

一様流と乱流中における斜円柱の空力振動現象の特性検討

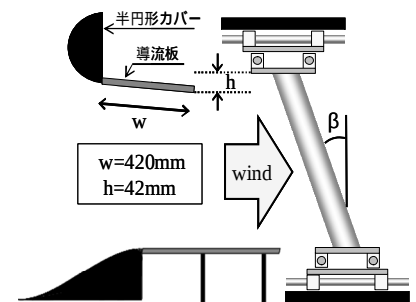
九州工業大学大学院 学生会員 ○小川祐介

九州工業大学 非会員 ローカムサイ チンダー

九州工業大学大学院 正会員 木村吉郎 加藤九州男 フェロー 久保喜延

1. はじめに

近年の解析技術の進歩や施工技術の向上に伴って、長大斜張橋の建設や大型のゴライアスクレーンが製作されるようになったが、斜円柱部材が長大化したことによる大振幅の空力振動の発現が報告されている。これらの振動現象は高レイノルズ数領域にて発生するという報告もあるが、振動原因は未解明で、風洞実験での再現性すら不十分であるというのが現状である。本研究では、高レイノルズ数領域までの風洞実験によって大振幅の空力振動を再現し、その結果を分析することにより、振動現象の特性を把握することを目的とした。

図-1 模型の偏角 β (側面図)

2. 実験概要

斜円柱模型は、外径が 114mm である $\beta=30, 40, 45\text{deg}$ の模型(斜張橋ケーブルを対象)および外径が 165mm である $\beta=15\text{deg}$ の模型(ゴライアスクレーンの揺脚を対象)を塩化ビニル管で製作したものである。偏角 β の定義を図-1 に示す。この模型を、主流および主流直角のそれぞれの方向にコイルバネで弾性支持し、エアベアリングにより低摩擦で大振幅(300mm)変位可能な模型支持装置¹⁾を用いて風洞内に上下で支持した。

実験は住友重機械工業株式会社所有の回流風洞で行った。気流は一様流に加えて、主流方向の乱れ強さ I_u が 4.6% および 10.4% の格子乱流中での実験を行った。

3. 応答実験結果

まず、 $\beta=30, 40, 45\text{deg}$ の固有振動数が $0.886 \sim 0.993\text{Hz}$ 、対数構造減衰率が $0.00283 \sim 0.00347$ の場合の主流直角方向の応答図を図-2 から図-4 に示す。一様流では、 $\beta=30\text{deg}$ の換算風速 $Ur=277$ 以降、 $\beta=40, 45\text{deg}$ の高風速域と低風速域において、測定範囲 250mm を超える大振幅応答が発現した。 $\beta=40\text{deg}$ の $Ur=231 \sim 259$ の風速域では、ハードフラッター型の不安定な応答が見られた。また、 $\beta=40\text{deg}$ の $Ur=400$ 前後および $\beta=45\text{deg}$ の $Ur=350$ 前後(臨界 Re 数付近)は、空力減衰率の大きい低振幅の応答となり、他の風速域より振動数が $10 \sim 20\%$ 程度高い振動現象が見られた。 $I_u=4.6\%$ の気流中での応答については $\beta=30\text{deg}$ の $Ur=156$ 以降、 $\beta=40, 45\text{deg}$ の $Ur=150$ 付近の狭い風速域で大振幅応答が発現した。 $\beta=40, 45\text{deg}$ の $Ur=240$ 以降では、振幅の大きさが不規則に変化する振動が見られた。 $I_u=10.4\%$ の気流

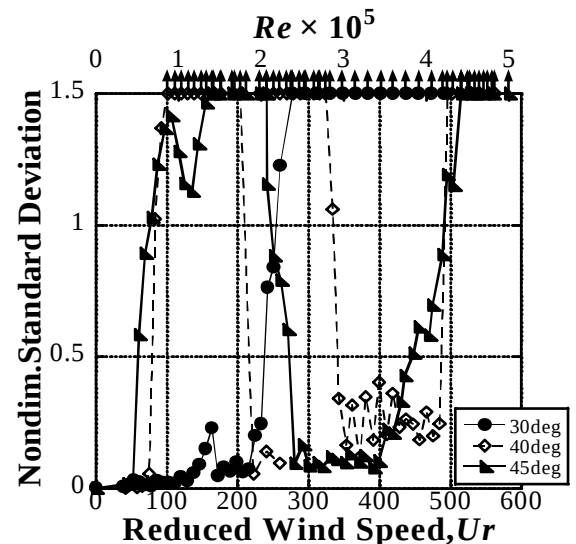
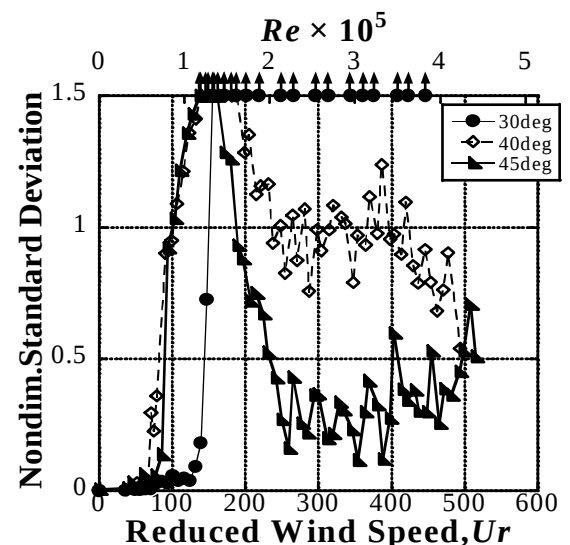


図-2 主流直角方向応答図(一様流)

図-3 主流直角方向応答図($I_u=4.6\%$)

キーワード：空力振動，斜張橋ケーブル，ゴライアスクレーン，高レイノルズ数，格子乱流

連絡先：〒804-0012 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 TEL 093-884-3466 FAX 093-884-3100

中では、 $\beta=30\text{deg}$ の $Ur=180$ 前後で大振幅応答が発現した。 $\beta=40, 45\text{deg}$ については、ガスト応答のような不規則な応答が発現した。また、 $\beta=30\text{deg}$ の大振幅応答の発現風速に着目すると、一様流、 $Iu=4.6\%$ 、 $Iu=10.4\%$ の順に小さくなる傾向を示した。さらに $Iu=4.6\%$ 、 $Iu=10.4\%$ の乱流中において、高風速域では、 $\beta=30\text{deg}$ 、 40deg 、 45deg の順に応答の大きさが小さくなる傾向を示した。

次に、 $\beta=15\text{deg}$ の固有振動数が $0.996 \sim 0.997\text{Hz}$ 、対数構造減衰率が $0.00385 \sim 0.0061$ の場合の主流直角方向の応答図を図-5 に示す。一様流では、 $Ur=179 \sim 191$ の狭い風速域で大振幅応答が発現した。また、破線で示しているのは、主流方向と主流直角方向の両方に加振した場合にのみ発現した、主流方向と主流直角方向が連成したハードフラッター型の応答である。この応答は、主流方向の振幅が測定範囲の 100mm 程度かそれを超える振動であり、主流方向の大振幅の振動に伴って主流直角方向の振幅も、加振しない場合と比べて大きくなるという特徴を示した。一方、 $Iu=10.4\%$ では、 $Ur=100 \sim 230$ の一様流より広い風速域で大振幅応答が発現した。しかし、一様流のようなハードフラッター型の応答は見られなかった。

4. 変位と外力の位相差の検討

応答実験で得られた変位の時刻歴データを微分して得られる速度、加速度を振動方程式に代入することで、模型に作用する外力を算出し、さらに変位と外力との位相遅れ ϕ を、両者のクロススペクトルより算出した。図-6 に一様流の場合の位相差 ϕ と換算風速の関係を示す。図-6 をみると、 $\beta=30\text{deg}$ の $Ur=350$ 付近と、 $\beta=40\text{deg}$ の $Ur=300$ 付近および $Ur=550$ において、位相遅れが $\pi/2(\text{rad})$ に近い値を示しており、大振幅応答が発現した風速域と一致している。これより、これらの風速域において発現した大振幅応答は、共振または速度に比例する自励振動により振動が発現している可能性が考えられる。一方、位相遅れがほぼ $0(\text{rad})$ である風速域で発現した大振幅応答は、共振や通常の自励振動によるものではない可能性が考えられる。 $\beta=45\text{deg}$ に関しては、 $Ur=200$ 以降の位相遅れはばらついており、傾向がつかめなかった。なお結果は示していないが、 $Iu=4.6\%$ および $Iu=10.4\%$ の乱流中での応答の位相遅れを算出したところ、全風速域で、位相差が $0(\text{rad})$ に近い値を示しており、乱流中で発現した大振幅応答も、共振や通常の自励振動によるものではない可能性が考えられる。

[参考文献]

1) 木村吉郎 他：斜円柱に発生する大振幅空力振動の実験と応答特性の検討，第 21 回風工学シンポジウム論文集，pp.393-398，2010

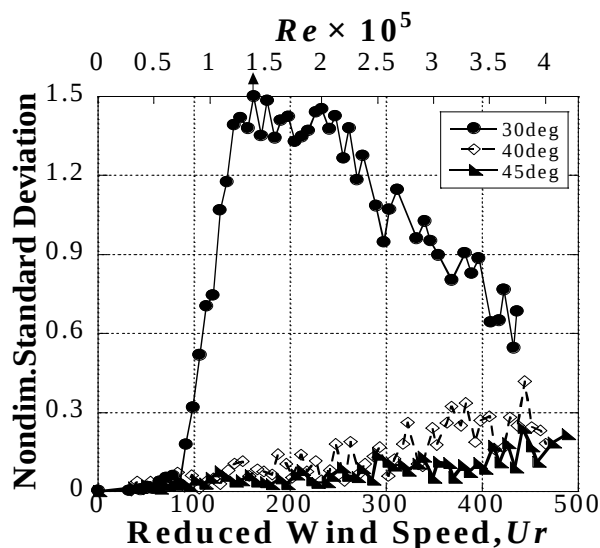


図-4 主流直角方向応答図($Iu=10.4\%$)

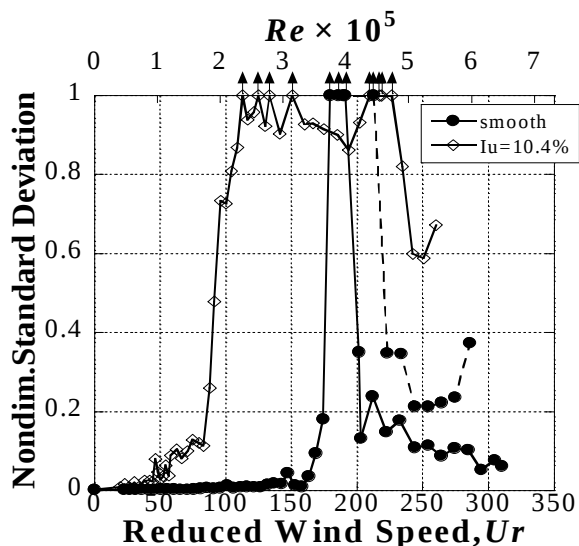


図-5 主流直角方向応答図($\beta=15\text{deg}$)

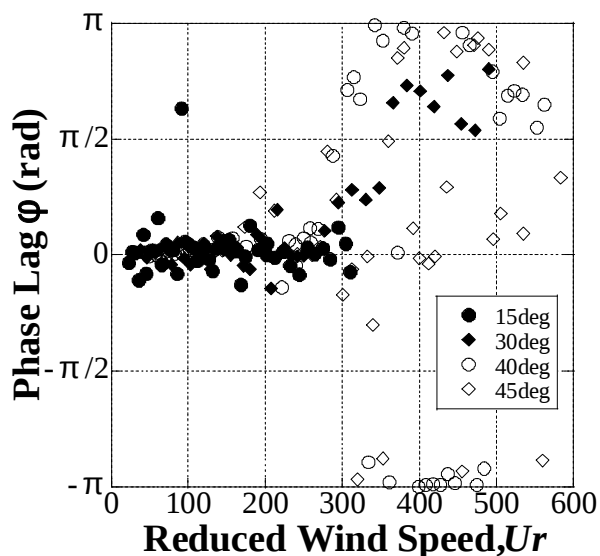


図-6 位相差(一様流)