O (オー) と 0 (ゼロ)

$a$  (エー) と  $\alpha$  (アルファ)

$r$  (アール) と  $\gamma$  (ガンマ)

$k$  (ケイ) と  $\kappa$  (カッパ)

$w$  (ダブリュー) と  $\omega$  (オメガ)

$x$  (エックス) と  $\chi$  (カイ)

1 (イチ) と l (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. 分數式は2行ないし3行にとり余裕をもたせて書くこと。

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

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

12. 投稿の採否, 掲載順は編集委員会に一任すること。

13. 掲載の分は稿料を呈す。

14. 別刷は, 実費を著者が負担する。

# 「水と土」通信

FAX宛先：農業土木技術研究会 03-3578-7176

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

1. 本号(156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

新しい年を迎え、皆さんにおかれましては新たな気持ちでそれぞれの仕事に向かっていることかと思えます。

さて、正月休みの帰省の折、マスコミなどでも話題になっている「軻の浦」を訪れる機会がありましたので、そのことについて述べたいと思います。

ご存知の方も多いかと思いますが、軻の浦では、埋立て・架橋による港の改変によって、景勝地としての価値を損ね観光客の減少を招く可能性があるとして、計画に対して軻の浦の歴史的景観の保全を求める立場の人々から反対の声が上がっており、この運動には宮崎駿氏等の著名な文化人や研究者も加わり、2007年に「美しい日本の歴史的風土100選」に選定されたことや、宮崎駿氏が映画「崖の上のポニョ」の構想のために長期滞在したことなどから、全国的な関心を集めています。

一方で地元住民の意見の多くは、現在の渋滞の酷さや、緊急車両の出動の妨げにもなることを指摘し、埋め立て架橋の早期実施を求めているところです。

この点について、帰省の折に、実際に、軻の浦の現状をこの目で見ることができたのですが、実際にその現場を見た感想として、マスコミなどで話題になったこともあり、観光客も多く訪れる状況にある中で、現実として極めて狭い生活道路が存在することが地域住民の安全性も含めて大きな問題となっていることは明らかでした。

しかし、一方で、多くの観光客が訪れている中で、仮に、現在の景観の一部が失われることの問題も実感として十分伝わるものでした。

結局、地域の利便性と景観を含めた環境の維持という2つの問題を両立させることについて、明確な答えは存在しないと思いますが、公共事業に携わる者の心構えとしては、まずは、現場の状況を把握したうえで、ニュートラルな視点をもって物事を進めていく姿勢が重要ではないかと思えます。

今後、ますます環境問題が注目を浴びる時代になることは確かであり、我々農業農村整備事業にかかわるものとしては、地元農家等のニーズを取り込むことは当然重要ですが、国民の関心がどの方向に向いているのかを含めて、一人一人の技術者が広くアンテナを張っていくことが重要ではないかと思われます。

(農地資源課 三田村)

## 水と土 第156号

発行所 〒105-0004 東京都港区新橋5-34-4

農業土木会館内

印刷所 〒161-8558 東京都新宿区下落合2-6-22

農業土木技術研究会

TEL 03(3436)1960 振替口座 00180-5-2891

一世印刷株式会社

TEL 03(3952)5651

# ダイプラハウエル管 (高耐圧ポリエチレン管)

φ300~3000

経年劣化が少ない材料により長期寿命を実現!

外圧に強い中空リブ構造で高盛土にも適応!

柔構造物なので軟弱地盤でも適応!

コンクリート基礎不要で工期短縮が可能!

## 公的機関への認可

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

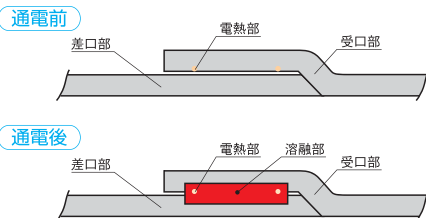
## 農業用水のパイプラインに!

### 管路の一体化による継手部の信頼性!

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

常用使用圧力 0.50 MPa

## EF継手(エレクトロフュージョン)



内圧用ダイプラハウエル管



## 農道下横断管に!

耐圧強度が大きく、  
高盛土下に  
埋設可能!

カルバート工  
として  
実績豊富!



## ため池の底樋に!

柔軟性に優れ、  
地盤沈下にも  
対応!

柔構造樋管  
として  
実績豊富!



ダイプラハウエル管

**大日本プラスチック株式会社**

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

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

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