

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-025-21
提出年月日	2023年2月6日

原子炉ウェルシールドプラグの耐震性についての計算書
に関する補足説明資料

2023年2月

中国電力株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-11-2-9「原子炉ウェルシールドプラグの耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙1 支持部で想定される破壊形式に対する検討

別紙2 浮上りに対する検討

別紙 1 支持部で想定される破壊形式に対する検討

目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. 支持部で想定される破壊形式に対する検討方針	別紙 1-2
3. 支持部で想定される破壊形式に対する検討結果	別紙 1-3

1. 概要

VI-2-11-2-9「原子炉ウェルシールドプラグの耐震性についての計算書」（以下「原子炉ウェルシールドプラグの耐震計算書」という。）では、原子炉ウェルシールドプラグの支持部（以下「支持部」という。）について、圧縮力に対する耐震評価を実施しており、せん断力に対する耐震評価は原子炉ウェルシールドプラグ本体（以下「シールドプラグ本体」という。）に対してのみ実施している。本資料は、支持部で想定される破壊形式に対する検討を行うものである。

2. 支持部で想定される破壊形式に対する検討方針

支持部で想定される破壊形式を示したうえで各破壊形式に対する検討を行う。その結果、原子炉ウェルシールドプラグの耐震計算書における支持部の耐震評価が適切であることを確認する。

3. 支持部で想定される破壊形式に対する検討結果

図 3-1 に支持部で想定される破壊形式を示す。図 3-1 に示すように、支持部では斜め方向及び鉛直方向の滑りせん断破壊が考えられるため、それぞれについて検討した。

(1) 斜め方向の滑りせん断破壊

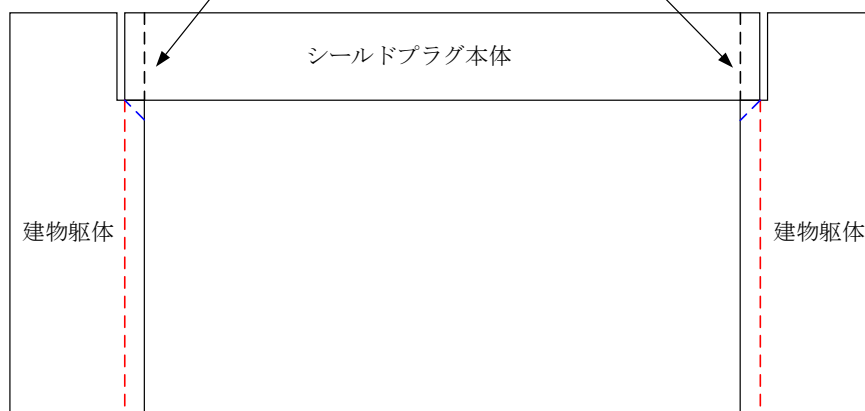
シールドプラグ本体が水平移動しないことを踏まえると、斜め方向の滑りせん断破壊が発生した場合においても、原子炉建物の躯体（以下「建物躯体」という。）に新たに支持点を生じ、落下に至らないため影響はないと考えられる。

(2) 鉛直方向の滑りせん断破壊

鉛直方向の滑りせん断破壊については、建物躯体のせん断力に対する検討を実施することとなる。ここで、建物躯体の断面寸法はシールドプラグ本体の断面寸法より大きいため、建物躯体より先行してシールドプラグ本体の鉛直方向の滑りせん断破壊が生じると考えられる。シールドプラグ本体のせん断力に対する耐震評価は原子炉ウェルシールドプラグの耐震計算書にて実施しており、その健全性が確認されていることを踏まえると、建物躯体の健全性は担保されていると言える。

以上より、支持部について、圧縮力に対する耐震評価を実施することが適切であることを確認した。

シールドプラグ本体のせん断力に対する検討は、
原子炉ウェルシールドプラグの耐震計算書にて実施済



- - - : 斜め方向の滑りせん断破壊面
- - - : 鉛直方向の滑りせん断破壊面

図 3-1 支持部で想定される破壊形式

別紙2 浮上りに対する検討

目 次

1. 概要	別紙 2-1
2. 評価方針	別紙 2-2
2.1 浮上りに対する評価方針	別紙 2-2
2.2 衝突時の荷重に対する評価方針	別紙 2-4
2.2.1 シールドプラグ本体の曲げモーメントに対する評価	別紙 2-7
2.2.2 シールドプラグ本体のせん断力に対する評価	別紙 2-7
2.2.3 支持部の圧縮力に対する評価	別紙 2-8
3. 評価結果	別紙 2-9
3.1 浮上り量に対する評価結果	別紙 2-9
3.2 衝撃力に対する評価結果	別紙 2-9
4. まとめ	別紙 2-9

1. 概要

VI-2-11-2-9「原子炉ウェルシールドプラグの耐震性についての計算書」では、原子炉ウェルシールドプラグ本体（以下「シールドプラグ本体」という。）について、地震荷重が鉛直方向下向きに作用した際のシールドプラグ本体及び原子炉建物躯体の支持部（以下「支持部」という。）の耐震評価を実施している。本資料は、鉛直加速度が1Gを超えることにより発生するシールドプラグ本体の浮上りの影響確認を実施するものである。

2. 評価方針

シールドプラグ本体の設置レベル (EL 42.8m) における地震応答 (最大応答加速度, 最大応答速度及び最大応答変位) を用いて, 鉛直加速度が 1G を超えることにより発生する浮上り量を算出し, 浮上りが発生しても嵌め込み深さを超えずにシールドプラグ本体の設置状況に影響がないことを確認する。また, 浮上りによる衝突時の荷重の影響についても検討する。

2.1 浮上りに対する評価方針

シールドプラグ本体の浮上り量及び建物躯体の最大鉛直変位からシールドプラグ本体と建物躯体との最大離間距離 (絶対値) を算定し, 許容値 (嵌め込み深さ) を下回ることを確認する。

シールドプラグ本体は, 建物躯体の上側最大変位時に建物躯体の最大応答速度で浮き上がり始めると保守的に設定し, シールドプラグ本体の最大浮上り量は, 浮上りを始める位置から最高到達点までの距離とする。また, 建物躯体の最大鉛直変位は, シールドプラグ本体の設置レベル (EL 42.8m) における基準地震動 S_s に対する最大応答鉛直変位とする。

シールドプラグ本体の最高到達点と建物躯体の下側最大変位時の状態との距離を最大離間距離とし, 以下のとおり算定する。最大離間距離 H の概念図を図 2-1 に示す。

$$H = h_1 + h_2 + h_2$$

ここで,

h_1 : シールドプラグ本体の最大浮上り量 (m)

$$h_1 = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

v : 建物躯体の最大応答速度* (m/s)

g : 重力加速度 (m/s²)

h_2 : 建物躯体の最大応答鉛直変位* (m)

注記* : NS2-補-024-01 「原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 3-3 「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示すシールドプラグ本体の設置レベル (EL 42.8m) における基準地震動 S_s に対する不確かさを考慮した最大応答速度及び最大応答変位

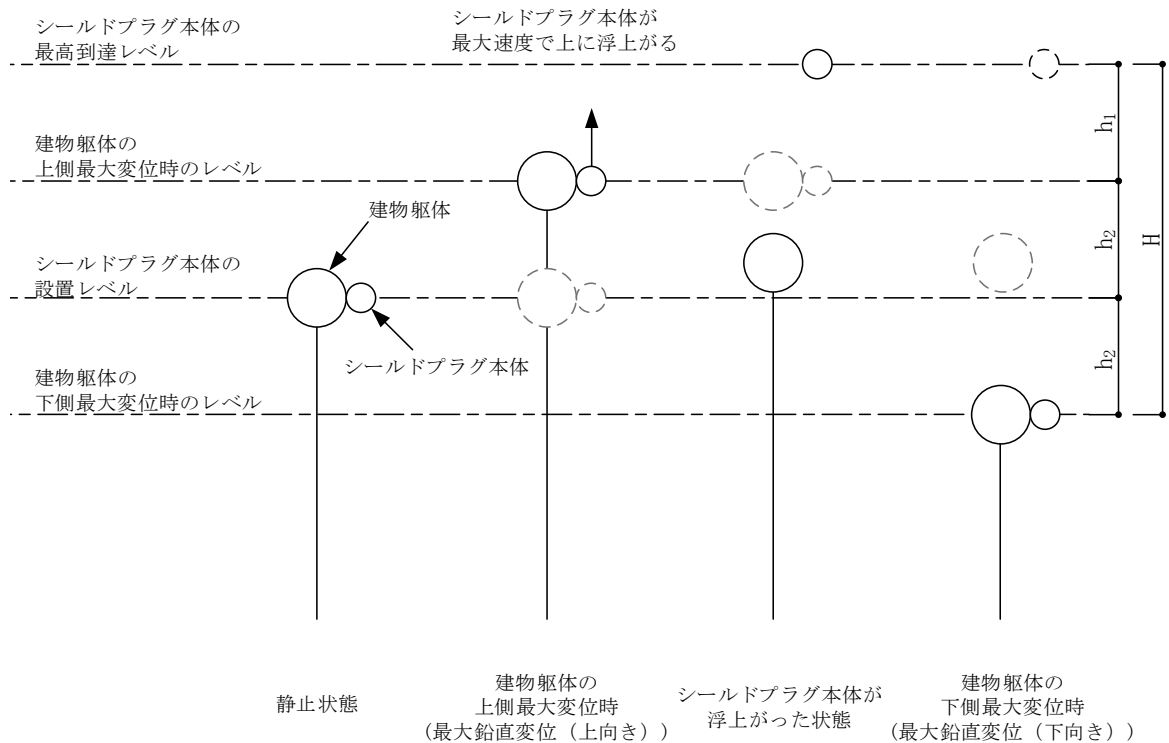


図 2-1 最大離間距離Hの概念図

2.2 衝突時の荷重に対する評価方針

シールドプラグ本体が浮き上がった後、落下し建物躯体と衝突する時の衝撃力に対して、シールドプラグ本体及び支持部が健全であることを確認する。建物躯体とシールドプラグ本体の衝突の概念図を図2-2に示す。

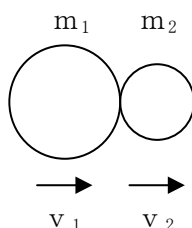


図2-2 建物躯体とシールドプラグ本体の衝突の概念図

衝撃力は力積及び接触時間により算定する。シールドプラグ本体及び建物躯体が衝突する時の力積 P は、以下の式により算定する。

$$P = \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot (1+e) \cdot (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}$$

ここで、

- m_1 : 建物躯体の質量 (kg)
- m_2 : シールドプラグ本体の質量 (kg)
- v_1 : 建物躯体の衝突時の速度 (m/s)
- v_2 : シールドプラグ本体の衝突時の速度 (m/s)
- e : 反発係数

シールドプラグ本体の質量 m_2 に対する建物躯体の質量 m_1 は十分大きく、また、完全弾性衝突を想定すると $e=1$ となることから、上式は以下のようなになる。

$$P = 2 \cdot m_2 \cdot (v_1 - v_2)$$

ここで、

- m_2 : シールドプラグ本体の質量 (kg)
- v_1 : 建物躯体の衝突時の速度 (m/s)
- v_2 : シールドプラグの本体衝突時の速度 (m/s)

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

- g : 重力加速度 (m/s^2)
- H : 最大離間距離 (m)

建物躯体及びシールドプラグ本体が衝突して離れるまでの接触時間 Δt を、シールドプラグ本体を両端ピン支持の単純はりとしたときの単純はりが半振幅する時間とすると、固有周期の 1/2 倍となる。シールドプラグ本体の断面図を図 2-3 に、接触時間の概念図を図 2-4 に示す。

両端ピン支持の単純はりの 1 次固有振動数 f は、以下の式により算定する。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A}}$$

ここで、

- L : 支持スパン (m)
- E : コンクリートのヤング係数 (N/m²)
- I : シールドプラグ本体の断面二次モーメント (m⁴)
- ρ : シールドプラグ本体の単位体積重量 (kg/m³)
- A : シールドプラグ本体の断面積 (m²)

上記の 1 次固有振動数 f を用いて、以下の式により接触時間 Δt を算定する。

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot f}$$

ここで、

- f : 1 次固有振動数 (Hz)

衝撃力 F は、以下の式により算定する。

$$F = \frac{P}{\Delta t}$$

ここで、

- P : 力積 (N・s)
- Δt : 建物躯体及びシールドプラグ本体の接触時間 (s)

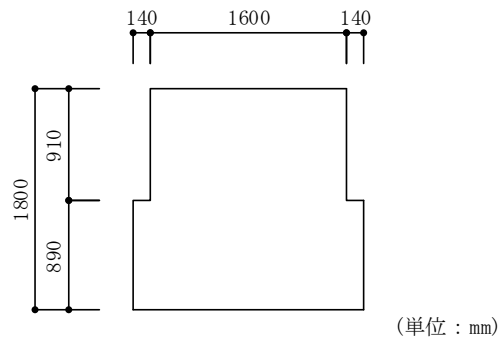


図 2-3 シールドプラグ本体の断面図

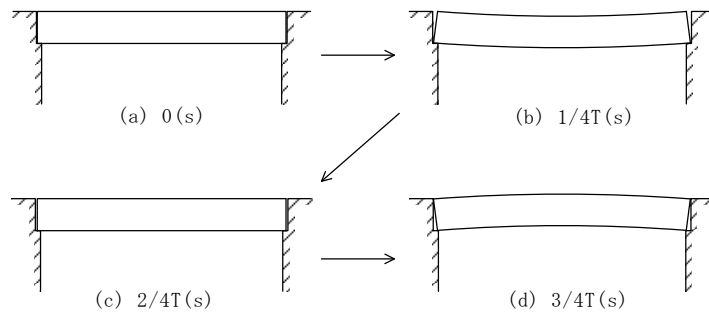


図 2-4 接触時間の概念図

2.2.1 シールドプラグ本体の曲げモーメントに対する評価

シールドプラグ本体の衝撃力による曲げモーメントMが、シールドプラグ本体の短期許容曲げモーメントを下回ることを確認する。シールドプラグ本体に生じる曲げモーメントは、以下の式により算定する。

$$M = \frac{w \cdot L^2}{8}$$

ここで、

w : 衝撃力による評価用荷重 (kN/m)

$$w = \frac{F}{L}$$

L : 支持スパン (m)

F : 衝撃力 (kN)

2.2.2 シールドプラグ本体のせん断力に対する評価

シールドプラグ本体の衝撃力によるせん断力Qが、シールドプラグ本体の短期許容せん断力を下回ることを確認する。シールドプラグ本体に生じるせん断力は以下の式により算定する。

$$Q = \frac{w \cdot L}{2}$$

ここで、

w : 衝撃力による評価用荷重 (kN/m)

$$w = \frac{F}{L}$$

L : 支持スパン (m)

F : 衝撃力 (kN)

2.2.3 支持部の圧縮力に対する評価

シールドプラグ本体の衝撃力により、支持部に作用するシールドプラグ本体からの圧縮力Nが短期許容圧縮力を下回ることを確認する。支持部に作用する圧縮力は、以下の式により算定する。

$$N = \frac{w \cdot L}{2}$$

ここで、

w : 衝撃力による評価用荷重 (kN/m)

$$w = \frac{F}{L}$$

L : 支持スパン (m)

F : 衝撃力 (kN)

3. 評価結果

3.1 浮上り量に対する評価結果

浮上り量に対する評価結果を表 3-1 に示す。シールドプラグ本体及び建物躯体の最大離間距離が評価基準値（嵌め込み深さ）を下回ることを確認した。

表 3-1 浮上り量に対する評価結果

部位	最大離間距離 (mm)	評価基準値 (mm) (嵌め込み深さ)
シールド プラグ本体	9.28	1800

3.2 衝撃力に対する評価結果

衝撃力に対する評価結果を表 3-2 に示す。各部の評価用応力は評価基準値（短期許容応力度）を満足していることを確認した。

表 3-2 衝撃力に対する評価結果

部位	応力	評価用応力	評価基準値
シールド プラグ本体	曲げモーメント (kN・m)	4177	4180
	せん断力 (kN)	1443	2040
支持部	圧縮力 (kN)	1443	5279

4. まとめ

鉛直加速度が 1G を超えることにより発生するシールドプラグ本体の浮上りの影響確認の結果、浮上り量は嵌め込み深さを下回っていること、衝撃力に対するシールドプラグ本体及び支持部の耐震性は確保されていることから、上位クラス施設である原子炉格納容器に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。