

長崎大学工学部 学生員 桑代昭一

長崎大学工学部 学生員 田中雅人

長崎大学工学部 正 員 高橋和雄

1. 緒言 昭和52年4月2日に開通した平戸大橋はスパン465.4mの日本第2位の吊橋である。平戸大橋は地形上中央径間だけを吊った単径間の吊橋で、側径間のサグがないためにケーブルの剛性が高まって鉛直方向の外力に対して有利であるが、2車線に歩道が付いているのみで幅員が狭い構造のために、横方向やねじりに対する剛性が弱いことが予想される。そこで本論文では著者らが提案した連成を考慮した基礎方程式を用いて平戸大橋の風荷重による変形と応力および固有振動数の計算を行ったものである。

2. 風荷重による変形と応力

(1) 吊橋諸元 平戸大橋の一般

図と断面図は図-1および2に示すとおりである。吊橋の設

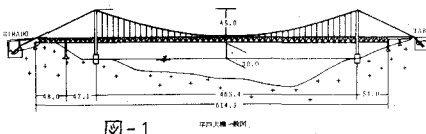
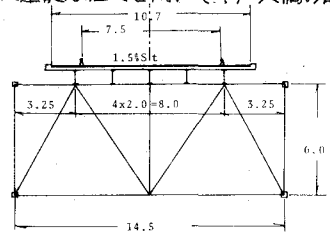


図-1



橋脚けたの断面図

図-2

計諸元は次のとおりである。支間 $l=460\text{m}$ 、サグ $f=45\text{m}$ 、キャンバーサグ $f^*=23\text{m}$ 、タワーハンガー点でのハンガー長 $l_H=48.917\text{m}$ 、ハンガー取付け点と補剛桁重心の距離 $a=0.36\text{m}$ 、補剛桁の初期曲率 $k=8.49 \times 10^{-5}/\text{m}$ 、ケーブルの形状長さ $l_c=830\text{m}$ 、鉛直方向断面2次モーメント $I_v=1.648\text{m}^4/\text{bridge}$ 、水平方向断面2次モーメント $I_h=9.621\text{m}^4/\text{bridge}$ 、サンパナのねじり剛性 $J=0.890\text{m}^4$ 、曲げねじり剛性 $I_w=33.96\text{m}^4$ 、ケーブルの断面積 $A_c=0.085\text{m}^2/\text{cable}$ 、補剛桁の自重 $w_k=9.49\text{N/m}$ 、ケーブルの自重 $w_c=1.536\text{N/m}/\text{bridge}$ 、補剛桁のヤング率 $E=2.1 \times 10^9\text{N/m}^2$ 、ケーブルのヤング率 $E_c=2.0 \times 10^9\text{N/m}^2$ 、せん断弾性係数 $G=0.81 \times 10^9\text{N/m}^2$ 、設計風速 $V=58.6\text{m/sec}$ (桁)、 63.2m/sec (ハンガー、ケーブル)、風の密度 $\rho=0.125\text{kg/sec}^2/\text{m}^3$ 、補剛桁の鉛直有効投射面積 $A_0=3.335\text{m}^2$ 、水平有効投射面積 $A_L=14.896\text{m}^2$ 、なお、計算に用いた空気力の3成分係数は図-3に示すとおりである。

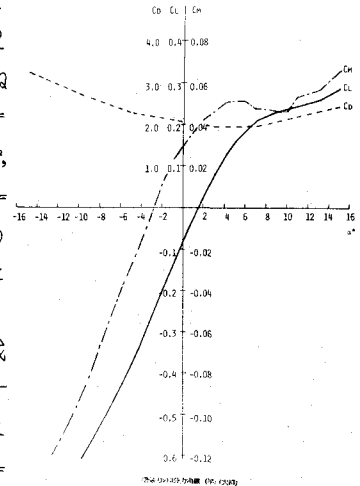


図-3

(2) 初期曲率およびハンガー取付け点の影響 吊橋の水平変位とねじりの連成現象を検討するために各種の構造特性および外力の項の組み合わせに対するケーブルの活荷重張力 H_{p1} 、 H_{p2} および補剛桁中点の鉛直変位 u 、ねじり角 ϕ 、水平変位 v 、ケーブルの水平変位 w およびハンガーの傾斜角 θ を風の迎え角 $\alpha=3^\circ$ に対して求めれば表-1のとおりである。表-1において $\alpha \text{ sec}(\alpha) \sim (d)$ はそれぞれ

(a) $k=0$ 、 $a=0$ 、ねじりモーメント M_t のみ、(b) $k=0$ 、 $a \neq 0$ 、水平外力 P_h のみ、(c) $k \neq 0$ 、 $a=0$ 、水平外力 P_h のみ、(d) $k \neq 0$ 、 $a \neq 0$ 、ねじりモーメント M_t および水平外力 P_h に対応するものである。なお、従来の鉛直変位のみを考慮したケーブル方程式を用いた。表-1より明らかに補剛桁のねじりは外力の方向にねじる M_t の影響(a)、水平外力によって生ずる補剛桁とケーブルの間の水平変位差によって生ずる負のねじりの影響(ハンガー取付け点の影響)(b)および初期

表-1 初期曲率およびハンガー取付け点の影響

	(a)	(b)	(c)	(d)
H_{p1} (t)	-37.7	2.8	32.2	-3.0
H_{p2} (t)	37.7	-2.8	-32.2	3.0
u (m)	0.0	0.0	0.0	0.0
ϕ (rad)	5.002	-0.433	-4.452	0.081
v (m)	0.0	3.064	3.069	3.063
w (m)	0.0	2.875	2.880	2.875
θ (rad)	0.0	0.117	0.117	0.117

曲率の存在によって水平変位と連成する負のねじりの影響(c)の3項から構成される。ケーブルの活荷重水平張力およびねじりの(a)+(b)+(c)の結果(d)の結果にほぼ一致する事実からもうなずけることである。補剛桁の初期曲

率の影響は外力のねじりの大きさと同程度であるため構造特性の影響は無視できないことがわかる。本例ではハンガー取付け点の影響は小さいが、この原因は床版部分の重量が補剛桁の重量に比較して大きいために補剛桁の回転中心は補剛桁の重心から256mm上方の上弦材側にあるとしているためである。関門大橋のねじり振動の計測結果によれば補剛桁の回転中心は補剛桁の重心にほぼ一致する結果となっている。平戸大橋の完成系に対しては未だ実験が行われておらず、今後風の応答に含まれるねじり振動の振動数から α の大きさを推定できるものと予測され、 α の大きさは本例よりもかなり大きくなることも考えられるが、今後の計測に俟たねばならない。

表-2 非連成法との比較

	(a)	(b)	(c)	(a)+(b)+(c)	(d)
h _{p1} (t)	-65.8	-37.7	0.0	-104.5	-62.5
h _{p2} (t)	-66.8	37.7	0.0	-29.1	-56.8
u (m)	-0.065	0.0	0.0	-0.065	-0.142
$\theta = \theta^*$ (rad.)	0.0	5.002	0.0	5.002	0.064
v (m)	0.0	0.0	3.604	3.604	3.085
w (m)	0.0	0.0	2.875	2.875	2.894
ϕ (rad.)	0.0	0.0	0.117	0.117	0.116

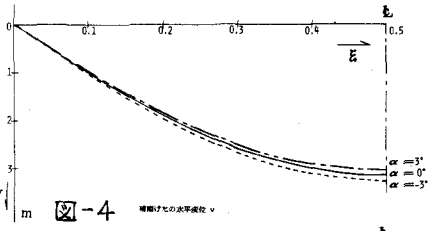


図-4

(3)非連成法と連成法との比較 表-2は迎え角 $\alpha=3^\circ$ に対する連成法と非連成法による解を比較したものである。表-2において(a), (b)および(c)は非連成法による解を示し、それぞれ揚力、空力モーメントおよび抗力による補剛桁およびケーブルの諸値に対応するものである。また、(a)+(b)+(c)は非連成法による解を合成したもので、(d)は連成法による解に対応するものである。水平変位 u および $\bar{u}$ については活荷重水平張力の変化によって若干差異があるがその割合は小さく、したがって水平変位は従来の抗力のみを用いた解析で十分である。鉛直変位 w は連成法にはケーブルの水平変位に付随する鉛直変位が含まれるために両者にはかなりの差がある。ねじりについては連成法には初期曲率 K とハンガー取付け点 α の影響が含まれるために水平変位によってねじりが連成するために非連成法とは全く異った結果を与えることになる。

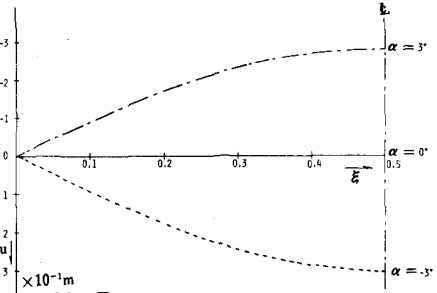


図-5

(4)風の迎え角の影響 図-4~6は風の迎え角 $\alpha=3^\circ, 0^\circ$ および -3° に対する補剛桁の水平、鉛直およびねじり曲線を示したものである。水平変位 u については抗力の迎え角 α に対する変化が小さいためにほとんど風の迎え角の影響を受けないことがわかる。鉛直変位 w については風の迎え角の影響を著しく受け、ケーブルの振子状態の動きと符号が一致する迎え角が正の場合が不利になるが、揚力係数は α が正の場合が絶対値が小さいので正負どちらと同じ大きさとなる。なお、揚力の大きさは補剛桁の自重の1割程度である。ねじり角 ϕ も迎え角 α の影響を受け、水平変位によって連成する負のねじりと加え合せられる迎え角が負の場合が大きな変形となる。図に示すようにねじりについては初期曲率の影響は無視できないことがわかる。なお、平戸大橋は幅が狭いためにねじりに対する剛性が小さく、ねじりの大きさは関門大橋の場合と比較して2倍以上の大きさとなる。

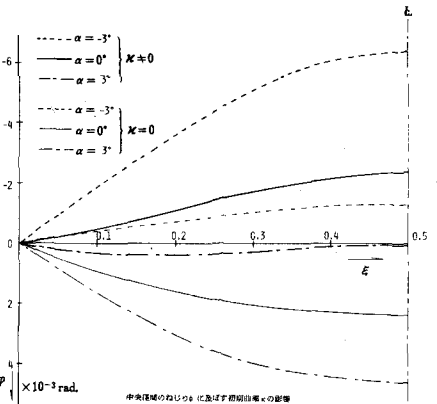


図-6

係数は α が正の場合が絶対値が小さいので正負どちらと同じ大きさとなる。なお、揚力の大きさは補剛桁の自重の1割程度である。ねじり角 ϕ も迎え角 α の影響を受け、水平変位によって連成する負のねじりと加え合せられる迎え角が負の場合が大きな変形となる。図に示すようにねじりについては初期曲率の影響は無視できないことがわかる。なお、平戸大橋は幅が狭いためにねじりに対する剛性が小さく、ねじりの大きさは関門大橋の場合と比較して2倍以上の大きさとなる。

3. 結語 本研究は静的荷重に対する平戸大橋の連成現象を報告したが、振動問題については当日発表の予定である。資料を提供して頂いた長崎県土木部の小松・栗堀氏に深く感謝いたします。

参考文献 1)高橋・室井・平野: 風荷重を受ける長支吊橋の変形と応力, 昭和51年度土木学会西部支部研究発表会講演集, 昭和52年2月, PP55~56, 2)日本道路公団: 関門大橋工事報告書, 昭和52年3月, PP1100~1112