

技術ノート

尻無川新橋(仮称)アプローチ部の 部分模型風洞試験

Sectional Wind Tunnel Testing of SHIRINASHI Bridge

米 田 昌 弘*
Masahiro YONEDA

宮 地 真 一**
Shin-ichi MIYACHI

望 月 秀 之***
Hideyuki MOCHIZUKI

The SHIRINASHI Bridge is three-span continuous girder bridges with a maximum span length of 124.4m. Sectional wind tunnel experiments with 1/35 scale model have been carried out to investigate aerodynamic characteristics of its girder.

It was ascertained that turbulent intensity played an important role on aerodynamic stability, and that onset velocity of galloping oscillation could be increased by installation of stabilizing plate on side surface of the girder.

Key words : wind tunnel testing, continuous girder bridge, aerodynamic stability

1. まえがき

近年、高強度材料の使用や設計・架設および解析手法の進歩をはじめとした橋梁技術の進展は目覚ましく、連続形式の鋼箱桁橋について言えば、最大級のものはすでに中央支間長が200 mを超えるに至っており、桁橋は従来の小スパンから比較的大きなスパンまでの幅広い範囲に適用される形式として認識されつつある。

桁橋は吊橋や斜張橋に比べ一般に振動が生じにくいと考えられてきたが、桁橋と言えども支間長が比較的に長い場合においては風による振動が発生する可能性があり、設計段階で動的耐風性の照査や空力安定化対策の検討を実施する機会も増加している。

ところで、鋼箱桁橋における空力不安定振動としては、通常、低風速域におけるたわみの渦励振（限定振動）と高風速域におけるギャロッピング（たわみの発散振動）の発現が予想され、これらの風による振動に対処する方法としては、フラップや水平プレートなどを設置することで加振空気力の低減を図る、いわゆる空力的対策が一般に多く採用されている¹⁾。

このような状況のもと、著者らも大阪市内の湾岸部に現在建設中である尻無川新橋（仮称）のアプローチ部（最大支間長が124.4 mなる3径間連続鋼箱桁橋）を対象として、道路橋耐風設計便覧²⁾による検討に基づき耐風性

が好ましくないと判定された基本設計断面の空力的対策を検討すべく、主桁のばね支持部分模型風洞試験を実施した。ここにその結果を報告する。

2. 道路橋耐風設計便覧による検討結果

尻無川新橋（仮称）の港区側と大正区側のアプローチ部は、それぞれ図-1に示すような径間割りを有する3径間連続鋼箱桁橋である。

本橋は鉛直たわみ1次の固有振動数が港区側アプローチ部（桁高3.5 m）で0.788 Hz、大正区側アプローチ部（桁高3.7 m）で0.642 Hzと比較的小さく、また、高架橋（平均高度が30.3 m）であることより強風にさらされる可能性が高いと予想された。そこで、道路橋耐風設計便覧を適用して概略の耐風安定性を検討することとした。一例として大正区側アプローチ部に対する検討結果を図-2に示す。図-2からわかるように、大正区側アプローチ部については15 m/s程度の風速で許容振幅とほぼ等しいたわみ渦励振が、また、照査風速である66.7 m/sを下回る風速（60.3 m/s）でギャロッピングの発現が予想された。それゆえ、本橋の耐風性については風洞試験によるさらに詳細な検討を実施するものとした。

3. 風洞実験の概要

風洞試験にあたっては、川田工業㈱所有の多目的風洞

*川田工業㈱技術本部振動研究室室長 **川田工業㈱技術本部振動研究室係長 ***川田工業㈱技術本部振動研究室

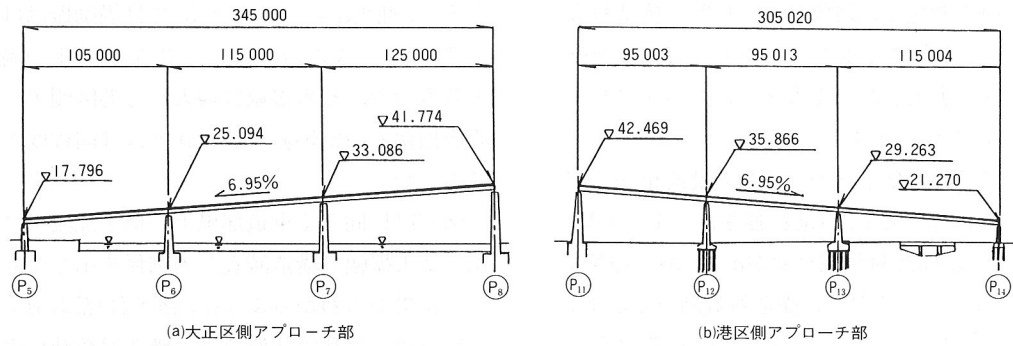


図-1 尻無川新橋(仮称)のアプローチ部の側面図

表-1 ばね支持実験条件

	実橋諸元	模型所要値	ばね支持実験の諸元
縮 尺	—	1/35	1/35
重 量	6.767 tf/m	8.949 kgf/model	8.949 kgf/model
たわみ振動数	0.788Hz (0.642Hz)	—	2.577Hz
風 速 倍 率	—	—	10.70(8.72)
構造対数減衰率	—	0.07	0.02, 0.04, 0.07

注) 表中に()で示した固有振動数と風速倍率は、大正区側アプローチ部に対応するものである。

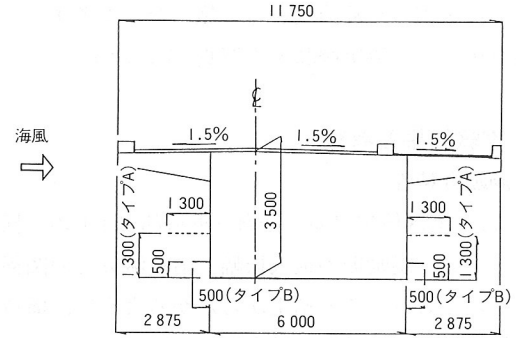


図-3 港区側アプローチ部の断面形状

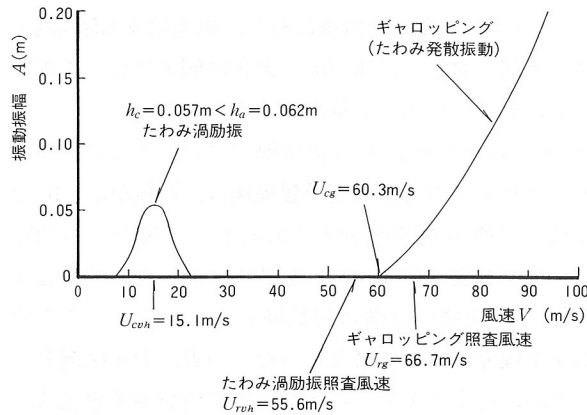


図-2 道路橋耐風設計便覧による検討結果
(大正区側アプローチ部に対して)

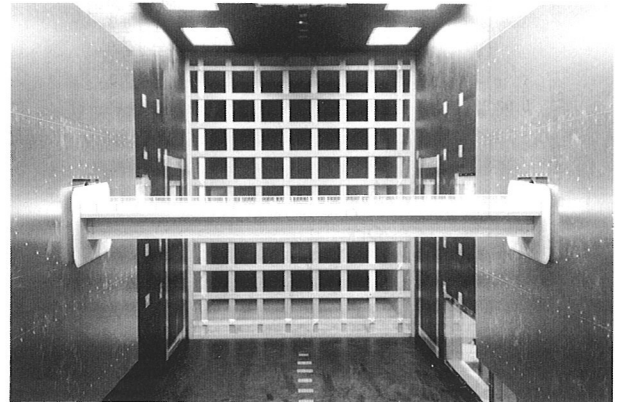


写真-1 格子Aを用いた乱流実験状況

施設を利用した。この風洞施設は開放型と閉鎖型の2つの測定洞を備えた水平回流式ゲッチング型であるが、本実験では幅2.0 m×高さ2.5 m×全長15.0 mなる閉鎖型測定洞を使用するものとした。

風洞実験では、港区側アプローチ部の支間中央部断面形状をモデル化した縮尺1/35の2次元剛体部分模型(模型長=1 620 mm)を用い、一連のばね支持模型風洞試験を実施した。なお、本橋ではねじれ渦励振とねじれフラッターに対する検討は必要でないことから、実験にあたってはたわみ1自由度系で実施するものとした。

本橋は片側歩道形式であり、図-3に示すように桁断面が若干ながら左右非対称となっているが、強風が予想さ

れる海風は車道部の風上から作用することから、車道部風上に関する一様流実験および乱流実験を主として実施した。実験条件を表-1に示す。なお、大正区側アプローチ部の主桁は港区側アプローチ部とほぼ同じ断面形状を有していることから、大正区側アプローチ部の耐風性は、港区側アプローチ部に対する実験結果を表-1中の括弧内に示した風速倍率を乗じて評価することとした。

一様流実験は、構造減衰として $\delta=0.07$ (港区側アプローチ部に対する耐風設計便覧の規定値)および $\delta=0.04$ (耐風設計便覧で規定されている鋼桁橋としての最小値)を設定し、迎角が $\alpha=+3^\circ, +2^\circ, +1^\circ, 0^\circ$ および -3° なる場合について実施した。なお、ここではギャロッピング対策として2種類の水平プレート(A:幅1 300

mm, B:幅500 mm)を想定し、迎角が $\alpha = +3^\circ$ 、構造対数減衰率が $\delta = 0.04$ なる条件で水平プレートの有効性を確認するための実験も実施した。参考までに、水平プレートの設置位置を図-3中に示す。

乱流実験は、格子Aと格子Bの2種類の乱流格子を用いて実施した。ここに、格子A(乱れ強さ $I_u = 5 \sim 7\%$)を用いた乱流実験は、構造対数減衰率が $\delta = 0.04$ で迎角 α が $+3^\circ$ と 0° なる場合、ならびに、構造対数減衰率が $\delta = 0.02$ で迎角が $\alpha = +3^\circ, +2^\circ, +1^\circ$ および 0° なる場合について実施した。また、構造対数減衰率が $\delta = 0.04$ で迎角 α が $+3^\circ$ なる場合については、格子B(乱れ強さ $I_u = 10 \sim 12\%$)を用いた乱流実験も実施した。参考までに、格子Aを用いた乱流実験状況を写真-1に示す。

4. 実験結果と考察

(1) 渦励振特性

図-4は、港区側アプローチ部(車道部風上)の一樣流実験について、渦励振の最大振幅と構造減衰との関係を示したものである。この結果からわかるように、構造減衰の増加に伴って渦励振の最大振幅は減少しており、構造対数減衰率が耐風設計便覧の規定値である0.07程度に

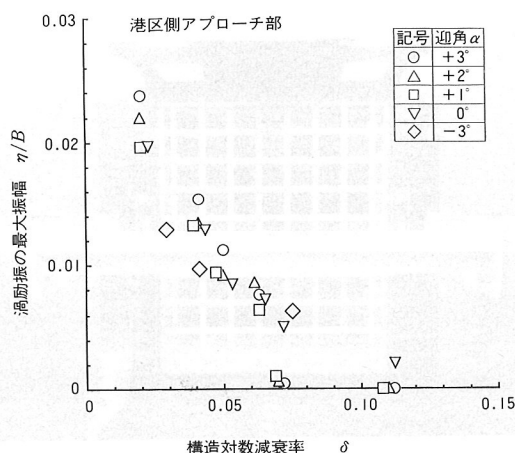


図-4 渦励振の最大振幅と構造減衰との関係(一樣流状態)

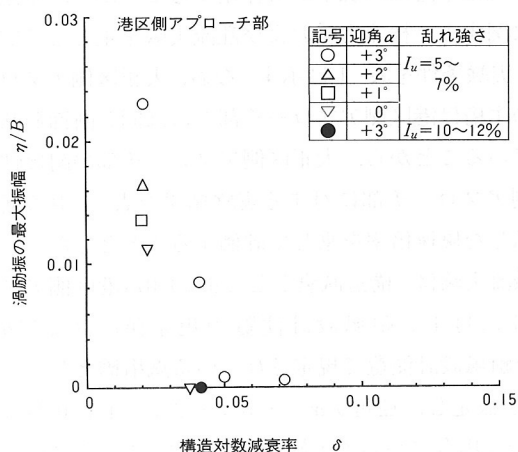


図-5 渦励振の最大振幅と構造減衰との関係(乱流状態)

なると、迎角 $\alpha = +1^\circ \sim +3^\circ$ では渦励振はほとんど発現していない。また、 $\alpha = 0^\circ, -3^\circ$ では若干の渦励振が発現するものの、その振幅は最大でも港区側アプローチ部の許容振幅(実橋換算で5.1 cm)とほぼ同程度と小さいものであった。

図-5は、同じく車道部風上の格子乱流中における渦励振の最大振幅と構造減衰との関係を示したものである。この結果からわかるように、格子B(乱れ強さ $I_u = 10 \sim 12\%$)を用いた乱流状態では、構造対数減衰率が耐風設計便覧で規定された鋼桁橋の最小値である0.04程度に設定した場合でも、迎角 $\alpha = +3^\circ$ なる条件で渦励振は発現していない。また、格子A(乱れ強さ $I_u = 5 \sim 7\%$)を用いた乱流状態では、格子Bを用いた実験結果と比べて幾分大きな渦励振が発現する結果となったが、構造対数減衰率が0.05程度以上になると迎角 $\alpha = +3^\circ$ なる状態でも工学上無視できる程度の微小な渦励振しか発現していないことがわかる。

(2) ギャロッピング特性

図-6は、車道部を風上とした一樣流状態について、ギャロッピングの実橋発現予想風速と迎角との関係を整理したものである。ここに、ギャロッピングの実橋発現予想風速は、模型の振動振幅の平均値が模型幅員B(335.7 mm)の1/100となる風洞風速に対し、風速倍率(港区側アプローチ部に対しては10.70, 大正区側アプローチ部に対しては8.72)を乗じて算出するものとした。

図-6からわかるように、港区側アプローチ部に対するギャロッピングの実橋発現予想風速は、迎角が $\alpha = 0^\circ$ なる状態では構造対数減衰率を0.04とした場合にも約73 m/sと照査風速(66.7 m/s)を若干上回るが、迎角 α が $+1^\circ$ 以上の状態では構造対数減衰率を0.07としても照査風速を幾分下回る結果となった。一方、大正区側アプローチ部に対するギャロッピングの実橋発現予想風速は、迎角 α が 0° の状態でも構造対数減衰率が0.04なる場合

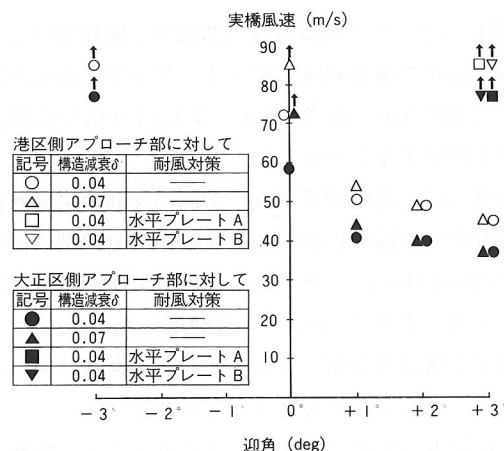


図-6 ギャロッピングの実橋発現予想風速(一樣流状態)

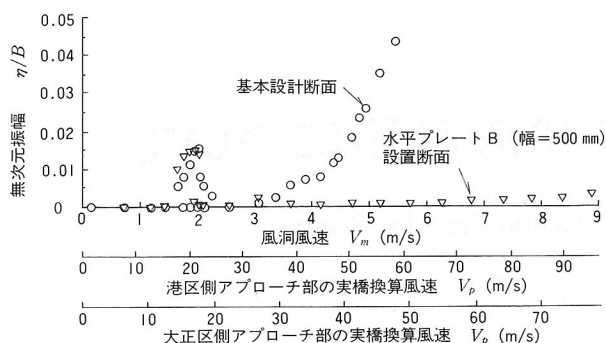


図-7 一様流中でのばね支持試験結果
($\alpha = +3^\circ$, $\delta = 0.04$)

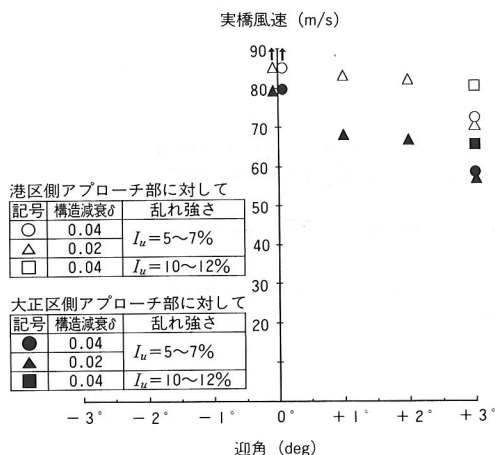


図-8 ギャロッピングの実橋発現予想風速 (乱流状態)

には約59 m/sと照査風速 (66.7 m/s) を若干下回り、迎角 α が $+3^\circ$ になると構造減衰の大きさにかかわらず約37 m/sまで低下する結果となった。これに対し、耐風対策として水平プレートA (幅=1300 mm) あるいは水平プレートB (幅=500 mm) を設置すると、一例として示した図-7からわかるように、いずれの場合も迎角が $\alpha = +3^\circ$ 、構造対数減衰率が0.04なる条件でギャロッピングの実橋発現予想風速が照査風速 (66.7 m/s) を上回る結果となっており、ギャロッピングに対する水平プレートの有効性が確認された。

図-8は、車道部を風上とした格子乱流中について、ギャロッピングの実橋発現予想風速と迎角との関係を整理したものである。ここに、格子乱流状態では図-9に例示するように一様流実験で見られたような発散的なギャロッピング振動は認められず、風速の増加とともに徐々に振幅が増大するようなバフェティング的な振動特性を示した。ただし、振動振幅のRMS値が幅員 B の1/100程度以上になると、幾分ギャロッピング的な要素を含んだ振動性状を呈する傾向が認められたことから、図-8では振動振幅のRMS値が幅員 B の1/100となる実橋換算風速を乱流中でのギャロッピングの実橋発現予想風速と定義することとしている。

図-8からわかるように、港区側アプローチ部に対する

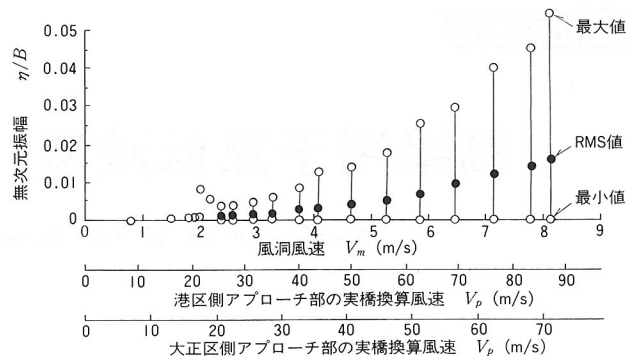


図-9 格子乱流中でのばね支持試験結果
($I_u = 5 \sim 7\%$, $\alpha = +3^\circ$, $\delta = 0.04$)

乱流中でのギャロッピングの実橋発現予想風速は、乱れ強さ $I_u = 5 \sim 7\%$ なる条件のもとで、迎角や構造減衰の大きさにかかわらず照査風速 (66.7 m/s) を若干上回る結果となっている。一方、大正区側アプローチ部に対しては、乱れ強さが $I_u = 5 \sim 7\%$ で迎角が $\alpha = +3^\circ$ なる場合に、ギャロッピングの実橋発現予想風速が58 m/s程度まで低下し、照査風速 (66.7 m/s) を下回る結果となっている。

以上の結果より、乱れ強さが比較的小さい5~7%程度で、迎角が $+3^\circ$ の吹き上げ風が作用する条件のもと、港区側アプローチ部には照査風速を下回る風速ではギャロッピングは発現しないと考えられた。一方、大正区側アプローチ部には一様流中で見られたような発散的なものではないものの、ギャロッピング的な要素を含んだ振動が発現する可能性があるかと推察された。それゆえ、大正区側アプローチ部に対しては水平プレートB (幅500 mm) を設置して耐風性の改善を図ることとなった。

5. あとがき

本文は、尻無川新橋 (仮称) のアプローチ部 (最大支間長が124.4 mなる3径間連続鋼箱桁橋) を対象とした一連のばね支持部分模型風洞試験結果について報告したものである。一様流中や乱流中における渦励振特性とギャロッピング特性ならびにギャロッピング対策としての水平プレートの有効性を検証した本報告が、今後の連続鋼箱桁橋を設計する実務技術者にとって有用な技術資料になることを心より願う次第である。

最後に、本業務を実施するにあたり、大阪市建設局橋梁課の皆様より貴重な御指導と御支援を賜りました。紙面を借りて、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- たとえば、阪本 浩・永井康平・坂田 弘・江草 拓：泊大橋建設工事の概要と風に対する検討，土木学会論文集第373号，pp.93~102，1986年9月。
- 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧，pp1~22，1991年7月。