

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
 日立造船 KK 正員 新川隆伸

1. まえがき

本研究は、長大吊橋あるいは斜張橋のような耐風性がその構造安全性に重要な関係をもつと考えられる建造物を対象に、特に鉛直たわみ振動の非定常応答を確率論的に考究しようとしたものである。この方面の研究としては、A. G. Davenport¹⁾を始め、わが国においてもいろいろな研究機関での成果が報告されているが、著者等はいわゆる平板状構造断面の鉛直たわみ/自由度振動を時間軸上で解析し、その不規則な応答特性をどのように評価すべきかについて考察を行ったので、その結果の2, 3について報告するものである。

2. ランダム入力に対するガスト応答の減衰特性

長大吊橋の耐風応答を評価するにあたり、考慮すべき構造的諸要素は数多いが、特にその減衰性が小さいことが一の特徴であると考えられる。このような減衰性の小さい建造物のランダム応答が時間過度特性の顕著なものであることは、T. K. Caughey, H. J. Stumpfの研究によって指摘されているところである。ガスト応答についてこの特性を把握するため、NACA 0012 型翼断面を用いて乱流中における応答を風洞実験によって計測した。この実験で計測した諸量は概略次のようなものである。

- (1) 鉛直変動風速 v (入力成分) およびたわみ応答 w (出力成分)
- (2) 一様風中での非定常空カ k (空カ減衰)
- (3) 空カアドミッタンス $A_d(\omega)$, ω は周波数
- (4) 質量, 構造減衰, 円固有振動数

このような計測値を用いて、変動風速 v およびランダム応答の非定常パワースペクトルをそれぞれ $G_v(\omega, t)$ および $G_w(\omega, t)$ とするとき、非定常分散値として式(2.1)および式(2.2)を定義することができる。

$$\sigma_w^2(t) = \int_0^\infty G_w(\omega, t) d\omega \quad \text{----- (2.1)}$$

$$[\sigma_w^2(t)]^* = \int_0^\infty |H(\omega)|^2 |A_d(\omega)|^2 G_v(\omega, t) d\omega \quad \text{----- (2.2)}$$

式(2.1)は入力 $v(t)$ による時間過度解析 (Levin 関数の逆フーリエ関数の利用) による応答値から得られる非定常分散値であり、式(2.2)は振動数応答関数 $H(\omega)$ および空カアドミッタンス $A_d(\omega)$ を介してランダム入力 $G_v(\omega, t)$ を出力レベルに換算した非定常分散値を与えるものである。

式(2.1)および式(2.2)において、構造減衰と空カ減衰の和 (見かけの減衰比) をパラメータとして計算した結果を示したものが、図-1 である。この図で実線は式(2.1)を示し、破線は式(2.2)を示しているが、減衰比が小さい場合入力レベルの強さ (式(2.2)による計算値) は出力レベルの強さ (式(2.1)による計算値) に対応しない。これに対し、減衰比が0.6程度の範囲で大きくなると両者はかなりよく一致したものとなる。これは減衰比が小さい場合、応答値が入力に近じた定常レベルに達するまでの時間が長いので、入力カ間の時間的ずれが大きくなり式(2.1)と式(2.2)の間に大きな差異を生ずることになると考えられる。減衰比が増大すれば、上記の特性からみても、入力カ間の位相差が小さ

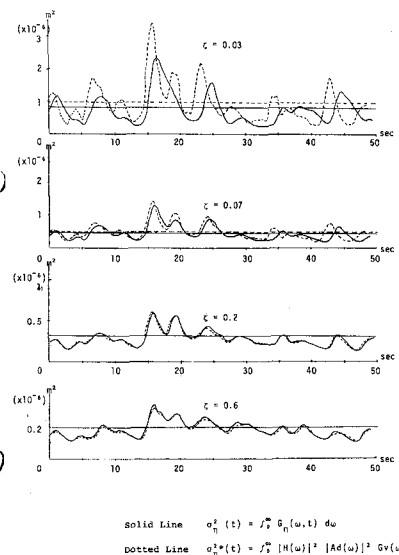


図-1

くなり、式(2.1)と式(2.2)の差も減少するものとなる。

3. ガスト応答の確率分布について

不規則な応答特性を確率論的に検討することは、長大吊橋のパフティング振動に対する設計法を考究する上で重要な関係をもつものと考えられる。

いま線形/自由変振動系を

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = f(t)/m \quad \text{----- (3.1)}$$

のように表わし、外カ頂 $f(t)$ に風洞実験より求められた変動風速のデータを入れ、減衰比 ζ をパラメータとして、応答値 x の確率分布を、アナログコンピュータより得られたデータを直接実時間確率相関分析器によって求めれば、図-2のようになる。図-2より、減衰比が大きな場合には、ほぼ正規分布となるが、減衰比が小さくなるにつれて、台形分布 $\rightarrow$ さらにU字形分布になるものと思われる。この結果、減衰比が大きな場合の確率分布と減衰比が小さな場合のそれとはかなり趣を異にすると考えられる。このため極値分布論を用いた最大値の確率分布と包絡線の閾値横断事象に対するポアソン近似による確率分布およびシミュレーション結果 $*$ を示せば、図-3のようになる。図-3において α 値は狭帯域性を示すパラメータである $**$ 。図-3より減衰パラメータが応答の確率分布に大きな影響をもつことがわかる。

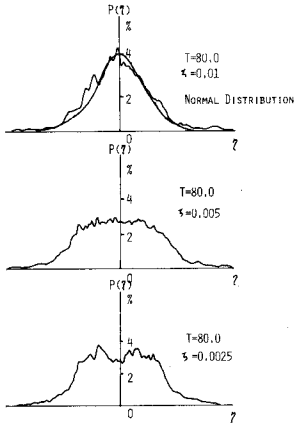


FIG. 2. PROBABILITY DISTRIBUTION OF GUST BENDING RESPONSE

図-2

線の閾値横断事象に対するポアソン近似による確率分布およびシミュレーション結果 $*$ を示せば、図-3のようになる。図-3において α 値は狭帯域性を示すパラメータである $**$ 。図-3より減衰パラメータが応答の確率分布に大きな影響をもつことがわかる。

$*$: その解析手法の詳細については省略するが、入力ガストの移動平均値の最大値をモンテカルロ法により乱数発生させ、局所スペクトルの概念を利用し、極値分布を解析した結果。

$**$: $\alpha = \sigma_y^2 / \sigma_x^2 \omega_n^2$; σ_y^2 は分散を示す

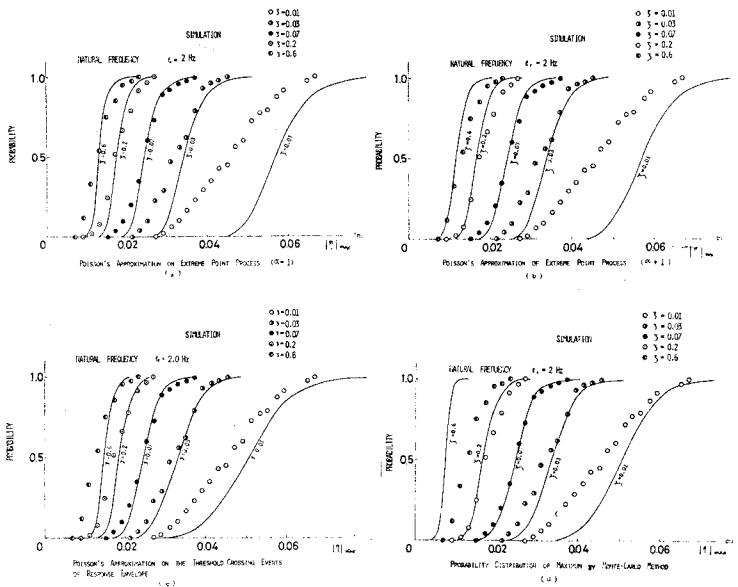


図-3

4. おおむね

本研究は可塑性が大きくかつ減衰性が小さいと考えられる構造物のガスト過度応答の非定常性を加味して、その確率特性がどのように諸因子に影響されるかを風洞実験およびシミュレーションによって考究しようとしたものである。この結果従来の応答パワースペクトル法を基礎に求められる極値分布は比較的減衰比が大きい場合には有効な手法となり、減衰比が小さい場合には包絡線分布を用いた手法を用いるのが合理的であると考えられる。

文献

- 1) A. G. Davenport: "A statistical approach to the treatment of wind loading of tall masts and suspension bridges" PhD Dissertation, University of Bristol, March, 1967
- 2) T. K. Caughey and H. J. Stumpf: "Transient response of a dynamic system under random excitation" Journal of Applied Mechanics, Series E, No. 4, Dec., 1967