

岩盤部分の減衰定数の設定に係る今後の検討内容

1. 目的

入力地震動の算定に用いる地盤モデルの設定において考慮する、岩盤部分（解放基盤表面～建屋基礎底面レベル相当）の減衰定数を適切に評価する。

本資料においては、岩盤部分の減衰定数について、これまでの審査を踏まえて必要な説明事項及び設定方針を示し、これに従って必要なデータ整理及び検討の方針を示す。

2. 6/20 審査会合における説明内容及び今後の説明事項

6/20 審査会合においては、一般的・標準的な手法として、JEAG4601-1987 において三軸圧縮試験による方法、S波検層による方法、地震観測記録による方法の3つが示されていることから、これらの手法に基づく検討結果について説明した。

また、6/20 審査会合での説明時点においては、岩盤部分の減衰定数については検討中であり、JEAG に示される手法に基づく検討を、データ拡充も含めて尽くした上で再度説明することとしている。

表 これまでの説明内容及び今後の説明

| JEAG4601-1987 に示される手法 | 根拠データ | 6/20 審査会合での説明内容 | 今後説明する内容 (ヒアリング等での指摘事項を踏まえた対応) |
|-----------------------|------------------------------------|--|---|
| 三軸圧縮試験による方法 | 三軸圧縮試験に基づくひずみ依存特性 (h- γ 曲線) | <ul style="list-style-type: none"> 許可にて整理済みである旨を説明。 Ss 地震時の地盤のひずみ量に対する材料減衰の値を示した上で、非線形性を考慮した場合はさらに減衰定数が大きくなることを説明。 | <ul style="list-style-type: none"> 評価方法の JEAG に示される知見等との整合性の観点や、ひずみ依存特性を設定する上でのデータの十分性についての考察を行う。 |
| S波検層による方法 | 敷地内 3 地点における S 波検層結果 | <ul style="list-style-type: none"> 敷地内 3 地点におけるデータに基づけば、ターゲットレンジの低周波数側で約 4% (中央)、約 6% (西側)、20%以上 (東側、ばらつき大) の結果が得られていることを説明。 | <ul style="list-style-type: none"> 現時点において敷地内で得られているデータは中央、西側、東側地盤の各 1 地点ずつ計 3 地点のみであることから、さらなる確度の向上のために、データ拡充が必要。 |
| 地震観測記録による方法 | 敷地内の地震観測記録 | <ul style="list-style-type: none"> 伝達関数 (周波数依存無し) により算定した減衰定数として、6.7% (中央)、6.3% (西側)、5.9% (東側) の減衰定数が得られていることを説明。 上記減衰定数による応答スペクトルによる確認として、2011 年東北地方太平洋沖地震による地震観測記録と概ね同等又は大きな地盤応答を与えることを説明。 | <ul style="list-style-type: none"> 地震観測記録による方法を更に多角的な検討により深掘りし、左記評価結果との比較結果に基づく考察を行う。 |

3. 岩盤部分の減衰定数の設定方針

○一般的・標準的な手法に基づく評価結果に基づき設定する。

⇒JEAG4601-1987 に示される手法に従い評価する。

- a. 三軸圧縮試験による方法
- b. S 波検層による方法
- c. 地震観測記録による方法

⇒他サイトにおける評価手法についても参照する。

上記手法による評価を行う上では、以下①～③の内容に留意する。

①敷地における地下構造の特徴を適切に反映する。

- ・敷地地下の地質構造や速度構造の特徴、実現象との整合性の観点で評価を行う。

②基準地震動 S_s が増大したことを踏まえた影響を適切に反映する。

- ・減衰定数の非線形性（ひずみ依存特性 $h-\gamma$ ）を適切に評価する。
- ・その上で、減衰定数の設定において S_s 地震時の地盤のひずみ量を踏まえて非線形性の考慮要否を適切に判断する。

③最新のデータを用いて評価する。

- ・敷地において得られている最新の地震観測記録・ボーリング調査結果を用いる。
- ・建物・構築物が広範囲に拡がりを持って配置されるサイトであることや敷地内の地下構造の特徴を踏まえ、十分な量のデータを用いる。

4. 他サイトにおける減衰定数の評価に係る実績の整理

下表に示すとおり、これまでの新規制基準における各社地下構造に係る審査における、各サイトの減衰定数の設定実績を整理した。参照したサイトは、至近に審査会合が行われている玄海 3, 4 号に加え、当社敷地との類似性を踏まえ、地下構造の特徴として軟岩を主体としているサイト（東海第二及び大間サイト）とした。

表 地盤の減衰定数の設定に係る審査実績

| プラント名 | JEAG4601-1987 に示される手法 | 検討手法 | 備考 |
|------------|--------------------------|---|---|
| 玄海 3, 4 号 | 地震観測記録を用いた手法 | 伝達関数（周波数依存型）による検討 | ・当社安全審査にて示したはぎとり地盤モデルと同様の考え方。 |
| | | 伝達関数（バイリニア型）による検討 | ・当社安全審査にて示した深部地盤モデルにて同様の検討実績あり。 |
| | | 地震波干渉法による検討 | ・速度構造モデルを用いずに地盤減衰を推定可能な手法。 |
| | | 応答スペクトルによる確認 | ・上記 3 手法に基づき設定した減衰定数を用いた地盤応答の地震観測記録との整合性確認。 |
| | 伝達関数による確認 | ・伝達関数による検討結果における理論値と観測値の比較に基づく考察。 | |
| S 波検層による方法 | ボーリング孔内減衰測定による検討 | ・地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施。 | |
| | | ・構内 3 地点にて実施。 | |
| その他 | 速度層断面による検討 | ・地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施。 | |
| | 岩石コアを用いた減衰測定による確認 | ・最深部地震計以浅と以深で速度構造及び材料減衰が変わらないことを確認。 | |
| 東海第二 | 地震観測記録を用いた手法 | 伝達関数（周波数依存型）による検討 | ・当社安全審査にて示したはぎとり地盤モデルと同様の考え方。 ・解放基盤表面以浅における減衰定数の設定に使用。 |
| | S 波検層による方法 | 深部ボーリングによる減衰定数の測定結果 | ・最深部地震計以深の解放基盤表面以深における減衰定数の設定に使用。 |
| 大間 | 地震観測記録を用いた手法 | 伝達関数（周波数依存型）による検討 | ・当社安全審査にて示したはぎとり地盤モデルと同様の考え方。 |
| | | 伝達関数（バイリニア型）による検討 | ・統計的グリーン関数法による地震動評価に用いる深部地盤モデル（解放基盤以深）の設定に使用。 |
| | S 波検層による方法 | 深部ボーリングによる減衰定数の測定結果 | ・深部地盤モデル（解放基盤以深）において設定している各層における Q 値の確認として実施。 |

5. 今後の検討内容

1. ～ 4. を踏まえ、今後実施する検討内容を次頁表のとおり整理した。これらの検討結果に対して考察を行った上で、入力地震動の算定に用いる減衰定数の設定について説明する。

なお、検討の進捗により、適宜追加または変更を行う。

表 当社における今後の検討方針

| 手法 | 検討手法 | 実施サイト | 3. に示した留意事項との対応 | これまでの当社実施状況 | 今後の検討内容 | |
|---------------------|-------------------|-------------------|---|--|---|---|
| JEAG4601-1987に基づく方法 | 三軸圧縮試験による方法 | — | ①敷地に分布する岩種ごとの試験結果に基づき評価することで敷地地下の地質構造や速度構造の特徴を反映。 ②岩種ごとのひずみ依存特性 (h-γ) として、非線形性を考慮可能。 ③地盤モデルに考慮する岩種を網羅的に評価する必要がある。 | 事業許可にて地盤モデルに考慮する岩種を網羅的に評価 | ・評価方法の JEAG に示される知見等との整合性の観点や、ひずみ依存特性を設定する上でのデータの十分性についての考察を行う。 | |
| | S波検層による方法 | ボーリング孔内減衰測定による検討 | 玄海 3, 4 号 東海第二 大間 | ①敷地における各位置のボーリング調査における原位置試験により敷地地下の地質構造や速度構造の特徴を反映。 ②加振時の振幅が小さいため、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③敷地内において十分な量のデータに基づいて検討を行う必要がある。 | 実施 (敷地内 3 地点) | ・施設の固有振動数よりも高振動数側をターゲットとした評価ではあるが、1～3 の手法により評価した減衰定数の妥当性を補完・補強する位置づけで測定結果を確認する。 ・確認にあたっては、測定結果に見られる周波数依存特性の特徴を踏まえ、施設の固有振動数帯における減衰定数との関係性について考察を行う。 ・ただし、留意事項③に照らし、現時点において敷地内で得られているデータは中央、西側、東側地盤の各 1 地点ずつ計 3 地点のみであることから、さらなる確度の向上のために、データの拡充を行う。(ボーリング調査位置及び数量については検討中) |
| | 地震観測記録による方法 | 伝達関数(周波数依存型)による検討 | 玄海 3, 4 号 東海第二 大間 | ①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。 | 実施 (事業許可におけるはぎとり地盤モデル) | ・事業許可におけるはぎとり地盤モデルを作成する際に、周波数依存型の減衰定数を考慮し、実現象をよく説明する地盤モデルとして作成済み。 ・ただし、はぎとり地盤モデルは、留意事項③に照らし、西側、東側地盤において用いている地震観測記録が現時点において最新ではない(地震観測位置の移設(2008年)後の情報は含まれていない)との課題があることから、最新の地震観測記録を用いた評価を今回改めて実施する必要があると判断。 |
| | | 伝達関数(バイリニア型)による検討 | 玄海 3, 4 号 大間 | ①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。 | 解放基盤表面～建屋基礎底面部分について未実施 (事業許可における深部地盤モデル(解放基盤表面以深で適用実績あり)) | ・事業許可における深部地盤モデルを作成する際に、解放基盤表面～地震基盤までの増幅特性を考慮するための地盤モデルとして、バイリニア型の減衰定数を設定した実績がある。 ・ただし、解放基盤表面～建屋基礎底面の岩盤部分については本条件での評価は実施していないことから、上記周波数依存型及びこれまで説明している周波数依存性無しの条件に加え、さらに多角的な検討を行う観点で、今回実施する必要があると判断。 |
| | | 地震波干渉法による検討 | 玄海 3, 4 号 | ①敷地において得られている地震観測記録により評価することで、実現象との整合性を考慮。 施設の固有振動数に近い帯域をターゲットとして評価可能。 ②地震観測記録が小さい場合、線形状態における減衰定数を評価することとなる。 ③最新の地震観測記録を用いる必要がある。 | 未実施 | ・他サイトにて実績はあるが、敷地においてこれまで未実施であったことから、速度構造の仮定によらず減衰定数を評価可能な手法として、新規に実施する必要があると判断。 ・鉛直アレー観測記録に Fukushima et al. (2016) に基づく地震波干渉法を適用し、評価を実施する。 |
| | | 伝達関数による確認 | 玄海 3, 4 号 | 減衰定数の評価ではなく、地震観測記録を用いて評価した値に対しての実現象との整合性の観点での考察に該当。 | 地震観測記録による伝達関数による検討及び地震波干渉法による結果に対する考察 | ・上記 3 手法により評価した減衰定数について、実現象との整合性を確認するために、観測記録による伝達関数と評価した減衰定数に基づく伝達関数の比較結果を踏まえた考察を実施する。 |
| | 応答スペクトルによる確認 | 玄海 3, 4 号 | 減衰定数の評価ではなく、地震観測記録を用いて評価した値に対して、耐震設計において地盤応答解析により入力地震動を算定する上での位置づけの観点での考察に該当。 | 地震観測記録による伝達関数による検討及び地震波干渉法による結果に対する考察 | ・設計においては、周波数依存性を考慮しない減衰定数を設定し、地盤応答解析により入力地震動を求めることから、上記 3 手法により求められた減衰定数に基づく地盤応答の応答スペクトルを算定し、地震観測記録の応答スペクトルとの比較を実施し、その結果を踏まえた考察を実施する。 | |
| その他 | 速度層断面による検討 | 玄海 3, 4 号 | 減衰定数の評価ではなく、他サイト例として地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施。 | 未実施 | ・他サイト実績において、いずれの手法においても、減衰定数の値の直接的な根拠ではなく、地震観測記録が得られていない深部における減衰定数を設定する上で、地震観測記録が得られている浅部との地下構造の相対関係の確認を目的として実施しているもの。 ・今回検討における減衰定数の評価範囲(基礎底面レベル～解放基盤表面の岩盤部分)の上端から下端までにおいて、当社は地震観測記録を有しているほか、原位置における試験としても、S波検層データを有し、更に拡充を行うこととしていることから、評価範囲におけるデータは有していると考えられるが、その他の評価または調査結果の確度を向上させることを目的に、データの取得を実施していく。 | |
| | 岩石コアを用いた減衰測定による確認 | 玄海 3, 4 号 | JEAG に示される評価ではないが、他サイト例として地震観測記録を用いた手法によりデータが得られない最深部地震計以深の減衰定数の設定根拠として実施。 | | | |

6. 今後の進め方

- 上記のうち、三軸圧縮試験による方法及び地震観測記録による方法についての追加検討については、既往データを用いた深掘り検討であることから、既に着手済み。
⇒7月E目途に評価結果を含めた説明資料として提出。8月審査会合にて、本結果に基づく岩盤部分の減衰定数を基本モデルに設定する旨説明する。

- S波検層による方法については、追加のボーリング調査に関する仕様（位置及び数量）を検討中。
⇒実施方針については、7月中に説明する。

以上