

I-492

明石海峡大橋の空力アドミッタンスの測定

建設省土木研究所 正会員 松野栄明

建設省土木研究所 正会員 佐藤弘史

本州四国連絡橋公団 正会員 北川 信

1. まえがき

橋梁の設計風荷重は、定常的な風荷重と、風速変動に起因する橋梁の不規則な振動(ガスト応答)とを考慮して定められる。このうち、ガスト応答について、土木研究所構内の大型風洞において実施した、明石海峡大橋をの全橋模型による風洞実験では、水平たわみについては、ガスト応答解析の値に比べかなり小さいことが明かとなった。この原因の検討の一環として、3種類の異なる気流において、明石海峡大橋の2次元剛体模型の変動空気を直接計測し、空力アドミッタンスを求めた。

2. 実験方法

実験は、簡易支持装置に2台の三分力検出器を設置し、橋梁模型をその間に挟み込むようにして空気力(抗力、揚力、モーメント)を計測した。

実験に使用した模型は、全橋模型風洞実験に使用された、明石海峡大橋の1/100模型の桁のうち(中央径間)、2つのセグメントを剛結して剛体模型に改造したものである。また、実験には乱れ強さ、乱れスケールの異なる3種類の気流(乱流1~3)を用いたが、乱流1、2は土木研究所内のフラッター風洞、乱流3は大型風洞と、2種類の異なる風洞において実験は行われた。

3. 解析方法

本研究において直接計測されるものは、変動風速のP.S.D.Fおよび模型全体に作用する空気力のP.S.D.Fだが、この2つの関数を結び付けるものに、①変動風速を単位長さあたりの変動空気力へと伝達する、空力アドミッタンスミッタンス $|X(f)|$ 、②単位長さあたりの変動空気力を構造物全体へと変換する、ジョイントアクセプタンス $|J(f)|$ 、と呼ばれる2つの関数が存在する。

抗力は主流方向変動風速のみにより生ずると仮定すると、抗力に関するこれらの関係は次のように示される。

$$\frac{S_{D+D_r}(f)}{(2\overline{D_r})^2} = |J(f)|^2 \cdot \frac{S_{DD}(f)}{(2\overline{D})^2} = |J(f)|^2 \cdot |X_{Du}|^2 \cdot \frac{S_{uu}(f)}{\overline{U}^2} \quad \cdots (1) \quad \text{但し、}\overline{D_r} = \overline{D} \cdot l$$

ここで、 $\overline{D}$; 単位長さあたりの定常抗力、 $|X_{ij}|$; j の変動による i の空力アドミッタンス、 S ; パワースペクトル密度関数、 u ; 主流方向変動風速、 $\overline{U}$; 平均風速、 l ; 模型長

揚力、モーメントについても、単位迎角あたりの変動を考えることにより、同様に示すことができる。

また、今回の実験においては、モード形状が全長にわたって1.0のため、 $|J(f)|$ は次のように示される。

$$|J(f)|^2 = \frac{1}{l^2} \int_0^l \int_0^l \text{co-coh}(f, y_1, y_2) dy_1 dy_2 \quad \cdots (2) \quad \text{co-coh} = \frac{\text{Re}\{S_{u_1 u_2}(f, y_1, y_2)\}}{S_{uu}(f)} ; \text{コ・コヒーレンス関数}$$

4. 実験および解析結果

気流計測結果のうち、主流方向のP.S.D.FとESDUとを比較した図を図-1に示す。乱れ強さに関しては、乱流2が最も大きく($I_u=14\%$)、次いで乱流3($I_u=6.6\%$)、乱流1($I_u=4.0\%$)である。また、乱れスケールに関しては乱流1、2がほぼ等しく($L_z^*=0.4m$)、大型風洞により計測された乱流3が最も大きい($L_z^*=1.2m$)。

$|X(f)|$ を求めるために、 $|J(f)|$ を計算する必要があるが、従来一般的に用いられた $\text{co-coh}(f)$ は次に示されるものである。

$$\text{co-coh}(f, y_1, y_2) = \exp\left(-k \frac{f|y_1 - y_2|}{\overline{U}}\right) \quad \cdots (3)$$

この式は、固有振動数の比較的高い構造物においては十分実用的であるが、 $f \rightarrow 0$ において相関が1.0に漸近するため、固有振動数の低い構造物については誤差がかなり大きくなる。明石海峡大橋における水平1次モー

ドの固有振動数は $f=0.0391\text{Hz}$ である。補剛桁の設計基準風速における無次元振動数は $fB/U=0.023$ である。

また、ESDUによれば等方性乱流の考えより求めた co-coh は次式となる。

$$\text{co-coh}=0.994\left\{\eta^{\frac{5}{6}}K_{\frac{5}{6}}(\eta)-\frac{\eta^{\frac{11}{6}}}{2}K_{\frac{11}{6}}(\eta)\right\}\cdots(4)$$

ここで、 $K_{\frac{5}{6}}, K_{\frac{11}{6}}$ ：第2種の変形Bessel関数、

$$\eta=\frac{|y_1-y_2|}{L_s}0.747\sqrt{1+70.8\left(\frac{fL_s}{U}\right)^2},$$

L_s ：周波数 f における乱れのスケール

この式は複雑なため実用的ではないので、今回は簡便のため次式に示される co-coh より $|J(f)|$ を求めた。

$$\text{co-coh}(f, y_1 y_2)=\exp\left(-\frac{k\eta}{2\pi}\right)\cdots(5)$$

この式においてパラメータとなるのは、 L_s および k だが、これらについては、各気流における co-coh の実測値と式(5)が低周波数領域においてなるべく一致するように代入した。 co-coh の実測値と、式(3)、(5)によるものとを比較した一例を図-2に示す。この図では、低周波数領域において実測値と式(3)が大きくかけ離れているのに対し、式(5)は比較的近いことが示されている。

また、各乱流について、式(2)、(5)よりジョイントアクセプタンスを求め、式(1)より計算した空力アドミッタンスを図-3に示す。なお、この図には明石海峡大橋耐風設計要領・同解説による空力アドミッタンスを重ね合わせてある。

この図においては、各気流における空力アドミッタンスは等しくならず、乱流3が最も大きい。この原因としては、乱流1、2において実測された coh では2点間の距離が離れると低周波数においても負の相関を示したのに対し、式(5)では如何なる2点間距離、周波数においても常に正の相関を示すためであること、あるいは乱れのスケールの影響などが考えられる。

乱れのスケールが概ね相似されている乱流3については、実測値と設計要領による値とが比較的近く求められている。

5. まとめ

明石海峡大橋の空力アドミッタンスは、設計要領において考えられている値と概ね一致することが示された。また、その計測の際には、乱流の空間特性を考慮したジョイントアクセプタンスにより補正することが重要である。

なお本調査は、本四公団の耐風委員会、風洞試験作業班における検討の一環として行われたものである。

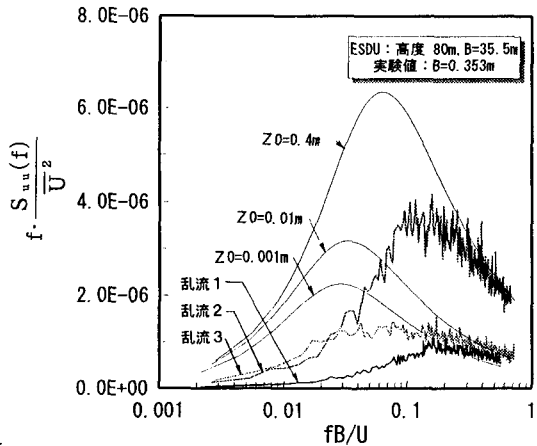


図-1 主流方向変動風速のP.S.D.F

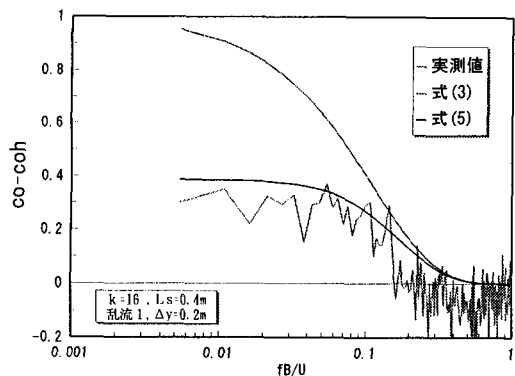


図-2 コ・コヒーレンスの比較

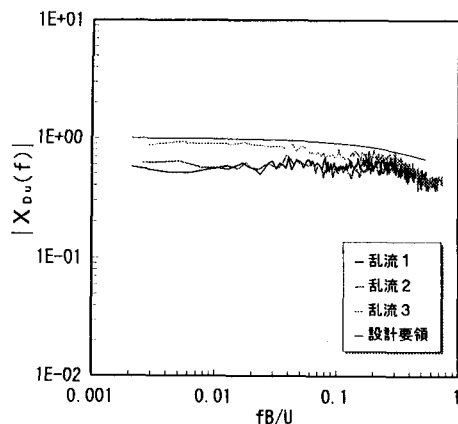


図-3 抗力に関する空力アドミッタンス