

プロンプトエンジニアリングによる有限要素法を用いた 構造解析

Structural analysis using finite element method by Prompt Engineering

金澤壮紀¹⁾, 羽鳥凌平¹⁾, 長谷川浩志²⁾

Masaki Kanazawa and Ryohei Hatori and Hiroshi Hasegawa

- 1) 芝浦工業大学 大学院理工学研究科 システム理工学専攻 (〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307)
2) 芝浦工業大学 システム理工学部 (〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307)

Generative AI technology has developed rapidly in recent years. This has made prompt engineering important. Therefore, we believe that anyone can perform structural optimization by combining prompt engineering and CAE. In this research, we attempt structural analysis by prompt engineering and explore the possibility of computational mechanics by generative AI based on the results of the analysis. It is not easy for a generative AI to perform accurate stress calculations, and the prompts to be input are important. Therefore, we used the finite element method to input prompts to obtain desirable generated results.

Key Words : CAE, Prompt Engineering, Generative AI, finite element method

1. はじめに

CAE(Computer Aided Engineering)は現代のエンジニアリングに欠かせない技術であり、設計から解析、製造、教育まで広範囲に影響を与えている。また、CAEの大衆化(CAE Democratization)により、解析や設計の専門家の人だけでなく、より多くの人々の間で普及した。この状況に加えて、学習されたデータから文章や画像などを出力する生成AI(Generative AI)の急激な性能向上により、多様な分野で活用事例が増えていくことが予測される。生成AIは精度の良い結果を得るためのプロンプト、すなわち指示や質問が極めて重要となり、その性能を向上させるプロンプトエンジニアリングが鍵となる^[1]。実際に、「Let's think step by step」という一文を加えたZero-shot CoT と呼ばれるプロンプトを入力したことで、大規模言語モデル(LLM)からの出力結果が、一般的なプロンプトに対して大幅に向上した^[2]。一方、工学分野でもAIの利用が活発になっており、製品開発から生産、保守に至るまで幅広く活用されており、品質向上やコスト削減に大きく貢献している。

本研究では、プロンプトエンジニアリングによる構造解析を試行し、その解析結果から生成AIによる計算力学の可能性を探る。

2. 生成AIによる構造解析^[3]

(1) 生成AI

本研究で用いた生成AI、ChatGPTは2022年にOpenAIが開発した対話型のAIであり、対話以外にも利用できる汎用性の高さが大きな利点である。ChatGPTの優れた性能は、人間のフィードバックを利用した独自の強化学習が起因している。一方で、ハルシネーション(Hallucination)と呼

ばれる事実とは異なる情報を出力することが問題となっている。ChatGPTから精度の良い結果を得るためには質問の仕方に工夫が必要であり、特に重要であるのが、「明確な指示」、「段階的な質問」、「具体例を提供」、「フィードバックの利用」である。

(2) プロンプトによる構造解析

図1にChatGPTで構造解析する穴あき平板の詳細を示す^[3]。図2にプロンプトエンジニアリングによる構造解析プロンプトを示す。図3は、シーメンスPLMソフトウェアのFEMAPによる、図1のモデルの構造解析(静解析)結果となるフォンミーゼス応力コンター図と、図2のプロンプトをChatGPTに入力し、出力された結果を示す。

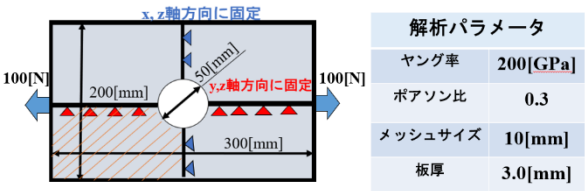


図1 モデルの詳細^[3]

//あなたはCAEエンジニアです。ステップごとに考えてください。
//モデルの寸法：長さ300mm、幅200mm、板厚3.0mm、穴径50mmでプレートの中央に位置しています。プレートの左下1/4のみを表示し、穴に対応する領域は何も見えないようにマスクする。
//引張荷重：10000N、ヤング率：200GPa、ポアソン比：0.3
//メッシュ：サイズ10mm、タイプ：四角形
//境界条件：円の中心から水平方向、鉛直方向に固定
矩形板の円形穴の周りの応力分布の等高線図を作成する。応力分布はジェットカラーマップで表し、右側に応力レベルをMPaで示すカラーバーを含める。X軸は0-150mm、Y軸は0-100mmの範囲とする。正確なスケールリングのため、プロットの縦横比が等しくなるようにしてください。

図2 入力するプロンプト^[3]

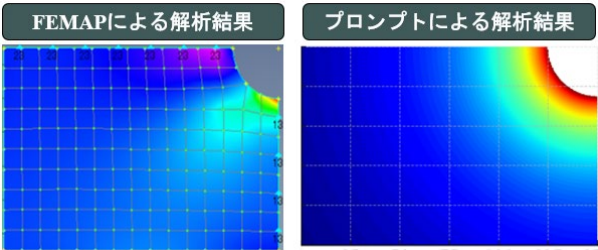


図3 解析結果の比較^[3]

図3から、ChatGPTによる解析結果は、円の中心点からの距離をプロットしただけであり、正確な応力値を出力できていない。よって、解析結果の質を担保するため、プロンプトに改善が必要である。図2のプロンプトは、計算力学の知識やCAEの計算技術を有していない一般ユーザーに対して作成したが、より解析に必要な情報をプロンプトに組み込む必要があると考えた。そこで、3章では有限要素法によるプロンプトを試行する。

3. 有限要素法による構造解析

有限要素法(Finite Element Method)とは、複雑な物理現象を数学的に解析する手法の一つである。有限要素法を用いたプロンプトを作成し、構造解析を実行することで、ChatGPTが正確な応力計算ができるかを検証する。

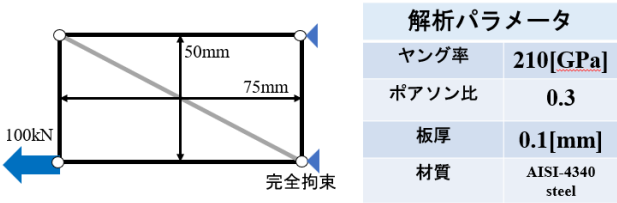


図4 有限要素法による構造解析モデル

プロンプトの作成は、まずChatGPTに「あなたはCAEエンジニアです」と役割を与える。ChatGPTに対し、役割を与えることで、生成結果の精度を上げることができる。次に、「有限要素法を用いたPythonコードを書いてください」と指示する。ここでは、有限要素法による構造解析が実行できるかを検証するために、平板を三角形一次要素にて二分割した解析モデルとする(図4)。この解析モデルの寸法と解析パラメータの情報を入力し、学習させる。また、ChatGPTによるハルシネーションを防ぐため、ユーザー側から使用する式を指定する。「明確な指示」をするため、辺ではなく、片側の節点を完全拘束、反対側の節点に100kNの引張荷重をかけるように指示する。そのプロンプトを図5に示す。

4. 結果と考察

有限要素法を用いたプロンプト、図5をChatGPTに入力し、出力された結果が図6である。出力結果のフォンミーゼスの相当応力を評価するため、FEMAPによるフォンミーゼス応力コンター図も図6に出力した。図6を比較すると、応力値が一致していることが分かった。よって、図4のような単純な解析モデルであれば、ChatGPTで有限要素法を用いた正しい応力計算が可能であることを確認した。この結果から、ChatGPTは有限要素法の知識を有していることがわかる。ChatGPTからどのように引き出すか、そのためのプロンプトが非常に重要である。

あなたはCAEエンジニアです。ステップごとに考えて構造解析をしてください。
有限要素法を用いて応力計算するPythonコードを書いてください。
節点座標は[0,0],[75,0],[75,50],[0,50]です。要素2個の三角形一次要素に変更してください。
まず最初に「D行列」を求めてください。
以下の式を利用して「三角形要素の面積」を計算してください
$$A = \frac{1}{2}((x_2 - x_1) * (y_3 - y_1) - (x_3 - x_1) * (y_2 - y_1))$$

「B行列」、「要素剛性行列」、「変位」、「応力」を順に求めてください。
以下の式を利用してフォンミーゼス応力を求めてください。
Matplotlibを用いて応力分布図を描いてください。
$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

図5 有限要素法によるプロンプト

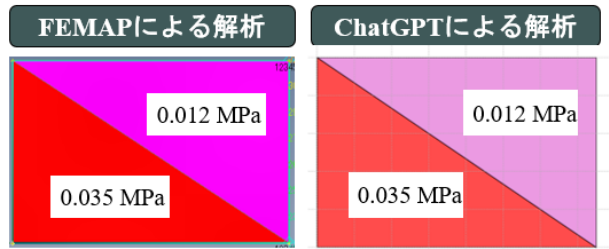


図6 構造解析結果の比較

5. 今後の展望

本研究では、三角形一次要素により二分割した解析モデルを用いて、生成AIによる構造解析を行った。この解析結果により、有限要素法解析を実行できることがわかった。今後は、適切な有限要素サイズでメッシュ分割を行い、構造解析の実現可能性を検証する必要がある。また、生成AIで構造解析を実施するためには「どのようなプロンプト」を入力すべきかなどについて整理をしていく必要がある。

参考文献

[1] クジラ飛行機, “プロンプトエンジニアリングの教科書”, マイナビ出版, (2023), pp4-184.
[2] Takeshi Kojima, Shixiang Shane Gu, Machel Reid, Yutaka Matsuo, Yusuke Iwasawa, Large Language Models are Zero-Shot Reasoners, arXiv, 2022.
[3] 金澤壮紀, 羽鳥凌平, 長谷川浩志, “プロンプトエンジニアリングによる計算力学の可能性”, 日本機械学会第37回計算力学講演会(CMD2024), 2024.