

ダムサイト直下の伏在断層による地震時の地盤変位と貯水位変動

大町達夫¹・小島直之²・村上 敦³

¹正会員 工博 東京工業大学教授 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻
(〒226-8502 横浜市緑区長津田 4259)

²正会員 修(工) 首都高速道路公団 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-6-2)
(研究当時 東工大 修士課程)

³学生会員 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年鳥取県西部地震 (M_j 7.3) の際、震央近くにあった賀祥ダムでは、ダムの上部で 2051gal、下部で 531gal という最大加速度をもつ強震記録が得られた。ダム下部の強震記録を直接積分した結果、北方へ約 28cm、西方へ約 7cm、上方へ約 5cm の残留変位が算出された。賀祥ダムは高さ 46.4m の重力式コンクリートダムで、ダム本体に地震による損傷はなく、ダム周辺の地表に地震断層の食い違い変位は確認されなかった。一方、ダムの貯水位記録は、地震直後に 6cm の水位低下を示した後、数時間にわたって減衰自由振動波形を描いた。本研究では、本震の断層パラメータを用いた数値解析や測量結果をもとに、これらの地盤変位や水位変動が、ダムサイト直下に伏在する震源断層の断層運動に起因することを検証した。

Key Words : 2000 Western Tottori-prefecture earthquake, Kasho dam, strong motion, ground displacement, seiche

1. はじめに

2000年10月6日13時30分ごろ、鳥取県西部を震源とするマグニチュード (M_j) 7.3 の地震が発生した。この地震の震央近くにあった賀祥ダムでは、ダムの上部で 2051gal、下部で 531gal という非常に大きな最大加速度が観測された¹⁾。このように強い地震動を受けたものの、ダム本体には地震による損傷は特になく、漏水量は地震直後に若干減少し、時間経過とともに原状に復帰した。ダム地点および貯水池周辺では、明瞭な地表地震断層は出現しなかった²⁾。一方、このダムの貯水位記録は、地震直後に約 6cm の水位低下を示し、その後数時間にわたって減衰自由振動波形を描いた。著者らは当初から、この水位変動は断層運動による地盤変位との関連性が強いと推測し、関連資料の収集や数値解析などによりその検証を行ってきた。

現在の知識や技術では、伏在断層による地震の発生は予測不可能と考えられている³⁾。そのため、今回のように、土木構造物が伏在断層の直上に位置し、その断層運動による地震に直撃されることは今後も

不可避と思われる。2000年鳥取県西部地震における賀祥ダムでの事例は、このような局面での現象を理解し、防災対策を考える上で貴重な資料になると考えられる。本論文では、賀祥ダムとその周辺で生じた自然現象を対象とするが、ダム本体の地震応答特性や耐震性能の議論は別の機会にゆずり、断層運動による地盤変位や貯水位について、観測結果と解析例とを比較しながら、鳥取県西部地震の影響について検証していく。

2. 強震記録が示すダム地点の地盤変位

賀祥ダム⁴⁾は、鳥取県西部を北流する日野川の支流法勝寺川(流路延長 25km)に建設された多目的の重力式コンクリートダムである。このダムは、堤高 46.4m、堤頂長 174.0m、堤体積 86,600m³で、1989年3月に竣工している。図-1に賀祥ダムの位置および2000年鳥取県西部地震の本震と主な余震の震源位置と発生日時を示す⁵⁾。その他の余震の分布も同図に示してある。図-1の余震分布から、ダムが震源



図-1 賀祥ダムおよび2000年鳥取県西部地震の本震と余震の位置図⁵⁾

表-1 強震記録の最大加速度値(本震)

	ダム下部	ダム上部
N-S 方向	529 gal	2051 gal
E-W 方向	531 gal	1406 gal
U-D 方向	485 gal	884 gal

断層のほぼ直上にあつたことが確認できる。このダムの常時満水位は、EL. 118.0mであるが、本震発生直前の貯水位はEL. 112.2mであった。賀祥ダムでは、ダムの上下2箇所、床に3成分強震計がボルトで堅固に設置されている。コンクリートダム上部の設置位置はエレベータシャフトの上部エレベータ室(EL. 124.4m)であり、下部はダム底部監査廊内(EL. 87.0m)である(図-2参照)。賀祥ダムで観測された2000年鳥取県西部地震の本震の最大加速度値を表-1に、監査廊における強震記録を図-3に示す。同図の波形は、上からN-S, E-W, U-Dの各方向における加速度時刻歴である。このダムの強震計は明星電気(株)製GTA-53であり、仕様書によれば、分解能は24bit、サンプリングは100Hz、計測帯域はDC~41Hz(3dB)であることから、図-3の加速度時刻歴

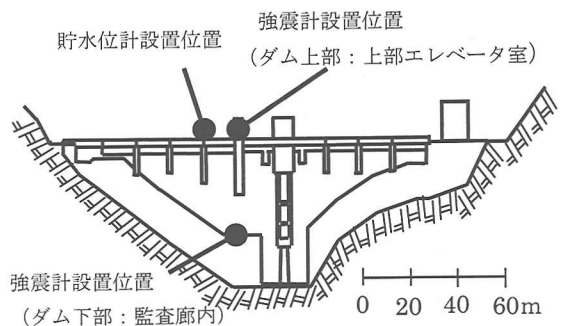


図-2 賀祥ダムの強震計と貯水位計の設置位置(下流面図)

を積分すれば、良好な変位時刻歴が算出できると考えられる。ただし強震記録は、強い地震動や地震時の地盤変位等により基線(ゼロ線)がずれる可能性があるため、積分に際してその悪影響が最小限になるよう、次の方法により基線の補正を行った。

半無限弾性地盤内のせん断食い違い型震源の近傍では、残留地盤変位の発生はP波の到達とともに始まりS波の通過によって終息することが理論的に知

られている⁶⁾。これを踏まえ、まず時刻 t_0 から t_3 までの強震記録の継続時間を3区間に区分し、区分した時刻を順に t_1 および t_2 とした。ここに t_1 はP波初動が到達する時刻、 t_2 は本震による残留地盤変位が終息する時刻であり、これらは強震記録の3成分に共通すると考えた。図-3の強震記録では、本震の数十秒後に余震が記録されていることを考慮して、 t_0 と t_3 をそれぞれ13時30分10秒と同48秒、 t_1 を同19.4秒とし、 t_2 は13時30分25秒から同35秒までの間で0.1秒ずつ移動させ最適値を試行錯誤的に決定することとした。第一、第三区間では永久変位は発生しないから、加速度データを一回積分して得た速度データを用い、最小自乗法によって第一区間 $[t_0, t_1]$ および第三区間 $[t_2, t_3]$ の時刻歴波形の中心線を求め、その傾きから両区間の加速度波形の基線を決定し、第二区間 $[t_1, t_2]$ の基線は前後区間の基線の終端と始端を直線的に結ぶこととした。このようにして3区間の基線を仮決定し積分によって地盤変位を算定すると、残留地盤変位は t_2 の時刻によって、図-4のような変動を示した。これによれば、13時30分30秒以降は、残留変位量は3成分とも比較的安定して、ほぼ一定量を示すことから、最適な時刻 t_2 として13時30分30秒を採用した。このとき、第二区間内でのN-S、E-W、U-Dの各成分で基線移動量は、それぞれ-0.093gal、-0.077gal、0.001galであった。

以上の条件を用いて、強震記録から積分によって算定される地盤変位時刻歴を示せば図-5のようになる。これによれば、ダム下部における永久地盤変位は、北方へ27.6cm、西方へ6.5cm、鉛直上方へ4.7cmである。

3. 数値シミュレーションによる地盤変位

(1) 境界要素法による数値解析

国土地理院のホームページの記載等⁷⁾を参考にし、表-2に示すように断層パラメータを設定し、3次元直接境界要素法⁸⁾により賀祥ダム周辺の地震時地盤変位に関する数値シミュレーション解析を行った。解析結果を図-6に示す。余震分布などから本震の震源断層は、走向がN152°Eの左横ずれ断層と推定されている。断層破壊様式については、図-7のように単純で一様なすべり量の断層破壊が、断層面の中央下端から同心円状に速度 $V_r=3\text{km/s}$ で伝播するものとした。またライズタイム τ_r は1秒で、地盤はせん断波速度 4km/s の一様な半無限弾性体と仮定した。

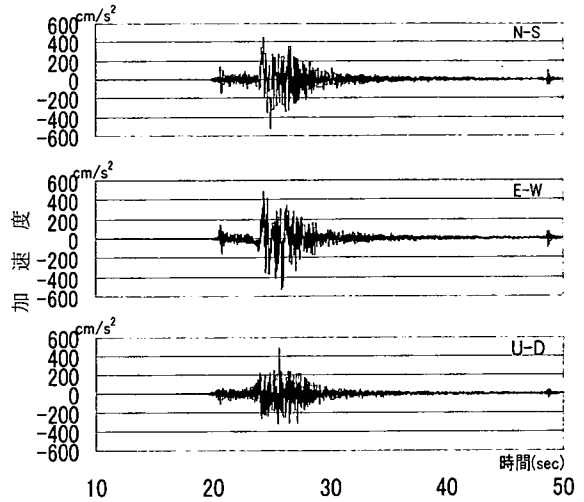


図-3 ダム下部で観測された強震記録
(時間軸の原点は13時30分10秒)

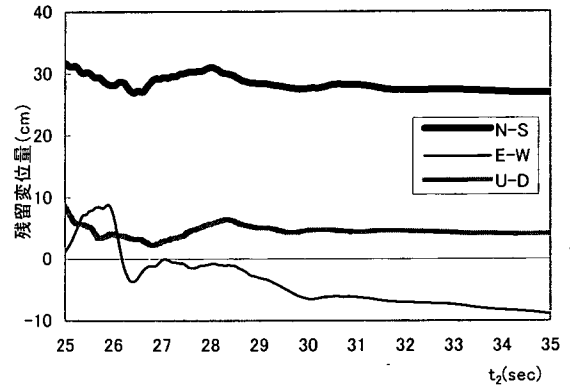


図-4 時刻 t_2 と残留変位量との関係
(時間軸の原点は13時30分25秒)

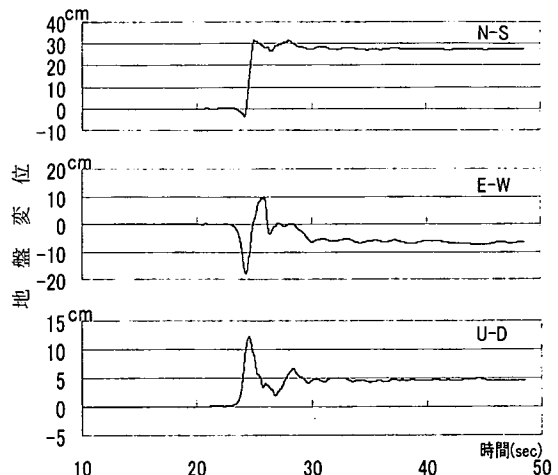


図-5 強震記録から算定される変位時刻歴(ダム下部)

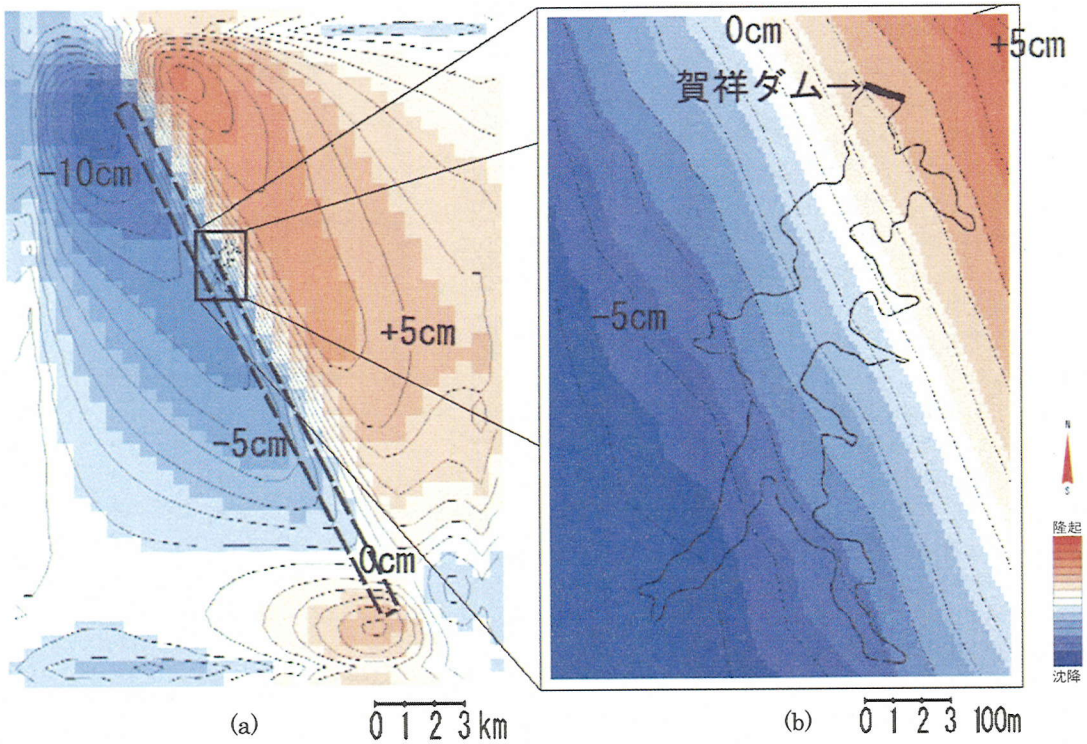


図-6 数値解析範囲と残留鉛直変位分布および賀祥ダム付近の拡大図 (右図の変位は左図を内挿補間している)

表-2 数値解析に用いた断層パラメータ

項目	数値
走向 (北から時計回り) (度)	152
傾斜角 (度)	86
すべり角 (度)	-7
すべり量 (m)	1.4
上端深さ (km)	1.0
断層長さ (km)	20
断層幅 (km)	10

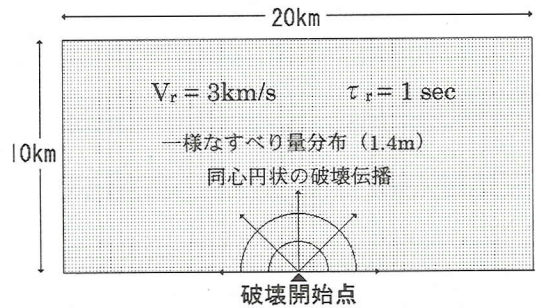


図-7 シミュレーションに用いた断層モデル

図-6(a)に示すように、震源断層を含む東西17km、南北23kmを解析対象範囲とし、約500m間隔の格子点での地震時地盤変位を計算した。賀祥ダムは貯水池の北端に位置し、ダム軸の右岸方向方位はN110°Eである。図-6(a)の太い破線は震源断層の投影面を示し、貯水池は太実線で示す小さな矩形の内側にある。この数値解析結果によれば、賀祥ダム周辺では北東側で隆起、南西側で沈降の傾向がある。また、ダム周辺では、等変位線は断層走向にほとんど平行であり、急激な変動は少ないと見られることから、ダム周辺の地盤変位を内挿補間しながら拡大したものが図-6(b)である。図中、貯水池の輪

郭として、国土地理院の数値地図⁹⁾をもとに、設計洪水位(EL. 123.2m)の等高線を描いている。数値解析で得られたダム地点直近の3地点における地震時地盤変位を内挿補間して得られた、ダム地点での変位時刻歴を図-8に示す。同図は、上からN-S、E-W、U-Dの各方向の変位成分を示し、横軸原点は断層破壊開始時刻である。これによれば、当地点では北へ10.9cm、西へ0.1cm、上へ2.5cmの残留変位量が算出されている。図-8と図-5の変位時刻歴を比較すると、数値解析による地盤変位は、振幅がやや小さいが、変動状況にはダムでの観測

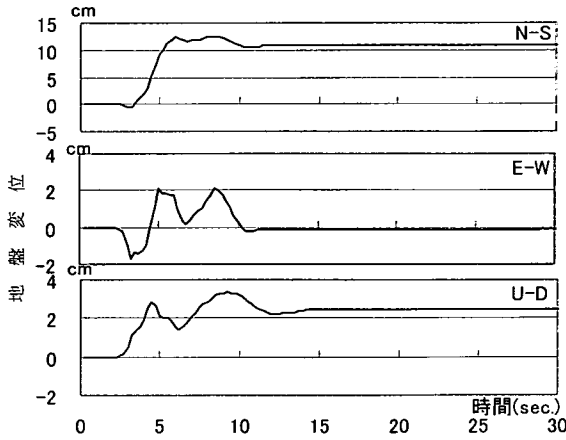


図-8 数値解析によるダム地点の地震時地盤変位

結果との対応が見られる。

(2) 水準測量と数値解析との比較

鳥取県西部地震後の2001年1月に、図-9に示す貯水池周辺の65地点で水準測量が実施されている。その測量結果と、前述の解析結果とを比較してみた。最も北東側の測点62を通る、断層走向と平行な水平線(直線A)を基準線として、この基準線と各測点との水平距離を横軸に、各測点の残留鉛直変位量を縦軸(ただし、隆起を正)にとって測量値と解析値を比較すると図-10のようになる。図-9と図-10の直線A~Dは互に対応している。図-10では、水平距離の正(+)は南西方向、残留変位量の正(+)は隆起としているが、このように表現すると解析値はほぼ一直線上にプロットされる。一方、測量値は直線B~C間で大きくばらついているが、大多数の測点では解析値の3倍程度大きい沈下量を示している。図-10に示した2つの数式は解析値と測量値の概略傾向を把握するために求めた回帰式である。

測量値が解析値の数倍も大きい理由として、数値解析に使用した本震の断層パラメータに関する誤差、局所的な地盤変形などのほか、この解析で無視した多数の余震(図-1参照)による残留変位の累積、さらに表層地盤の不均質性など多数の要因が考えられる。例えば、断層のすべり量分布に関しては、この種の解析精度を支配する重要な要素であり、その誤差の影響が大きいと思われる。実際、図-7のように単純でなく、震源よりやや南東側の比較的浅い部分に最大すべり量3.0~3.4mの大きなすべり量を与える不均一な断層モデルも提案されている^{10), 11)}。

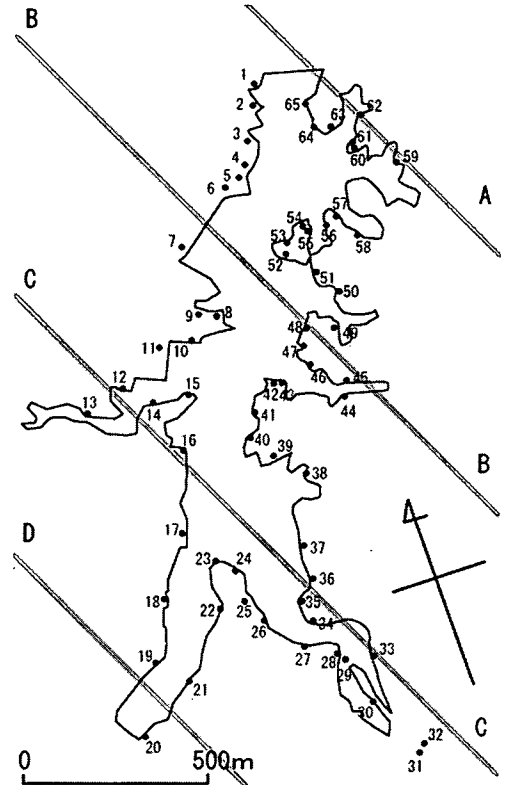


図-9 水準測量された65測点

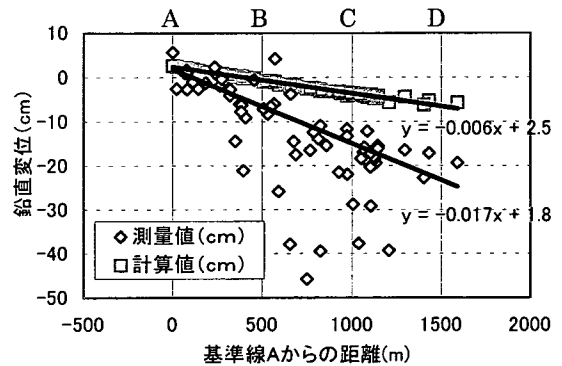


図-10 水準測量結果と解析結果の比較

また図-10において、回帰直線より著しく下方にずれた測点の多くは、貯水池周辺の斜面や道路脇の土質地盤上にあり、周辺では地表や側溝のずれ、あるいは舗装の段差などが認められた。厳密には、このような問題点も残されているが、ダム周辺の地盤変位については全般的に測量値と解析値とで類似の傾向を示すことが確認され、それがダムサイト直下に伏在する震源断層の食い違いに起因することは実証できたと考えられるので、これを踏まえて、次に貯水位変動について検討することとする。

4. 貯水位の急低下と減衰自由振動

賀祥ダムの貯水位計はダムに設置（図-2参照）されたフロート式の水研 62 型自記水位計（小笠原計器製）であり、地震直後に貯水位が急激に変化したことを記録している。その記録のコピーを図-11 に示す。同図の上段には低感度の、下段には高感度の水位記録が示され、両者が重ならないよう時間軸は左右にずらしてある。この記録から、貯水位は地震直後に約 6cm 急低下した後、数時間にわたって減衰自由振動したことが判読できる。記録の送り速度が遅いため、波形の精密な数値化は困難と考え、自由振動波形の山と谷の座標を読み取り、それらを 3 次スプライン関数で補間して時刻歴波形を再現した。減衰自由振動部分の時刻歴とそのフーリエ振幅スペクトルを図-12 に示す。これによれば自由振動周期は約 6.5 分、減衰定数は約 2% である。以下では、この地震時貯水位変動について検討する。

(1) 貯水位急低下の発生原因

前述のように、本震の断層運動によってダムサイトに地盤変位が発生し、貯水池はダムに対して相対的に沈降したと考えられる。この相対変位によるダム地点での水位差を、以下の方法で略算してみた。

図-6 と同様に、数値地図のデータをもとにして、設計洪水水位 (EL. 123. 2m) と地震発生時の貯水位 (EL. 112. 2m) より賀祥ダム貯水池（緑水湖）の輪郭と地震時水面形を図-13 のように推定した。図-13 に示すように i, j ごとに離散化されたデータから、水面形の面積 S を次の式(1)で推定した。

$$S = \sum_i \sum_j s(i, j) \quad (1)$$

ただし、 $s(i, j)$ は、要素 (i, j) が貯水面内にあればその要素面積、貯水面の境界にあればその 1/2、貯水面外にあれば 0 である。さらに、前述の数値解析結果をもとに貯水池内部の残留鉛直変位量（隆起・沈降） $v(i, j)$ を用いて、貯水容量の増分 ΔV を式(2)で算定した、

$$\Delta V = \sum_i \sum_j s(i, j)v(i, j) \quad (2)$$

これらを元に、 $\Delta V/S$ を求めれば貯水位の変動量 ΔH_1 が概算できる。この計算過程は、貯水池内の残留鉛直変位の平均を求めることに相当している。一方、ダム位置の残留鉛直変位（隆起）量 ΔH_2 を求め、 ΔH_1 との差 ΔH を求めると、ダムに対する貯水池水面の相対変動量が算定できる。貯水位計はダムのほぼ中央断面に設置されているため、この ΔH が貯水位計に記録されると考えられる。地震時の地盤

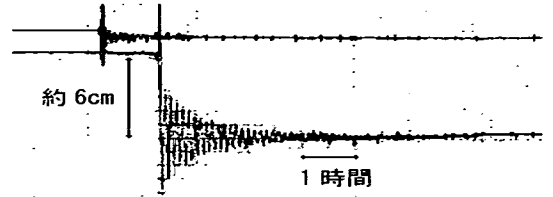


図-11 賀祥ダムの貯水位記録のコピー

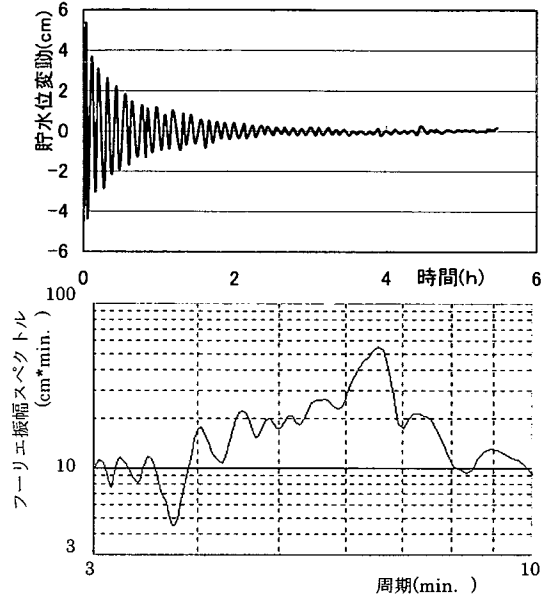


図-12 貯水位変動時刻歴とそのフーリエスペクトル

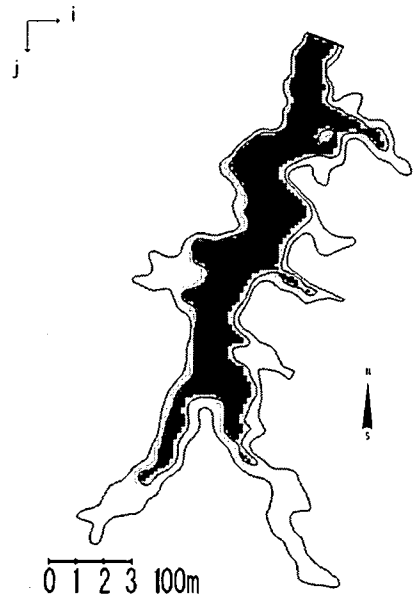


図-13 数値地図より推定した貯水池形状と水面形状

変位による、貯水面の低下 (ΔH_1) とダム基礎の隆起 (ΔH_2) の状況を模式的に図-14に示す。図中の薄い実線は地震前の、濃い実線は地震後の状況に対応し、() 内の数値は解析結果を示している。地震によって貯水池底の地盤が図のように変化すると、上流端では浸水面積が図中の黒塗りに相当する部分だけ増加するが、上記の略算方法はこの増加分を無視している。略算の過程と結果を表-3に示す。表-3によれば、数値解析結果から略算される貯水位低下量は4cmとなり、実測の6cmよりもやや小さい。水準測量では多数の測点で数値解析結果の3倍もの地盤鉛直変位が観測されたことを考慮して、略算値の4cmを3倍すると水面低下は12cmとなる。これは水位記録にみられる6cmと比較すると2倍も大きい。表-3の各数値は数値解析結果に基づいているが、ダムにおける実測結果と対応させて考えれば、貯水位記録から $\Delta H = -6.0\text{cm}$ 、強震記録を積分した変位量は $\Delta H_2 = +4.7\text{cm}$ である。したがってこれらの実測値から貯水位変動量 $\Delta H_1 (= \Delta H + \Delta H_2)$ として、 -1.3cm が逆算できる。この ΔH_1 の逆算値は、表-3に示した ΔH_1 の略算値とかなり近いが、両者が近似していることは単なる偶然と思われる。ただし、略算と逆算とともに、 $\Delta H_1 < 0$ 、 $\Delta H_2 > 0$ であることは、震源断層が貯水池を横断する位置にあったことを立証するものと考えられる (図-6、図-14参照)。

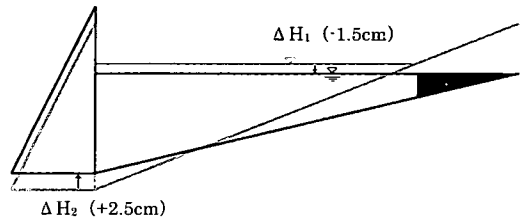


図-14 貯水面低下とダム基礎隆起の模式図

表-3 賀祥ダム貯水位低下量の略算 (数値解析による)

	数値解析	備考
ΔH_1 (貯水面)	-1.5(cm)	$\Delta V/S$
ΔH_2 (ダム)	+2.5(cm)	ダム位置の鉛直変位
ΔH (相対変化)	-4.0(cm)	$\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2$

以上のことより、2000年鳥取県西部地震時における賀祥ダムの貯水位急低下は、貯水池を横断する伏在断層の断層運動によって、ダム基礎が隆起し、貯水池底が平均的に沈下したために発生した相対的な水位低下であると考えられる。

(2) 貯水位の減衰自由振動とセイシュ現象

狭く細長い湾や周囲を陸で囲まれた湖においては、地震や気圧変動などの外的な要因によって、セイシュ (静振) と呼ばれる長周期の水面変動が発生することが知られている¹²⁾。セイシュ理論によれば、長さ a の長方形水槽におけるセイシュの基本振動周期 T は、近似的に次のように表される。

$$T = \frac{2a}{\sqrt{gh}} \quad (3)$$

ここで、 g は重力加速度、 h は平均水深であり、 \sqrt{gh} は浅水波 (長波) の波速である。式 (3) に、賀祥ダムの概略の貯水池長 2km と概略の平均水深 10m を代入すると、 $T=7.0$ 分が得られる。これは実測の周期 6.5 分に近いので、記録された数時間に

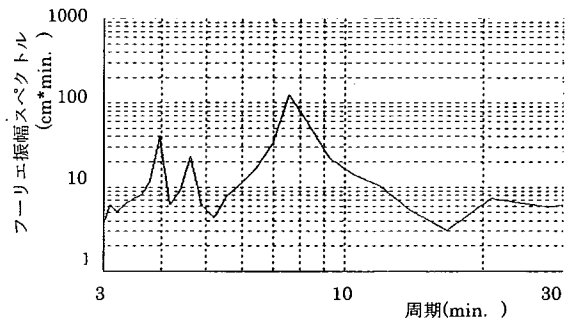
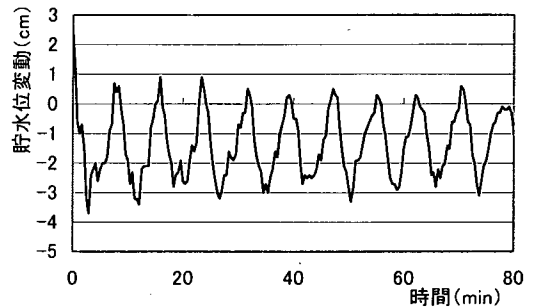


図-15 数値解析による貯水位変動時刻歴とそのスペクトル

わたる貯水位の減衰自由振動はセイシュであると推測される。そこで、図-13に示した地震時貯水池形状 (塗りつぶした部分) を用いて、セイシュの3次元数値シミュレーションを試みた。用いた手法は著者らが津波解析で使用している3次元差分法であり、Navier-Stokes 方程式を限定圧縮条件と質量保

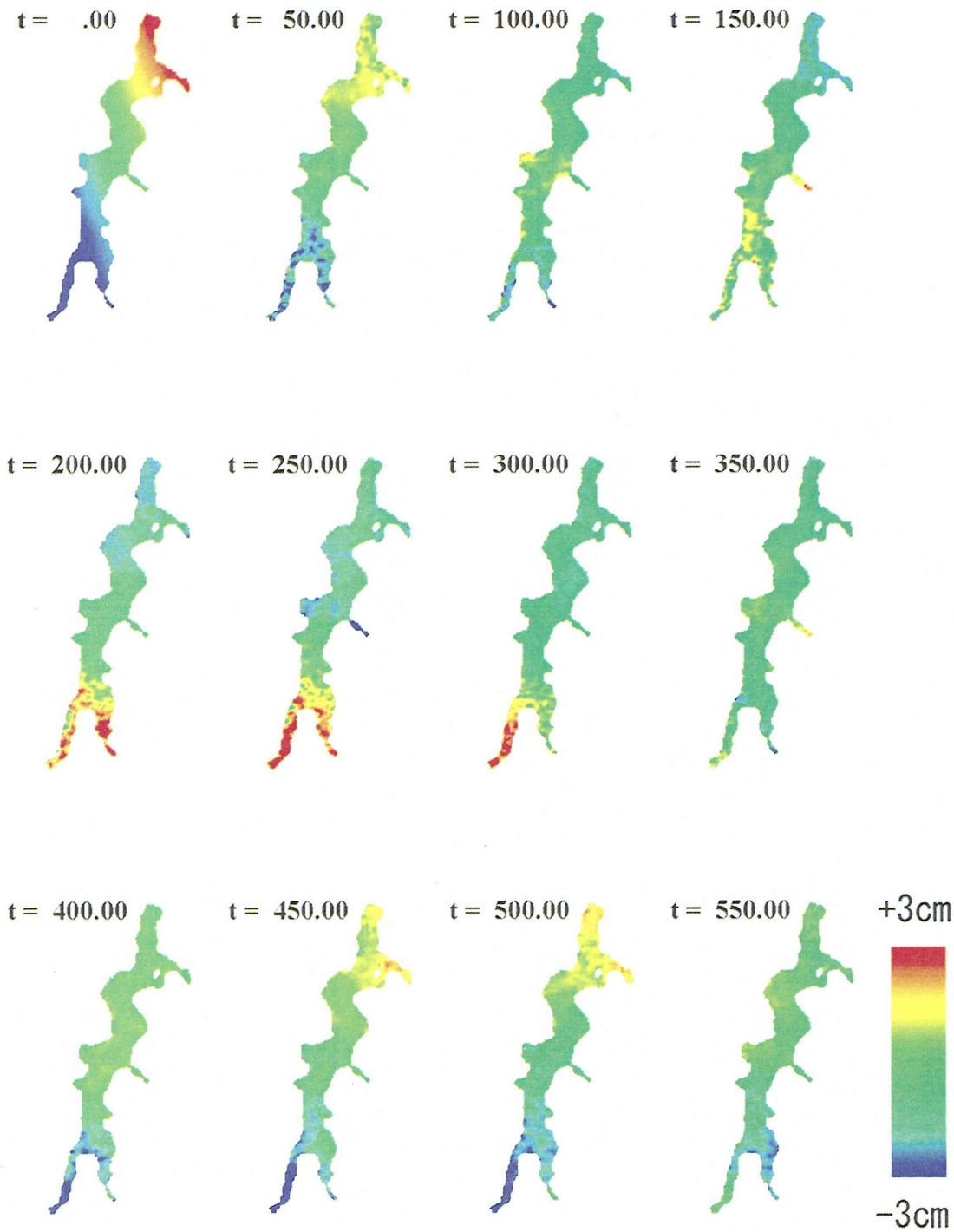


図-16 セイシュ解析のスナップショット (時間 t の単位は秒)

存条件のもとで解く手法¹³⁾である。ここでは簡単のため、ダムや地盤は剛体と仮定し、流体部分には密度 1000kg/m^3 、動粘性係数 $1.0 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 、音速 1500m/s を与え、メッシュ間隔を水平方向は東西 14.6m 、南北 11.8m 、鉛直方向は 5m とした。初期条件 ($t=0$) としては、前述の地盤変位シミュレーションによる地盤の残留鉛直変位から求まる地盤と水面との相対変位を初期水面形として与え、それを $t>0$ で重力下に解放して貯水の自由振動を発生させた。この数値解析による、ダム地点での貯水位変動時刻歴とそのスペクトルを図-15に示す。水面の自由振動周期は実測では約 6.5 分であったが、この解析では約 7.5 分となった。数値解析による貯水池全体の水面変化を、時間間隔 50 秒のスナップショットで図-16に示す。この時間間隔は解析による振動周期 (約 7.5 分) の約 $1/10$ であるので、図-16には最初のほぼ 1 周期における水面変化が図示されている。 $t=0$ 秒では前述の初期水面形状が与えられているので、北東端 (ダム側) で上昇、南西端 (上流端) で下降、その中間では一様傾斜となっている。そして $t=200$ 秒では上昇部と下降部がほぼ入れ替わり、 $t=450$ 秒ではほぼ最初の状態に復帰し、以降は同様に貯水池の中央付近を支点とするシーソー状の水面変動を繰り返す。このような変動は、主としてセイシュの基本モードによる振動現象であると考えられる。

数値解析による振動周期が実測周期より長くなった原因として最も可能性が高いのは、貯水池の数値モデルと実物の形状の差違と思われる。地形モデルの基礎とした数値地図のメッシュサイズは約 50m と粗く、そのデータを補間してモデルを作成した。その際に、貯水池の奥行きが長くなり、水深が浅くなったと思われる。

ここに示した数値シミュレーションでは、貯水池の底面と側面の境界に完全反射条件を与えたにもかかわらず、図-15では水面の変動振幅が時間経過とともにわずかに減衰している。これは、貯水池の複雑な形状によって貯水全体の運動が一様でなく、本流と支流の流体が混合し相互干渉するためであることが、図-16のスナップショットから推察される。また図-15において、周期約 7.5 分の水面変動に短周期の変動が混入していることが、その推察を支持している。したがって、実測されたセイシュの減衰定数には、このような貯水の相互干渉による減衰効果が含まれていることになる。

5. 結論

本論文では、 2000 年鳥取県西部地震の際、賀祥ダムで観測された強震記録と貯水位記録をもとに、ダムサイト直下に伏在する震源断層に起因すると思われる自然現象について、数値シミュレーションを交えて解明を試みた。その結果、結論として以下の知見が得られた。

1. 賀祥ダムの監査廊内 (ダム下部) で観測された強震記録を積分した結果、北へ約 28cm 、西へ約 7cm 、鉛直上方へ約 5cm の残留変位が算出された。これらの変位は、ダムサイト直下に伏在する震源断層の食い違いに起因する地盤変位と考えられる。
2. ダムサイト周辺の地盤を半無限均一弾性体と仮定し、単純な断層モデルを用いて震源域の地盤変位を数値解析し、算定した残留鉛直変位量を貯水池周辺での水準測量による測定値と比較した。その結果、解析値と測定値はほぼ類似の傾向を示したが、測定値は解析値よりばらつきが大きく、解析値の 3 倍にも及ぶなど不一致も見られた。解析による予測精度を高めるためには、本震の詳細な震源過程や地盤の不均一性、さらに余震の影響などを検討する必要がある。
3. 賀祥ダムでは、貯水位が本震直後に約 6cm 急低下し、その後数時間にわたって自由振動したことが記録されている。本震直後に見られた貯水位の急低下は、上記の断層運動による地盤変位によって、貯水池とダムとの間に相対的な変位が発生したためであり、その後の自由振動は貯水池のセイシュ現象であると考えられる。
4. 賀祥ダムの貯水池の数値モデルを用いて、地盤変位に起因する貯水位変動の数値解析を試みた結果、貯水のセイシュ現象がほぼ再現された。しかし、数値解析によるセイシュは周期約 7.5 分で、実測された周期約 6.5 分よりもやや長かった。数値解析で実測よりやや長い周期が算定されたのは、貯水池の数値モデルの奥行きが実物よりも実質的に長めに設定されたことが主因と考えられる。
6. 伏在断層は、震源域で強大な地震動を及ぼすだけでなく、地盤の残留変位やこれに伴う貯水位変動のような関連事象をもたらす可能性がある。後者に関しては、従来、ほとんど注目されることがないが、ダムのような大規模重要構造物や、道路・鉄道のようなライフライン施設の耐震性能に関しては、これが直接あるいは間接に関係する場

合もあると思われるので、今後も観測や解析を通じて、定量的な究明が必要である。

本論文で用いた断層モデルは、均一なすべり分布を仮定した最も単純なモデルであるが、不均一なすべり分布をもつ詳細なモデルも提案されている。また、賀祥ダムではダムの上部でも貴重な強震記録が得られている。これらの資料をもとに、伏在断層による地震の影響について、引き続き研究を進めていく予定である。

謝辞：本研究に際し、鳥取県土木部砂防利水課及び鳥取県米子土木事務所には貯水位記録、測量結果等のデータ提供や度重なる問い合わせに対する懇切丁寧な回答など種々のご厚誼をいただいた。記して深甚の謝意を表したい。なお、本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(B)(No. 13480119)(研究代表者大町達夫)および(No. 12555134)(研究代表者川島一彦)によった。

参考文献

- 1) 土木学会鳥取県西部地震調査団：2000年10月6日鳥取県西部地震被害調査報告，土木学会誌，Vol. 85，pp. 80-83，2000.
- 2) 岡田篤正，堤 浩之：鳥取県西部地震の地震断層と周辺の活断層，2000年10月鳥取県西部地震による災害に関する調査研究，pp. 96-103，2001.
- 3) 土木学会：土木構造物の耐震設計法等に関する第3次提言と解説，2000.
- 4) 鳥取県米子土木事務所・賀祥ダム管理事務所：賀祥ダムパンフレット.
- 5) 気象庁報道発表資料：「平成12年10月7日の鳥取県西部地震の余震活動について」，「平成12年10月8日の鳥取県西部地震の余震活動について」，<http://www.kishou.go.jp/press/>.
- 6) 理論地震動研究会：地震動その合成と波形処理，鹿島出版会，1994.
- 7) 国土地理院プレスリリース：「平成12年10月6日鳥取県西部地震の断層運動を解明」，<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2000/1007-2.htm>.
- 8) 片岡正次郎，大町達夫：震源近傍の不計整形地盤における地震動の三次元シミュレーション，土木学会論文集，No. 556/I-38，pp. 139-149，1997.
- 9) 国土地理院：「数値地図 50mメッシュ(標高)日本3 CD-ROM版」1997.
- 10) 澁谷拓郎，中尾節郎，竹内文郎，渡辺邦彦，梅田康弘，西田良平：鳥取県西部地震(2000年10月6日，Mj=7.3)に先行して発生した1989，1990および1997年の群発的地震活動，2000年10月鳥取県西部地震による災害に関する調査研究，pp. 20-24，2001.
- 11) 片尾 浩，吉井弘治：鳥取県西部地震本震直後の緊急余震観測による震源分布，2000年10月鳥取県西部地震による災害に関する調査研究，pp. 25-31，2001.
- 12) 尾崎 晃，八鍬 功，村木 義男，近藤 一郎，佐伯 浩：概説海岸工学，森北出版，pp. 82-86，1987.
- 13) 大町達夫，築山 洋，松本浩幸，細川真利：津波の発生・伝播と海底水圧変動との関連性，海岸工学論文集，第47巻，pp. 361-365，2000.

(2001. 10. 30 受付)

GROUND DISPLACEMENT AND CHANGE IN RESERVOIR WATER LEVEL DUE TO SEISMIC RUPTURING OF A HIDDEN FAULT UNDERLYING A DAM SITE

Tatsuo OHMACHI, Naoyuki KOJIMA and Atsushi MURAKAMI

During the 2000 Western Tottori-prefecture earthquake, strong motion records at Kasho Dam showed as much as 2051gal at the dam crest and 531gal at the dam base, respectively. Integration of the accelerogram resulted in permanent displacement of 28cm to the north, 7cm to the west and uplift of 5cm. The dam is a 46m-high concrete gravity dam, and survived the earthquake without damage to the dam body. However, the reservoir water level showed sudden drop of 6cm followed by damped free vibration. Numerical simulation has proved that these ground displacement and water level change are direct influence of the seismic faulting underlying the dam site.