

# 明治の文化遺産鳥原ダムの耐震性を診る

黒田 修一

KURODA Shuuichi  
株式会社イト日本技術開発  
中国支社  
防災保全部  
グループマネージャー



### はじめに

我が国は地震国で、近年においても大規模地震が連続的に発生しており、2011（平成23）年3月11日に起きた三陸沖を震源とした東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）は記憶に新しいところです。

1995（平成7）年1月17日の兵庫県南部地震を契機として、重要な土木構造物に対して、耐震性能の向上に関する要求が高まり、ダムについてもレベル2地震動（ダム地点において現在から将来にわたって考えら

れる最大級の地震動）に対する安全性の照査方法として、2005（平成17）年3月に『大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説（国土交通省河川局）』（以下、指針（案））<sup>1)</sup>が策定されました。

現在、新設ダムでは、レベル2地震動に対する耐震性能照査が必須となっており、管理ダムにおいても耐震性能照査を行う例が増えてきています。今後も、我が国では大規模地震の発生が高い確率で予測されており、神戸市の登録有形文化財

（建造物）で明治時代に建設された鳥原ダム（立ヶ畑堰堤）本体の耐震性能を診断した結果について紹介するものです。

### 鳥原ダムの概要<sup>2)</sup>

鳥原ダムは1905（明治38）年に竣工した神戸市の水道水源として建設された日本で4番目に古い重力式コンクリートダムです。土木学会の「日本の近代土木遺産 現存する重要な土木構造物2800選」に選定されています。建設当初は堤高33m、堤長122m、堤敷幅27mの粗石モルタル積造の重力式ダムで、写真1に示すように平面形状は半径180mのゆるやかな弧を描いています。設計や施工は写真2に示すように、日本のコンクリートダムを初めて建設した吉村長策と佐野藤次郎の名前が刻まれています。近代のダム



写真1 天端形状（曲線形）



写真2 鳥原ダムの設計・施工者

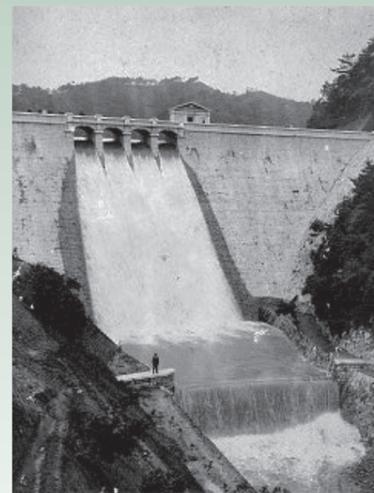


写真3 建設当初の鳥原ダム<sup>2)</sup>

技術は、日本最初の重力式ダムである布引ダムとこれに続く鳥原ダムの竣工によって確立され、その後全国に大規模なダムが続々と造られています。

鳥原ダムは、写真3に示すように粗石とモルタルで堤体が築かれ、表面に石を張った構造で、美しく弧を描く堰堤がこのダムの大きな特徴です。堰堤は、写真4に示すように貯水容量を増やすため、1913（大正2）年8月から1915（大正4）年3月に2.72mの嵩上工事が行われ、現在の姿になっています。

また写真5に示すように堰堤中央部に4連アーチの余水吐きを設け、取水塔建屋は、写真6に示すように神殿のような丸い柱が配置され、中央の白い扉には金色の「水」マーク、さらに入口の扁額には第13代兵庫県知事服部一三の筆による「養而不窮（井戸は人々を養っても枯れることはない）」の漢字レリーフと、古典的な西洋建築を思わせる姿となっています。

### ダムの耐震性能照査

現在、我が国におけるダムの耐震設計は『河川管理施設等構造令』



写真4 嵩上げ増築後の鳥原ダム



写真5 余水吐き

に基づき、ダムの自重に地域ごとに経験的に定められた設計震度を乗じて算定される慣性力等を水平地震力として考慮する震度法により行われています。この震度法で設計されたダムは兵庫県南部地震後の評価において、同地震時に震源近傍のダムで観測された地震動記録をもとに、十分な耐震性を有していることが確認されていました。しかし、近年の地震動計測体制の整備やダムサイト岩盤における地震観測データの蓄積が進むにつれ、従来の想定（設計震度）を大幅に超える地震動が観測されていること、重要な土木構造物に対する土木学会の提言を背景に、各ダム地点においてレベル2地震動を具体的に設定し、そ

のような非常に強い地震動に対するダムの安全性について合理的に照査を行う必要があることから、2005（平成17）年3月に指針（案）が策定されました。この指針（案）では、対象とするダムに対してその安全性について照査し、所要の耐震性能が確保されているかを確認することが求められています。

ダムに求められる耐震性能とは、次の3つです。

- ・ダム地点において、レベル2地震動に対して耐震性能が確保されること
- ・地震が発生しても、水を貯めた状態を維持できること
- ・損傷が発生しても、修理が可能であること



写真6 取水塔建屋

ダム耐震性能照査は、図1の概念図に示すように、レベル2地震動に対しダム本体等にある程度の損傷を生じること想定したうえで、動的応答解析によりダム本体の応答値を評価し、要求される耐震性能を確認する手順で実施されています。

### 烏原ダムの耐震性能照査

指針(案)に基づき、大規模地震に対する烏原ダム本体の耐震性能を検討しました。

ダム周辺の活断層及び海溝型の地震等について文献調査を行い、ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震を選定し、その地震によってダム地点に発生すると想定されるレベル2地震動を設定しました。烏原ダムでは図2に示すように、ダム近傍を通る六甲・淡路島断層帯の地震動を最大級の想定地震動とし、半経験的手法である統計的グリーン関数法を用いて、この想定地震動による烏原ダム地点での地震

動の推定を行いました。震源特性は、文部科学省の機関である地震調査研究推進本部による六甲・淡路島断層帯の長期評価<sup>3)</sup>に基づき、断層帯の一部が兵庫県南部地震で活動していることを踏まえ、烏原ダムの近傍を通る六甲山地南縁-淡路島東岸区間が単独に活動するケースで地震動予測を行いました。個々の震源パラメータは、強震動予測レシビに従って設定しています。図3に設定した地震動の加速度応

答スペクトルと、ダム上下流方向の加速度時刻歴を示します。

ダム堤体の応答値は、損傷過程を考慮できる非線形動的応答解析にて実施しました。解析に用いる堤体の物性値は『烏原ダム調査研究会報告書』<sup>4)</sup>における粗石モルタルの試験結果を参考に設定し、粗石モルタルの動弾性係数(堤体の硬さ)が堤体の動的特性に大きく影響する(値が大きいと硬い→小刻みな揺れ方→振動数大)ことから、以下の点に配慮しました。検討ではダム天端と下流側下端で常時微動測定

を行い、その測定データから図4に示すダムの卓越振動数(14.6Hz)を求めました。次に、粗石モルタルの試験結果から推定した弾性係数を用いた計算モデルで固有振動数を解析し、この結果と卓越振動数を照合することで、堤体全体の適切な動弾性係数を設定し、地震時の堤体挙動シミュレーションの信頼性を高めています。

烏原ダムのレベル2地震動に対する耐震性能照査の結果、図6に示すように堤敷上流端付近(約4m)において、引張亀裂が発生する

可能性はあるものの、その亀裂は堤体上流から下流までを貫通するものではないことが確認されました。また図7に示す堤敷全体平均のせん断摩擦に対する安全率は、全ての時刻歴において安全率1.0以上を確保していることが確認されました。これらの結果からレベル2地震動において、堤体の一部に引張応力に起因する引張亀裂が発生する可能性はありますが、堤体を分断するおそれはないと評価され、貯水機能は維持できると判断されました。

### おわりに

竣工後100年以上を経過した古い重力式コンクリートダム本体について、現況堤体の状態を最新技術で評価し、耐震性能を確認した結果、その地域で最大級の地震が発生しても、ダムに貯まった水が流れ出すような損傷は発生しないことが分かりました。

#### <参考文献>

- 1) 「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」国土交通省河川局, 2005.3
- 2) 「神戸市水道七十年史」神戸市水道局, 1973.
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 六甲・淡路島断層帯の長期評価について, [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05jan\\_rokko/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05jan_rokko/index.htm), 2005.
- 4) 神戸市水道局計画課: 烏原ダム調査研究会 報告書, 1982.

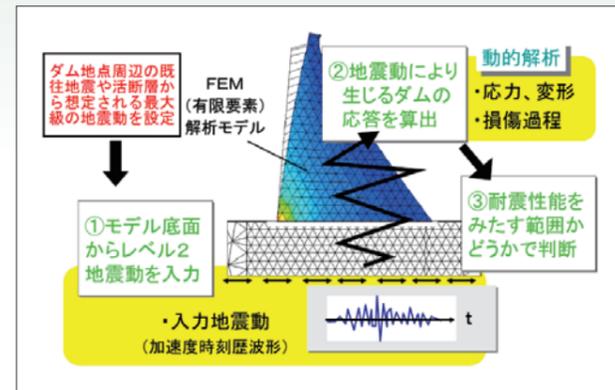


図1 レベル2地震動に対するダムの耐震照査の概念図

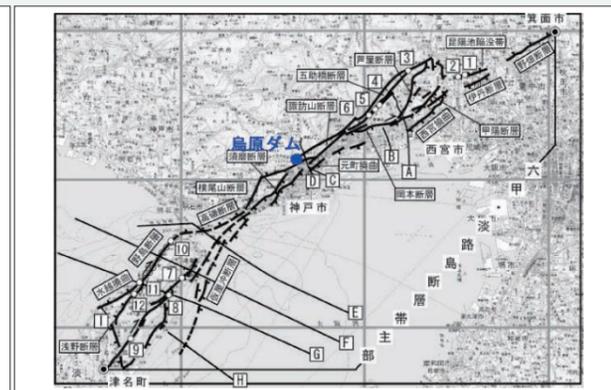


図2 地震調査研究推進本部「六甲・淡路島断層帯の長期評価」<sup>3)</sup>

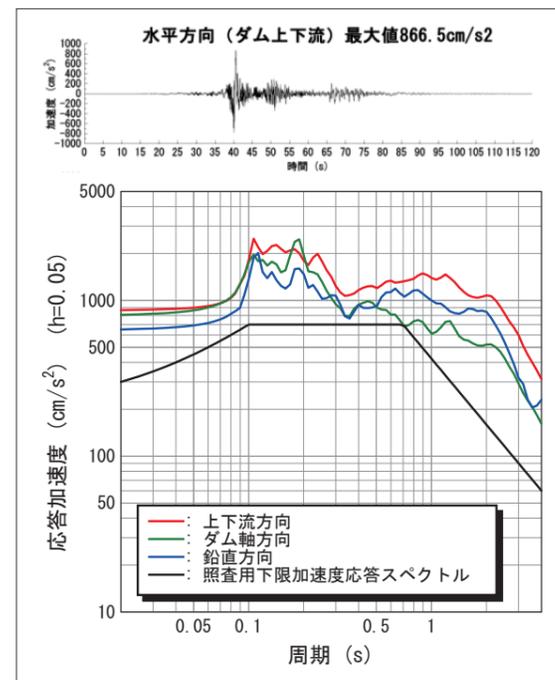


図3 烏原ダムにおける最大級のレベル2地震動の設定

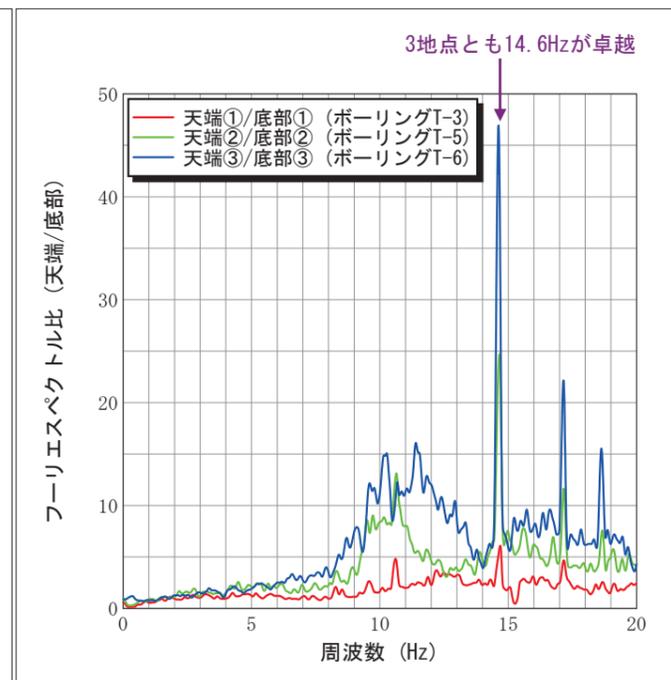


図4 ダム底部に対する天端のフーリエスペクトル比(上下流方向)

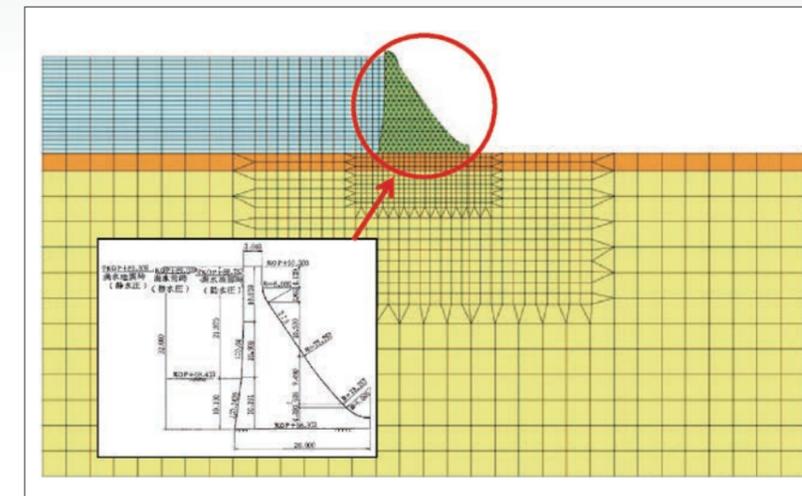


図5 ダム堤体・基礎地盤のモデル化(二次元有限要素解析モデル)

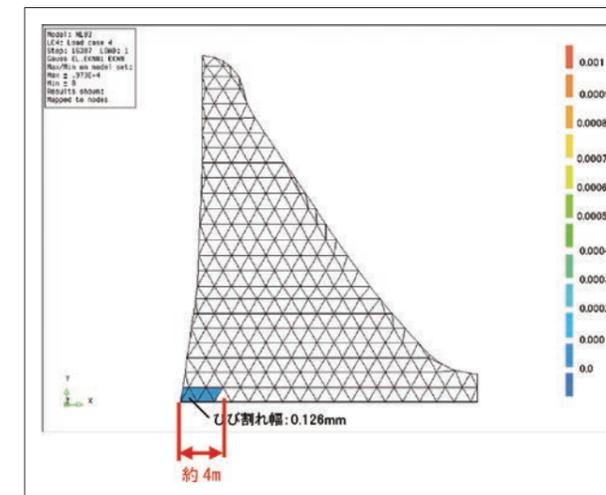


図6 地震後のひび割れひずみ分布図(引張亀裂分布図)

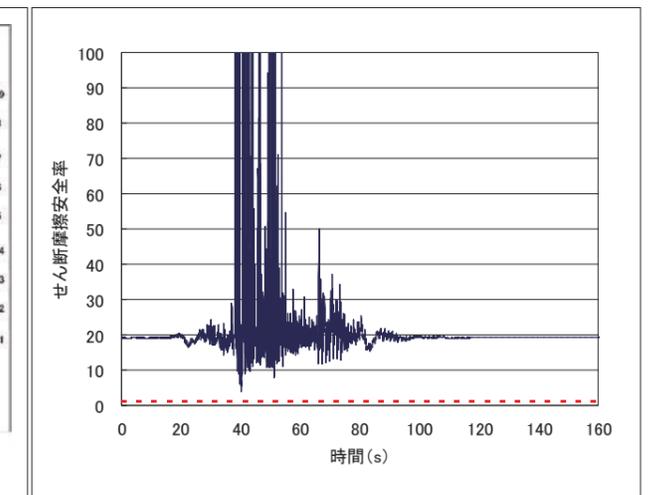


図7 堤敷全体平均のせん断摩擦安全率の時刻歴分布