

京都大学原子炉実験所研究用原子炉(KUR)
新耐震指針に照らした耐震安全性評価(中間報告)

(機器・配管系の耐震安全性評価)

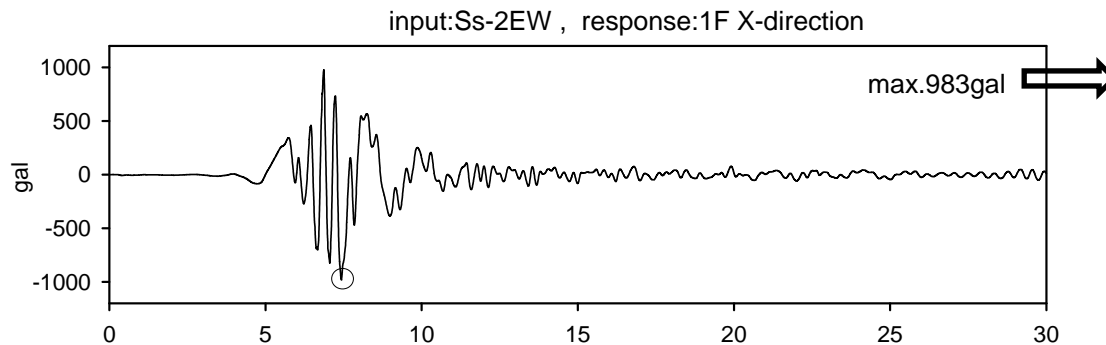
平成21年12月18日
京都大学原子炉実験所

機器配管系SWG-2の検討項目

1. 使用済み燃料貯蔵プール
2. 生体遮へい体
3. 制御棒駆動装置案内管
4. 粗・微調整棒取付部分
5. 炉心直下1次系冷却配管
6. 炉心支持構造物

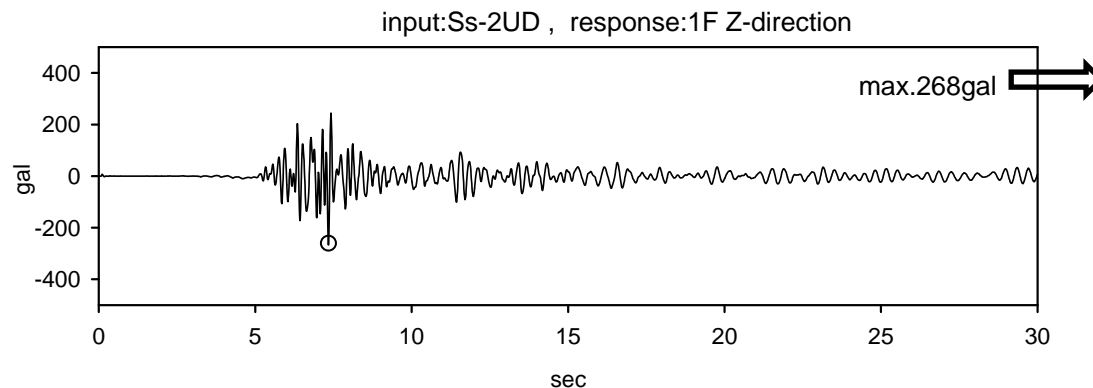
各施設への入力地震動(建屋1階床応答)

水平動



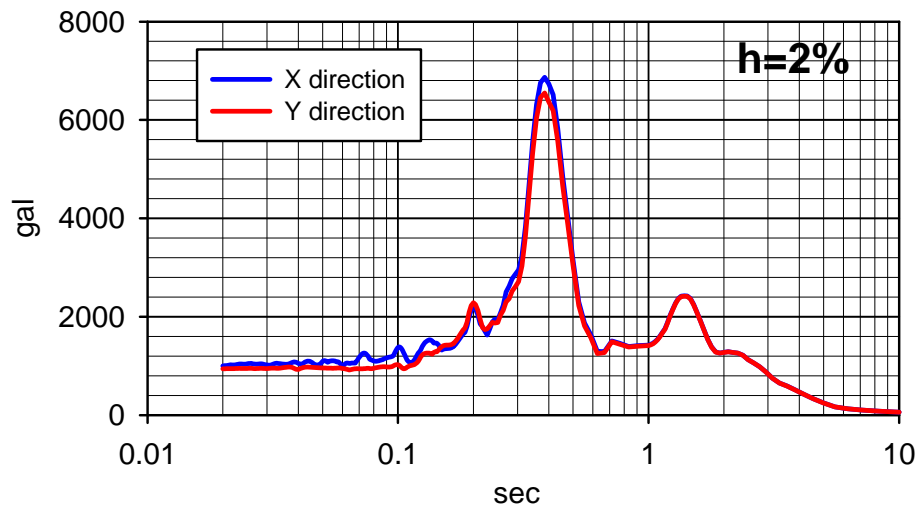
機器配管を剛体モデル近似する場合の水平震度; $C_H=1.0$ とする

鉛直動

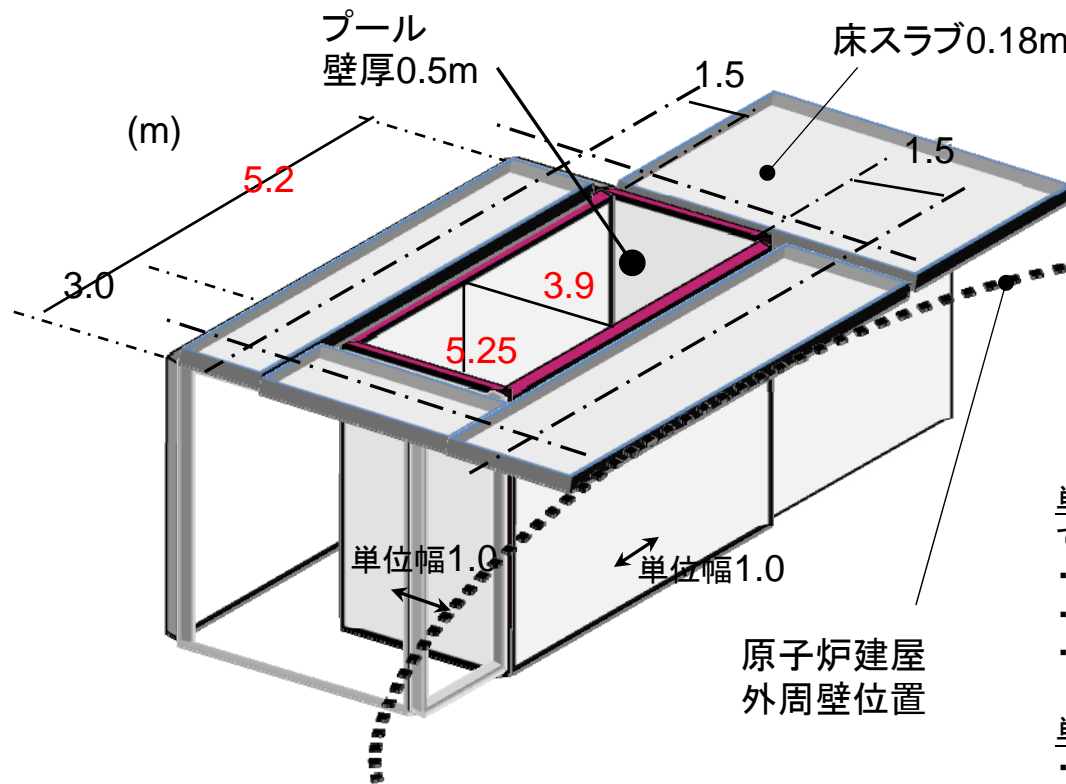


機器配管を剛体モデル近似する場合の鉛直震度; $C_V=0.4$ とする

加速度応答スペクトル



1. 使用済み燃料貯蔵プール



床スラブ、プール側壁、水の慣性力 (1階床最大加速度983gal→水平震度1.0とする)による水平荷重を算定し、壁面内せん断力がコンクリートの許容応力度に比べ小さいことを確認する。

最大応力度と評価

単位幅床重量(幅1.5mの床重量が壁に地震荷重として作用すると考える)

- ・スラブ …4320 N/m²
- ・仕上げ…200 N/m²
- ・積載 ……2100 N/m² 計6620 N/m²
- 6.62kN/m² × 1.5m= **9.93kN/m**

単位幅側壁重量

- ・壁 ……12000 N/m²
- ・仕上げ……1000 N/m² 計13000 N/m²
- 13kN/m² × 5.25m= **68.25 kN/m**

単位幅プール水重量

- 10kN/m³ × 5.25m × 5.2m/2= **136.5 kN/m**
- 合計: **W=9.93+68.25+136.5=214.7kN/m**

→ 水平荷重:P=216.0kN/m

壁脚1mあたりに生じるせん断応力度

$$\tau = P / (\text{単位幅} \times \text{壁厚}) = 0.44 \text{ N/mm}^2$$

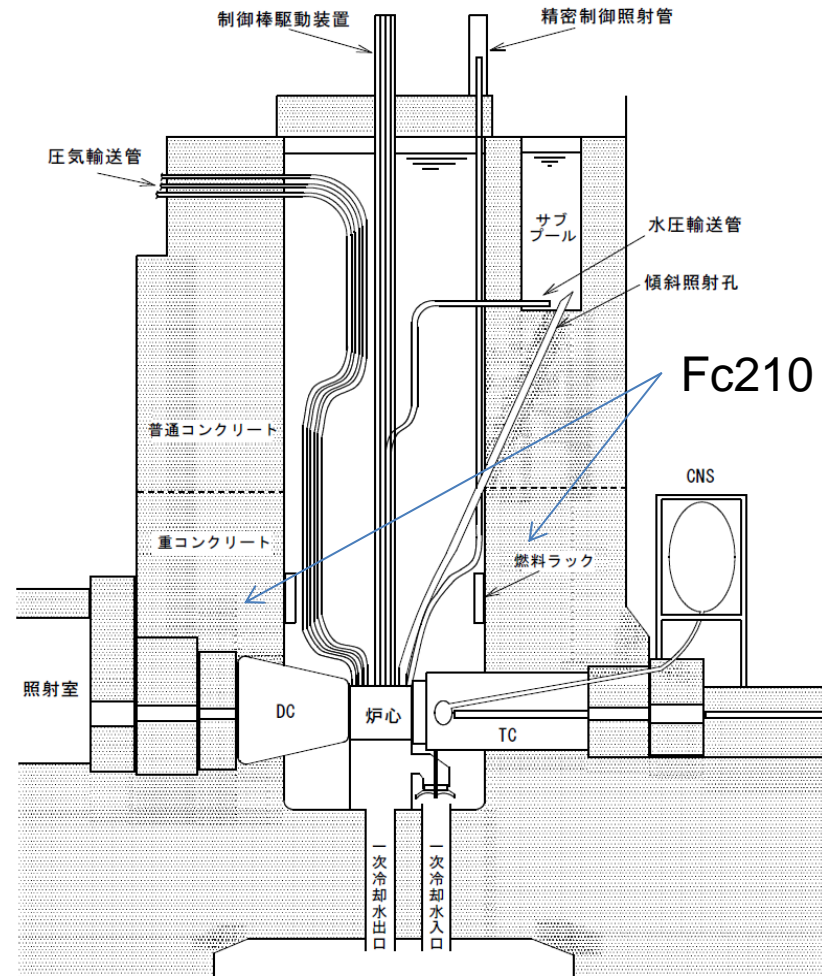
< 許容値 0.9 N/mm²

Fc180短期許容せん断応力度

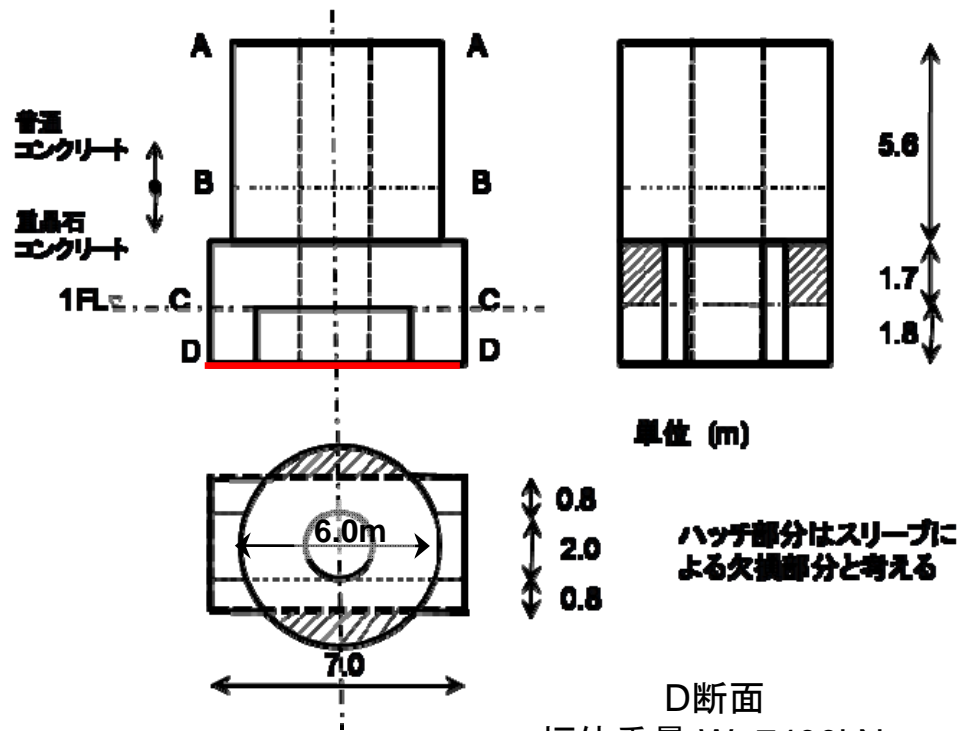
2. 生体遮へい体



原子炉断面図



生体遮へい体



D断面
 炉体重量: $W=7400\text{kN}$
 断面積: $A=25.0\text{m}^2$
 断面係数: $Z=21.0\text{m}^3$
 重心高さ: $H=3.95\text{m}$

炉体1次固有周期は0.025秒であり、剛体としてモデル化。
 水平震度 $CH=1.0$ 、鉛直震度 $CV=0.4$ として、コンクリート断面に生じる応力度を算定する。
 断面A~Dに対して、評価を行いここでは最大応力度が生じる断面Dの結果を示す。

最大応力度と評価

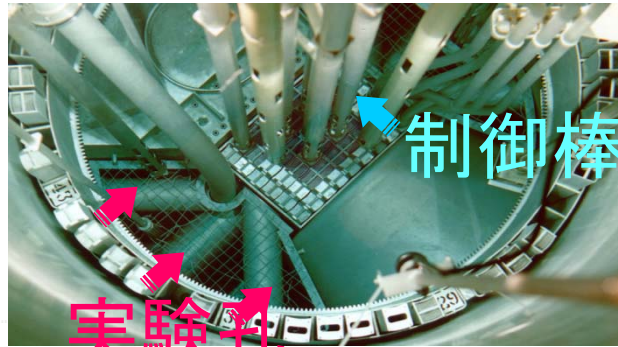
断面力

最小圧縮力: $N_1=(1.0-Cv) \times W = 4,440\text{kN}$
 最大圧縮力: $N_2=(1.0+Cv) \times W = 10,360\text{kN}$
 せん断力: $Q=CH \times W = 7,400\text{kN}$
 曲げモーメント: $M=(CH \times W) \times H = 29,230\text{kNm}$

応力度

引張応力度: $\sigma_t = -N_1/A + M/Z = 1,210 \text{ kN/m}^2$
 $\rightarrow 1.21 \text{ N/mm}^2 < \text{許容値 } 1.4 \text{ N/mm}^2$
 圧縮応力度: $\sigma_c = N_2/A + M/Z = 1,806 \text{ kN/mm}^2$
 $\rightarrow 1.81 \text{ N/mm}^2 < \text{許容値 } 14 \text{ N/mm}^2$
 せん断応力度: $\tau = 1.74(\text{形状係数}) \times Q/A$
 $= 515 \text{ kN/m}^2$
 $\rightarrow 0.52 \text{ N/mm}^2 < \text{許容値 } 1.05 \text{ N/mm}^2$

原子炉建屋(KUR)機器・配管系



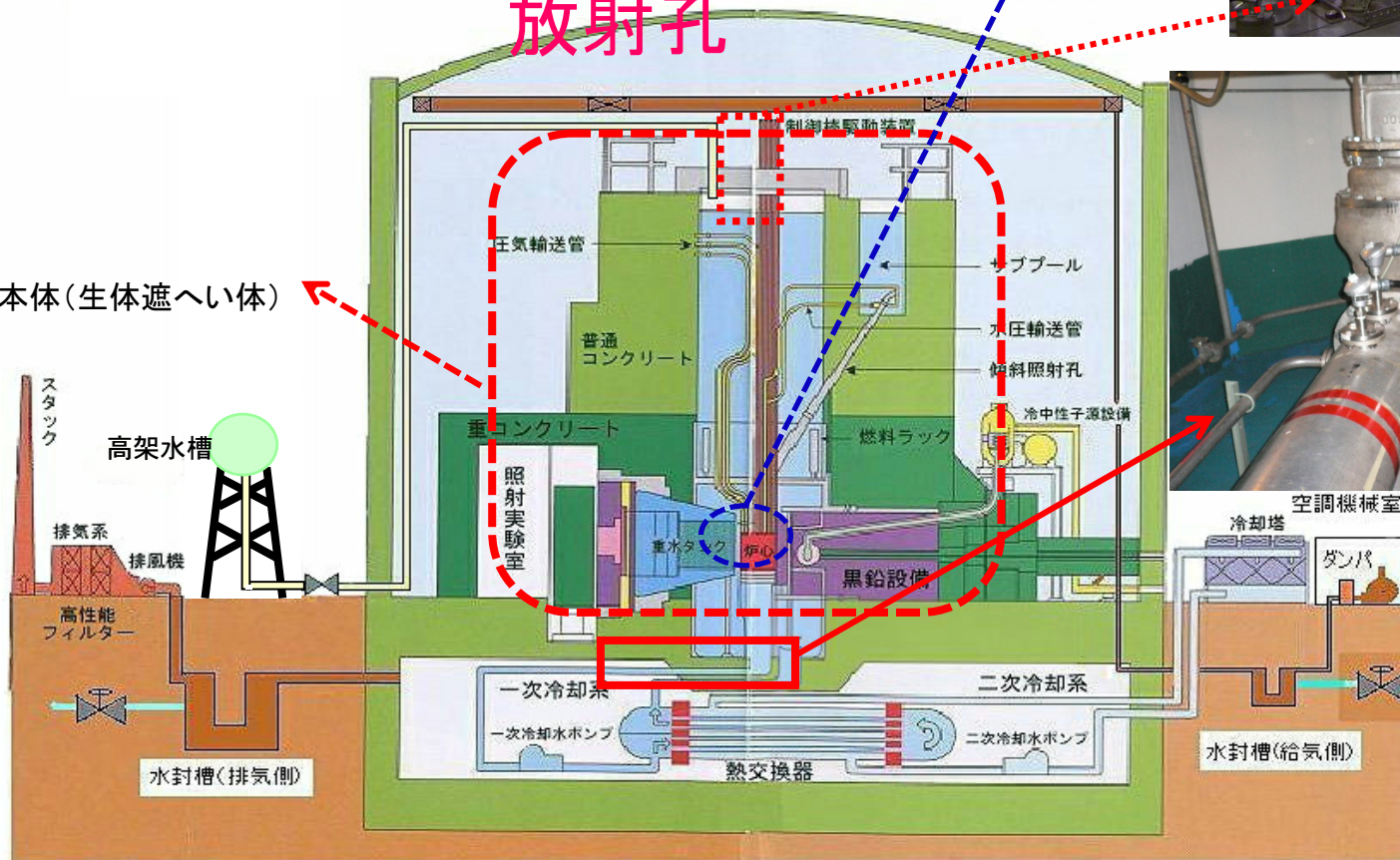
実験孔
放射孔

炉心



制御棒駆動装置

原子炉本体(生体遮へい体)



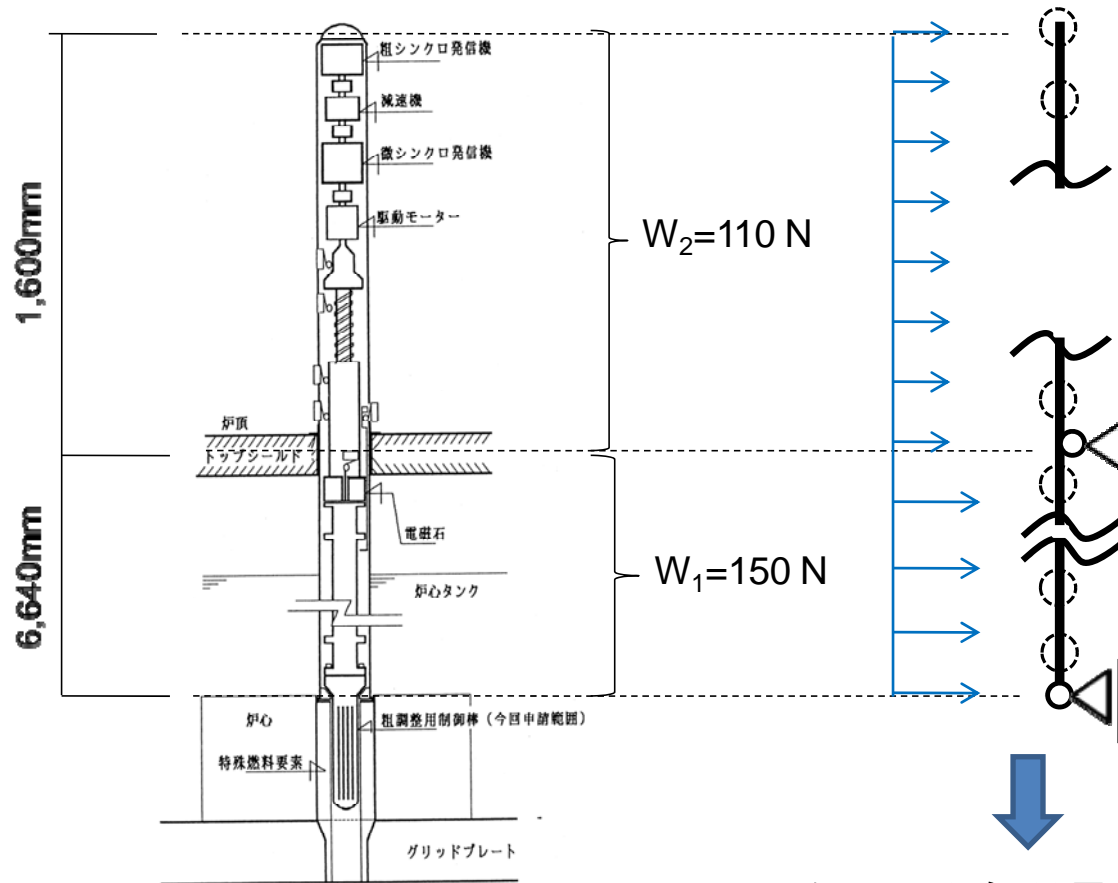
炉心直下1次系配管

3. 制御棒駆動装置案内管

材質: アルミニウム合金A5052P-O
 ヤング率: $E=6.9 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
 断面積: $A=631 \text{ mm}^2$
 断面2次モーメント: $I=355,000 \text{ mm}^4$
 断面係数: $Z=10,140 \text{ mm}^3$

簡略モデル(中間報告書)による評価

21質点系モデルと分布荷重



1次固有周期($T=0.311\text{s}$)における1階床の加速度応答スペクトル値に質量を乗じたものを水平荷重(静的)とし、鉛直は剛体モデルとして応力を算定する。

- ・水平応答加速度(2%減衰)=3,040gal
 →水平震度 $C_H=3.5$
- ・鉛直震度 $C_v=0.4$ (炉体と同値)

最大垂直応力度:

$$\sigma_{\max} = (1.0+0.4)(W_1+W_2)/A + M_{\max}/Z = 44.0 \text{ N/mm}^2$$

< 許容値 65.0 N/mm²

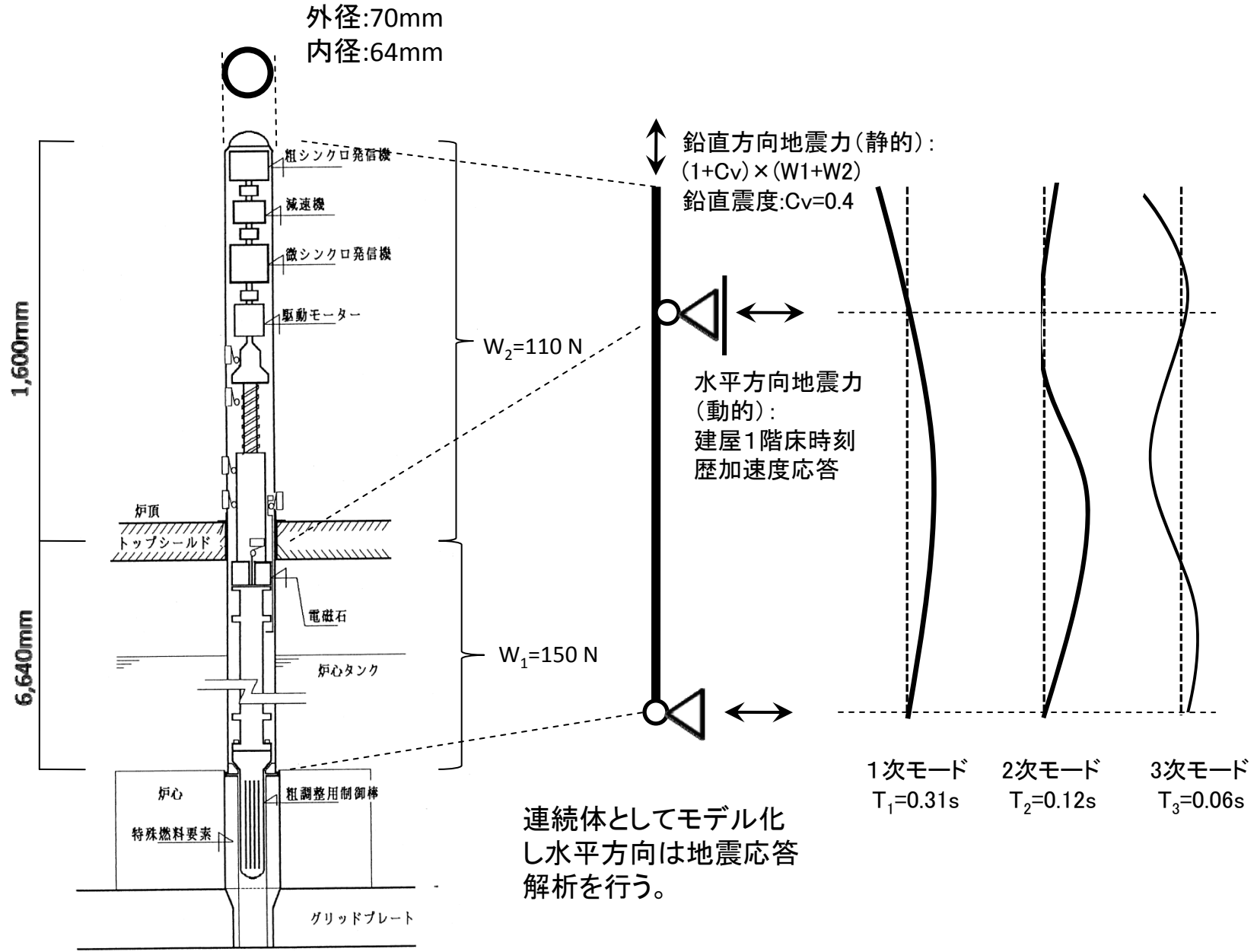
最大せん断応力度:

$$\tau_{\max} = 2Q_{\max}/A = 1.8 \text{ N/mm}^2$$

< 許容値 37.0 N/mm²

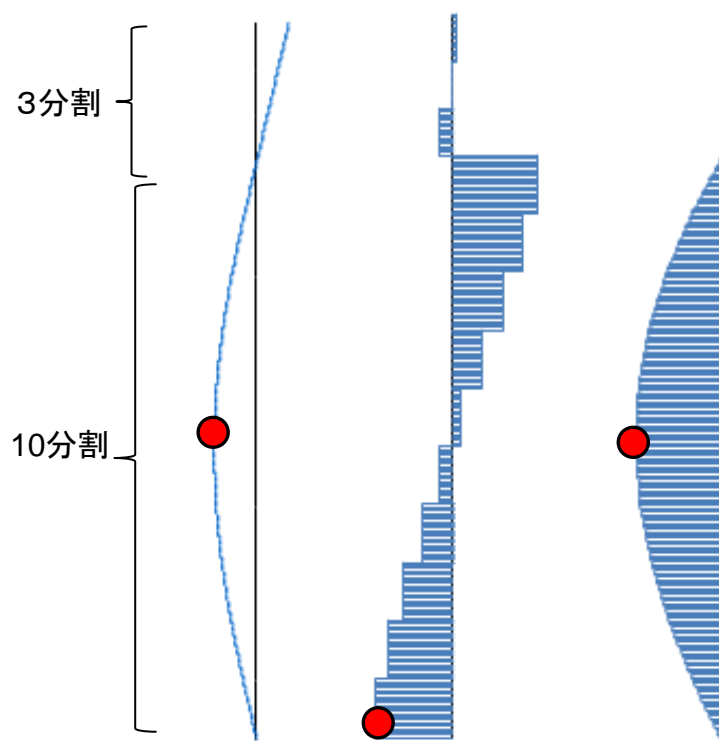
今回、分布質量系フレームモデルとしてモデルを高度化し、応答解析を実施。

制御棒駆動装置案内管



制御棒駆動装置案内管

最大応答時の変形と応力図



たわみ図
最大値: $\delta_{\max} =$
34.1 mm
(静的解析時65.7mm)

せん断力図
最大値:
 $Q_{\max} =$
94.2 N

モーメント図
最大値:
 $M_{\max} =$
188,200 N·mm

最大応答加速度:
2,340gal

最大応力度と評価

最大垂直応力度:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= (1.0+0.4)(W1+W2)/A + M_{\max}/Z \\ &= 19.2 \text{ N/mm}^2 < \text{許容値 } 65.0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

最大せん断応力度:

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= 2Q_{\max}/A \\ &= 0.30 \text{ N/mm}^2 < \text{許容値 } 37.0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$