

賀祥ダムの水位記録に見られる 鳥取県西部地震の影響

大町 達夫¹・村上 敦²

¹正会員 工博 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授 人間環境システム専攻

(〒226-8502 横浜市緑区長津田 4259)

²東京工業大学大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻 修士課程

(〒226-8502 横浜市緑区長津田 4259)

2000年10月6日13時30分、鳥取県西部を震源とするマグニチュード(Mj)7.3の地震が発生した。この2000年鳥取県西部地震発生時に、賀祥ダムにおいてエレベーターシャフト上部で2000galという非常に強い揺れを記録している。そして、この賀祥ダムでは興味深い貯水位の変動記録が得られている。この貯水位変動記録によると地震発生直後に貯水位が約6cm急低下している。この現象の説明を試みた。貯水位の低下は断層運動による貯水池周辺地盤の変位によるものと考えた。そこで、地震動のシミュレーションを行い、地盤の鉛直変位を計算してダムと貯水位との相対的な変位を求めた。また貯水記録には地震発生後数時間にわたる自由振動が記録されており、これをセイシュの理論解と比較して検討した。

Key Word : *The Western Tottori prefecture earthquake in 2000, displacement, seiche*

1. はじめに

2000年10月6日13時30分、鳥取県西部を震源とするマグニチュード(Mj)7.3の地震が発生した。この地震の際、震源近くにあった賀祥ダムでは、2000gal以上という非常に強い揺れが観測されている。また、このダム貯水位の時刻歴に特徴的な水位変化が記録されていた。ひとつは地震直後に6cmの水位低下が生じたこと。もうひとつはその後数時間にわたる減衰自由振動の波形が得られていること。水位記録をこの2つの点から考える。

この地震の震源断層は、地震波の解析結果と余震分布から判断すると、賀祥ダムの極近傍を通過していると考えられる。建設当時には、この活断層の存在は分かっておらず、最近になってその存在が指摘されていた。そして、この2000年10月6日に実際にその活断層が活動したことになる。この地震によって引き起こされたと思われる、賀祥ダムの貯水

記録の特異な変動を、断層の運動による地盤の鉛直変位と関連付けて解明することが本論文の主な目的である。

1960年代後半に始まった理論地震動の研究は、様々な手法を生み出している。近年の急速なコンピュータの性能の向上によって、これらの手法による解析が、短時間で比較的手軽に行えるようになってきた。断層モデルに面震源を用いて地盤の変形の計算を具体的に行うことのできるプログラムは多々あるが、本研究では片岡の「震源断層と地盤構造の3次元モデルを用いた地震動シミュレーション手法の開発」¹⁾の研究によるものを用い、国土地理院発表の断層モデルを適用して、賀祥ダム周辺の地盤の鉛直変位をシミュレートした。この解析結果から、賀祥ダムで記録された貯水位の急変動を説明することを試みた。

表-1 賀祥ダムで観測された最大加速度

	監査廊	天端
N-S 方向	528.5 gal	2051.0 gal
E-W 方向	531.1 gal	1406.2 gal
U-D 方向	485.2 gal	884.2 gal

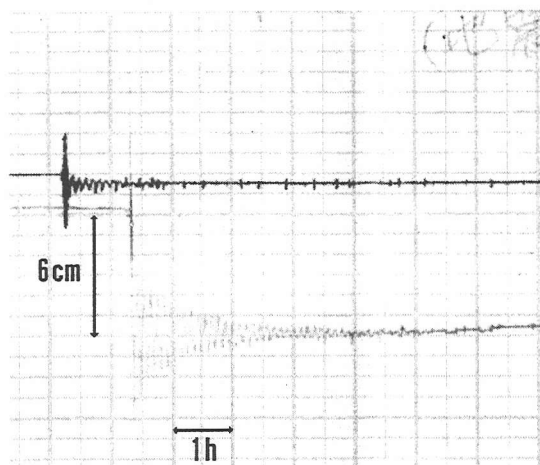


図-1 ダムの水位時刻歴

2. 2000 年鳥取県西部地震で発生した現象

本研究の対象としている賀祥ダムは、鳥取県西部から北部に向かって流れる法勝寺川（流路延長 25km, 流域面積 121.7km²）をせき止めて造られた多目的ダムで、堤高 46.4m, 堤頂長 174.0m, 堤体積 86.600m³の重力式コンクリートダムである。

賀祥ダムは震源から数 km 程度、断層からは数 100m しか離れていないために、2000 年鳥取県西部地震の際に、非常に強い揺れが記録されている（表 1）。特に天端にて 2000gal という強い揺れが観測されたのは、クレストが橋梁となっている賀祥ダムの構造的な要因が大きいと考えられる。

このように強い揺れを受けたものの、地震によってダム本体に目立った損傷が存在せず、漏水量も排水量も安定していた。しかし、地震の直後から貯水位に急激な変化が見られた。地震発生後、地震発生前の位置よりも約 6 cm 基準線が下へ移動し、その後数時間に渡って減衰自由振動をするというような非常に興味深い記録が計測されている（図 1）。断層運動によって、地震後にダム周辺の地盤に永久変位が生じ、相対変位が貯水池奥方向への傾きとなったことであると推察される。この賀祥ダムで生じた現象を対象として、断層運動による地盤変位について観測結果と理論解とを比較しながら、2000 年鳥取県西部地震の影響について検証していく。

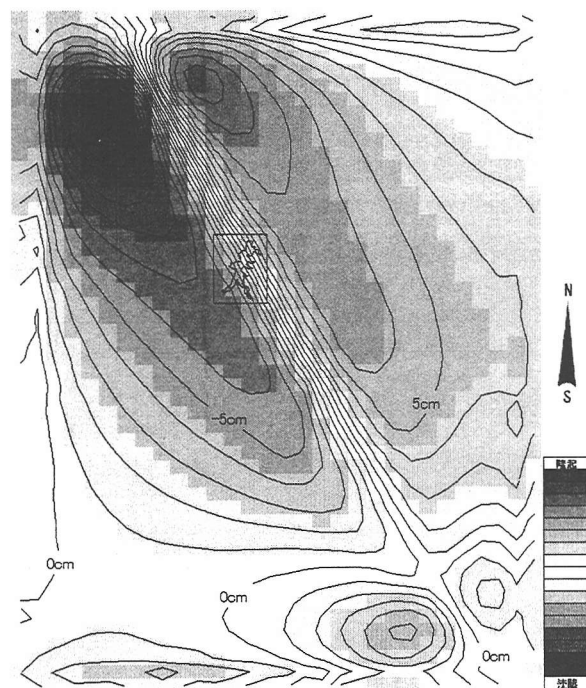
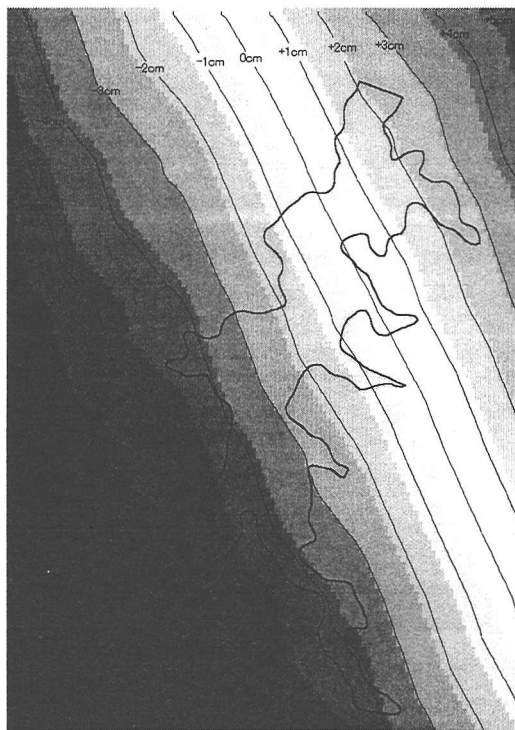


図-2 鉛直地盤変位の数値解析結果

3. 水位の低下現象に関する検討

国土地理院の数値地図をもとに作成した賀祥ダム周辺の 3 次元地盤モデルに対して、国土地理院発表の断層パラメーターを適用し、賀祥ダム周辺地盤の鉛直変位の数値計算を行った（図 2）。なお国土地理院が発表したパラメーターからは決める事ができない断層破壊の形態は、他のグループの解析結果などを参考にして、断層の中央下端から同心円状に破壊が伝播すると設定した。計算の対象は、震源断層を含む東西 11km、南北 22km 程度の範囲である。賀祥ダムは計算範囲の中心よりやや北西の位置となる。図 2 において小さな矩形で囲まれた範囲の内側にあるのが貯水池である。賀祥ダムは、貯水池の北端にあり、ダム軸の方向は、東西方向より時計回りに約 20° ずれている。貯水池の外形は、国土地理院の数値地図をもとに、設計洪水位の等高線を描き出して作成した。

発表されている余震分布などから、2000 年鳥取県西部地震の震源断層は北から時計回りに 152° の方向を走向方向とする左横ずれ断層であったことが分かっている。数値解析の結果を見ると、賀祥ダム周辺では東北東側が隆起、西南西側で沈降という傾向が見られる。賀祥ダムの北部に見られる隆起の最大は約 9 cm、北西部に見られる沈降の最大は約 13cm である。賀祥ダム貯水池周辺の矩形で示



図－３ 数値解析結果の賀祥ダム付近の拡大図

表－２ 面震源モデルによる賀祥ダム周辺の永久変位と水面のダムに対する相対変位

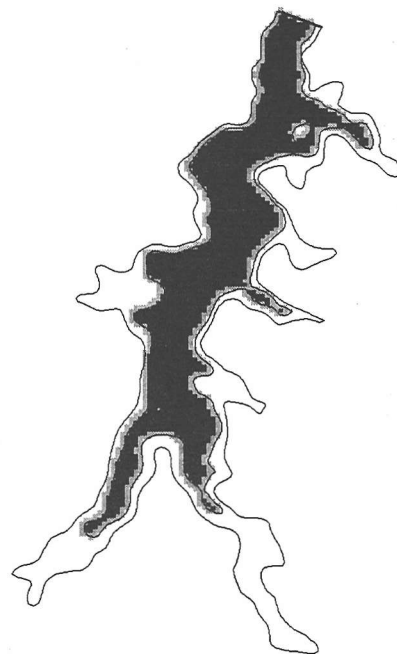
水面の絶対鉛直変位	－ 1.5 (cm)
ダムの絶対鉛直変位	＋ 2.3 (cm)
水面の相対鉛直変位	－ 3.8 (cm)

した範囲を拡大して、線形的に補間したものを図－３に示す。地震発生時の水位標高より、賀祥ダム貯水池の水面形を推定した（図－４）。その内部の鉛直変位の平均をとることにより、地盤の変位による水面の絶対変位を求めた。また、ダム位置の変位を求め、賀祥ダムの貯水池水面のダムに対する相対的な鉛直変位を計算した（表－２）。この結果をみると、2000年鳥取県西部地震における賀祥ダムの水位急低下は、断層運動による地盤の永久変位によって、ダムは上昇し、貯水池は平均的に沈下したことによって、相対的に水位の低下が生じたことによる、と考えてよいと思われる。

4. 貯水の自由振動に関する検討

(1) セイシュ

狭い細長い湾や回りを陸で囲まれた湖においては、低気圧の通過等に伴う気圧の変動や風の息（ガスト）や地震動、それに高潮や津波と



図－４ 地震時発生時の水位標高と地形図より推定される当時の水面形

いった海面変動などの外的な要因によって、長周期の重複波であるセイシュ現象が発生しやすい。

長さ a 、幅 b の水槽を考えた場合には、セイシュの周期 T の理論解は、長波近似を用いることによって次のように表される。

$$T = \frac{2}{\sqrt{gh}} \left\{ \left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{2b} \right)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ただし

g ：重力加速度

h ：(平均) 水深

m ：長さ方向の振動のモード

n ：幅方向の振動のモード

(2) 賀祥ダムで記録された自由振動

図１から読み取ることのできる、数時間にわたる水位の減衰自由振動現象は(1)で述べたセイシュ現象であると考えられる。その事を確認するため、まず賀祥ダムで記録されたグラフをデジタル化し、貯水位の時系列波形のフーリエ解析を行なった。水位変動のスペクトルを求め

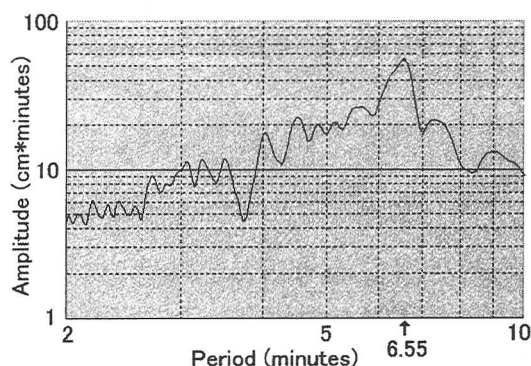


図-5 水位振動のスペクトル図

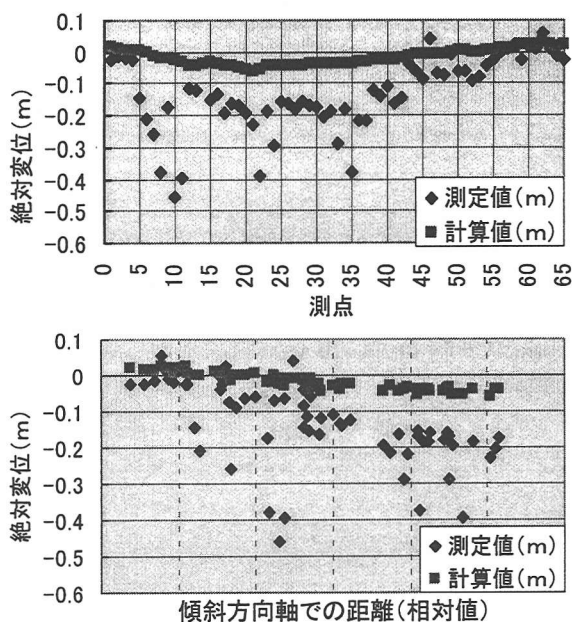


図-6 測量結果と計算結果の比較

たものを図-5に示す。この図より、振動の周期は約6.55分であったと判読された。これは地震時の貯水池平均水深と2km弱という貯水池の長さとの平均水深の関係を式(1)に代入して求まる、セイシュの理論解に非常に近いものである。したがって、賀祥ダムではセイシュ現象が生じたと考えて間違いはない。

5. 測量結果と解析結果の比較

地震発生後に賀祥ダム貯水池周辺の測量が実施されている。この測量結果を解析の結果と比較した。測量結果図で測点に番号を振り、その図と解析結果図を重ね合わせて(図-7)、測点位置での解析による変位を読み取っていった。これらの値を測点ごとにすべて比較したものが(図-6)である、図-7において、傾きの方向に新たな軸を設定し、その軸上での

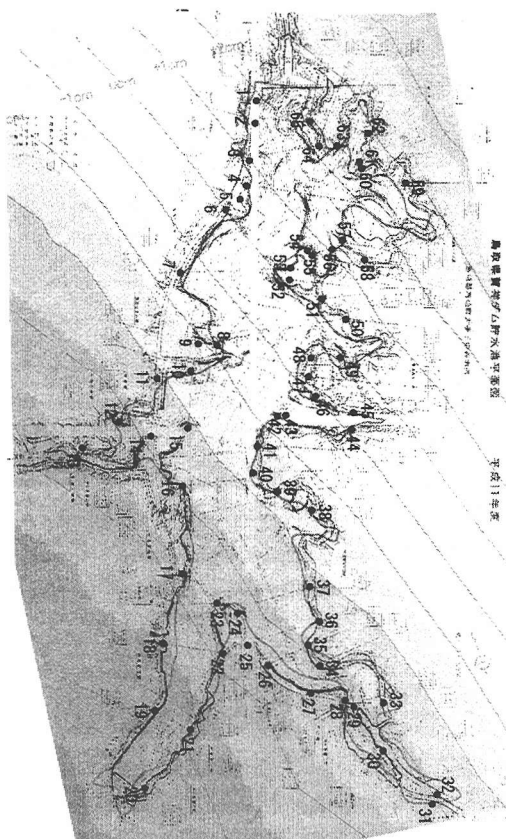


図-7 測点位置

距離と測定値、計算結果の関係を描くとほぼ直線となり、測定値は計算結果の約3.75倍であった。実際の地盤は、解析結果以上に変形していたということが分かる。

謝辞：本研究に際し鳥取県土木部砂防課及び鳥取県米子土木事務所から貯水位記録、測量結果等のデータ提供の便宜を図っていただいた。深く謝意を表する。

6. 結論

2000年鳥取県西部地震発生時において、賀祥ダムでは非常に強い揺れと変わった水位時刻歴が得られた。この現象を説明するために理論地震動による計算を用いたが、その結果は驚くほど実現象に与合しており、断層モデルによる数値解析の本分野における有効性があらためて確認された。

参考文献

- 1) 片岡 正次郎：震源断層と地盤構造の3次元モデルを用いた地震動シミュレーション手法の開発，東京工业大学大学院博士論文，1996。