

I-332 斜張橋ケーブルの耐風性に関する実験的研究

川崎重工業株式会社 正員 ○小川 一志
川崎重工業株式会社 正員 酒井 洋典

1. まえがき

一般に斜張橋ケーブルは曲げ固有振動数が低く、構造減衰が小さいために風による振動を生じ易い性質を有している。斜張橋ケーブルの風による振動現象としては、①渦励振、②ギャロッピング、③レインパイブレーション、④塔やケーブルの後流によって生じる振動（wake galloping, wake resonance, wake buffeting）、⑤塔の風による振動に伴うケーブル振動等が列举される。④と⑤の現象は構造各部の空力的、構造的干渉と密接な関係があり、塔、桁および複数ケーブルから構成される斜張橋特有のケーブル振動と考えられる。ここでは、④と⑤の現象に着目して、斜張橋ケーブルの風による振動を実験的に検討した結果について報告する。

2. 実験概要

検討の対象とした斜張橋は、橋長 640m（120+350+170）の3径間連続斜張橋で、主塔は逆Y型の形式、ケーブルは2面マルチケーブル（ケーブル段数9段、ファン形式）になっている。風洞模型には実橋の形状と振動特性を相似させた全体模型（縮尺1/70、3次元弾性模型、半橋分）を使用した（図1）。特に、ケーブルの模型化に際しては、剛性分布だけでなく、質量分布、張力、外郭形状および空間的配置に対しても相似するよう

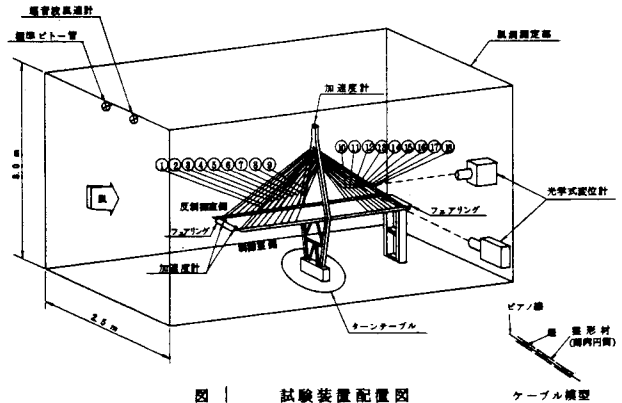


図1 試験装置配置図

に工夫して、ケーブル振動に対する塔の後流渦の影響や、塔とケーブルとの共振現象を実情に近い状態で把握できるように配慮した。ケーブルの変位計測では、選定したケーブルに対して2台の光学式変位計を用いて、ケーブル面内、面外方向の変位を計測した。

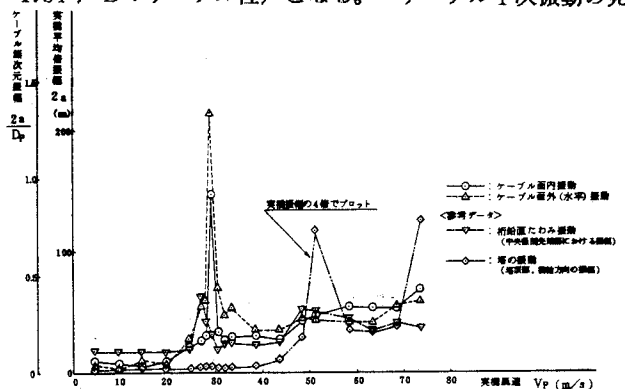
3. 実験結果と考察

(1) ケーブル1次振動 主に、塔下流側のケーブルにおいて、実橋風速 30m/s付近で1次振動（対称1次モード）が発生する。その例を図2に示すが、ケーブル面外（水平）振動成分が卓越しており、最大応答振幅は実橋平均倍振幅2aで214mm（ $2a/D = 1.34$ ，D：ケーブル径）となる。ケーブル1次振動の発

表1 ケーブル1次振動と塔換算振動数の関係

風速 V (m/s)	ケーブル 番号	塔の換算振動数 N_T	ケーブル1次振動 固有振動数 N_C (Hz)	ケーブル1次振動 最大応答振幅 (mm)	実橋倍 振幅 V_1	実橋倍 振幅 V_2
0	①	0.107	0.939	26.8	26.8	1.04
10	②	0.151	1.19	28.8	24.6	0.86
20	③	0.186	1.19	28.8	27.8	0.96
30	④	0.196	1.19	28.8	28.8	1.00
40	⑤	0.187	1.19	27.9	28.8	0.98
50	⑥	0.188	0.648	14.1	24.9	0.41
60	⑦	0.191	0.649	12.9	28.8	0.46
70	⑧	0.192	1.19	24.7	24.1	1.02

注1) K：渦励振のときの塔の最大応答風速に對比した換算振動数
 N_T ：塔の固有振動数 (Hz)， D_T ：塔柱幅 (8.0m)

図2 V-A図（一様流， $\beta = 30^\circ$ ，ケーブル④，制振室側， $\theta/2$ 点）

生原因として、塔後流渦とケーブルとの共振、あるいは塔後流渦によって加振された塔の微振動とケーブルとの共振を想定して、ケーブル1次振動・最大応答風速の推定値を実測値（風洞実験値）と比較したのが表1である。すなわち、塔渦励振の最大応答時における塔振動数 N_T と風速 V_T から塔の換算振動数 K を求めて（この K は、近似的に塔柱断面のストロハル数に相当する）、この K から予想される塔後流渦の周波数 KV_T/D_T がケーブル1次振動数 N_C と一致するときの風速を推定値 V_I とした。ケーブル1次振動・最大応答風速の推定値と実測値は、表1に示すようによく一致して、上記の推測を裏付けているようである。風向 $\beta = 160^\circ, 170^\circ$ のとき、推定値と実測値はずれているが、塔頂部の応答加速度を調べてみると、他の揺れているケーブルの振動が塔を介して、ケーブル①に伝播したと思われる痕跡が認められる。ちなみにこの場合のケーブル①の共振現象（振幅）は微弱である。

（2）ケーブル2次振動 風向によっては、実橋風速 50m/s 付近で最大応答を示す2次振動（逆対称1次モード）が発生する。この振動はケーブル2次振動数が塔振動数（塔柱面内逆位相モード、塔柱面内同位相モード）と近いケーブルに発生しており、塔風上側のケーブルでも発生する（表2）。橋軸方向の風（風向 $\beta = 0^\circ$ ）のときのケーブル⑮（図4を参照）の耐風応答を図5に示す。この場合、表2に記すようにケーブル⑮の2次振動数は塔柱面内逆位相モードの塔振動数とほぼ一致している。さらに、ケーブル1次振動の原因となった塔後流渦の発生数とケーブル振動数が一致する現象が、ケーブル⑮の2次振動に対して実橋風速 53m/s で生じている。これらの相乗効果によって、ケーブル⑮の最大応答倍振幅 $2a$ は $l/4$ 点（2次振動で腹となる点）で1100mm（ $2a/D = 6.9$ ）に達する結果となっている。

4. まとめ

風によって斜張橋ケーブルに振動が生じる要因の1つとして、塔、桁およびケーブル間の相互干渉（空力的、構造的干渉）に着目して実験的検討を加えた。ケーブルがお互いに十分離れた本橋の場合ケーブル相互の空力干渉（wake galloping）による振動は認められなかった。しかし、塔後流渦とケーブルとの共振、塔の風による振動に伴うケーブル振動、あるいは、塔を介した他のケーブル振動との共振などが認められた。これらの現象は、塔断面形状を工夫して、塔後流渦の発生を弱めると、必然的に応答が緩和されるものと考えられる。

最後に、本実験の計画段階から御指導をいただいた京都大学土木工学科 白石教授に感謝の意を表します。また、本報告を快諾していただいた阪神高速道路公団関係各位に感謝いたします。

5. 参考文献

- 1) 中林正司、茅野茂；斜張橋ケーブルの振動に関する風洞実験研究、土木学会年次学術講演会、昭和62年9月
- 2) J. Wiancki; Cables Wind Excited Vibrations of Cable-Stayed Bridge, 5th International Conference on Wind Engineering, 1979

表2 ケーブル2次振動と塔振動の関係

風向 β (deg)	ケーブル 番号	ケーブル2次振動 最大応答風速 (換算) $V_{2C}(m/s)$	塔振動 モード	塔振動 最大応答風速 (換算) $V_T(m/s)$	N_T N_C	V_T V_C
0	16	18.7	塔柱面内逆位相モード	18.0	8.8	1.08
0	8	17.0	塔柱面内同位相モード	16.0	8.0	1.13
160	8	17.0	塔柱面内同位相モード	16.0	8.0	1.11
160	8	17.0	塔柱面内同位相モード	16.0	8.0	1.11
170	8	17.1	塔柱面内同位相モード	16.0	8.0	1.10
170	8	17.1	塔柱面内同位相モード	16.0	8.0	1.11

注 1) 表中のケーブル振動数と塔振動数の換は換算実測値である。

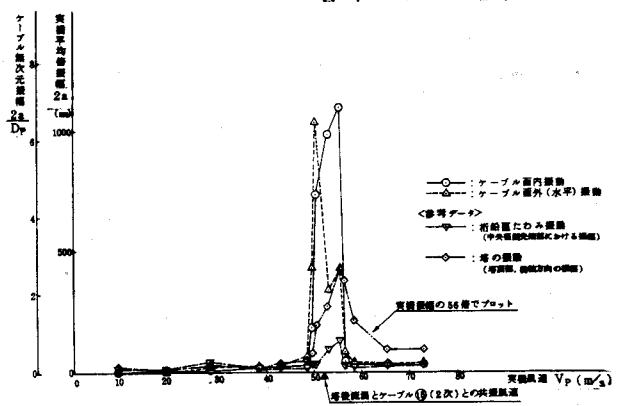
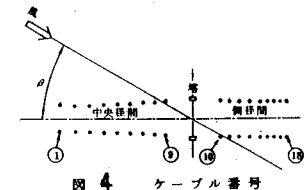
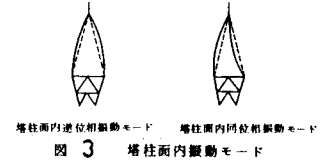


図5 V-A図（一様流、 $\beta = 0^\circ$ 、ケーブル⑮、逆位相モード、塔頂 $l/4$ 点）