

MARC有限要素法構造解析システムの導入

1 緒言

当社のメイン製品の一つは圧延ラインに用いられる複合のロール、ローラである。稼動中のロール、ローラは熱的負荷（接触伝熱、輻射熱、摩擦熱など）および機械的負荷を受け、ロール表面近傍の温度、応力の変化によって、ヒートクラックや表層剥離などが発生する場合がある。また、異常な熱応力などによる破損例もあり、圧延ラインにおけるロール、ローラの温度および応力解析は重要な課題となっている。

このような課題に対し、種々の使用条件に対する複合ロールの構造、材質、シェル厚などについて、事前検討による適正化、また、使用中のロール、ローラに発生することがある割れなどの異常について、温度、応力解析による定量的な原因の解明、把握の必要性から、MARC有限要素法構造解析システムを導入した。以下に、MARCシステムについて紹介する。

2 MARCシステムの概要

MARCシステムは、ロンドン大学とブラウン大学で長年研究教育に携わったペドロ・V・マサール（Marcal）教授をはじめ、ウェールズ大学ツイエンキーヴィッツ教授などによって開発され、有限要素法分野の多くの優秀な研究者、技術者の参加により整備、拡張が行われ、現在のMARCへと発展してきた経緯がある。MARCシステムは、世界で最初の有限要素法による構造解析汎用プログラムとして、世界各地の鉄鋼金属、航空宇宙、電気電子、原子力、自動車、造船、プラント、建築土木などの産業分野で採用されている。有限要素法によるMARCシステムは以下の解析が可能である。

- 線形解析
- 弾塑性解析
- 剛塑性解析
- 大変形解析
- 動的非線形解析
- 境界非線形解析
- 破壊解析
- 熱伝導解析
- 電場解析
- 熱と応力の連成解析
- 流体と固体の連成解析など

3 MARCシステムの特長・機能

3.1 要素テクノロジー

MARCシステムには、130種を超える解析用要素が準備され、これらの要素は最新のもので、精度が高く、かつ強力で、あらゆるMARCの解析機能で用いることができる。要素には、2次元解析については低次および高次の三角形と四辺形、3次元解析については低次および高次の四

面体と六面体などがある。従来の積分法及び低次積分法の両方ともに利用できる構成になっている。多くの要素は想定ひずみ、または要素内体積ひずみ一定の定式化を用いて強化されている。

3.2 金属材料

MARCシステムでは、弾性的な挙動と塑性的な挙動を区別する降伏応力を超えた後の材料の挙動を表現することができる。これらの複雑なモデルをスチール・アルミ・銅などの昔からある材料および粉末または「超塑性材」のような新素材の両方に対応できる。材料モデルは全て任意の有限要素と併せて用いられるので、ユーザーにとって最大限の適用性が提供される。材料パラメーターについて、温度依存性挙動、時間依存性挙動および異方性挙動などをモデル化することができる。

3.3 自動接触解析

自動接触解析機能は、変形体と剛体壁間、または多重の変形体相互に接触が発生する問題の解析を可能にする。他のFEAコードと違って、MARCではこれらのボディー間に挿入する特別の「インターフェース」あるいは「ギャップ」要素を必要としない。接触するボディーの数には制限はない。この機能は、大変形解析でも使用される。また、自己接触や衝突解析においても有効な機能である。なお、接触機能を静的または動的のいずれにおいても、すべてのMARC要素を用いることができる。

3.4 アダプティブメッシュ分割

MARCシステムでは、アダプティブ実行手順を組み合わせることで、使い易さの向上と併せて解析の精度も同時に高められる。アダプティブ荷重機能オプションは荷重をむらがないように分配して計算の収束性と安定性を保証する。この機能は、構造・動的・クリープ・熱など様々な解析タイプにおいて用いられ、また、線形解析と非線形解析の両方ともに対応する。接触問題においては、接触領域における精度を向上させるためにアダプティブメッシュ分割機能がメッシュを自動的に細分化する。

4 解析例

4.1 加熱鋼板との接触によるロール2次元解析例

稼動中の中空タイプロールの2次元解析例を図1に示す。図1. 1～1. 3はロール横断面での温度分布であり、図1. 4は半径方向応力の半径上の分布である。ロールは鋼板との接触で、表面近傍の温度上昇が見られる（図1.

1)。また、ロールの回転に伴って、ロール横断面での温度推移もわかる(図1. 2~1. 3)。ロール表面近傍の昇温範囲では圧縮応力が発生し、最大圧縮応力はロールの最表面に生じる(図1. 4)。

4.2 加熱鋼板との接触によるロール3次元解析例

稼動中の中実タイプロールの3次元解析例を図2に示す。図2. 1~2. 2、図2. 3および図2. 4はそれぞれロール表面での温度分布、横断面での温度分布およびロール表面温度の等高線分布である。図2には図1と同様に、鋼板との接触によるロール表面近傍の温度分布、温度推移が定量的、visual的に示されている。

4.3 ロール焼ばめ応力の解析例

対称性を考慮して、図3. 1にロールスリーブとアーバーの1/2縦断面の形状、境界を示す。図3. 2、3. 3

はそれぞれ焼ばめによる半径方向応力、円周方向応力の分布であり、図3. 4は半径方向応力、円周方向応力の半径上の分布である。円周方向応力はアーバーで圧縮応力、スリーブで引張応力となっており、最大引張応力はスリーブの内面に生じることがわかる。半径方向応力について、スリーブとアーバーはともに圧縮応力を示しており、最大圧縮応力は焼ばめ面に見られる。

4.4 圧縮解析例

複雑な形状の例として、MARCシステムに付随しているボルトヘッドの成形例を図4に示す⁽¹⁾。ブロック形状の素材はボルトヘッド型の上におかれて(図4. 1)、型壁面の圧縮によって変形され、最後ボルトヘッド形状になる形状およびひずみの推移が見られ(図4. 2~4. 4)、ひずみはつぶされた部分に集中していることがわかる。

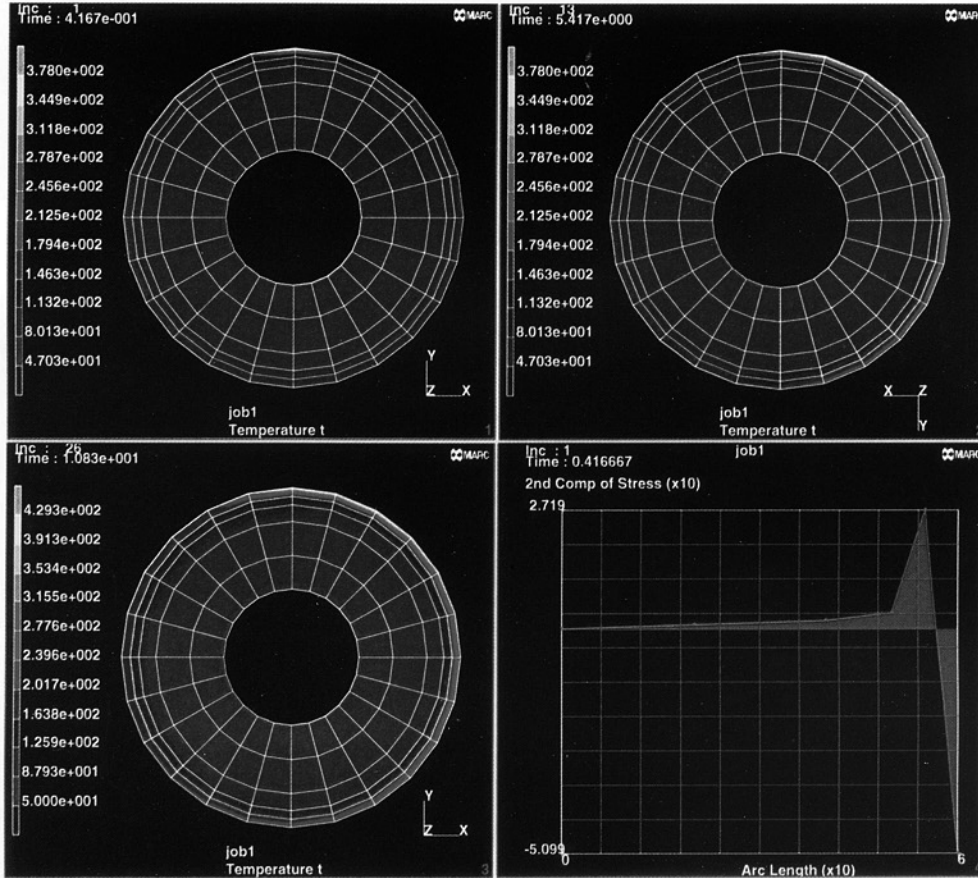


図1 加熱鋼板との接触によるロール2次元解析例

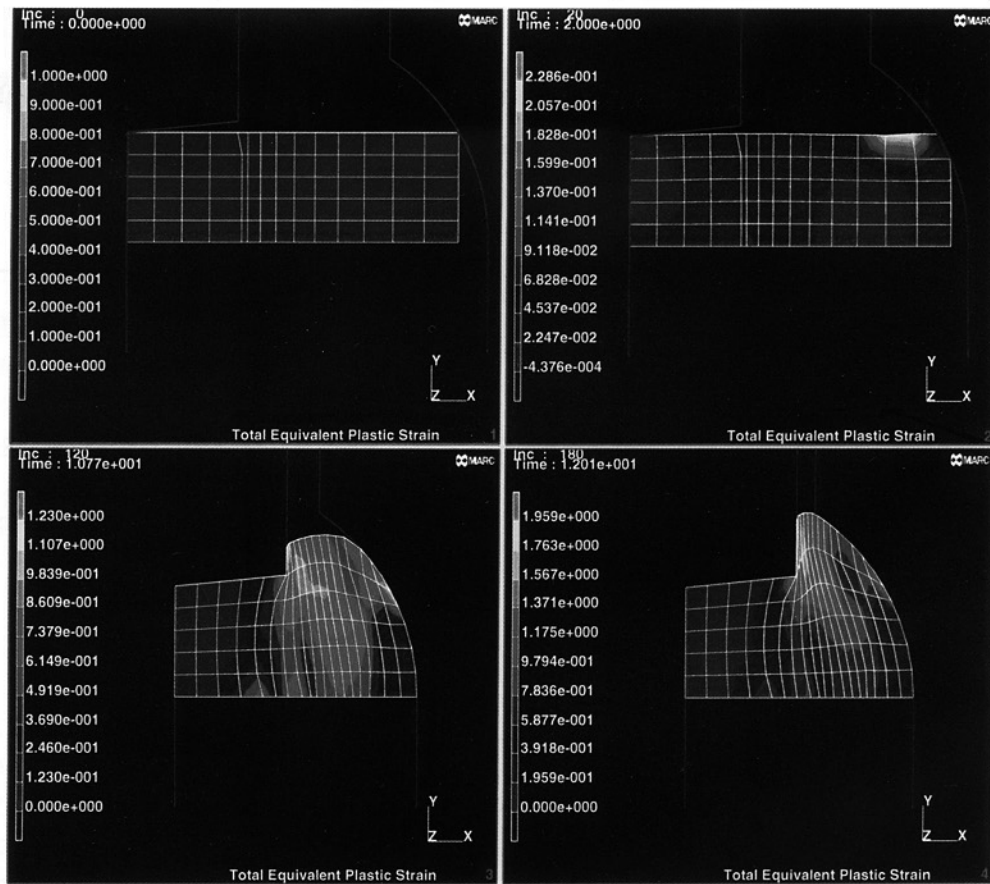


図4 ボルトヘッド³圧縮解析例⁽¹⁾

5 まとめ

以上、当社が導入したMARC有限要素法構造解析システムの特長および機能について紹介した。解析例は単純なモデルによるものであり、今後はロール温度、応力解析技術を確立すると共に、実機ロールの解析や当社創生のCPCプロセスの解析などを実施する予定である。

参考文献

1) 日本マーク株式会社編：MARC日本語マニュアル

[問い合わせ先]

本社 CPC技術開発室（山陽工場駐在）
Tel. 08654(4)5151 李平

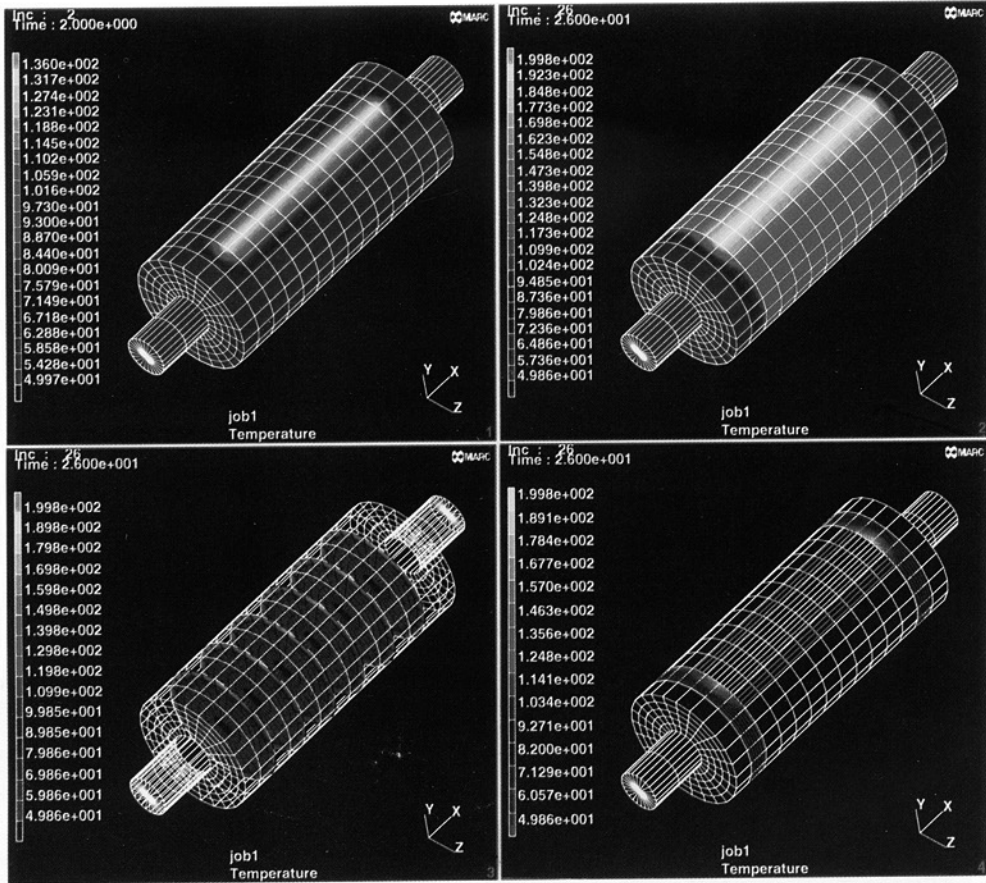


図2 加熱鋼板との接触によるロール3次元解析例

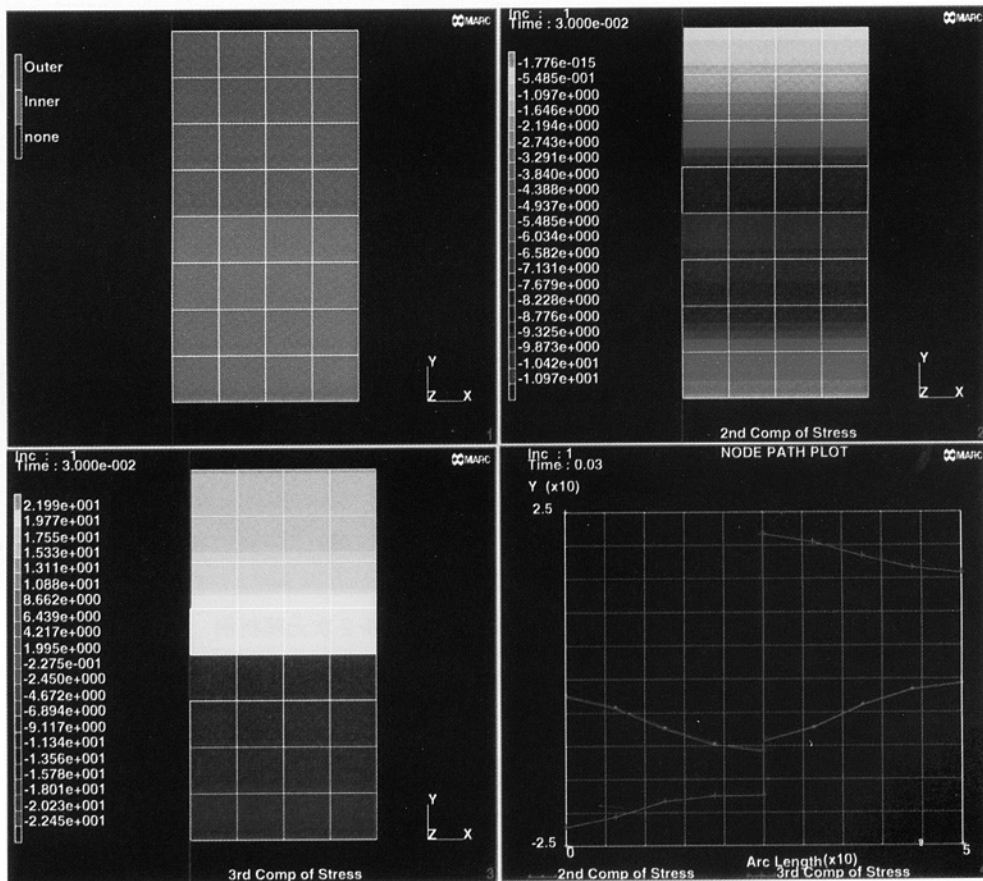


図3 ロール焼ばめ応力解析例