

重力式コンクリートダム の地震時安定性の照査

伊藤忠テクノソリューションズ(株)

日本のダムの耐震設計は、これまで、簡便な震度法を用いて行われてきたが、兵庫県南部地震以降、構造物の耐震安全性を大地震による地震動、いわゆるレベル2地震動を考慮した上で評価し、致命的な被害を受けずに、貯水機能が維持されることが要求された。そこで、本資料は、重力式コンクリートダムを対象として、レベル2地震動に対して確保すべきダムの耐震性能やレベル2地震動の設定方法、また地震応答解析を用いた照査方法について国土交通省の「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」に沿った内容を紹介する。



重力式コンクリートダム「宮が瀬ダム (国土交通省)」

(フリー百科事典「ウィキペディア(Wikipedia)」より転載)

目次

1. ダムの種類と特徴	3
2. 照査用の入力地震動の設定方法	4
3. 重力式コンクリートダム本体の耐震性能照査の考え方	7
4. 重力式コンクリートダム本体の耐震性能照査例	9
4.1 方針	9
4.2 解析モデル	9
4.3 常時応力解析	11
4.4 線形地震応答解析	12
4.4.1 減衰特性の設定	12
4.4.2 入力地震動の設定	15
(1) 想定地震の選定	15
(2) 加速度時刻歴の作成	17
4.4.3 線形地震応答解析の照査結果	18
(1) 引張破壊に対する照査	18
(2) 圧縮破壊に対する照査	19
(3) せん断破壊に対する照査	20
4.4.4 線形地震応答解析のまとめ	20
4.5 損傷過程を考慮する地震応答解析	21
4.5.1 非線形特性	21
4.5.2 損傷過程を考慮する地震応答解析の照査結果	23
(1) 引張破壊に対する照査	23
(2) 圧縮破壊に対する照査	24
(3) せん断破壊に対する照査	25
4.5.3 損傷過程を考慮する地震応答解析のまとめ	25
4.6 地震後における安定性の検討	26
5. 地震応答解析による照査結果のまとめ	26

参考文献

1. ダムの種類と特徴

ダムの分類としては、大別すると土や砂、岩石を積み上げて建設されるフィルダムと、コンクリートを主原料として建設されるコンクリートダムの二種類があり、おのおの細分化した型式が存在する。このほか両者を連結・複合させたコンバインダム（複合ダム）や、日本で開発された新形式である台形CSGダムがある。表 1.1 にダムの一覧を示す。

表 1.1 ダムの一覧

分類	小分類	解説
コンクリートダム	重力式コンクリートダム	堤自身の重力により、水圧等の外力に抵抗する形式のダム。構造は、一般的には直線型で、横断面は三角形で構成されており、日本ではこの形式のダムがもっとも多い。
	中空重力式コンクリートダム	重力式コンクリートダムと同様に堤自身の重力により、水圧等の外力に抵抗する形式のダム。ダムの中を空洞にすることによりコンクリートの量を節約している。
	アーチ式コンクリートダム	上流へアーチ状に張り出した構造のコンクリートダム。アーチを利用して水圧などの外力を両岸で支える。重力式コンクリートダムに比べコンクリートの量が少なくて済む。
	重力式アーチダム	堤体がアーチ状の重力式ダム。アーチ式と重力式の両方の特性を持っている。
	マルチプルアーチダム (多連式アーチダム)	複数のアーチが連なるダム型式。 扶壁で支える点からバットレスダムに比較的近い。
	バットレスダム	コンクリートの遮水壁と、これを支えるバットレス(扶壁)というコンクリートの擁壁からなるダムで扶壁式ダムとも言う。コンクリートの使用量が少ないが、施工の繁雑さから建設費が割高になり、現在では作られていない。
フィルダム	アースダム (アースフィルダム)	材料として土を用い、それを重ねて造られたダムの事を言います。比較的施工が容易な分、大規模なダムには適せず、貯水池などに造られる小規模ダムに適します。
	ロックフィルダム	ロックフィルダムとは堤体材料として岩石や、砂利、砂、土質材料を使用するダム。ダム自身は重力式コンクリートダムと比べ大きいのが、断層のある地域や軟弱地盤に適している。ダム本体内部に遮水壁が設けられているタイプをゾーン型と呼び、ゾーン型ロックフィルダムの場合、コアゾーン部分に遮水性の高い土質材料を使用した土質遮水壁型が一般的である。
コンバインダム (複合ダム)		地盤の強度にあわせて、2種類以上の型式を複合して作るダム。重力式コンクリートダムとロックフィルダムとの組み合わせが多い。
台形CSGダム		日本で開発された新しい技術に基づくもので、堤体の断面が台形で、材料にCSGを使用したダムです。条件さえ合えば、コスト縮減、環境の保全などに有効です。まだできあがったダムはありませんが、建設中のものはいくつもあります。

2. 照査用の入力地震動の設定方法

照査に用いるレベル2地震動の設定は、あらかじめダム地点周辺において過去に発生した地震に関する情報や周辺に分布する活断層やプレート境界等の情報について文献資料等により十分な調査を行い、その結果に基づき、当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震（以下、「想定地震」という。）を選定する。

想定地震は、便宜上、ダムの基礎地盤における地震記録を基に経験的に得られている加速度応答スペクトルの距離減衰式（以下、「ダムの距離減衰式」という。）等を用い、ダム地点に生じる地震動の強さ（加速度応答スペクトル）を推定する。また、想定地震は、活断層で発生する地震あるいはプレート境界で発生する地震の継続時間の違いなどによる影響についても勘案して選定する必要がある。

想定地震によりダム地点において発生する地震動の設定する手法は、以下に示す方法がある。

- ① ダムの距離減衰式などの経験的方法
- ② 経験的グリーン関数法や統計的グリーン関数法
- ③ 理論的方法

上記の方法から推定された地震動は、過去にダム地点または近傍で観測された最大の地震動や、表 2.1 に示す照査用下限加速度応答スペクトルの地震動の影響が大きいと予想される場合には、それらについても考慮して照査に用いる地震動を設定する。

表 2.1 照査用下限加速度応答スペクトル（減衰定数：5%）

固有周期 T (sec)の範囲	加速度応答スペクトル SA (gal)
$0.02 \leq T < 0.1$	$SA = 400/0.08 \times (T - 0.02) + 300$
$0.1 \leq T \leq 0.7$	$SA = 700$
$0.7 < T \leq 4$	$SA = 700 \times (T/0.7)^{-1.409}$

推定された加速度応答スペクトルに適合する時刻歴波形の作成は、周波数特性を保持しつつ、位相特性を付加する。位相特性は、実測により得られた地震動の加速度時刻歴波形（以下、「原種波形」という。）を用いる。

原種波形としては、当該ダムにおいて、想定地震の震源とする過去の地震による強震記録が得られている場合はそれを用い、そのような記録がない場合は、過去の大規模地震時にダム基礎岩盤で得られている代表的な強震記録を原種波形とする。ただし、その場合には、継続時間等の特性についても考慮された原種波形を選定する。

図 2.1 に照査に用いるレベル2地震動の設定の流れ、図 2.2 に原種波形の位相特性と設定加速度応答スペクトルに適合する照査用加速度時刻歴波形の作成の流れを示す。

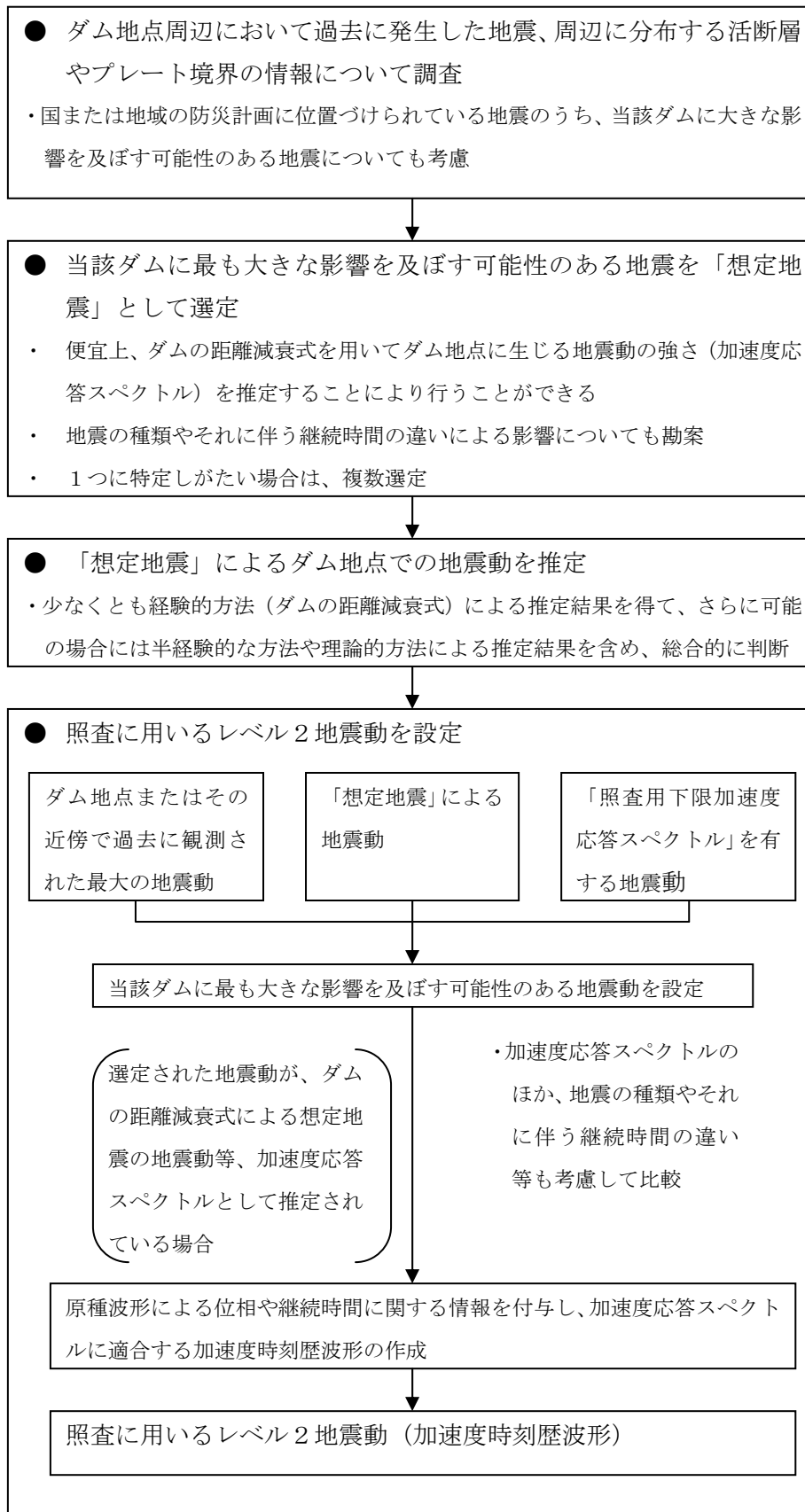


図 2.1 照査に用いるレベル2地震動の設定の流れ

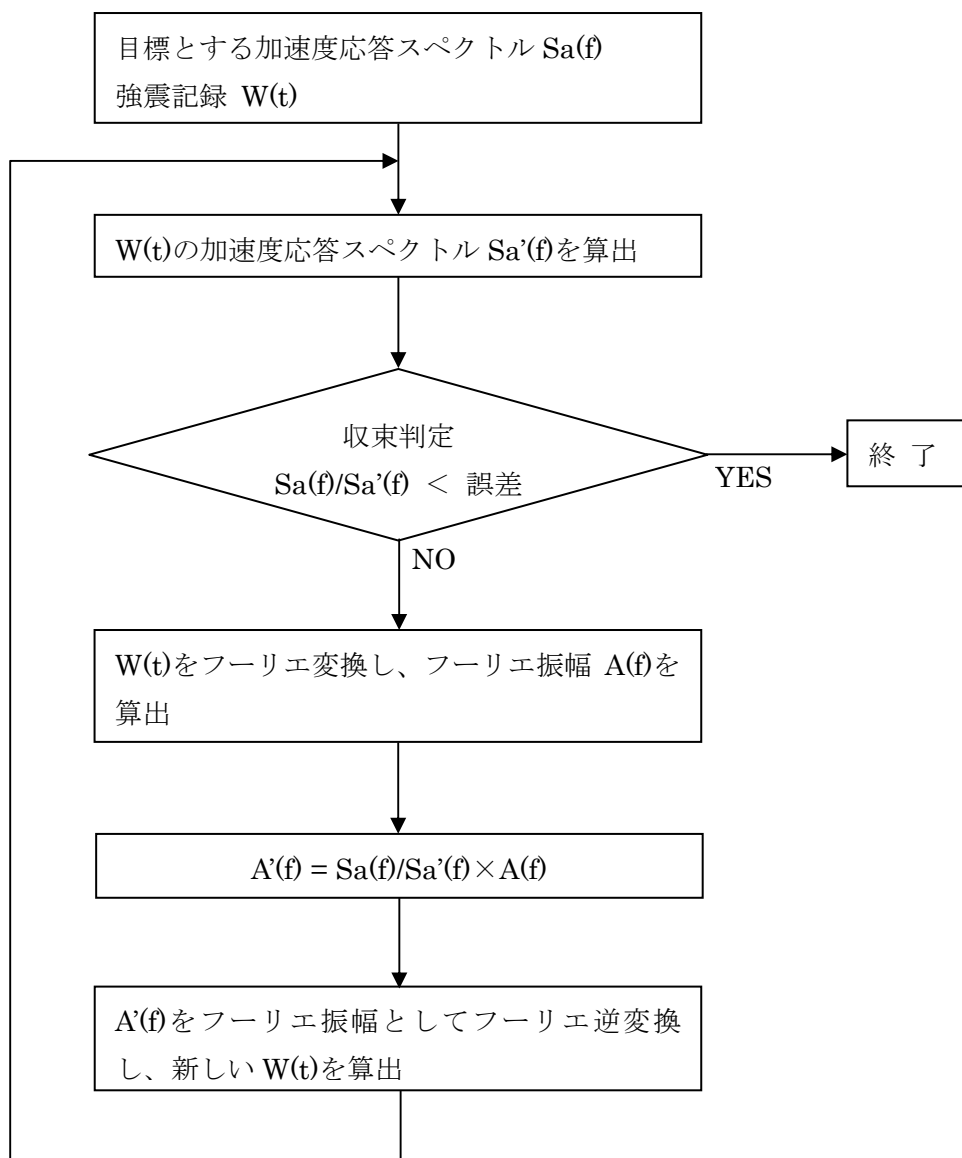


図 2.2 時刻歴波形の作成の流れ

3. 重力式コンクリートダム本体の耐震性能照査の考え方

コンクリートダム本体の耐震性能照査は、以下の手順により行うことを基本とする。

- (1) 線形地震応答解析を行い、その結果、地震時にダム本体に発生する応力が以下の①、②の材料の強度を超えない場合には、ダム本体に損傷が生じるおそれがないため、所要の耐震性能は確保されているとしてよい。

①引張応力が堤体材料の引張強度を超えない。

②ダム本体の圧縮破壊やせん断破壊を生じるような応力が発生しない、もしくは発生しても局所的なものにとどまる。

- (2) 上記(1)における線形地震応答解析結果、ダム本体に損傷が生じるおそれがある場合は、さらに損傷過程等を考慮した地震応答解析を行うものとする。その結果、ダム本体に損傷が生じたとしても、それが限定的なものにとどまる場合には、ダムの貯水機能は維持されるとしてよく、かつ修復可能な範囲にとどまる場合には、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

損傷過程等を考慮する重力式コンクリートダムの地震応答解析では、ダム本体の材料および応答特性上、一般に引張破壊に対する条件が最も厳しくなるため、引張亀裂の進展等、引張破壊による損傷過程を適切に考慮できる非線形地震応答解析を行う。その解析結果、以下の①、②が満足されることが確認できれば、地震時においてダム本体に生じる損傷は限定的なものにとどまると考えてよい。

①上下流面間に連続する引張亀裂の発生によって堤体に分断が生じない。

②ダム本体の圧縮破壊やせん断破壊を生じるような応力が発生しない、もしくは発生しても局所的なものにとどまる。

なお、ダム本体に引張亀裂が生じるおそれがある場合、それが地震時には限定的なものにとどまっても、地震後に亀裂内に侵入する貯水の影響によりダム本体を分断するものとならないことを確認しておく必要がある。この検討は、亀裂内における揚圧力の発生を考慮した静的解析により行うことができる。

重力式コンクリートダム本体の耐震性能の照査の流れを図 3.1 に示す。

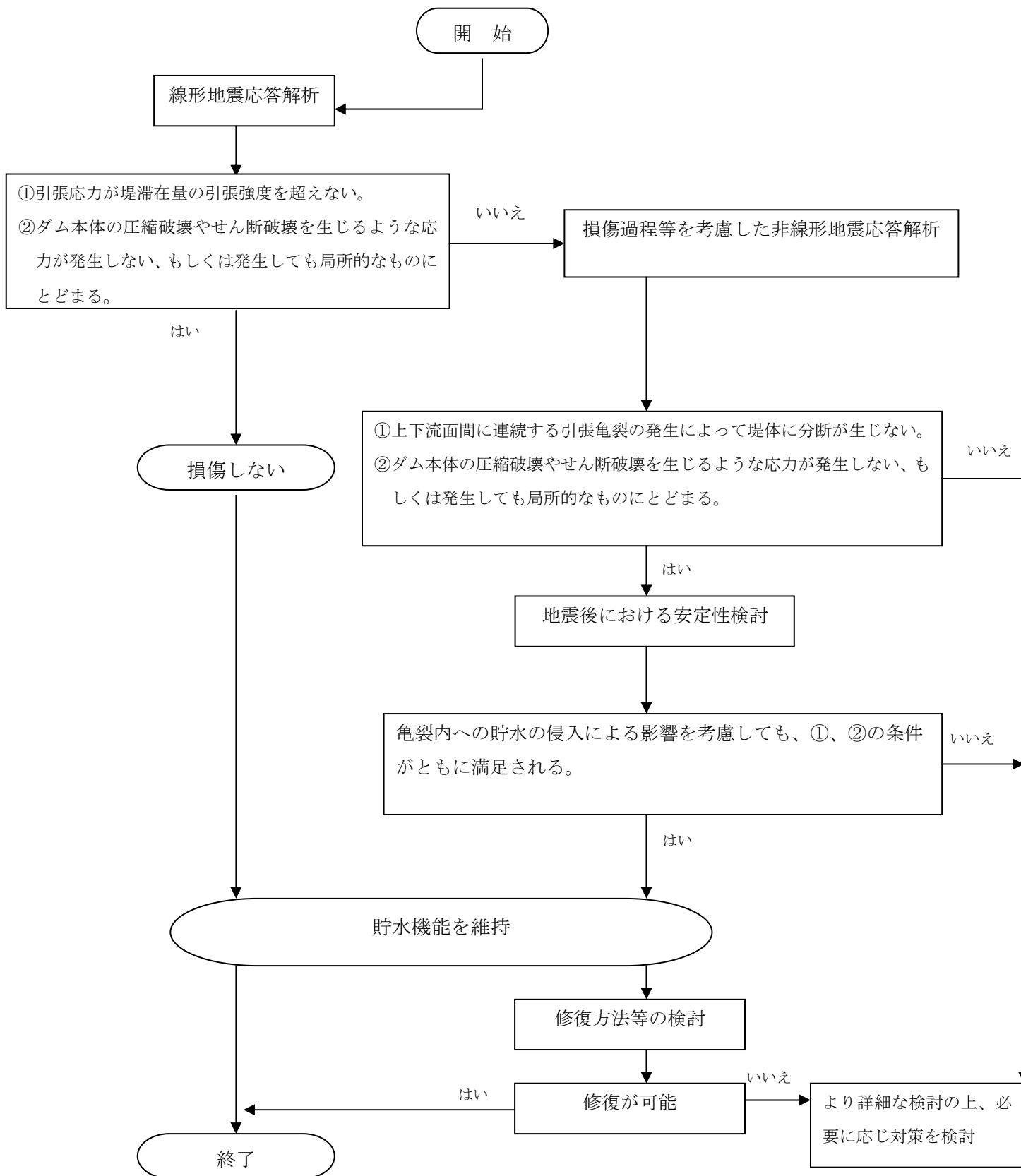


図 3.1 重力式コンクリートダム本体の耐震性能の照査の流れ

4. 重力式コンクリートダム本体の耐震性能照査例

4.1 方針

重力式コンクリートダム本体の耐震性能照査は、一般に引張破壊に対する条件が厳しくなることから、初めに、常時解析および線形地震応答解析を行い、ダム本体に発生する応力と材料強度から所要の耐震性能が確保されているかを判断する。ここで、ダム本体に損傷が生じるおそれがあると判断された場合は、さらに損傷過程等を考慮した地震応答解析（ひび割れ進展解析）を行い、引張破壊に対する照査、および圧縮破壊、せん断破壊に対する照査を行う。また、地震動により引張亀裂が生じた場合は、地震後に亀裂内に貯水が浸入した場合の安定性の検討も行う。なお、本照査例の対象は上下流方向とし、入力は水平地震動とする。

4.2 解析モデル

解析モデルは、表 4.1、図 4.1 に示す架空のモデルダムを設定し、貯水とダム本体を一体とした 2 次元 FEM モデルとした。貯水による地震時動水圧は非圧縮性流体、ダム本体のメッシュ分割は、ひび割れ進展解析時のスナップバック現象^{注)}防止のため、要素寸法 $L < 1.25$ m を満足するように設定した³⁾。

表 4.1 ダムの材料諸元

	堤体	基礎岩盤	貯水
弾性係数 E (MPa)	24,000	—	—
ポアソン比 ν	0.2	—	—
単位体積質量 ρ (Kg/m ³)	2,300	—	1,000
減衰定数 h (%)	15	—	—
圧縮強度 f_c (MPa)	24	—	—
引張強度 f_t (MPa)	2.4	—	—
せん断強度 τ_0 (MPa)	—	2.31	—
摩擦係数 f	—	1.0	—
破壊エネルギー G_f (N/m)	300	—	—

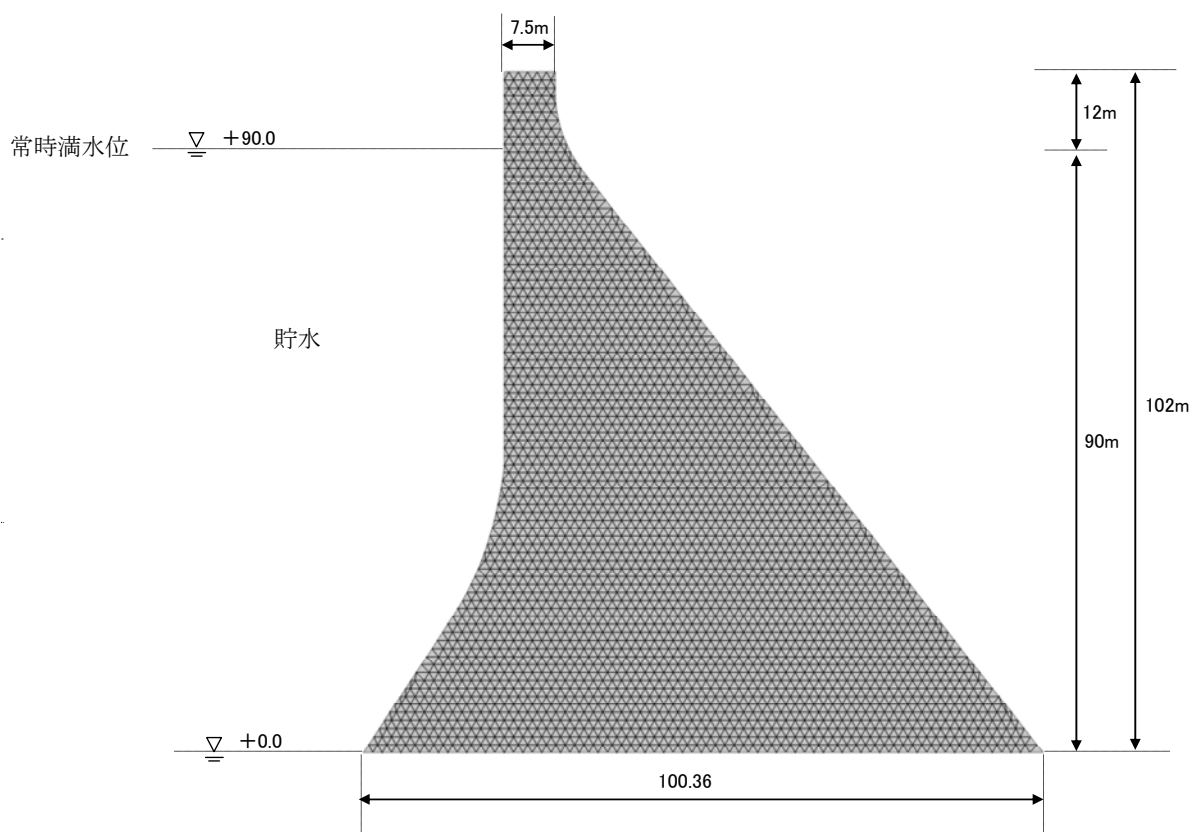
注) スナップバック現象

ひび割れ直交方向の応力-ひずみ関係が引張強度以降、応力の減少とともに変位も減少し、計算が不安定となる。

$$L < (E \cdot G_f / f_t^2) \dots \dots \dots (4.1)$$

L : 要素寸法 、 E : ヤング係数

G_f : 破壊エネルギー 、 f_t : 引張強度



ダム
節点数: 2829
要素数: 5405

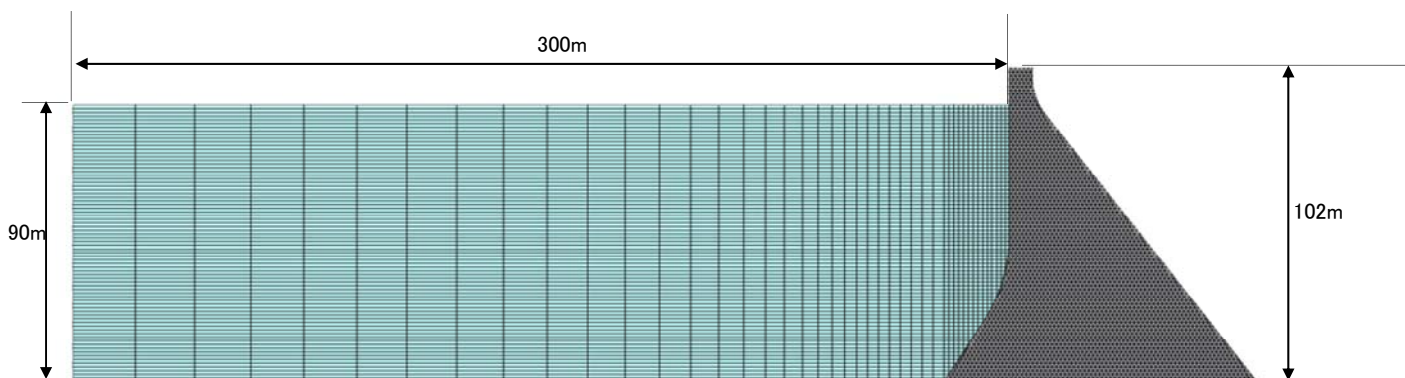


図 4.1 解析モデル図

4.3 常時応力解析

常時応力はダム本体の自重と貯水による静水圧を考慮して算出した。図 4.2 に主応力コンター図を示す。

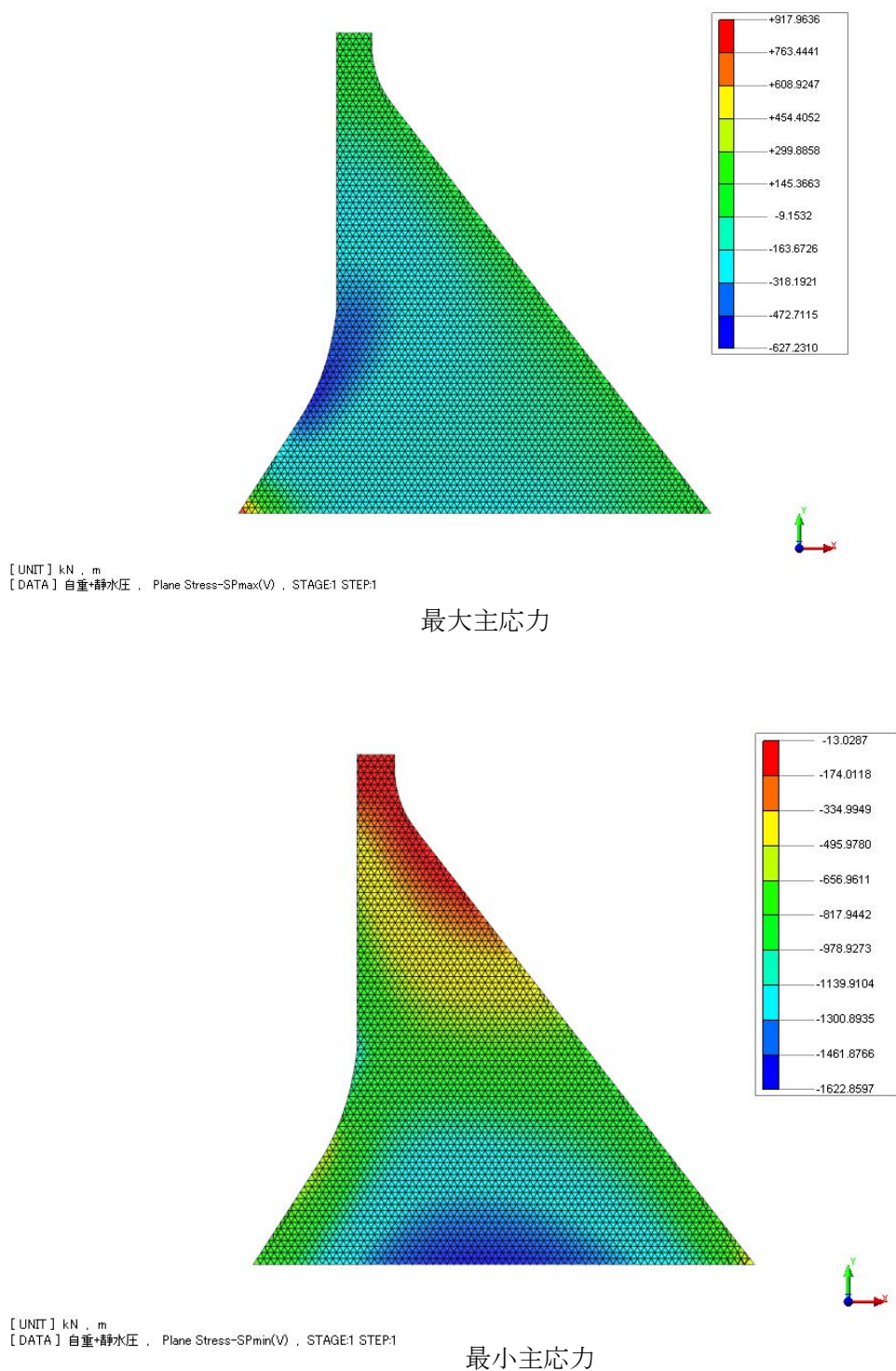


図 4.2 常時の主応力コンター図

4.4 線形地震応答解析

4.4.1 減衰特性の設定

減衰特性は、貯水と堤体の連成一次固有振動数 4.065Hz と減衰定数 15%を用い、式(4.2)、式(4.3)から図 4.3 に示すような剛性比例型減衰を設定した。図 4.4.1、図 4.4.2 に 1 次、2 次の振動モードを示す。

重力式コンクリートダム の 損傷過程を考慮するひび割れ進展解析では、減衰特性の影響が大きく、初期剛性比例減衰型およびレーリー減衰型を指定すると、クラック発生面での引張応力の解放が不十分なことが報告されている²⁾。よって、ひび割れ進展解析では、瞬間剛性比例減衰型を適用する。

- ・ 剛性比例減衰型

$$\beta = h_1 / (\pi f_1) \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

$$C = \beta \cdot K \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

ここに、

C : 減衰行列 (ひび割れ進展を考慮する場合は瞬間剛性比例減衰型)

K : 剛性行列

f₁ : 一次振動数 (4.065Hz)

h₁ : 材料減衰定数(15%)

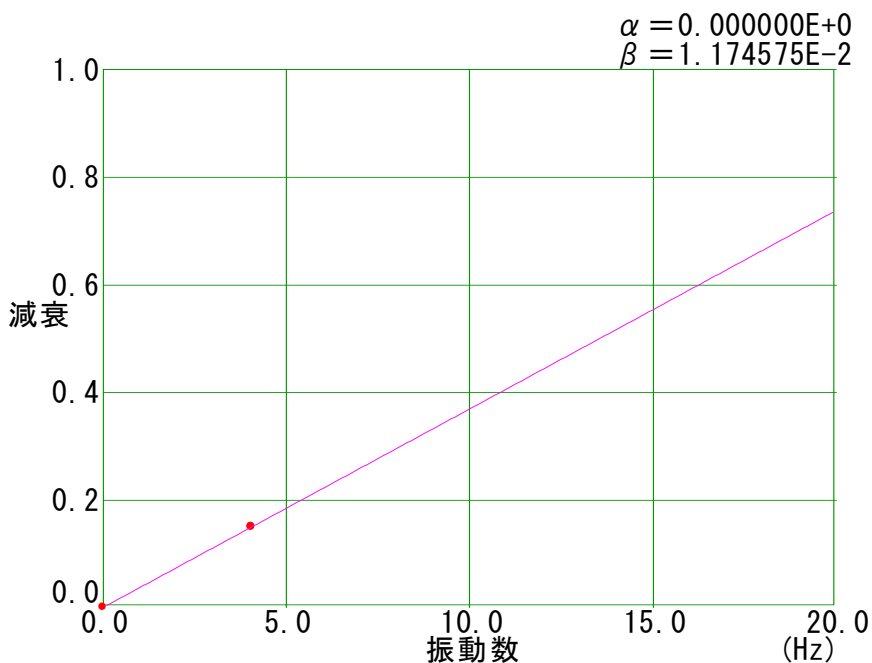


図 4.3 剛性比例型減衰

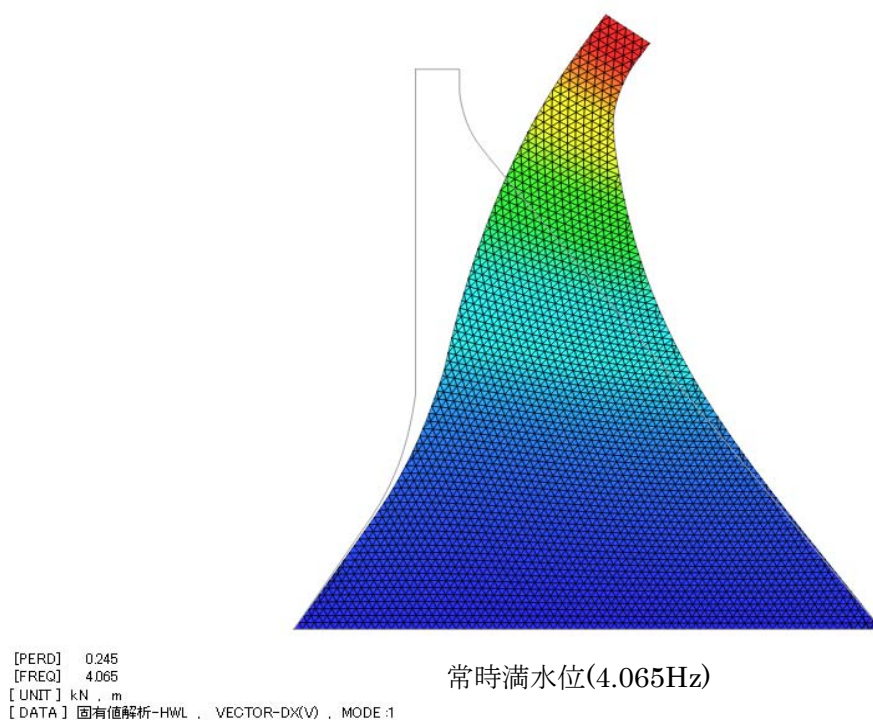
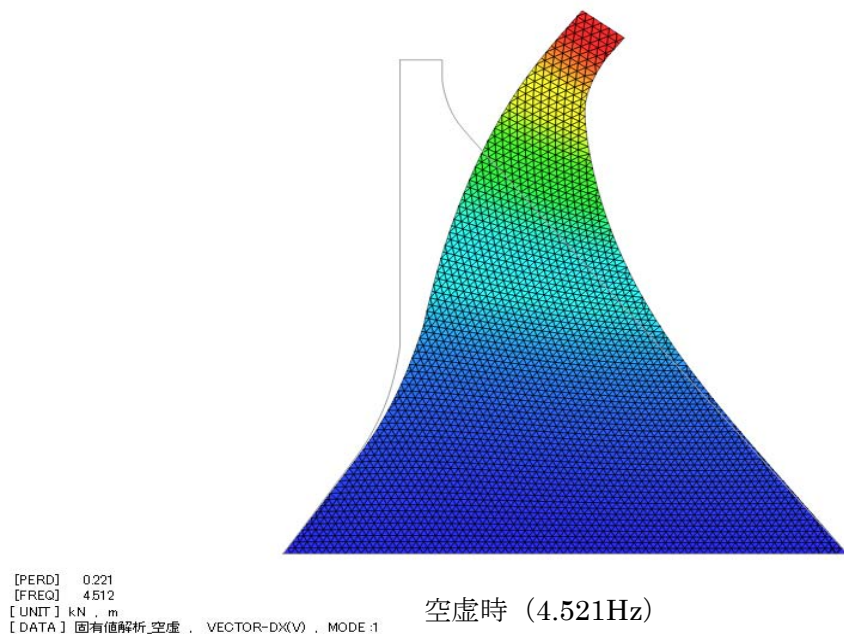
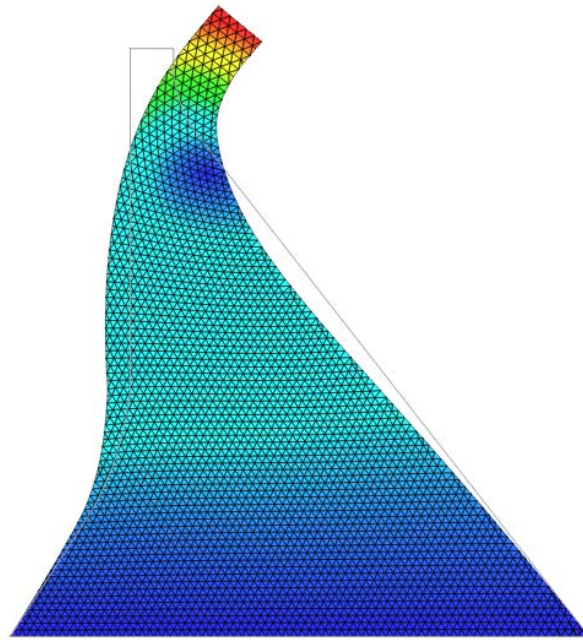
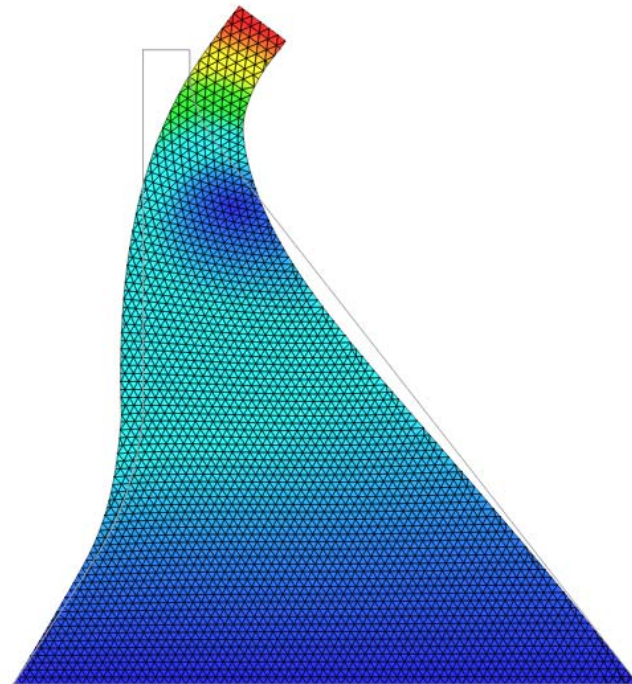


図 4.4.1 振動モード(1次)



空虚時(9.376Hz)

[PERD] 0.106
[FREQ] 9.376
[UNIT] kN , m
[DATA] 固有値解析_空虚 , VECTOR-DXYZ(V) , MODE :2



常時満水位(8.495Hz)

[PERD] 0.117
[FREQ] 8.495
[UNIT] kN , m
[DATA] 固有値解析-HWL , VECTOR-DXYZ(V) , MODE :2

図 4.4.2 振動モード(2次)

4.4.2 入力地震動の設定

(1) 想定地震の選定

想定地震は、第 2 章で示した方法により、ダム地点に最も大きな影響及ぼす可能性のある地震動を設定する。本解析例では、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」を参考に、表 4.2 のプレート境界地震の断層を想定し、ダムの距離減衰式による経験的方法から、式 (4.4) の断層面とダム地点の最短距離を用いた最短距離式、式(4.5)の断層面から発散されるエネルギーと等価となる仮想的な点震源とダム地点間の距離を用いた等価震源距離式から加速度応答スペクトルを推定した。図 4.5 に推定した加速度応答スペクトルを示す。この結果から、最短距離式の加速度応答スペクトルが、等価震源距離式の加速度応答スペクトル、ダム直下の活断層を想定した照査用下限加速度スペクトルの全周波数帯で上回っている。よって、最短距離式で得られた加速度応答スペクトルを想定地震とする。

また、プレート境界地震で発生する地震の方が、活断層で発生する地震より、継続時間が長く、その影響が大きいことから継続時間についても、問題ないと判断される。

最短距離式 (Mo=5.0)

$$\begin{aligned} \log SA(T) &= C_{m1}(T)M + C_h(T)H_c - \log(R + C_1(T) \cdot 100.5M) - (C_d(T) \\ &\quad + C_{dh}(T)H_c)R + C_o(T) \quad (M \leq 5.0) \\ \log SA(T) &= C_{m1}(T)M + C_{m2}(T)(M_o - M)^2 + C_h(T)H_c - \log(R + C_1(T) \cdot 100.5M) \\ &\quad - (C_d(T) + C_{dh}(T)H_c)R + C_o(T) \quad (M > 5.0) \end{aligned} \quad \dots (4.4)$$

等価震源距離式 (Mo=6.0)

$$\begin{aligned} \log SA(T) &= C_{m1}(T)M + C_h(T)H_c - \log(X_{eq} + C(T)) - (C_d(T) + C_{dh}(T)H_c)X_{eq} \\ &\quad + C_o(T) \quad (M \leq 6.0) \\ \log SA(T) &= C_{m1}(T)M + C_{m2}(T)(M_o - M)^2 + C_h(T)H_c - \log(X_{eq} + C(T)) \\ &\quad - (C_d(T) + C_{dh}(T)H_c)X_{eq} + C_o(T) \quad (M > 6.0) \end{aligned} \quad \dots (4.5)$$

ここに、

T : 固有周期

SA(T) : 加速度応答スペクトル

M : 気象庁マグニチュード

H_c : 断層面中心の地表からの深さ(ただし、100kmを超える場合は100km)

R : 断層面までの最短距離

X_{eq} : 等価震源距離

C_{m1}, C_{m2}, C_h, C₁, C_d, C_{dh}, C_o : 地震タイプに応じた回帰係数

表 4.2 プレート境界地震の断層

地震規模(マグニチュード)		M8. 4
断層モデル の諸元	長さ (km)	150
	幅 (km)	70
	上端深さ (km)	10
	傾斜角 (°)	10
	断層中心深さ (km)	19.5
断層面まで の距離	最短距離 (km)	16
	等価震源距離 (km)	85

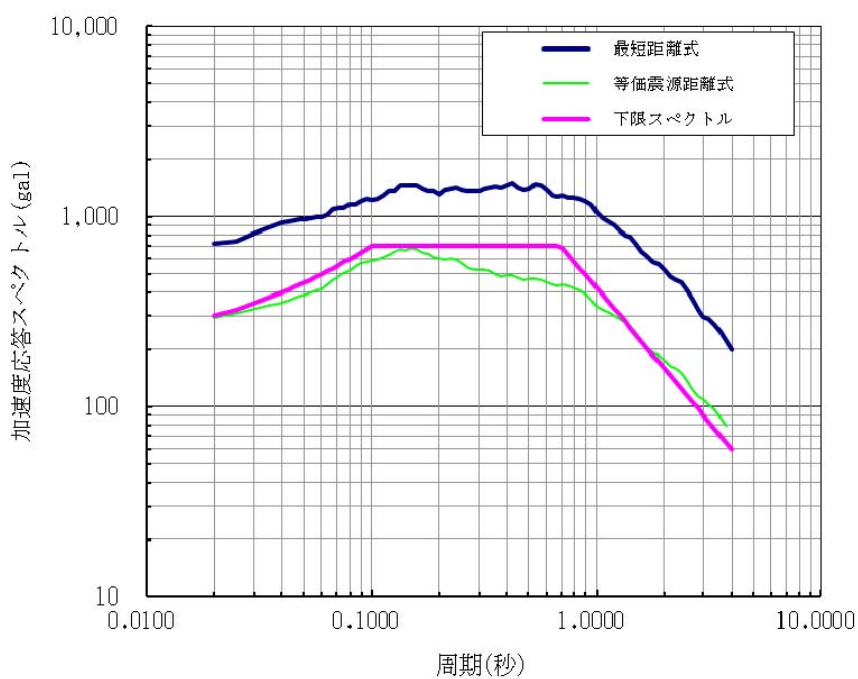


図 4.5 ダム地点で生じる地震動(加速度応答スペクトル)

(2) 加速度時刻歴波形の作成

加速度時刻歴波形は、原種波形の位相特性と選定した想定地震の加速度応答スペクトルに適合させたレベル2の照査用加速度時刻歴波形を作成した。

なお、原種波形には、想定地震がプレート境界地震であることから、2003年に発生した十勝沖地震(M8.0)で観測された加速度時刻歴波形を用いた。図4.6に原種波形、図4.7に照査用加速度時刻歴波形を示す。

継続時間については、プレート境界地震で発生する地震の方が、活断層で発生する地震より長く、その影響が大きいことから問題ないと判断した。

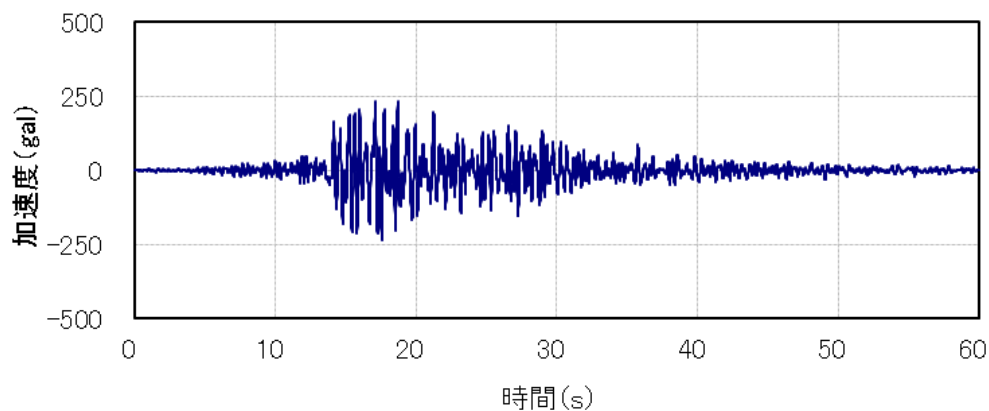


図4.6 原種波形

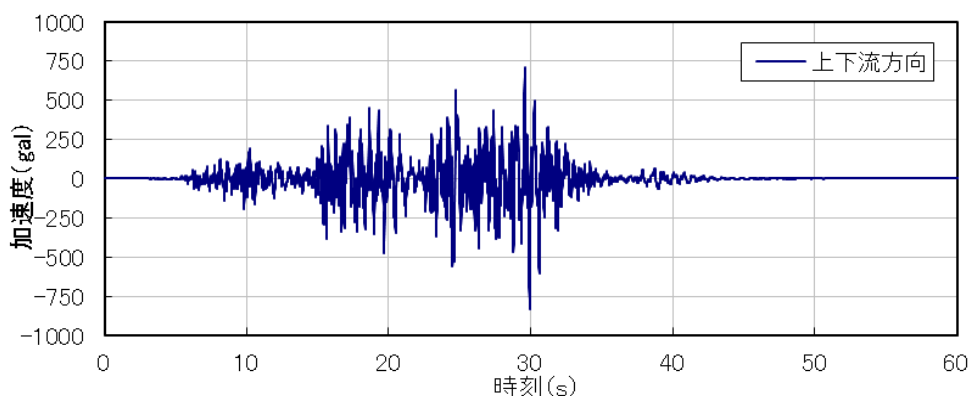


図4.7 照査用加速度時刻歴波形

4.4.3 線形地震応答解析の照査結果

(1) 引張破壊に対する照査

引張破壊は、ダム堤体に最も大きな応力が発生する可能性のある時刻（ダム堤体が上流に最も変位する時刻）における堤体内に発生する引張側主応力と引張強度から照査を行った。図 4.8 に堤体天端の変位の時刻歴波形、図 4.9 に引張側主応力分布を示す。この結果から、上流面勾配変化点付近に 4.54MPa の引張応力が発生しており、引張強度 2.4MPa を上まわっていることから引張亀裂が発生する可能性があると判断される。

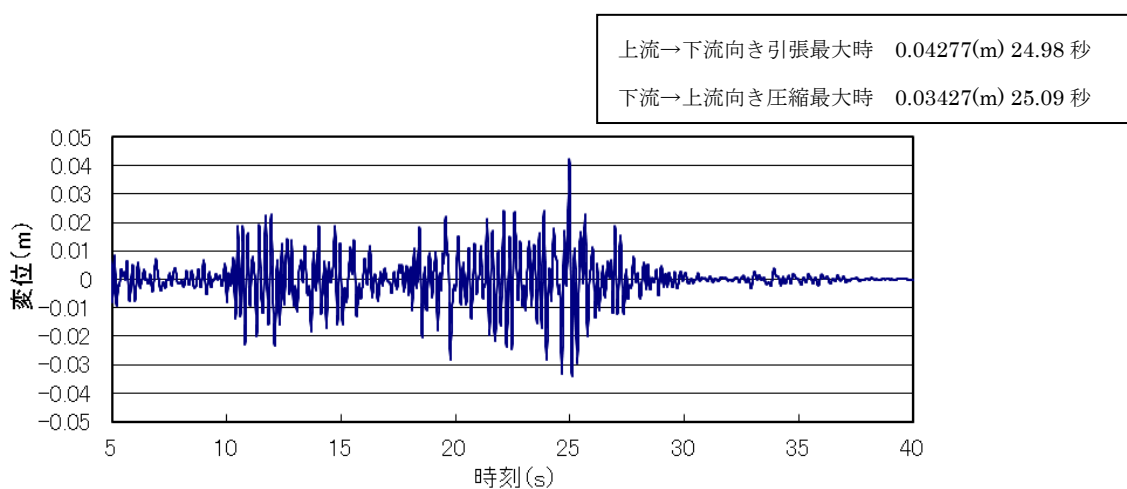


図 4.8 天端変位波形 単位：m

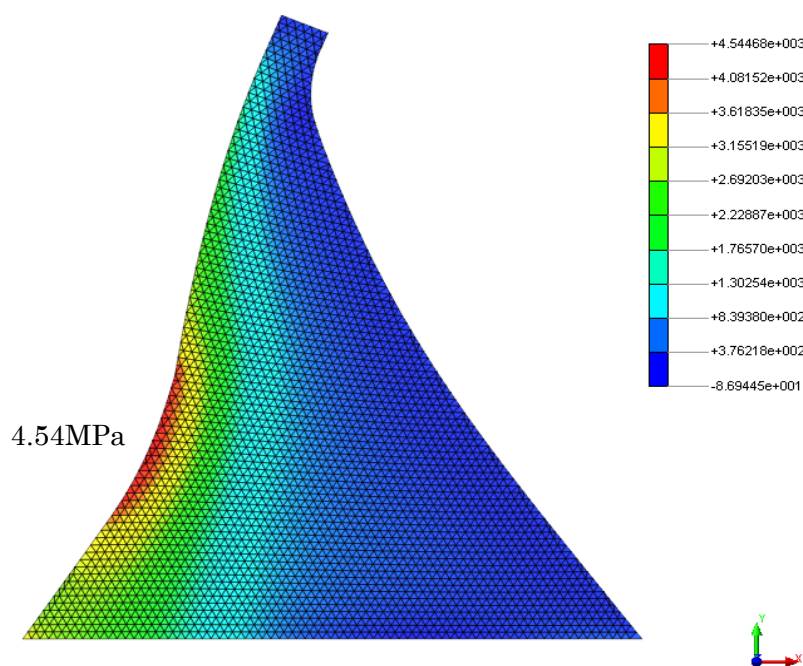


図 4.9 引張側主応力分布

(2)圧縮破壊に対する照査

圧縮破壊は、ダム堤体に最も大きな応力が発生する可能性のある時刻（ダム堤体が上下流に最も変位する時刻）における堤体内に発生する圧縮側主応力と圧縮強度から照査を行う。図 4.10 に圧縮側主応力分布を示す。この結果から、最大 5.88MPa の発生圧縮応力と圧縮強度 24MPa の比較から圧縮破壊が生じるおそれはないと判断される。

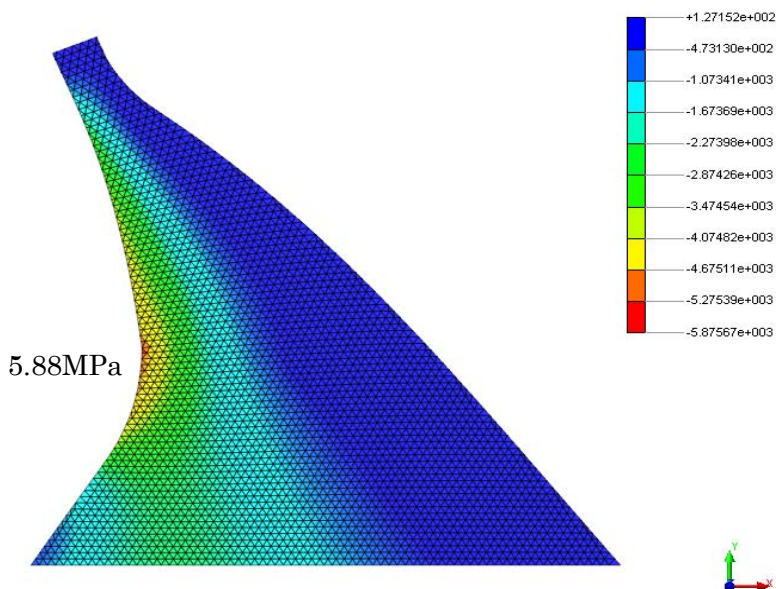


図 4.10 圧縮側主応力分布

(3)せん断破壊に対する照査

せん断破壊は、堤体底面（堤敷）を対象にし、せん断応力と垂直力の時刻歴から、式(4.6)により局所せん断摩擦安全率を求め、照査を行った。なお、発生応力としては、ダム堤体側で代表し、強度としては表 4.1 に示す基礎地盤の強度を用いた。図 4.11 に堤敷における局所せん断摩擦安全率を示し、その最小値が生じた時刻の局所せん断摩擦安全率分布を図 4.12 に示す。この結果から、上流端から堤敷長の 1/5 程度までせん断破壊が生じるおそれがあると判断される。

$$F_s = (\tau_0 + f \cdot \sigma) / \tau \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

ここに、

- F_s : 局所せん断摩擦安全率
- τ : 堤敷に作用するせん断応力
- τ_0 : せん断強度
- f : せん断摩擦係数
- σ : 堤敷に作用する垂直応力

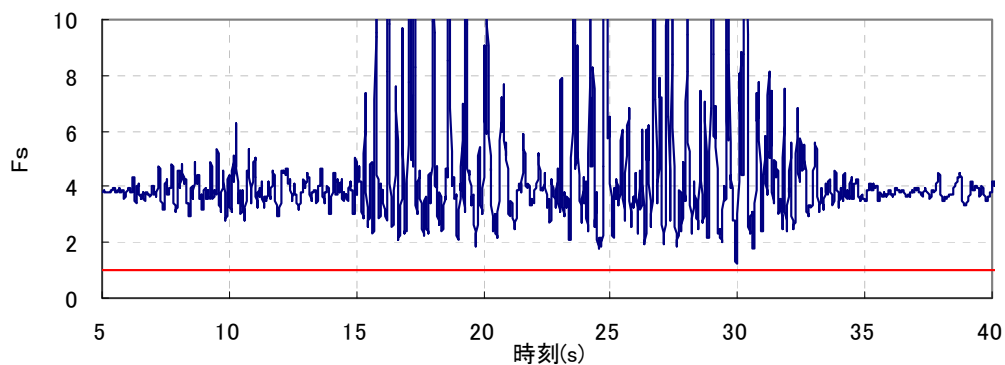


図 4.11 堤敷における局所せん断摩擦安全率

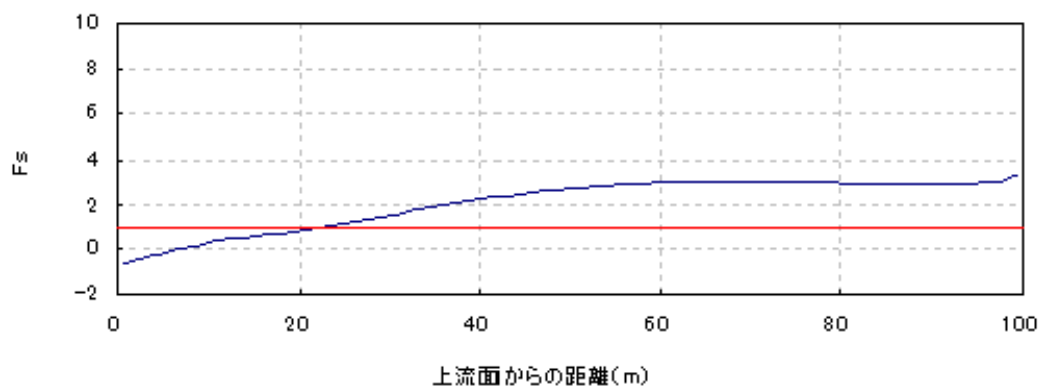


図 4.12 局所せん断摩擦安全率分布

4.4.4 線形地震応答解析の照査結果のまとめ

線形動的解析による検討結果は地震時に材料の引張強度を超える引張応力等が発生していることから、ダム本体に損傷が生じる可能性があると判断される。よって、引き続き堤体コンクリートの引張破壊による損傷過程を考慮する地震応答解析による照査を実施する。

4.5 損傷過程を考慮する地震応答解析

4.5.1 非線形特性

損傷過程を考慮するひび割れ進展解析には、2つの代表的な方法があり、一つは、離散ひび割れモデル (discrete crack)、もう一つは、分布ひび割れモデル (smeared crack) である。離散ひび割れモデルは、ひび割れ経路が既知でない限り、ひび割れ進展に伴い要素の再分割が必要となる。これに対し、分布ひび割れモデルは、ひび割れ後もコンクリートを連続体として扱い、要素の材料特性の変化としてモデル化するため、初期の要素分割を変更することなく、ひび割れ進展を追跡できる。

本解析例では、損傷過程を分布ひび割れモデルとし、コンクリート構造の材料モデルとしては、前川・福浦らによる弾塑性破壊モデルを用いた。材料モデル要素は、ひび割れの発生や進展が有限要素内で平均的に考慮され、ひび割れ発生後は、ひび割れ面直交方向、ひび割れ面平行方向のそれぞれに関する一軸の履歴挙動モデル(直応力-ひずみ関係)とひび割れ面に沿ったせん断ずれに関する履歴挙動モデル(せん断応力-ひずみ関係)を適用し、これらを組み合わせることで挙動を表現する。図 4.13 に一軸の履歴挙動モデル、図 4.14 にせん断ずれに関する履歴挙動モデルを示す。また、引張軟化曲線は一般的に二直線で近似し、軟化後の除下時の履歴特性として原点指向型が用いられ場合が多いが、今回は解析コードの制限もあり、図 4.15 に示す関数型の引張軟化曲線を用いた。設定した軟化曲線は原点指向型の履歴モデルに対し、本解析例の履歴モデルの方が、履歴減衰効果が大きくなることも考慮して設定した。

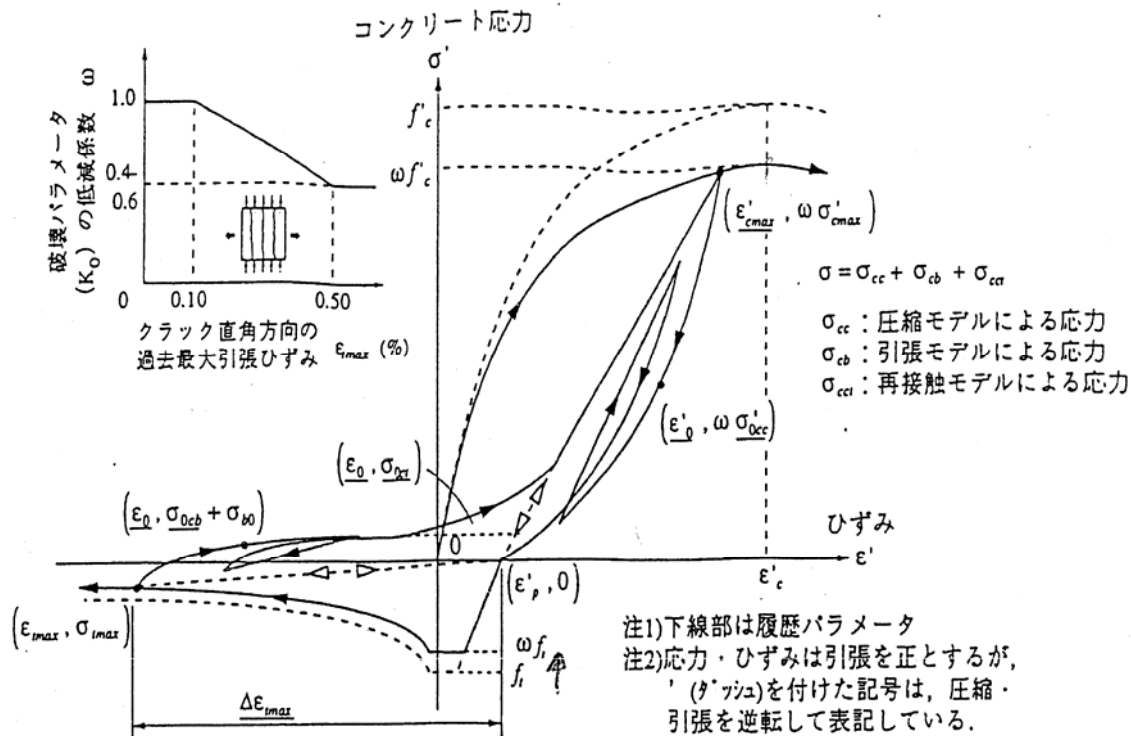


図 4.13 一軸の履歴挙動モデル

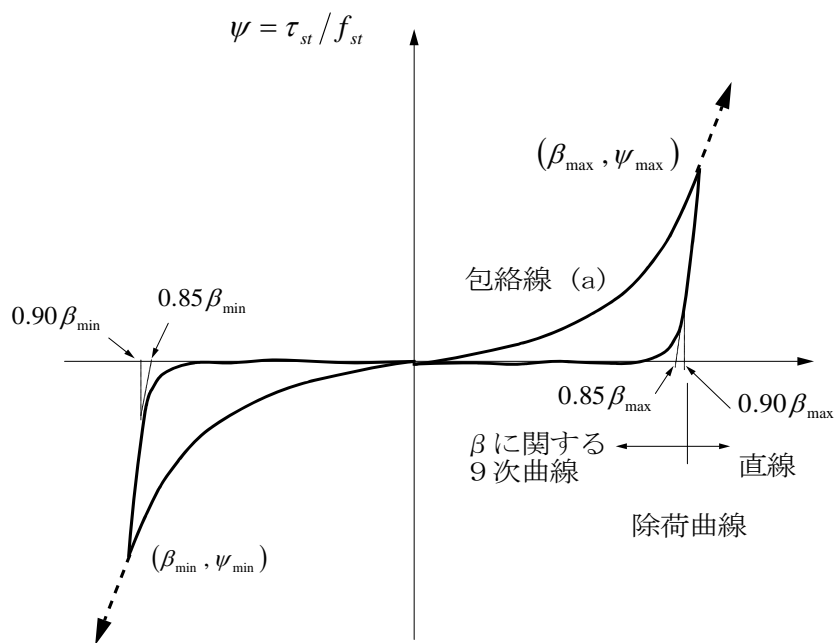


図 4.14 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

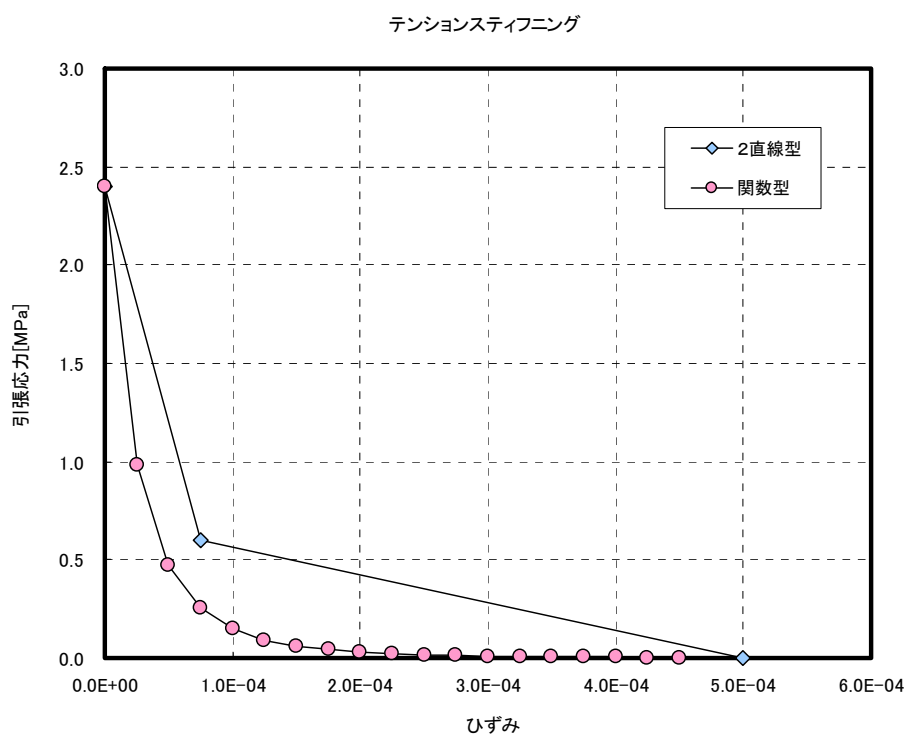


図 4.15 引張軟化曲線

4.5.2 損傷過程を考慮する地震応答解析の照査結果

(1)引張亀裂に対する照査

分布型ひび割れモデルを用いて、引張破壊による損傷を考慮した非線形地震応答解析により、得られた地震時終了時における最終的な引張亀裂の発生範囲を図 4.16 に示す。赤色の要素が、最終的に引張破壊が発生した要素である。この結果より、堤体底部と上流面勾配変化点付近から引張亀裂が生じる可能性がある。しかし、引張亀裂の範囲も小さく、上下流に貫通し、分断が生じるおそれはないと判断される。

伝達応力がゼロとなるひび割れ幅のひずみ ε を 2.0×10^{-4} とした。

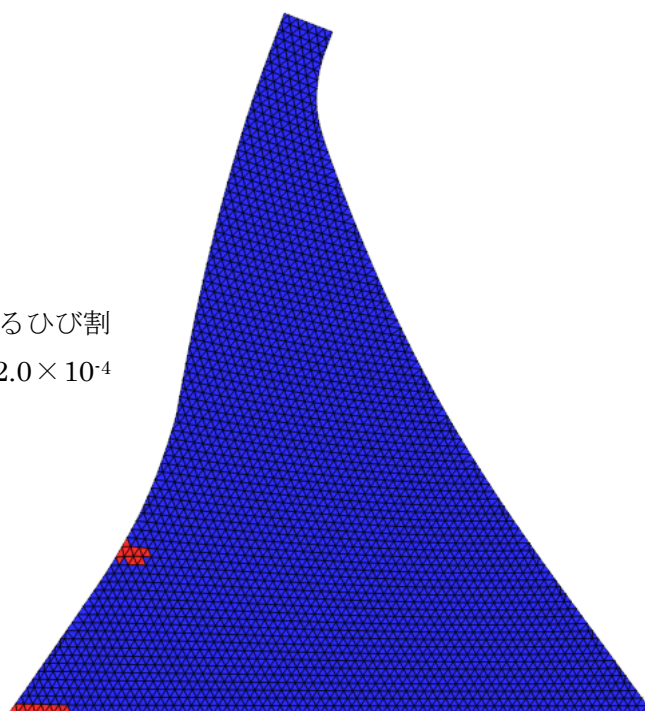


図 4.16 最終的な引張亀裂の発生範囲

(2)圧縮破壊に対する照査

圧縮破壊は、ダム堤体に最も大きな応力が発生する可能性のある時刻（ダム堤体が上下流に最も変位する時刻）における堤体内に発生する圧縮側主応力と圧縮強度から照査を行う。図 4.17 に圧縮側主応力分布を示す。発生応力は圧縮強度を下回っている。

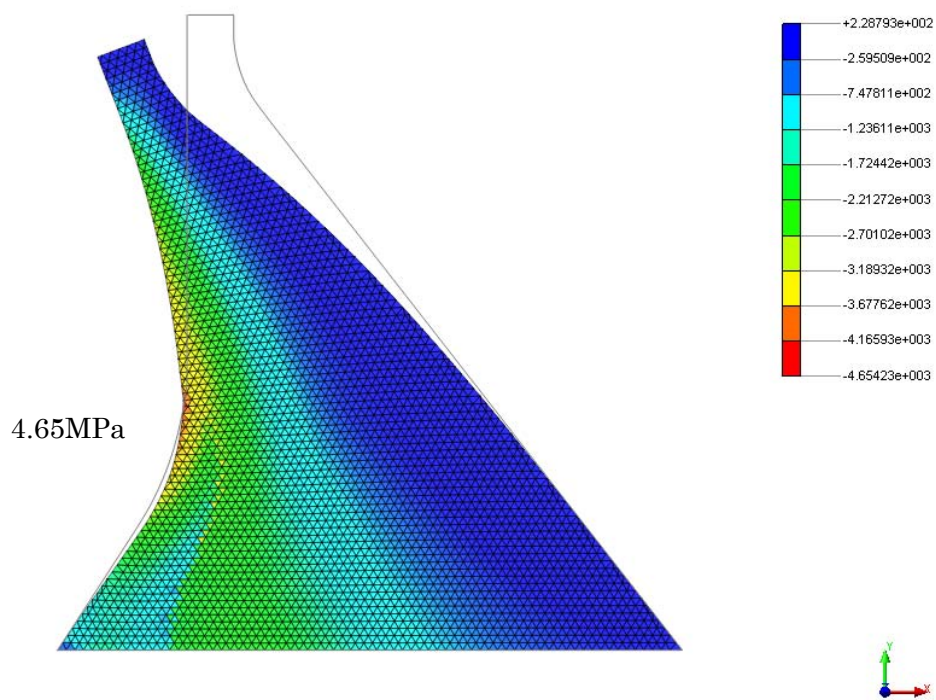


図 4.17 圧縮側主応力分布

(3)せん断破壊に対する照査

せん断破壊は、堤体底面（堤敷）を対象にし、せん断応力と垂直力の時刻歴から、式(4.6)により局所せん断摩擦安全率を求め、照査を行った。なお、発生応力としては、ダム堤体側で代表させる。図 4.18 に堤敷における局所せん断摩擦安全率を示す。その最小値が生じた時刻の局所せん断摩擦安全率分布を図 4.19 に示す。この結果から、上流端から堤敷長の1/4程度までせん断破壊が生じるおそれがあると判断されるが、安全率が最小の継続時間も瞬間的なことから、堤体全体の安定性に及ぼす影響は小さいと考えられる。

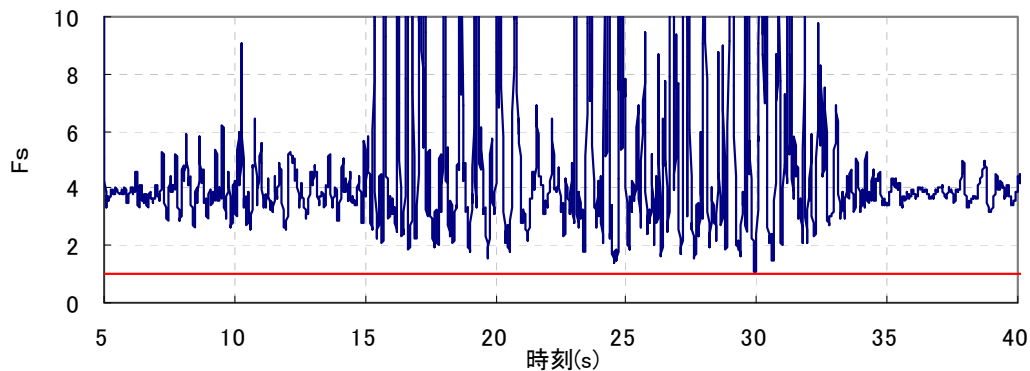


図 4.18 堤敷における局所せん断摩擦安全率

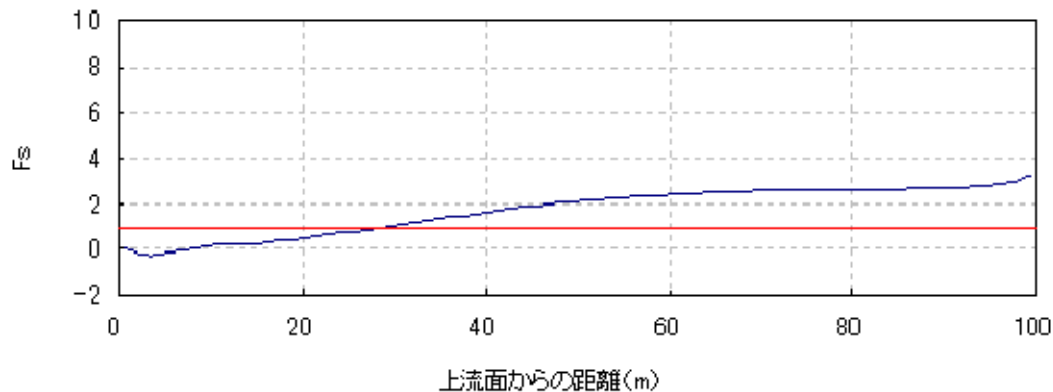


図 4.19 局所せん断摩擦安全率分布

4.5.3 損傷過程を考慮する地震応答解析の照査結果のまとめ

損傷過程等を考慮した非線形動的解析による検討結果から、本モデルダムにおいては地震時に堤体の一部に引張亀裂が発生する可能性があるが、堤体を上下流に貫通することはなく、圧縮破壊、せん断破壊による堤体全体の安定性に及ぼす影響もないと判断される。

4.6 地震後における安定性の検討

損傷過程を考慮する非線形地震応答解析により、引張亀裂が生じる場合は、地震後に亀裂内に貯水浸入した場合の影響について確認する必要がある。しかし、本解析例では、引張亀裂の範囲も小さく、貯水の浸入による影響が小さいと判断されることから、地震後における安定性の検討は省略した。ただし、影響があると判断される場合は、引張亀裂の発生範囲において、貯水の静水圧に相当する圧力と堤体の常時荷重による静的解析を実施し、引張亀裂に対する照査、圧縮破壊およびせん断破壊に対する照査を実施する。

5. 地震応答解析による照査結果のまとめ

これまでの照査結果を総合すると、本モデルダムは、レベル2地震動を考慮した場合、地震時に堤体の一部(上流面の勾配変化点付近と堤体底面)に引張亀裂が発生する可能性があるが、引張亀裂も小さく、上下流面間を貫通するおそれはないと判断される。また、圧縮破壊も生じる可能性はなく、せん断破壊も局所的なものにとどまると判断され、生じる損傷は限定的なものにとどまると考えられる。したがって、レベル2地震動に対してダムの貯水機能は維持されると判断される。

参考文献

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料，平成 17 年 3 月
- 2) 木全宏之，藤田 豊，堀井秀之：動的クラック進展解析による重力式コンクリートダムの耐震安全性評価，土木学会論文集，No.787/I-71，137-145，2005 年 4 月
- 3) 内田裕市，六郷恵哲，小柳 洽：仮想ひびわれモデルを組み込んだ分布ひびわれモデルによるコンクリートのひびわれの有限要素法，土木学会論文集，No.466/V-19,pp.79-88,1993 年 5 月