

シールドプラグの隙間の 断面積の評価

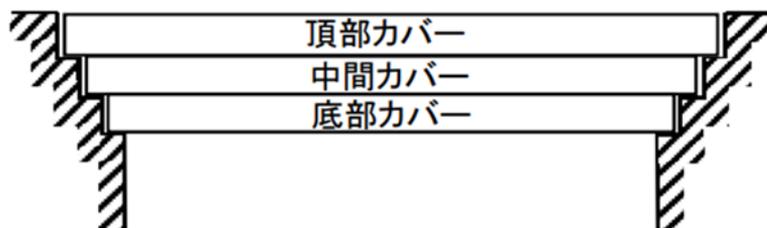
2022年10月31日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究センター

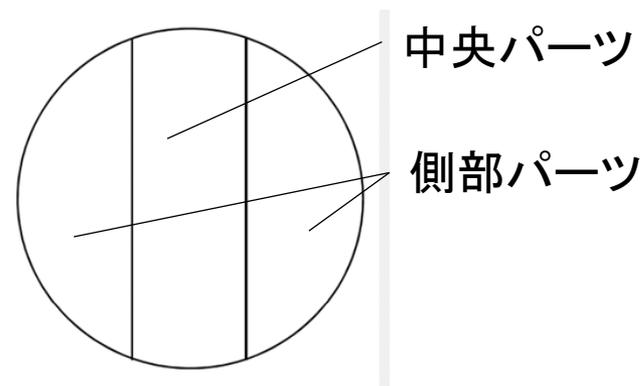
真野晃宏 西田明美 丸山結

- 144 -

- 1F2号機では、シールドプラグの頂部カバーを構成する3枚の板のうち、中心部の板（以下、「中央パーツ」という）の落ち込みが両端の2枚の板（以下、「側部パーツ」という）よりも大きいことが確認されている*。
- この落ち込みによる放射性物質の流路形成の可能性を確認するため、Abaqus/Standard Ver.2020による予備的な自重解析を行い、中央パーツと側部パーツの間に生じる隙間の断面積を求めた。



シールドプラグの断面図**

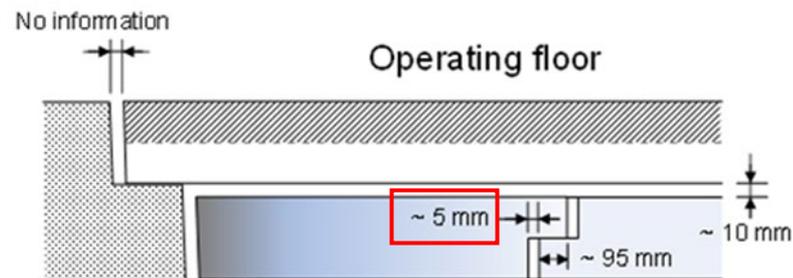
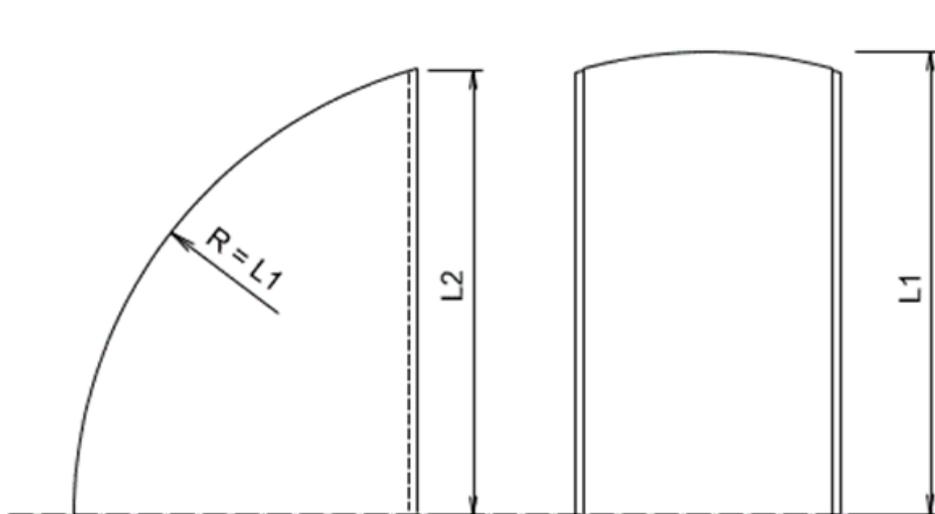


頂部カバーの平面図**

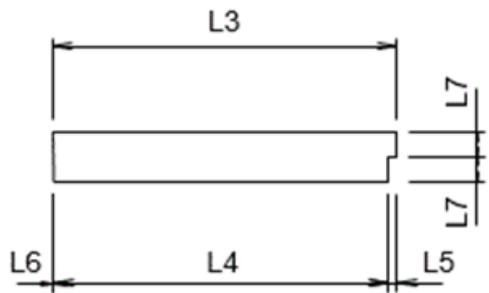
*原子力規制庁 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室、東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析における検討会 第28回会合資料2-1-3、“2号機シールドプラグの変形”、2022年2月28日
(<https://www.nra.go.jp/data/000382268.pdf>)

**原子力規制庁、東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析における検討会 第14回会合資料5-1 追加説明資料、“シールドプラグの設計等について”、2020年10月16日(<https://www.nra.go.jp/data/000331518.pdf>)

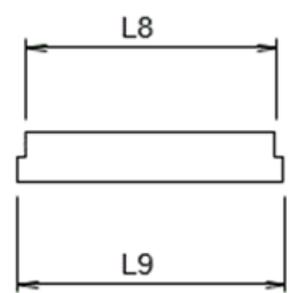
- 以下の図面に基づき、シールドプラグ頂部カバーの解析モデルを作成
- 側部パーツと中央パーツの間には、水平方向に5mmの隙間を設定



シールドプラグの継ぎ目の構造図



側部パーツ

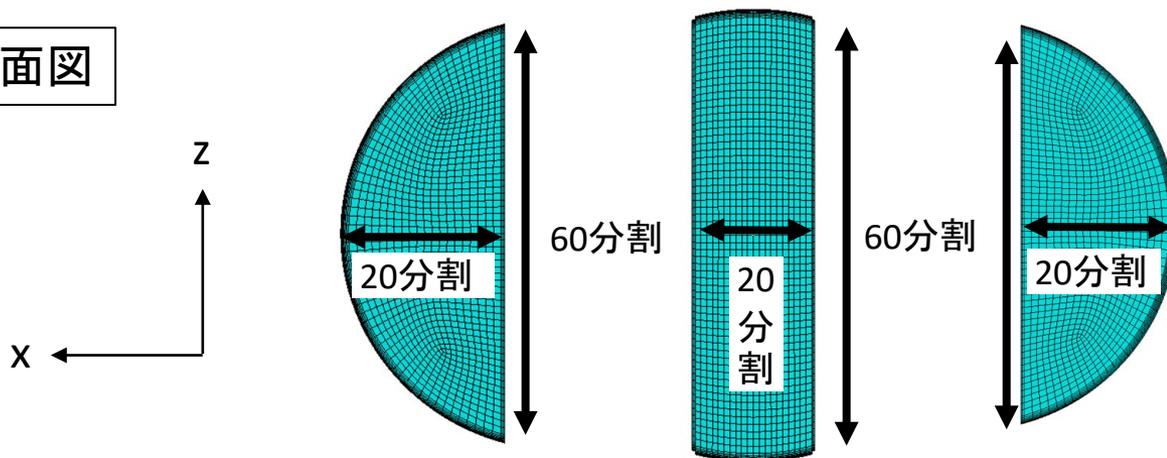


中央パーツ

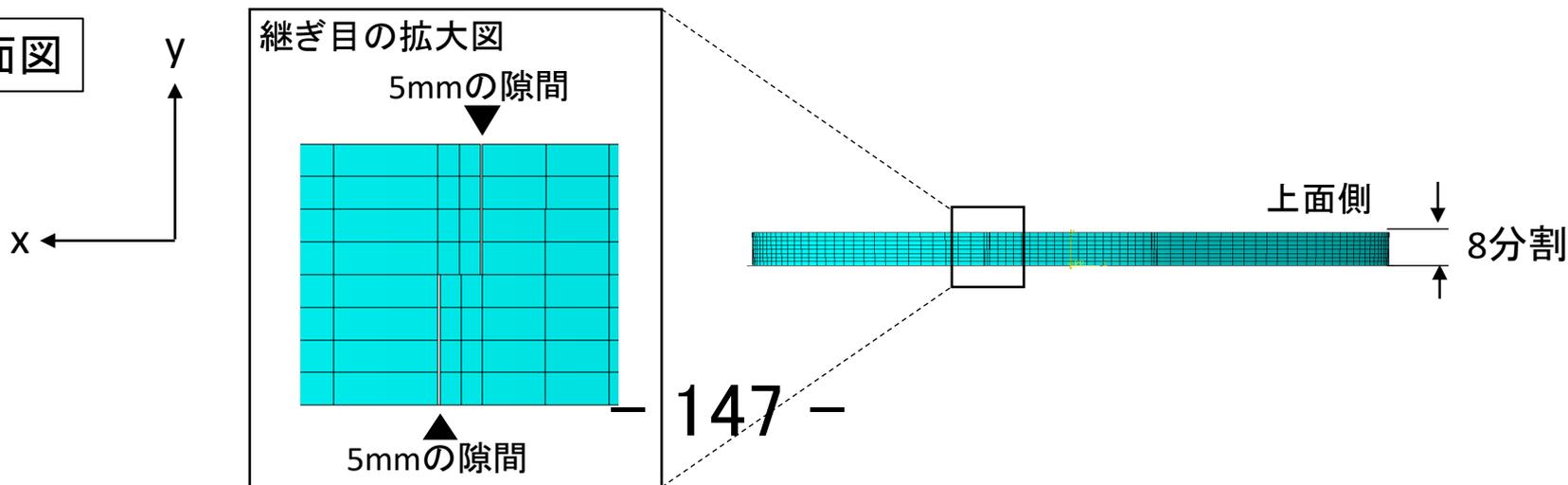
設計書類等からL1~L9を適宜設定

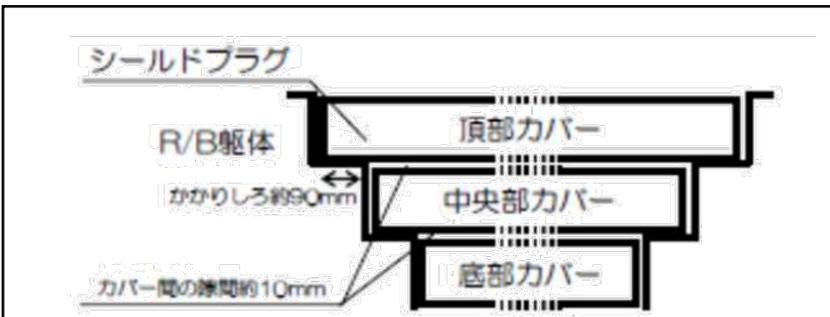
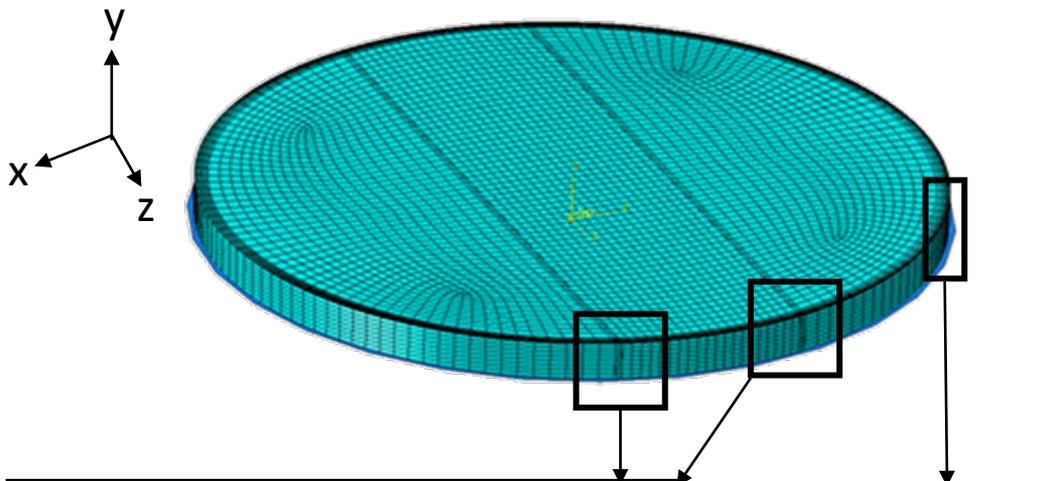
- 解析対象をモデル化するために用いた要素:6面体2次低減積分要素
- モデル全体の要素数:38272、節点数:174547

平面図



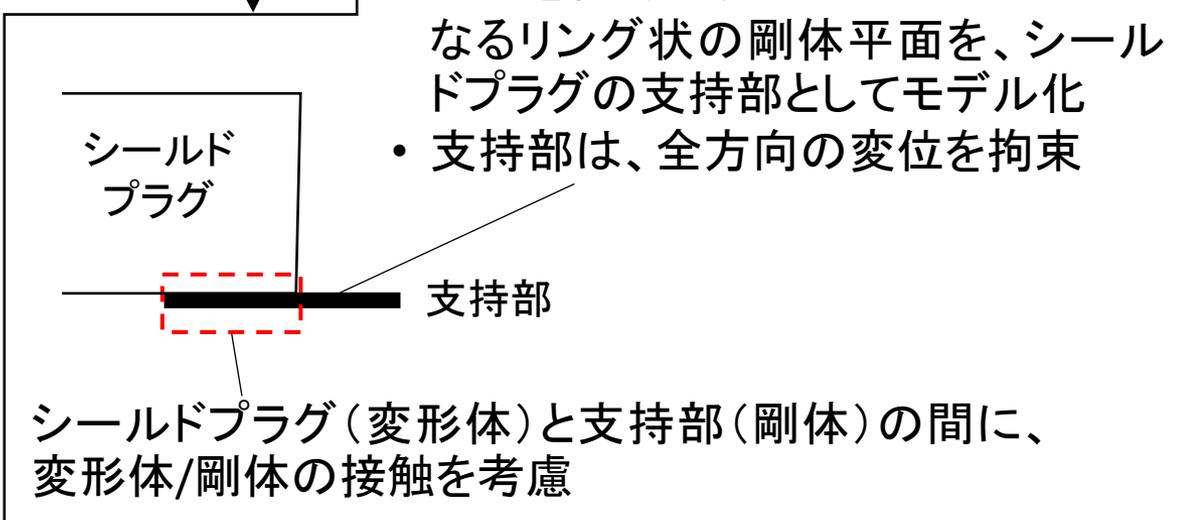
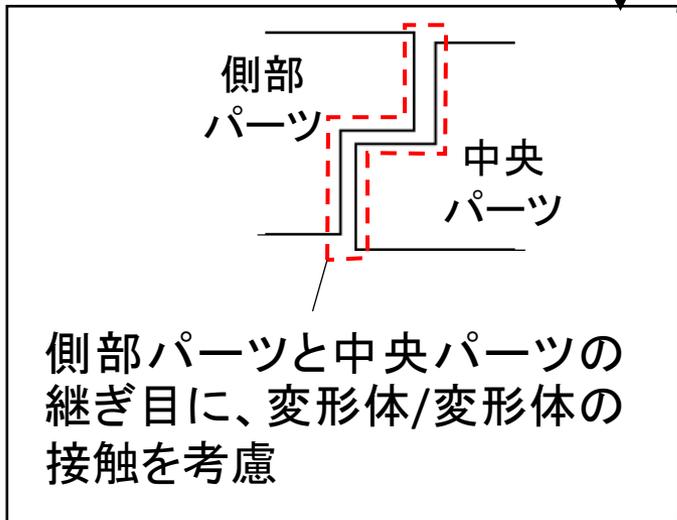
側面図





シールドプラグの支持状況*

- 上図を参考に、かかりしろが90mmとなるリング状の剛体平面を、シールドプラグの支持部としてモデル化
- 支持部は、全方向の変位を拘束



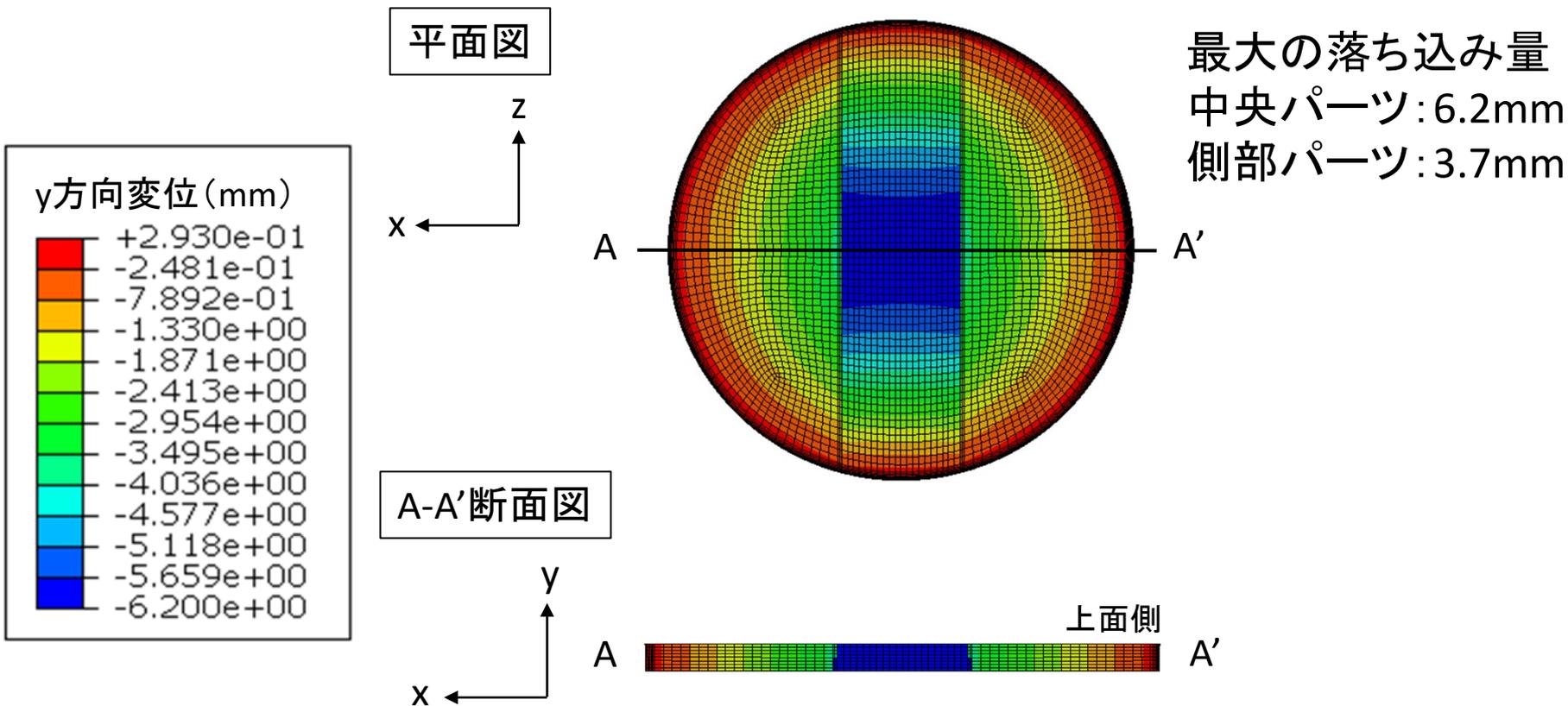
*原子力規制委員会 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 第12回会合 資料3-1、“1~3号機原子炉建屋における線源調査について ~汚染密度、核種スペクトル測定の分析~”、令和2年6月25日 (<https://www.nsr.go.jp/data/000315708.pdf>)

- 作成した解析モデルを用いて自重解析を行い、中央パーツと側部パーツの間に生じる隙間の断面積を評価した。
 - 解析においては、下表に示す室温(20°C)における鉄筋コンクリートの材料物性値*を各パーツに対して一様に適用した。

鉄筋コンクリートの物性値*

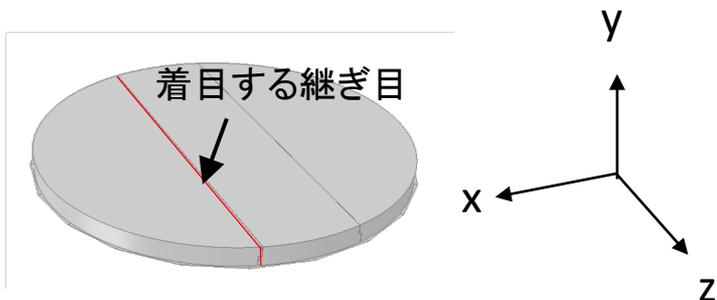
項目	単位	物性値
質量密度	t/mm ³	2.4×10 ⁻⁹
ヤング率	MPa	25700
ポアソン比	—	0.2

*福島第一原子力発電所1～4号機本館建物の基準地震動Ssに対する耐震安全性評価について、特定原子力施設監視・評価検討会(第4回)資料5-1、東京電力株式会社、平成25年2月21日

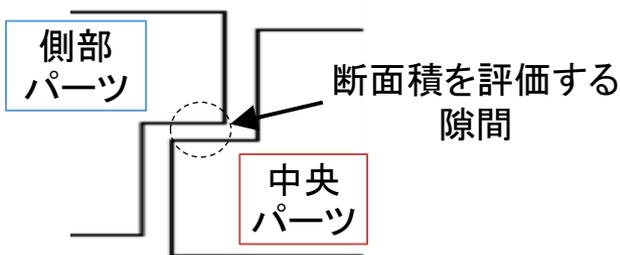


鉛直方向 (y方向) 変位のコンター図

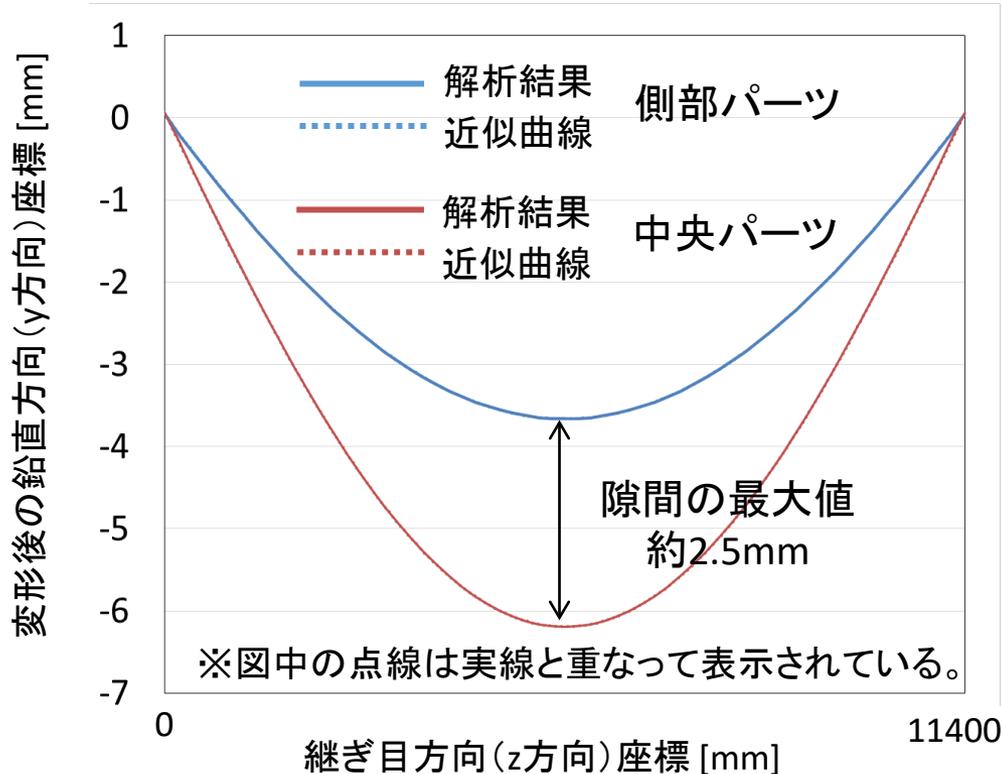
- 側部パーツよりも中央パーツの方が大きく落ち込み、鉛直方向に隙間が生じた。



断面積を評価する継ぎ目位置



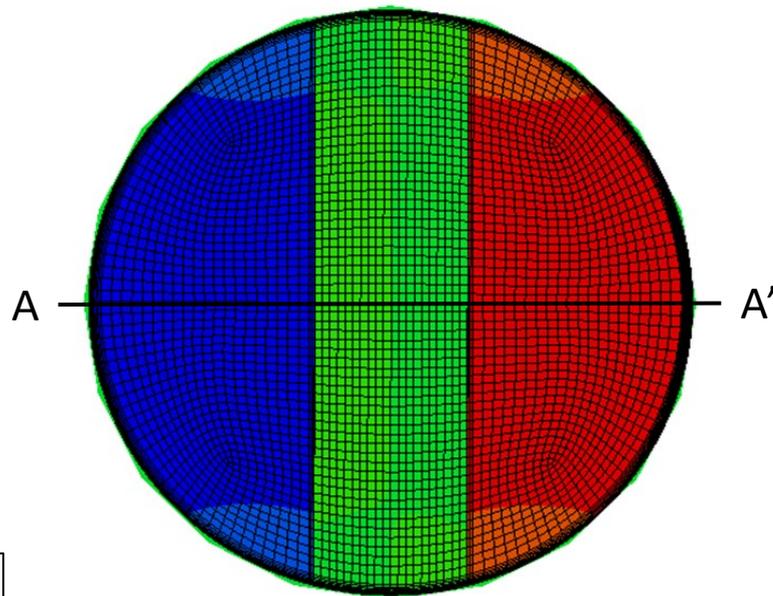
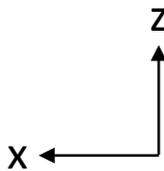
継ぎ目の断面図



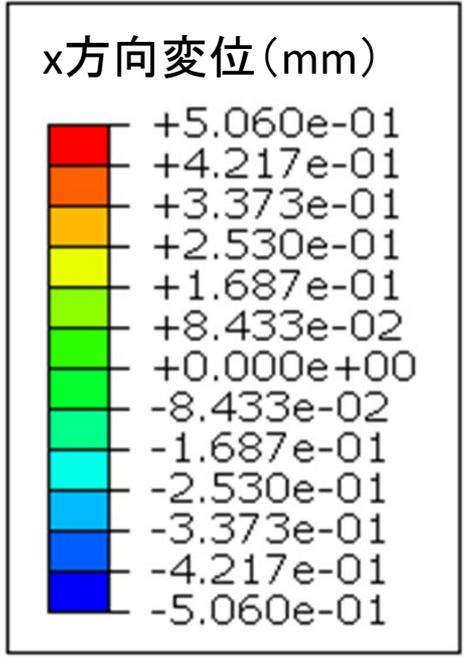
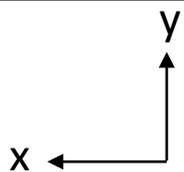
継ぎ目に沿った変形後のy方向座標

- 側部パーツと中央パーツの変形後のy方向座標を4次多項式で近似し、その差を積分することで求めた隙間の断面積は約 $1.8 \times 10^4 \text{mm}^2$ であった。

平面図

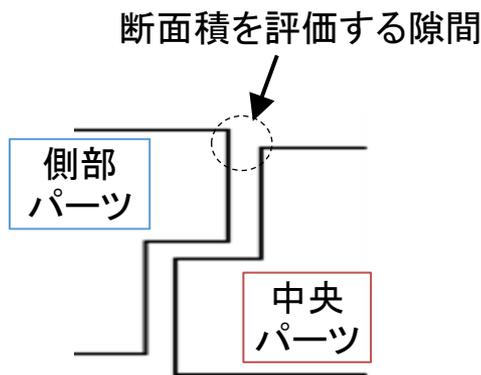
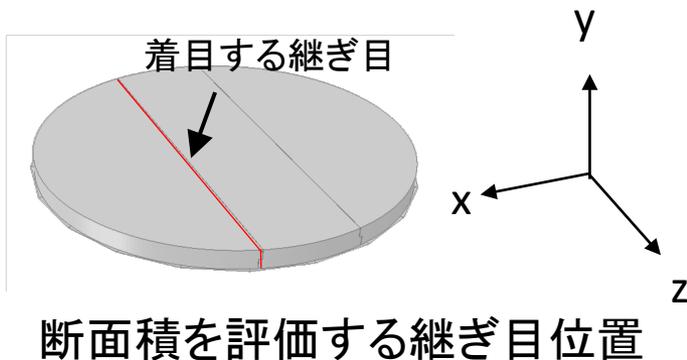


A-A'断面図

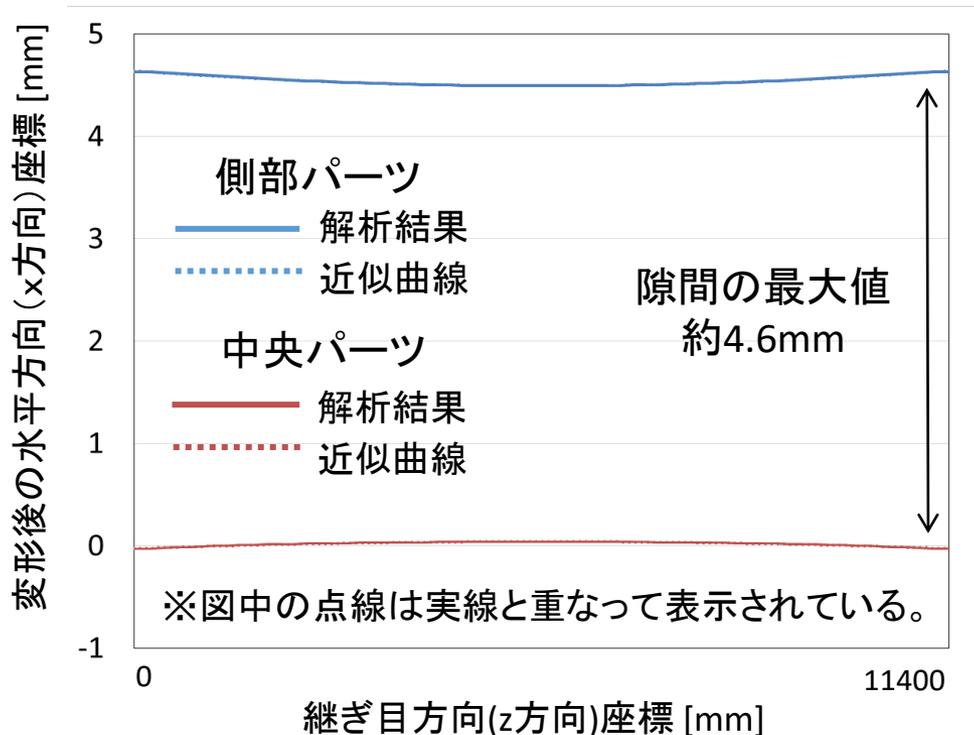


水平方向(継ぎ目に直交するx方向)変位のコンター図

- 側部パーツが中央パーツに向かって最大で約0.5mm変形し、継ぎ目に直交するx方向の隙間量が上面側で変形前の5mmから減少した。



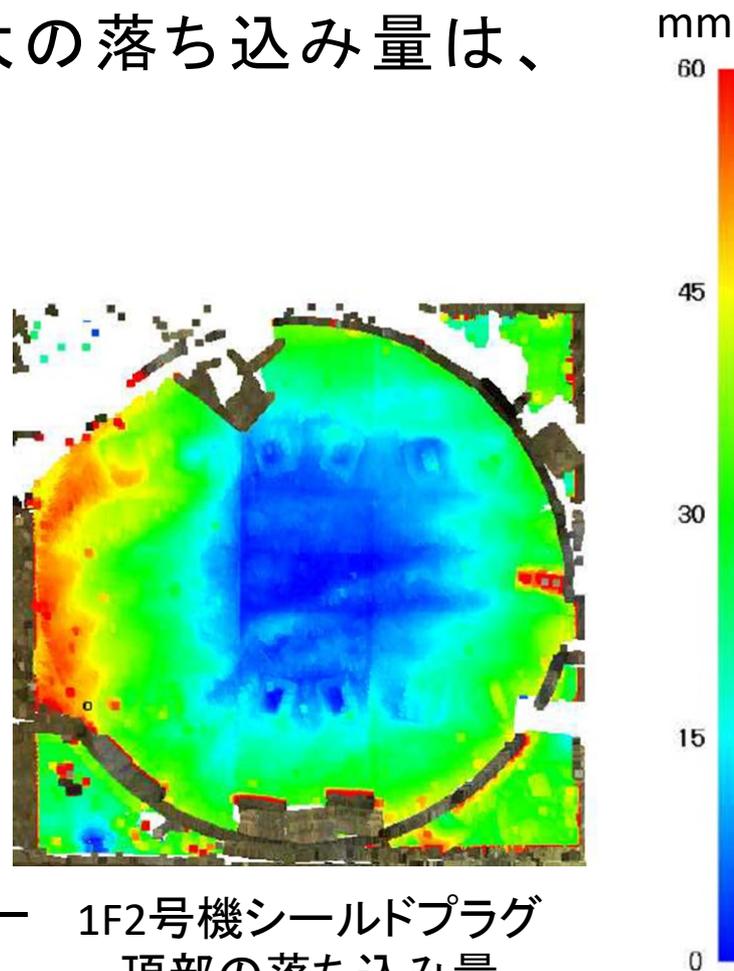
継ぎ目の断面図



継ぎ目に沿った
パーツ上面側の変形後のx方向座標

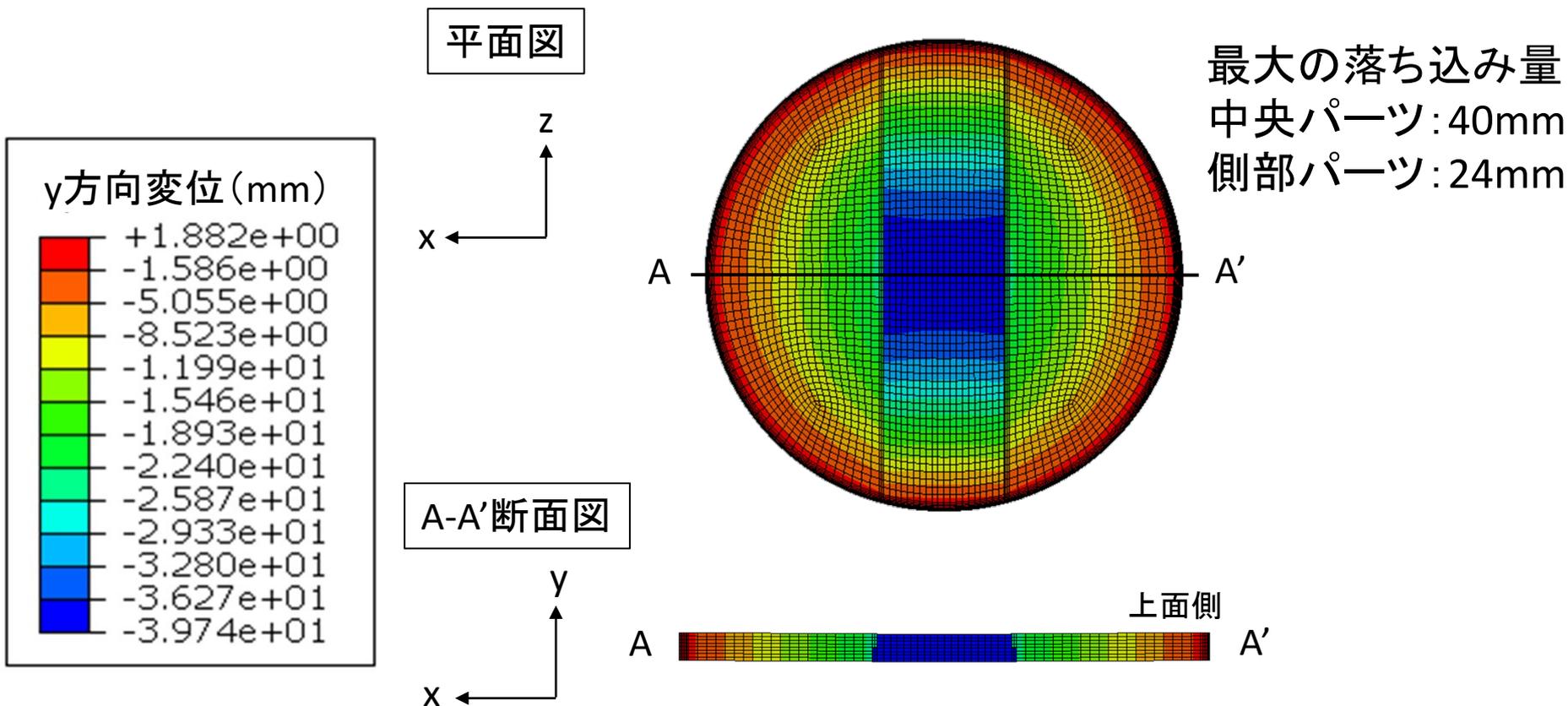
- 側部パーツと中央パーツの変形後のx方向座標を2次多項式で近似し、その差を積分して求めた隙間の断面積は約 $5.2 \times 10^4 \text{mm}^2$ であった。

- 過去の1F事故分析検討会では、1F2号機のシールドプラグ頂部の落ち込み量の実測値(右下図)*が示された。
- 図において、中央パーツの最大の落ち込み量は、40mm程度と推測される。



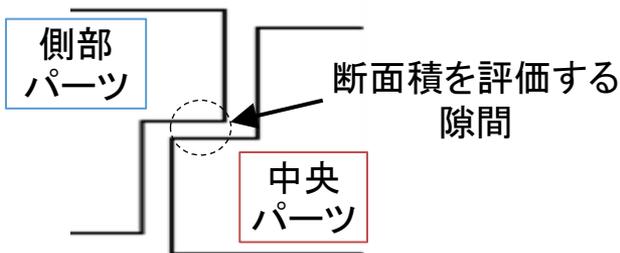
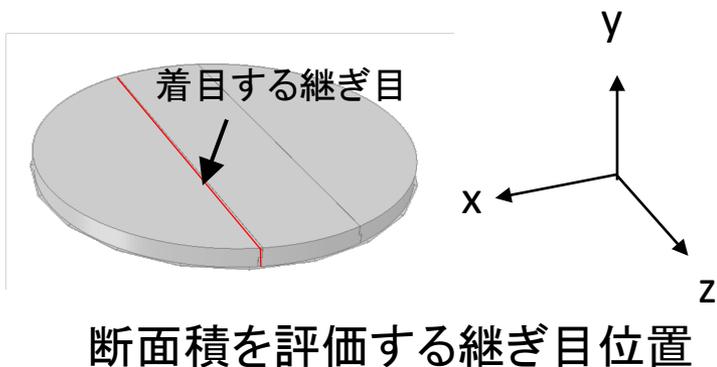
*原子力規制庁東京電力福島第一発電所事故対策室、“東京電力福島第一発電所における事故の分析における検討会 第28回会合資料2-1-3 2号機シールドプラグの変形”、2022年2月28日

- 実測された落ち込み量により側部パーツと中央パーツの間に生じる隙間の断面積を推定するため、落ち込み量が実測値の約40mmとなる条件で自重解析を行った。
 - 6頁に示した室温の鉄筋コンクリートのヤング率を考慮した自重解析では、落ち込み量は6.2mmであった。
 - 落ち込み量の再現解析では、落ち込み量が実測値となる鉄筋コンクリートのヤング率を逆算した。このヤング率は4000MPaであることが分かった。

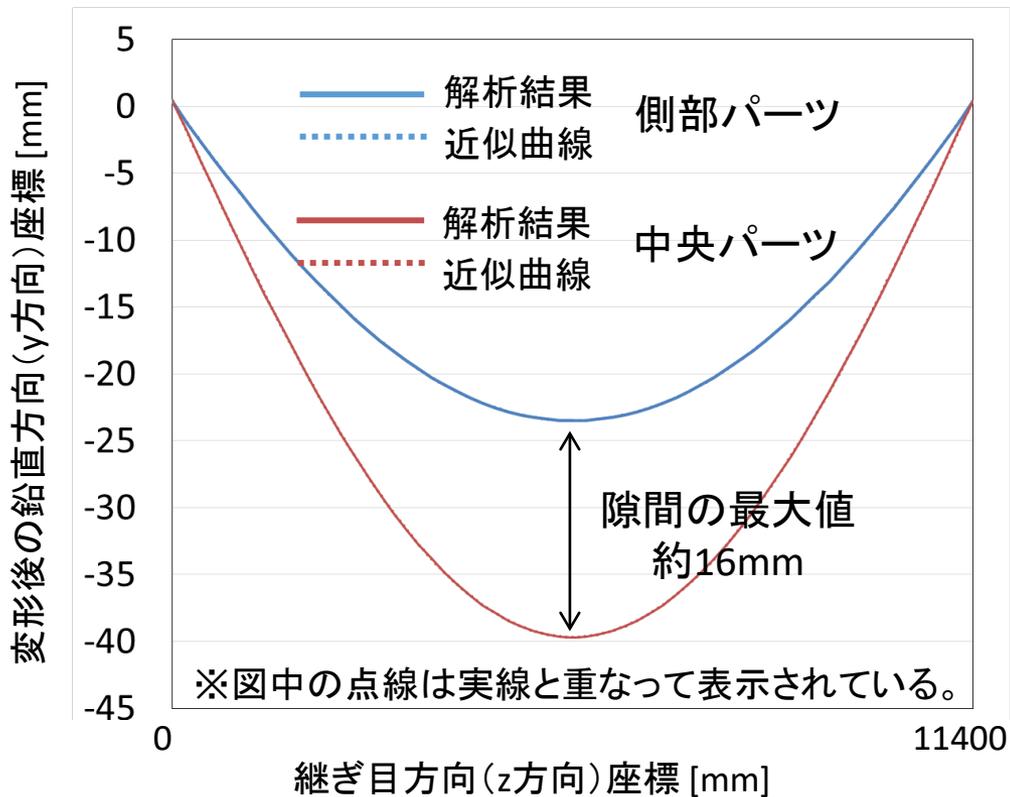


鉛直方向 (y方向) 変位のコンター図

- 中央パーツの約40mmの落ち込み量を再現した。

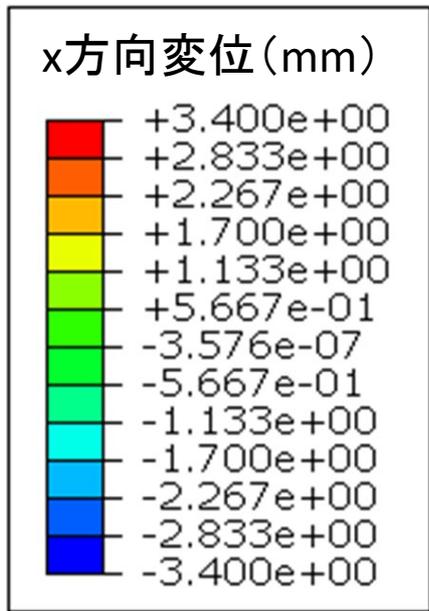


継ぎ目の断面図

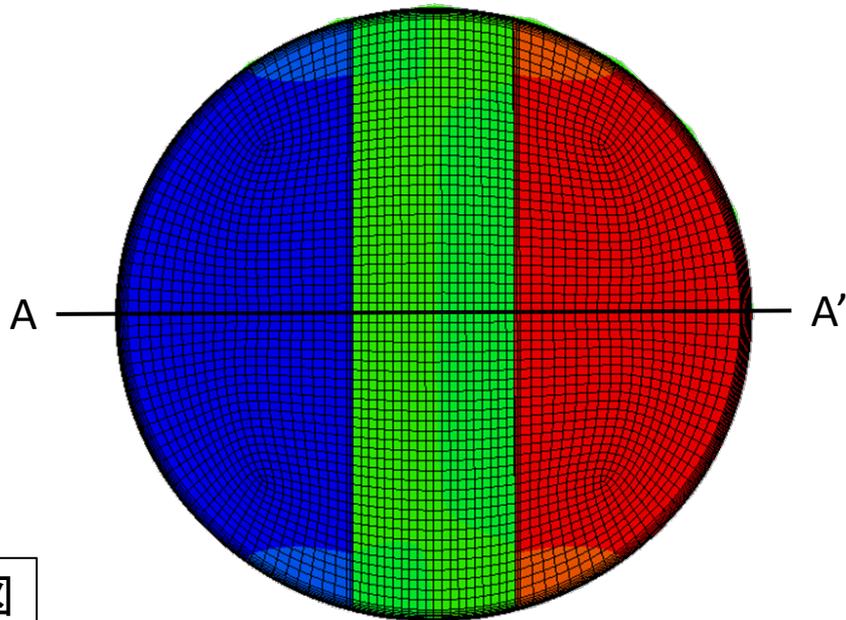
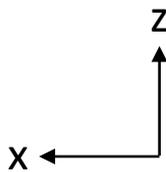


継ぎ目に沿った変形後のy方向座標

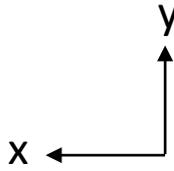
- 側部パーツと中央パーツの変形後のy方向座標を4次多項式で近似し、その差を積分する \int で求めた隙間の断面積は約 $1.1 \times 10^5 \text{mm}^2$ であった。



平面図

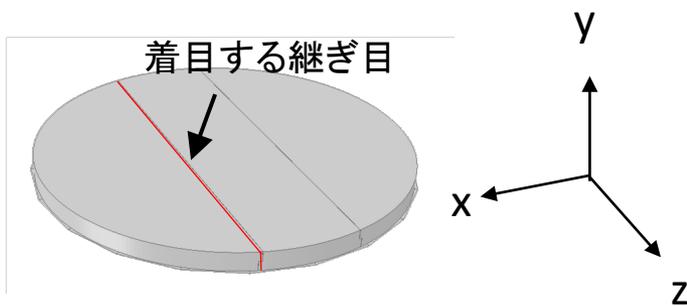


A-A'断面図

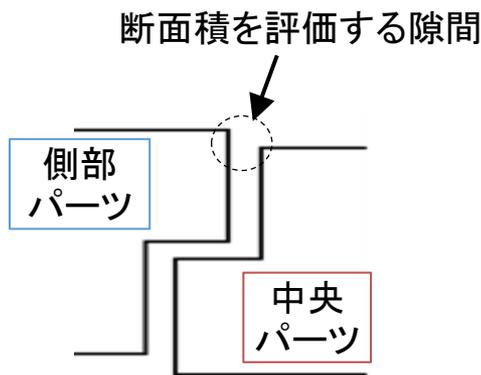


水平方向(継ぎ目に直交するx方向)変位のコンター図

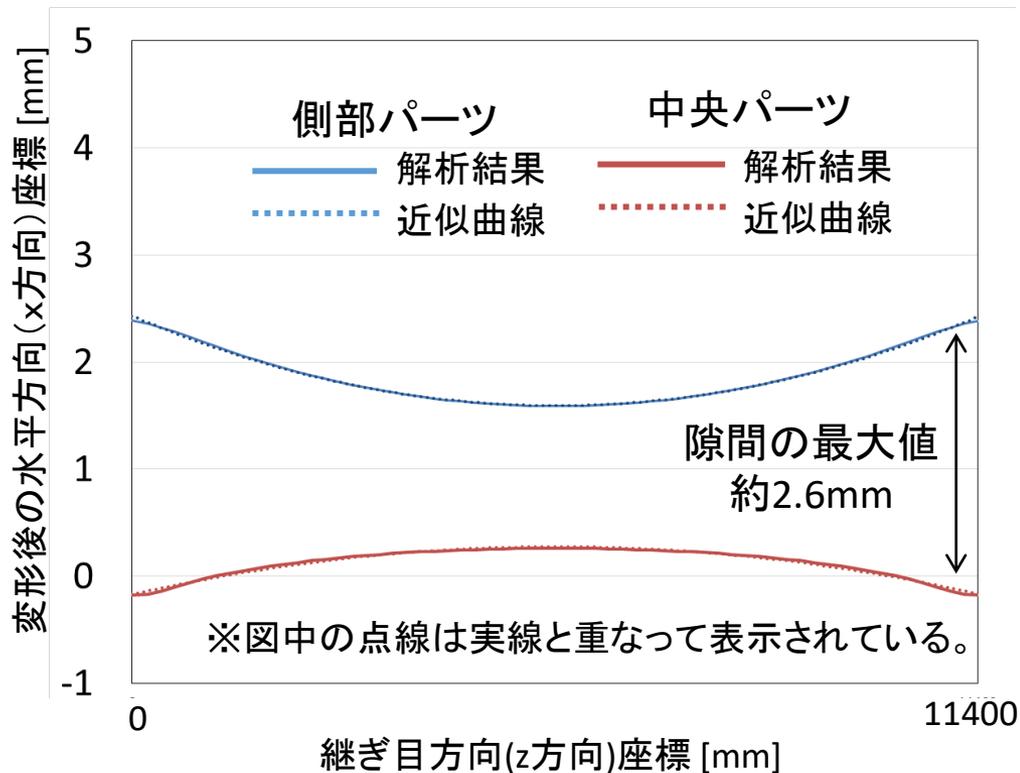
- 側部パーツが中央パーツに向かって約3.4mm変形し、継ぎ目に直交するx方向の隙間量が上面側で変形前の5mmから減少した。



断面積を評価する継ぎ目位置



継ぎ目の断面図



継ぎ目に沿った
パーツ上面側の変形後のx方向座標

- 側部パーツと中央パーツの変形後のx方向座標を2次多項式で近似し、その差を積分することで求めた隙間の断面積は約 $2.0 \times 10^4 \text{mm}^2$ であった。

解析ケース	最大落ち込み量の概算値	隙間の断面積の概算値
自重解析 (P.5に記載した室温の物性値を使用)	6.2mm	鉛直方向: $1.8 \times 10^4 \text{mm}^2$
		水平方向: $5.2 \times 10^4 \text{mm}^2$
再現解析 (ヤング率を4000MPaに低減し、実測落ち込み量を再現)	40mm	鉛直方向: $1.1 \times 10^5 \text{mm}^2$
		水平方向: $2.0 \times 10^4 \text{mm}^2$

- シールドプラグの自重変形による有意な流路形成の可能性を検討するため、鉄筋コンクリートのみを考慮した頂部シールドプラグ1層の予備的な有限要素法構造解析を実施した。
- その結果、室温の物性値を用いた場合には、シールドプラグの著しい変形（落ち込み）は予測されなかった。ヤング率を極端に低減した感度解析により実測値と概ね同等の落ち込みを再現したが、配筋やシールドプラグ層間の干渉を考慮していない等、詳細な条件設定を行っていないため、更なる検討が必要である。
- 感度解析において鉛直方向の隙間断面積が大きくなることが示されたが、流体の流れは水平方向の隙間に支配され得ることが示唆された。