

変動風に対する吊橋軌道と車輛との相関性

東京大学工学部 正員 工博 八嶋義之助

東京大学工学部 正員 工博 松本 嘉司

東京大学工学部 正員 工修 若下 藤紀

§ 1. まえがき

構造物が風を受けて振動するという現象は、きわめて複雑なものであり、空気力、弾性力、慣性力が相関しあて発生する現象である。特に長大径間吊橋の風による振動性状は、構造物の可撓性が增大している反面、その減衰性は著しく減少している関係上、かなり複雑なものとなつて来ている。更にこのような剛性の乏しい軌道上を走行する超大荷重(車輛)との振動相関性については、今後の研究に待たれる面が多いようであるが、今回は吊橋が変動風を受けた際の振動相関性について調べてみた内容を報告する。

§ 2. 構造物の振動に及ぼす風の分類

特に本論文で扱っているような長大径間吊橋に振動を生じさせる風を分類すると次の5種に大別されるようである。

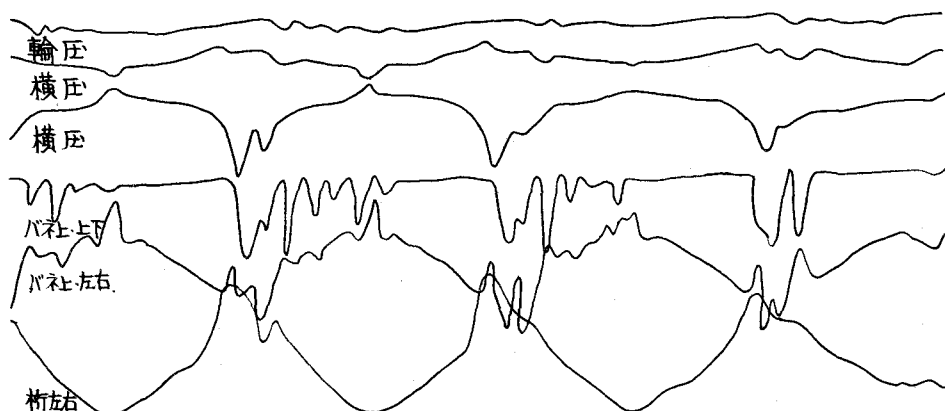
先ず、構造物背後に周期的に発生するカルマン渦が流れの状態を変えて、周期的な力を構造物に及ぼす事に基因する Aeolian Oscillation, 構造物がその構造物の一部もしくは他の構造物の後流内に在りて、後流の乱れを受ける場合に見られる振動に基因する Buffeting の二種が挙げられるが、これ等による吊橋軌道の振動はきわめて小さく走行車輛に及ぼす影響は微小であるので、ここでは省略する。

次に、揚力曲線の迎角の増加に対して負勾配を持ち構造物を振動するたびに振動を助長するようなウケ絵られる為を生じる Galloping, 一定角度以上で流れはく離れに陥り Flutter 効果が原因して生じる Stall Flutter, 更に、曲げと捩れの剛性が適当であり為を生じる Classical Flutter 等の振動現象は、振幅は非常に大きくなり発散に至る場合もある。振動数は、いずれも、ほぼ各固有振動数に一致するようである。この為、後三種の振動は、走行車輛の振動に、大きな影響を与えることが確認された。

§ 3. 振動する吊橋軌道と走行車輛の相関性

以上の事から今回は特に吊橋の Galloping 現象を中心として、風速の急激な変動を受けた際の吊橋軌道の振動性状と、同軌道上の走行車輛の振動性状とを測定すると(図-1)の如くなつた。この結果から、吊橋軌道の振動と、走行車輛の振動の間には、 $\pi/4 \sim \pi/2$ の位相差が生じる事実が判つた。又、この際、構造物の固有振動数付近で風の乱れのパワー・スペクトル密度が大きいと、構造物は、風速変動のエネルギーを

吸収は、共振現象を生じ、減衰の小さい場合には、振幅もかなり増大することも考慮して実験を行ったことを付記する。



(図-1) Galloping 現象による振動

次に応答スペクトル解析をする。これは、Davenport の論文を基として、展開するものとする。構造物の長さとし、 y のスライスにおける剛性を $K(x)$ 、質量を $M(x)$ 、撓みを $y(x, t)$ とする。運動方程式の解は $\bar{y}(x)$ を、撓みの平均値 $X_r(x, t)$ を r 次の振動モードに対する撓み変動成分として、 $y(x, t) = \bar{y}(x) + \sum_r X_r(x, t)$ 但し $X_r(x, t) = \mu_r(x) \sin 2\pi n_r t$

外力である風力の平均値を $\bar{P}(x)$ 、変動値を $P(x, t)$ とし、スライスにおける撓みの平均値を求めてみると、 $\bar{X}(x) = \sum_r \frac{R}{K_r} \mu_r(x)$

風力の変動値 P はやはり、 μ_r で展開し、 γ の係数を $R(t)$ とすると、これに対する応答スペクトルは、減衰項を加えて $m_r \frac{d^2 X_r}{dt^2} + C \frac{dX_r}{dt} + K_r X_r = R(t)$

構造物の振動速度 $\dot{X}$ を風の変動風速度に対して無視すると、この相関関数は、次式で与えられる。

$$\overline{P(t, x) \cdot P(t, x')} = \rho^2 C^2 U^2 \int_0^\infty F_u(n) R(\xi, n) dn$$

このときパワースペクトルは、 $F_x(n) = \sum_r \frac{\mu_r^2(x) \rho^2 C^2 U^2}{K_r^2} |X_r(n)|^2 |J_r(n)|^2 F_u(n)$

ここで ρ : 空気密度, C : 抵抗係数, U : 平均風速とする。

§4. 結語

今回の研究においては、吊橋が変動風を受けて、振動した際に、走行車両に及ぼす影響を調べてみたのであるが、計算上列車に當る風圧は無視している。結果として言えることは、風速変動、 γ は微風速より強風速への変動の際の車軌振動応答は、静的な強風振動時の γ より 20~30% 増の振動を示しているようである。