

高圧ガス配管のFEM解析

1. はじめに

配管の応力解析において今回紹介する高圧ガス配管は規格等に適用が無い形状であるため、FEM^①解析を行った。

FEM解析を有効に活用することで、手計算では困難な形状の解析の実施が可能となる。しかし、境界条件（荷重条件・拘束条件）等の諸条件を適切に設定しなければ出力される解析結果は実際とかけ離れた結果となる可能性があるため、注意しなければならない。

要素分割^②においても非常に重要な解析作業の一つである。要素分割サイズ（以降メッシュサイズ）が細かいほど解析精度は向上するが、その一方で計算時間が長くなる。したがって、適切なメッシュサイズを選定することは精度を保ちつつ計算コストを抑えるためには重要である。

2. 解析手法

2.1 解析対象物の概要

図1に解析対象となる高圧ガス配管の概略図を示す。構造としては、母管に斜め45°方向から枝管が接続されている。母管と枝管の接合部のすきまは加工した板材により埋められており、この接合部には楕円形の補強板が接合されている。また、諸条件を以下に示す。

- ・設計圧力：2.45MPa
- ・使用流体：酸素
- ・設計温度：40℃
- ・配管材質：SUS304TP-S, Sch40
- ・配管サイズ：12B

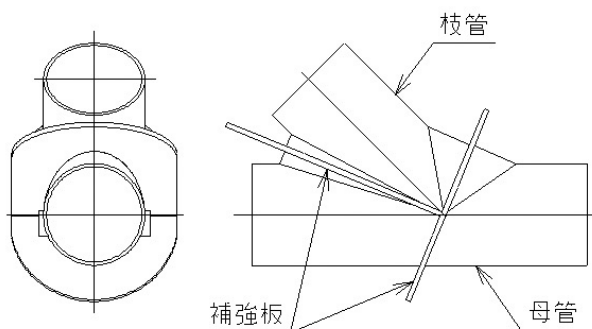


図1 配管概略図

2.2 FEM解析を実施した理由

規格による応力の算定式等が適用できないため、以下に示す高圧ガス配管に関する基準 KHKS 0801^①項5.11の三つの選択肢の中から一つ以上の項を実施しなければならない。したがって、手間やコスト等を総合的に判断し下記の項目1)のエンジニアリング計算（応力解析）を選択した。

- 1) エンジニアリング計算（応力解析）
- 2) 実験的応力解析
- 3) 検定水圧試験

2.3 評価基準、許容応力

応力解析の評価基準においては、JIS B 8266 附属書 8^②に従い一般膜応力の許容値を129MPa、局部膜応力及び曲げ応力の許容値を193MPaとした。

2.4 解析モデル

図2にFEM解析で使用したモデルを示す。解析の種類は線形静解析である。また要素については四角形シェル要素に決定した。メッシュサイズの決定においては、数パターンのメッシュサイズにてFEM解析を実施し、十分に精度を確保できるメッシュサイズ 10mmを採用した。

2.5 境界条件（荷重条件・拘束条件）

荷重条件として母管、枝管及び接合部内面へ内圧2.45MPaを負荷した。また、円筒に内圧が作用する場合、円筒の長手方向には内圧と円筒の断面積をかけた大きさの引張力（以降内圧推力）が作用する。本解析では母管や枝管は

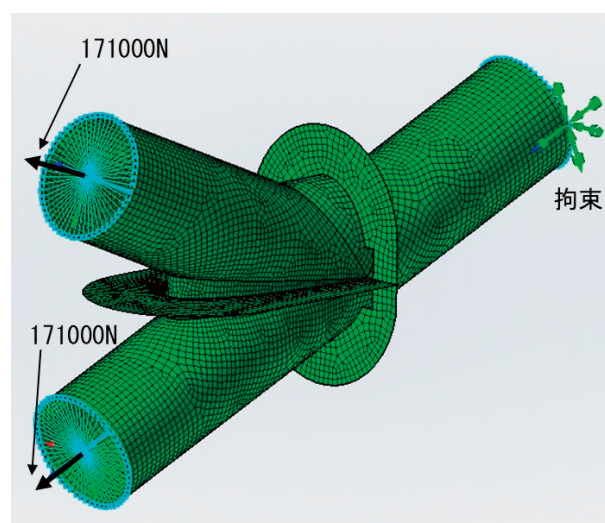


図2 解析モデル

途中までの形状を解析範囲としているため、上記の内圧推力が母管及び枝管の先端に加わることとなる。したがって、母管及び枝管端面部へ内圧推力171000Nを負荷した（図2左端）。

拘束条件として母管片側端面部に並進自由度(X,Y,Z軸)及び回転自由度(X,Y,Z軸周り)を拘束した（図2右端）。また、母管と枝管の長さが異なる数パターンのモデルを作成し、FEM解析を実施した。その後、応力や変形結果に影響を及ぼさない母管と枝管の長さについて検証し、解析範囲を決定した。

3. 解析結果

図3に以上の条件でFEM解析した応力解析結果を示す。図3のコンター図（図の左側の色付きバー）は、トレスカ相当応力^①による曲げ応力の分布を表す。最も応力が低い領域は青、中間領域は緑、高い領域は赤色で表示している。

コンター図で曲げ応力の最大値を検証した結果、許容応力値以内である事が確認できた。他の応力についての詳細は省略するが、いずれも許容応力値以内に収まっている事が確認できた。

4. おわりに

今回は、手計算では困難な形状の配管部品に対してFEM解析を用いた応力解析を実施した。特に苦労した点はメッシュサイズの選定である。メッシュサイズが粗ければ計算

は即座に終了するが精度は低下する。一方、メッシュサイズが細かい場合には計算が終了するまでに長い時間がかかるため、最終的なメッシュサイズを決定するにあたり、大幅な時間を要した。また、詳細は省略するが解析結果を理論や過去の実績と比較し検証する点にも苦労した。

今後も様々なFEM解析を実施し、ノウハウ及び実績を増やし解析に関する技術力を充実することが望まれる。また、結果の検証という点では、現状では材料力学に代表される理論や過去の解析事例との比較が主体となっている。したがって、今後は実験及び実測等を行い、解析結果と比較することにより、更なる精度の向上を目指していく所存である。

永田 智徳（設計技術センター）

用語解説

- ① FEM：Finite Element Method（有限要素法）の略称で、複雑な形状や材質の物体や構造物の解析を行うために用いられる数値解析手法の一つ。
- ② 要素分割：複雑な形状の物体でも数値解析を行えるようにするために、解析領域を要素と呼ばれる小領域に分割すること。
- ③ トレスカ相当応力：せん断応力に対する最大許容応力を表すもので、材料の降伏条件を評価する際に使用される応力のこと。

参考文献

- 1) 高圧ガス保安協会：高圧ガスの配管に関する基準 KHKS 0801, p.23 (2016)
- 2) 日本規格協会：圧力容器の応力解析及び疲労解析 JIS B 8266 附属書8（規定），pp.208-209 (2003)

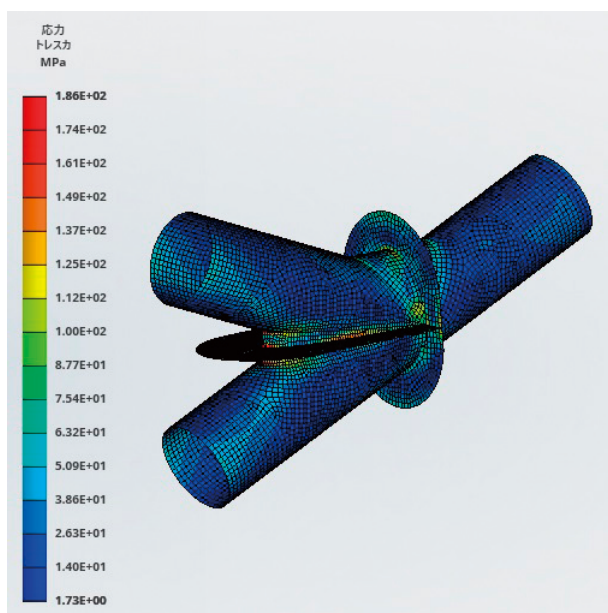


図3 コンター図