

## 論文の内容の要旨

申請者 氏名 麻生 篤

### 論文題目

任意のねじり角分布に設定可能な二重筒構造の提案とツイスト型モーフィング翼への応用

本研究では、軽量で簡素な構造により、任意のねじり角分布に設定可能な二重筒構造を提案し、その理論、設計方法を確立するとともに、その有効性を評価した。さらに本研究では、モーフィング翼に応用した。

モーフィング翼に関する先行研究では、変形のための機構の提案や、構造、空力の数値解析に留まり、実際に模型を製作し、風洞試験から実証するまで至らないものも多い中、本研究では、コンセプトの提案から始まり、最終的には風洞試験を通じて、構造面からモーフィングの実現可能性を確認するとともに、空力性能の計測を行い、モーフィングによる空力性能の変化を確認した。以下に本研究で得られた成果の詳細をまとめる。

### 研究成果 1：任意のねじり角分布に設定可能な二重筒構造の提案

まず、軽量で簡素な構造により、任意のねじり角分布に設定可能な形状可変構造として、開断面と閉断面を組み合わせた二重筒構造を提案し、複数 ( $N$  本) のはりで構成された開断面部分 (多柱体) のねじり角  $\phi_o(x)$  に関する理論式を導出した。この形状可変構造は、区間ごとに開断面部分の剛性を変えることで、ねじり角分布を任意に設定することができる。一般的に、開断面部材のねじり角  $\phi_o$  に関する理論式は切れ目が 1 か所のものに限り、複数の切れ目の入った多柱体のねじりの場合は、ねじり中心やワーピングの影響の考慮が複雑であった。これを、開断面部分を構成するはりの幾何学的条件及びはりのねじり理論を組み合わせることで、理論式を導出した。

次に、任意の寸法の外筒モデルについて数値解析を行い、理論値との比較を通じて、ねじり角  $\phi_o(x)$  に関する理論式の有効性を評価した。その結果、開断面区間の長さ  $l_o$  や構成するはりの本数  $N$ 、高さに係るパラメータ  $\phi$  の大きさに関係なく、理論式の有効性を確認することができた。ただし、閉断面区間を剛体とした場合の数値解析結果の方が理論値に近い値を示したことから、閉断面部分の剛性が影響することを確認した。これは、理論式の構築の際に、開断面区間のはりを、両端固定のはりとし、その両端の閉断面区間は十分に剛で、面外変形を起こさないという前提条件を入れているためであると考えられる。ただし、その差はそれほど大きくはなく、この理論式の有効性を損なうものではない。

最後に、任意のねじり角分布を実現するための設計方法として、はりの高さに係る角度  $\phi$  を主設計パラメータとする設計方法を確立した。その後、設計方法に基づき供試体を設計・作成するとともに、設計方法の有効性を数値解析及び試験により評価した。数値解析結果及び試験結果は理論値と全体的によく一致しており、設計方法の有効性を確認することができた。また、前出のモデルと異なるねじり角分布に設定した場合の有効性も数値解析を通じて確認した。このことから、提案する二重筒構造の設計方法は、任意のねじり角分布に設定可能であると言える。

## 研究成果 2 : 提案した二重筒構造のツイスト型モーフィング翼への応用

まず、研究成果 1 で得られた、提案する二重筒構造をツイスト型モーフィング翼へ応用し、二重筒構造を翼の桁に用いることを想定し、任意のねじり角分布に設定可能な桁とした。外筒の閉断面区間にはリブを配置し、リブの間には外板部を配置し、桁から伝わるねじりモーメント  $M_T$  によって翼全体がねじられる。

次に、二重筒構造のねじり角  $\phi_{sp}(x)$  に関する理論式を拡張させ、外板部のねじり角  $\phi_{sk}(x)$  に関する理論式を導出し、外板部のねじり剛性  $GJ_{sk}$  及び曲げねじり剛性  $(EI_{\phi_{\phi}})_{sk}$  を算出した後、理論式の有効性を数値解析により確認した。

さらに、二重筒構造の設計方法を拡張した設計方法を構築し、それに基づき試作モデルを設計・作成した。さらに試作モデルを風洞試験により評価した。風洞試験では、空力荷重負荷時における提案するツイスト型モーフィング翼の実現可能性を、構造及び空力的観点から評価した。構造面では、空力荷重負荷時に起因する曲げモーメントの反モーメントが翼根にかかり、ねじることが難しくなると考えられるが、数値解析及び試験の結果、ねじる方向や初期迎角または揚力発生の有無に関係なく、理論値と試験結果は、全体的によく一致しており、構造面におけるツイスト型モーフィングの実現可能性を確認した。

また、風洞試験を通じて空力性能を測定し、モーフィングにより、空力性能が変化することを確認した。本研究で用いた翼では、モーフィングすることで、失速域を変更可能であるとともに、最大揚抗比  $(L/D)_{max}$  を幅広い迎角  $\alpha$  で維持できることが確認された。また、迎角の小さい範囲では、ピッチングモーメントをあまり変化させずに揚力・抗力を変更可能であることを確認した。これにより、この領域では機体全体の迎角をほとんど変えずに、翼のツイストのみで揚力及び抗力を変更可能であり、安定したピッチングモーメントのもとで飛行が可能であると考えられる。