

東京国際空港中央南北連絡橋の耐風性について

九州工業大学・工学部 正 員 久保喜延
 運輸省第二港湾建設局 正 員 大里睦男
 九州工業大学・工学部 学生員 野上千秋
 九州工業大学・工学部 学生員 中原智法

1. まえがき

運輸省では航空需要の増大や航空機騒音の低減などを目的として、東京国際空港（羽田）沖合展開事業を現在実施している。ここでは、空港中央部を通過する湾岸道路を跨ぐ7つの橋梁が計画され、景観を十分に考慮した設計が行われている。それらの中でも東西2つの旅客ターミナルを結ぶ中央南北連絡橋は、空港施設の中でも人目を引く場所に架設されるため、構造的にもシンボリックな要素を持った形式が採用されている。それがFig.1に示す主塔アーチ型鋼並列斜張橋である。この形式は、日本の国際的な玄関にふさわしいものとして入念な検討の末に決定されたものである。本橋梁の構造的な特徴は、以下の通りである。①斜張橋の従来の形式での主塔部に当たる部分をアーチ部に置き換えている。②アーチ部から絞織りに張ったケーブルで2本の桁を吊っている。③桁断面はFig.2に示すとおりで、車道と歩道を分離する中央分離帯にケーブルの定着部を設けた凸型逆台形をした断面である。桁断面の諸元は、幅員14.58mに対して、湾岸道路の建築限界の制約で、桁高1m以下でなければならない。形式的に例の無い構造であること、および湾岸道路路上に架設されることによる歩道部の投物防止柵設置義務などのために、投物防止柵が付帯している桁の風に対する安定性の検討を行う必要性が生じた。さらに本橋が、並列橋としての特性をも有しているため、並列橋となったことによる空力的不安定性が生じるか否かの検討も行う必要がある。

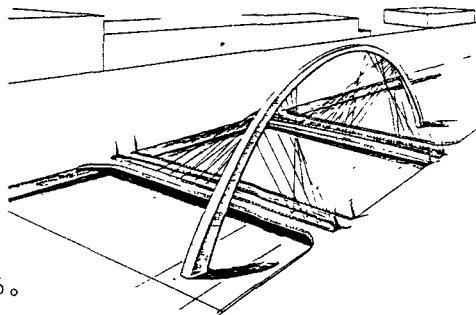


Fig.1 完成予想図

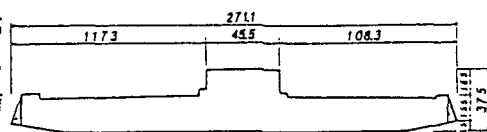


Fig.2 桁断面 (Scale:1/55)

Tab.1 実橋および模型諸元

	実 橋 値	所 要 値	実 現 値
質量M (kg/m)	7898	2.61	2.85
極 貫 性 モーメント I (kg・cm ² /m)	567100000	60.78	62.12
振 動 数	たわみ1次 f _g (HZ)	0.772	5.85
	ねじり1次 f _φ (HZ)	2.471	18.32
			13.56

(注) 質量は主桁重量のものを示す。

2. 実験方法

実橋および模型の諸元は、Tab.1に示すとおりである。使用する風洞の大きさに対して模型の大きさによって閉塞率が問題とならないように考慮して、縮尺率を1/55とした。耐風性の検討には、二次元部分模型を用い、たわみ振動およびねじれ振動のそれぞれの1自由度系に対して、自由振動法によって行った。実験の進め方としては、①Fig.3に示す標準高欄および高欄を兼ねた高さ2mの投物防止柵の設置およびその形状によって耐風特性がどのような影響を受けるか、②桁の形状を変更する必要があるか、③並列橋としてみたときに、単独桁の耐風特性と変わりがあるか、という手順で検討を重ねた。なお、これらの各ケースの相対的な耐風安定性の評価は、測定減衰率から構造減衰率を振幅毎に差し引いて求めた空力減衰率の形で行った。各ケースの意味は以下のとおりで、歩道部の投物防止柵が上流にある場合に耐風特性が悪くなるとの観点に立っているため、V1以外は、歩道側を上流にして実験を行った。

高欄形状 (投物防止欄)		V1	VF	VH	VU	VZ
主桁質量所要値での 実橋最大片振幅 (cm)	諸元	減衰率 $\delta = 0.005$			主桁質量の所要値 $M = 2.61 \text{ kg/m}$	
	$\alpha = -6^\circ$	24.3cm (28.4m/s)	42.2cm (28.0m/s)	35.0cm (27.4m/s)	34.6cm (28.4m/s)	30.4cm (28.0m/s)
	$\alpha = -3^\circ$	渦励振なし	43.7cm (28.0m/s)	30.0cm (28.2m/s)	25.0cm (28.6m/s)	9.1cm (26.7m/s)
	$\alpha = 0^\circ$	同 上	32.3cm (25.9m/s)	23.7cm (22.3m/s)	渦励振なし	渦励振なし
	$\alpha = +3^\circ$	同 上	21.7cm (23.4m/s)	19.0cm (20.7m/s)	同 上	同 上
	$\alpha = +6^\circ$	同 上	22.0cm (22.3m/s)	12.5cm (20.0m/s)	同 上	同 上
	追 加	$\alpha = -4^\circ$ 9.2cm (28.2m/s)			$\alpha = -2^\circ$ 11.1cm (28.2m/s)	

V1:車道側が上流で、高欄のみ
VF:防止柵の金網100%閉塞

VH:防止柵の金網下側50%閉塞
VZ:防止柵金網0%閉塞

VU:防止柵の金網上側50%閉塞

Fig.3 高欄,防止柵形状および実験結果

3. 実験結果および考察

◎高欄および投物防止柵の形状

Fig.3は、耐風特性がこれらによってどのように変わるかを見た結果である。実験結果の整理は、最大応答が発生した風速での振幅に対する空力減衰率を求め、所要の構造減衰率における実橋の応答振幅を算定する形で行った。実験を行った迎角は、 $\alpha = \pm 6^\circ, \pm 3^\circ, 0^\circ$ である。構造減衰率が $\delta \geq 0.02$ であれば、応答はほとんどの場合発生しない結果となる。しかしながら、実橋の構造減衰率が $\delta \leq 0.01$ となる場合もあるという測定結果があるため、ここでは安全を見込んで $\delta = 0.005$ である場合について比較した。これによると、正の迎角のときに安定で、

負の迎角のときに不安定となっている。これは、前縁で剥がれた流れによる渦が中央分離帯で阻止されて壊される為である。結果的には、投物防止柵の金網 0% 閉塞(VZ)とした高欄形状を採用することになった。

◎桁断面の耐風性能の改善 VZが迎角 $\alpha \leq -6^\circ$ のときにはかなりの振幅が発生するために、桁の耐風性能を改善することを試みた。Fig.4中に示すように、桁端部のフェアリングの傾斜角を修正することによって、桁形状そのものを原設計で提案されたものとあまり変えないで耐風特性を向上させることを試みた。これは文献1)で述べている方法と同じ考え方である。つまり、負の迎角に対して剥離点を2箇所設けることによって、上流側の剥離点からの剥離流を用いて、下流側の剥離流を制御しようとするもので、上流側の剥離流の強さを変えることが、Fig.4のフェアリング傾斜角 θ を変えることと同等になっている。迎角 $\alpha = -6^\circ$ において傾斜角を $\theta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ と変えた時の応答結果を示したのが、Fig.4である。このように、傾斜角を大きくすると、耐風特性が順次改善されることがわかる。最終的には、 $\theta = 15^\circ$ としたフェアリングが採用されることになった。さらに、並列橋としての検討もなされたが、桁間隔が桁高の40倍もあることもあって、下流側の桁への上流側の桁からの剥離流の影響は小さくなく、逆に乱流効果による安定化への効果が大きくなっている。

謝辞 本研究を行うにあたって、東京大学工学部藤野陽三教授、はじめ多くの方々のご意見、ご指導を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献1) 野上他、PC斜張橋用フェアリング形状について、平成2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集

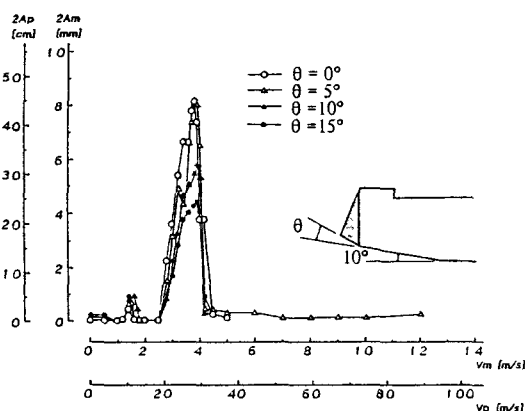


Fig.4 応答図(原設計および改良断面)