

福島第一原子力発電所
3号機,4号機原子炉建屋の耐震性評価について

2020年3月16日



東京電力ホールディングス株式会社

1-1. 3号機原子炉建屋について

- 3号機原子炉建屋は、外観写真や無人ロボット等を使用した現場調査結果から確認できる損傷状況を反映し、目視確認が出来ず且つ爆発等の影響を受けたと思われる部材については、保守的に「損傷している」と仮定し、剛性を低下させた評価を行い、耐震安全性を有していることを確認※している。
- 今回、規制庁殿が2019年12月12日に実施した3号機原子炉建屋の内部調査にて目視確認された4階床の梁の損傷は、先に当社が実施した保守的なケースの評価では、「損傷している」ものとして解析を行い、損傷があった状態でも十分な耐震裕度があることを確認している。
- 以上より、今回改めて確認された梁の損傷を考慮しても、既往の評価条件の範囲内であることから、耐震安全性のリスクが高まることはない。

※実施計画「3号機原子炉建屋の躯体状況調査を反映した使用済み燃料プール等の耐震安全性評価結果」(2017年4月13日変更認可)にて報告済

1-2. 規制庁殿現場調査結果

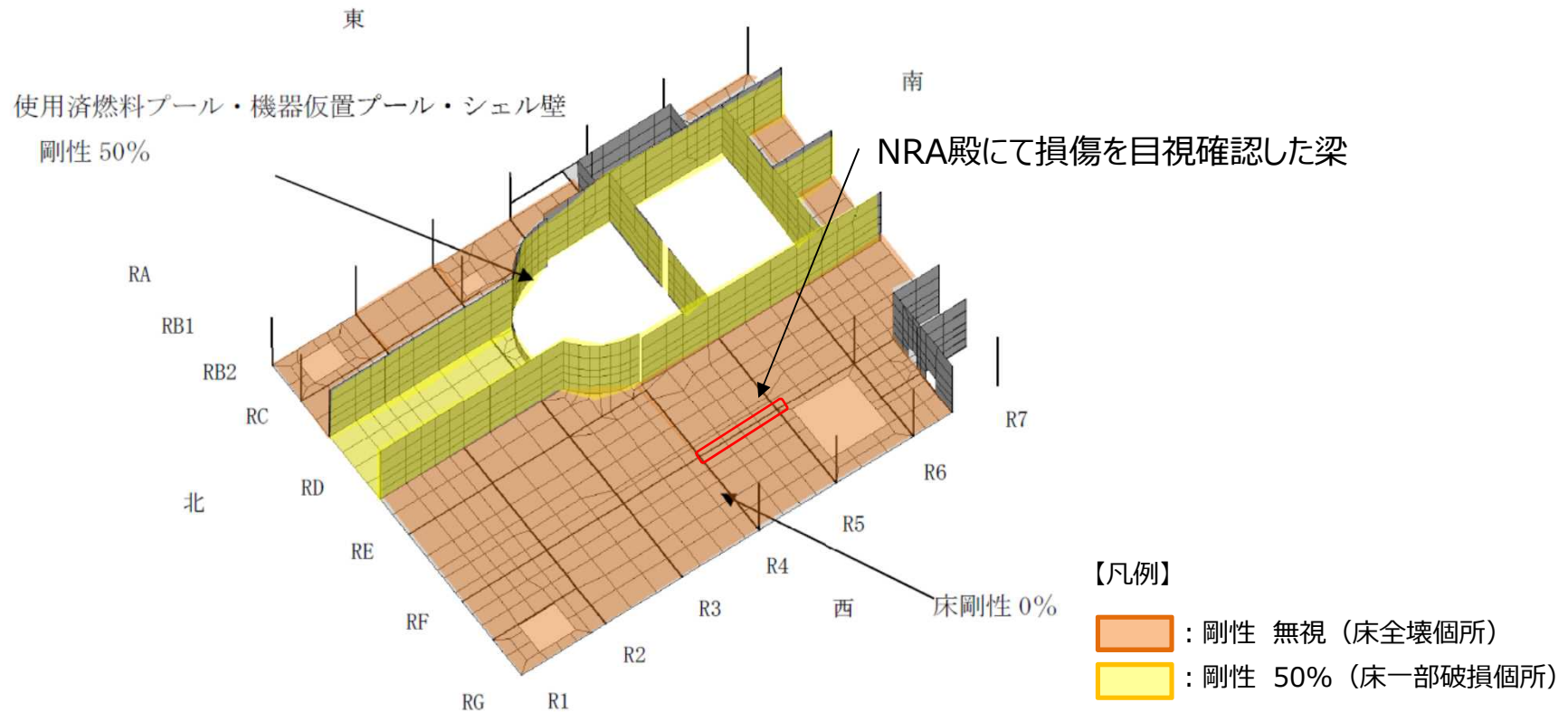
※第10回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（2月4日）提示資料より抜粋



3号機原子炉建屋 3階 （調査エリアの最大線量 約50mSv）

1-3. 耐震安全性の評価モデル (3号機 4階)

- 損傷が確認された梁を含む4階床面については、直接目視確認出来ないことから、保守的に剛性0%として、実施計画(2017年変更認可)での解析モデルに反映して評価を行っている。



※特記なき箇所は基本ケースと同じ。

損傷仮定 アイソメ図 4階 (G.L.+22.3m)

1-4. 評価モデルにおける荷重・部材剛性の考え方

- 評価モデルでは、荷重と部材剛性において、以下の保守性を持たせている。
 - ① 爆発により崩落した、オペフロ上部の躯体の全重量は、保守的に全てが床面に堆積したものと仮定し、面積按分により床の積載荷重としてモデル化。
 - ② 損傷を仮定した床に堆積した崩落ガレキの重量等は、周辺の部材が負担する形で解析に反映。
 - ③ シェル壁・プール壁は、事故時の熱影響を考慮し保守的に剛性50%と仮定。
 - ④ 損傷が見られる床の剛性は、保守性を考慮して下表のように設定

| 状態 | 部材剛性 |
|---|-----------|
| <ul style="list-style-type: none">目視による確認結果で、「一部損傷」と評価した箇所また、爆発の影響を大きく受けていると思われる箇所 | 剛性を50%に低減 |
| <ul style="list-style-type: none">目視による確認結果で、「全壊」と評価した箇所目視による確認が出来ない箇所で爆発の影響を大きく受けたと思われる箇所 | 剛性を0%に低減 |

損傷度分類の例

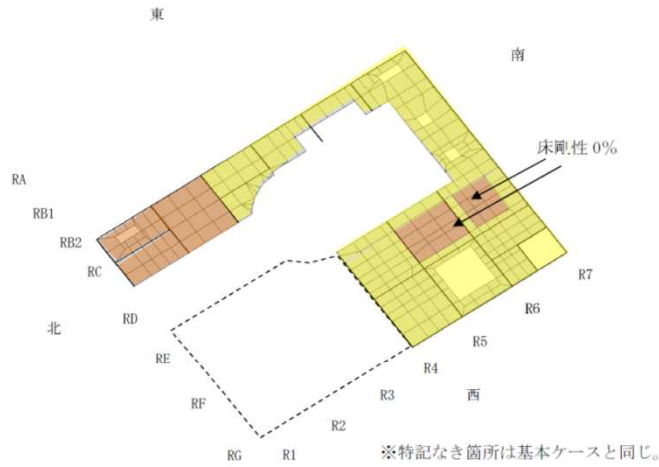


1-5. 耐震安全性の評価モデル (3号機、2~5階)

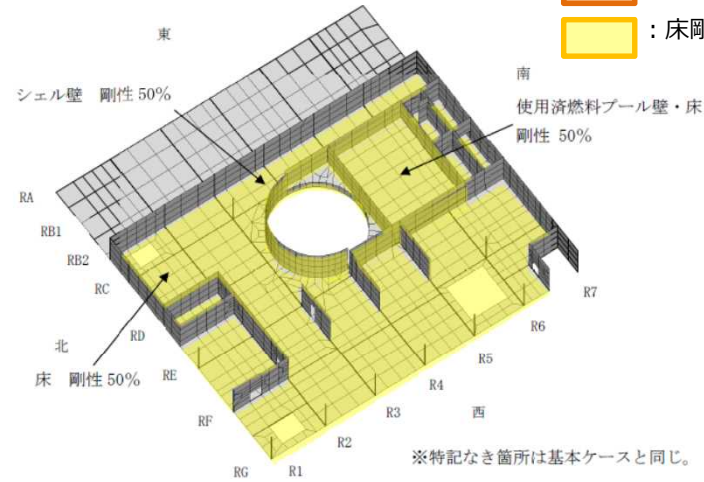


【凡例】

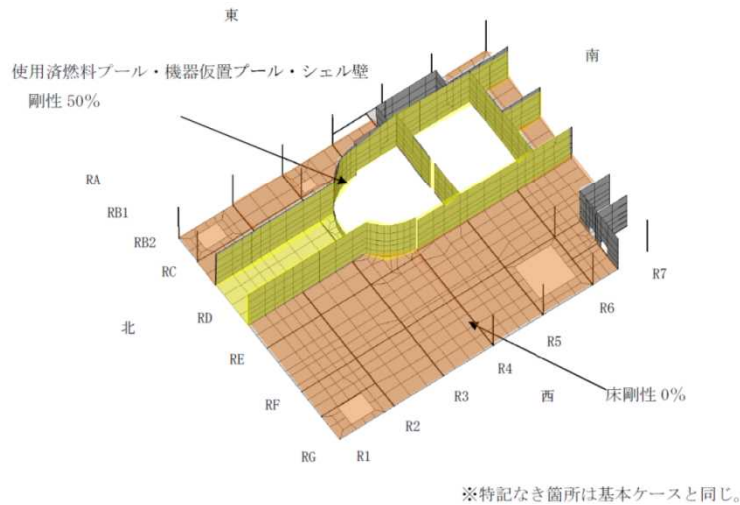
- : 床剛性 無視 (床全壊箇所)
- : 床剛性 50% (床一部破損箇所)



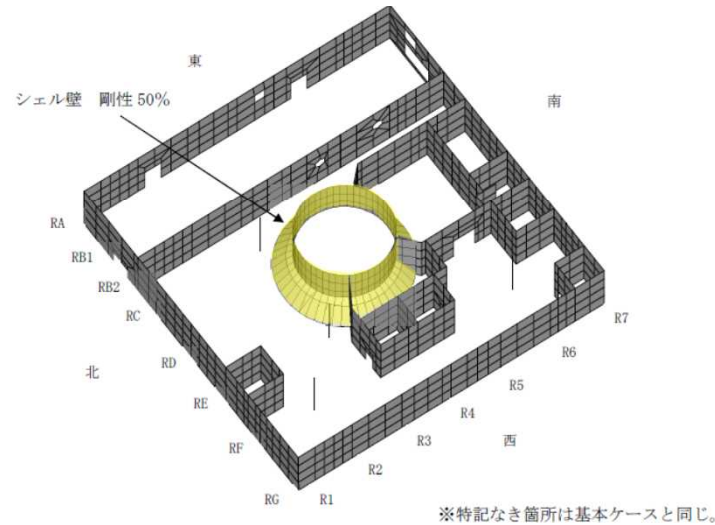
損傷仮定 アイソメ図 5階 (G.L.+29.92m)



損傷仮定 アイソメ図 3階 (G.L.+16.9m)



損傷仮定 アイソメ図 4階 (G.L.+22.3m)



損傷仮定 アイソメ図 2階 (G.L.+8.7m)

実施計画Ⅱ章 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 より抜粋

1-6.評価結果(3号機)

- 評価結果として、発生ひずみ及び面外せん断力の発生応力と評価基準値の比（検定比）を以下に示す。評価結果には前頁の通り、荷重設定や剛性評価で保守性を考慮している。

| | | 評価基準値 | 検定比 ^{※1} |
|------|-------------------------------------|---------------------|-------------------|
| プール壁 | コンクリート (発生ひずみ $\times 10^{-6}$) | 3,000 ^{※2} | 0.2以下 |
| | 鉄筋 (発生ひずみ $\times 10^{-6}$) | 5,000 ^{※2} | 0.3以下 |
| | 面外せん断力 (発生応力[kN/m]) | 3,700 ^{※3} | 0.6以下 |
| シエル壁 | コンクリート (発生ひずみ $\times 10^{-6}$) | 3,000 ^{※2} | 0.2以下 |
| | 鉄筋 (発生ひずみ $\times 10^{-6}$) | 5,000 ^{※2} | 0.1以下 |
| | 面外せん断力 (発生応力[kN/m]) | 5,200 ^{※3} | 0.6以下 |

※1 検定比は小数点第2位を切り上げ評価

※2 発電用原子炉設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（日本機械学会）に基づき設定

※3 検定比が最大となる部位の評価基準値の10桁以下を切り下げて記載
原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）に基づき設定

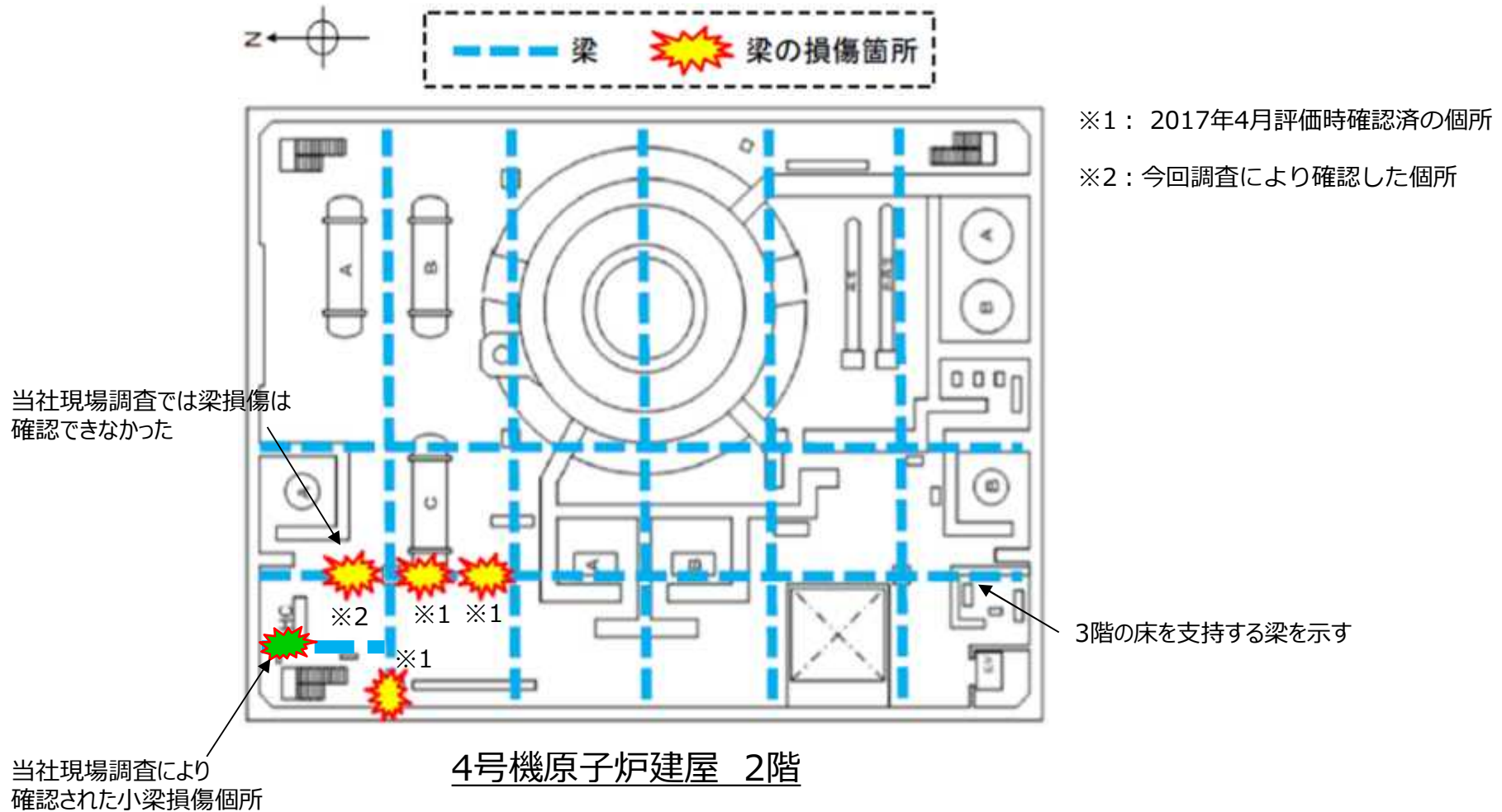
2-1. 4号機原子炉建屋について

- 4号機原子炉建屋は、外観写真や有人による建屋内部調査から確認できる損傷状況を反映し、爆発等の影響を受けた部材については、ある程度の損傷をしていると仮定し剛性を低下させた評価を行い、耐震安全性に影響がないことを確認※している。
- 4号機原子炉建屋についても2020年1月17日の規制庁殿による内部調査にて確認された3階床の梁の損傷については、先に当社が実施した評価でも、損傷しているものとして解析を行い、損傷があった状態でも十分な耐震裕度があることを確認している。
- 以上より、今回改めて確認された梁の損傷についても、耐震安全性のリスクが高まることはない。
- また、4号機については、2015年12月に使用済み燃料の取り出しが完了しており、既に耐震上のリスクは小さい。

※実施計画「4号福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書」にて報告済

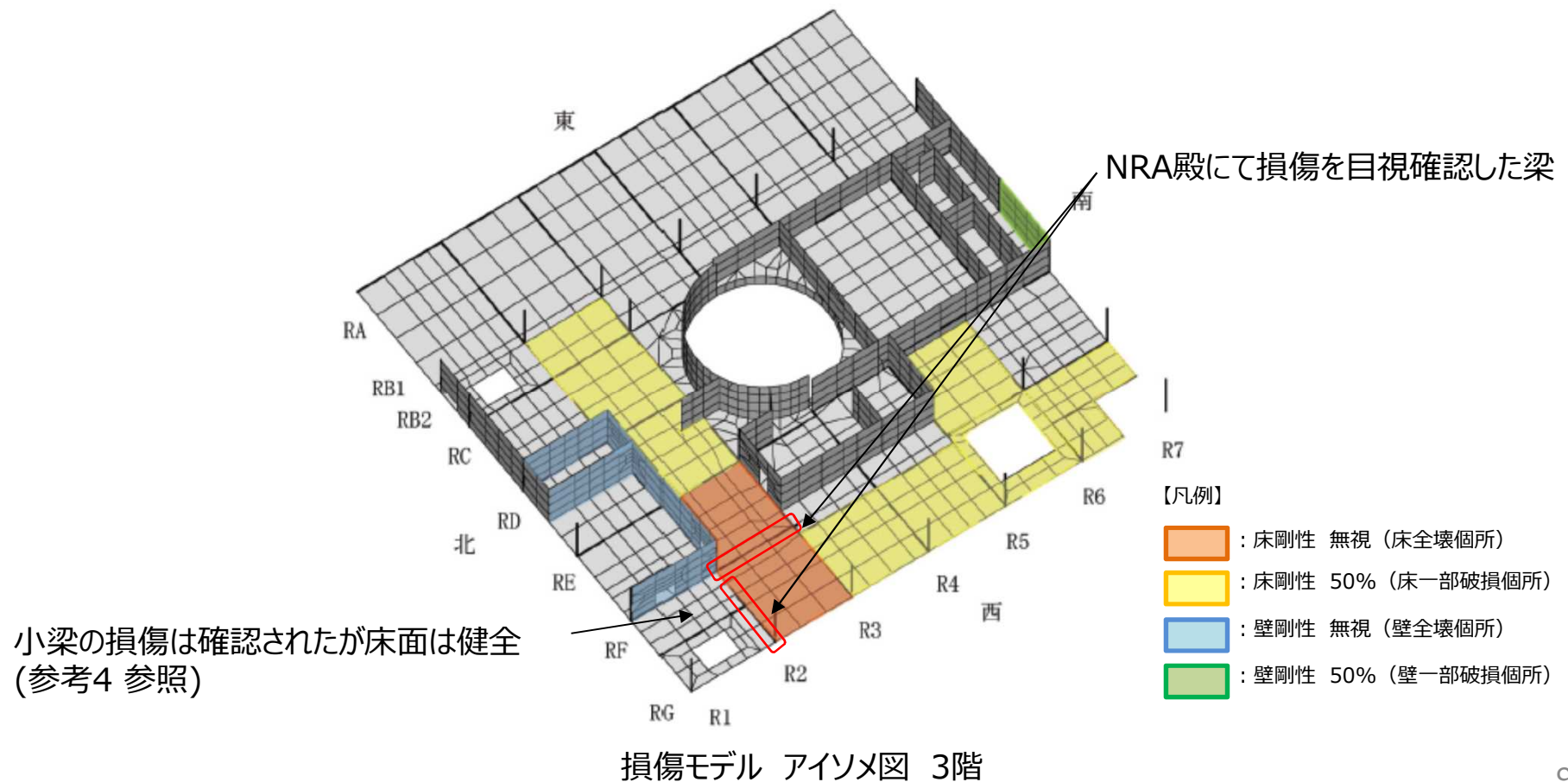
2-2. 規制庁殿現場調査結果

- 規制庁殿の調査結果を受け，当社も線量状況より調査可能なことから，調査を行い梁損傷状況を確認。

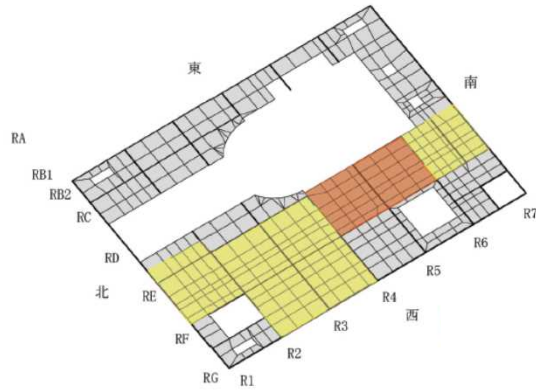


2-3. 耐震安全性の評価モデル（4号機、3階）

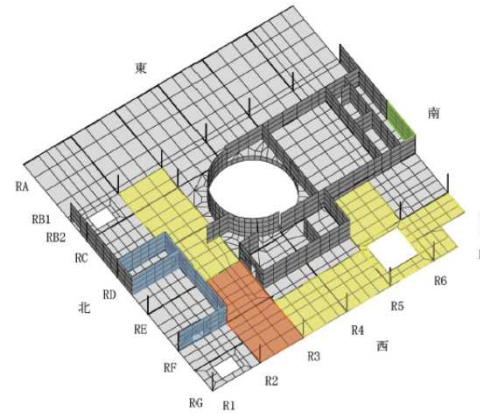
- 規制庁殿による損傷が確認された梁を含む3階床面については、損傷状況を踏まえ当初から剛性0%として2013年の解析モデルに反映して評価している。
- 2020年2月に実施した当社による調査(参考4)で新たに確認した小梁の損傷はあったものの床面については目視確認等から水平力は伝えられる部材であると判断している。



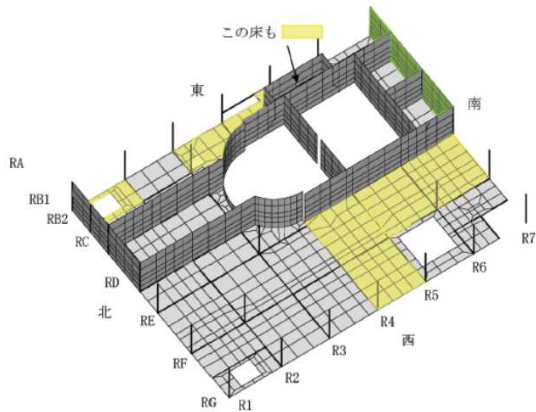
2-4. 耐震安全性の評価モデル (4号機、2~5階)



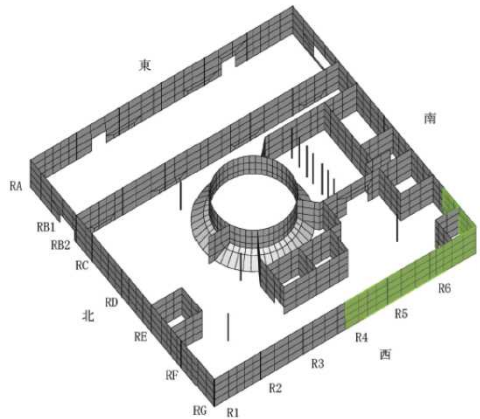
損傷仮定 アイソメ図 5階



損傷仮定 アイソメ図 3階



損傷仮定 アイソメ図 4階



損傷仮定 アイソメ図 2階

【凡例】

- : 床剛性 無視 (床全壊箇所)
- : 床剛性 50% (床一部破損箇所)
- : 壁剛性 無視 (壁全壊箇所)
- : 壁剛性 50% (壁一部破損箇所)

2-5.評価結果(4号機)

- 評価結果として、発生ひずみ及び面外せん断力の発生応力と評価基準値の比（検定比）を以下に示す。なお、モデル化の考え方は3号機（P.4）と同様で、評価結果には荷重設定や剛性評価で保守性を考慮している。

| | | 評価基準値 | 検定比※1 |
|----------------------------|-------------------------------------|---------|-------|
| プ ー ル 壁 ・ 床 | コンクリート (発生ひずみ×10 ⁻⁶) | 3,000※2 | 0.2以下 |
| | 鉄筋 (発生ひずみ×10 ⁻⁶) | 5,000※2 | 0.3以下 |
| | 面外せん断力 (発生応力[kN/m]) | 1270※3 | 0.5以下 |

※1 検定比は小数点第2位を切り上げ評価

※2 発電用原子炉設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（日本機械学会）に基づき設定

※3 検定比が最大となる部位の評価基準値の10桁以下を切り下げて記載
原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）に基づき設定

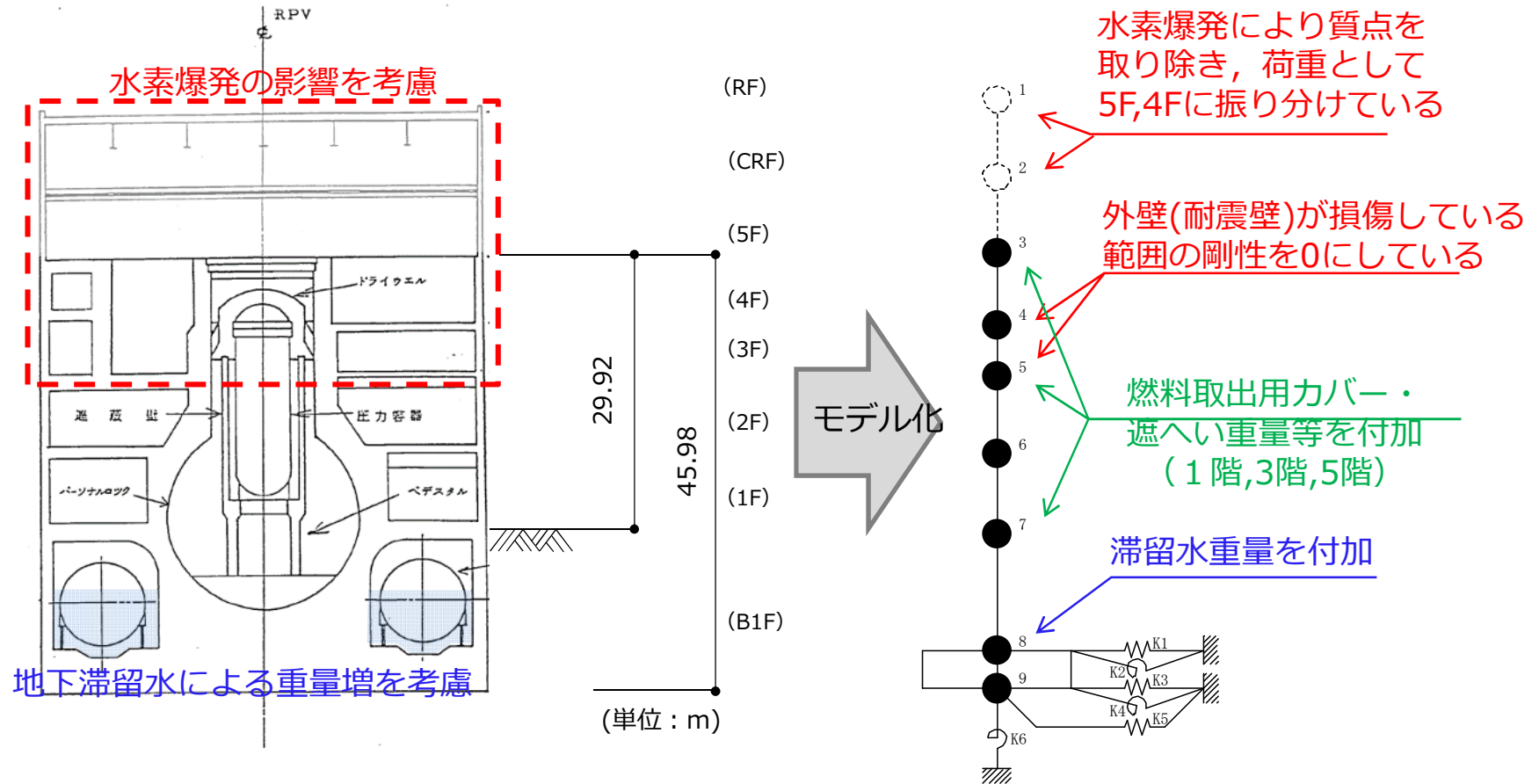
4. まとめ

- 規制庁殿による3,4号機の内部調査により確認された梁の損傷については、過去に当社が実施した耐震安全性評価の中で、損傷を考慮した上でも、耐震安全性を有していることを確認している。
- 更に、崩落ガレキの重量を保守的に見込む、爆発等の影響を受けたと思われる部材については、保守的に部材の剛性を落とす等の条件で解析を行い、その際にも十分な耐震裕度があることを確認しており、保守性を持った評価になっている。
また、床の損傷が無い場合と、損傷があると仮定した場合の解析結果に大きな差異が見られないことから、床部材の損傷が、使用済み燃料プール・シェル壁の耐震安全性に大きな影響を与えるものではないと思われる。（参考2-4）
- なお、今後 爆発等の影響を受けた部材の劣化により、「耐震安全性」や「作業安全性」が損なわれないことを、定期的な調査を行い確認する。
- 仮に、劣化等により部材の損傷が進展する様な場合には「耐震安全性」の再評価を行い、必要な対策を行う。

以上

【参考1-1】 3号機原子炉建屋 評価条件

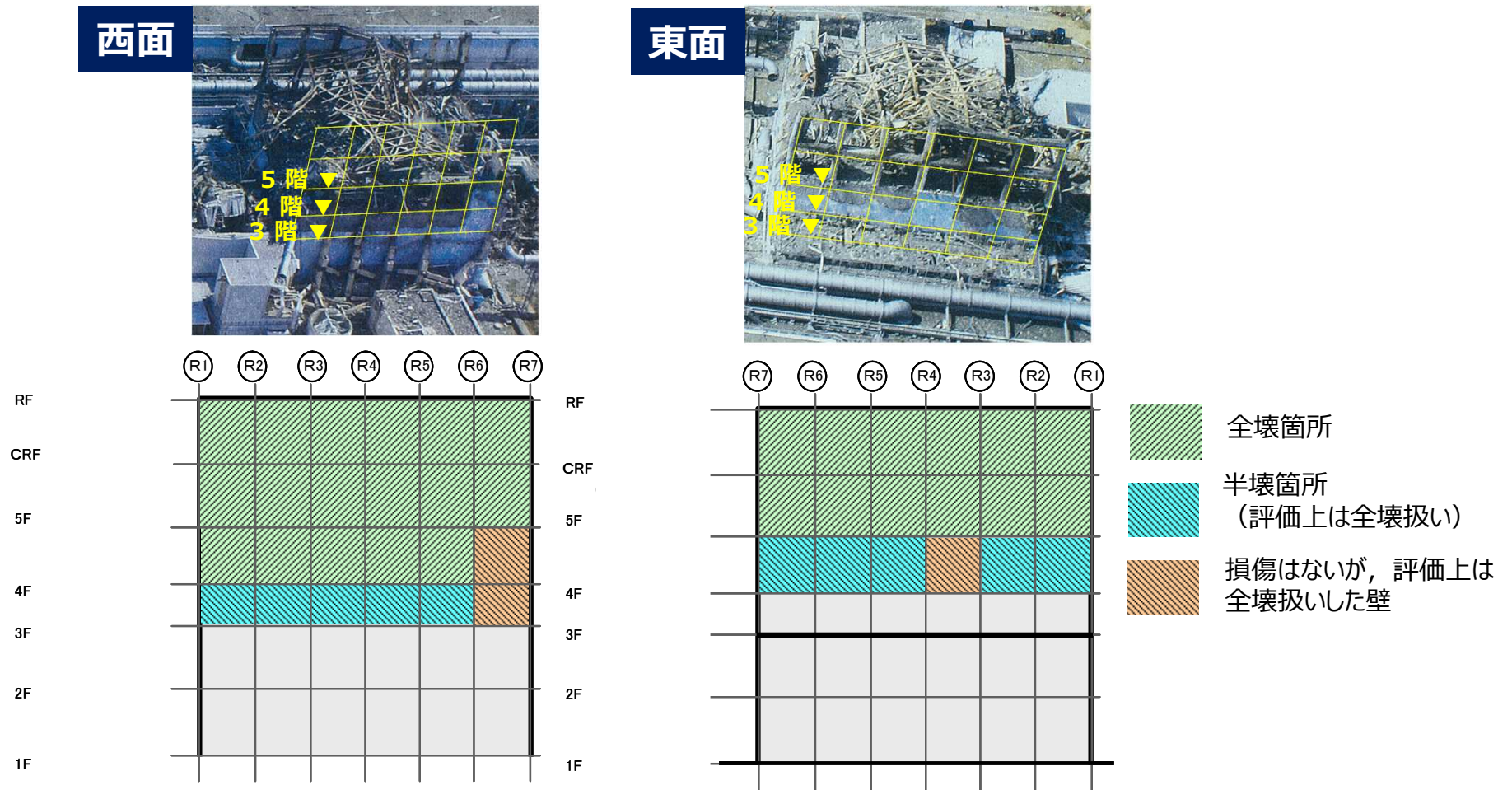
- 建屋に係る部分の諸元については、建屋損傷状況・地下滞留水・燃料取り出しカバー等の状況を踏まえて設定。



3号機原子炉建屋 解析モデル (NS方向)

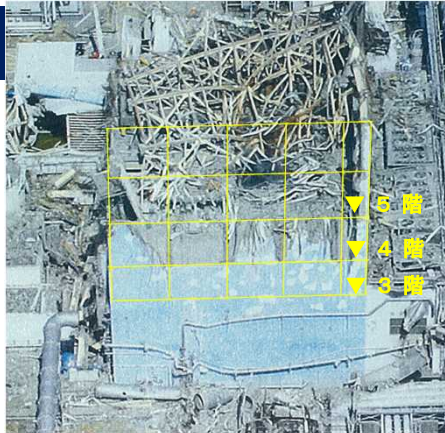
【参考1-2】 3号機原子炉建屋 解析モデル（外壁）

- 躯体の損傷状況は外観写真より階層別に評価している。
- 損傷箇所については，剛性を考慮していない。

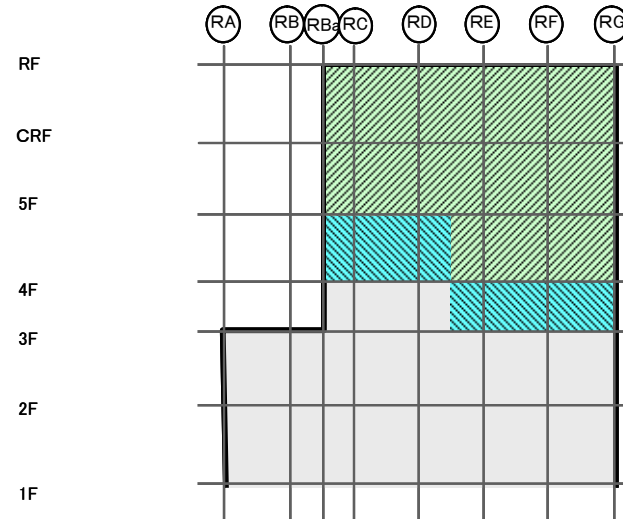
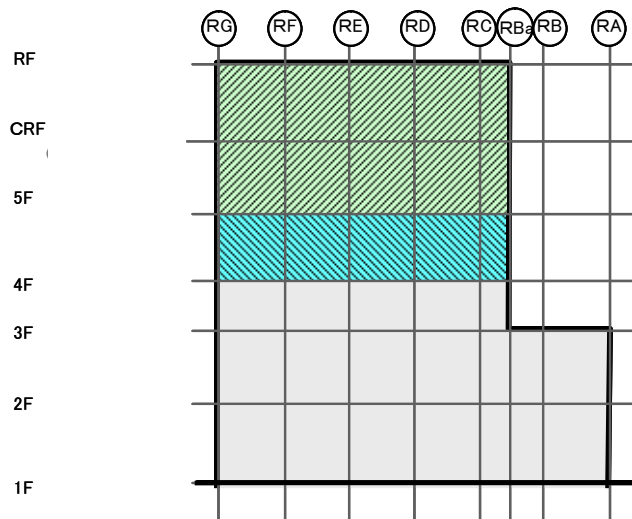
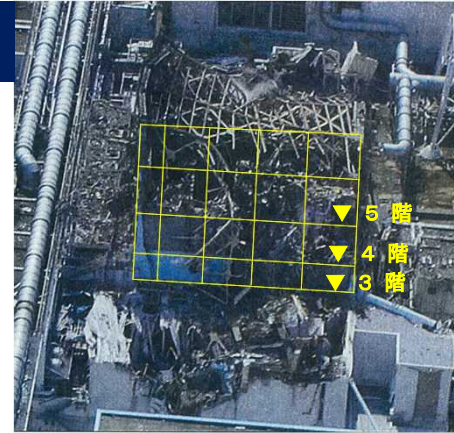


【参考1-3】 3号機原子炉建屋 解析モデル (外壁)

南面



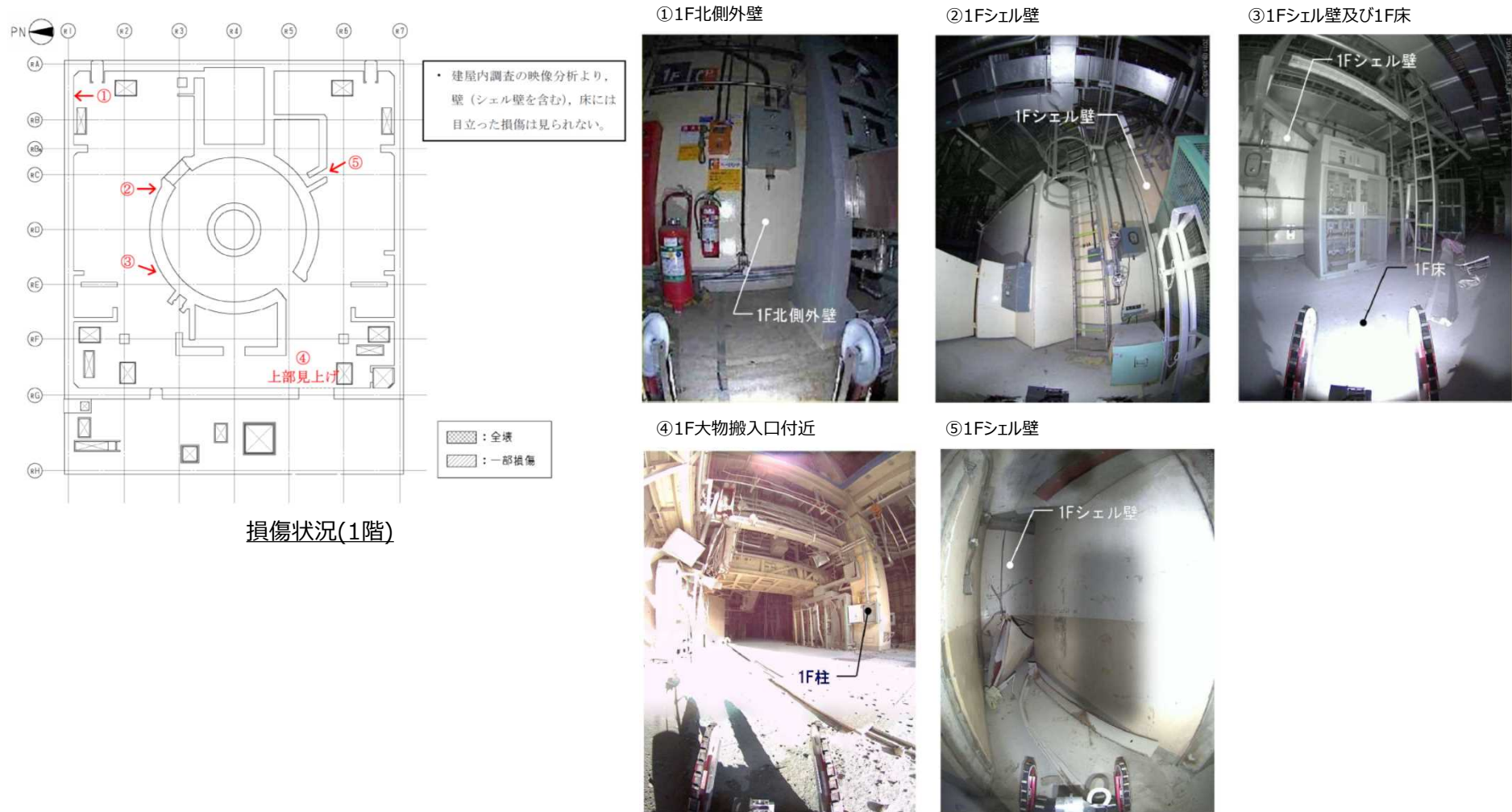
東面



- 全壊箇所
- 半壊箇所
(評価上は全壊扱い)
- 損傷はないが、評価上は
全壊扱いした壁

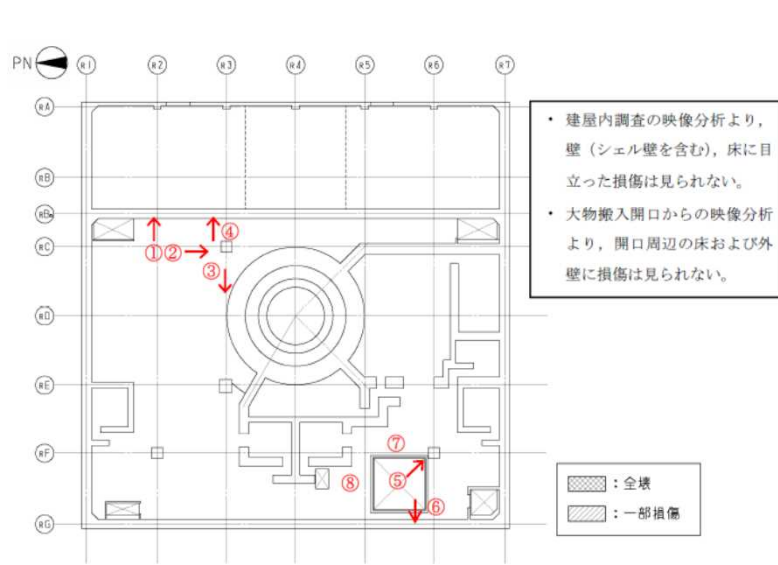
【参考1-4】 3号機原子炉建屋1階 解析モデル（建屋内）

- 躯体の損傷状況はロボット調査の映像より階層別に評価している。
- 損傷箇所については，剛性を考慮していない。



建屋内状況写真(1階)

【参考1-5】 3号機原子炉建屋2階 解析モデル (建屋内)



- ・ 建屋内調査の映像分析より、壁（シェル壁を含む）、床に目立った損傷は見られない。
- ・ 大物搬入開口からの映像分析より、開口周辺の床および外壁に損傷は見られない。

損傷状況(2階)

③2Fシェル壁



④2F東側外壁



⑤2F柱脚



⑥2F西側外壁脚部



①2F階段口東側外壁



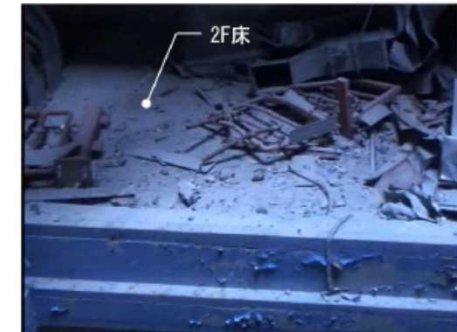
②2F床及び中間部の柱



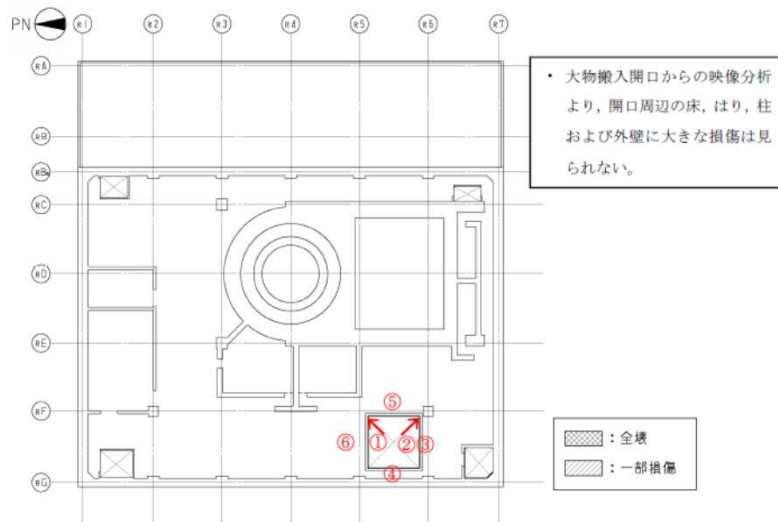
⑦2F床(大物搬入口東側)



⑧2F床(大物搬入口北側)



【参考1-6】 3号機原子炉建屋3階 解析モデル（建屋内）



損傷状況(3階)

③3F柱脚



⑤3F床（大物搬入口東側）



④3F西側外壁中央部

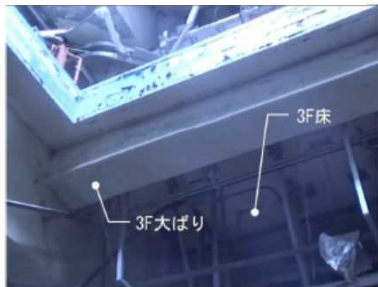


⑥3F床（大物搬入口北側）



建屋内状況写真(3階)

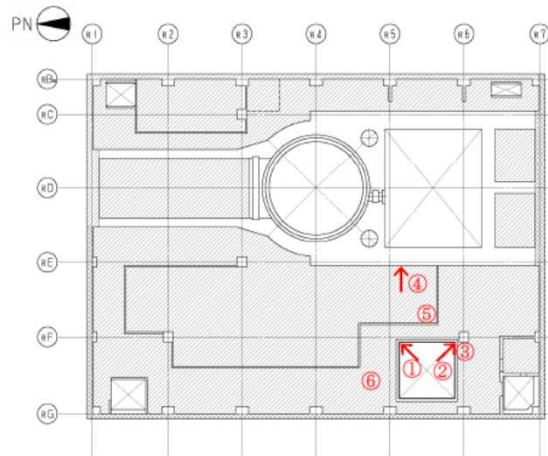
①3F大ばり交差部(R5通り×RF通り)



②3F大ばり交差部(R6通り×RF通り)



【参考1-7】 3号機原子炉建屋4階 解析モデル（建屋内）



- ・大物搬入開口からの映像分析より、開口周辺の床、はりの一部に剥落が見られる。
- ・北西部や北東部において、上部の5階床が全壊している箇所もあることより、4階床は全面的に一部損傷状態にあると推定する。
- ・プール壁頂部の一部に軽微な損傷が見られるが、剥落などは見られない。

損傷状況(4階)

①4F大ばり交差点(R5通り×RF通り)



②4F大ばり交差点(R6通り×RF通り)



③4F柱脚



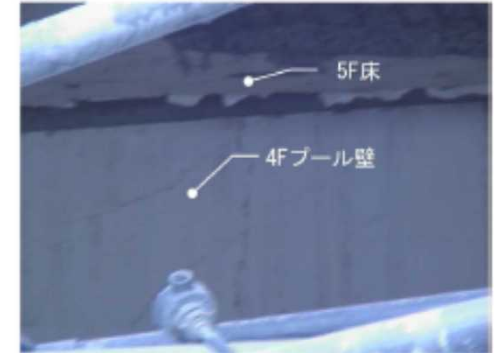
⑤4F床（大物搬入口東側）



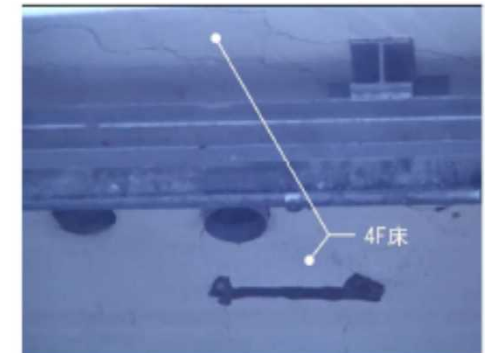
⑥4F床（大物搬入口北側）



④4Fプール壁（頂部）



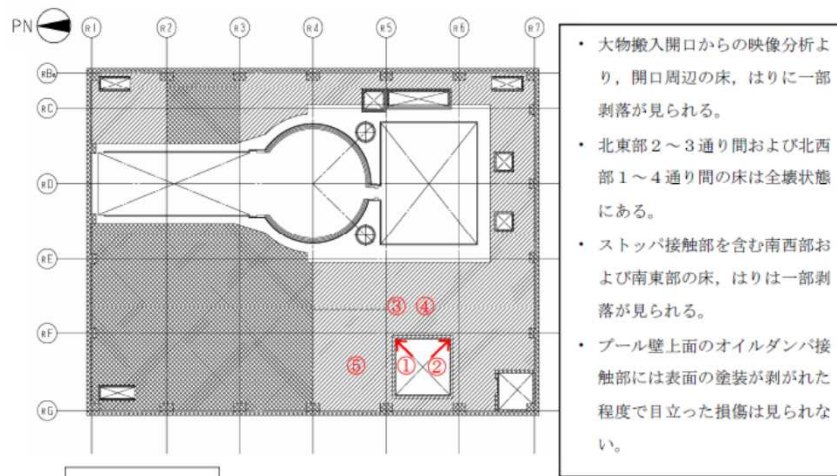
⑤4F床（大物搬入口東側）



⑥4F床（大物搬入口北側）

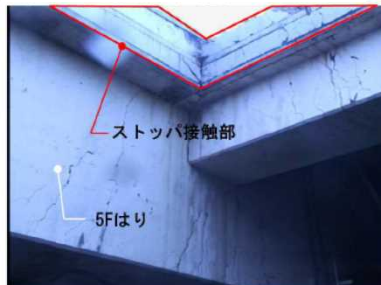


【参考1-8】 3号機原子炉建屋5階 解析モデル (建屋内5階)

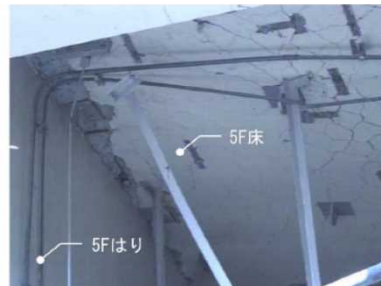


損傷状況(5階)

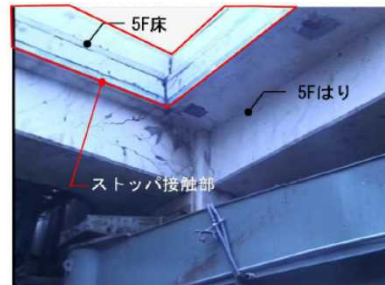
①5F大ばり交差部(R5通り×RF通り)



③5F床 (大物搬入口東側)



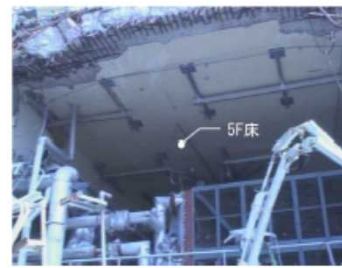
②5F大ばり交差部(R6通り×RF通り)



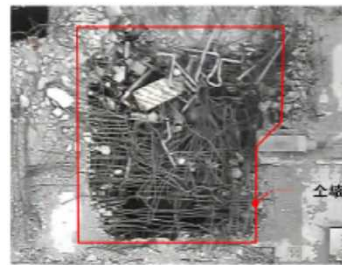
④5F床 (大物搬入口東側)



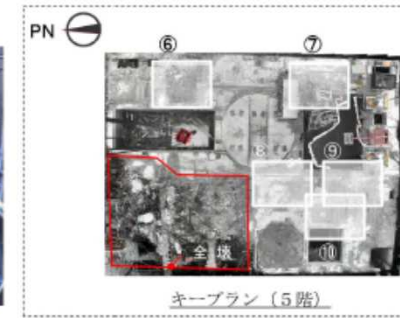
⑤5F床 (大物搬入口北側)



⑥5F床 (機器仮置プール)



⑧オイルダンパ接触部 (北側)



⑦東側ストップバ接触部



⑨オイルダンパ接触部 (南側)

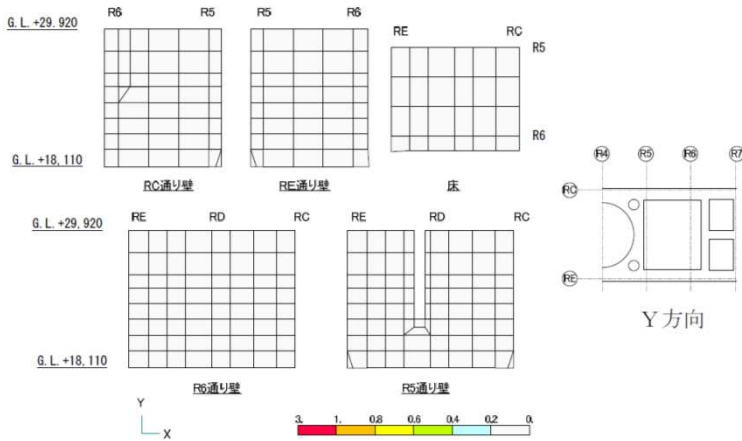
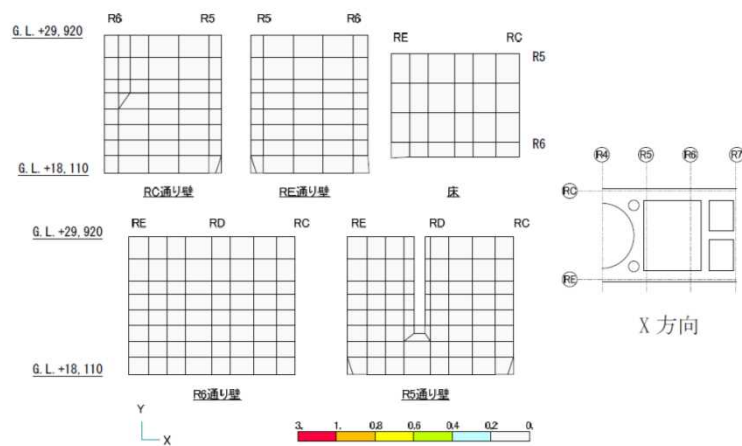


⑩西側ストップバ接触部

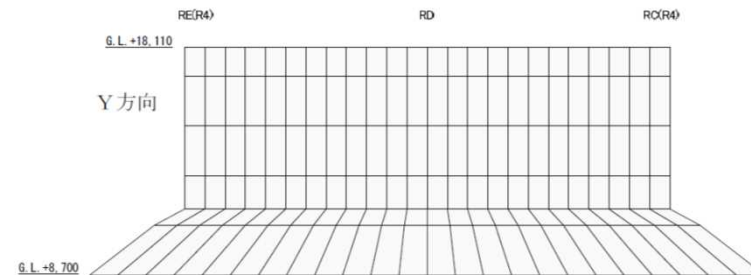
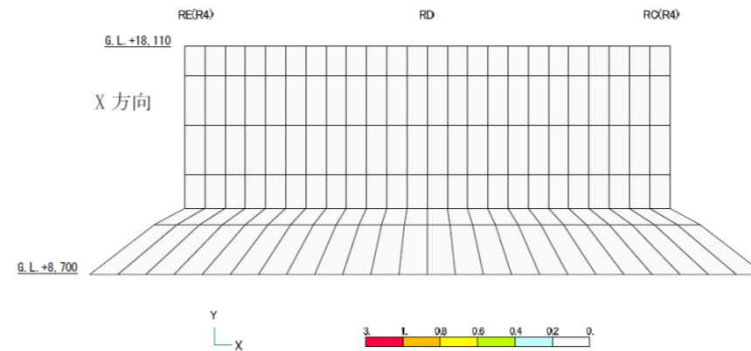


【参考2-1】 評価結果詳細(コンクリート)

- 保守的な評価ケースのコンクリート(ひずみ)の評価結果, 発生応力と評価基準値の比(検定比) は耐震安全性を有していることを確認している。



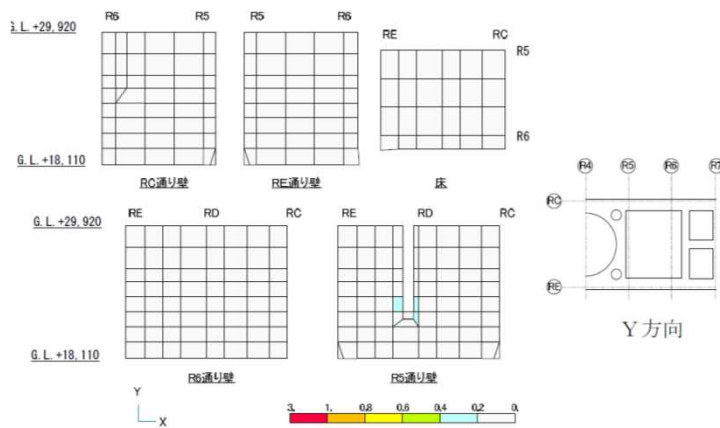
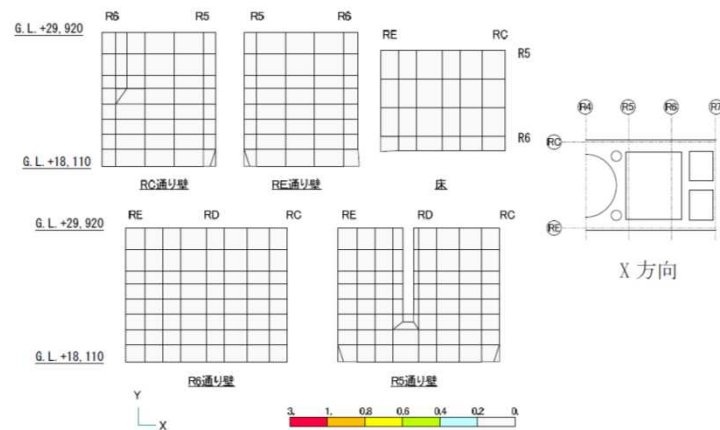
コンクリート圧縮ひずみの検定比 (使用済燃料プール部)



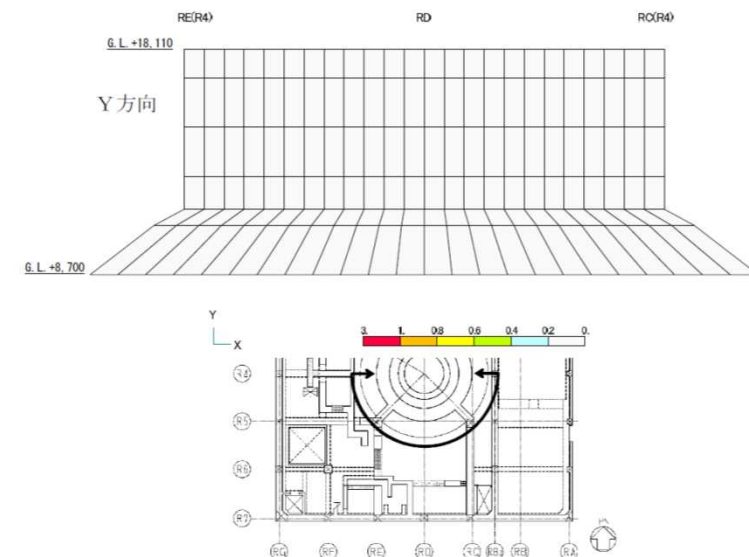
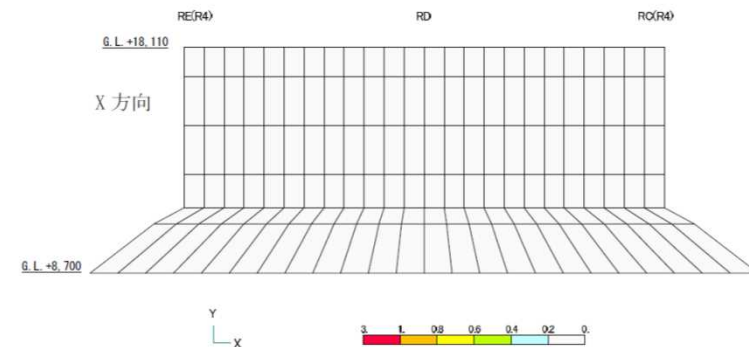
コンクリート圧縮ひずみの検定比 (シェル壁部)

【参考2-2】 評価結果詳細(鉄筋)

- 保守的な評価ケースの鉄筋(ひずみ)の評価結果, 発生応力と評価基準値の比 (検定比) は耐震安全性を有していることを確認している。



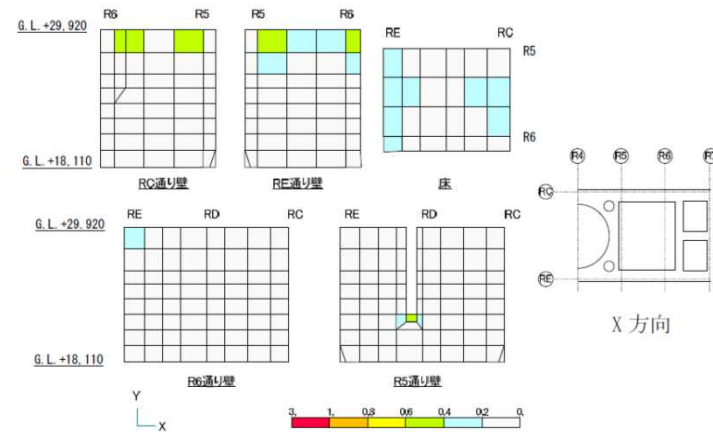
鉄筋ひずみの検定比 (使用済燃料プール部)



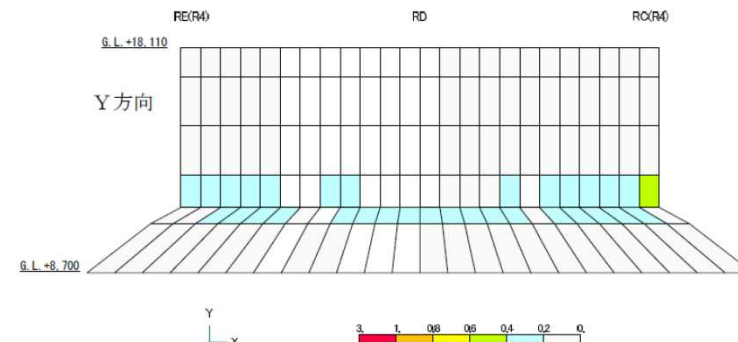
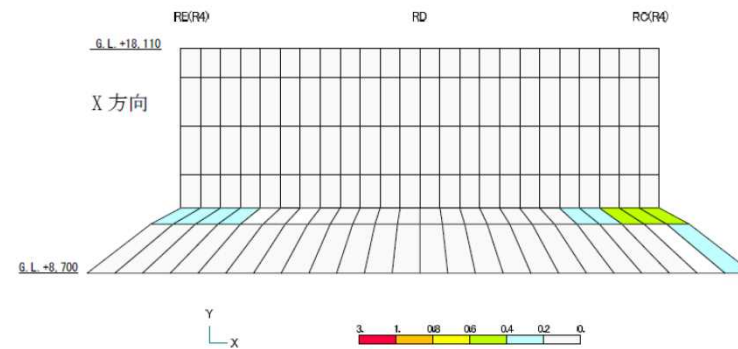
鉄筋ひずみの検定比 (シェル壁部)

【参考2-3】 評価結果詳細(面外せん断力)

- 保守的な評価ケースの発生ひずみ及び面外せん断力の発生応力と評価基準値の比（検定比）は耐震安全性を有していることを確認している。
- 評価結果のうち検定比が厳しいプール壁・シェル壁の面外せん断力の検定比は下図の通り。



面外せん断力の検定比（使用済燃料プール部）



面外せん断力の検定比（シェル壁部）

【参考2-4】 3号機原子炉建屋 評価結果詳細

- なお、基本ケースと各階の床剛性を大幅に低減している保守的な評価ケースを比較しても、床の剛性(損傷状況)が耐震安全性評価結果に与える影響が限定的であると考えられる。

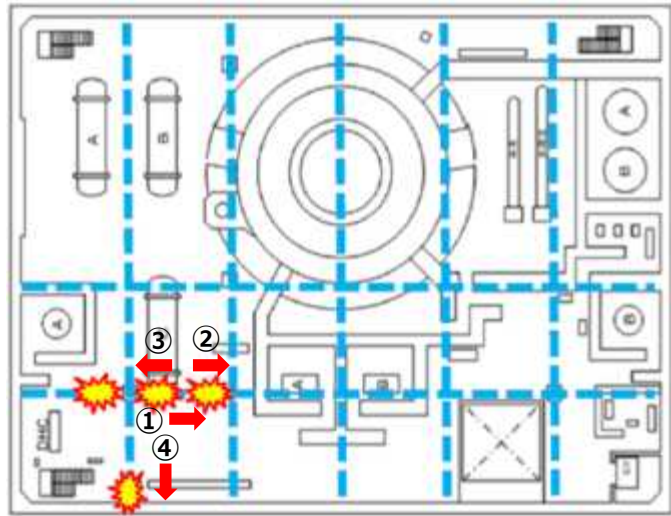
| | | 基本ケース | 保守的な評価ケース |
|-------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 剛性条件 ※差がある部分のみ | 5階床 (SFP西側一部) | 床全壊箇所 剛性0% 一部損傷箇所 剛性50% | 現場調査結果よりプール西側の一部を全壊とし剛性0%と設定 |
| | 4階床 | 一部損傷箇所 剛性50% (概ね全域) | 5階床の全損箇所の瓦礫落下や爆発の影響を加味し床剛性を0%と設定 |
| | 3階床 | 剛性100% | 十分な調査ができなかったことから床剛性を50%と設定 |
| | SFP・DSP・シエル壁 | 剛性100% | 事故時の影響を考慮し剛性50%と設定 |
| 評価結果 検定比 (最大値) | コンクリート | 0.1以下 | 0.2以下 |
| | 鉄筋 | 0.2以下 | 0.3以下 |
| | 面外せん断力 | 0.6以下 | 0.6以下 |

【参考3-1】 規制庁殿現場調査結果

※第10回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（2月4日）提示資料より抜粋



【参考3-2】 規制庁殿現場調査結果



4号機R/B 2階



①



②



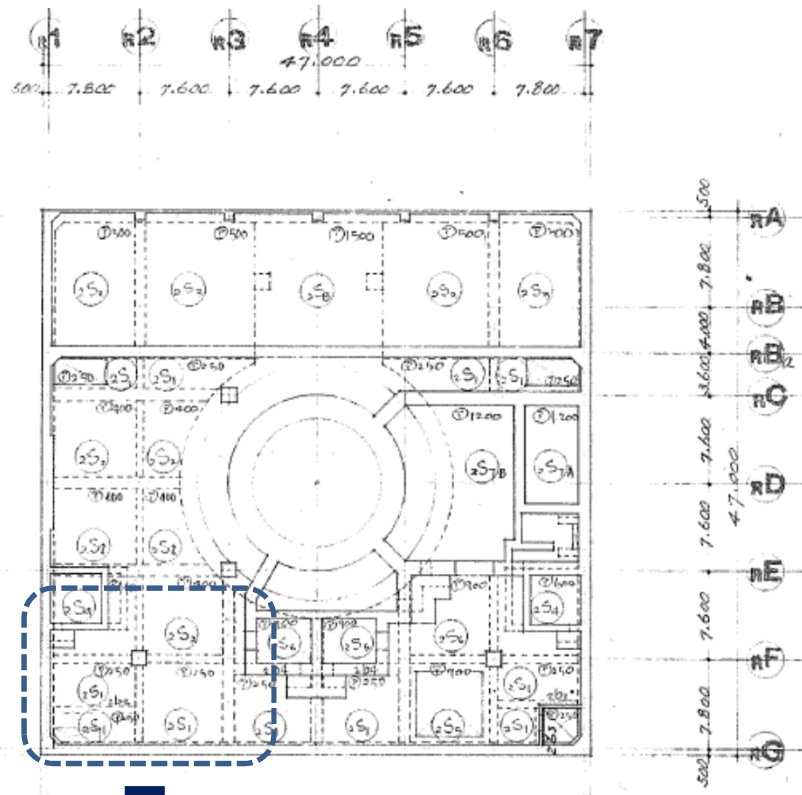
③



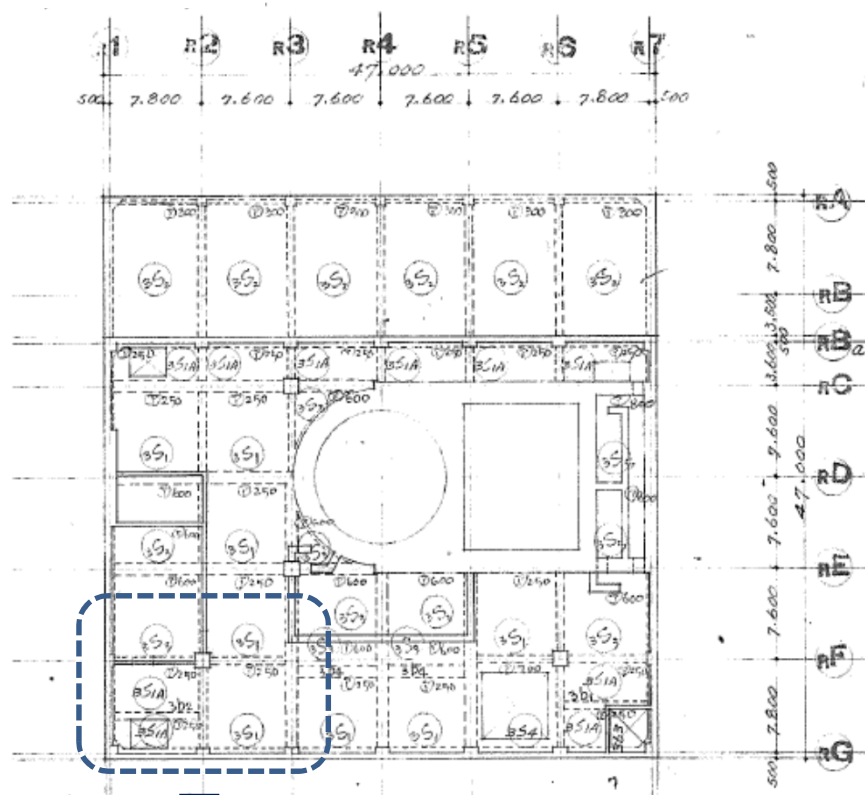
④

※第10回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（2月4日）提示資料より抜粋
写真はNRA調査結果公表動画よりスクリーンショット

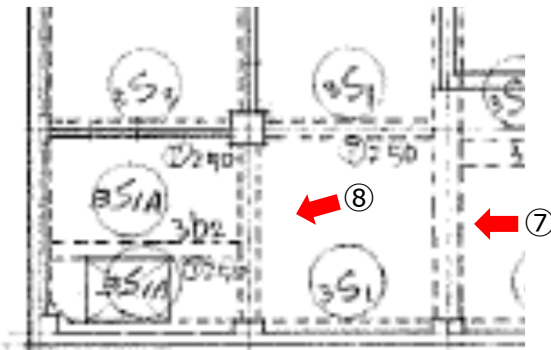
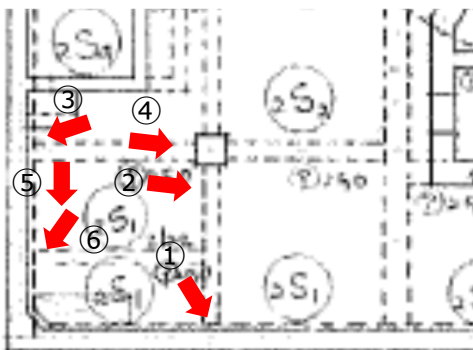
【参考4-1】 東京電力HD現場調査結果(4号機)



R/B 2階床伏図



R/B 3階床伏図



【参考4-2】東京電力HD現場調査結果(4号機)

①



②



③



④



【参考4-3】 東京電力HD現場調査結果(4号機)

⑤



⑥



⑦



⑧



(方針)

- 人身安全等に考慮した上で、建屋の躯体調査を継続的に実施し、保守的に評価している評価モデルに対し、評価結果に変更が生じる事象が確認された場合は、再評価により、耐震安全性が確保されていることを確認する。

(対応策)

- 評価精度向上のために、高線量エリアにおける無人による調査方法を検討し、調査可能範囲を拡充していく。
- 今後、新たな事象が判明した際にも、適切に評価が出来るように評価モデルの構築を目指す。
- 建屋全体の劣化傾向を確認するために地震計を順次設置し、合わせて地震記録から耐震性の変化を把握するための評価方法の構築を目指す。