

九州地方知事会 「工業系公設試験研究機関の連携」における
研究会結果報告書 (H19～H21 年度)

三次元CAEを活用した生産工程の高度化に関する研究*

外山 真也*¹・佐藤征亜*¹・小金丸正明*²・土村将範*³・河北隆生*³・田中徹*⁴・小楠進一*⁵
清水慎吾*⁶・南晃*⁷・泉川達哉*⁸・永田正道*⁹・田村智弘*⁹

Study on Advanced Industrial Design with using CAE System
- Activity Report on CAE Study Group of Kyusyu -

Masaya TOYAMA, Mastsugu SATO, Masaki KOGANEMARU, Masanori TSUCHIMURA,
Ryusei KAWAKITA, Toru TANAKA, Shinichi KOGUSU, Shingo SHIMIZU, Akira MINAMI, Tatsuya
IZUMIKAWA, Masamichi NAGATA and Tomohiro TAMURA

九州・山口各県公設試のCAE担当者間の交流と技術的情報の蓄積と共有を目的として、平成19年度に九州連携CAE研究会を設立した。その活動のひとつとして、共通の解析課題を各県のソフトウェアで解析し、その結果を共同で検討・集約を行った。6種類の線形静解析および伝熱解析の課題に取り組んだ結果、理論値や実験値によくあった解析結果を得ることができた。また、解析にあたっての注意点を抽出することができた。

キーワード: CAE, CAD/CAM, Engineering, 九州連携

1 はじめに

三次元CAD/CAM, CAE等のデジタルエンジニアリングを活用した設計、解析評価システムの構築等による総合的なIT支援体制について検討を行い、企業における自動車部品の開発・製造工程における試作削減等に資することを目的とし、「九州連携CAE研究会」を平成19年度に九州を中心とした公設試験研究機関の連携(山口、福岡、佐賀、長崎、大分、熊本、鹿児島、沖縄、宮崎の9県)により設立し、CAE活用のための活動を行っている。

* 九州地方知事会 公設試験研究機関連携共同研究

- *1 宮崎県工業技術センター 機械電子部
- *2 福岡県工業技術センター 機械電子研究所
- *3 熊本県産業技術センター ものづくり室
- *4 佐賀県工業技術センター 生産技術部
- *5 長崎県工業技術センター 基盤技術部
- *6 大分県産業科学技術センター 機械金属担当
- *7 鹿児島県工業技術センター 機械技術部
- *8 沖縄県工業技術センター 生産技術研究班
- *9 山口県工業技術センター 企業技術部

これまでの活動において、6つの事例をまとめることができた。それらの事例の詳細については、各個別の報告書で紹介することにして、本報告では全体の概要について紹介する。

2 開発方法

2-1 共通課題への取り組み

データベースの事例集約として共通課題に取り組んだ。共通課題案を各県から募り、内容を研究会にて検討した上で各県所有の解析システムにて解析を実施し、結果の検討、集約を行った。

今回の取り組みで6事例がまとめられた。

2-2 解析事例データの集約

各県が保有するCAE解析事例の収集を行った。企業と共同で取り組んだ事例には具体的には提示できないものが多いのが実情であるが、差し支えない範囲において収集を行った。それらの事例についてもデータベース化を実施する。

2-3 研究会の実施

研究会を実施し、情報交換を行うことで担当者の技術レベル向上を図った。また、解析結果を研究会の場で協議、検討することにより、各種パラメータの設定の相違などに気づくこともあった。

3 事例

取り組んだ事例は、1)楔形形状の応力解析事例、2)分銅の遠心力解析事例、3)円孔のある引張試験片の応力解析事例、4)組み合わせ円筒の応力解析事例、5)温度分布解析事例、6)各種形状の冷却フィンがある物体の温度分布解析事例である。

これらの事例の概要について紹介する。

3-1 楔形形状の応力解析事例

この解析事例を図1に示す。この事例において、メッシュ分割は、各システムでの自動分割で処理し、応力及び変位について解析結果を比較した。

その結果、最大応力(Von Mises)は 1.80×10^8 MPa の5%以内に、最大変位は 0.625mm の1%以内の範囲に求められていることがわかった。さらに、要素数や要素の次数により、精度が低下することも確認できた。(詳細については、別途報告書を参照)。

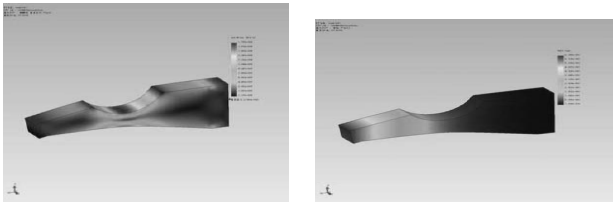


図1 楔形形状の応力分布解析事例の結果

表1 楔形形状の応力解析事例の結果

解析システム	合成変位[mm]	最大応力 [$\times 10^8$ MPa] (Von Mises応力)
I-DEAS Master series 7 (山口県)	0.625	1.80
MSC Marc(福岡県)	0.6249	1.77
MSC.Nastran (佐賀県)	0.625	1.810
MCS Marc (佐賀県)	0.6252	1.801
I-DEASNX11(長崎県)	0.622	1.80
Ansys (大分県)	0.629	1.825
Ansys (熊本県)	0.626	1.8
Unigraphics NX2(鹿児島県)	0.621	1.73
IDEAS MS8 (沖縄県)	0.628	1.80
cosmosXpress (宮崎県)	0.6249	1.788
Unigraphics NX4 (宮崎県)	0.6251	1.794

3-2 分銅の遠心力解析事例

この事例は、振動モーター用分銅が回転により生じる遠心力の影響を解析したものである。モーターの回転によって分銅に遠心力が作用した時の、応力・変形の解析を実施し、その結果と解析を実施する際の注意点を検討した。

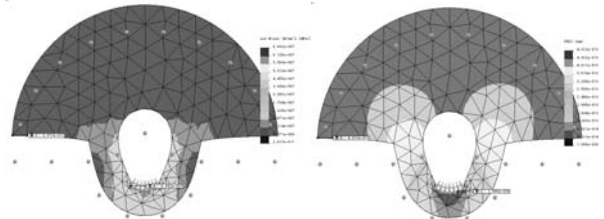


図2 分銅の遠心力解析事例の結果

表2 分銅の応力解析事例の結果

解析システム	最大応力 $\times 10^{-7}$ [N/mm ²] (Von Mises応力)	最大変位 $\times 10^{-13}$ [mm]
MCS Marc (福岡県)	4.27	4.89
MCS Marc (佐賀県)	4.20	4.76
I-DEAS (長崎県)	4.10	4.57
Ansys (大分県)	3.52	4.90
IDEAS MS8 (沖縄県)	2.55	4.53
Unigraphics NX2 (鹿児島県)	2.73	2.01
Ansys (熊本県)	5.02	5.793
Unigraphics NX4 (宮崎県)	2.65	4.15
MCS Marc (山口県)	4.84	4.73

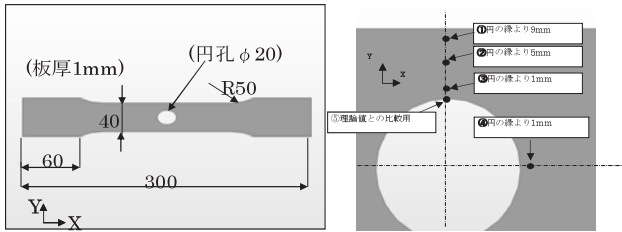
解析結果を表2に示す。この結果が示すように、ばらつきが見られる。この原因は定かではないが、自動メッシュ分割による要素数に影響しているとも考えられる。

また、この解析において、中央の穴部分に拘束条件を設定する必要があるが、メッシュ分割による要素の粗密の程度により、要素の法線方向が円筒の中心を向いてないことに気づかずに解析し、本来ならば左右対称になるべきなのに、ならない場合が発生していた。留意すべきである。

3-3 円孔のある引張試験片の応力解析事例

この事例では、JISにより定義された1号試験片

の中央部に設けた円孔の縁に発生する応力を有限要素法により求め、解析結果を実験値および理論値と比較した。



a) 概略図 b)測定位置
図3 引張試験片の形状及び測定位置

この解析においては、実際に試験片を作成し、歪みゲージを利用して実験を実施した。システム間における大きな差異は見られなかった。理論値との比較では5%以内、実験値との比較では5から11%の範囲内に収まっていた。

実験値との比較で誤差が大きくなっているのは、実際の実験においての試験片のわずかな傾斜や把持具のすべりなど、様々な要因が考えられる。しかし、データに大きなばらつきは見受けられなかった。

表3 各測定位置での歪み(μm)

(測定点④については最小値)

	山口	福岡	佐賀	長崎	大分	熊本	宮崎	鹿児島	沖縄
測定点①	46.8	48.1	47.4	47.8	48	47.2	38.3	50.8	47.6
測定点②	83.7	85.1	83.6	82.1	84	81.9	77.5	84.7	82.8
測定点③	160	160	158.7	159	158	156.3	171	150.8	159
測定点④	-52.8	-52.3	-50.5	-49.9	-49.2	-50.2	-35.0	-46.0	-50.1
測定点⑤	211	210	194.9	207	206	209.3	191	203.8	206

表4 各測定位置での応力(MPa)

(測定点④については最小主応力)

	山口	福岡	佐賀	長崎	大分	熊本	宮崎	鹿児島	沖縄	参考値
測定点①	9.72	10.0	9.9	9.87	10.0	9.8	10.1	10.5	9.9	10.9
測定点②	18.1	18.4	18.0	17.5	18.1	16.9	18.1	17.2	17.9	17.5
測定点③	32.1	33.9	33.5	33.7	33.3	32.4	32.5	30.7	33.5	30.5
測定点④	-11.2	-11.1	-10.6	-10.6	-10.5	-10.7	-10.4	-10.0	-10.6	-10.0
測定点⑤	43.7	43.9	40.8	43.2	43.1	43.3	43.4	41.8	43.1	43.2

(参考値として①~④は実験値、⑤は理論値を用いた)

3-4 組み合わせ円筒の応力解析事例

この事例では、内圧が作用する焼き嵌めされた組合せ円筒(軟鋼製)の応力状態を解析し、理論解との比較を行った。

組合せ円筒の応力解析を『平面応力』と『軸対称』の2つの手法で行い、理論値と良く一致することが確認できた。

解析対象の応力分布が回転軸に関して対称である場合は、2次元化には『軸対称』を使用するのが適切である。

また、問題を2次元化して取り扱う場合、各理論(『平面応力』、『平面ひずみ』、『軸対称』)による簡略化の制約条件に注意して使用しなければならない。

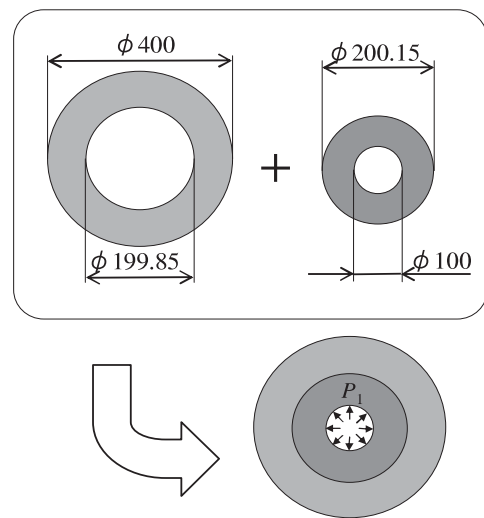


図4 組み合わせ円筒の解析の概念

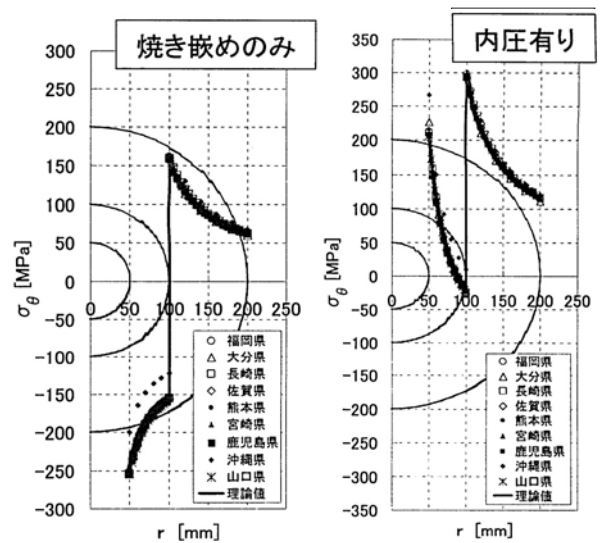


図5 組み合わせ円筒の解析結果

焼き嵌めに関する解析を行う場合、接触解析の

利用が有効であることが確認できた。また、各県保有の解析システムによる相違はほとんど見受けられなかった。

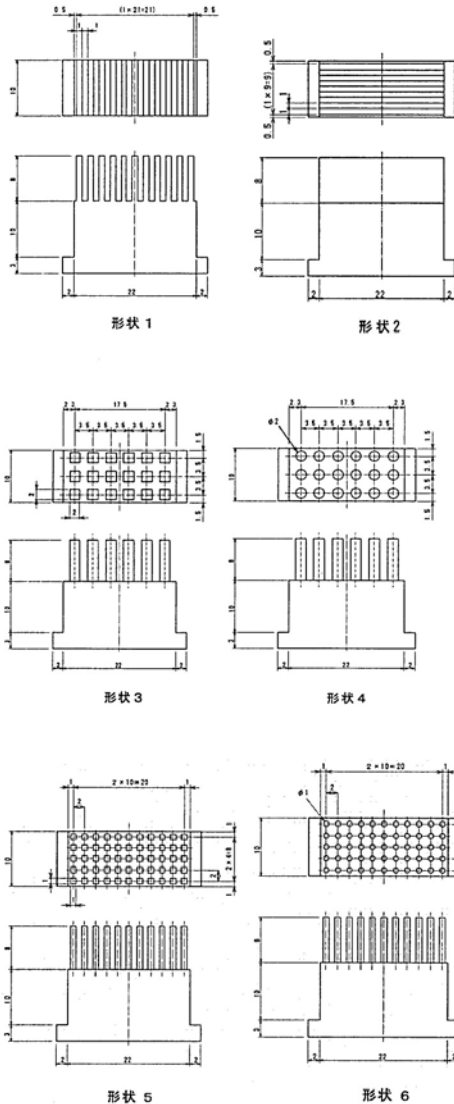


図7 解析モデルの形状パターン

3-5 温度分布解析事例

この事例では、熱応力解析における注意事項を明確化するために、ソフトウェアやメッシュ分割数の相違が解析方法や計算結果に及ぼす影響について検討した。

温度分布に関しては、どのシステムにおいてもほぼ一致している。変位に関しては、多少のばらつきが見られるが4%以内に収まっており、ほぼ一致しているとみなされる。

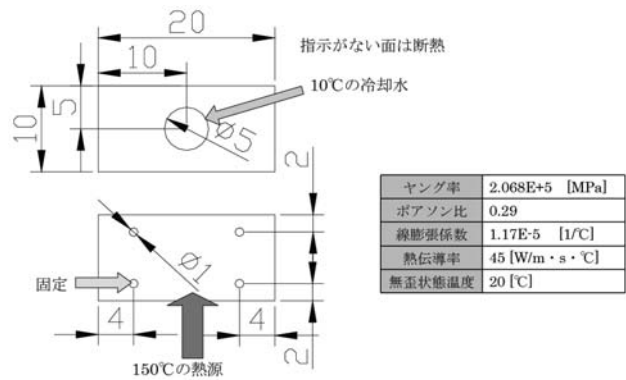


図6 温度分布解析事例の概略

表5 解析結果の比較(温度分布)

機関(ソルバー)	要素数	節点1 [°C]	節点2 [°C]	節点3 [°C]	節点4 [°C]	節点5 [°C]
佐賀(Marc)	6874	150	114.25	86.1	69.35	63.96
山口(Marc)	6549	150	114.25	86.1	69.35	63.96
福岡(Marc)	2863	150	114.25	86.1	69.34	63.96
大分(ANSYS)	30034	150	114.25	86.1	69.35	63.96
熊本(ANSYS)	4561	150	114.85	86.327	69.643	63.973
長崎(Ideas)	14551	150	114	86.1	69.3	64
沖縄(Ideas)	2863	150	114.23	86.08	69.33	63.95
宮崎(Cosmos)	7226	150	114.3	86.1	69.35	63.96
鹿児島(Nastran)	6874	150	113.2	84.8	68.1	62.8

表6 解析結果の比較(合成変位)

機関	要素数	合成変位量[μm]
佐賀(Marc)	6874	8.96
山口(Marc)	6549	8.76
福岡(Marc)	2863	8.75
大分(ANSYS)	30034	8.77
熊本(ANSYS)	4561	8.71
長崎(Ideas)	14551	8.79
沖縄(Ideas)	2863	8.81
宮崎(Cosmos)	7226	8.495
鹿児島(Nastran)	6874	8.47

3-6 各種形状の冷却フィンがある物体の温度分布解析事例

図7に解析モデルのパターン形状を示す。基本形状の外形は下面が10mm×26mmで上面が10mm×22mm、高さは13mmとした。また、下面から3mmまでが下面と同じ大きさの断面積をもち、それ以上は上面と同じ断面積の形状とした。この解析においては、全体の1/4の形状を示し、形状の下面を発熱量0.15W(全体では0.15W×4=0.6W)

の熱源として設定する。下面以外の面（フィンの面を含む）は周囲への放熱として熱伝達率 10W/m^2 $^{\circ}\text{C}$ を設定し、その時の周辺空気の温度は 15°C とした。

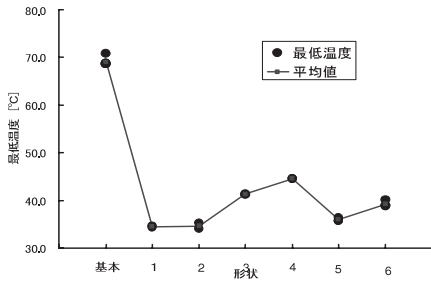


図8 最低温度の比較

また、物体の温度上昇による輻射の影響が生じる温度を 80°C と仮定し、基本形状において解析した温度分布が 80°C を超えない値として熱源を決定した。

この解析結果においては、部品全体の最低温度は図8に示すようにほぼ同様の結果が得られ、放熱フィンの効果を検証することができた。しかし、ヒートシンクの熱変形量に関しては、図9に示すように各モデルとも大きな差異はみられないが、特にモデル5及び6において図10に示すようにバラツキが生じており、その原因は今後の課題となっている。

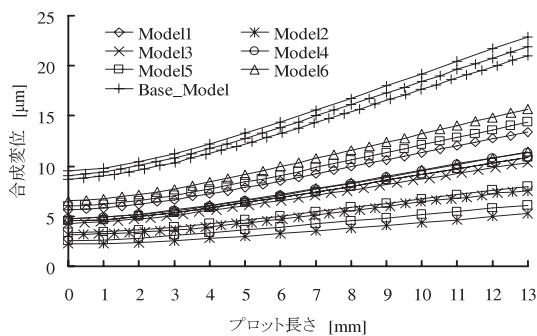


図9 各モデルでの変位の比較

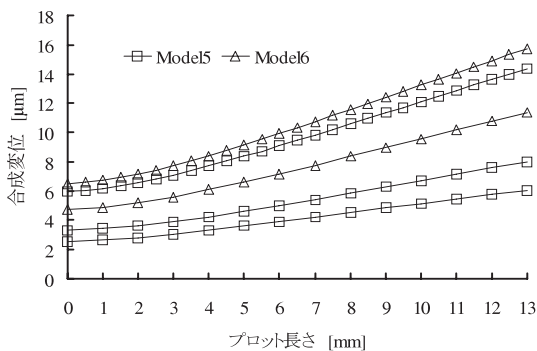


図10 モデル5及び6における変位の比較

3-7 データベースについて

集約した解析事例は熊本県が開発中の「ナレッジデータベース」に掲載している。また、熊本県の協力により、熊本県の保有する解析システムを利用した遠隔地からの解析システムの構築を進めている。

このシステムにより、解析初心者あるいはこれまで経験したことがない形状の解析を実施する場合には、ナレッジデータベースに登録された解析計算の専門知識や材料物性値、解析要領等を参照することで、必要となる解析条件の決定と結果評価の方法を決めることができる。

また、CAE解析計算が終了している製品の改良・改善や設計仕様変更の場合は、自社の既存解析結果例と大学や公設試等により公開されている解析ナレッジデータベース(DB)の他ユーザの解析結果を参照比較し、自社の製品形状や改良指針の具体的な検討を行うことも可能となる。

本システムは、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)の「地域ICT振興型研究開発」の採択を受け、熊本県にて開発を進めているところである。

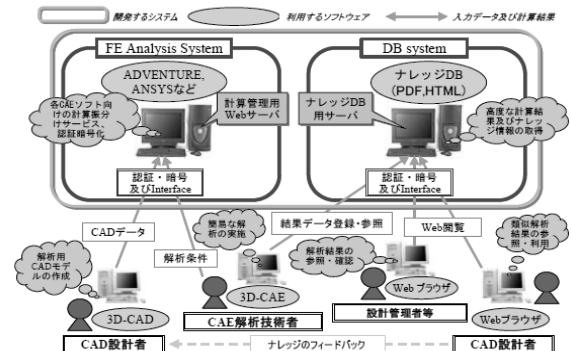


図11 ソフトウェア構成とシステム利用イメージ

4 まとめ

本研究において、6の解析事例が整理されたが、各公設機関のシステムを利用した解析結果を評価できたことは非常に有意義であると考えられる。

Sample01やSample03などの応力やひずみの解析においては、数値は非常に一致するものであり、その他の温度分布の解析においても、誤差はほぼ

5%以内であることが確認された。

また、一つの解析システムで得られた結果を、そのまま鵜呑みにすることの危険性は高いことも痛感した。

会議において各機関のデータを持ち寄り比較することによって、設定ミスなどの発見や各システムでの設定手順や操作性の相違を認識することができたことは、非常に貴重な経験であった。

さらに、年3回開催した打ち合わせ会議に参加することにより、親密な関係が生まれ、各機関で実施されている企業に対しての技術支援においても、担当者で判断が容易ではない場合に、気軽にメーリングリストを通して相談し、解決策を見出す状況もあり、活性化してきていると感じている。

また、伝熱解析においては、まだ検討が十分ではないが、システムによる結果の相違について、考察する必要があると考えている。

今後、研究会を継続し、解析結果データの相違についてさらに検討を行うことを予定している。また、デジタルエンジニアリングに関する各種のノウハウについてもデータ蓄積を行い、活用されるデータベースの構築を目指す。