

下関人工島連絡橋の架設系の耐風特性

九州工業大学 正会員○加藤九州男 正会員 久保喜延
九州工業大学 学生員 中桐 秀雄 学生員 皆田龍一
運輸省第四港湾建設局 油谷 進介 九州共立大学 渡辺 明

1. まえがき

下関人工島連絡橋は、図1に示すような下関の北浦海域（下関港新港地区）に架設が計画されている橋で、中央部はスパン100m+100mの2径間PC斜張橋が予定されている。本橋の桁架設には、桁とケーブルの架設を交互に繰り返す張り出し架設工法が採用される。このような張り出し構造系においては耐風安定性が悪い場合があり、架設時における強風に対する十分な配慮が必要である。

本研究では、架設段階における耐風安定性の確認を目的とし、三次元弾性模型を用いた一様流中および境界層乱流中で風洞実験を行い、架設系の耐風安定性を照査した。

2. 実験概要

本実験に使用した風洞は、図2に示すような九州工業大学工学部付属の境界層型波浪風洞（測定部寸法：幅 2.4～2.64×高さ1.8×長さ20.7m、風速範囲：0.4～10m/s）であり、風洞実験用模型は、風速倍率、風洞の規模等を考慮して、縮尺率(1/n)は、1/100とした。また模型の諸元は、表1に示しているが橋桁の断面形状の詳細は文献2)を参照されたい。この模型の剛性は桁部および主塔部ともそれぞれの曲げ剛性とねじり剛性を持つ剛性棒で代表させ、剛性棒に長さ10cm程度の木製の模型外形材を1mm間隔で取付、模型の外形材の剛性が付加されないように製作した。実験は、架設時の張り出し率60%、80%、100%に対して迎角を $\alpha = -6^\circ \sim +6^\circ$ まで 3° 毎に変化させて行った。乱流発生は、スパイアーおよび粗度ブロックを配置して発生させた。その乱流は冬の季節風に相似させたもので、その特性は表2に示す通りである。

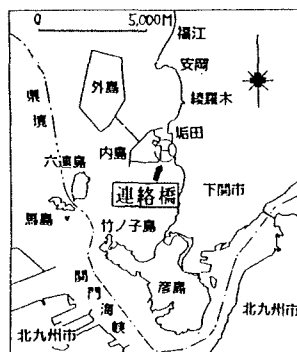


図1 架設位置

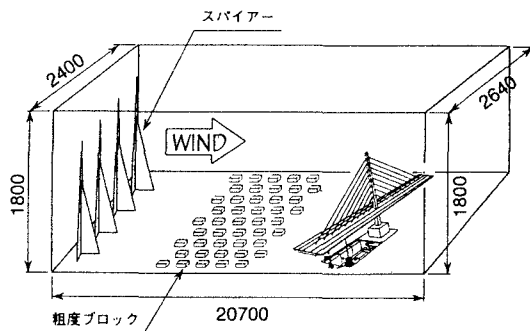


図2 実験のレイアウト

3. 実験結果と考察

振動特性：固有振動数と振動モードの測定から三次元模型の製作精度についてみると、表3に示すように鉛直固有振動数に対しては、4次モードまで5%程度以内の誤差で、所要値を満たしている。しかし、水平振動に対しては、若干悪い精度となっている。

表1 模型の諸元(1/n=1/100)

項 目		記号	実 橋	縮尺率	模 型	
					所要値	実現値
主 桁	単位長さ 当り重量	w	51.59 (tf/m)	1/n ²	5.159 (kgf/m)	5.181 (kgf/m)
	単位長さ 当り極慣 性モーメント	I _r	2344 (tfm ² /m)	1/n ⁴	0.02244 (kgfm ² /m)	0.02681 (kgfm ² /m)
主 塔	単位長さ 当り重量	w	26.95 (tf/m)	1/n ²	2.695 (kgf/m)	2.387 (kgf/m)

表2 風の特性比較

	冬の 季節風	風洞内 境界層乱流
風向方向 乱れ強度 (Lu)	約 10 %	8~15 %
風向直角方向 乱れ強度 (Lw)	5~9 %	5~7 %
風向方向 乱れスケール (Lu)	50~150 m	約 50cm
風向直角方向 乱れスケール (Lw)	10~20 m	5~15 cm
Lu : Lw	7 : 1	5 : 1

表3 架設系3次元模型の固有振動数 (Hz)

張り出し率		鉛直振動				水平振動				ねじれ
		1次	2次	3次	4次	1次	2次	3次	1次	
60 %	解析値	0.503	0.932	2.598	3.146	1.098	1.230	3.073	2.091	
	所要値	5.03	9.32	25.98	31.46	10.98	12.30	30.73	20.91	
	実現値	5.03	8.94	-----	29.73	10.25	-----	29.00	21.00	
80 %	解析値	0.297	0.742	1.633	1.904	0.642	0.803	1.823	1.582	
	所要値	2.97	7.42	16.33	19.04	6.42	8.03	18.23	15.82	
	実現値	3.07	7.17	17.25	19.63	5.13	-----	18.25	16.13	
100 %	解析値	0.219	0.595	1.203	1.453	0.519	0.627	1.335	1.345	
	所要値	2.19	5.95	12.03	14.53	5.190	6.270	13.35	13.45	
	実現値	2.09	5.92	11.76	-----	4.875	-----	13.38	15.86	

動的応答: 図3に鉛直たわみ1次モード(桁先端)の動的応答図(鉛直たわみ1次モードに対するスペクトル値)の一例を示す。図は、橋軸直角方向の風に対する結果であり、設計風速から算出される架設系の照査風速は、ギャロッピングに対して37.2m/s、フラッターに対しては、40.9m/sである。実験の結果では、一樣流中ではこれらの自励的振動は、いずれの場合にも発生していない。発生しているのは、桁表面からの不規則な剥離流によって発生するパフティング的振動が主である。実橋風速60m/sでの応答値をプロットしてみると、迎角 $\alpha = +6^\circ$ での応答が架設時のどの張り出し長さにおいても最も大きな振幅となっている。この迎角 $\alpha = +6^\circ$ の応答を用いて、張り出し率と振幅の関係を示したのが図4である。これによると一樣流中では、桁定着直前の100%張り出しにおいて鉛直1次モードの倍振幅で15cm程度となっている。境界層乱流中では、100%張り出しの場合は、60%張り出しの場合に比べて約6倍程度の振幅で揺れること、最大振幅はこれの1.5~2倍程度となることなどのため、桁部と塔基礎部の連結部分における応力調査を行っておくことが望ましいと考えられる。また、桁の水平振動についてみると、桁の水平振動は一樣流中および境界層乱流中でも、ほとんど生じていない。これは、桁が塔基礎部に剛結される形式となっているためであると考えられる。

4. まとめ

以上、架設時の耐風安定性を確認するために三次元弾性模型を用いた風洞実験を実施し、照査風速以内で一樣流中では、ギャロッピングおよびフラッターなどの有害な振動が発生しないかった。しかし、境界層乱流中では、パフティングに対する鉛直ガスト倍応答振幅が大きいものとなっており、疲労問題などのため桁部と塔基礎部の連結部分における応力調査を行っておくことが望ましいと推察される。

参考文献1) 下関港橋梁耐風安定性調査報告書、運輸省第四港湾建設局(平成6年3月)

2) 中桐他: 下関人工島連絡橋の桁断面の耐風特性、土木学会西部支部研究発表会講演概要集(H7.3)

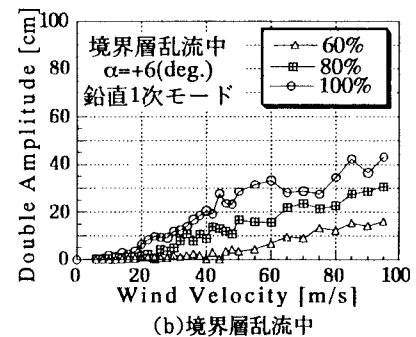
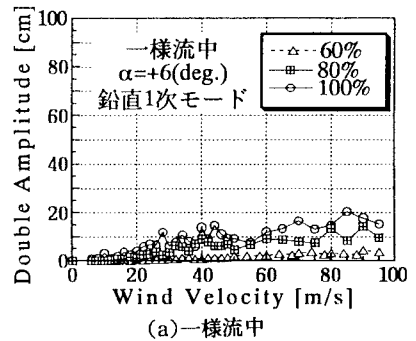


図3 風速と振幅の関係
(鉛直たわみ1モード)

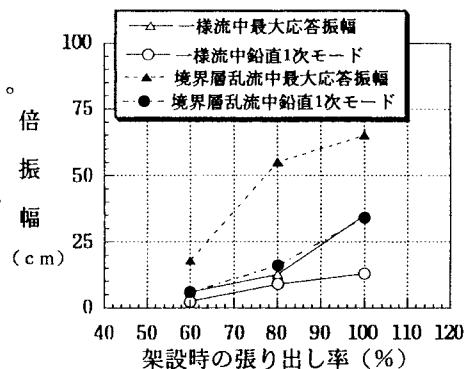


図4 鉛直たわみ振動振幅 (V=60m/s)