

FEM 構造解析システムの紹介

Our Newly Introduced Computer System for FEM Structural Analysis



(化)技術部 技術課
宮 田 忠 明
Tadaaki Miyata
(化)技術部 製品開発課
榎 本 正
Tadashi Enomoto

Recently, the necessity for analytic handling using Finite Element Method of our products is rapidly on the increase.

We have introduced new computer hardwares and softwares to carry out those structural analysis jobs more efficiently.

Our new designed pressure vessel with inner jacket has been analyzed using these systems. This analysis aims at investigation of stress generating at inner jacket wall by pressure and thearmal load. These results show the vessel to be safe.

まえがき

当社は、年々急増する応力解析業務の効率的処理を目的として、EWS (Engineering Work Station) をメインとするハードおよび汎用構造解析プログラムを新規に導入した。

当社の主力製品のひとつである圧力容器の設計に際し、圧力荷重が支配的であり、また法規に準じた形状である場合には、膜応力計算で代表される法規計算式で十分に安全性が保証される。しかし、ユーザの要求およびメーカーの設計の多様化により、装置形状が特殊なものとなり、法規計算式のみでは強度検討が十分でない場合、あるいは運転温度条件が厳しく、熱応力を含む疲労解析が必要な場合には有限要素法による構造解析（以下FEM解析という）が有力な手段となっている。

当社におけるFEM解析は、最近まで大型コンピュータを用いたバッチ処理で行ってきた。近年、FEM解析はEWSあるいはパーソナルコンピュータ上で稼働させることができる状況となっている。EWS、パソコン版の解析システムでは、グラフィック表示が可能になり、解析に必要な情報を次々に対話形式で処理できるため、解析作業を容易に進めることができる。もちろん大規模なモデルの解析には大型コンピュータを使用する必要があるが、通常規模の解析にはEWSで十分に対応でき、またその方が効率的である。

本稿では、今回導入した解析ハードおよびソフトの概略と、これを用いて実施した内部ジャケット付重合機の解析事例を紹介する。

1. 解析システム

構造、熱、振動などの解析の実行をより効率的に進めること、また技術・設計関連での解析業務実施要員の人的すそ野を拡大する目的に対し、今回のハード・ソフトの新規導入の効果が大きく期待される。

1.1 機器構成

第1図に解析システムのハード構成を示す。演算中心型高性能カラーワークステーション (EWS) をホストコンピュータとして主要な計算を実施する。また、パソコンとネットワークを組み、これをEWSの端末機として使用することができると共に、パソコンにも専用の解析ソフトを

搭載しており、小規模の問題であればローカルに業務の実行が可能である。

将来的な展望として、CADシステムとのネットワークによる最適化設計・図面作成のオンライン化、あるいは各種パソコンとのネットワークの拡張を検討している。

1.2 長所

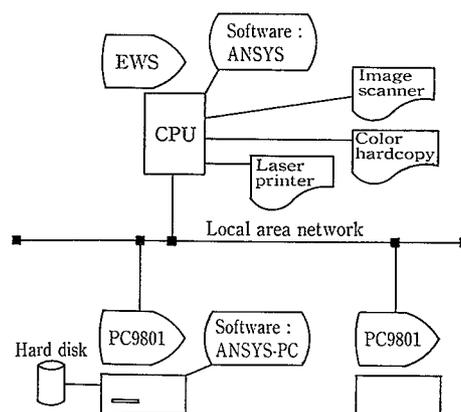
従来の大型コンピュータを用いたバッチ処理に比較して次の長所がある。

- (1) システム全体が身近に設置され、必要を感じた場合に即、解析を実行できる。
- (2) 操作が簡単であり (入力が対話形式で行える)、初心者にもコンピュータ・アレルギーを感じさせない。
- (3) CPU時間は適度に短く、解析結果が即手元に得られる。(大型コンピュータのバッチ処理にみられるような手待ち時間がなく、データ修正が時間的に効率よくできる。)

2. 解析ソフト

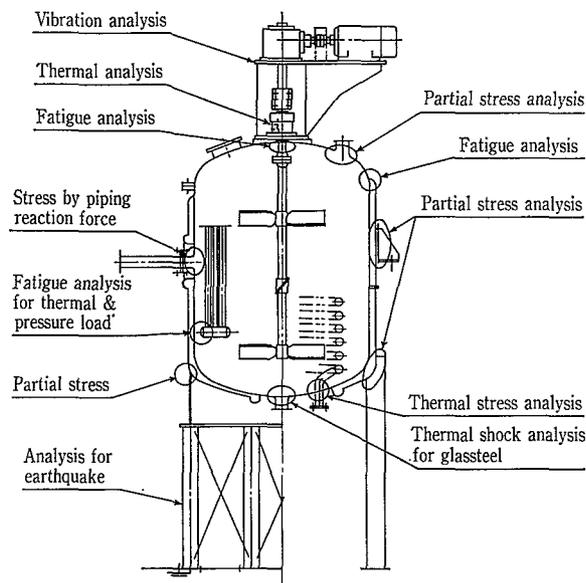
2.1 ソフト選定の条件

当社が取扱う圧力容器 (攪拌機) には、第2図に示すように、種々の解析的検討を要する部位がある。具体的な内容としては、熱解析、応力解析および振動解析がその代表である。したがって、解析ソフトの選定には、これらの解析機能が十分に装備されていることが必要条件となる。

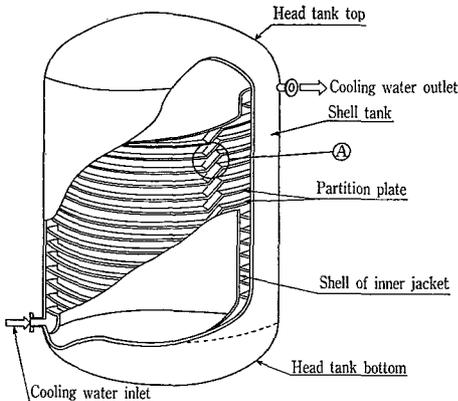


第1図 解析システム構成図

Fig. 1 Computer system for FEM structural analysis



第2図 圧力容器の解析対象部分
Fig. 2 Evaluation sections of pressure vessel with FEM analysis



第3図 内部ジャケット付容器
Fig. 3 Vessel with inner jacket

FEM解析においてはその入力データの作成段階において多くの時間、労力を必要とするため、いかに使いやすいプリプロセッサを有しているかが重要となる。

また、圧力容器の応力評価基準はASMEコードであり、この法規に従ったポスト処理ができることも必須である。さらに圧力容器の業界では、世界的に検証されたソフトでなければ一般的に解析結果の承認は受けられないため、検証のための面倒なステップを踏むことになる。

2.2 ANSYSの機能

前記の選定条件を考慮し、解析ソフトとしてANSYS(米国スワンソン・アナリシス・システムズ社製)を選定した。この解析機能の概略を次に示す¹⁾。

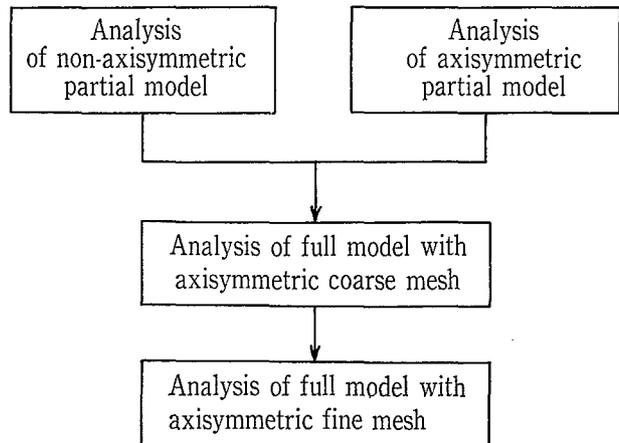
(1) 静的解析

荷重条件下での構造物の変形、ひずみ、応力および反力を解析する。線形問題から非線形問題まで取扱える。

(2) 動的解析

荷重の時刻歴変化に対する構造物の応答を解析できる。

(3) 固有値解析



第4図 解析手順フローチャート
Fig. 4 Analysis procedure flowchart

構造物の固有振動数およびその振動モードを解析できる。

(4) 熱解析

構造物内の温度分布や熱流を解析できる。線形および非線形の定常と非定常の伝熱問題を取扱える。

(5) その他

座屈問題、磁場解析も取扱える。

3. 解析事例の紹介

第3図²⁾は当社が開発した内部ジャケット付重合機である。伝熱性能改善のため、従来は圧力容器壁の外側に位置していた冷却および加熱用の圧力室(ジャケット)を容器内面に設けた構造となっている。内部ジャケット壁板、仕切板および本体胴板は一体となって弾性変形し、容器内圧に対する強度を負担する。したがってジャケット壁板は従来の圧力容器の胴板に比較し板厚を薄くすることができる。

このような構造に対しては、一般に法規、規格での板厚算定計算式が適用できないため、FEM解析が有効となる。次にその概要を紹介する。

3.1 解析手順

本題の構造物は完全な軸対称モデルではなく、一部分非軸対称構造を含んでいる(第3図④参照)。これをFEM解析で解く場合、三次元モデルとして構造物全体をモデル化する方法もあるが、要素数・節点数は膨大なものとなり、モデル化に要する労力、ならびにCPU時間の面で現実的でない。そこで、非軸対称構造部を部分モデルとして取出し、適切な境界条件を設定することにより、少ない要素数で全体モデルと差のない解析結果を得る方法が一般的である。

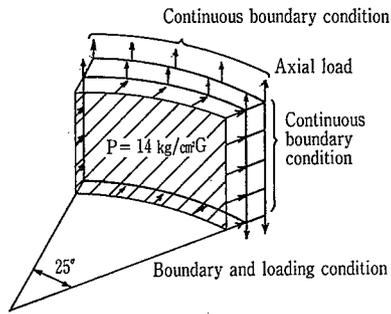
このように、最も過酷な荷重条件に対して非軸対称部および軸対称部に発生する応力比を事前に検討し、その比率がそれ程大きくない事を証明しておけば、以降の各種荷重に対する解析は軸対称モデルで実行することができる。

非軸対称部に対する評価は軸対称部応力に上記比率を乗じた値を用いる。

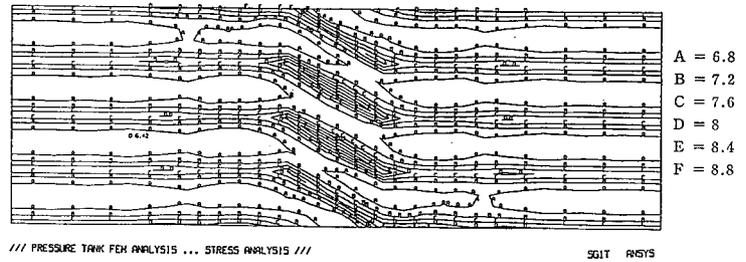
第4図に本構造物の解析手順フローチャートを示す。

3.2 非軸対称部(部分モデルによる解析)

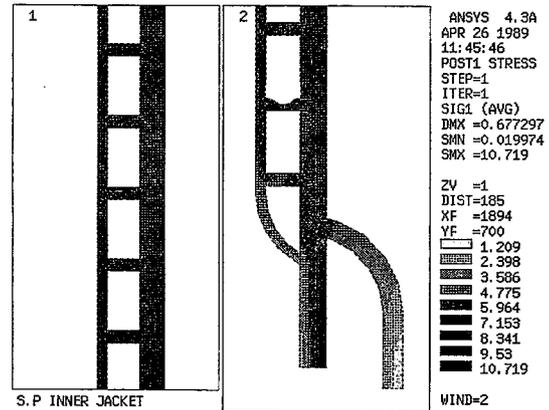
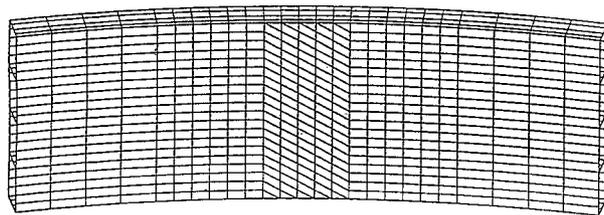
第5図に解析モデル形状、境界条件および荷重条件を示



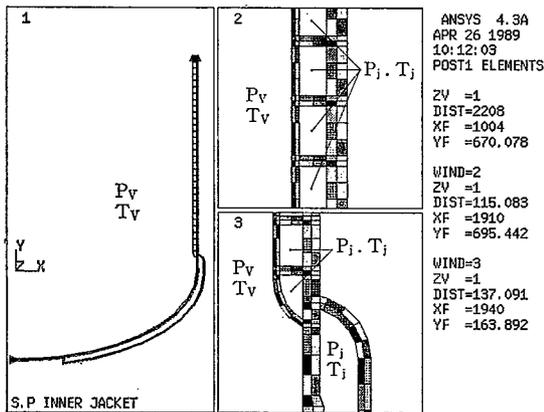
第5図 非軸対称部の解析モデル形状
Fig. 5 Geometry of non-axisymmetric partial model



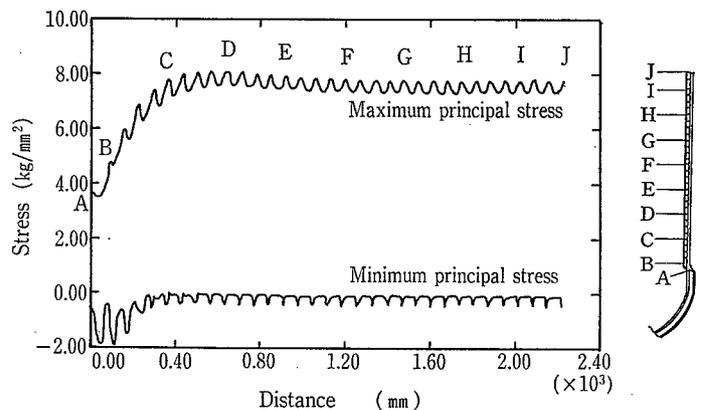
第6図 ジャケット壁内面の最大主応力コンター
Fig. 6 Contour of maximum principal stress at inner jacket wall



第8図 缶内圧 P_V (14 kg/cm²G) 作用時の最大主応力コンター
Fig. 8 Contour of maximum principal stress ($P_V=14$ kg/cm²G)



第7図 軸対称1/2モデル形状
Fig. 7 Geometry of axisymmetric 1/2 model



第9図 ジャケット壁内面の主応力分布
Fig. 9 Principal stress distribution along the inner surface of jacket

した。モデルは非軸対称部を中心とし、本部分の影響が消滅すると考えられる範囲を採用し θ 方向 25° とした。使用プログラムなどを次に示す。

- ・プログラム名 : ANSYS
- ・要素タイプ : 四辺形シェル要素
- ・要素数 : 1430
- ・節点数 : 1419

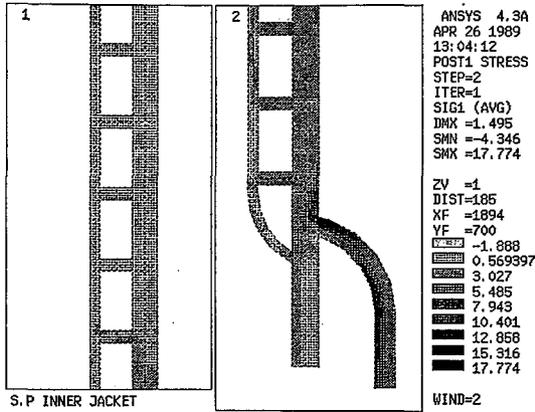
第6図は解析結果であり、ジャケット壁内面の最大主応力コンターである。同図の左右端では応力コンターが平行線となっており、非軸対称部の影響が消えていることがわかる。すなわち、同部は軸対称部の応力状態を示しているといえる。非軸対称部最大主応力 ($SG1_{NAX}$) と軸対称部最大主応力 ($SG1_{AX}$) の比は次のとおり 1.19 となった。

$$SG1_{NAX} / SG1_{AX} = 9.03 / 7.60 = 1.19$$

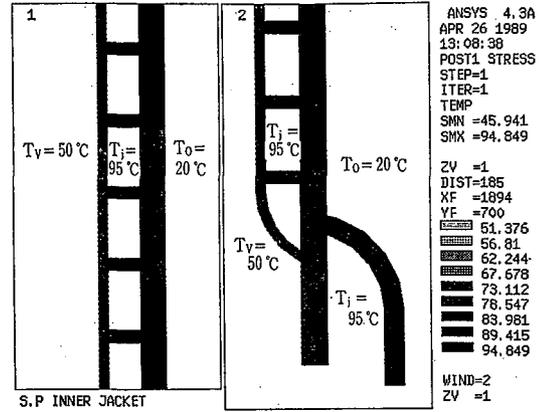
3.3 軸対称1/2モデルによる解析

3.2での検討により非軸対称部は軸対称部に比較して特別過大な応力とならないことが証明された。したがって、全体を軸対称モデルとして解析することにした。次にその結果を示す。

- ・プログラム名 : ANSYS
- ・要素タイプ : アイソパラメトリックソリッド (静解析)
- ・アイソパラメトリック伝熱ソリッド (伝熱解析)
- ・要素数 : 848
- ・節点数 : 1180



第10図 ジャケット圧 P_j ($5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$) 作用時の最大主応力コンター
 Fig. 10 Contour of maximum principal stress ($P_j = 5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$)



第11図 加熱時の温度分布 (定常解析)
 Fig. 11 Temperature contour for steady-state analysis when heated.

第7図に解析モデル形状、境界条件および荷重条件を示す。第8図以降はその解析結果である。

3. 3. 1 内圧 (P_v) に対する解析

第8図は内圧 P_v ($14 \text{ kg/cm}^2\text{G}$) が作用した時の最大主応力コンターである。第9図は内部ジャケット壁内面の最大主応力を各軸方向への分布図として示した。図中D部で最大値を示しており、内部ジャケット壁に関しては当該部に着目して応力評価を行えばよい。

3. 3. 2 ジャケット圧 (P_j) に対する解析

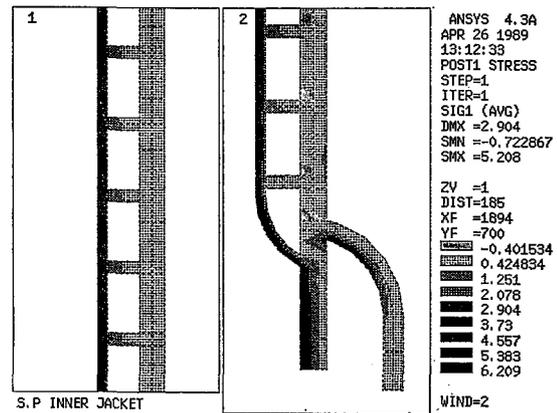
第10図はジャケット圧 P_j ($5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$) が作用した時の最大主応力コンターである。

3. 3. 3 熱伝導解析および熱応力解析

第11図は加熱工程時の定常熱伝導解析による温度分布、第12図は熱応力解析結果である。

むすび

今回、当社における解析業務の効率化の目的で導入した解析ハードおよびソフト、さらに本システムを使用して実施した圧力容器の解析事例を紹介した。従来のシステム (大型ホストコンピュータによるバッチ処理) に比較し、FEM解析につきものであったデータ作成 (プリ処理) および後処理 (ポスト処理) といった時間を大幅に短縮することができた。今後は解析対象に応じて双方の解析システムを使い分け、オーダ設計のみならず見積設計および研究開発分野での広範な活用が期待される。



第12図 熱応力コンター (主応力)
 Fig. 12 Thermal stress contour (Principal stress)

最後に、本稿で紹介した解析事例の要素分割は若干粗く、各部材を厳密に応力評価するためには、評価対象部位をもう少し細かい要素でモデル化する必要がある。しかし、従来構造とは異なり、圧力荷重に対して組合せ構造の各部材が分担して強度を受け持つという新しい発想の圧力容器の概略をつかんでいただけたものとする。

〔参考文献〕

- 1) サイバネットシステム社, カタログ
- 2) 新開: 神鋼フアウドラ-技報, Vol. 32, No. 3(1988)p. 23