

構造物の空力不規則応答に関する確率統計的考察

京都大学 工学部 正員 白石 成人

京都大学 工学部 正員 松本 勝

京都大学 大学院 学生員 〇新川 隆伸

1. まえがき …… 可撓性に富む構造物についてはその耐風安定性が重要になることは周知の如くである。そのため、各空力不安定現象に対しその発生メカニズムの解明、防振対策、耐風設計法等について多くの研究がなされている。このような各空力不安定現象のなかで特に自然風のがストに起因する空力不規則応答は、比較的狭風速領域においても発生することから構造物の耐風設計上極めて重要な問題となっている。しかしながら、入力となるがストがもつ諸特性の複雑さといま、て構造物の不規則振動現象そのものの取扱いのむずかしさに起因して、いまだ残された問題点が多いといえよう。本研究はこのような種々の問題点のなかで、特に耐風設計上重要なものになる構造物の空力不規則応答の最大値評価に関して若干の考察を加えるものである。風洞実験により求められた鉛直変動風を入力とし、線型たわみ1自由度系構造物の応答を数値計算によって求め、ある評価時間内の絶対最大応答値を求めとった。これらの絶対最大応答値を48ケースについて求め、これらの結果から最大応答の確率分布を作成した。このシミュレーション結果に対し Davenport 等によって求められた最大応答の確率分布式、および応答包絡線の閾値横断事象にポアソン近似を用いて求められる最大応答の確率分布式と比較を行なった。

2. 最大応答の確率分布について …… ランダム過程の最大値の確率分布を求めるためにはあるレベルを越える初通過時間の確率分布もしくは確率密度の計算が必要である。しかしながら、この厳密解を求めることは不可能であり初通過時間の確率分布の解法は近似解法によっている。Davenport 等はある大きなレベルを越える事象は独立して到着するといういわゆるポアソン近似を用い、S.O. Rice によって導びかれた正規分布に従う定常確率過程の閾値横断理論より絶対最大値の確率分布式として次式を求めた。

$$P_{\max}(R, T) = \exp \left\{ -2\mu T \exp(-R^2 / 2\sigma^2) \right\} \quad (1)$$

ただし、 $\mu = (1/2\pi) \cdot \left(\int_0^\infty \omega^2 S_{\eta\eta}(\omega) d\omega / \int_0^\infty S_{\eta\eta}(\omega) d\omega \right)^{1/2}$, R ; ある最大値のレベル

$S_{\eta\eta}(\omega)$; 対象となるランダム過程 $\eta(t)$ の One-Side パワースペクトル密度

式(1)の誘導過程において前述したポアソン近似がなされているが、この近似は対象となるランダム過程が広帯域ランダム過程である程精度のよいものとなる。ところが長大橋梁のような減衰の小さな構造物のがスト応答を取扱う場合、その空力不規則応答はかなりの狭帯域ランダム過程となる。その場合、構造物の空力不規則応答は過渡特性の強いものとなりある大きなレベルを越える事象は群集して到着することが多くなる。狭帯域な特性が非常に強いランダム過程に対してはその包絡線の分布がよく用いられる。群集してある閾値を横断するランダム過程においては初通過事象のポアソン近似が崩れることは前述した。が、その包絡線を取扱う場合、包絡線の閾値横断事象は各群集の最初の横断に先んじて起こり、包絡線の閾値横断時刻は各群集の横断時刻にほぼ等しい。そのため狭帯域な特性の強いランダム過程に対しては包絡線の閾値横断事象にポアソン近似を用いたほうが妥当な

ものと考えられる。式(2)は定常ガウスランダム過程の包絡線の閾値横断理論を用い最大応答の確率分布を求めたものである。

$$P_{\max}(R, T) = \exp[-(2R/(2\pi))^2 \{ (\sigma_1/\sigma_q^2) \cdot T \exp(-R^2/2\sigma_q^2) \}]$$

に於て、 $\sigma_1^2 = \int_0^\infty (\omega - \omega_m)^2 S_{\eta\eta}(\omega) d\omega$ (2)

ω_m ; 狭帯域ランダム過程の卓越する円振動数

3. 数値計算結果および考察……線型たわみ1自由度系構造物の運動方程式は式(3)のようである。

$$\ddot{\eta}(t) + 2\zeta_0 \omega_0 \dot{\eta}(t) + \omega_0^2 \eta(t) = f(t)/m \quad (3)$$

$\zeta_0 = \zeta_1 + \zeta^*$ ζ_1 ; 構造減衰比 ζ^* ; 空力減衰比

本研究においては、構造減衰比と空力減衰比の和である ζ_0 を0.01~0.6の領域で変化させそれぞれの場合について評価時間25^{sec}、48ケースについて絶対最大応答を求めた。得られた絶対最大応答値から図1、図2のようにその頻度分布を作成した。なお、揚力変換関数はSears関数の絶対値を用いた。また入力となる鉛直変動風は風洞実験により港大橋の上弦材上空10^mの点で観測された自然風の観測記録を変動気流発生装置に入力して得られたものである。また数値計算の際には各ケースについて入力レベルが全く同一となるように式(4)で修正された鉛直変動風 $\tilde{z}(t)$ を用いた。

$$\tilde{z}(t) = z(t) / \sigma_{z,k} \quad (4) \quad \sigma_{z,k}; \text{鉛直変動風の各ケースの標準偏差} \quad k=1 \sim 48$$

このようにして求められた最大応答の確率分布(シミュレーション結果)と式(1)、式(2)を比較したものが図1、図2である。図1によると式(1)の絶対最大応答の確率分布は、減衰の小さな狭帯域ランダム過程に対してはかなりの過大評価となっている。また、減衰が大きくなるにつれ、つまり応答が広帯域ランダム過程となるにつれ、式(1)はシミュレーション結果により近似を与えるようになる。一方、図2によると応答包絡線の閾値横断にポアソン近似を用いた最大応答の確率分布式(2)は、減衰の小さな領域($\zeta_0 = 0.01 \sim 0.07$)で式(1)によるものよりシミュレーション結果に対しよい近似を与えている。しかしながら、減衰定数が大きくなるにつれその精度は悪くなる。このことは式(2)の誘導において、狭帯域ランダム過程で定義される包絡線分布を用いたことによる誤差が生じたためであろう。

4. あとがき……本研究を通じて次のようなことが明らかとなった。一般に構造物の空力不規則たわみ応答を取扱う場合、その減衰比(ζ_0)は空力減衰を考慮しても0.1程度以下である。このような減衰定数の領域においては、その最大応答の確率分布式(1)はシミュレーション結果に対しかなりの過大評価となっている。この式(1)に比し、式(2)はこのような小さな減衰定数の領域でシミュレーション結果により近似を与えるという結果を得た。さらに筆者らは、大きな応答値が生ずる場合の入力条件について非定常スペクトルを用い考察を行なった。ここでは紙面の都合上割愛したが、これらの結果に対しては後表当日報告を行なう予定である。最後に、本研究を進めるにあたり終始御助力を賜った中部工業大学小西一郎教授に深く感謝いたします。

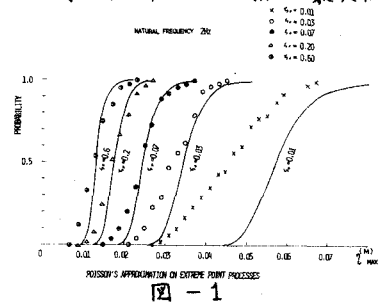


図-1

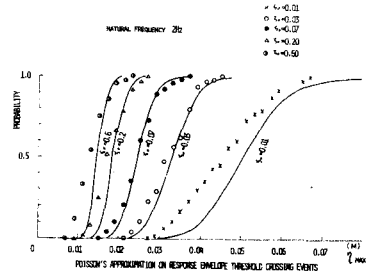


図-2