

設備健全性、耐震安全性に関する小委員会における 柏崎刈羽原子力発電所5号機に係る議論の状況について（案6）

平成22年9月14日
設備健全性、耐震安全性に関する小委員会

5号機に関して、設備健全性、耐震安全性に関する小委員会における議論の状況は以下のとおりである。

1 審議状況について（5号機関連）

1)	健全性評価（建物・構築物）について	第26, 29, 31, 40～42, 44回
2)	〃（機器単位）について	第27～30, 38～40, 42～44回
3)	耐震安全性評価（建物・構築物）について	第38回
4)	〃（機器・配管系）について	第38, 39, 41, 42回
5)	健全性評価（系統単位）について	第27, 30, 31, 38回
6)	プラント全体の機能試験計画について	第40回

2 主な議論について

1) 建物・構築物の健全性評価結果について

【議論の経緯】

- 東京電力から、原子炉建屋等の安全上重要な建物・構築物について、点検により要求性能を損なう損傷のないことを確認するとともに、地震応答解析でも評価基準値を満足したことから、健全性は確保されていると評価した、との説明があった。
- 委員から、タービン建屋の鉄筋コンクリート壁に発生した貫通ひび割れが、建屋の健全性に与える影響について質問があった。
- 東京電力から、確認されたひび割れは、貫通はしているものの、幅が狭く、強度や放射線遮へいの観点から安全上問題となるものではないこと、また、適切に補修を行った、との回答があった。
- 委員から、排気筒鉄塔のボルトの緩みについて、健全性に与える影響や他号機で同様の事象が発生していないか等の質問があった。
- 東京電力から、緩みを保守的に評価し解析しても、排気筒の健全性に影響しないことを確認したこと、また、先行した6, 7号機において、同様のボルトの緩みはなかった、との回答があった。

【質疑の状況】

- ア 耐震壁のひび割れについて

- ・ 委員から、壁の安全性という観点から、ひび割れが貫通しているか否かは重大な問題ではないか、との意見があった。
- ・ 東京電力から、今回確認されたひび割れの幅は狭いため、強度を負担する鉄筋の伸び量はわずかであり、壁全体の強度低下につながるものではないこと、入射した放射線は、ひび割れの凹凸面により散乱されることから、壁の遮へい機能が大きく損なわれるものではないこと、また、当該ひび割れを含め、地震によって発生したことが否定できないひび割れは全て適切に補修している、との説明があった。
- ・ 委員から、東京電力が、ひび割れの幅 1 mm を点検の評価基準値としているのは、この基準値以下であったならば、ひび割れは深く入っていないとの考えがあったからと思われるが、その幅より狭くても貫通しているケースがあったことから、もっと厳しくしなくてはいけないのではないか、との意見があった。^{※1}
- ・ 東京電力から、中越沖地震後の建物の被害を正確に評価するために、日本建築防災協会の『復旧技術指針』を採用しているが、ひび割れ幅だけが評価指標であり、貫通を評価指標とはしていないと認識している、との説明があった。
- ・ 委員から、コンクリートのひび割れは、幅だけで評価すればよく、表面上の長さや貫通の有無を評価対象とはしないとの理解でよいか、との質問があった。
- ・ 東京電力から、ひび割れ幅は、内部の鉄筋にどのくらいの応力が発生したかの目安となる重要な評価指標だが、ひび割れの貫通は表側の鉄筋と裏側の鉄筋の両方に応力が発生していたことを示しているだけであり、また、ひび割れの長さは大きな力が加わったことを示すものの、ひび割れ幅に比べれば、いずれも重要な評価指標ではないと考えている、との回答があった。
- ・ 委員から、耐震壁にひび割れが入っても、建物の剛性や耐力は、建設当初と遜色ないのか、現在の力学状態を確認するため、モニタリングのようなことを実施できないのか、との質問があった。^{※2}
- ・ 東京電力から、中越沖地震で発生しているひずみ程度ならば、弾性範囲であると考えられるので、建物の振動特性は著しく変動していないと考えられるものの、直接的な証明は困難であり、知見拡充の取り組みとして、地震観測の充実を図っており、観測を継続することで、間接的ではあるが、今回の補修の効果を含め、建物の振動特性等を検証できるものと考えており、その結果を発信していきたい、との回答があった。
- ・ 委員から、東京電力は、今回エポキシ樹脂によるひび割れの補修を行っているが、基準地震動 S_s や耐震強化用地震動を受けた場合、その補修では不十分ではないか、との質問があった。
- ・ 東京電力から、エポキシ樹脂を注入することで従前の耐力を回復でき、中越沖地震動に対してはほぼ弾性範囲内であったことから、現状回復しているとして、基準地震動 S_s や耐震強化用地震動に対する地震応答解析を行った結果、耐震安全性が確保されることを確認した、との回答があった。
- ・ 委員から、東京電力は、原子力発電所の耐震壁のひび割れの評価基準に、一般住宅用の基準を適用しているが、適切なものか、との質問があった。
- ・ 東京電力から、原子力発電所の厚い壁の方が、一般住宅よりも、ひび割れ幅が大きくなり易く、当初、米国原子力規制委員会の基準の適用を考えていたが、国

の審議も踏まえ、より保守的な日本建築防災協会の「復旧技術指針」を適用した、との回答があった。

- ・ 委員から、ひび割れの評価基準に、「復旧技術指針」を適用した経緯等は了解したが、一般住宅用の指針だと分かっていながら、より厳しいとの理由だけで、原子力発電所に適用したことは誤りではないか、との意見があった。また、他の委員から、米国原子力規制委員会の基準値に、付帯条件は付いていないのか、との質問があった。

(これらについては、次回東京電力から、全体像を俯瞰できる資料の提示があり、議論がなされる予定ですので、議論を踏まえ、加筆・修正します。)

イ 排気筒のボルトの緩みについて

- ・ 委員から、緩みを考慮した地震応答解析が必要ではないか、との質問があった。
- ・ 東京電力から、仮に当該ボルトで接合している部材がなくとも、全体の応力分布に大きな変化がなく、健全性に問題ないことを確認している、との回答があった。
- ・ 委員から、今回のボルトの緩みは塗装の剥がれがあったことから見つかるが、塗装に異常がなくともボルトが破断していることはあり得ないのか、また、6，7号機に同様の事象は発生していないのか、との質問があった。
- ・ 東京電力から、これまで保守管理を行っている鉄塔において、指摘のような事例は生じていない、との回答があった。
- ・ 東京電力から、6，7号機でも5号機と同様の点検を行ったが、ボルトの緩みは見つからなかった、との回答があった。なお、5号機で緩みが見つかったボルトは交換し、接合部は定期的に目視点検を行う、との補足説明があった。

2) 設備の健全性評価結果（機器単位）について

【議論の経緯】

- 東京電力から、点検・解析を通じて、安全上重要な設備については、地震の影響と考えられる重大な異常は確認されなかったものの、保安院の指示を受け、地震応答解析と観測記録との差異を考慮して行った評価において、原子炉補機冷却水系配管、原子炉冷却材再循環系配管（以下「PLR配管」という。）及びその支持構造物の算出応力は評価基準値を上回ったものの、追加点検により異常は発見されなかったことから、全ての機器が健全であることを確認した、との説明があった。
- 東京電力から、追加点検の結果と解析の結果に不整合が生じたことについて詳細に検証した結果、解析により求めた応力が材料証明書の値を下回ることを確認した、との説明があり、委員からは、その検証過程について質問があった。
- 東京電力から、検証過程についての詳細な説明があり、結果として、材料証明書の値を満足することを確認した、との回答があった。^{*3}
- 委員から、スプリングハンガー等の指示が、運転状態と停止状態を示す範囲から外れていることから、塑性変形が生じている可能性もある、との意見があった。
- 東京電力から、熱移動による配管とサポートとの馴染み等で、指示が外れることもある、また、これまでの健全性評価において、発生応力が評価基準値を超え

ていないことから、塑性変形が生じている可能性は低い、との説明があった。

【質疑の状況】

ア 評価基準値を上回った設備について

- ・ 委員から、検証用応力の算出過程や、健全であるとの判定基準に材料証明書の値を用いていることの妥当性等について、質問があった。
- ・ 東京電力から、検証過程についての詳細な説明があり、結果として、材料証明書の値から規格・規程に基づき算出した基準値を満足することを確認した、なお、材料証明書の値は、配管成形後の実強度である、との回答があった。
- ・ 委員から、原子炉冷却材再循環系配管の点検と解析結果の差に対する追加検討における、応力の算出プロセスによく分からないところがあり、説明には理解できない部分がある、との意見があった。
- ・ 委員から、当初203MPaという小さな値が地震応答解析で出された計算プロセスと理由を示すべきであるという意見があった。
- ・ 東京電力から、PLR配管の発生応力については、解の精度が時間刻みの影響を受け易いWilson θ 法で計算しており、当初、時間刻みが粗かったために小さな値となった、との説明があった。
- ・ 委員から、材料証明書に記載の値は、使用環境による強度低下・経年劣化は考慮しなくてよいのかとの質問があった一方で、原子炉の運転環境条件であれば、強度は変化しないと考えてよい、との意見があった。
- ・ 委員から、評価対象部位の溶接時の熱履歴による質の変化の有無は調べられていないことから、安全側に立ち、元の評価基準値（ⅢAS）を使うべきであると考え、との意見があった。
- ・ 東京電力から、溶接部は、発電用原子力設備規格溶接規格の「母材と同等以上の強度を有すること」との規定に従い設計されている上、当該配管の肉厚が非常に薄いことから、溶接の熱影響は小さいと考えている、との説明があった。
- ・ 委員から、保安院指示を受けて行った評価の評価基準値に、材料証明書の値を使ったが、実力値との間に、他にどのような余裕があるのかを示して欲しい、との要望があった。
- ・ 東京電力から、健全性評価では、現実の応答に対して余裕を持った応答を算出していることから、実際の解析の各ステップに含まれる主な余裕を、例えば、解析に用いた配管モデルが持つ余裕や、規格で定める評価基準値が持つ余裕について、詳細に解析評価した場合の結果との比較により説明があった。

イ ハンガーの指示値の外れについて

- ・ 委員から、配管の自重を支えるスプリングハンガー及びコンスタントハンガーの指示が、停止しているにも拘わらず、運転状態（H）と停止状態（C）を示す間に入っていなかったり、「H」に近い目盛りを指しているのは、地震の影響であり、塑性変形が生じていることも考えられる、との意見があった。
- ・ 東京電力から、「H」と「C」の目盛りは、ハンガー設置時及び運転中に、有効可動範囲に収まるように位置調整を行うための目安値であり、運転中に熱移動を繰り返すことで、ズレや配管とサポートとの馴染み等が発生し、目安値を外れることは過去にも経験しており、異常な状態ではないと判断している、との説明

があった。

- ・ 東京電力から、配管の塑性変形の可能性は、これまでの各号機の健全性評価において、発生応力が評価基準値を満たしていること等^{※4}から低い、との説明があった。
- ・ 委員から、スプリングハンガーで指示が目安値を超えていたことに関して、塑性変形が発生しているおそれがあるのではないかと、との質問があり、他の委員から、地震前後の指示値の変位を配管のひずみに換算することで、塑性変形の有無を評価する試みはできないか、との意見があった。
- ・ 東京電力から、地震前後の指示値の差が配管の変位であると仮定した場合のひずみの値が提示され、塑性変形に至るひずみは発生していない、との説明があった。
- ・ 委員からは、試算結果は最大で0.089%の塑性ひずみが生じる可能性を示唆したものであり、問題となるような値ではない、との意見がある一方で、この試算方法では塑性変形の有無を判断できないのではないかと、との意見があった。
- ・ 東京電力から、上記の試算結果はあくまで仮定に基づくものであり、一方、塑性変形が生じていないことは、点検と地震応答解析による健全性評価で確認している、との説明があった。
- ・ 委員から、適切な記録管理を行えば、指示の外れは、地震による塑性変形の有無を判定する1つの指標になると考える、との意見があった。
- ・ 一方で、委員から、指示値は摩擦や滑り等の影響を受けることから、この値だけを以て、塑性変形の有無の指標とすることは難しい、との意見があった。

(これについては、次回東京電力から、指標とすることが困難な理由が示され、議論がなされる予定ですので、議論を踏まえ、加筆・修正します。)

3) 耐震安全性評価結果（建物・構築物）について

【議論の経緯】

- 東京電力から、基準地震動 S_s に対する建物・構築物の最大応答値は評価基準値を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認した、との説明があった。
- 委員から、原子炉建屋屋根トラスの補強方法や非常用取水路等土木構造物の評価方法について、質問があった。
- 東京電力から、屋根トラスは座屈し難いように補強を行っていることや、土木構造物は、その特徴的な細長い形状を考慮した設計・評価を行い、基準値を満足していることを確認している、との回答があった。

【質疑の状況】

ア 原子炉建屋屋根トラスの補強について

- ・ 委員から、原子炉建屋屋根トラスの補強内容は、常時荷重を受け持たないものの、地震力による曲げ荷重に対して剛性を担保するように補強材を追加したものか、との質問があった。
- ・ 東京電力から、原子炉建屋屋根トラスの補強について、圧縮荷重に対する耐力を上げることで、座屈し難くした、との説明があった。

イ 屋外重要土木構造物の評価について

- ・ 委員から、非常用取水路等は長尺構造物なので、長手方向の変形も無視できず、

仮に地盤が一様に揺れたとしても、屈曲部もあり、曲げ等の発生する可能性があること、また、配管ダクト等は大型構造物から延びているので、地盤挙動が構造物のところと多少ズレている可能性もあるが、これらについて評価しているのか、との質問があった。

- ・ 東京電力から、ひび割れが発生し難いよう、構造物の変化点や長さ20m以上ではブロック割りを行い、間に耐震ジョイントを入れ、変位を吸収できる設計としていること、また、解析において、十分許容値の範囲内に入っていることは確認している、との回答があった。

4) 耐震安全性評価結果（機器・配管系）について

【議論の経緯】

- 東京電力から、構造強度評価もしくは動的機能維持評価の結果、いずれも評価基準値を満足した、との説明があった。
- 委員から、説明資料には、機器毎に沢山ある評価点の内の1点だけ記載されているが、全体傾向の把握のために複数の評価点について、また、健全性評価との比較、耐震強化前後の比較ができるように応力値を提示して欲しい、との要求があった。
- 東京電力から、これまでは、評価基準値と発生応力を比較し、裕度が1番小さい評価点の値を代表として資料に記載しているが、今後は更に分かり易いものとなるよう対応したい、との回答があった。
- 委員から、基準地震動 S_s に対する弁の動的機能維持確認済加速度の裕度を確認するため、また、シートパスの有無を確認するためにも、加振試験が必要ではないか、との意見があった。
- 東京電力から、他の機器同様、地震応答解析に基づき計算により評価しているが、構造強度評価が困難な駆動部は加振試験を実施している、また、構造強度評価によって応力が基準値以下であればシートパスが生じないと判断する、との説明があった。

【質疑の状況】

ア 耐震強化工事について

- ・ 委員から、耐震補強箇所を選択は、(JNESのクロスチェックに基づく) 国の指示に従って行ったものか、との質問があった。
- ・ 東京電力から、耐震強化工事の実施箇所は、事業者の自主的判断による耐震強化条件（基準地震動 S_s 及び原子炉建屋基礎版上で1,000galの揺れの両者に耐えられること）に基づき選定し、強化工事を行っている、との回答があった。

イ 発生応力の提示方法について

- ・ 委員から、東京電力に対し、データ開示に関する以下の要求がなされた。
 - ① 全体の応力分布状態を把握するために、同一設備について、複数の評価点を示すこと
 - ② 評価基準値との差が小さい設備については、設備健全性評価と耐震安全性評価の値を比較して示すこと
 - ③ 耐震強化前後の値を示すこと
- ・ 東京電力から、今後の説明資料については、更に分かり易いものとなるよう工夫したい、との回答があった。

ウ 弁の動的機能維持評価について

- 委員から、基準地震動 S_s に対する弁の動的機能維持評価による算出加速度の安全裕度やシートパス発生の有無を確認するために、基準地震動 S_s 以上の加速度を与える加振試験が必要ではないか、との意見があった。^{*5}
- 東京電力から、地震応答解析に基づく評価が基本であり、算出加速度と実験等による既往の知見に基づく加速度（目安値）を比較し、目安値を上回った弁は、詳細評価として、駆動部にかかる加速度を基に、弁各部の応力評価（計算）を実施しており、詳細評価に従来の実験結果を外挿して用いてはいない、との説明があった。なお、駆動部は詳細評価の場合にも構造強度評価が困難な部位なので、単体で加振試験を実施しており、試験で確認された加速度との比較で評価を行なっている、との補足説明があった。
- 委員から、仮に、いかなる系統で、地震時あるいは地震後にシートパスが発生したとしても、運転員は、特別な運転操作を実施する必要はないのか、との質問があった。
- 東京電力から、シートパスを許容しているわけではなく、あくまで動的機能維持評価によりシートパスも込みで弁は問題ないと判断している、万一シートパスが起きたとしても、運転員が対応するための時間的余裕はあり、通常でもパラメータを注意深く監視しながら運転操作を行っている、シートパスした炉水等は弁もしくは一次系内に留まるので安全性は維持される、同時に圧力等のパラメータで監視できる、また、弁のグランドから漏れた場合には、エリア放射線モニターやダスト放射線モニターで検知できる、との回答があった。

5) 設備の健全性評価結果（系統単位）について

【議論の経緯】

- 東京電力から、系統機能試験において、幾つかの不適合はあったものの、地震による影響と考えられる異常は確認されず、系統機能が正常に発揮されることを確認した、との説明があった。
- 委員から、1号機と5号機で、地震発生時の状態は異なっていたが、試験内容に違いはあるのか等について、質問があった。
- 東京電力から、試験は安全機能が適切に働くのか、技術基準に照らして確認するものであるから、地震発生時の状態は影響しない等の回答があった。

【質疑の状況】

- ア 地震発生時の状態が試験結果に与える影響について
 - 委員から、1号機と5号機では、地震発生時の状態は異なっていたが、今回の系統機能試験にそのことは影響しているのか、との質問があった。
 - 東京電力から、1、5号機とも原子炉停止中であったが、1号機は原子炉の蓋が開いており、5号機は閉まった状態であったものの、系統機能試験は、プラント起動にあたり、安全機能等が適切に働くのかを確認するためのものであり、地震時のプラント状況には依存しない、との回答があった。
- イ 不適合について
 - 委員から、今回確認された不適合は、今回の地震後の特別な検査を行ったから見つかったのか、それとも通常の検査でも発見されるものか、との質問があった。

- ・ 東京電力からは、いずれも、通常検査で発見できる、との回答があった。

6) プラント全体の機能試験計画について

【議論の経緯】

- 東京電力から、先行号機と同様、地震を受けたことによるプラント全体の影響を確認するとともに、今後、継続的に運転が可能であるか確認し、評価するとの説明があった。

- ・ 委員から特段の質問・意見はなかった。

※1 市民団体から、本小委員会の各委員に対し、7月1日付け「柏崎刈羽原発5号機の耐震壁ひび割れに関する公開質問」が送られた。過去にも公開質問状が送られてきたこともあり、第41回の本小委員会において、その取り扱いについて議論がなされた。その結果、「無条件とはいかないが、『委員が、同じ趣旨の疑問を持っているので、代わりに質問する。』のであれば、議題として取り上げる。」との取扱方針に基づき処理することで、委員の了承が得られた。

当該質問は、その方針に基づき、委員から、「県民の素朴な質問に対して、東京電力はどのように回答するのか。」という質問がなされ、審議されたものである。

※2 ※1と同じ公開質問状に対して、このような趣旨のことを求められているのではないかと委員から意見があったものである。

※3 PLR配管の総合評価について

RCW配管で確認された問題の水平展開を図ったところ、PLR配管にも同様の問題が確認された。再解析等を行った結果、当初の203MPaを上回る452MPaとなり、評価基準値308MPaを大きく超えた。なお、当該箇所は、600Aの配管から80Aの小口径配管が出ているところであり、その他の部分は概ね低い発生応力になっており、非常に偏ったところに大きな応力が発生している。

当該配管に対して追加点検を実施したところ、異常は確認されなかった。そのため、過大な応力が算出された原因に関する考察を行った結果、以下のことを確認し、健全性は確保されていると判断した。

- ・ 最大応力評価点の算出値を地震方向ごとに分割したところ、上下方向の地震による応力が支配的であることが確認された。
- ・ 応答値算出に用いた原子炉建屋中間階の床応答スペクトル（上下方向）から、当該配管の固有周期にはほぼ一致する周期に、観測記録にはない鋭いピークがあることを確認した。
- ・ RCW配管と同様、観測記録との差異を考慮した地震応答解析の結果、算出値は323MPaに下がったものの、評価基準値を上回った。しかしながら、材料証明書の値360MPaを下回ることを確認した。

※4 5号機のPLR配管が評価基準値を超えたものの、実際には、解析上の余裕や実配管に十分な裕度が含まれていることから、塑性変形に至るような大きな荷重はかかっていないと評価している、との回答があった。これについては、2)アを参照のこと。

※5 例えば、残留熱除去系停止時冷却原子炉側隔離弁Bでは、基準地震動 S_s による加速度（鉛直方向加速度：8.81G）が、目安となる機能確認済加速度（6.0G）を超えている。