

米国の実践要求に基づいた ACS SASSI NQA Version 4 SSI 耐震解析

講演日: 2019年3月26日

講師: Dr. Dan M. Ghiocel

ASCE 4 / ASCE 43 標準委員会メンバー

GP テクノロジーズ社, 米国ニューヨーク市 14534

Web サイト: www.ghiocel-tech.com

E メール: dan.ghiocel@ghiocel-tech.com

概要

ACS SASSI は地盤と建屋の相互作用(Soil-Structure Interaction, SSI)を考慮した地震応答解析ソフトウェアであり、現在も精力的に開発が行われています。ACS SASSI V4 では、線形の SASSI 機能を拡張して、地盤と構造物の非線形ヒステリシス挙動や、サイトごとのランダム変動を考慮した新しい SSI 解析機能を有しています。高度な耐震 SSI 機能により、ACS SASSI は原子力関連構造物または地震安全評価が要求される構造物の設計プロジェクトにおける最も完全な SSI 解析技術ツールとなります。

1日間の ACS SASSI ワークショップ講演では、原子力発電プラント(Nuclear Power Plants, NPP)の耐震設計と確率論的安全評価に対する最先端かつ最新の SSI 解析機能について説明します。これらの高度な機能は、最近の ASCE 4-16 “Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures” 規格(米国土木学会の規格)に反映されている米国の最新の推奨事項、および間もなく告示される ASCE 43-19 および ASCE 4-21 規格に含まれる新しいトレンドに対応しています。最近注目されている先進の小型原子炉(Small Modular Reactor, SMR)の新しい設計に適用可能で、深く埋め込まれた構造(Deeply Embedded Structure, DES)に関する米国の新しい実務上の推奨事項にも言及します。

このプレゼンテーションでは、ACS SASSI NQA V4 メインソフトウェアモジュールの新しい計算機能と解析機能の両方について説明します。また、新しいユーザーインターフェイス機能とコマンド、A-AA、NON、PRO などのオプション機能の改善について説明し、新しいオプションである 2DSOIL について説明します。

本ワークショップのプレゼンテーションでは以下の内容を解説します。

1. ACS SASSI NQA V4 メインソフトウェアの新しく強化された性能と機能
2. 新しい小型原子炉(SMR)設計で必要とされる SSI 効果を評価するための米国の実施動向
3. 地震動インコヒーレンシーモデリングと構造 SSI 応答への影響
4. Option NON (非線形構造) の機能と解析実施方法
5. Option PRO (確率論的地盤応答と SSI) の機能と解析実施方法
6. Option AA / A (ANSYS FE モデリングを使用) の機能と解析実施方法
7. Option 2DSOIL (2次元地層モデル化)の機能と解析実施方法

ACS SASSI NQA は ASME(米国機械学会)が規定する、原子力の品質保証規格 NQA-1 (Nuclear Quality Assurance-1)に準拠するソフトウェアです。

1. ACS SASSI NQA V4 メインソフトウェアの新しく強化された性能と機能

このセッションでは 2019 年 4 月に米国でリリース予定の ACS SASSI NAQ Version 4 (IKTR0) の新機能についてご紹介します。導入予定の新機能は以下になります。

- 1.1. 計算アルゴリズムの向上により計算速度が現在の 2 から 3 倍向上します。
- 1.2. 使用可能節点数の上限が現在 ACS SASSI V3 IKTR10_650k の 65 万(250 万自由度)から無制限になります。これにより PC のメモリ容量が許す限りのモデルで解析可能になります。
- 1.3. 新しい要素タイプとして周波数依存の高粘性ダンパー(High Viscosity Damper, HVD)が実装されます。この要素を用いることにより、免震構造のモデル化が可能になります。
- 1.4. 圧縮バイナリデータベースを用いることにより、ポスト処理が高速化します。

2. 新しい SMR 設計のための耐震 SSI 効果を評価するための米国の実践動向

このセッションでは、米国の原子力発電所の耐震設計についての最近の動向について解説します。メインテーマは小型原子炉(SMR)についてです。

- 2.1. 最近注目されている小型原子炉 SMR のモデル化について解説します。内容は埋め込み部のメッシュサイズ、近傍地盤の履歴挙動や、非一様な地盤中を複数の地震波が混合されて斜めに伝搬する地震波などを説明します。
- 2.2. 傾斜のある地層と水平な地層による SSI への影響を、SMR による 3 ケースの解析事例を用いて解説します。
- 2.3. SMR を対象としたインコヒーレンシー解析により、土圧と構造内応答スペクトル(in-structure response spectra, ISRS)に与える影響について説明します。
- 2.4. SMR を対象として、埋め戻し土の振動の効果や地下水の影響、基礎と地盤の剥離の影響について説明します。
- 2.5. 新しく導入された 2DSOIL は傾斜地盤への地震波の伝播を考慮できます。

3. 地震動インコヒーレンシーモデリングと構造 SSI / SSSI 応答への影響

このセッションではインコヒーレンシー解析について、以下のような内容についてご紹介します。

- 3.1. インコヒーレンシー機能の理論的背景と解析実施方法について説明します。
- 3.2. SSI モデルに対するコヒーレンシーとインコヒーレンシー解析結果の比較について解説します。
- 3.3. SSSI (Structure-Soil-Structure Interaction)モデルに対するコヒーレンシーとインコヒーレンシー解析結果の比較について解説します。
- 3.4. 特定のサイトにおけるコヒーレンス関数を用いた解析と EPRI (Electric Power Research Institute)の検証でも使用されたアブラハムソンのモデルを用いた一般的なコヒーレンス関数を用いる場合の解析手順について説明します。

4. Option NON (非線形構造) の機能

このセッションでは等価線形化法による構造非線形解析のオプション、Option NON について詳しくご紹介します。

- 4.1. 等価線形化法による構造非線形解析が可能な、Option NON の理論的背景とその解析実行方法について示します。
- 4.2. 低層コンクリートせん断壁について非線形解析のモデル化の方法を詳しく示し、コンクリートのスケルトンカーブの自動作成や米国土木学会の標準ガイドライン(ASCE 4-16)に則ったせん断壁のひび割れ評価について示します。

- 4.3. Option NONでは、確率論的SSI解析を、設計レベルの設計基準地震動(design basis earthquake, DBE)を超える場合に実施し、設計レベルを超えない場合と超える場合の解析事例を示します。
- 4.4. 決定論的な非線形SSI解析と確率論的手法を用いた非線形SSI解析事例を紹介します。
- 4.5. 免震装置を介した建屋や重機械のモデル化事例、および基礎-地盤摩擦面のモデル化事例を紹介します。
- 4.6. 基礎と地盤の間に間隙がある場合の基礎と地盤が分離するモデルの解析事例を紹介します。この解析はOption NONとOption A (ACS SASSIの結果をANSYSで解析する機能)を併用して解析する事例です。

5. Option PRO (確率論的地盤応答と SSI) の機能

このセッションでは確率論的地盤応答解析と確率論的SSI解析が可能な、Option PROについて詳しくご紹介します。

- 5.1. 確率論的地盤応答解析(Probabilistic Site Response Analysis, PSRA)と確率論的 SSI 解析(Probabilistic SSI)が可能な、Option PRO の理論的背景とその解析実施方法について説明します。
- 5.2. Option Pro では、確率論的地震応答解析と確率論的 SSI 解析を正確に実施することができ、それは指針を公開している ASCE 4-16、ASCE 43-19(近日公開予定)、および米国原子力規制委員会(US NRC)のガイドラインに則った設計基準に基づく解析です。これらの設計基準と、考慮するランダム変数について説明します。
- 5.3. 表面基礎と埋め込みが深い SMR 構造について、設計基準地震動 (DBE)に基づく確率論的 SSI 解析と決定論的 SSI 解析の比較事例を紹介します。
- 5.4. 設計基準を超える地震動(beyond design basis earthquake, BDBE)に対して、ASCE 4-16 を適用した確率論的 SSI 解析を実施する方法の説明と、更に設計基準地震動を超えるために、Option NON を用いて構造非線形性を考慮した解析を実施した事例を紹介します。
- 5.5. さまざまな地震ハザードレベルにおける、構造と機器の脆弱性解析事例を紹介します。

6. Option A / AA (ANSYS FE モデリングを使用) の機能

このセッションでは ACS SASSI の結果を ANSYS に渡す Option A と、ANSYS で計算したマトリックス情報を ACS SASSI に渡す Option AA についてご紹介します。

- 6.1. ANSYS インタフェースと Option A/AA に関連する理論的背景と実行方法について説明します。
- 6.2. Option A を用いて、構造基礎の変形および動的地震力の影響を考慮した、詳細な SSI 応力解析事例を紹介いたします。
- 6.3. Option AA では、深く埋め込まれたプール構造に ANSYS FLUID80 要素を適用してコヒーレンシーとインコヒーレンシー解析を実施した例と、コンクリート SHELL 構造の SSI 解析に ANSYS のスーパーエレメントを適用した例を示します。
- 6.4. ANSYS のスーパーエレメント MATRIX50 と ACS SASSI の General Matrix エレメントの変換について説明します。
- 6.5. Option A/AA を使った事例を紹介いたします。中でも重要な、近傍地盤の振動履歴と基礎-地盤剥離の影響を考慮した、深く埋め込まれた基礎に働く土圧の計算に関する事例を紹介いたします。

7. Option 2DSOIL (2次元地層モデル化)の機能

2019年春にリリースされる予定の新しい SSI 拡張機能であるオプション 2DSOIL についてご紹介します。