

三菱重工業株式会社 正員 ○渡部洋八郎

三菱重工業株式会社 高原 茂

三菱重工業株式会社 正員 江草 拓

1. まえがき 自然風中の渦励振振動を推定する方法として、自然風をシミュレートした風洞気流中での応答実験がある。しかし、この方法では自然風のシミュレート技術を開発する必要があること、乱れ度やパワースペクトルを変えた多くの実験が必要なこと等で費用、期間面で制約を受ける。このため、実験は必要最小限にとどめ、乱れ度等のパラメータの影響は数値計算で検討できる方法が望まれている。当社では、その一方法として実時間応答計算による渦励振推定法を開発中であり、第1段階として主流方向変動風について、準静的考えに基づく簡易解析法を開発した。以下その概要を報告する。

2. 実時間応答計算法の概要 定常風での共振風速付近の空力減衰は、後に述べる吊橋主塔のたわみ振動を例にとると、図1の①のような特性を示す。風速に変動がなく共振風速(V_r)に一致すると、空力減衰は最も負の側へ大きく、従って励振力は最も大きい。風速が V_r を中心に $U(t)$ の如く変動すると、空力減衰も時々刻々 $\delta_a(t)$ の如く変化すると思われる。この場合 $\delta_a(t)$ は定常風での共振時の空力減衰(δ_{ar})より絶対値が大きくなるので、風速に変動があると励振力は弱まり振幅は定常風に比べ低減すると予想される。以上の現象を次のような方法で数値的にシミュレートした。

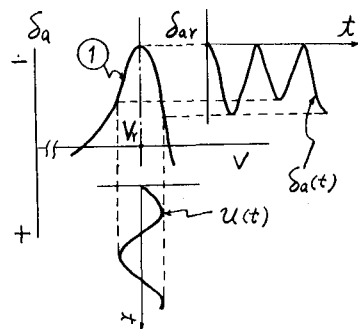


図1 空力減衰の変化概念図

渦励振振動時の運動方程式は、風による外力中、周期的な減衰成分を空力減衰(δ_a)として、運動方程式の左辺に移項し、その他の外力を $F(t)$ とすると、(1)式で表わせる。ここでは風軸に対称な断面を有する模型について計算したので、 $F(t)=0$ と仮定し、(2)式を使用した。

$$\ddot{\eta} + \frac{1}{M} (\delta_s + \delta_a) \omega_0 \dot{\eta} + \omega_0^2 \eta = F(t)/M \quad \text{----- (1)}$$

$$\ddot{\eta} + \frac{1}{M} (\delta_s + \delta_a) \omega_0 \dot{\eta} + \omega_0^2 \eta = 0 \quad \text{----- (2)}$$

$$\delta_a = \delta_a(1/\eta|, V + U(t)) \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 η は振動振幅、 $|\eta|$ は振幅ピーク値、 ω_0 は固有振動数(rad/s)、 V は平均風速、 $U(t)$ は主流方向変動風速、 δ_s は構造減衰、 δ_a は空力減衰、 M は模型質量である。

計算手順は図2に示すように、任意の微小振幅を初期値として与え、その後の風速と振幅の時間的変動に伴う空力減衰の変化を定常風の $V-A-\delta$ 試験結果から補間推定し、応答振幅の増減を時間領域で計算した。空力減衰の変化は、準静的な考え方であり、定常風の空力減衰に従って瞬時に変化すると仮定している。また、 $V-A-\delta$ 曲線の振幅はピーク値であるので、応答の各周期毎に、初めのピーク値に対する空力減衰を求め、これを1周期の間一定として、運動方程式に適用した。

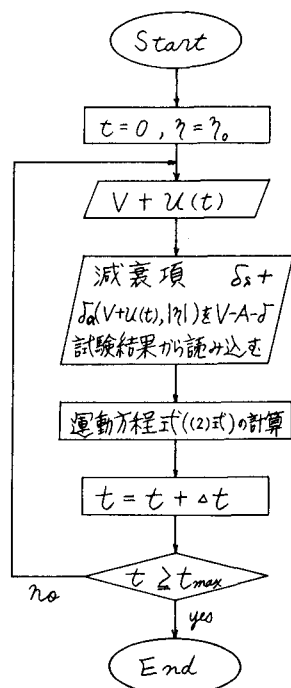


図2 実時間応答計算手順

3. 風洞実験 実験は当社長崎研究所の耐風拡散汎用風洞で行ない、模型には吊橋主塔の部分模型を使用した。模型断面形状を図3、実験方法を図4に示す。応答実験はたわみ振動について行ない、先ず定常風でV-A- δ 試験を行なった。次に風洞上下部に取り付けたダンパーを開閉して風路中央部に主流方向正弦波変動風を発生させ、共振風速での0発振振幅を計測した。実験条件は表1のとおりであるが、変動風の周期は模型固有周期の20~40倍の長周期で行なった

表-1 実験条件

模 型	重 量	30.5 kg/m	風向 (図3の β)	0°
	固有振動数(周期)	2.0 Hz (0.5秒)	変動風乱れ度	4 ~ 9.5 %
	構造減衰 (δ_s)	0.02	変動風周波数(周期)	0.05 Hz (20秒) 0.1 Hz (10秒)

定常風でのV-A- δ 曲線を図5に示す。共振風速は約4.2 m/sであり、ストロハル数に換算すると0.11である。次に正弦波変動風での0発振波形を定常風での波形と比較して図6に示す。変動風での波形は風速の変動で空力減衰が変化するため、波打ち現象が現われている。波形から分るように、変動風での振幅は定常風での振幅に比べて小さく、乱れ度が大きくなる程減小度は大きくなっている。

4. 計算と実験の比較 0発振波形から振幅が発達した定常状態の最大振幅を求め、定常風での振幅で無次元化した振幅比を乱れ度に対しプロットすると、図7のようになる。実線で示したカーブは計算結果であり、比較的よく実験値と合っている。

5. あとがき 以上の結果、本推定法は、長周期の主流方向変動風での渦励振振動を概略推定できることが確認された。今後は短周期の変動風に対する適用性を調べる予定としている。最後に実時間応答計算プログラムの作成に御協力頂いた当社技術本部技術センターの安藤裕昭氏に謝意を表します。

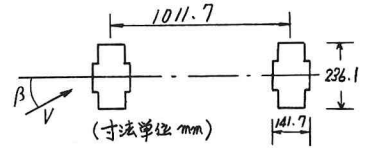


図3 模型断面形状

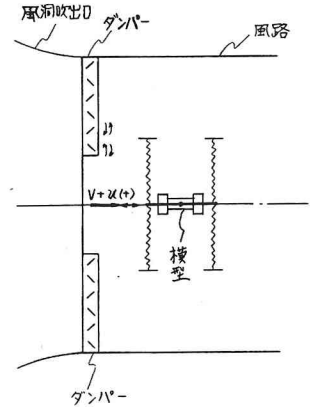


図4 実験方法

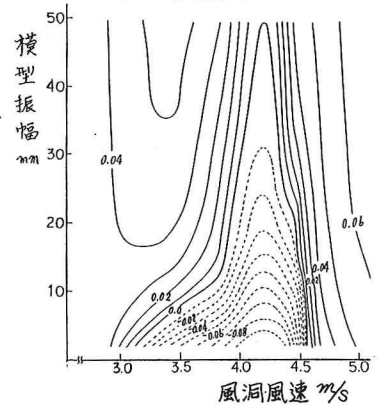


図5 V-A- δ 曲線

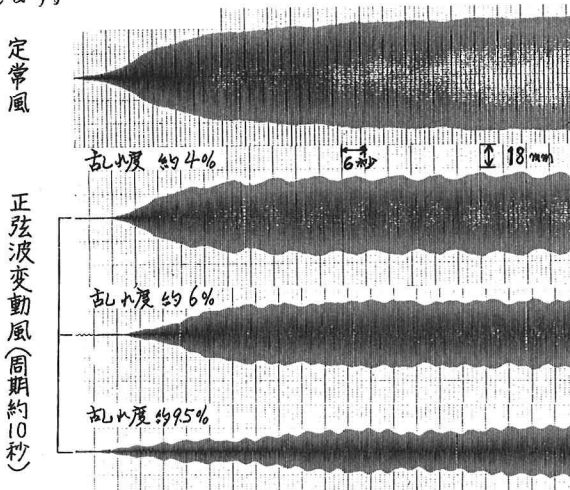


図6 0発振波形

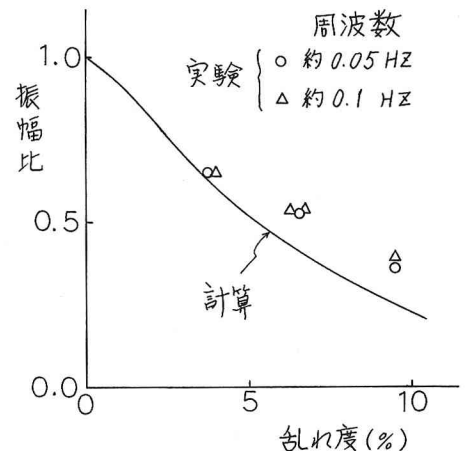


図7 正弦波変動風での応答特性