審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ウィジェラジ マディジェダラ ラリス ラクシュマン

本論文の目的は,光弾性の原理を用いて物体内部での応力分布の全視野計測を非破壊で行うこと,すなわち三次元光弾性に基づく応力場トモグラフィーの手法開発を行うことである.光弾性現象とは,高分子・ガラスなど光弾性物質と呼ばれる材料において材料内部に応力が生じると,その応力場と線形関係で結ばれる複屈折場が発生する現象である.光弾性の原理を用いた応力解析では,材料を透過する偏光をプローブとして複屈折場に関する情報を計測し,これを入力とした逆解析により材料内部の応力場を同定する.特に,二次元応力場(平面ひずみ・平面応力状態)が仮定される場合には,材料内部の応力場に対応する光弾性効果を反映する透過光と材料内部の応力状態とが線形関係で結ばれるため,この逆解析は容易なものである.

有限要素法などの数値解析手法が開発される前には,1920年代に手法として確立された二次元光弾性による応力場計測が複雑な形状の物体内でのの主要なテーマであった.以来,二次元光弾性の自然な拡張として,三次元光弾性の自然な拡張として。次元光弾性の自然な拡張として、これらの既にを支配方程式の線形近似に基づくて元と支配方程式の線形近似に基づくて元法と支配方程式の線形近似に基づくて元法次の既に不可能、一次元光弾性に落とす方法と支配方程式の線形近似に基づして代表例は,供試体を物理的/光学的にスライ表の代表例は,供試体を物理的/光学的にスライ表の代表の財活に落として解析する応力凍結法/散光光弾性法であり,後者の代表の財化を表別の関係が線形近似できるような手法には非破壊・全視野というに要件が満たされない,あるいは軸対称などの特殊な対称性をもつ応現のを要件が満たされない,あるいは軸対称などの特殊な対称性をもの応力が取り扱うことができないにも問題があり,任意の応力状態を非破壊を引力のないができないができないがあり、任意の応力状態を非破壊を引力が取り扱うことができないが、あるいは軸対があり、任意の応力状態を非破壊を引力が取り扱うことができないが、大弾性の本来のゴールからはかけ離れた結果しか得別があり、結果として,2000年の時点で三次元光弾性による応力場計測するという三次元光弾性の本来のゴールがらはかけ離れた結果したので、1000円による応力場計測するというに、1000円による応力場計

このような背景の下,論文提出者は三次元光弾性の問題に取り組んだ.論文の第1章では,三次元光弾性に関する既往研究に関する記述とあわせて,問題の難しさの源を非線型性(Nonlinearity)・非適切性(Ill-posedness)・不安定性の3つであることを示した.特に非線型性に関して,透過光と材料内部の応力状態とが,非可換な行列の積の形で表される非線型関係で結ばれること,この

非線形性の扱いが三次元光弾性による応力場計測の鍵となることを明示した. 第 2 章 で は , 三 次 元 光 弾 性 の 非 線 型 性 を 扱 う 手 法 と し て の Load Incremental Approach (荷重増分型解法)を提案している. 通常の数値解析でいう非線型 解 析 と 異 な り , 本 論 文 で 提 案 さ れ て い る 三 次 元 光 弾 性 の 増 分 型 解 法 で は 荷 重 増 分は実験データにより固定されている.この点をふまえ,実験と解析の両方に 配慮した逆解析手法が提案されている.ただし,この時点では逆解析で同定さ れるものはつりあい条件を満たしていない.つまり、「三次元的な応力場」では な く ,「 三 次 元 空 間 で の 2 階 の テ ン ソ ル 場 」で あ る . そ の た め , 逆 解 析 の 結 果 は 計測誤差に非常に敏感である.第3章で提案される手法は,この「計測誤差に 対する敏感さ」の低減を目的としたものであり、上記の「2階のテンソル場」 に つ り あ い 条 件 を 課 し て , 応 力 場 」と し た も の を 同 定 す る 逆 解 析 手 法 を 提 案 し ている.個々の応力成分につりあい条件を課すことにより,計測誤差に対する 敏感さは十分に抑制され,実際の計測データを用いた逆解析が可能な安定性が 得られることが示された.第4章では三次元光弾性による応力場逆解析の数値 解析例と,計測誤差,入射光の波長,光弾性定数,干渉ノイズなど,さまざま な誤差要因が逆解析結果に与える影響の定量的評価の結果を示している.また, こ の 章 で は 実 際 の 計 測 結 果 を 解 析 す る 際 に 逆 解 析 を 不 安 定 に す る 要 因 と そ れ を 回避する方法を示しており,第3章で提案された解析手法を計測に結び付け, 実 用 可 能 な 手 法 に 改 善 し て い る . 第 5 章 で は 実 験 手 法 に つ い て 説 明 し て い る . 本論文で提案されている解析手法では,従来型の光弾性実験で重要視される等 傾 線 ・ 等 色 線 は あ ま り 意 味 を 持 た な い . む し ろ 各 点 で の 透 過 光 の 楕 円 偏 光 を 計 測 す る 必 要 が あ る . ま た , 多 数 の 方 向 か ら 供 試 体 を 計 測 す る 必 要 が あ る . ま た , 制御された荷重増分を段階的に与える必要があり,1回の実験で多数の計測が 必要である.この要請を満たすために,偏光板の向き,計測方向,撮影のタイ ミ ン グ を 自 動 制 御 す る 計 測 装 置 (三 次 元 応 力 場 ス キ ャ ナ ー) を 開 発 し た . こ の 装 置 を 用 い た 実 験 の 結 果 と 第 4 章 ま で に 述 べ た 解 析 結 果 を 比 較 し , 逆 解 析 結 果 の妥当性の検証も行われている.この結果は,特別な制限なしに三次元光弾性 を 用 い て 応 力 場 を 同 定 し た 世 界 初 の 事 例 で あ る . 第 6 章 で は 本 研 究 で 得 ら れ た 知見と今後の課題・発展の方向がまとめられている.

以上,本研究は三次元光弾性の問題に対して安定な逆解析手法と実験手法をあわせて提案し,およそ1世紀にわたって未解決であった難問に答えを与える独創的な研究成果と評価できる.よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる.