

## 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定の基本ロジック（耐震建物08）

本資料では、今回設工認における入力地震動の算定に用いる設計用地盤モデルについて、設定方針及びその妥当性について説明する。

さらに、念のための確認の位置づけとして、建物・構築物の直下もしくは近傍のPS検層結果を用いた影響評価についても、必要に応じて実施することについて説明する。

## 1. 今回設工認における入力地震動算定に用いる設計用地盤モデルの設定

- 「設計用地盤モデル」は、安全機能を有する施設の耐震評価において、建物・構築物への入力地震動を算定する際に用いる地盤モデルである。「設計用地盤モデル」の作成にあたっては、解放基盤表面から建物・構築物までの地震動の伝播特性を適切に考慮する必要がある。
- 建物・構築物の地震応答解析では、解放基盤表面（T. M. S. L. -70m）で定義される基準地震動 $S_s$ 等に基づき、建物・構築物の底面及び側面への入力地震動を算定するために、解放基盤表面（T. M. S. L. -70m）から地表面（T. M. S. L. 55m）までの設計用地盤モデルを設定している。
- 設計用地盤モデルは、解放基盤表面（T. M. S. L. -70m）から建物・構築物ごとの基礎底面レベルに該当する支持地盤（岩盤）及び、建物・構築物ごとの基礎底面レベルから地表面（T. M. S. L. 55m）に該当する表層地盤（埋戻し土、造成盛土及び六ヶ所層）で構成されている。
- 設計用地盤モデルについて、今回設工認において既設工認時点からの変更内容については以下の通りである。
  - 設計用地盤モデル（支持地盤）の基本ケースは、再処理事業所の耐震設計において、可能な限り複数の建物・構築物で共通的なモデルを用いることができるよう、地質構造に基づいて再処理事業所の敷地を3エリアに区分し、エリアごとのボーリング調査結果に基づく平均的な地盤物性値を設定し、岩盤であることから線形材料として設定している。今回設工認において建物・構築物の入力地震動の算定に用いる設計用地盤モデル（支持地盤）の基本ケースは、既設工認から変更していない。
  - 設計用地盤モデル（支持地盤）の地盤物性のばらつきについては、既設工認では考慮していなかったが、今回設工認において考慮している。
  - 設計用地盤モデル（表層地盤）は、既設工認では考慮していなかったが、今回設工認では、建物・構築物の埋め込み状況を反映するために、各建物・構築物の基礎底面レベルから地表面までの地盤特性に応じて地震波の伝播特性を評価するために、表層地盤（埋戻し土、造成盛土及び六ヶ所層）を「設計用地盤モデル」に反映し、敷地内のボーリング調査結果に基づく平均的な地盤物性値を設定し、さらに、地盤物性のばらつきを考慮している。

## 2. 設計用地盤モデルについて説明すべき課題及び確認項目

- 設計用地盤モデルを入力地震動の評価に用いても安全上支障が無いことを示す上で挙げられる課題及び課題に対する確認項目としては、以下の項目が挙げられる。
  - ① 設計用地盤モデルについて、地質構造や敷地内のボーリング調査結果に基づくエリア区分の考え方及び平均的な物性値の設定方法が適切であることの確認  
⇒支持地盤及び表層地盤について、地盤モデルの設定方法の妥当性について確認を行う。
  - ② 設計用地盤モデルによる地震波の伝播特性が適切に設定されていることの検証  
⇒敷地における地震観測記録を用いたシミュレーション解析による検証を行う。

## 3. 各課題に対する確認内容

### ①設計用地盤モデルの設定方法の確認

- 設計用地盤モデル（支持地盤）の物性値については、補足説明資料において、以下の観点で妥当性を確認しており、敷地の地盤特性に応じて適切にエリアの区分及び物性値の設定がされていることを確認する。
  - 敷地を3つのエリアに区分することが再処理事業所地下の地質構造及び速度構造と整合していることを確認
  - 各エリアで、地質構造及び速度構造が概ね水平成層な構造となっていることを確認
  - 物性値の設定に用いるPS検層孔が、建物・構築物の配置状況を考慮し、さらに、重要度の高い建物・構築物をカバーするように選定されていることを確認
  - 物性値の算定における層境界の設定方法及び速度構造の平均化の考え方が適切であることを確認
  - 上記の設定方法が妥当であること及び地震観測記録を用いたシミュレーション結果により、基本ケースを用いることが妥当であることを確認した上で、先行審査プラントの実績を踏まえ、地盤物性の不均質性を考慮して $\pm 1\sigma$ のばらつき幅を設定していることを確認
- 設計用地盤モデル（表層地盤）の物性値については、補足説明資料において、以下の観点で妥当性を確認しており、敷地の地盤特性に応じ適切に設定されていることを確認する。
  - 表層地盤（埋戻し土、造成盛土、六ヶ所層）の物性値が、統計的に平均値として扱うことが妥当な相関関係となっており、さらに、敷地全体で偏りなく広範なデータに基づき設定されていることを確認
  - 平均的な地盤物性として、深さ依存の回帰式として設定することが妥当であることを確認
  - 上記の設定方法が妥当であること及び地震観測記録を用いたシミュレーション結果により、基本ケースを用いることが妥当であることを確認した上で、先行審査プラントの実績を踏まえ、地盤物性の不均質性を考慮して $\pm 1\sigma$ のばらつき幅を設定していることを確認
  - ひずみ依存特性が、敷地内ボーリング調査における繰返し三軸圧縮試験により、適切に考慮されていることを確認

## ②地震観測記録を用いたシミュレーション解析

- 敷地内では、3つのエリアそれぞれにおいて鉛直アレー地震観測を行っており、敷地内の地震波の伝播特性に関するデータが得られていることから、「設計用地盤モデル」について、敷地の観測記録を用いた検証を行う。
- 検証としては、事業許可にて示している、各エリアにおける地震観測記録の深さ方向の伝達関数を再現することが可能な地盤モデル（事業変更許可申請書における「はぎとり地盤モデル」）を用いたシミュレーション解析を行い、設計用地盤モデル（支持地盤及び表層地盤）とはぎとり地盤モデル双方の解放基盤表面位置に地震観測記録を入力した場合の地盤応答解析により、建屋底面位置相当における応答スペクトルが整合していることを確認する。

## 4. 建屋直下もしくは近傍のP S 検層データに基づく耐震評価

- ①, ②により、敷地における地震波の伝播特性を考慮する上で適切なモデルが作成されていることを確認しているものの、建物・構築物直下もしくは近傍のPS検層データ（以下、「直下PS検層データ」という。）を考慮した場合、その速度構造が設計用地盤モデルにおいて考慮している地盤物性のばらつき幅を超えるデータが得られている。
- 評価対象建屋の直下PS検層データの速度構造について、設計用地盤モデルに考慮しているばらつき幅からの乖離がある場合は、これらのPS検層結果を考慮しても、施設の耐震評価における検定値または応力比が1.0を超えず、耐震性に影響が無いことを確認する
- 直下P S 検層データを用いた耐震評価は、以下の方針で実施する。
  - 直下P S 検層データのS波速度またはP波速度が、設計用地盤モデルに考慮しているばらつき幅（ $\pm 1\sigma$ ）をいずれかの深度で超える建物・構築物について、影響評価対象施設として選定する。
  - 直下地盤モデルは、建物・構築物直下もしくは近傍の支持地盤の物性値に加え、近傍の表層地盤の物性値を用いることとする。
  - 影響評価対象施設の建物・構築物について、直下PS検層データが1孔のみの場合は、支持地盤及び表層地盤ともに、そのPS検層データの速度構造を基本ケースとして設定する。また、地盤物性のばらつきとして、設計用地盤モデルに考慮しているS波速度及びP波速度それぞれの変動係数（[変動係数]=[標準偏差]÷[平均値]）を設定する。
  - 影響評価対象施設の建物・構築物について、直下PS検層データが複数孔ある場合は、設計用地盤モデルの物性値の設定方法と同じ手法により、複数の直下PS検層データに基づき、S波速度及びP波速度の層境界を設定し、基本ケース及びばらつきケースの物性値を設定する。表層地盤についても、複数の近傍PS検層データに基づき、S波速度及びP波速度について、同じ手法により基本ケース及びばらつきケースの物性値を設定する。
  - $S_s$ や $1.2S_s$ の入力では支持地盤の非線形が進む可能性について考慮し、表層地盤に加え、支持地盤のひずみ依存特性についても考慮する。
  - 影響評価に用いる地震動は、直下地盤モデルを用いた地震応答解析結果のうち、影響評価対象施設ごとに、耐震評価として影響の大きい地震動を選定する。
  - 建物・構築物について、主要な耐震部材である耐震壁については「直下地盤モデル」の応

答値の最大せん断ひずみが許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) 以内であること及び、その他評価部位 (S クラス部位, 基礎スラブ) については「直下地盤モデル」の応答値を「設計用地盤モデル」の応答値で除した際に求められる応答倍率を「設計用地盤モデル」の最大の検定値 (発生値/許容値) に乗じ、その際の検定値が1.0以下であることを確認。検定値が1.0を超える場合は、別途詳細評価を行い、検定値が1.0以下であることを確認することにより、耐震評価上、安全上支障が無いことを示す。

- ▶ 機器・配管系については、従来のばらつき評価同様の対応として、拡幅を行わない「直下地盤モデル」のFRSの応答値と「設計用地盤モデル」の拡幅FRSの応答値から求めた加速度比を設工認に記載している算出応力に応答倍率にて乗じ、応力比 (発生値/許容値) が1.0以下であることを確認。応力比が1.0を超える場合は、別途詳細評価を行い、応力比が1.0以下であることを確認することにより、耐震評価上、安全上支障が無いことを示す。

## 5. 各課題に対する確認内容

- 以下の確認結果をもって、「設計用地盤モデル」を、今回設工認の添付書類における各施設の地震応答計算書に記載する入力地震動の算定に用いる地盤モデルとする。
  - ▶ 設計用地盤モデルの設定に用いるデータの選定や物性値の算定方法の考え方について妥当性を示すことにより、設計用地盤モデルの設定の考え方が適切であることを確認する。
  - ▶ 地震観測記録を用いたシミュレーション解析により、設計用地盤モデルによる地震波の伝播特性が適切に設定されていることを確認する。
  - ▶ 建物・構築物の直下PS検層データにおいて、その速度構造が設計用地盤モデルにおいて考慮している地盤物性のばらつき幅を超えるデータが得られていることについて、建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価により、施設の耐震評価における検定値または応力比が1.0を超えず、耐震性に影響が無いことを確認する。
- また、直下PS検層データに基づく影響評価については、評価方針について今回設工認の添付書類における基本方針に記載するとともに、評価結果に対して各施設の耐震性に影響が無いことを確認し、今回設工認における添付書類※として、影響評価結果を記載する方針とする。
- 2020年12月24日に第1回申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔については、上記方針に従い、第1回申請において直下地盤モデルを用いた影響評価結果を添付書類※に記載する。
- 後次回申請対象施設については、第1回申請における説明において、各建物・構築物において参照する直下PS検層データと設計用地盤モデルとの速度構造の照合と、影響評価対象施設としての選定結果まで示し、影響評価結果については、各建物・構築物の申請回次にて示す。

※ 「再処理施設の耐震性に関する計算書」及び「加工施設の耐震性に関する計算書」の別添を基本とするが、影響評価結果が設計に与える影響度合いに応じて、施設ごとに記載箇所について検討する。

以 上