

CAEの活用に関する研究*

佐藤 征亜^{*1}・外山 真也^{*1}・長友 良行^{*2}

Development of Computer Aided Engineering

Masatsugu SATO, Masaya TOYAMA and Yoshiyuki NAGATOMO

精密測定における「温度ならし」に関して、CAE解析と熱電対を使用した温度測定実験を実施した。これらの結果を比較することによりCAE解析に用いる境界条件を絞り込み、計算精度の向上を行った。さらに、温度ならしの時間を短縮する方法についても検討を行った。

キーワード：CAE，熱伝導解析，設計支援，精密測定

1 はじめに

CAEはコンピューターによるシミュレーションを意味し、CAEを活用することでこれまで机上では困難であった複雑な形状に関する強度や温度等の物理量の変化予測が可能となる。そのため、近年、CAEは様々な産業分野において活用されてきている。しかし、県内企業においては、CAEの活用が十分に浸透していない状況にある。そこで、当センターにおいてCAEの活用に関する研究に取り組み、県内企業の技術力向上、生産工程の効率化に貢献することを目指している。

今年度の研究の対象は熱伝導解析とした。高精度が要求される精密測定分野においては、熱によって生じる物体の膨張収縮が無視することのできない測定誤差要因となる。そのため、測定を行う前に、対象物を測定場所に置いておくことで室温に馴染ませる「温度ならし」を行う。しかし、一般に温度ならしに要する時間は定義されておらず、対象物の熱状態を把握することなしに経験的に実施されている。そこで、CAE解析を用いて試験片の温度状態を把握することを試みた。具体的にはCAE解析と熱電対を用いた温度測定実験を実施し、それぞれ求められた温度データを比較することで、CAE解析に用いる境界条件の絞り

込みを行った。さらに、温度ならしの時間を短縮する方法についても検討を行った。

2 実験方法

2-1 温度測定実験の方法

図1に試験片の形状を示す。形状は単純な円柱とした。この試験片を5, 10, 15, 25, 30, 35のそれぞれの温度状態にした後、室温20の部屋で、その温度に十分馴染ませた石定盤上に試験片を置き、その状態での温度変化を測定した。材質には、一般的なオーステナイト系ステンレスであるSUS304を使用した。また、このときの測定位置は、図1に示す中心位置である測定点と、側面の測定点の2点とした。温度測定実験は、機械技術センターの精密測定室にて実施し、図2のようにエアコン等の風の影響を受けないように、

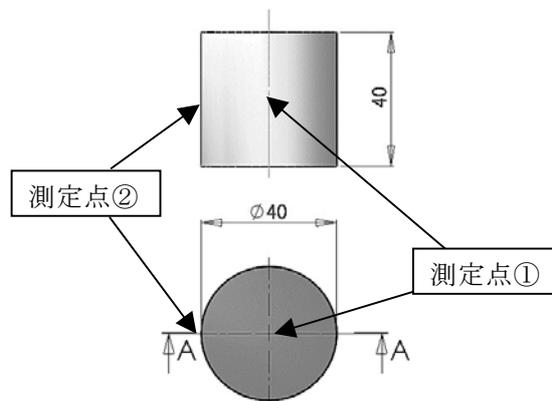


図1 試験片形状

* CAEの活用に関する研究 (第3報)

*1 機械電子部

*2 宮崎県機械技術センター

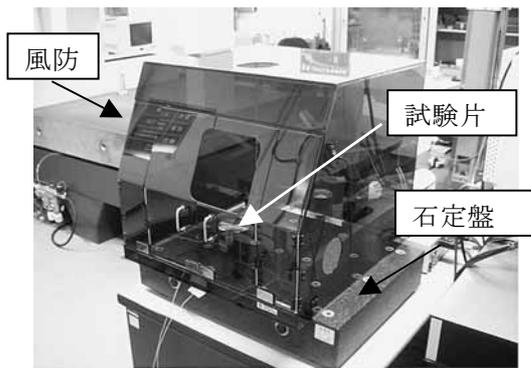


図2 温度測定実験

試験片を風防内に置いた状態で実施した。また、温度の測定には、(株)アンベエムエスティ社製の極薄熱電対 (KSG-40-200-200) と極細熱電対 (KMG-200-200) を用い、10秒毎に測定を行った。

2-2 CAE解析の方法

CAE解析にはCosmosWorks 2008を使用し、非定常熱伝導解析を行った。CAE解析に用いた詳細な計算条件および材料物性は表1に示すとおりである。

表1 解析プロパティ

メッシュタイプ	個体メッシュ
時間ステップ	1 min
メッシュサイズ	5 mm
試験片材料物性 (SUS304)	
比熱	500 J/(kg·K)
熱伝導率	16 W/(m·K)
密度	8000 Kg/m ³

3 結果および考察

3-1 熱伝達係数の検討

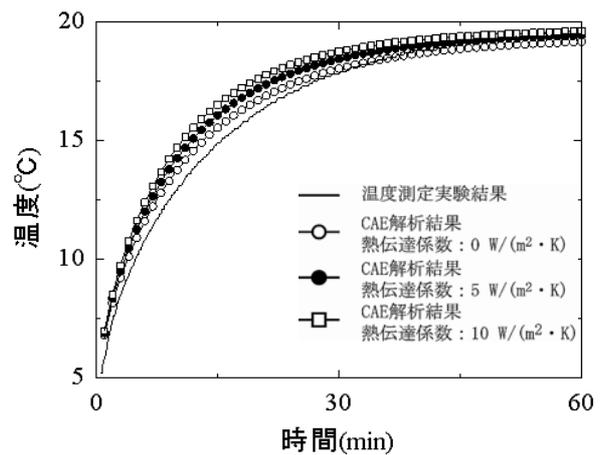
試験片と外部との熱の移動は、空気と試験片の側面および上面の接触部分とによって行われる熱伝達と、試験片の下面と石定盤の接触で行われる熱伝導が考えられる。前述したとおり、試験片はエアコン等の風の影響を避けるため風防内に置かれた状態である。そのため、試験片の周囲は自然対流による熱伝達が行われるものと考えられる。一般的に、自然対流状態での熱伝達率は、10 W/(m²·K)以下とされている。そこで、熱伝達率を

10 W/(m²·K)以下の範囲で変化させ、逐一、CAE解析を実施し、温度測定実験結果との比較を行った。

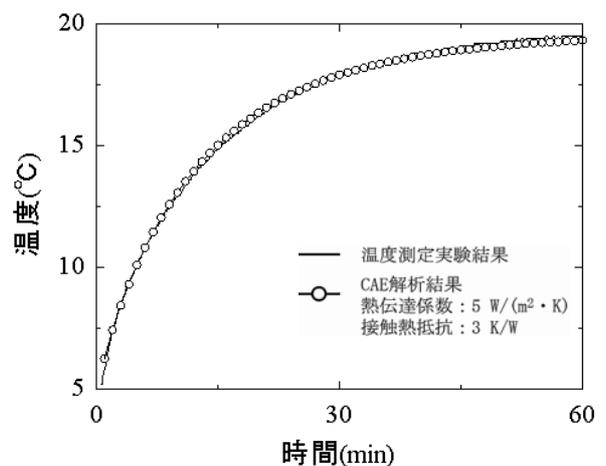
図3(a)に試験片初期温度5℃の場合の試験片中心位置(測定点)における温度変化を示す。この結果より、自然対流条件の範囲内では熱伝達率の影響は、比較的小さいものであることがわかった。これより、熱伝達率を5 W/(m²·K)としてCAE解析を行うこととした。また、いずれのCAE解析結果も実験結果より早く室温に収束してしまう傾向にあることがわかった。

3-2 接触熱抵抗の検討

前項の結果より、実際の現象よりもCAE解析結果の方が、熱が移動しやすい状態となっていることが考えられる。そこで、試験片下面と石定盤との間における接触熱抵抗を考慮してCAE解析



(a) 熱伝達率を変化させた場合



(b) 接触熱抵抗を考慮した場合

図3 初期温度5℃の場合の測定点の温度

を実施した．図 3 (b)に接触熱抵抗値を 3 K/W，熱伝達率を 5 W/(m²·K)とした場合のCAE解析結果と温度測定実験の結果を示す．この条件により，実験結果とCAE解析結果をほぼ一致させることができた．

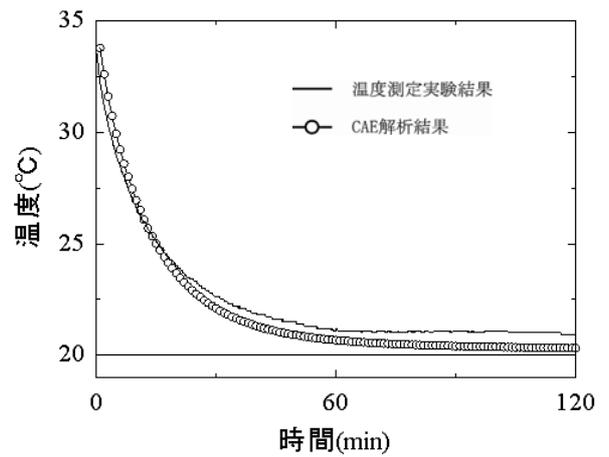
次に，実験値との比較により求めた接触熱抵抗値の確認のため，接触熱抵抗の推定式である橋の式¹⁾を用いて検証を行った．接触面での空げきを満たす流体の熱伝導率が固体の熱伝導率に比べてかなり小さい場合には，単位面積あたりの接触熱抵抗の逆数，すなわち，接触熱コンダクタンス K は，

$$K = \frac{1.7 \times 10^5 \times 0.6P}{\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_0}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2 + \sigma_0}{\lambda_2}\right)H} + \frac{10^6 \lambda_f}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

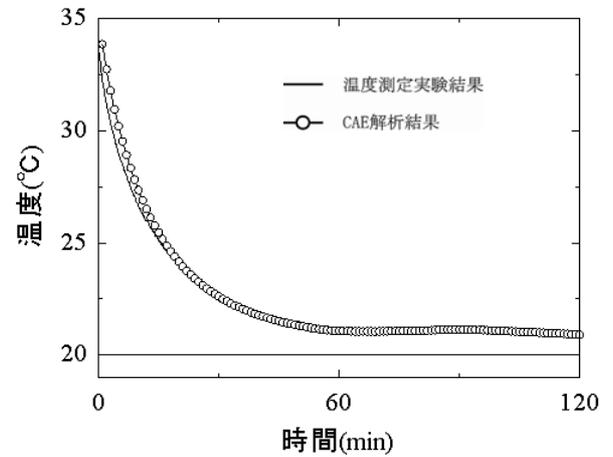
で求められる．ここで， σ は物質の表面粗さ， σ_0 は接触相当長さ， λ は固体の熱伝導率， λ_f は流体の熱伝導率， P は接触圧力， H は硬度である．ただし，接触圧力の小さい今回のような場合には，第 1 項の影響を小さいものとみなすことができ，近似的に無視することが可能である．今回求めた接触熱抵抗から熱抵抗コンダクタンスを求めると 1061.6 W/(K·m²)である．この値と空気の熱伝導率 0.0241 W/(m·K)を上記の式に代入すると，固体の表面粗さは約 23 μm であり，金属の表面粗さとしては現実的な値であると言える．このことから，熱抵抗値としては妥当であると考えられる．

3-3 その他の誤差原因に関して

図 4 (a)にこれまでの取り組みで求めた境界条件を用いて，試験片初期温度 35 °C の場合の試験片中心位置における温度変化を示す．実験結果と CAE 解析結果を比較すると，若干の誤差が存在することがわかる．この誤差の原因の一つとして室温変動が考えられる．そこで，精密測定室の室温の測定を行った．その結果，エアコンにより空調を行っているものの，20 °C を基準に ± 2 °C 程度の温度変化が存在することが判明した．この室温変動により，室温一定の条件で計算を行っている CAE 解析値と室温測定値の間に誤差が発生することが考えられる．さらに，室温の測定結果から，室温の平均値が 20 °C よりも若干高いこともわかり，初期試験片温度が室温よりも高い場合において誤



(a) 室温一定でCAE解析結果を行った場合



(b) 室温変化を加えてCAE解析を行った場合

図 4 初期温度 35 °C の場合の測定点の温度

差が大きくなったと考えられる．図 4 (b)に室温と石定盤の温度変化を境界条件として与えて CAE 解析を行った結果と実験結果の比較を示す．この結果から，20 °C 近傍での温度変化がほぼ一致する結果となっており，室温変動が誤差の原因であったことを確認した．

3-4 温度ならし時間短縮方法の検討

熱の流量は，フーリエの法則より温度勾配に比例する．そのため，室温と試験片温度の差が大きい温度ならしの初期段階においては熱の流入出が大きい，室温と試験片温度が近づいてくると熱の流入出量は減少する．すなわち，温度ならしに要する時間の多くは，室温近傍における熱の流入出で要していると推測できる．そこで，試験片の置かれている環境温度を変化させることにより温

度の収束曲線を変化させることで、温度ならし時間を短縮することを試みた。

図5に、初期温度5の試験片を20から30まで2毎に環境温度を変化させた場合の測定点におけるCAE解析による温度変化を示す。その結果、環境温度を20から2上昇させただけでも、目標温度である20への到達時間が半減されていることがわかる。当然、環境温度を上昇さ

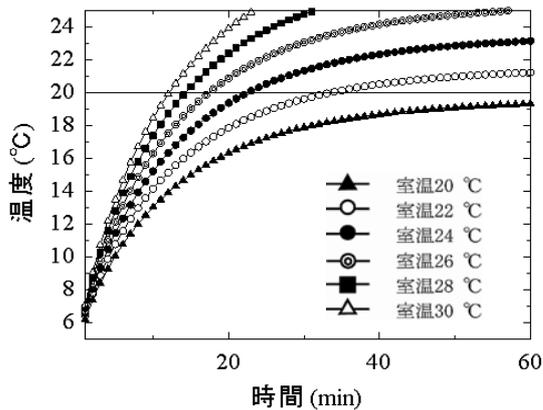


図5 環境温度を変化させた場合の測定点の温度

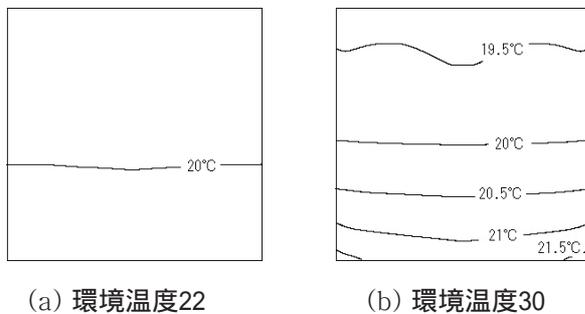


図6 測定点が20に到達した時の試験片温度状態

せることにより、この傾向は強まる。

次に、図6に試験片の測定点が20に到達したときの図A-A断面における温度状態を示す。図6(a)は環境温度22の場合、図6(b)は環境温度30の場合である。この結果から、環境温度が22の場合には、試験片内部の温度が室温である20を基準に ± 0.5 以内の分布となっており、ほぼ均一であることがわかる。一方、環境温度が30の場合においては、試験片内部において2以上の温度差が発生しており、温度分布が不均一となっていることがわかる。

以上の結果から、環境温度を変化させることで温度ならしに要する時間を短縮することは可能であるが、目標温度と環境温度の差を大きくし過ぎた場合には、室温への収束性は飛躍的に向上する反面、内部の温度分布が不均一になってしまい、温度ならしとしては適当ではないことがわかった。今回の条件下では、環境温度と目標温度の差を2~4程度以内で実施するのが有効であると考えられる。

4 まとめ

熱に関するCAE解析と熱電対を使用した温度測定結果を比較し、境界条件の特定を行った。これらの実験により、熱に関するCAE解析のノウハウを蓄積するとともに、精密測定に関して、CAE解析による温度ならし時間予測という応用を簡易的ではあるが行うことができた。

5 参考文献

- 1) 橋 藤雄：日本機械学会誌，55-397，102-107 (1952)