I−11

自然風のガスト特性を考慮した場合の構造物の最大応答評価について

中部工業大学　正員　小西一郎　　京都大学　正員　白石成人
京都大学　正員　松本　勝　　京都大学○学生員　新川隆伸
京都大学　学生員　池本祐一郎

1　まえがき

可撓性に富む構造物の耐風安定性を評価する場合、自然風の乱れに起因するガスト応答は、構造物の耐風設計上、非常に重要な問題となる。ガスト応答を考慮し、それを耐風設計に生かす方法としては、現在のところガストによる効果を静的な荷重の割り増しとして、設計に応用しようとする試みもみられる。むろん、ガスト応答に起因する動的な問題である構造物の機能性、部材の疲労強度等、諸課題は種々存在するが、本研究においては、一種の荷重係数となる、いわゆるGust Response Factorについて一考察を試みる。

2　Gust Response Factor

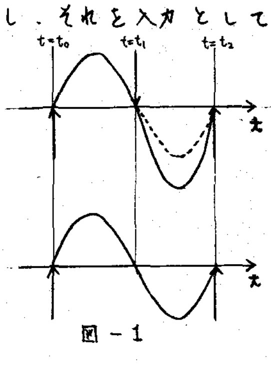
S.O. Riseによって導びかれた、正規分布に従う定常確率過程の極値理論を用いて、A.G. Davenportは最大値の非超過確率の問題を論じ、Gust Factorとして次式を導びいた。

$$G = \sqrt{2 l_n \nu T} + 1 \Big/ \sqrt{2 l_n \nu T} \qquad (1)$$

ただし　$\nu = \sigma_{\dot{\eta}} / \sigma_\eta = \left[\int_0^\infty n^2 S(n)\,dn \Big/ \int_0^\infty S(n)\,dn \right]^{1/2}$

T ; 評価時間　S(n) ; One Side Power Spectrum Density

式(1)は考える過程において、将来の到着は過去の到着に依存しないという、いわゆるポアソン過程が成立するものとして誘導されており、この近似は考えている過程が広帯域モデルの場合程、精度のよいものとなる。ところが、長大橋梁のような、減衰の小さい構造物の応答を取り扱う場合、必ずしも広帯域とはならず場合によっては狭帯域モデルとなり、構造物の過去の応答経歴と外力との関係が、将来の応答に影響を及ぼす。つまり、図−1のような応答の時系列を考えると、それぞれ矢印で示された荷重の値が大きければ、t_1・t_2以降に期待される最大応答と、式(1)によって計算される値との誤差は大きくなると思われる。本研究においては、式(1)を最大応答の問題に適用するための条件となる応答の確率分布を求め、またM. Shinozukaの方法によってガストをシミュレートし、それを入力として、導翼の応答を過渡応答計算し、最大応答を求めて式(1)によって求められた最大応答の期待値と比較した。また、千葉県館山に設置されている耐風実験橋における観測結果についても考察を加える。



図−1

3　数値計算結果及び考察

耐風実験橋の作業報告書によると、各データについてたわみ一自由度の最大応答は図−2のように得られている。図−2において実線は入力となる自然風のP.S.D.をスペクトル提案式で、

近似し、それにAerodynamic Admittance、周波数応答関数を乗じて、応答のP.S.D.を求め、式(1)によって最大応答を推定したものである。この場合、自然風の主流方向のP.S.D.はDavenportのスペクトル提案式、鉛直方向のP.S.D.はPanofsky-McCormikのスペクトル提案式で近似し、地面摩擦係数に$K_r=0.003$を代入しており、Aerodynamic Admittanceは主流、鉛直方向ともDavenportのAdmittanceを用いている。図-2によると各データの最大値のばらつきは大きい。しかしながら、各データの自然風のP.S.D.は風向の変化により相違し、かつ橋梁断面における$dC_L/d\alpha$、Aerodynamic Admittance等、不確定要素が多く、式(1)による最大応答の推定に誤差が多いと結論づけることはできないため、M. Shinozukaの方法により、ガストをシミュレートし、このガストが作用した時の薄翼の応答を時間軸にそって求め、最大応答を求めた。M. Shinozukaによるガストのシミュレーションは次式によって示される。

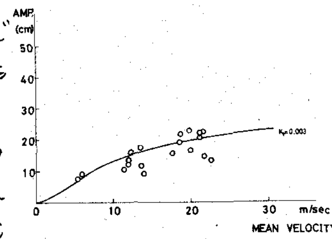


図-2

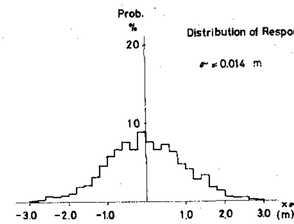


図-3

Data No.	Maximum Value	Standard Deviation	Maximum Value by Davenport's Method
1	0.04872	0.013	
2	0.05149	0.013	
3	0.04756	0.014	0.0411
4	0.05197	0.013	
5	0.04441	0.014	

表-1

$$V(t)=\sqrt{2}\sum_{i=1}^{N}\left[S_v(\omega_i)\Delta\omega\right]^{1/2}\cos(\omega_i t+\phi_i) \quad (2)$$

ただし、$\omega_i=[i-1/2]\Delta\omega$　ϕ_i; 0～2πのランダム位相

たわみ一自由度系の運動方程式は次式のようになる。

$$\ddot{\eta}+\{2\zeta_0\omega_0-H_1(k)\}\dot{\eta}+\omega_0^2\eta=f(t)/m \quad (3)$$

ただし、$H_1(k)=(-2\pi/k)\cdot F(k)$　k; Reduced Frequency

式の詳細は省略するが、式(2)において$S_v(\omega_i)$にPanofsky-McCormikのスペクトル提案式を用い、ϕ_iを乱数発生させ、5組の鉛直方向のガストをシミュレートし、Aerodynamic AdmittanceとしてSears関数の絶対値、式(3)における空力減衰$H_1(k)$はTheodorsen関数の実部に$-2\pi/k$を乗じたものを用いた。得られた応答の分布を図-3に、また最大応答、応答の標準偏差、式(1)によって求められる最大応答の期待値を表-1に示す。表-1に示された結果について、入力となるガストのP.S.D.は同一であるにもかかわらず、最大応答はかなりのばらつきがあり、かつ式(1)による最大応答の近似はかなりの過小評価となっているといえよう。

4　あとがき

構造物の応答を取り扱うような狭帯域ランダム過程の最大値評価において、式(1)を用いた周波数軸だけの評価の場合、その最大値評価は必ずしも適確には行なえず、そのためガスト応答の時間軸での評価が重要なものと考えられる。その場合、入力であるガストの確率統計諸量の中でP.S.D.以外にもガストの極値分布及びあるレベルを越えるピークの時間間隔の分布と構造物の固有周期の関係等をガスト応答の最大値評価に考慮することが必要と思われる。最後に本研究を進めるにあたって御助力を賜わった京都大学橋梁研究室の諸氏に、心から感謝いたします。