

# 水と土

No.112  
1998

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



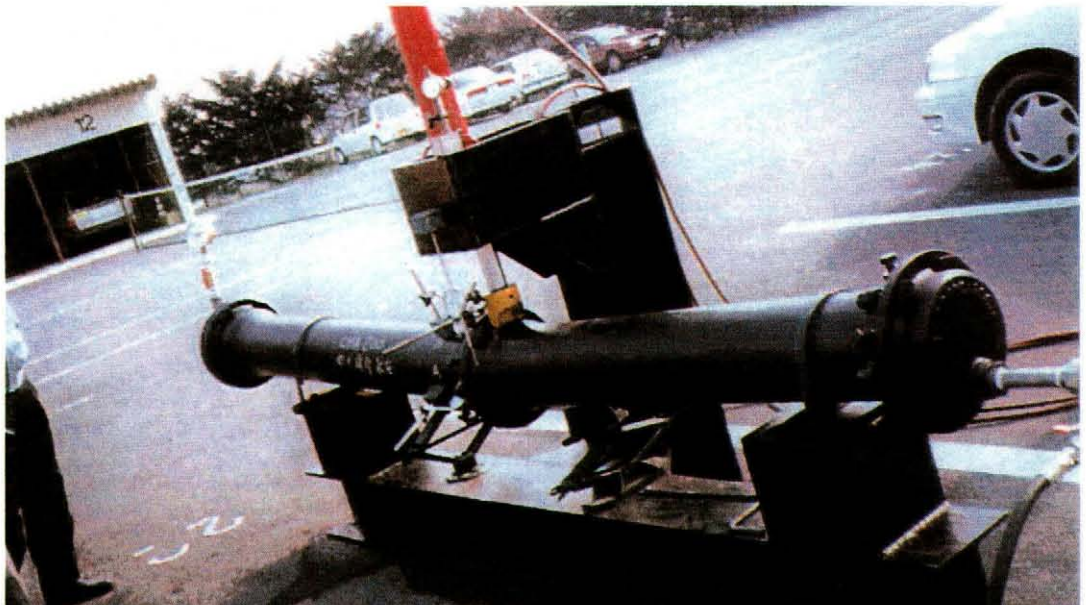
ダクティル鑄鉄管の特殊押輪継手 (本文 47 頁)



弓形爪を用いた継手離防止  
継輪(特殊押輪継手)の施工  
(左・左中・下)

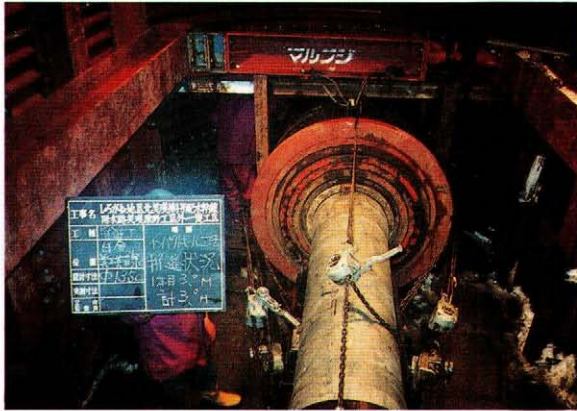


現場における  
接合水圧抜け出し試験の状況▼



推進工法における地域環境適応型の施工方法 (本文 62 頁)

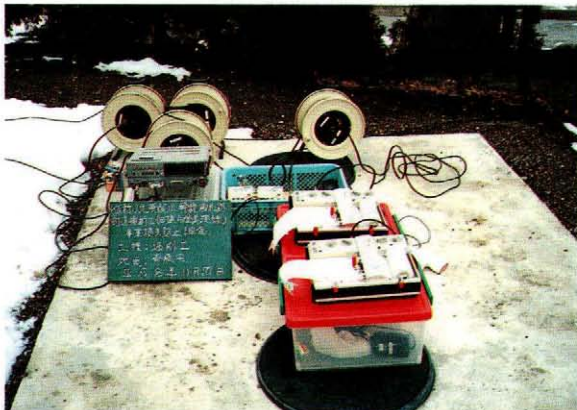
発進坑 (仮設は立坑と  
コンプレッサーのみ)



発進坑内のマスターコーンと推進機



土砂排出状況



騒音等の調査状況

# 水 と 土

## 目 次

報文内容紹介

### 巻 頭 文

土地改良技術事務所で思うこと 梅川 治……(1)

### 報 文

フィルダム基礎変形解析予測値と実測値の関係

田中 邦彦 川上 直人 岩崎日佐男  
園村 道明 前田 勉……(3)

農業集落排水事業 岐阜県川上地区における処理方式の検討

山田 義隆 飯田 久穂 伊藤 幸彦……(20)

ロックフィルダムの貯水後の長期挙動

初川 栄治 安中 正実 浅野 勇……(29)

ダクタイル鋳鉄管の特殊押輪継手

竹内 幸市 綿貫 善治……(47)

再生アスファルト舗装

西山 浩一……(56)

推進工法における地域環境適応型の施工方法

鈴木 扛悦……(62)

### 技術情報

一般性を持つ Mohr の包絡線の解析法

西山 竜朗 長谷川高士……(70)

投稿規定……(78)

農業土木技術研究会入会手引……(79)

会告：「水と土」に関するアンケート調査への協力のお願ひ……(80)

No. 112

1998

表紙写真

「初夏」(熊本県矢部町)

(Photo 提供：農林水産省むらづくり対策室，第5回美しい日本のむら景観コンテストより)

# 水と土 第112号 報文内容紹介

## フィルダム基礎変形解析予想値と実測値の関係

田中 邦彦・川上 直人・岩崎 日佐男  
園村 道明・前田 勉

ダムの設計において変形解析の精度は、過大だと機能面や安全性を損い、過小だと過大な設計を行う恐れを生む、非常に重要な事項である。このため、フィルダム変形解析予測値と実測値の関係を検討した結果、層別変位量は実測値が予測値を上回る傾向にあり、基礎岩盤変位量は、特に軟弱地盤において予測値が実測値を大きく上回った。このため変形解析について、変形係数やモデルなどの比較を行い問題点等を整理した。

(水と土 第112号 1998 P. 3 設・施)

## 農業集落排水事業 岐阜県川上地区における処理方式の検討

山田 義隆・飯田 久穂・伊藤 幸彦

農業集落排水事業 岐阜県川上地区において、処理施設の方法を決定するにあたって、検討した経緯を記述した。「長時間ばっ気方式」「連続流入間欠ばっ気方式」「回分式活性汚泥方式」「オキシデーションディッチ方式」等を比較検討して、最終的に本地区は、「連続流入間欠ばっ気方式」を採用した。(水と土 第112号 1998 P.20 設・施)

## ロックフィルダムの貯水後の長期挙動

初川 栄治・安中 正実・浅野 勇

フィルダムの長期挙動観測について検討された事例はあるものの、データの信頼性の判定方式などの手法は確立されているとはいえない。効率的な安全性の評価手法を確立するためには、長期間の計測データを収集し、堤体挙動を把握することが重要となる。

今回は、湛水開始から数ヶ年経過したロックフィルダムである大楠ダム、新鶴子ダムの埋設計器観測から明らかになった堤体挙動について報告する。

(水と土 第112号 1998 P.29 設・施)

## ダクトイル鑄鉄管の特殊押輪継手

竹内 幸市・綿貫 善治

ダクトイル鑄鉄管路の曲管部において、スラストカに対応する従来のコンクリートスラストブロックに代り、弓形爪(ロッキング)を用いた特殊押輪継手を使用して、経費縮減・工期短縮を図り経済的な事業執行を実施した事例。

(水と土 第112号 1998 P.47 設・施)

## 再生アスファルト舗装

西山 浩一

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震により、多量に発生した再生資源(建設副産物)の処理を契機に、本県における再生資源施設(中間処理施設)の普及が図られた。

農業農村整備事業における再生資材の使用への本県での取組を紹介するとともに、特に農道舗装材の利用を検証し、今後の動向を考察した。

(水と土 第112号 1998 P.56 企・計)

## 推進工法における地域環境適応型の施工方法

鈴木 扛悦

道路・河川の横断箇所、市街地が錯綜する箇所が多い管水路の布設に当たっては地表開削工法を採用できず、推進工法で施工する必要がある。このため、推進工法のインパクトモール工法を採用し、振動・騒音・地盤沈下等の周辺環境への影響及び機械設備の省力化、工期の短縮化を総合的に検証し、今後、市街地施工などに有効で廉価な地域環境適応型の工法を新技術として実施するものである。

(水と土 112号 1998 P.62 設・施)

## 一般性を持つMohrの包絡線の解析法

西山 竜朗・長谷川 高士

最近では実用面においても材料強度の正確な評価が求められるようになり、しばしば曲線の破壊包絡線も用いられている。そこでこのような評価を行うための有効な手段として、Mohrの包絡線に関するBalmerの手法を紹介する。この手法におけるMohrの包絡線の方程式は主応力をパラメータとして導かれ、包絡線を直線、曲線のいずれとして捉える問題へも応用できる一般性を持つ。またさらに、求めた包絡線の信頼限界を算定する。

(水と土 第112号 1998 P.70 企・計)

## 土地改良技術事務所で思うこと

梅川 治\*  
(Osamu UMEKAWA)

土地改良技術事務所は、設計基準、積算基準等の基準類の整備、電算・通信システムの整備、資材価格調査、歩掛調査、施設機械設計積算、技術情報の紹介・照会、研修等を通じて国営事業を中心に従来から農業農村整備事業の技術的な支援を実施してきた。

しかしながら、農業農村整備事業を取りまく様々な環境の変化に対応するため、平成7年度に大幅に組織が再編され、「一般土木」、「ダム等の大規模工事」、「情報・研修」、「施設機械」、「施設管理」という5つの分野に専門技術指導官を配置し、国営事業所等が持つ技術的な課題に対し、一層現地に密着した形での支援を積極的に展開することとなった。こうした事業所支援を展開して3年が経過し、一応、定着した現在、土地改良技術事務所の技術支援のあり方や公共事業をめぐる環境の変化の中で、今後の農業農村整備事業の円滑な推進を図る上での土地改良技術事務所の果たすべき役割などについて思いつくまま述べていただきたいと思います。

この専門技術指導官による事業所支援が実施されるようになった背景は、事業所における業務が多様化、複雑化し、それらの処理のために多くの時間と労力を投入せざるを得ない状況にあり、本来培われていくべき現場における技術業務のノウハウが必ずしも十分に蓄積出来ない状況を緩和する手段が必要とされたことと言える。具体的には、関係機関との協議や計画変更などに代表される対外協議や地元調整の高度化、複雑化に伴い、指導的立場にある職員が多くの時間と労力をその処理に割り当てざるを得ない結果、設計業務の企画・照査・審査、現場監督、工程管理、変更協議等現場において培われるところのノウハウを若手技術者に伝える機会が少なく技術の蓄積が思うようにはかどらないと言う懸念から、こうした技術的ノウハウを経験豊富な専門技術指導官の指導のもと伝達し、技術者の育成と技術力の維持・向上を図ることを狙いとしたものである。

こうした専門技術指導官を中心とした事業所支援は、現在一定の評価を得ているところであるが、未だ「一定の評価」にすぎず、先に述べたような事業所における状況が全く解消されたということではなく、基本的には多くの課題がなお残されているのが現状と言える。

このようなことから、今後の事業所支援にあたっては、支援の内容、中身の一層の充実が不可欠である。すなわち、大規模工事等における高度な技術的課題の検討、助言などの支援のみならず日常的な技術的疑問にも応えられる事業所のホームコンサルタント的な存在となることが技術事務所に期待されるのであろう。また、こうした存在になるために必要な人材の育成を中長期的視野に立って広く実施していくことや体制の整備が技術事務所の大きな仕事の一つとなると考える。

さらに、近年の公共事業をめぐる環境のめまぐるしい変化と相まって、様々な対応が新たに必要となっている。中でも、コスト縮減、新技術導入、品質確保等は最も重要な事柄であり、技術事務所の持つ機能がフルに発揮されることが最も期待されるものでもあると考える。

これら3つのものは、それぞれが個々に実施されるものではなく、品質確保等を前提としたコスト縮減であり、新技術の導入である。イメージ的には、設計に際しての新しいアイディア・設計手法の採用や新

技術を導入してコストを縮減するとともにその出来形の品質も十分確保されているというように互いに関連をもって実施されるべきものである。

こうした状況の下での技術事務所の役割は、設計業務や工事というそれぞれの段階毎にいかにかコスト縮減が達成されるのか、新技術を導入することによりどのような効果をもたらすのか、またその設計積算の考え方をいかにするのか、新技術の情報収集と普及をどのように強化するのか等について検討し方向性を出すことである。また、試行が始まっている ISO, VE, DB等の新しい取り組みについて、その普及とこれらのシステムを導入する効果をいかに評価するかを十分検討し、評価手法や判断基準を示していくことであろう。

すなわち、今後は、一層こうした「評価できる力」が、技術事務所に求められるとともに農業農村整備事業に携わる個々の技術者にも求められるものであると考える。

このことは、中央建設審議会などの資料からも読みとれるように、今後の公共事業の実施の基本的な考えが「造る」時代から「買う」時代に向かっていくなれば、農業農村整備事業に携わる我々技術者も食品や衣料品を買う時と同様に、どのようなものをどのような考え方（判断基準）で「買う」のか、すなわち、ものを品定め（評価）して手に入れるという考え方に切り替えていくことが必要であり、なお一層評価できる力を持つことが必要となる。

農業農村整備事業に携わる技術者にとって「評価できる力」とは何かを考えると、それは業務に必要な水力学や力学等の一般知識からなる基礎力に加え、経験により身につけてきた総合的な判断能力とその判断を実現できる術（技術）と言うことが出来る。しかしながら、こうした技術力は一般に目に見えるものではなく、その人がどのような技術を持ちその技術水準はどのようなレベルであるかということは、その人をよく知る人以外にはほとんどわからないものである。すなわち、研究者や学識経験者のように研究論文、技術論文等でその学識や技術力を公にする機会や実績がある人以外は、いかに技術力が高い人であってもその技術力を第三者に認識させることは難しい。その点、技術士や土木施工管理技士等の資格は第三者に対し、その技術者の技術力の水準を示す指標として客観的でわかりやすいものとする。公共事業の実施にあたっての透明性、客観性等が益々求められることとなる今後は、こういった資格の取得が発注者、受注者を問わず必要なものとなる。

以上に述べさせていただいたこと以外にも、労務単価・資材単価の公表、予定価格の公表等の情報公開が年々進展しており、また、ISO9000'sに加え地球温暖化防止(CO2削減)の京都会議以降ISO14000'sへの取り組みが建設業界、コンサルタント、メーカーなどで急ピッチで進んでいるなど公共事業を取りまく環境は、今後とも急速かつ大幅に改革されていくことが予想される中、土地改良技術事務所は、従来の事業所等のサポート機関としてのみならず、今後は、前面に出て、時代の大きな変革の流れを的確につかみ、それを実施するための方向性を出す機関、すなわちリードする機関としての機能を兼ね備えた機関へ飛躍していくことが必要と考える。土地改良技術事務所の業務は益々重要でありその責務は重い。

(参考) ISO : International Organization for Standardization

VE : Value Engineering

DB : Design Build

\*九州農政局土地改良技術事務所長

# フィルダム基礎変形解析予測値と実測値の関係

田中 邦彦\*  
(Kunihiko TANAKA)

園村 道明\*\*\*\*  
(Michiaki SONOMURA)

川上 直人\*\*  
(Naoto KAWAKAMI)

前田 勉\*\*\*\*\*  
(Tsutomu MAEDA)

岩崎 日佐男\*\*\*  
(Hisao IWASAKI)

## 目 次

I. はじめに ..... 3  
 II. 変形解析の役割と変形(弾性)係数の役割 ..... 3  
 III. 変形係数の測定手法 ..... 5

IV. 変形解析の手法 ..... 8  
 V. 解析予測値と実測値の比較 ..... 12  
 VI. まとめ ..... 19

### I. はじめに

フィルダムの基礎が軟質である場合、あるいは軟質の部分と硬質な部分が混在している場合には、堤体の盛土荷重によって著しい変位や不等沈下が生じる可能性がある。

フィルダムの設計に当たっては基礎岩盤について土木地質的岩盤分類を行った後、変形特性、せん断強度を測定するとともに、データのばらつきや、岩盤の場所による変化も含めて総合的に判断して、最も適切と思われる値を設計値として定め、基礎岩盤まで含めたダムの安定性を検討せねばならない。

このようなことから、設計段階において基礎の変形予測を実施することが多くなっている。そこで、最近完成したフィルダムの基礎の変形実測値を整理し、これらの設計段階において事業者の実施した変形解析結果から変形予測の精度を比較検討した。

### II. 変形解析の役割と変形(弾性)係数の役割

#### 1. 変形解析の役割

##### 1-1 ダム堤体の安全性について

基礎地盤、アバット地山を含めた水理学的安全性および力学的安全性を満足しなければならぬ。

#### 1-2 安定解析の種類について

ダム堤体を設計する場合に、この力学的安全性を確認する安定解析の手法としては、おもに以下のような2つの手法がある。

- (A) 円形滑り面スライス法(極限解析法) ..... 従来の安解析法
- (B) 有限要素法(変形解析法)(F.E.M.) ..... 近年の安定解析法

#### 1-3 安定解析法の概要

ここでは、これらの解析法の概要について説明する。

##### 1) 円形滑り面スライス法

この方法は円の中心に関する各スライスの滑り面に作用する活動モーメントと抵抗モーメントとの総和の比をもって安全率を定義するものである(この手法での安全率は1.2以上)。

しかし、この手法はダム上下流斜面に、すべりが発生するかどうかのみを検討するものであり、安全率が1.2より上か下かで結果がはっきり分かれてしまうという手法のため、堤体破壊時における変形についてはまったく考慮されていない。

##### 2) 有限要素方法

この方法は構造体を任意の数の独立要素に分割し、節点で結ばれた各要素の諸特性を考慮しつつ、節点における力と変位から堤体中に発生する「応力-ひずみ」の関係を正確に解析し、築堤の進行過程をシュミレートし、現実の堤体沈下にあ

\*静岡県東部農林事務所御殿場支所  
 \*\*中国四国農政局大山山麓開拓建設事業所  
 \*\*\*九州農政局徳之島土地改良建設事業所  
 \*\*\*\*熊本県天草事務所  
 \*\*\*\*\*鹿児島県伊集院耕地事務所



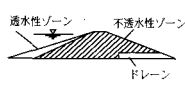
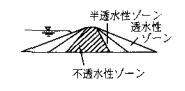
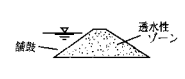
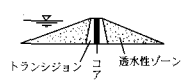
名称	略 図	定 義	ダム名
均一型		堤体の最大断面において、均一の材料の占める割合が80%以上のダム	前山ダム
ゾーン型		土質材料の不透水性ゾーンを含む多層のゾーンを有するダム	牧尾ダム 浪岡ダム 合所ダム
表水面壁遮型		上流斜面を、土質材料以外の遮水材料で舗装したダム	二の倉ダム 深山ダム
コア型		土質材料以外（アスファルト、コンクリート等）の透水壁を持つダム	武利ダム

図 2-1 フィルダムのダム形式

わせた解析手法である。

さらに、この方法は堤体の安全解析の他、基礎地盤の変形、破壊域の発生の有無の確認等を把握できる利点がある。

しかし、この手法でも変形から破壊過程を推定できるが、破壊時点を特定するまでには至らない。

また、推定する場合に多くのパラメータを要することから、コンピューターの力によるところが大きく、現在でも堤高の高いダムや特殊な設計を要するダムにおいて、円形滑り面スライス法と併せて検討されている。

#### 1-4 ダムの構造について

今回取り上げたフィルダムは、築堤材料が土石材料を主要材料として造られるダムであり、ダムサイト近傍で確保できる自然材料を有効に利用し、合理的且つ経済的に築造することが重要である。

事実、フィルダム本体は、細粒～粗粒の粒状態である土質材料から構成された構造物であり、その土粒子は多くの空隙を内していることから、変形性に富む性質を有していることは明確である。(図 2-1 参照)

#### 1-5 変形解析 (有限要素法) の必要性について

安定解析の手法において、こうしたダム堤体構造の性質を考慮するならば、従来の「円形滑り面スライス法」の解析から「有限要素法」に移行することが重要である。

これにより、フィルダムの変形予測、変形に対する安全性や堤体にひずみを与える要因である基礎地盤盤の変形が把握できると考えられる。

### 2. 変形 (弾性) 係数の役割とは

#### 2-1 基礎地盤の安全性について

前述のとおり、ダムの安全性を検討する場合、ダム堤体自体の安全性の他に基礎地盤の安全性がある。岩盤を始めとする基礎地盤に求められるのは、所要の耐荷性と遮水性である (表 2-1 参照)。

#### 2-2 近年ダム築造基礎地盤について

近年、良質な岩盤基礎個所ではすでにダム建設が進み、新第三紀層から第四紀層のような軟岩や未固結層のような基礎地盤を

表 2-1 岩盤の特殊地質要素とダム基礎地盤の設計上の問題点

地質的要素	力学的安定性
き裂・節理	き裂・節理沿いのすべり 斜面の安定性 (流れ目の場合)
断層破碎帯	強度、変形性、耐荷性が低い 断層破碎帯沿いのすべり 斜面の安定性
風 化	強度、変形性、耐荷性が低い 斜面の安定性
変 質	強度、変形性、耐荷性が低い 変質脈沿いのすべり
スレーキング	劣化による強度、耐荷性の低下 斜面との安定性
軟 岩	強度、変形性、耐荷性が低い スレーキングしやすい
未固結堆積物	強度、変形性、耐荷性が極めて低い

対象にダムを築造しなければならなくなっている。

こうした地層は、地盤強度が小さい上、基礎地盤の変形が見込まれるため、堤体の安定解析を行う場合、基礎地盤の変形を考慮した解析を行う必要がある。(表2-2参照)

### 2-3 基礎地盤の特性について

そのためには、基礎地盤の特性を把握しておく必要がある。

基礎地盤は自然状態であるため、岩質、地質構造質、内在するき裂等の影響から変形性、強度、透水性等の特質を有している。

### 2-4 変形(弾性)係数の必要性について

基礎地盤の特性の中で今回取り上げる変形性は、有限要素法(F. E. M.)を用いて解析されるが、この際に重要なパラメータに変形(弾性)係数がある。

このことから、精度の高い予測を行うためには、いかに正確な変形(弾性)係数を求めるかが重要になってくる。

## III. 変形係数の測定手法

岩盤の力学的性質の変形係数を把握するには力学試験のうち、原位置試験と室内試験がある。

### 1. 原位置試験

原位置で岩盤の変形特性を求める方法としては、平板載荷試験、(等変位載荷あるいは等分布載荷)、孔内載荷試験等がある。

これらの試験方法にはそれぞれの特徴があって、目的や条件に応じて採用すべき方法が定められるが、一般には平板載荷による変形試験が採用される。試験は一般に調査横坑内で行われるが、場合によっては河床部等でテストピットを掘削して行うこともある。

#### 1) 平板載荷試験

平板載荷による変形試験は別名、「ジャッキ試験」と呼ばれており、載荷条件により等変位法と等分布荷重法の2通りの方法がある。

等変位法は、直径30~50cmの剛体円盤を用いて載荷する方法である。等分布荷重法は、直径80cmの撓性をもった円形ダイヤフラムを用いて載荷する方法である。

#### 2) ボーリング孔内載荷試験

ボーリング孔を利用する載荷試験の方法は、各種の形式が開発され、改良が加えられているが、装置は三つの構成部からなる。孔内へ挿入する測定管、地上でこれに加える圧力や変形量を制御し測定する部分および両者連結部分である。

測定管の構造はその働きによって2種類に大別できる。①内部に流体を受けてゴムチューブが膨張し孔壁を加圧する。「等分布荷重」方式、②金属製の剛体円筒が膨張し孔壁を加圧する「等変位」方式である。

等分布荷重方式には1室型と室型がある。

孔壁の変形量の測定方法には2方式がある。すなわち孔壁を加圧するために、測定管に注入する圧力流体の流入体積変化量から求めるものと、測定管の内部に変位計を設け、これにより孔壁変形を直接測るものがある。

以上は既設のボーリング孔を利用するプレボーリングタイプの装置であるが、その他に測定管の先にボーリング機能をもたせたセルフボーリングタイプの例が数種類考案されている。

### 3) その他の試験

#### (1) 水室試験

水室試験は、横坑や立坑の一部をセメントモルタルまたはコンクリートでライニングし、バルクヘッドで閉塞した後内部に水圧を加え、周辺岩盤を加圧することによって岩盤の変形特性を調べる方法である。またこのような方法のほか、フラットジャッキを多数用いて周辺地盤を加圧する放射状ジャッキもある。

#### (2) 岩盤三軸圧縮試験

岩盤三軸圧縮試験は角柱形の岩盤ブロックを切り出し、三方向から油圧ジャッキによって載荷し、このときの変形性または強度を計測するものである。

#### (3) 引抜きせん断試験

引抜きせん断試験は、ボーリング孔に鋼管やロックボルトを埋め込み、これを引き抜くことによりせん断抵抗力を求める試験法である。

表 2-2 地質年代と日本列島の形成

(地質学ハンドブックより)

代	年代 (×10 <sup>4</sup> 年)	紀 世		日本列島の形成		造山 運動	生物 ( ) は発生		岩石の特徴	主な地質系統													
				骨格・外形の変遷	構造地質		動物	植物															
新生代	70	第四紀	沖積世 (現世)	沖積平野形成	後氷期の温暖期 (間氷期)				砂礫層 シルト層 粘土層 ローム層 火山灰	安山岩 玄武岩 流紋岩	有楽町層、江古田泥岩層 (段丘) 立川礫層 立川ローム 武蔵野礫層 武蔵野ローム 下末吉層 下末吉ローム 屏風浦層 多摩ローム 長沼層 成田層群, 東京層 群大阪層群												
中生代	0.015		洪積世 (更新世)	台地段丘形成 日本列島大陸から 分離	氷河時代 4 氷期 3 間氷期 (間氷期→海侵→溶 結凝灰岩の噴出→カ ルデラの陥没) ドナ ウ氷期・ビーバー氷期	← 人類																	
中生代	1.5~2.5	第三紀	新第三紀	鮮新世	石油の形成 グリーンタフ造山運 動(海底火山の活動 活発)	中央構造線 フォッサマグナ			砂 岩 礫 岩 泥 岩 頁 岩 グリー ン タフ(凝 灰岩およ び凝灰角 礫岩)	流紋岩 安山岩 玄武岩 (花崗) 閃緑岩	三浦層群, 瀬棚層, 仙台層群, 掛川層群, 明石層群, 魚沼層 群 黒松内層, 八雲層, 訓縫層群, 福山層群, 船川層群, 寺泊層, 相良層群, 御坂層												
				中新世	陸化時代 日本海側沈降・ 堆積 太平洋側上昇 (陸化) 日本列島の原形 ← 孤状列島と構造線 (形成)																		
中生代	220	第三紀	古第三紀	漸新世	石炭の形成	アルプス・日高造山運動			哺乳類 貝類		幌内層, 石狩層群, 瀬戸川層 群, 幸禰層群, 芦屋層群, 日 南層群												
				始新世			陸域拡大時代 太平洋側沈降・ 堆積 日本海側上昇形成																
中生代	26	第三紀	古第三紀	暁新世	石炭の形成	アルプス・日高造山運動			哺乳類 貝類		幌内層, 石狩層群, 瀬戸川層 群, 幸禰層群, 芦屋層群, 日 南層群												
				漸新世			陸域拡大時代 太平洋側沈降・ 堆積 日本海側上昇形成																
古生代	65	白亜紀	日本列島背骨形成		領家・三波川・御荷 鉾変成岩類の形成 深成岩の貫入特に花 崗岩の大バンリスの 形成	日高造山帯の地向斜 を除き一般に平穏な 浅海または半深海性 の堆積			恐竜 アンモ ナイト	(被子植物) (顕花植物)	砂 岩 頁 岩 粘板岩 礫 岩 石灰岩 輝緑岩 かんらん 蛇紋岩	花崗岩 閃緑岩 石英はん 輝緑岩 かんらん 岩 蛇紋岩	函淵層群, 和泉層群 関門層 群, 領石層群 空知層群, 神居古潭層群, 島 ノ巣層群, 手取層群, 豊浦層 群 稲井層群, 大久野層群, 美弥 層群, 夜久野層群										
			ジュラ紀	三疊紀	二疊紀	↑次第に陸化	飛驒片麻岩類の変成 領家・三波川・御荷 鉾など, 変成岩類の 原岩の形成	造山運動 バリスカン							爬虫類	シダ類 (裸子植物)	粘板岩 砂 岩 チャート 石灰岩 輝緑凝灰 岩	花崗岩 閃緑岩 輝緑岩 かんらん 岩 蛇紋岩	登米統, 赤坂統 氷川統, 秋吉統 鬼丸統, 日頃市統 鷹ヶ森統, 川内統				
					石炭紀	秩父地向斜	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア												(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩
古生代	135	ジュラ紀	三疊紀	石炭紀	秩父地向斜	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		爬虫類 (昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類										
				600	デボン紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類					
					シルリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア												(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類
					オルドビス紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア																
600	345	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類												
			500	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類						
600	395	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類												
			600	435	デボン紀	カンブリア紀						飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	435	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	500	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア		(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類									
			600	570	デボン紀	カンブリア紀	飛驒片麻岩類の原岩 の形成	造山運動 カレドニア							(昆蟲類) (両生類) (魚類)	(菌類)	片麻岩 結晶片 岩類	花崗岩 角閃岩 かんらん岩	飛驒片麻岩類				
600	570	デボン紀				カンブリア紀	飛驒片麻岩類																

## 2. 室内試験

室内試験の目的は、岩盤の構成材料である岩石(片)の種々の工学的性質を求め岩盤の性質を考察する場合の基本資料とすることであり、また、原位置岩盤試験結果と岩石試験結果の関連を求めて岩石の評価の補足手段として利用する目的も含まれる。

試験方法の基準ないし規格は、現在のところ岩盤力学の立場から統一されたものではなく、それぞれの機関で異なった基準(案)を用いているのが実状である。

### 1) 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験は、整形した岩石供試体に一軸圧縮応力を作用させ、岩石が支持しうる最大の荷重強度(一軸圧縮強度)を求めるものである。この値は岩石の強さを表現する代表的な値として取り扱われる。試験は通常50~100tf程度の加圧能力のある油圧型の耐圧試験機を用いて行う。

### 2) 三軸圧縮試験

三軸圧縮試験は、三軸応力下における岩石の変形、強度特性を調べるものである。三軸圧縮試験には角柱供試体の各面に異なった応力を作用させる三軸圧縮試験もあるが、通常は円柱供試体に封圧を作用させた後、軸差応力を増加させる試験が一般的である。岩石の強度定数( $c, \phi$ )は、いくつかの異なった拘束圧のもとで三軸圧縮試験を行い、それぞれの破壊時応力をモールの応力円で表し、その包絡線から求められる。

## 3. 変形(弾性)係数の推定条件

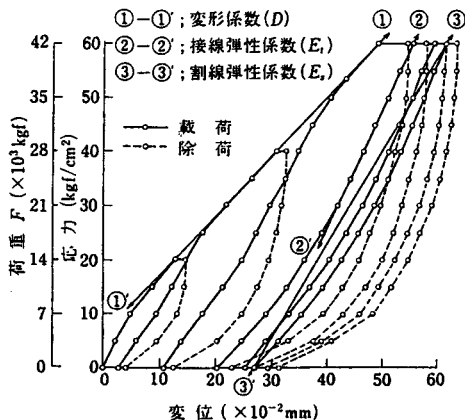


図3-7 荷重—変位曲線の例

- 1) 基礎を構成する全ての岩に対して原位置変形試験が実施されている訳ではなく、変形上問題となるであろう岩を対象に実施されている。
- 2) 変形(弾性)係数の深さ方向の分布は一般的には考慮されていない。

## 4. 原位置変形係数の精度

変形解析時の基礎の入力物性値である変形(弾性)係数を決定するための原位置試験法としては、土木学会により指針化されている平板載荷試験法を採用するのが一般的であるが、補助的に最も多く実施されているのはボーリング孔内載荷試験である。ただしこれら本試験法を採用したとしても、結果として、得られる変形(弾性)係数を用いる場合には次のような問題がある。

- 1) 軟岩に変形試験を実施した場合、繰返し載荷による残留変形量が多いこと降伏荷重が小さいこと、繰返し載荷による締固め効果が出やすいこと等の特徴がある。

平板載荷試験から得られる変形性を表す定数としては、変形係数と、接線あるいは、割線弾性係数がある図3-7。

- 2) 平板載荷試験の結果と孔内載荷試験によって得られる結果については必ずしも一致しないのが一般的であるが、これらの相関を求めた一例を図3-8、に示す。

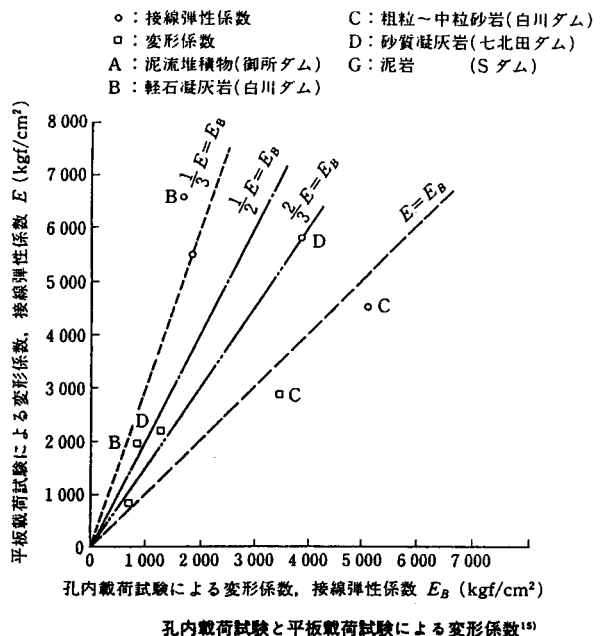


図3-8

- 3) 基礎岩盤が比較的軟らかい岩で構成されている場合、剛体板を載荷する平板載荷試験を採用すると、載荷板縁部において基礎岩盤の側方流動あるいはせん断破壊が発生し、結果として、変形性を過大に評価する可能性がある。
- 4) ダムのように非常に大きな載荷面を持つ荷重によって発生する変形を高々数10cmの径の円形載荷板を用いて求めることができるのか
- 5) 首尾良く変形試験が行えても、変形係数と接線あるいは割線弾性係数図3-7のどちらを変形解析時の基礎地盤の入力物性値とするか。
- 6) また、弾性係数は地盤を等方弾性体と仮定したうえで求められるため、異方性地盤で実施した際の精度には疑問が残る。
- 7) 同種岩に対して行った数個の変形試験から得られた弾性係数にかなりの差があった場合でもその平均値を入力物性値とすることに問題がないか。

#### IV. 変形解析の手法

##### 1. 安定解析の方法

安定解析は先に述べた基礎岩盤の調査、試験を基に設計条件を決定し、図4-1に示す流れで安定解析を行う。

解析方法は大別すると「極限解析法」と「変形解析法」に分けられる。これまで特殊なダム以外は、臨界円による円形滑り面スライス法を用い、予想される滑り面が円形でない場合、ウェッジ法を原則的に用いてきた。

本章は極限解析法と変形解析法の代表的なものを選択し、利点及び欠点について以下に述べる。

##### 1-1 極限解析法

極限解析法には代表的に円形滑り面スライス法がある。円形滑り面スライス法はある仮想点を中心とする滑り円を断面に与え、仮想滑り面上の土塊をスライス上に分割し、各スライス面に作用する滑動モーメントと抵抗モーメントとの総和をもって安全率を定義したものであり次式のより求められる。

円形滑り面スライス法は、検討結果よりいかなる場合も安全率 $F_s=1.2$ 以上を満たしていれば堤

体は安定であるとする簡便な方法であり、計算も比較的簡単で繰り返し計算により求められる。また、破壊例がほとんどなく実績もある。

しかし、この方法は単に堤体に作用する重力・地震力・水重などによる活動モーメントとフィル材料の抵抗モーメントの比を表しているにすぎず、これらの力が作用したときに発生する堤体内ひずみと応力の関係は何ら考慮されていない。また、横断方向（上・下流方向）の安定計算のみしか行えず、特に局部的な不安定原因を求めることはできない。地震力についても実際には交替的に繰り返しかかる力を単に静的な水平力に置き換えているにすぎず、実際に生じている現象とはかなり異なる仮定をしている。

したがって、想定した滑り面の大部分を均一材料で占める均一型ダムや傾斜遮水ゾーン型フィルダムにおいては有効であると思われる。しかし、さまざまな材料により構成されている中心遮水ゾーン型ロックフィルダムではこのような破壊過程は当てはまらない。

このようにこれまでの安定解析法にはいくつかの欠点があるので、軟弱地盤上のダムなどでは堤体中に発生するひずみや応力を定量的に解析し、静的・動的応力条件下に置いて堤体や基礎岩盤の変形や破壊域の発生の有無を検討する必要がある。

##### 1-2 変形解析法

変形解析法は一般に有限要素法を用いて変形・応力・変位の解析を行うものである。

有限要素法による解析フローを右に示す。

このように接点や要素に関する基本データの読み込みを行った後、接点加重を作用させて接点変位・要素内ひずみ・応力を計算し、これを基に局所安全係数・主応力比など安定性評価に必要な指標の計算をループ計算によって行うものである。

以下に有限要素法に必要な要素を示す。

##### ①解析モデル（図4-2、図4-3参照）

（縦・横断図の格子データ）

（高さ、幅、地盤形状）

##### ②境界条件

（下面：X・Y方向固定）

（側面：X固定、Y自由）

##### ③単位体積重量（ $\text{tf}/\text{m}^3$ ）

##### ④変形係数

（岩級区分毎の線形弾性係数）

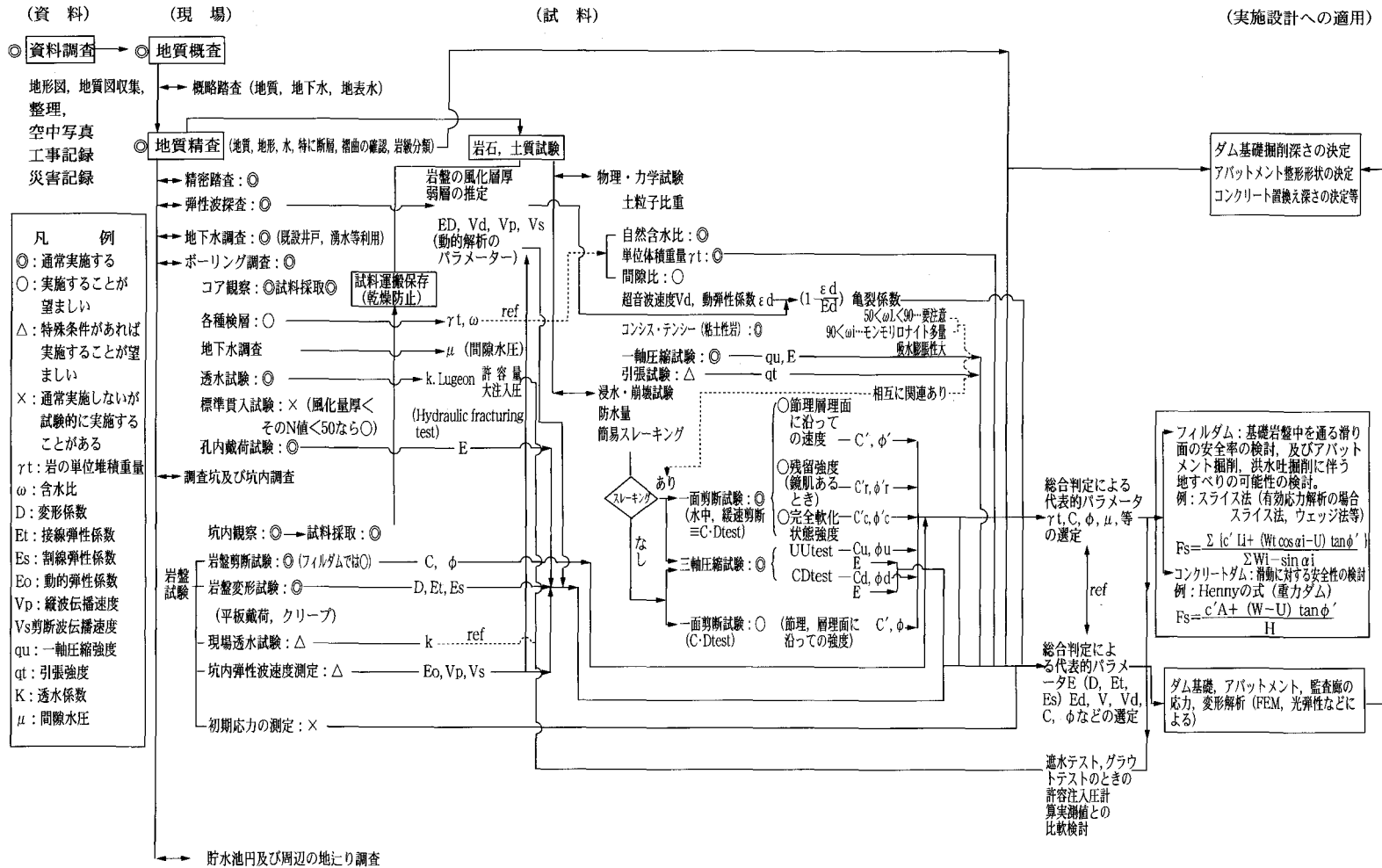
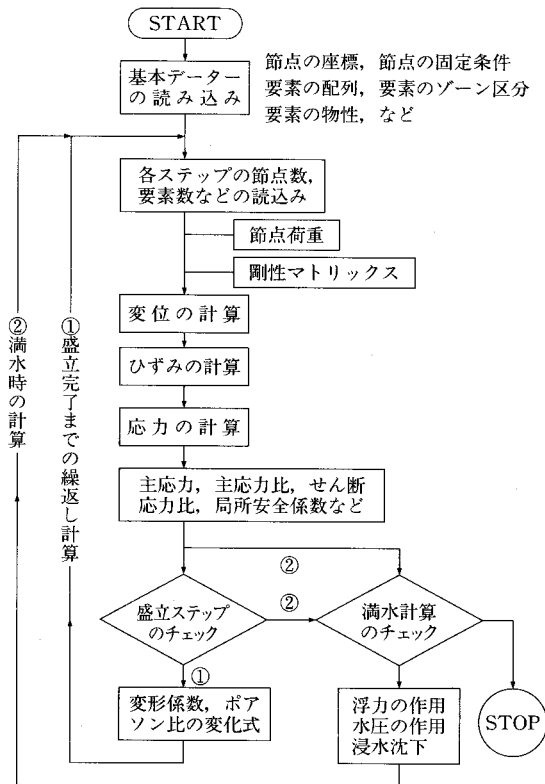


図 4 - 1 軟岩基礎の調査, 試験の相互の関係と流れ



築堤～湛水解析のフロー

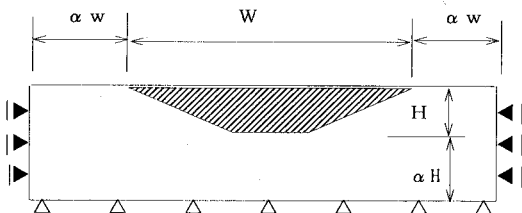


図4-2 解析モデル (縦断方向)

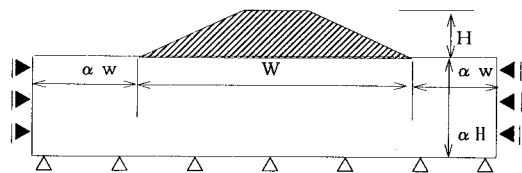


図4-3 解析モデル (横断方向)

(前章の算出方法参照:  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

⑤ポアソン比

(表面からの深さの関数)

( $P$  [縦] 波・ $S$  [横] 波の伝搬速度比の関数)

有限要素法の特徴を以下に示す。

①堤体および基礎岩盤を有限個の要素に分割し、

所要の条件のもとで接点変位や要素内応力を計算することができる。

②堤体や基礎の変形に関し、計算値と実測値とを比較することにより、その安定性を評価できる。

③各部の局所的安全性を評価できる。

④堤軸断面についても安定性が評価できる。

⑤静的問題(築堤解析・湛水時解析)だけでなく地震の動的問題にも対応できる。

⑥湛水時や水位急降下時の浸透流の挙動を克明に追うことができる。

有限要素法の解析を行う場合、フィルダム構成材料の応力～ひずみ関係式(構成方程式)をどのように表すかが最も基本的な問題であり、一般に「非線形弾性解析法」と「弾塑性解析法」の二つの流れがある。非線形弾性解析法は応力増分とひずみ増分の関係を弾性的と仮定し、その関係を結びつける弾性係数とポアソン比が応力と共に変化するとする。

この方法は堤体内に破壊が発生しないか或いは破壊域がかなり局限されている場合に有効であり、一定の成功を取めている。

ただし、材料が破壊した後の挙動を十分に表すことが出来ないため堤体内に広範囲に破壊が生じた場合は適用できないので注意が必要である。

また、弾塑性解析法はフィル材料を弾塑性体と考え、破壊した後の材料をも考慮しようとするものであるが、構成方程式が研究中であり確立されていない。

本章は二次元非線形有限要素法の解析方法について以下に示す。

1-3 解析の分類

応力解析は堤体自重及び機械転圧時の荷重を考慮した堤体変形解析とダム築造による基礎地盤の変形を解析する地盤変形解析とに分けられる。

1) 堤体の変形解析

堤体の解析には堤体の築堤過程を考慮する場合と考慮しない場合があり、築堤過程を考慮しない場合は完成形状ができた後に重力が瞬時に負荷されたものとする。このとき最大沈下量は堤頂部に生じたように計算され、実際の沈下形態と合わない。築堤過程を考慮する場合は堤体の盛り立てが層毎に順次下層から行われることから、先に盛土を行った層はこれから盛り立てようとする層から

の荷重の影響を受けて新しい応力状態に移行する。このとき次に盛り立てたときの層頂部は沈下しないものと仮定する。したがって、土工材料は著しく非線形性を示すことから解析は非線形弾性解析とし、非線形係数を用いることになるので、次の盛り立て計算に入る段階で新しい応力状態に対応した変形係数に設定し、これを盛り立て完了まで繰り返して堤体変位・変形及び応力状態を求めなおす必要がある。

一般に、Duncan-Chanによる非線形性増分パラメータや接線弾性係数及び接線ポアソン比を求める解析手法が用いられる。ここでは築堤材料の力学的非線形性の考慮が必要であり以下のように考えられる。

土質材料、岩盤などの土工材料は一般的に著しい非線形性を示す。この非線形に寄与する要因には種々存在するが、要因の中で特に静水圧的応力（三軸圧縮試験では側圧に相当する）が応力-ひずみ関係に大きく影響する点は、土質材料等の非線形モデルを考慮する際には無視することが出来ない。また、例えば密度・含水量・排水条件・載荷時間等は多くの場合、現場条件に一致するような条件を与えることにより応力-ひずみ関係を表すモデルの構成式に組み込むことが出来ると考えられる。

同様に接線ポアソン比を求める式と解析に必要な8つのパラメータを示し、日中ダムにおける適用例を示す。

三軸圧縮試験より得られた軸ひずみ $\epsilon_a$ と体積変化から得られる半径方向ひずみ $\epsilon_r$ の関係を次式で近似する。

$$\epsilon_a = \frac{\epsilon_r}{f + D \cdot \epsilon_r} \dots\dots\dots(9)$$

上式を変形して、

$$\frac{\epsilon_r}{\epsilon_a} = f + D \cdot \epsilon_r \dots\dots\dots(10)$$

とすると、 $f$ は $\epsilon_r = 0$ における $\epsilon_r / \epsilon_a$ 、すなわち初期ポアソン比 $\mu$ を表している。初期ポアソン比 $\mu$ は、拘束圧 $\sigma_3$ によって変化し、実験的に次式で表すことができる。

$$\mu = G - F \cdot \log \left( \frac{\sigma_3}{P_a} \right) \dots\dots\dots(11)$$

$G$ 及び $F$ は三軸圧縮試験から求められるパラメータである。

拘束圧 $\sigma_3$ が一定の条件において、任意のひずみ状態における接線ポアソン比 $\nu$ は、次式で表される。

$$\nu = \frac{d\epsilon_r}{d\epsilon_a} \dots\dots\dots(12)$$

(10)式を変形して上式に代入して微分すると、

$$\nu = \frac{d}{d\epsilon_a} \left( \frac{f + D \cdot \epsilon_a}{1 - D \cdot \epsilon_a} \right) = \frac{f}{(1 - D \cdot \epsilon_a)^2} \dots\dots\dots(13)$$

上式(1)、(3)、(4)及び(5)式を用いて応力の関係で表すために $\epsilon_a$ を消去すると、

$$G - F \cdot \log \left( \frac{\sigma_3}{P_a} \right) \dots\dots\dots(14)$$

$$\nu = \left[ \frac{D \cdot (\sigma_1 - \sigma_3)}{K \cdot Pa \left( \frac{\sigma_3}{P_a} \right)^w \left\{ 1 - \frac{Rf(1 - \sin\phi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2 \cdot C \cdot \cos\phi + 2 \cdot \sigma_3 \cdot \sin\phi} \right\}} \right]^2$$

となる。上式の接線ポアソン比 $\nu$ は接線弾性係数 $E_t$ を与える5つのパラメータ $K$ 、 $N$ 、 $C$ 、 $\phi$ 及び $Rf$ と $G$ 、 $F$ 及び $D$ の合計8つのパラメータで与えられる。上式の分子及び分母の第2項目は、それぞれ、(11)式の初期ポアソン比 $\mu$ 及び(8)式の接線弾性係数 $E_t$ であるので、上式は簡単に表すと、

$$\nu = \frac{\mu}{\left\{ 1 - \frac{D \cdot (\sigma_1 - \sigma_3)}{E_t} \right\}^2} \dots\dots\dots(15)$$

以上により、築堤材料の力学的な非線形性をパラメータ $K$ 、 $N$ 、 $C$ 、 $\phi$ 、 $Rf$ 、 $G$ 、 $F$ 及び $D$ の合計8つのパラメータを用いて表すことが可能となった。これらのパラメータは三軸圧縮試験の結果を整理することによって求めることができる。

## 2) 基礎地盤の変形に関する変形解析

基礎地盤の変形解析は、複雑な条件のもとにある不均質な地盤を単純なモデルに置き換える必要があり、モデル化において多少の誤差を含んでいる。しかし、これまでの解析により施工上問題が生じない程度の誤差範囲であることから有効であるといえる。

軟弱地盤を対象とする圧密の検討はTerzaghiの一次元圧密理論を一般的に用いているが、適用条件に制約があり現場における沈下観測結果を十分説明できない場合があった。現在は有限要素法を用いた二次元弾性圧密解析が行われ、弾性係数 $E$ 、ポアソン比 $\nu$ 、透水係数 $k$ の定数を用いること



により、実情により近い地盤の排水性をも考慮した変形解析が行われている。また、盛土直後のせん断変形（非排水変形）や岩盤などの長期的圧密がない場合には透水係数も不要となる。

以上のことより、フィルダムにおける基礎地盤（岩盤）の変形は堤体と同様に二次元非線形弾性解析として検討を行うことができる。また、近年はより実際の応力分布や挙動に近い三次元変形解析の例（図4-6：漁川ダム）もある。

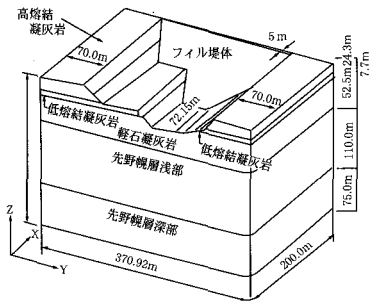
ここに有限要素における境界条件は、対称軸上および側面境界では上下方向の変形のみを許し、下部境界は固定とするのが一般的である。ただし、深さ方向のモデル範囲や横断方向のモデル幅は現

在基準が定められていない。

## V. 解析予測値と実測値の比較

### 1. 解析予測値と実測値の差

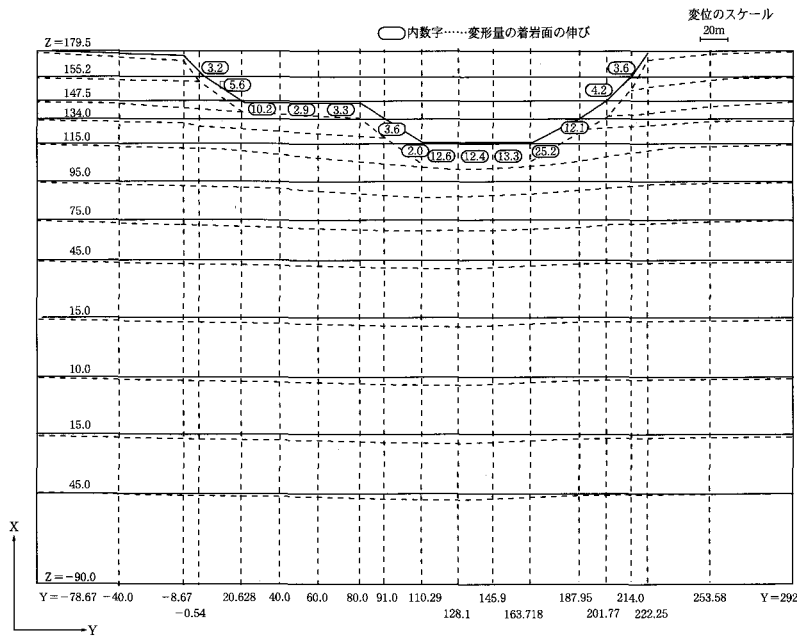
農水省農業工学研究所に資料のある全国43ダムにおける解析予測値と実測値について調査したが解析に必要な項目のデータをそろえるには至らなかった。これら43ダムの中には未完成の地区や、施工年度が古く有限要素法による解析を実施していない地区が含まれているが、農業用ダムの場合管理委託される場合が多いため、資料の集積が難しく、完成後の資料や解析についても今後の検討が必要である。



漁川ダムの三次元モデル図

解析に用いた物性値

材 質	弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ポアソン比
コ	500	0.4
ロ	500	0.4
軽石凝灰岩	2,000	0.35
低溶結凝灰岩	5,000	0.3
高溶結凝灰岩	24,000	0.2
先野幌層(浅部)	3,300	0.35
先野幌層(深部)	4,000	0.3



漁川ダムの三次元モデルによる変形量の分布

図4-6 漁川ダムの3次元地盤解析事例<sup>8)</sup>

このため、比較的資料の整理がなされている6ダムについて抽出すると表5-1のようになる。これら6ダムの岩盤変位量について解析予測値と実測値の差と、変形係数との関係について、図5-1にまとめた。

さらに層別沈下量と岩盤変位量の、それぞれの解析予測値と実測値の差についての関係を調べると、図5-2に示すようになった。岩盤変位量については予測値の方が大きい傾向にあり、また層別沈下量については実測値の方が大きい傾向にある。

## 2. 解析モデルの比較

6ダムのうち断面図、解析モデルについて代表的な例として蔵王ダムのもをを図5-3～図5-4に示す。また、層別沈下量と岩盤変位量についての実測結果について図化されているものについて代表的な例として二庄内ダムのもをを図5-5に示す。

6ダムの解析モデルであるが、基盤深さについては、図5-6に示すように、 $1.5H$  ( $H$ =堤高)としているものが3ダム、 $2H$ としているものが1ダム、 $1.1\sim 1.3H$ としているものが1ダムとなっている。基盤幅については、図5-7に示すように、 $2W$  ( $W$ =堤体幅)としているものが3ダム、 $W$ としているものが1ダム、 $1.67W$ としているものが1ダムとなっている。また堤体荷重方法については、図5-8に示すように、全体1層モデルとしているのは1ダムだけであり、他は逐次方式となっている。境界条件としては、図5-9に示すように、すべて底面剛接、側面は水平方向固定、鉛直方向が自由としている。

## 3. 変形係数の影響

図5-1をみると、変形係数の大きい強固な岩盤については解析予測値と実測値がほぼ一致しているが、変形係数の小さい軟弱な地盤については解析予測値が実測値を大きく上回っている。

このように変形係数の小さい軟弱地盤が過小評価される原因については、第III章で述べたように、軟岩に変形試験を実施した場合、残留変形量、降伏荷重、締固め効果等により岩盤の評価が適正になされないことなどの原因が指摘されている。

6ダムの基盤の弾性係数の決定方法についてであるが、図5-10のように、試験方法については、平板載荷試験のみで求めているものが2ダム、平板載荷試験とエラストメーターを実施したものが2ダム、平板載荷試験とエラストメーター、プレシオメーターを実施したものが3ダムとなっている。平板載荷試験については、軟岩における載荷部の側方流動やせん断破壊の影響や、図5-11に示すような載荷盤の大きさによる変動等による過小評価が指摘されており、これも一因と予想される。

また採用した弾性係数については、すべて変形係数を採用している。ここで、変形係数、接線弾性係数、割線弾性係数の間には大きな差が生じるため、採用方法について検討することで過小評価の防止に有効と考えられる。

この他弾性係数については、図5-12に示すように変形係数深さ方向分布の影響が指摘されているが、深さ分布を考慮してモデル化しているのは二庄内ダムのみとなっている。

図 5 - 1 - (1) ダムの層別沈下量と岩盤変位量, 解析モデル

ダム名	堤高(m)	堤長(m)	二次元解析 種類 1=横断 2=縦断	層別沈下量(cm)				岩盤変位量(cm)											
				予測最大値	実測最大値	予測値-実測値	実測値/予測値 %	測定深度1 (m) (最深)	予測最大値	実測最大値	予測値-実測値	実測値/予測値 %	測定深度2 (m) (中間)	予測最大値	実測最大値	予測値-実測値	実測値/予測値 %	測定深度3 (m) (最浅)	予測最大値
二庄内ダム	86.0	430.8	1,2	37.64	62.3	-24.66	165.5	56.0	2.631	3.713	-1.082	141.1	50	5.197	4.468	0.729	86	40	5.9
葛丸ダム	51.7	220	1,2	23	38	-15.0	165.2	50.0	0.6	2.3	-1.7	383.3	40	-	0.1	?	-	15	-
蔵王ダム	56.0	370.0	1	54.0	?	?	-	60	4.0	0.11	3.89	2.8	40	3.0	1.5	1.5	50	20	3.0
西高尾ダム	46.2	237.0	2	25.4	32.2	-6.8	126.8	92.0	24.2	1.196	23.004	4.9	46	12	1.584	10.416	13.2	23	12
山口調整池	56.0	340.0	1	?	60.1	?	-	21.0	7.05	2.641	4.409	37.5					-		
合所ダム	60.7	270.0	1	20.2	46.0	-25.8	227.7	16.5	16.0	1.7	14.3	10.6	3.0	17.0	1.2	15.8	7.1	0.0	20.2

図5-1-(2) ダムの層別沈下量と岩盤変位量, 解析モデル

ダム名	堤体中央での実測沈下量(cm)			地層厚行%			基礎深さ (H=堤高)	基礎幅(H=堤高)			堤体荷重 載荷方法 1=全体1層 2=逐次	使用した 弾性係数 の値 (kgf/cm <sup>2</sup> )	基礎の弾性係 数決定方法 1=平板載荷 2=1/3ストマト 3=7°傾斜マト	弾性係 数の種類	弾性係 数 深さ分 布	境界条件		堤体中央 基礎地質	
	実測最大値	予測値-実測値	実測値/予測値 %	予測最大値	実測最大値	予測値-実測値		1=一定 2=水平, 監査廊有 3=水平, 監査廊無	右岸	左岸						合計	底面		側面
二庄内ダム	9.76	-3.86	165.4	-	-	-	3	1.5H	B	B	2B	2	12,000	1	1	1	1	2	細粒軽石質凝灰岩
葛丸ダム	-0.2	?	-	-	-	-	3	1.5H	B	B	2B	2	6,000	1,2	1	2	1	2	流紋岩
蔵王ダム	?		-				3	2H	0.5B	0.5B	B	2	9,400	2	1	2	1	2	巨晶花崗岩
西高尾ダム	0.856	11.144	7.1	-	堤長下流 なし	-	3	1.3H	上 0.75W 右 1.1H	下 0.6W 左 0.87W		2	1050	1,2,3	1	2	1	自由	泥岩 火山礫凝灰岩~火山角礫岩
山口調整池			-				3	2H	W	W	2W	1	4,000	1	?	2	1	2	平良花崗岩
合所ダム			0				3	1.3H	上 0.6W	下 0.7W	1.3W	2	3,000	1,2	=1/堤 体=3	2	1	2	凝灰角礫岩

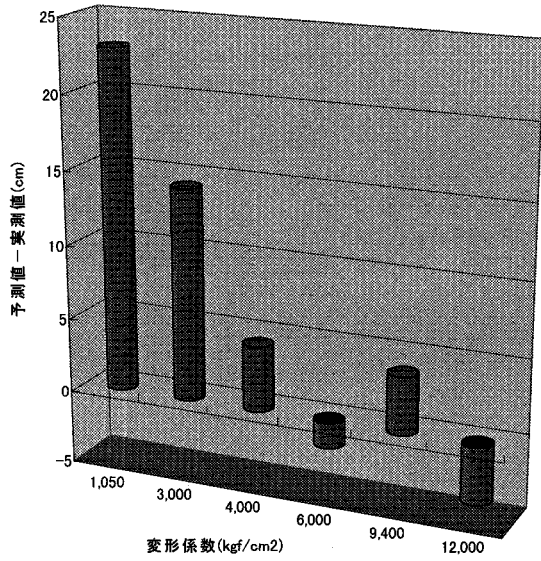


図 5-1 岩盤変位量の予測値と実測値の差と変形係数の関係

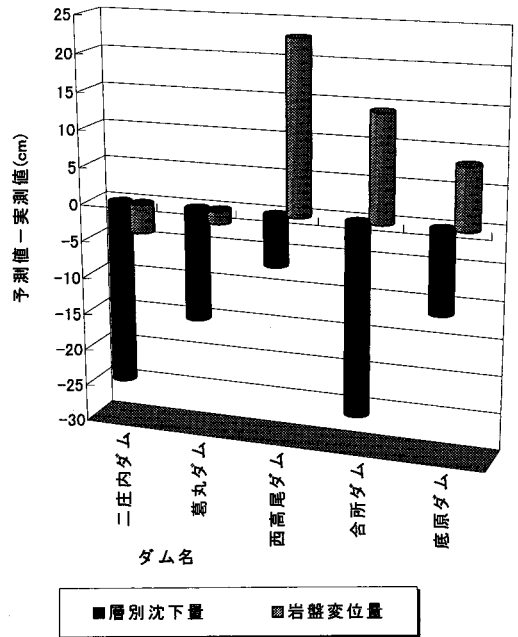


図 5-2 層別沈下量と岩盤変位量の解析予測値と実測値の差

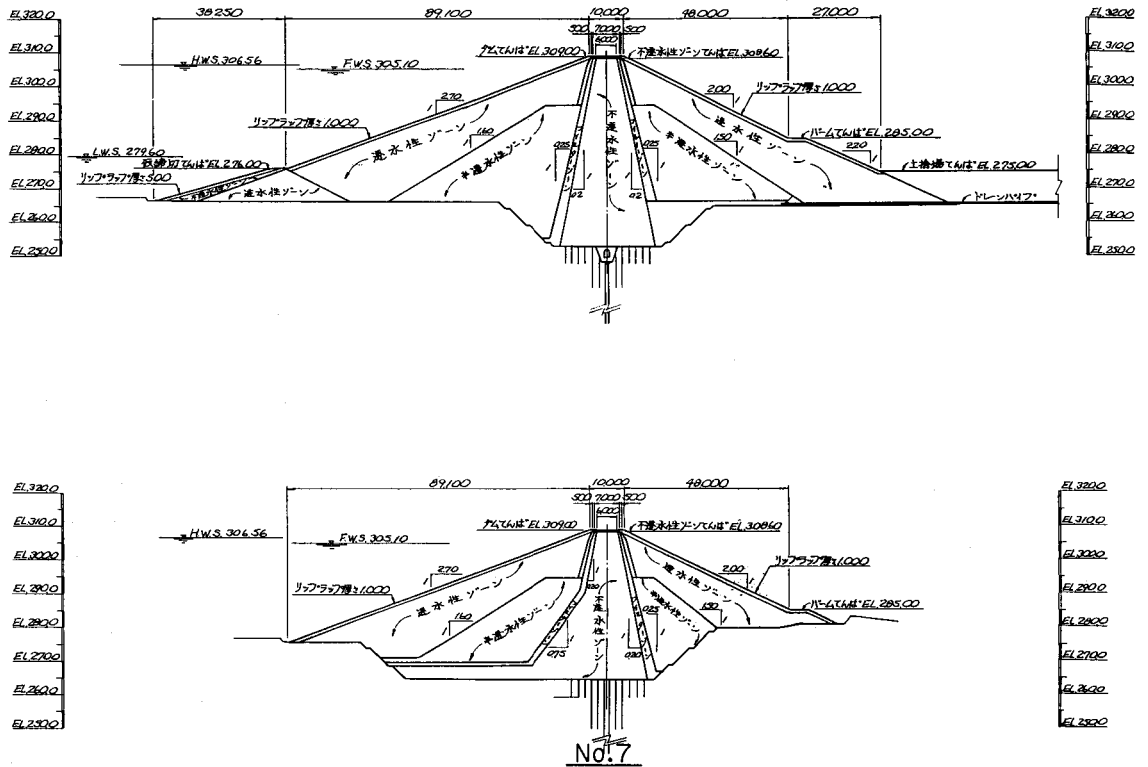


図 5-3 蔵王ダム堤体標準断面図

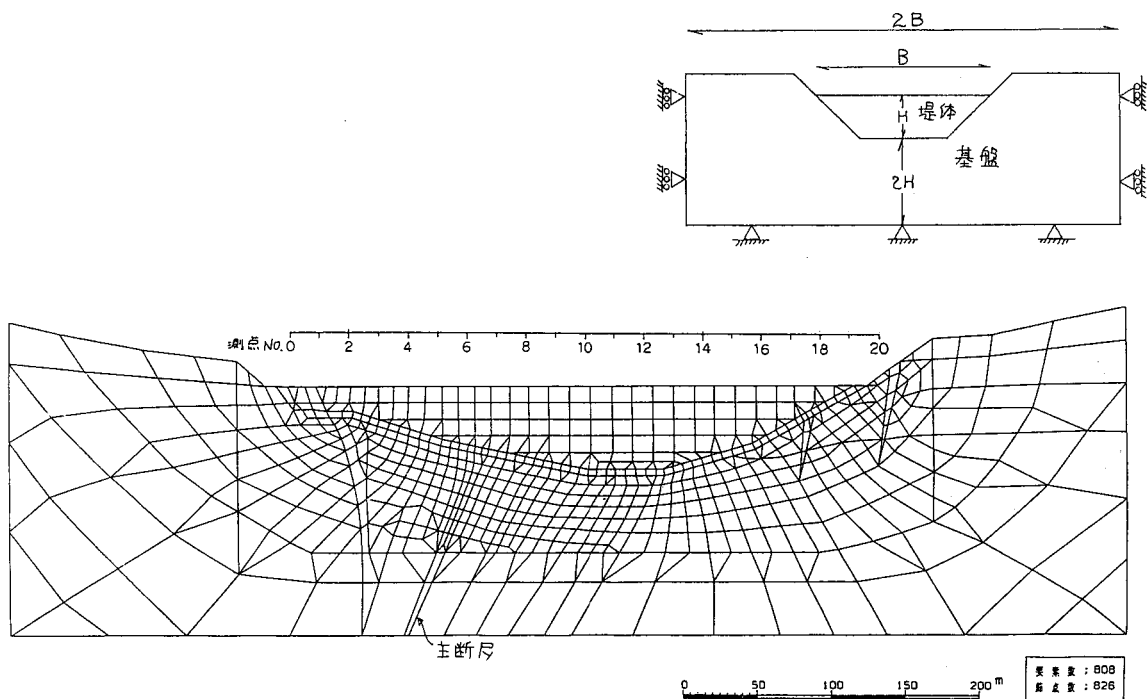


図 5-4 蔵王ダムFEM解析モデル

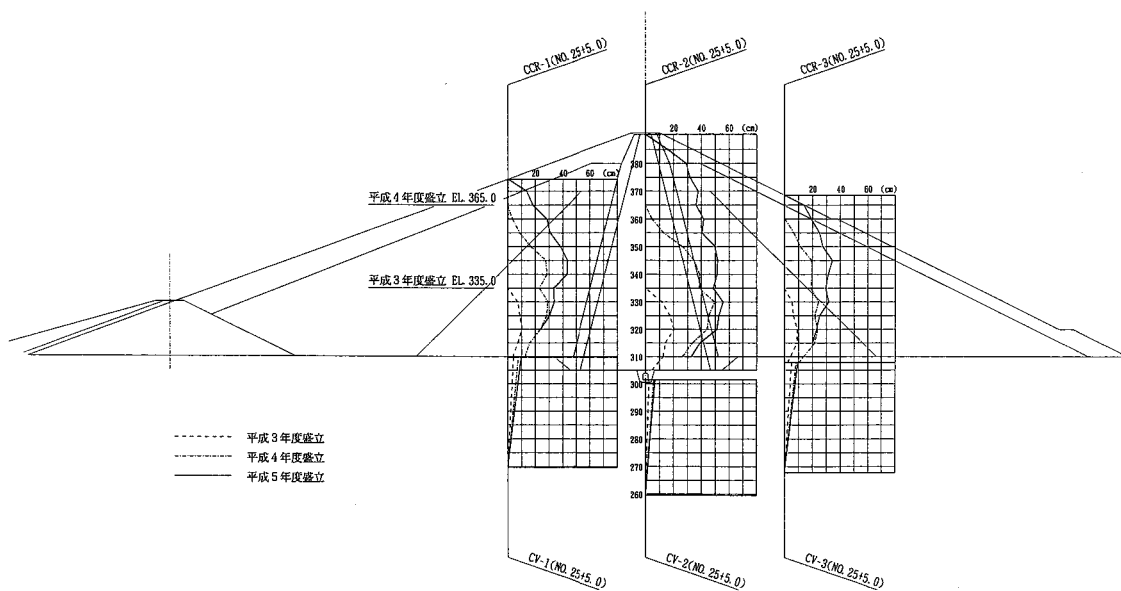


図 5-5 二庄内ダム沈下曲線図

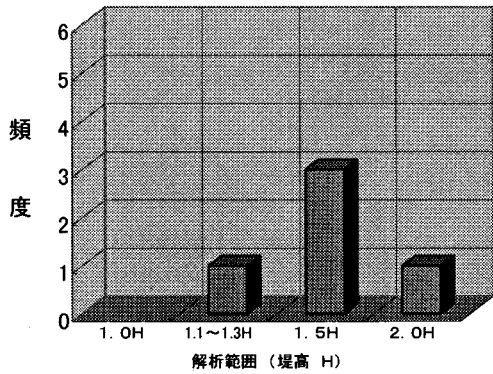


図 5-6 解析モデル (縦断方向)

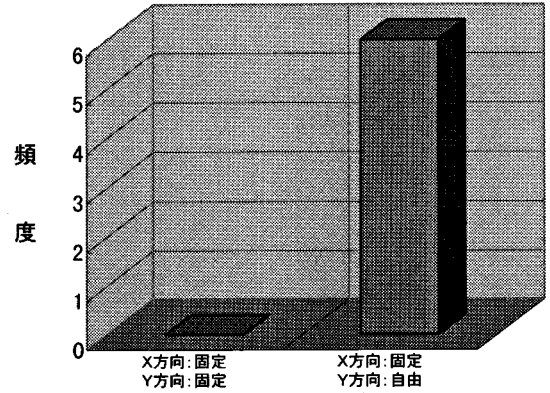


図 5-9 解析モデル (側面境界条件, 底面固定)

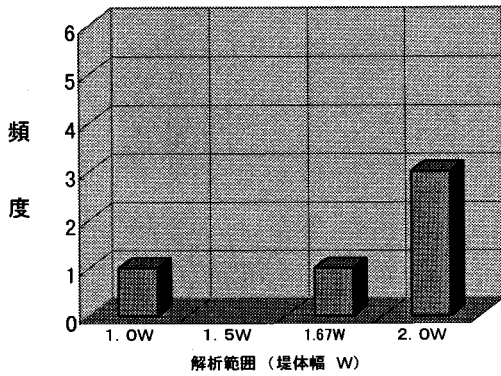


図 5-7 解析モデル (横断方向)

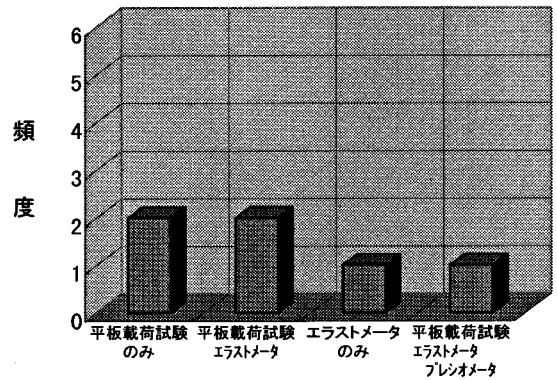


図 5-10 変形係数算定法

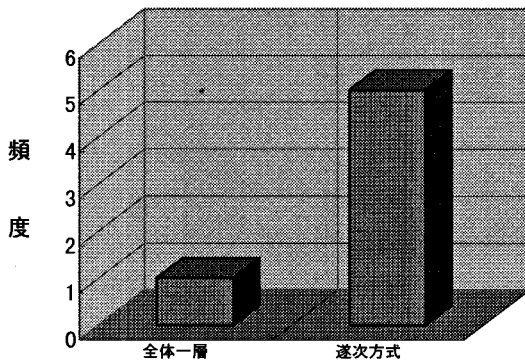


図 5-8 解析モデル (盛土方法)

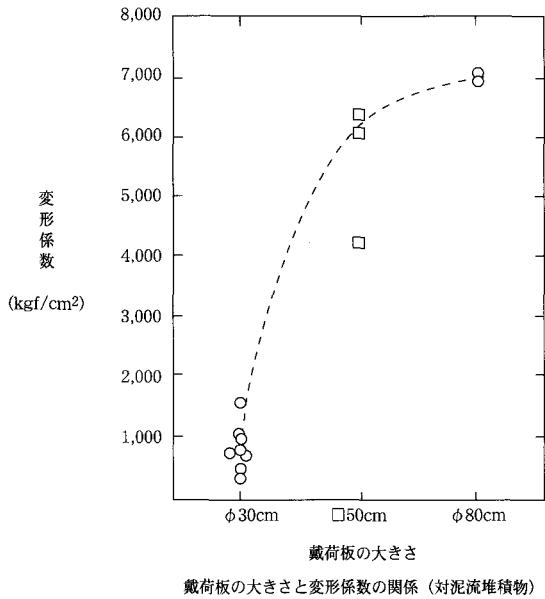
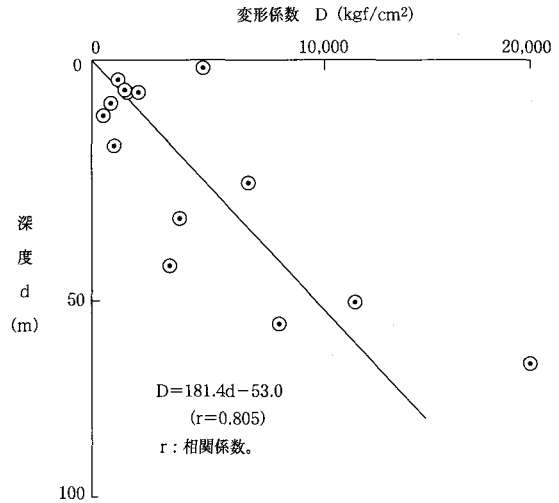


図 5-11



下湯ダムの孔内載荷試験結果 (凝灰角礫岩)

図 5-12

## VI. まとめ

ダムの設計において変形係数を過大評価すれば機能面や安全性を損ない、過小評価すれば過大な設計を行う恐れを生む、非常に重要な要素の一つである。

今回、フィルダム基礎変形解析予測値と実測値の関係について検討を行った結果、以下のような点があきらかになった。

- ① ダムの層別変位量について解析予測値と実測値を比較すると、実測値が解析予測値を上回っている傾向にある。
- ② ダム基礎の岩盤変位量について解析予測値と実測値を比較すると、変形係数の小さい軟弱な地盤については、解析予測値が実測値を大きく上回っており、過小評価されている。
- ③ 基礎地盤の評価に用いる変形係数については、特に軟弱な地盤について、試験方法や算定方法の特徴、適用範囲等を実測値との関係から整理することで変形解析の精度を高めることが期待できる。
- ④ 変形解析に用いるモデルについて、各要素の与える影響や実測値を基礎地盤に応じて調査整理する必要がある。
- ⑤ ダムに関する資料やデータ、解析結果等は、研究や調査の精度を高め、事業の精度を高め

るため、技術事務所等の機関に集積することが重要である。できれば統一したファイリング化が望ましい。

以上、今回の検討結果については、データの集積、文献や事例の調査分析等まだまだ不十分であり、結果に対する要因の解明までには至らなかったが、今後のダムの実施にあたり参考となれば幸いである。

最後に、本課題を遂行するにあたりあたたかいご指導を賜りました、農業工学研究所安中室長、田頭研究員をはじめとする関係者の方々に深く感謝いたします。

## 参考文献

- ・土地改良事業計画設計基準「設計ダム」昭和56年4月農林水産省構造改善局
- ・「地盤工学における数値解析の実務」土質工学会
- ・「土と基礎の沈下と変形と実態の予測」土質工学会
- ・「土質調査法」土質工学会
- ・「軟岩評価—調査設計施工への適用—」土質学会
- ・「フィルダム基礎の変形予測手法とその精度」松本徳久、山口憲一
- ・「速度検層法による地盤の力学的特性解析技術の高度化」農工研造構部構造研
- ・「軟岩基礎におけるフィルダム底監査廊の設計」ダム技術Vol. 3-3松本徳久ら



# 農業集落排水事業 岐阜県川上地区における処理方式の検討

山 田 義 隆\* 飯 田 久 穂\* 伊 藤 幸 彦\*  
(Yositaka YAMADA) (Hisaho IIDA) (Yukihiko ITOU)

## 目 次

はじめに	20	4. 本地区の特性	25
1. 処理方式選定の基本的考え方	20	5. 本地区の特性を踏まえた処理方式の選定	26
2. 処理方式の種類及び特性	21	おわりに	28
3. 個別方式による検討	21		

## はじめに

川上村は岐阜県の東部、恵那郡の北部に位置し、北東は長野県に接した、東西4.5km、南北8.5km、総面積29.3km<sup>2</sup>の村である。また村の最北端にある奥三界山(標高1,810m)等の周囲の山々より流れ出る清流を集めて、一級河川木曾川支流の川上川が北から南に横断し、その兩岸の標高410m~650mの間に河岸段丘地にひらけた地域である。

本地区では、生活様式の高度化、農業生産様式の変貌等、農業及び農村を取り巻く状況の変化により、農業用排水の汚濁が進行し、農作物の生育障害、土地改良施設の維持管理費の増大等、農業生産環境及び農村生活環境の両面に大きな問題が生じている。このため、農業用排水の水質保全、農業用排水施設の機能維持又は農村生活環境の改善を図り、併せて公共用水域の水質保全に寄与するため、農業集落におけるし尿、生活雑排水等を処理する施設を整備し、もって生産性の高い農業と活力ある農村社会の形成に資する目的をもって農業集落排水事業を着手した。

川上地区は、川上村全体を一処理区とし、森平、田畑、奥屋、海老の島、上平の5集落から構成されている。

本地区の最大の特徴は、夏期(7~9月)の処理人口により処理規模を決定しているのに対して、夏期以外(10~6月)の処理人口が全体の52%と減少することである。この特徴が処理方式を決定

するのに最大の要因であった。

## 1. 処理方式選定の基本的考え方

処理方式を選定するに当たっては、各種処理方式の長所、短所、性能特性、維持管理特性等を的確に把握するとともに、当該処理区の有する排水特性、遵守すべき水質規制及びこれに基づき必要となる処理性能、維持管理体制、汚泥処理・処分方法、その他構造上の要件等を明らかにし、これらを総合的に比較検討した。

現在、処理方式は経済性の理由から生物処理が中心となっており、そのうち小規模汚水処理施設で主として用いられている処理方式は、図-1の通りである。

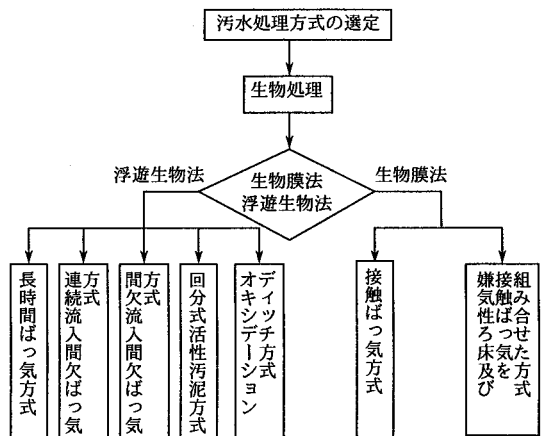


図-1 処理方式の選定手順

\*岐阜県恵那土地改良事務所

## 2. 処理方式の種類及び特性

現在、生活系排水の汚水処理は、経済性の観点等から生物処理法がその大勢を占め、中でも処理時間の短縮を図れるとの理由から好気処理が多い。

生物処理法には、浮遊生物法と生物膜法とがある。

農業集落排水事業において近年採用されている処理方式としては、浮遊生物法の中では連続流入間欠ばっ気方式、回分式活性汚泥方式、オキシデーションディッチ方式等があり、さらに間欠流入間欠ばっ気方式も開発されている。また、生物膜法の中では接触ばっ気方式、嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせた方式等がある。

## 3. 個別方式による検討

### (1) 浮遊生物法

浮遊生物法は、処理槽内に好気性の微生物（活性汚泥）を浮遊させ、これと汚水とをばっ気・混合攪拌し、必要な酸素を供給することで汚水中の有機物を微生物により吸着・酸化分解し、活性汚泥と処理水の固液分離を行うことにより汚水を浄化する方法である。

浮遊生物法は、一般的に処理効率が高く、流入負荷条件が計画値よりも高い場合でも運転調整等により対応が可能であると言われている。ただし、高い処理性能を発揮するためには、処理槽の中に常に適量の活性汚泥を維持する等、処理槽内を適正状態に保持する必要がある。このためには、専門技術者による流入負荷量及び処理状況の監視、返送汚泥量の調整及びこれに応じた必要空気量の調整等、運転管理を確実に進行する必要がある。この

調整に適切さを欠いた場合等においては、処理槽中の生物環境が壊されることで活性汚泥の膨化（バルキング）、SSの流出が急激に多くなる等、処理性能が著しく悪化し、その回復には相当の時間と専門技術者による適切な対応が必要である。

### ①長時間ばっ気方式

長時間ばっ気方式の主要な施設は、ばっ気槽と沈殿槽から構成される。ばっ気槽の構造は、ばっ気槽内に酸素供給と槽内攪拌を目的としたばっ気装置を具備するものである。

本方式は、公共下水道等で多く採用されている標準活性汚泥方式の余剰汚泥の発生量が多い点を改善するために開発された方式で、ばっ気槽の容量を大きくして活性汚泥を長時間にわたってばっ気することにより、微生物の自己分解（内生呼吸）を促進させ、余剰汚泥の生成量を極力抑え、かつ処理の安定化を図ろうとするのが大きな特徴である。

なお、ばっ気槽の容量を大きくしているため、負荷変動に対しては比較的強い。ただし、返送汚泥の適切な管理等は必須条件となる。

また、F/M比と呼ばれる有機物と微生物との量的バランスが何らかの理由で崩れ、汚泥の膨化（バルキング）現象が起こって沈殿槽の固液分離が困難となり、水質の悪化を招くことが往々にしてある。この状態になると専門技術者による高度の処置対応が必要で、正常な状態への回復に長時間を要する。

### ②連続流入間欠ばっ気方式

浮遊生物法の一つである連続流入間欠ばっ気方式は、嫌気・好気状態を繰り返すことによりバルキングが生じ難く、処理性能が安定していること、

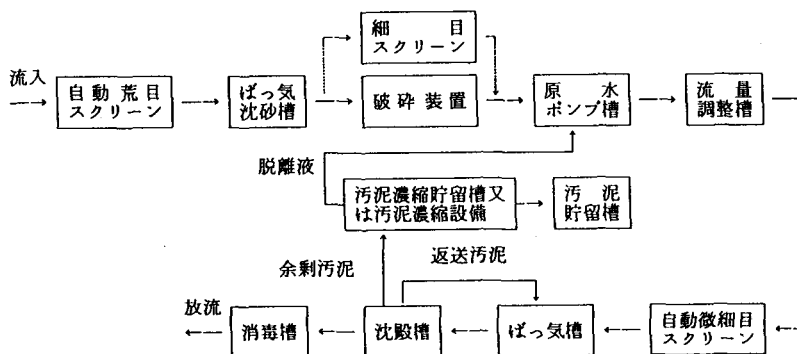


図-2 長時間ばっ気方式を用いたフローシート

かつ脱窒の高度処理が可能であること、構造が簡単であること、運転操作の幅が大きいこと、管理依存性が高いこと、生物膜法と比較して汚泥の発生量が多いこと、タイマー設備等に自動化が必要であること等、回分式活性汚泥方式と共通の特徴を有する。

本方式の施設は、汚泥の返送設備及び沈殿槽設備は必要であるが、回分式活性汚泥方式における上澄水排水装置は不要である。

なお、連続流入間欠ばっ気方式と、長時間ばっ気方式との差異は、汚水の流入は連続で受け入れつつ、ばっ気槽での運転（嫌気、好気）を制御機器等を活用して間欠で行うことを必須要件としていることにある。

### ③間欠流入間欠ばっ気方式

本方式は浮遊生物法の一つで、単槽の生物反応

槽への汚水流入を間欠的に行うとともに、嫌気状態（攪拌）と好気状態（ばっ気）を所要時間ごと繰り返すことで汚水中の有機物分解と窒素の硝化・脱窒を促進する処理方式である。

本方式は、現時点の排水基準のみならず今後予想される水質規制強化に対して、3次処理施設等を付加することなしに対応できる処理方式として開発され、経済性に優れた施設であるが、従来の施設と比べると沈殿槽からの返送汚泥を適切に調整するなど生物反応槽の汚泥濃度を管理しなければならない必要があり、管理依存型の施設である。

従って、水温や流入負荷に合わせた適切な生物反応槽の攪拌／ばっ気工程時間の設定を行うことで、高度な処理水質を得ることが可能となっている。

また、生物反応槽の容存酸素量（DO値）は、

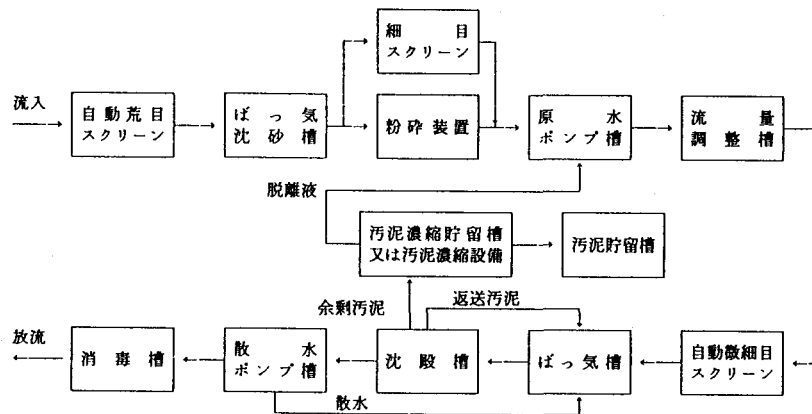


図-3 連続流入間欠ばっ気方式を用いたフローシート

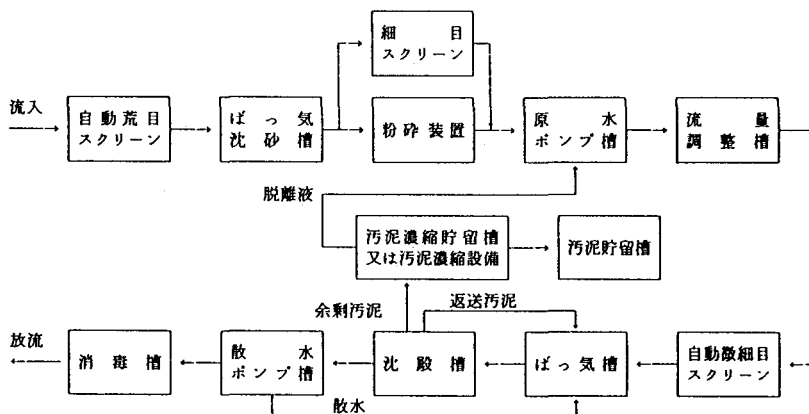


図-4 間欠流入間欠ばっ気方式を用いたフローシート

インバーターによるプロワー回転数の制御により適正値を保つことができ、過ばっ気の防止とともにプロワーの効率的な運転が行える。

更に、流入汚水量が少なく必要水量が得られないときは、ウェイティングモード運転に切り替え、サイクルの開始を停止し、生物反応槽を待機状態にすることによって流入変動に対応することとしている。

#### ④回分式活性汚泥方式

回分式活性汚泥方式は、汚水を回分処理する浮遊生物法であり、ばっ気槽と沈殿槽を兼ねた反応槽（回分槽）内で一連の処理操作（汚水流入、ばっ気・攪拌、沈殿、上澄水の排出、汚泥の引抜き等）を時間的に区分しながら1槽当たり1日数サイクル（通常は4サイクル）で進行させる方式である。主な施設は、回分槽のみであり、構造はばっ気攪拌装置、上澄水排出装置、汚泥引き抜き装置等を具備したものである。

本方式は、上述のようにばっ気槽と沈殿槽を一つの槽で兼ねるため、汚泥返送等の設備は不要であるが、処理性能は他の浮遊生物法と同様運転管理に依存する。

特に、処理性能を保持するためには、運転方法について、処理区ごとの流入条件（水量、水質）に合わせた綿密な調整及び管理が重要である。反応槽における生物の量（MLSS濃度）、サイクルタイムの設定、ばっ気量等の調整及び処理水の排出方法等の適正な管理によって、その性能を十分に発揮させることが可能である。

また、本方式は同一槽内で断続的なばっ気運転により時間的に嫌気・好気状態を作るため、汚泥の沈降特性が良く、適正な運転が行われた場合に

は脱窒効果が十分期待でき、浮遊生物法に特有な膨化（バルキング）現象等も比較的起こり難い利点を有している。

さらに、必要な用地面積は、ばっ気槽と沈殿槽が同じ槽であるため、他の浮遊生物法よりも小さくてすむ。

#### ⑤オキシデーションディッチ方式

オキシデーションディッチ方式の主要な施設は、反応槽としての循環水路と沈殿槽から構成される。循環水路内にばっ気装置を設け、これにより汚水と活性汚泥を混合・循環させながら酸素を供給し、処理を行う方式であり、処理原理は長時間ばっ気方式と同じで、処理性能そのものは主に運転管理に依存する。しかし、規模が小さい場合には、循環水路長が短くなり本方式の持つ特徴を十分生かすことができないことがある。

さらに、オキシデーションディッチ方式では生物反応槽（循環水路内）で汚水と活性汚泥が確実に循環攪拌でき、汚泥の沈殿が生じ難い十分な水量が得られることを前提としていることから活性汚泥に必要なかつ十分な酸素供給を行うためのばっ気攪拌装置の調整や、循環水路内汚泥濃度保持のための返送汚泥量の調整等、負荷率の条件に応じた綿密な調整等の運転調整が必要となる。

また、本方式は、水深が一般的に2m程度以下に限定されることで、比較的平面積の大きい循環水路となるので広い用地を必要とする。

#### (2) 生物膜法

生物膜法は、微生物を接触材の表面に生物膜として固着させ、これに汚水を繰り返し接触させることで汚水中の有機物質を分解し、浄化する方法である。

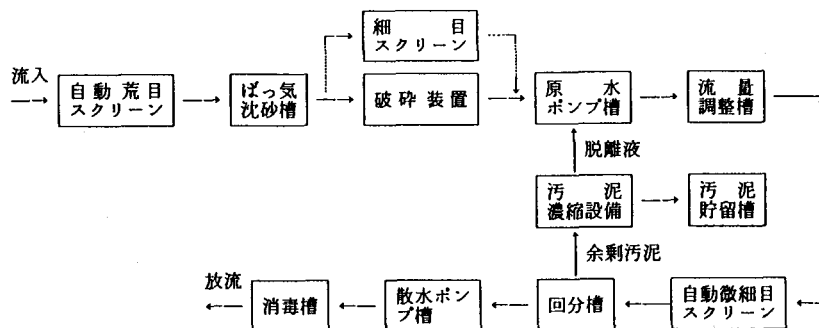


図-5 回分式活性汚泥方式を用いたフローシート

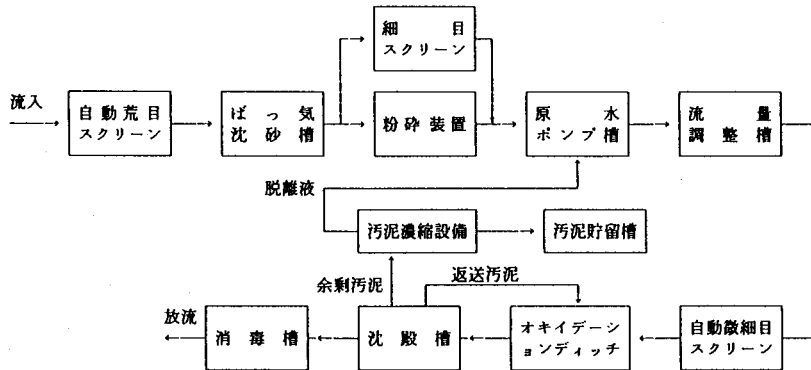


図-6 オキシデーションディッチ方式を用いたフローシート

生物膜法は、微生物が接触材の表面に生物膜として長く滞留するため、処理槽内の生物相が広範にわたり、食物連鎖、汚泥日令ともに長くなることから、余剰汚泥の生成量も通常浮遊生物法に比べると少ないと言われている。

ただし、建設費については、接触材を処理槽内部に設置するので、浮遊生物法と比べて一般的に割高となる場合がある。しかし、汚泥の発生量が比較的少ないため汚泥の処理・処分費等を含めた維持管理費と建設費を総合的に考えた場合には処理施設の規模にもよるが、比較的小規模な施設では経済的となる場合が多い。

また、生物膜法の場合、微生物が接触材の表面に固着していることから、低濃度の汚水を処理する際にはかなり良好な処理性能が得られるとともに、流入汚水の変動に対して比較的順応性は高い。

しかし、一般に流入負荷条件に応じて微生物量を任意に調整することができないため、処理性能を発揮させるには、負荷条件が計画値に近いものであることが望ましいが、負荷条件が大幅に異なっていたり(特に濃度が高い場合)、施設の構造自体に問題があると、処理性能が悪化した場合は、

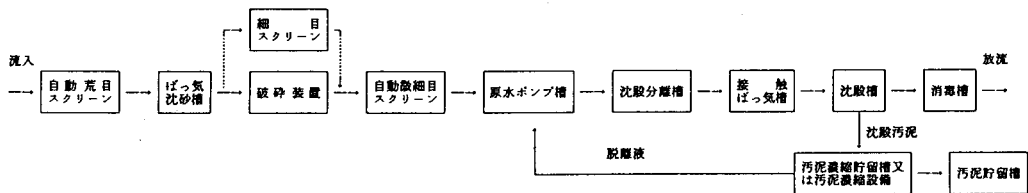
回復に時間と労力を要する。多くの場合ばっ気量の調整、汚泥の強制剥離、槽内余剰汚泥の清掃等の運転調整での対応となる。

①接触ばっ気方式

接触ばっ気方式は、槽内に設置した接触材の表面に好気性微生物を固着させ、ばっ気攪拌により酸素供給とともに汚水を接触材間に均等に循環し、微生物が汚水中の有機物を分解する好気性代謝を利用して汚水の浄化を図る方法であり、浮遊生物法のように汚泥返送や処理槽中の微生物量の調整等を要しないことが大きな特徴である。

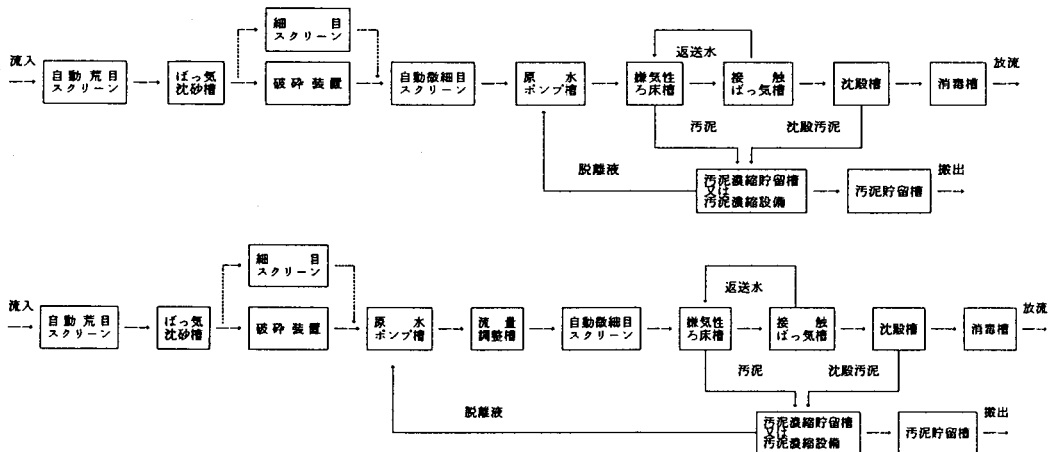
本方式は、構造によって処理性能がある程度規定されるため、構造が適正であれば、かなり安定した処理性能を発揮できる。運転上の調節もばっ気量の調節、肥大生物膜の強制剥離、槽内余剰汚泥の清掃等であるため、維持管理作業が容易である。また、仮に流入負荷条件が変動しても、細菌、原生動物、後生動物等の生物相が多種多様にわたっているため、処理性能は比較的安定しているといえる。

また、本方式は生物相が豊富で、食物連鎖、汚泥日令ともに長くなるため汚泥の発生量が少なく



(沈殿分離槽前置型接触ばっ気方式)

図-7 接触ばっ気方式を用いたフローシート



(嫌気性ろ床槽併用接触ばっ気方式)

図-8 嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせ方式を用いたフローシート

なることから、汚泥の処理・処分費等を含めた維持管理費を総合的に考えた場合には経済的である。このため、小規模污水处理施設では接触ばっ気方式が多く用いられている。

ただし、建設費は処理槽内部に接触材を充填しているため、接触材が充填される分、規模が大きくなると浮遊生物法と比べ割高となる傾向にある。

②嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせ方式

嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせ方式の主要な施設は、嫌気性ろ床槽、接触ばっ気槽及び沈殿槽から構成される。本方式は容存酸素の存在しない嫌気状態において、汚水と嫌気性微生物が接触して、汚水中の有機物を分解する嫌気性代謝を利用した嫌気性処理（嫌気性ろ床槽）と、前述した好気性処理（接触ばっ気槽）を組み合わせたものである。

前段で嫌気性ろ床槽を設置することで汚水中の浮遊性物質の沈殿分離と有機物の嫌気性処理が行われるので、接触ばっ気槽の容量及びばっ気に必要となる動力等を節減できる。しかも、接触ばっ気で硝化が進行している場合においては、嫌気性ろ床槽へ接触ばっ気槽流出水の一部を返送させることにより、生物学的脱窒による窒素除去が期待できる。

また、嫌気性ろ床槽では汚濁物質のガス化と汚泥の硝化が期待できるため、嫌気性ろ床槽を併用しない場合よりも、安定した性状の汚泥が得られるとともに汚泥発生量が少なくなる等の利点を有しているため、維持管理費面で経済的となる可能

性がある。反面、臭気性ガスの発生及びこれによる躯体等の腐食の問題が含まれているので防食工事等十分な対策を講じる必要がある。

4. 本地区の特性

(1) 処理性能

①放流水質

農業集落排水施設の標準放流水質はBOD20mg/l以下、SS50mg/l以下であるが、本処理区はさらにCOD（総量規制）30mg/l以下となっている。

②負荷変動

ア、日間変動

本地区では、計画処理人口に占める定住人口の割合が約59%であるため、排出時間帯が朝夕の一時期に集中する可能性が大きいと考えられる。

イ、週間変動

計画処理区に占める流入人口の割合は約41%であるが、週間変動を生じる施設は週間休暇のある学校、農協、作業所等、17人が考えられる。しかし、これら施設の流入人口が計画処理対象人口(1,760人)に占める割合は、約1%であるため、本処理区においては特に週間変動を考慮する必要はない。

ウ、長期的（季節的）変動

本地区では、長期的（季節的）変動を生じる施設に「宿泊所（155人）」、「キャンプ場（280人）」、「店舗（220人）」等（計655人）があり、計画処理対象人口（1,760人）に占める割合は37%である。これら施設は、夏期のキャンプ、つり等による利

用・宿泊客が多く、夏期の宿泊客等の増加による季節的変動が予想される。

#### (2) 発生汚泥処理・処分方法

本地区は、汚泥を農地還元し、リサイクル利用する地域資源循環システムを目指すのが、当面は、し尿処理施設へ搬出処分する計画である。

#### (3) 維持管理体制

本処理施設を含む農業集落排水施設においては、専門技術者による巡回管理と住民による日常管理とを組み合わせた住民参加型の維持管理形態を想定している。川上村としては、安全確認及び敷地内の清掃等の日常管理及び保守点検は保守点検業者による定期的な巡回管理によって対応する方針である。

#### (4) 経済性

現在、小規模污水处理施設で主として用いられる処理方式の種類及び特性は、前に述べた通りである。経済性については建設費及び維持管理費のトータルコストで経済的な処理方式を選定した。

#### (5) 処理場立地条件

本地区における処理場予定地は、近隣の宅地から約200m離れた所に位置し、村道下平線が隣接している。処理場周辺は処理場を遮蔽する地形上の特徴がないために、地域住民の目に触れることが予想され、臭気及び景観等特に十分な配慮をおこなった。

### 5. 本地区の特性を踏まえた処理方式の選定

前述した各種処理方式の特性、処理区の特性及びその他の条件を総合的に検討し、本地区に適した処理形式を選定した。

処理方式選定の候補としては、本処理区の計画放流水質及び処理対象人口規模(1,760人)に応じ、処理性能、経済性、過去の実績等を考慮して、処理方式を選定することとする。よって、本処理区における処理方式としては生物膜法では『流量調整、嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせた方式』が、浮遊生物法では、『回分式活性汚泥方式』、『連続流入間欠ばっ気方式』、『オキシデションディッチ方式』を候補として考えた。

#### (1) 項目別検討

##### ①処理性能について

ア、放流水質への対応

計画放流水質のBOD20mg/l以下、SS50mg/l以下

に対しては、いずれの処理方式でも対応可能である。一方、CDO(総量規制)30mg/l以下については、尿尿浄化槽の構造基準第12によると、同基準第6に定める構造であれば、CODは30mg/l以下としていることから、本処理区の施設を構造基準第6相当(BOD20mg/l以下)の構造とすることによりCOD30mg/l以下の規制を満足することとなる。

##### イ、日間負荷変動への対応

日間負荷変動に対しては、流量調整機能を付加することによって、いずれの処理方式でも対応可能と考えられる。

##### ウ、長期的(季節的)負荷変動への対応

本処理区のような季節的な負荷変動がある場合、污水处理方式は処理量増減に対して所要の処理性能が発揮できるものが要求される。

浮遊生物法の場合、活性汚泥を汚水中に浮遊させばっ気攪拌することにより汚水を処理するので、沈殿槽等で活性汚泥を確保し、必要な場合にはこれを返送することにより活性汚泥量の調整及び必要空気量の調整等、運転管理を確実に行うことができれば、短期間での大幅な処理量増減に対して十分に処理性能を発揮することは可能である。

これに対し生物膜法では、微生物を処理槽内の接触材に固着させた状態で処理がなされるため、一般に流入負荷条件に応じて微生物量を任意に調整することができず、また微生物が接触材に固着するためには時間を必要とすることから、短期間での大幅な処理量増加に対して処理性能を発揮することは難しい。

一方、生物膜法は、微生物が接触材の表面に生物膜として長く滞留するため、処理槽内の生物相が広範にわたり、食物連鎖、汚泥日令ともに長くなることから、低負荷について処理性能が安定している。よって、本処理区のように負荷が序々に増減し、5月～8月以外の流入量が少なくなる低負荷の処理については、生物膜法は高度な維持管理を特に必要とすることなく対応可能と思われる。

以上のことから、本処理区のような排水特性の場合には、浮遊生物法並びに生物膜法のいずれかの方式においても対応可能と思われる。

##### ②発生汚泥の処理・処分への対応

本処理区は、発生汚泥を当面、し尿処理施設へ搬出処理することとする。

経済性及び汚泥管理の作業性を考慮すれば、汚

泥発生量は極力少ないことが望ましいが、「汚泥の発生量に係わる経済性（維持管理面の経済性）」については別途「経済性」の項で検討する。本検討項目に関して、当該処理においては経済性以外の面で処理方式選定の要素となるものは特にない。

### ③維持管理体制への対応

流量調整、嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせた方式等の生物膜法は、通常の維持管理が浮遊生物法の処理方式に比べて運転調整事項が少なく容易である。

一方、浮遊生物法は、管理レベル及び管理頻度を上げた維持管理を行えば、安定した処理性能が期待できる方式である。

本村では、夏期3ヶ月（7～9月）と、それ以外の9ヶ月（10月～3月）の流入人口が、夏期1,760人に対して、それ以外の期間は、915人（52%）と減少するため低負荷時の対応が容易な「連続流入間欠ばっ気方式」が、それ以外の方式と比べ有利と思われる。

### ④経済性

建設費の面では、各種の要素が複雑に絡むために一概には言えないが、本処理区の計画対象人口

程度では、生物処理槽内に接触材を必要としない浮遊生物法が生物膜法より有利である。中でも、「回分式活性汚泥方式」は沈殿槽を必要としない分、また、「連続流入間欠ばっ気方式」は機器類の設備費が安価であるため、若干有利である。

一方、維持管理費の面では、汚泥処理・処分費及び動力費がともに安価となる「流量調整、嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせた方式」が優れている。

ここで、本処理区程度の規模（1,760人）に適する処理方式について経済性を比較すると（表-1）のとおりであり、浮遊生物法の方が有利であるが、その中でもトータルコストでは「連続流入間欠ばっ気方式」と「回分式活性汚泥方式」が有利である。

### ⑤処理場立地条件

本処理区における処理場予定面積は、約1,720㎡である。

「農業集落排水施設設計指針」及び「集落排水協会データによる回帰式」からの施設面積によると、「回分式活性汚泥方式（390㎡）」、「連続流入間欠ばっ気方式（420㎡）」、「流量調整、嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせた方式（470㎡）」、

表-1 経済性比較表

項目 \ 処理方式	流量調整、嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせた方式 (生物膜法)	回分式活性汚泥方式 (浮遊生物法)	連続流入間欠ばっ気方式 (浮遊生物法)	オキシデーションディッチ方式 (浮遊生物法)
建設費	△	◎	◎	○
維持管理費	◎	△	△	△
トータルコスト	△	◎	◎	○

※比較の目安 ◎：有利 ○：普通 △：やや不利

表-2 各処理方式の評価の比較表

項目 \ 処理方式	流量調整、嫌気性ろ床及び接触ばっ気を組み合わせた方式	回分式活性汚泥方式	連続流入間欠ばっ気方式	オキシデーションディッチ方式
1) 処理性能	○	○	○	○
2) 汚泥の処理処分	○	○	○	○
3) 維持管理体制	○	○	◎	○
4) 経済性	△	◎	◎	○
5) 処理場立地条件	○	○	○	○
総合評価			◎	

※比較の目安 ◎：有利 ○：普通 △：やや不利



「オキシデーションディッチ方式 (540m<sup>2</sup>)」の順で大きくなるが、本処理区で予定されている用地面積及び形状からすると、いずれの方式においても特に用地上の制約となる要因はない。

(2) 総合評価

処理方式の選定にあたって各項目別に検討してきたが、その結果をまとめると(表-2)のとおりとなる。

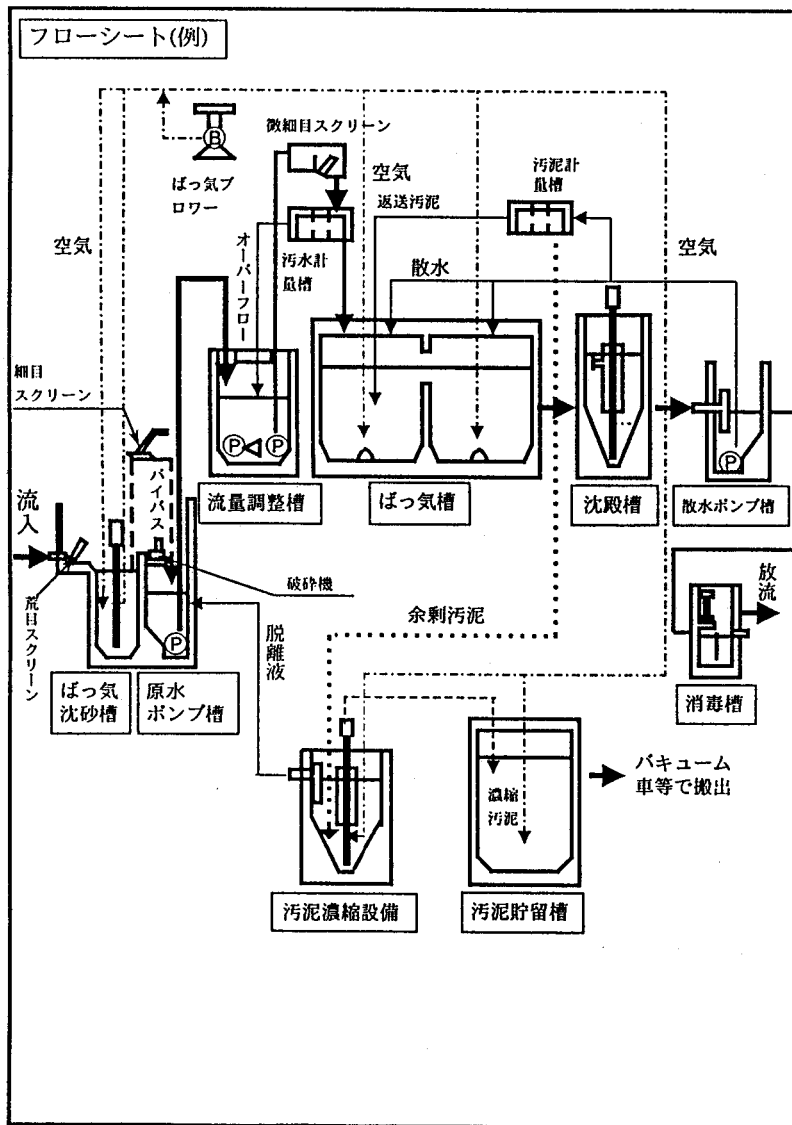
本処理区の場合、(1)処理性能、(2)汚泥の処分方法、(5)立地条件の各項目においては、各処理方式に多少の優劣はあるが、処理方式の選定にあたって特段制約となるような要素はない。

従って、本処理区においては、(3)維持管理体制、(4)経済性に優れた「連続流入間欠ばっ気方式」を採用した。

おわりに

本処理区においては、「連続流入間欠ばっ気方式」を採用したが、今後他地区にて設計するに当たり、処理人数や管理方式によっては他の方式が有効となる場合がある。

最後に、本処理区の処理方式の選定及び設計にあたり、御尽力していただいた関係各位の皆様に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。



連続流入間欠ばっ気方式

## ロックフィルダムの貯水後の長期挙動

初川 栄治\*      安中正実\*      浅野 勇\*  
 (Eiji HATHUKAWA)      (Masami YASUNAKA)      (Isamu ASANO)

### 目 次

I. はじめに .....	29	IV. 貯水後の長期挙動の総括 .....	43
II. ダムの概要と特徴 .....	29	V. おわりに .....	45
III. 特徴的な挙動 .....	31		

### I. はじめに

農業用ダムの約9割を占めるフィルダムは、土、岩などの自然材料で建設されるので、建設後の時間が経過するほど安全性が増すといわれている。事実、フィルダムにおける事故は、築堤中あるいは最初の貯水過程（試験湛水中）に集中して発生している。試験湛水後数年以上経過したダムでの事故例は少ない。

このような背景を受けて、ダムの安全管理は、次に示すような3段階の時期に応じて計測監視の頻度を変化させている<sup>1)</sup>。すなわち、湛水開始から満水以後所要期間（2ヶ月以上）を経過するまでを第一期、第一期経過以後ダムの挙動が定常状態に達するまでを第二期（重要なダムでは3年以上）とし、計測項目及び頻度を多くしている。第三期は、第二期経過以降であり、計測頻度は少なくなる。

フィルダムには通常、第一期から第三期までの安全監視を行うための施設（埋設計器、外部標点等）が設置されている。しかし、安全管理を実施する主体が、試験湛水終了直後に国から県あるいは土地改良区へ移管することが多いために第一期から第三期まで継続して安全監視、挙動把握を実施した例は非常に少ない。特に第二期に含まれる試験湛水後の数年の挙動については、安全性診断のための高度な解析及び検討がなされていない場合が多い。

治水ダムにおいては、坂本等<sup>2)</sup>が、20以上のロックフィルダムを対象に長期間の挙動観測を実施した例を報告している。堤体変形量について築堤完了後4,000日までの管理目安等を提案している。また、安中等<sup>3)</sup>は、アースダムにおいて築堤から試験湛水までの挙動を総合的に観測し、得られた挙動に解析的な検討を加えている。

播田等<sup>4)</sup>は、水資源開発公団関係のフィルダムの長期観測から、計測データの整理方法等の提案を行っている。このような従来の研究を参考にしつつ、いくつかの農業用フィルダムの長期挙動について検討を行ったので、ここに報告する。

本報告では、ロックフィルダムの事例として大柿ダム（福島県）及び新鶴子ダム（山形県）を取り上げ、それらのダムに設置してある漏水量計、間隙水圧計及び土圧計を通じて明らかになった湛水開始から数年経過後の堤体挙動について述べる。

### II. ダムの概要と特徴

#### (1) 大柿ダム

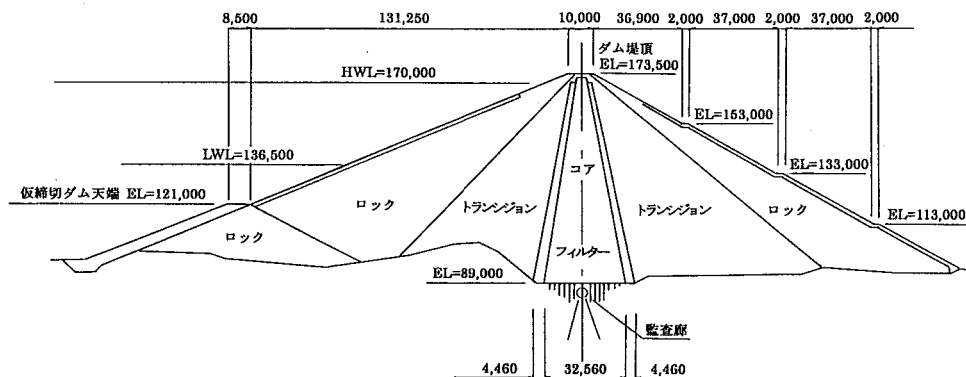
大柿ダムは、請戸川農業水利事業所が灌漑のために築造した中心遮水ゾーン型ロックフィルダムである。その概要を表一1、図一1に示す。ダム工事は1975年11月に仮排水路着工、1978年9月に本体着手、1983年度に盛り立てを完了している。1986年1月に試験湛水を開始、1988年3月に満水位に達し、この年の7月に完了している<sup>5)</sup>。

大柿ダムは、阿武隈山地の構造的弱線に沿う河流の開析により形成された急峻なV字谷の湾曲部

\*農林水産省農業工学研究所造構部構造研究室

表一 大柿ダム諸元表

一般	位置	福島県双葉郡浪江町室原地内
	河川名	二級河川請戸川水系請戸川
	基礎岩盤	花崗岩
貯水池	流域面積	110.2km <sup>2</sup>
	満水面積	0.93km <sup>2</sup>
	総貯水量	19,500,000m <sup>3</sup>
	有効貯水量	17,300,000m <sup>3</sup>
	常時満水位	EL 170.0 m
	設計洪水水位	EL 171.0 m
	堆砂量	2,200,000m <sup>3</sup>
堤体	計画堆砂面	EL 136.5 m
	利用水深	33.5 m
	型式	中心遮水ゾーン型ロックフィルダム
	堤高	84.5 m
	総築堤量	1,756千m <sup>3</sup>
	堤頂長	262 m
	堤頂幅	10.0 m
	天端標高	EL 173.5 m
平均法勾配	最低床掘標高	EL 89.0 m
	上流側	1 : 2.5
	下流側	1 : 1.85



図一 大柿ダム堤体標準図

にあたる「やせ尾根」を左岸アバットメントとしている。ダム天端位置での尾根横断幅は45m、両側斜面の傾斜はほぼ50°となっている。

ダムサイトの地質は、左岸尾根部の深度35m付近までは岩級区分でCⅡクラス以下の風化帯が存在するが、右岸部、河床部では概ねCⅢクラス以上となっている。透水性については、ダム軸のほとんどは表層部強風化帯を除き1ルジオン以下、やせ尾根頂部で2ルジオン以下、風化帯と断層部の一部で6ルジオン以下となっている。

大柿ダムでは様々な堤体挙動を把握するために、数多くの計器が埋設してあり、図一2に示す計測主要断面 (NO. 7) のほか、表一2に示すとおり、2断面に適宜配置している。間隙水圧計は、ダム完成後の堤体基礎の浸透系の安全性を検討するために盛土内及び基盤内に65個と数多く埋設してある。

#### (2) 新鶴子ダム

新鶴子ダムは、村山北部農業水利事業所が灌漑のために築造した中心コア型ロックフィルダムであ

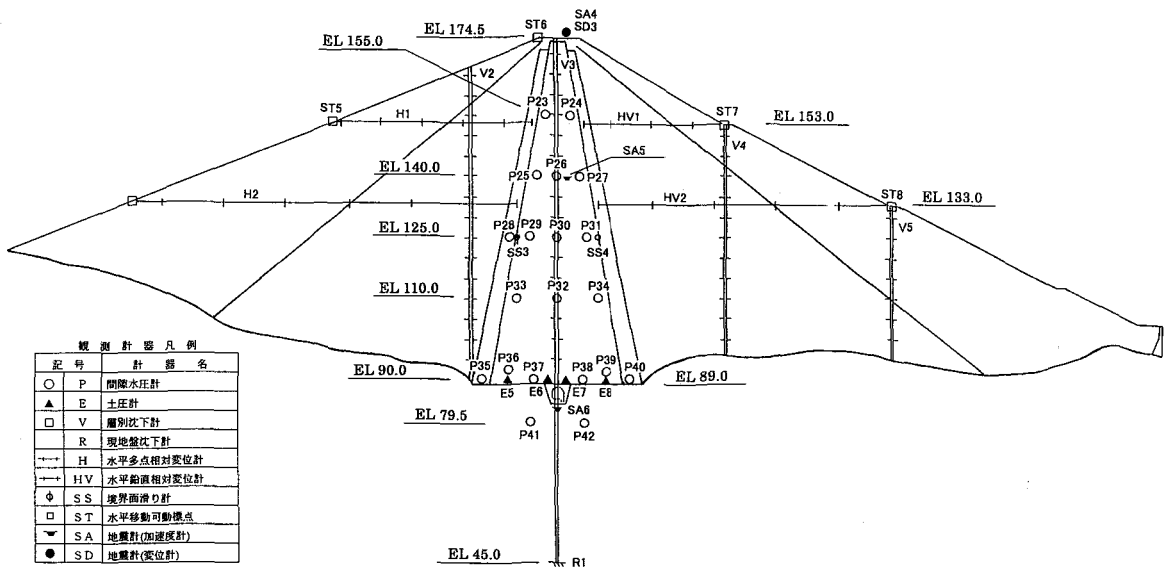


図-2 大柿ダム埋設計器設置図

る。その概要を表-3, 図-3 に示す。ダム工事は1977年11月に仮排水路着工, 1981年度に盛り立てを開始し, 1985年11月に完了している。試験湛水は1988年9月に開始し, 1990年5月に満水位に達し, この年の10月に完了している<sup>6)</sup>。

このダムはロックフィルダムとして堤高96m, 築堤量2,910千m<sup>3</sup>, 総貯水量31,500千m<sup>3</sup>と純灌漑用の農業用ダムとしては, 日本最大級に位置している。ダムの特徴としては, 堤高が96mと高いことから, 耐震性を考慮した材料構成及びゾーニングとしている。

ダムサイトの地質は, 豊立山集塊岩よりなり, 岩層として安山岩類, 角礫凝灰岩集塊岩(破碎質凝灰岩)からなる。兩岸アバットは安山岩類, 河床には集塊岩が厚く堆積, 角礫凝灰岩は兩岸に薄く挟在する。一般に地表部5~10mを除けば岩質等級CM以上で, 透水性については, 中硬質以上で比較的亀裂が少ないことから透水係数10-5 cm/sec以下のオーダーでルジオン値も地表部を除けばほぼ5ルジオン以下である。

新鶴子ダムでもダムの安全性を確保するため, ダム本体, 周辺地山等の挙動及び状態を把握するための計器が数多く埋設してある。図-4 に示す計測主要断面 (NO. 6) のほか, 表-4 に示すとおり, 2断面に適宜配置している。間隙水圧計は

3断面に計45個が埋設してある。NO. 6断面には応力集中, アーチ作用等による応力低減等の検討のため, 上下流のフィルター部にも土圧計が設置してある。

### III. 特徴的な挙動

本報告では, 安全管理上最も重要な計測項目の1つである漏水量と, 間隙水圧・土圧の観測結果から明らかになった堤体挙動について述べるとともに検討を加える。

なお, 大柿ダムは, 試験湛水完了後6ヶ月経過した1989年1月から1997年3月までの8年3ヶ月間, 新鶴子ダムは, 試験湛水中の1990年1月から1996年7月までの6年7ヶ月間の観測データを整理している。

#### 1 堤体からの漏水

##### (1) 大柿ダム

大柿ダムの漏水量は, 洪水吐・静水池付近に漏水量観測ピットを設け, 三角ゼキによる測定を行っている。

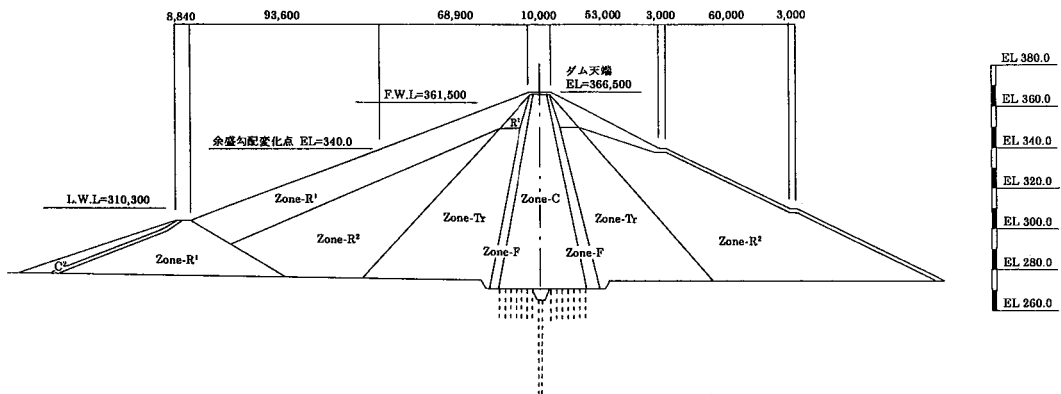
図-5 に試験湛水以降の貯水位と漏水量の変化を示す。試験湛水中(1986年1月から1988年3月)の挙動として, 貯水位の変動によく追従し, 貯水位の上昇に伴って漏水量が増大していくことが報

表-2 大柿ダム埋設計器一覽表

計器名	番号	設置位置		計器名	番号	設置位置		計器名	番号	設置位置		計器名	番号	設置位置											
地震計	加速度計	SA1	NO.0+15	EL172.2	滑り変位計	標点	SB7		D41.9	間隙水圧計	間隙水圧計	P15	NO.4	EL108.5	U6.5										
		SA2	NO.8	EL113.842			SB8		D80.9			P16	"	"	D6.5	P55	NO.10	EL125	CL						
		SA3	NO.1+10	EL172.27			ST1	NO.4	U56.25			P17	NO.5+10	EL90	U8.0	P56	"	"	D7.0						
		SA4	NO.6+15	EL173.1			ST2	"	U5.0			P18	"	"	D8.0	P57	"	EL108.636	U14.45						
		SA5	NO.6+15	EL140			ST3	"	D41.9			P19	NO.5+14.66	EL80	U6.43	P58	"	"	U9.0						
		SA6	NO.7	EL89			ST4	"	D80.9			P20	NO.6+5.23	"	D6.55	P59	"	"	CL						
		SA7	NO.14+14	EL173.5			ST5	NO.6+15	U56.25			P21	NO.5+13.66	EL60	U6.43	P60	"	"	D9.0						
		SA8	NO.4+5	EL173.04			ST6	"	U5.0			P22	NO.6+5.23	"	D6.55	P61	"	"	D14.45						
	変位計	SD1	NO.0+15	EL172.2			ST7	"	D41.9			P23	NO.7	EL150	U3.0	P62	"	EL99.636	U6.5						
		SD2	NO.1+10	EL172.27			ST8	"	D80.9			P24	"	"	D3.0	P63	"	"	D6.5						
		SD3	NO.6+15	EL173.1			ST9	NO.10	U56.25			P25	"	EL140	U5.5	P64	NO.12+5	EL134	U5.5						
		SD4	NO.14+14	EL173.5			ST10	"	U5.0			P26	"	"	CL	P65	"	"	D5.5						
		沈下計	層別沈下計	V1	NO.4	EL118.028	U2.0	土圧計	標点			ST11	"	D41.9	間隙水圧計	間隙水圧計	継目変位計	JM1	NO.5+6.49	EL87.522					
				V2	NO.7	EL89.032	U20.74					ST12	"	D80.9				P27	"	"	D5.5	JM2	NO.5+11.5	EL85.5	
				V3	NO.7+0.72	EL89.252	U2.1					E1	NO.4	EL118.941				U10.0	P28	"	EL125	U11.66	JM3	NO.6+18.5	EL85.5
				V4	NO.7	EL98.279	D41.9					E2	"	"				U4.0	P29	"	"	U7.0	JM4	NO.7+2.33	EL85.99
V5	NO.7+7			EL95.959	D80.9	E3	"			"	D4.0	P30	"	"				CL	JM5	NO.12+0.19	EL125.269				
V6	NO.10			EL107.681	U2.0	E4	"			"	D10.0	P31	"	"				D7.0	JM6	NO.12+5.41	EL129.215				
水平多点相対変位計	H1		NO.7	EL153	E5	NO.7	EL90			U12.0	P32	"	EL110	U10.0				鉄筋応力計	DF1	NO.6+15.5					
	H2		"	EL133	E6	"	"			U2.0	P33	"	"	CL			DF2		NO.8+13.96						
	水平断面相対変位計		HV1	NO.7	EL153	E7	"			"	D2.0	P34	"	"			D10.0		固定標点	観測標点	SB9	NO.0+13.503	D196.082		
			HV2	"	EL133	E8	"			"	D12.0	P35	"	EL90			U17.61			観測標点	SB10	NO.17+4.919	D232.441		
現地盤変位計	R1	NO.7	EL45	CL	E9	NO.10	EL108.636			U9.0	P36	"	"	U12.0			観測標点			SB11	NO.0-507.889	U5.0			
	R2	NO.3+17.137	EL70	CL	E10	"	"			U2.0	P37	"	"	U6.0			観測標点			SB12	NO.0+13.496	U341.157			
滑り変位計	堤内滑り変位計	S1	NO.1+6	EL170	D2.0	E11	"	"	D2.0	P38	"	"	D6.0												
		S2	NO.2+7.05	EL150	D2.0	E12	"	"	D9.0	P39	"	"	D12.0												
		S3	NO.3+17.19	EL119.2	D2.0	P1	NO.2+10	EL150	U5.5	P40	"	"	D17.61												
		S4	NO.13+2	EL150	D2.0	P2	"	"	D5.5	P41	NO.6+19.85	EL79.5	U6.52												
	境界面滑り計	SS1	NO.4	EL140	U7.61	P3	"	"	U6.5	P42	"	"	D6.55												
		SS2	"	"	D7.61	P4	"	"	D6.5	P43	NO.8+10	EL100	U6.5												
		SS3	NO.7	EL125	U10.61	P5	NO.4	EL155	U8.0	P44	"	"	D6.5												
		SS4	"	"	D10.61	P6	"	"	D3.0	P45	NO.8+7.85	EL80	U6.57												
		SS5	NO.10	EL140	U7.61	P7	"	EL140	U5.5	P46	NO.8+9.75	"	D6.52												
		SS6	"	"	D7.61	P8	"	"	CL	P47	NO.8+9.85	EL60	U6.57												
	水平移動固定	SB1	NO.0+13.5		U56.25	P9	"	"	D5.5	P48	NO.8+9.75	"	D6.52												
		SB2			U5.0	P10	"	EL118.941	U17.86	P49	NO.10	EL155	U3.0												
		SB3			D41.9	P11	"	"	U10.0	P50	"	"	D3.0												
		SB4			D80.9	P12	"	"	CL	P51	"	EL140	U5.5												
		SB5			U56.25	P13	"	"	D10.0	P52	"	"	CL												
		SB6			U5.0	P14	"	"	D17.86	P53	"	"	D5.5												
									P54	"	EL125	U7.0													

表—3 新鶴子ダム諸元表

一般	位置	山形県尾花沢市大字鶴子
	河川名	一級河川最上川水系丹生川
	基礎岩盤	凝灰角礫岩
貯水池	流域面積	56km <sup>2</sup>
	満水面積	1.25km <sup>2</sup>
	総貯水量	31,500,000m <sup>3</sup>
	有効貯水量	29,800,000m <sup>3</sup>
	常時満水位	EL 361.5m
	設計洪水水位	EL 363.5m
	堆砂量	1,700,000m <sup>3</sup>
	計画堆砂面	EL 310.3m
堤体	型式	中心コア型ロックフィルダム
	堤高	96.0m
	総築堤量	2,911.8千m <sup>3</sup>
	堤頂長	283.9m
	堤頂幅	10.0m
	天端標高	EL 366.5m
	最低床掘標高	EL 270.5m
	平均法勾配	上流側 1:2.6 下流側 1:2.0



図—3 新鶴子ダム堤体標準図

告されている<sup>7)</sup>。今回整理した1989年1月から1997年3月までのデータからも同様な傾向が認められる。

次に漏水量と貯水位の関係を図—6に示す。この図には、台風等による豪雨時のデータも含まれており、漏水量は降雨の影響をあまり受けていないことがわかる。また、両者には高い相関があり、概略比例関係になっている。この図に示す直線か

ら貯水位が10m上がると漏水量は約100l/min増える傾向となっており、低水位から高水位に至るまで、直線から概ね±100l/min前後の幅に収まっている。よって、漏水量監視においては、満水時で概ね1000l/min程度以内、各水位では図中に示す直線の回帰式が目安となる。

(2) 新鶴子ダム

新鶴子ダムでは、堤体下流法先部及び監査廊内

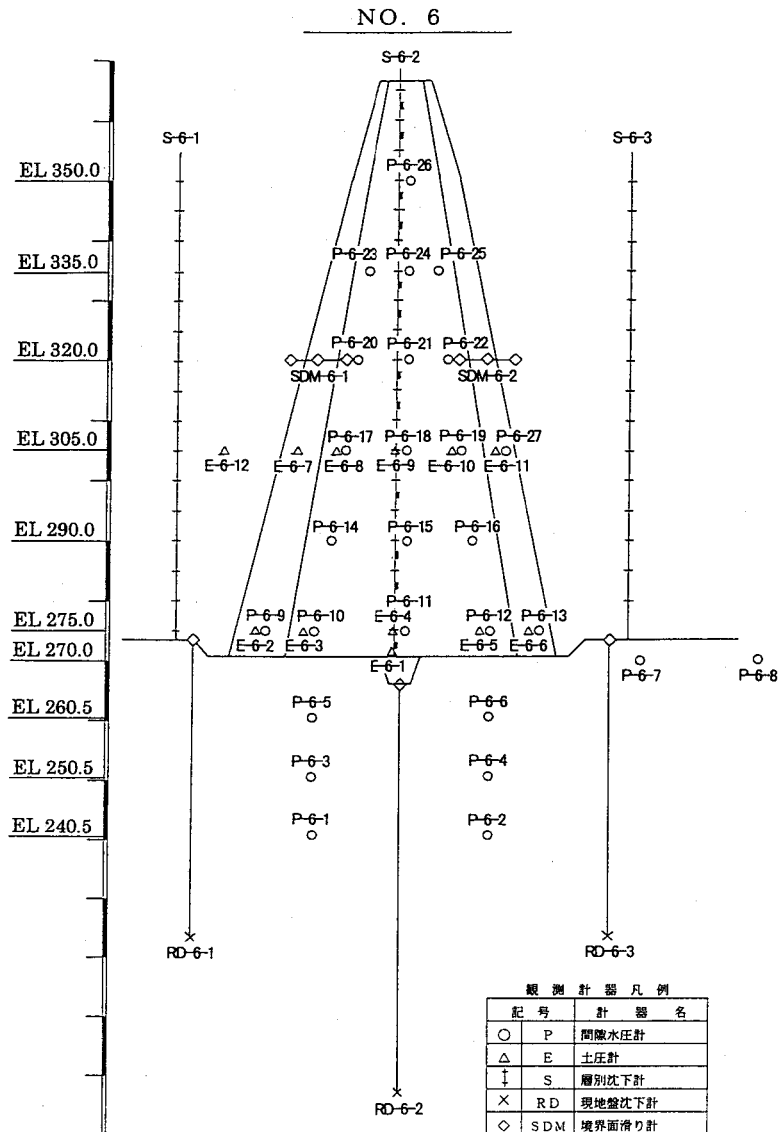


図-4 新鶴子ダム埋設計器設置図

池底部において漏水量を集水し、三角ゼキにより測定を行っている。図-7に貯水位、漏水量の変化を示す。

このダムで特徴的なのは、毎年3月から4月頃にかけて融雪水の影響が大きく現れていることで、月平均で500~700l/minの漏水量が記録されている。この時期の濁度計観測記録から、濁度が上がる傾向がある。融雪水の影響を受けない月では、概ね200l/min程度の漏水量で落ち着いており、濁度も上がっていない。

次に漏水量と貯水位の関係を図-8に示す。なお、この図では融雪水の影響を受けるデータは除いている。新鶴子ダムでも融雪水の影響を受ける月を除けば、かなり高い相関があり、概略比例関係となっている。図に示す直線から、貯水位が10m上昇すると漏水量は約30l/min増える傾向となっており、大柿ダムと同様、直線から概ね±100l/min前後の幅に収まっている。融雪水の影響を受けない時の各水位の漏水量監視では、図中の回帰式が目安となる。

表-4 新鶴子ダム埋設計器一覽表

計器名	番号	設置位置		計器名	番号	設置位置		計器名	番号	設置位置					
間	P-3-1	NO.3	EL275	U15.0	土	P-10-5	NO.9+10	EL320	U8.0	外	RD-B-3	NO.0+12.8	EL338	U15.5	
	P-3-2	"	"	D15.0		P-10-6	"	"	D8.0		RD-B-4	NO.0+13.8	"	U15.3	
	P-3-3	NO.3+10	EL305	U10.0		P-10-7	"	EL335	U6.0		F-1		EL426.8	U151.121	
	P-3-4	"	"	D10.0		P-10-8	"	"	D6.0		M1	NO.3	EL310.84	U151.121	
	P-3-5	"	EL320	U8.0		P-10-9	"	EL350	CL		M2	NO.6	EL310.889	U151.119	
	P-3-6	"	"	D8.0		E-3-1	NO.3+10	EL305	CL		F-6	NO.18+3.054	EL387.983	U151.121	
	P-3-7	"	EL335	U6.0		E-6-1	NO.6	EL270.5	CL		F-2		EL428.4	U72.643	
	P-3-8	"	"	D6.0		E-6-2	"	EL275	U23.0		M3	NO.3	EL340.63	U72.66	
	P-3-9	"	EL350	CL		E-6-3	"	"	U15.0		M4	NO.6	EL340.31	U72.656	
	P-6-1	NO.6	EL240.5	U15.0		E-6-4	"	"	CL		M5	NO.8	EL340.427	U72.658	
P-6-2	"	"	D15.0	E-6-5	"	"	D15.0	M6	NO.10	EL340.858	U72.66				
P-6-3	"	EL250.5	U15.0	E-6-6	"	"	D23.0	F-7	NO.18+18.664	EL377.691	U72.643				
P-6-4	"	"	D15.0	E-6-7	NO.6+8	EL305	U17.5	F-3	NO.0-69.708	EL397.304	CL				
P-6-5	"	EL260.5	U15.0	E-6-8	"	"	U10.0	M7	NO.3	EL367.899	D0.011				
P-6-6	"	"	D15.0	E-6-9	"	"	CL	M8	NO.6	EL368.515	D0.006				
P-6-7	"	EL270	D40.0	E-6-10	"	"	D10.0	M9	NO.8	EL368.419	D0.007				
P-6-8	"	"	D60.0	E-6-11	"	"	D17.5	M10	NO.10	EL367.85	D0.033				
P-6-9	"	EL275	U23.0	E-6-12	"	"	U30.0	M11	NO.12	EL366.687	D0.004				
P-6-10	"	"	U15.0	E-10-1	NO.9+10	EL305	CL	F-8	NO.16+11.319	EL377.816	CL				
P-6-11	"	"	CL	S-3-1-1	NO.3		CL	F-4		EL364.6	D59.516				
P-6-12	"	"	D15.0	S-6-1-1	NO.6		U35.0	M12	NO.3	EL340.447	D59.413				
P-6-13	"	"	D23.0	S-6-2-1	NO.6		CL	M13	NO.6	EL340.361	D59.408				
P-6-14	NO.6+10	EL290	U12.0	S-6-3-1	NO.6		D35.0	M14	NO.8	EL340.249	D59.519				
P-6-15	"	"	CL	S-10-1-1	NO.10		CL	M15	NO.10	EL340.368	D59.412				
P-6-16	"	"	D12.0	RD-3-1	NO.3	EL255	U5.0	M16	NO.12	EL340.492	D59.518				
P-6-17	"	EL305	U10.0	RD-3-2	"	"	U5.0	F-9	NO.16+10.717	EL367.563	D59.516				
P-6-18	"	"	CL	RD-4-1	NO.4+10	EL239.25	U0.1	F-5		EL352.7	D122.525				
P-6-19	"	"	D10.0	RD-6-1	NO.6	EL223.5	U35.0	M17	NO.8	EL310.412	D122.528				
P-6-20	"	EL320	U8.0	RD-6-2	"	EL197	U0.5	M18	NO.10	EL310.3	D122.419				
P-6-21	"	"	CL	RD-6-3	"	EL223.5	D35.0	M19	NO.12	EL310.427	D122.528				
P-6-22	"	"	D8.0	RD-10-1	NO.10	EL250	U0.1	F-10	NO.16+6.619	EL337.556	D122.525				
P-6-23	"	EL335	U6.0	RD-10-2	"	"	U0.1	G-1	NO.6+4.3	EL263.7	D0.75				
P-6-24	"	"	CL	RD-0-1	NO.0+4.4	EL350	U5.6	G-2	NO.7	EL320	CL				
P-6-25	"	"	D6.0	RD-0-2	NO.0+10.4	EL345	U6.2	G-3	NO.6+2.4	EL367	D1.5				
P-6-26	"	EL350	CL	RD-A-1	NO.0+4.4	EL348	U12.3	G-4	NO.0-41.0	E364.5	CL				
P-6-27	"	EL305	D17.5	RD-A-2	NO.0+3.4	"	U12.5								
P-10-1	NO.10	EL275	U15.0	RD-A-3	NO.0+6.9	EL342	U14.8								
P-10-2	"	"	D15.0	RD-A-4	NO.0+7.9	"	U14.6								
P-10-3	NO.9+10	EL305	U10.0	RD-B-1	NO.0+10.4	EL344	U13.0								
P-10-4	"	"	D10.0	RD-B-2	NO.0+9.4	"	U13.2								
隙				庄				計							
水				層				別							
庄				岩				盤							
計				變				位							



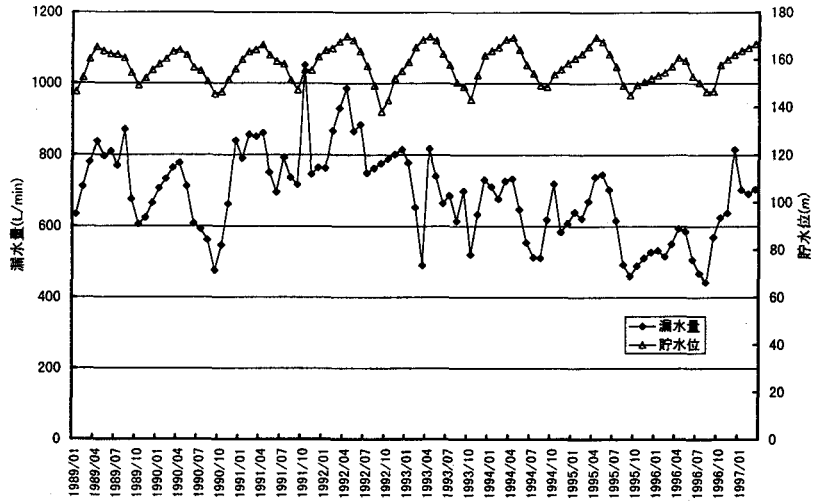


図-5 大柿ダム漏水量履歴図

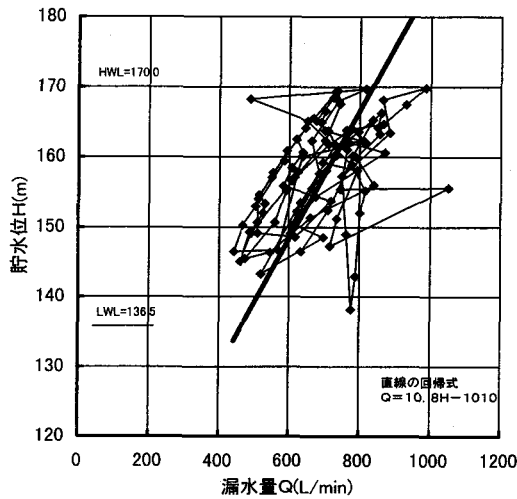


図-6 大柿ダム漏水量—貯水位相関図

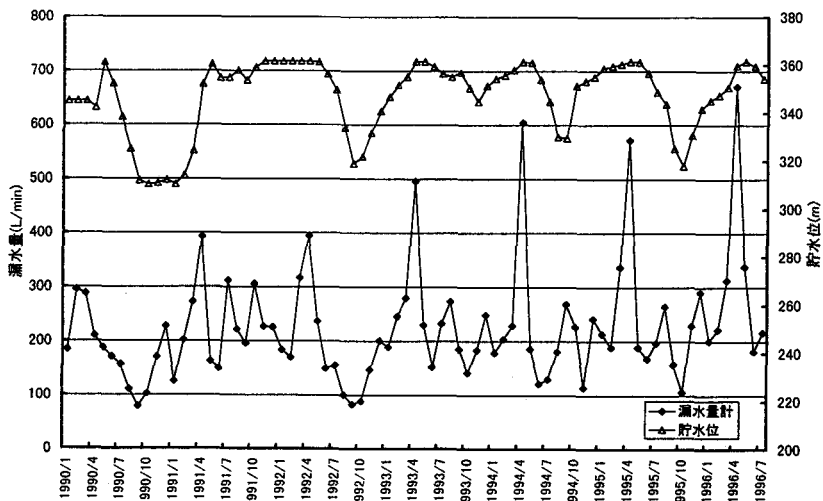


図-7 新鶴子ダム漏水量履歴図

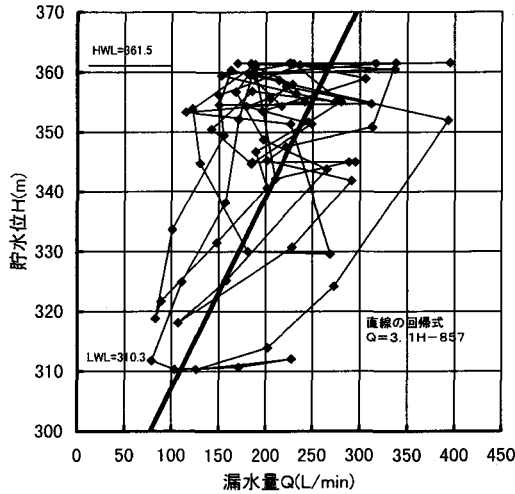


図-8 新鶴子ダム漏水量—貯水位相関図

## 2 間隙水圧・土圧

### (1) 大柿ダム

図-9～10に主要計測断面NO.7の堤体中央部(EL125)と堤体最下部(EL90)の間隙水圧の変化を示す。この図からわかるように経年変化による顕著な間隙水圧の変化は認められない。貯水位の昇降によく追従し、上流側の間隙水圧が大きく、下流に向かうに従って小さくなっている。また、堤体の基礎地盤近くに設置された間隙水圧計ほど高い値を示し、天端に向かうに従って低い値を示すようになる。

堤体中央部と最下部の間隙水圧と貯水位の関係

を図-11に示す。計器の設置された位置(コア上流側, 中央部, 下流側)によって異なった挙動を示している。上流側は貯水位の変動の影響が大きく、下流に向かうに従って、貯水位変動の影響は小さくなり、ほぼ一定の値を示すようになる。

図-12に間隙水圧のポテンシャル分布を示す。特に異常な分布は示しておらず、安定した状態であるといえる。また、基盤内のグラウト上下流の間隙水圧には顕著な水頭差が認められる。

次にNO.7断面の土圧の変化を図-13に示す。なお、E8は測定不安定となっている。経年変化による顕著な土圧の変化は認められない。この図か

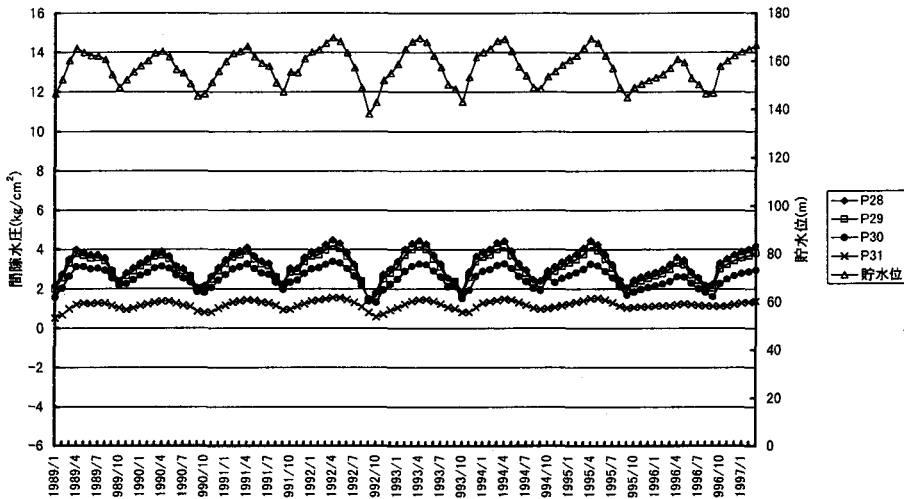


図-9 大柿ダム間隙水圧履歴図 (NO.7: EL125.0)

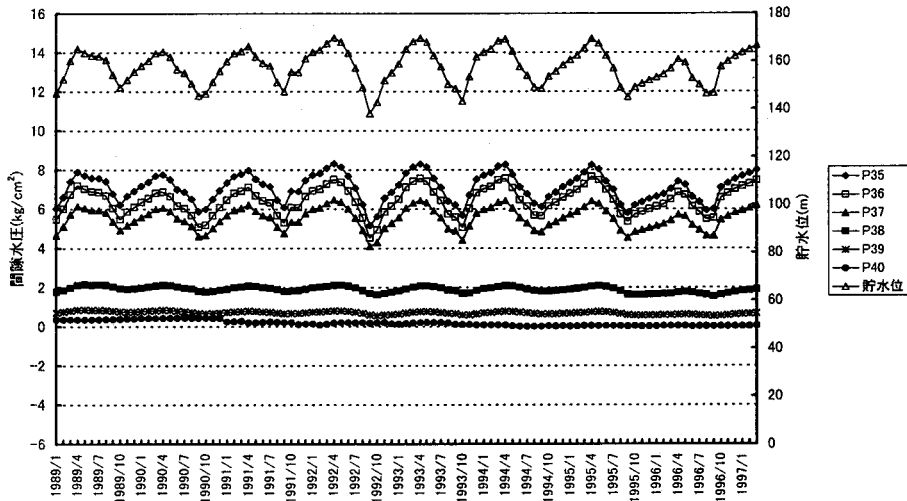


図-10 大柿ダム間隙水圧履歴図 (NO.7 : EL90.0)

ら、貯水位の昇降に対して正の相関（貯水上昇に伴い土圧も上昇）を示すものと負の相関（貯水上昇時に土圧は減少）を示すものがある。上流側は正の相関を示す傾向が強く、下流に向かうに従って負の相関を示す傾向となっている。

湛水初期（1989年4月）と後期（1995年4月）において、土圧計により計測された全土圧と近傍の間隙水圧記録から水圧分を除去した有効土圧の比較したものを図-14に示す。上流（E5）の有効土圧は、間隙水圧より若干小さな値となっている。この傾向は、コア中央部より下流側の測点では逆転しており、土圧の方が大きくなっている。コア中央部の土圧は、貯水後長期間を経てもほとんど変化がないことから、経年変化によるアーチ作用の軽減は期待できない。

## (2) 新鶴子ダム

新鶴子ダムの主要計測断面NO.6の堤体最下部（EL275）と堤体中央部（EL305）の間隙水圧の変化を図-15～16に示す。ここでも経年変化による顕著な間隙水圧の変化は認められず、貯水位の昇降によく追従し、上流側の間隙水圧が大きく、下流に向かうに従って小さくなっている。また、堤体の基礎地盤近くに設置された間隙水圧計ほど高い値を示し、天端に向かうに従って低い値を示している。

間隙水圧と貯水位の関係を図-17に示す。計器の設置された位置によって異なった挙動を示し、大柿ダムと同様な傾向となっている。また、コア

中央部（P-6-17, 18, 19）の間隙水圧には、水位降下に追従できず残留する傾向が見られる。これは、築堤時の残留間隙水圧の影響と考えられる。上流フィルター内の間隙水圧については、試験湛水中の挙動で報告されているとおり、貯水位とほぼ1：1で直線的に連動しており、現在に至っても透水性は良好であるといえる。下流フィルター内の間隙水圧は試験湛水中から現在に至るまで貯水位に影響されることなく常時0 kg/cm<sup>2</sup>を示している<sup>8)</sup>。このことは、フィルター及びドレーンの排水機能が良好であることを示している。

図-18に間隙水圧のポテンシャル分布を示す。コア中央部の間隙水圧の値により等ポテンシャル線に乱れが表れているが、全体の傾向としては、安定した状態であるといえる。また、基盤内のグラウト上下流の間隙水圧には水頭差が認められ、グラウトの止水効果は良好であるといえる。

新鶴子ダムには、わが国で最も多く用いられているひずみゲージ型の土圧計に加えて、グレースェル型の土圧計が設置されている。わが国の農業用ダムにおけるグレースェル型の使用実績は当時ほとんど無かったので、性能のチェックを目的として試験的に埋設された。また、測定は築堤中のみとされた<sup>9)</sup>。

図-19に、築堤中（1983年4月～1986年8月）の土圧測定記録を、同一標高のひずみゲージ型の測定値と比較して示す。コア部の土圧の発達状況は、上下流ほぼ対称の応力状態になると想定され

NO. 7

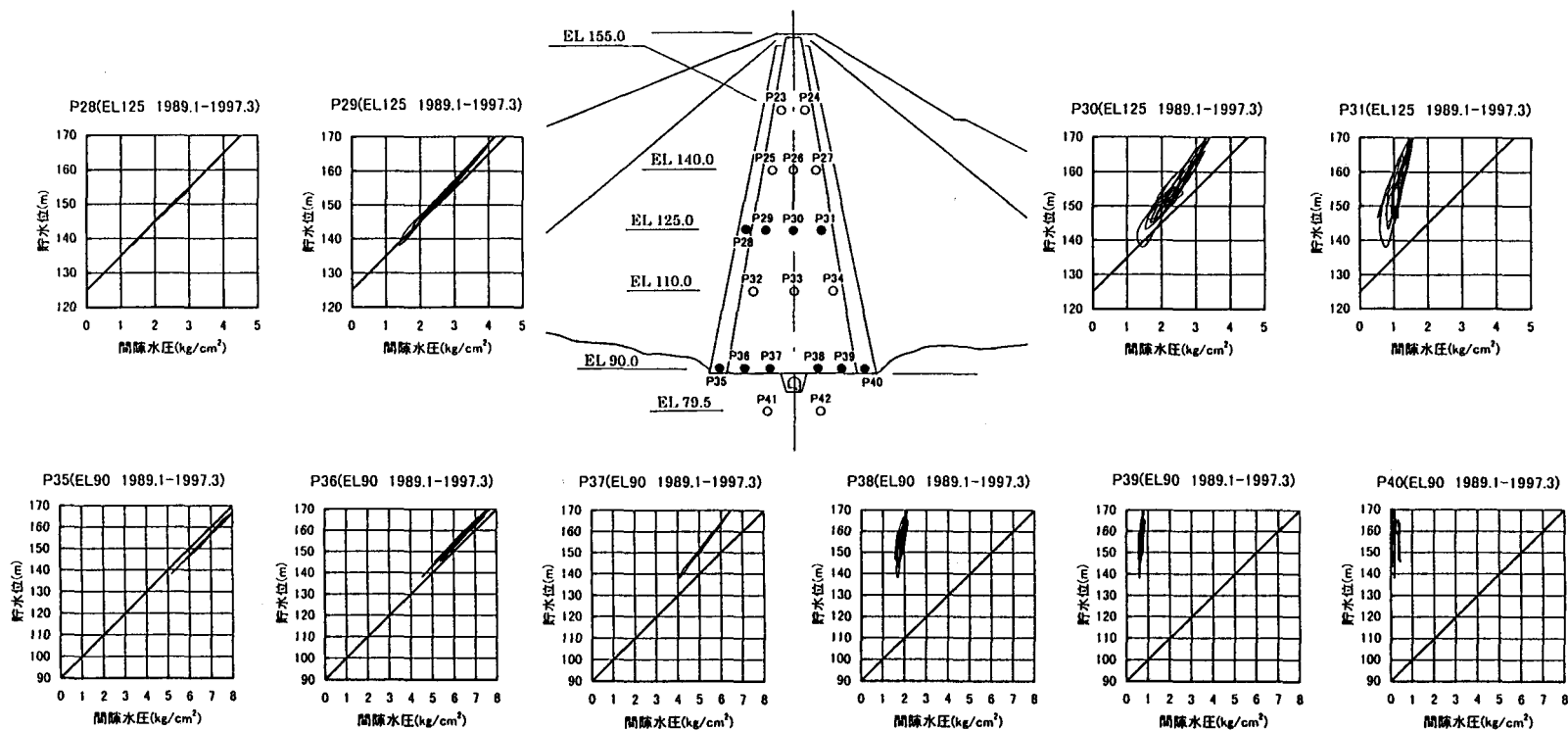


図-11 大柿ダム間隙水圧—貯水位相関図

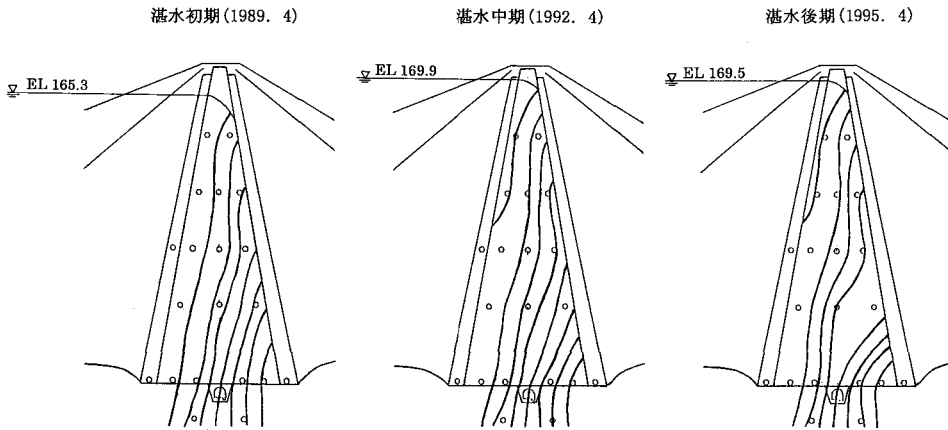


図-12 大柿ダム間隙水圧ポテンシャル分布図

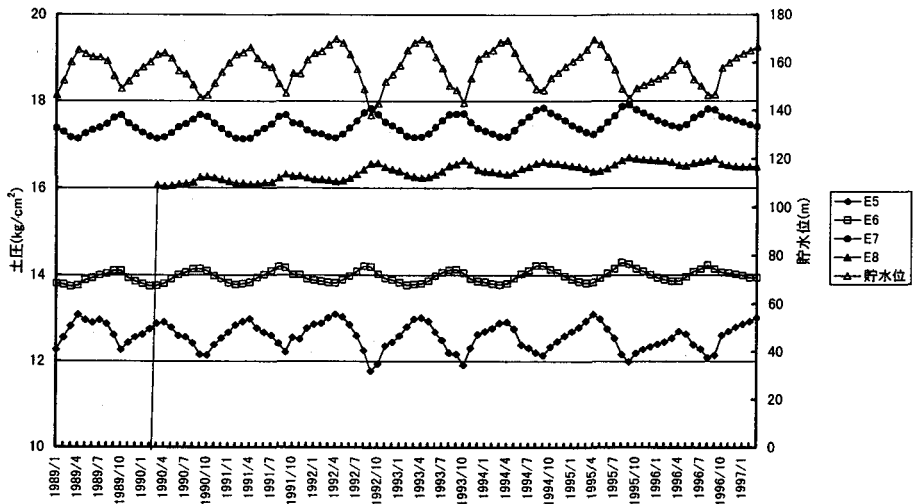


図-13 大柿ダム土圧履歴図 (NO. 7 : EL90.0)

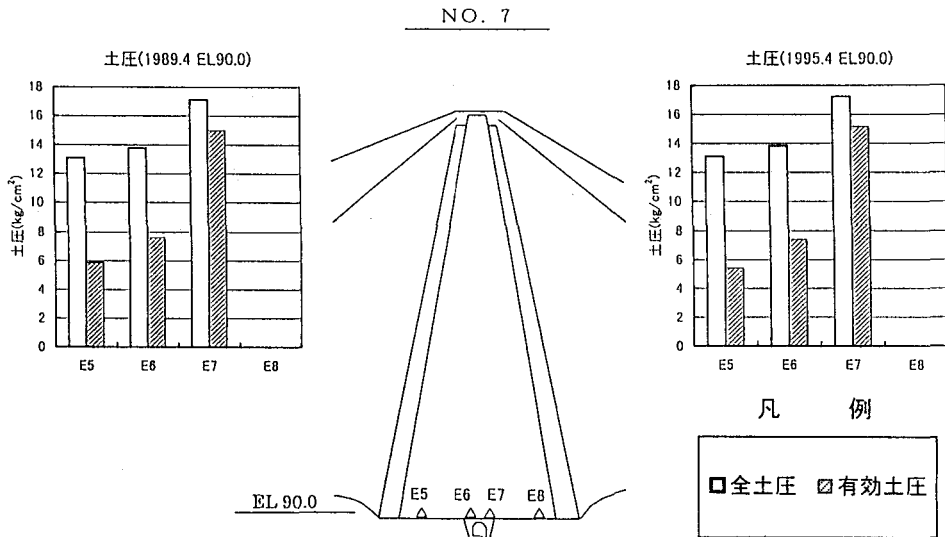


図-14 大柿ダム土圧測定値図

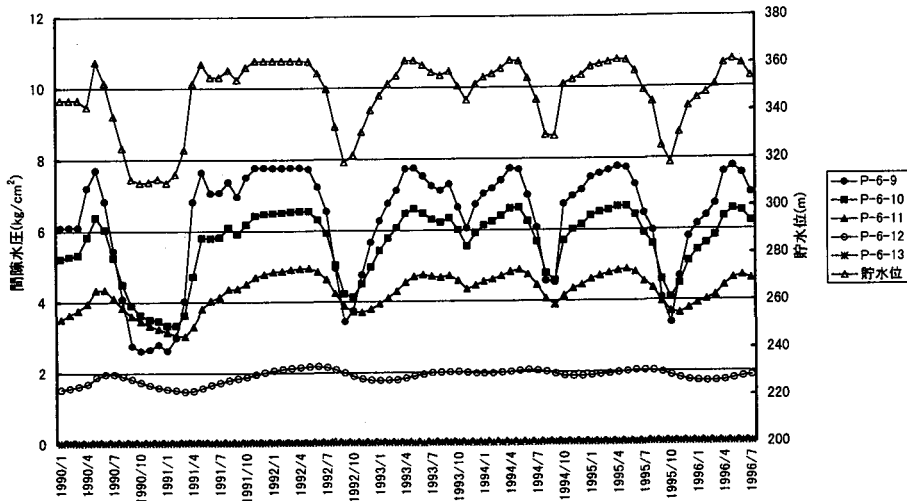


図-15 新鶴子ダム間隙水圧履歴図 (NO.6 : EL275.0)

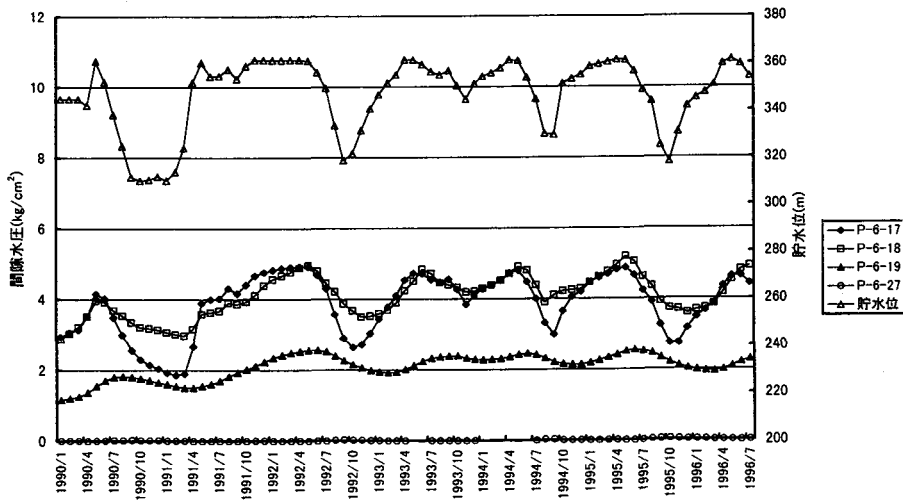


図-16 新鶴子ダム間隙水圧履歴図 (NO.6 : EL305.0)

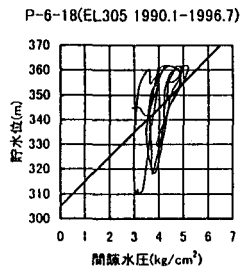
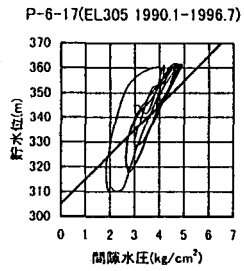
るが、両側のフィルター寄りのひずみゲージ型の測定値の差は盛土進行に伴い大きくなり、これに対しグレーツェル型は常に同一の値を与えた<sup>10)</sup>。

ひずみゲージ型は、築堤から現在に至るまで長期間観測している。築堤中のひずみゲージ型の観測結果では、築堤完了時に約9 kg/cm<sup>2</sup>の値を示している。今回整理した1990年から1996年までのデータでは、概ね10kg/cm<sup>2</sup>の値を示しており、大きな変動はなかった。

図-20~21に今回整理した土圧の変化を示す。

なお、E-6-3、E-6-7、E-6-12は、測定不能となっている。これらの図から、貯水位に対して正の相関を示す測点と、負の相関を示す測点が存在する。また、長期的な土圧の漸増、あるいは漸減傾向は認められない。

次に湛水初期(1990年5月)と後期(1996年5月)の土圧の全土圧と有効土圧の比較を図-22に示す。E-6-8が測定不安定になった他は、貯水昇降を繰り返してもほぼ同一の値が得られている。土圧と間隙水圧の関係では、全体的に土圧が上回ってい



EL 350.0

EL 335.0

EL 320.0

EL 305.0

EL 290.0

EL 275.0

EL 270.0

EL 260.5

EL 250.5

EL 240.5

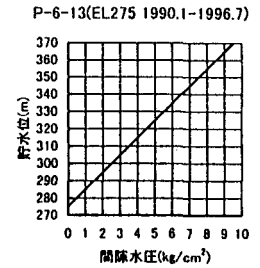
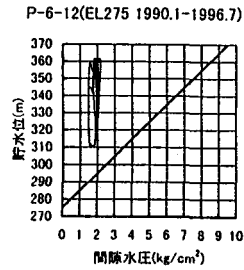
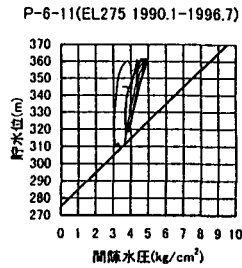
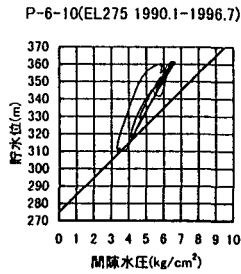
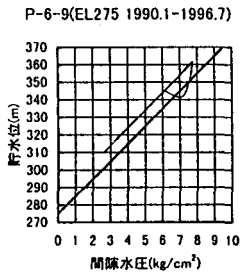
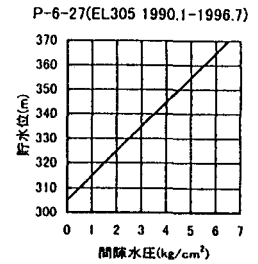
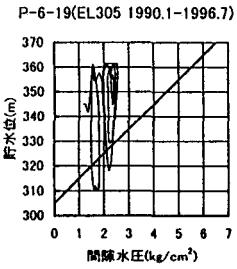
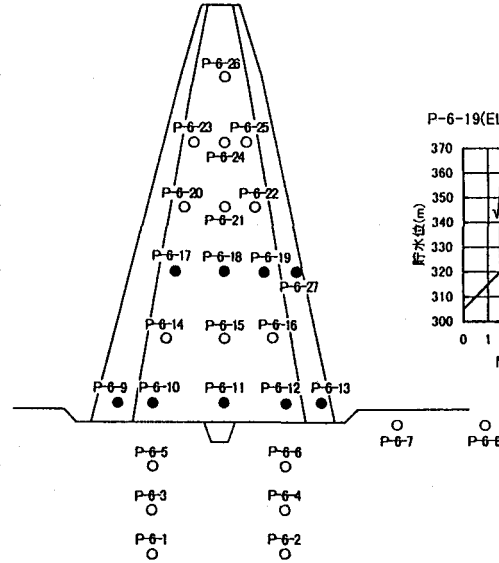


図-17 新鶴子ダム間隙水圧-貯水位相関図

湛水初期(1990. 5)

湛水中期(1993. 5)

湛水後期(1996. 5)

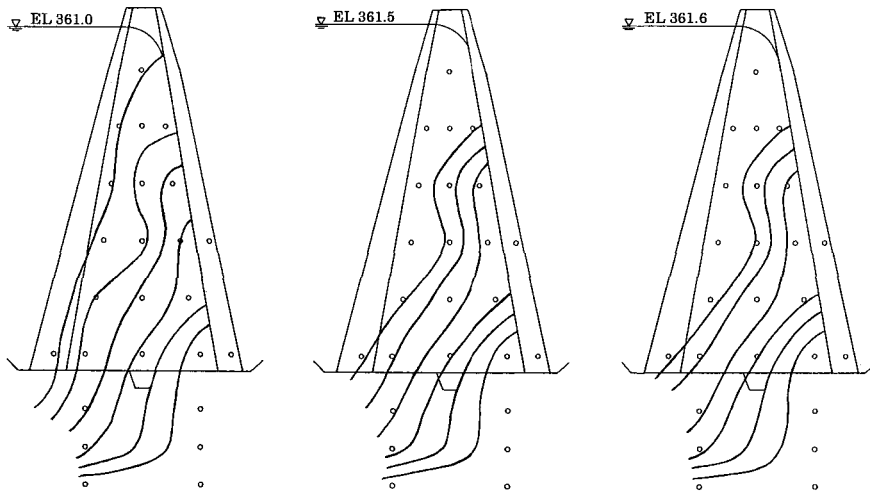


図-18 新鶴子ダム間隙水圧ポテンシャル分布図

る。

また、上下流のフィルター付近の土圧は高く、コア中央部の土圧は低くなっている。コア中央部の土圧は、貯水後長期間を経てもほとんど変化がないことから、新鶴子ダムにおいても、経年変化によるアーチ作用は軽減しないことが確認できた。

#### IV. 貯水後の長期挙動の総括

ここでは、両ダムの埋設計器から明らかになった堤体挙動について総括する。

- ① 漏水量は、両ダムともに貯水位と相関があり、概略比例関係となっている。また、「漏水量(堤体浸透量)は、経年的に減少していく傾向がある」との報告<sup>2)</sup>もあるが、今回の挙動検討では確認できなかった。試験湛水後の漏水量監視の留意点は、貯水位毎の漏水量とその許容範囲を把握しておくこと、濁度及び水質の変化に注意すること等が挙げられる。漏水量の許容範囲を既往のデータから推定すると次のようになる。満水位で大柿ダムは約1000l/min以内、新鶴子ダムは融雪水の影響を受けるときで約700l/min以内、影響がない時で約350l/min以内が目安であると考えられる。貯水位10m上昇に対し、大柿ダムは約100l/min、新鶴子ダムは約30l/min増加する傾向となっている。降雨、融雪水の影響がないときに漏水量の増加や濁度が上がるなどの現象が見られた場合は注意が必要となる。

る。

- ② 間隙水圧と貯水位の相関は、設置位置の違いにより異なるパターンを示すことが確認できた。上流側は貯水位の影響を大きく受け、下流に向かうに従って貯水位の影響は小さくなる。このことは、コアの遮水機能が良好であることを示す。このような判断を容易にするために、貯水位(縦軸)と間隙水圧(横軸)とを同一の圧力スケールで図化して整理することが肝要である。
- ③ コア内のポテンシャル分布に特に異常は認められない。また、基盤内のグラウトの止水効果は良好であることが確認できた。
- ④ 土圧と貯水位の関係では、正の相関と負の相関を示すものがあることが確認できた。この原因については解明できていない。コア内の土圧は湛水によって減少し、その比率は湿潤重量と水中重量の比にほぼ一致する<sup>2)</sup>との見解もあるが、今回の検討では、コア内においてもそのような傾向を示すものと、貯水により土圧が増加するものが現れている。
- ⑤ 土圧の測定値は、築堤完了後短期間で一定の値を示すようになる。今回の観測開始時点から現時点まで発生している土圧はほとんど変化が無い。このことは、経年変化(貯水昇降の繰り返し)によるアーチ作用の軽減はほとんど期待できないことを示す。
- ⑥ 両ダムとも埋設計器の観測結果から漏水量な



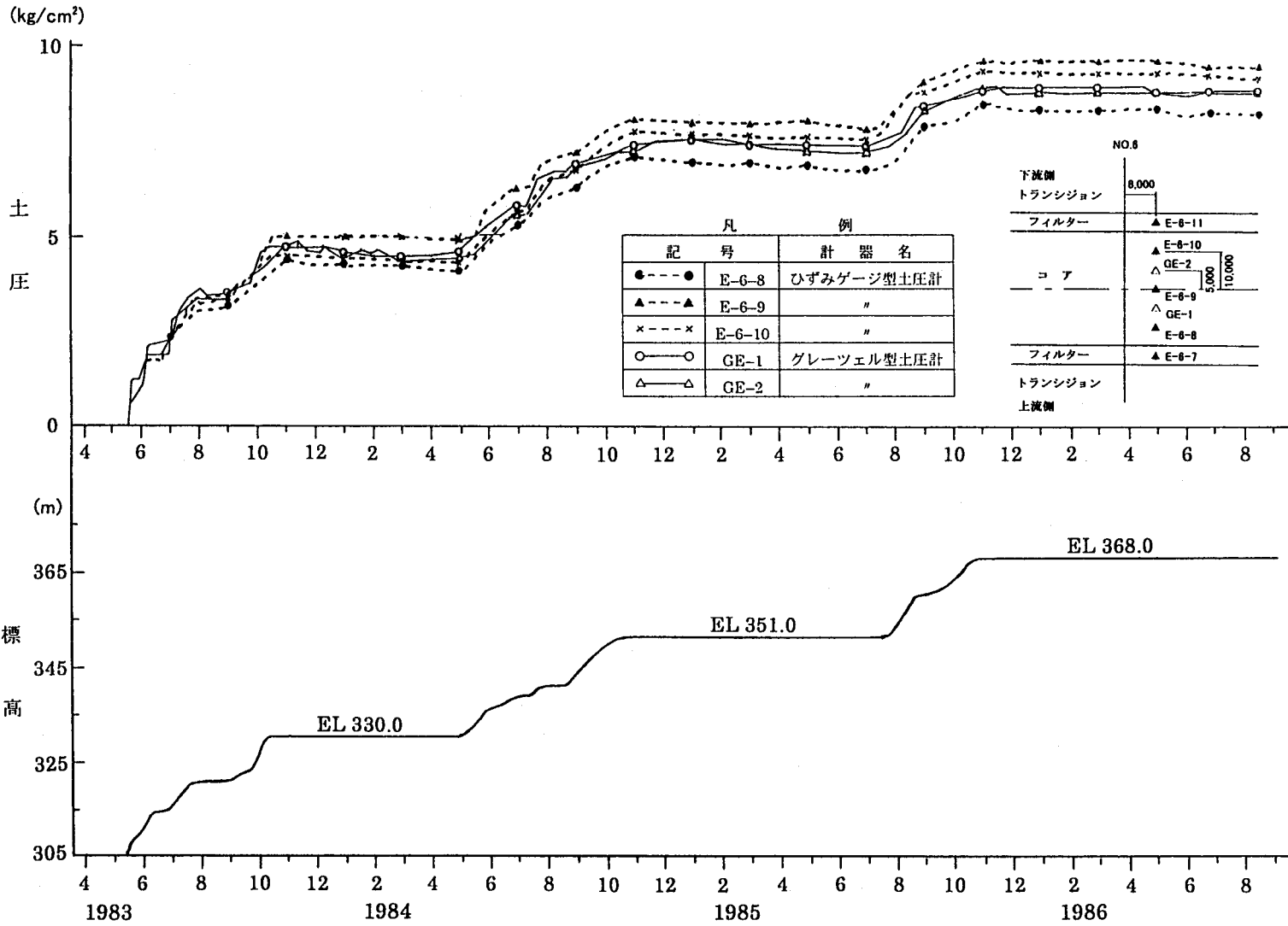


図-19 新鶴子ダム土圧履歴図 (築堤中)

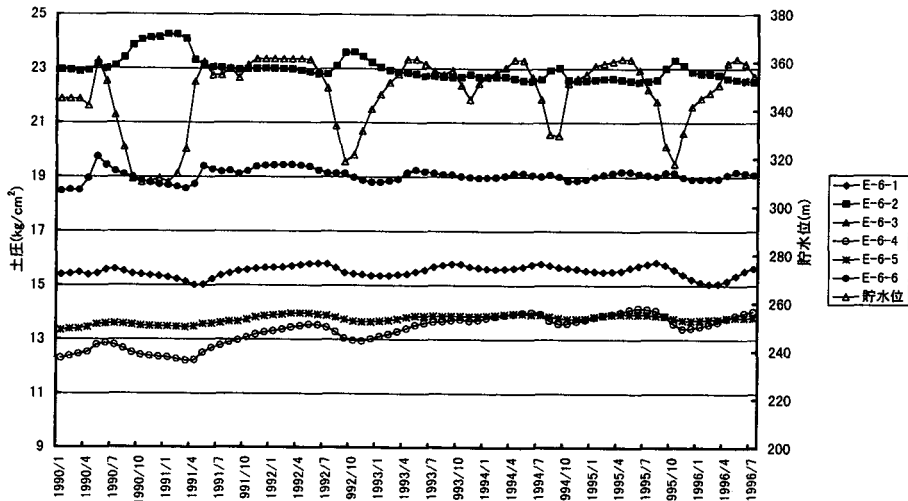


図-20 新鶴子ダム土圧履歴図 (NO.6 : EL270.5, EL275.0)

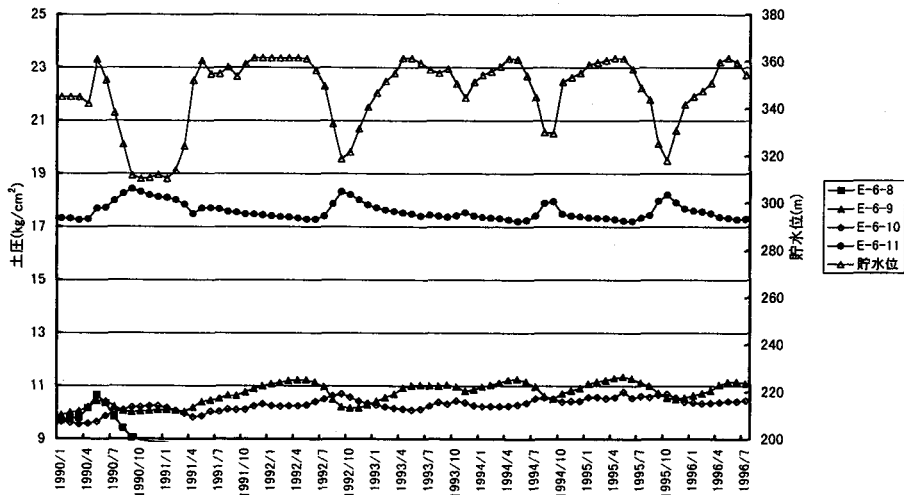


図-21 新鶴子ダム土圧履歴図 (NO.6 + 8 : EL305.0)

どの堤体挙動は安定した状態であり、特に異常は認められない。

## V. おわりに

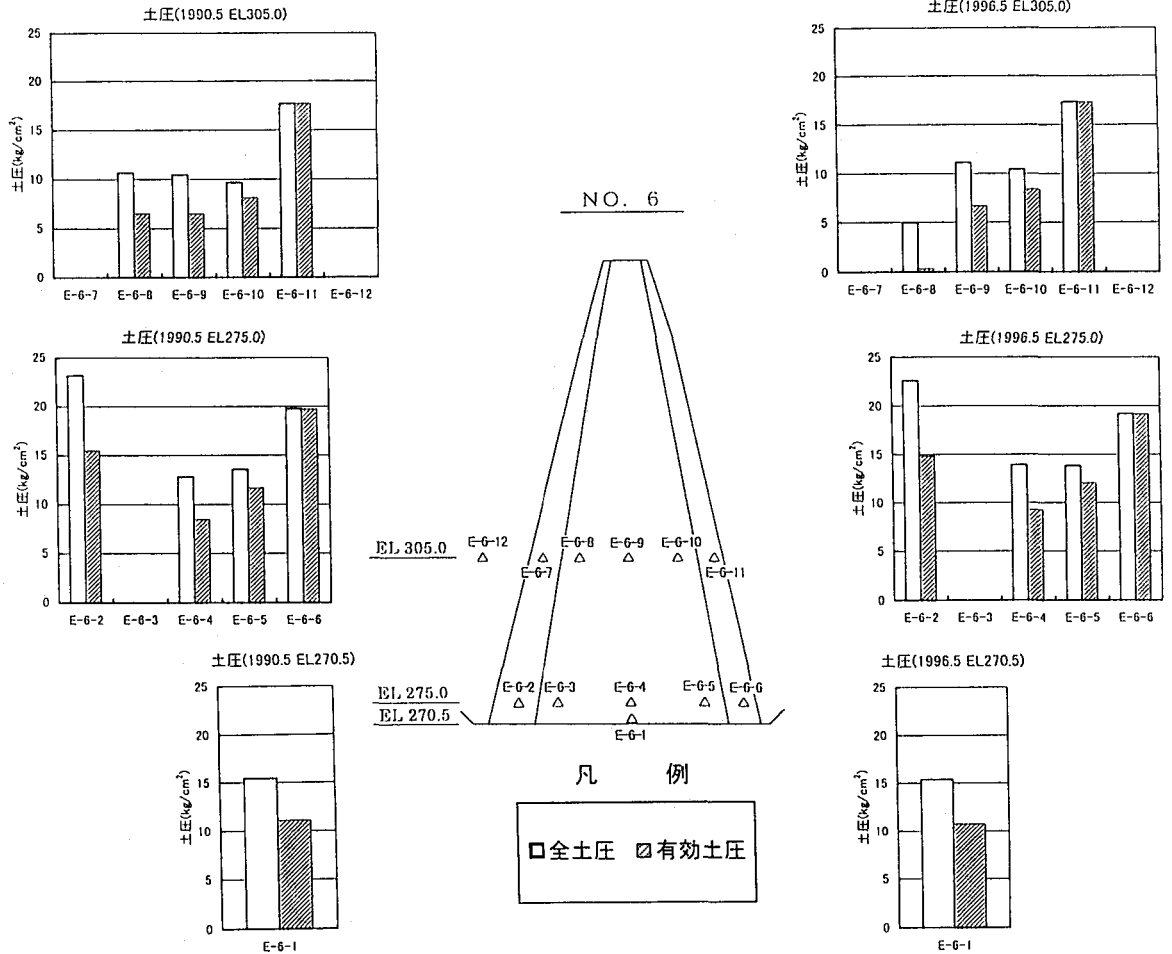
今回は、フィルダムの安全管理上最も重要な項目である漏水量、間隙水圧・土圧について取りまとめた。

漏水量については、貯水位や降雨等のいくつかの要因で様々に変化するため、これら要因となるデータを長期間にわたり蓄積し整理していくことが重要である。今回は貯水位と漏水量のデータから概ねの監視の目安を確認したが、降雨や周辺か

らの流入水の影響も含めた挙動を明確にする必要がある。

土圧については計器によって相違するデータを示すなど不明な点が残るので今後の検討課題としたい。

埋設計器の寿命は、経験的に10年程度といわれている中で、今回対象としたダムは築堤後8~14年を経過しているが、間隙水圧、土圧を正常に計測していると思われる計器が80%以上残っていることが確認できた。このようにダムの埋設計器から得られるデータを活用し、ダム管理に必要なデータの信頼性の判定方法や実際に起きてい



図—22 新鶴子ダム土圧測定値図

る堤体挙動の判定方法について今後も研究を進めていきたい。

最後に本研究の遂行に当たり、ダムの貴重な埋設計器の観測データを提供頂いた福島県相双農地事務所大柿ダム管理事務所、村山北部土地改良区の関係者に深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局編(1982)：土地改良事業計画設計基準「設計ダム」, 554～555
- 2) 坂本忠彦ほか(1994)：ゾーン型ロックフィルダムの実測挙動と安全性評価, 大ダム, 第150号, 51～61
- 3) 安中正実, 田中忠次, 仲野良紀(1985)：深田ダムの築堤及び貯水過程の挙動について, 大ダム, 第 114号, 11～19
- 4) 播田一雄ほか(1994)：フィルダムの安全管理のための堤体挙動計測手法に関する検討, ダム工学, 第15号, 55～63
- 5) 農林水産省東北農政局請戸川農業水利事業所(1989)：請戸川農業水利事業事業誌
- 6) 農林水産省東北農政局村山北部農業水利事業所(1991)：新鶴子ダム技術誌
- 7) 5) に同じ, 159～161
- 8) 6) に同じ, 371～374
- 9) 安中正実, 川口徳忠, 山田康晴(1987)：依頼研究「設計基準・重要構造物実態調査(ダム)」報告書
- 10) 9) に同じ

# ダクタイル鋳鉄管の特殊押輪継手

竹内 幸市\*  
(Kouchi TAKEUCHI)

綿貫 善治\*  
(Zenji WATANUKI)

## 目 次

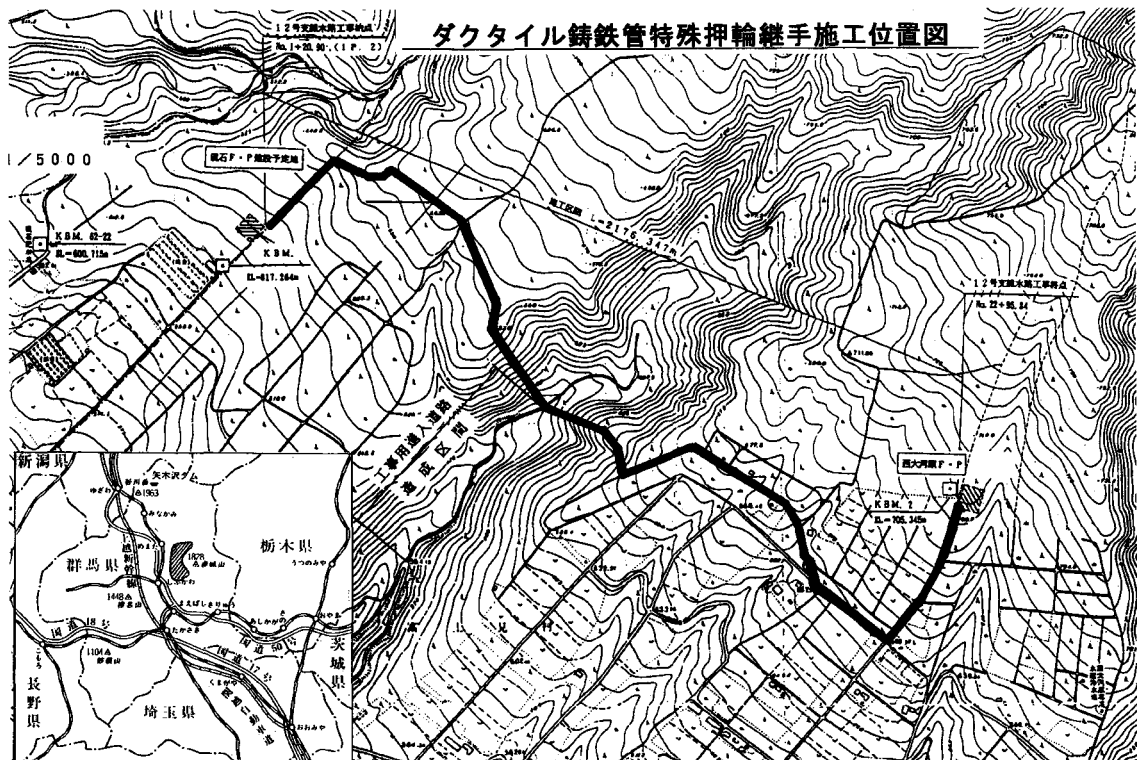
1. はじめに .....	47	4. 特殊押輪継手の構造・設計の考え方 .....	49
2. 工事の概要 .....	48	5. 設計上の課題 .....	51
3. ダクタイル鋳鉄管の特殊押輪継手採用経緯 .....	48	6. おわりに .....	53

### 1. はじめに

本報は、平成8年度に創設された「新技術導入推進農業農村整備事業」の取組みの一環として、関東農政局赤城西麓農業水利事業所において導入された「ダクタイル鋳鉄管の特殊押輪継手」について報告するものである。

従来からパイプラインの屈曲部には、鋼管等の

曲管を製作し、スラスト力に対応するためコンクリートで巻き立てたスラストブロックを施工してきた。しかしながら、スラストブロックなどの重量構造物が地震時にパイプとの位相差を起こして継手部分の抜け出しが生じるケースがあるなど、水源から末端の圃場に至るパイプライン全体系の中で、曲管部分は大きなウィークポイントとなっている。



\*関東農政局土地改良技術事務所

図-1 ダクタイル鋳鉄管特殊押輪継手施工位置図

また、スラストブロック施行においては、コンクリート養生等に長い日数を要し、工事期間に影響があるなどの施工上の課題もあった。

屈曲部が多く、かつ、設計水圧も大きいダクタイル鋳鉄管を用いたパイプライン工事において、このような課題を解決するための対応方策として近年開発されたダクタイル鋳鉄管の弓形爪を用いた継手離脱防止継輪（特殊押輪継手）を使用し、曲管部の曲げ接合水圧抜け出し試験により特殊押輪継手の性能を確認した上で、工期の短縮・開口期間の短縮及び経済的な事業執行を図った事例について記述する。

## 2. 工事の概要

本工事は管径200mm、施行延長約2,000mの管水路工事である(図一1)。施工区間は山間部地域の道路に埋設することから屈曲部が多くまた設計水圧は8～19kg/cm<sup>2</sup>となっている。また、道路下埋設を行っていることから、生活道路を通行止めに出来ない状況である。このため道路の開口期間を最小にする必要がある。

工事の主要諸元は次のとおりである。

管水路延長	L=2,170m
管種	ダクタイル鋳鉄管
管径	φ200
設計水圧	8～19kg/cm <sup>2</sup>
IP個所	22個所
鉛直・分岐・バルブ個所	5個所

## 3. ダクタイル鋳鉄管の特殊押輪継手採用経緯

### (1) 比較工法

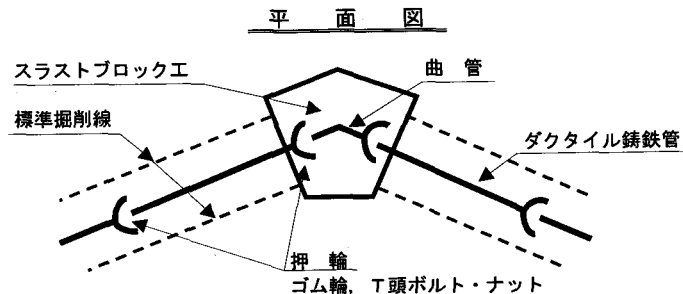
今回検討した工法として、①従来形工法としてのコンクリートによるスラストブロック工法(図一2)、②弓形爪を用いた特殊押輪継手工法(図一3)の2種類について経済性・施工性・工期を比較し考慮した。なお、曲管製作は共通であること、及び土の掘削埋戻しの工事費について工事費に占める割合が小さいので考慮しないものとした。

工事費試算の前提は、以下のとおりとした。

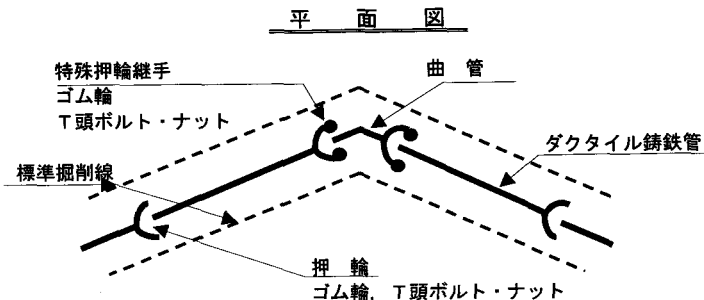
管径φ200、曲り角度(5ケース)15°・30°・45°・60°・90°

### (2) 比較検討

比較工法の経済性を検討した結果は、(表一1)に示すとおりである。この試算結果から本施工区



図一2 ①コンクリートスラストブロック工法(平面図)



図一3 ②特殊押輪継手工法(平面図)

表-1 スラストブロック工法と特殊押輪継手工法の直接工事費の試算

管 径	曲 管 (曲り角度)	スラストブロック工 金 額 (円)	特殊押輪継手工法	
			金 額 (円)	押輪使用数
φ200	15°	22,000	11,000	2 枚
	30°	22,000	17,000	3 枚
	45°	33,000	22,000	4 枚
	60°	33,000	28,000	5 枚
	90°	34,000	33,000	6 枚
コンクリート型枠・打設・脱型		8 日	0 日	

間において通常の敷設条件を想定した場合、どのケースにおいても特殊押輪継手を採用した方が経済的となった。また、特殊押輪を用いた場合コンクリート打設がないのでコンクリート養生日数が不要となるなどの施工性の面でも有利である。

以上のことから今回、本施行区間における曲管部の設計・施工は、経済性及び施工性に優れている弓形爪を用いた特殊押輪継手工法を採用した。

#### 4. 特殊押輪継手の構造・設計の考え方

##### (1) 構造の概要

ダクタイル鋳鉄管の離脱防止として従来から押輪が使われてきたが、今回使用する弓形を用いた特殊押輪継手は、ロックリング(弓形爪)が挿入管に食込み、水圧により管が抜出ようとする力を利用して拘束力を得る構造である。

特徴として、次の事項があげられる。

- ①弓形爪の食込みは、押しボルトの先端を支点とするレバー運動により行われる。

- ②弓形爪の刃先は、管外面のほぼ全周にわたり接触するために局所的に過大な力が加わらず応力は均等に配分される。

- ③弓形爪の食込みは、管に一定以上の深さ以上に食込まない。このことより管に、影響がある損傷を与えない。

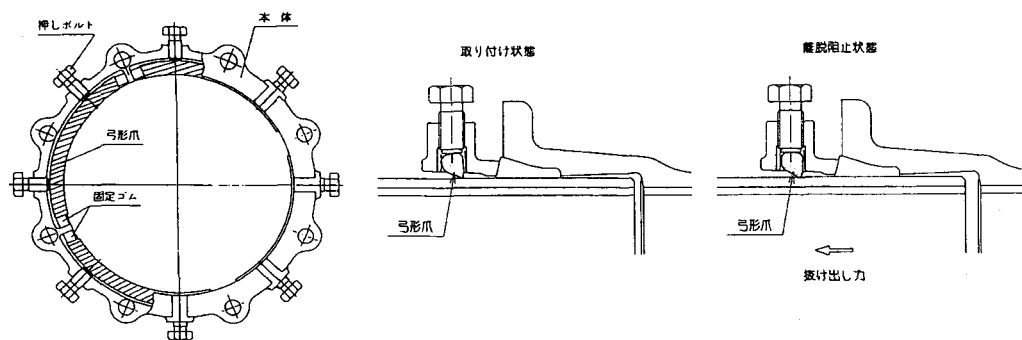
##### (2) 設計の考え方

特殊押輪継手によるスラスト力に対する考え方は、管屈曲部と特殊押輪により繋がれた前後の管により、曲管部に生じるスラスト力を相殺する地盤の拘束力に見合う有効長さを算出し、その有効長さが確保できる個所ではスラストブロックが不要となる。

本施行区間における設計事例を次に示す。

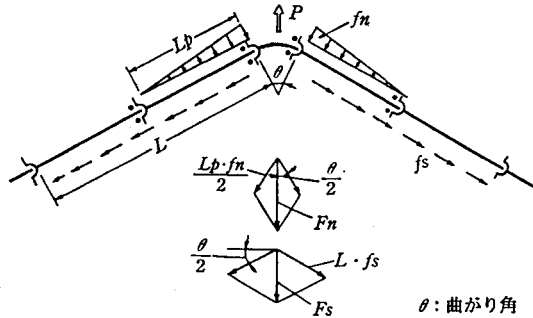
##### 1) 適用できる管路

使用水圧(静水圧+水撃圧)が許容水圧以下であること。ここで言う許容水圧とは、実験で求めた限界水圧に安全率(2以上)を見込んだ値である。

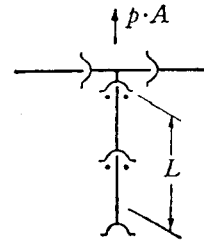


呼び径(mm)	爪数(個)	爪周方向長さ(mm)	爪接触率(%)	備 考
φ 2 0 0	3	1 9 5	8 3	

特殊押輪継手の構造図



参考図 水平曲管に使用する場合



T字管に使用する場合

2) 一体化長さ (使用個数) 計算方法

① 水平曲管に使用する場合

曲管に作用するスラスト力に対し、曲管に隣接した直管1本分の受動土圧抵抗力と一体化長さ分の摩擦抵抗力が作用するものとする。

a. 水圧によるスラスト力 P

$$P = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin(\theta/2) \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

p : 水圧

A : 管断面積 ( $= \frac{\pi}{4} \cdot D^2$ , D : 管の実外径)

b. 周面摩擦力による合力  $F_s$

$$F_s = 2 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot L \cdot f_s \dots\dots\dots (2) \text{式}$$

$f_s$  : 単位長さ当たりの摩擦抵抗力

$$f_s = \mu \cdot \gamma \cdot H_c \cdot \pi \cdot D$$

$\mu$  : 管と土との摩擦係数

$\gamma$  : 土の単位体積重量

$H_c$  : 管芯までの土被り ( $= h_1 + \frac{D}{2}$ ,  $h_1$  : 管頂までの土被り)

L : 管路一体化長さ

参考 管と土の摩擦係数

地盤の種類	摩擦係数 ( $\mu$ 値)	
	土と鉄管	ポリエチレンスリーブ被覆時
硬い地盤	0.5	0.4
中位の地盤	0.4	0.3
軟弱地盤	0.3	0.2

c. 直管部の受動土圧による合力  $F_n$

$$F_n = 2 \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot L_p \cdot f_n \cdot \frac{1}{2} \dots\dots\dots (3) \text{式}$$

$f_n$  : 単位長さ当たりの受動土圧抵抗

$$f_n = \frac{1}{2} \cdot C_e' \cdot \gamma \cdot (h_2^2 - h_1^2) \cdot R$$

$C_e'$  : 土の内部摩擦角

$$C_e' = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})$$

$\phi$  : 土の内部摩擦角

$h_2$  : 管底までの土被り

$h_1$  : 管頂までの土被り

R : 円形断面による低減率  $R = 1/2$

$L_p$  : 曲管に隣接する直管1本の長さ

ただし、特殊押輪1個使用の場合 ( $L \leq L_p$ ) は  $L_p$  を L に置き換える。

d. 力の釣り合い

$$P \leq (F_s + F_n) / S_f \dots\dots\dots (4) \text{式}$$

$S_f$  : 安全率

(4)式を満足するような一体化長さを計算する。

e. 一体化長 ( $L'$ ) の計算手順

最初に(5)式で  $L'$  を計算する。

$$L' = \frac{S_f \cdot p \cdot A \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2} \cdot \mu \cdot \gamma \cdot H_c \cdot \pi \cdot D + \frac{1}{4} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot C_e' \cdot \gamma \cdot (h_2^2 - h_1^2) R} \dots\dots\dots (5) \text{式}$$

(5)式で求めた  $L'$  が  $L' \leq L_p$  のときは  $L'$  が求める一体化長さである。

また、 $L' > L_p$  のときは(6)式により L を計算する。

$$L > \frac{S_f \cdot p \cdot A \cdot \sin \frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot L_p \cdot C_e' \cdot \gamma \cdot (h_2^2 - h_1^2) R}{\sin \frac{\theta}{2} \cdot \mu \cdot \gamma \cdot H_c \cdot \pi \cdot D} \dots\dots\dots (6) \text{式}$$

② T字管に使用する場合

分岐管路にのみ離脱防止金具を使用する場合の一体化長さ L の計算は(7)式による。

$$L \geq \frac{S_r \cdot p \cdot D}{4 \cdot \mu \cdot \gamma \cdot (H + \frac{D}{2})} \dots\dots\dots (7) \text{式}$$

3) 計算事例

IP12-22の曲管部について、計算事例を示す。  
計算条件]

管径：φ200(管の実外径D=220mm) (A=380 cm<sup>2</sup>)

水圧：p=8.2kgf/cm<sup>2</sup>

土被り：H=124cm (Hc=135cm (124+22/2))

土の単位体積重量：γ=0.0014kgf/cm<sup>3</sup>

管土の摩擦係数：μ=0.5

土の内部摩擦角：φ=10°

管曲り角度：θ=90°

安全率：S<sub>r</sub>=1.5°

$$Ce' = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) = \tan^2(45^\circ + \frac{10}{2}) = 1.4$$

(5) 式により

$$L' = \frac{S_r \cdot p \cdot A \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2} \cdot \mu \cdot \gamma \cdot Hc \cdot \pi \cdot D + \frac{1}{4} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot Ce' \cdot \gamma (h_2^2 - h_1^2) R}$$

$$= \frac{1.5 \times 8.2 \times 380 \times \sin \frac{90.0}{2}}{\sin \frac{90.0}{2} \times 0.5 \times 0.0014 \times 135 \times 3.14 \times 22 + \frac{1}{4} \times \cos \frac{90.0}{2} \times 1.4 \times 0.0014 \times (146^2 - 124^2) \times 0.5}$$

= 3305.02 / 5.65

≒ 585cm

以上の結果をまとめると(表-2)のとおりとなる。各曲点における拘束長(有効長さ)は、最大でもL'=585cmとなり、特殊押輪により繋がれた前後のダクタイル鋳鉄管の定尺長さLP=6mと比較し、十分安全であると判断される。

なお、特殊押輪継手の許容水圧を越えた場合には特殊押輪継手とコンクリート防護を併用することになり、この場合はスラストブロックで対応したほうが経済的になる。

5. 設計上の課題

(1) 離脱に対する安全性の確認

弓形爪を用いた特殊押輪継手工法を採用する場合、従来のスラストブロック工法と比較して最も懸念される課題が離脱に対する安全性である。この課題に対応するため、次の現地試験を実施し本施工における設計条件の下で弓形爪を用いた特殊押輪の離脱に対する安全性を確認した。

①試験体：特殊押輪 (CMA型) φ200

②試験方法

(図-4)に示すように、呼び径φ200mmのA形ダクタイル鋳鉄管の継手部を5度曲げた状態で、特殊押輪(CMA型)をT頭ボルト及び押ボルト標準締付けトルクの1000kgf・cmにて取付け、特殊押輪と管の間にダイヤルゲージを3個セットし、40kgf/cm<sup>2</sup>まで管内に水圧をかけ、各圧力計毎の移動量と漏水等の異常の有無を検査した。

また、加圧後継手部を解体し、特殊押輪の爪に

表-2 特殊押輪継手による拘束長計算表 (水平)

名称	単位	IP6	IP12-22	IP13	IP14-2	IP17	IP22
管径	mm	200	200	200	200	200	200
管外径	mm	220	220	220	220	220	220
設計水圧	kgf/cm <sup>2</sup>	9.8	8.2	19.1	10.8	8.2	8.3
土被り	cm	472	124	249	124	124	124
曲管の曲り角度	°	20.7	90.0	25.4	28.0	27.0	24.7
管断面	cm <sup>2</sup>	380	380	380	380	380	380
安全率		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
土の単位体積重量	kgf/cm <sup>3</sup>	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
管と土の摩擦係数		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
土の内部摩擦角	°	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Ce'		1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
円形断面による低減率		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
拘束長 (L')	cm	108	585	435	498	371	359



よる管外面の傷について検査を行った。

### ③試験結果

以上の試験結果を（表—3）にまとめているが、移動量は最大でも3mm程度であり、また、爪の傷跡もないこと等から、本施工区間における特殊押輪継手の採用に問題がないと判断した（試験状況写真参照）。

一方特殊押輪継手の性能試験は工場でも実施されており、その結果では、 $\Phi=200\text{mm}$ の許容水圧は $40\text{kgf/cm}^2$ で本施工区間の設計水圧（ $8\sim 19\text{kgf/cm}^2$ ）と比較しても十分安全であると判断した（表—4）。

なお、工場試験における限界水圧及び許容水圧の考え方は次の通りである。

#### ア) 限界水圧

#### ・限界水圧の判定方式

a) 管内モルタルライニングに $0.25\text{mm}$ 以上のクラックが発生した場合

b) 特殊押輪本体または、弓形爪が破損した場合

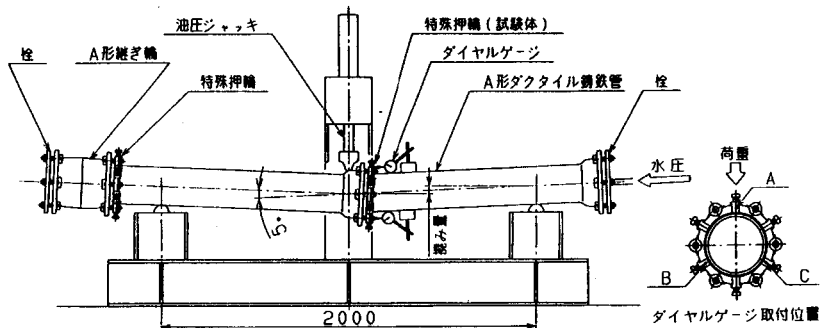
・真直接合限界水圧試験及び曲げ接合限界水圧試験とも、試験結果の最小値を限界水圧とする（ $\Phi=200\text{mm}$ の試験回数20回）。

#### イ) 許容水圧

許容水圧は真直接合限界水圧及び曲げ接合限界水圧の小さい方の値の1/2（安全率2以上）を許容水圧とする。

#### (2) 特殊押輪設置歩掛

特殊押輪継手は、K型継輪に比べてボルト数及び弓形爪が多くあり作業工数は必然的に多くなる



図—4 試験状態立面図

表—3 試験結果一覧表

水 圧 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	移動量 (mm)		
	ダイヤルゲージ		
	A	B	C
5	0.04	0.02	0.06
10	0.16	0.11	0.19
15	0.53	0.39	0.47
20	1.27	0.97	0.86
25	1.79	1.39	1.25
30	2.25	1.76	1.62
35	2.66	2.09	2.00
40	3.08	2.35	2.35
水圧除去後	1.81	1.43	1.22
異常の有無	漏水なし。異常なし		
爪の傷跡	傷跡はない。モルタル層の損傷なし		

表一 特殊押輪の限界水圧及び許容水圧表

呼び径 mm	真直接合試験 限界水圧 kgf/cm <sup>2</sup>	曲げ接合試験 限界水圧 kgf/cm <sup>2</sup>	許容水圧 kgf/cm <sup>2</sup> (安全率 2)
75	80以上	80以上	40
100	"	"	"
150	"	"	"
200	"	"	"
250	74	74	37
300	70	70	35
350	57	59	28
400	53	51	25
450	46	47	23
500	42	41	20
600	36	36	18
700	32	32	16
800	28	28	14
900	26	26	13
1000	22	22	11
1100	20	20	10
1200	18	18	9
1350	16	16	8
1500	14	14	7

注) メーカー試験結果

ことが想定される。「平成8年度水道事業実務必携」では、メカニカル継手歩掛補正の考え方が記載されているが、農業用水としての導入実績が少ないことから、歩掛調査を行い補正の考え方を検討する必要がある。

本施行区間における特殊押輪継手施行における作業項目とその歩掛を5ヶ所(屈曲部)8セットで調査した結果を(表一5)にまとめる。

データ数が少ないため、本歩掛調査が妥当なものであるかについては、今後の更なる調査データの収集が必要となるものの、従来のスラストブロック工法と比較して、曲管部の施行で7日もの工期短縮が可能となるものと想定され(表一6)、今回の施工において作業員が不慣れであったことを考慮すれば、施工工期はさらに短縮できるものと考えられる。

また、労務配置は特殊作業員・普通作業員とも0.1042人/セットとなり、また施工性については、特殊押輪継手の施工時間が平均50分/セット(φ200)であった。

## 6. おわりに

管水路の敷設位置については、近年の都市近郊地域での耕地下への埋設は地権者感情等からますます難しくなり、道路下への管敷設が多くなって来ているが、道路の長期間の交通規制が困難なことから、工期の短縮を考慮する必要があると増している。

表一 5 歩掛調査結果一覧表

歩掛調査項目	実 績		調査歩掛集計 (分)								
	労務配置	計算式	IP4a	IP4b	IP8a	IP8b	IP17	IP22a	IP22b	IP23	平均
①本管及び特殊押輪等の清掃	R1=0.0063人 R2=0.0063人	3分÷480 =0.0063	5	3	5	3	3	2	3	3	3
②滑剤の塗布	R1=0.0042人 R2=0.0042人	2分÷480 =0.0042	2	2	2	2	2	2	2	3	2
③特殊押輪のセット	R1=0.0271人 R2=0.0271人	13分÷480 =0.0271	10	10	15	10	12	15	18	10	13
④T頭ボルトの締め付け	R1=0.0333人 R2=0.0333人	16分÷480 =0.0333	20	21	15	20	17	10	10	17	16
⑤押しボルトの締め付け	R1=0.0333人 R2=0.0333人	16分÷480 =0.0333	20	18	16	20	10	20	15	7	16
合 計	R1=0.1042人 R2=0.1042人	上記の計	57	54	53	55	44	49	48	40	50

注) 労務歩掛=平均作業時間÷基本給対象時間(480分)

R1: 特殊作業員, R2: 普通作業員

表-6 比較工程表

工種	工程(日)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12												備 考
特殊 押輪 の 場合	基礎工～配管	●●●●●												若干違うが同じとする
	特殊押輪(4セット)		■	特殊押輪 1日(1セット当り0.10日/人)										1日
	埋戻し		●●●●●											若干違うが同じとする
スラスト ブロッ クの 場合	基礎工～配管	●●●●●												若干違うが同じとする
	型枠		■											1日
	生コン打設		■											1日
	養生			■										5日
	脱型								■					1日
	埋戻し									●●●●●				
全体		●●●●●	■				スラストブロック 8日		●●●●●					

このことから、特殊押輪継手等により管布設後直ちに埋戻し作業を実施し交通開放できる工法が益々求められてくる事が予想される。

特殊押輪により施工することは、次のような効果がある。

- ①管水路の屈曲部が多くなるとスラストブロック工部で工期に影響が発生するがスラストブロック工に要する日数のほとんどが短縮できる。
- ②スラストブロック等による不連続性がなくなり管敷設が連続的に実施できるため、1日当たり施工量の施工性が向上する。
- ③工事費の縮減が図られる。
- ④工期短縮は、交通整理員費用の縮減、地元感情の緩和等の二次的な効果が期待できる。

従来の押輪に対して、今回の施行条件下で弓形爪を用いた特殊押輪継手は ①安全・確実、高い離脱阻止力に対応できる ②ボルト締付けは低トルクで十分に機能を発揮する ③管内のモルタルライニングに損傷を与えない ④曲げに対しても管に損傷を与えない等の効果を確認した。今後、管屈曲部などのスラスト力のかかる場所及び管離脱が想定される個所に利用が図られるものと思われる。

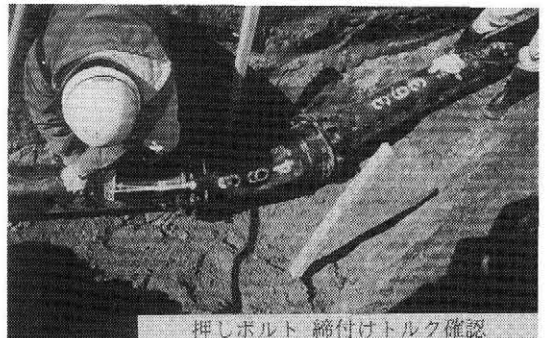
参考文献

- 1)「厚生省監修 水道施設設計指針・解説(1990) 日本水道協会」P410～

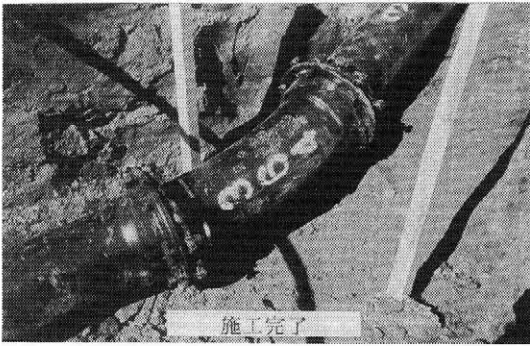
施行写真



押しボルト締付け状況



押しボルト締付けトルク確認



施工完了

施工完了

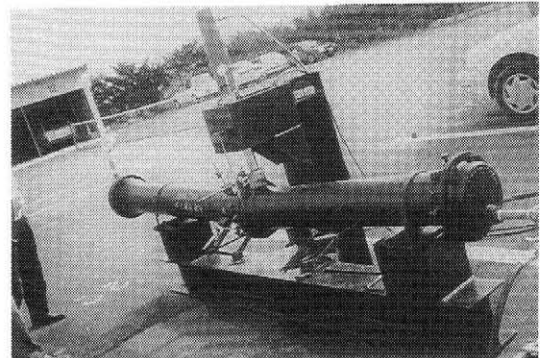


真直接合試験

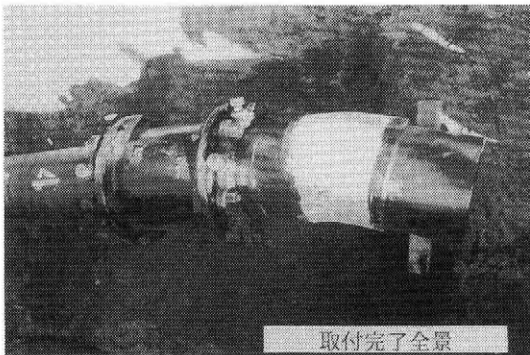


T頭ボルト 締付けトルク確認

T頭ボルト締付けトルク確認



曲げ接合試験



取付完了全景

取付完了全景

## 再生アスファルト舗装

西山 浩一\*  
(Koichi NISHIYAMA)

目	次
1. はじめに .....	56
2. 本県の再生資材使用についての取組み .....	56
3. 再生資材の製造工程 .....	57
4. 兵庫県での中間処理施設の設置状況 .....	58
5. 実績調査試験項目及び方法 .....	59
6. 実証調査結果 .....	60
7. おわりに .....	61

### 1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、兵庫県では多量の再生資源（建設副産物）の発生が予見されたため、県の方針として再生資源は再資源化施設（中間処理施設）にて再処理し、再生資材として利用することを原則として、最終処分地（埋立処分地）への搬出は最小限に留めるとともに、発生工事現場における再生資源の分別収集の徹底が図られた。

この結果、今まで再生資材の需要があるにも係わらず、供給のバランスがとれずにいた地域においての安定供給が可能となるとともに、各種の再生資材についての品質も向上した。この時期を境に、本県の農道整備事業において再生加熱アスファルト合材を使用する地域も広がり、積極的な利用がなされるようになったことについて検証し、今後の課題を検討する。

### 2. 本県の再生資材使用についての取組み

兵庫県における農業農村整備事業での再生資材の使用は、平成3年4月26日付けにて公布された「再生資源の利用の促進に関する法律」(平成3年法律48号)の主旨をふまえ、その利用について積極的に検討してきたところである。

検討の結果は、再生資材使用の運用基準として、土地改良事業に携わる技術職員が再生資材を使用する場合の手引書として整理された。

その内容は次のとおりである。

#### (1) 再生資材の使用について

##### ①再生資材の単価について

再生資材等の単価については、県の積算単価表による。

##### ②再生資材の適用範囲

舗装の表層、基層に再生加熱アスファルト合材等を使用する場合は、材料承認願いに必ず最新の必要な各試験結果を添付させること。

##### ③品質管理

再生資材の品質およびその管理は、(社)日本道路協会編「プラント再生舗装技術指針」によるものとし、その他の事項については原則としてアスファルト舗装要綱等の基準を満足するものとする。

#### (2) 再生骨材の種類

再生骨材には、アスファルトコンクリート舗装発生材を機械破砕または熱破砕して作ったアスファルトコンクリート再生骨材と、セメントコンクリート舗装発生材等を機械破砕して作ったセメントコンクリート再生骨材とがある。

#### (3) 再生骨材の利用用途

再生骨材のうちアスファルトコンクリート再生骨材は主に、再生加熱アスファルト混合物および再生路盤材の骨材として、セメントコンクリート再生骨材は、再生路盤材の骨材として使用できる。

#### (4) 再生資材の分類

再生資材は、再生路盤材と再生加熱アスファルト合材とに分類される。

##### ①再生路盤材は、アスファルトコンクリート再

\*兵庫県農林水産部農地整備課

生骨材，セメントコンクリート再生骨材及び路盤再生骨材を単独または相互に組合せ，必要に応じてこれに補足材を加えて，所要の品質が得られるように調整した路盤材をいい，再生クラッシャーラン，再生粒度調整碎石，再生セメント安定処理路盤材がある。

②再生加熱アスファルト合材は，アスファルトコンクリート再生骨材に所定の品質が得られるよう必要に応じて補足材，舗装用石油アスファルト等を加えて加熱混合したものをいい，再生粗粒度アスファルト合材，再生密粒度アスファルト合材等及び再生加熱アスファルト安定処理路盤材がある。

(5) 再生資材の利用に関する基準（参考）  
道路工事における再生資材の利用については，再生骨材，再生加熱アスファルト合材の区分に応じて利用できる用途は（表－2）のとおりとする。

(6) 再生資材使用における留意事項

- ①設計にあたっては，可能な限り再生資材を使用することとするが，供給および品質管理等に支障が生じた場合は，請負者と協議のうえ新規資材に変更できることとする。
- ②再生クラッシャーランのうち，セメントコン

クリート舗装発生材等を原材料とするものについては，モルタル分の付着により，浸透・透過水が強アルカリを示す場合がある。

③再生クラッシャーランのうち，アスファルトコンクリート舗装発生材を原材料とするものについては，アスファルト分の付着により，温度が20°Cから40°Cに上昇すると，修正CBR値が10程低下する傾向があるので，別途資材との混合を検討する必要がある。

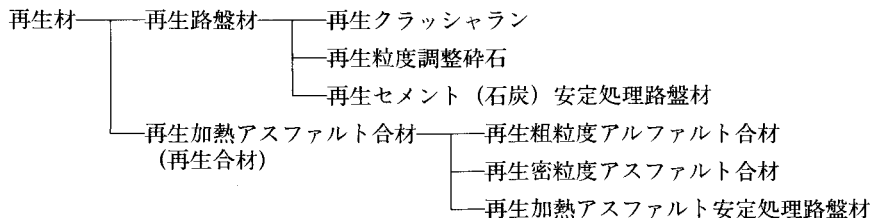
④特別仕様書等により，条件明示すること（表－3）。

### 3. 再生資材の製造工程

現場発生したアスファルトコンクリート発生材，セメントコンクリート発生材及び路盤発生材は，再生路盤材混合所や再生アスファルト混合所などの中間処理施設に搬入され，再生資材として出荷される。

再生路盤材混合所に搬入された上記発生材は，プラント内で破碎の工程に送られるものと，そのまま再生クラッシャーランとして出荷されるものに一時選別される。破碎の工程に送られた発生材は大割りを行う一次破碎と，さらにこれを小割り

表－1 再生資材の分類



表－2 再生資材の利用に関する基準

再生材	利用用途
再生クラッシャーラン	道路舗装及びその他舗装の下層路盤材料 土木構造物の裏込材及び基礎材 建築物の基礎材
再生粒度調整碎石	その他舗装の上層路盤材料
再生セメント安定処理路盤材料	道路舗装及びその他舗装の道路材料
再生石灰安定処理路盤材料	道路舗装及びその他舗装の路盤材料
再生加熱アスファルト安定処理合材	道路舗装及びその他舗装の上層路盤材料
表層基層用再生加熱アスファルト合材	道路舗装及びその他舗装の基層用材料及び表層用材料

注 (1) この表において「その他舗装」とは，駐車場の舗装及び建築物等の敷地内の舗装をいう。

(2) 道路舗装に利用する場合においては，再生骨材等の強度，耐久性等の品質を特に確認のうえ利用するものとする。

表一3 特別仕様書の記載例

再生切込砕石について

下層路盤に使用する材料は、下記の再生骨材業者が生産する再生切込砕石（40～0mm）とし、請負者は施工にあたって、監督員の承諾を受けなければならない。

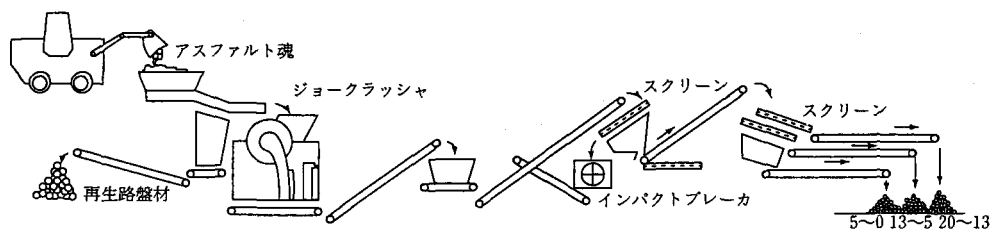
1. ××興業所
2. ㈱○○商店
3. ㈱△△△△資材
4. □□工業

なお、再生切込砕石の品質管理基準は次表のとおりとする。

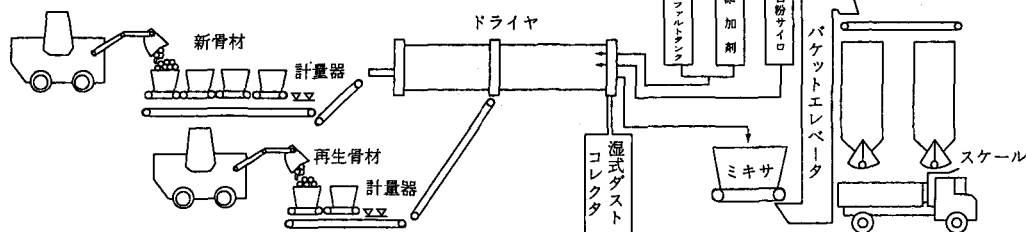
修正CBR (%)	PI (塑性指数)	すりへり減量	粒 度
30以上	6以下	50%以下	○○○

また、再生切込砕石は、複数の原材料により生産されるが、アスファルトコンクリート塊を原材料とするものの混合割合は、重量比60%以下とする。

アスファルト塊解砕プラント



再生アスファルト合材プラント



図一1 再生アスファルト混合所の作業フロー

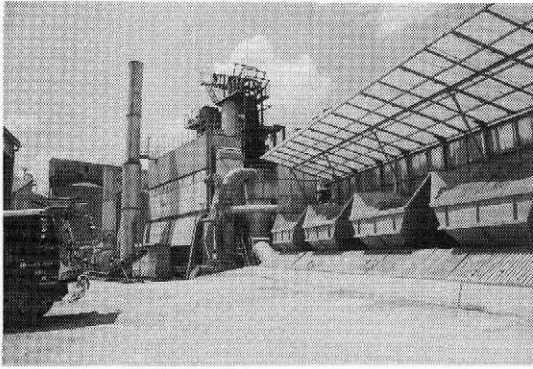
する二次破碎の工程を経て、ふるいなどによって所定の粒度の骨材にふるい分けられ、所定の配合に基づき補足材等を加えて路盤材として出荷される。

再生アスファルト混合所に搬入されたアスファルトコンクリート発生材も、プラント内で破碎の工程に送られるものと、そのまま再生クラッシャーランとして出荷されるものに一時選別される。残りは上記と同様の工程を経てアスファルトコン

クリート骨材として、通常20～13mm、13～5mm、5～0mmの3種類の骨材として再生された後、再生アスファルト専用ドライヤで、補足材等を加えて規格にあったアスファルト合材として再生され、出荷される。

4. 兵庫県での中間処理施設の設置状況

農業農村整備事業で発生した建設副産物の処理については、平成3年度の法律制定より県下全域



写真一 再生アスファルト混合所プラント



写真二 再生資材と再生骨材

で中間処理施設の設置がなされたため現在では、県下全域の土地改良事務所管内において処理場への搬出は可能となっている。これに伴い再生クラッシャーランは安定した供給が行われており、土木構造物の基礎材料や、農道整備事業での下層路盤材としての利用が図られている。

しかし、農道整備事業において、再生加熱アスファルト合材を安定して使用している地域は、神戸・三木・社・姫路の県南部を中心とした4管内であり、他の地域では使用は可能であるが供給が

安定していないのが現況である。

平成8年度の農道整備事業において再生加熱アスファルト合材を導入した地域と、近傍の再生アスファルト混合所の位置関係を再生ASプラント位置図に示した。

### 5. 実績調査試験項目及び方法

本県で実施する農道整備事業等について、全ての地域で再生資材の活用が図れるかを現状の分析をすることによって、その問題点を整理するため



図二 再生アスファルト混合所の県下所在位置



以下の項目について検証調査をした。

(1) 再生アスファルト混合所の供給状況

平成8年度の農道整備事業における再生資材の利用実態を調査し、今後の普及を図るための問題点を整理する。

(2) 品質の確保

平成8年度に実施された再生アスファルト舗装工事において、受注者より提出された材料承認額により品質のチェックを行うとともに、どの程度安定した品質の出荷が行われているかを検討する。

(3) 材料単価

県下4地域における建設物価調査(土木部実施)単価の推移を検討し、安定供給の継続が可能かどうかを検討する。

(4) 他地域への波及効果

今後実施される農業農村整備事業において、再生加熱アスファルト合材の使用の見込みを検討する。

6. 実証調査結果

(1) 再生アスファルト混合所の供給状況

現在、舗装工事で下層路盤に再生クラッシャーランを使用している地域は、県下全域に及んでいるが、平成8年度に国の新技術導入農業農村整備事業の認定を受けた再生アスファルト舗装(再生加熱アスファルト合材を使用した舗装)を実施した地域は兵庫県南部のみである。これは兵庫県南部で再生資源の供給が比較的早期から安定していたこと、平成10年4月5日の明石海峡大橋の開通に

合わせた山陽自動車道などの交通網の整備に要する需要が大量に見込まれたことなどの条件が整っていたことが、この地域の再生アスファルト舗装の普及に大きく影響している。先に図示した地域の再生アスファルト混合所からの農業農村整備事業に納入された実績は表-4のとおりである。なお、この地域の再生アスファルト混合所は5箇所あるが、平成8年度の本事業に納入した混合所は2箇所である。

(2) 品質の確保

兵庫県南部地域で平成8年度に使用した再生加熱アスファルト合材については常に最新の試験データにより品質管理されており、この地域での県営農道整備事業に提出されたアスファルト混合物配合試験成績表におけるコマースナル安定度試験結果等において、「プラント再生舗装技術指針」の基づいた試験練結果等が得られている。

(3) 材料単価

再生加熱アスファルト合材の単価については、使用頻度の高い密粒度アスコン(13)を例に取ると、兵庫県南部(神戸・三木・社・姫路竜野)、丹波(篠山)、但馬(和田山・豊岡)、淡路(洲本)で表-5のようになる。なお、淡路については再生加熱アスファルト合材は製造されていない。

このことから分かるように、安定供給されている地域に於いては、新材より安価である。

(4) 他地域への波及効果

再生アスファルト舗装のプラントは平成6年度より徐々に普及してきており、農道整備事業にお

表-4 再生加熱アスファルト合材の使用実績

業者名	A建設	B建材
納品地区および平成8年度実績	小野中央・小野東2期(社管内) 3,100 t	細川(三木管内) 560 t
その他事業での平成8年度実績	団体営農道事業 3,000 t(推定)	県営ほ場整備事業 1,900 t

\* 団体営農道整備事業については、施工総延長より数値を推定した。  
上記以外に土木部工事にも使用されており、供給は安定していると考えられる。

表-5 平成8年度 密粒度ASアスコン(13)単価  
(単位:円/m<sup>3</sup>)

地域名	兵庫県南部	丹波	但馬	淡路
新材	7,300	7,700	8,500	8,700
再生材	7,000	7,300	8,500	—

表一六 平成7年度からの密粒度ASアスコンの使用量（延長より推計）

地域名	兵庫県南部	丹波	但馬	淡路
平成7年度 (再生材)	4,100 t (4,100 t)	350 t ( 0 t)	2,100 t ( 0 t)	900 t ( 0 t)
平成8年度 (再生材)	5,600 t (5,600 t)	2,700 t ( 0 t)	2,800 t ( 0 t)	3,000 t ( 0 t)

ける再生加熱アスファルト合材の使用量は、全体の使用量に比較して大きなウエイトを占めるようになっている。現在では兵庫県南部地域の需要に対しては供給可能な状態まで整備されていると考えられる。

表一六に現れるように、今後県下全域で安定した供給が可能になれば、すべての農道事業について導入が期待できる。

## 7. おわりに

今回の検証等で得られたことをまとめると、以下のことがいえる。

①新技術導入対象の3地区の需要に対し、品質の安定した再生アスファルトの供給が実証され、また今後の安定供給の可能性を見出すことがで

きた。

- ②現在兵庫県南部地域においては、各再生アスファルト混合所のプラント整備の普及とともに価格も安価安定する向きを示しているが、物価変動の大きな資源でもあり、今後継続して調査する必要がある。
- ③一方兵庫県北部地域においては、再生アスファルト混合所のプラントは存在するが供給能力の実態が明らかでない。
- ④淡路地域については、供給そのものがなされていない。(平成9年度より、一部地域で供給が可能となっている。)
- ⑤今後兵庫県下の農道舗装について、特に兵庫県北部地区などで、再生加熱アスファルト合材の供給状況・価格の両面から検討する必要がある。

# 推進工法における地域環境適応型の施工方法

鈴木 扛 悦\*  
(Kouetsu SUZUKI)

## 目 次

1. はじめに .....	62	5. 工事結果 .....	64
2. 工事概要 .....	62	6. 調査結果 .....	65
3. 設計概要 .....	63	7. おわりに .....	68
4. 調査方針 .....	63		

### 1. はじめに

この事業は、北海道の中央、十勝岳山麓の波状地形に拓けた上川郡美瑛町及び空知郡上富良野、中富良野の3町にまたがる畑地帯に位置し、農業の近代化、農業経営の安定を図るため、国営しろがね地区畑地帯総合土地改良パイロット事業（受益面積8,590ha）を実施するものである。

### 2. 工事概要

しろがね地区に係る畑地かんがい管水路は、総延長325kmにおよぶ膨大な施工延長を有している。施工区間には道路や、河川の横断及び市街地を通

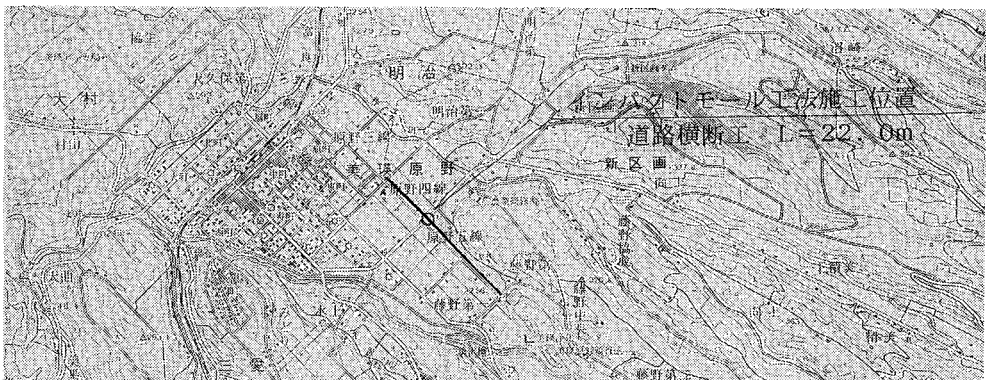
過する箇所が多く、この区間においては、従来の地表開削工法を採用できない箇所もあることから、大口径推進工法により施工する必要がある。

配水系かんがい用水路のうち、北瑛第1号配水幹線用水路の全体計画は延長16kmを施工するもので、この施工区間には、一部市街地を通過する所もあることから、一般町民に支障の起らないよう安全かつ、環境保全や経済性に優れた推進工法の開発を行う必要がある。

当該工事区間では、用地の確保が可能な区間については地表開削工法、一般車両の往来が頻繁な道路横断部は推進工法による施工で、技術開発も含めて行うものである。

表一1

	施 工 延 長	予 算 額
全 体 工 事	北瑛第1号配水幹線用水路 L≒15,600m	1,820,000千円
平成8年度	北瑛第1号配水幹線用水路 L≒1,150m	260,000千円



\*北海道開発局農業水産部農業設計課

図一1 位置図

### 3. 設計概要

経済的な大口径の施工実績が少ないため、技術開発では配水路施工において、インパクトモール工法を採用し、振動、騒音、地盤沈下等、周辺環境への公害の影響及び機械設備（仮設）の省力化、工期の短縮化を総合的に検証して、今後の市街地通過工事（約1.4km）などにおける有効で低廉な地域環境適応型の工法を検討するものである。

#### (1) インパクトモール工法の概要

インパクトモールは圧搾空気を原動力として、ピストンを作動させボディーに連続的に衝撃を与えることにより、推力を与え自動的に地中を進むコア式貫孔機である。

#### [主な特徴]

- ①経済性～ 機械設備が小さく反力板（バックテンション）が不要で工期も短くて済む。
- ②環境性～ 工事による地上の交通しゃ断や、

道路等構造物に支障なく、かつ、地盤をゆるめることなく施工が可能である。

- ③施工性～ 取扱いが簡単で応用範囲が広い。岩以外で、管径2/3以内の転石がある場合でも適用できる。（管の方向制御は不可）

地下水の影響をほとんど受けずに施工が可能。（立坑部を除く）

#### (2) 新技術の調査

- ・騒音、振動、地下水等の周辺環境への影響。
- ・推進管の方向制御。
- ・工期の短縮化及び工事の安全性と経済性。

### 4. 調査方針

#### (1) 騒音

- ・立坑から15m離れた工事敷地境界点（No.1）及び41m離れた建物（No.2）において測定。測定方法は、JIS Z 8731に定める騒音レベル

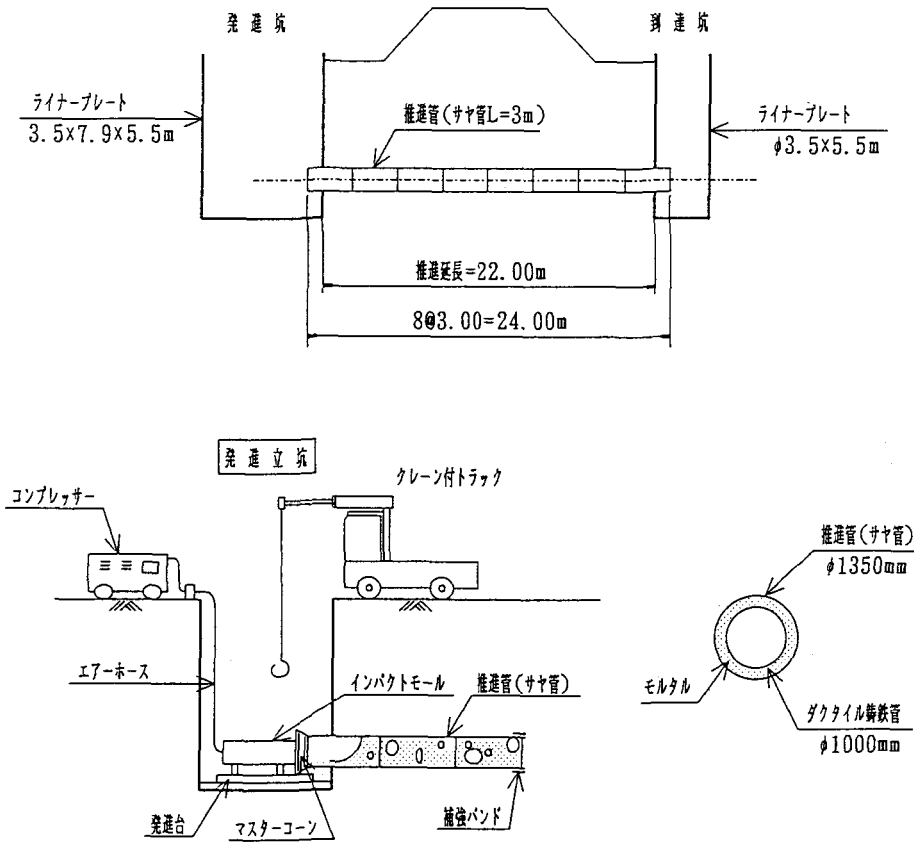


図-2 施工図

ル測定方法により、騒音計から直接レベルコーダーに記録。

- ・ 騒音規制法による工事敷地境界点 (No.1) の規制値85dB (A) 確認。  
(聴感覚正回路はA特性)

(2) 振 動

- ・ 工事敷地境界点 (No.1) び建物 (No.2) において測定。

測定方法は、JIS Z 8735 に定める振動レベル測定方法により、振動加速度レベルで測定を行い、データレコーダーに採取し、振動レベルで再生してレベルコーダーに記録。

- ・ 振動規制法による工事敷地境界点 (No.1) の規制値75dBの確認。  
(方向成分は鉛直方向 (Z方向))
- ・ 環境庁目安基準による建物 (No.2) の規制値70dBの確認と共に家屋調査を平行実施し、破損の有無を確認する。(表-2)

(3) 方 向 性

- ・ 礫質土 (最大推定礫径φ80mm程度) における方向性と方向修正が可能かを検証。修正方法はジャッキ等による。

- ・ 施工管理基準による基準値 (中心線のずれ100mm, 基準高のずれ±25mm) の確認。

(4) 地 下 水

- ・ 薬液注入 (立坑) 位置から10m以内で水質調査。

試験方法は、簡易PHメーターによる現場試験及び公的機関による分析。

- ・ 水質基準による基準値PH8.6以下の確認。  
(表-3, 図-3)

5. 工事結果

(1) 施工工程

推進工事に当たっては、刃口推進工法との対比を行いつつ実施することとした。

従来工法では、地下水位の確認から薬液による注入作業と仮設に時間と費用がかかる。

(2) 結果概要

- ・ 出来高管理については、中心線のずれ及び基準高ずれと、接合間隔の管理のみとした。
- ・ 施工上の問題点として新技術工法は、推進管の周囲及び管内から少量の地下水が流出して小型排水ポンプが必要となった。

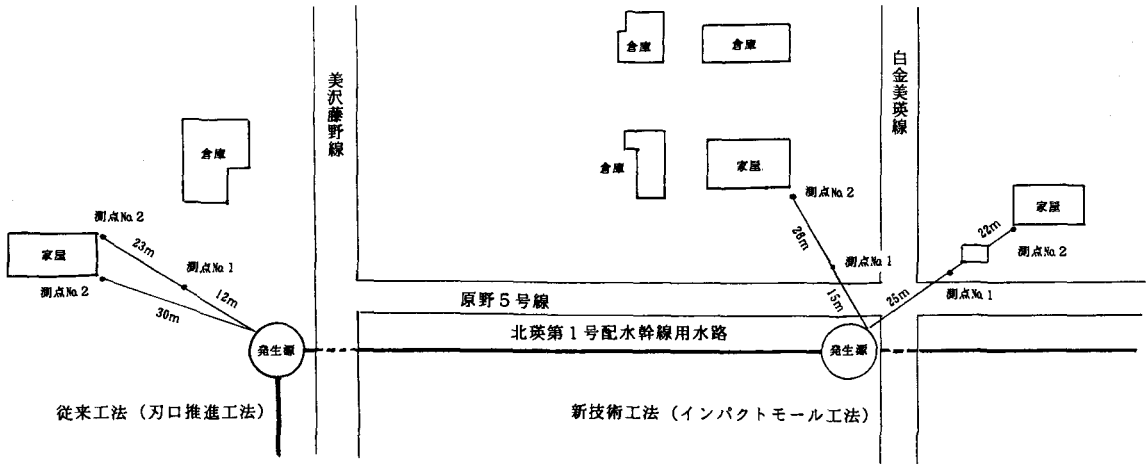
表-2

項目番号	従来工法			新技術工法			備考
	ア	イ	ウ	ア	イ	ウ	
計測項目	騒音	振動	方向	騒音	振動	方向	
計測時期							
11 月 下 旬				○	○		立坑掘削中
12 月 上 旬	○	○		○	○	○	立坑掘削・推進中
12 月 中 旬	○	○	○			○	推進中・推進完了
12 月 下 旬			○				推進完了

※従来工法～刃口推進工法      新技術工法～インパクトモール工法

表-3

調査期間	検査回数	現場試験	公的機関試験	検査項目
注入着工前	1回		○	PH
注入施工中	毎日1回	○		PH
注入完了後	2週間経過するまで 毎日1回	○		PH
	上記の内 1回		○	PH
	2週間経過後半年を 経過するまで 毎月1回		○	PH



図一3 騒音・振動測定位置図

表一4

項目	日数					備考
	10	20	30	40	50	
(従来工法) 刃口推進工法	(21)		(11)		(24)	①薬液注入工 ②発進到達工 ③推進工
	①		②		③	
(新技術工法) インパクトモール工法	(12)	(10)		(31)		①薬液注入工 ②発進到達工 ③推進工
	①	②		③		

※ 従来工法 ~ 推進延長26m, 薬液注入工 (発進・到達・管路)  
 新技術工法 ~ 推進延長22m, 薬液注入工 (発信・到達)

## 6. 調査結果

(1) 計測データを大略的にまとめる。

ア. 騒音

表一5

(単位: dB (A))

工事位置	立坑工事		推進工事	
	工事敷地境界 No. 1	建物 No. 2	工事敷地境界 No. 1	建物 No. 2
測定距離	15m	41m	15m	41m
工事騒音	70 ~ 73	62 ~ 65	72 ~ 80	58 ~ 70
環境騒音	58 ~ 64	52 ~ 58	36 ~ 46	45 ~ 54
増加騒音	12 ~ 9	10 ~ 7	36 ~ 34	13 ~ 16

上記の表から、環境騒音は工事敷地境界点 (No. 1) で58~64dB (A), 建物 (No. 2) 地点では52~58 dB (A) であった。

工事騒音は、規制値85dB (A) を満足する結果

が得られたが、工事敷地境界点が15m以下になるような場合は85dB (A) を上回ることが推定される。

イ. 振 動

表一6

(単位：dB)

工 事 位 置	立 坑 工 事		推 進 工 事	
	工事敷地境界 No.1	建 物 No.2	工事敷地境界 No.1	建 物 No.2
測 定 距 離	15m	41m	15m	41m
工 事 振 動	37 ~ 43	34 ~ 36	56 ~ 60	46 ~ 48
環 境 振 動	19 ~ 26	31	19 ~ 22	30 ~ 30
増 加 振 動	18 ~ 17	3 ~ 5	37 ~ 38	16 ~ 18

上記の表から、環境振動は工事敷地境界点 (No.1) で19~26dB、建物 (No.2) 地点では31dBであった。

工事振動は、規制値75dBを満足する結果が得られたが、一般的に人が振動を感知する限界値は55

dBとされる。超えたのは、工事敷地境界点付近で、この工法の振動に対する境界の限界距離は15m程度と推定される。

また、建物地点での振動は、規制値70dB以下で建物には影響は見られなかった。

ウ. 方向性

表一7

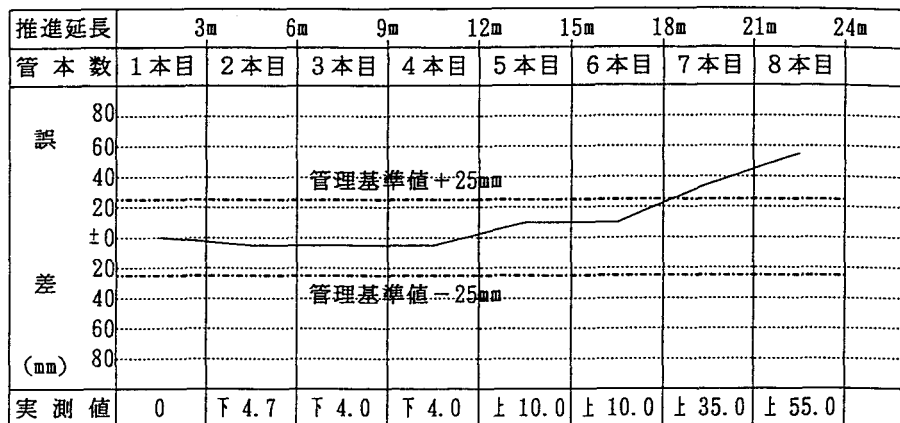
位 置	方向制御前	方 向 制 御 後		基 準 値
	制御可能地点	中間地点	到達地点	
延 長	6 m	12 m	24 m	±25mm
基 準 高	- 5 mm	-4mm	+55mm	
中 心 線	+ 5 mm	+4mm	-65mm	

※符号~基準高 (上側+ 下側-) 中心線 (右側+ 左側-)

計測データから、約18m地点までは基準値以内で、到達地点では基準値より30mm上回る結果となったが、本管(外径φ1041mm)とサヤ管(内径φ1340

mm)に管径差299mmの余裕を見込んでいたため、基準値を吸収できた。

測定成果 (方向性)



図一4 基準高

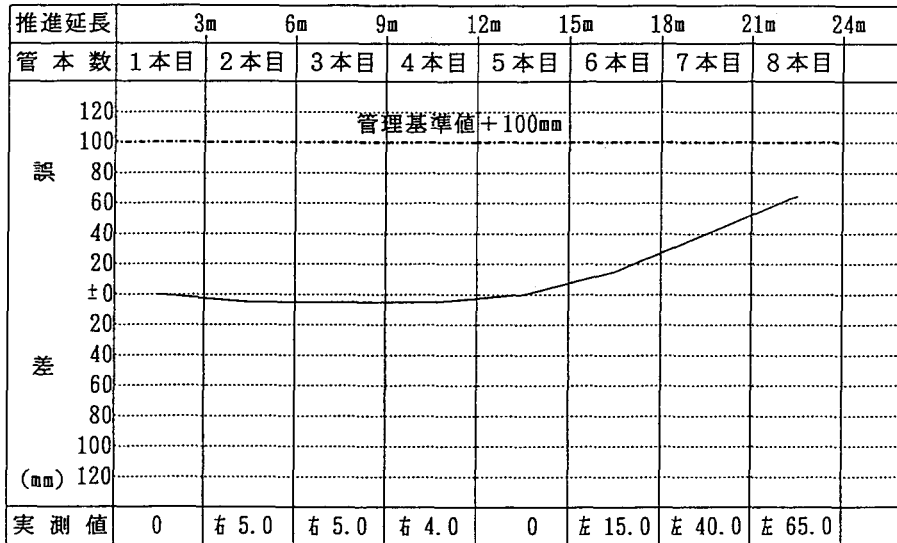


図-5 中心線のずれ

エ. 地下水

表-8

(単位: PH)

	水質	備考
注入着工前	7.2	
注入施工中	6.6 ~ 7.2	
注入完了後	7.2	2週間経過するまで
	7.0	2週間経過後

試験データから、注入前(7.2PH)、注入中(6~7.2PH)と注入完了後の水質に変化は見られなかった。

注入完了後半年間の水質については、現在継続中である。

(2) 概算工事

インパクトモール工法は、サヤ管を使用するため管材費が割高となる一方、薬液の注入は、立坑部周辺のみで良く安価となっている。

管推進費は、推進機損料費が高い。

表-9

項目	刃口推進工法	インパクトモール工法
管材料費	3,500千円	4,100千円
施工費	薬液注入費	14,000
	発進到達費	5,600
	管推進費	4,800
直接工事費計	27,900	26,300
工事費	41,100	39,000

上表から、地盤の土質にもよるが、地下水位のある場合、インパクトモール工法が有利となっている。しかし、現場条件によっては、工費の差が小さいので、逆転することもあり得る。

一般的には、小口径になるほど費用面では安価で有利な傾向を示す。



(3) 評価

表-10

項目	結果	考察	
経済性	◎	従来工法工事費4,100万円に対して200万円の安価	
工期短縮	○	日進量(1.5m)は計画(1.4m)より上回ったものの、工期は従来工法と大差なかった。	
騒音	○	規制値85dB(A)より5dB(A)下回ったが大きい。	
振動	◎	規制値75dBより大きく27dB下回った。	
方向性	基準高	△	礫質土であったため、上側に上がる傾向となったがヤサ管に余裕を見込んでいたため基準値は吸収できた。
	中心線	○	基準値100mmより35mm下回った。
	延長性	△	基準値を超えたので目的は達成されなかったが、初期に方向修正を行うことで基準値に近付けることができた。また、礫質土での推進可能距離も推定することができた。
地下水位	◎	薬液注入前と注入後の水質に変化はなかった。よって、周辺には影響はないものとする。	
安全性	◎	管内の搬出は、小口径インパクトモールでポケットを挿入し搬出。管内での人為作業はなかった。	
総合評価	○	工期の短縮化を図れなかったものの、ある程度の方向制御が可能で工事の安全性も確認でき目的は達成された。	

※ ◎……良 ○……普 △……やや不

7. おわりに

従来工法(刃口推進法)と、新技術工法(インパクトモール工法)とで工事を行った結果、上下の方向性は基準値より上回っているものの、初期段階での方向制御によって基準値に近付けることができた。

したがって、騒音、振動、地下水の汚染及び方向性には大差がなく、住民への影響や建物への影

響は見られないことから、目的は達成されたものとする。

今後の技術開発の課題として、延長の長い工事に対応するためには、方向性の精度を高めるために、誘導管(推進管の周囲に小口径管)を挿入する方法(パイプルーフ工法)、推進管に方向制御装置を設ける方法、或いは、打撃圧力を不均等に行う方法などが考えられるが、工事費など開発費用を考えると高価となる。

表-11

(参考資料) 大口径推進施工実績一覧表(インパクトモール) 平成9年9月現在

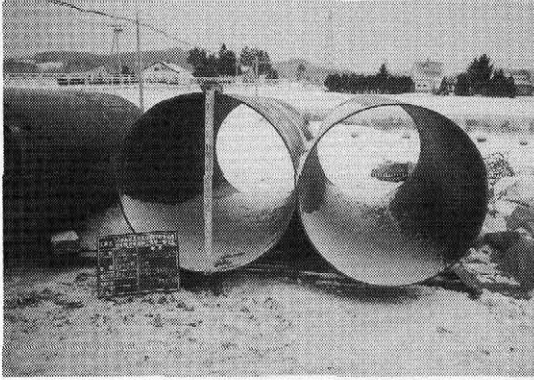
施工年月	施主	管径	推進距離	土質	備考
6年11月	登別市	φ1000	12m	砂質	本管塩ビφ500
7年1月	中国電力	φ1200	17m	シルト	
7年1月	新潟市	φ1200	20m	砂質	
7年2月	新潟市	φ1200	22m	砂質	
7年2月	立山市	φ1000	23.5m	礫層	本管塩ビφ600
7年3月	立山市	φ1000	4.5m	礫層	本管塩ビφ600
7年3月	立山市	φ1000	8.5m	礫層	本管塩ビφ600
8年11月	小樽土木現業所	φ1300	45m	礫層	老朽管更新工事
8年12月	旭川開発建設部	φ1350	24m	礫層	本管ダクタイルφ1000
9年2月	静岡市	φ1000	14m	礫層	
9年8月	札幌市下水道局	φ1000	12m	粘土	本管FRPMφ700

\*参考: φ1000mm未満は数多くの実績がある。最小径は80mmまで行える。

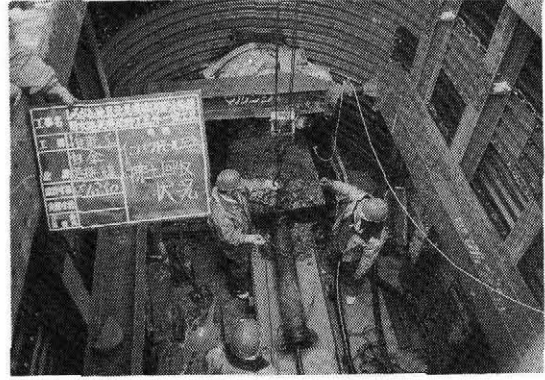
これからも、工事に当たって大口径推進工法の施工実績データの蓄積を行うなど充実を図る必要がある。また、礫質土による道内の施工例が少ない中で、貴重なデータ収集ができたことなどを検討し、地区の同種工事の採用に当たっては、管

径及び推進延長、土質等の諸条件が類似する場合は、採用して行きたいと考えている。

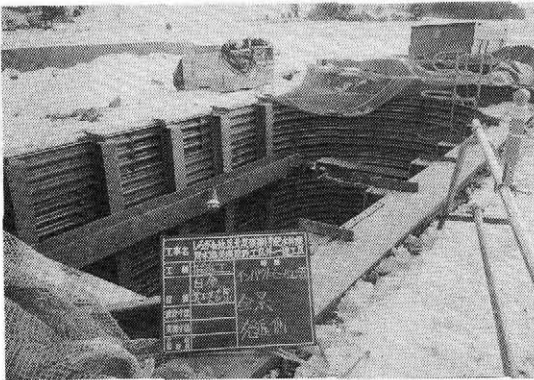
近年のコスト縮減に配慮した有効な工法として注目されるので、今後も、より良き施工を模索しながら事業を実施して行きたい。



写真—1 推進鋼管  
(サヤ管 $\phi 1,350\text{mm}$ ) 推進の都度溶接し接続する。



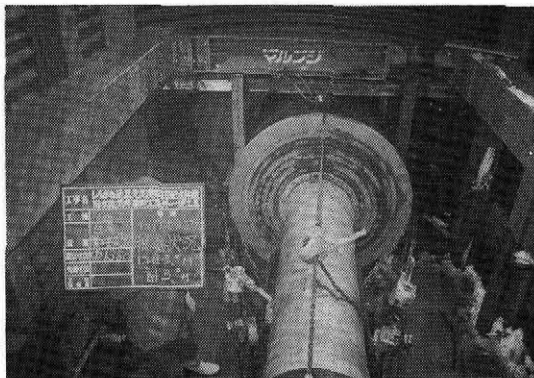
写真—4 土砂排出状況



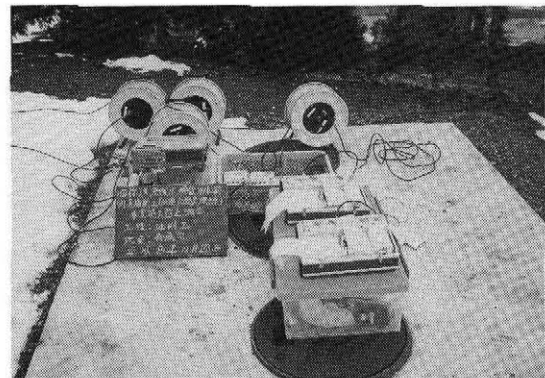
写真—2 発進坑  
(仮設は立坑とコンプレッサーのみ)



写真—5 到達坑に貫通した状況  
(後に本管DCIP $\phi 1,000\text{mm}$ を挿入する。)



写真—3 発進坑内のマスターコーンと推進機



写真—6 騒音等の調査状況

## 一般性を持つMohrの包絡線の解析法

西山 竜朗\*  
(Tatsurou NISHIYAMA)長谷川 高士\*\*  
(Takashi HASEGAWA)

## 目 次

1. はじめに .....	70	5. 信頼限界 .....	73
2. 記号説明 .....	70	6. 曲線包絡線への応用 .....	74
3. パラメータ方程式の展開 .....	71	7. おわりに .....	77
4. 直線包絡線への応用 .....	72		

## 1. はじめに

三軸圧縮試験において描かれるMohrの包絡線は、材料の種類によって直線、曲線のいずれとなる場合も存在する。一方で実用面では、Mohrの包絡線が曲線となる材料に対して便宜上近似直線を用いることも多い。しかし、材料の特性を捉える目的においては、測定値を正確に評価することが出来る近似を行うべきである。最近ではフィルダムにおけるロック材に対する場合のように曲線包絡線を用いた評価も行われ、実用面でも正確な評価が求められるようになってきている。そこで、材料試験の測定結果からせん断強度を推定する有効な手段として、Mohrの包絡線に関するBalmerの手法を紹介する。この手法は古く1952年に世に出ているが、昨今では忘れ去られているようである。

本稿におけるMohrの包絡線の方程式は、主応力をパラメータとして導かれ、包絡線を直線、曲線のいずれとして捉える問題へも応用できる一般性を持っている。Mohrの包絡線を直線、曲線のいずれとするかは適宜判定することとなるが、曲線として解析を進めた場合でも手順は直線の場合とおおむね同じである。

一般性を持つMohrの包絡線のパラメータ方程式を導いた後には、実用例を示す。まず、土質材料のMohrの包絡線を表す直線の方程式を定め、得られた近似直線に対して信頼限界を算定して確からしさを検証する。そしてさらに、コンクリートのMohrの包絡線が曲線として表される場合を

取り上げる。これらの例においては最小二乗法を用いた近似を行っているが、所望の場合は他の曲線近似法を用いることも出来る。なお、Balmerの例解ではlb-in単位系の数値が表示されていたのでそれらをSI単位系の数値に直し、それに伴い算定結果も十分に検討した。

## 2. 記号説明

$S_1$  = 破壊時の最大主応力：三軸圧縮試験における破壊時の軸圧 (kPa)

$S_3$  = 破壊時の最小主応力：三軸圧縮試験における側圧 (kPa)

$X$  = 破壊時の垂直応力 (kPa)

$Y$  = 破壊時のせん断応力 (kPa)

$S_1, S_3, x, y$  = 破壊時の各応力の、それぞれの相加平均からの偏差 (kPa)

$\phi$  = Mohrの包絡線の傾斜角：材料の内部摩擦角 (度)<sup>注)</sup>

$\alpha$  = 破壊角 (度)

$dY/dX = \tan\phi$  = Mohrの包絡線の傾き

$\partial S_1/\partial S_3 = S_3$  に関する  $S_1$  の偏導関数；軸圧一側圧曲線の傾き

$\Delta S_1$  = 軸圧の有限増分 (kPa)

$\Delta S_3$  = 側圧の有限増分 (kPa)

$\Delta S_1/\Delta S_3$  = 有限増分で表した導関数

$n$  = 項目数

注)

内部摩擦角 (angle of internal friction) については、農業土木学会編「改訂4版 農業土木標準用語辞典」では「剪断抵抗角 (angle of shear resistance)」とする用語の統一を推奨しているが、地盤工学会編「土質工学用語辞典」には特に粘土の内部摩擦角を指す場合に「せん断抵抗角」と呼ぶ旨が記されているため、一般性を持つ語と考えられる「内部摩擦角」を用いた。また、「剪断」は「せん断」と表記した。

\*岡山大学環境理工学部

\*\*近畿大学農学部

$\Sigma = n$ 項までの総和

$C =$ 粘着力 (kPa)

$A, B =$ 式(17)および(18)で定義される任意の記号

$\sigma =$ 標準偏差 (kPa)

$Y' = X$ に対する $Y$ の回帰線から推定されるせん断強度 (kPa)

$\sigma_{Y'_{yx}} = Y'$ の標準誤差 (kPa)

$\bar{S}_{yx} = \sigma_{Y'_{yx}}$ の不偏推定値 (kPa)

$M_x = X$ の相加平均 (kPa)

$M_{Y'} = Y'$ の相加平均 (kPa)

$a, b, c =$ 任意の定数

### 3 パラメータ方程式の展開

材料破壊時の最大・最小主応力をそれぞれ $S_1, S_3$ とすると、垂直応力を $X$ 、せん断応力を $Y$ として破壊時のMohr円は次の方程式で表される。

$$\left(X - \frac{S_1 + S_3}{2}\right)^2 + Y^2 = \left(\frac{S_1 - S_3}{2}\right)^2 \quad (1)$$

この方程式は $S_1$ および $S_3$ をパラメータとして含み、これらを固定するごとに一つのMohr円を表す。このとき $S_3$ に関する $S_1$ の偏導関数が定まるならば、パラメータ表示された関数の性質として、次のようにMohrの包絡線のパラメータ方程式を得る。

$$X = S_3 + \frac{S_1 - S_3}{\frac{\partial S_1}{\partial S_3} + 1} \quad (2)$$

$$Y = \frac{S_1 - S_3}{\frac{\partial S_1}{\partial S_3} + 1} \sqrt{\frac{\partial S_1}{\partial S_3}} \quad (3)$$

上式中のパラメータは三軸圧縮試験における軸圧 $S_1$ 、側圧 $S_3$ および軸圧-側圧曲線の傾き $\partial S_1 / \partial S_3$ となっている。ここで図1(a)を参照すると、式(2)の破壊面の垂直応力 $X$ は $OB + BH$ の長さとなっている。このうち $BH$ は、式(2)より軸差応力 $(S_1 - S_3)$ の分数倍となっており、この点で類似している式(3)の $Y$ との比を次のように考えることが出来る。

$$\frac{Y}{X - S_3} = \sqrt{\frac{\partial S_1}{\partial S_3}} \quad (4)$$

図1(a)の中の $\triangle AHB$ において、式(4)は二辺の比 $AH/BH$ すなわち $\tan \alpha$ を表している。ここに $\alpha$ は破壊角である。このことから次式が成り立つ。

$$\tan \alpha = \sqrt{\frac{\partial S_1}{\partial S_3}} \quad (5)$$

図1(b)は三軸圧縮試験の供試体における破壊面を示すが、図1(c)の三角形は図1(b)の破壊角 $\alpha$ を用いて主応力面と破壊面の関係を表している。この三角形と図1(a)の $\triangle AHB$ は相似であるから、ここに辺 $AB$ は理論的に供試体の破壊面を表す。したがって、図1のようにMohrの包絡線が曲線であるとき、包絡線の傾斜角すなわち内部摩擦角 $\phi$ の変化に伴って破壊角 $\alpha$ が変化することが分かる。

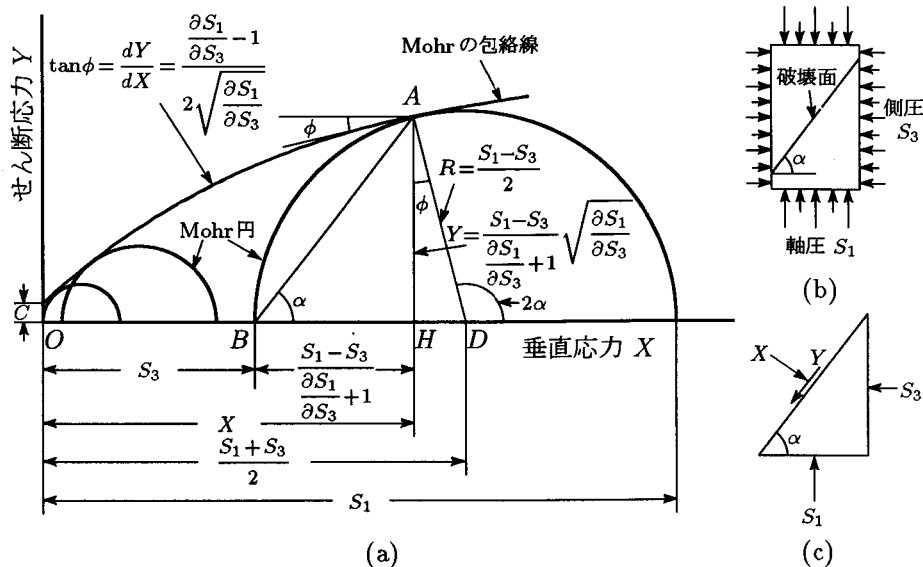


図-1 Mohrの理論

ここで、図1(a)の $\triangle AHD$ において次式が成り立つ。

$$2\alpha = \phi + 90^\circ \quad (6)$$

式(5)および(6)よりMohrの包絡線の傾き $dY/dX$ は次式を満たし、軸圧—側圧曲線の傾き $\partial S_1/\partial S_3$ と関連していることを読み取れる。

$$\frac{dY}{dX} = \tan\phi = \frac{\frac{\partial S_1}{\partial S_3} - 1}{2\sqrt{\frac{\partial S_1}{\partial S_3}}} \quad (7)$$

#### 4. 直線包絡線への応用

前節の方程式を特定の問題に応用する際には、次の二通りの有効なアプローチが考えられる。

1. Mohrの包絡線を表現する、すなわち破壊面の垂直応力 $X$ とせん断応力 $Y$ の関係を表す関数の形式を決定し、曲線近似法をこの関数に適用してMohrの包絡線を近似する。その際に定まる定数を用いて、軸圧 $S_1$ と側圧 $S_3$ の関係を表現することが出来る。
2. 試験測定値である $S_1$ と $S_3$ の関係を表す関数の形式を決定し、曲線近似法をこの関数に適用して測定値の規則性を近似する。その際に定まる定数を用いて、Mohrの包絡線を表現する。

包絡線を表す関数の形式としては、いずれのアプローチを採用した場合でも、試験測定値を適切に表す関数であること、および演算が容易な関数であることが大切である。本節では上記のアプローチ1による、表1に挙げた土の三軸圧縮試験の測定値に関する解析を行う。まずMohrの包絡線が、粘着力 $C$ および内部摩擦角 $\phi$ を定数とする次式の直線で表されると仮定する。

$$Y = C + X \tan\phi \quad (8)$$

図2はMohrの包絡線として式(8)を適用した結果であるが、図中の直線は十分に表1の測定値に関するMohr円群の包絡線を近似しており、仮定が妥当であることが分かる。ここで次のように、 $n$ 回の試験に関する式(8)の定数 $\tan\phi$ および $C$ の最小二乗推定値が与えられる。

$$\tan\phi = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (9)$$

$$C = \frac{\sum Y - \tan\phi \sum X}{n} \quad (10)$$

今、測定値は $S_1$ と $S_3$ の組み合わせとして与えられているから、測定値を直接方程式に代入して計算することが出来るように、 $X$ と $Y$ で記述されている式(9)および(10)を $S_1$ と $S_3$ で記述しておくこと便利である。そこで、式(7)より次式を得る。

$$\sqrt{\frac{\partial S_1}{\partial S_3}} = \tan\phi + \sqrt{1 + \tan^2\phi} \quad (11)$$

さらに式(2)、(3)および(11)から次の関係が成り立つ。

$$X = \frac{1}{2} \left\{ S_1(1 - \sin\phi) + S_3(1 + \sin\phi) \right\} \quad (12)$$

$$Y = \frac{S_1 - S_3}{2} \cos\phi \quad (13)$$

ここで統計の表記を用いると、次のように記述することが出来る。

$$n\sum S_1^2 = n^2\sigma_{S_1}^2 = n\sum S_1^2 - (\sum S_1)^2 \quad (14)$$

$$n\sum S_3^2 = n^2\sigma_{S_3}^2 = n\sum S_3^2 - (\sum S_3)^2 \quad (15)$$

$$n\sum S_1 S_3 = n\sum S_1 S_3 - \sum S_1 \sum S_3 \quad (16)$$

これらの式は、測定値 $S_1$ および $S_3$ を各々の相平均からの偏差 $s_1$ および $s_3$ に関する量に変換する。

表-1 土の三軸圧縮試験における測定値

側圧 $S_3$	軸圧 $S_1$
73.1	407.5
130.3	564.7
206.8	895.6
278.5	1,054.2
539.2	2,027.7
1,227.9	4,949.7

有効応力(kPa)を表示、 $n = 5$

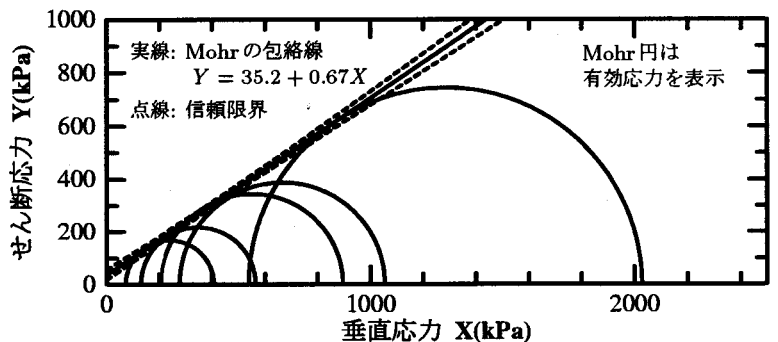


図-2 土のせん断強度

さらに式(14)~(16)の量を用いて次の量を定義する。

$$A^2 = \frac{\sum S_1^2}{\sum S_3^2} \quad (17)$$

$$B^2 = \frac{\sum S_1 S_3}{\sum S_3^2} \quad (18)$$

式(12)および(13)を式(9)に代入したものをAを用いて記述し、 $\sin\phi$ について解くと次式のようなになる。

$$\sin\phi = \frac{A-1}{A+1} \quad (19)$$

そして $\tan\phi$ を主応力で記述する次式を得る。

$$\tan\phi = \frac{A-1}{2\sqrt{A}} \quad (20)$$

Cを主応力で記述する式は、式(12)、(13)および(20)を式(10)に代入すると次のようになる。

$$C = \frac{\sum S_1 - A \sum S_3}{2n\sqrt{A}} \quad (21)$$

表1の測定値に関する $\tan\phi$ およびCの値は、具体的には表2のように計算してMohrの包絡線の方程式を定める。既述したが、図2に表1の測定値に関するMohr円群とその包絡線を示している。一般に小さい標本に対する統計解析結果は標本が大きい場合よりも信頼性が低い、今挙げた解析例は十分に理論の妥当性を証明していると言えよう。

主応力の関係を表す式は、式(8)、(12)および(13)からXとYを消去すると次のようになる。

$$S_1 = \frac{2C \cos\phi}{1-\sin\phi} + \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} S_3 \quad (22)$$

上式にAおよびBを用いると次のようになる。

$$S_1 = 2C\sqrt{A} + AS_3 \quad (23)$$

式(23)は式(8)に最小二乗法を適用して得た解であり、具体的には表2のように定める。この式(23)は三軸圧縮試験における破壊時の軸圧と側圧の関係を表し、グラフは後掲の図3に類似したものとなる。ただしMohrの包絡線が直線である場合は、図3の曲線も直線となる。

### 5. 信頼限界

最小二乗法を用いた近似により、試験測定値に関するMohr円群の包絡線として最良の近似直線が定まった後は、近似直線の確からしさを検討するための信頼限界、すなわち近似直線に対して

表2 表1のMohr円群に対する接線の算定

	項目	$S_3$	$S_1$
	総和	1,227.9	4,949.7
$S_3$	積和	433,392.39	1,675,539.85
	和積/n	301,570.31	1,215,594.21
	偏差の積和	131,822.07	459,945.64
$S_1$	積和		6,510,065.21
	和積/n		4,899,916.25
	偏差の積和		1,610,148.96

$n = 5$

$$A^2 = \frac{1,610,148.96}{131,822.07} = 12.215 \quad (式(17))$$

$$A = 3.495, \quad \sqrt{A} = 1.869$$

$$\tan\phi = \frac{3.495-1}{2 \times 1.869} = 0.67 \quad (式(20))$$

$$\phi = 33^\circ 50', \quad \alpha = 61^\circ 55' \quad (式(6))$$

$$C = \frac{4,949.7 - 3.495 \times 1,227.9}{2 \times 5 \times 1.869} = 35.2 \quad (式(21))$$

$$Y = 35.2 + 0.67X \quad (式(8))$$

$$B^2 = \frac{459,945.64}{131,822.07} = 3.489 \quad (式(18))$$

$$B^4 = 12.174, \quad B = 1.868$$

$$\sigma_{S_3}^2 = \frac{131,822.07}{5} = 26364.41 \quad (式(15))$$

$$S_1 = 131.6 + 3.495S_3 \quad (式(23))$$

見込まれる偏差幅の統計的推定値を算出しておくことが望ましい。そこで本節では、前節で算定した近似直線に対する信頼限界として用いる推定せん断強度 $Y'$ の標準誤差 $\sigma_{Y'_{yx}}$ を算定する。

まず $\sigma_{Y'_{yx}}$ はXとYに関して、次式のように任意の垂直応力の偏差xに対して定められる量として導くことが出来る。

$$\sigma_{Y'_{yx}} = \sqrt{\sigma_{MY'}^2 + \sigma_{(\tan\phi)_{yx}}^2 X^2} \quad (24)$$

上式のように任意のxに対して信頼限界を定めることにより、任意の垂直応力Xに対して推定され

表3 信頼限界の算定

表2の諸量を式(33)、(34)に代入すると次を得る。

$$2\sigma_{Y'_{yx}} = \sqrt{101.84 + 0.00160x^2}$$

$$M_x = \frac{4949.7 + 3.495 \times 1227.9}{5 \times 4.495} = 411.2$$

したがって $x = X - 411.2$  (式(25))である。

下表は信頼限界を図示する際に便利である。

x	X	Y	$2\sigma_{Y'}$	$Y \pm 2\sigma_{Y'}$	
-300	111.2	109.4	15.68	125.1	93.7
-150	261.2	209.5	11.74	221.2	197.7
0	411.2	309.6	10.09	319.7	299.5
150	561.2	409.7	11.74	421.4	397.9
300	711.2	509.8	15.68	525.4	494.1
450	861.2	609.9	20.63	630.5	589.2
600	1,011.2	710.0	26.03	736.0	683.9

るせん断強度Y'の確からしさを検討することが出来る。ここにx,  $\sigma_{MY'}$  および  $\sigma_{(\tan\phi)_{yx}}$  は次のような量である。

$$x = X - M_x \quad (25)$$

$$\sigma_{MY'}^2 = \frac{\bar{S}_{yx}^2}{n} \quad (26)$$

$$\sigma_{(\tan\phi)_{yx}}^2 = \frac{\bar{S}_{yx}^2}{n\sigma_x^2} \quad (27)$$

式(26)および(27)中の  $\bar{S}_{yx}$  は推定標準誤差の不偏推定値で、次のような量である。

$$\bar{S}_{yx}^2 = \frac{n\sigma_y^2}{n-2} (1-r^2) \quad (28)$$

ただしrはXとYの相関係数で、次式

$$r = \frac{\sum(xy)}{n\sigma_x\sigma_y} \quad (29)$$

により与えられるが、式(9)を参照すると次のように変形することが出来る。

$$r = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \tan\phi \quad (30)$$

式(25)~(30)を式(24)に当てはめると、次式を得る。

$$\sigma_{Y'_{yx}}^2 = \frac{1}{n-2} \left( \frac{\sigma_y^2}{\sigma_x^2} \tan^2\phi \right) (\sigma_x^2 + x^2) \quad (31)$$

今、試験測定値は  $S_1$  および  $S_3$  として与えられているから、式(31)をさらに次式のように変形しておくこと便利である。

$$\sigma_{Y'_{yx}}^2 = \frac{A-B^2}{2(n-2)} \left\{ \sigma_{s_3}^2 + \frac{(A+1)^2 x^2}{2A(A+B^2)} \right\} \quad (32)$$

なお、式(31)から式(32)への変形は付録に示す。

標準誤差曲線理論によると、平均からの偏差が標準誤差以下である値域は、考慮すべき起こり得る全事象に対する68%の確率を与える。標本の大きさが大きければ、偏差幅を標準誤差の2倍とするとその確率は95%に、3倍では99%となる。ただし標本数30未満の母集団に対しては、いくぶんこれらの確率が減少する。したがって信頼限界を算出する際には、所望の確からしきの度合いに合わせて式(32)の倍数を用いればよい。物性試験を取り扱う場合、次のような標準誤差の2倍を信頼限界とすることが多い。

$$2\sigma_{Y'_{yx}} = \sqrt{\frac{A-B^2}{n-2} \left\{ 2\sigma_{s_3}^2 + \frac{(A+1)^2 x^2}{A(A+B^2)} \right\}} \quad (33)$$

なお、Xの相加平均  $M_x$  は式(12)と(19)から次式で与えられる。

$$M_x = \frac{\sum X}{n} = \frac{1}{n(A+1)} (\sum S_1 + A\sum S_3) \quad (34)$$

具体的には、式(8)に関する信頼限界は表3のように算定され、その結果を図2に示す。算定された信頼限界は、最小二乗法によって定めた近似直線に対して見込まれる偏差幅の統計的推測値であり、近似直線の確からしき、つまり考え得る変動の尺度となる。

ところで、直線近似の際にアプローチ2を用いて表1の  $S_1$  と  $S_3$  の関係が式(22)で表されると仮定した場合、最小二乗法を式(8)ではなく式(22)に適用して試験測定値を近似し、結果として式(23)とは若干異なる次式を得る。

$$S_1 = 2CB + B^2 S_3 \quad (35)$$

式(35)は式(22)を最小二乗法で解いた結果であり、式(12)と(13)を参照して変形すると、式(8)中の  $\tan\phi$  およびCは次のようになる。

$$\tan\phi = \frac{B^2 - 1}{2B} \quad (36)$$

$$C = \frac{\sum S_1 - B^2 \sum S_3}{2nB} \quad (37)$$

アプローチ1および2における解の相違は、異なる量を最小二乗法により最小化していることから生じている。既述したが、実際の問題へ適用する際には、より適切で、所望量をより容易に算定するアプローチを選択する。

式(35)に対する信頼限界は次の式(35)を用いて算定するが、この算定方法は式(8)に対する信頼限界である式(32)の算定手順に類似する。

$$\sigma_{S'_{s_1 s_3}}^2 = \frac{A^2 - B^4}{n-2} (\sigma_{s_3}^2 + S_3^2) \quad (38)$$

## 6. 曲線包絡線への応用

前節まえば包絡線を直線として捉えるケースを考えたが、本節では包絡線が曲線となる例を取り上げる。表4の左側2列が、本節で取り上げるコンクリートの三軸圧縮試験における測定値である。まず、これら軸圧と側圧の関係が次式で表されると仮定する。

$$S_3 = bS_1^c + a \quad (39)$$

なお、ここに既述のアプローチ2を採用したことになる。

任意の定数a, bおよびcは測定値に対して最小二乗法を適用することにより定めるが、その算定過程を二段階に分けると、前節までの直線近似の

表4 コンクリートの三軸圧縮試験における測定値  
15.24x30.48cm 円柱供試体  
水セメント比0.58, 28日間養生

側圧 $S_3$	軸圧 $S_1$	$\log \frac{\Delta S_1}{\Delta S_3}$	$\log S_1$
0	23,856	0.812,24	4.377,59
0	24,200	0.818,89	4.383,82
0	25,855	0.863,32	4.412,55
6,895	68,602	0.602,78	4.836,34
6,895	69,636	0.677,61	4.842,84
6,895	76,186	0.648,03	4.881,88
17,237	110,039	0.527,77	5.041,55
17,237	118,865	0.505,15	5.075,05
17,237	122,174	0.499,14	5.086,98
34,474	168,093	0.499,69	5.225,55
34,474	174,022	0.466,57	5.240,60
34,474	176,573	0.481,16	5.246,92
51,710	222,561	0.418,96	5.347,45
51,710	224,491	0.447,16	5.351,20
51,710	228,766	0.477,70	5.359,39
68,947	267,790	0.427,16	5.427,79
68,947	272,754	0.431,69	5.435,77
68,947	280,545	0.434,89	5.448,00
103,421	359,972	0.417,97	5.556,27
103,421	365,902	0.461,20	5.563,36
103,421	374,382	0.434,89	5.573,32
137,894	450,224	0.253,34	5.653,43
137,894	465,599	0.327,15	5.668,01
137,894	468,219	0.336,86	5.670,45
172,368	512,000		
172,368	538,821		
172,368	543,096		
		12.270,92	124.706,12

kPa,  $n = 27$

$n = 24$

ケースとおおむね同じ手順で定めることができる。まずはcの値を算定するが、表4の離散的な測定値を扱うために、式(39)の導関数を有限増分量を用いて近似すると式(40)のようになり、さらに両辺の対数をとると式(41)を得る。

$$\frac{\Delta S_1}{\Delta S_3} = \frac{1}{bcS_1^{c-1}} \quad (40)$$

$$\log \frac{\Delta S_1}{\Delta S_3} = -\log(bc) - (c-1)\log S_1 \quad (41)$$

ここで、 $\log(\Delta S_1/\Delta S_3)$ と $\log S_1$ を変数、 $\log(bc)$ と $(c-1)$ を任意の定数と考えれば、式(41)を線形として取り扱うことが出来、cの値は前節までと同様に最小二乗法を用いて定めることができる。表4の測定値に関するcを具体的に算定したものが表5で、その結果を用いて試験測定値 $S_1^c$ と $S_3$ の組み合わせに変換したものが表6である。

次にaとbを定めるが、cが既知となったことにより、式(39)は $S_1^c$ と $S_3$ に関して線形として考えることが出来、直線近似の場合と同様に最小二乗推定値を算定すればよい。具体的な算定は表6および表7に示す。図3は、以上のように定数a、bおよびcを算定した結果を示す曲線である。

び表7に示す。図3は、以上のように定数a、bおよびcを算定した結果を示す曲線である。

式(2)と(3)に式(39)と(40)を代入し、 $\partial S_1/\partial S_3$ の代

表5 表4の測定値に関する定数cの算定

	項目	$\log \frac{\Delta S_1}{\Delta S_3}$	$\log S_1$
	総和	12.270,92	124.706,12
$\log \frac{\Delta S_1}{\Delta S_3}$	積和	6.822,25	62.394,17
	和積/n	6.273,97	63.760,76
	偏差の積和	0.548,28	-1.366,60
$\log S_1$	積和		651.648,52
	和積/n		647.984,02
	偏差の積和		3.664,50

$n = 24$

上表より  $-(c-1) = \frac{-1.366,60}{3.664,50} = -0.373$  を得、  
c = 1.37 となる。

なお、cの標準誤差は次のようになる。

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{22} \left\{ \frac{0.548,28}{3.664,50} - \left( \frac{-1.366,60}{3.664,50} \right)^2 \right\}}$$

$$= 0.022$$

表6 軸圧のべき乗

$S_3$	$S_1^{1.37}$
0	10,236
0	10,439
0	11,432
69	43,646
69	44,552
69	50,404
172	83,449
172	92,829
172	96,395
345	149,384
345	156,665
345	159,827
517	219,615
517	222,235
517	228,065
689	283,121
689	290,351
689	301,798
1,034	424,970
1,034	434,610
1,034	448,498
1,379	577,764
1,379	605,024
1,379	609,704
1,724	689,315
1,724	739,368
1,724	747,433
17,788	7,731,180

$\times 10^{-2}, n = 27$



表7 表4の測定値に関する定数aおよびbの算定

	項目	$S_3$	$S_1^{1.37}$
$S_3$	総和	0.017,79	7.731,18
	積和	2,051	874,253
	和積/n	1,172	509,351
	偏差の積和	880	364,902
$S_1^{1.37}$	積和		373,195,376
	和積/n		221,374,629
	偏差の積和		151,820,747

$\times 10^{-8}, n = 27$

$$b = \frac{364,902 \times 10^8}{151,820,747 \times 10^8} = 0.002,40$$

$$a = \frac{\sum S_3 - b \sum S_1^c}{n} = \frac{0.017,79 \times 10^8 - 0.002,4 \times (7.731,18 \times 10^8)}{27} = -2,939$$

これらのaとbを式(39)に代入すると次式を得る。

$$S_3 = 0.002,40 S_1^{1.37} - 2,939$$

なお、bの標準誤差は次式により算定される。

$$\sigma_b = \left[ \frac{1}{25} \left\{ \frac{880 \times 10^8}{151,820,747 \times 10^8} - \left( \frac{364,902 \times 10^8}{151,820,747 \times 10^8} \right)^2 \right\} \right]^{\frac{1}{2}} = 0.000,025$$

わりに $\Delta S_1 / \Delta S_3$ を用いると $S_3$ が消去され、次のように $S_1$ をパラメータとするMohrの包絡線のパラメータ方程式を得る。これらは $S_1$ と $S_3$ の関係が式(39)に従う場合のMohrの包絡線を表す。

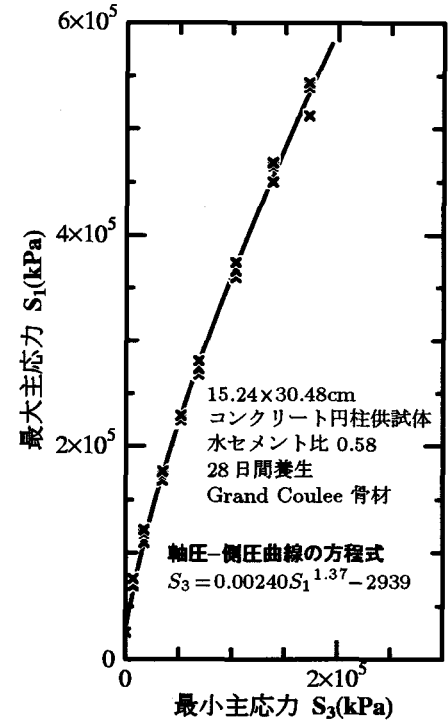


図3 破壊時の軸圧と側圧の関係

$$X = \frac{b(c+1)S_1^c}{1+bcS_1^{c-1}} + a \quad (42)$$

$$Y = \frac{S_1 - a - bS_1^c}{1+bcS_1^{c-1}} \sqrt{bcS_1^{c-1}} \quad (43)$$

ところで、式(7)および(40)から次式が成り立つ。

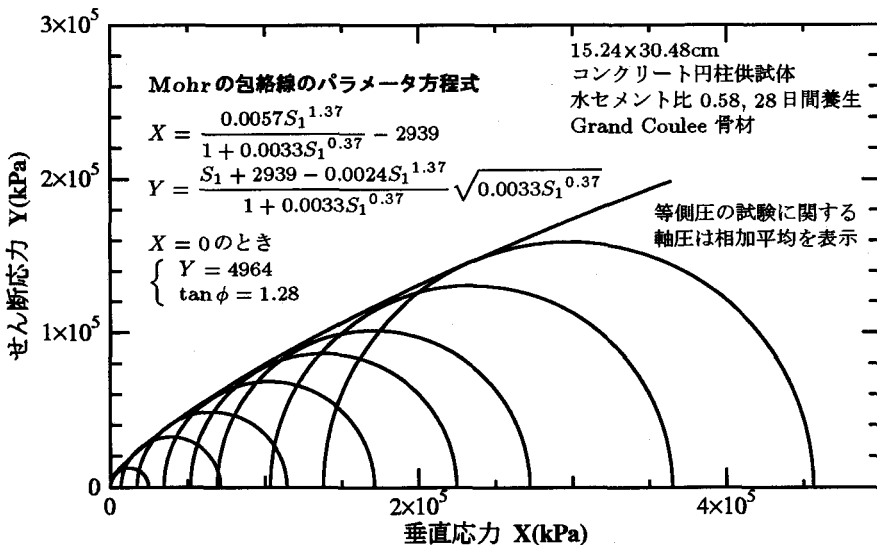


図4 コンクリートのせん断強度

$$\frac{dY}{dX} = \frac{1 - bcS_1^{c-1}}{2\sqrt{bcS_1^{c-1}}} \quad (44)$$

式(44)は、式(39)が  $S_1$  と  $S_3$  の関係を定義している場合の、パラメータ  $S_1$  を用いて表したモールの包絡線の勾配となっている。  $dY/dX = \tan\phi$  であるから、既述した通り内部摩擦角  $\phi$  は変数となっており、式(6)から  $\phi$  に伴い破壊角  $\alpha$  も変数となることが分かる。表4の試験測定値に関するMohr円群および包絡線は図4のようになる。なお各々のMohr円の最大主応力は、側圧が等しい試験の軸圧の相加平均を表示した。

所望の場合は、式(39)を二つの変数  $S_3$  と  $S_1^c$  に関して線形と考えることにより、前節と同様の手順で式(39)の曲線に対する信頼限界を算定することが出来る。略記のため  $S_1^c = Z$  とすると、推定された  $S_3$  の標準誤差は次のようになる。

$$\sigma_{s_3}' = \frac{1}{(n-2)} \left\{ \frac{\sigma_{s_3}^2}{\sigma_z^2} - \frac{(\sum S_3 Z)^2}{n^2 \sigma_z^4} \right\} (\sigma_z^2 + Z^2) \quad (45)$$

## 7. おわりに

工学材料の試験における測定値を解析してMohrの包絡線を得ると、直線というよりは曲線と見なされる場合も多い。一方、本稿中で展開したMohrの包絡線のパラメータ方程式は一般性を持ち、曲線、直線のいずれへも応用可能である。したがって、Mohrの包絡線を曲線として描くために十分な個数の測定値を得たときには、若干の手順を追加して曲線近似を行うことにより、材料の特性をより正確に反映する解析値を得る。

一般に、曲線包絡線における粘着力の値は直線包絡線におけるものより小さく、より真の値に近いと考えられている。また曲線包絡線において、内部摩擦角と呼ばれるMohrの包絡線の傾斜角  $\phi$  は、破壊面の垂直応力が小さいほど大きく、大きいほど小さい。このように変化する  $\phi$  の値はおそらく、直線包絡線から得る一定値  $\phi$  より真の値に近い。さらに、 $\phi$  の変化に伴い破壊角  $\alpha$  も変化する。理論によるこのような結論は、実際の材料試験によって証明されるであろう。

なお通常、直線近似は曲線近似よりも単純であるから、解析対象となる測定値を直線で正確に表すことが出来るならば、直線近似を用いる解析が望ましい。

ところで、Mohrの包絡線の解析手順を示すことが本稿の目的であるが、測定値の個数が不足す

るために広範囲の正しい推定が出来ない場合も存在する。このような場合には、測定値に沿って滑らかに曲線を描くことにより、試験に忠実な結果を得れば良い。

## 参考文献

1. Balmer, G.: "A General Analytic Solution For Mohr's Envelope," Proc. ASTM, Vol. 52, 1952, pp. 1260-1271.
2. 水野克彦: 解析学, 株式会社学術図書出版社, 1977.
3. Ang, A.H.S.・Tang, W.H. 著, 伊藤學・亀田弘行訳: 土木・建築のための確率・統計の基礎, 丸善株式会社, 1977.

## 付録: 式(32)の誘導

この付録では、式(31)から式(32)への式の展開を示す。まず、式(14)と(15)に類似した次式を考える。

$$n^2 \sigma_y^2 = n \sum Y^2 - (\sum Y)^2 \quad (46)$$

式(46)中の  $Y$  に式(13)を代入すると次式を得る。

$$n^2 \sigma_y^2 = \frac{\cos^2 \phi}{4} \left\{ n \sum S_1^2 - (\sum S_1)^2 - 2n \sum S_1 S_3 + 2 \sum S_1 \sum S_3 + n \sum S_3^2 - (\sum S_3)^2 \right\} \quad (47)$$

上式中の中括弧内を  $n^2 \sigma_{s_3}^2$  で割ったものに式(14)~(18)を適用し、 $\cos\phi$  に式(19)を代入すると次式を得る。

$$n^2 \sigma_y^2 = \frac{A}{(A+1)^2} (A^2 - 2B^2 + 1) n^2 \sigma_{s_3}^2 \quad (48)$$

また、式(14)、(15)および(46)と同様に次式が成り立つ。

$$n^2 \sigma_x^2 = n \sum X^2 - (\sum X)^2 \quad (49)$$

上式の  $X$  に式(12)を代入すると次式を得る。

$$n^2 \sigma_x^2 = \frac{1}{4} \left[ \{ n \sum S_1^2 - (\sum S_1)^2 \} (1 - \sin^2 \phi) + 2 \{ n \sum S_1 S_3 - \sum S_1 \sum S_3 \} (1 - \sin^2 \phi) + \{ n \sum S_3^2 - (\sum S_3)^2 \} (1 + \sin^2 \phi) \right] \quad (50)$$

上式中の大括弧内を  $n^2 \sigma_{s_3}^2$  で割ったものに式(14)~(18)を適用し、 $\sin\phi$  に式(19)を代入すると次式を得る。

$$n^2 \sigma_x^2 = \frac{2A(A+B^2)}{(A+1)^2} n^2 \sigma_{s_3}^2 \quad (51)$$

式(48)を式(51)で割ると次のようになる。

$$\frac{\sigma_y^2}{\sigma_x^2} = \frac{A^2 - 2B^2 + 1}{2(A+B^2)} \quad (52)$$

最後に、式(31)に式(20)、(51)および(52)を代入すると、式(32)を得ることが出来る。

$$\sigma_{y'_{vx}}^2 = \frac{A-B^2}{2(n-2)} \left\{ \sigma_{s_3}^2 + \frac{(A+1)^2 X^2}{2A(A+B^2)} \right\} \quad (32)$$

# 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  
東京都港区新橋 5-34-4 農業土木会館内, 農業土木技術研究会
- 2 「投稿票」
  - ① 表 題
  - ② 本文枚数, 図枚数, 表枚数, 写真枚数
  - ③ 氏名, 勤務先, 職名
  - ④ 連絡先 (TEL)
  - ⑤ 別刷希望数
  - ⑥ 内容紹介 (200字以内)
- 3 1 回の原稿の長さは原則として図, 写真, 表を含め研究会原稿用紙(242字)60枚までとする。
- 4 原稿はなるべく当会規定の原稿規定用紙を用い(請求次第送付), 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, 農業土木標準用語事典に準じられたい。数字はアラビア数字(3単位ごとに, を入れる)を使用のこと
- 5 写真, 図表はヨコ7cm×タテ5cm大を242字分として計算し, それぞれ本文中のそう入個所を欄外に指定し, 写真, 図, 表は別に添付する。(原稿中に入れない)
- 6 原図の大きさは特に制限はないが, B4判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。
- 7 文字は明確に書き, 特に数式や記号などのうち, 大文字と小文字, ローマ字とギリシャ文字, 下ツキ, 上ツキ, などで区別のまぎらわしいものは鉛筆で注記しておくこと,  
たとえば  
C, K, O, P, S, U, V, W, X, Zの大文字と小文字  
O(オー)と0(ゼロ)                      a(エー)とα(アルファ)  
r(アール)とγ(ガンマー)                k(ケイ)とκ(カッパ)  
w(ダブルユー)とω(オメガ)            x(エックス)とχ(カイ)  
l(イチ)とl(エル)                        g(ジー)とq(キュー)  
E(イー)とε(イプシロン)                v(バイ)とυ(ウブシロン)  
など
- 8 分数式は2行ないし3行にとり余裕をもたせて書くこと  
数字は一マスに二つまでとすること
- 9 数表とそれをグラフにしたものとの併載はさけ, どちらかにすること
- 10 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。
- 11 投稿の採否, 掲載順は編集委員会に一任すること
- 12 掲載の分は稿料を呈す。
- 13 別刷は, 実費を著者が負担する。

# 農業土木技術研究会入会の手引

## 1. 入会手続

- ① 入会申込は研究会事務局へ直接又は職場連絡員へ申し込んで下さい。申込書は任意ですが、氏名、所属を明示下さい。
- ② 入会申込みはいつでも結構ですが、年度途中の場合の会費は会誌の在庫状況により決定されます。
- ③ 入会申込みと同時に会費を納入していただきます。

## 2. 会費の納入方法

- ① 年会費は2,300円です。入会以後は毎年6月末までに一括して納入していただきます。

## 3. 農業土木技術研究会の活動内容

- ① 機関誌「水と土」の発行……年4回（季刊）
- ② 研修会の開催……年1回（通常は毎年2～3月頃）

## 4. 機関誌「水と土」の位置づけと歴史

- ① 「水と土」は会員相互の技術交流の場です。益々広域化複雑化していく土地改良事業の中で各々の事業所等が実施している多方面にわたっての調査、研究、施工内容は貴重な組織的財産です。これらの情報を交換し合って技術の発展を図りたいものです。
- ② 「水と土」の歴史

（農業土木技術研究会は以下の歴史をもっており組織の技術が継続されています。）

- ・ S28年……コンクリートダム研究会の発足

『コンクリートダム』の発刊

- ・ S31年……フィルダムを含めてダム研究会に拡大

『土とコンクリート』に変更

- ・ S36年……水路研究会の発足

『水路』の発刊

- ・ S45年……両研究会の合併

農業土木技術研究会の発足 ←

『水と土』

## 入 会 申 込 書

平成 年 月 日

私は農業土木技術研究会に入会します。

氏 名：

所 属：

## 「水と土」に関するアンケート調査への協力をお願い

農業土木技術研究会の会誌は、昭和28年のコンクリートダム研究会発足以来、以下のような変遷を経て平成9年度には110号を越えるまでになっています。その間、事業現場等における技術・研究の成果、施工事例などを掲載し、農業土木技術職員の技術交流の場を提供してきました。

- ・昭和28年    コンクリートダム研究会の発足  
                 「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  
                 「土とコンクリート」に変更
- ・昭和36年    水路研究会の発足  
                 「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  
                 「水と土」の発刊

最近の農業農村整備事業展開において、①新技術の導入、②コストの縮減、③環境への配慮等に的確に対応していく必要があります。このためには、様々な技術的知見を活用して実施される各地での工事の施工例や技術的な工夫・検討事例等を、現場で活躍する農業土木技術者へ広く紹介・普及していくことが一層重要となってきています。

このような状況の下、農業土木技術研究会事務局としましても、会誌「水と土」の充実を考えています。そこで、今回会員の皆様から「水と土」に関するご意見を頂くため下記の要領でのアンケート調査を実施することとしました。お忙しい中とは存じますが、ご協力をお願い致します。

### 記

#### 1. 調査方法

- ① 別紙に質問事項を設定していますので、その回答を調査票に記入いただき、郵送又はFAXで返送願います。郵送の場合は別添のはがきに、また、FAXの場合はFAX用の調査票に記入して下さい。
- ② 申し訳ありませんが、はがきでの回答の場合には50円切手を貼って下さい。
- ③ FAX番号は調査票に記してあります。

#### 2. 調査票記入方法

- ① 質問の回答が設定されているものについては、調査票に○をつけて下さい。
- ② 「その他」の事項など質問の中で空欄にアンダーライン引いている事項を回答する場合は、回答の具体的内容を調査票に記入願います。
- ③ 「その他の意見」の回答については、自由な意見を調査票に記入願います。

#### 3. 調査対象

- ① 農業土木技術研究会員とさせていただきます。

#### 4. 調査回答期限

- ① 平成10年8月末日迄に送付願います。

## 「水と土」アンケート質問事項

### 1. 基本事項

1-1. 「水と土」の発行回数（4回/年）は、  
（A. 多い, B. 適当, C. 少ない, D. 特に意見がない）

1-2. 掲載報文の数（7～8報文）は、  
（A. 多い, B. 適当, C. 少ない, D. 特に意見がない）

1-3. 会誌のページ数（90～100ページ程度）は、  
（A. 多い, B. 適当, C. 少ない, D. 特に意見がない）

1-4. 会誌のサイズ（B5版）は、  
（A. 妥当, B. A4版にするべき, C. その他\_\_\_\_\_）

### 2. 会誌の活用状況

2-1. あなたは、「水と土」を  
（A. よく読んでいる, B. たまに読んでいる, C. あまり読んでいない）

2-2. 上記問でC.（あまり読んでいない）と回答した方は、その理由をお答え下さい。  
（A. 有益でない, B. 難しい, C. 読む暇がない, D. その他\_\_\_\_\_）

2-3. あなたが「水と土」で興味ある報文の内容はどのようなものですか（複数回答可）  
（A. 施工事例, B. 設計事例, C. 計画事例, D. 研究報文, E. その他\_\_\_\_\_）

2-4. あなたが「水と土」で興味ある報文の分野はどのようなものですか（複数回答可）  
（A. ダム, B. かんがい排水, C. 農地開発, D. 圃場整備, E. 農地保全, F. 防災,  
G. 農道, H. 農村整備, I. 水環境, J. その他\_\_\_\_\_）

2-5. あなたは「水と土」をどのように活用していますか（複数回答可）  
（A. 知識・技術向上, B. 担当業務の参考, C. 研究の参考, D. その他\_\_\_\_\_）

### 3. 会誌の内容に対する意見

3-1. 会誌の構成は  
（A. 適当, B. 特に意見なし, C. 不適當\_\_\_\_\_）

\* 現在の構成については、参考資料を参照して下さい。

\* 不適當の場合、改善意見を記入願います。

3-2. 特集号のテーマは  
（A. 適当, B. 特に意見なし, C. 不適當\_\_\_\_\_）

\* 過去10年間の特集号テーマは、参考資料を参照して下さい。

\* 不適當の場合、改善意見を記入願います。

3-3 特集号の内容は

(A. 適当, B. 特に意見なし, C. 不適当 \_\_\_\_\_)

\* 不適当の場合, 改善意見を記入願います。

3-4. 一般号の内容は

(A. 適当, B. 特に意見なし, C. 不適当 \_\_\_\_\_)

\* 不適当の場合, 改善意見を記入願います。

4. その他の意見

その他会誌「水と土」に関する意見を自由にお聞かせ下さい。

( \_\_\_\_\_ )

<参考資料>

1. 会誌の構成

- ① 表紙：会員から募集した写真を中心に掲載
- ② グラビア：報文内容を説明する写真掲載（カラー2ページ）
- ③ 目次：1ページ
- ④ 報文内容紹介：投稿表の報文概要を掲載（8題/1ページ）
- ⑤ 巻頭文：1～2ページ
- ⑥ 報文：7～8課題程度（10ページ程度/1課題）
- ⑦ 連絡事項：投稿規定, 会告, 入会手引き, 写真募集等

2. 特集号のテーマ（過去10年間）

- 1988年 特集「地すべり防止対策」
- 1989年 特集「土地改良事業の設計・施工の創意工夫」
- 1990年 20周年特集号
- 1990年 特集「豊かで潤いのある生活をめざす土地改良」
- 1991年 特集「地球にやさしい土地改良技術」
- 1992年 特集「道—豊かさと優しさを求めて—」
- 1993年 特集「土地改良施設の維持管理」
- 1994年 特集「ダム of 設計と施工」
- 1995年 特集「21世紀に向けた農業土木の計画設計技術の展開方向」
- 1996年 特集「防災—災害に強い農業・農村をめざして—」
- 1997年 特集「新技術の積極的導入」

「水と土」アンケート調査票 (FAX送信用)

宛先：農業土木技術研究会事務局 行

(担当 水口、原澤)

FAX番号：03-3578-7176

アンケート回答票

所 属									
氏 名				役 職				年 齢	
質 問									
1-1	A.	B.	C.	D.					
1-2	A.	B.	C.	D.					
1-3	A.	B.	C.	D.					
1-4	A.	B.	C.						
2-1	A.	B.	C.						
2-2	A.	B.	C.	D.					
2-3	A.	B.	C.	D.	E.				
2-4	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	
	I.	J.							
2-5	A.	B.	C.	D.					
3-1	A.	B.	C.						
3-2	A.	B.	C.						
3-3	A.	B.	C.						
3-4	A.	B.	C.						
4									

ま  
り  
と  
り  
線



農業土木技術研究会役員名簿（平成10年度）

編集委員会（平成10年度）

会 長 黒澤 正敬 水資源開発公団理事  
 副 会 長 森田 昌史 構造改善局建設部長  
 // 中村 良太 (株)日本農業土木総合研究所技術顧問  
 理 事 松浦 良和 構造改善局建設部設計課長  
 // 中澤 明 構造改善局建設部水利課長  
 // 中島 克己 構造改善局建設部設計課首席農業  
 土木専門官  
 // 金森 信夫 関東農政局建設部長  
 // 岩崎 和己 農業工学研究所長  
 // 戸上 訓正 北海道開発庁農林水産課長  
 // 藤井 徹 茨城県農地局長  
 // 高野 政文 新潟県農地部技監  
 // 安部 優吉 兵庫県農林水産部次長  
 // 牧 勝史 水資源開発公団第二工務部長  
 // 坂根 勇 (株)土地改良建設協会専務理事  
 // 近藤 勝英 (株)農業土木事業協会専務理事  
 // 山下 義行 太陽コンサルタンツ(株)常務取締役  
 // 中島 均 (株)竹中土木取締役  
 // 杉浦 英明 日本国土開発(株)取締役  
 監 事 平野 達男 関東農政局建設部設計課長  
 // 藤根與兵衛 (株)日本農業土木コンサルタンツ  
 常務取締役  
 常任顧問 岡本 芳郎 構造改善局次長  
 // 中道 宏 全国農業土木技術連盟委員長  
 顧 問 岡部 三郎 参議院議員  
 // 須藤良太郎 参議院議員  
 // 梶木 又三 全国土地改良事業団体連合会会長  
 // 福田 仁志 東京大学名誉教授

編集委員長 中島 克己 構造改善局設計課  
 編集委員 國光 洋二 // 事業計画課  
 常任幹事 渡辺 昭弘 // 設計課  
 // 津谷 康宣 // 整備課  
 // 渡辺 博之 // 設計課  
 // 水口 将弘 全国農業土木技術連盟総務部長  
 編集委員 野口 哲秋 構造改善局地域計画課  
 幹 事 鈴木 豊志 // 資源課  
 // 菊地 英博 // 事業計画課  
 // 谷口 宏文 // 設計課  
 // 桑原 一登 // 施工企画調整室  
 // 久保 弘 // 水利課  
 // 大島 学人 // 水利課  
 // 野口 康 // 総合整備推進室  
 // 山根 伸司 // 開発課  
 // 小林健一郎 // 開発課  
 // 木下 幸弘 // 防災課  
 // 伊藤 友次 関東農政局設計課  
 // 小林 広泰 農業工学研究所  
 // 前田 健次 国土庁計画調整局  
 // 羽田野義勝 水資源開発公団第2工務部設計課  
 // 大尾 峰雄 農用地整備公団計画部実施計画課  
 // 宮崎 敏行 (株)日本農業土木総合研究所

賛 助 会 員 A

(株) 荏原製作所  
 (株) 大林 組  
 (株) 熊 谷 組  
 (株)三祐コンサルタンツ  
 大成建設(株)  
 玉野総合コンサルタント(株)  
 太陽コンサルタンツ(株)  
 (株)電業社機械製作所  
 (株) 西島製作所  
 西松建設(株)

日本技研(株)  
 (株)日本水工コンサルタント  
 (株)日本農業土木コンサルタンツ  
 (株)日本農業土木総合研究所  
 (株) 間 組  
 (株) 日立製作所

賛 助 会 員 B

(株) 青木建設  
 (株) 奥村組  
 勝村建設(株)

株 木 建 設 (株)  
 (株) 栗本鉄工所  
 三幸建設工業(株)  
 住友建設(株)  
 住友金属工業(株)  
 大豊建設(株)  
 (株) 竹中土木  
 田中建設(株)  
 前田建設工業(株)  
 三井建設(株)

(13社)

賛助会員 C

アイサワ工業(株)  
青葉工業(株)  
旭コンクリート工業(株)  
旭測量設計(株)  
アジアプランニング(株)  
茨城県農業土木研究会  
上田建設(株)  
(株)ウォーター・エンジニアリング  
梅林建設(株)  
エスケー産業(株)  
(株)大本組  
神奈川県農業土木建設協会  
技研興業(株)  
(株)クボタ建設  
(株)クボタ(大阪)  
(株)クボタ(東京)  
(株)古賀組  
(株)後藤組  
五洋建設(株)  
佐藤企業(株)  
(株)さとうベネック  
(株)塩谷組

昭栄建設(株)  
新光コンサルタンツ(株)  
(株)ジオテック  
(株)シャトーシービー  
須崎工業(株)  
世紀東急工業(株)  
大成建設(株)四国支店  
大和設備工事(株)  
高橋建設(株)  
高弥建設(株)  
(株)田原製作所  
中国四国農政局土地改良技術事務所  
(株)チェリーコンサルタンツ  
中央開発(株)  
東急建設(株)  
東邦技術(株)  
東洋測量設計(株)  
(株)土木測器センター  
日本国土開発(株)  
日本ヒューム管(株)  
日本舗道(株)  
中川ヒューム管工業(株)  
福井県土地改良事業団体連合会  
(株)婦中興業

古郡建設(株)  
(株)豊蔵組  
北海道土地改良事業団体連合会  
(株)北海道農業近代化コンサルタント  
前田製管(株)  
前沢工業(株)  
真柄建設(株)  
(株)舛ノ内組  
丸か建設(株)  
(株)丸島アクアシステム  
丸誠重工業(株)東京本社  
水資源開発公団  
水資源開発公団沼田総合管理所  
〃 三重用水管理所  
宮本建設(株)  
ミサワ・ホーバス(株)  
(株)水建設コンサルタント  
(株)峰測量設計事務所  
山崎ヒューム管(株)  
菱和建设(株)  
若鈴コンサルタンツ(株)  
  
(67社)  
(アイウエオ順) 計 96社

編集後記

昭和45年に発足した農業土木技術研究会も2年後の西暦2000年には発足30年を迎えます。

農業土木技術者の技術交流を目的に編集・発刊されている会誌「水と土」は、現場技術者にとって最もポピュラーな技術冊子の一つであると考えています。

一方、農家の高齢化の進展や農産物価格の低迷などの厳しい農業情勢、公共事業に対する批判、環境に対する関心の高まり等様々な情勢変化の中で、農業農村整備事業は、地域のニーズに対応した事業執行が求められているところです。

社会情勢の変化に対応した多様な事業展開において、事業現場等における多方面にわたる調査、研究、施工内容は、事業の円滑な執行のための貴重な共有財産であり、その情報交換の場としての「水と土」は、益々重要な位置づけとなるもの確信しています。

今回「水と土」に関するアンケート調査を実施し、今後の会誌編集に反映させることにより、農業土木技術者にとってより有益な会誌発行ができればと考えています。

読者の皆様には、アンケート調査の協力を重ねてお願いする次第です。

(設計課 谷口宏文)

水と土 第112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