

報告番号 ※ 甲第1069号

# 主論文の要旨

題名           On the Structural Safety  
                  based on  
                  Extremum Theory

(極値理論に基く構造安全性について)

氏名 馬場 俊介

## 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

馬場 俊介

本論文では、構造部材の信頼性解析に伴う誤差として、

①部材強度と作用荷重とを特徴付ける平均値および分散などの特性値の誤差（特性値の誤差）。

②部材強度と作用荷重との確率密度を既知の確率分布関数で仮定することによる誤差（分布の誤差）。

の二つをとりあげる。第1章では、信頼性方面での歴史的展望について述べる。第2章では、特性値の誤差に注目し、平均値と分散に誤差が含まれていても破壊確率が過小評価とならないように従来の古典的信頼性論を修正する手法について述べる。第3章では、分布の誤差に注目し、分布の仮定を必要としない一つの手段として、極値推定法の応用について述べる。第4章では、極値推定法を破壊確率の極大化と結びつけることにより、分布の誤差のない信頼性解析を提案する。

A.M. Freudenthal が提唱したいわゆる古典的信頼性論では、強度と荷重の双方を確率密度で表現し、強度が荷重を下まわる部分の共通領域を破壊確率

## 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

馬場 俊介

と定義している。このとき強度と荷重の母集団確率密度が正確にわかっているならば、破壊確率の値も構造物の安全性の判断基準としての意味をもつであろう。しかし、現実には同一の現象に対して入手できる測定値は多くてもせいぜい20~100個であり、このような僅かな標本値から母集団の特性を推定しようとするとき多くの誤差が生じてくる。まず、平均値、分散などの特性値の誤差について考えると、経験則などにより分布形状が正規分布とかWeibull分布と決めることができる場合に、これらの誤差（特に、分散の誤差）は大きな障害となる。例えば、正規母集団から50個の標本を任意抽出するとき、その標本分散が $s^2$ とすると、母分散のとり得る値の範囲は95%の信頼度で1.40~2.88となる。これは破壊確率の推定に大きな相違を生む。つぎに、分布の誤差について考えると、測定値から作成した頻度分布を、例えば正規分布と仮定するかgamma分布と仮定するかによって、破壊確率の値は大きく異なるし、それをどう取り扱うかについての定説はない。実際の確率

## 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

馬場 俊介

密度は正規分布, gamma分布の一方あるいは双方の合成として表わされるかもしれないし, 全く別の分布であるかもしれない。いずれにせよ, 既知の確率分布関数を単独に仮定することは合理性に欠けるばかりでなく, 場合によっては破壊確率の過小評価に直結する。

本章では, 平均値および分散の誤差を考慮するように破壊確率を定義する。そのためには, 平均値や分散が測定の結果ある値として得られた場合に, 母平均および母分散がとるであろう値の確率密度を計算しておく。本論文では, 強度と荷重の分布として, 正規分布, gamma分布, 対数正規分布の3つを考える。正規母集団の場合には, 母平均と母分散の確率密度は $t$ 分布,  $\chi^2$ 分布を用いて誘導する。gamma母集団, 対数正規母集団の場合には, 正規母集団における確率密度を平方変換もしくは対数変換することにより, 近似的に誘導する。最終的な破壊確率は, 従来<sup>1)</sup>の破壊確率(標本平均と標本分散を使って計算した破壊確率)を母平均確率密度と母分散確率密度とを用いて平均

## 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

馬場 俊介

化したものとして定義する。計算例として、ワレントラス橋の下弦材の必要断面積を計算する。

第3章では、分布の誤差に視点を移し、分布の仮定を必要としない方法を提示する。本論文では、極値推定法を、この目的に合った手法として採用する。極値推定という言葉は、ここでは変分法の統計的推定への応用を意味する（平均値、分散などの拘束条件を満たすあらゆる確率分布族の中で、極大値を最も大きくする分布、あるいは、極小値を最も小さくする分布を、変分原理を用いて誘導する）。統計的極値の推定に変分法を利用することを始めて示唆したのは Plackett, Gumbel らで、統計量として得られた平均値や分散の値を条件として拘束し、Lagrange の未定乗数を導入して極大値、極小値を推定した。しかし、その方法では、非現実的なまでに過大な推定値を与えることなどもあって、測定値の統計的処理法としては一般化していない。本論文では、推定値の過大評価という欠点が、平均値および分散を始めとする拘束条件の増加によって改善されることを示す。拘束条

## 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

馬場 俊介

件としては、平均値と分散に加えて、測定値を大ききさの順に並べて大きい方から  $t_1, t_2, t_3$  個のブロック平均値、小さい方から  $t_2, t_3$  個のブロック平均値という7つの特性値を設定する。例として、鋼材引張強度の極小値などを推定する。第3章の範囲は極値推定法の改善だけで、測定値を用いた極値の推定に限定し、設計とは結びつきがない。

第4章では、極値推定法を信頼性解析に応用する。すなわち、強度と荷重の双方に極値推定法を用いて、破壊確率を極大化するという条件のもとに構造物の安全性解析を行う新しい手法を提案する。強度と荷重の測定値を特徴付ける特性値として、平均値と分散以外に、歪度および尖度などに相当する  $A, B, C$  という3つの特性値を定義する。これらの特性値は、①簡単に計算ができること、②測定値の特徴を的確に表わしていること、③極値の推定が不可能になったり、推定にむらを生ずるといような不安定性がないこと、などの条件を満足している。さらに、極値推定の結果得られる確率分布関数が、単調増加関数でなければなら

## 主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 馬場 俊介

ないという条件を満足させることを目的として、ダミー特性値  $D$  を導入する。例として、材料強度に関する 6 種類の測定値と荷重に関する 10 種類の測定値の極小、極大値を求める。また、第 2 章と同じワレントラス橋について、上、下弦材の必要断面積を計算する。極値の計算に伴うわずらわしさを軽減するために簡易推定法を提案し、特性値  $A, B, C$  だけを用いて図上で精度よく極値を推定するためのグラフを与える。特性値  $A, B, C$  に含まれる測定誤差の評価法についても簡単に触れる。

極値推定法の応用により実現する設計は、「最悪の場合でも所期の破壊確率を超えることのない」、換言すれば、「安全性に対して変分原理に基づく一種の保証が与えられた」設計となっている。極値推定法に基づくこの設計概念は、破壊確率の推定に応用できるだけでなく、材料強度あるいは荷重の極値を単独で推定するのにももちろん有効であり、これは特に、河川統計などにおける 100 年値、200 年値の推定といった面での利用が期待できる。