

コンクリート構造物の地盤・構造連成解析

(1) RC 及び SC 構造物の非線形性

Soil-Structure Interaction Analysis for Concrete Structures

(1) Structural Nonlinearity for RC and SC Structures

*佐藤 友喜¹, Ma. Ella Candice Mag-Alasin¹, Dan M. Ghiocel², 片岡 俊二¹, 森本 泰臣¹

¹日揮グローバル, ²GP Technologies, Inc

動的サブストラクチャー法を用いた複素応答解析が原子力施設の地震応答解析に活用されているが、本手法は弾性範囲に限定されており、構造物の大変形を対象としていない。本研究では、この手法を発展させた効率的な繰返し等価線形解析手法を RC 及び SC 構造の地盤-構造連成解析に適用した事例を示す。

キーワード: 地盤・構造連成、鉄筋コンクリート、鋼板コンクリート、非線形地震応答解析

1. 概要

日本及び海外の一部の地域では、評価用地震動の増大により、原子力施設の弾塑性挙動を考慮した地震応答解析の需要が高まることが想定されている。主に米国を中心に、地盤-構造の連成効果を正確に捉えるために、薄層要素と有限要素を用いた動的サブストラクチャー法による複素応答解析が原子力施設の地震応答解析に活用されている。本手法は複素応答解析のため、従来は弾性範囲に限定されており、構造物の大変形を対象としていない。しかし、近年では、構造物の非線形履歴挙動を模擬するため、周波数領域-時間領域の混合による繰返し等価線形を用いた地盤・構造連成解析の研究が進んでいる[1]。本研究では、この手法を用いた効率的な繰返し等価線形解析手法を用いて、鉄筋コンクリート (RC) 耐震壁、鋼板コンクリート (SC) 耐震壁を有する原子力施設を模した建屋に対してそれぞれ地盤・構造連成解析を行い、応答性状の比較及び評価を実施した。

2. 評価手法・条件

2-1. 動的サブストラクチャー法による FVROM アプローチの適用

FVROM (Flexible Volume Reduced Order Modeling) アプローチに基づく複素応答解析を実施し、地盤と基礎版の境界の相互作用を縮退した地盤インピーダンスを算出した。また、算出した地盤インピーダンスは、基礎版を含む建屋構造物に境界条件として設定し、地盤-構造連成解析を実施した。

2-2. 履歴曲線を用いた耐震壁の等価減衰及び等価剛性の算出

耐震壁の非線形モデリングには、耐震設計技術規程 (JEAC4601 及び JEAC4618) に示されているスケルトンカーブ及び最大点指向型の履歴曲線を用いた[2][3]。本研究では、周波数領域-時間領域を混合した以下の2つのステップの繰返し解析を行った。

Step 1) 詳細な3次元 FEM 建屋モデルを用いた複素応答解析を等価減衰・等価剛性を用いて行い、各耐震壁の変位を計算。

Step 2) Step 1 で得られた各時刻の変位を低次数の建屋モデルに入力し、スケルトンカーブを用いた非線形解析を等価静解析として実施。その後、せん断力-せん断ひずみ、及びモーメント-曲率の履歴曲線を作成し、等価減衰・等価剛性を算出。

2-3. 地震動条件

様々なサイト条件を包絡した地震動スペクトルを基に、地表面加速度を 1.0 G にかさ上げした地震動を作成し、本研究の対象建屋に適用した。

2-4. スケルトンカーブ

RC 耐震壁、SC 耐震壁の非線形特性を示すスケルトンカーブは、せん断及び曲げ応力の断面計算に基づき、それぞれ JEAC4601、JEAC4618 に示されている評価式を用いて各階層ごとに算出した。

3. 結論

RC 耐震壁、SC 耐震壁を有するそれぞれの建屋に対して、構造側の非線形性を考慮した地盤・構造連成解析を行った結果、RC 構造物と SC 構造物の両者の地震応答に有意な相違があることを確認した。

参考文献

- [1] Y. Sato, D.M. Ghiocel, S. Kataoka, S. Sato, and Y. Morimoto, Study on Fluid-Structure-Soil-Interaction (FSSI) Effects for A Deeply Embedded Nuclear Facility with A Large-Size Pool Under Severe Earthquakes. Part 2: Nonlinear SSI. SMiRT27 Conference, Division 3, Yokohama, Japan, March 3-8, 2024.
[2] 一般社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会 「原子力発電所耐震設計技術規程」 JEAC4601-2015
[3] 一般社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会 「鋼板コンクリート構造耐震設計技術規程」 JEAC4618-2009

*Yuki Sato¹, Ma. Ella Candice Mag-Alasin¹, Dan M. Ghiocel², Shunji Kataoka¹, Yasutomi Morimoto¹

¹JGC Corp., ²GP Technologies, Inc.