

数値流体解析による孤立峰後流中の流れの特性の把握

九州工業大学大学院 学生会員 ○豊田邦弘

九州工業大学大学院 正会員 木村吉郎 フェロー 久保喜延 正会員 加藤九州男

1. はじめに

山などの局所地形の影響を受ける風の特性は、通常の風洞実験で用いられる、空間的に一様な境界層乱流とは大きく異なる。そのため、複雑地形中に長大構造物を建設する際には、境界層乱流中の応答特性や通常のガスト応答解析では説明できないほど大きな応答が生じる可能性があるため、地形の影響を十分に考慮した耐風性の検討が必要となる。本研究では、こうしたメカニズムを解明する1段階として孤立峰後流中の流れを対象とした数値流体解析を実施し、実験結果と比較することによって、その詳細な特性を把握することを目的とした。

2. 数値流体解析手法

数値流体解析は、九州大学応用力学研究所により開発された、RIAM COMPACT(株式会社リアムコンパクト)を使用した。RIAM COMPACTは非圧縮性流体の連続の式と Navier-Stokes 方程式に基づいた Large Eddy Simulation(LES)により複雑地形上の非定常な風況場および拡散場をシミュレーションするものである。

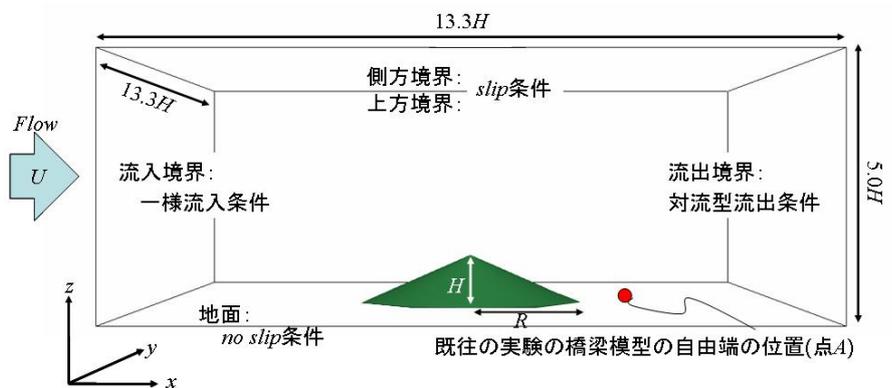


図1 計算領域と座標系

解析対象とする孤立峰モデルは風洞実験と同じ円錐形($R/H=2.25$)とした。計算領域は、主流方向(x)、主流直角方向(y)、鉛直方向(z)に $(x/H, y/H, z/H)=(13.3, 13.3, 5.0)$ とした。 H はモデル高さ、 R は孤立峰底面の半径である。計算格子は一般曲線座標系のコロケート格子により作成し、 x, y 方向には等間隔、 z 方向には格子幅を不等間隔に $(0.0003\sim 0.5)\times H$ とした。格子点数は $181\times 181\times 61$ である。境界条件は、図1に示すように、流入境界を風洞実験と同じべき指数 $1/8.3$ で一様流入条件を課し、側方境界面と上方境界面はslip条件、流出境界面は対流型流出条件、地面は風洞実験と同じ条件とするために、no-slip条件である。時間刻みは $\Delta t=2.0\times 10^{-3}H/U$ とした。なお、本研究では、既往の風洞実験において片持ち梁模型の大きな応答が測定された自由端の位置(孤立峰中心を原点として $(x'/R, y'/R)=(1.48, -0.15)$ の位置)を点Aとして、この点での風速の特性に着目する。

3. 解析結果と考察

3.1 基本的な風の性質

点Aにおける変動風速の主流方向成分 u のパワースペクトルを図2に示す。スペクトルの大きさに違いはあるが、卓越周波数は実験と解析のいずれも0.7程度とほぼ一致している。また、平均風速についても実験値、解析値ともに $\overline{u}/U=0.45$ (U は境界層外の設定風速)程度となっており、解析は概ね実験値を再現している。

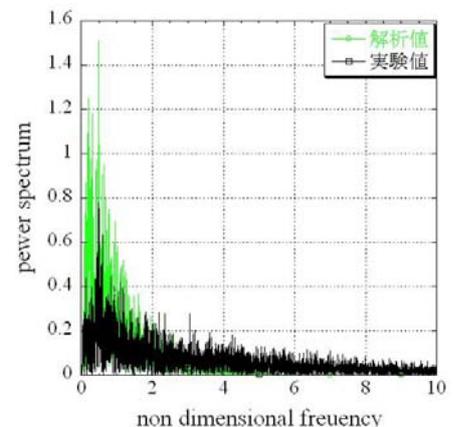


図2 パワースペクトルの比較

キーワード：孤立峰、後流、変動風速、条件付サンプリング、ガスト応答

連絡先：〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 Tel(093)884-3466 Fax(093)884-3100

3.2 条件付サンプリング

既往の研究¹⁾では、片持ち梁模型に大きな水平応答が生じる時刻の直前に、吹き降ろしの変動風速が見られたとされている。そこで、大きな吹きおろしの変動風速の発生を条件とした条件付サンプリングを、点Aにおける u 成分に対して行った(図3)。ここでの条件付サンプリングは、鉛直成分 w 成分の標準偏差の3.0倍以上の大きな吹き降ろし成分の変動風速のピークを基準とし、それに対応した u 成分を抽出し、それぞれをアンサンブル平均するものであり、大きく吹き降ろす場合の平均的な風速変動を得ることを試みたものである。図3によると、得られた変動風速の大きさに違いはあるが、 w 成分に大きな吹き降ろしが生じるときには、主流方向の u 成分も大きくなるという傾向は一致している。このような、橋梁模型に大きな水平応答を生じさせていると考えられる流れの構造は、解析でも捉えられているものと思われる。

3.3 孤立峰後流域の平均風速

孤立峰後流域の平均的な風速の変動特性を把握するために、橋梁模型高さにおける平均風速ベクトル(u - v 成分)を図4に示す。図中の黒点は点Aである。孤立峰を迂回し、風速を増した流れが点Aに向かっている。また、孤立峰の斜面域には、渦のような流れが平均的に発生しているようである。

3.3 風速が大きくなるときの孤立峰後流の構造

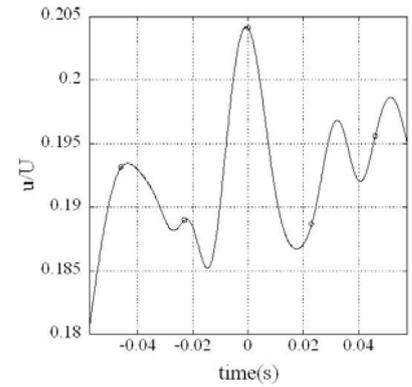
孤立峰後流に位置する構造物に大きな応答を生じさせるような変動風速の空間的な構造の把握を試みる。具体的には、孤立峰後流域の構造物の大きな水平応答に最も影響が大きいと考えられる、主流方向 u 成分の標準偏差の3.0倍以上という条件で、3.1節と同様の方法で条件付サンプリングした結果をベクトル図として表す(図5)。条件付サンプリングは、点Aの位置の高さの異なる5点で行っており、時間変化をその点での平均流速を乗じることにより、換算座標の違いによる変化として示している。図5を全体的に見て、 u 成分が大きくなるときには吹き降ろす傾向が強いことが見て取れ、特に橋梁模型位置付近($x'/R=1.48$)では、風速が大きくなっていることがわかる。これは既往の研究¹⁾において見られた傾向と同様であり、この変動風速が模型の応答に大きく影響していると考えられる。

4. まとめ

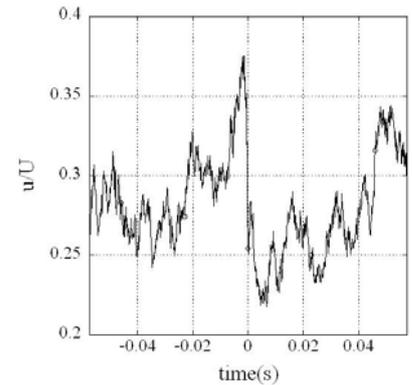
RIAM COMPACT による数値流体解析によって、風洞実験の傾向は概ね再現できた。孤立峰後流、特に橋梁模型設置位置では、 u 成分、 w 成分が大きな影響を持ち、それらの風速が同時に大きくなるときに、橋梁模型に大きな応答を生じさせていると推察される。

【参考文献】

¹⁾木村他 第63回年次学術講演会概要集 I-283 土木学会 2008



(a) 解析結果



(b) 実験結果

図3 条件付サンプリングした主流方向 u の時刻歴

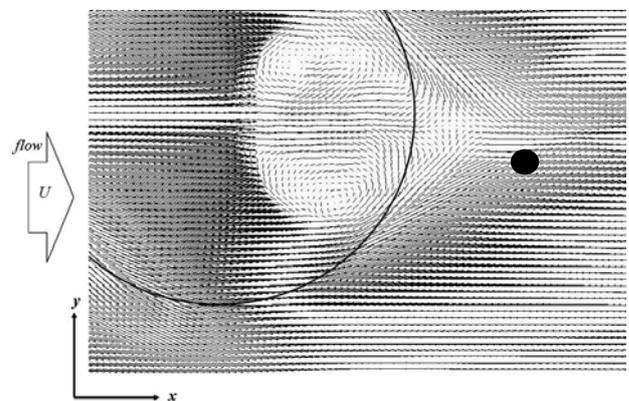


図4 平均風速ベクトル(実験での橋梁模型高さ)

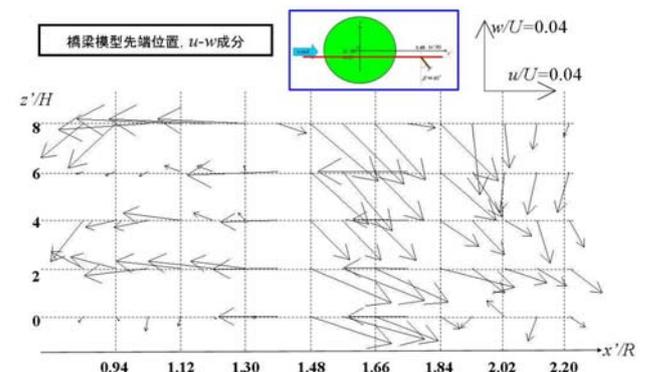


図5 条件付サンプリングしたベクトル図 (u - w 成分, 橋梁模型位置)