

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 5 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20760370

研究課題名（和文） 確率論的な不確定性モデルに基づく構造物のロバスト設計パラダイムの開発

研究課題名（英文） Paradigm development for robust structural design based on non-probabilistic uncertainty model

研究代表者

寒野 善博（KANNO YOSHIHIRO）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号：10378812

研究成果の概要（和文）：構造物を設計する際に、種々の不確定性に対するロバスト性をもたせることは重要である。しかし、不確定性が大きい場合に構造物のロバスト性を保証するための方法論は明らかでないし、ロバスト性という言葉自体が多義的に用いられているためにロバスト設計の概念も自明ではない。本研究では、不確定なパラメータの統計量が十分には得られない場合を想定して非確率論的な不確定性モデルをとりあげ、構造物のロバスト性の評価とロバストな設計のための一貫した方法論を提示した。

研究成果の概要（英文）：The concept of robustness of structures against uncertainty is central in many design philosophies. However, the scheme of robust design, as well as the definition of robustness itself, is still controversial. In this study attention is focused on non-probabilistic modeling of uncertainty, which is often less information-intensive than a probabilistic model, to develop a consistent methodology of evaluation and enhancement of robustness of structures.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：建築構造・材料

科研費の分科・細目：構造解析

キーワード：不確定性，ロバスト性，数理計画，ロバスト最適化，凸計画，極限解析

## 1. 研究開始当初の背景

「不確定性」や「ロバスト性」は、安定論、信頼性設計理論、最適設計法をはじめとする構造力学のさまざまな分野において古くから重要視されているテーマである。一方で、不確定性の概念や取り扱い方は分野によって多様である。特に、どれくらいの大ささのばらつきを扱うかという不確定性の大きさ

や、どのような不確定性を仮定するかという不確定性のモデル化が分野ごとに異なることは、複数の力学分野をまたがって行われる建築構造物の解析・設計において混乱や不備を招き得る。また、不確定性を扱う理論が存在するとしても、それを合理的な設計手法として利用できているかどうかは分野によって大きな開きがあり、例えば過剰な安全率を

考慮せざるを得ない場合も多い。このような状況に対して、ロバスト性を考慮した合理的な解析・設計法を開発する目的で研究を開始した。

## 2. 研究の目的

本研究課題の主な研究テーマは、「種々の不確定性モデルの系統的な整理と理解」、「大きなばらつきを考慮した力学の諸問題における不確定性解析」、「最悪シナリオを求める数値手法の構築」、「構造物のロバスト設計法の開発」の四つである。まず、インフォ・ギャップ理論においてロバスト性の定量的な指標として用いられるロバスト性関数を軸に据え、種々のロバスト性の概念の関係を理解する。次に、「不確定パラメータの変動が十分に小さい」という仮定を用いずに、構造物の応答のばらつきやロバストネス関数を求める数値手法を開発する。さらに、建築構造物のロバスト性と密接な関係がある応答量の最悪値を求める数値手法を開発する。最後に、この二つの手法を基礎として、安全側の意味で常に制約条件を満たす構造物を設計するためのロバスト最適化手法を開発する。

## 3. 研究の方法

(1) 多義的に用いられる「不確定性」「ロバスト性」のさまざまな概念を収集し、系統的に整理・分類する。その際、不確定パラメータのばらつきが大きい場合にも破綻のないロバスト性の定義を与えたインフォ・ギャップ理論およびロバストネス関数を軸にする。

(2) 構造物の動的・静的応答における種々のパラメータの大きなばらつきの影響を評価するための問題を最適化問題として定式化し、これを解く数値手法を開発する。その際、数値計画において実用的な緩和手法として最近注目を集めている、S 補題や多項式計画緩和、錐相補性問題などの新しい数学的枠組を応用することを検討する。

(3) 以上の成果に基づいて、構造物のロバスト最適設計問題の数値解法を開発する。これは、不確定パラメータの大きなばらつきを考慮し、様々な制約に対して安全側の設計解を求める設計法である。この際に、数値計画における、凸計画問題に対するロバスト最適化の最新の成果を参考にする。

## 4. 研究成果

不確定パラメータの大きなばらつきを許容した場合の構造物の応答を求める手法として、外力および剛性の不確定性を考慮した構造物の静的な応答量の不確定性解析法と、調和外力を受ける構造物の振幅や位相のばら

つきの不確定性解析法を提案した。

構造物のロバスト最適設計法として、不確定な外力に対する塑性崩壊荷重を考慮した設計法、離散構造物のロバストな位相（トポロジー）最適化、非線形計画のアルゴリズムを使用するためのロバスト最適化問題の再定式化法などを提案した。

特に、構造物のロバスト最適化の過程における位相（トポロジー）の変化を厳密に扱う概念と手法は、本研究で初めて提示された。この問題を厳密に扱う手法は、計算コストの観点から、適用範囲が小規模な問題に限られる。一方、これを近似的に扱う数値手法は、初期解への依存性が高く、質のよい解を得ることは現時点では難しい。従って、規模の大きな問題に対して質のよい解を得る手法の開発が、今後の大きな課題の一つである。

## 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 8 件)

1. 寒野 善博: 「コンプライアンス制約下での構造物のロバスト性評価法」、日本建築学会構造系論文集, 査読有, 77, 27-33 (2012). URL: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijs/77/671/77\\_671\\_27/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijs/77/671/77_671_27/_article/-char/ja/)
2. Kanno, Y., Ben-Haim, Y.: "Redundancy and robustness, or, when is redundancy redundant?," Journal of Structural Engineering (ASCE), 査読有, 137, 935-945 (2011) DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000416
3. Kanno, Y.: "An implicit formulation of mathematical program with complementarity constraints for application to robust structural optimization," Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有, 54, 65-85 (2011). URL: [http://www.orsj.or.jp/~archive/menu/01\\_54.html#vol2](http://www.orsj.or.jp/~archive/menu/01_54.html#vol2)
4. Yonekura, K., Kanno, Y.: "Global optimization of robust truss topology via mixed integer semidefinite programming," Optimization and Engineering, 査読有, 11, 355-379 (2010) DOI: 10.1007/s11081-010-9107-1

5. Kanno, Y., Guo, X.: "A mixed integer programming for robust truss topology optimization with stress constraints," International Journal for Numerical Methods in Engineering, 査読有, 83, 1675-1699 (2010). DOI: 10.1002/nme.2871
  6. Kanno, Y., Takewaki, I.: "Semidefinite programming for dynamic steady-state analysis of structures under uncertain harmonic loads," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 査読有, 198, 3239-3261 (2009). DOI: 10.1016/j.cma.2009.06.005
  7. Kanno, Y., Takewaki, I.: "Semidefinite programming for uncertain linear equations in static analysis of structures," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 査読有, 198, 102-115 (2008). DOI: 10.1016/j.cma.2008.04.003
  8. Matsuda, Y., Kanno, Y.: "Robustness analysis of structures based on plastic limit analysis with uncertain loads," Journal of Mechanics of Materials and Structures. 査読有, 3, 213-242 (2008). URL: <http://msp.berkeley.edu/jomms/2008/3-2/index.xhtml>
- [学会発表] (計 10 件)
1. 寒野 善博: 「塑性崩壊荷重の部材消失に対する最悪シナリオ解析法」, 第 60 回理論応用力学講演会, March 8-10, 2011, 東京
  2. Kanno, Y.: "An implicit smooth reformulation of complementarity constraints for application to robust structural optimization," 2nd International Conference on Engineering Optimization, September 6-9, 2010, Lisbon (Portugal)
  3. Kanno, Y., Guo, X.: "Robust truss topology optimization with discrete design variables via mixed integer programming," 6th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems, June 22-25, 2010, 京都
  4. Kanno, Y., Takewaki, I.: "Dynamic

steady-state analysis of structures under uncertain harmonic loads via semidefinite program," IUTAM Symposium on the Vibration Analysis of Structures with Uncertainties, July 6-9, 2009, Saint Petersburg (Russia)

5. 米倉 一男, 寒野 善博: 「不確定な外力を受けるトラスの大域的な位相最適化手法」, 第 59 回理論応用力学講演会, June 8-10, 2010, 東京
6. Kanno, Y., Takewaki, I.: "Semidefinite program for response bound analysis of structures subjected to uncertain harmonic dynamic loads," The 9th Japan-Korea Design Engineering Workshop (DEWS2009), October 26-27, 2009, 読谷村
7. 寒野 善博, 竹脇 出: 「動的外力を受ける構造物の定常状態の不確定性解析法」, 第 58 回理論応用力学講演会, June 9-11, 2009, 東京
8. Yonekura, K., Kanno, Y.: "Global optimization of robust truss topology via mixed 0-1 semidefinite programming," The 8th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO8), June 1-5, 2009, Lisbon (Portugal)
9. 寒野 善博, 竹脇 出: 「不確定動的外力を受ける構造物の半正定値計画法による応答限界解析法」, 第 8 回最適化シンポジウム: OPTIS 2008 (日本機械学会), 2008 年 11 月 27-28 日, 東京
10. 寒野 善博: 「ロバスト性を考慮した設計」, 2008 年度日本建築学会大会・構造部門(応用力学) パネルディスカッション, 2008 年 9 月 18-20 日, 広島

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寒野 善博 (Kanno Yoshihiro)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号: 10378812

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号：