

第 73 回原子力安全専門委員会（議事概要）

- 1 日 時 : 平成 24 年 5 月 21 日 15 : 00~17:30
- 2 場 所 : 福井県庁 6 階大会議室
- 3 出席者 :
(委員) 中川委員長、三島委員、田島委員、岩崎委員、飯井委員、山本委員、泉委員
(関西電力株式会社)
合澤 和生 原子力事業本部 副事業本部長
小江 秀保 原子力事業本部 プラント・保全技術グループマネジャー
小倉 和巳 原子力事業本部 土木建築技術グループマネジャー
(事務局: 福井県) 石塚安全環境部長、川上安全環境部危機対策監、
櫻本安全環境部企画幹、岩永原子力安全対策課長 他
- 4 会議次第 :

(1) 関西電力への追加確認事項について
[関西電力(株)]

(2) これまでの審議事項の整理・確認について
[福井県原子力安全対策課]
- 5 配付資料 :
 - ・ 会議次第
 - ・ 出席者および説明者
 - ・ 資料 No. 1 — 1
断層の連動を仮定した地震動および主要施設の固有周期について
[関西電力(株)]
 - ・ 資料 No. 1 — 2
制御棒挿入性評価について
[関西電力(株)]
 - ・ 資料 No. 1 — 3
大飯発電所周辺斜面の安定性評価について
[関西電力(株)]
 - ・ 資料 No. 2
これまでの審議事項の整理・確認
[福井県原子力安全対策課]

(参考資料)

 - ・ 第 72 回原子力専門委員会（5 月 8 日開催）議事概要
 - ・ 福島第一原子力発電所事故を踏まえた対応体制の構築について（三菱重工(株)）

6 議事概要：

議題 1：関西電力への追加確認事項について

(資料 1—1、1—2、1—3に関連する内容について関西電力(株)より説明)

(田島委員)

- ・ (資料 1—2 の 7 ページから 9 ページの) 制御棒の挿入性評価に関して、応答倍率法については、地震の揺れに比例して(制御棒の)挿入性が悪くなるため、旧耐震指針の基準地震動 S_2 と新耐震指針の基準地震動 S_s を比較して何倍かという評価をしているのは理解できる。
- ・ 次の(11 ページから 14 ページの) 詳細解析の方では、メカニカル抗力 (F_m) というのは何かということが分からない。
- ・ また、地震抗力のところで、 F_{va} 等に時間の要素は入っているのか。先程説明されたかと思うが、クラスタ案内管が揺れた時のクラスタ案内管と制御棒との摩擦を抗力としているのか。詳しく言えば、 F_{va} 、 F_{vb} 、 F_{vc} 、特に F_{va} であるが、これらに時間の要素が入っているのか。

(関西電力)

- ・ 時間の要素というよりは、位置の要素といえる。(F_{va} は制御棒駆動装置での抗力であり、) 移動しながら制御棒の移動(落下)に伴って抗力が変わるため、変位により、当初は抗力が発生しており、右下がりのような形で横軸に変位が生じるときに抗力が(抗力を縦軸に横軸に移動距離をとったとき)右下がりのような形になる。制御棒駆動装置の部分で制御棒の挿入が進むと、次第に抗力が減っていくというような抗力特性であり、(この抗力は別途実施している) 実験データをもとに設定している。
- ・ 同様に GT (制御棒クラスタ案内管) や燃料集合体についても、ご指摘のように、摩擦である。メカニカル抗力というのは、地震がないときの接触する摩擦でメカニズムは同じである。地震時も地震がないときも基本はメカニカル抗力が増えるというようなイメージである。
- ・ 基本的には、変形により摩擦力が増える効果と、加速度により、はりつくような効果の二つがある。こういったものは実験データ、個別の部分要素の実験データ、あるいは振動させて落下させたときの実験データより、その抗力との関係を求めている。

(田島委員)

- ・ メカニカル抗力というのは静的な、何もなしの話である。これは入っていないということか。

(関西電力)

- ・ 静的というよりは、地震がないときである。

(田島委員)

- ・ 制御棒駆動装置のところは、最初の瞬間だけで、あとは（時間的な要素が）入っていないということか。

(関西電力)

- ・ 落下した後は、（抗力が）生じないということである。

(飯井委員)

- ・ 3点ほど確認したい。1点目は、資料1-2の11ページの運動方程式の中にある F_f 、 F_m 、 F_u 、 F_v について、これらの寄与度はどの程度あるのか。
- ・ 2点目は、流体による抗力は、速度に比例する抵抗力とモデル化されているのか。速度に依存することもあるのではないかと思い、詳細を確認したい。
- ・ 3点目は、資料1-3の3ページ、4ページ、対策を示している9ページを見ると、有限要素解析をされているが、結局、岩級区分の境界面といったような異材の界面が厳しいとの評価となっているように見えるが、その理解は正しいか。
- ・ 資料1-2の3ページの①-①' 断面や②-②' 断面については、表層についての検討をされているが、A-A' 断面については、表層の評価をしなくてもよいという根拠があれば説明いただきたい。

(関西電力)

- ・ 資料1-2の11ページの F_f 、 F_m の寄与度についてだが、 F_m と F_v について、この寄与度を調べるために分析したことがないため、具体的にはわからない。基本的には地震による変形が大きいので、地震の寄与度は大きいと考えている。
- ・ 流体の抗力については、ご指摘の通り、流体力、速度の効果が入っている。流体力は、物理現象として表現できるため、それは評価の中に入っているが、このメカニカル抗力というのは、最終的に実験結果との照合の中で残るものがメカニカル抗力である。
- ・ 流体抗力や浮力は、物理現象として説明するものとして使っているが、メカニカル抗力、通常時の摩擦力については、算出することが難しいため、逆算して求めるというやり方をしている。

(飯井委員)

- ・ そうすると、トータルとしては実験等で確認はできているが、ここ（メカニカル抗力）については良く分からないところがあるということか。

(関西電力)

- ・ メカニカル抗力は、メカニズムとしていくらという形では算定できないので、全体の結果から差し引いたものがそれだろうという形で扱っている。

(飯井委員)

- ・ そうであれば、割合に関して、不明なものについては小さかったという確認はしておきたい。

(中川委員長)

- ・ 今の話だと、 F_v が一番大きいだろうということか。

(関西電力)

- ・ F_v が一番大きいと考えている。地震時の抗力は、 F_v が最も寄与としては大きいところであるが、その数値的な割合は、今分析しているものではないが、比較的小さいと思っている。それをきちんと把握することが重要だというご指摘をいただいたと考えている。

(中川委員長)

- ・ 数値を使って計算しているのではないのか。

(関西電力)

- ・ 数値は今、手元にない。

(中川委員長)

- ・ 先ほどの田島委員の質問とも関係するが、抗力は、制御棒を挿入していくに従って時間とともに変化する、時間の関数になっているということか。

(関西電力)

- ・ そうである。

(三島委員)

- ・ もし、 F_m や他のファクターに比べて F_v が大きいとすると、地震時と地震が起きている時の差はもっと大きくなるのではないかと思う。
- ・ ところが、この解析結果を見ると、それほど差の部分が大きくなっておらず、今の説明では疑問が残る。

(関西電力)

- ・ F_m と F_v の関係で申し上げた。全体としては浮力や、流体力は通常運転時の落下時間には寄与しない。

(三島委員)

- ・ 流体力は下から上に水が流れているため、その抵抗ということか。

(関西電力)

- ・ そうである。

(三島委員)

- ・ その部分が、大きいのではないかとということか。

(関西電力)

- ・ そうである。

(三島委員)

- ・ いずれにしても、この解析結果が妥当なものであるかどうかを、きっちり説明するためには、そのあたりの割合、どの力がどの程度効いているのか説明できるようにしていただきたい。

(関西電力)

- ・ 今日を用意していないが、試験によるデータを分析することにより、どのような割合かというのをお示しできると思う。

(中川委員長)

- ・ 運動方程式の解には重力が一番効くのではないか。

(関西電力)

- ・ 重力は挿入する側で、この抵抗力の側の寄与割合という形である。

(中川委員長)

- ・ 重力に対して抵抗力が働いているということか。

(関西電力)

- ・ そうである。

(中川委員長)

- ・ その抵抗力の影響が、 F_v が大きいという話で、地震がある時とない時で、なぜ差が小さくなるかというのは、やはり重力が効いているからではないか。

(関西電力)

- ・ まず、通常運転時も重力が作用しており、その時には F_v がない状態である。その後、(制御棒が)落下して、 F_f 、 F_m 、 F_u で時間が測定される。地震が起こった

ときには、 F_f とか F_u は変わらず、変わる部分としては、メカニカル抗力の部分が地震によって増大することになる。このため、 F_v との比較については、 F_m と F_v との関係でいくと、当然ながら F_v のほうが大きいということである。

(中川委員長)

- ・ その挿入時間に対しては、最初の M_g のほうが利いているのでは。

(関西電力)

- ・ そうである。

(田島委員)

- ・ M_g だけで何秒なのか。はっきりとしていただきたい。

(飯井委員)

- ・ 割合をきちんと出してもらうことが最初だと思う。

(三島委員)

- ・ 今の中川委員長のご説明で、大体理解したが、要するに重力落下の項が支配的で、それに対して摩擦の項が利いている。
- ・ F_v は、重力落下に比べて、それほど大きくないと説明されれば、理解はできる。それなしで、 F_m と F_v の比較だけで説明されると疑問がでてくる。

(飯井委員)

- ・ 今の話では、浮力等の別の話として F_m と F_v だけの説明をされており、浮力まで含めたトータルの力のバランスで、確認しなければいけないと考えている。

(中川委員長)

- ・ 説明の筋道からいえば、まず地震がない時には、重力の方(M_g)は決まる。流体抗力の部分も、体積や形状等で決まってくる。また、浮力についても決まってくる。そこで、実際に実験を行うと、実験と計算とのずれがある。そのずれの部分はメカニカル抗力という形で含みこむということか。

(関西電力)

- ・ そうである。

(中川委員長)

- ・ 実際に地震動がある場合には、それに F_v という項を加えて、解析し、時間を出すという筋道でよいか。

(関西電力)

- ・ そうである。

(中川委員長)

- ・ 数値も計算しているのか。数値が全部あるはずで、それを比較すれば、先ほどからの質問は、全部答えられることになると思うが。

(関西電力)

- ・ 別途報告させていただく。

(関西電力)

- ・ 飯井委員の2つ目のご質問の斜面に関する部分である。資料1-3の3ページ目の凡例であるが、紫、オレンジ、緑、青という断面図上の色分けで、こちらは岩級区分D級、CL級、CM級、CH級を示している。
- ・ ご指摘の通り、すべり線で厳しくなるのは、ちょうど岩の境界付近を通ってくるようなすべり線である。決してその境界部分が弱いということではなくて、同じ強度の岩の中で、すべり線で囲まれた土塊が大きくなる方が、一般的には、地震による活動力、すべらせようとする力は大きくなるため、それによってすべり安全率が厳しくなり、すべり線の大部分が岩級区分と接する形のすべり線となる。
- ・ A-A'断面、3・4号機側の斜面の上に残っているD級の尖った部分であるが、これがすべてこないかという指摘については、このD級とCL級の境界はサイトと反対側に傾いた形になっており、この部分のすべり線を考えると、反対側にすべるという評価結果を得ている。したがって今回の評価対象とはしていない。

(飯井委員)

- ・ CM級とCH級の境界線について、資料1-3の3ページのA-A'断面図を見ると、建屋側に左下がりの斜面がある。このCM級とCL級の境界では、建屋側にすべるということにならないのか。
- ・ 今ほどの説明のように、D級とCL級の境界では、傾きの形状からして建屋と反対側にすべるということになり、それについては考えなくてよいというのはよく分かるが、CM級とCH級の境界線については建屋側にすべりそうである。

(関西電力)

- ・ この赤線の想定すべり線は、1つの断面の中で色々なすべり線を検討した中で、最も厳しくなったものを示しており、全ての岩級区分の中を通るすべり線を検討している。
- ・ 特に動的解析で検討しているものは、ここではCH級の中を歩いていく深いすべりを示しているが、ご指摘のCM級とCH級の境界を通るようなすべり線についても、検討の途中段階で動的解析により安定計算を行っており、その答えがここに示している安全率4.0という値よりも大きくなっている。

- ・ CM級の（資料中では黄緑色で表示）中をすべってくるすべり線については、3・4号の設置許可申請のときに検討したすべり線があり、それを用いて検討しており、その結果、安全率は11.2となっている。

（飯井委員）

- ・ 解析をされているということだが、資料1-3の9ページの図でいくと、①-①'断面について、耐震裕度を向上させる工事の提案をされており、それなりに厳しい場所にあるということだが、こちらについては、D級とCL級境界ですべるということである。
- ・ その境界面ですべる（土塊の）質量そのものは、A-A'断面のCM級とCL級の境界面（上の土塊）に比べると小さい。それなのに、質量の大きいほうがすべりに対して安定性が高いというのは、岩盤そのものが強いからということか。
- ・ D級が一番弱く、CH級になると岩盤が強くなるから、本来なら質量など力としては大きくなるはずだが、それを上回るほど岩盤が強いということか。

（関西電力）

- ・ その通りである。

（飯井委員）

- ・ 別途、強さというのをどのように評価しているか、示していただきたい。

（中川委員長）

- ・ 今の話は違うのではないかと思うが。岩盤の強さだけではなく、そのすべり線の上に乗っている質量等が効いてくると思う。そうでないと、資料1-3の3ページのすべり線のところで一番弱くなるという話は成り立たないと思うが。

（飯井委員）

- ・ 今の話は、CM級とCL級の境界面に想定されているすべり面に関しては、そのような説明になると思う。この3ページのA-A'断面、また、9ページの切り取り案のD級とCL級との比較に関して、関西電力も心配されているということで、それなりに意味があると考えたと、そう考えざるをえない。

（中川委員長）

- ・ 論点が、はっきりしていないように思うので、少し整理したい。まず資料1-3の3ページに書かれているのは、いろいろなすべり面での検討の結果、最も安全率が低くなるものが示されている。
- ・ また、保安院から、安全率の計算をピーク強度ではなく、残留強度を使う必要があるのではないかと指摘があったため、いわゆる弱いすべり面に対して、再確認するという意味で、残留強度を使った計算を行ったというのが、①-①'面や②-②'面ということによいか。

(関西電力)

- ・ 資料 1-3 の 3 ページでは、平均強度を使っている基本ケースと、括弧書きで書かれている、地震動の反転も含めて、強度のばらつきを考慮して、 $-\sigma$ (マイナスシグマ) を落とした強度を使った地盤物性のばらつき考慮ケースで計算している。
- ・ 平均強度とマイナスシグマとのそれぞれにおいて、破壊する直前に発揮している強度と、破壊した後でも、ある程度発揮している残留強度がある。
- ・ 保安院の意見聴取会では、表層で変位量を評価するということになった以上は、ある程度動いているということであれば、そこではいったん破壊していることになるため、ピーク強度を使うのではなく、残留強度を使うべきであろうという指摘を受け、7 ページのように計算を再度提出したということである。

(中川委員長)

- ・ 資料 1-3 の 3 ページの計算でも、地震動による影響は考慮されている強度だということか。

(関西電力)

- ・ そうである。資料 1-3 の 3 ページの計算に出てくる A-A'、①-①'、B-B' もそうだが、土塊がかなり大きいすべりが、一番安全率が小さいという結果になっている。

(中川委員長)

- ・ 確認だが、A-A' 断面について、先ほどから、飯井委員の質問にあるように、C L 級と CM 級の境界を通るようなすべり面での計算も当然されており、その場合は、そのすべり面での土塊の移動、地震動による移動、それはほとんどゼロであると。

(関西電力)

- ・ ゼロである。

(中川委員長)

- ・ そのため、残留強度で計算する対象にはならないという整理でよいか。

(関西電力)

- ・ ピーク強度と残留強度の使い分けは、意見聴取会での指摘で、すべり線に沿って動き始めた以降は (残留強度) という話と、地震応答解析の中では有限要素の一つ一つの要素で破壊判定を行っている。
- ・ その結果、地震動により破壊されたと判定された要素に対しては、すべり安全率を出す際に、残留強度を使うなり、条件によっては強度を一切見ないといった使い分けをしている。
- ・ 先ほどの私からの説明の中で、便宜上、ピーク強度を使うと申しあげたが、正確に

は、もともとのやり方は、ピーク強度と残留強度と強度0という3種類を、その応力の状態によって使い分けている。

- ・ 保安院の意見聴取会の中で出された指摘を受けて、安全率1をきった以降は、ピーク強度は使わず、残留強度もしくは強度0のいずれかを使うよう計算方法を改めてやってみたものが、資料1-3の7ページの結果である。

(飯井委員)

- ・ いずれにしても、岩盤の強さについては、説明いただきたい。一般的な強度ということであり、また、有限要素解析をしているということになると、例えば、資料1-3の3ページのA-A'断面のCH級の部分に関しては、完全な連続体として扱うことができるため、普通はなかなか壊れない。
- ・ それに対して、岩級の境界面の強度は弱く、資料1-3の9ページに1, 2号機ではそのような対策を検討されているということであるが、3, 4号機についても同様の検討をした場合、どのようになるのか。

(関西電力)

- ・ 3, 4号機では、すべり、滑動力が、抵抗力を上回るということが起こらないため、すべり線を設定しても変位量としては出てこない。また、岩盤の強度の方の件に関しては、また改めて説明させていただく。

(山本委員)

- ・ 4点ほど伺わせていただく。1点目は、資料1-3の6ページ目以降に5月14日の保安院の地震・津波に関する意見聴取会のコメント回答があるが、これに関して専門家の方からさらにコメントが出たかどうか教えていただきたい。
- ・ 2点目は、資料1-2の18ページに再現解析の結果が掲載されているが、こういったもので詳細解析手法の確からしさは、検証されていると思う。
- ・ 18ページの結果を見ると、ピンク色のプロット(再現結果)が実験点の真ん中あたりにきているが、一方で19ページでは、解析結果が試験結果を一貫して上回っている。ここで何かの保守性を考慮しているような気がするが、この点についてどのような考え方をしているのか。
- ・ 3点目は、制御棒挿入性評価の2.2秒について、挿入時間、制限値があるが、仮に制御棒挿入時間がこの時間を超えた場合に、プラントはどのような挙動を示すのか、逆に言えば、この2.2秒はどのような保守性を見込んだ値なのか。
- ・ 4点目は、資料1-2の9ページ目の中で応答比の合成が示されているが、このような合成が許されるのは、2つの成分に全く相関がない場合だけである。
- ・ 揺れの成分を合成されていると思うが、鉛直方向と垂直方向に相関がないという仮定が広く認知されているものなのかどうか教えていただきたい。

(関西電力)

- ・ まず、1つ目の5月14日の意見聴取会において更にコメントがあったかという件で

あるが、今回お示ししたコメントと、それ以外に3つがあったが、そのいずれに対しても大きなコメントはなかった。唯一、「対策後の形状でも安全率を検討してほしい」とのコメントがあった。

(山本委員)

- ・ 他のコメント回答については、そこで了承されたという理解でよいか。

(関西電力)

- ・ 私どももそう考えている。

(関西電力)

- ・ 1-2の資料の18ページに実機試験、解析があり、流水中のものと静水中のものがある。試験条件については、17ページに書いているが、1981年から86年にかけて行われた試験であり、燃料集合体が15体×3列に並んでいる中で試験を行ったものである。
- ・ 17ページの左側のほうは静水中、右側は流水中である。また、これは、15体中の端の3体の挙動を模擬する形で行われたものである。18ページは、これを合わせてプロットしており、一本線の上にいる実験であり多少ばらつきがある。解析については、シミュレーション解析であり、ほぼ再現するような形で条件設定をしている。
- ・ 19ページは、原子力安全基盤機構の報告書からの引用だが、やはり、保守性を持たせた形で解析条件、手法を設定するため、その条件でシミュレーションということではなく、これをカバーできるような形で設定した条件、知見データをカバーできる条件で設定している。
- ・ 3つ目の制御棒挿入性評価の2.2秒の保守性に関して、この2.2秒というのは、建設時に事故を想定した安全解析をするが、その解析の前提条件として2.2秒を設定して、それをスタートポイントとして解析を行っている。
- ・ 従って、これを超えたら何か、規制、制限しなければならないものかということではなく、解析のスタートラインだということである。地震の方ではそれを用いている。
- ・ 2.2秒を超えたらどうなるのかということで、保守性については、中越沖地震が起こった後に、原子力安全委員会の方で地震に対する余裕を分析することが重要との認識のもと、平成21年にレポートをまとめている。
- ・ この挿入時間が延びたときに、燃料の除熱に対してどのようになるのかという安全解析をした結果があり、4ループプラントの場合、11秒、挿入時間が11秒遅れても、燃料の冷却する観点で、被覆管の最高温度やDNBR（限界熱流束比）といったようなデータは満足するレベルにある。このため、この2.2秒というのは、十分保守性を持った基準値になっていると考えている。
- ・ (4点目の) 応答比の合成に関して、鉛直方向と垂直方向の合成方法は、過去の実験との比較も含め、比較した例があり、二乗和平方根のやり方で妥当であることが

確認されており、米国の基準でもやはりこういうやり方が認められているため、動的なランダム事象の組合せという形では、このやり方は妥当であると考えている。

(三島委員)

- ・ 今の合成の話と関係して、実験と解析を比較されているということだが、(実験で使った)地震波のスペクトルについては、想定しているのと近いものを用いているのか。スペクトルにより、その応答が変わってくると思うが。

(関西電力)

- ・ 旧指針の地震動であるが、実験には、その中で最も大きいものが473ガルというS2であり、その他のプラントのスペクトルもちゃんと包絡するような形の試験波を作っている。
- ・ それが基本となり、その何倍か増幅して計算するというものであり、大加速度になれば、今の基準地震動のSsも十分カバーしていると考えている。

(三島委員)

- ・ スペクトルについては、プラントのこれまでのいろいろな地震波を包絡するような形で地震波を作り、その最大加速度を何倍かすることでテストしたということか。

(関西電力)

- ・ そうである。この試験については、機器の固有周期この挿入経路の機器の固有周期に着目しているので、そういう包絡した上で機器がカバーできるものを確認して使っている。

(岩崎委員)

- ・ 制御棒の挿入に関して、燃料集合体1体が歪んでしまったために全部が影響を受けて、挿入できないというような構造ではないのか。

(関西電力)

- ・ 燃料集合体は、燃料棒が束になってあり、さらに炉心としては、最大15列あり、全体としては一体で挙動する。1本だけが自由に変形するというのではなく、周囲のものと一緒に挙動するため、1本だけ大きく変形をするというようなことはない。

(岩崎委員)

- ・ 今ひとつ釈然としないところがあるのだが、もんじゅの話をここで出すべきではないと思うが、ナトリウム状況下で制御棒が引き抜けなかった*という話だったとは思いますが(*制御棒を引き抜くための駆動機構の動作不良)、一つのことで全体が歪むという構造ではないということか。

(中川委員長)

- ・ クラスタは一体として動くため、重力ということを考えると、クラスタ全体の重力が入っていくと思うが。

(岩崎委員)

- ・ もう一つ、地すべりの問題について、強い地震1回だけを考慮しているという説明に聞こえるが、弱い地震が、複数回来たときに亀裂ができるというようなことを想定すると、地震があるごとに計算し直さないといけないというような感じを受けるが、どのような認識でおられるのか。

(関西電力)

- ・ 先ほど、地震時の応力状態に応じて各有限要素の破壊判定をしていると説明したが、基準地震動 S_s で検討しており、各要素で破壊が生じるという状態も出ているが、通常考えているような地震、よく起こるような地震でこのような硬い岩盤が破壊に至るということは考えにくいと思っている。
- ・ 岩盤の強度としては、具体的に数字もあるが、原子炉建屋の基礎を設置するために、深く山を切りとり、硬い岩盤を出すように掘り下げている場所であり、掘削の際には、ダイナマイトで発破をして、岩盤を崩して掘り下げてきた。それぐらい硬い岩盤であり、通常地震により破壊するという事はないと考えている。

(田島委員)

- ・ すべり安全率の計算だが、有限要素法か何かで計算していると思うが、飯井先生の質問と関連するのではないかと思い質問するが、硬い岩盤のところに、この仮想すべり線について、計算の時にその部分を、あらかじめすべるという仮定をどのように入力しているのか。
- ・ この部分がすべると仮定して入れるのか、シミュレーションにより、自動的にこの部分がすべると出てくるのか、この仮想すべり線をどのような条件で入れているのか。
- ・ また、一旦滑りだしたら、例えばA-A'断面は一旦すべりだと、すべり面の摩擦が小さくなり、どんどん変位していくものではないかと思うが、ここでは、一定のところまで止まっている。
- ・ 感覚的には、実感と合わないような気がするが、一旦すべり始めると抵抗力は小さくなるのではないか。

(関西電力)

- ・ まず1点目のすべり線の選定の件であるが、図は、一番安全率が小さくなるものを示している。
- ・ このすべり線を選定するにあたっては、静的な円弧すべり法という方法を用いており、円弧であるため、半径と中心を全て設定して、山全体をいくつも切る線を設定して、その中で小さな安全率になるものを選定している。

- ・ それも一つだけを選定するのではなく、深いすべりの中で小さくなるもの、浅い岩級が比較的弱い所で滑るものなどがある。

(田島委員)

- ・ それは判るのだが計算で、ここがすべるという条件はどのように入力するのか。

(関西電力)

- ・ 有限要素の中で、すべり線を探しにいくということではない、今のようすべり線について、あらかじめいくつも設定した中で一番小さいものを抽出する。有限要素法の中では、設定したすべり線上の応力状態というものを出力しており、時々刻々のすべり安全率の滑動力と抵抗力のキーを出力して検討している。
- ・ 2つ目の一旦滑り出したらという質問については、A-A'断面のことか、それとも①-①'や②-②'断面のことか。

(田島委員)

- ・ A-A'断面もそうである。

(中川委員長)

- ・ 安全率が1以下にならない限り、滑りはしないが。

(田島委員)

- ・ 1以下になったらということ。

(関西電力)

- ・ 具体的にそのような検討は行っている。①-①'断面、②-②'断面について、5ページのように、すべり安全率が時々刻々変わっている。これは地震動に応じて惰性を受ける力が変わってくるということに対応している。

(田島委員)

- ・ 下の変位量は時間によっているわけでトータルの変位量となっている。今回、これだと全然すべらず、最高で0.09cmとなっている。私は、一旦すべり始めたら、そのままいくのではないかと思うのだが。

(関西電力)

- ・ 滑らせようとする力が時々刻々と変わってくるため、地震の力で一回大きく揺らされたときには、少し動くということになるが、次の瞬間には反対側に揺らされる、あるいは先ほどとは揺れが小さい力しか加わらないというように変わるため、常に滑り続けるということはないと思っている。

(田島委員)

- ・ しかし、重力は大きい。

(関西電力)

- ・ ただ、滑り出した後にも、残留強度が発揮されるため、その残留強度により耐えるという結果になる。これは、保安院の指摘を受けて計算しているが7ページのような結果となっている。

(中川委員長)

- ・ 数十 cm ということになると、裂け目ができて弱くなるというイメージだが、今の場合、変位量として0.9mmであり岩盤として強度はもっているという理解でよいか。

(関西電力)

- ・ そうである。

(泉委員)

- ・ 資料1-1の2枚目に関して、黒線の応答スペクトル法による基準地震動 S_s に対して、ある周期、固有振動数のところで、加速度がオーバーしている。
- ・ それは基準地震動の1.4倍程度であり、クリフエッジ1.8倍より小さいため安全だという判断の趣旨を説明されたと思うが、この①から⑩の機器について、それぞれ単独での評価についてはそうだと思うが、力学モデルを作るときには、ダッシュポットモデル等で複数の機器を評価すると、当然、固有振動数も変わってくるというのが容易に想像できるが、このような場合、例えば、配管で繋がっている場合、連成させると固有振動数が変わることに対してどのような評価を行っているのか。

(関西電力)

- ・ 資料1-1の2ページ目の黒い太字線は、基準地震動になるが、この基準地震動を用いて、具体例として挙げた機器について、固有周期を考慮した応答解析を行っている。
- ・ その結果が、裕度として出てくることになり、ストレステストの中では、安全上重要な機器全ての余裕をみた上で、最も小さなものが1.8倍となり、つまり、クリフエッジの1.8倍、 S_s の1.8倍というものは、最小の値を示している。
- ・ ここに表示されていない機器についても地震動による評価があり、1.8よりも大きな余裕を持っているということである。

(泉委員)

- ・ 私の質問は、資料1-1の2ページ目の図の凡例のところにある①から⑩について、それぞれ建屋、配管、蒸気発生器などがあるが、形状的にも、力学的モデル的にも、これら機器が繋がっている場合には、当然、固有振動数が変わってくる。
- ・ この図の中の矢印で、①、③、⑤などが書いてあるのは、それぞれの機器の固有周

期だと思うが、そうではなのか。もし、そう（それぞれの機器の固有周期）だとしたら、それぞれの機器がつながった力学モデルで固有振動数が変わることになる。

- ・ この資料の主旨として、F O - A、F O - Bと熊川断層の3連動を仮定した場合、どういう応答がなされるかという議論のための資料だったと思うが、その時にそれぞれの機器単独ではなく、連成して応答した場合どうなるかという検討についてはどうか。

（関西電力）

- ・ 解析モデルの設定については、アンカー、固定点というのを設定して、固定点から固定点までを切り出したモデルを作る。その時には機器と建物の連成を考慮した場合もある。連成を考慮しない方が保守的な評価になるものもあり、それはケースバイケースで評価している。
- ・ 例えば、ここに書いてある蒸気発生器、一次冷却材管といった比較的大型な機器については、建物との連成解析をしている。余熱除去配管なども、長い距離を引き回しているため、建物との連成を考慮することもできるが、これは（単独で）固定した方が保守的な条件になる。
- ・ それは、例えば、一つ上の階に配管が引き回されている場合、下と上から入力されるが、下と上と2種類を入力するのではなく、全てを上階の入力として与えるという保守的な条件設定しており、その結果が基準地震動に基づく評価結果という形になる。
- ・ ここに一つ一つ書いているのは、各機器の1次固有周期であり、ここから左側に2次、3次と複数の固有周期を持つものについては、1次固有周期を表示している。

（中川委員長）

- ・ その1次、2次というのは、倍振動という意味でよいのか。

（関西電力）

- ・ 地震応答解析の時には、質点と梁でモデル化するが、2質点のモデルの場合、固有周期は2つある。

（中川委員長）

- ・ 固有振動の1次振動、2次振動という意味でよいか。

（関西電力）

- ・ そういう意味である。

（中川委員長）

- ・ 今、質問されたのは、①や②で示している各機器の固有振動はつながった状態のものなのか、個別のものなのかという意味だが。

(関西電力)

- ・ 今、ここに書いてあるのは個別のものだが、固定点から固定点にモデル化したものは一体として解析している、例えば、ポンプあるいは容器といったものは単体で解析している。
- ・ これと別のものを連成させることはしなくてもよいと保守的な評価をしているため、連成させるまでのモデル化はしていない。

(中川委員長)

- ・ つながっていると、固有周期が変わるのではないかという質問でもあるのだが。

(関西電力)

- ・ 連成効果があるものはモデル化の段階で考慮している。あるいは、固定した方がその機器にとって厳しい結果になるという場合は、切り離して評価している。

(泉委員)

- ・ 保守的になる場合はそうなると思わないわけではないが、説明の仕方ではなく、どのような場合に保守的になるなど、もう少しモデルを使って説明する必要があるのではないか。いろんな連成のさせ方を考えると、これは組み合わせるだけでも相当なものになると思う。
- ・ その中でどのような組み合わせの方が保守的になるのか、あるいは単独の方が保守的になるということについて、ある程度の例示をして説明しないと、「保守的になる」ということだけ言われても納得しがたい。

(関西電力)

- ・ 具体的な説明というのは、また、別途、改めてさせていただくが、例えば、固定した場合、(その機器が)変形すると力が逃げるため、応力としては下がることになる。しかし、変形しないとすると、固定した条件にしたほうが厳しいという場合があり、その場合、連成させないということであり、概念的にはそういうことである。

(泉委員)

- ・ 一部わかってきたような感じもするが、もう少し説明いただきたい。

(関西電力)

- ・ 整理して、別途、報告させていただく。

(中川委員長)

- ・ 機器の固有振動数と地震の振動数、この強いところが一致する場合は、一般的には一番危険ということになると思う。しかし、いろいろな支持があり、他の部分とつながっているという意味では、固有振動数のずれ、そういうものが普通は起こるた

め、それは安全側になると。その意味では。一つの機器を孤立させて、固定している場合が保守的になるという話だと思う。

- ・ ただ、この点に関しては、以前、保安院からも説明いただき、基準地震動の包絡線を越えるものに対して、保安院の見解としては、各機器の耐震強度を評価していくという説明を受けた。
- ・ それと基準地震動というものの考え方の関係に関しては、事業者としてはどのような考え方を持っているのか。

(関西電力)

- ・ このF₀-A、F₀-B断層と熊川断層の連動を仮定した地震動というのは、念のため評価したものである。基準地震動による評価と念のための評価というのは、全く一緒ということではないと思っているが、これらについても、念のため施設の評価を確認するという事は、今後、進めていきたいと考えている。

(田島委員)

- ・ この資料1-1の2ページ目のグラフで、一次冷却材管と蒸気発生器はほとんど同じところに周期があるが、これは共鳴するという事か、それとも一体として考えているのか。
- ・ 一次冷却材配管と蒸気発生器はつながっているのだから、非常に危険な状態なのだがどうなのか。固有振動は一体として計算しているのか、あるいは、個別なのか。

(関西電力)

- ・ 一次冷却材管と蒸気発生器は、一体の連成として固有振動解析をしている。

(三島委員)

- ・ 先ほどの田島先生の質問と関連しているが、すべり面という事、安全率1を下回った場合に、その面が離れて滑ってしまうというイメージを持つが、材料的に言えば、おそらくその面で強度を超えるため、塑性変形を起こしてしまうというイメージではないかと思うが、そのようなものとは違うのか。

(関西電力)

- ・ 正にその通りかと思う。滑り線としてズバツとそのような形状が形成されるという前に、まずは塑性変形で、ある程度変形が出てということになるかと思う。

(三島委員)

- ・ 一次断面で安全率が1を下回るという状態は、強度が塑性域に入ったというような理解でよいか。

(関西電力)

- ・ ピーク強度と残留強度を出す試験方法の説明から入らないといけませんが、残留強度と

いうものは、例えば、岩盤のせん断試験を行い、ピーク強度を超えて、応力ひずみ関係あるいは荷重変位関係で荷重を増やしていき、耐えきれなくなり落ちるということである。

(三島委員)

- ・ 材料でいえば、塑性域に入ったら強度が下がるということかと思う。一言で言えばそれと同じ考え方ということなのか。

(関西電力)

- ・ それに近い考え方になる。

(三島委員)

- ・ 先ほどの滑りの話で、丁度、地盤と地盤の境目で何か弱いという話があったが、材料の強度というのは、地盤の中では定義できるかもしれないが、違う材料の間の境では定義できない。そのあたりはどのように扱っているのか。

(関西電力)

- ・ 岩種の境界のところで滑り線の安全率が小さくなるという説明はしたが、その部分が弱いというわけではない。

(三島委員)

- ・ しかし、岩の強度というのはその均一な岩の中で定義されるものだと思うが。

(関西電力)

- ・ そうである。

(三島委員)

- ・ 違う岩と岩の間というのは、やはり違う強度と違う強度というのが接しており、(境界は)同じようには扱えないのではと思う。

(関西電力)

- ・ (資料の中で)この岩種境界で色分けしているのは、同じ岩種、岩の種類としては同じである。しかし、一般的には表層に近いものほど、風化の影響を受けやすいため、強度としては風化して段々弱くなっていき、山の深いところや芯になるほど、新鮮な岩で強いということである。

(三島委員)

- ・ それは違う岩が接しているとか、そういうことではないのか。

(関西電力)

- ・ 岩種境界で色分けしているのはそういうことである。色分けして境界線で書いているが、実際のところは、なだらかにかどうか、連続性をもって強度が段々変わっていくというようなことになる。

(三島委員)

- ・ そうすると(資料で)色分けしている境界では、強度は連続的に変わっていくと考えてよいのか。

(関西電力)

- ・ 実際はそうなっていると思う。解析上は、そこは岩種の境界ということで決めているが、(実際は)強度は階段状に変化している。

(中川委員長)

- ・ 境界は設定しているが、それほど明確なものではないと思う。同じ岩石の中で種類分けしているだけであり、違う岩盤が接しているというものではないのではないのか。

(三島委員)

- ・ 解析上の取り扱いとしては、その境界を挟んで両側で強度は変わるが、境界面の滑りはないということか。

(関西電力)

- ・ 境界面に滑り線が発生しやすい弱い層があるとかそういう事ではない。今、(資料で)色分けしているのは岩の風化度合いやそれと、その前の図で線が入っているが、そういったところでは、①-①' 断面に紫色(D級)がはいっている。
- ・ そういったところは、岩の境界というのはあるが、そこはボーリング等の結果で、岩の境界には弱い層はないということを適切に評価している。

(飯井委員)

- ・ モデルはそうだが、結果的に強いところと弱いところが連続してある場合には、資料1-3の9ページにあるように、どこが壊れるかということ、強いところと弱いところで壊れる可能性が高いと言えるのではないか。
- ・ そのため、切り取り(案)と書いているが、仮に地震動で壊れるとしたら、このような形で壊れるのか。

(関西電力)

- ・ ①-①' や②-②' 断面というのは、その前に想定していた変化が出るという部分、滑り線で囲まれている範囲を除去する案ということで示している。

(飯井委員)

- ・ どうして滑りが出るのか。質量から考えると、そこに滑り線が出るというのは、少し考えにくい。いずれにしても、よく分からないということが今日分かったことだと思う。

(中川委員長)

- ・ 最後に確認しておきたいのだが、様々な滑り線を想定して、それで検討した結果、いわゆる安全率が1を下回るというものは、①-①`、②-②`断面のこの資料1-1の4ページの滑りを考えた場合であり、その他のところでは、1を下回るという事はないということは確かなのか。

(関西電力)

- ・ 確かである。

(中川委員長)

- ・ 議論が続いたが、時間的には予定した時間をはるかに越えてしまっており、次の議題に移りたいと思う。

議題2：これまでの審議事項の整理・確認について

(資料2に関連する内容について原子力安全対策課より説明)

(山本委員)

- ・ 福島第一原子力発電所の事故は、あるシーケンスに従って（事故が）進展していったが、その各局面に対して、どのような対策が取られているのかについて、逐次対応でわかるような形でまとめる必要があると考える。
- ・ ソフト面についても、わかりやすさの観点から時間軸に沿っての整理を検討していただきたい。

(三島委員)

- ・ 事業者に対して、委員会から指摘した事項については、資料2に書かれていると思うが、この委員会から国に対して行った指摘や注文についての記載もあるとよい。
- ・ 国が示した判断基準に対して、この委員会がどのように考えるかということもあると思うが、国に対しても注文をつけたことがあり、そのことも記載されるとよいと思う。

(中川委員長)

- ・ 国に対しては、何回も要望書を出しているが、それらについては、どの程度まとめていくかだが。

(事務局 岩永課長)

- ・ 県の取り組みという形では簡単に紹介し、本委員会が国に対していろいろな意見を出したということも、まとめていきたいと思う。
- ・ 先ほどの山本委員の指摘についても、地震の影響から津波の影響というのは、時系列で動いており、そのあたりが分かるような形でまとめていきたいと考えている。

(中川委員長)

- ・ 資料2では、事業者の安全性向上対策に対して、委員会で確認してきたことを主として、事故前の(県内発電所の)状況、福島第一原子力発電所事故の知見、また、その知見を活かして、実施してきた安全対策という形で大方まとまっている。
- ・ 一番右側の安全対策の実施状況のところを見ると、委員会が何を確認してきたかということがわかるようになっていると思う。
- ・ これから整理、取りまとめを進めていくことになるが、このような認識をもとに、これらを文章化していくという段階であると思う。
- ・ この点に関して、委員から意見等あれば、事務局の方に連絡をお願いしたい。

(事務局 岩永課長)

- ・ 先生方の専門分野もあり、これまでの協議などをまとめながら、先生方のご意見を伺っていききたいと思う。

(泉委員)

- ・ 先ほど他の委員からも発言があったが、委員会では、国に対しても意見を言っており、それに関して、整理の仕方としては、国がどのような安全対策を実施してきたか、あるいは、今後、どのようにしようとしているのかということがある。
- ・ 規制庁もまだ発足していない状況で、その意味では、国に対する今後の要望等、委員会としての何らかの意見は、報告書の中で述べていくという考えでよいか。

(中川委員長)

- ・ 国に対しての要望だけではなく、その他、この委員会では取り扱っていないことについて、国や事業者に対して、将来に向けて要望していくといった項目は入ってくると思う。
- ・ これからも、これまでの審議の整理は進んでいくが、その整理の各段階で委員の先生方には状況をお知らせしていくことになると思う。それに対してご意見、ご注文等をどんどんつけていただければ、よいものに仕上がっていくと思う。
- ・ 今日、時間もなく、(資料2の)中身にまで踏み込めなかったが、本日の議論としては、主として関西電力に対する追加確認事項、内容としては、断層の連動を仮定した主要施設の固有周期や耐震裕度について説明を受けた。
- ・ 3連動という考え方であるが、これについては非常に微妙な考え方をしており、先日の保安院の説明においても、基本的には、念のために3連動を考えて断層モデルにより760ガルとなり、応答スペクトルモデルではもう少し小さくなっている。

- ・ 3連動を考慮して評価した場合に、760ガルという場合があるわけで、それを現在の基準地震動700ガルと比較すると、断層モデルでの地震動、特に低周期側の地震動を1.5倍したモデルでは、一部の周期のところで越えるものが出てくる。
- ・ それに関して、保安院の説明では各機器での安全性を確認していくということであったが、今日はそれについて事業者の方からもう少し詳しい説明をいただいた。
- ・ 制御棒挿入評価、これも色々と議論が出ていたため、今日詳しい説明をして頂いた。結局は制御棒挿入に関しては、最も詳細な解析結果で、2.2秒という制限時間を下回る結果が出されているということで、これまではどういうものであったかということも含めて、説明を頂いた。質問の方も各委員からいろいろと頂いたため、そのあたりもまとめていきたいと思う。
- ・ もう一つは、斜面の安定性評価であるが、これも念のための安定性評価、そしてそれに対して、関西電力の方で、いろいろなプロセスを踏んで、斜面の剥ぎ取り、補強を実施していくという話であった。これに関しても、考え方について、委員の方からいろいろな意見がでたが、それらに対しても事業者の方でまた考えていただきたいと思う。
- ・ 議題2では、これまでの審議経過、整理の状況の中で、事業者が実施している安全性向上対策の部分についてまとめた資料と、プラントメーカーとのヒアリング結果の紹介があった。
- ・ この整理・確認については、委員との間でいろいろと意見を往復させてまとめていくことになると思う。委員会としては、本日の議論の内容も含めて、今後はこれまでの審議内容について、順次取りまとめに移っていきたいと考えている。
- ・ 次回委員会の日程については、事務局で調整をお願いします。

(事務局 岩永課長)

- ・ 今の委員長の発言を踏まえて、日程調整をさせていただく。

(中川委員長)

- ・ それでは、本日の会議を終了する。

以上