

九州工業大学 正 員 山本 宏
 学生員 ○大坪 豊男

1. まえがき 斜張橋においては、ケーブルにアレストレスを導入することによって主桁の曲げモーメントを平均化することができ、非常に有効である。しかしこのアレストレスの導入によって桁には大きな軸力加わり、固有振動数が低下するものと思われる。ここでは図-1の(A)

(B)に示すような3径間連続斜張橋(以下、Type 1-A, Type 1-Bと示す。)を対象に最適なアレストレス導入量を決定し、またケーブルのアレストレスが固有振動数に及ぼす影響について検討することとした。なお道路橋においては死荷重による影響が大きいことを考え、死荷重に対してアレストレス量を決定することとした。また固有振動解析においては図-1に示すような斜張橋を図-2に示すようなケーブルを弾性支承に置換した集中質点系にモデル化し、伝達マトリックス法によって解析を行なった。

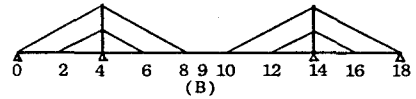
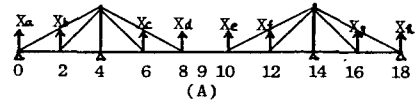


図-1

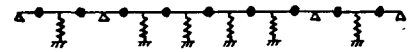


図-2

2. アレストレス量の決定方針 アレストレスを導入していない場合の死荷重による曲げモーメントは、中間支点上断面あるいは中央スパン中央断面で最大となり桁全体で不均一となっている。(図-3参照)そこでケーブルにアレストレスを導入することによって、このような曲げモーメントを減少させ、各点の正負の曲げモーメントの絶対値を等しく、かつ最小にすることが望ましいが計算を簡便化する目的で次のような方針を立てることとする。

- ①点8, 9, 10(図-1参照)の曲げモーメントを等しく、かつ最小にすれば
- ②他のケーブル取付け点の曲げモーメントも点8, 9, 10と大体等しくすることができるのではないかと

3. アレストレス導入量の決定法 図-1(A)に示すように、各ケーブルのアレストレス導入時の鉛直分力を $X_a, X_b, \dots, X_z$ とすると、アレストレス導入時の主桁各点の曲げモーメントは次のようになる。

$$M_i = Q_i w_d + m_{i1} X_a + m_{i2} X_b + m_{i3} X_c + m_{i4} X_d + m_{i5} X_e + m_{i6} X_f + m_{i7} X_g \quad (1)$$

M_i : アレストレス導入時の主桁 i 点の曲げモーメント

Q_i : 斜張橋の主桁 i 点の曲げモーメント影響線の面積

w_d : 死荷重強度

m_{ij} : 主桁 j 点に単位荷重が載った場合 i 点に生ずる曲げモーメント

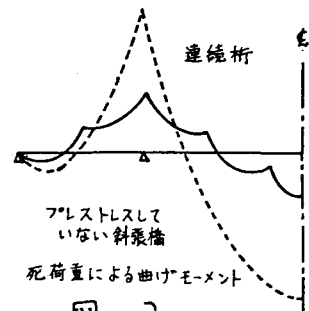


図-3

ここで取り扱う斜張橋は対称構造とすれば、 $X_b = X_g, X_c = X_f, X_d = X_e$ となり、 $m_{i1} + m_{i6} = b_i, m_{i2} + m_{i5} = c_i, m_{i3} + m_{i4} = d_i$ と置けば、式(1)は次のように書くことができる。

$$M_i = Q_i w_d + b_i X_b + c_i X_c + d_i X_d \quad (2)$$

アレストレスを導入していないときの点8, 9, 10の曲げモーメントを M_8^0, M_9^0, M_{10}^0 とし、いま点8に $-(M_8^0 + M_9^0)/2$ の曲げモーメントを付加できると点8, 10および点9の曲げモーメントは

$$M_8 = M_{10} = (M_8^0 - M_9^0)/2 \quad M_9 = (M_8^0 + M_{10}^0)/2$$

となり、 $|M_8| = |M_9| = |M_{10}|$ と3点の曲げモーメントの絶対値を等しくすることができる。この条件のもとに曲げモー

ントを全スパンにわたって均一化する。同時に $f(x_b, x_c, x_d) = \frac{1}{2} M_0$ を最小にする。

プレストレス導入後の点Bの曲げモーメントは $(M_0 - M_1)/2 = (Q_0 - Q_1)/2$ となり次の関係式が得られる。

$$\varphi(x_b, x_c, x_d) = (m_{02} + m_{010})x_b + (m_{01} + m_{012})x_c + (m_{00} + m_{010})x_d + (Q_0 + Q_1) \cdot W_d / 2 = 0 \quad (3)$$

すなわち、式(3)の条件のもとに $f(x_b, x_c, x_d)$ を最小にする最小化問題に帰着し、数論的にはLagrangeの未定乗数法を適用すればよいことになる。すなわち

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x_b} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial x_b} &= 0 \\ \frac{\partial f}{\partial x_c} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial x_c} &= 0 \\ \frac{\partial f}{\partial x_d} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial x_d} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \lambda : \text{Lagrange 定数}$$

4. 固有振動解析 ここでは図-2に示すように斜張橋を集中質点系にモデル化し、伝達マトリックス法によって解析を行なった。伝達マトリックス法では、格間伝達マトリックス、バネマトリックス、質点マトリックスなどを順次掛け合わせ、左端の未知状態量を右端まで伝達し、右端の境界条件より振動数方程式を得る。固有円振動数はこの振動数方程式を満足する根として得られる。固有円振動数が求まると左端の未知状態量の一つを1と仮定して、他の未知状態量を求め、再び左端より右端へ伝達させながら、それぞれの点の固有モードを求める。

5. 数値計算および結果 数値計算はType 1-A, Type 1-Bに示す2種類の形式について、スパンを200~500mまで5つ、ケーブルの張り渡し本数を1つの塔あたり4~10本まで4つ変化させ、それぞれの形式について行なった。

ここでは表-1に示す材料諸量をもつ斜張橋について表-2にその固有振動数を示す。また図-4にはケーブルを1つの塔あたり6本張り渡した斜張橋のプレストレスを導入していない場合と導入した場合の主桁の曲げモーメントを示す。プレストレス導入時のType 1-AおよびType 1-Bの曲げモーメントは各点でほとんど同じ値となった。また分布状態もスパン全体にわたってだいたい均一化されている。ケーブル本数を増やすと曲げモーメントはより小さく、より均一化された。

固有振動数の場合はType 1-BはType 1-Aに比較して多少小さな値となるが、プレストレス導入による固有振動数の低下はあまりないようである。この傾向はスパンが長くなっても同様であった。

以上のことより、ケーブルにこの程度のプレストレスを導入することは動的にはあまり影響を及ぼさず、静的には桁の曲げモーメントの分布状態を改善するのに非常に有効であると思われる。またその際プレストレス量は2.0④の方針のもとに決定するのの一方法ではないかと考える。

参考文献 山本宏：斜張橋のプレストレス量の決定について、土木学会西部支部研究発表会講演集(昭和53年)

表 - 1

ス	パン	m	100 + 250 + 100
主 桁	断面2次モーメント	m ⁴	1.4
	ヤング率	t/m ²	2.1×10^7
主 塔	断面2次モーメント	m ⁴	0.4
	ヤング率	t/m ²	2.1×10^7
ケーブル	断面積	m ²	0.03
	ヤング率	t/m ²	1.6×10^7

表 - 2

ケーブル 本数	振動 次数	non-prestressed		prestressed	
		Type1-A	Type1-B	Type1-A	Type1-B
4	1	0.648	0.602	0.647	0.601
	2	1.001	0.843	0.992	0.831
	3	1.226	1.051	1.214	1.034
6	1	0.758	0.688	0.757	0.688
	2	1.169	0.962	1.162	0.952
	3	1.507	1.225	1.497	1.210
8	1	0.845	0.760	0.845	0.759
	2	1.289	1.047	1.283	1.039
	3	1.683	1.351	1.674	1.336
10	1	0.920	0.823	0.919	0.823
	2	1.388	1.120	1.382	1.112
	3	1.828	1.457	1.820	1.443

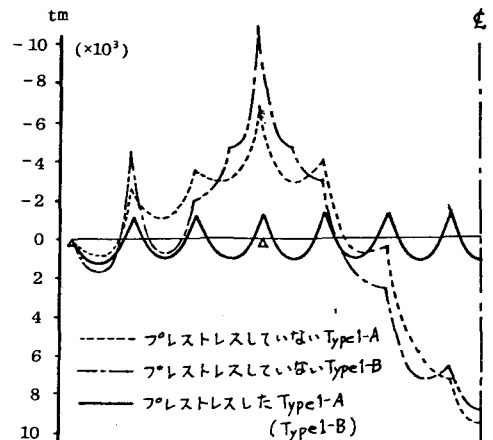


図 - 4