

高遠ダム関連構造物の耐震性能照査について

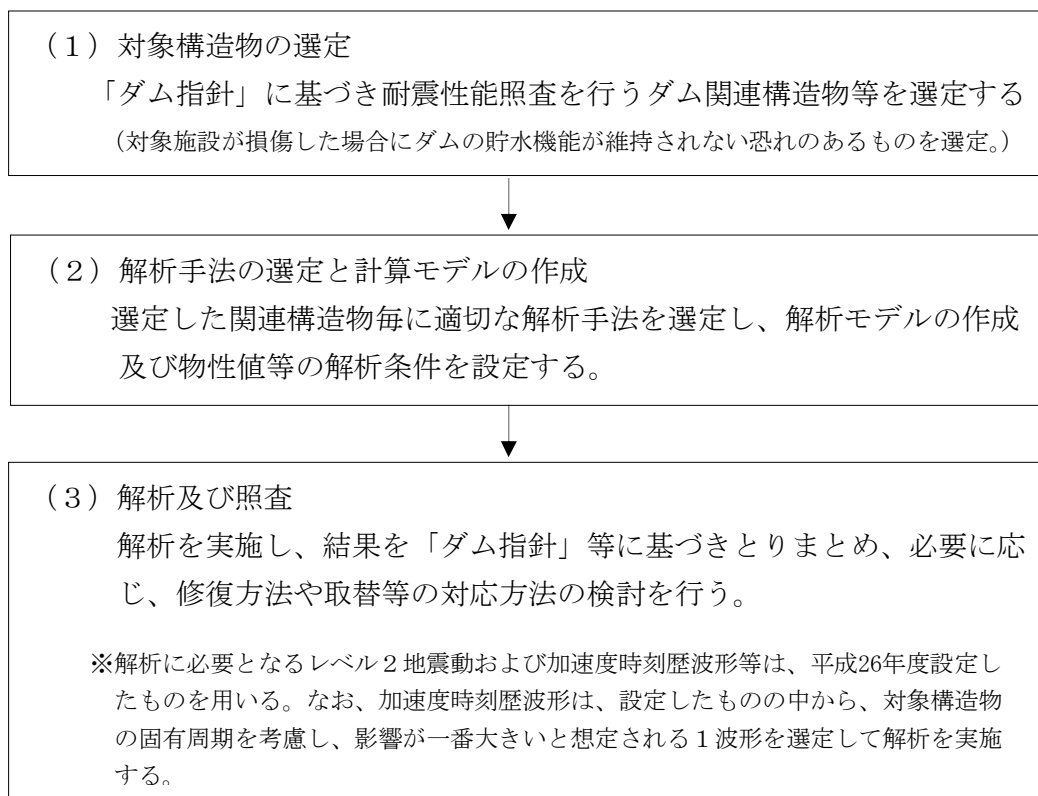
1 はじめに

高遠ダムは昭和 33 年に建設された重力式コンクリートダムである。当該ダムは、現行基準（「河川管理施設等構造令及び同令施行規則（昭和 51 年建設省河川局長通達）」と同じ震度法で設計されており一定の耐震性が確認されているが、長野県企業局では、近年の大規模地震に対する土木施設の耐震性の確保に対する社会的要請の高まりをうけ、より高い耐震性（安全性）を確認するため、今回、経済産業省所管「平成 27 年度再生可能エネルギー発電設備耐力調査費補助金」を活用し、強地震（レベル 2 地震動）に対する耐震性能照査を実施したものである。本報告では、その手法等について報告する。

2 照査概要

「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）（以下、「ダム指針」）および「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料（平成 17 年 3 月、国土技術政策総合研究所資料）」（以下、「国総研資料」）に基づき、ダム関連構造物の耐震性能照査を実施した。なお、対象地震動の選定・設定およびダム本体の耐震性能照査は、平成 26 年度に実施しており、ダム本体に損傷が発生しないことを確認している。

【関連構造物の耐震性能照査の流れ】



3 高遠ダムについて



高遠ダム主要諸元

所在地	長野県伊那市高遠町勝間
河川	天竜川水系三峰川
ダム形式	重力式コンクリートダム
堤高	30.9m
堤頂長	76.1m
堤体積	22,000m ³
流域面積	438.4km ² （直接377.4km ² 間接61.0km ² ）
湛水面積	24ha
総貯水容量	2,310,000m ³
有効貯水容量	500,000m ³
目的	かんがい、発電（春近発電所 最大出力23,600kW）
竣工年	1958年（昭和33年）

4 照査内容

4.1 対象構造物の選定

「ダム指針」に基づきダムの貯水機能が維持されないおそれのある構造物を耐震性能照査の対象として表-1のとおり選定する。また、各構造物位置を次頁に示す。

表-1 高速ダム関連構造物の耐震性能照査対象構造物の選定

指針に記載されている主なダム関連構造物		高速ダムの設備	照査対象構造物の選定（○：照査対象、－：照査対象外）	
			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
放流施設のゲート等	常用洪水吐きの主ゲート	・テンターゲート ・門柱（RC） B=10.0m × H=8.4m ×3門	○ 常時満水位が敷高より高く、損傷時には、制御できない貯水の流出が生じるおそれがある。	○ 緊急に水位を低下させる設備である。
	その他のゲート	左岸用水取水ゲート（スライドゲート） B=3.90m × H=3.70m ×2門	－ 放流能力は大きい、ゲート下流はトンネル水路の構造であるため、放流量はトンネル断面に制限を受け、損傷時に下流域への異常流出は生じない。	－ 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設備ではない。
		右岸用水取水ゲート（スライドゲート） B=2.40m × H=2.40m	－ ゲート下流はトンネル水路の構造であるため、放流量はトンネル断面に制限を受け、損傷時に下流域への異常流出は生じない。	－ 同上
		維持流量管ゲート（スライドゲート） B=0.60m × H=0.60m	－ 放流能力が小さく、損傷時においても下流域への異常流出は生じない。	－ 同上
		塵芥ゲート（スライドゲート） B=2.16m × H=1.90m	－ 同上	－ 同上
その他の関連構造物等	天端橋梁	・天端橋梁（PC）	○ 非常用洪水吐きの主ゲートの上部に設置されており、落橋時には主ゲートに重大な被害を与える恐れがある。	○ 同左
		・角落し橋梁（PC）	○ 非常用洪水吐きの主ゲートの上流側に設置されており、落橋時には主ゲートに重大な被害を与える恐れがある。	○ 同左

※他に重要な電気設備（予備電源設備、配電設備、操作盤設備）についても別途選定

4.2 解析手法の選定

前節で選定した構造物について、解析手法を表-2に示す。

表-2 高速ダム関連構造物の耐震性能照査項目と照査方法

対象構造物		高速ダムの設備	ダムの貯水機能が維持されないおそれがある構造物の損傷 (耐震性能照査の対象)	照査方法
放流施設のゲート等	常用洪水吐きゲート	テンターゲート B=10.0m×H=8.4m ×3門	部材の塑性化及び座屈	3次元F.E.M. 解析による応力度照査 (3次元シェルモデル)
			戸当り、固定部の重大な損傷	変位の照査 震度法による応力度照査
			開閉装置の移動・転倒	基礎ボルトの応力度照査
	門柱	R C	門柱全体の損傷 変形がゲートに与える影響	エネルギー一定則を用いた 静的非線形解析
構造物等 その他の関連	天端橋梁	P C	天端橋梁の落橋	桁掛け長の照査、
	角落し橋梁	P C	角落し橋梁の落橋	桁掛け長の照査

※重要な電気設備（予備電源設備、配電設備、操作盤設備）は、移動及び転倒について、基礎ボルトの応力照査により確認する。

4.3 解析及び照査

4.3.1 常用洪水吐きゲートの耐震性能照査

(1) 解析モデル

本検討においては、ゲートの各部材の損傷形態、損傷箇所及び降伏状態を把握するため、図-1 に示す3次元シェルモデルにより解析を行う。

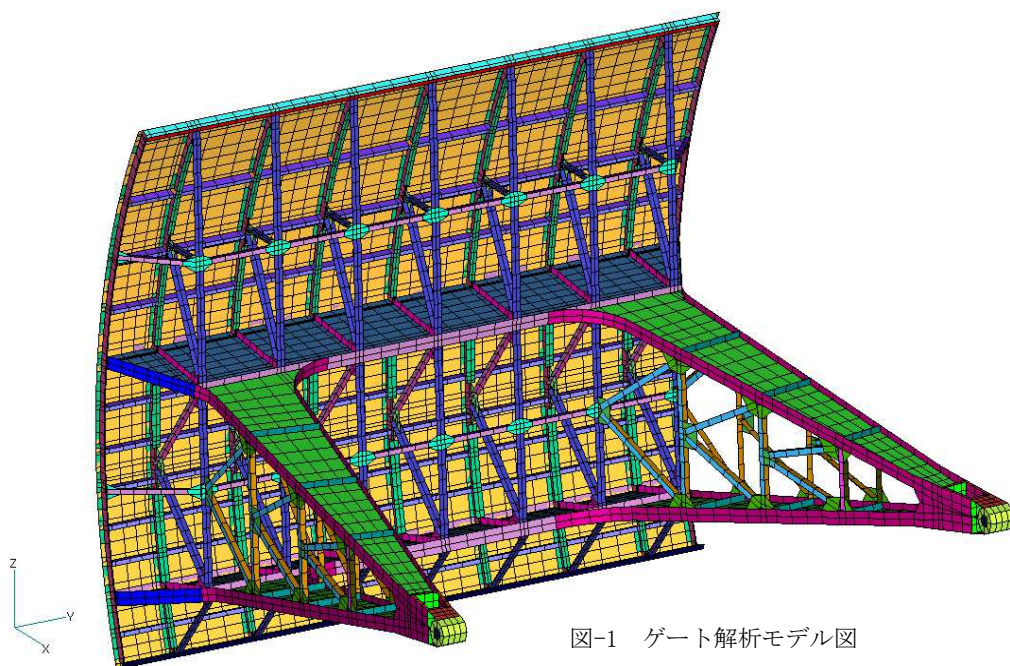


図-1 ゲート解析モデル図

(2) 常用洪水吐きゲートの耐震性能照査

常用洪水吐きゲートは、「ダム指針」に基づき、ゲート解析モデルの線形動的解析を行い、表-3に示す項目について照査を行った。また、脚柱反力を受ける固定部の部材等については、線形動的解析で得られた当該部材位置での最大支点反力を外力として考慮し、「ダム・堰施設技術基準（案）」等に準拠した構造計算により別途照査を行った。

図-2に「ダム指針」に基づく耐震性能照査の流れ、図-3に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を示す。

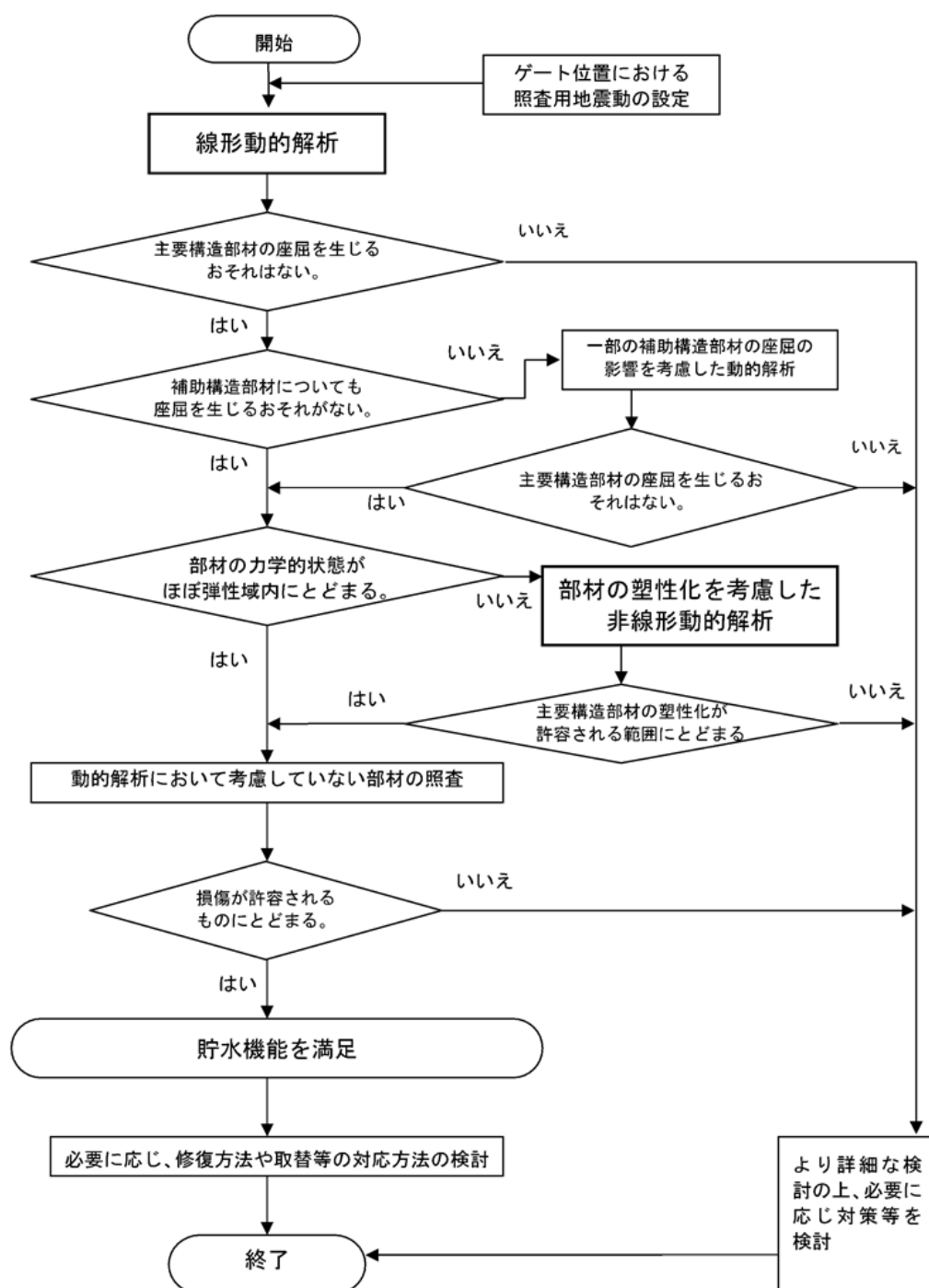
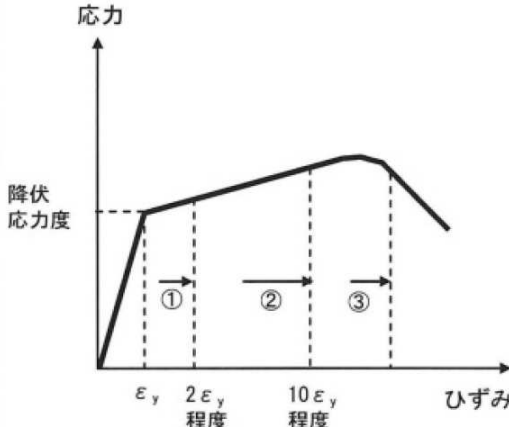


図-2 常用洪水吐の主ゲートの耐震性能照査の流れ（「ダム指針」 p. 25）

区分	対応する部材の力学的状態	
① ほぼ弾性域にとどまること	- 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 - 降伏ひずみ ε_y に対し、最大ひずみが2倍程度以内	 鋼材の応力-ひずみ曲線
② 限定的な塑性化にとどまること	- 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 - 降伏ひずみ ε_y に対し、最大ひずみが10倍程度以内	
③ 耐力や変形性能を確保できる限界の状態	最大耐力点をわずかに超えた状態で、さらに外力が作用した時に耐力が急激に低下し始める限界状態	

(大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料，土木研究所資料，第3965号，H17年3月，P.88を加筆修正)

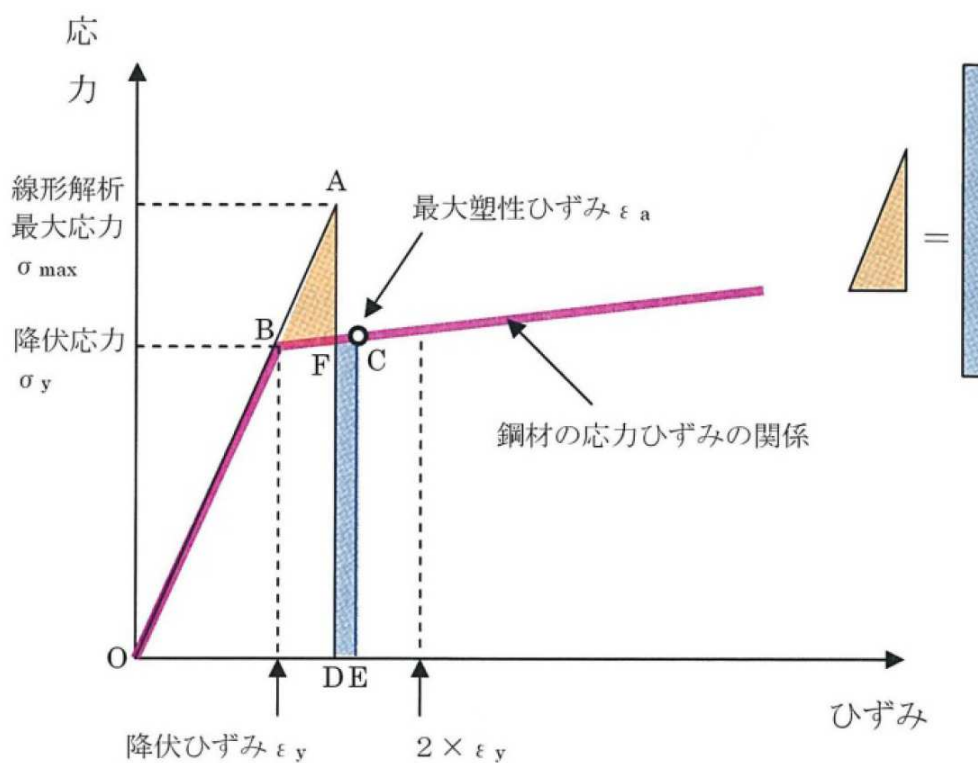


図-3 鋼部材に許容される限界の状態とその具体的な範囲の目安

表-3 常用洪水吐きゲートの照査項目

照査項目		照査内容
塑性化に対する照査	主要構造部材 (脚柱・横主桁)	力学的状態がほぼ弾性域内にあること。 (塑性率2.0以下)
	補助構造材 (その他部材)	限定的な塑性化にとどまる、または、ほぼ弾性域内にとどまること。(塑性率10.0以下)
座屈に対する照査	主要構造部材 (脚柱・横主桁)	座屈しない。 (部材発生応力度 $\leq$ 座屈応力度)
	補助構造材 (その他部材)	座屈しない。または、座屈した場合でも主要構造部材は座屈しない。(部材発生応力 $\leq$ 座屈応力度)
水密性に対する照査	戸当たり金物	戸当たり水密部の水密性が確保されること。 (ゲートの最大変位 $\leq$ 戸当たり金物幅)
固定部に対する照査	トラニオンピン	損傷しない。 (部材発生応力 $\leq$ 降伏応力度)
	アンカーレージ	損傷しない。 (部材発生応力 $\leq$ 降伏応力度)
開閉装置に対する照査	開閉装置	移動しない。 (ボルトの水平せん断応力度 $\leq$ 降伏せん断応力度) 転倒しない。 (転倒モーメント $\leq$ 抵抗モーメント)

4.3.1 ゲート門柱部及び上部橋梁（天端橋梁、角落し橋梁）の耐震性能照査

照査対象は、重力式コンクリートダム の堤頂部に設置されたクレストゲート門柱部およびそれにより支持される天端橋梁及び角落し橋梁である。ここでは、まずレベル2地震動によってダム本体（堤体）に設置された門柱部に生じる地震時応答を求めることにより門柱部に問題となる損傷が生じないことを照査し、さらにその結果に基づき天端橋梁及び角落し橋梁が落橋しないことを照査する。

(1) 解析モデル

解析モデルは1本柱モデルとし図-4にモデル図を示す。

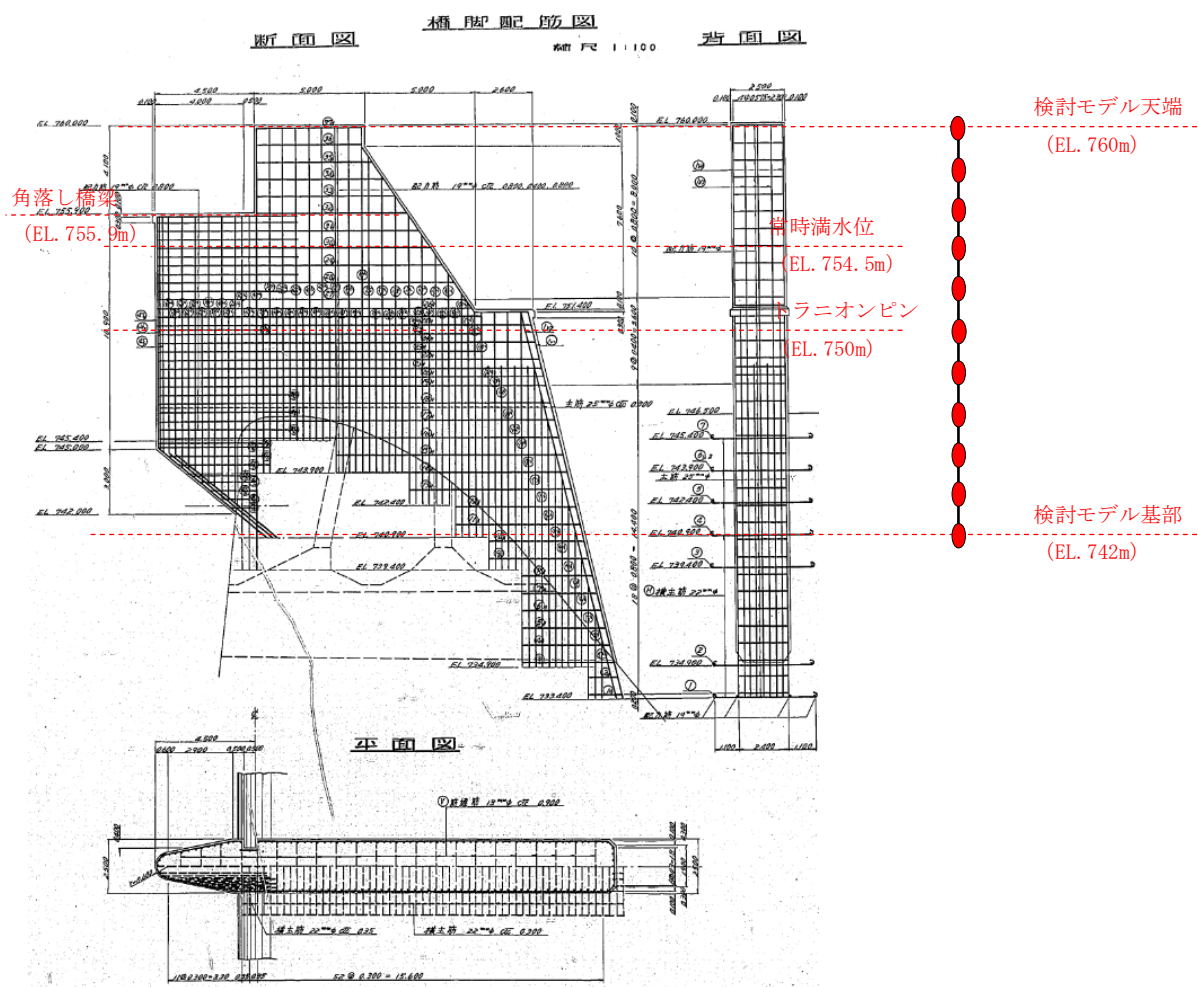


図-4 門柱解析モデル

(2) 門柱部の照査

門柱部の耐震性能照査は、非線形応答をエネルギー一定則により静的解析する方法（広義の地震時保有水平耐力法）により行う。なお、本門柱は、ダム堤体のクレスト上に設けられた門柱であり、一般の橋脚と比較して鉄筋量が少ない。そのため、本業務では、図-5に示す「大規模地震に対するダム耐震性能照査について」（三石・島本, ダム技術 No. 274(2009. 7), pp. 6-35)の照査フローに従い、低鉄筋構造物の特性を考慮した照査とし、表-4に示す項目について照査を行った。

解析に用いる設計水平震度は、堤体の地震応答解析で得られる門柱基部位置での加速度応答スペクトルより、門柱の上下流方向及びダム軸方向の固有周期にそれぞれ対応する値を用いて設定する。なお、ダム軸方向の加速度応答については（一財）ダム技術センター資料による堤高・堤頂長比 L/H と加速度応答スペクトル比の関係を用いて上下流方向の加速度応答スペクトルから算定した。

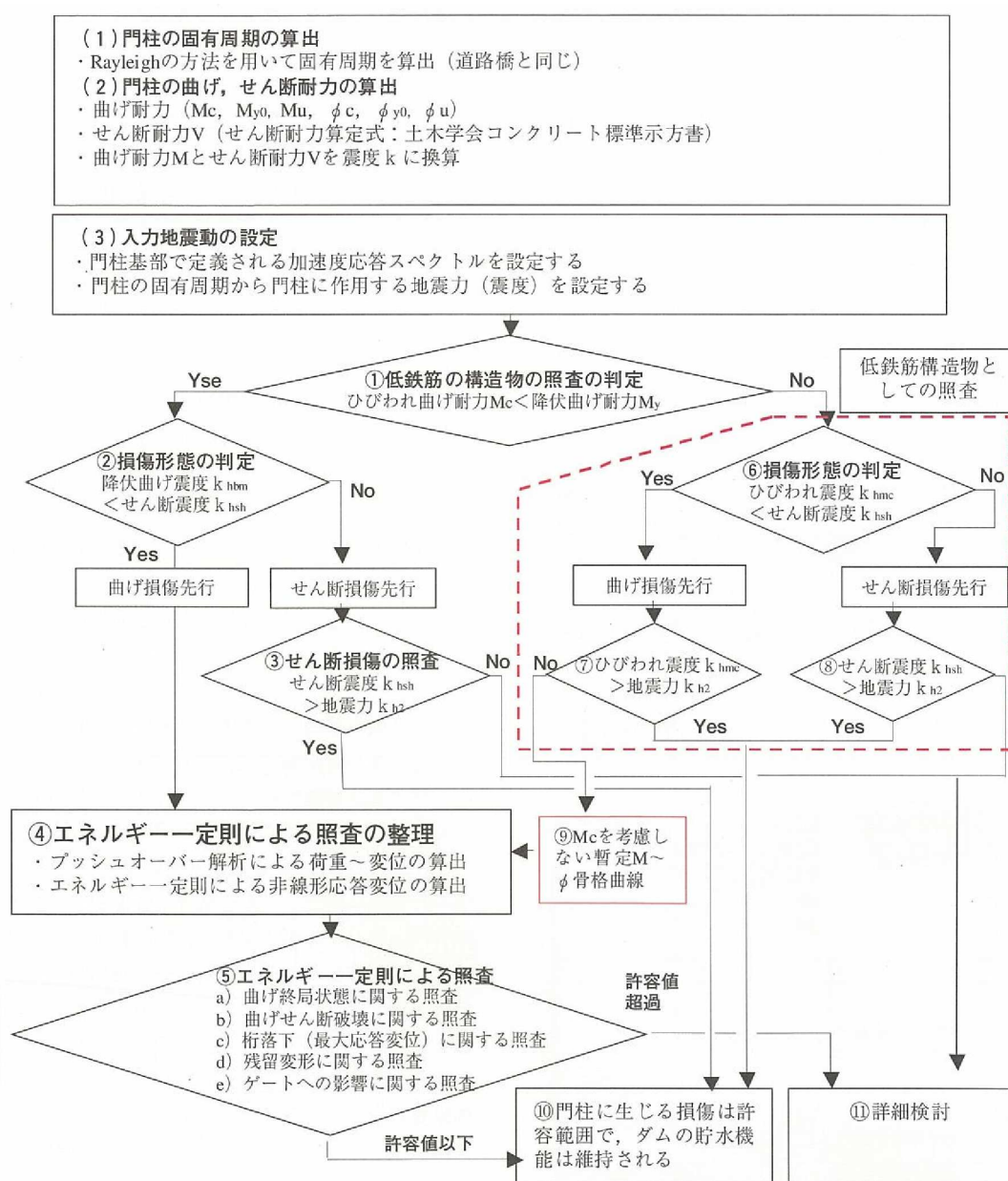


図-5 「大規模地震に対するダム耐震性能照査について」

（三石・島本, ダム技術 No. 274 (2009. 7) , pp. 6-35)

表-4 門柱部の照査項目

照査項目		照査内容
曲げ損傷 先行型	曲げ終局限界状態に対する照査	門柱に生じる最大応答変位が、終局変位以下にとどまることを照査する。
	曲げ降伏後のせん断破壊の照査	曲げ降伏後に地震によって生じるせん断力が、せん断耐力以下となるか（せん断破壊しないか）を照査する。
	桁落下に対する照査	門柱に生じるダム軸方向最大応答変位の2倍の変位が生じても門柱から桁が逸脱しないかを照査する。
	残留変位量に関する照査	門柱に生じる地震後の残留変形量が許容変形量以下にとどまるかを確認する。
	ゲートへの影響に関する照査	門柱に生じるダム軸方向最大応答変位が、門柱とゲートの遊間長以下にとどまるか確認する。
せん断損傷 先行型	せん断破壊の照査	地震によって生じるせん断力が、せん断耐力以下となるかを照査する。

5 おわりに

今回の耐震性能照査により、当該ダムにおけるダム関連構造物の強地震（レベル2地震動）に対する耐震性能を確認することが出来た。今後も、引き続き適切な維持管理を行い、公営電気事業者、ダム管理者としての社会的責任を果たしていきたい。