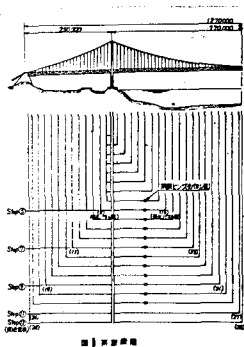


本州四国連絡橋公団向島工事事務所 中村 守
因島大橋補剛桁工事共同企業体 ○植田利夫

1. まえがき 吊橋の架設期間は長期にわたるため、強風を受ける機会が多く、また、台風の襲来の可能性もある。しかも、架設系は完成系に比べ変形し易い構造であり、架設工法の計画においてフラッター振動などの動的な耐風安全性に対して検討する必要がある。文献(1)~(4)などの研究報告例がある。因島大橋では、架設時の橋軸方向の断面の非連続性、各種架設機材の点在等を考慮して、(1) 等価質量・等価質量慣性モーメントの概念を用いる二次元バネ支持試験、(2) 非定常空気力測定データを利用する三次元応答計算、(3) 空力弾性全体模型を用いる三次元風洞試験、の三方法を組み合わせて総合的に耐風安全性を検討することになった。本文は、この中、(1)による試験結果について述べたものである。



2. 因島大橋の架設系および完成系の概要

2.1 完成系 因島大橋は図1に示すように中央径間770m、側径間250mで全長1270mの三径間ヒンジ補剛吊橋である。シングルデッキのトラス構造の補剛桁には図2に示すように検査路・検査車用レール・照明用管路・維持管理用管路・電々公社添架物、さらに自転車歩行者道などが設置される。

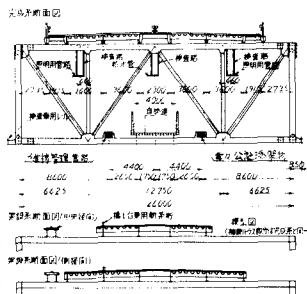


図2 補剛桁断面図(完成および架設系)

2.2 架設系 補剛桁の架設は、図1に示すように両主塔を起点として面材架設による逐次剛結工法でなされ、架設用ヒンジは第九パネル目に設けられる。架設時の補剛桁断面のトラス部は完成時と同一であるが、道路床組部は図2に示すように異なる。中央径間では鋼床版の内側約1/2が部分的に架設され、側径間では全幅が架設される。これらは架設時の耐風性能向上などから計画された工法である。また、架設時各種の架設機材が集中荷重的に点配置、あるいは、等分布荷重的に線配置される。線配置される機材は空力特性に大きな影響を及ぼす可能性がある。図2に示す橋上台車(各面材を主塔部から架設先端部に運搬)用の軌条桁はその一つで、因島側と向島側で逆対称に配置され、橋軸直角方向の風に対して、それぞれ風上側と風下側に位置することになる。

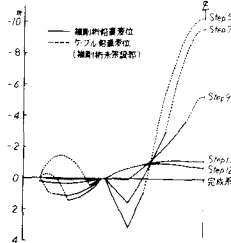


図3 架設段階の動的変形

2.3 固有振動性状 架設系の耐風安全性の検討では、図1に示す Step⑤(中央径間張出し率39.5%)、Step⑦(同60.5%)、Step⑨(同81.6%)、Step⑪(同97.4%)および Step⑫(閉合直後)がとり上げられた。架設各段階の初期変形状態は図3のとおりである。固有振動解析は、図4に示すような解析モデルを用いて立体骨組振動解析プログラム(日立造船(株)所有)により行なわれた。図5に鉛直曲げおよびねじれ対称・逆対称各一次振動の振動数と架設長さ(中央径間張出し率)の関係を示す。鉛直曲げ振動については、いずれの架設段階でも逆対称一次振動数が対称一次振動数より小さく、架設長さによる振動数の変化は少ない。一方、ねじれ振動については、Step④で逆対称一次振動数が対称一次振動数より小さい他は、対称一次振動数の方が逆対称一次振動数より小さくなっている。また、架設長さが大きくなるにつれ、振動数はほぼ増大する傾向である。

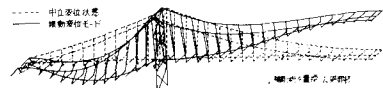


図4 振動解析モデル

図5 主橋の固有振動数(対準値)

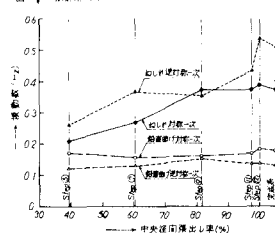


図5 主橋の固有振動数(対準値)

3. 二次元バネ支持試験内容

使用された風洞設備は日立造船(株)所有のグッチンゲン型風洞である。模型の縮尺は $1/2.6$ で模型長は1.6mである。バネ支持試験条件を表1に示す。架設系の質量・質量慣性モーメントは、振動振幅に依存する動的空気力の作用部分が既架設の補剛桁部のみであるのに対し、振動応答する部分が各種架設機械・補剛桁の未架設部のケーブル等を含めた構造全体であることを考慮して求められたもので、いわゆる等価質量 M_{eq} ・等価質量慣性モーメント I_{oeq} である。図6に架設各段階の M_{eq} ・ I_{oeq} を示す。補剛桁の張出し長さの小さい初期の架設段階Step⑤、Step⑦では M_{eq} ・ I_{oeq} は完成系の各量に比べて極めて大きく、風洞試験の実施は困難であった。試験はStep⑪の対称一次、Step⑨の対称一次および逆対称一次について実施された。完成系の構造減衰(対数減衰率)は鉛直曲げ0.03、ねじれ0.03が目標とされたが、架設系については、本橋と同程度の規模である関門橋の実橋振動

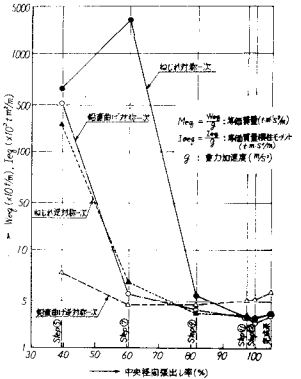


図6 架設の等価質量・等価質量慣性モーメント(計算値)

表1 バネ支持試験条件

項目	対象とする振動系	架 設 系							
		完成系		Step⑪(対称一次)		Step⑨(対称一次)		Step⑦(逆対称一次)	
重 量		実橋値	試験値	実橋値	試験値	実橋値	試験値	実橋値	試験値
		21.05	8.58	20.58	8.38	24.32	9.93	27.11	11.67
		$1m/Br$	$1m/Br$	$1m/Br$	$1m/Br$	$1m/Br$	$1m/Br$	$1m/Br$	$1m/Br$
質量慣性モーメント		2276.5	2368	212.2	2211	350.3	366.9	230.6	238.9
		$1m^2/Br$	$1m^2/Br$	$1m^2/Br$	$1m^2/Br$	$1m^2/Br$	$1m^2/Br$	$1m^2/Br$	$1m^2/Br$
振動数	鉛直曲げ	0.1777	1.79	0.1700	1.847	0.1623	1.707	0.1527	1.635
	ねじれ	0.3738	3.73	0.3735	4.02	0.3720	3.937	0.3545	3.791
(Hz)									
振動数比		2.10	2.08	2.20	2.18	2.29	2.31	2.32	2.32
構造減衰(対数減衰率)	鉛直曲げ	—	0.05	—	0.03~0.035	—	0.027~0.032	—	0.027~0.032
	ねじれ	—	0.03	—	0.015	—	0.015	—	0.015

試験結果を参考に、鉛直曲げ0.03、ねじれ0.015が設定された。
4. 試験結果 完成系の実橋換算風速 V_p とねじれ振幅 A_θ の関係を図7に、発振風速 V_{cr} と迎角 α の関係を図8に示す。 $\alpha=0^\circ$ ・ 5° ・ 7° では100%までフラッター振動は発生しなかった。 $\alpha=\pm 3^\circ$ ・ 5° ・ 7° の V_{cr} は十分に大きく、耐風安全性が確認された。 つぎに、架設系については、軌条桁風上側の断面の場合、Step⑪では $\alpha=0^\circ$ ・ $\pm 3^\circ$ ・ $\pm 5^\circ$ のいずれも100%までフラッター振動の発生はみられなかった。軌条桁風下側の断面の場合について、Step⑪の対称一次、Step⑨の対称一次、逆対称一次の V_p - A_θ を図9に、 V_{cr} - α を図10に示す。断面が同一で試験条件のみが異なる場合、各々の V_p - A_θ 曲線はよく似ている。 $\alpha=+3^\circ$ ・ 5° について各発振風速を示すと表2のようになる。いまStep⑪の対称一次の V_{cr} を①とし、Step⑨の対称一次・逆対称一次のものを②・③とし、④・⑤を求め、ねじれの卓越したフラッター振動時の発振風速の比率を表わす

近似式、 $\frac{V_{cr2}}{V_{cr1}} = \sqrt{\frac{S_{a2}}{S_{a1}}} \cdot \sqrt{\frac{I_{oeq2}}{I_{oeq1}}} \cdot \left(\frac{N_{eq2}}{N_{eq1}} \right)^{1/2}$ (1)
(発振風速の比率) (構造減衰の比率) (質量慣性モーメントの比率) (ねじれ振動の比率)
による値(表2でく)内に示す。)と比較すると、-5~+1%の誤差で良好一致している。この事実を拡張して、試験を実施しなかったStep⑤、⑦⑫についても発振風速を推定し、耐風安全性の確認を行なった。

表2 架設系の発振風速の比較

迎角(度)	発振風速(%) (試験値)	Step⑨(対称一次)	Step⑦(逆対称一次)	比率(%)	比率(%)
+3	65.0	82.5	65.5	1.27 (1.28)	1.01 (0.99)
+5	64.0	86.0	64.5	1.34 (1.28)	1.01 (0.99)

()内数値は(1)式による。

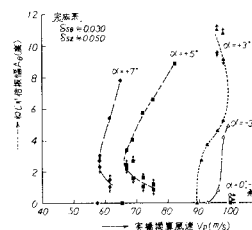


図7 完成系のねじれ振動

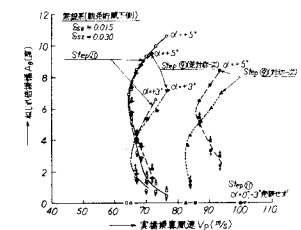


図9 架設系(軌条桁風下側)のねじれ振動

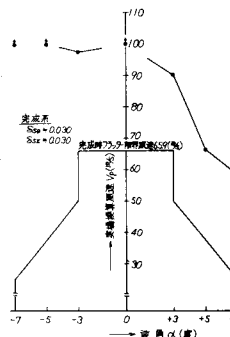


図8 完成系のフラッター発振風速

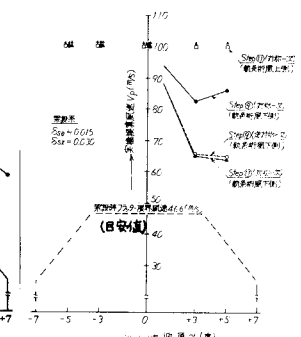


図10 架設系のフラッター発振風速

5. あとがき

以上二次元バネ支持試験により、因島大橋の架設時および完成時の耐風安全性の検討を行なったが、今後、他の二種の方法による検討結果との相関について考察を加えていく予定である。なお、本研究は、本四公団の因島大橋補剛桁工事の業務として、川田工業、日立造船、住友重機械工業、東京鉄骨橋梁製作所の4社共同企業体で実施されたものである。各社の関係各位とくに実験班の各位に感謝の意を表します。

[参考資料] (1) 土木技術資料 19-3 (1977) p.26~p.31、(2) 土木学会第32回年次学術講演会概要集(1977) I-127、(3) 構造物の耐風性に関する第一回シンポジウム(1977) p.235~p.242、(4) 土木学会第29回年次学術講演会概要集(1974) I-207、(5) 関門橋工事報告書(1977) p.1082~p.1090