

3次元計測およびホログラフィ干渉計測による薄肉構造物の非破壊検査に関する研究

長崎大学大学院 学生員 ○大石裕介 神原天鳴
長崎大学工学部 正会員 松田浩 崎山毅

1 はじめに

筆者らは膜・シェル構造の形状計測のためにレーザ光と CCD カメラを用いた可搬型・非接触 3次元計測装置を試作開発してきた。また、それにより得られる膨大な 3次元座標情報を用いた大規模ソリッド・シェル要素による FEM 解析を実施している。さらに、このようにして得られる FEM 解析結果の信頼性と精度を検討するために、板の振動実験を行ない、共振周波数および振動モードを比較検討してきた。本研究ではこれまでの研究成果を踏まえ、人工的な欠陥を有する薄板や曲面板試験片を製作して、①ホログラフィ干渉計測による振動数と振動モードの変化、②3次元計測により得られるデータを用いた大規模 FEM ソリッド・シェル要素解析による薄肉構造物の非破壊検査法としての適用可能性について検討したものである。

2 実験および計測の概要

2.1 ホログラフィ干渉計測法

振動実験はホログラフィを用いた振動モード測定法のために振動絶縁された防振台上の定盤上で行った。固定金具に試験片を固定し、試験片の裏面からスピーカーで加振した。また、振動モード測定法には時間平均法を用いた。ホログラム記録の原理を図 1 に示す。

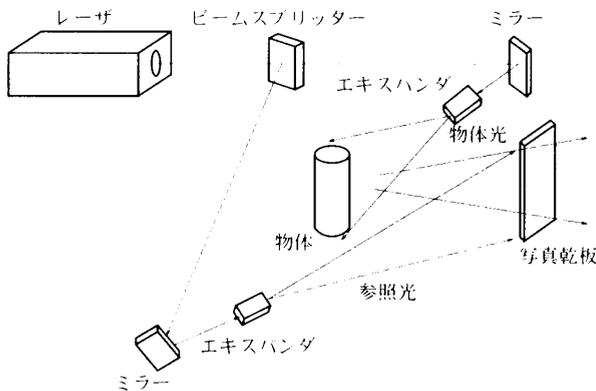


図 1 ホログラムの記録

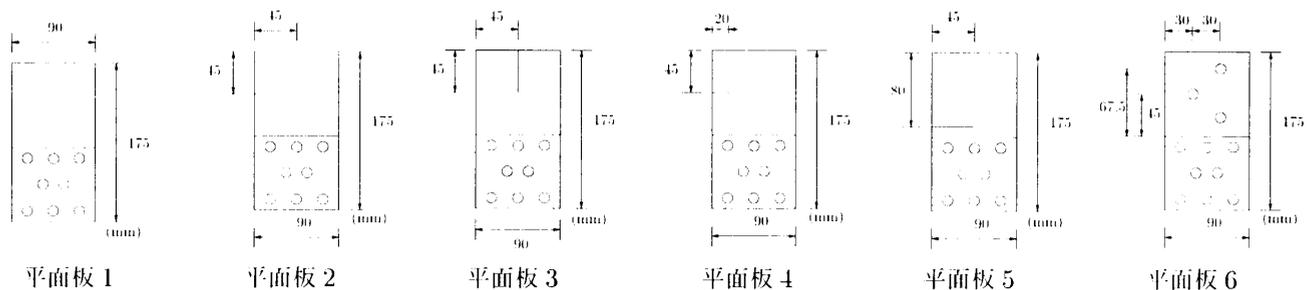


図 2 試験片寸法図

時間平均法とは、図 1 に示すように、レーザ光をビームエクスハンダにより 2 方向に分割し、一方を乾板に参照光として照射し、もう一方を計測対象物を経由し乾板に照射する。乾板を振動の周期に対して十分に長い時間露光する必要があるが、時間平均法は光学系が簡単であり、振幅が 0 の位置を示すノードラインが明るく表示される。これが振動の振幅に対応する干渉縞である。

2.2 3次元計測装置

写真 2 に示すように、本 3次元計測装置は CCD カメラ 1 台とスポットレーザ投光器を同一定盤上に一体化させている。本計測装置は、スリットレーザ投影法で 3次元計測を行うことが可能である。本計測装置の有効性を検討するため、写真 3 に示す触針式 3D 計測器を用いて比較した。

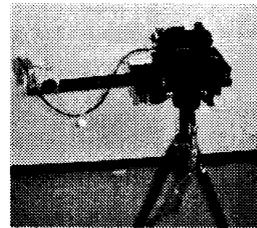


写真 2 3次元計測装置

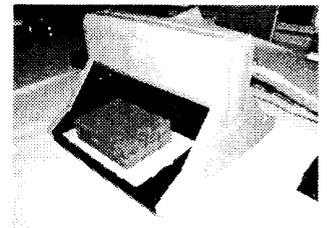


写真 3 触針式 3D 計測器

2.3 試験片

本実験では、平面板試験片 6 種類と曲面板試験片 2 種類、合計 8 種類の試験片を使用した。図 2 に示すように、欠陥を想定して、切欠き、開孔、を人工的に生じさせている。平面板 1 は欠陥のない健全な試験片である。平面板試験片は高さ 175mm、幅 90mm、厚さ 1mm で、曲面板試験片は高さ 150mm、幅 45mm、厚さ 0.1mm であり、どちらもアルミ合金からなる。

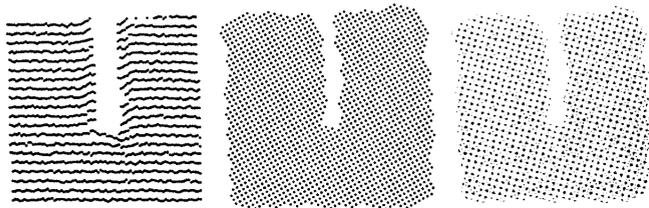
キーワード：3次元計測、ホログラフィ干渉計測、非破壊検査、薄肉構造物、自由振動解析

〒852-8521 長崎県長崎市文教町1番14号 TEL:095-843-7204 FAX:095-843-7204

アルミ合金の材料定数はヤング率 $E = 71\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.33$ 、密度 $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$ である。双方止め金とボルトにより治具に完全固定する。

3 FEM メッシュ作成方法

FEM メッシュは三次元計測により得られた座標データを用いて作成した。本計測装置により得られる座標データはデータ数が多く、ノイズもあり、またデータ間隔が不均一なため、そのまま用いてメッシュ分割するのは困難である。そこで、FEM メッシュ分割作成のため、① データのノイズを目視により削除し、(図 3(a)) ② $x-y$ 平面に投影して $0.5 \times 0.5\text{mm}$ 間隔で平均化し、(図 3(b)) ③ 三角形要素を作り、① より実物に近い形状となるように、解析モデルを作成した。(図 3(c)) このようにして実施するメッシュ作成の有効性の確認のために、座標値を直接入力した 3D 座標データを用いて解析を行ない解析 2 として比較検討した。



(a) 計測点群 (b) 均一化点群 (c) メッシュ図
図 3 FEM メッシュ作成

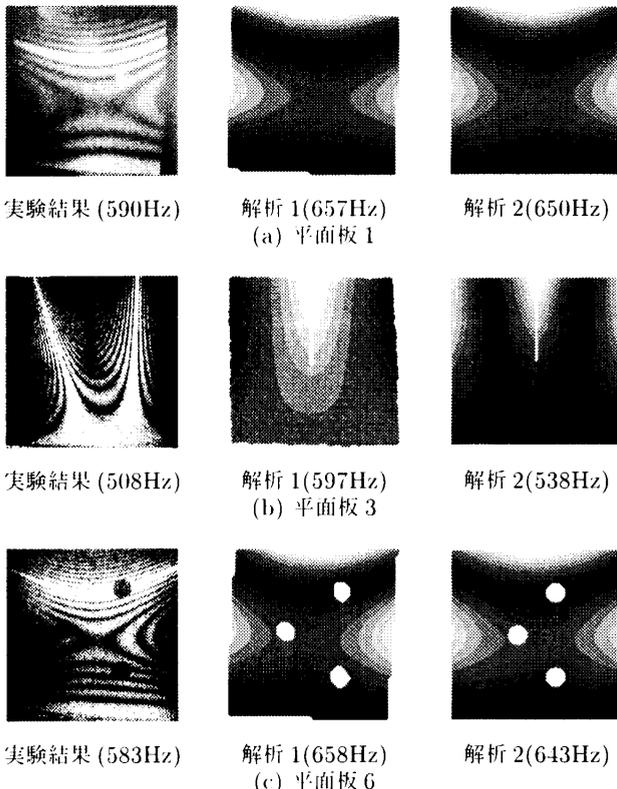


図 4 実験および解析結果

4 平面板の振動解析・実験結果の比較

振動モード図において顕著な違いが現われた 3 次の振動モード図を、ホログラフィ干渉実験結果、三次元計測データを用いた解析結果 (解析 1)、座標値を直接用いた FEM 解析結果 (解析 2) の順に図 4 に示す。(a) 図は欠陥のない平板、(b) 図は切欠きを有する平板、(c) 図は有孔平板である。

実験および解析による平面板 1、3、6 の 1~6 次の振動モードの振動数を図 5 に示す。

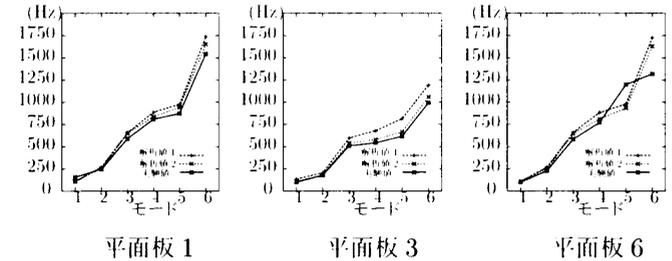


図 5 振動モードの振動数

実験および解析結果から以下のことが明らかになった。

1. ホログラフィ干渉実験と FEM 解析による固有振動数は図 4 の数値を比較するとよく一致しているとはいえないが、固有振動モードは同じような結果が得られている。図 5 からは、ほぼ同じような振動数が得られていることがわかる。
2. ホログラフィ干渉実験においても、FEM 解析においても、切欠きがあると健全な平面板 1 の振動数より小さくなっている。また、切欠きが振動モードに与える影響が大きく、振動モードの変化が切欠きの欠陥の予知に有効であることが示唆できる。
3. 孔を有する平面板 6 の場合は、孔のない平面板 1 の場合と比べて、振動数および振動モードも大差はみられないことがわかる。

5 まとめ

本研究では、切欠きや孔やへこみなどの欠陥を人工的に作成した平面板および曲面板を対象として、① ホログラフィ干渉計測による実験、② 三次元計測データに基づく FEM 解析による振動数および振動モードを求め、健全な試験片と比較検討した。実験および解析結果から、両手法により、ある程度の欠陥の診断ができることがわかった。今後はさらなる精度向上に努めたい。

《参考文献》

- (1) 久保田敏弘: ホログラフィ入門-原理と実際-, 朝倉書店, 1995
- (2) 高橋賞監修: フォトメカニクス 工学的手法による応力・ひずみならびに変形解析, 山海堂