

震動実験計画の現状と課題

酒井 理哉, 佐藤 雄亮, 宮川 義範, 豊田 幸宏

(財)電力中央研究所 地球工学研究所 構造工学領域

〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646

[\[m-sakai, sato, miyagawa, toyoda\]@criepi.denken.or.jp](mailto:{m-sakai, sato, miyagawa, toyoda}@criepi.denken.or.jp)

大規模数値シミュレーション技術を高度化していくためには、複雑な物理現象を適切にモデル化し、解析結果の妥当性を実験などにより確認していく必要がある。本研究プロジェクトにおいて、地盤 - 建屋 - 機器の連成による原子力プラントの数値シミュレーション技術向上のために、従来の解析モデルで十分考慮されていない、シミュレーションモデルの接合箇所などについて、力学挙動、振動応答、減衰特性などの現象を把握し、基本的な検証データの取得は不可欠である。大規模数値シミュレーションにおいて、相互作用が生じる建屋 - 機器の部位でのモデル化に着目した実験の計画の現状と問題点について以下に概要を述べる。

建屋 - 機器の接合箇所における耐震評価の検討事例については、埋め込み金物の要素モデルを作成し、静的に引き抜き荷重を作用させる力学実験が多数行われ、各種基準類の評価法が整備されてきた[1]。地震荷重に対する接合箇所の応答挙動を精度良く把握するためには、建屋 - 機器の連成振動挙動を考慮した振動実験が必要である。機器と支持構造部を模擬したモデル作成と大型の振動台実験は膨大なコストが必要で、さらに振動台には入力加速度の加振限界があるため、剛に設計された機器について終局的な挙動までの地震力を作用させた耐震挙動の評価は実施することが困難な状況である。

このため、本プロジェクトでは着目する接合部位のみを力学的な実験でモデル化し、建屋と機器を数値モデルでモデル化して両者を連携させて振動応答挙動を評価するハイブリッド実験を計画している。ハイブリッド実験では、模型製作が一部分で済むため低コストで実施でき、入力する地震加速度は数値モデルで扱うため、10G 程度の大きな加速度レベルを入力可能で、着目部位の地震応答で加振機の変位制御可能な範囲で実験を実施可能である。電中研においては、配管系や支持構造部などに着目した耐震評価にハイブリッド実験を適用してきた[2]。今年度は、建屋 - 機器の着目すべき接合部位について調査を行い、既往検討事例をベースに詳細な実験計画の立案作業を進めている。

また、プラント全体の耐震シミュレーションでは、多数の機器から構成され複雑形状の実プラントの地震時挙動において、固有値の異なる機器の連成振動挙動が生じる可能性がある[3]。これらの連成振動モードが発生した場合、着目していない高次モードが卓越し、特定の部位のみに異常振動が生じる恐れがある。連成時の振動モードの見落としについては、プラント全体を解析対象とする大規模数値解析を行うことで解明可能である。このため、これらの機器の連成振動に関する現象解明のため、多自由度連成振動系の振動実験を行い、基本的データを得る実験を実施する。多自由度系連成振動実験については現在詳細を計画中で、主構造系と付加構造系の質量比、剛性比をパラメータに、連成振動特性を把握し、特定部材への異常振動が発生する条件を明らかにする。連成振動実験は今年度中に実施予定で、現在準備を進めている。

●参考文献

[1] 例えば、白阪、他：機器配管用支持構造物（埋込金物）の耐力に関する実験研究 - その1 コンクリートに埋込まれたスタットボルトの引抜き耐力 -、日本建築学会大会学術講演概要集、1979.9、pp.1375-1376

[2] 酒井、他：機器配管系の支持構造部に着目したハイブリッド地震応答試験、日本原子力学会「2008 年秋の大会」、p.15、2008.9

[3] 鈴木、他：付加構造物系の地震応答量の簡易推定法、日本機械学会論文集 C 編、47 巻 422 号、1981.10、pp.1286-1295



震動実験計画の現状と課題

(財)電力中央研究所 構造工学領域
酒井理哉



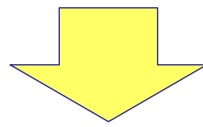
耐震評価実験の背景・位置づけ

- マルチスケール構造モデリングの検証用データの取得
 - 物性の異なる要素(鋼と鉄筋コンクリート)の境界条件の成立性について評価する
 - 機器と建屋の接合部位に着目した、許容変形に関する力学試験を行う。
 - プラント全体を解析することにより、機器の連成振動現象の発生条件を明らかにする
 - 固有振動数が異なる多数の機器をモデル化した連成振動系試験体を作成し、振動挙動を把握する。
- 原子力プラントの耐震安全性を実証するためのデータとして活用する。



接合部位の耐震評価実験の目的

- 従来剛接合で評価されてきた異材接合部(コンクリート、鋼材)の力学特性、振動特性、減衰特性などを把握する。
- 建屋 - 機器のシミュレーションを行うAdv_solidの機能検証に資するデータを得る。

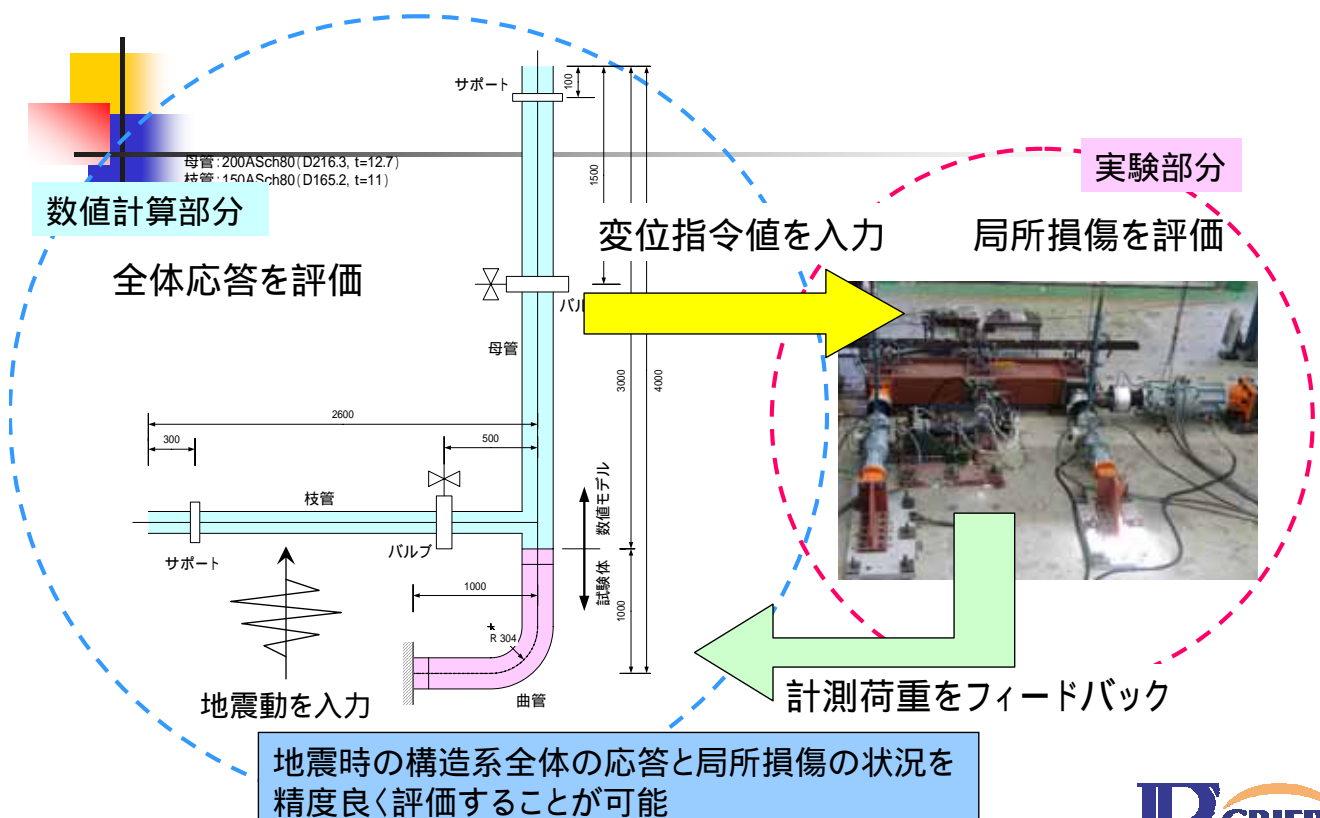


- 大型振動台実験では、モデル化が難しいため、ハイブリッド実験による評価が必要

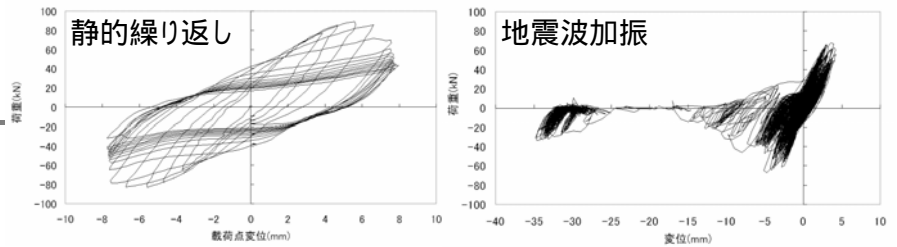


3

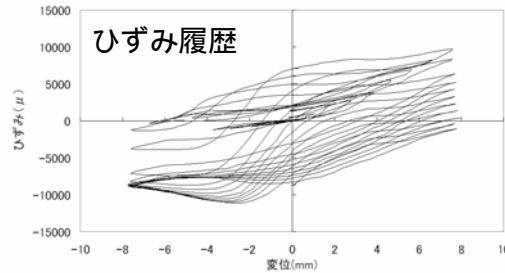
ハイブリッド実験手法の概念図



配管支持構造のハイブリッド実験の概要



荷重変位関係



配管系振動モード: 14.5Hz

数値モデルは等価な1自由度系モデルを設定

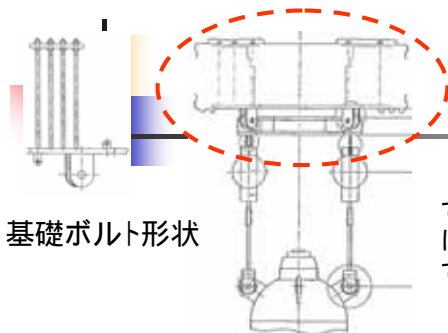
$K = 2.24 \times 10^7$ N/m (実測値)
 $M = 2.701 \times 10^3$ kg (設定値)
 $f_0 = 14.5$ Hz



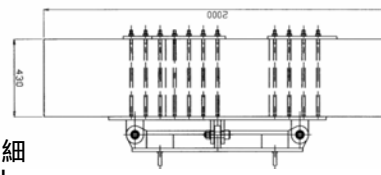
最終的な損傷モードは低サイクル疲労によるき裂の発生



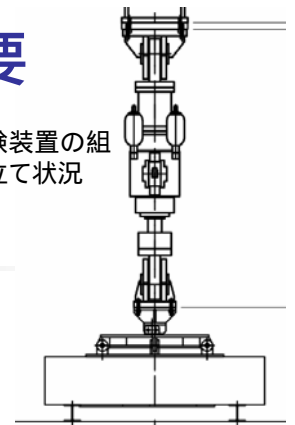
機器支持構造部のハイブリッド実験の概要



できるだけ詳細に1/3スケールでモデル化

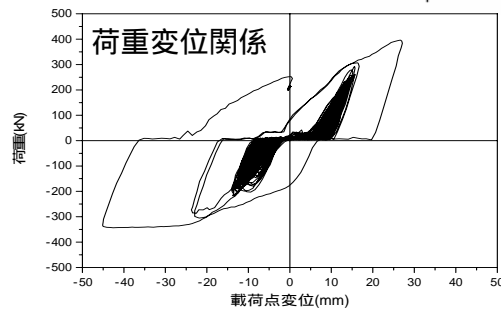


試験装置の組み立て状況



ルーフスラブとIHX吊り架構

IHX鉛直振動モード 10.3Hz
 $K_m = 26.1 \times 10^6$ N/m (実測値)
 $K_p = 3K_m = 78.3 \times 10^6$ N/m (相似則)
 $M_p = 18000$ kg 設定
 $f_0 = 10.5$ Hz
 下添え字 m: 実験, p: 実機

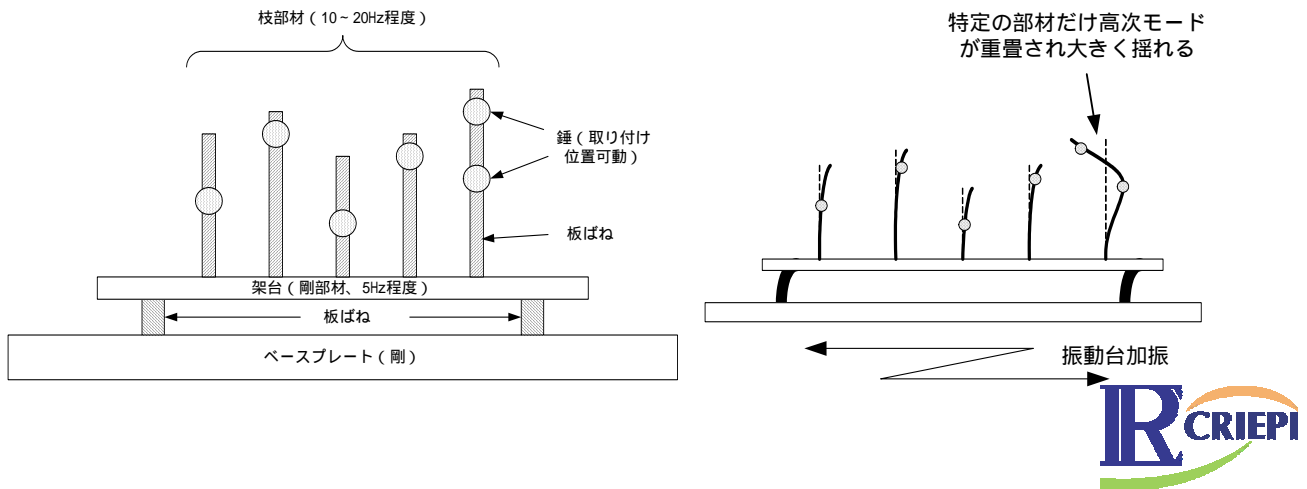


低サイクル疲労によるき裂の発生



機器の連成系を対象とした振動実験

- 固有値が異なる枝状の部材が複数配置された試験体の連成振動実験
- 架台および枝部材の質量比、剛性比をパラメータに、連成振動特性を把握し、特定部材への異常振動が発生する条件を明らかにする



現状と今後の検討項目

- 接合部位のハイブリッド実験
 - 試験計画の策定に当たっては、着目部位の力学挙動が十分考慮できることが重要であり、現行のプラントの設計評価をベースに、H22年度実施に向け、詳細検討を進めている。
- 連成系の振動実験
 - 主構造系と付加構造系の質量比、剛性比をパラメータに、連成振動特性を把握し、特定部材への異常振動が発生する条件を明らかにする。連成振動実験は今年度中に実施予定で、現在準備を進めている。