

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19760388  
 研究課題名（和文）性能群の階層・相関の統計的モデリングに基づく実現可能な建築構造物のスマート設計法  
 研究課題名（英文）Design method for realizable structure buildings based on statistical modeling of class and correlation of performance group  
 研究代表者  
 吉富 信太（YOSHITOMI SHINTA）  
 京都大学・大学院工学研究科・助教  
 研究者番号：30432363

## 研究成果の概要：

本研究においては以下の成果を得た。(1)現実的な条件を取り入れた最適設計プログラムを実装し、ダンパー付き構造物の動的応答を制約条件に取り入れるためのシステム同定法を利用した等価線形化法を検討した。(2)これらの種々の性能制約条件を課せられた最適設計解を用いて、統計的手法を適用した性能感度情報の分析から、設計者の意思決定を支援する情報の抽出を試み、設計者の設計判断に馴染む情報の抽出法の検討を行った。(3)上記手法を適用したプログラムを実装し、抽出された情報を、設計支援資料として整理した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	270,000	2,170,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：最適設計，性能相関，実施可能性，因子分析，最適設計解列

## 1. 研究開始当初の背景

(1)近年、適切な耐震性や居住性を有し、かつ経済的な側面にも配慮した設計に対する社会的要請が急速に高まっている。本研究は、設計者の負担を軽減しつつ設計の高質化を実現するために、数理的手法や統計的手法などの合理的手法に基づいて、建築物の構造設

計の新しい論理化を試みるものである。

これまでに、離散最適化や多目的最適化などを含む種々の最適化手法を建築構造設計に導入した研究が多数なされている。ところが、このような構造最適化手法はデザインの創生ツールとして一部実務設計で使用されてはいるが、建築構造の実務設計で日常的に

使用されるような段階には至っていないのが実情である。本申請者は構造設計実務の経験上から、その主たる要因は、①非現実的な解が得られること、②設計者の意思決定の介入する余地がないこと、の2点だと考えている。

①に関しては、問題点の指摘はなされているが、現実的な解を得るための手法を直接提示した研究は少ない。一方②に関して申請者らはこれまでに、構造物の耐震性、居住性、コストなどの様々な性能の要求レベルのバランスを、設計者が望ましい方向へ直接操作する手法を提案している。しかし、扱う問題サイズの増大に伴って把握すべき性能の数が膨大になり、個々の性能を設計者が逐一操作する方法には限界がある。したがって、どの性能を操作すべきかの方向付けを支援するための仕組みの展開が必須である。本研究課題ではこれらの成果を発展させ、構造設計プロセスにおける論理的支援システムを実現するための新たな方法論を展開する。

## 2. 研究の目的

上記の背景を受け、本研究課題では、①実施可能性を保証する最適設計法の確立、及び、②統計的手法に基づく性能相関のスマート分析法の提案を目的とする。

前述のように、実務設計では、実際に製作施工可能であること（実施可能性）が必須の要請である。まず現実的に有用な設計を得るための実施可能性条件の記述を試みる。次に、実施可能性条件や耐震性能といった膨大な数の要求性能全てを設計者が把握するのではなく、設計を決定付ける要求性能や、特徴的な性能間の関係性を統計解析手法に基づいて抽出することを試みる。

## 3. 研究の方法

### (1) 実施可能性条件を取り入れた最適設計解の耐震性能評価

実際に製作施工が可能であることを保証するための実施可能性条件と、静的弾塑性応答制約条件を取り入れた最適設計法を構成し、得られた最適解について、時刻歴応答解析法や応答スペクトル法を用いて動的応答性状を把握する。これまでに静的弾塑性応答を用いて評価される耐震性能に関して、必要保有水平耐力レベル、塑性化部位の制御の有無、鋼材強度などの設計パラメタの変動が総鋼材量に及ぼす影響の調査・分析を、最適解の相互比較に基づいて行っている。同様のアプローチを動的応答解析に基づく耐震性能評価に拡張する。その際最適化は、動的応答制約を直接的に制約条件として扱う場合と、地震動を等価な静的荷重に置き換えて、静的

応答制約条件のもとで行う場合が考えられる。動的応答制約は、等価線形化や静的応答への置き換えなどが不要であるため、扱いとしては単純である。一方、静的荷重あるいは時刻歴応答解析を伴わないアプローチとして応答スペクトル法を用いた応答評価が考えられる。耐震性能の要求レベルをパラメタとして変動させたときに、時刻歴応答解析による応答評価値と時刻歴を用いない応答評価値の変動との関連に着目して、最適解の有する耐震性能の特性分析を行う。

### (2) 統計的手法に基づく感度情報の分析法

実務設計者は、設計がどの条件で決定されているかに関心がある。最適設計解において等号で満足されている制約条件に着目すれば、最適設計解がどの条件の組み合わせで決定されているかを知ることができ、それを整理することで重要な設計支援情報を得ることができる。ところが一般的な中低層建物であっても、現実的な制約条件を網羅すると数千から数万個の制約条件が課せられることになり、等号満足制約の数も高々設計変数の数であるとはいえ、数十から数百個程度の制約条件を整理するのはそれ程容易ではない。さらに大規模な構造になると設計者の直感ではデータの整理自体が困難になることが予想される。

実務設計者は、膨大な数の条件の中でどの条件が支配的であるかを経験的に把握していることから、膨大な条件群の中で設計を決定付ける主たる要因を抽出できれば、設計者の把握しやすい有用な情報となる。そこで混合主成分分析法などの多変量解析手法を援用することで、膨大な数の条件から特徴的な性質を抽出することで、設計者の設計判断に馴染む情報の抽出法を提案する。

まず、設計変数に関する制約条件や目的関数の感度情報をもとに、制約条件や設計変数の特徴を抽出し、合理的な分類が可能か検討する。

### (3) 設計者の意思決定支援情報の整理

上記の(1)、(2)に関する研究を進めるなかで得られた最適解特性を設計支援情報として整理する。特に(1)の耐震性能については、少しのコストの投入で、飛躍的に性能を向上させることが可能であることが既に本申請者により示唆されており、重点的に分析を進める。実務設計者と協力し、必要な設計支援資料の要件を整理する。

## 4. 研究成果

### (1) 実施可能性条件を取り入れた最適設計解

本研究の基本となる、最適設計プログラムの実装をまず行った。これまでの成果として、

鋼構造を対象として、現実的な設計が可能となるための条件を取り入れた最適設計法を実装したプログラムを作成し、その基本的な成立を確認した。具体的には、弾塑性応答制約条件を取り入れ、さらに、部材の断面寸法間の関係で表現される接合部ディテールの成立可能性条件を取り入れた。またそのために必要な、断面寸法を設計変数の関数として評価可能な断面モデルを提案した。実務設計の断面検定の場面において通常取り入れられているような、静的地震荷重に対して構造物が保有すべき性能に関しては、制約条件として取り入れる枠組みは概ね構築できたといえる。

これらのプログラムを用いて得られる最適解の特徴としては、主として断面形状に関する制約条件が等号で満足される傾向にあることが示された。例えば、柱や梁をH型鋼とした場合、局部座屈に対する安全性から決まる板の幅と厚さの比率に関する制限や、施工性を確保するために要求される最低限必要なサイズなど、断面形状に関わる条件の多くが等号で満足される。このような条件下で得られた最適解は、断面寸法に関する条件を課さない場合の最適解と比べて、総鋼材量が多少増加し、その分応力制約などは多少余力が生じる。建築構造物の最適設計に関する既往の研究の多くが、制約条件として変形や応力といった力学的な性能のみを取り扱っているのに対し、本最適解は現実的に製作施工が可能である解が得られている点において実用的な価値があるといえる。最適設計解の相互比較により制約条件の変動が最適解に及ぼす影響を検討するに際し、実用的な解を用いることは非常に重要である。

上記の最適設計解においては、地震動入力に対する耐震性能は静的地震荷重に対する変形、応力、保有水平耐力等に関する制約条件として考慮されている。一方、実務設計においては動的地震入力に対する安全性を考慮する必要も高まっている。特に、制震ダンパーを有する構造物の設計においては、動的応答解析を実施してその耐震性能を確認することが要請される。そのため、一般的に利用される弾塑性ダンパーを有する建築構造物の最適設計法を構築した。動的応答を制約条件に取り入れるために、時刻歴応答を直接制約条件として取り扱う場合と、拡張CQC法などの応答スペクトル法を用いることにより時刻歴応答を直接的には取り扱わない場合について検討した。その結果、時刻歴応答を直接制約条件として取り扱った場合も最適化が可能であることが示された。

弾塑性ダンパーのような変位依存性のある材料を用いた場合、応答スペクトル法を適用するためには等価線形化を導入する必要があるが、その際に導入する変形レベルの適

切な設定法について更なる検討が必要である。そのための方法として、地震動入力時の建物の各層の応答に基づく層の剛性・減衰の同定法の利用を提案した。この手法を用いれば、非線形の構成則を有するダンパーなどを設置した場合についても、適切な線形化が可能になると期待される。

### (2) 統計的手法に基づく感度情報の分析

本研究においては、最適解に基づいて設計者の意思決定を支援する情報を抽出することを目的としている。そのための手法として、最適設計解において等号で満足されている条件のみに着目した感度解析と呼ばれる手法も提案されている。本研究においては、等号で満足されている制約条件のみならず、その周辺情報を抽出することを提案した。その一つの手法として、制約条件を数式で表現した制約関数の関数値及び、設計変数に関する感度情報に着目して、これらの情報の因子分析を行うことにより、数多くの制約条件または設計変数がどのように分類できるかを抽出した。この手法は各々の個別の問題ごとに、その問題がどのような全体像になっているかを設計者が判断するための一つの情報を提示するものである。さらに、問題構造の階層化まで明らかにする手法についても検討することにより、実務上より有用な成果となることが期待される。

### (3) 設計者の意思決定支援情報の整理

設計者との協議により、設計者が必要とする情報は、ある条件を満足する解そのものだけではなく、その設計を調整するときどちらの方向に変更すべきかと判断する指針となる周辺情報であることが示された。感度情報も変数の変動に対する状態量の変動であるが、ここでは、感度情報よりも、問題設定そのものが変動する場合の最適設計解列を提示することが適していると考えられる。従って、本研究成果をより実務設計者に馴染むものとするための一つの手法として、1つの最適解のみならず、複数の最適解の相互比較により、最適解の特徴を抽出するアプローチを提案した。その一例として、ブレース付き建築構造物の設計において、ブレース配置や、骨組のスパン割やスパン数といった構造計画を試行錯誤する段階を取り扱い、これらの要因の変動が最適解にどのような影響を及ぼすかについて情報を整理した。この成果は、モデルのスパン数、スパン長やブレース配置といったパラメタについて、設計者の利用しやすい形の情報を提示するのみならず、パラメタの幅広い変動に対して適用可能にするための手法そのものを提案している点に意義があるといえる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 李有震, 五十子幸樹, 吉富信太, 上谷宏二、鋼構造ブレース付き平面骨組モデルのブレース配置に関する最適設計解特性、日本建築学会構造系論文集、73 巻、889-905、2008、査読有

〔学会発表〕(計1件)

- ① 吉富信太, 竹脇出, 常時微動入力を受ける建築構造物のシステム同定におけるノイズバイアスの補正法, 日本建築学会大会学術講演梗概集(広島大学), 2008. 9. 18

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉富 信太 (YOSHITOMI SHINTA)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：30432363