

京都大学工学部 学生員 小林 修二
 京都大学工学部 正員 白石 成人
 京都大学工学部 正員 松本 勝

1. はじめ

吊橋実橋の耐風安定性を二次元風洞実験の結果から推定しようとする場合、曲げ及び振みの実橋におけるモードをいかに、二次元風洞実験で再現あるかということか問題となる。従来、二次元実験では同次モードの組み合わせ、特に最低次モードの組み合わせによる実験が主に行われてきたようである。しかしながら、現実には旧Tacoma橋に見られたように、異なった次数のモードが並存したという観測例もある。本研究ではこのような点を重視し、振動数比の耐風安定性に及ぼす影響を、二、三の実験結果をもとに推定しようとするものである。併せてflow visualizationの結果から基本断面におけるフラッター発生機構の一要因を推定しようとするものである。

2. Tacoma Bridge 断面による二次元風洞実験

従来の2自由度部分模型実験においては振動数比(f_y/f_n)を同次モード対応の仮定のもと、主として低次モードを対象として設定すること

MODEL	m (kg·sec ² /m)	I (kg·sec ²)	f_y (1/sec)	f_n (1/sec)	f_y/f_n	δ_y (0.03 rad)	δ_n (1 cm)
TALOMA	0.238	0.0233	5.64	4.22	1.34	0.0036	0.0105
TACOMA	-----	-----	2.80	3.51	0.80	0.0081	0.0141
TACOMA	-----	-----	2.14	3.31	0.65	0.0102	0.0114
TACOMA	0.410	0.0200	1.42	3.23	0.44	0.0292	0.0145

表 1

が多いようである。しかしながら、F. B. Farquharson⁽¹⁾らの報告に見られるように、Tacoma落橋時には19%の風速下でほぼ対称5次の曲げ振動を起こしていたものが、突如逆対称1次の振動に変化し、その後、落橋の惨事に至ったことが述べられている。このような観測事実を見る限り、必ずしも同次モードの組み合わせによる二次元風洞実験だけでは、実橋の空力挙動を再現、推定するには十分とは言えないと考えられる。このような観点から、本研究においては、以下のように振動数比を設定し、二次元風洞実験を行なった。

1.34(曲げ逆対称1次, 振れ逆対称1次) 0.80(曲げ逆対称2次, “) 0.44(曲げ対称5次, “)

0.65(曲げ対称3次, “) 又、実験使用模型は実橋の42.5分の

1模型であり、その諸元は表1に示されておりである。

1) 実験結果

図2に見られるようにいずれの振動数比においても、曲げの渦励振動現象が見られる。発振風速がほぼ等しいのは、渦励振動の発生機構からして妥当と考えられる。ここで興味深いのは振動数比の減少に伴い、曲げ応答の最大振幅が低下する傾向が見られることである。

これは実験値における、曲げ対称5次と振れ逆対称1次の振動数比0.39に近づけば、もっとこの傾向は強くなるものと推定される。一方、図1における振れ振動に注目すれば、もっと顕著な相違がある。

A. 振動数比の減少に伴い振れの渦励振動が消滅すること B. フラッター限界風速が著しく変ること C. 発振後のフラッター成長形状が変ること A.の点については、曲げの渦励振動の場合と同一の傾向である。B.C.の点について、原因として渦の相違及び流体力学上の振動素の変化(中村・吉村らの指摘)にあるように振動数比以下

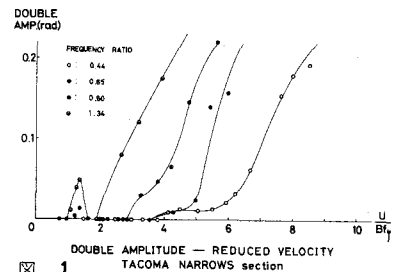


図 1

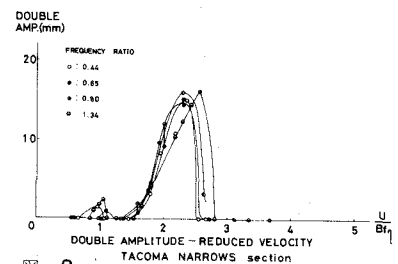


図 2

の特殊な場合、それは本質的な1自由度振動系とは見なし難い
か考えらる。この点に関して F.B. Farquharson らの行った
空力弾性模型を用いた実験で、曲げと捩れの並存する風速領
域の存在が述べられており、もし捩れを拘束したならば、より
高次の曲げの渦励振動が発現するという報告がある。実橋の
耐風安定性を特にモード間の干渉という観点から考慮する上
で、実に興味深い研究結果と思われる。

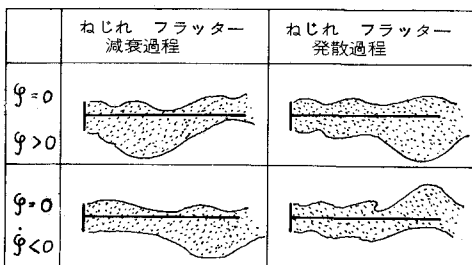


図 3

3. 水槽模型実験

これまで、静止断面に対する *flow visualization* の研究成果
は数多く報告されており、又、振動変回りの流れの様子、圧力
分布の測定結果も文献(3)に見られる。しかしながら、橋梁断
面形状の複雑なことから、実際の橋梁断面に対してそのよう
な試みはなされていらないと思われる。本研究は、振動物
体回りの流れの様子から、圧力分布を推定し、それにより橋梁
断面のフラッター発生機構の1因を推定しようという試みの一
つである。

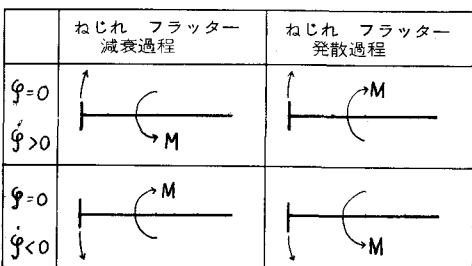


図 4

とに実験を行なったものである。解析の便及び実断面への応用の意味も含めて、本実験では10H、10T断面を
対象とした。従来フラッター振動の発生には前縁からの剥離渦が大きな要因を占めると言われてきた。特に
前縁剥離に注目するため後縁を取り払った10T断面を主として説明を加える。図3はそれぞれフラッター減衰
過程、発散過程に対応する剥離バブルの拡がりやモード図に示している。図4にはそれぞれ対応する非定常モー
メントの作用方向、物体の振動方向を図示する。両図において発散過程は換算風速約5.0、倍振幅の0.13radに、
減衰過程は換算風速約6.6、倍振幅の0.13radに対応している。これらの図より、両過程で剥離バブルの拡がりか
ら、ちょうど正反対のモーメントを生ずるように存在していることが判別できよう。剥離バブル中での圧力分布
測定は行なっており、又、剥離バブル自体の構造も明らかにされていないが、剥離バブルが小さな渦の集合
であり、内部では乱れが非常に大きく、従って速度成分も大きくなっているものと仮定すれば、剥離バブル中
では圧力が低下し、断面上下の剥離バブルの非対称性により断面上下に圧力のアンバランスが生ずることになり、
これは、図示したようなビッチングモーメントが発生するという実験結果と一致するものと考えられる。

4. 結論

1. Tacoma Narrows 断面において振動数 $\frac{1}{4}$ 以下の場合には、振動数 $\frac{1}{4}$ 以上の場合と異なり、捩れ1自由
度系としての評価は妥当とは思われないが、曲げ捩れ2自由度系としての評価が必要ではないかと考えらる。
2. Tacoma 落橋時にあける観測記録に見られるように曲げと捩れで変化した次数のモードが発生することか
ある。落橋時の風向、風速が不明確なこともあり明言はできないが、本来、より低風速領域で発生するべ
き最低1次モードのフラッター振動現象が地形因子、曲げの渦励振動現象の存在等の影響を受け、抑えら
れていたものと考えらる。このような観測報告例を考慮する限り、実橋の空力挙動特性を推定するため
には、曲げの渦励振動現象との関連において、モード間の干渉をも考慮した二次元風洞実験を行なう必要が
あるものと思われる。
3. 捩れフラッター現象の発生には、前縁剥離が大きな要因を占め、乱れの集合体としての剥離バブルの非対
称性が捩れフラッター振動発生の一因子をなすものと考えらる。

参考文献

- 1). F.B. Farquharson; Aerodynamic Stability of Suspension Bridges Part II
- 2). 中村泰治、吉村健; 土木学会論文報告集 '74年6月
- 3). 中村泰治; 航空宇宙技術研究所報告