

日本道路公団 正会員 村上 永一
建設省土木研究所 正会員 大久保忠良
建設省土木研究所 正会員 O 成田 信之

1. まえがき

交通量の推定によれば関門道路トンネルの交通量は昭和47年には容量の限度21,500台/日を越える。第2の関門連絡施設として橋梁およびトンネルの両案が提出され、事業費その他の得失も比較検討した結果、海峽部に吊橋形式の橋梁を架設することに決定した。長大支間の吊橋では架設時ならびに竣工後の耐風安定性が重要な問題となることは論を俟たない。そこで、日本道路公団では昭和42年度より第2関門道路吊橋の耐風安定性に関する調査を建設省土木研究所に委託し、風洞実験によりその耐風性を検討している。

提案された設計案はトラス補剛吊橋と箱けた補剛吊橋の2種と大別される。設計の初期段階ではトラス案のみについて補剛構のけた高、床組構造等、構要素目が耐風安定性に及ぼす影響を調査したが、その後、英国、デンマーク国など諸外国で箱けた補剛吊橋架設又は計画の実例を見るに及びて第2関門吊橋においても箱けた補剛吊橋が比較設計として取り上げられるに至った。風洞実験は現在継続中であるが、ここでこれまでに得られた結果のうち箱けた案についてものを紹介し、箱けた補剛吊橋設計上の一資料としたい。

2. 箱けた補剛吊橋の概要

第2関門道路吊橋は主径間712m、側径間178mの三径間単純補剛吊橋である。幅員構成は高速道路規格に従い、緩速道1車線、高速道2車線の合計3車線(片側)より構成されている。補剛構として図-1に掲げた4種類が提案されているが、それぞれは次のような特徴を有している。設計案-A: 最外側に流線型とし、気流の剥離を少なくするよう考慮した断面である。又、箱けた下面を5%の二次放物線断面として迎角0°附近で負の揚力(下向き)を生じさせ、耐風性、更上を計っている。模型-B: 最外側に鋭角を設け、気流の剥離を積極的に進行させるよう考慮している。又、箱けた下面の放物線を折線で近似させている。このようにして設計案-Aで予想されるレイノルズ数

諸 元 設 計 案	A	B	C	D	トラス案 (けた高6m)
重量(t/m/bridge)	15.3	15.3	15.8	16.4	21.6
極慣性モーメント($\text{t} \cdot \text{m}^2/\text{m}$)	530.4	530.9	527.8	1527	2017
撓み振動数($^{\circ}/\text{sec}$)	0.204	0.204	0.215	0.218	0.1473
捩れ振動数($^{\circ}/\text{sec}$)	0.662	0.662	0.700	0.718	0.4031
振動数比	3.24	3.24	3.25	3.29	2.73

表-1. 特性一覽

の影響をなくそうとしている。模型-C：最外側の形状は設計案-Bと同じであるが、補剛構の下面も直線としている。設計案-D：形状はA案に類似しているが、吊構造の全幅が他のものより大きくなっている。設計案の諸定数と振動特性は表-1の通りである。箱けり補剛吊橋ボトラス案に比べて鋼重が軽減され、振動数およびその比が大きくなっていることを理解されよう。

3. 風洞実験

風洞実験は建設省土木研究所、橋梁試験用風洞を用い、部分模型について実施した。実験の種類は空気3分力係数の測定およびね支持模型による自励振動、限界風速ならびに空力減衰の測定、2種である。模型、縮率は風洞測定部の寸法（幅1.8m×高3.0m）に対して気流特性を損なわないと思われる最大限の寸法とし、設計案-Dは $1/55$ 、他は $1/50$ とした。大きい模型は原型、細部構造を忠実に再現でき、又、ね支持模型実験の相似則を満足させることが都合が良からである。模型は空気3分力係数とね支持模型の両実験で共通とし、ね支持模型では重量、極慣性モーメントおよび換算風速を相似させた。

3-1 空気3分力係数

従来のトラス断面の場合には3分力係数は風速に無関係で、物体の幾何学的形状および気流に対する迎角のみで決まるといわれて来た。しかし図-3に見られるように流線

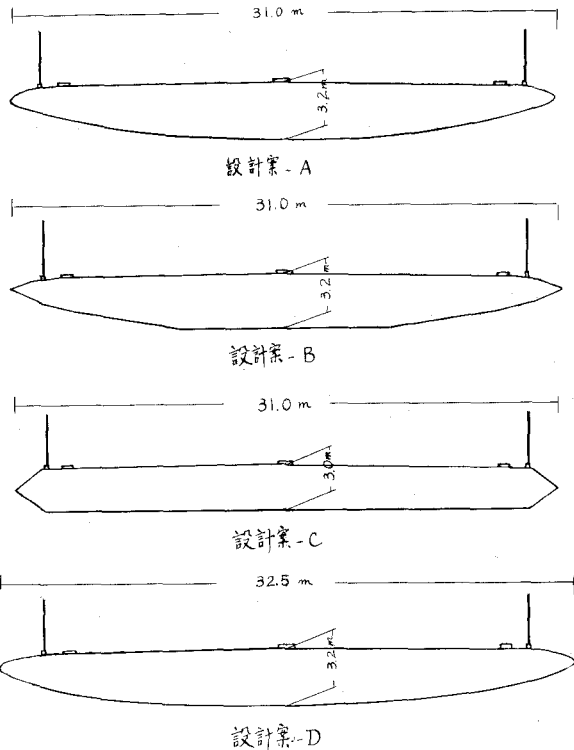


図-1 設計案

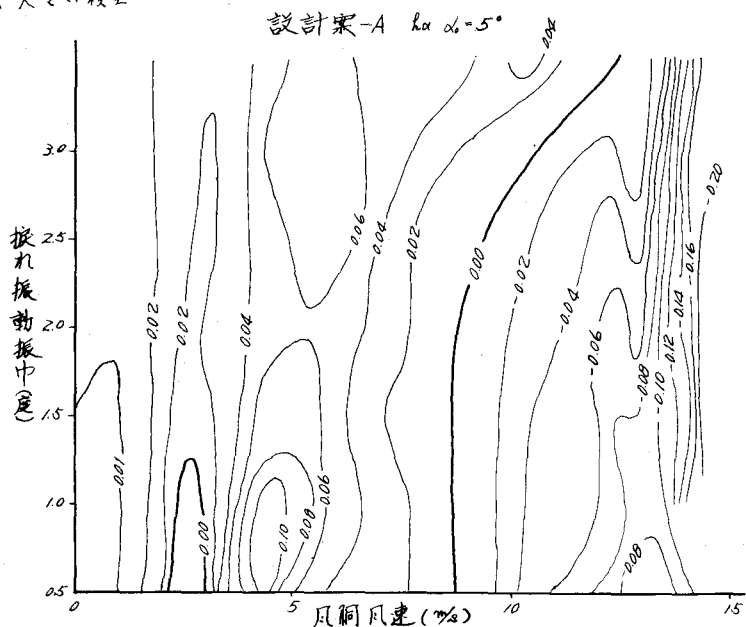


図-2 風速・振幅・減衰曲線($v-\alpha-\delta$ 曲線)

型箱げた断面ではこのような考えは適用できないことが明らかになった。レイノルズ数の影響は航空機翼、円柱などのまわりの流れを考慮する場合常に問題になるところである。これは風速と共に気流の剥離点も移動することによってその原因があるものと思われる。現在使用している風洞ではレイノルズ数と実物に相似させて実験することは不可能である。そこでトリップワイヤなどの方法を利用して遷移レイノルズ数も原型に相似させるよう実験を検討している。

3-2 はね支持模型

不安定振動としては鉛直たわみ振動、捩れ振動およびその連成振動の3つが考えられるが、鉛直たわみ振動と捩れ振動の連成振動(α -mount)および

捩れ振動(α -mount)の2通りについて実験を行なった。気流に対する模型の初期迎角は $\pm 10^\circ$, $\pm 7.5^\circ$, $\pm 5.0^\circ$, $\pm 2.5^\circ$, 0° の9通りに変えてその影響を調べた。一定風速の下で振動の推移を記録し、これより風速と振幅の関係と空力減衰をパラメータとして整理した。実験は可能な限り小さな構造減衰(0.010~0.015程度)の下で行なったが、構造減衰と空力減衰が線型的に加減できるものとすれば、上記の風速-振幅-空力減衰曲線より実橋で生ずる振幅も推定することが可能となる。 V - α - δ 曲線の1例を図-2に掲げる。 V - α - δ 曲線より $\delta=0$ の曲線を抜き書きしたものを図-4に示す。これを V - α 曲線と呼ぶことにする。これより次の事柄が明らかになる。(1) C案を除き各設計案は、

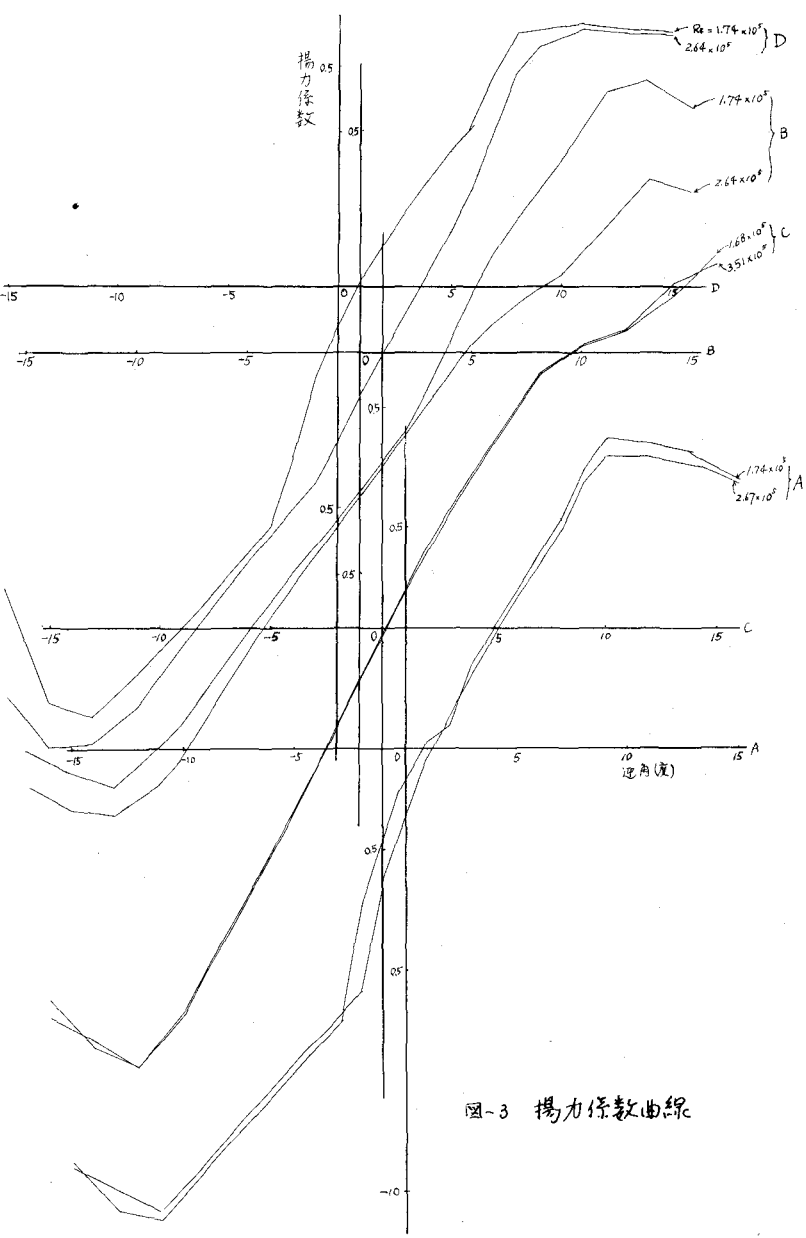


図-3 揚力係数曲線

+2.5°よりも小さな初期迎角では実験の範囲内(実風速で約100m/sec)では不安定振動は生じない。(ii)不安定振動が発生する風速の領域は限定振動を生ずる低風速領域に発散振動が発生する高風速領域に大別される。

さて、架橋地空において自然風がどのような迎角をもって吹くかが問題であるが、地形模型実験の結果では-10°~+2.5°となっている。この実験の計測精度は±2°以内といわれており、もしもこの実験が自然風特性と再現したとすれば設計案はC案を除き、耐風性上はあまり問題はな...と云えよう。何れにしても3分力係数の見られたレイノルズ数の影響は決定的な重要性もっており、今後の検討が必要となる。

[参考資料] 内門海峡の気流について 気象研究所 昭和43年5月

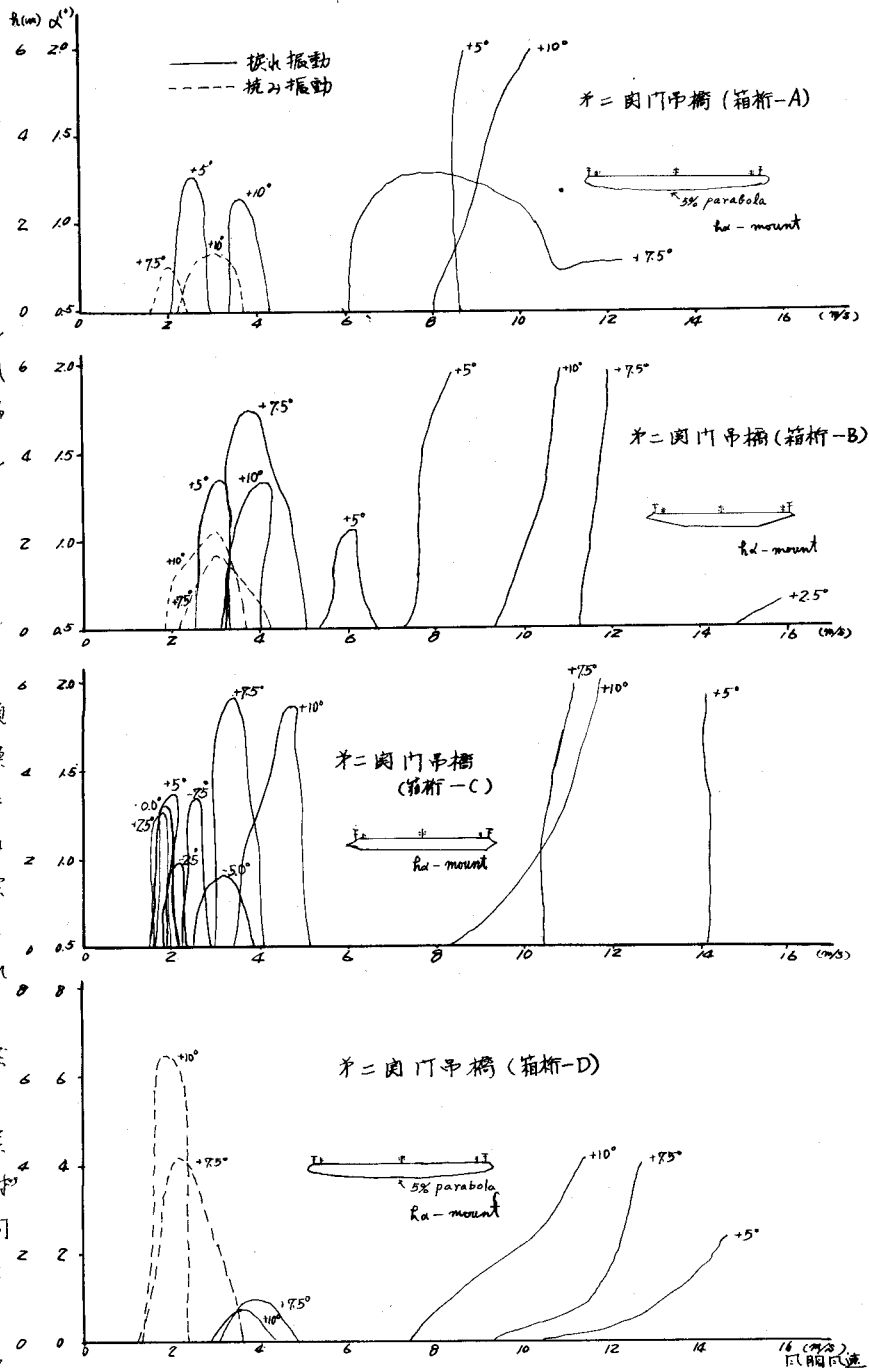


図-4 風速-振幅曲線