

I - B26

伊唐大橋の表面圧力実測によるレイノルズ数効果に関する検討

九州工業大学 正会員 久保喜延

鹿島建設（株）正会員 新原雄二 中野龍児 林田宏二

1. まえがき

橋梁の長大化は年を追う毎に進み、風による橋梁の振動に対する関心が高まってきている。しかしながら、模型による風洞実験の結果と実橋の応答との対応についての十分なデータの蓄積がなされているとはいえない。我が国で最長の径間長 260m を有する P C 斜張橋である伊唐大橋において風速と表面圧力の測定を行う機会を得たので、風洞実験結果と実測結果との比較をレイノルズ数 (Re 数) の影響に着目して報告する。

2. 実測および風洞実験の概要

図 1 に示すシステムを用いて表面圧力の測定が行われた。圧力孔としては桁表面上に 22 点、桁下面に 2 点の計 24 点を設け、24 点の圧力変動と超音波風速計による風速 3 成分の変動を同時測定した。計測されたデータは、20Hz のサンプリング周波数で AD 変換したのち、フーリエフィルタ操作によりチューブの伝達特性による歪みを補正した。

本橋に対する風洞実験は、架設前に縮尺 1/40 の二次元剛体模型による空力弾性振動実験および縮尺 1/121 の三次元弾性模型による応答実験を九州工業大学 (KIT) の風洞を用いて行われた。また、実測との対応を見るために、桁表面上に 130 点の圧力孔を設けた縮尺 1/20 の剛体静止模型による一様流中および乱流中での表面圧力特性に関する風洞実験が、鹿島技研 (KaTRI) の回流式大型境界層風洞で行われた。

架設前に行われた縮尺模型による実験において (図 5 の KIT)、桁後流の流速変動から測定されたストローハル数 (St 数) は、Re 数の増加に対して、 $Re < 10^3$ の領域で $St = 0.15 \rightarrow 0.25$ の増大傾向を有し、 $10^3 < Re < 5 \times 10^3$ で $St = 0.23 \rightarrow 0.19$ に減少し、 $5 \times 10^3 < Re < 3 \times 10^4$ で $St = 0.19 \rightarrow 0.23$ に再び増加し、 $Re > 3 \times 10^4$ で $St = 0.21$ 程度ではほぼ一定となる結果が得られた。Re 数の影響を St 数の変化のみで議論することはできないが、少なくとも Re 数の変化が $3 \times 10^4 < Re < 6 \times 10^4$ 程度であれば、St 数が安定することが架設前の風洞実験から確認された。風洞実験の信頼性の議論をするためには、実橋における Re 数程度の場合、どのような現象になるかを確認する必

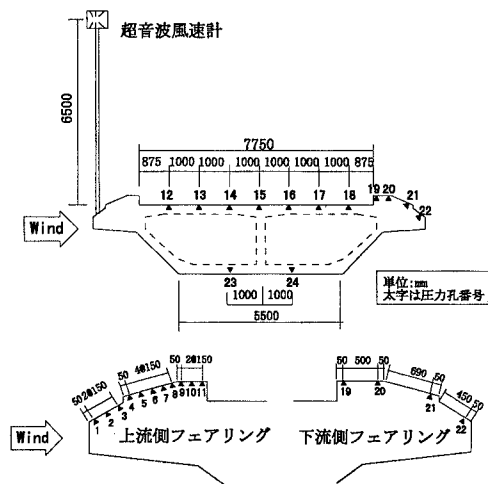


図 1 実測における圧力孔の配置

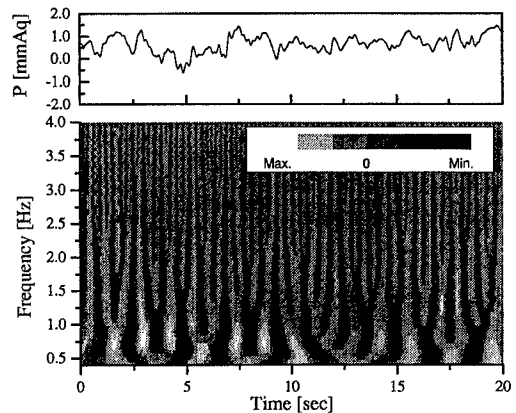


図 2 実測の圧力変動のウェーブレット解析

キーワード：風洞実験、空力弾性応答、実橋、レイノルズ数、ストローハル数

連絡先 * 1 : 〒804 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1

TEL 093-884-3109 FAX 093-884-3100

* 2 : 〒182 東京都調布市飛田給 2-19-1

TEL 0424-89-7077 FAX 0424-89-7087

要がある。このような背景を踏まえて今回の実測結果を整理することにした。

3. 表面圧力の実測および風洞実験結果

実測は、冬季季節風中で行われたため、自然風の中でも比較的定常性の高い風速変動の中での測定となっているが、 St 数を特定できる程の定常的なデータを抽出することが困難であった。そこで、データ処理にあたって、風速変動および圧力変動の時系列データにウェーブレット解析を施し、卓越周波数が現れていると考えられる時間帯を選び、抽出されたデータのパワースペクトル解析を AR 法で行うことにした。特に、実橋では後流変動を測定できないため、後流変動と深く関係しているであろう下流側圧力測定点 22 の圧力変動を用いて St 数の算定を行った。ウェーブレット解析の一例が図 2 で、 Re 数に対して St 数をプロットした結果が、図 3 である。ここで、 Re 数および St 数は下記の式で定義している。

$Re=UD/\nu$, $St=fsD/U$ (U : 風速、 D : 桁高、 ν : 空気の動粘性係数、 fs : 後流振動数)

$8 \times 10^5 < Re < 2 \times 10^6$ の Re 数に対して St 数は、 $0.16 < St < 0.26$ で分布してばらつきは大きいものの、 $0.20 \sim 0.22$ の間の値が多く、平均すれば 0.203 となる。これに対して、縮尺 1/20 による風洞実験は $2 \times 10^4 < Re < 2 \times 10^6$ の範囲で行われた。風洞実験は、一様流中と乱流中で行われ、後流変動のスペクトル解析を行った結果が、図 4 である。それによると、乱れ強度 $Iu=9.5\%$ の場合は、一様流中と同じ周波数である 10Hz 近傍にスペクトルのピークが現れているが、乱流強度 $Iu=15.7\%$ の場合は、スペクトルのピーク周波数が 3.5Hz あたりとなり、一様流中の場合とかなりずれている。すなわち、乱流強度が大きい流れの場合は、ストローハル成分の特定が困難であることを示しており、実測における St 数がばらついた原因は乱流中での測定であることに起因しているものと考えられる。なお、

一様流中での実験の結果、1/20 の縮尺模型の場合、 $St=0.21$ で一定となっている。これらをプロットしたのが図 5 である。以上の結果によれば、縮尺率を変えた模型による風洞実験においては、かなりの整合性が取れており、本橋の主桁断面の St 数は $Re < 10^4$ の領域では Re 数の影響を強く受けるものの、実橋の Re 数領域である 10^6 を含む $Re > 2 \times 10^4$ の領域では、 Re 数に対する St 数の変化はほとんどないといえる。

4. まとめ

縮尺率の大きな小型模型を用い、相似則に従った風洞実験を行う場合、 Re 数の影響を受けやすいが、実測との対応をみると、本橋の場合、 $Re > 2 \times 10^4$ の領域で風洞実験を行えば、実橋と同程度の St 数の状態、すなわち実橋を反映した流れの中での耐風挙動の検討が可能であることが判明した。

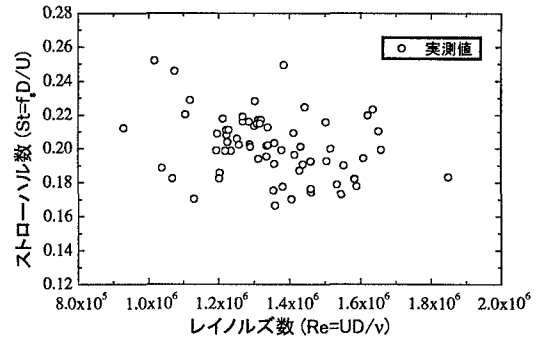


図 3 実測から得られた Re 数— St 数関係

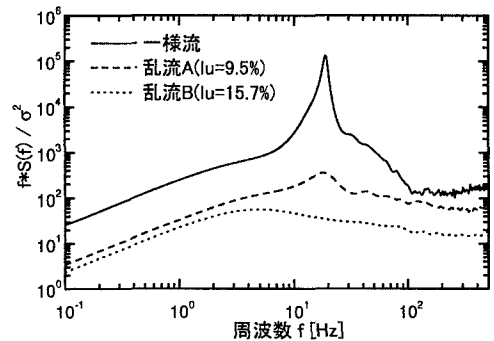


図 4 後流変動風速のパワースペクトル（風洞実験）

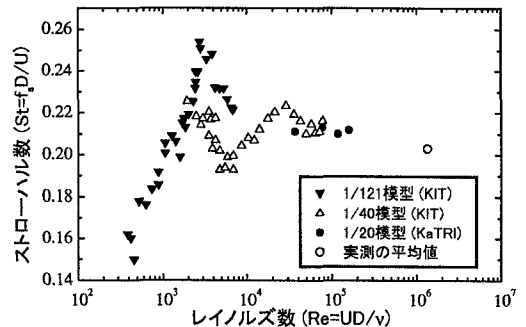


図 5 Re 数— St 数関係の風洞実験と実測の比較