

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できれば、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。

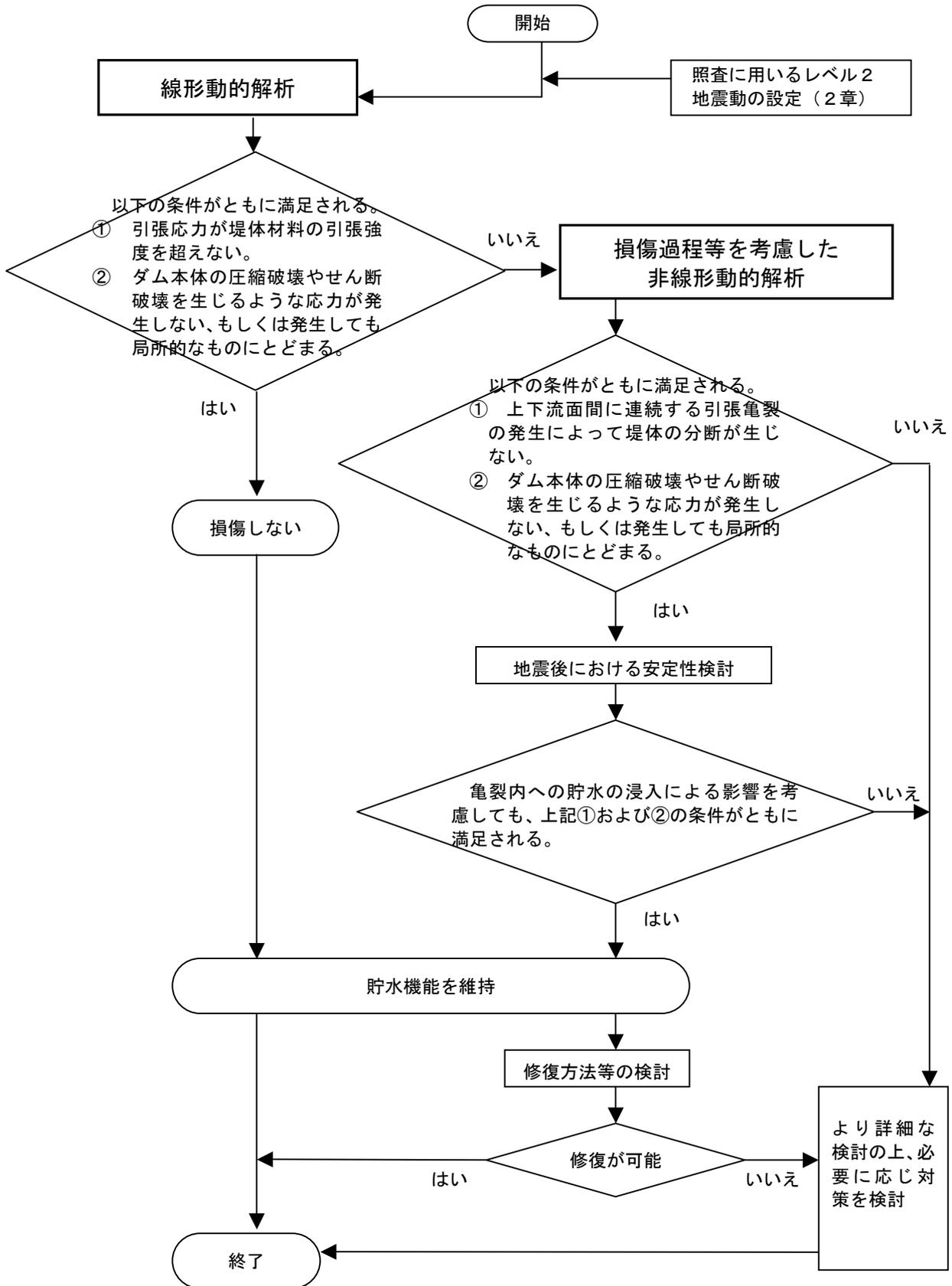
ダム本体に引張亀裂が生じるおそれがある場合、それが地震時には限定的なものにとどまっても、地震後に亀裂内に浸入する貯水の影響によりダム本体を分断するものとならないことを確認しておく必要がある。この検討は、亀裂内における揚圧力の発生を考慮した静的解析により行うことができる。

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

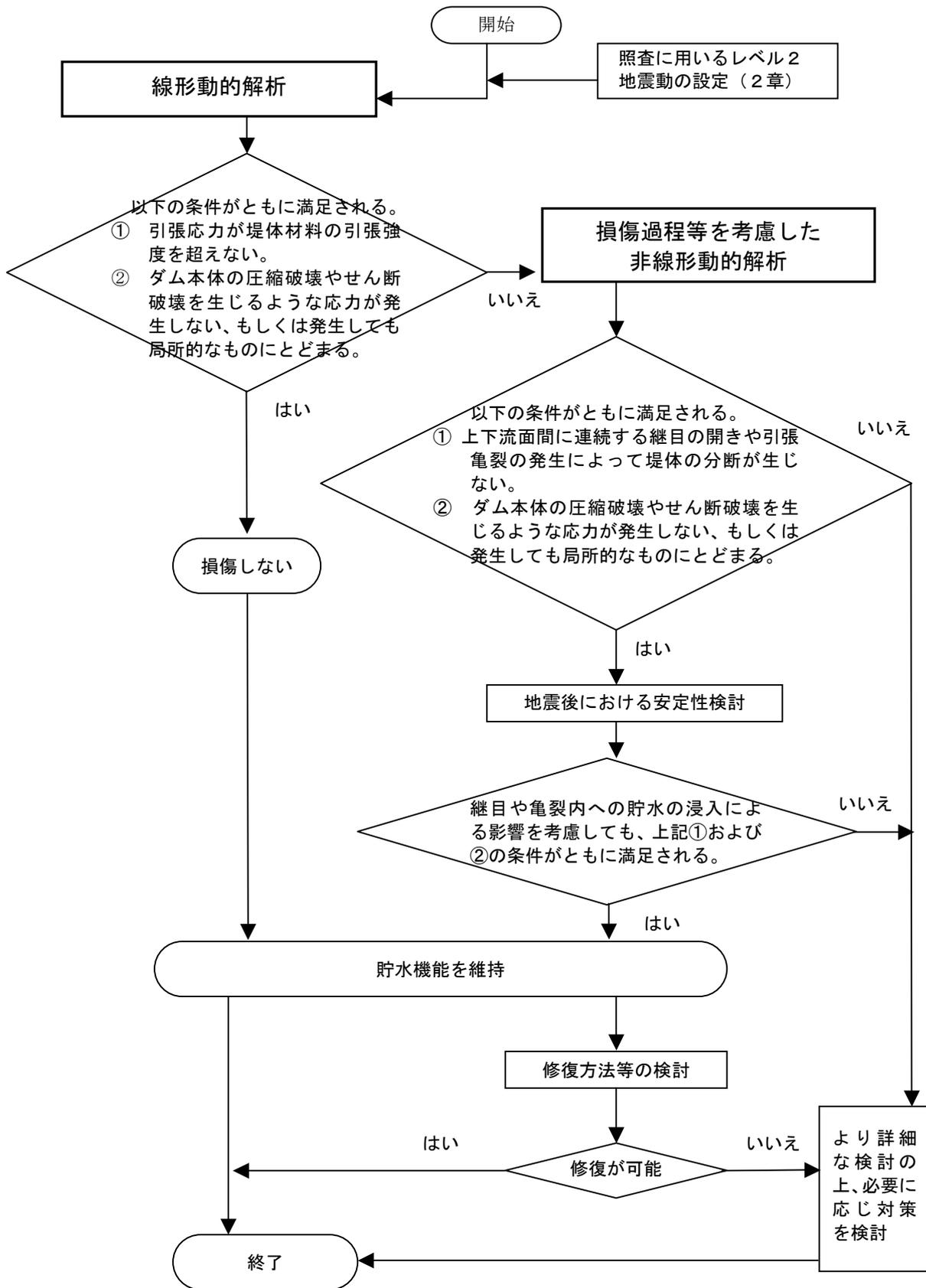
る。

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に小さく、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。

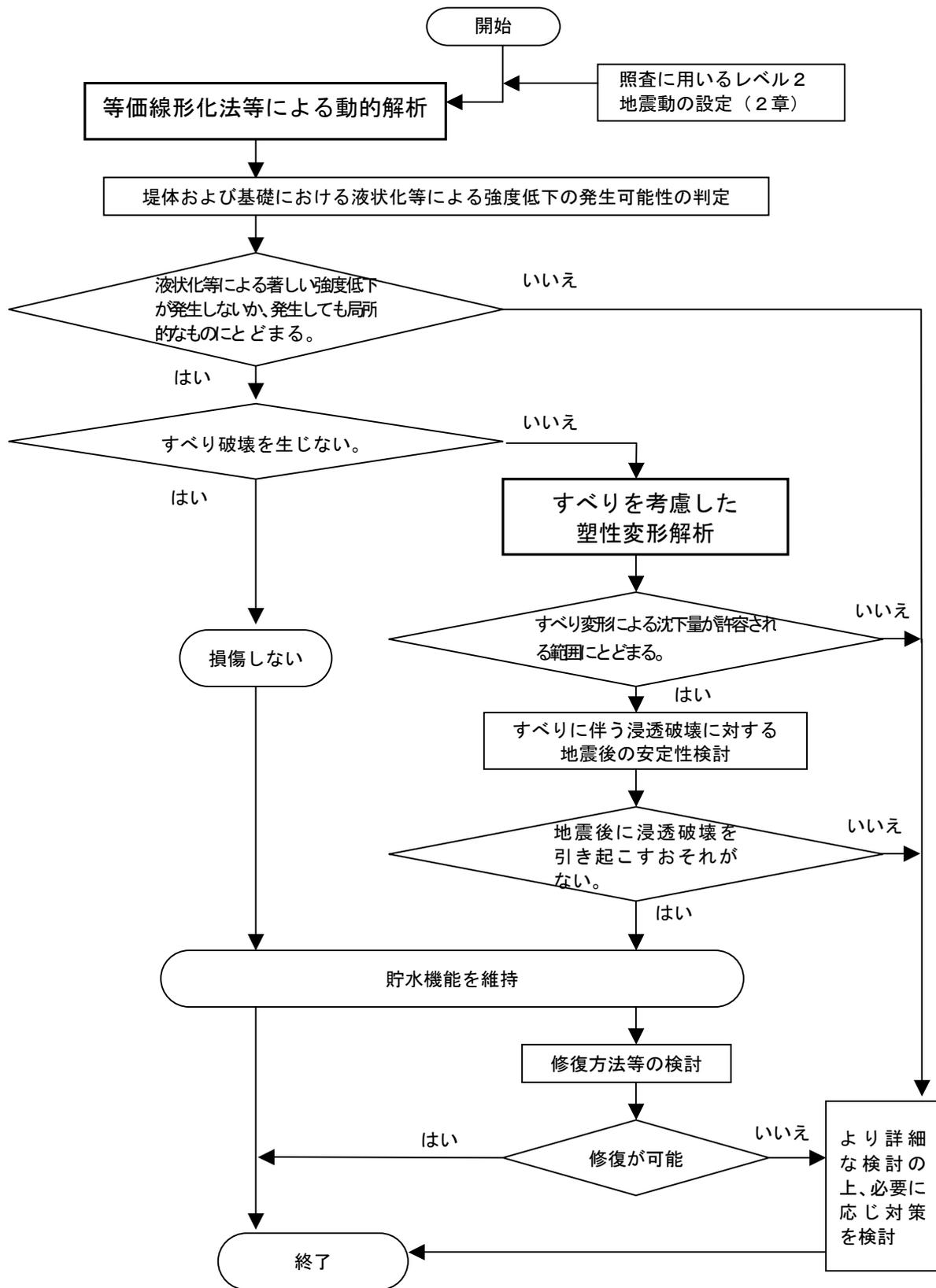
一方、土質遮水壁型ロックフィルダムで、遮水ゾーンを貫通する下流側へのすべりが生じるおそれがある場合、あるいは堤体全体が遮水材料で構築されているアースダムで、貯水位より低い位置を始点とする下流側へのすべりが生じるおそれがある場合には、浸透破壊に対する安全性について検討する必要がある。

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