

原子力発電所における
配管支持間隔の設定方法に関する会合

平成30年8月29日（水）

原子力規制委員会

原子力発電所における配管支持間隔の設定方法に関する会合
議事録

1. 日時

平成30年8月29日（水） 16:00～16:53

2. 場所

原子力規制委員会 13階A会議室

3. 出席者

原子力規制庁

山田 知穂 原子力規制部長
寒川 琢実 実用炉審査部門安全規制調整官
片野 孝幸 実用炉審査部門安全審査官
御器谷 俊之 実用炉審査部門安全審査官
寺野 印成 実用炉審査部門安全審査専門職
岩永 宏平 技術基盤課課長補佐
川内 英史 首席技術研究調査官

北海道電力株式会社

南保 光秀 原子力事業統括部原子力リスク管理グループ 担当課長
今村 瑞 原子力事業統括部原子力リスク管理グループ 担当

東北電力株式会社

飯田 純 原子力本部 原子力部 課長

東京電力ホールディングス株式会社

綿引 喜徳 原子力設備管理部 機器耐震技術グループマネージャ

中部電力株式会社

竹内 正孝 原子力部 設備設計グループ 課長

北陸電力株式会社

松田 徹 原子力本部 原子力部 原子力耐震技術チーム統括（課長）

関西電力株式会社

高木 宏彰 原子力事業本部 原子力技術部長
野元 滋子 原子力事業本部 原子力技術部門 プラント・保全技術グループ マネ
ジャー
石黒 崇三 原子力事業本部 原子力技術部門 プラント・保全技術グループ マネ
ジャー

中国電力株式会社

蔵増 真志 電源事業本部（原子力耐震） 担当係長

四国電力株式会社

黒川 肇一 執行役員 原子力本部 原子力部長
池田 和豊 原子力本部 原子力部 耐震設計グループリーダー
堀内 隆夫 原子力本部 原子力部 耐震設計グループ 副リーダー

九州電力株式会社

村山 晃 原子力発電本部 原子力技術支援担当部長
山下 隆徳 原子力発電本部 原子力工事G 課長

日本原子力発電株式会社

上屋 浩一 発電管理室 設備耐震Gr 副長

電源開発株式会社

梅岡 貴志 原子力技術部 設備技術室（設備耐震技術）総括マネージャー

日本原燃株式会社

大久保 哲朗 再処理事業部 エンジニアリングセンター 設計部 部長
佐川 貴人 再処理事業部 エンジニアリングセンター 設計部 安全解析G 課長

4. 議題

- (1) 原子力発電所における配管支持間隔の設定方法について
- (2) その他

5. 配布資料

資料1 原子力発電所における配管支持間隔の設定方法に係る論点について（回答）

6. 議事録

○山田部長 原子力規制庁の山田です。

それでは、時間になりましたので、第4回の原子力発電所における配管支持間隔の設定方法に係る会合について始めさせていただきたいと思います。

前回まで、この定ピッチスパン法の計算方法についての議論をいろいろさせていただきました。前回は、この定ピッチスパン法の計算方法、計算の中で使われているモデルについての議論をさせていただいて、それが十分保守的な計算方法になっているかどうかということについて議論をして、1つは定ピッチスパン法で計算するモデルの議論、それから、そのモデルを使つての応力の計算の方法についてということで、応力の計算のほうについては、定ピッチを定めた上で、その定ピッチで支持された配管で不連続な部分、曲管部分ですとか弁がついているところとか、そういったようなところについての応力の評価については、その条件に基づいて特別な方法をとって計算をしているということの御説明をいただいで、個別にどういうふうに配慮しているかについての詳細については議論をしておりますけれども、そういう考慮をするので、定ピッチを前提とした応力の評価はそれできちんとした評価ができますという御説明をいただいで、残る論点としては、定ピッチスパン法で使っているモデルが十分保守的なモデルになっているかどうかというところの議論で、片端支持・片端固定というモデルでは、同位相、逆位相、どちらのモードが出るんでしょうかという前回の議論では、同位相と逆位相と両方出ますと。じゃあ、どちらが支配的なんでしょうか。どちらが支配的なのかということ踏まえた上で、その応力の計算というのは十分保守的にできているんでしょうかというところの議論が最後まで残ったということで、今日はその部分についての議論をさせていただくということで資料を御準備いただいでいるというふうに理解をしております。ということをもつて前段として御説明をさせていただいた上で、今日、御用意いただいでいる資料について御説明をいただければと思います。よろしくお願ひします。

○関西電力（石黒マネジャー） 関西電力の石黒でございます。

本日は、この資料表紙に記載しております12社連名の資料として御説明申し上げます。本日の事業者からの資料は、この1つだけでございますので、こちらで説明させていただきます。

それでは、本資料、原子力発電所における配管支持間隔の設定方法に係る論点について（回答）にて御説明いたします。

1ページを御確認ください。本日の説明に至りました経緯について、第1回会合から簡単

に御説明いたします。

第1回会合が5月24日に開催されましたけれども、これは、第9回原子力規制委員会における議論に基づき、原子力規制庁殿より定ピッチスパン法を適用する配管設計について事業者の見解聴取の要請を受けたということがスタートになってございます。この論点については、下の箱にあります2つの論点であったというふうに認識してございます。箱の中の下線部にありますように、鉛直方向の地震力のピークも短周期側に避ける必要があるのではないかという点と、鉛直方向の応力は、簡易手法である定ピッチスパン法において適切に評価されているかの2点になります。これに対し、定ピッチスパン法が有する保守性である床応答スペクトルからの応答加速度算出の保守性、それと、応力評価の保守性について御説明をいたしまして、前者については御理解を得たというふうに認識してございます。

そして、これを踏まえて、第2回会合での論点といたしまして、規制庁より応力評価の保守性に関する7つの論点を提示いただきました。各論点については、次のページで記載させていただいております。

第3回の会合では、事業者より、これら7つの論点に対する回答を行いまして、応答加速度算出による保守性と応力評価の保守性がそれぞれ独立しているものであるという御説明をさせていただきました。この結果、実際の配管では逆位相モードが生じる場合における定ピッチスパンモデルの保守性を示すこととのコメントを受領いたしました。本日の第4回会合では、このいただいたコメントに対する回答を行うものでございます。

2ページを御確認お願いします。先ほど述べました本日までの経緯につきまして、それぞれの論点について、どの会合で議論をしたのかというのを表でまとめてございます。各論点を左側に並べておりまして、右側に、第1回から第4回までの間でどの論点をいつ提示いただきまして、事業者からいつ説明を行ったかということがわかるような整理としてございます。本日の第4回会合では、上から2段目の白抜きの発生モーメントの評価式の相違ということに関して、第3回会合でいただきましたコメントの回答を行うものでございます。

3ページを御確認ください。こちらは、今回会合の御説明の目的に関して御説明いたします。これまでの経緯を踏まえまして、今回は、第3回会合で受領したコメントである実際の配管で逆位相モードが生じる場合における定ピッチスパンモデルの保守性を示すことについて回答を行うということが目的でございます。下にフロー図がございましてけれども、

こちら、定ピッチスパン法に基づく配管設計全体の手順、これを示したものでございますが、これまでの会合でどのプロセスについて御指摘いただいたかということがわかるように記載させていただいております。今回の説明する内容は、そのうち白抜き部分でありませ直管部の設計地震力の算出とその応力評価に関する内容になってございます。本日、及びこれまでの御説明により、定ピッチスパン法による応力評価が実際の配管と比較して保守的な扱いになっているということがお示しできるのではないかとこのように考えてございます。

4ページ目、御確認をお願いします。今回の御説明内容について御説明いたします。まず、説明に当たっての事実関係の整理でございますけれども、定ピッチスパンのモデルの考え方ですが、定ピッチスパンモデル、これはスパン間隔が等間隔の2スパン3点支持モデルとして設定したものでございますので、地震による応答として逆位相モードは現れずに、同位相モードのみが現れるという形になります。このとき、中間の支持点の拘束条件としましては固定条件になりますので、応力の算定は片端固定/片端単純支持の1スパンモデルで表現されるということになります。一方、定ピッチスパン法で設計された実際の配管につきましては、3つ目の丸にありますように、標準支持間隔以下の支持間隔で配管サポートを敷設いたしますので、スパン間隔は長短があり、不等間隔というふうになりますので、地震による応答としては同位相モードだけではなくて、逆位相モードも生じるということになります。ここで実際の配管の仕様としまして、その下に3つほど事実関係を考慮してございますけれども、具体的には、スパン間隔は長短があり、不等であるということ。両端は固定と。間はUボルト支持の単純支持条件ということ。あと、配管の質量は分布質量であり、集中質量にはなっていないといったこと。この3点になります。このイメージを右側のほうの図で記載してございます。

これらの事実関係を踏まえまして、本日は、定ピッチスパン法で設計された実際の配管で逆位相モードが卓越する場合でも定ピッチスパンモデルが保守的であるということをお示しするものでございますけれども、その御説明に当たりましては、下の表に記載させていただいております2つの項目、こちらを説明するというところでございます。1つ目は、理論的な考え方に基づく定ピッチスパンモデルの応力評価の保守性について、2つ目としましては、実際の配管条件を考慮した不等ピッチモデルによる逆位相モードの影響検討についてでございます。

5ページ目を御確認ください。本ページでは、理論的な考え方に基づく定ピッチスパン

モデルの応力評価の保守性について御説明いたします。ここでは、実際の配管で逆位相モードが生じる場合と定ピッチスパンモデルの発生モーメントについて理論的に比較を行うということで、定ピッチスパンモデルの妥当性を示すというものでございます。表をちょっと御確認いただきたいんですけども、この表は、左側に設計と実際の配管それぞれについて書いていますけれども、振動モードのイメージ、それと、1スパンで発生するときのモーメントの図、それに基づく支持条件、あと質量分布というのを記載した上で、これらを考慮した場合の配管に作用する最大曲げモーメントというのを最後、右側に書いてあるという整理でございます。設計条件としましては、2スパン3点支持モデルで同位相モードで振動するということを考慮していますので、支持条件としましては片端支持の片端固定条件ということになりまして、最大曲げモーメントは、一番右にありますように、 $1/8wL^2$ というふうに表されます。このときの最大曲げモーメントが作用する箇所というのは、端部である固定部ということになります。

一方で、実際の配管の条件としましては、同位相モードと逆位相モードの両方が生じ得るということで、同位相モードの場合は両端固定支持条件となりまして、最大曲げモーメントとしましては $1/12wL^2$ と。逆位相モードの場合は両端支持条件になるということで、最大曲げモーメントは $1/8wL^2$ というふうになりますと。これらの値は、設計で考慮している最大曲げモーメントと比較した場合に、同じか、それより小さい値になっているということがわかるかと思えます。また、一番下の丸のところですね、文字で書いてあるところですけど、実際の配管では同位相モードと逆位相モードの両者の発生モーメントが各モードの距離と乗じた上で合成されるということですので、理論上、 $1/8wL^2$ 以下をとることになります。したがって、最大曲げモーメントは $1/8wL^2$ である定ピッチスパンモデルは実際の配管に対して保守的という形になります。こうした事実関係を踏まえまして、一番下の四角囲いにありますように、設計時に用いるモデルとして定ピッチスパンモデルは妥当であるというふうに考えてございます。

6ページのほう、御確認お願いします。本ページでは、実際の配管条件を考慮した不等ピッチモデルによる逆位相モードの影響検討について御説明いたします。まず、定ピッチスパン法で設計された実際の配管は標準支持間隔以下の支持間隔で配管サポートを敷設するということですので、スパン間隔は長短があり、不等になるということですので。この場合、不等スパンの条件によっては、地震による応答として逆位相モードが卓越すると。ですけども、前ページで御説明いたしましたように、実際の配管では同位相モードと逆位相モ

ードの両者が合成されるということから、発生モーメントは定ピッチスパンモデルよりも小さくなると。この点をもう少し詳しく書いているのが、この矢羽のところでした、実際の配管において最大応力点に着目して、その点周りを1スパンモデルと表す場合、固定/単純支持、もしくは固定/固定と。もしくは単純支持/単純支持のいずれかになると。これらの最大曲げモーメントは前のページでお示ししましたとおり、 $1/8wL^2$ 、 $1/12wL^2$ と。もしくは $1/8wL^2$ ということになりますので、理論的に定ピッチスパンモデルの固定/単純支持を上回ることはないということです。さらに実際の配管の挙動は複数モードの重ね合わせということで、上記3種類の発生モーメントが合成されるということです。定ピッチスパンモデルの発生モーメント、 $1/8wL^2$ ということを上回ることはない。以上の考えを隣接配管の影響も含めて定量的に確認するために、実際の配管を考慮して、さまざまな不等ピッチのケースについて応力を算出して、逆位相モードを考慮しても定ピッチスパンモデルの応力を超えないということを解析でもって確認してございます。

7ページを御確認お願いします。解析条件、これ表1に示しております。左端の列には地震条件というのを記載させていただいておりますけれども、ピーク振動数領域に配管の固有振動数があるということを模擬するために、地震条件というのは1Gフラットで設定させていただいております。また、解析モデルを図1に示しておりますけれども、不等ピッチモデル、下のほうの図ですけれども、 L_1 から L_5 のスパン長を定ピッチスパンモデルの標準支持間隔、 L_0 以下の範囲でパラスタを行うというふうに今回実施してございます。

8ページのほう、御確認お願いします。今回の解析における同位相モード、逆位相モードの整理について御説明するものです。本資料のここまでの説明では、支持点を挟む2つのスパンのモード形状、これが同じ方向を向いている場合は同位相モードと呼んでおりまして、逆に反対方向を向いている場合は逆位相モードというふうに呼んでございました。この場合、それぞれのモードの特徴といたしまして、同位相モードは支持部に最大応力が発生していると。それに対しまして、逆位相モードはスパン中央部、今後、スパン部と呼びますけれども、に最大応力が発生しているということです。一方、スパン間隔を変化させた場合の不等ピッチでさまざまなパターンについて応答解析というのを行いますと、一概に同位相モードか逆位相モードか判別しづらいようなケースも出てきているというのが実態でございます。下に図が載っていますけれども、これモード図ですけれども、このモード図だけを見て、同位相モードか逆位相モードかというのはなかなか判別が難しいのかなということもございまして、一番下の丸ですけれども、したがって、今回の解析に

においては、最大応力点が支持部にあるのか、それともスパン部にあるのかということに着目して整理をしてございます。

9ページのほう、御確認をお願いします。今回解析を行った不等ピッチのケースというのを表2に示してございます。このケースNo.1が定ピッチスパンモデルで、いわゆる2スパン3点支持モデルのものでございますが、ケース2から8が不等ピッチモデルということで、スパン長、これ α というふうに、 $\alpha \cdot L_0$ というふうに書かせていただいていますけれども、これを0.2から0.8まで変化させてパラスタをしてございます。その変化させた部分について、オレンジ色でハッチングしているという見せ方にしております。スパン長を変化させたスパン1の考え方としましては、ケース2と3につきましては、等ピッチと不等ピッチというものが交互に現れるケースとして選定、ケース4と5につきましては、1カ所だけ、真ん中だけが長いか短いということで、そういう特異なものがある場合のケースとして出しています。ケース6と7につきましては、5スパンなんですけれども、この左右が非対称となるケースというもので選んでございます。ケース8は、短いスパンに挟まれた標準支持間隔が連続してつながるといった場合にどうなるのかといったような物の見方で選んでいるということでございます。一番下の3行ですけれども、なお、実際の配管は曲がり部とか分岐部というのが存在して、3次元的に敷設されているわけなんですけれども、定ピッチスパン法では、曲がり部等に対しまして低減係数というのをを用いて、直管部の標準支持間隔よりも短く、応力としても小さく出るような設計手法をとってございますので、曲がり部等の影響というのは直管部を短くすることと等しいというふうに考えてございまして、そういった影響については不等ピッチの今回のパラスタの範囲に含まれるというふうに考えてございます。

10ページのほう、確認をお願いします。こちらは、定ピッチスパンのモデルの評価結果というのを表に示したものでございます。表に示しておりますとおり、全モードを合成した発生応力値というのは7.6MPaという値になってございます。

11ページ、こちらからが本題になるんですけれども、本ページより各不等ピッチのモデルにおける評価結果というのを順に示していくという形になります。

まず、ページの構成について御説明いたします。ページの右上のほうの表にスパン長、これは α が0.2~0.8まで変化させたときのスパン、変化させているスパンというのをオレンジ色に着色するふうに示してございまして、各 α の値、0.2とか0.4とかの α の値において、最大応力が発生した位置が支持部かスパン部かというのをその右に記載させていただ

いております。

ページ中央左から真ん中にかけて、各 α の条件における1次から5次までの振動モード図というのを示しております。その下のほうの表には、固有振動数と発生応力、それと、全てのモードを合成した場合の発生応力というのを示してございます。なお、発生応力のセルを青、またピンクと、赤というふうに着色しておりますけれども、これは当該の応力が支持部で発生した場合を青と、スパン部で発生した場合を赤色というふうな色分けをしてございます。また、モード図に記載しております赤とか青の点がございしますが、これは、各不等間隔において最大応力が発生した場所というのを示しているものです。最大応力がスパン部で発生した場合は赤い点になって、支持部で発生した場合は青い点という示し方をしてございます。

さらに、ページの中央右側のほうに少しモード図を大きく描いているものがございしますが、これは、各 α の条件において最大応力が発生した、例えばこの場合ですと、 α の0.6が一番大きな発生応力となっているんですけども、その全モードを合成した発生応力値が最大となったもの、これを振動モード図において赤枠で囲っているということなんですけれども、その振動性状について考察をするというような構成としてございます。

このようなページ構成を踏まえまして、本ページに示しておりますNo.2の評価結果について簡単に説明いたします。まず、最大応力点の位置は α が0.2の場合のみが支持部、青の支持部で、モード図になっておりますけれども、その他の場合はスパン部という結果になりました。発生応力については表に示しておりますとおり、全てのモードを合成した発生応力値、これが最大となった $\alpha=0.6$ のケースでも5.5MPaというふうになっておりまして、先ほど、お見せしました定ピッチモデルの発生応力の7.6MPaよりも小さな値というふうになってございます。また、モード図のところで赤枠で囲っております最大応力が発生した条件、こちら最大応力が生じている、右側の図ですけれども、 L_2 のスパンのところでも最大応力が出てきているんですけども、その両隣の L_1 と L_3 というのは支持部を挟んで逆方向に応答しているということですので、 L_2 の部分単体で見たときには、単純支持/単純支持の1スパンモデルに近い挙動を示すのかなというふうに考えてございます。この場合、理論式上は定ピッチスパンモデルの固定/単純支持と同じ発生応力という形になるんですけども、隣接するスパンが逆方向に応答するというので、応答が少しキャンセルされて、発生応力は定ピッチスパンモデルよりも若干小さい応答になったというふうに考えてございます。

残りのケースにつきましても同様の構成となっておりますので、次のページからはざっとかいつまんで御説明したいというふうに考えてございます。

12ページのほう、御確認をお願いします。こちらはケース3ということで、 L_2 と L_4 のところを短くしていくというものでございます。まず、最大応力点の位置というのが、この α が0.2と0.4と0.8、これ振動モード図見ていただくと、青い箇所になっているのが0.2と0.4と0.8になってまして、この α が0.6のときだけがスパン部に最大発生応力が出ているという形になっています。発生応力につきましては、 α 、0.4のときが6.4MPaということで一番大きな数字になっているんですけども、定ピッチスパンモデルの7.6MPaよりも小さい値ということが見てわかるかと思えます。

次、13ページを御確認ください。こちらはケース4ということで、真ん中の L_3 だけがどんどん短くしていくというケースでございます。これの最大応力点の位置といいますのは、いずれのケースも支持部のところで最大応力が出るという結果になっております。発生応力につきましては、 $\alpha=0.6$ のところで最大7.2MPaというのが出てきているんですけども、やはり定ピッチスパンモデルの7.6MPaよりかは小さい値になっているというのがわかるかと思えます。

続きまして、14ページ、御確認をお願いします。こちらはケース5なんですけれども、真ん中だけが最大支持間隔で、残り4つ、周りのスパンをどんどん短くしていくというパターンなんですけれども、こちらにつきましては、最大応力点というのは、いずれのケースにおいても一番中央部のところのスパン部のところで最大応力が出るという結果になってございます。発生応力につきましては、 $\alpha=0.2$ というところで5.7MPa、これが最大の値ということでございまして、定ピッチスパンモデルの発生応力よりもやはり小さいという結果になってございます。

15ページのほう、御確認をお願いします。こちらケースNo.6の評価結果ということで、 L_1 と L_3 のところのスパンをどんどん短くしていくということをした場合の結果になります。最大応力点につきましては、いずれのケースも支持部で出ているという形になります。発生応力につきましては、 $\alpha=0.6$ のときに最大で6.4MPaというふうになっているんですけども、これも定ピッチモデルよりも小さい値という形になってございます。

次、16ページでございます。これはケース7ということで、 L_2 と L_3 の部分のスパンをどんどん短くしていくというケースですけれども、最大応力点につきましては、一番右側の端部のところ、支持部のところで最大応力点が出ているという結果でございます。発生応

力につきましても、一番右側の $\alpha=0.8$ のところでは7.0MPaということで、7.6MPaよりも小さい値という形になってございます。

続きまして、17ページを御確認をお願いします。こちらケースNo.8ということで、両端、 L_1 と L_5 のところのスペンをどんどん短くしていくというパターンですが、このときの最大応力点というのはいずれも支持部という結果になってございます。発生応力につきましても、 $\alpha=0.4$ のときに6.6MPaということで、定ピッチスペンモデルの発生応力である7.6MPaよりも小さな値というふうになってございます。

続きまして、18ページのほう、御確認をお願いします。先ほどまでちょっとつらつらといろんなケースについて簡単にちょっとざっと御説明したわけなんですけれども、このパラスタのまとめというものを記載したページでございます。各ケースの発生応力と定ピッチスペンモデルの発生応力との比較、これをグラフで示したものです。グラフの縦軸というのを発生応力の値として、各ケースの合計応力といったものを棒グラフで示した形になってございます。一番左のところは黄色い棒になっているんですけれども、こちらがいわゆる定ピッチスペンモデルの7.6MPaの値ということで、各ケースの青い棒グラフ、こちらは最大応力が支持部で生じる場合、赤いグラフというのが最大応力がスペン部で出ている場合というふうに色分けをしてございます。グラフから確認いただけますとおり、一応全てのケースにおきまして実機を考慮した不等ピッチモデルによる発生応力というのは定ピッチスペンモデルによる発生応力というのを下回っているということで、定ピッチスペンモデルはやはり保守的な結果であるというふうになってございます。

19ページのほう、御確認をお願いします。これまで説明いたしました内容のまとめを記載したものでございます。読み上げる格好になりますけれども、今回の会合では、実際の配管で逆位相モードが発生する場合、すなわちスペン部に最大応力点が発生する場合における定ピッチスペンモデルの保守性について、理論的な考え方に基づく定ピッチスペンモデルの応力評価の保守性、こちらと実際の配管条件を考慮した不等ピッチによる逆位相モードの影響検討の2点について御説明いたしました。本日の御説明により、第2回会合で規制庁殿より御指摘いただきました応力評価の保守性に関する7項目の論点を含めまして、定ピッチスペン法による応力評価が実際の配管と比較して保守的な扱いになっているということがお示しできたと思っております。これによって定ピッチスペン法における床応答スペクトルからの応答加速度算出、応力評価の両面においてそれぞれが独立した保守性を有しており、これまで実績のある定ピッチスペン法の手法が保守性を有するということが確

認できました。以上により、定ピッチスパン法を適用した配管支持間隔の設定に当たっては、最も大きいピーク振動数領域を短周期側に避けた上で、配管に発生する応力が許容応力を超えないということを確認することで、必要な耐震性が確保されるというふうに考えてございます。

説明は以上になります。

○山田部長 どうもありがとうございました。

それじゃあ、質問、コメントあれば、お願いします。

○片野審査官 すみません、原子力規制庁の片野でございます。

計算結果の見方をちょっと確認させていただきたいんですが、例えば11ページ以降、計算の結果をつけていただいていると思います。ここで、後ろのページ以降もそうなんですけど、例えば11ページのところで、 α 、0.2とか見ていきますと、次数、1、2、3、4、5とあって、 σ の応力のところを見ると、ゼロとなっているところもありまして、ただ、モードを見ると、モードが出ているようにも見えるところがあるんですけど、ここがゼロになるというのはどういうふうに理解をしたらよろしいでしょうか。

○関西電力（石黒マネジャー） 関西電力の石黒でございます。

こちらが振動数はあるんだけど、応力がゼロになっているといたしますのは、これは刺激係数自身がゼロになっているということを示してございまして、地震による外力では、この応力というのはいもう出ないと、そういう振動モードそのものが計算上は出るんですけど、実際は発生していないというような状態を表すということでございます。これは、2スパン3点支持モデルで偶数モード、奇数モードみたいな話を以前あったかと思うんですけども、この奇数モードで計算されない、地震による外力では出てこないといっているものと同じ部類の計算結果ということでございます。

○片野審査官 ありがとうございます。

それと、ここ刺激係数の関係で、応力としてはモードによっては出てこないところもあると。これを全部合成したものが5.5なり、その数字として書いていただいているということで理解いたしました。

○山田部長 ほか。

ちょっとすぐ出てこないようなので、私のほうから、まず、今日の御説明の考え方を確認させていただきたいと思うんですけども、4ページ目の下のところに、今日の御説明項目ということで2項目御説明をいただいたというふうに思っています。それで、この2つ

の項目の関係ですけれども、まず1で、ある意味、理論的な説明として、逆位相モードと同位相モードのどちらが卓越するんですかという議論をするに当たって、その合成が出るはずですよ。どちらかの極端に寄せたときということで、同位相モードが出たとしても、片端固定/片端支持よりも発生する応力は小さいということが理論的に導かれますよ。それを具体的に計算してみた例として、2ポツで幾つかパラメータスタディーをした結果、パラメータスタディーをした範囲の中で理論的に示されているものがやはりそうなるということが、例をもって実証するというのはちょっと変なので、確かにそうなっていますねということが説明できる材料を幾つか用意していただいたと。そういうふうに理解をしていますが、それでよろしいでしょうか。

○関西電力（石黒マネジャー） 関西電力の石黒でございます。

御理解のとおりでございます。ちょっと1点だけ補足をさせていただきますと、この5ページのところで、この理論的な考え方に基づく保守性というところですが、こちらは参考というところで、参考だったので、先ほどはちょっと御説明を割愛させていただいたんですけれども、第2回の会合で規制庁殿より御指摘いただいた内容というのがこの参考でございます、このときの条件として、両端の単純支持の集中質量を一つ真ん中に置くと。この場合の最大曲げモーメントというのは計算上、 $1/4wL^2$ になるということで、定ピッチスパンモデルの算出されている $1/8$ のものよりも大きくなるといったような御指摘を実はいただいていたというところもありまして、理論的なところというところを御説明するに当たっては、実際の配管の質量分布であるとか、支持条件といったところを考えると、実際の配管に比べて理論的にも応力が大きく出るように設計がなされているということの御説明をしたかったということで、パラスタにつきましては、おっしゃるとおりというところがございます。

○山田部長 ありがとうございます。そこのところをちょっと伺おうと思っていた、次に確認したいと思っていたんですけれども、参考のところでは我々のほうから示させていただいたこのモデルについて、そのときに書いた式がそもそもちょっと間違えていたというのは、この wL^2 じゃなくて、これ本当は W 掛ける L なんですね、集中質量なので。ですから、ここも wL^2 じゃなくて、 W の L というのは本来正しかったのは、我々が示したやつが間違っていたのでということですね。我々がこれを示したのは、耐震実証試験とかのいろんな評価をしている中で議論されているところで、より保守的なモデルとしてこういうのが考慮をされていたということで、これが限界としての一番保守的なものじゃないかということ

で示させていただいていたんですけれども、今回の御説明は、集中質量じゃなくて、そもそも現実に近い分布質量ですということを前提にして、保守性がありますという、そういう御説明だということで、従来いろいろ議論していたところから、今回の御説明は、そこが違っているという理解でよろしいですか。

○関西電力（石黒マネジャー） 関西電力の石黒でございます。

今、山田部長おっしゃっていただきましたとおり、この集中質量のあるこのモデルというのは、耐震実証試験から保守的に見ているということでございます。今回、我々が分布質量で出させていただいている理由といたしましては、定ピッチスパンモデルがそもそも分布質量だからというところもあるんですけれども、この集中マスでやっている実証試験との対比で保守性があるとされているものというのは、設計でもそうなんですけれども、サポートの振動数というのを剛に見立てて応答解析をしているということなんですけれども、この定ピッチスパンモデルにつきましては、集中質量ではなくて、分布質量にはしているんですけれども、サポートの振動数といったものには剛性を与えて、20Hzという、この場合は20Hzなんですけれども、というものを与えて、保守性と、保守性といいますか、実際の配管サポート系というのを模擬しているというところで、実際の配管というものに対してアプローチの仕方が少し異なるというようなイメージでございますけれども、いずれにしても、実際の配管よりも保守的な扱いにしていると。だから、モデル化の考え方というのは若干両者で異なっているだけども、実際の配管よりかは保守的ということを説明したいという形、その説明内容になっているということでございます。

○山田部長 すみません、ちょっと意味よくとり切れていないのかもしれないんですけれども、今日御説明いただいている実際の配管という、このモデルも実際の配管よりは保守的ですかということをおっしゃっているのでしょうか。

○関西電力（野元マネジャー） 関西電力、野元でございます。

ここで実際の配管と書いているのは、実際の配管で起きるモードが同位相、逆位相の合成であるということをお示しするために、実際の配管という書き方をしているものになっています。先ほどちょっと石黒が申し上げましたのは、参考を書いてあるNRA御指摘モデルで発生するモーメントの集中質量のこのモデル、これは確かにこれまで3次元はりモデルで採用されてきた体系であって、これが実証試験で保守的に評価できるということが示されてきたものなので、この実証試験との比較という観点では、これをベースにするのではないかとといったような前回の議論があって、それとはちょっと違う体系といいますか、

定ピッチスパンは体系の話をしているということを申し上げてまして、前回も御説明差し上げた内容なんですけれども、この定ピッチスパンモデルに関しまして、この定ピッチスパンモデルで設計した配管に対しての振動試験というのは行って、保守的に出せるものであると。設計手法が非常に保守的であるということは前回お示したところでございまして、そういう意味で別々の設計手法に対して、別々に試験で検証はされているので、その2つをどちらがどうということを一律に並べて論じることはちょっと難しいとは思いますが、今回は定ピッチスパン法の保守性という中での議論とさせていただきたいということで、このような示し方をさせていただいたということでございます。

○山田部長 ありがとうございます。それは前回、この実際の配管と言われているこちらの分布質量の場合の実証試験をやられた結果というのは御説明をいただいた、よく理解をしているんですけど、そこでの実証試験と計算との関係の御説明は今日していただいているので、我々としては、前回議論させていただいたのは、この参考で示されているモデルと実証試験との関係での保守性は確認されているものとして、それと同じようなものは示されませんかという議論をさせていただいて、実験の結果示すのは今回は控えられて、この理論的なところだけの御説明だったというふうに理解をしています。それはおかしくないですね。

○関西電力（野元マネジャー） 御認識のとおりで、おっしゃっていたように、前回、試験の結果で示せないかというお話もありましたけれども、試験の結果として、ちょっと我々が持っているデータから応力まで落とし込んだお示しの仕方というのがちょっと残っているデータからは難しいということがございましたので、今回こういう形で理論的な話と、それから解析的な話で、少し机上検討という形でお示しさせていただいたということでございます。

○山田部長 ということは、この参考のところまで議論されているところまでの議論はしていないけれども、今回ここで示されていることは、一応理論的にこうなっているということと、それから、パラメータスタディーで示していただいているものをもってして御説明をされているという、そういう理解をさせていただきたいと思います。それでよろしいですか。

○関西電力（野元マネジャー） 関西電力、野元でございます。

そのとおりでございます。

○山田部長 それで、次の点で、パラメータスタディーで計算をしていただいた計算例

についてなんですけれども、この計算で出てきている応力の計算方法との関係で、多分面談でこちらのほうからお話をさせていただいていたアメリカのNRCのRegulatory Guideで、スペクトルモーダル法を使う際のSRSSの使い方についていろいろ考慮しなきゃいけないということが示されているということを今回の計算の中でどういうふうに考慮されているのかということ、これはもう既に最初のところの理論的にこうですというところで議論は、大半は終わっているのかもしれないんですけども、この実例を示させていただいているこの計算はこれでしっかりとしたものになっていますということを確認させていただきたいという意味で、Regulatory Guideに書いてあるものとの関係で、この計算式どういうふうに考慮されているのか、御説明いただけませんか。

○関西電力（石黒マネジャー） 関西電力の石黒でございます。

まず、今回のパラスタで合計応力を求めるというのは、括弧してSRSSというふうに書いていますように、SRSSを用いております。このSRSSによるモード合成といいますのはJEAG4601-1987等に規定された手法でございますして、日本のこれまでの機器配管系の設計では採用されてきたという手法であるということがまずありまして、今回のパラスタでもSRSSを採用しております。SRSS自体は、それぞれの振動モードというのが互いに独立であるという場合に非常によく一致するというか、妥当であるということが理論上確認されているというものでございます。逆に、2つ以上のモードの固有振動数がすごく近接していると、近いといった場合、振動モードが互いに独立でないといったような場合におきましては、この場合は振動モードが互いに影響し合うというようなことございまして、SRSSよりも若干大きな値になったりとか、逆に小さな値になったりといったような現象が出てくると、計算が出てくるということです。

一方、先ほど言いました近接するモード、近接モードなんですけれども、この建物のような3次元の構造で、なおかつ対称性を有するようなもの、こういった構造物で、重心位置が中心よりも若干ずれているといったような場合に影響があるといったような報告が80年代の前半ぐらいにはもう出てたんですけども、この配管につきましては、もともと長尺物といいますか、もう長いものでございまして、基本的には非対称になっていて、近接モードの影響というのは構造としては生じにくいものだというふうに我々は考えているということです。

それと、今回のお示ししているパラスタにつきましては、SRSSではやっているんですけども、今回のパラスタに用いたモデルというのは直管モデルということで、先ほど話し

しました3次元モデルではないので、構造的にはそういった近接モードの影響というのは出にくい構造なのかなと。特に、この直管部というのは、そういうものかなというふうに考えております。とはいいまして、今回お示ししたケースというのは、もう振動数も今回示させていただいていますし、各ケース、各スパン長というもののモード間で振動数がどの程度離れているのかなというのにはちょっと確認させていただいております。パラスタ自体はケース2からケース8までで、7ケースで、 α が0.2~0.4ケースあるので、全部で28ケースのパラスタなんですけれども、そのうち19ケースというのが最大応力の出ているモードに着目したときに、その周りに10%以上振動数が離れているというところは確認してございます。そういったところについて近接モードはないだろうというふうに考えておりました、残りの9ケースにつきましては、最大応力見ると、その周りのモードで発生している応力値というのは小さいというところは確認しています。なんですけれども、一応その中でも最も影響が大きいものをちょっと抽出してきまして、この近接モードの相関を考慮した計算というのもちょうと内々ではちょっとさせていただきまして、その場合でも、定ピッチスパンの7.6MPaを超えるということはもう全然なくて、若干でっこみ引っ込みがあるのは確認したんですけれども、その事業者の出している結論が変わるようなものでは全然ないというところは確認しております、そういったことから、今回、SRSSで出させていただいていること自体はこれで問題ないのかなというふうに考えているといったところでございます。

○山田部長 御説明ありがとうございます。今の御説明は、Regulatory Guideに書いてある、いわゆるコリレーション（相関）の係数は小さい、ここで、この配管で計算している場合については、コリレーションの係数が小さいということと。3次元の構造物のような場合についてコリレーションは大きく出る可能性もあるけれども、今回計算している配管についてコリレーションは小さいし、確認していただいたところ、近接モードというのもそれなりに離れているということだったというふうに理解をいたしましたけど、それはそれでよろしいですか。

○関西電力（石黒マネジャー） 一部ちょっと先ほどお話ししたものと、すみません、関西電力の石黒でございます。

先ほどのちょっとだけ繰り返しになるかもしれませんが、先ほど、一応10%で振動数比を見ているということで、これ減衰にも影響してくる話ではあるんですけれども、10%離れていれば、先ほどおっしゃっていただきました、コリレーションはないというふ

うに見ていいでしょうと。残りの10%を切る、もうより近接したところにつきましては、実際に数字を見ていくというか、影響があるものというふうに仮定して、実際に計算をして、その数字の大小関係といいますか、出てきた発生応力値というのを見た上で、その大きさ、その程度が小さいということを確認させていただいたということでございます。

○山田部長 わかりました。ありがとうございました。そちらで確認をされたという計算の結果、今日、ここで見せていただいて確認するということはいたしませんけれども、いずれにしても、この5ページ目のところで書いていただいている同位相モードと逆位相モードのこの間にありますというところの、逆位相モードのほうに上ぶれをしたとしても、逆位相モードのところまでしか上ぶれはしないということがここで示していただいていることだと思いますので、今回、モデル計算していただいている計算結果について多少上ぶれするとしても、上限はここまででバウンディングされているというふうに理解をしたいと思います。

ちょっと今までの議論で、こちらのほうから何かさらに確認しておきたいというふうなことがありますか。大丈夫ですか。

それじゃあ、一応今日の御説明については、今、議論させていただいたようなところで我々としての理解は進んだというふうに思っております。

それで、ちょっと最後に一言だけなんですけど、まとめのところで書いていただいている2つ目のポツのところで、我々から示した7項目の論点を含めて、保守的な扱いになっていることは示されたというふうにまとめていただいているんですけども、最初のところでちょっと申し上げたとおり、不連続部についての応力の考慮というところは、我々の理解としては、従来の工認のところでしっかり説明をしていただいているところと、方針だけをお聞きをされていて、中身を必ずしも十分議論しているかどうか、もちろんやっておられることはやっておられるので、それをちゃんと聞いているかどうかだけの話かもしれませんが、そういうところは今回のこの会合の中では確認をしておりませんが、方針として、そういう部分については応力の計算の際にちゃんと配慮した上で応力を低減させ、低減じゃないのか、大きめになるように、応力の発生が大きめになるようにしっかり評価した上で、制限値の中に入るように考慮する方針をしっかりととっていますということで、それが成立しているという前提で保守性は確保されているというふうに我々としては理解をしておりますので、ちょっとそこのところだけこのまとめのところでコメントをさせていただきたいと思います。

何かレスポンスあれば。

○関西電力（高木部長） よろしいですか。

すみません、5月24日から4回意見聞いていただけるということで、しっかり聞いていただきましてありがとうございました。ちょっとやっぱりこれまでの説明の中で、一応我々としては説明しているつもりでいたんですけども、十分説明できていなかったところを今回できるだけ御理解いただけるようにということで、かみ砕いて説明させていただきました。こういういい機会を設けてもらったんですけども、やっぱり今後ともこういうところについて誤解のないように丁寧に説明させていただきたいと思いますので、繰り返しになりますけど、どうもありがとうございましたということでございます。

以上です。

○山田部長 今後ともこういう技術的な議論はぜひさせていただきたいと思っています。

それで、今後については、今日これまでのところでいろいろ議論させていただいた中で、我々で理解をさせていただいたところについては、委員会で課題を提示して、こういう議論を始めさせていただいたので、今日まで理解をさせていただいたところについては、まとめた上で委員会に報告をした上で、最終的に結論を確定させるということにさせていただきたいと思っております。

○関西電力（高木部長） 関西電力の高木です。

承知いたしました。

○山田部長 ほかに何か御発言ございますでしょうか。よろしいですか。そちらからも何かございますか。よろしいですか。わかりました。

4回にわたって活発に議論をさせていただいて大変ありがとうございました。

では、これで定ピッチスパン法に関する会合を終了させていただきます。どうもありがとうございました。