

資料 2-3 関連構造物等の照査例

関連構造物等の照査は指針（案）4章に基づき行うが、貯水機能が維持されることを確認するために必要となる地震応答解析等の実際を、本指針（案）の対象として想定される放流設備や各種の管理設備のうち代表的なものについて、以下の例により示す。

【資料 例 3-1】 ラジアルゲートの照査例

【資料 例 3-2】 ローラゲートの照査例

【資料 例 3-3】 取水塔の照査例

【資料 例 3-4】 門柱・天端橋梁の照査例

【資料 例 3-5】 機械・電気設備の照査例

【資料 例 3-1】 ラジアルゲートの照査例

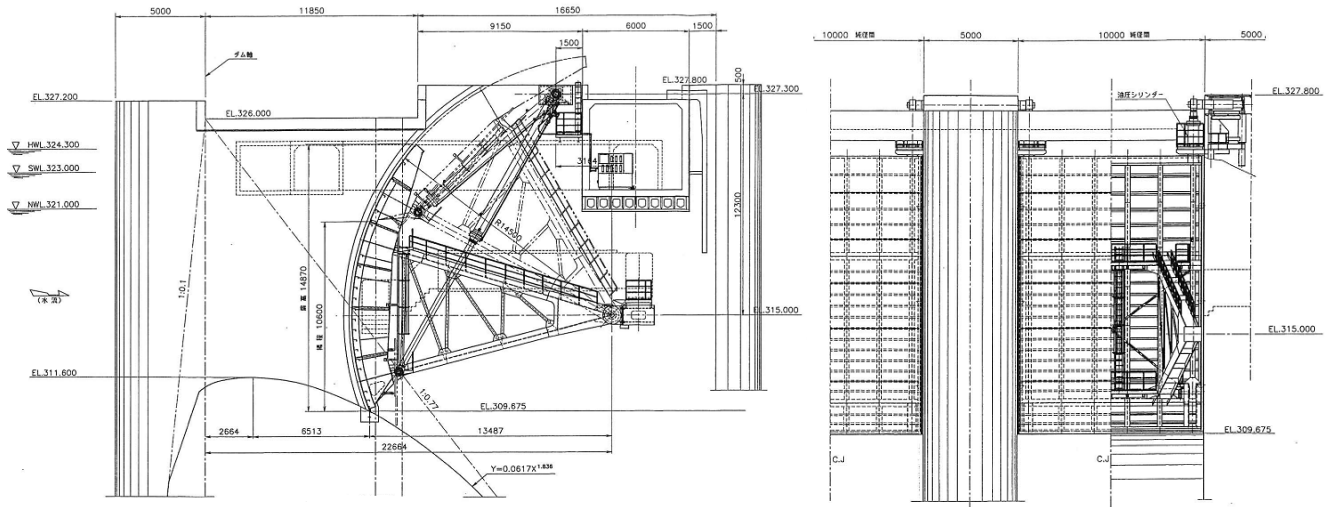
1. ゲート概要

照査対象は、重力式コンクリートダム（堤高 100.0m）堤頂部に非常用洪水吐きの主ゲートとして設置されたクレストラジアルゲートである。その諸元を表-例 3.1.1 に、また構造を図-例 3.1.1 に示す。

表-例 3.1.1 ゲート諸元

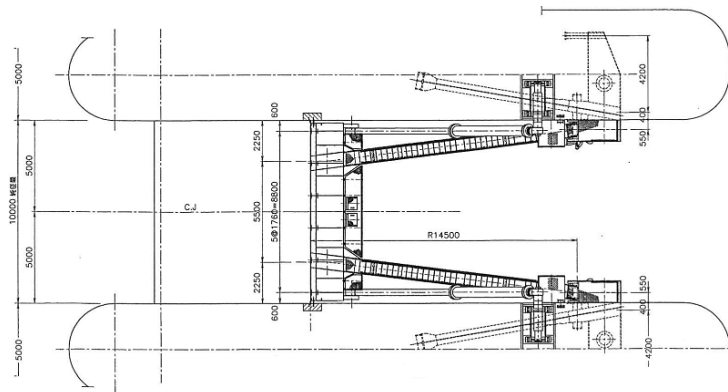
純径間	扉高	扉体半径	ゲート 敷高 ^{注)}	扉体中心軸 位置 ^{注)}	常時満水位 ^{注)}	開閉方式
10.000m	14.870m	14.500m	83.675m	89.000m	95.000m	油圧シリンダ 直吊り式

注) ダム基礎標高からの高さ



(a) 縦断面図

(b) 正面図



(c) 平面図

図-例 3.1.1 ゲート全体図

2. 照査に用いる地震動^{注)}

当該ダム地点において設定されたレベル2地震動に対するダム本体の地震応答解析により、当該ゲート設置位置（ゲートピン部）における応答加速度の時刻歴（最大加速度 1,267gal）を求め、それをゲートの照査における入力地震動として用いることとした。入力地震動の加速度時刻歴波形および応答スペクトルをそれぞれ図-例 3.1.2 および図-例 3.1.3 に示す。

注) ゲートの地震応答解析において考慮する入力地震動の成分としては、水平動（上下流方向成分とダム軸方向成分）および上下動（鉛直方向成分）が考えられるが、これまでの検討により、ゲートの地震応答解析では、一般に水平動の上下流方向成分の影響が支配的となることがわかっているため、本資料では堤体応答加速度の上下流方向成分を入力地震動とした場合について示す。

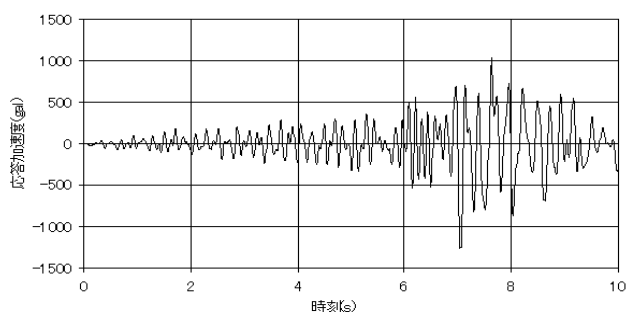


図-例 3.1.2 入力地震動の加速度時刻歴波形
(ゲート設置位置における応答加速度時刻歴)

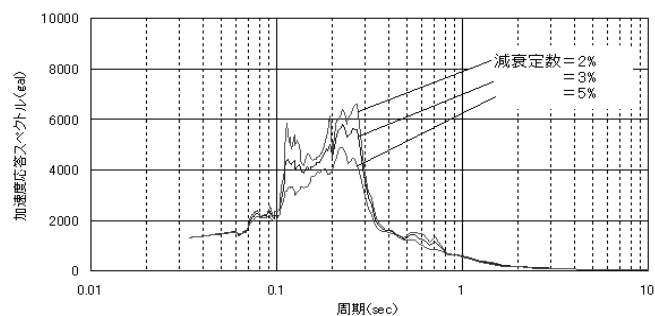


図-例 3.1.3 入力地震動の応答スペクトル

3. 地震応答解析による照査

3.1 解析モデルおよび解析条件

(1) 解析モデル

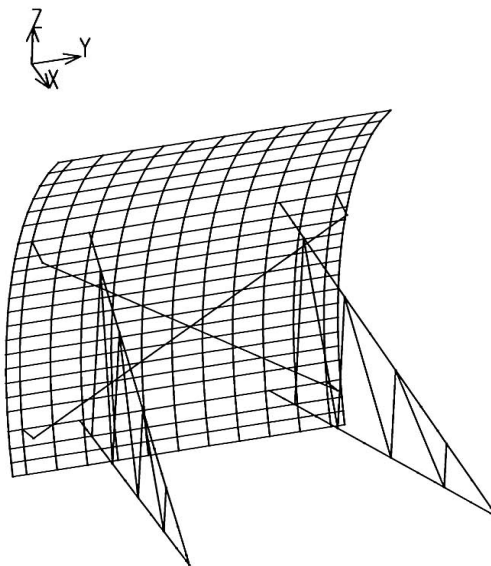
図-例 3.1.1 に示したゲートの構造および表-例 3.1.2 に示す各部材の部材定数をもとに、図-例 3.1.4 に示すような 3 次元有限要素モデル（骨組みモデル）を作成した。なお、モデル化の対象とした部材は表-例 3.1.2 に示す扉体の各構造部材（架構部の主要構造部材（横桁、縦桁、脚柱）および補助構造部材（縦補助桁、ブレーシング材））および受圧部（スキンプレート）である。その他の部材（固定部（トラニオン、アンカレッジ）、戸当り部、水密部）については直接モデル化せず、動的解析により得られた反力を用いた構造解析により照査を行うこととした。なお、トラニオンピンについてはその重量を集中荷重として考慮することとした。

以降の検討において、座標軸は、図-例 3.1.4 に示すように上下流方向を X、ダム軸方向を Y、鉛直方向を Z とする。

表一例 3.1.2 部材定数

部材名称	断面番号	断面形状 (mm)				断面積 A (cm ²)	断面 2 次モーメント		ねじり定数 J (cm ⁴)	
		H	B	TW	TF		I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)		
脚柱	一般	1	H - 800	× 550	× 36	× 32	617.0	8.90E+04	6.39E+05	8.33E+05
	トコナシ付近	2	H - 800	× 550	× 40	× 40	728.0	1.11E+05	7.60E+05	9.41E+05
脚柱トラス	鉛直材	11	H - 776	× 150	× 9	× 12	103.7	6.80E+02	8.44E+04	1.30E+05
	斜材	12	H - 776	× 150	× 9	× 12	103.7			
		13	PL - 720			32	230.4	1.97E+02	9.95E+04	3.98E+05
横桁	メイン主桁	101	H - 1800	× 400	× 19	× 22	509.6	2.36E+04	2.25E+06	3.52E+06
	最上ライ	111	□ - 600	× 150	× 16	× 22	155.0	2.49E+03	7.81E+04	9.66E+04
	最下ライ	112	□ - 400	× 140	× 14	× 22	111.4	2.11E+03	2.73E+04	2.51E+04
	中間横梁	120	□ - 200	× 80	× 7.5	× 11	31.0	1.94E+02	1.93E+03	1.79E+03
縦桁 ※1	基本形	311	I - 1800	× 260	× 9	× 16	242.3	1.08E+06	4.70E+03	1.68E+06
		351	I 828	260	× 9	× 16	154.8	1.75E+05	4.69E+03	1.70E+05
		352	I 1216	260	× 9	× 16	189.8	4.24E+05	4.69E+03	5.17E+05
		353	I 1477	260	× 9	× 16	213.3	6.70E+05	4.70E+03	9.24E+05
		354	I 1640	260	× 9	× 16	227.9	8.60E+05	4.70E+03	1.27E+06
		355	I 1738	260	× 9	× 16	236.7	9.89E+05	4.70E+03	1.51E+06
		356	I 1787	260	× 9	× 16	241.2	1.06E+06	4.70E+03	1.64E+06
		357	I 1864	260	× 9	× 16	248.1	1.17E+06	4.70E+03	1.86E+06
		358	I 1985	260	× 9	× 16	259.0	1.37E+06	4.70E+03	2.25E+06
		359	I 2083	260	× 9	× 16	267.8	1.54E+06	4.70E+03	2.61E+06
		360	I 2154	260	× 9	× 16	274.2	1.67E+06	4.70E+03	2.89E+06
		361	I 2202	260	× 9	× 16	278.5	1.76E+06	4.70E+03	3.08E+06
		362	I 2226	260	× 9	× 16	280.7	1.81E+06	4.70E+03	3.19E+06
		363	I 2229	260	× 9	× 16	280.9	1.81E+06	4.70E+03	3.20E+06
		364	I 2213	260	× 9	× 16	279.5	1.78E+06	4.70E+03	3.13E+06
		365	I 2176	260	× 9	× 16	276.2	1.71E+06	4.70E+03	2.98E+06
		366	I 2121	260	× 9	× 16	271.2	1.61E+06	4.70E+03	2.75E+06
		367	I 2049	260	× 9	× 16	264.7	1.48E+06	4.70E+03	2.48E+06
		368	I 1961	260	× 9	× 16	256.8	1.33E+06	4.70E+03	2.17E+06
		369	I 1856	260	× 9	× 16	247.4	1.16E+06	4.70E+03	1.84E+06
	370	I 1278	260	× 9	× 16	195.3	4.76E+05	4.69E+03	5.99E+05	
	371	I 672	260	× 9	× 16	140.8	1.09E+05	4.69E+03	9.74E+04	
	372	I 493	260	× 9	× 16	124.7	5.47E+04	4.69E+03	4.81E+04	
側縦桁		301	□ - 600	× 111	× 14	× 22	126.7	6.09E+04	1.03E+03	8.22E+04
ブレース		401	L - 90	× 90	× 10		17.0			
剛域		50				10000.0	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	

部材名称	断面番号	断面形状 (mm)	板厚 t (mm)
スキムプレート	500	PL - 13	13.0



図一例 3.1.4 解析モデル

(2) 解析条件

解析に用いたゲート構成部材（鋼材）の物性値を表-例 3.1.3 に示す。

貯水位およびゲートの状態は、ダム本体の照査において考慮した通常時の水位で、最も本ゲートに影響が大きいと考えられる常時満水位における全閉状態とした。

なお、動水圧の影響については、重力式コンクリートダム堤体の 2 次元動的解析（貯水を非圧縮流体と仮定）によって求められた堤体上流面の応答加速度と、貯水池の動水圧マトリックスを用いて動水圧の時刻歴を算出し、それをゲートのスキンプレート面の各節点において、スキンプレート面垂直方向に入力することによって考慮した^{注1)}。

また、解析モデルの境界条件は、ゲートの構造を考慮して表-例 3.1.4 のとおり設定した。

以上の条件のもとで、ゲート支点であるトラニオンピン位置から 2. で設定した入力地震動を入力した^{注2)}。

注 1) 一般にゲートの固有振動周期が堤体の固有振動周期に対して十分短い場合、ゲートの振動によって生じる動水圧がゲートの挙動に及ぼす影響は、近似的に堤体の応答によって生じる動水圧をゲートに対し外力として考慮することで、実用上妥当な精度で評価することができる。なお、堤体およびゲートの固有振動周期は、固有値解析により確認する必要がある。
注 2) 本事例では、解析用プログラムとして汎用有限要素解析コード“ASIST”を用いた。

表-例 3.1.3 ゲート構成部材（鋼材）物性値

部位	材質	単位体積重量 [kN/m ³] ^{注1)}	弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比	降伏応力度 ^{注2)} [N/mm ²]
架構部 (構造部材)	SM400 SS400	77.0	2.06×10^5	0.3	235
受圧部 (スキンプレート)	SM490	77.0	2.06×10^5	0.3	315

注 1) モデル化しない部材があることにより合計重量が実際より小さくなるため、合計重量が実際の値に等しくなるよう調整した。
注 2) 鋼材の降伏応力度は、『ダム・堰施設技術基準(案)』に記載されている設計基本強度（安全率を考慮して設計に用いる許容応力度を定める際に基準とされた強度）と同じ値とした。

表-例 3.1.4 解析モデルの境界条件

部位	変位			回転		
	X 軸方向	Y 軸方向	Z 軸方向	X 軸まわり	Y 軸まわり	Z 軸まわり
下部戸当たり部	自由	固定	非線形ばね ^{注1)}	自由	自由	自由
トラニオンピン	剛ばね ^{注2)}	固定	剛ばね ^{注2)}	固定	剛ばね ^{注2)}	自由
側面	自由	固定	自由	自由	自由	自由

注 1) ばね定数：上向き 1.0×10^8 [kN/m]、下向き 1.0×10^8 [kN/m]

注 2) ばね定数： 1.0×10^8 [kN/m]

3.2 固有値解析

本ゲートの周波数応答特性を確認するため、図-例 3.1.4 に示した解析モデルを用いて固有値解析を行った。その結果として、加振方向である上下流方向の変形に着目した場合に主要な振動モードと考えられる振動モードを表-例 3.1.5 に示す。なお、ダム本体に関する地震応答解析の際に実施した固有値解析により得られたダム本体の基本固有振動数（1 次モード）は、4.16Hz（固有周期 0.24sec）であり、本ゲートの固有振動数はダム本体のそれに比べ十分高いことがわかる。

表-例 3.1.5 主な固有振動モード

次数	固有振動数 [Hz]	固有周期 [sec]	有効質量比
1	17.75	0.056	0.090
7	32.15	0.031	0.297
10	39.73	0.025	0.330

3.3 線形動的解析

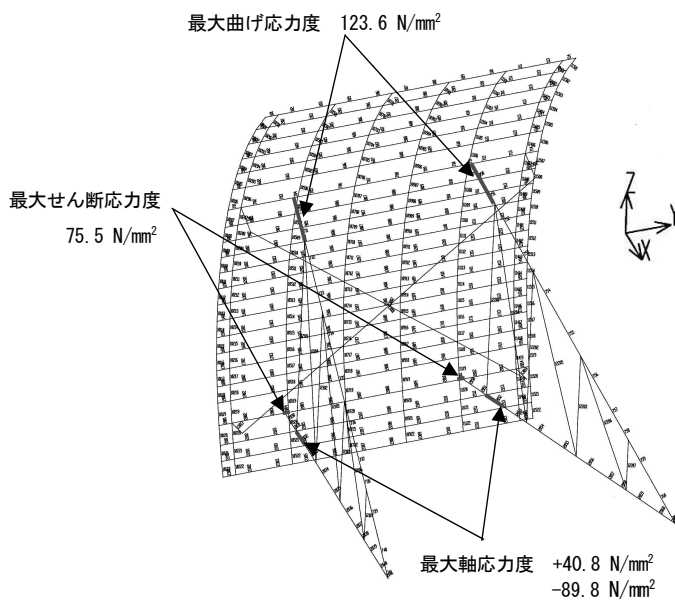
各部材（鋼材）の応力－ひずみ関係を線形として扱う線形動的解析（減衰定数=2%^{注）}により、各部材の応答変位および発生応力の時刻歴を求めた。なお、圧縮力による部材の座屈については考慮しない。

架構部の各構造部材における発生応力について、軸方向、曲げおよびせん断の各応力度についてそれぞれ最大応答が生じた部材の位置とその最大応答値を図一例 3.1.5 に示すが、いずれも表一例 3.1.3 の降伏応力度を下回っている。なお、架構部の各構造部材降伏に対する照査は、以下の(1)に示すように、合成応力度により実施した。

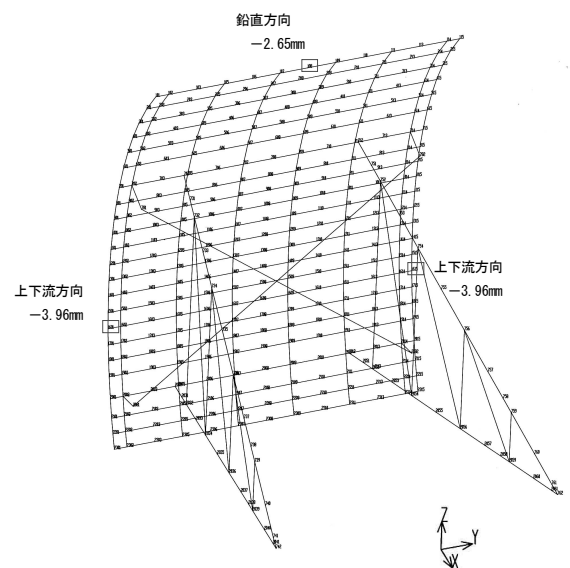
架構部の各構造部材の応答変位について、上下流方向および鉛直方向にそれぞれ最大応答変位が生じた部材の位置とその最大応答値を図一例 3.1.6 に示す。最大値は 4mm 程度（側部戸当たり、上下流方向）である。

スキンプレート部材について、最大の応力が発生した部材の位置と応力値を図一例 3.1.7 に示すが、いずれも表一例 3.1.3 の降伏応力度を下回っている。

注) 構造的に類似すると考えられる道路橋（鋼橋上部構造）の設計基準（『道路橋示方書・同解説』V耐震設計編において示されている線形域での解析用参考値（2～3%））を参考に設定した。

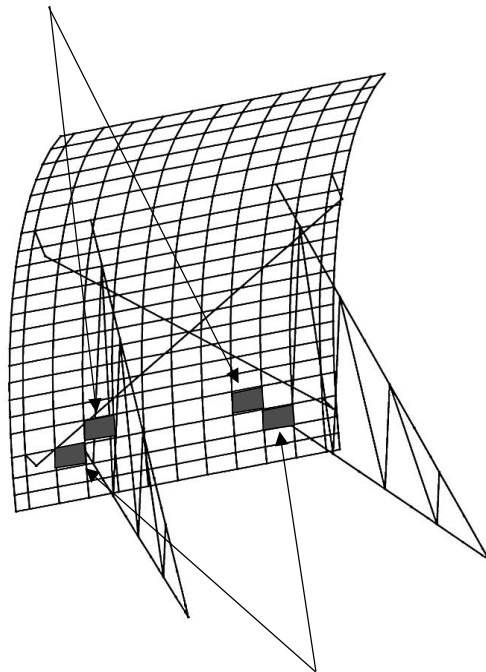


図一例 3.1.5 最大発生応力（架構部）



図一例 3.1.6 最大応答変位（架構部）

最小主応力度 σ_3 -12.9 N/mm²
 最大せん断応力度 τ 7.4N/mm²



最大主応力度 σ_1 7.4 N/mm²

図一例 3.1.7 最大発生応力（スキンプレート）

(1) 降伏に対する照査

各部材の降伏（塑性化）に対する照査は、上記の線形動的解析の結果得られた各部材における発生応力（絶対値の最大値）をもとに次式により部材ごとの合成応力度を算定し、これを表一例3.1.3に示した各部材の降伏応力度と比較することによって行った。なお、部材の降伏応力度は、曲げモーメントおよび軸方向力による垂直応力とせん断力が同時に生じることを考慮し、次式により算定した。

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2} \quad \text{-----} \quad \text{(例3.1.1)}$$

ここに、 σ_g : 合成応力度 [N/mm²]

σ_1 : 曲げモーメントおよび軸方向力による垂直応力度（引張を正とする） [N/mm²]

τ : 曲げおよびねじりによるせん断応力度 [N/mm²]

以上による扉体の構成部材の降伏に対する照査結果を表一例3.1.6に示す。各部材の位置は図一例3.1.8に示すとおりである。いずれの部材においても最大発生応力の合成応力度は降伏応力度を下回ることから、圧縮力による座屈を考慮しない場合、本ゲートでは構造部材の降伏（塑性化）が生じるおそれはないものと判断される。