

## 参考資料3 その他の参考資料

### 資料3-1 照査用地震動作成に用いる原種波形の例

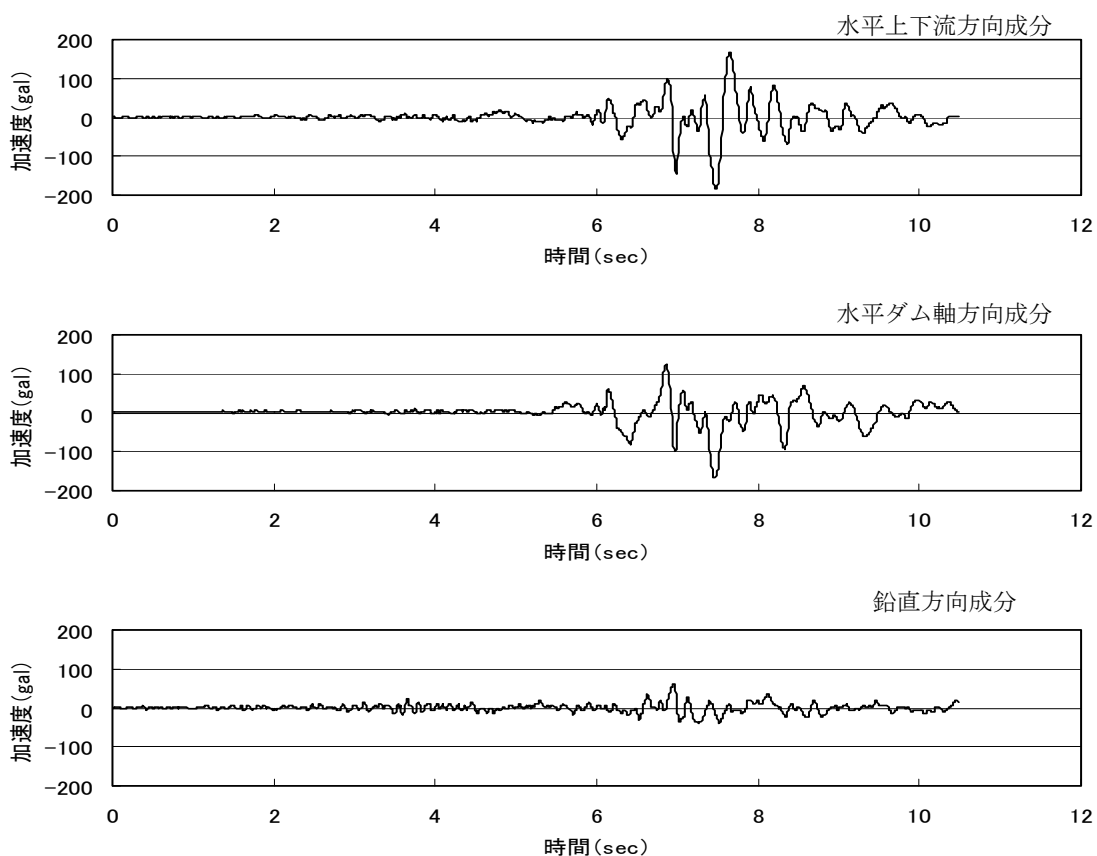
本指針（案）においては、実用的な照査用地震動の作成方法として、ダム距離減衰式により推定したダム地点での地震動の加速度応答スペクトルをもとに、代表的な強震記録等を原種波形として、これにより位相特性を考慮し、照査に用いる入力地震動の加速度時刻歴波形を作成する方法を示している。

ダムにおける強震記録の観測例は必ずしも豊富ではないが、原種波形として代表的な強震記録を用いる場合の参考として、これまでにダムの基礎地盤相当の位置（底設監査廊内等）で計測された地震動記録の例を以下に示す。

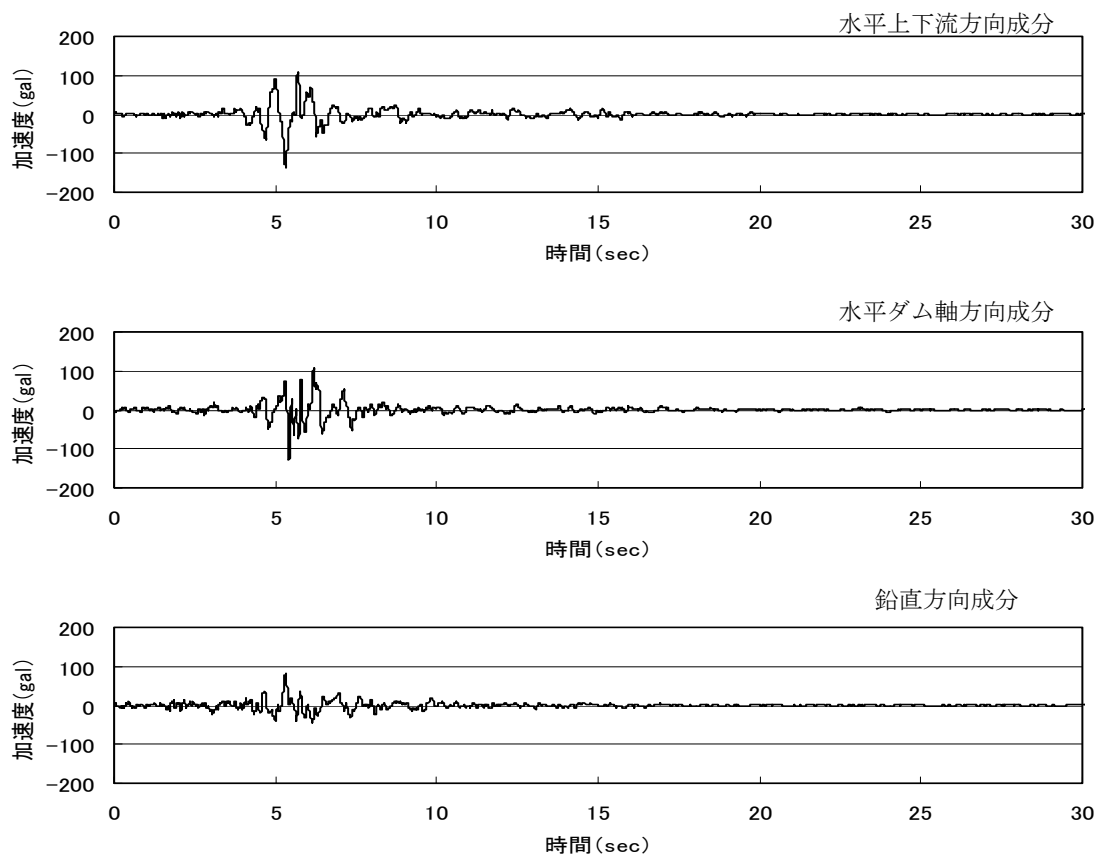
#### (1) 活断層に起因する地震による強震記録の例

兵庫県南部地震（1995年1月17日発生、M=7.3）時における観測波形の例を示す。

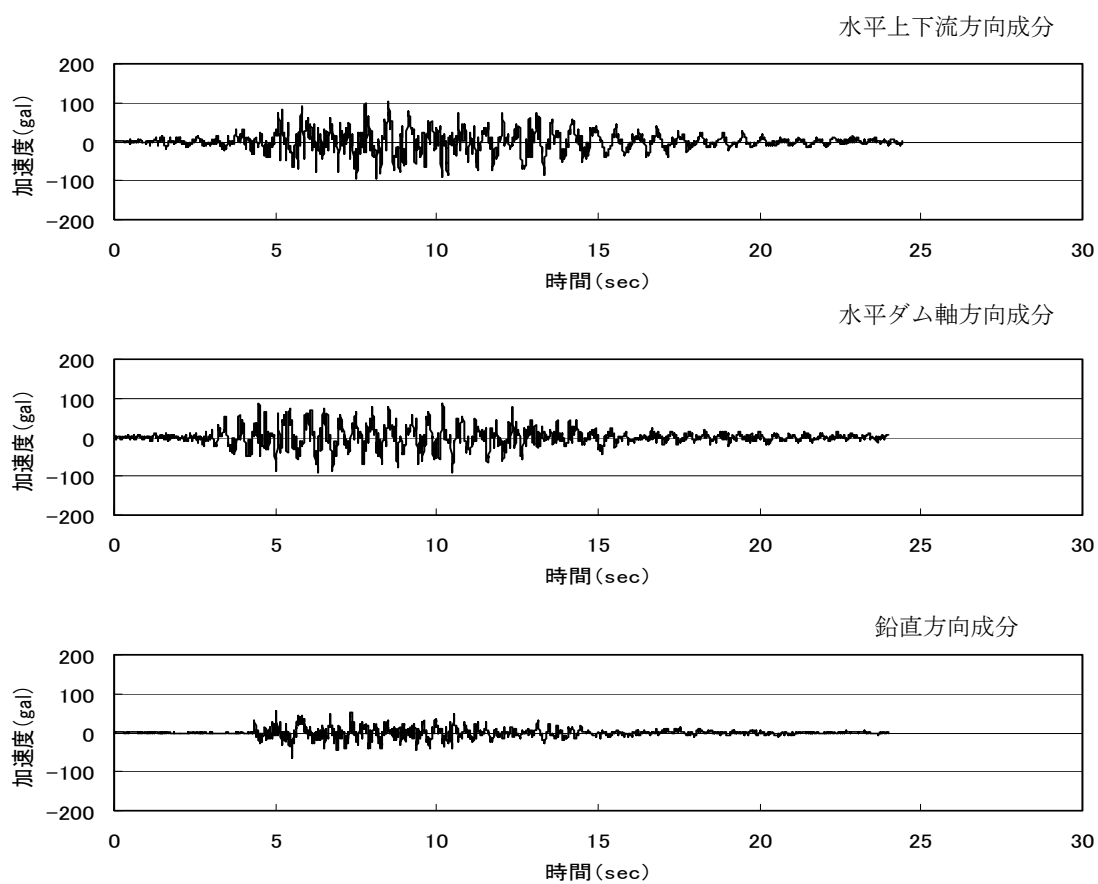
- 一庫ダム観測波（水平最大加速度=182gal）



・箕面川ダム観測波（水平最大加速度=135gal）



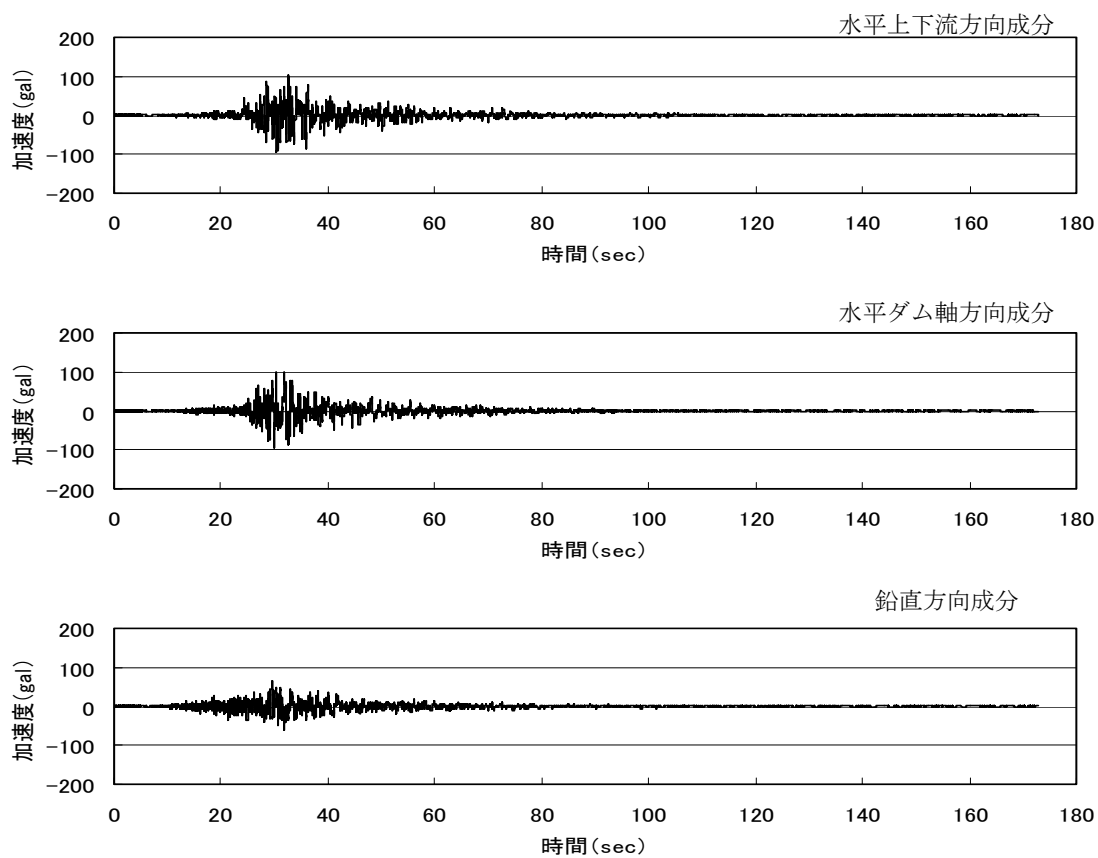
・権現ダム観測波（水平最大加速度=104gal）



## (2) プレート境界地震による強震記録の例

十勝沖地震（2003年9月26日発生、M=8.0）時における観測波形の例を示す。

- ・ 浦河ダム観測波（水平最大加速度=103gal）



なお、これらの地震波形については、そのデジタル値を国土技術政策総合研究所ダム研究室のホームページ (<http://www.nilim.go.jp/>) で公開する予定である。

指針（案）およびその解説中の主な用語の意味等について補足的に解説する。

**活断層**

一般に、最近の地質年代に繰り返し活動し、将来も活動することが推定される断層\*。なお、この活断層は、地質学的に認められる断層のうち、近い過去に活動したことがあって、将来もいつか再び動くであろうと判断されるものをいうものであり、必ずしも現在動きつつある断層という意味ではないとされる。また、「近い過去」の範囲については、研究者等により多少の相違がある。

\*活断層研究会：『新編 日本の活断層』（1991）

**プレート境界**

地球の表面が厚さ 100km ほどの何枚かの硬い板で覆われ、その下の粘性の低い層の上を運動しており、主要な地球表面上の変動はそれらの板が相互に接する境界で起きるといふ考え方はプレートテクトニクスと呼ばれるが、この考え方における地球表面を球殻状に覆う何枚かの剛体の板（岩板）がプレートであり、プレートとプレートの接しているところがプレート境界と呼ばれる\*。日本列島周辺では、太平洋岸の海溝部が代表的なプレート境界であり、海側プレートの陸側プレートの下への沈み込みに伴って蓄積されたひずみが解放されることによりしばしば大きな地震が発生しやすい構造となっている。

\*宇津徳治ほか：『地震の辞典』（1987）

**想定地震**

本指針（案）においては、「当該ダムに最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震」（指針（案）2.1 参照）と定義している。ダム地点周辺において過去に発生した地震や周辺に分布する活断層やプレート境界等で発生する地震等の中から選定する。

**国または地域の防災計画**

災害対策基本法（昭和 36 年 11 月 15 日法律第 223 号）に基づき、中央防災会議が作成する防災基本計画に基づいて国の機関や都道府県、市町村等が作成する防災計画。都道府県においては、その全てにおいて震災対策に関する事項が定められており、特定の地震の震源や規模等を想定して災害対策

の基礎となる被害想定が行われていることが多い。

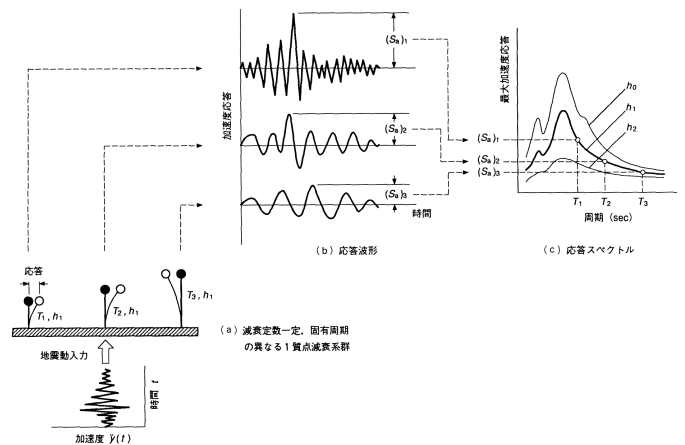
**加速度時刻歴波形**

地震による揺れの時間変動をその強さを表す指標のひとつである加速度の時間変動として波形で表したものの。

**加速度応答スペクトル**

地震動に対する 1 自由度系（1 質点減衰系）の最大応答と系の固有周期（または固有振動数）の関係を加速度の最大応答に着目して図示したもの。

なお、同じ波形の地震動を受けても、構造物の揺れ（応答）は、その構造物の動的応答特性によって異なるものとなる。このような地震動の波形と構造物の応答の関係を構造物の固有周期と減衰定数の関数として表示したのが応答スペクトルであり、このうち加速度応答に着目したものが加速度応答スペクトルである。したがって、対象とする構造物の揺れやすい周期（固有周期、または固有振動数）と減衰定数があるらかじめわかっているならば、対象とする地震動波形に対する応答スペクトルを参照することにより地震時における構造物の揺れ（ここでは加速度応答）の最大値を推定できることに



なる。

**応答スペクトルの説明図\***

\*大崎順彦：『新・地震動のスペクトル解析入門』（1994）

**減衰**

波の持つエネルギーが時間の経過あるいは空間的伝播に伴い減少する現象\*。その主な要因としては、材料の粘性に

起因する粘性減衰や塑性的性質に起因する履歴減衰（これらは材料減衰とよばれる）、動エネルギーが波動の伝播とともに逃げることに起因する減衰（逸散減衰）などがある。

\*土木学会『土木用語大辞典』（1999）

### 減衰定数

減衰機構は本来その要因によって異なるが、一般に振動解析においては、数学上取り扱いが容易な速度に比例する減衰（粘性減衰）として考慮されることが多い。減衰機構を速度比例型減衰（比例定数  $c$ ）としたとき、1 質点系（質量  $m$ 、ばね定数  $k$ ）の減衰振動は次式で表される。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

これを  $\frac{k}{m} = \omega_0^2$ 、 $\frac{c}{m} = 2h\omega_0$  として次式のように書き換えた場合、無次元量  $h$  は減衰の程度を表し、減衰定数と呼ばれる。

$$m\ddot{x} + 2h\omega_0\dot{x} + \omega_0^2x = 0$$

構造物等の地震応答解析においては、地震時における実際の挙動が良く再現されるよう、減衰定数の値を適切に設定することが重要となる。このとき、材料減衰はモデル化および境界条件等によらず材料の特性に応じて、また、逸散減衰はモデル化および境界条件等に応じて付加することとなる。

### 照査用下限加速度応答スペクトル

**資料 1-7** 参照。

### 距離減衰式、ダムの距離減衰式

**資料 1-3**、**資料 1-4** 参照。

### グリーン関数

ある 1 点に与えられた力に対して任意の点において生じる応答を表す関数。断層モデルを用いて地震動予測（半経験的手法や理論的方法などと呼ばれる）を行う際、弾性波動理論に基づき震源からの地震波伝播により対象地点で生じる地震動を求めるのにも用いられる。

### 原種波形

構造物の地震応答解析において考慮すべき地震動が周波数特性によって表現された加速度応答スペクトルをもとに入力地震動の時刻歴波形を作成するときに、あわせて必要となる位相特性を付与するのに用いる地震動波形。

### フラクタイル値

累加確率が設定した確率以下となる確率変数の値。例えば、地下のある断層における地震の発生を想定して地表の一定範囲内の各地点で生じる地震動の強さを確率評価する場合、最大加速度値の 50%フラクタイルは 100gal、90%フラクタイルは 300gal などと表現することができる。

### 線形動的解析

材料に生じるひずみと応力の関係が線形（比例）関係にあるものとして構造物等の動的挙動を調べる解析。本指針（案）では、特にコンクリートダム本体やゲートの照査において、まず、材料（コンクリートや鋼材）を近似的に線形弾性体とみなして地震動による動的応答を求めたための解析手法として位置づけている。

### 非線形動的解析

材料に生じるひずみと応力の関係において非線形性を考慮し、構造物等の動的挙動を調べる解析。本指針（案）では、特に、重力式コンクリートダム本体の照査における堤体コンクリートの引張亀裂の発生やアーチダム本体の照査における継目の開き等、またゲートの照査における鋼材の塑性化等を考慮して地震動による動的応答を求めるための解析手法として位置づけている。

### 有限要素法

連続体（構造物や流体等）の挙動（変形や応力）を数値解析により求める上で有効な近似解法のひとつで、連続体を近似的に多数の単純な形状の要素からなる集合体としてとらえるもの。各要素を代表する節点における変位と力を未定係数としてその関係式を記述することにより、全要素についての連立一次方程式をたて、これを解くことにより近似的に連続体全体の挙動を求める。

### 分布型クラックモデル

コンクリートの引張変形挙動を考える場合、その非均質性のために、最初は至る所に微細ひび割れが発生し、その後もっとも弱い部分に損傷が集中して微細ひび割れ累積領域を形成し、ついには破断する。この非線形領域のひずみ分布は複雑な分布形をしているが、そのひずみがある幅に均等に

布させ、その領域以外は弾性と考えたモデルが分布型クラック（ひび割れ）モデル（**smearred crack model**）である。

コンクリーダム本体の照査において、引張亀裂の発生による損傷過程を考慮した非線形動的解析において適用可能と考えられるモデルのひとつ。（**資料 1-8**参照）

### 初期応力解析

地震応答解析を行う際、あらかじめ地震力が作用しない静的状態における構造物の応力状態を求めるための解析。例えば、アーチダムの地震応答解析に際し、築堤（打設）中の3次元的な荷重伝達の影響を考慮するための築堤解析、またフィルダムの地震応答解析に際し、盛立て中の荷重増加に伴う堤体材料の非線形挙動を考慮するための築堤解析や、透水ゾーンに生じる浮力や遮水ゾーンに生じる浸透流による浸透力を考慮するための湛水解析等がこれに相当する。

### 静的解析

地震力が作用しない常時（非地震時）における自重等の影響のみを考慮して構造物等に生じる変形や応力状態を求める解析（初期応力解析）。地震動など実際には時間的に変動する外力の作用を動的に考慮するのではなく、静的な荷重（慣性力）に置き換えて考慮し、それが作用した時の構造物等の応答（変形や応力等）を推定しようとする者は、擬似的な静的解析である。耐震設計においては、従来から広く用いられてきた震度法、また塑性域の挙動も評価する場合に用いられる地震時保有水平耐力法などが該当する。

### 動的解析

地震動など時間的に変動する外力の作用を動的に考慮し、それに対する構造物等の応答（変形や応力等）を求めようとする解析。地震応答解析においては、地震動を時刻歴波形として解析モデルに入力し、構造物等の変形や応力の変化を逐次求める方法（時刻歴応答解析）、入力地震動により構造物に生じる最大応答を求める方法（応答スペクトル法）、振動系の固有値解析により系の固有振動数と基準振動モードを求め、各基準振動モードの線形結合（重ね合わせ）により系の応答を算出する方法（周波数応答解析）などがある。なお、損傷過程を詳細に調べる必要がある場合には、構造物の非線形挙動等の詳細なモデル化の導入が可能な時刻歴応答解析が有効と考えられる。

### 付加質量

貯水を非圧縮性非粘性流体と近似した場合、貯水に接している構造物に作用する地震時の動水圧は、構造物に付加的な質量を与えることで影響を考慮できることとなる。この時に付加する質量を貯水による付加質量と呼ぶ。付加質量は一般に付加質量マトリックスで表されるが、近似的には集中質量で表すことも多い。

### 等価線形化法

非弾性復元力特性をもつ材料または部材からなる構造物等の動的応答を周期およびエネルギー散逸が等しくなるような剛性（等価剛性）と粘性減衰（等価減衰定数）をもつ線形系に置き換えて解析する手法。非弾性構造系の解析を簡易化できる利点がある\*。

なお、本指針（案）においては、特に堤体材料がその応力とひずみの関係において非線形性ととも塑性性を有するフィルダム本体の照査において、まず、すべり破壊に対する安定性を検討する際の地震応答解析の手法のひとつとして、この方法を用いた動的解析をとりあげている。（**資料 1-10**参照）

\*土木学会『土木用語大辞典』（1999）

### 塑性変形解析

応力とひずみの関係が線形とみなせる領域（弾性域）を超えた状態（塑性域）における材料や部材の変形、または被弾性復元力特性をもつ材料（塑性材料）や部材の変形を求める解析。

なお、本指針（案）においては、特にフィルダム本体の照査において、すべり破壊等による損傷が予想される場合にそのすべり等による沈下量等の変形量を求める解析（Newmark法などによるすべり変形量の算定法や、有効応力解析による動的弾塑性解析など）を総じてこのように呼んでいる。（**資料 1-10**参照）

### ニューマーク（Newmark）法

すべり土塊を剛体として考え、すべり面に応力ひずみの関係として剛塑性を仮定し、すべり土塊の滑動変形量を算定する方法。現実の土は揺れに対して強い非線形性を示し、このNewmark法は厳密な手法ではないが、入力パラメータの設定

が円弧すべり計算法の延長で容易に計算できることから、盛土やフィルダムの堤体の変形性能を評価する手法として用いられている。(資料1—10参照)

### 液状化

飽和した緩い砂等が、地震による激しい繰り返しせん断応力を受けることによって粒子の噛合せが外れ、間隙水圧が上昇して有効応力が減少し、せん断強さを失う現象\*。

ダムの場合、岩盤を基礎地盤として建設される通常のダムでは液状化のおそれはないため、その影響を考慮する必要はない。ただし、未固結の堆積層を基礎地盤とするロックフィルダムや、堤体の締め固めが十分でないか砂層を基礎地盤とするようなアースダム等で、液状化により堤体または基礎地盤の著しい強度低下が生じるおそれがあると判断される場合には、その影響を考慮した検討が必要となる。

(資料1—13参照)

\*土木学会『土木用語大辞典』(1999)

### 有効応力解析

土の破壊が土の構造骨格の破壊を意味することから、有効応力に基づいて土構造物の破壊を論じる解析手法。この手法では、土のせん断強度  $\tau_f$  をせん断面上に作用する破壊時の有効直応力  $\sigma'$  と有効応力に関する強度定数  $c'$ 、 $\phi'$  との関数として  $\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$  で表し、このせん断強度を用いて斜面や基礎などの安定解析を行う。この解析では破壊時に土中に発生する間隙水圧を推定する必要があるが、正確な推定が困難な場合で実用上非排水とみなせる問題に対しては全応力に関して破壊を論じる全応力解析法を用いる場合が多い\*。

\*土木学会『土木用語大辞典』(1999)