

I-343

タウトストリップ試験による変断面箱桁の対風応答評価について

N K K 正会員 橋本 光行
 本州四国連絡橋公団 平原 伸幸
 N K K 正会員 武田 勝昭

1. 概要 桁断面が橋軸方向に大きく変化するような長大橋梁の耐風安定性を検討する場合には、自然風の乱流特性のみならず、空気力の空間相関や振動モードといった、いわゆる三次元性の影響を十分に考慮する必要がある。本研究はタウトストリップ試験と呼ばれる三次元弾性模型試験により、変断面箱桁の対風応答を一樣流および自然風を模擬した境界層乱流中で調べたものである。

2. タウトストリップ試験 タウトストリップ試験は張力を加えた二本のピアノ線で模型（十数パネルに分割された外形材）を支持し、一樣流あるいは乱流中において対風応答を調べる試験である（図1参照）。各外形材は剛体的に変位するが、全体としては弾性的にたわみ、鉛直たわみ固有振動数は次式で与えられる。

$$N_{\eta} = (1/2L) \sqrt{(2P/m)} \cdots (1)$$

ここにL：全模型長、P：一本当りのピアノ線張力、m：単位長さ当りの質量である。一方ねじれに関しては、外形材自身のねじれ剛性の寄与が小さくなるようにピアノ線と模型を結合すると、ねじれ振動数は次式で与えられる。

$$N_{\theta} = (b/4L) \sqrt{(2P/\Theta)} \cdots (2)$$

ここにb：ピアノ線間隔、 Θ ：単位長さ当りの極慣性モーメントである。

しかしながら、本橋のように振動数比が高い場合にはピアノ線が外形材の外に出るので、①上式のピアノ線間隔を維持するために、適当な長さの棒で外形材とピアノ線とを結合する（GJ=0方式）、②ピアノ線は外に出さず、外形材のねじれ剛性を寄与させてねじれ振動数を上げる（GJ≠0方式）のいずれかにより所要の振動数比を満足させる必要がある。GJ≠0方式のときのねじれ振動数は次式で与えられる。

$$N_{\theta} = (b/4L) \sqrt{(2P/\Theta) (1 + 2GJ/Pb^2)} \cdots (3)$$

ここにGJは外形材のねじれ剛性である。

本研究では模型設計の簡便さ等を勘案して、図2に示すようにGJ=0方式で模型を製作したが、GJ≠0方式でも模型を作り、外に張出した支持棒とピアノ線の空力的影響を調べた。一樣流中（迎角0°と3°）の応答を比較したところ、フラッター発振風速は両者で概ね一致した。なおGJ≠0方式の模型は、ねじれ減衰率が所要値の約7～8倍となった他、ねじれ方向の変位が拘束される等の問題があることが分った。

3. 乱流特性 実橋の対風応答を正確に知るためには、以下の無次元パラメーターの一致が必要とされている。①乱れ強度、②乱れスケール、③パワースペクトルの形状、④ディケイファクター（コヒーレンス）、⑤その他（ベキ指数、境界層厚等） 実際問題としては、これらをすべて同時に満足することは困難であるが、測定胴の長い風洞内で地表面粗度（ブロック、人工芝等）と乱流生成素子（スパイアー等）を組合わせることにより、概ね自然風に近い乱流が得られた。その一例を図3に示す。

4. 振動試験結果 今回の試験では、一樣流中（ $\alpha=0^\circ$ 、 3° ）および乱流中（ $\alpha=0^\circ$ ）において、F断面とB断面の区間長の比率を変えて、その耐風安定性に及ぼす影響を調べた。また、F区間に開口部を持つ二箱桁（TYPE II）についても試験を行った。図4に示すように一樣流中においては、 $\alpha=0^\circ$ でたわみとねじれの連成フラッター（ハードフラッター）が、 $\alpha=3^\circ$ ではねじれフラッターが高風速域で生じた。図5にB区間長の割合と発振風速の関係を示す。B区間が長くなるにつれ、発振風速が下がる傾向が見られる。これはバネ支持試験で既に確認されているように、F断面の空力的有利性を裏付ける結果となっている。しかしながら、実橋設計時の振動特性変化を考慮してSelbergの式で補正すると、B区間長を変化させても発振風速はほとんど変わらない結果となった。乱流中においてはフラッター発振風速は高くなるものの、比較的低風速域からバフエッティング振動が生じており（図4参照）、実橋の対風応答を正しく評価するためには強制外力としての気流の相似が重要であると思われる。なお、乱流中においてもB区間長の影響は小さかったが、TYPE IIは一樣流・乱流中共にTYPE Iと比較すると耐風性状は若干良好であった。

最後に、タウトストリップ試験は実橋の横剛性やケーブルの空気力等を相似しておらず、これらが大きく

異なるときには有風時の静的変形の相違から、実橋の対風応答を直接評価することには問題があることを付加える。

—参考文献— 1)Tanaka,Davenport:Response of Taut Strip Models to Turbulent Wind,ASCE,Vol.108,1982 2)建設省土木研究所：タウトモデルを用いた風洞試験方法に関する研究報告書、1985 3)岡内、伊藤耐風構造、1978

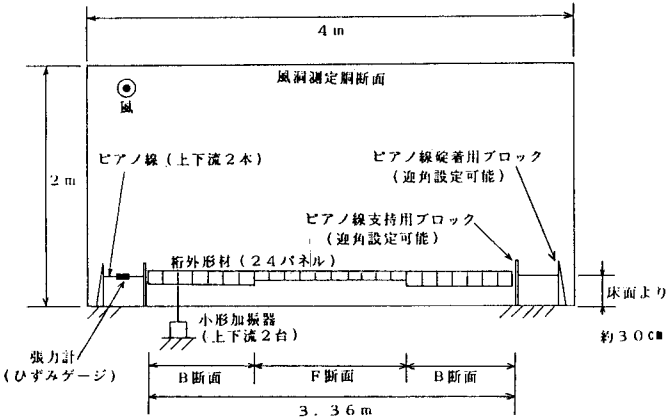


図1 タウトストリップ試験

表1 主要諸元

	TYPE I		TYPE II		
	実験値	模型実験値	実験値	模型実験値	
縮 尺	—	1/350	—	1/350	
中央径間長	1970 ■	3360 ■■	1970 ■	3360 ■■	
高 度	TP+95.98 ■	床面より29cm	TP+95.98 ■	床面より29cm	
重 量	42.47 t/f■	345.8 ~ 347.8 g/f■	43.82 t/f■	358.1 g/f■	
慣性モーメント	9845 t/f■ ²	6420~6457 g/f■ ²	10822 t/f■ ²	7295 g/f■ ²	
振動数	たわみ一次	0.065 Hz	3.38~3.54 Hz	0.065 Hz	3.53~3.57 Hz
	おじれ一次	0.028 Hz	10.77~11.39 Hz	0.200 Hz	10.88~10.94 Hz
	振動数比	3.20	3.17~3.23	3.08	3.06~3.08
減衰率	たわみ一次	0.02	0.017~0.037	0.02	0.025~0.028
	おじれ一次	0.02	0.012~0.047	0.02	0.025~0.031
風速倍率	—	6.43~6.75	—	6.37~6.44	

1) 本来は5829 mmであるが、風洞測定断の制約上(幅4m)短くした。
2) 空力的な効果を調べやすいよう、TYPE IのF断面、B断面はすべて同じ等価質量、等価慣性モーメントにした。

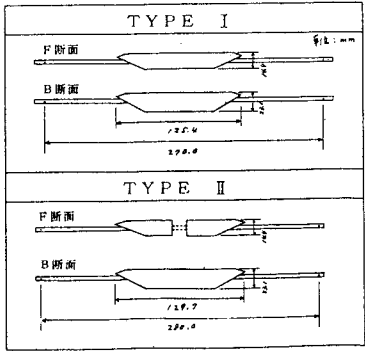
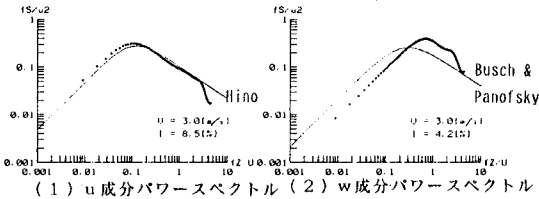
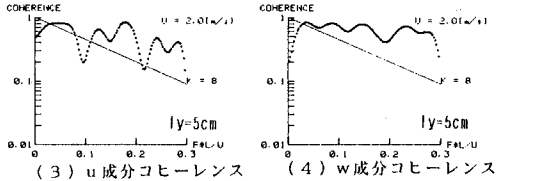


図2 供試模型 (G.J = 0方式)



(1) u成分パワースペクトル (2) w成分パワースペクトル



(3) u成分コヒーレンス (4) w成分コヒーレンス

図3 乱流特性

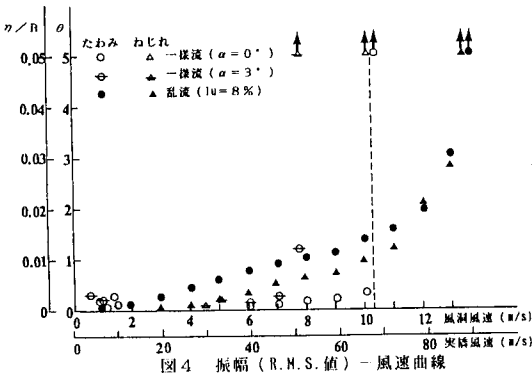


図4 振幅 (R.M.S. 値) - 風速曲線
(TYPE I - B区間60%)

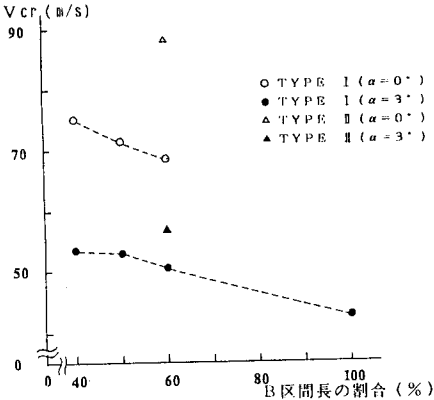


図5 B区間長と発振風速