

1-70. 吊橋のストームケーブルの効果について.

○ 中央大学理工学部

正員 岡内 功

同

同 五味道義

1. まえがき.

吊橋、特に簡易吊橋の耐風性を増加する目的でストームケーブルを取り付けることがしばしば実施されている。しかしながら、その効果についてはこれに明らかにした文献はこれまでにあまり見受けられないようであるが、筆者らは今回ストームケーブルの取り付け角度、あるいは初期に導入される張力などが耐風性の増大効果におよぼす影響について数値的検討を試みたので、こゝにその結果を報告する。吊橋の耐風性を示す特性値としてはいろいろ考えられるのであるが、こゝでは横たわみ量および横座圧に対する限界風速を取り上げて、これらの値がストームケーブルを取り付けたことによつてどの程度減少もしくは増加するかを検討した。

2. 横たわみ量の減少率.

簡単のため、補剛桁のみには風荷重が水平方向に作用するとして、この荷重によつて図-1のように補剛桁、主ケーブル、ストームケーブルが変位するものと考えた。この状態に対する釣合の方程式として、次式のようにストームケーブルを持たない吊橋で従来考えられている横荷重に対する基本式にストームケーブルの吊材張力の項を加えたものを考える。

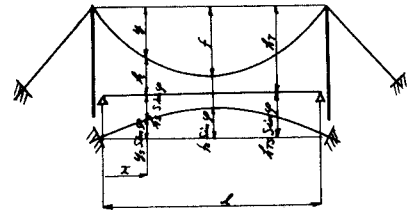
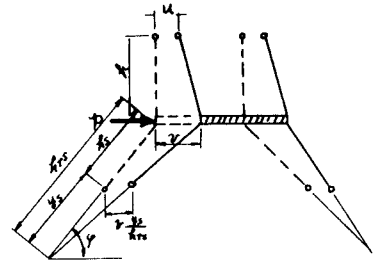


図-1.

こゝで、 H_H , H_W , H_S および $\bar{H}_S$ は、それぞれ主ケーブルの水平張力、死荷重のみによる水平張力、ストームケーブルの初期水平張力およびその増分を表わし、 H_H と $\bar{H}_S$ は次のよう

に書ける。 $H_H = H_W + H_S \sin \varphi$, $\bar{H}_S = \frac{E_c A_c}{L_c} \int_0^l v \frac{dy_s}{dx} \cos \varphi dx$.

こゝで、主ケーブルおよび補剛桁の横たわみ変形を、 $u = A \sin \frac{\pi}{2} x$, $v = B \sin \frac{\pi}{2} x$ とおく。Galerkin法を適用すれば、 A , B は次の連立方程式により定められる。なお、こゝでは計算の便宜上、伊藤氏の方法^{*}にならつて、吊材長を一定の換算長 l_m におきかえている。

$$\begin{pmatrix} -\left(\frac{\pi^4}{l^4} + \frac{8f}{l^2} \frac{1}{k_m}\right) & \frac{8f}{l^2} \frac{1}{k_m} \\ -\frac{8f}{l^2} 2(H_W + H_S \sin \varphi) \frac{1}{k_m} & EI_h \frac{\pi^4}{l^4} + \frac{8f}{l^2} 2(H_W + H_S \sin \varphi) \frac{1}{k_m} + 2H_S \cos^2 \varphi \frac{\pi^4}{l^4} \frac{r_{rs} - h_{ms}}{k_{rs}} \\ & + \frac{8f}{l^2} 2H_S \frac{\sin^2 \varphi}{k_{rs}} + \frac{64 \times 128}{\pi^4} \frac{f}{l^2} \frac{E_c A_c}{L_c} \cos^2 \varphi \frac{f}{l} \frac{f}{k_{rs}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{4}{\pi} p \end{pmatrix} \quad (2)$$

* M. Ito ; The Lateral Motion of Suspension Bridges , 土木学会論文集 第81号, 1962

(2)式より求められる \$B\$ は補剛桁の最大横たわみ量を示すが、同様にレズストームケーブルを持たない場合の最大横たわみ量 \$B'\$ を求め、両者の比 \$k_d\$ を横たわみ量の減少率とすれば、\$k_d\$ は次式で表わされる。

$$k_d = \frac{B}{B'} = \left(\frac{\pi^2}{\mu^2} + \frac{8}{\mu} \right) - \frac{\left(\frac{8}{\mu} \right)^2}{\pi^2 + \frac{8}{\mu}} \Bigg/ \frac{\frac{\pi^2}{\mu^2} + \frac{8}{\mu} \left(\frac{\mu^2 + \mu_s^2 \sin^2 \varphi}{\mu_s^2} \right) + \pi^2 \cos^2 \varphi \frac{\mu_s^2}{\mu} \left(1 - \frac{\mu}{\mu_{rs}} \right) + 8 \frac{\mu_s^2}{\mu} \sin^2 \varphi \frac{1}{\mu_{rs}}}{\frac{64 \times 128}{\pi^2} \cos^2 \varphi \left(\frac{E_c A_c}{E I_h} \right) \left(\frac{l}{L_c} \right)^2 \frac{1}{\mu_{rs}} \frac{1}{\mu_s^2} - \frac{\left(\frac{8}{\mu} \right)^2 \left(\frac{\mu^2 + \mu_s^2 \sin^2 \varphi}{\mu_s^2} \right)}{\pi^2 + \frac{8}{\mu}} \quad (3)$$

ここで、 $\mu_h = l \sqrt{\frac{H_w}{E I_h}}$, $\mu_s = l \sqrt{\frac{H_s}{E I_h}}$, $\mu = \frac{k_n}{f}$, $\mu_{rs} = \frac{k_{rs}}{f_s}$ である。ストームケーブルの初期張力 \$H_s\$ および取り付け角度 \$\varphi\$ の \$k_d\$ におよぼす影響を数値的に検討するため、ストームケーブルには初期張力より若干大きい張力に見合う断面のものが用いられると考える。(3)式の分母第5項を $200 \frac{\mu_s^2}{\mu^2} \cos^2 \varphi \frac{1}{\mu_{rs}}$ とし、数値計算を行った結果を下の図-2, 3, 4 に示す。これより、当然のことながら、 μ_h , μ_s が大きいほど、また \$\varphi\$ が小さいほど横たわみ量の減少効果が著しいことが知られる。

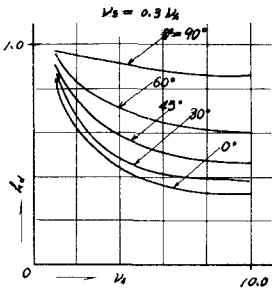


図-2. ($\mu_h = 0.3 \mu_s$, $\mu_{rs} = 1$ とする下同い)

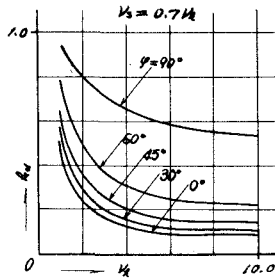


図-3

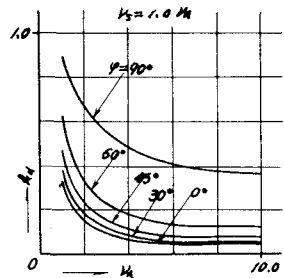


図-4

3. 横座層に対する限界風速の増大率

補剛桁の横方向の曲げ剛性に比して、鉛直曲げ剛性がよびねじり剛性が小さいと、風荷重により補剛桁は横座層現象が現れる恐れがあることはしばしば指摘されていることであるが、その限界風速は正井教授によれば、中央一節長の非対称座層形状に対し $V_k^* = \frac{4\pi\sqrt{128} \sqrt{EJ \cdot KG}}{\mu C_{ap} b l^2}$ で与えられる。

ここで、ストームケーブルの吊材張力の復元効果を考えれば、 EJ , KG はそれぞれ

$$EJ = EI + \frac{l^2}{2\pi^2} \left[H_w + H_s \sin^2 \varphi + H_s \sin^2 \varphi \left(\frac{k_{rs} - k_{ms}}{k_{rs}} \right) \right] , \quad KG = KG + \frac{\pi b^2}{2} EJ \quad \text{となる。}$$

したがって、補剛桁のねじり剛性 KG を省略して横座層に対する限界風速の増大率 k_v を求めれば、

$$k_v = \frac{V_k}{V_k'} = \sqrt{1 + \frac{\bar{V}_s^2}{2\pi^2 \mu^2} \left[\sin^2 \varphi \sin^2 \varphi \left(1 - \frac{\mu}{\mu_{rs}} \right) \right]} \quad (4)$$

となる。ここで、 $\mu = l \sqrt{\frac{H_w}{EI}}$, $\bar{V}_s = l \sqrt{\frac{H_s}{EI}}$ である。

(4)式により、横たわみ量の減少率と同様、 H_s と \$\varphi\$ の \$k_v\$ に及ぼす影響を数値的に検討すると、下の図-5, 6, 7 のような結果が得られる。これらによれば、 μ_h , μ_s が大きいほど、また \$\varphi\$ は横たわみの場合と反対に大きい程、限界風速の増大効果が著しくなる。

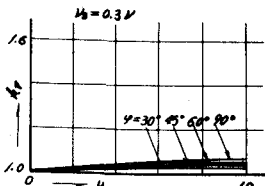


図-5.

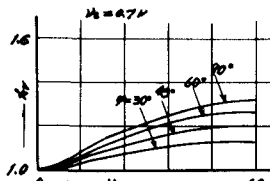


図-6.

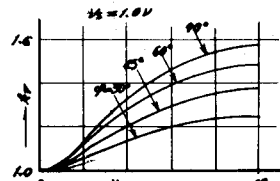


図-7.