

# 配管支持構造の弾塑性応答を考慮した簡易な耐震性評価の試み

## 背景

既設原子力プラントの配管系ならびにその支持構造の耐震設計は弾性設計が基本となっており、弾性限界を越えた座屈、崩壊などの塑性領域での限界荷重に対して大きな余裕を有していることが知られている。この性質を利用すれば、配管系と支持構造がどの程度の大きさの地震動まで耐力を保有しているかについての合理的な評価が可能になる。ここで、配管系とその支持構造の剛性や振動特性を比較すると、配管自体よりも支持構造の塑性応答が先行する条件となっている。一方、実際の配管支持構造には種々の構造形式があつてそれぞれ弾塑性変形挙動が異なることから、なるべく簡易な方法で支持構造形式別に耐震性を評価することが望まれている。

## 目的

原子力発電所の配管系と支持構造について、支持構造の弾塑性応答を考慮した地震応答低減の指標となる構造特性係数<sup>\*1</sup>(図1参照)を求める。

## 主な成果

BWR プラントの耐震重要度 A または As クラスの 5 種類の配管系とその支持構造を検討対象とした。これらは、正方形断面のボックス鋼で構成されており、①架構構造でアスペクト比大かつ横支持付、②架構構造でアスペクト比小、③脚部が極端に短い架構構造でアスペクト比小、④フレーム構造、⑤片持ちはりなどの構造形式である(表 1 参照)。まず、支持構造について、シェル要素を用いた弾塑性大変形解析により荷重-変位関係を求め、その結果を用いて等価線形ばね要素特性を定めた。次に、等価線形ばねで支持された配管モデルを対象とした地震応答解析を行い、その応答特性を踏まえて構造特性係数  $D_s$  を算定した。結果は次の通りである。

### 1. 支持構造の弾塑性応答特性

本検討で対象とした 5 種類の支持構造のうち②と⑤の 2 種類は、荷重-変位関係が閉じたループを描くため、弾性応答解析(現行設計に用いられているもの)に構造特性係数を導入して弾塑性応答の影響を考慮した評価が可能ながことが明らかとなった(図 2 参照)。

### 2. 構造特性係数の評価

床応答の水平動、上下動同時入力による時刻歴地震応答解析(図 3 参照)の結果、床応答波の入力レベルと応答変位、支持構造反力の関係を得た。その結果、対象支持構造②、⑤が設計評価における弾性限界変位の 3 倍の変位に達する場合の  $D_s$  は 0.5 以下となることが示された(図 4 参照)。このことにより、支持構造は相当のエネルギー吸収効果のあることが認められた。

なお、本研究は、中部電力(株)、北海道電力(株)、東北電力(株)、北陸電力(株)、東京電力(株)、日本原子力発電(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)からの受託研究として実施した。

## 今後の展開

本検討結果は、配管系支持構造の弾塑性を考慮した簡易な耐震性評価法の構築に反映される。

主 担 当 者 地球工学研究所 構造工学領域 上席研究員 松浦 真一

\*1: 構造特性係数は、これを弾性応答解析による荷重に乗じた荷重と設計限界荷重と比較することにより、弾塑性による応答低減を考慮した評価を簡便に行うための係数。

支持構造概要 ○が配管を表す	
①□形鋼 架構 アスペクト比大	
②□形鋼 架構 アスペクト比小	
③□形鋼 架構 アスペクト比小	
④□形鋼フレーム	
⑤□形鋼 片持ち	

表 1 検討対象とした支持構造形式概要

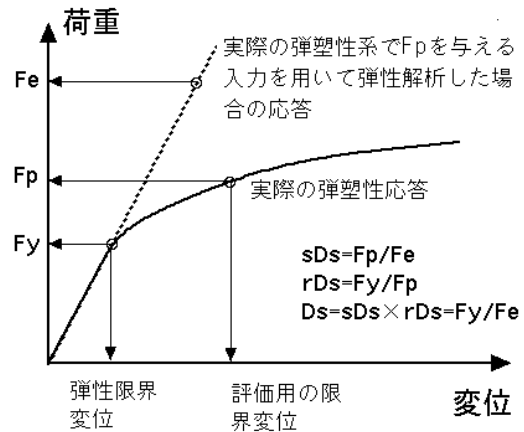


図 2 支持構造⑤解析モデルと荷重-変位関係例  
 荷重-変位ループから等価剛性、等価粘性減衰を求め配管系の動的応答解析に用いた。矢印が配管からの反力作用方向を示す。

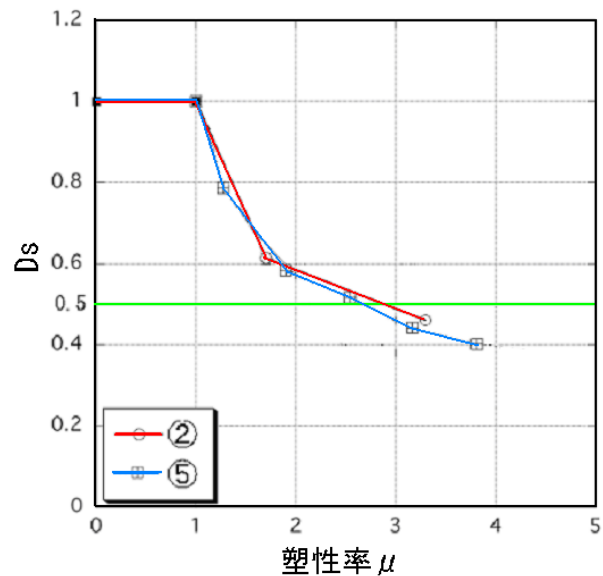
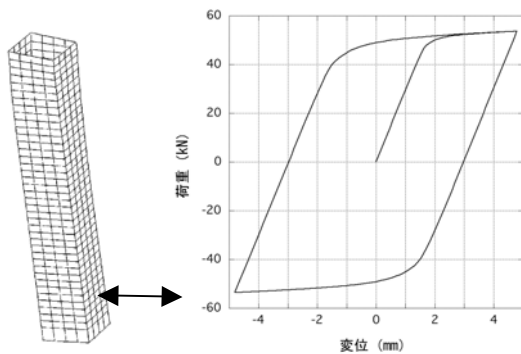


図 4 塑性率(最大応答変位/弾性限界変位)と構造特性係数  $D_s$  の関係

塑性率 3 で  $D_s$  が 0.5 以下になる。

図 3 配管系モデルと1次固有振動モード(点線)  
 水平および上下床応答波の時刻歴を用いて配管系の時刻歴地震応答解析を実施した。

