

土用ダムにおける堤体の計測及び安全性評価

Safety Evaluation with the Result of Measurement at Doyoh Dam, Japan

志水 克成	Yoshinari SHIMIZU	(中国電力(株) 流通事業本部水力・変電土木担当)
末國 光彦	Mitsuhiko SUEKUNI	(中国電力(株) 流通事業本部水力・変電土木担当)
國西 達也	Tatsuya KUNISHI	(中国電力(株) 流通事業本部水力・変電土木担当)
入江 彰	Akira IRIE	(中国電力(株) 流通事業本部水力・変電土木担当)
田岡 洋	Hiroshi TAOKA	(中国電力(株) 流通事業本部水力・変電土木担当)

土用ダムは中国電力が所有する出力 120 万 kW の揚水式発電所（俣野川発電所）の上池用ダムとして建設された、高さ 86.7m の中央遮水壁型ロックフィルダムである。土用ダムの安全性に係る計測として、堤体の変形、ダム漏水量、漏水濁度、堤体内および基礎岩盤内の間隙水圧測定を実施しているが、変形の計測値に一定期間に亘る改ざんの事実が認められた。

本報告は、当該計測値を欠測したものとし、その前後の計測値及びその他の計測値を用いて改めて土用ダムの安全性について分析・評価を行なったものである。

キーワード：中央遮水壁型ロックフィルダム、堤体の安全性、変形量、ダム漏水、
間隙水圧

(IGC:H-4)

1. はじめに

土用ダムは揚水式発電所の上池ダムであり、岡山県新庄村に位置する（図-1）。本ダムは昭和 62 年 12 月に完成したダム高 86.7m、ダム頂長 480m の中央遮水壁型ロックフィルダムである。本ダムでは、完成して以降、継続的にダムの変形やダム漏水等を計測し、安全管理を行ってきたが、ダム堤体変形（沈下とダム上下流方向水平変位）の計測値に一定期間に亘る改ざんの事実が確認された。このため、当該値を欠測したものとして取り扱い、改めてダム堤体の安全性の評価を実施した。欠測期間は、平成 3 年 4 月から平成 9 年 12 月である。

この安全性の評価結果については、国土交通省の命令に基づき第三者で構成される委員会（地盤工学会中国支部）による点検および審査を受けた。本報告は、この審査資料に追加的な考察を加えて報告するものである。

2. 計測項目および方法

一般的に、フィルダムの堤体に異常がある場合、基礎からの漏水の発生、堤体コア部を浸透するダム漏水量の増加など、ダムの異状を示す何らかの前兆現象があらわれるとされる¹⁾。既往事故事例報告²⁾でも、沈下や変形に関連する事故は、クラック等の外観の変状や漏水（量や濁度）の変化を伴っている例が多いとされている。

これらの特性を踏まえ、土用ダムでは、大別して①堤体

の変形（沈下、水平変位および層別沈下）、②ダム漏水、漏水濁度、③堤体内および基礎岩盤内の間隙水圧などの測定を実施している。これらの主要な計測機器の配置を図-2、3に示す。

2.1 変形

堤体の変形については、天端・法面上に 5 測線 22 箇所の測点を設置し、沈下量と水平変位量（上下流方向）の測定を実施している。また、堤体中央部で層別沈下量も測定している。測定頻度はいずれも 1 回/月である。

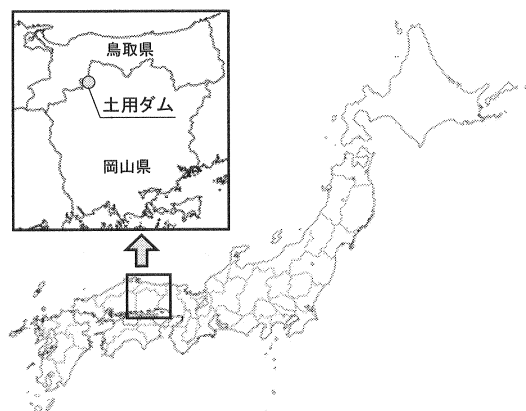


図-1 土用ダム位置図

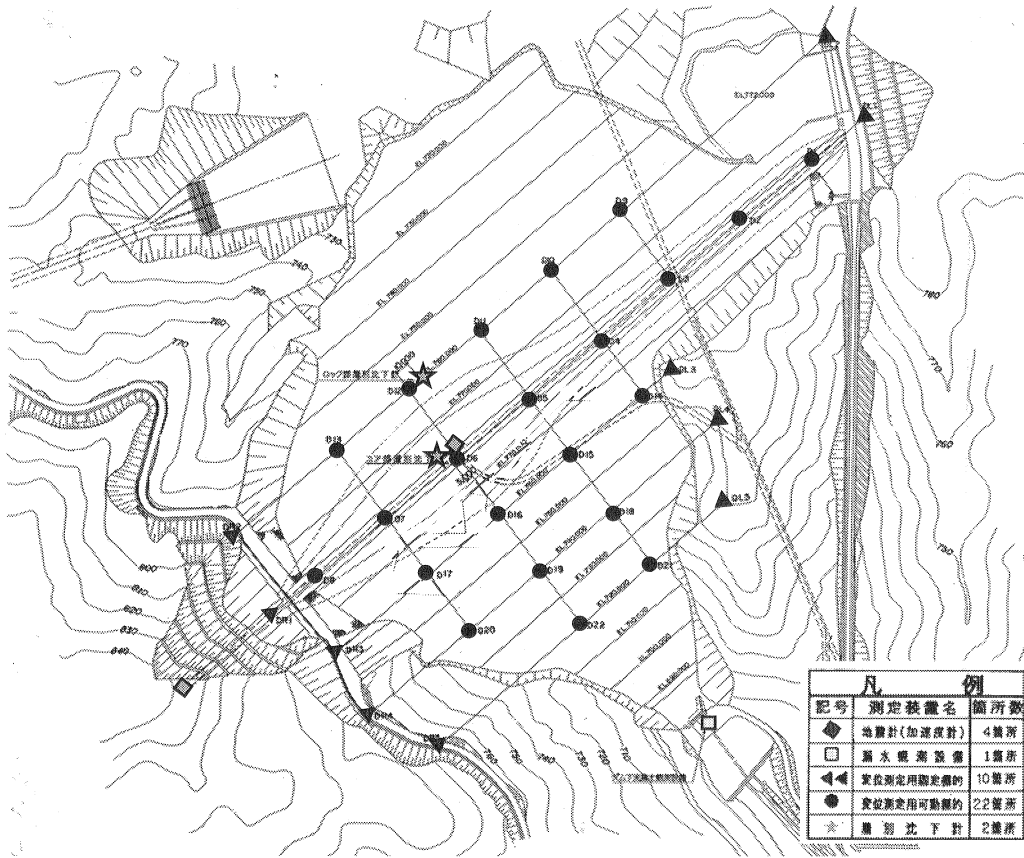


図-2 土用ダム断面図および計測位置図

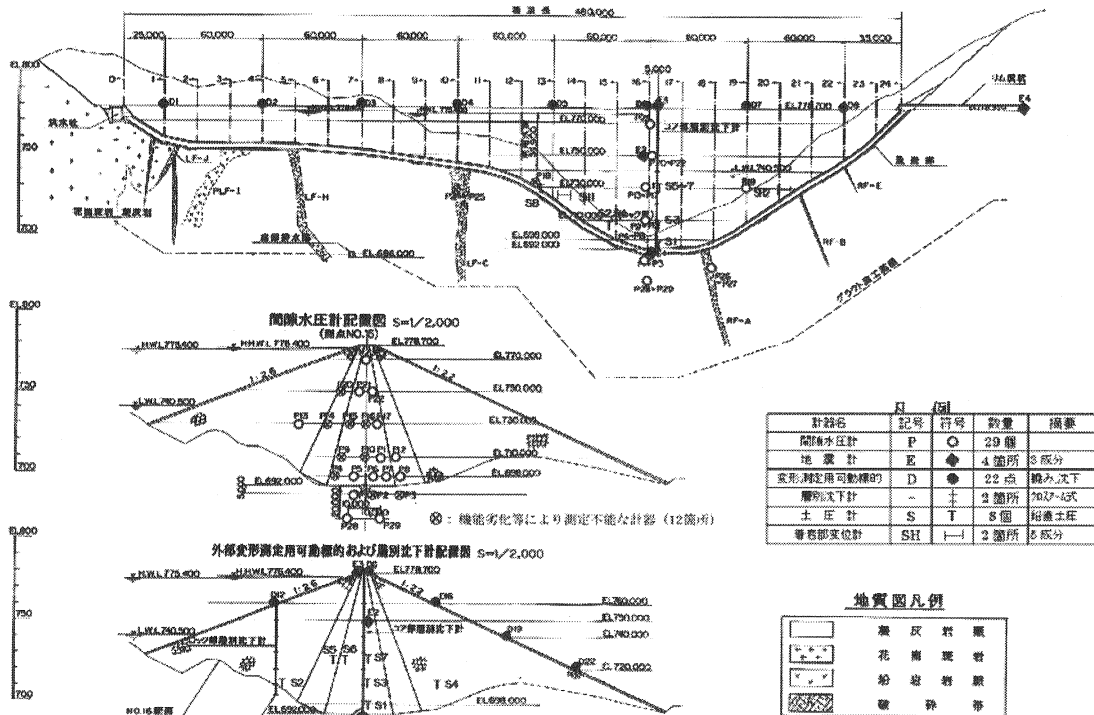


図-3 土用ダム断面図および計測位置図

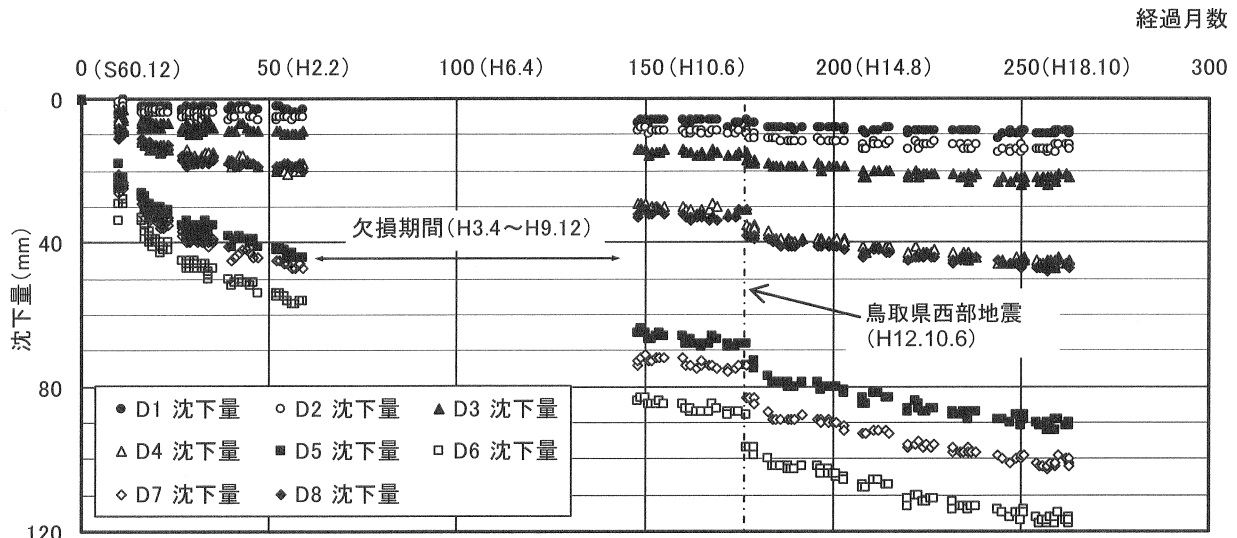


図-4 沈下量経時変化図 (昭和 60 年～平成 19 年)

※鳥取県西部地震 規模：M7.3，土用ダム端中央における地震加速度の最大値：437gal（上下流方向）（以下の図も同様）

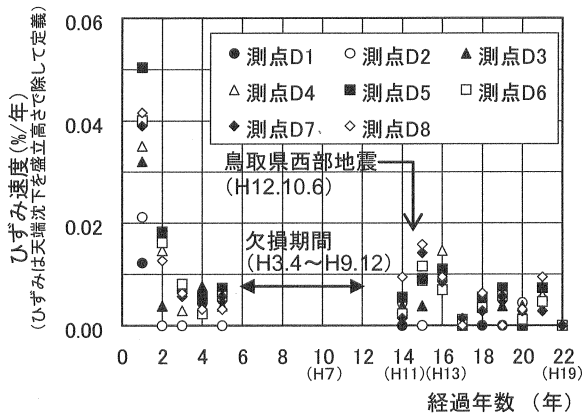


図-5 年間ひずみ速度経時変化図
(昭和 60 年～平成 19 年)

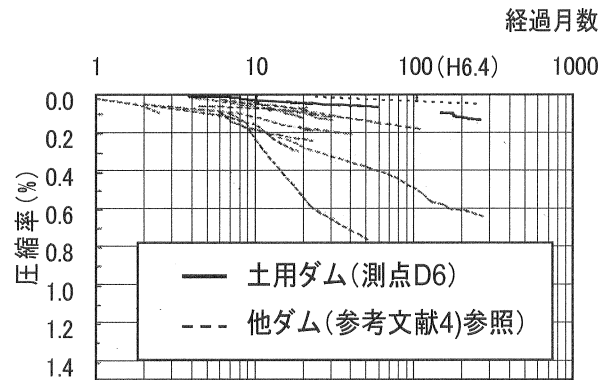


図-6 圧縮率の経時変化図⁴⁾
(昭和 60 年～平成 19 年)

2.2 ダム漏水の量と濁度

ダム漏水の量と濁度は、ダム下流（ロックゾーン）末端に設置した漏水測定設備を用いて計測している。計測頻度はいずれも 1 回／時間である。

2.3 間隙水圧

堤体の間隙水圧は、堤体内部に配置した 29 箇所の間隙水圧計を用いて計測している。計測頻度は 1 回／日である。

3. 計測結果および安全性評価

3.1 変形

1) 外部変形（沈下及びダム上下流方向水平変位）

堤体の天端測点における沈下量の経時変化を図-4 に示す。土用ダムは、ダム盛立後急速に沈下したが、その後は

ゆるやかに沈下しており、一般的なフィルダムと同様の沈下傾向を示している。欠測期間後も、平成 12 年 10 月 6 日の鳥取県西部地震時に短期間で 9mm 沈下したのを除きこのゆるやかな沈下傾向に変化はない。

年間ひずみ速度（1 年当りの沈下量／ダム盛立高さ(%)）の経時変化として整理した結果を図-5 に示す。年間ひずみ速度は、ダム完成後 2 年目以降、安定期に入ったダムの値とされる 0.02%以下³⁾となっていることから、土用ダムは完成の 2 年後というごく早い時期に安定した状態に至ったと考えられる。年間ひずみ速度は欠測期間後、鳥取県西部地震によりわずかに上昇したものの 0.02%を超えることはなかった。また、その後も 0.02%を下回っていることから土用ダムはダム完成 2 年後以降、安定期に入ったダムの挙動を示してきたと考えられる。

沈下量は一般的にダム高さに応じて大きくなる。そこで、ダム高さの影響を排除して沈下量を評価するため、土用ダ

ムの圧縮率（沈下量/ダム盛立高さ(%)）の経時変化を他ダムのものとあわせて図-6に示す。土用ダムの圧縮率は他ダムと比較しても小さくかつ経時的に安定した増加傾向を示している。

ダム天端測点におけるダム盛立高さを表-1に、ダム天端における湛水後1年後、鳥取西部地震直後及び現在の沈下量とダム上下流方向水平変位量の分布を図-7に示す。これによれば、ダム盛立高さが大きいほど沈下量、水平変位量共に大きくなっており、また、経年や地震によりこの傾向に変化は生じていないことから、ダムの安定性の異常を示す兆候は認められない。

最大ダム盛立高さがとなる断面のダム天端の測点（D6測点）のダム上下流方向水平変位量とダム水位の関係を図-8に示す。これによれば、湛水開始後1ヶ月頃までは、ダム水位が高くなるとダム天端が下流に水平変位していたことがわかる。また、その後もダム水位の変化の繰返しにより徐々に下流に変形し、鳥取県西部地震によって

6mmの下流に変形した。しかし最近ではダム水位の変動に対してダム上下流方向に変位する状況はほとんど見られず、堤体が安定した状態を保持していることが伺える。

以上、外部変形からみて、ダム完成後から欠測期間前までおよび欠測期間後から現在までの間、ダム堤体は安定した挙動を示していると言える。

2) 内部変形

図-9にダム盛立完了時を基準としたコア部の層別沈下量の分布を示す。これによると、層別沈下量は深さ方向に滑らかに分布しており、局所的に沈下量が增大している箇所は認められない。また、鳥取県西部地震後には天端付近（EL.770～780m）の層の沈下が確認されたが、その後は再度収束傾向にある。これらのことから堤体の内部変形は外部変形と同様に安定的な挙動を示していると言える。

3.2 ダム漏水

ダム漏水の量と濁度は、変形量が欠測している期間も継続して計測されており、この期間の安全性を評価するための重要な指標となる。これらは、ダム水位変化や降水・融雪の影響を受けて変動することが経験上分かっている。ダムの安全性に係るのは前者の影響であり、後者の成分を分離して評価することが望ましいが、土用ダムの管理ではこれらを定量的に分離するには至っていないため、ここでは両者を合計したもので定性的に評価する。ダム水位、日雨量及びダム漏水の量と濁度の経時変化（ダム完成直後：昭和61年、変形量の欠測期間：平成8年、現在：平成19年）を図-10に示す。

表-1 ダム天端測点における盛立高さ

天端測点	盛立高さ (m)
D1	19.7
D2	22.7
D3	26.2
D4	34.2
D5	54.7
D6	86.7
D7	70.7
D8	31.7

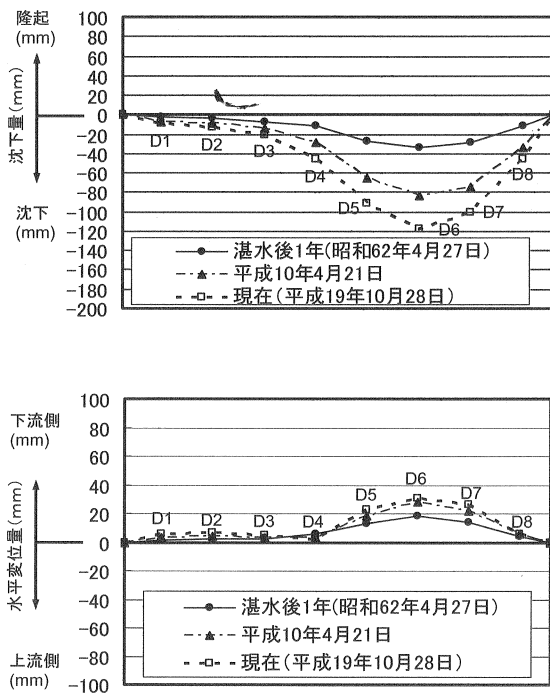


図-7 ダム天端測点の外部変形
(沈下およびダム上下流方向水平変位)

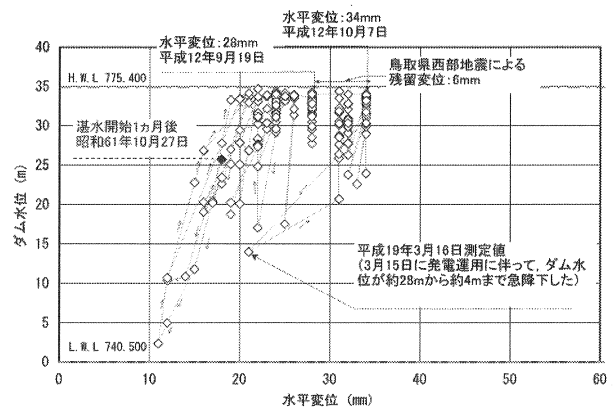


図-8 水平変位量とダム水位の関係
(掲載期間：昭和61年～平成19年)

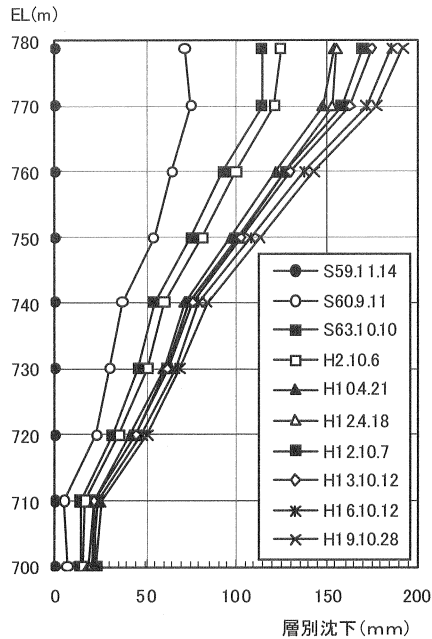


図-9 層別沈下量

(掲載期間：昭和 59 年盛立完了～平成 19 年)

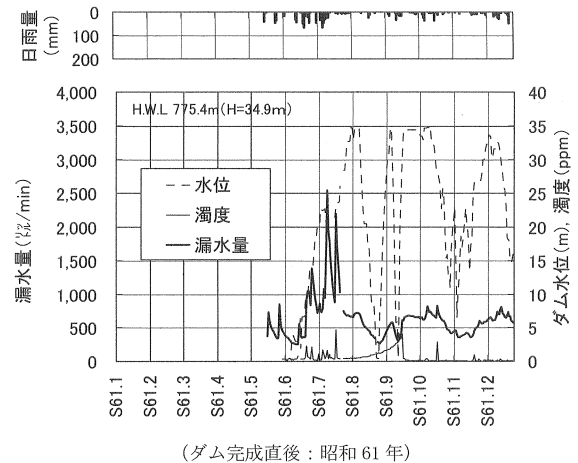
1) ダム漏水量

昭和 61 年のダム漏水量には、10、12 月にダムの水位上昇の影響とも推察される増加がみられる。降雨による影響も見られるが、短期間に収束する傾向はみられない。平成 8、19 年のダム漏水量には、ダム水位の影響と推察される大きな変化はみられない。一方で、降雨等によると考えられる一時的な増加（500～1,000ℓ/min 以上）と、ピーク後にはすぐに減少して 500 ℓ/min 程度以下となる傾向が見られる。これらの特徴の差は、ダム完成直後に見られていたダム水位の変動に伴う漏水量の変化が徐々に定常的なものとなり、降雨による影響が顕在化してきたことによると考えられる。

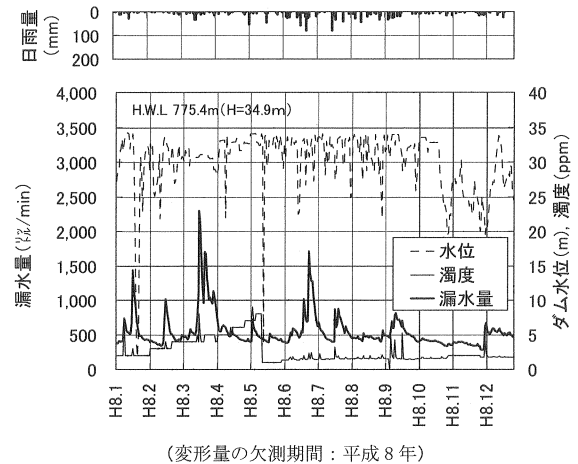
ダム漏水量の月間最低値の経時変化を図-11 に示す。鳥取県西部地震後の一時的に若干上昇した様子が伺えるが、長期的にはダムは建設完了後から安定した減少傾向にある。

以上のような特徴は、経年と共に堤体の圧密や基礎岩盤の目詰等の透水性を支配する間隙の減少に伴うものと考えられ、一般的なフィルダムの安定化傾向と整合している。

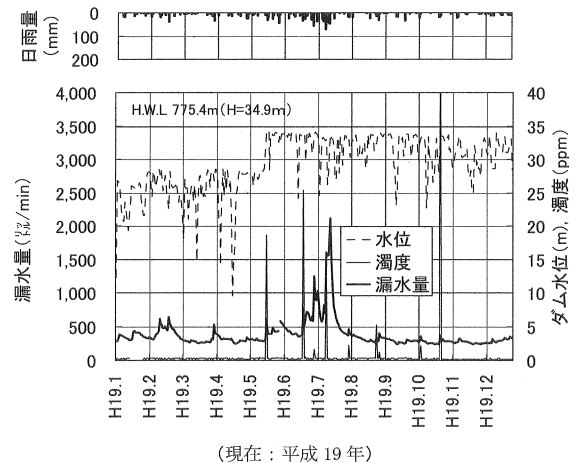
ダム漏水量からみて、ダム堤体建設完了以降現在まで安定した状態を保持していると考えられる。



(ダム完成直後：昭和 61 年)



(変形量の欠測期間：平成 8 年)



(現在：平成 19 年)

図-10 ダム漏水量、ダム漏水濁度

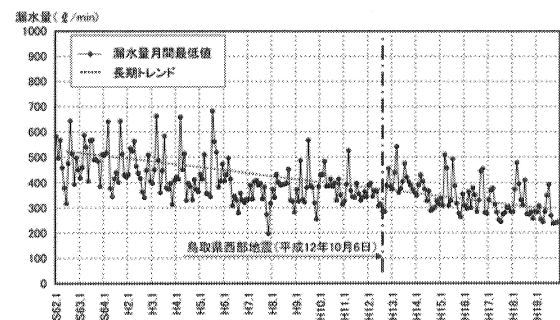


図-11 ダム漏水量の月間最低値

(掲載期間：昭和 62 年～平成 19 年)

2) ダム漏水濁度

図-11の中でダム漏水濁度が安定している部分に着目すると、ダム漏水濁度は平成8年では2~3ppmであり、昭和61年や平成19年の1ppm前後に比べて若干高いが、この原因は機器のセンサー部の汚れによると想定されている。図-11に示す期間では、短時間に5ppm以上になるような急激なダム漏水濁度の上昇は、ダム漏水量が一時的に増加する時期とほぼ重なっていることなどから、降雨の初期段階で発生したものと考えられる。ダム漏水濁度は、一時的に上昇した後は、安定したレベル（現在では1ppm以下）を保っており、ダムの基礎や堤体は安定した状態を保持していると考えられる。

3.3 間隙水圧

ダム最低水位(EL.740.500m)以下の標高に埋設された堤体内の間隙水圧計 P9, P10, P11, P12 (EL.710.000m)の計測結果とダム水位の相関図を図-12に示す。

この図から、ダム水位—間隙水圧は線形関係にあり、水位変化に伴って間隙水圧が局所的に変動するなどの異常な傾向は認められない。

また、下流側の計測結果ほど水位—間隙水圧関係の直線の勾配および値が小さくなっていることは、コアの遮水性

が十分に保たれていることによると判断される。経年によって線形関係に大きな変化は生じていないことから、ダム完成以降、コアの遮水性は保持されてきたものと判断される。

3.4 日常管理による評価

日常管理は、ダム全体の安定性や機器の信頼性などを把握する上で重要な要素である。土用ダムではダム管理所における計測機器の状態・値の確認、ダム本体の外観(侵食、亀裂、変形、天端アスファルトの亀裂の有無等)、湛水区域等の異常の有無について目視確認をしている。日常管理の種類としては定期的な巡視・点検および地震時の臨時的な巡視・点検を実施がある。これらの結果を精査した結果、土用ダムの安全性の低下が疑われる情報は確認されていない。

4. 結論

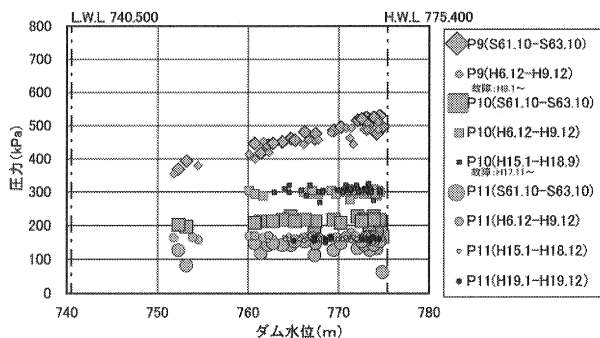
以下に結論を示す。

- 1) ダム完成以降から欠損期間前まで、及び欠測期間後から現在までの土用ダムの変形（外部変形及び内部変形）の推移を示し、土用ダムがこれらの期間、安定性を保持していることを示した。
- 2) ダム完成直後、欠測期間及び現在についてそれぞれ1年毎のダム漏水の量と濁度を、またダム完成から現在までのダム漏水量の月間最低値を示し、ダム建設完了後から現在までダムが安定性を保持していることを示した。
- 3) ダム完成直後、欠測期間及び現在についてそれぞれ2年毎のコア内の間隙水圧とダム水位との相関関係を示し、コアの遮水性がダム完成後から現在まで保持されてきたことを示した。
- 4) 土用ダムの日常管理の方法について紹介し、この中では特にダムの安定性の異常を示す情報はなかったことを記した。

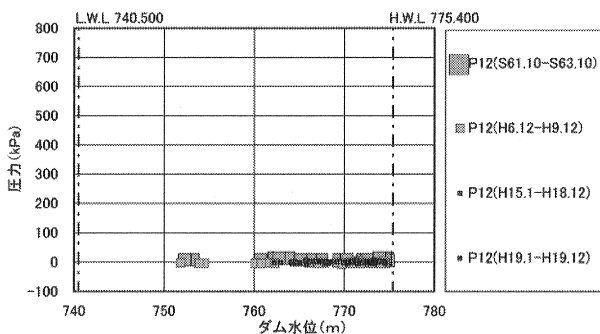
以上を総合的に評価すると、土用ダムの安全性をダム完成後から現在に至るまで安定した状態を保ってきたものと判断される。

5. おわりに

高度成長時代をピークとして建設された揚水発電所のダムの経年化がすすみ、長期に亘るデータを用いた安定性



(計器 No. P9,P10)



(計器 No. P11,P12)

図-12 間隙水圧—ダム水位相関図

の評価が重要となっている。

土用ダムでは今後、ダムの安全性評価を継続的に実施していくとともに、ダム水位の変動がダム漏水量や変形に及ぼす影響や、漏水量計測値に含まれる降水・融雪の影響の分離等についても検討し、さらなるダムの安定性の確保に努めていく次第である。

参考文献

- 1) 財団法人ダム技術センター：多目的ダムの建設管理編，
p.1, 2005.
- 2) (社)電力土木技術協会：最新フィルダム工学，改訂新版，
pp.691-726, 1981.
- 3) 近藤信昭：長期観測結果に基づくロックフィルダムの
挙動に関する研究，大ダム，No.140, pp.71-83, 1992.
- 4) (社)電力土木技術協会：最新フィルダム工学，改訂新版，
p.264, 1981.
- 5) ダム管理調査委員会：ダム管理調査要領，p.144, 1987.

(2008 年 7 月 2 日受付)