

建設省近畿地方建設局

本州四国連絡道路調査事務所 正員 村上己里

最近吊橋の耐風設計に関する研究が各方面から行われているが、ここでは長大吊橋の架設に必要な構造物の一つであるギョットワークの一試案についてその耐風設計とその施工法を述べる。この試案は本州四国連絡架橋のうち中央径間1500m程度の吊橋を対象にしたものでその設計にあたっては自然条件の他に十分な桁下空間を確保するように考慮した。

[1] 構造概要と施工

ギョットワークの構造は図-1に示すようなもので、その施工は①ギョットワークの主ロープを所定のサグより幾分か小さく張渡す。②足場取付后その下面に沿ってストームケーブルをおくりだしハンガーを取付ける。③ハンガーを次第にゆるめてストームケーブルを吊下げその両端を塔基部のプレ張力導入装置に取付けギョットワークのサグが所定のサグになるまでプレ張力を導入する。

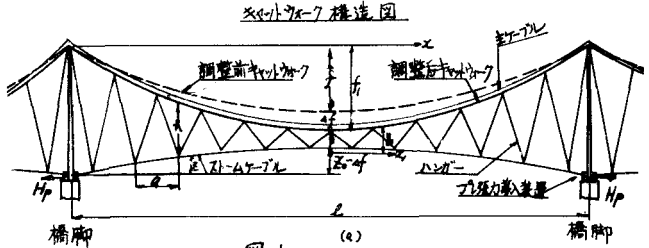


図-1

[2] 考察

(a) 架設調整 初期のギョットワークはカタナリーとして座標を適当に与え

じこにより $y = \frac{H}{w} \cosh \frac{wx}{H} - 1$ 、 $S = \frac{H}{w} \sinh \frac{wx}{H}$ ①で示される。ただし H =水平張力、 w =ギョットワークの自重、 S =ロープの長さである。境界条件 $x = \frac{l}{2}$ 、 $y = f + \frac{H}{w}$ であることより式①より H を求めることができる。

次にストームケーブルにプレ張力が導入されギョットワークのサグが Δf だけ変化し近似的にカタナリーを保っているとする。前式は $y_1 = \frac{H_1}{w_1} \cosh \frac{w_1 x}{H_1} + (\frac{H}{w} - \frac{H_1}{w_1})$ ①、 $S_1 = \frac{H_1}{w_1} \sinh \frac{w_1 x}{H_1}$ ②で示される。 H_1 =プレ張力導入後の水平張力、 $w_1 = w + \text{ハンガー張力}$ である。境界条件 $x = \frac{l}{2}$ 、 $y_1 = f + \Delta f + \frac{H}{w}$ と $S_1 = S + \Delta S$ より求められる

$H_1 = H + \frac{\frac{H_1}{w_1} \sinh \frac{w_1 l}{2H_1} - \frac{H}{w} \sinh \frac{wl}{2H}}{\sinh \frac{wl}{2H} \cosh \frac{w_1 l}{2H_1} + \frac{w_1 l}{2H_1}} \times \frac{2EA w_1}{H_1}$ ③ を用いて H_1 および w_1 を求める。 A =ロープの断面積、 E =ロープの弾性係数である。ストームケーブルは放物線として架設され

プレ張力導入によってそのサグが $Z_0 - \Delta f$ になったとすれば、近似的に $Z = \frac{w_1}{2g_1} (Z_0 - \Delta f)(l-x)x$ ④、 $H_p = \frac{(w_1 - w) l^2}{8(Z_0 - \Delta f)}$ ⑤で示される。 H_p =プレ張力である。

ギョットワークの変形

(b) 風荷重 図-1に示すようなギョットワークに風荷重が作用した場合

図-2のような変形をする。水平力の釣合より $-H_1 \frac{d^2 y_1}{dx^2} - (H_0 + H_2) \frac{d^2 y_2}{dx^2} = W$ ⑥
ねじれ角 $\varphi = (\delta_1 - \delta_2)/l$ ⑦ およびねじれモーメントの釣合より

$-G \frac{d\varphi}{dx} (I_p \frac{d\varphi}{dx}) = (W + H_1 \frac{d^2 y_1}{dx^2}) h - (H_0 + H_2) h \varphi$ ⑧ となる。ただし δ_1 =ギョットワークの水平変位、 δ_2 =ストームケーブルの水平変位、 h =ハンガー長、 $p = w_1 - w$ 、 g_2 =ストームケーブルの自重、 H_0 =変形によるストームケーブルの水平張力の増分、 J =ねじれ剛性、 G =せん断弾性係数、 $W = W_1 + W_2$ 、 W_1 =ギョットワークに作用する風荷重、 W_2 =ストームケーブルに作用する風荷重である。

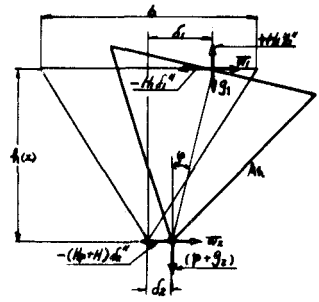


図-2

境界条件 $x=0: \delta_1=\delta_2=0, x=l: \delta_1=\delta_2=0$ を用いて式④~⑥より δ_1 について整理すると、
 $\beta_1 \frac{d^4 \delta_1}{dx^4} + \beta_2 \frac{d^2 \delta_1}{dx^2} + \beta_3 \delta_1 = K$ ⑦ とする。ただし $\beta_1 = \frac{E_s}{2} (1 + H_1/H_p + H_2) + H_1 \cdot l/G, \beta_2 = (\frac{E_s}{2} - \frac{2K_1 J_1}{l^2}) (1 + H_1/H_p + H_2)$
 $\beta_3 = [\frac{J_1}{l} (\frac{2K_1}{l^2} - \frac{K_2}{l^2}) - \frac{J_1 K_1}{l^2} - \frac{P+J_2}{G}] (1 + H_1/H_p + H_2), K = -W l/G + (\frac{E_s}{2} - \frac{2K_1 J_1}{l^2}) M_0/(H_p + H_2) + [\frac{J_1}{l} (\frac{2K_1}{l^2} - \frac{K_2}{l^2}) - \frac{J_1 K_1}{l^2} - \frac{P+J_2}{G}] \times$
 $\times M_0/H_p + H_2 - J_2 W/l (H_p + H_2), M_0 =$ 等分布荷重 W が作用した場合の単純バリの曲げモーメントである。式⑦を
 直接積分することは困難であるため近似解として級数 $\delta_1 = \sum_{i=1}^n a_i \sin \frac{i\pi x}{l}$ ⑧ を代入して δ_1 を求める。
 変形によるストームケーブルの水平張力の増分 H_s は内的および外的仕事が等しいことより

$$H_s = \frac{A_s \cdot E_s}{2(H_p + \frac{1}{2} H_s)(H_p + H_2)} \left[\frac{W l^3}{12} + W H_1 \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{i\pi} (\cos i\pi - 1) + \frac{W H_2}{2} \left\{ \sum_{i=1}^n a_i i\pi \cos i\pi - \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{i\pi} ((i^2 \pi^2 - 2) \cos i\pi + 2) \right\} + \frac{H_2^2}{2l^2} \sum_{i=1}^n a_i^2 (i\pi)^2 \right]$$

 である。

風荷重によるケーブルの変形

[3] 数値計算例

中央径間1500mについて下記のよう
 な諸元を用いて計算するとその変形
 は図-3のようになる。この場合の
 水平張力は $H=553^t, H_1=806^t$
 $H_p=1664^t$ で H_s は図-5に示すよう
 になる。

$l=1500(m), f=154(m), 4f=61(m)$
 $Z_0=29(m), a=20(m), b=6(m)$
 $A=1.2 \times 10^2(m^2), A_s=2.0 \times 10^2(m^2), A_h=0.24 \times 10^3(m^2)$
 $E=1.0 \times 10^7(kg/cm^2), E_s=2.0 \times 10^7(kg/cm^2), G=0.8 \times 10^7(kg/cm^2)$
 $\omega=0.3(\%), \rho_s=0.15)$
 $W_1=0.095(\%), 0.061(\%), 0.034(\%/m^2)$
 $W_2=0.025(\%), 0.016(\%), 0.009(\%/m^2)$

風速と水平変位との関係は図-4に示すような傾向がある。
 またストームケーブルの水平張力とサグ調整量との関係を
 風速別に示すと図-5のようになる。

以上の計算結果から
 ゼットワークの水平
 変位はほぼ水平
 張力に比例する。
 設計風速時は
 勿論架線作業中の
 変位を小さくするた
 めには風荷重を小

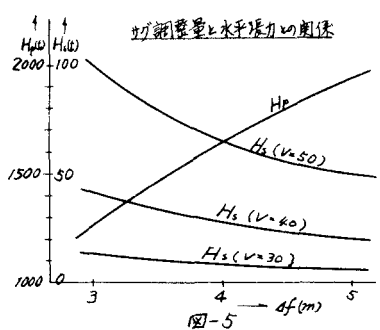


図-5

さし水平張力を大きくすることが効果的である。この理由よ
 りストームケーブル張力を導入するゼットワークは有利である。またこの構造は振動が小さく作業能率もよいと思われ
 る。今後は動的解析および模型実験により風に対する安定性を検証する必要がある。

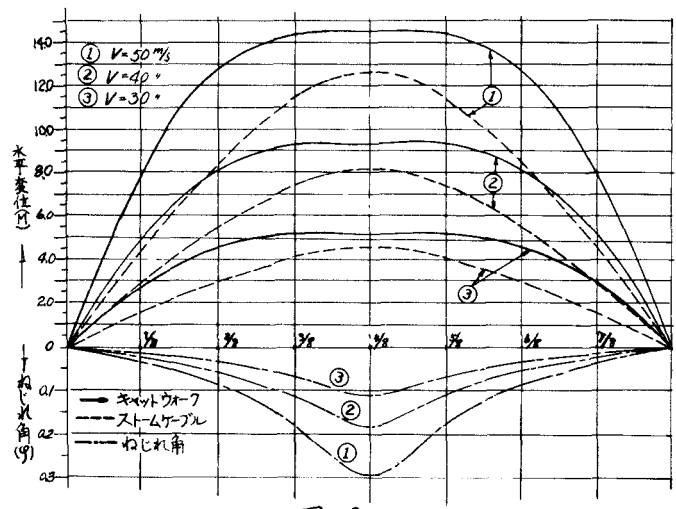


図-3

風速とゼットワークの変形

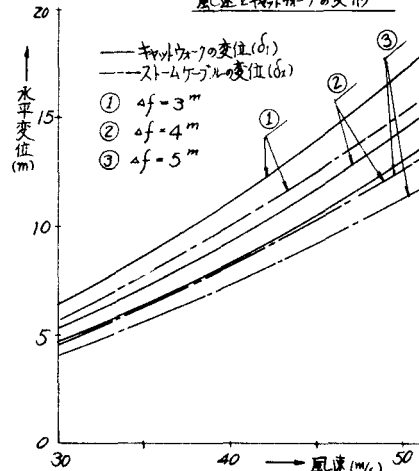


図-4