

## 資料 1-12 フィルダム本体の照査における浸透破壊に対する安全性の検討

フィルダムの耐震性能照査においてすべり変形が生じるおそれがある場合、越流に対する安全性のほか、すべり面の位置やすべり量を勘案して、地震後の貯水の浸透により浸透破壊が進行しないことをあわせて確認する必要がある。この際、土質遮水壁型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、浸透破壊に対する安全性は確保されるものとしてよい。ただし、堤体全体がすべりにより形成されたせん断層が浸透破壊に対する弱層として保持される粘着性を有する土質材料で構築されているアースダムでは、すべり変形が生じるおそれがある場合には、貯水浸透による浸透破壊に対する安全性を慎重に検討する必要がある。なお、遮水ゾーン内すべりの始点が解析対象貯水位より高い場合は、浸透破壊に対する安全性は確保されるものとしてよい。

一方、土質遮水壁型ロックフィルダムの遮水ゾーンを貫通する、あるいはアースダムの遮水ゾーン内すべりの始点が解析対象貯水位より低く、下流側へのすべりの発生が想定される場合には、浸透破壊に対する安全性について以下のような検討を行う必要がある。

### (1) 想定すべり面が下流側フィルタないしはドレーンを切る場合（図-1.12.1の(A)参照）

①土質遮水壁型ロックフィルダムの下流側フィルタあるいはアースダムのドレーンが、すべり量に対して十分な厚さを有したうえで、表-1.12.1に示す Sherard ら<sup>1)3)</sup>が非侵食試験（No Erosion Filter Test）結果を基に提案したパイピング抵抗に対するフィルタ基準を満たす非粘着性の材料である場合には、発生したすべり面沿いに集中的な浸透（漏水）が発生するという極端な状況を想定しても土質材料の浸透破壊の進行は発生しないものと判断してよい。

②下流側のフィルタやドレーンが、すべり量に対して十分な厚さを有しないか、上記のフィルタ基準を満たさない場合には、すべり面沿いに遮水ゾーンとフィルタゾーンの境界をモデル化し、遮水ゾーン内のすべり面に沿った動水勾配を考慮した浸透破壊試験を実施して、進行性破壊の可能性について検証する。しかし、この試験方法については、基準が存在せず、研究成果もほとんど見あたらないため、試験の実施や結果の評価に当たっては、専門家の指導を受ける必要がある。なお、フィルタ基準は満たさないが、すべり量に対して十分な厚さを有する場合、若干安全側の評価として、すべり面沿いに集中浸透（漏水）が発生していることを前提として遮水ゾーンのすべり面に沿った動水勾配を考慮した非侵食試験を実施し、土質材料の浸透破壊の進行が発生しないことを確認するという方法もある。非侵食試験については、いくつかの体系的な研究成果は見られるが、試験方法についての基準が存在しないため、試験の実施や結果の評価に当たっては、専門家の指導を受けることが望ましい。

### (2) 想定すべり面が下流側フィルタないしはドレーンの上端より上を切る場合（図-1.12.1の(B)参照）

(1)②の場合と同じ対応とする。

なお、水位低下設備が設置されており、耐震性照査時水位である常時満水位から、遮水ゾーン内すべりの始点まで短期間で低下できることが明らかな場合には、上記の(1)、(2)の検討を省略することができる。

なお、以上の方法による判断が難しい場合あるいは別途検討の必要性があると判断された場合には、さらに詳細な検討を行う必要がある。ただし、このような検討は、特に高度な技術的事項を伴うため、適切な専門家の指導のもと行うことが望ましい。

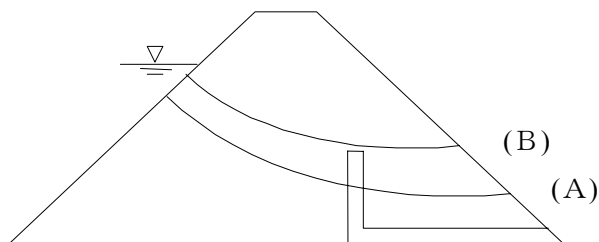


図-1.12.1 想定すべり面と下流フィルタないしはドレーンの位置関係  
(チムニードレーンを有するアースダムの場合)

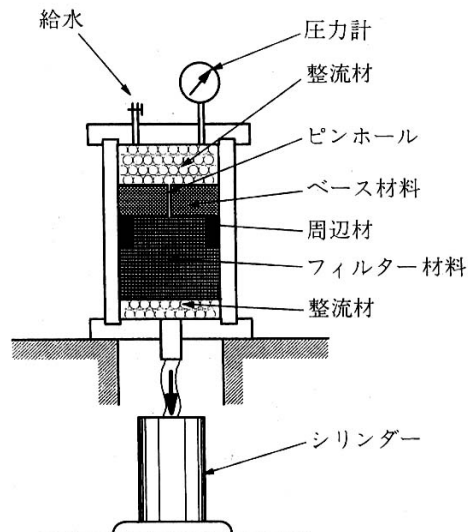
表-1.12.1 Sherard らが提案した遮水ゾーンに発生した集中浸透（漏水）  
に有効となるフィルタ基準<sup>1)~3)</sup>

(a)フィルタ基準

グループ	細粒分含有率* A (%)	設計基準 (適切な安全率を加味してある)
①	85~100	$D_{15}/d_{85} \leq 9$
②	40~85	$D_{15} \leq 0.7$ (mm)
③	0~15	$D_{15}/d_{85} \leq 4$
④	15~40	$D_{15} \leq 0.7 + (40 - A)(4 \times d_{85} - 0.7) / 25$ (mm)

(注)  $D_{15}$  : フィルター材料の15%通過粒径,  $d_{85}$  : ベース材料の85%通過粒径  
\* : 4.75 mmふるいを通過する部分の細粒分(<0.075 mm)含有率

(b)フィルタ基準作成のために実施した非侵食試験装置の概要



#### 参考文献

- 1) Sherard, J. L., Dunnigan, L. P. and Talbot, J. R. : Filters for Silts and Clays, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.110, No.6, pp.701~718, 1984.
- 2) Sherard, J. L., and Dunnigan, L. P. : Filters and Leakage Control in Embankment Dams, Proc. Symp. Seepage and Leakage from Dams and Impoundments, ASCE, pp.1~30, 1985.
- 3) 中村昭、山口嘉一ほか：非侵食試験によるフィルタ機能の評価，建設省土木研究所資料，No.3236，1994年1月。

## 資料 1-13 フィルダム本体の照査における液状化判定

フィルダムの堤体や基礎地盤が砂質土で構成され、それが飽和している部分については、レベル2地震動により液状化する可能性があり、液状化判定の必要がある。

兵庫県南部地震以降に定められた設計指針等<sup>1),2)</sup>では、液状化の判定を行う必要のある土層は、以下の全てに該当する飽和砂質土層とされている。

- ① 地下水位面が現地盤面から 10m 以内
- ② 現地盤面から 20m 以内の範囲にある土層
- ③ 平均粒径  $D_{50}$  が 10mm 以下で、かつ 10%粒径  $D_{10}$  が 1mm 以下の土層
- ④ 細粒分含有率が 35%以下の地盤、または  $F_c$  が 30%を越えても粘土分含有率  $P_c$  が 15%以下(指針によっては塑性指数  $I_p$  が 15 以下)の土層

ここでは、土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会が発刊した「土木構造物の耐震設計ガイドライン(案) -耐震基準作成のための手引き-(2001年9月)」<sup>3)</sup>に基づいて液状化判定方法の概要を示す。

液状化の判定方法は、(1)概略判定法、(2)簡易判定法、(3)詳細判定法、(4)実験的判定法の4種類に大別できる。ここでは、これらの判定法のうち、現在各種設計において主として取り上げられている一般的な液状化抵抗率  $F_L$  値による方法について述べる。

### 1. 液状化に対する抵抗率 $F_L$ 値の計算

$F_L$  値による液状化の判定は、液状化に対する抵抗率  $F_L$  を式(1.13.1)により算出して行い、通常  $F_L$  が 1.0 以下となった土層については液状化するものとしている。

$$F_L = \frac{R}{L} \quad \dots \dots (1.13.1)$$

ここに、 $F_L$ ：液状化抵抗率

$R$ ：動的せん断強度比

$L$ ：地盤の地震時せん断応力比

このうち、動的せん断強度比  $R$  については、簡易判定法では粒度ならびに  $N$  値等の一般調査結果から、また詳細判定法では不攪乱試料による液状化試験結果からそれぞれ求める必要がある。

地震時せん断応力比  $L$  については、フィルダムの堤体と基礎地盤を含めた地震応答解析結果から求める方法を基本とする。

### 2. 動的せん断強度比 $R$ の計算

液状化強度に関する提案式は数多く提案されている。1995年の兵庫県南部地震以降に定められた  $F_L$  値による液状化の簡易判定法等には、以下の基準・指針がある。

- ① 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編<sup>1)</sup>
- ② 鉄道構造物等耐震設計標準・同解説 耐震設計<sup>2)</sup>

これらの方法においては、兵庫県南部地震のような内陸直下型地震やプレート境界型の大規模な地震(レベル2地震動)まで考慮した液状化検討をするため、いくつかの特徴を有したものとなっている。

従来の液状化強度推定のための提案式では、通常特定の繰返し回数(通常 15 回や 20 回)に対する液状化強度しか求められない。これに対して、液状化解析に用いるには、広い範囲(2~30 程度の繰返し数)の液状化強度が必要である。この点に関して、道路橋示方書では、前述のように、繰返し回数が少ないと判断される内陸型の直下型地震に対して液状化強度の割り増しを行い、鉄道標準ではレベル 2 地震動に対して累積損傷度理論により  $R$  の補正をするといった取り扱いがなされている。

また、液状化強度推定式を用いず、より詳細に評価するためには、検討対象地盤から採取された不攪乱試料による液状化試験結果に基づき評価する必要がある。そのため、サンプリングおよび室内試験の精度を向上させればその推定精度は向上することになる。

なお、密な砂では、一旦過剰間隙水圧が有効拘束圧に達しても、緩い砂のようにせん断抵抗が失われてひずみが急激に増加するような、いわゆる完全液状化は起こらず、正のダイラタンシー(dilatancy : せん断による体積の膨張)の影響により、せん断応力が大きくなるにつれて有効応力が回復して、ある限られたひずみの範囲でせん断ひずみの増加により接線せん断剛性が増加するサイクリックモビリティ(cyclic mobility)現象が生じる。したがって、液状化によるせん断強度の完全喪失を恐れる必要はなく、むしろ、cyclic mobility によりどの程度のひずみが地盤に引き起こされるのかを評価することが重要となることに留意する必要がある。

### 3. 地盤の地震時せん断応力比

地中の繰返しせん断応力比  $L_{max}$  は、フィルダムの堤体と基礎地盤を含めた地震応答解析結果から得られる最大せん断応力度の深度分布と各深さの有効上載圧から下式によって求められる。

$$L_{max} = \frac{\tau_{max}}{\sigma'_v} \dots \dots (1.13.2)$$

ここで、 $\tau_{max}$  : 各深さの最大せん断応力  
 $\sigma'_v$  : 有効上載圧

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1997.
- 2) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善, 1999.
- 3) (社)土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会：土木構造物の耐震設計ガイドライン(案)- 耐震基準作成のための手引き -, 2001.

資料 1—14 照査対象とする関連構造物等の選定の考え方

指針（案）の 4.1 では、各種の関連構造物等のうち耐震性能の照査対象とするのは、「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もの」としている。

この基準に照らして照査対象とする関連構造物等を選定する際の参考として、一般にダムに設置されている各種関連構造物等について、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ような損傷の形態として考えられるものを表—1.14.1 に示す。同表に示した各種の関連構造物等について、損傷が生じる可能性がある関連構造物等については、それぞれの関連構造物等の耐震性能照査は、ここに示されるような損傷を生じないことを照査するものである。

表—1.14.1 ダムの貯水機能が維持されないおそれのある関連構造物等の損傷形態の例

関連構造物等	概要	ダムの貯水機能を確保できないおそれのある損傷の形態			
		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が生じるおそれのあるもの	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ことができなくなるおそれのあるもの <sup>注1)</sup>	その他	
1. 放流設備のゲート等	主ゲート 非常用洪水吐きの	常時満水位が敷高より高い場合	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体の架構部または支承部の大変形</li> <li>戸当り、固定部、または門柱の重大な損傷（ゲートが脱落するおそれがあるもの等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体（架構部、支承部、受圧部）の変形で速やかな復旧が困難なもの</li> <li>戸当り、固定部または門柱の損傷で速やかな復旧が困難なもの</li> <li>開閉装置等の損傷で速やかな復旧が困難なもの</li> </ul>	
	主ゲート 常用洪水吐きの		<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体の架構部または支承部の大変形</li> <li>戸当り、固定部または支持コンクリートの重大な損傷（ゲートが脱落するおそれのあるもの等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体（架構部、支承部、受圧部）の変形で速やかな復旧が困難なもの</li> <li>戸当り、固定部または支持コンクリートの損傷で速やかな復旧が困難なもの</li> <li>開閉装置等の損傷で速やかな復旧が困難なもの</li> </ul>	
	その他のゲート等	放流能力が大、または洪水処理に必要な放流設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体の大変形</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>速やかな復旧が困難な損傷</li> </ul>	
	注2)	緊急時の水位低下機能を有する放流設備		<ul style="list-style-type: none"> <li>* ゲート扉体等の変形</li> <li>* 開閉装置本体や機側操作盤の転倒等による損傷、開閉装置架台の損傷、開閉装置室の損傷等</li> </ul>	
	張出し構造の開閉装置室		<ul style="list-style-type: none"> <li>開閉装置がその支持を失うことにより扉体が落下し、洪水吐きを閉塞するおそれのあるような損傷</li> </ul>		

2. その他の関連構造物等	取水塔	倒壊時に堤体や主要な放流設備に重大な損傷を与えるおそれのある場合	堤体や主要な放流設備に重大な損傷を与えるおそれのある損傷（倒壊等）			
		緊急水位低下機能を担う設備を有する場合		* 緊急水位低下時に使用する構造部分の損傷 * 開閉装置等の損傷		
	天端橋梁	主要な放流設備のゲート等の上部に設置されている場合	・主要な放流設備のゲート等に重大な被害を与えるおそれのある重大な損傷（落橋等）			
		公道として一般交通の用に供している場合				・人的被害の発生や道路交通に支障をきたすおそれのある重大な損傷（落橋等）
	管理棟		・緊急時の管理体制に支障が生じるおそれのある重大な被害			・人的被害のおそれのある重大な損傷（倒壊等）
	重要な電気設備等	ゲートを有するダムの場合	・緊急時のゲート操作のための電力供給に支障を生じるような予備電源設備、配電設備、操作盤本体の損傷や装置の転倒等			
その他		・緊急時に操作する必要のある放流設備の開閉装置（機側操作盤）へのアクセスの遮断等				

注1) うち、\* 印を付したものは、緊急に水位を低下させるのに支障を生じるもの。（その他は、低下させた水位の上昇を規制するのに支障を生じるもの。）

注2) 低水放流設備、水位維持放流設備、水位低下用放流設備の主ゲート等。

資料 1-15 ゲート等の照査において許容される限界の状態

ゲートおよびその支持構造である門柱部等の照査においては、ダムの貯水機能を維持できなくなるような制御できない貯水の流出を生じるような損傷を生じないように、許容される限界の状態を適切に設定することが必要となる。なお、この許容される限界の状態は、地震応答解析等による検討結果に照らし、予想される損傷等が許容される損傷かどうかを判断するための判断基準となるものであり、ゲート等の構造形式や構成部材の特性や全体構造の安定性を維持する上での重要度等を考慮して適切に設定する必要がある。一般的なゲート等の照査において適切と考えられるこの許容される限界の状態の設定例を、設置事例の多い主要なゲート形式について、表-1.15.1に整理して示す。

なお、同表中において、部材の力学的特性に関する表現に関して、「ほぼ弾性域内にとどまること」、あるいは「限定的な塑性化にとどまること」として想定している具体的な状態については、資料1-17に示すとおりである。

表-1.15.1 ゲート等の耐震性能の照査における「許容される限界の状態」の設定例

形式	扉体	戸当り・固定部、門柱部	開閉装置等
クレストラジアルゲート	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 架構部の主要構造部材（脚柱、主桁、水平桁）および支承部（トラニオンボス、トラニオンピン、ペDESTAL）については、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 架構部の補助構造部材（トラス材）については、座屈を生じても、主要構造部材に関して上記条件を満足すること</li> <li>・ 受圧部（補助桁、スキンプレート）については、座屈を生じず、限定的な塑性化にとどまること</li> <li>・ 水密部およびサイドローラについては、限定的な部分の破壊にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ トラニオンガーダおよびアンカーについては、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 門柱（橋脚）部については、限界的な部分の損傷にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機械式または油圧式開閉装置の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 機側操作盤の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 操作橋（操作室床として使用されているもの）が落橋しないこと</li> </ul>
クレストローラゲート	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 架構部の主要構造部材（主桁、端桁）および支承部（主ローラ、ロッカービーム）については、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 架構部の補助構造部材（トラス材、ブレイジング）については、座屈を生じても、主要構造部材に関して上記条件を満足すること</li> <li>・ 受圧部（補助桁、スキンプレート）については、座屈を生じず、限定的な塑性化にとどまること</li> <li>・ 水密部、フロントローラおよびサイドローラについては、限定的な部分の破壊にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ローラレール、ローラ踏面板（戸当り（重構造））については、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 門構（主要部材）については、座屈を生じず、限定的な塑性化にとどまること</li> <li>・ 門構（補助部材）および戸当り（軽構造部）については、限定的な部分の破壊にとどまること</li> <li>・ 門柱（橋脚）については、限定的な部分の損傷にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機械式開閉装置の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 機側操作盤の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 操作橋（門柱間に設置され、開閉装置架台として使用されているもの）が落橋しないこと</li> </ul>

<p>高圧ラジアルゲート</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 架構部の主要構造部材（脚柱、脚間ラーメン部材、主桁、水平桁）および支承部（トラニオンボス、トラニオンピン、ペDESTAL）については、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 架構部の補助構造部材（トラス材）については、座屈を生じても、主要構造部材に関して上記条件を満足すること</li> <li>・ 受圧部（補助桁、スキンプレート）については、座屈を生じず、限定的な塑性化にとどまること</li> <li>・ 水密部およびサイドローラについては、限定的な部分の破壊にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ トラニオンガータおよびアンカーについては、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 支持コンクリートについては、限定的な部分の損傷にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 油圧式開閉装置の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 機側操作盤の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 操作室床が落橋しないこと</li> </ul>
<p>高圧ローラゲート</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 架構部の主要構造部材（主桁、端桁）および支承部（主ローラ、ロッカービーム）については、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 架構部の補助構造部材（トラス材）については、座屈を生じても、主要構造部材に関して上記条件を満足すること</li> <li>・ 受圧部（補助桁、スキンプレート）については、座屈を生じず、限定的な塑性化にとどまること</li> <li>・ 水密部、フロントローラおよびサイドローラについては、限定的な部分の破壊にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガーダおよびアンカーについては、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 支持コンクリートについては、限定的な部分の損傷にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 油圧式開閉装置の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 機側操作盤の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 操作室床が落橋しないこと</li> </ul>
<p>高圧スライドゲート</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 架構部の主要構造部材（主桁）および支承部（支圧板）については、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 受圧部（補助桁、スキンプレート）については、座屈を生じず、限定的な塑性化にとどまること</li> <li>・ 水密部およびカバープレートについては、限定的な部分の破壊にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 戸当りおよびボンネット・ケーシングについては、座屈を生じず、部材の力学特性がほぼ弾性域内にとどまること</li> <li>・ 支持コンクリートについては、限定的な部分の損傷にとどまること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 油圧式開閉装置の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 機側操作盤の移動、転倒、破損等が生じないこと</li> <li>・ 操作室床が落橋しないこと</li> </ul>



資料1—16 ゲート（扉体等）の照査における地震応答解析

関連構造物等のうち、ゲート扉体等の鋼構造物の耐震性能照査における地震応答解析は、通常、レベル2地震動によってその設置位置において生じる応答加速度の時刻歴波形を入力地震動としてゲート等の解析モデルに与え、その時刻歴応答を求める動的解析（時刻歴応答解析）により行うことを想定している。

この場合、非常用洪水吐きおよび常用洪水吐きの主ゲートとして設置事例の多い代表的な形式のゲートについて、有限要素モデルとしてその数値解析モデルを作成する場合の基本的な考え方および解析条件等の設定にあたっての留意点等を表—1.16.1に示す。また、解析モデルの例を図—1.16.1に示す。

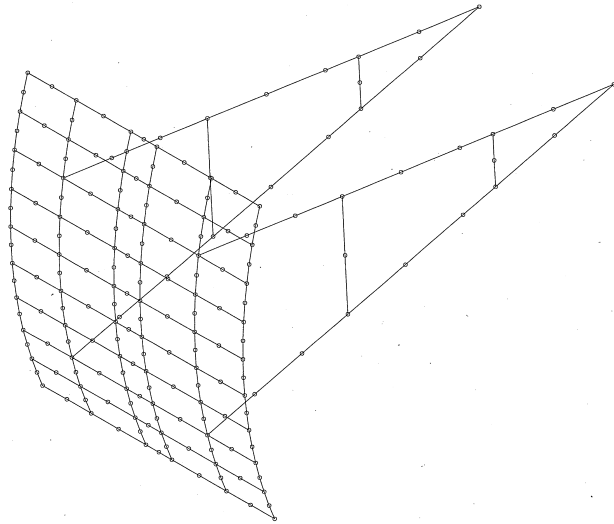
なお、解析モデルは、ゲートの形式等の構造特性に応じてその動的応答を適切に評価できるよう、解析結果が照査上危険側の結果とならず、かつ解析結果の評価に必要な精度を確保できること、またいたずらに計算量が大きくならないことなどの観点から、適切なものとなるよう留意して作成する必要がある。

表—1.16.1 ゲート（扉体等）の地震応答解析の方法と留意点

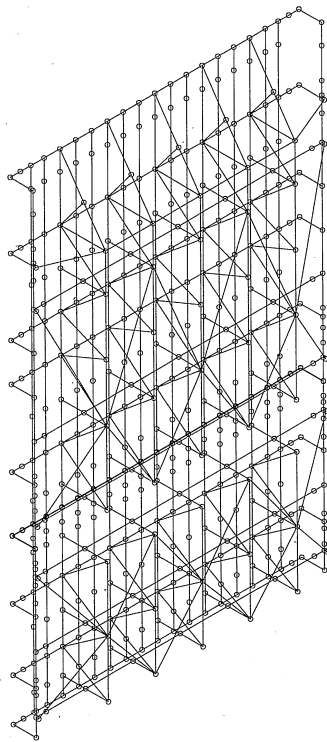
区分・形式		解析モデル	地震動入力 <sup>注)</sup>	その他留意点
非常用洪水吐き主ゲート	クレストラジアルゲート	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体部の主要構造部材（脚柱、縦主桁、横主桁等）および補助構造部材（縦補助桁、横補助桁、上部桁、下部桁等）について3次元骨組みモデルによりモデル化する。</li> <li>必要に応じスキムプレート等をモデル化する。</li> <li>モデル化しない部材については重量のみ考慮することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤体による応答を考慮したレベル2地震動をゲート支点（トラニオンピン）位置に入力する。</li> <li>地震時動水圧は、ゲート設置位置での堤体の応答加速度に相当するものとしてウェスターガードの式により算定されるものを外力（節点力）として考慮する方法や、動水圧マトリクスにより考慮する方法がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>架構部のモデル化にあたっては、断面力が集中する箇所、部材の断面変化点付近については要素分割数を細かく設定する必要がある。</li> <li>受圧部のモデル化にあたっては、部材の結合条件を適切に反映させる必要がある。</li> </ul>
	クレストローラゲート	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体部の主要構造部材（主桁、端桁等）および補助構造部材（補助縦桁、補助横桁、背面トラス等）について3次元骨組みモデルによりモデル化する。</li> <li>必要に応じスキムプレート等をモデル化する。</li> <li>モデル化しない部材については重量のみ考慮することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤体による応答を考慮したレベル2地震動をゲート支点（主ローラ）位置に入力する。</li> <li>地震時動水圧は、ゲート設置位置での堤体の応答加速度に相当するものとしてウェスターガードの式により算定されるものを外力（節点力）として考慮する方法や、動水圧マトリクスにより考慮する方法がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>支承部については、地震時の挙動や強度を検討し、支点条件を適切に設定する必要がある。</li> <li>水密部については、戸当りとの離隔が小さい場合には、地震による衝突の影響を考慮できるように適切にモデル化する必要がある。</li> </ul>

常用洪水吐き主ゲート	高圧ラジアルゲート	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体部の主要構造部材（脚柱、縦主桁、横主桁等）および補助構造部材（縦補助桁、横補助桁、上部桁、下部桁等）について3次元骨組みモデルによりモデル化する。</li> <li>必要に応じスキンプレート等をモデル化する。</li> <li>モデル化しない部材については重量のみ考慮することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤体による応答を考慮したレベル2地震動をゲート支点（トラニオンピン）位置に入力する。</li> <li>地震時動水圧は、ゲート設置位置での堤体の応答加速度に相当するものとしてウエスターガードの式により算定される動水圧に管路内の水に作用する慣性力分を付加したものを外力（節点力）として考慮する方法や、動水圧マトリクスにより考慮する方法がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>架構部のモデル化にあたっては、断面力が集中する箇所、部材の断面変化点付近については要素分割数を細かく設定</li> <li>受圧部のモデル化にあたっては、部材の結合条件を適切に反映する必要がある。</li> <li>支承部については、地震時の挙動や強度を検討し、支点条件を適切に設定する必要がある。</li> <li>水密部については、戸当りとの離隔が小さい場合には、地震による衝突の影響を考慮できるよう適切にモデル化する必要がある。</li> <li>鋼構造物に関する既往の研究事例等では、線形動的解析において減衰定数2%を、非線形動的解析において1%を用いた事例がみられる。</li> </ul>
	高圧ローラゲート	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体部の主要構造部材（主桁、端桁等）および補助構造部材（補助縦桁、補助横桁、背面トラス等）について3次元骨組みモデルによりモデル化する。</li> <li>必要に応じスキンプレート等をモデル化する。</li> <li>モデル化しない部材については重量のみ考慮することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤体による応答を考慮したレベル2地震動をゲート支点（主ローラ）位置に入力する。</li> <li>地震時動水圧は、ゲート設置位置での堤体の応答加速度に相当するものとしてウエスターガードの式により算定される動水圧に管路内の水に作用する慣性力分を付加したものを外力（節点力）として考慮する方法や、動水圧マトリクスにより考慮する方法がある。</li> </ul>	
	高圧スライドゲート	<ul style="list-style-type: none"> <li>扉体部の主要構造部材（主桁、支圧板等）および補助構造部材（補助桁等）について3次元骨組みモデルによりモデル化する。</li> <li>必要に応じスキンプレート等をモデル化する。</li> <li>モデル化しない部材については重量のみ考慮することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤体による応答を考慮したレベル2地震動をゲート支点（支圧板）に入力する。</li> <li>地震時動水圧は、ゲート設置位置での堤体の応答加速度に相当するものとしてウエスターガードの式により算定される動水圧に管路内の水に作用する慣性力分を付加したものを外力（節点力）として考慮する方法や、動水圧マトリクスによる方法がある。</li> </ul>	

注) 入力地震動および動水圧については、ゲートが堤体内に設置される場合についての考え方を示している。地山内に設置される高圧ゲート等で、堤体による地震動増幅の影響を特に考慮する必要性がないと考えられる場合には、地盤の応答加速度（レベル2地震動）を入力地震動として考慮することができる。



(1) ラジアルゲート



(2) ローラゲート

図-1.16.1 ゲート(扉体)の解析モデルの例

## 資料 1—17 ゲート等の照査における座屈および塑性化の評価

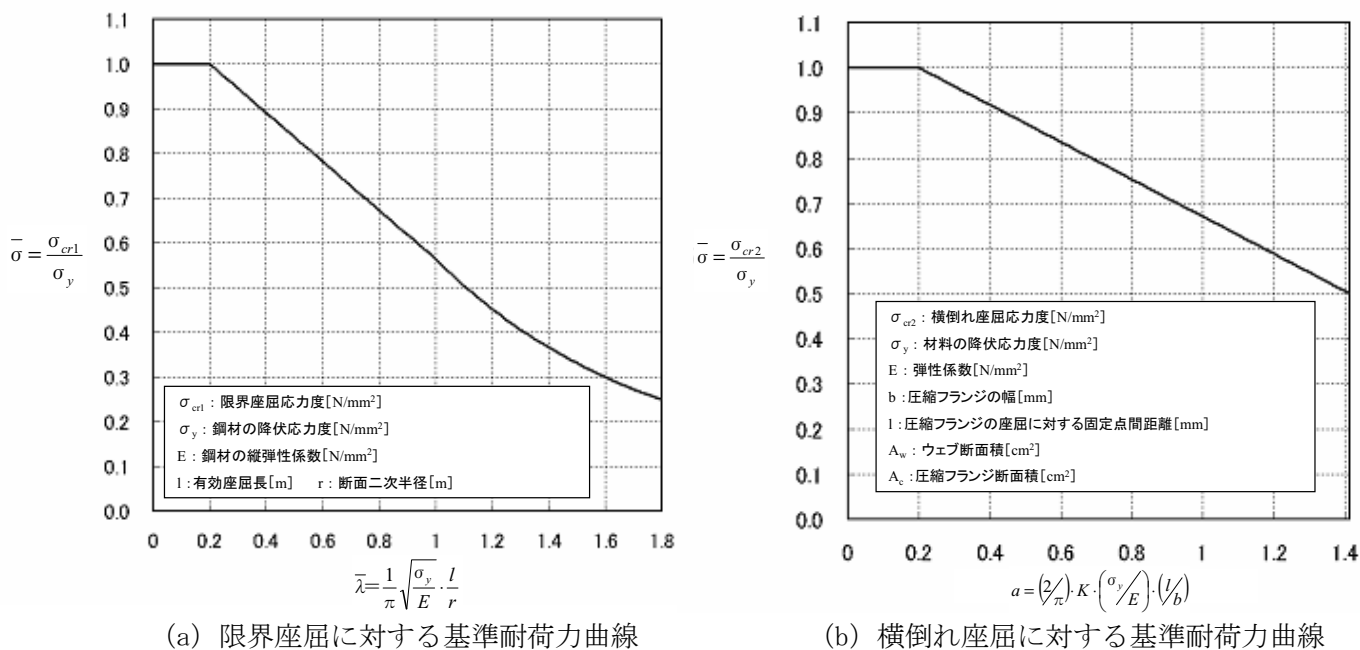
ゲート等の鋼構造物の照査における地震応答解析においては、鋼部材の座屈および塑性化に対する評価が重要となる。レベル2地震動に対する照査におけるこれらの具体的な考え方について以下に示す。

### 1. 座屈に対する検討

ゲート等の鋼構造物の照査においては、まず各構成部材を線形要素とみなした線形動的解析を行うことになるが、特に圧縮力を受ける部材については、部材の力学状態が弾性域にとどまり降伏が生じない場合でも座屈が生じた場合には耐力が大幅に低下する可能性がある。このため、線形動的解析の結果をもとに座屈に対する安全性を確認することが必要となる。

鋼部材の座屈に対する検討は、一般に全体座屈および局部座屈について以下により行われるが、ダムゲートの場合、全体座屈については、解析により得られた当該部材に生じる応力度と限界座屈および横倒れ座屈のそれぞれに対する基準耐荷力曲線（図—1.17.1）で示される座屈応力度を比較することにより評価することができる。なお、この基準耐荷力曲線は、ゲート等の設計に用いる許容軸方向圧縮応力度および許容曲げ圧縮応力度を算定する基準となるものとして『ダム・堰施設技術基準（案）』<sup>1)</sup>に示されているものである。

また、局部座屈については、当該部材の寸法等に関する諸要件（フランジおよびウェブの板厚、垂直補剛材の間隔、幅、板厚および断面二次モーメント、水平補剛材の断面二次モーメント）について『ダム・堰施設技術基準（案）』に示されているものを参照することにより評価することができる。



図—1.17.1 基準耐荷力曲線<sup>1)</sup>

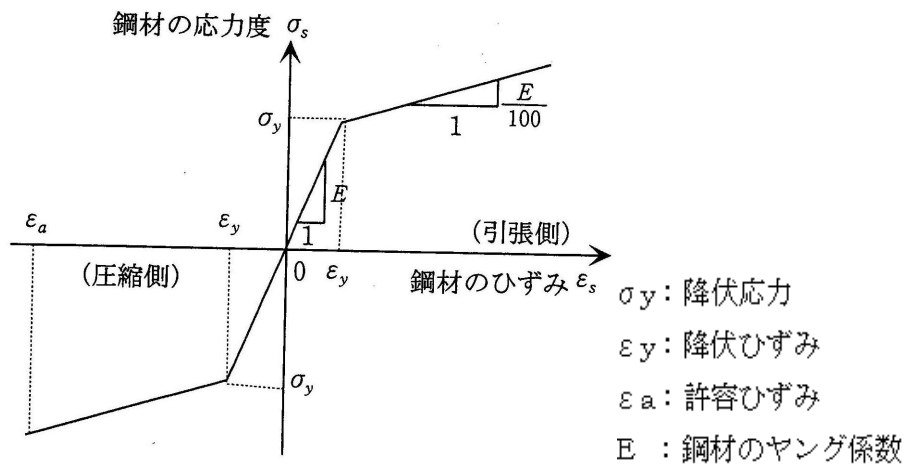
## 2. 塑性化に対する検討

線形動的解析の結果、圧縮部材が座屈を生じないと判断された場合でも、一部の部材において降伏点を超える最大応力が発生すると算定される場合には、部材の力学的状態が弾性域にとどまらず、塑性化を生じるものと考えられる。

このような場合、当該部材の塑性化による非線形挙動を適切に考慮できる部材の力学モデルを用いた非線形動的解析を行い、当該部材の塑性化が許容される範囲にとどまることを確認する必要がある。

### 2.1 塑性化部材の応力—ひずみ関係

鋼部材の非線形挙動を考慮した解析においては、鋼材の応力—ひずみ関係を適切に設定する必要がある。この関係は、当該部材を用いた载荷試験結果等をもとに設定することが望ましいが、そのようなデータが得られていないのが現状である。このため、例えば、道路橋の鋼製橋脚（コンクリートを充填しないもの）の耐震性能照査において用いられる応力度—ひずみ関係（降伏後の剛性を弾性域の 1/100 と仮定したバイリニア型モデル）（図—1.17.2）に準じて設定する方法などが考えられる。



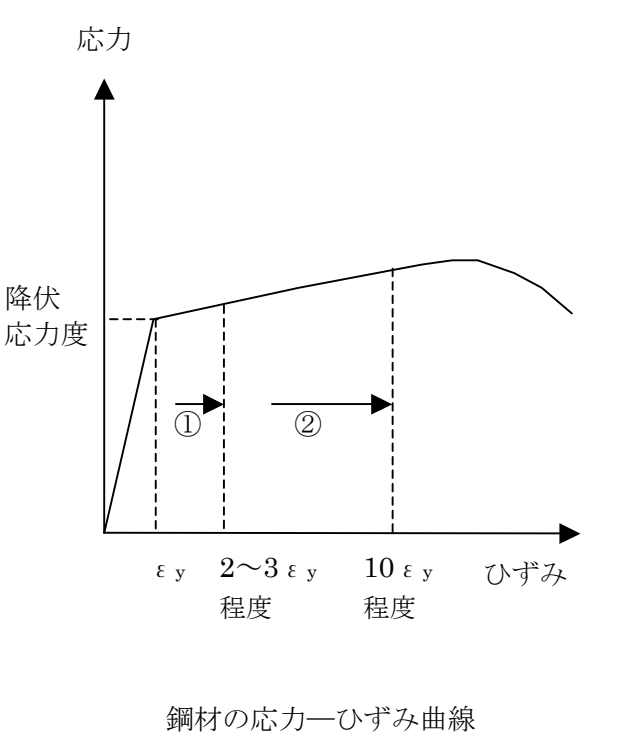
図—1.17.2 鋼材の応力度—ひずみ曲線（コンクリートを充填しない鋼製橋脚の場合）<sup>2)</sup>

### 2.2 許容される塑性化の範囲について

ゲート等の照査においては、各構成部材の重要度等に応じてそれぞれ許容できる塑性化の程度を設定することとしており、主要構造部材では主として応力—ひずみ関係で示される部材の力学的特性が「ほぼ弾性域内にとどまること」、また補助構造部材では多少の塑性化が生じても「限定的な塑性化にとどまること」を確認する必要がある。

このとき、一部部材の塑性化による非線形挙動を考慮した非線形動的解析により算定される各部材の応答値（最大発生応力）に対し、具体的に上記の条件が満足されているかを判断するには、部材の応力度が降伏点に達するときのひずみ（降伏ひずみ）と部材の塑性化による非線形挙動を考慮した非線形動的解析結果から得られる部材の最大ひずみの比（塑性率）を指標とし、ゲート部材同様の鋼材（H型鋼）についての既往の調査研究事例等<sup>3) 4)</sup>を参考に、表—1.17.1 に示す値をおおよその目安とすることが考えられる。

表一1.17.1 鋼部材に許容される限界の状態とその具体的な範囲の目安

区分	対応する部材の力学的状態	
① ほぼ弾性域内にとどまること	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生応力が降伏応力度以下もしくは降伏応力度をわずかに超える程度にとどまる状態。</li> <li>降伏ひずみ <math>\epsilon_y</math> に対し、最大ひずみが2～3倍程度以内</li> </ul>	 <p style="text-align: center;">鋼材の応力-ひずみ曲線</p>
② 限定的な塑性化にとどまること	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生応力が部分的に降伏応力度を超えるが、耐荷力に達するまでには余裕がある状態。</li> <li>降伏ひずみ <math>\epsilon_y</math> に対し、最大ひずみが10倍程度以内</li> </ul>	
③ 限定的な部分の破壊にとどまること	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた範囲の部材で、発生応力が耐荷力を超える状態。</li> </ul>	

参考文献

- 1) (社)ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）（1999）
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（2002）
- 3) 加藤ほか：局部座屈に支配されるH形断面鋼部材の耐力と変形能力, 日本建築学会構造系論文集, 第458号（1994）
- 4) 建設省建築研究所ほか：エネルギー法に基づく耐震性能評価法（2000）

## 資料 1—18 クレストゲート門柱部の照査

堤頂部に非常用洪水吐きを有するダムにおける門柱部は、堤体の一部であると同時に、クレストゲートを有するダムではその支持構造物となっている。このため、クレストゲートを有し、かつその敷高以上に常時の水位を有するダムにおいては、ゲート扉体の照査とともに門柱部についてもレベル2地震動を考慮した照査を行う必要があると考えられる。以下にレベル2地震動を考慮した地震応答解析による門柱部の照査にあたり参考となると思われる点を示す。

### 1. 解析モデル

地震応答解析により門柱部の照査を行うには、門柱部を含む堤体全体について3次元有限要素解析を行うことも考えられる。しかし、この方法では解析モデルが複雑で大規模なものとなることから、堤体部の本体とは切り離して門柱部分のみをモデル化し、その基部において堤体部の地震応答解析により得られる加速度応答を考慮する方法が考えられる。このような考え方による門柱部のモデル化例を図-1.18.1に示す。

なお、門柱部は一般に鉄筋コンクリート構造となっている。このため、コンクリートと鉄筋の双方を有限要素モデル化する方法が考えられるが、まず鉄筋を考慮しないモデルにより検討し、コンクリートのひび割れ等が予想される場合には、必要に応じ解析結果の評価の中で鉄筋の効果を考慮する方法がある。

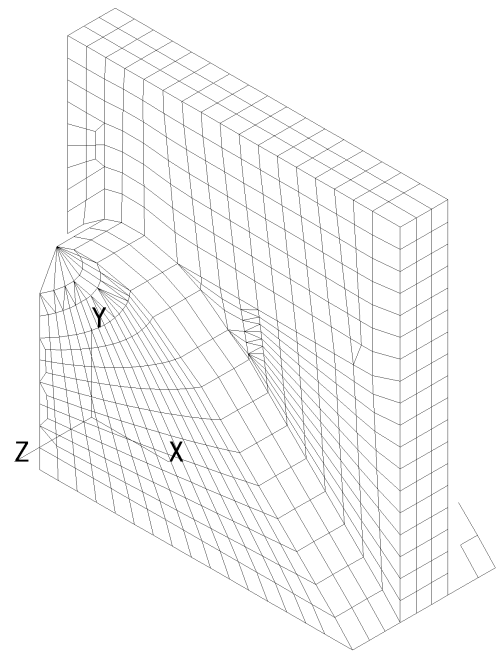


図-1.18.1 門柱部のモデル化の例

### 2. 解析方法等

門柱部の照査は、上下流方向およびダム軸方向のそれぞれについて地震動の影響を考慮して行う必要がある。

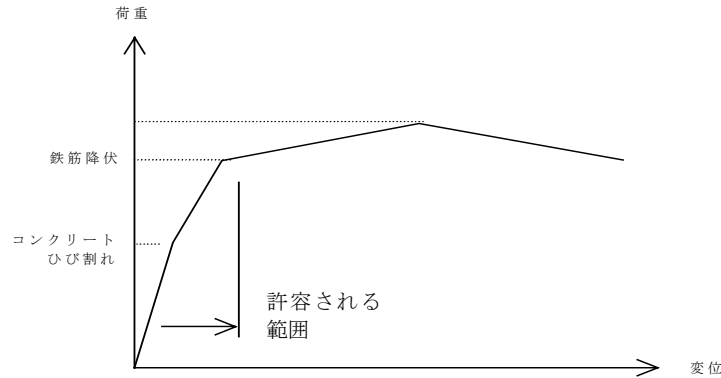
地震応答解析の手法としては、堤体部の動的解析結果から求まる堤体上の門柱基部における加速度応答（時刻歴波形）を入力地震動として門柱モデルに入力する動的解析による方法、および堤体部の動的解析結果から求まる堤頂部における最大応答加速度値に相当する静的荷重を地震力として考慮する静的解析による方法が考えられる。

### 3. 解析結果の評価

門柱部の照査においては、レベル2地震動により門柱部が損傷を生じないか、もしくは生じても限定的な部分の損傷にとどまることを確認する必要がある。これには、以上に示した地震応答解析等の結果をもとに、コンクリートの強度を超える応力が発生する可能性があるか、また、ある場合にはコンクリ

ートのひび割れ等を考慮し、さらに鉄筋の降伏が生じる可能性があるかについて検討する必要がある。

その結果、図一1.18.2 に示すようにコンクリートのひび割れが生じても、鉄筋は降伏応力度以下もしくは降伏応力度をわずかに超える程度にとどまる場合には、構造上問題となる可能性は低いと判断することができると考えられる。



図一1.18.2 門柱部（鉄筋コンクリート部材）の照査において許容される限界の状態

#### 4. その他の留意事項（ダム軸方向地震動の設定）

堤体部の解析は、アーチダムや特殊な形状のダム等で3次元モデルにより行われる場合を除き、多くの場合、上下流方向断面による2次元解析により行われるものと想定される。この場合、堤体上部における動的応答は上下流方向に対するものしか算定することができない。しかし、門柱部の照査では上下流方向、ダム軸方向双方に対する地震動の影響について検討しておく必要があると考えられる。このような場合、このうち、ダム軸方向の地震動成分については、当該ダムの基礎および堤頂部において強震時の地震動記録が得られていれば、その記録をもとに当該ダムの動的応答特性を勘案して設定することができる。

なお、このような記録がない場合には、例えば以下のような方法が考えられる。

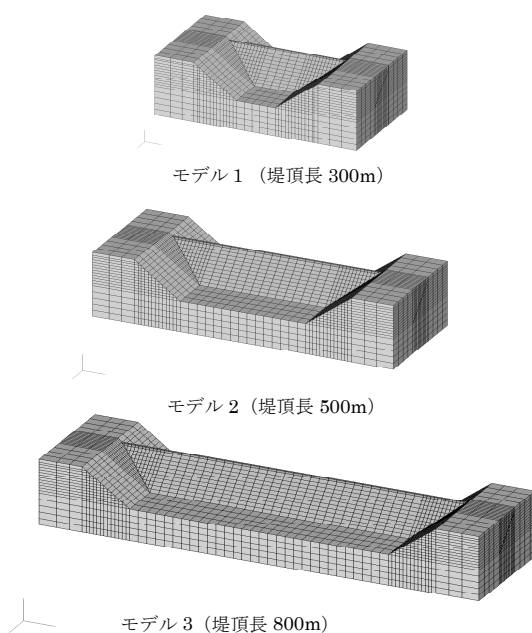
ダム軸方向については、加速度時刻歴波形として入力地震動を設定することはできないが、堤体部の2次元解析から求まる堤頂部における上下流方向の最大応答とダム軸方向の最大応答の関係（門柱の固有振動周期に対応するもの）があらかじめわかっているならば、堤頂部の上下流方向の最大応答からダム軸方向の最大応答を推定することができる。これにより、上下流方向およびダム軸方向に対する最大応答に相当する地震力をそれぞれ門柱部に対して上下流方向、ダム軸方向に作用する静的荷重として考慮する静的解析による照査が可能となる。

具体的に、堤高100mで堤頂長が異なる3種類の重力式コンクリートダムを想定した簡便な3次元モデル（図一1.18.3）を用い、レベル2地震動（ここでは、既往の強震記録波形を原種波形とし、下限加速度応答スペクトル（資料1-7）を有する地震動）を堤体基礎において上下流方向、ダム軸方向に同時に考慮し、堤頂部における上下流方向の最大応答とダム軸方向最大応答の関係を求めた結果を一例として図一1.18.4に示す。実務的には、このような検討結果を参照して、門柱部の固有値解析により求まる固有周期に対応する応答スペクトル比（上下流方向に対するダム軸方向の割合）を推定することにより、上下流方向に対してダム軸方向の照査において考慮すべき地震力の相対的な大きさを設定する方法が考えられる。

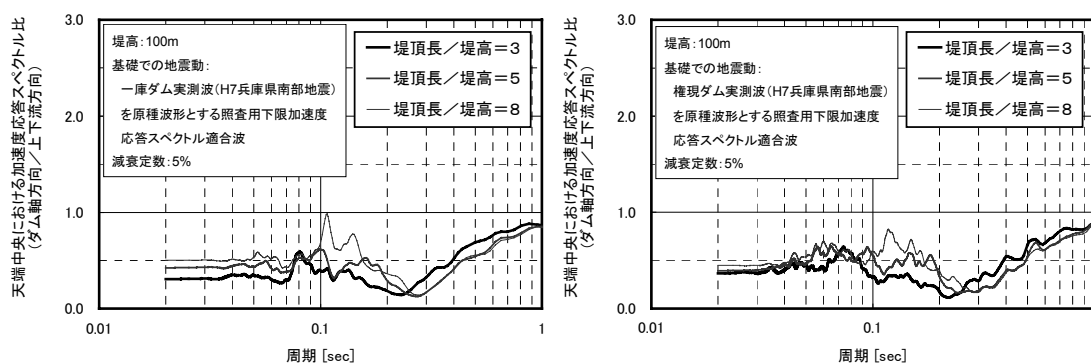
なお、図一1.18.4においては堤高に対する堤頂長の比が小さくなるほど応答スペクトル比が小さくな



っているが、これはダム軸方向に対しては谷幅が狭いダムでは兩岸地山による拘束効果の影響が大きくなることが一因と推測される。

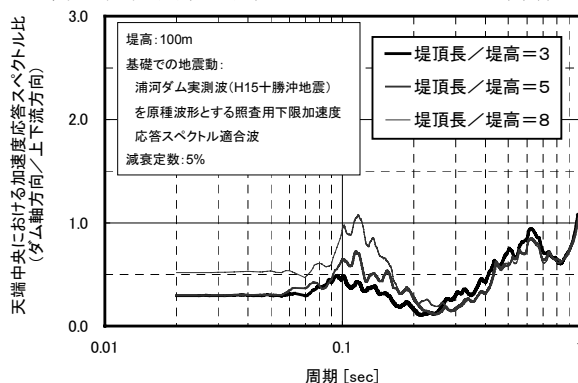


図一1.18.3 試算に用いた解析モデル（堤高=100m）



(a) 原種波形：一庫ダム実測波  
（平成 7 年兵庫県南部地震）

(b) 原種波形：権現ダム実測波  
（平成 7 年兵庫県南部地震）



(c) 原種波形：浦河ダム実測波（平成 15 年十勝沖地震）

図一1.18.4 堤頂部における上下流方向応答に対するダム軸方向応答の応答スペクトル比の試算例  
（図 1.18.3 に示す重力式コンクリートダムモデルの場合）

## 資料 1-19 ゲート以外の各種関連構造物等の照査

ゲート以外の各種関連構造物（取水塔、天端橋梁、管理棟および電気設備等）についての照査は、具体的に以下のような方法によって行うことができると考えられる。

### 1. 取水塔の照査

取水塔には、その設置位置により独立型、堤体設置型等があり、また材質により鋼製のものとコンクリート製のものがある。いずれの場合も、必要に応じ適切な解析モデルを用いた地震応答解析によってレベル2地震動に対する照査を行うことができる。なお、特に貯水池内に堤体と離れて設置される独立型の取水塔については、その構造上、地震時において堤体とは大きく異なる挙動をする可能性がある。

#### 1.1 鋼製取水塔

鋼製取水塔の照査は、ゲート同様、鋼部材を棒部材としてモデル化した3次元有限要素モデル（骨組みモデル）を用いた動的解析によることができる（図-1.19.1）。入力地震動については、取水塔が貯水池内に設置される場合には、モデル基部においてレベル2地震動を考慮することが考えられる。

なお、動的解析の手順としては、ゲート扉体の照査と同様、まず線形動的解析を行い、その結果算定される各部材の発生応力をもとに、まず圧縮力を受ける部材については座屈に関する検討が必要となる。その上で、一部部材で塑性化が生じる可能性がある場合は、当該部材の塑性化を考慮した非線形動的解析を行い、部材の塑性化が許容される範囲にとどまることを確認することが必要となる。

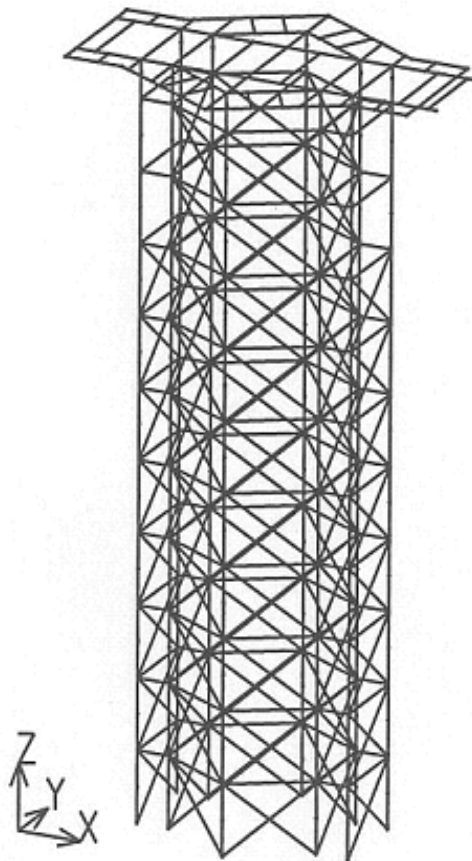
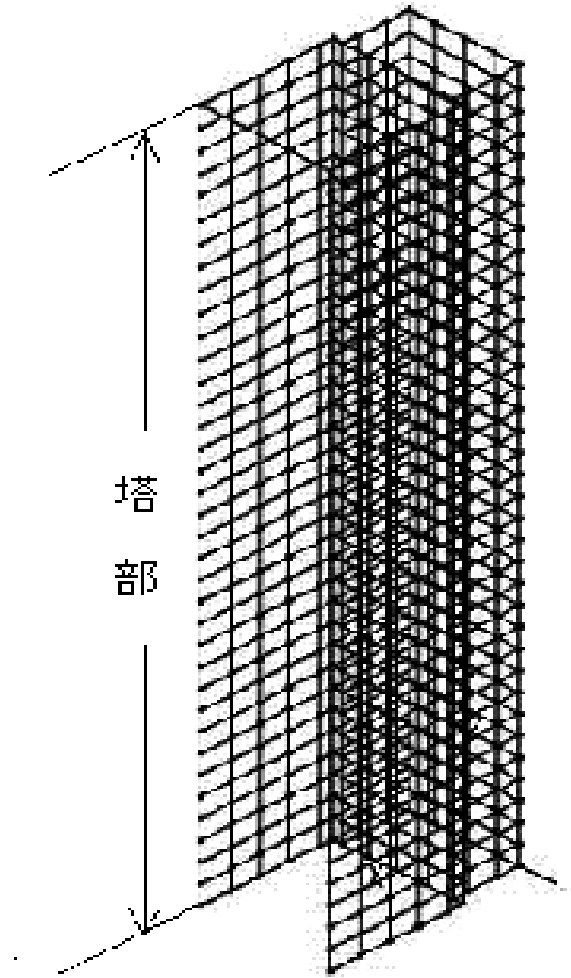


図-1.19.1 鋼製取水塔の解析モデルの例（骨組みモデル）

## 1.2 コンクリート製取水塔

コンクリート構造の取水塔の照査は、塔体の躯体構造を3次元シェルモデル等としてモデル化した3次元有限要素モデルを用いた動的解析等により行うことができる(図一1.19.2)。入力地震動の考え方については、鋼製取水塔の場合と同様、独立型の場合はモデル基部においてレベル2地震動を考慮することが考えられる。

なお、動的解析の結果は、算定される部材の発生応力をもとに、コンクリート部材の曲げ破壊やせん断破壊に対する安全性について検討するとともに、一部損傷が予想される場合等、必要に応じ鉄筋の効果についても考慮してその耐震性能を評価することが必要になる。



図一1.19.2 コンクリート製取水塔 (シェルモデル)

## 2. 天端橋梁の照査

レベル2地震に対するダム天端橋梁の照査では、落橋に対する安全性を照査することとなる。この落橋に対する安全性は、ダムの天端橋梁が門柱部(橋脚部)の上部構造に相当することから、一般に門柱部の照査における解析により算出される天端部の最大変位量と桁かかり長を比較することにより検討することができる。なお、アンカーバー等の変位制限構造が設けられている場合や、ジョイント等によって、門柱部(橋脚部)頭部に対し拘束されている場合には、必要に応じ、その効果についても考慮することができる。

### 3. 管理棟の照査

ダムの管理棟を含めた各種の官公庁施設（建築物）の耐震安全性の検討は、すでに『官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説』<sup>1)</sup>に基づき、「大地震動」を考慮して実施されている（同基準の解説によれば、「大地震動」とは、地動（地盤最大加速度）300～400gal 程度の地震動）。このため、管理棟の照査は、基本的に同基準等により大地震動を考慮した設計が行われていることを確認することにより行うことができる。

なお、同基準等による建築物等の耐震安全性の検討では、大地震動に対する構造体の耐震安全性の目標を施設の重要性等により分類し、分類に応じた耐震安全性の目標等を定めている（表—1.19.1）。これまでのダム管理棟の設計事例では、一般に施設の重要性を考慮し、人命の安全と機能の確保を図り、地震後も（大きな）補修を必要としないことを目標として、同分類の「Ⅰ類」または「Ⅱ類」として設計されており、同基準に基づき設計上確保すべき建築物の水平耐力（必要保有水平耐力）について、一定の割増しが考慮されている。

表—1.19.1 大地震動に対する構造体の耐震安全性の目標<sup>1)</sup>

耐震安全性の分類	耐震安全性の目標	対象施設
Ⅰ類	・大地震動後、構造体の補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られるものとする。	・災害応急対策活動に必要な施設及び危険物を貯蔵又は使用する施設のうち、特に重要な施設
Ⅱ類	・大地震動後、構造体の大きな補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて機能確保が図られるものとする。	・災害応急対策活動に必要な施設及び危険物を貯蔵又は使用する施設、多数のものが利用する施設等
Ⅲ類	・大地震動により構造体の部分的な損傷は生じるが、建築物全体の耐力の低下は著しくないことを目標とし、人命の安全確保が図られるものとする。	・Ⅰ類及びⅡ類に該当しない施設

### 4. 重要な電気設備等の照査

予備電源設備や配電設備、機側操作盤、開閉装置等、重要な電気設備等についての照査は、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確認する必要がある。

この検討は、対象設備の設置位置における地震時慣性力を堤体の地震応答解析結果等に基づき設定した上で、据付用基礎ボルトに作用する引抜き力およびせん断力を算定し、これをボルトのせん断強度や引抜き耐力等と比較することにより行うことができる。

#### 参考文献

1) 建設大臣官房官庁営繕部監修：官庁施設の総合耐震計画基準・同解説（平成8年版）