

大規模地震に対する
ダム耐震性能照査指針(案)
・同解説

平成17年3月
国土交通省河川局

目次

1章 基本事項

1. 1	本指針の趣旨	1
1. 2	用語の定義	2
1. 3	適用範囲	3
1. 4	耐震性能の照査の基本	3
1. 5	耐震性能	4
1. 6	耐震性能の照査において考慮する貯水位	4

2章 耐震性能の照査に用いる地震動

2. 1	想定地震の選定	6
2. 2	耐震性能の照査に用いるレベル2地震動の設定	7

3章 ダム本体の耐震性能の照査

3. 1	ダム本体の耐震性能の照査方針	10
3. 2	コンクリートダム本体の耐震性能の照査	11
3. 3	フィルダム本体の耐震性能の照査	17

4章 関連構造物等の耐震性能の照査

4. 1	耐震性能の照査の対象とする関連構造物等	21
4. 2	関連構造物等の耐震性能の照査	22

1章 基本事項

1. 1 本指針の趣旨

本指針は、レベル2地震動を想定して、大規模地震に対するダムの耐震性能を照査するための標準的な考え方を示したものである。

【解説】

世界有数の地震国であるわが国は、過去幾度となく大規模地震により多大な被害を被ってきた。特に1995年1月の兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）を契機として大規模地震時における土木構造物の安全性の確保に対する社会的要請は従来にも増して高まっており、将来発生しうる大規模地震に対する各種構造物の安全性の評価に関する調査研究がダム分野を含む各方面で精力的に行われている。

このような調査研究の中で、例えば、土木学会からは土木構造物の耐震基準に関する3次にわたる提言（1995年、1996年、2000年）が示され、構造物の耐震性能は現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動として定義されたレベル2地震動を設定して照査することとしている。

現在わが国におけるダムの耐震設計は、『河川管理施設等構造令』（以下、「構造令」という。）に基づき、ダムの自重に地域ごとに経験的に定められた一定の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方法（以下、「震度法」という。）により行われている。この震度法で設計されたわが国のダムは、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、同地震によりダムサイトとなりうる岩盤に生じたと推定された最大の強さの地震動に対しても十分な耐震性を有していることが確認されている。しかしながら、その後の地震観測体制の整備等に伴い、これを上回る強さの地震動も観測されるようになってきている。

幸いながら、わが国のダムではこれまで下流域に人的・物的被害をもたらすような地震被害を被っていないが、このような事情を勘案すると、各ダム地点において、土木学会の提言において示されたようなレベル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当該ダムの安全性について合理的に照査を行う必要がある。

また、構造物全般を対象として、構造設計に係わる技術標準の策定・改訂の基本的方向を示した国土交通省の『土木・建築にかかる設計の基本』（2002年）では、構造物の目的に応じた耐震性能およびそれに対する地震動レベルを設定することとしている。

本指針は、以上のような点を踏まえ、レベル2地震動に対して確保すべきダムの耐震性能とその合理的な照査の方法を明らかにする必要性から策定するに至ったものである。

なお、本指針は、現時点における知見に基づくものであり、今後、新たな知見が得られ、より合理的な照査手法等が開発された場合には、その採用を妨げるものではない。

1. 2 用語の定義

本指針に用いる用語の定義は、次のとおりとする。

(1) 地震動

地震が発生し、地震波が伝播する際、その経路に当たる地盤に生ずる振動

(2) 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強さを持つ地震動

(3) ダム本体

ダムの堤体および堤体と接する部分の基礎地盤

(4) 関連構造物等

ダム本体またはその周辺に設置され、ダムの機能を担う各種の構造物や設備で、ダム本体に含まれないもの

(5) 地震応答解析

地震による構造物や地盤の応答を推定、評価するための解析の総称

【解説】

上記に示した用語のうち、(3)「ダム本体」、および(4)「関連構造物等」については、本指針の構成上、照査対象をこれら2つに大別してその耐震性能を照査する方法を示す関係から定義したものである。

「ダム本体」は、堤体のほか、基礎地盤のうち堤体と接する部分を含むものであり、その照査方法は3章に示している。「ダムの本体」に、堤体と接する部分の基礎地盤を含むこととしたのは、それがダムの耐震性能を照査する上で必要な部分と考えられるためである。

また、「関連構造物等」は、放流設備や各種の管理設備等であり、その照査方法は4章に示している。

1. 3 適用範囲

本指針は、次に掲げるダム以外の重力式コンクリートダム、アーチ式コンクリートダム、土質遮水壁型ロックフィルダムおよびアースダムのダム本体および関連構造物等の耐震性能の照査に適用する。

- (1) 土砂の流出を防止し、および調節するため設けるダム
- (2) 基礎地盤から堤頂までの高さが15メートル未満のダム

【解説】

本指針は、コンクリートダムとしては施工事例の多い重力式ダムおよびアーチ式ダム、また、フィルダムとしては同様に土質遮水壁型ロックフィルダムおよびアースダムに適用するものとした。

なお、それ以外の形式のダムについては、その照査方法に関する今後の調査研究の進展を踏まえ、本指針に必要な改訂を加えた後に適用する予定である。

なお、構造令における取り扱いと同様、(1) 土砂の流出を防止し、および調節するため設けるダムや(2) 基礎地盤から堤頂までの高さが15m未満のダムについては本指針を適用しないこととしている。

1. 4 耐震性能の照査の基本

ダムの耐震性能の照査は、レベル2地震動に対し、所要の耐震性能が確保されていることを確認することを目的として行う。

【解説】

本節は、ダムの耐震性能の照査における基本的な考え方を示したものである。

ダムの耐震性能の照査は、ダム地点ごとに個別にレベル2地震動を設定した上で、そのレベル2地震動に対し、ダム本体および関連構造物等において1. 5に示す所要の耐震性能が確保されていることを確認することを目的として行う。

1. 5 耐震性能

レベル2地震動に対するダムの耐震性能は、地震時に損傷が生じたとしても、ダムの貯水機能が維持されるとともに、生じた損傷が修復可能な範囲にとどまることとする。

なお、貯水機能が維持されることとは、制御できない貯水の流出が生じないことをいう。また、修復可能な範囲にとどまることとは、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲でダムの継続使用を可能とする範囲にとどまることをいう。

【解説】

本節は、レベル2地震動が作用した場合であっても、確保すべきダムの耐震性能を定義したものであり、レベル2地震動に対しては、一定の損傷を許容するとした上で、以下の2つの耐震性能を確保することを基本的な考え方としている。

1) 「貯水機能が維持されること」について

ダムは、著しい損傷などにより制御できない貯水の流出が生じた場合、下流域に対し甚大な被害を発生させるおそれがある。「貯水機能が維持されること」をレベル2地震動に対して確保すべき耐震性能としたのは、このようなおそれがないことを確認する必要があるためである。

2) 「生じた損傷が修復可能な範囲にとどまること」について

ダムは流域の治水・利水上極めて重要な機能を有する構造物であるが、地震により、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で継続使用するための修復が困難となるような損傷が生じた場合、その機能を他の構造物で代替したり、すみやかに再建設したりすることは困難である。「生じた損傷が修復可能な範囲にとどまること」をレベル2地震動に対して確保すべき耐震性能としたのは、このようなおそれがないことを確認するためである。

1. 6 耐震性能の照査において考慮する貯水位

ダムの耐震性能の照査において考慮する貯水位は、常時満水位を基本とする。

なお、常時満水位より低い水位であっても、構造上、耐震性能を照査する上で別途考慮すべき水位条件を有するダムについては、常時満水位のほか当該水位についても照査を行う。

【解説】

1) 耐震性能の照査に用いる貯水位

照査にあたり考慮する貯水位は、供用中のダムにおいて通常時の状態として想定される水位の中で、地震が発生した場合にダムの構造物に対する影響が大きくなる水位である常時満水位を基本とすることとした。

なお、サーチャージ水位のように、洪水時において一時的に生じる貯水位については、そのような水位が生じる洪水とレベル2地震動が同時に発生する可能性は極めて小さい

と考えられるため、特に考慮しなくてもよいこととした。

2) 別途考慮すべき水位条件

ダム構造上、地震時におけるダムの応答が常時満水位時よりも大きくなる可能性のある貯水位が、ある程度の期間継続する可能性がある場合については、そのような貯水位についてもダムの耐震性能を照査する必要がある。このような貯水位としては、アーチ式コンクリートダムの最低水位等が考えられる。

2章 耐震性能の照査に用いる地震動

2. 1 想定地震の選定

照査に用いるレベル2地震動の設定にあたっては、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。

【解説】

照査に用いる地震動の設定にあたっては、当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震を「想定地震」として選定する必要がある。

想定地震の選定は、当該ダムの周辺地域において過去に大きな被害をもたらした地震の再来の可能性、またダム地点周辺の活断層やプレート境界等の活動による地震発生の可能性等の観点から行う必要がある。

また、その際には、国または地域の防災計画に位置づけられている地震のうち、当該ダムに大きな影響を及ぼす可能性のある地震についても考慮する。以下に、想定地震の選定にあたっての具体的な考え方を示す。

1) 文献資料等の調査

想定地震の選定にあたっては、まず、当該ダム周辺において過去に発生した被害記録がある地震の調査を行う。なお、その震源断層に関する情報が十分得られていない地震についても、文献資料等により可能な限り抽出する。

また、当該ダムに大きな影響を与える地震を発生させる可能性のある活断層やプレート境界等に関する情報を文献資料等により収集する。その際、ダム地点周辺の第四紀断層調査の結果、活断層が確認されている場合はその情報も考慮する。

2) 想定地震の選定

上記1)の調査結果に基づき抽出された地震の中から「想定地震」を選定する。

この作業は、便宜上、ダムの基礎地盤における地震動記録をもと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）を推定することにより行うことができる。

なお、地震動がダムに及ぼす影響は、地震動の加速度応答スペクトルだけでなく、地震動の継続時間などにも左右される。特にプレート境界で発生する規模の大きな地震による地震動は、活断層で発生する地震に比べて継続時間が長く、ダムに対して大きな影響を与える可能性がある。このようなことから、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等の地震の種類やそれに伴う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。

想定地震を1つに特定しがたい場合には、当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある複数の地震を想定地震として選定する。

2. 2 耐震性能の照査に用いるレベル2地震動の設定

ダムの耐震性能の照査には、想定地震によってダム地点において発生するものと推定される地震動の加速度時刻歴波形（加速度応答スペクトルを推定した場合は、それに適合するもの）を用いることを基本とする。

ただし、想定地震によってダム地点において発生するものと推定される地震動よりも、以下に示す地震動による影響の方が大きいと予想される場合には、その影響についても考慮した上で、当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震動を照査に用いる地震動として設定する。

- (1) ダム地点またはその近傍で過去に実際に観測された最大の地震動
- (2) 表—1に掲げる照査用下限加速度応答スペクトルを有する地震動

表—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 S_A (gal)
$0.02 \leq T < 0.1$	$S_A = 400 / 0.08 \times (T - 0.02) + 300$
$0.1 \leq T \leq 0.7$	$S_A = 700$
$0.7 < T \leq 4$	$S_A = 700 \times (T / 0.7)^{-1.642}$

【解説】

本節は、2. 1の方法により選定された当該ダムに関する想定地震を踏まえ、耐震性能の照査に用いるレベル2地震動を具体的に設定する方法について示したものである。

1) 想定地震による地震動の推定

想定地震によりダム地点において発生する地震動を推定する手法としては、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などの半経験的方法および③理論的方法などがある。

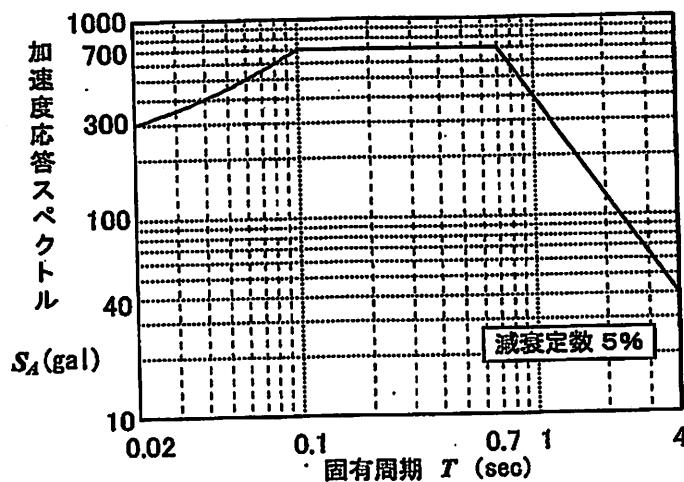
このうち、②半経験的方法においては断層やその破壊過程の特性を、また、③理論的方法ではさらに断層からダム地点までの地震動の伝播経路にあたる地盤の特性についても適切にモデル化する必要があるが、実際にはそのような情報が得られる断層は比較的限られている。この点を考慮し、少なくとも①経験的方法であるダムの距離減衰式による推定結果を得て、さらに、②半経験的方法や③理論的方法によって地震動が推定できる場合には、それらの推定結果も含め総合的に判断して適切な地震動を設定する。

2) 過去に実際に観測された地震動および照査用下限加速度応答スペクトルを有する地震動との比較

ダムの耐震性能照査に用いるレベル2地震動は、想定地震によってダム地点において発生するものと推定される地震動によることを基本としても、(1) 過去にダム地点またはその近傍で実際に観測された最大の地震動や、(2) 照査用下限加速度応答スペクトルを有する地震動による影響の方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。

その際、想定地震によってダム地点において発生するものと推定される地震動が当該ダムに及ぼす影響と(1)や(2)の地震動が当該ダムに及ぼす影響の大きさは、それぞれの加速度応答スペクトルのほか、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等の地震の種類やそれに伴う地震動の継続時間の違いなども考慮して比較する。

ここで、表一1に示した「照査用下限加速度応答スペクトル」は、地震の震源となる活断層が地表面に現れていない場合を想定して、最低限考慮すべき水平地震動を加速度応答スペクトルとして設定したものであり、これを図示すると解説図一1のとおりである。



解説図一1 照査用下限加速度応答スペクトル

3) 加速度応答スペクトルに適合する時刻歴波形の作成

想定地震によってダム地点において生じる地震動をダムの距離減衰式によって推定する場合、その地震動は加速度応答スペクトルとして推定されることとなる。

しかし、レベル2地震動に対するダムの耐震性能照査では、損傷過程を考慮したダムの地震応答を求めるため、推定された加速度応答スペクトルが有する地震動の周波数特性を保持しつつ、これに適合するよう位相特性に関する情報を付与した加速度時刻歴波形が必要となる。

この場合の位相特性は、実測により得られた地震動の加速度時刻歴波形 (以下、これを「原種波形」という。) により与える方法などが考えられる。

原種波形としては、当該ダム地点において、想定地震の震源として考慮している活

断層やプレート境界等を震源とする過去の地震による強震記録が得られているときはそれを用い、その周波数特性をダムの距離減衰式により推定された加速度応答スペクトルに適合するよう調整することによりダム地点における地震動の加速度時刻歴波形を求めるのがよい。これは、想定地震として考慮すべき地震の震源特性やダム地点周辺の地盤の伝播経路特性等がその強震記録にある程度反映されていると考えられるためである。

しかし、そのような記録が得られていない場合は、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し、これをもとに、その周波数特性をダムの距離減衰式により推定された加速度応答スペクトルに適合するよう調整して得られる加速度時刻歴波形を用いることとしてよい。ただし、この場合には、加速度応答スペクトルによって表現される周波数特性だけでは考慮されない継続時間等の特性についても考慮された地震動となるよう、原種波形の選定にあたっては、選定された想定地震と同じ種類（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等）で規模（マグニチュード）が同程度の地震により得られた強震記録を採用するなどの配慮が必要である。

3章 ダム本体の耐震性能の照査

3. 1 ダム本体の耐震性能の照査方針

ダム本体の耐震性能の照査は、ダム本体に損傷が生じたとしても、その貯水機能が維持されることをダムの構造特性に応じた適切な地震応答解析により確認するとともに、生じた損傷が修復可能な範囲にとどまることを確認することにより行う。

【解説】

レベル2地震動に対するダムの耐震性能の照査では、1. 5に示したように、①ダムの貯水機能が維持されること、および②生じた損傷が修復可能な範囲にとどまることの2点を確認する必要がある。

ダム本体に関する照査において、このうち、貯水機能が維持されるかどうかは、地震応答解析によって確認することとした。具体的な地震応答解析の方法は、コンクリートダムおよびフィルダムについてそれぞれ3. 2および3. 3に示している。

また、地震応答解析の結果からダム本体に何らかの損傷が予想される場合においては、地震応答解析の結果から予想される損傷の形態や程度を勘案し、適用可能と考えられる補修工法等を想定の上、所要の耐震性能を回復するのに要するものとして算定される経費、期間等が、当該ダムの状況に応じて妥当な範囲内であると判断される場合は修復可能であるとしてよい。

3. 2 コンクリートダム本体の耐震性能の照査

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

1. 線形動的解析を行い、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はないため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。
2. 上記1. における線形動的解析の結果、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。

【解説】

本節は、コンクリートダム本体の耐震性能を照査するための地震応答解析の方法およびその解析結果を踏まえた評価方法について示したものである。

コンクリートダム本体の照査の流れを、重力式コンクリートダムについては解説図—2に、アーチ式コンクリートダムについては解説図—3にそれぞれ示す。

1) 重力式コンクリートダム

重力式コンクリートダム本体の照査では、その材料特性上、一般に引張破壊に対する条件が最も厳しくなる。このため、特に引張破壊に対する安全性について確認することが重要となる。

ア. 線形動的解析

ダム本体の材料であるコンクリートは、近似的に線形弾性体として扱うことができる。したがって、重力式コンクリートダム本体の耐震性能照査は、まず線形動的解析により行ってよい。

解析の結果、以下の①および②がともに満足されることが確認されれば、ダム本体に損傷を生じるおそれはないと考えられるため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

- 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。

イ. 損傷過程等を考慮した地震応答解析

線形動的解析の結果、ダム本体に損傷が生じるおそれがある場合には、ダム本体の損傷過程等を考慮した地震応答解析によって、生じる損傷が限定的な範囲にとどまることを確認する必要がある。

この場合、重力式コンクリートダムでは、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動的解析が必要となる。

このような解析の結果、以下の①および②がともに満足されることが確認されれば、

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の分断が生じない。
- 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、①の条件については、解析上、引張亀裂がダム本体を上下流面間に連続するものとなっても、その上部の堤体ブロック全体が不安定化しなければダムの貯水機能は維持されると考えられるが、安全側の判断として設定したものである。

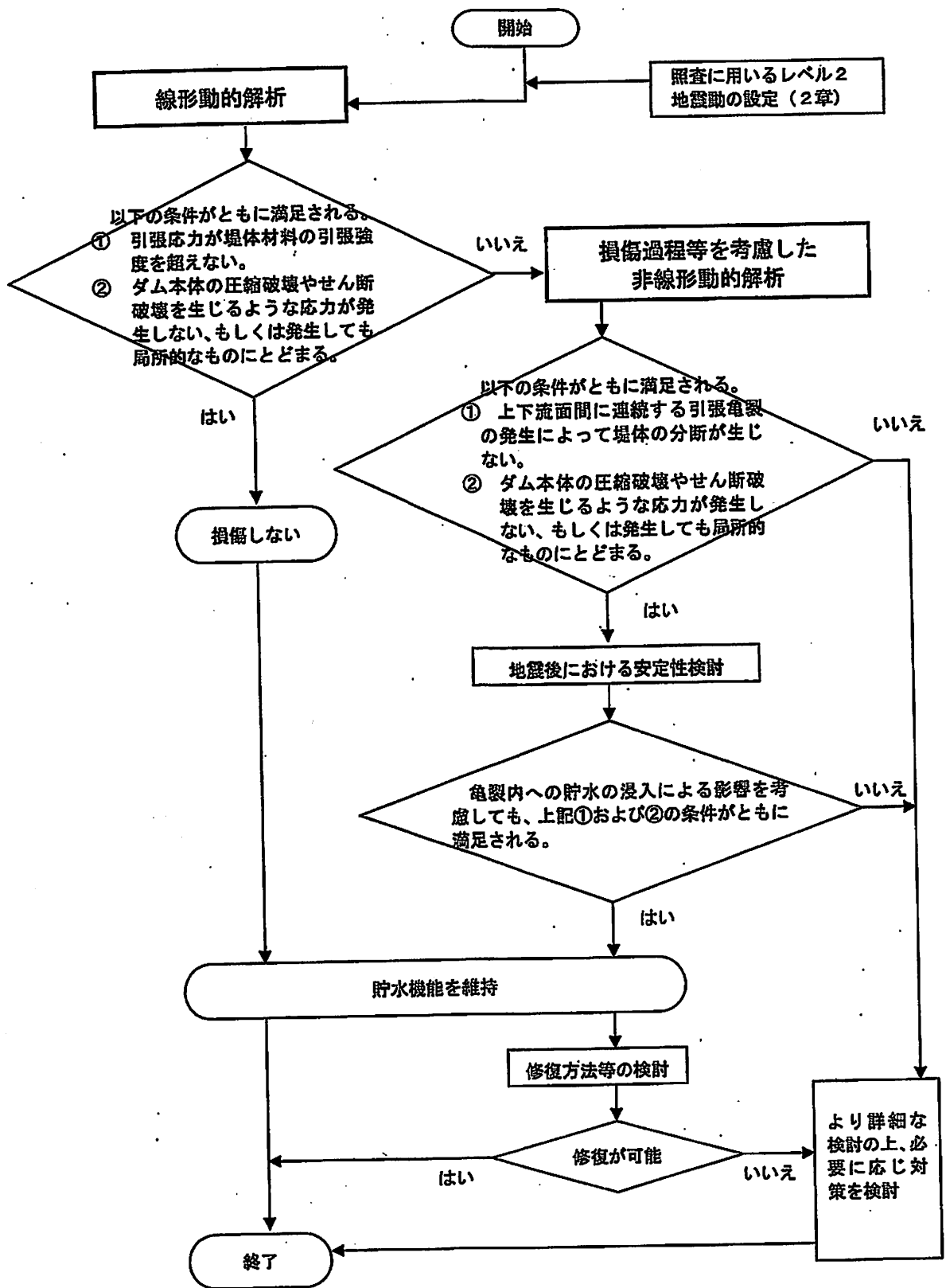
ダム本体に引張亀裂が生じるおそれがある場合、それが地震時には限定的なものにとどまっても、地震後に亀裂内に浸入する貯水の影響によりダム本体を分断するものとならないことを確認しておく必要がある。この検討は、亀裂内における揚圧力の発生を考慮した静的解析により行うことができる。

解析の結果、上記①および②の条件が満足されることが確認されれば、地震後においても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られるため、貯水機能は維持されるものとしてよい。

ウ. その他

以上の検討によっても所要の耐震性能が確保されることを確認できない場合には、上下流面間に連続する引張亀裂が生じた場合における上部の堤体ブロックの安定性を検討するなど、さらに詳細な検討が必要となる。

なお、このような検討を含めた照査の結果、堤体の上下流面間に連続する引張亀裂の発生などによりダムの耐震性能が確保されないと判断される場合には、別途、対策の検討が必要となる。



解説図—2 重力式コンクリートダム本体の耐震性能の照査の流れ

2) アーチ式コンクリートダム

アーチ式コンクリートダム本体の照査では、その構造上、継目の挙動を適切に考慮することが重要であるほか、材料および応答特性上は一般に引張破壊に対する条件が最も厳しくなることから、堤体の引張破壊に対する安全性について確認することが重要となる。

ア. 線形動的解析

アーチ式コンクリートダム本体の照査は、重力式コンクリートダムと同様、まず応力とひずみの関係が近似的に線形であるとし、ダム本体を線形弾性体として取り扱う線形動的解析により行ってよい。

解析の結果、以下の①および②がともに満足されることが確認されれば、ダム本体に損傷を生じるおそれはないと考えられるため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

- ① 引張応力が堤体材料の引張強度を超えない。
- ② ダムの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。

イ. 損傷過程等を考慮した地震応答解析

線形動的解析の結果、ダム本体に損傷が生じるおそれがある場合には、ダム本体の損傷過程等を考慮した地震応答解析によって、生じる損傷が限定的なものにとどまることを確認する必要がある。

この場合、アーチ式コンクリートダムでは、構造上、隣接ブロック間のアーチ推力の伝達が重要な役割を果たしているため、ブロック間の応力伝達を受け持つ横継目や周辺継目の挙動を適切に考慮できる非線形動的解析が必要となる。なお、このような継目の挙動を考慮しても、地震時においてダム本体に発生する応力が材料の強度を超える場合には、重力式コンクリートダム同様、引張破壊による損傷が生じることも考えられる。このような場合には、継目の挙動を考慮した上で、引張破壊による損傷過程も考慮する必要がある。

このような解析の結果、以下の①および②がともに満足されることが確認されれば、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継目の開きや引張亀裂によってダム本体の分断が生じない。
- 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、継目の挙動を考慮した非線形動的解析にあたっては、算定される継目の開きが、キーや止水板の構造上、適切な範囲内にとどまっていることをあわせて確認しておく必要がある。

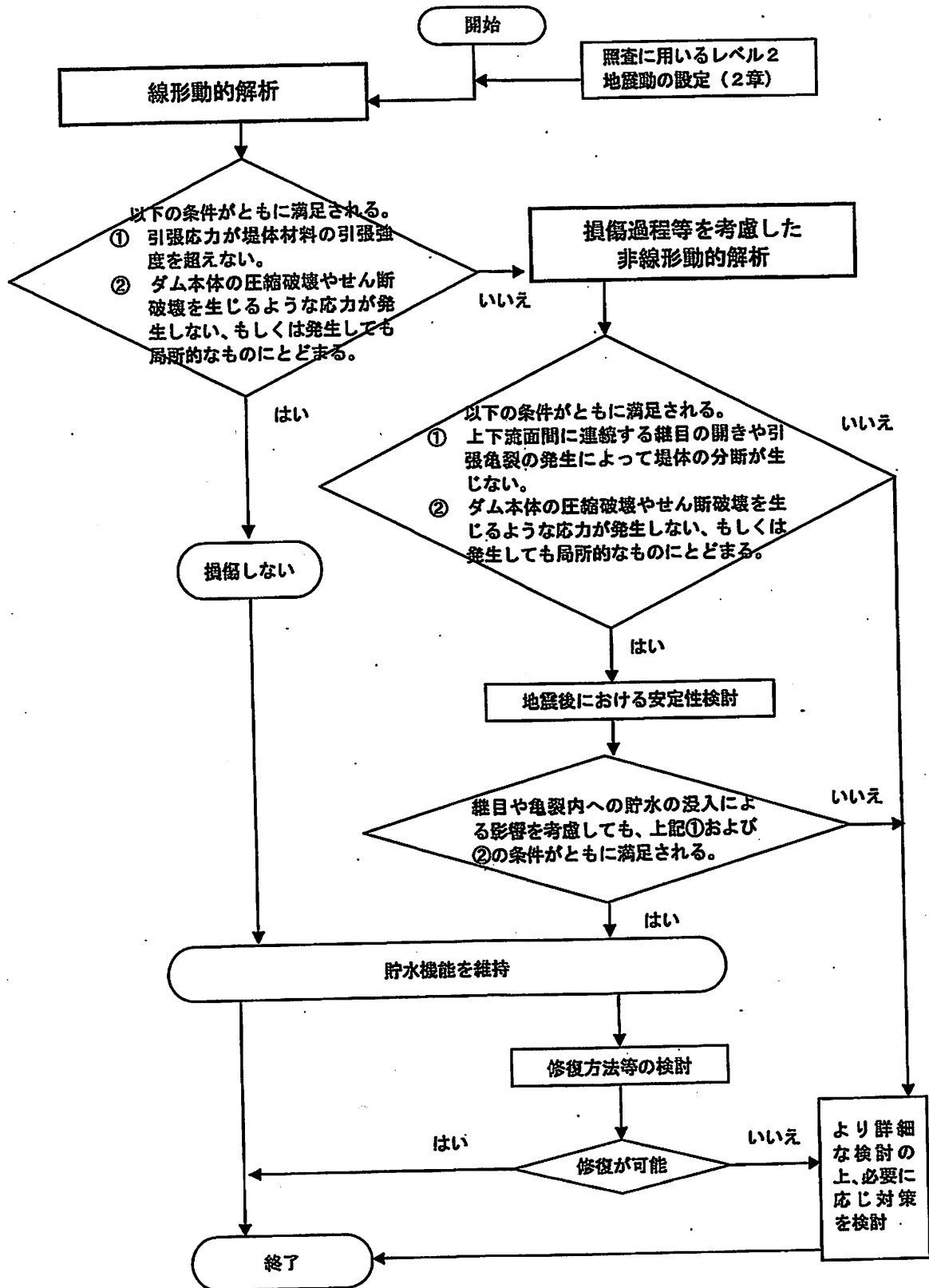
ダム本体に継目の開きや引張亀裂が生じるおそれがある場合、それが地震時には限定的なものにとどまっても、地震後に開口した継目や亀裂内に浸入する貯水の影響によりダム本体を分断するものとならないことを確認しておく必要がある。この検討は、開口した継目や亀裂内における揚圧力の発生を考慮した静的解析により行うことができる。

解析の結果、上記①および②の条件が満足されることが確認されれば、地震後においても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られるため、貯水機能は維持されるものとしてよい。

ウ. その他

以上の検討によっても所要の耐震性能が確保されることを確認できない場合には、上下流面間に連続する継目の開きや引張亀裂が生じた場合における上部の堤体ブロックの安定性を検討するなど、さらに詳細な検討が必要となる。

なお、このような検討を含めた照査の結果、堤体の上下流面間に連続する継目の開きや引張亀裂の発生などによりダムの耐震性能が確保されないと判断される場合には、別途、対策の検討が必要となる。



解説図—3 アーチ式コンクリートダム本体の耐震性能の照査の流れ

3. 3 フィルダム本体の耐震性能の照査

フィルダム本体の耐震性能の照査は、以下の手順により行うことを基本とする。

なお、地震動によりその強度低下を生じる可能性のある堤体材料または基礎地盤を有するフィルダムについては、地震時における堤体材料または基礎地盤の強度低下について考慮する。

1. 等価線形化法等による動的解析を行い、その結果、地震時にすべり破壊が生じないと判断される場合は、ダム本体の損傷が生じるおそれはないため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。
2. 上記1. における等価線形化法等による動的解析の結果、ダム本体の損傷が生じるおそれがある場合には、さらに1. による解析結果を用いた塑性変形解析により、地震によるすべり等の変形を推定する。その結果、変形に伴う沈下が貯水の越流を生じるおそれがないほど小さく、かつ地震後において浸透破壊を生じるおそれがない場合には、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。

【解説】

本節は、フィルダム本体の耐震性能を照査するための地震応答解析の方法およびその解析結果を踏まえた評価方法について示したものである。

フィルダム本体の照査の流れを解説図—4に示す。

1) 等価線形化法等による動的解析

フィルダムの堤体材料である粗粒材料や土質材料は、応力とひずみの関係において非線形性を有するとともに塑性を有する材料であるため、フィルダム本体の耐震性能の照査は、その特性を考慮した動的解析により行うこと望ましい。しかし、本指針では、既往の実績も多く実用上妥当な挙動予測を行うことができる等価線形化法による動的解析を行ってもよいこととした。

なお、等価線形化法等による動的解析は、地震直前の初期状態における応力および変形状態を踏まえて行う必要があるため、あらかじめ築堤過程や湛水過程を考慮して初期状態における応力および変形状態を設定しておく必要がある。

すべり破壊に対する安定性は、最もその安全性が低くなるすべり面に対して評価する必要があるため、等価線形化法等による動的解析の結果から得られた慣性力を用い、堤体あるいは必要に応じ基礎地盤を含め、すべり破壊が生じる可能性を考慮した多数のすべり面に沿って検討する。なお、すべり面の形状としては、ダム基礎地盤に弱層が存在する場合などを除き、一般に円弧を想定してよい。

ここで、未固結の堆積層を基礎地盤とするロックフィルダム、堤体の締め固めが十分でないか、もしくは地震動により液状化して著しくその強度が低下する可能性がある砂層を基礎地盤とするアースダム等、地震動により堤体材料や基礎地盤の強度が著しく低下する可能性のあるフィルダムについては、等価線形化法等による動的解析の結果に基

づき、液状化に対する安全率 (F_L 値) による液状化判定を行う。

その結果、液状化等による著しい強度低下が生じるおそれがない、あるいは生じても局所的なものにとどまるフィルダムでは、せん断力の総和がせん断抵抗力を超えない、あるいはすべり面上の土塊に作用するすべりモーメントが抵抗モーメントを超えない場合には、すべり破壊が生じるおそれはないため、所要の耐震性能は確保されるとしてよい。

なお、2章により設定したレベル2地震動は、ダム基礎岩盤相当の地盤におけるものであるため、岩盤を基礎としないフィルダム (特にアースダムに多い。) の照査では、地震応答解析に用いる入力地震動は、表層地盤における地震動の増幅特性が適切に考慮されたものとする必要がある。

2) 塑性変形解析

ア. 越流に対する安全性の照査

等価線形化法等による動的解析の結果、すべり等による塑性変形が生じるおそれがある場合には、まず、塑性変形に伴う堤体の沈下により貯水の越流が生じないことを確認する必要がある。これは、フィルダムでは、堤体からの越流が生じた場合、堤体材料の流出により貯水機能が維持されないおそれがあるためである。

フィルダムのすべりによる残留変形量は、等価線形化法等による動的解析結果をもとに、想定する土塊に作用する慣性力とすべり面沿いの抵抗力を踏まえて、塑性変形解析により算定することができる。

なお、レベル2地震動に対する塑性変形解析では、堤体材料の強度特性を適切に評価して考慮する必要がある。塑性変形解析により、ある程度大きな変形量が算定される場合には、ピーク強度以降のひずみ領域におけるひずみ軟化に伴う強度低下を考慮する必要があるが、算定されるすべり変形量が比較的小さな範囲では、通常の三軸圧縮試験によって得られたピーク強度を用いて評価してもよい。

以上のような塑性変形解析の結果、すべり変形による沈下が堤体からの越流に対して十分安全な程度に小さいものとして許容される範囲にとどまる場合には、堤体からの越流が生じるおそれはないものと考えてよい。

ここでは、許容される範囲としては、設計上見込まれている付加高さ以内とすることが基本となる。なお、構造令に基づいて設計されたフィルダムにおいては、フィルダム堤体からの越流がダムの致命的な破壊をもたらすことを踏まえ、コンクリートダムと同様の考え方に基づいて算出した付加高さにさらに1mを加えた高さが確保されているため、沈下量が1m以内であれば十分な余裕を持って許容されると考えてよい。

なお、沈下の形態としては、すべりに伴うものとともに、いわゆる揺すり込みによるものが考えられる。しかし、岩盤ないしは粗粒材料と同等かそれ以上の力学特性を有する基礎地盤の上に、十分に締め固められ、かつ厳密に管理されて築造されている通常のロックフィルダムでは、揺すり込みによる沈下はすべりによる沈下に比べ相対的に十分小さいものと考えられるため、これを別途考慮しなくても差し支えない。アースダムについても、堤体が十分に締め固められ、かつ厳密に施工管理されている場合には同様に考えてよい。

イ. 浸透破壊に対する安全性の照査

すべり等による変形が生じるおそれがある場合には、越流に対して沈下量が許容される範囲にとどまると考えられる場合であっても、すべり面の位置や変形量を勘案して、貯水による浸透破壊が生じないことをあわせて確認する必要がある。

浸透破壊が問題となる可能性があるのは、下流側へのすべりが想定される場合であるが、想定されるすべり面の始点が貯水位より高い場合、あるいは土質遮水壁型のロックフィルダムにおいて遮水ゾーンを貫通するすべり面の発生が想定されない場合には、浸透破壊が生じるおそれはないとしてよい。

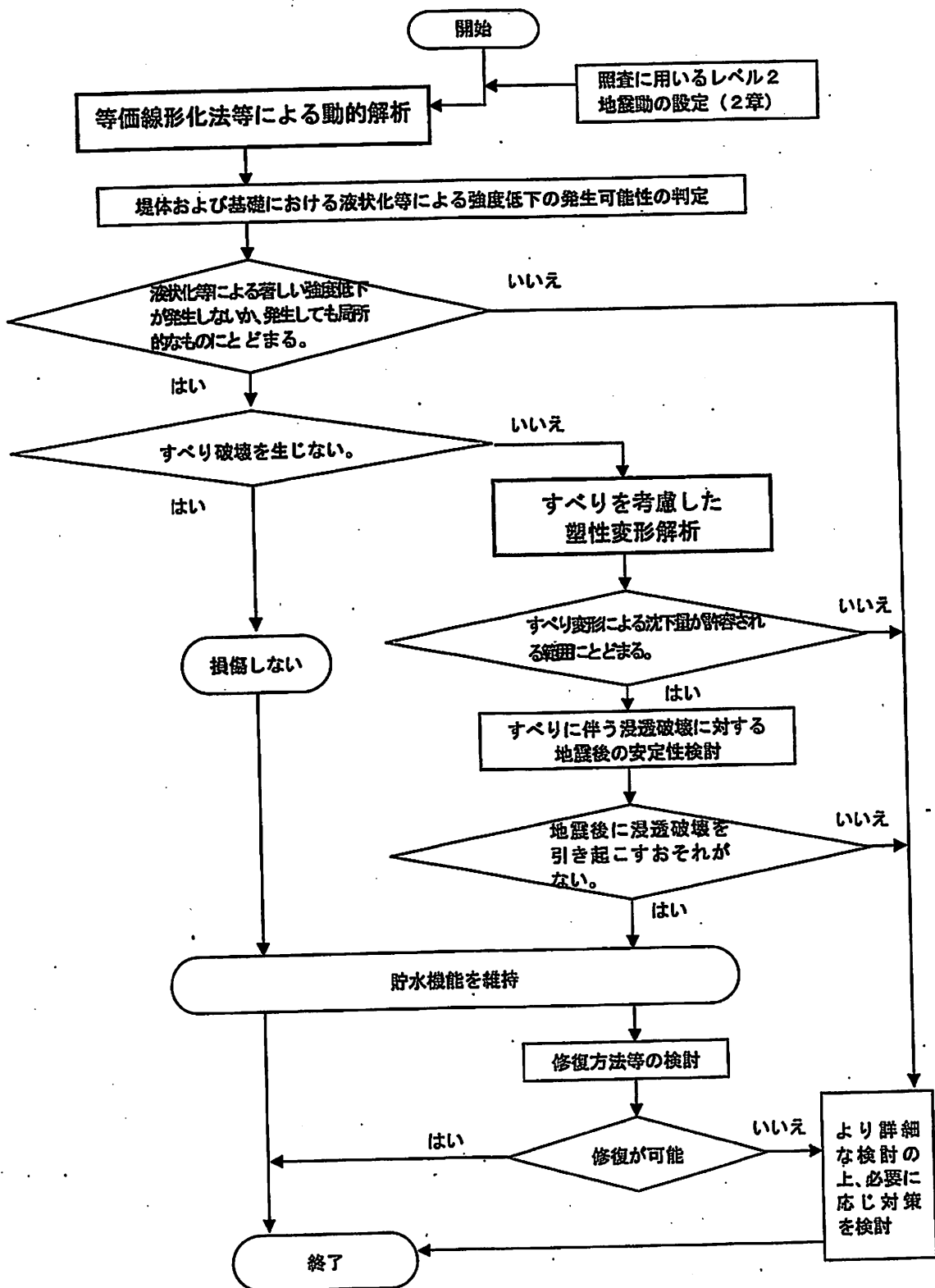
一方、土質遮水壁型ロックフィルダムで、遮水ゾーンを貫通する下流側へのすべりが生じるおそれがある場合、あるいは堤体全体が遮水材料で構築されているアースダムで、貯水位より低い位置を始点とする下流側へのすべりが生じるおそれがある場合には、浸透破壊に対する安全性について検討する必要がある。

3) その他

1) の等価線形化法等による動的解析の結果に基づく液状化判定の結果、液状化による著しい強度低下のおそれがある領域がかなり広範囲に及ぶおそれがあると判断される場合には、対象となる堤体材料や基礎地盤の繰り返し荷重に対する強度を評価するとともに、有効応力に基づく動的弾塑性解析や地震後の液状化層の剛性低下を考慮した静的自重沈下解析など、その影響を適切に考慮できる解析により貯水の越流が生じないことを確認する必要がある。

また、著しい強度低下のおそれがない、あるいはその領域が局所的なものにとどまる場合で、2) の検討によっても所要の耐震性能が確保されることを確認できない場合には、有効応力に基づく動的弾塑性解析等によって沈下量の検討を行うなど、より詳細な検討が必要となる。

なお、このような検討を含めた照査の結果、すべり等の変形に伴う沈下による貯水の越流または浸透破壊などによりダムの耐震性能が確保されないと判断される場合には、別途、対策の検討が必要となる。



解説図—4 フィルダム本体の耐震性能の照査の流れ

4章 関連構造物等の耐震性能の照査

4.1 耐震性能の照査の対象とする関連構造物等

関連構造物等の耐震性能の照査は、それが損傷した場合にダムの貯水機能が維持されないおそれがあるものについて行う。

【解説】

ダム全体として所要の耐震性能が確保されるかどうかを照査するためには、3章に示したダム本体についての照査だけでなく、放流設備や各種の管理設備等の関連構造物等のうち、ダム全体の耐震性能に係わるようなものについても、重大な損傷が生じないことを確認する必要がある。

ただし、関連構造物等の場合、ダム本体とは異なり、損傷した構造物等の全体の取替または再設置等を行えば、ダム全体として十分に継続使用が可能となると想定される。このため、関連構造物等の耐震性能の照査では、耐震性能のうち貯水機能が維持されることを確認することが基本となる。

なお、以下のいずれかに該当するものは、それが損傷した場合にダムの貯水機能が維持されないおそれがあると考えられるため、照査対象とすべきである。

- ① 当該関連構造物等が損傷した場合、制御できない貯水の流出を生じるおそれがあるもの
- ② ダム本体が損傷した場合、ダムの安全性を確保するために、緊急に水位を低下させたり、また低下させた水位の上昇を規制するために必要となるもの。

これらに該当する関連構造物等としては、非常用洪水吐きおよび常用洪水吐きの放流設備等、主要な放流設備の主ゲートや緊急水位低下に必要な放流設備の主ゲート、またこれらを操作・制御する上で必要な設備等が想定される。

1) 主要な放流設備の主ゲートおよび緊急水位低下に必要な放流設備の主ゲート

非常用洪水吐きおよび常用洪水吐きの放流設備等の主要な放流設備の主ゲートは、洪水処理に利用されるため一般にその放流能力が大きいこと、また常時は閉じた状態にあって貯水位を保持していることから、地震により重大な損傷を生じた場合には、制御できない貯水の流出を生じるおそれがある。このため照査の対象とする必要がある。

また、ダム本体が損傷を受けた場合、ダムの安全性を確保するために緊急に貯水位を低下させるとともに、出水等による貯水位の上昇を規制しなければならない場合がある。このため、水位低下用放流設備もしくはこれと同等の機能を有する放流設備の主ゲートについては照査の対象とする必要がある。

なお、上記以外の放流設備であっても、地震により重大な損傷を生じた場合に制御できない貯水の流出により下流域に甚大な被害を発生させる可能性があるものや、フィルダム堤体に隣接して設置される洪水吐きの堤体との接合部等、地震時に損傷を生じた場合にダム本体の耐震性能に影響を及ぼすおそれのあるものについては照査の対象とする必

要がある。

2) 上記1) を操作・制御する上で必要な設備等

上記1) に示した放流設備は直接流水を制御する構造物であるが、それを操作・制御可能な状態に維持するために、開閉装置や機側操作盤等についても照査の対象とする必要がある。

また、放流設備の機側操作盤にアクセスするために必要となる施設や、停電等により常用電源が使用できない状態となった場合に放流設備のゲートを駆動させるために必要となる予備電源設備等についても、照査の対象とする必要がある。

4. 2 関連構造物等の耐震性能の照査

関連構造物等の耐震性能の照査は、当該関連構造物等に損傷が生じたとしても、ダムの貯水機能が維持されることを、その機能や構造特性に応じた地震応答解析その他の適切な手法により確認する。

【解説】

関連構造物等の耐震性能の照査において、貯水機能が維持されるかどうかは、地震応答解析等の結果から評価する。

なお、地震応答解析等の結果、関連構造物等に何らかの損傷が予想される場合には、予想される損傷の形態や程度を勘案し、必要に応じその修復方法や取替等の対応方法について検討しておく必要がある。

以下、各種の関連構造物等の耐震性能の照査の考え方を示す。

1) 放流設備のゲート等

放流設備のゲート等の耐震性能の照査は、2章の方法で設定したレベル2地震動による当該ゲートの設置位置における加速度応答を考慮して行う。ダム本体の堤体上に設置されているゲートの場合は、3章の方法によって行ったダム本体の地震応答解析の結果から得られるゲート等の設置位置での応答加速度の時刻歴波形を用いることができる。なお、ゲート等の設置位置付近において強震記録が得られている場合には、照査に用いる入力加速度を設定するにあたり、その記録から得られる振動特性を考慮する。

ア. 非常用洪水吐きの主ゲート

非常用洪水吐きの主ゲートは、常時満水位がゲート敷高より高い場合、地震によって扉体の架構部または支承部に大変形が生じたり、戸当りおよび固定部や門柱部が損傷して扉体の脱落等が生じたりすれば、制御できない貯水の流出が生じるおそれがある。このため、そのような損傷が生じないことを地震応答解析により確認する必要がある。

なお、照査にあたって考慮する開閉状態としては、全閉の状態を基本とする。

また、上記のような重大な損傷が生じなくとも、扉体の架構部、支承部または受圧部

の変形、戸当り・固定部や門柱の損傷、開閉装置やその架台、機側操作盤等の損傷により、地震後の洪水処理に支障を生じるおそれがある場合には、すみやかに必要な補修や取替等の対応が可能かどうか、また水位低下等により出水時の対応が可能であるかどうかを確認しておく必要がある。

・扉体、戸当りおよび固定部

非常用洪水吐き主ゲートの扉体、戸当りおよび固定部の照査の流れを解説図―5に示す。

まず、ゲートの各構成部材に発生する応力を線形動的解析によって求め、その結果、ゲート全体構造の安定性を確保する上で必要な主要部材(以下、「主要構造部材」という。)の座屈を生じるおそれがなく、かつ各部材の力学的状態がほぼ弾性域内にあることが確認できれば、耐震性能上問題となるような損傷は生じないと考えてよい。

なお、主要構造部材以外の構造部材(補助構造部材)の一部において座屈を生じるおそれがある場合には、当該補助構造部材の座屈の影響を考慮した動的解析を行って、ゲート全体構造の安定性が確保されることを確認することが必要となる。

次に、主要構造部材の座屈が生じるおそれはないものの、一部部材の力学的状態がほぼ弾性域にとどまることが確認できない場合には、当該部材の降伏による塑性化の影響を再現できる非線形動的解析を行う必要がある。

その結果、主要構造部材の塑性化が限定的なものにとどまるとともに、塑性変形量がゲート操作に支障をきたすものとならない場合には、耐震性能上問題となるような損傷は生じないと考えてよい。

また、以上の動的解析において考慮していない部材については、動的解析の結果を踏まえた構造計算等により、耐震性能の確保上問題となる損傷が生じないことを確認する必要がある。

・開閉装置等

主ゲートを操作・制御するための開閉装置本体については一般に剛性が高いため、装置の移動もしくは転倒による破損が生じないことを基礎ボルトの応力照査等により確認することとしてよい。また、機側操作盤についても同様である。

開閉装置架台については、通常十分剛性が高い構造となるよう設計されているが、たとえば、門構形式など比較的地震動の影響を受けやすい構造の場合には、大きな変形等の損傷が生じないことを確認する必要がある。

開閉装置室(ゲート室建屋)については、特に張出し構造の場合には地震動の影響を大きく受けるため、開閉装置の支持機能が失われるような損傷を生じないことを確認する必要がある。

・門柱部

主ゲートを支持する門柱(天端橋梁の橋脚と一体構造のものを含む)は、構造的にはダム本体の一部であるが、重大な損傷により主ゲートの脱落等が生じないことを確認す

る必要がある。なお、ダム本体の場合と異なり、ダム軸方向の地震動の影響が大きくなる可能性があることに留意する必要がある。

イ. 常用洪水吐きの主ゲート

常用洪水吐きの主ゲートは、地震によって扉体の架構部または支承部に大変形が生じたり、戸当りおよび固定部が損傷して扉体の脱落等が生じれば、制御できない貯水の流出が生じるおそれがある。このため、そのような損傷が生じないことを地震応答解析により確認する必要がある。

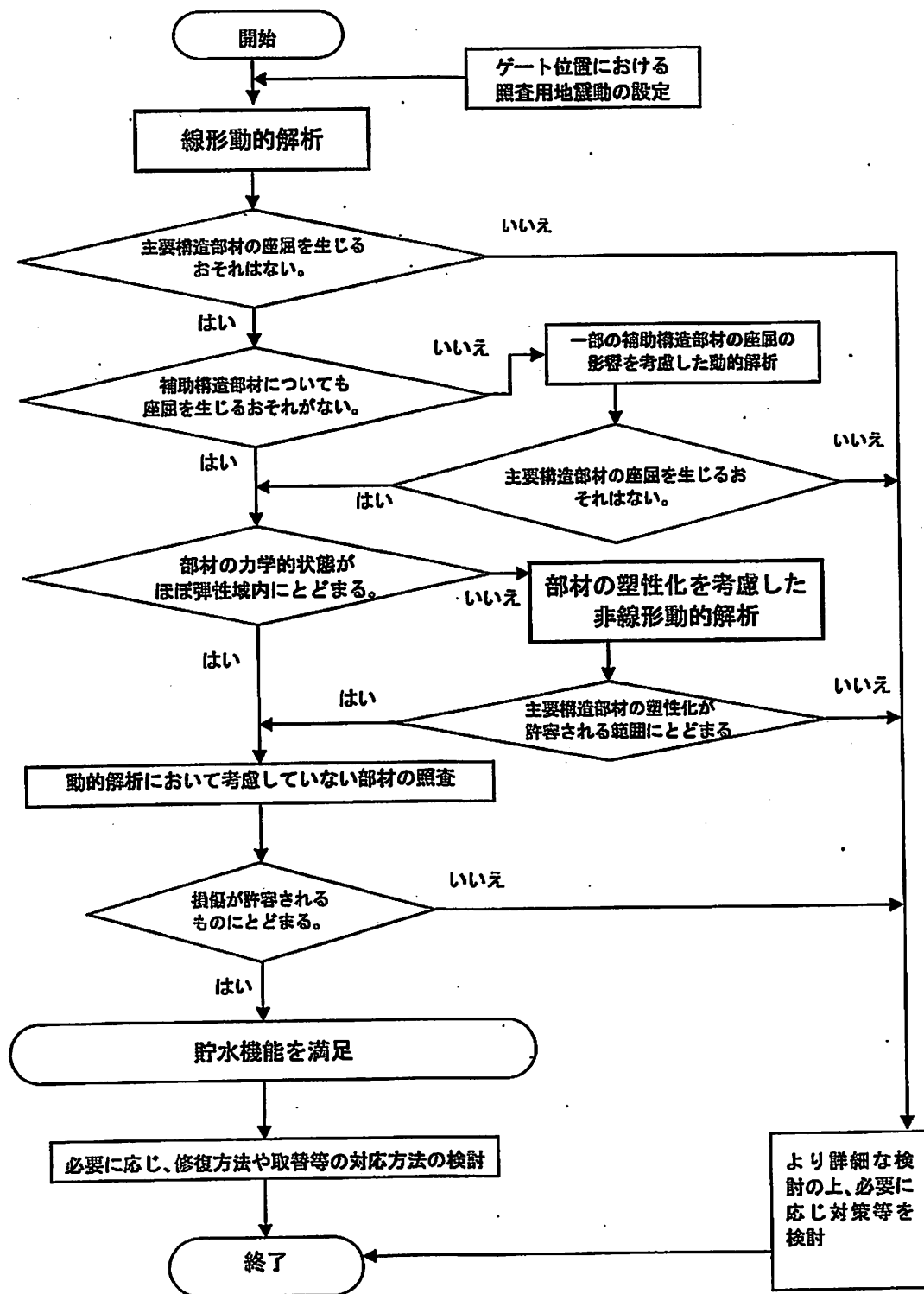
なお、耐震性能の照査の手法および解析結果の評価の考え方については、基本的に非常用洪水吐きの主ゲートの扉体、戸当たりおよび固定部、開閉装置等の場合と同様である。

ウ. その他のゲート

低水放流設備、水位維持放流設備、水位低下用放流設備等の主ゲート等のうち、損傷した場合に制御できない貯水の放流が生じるおそれがあるものについては、非常用洪水吐きの主ゲートや常用洪水吐きの主ゲートと同様の考え方により照査を行うものとする。

予備ゲート等については、常時は水圧を受ける状態にないために荷重条件が厳しくなれないこと、および主ゲートの安全性が確認されておれば地震時においてもダムの貯水機能は保持されることから、必ずしも照査を行う必要性はない。一般に修理用ゲートや副ゲートについても同様に地震動の影響は小さいと考えられるため、同様である。

ただし、予備ゲートの開閉装置室（予備ゲート室建屋）については、床版が上下方向の地震動の影響を受けやすい張出し構造であり、床版の損傷等により開閉装置の落下が生じた場合、洪水吐きを閉塞して主ゲートの機能を阻害するおそれがあるので、非常用洪水吐きの主ゲートの開閉装置室と同様に照査しておく必要がある。



解説図—5 放流設備のゲート（扉体、戸当りおよび固定部）の耐震性能の照査の流れ

2) その他の関連構造物等

ア. 取水塔

選択取水ゲート等およびその支持構造物である取水塔については、配置上、塔体が倒壊した場合に堤体や主要な放流設備に重大な損傷を与えるおそれがある場合や、緊急時の水位低下時に放流設備として用いる必要がある場合には、その構造等を考慮した適切な地震応答解析により地震時の安全性を確認しておく必要がある。

イ. フィルダムの洪水吐き

一般にコンクリート構造物として設置されるフィルダムの洪水吐きは、地震時の挙動が堤体とは異なるものとなる。このため、堤体に隣接して設置されているフィルダムの洪水吐きについては、堤体との接合部等の損傷により、ダム本体の貯水機能を維持する上で問題となる損傷を生じるおそれがないことを確認する必要がある。

ウ. 天端橋梁

天端橋梁が地震により落下した場合、放流設備のゲート等に被害を与え、その操作の支障となったり、添架電線の破断により開閉用電力の供給に支障を及ぼしたりするおそれがある。このような場合には、橋脚部に相当する門柱部の照査結果等に基づき、橋梁の上部構造が落橋しないことを確認しておく必要がある。

エ. 重要な電気設備等

主要な放流設備については、緊急時においてもその開閉用電力の供給が確保され、必要な操作が可能である必要がある。このため、重要な電気設備や機側操作盤等については、地震時の安全性を確認する必要がある。

なお、これらの設備は、その構造上、装置本体については一般に剛性が高いと考えられるため、移動もしくは転倒により損傷しないことを基礎ボルトの応力照査等により確認すればよい。

オ. その他

管理棟については、人的被害の発生を防ぐとともに、貯水機能を維持するために行うゲート操作等、緊急時の管理機能に支障をきたす被害を生じないことを確認するため、その構造上の安全性を関連する基準等により確認しておく必要がある。

また、管理棟から主要な放流設備の機側操作盤にアクセスするための通路となる天端橋梁、操作橋、監査廊、昇降設備等については、地震時においても通行不能となることがないか、また通行不能となった場合に代替のアクセス手段を確保できるか等の観点から、その安全対策を検討しておく必要がある。