H1-12

VMS 有限要素法を用いた正方形角柱の空気力評価に関する検討

Study on aerodynamic characteristics of a square cylinder by using the VMS finite element method

○布施　慶多[1]，長谷部　寛[2]，野村　卓史[2]

Keita Fuse[1]，Hiroshi Hasebe[2]，Takashi Nomura[2]

Abstract:　The variational multiscale (VMS) finite element method is adopted to the numerical study of aerodynamic characteristics of a square cylinder. For the purpose of the validation, wind tunnel experiment to measure aerodynamic forces acting on square cylinders were conducted by ourselves. We compared the numerical result and the experimental result. As a result, the mean drag coefficient, the fluctuating lift coefficient and the Strouhal number were in good agreement with the experimental ones. However, the fluctuating drag coefficient of the numerical result was smaller than that of the experimental result.

1．はじめに

近年，数値流体解析が風工学の様々な問題に適用されている．橋梁の耐風設計においてもその適用が進められている[1)]．一方で，有限要素流れ解析の分野では，変分マルチスケール理論に基づく新たな乱流モデル Variational Multi-Scale method（VMS 法）[2)] が提案された．VMS 法は離散化方程式の残差に基づく乱流モデリング法をベースとしており，層流から乱流までの幅広い流れに適用可能とされている．しかし，角柱のような bluff body まわりの流れへの VMS 法の適用性の検討は十分に行われていない．そこで本研究では，自ら風洞実験を実施し，正方形角柱に作用する空気力を測定するとともに，同条件の数値流体解析を実施し，VMS 法の適用性を検討した．

2．正方形角柱の空気力測定のための風洞実験

正方形角柱に作用する空気力を測定するため，日本大学理工学部空気力学研究センターの水平式閉鎖回流型風洞を用いて実験を行った．測定胴の断面は一辺 2m の正方形であり，長さは 5.3m である．角柱を水平に設置するため，測定胴の中に図 1 に示す架台を設置した．角柱の両端には流れの一様化を目的として，長さ 1.82m，高さ 0.91m の導流壁を設置した．角柱は辺長 D=0.05m および 0.10m の 2 種類を用い，導流壁の内側の角柱スパン長は 1m とした．

風洞風速 U を 6m/s, 12m/s として空気力を 30 秒間測定した．迎角の影響を確認するため，角柱の迎角を＋15°から－15°まで 1°ピッチで変えて測定した．測定結果を図 2 に示す．迎角 0°の抗力係数C_Dは，一般的に言われるC_D=2.0 に近く，他の研究同様±13°付近で失速角を迎えた[3)]．抗力係数C_D，揚力係

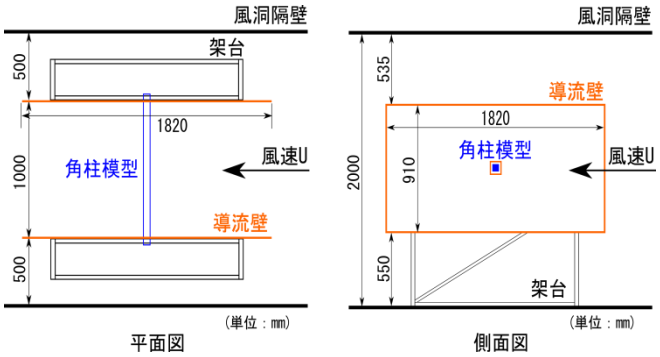

図-1 測定胴内に設置した架台と角柱模型

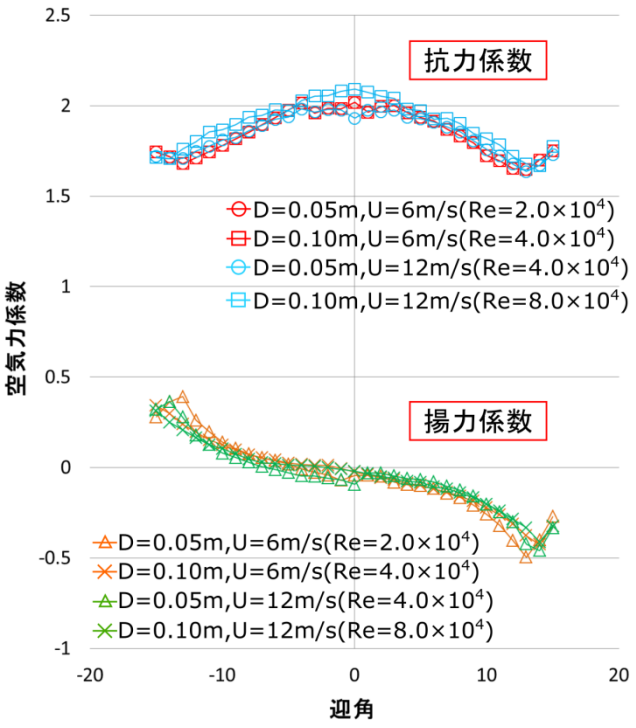

図-2 正方形角柱の抗力係数および揚力係数

1:日本大学・院（前）・土木　　2:日大理工・教員・土木

数C_Lともに角柱辺長に依存しなかったことから，レイノルズ数の影響は見られないことが確認できた．

3．数値流体解析による正方形角柱の空気力評価

VMS 有限要素法 [4] を用いて，風洞実験と同条件の解析を行い，正方形角柱に作用する空気力を評価した．図-3 に解析条件を示す．角柱辺長は D=0.05m とし，迎角は 0°のケースを解析した．流入境界では風速 U=6m/s の一様流を与えた．風洞実験を模擬した解析領域に対し，六面体八節点要素を用いて有限要素分割を行った．解析メッシュは節点数 108633，要素数 101184 である．解析は MPI による並列計算（スパン方向 12 分割）で行った．

4．解析結果

図-4 に角柱スパン中央の鉛直断面の流速ベクトル図を示す．角柱後方に周期的な渦放出がみられた．

迎角 0°の風洞実験の結果と数値流体解析の結果を比較した．表-1 に平均抗力係数C_D，変動抗力係数$\widetilde{C_D}$，変動揚力係数$\widetilde{C_L}$，ストローハル数S_tの比較結果を示す．伊藤らの LES による解析 [5]，Lee の実験値 [6] とも比較した．なお，平均揚力係数C_Lはゼロであるので省略する．

本解析の平均抗力係数C_Dは，本研究の実験値，Lee の実験値に一致する良好な結果であった．一方で，変動抗力係数$\widetilde{C_D}$は，本研究の実験値，Lee の実験値，伊藤らの解析値に比べて過小な値となった．この要因として角柱まわりのメッシュ分割数が十分でないことが考えられるが，詳細は現時点では明らかでない．変動揚力係数$\widetilde{C_L}$は，本研究の実験値に近い値であったが，Lee の実験値，伊藤らの解析値よりも小さく，本研究の実験結果とあわせて更なる検討が必要である．ストローハル数S_tは比較した全てのケースと同じ良好な結果が得られた．

5．まとめ

本研究では VMS 有限要素流れ解析法の bluff body まわりの流れへの適用性を検討するため，正方形角柱の空気力に着目し，自ら風洞実験を実施してそれと同条件の解析を行った．得られた空気力係数は概ね良好であったが，メッシュ分割数の影響について検討が必要である．現時点では迎角 0°のケースのみの検討であるため，今後は他の迎角についても解析を行う予定である．

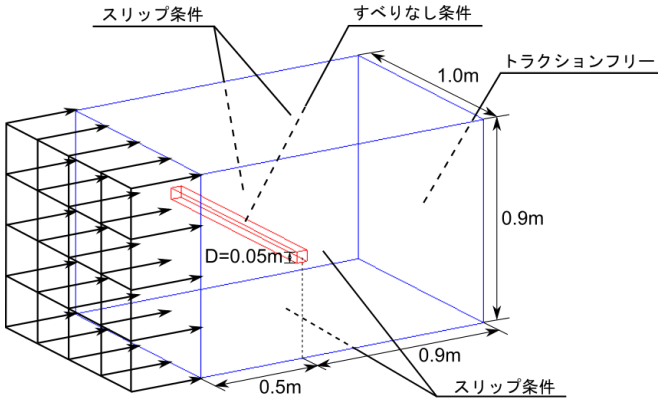

図-3 解析条件図

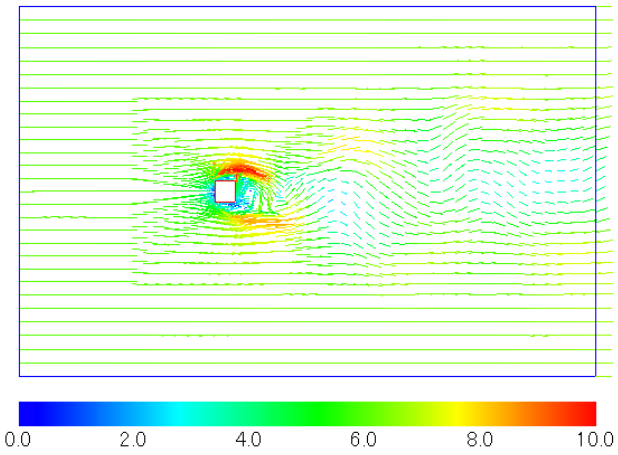

図-4 流速ベクトル

表-1 空気力係数およびストローハル数の比較

case	C_D	$\widetilde{C_D}$	$\widetilde{C_L}$	S_t	Re
解析（VMS,本研究）	2.05	0.07	0.77	0.13	2.0×10^4
実験（本研究）	2.05	0.24	0.82	0.13	2.0×10^4
解析(LES,伊藤ら)	2.30	0.21	1.41	0.13	2.2×10^4
実験(Lee)	2.05	0.23	1.23	0.12	17.6×10^4

参考文献

1) 石原孟，日本風工学会誌, Vol.34, pp.457-464, 2009.
2) Y. Bazilevs, et al., *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol.197, pp.173–201, 2007.
3) 石原孟ら，土木学会論文集 A, Vol.62, pp.78-90, 2006.
4) 伊藤靖晃ら，構造工学論文集, Vol.59A, pp. 620-621, 2013.
5) 宮田秀太，日本大学大学院理工学研究科修士論文, 2009.
6) Lee, B. E. : Effect of turbulence on the surface pressure fieldof a square prism, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 69, pp. 263-282, 1975.