

京都大学大学院 学生員 小川哲治
 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

1. まえがき

長大橋梁のカスト不規則振動現象に対する議論が様々なされている中で、その解析手法としては、Davenportの研究に代表される周波数解析及び、時間過渡応答解析がある。本研究では、時間過渡応答解析における評価時間の意味に検討を加えると共に、解析入力条件（平均風速、迎え角、空気力係数等）が全評価時間内で一定としてではなく、ある一定の評価時間内での移動平均としてとらえ、それによって入力変動風速の非定常性が時間過渡応答解析結果にどのような影響を及ぼすかを調べる。同時に、従来からの時間過渡応答解析との比較検討を行うものである。

2. 移動平均

i) 有効時間間隔 台風に代表されるように、通過前後を通じてその風速特性には強く非定常性が認められるが、このときその強風特性を示す評価時間（例えば現在では10分間）は当然対象としている構造物の固有周期及び、構造減衰との関連性で議論されなければならないものと考えられる。すなわち、構造物のある時刻における応答は、入力データの全評価時間内で求められる諸量によって決定されているのではなく、時刻もより過去の、それも極く近い過去のある時間間隔内の入力データの影響を強く受けているものと考えられる。このような時間間隔をここでは有効時間間隔（ T_e ）と呼び、今回は単位衝撃応答関数の包絡線の0時刻での値が $1/5$ 及び $1/20$ に減衰するまでの時間間隔を有効時間間隔とする2種類を考えた。

ii) 移動平均 主流方向の平均風速及び平均迎え角を上記の有効時間間隔内での平均とし、データサンプリング間隔つつ移動しながら同じ操作をくり返すいわゆる移動平均を行った。それを模式的に示したものが図-1である。このようにして求めた移動平均による平均風速、平均迎え角、及び準定常空力減衰を図-2に示した。但し、準定常空力減衰は次の式(1)に示すものである。

$$\tilde{\zeta}_a(t) = \frac{\rho b l}{2m\omega_0} \tilde{U}_*(t) \left(\frac{dC_F}{d\alpha} \right)_d = \tilde{\alpha}_*(t) \quad \text{----- (1)}$$

ここに $\tilde{U}_*(t)$ 、 $\left(\frac{dC_F}{d\alpha} \right)_d = \tilde{\alpha}_*(t)$ は移動平均より求めた平均風速及び空力係数勾配である。

3. 入力カストの非定常性を考慮した場合の時間過渡応答解析

従来、時間過渡応答解析においては、鉛直応答 $\eta(t)$ は、

$$\eta(t) = \int_0^t f(t-\tau) L(\tau) d\tau \quad \text{----- (2)}$$

$$f(t) = \frac{1}{m} \frac{1}{\omega_0} \sin(\omega_0 t) \exp(-\zeta \omega_0 t) \quad \text{--- (3)}$$

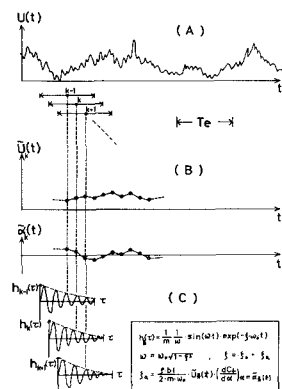


図-1

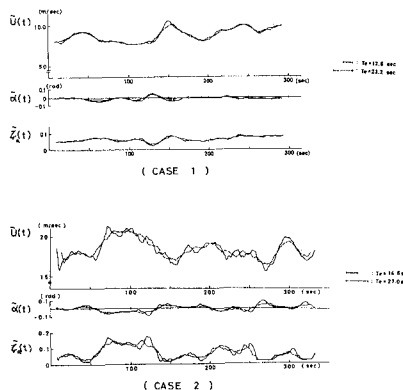


図-2

$$\zeta = \zeta_0 + \zeta_a \quad \zeta_a = \frac{\rho b l}{2 m \omega_0} \overline{U} \left(\frac{dC_F}{d\alpha} \right)_{\alpha=\bar{\alpha}} \quad \text{---(4)}$$

として計算を行った。ここに、 $\overline{U}$, $\left(\frac{dC_F}{d\alpha} \right)_{\alpha=\bar{\alpha}}$ は全評価時間内で一定とした平均風速及び、空気力係数勾配である。

i) 入力カストの非定常効果を空力減衰に考慮した場合の鉛直応答

$$\eta(t) = \int_{t-T_e}^t \tilde{f}_L(t-\tau) L(\tau) d\tau \quad \text{---(5)}$$

$$\tilde{f}_L(t) = \frac{1}{m} \frac{1}{\omega_0} \sin(\omega_0 t) \exp(-\tilde{\zeta} \omega_0 t) \quad \text{---(6)}$$

$$\tilde{\zeta} = \zeta_0 + \tilde{\zeta}_a \quad \tilde{\zeta}_a = \frac{\rho b l}{2 m \omega_0} \tilde{U}_*(t) \left(\frac{dC_F}{d\alpha} \right)_{\alpha=\tilde{\alpha}_*(t)} \quad \text{---(7)}$$

式(6)(7)に示したように、空力減衰に非定常効果として、先に移動平均により求めた平均風速、空気力係数勾配を用いた。また2のi)で示したように、有効時間間隔の考え方を基に、(5)式のように積分範囲をも T_e から τ として計算を行った。

ii) i) の場合に加えて、変動揚力 $L(t)$ にも入力カストの非定常効果を考慮した場合の鉛直応答

$$\eta(t) = \int_{t-T_e}^t \tilde{f}_L(t-\tau) \int_{\tau-T_e}^{\tau} \frac{1}{2} \rho b \tilde{U}_*(\tau-\tau') \left(\frac{dC_F}{d\alpha} \right)_{\alpha=\tilde{\alpha}_*(\tau-\tau')} H(\tau-\tau') v(\tau') d\tau' d\tau \quad \text{---(8)}$$

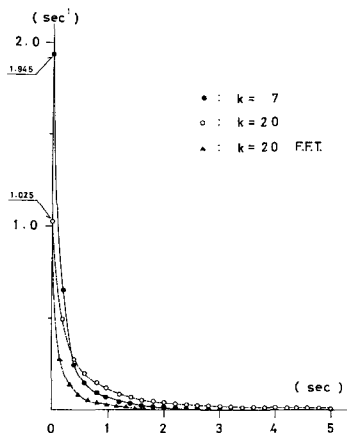
ここに $H(\tau-\tau')$ は図3に示す空力インパルス応答関数であり、図中 K はパラメータとして変化させたものである。

4. 数値計算結果

図4は入力カストの非定常性が比較的小さいと思われるものの時間過渡応答計算結果である。上から鉛直変動風速、観測応答、(A)は従来の時間過渡応答解析によるもの、(B)(C)は空力減衰の評価に入力カストの非定常性を考慮したもの、但し、それぞれ T_e として、12.6秒、23.2秒である。(D)は空力減衰及び揚力の評価に非定常性を考慮したもの、 T_e は23.2秒である。それぞれ応答波形に若干の差異は認められるものの、応答振幅はあまり変化しないようである。次に図5は比較的非常性の強いと考えられる入力カストを用いた場合の応答計算結果である。(A)(B)(C)(D)はそれぞれ上記と同様の条件である。但し、 T_e は(B)(C)が14.6、27.0秒であり、(D)は27.0秒である。これより(A)(B)(C)は応答振幅に差異はないようであるが、(D)においてはかなりの差が認められる。

5. むすび

今回、入力の非定常効果の導入のひとつとして、有効時間間隔内での移動平均として入力データの諸量を評価するという手法を考え、時間過渡応答解析を行った結果、移動平均による平均風速及び空気力係数勾配を使て求めた空力減衰を用いた場合は、出力応答計算結果にあまり変化は見られないが、強制空気力としての変動揚力を求める際に、移動平均による平均風速及び空気力係数勾配を用いた場合、入力データの非定常性が強いときには、出力応答計算結果に変化が見られることもあると考えられる。しかし、今まだ有効時間間隔の決定などに数多くの問題が残されており、また橋梁の長大化にともなう固有周期の増大という問題を考えあわせると、時間過渡応答解析における入力の非定常性の問題は今後なお議論されるべきではないと思われる。



FOURIER INVERSE TRANSFORMATION
OF $|Ad(k)|$ (CASE 1)

図-3

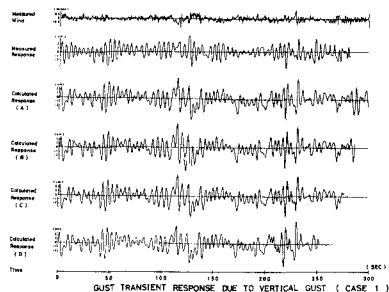


図-4

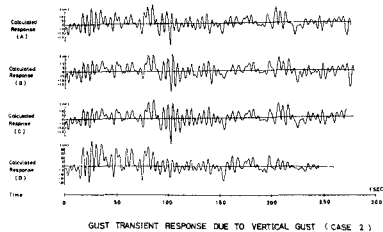


図-5