### ポイラ大径管最大損傷部位特定手法の開発

堅也 秀高

エネルギア総合研究所 発電・材料担当

## 1 まえがき

累積運転時間が10万時間を超えるボイラの定期事 業者検査時期を延長する場合,余寿命診断に関する指 針<sup>(1)</sup>に基づき,大径管等を対象として,設計条件で 高熱負荷部・高応力作用部の中から最も過酷と考えら れる代表箇所(以下,最大損傷部位)を選定し,クリ ープ破断寿命を対象とした余寿命診断を行う必要があ る。経年劣化したボイラでは,管の変形や補修工事等 を経て配管系統の荷重バランスが変化している可能性 があるため,設計条件をもとに選定した"最大損傷部 位"が必ずしも妥当とは言えない。そのような背景の もと,当所ではボイラ起動過程における大径管系統の 動きを反映させた有限要素解析により最大損傷部位を 特定する手法を開発したので紹介する(図1)。



図1 最大損傷部位特定までの流れ

#### 【用語解説】

・シェル要素:曲面の外板で構成するシェル構造物を 有限要素モデル化するのに適した要素 ・ソリッド要素:3次元形状を中身の詰まった実体 (ソリッド)として記述する要素

要

#### (1) 配管系統の変位量計測方法

永久 西田

ボイラ起動過程における配管系統の変位量計測に は,土木工事等で使用される高精度レーザー測距器を 用いる。実機では保温材が取り付けられており運転中 に配管表面を直接見られないため,配管系統内に点在 する支持具に目印を取り付け,その点の変位量を3次 元的に計測し,幾何学的な位置関係から配管断面中心 の変位量に換算する(図2)。





(b)目印取り付け位置から配管断面中心への変位量換算

図2 配管変位量の導出方法



(a)リジットハンガ



(b)ボルト支持コンスタントハンガ



(c)Uベルト支持コンスタントハンガ



(d)リング支持コンスタントハンガ



(e)防振器



図3 支持具の例

#### (2)配管変位量計測データの吟味

支持具には様々な種類(図3)があるが,支持機構 によっては,目印取り付け位置から配管断面中心への 変位量換算段階で誤差が発生する場合がある。そのた め,各支持具での誤差発生要因を考察することにより, 解析条件として採用できる信頼性の高いデータを抽出 する。

#### (3) 蒸気配管系統の3次元モデル作成

配管系統図面をもとに,弾性解析に用いる蒸気配管 系統の3次元シェル要素モデルを作成する。ここでは, 配管系統の全体的な応力分布を把握することが目的の ため,溶接線はモデル化せず,継目のない配管から構 成されるモデルとする。



図4 3次元シェル要素モデル

#### (4)弾性解析

作成したシェル要素モデルに対し,配管材料の物性 値,ボイラ出口やタービン入口での拘束条件,実機配 管の温度・内圧の他,吟味した信頼性の高い配管変位 データを入力して弾性解析を行う。これにより,コー ルド起動過程における配管系統全体の変形状況(図5) や応力分布等を把握できる。母材よりもクリープ損傷 の進行が懸念される溶接熱影響部(HAZ)に相当する 部位に着目して高応力順に順位付けし,クリープ解析 対象部位を選定する。

なお,本稿で紹介する有限要素解析結果は,後述す るクリープ解析を含め,MSC.MARCを用いた計算例 である。



#### (5)クリープ解析用の詳細モデル作成

高応力発生部位周辺の詳細モデルを作成する(図6)。 ここでは,あるエルボの例を示しており,腹側・背側 の長手溶接線,溶接線の両側に位置するHAZ粗粒域お よび細粒域,母材をモデル化している。



#### (6)クリープ解析

配管を構成する溶接金属・母材・HAZでは材料物性 値やクリープ強度が異なるため,あらかじめ実験等に よりそれぞれの物性値やクリープ変形挙動を記述する 構成式をもとめておく必要がある。作成した詳細解析 モデルに対して,これらの解析条件の他,弾性解析か らもとめたエルボ両端部の変形量を与え,実機運転を 模擬したクリープ解析を最大数十万時間まで行う。図 7に示すように,クリープ開始前ではエルボ腹側の配 管断面における応力分布は配管内表面から外表面に向 かって次第に高くなる傾向であるが,30万時間経過 後にはクリープ損傷の蓄積によって応力分布が変化 し,エルボ腹側外表面から少し板厚内部に入ったHAZ 細粒域に局所的な高応力部位が出現している。また, 最大応力レベルはクリープ変形に伴う応力緩和の影響 で低下している。





図8 30万時間相当経過後のクリープ損傷率分布



図9 主蒸気管エルボ廃材の長手溶接線断面組織

#### (7)クリープ損傷評価

図8は,実機運転時間30万時間相当の間に,エルボ 腹側配管断面内に蓄積するクリープ損傷率の分布を示 している。図中で損傷率が1を超える範囲は,配管外 表面から少し内部に入ったHAZ細粒域に集中してお り,図7(b)で局所的に応力が高くなっていた箇所 との対応が見られる。ここで,図9に解析対象とは別 のボイラで10万時間以上使用後に廃却された主蒸気 管エルボ長手溶接線断面のHAZ細粒域におけるクリー プボイド発生状況を示す。蒸気条件や溶接線断面形状 等が解析モデルと同一ではないものの,クリープボイ ドの発生量が最も多いのは,外表面から少し内部に入 ったHAZ細粒域であり,解析結果でクリープ損傷率が 高かった部位に比較的近い場所であった。以上のよう に,本解析手法により実機配管断面のクリープ損傷状 態を再現できることが分かった。



ボイラ起動過程における大径管系統の動きを反映さ せた有限要素解析により最大損傷部位を高精度に特定 する手法を開発し,実機配管の余寿命診断対象部位の 選定に適用できる見通しを得た。

# **4** あとがき

得られた知見を電源事業本部と情報共有し,ボイラ 主要蒸気配管の余寿命診断精度向上に活用して行きた い。

参考資料

(1)平成17・03・01原院第1号「火力設備における電気事業法施 行規則第94条の2第2項第1号に規定する定期事業者検査の時期 変更承認に係る標準的な審査基準例及び申請方法等について, 別紙3:余寿命診断に関する指針」