

加圧水型原発の耐震強度

2016年5月17日

原子力市民委員会委員

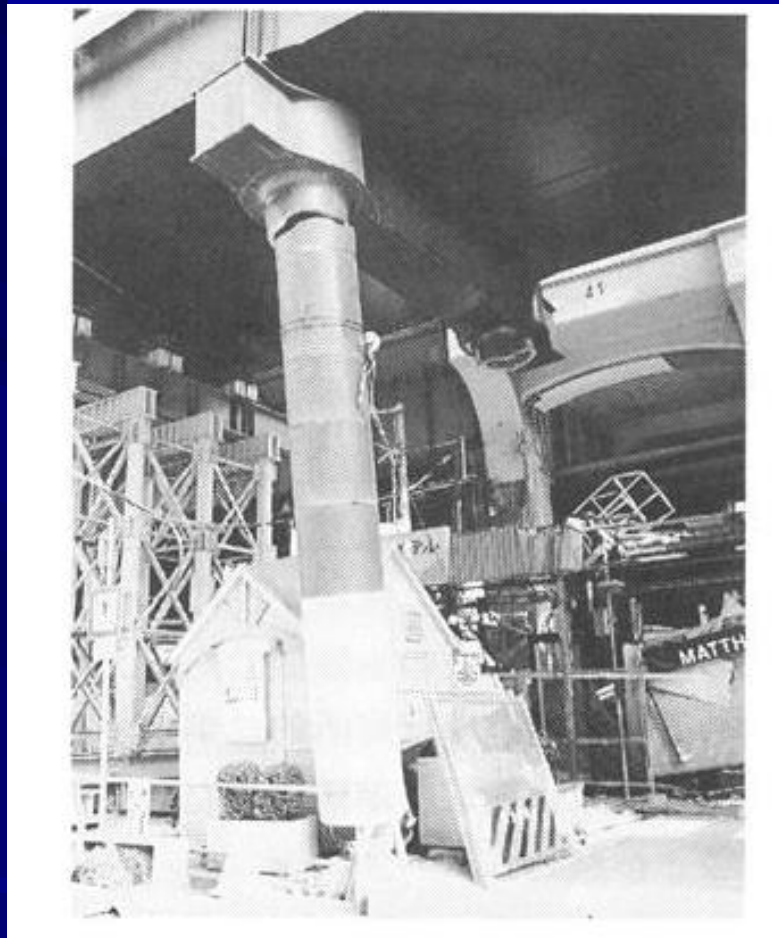
後藤政志

NPO法人“APAST”、元原子力プラント設計技師

地震動とももの壊れ方

- ◆ 衝撃的な荷重
- ◆ 長周期の地震荷重・・・破壊だけではない。
- ◆ 繰り返し荷重
- ◆ 余裕のない設計
 - ⇒ 座屈強度など。特に蒸気発生器支持構造と格納容器シェルは大きな上下動で同時に破壊する危険性がある。
- ◆ 鉄筋コンクリート構造は“き裂”が入ると固有周期が長周期側にずれる。
- ◆ 地割れによる建屋の破壊

兵庫県南部地震(1995)における脆性破壊



- ◆低温
- ◆厚板
- ◆衝撃荷重
- ◆欠陥
- ◆材質
- ◆大規模構造

◆地震による『脆性破壊』はめずらしい！ ⇒ひずみ速度(衝撃)

⇒延性亀裂から脆性亀裂へ ⇒繰り返し荷重で硬化 等

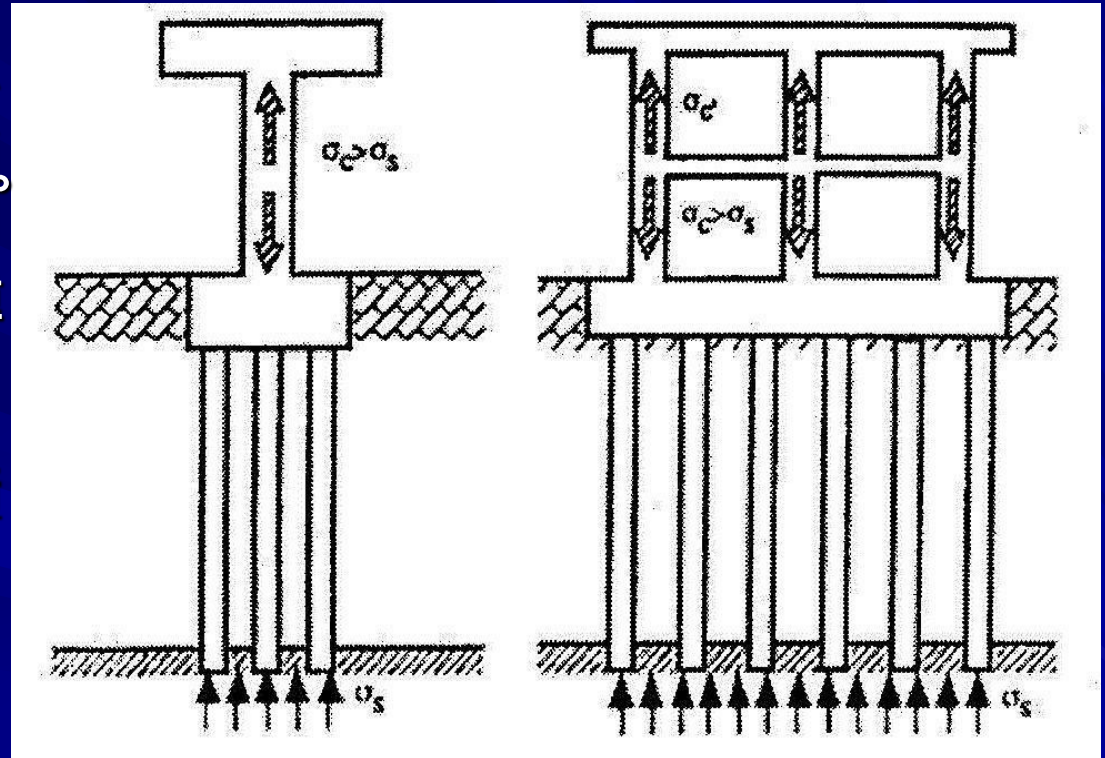
衝撃破壊の可能性は？

【衝撃破壊】

応力波が反射・屈折して**応力が増幅**することによって生じる破壊。

▶兵庫県南部地震では、固い基礎上の鉛直柱で支えられた重い構造物に**衝撃的な破壊**が見られた。

▶原発でも地盤が固いので、衝撃的な上下動により、破壊が起こりやすい。



【応力波の伝播速度】

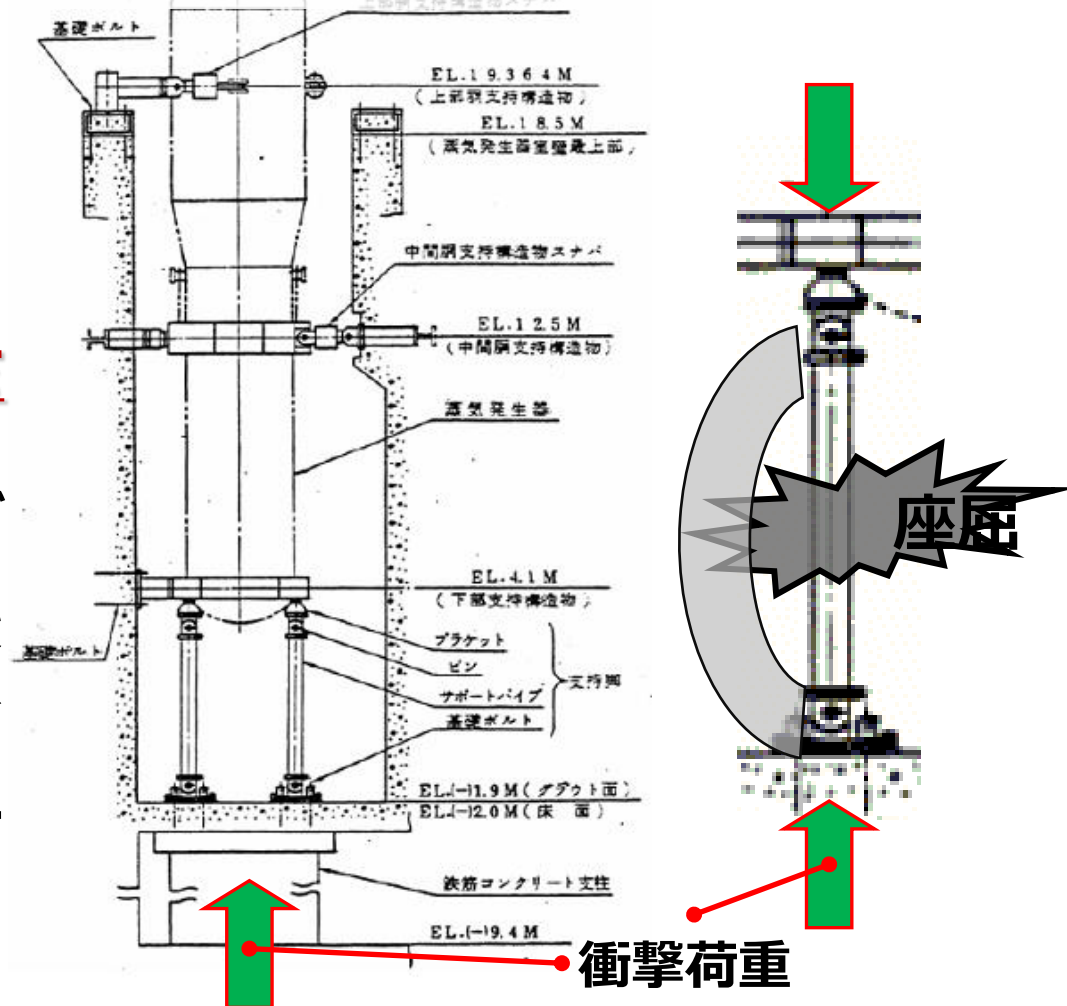
コンクリート	:	3.5km/秒	程度
鋼	:	5.2km/秒	程度

蒸気発生器支持部分の衝撃破壊

蒸気発生器下部の支持部分は座屈しやすい

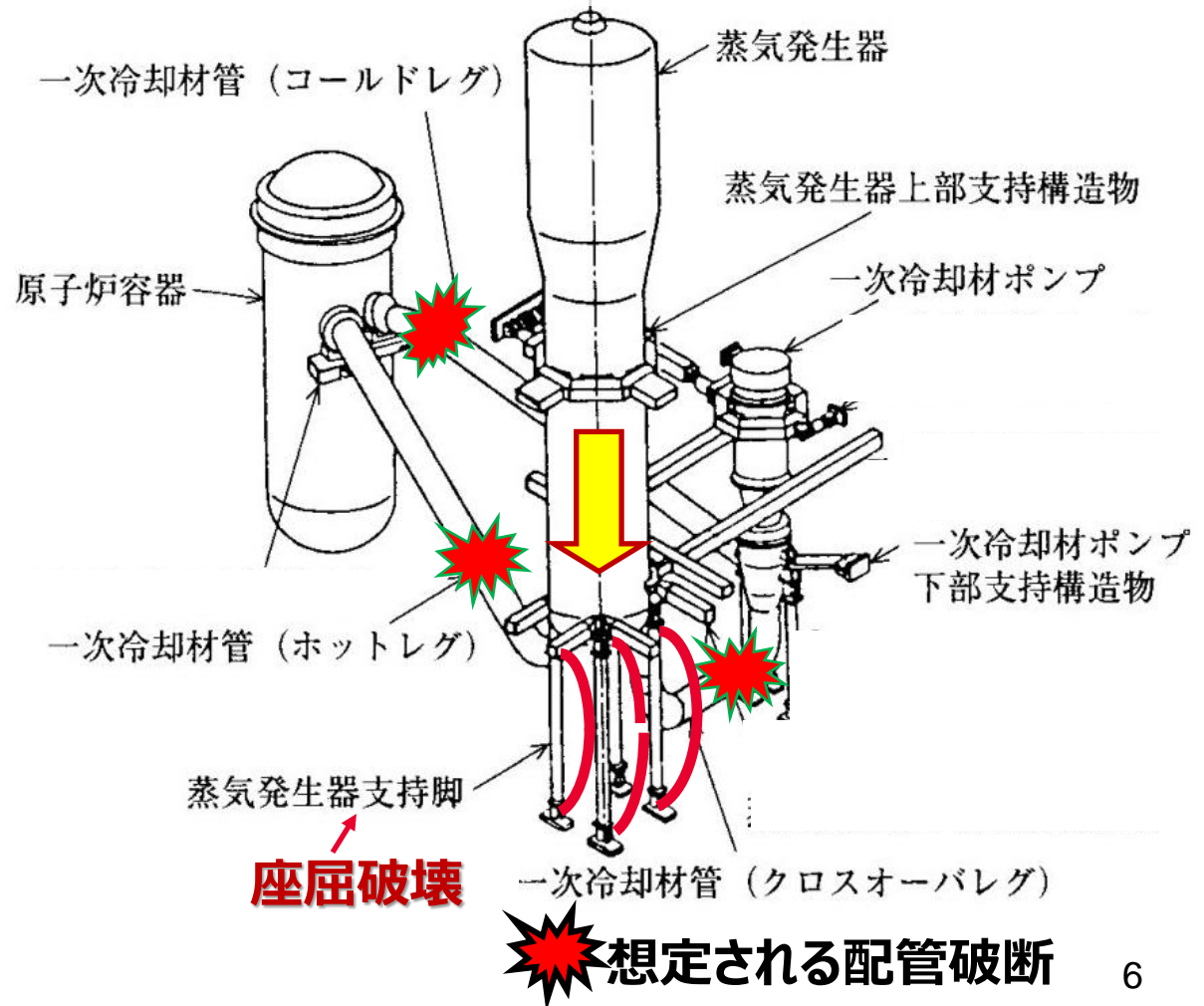
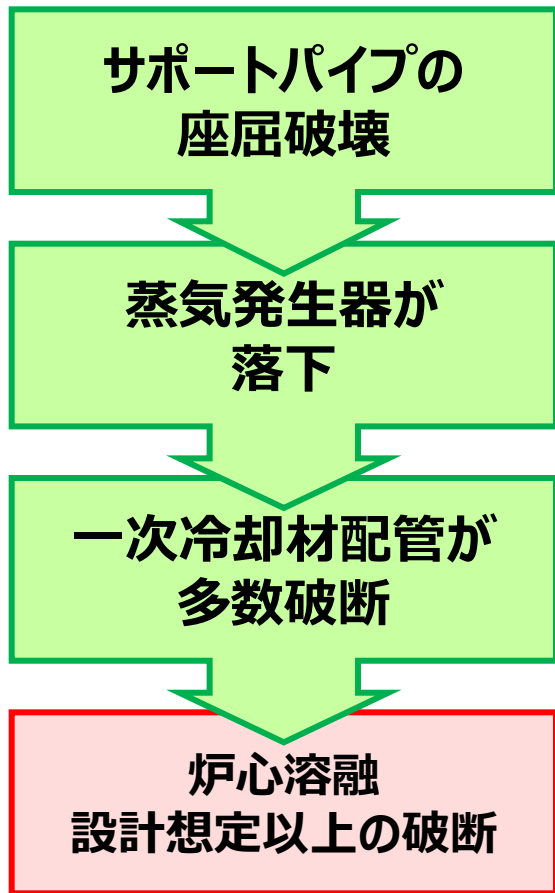
蒸気発生器下部支持部分 (サポートパイプ)

- ▶ 降伏荷重よりかなり小さい力で座屈する。
- ▶ どの程度の衝撃荷重がかかるか十分な検討がされていない可能性がある（計算結果が明らかにされていないため安全性が確認されていない可能性）。



蒸気発生器支持部分の衝撃破壊

蒸気発生器が落下すると炉心溶融に至る



格納容器の座屈

柏崎刈羽原発
中越沖地震（2007）
ろ過水タンクが象の脚型座屈

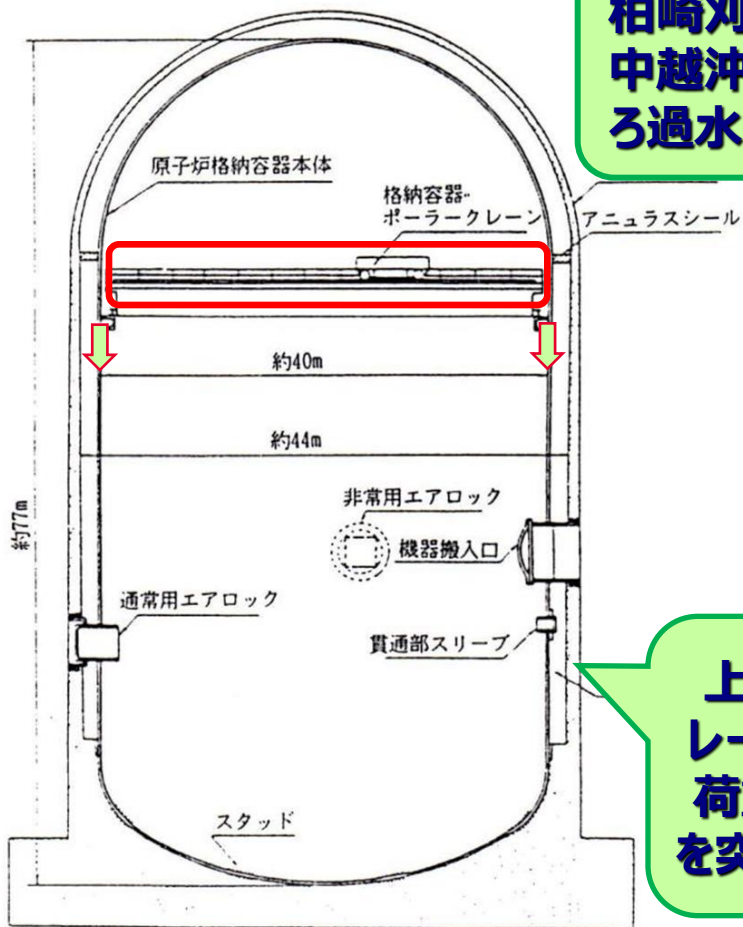


図3.7.4 原子炉格納施設構造図（SCV）

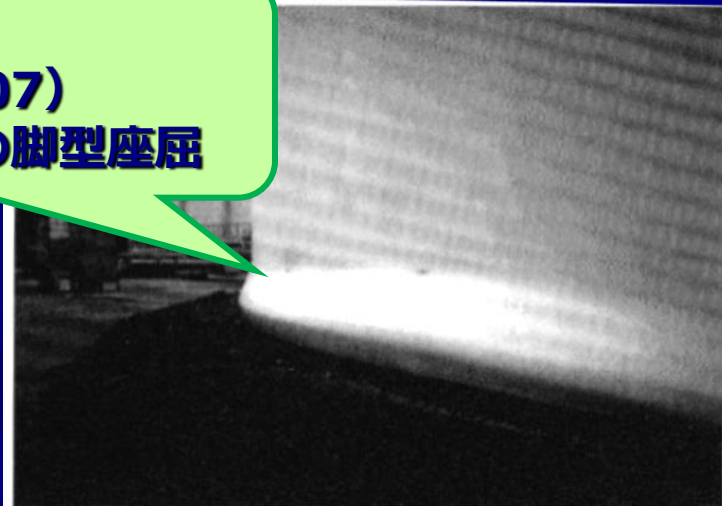


図-24.3 液体貯槽の象の脚型座屈⁴⁾

上部に重いポーラークレーンがあり、衝撃的な荷重が格納容器シェルを突き上げると座屈する。

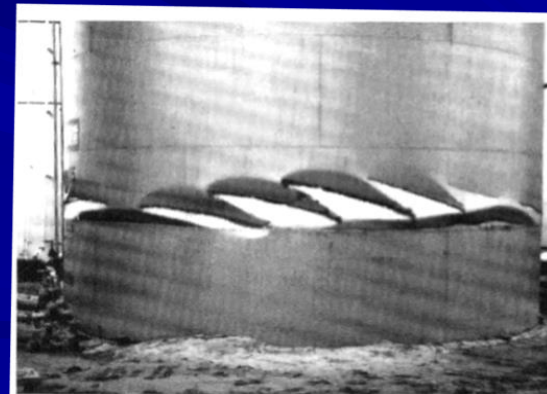
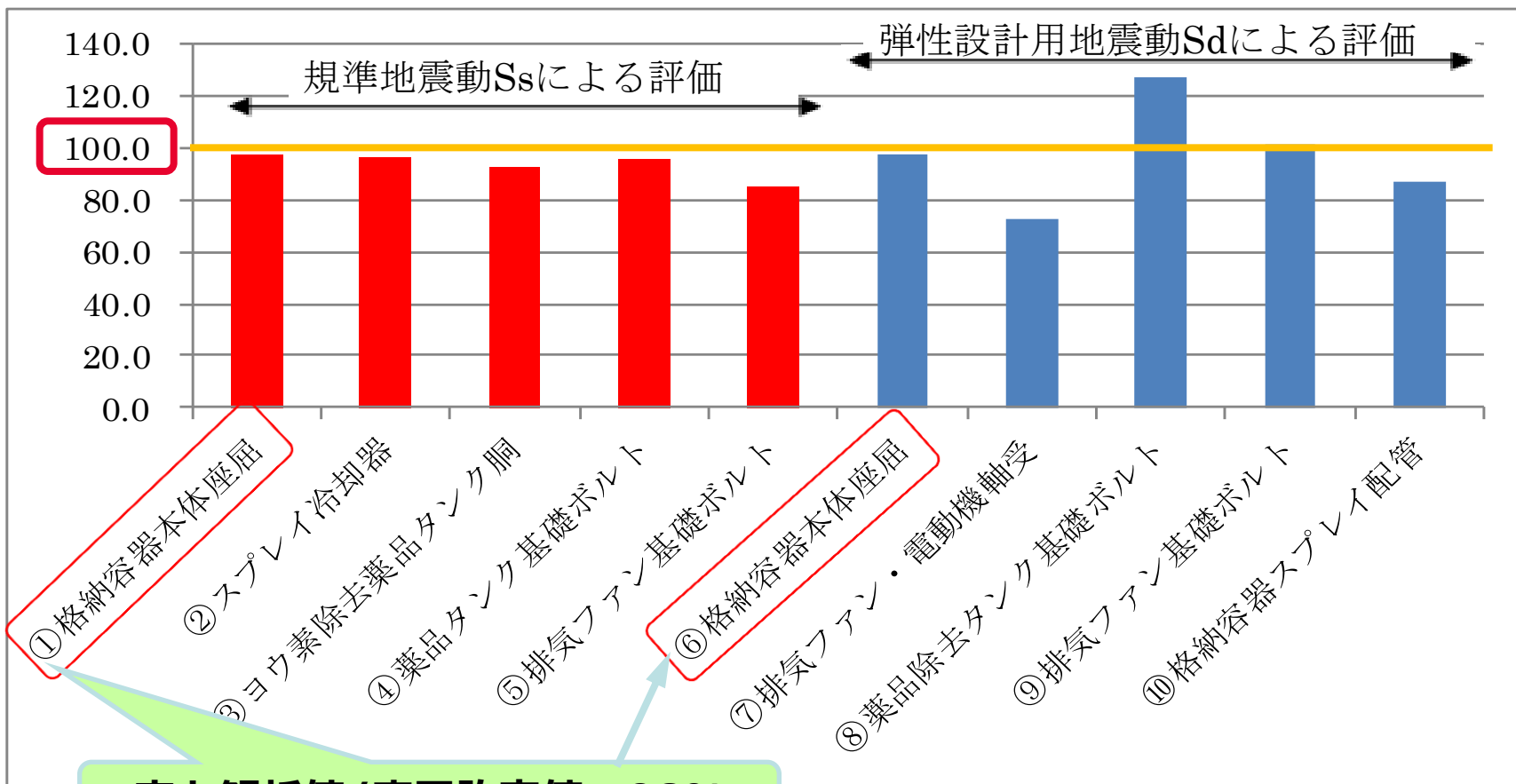


図-24.2 液体貯槽のダイヤモンド型座屈⁴⁾

格納容器の座屈

原子炉格納施設の耐震評価結果と許容値の比率 (%)

格納容器の耐震座屈評価は許容値ギリギリ



応力解析値/座屈許容値 : 98%

格納容器の座屈

格納容器の耐震座屈評価が許容値を上回っている？

ポーラクレーン撤去後の試験体に対しても同様な限界加振を行うこととし、振動台の性能の限界に近い S_2 地震波の加速度レベルを 1.3 倍に割り増した S_2 波（水平 2 891 Gal, 上下 1 228 Gal, 10.8 秒）で水平・上下同時 2 方向の加振を行った。これに対し試験体底部の膜応力は 8.74 kgf/mm^2 と、座屈許容値 7.82 kgf/mm^2 を上まわったが、試験体には何の異常もみられず、強度上健全であることが確認できた。

たまたま座屈しなかっただけ
いつ座屈してもおかしくない

昭和59年 原子力発電施設信頼性実証試験の現状

(財) 原子力工学試験センター / (財) 発電用熱機関協会 パンフより

格納容器の座屈

▶ 薄板円筒状シエルの座屈強度は、概ね R/t (半径/板厚) で与えられる。

半径 R : 約 20,000mm

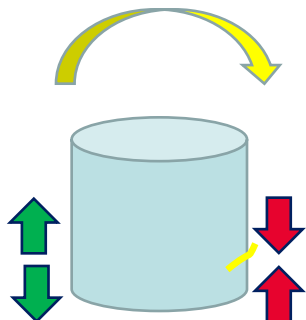
板厚 t : 約 38~45mm

$R/t =$ 約 450~520

曲げ座屈 : 約 12kg/mm²以下

圧縮座屈 : 約 8kg/mm²以下

曲げ座屈



圧縮座屈

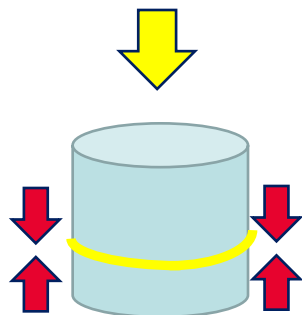
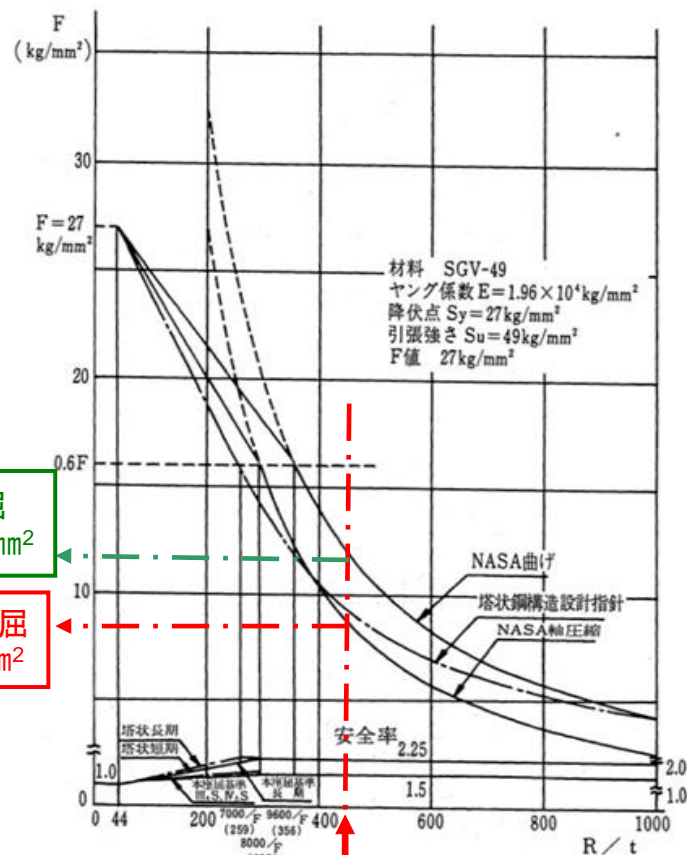


図 A-3 臨界座屈応力値及び安全率の比較



曲げ座屈
約 12kg/mm²

圧縮座屈
約 8kg/mm²

R/t: 450

格納容器の座屈

格納容器の座屈強度は不確定な要素が多い

- ▶ R/t が450～520内外では、座屈応力は、降伏応力の2分の1から3分の1程度。←材料強度に関係なく、非常に小さい。
- ▶ 円筒シェルの面外変形の形や量（製作精度）により、座屈応力は著しく低下するが、多度津の試験では変形した状態での振動実験は行われていない。
- ▶ さらに、川内原発の格納容器の板厚 $t=38\text{mm}$ と、多度津の実験モデル（ $t=45\text{mm}$ を前提）より脆弱であり、より小さい応力で座屈する可能性がある。

余震による影響

- ▶原子炉格納容器の脚部に衝撃的な荷重がかかると、座屈する可能性が高い。
- ▶座屈したシェル→剛性が著しく低下
- ▶上部の重みを支えきれず、その後の余震等で格納容器が破壊される。
- ▶これが炉心溶融と合わせて生じれば、一気に過酷事故に至る可能性が否定できない。

直下型地震による衝撃荷重で配管破断と格納容器破壊が同時に生じる危険性があるが、安全であることが証明されていない。

本震による
衝撃荷重

座屈

+ 亀裂発生あり

+ 亀裂発生なし

余震で
崩壊の危険

余震による
荷重

変形拡大・亀裂発生

更なる余震で
崩壊の危険

- ◆設計基準と過酷事故(重大事故)のダブルスタンダード
- ◆福島事故の原因とプロセスが明確になっていない。
- ◆地震・津波の最も厳しい設計条件が定められない
- ◆TMI島原発事故も福島事故も冷却材が失われ(LOCA)メルトダウンした。福島事故では、格納容器防護ができなかった。LOCAを設計条件とすることは、無理ではないか？
- ◆水蒸気爆発や航空機落下など、根拠もなく起こりえないと断定。
- ◆炉心溶融した後は、格納容器は全く事故の進展を抑えられない。(確率論的リスク評価(PRA)結果)
- ◆過酷事故対策は、有効性・信頼性に欠ける
- ◆多重防護、多層防護では、事故の確率は減るが、過酷事故を防げない。

炉心溶融が起きるとなぜ 事故収束ができなくなるか

1. 大量の水素が発生する

水素は酸素があると爆発する可能性があり、機器の性能を妨げることがある。

2. 炉心冷却が困難

3. 高温の炉心に水を入れると、燃料が損傷しバラバラになる。

4. 溶融したデブリに水をかけても確実に冷却ができるかどうかははっきりしない。

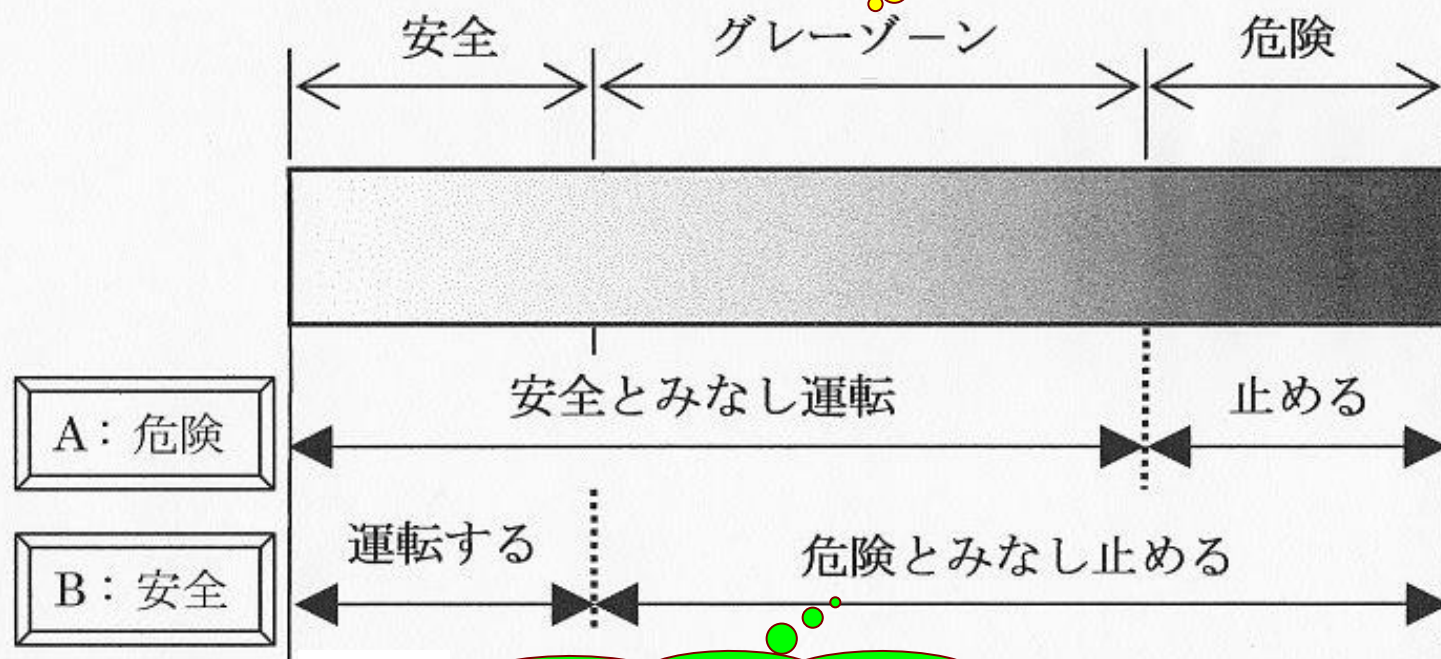
5. 溶融したデブリが水と接触すると水蒸気爆発の危険がある。

6. 溶融デブリは、冷却できないと、コンクリートと反応して大量のガスを出しながらコンクリートを浸食する。(チャイナシンドローム)

7. 格納容器ベントの必要。フィルターベントシステムの限界。

安全性の考え方(グレーゾーン問題)

「危険を見つければ止める」
では安全は確保できない！
【危険検出型】



「安全を確認できたら運転」
【安全確認型】