

5. 地震応答解析の条件

(1) 解析方針

以下に示す固有値解析①②により、取水塔の耐震解析は **【動的解析】** を採用する方針とした。

- ① 構造物の形状が複雑であること
- ② 振動特性が複数のモードに支配され、複雑な振動特性を有する構造物であると判断されること

また、本解析の目的はレベル2地震動時（常時満水位時）に緊急放流が実施できるかを解析により確認することが主目的である。このため、動的解析では線形動的解析により部材の降伏強度を超過するかどうか（部材が地震時に発生する応力に対し、耐え得るものか）を照査することとし、降伏点の超過がみられた場合は塑性化を考慮した非線形解析を行い、塔体の層間変位を確認することにより、シリンダーゲートの作動の可否を判断することとした。

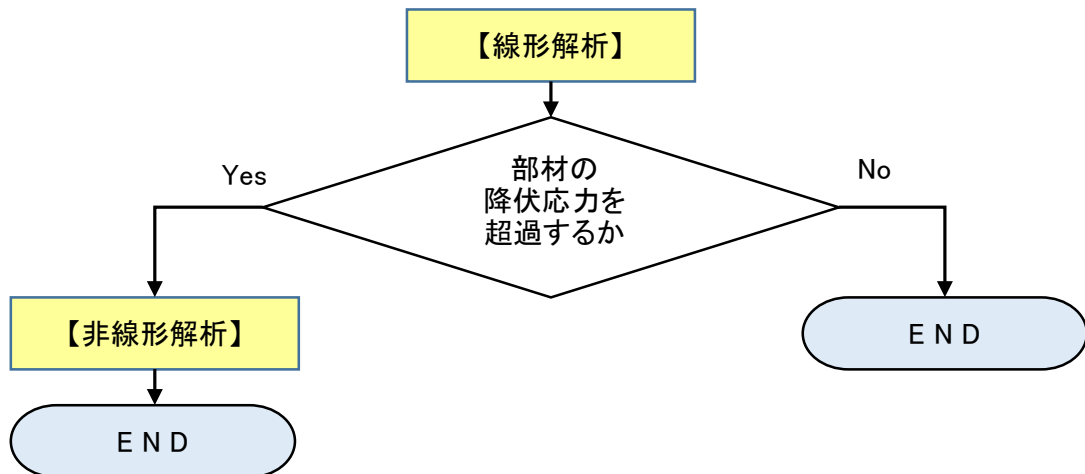


図 6.1.1.2-5 解析フローチャート

(2) 構成部材について

取水塔を構成する主な部材の使用材料を下表に示す。

表 6.1.1.2-5 主要部材の材料

部 材	規 格	材 料
塔柱（上部）	φ500×t10	SUS304TP
塔柱（中部）	φ500×t16	SUS304TP
塔柱（下部）	φ500×t21	SUS304TP
水平桁	H300×200×10/12	SUS304
斜材	H300×200×10/14	SUS304
管理橋受桁	H800×300×12/28	SUS304

(3) 許容応力度の設定

各部材の限界状態は、上部工は鋼材の材料強度に継手効率を乗じた値とした。

B ダム取水塔においては、塔体に対する放射線検査は、工場溶接に対して全溶接長の 5% 以上、現場溶接に対して全溶接長の 20% 以上で実施されている。塔体の設計計算においては、塔柱に対して 0.9、管理橋受桁に対して 0.9 の溶接効率を考慮しており、水平桁と斜材は溶接効率による低減はしていない。以上より、B ダム取水塔については設計計算値を継手効率として採用した。

表 6.1.1.2-6 照査基準の設定

名称	材質	寸法	基準強度 σ_y (N/mm ²)	溶接 効率 (-)	照査基準 (N/mm ²)
塔柱(上部)	SUS304	$\phi 500 \times t21$	205	0.9	184.5
塔柱(中部)	SUS304	$\phi 500 \times t16$	205	0.9	184.5
塔柱(下部)	SUS304	$\phi 500 \times t10$	205	0.9	184.5
水平桁	SUS304	H300 $\times$ 200 $\times$ 10/12	205	1	205
斜材	SUS304	H300 $\times$ 200 $\times$ 10/14	205	1	205
管理橋受桁	SUS304	H800 $\times$ 300 $\times$ 12/28	205	0.9	184.5
管理橋水平桁	SUS304	H300 $\times$ 200 $\times$ 10/12	205	0.9	184.5

合成応力度に対する許容応力度については、10%程度割り増しする。

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応力を同時に受ける場合や垂直応力が互いに直交する応力状態の場合は、式(3.1.8-2)および式(3.1.8-3)により合成応力度を計算し、許容応力度以内となるよう設計する。 ① 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応力を受ける場合 $\sigma_{el} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2} \leq 1.1\sigma_s \dots\dots\dots (3.1.8-2)$ ② 二軸方向応力とせん断応力を受ける場合 $\sigma_{el} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2 + 3\tau^2} \leq 1.1\sigma_s \dots\dots\dots (3.1.8-3)$ ここに、σ_{el}：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) σ_2：σ_1 に直交する垂直応力度 (引張を正とする) (N/mm²) τ：引けおよびねじりによるせん断応力度 (N/mm²) σ_s：表3.1.8-1、表3.1.8-2に規定する許容軸方向引張応力度 (N/mm²) 二軸方向の合成応力度に対する許容応力度は、許容軸方向引張応力度の1.1倍とする。 ただし、放流管管側の局部曲げ応力度を加算した場合は、同軸および二軸方向の許容応力度を1.35倍まで割増しすることができる。
--

出典：ダム・堰施設設計基準 p94

表 6.1.1.2-7 各部材の許容応力度

名称	材質	寸法	基準強度 σ_y (N/mm ²)	照査基準 σ_a (N/mm ²)	許容値 $1.1\sigma_a$ (N/mm ²)
塔柱(上部)	SUS304	$\phi 500 \times t21$	205	184.5	203.0
塔柱(中部)	SUS304	$\phi 500 \times t16$	205	184.5	203.0
塔柱(下部)	SUS304	$\phi 500 \times t10$	205	184.5	203.0
水平桁	SUS304	H300 $\times$ 200 $\times$ 10/12	205	205	225.5
斜材	SUS304	H300 $\times$ 200 $\times$ 10/14	205	205	225.5
管理橋受桁	SUS304	H800 $\times$ 300 $\times$ 12/28	205	184.5	203.0
管理橋水平桁	SUS304	H300 $\times$ 200 $\times$ 10/12	205	184.5	203.0

(4) 許容ひずみの設定

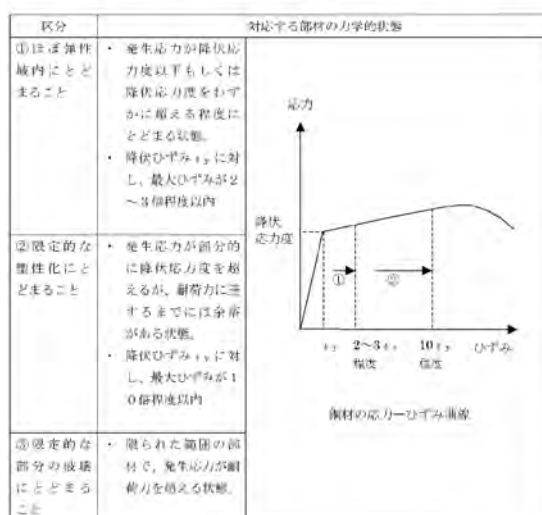
塔体のひずみの照査は、【国総研資料 No. 244】を参考に、降伏ひずみの3倍（応答塑性率＝3.0）と設定した。

対象部位	限界状態	照査基準
塔体	力学的特性がほぼ弾性域を超えない状態	発生ひずみ≦降伏ひずみの3倍

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弾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¹¹⁾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－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



出典：国総研資料No244 pp87-88

表 6.1.1.2-8 各部材の許容ひずみ

名称	材質	寸法	弾性係数 ① E (N/mm ²)	基準強度 ② σ_y (N/mm ²)	降伏ひずみ ③ ε_y (μ)	許容値 $3.0 \varepsilon_y$ (μ)
塔柱(上部)	SUS304	$\phi 500 \times t21$	193,000	205	1062	3187
塔柱(中部)	SUS304	$\phi 500 \times t16$	193,000	205	1062	3187
塔柱(下部)	SUS304	$\phi 500 \times t10$	193,000	205	1062	3187
水平桁	SUS304	H300 × 200 × 10/12	193,000	205	1062	3187
斜材	SUS304	H300 × 200 × 10/14	193,000	205	1062	3187
管理橋受桁	SUS304	H800 × 300 × 12/28	193,000	205	1062	3187
管理橋水平桁	SUS304	H300 × 200 × 10/12	193,000	205	1062	3187

(5) 下部工の照査

完成図書より、Bダム取水塔下部工のコンクリート圧縮強度は $f'_c=21\text{ N/mm}^2$ であることから、動的解析による各主柱の基礎反力から最大の押し込み力と水平力を抽出し、圧縮強度を超過するかを照査する。

なお、Bダム取水塔の基礎形状より、基礎支点の設定は以下のとおりとした。

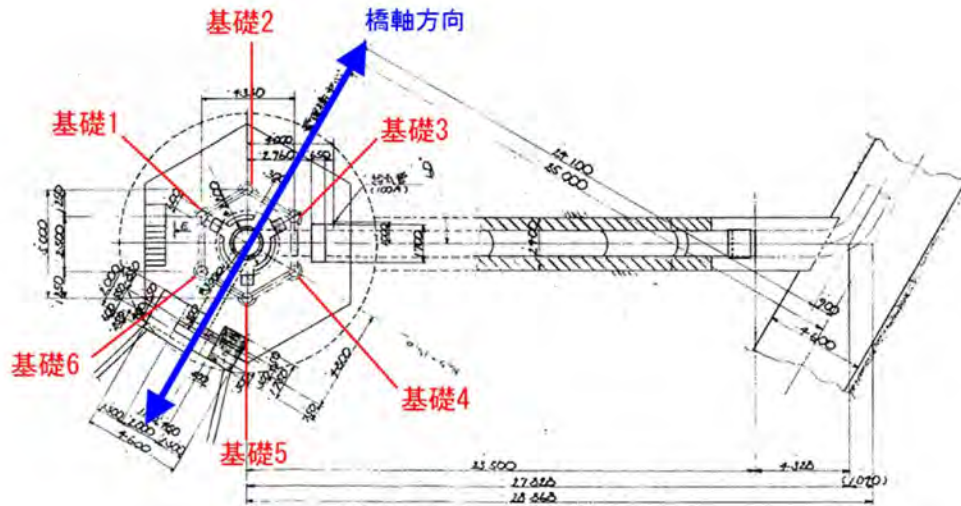


図 6.1.1.2-6 基礎支点の設定

6. 線形解析結果

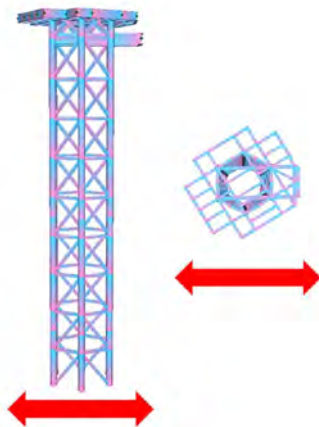
橋軸方向及び橋軸直交方向における線形解析の結果、いずれのケースにおいても部材の塑性化が複数みられた。一方、許容塑性率を超過する部材は見られなかった。

部材の降伏点超過がみられたため、塑性域を考慮した非線形解析を行うこととした。

以下に各ケースの解析結果（概要）を示す。

【Case1 橋軸方向】

表 6.1.1.2-9 部材の照査結果概要（橋軸方向）



部材	要素	材質	合成応力度 σ_{eq} (N/mm^2)	許容値 $1.1\sigma_a$ (N/mm^2)	状態	ϵ (μ)	ϵ_y (μ)	応答塑性率 ϵ/ϵ_y (-)	許容 塑性率 (-)	照査
主柱	t112	SUS304	133.9	203.0	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
主柱	t212	SUS304	226.2	203.0	塑性化	1178	1062	1.1	3.0	OK
主柱	t312	SUS304	263.5	203.0	塑性化	1408	1062	1.3	3.0	OK
主柱	t412	SUS304	77.6	203.0	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
主柱	t512	SUS304	283.2	203.0	塑性化	1545	1062	1.5	3.0	OK
主柱	t606	SUS304	241.4	203.0	塑性化	1268	1062	1.2	3.0	OK
水平材	h906	SUS304	200.6	225.5	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
斜材	s903	SUS304	194.0	225.5	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
管理橋受桁	k205	SUS304	134.6	203.0	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
管理橋受桁2	k207	SUS304	210.6	203.0	塑性化	1091	1062	1.0	3.0	OK

※許容値についてはダム・堰施設技術基準P94より補正した

※許容塑性率は降伏ひずみの3倍とした

図 6.1.1.2-7 地震動の入力方向

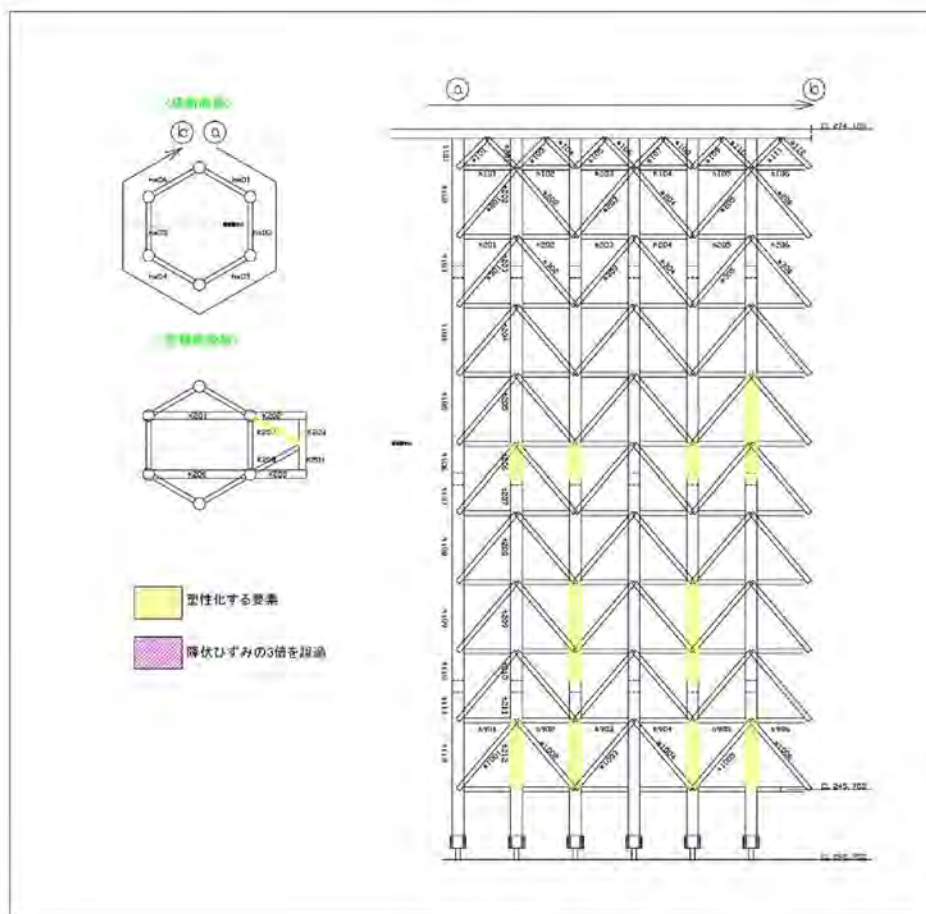


図 6.1.1.2-8 塑性化の状況

【Case2 橋軸直交方向】

表 6.1.1.2-10 部材の照査結果概要（橋軸直交方向）

部材	要素	材質	合成応力度 σ_{eq} (N/mm ²)	許容値 $1.1\sigma_a$ (N/mm ²)	状態	ε (μ)	ε_y (μ)	応答塑性率 $\varepsilon/\varepsilon_y$ (-)	許容 塑性率 (-)	照査
主柱	t112	SU S304	311.6	203.0	塑性化	1758	1062	1.7	3.0	OK
主柱	t212	SU S304	170.3	203.0	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
主柱	t312	SU S304	208.7	203.0	塑性化	1082	1062	1.0	3.0	OK
主柱	t412	SU S304	263.1	203.0	塑性化	1406	1062	1.3	3.0	OK
主柱	t512	SU S304	202.6	203.0	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
主柱	t612	SU S304	151.6	203.0	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
水平材	h802	SU S304	233.5	225.5	塑性化	1220	1062	1.1	3.0	OK
斜材	s902	SU S304	213.8	225.5	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
管理橋受桁	k205	SU S304	65.1	203.0	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK
管理橋受桁2	k207	SU S304	191.2	203.0	弾性範囲	0	1062	0.0	3.0	OK

※許容値についてはダム・堰施設技術基準 P94 より補正した

※許容塑性率は降伏ひずみの3倍とした

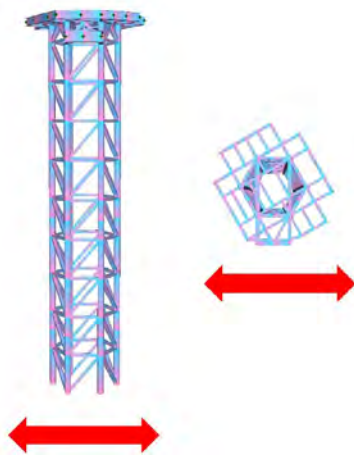


図 6.1.1.2-9 地震動の入力方向

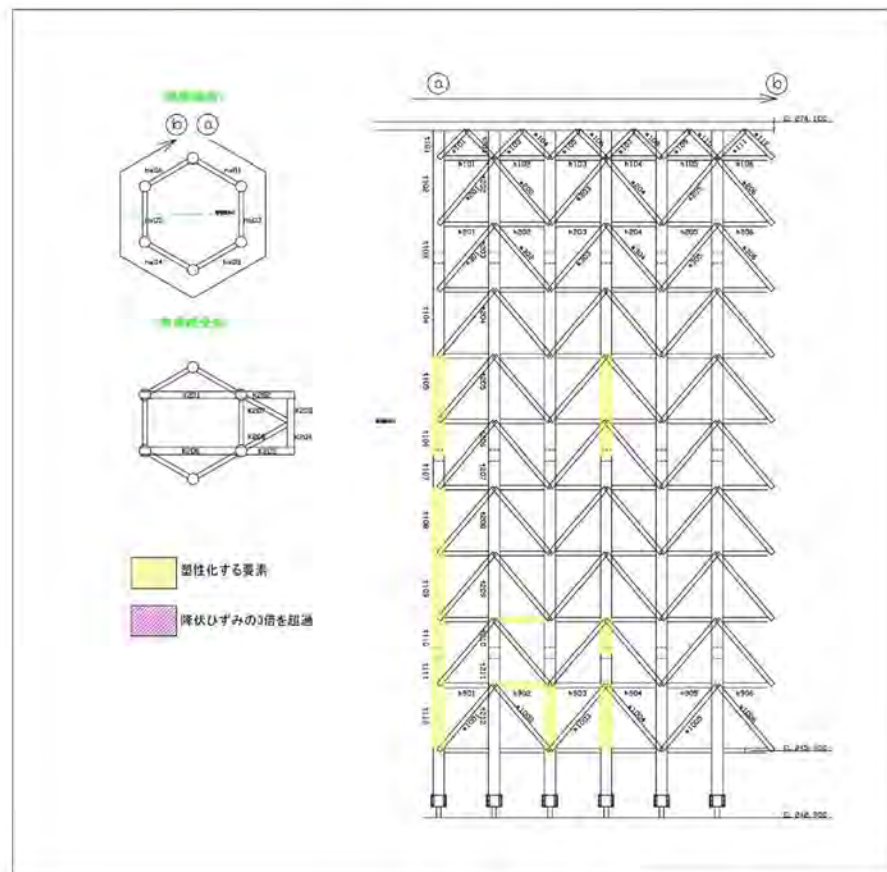


図 6.1.1.2-10 塑性化の状況

7. 非線形解析結果

(1) 解析モデル・条件

非線形解析にはファイバーモデルを用いる。

ファイバー要素は部材断面をメッシュ分割し、各セルに対して材料の応力－ひずみの関係（バイリニアモデル）を与えるものであり、部材の非線形性を適切に評価するために、要素長さを断面の有効高の 0.5 倍～2.0 倍程度とした。

非線形解析の解析モデル及び条件を以下に示す。

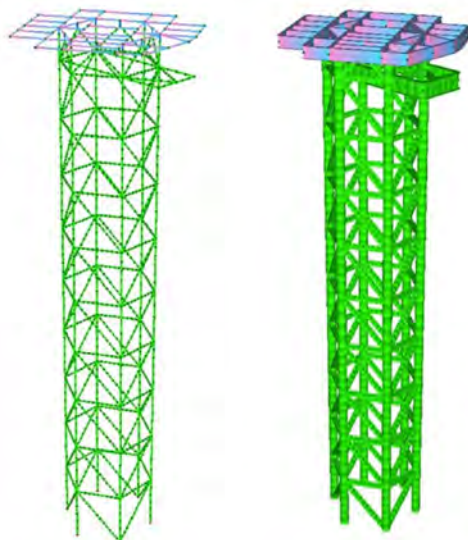


図 6.1.1.2-11 架構モデル、基部固定端（左図）

図 6.1.1.2-12 架構モデルをソリッド表示（右図）

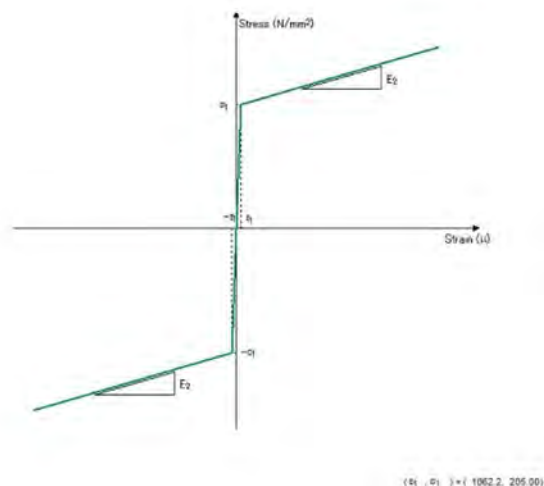
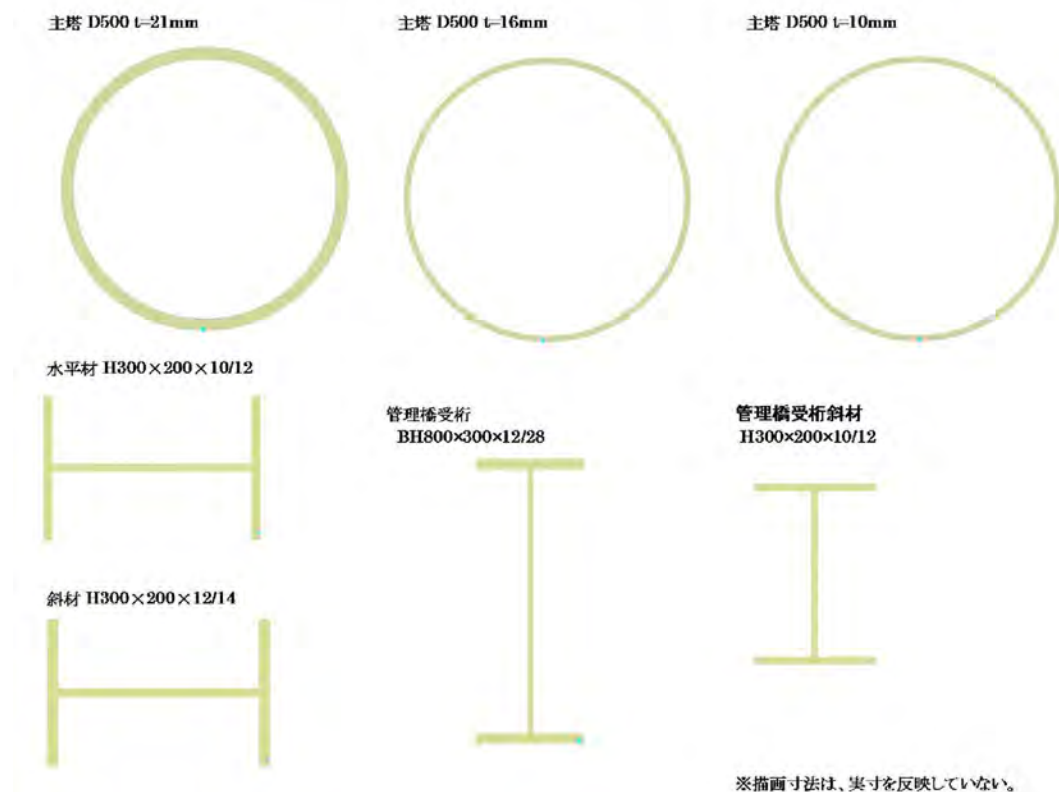


図 6.1.1.2-13 主塔の応力－ひずみの関係



※描画寸法は、実寸を反映していない。

図 6.1.1.2-14 部材メッシュ図

(2) 解析結果

非線形解析の結果、【Case1 橋軸方向】では、層間変形角は4～9層にて許容値($R=1/200$)を超過、【Case2 橋軸直交方向】では3～9層において許容値を超過した。

【Case1 橋軸方向】

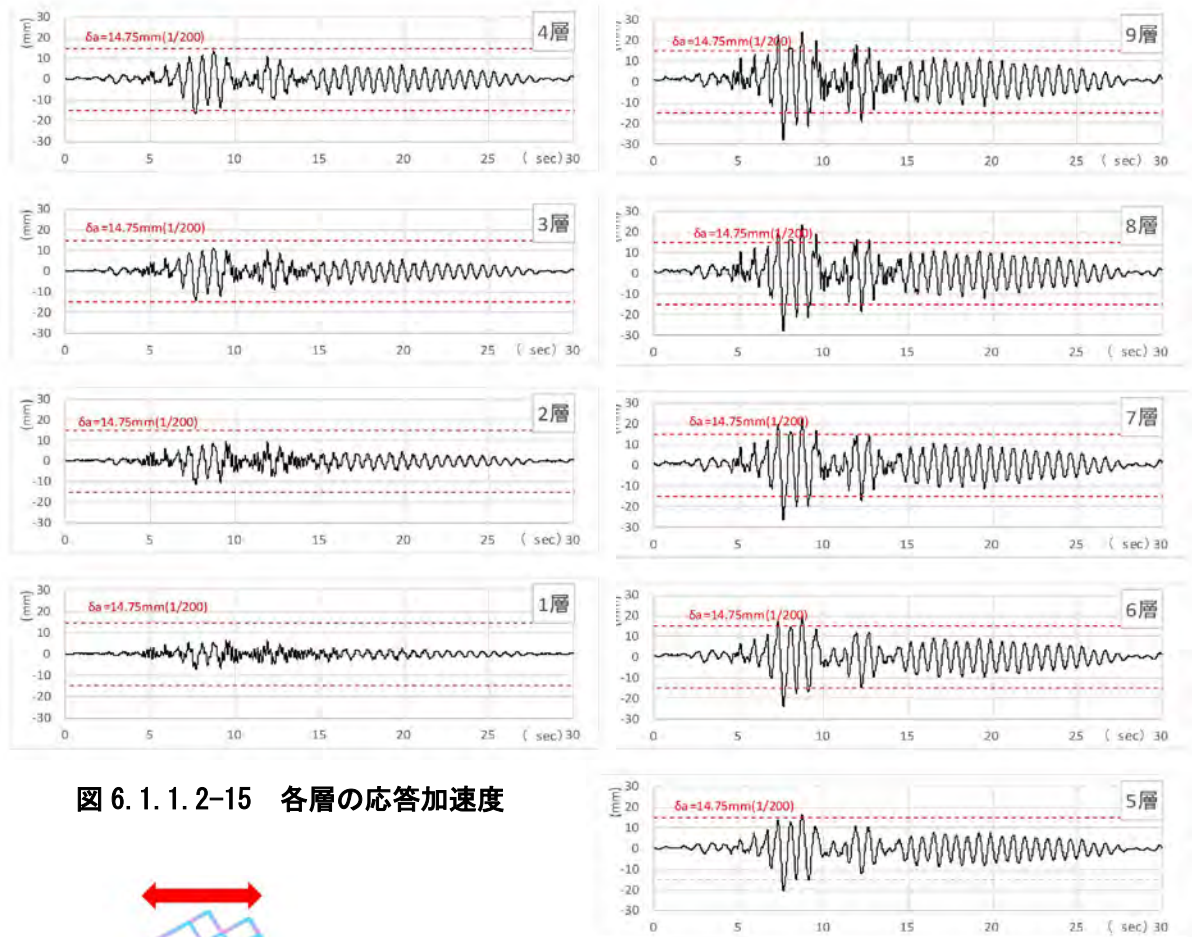


図 6.1.1.2-15 各層の応答加速度

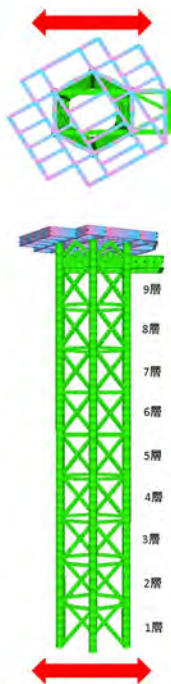


図 6.1.1.2-16 地震動の入力方向

表 6.1.1.2-11 層間変位照査結果(橋軸方向)

層 (-)	h (mm)	Ra (-)	δa (mm)	δ_{max} (mm)	$\delta_{max}/\delta a$ (-)	判定 (-)
1層	2950	1/200	14.75	7.43	0.50	OK
2層	2950	1/200	14.75	11.44	0.78	OK
3層	2950	1/200	14.75	14.03	0.95	OK
4層	2950	1/200	14.75	16.43	1.11	NG
5層	2950	1/200	14.75	20.14	1.37	NG
6層	2950	1/200	14.75	23.81	1.61	NG
7層	2950	1/200	14.75	26.42	1.79	NG
8層	2950	1/200	14.75	28.04	1.90	NG
9層	2950	1/200	14.75	27.83	1.89	NG

【Case2 橋軸直交方向】

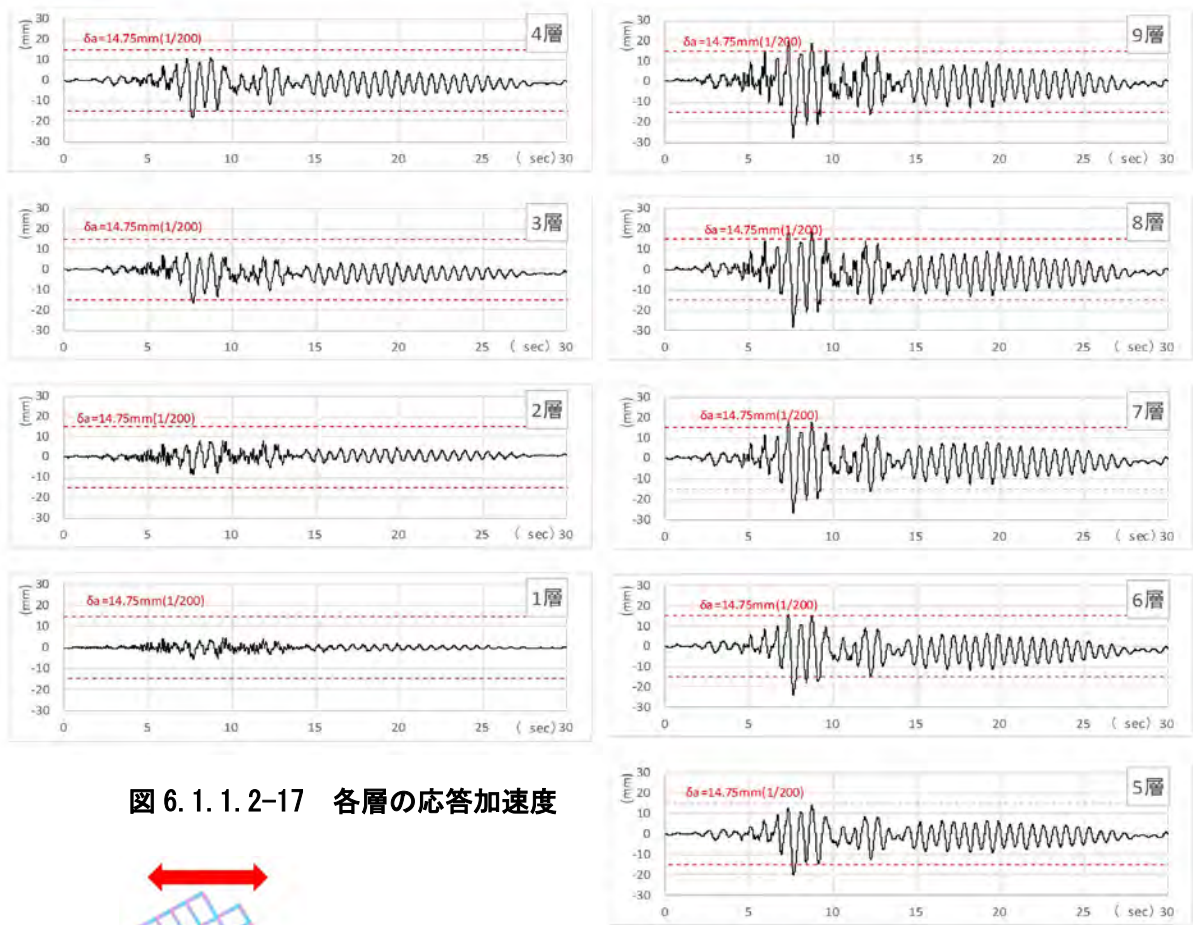


図 6.1.1.2-17 各層の応答加速度

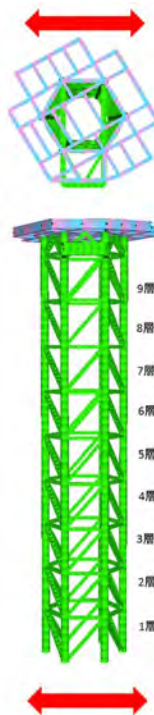


図 6.1.1.2-18 地震動の入力方向

表 6.1.1.2-12 層間変位照査結果(橋軸直交方向)

層 (-)	h (mm)	R _a (-)	δa (mm)	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\max}/\delta a$ (-)	判定 (-)
1層	2950	1/200	14.75	5.35	0.36	OK
2層	2950	1/200	14.75	8.33	0.57	OK
3層	2950	1/200	14.75	16.50	1.12	NG
4層	2950	1/200	14.75	18.41	1.25	NG
5層	2950	1/200	14.75	20.18	1.37	NG
6層	2950	1/200	14.75	24.30	1.65	NG
7層	2950	1/200	14.75	26.70	1.81	NG
8層	2950	1/200	14.75	28.20	1.91	NG
9層	2950	1/200	14.75	27.67	1.88	NG

8. コンクリート基礎の照査

動的解析により、各支柱の基礎反力が求まることから、最大の押し込み力と水平力を抽出し、埋め込みコンクリートの支柱反力を照査した。

この結果、各ケースにおいて押し込み力、水平力とも許容値以下となった。

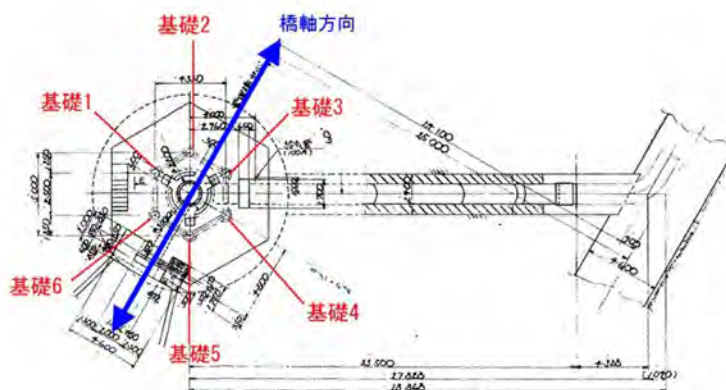


図 6.1.1.2-19 基礎支点の設定

【Case1 橋軸方向】

表 6.1.1.2-13 コンクリート基礎の照査(橋軸方向)

基礎番号	押し込み力 (kN)	直径 (m)	支圧応力 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	判定	基礎番号	水平力 (kN)	直径 (m)	有効埋込長さ (m)	支圧応力 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	判定
基礎1	651.2	0.800	1.30	21.00	OK	基礎1	1179.7	0.500	2.500	0.94	21.00	OK
基礎2	4021.3	0.800	8.00	21.00	OK	基礎2	131.0	0.500	2.500	0.10	21.00	OK
基礎3	7075.8	0.800	14.08	21.00	OK	基礎3	815.2	0.500	2.500	0.65	21.00	OK
基礎4	466.4	0.800	0.93	21.00	OK	基礎4	75.0	0.500	2.500	0.06	21.00	OK
基礎5	7676.9	0.800	15.27	21.00	OK	基礎5	843.5	0.500	2.500	0.67	21.00	OK
基礎6	4518.5	0.800	8.99	21.00	OK	基礎6	135.2	0.500	2.500	0.11	21.00	OK

【Case2 橋軸直交方向】

表 6.1.1.2-14 コンクリート基礎の照査(橋軸直交方向)

基礎番号	押し込み力 (kN)	直径 (m)	支圧応力 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	判定	基礎番号	水平力 (kN)	直径 (m)	有効埋込長さ (m)	支圧応力 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	判定
基礎1	9080.9	0.800	18.07	21.00	OK	基礎1	718.9	0.500	2.500	0.58	21.00	OK
基礎2	2834.5	0.800	5.64	21.00	OK	基礎2	102.0	0.500	2.500	0.08	21.00	OK
基礎3	4157.8	0.800	8.27	21.00	OK	基礎3	1100.4	0.500	2.500	0.88	21.00	OK
基礎4	4259.5	0.800	8.47	21.00	OK	基礎4	144.8	0.500	2.500	0.12	21.00	OK
基礎5	3528.5	0.800	7.02	21.00	OK	基礎5	834.4	0.500	2.500	0.67	21.00	OK
基礎6	2676.5	0.800	5.32	21.00	OK	基礎6	78.4	0.500	2.500	0.06	21.00	OK

9. 耐震照査結果の評価

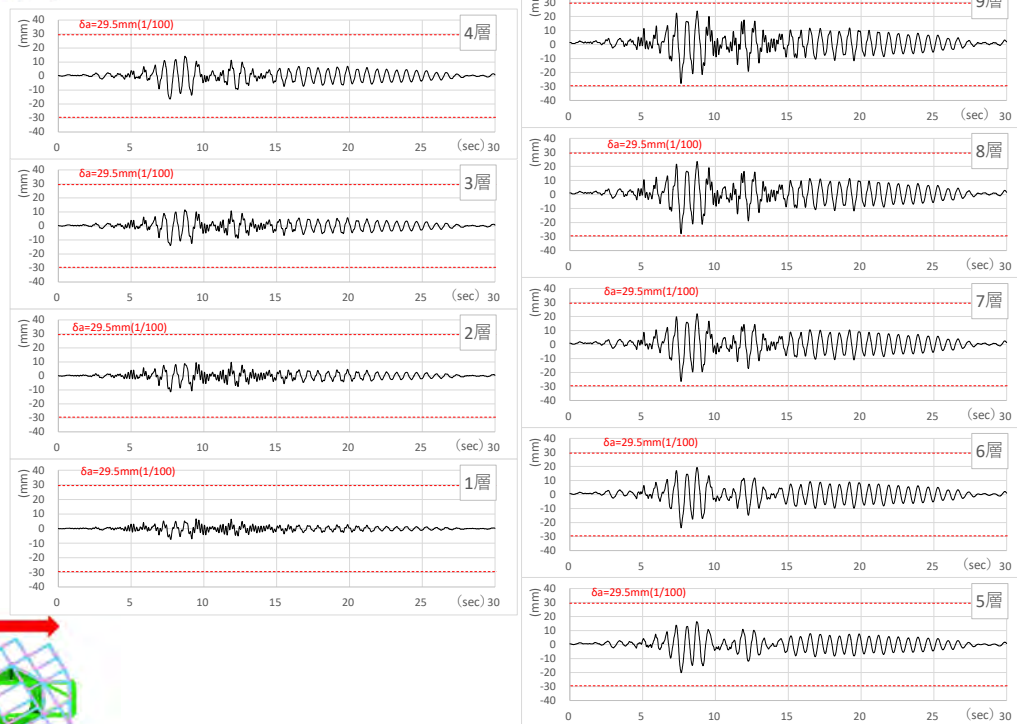
本取水塔の耐震照査結果を以下に示す。

- ・塔体の動的解析の結果、橋軸方向及び橋軸直交方向ともに、部材の塑性化（降伏点の超過）がみられ、層間変位角は橋軸方向で4～9層、橋軸直交方向で3～9層が許容値（ $R=1/200$ ）を超過した。
- ・コンクリート基礎の照査の結果、橋軸方向及び橋軸直交方向ともに、各支柱における押し込み力、水平力はコンクリートの圧縮強度以下であった。

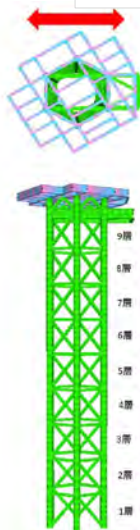
【補足解説】

上記で整理した検討事例では、非線形解析による「層間変位角」が許容値（ $R=1/200$ ）を超過する結果となっていたが、本マニュアル(P. 32, 67)では、独立塔型取水設備（取水塔）の耐震性能（損傷の修復を容易に行える状態）の要求性能として、「許容残留変位」を塔高の1/100と規定したことから、これに基づく評価を行うと以下のように許容値内に収まる結果となる。

【Case1 橋軸方向】

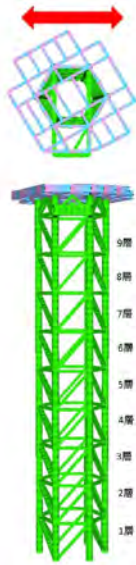
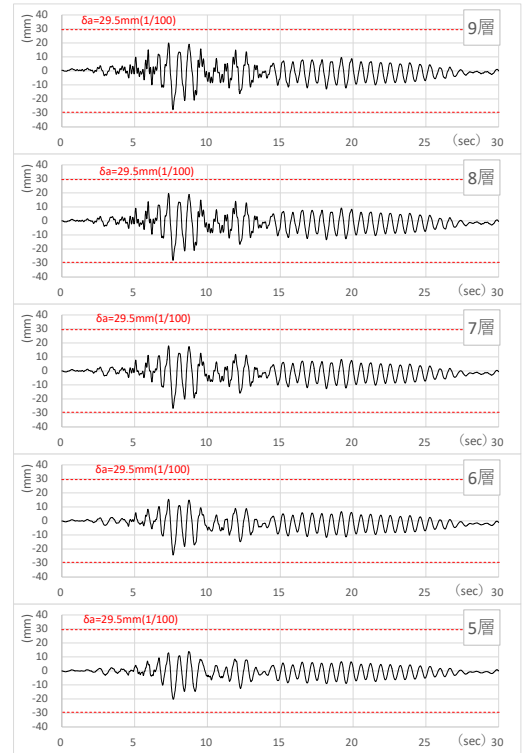
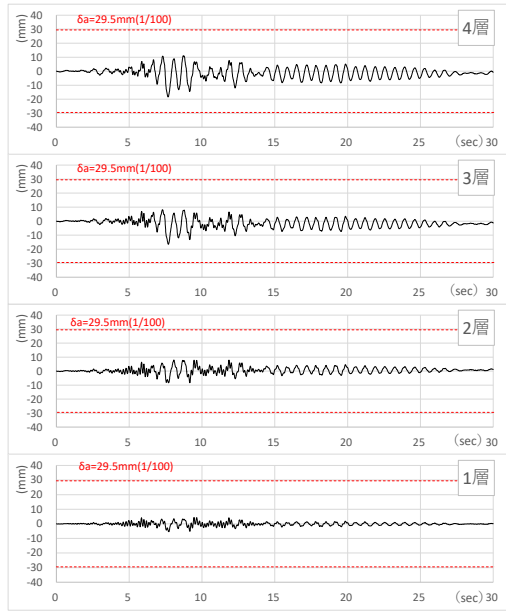


残留変位（層間変形角）の照査



層 (-)	h (mm)	R _a (-)	δ _a (mm)	δ _{max} (mm)	δ _{max} /δ _a (-)	判定 (-)
1層	2950	1/100	29.50	7.43	0.25	OK
2層	2950	1/100	29.50	11.44	0.39	OK
3層	2950	1/100	29.50	14.03	0.48	OK
4層	2950	1/100	29.50	16.43	0.56	OK
5層	2950	1/100	29.50	20.14	0.68	OK
6層	2950	1/100	29.50	23.81	0.81	OK
7層	2950	1/100	29.50	26.42	0.90	OK
8層	2950	1/100	29.50	28.04	0.95	OK
9層	2950	1/100	29.50	27.83	0.94	OK

【Case2 橋軸直交方向】



残留変位(層間変形角)の照査

層 (-)	h (mm)	Ra (-)	δa (mm)	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\max}/\delta a$ (-)	判定 (-)
1層	2950	1/100	29.50	5.35	0.18	OK
2層	2950	1/100	29.50	8.33	0.28	OK
3層	2950	1/100	29.50	16.50	0.56	OK
4層	2950	1/100	29.50	18.41	0.62	OK
5層	2950	1/100	29.50	20.18	0.68	OK
6層	2950	1/100	29.50	24.30	0.82	OK
7層	2950	1/100	29.50	26.70	0.90	OK
8層	2950	1/100	29.50	28.20	0.96	OK
9層	2950	1/100	29.50	27.67	0.94	OK

残留変位(層間変位角)照査結果 (許容値 1/100)

【事例 1-3】鉄筋コンクリート製取水塔の照査例

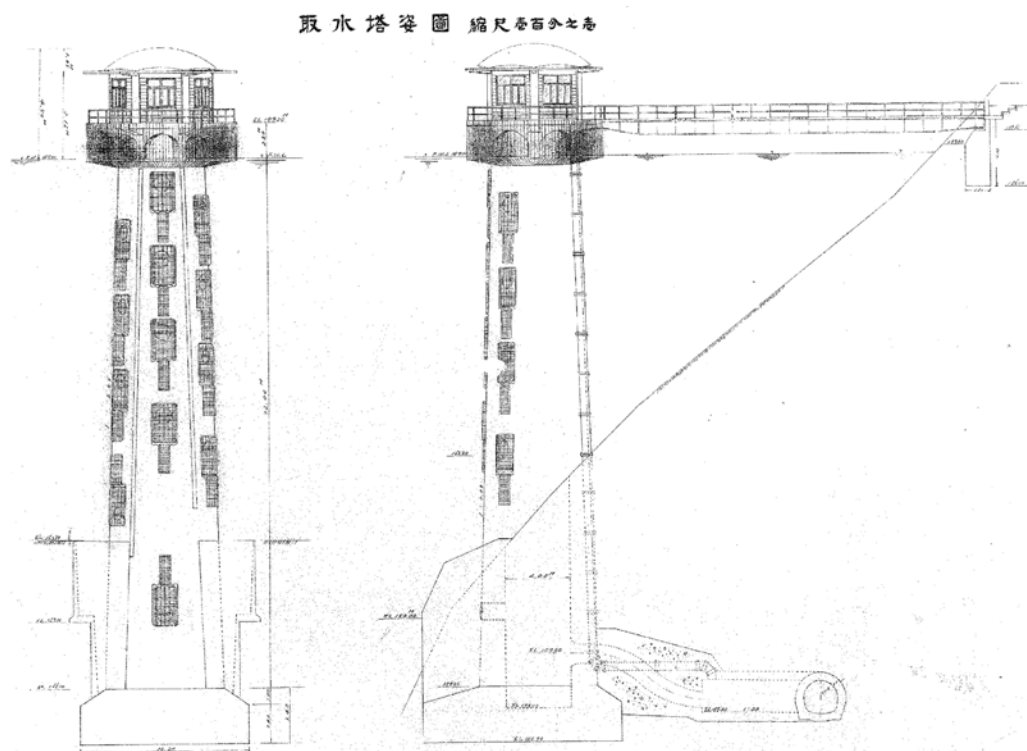
1. 施設概要

対象施設の諸元を示す。

表 6.1.1.3-1 施設諸元

型式	円形独立直立型 (RC)
取水方式	選択取水方式 (洪水吐兼用)
全高	H=34.2m
取水孔	13 門 (円形孔口、 $\phi 1.0\text{m}$ スルースゲート)
内径・外径	内径 4.0m、外径 5.2～7.32m
取水量	常時 $2.2\text{m}^3/\text{s}$ 、非常時 $5.0\text{m}^3/\text{s}$

<構造概要>



<全景写真>



2. 照査基準の設定

本検討においては、以下のように限界状態を設定し、照査することとした。

- ・レベル2地震動に対する耐震性能は「限定された損傷に留める」ものとする。
- ・RC構造の塔体の破壊モードについて、動的解析に先立ってプッシュオーバー解析を実施し、塔体の破壊モードを判定し、部材の曲げ降伏よりもせん断破壊が先に生じることを確認し、「せん断破壊先行型」として評価し、せん断に対する照査を行う。
- ・部材の曲げ降伏は、下図の応力－ひずみ曲線の降伏点より判定、せん断耐力は「設計基準 頭首工」により設定した。

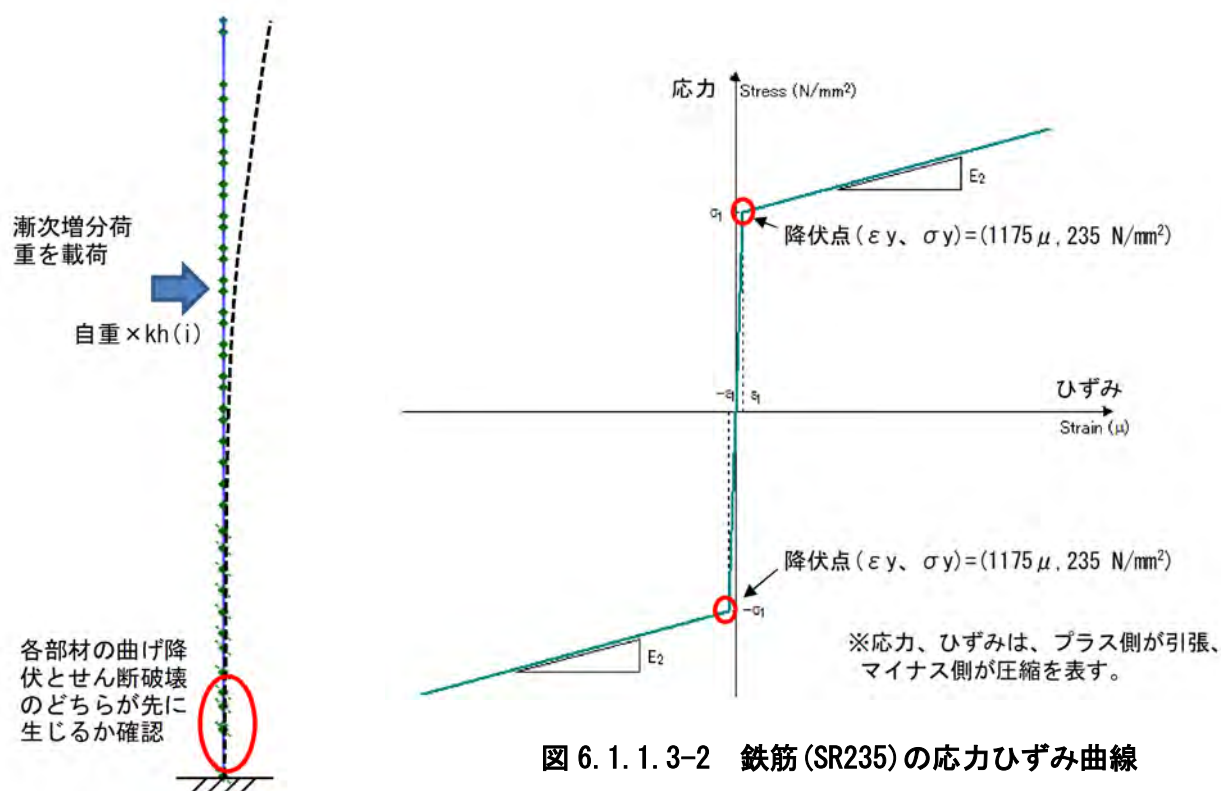


図 6.1.1.3-1 プッシュオーバー解析の概要

3. 解析に用いるレベル 2 地震動

解析に用いる想定地震波は、タイプ 1（プレート境界型）とタイプ 2（内陸活断層型）地震波形とし、地震波をモデルの下端部から入力した。

加振方向は X 軸方向（正面方向）と Z 軸方向（側面方向）の 2 ケースとした。

【レベル 2 地震動】

表 6.1.1.3-2 解析ケース

地震波形	加振ケース	貯水条件	備考
内陸型地震	正面方向	貯水あり (F. W. L.)	塔内は空虚
		貯水なし	
	側面方向	貯水あり (F. W. L.)	塔内は空虚
		貯水なし	
プレート型地震	正面方向	貯水あり (F. W. L.)	塔内は空虚
		貯水なし	
	側面方向	貯水あり (F. W. L.)	塔内は空虚
		貯水なし	

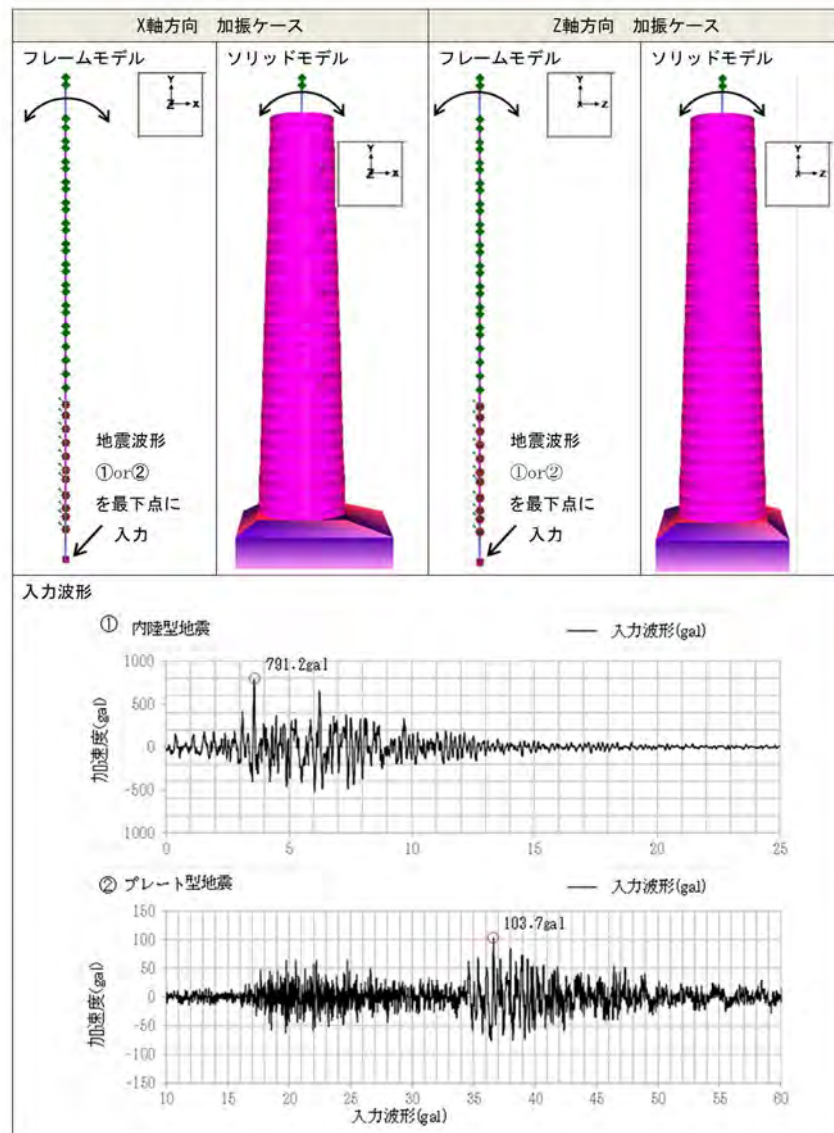


図 6.1.1.3-3 レベル 2 地震動の入力と加振ケース

4. 解析モデルの作成・解析条件

(1) 解析モデル

取水塔の耐震計算のための力学モデルは、以下のように作成した。

- ・ 解析モデルは、塔体の円筒断面を梁要素で表現したモデルとした。
（地震時には、塔の長手方向の応力が卓越）
- ・ 本モデルは、断面不変（平面保持）を仮定しているが、3次元構造を詳細に表現できる FEM モデルとの比較により、本仮定が概ね妥当であることを確認した。
- ・ レベル2 地震動を入力した場合は、コンクリート及び鉄筋材料の非線形特性を考慮した非線形解析を実施する。その際は、軸力変動を考慮するため、ファイバーモデルを適用する。
- ・ フーチング部の地山による拘束効果は、地盤ばねにより表現。ばねは、塔の側方及び平面への変位に対しては抵抗するが、前面の変位に対しては抵抗しないような特性とした。
なお、地盤ばねのばね定数は、ダム基礎岩盤の水平載荷試験結果をもとに計算した。
- ・ 連絡橋は、その重量のみを考慮し、解析モデルには含めない。

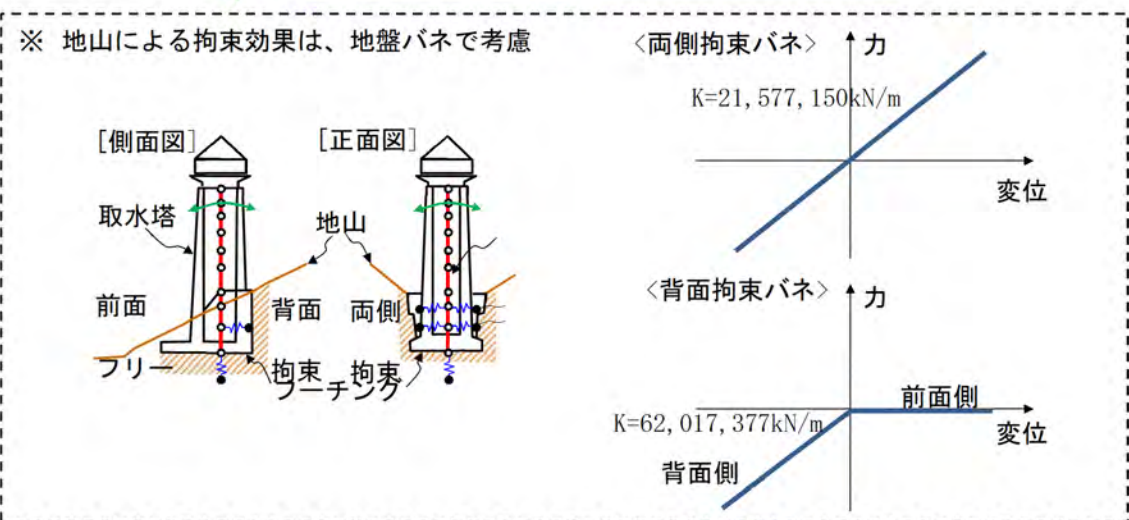
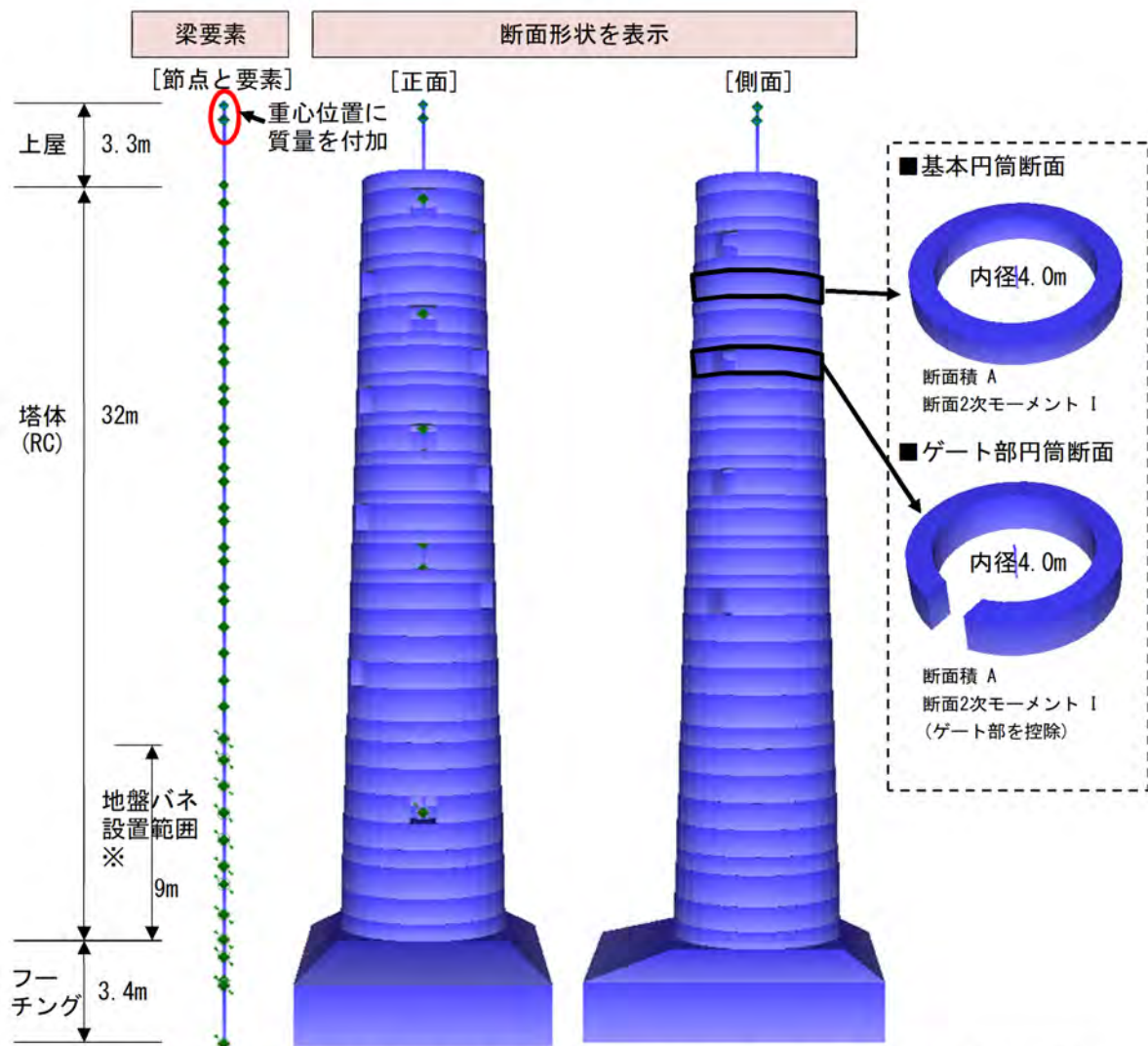


図 6.1.1.3-4 C ダム取水塔の解析モデル

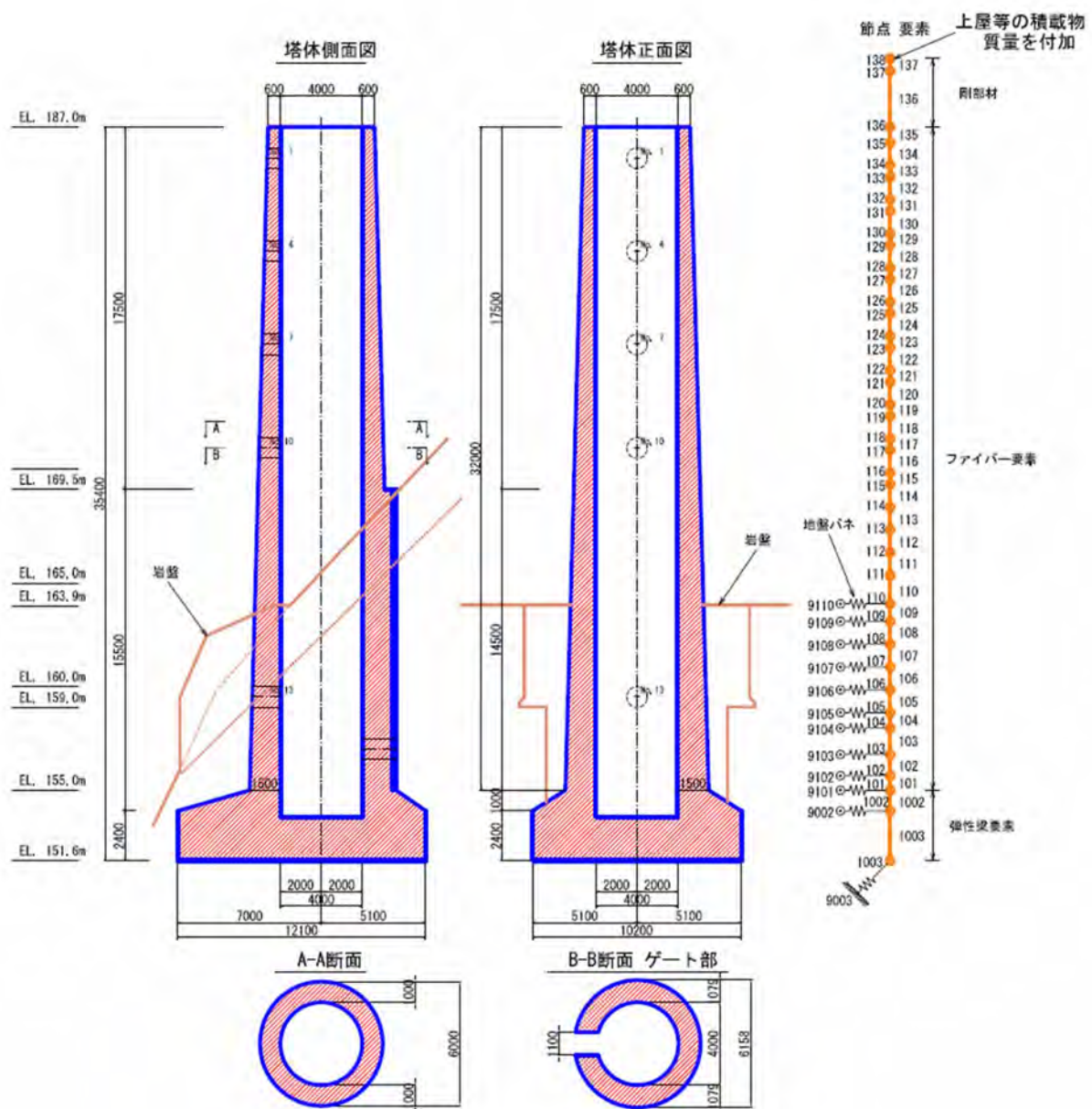


図 6.1.1.3-5 解析モデル（節点・要素）

(2) 作用荷重

重量及び荷重条件を考慮し、自重、積算物による慣性力を作用させた。

また、貯水ありのケースでは、貯水による静水圧と地震時動水圧を以下のように作用させた。

- ・ 静水圧は、円筒断面の外側からの圧力 P に対して、以下のように断面に作用する応力を求め、断面当たりの軸力として、梁要素に作用させた。

水圧 P による長手方向の応力 σ

$$\sigma = P \times \pi/4 \times D^2 / (\pi \times D \times t) = P \times D/4t$$

ここで、 D : 内空の直径、 t : 肉厚

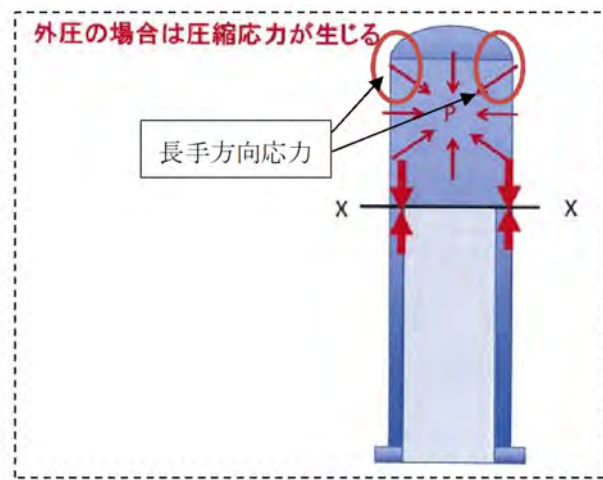


図 6. 1. 1. 3-6 塔に作用する圧力と長手方向の応力

- ・ 地震時動水圧は、以下のウェスタガードの補正式をもとに、各節点の付加質量を求めて、作用させた。

ウェスタガードの補正式

$$p_{(z)} = \beta \frac{7}{8} \gamma_w k_h \sqrt{H \cdot z}$$

ここに、 $p_{(z)}$: 水深 z における地震時動水圧強度 (kN/m²)

γ_w : 内水の単位体積重量 (kN/m³)

k_H : 水平震度

H : 水槽の水深 (m)

β : 水槽の幅と水深の比 (β/H) による補正係数 (表 6. 1. 1. 3-3 参照)

ウエスタガードの補正式による動水圧分布を下图 6. 1. 3-7 に示す。

表 6. 1. 1. 3-3 β の値

B/H	β
0. 5	0. 397
1. 0	0. 670
1. 5	0. 835
2. 0	0. 921
3. 0	0. 983
4. 0	0. 996
∞	1. 000

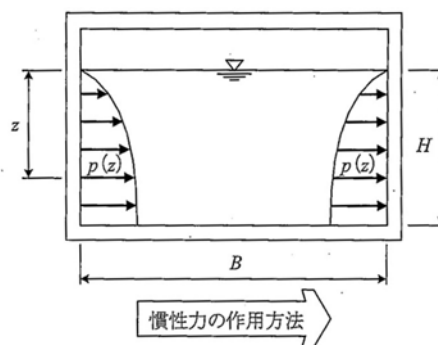


図 6. 1. 1. 3-7 動水圧分布図(ウエスタガードの補正式)

(3) 固有値解析

作成したモデルに設定した荷重（自重、積載物重量、付加重量）を入力し、固有値解析を実施した。以下にその結果を示す。

対象施設の卓越するモード次数は、X 軸方向（正面）は 2 次及び 12 次、Z 軸方向（側面）は 1 次と 8 次となった。

表 6.1.1.3-4 固有値解析結果一覧

貯水あり				貯水なし			
次数	固有周期 (s)	有効質量比(%)		次数	固有周期 (s)	有効質量比(%)	
		X	Z			X(正面)	Z(側面)
1次	0.256	0.0	27.6	1次	0.248	0.0	27.6
2次	0.188	20.1	0.0	2次	0.183	20.3	0.0
3次	0.062	0.0	0.0	3次	0.061	0.0	0.0
4次	0.060	0.0	14.8	4次	0.057	0.0	14.7
5次	0.043	8.6	0.0	5次	0.041	8.7	0.0
6次	0.025	0.0	26.4	6次	0.025	0.0	0.0
7次	0.025	0.0	1.1	7次	0.024	0.0	26.4
8次	0.020	0.0	30.0	8次	0.019	0.0	31.0
9次	0.018	3.0	0.0	9次	0.017	3.1	0.0
10次	0.013	0.0	0.0	10次	0.013	0.0	0.0
11次	0.012	0.0	0.2	11次	0.012	0.0	0.2
12次	0.012	54.2	0.0	12次	0.011	53.8	0.0

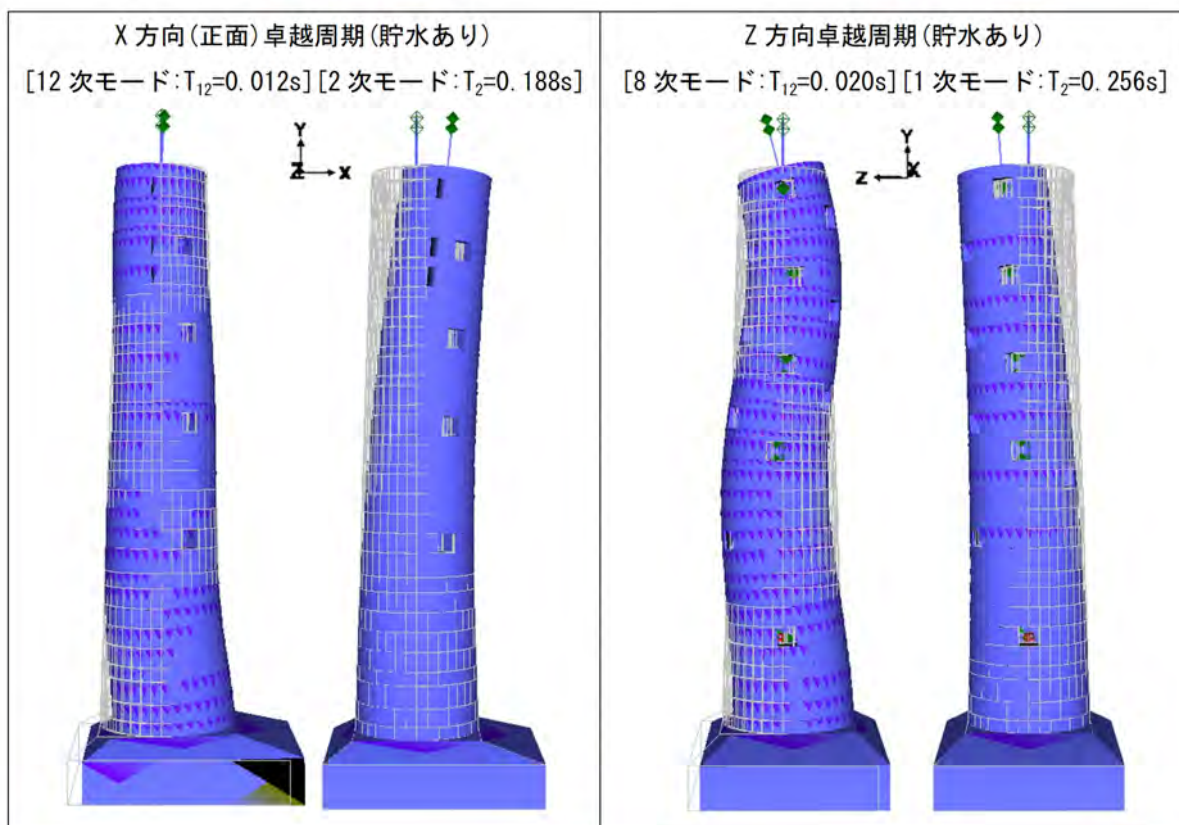


図 6.1.1.3-8 C ダム取水塔の主な変形モード(貯水あり)

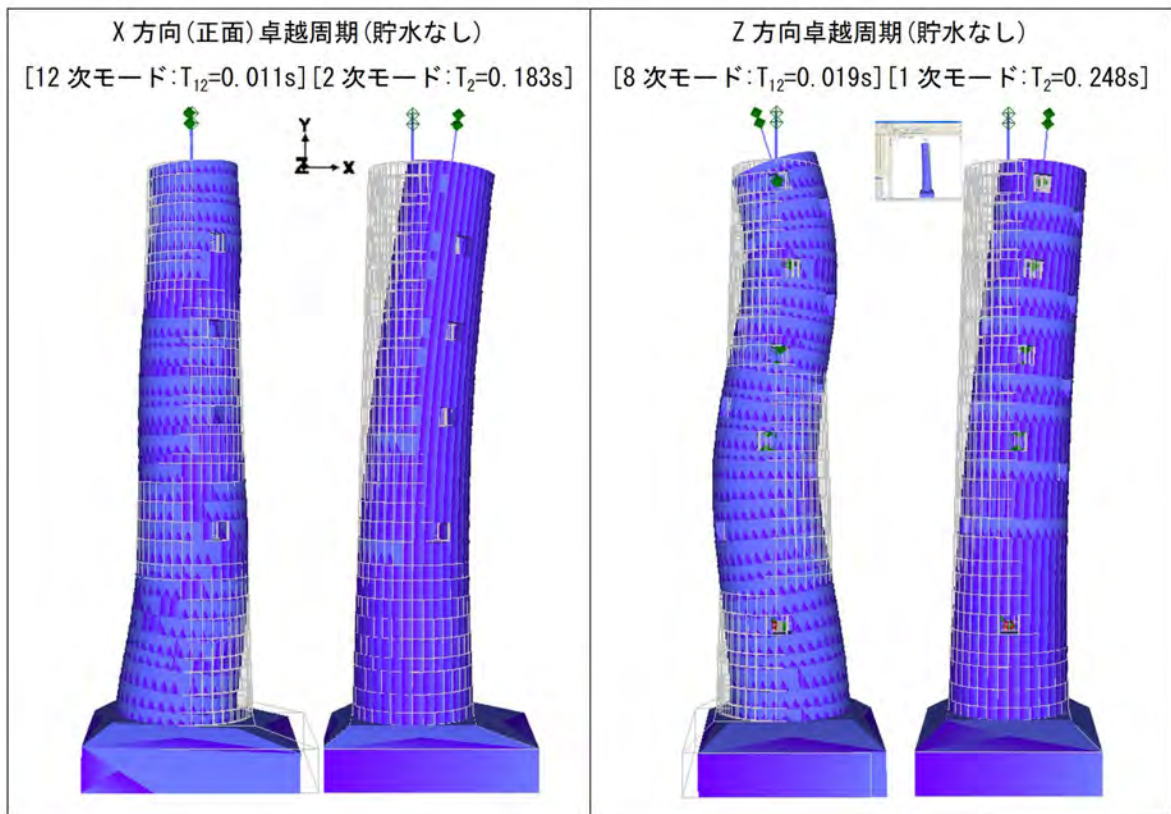


図 6.1.1.3-9 C ダム取水塔の主な変形モード (貯水なし)