

苦田鞍部ダム (CFRD) の浸透/漏水と外部変形に関する安全管理

Safety Management on Seepage/Leakage and Exterior Deformation of Tomata Saddle Dam (CFRD)

山口嘉一 Yoshikazu YAMAGUCHI

小堀俊秀 Toshihide KOBORI

本多卓志 Takusi HONDA

吉持淳栄 Jyunei YOSHIMOCHI

((独) 土木研究所 水工研究グループ)

((独) 土木研究所 水工研究グループ)

(国土交通省中国地方整備局 苦田ダム管理所)

(国土交通省中国地方整備局 苦田ダム管理所)

苦田鞍部ダムは、我が国における本設構造物として初めての近代的コンクリート表面遮水壁ロックフィルダムである。そのため、苦田鞍部ダムでは、安全管理のほか、今後の設計・研究資料を得る目的などから数多くの計測計器を設置し、その挙動計測を実施した。

本論文では、苦田鞍部ダムの試験湛水期間中の各種計測結果、特に安全管理上最も重要な浸透および外部変形に関する計測結果について分析し、ダムが安全に挙動していることを明らかにした。

キーワード：CFRD, 浸透, 漏水, 変形, 安全管理

(IGC:H-4)

1. はじめに

堤体の遮水機能を、上流側斜面に配したコンクリートスラブにより確保する型式のロックフィルダムをコンクリート表面遮水型ロックフィルダム (Concrete Face Rockfill Dam: 以下 CFRD と称す) と呼ぶ。

近年の CFRD は、堤体の主材料であるロック材料を振動ローラで転圧することにより建設後の変形量を小さくおさえ、スラブ直下にはスラブを一樣に支えるために最大粒径が小さく細粒分の多い、粒度分布の良いトランジション材を配している。また、スリップフォームを用いてスラブコンクリートを連続的に打設したうえで、コンクリートスラブには施工継目を除いて水平継目を設けず、鉛直継目には止水板を設けている。これら施工技術の発展により、CFRD の漏水量は従来に比べてかなり少ないものとなった。このような近代的な工法が定着したことにより世界的には多くの堤高の高い CFRD が建設されるようになった¹⁾。

上述したような世界各国における近代的 CFRD の建設状況を受けて、我が国における近代的 CFRD の本格的な導入の第一段階として、仮設構造物である水資源機構徳山ダムの上流二次締切りが築造されるとともに、本設構造物である、国土交通省中国地方整備局の苦田鞍部ダムの型式として採用された。これらのダムの建設にあわせて近代的 CFRD の設計施工に関する細部の検討が進められた^{2), 3)}。

苦田鞍部ダムは、堤高 25m、堤頂長 259m の CFRD である。2002 年 9 月から盛立てを開始し、2003 年 3 月に完了した。また、2003 年 6 月からフェイスングコンクリートの打設を開始し、2003 年 9 月に完了した。苦田ダムの試験湛水は、2004 年 5 月より開始し、2004 年 12 月 4 日にサーチャージ水位に到達し、2005 年 1 月 12 日に終了した。

苦田鞍部ダムは、小規模なダムであるが、我が国初の本

設の近代的 CFRD であることを考慮して、安全管理や今後の設計高度化のための挙動データの収集等を目的に数多くの計測計器を設置している。

本論文では、苦田鞍部ダムの試験湛水中に行われた堤体や基礎岩盤からの浸透/漏水や堤体の外部変形やスラブの変形の挙動など安全管理上最も重要な項目に関する計測結果に基づき、その浸透/漏水・外部変形に対する安全性の評価を行う^{4), 5)}。

2. 苦田ダムの概要

苦田ダムは、国土交通省中国地方整備局が、吉井川の河口から約 92km の地点の岡山県苦田郡に建設した多目的ダムである。ダムの目的は、洪水調節、流水の正常な機能の維持、かんがい用水、上水道用水、工業用水および発電である³⁾。

苦田ダムは、堤高 74m の重力式コンクリートダム型式の本ダムと、本ダムの左岸直上流の地山標高が本ダムの天端標高より低いために建設された堤高 25m の CFRD 型式の鞍部ダムにより構成されている。苦田鞍部ダムの諸元を表-1 に示す。また、苦田鞍部ダム全景を図-1 に、苦田鞍部ダム平面および断面図を図-2 に示す。

表-1 苦田鞍部ダムの諸元

| 型 式 | CFRD (コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム) |
|---------|-----------------------------|
| 堤 高 | 25.00m |
| 堤 頂 長 | 259.00m |
| 天 端 幅 | 10.00m |
| 堤 体 勾 配 | 上流 1:2.00 下流 1:2.00 |
| 堤 体 積 | 178,000m ³ |

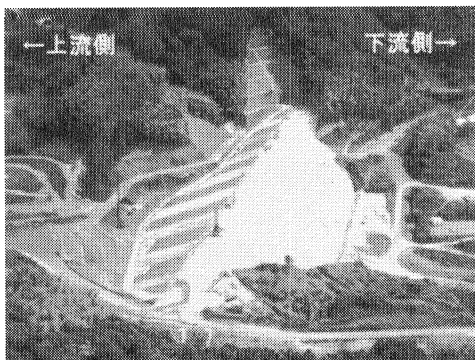
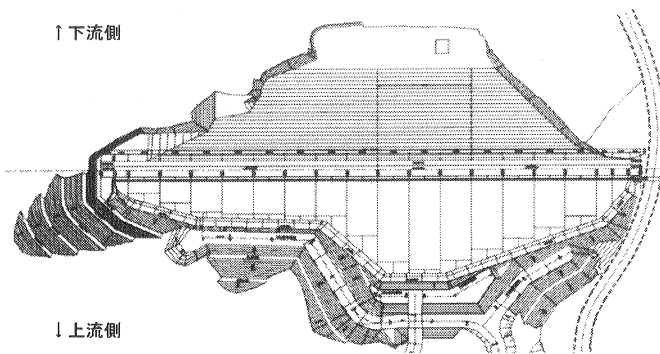
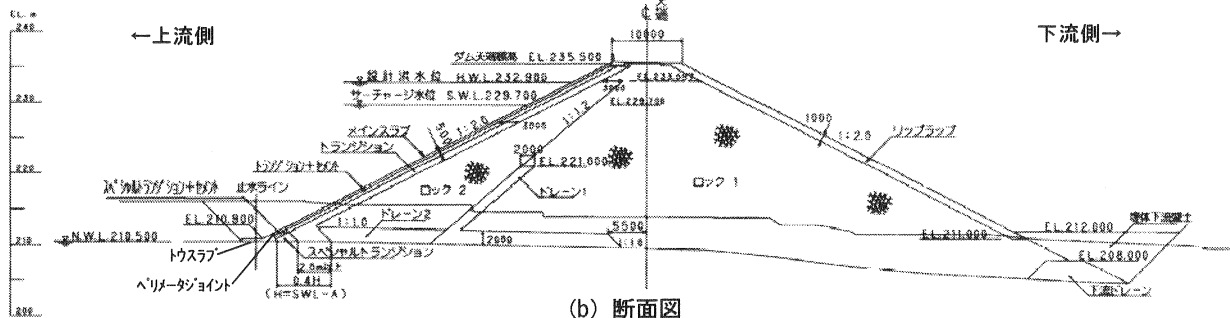


図-1 苫田鞍部ダム全景



(a) 平面図



(b) 断面図

図-2 苫田鞍部ダムの平面および断面図

3. 苫田鞍部ダムの計測設備

3.1 計測概要

苫田鞍部ダムの計測の目的を図-3に示す。計測の目的は、1) 築堤時の施工管理、2) 完成後の安全管理、3) 今後の設計・研究用資料収集、の3つに大別され、単独ないしは複数の目的に応じた各種の計測を行っている。なお、上記の計測目的は、苫田鞍部ダムにおける独自の設定ではなく、一般的なものである^{4), 6)}。

苫田鞍部ダムでは、具体的に表-2に示すような計測項目に対し測定機器を設置した。本論文では、安全管理上の最重要項目である漏水/浸透と外部変形に着目し、それらの計測結果を示すとともに安全性の確認を行った。内部土質遮水壁ロックフィルダムの外部変形とは、光波・水準測量による堤体水平鉛直変位を指す。しかし、本論文で対象とした苫田鞍部ダム(CFRD)については、これに加えてスラブの表面変形も含めて外部変形と称する。

3.2 漏水/浸透の計測

3.2.1 堤体および基礎の浸透量

ダム堤体および基礎岩盤では、特に基礎岩盤浅部における漏水/浸透を監視する目的から、図-4に示すように堤敷の漏水/浸透量計測設備を、また、スラブのパーメータジョイント直下流の堤敷に間隙水圧計を設置した。

漏水/浸透量の計測は、堤体を5つのゾーンに分割し、図-4に示す位置に配置した浸透/漏水排水管により下流側のピット内に集水して行う。これにより、堤体および基礎岩盤浅部の漏水/浸透量を監視することができる。

また、間隙水圧計は、湛水時にスラブのクラックや継目

からの漏水による堤体内の水位上昇を水圧変化としてとらえるために設置した。

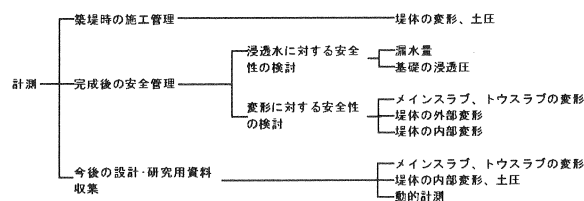


図-3 苫田鞍部ダムにおける計測の目的と計測項目

表-2 計測項目および測定機器

(a) 堤体および基礎

| 計測項目 | 測定機器 | 設置箇所数 | 計測頻度 (試験湛水中) |
|---------------|---------|------------|-----------------|
| 表面水平鉛直変位(定点) | 光波・水準測量 | 26箇所 - 26台 | 1回/日 |
| 堤体垂直変位(層別沈下) | 層別沈下計 | 1箇所 - 5台 | 1回/日 |
| 堤体内鉛直変位(水平分布) | 水平鉛直変位計 | 2箇所 - 9台 | 1回/日 |
| 堤体内応力(土圧) | 土圧計 | 5箇所 - 9台 | 1回/日 |
| 基礎変形 | 岩盤変位計 | 1箇所 - 1台 | 1回/日 |
| 漏水量 | 漏水量計 | 1箇所 - 5台 | 1回/日 |
| 間隙水圧 | 間隙水圧計 | 4箇所 - 4台 | 1回/日 |
| 地震加速度 | 地震計 | 2箇所 - 2台 | その都度 |

(b) スラブ

| 計測項目 | 測定機器 | 設置箇所数 | 計測頻度 (試験湛水中) |
|--------------------|-------------|------------|-----------------|
| トウスラブ間の相対変位 | 継目計 | 12箇所 - 36台 | 1回/日 |
| トウスラブとスタータスラブの相対変位 | | | |
| メインスラブ間の相対変位 | 固定式型傾斜計 | 22箇所 - 22台 | 1回/日 |
| メインスラブ表面鉛直変位(定点) | | | |
| メインスラブ表面鉛直変位(連続) | スライド式挿入型傾斜計 | 1箇所 - 1台 | 2回/日 |
| メインスラブの断面力 | ひずみ計 | 9箇所 - 36台 | 1回/日 |
| スラブの漏水位置の特定 | 漏水位置検知システム | 1箇所 - 2系統 | 1回/日 |

3.2.2 スラブからの漏水

遮水壁であるコンクリートスラブについては漏水位置特定の計測を行った。計測には、スラブの継目、クラックからの漏水の有無、位置の検出を目的として新たに開発した漏水位置検知システムを使用した⁷⁾。この漏水探知センサは平行二線に電気パルスを入射して得られる反射波形を観測し漏水発生位置を検出するものである。

原理を簡単に説明する。コンクリートにクラックが生じて浸水すると、そのクラック周囲の誘電率が大きくなる。漏水探知センサの基本原理である平行二線の特性インピーダンス（電流の流れにくさを表す量）は、周囲の媒質（水や空気）の誘電率によって変化する。つまり、コンクリート中の平行二線が浸水すると特性インピーダンスが低下する⁸⁾。漏水センサの観測例を図-5に示す。図に示すような平行二線にパルス波を入射すると特性インピーダンスが変化する箇所で反転反射波が発生する。この反射波計測までの時間とコンクリート中の波形伝播速度から漏水の発生位置を特定することができる。

漏水探知センサの外観を図-6に示す。本センサは平行二線ケーブルに透水性被覆を施すことにより断面内に微細な空隙を形成し、コンクリートに発生したクラックから浸入する水分を被覆内部に貯める構造にすることで、確実に平行二線ケーブル周辺の媒質の変化を検知する構造としている⁹⁾。さらに、本センサには一定間隔で不透水性被覆を設けることで、センサ透水性被覆内の漏水が広範囲に浸透して漏水位置の特定精度が低下することを防止している。これにより、位置分解能の設定と位置限定が可能となる⁷⁾。

苫田鞍部ダムスラブにおける漏水探知センサ設置位置を図-7に示す。センサはCFRD内で最長スラブであるF11スラブに設置した。センサはF11スラブ（スラブ厚0.3m）内の表面から約0.21mの深さに設置した。漏水探知センサは漏水探知精度1m（止水部の間隔1m）のメインケーブル53.6m、漏水探知精度2m（止水部の間隔2m）のサブケーブル61.6mの2本設置した。

3.3 外部変形の計測

3.3.1 堤体の外部変形

堤体全体の巨視的な変形挙動を把握するため、堤体外の固定点（固定座標）を基準として測量器を設置し、堤体上の可動点（可動標的）を視準して、それぞれの可動点の外部変形、つまり、水平・鉛直変位を計測した。可動標的設置位置を図-8に示す。

なお、測量による外部変形計測は、最も基本的なフィルダムの変形計測方法である。

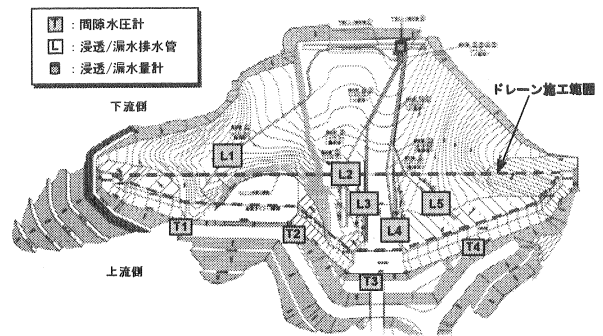


図-4 漏水/浸透量計測設備および間隙水圧計の平面配置

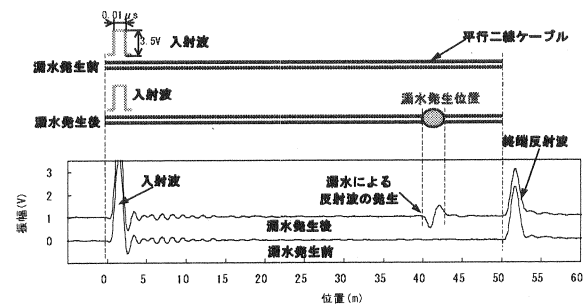


図-5 漏水探知センサの観測例

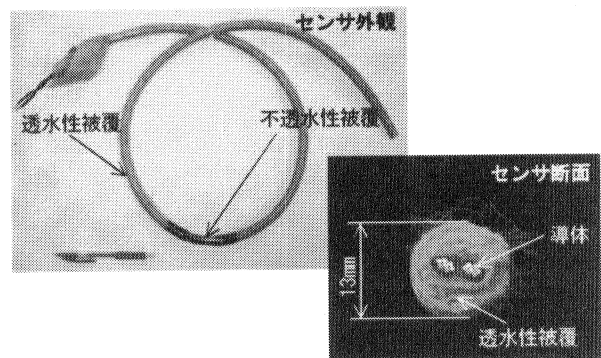


図-6 漏水探知センサの外観

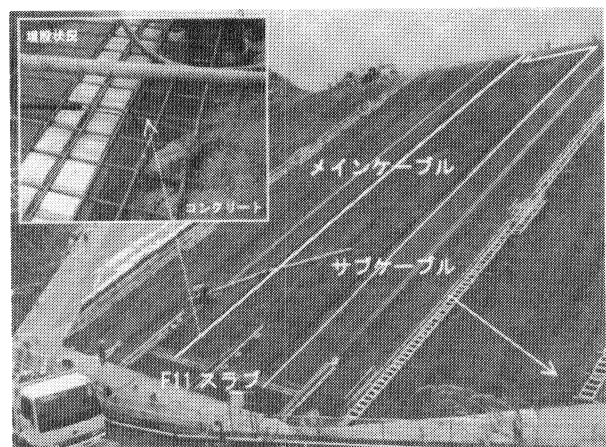


図-7 漏水探知センサ設置位置

3.3.2 スラブの表面変形

水圧作用時および経年的な堤体の沈下に対するメインスラブの表面変形を連続的に計測するために、表面変形計測器を苫田鞍部ダムの最長スラブであるF11スラブに設置した。設置位置を図-8に示す。

この表面変形測定器は、図-9に示すように、測定管部と計測器部から構成される。測定管部は図-9に示すように、スラブ表面と平行に設置した。測定管については、管および管接合部を可動な構造とすることにより、スラブの変形に追従する。変形に追従する管路に計測器を挿入することにより、スラブ表面の変形状態を連続的に計測する。表面変形測定器の外観を図-9内に示す。測定器は外径50mm×長さ1000mmの鋼管の先端に高精度の傾斜計を取り付けた構造になっている。その測定器を管内に挿入し、一定間隔で傾斜角度を測定し、各点における基準点からの高さを求め、積算していくことでスラブの表面形状を連続的に計測する。

具体的には、各測定点において、傾斜角 θ_i を計測し、それに測定間隔 L を乗じることにより、その区間の高さ $L\sin\theta_i$ を求める。この値を累積することによりスラブ表面の形状を求めることができる。ただし、この方法により得られる測定値は測定点の相対的位置関係であるため、絶対的な位置は天端測定管の位置を他の方法によって求める必要がある¹⁰⁾。

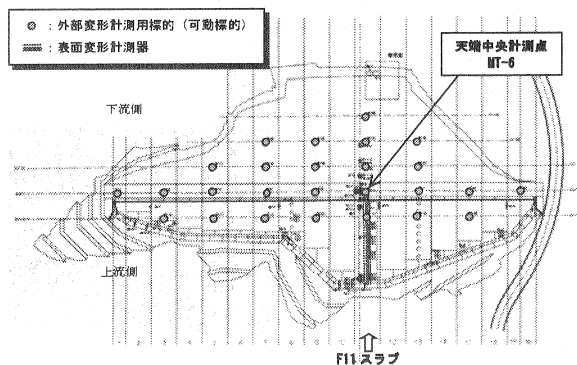


図-8 外部変形計測器設置位置

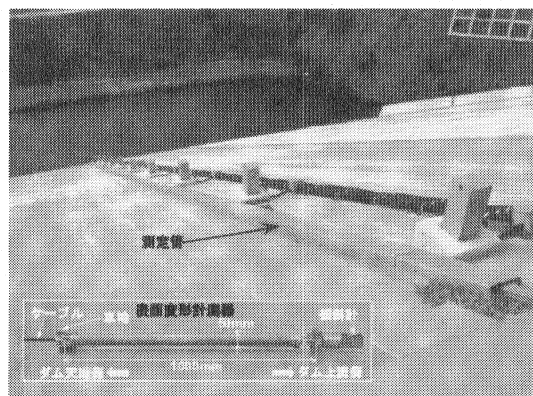


図-9 表面変形計測器の外観

4. 計測結果と安全性の評価

4.1 漏水/浸透の計測

4.1.1 堤体および基礎浸透量

観測結果は、苫田鞍部ダムの上流側堤趾 (EL.210.9m) に貯水位が到達する2004年10月16日から試験湛水の終了する2005年1月12日までの計測について整理・分析を行った。

浸透/漏水量、貯水位および雨量の経時観測の結果を図-10に、浸透/漏水量と貯水位の関係を図-11に示す。鞍部ダムの全浸透/漏水量は、3.7~27.6 ℓ /minの範囲で変動している。5ゾーンのうち、最も浸透/漏水量が多いのはL-4で、2.4~20.2 ℓ /minの範囲で変動している。逆に、L-1は漏水がほとんどなく、0.1 ℓ /min程度であった。その他の浸透/漏水量観測値は、平均で2 ℓ /min程度である。

全浸透/漏水量は、降雨の影響により一時的に多くなるが、それ以外は貯水位の変動に連動した挙動を示している。また、全浸透/漏水量は、4 ℓ /min程度の基底流量および、降雨の影響を除外して考えると、貯水による量は最大でも20 ℓ /min (0.3 ℓ /sec)程度であり、その値は非常に少ない。また、この値は、わが国の内部土質遮水壁型ロックフィルダムにおける浸透/漏水量の実測値¹¹⁾と比べてもかなり小さい値である。さらに、設計時にサーチャージ水位条件下で実施した浸透流解析の結果として得られた基礎浸透量は237 ℓ /minと算出されており、20 ℓ /min程度の全浸透/漏水量は、この値と比較しても小さい値となっている。

以上より、浸透/漏水量は、少ないうえ、貯水位との対応関係も良好であることから、苫田鞍部ダムは浸透/漏水量に関して安全に挙動していることがわかる。

浸透/漏水量の傾向としては、L-4が全浸透/漏水量の7割を占め、その他の管からほとんど浸透/漏水量が観測されていない。この原因の一つとして、堤体上流側に設置しているドレーンが左右岸に連続して存在していることが挙げられる。つまり、ドレーンに集まった浸透/漏水が高い位置の排水管にはあまりはいらず、ドレーンの低標高部に集まったと考えられる。しかし、低標高部には左岸側のL-3と右岸側のL-4があり、いずれも同程度の標高であることから、浸透/漏水量は右岸側に多い傾向にある。これは、基礎地盤の地形が、左岸側は上流から下流に低くなるのに対し、右岸側は上流より下流の方の標高が高くなるため、右岸側の浸透水・漏水・雨水は下流側へ排出されることなく堤体内を通過して最下部のドレーンへ集まると考えられる。

ペリメータジョイント直下の間隙水圧の経時観測結果を図-12に、間隙水圧と貯水位の関係を図-13に示す。最低標高部に設置したT-3において貯水位に連動した挙動が観測された。しかし、その値は、0.002~0.011MPa (水頭で約0.2~1.1m)である。その他の地点では、間隙水圧が極めて小さいため、貯水位に連動した明瞭な挙動は観測されなかった。

以上より、間隙水圧の値は小さく、間隙水圧の急増現象

も認められていないことから、スラブ継目やクラックを通しての漏水による堤体内水位の上昇は発生していないと考えられる。

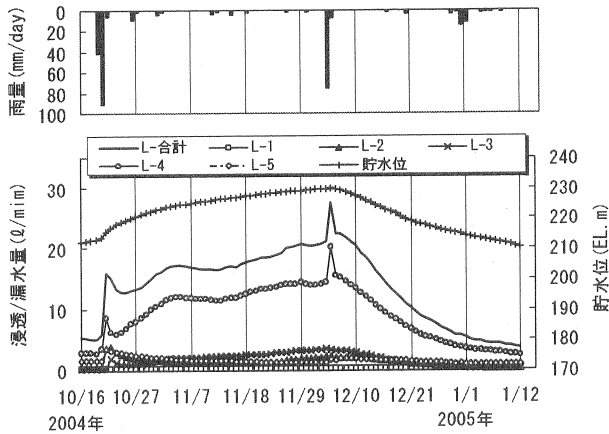


図-10 浸透/漏水量, 貯水位および雨量観測の結果

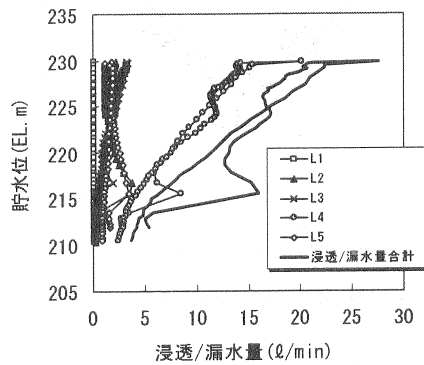


図-11 浸透/漏水量と貯水位の関係

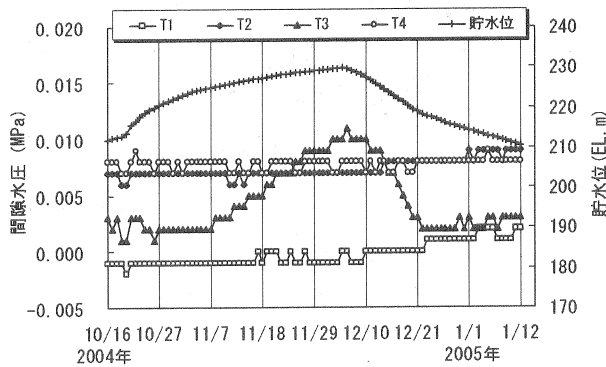


図-12 間隙水圧・貯水位観測結果

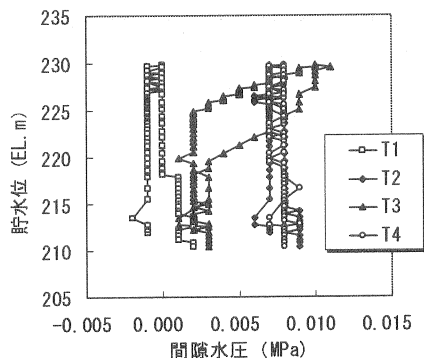


図-13 間隙水圧と貯水位の関係

4.1.2 スラブからの漏水

苫田鞍部ダムでの漏水探知システムの計測は、試験湛水中は1回/日の頻度で行った。本論文では、計測結果の例として、図-14に示す、サーチャージ水位である貯水位EL.229.7m時のメインケーブルによる計測結果を図-15に示す。

横軸は、ダム天端からの距離を示している。縦軸は反射波形の振幅 (V) である。図中A, B, Cは図-14中A, B, Cの位置に対応している。

試験湛水における最高水位であるサーチャージ水位EL.229.7m時での計測結果では、浸水区間内に負極性の反射波は観測されず、スラブにはクラックに起因した漏水が発生していないことがわかる。

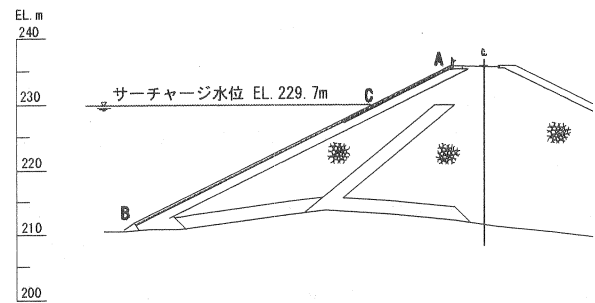


図-14 サーチャージ水位時計測と結果分析主要地点位置

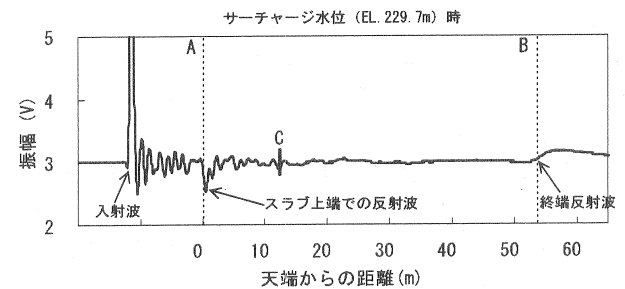


図-15 漏水探知センサ (メインケーブル) の計測結果 (サーチャージ水位時)

4.2 外部変形の計測

4.2.1 堤体の外部変形

外部変形計測結果の例として、図-8に示す、ダム最大断面の天端中央にある外部標的MT-6の計測結果を図-16に示す。なお、変位は、鉛直方向については浮き上がり方向を、ダム上下流方向については下流方向を、ダム軸方向については左岸方向をそれぞれ正として表示している。

図より、水平方向の上下流およびダム軸方向の変形はほとんど発生していないことがわかる。また、沈下量を示す鉛直方向の変位は試験湛水終盤には概ね収束する傾向がみられるとともに、その値は10~15mmと小さい。このことから、苫田鞍部ダムは外部変形に関しても安全に挙動していると考えられる。

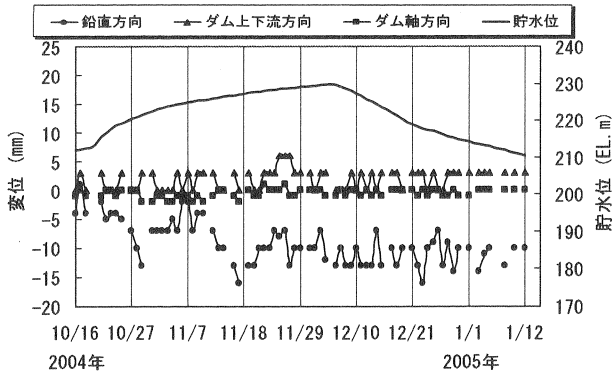


図-16 天端中央標的MT-6における変形計測結果

4.2.2 スラブの表面変形

スラブの表面変形の計測結果として、①湛水前、②水位上昇中、③サーチャージ水位付近、④水位下降時、⑤試験湛水終了直前の5ケースについて例示する。表面変形計測器観測時と貯水位の関係を図-17に示す。試験湛水時の最高水位であるサーチャージ水位は概ね表面変形計測点 40 の位置である。

図-16に示した外部標的MT-6の鉛直方向の変位計測結果と測点53の鉛直方向の変位が等しいと仮定して整理した表面変形計測器計測結果を図-18に示す。図は横軸がスラブ下端からのスラブ沿いの距離、縦軸がスラブの初期状態に対する垂直変位を表している。図中縦軸の正方向は貯水池側、負方向は堤体側への変位を表している。スラブ下端の変位は近接して設置した岩盤変位計の計測結果より最大で0.04mmと、ほぼ変化していないと判断し、測点1の鉛直方向の修正は行わなかった。

次に、①湛水前計測2004年3月5日のデータを初期値とし、その時点の値から湛水によりどの程度スラブがスラブの軸線直行方向に沈下したかを表すグラフを図-19に示す。図は横軸がスラブ下端からのスラブ沿いの距離、縦軸が初期値からの沈下量を示している。図中の変位の正負方向は図-18と同様である。図より、水位の上昇に伴い、②水位上昇時の計測結果では、スラブ全体が沈下し、③サーチャージ水位付近の計測結果は、ダム上流側、つまり低標高部の沈下がさらに大きくなっていることがわかる。また、図-19より、④水位下降時、⑤湛水終了時の観測結果から、貯水位が下がり荷重される水圧荷重がなくなっても、スラブの変形の戻りが小さく、③サーチャージ水位付近時のスラブの変形との差がない、つまり塑性変形となっていることがわかる。

試験湛水により、スラブが初期状態に対しどのような変形をしたかを表すグラフを図-20に示す。図は横軸がスラブ下端からのスラブ沿いの距離、縦軸が①試験湛水前からのスラブ内の変位量を表している。図中の変位の正負方向は図-18と同様である。図より、サーチャージ水位付近の測点40より低い標高、つまり水浸区間において相対的に大きく変形しており、特に測点1~20付近がダム堤体側に大きくたわみ、湛水による水圧の影響を受けた挙動を示し

ていることがわかる。

しかし、沈下量は3.4mm程度と極めて小さく、スラブの変形に関しても安全性の問題はないことがわかる。

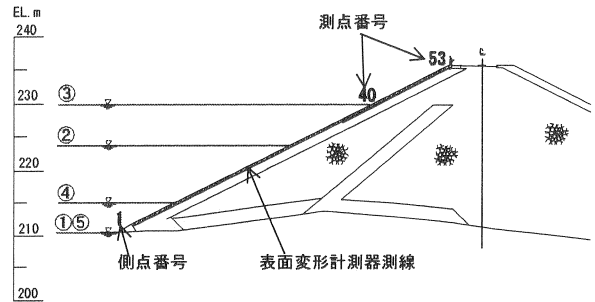


図-17 計測結果例示時水位と表面変形計測器の位置関係

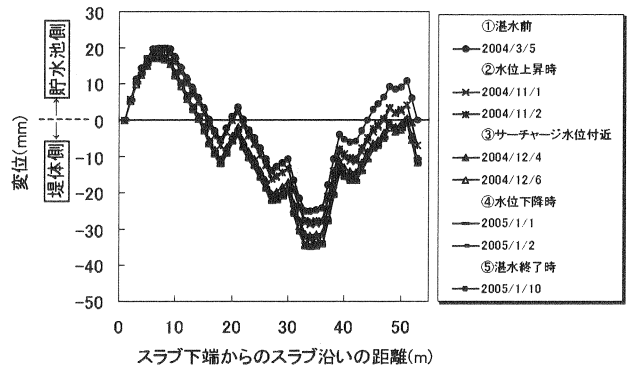


図-18 表面変形計測器計測結果

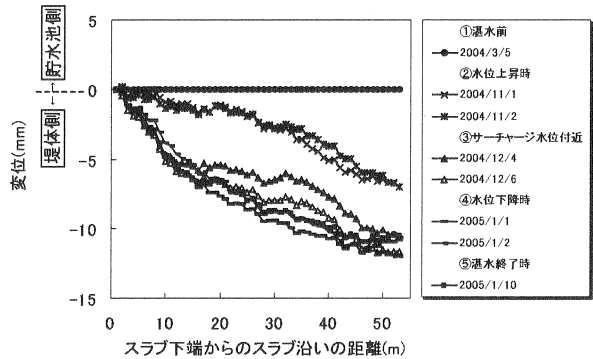


図-19 湛水時のスラブの変形挙動

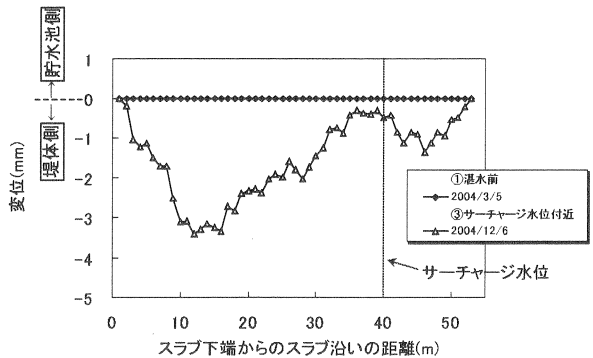


図-20 サーチャージ水位時のスラブの変形形状

5. 海外の CFRD の挙動との比較

5.1 検討項目

前章における計測結果より、苫田鞍部ダムは安全に挙動していることがわかった。ここでは、我が国における本設構造物として初めて、近代的施工方法で築堤された CFRD の苫田鞍部ダムの挙動を、海外で築造された CFRD の挙動と比較することで、安全性評価の精度を高める。なお、比較は、海外の 40 基のダムを対象におこなった^{12), 13)}。

具体的な、検討項目は、浸透/漏水量、天端沈下量およびスラブの最大表面変形の 3 項目とした。検討にあたっては、図-21 に示すような、ダムの堤高 H (m)、スラブ表面面積 A (m^2)、谷形状係数 A/H^2 をパラメータとして設定した。谷形状係数は、既往の研究によると、狭い谷のダムは $A/H^2 \leq 3.5$ 、広い谷のダムは $4 < A/H^2$ と定義されている¹⁴⁾。

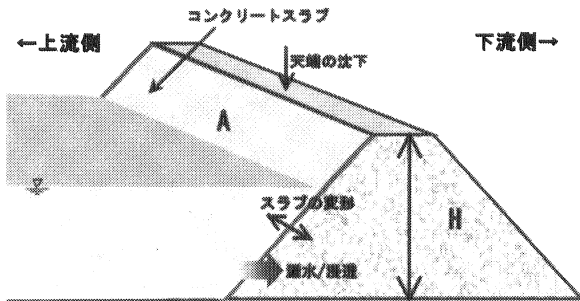


図-21 比較に使用したパラメータ

5.2 浸透/漏水量

堤高と浸透/漏水量の関係を図-22 に示す。苫田鞍部ダムの最大浸透/漏水量は 0.30 l/s と絶対量として非常に少なく、かつ既設ダムの堤高と浸透/漏水量の関係におけるデータの下限包絡線のほぼ延長線上に位置していることがわかる。

谷形状係数と浸透/漏水量の関係を図-23 に示す。 A/H^2 が大きい、つまり谷幅が広いと、一般的に浸透/漏水量は多くなると考えられる。既設ダムのデータでもそのような分布傾向が見られる。苫田鞍部ダムは既設ダムのデータの傾向と比べて、かなり浸透/漏水量が小さいことがわかる。

これらの検討から、既設の海外の CFRD と比較しても、苫田鞍部ダムの漏水/浸透量は最低レベルないし、それよりも少ないことがわかる。

5.3 ダム天端の沈下量

図-24 に堤高と天端の沈下量の関係を谷形状係数 $A/H^2 \leq 3.5$ と $A/H^2 > 4$ に分けて示す。この図より、堤高 H が高いほど天端沈下量が大きい傾向にある。

苫田鞍部ダムの天端沈下量は、堤高が低いこともありその絶対値は小さいが、既設ダムのデータの下限包絡線と比較しても低いレベルにあることがわかる。また、谷形状係数による明確な分類はできないこともわかる。

5.4 スラブの最大表面変形量

堤高と貯水圧によって発生するスラブ表面の最大変形量の関係を、谷形状係数 $A/H^2 \leq 3.5$ と $A/H^2 > 4$ に分けて図-25 に示す。苫田鞍部ダムでは、最大変形量 3.4 mm と非常に小さな値が観測された。

苫田鞍部ダムのスラブ表面の最大変形量は、堤高が低いこともありその絶対値は小さいが、既設ダムのデータの下限包絡線と比較しても低いレベルにあることがわかる。また、同じ堤高の場合、谷形状係数が大きい、つまり谷幅が広い場合の方がスラブの最大表面変形量が大きくなる傾向にある。

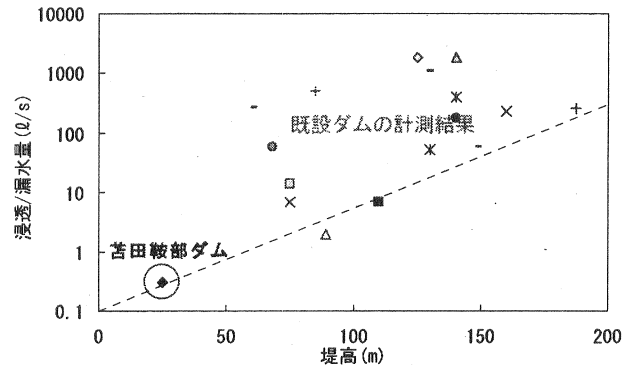


図-22 堤高と浸透/漏水量の関係

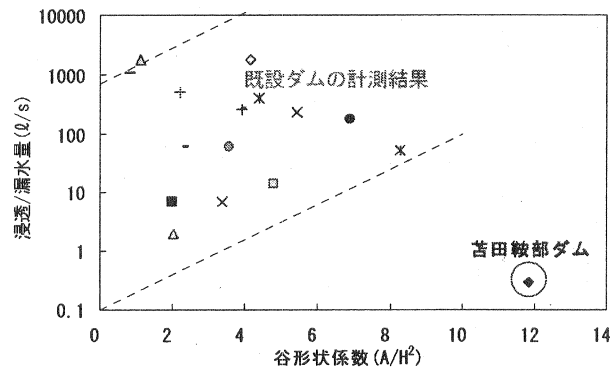


図-23 谷形状係数と浸透/漏水量の関係

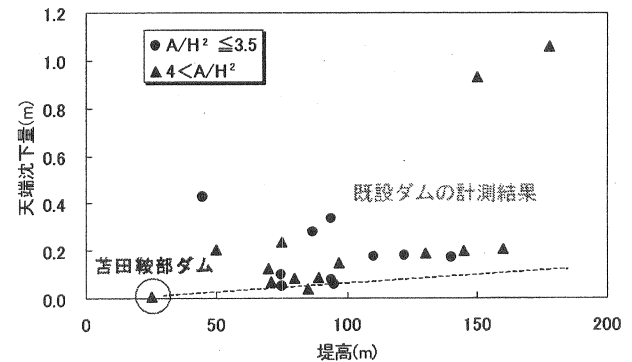


図-24 堤高と天端沈下量の関係
(谷形状係数による分類)

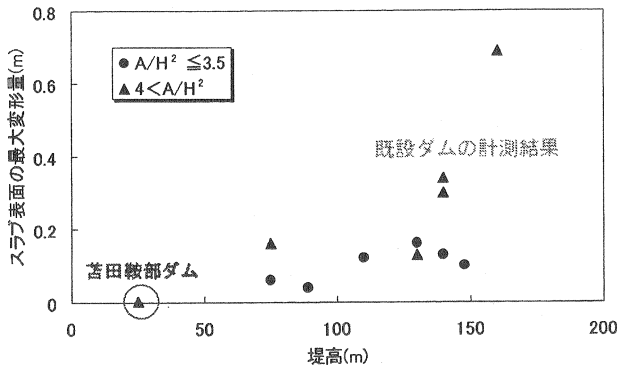


図-25 堤高とスラブ表面の最大変形量の関係 (谷形状係数による分類)

6. まとめ

我が国における本設構造物として初めて近代的な施工方法で築造された、CFRD 型式の苦田鞍部ダムにおいて、安全管理のほか、今後の設計・研究資料を得る目的などから数多くの計測計器を設置し、その挙動計測を実施した。

本論文では、フィルダムの安全管理上最も重要な、浸透/漏水および外部変形に関する計測結果について分析し、ダムが安全に挙動していることを明らかにした。また、海外で築造された CFRD の挙動と比較することで、安全性評価のレベルを高めた。

具体的な安全性評価の結果を以下に示す。

浸透/漏水量は、降雨の影響により一時的に多くなるが、それ以外は貯水位に連動した挙動を示した。浸透/漏水量は、基底流量および降雨の影響を除外して考えると、最大でも 200 /min 程度であり、その値は非常に少ない。ペリメータジョイント直下に設置した間隙水圧計では、貯水位に連動した値が観測されているが、その値は、0.002~0.011MPa (水頭で約 0.2~1.1m) と極めて小さい値であった。

スラブに設置した漏水探知システムの計測結果では、湛水による漏水は探知されず、クラックに起因した漏水は発生していないことがわかった。

外部変形計測結果については、ダム天端での沈下量は約 15mm であった。また、スラブの表面変位については、最大でも 3.4mm と非常に小さな値であった。

また、苦田ダムにおける計測結果と、既設の海外の CFRD と比較した結果、苦田鞍部ダムの漏水/浸透量、天端沈下量、スラブに発生した変形量は、非常に小さいことがわかった。

以上の浸透/漏水量と変形の計測結果や、海外の CFRD との比較結果より、苦田鞍部ダムは、計測値そのものが非常に小さいこと、また、計測値が貯水位と連動した値が観測されており、計測値に急変が見られないことから、安全

に挙動していることが確認できた。

苦田鞍部ダムは、国内における近代的 CFRD の初めての施工ということもあり、小規模かつ勾配の緩いダムで築造された。今後は、これらの結果を基に、堤高が高く、急勾配の CFRD の設計についての検討を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) 坂本忠彦, 松本徳久, 福永和久: 海外の CFRD の動向, ダム技術, No.162, pp.8-21, 2000.
- 2) 山口温朗, 小坪洋巳: 徳山ダム上流二次締切における CFRD の試験施工について, ダム日本, No.699, pp.39-64, 2003.
- 3) 中江兼二: 苦田ダムの設計と施工, 第 10 回ダム工学会講習会, pp.1-20, 2005.
- 4) ダム管理研究会: ダム管理の実務, (財)ダム水源地環境整備センター, 1999.
- 5) 国土交通省河川局河川環境課監修: ダム管理例規集, (財)ダム水源地環境整備センター, 2003.
- 6) 山口嘉一, 岩下友也: ロックフィルダムの計器による挙動計測, ダム技術, No.174, pp.32-43, 2001.
- 7) 小堀俊秀, 山口嘉一, 市原裕之: コンクリート遮水壁用漏水探知センサの性能試験, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 第 VI 部門-317(CD-ROM), 第 58 回, 2003.
- 8) 樋口佳意, 山崎宣悦, 後藤知英, 山口嘉一: コンクリート構造物の漏水発生位置検出手法の基礎的検討, 第 30 回土木学会関東支部技術研究発表会, 第 VI 部門-30(CD-ROM), 2003.
- 9) 小堀俊秀, 山口嘉一, 市原裕之, 山崎宣悦: 透水性被覆ツイスト電線による漏水探知システムの CFRD への適用性, 第 30 回土木学会関東支部技術研究発表会, 第 VI 部門-31(CD-ROM), 2003.
- 10) 山口嘉一, 小堀俊秀: フィルダム堤体の表面変形量の連続測定, 土木技術資料, Vol.45, No.12, pp.2-3, 2003.
- 11) 中村 昭, 安田成夫, 小嶋光博, 藤澤侃彦, 伊藤基博: フィルダムの挙動解析(その 2) - 変位, 浸透 -, 土木研究所資料, 第 3255 号, 1994.
- 12) J. Barry Cooke and James L. Sherard: Concrete Face Rockfill Dams - Design Construction and Performance, American Society of Civil Engineers, 1985.
- 13) Christian Kutzner: Earth and Rockfill Dams - Principles of Design and Construction, A.A.BALKEMA, 1997.
- 14) Pinto, N. L. S., and Marques, F. P.: Estimating the Maximum Face Deflection in CFRDs, The International Journal on Hydropower & Dams, Vol.5, Issue 6, pp.28-31, 1998.

(2006 年 6 月 30 日 受付)