

# 論文の要旨

題目 コンプライアントメカニズムを利用した建築構造の力学特性と最適化による生成手法  
(Optimum Design and Mechanical Properties of Compliant Mechanisms in Architecture)

氏名 津田 勢太

本論文は、構成要素の柔性を利用したメカニズムであるコンプライアントメカニズムを建築構造に利用することを目的とし、形態変化構造の構造体として用いることや、同調型マスダンパーに用いることを提案するとともに、目標として設定する性能を確保したコンプライアントメカニズムを生成するための最適化手法を提案し、その力学特性について検証している。本論文は、全5章で構成されている。

第1章は序論であり、形態変化構造や展開構造、および、制振・免震デバイスにメカニズムを利用した研究分野の現状について概観し、本研究の背景と目的を明確にしている。

第2章は、部分的に回転拘束を解放された接合部を有する任意の形状の骨組構造物（部分剛接合骨組）を対象として、釣合い行列に部材端の回転拘束解放条件を追加した行列（拡張釣合い行列）を特異値分解する手法によって、微小変形仮定における安定性評価とメカニズムを導出する手法を提案している。この手法では、部材端が全て剛接合された場合の釣合い行列を作成し、次に、回転拘束の解放を表す行列を別途作成することで、安定性評価のための行列作成が容易になる。また、部材両端で任意方向に傾いたヒンジ回転軸の拘束を解放する条件を容易に定式化することができるという特徴を有する。更に、不安定次数の小さいメカニズムを導出することを目標として、釣合い行列を利用した線計画問題を定式化することで、微小変形のメカニズムとなる回転拘束の解放条件を得る手法を提案している。次に、この回転拘束解放条件を元にして幾何学的非線形解析を実行し、部材力が発生する箇所の回転拘束を解放した場合の安定性評価を行ない、不安定次数が増えることなく不静定次数が減少するような解放箇所を選択し、解放箇所を逐次増やしていくことで大変形メカニズムを導出する。本手法の適用例として、直交格子モデルおよび六角形格子モデルのメカニズムを導出し、その有用性を確認した。この手法で作成が必要な拡張釣合い行列のプログラミングは容易なものであり、また特異値分解も市販ソフトウェアを用いれば簡単に行うことができる。大変形解析にも汎用ソフトウェアを用いたものであり、したがって、提案した方法は、大変形メカニズム構造をシステムティックに導き出す簡便な方法として実用上極めて有効であるといえる。

第3章は、剛な要素で構成されたリンクメカニズムに、柔な部材を追加することで得られるバイステーブルコンプライアントメカニズムによる形態変化構造について、柱タイプと屋根タイプの2つの適用事例を提示し、その力学特性を検証している。柱タイプメカニズムでは、目標として設定する変形状態に適合する形態変化構造の設計手法として、追加する柔な部材の位置や剛性をパラメータとしたタブー探索とよばれる発見的手法を用いる最適化手法を提案している。最適化された柱タイプメカニズムの特性については、自重や水平荷重といった実際的な設計用荷重を考慮した場合特性を、幾何学的非線形解析を通して検証をしている。このモデルでは、異なる部材グループの剛性を変更することで、形態変化に必要な荷重および水平荷重に対する剛性を独立して制御できることを示した。屋根タイプのバイステーブルコンプライアントメカニズムの特徴については、不安定リンクメカニズムによるものとの比較検証も行っており、柔な部材の剛性を変化させることや、構造物の自重を利用することによって、形態変化に必要な最大荷重を小さくできることを、数値解析を通して示している。構

造物の自重が利用できるという特性については、簡単な 2 部材トラスの例を通して数式で明らかにしている。

第 4 章は、2 方向に振動する構造物の振動制御性能を有する、コンプライアントメカニズムによる同調型マスダンパー (cmBD-TMD) を提案している。バネの柔性によって 2 方向へマスの振動が増幅され、主体構造物の振動数と同調することによって主体構造の振動を抑制するとともに、振動エネルギーを消費する 1 個の粘性ダンパーに変形が生じるようメカニズムの特徴を利用したものである。cmBD-TMD を設置して制振する対象構造物の事例として、単純化した 1 質点 2 自由度系構造および平面アーチフレーム構造に、地震動の水平方向と上下方向の 2 方向を同時に考慮した場合について検証している。cmBD-TMD を構成する諸定数をパラメータとし、時刻歴応答解析で得られる変位応答量 (変位二乗平均値) を最小化するように最適化している。時刻歴応答解析に多くの計算時間を要することから、少ない応答評価回数で最適解を得るための手法として、変数のランダム選択によって良好な変数を求め、その変数を初期解としてタブー探索により近傍探索する手法を提案している。最適化された cmBD-TMD は、主体構造の固有振動数に同調したものが得られた。最適化においては任意に選んだ少数の模擬地震動波形を用い、最適化された cmBD-TMD の振動低減効果は、多数の模擬地震動波形および標準的な記録地震動波形によって確認している。

第 5 章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。