

I - B50

一様せん断流の仮定に基づく空間相関式の特性の検討

東京大学大学院 学生員 山崎 聡 東京大学工学系研究科 フェロー 藤野陽三
 東京大学工学系研究科 正 員 木村吉郎 東京大学大学院 学生員 Uday Kumar Roy

1. はじめに

長大橋梁のガスト応答を正確に予測するために、自然風の風速変動の空間相関の特性を明らかにすることは重要である。しかし、2点間距離が大きい場合には低周波数領域においても空間相関が1より小さくなるという特性を表現しうる等方性乱流を仮定して導かれる空間相関（以下カルマン型と呼ぶ）も、やや大きな周波数領域で実測値よりも大きな値をとることがあるなど、自然風の空間相関特性を十分正確に表現するものではない¹⁾。一方、等方性乱流よりも自然風に近い一様せん断流（Uniform Shear）を仮定して、空間相関が導かれている²⁾。ここではこのUSモデルに基づく空間相関の特性を、測定値やカルマン型と比較することにより明らかにすることを試みる。

2. USモデルに基づく空間相関²⁾

高度 z に比例して平均風速 U が増加する一様せん断流によって、等方性乱流が渦の寿命時間の間に変形を受けるものとして求められている。変形を非線形項や粘性項を無視したrapid distortion theoryで求めることにすると、次のようなスペクトルテンソルが得られる。

$$\text{主流方向成分: } \Phi_{11}(\mathbf{k}) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^4} (k_0^2 - k_1^2 - 2k_2k_{30}\zeta_1 + (k_1^2 + k_2^2)\zeta_1^2) \quad \text{鉛直方向成分: } \Phi_{33}(\mathbf{k}) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^4} (k_1^2 + k_2^2)$$

$$\text{但し、} \mathbf{k}_0 = (k_1, k_2, k_{30}), \mathbf{k} = (k_1, k_2, k_3), k_3 = k_{30} - \beta k_1, \zeta_1 = C_1 - \frac{k_2}{k_1} C_2$$

$$C_1 = \frac{\beta k_1^2 (k_0^2 - 2k_{30}^2 + \beta k_1 k_{30})}{k^2 (k_1^2 + k_2^2)}, \quad C_2 = \frac{k_2 k_0^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \arctan \left[\frac{\beta k_1 (k_1^2 + k_2^2)^{1/2}}{k_0^2 - k_{30} k_1 \beta} \right]$$

$E(k_0)$ は、等方性乱流のエネルギースペクトルでカルマン型を用いる。また β は無次元時間で、 $\beta = \frac{dU}{dz} \tau$ と定義される。なお τ は渦の寿命時間である。これらのスペクトルテンソルを k_2, k_3 について2重積分し、Taylorの凍結乱流の仮説を用いるとクロススペクトルが得られる。USモデルに基づく空間相関は、エネルギースペクトルに含まれる乱れのスケール Lu と、渦の寿命を表すパラメータ G の2つをパラメータとして表現される。 $G=0$ の場合等方性乱流と一致し、 G が大きくなるほどせん断流による変形の影響が大きい場合を表現する。

3. 測定値との比較

比較の対象としたのは、本四公団が測定した大鳴門橋での台風時のデータと筑波の大型風洞での1/200模型用の境界層乱流のデータ、および鹿島建設技術研究所が測定した伊唐大橋の冬の季節風のデータである。図1に、自然風および風洞における空間相関の測定値と、USモデルおよびカルマン型との比較を示した。1つの図には2点間距離 dy の異なるケースが2つずつ示してある。

図1(c)においては、カルマン型とUSモデルはほとんど重なっており、USモデルを用いても測定値をカルマン型よりもうまく表現することは出来なかった。しかしそれ以外の全てのケースにおいて、USモデルに基づく空間相関は、カルマン型よりも測定値を全体的に見てより正確に表現している。

カルマン型では乱れのスケール Li のみをパラメータとするのに対して、USモデルでは2つのパラメータを用いている。しかしここで注意すべきなのは、パラメータの数が多いが故にUSモデルの方がより測定値に近い表現ができるわけではないことである。上述のようにUSモデルではスペクトルテンソルが導かれており、それに基づき空間相関に用いるのと同じパラメータを用いて、パワースペクトルの測定値も表現することが出来る。一方、カルマン型では便宜的に乱れのスケール Li をパワースペクトルと空間相関で使い分けているので、両者を表現するためには2つの乱れのスケールを仮定する必要がある、結局パラメータの数はUSモデルと同じである。尚USモデルでは、主流方向成分と鉛直方向成分についても同じパラメータで表現されることが期待されるが、実際にはそうすると測定値との適合は悪くなった。従って図1に示した比較では、風速成分に応じて異なるパラメータを用いている。

4. おわりに

ここではUSモデルに基づく空間相関の特性を検討したが、さらに多くのデータとの比較を行っていくことが必

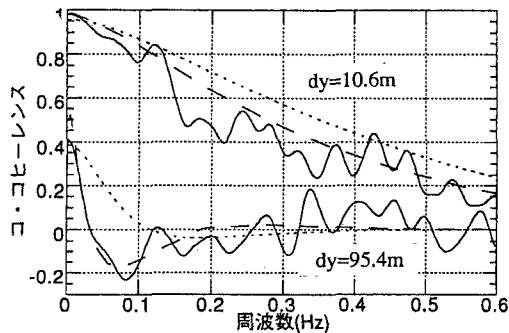
キーワード：自然風、空間相関、境界層乱流、ガスト応答、一様せん断流

連絡先 〒113 東京都文京区本郷7-3-1 Tel.03-3812-2111(内線6099) FAX 03-5689-7292

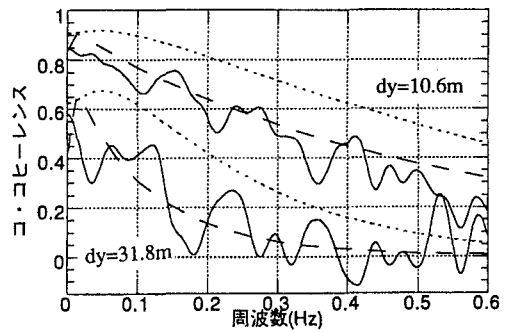
要である。なおUSモデルによる表現は複雑となるが、自然風の特徴を明らかにするという意味で、こうした検討を行っていくことは意味があると考えている。貴重な測定データの使用を認め、測定内容についてご教示下さった本州四国連絡橋公団ならびに鹿島建設技術研究所の方々に謝意を表します。

<参考文献>

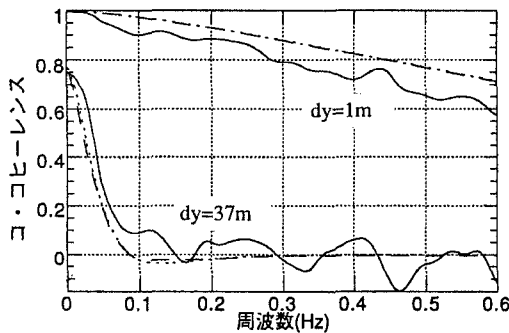
- 1) 木村他：乱れた風の空間相関の定式化について、第50回土木学会年次講演会、I-739、1995.9
- 2) Jacob Mann：The spatial structure of neutral atmospheric surface-layer turbulence、J.Fluid Mech. Vol.273、1994



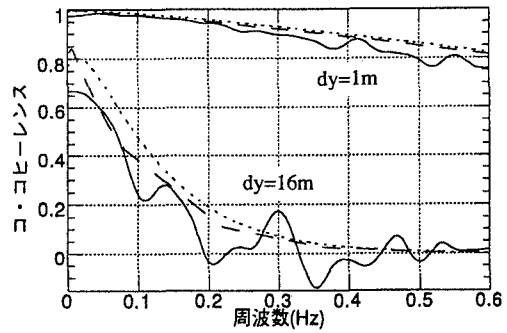
(a) 大鳴門橋の主流方向成分
($U=33.6\text{m/s}$, $Lu=63\text{m}$, $G=6.0$, $Li=120\text{m}$)



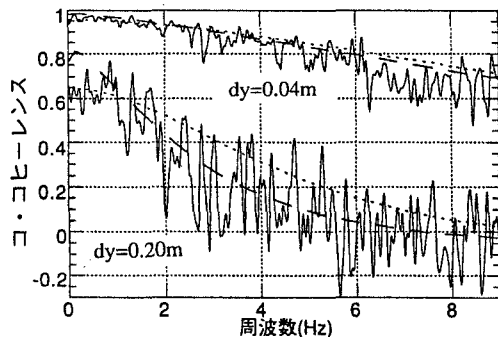
(b) 大鳴門橋の鉛直方向成分
($U=33.6\text{m/s}$, $Lu=40\text{m}$, $G=6.0$, $Li=60\text{m}$)



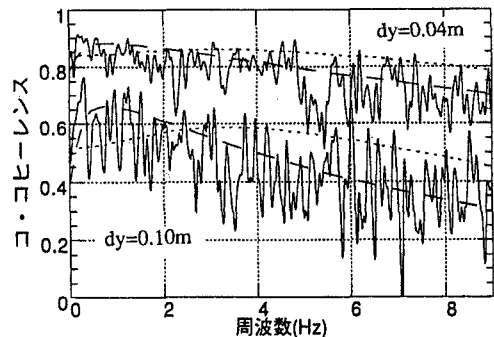
(c) 伊唐大橋の主流方向成分
($U=9.1\text{m/s}$, $Lu=68\text{m}$, $G=1.0$, $Li=80\text{m}$)



(d) 伊唐大橋の鉛直方向成分
($U=9.1\text{m/s}$, $Lu=52\text{m}$, $G=5.0$, $Li=46\text{m}$)



(e) 風洞内境界層乱流の主流方向成分
($U=5.6\text{m/s}$, $Lu=0.28\text{m}$, $G=3.0$, $Li=0.3\text{m}$)



(f) 風洞内境界層乱流の鉛直方向成分
($U=5.6\text{m/s}$, $Lu=0.12\text{m}$, $G=3.0$, $Li=0.3\text{m}$)

図1 コヒーレンスの比較（実線：測定データ、破線：USモデル、点線：カルマン型）