

氏名	やま かわ まこと 山 川 誠
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3956 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	統計的予測モデルに基づく建築構造物の最適設計問題

論文調査委員	(主 査) 教 授 上 谷 宏 二	教 授 井 上 一 朗	教 授 竹 脇 出
--------	----------------------	-------------	-----------

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、設計支援の観点における構造最適化問題の種々の課題に対して、統計的推論すなわち統計的予測モデルに基づく定式化により、設計解を効率的に提示可能な最適設計問題とその性質に関して論じており、6章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景として構造設計における最適化問題の役割を述べている。そのような背景を踏まえた上で、意思決定、情報抽出、応答予測など、様々な形式の推論を扱った最適化問題を構成することにより、構造最適化問題の種々の課題に答えることを研究の目的としている。

第2章では、本論全体で用いる統計的予測モデルに関する定義を行っている。少ないデータからモデルを構成する場合には確率的な定式化を用いた正則化法が有効であり、以降の章ではこの枠組に基づいた設計問題を構成している。

第3章では、意思決定に関する課題としてベイズ情報量規準による部材断面分布の変化の滑らかさを制御した問題について論じている。既往の鋼材重量最小化問題では断面分布の不連続性が強く接合部設計や施工性の観点から望ましくない最適解が得られる場合がある。このような課題を情報量規準によるパラメータ選択問題として定式化した解決法を提案している。本定式化は解析モデルや最適化法に関係なく適用可能なため、既往の最適設計法と組み合わせることが可能である。数値解析例により、鋼材重量を大きく増やすことなく滑らかな部材断面分布を最適解として得られることを示している。また、鋼材重量最小解においては不連続な変化を有する区間が存在することに着目して、不連続な変化を考慮したパラメータ推定を行うことにより、考慮しない場合に比べて鋼材重量の増加率が抑制された解を提示できることも示している。滑らかさと鋼材重量とのバランスは超パラメータの制約により制御可能であるが、部材断面分布の望ましさは主観的な要素であるため、これを意思決定のための材料ともできる。

第4章では、情報抽出に関する課題として混合主成分分析による部材断面表現を用いた鋼材重量最小化問題について論じている。連続変数として扱うことが難しい有限個の種類の鋼材断面の組み合わせ問題に対して、鋼材断面の物理的寸法を低次元な特徴空間に写像して問題を再構成することにより、断面積や断面係数等の断面性能を精度よく表現した上で、設計変数の次元を低減し、かつ部材断面系列の性質に関する的確な理解を可能としている。数値解析例により、与えられたH形鋼材の部材断面リストに対して、確率的な定式化に基づいた部材断面表現により最適解が得られることを確認している。最適解は部材断面リストの特徴を精度よく表現しており、どのような部材断面とすればよいかも少数の指標で表されている。設計者はこれらを設計の判断材料として用いることができる。本問題では、部材断面性能と部材断面形状の関係を考慮した定式化を行っており、各層ごとに梁せいをそろえろといった部材断面形状に関する条件を考慮可能である。

第5章では応答補正モデルに基づく設計問題について各節で論じている。これらの問題では計算量が多く、設計解の性質の把握が難しい動的応答制約問題を対象としている。簡易応答評価法と検証応答評価法の二つの応答評価法を定義し、その関係性を定常値とばらつきからなると解釈した統計的予測モデルに基づき、計算負荷の低減および最適解の性質に関する的確な理解が可能な設計問題を提案している。

部材断面積を変数とした応答予測に基づく鋼材重量最小化問題においては、構造設計者が実務設計で一般的に用いる応答

評価法と整合性がとれており、かつ計算負荷の小さい設計問題を提案している。建築骨組モデルを対象として、動的応答制約下で、実用的な計算量で解が得られる設計問題を正則化法に基づき定式化し、その解法も提案している。

層剛性を変数とした応答予測に基づく鋼材重量最小化問題では、予測モデルの変数を層剛性として、効率よく応答予測が可能な形で設計問題を提案している。部材断面数が増加しても、パラメータ決定のために必要となる解析の回数は大きくは増加しないため、効率よく予測モデルを構成可能である。

最大減衰力を変数とした応答予測に基づく粘性ダンパー量最適設計問題においては、検証解析として弾塑性時刻歴応答解析、簡易解析として応答スペクトル法を組み合わせた効率的な粘性ダンパー量最小化問題を提案している。この問題では正則化項を加えて安定した応答予測が可能なモデルを用いた定式化を行っている。数値解析例に本手法を適用し、その有効性を示すと共に、弾塑性時刻歴応答解析を制約条件とした最適設計問題との比較により、高精度な予測がなされていることも示している。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

## 論文審査の結果の要旨

建築構造設計支援の観点における最適設計問題の種々の課題に対して、統計的な予測により論理的な解決を与えることを本論文では目的としている。建築構造の最適化問題として記述することにより設計行為を明確化し、その問題に対して効率的な解決を与えることには実際的な設計支援の実現という点での意義がある。既往の研究では最適化問題として明示的に扱うことが難しかった課題に対して、統計的予測モデルを導入することにより、「意思決定」「情報抽出」「応答予測」それぞれの観点から設計問題を構成し、これらの性質について分析している。

意思決定に関しては、既往の鋼材重量最小化問題では断面分布の不連続性が強く接合部設計や施工性の観点から望ましくない最適解が得られる場合があるため、ベイズ情報量規準により部材断面分布の変化の滑らかさを考慮した問題を構成している。この問題では情報量規準を導入することにより、部材断面分布の変化の滑らかさを数理的に制御している。

情報抽出に関しては、連続変数として扱うことが難しい有限個の種類 of H 形鋼断面の組み合わせ問題に対して、混合主成分分析による部材断面表現を用いた鋼材重量最小化問題を構成している。H 形鋼断面の物理的寸法を低次元な特徴空間に写像して問題を再構成することにより、断面積や断面係数等の与えられた断面性能を精度良く表現した上で設計変数の次元を低減し、かつ部材断面系列の性質に関する的確な把握を可能にする。

応答予測に関しては、計算量が多く、設計解の性質の把握も難しい動的応答制約問題を対象として、応答補正モデルを用いた鋼構造骨組の粘性ダンパー量最適設計問題を構成している。この設計問題では、簡易モデルと検証モデルの二つの解析モデルを定義し、統計的予測モデルに基づきその関係性を解釈することにより、計算負荷の低減および最適解の性質に関する的確な理解が可能となることを示している。

これらの内容は学術上の新規性を有するとともに、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年2月19日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。