

9. 流体関連振動

とりまとめ：石原 孟（東京大学）

論文題目：“風洞実験と気流解析に基づく台風 0314 号の最大風速の推定”

著者：石原孟，山口敦，高原景滋，銘苅壮宏，新城文博
掲載：Vol51A，pp.911-920，2005年3月

討議 [野村卓史（日本大学）]

- (1) 風洞実験と気流解析において乱れの大きさはどのように反映されているのでしょうか。
- (2) 風車設置場所の最大風速 60m/s に対して，最大瞬間風速が 90m/s という報告であったが，変動風速の推定に風洞実験結果はどのように関係しているのでしょうか。

回答：

- (1) 乱れの大きさは，風洞実験の場合にスパイヤと市街地模型により再現し，気流解析の場合に地表面の状態を表す粗度長により再現しています。
- (2) 風車設置場所における最大瞬間風速 90m/s は気流解析から求めた最大風速 60m/s（10分平均風速）と乱れの強さにより算出したものです。風洞実験結果は最大風速の推定に使用されていますが，変動風速の推定に直接使用していません。これは乱れの強さは対象地点における地表面粗度や地形の関数であるからです。

論文題目：“k-モデルにおける Logarithmic form の有効性の検討と非定常流れへの適用”

著者：長谷部寛，野村卓史
掲載：Vol.51A，pp.921-932，2005年3月

討議：[石原孟（東京大学）]

- k-モデルを用いる場合には，負の値にならないように，k-方程式の移流項に対して一次風上差分や UMIST に代

表されるような limiter を適用してきた。本手法とこれらの従来に用いられてきた手法を比較して，どのような違いがあるのかを示されたい。

回答：本手法は k_t の対数をとった新たな変数 K, E を導入し， k_t の方程式から K, E の方程式を導き，それを解いて求めた K, E の指数をとって k_t を求めるので，数学的に k_t の非負性が保証される点が従来の手法と異なっている。

本手法は基礎方程式の変更により， k_t が負になることを防ぐため，離散化手法や風上手法の選択に無関係であり，limiter を用いる際の limit 値設定の任意性に関しても無関係である。

論文題目：“風洞実験と数値計算による二箱桁断面の非定常空気力に関する研究”

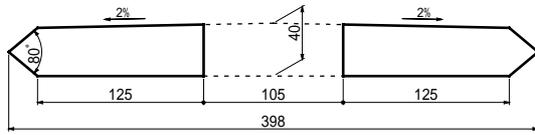
著者：杉本高志，黒田眞一，市東素明，松田一俊，上島秀作
掲載：Vol.51A，pp.933-943，2005年3月

討議 [平野廣和（中央大学）]

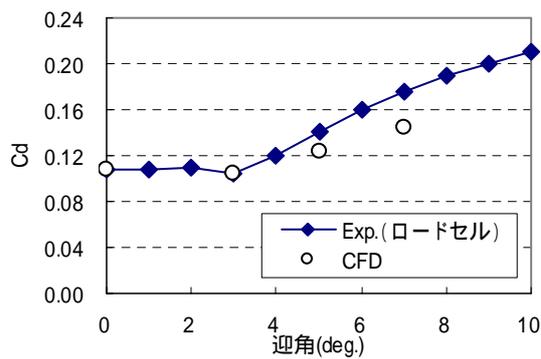
- (1) 静的空気力係数は検討されたのでしょうか。±2°までは合うがそれ以上では少し外れるが，その理由を教えてください。特に迎角が小さい角度において検討をされたのでしょうか。
- (2) 迎角が大きくなると風洞実験と差が生じるとのことであるが，それは検討されたのでしょうか。

回答：発表時に返答した静的空気力係数の特性は，補足図1に示す両端部に三角形フェアリングを有した二箱桁断面に関するものでした。論文中の形状に関する静的空気力係数の検討は行っていません。補足図1の断面の三分力試験と数値解析の結果を補足図2に示します。細かい迎角のピッチでの検討は行っていませんが，概ね迎角 0 度，+3 度

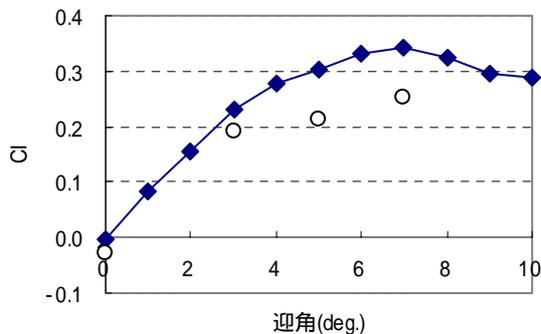
では両者はよく一致しています。しかしながら、+5度、+7度では、特に揚力係数及び空力モーメント係数の傾向が異なる事がわかります。これらの原因については、今後、表面圧力の計測を実施し、明らかにしたいと考えています。



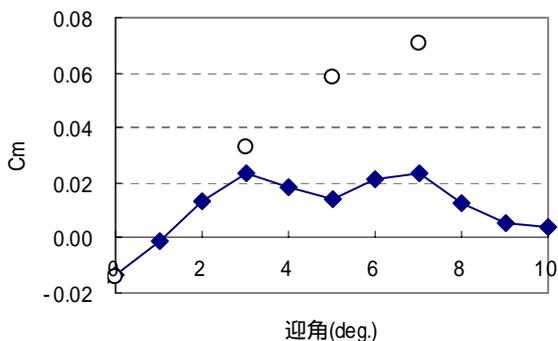
補足図1 三角形フェアリング付き二箱桁断面



(a) 抗力係数 Cd



(b) 揚力係数 Cl



(c) 空力モーメント係数 Cm

補足図2 静的空気力係数（動圧、桁幅で無次元化）

討議 [久保 喜延 (九州工業大学)]

CFD と実験との比較をされ、誤差が生じることを議論されていますが、CFD のモデル化に問題があるのではないのでしょうか。

回答：上流側桁前縁半円部後方での表面圧力分布について、レイノルズ数が低いほど（少なくとも比較を行った範囲内では）実験と計算の差が大きくなる事が確認されました。この原因を、著者らは、計算結果において境界層の層流から乱流への遷移が実験よりも早い（計算結果の遷移点の実験のそれよりも上流側にある）ためではないかと推測しました。

他の大部分の乱流モデルと同様、本論で用いた - SST モデルも遷移を正確にとらえることは出来ません（本論のケースではレイノルズ数が低い場合も含め、計算結果では前縁半円部を除いて境界層のほぼ全域が乱流境界層となっています）。そこで、上記の計算と実験との差の原因が著者らの推測のとおりであるとすれば、実験の方で、トリップワイアを用いて上流側前縁近傍の境界層を刺激して遷移を促進されることにより、計算と実験の差が解消に向かうのではないかと考えました。結果は本論で述べたとおり、両者の差が小さくなり、両者のもともとの差の原因が、計算において遷移を正確に予測できなかったことにあったことが確認できたと考えております。現状、まだ、遷移モデルの決定版といえるものはないように思われますが、将来的には、遷移モデルの組み込みも検討する予定です。

ただ、ここで、注意すべきと考えるのは、本論のケースにおいてもレイノルズ数の高い場合には、遷移の影響とみられる差がかなり小さくなっていることです。流れ計算の目的も、究極には、風洞実験同様、実橋の耐風特性の予測にある訳ですから、計算においてレイノルズ数が低い場合の予測精度の向上に精力を割くことよりも、風洞実験においても遷移の影響が大きい程度のレイノルズ数で実験を行うということの方が今回の教訓として重要であると考えます（風洞・加振装置の制約により、低換算風速のケースはどうしても低レイノルズ数となってしまいがちです）。

また、今回、遷移の影響が見られたことについて、著者らは、形状に半円断面が用いられたためとは必ずしも考えておらず、三角フェアリング等を用いた断面においても、

低レイノルズ数の場合、遷移の影響が少なからずあるのではないかと考えておりますが、これについて確かめるには今後の実験が必要です。

討議 [石原孟 (東京大学)]

(1)トリップワイアを用いた実験結果とトリップワイアを用いていない数値解析の結果と比較して、近くなったことが示されましたが、そもそもモデルが違いますので、比較の意味が不明です。数値解析の問題点を示したいのであれば、LESなど3次元解析結果と比較することが必要なのではないでしょうか。

(2)K-モデルでは曲面を持つ断面形状の空気力予測に不向きであり、円柱の空気力のレイノルズ数依存性を再現できた例がないことを考えますと、なぜこのような曲面を持つ断面形状を検討の対象に選んだかを説明されたい。

回答：

(1)比較の意味は、久保先生への回答を参照してください。現状、LESとして実施されている多くの計算に用いられている程度の格子では本論で対象とした流れ場の乱流境界層は再現されないのではないかと考えます。ここで問題としている層流から乱流への遷移に関しても同様です。

(2)まず、本論で用いたのは - モデルではなく - SSTモデルです。2方程式モデルで円柱空気力のレイノルズ数依存性が再現されないといわれるなら、仰るとおりですが、本論で対象とした断面の流れ場の特性と円柱流れの特性が異なることは本論中の結果からも明らかだと考えます。

- モデルが曲面を持つ断面の予測に不向きとされる根拠(円柱以外の)も不明ですが、壁関数使用の有無など他の要因もあるのではないのでしょうか。

本研究では、2方程式モデルを用いた二箱桁断面の非定常空気力の予測に与える断面形状の影響もパラメトリックに調べる予定でしたが、残念ながら当初の予定のように進んでおりません。ここでは第一歩として、これまで多くの例のある三角フェアリングではなく単純な半円形状としました。長大橋の断面として、今後、曲面を持つ断面の採用が検討されないとは言いきれないと考えますので、本論で対象とした断面に関する今回の検討に意味がないとは考え

ておりません。

論文題目：“センターバリア付一箱桁断面の有迎角時非定常空気力特性に関する一考察”

著者：村上琢哉

掲載：Vol.51A, pp.945-950, 2005年3月

討議 [久保喜延 (九州工業大学)]

(1)路肩防護柵とセンターバリアとの位置関係がフラッター特性を変えると考えられていますが、そのことについての検討をされているのでしょうか。

(2)高欄とセンターバリアの相対位置は効果に影響があるのか、教えていただきたい。

回答：

(1)今回は、路肩防護柵の位置を変えるなどの詳細な検討は実施しておりません。

ただし、今回の実験結果から、路肩防護柵の存在によってセンターバリアのフラッター特性(の迎角特性)は明らかに変化しております。さらに、路肩防護柵を設置した場合には迎角+9°でセンターバリア高さによってフラッター特性に大きな違いが生じていることから、路肩防護柵の位置とセンターバリアとの位置関係がフラッターの迎角特性に影響を与えていると考えております。

(2) (1)と同様ですが、今回の結果から、防護柵とセンターバリアの相対位置はフラッターの迎角特性には影響が生じると考えています。今回は、箱桁断面(B/D=6.74)の結果ですが、今後は箱桁断面でセンターバリアの一般的なフラッター特性について解明できればと考えています。

討議 [木村吉郎 (九州工業大学)]

高欄の有無がセンターバリアの効果に及ぼす影響についてのメカニズムを教えていただきたい。

回答：現段階では明確には説明はできないが、センター

バリアの剥離渦が後流側の路肩防護柵の存在によって箱桁後流端部近傍の流れが変化していると思っています。

今後、圧力計測などでメカニズムを明らかにしていきたいと考えています。

論文題目：“扁平矩形断面における微小攪乱の変動空気力への伝達”

著者：野田稔，宇都宮英彦，長尾文明，中出敦士

掲載：Vol.51A，pp.951-958，2005年3月

討議 [久保喜延（九州工業大学）]

与えられた周波数 13Hz，16Hz の根拠は，装置の特性と最小公倍数からでしょうか。

回答：送風ファンによる変動圧力などの風洞固有の変動圧力から十分に離れた周波数領域の中で，この微小攪乱を用いた研究を始めた当初に用いた攪乱生成装置が生成できる周波数の最低の値が 16Hz であり，本研究でも，当時のデータとの連続性を考えて 16Hz という攪乱が用いている。

一方，2つの攪乱を与える際には当然同じ周波数を用いることはできない訳だが，2つの周波数の最小公倍数が小さいと両者の周期性が相互干渉してしまう可能性を考慮し，16Hz よりも低い周波数で，ラウンド数の中で最小公倍数が大きくなる 13Hz を採用した。

討議 [木村吉郎（九州工業大学）]

模型なしは，平板模型としたほうが良いのではないのでしょうか。

回答：この論文では，模型の存在すなわち剥離の存在が攪乱を拡げる鍵となっていることに焦点を絞っている。無論，真鍮パイプにスプリッタ板を入れた状態でも本論文でも指摘しているような攪乱の拡大は真鍮パイプのスケールで起こっていると考えられるため，現象の有無で判断するのであれば，確かに模型なしではなくて平板模型と呼ぶべきかもしれない。しかし，平板模型と考えた場合の攪乱の

広がった範囲についてその分母となるべき情報を得ることはできず，ここでは模型を設置した状態と対比する目的に合わせて「模型なし」と呼んだ。

論文題目：“斜張橋の長支間化に伴う構造安定性に関する研究”

著者：ファムホアンキエン，山田均，勝地弘

掲載：Vol.51A，pp.959-964，2005年3月

討議 [村上琢哉（JFE 技研）]

(1)主塔上の鉛直，水平方向の境界条件はどう与えたのでしょうか。

特に鉛直方向を支承としたのか，フローティング形式としたのかを教えてください。

(2)静的変形解析について，三分力特性によっては風速 80m/s まで変形が許容値に抑えられる可能性があると思うが，ご意見をお聞かせいただきたい。

(3)空気力係数によって（特に C_m ）結果が変わってくるのではないのでしょうか。

回答：

(1)フローティング形式ではなく，鉛直方向を支持した。具体的には，主桁と主塔との連結部材を設け，主塔位置での桁の水平変位がほとんど発生しないように連結部材に適切な剛性を与えた。

(2)三分力特性だけではなく，主桁・主塔の剛性，ケーブル配置等にもよるが，風速 80m/s まで変形が許容値に抑えられる可能性は十分あると思われる。

(3)迎角の増大とそれに伴う空気力の増加の相乗作用が不安定現象の原因と考えられるため，空気力係数によって（特に C_m ）結果は当然変わってくる。ただし，今回は一般的に用いられる扁平箱桁断面を仮定した。