

～ダム(本体及び関連構造物)の耐震性能照査～

●業務の背景

我が国は地震国であり、近年においても大規模地震が連続的に発生しており、新潟県中越地震(H16. 3. 24, M6. 8)、福岡県西方沖地震(H17. 3. 20, M7. 0)、岩手・宮城内陸地震(H20. 6. 14, M7. 2)は記憶に新しいところです。

兵庫県南部地震を契機として、重要な土木構造物に対して、耐震性能の向上に関する要求が高まっており、ダムについてもレベル2地震[※]に対する安全性の照査方法について研究が進められ、平成17年4月に「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説(国土交通省河川局)」が作成・公開されました。

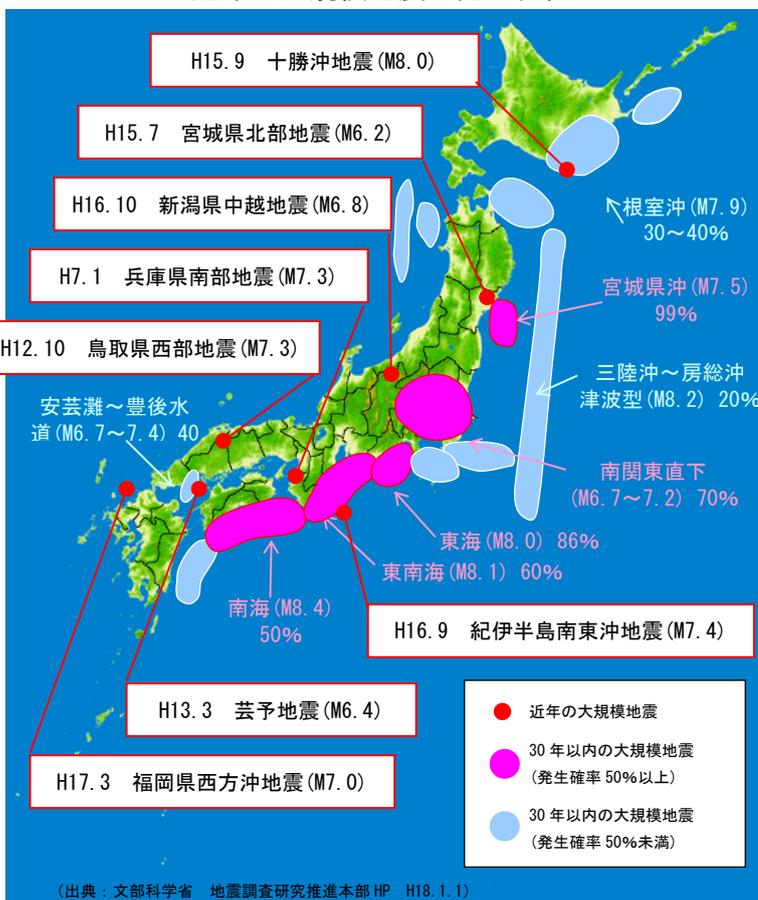
現在、実施設計段階のダムの基本設計会議では、レベル2地震に対する耐震性能照査が必須となっており、管理ダムにおいても平成18年8月の段階で、耐震性能照査を行う例が出てきております。

今後も、我が国では大規模地震の発生が高い確率で予想されており、新規計画はもとより管理中のダムについても、耐震性能照査の実施が必須になるものと考えられ、「ダム(本体及び関連構造物)の耐震性能照査」について、業務提案を行うものです。

地震名	日付	震源	マグニチュード
兵庫県南部地震	H7. 1. 17	深さ 16km	M7. 3
鳥取県西部地震	H12. 10. 6	深さ 11km	M7. 3
芸予地震	H13. 3. 24	深さ 51km	M6. 4
宮城県北部地震	H15. 7. 26	深さ 12km	M6. 2
十勝沖地震	H15. 9. 26	深さ 42km	M8. 0
紀伊半島南東沖地震	H16. 9. 5	深さ 44km	M7. 4
新潟県中越地震	H16. 10. 23	深さ 20km	M6. 8
福岡県西方沖地震	H17. 3. 20	深さ 10km	M7. 0
岩手・宮城内陸地震	H20. 6. 14	深さ 10km	M7. 2

近年の大規模地震の発生位置

将来の大規模地震発生の確率



将来の大規模地震発生の確率

(震源域別の想定)

(出典：文部科学省 地震調査研究推進本部 HP H18. 1. 1)

今後30年以内に地震の発生する確率

(震源域別の想定から抜粋)

- ・根室沖 M7. 9 程度 30～40%
- ・三陸沖～房総沖の海溝寄り津波地震 M8. 2 前後 20%程度
- ・宮城県沖 M7. 5 前後 99%
- ・茨城県沖 M6. 8 程度 90%程度
- ・南関東 M6. 7～M7. 2 程度 70%
- ・糸魚川～静岡構造線断層帯 M8 程度 14%
- ・南海トラフ(東南海) M8. 1 前後 60%程度
(南海) M8. 4 前後 50%程度
- ・安芸灘～伊予灘～豊後水道のプレート内地震 M6. 7～7. 4 40%前後
- ・日向灘のプレート間地震 M7. 6 前後 10%程度

※)レベル2地震：構造物の損傷過程に立ち入って安全性を照査するための地震動であり、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。

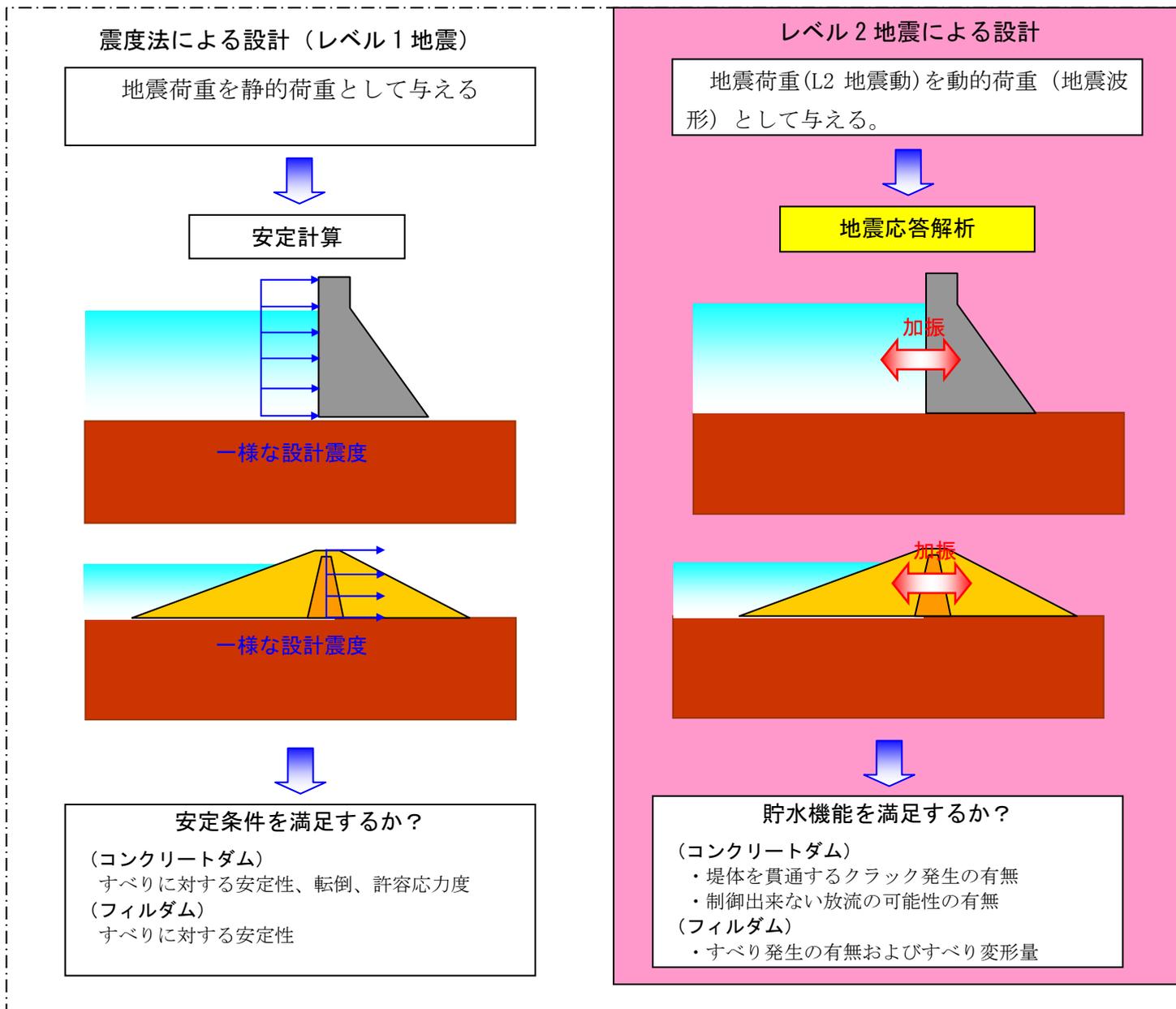
●主な大規模地震時のダム挙動事例

地震名称	ダム名(ダム形式)	挙動事例
兵庫県南部地震(H 7. 1.17) M7.3 最大震度7	一庫ダム(重力式ダム)	基礎で0.2G、天端で0.3Gを観測。特に被害はなし。
鳥取県西部地震(H12.10. 6) M7.3 最大震度6強	賀祥ダム(重力式ダム)	基礎で0.5G、天端で2Gを観測。天端の機械室壁に若干のクラックが生じたが、ダム本体には損傷なし。
芸予地震(H13. 3.24) M6.4 最大震度6弱	佐古ダム(重力式ダム)	基礎で0.2G、天端で0.45Gを観測。特に被害はなし。
三陸南地震(H15. 5.26) M7.1 最大震度6弱	日向ダム(重力式ダム)	基礎で0.2G、天端で1.1Gを観測。建屋等にクラックを生じたが、機能上の影響なし。

●耐震性能照査

※1G=980gal

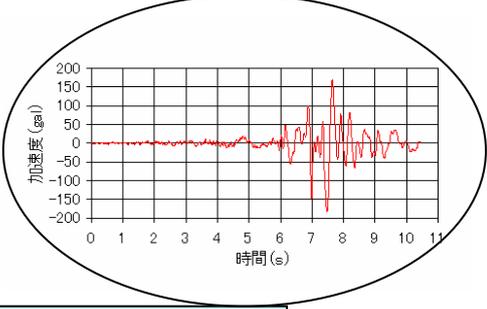
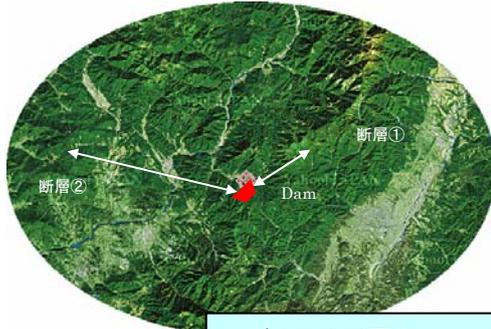
ダム及び付帯構造物(ゲート、取水設備等)は地震時の挙動が複雑です。このような挙動を説明するために、レベル2地震に相当する地震波形(模擬波)を用いた地震応答解析を行い、耐震性能を照査します。



●ダム本体の耐震性能照査(コンクリートダム)

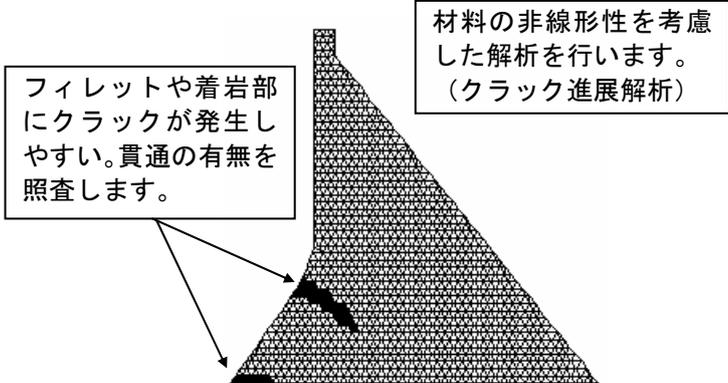
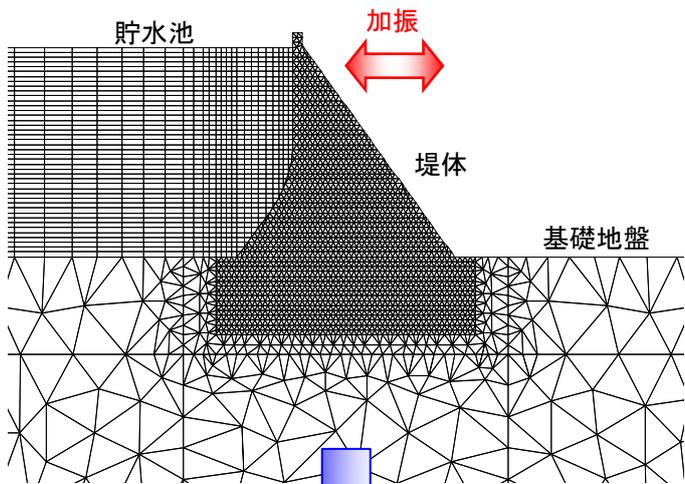
想定地震の選定

L2 地震動作成

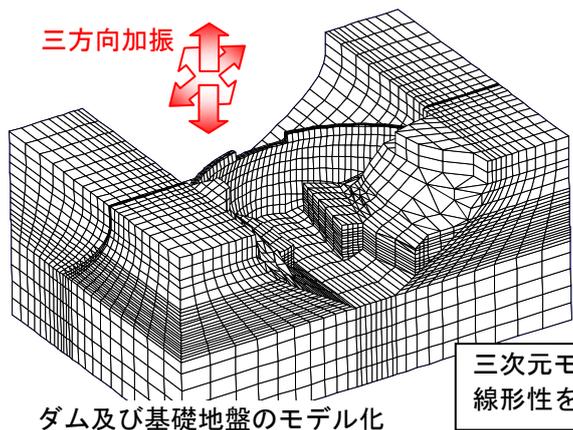


ダムから断層までの距離、断層諸元から地震波を作成

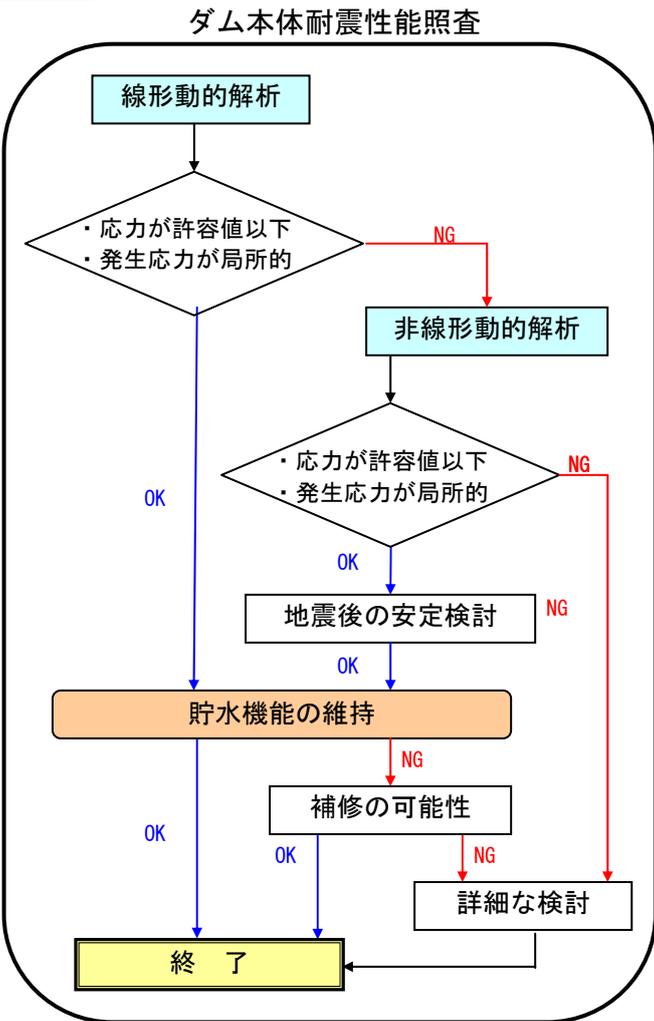
【重力式コンクリートダム】



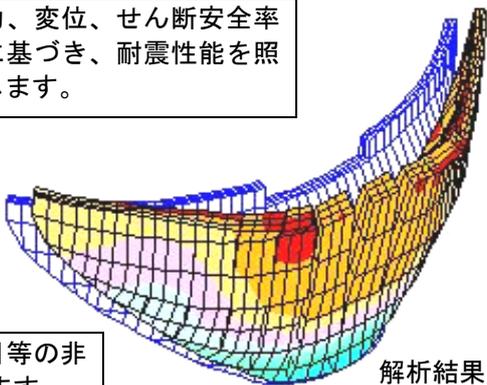
【アーチ式・曲線重力式・中空重力式コンクリートダム】



三次元モデルを作成し、横継目等の非線形性を考慮した解析を行います。



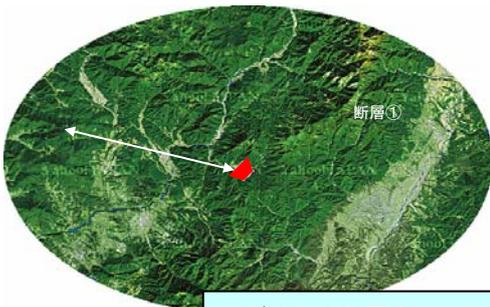
応力、変位、せん断安全率等に基づき、耐震性能を照査します。



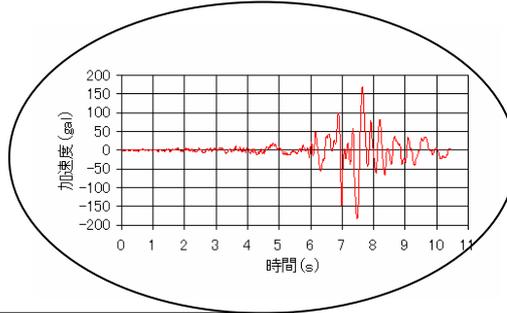
解析結果一例 (応力コンタと変位)

●ダム本体の耐震性能照査(フィルダム)

想定地震の選定



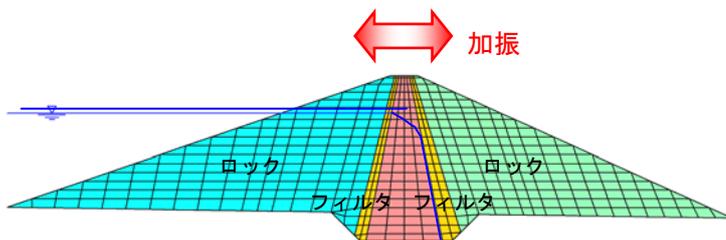
L2 地震動作成



ダムから断層までの距離、断層諸元から地震波を作成

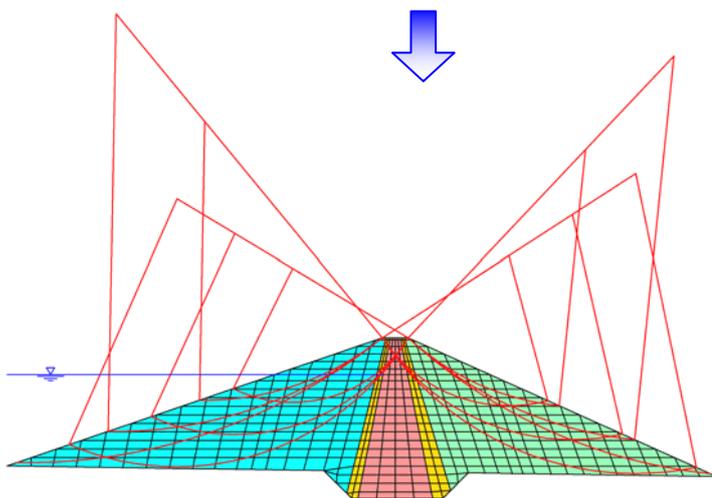
【フィルダム】

ダム本体耐震性能照査



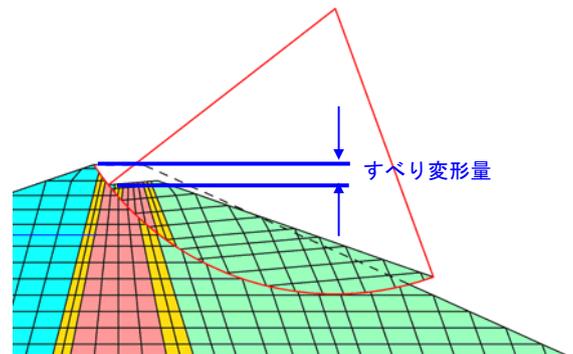
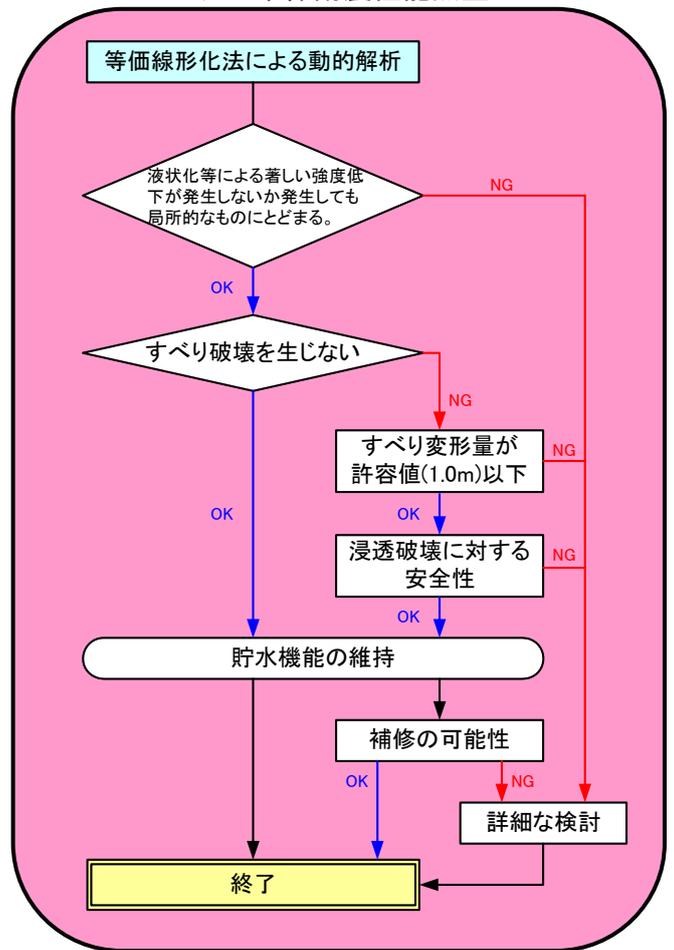
材料の非線形変形特性を考慮した解析を行います。

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がある場合は、液状化に対する安全性を検討します。



加速度、応力等より、想定すべり面におけるすべり安全率の算定(時刻歴)を行います。

すべり安全率が 1.0 を下回る時刻がある場合

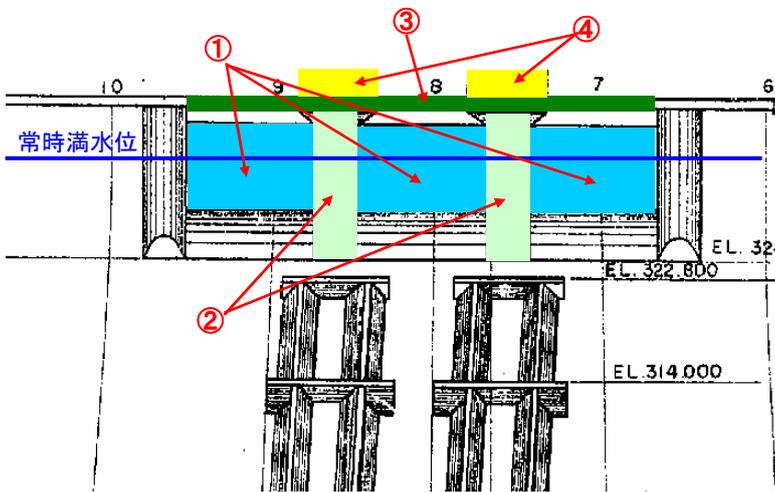


- ・すべり変形量の算定を行います。
- ・堤体材料の粒度分布等より、浸透破壊に対する安全性を検討します。

●ダム関連構造物(ゲート、門柱等)の耐震性能照査

【ダム関連構造物照査の必要性について】

大規模地震に対してダム本体が安全であっても、例えばゲートが損傷すれば貯水の流出が生じ、下流に被害を及ぼすことが考えられます。したがって、**ダムの貯水機能に支障をきたす可能性のある構造物**について、耐震照査の必要性を検討する必要があります。



照査構造物選定例(天端越流部)

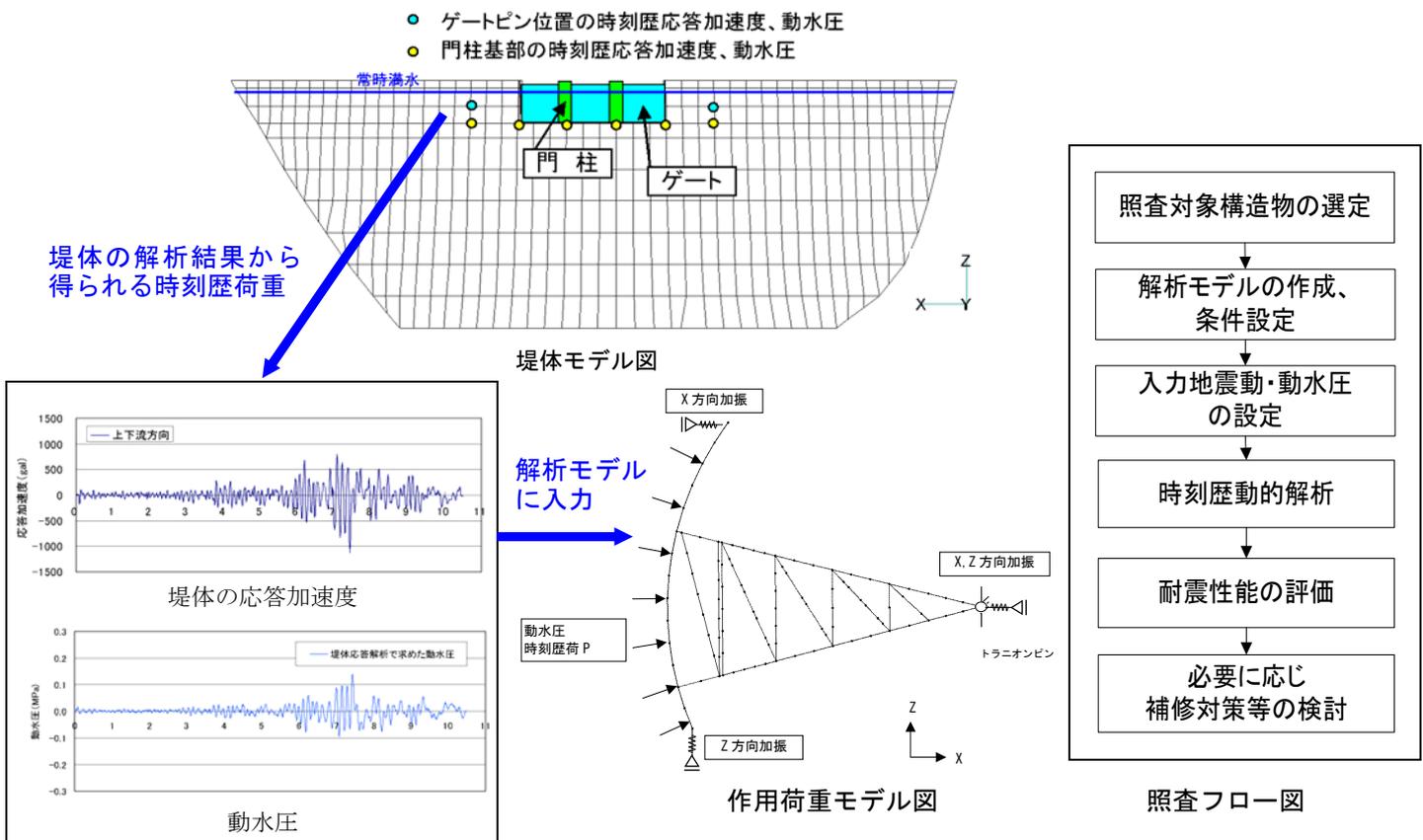
選定される構造物と想定される被害

- ① **クレストゲート**
 - ・ 損傷により下流への放流が生じ、流量が多い場合は被害が発生する
- ② **門柱**
 - ・ クレストゲートの損傷につながる
 - ・ 天端橋梁の落橋につながる
- ③ **天端橋梁**
 - ・ クレストゲートに損傷を与える
 - ・ 操作室等のアクセス路が絶たれる
- ④ **操作室**
 - ・ ゲートの操作が出来なくなる

※関連構造物は上記の他、水位低下用放流設備、取水塔、管理棟などがあり、ゲート等の操作に必要となる電源設備や電力・動力ケーブル等の確認も重要となります。

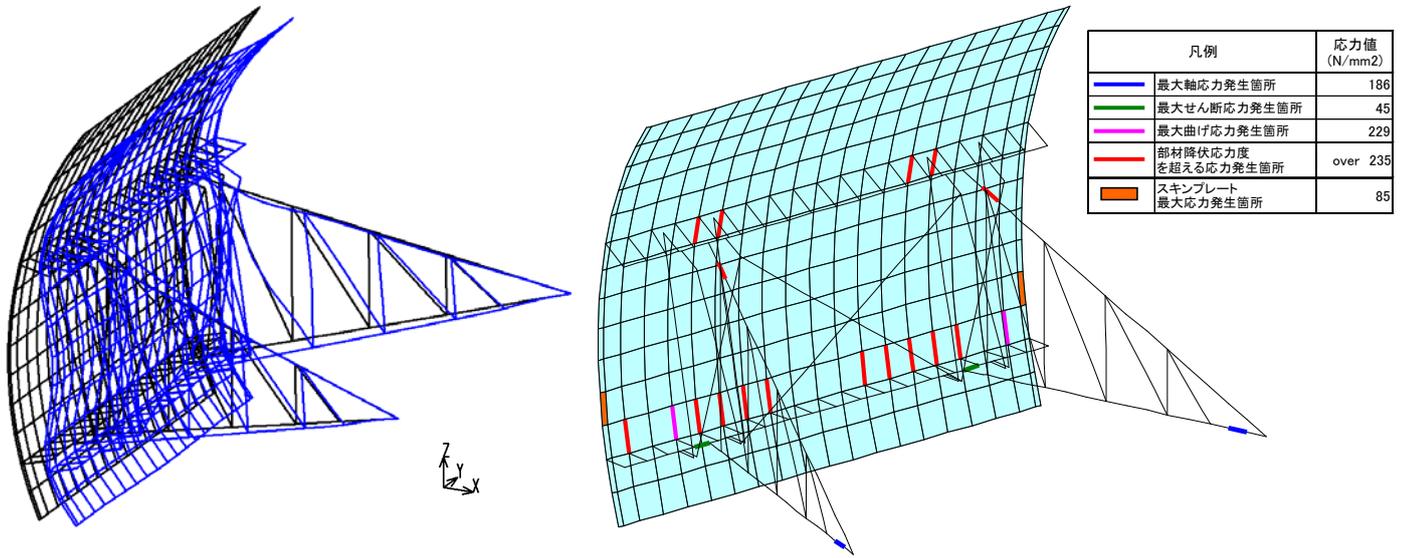
【ダム関連構造物照査のおおまかな流れ】

ダム関連構造物の照査は、ダム本体と同様、時刻歴荷重を解析モデルに入力し、変形・応力等の解析結果から耐震性能を照査します。解析モデルに入力する地震動および動水圧は、堤体の動的解析により得られる対象構造物位置の応答加速度および動水圧を用います。



【ゲート照査事例】

扉体がL2地震の時刻歴荷重により変形し、部材の一部に降伏応力を超える応力が発生しています。この結果をもとに、部材の座屈照査や扉体固定部(ゲートピン、アンカレッジ等)について照査し、耐震性能の評価を行います。

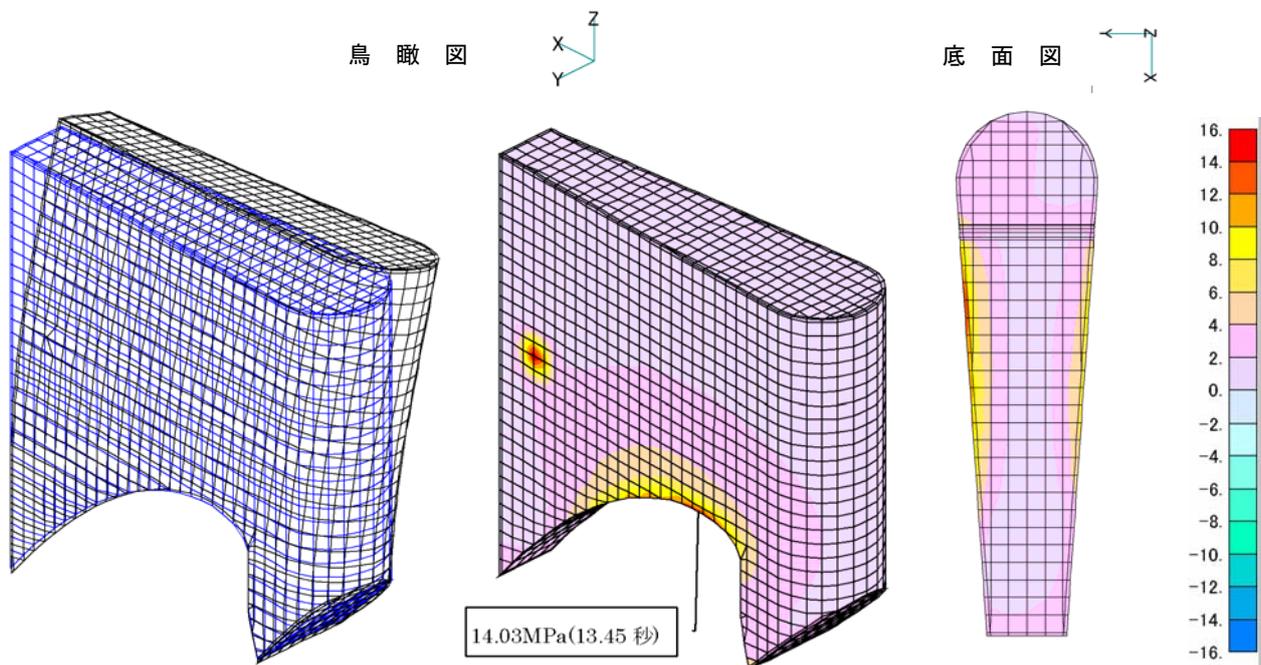


変形図 (最大応力発生時刻)

最大応力・塑性化 発生部材位置図

【門柱照査事例】

ダム軸(左右岸)方向の変形により、門柱基部(堤体との接触部)にコンクリート強度を超える引張応力が発生しています。この結果をもとに、門柱の損傷レベルを検討し、天端橋梁の落橋やクレストゲートへの影響について照査し、耐震性能の評価を行います。



●ダム耐震性能照査の手順

ダムのレベル2地震動に対する耐震性能照査の手順を下図に示します。

耐震性能照査では、まず当該ダムサイトのレベル2地震動を作成する必要があります(STEP1)、これが最優先検討事項になります。これをもとにダム本体の解析・照査を行い(STEP2)、次に関連構造物の解析・照査を行う(STEP3)手順となります。STEP2、STEP3を実施しなくても、**レベル2地震動の作成(STEP1)を実施して、まずはレベル2地震動の大きさを把握しておくことは重要です。**他ダムの照査事例との比較で、レベル2地震動の影響度合いを推定することができます。

なお、下図はコンクリートダムの照査手順であり、ダム本体解析は線形解析(STEP2-1)→非線形解析(STEP2-2)の手順となります(ただし、線形解析で耐震性能の確認が出来れば、非線形解析は行いません)。フィルダムの場合は、最初から非線形変形特性を考慮した解析(等価線形化法)を行います。

レベル2地震動は設計で考慮した地震力よりも当然大きくなりますから、堤体やゲートに損傷が発生する解析結果となる可能性が高くなります。しかし、**レベル2地震動の照査で堤体やゲートに損傷が生じる結果になったからといって、必ずしも補強工事が必要になるというわけではありません。**レベル2地震動で発生する損傷に対しては、その損傷が大きな被害を発生させず、かつ修復が可能であれば、許容される損傷レベルであると判断されます。例えば、堤体上流面にクラックが生じたとしても、クラックが下流面まで進展せずダムの貯留機能が維持されていれば、地震後速やかに水位を下げて堤体の補修をすればよいと考えるわけです。ゲート等関連構造物についても同様で、地震時および地震直後に下流への被害が想定されない損傷レベルであれば基本的に事前補強は不要であり、事後に補修あるいは更新する計画となります。

ダムの耐震性能照査の手順

