

N T T 正員 松本 一彦
埼玉大学 正員 山口 宏樹

1. まえがき 吊橋の耐風安定性照査においては、従来、スパン方向に一様な風の作用を前提とすることが多いが、明石海峡大橋のような長スパン構造の場合に風の一様な作用は考えにくく、非一様風に対する構造物の動的挙動の把握が重要となる。そこでタウトストリップモデルを用いた3次元風洞試験を行い、風の非一様な作用が長スパン構造の振動応答に及ぼす影響を及ぼすのかを検討した。本研究では第一段階として、風がスパン方向のある一部分に作用する部分一様風を考え、その作用長及び作用位置をパラメーターにとって考察を加えた。

2. 実験方法 基本的特性の検討を考え、1：2の矩形断面を有するタウトストリップモデルを用いた。これを風洞測定部の前に設置し、部分一様風に対する応答を測定した。実験ケースは図1に示すように、風の作用長（風洞吹出口幅： $l_a = 0.5\text{m}$ ）を一定としてスパン長 l を0.7, 2.0, 3.0mとすることで風の作用長比 l_a/l を、またスパン3.0mの場合について風洞位置をスパン端部方向に a, b, cと相対移動することで風の作用位置 x/l （ x ：スパン端から風洞吹出口中央までの距離）を、それぞれ変化させている。各ケースの動的性能（固有振動数、構造減衰）は表1に示す通りである。

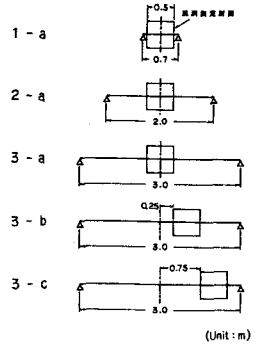


図1 実験ケース

表1 模型の動的性能

	Ver.S1 f_{n1} (Hz)	Ver.AS1 f_{n2} (Hz)	Tor.S1 f_1 (Hz)	δ_{n1}	δ_{n2}	δ_1
1-a	8.32	15.84	13.97	.015~.025	.041~.082	.176
2-a	5.24	9.73	8.49	.013~.024	.020~.031	.152
3-a	4.58	8.53	7.02	.010~.016	.015~.030	.086
3-b	4.60	8.72	7.18	.011~.016	.011~.023	.080
3-c	4.49	8.46	7.03	.010~.026	.013~.025	.089

3. 風の非一様な作用がもたらす空力応答への影響

(1) 渦励振 図2に示すV-A図は、風の作用長変化による渦励振応答の差異を比較したものである。縦軸は倍振幅 A を各ケースの静的変形量 A_0 で無次元化した値である。発振風速は作用長比が小さいほど高風速側に移り、発現風速域も狭くなっている。また、最大振幅も作用長比が小さくなると減少している。この最大振幅を l_a/l を横軸にとり示したのが図3である。図には実験値●とともに理論推定曲線を示した。理論曲線は、簡単のため渦励振を共振現象とみなし、単位長さ当たり一定な空気力を仮定してストリップ理論、およびモード解析法により各風作用長に対する一般化外力を算出、 $l_a/l = 0.68$ (1-a)での振幅（実験値）および構造減衰を基準としてすり付け、一般化外力を振幅に変換して求めたものである。応答はスクルートン数に依存するが、単位長さ当たりの質量を全ケース同じ

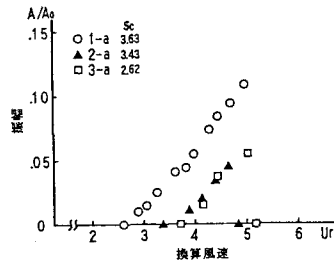


図2 作用長と渦励振応答

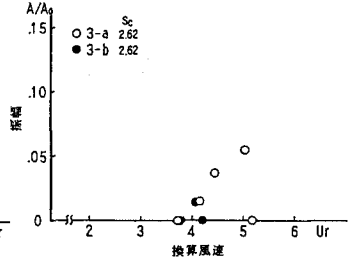


図4 作用位置と渦励振応答

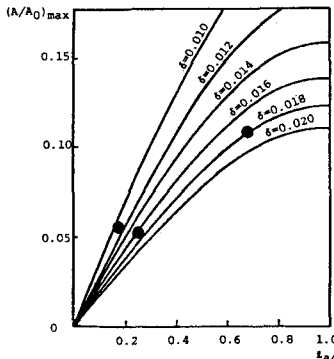


図3 作用長と最大振幅

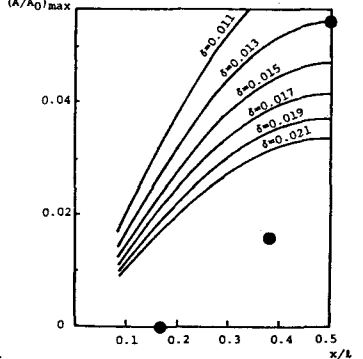


図5 作用位置と最大振幅

としていることから、構造減衰にのみに依存している。図3より、理論曲線と実験値は減衰を考慮すればほぼ一致しており、風の作用長変化による応答は一般化外力と構造減衰とで理論的に推定可能であることがいえる。一方、風の作用位置変化による応答の差異を比較したものが図4、5である。図4よりわかるように、最も端部に風の作用する(3-c)の場合には渦励振は観察されず、(3-b)では(3-a)とほぼ同風速で発振しているものの、すぐに停止している。また、図5の最大振幅についてみると、実験値●は x/l が0.4以下で急激に減少しており、応答は作用位置に極めて敏感である。図5には先程と同様、一般化外力から $x/l=0.5$ を基準にすり付けた理論曲線も示したが、実験値とは大きな差が生じており、作用位置変化に対する応答については一般化外力と構造減衰の影響のみならず、モード形状の影響などが微妙に関連してくるものと考えられる。

(2) ギャロッピング 図6は風の作用長変化によるギャロッピング応答の差異を比較したものである。振幅の立ち上がり、高風速時の振幅の発達状況に若干違いが認められるものの、応答は風作用長にほとんど影響されていない。これに対し、風の作用位置変化に対しては応答に比較的影響が大きい。特に、最端部作用の(3-c)では、当然の結果ではあるが、逆対称1次モードが発生するようになる。そこで、作用位置と発生モードとの関連について詳しく調べるため、 x/l をパラメーターに、モード別発振風速をストリップ理論、準定常理論、およびモード解析法を用いて求めた。図8の実線がそれで、図中、○、●は実験値である。発振風速の理論値は実験値よりかなり小さな値を与えているが、これは実験でのスクルトン数が準定常理論の適用できる範囲外である^{1), 2)} ことによるとと思われる。しかし、理論曲線を高風速側に平行移動すると(図中の破線)実験値とよく一致することから、風の作用位置と発生モードとの関係については理論的に推定可能と考えられる。次に逆対称1次モードが発生した(3-c)に着目することとし、図9にそのV-A図を示した。横軸には風洞風速 U の他、対称1次振動数での換算風速 U_r-S1 、および逆対称1次振動数での換算風速 U_r-AS1 をとっているが、 $U_r-S1=13$ 付近から対称1次モードが発生するものの振幅は成長せず、 $U_r-AS1=13$ 付近で逆対称1次モードへと遷移し発散していることがわかる。また、図中にモード遷移領域内の4点について、変位のパワースペクトルを示したが、これより遷移途中には2つのモードが混在した振動が存在することがわかる。この現象は非一様風を受ける長スパン構造の特徴的応答と言えよう。

4. まとめ スパン方向に非一様な風の作用は、一様風の場合とは異なった応答特性を示す。今後はモードの混在、波動的応答等につき、より複雑な非一様風も含め、詳細に検討したいと考えている。

【参考文献】 1) 宮田利雄：構造物のフラッター，日本風工学会誌，第28号，1986年6月． 2) 宮崎正男・宮田利雄・伊藤学：乱流中の角柱周りの定常・非定常圧力分布特性，風工学シンポジウム，1980年．

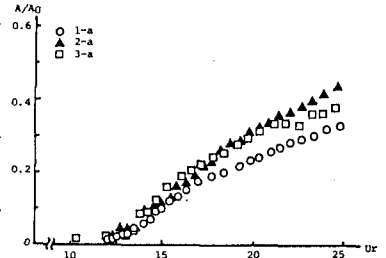


図6 作用長とギャロッピング応答

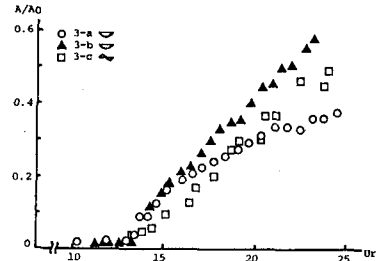


図7 作用位置とギャロッピング応答

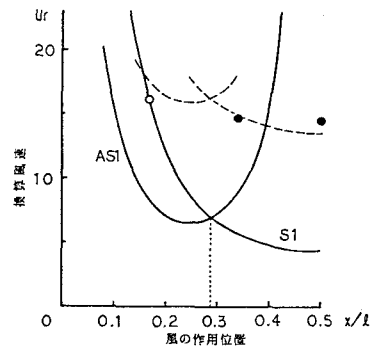


図8 作用位置と発生モード

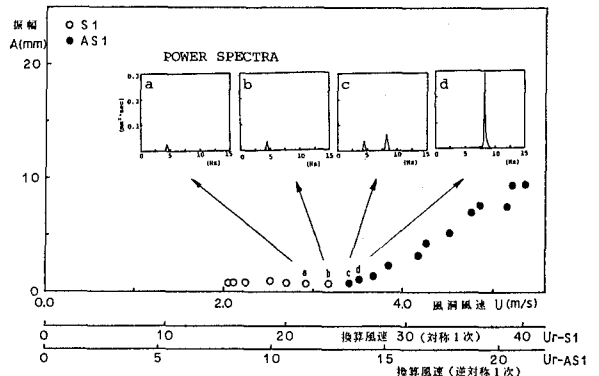


図9 発生モードの遷移とモードの混在