

す。(b)の本題のケーブル方程式を用いると18cm程度となるが、これは(c)のケーブルの水平変位に付随する鉛直変位の増加によるものと考えられる。この構造特性による変位は揚力によるものと同程度の大きさとなる。②初期曲率および補剛桁の重心と上弦材との距離 a の影響 吊橋のねじりと水平変位の垂成の原因となる

case 1 $\alpha=0^\circ$

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Hp1 (t)	0.0	0.0	0.0	0.0	-38.6	34.5	56.9	52.9
Hp2 (t)	0.0	0.0	0.0	0.0	38.6	-34.5	-56.9	-52.9
u (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$\phi = \phi_1$ (rad.)	3.267	-3.360	-5.063	-5.185	1.161	-1.482	-1.974	-2.298
v (m)	0.0	4.142	4.145	4.150	0.0	4.140	4.141	4.143
w (m)	0.0	3.920	3.928	3.924	0.0	3.921	3.924	3.923
ψ (rad.)	0.0	0.135	0.136	0.135	0.0	0.135	0.135	0.135

Kおよび a の影響を検討するために、各種の構造特性外力の組合せに対する中央径間中点の諸変位を示せば表-2のとおりである。表-2において

表-2 補剛けたのねじりに及ぼす外力、K、 a の影響

case 1 $\alpha=0^\circ$

	(a)	(b)	(c)	(a)+(b)+(c)	(d)
Hp1 (t)	-178.3	-38.6	0.0	-216.4	-97.4
Hp2 (t)	-178.3	38.6	0.0	-139.2	-202.0
u (m)	-0.079	0.0	0.0	-0.079	-0.169
$\phi = \phi_1$ (rad.)	0.0	1.161	0.0	1.161	-2.308
v (m)	0.0	0.0	4.138	4.138	4.177
w (m)	0.0	0.0	3.922	3.922	3.953
ψ (rad.)	0.0	0.0	0.135	0.135	0.138

- (a) $H_{p1}=H_{p2}=0.0$, $K=0$, $a=0$, 空力モーメント
- (b) $H_{p1}=H_{p2}=0.0$, $K=0$, $a \neq 0$, 抗力
- (c) $H_{p1}=H_{p2}=0.0$, $K \neq 0$, $a=0$, 抗力
- (d) $H_{p1}=H_{p2}=0.0$, $K \neq 0$, $a \neq 0$, 空力モーメントおよび抗力
- (e) ケーブル方程式を用いた場合 ($H_{p1} \neq 0$, $H_{p2} \neq 0$)

の(a)と(d)に対応するもの

表より明らかなように補剛桁のねじりは空力モーメントの作用方向と生ずるねじり、抗力によって生ずる桁とケーブルの水平変位差によって生ずる負のねじり、および曲率の存在によって水平変位と垂成する負のねじりの3項から構成される。したがって、ねじり ϕ の(a)+(b)+(c)の結果および(e)+(f)+(g)の結果がそれぞれ(d)および(h)の結果にほぼ一致することになる。各々のねじりに及ぼす大きさはほぼ同程度であるために、水平変位とねじりを同時に考慮した吊橋の解析ではこれらの影響は無視できない。(e)~(h)は(a)~(d)のケーブルの活荷重水平張力の影響を考慮した場合に対応するもので、ねじりに対して左右のケーブルの水平変位差は構造の剛性を増大させることを示す。

③非連成法との比較 鉛直、ねじりおよび水平の各変形の垂成を考慮する本法(連成法)と各変形が独立に生ずると仮定のうえ、3分力を独立に取扱う方法(非連成法)とを比較するために、次のような各ケースについて計算を行った。すなわち、表-3において(a)、(b)、(c)はそれぞれ非連成法の鉛直、ねじりおよび水平外力に対する結果を、およびこれらの合成した結果(a)+(b)+(c)、連成法の結果を示すものである。表に示すようにねじりについては非連成法と連成法とは全く異なる結果を与えることがわかる。

④風の迎え角の影響 図-1、2および3に風の迎え角の変化に伴う吊橋の中央径間および側径間の補剛桁の鉛直、ねじりおよび水平変位を示す。迎え角の影響は水平変位については小さいが、鉛直およびねじり変位については顕著である。鉛直変位については迎え角が正の場合、あるいは風の補剛桁を吹上る場合が不利となるが、ねじりについては逆に迎え角が負の場合が不利となることがわかる。

参考文献 1) 高橋: 連成を考慮した吊橋の基礎方程式について(第1報: 微小変形の場合), 土木学会第30回年次学術講演会 講演要録集, 第1部, 昭和50年11月, pp.401~403

表-3 非連成法と連成法の比較

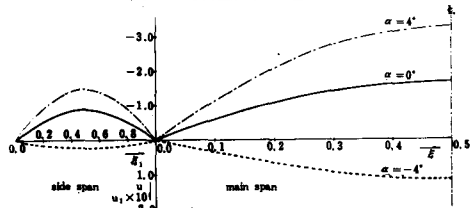


図-1 補剛けたの鉛直変位

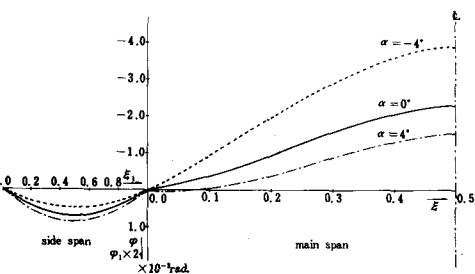


図-2 補剛けたのねじり

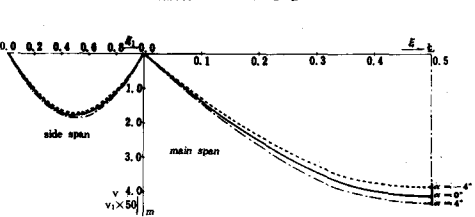


図-3 補剛けたの水平変位

日本鋼管工事 正員 平野 徹

長崎大学 正員 高橋和雄

日本道路公団 正員 室井智文

1. 緒言 著者らは先にキャンバーによる初期曲率を有する吊橋の鉛直、ねじり、および水平の各変位の連成を考慮した基礎方程式の誘導を報告した¹⁾。ひきつづき、本論はえられた基礎方程式を用いて風による水平、空力モーメントおよび抗力の3分力の作用する場合の吊橋の変形と応力解析を試みたものである。なお、長支間吊橋では水平変位が相当に大きいことにみられ、T-ブールの鉛直変位のみならず、水平変位をも考慮したT-ブール方程式を用いた。数値解析において、T-ブールの活荷重水平張力の影響、キャンバーによる初期曲率の影響、非連成法との比較および風の迎え角の影響を検討したものである。

2. 基礎方程式 キャンバーによる初期曲率を有する連成基礎方程式は次式と与えられる。²⁾

$$EI_w u'' - (2H_w + H_{p1} + H_{p2}) u'' + (H_{p1} - H_{p2}) \frac{b}{2} \varphi'' = P_w - (H_{p1} + H_{p2}) \frac{\partial f}{\partial l^2} \quad (1)$$

$$(H_{p2} - H_{p1}) \frac{b}{2} u'' + EI_w \varphi'' - (GJ - 2KEI_{yw}) \varphi'' - b^2 (2H_w + H_{p1} + H_{p2}) \varphi'' - E(I_{yw} - KI_w) v'' + EI_k \varphi'' + K(EI_{yw}K - EI_k - GJ) v'' + Q(P_w + W_c) \theta = M_c - (H_{p2} - H_{p1}) 4fb^2 \quad (2)$$

$$- E(I_{yw} - KI_w) \varphi'' + K(EKI_{yw} - EI_k - GJ) \varphi'' + E(I_k - 2I_{yw}K + I_w K^2) v'' - GJK v'' + (P_w + W_c) \theta = P_c \quad (3)$$

$$(2H_w + H_{p1} + H_{p2}) v'' + (P_w + W_c) \theta = -P_c \quad (4)$$

ここに、 $R\theta = v - \bar{v} + Q\varphi$ (5), $I_k = \int_A y^2 dA$, $I_w = \int_A \omega^2 dA$, $I_{yw} = \int_A y\omega dA$, $I_w = \int_A x^2 dA$, $K = \partial f / \partial l^2$

$J = \int_A \{ (\frac{\partial \omega}{\partial x} - \gamma) + (\frac{\partial \omega}{\partial y} + \alpha) \}^2 dA$, u , φ , v ; 補剛桁の鉛直、ねじり、水平変位, $\bar{v}$; T-ブールの水平変位

θ ; ハンガーの傾斜角, K ; 曲率, Q ; 補剛桁の重心と上弦材中心との距離, H_{p1} , H_{p2} ; 活荷重水平張力

長支間吊橋では水平変位が相当に大きくなることを考慮すれば、T-ブール方程式は次式となる。

$$H_{p1} = -E_c A_c / L_c \left[\left\{ \int_0^L x_j^2 \bar{u}_j d\bar{x}_j - \frac{1}{2} \int_0^L \bar{v}_j^2 d\bar{x}_j \right\} - \alpha_c TL_c \right] \quad (6) \quad \text{ここに, } \bar{u}_j = u_j \mp b/2$$

3. 風荷重を受ける吊橋の変形と応力 3径間単純吊橋(関門大橋)を対象に3分力を考慮した一様分布の風荷重を受ける場合の静的挙動を解析する。吊橋の補剛桁断面の2次元模型による風洞実験により定められた鉛直、空力モーメントおよび抗力の各係数を任意の迎え角について線形化すれば吊橋に作用する外力は次のようである。

$$P_w = -L_c - L_c^* \varphi, M_c = M_c + M_c^* \varphi, P_k = D_c + D_c^* \varphi, P_c = D_c \quad (7)$$

吊橋の補剛桁の境界条件を満足する各変位は次のように仮定することができる。

$$u = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin n\pi \xi, \varphi = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin n\pi \xi, v = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin n\pi \xi, \bar{v} = \sum_{n=1}^{\infty} d_n \sin n\pi \xi, \theta = \sum_{n=1}^{\infty} E_n \sin n\pi \xi \quad (8) \quad \text{ここに } \xi = x/L$$

上式を基礎方程式に代入してガラーキン法を適用すれば、未定係数連立方程式がえられる。

(1) T-ブールの活荷重水平張力の影響 3分力を考慮した外力について、(a)従来のT-ブール方程式を用いた場合、

(b)本題のT-ブール方程式を用いた場合、(c)活荷重水平張力を無視する場合、および外力として抗力成分のみを残し、かつ補剛桁の図心にハンガーが取り付けられ状態($\alpha=0$)について、(d)本題のT-ブール方程式を用いた場合、

(e) Moisseiff と同じT-ブールの活荷重水平張力を無視する場合の5ケースの初期曲率 $K=0$ に対する H_{p1} , H_{p2} および中央径間中点の変位 u , φ , v , $\bar{v}$, θ を表-1に示す。表

から明らかなように水平変位 v , $\bar{v}$ については従来の抗力のみを考慮し、かつT-ブールの活荷重水平張力を無視した Moisseiff の解析で十分である。補剛桁の鉛直変位については、(d)のT-ブールの活荷重水平張力を無視する場合には1m程度まで上がるが、従来のT-ブール方程式を用いると、その程度となり、T-ブールの活荷重水平張力は鉛直変位に比べて大きな影響を及ぼ

case 1 $\alpha=0^\circ$		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
llp1	(t)	-182.18	-163.79	18.34	0.0	0.0
llp2	(t)	-173.67	-155.13	18.34	0.0	0.0
u	(m)	-0.080	-0.179	-0.095	-1.010	0.0
$\varphi \times 10^3$ (rad.)		-0.307	-0.314	0.0	-0.100	0.0
v	(m)	4.178	4.174	4.135	4.145	4.137
$\bar{v}$	(m)	3.958	3.954	3.918	3.920	3.922
θ	(rad.)	0.137	0.138	0.136	0.139	0.135

表-1 ケーブルの活荷重水平張力の影響