

試験研究用原子炉施設耐震性安全性評価妥当性確認WG（第1回）  
 ～施設・構造SWG（第2回）における主なコメントの整理（案）  
 ー京都大学原子炉実験所研究用原子炉（KUR）ー

平成22年3月30日

| 確認の主なポイント          |          | コメント   | WG等における回答   |
|--------------------|----------|--|---|
| O. 共通事項            |          | 【WG(第1回)】<br>『地震動の超過確率』(資料1-5-1 P.7) は、本WGの評価に含めるのか。   | →【事務局】京都大学からは最終報告により報告される予定になっている。WGでは本ポイントに追加し、「参照」程度の確認と考えている。<br>なお、このほかにも重要と思われる内容については、ポイントに追加する予定である。   |
| 1. 地質・地質構造<br>① 陸域 | 中央構造線断層帯 | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>中央構造線断層帯の紀淡海峡ー鳴門海峡の活動時期はわかっているのか。<br>なお、紀淡海峡ー鳴門海峡と金剛山地東縁ー和泉山脈南縁は違う活動することはわかっている。<br><br>現状で、さまざまな不確かさを考慮するのであれば、紀淡海峡と紀伊半島を分ける形で、断層長さを評価して問題ないと判断する。 | →【京都大学】地震調査研究推進本部・長期評価において違うものとして示されているが、その信頼性という意味では、かなり幅のある活動時期になっている。<br>→【事務局】地震調査研究推進本部より平成21年7月に発出された「全国地震動予測図」においても、紀淡海峡ー鳴門海峡は金剛山地東縁ー和泉山脈南縁と別に記載されている。   |
|                    | 上町断層帯    | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>現状での断層に係るデータも満足ではなく、千里丘陵にあたる北端では活断層でない可能性もあるとされている。<br>したがって、最大規模の断層を考えるしかない現状において、本中間報告では、桜川撓曲、住之江撓曲の分岐している断層を加え評価にしており、十分な不確かさも含めた評価になっていると判断する。  |   |
|                    | ② 海域     | 大阪湾断層帯   | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>説明資料の大阪湾中の活断層で、空港近傍に引かれた線は何によるものか。   |
| ③ 地下構造             |          | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>微動アレイ探査より得られた地下構造と、ボーリング調査で行ったPS検層結果との比較はなされているか。   | →【京都大学】微動アレイ探査結果は空間自己相関法(SPAC法)で解析し、基盤岩深度の深度はボーリング調査から得られた深度よりも3倍程度の深く推定され、また、周波数ー波数法(F-K法)で解析を行った場合においても、地質不規則構造による散乱が影響し、適切な深度評価はなされないと判断した。<br>一方、単点微動探査のH/Vスペクトルのピーク周期から深度を推定した場合は、ボーリング調査結果と概ね整合する。<br>したがって、基盤岩深度が平行成層となる |

| 確認の主なポイント          | コメント   | WG等における回答   |   |
|--------------------|--|---|---|
| ③ 地下構造<br>(続き)     |  | 海岸線付近において実施された微動アレイ探査によるSPAC法及びF-K法から得られた深度は、ボーリング調査結果並びにH/Vスペクトルからの推定深度は概ね一致し、海岸線から山側については、ボーリング調査結果、H/Vスペクトルからの結果により、コンター図を作成している。  |   |
| 2. 基準地震動 Ss        | <p>【応答スペクトル法(全般)】<br/>【WG(第1回)】<br/>応答スペクトルに基づいた地震動評価法には、Noda et al.(2002)を用いており、その選定理由としては、『地震観測記録を用いて諸特性(地域特性等)が考慮できる』ことをあげているが、実際に地震観測記録を用いて諸特性を考慮したのか。</p> | <p>→【京都大学】地盤のせん断波速度の違いについて、耐専スペクトルでは<math>V_s=700\text{m/s}</math>の地盤と想定され、本サイトでの解放基盤は<math>V_s=2000\text{m/s}</math>程度の地盤となっている。耐専スペクトルの妥当性を、サイトでの地震観測記録で検討することは、非常に重要なことと考えているが、残念ながら、耐専スペクトルの妥当性を評価出来るような観測記録が得られていない。<br/>本検討では、地盤構造の違い等の地域性を考慮に入れ検討を行ったとご理解下さい。</p> <p>→【京都大学・地質・地震動 SWG(第1回)】兵庫県南部地震での建物内で強震記録により、耐専スペクトルの有効性について示す予定である。</p> |   |
| ① 内陸地殻内地震の想定と地震動評価 | <p>震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について</p>   | <p>【応答スペクトルに基づく地震動評価】<br/>【地質・地震動 SWG(第1回)】<br/>震源近傍における破壊伝播効果(NFRD効果)及び内陸地震に対する補正は行われているのか。</p> <p>【地質・地震動 SWG(第2回)】<br/>兵庫県南部地震の観測記録より算定した解放基盤表面における応答スペクトルと耐専スペクトルとの比から、内陸補正(0.6)を考慮する妥当性を説明しているが、原子炉建屋における固有周期帯(0.2~0.3s)では、保守的な評価にはなっていないように思われる。</p>  | <p>→【京都大学】中央構造線断層帯、上町断層帯及び生駒断層帯は、内陸補正(0.6)を考慮している。<br/>NFRD効果については、断層からの距離を考慮し、中央構造線断層帯のみ考慮している。<br/>また、兵庫県南部地震での強震記録を基に、応答スペクトル法での補正の是非について示す予定である。</p> <p>→【京都大学】KUCA建屋における基礎部分での観測記録であるため、建物の影響、はざとり・逆解析の影響等が関係していると考えている。<br/>耐専スペクトルの設定に際しては、少し高周波領域の振幅が卓越する海洋プレート間地震が基とされ、内陸地殻内地震に対しては補正を考慮することで適用できるとされている。厳密に言えば、耐専スペクトルはどの程度まで震源特性を表しているかという議論まで遡る。<br/>兵庫県南部地震は高周波領域の振幅を多くは含まず、震源モデルからも平均的な震源動であった。そのため、応答スペクトルの短周期帯においても、もう少し小さな結果となることを想定していたが、解放基盤表面での観測記録でもなかったため、結果として、提示した資料のとおりとなった。</p> |

| 確認の主なポイント                      | コメント   | WG等における回答  |
|--------------------------------|--|--|
| <p>① 内陸地殻内地震の想定と地震動評価(続き)</p>  | <p>震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について(続き)</p> <p>説明内容では、内陸補正を考慮する妥当性の確認が難しい。<br/>耐専スペクトルに対する観測記録の応答スペクトルの比については、震源特性だけの差ではなく、耐専スペクトルの基となった福島サイトにおける深い地盤構造の増幅特性と、他のサイトとの差などが影響していると理解している。<br/>例えば、保守的な評価で、内陸補正を考慮しないと事業者もある。</p> <p>内陸補正の考慮に関する考え方を整理し、内陸補正を考慮するのであれば、明確な根拠資料を提示すべきである。</p> <p>内陸補正を考慮しなくても、基準地震動に変更は生じないと想定出来るようだが、地震動評価に係る説明性を確保するため、最終報告書等には、その考え方を明記すること。</p> | <p>→【京都大学】耐専スペクトルとの違いという意味で、短周期帯は兵庫県南部地震の特徴を表していると考えている。<br/>また、0.2sあたりの周期帯は、ご指摘のとおり、耐専スペクトルとの地盤構造の違いによるものと考えている。<br/>したがって、今回は、耐専スペクトルの補正としては、地盤構造の差を評価しきれいなく、また、建物の影響もあると考えている。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学】既往の中間報告書では、中央構造線断層帯の地震動評価における、周期0.2~0.3sの速度応答スペクトルは、耐専スペクトル(Ss-1)(補正有り)では、約30kineであるのに対し、断層モデルによる評価(Ss-2)では、約70~80kineで、2倍以上の差となっている。<br/>したがって、耐専スペクトルの内陸補正を考慮しない地震動とした場合においても、断層モデルによって策定された地震動が、大きくなると想定する。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> |
| <p>中央構造線断層帯(金剛山地東縁-和泉山脈南縁)</p> | <p>【断層モデルに基づく地震動評価】<br/>【地質・地震動 SWG(第1回)】<br/>本中間報告での基本モデルは、断層面の傾斜角を高角(80°)として設定しているに対して、地震調査研究推進本部及び中央防災会議での強震動予測時に用いた傾斜角はもう少し低角となっており、異なる評価となっている。<br/>(高角の断層面を基本モデルとする場合、本WGでも何らかの判断を要するが、明確な説明が得られていない。)<br/>また、新潟県中越沖地震を踏まえ、短周期レベルの地震動を1.5倍(応力降下量:強震動レシピ×1.5倍)する不確かさの考慮についても、傾斜角との組合せに関して適切な組合せとなっていないのではないか。</p>   | <p>→【京都大学】本断層は、横ずれ断層と評価されている。また、断層南縁では直線状に明瞭な地表トレースが記されるが、低角(43°)では明瞭な地形として残らないと考え、傾斜角は高角と設定した。</p> <p>→【京都大学】傾斜角と不確かさを同時に考慮することにより、基準地震動は大きくなることが想定されるが、地震動だけの問題ではなく、施設の健全性を含めた総合的な問題と考えている。<br/>(基準地震動の評価に際しては、地震調査研究推進本部での強震動予測時に用いたパラメータを基本モデル(傾斜角及びアスペリティの配置)とし、この基本モデルに不確かさ(強震動レシピ×1.5倍等)を考慮したモデルとあわせ再評価を行う。)</p>  |

| 確認の主なポイント              |                                     | コメント   | WG等における回答   |
|------------------------|-------------------------------------|--|---|
| ① 内陸地殻内地震の想定と地震動評価(続き) | 中央構造線断層帯(金剛山地東縁-和泉山脈南縁)(続き)         | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>傾斜角については、横ずれ断層であるため高角となるとは言えない。<br>現状の応力場から考えると、新たに断層が出来る場合には、高角の断層面となることも考えられるが、既に弱線として地殻内にあるとすれば、その弱い部分に応力集中が発生し、それに沿って滑りが生じることも考えられる。このような考え方をもち、地震調査研究推進本部・中央防災会議の断層モデルが設定されてきたと想定する。   |   |
|                        | 上町断層帯                               | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>基準地震動評価においては、十分な不確かさを設定しているため、断層評価としても妥当と判断する。  |   |
| ② プレート間地震の想定と地震動評価     | 震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について | 【応答スペクトルに基づく地震動評価】<br>【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>スペクトルの補正は行われているのか。<br><br>中間報告の内容で特に問題ないと判断する。  | →【京都大学】プレート間地震の補正は行っていない。なお、プレート内地震(M7.4)については、確認する。  |
| ③ 震源を特定せず策定する地震動       |                                     | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>地震調査研究推進本部より平成21年7月に発出された「全国地震動予測図」において、本サイトでの最大マグニチュードは変更された経緯はあるか。<br>中間報告の内容で特に問題ないと判断する。(中央構造線断層帯の断層評価が優位となると思われるため)。   | →【藤原委員】最大マグニチュードは6.8で、変更されていない。   |
| ④ 基準地震動 Ss の算定結果       | 解放基盤表面の策定                           | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>中間報告の内容で特に問題ないと判断する。  |   |
|                        | 基準地震動 Ss の策定結果                      | 【地質・地震動 SWG(第1回)】<br>中央構造線断層帯による断層パラメータを見直し、基準地震動の再評価を行うべきである。<br>【地質・地震動 SWG(第2回)】<br>中央構造線断層帯の震源モデルの考え方を見直し、基本モデルに関しては妥当なものと判断する。<br>アスペリティ位置の不確かさを考慮し、大きなアスペリティを敷地直下に配置したモデル(Case3)については、設定されているアスペリティと破壊開始点の位置は、水平動が一番大きくなるようになっているようであるが、逆に、上下動については一番小さくなるような幾何学的位置関係にある。<br>したがって、上下方向の地震動に関する考え方を説明すること。 | →【京都大学】拝承。<br><br>→【京都大学・川辺】アスペリティ位置の不確かさを考慮するモデルについては、ケーススタディを行い、水平動が最も大きくなるように、アスペリティと破壊開始点の位置を決定している。<br>また、上下動の大きさはアスペリティ配置によって調整出来、敷地西側に大きなアスペリティを配置するようなモデルが大きくなることを把握している。<br>したがって、大きなアスペリティを敷地直下に配置したモデル(Case3)及び西側に配置したモデル(Case4)の両方を基準地震動と |

| 確認の主なポイント                   | コメント  | WG等における回答   |
|-----------------------------|---|---|
| <p>④ 基準地震動 Ss の算定結果(続き)</p> | <p>基準地震動 Ss の策定結果(続き)</p> <p>西側に配置したモデル(Case4)における上下動については、かなり大きいものになっている。</p> <p>上下動に関しては、最も大きくなる配置等の検討は行ってないが、この程度の上下動(Case4)を設定していることで、安全側の評価になっていると判断した旨を、最終報告書等に明記すること。</p> <p>資料に記載されている速度応答スペクトル(上下方向)で、長周期帯において速度応答が極端に小さくなるケース(Case3)もあるため、地震動評価において、上下方向が過少評価となっていないことを、最終報告書等に明記すること。</p>  | <p>することで、水平・上下動共に考慮された保守的な評価になっていると判断している。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p>  |
| <p>3. 原子炉建屋への入力地震動</p>      | <p>解放基盤表面で定義された基準地震動を、表層地盤までのモデルで一次元波動論による等価線形解析法により引き上げ、入力地震動を評価</p> <p>【地質・地震動 SWG(第1回)】<br/>地下構造モデルに関して、地層毎に細かく地盤定数(P波速度、S波速度及び密度)がゾーニングされているが、地盤の動的変形特性をどう根拠で設定したか。</p> <p>等価線形解析結果における最大せん断ひずみとは、時刻歴の異なる時点での最大値が発生したひずみをプロットしたもののか。</p> <p>【地質・地震動 SWG(第2回)】<br/>資料(P.11)表中の「非線形特性・設定モデル」の欄において、表層部分で設定されていない箇所については、解析上、設定を要しない部分か。</p> <p>資料(P.12,13)の図は、3軸動的変形試験結果を示したもののか。</p> | <p>→【京都大学】三軸圧縮試験を実施しているが、全ての層については実施していない。一番近傍の値として設定している。</p> <p>また、地盤の動的変形特性については設定の根拠を整理し説明する。</p> <p>→【京都大学】そのとおりである。地盤の等価物性値(有効歪みでのせん断剛性Gと減衰定数h)は収斂計算により求め、有効歪みは最大歪みの0.65倍としている。</p> <p>→【京都大学】表層部・3層については、建屋基礎下端以浅にあたり、地震波作成においては使用していない部分である。</p> <p>また、最下部にあるR1、R2及びR3は花崗岩を示し、弾性体としているため非線形特性は設定していない。</p> <p>→【京都大学】実験値を示している。</p> <p>なお、土の非線形モデルは、双曲線型Ramberg-Osgood(RO)モデルに基づきモデル化している。</p> <p>したがって、実験値のある部分も、双曲線に沿う形で補正している。</p> |

| 確認の主なポイント                  | コメント  | WG等における回答   |
|----------------------------|---|---|
| <p>3. 原子炉建屋への入力地震動(続き)</p> | <p>解放基盤表面で定義された基準地震動を、表層地盤までのモデルで一次元波動論による等価線形解析法により引き上げ、入力地震動を評価(続き)</p>   | <p>→【京都大学】そのとおりである。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p>   |
|                            | <p>逐次非線形解析</p> <p>【地質・地震動 SWG(第1回)】<br/>等価線形解析が適用できるせん断歪みの上限は0.1~1%とされており、その適用範囲を超えていると思われる。逐次非線形解析等により、入力地震動の評価を確認すべきである。</p> <p>【地質・地震動 SWG(第2回)】<br/>使用した解析コードを最終報告書等に明記にすること。</p> <p>等価線形解析ではせん断ひずみが2%位となった部分が、逐次非線形解析では抑えられた結果となっている。</p> <p>また、この部分以外は、解析方法に係らず整合した結果となっていると思われるが、その理由等を説明すること。</p> <p>等価線形解析結果と逐次非線形解析結果との相違点は、最大せん断ひずみの部分だけで、これ以外に、大きな違いはないと思われる。</p> <p>それぞれの解析における合致点・相違点等を整理し、等価線形解析の適用性を考察し、その内容を最終報告書等に明記すること。</p> <p>中間報告書では、地盤-建物連成モデルでの動的地盤バネについても、等価線形解析を用いて設定しているため、その妥当性の説明についても、上記を用いてはどうか。</p> <p>口頭説明されたような設定されたせん断波速度 Vs による顕著なインピーダンス差によって解析結果に違いが出てきているのか、根拠となるデータ等を示して説</p> | <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>等価線形解析は DYNEQ、逐次非線形解析は YUSAYUSA を使用している。</p> <p>→【京都大学】等価線形解析における分布図は、一番大きな振幅のところ、各層に生じている最大ひずみを描いている。したがって、大きなひずみが発生している層とその下部層付近では、見かけ上、一番強くコントラストが表れている。</p> <p>一方、逐次非線形解析の場合、時々刻々変化するため、見かけ上、その継続時間中に断続的に強いコントラストが表れるわけではなく、一瞬強くなっても、ある時間を過ぎると弱くなってしまう。</p> <p>等価線形解析の場合、コントラストが強くなると、更に、そこにひずみが集中するため、見かけ上のひずみを、より大きくするような循環が起き、大きなひずみを算出するものと判断している。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>一般的な見解として、解析方法の違いについては、せん断ひずみが小さい場合は、分布系を含めた解析結果に大差は認められない。しかし、あるレベル以上のひずみになると、等価線形解析のインピーダンス等の問題で、集中的なひずみが算出され顕著な差となっていると、この資料(P.17,18)により説明出来ると考えている。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>既に、逐次非線形解析でのひずみ分布より、等価 S 波速度に換算したバネモデルによって計算済みである(バックグラウンド)。</p> <p>最終報告書には、安全側の観点から逐次非線形解析を採用し、それを反映した内容で報告する予定である。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> |

| 確認の主なポイント                  | コメント   | WG 等における回答  |
|----------------------------|--|---|
| <p>3. 原子炉建屋への入力地震動(続き)</p> | <p>逐次非線形解析(続き)</p> <p>明が必要と思う。解析上の扱いを含め、さまざまな面から検討し、最終報告書等に反映したほうがよい。</p> <p>【地質・地震動 SWG(第2回)】<br/>1%以下のひずみレベルにおいて、せん断力は大きな応力になっている。</p> <p>逐次非線形解析によって、この程度の応力(5~10kgf/cm<sup>2</sup>)が算出された場合、相当の地盤強度を有していないと、安定上、問題があると思われる。</p> <p>「地盤強度(地盤の安定性)」について説明し、最終報告書等に明記すること(資料(P18)参照)</p> <p>解析モデルは、1次元モデルか。<br/>また、上下水平同時入力か。</p> <p>表題に「地盤の・・・」と記されると、「地盤の安定性」の内容かと誤解が生じ易い。また、ここでの検討内容には、上下方向の地震動は考慮していないことから、検討目的(解析方法の比較)が明確に分かる記載内容とすること。</p> <p>発生応力の大きさ等から、破壊時応力に近い応力場となっている可能性もある。<br/>また、具体的には、大阪層群の下部付近でのせん断応力は、かなり大きなため、地盤強度の確認を行い、最終報告書等に明記すること。(上記コメントと重複)<br/>地盤強度は基本的に土質試験で得られた結果を評価して用いること。</p> <p>【施設・構造 SWG(第1回)】<br/>一般の建築物で想定している地震動と、相対的な比較をした場合、どの程度の大きさか。<br/>設計当時の外力と許容応力度のバランスもあるが、今回は、当時の設計外力よりも大きな地震動により、耐震安全性の確認を行っている。<br/>耐震安全性が確保されている理由について、明快な説明は出来ないか。</p> <p>現地調査において、機器、配管等は、基本的に、相当なマージンを持って設計されているところがある一方で、詳細な図面等が不足する部分もあった。そのため、上記のコメント回答が分かり易く示されると、理解し易い。</p> | <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学】1次元で、水平だけである。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>本資料は、水平動における等価線形解析の妥当性という観点で作成したものである。「地盤の安定性」に係る定量的な検討は行っていない。<br/>「地盤の安定性」については、「地震随伴事象」に該当する内容であると認識している。<br/>(資料のこの部分については、解析方法の比較検討を限定とする文章に修正する(報告書にも明記)。)</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学】保有水平耐力の考え方によれば、重要度係数 1.5 を考慮した必要保有水平耐力程度の入力動と想定出来る。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>原子炉建屋は、建築基準法の 1.5 倍の外力で弾性設計されているが、そのほかに、遮蔽効果を期待し、壁が厚くなっている。このため、耐震的な余裕があると考えている。<br/>今回の応答値と、設計当時の地震力を比べ説明する。</p> <p>→【京都大学】設計当時は、さまざまな方面からの検討はされていない。<br/><u>機器類の耐震設計に関しても、マニュアル等があった訳ではなく、部材の大きさを勘案し、接続ボルト等が選定されたと考えている。</u></p> |

| 確認の主なポイント               |                      | コメント   | WG 等における回答   |
|-------------------------|----------------------|--|--|
| 3. 原子炉建屋への<br>入力地震動(続き) | 逐次非線形解析の<br>解析結果(続き) | <p><b>【施設・構造 SWG(第2回)】</b></p> <p>設計当時の入力地震動について、標準せん断力係数(<math>C_0</math>)1.0を超える地震動レベルを、どのように想定していたか説明出来ないか。</p> <p>外力を1Gとする概念は無かったとしても、せん断応力の上限を設定し、許容応力度を抑えたとも想定出来る。</p> <p>本 SWG でのコメント回答の内容は、設計当時の地震動レベルに関する考え方を示したのではなく、耐震バックチェックにおける再検討の結果として、地震動レベルの程度について説明したものとなっている。</p> | <p>→【京都大学】入力地震動については、国交省告示で規定されている高層建築物の時刻歴応答解析に用いる地震動レベルと比べ2倍程度、II種地盤相当の地盤増幅を考慮した場合でも1.5倍程度、大きな加速度レベルとなっている。</p> <p>また、設計時に用いた水平震度0.3と、入力地震動に対する応答値並びに保有水平耐力の比は、現行の建築基準法における1次設計及び2次設計で規定されている標準せん断力係数(<math>C_0</math>)と同程度となっている。</p> <p>→【京都大学】設計当時は、水平震度0.3で弾性設計を行うという方法だけで、現行の建築基準法における2次設計で規定するような地震動レベル等については、構造計算書等の設計資料を調査する限り、確認出来なかった。</p> <p>本原子炉施設の設計当時は、本大学の横尾先生などがさまざまな施設の設計を手掛けておられたため、大きな外力に関しても議論がなされ、何らかの形で耐震設計に反映されていると考えている。したがって、結果的に<math>C_0=1.0</math>を超える応答において、保有水平耐力が確保されていると考えている。</p> <p>→【京都大学】そのとおりである。</p> <p>現行の建築基準法における2次設計で規定する地震動レベルと非常に良く合致している。</p> <p>→【京都大学】そのとおりである。</p> <p>設計当時の地震動レベルに関する考え方については、確認が出来なかった。</p> |
| 4. 施設の耐震<br>安全性評価       |                      | <p><b>【施設・構造 SWG(第1回)】</b></p> <p>試験研究用原子炉施設も、基本的には発電用原子炉施設と同様の考え方で耐震設計が行われてきたと考える。</p> <p>したがって、今回の妥当性確認等に資するため、既設発電用原子炉施設の耐震補強工事における考え方、補強方法を調査しては如何か。</p> <p><b>【施設・構造 SWG(第2回)】</b></p> <p>これまでの検討の結果において、発電用原子炉施設の事例のような耐震補強を行う必要はなかったのか。</p>                                   | <p>→【事務局】拝承。</p> <p>→【京都大学】自主的に増設したサポートは検討に含めず、建設当初に設置されたサポートのみで、耐震安全性が確保されている結果となっている。</p>  |



| 確認の主なポイント             |                         | コメント  | WG 等における回答  |
|-----------------------|-------------------------|---|---|
| 4. 施設の耐震<br>安全性評価(続き) | 改修経歴                    | 【施設・構造 SWG(第2回)】<br>制御棒の電磁石によって落下する機構や、冷却水の流水方向については、建設当初からのものであるか(良く配慮された計画となっている)。  | →【京都大学】冷却系統の増設はあるが、機械的な内容については、建設当初から変更されていない。<br>→【事務局】昭和39年の臨界時の出力(1MW)を、昭和43年に上昇(5MW)させた際に、冷却系統を増設している。<br>したがって、構造的には昭和43年の設置変更許可時から変更はなされていない(なお、燃料体の濃縮度は90%から20%に変更)。   |
|                       | 高経年化対策評価との連携            | 柏崎刈羽原子力発電所では、新潟県中越沖地震後、さまざまなトラブルが発生した。<br>これらトラブルは、経年劣化によるものか、地震の影響によるものかの原因を区別し、対処するものではないが、試験研究炉施設にも同様な施設が多数あることから、損傷及び不具合の発生した箇所等のリスト化が保全の観点で有効と考える。<br>高経年化対策評価と耐震安全性評価の連携を図り、評価・確認内容に漏れがないようにすることが重要である。 | →【事務局】30年経過した試験研究炉施設に対しては、高経年化対策で保全計画等を立案するようにしている。<br>本原子炉施設の保全計画等については、本年度、評価し機器等の確認を行ったところである。<br><br>→【事務局】拝承。  |
| ① 建物・構築物<br>原子炉建屋     | 地震応答解析モデル<br>地盤-建物連成モデル | 【施設・構造 SWG(第1回)】<br>シェル状の構造は、同一変位にならないため、質点系に置き換える場合は、設定した仮定条件等、質点系モデルの妥当性について説明が必要である。<br><br>【施設・構造 SWG(第1回)】<br>屋根版のところは理解出来るが、その下の部分は、同一変位とはならないと思う。円筒の壁変形も考慮すべきではないか。                                    | →【京都大学】プッシュオーバー解析時に、屋根版等の剛性を考慮した解析結果により、各ノードの水平変位が、概ね、同一変位となっていることを確認している。<br>→【京都大学/施設・構造 SWG(第2回)】前回 SWG で提示した円筒形部分をフレキシブルな非剛床モデルとして水平力を与えた場合における各節点の最大応答値は5%以内には収まっていたが、その結果は、同時刻における応答値ではなかった。<br>そのため、改めて確認したところ、同時刻における応答変位の相対差は25%程度生じている。<br><br>→【京都大学】屋根版と、その下部には梁が設置してある。<br>→【京都大学/施設・構造 SWG(第2回)】前回 SWG で、梁がたがの役割をしていると報告したが、ご指摘のとおり、梁せいが低く、水平方向の応力伝搬への効果は少なかった。<br>今回の検討モデルは、梁を除いた円筒形の壁体のみでモデル化している。なお、梁を考慮すると、剛性が少し高くなる程度と考えている。 |

| 確認の主なポイント  | コメント  | WG等における回答  |
|--|---|--|
| <p>原子炉建屋(続き)</p> <p>地震応答解析モデル<br/>地盤-建物連成モデル(続き)</p> | <p>【施設・構造 SWG(第1回)】</p> <p>円筒部に作用する力は、まず、梁に伝わり、その梁から作用力方向の側面壁に伝わる。それからその壁のひび割れ等の検討となるが、屋根版を剛とするのであれば、梁の曲げモーメント等によって伝搬するのではなく、屋根版の平面剛性によって、側面側に伝搬しなければならない。そのようになるには、平面として剛でないで成立せず、この建屋のように、直径に比べて、高さが低い場合は、この原理は成立しなく、壁自身が面外曲げを受ける可能性もある。剛床仮定で解いたという程、剛な屋根版とも思えない。</p> <p>次回、梁の曲げモーメント分布等を平面的に示した形で、ご提示頂きたい。</p> <p>また、厚い壁にひび割れが入る程のせん断力を伝達するためには、あの程度の梁断面で足りるとも思えない。</p> <p>(壁のリテーニングウォールというが、キャンチレバーの壁のモーメントと、たがとしての梁の変形と、建屋全体としてせん断変形とが組み合わされ、建屋は振動している。)</p> <p>先に、全てをフレキシブルとし、構造物の地震時挙動を説明する必要がある。</p> <p>【施設・構造 SWG(第2回)】</p> <p>剛床モデルにおける2次モードは、1次モードを90度回転させた変形となっているが、有効質量比の値が異なる理由は。</p> | <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>(施設・構造 SWG(第2回)において、梁の効果が少ないことが確認されたため、曲げモーメント分布等の資料は未提示。)</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学/施設・構造 SWG(第2回)】</p> <p>剛床モデルにおけるモード解析より、1次及び4次モードの有効質量比(≒刺激係数。外力が作用した際に、各次モードの分担率を示す。)が9割程度を占め、応答に大きく寄与している結果となっている。</p> <p>非剛床モデルでは、1次、2次、16次及び24次モードが応答に大きく寄与し、変形モードは、主として円筒形壁の水平ずれが支配的となっている。</p> <p>なお、前回 SWGにおいて、ご指摘を受けた壁の局所的なへこみやたわむような変形は、3次及び4次モードに現れるが、これらのモードに関しては、このような部分を押す力に対しては鋭敏に現れるが、基礎からの入力動に対しては鈍感で、全体に対するモード寄与の割合は少ない。なお、屋根版をフレキシブルとした影響により、近接したモードも多数現れている。</p> <p>屋根版自体については、剛床モデル同様、非剛床モデルの各モードにおいても、比較的、剛体的な変形となっている。</p> <p>→【京都大学】低層部の建物形状(基礎梁及び壁の配置等)が点対称ではなく、その形状に合わせた解析モデルとしているためと考えている。</p> |

| 確認の主なポイント  | コメント  | WG 等における回答  |
|--|---|---|
| <p>原子炉建屋(続き)</p> <p>地震応答解析モデル<br/>地盤-建物連成モデル(続き)</p> | <p><b>【施設・構造 SWG(第2回)】</b><br/>非剛床モデルにおける3次及び4次のモード図において、屋根版の変形は、壁端部の変形に追従していないが、どのような境界条件になっているか。</p> <p>表示されたモード図では、屋根版の端部何らか支持されているように見えるため、説明時に受けるイメージも変わってしまう。<br/>そのため、拡大率は水平方向及び上下方向を同一に設定する必要がある。</p> <p><b>【施設・構造 SWG(第1回)】</b><br/>シェル構造であるから、直ちに、質点系に置換され、適切な置換方法であるか確認が出来ない。<br/>もし、剛床仮定を考慮せずに解析したモデルから、質点に置換する場合は、解析結果における各節点の変位について、その変位差の程度、及びその対応を説明するべきである。</p> <p><b>【施設・構造 SWG(第2回)】</b><br/>地震力の作用方向と、直行方向の壁において相対変位差が25%程度生じているため、建屋全体の変形(一体的な変形)に加え、壁自体の変形(個別な変形)もあると考えられる。<br/>壁自体の面外方向に生じる曲げモーメント等も生じるため、リテーニングウォール的な効果について検討を行う必要がある。<br/>壁のお腹の部分に作用する地震力は、側面部分に伝搬され地盤に移行するのか、そのまま下方へ移行するのか、どちらに伝搬されるのか。</p> <p>解析モデルは、全て弾性モデルによるものか。<br/>したがって、全てモード解析を行い、再度、時系列におけるモード重合法を行っているのか(二乗和平方根法(SRSS法)ではない)。</p> | <p>→【京都大学】ピンとは設定していない。上下動と同じ解析モデルとしているため、上下動により、壁側も膨らむような変形が生じている。<br/>資料として見易いよう、表示のモード図は、壁側の水平変形を誇張し、表示に係る拡大率を水平変形のみ高くしているためと考える。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>ご指摘の点は、再度、確認する。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>→【京都大学/施設・構造 SWG(第2回)】<br/>同時刻における応答変位の相対差は25%程度生じていることを確認している。<br/>なお、非剛床モデルよりも、剛床モデルによる固有周期の方が、応答スペクトルのピークとなる周期帯に近いいため、最大応答加速度としては、剛床モデルの方が大きくなる。そのため、(独立)屋根版モデル及び機器・配管系への入力動としては、剛床モデルの値を用いる方が安全側の評価となる。<br/>一方、相対変位差の影響は、壁及び屋根版に作用する曲げ応力等に表れると考えている。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>モード解析における3次及び4次モードの有効質量比がほぼ0であったため、ご指摘の内容に対する影響は少ないと考えていた。</p> <p>→【京都大学】全て弾性モデルである。</p> <p>→【京都大学】そのとおりである。</p> |

| 確認の主なポイント   | コメント   | WG 等における回答   |
|---|--|--|
| 原子炉建屋(続き)   | せん断モデル   | 【施設・構造 SWG(第1回)】<br>せん断モデルでモデル化しているが、プッシュオーバー解析において、壁の曲げ変形等は、考慮されているか。   |
|   | 復元力特性  | →【京都大学】プッシュオーバー解析では、全ての変形が考慮され水平変位が算出されている。そのため、曲げ変形も考慮され、それをせん断モデルに置き換えた。<br>→【京都大学】第1勾配は、漸増増分解析結果から設定し、第3勾配は、予備応答解析の応答結果を用いて設定している。<br>→【京都大学】拝承。<br>本来であれば、イテレーション解析を行うべきだが、今回の場合、地震応答解析の応答値が、置換した復元力特性に近接していたため、イテレーションせず、この結果を用いた形となっている。   |
|   | 解析プログラム中の剛床仮定の内容   | 【施設・構造 SWG(第2回)】<br>建築構造分野で取り扱われる剛床仮定とは、水平変位に関しては、平面的な形状は保つが、上下方向に関しては自由に移動するとしている。<br>一方、原子炉施設の構造分野では、水平変位に加え、回転に関しても面を保つよう仮定されているようだが、今回の解析は、どのように設定されているのか。<br>説明からは、架空の中心に1つの自由度の項を設け、そこに水平・上下(回転)方向の全てを載せ、1次従属で表しているモデルと印象を受けた。<br>〔せん断変形を考慮して、精密に全体をフレキシブルとして解析した場合、上下方向の変位は直線上に載ることはない。<br>細長い形状の場合、平面保持の仮定に基づき、曲げた後も断面として面は保たれるが、本原子炉施設の円筒形の壁を、短い梁と考えれば、直径より長さが短いものに水平力を与えた場合、変形後も面が保たれるということはあると考える。〕<br>→【京都大学】拝承。<br>〔梁材で、せん断変形を考慮し、平面保持の仮定が成立するかという論点と同じ。〕 |
| 水平方向:<br>スウェイ・ロックン<br>グモデル<br>スウェイ・ロックン<br>グばねの考慮 | 【WG(第1回)】<br>表層部地盤(せん断波速度 $V_s=200\text{m/s} \sim 300\text{m/s}$ 程度)が非線形領域に入った場合、建屋スウェイ・ロックン(SR)モデルのばね定数の評価方法については、単純にせん断波速度から算定しているのか、非線形になったあるひずみレベルでばね定数を算定しているか。 | →【京都大学】基準地震動の地盤増幅については、等価線形解析により地盤の非線形性(せん断剛性低下率 $G/G_0 \sim$ せん断歪み $\gamma$ の関係、減衰定数 $h \sim$ せん断歪み $\gamma$ の関係)を適切に考慮したのとなっている。<br>また、建屋と地盤の相互作用を考慮した地震応答解析に用いる動的地盤ばね(複素ばね)は、容積法によって、建屋と地盤との境界部での地盤ばねの力と変形の関係から求め、地盤パラメータは、等価線形解析に用いた地盤パラメータとしている。  |

| 確認の主なポイント  | コメント  | WG 等における回答   |
|--|---|--|
| 原子炉建屋(続き)<br>水平方向:<br>スウェイ・ロッキングモデル<br>スウェイ・ロッキングばねの考慮<br>(続き) | 【施設・構造 SWG(第1回)】<br>周辺地盤の地震時挙動は、建物振動と連動すると想定される。<br>この検討は、構造体だけか、周辺の地盤も考慮されているか、検討に用いる質量等を含め、どのようなロジックになっているのか。   | 基礎底部付近での非線形化された地盤の影響は、地震応答解析モデルの動的地盤ばねによって反映されており、地盤の等価減衰定数は非常に大きな値(水平:40%程度、回転:23%程度)となっている。<br><br>→【京都大学】モデル化の質点については、基礎部分と上部構造で集約している。<br>地震時には、土も振動するため、周辺地盤も引きずられた形の慣性力で、土から入力されるものとしている。<br>また、インピーダンスについては、容積法で計算する際に、周辺地盤も連動し振動するという情報も含まれる形になっている。 |
| 鉛直方向:<br>FEM 立体モデル、<br>地盤鉛直方向・軸<br>ばね考慮                        |   |  |
| 建屋減衰:RC 3%   | 【施設・構造 SWG(第1回)】<br>原子力建屋の復元力特性は、Tri-Linear型でモデル化されているが、減衰定数(3%)は、どの部分で考慮されるのか。<br>3%という数値は、JEAG 1987版で定められた数値か。常識的に設定された値か。特段、安全側とか、保守的とかということはないか。<br>【施設・構造 SWG(第2回)】<br>採用した減衰定数については、全てのモードに対して一定(3%)とし、高次モードに対応させるよう、高い減衰定数とはしていないか。<br>高次モードに対応し、高い減衰定数を与え解析した場合、得られる解は、現状の解析結果と全く異なるため、その旨を、資料等に記載しておくこと。 | →【京都大学】概略、初期剛性の部分で効くようになっている。<br><br>→【京都大学】JEAG 1987 版の数値になっている。<br><br>→【京都大学】全てのモードに対して、同一値3%としている。<br><br>→【京都大学】拝承。   |
| コンクリート強度:<br>設計基準強度  | 【WG(第1回)】<br>建屋の耐力評価時に用いたコンクリート強度をどのように設定したか。   | →【京都大学】設計基準強度で評価を行っている。なお、実際には10年程度の間隔で、健全性調査(コンクリートの強度試験及びひび割れ調査、並びに、鉄筋等の発錆状況の調査)を実施し、設計基準強度(18N/mm <sup>2</sup> )を上回ることを確認している。  |
| 動的地盤ばねの設定:<br>軸対称 FEM 解析<br>モデルにより算定                           |   |  |

| 確認の主なポイント                       | コメント   | WG 等における回答  |   |
|---------------------------------|--|---|---|
| <p>評価基準：<br/>耐震壁の最大応答せん断ひずみ</p> | <p>【施設・構造 SWG(第2回)】<br/>円筒壁の面外曲げ応力の検討において、強制変位として与えた応答変位は、フレキシブルな非剛床モデルによる結果か、前回 SWG で説明された剛床モデルによる結果か。<br/>剛床仮定に基づき解析した変形量は、小さいため、実際のリテーニングウォール的な効果を考慮し、円筒形の変形を、適切に検討するべきである。<br/>強制変位により与えた変位は、ある時刻での応答変位か、または、最大応答変位か。<br/>強制変位から得られる壁面の応力以外に、架構全体としてシェル構造の引張力の影響(鉄筋に作用する引張応力)は考慮されているか。<br/>円筒形が全体として曲げ変形すると考えているため、引張力の作用に加え、リテーニングウォール的な変形が作用している。</p> | <p>→【京都大学】前回 SWG の剛床モデルでの結果である。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学】各部の最大応答変位である。<br/>(変位の分布: 均一に加力したような形状となっている)</p> <p>→【京都大学】検討の内容は、曲げモーメントだけになっており、鉄筋への影響等は考慮していない。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/>M-N インタクションカーブに、発生応力をプロットし確認する。</p> |   |
|                                 | <p>剛床仮定成立が評価全体に与える影響</p>   | <p>【施設・構造 SWG(第2回)】<br/>壁面から控えを取っている重要な機器等はあるか。<br/>重要な機器等に作用する慣性力を応答加速度から算出するという観点では、壁から控えを取っている重要な機器が無ければ、剛床仮定を考慮する必要はないが、壁自体の崩壊、ひび割れの程度、地震時における壁自体のリテーニングウォール的な変形、シェル構造における軸力の影響等を検討するのであれば、考慮する必要がある。</p>                 | <p>→【京都大学】原子炉建屋は単にシェルター的な役割であり、重要な機器等は全て1階等の床の支持となっている。</p>   |
| <p>原子炉建屋(続き)</p>                | <p>評価基準：<br/>許容支持力</p>   | <p>【施設・構造 SWG(第1回)】<br/>基礎地盤の反力を評価する場合、プールの形状等を考慮しているか。<br/>(接続部分等の形状が連続的でないため)</p>   | <p>→【京都大学】基礎反力は、プールの形状等を考慮し算定している。<br/>床版はある弾性剛性を考慮し、また、プール部分も剛性があるため、地震時応力は、変則的な数値になっている。また、基礎梁等含めた基礎部分は、剛床仮定が成立しないため、その影響が考慮された地盤反力になっている。</p>          |
| <p>原子炉建屋<br/>屋根版</p>            | <p>地震応答解析モデル</p>   | <p>原子炉建屋(円筒部)側は、剛床仮定を考慮しているため、屋根版のモデル化も、円形状を保つよう設定されているのか。</p> <p>地震時(水平方向)に円筒部が円形を保てるのは、屋根版があるためとしている。一方、屋根版の解析時には、屋根版の周囲についても、剛床仮定を考慮している。これは、仮定条件の使い回しになっており、証明になってない。</p>   | <p>→【京都大学】屋根版の水平方向モデルについては、剛床仮定を考慮しているが、応答値が有意となる上下方向については、屋根版と壁は、同一変位の仮定とはせず、応答解析を行っている。<br/>したがって、上下方向の地震力によって、壁が膨らむような変形が発生している。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> |

| 確認の主なポイント        |  | コメント  | WG 等における回答   |
|------------------|--|---|--|
| 原子炉建屋<br>屋根版(続き) | 水平・鉛直方向:<br>FEM 立体モデル、<br>鉛直方向は地盤<br>鉛直ばね及び建<br>屋軸剛性考慮 |   |  |
|                  | 評価基準:<br>鉄筋を考慮した許<br>容応力度の確認                           | 【施設・構造 SWG(第 1 回)】<br>常時荷重時と地震荷重時の応力状態の推移状況を把握する必要がある(地震時応力は、常時荷重時を挟み、正負繰返の応力となる)。<br>断面検討用の応力は、法線方向と円周方向の、上下、水平両方向の地震動を同時に作用させたものか。  | →【京都大学】それぞれ位相を考慮せず、両方の応答値の最大値を採用している。<br><br>→【京都大学/施設・構造 SWG(第 2 回)】M-N インタクションカーブによって、長期荷重時から上下方向の地震荷重、更に、水平方向の地震荷重の応力の推移を確認し、円周方向における長期及び地震荷重時の応力は、長期及び短期許容限界曲線に対して、裕度があることを確認している。   |
| ② 機器・配管系         |  | 【WG(第 1 回)】<br>評価結果には、余裕度の少ない箇所がある。<br>地震動の応答スペクトルから、上下方向のサポート周りが厳しい状況にあると想定される。<br>原因として、上下方向のサポートを普通に設計した場合の固有周波数の領域(7~10Hz 位)と、床応答(上下方向)が、ある周波数帯において共振し、ピークの値となる場合が想定されるが、如何か(床応答の程度が不明ため)。<br><br>【施設・構造 SWG(第 2 回)】<br>資料中には、「許容値」としか記載されていないため、短期許容応力度、長期許容応力度の区別が確認出来ない。<br><br>本原子炉建屋内に地震等の発災時において、災害応急対策活動等を指揮する居室等はあるか。 | →【京都大学】新耐震指針は上下方向の地震動についても、適切に考慮するよう規定され、建屋屋根版については大きな応力を発生している。<br>機器・配管系の詳細については、施設・構造 SWG 時に資料を提示し、説明する予定としている。<br><br>従前は、静的な解析で水平方向の 1/2 程度であったが、現状は、動的な解析時も、上下方向と水平方向の地震動が同時に作用するような検討を要し、屋根版は固有振動数の関係で、評価基準値に対して余裕の少ない結果となっている。配管サポートに関しても、上下方向の地震動による影響はあると想定している。 |

| 確認の主なポイント   | コメント  | WG 等における回答  |
|-------------|---|---|
| 使用済核燃料貯蔵プール | 【施設・構造 SWG(第2回)】<br>耐震安全性は確保されているようだが、プール内の水がスロッシング現象で溢れ流れた場合、トラブル等の事象となるのか。                              | →【京都大学】冷却された燃料であるため、プール内の水が減ること自体に問題はない。仮に、水がプール外に流出しても、管理区域内のため問題はない。  |
|             | ライナー  | ライナーはあるか。<br>→【京都大学】ステンレス製のライナーがある。   |
|             | ラック   | 発電用原子炉施設と異なり、固定されたラックがあるのではなく、コンクリート躯体自体がラックになっている形式と聞いているが。<br>→【京都大学】プール底の一部が深くっており、その中に、金属製の仕切り板があり、コンクリート躯体自体がラックとなっている。  |
| 生体遮へい体      | 【施設・構造 SWG(第2回)】<br>構造的には、建屋躯体と一体になっているのか。  | →【京都大学】一体的な構造となっている。<br>生体遮へい体の直下(地下1階)に、サブパイプルームがあり、その周辺壁によって支持する構造となっている。   |
|             | 応力評価  | 必要となる断面等の決定は、構造計算によるものではなく、遮へいの性能により定め、耐震的な性能に関しては、現状の断面で確保出来ているのか。<br>→【京都大学】遮へい性能の要因で決定し、断面検定における応力は、評価基準値以下となっている。   |
| 制御棒駆動装置の案内管 | 【WG(第1回)】<br>地震時における制御棒の挿入性については、地震時変形をどのように考えているのか。  | →【京都大学】制御棒(長さ: 6.6m程度)は、炉頂部と燃料層部での2点でピン支持的な固定となっている。<br>制御棒自体の固有振動数は約3Hz程度で、原子炉建屋の固有振動数(3~4Hz)に近く、制御棒の応答値は大きくなり、静的な力として考えた場合は、大きな変形となるが、応力的には弾性限界内にある。<br>また、制御棒は20galの加速度を感知し、0.6秒で落下する機構となっているため、地震動により最大振幅となる前に、制御棒は落下するようになっている。<br>なお、計算上では、塑性変形して残留変形が残らないことは確認しているが、今後、静的な実験等により変形に対して検討をしていきたい。 |
|             | 【施設・構造 SWG(第2回)】<br>1次固有周期は、加速度応答スペクトルのピークの周期帯から少し外れたところとあるようだが。<br>固有モードは1次から3次モードまでであるが、卓越するモードは1次モードか。 | →【京都大学】そのとおりである。<br>→【京都大学】ご指摘のとおり、応答加速度は、1次固有周期(0.3s)で応答は大きく、2次及び3次の固有周期(0.1s程度)では小さくなるため、1次モードが支配的であると考えている。  |



| 確認の主なポイント                   | コメント   | WG 等における回答  |
|-----------------------------|--|---|
| <p>制御棒駆動装置<br/>の案内管(続き)</p> | <p><b>【施設・構造 SWG(第2回)】</b><br/> <u>長い形状のため、応力よりも変形に係る検討の方が厳しいと思うが、中央部での変形は変形角としてどの程度か。</u></p> <p><u>変形角に関しては問題ないが、発電用原子炉施設においては、制御棒の落下に関する検討を、非常に難しいモデルを用いて行っている。</u><br/> <u>本原子炉施設も同様に、スクラム設定されている地震動により、落下に支障が無いことを確認する必要があると考えるが、一方では、スクラム設定の加速度が 20gal と小さく、挿入完了に要する時間も 0.6s と短時間であるため、大きな変形が生じる地震動の主要動時には、既に挿入完了されている状況にある。</u></p> <p><u>微調整棒と粗調整棒は、スクラム機能を有しているか。</u></p> <p><u>落下方式は重力によるものか。</u></p> <p><u>スタンバイの位置は、炉心直上、または炉心中に一部挿入されているのか。</u></p> <p><u>上下振動を受け、抜け出すことはないか。</u></p> <p><u>振動に関しては、水中での影響を考慮しているか。</u></p> <p><u>多分、減衰に大きく寄与すると考える。スクラム設定を 20gal とし、地震の初期微動で落下させるため、地震動によって生じる振動抵抗も少なく落下させることが出来ると考える。</u></p> | <p>→【京都大学】長さが約 6m で、中央部における変形が 30mm 程度生じている。したがって、変形角としては 1/100 程度である。</p> <p>→【京都大学】制御棒は炉心高さ(約 70cm)の半分程度は常時挿入され、地震時には、電磁石部分で分離され、炉心内に完全挿入される。したがって、上に抜け、入らないという問題はなく、また、発電用原子炉施設と異なり、何らかの圧力が作用し、入り難くなることはない。この距離からは、何ら抵抗もなく 0.6 s で挿入される。<br/> 構造的には、案内管は弾性体のため、変形後の残留変形は無い。落下後も健全であることも含め、「停止」という意味では問題ないと考えている。<br/> なお、今回の基準地震動 Ss は、非常に近傍の断層からの地震動であるが、スクラム設定されている加速度(20gal/3 成分)を感知し、問題なく落下すると考える。</p> <p>→【京都大学】5本の制御棒は、粗調整棒4本と微調整棒1本からなる。スクラム機能は微調整棒以外の粗調整棒4本が有し、地震時には落下する。<br/> なお、反動的には1本で十分であるが、スクラム時は4本全てが落下する機構となっている。</p> <p>→【京都大学】そのとおりである。</p> <p>→【京都大学】先端は常時挿入されている。</p> <p>→【京都大学】ストロークの関係からも、抜け出すことはない。<br/> 電磁石とシャフトが接続された状態においても、制御棒先端は炉心中に一部挿入されており、上下振動を受け、仮に、持ち上がる状態となっても、シャフトは電磁石と接触し、過度に上がることはなく、制御棒先端も、炉心部分から全て抜け出してしまうことはない。</p> <p>→【京都大学】水中での振動は考慮していない。考慮した場合、減衰及び入力の方方に影響すると考えられる。</p> <p>→【京都大学】入力地震動が高周波のため、減衰には大きく寄与すると考えられる。</p> |

| 確認の主なポイント              | コメント   | WG 等における回答   |
|------------------------|--|--|
| <p>制御棒駆動装置の案内管(続き)</p> | <p>粗調整用ボルトも厳しい応力状態であるが、極論を言えば、何か起きた場合には落下してしまうため、そのような意味でもフェールセーフ的な考え方になっている。<br/> <u>本原子炉施設は、健全性を保ち、運転出来るように保全整備され、何か発生した場合は、止めてしまう方法によって、安全性の確保が図られている。</u><br/> <u>しかし、それを厳密に検討しようとする、軽水炉と同様、大規模・複雑な実験となる。</u><br/> <u>本原子炉施設の場合、地震動を入力し、変形の程度を確認しようとしても、実際には、低い地震動レベル(20gal)で落下するため、架空な実験となってしまう、そのように考えると、本 SWG の確認においては、安全性の確保の考え方に問題無ければ良いと考える。</u><br/> <u>現地調査の際に、電気系統が健全な場合、制御棒は電磁石部を切断し落下させるが、仮に、電気制御の方法によって落下しない場合でも、電磁石は微弱な磁気のため、地震の慣性力で落下するとの説明があった。</u></p> | <p>WG 等における回答</p> <p>→【京都大学】常時の作業もあるため、ある程度の慣性力に対しては、十分保持出来る微弱な磁気としている。<br/> <u>炉上で接触し落下させる場合があるため、見学も制限するなどの注意を払っている。</u></p>   |
| <p>一次冷却水系配管</p>        | <p>【施設・構造 SWG(第2回)】<br/> <u>非常時には電磁バルブで自動的に閉鎖され、冷却水により炉心タンクは冠水を保持されるようだが、仮に、電磁バルブが作動しない場合は、手動により閉鎖出来るのか。</u></p> <p>新潟県中越沖地震の際に、柏崎刈羽原子力発電所は継続的な冷却を要したため、外部からの送電を受け対応した経緯を聞いているが、本原子炉施設は、制御棒が所定位置に落下し、冷却水で冠水維持が出来れば問題ないのか。</p>  | <p>→【京都大学】そのとおりである。<br/> <u>漏洩による流量低下により逆止弁と水圧駆動弁が閉状態となり、冷却水は炉心タンクに保持される。主閉鎖弁は通常(運転時)開状態であり、逆止弁や水圧駆動弁からの漏洩等の異常が生じた場合に、手動で閉止する。</u><br/> <u>自動弁と手動の2つの方法となっている。</u><br/> →【京都大学】断続的な強制冷却は不要である。<br/> <u>停止時のみ冷却の必要はあるが、非常電源設備により対応することとなっている。</u></p> |
| <p>応力評価</p>            | <p>母材部分において断面検定を行っているが、接合部は十分な強度を有しているのか。</p> <p>母材が接合部より弱い場合は、母材は延性的な破壊となるため、一般的には良いとされる。接合部の方が弱い場合は、脆性的な破壊となるため、全体的に余力が有れば良いが、接合部は母材より堅固にするという決め事がある。</p> <p>資料等には、接合部は十分な強度を有するため、母材において検討した旨を記載すること。</p>   | <p>→【京都大学】バルブ周りは補強もあり、応力的にも母材部分に大きな応力が生じている。また、接合部の強度は、母材部分と同程度か、少し上回る程度の強度になっている。</p> <p>→【京都大学】拝承。<br/> 最終報告書に、反映させる。</p>  |

| 確認の主なポイント         |          | コメント  | WG等における回答  |
|-------------------|----------|---|--|
| 一次冷却水系<br>配管(続き)  | 応力評価(続き) | <u>断面検定時の内外径を実測値としているが、減厚等の経年変化は生じていないか。</u>  | →【京都大学】計測開始(昭和55年)から、殆ど減厚はない。なお、計測結果の変化は、計測誤差の範囲と考えている。  |
| 炉心支持構造物<br>(プレナム) |          | <p>【施設・構造 SWG(第2回)】</p> <p><u>炉心がプレナムに載っているのか。</u></p> <p><u>プレナムと炉心の接合方法はどのようになっているか。</u></p> <p><u>プレナムに作用する炉心荷重も小さいため、浮力の影響は考慮されているか。</u></p> <p><u>浮力よりも、むしろ、抗力(ドラッグ)による影響の方が大きいと思われる。</u></p>  | <p>→【京都大学】そのとおりである。</p> <p>→【京都大学】溶接で接合されている。</p> <p>→【京都大学】炉心部分は、燃料体の隙間程度しか空間はなく(体積的には8割程度)、その程度の浮力が作用する可能性がある。</p> <p>→【京都大学】普段、冷却水は、上から下へ流れるため問題ない。</p> <p><u>上部から押さえ付ける方向のため、地震時においても効果的な動きをすると考えている。</u></p>    |
| 燃料要素              |          |   |  |
|                   | 燃料集合体    | <p><u>地震時の振動で、燃料集合体が個別に動くような挙動(群振動のような現象)については如何か。</u></p> <p><u>燃料集合体の挙動は、安全側に作用すると考えているのか。</u></p>  | <p>→【京都大学】挿入長さが70cm程度あり、横枠とのクリアランスもないため、燃料集合体が70cm飛び上がり抜け出してしまうことは、非常に考え難い。</p> <p>→【京都大学】そのとおりである。</p>  |
| 5. 地震随件事象         |          | <p>【地質・地震動 SWG(第2回)】</p> <p>敷地後方にある池の使用目的、深さ等について調査し、地盤の安定性に係る確認を最終報告書等に明記すること。</p> <p>資料(P23)中の周辺斜面に関する回答において、「杭基礎を持つ施設等が建設されている」等と、人工構造物が検討に付加されるような記載ぶりになっている。</p> <p>地盤の安定性について、適切な説明内容となるよう、最終報告書等に記載すること。</p> <p>地震動が大きいため、液状化に対する確認内容を最終報告書等に明記すること。</p> | <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>→【京都大学】拝承。</p> <p>液状化検討における有効応力解析等は実施していないが、入力地震動の検討時に、地表までを含めた形で基準地震動を入力し、発生するひずみレベルを確認している。</p> <p>その結果から、液状化の発生が危惧される20m以浅では、0.1~0.2%程度のひずみレベルとなっており、液状化の発生はないと判断している。</p> |

WG(第1回) : 試験研究用原子炉施設耐震性安全性評価妥当性確認ワーキンググループ(第1回) (平成21年7月15日)

地質・地震動 SWG(第1回) : 地質・地震動サブワーキンググループ(第1回) (平成21年7月31日)

地質・地震動 SWG(第2回) : 地質・地震動サブワーキンググループ(第2回) (平成21年10月14日)

施設・構造 SWG(第1回) : 施設・構造サブワーキンググループ(第1回) (平成21年11月27日)

施設・構造 SWG(第2回) : 施設・構造サブワーキンググループ(第2回) (平成21年12月18日)