

### 6.1.2 洪水吐ゲートの耐震性能照査事例

レベル 2 地震動に対する洪水吐ゲートの耐震照査事例を示す。

#### 【事例 2-1】ラジアルゲートの照査例

## 【事例 2-1】ラジアルゲートの照査例

### 1. 検討概要

洪水吐ゲートの耐震設計においては、ダム本体の線形動的解析結果より得られたゲートに作用する動水圧を設計荷重として耐震照査を行う。以下に検討概要を示す。

(本検討では、ゲートの耐震照査と併せて、堤体についても解析を実施しているが、その内容は割愛する)

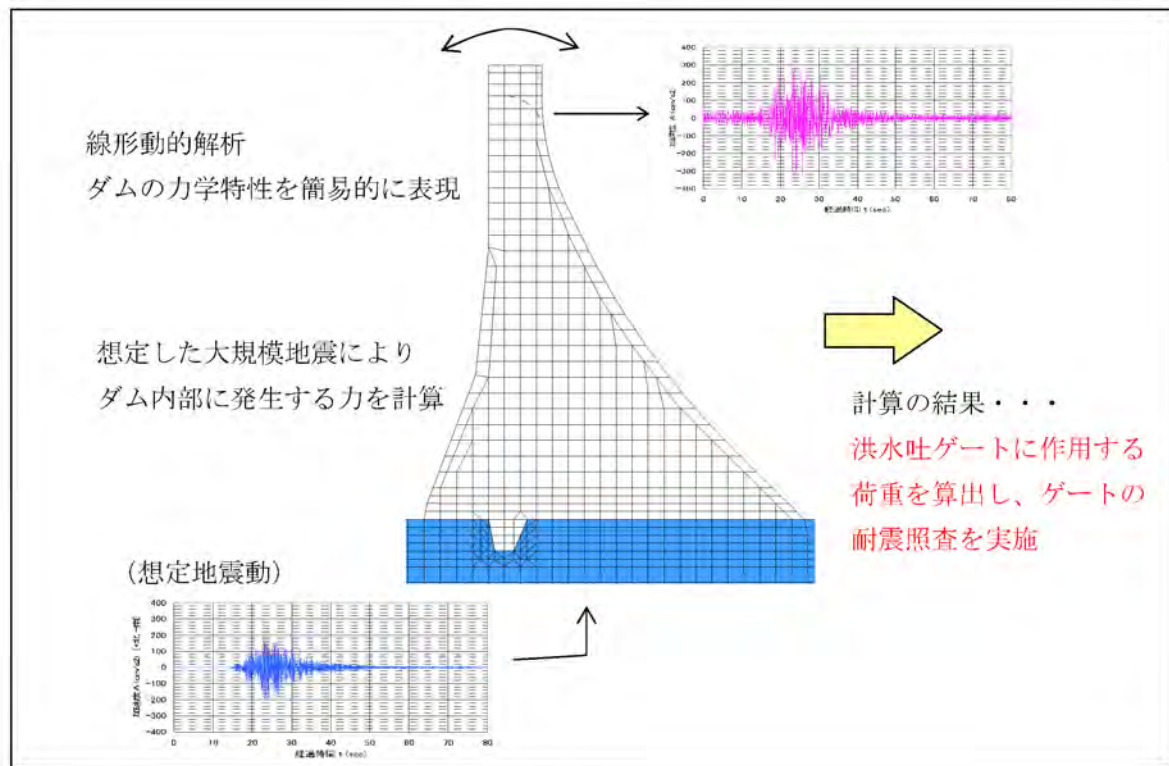


図 6.1.2-1 クレストゲートの耐震性能検討概要

## 2. 解析に用いるレベル 2 地震動

解析に用いる想定地震波（ダム堤体基礎への入力地震動）は以下のように設定した。

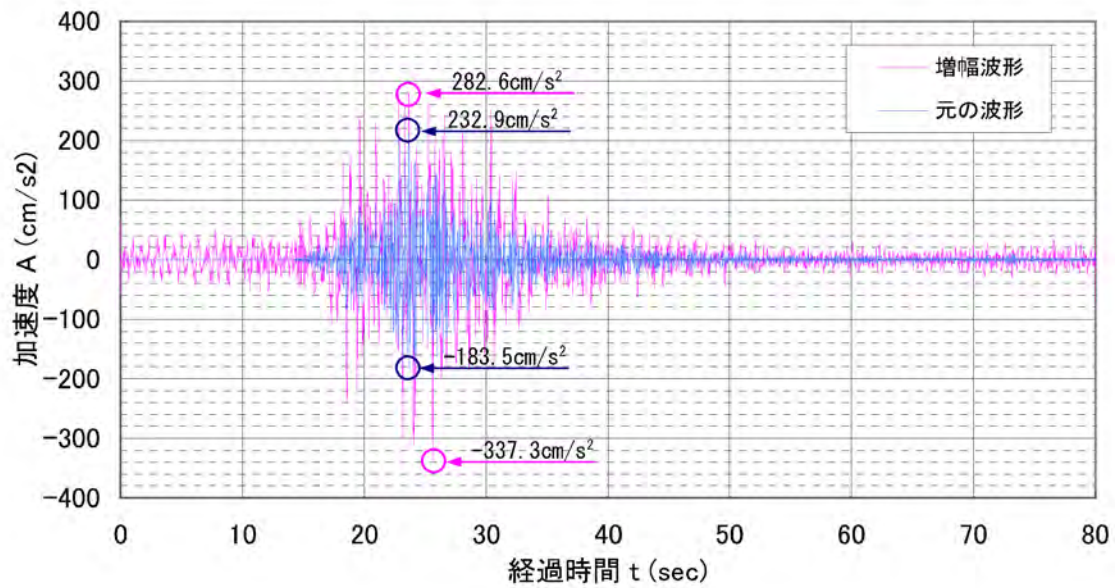


図 6.1.2-2 安全照査用の増幅波形（レベル 2 地震動）

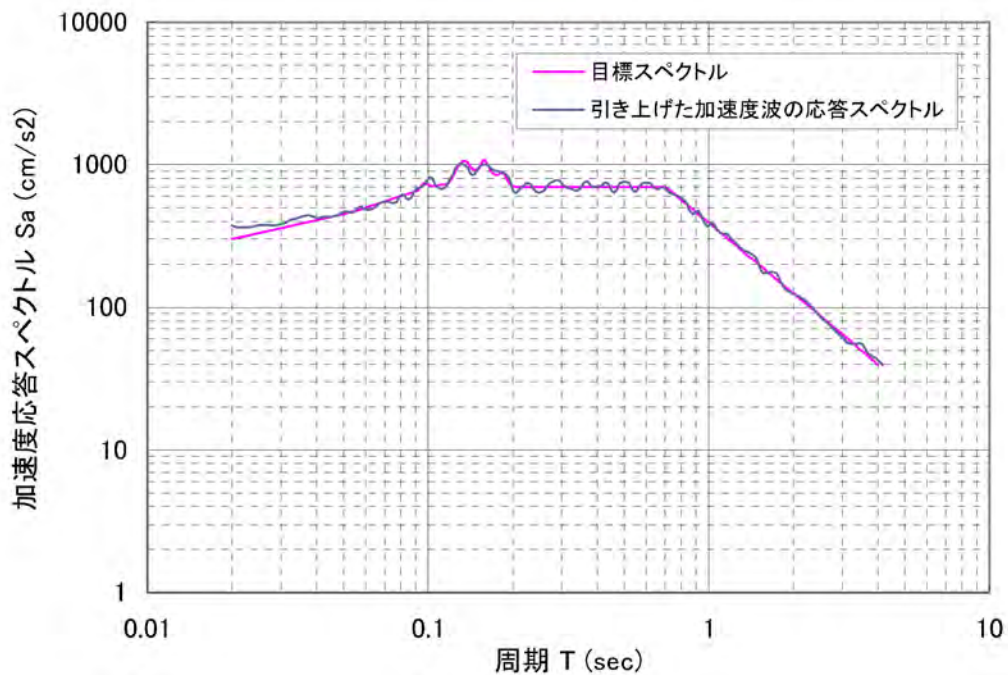


図 6.1.2-3 照査用波形の加速度応答スペクトル

### 3. 解析モデルの作成

堤体モデルは、2次元モデルとして作成した。

また、洪水吐モデルは3次元モデルで作成し、左右対称の構造であるため、半断面モデルとした。

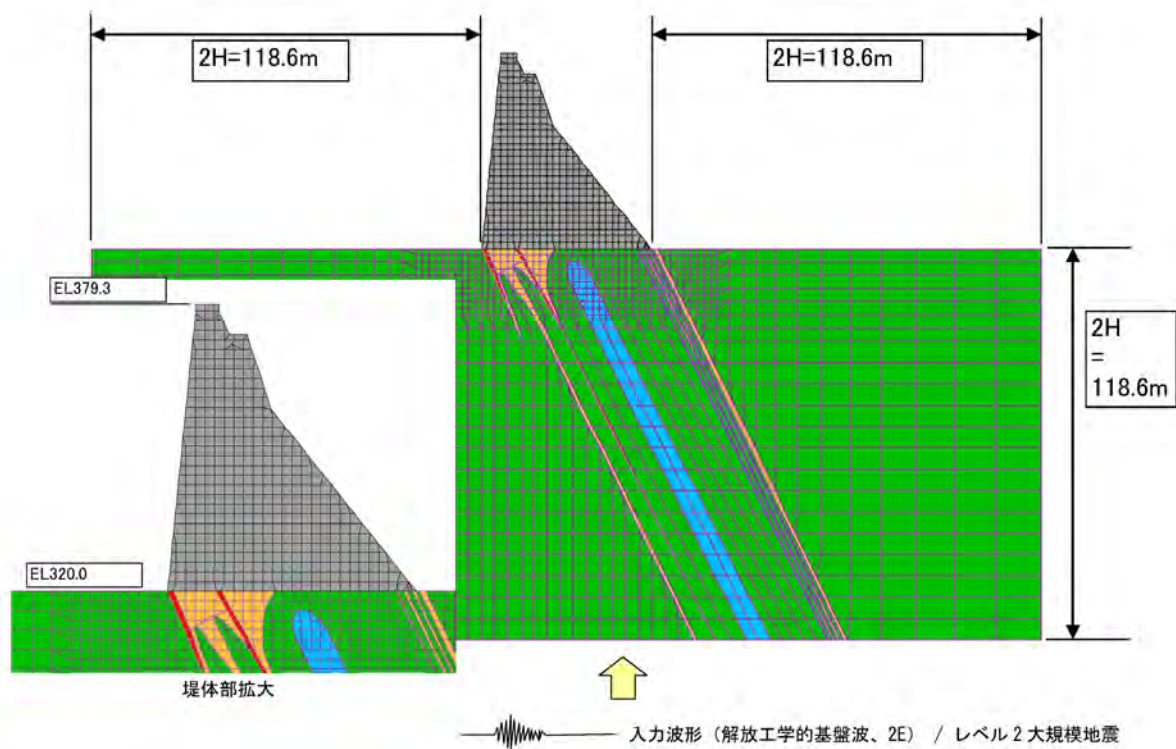


図 6.1.2-4 全体モデル図

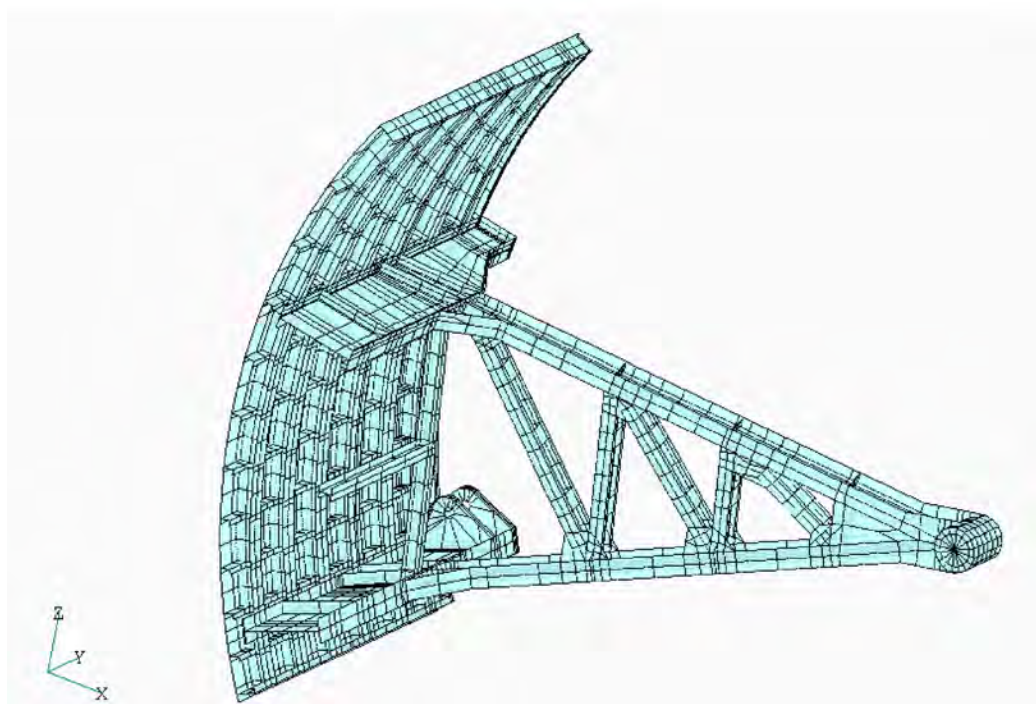


図 6.1.2-5 洪水吐ゲートモデル図

#### 4. 地震応答解析の条件

洪水吐ゲートに作用する動水圧は、全体モデルを用いた解析結果より算定し、下図のように設定した。

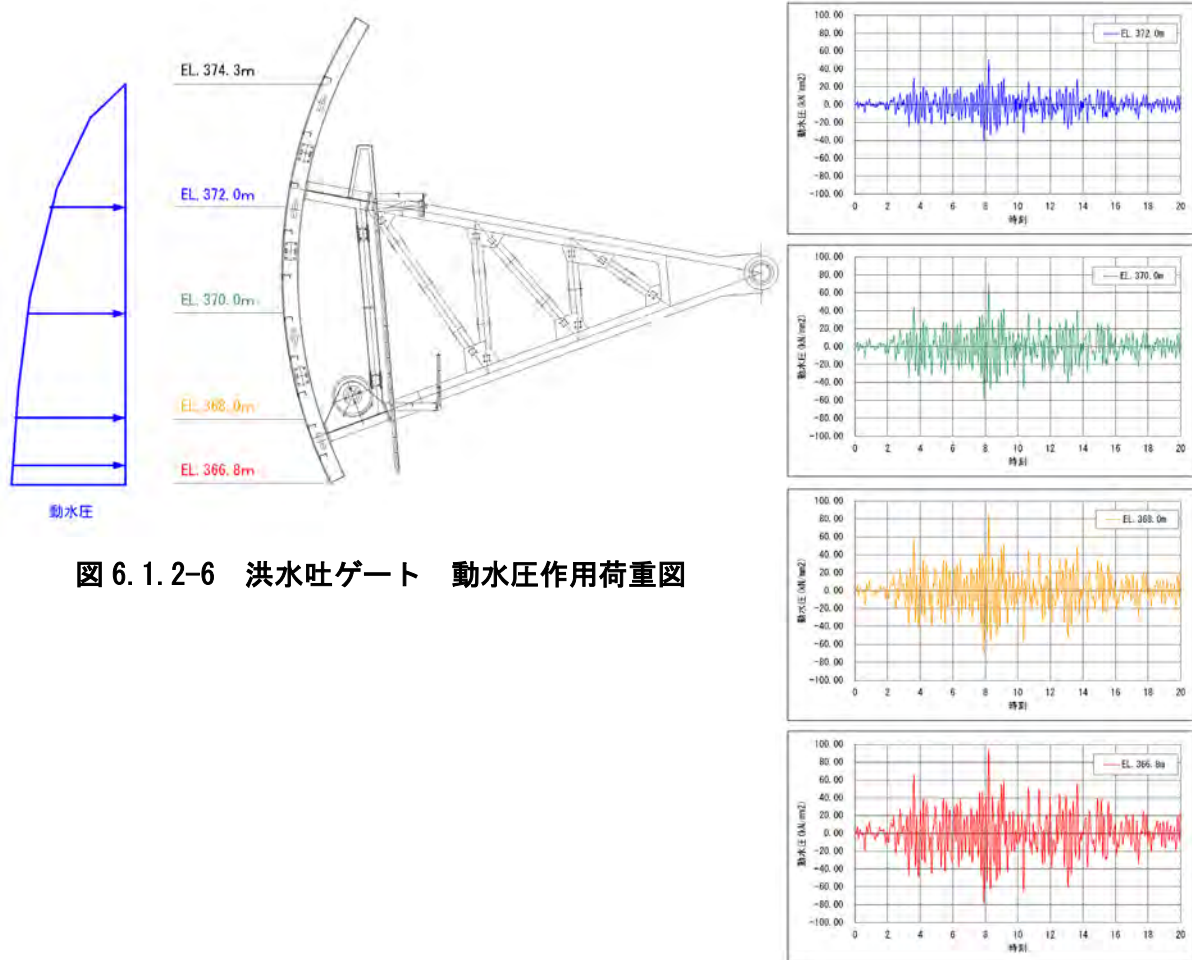


図 6.1.2-6 洪水吐ゲート 動水圧作用荷重図

図 6.1.2-7 応答加速度時刻歴  
(標高毎)



## 5. 解析結果

### (1) 固有値解析

洪水吐ゲートモデルにおける固有周期  $T$  (s) 及び固有振動数  $f = 1/T$  (Hz) を求めるため、固有値解析を実施した。解析の結果を表 6. 1. 2-1 に示す。

高次モードが卓越する結果となっている。

表 6. 1. 2-1 最大断面の固有周期と固有振動数

| 次数 | 固有円振動数  | 固有振動数  | 固有周期  |       | X       | Y       | Z       |
|----|---------|--------|-------|-------|---------|---------|---------|
|    | (rad/s) | (Hz)   | (s)   |       |         |         |         |
| 1  | 98.702  | 15.709 | 0.064 | 刺激係数  | -0.0360 | 0.0003  | 0.0522  |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0013  | 0.0000  | 0.0027  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.0629  | 0.0000  | 0.1326  |
| 2  | 140.572 | 22.373 | 0.045 | 刺激係数  | 0.0311  | -0.0003 | 0.0900  |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0010  | 0.0000  | 0.0081  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.0470  | 0.0000  | 0.3939  |
| 3  | 152.616 | 24.290 | 0.041 | 刺激係数  | -0.0052 | 0.0008  | -0.0182 |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0003  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.0013  | 0.0000  | 0.0160  |
| 4  | 161.486 | 25.701 | 0.039 | 刺激係数  | -0.0283 | -0.0005 | -0.0043 |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0008  | 0.0000  | 0.0000  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.0389  | 0.0000  | 0.0009  |
| 5  | 175.775 | 27.975 | 0.036 | 刺激係数  | 0.0528  | 0.0015  | 0.0225  |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0028  | 0.0000  | 0.0005  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.1351  | 0.0001  | 0.0247  |
| 6  | 230.156 | 36.630 | 0.027 | 刺激係数  | -0.0339 | 0.0060  | 0.0321  |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0011  | 0.0000  | 0.0010  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.0556  | 0.0018  | 0.0501  |
| 7  | 232.998 | 37.083 | 0.027 | 刺激係数  | -0.0047 | -0.0070 | -0.0174 |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0003  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.0011  | 0.0024  | 0.0147  |
| 8  | 239.636 | 38.139 | 0.026 | 刺激係数  | 0.0984  | 0.0003  | -0.0192 |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0097  | 0.0000  | 0.0004  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.4701  | 0.0000  | 0.0180  |
| 9  | 263.067 | 41.868 | 0.024 | 刺激係数  | -0.0026 | -0.0416 | 0.0075  |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0000  | 0.0017  | 0.0001  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.0003  | 0.0855  | 0.0028  |
| 10 | 317.942 | 50.602 | 0.020 | 刺激係数  | 0.0254  | -0.0295 | 0.0057  |
|    |         |        |       | 有効質量  | 0.0006  | 0.0009  | 0.0000  |
|    |         |        |       | 有効質量比 | 0.0314  | 0.0429  | 0.0016  |

\*1 水平方向並進成分。有効質量比  $m'$  が大きい次数の振動系の揺れが卓越する。

この表では、10 次まで示したが、振動に対する全自由度（全次数=全節点数）の有効質量比の合計は 100%となる。

## (2) 静的解析結果

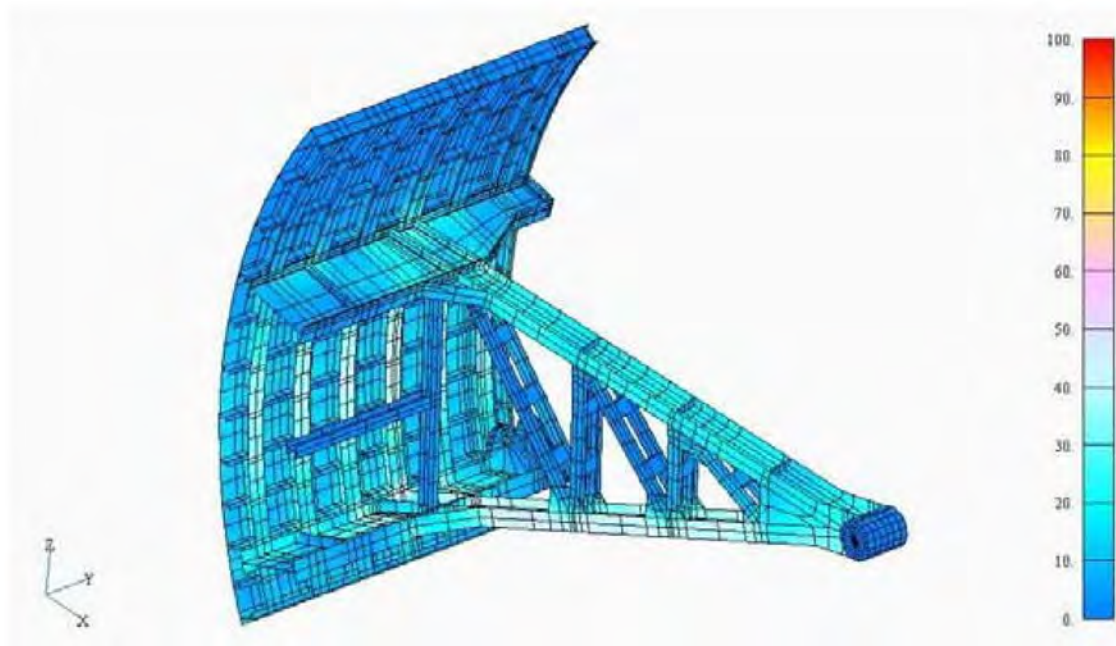
動的解析を実施する前に、貯水による静的な载荷解析を行い、地震前の応力分布を算定し、動的解析の初期条件として設定する。

静的解析においては、動的解析と同じ有限要素モデルを使用した。

静的解析の結果を表 6.1.2-2 及び図 6.1.2-8 に示す。合成応力の最大値は縦桁の 87.8  $\text{N/mm}^2$  であり、鋼材 (SUS304) の許容応力度 (105  $\text{N/mm}^2$ ) 以下であることを確認した。

**表 6.1.2-2 最大合成応力一覧（静的解析）**

| 部位      | TOP<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | BOTTOM<br>( $\text{N/mm}^2$ ) |
|---------|----------------------------|-------------------------------|
| 扉体      | 40.2                       | 33.7                          |
| 脚柱      | 83.7                       | 72.0                          |
| 横桁      | 76.0                       | 64.6                          |
| 縦桁      | 87.8                       | 75.7                          |
| トラニオンピン | 18.9                       |                               |



**図 6.1.2-8 合成応力分布図**

### (3) 動的解析結果

#### 1) 塑性化（合成応力度）の照査

動的解析の結果を表 6. 1. 2-3 及び図 6. 1. 2-9～図 6. 1. 2-10 に示す。

各部材の塑性化（降伏）に対する照査は、部材毎の合成応力度を比較して実施する。最大合成応力は縦桁部の  $207.0 \text{ N/mm}^2$  であり、鋼材(SS)の降伏応力度 ( $235 \text{ N/mm}^2$ ) 以下である。また、扉体の最大合成応力は  $63.7 \text{ N/mm}^2$  であり、鋼材(SUS)の降伏応力度 ( $205 \text{ N/mm}^2$ ) 以下であるため、レベル 2 地震時においても構造部材の降伏（塑性化）は生じないと判断できる。

表 6. 1. 2-3 最大合成応力一覧（動的解析）

| 部位      | TOP<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | BOTTOM<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | 備 考         |
|---------|----------------------------|-------------------------------|-------------|
| 扉体      | 63.7                       | 70.0                          | < 205 (SUS) |
| 脚柱      | 174.0                      | 152.3                         | < 235 (SS)  |
| 横桁      | 183.1                      | 155.9                         | < 235 (SS)  |
| 縦桁      | 207.0                      | 169.4                         | < 235 (SS)  |
| トラニオンピン | 46.1                       |                               |             |

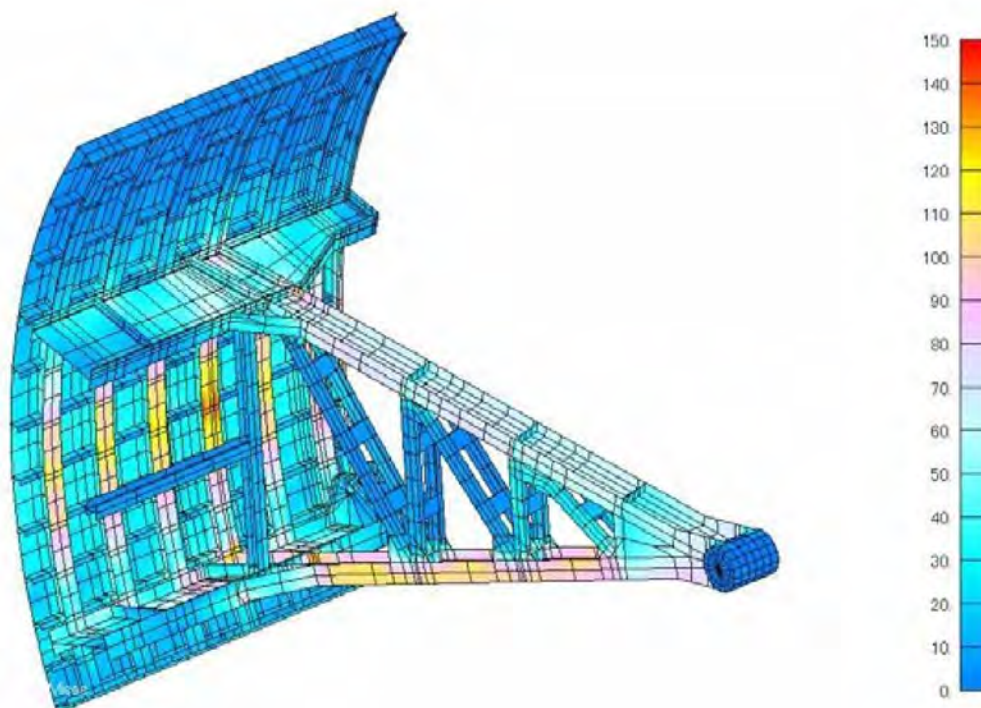
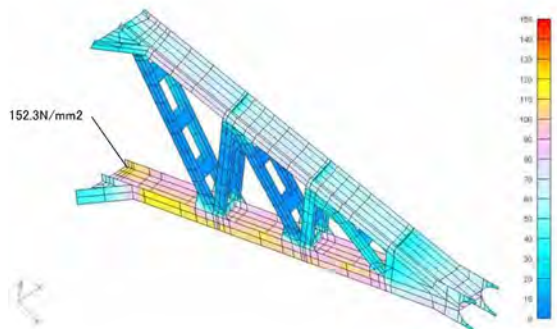
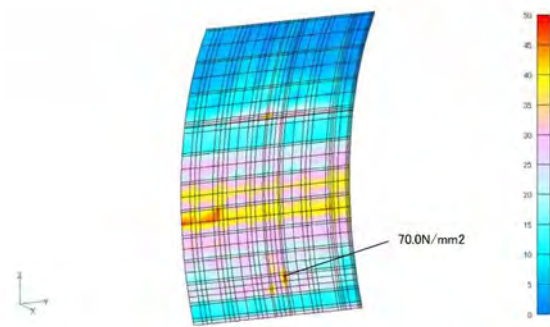
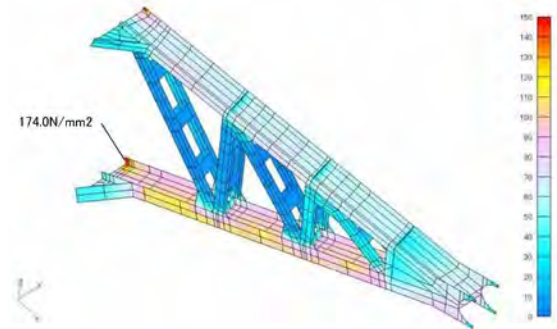
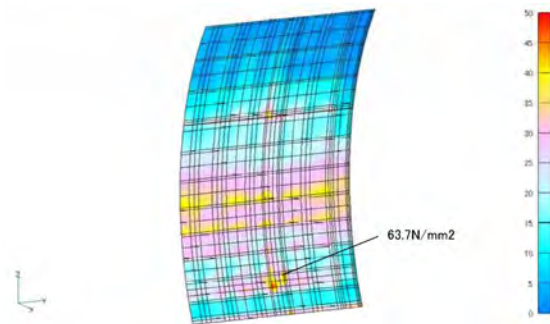


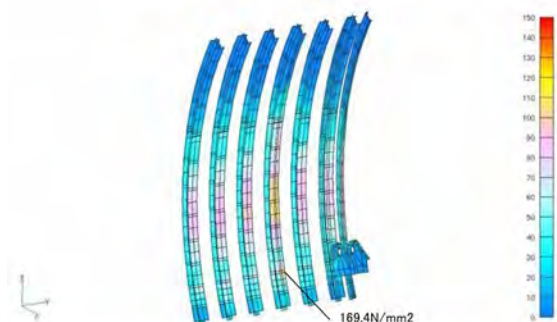
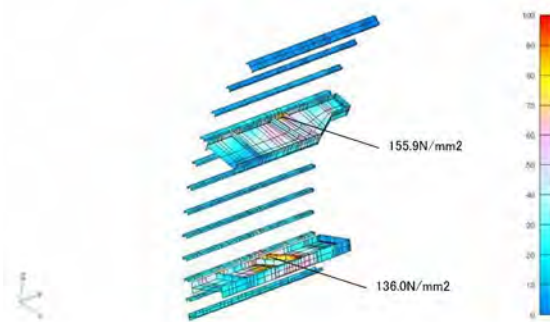
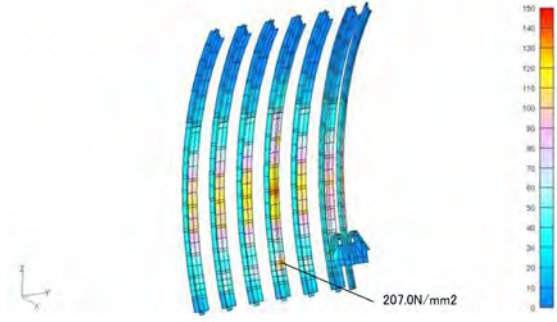
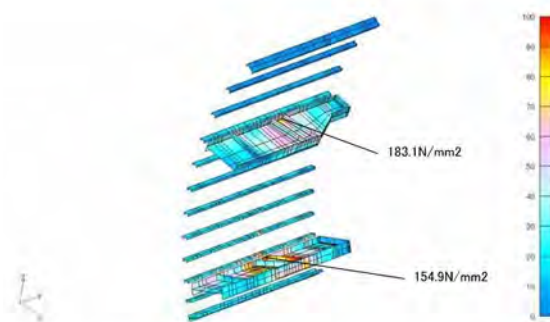
図 6. 1. 2-9 合成応力分布図





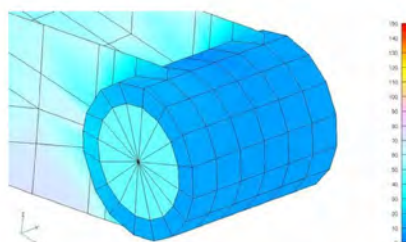
[扉体]

[脚柱]



[横桁]

[縦桁]



[トラニオン部]

図 6. 1. 2-10 各部材の合成応力分布図

## 2) 座屈の照査

脚柱の座屈に対する照査結果を表 6. 1. 2-4 及び図 6. 1. 2-11 に示す。

脚柱全体及び各部材において合成応力度は座屈応力度以下となっており、座屈は生じない結果となった。

表 6. 1. 2-4 脚柱の座屈照査結果

| 部材名 | 部材長<br>$L$<br>(mm) | 降伏応力度<br>$\sigma_y$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>$E$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 座屈応力度<br>$\sigma_c$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 合成応力度<br>$\sigma$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 評価 |
|-----|--------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|----|
| UP1 | 2,304              | 235                                         | 206,000                             | 214.6                                       | 104.0                                     | OK |
| UP2 | 1,800              | 235                                         | 206,000                             | 225.9                                       | 94.1                                      | OK |
| UP3 | 1,800              | 235                                         | 206,000                             | 225.9                                       | 88.6                                      | OK |
| D01 | 2,304              | 235                                         | 206,000                             | 215.2                                       | 137.4                                     | OK |
| D02 | 1,800              | 235                                         | 206,000                             | 225.9                                       | 134.2                                     | OK |
| D03 | 1,800              | 235                                         | 206,000                             | 225.9                                       | 121.4                                     | OK |
| SL1 | 3,295              | 235                                         | 206,000                             | 133.7                                       | 37.1                                      | OK |
| SL2 | 2,365              | 235                                         | 206,000                             | 164.4                                       | 32.3                                      | OK |
| SL3 | 2,156              | 235                                         | 206,000                             | 174.8                                       | 23.9                                      | OK |
| SL4 | 1,442              | 235                                         | 206,000                             | 201.8                                       | 59.6                                      | OK |
| SL5 | 1,280              | 235                                         | 206,000                             | 205.5                                       | 74.6                                      | OK |

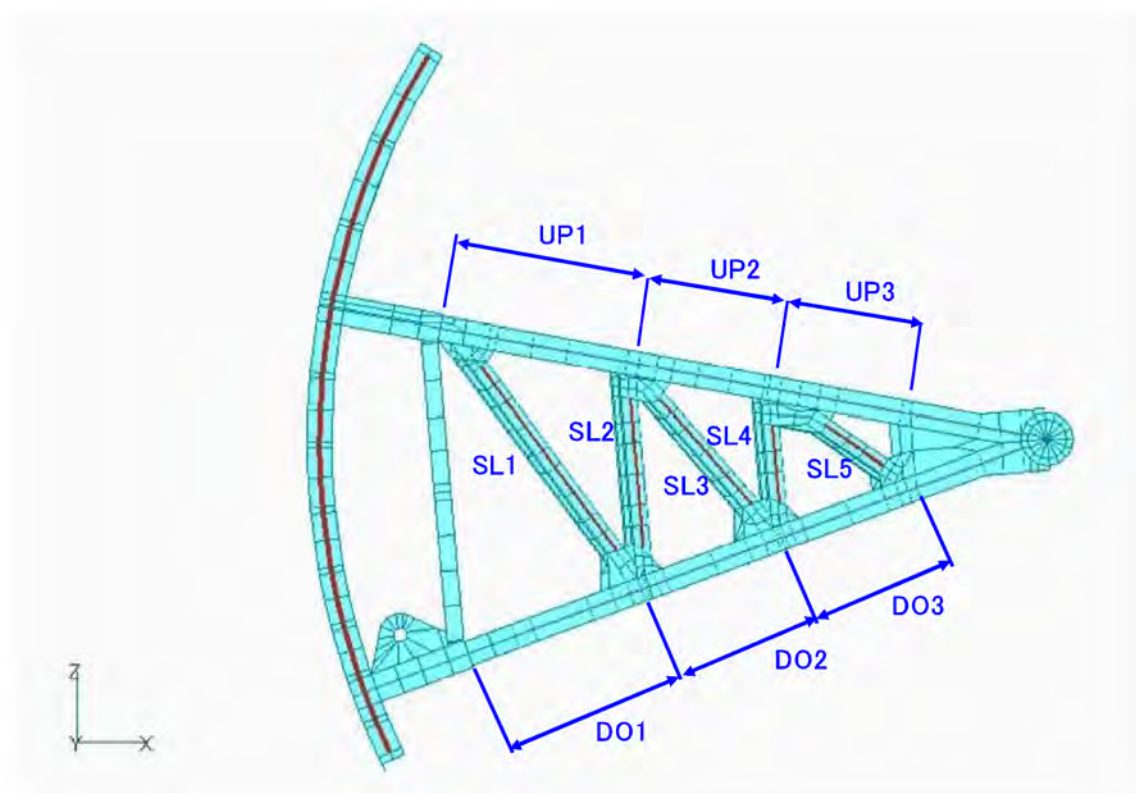


図 6. 1. 2-11 脚柱の座屈照査位置

### 6.1.3 他工種等の耐震性能照査事例

レベル 2 地震動に対する他工種等（河道設置ダム、頭首工）の耐震照査事例を示す。

【事例 3-1】河道設置ダムの照査例(全体、ピア、ゲート)

【事例 3-2】頭首工の照査例(参考報文)

## 【事例 3-1】河道設置型ダムの耐震照査例

### 1. 施設概要

対象施設の諸元を示す。

表 6.1.3-1 施設諸元（ダム本体）

| 名称   |              | 諸元                  | 備考             |
|------|--------------|---------------------|----------------|
| ダム本体 | 形式           | 直線重力式越流型可動扉付コンクリート造 |                |
|      | ダムの高さ        | m                   | 32.000         |
|      | 堤頂長          | m                   | 110.000        |
|      | 堤頂の標高        | m                   | EL 102.500     |
|      | 越流頂の標高       | m                   | EL 85.000      |
|      | 基礎面における最大幅   | m                   | 99.000         |
|      | ダム上下流面の勾配    | 下流面 1:0.065 上流面 鉛直  |                |
|      | ダム体積         | m <sup>3</sup>      | 36,800 (ダム本体)  |
|      | 設計洪水流量       | m <sup>3</sup> /s   | 5,810          |
| 貯水池  | 集水面積         | km <sup>2</sup>     | 893.00         |
|      | 湛水区域の面積      | km <sup>2</sup>     | 0.47           |
|      | 最大背水距離       | km                  | 5.590          |
|      | 設計洪水位        | m                   | EL 96.410      |
|      | 常時満水位        | m                   | EL 101.00      |
|      | 予備放流水位(最低限度) | m                   | EL 95.00       |
|      | 最低水位         | m                   | EL 100.35      |
|      | 総貯水量         | m <sup>3</sup>      | 3,501,000 (当初) |
|      | 有効貯水量        | m <sup>3</sup>      | 280,000 (当初)   |



写真-1.1 堤体上流面

表 6.1.3-2 施設諸元（洪水吐ゲート）

| 名 称      |             | 諸 元                                |
|----------|-------------|------------------------------------|
| (1) 扉体   |             | 洪水吐ゲート                             |
| 設計条件     | 型 式         | ローラーゲート                            |
|          | 材 質         | 鋼 製                                |
|          | 純径間 × 扉高(m) | 12.5 × 16.3                        |
|          | 設計水深(m)     | 16.3                               |
|          | 設計堆砂高(m)    | -                                  |
|          | 設計安全率(許容応力) | 水門鉄管技術基準に準ずる                       |
| 構造概要     | たわみ         | 径間の1/1000以下                        |
|          | 数量          | 6門                                 |
|          | 扉体寸法(幅×高)   | 13.6 × 16.3                        |
|          | 扉体重量(ton)   | 100 (1門)                           |
|          | 水密方式        | 前面3方向 水密ゴム比                        |
|          | 操作方式        | 電動兼手動 現場直接・遠方操作                    |
| (2) 戸当たり |             |                                    |
| 構造概要     | 止水方法        |                                    |
|          | 戸当材寸法       | 側部 24 × 26.9 × 360, 14 × 240 17.6m |
|          |             | 底部 14 × 300 250 × 125 × 7.5m       |
|          | 水密材         | 上部 厚 × 幅 × 長                       |
|          |             | 材質                                 |
|          |             | -                                  |
|          |             | 側部 厚 × 幅 × 長 20 × 60 × 16, 500     |
|          |             | 材質 硬質ゴム 硬度55°                      |
|          |             | 底部 厚 × 幅 × 長 20 × 125 × 12 600     |
|          |             | 材質 硬質ゴム 硬度55°                      |



写真-1.2 堤体下流面



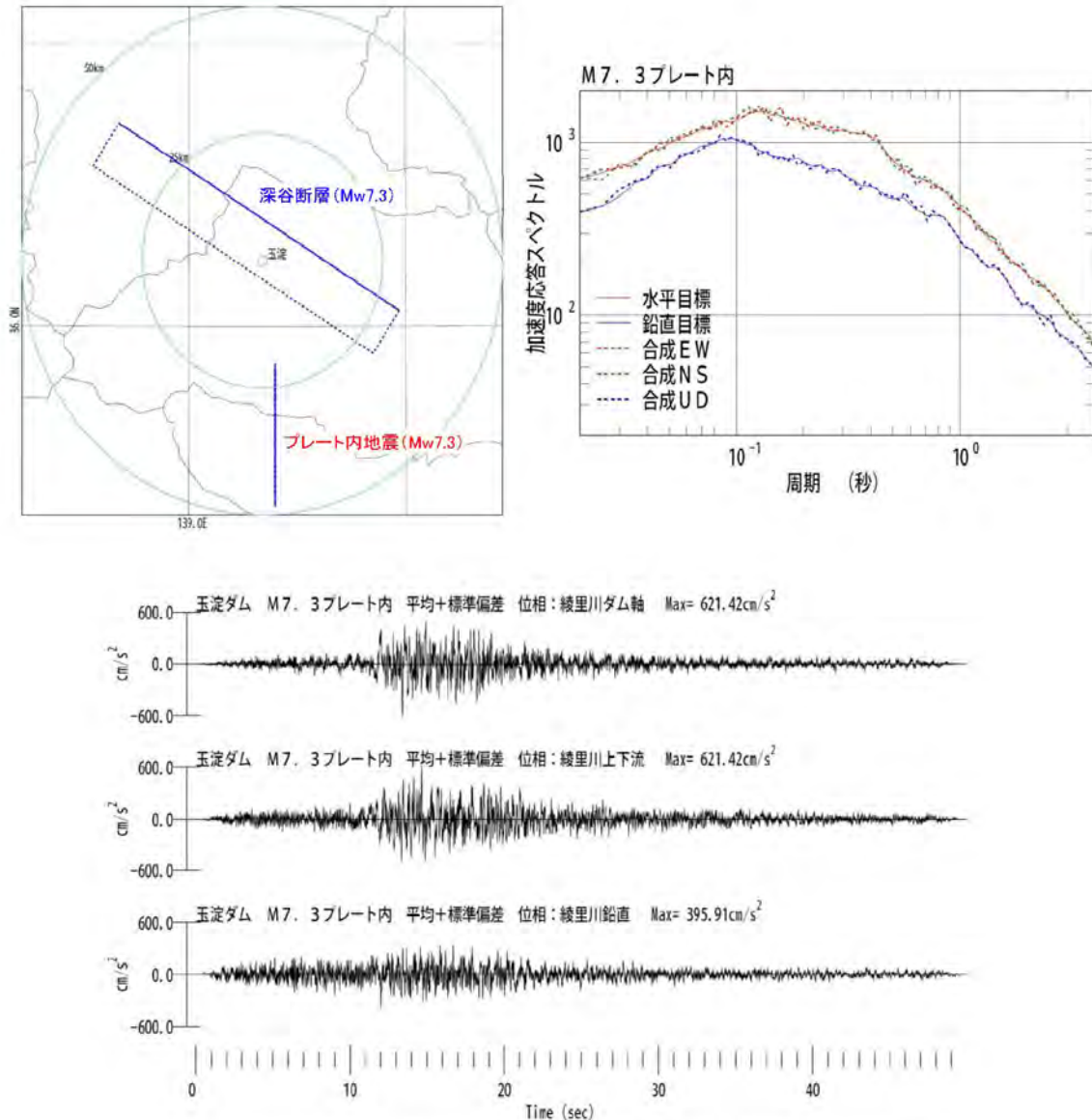
## 2. 耐震照査に用いる地震動

3つの地震タイプ（内陸地殻内地震、プレート間地震、プレート内地震）の各地震情報に基づき、距離減衰式により目標加速度応答スペクトルを求め、ピア（固有周期 0.1 秒前後）の加速度応答スペクトルが最大となったプレート内地震(621gal)を想定地震として選定した。

距離減衰式：H23 式

想定地震動：Mw7.3 プレート内地震

最大加速度：621 gal (水平)



※波形；2011/4/7 宮城県沖地震の綾里川ダム観測波を振幅調整

図 6.1.3-1 耐震照査用地震動の設定

### 3. 全体モデルの解析

#### (1) 解析の目的、解析モデル・手法

ピアの非線形解析モデルへの入力地震荷重（3次元全体モデルの各ピア基部の応答加速度）の抽出を目的として、全体モデルの解析を実施した。

3次元全体モデルは、ダム、ゲート、操作橋、ゲート、貯水池、基盤をモデル化する。

解析手法は、静的解析（自重・静水圧）を行った後に線形動的解析（地震応答解析）を実施した。

表 6.1.3-3 3次元全体モデルの条件

| 部材         | モデル化の方法                                           | 備考                            |
|------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|
| ダム、ピア、基礎岩盤 | ソリッド要素                                            |                               |
| 操作塔        | 梁要素                                               | 主要部材（H形鋼）、水平部材（T型鋼）、トラス材（溝型鋼） |
| 操作橋        | シェル要素と梁要素の組合せ                                     | 主桁および周辺部材                     |
| 洪水吐ゲート     | シェル要素（スキンプレートと主桁ウェブ）<br>梁要素（その他の部材、主桁フランジ、補助構造部材） | 主要部材のみをモデル化した簡易なモデル（ゲート簡易モデル） |
| 貯水池        | 流体要素（非圧縮性流体）                                      | 常時満水位（WL. 101m）               |

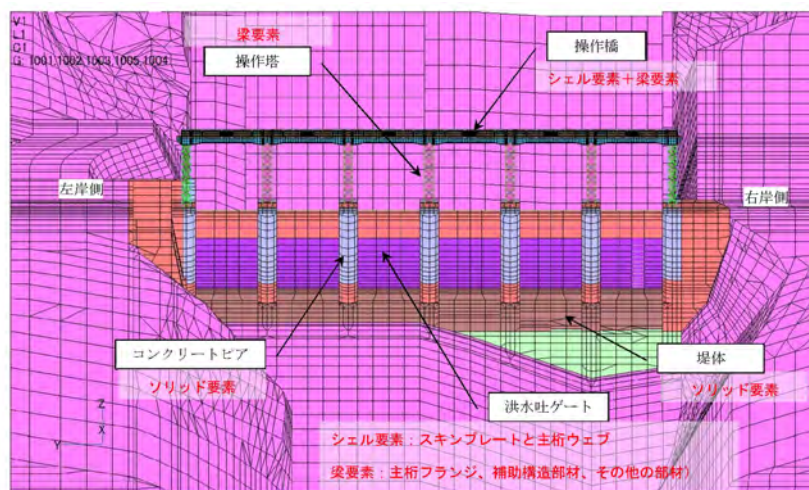
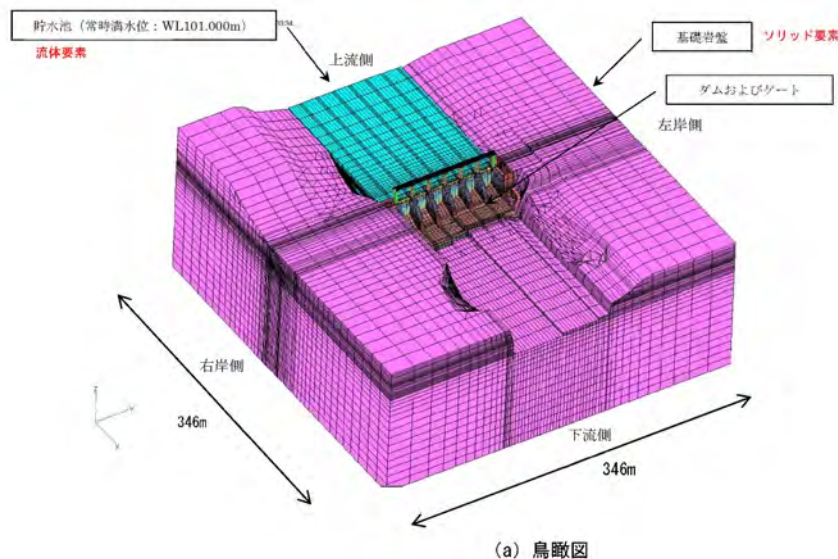


図 6.1.3-2 3次元全体モデル

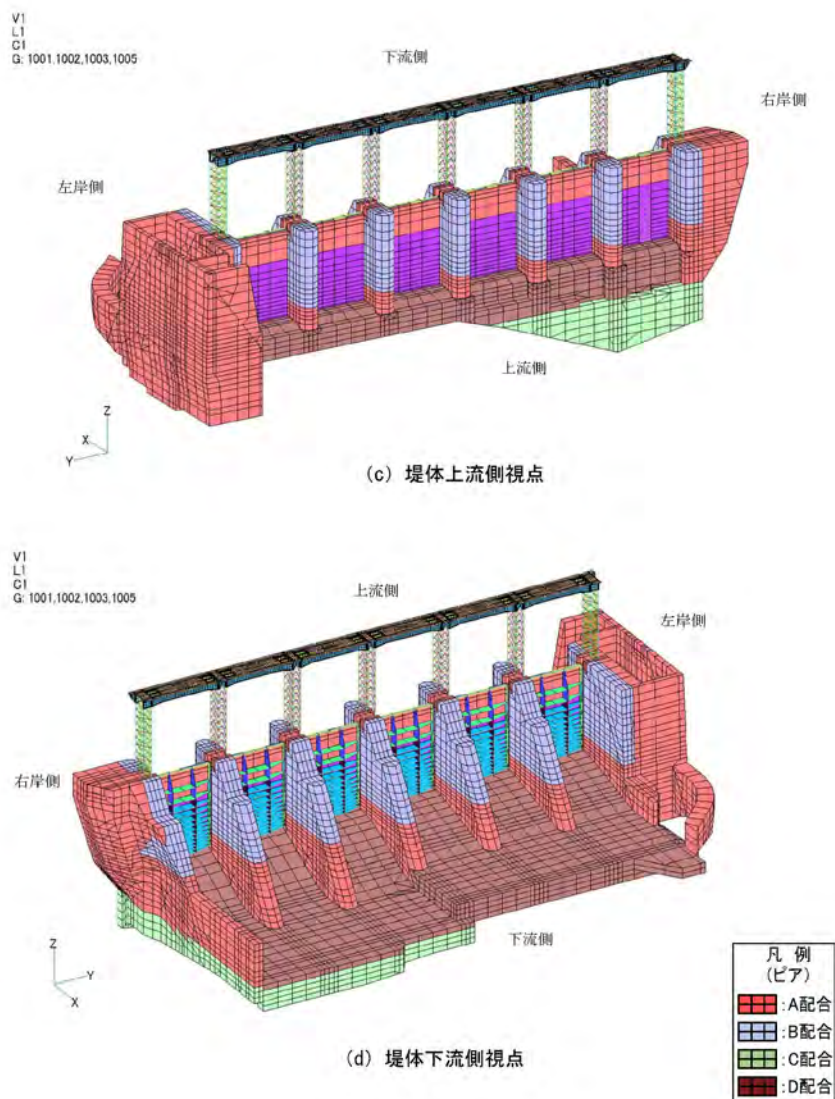


図 6.1.3-3 3次元全体モデル

## (2) 解析条件

解析用物性値は以下の通りとした。

表 6.1.3-4 物性値 a(コンクリート)

| 配合区分     |        |                   | A 配合<br>A1 配合 | B 配合   | C 配合   | D 配合   |
|----------|--------|-------------------|---------------|--------|--------|--------|
| 静的<br>物性 | 単位体積重量 | kN/m <sup>3</sup> | 23.9          | 23.8   | 23.6   | 23.3   |
|          | 静弾性係数  | N/mm <sup>2</sup> | 31,600        | 31,600 | 31,600 | 28,800 |
|          | ポアソン比  | -                 | 0.20          | 0.20   | 0.20   | 0.20   |
|          | 圧縮強度   | N/mm <sup>2</sup> | 24.2          | 24.2   | 24.2   | 21.5   |
|          | 引張強度   | N/mm <sup>2</sup> | 1.92          | 1.92   | 1.92   | 1.78   |
| 動的<br>物性 | 単位体積重量 | kN/m <sup>3</sup> | 23.9          | 23.8   | 23.6   | 23.3   |
|          | 動弾性係数  | N/mm <sup>2</sup> | 34,800        | 34,800 | 34,800 | 31,700 |
|          | 動ポアソン比 | -                 | 0.20          | 0.20   | 0.20   | 0.20   |
|          | 圧縮強度   | N/mm <sup>2</sup> | 31.5          | 31.5   | 31.5   | 27.9   |
|          | 引張強度   | N/mm <sup>2</sup> | 2.50          | 2.50   | 2.50   | 2.31   |



表 6.1.3-5 物性値 b(岩盤)

| 項目   | 物性区分    |                   | R 物性「1」 |
|------|---------|-------------------|---------|
|      | 地質・岩種   |                   | 黒色片岩    |
|      | 岩級区分    |                   | CL 級    |
| 静的物性 | 単位体積重量  | kN/m <sup>3</sup> | 22.6    |
|      | 静弾性係数   | N/mm <sup>2</sup> | 1,500   |
|      | ポアソン比   | —                 | 0.25    |
|      | 内部摩擦角   | 度                 | 32      |
|      | 粘着力     | N/mm <sup>2</sup> | 0.6     |
| 動的物性 | 単位体積重量  | kN/m <sup>3</sup> | 22.6    |
|      | P 波速度   | m/s               | 3,050   |
|      | S 波速度   | m/s               | 850     |
|      | せん断弾性係数 | N/mm <sup>2</sup> | 1,662   |
|      | 動弾性係数   | N/mm <sup>2</sup> | 4,653   |
|      | 動ポアソン比  | —                 | 0.4     |
|      | 内部摩擦角   | 度                 | 32      |
|      | 粘着力     | N/mm <sup>2</sup> | 0.6     |

表 6.1.3-6 物性値 c(鋼材)

| 項目     |                   | 物性値     |
|--------|-------------------|---------|
| 単位体積重量 | kN/m <sup>3</sup> | 77.0    |
| 弾性係数   | N/mm <sup>2</sup> | 206,000 |
| ポアソン比  | —                 | 0.3     |

動的解析に用いる地震動は、ダム下流の岩盤表面を開放基盤面とし、この位置で想定した地震動となるよう引き戻した加速度を 3 方向同時に解析モデルに入力した。

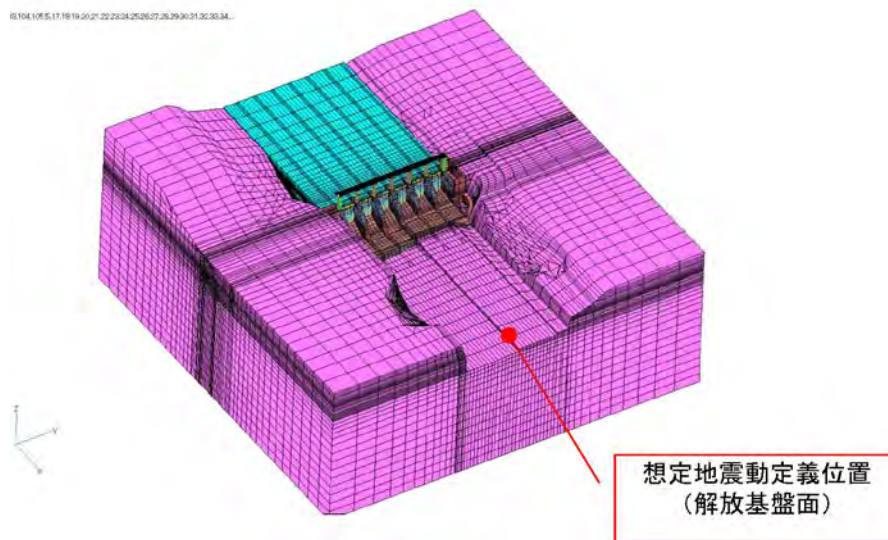


図 6.1.3-4 入力地震動の定義位置（引き戻し位置）

解析モデルの境界条件は下記の通りとした。

表 6.1.3-7 解析モデルの境界条件

|      | 岩盤モデル底面 | 岩盤モデル側面     |
|------|---------|-------------|
| 静的解析 | 固定      | 水平：固定 鉛直：自由 |
| 動的解析 | 粘性境界    | 自由地盤と粘性境界   |



### (3) 全体モデルの解析結果（線形解析）

#### 1) 応答加速度

##### a) ダム及びピアの応答加速度分布（図 6. 1. 3-5）

上下流方向の加速度は、No. 3 ピアで最大 835gal、No. 3 ピア基部で最大 694gal となる。この値は、上下流方向の想定地震動の最大値 621gal に対して、約 1.3 倍及び約 1.1 倍である。

ダム軸方向の加速度は、No. 4 ピア天端で最大 2,194gal、No. 3 ピア基部で 601gal となる。この値は、ダム軸方向の想定地震動の最大値 621gal に対して、約 3.5 倍及び約 1.0 倍である。

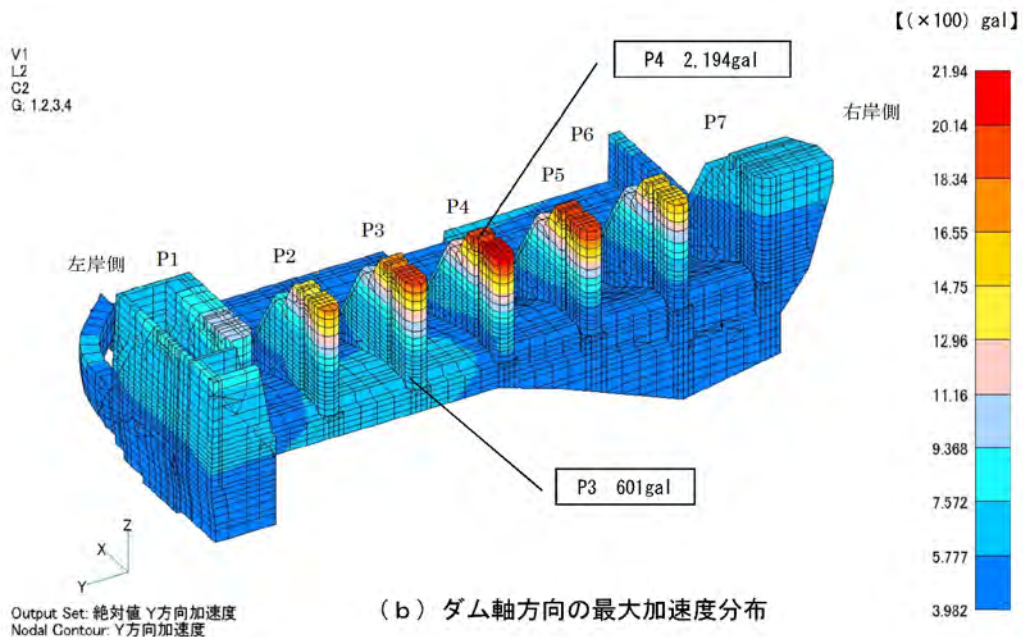
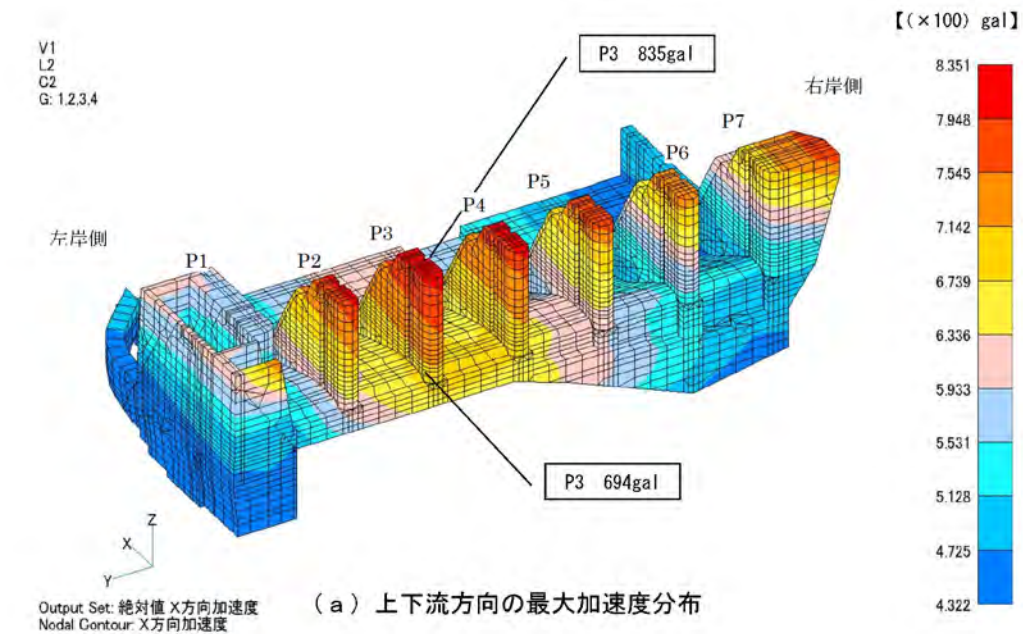


図 6. 1. 3-5 全体モデルの最大応答加速度分布（線形解析）

b) ピア基部入力加速度 (図 6.1.3-6)

ピア非線形解析モデルに入力する地震荷重は、全体モデルでの解析より求めた応答加速度を用いる。ピア非線形モデルに入力する応答加速度を抽出する位置と入力のイメージを示す。

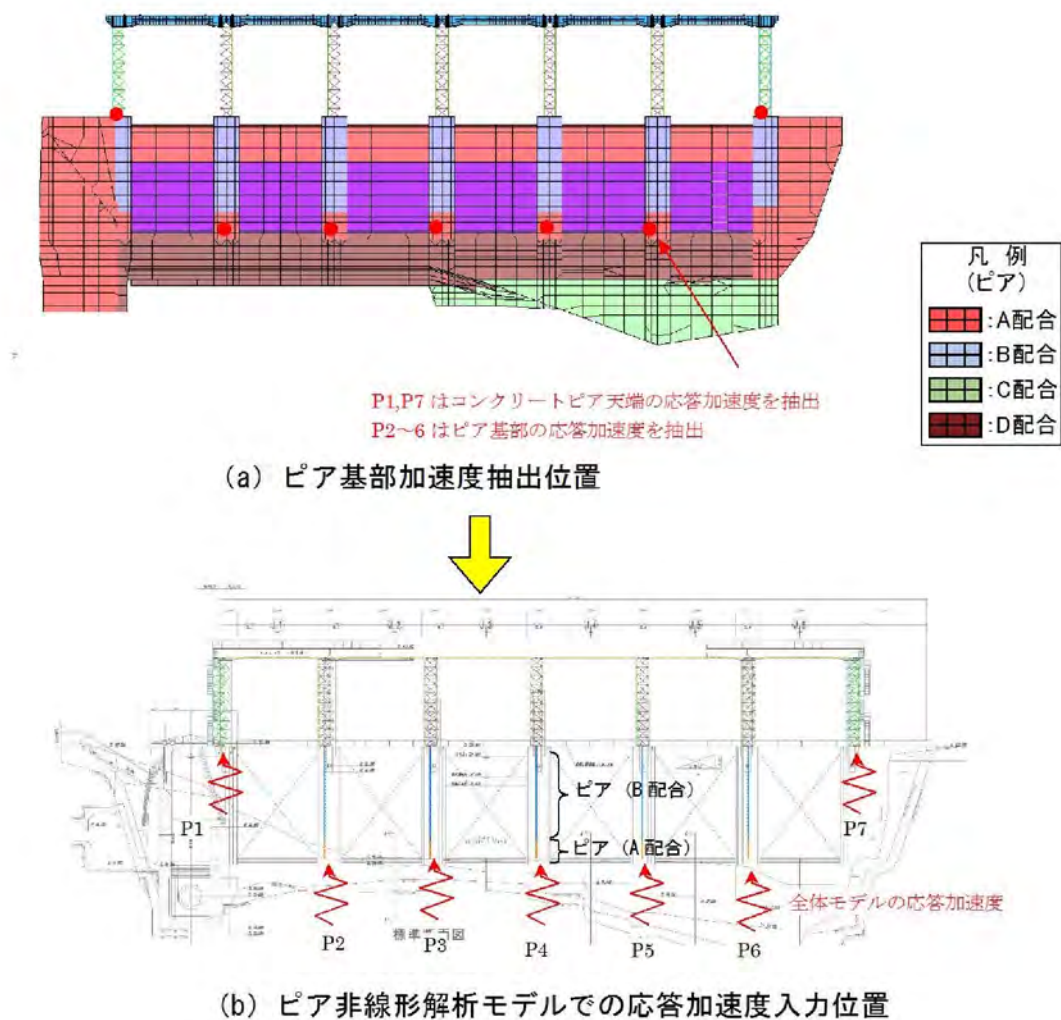


図 6.1.3-6 ピア基部の応答加速度抽出位置とピアの解析モデルへの入力イメージ

表 6.1.3-8 ピア部の応答加速度

| 入力加速度 |      | (gal) |       |      |
|-------|------|-------|-------|------|
| 入力位置  |      | 上下流方向 | ダム軸方向 | 鉛直方向 |
| P1    | ピア天端 | 580   | 975   | 381  |
| P2    | ピア基部 | 621   | 586   | 490  |
| P3    | ピア基部 | 694   | 601   | 532  |
| P4    | ピア基部 | 678   | 566   | 477  |
| P5    | ピア基部 | 604   | 523   | 402  |
| P6    | ピア基部 | 538   | 501   | 374  |
| P7    | ピア天端 | 707   | 690   | 456  |