

1 まえがき

筆者は文献1), 2), 3)において吊橋の撓度理論における基礎方程式を考察し, その結果軸剛性 $A E/L$, 横剛性 T/L からなるケーブル, ハンガーの剛性方程式から①ケーブル水平張力増分の変位によるあらわな表示, ②ケーブル軸力を考慮した吊橋の鉛直方向釣合方程式, ③ケーブルのポテンシャルエネルギー表示, ④吊橋の撓み振動方程式などを示した。本文ではさらに撓度理論で使われる吊橋の静的な釣合方程式の基本仮定を調べ, 又吊橋の撓み振動において橋軸方向横性を考慮すると如何なる現象が表われるかを調べて, 下部基礎の安定照査方法を考察するものである。

2 撓度理論式の考察

文献3)の吊橋撓み振動方程式はHamiltonの原理より導いたが, 図1に示す吊橋の静的釣合方程式は同様にして最小ポテンシャルエネルギー原理より導かれ次のようになる。

$$(\xi \text{ 方向}) \quad \frac{dH_h}{dx} - w_s \frac{\xi - \chi}{h} = 0 \quad (1)$$

$$(\eta \text{ 方向}) \quad \frac{d}{dx} (H_p \tan \alpha_w + H_w \sec^2 \alpha_w \frac{d\eta}{dx}) - a_h E_h \frac{\eta - \zeta}{h} = 0 \quad (2)$$

$$(\chi \text{ 方向}) \quad E_s A_s \frac{d^2 \chi}{dx^2} + w_s \frac{\xi - \chi}{h} = 0 \quad (3)$$

$$(\zeta \text{ 方向}) \quad E_s I_v \frac{d^4 \zeta}{dx^4} - a_h E_h \frac{\eta - \zeta}{h} = -p \quad (4)$$

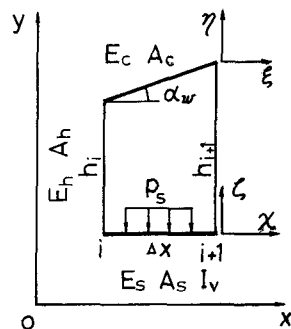


図1 吊橋形状

こゝに

$$H_p = A_c E_c \cos^3 \alpha_w \left(\frac{d\xi}{dx} + \tan \alpha_w \frac{d\eta}{dx} \right) + H_w \sin \alpha_w \cos \alpha_w \left(\tan \alpha_w \frac{d\xi}{dx} - \frac{d\eta}{dx} \right) \quad (5)$$

$$a_h = A_h / \Delta x \quad (6)$$

(1), (2), (3), (4)の代りに(1), (3), (4)と次式(7)とを基本式としてもよい。

$$E_s I_v \frac{d^4 \zeta}{dx^4} - \frac{d}{dx} (H_p \tan \alpha_w + H_w \sec^2 \alpha_w \frac{d\eta}{dx}) = -p \quad (7)$$

今次の仮定: ① $\xi = \chi$, ② $\eta = \zeta$ を設けると, $\frac{d^2 \xi}{dx^2} = 0$, $\frac{d^4 \zeta}{dx^4} = 0$ などがなりたつねばならず, 式上の矛盾が生じる。式(1)~(4)において $a_h E_h / h$, w_s / h はそれぞれハンガーの軸剛性, 横剛性を表すものであり, $E_s A_s$ は桁の軸剛性に関するものである。そこで次の仮定: ③ハンガーの軸剛性 $= \infty$, ④ハンガーの横剛性 $= 0$, ⑤桁の軸剛性 $= 0$ を設けると, (4)より $\eta = \zeta$, (1)より $H_p = \text{const.}$, (3)は無条件成立, (7)より

$$E_s I_v \frac{d^4 \zeta}{dx^4} - H_p \frac{d^2 \eta}{dx^2} - H_w \frac{d}{dx} (\sec^2 \alpha_w \frac{d\eta}{dx}) = -p \quad (8)$$

をうる。 $H_p = \text{const.}$ の時, 式(5)よりケーブル軸力を考慮したケーブル方程式がえられることは, 文献3)で示したとおりである。又(8)は線形化されたRodeの式であるが, 線形化されていない式は単にケーブルの横剛性に関するケーブル軸力を $T_w + T_p$, 即ち水平張力を $H_w + H_p$ と仮定するにすぎない。この仮定による誤差はMelanの式の仮定: $\sec^2 \alpha_w \div 1$ による誤差と同程度である。以上撓度理論式の基本仮定は, ①, ②ではなくて, ③, ④, ⑤である。

なお $a_h E_h / h$ はハンガーの横剛性であるから, 斜めハンガー吊橋のような場合には, 横剛性の部分に斜めハンガー組みより定まる横(剪断)剛性をおき換へればよいことが分る。この時には当然 $\xi = \chi$ を要請されるので, (1)より $H_p = \text{const.}$ はなりたつことになる。

3 吊橋の上, 下部全体系撓み振動解析

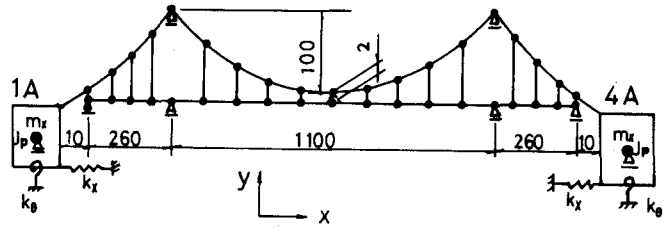
吊橋の鉛直面内撓み振動解析において, 上部の橋軸方向横性を考慮すると如何なる現象が表われるかを調べるために図2のような吊橋モデルを考える。解析ケースは表1のとおりである。

表1 計算ケース

ケース	m_x	ハンガー形式
1	X	鉛直
2	X	ステイ付き
3	O	鉛直
4	O	ステイ付き
5	O	タイ付き
6	下部のみ、2自由度系	

m_x : 上部橋軸方向慣性質量

O: 考慮 X: 無視



質量	単位	1A	4A
m	t	4.14×10^5	6.25×10^5
J_p	tm^2	4.05×10^8	8.65×10^8
k_x	t/m	2.68×10^7	1.65×10^7
k_θ	tm	1.13×10^{10}	1.40×10^{10}

$$f_c = \begin{cases} 8.29 \text{ (side)} \\ 7.65 \text{ (main)} \end{cases} : \text{ケーブル方向}$$

$$f_s = \begin{cases} 17.2 \text{ (side)} \\ 16.2 \text{ (main)} \end{cases} : \text{ケーブル方向}$$

$$A_c = 0.8778 \text{ m}^2, A_h = 0.0162 \text{ m}^2 \left(\frac{13}{100} \right)$$

$$A_{\text{stay}} = 0.0032 \text{ m}^2, A_{\text{tie}} = 0.65 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0.198 \sim 0.375 \text{ m}^2, L_v = 8.38 \sim 15.8 \text{ m}^4 \left(\text{すべて片側} \right)$$

表2 エネルギー分担率

モデル	次数	β_x	エネルギー (%)	モード
全体系	ケース1,2	14 0.91 221	0 100 0	4A 1次
		15 0.71 173	0 0 0	1A 1次
	ケース3	16 0.94 76	0 9 91	4A 1次
		17 0.93 214	0 80 20	4A 1次
	ケース4	18 0.76 79	43 7 49	1A 1次
		19 0.68 147	54 3 43	1A 1次
	ケース5	16 0.94 199	1 64 35	4A 1次
		17 0.89 103	0 30 70	4A 1次
	2自由度系	18 0.73 140	76 1 23	1A 1次
		19 0.65 97	21 3 76	1A 1次
	2自由度系	16 0.93 208	0 71 29	4A 1次
		17 0.85 63	3 27 70	4A 1次
	2自由度系	18 0.71 174	93 0 7	1A 1次
		1 0.91 217	0 100 0	4A 1次
	2自由度系	1 0.72 177	100 0 0	1A 1次

図2 吊橋全体モデル

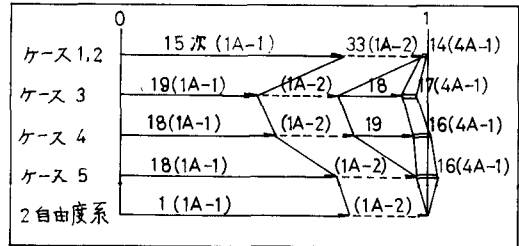


図3 1A 重心 $\beta_x \cdot u_g$ の構成

表3 地震時1Aケーブル定着点ケーブル張力の最大応答

ケース	1, 2	3	4	5
ΔT (t)	639	3,884	4,719	3,211
$\Delta T/T_w$ (%)	1.7	10.2	12.4	8.5
応答値	1	14次 67%	19次 59%	16次 45%
	2	15次 32%	17次 20%	17次 33%
	3	18次 18%	18次 11%	7次 15%

$$T_w = 37,900 \text{ t/本}$$

表2に橋軸方向地震に対する制振係数 β_x の値が大きい次数の運動エネルギーの分担率を、図3には $\beta_x u_g$ (u_g : 1Aの重心水平変位モード値) の構成を、表3には1Aケーブル定着点の地震時ケーブル張力増分の最大応答値(本四岩盤スペクトル $\text{Max. } 180 \text{ gal}$) とその応答中に占めるモードの順位を示す。このこと及び他の結果(省略)からみて次のようなことが云える。

- (1) 下部1次モード付近には上部の振動に帰するモードが表れる。
- (2) 両側の下部はケーブルを通じて互いに影響し合う。この程度はセンターステイの有無、剛度の違いによって異なる。
- (3) 2自由度系モデルの安定に関する応答値は、全体系における値よりも大体安全側にある。
- (4) しかしながら下部応答は2自由度系によるものを用いてよいにしても、ケーブル張力は全体解析によるものを使用すべきであると思われる。

参考文献

- 1) 林, 保田, "吊橋の振動解析", I-181, 才28 回年次講演会
- 2) 林, "吊橋の撓度理論における基礎方程式の考察", I-159, 才29 回年次講演会
- 3) 林, "吊橋の撓度理論における基礎方程式の考察(第2報)", I-193, 才30 回年次講演会