

LES の SGS モデルによる中層市街地に置かれた高層建物の風圧の予測

Wind Pressure Distributions on a High-rise Building in the Actual Urban Area using SGS Models for LES

- ファム バン フック , 清水建設 (株) , 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17, p_phuc@shimz.co.jp
- 野津 剛 , 清水建設 (株) , 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17, nozu@shimz.co.jp
- 菊池 浩利 , 清水建設 (株) , 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17, h_kikuchi@shimz.co.jp
- 日比 一喜, (株) 数値フローデザイン, 〒141-0022 東京都品川区東五反田 1-10-10, hibi@nufd.jp
- Pham Van Phuc, Shimizu Corporation, 3-4-17 Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135-8530
- Tsuyosi Nozu, Shimizu Corporation, 3-4-17 Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135-8530
- Hirotooshi Kikuchi, Shimizu Corporation, 3-4-17 Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135-8530
- Kazuki Hibi, Numerical Flow Designing, 1-10-10 Higashigotanda, Shinagawa-ku, Tokyo 141-0022

Large negative pressures are observed experimentally on the sidewall of a rectangle building with a setback in a local pressure zone. Numerical simulations using two types of subgrid-scale (SGS) models, Standard Smagorinsky model (SM model) and Coherent Structure Smagorinsky model (CSM model) for Large Eddy Simulation (LES) with two meshes in different resolutions, are carried in a low-turbulence uniform flow to clarify the phenomena and the sensitive of the SGS models in prediction of the local negative pressures. The CSM model gives more accurate results than the SM model even by the low mesh resolution.

1. はじめ

数値流体解析では高解像度計算格子を用いて大規模計算を行う場合, 利用している数値モデルによってその計算負荷や計算精度が大きく左右される. 著者らは建物壁面の風圧予測において, 直方体やセットバック等の単体・単純断面形状を有する建物を対象にして, 異なる SGS モデルによる LES の結果と実験結果との比較により, Coherent-Structure Smagorinsky モデル (以下, CSM モデル) の優位性を確認した²⁾.

本研究では, 実市街地内のより複雑な実建物形状への適用性を吟味するために, 中層市街地内に計画された高層建物を対象にして, 一般的に使われている標準 Smagorinsky モデル⁸⁾ (以下, 標準モデル) と, CSM モデル⁹⁾の異なる SGS モデルによる LES を実施した. また, 実験結果等との比較検討を行うとともに, 建物壁面に作用する外圧係数の予測精度を評価する.

2. 実験と解析の概要

対象とした実建物は幅 63m, 奥行き 34m の長方形平面を有する高層建物 (高さ $H=106\text{m}$) である. 建物の外壁には幅約 0.4m の耐震断熱パネルが配置されており, 凹凸のある表面となっている. 周辺には高さ 30m 程度の中層建物が密集している. 図-1 に実験の写真と対象建物の一般階の平面と風圧計測位置を示す. 実験では, 模型縮尺を 1/400 とし, 対象高層建物を中心に半径 600m 以内にある周辺建物を再現している. 実験気流は地表面粗度区分 III (ベキ指数 $\alpha=0.2$) 相当としている. 風向は周辺建物の影響が強いと思われる 60° に設定し, 風圧実験を行った.

解析では, スパイヤーとラフネスブロックを含めた風洞の助走路および測定部分をほぼ忠実に再現した. 図-2 は幅 3.5m×高さ 2.5m×長さ 30m での解析領域の鉛直断面である. 境界条件としては, 軒高 H の風速が 10.5m/s になるように流入境界で $U_0=15\text{m/s}$ の一様流入風速を与え, 流出境界では自由流出とした. 風洞壁面や建物壁面上では no-slip 条件とした. 図-3 は対象建物近傍での計算モデル外観とその拡大図である. 対象建物周辺の計算格子は 0.5mm 以下まで細分化し, 総格子数は約 1.4 億である.

LES の SGS モデルとしては, 標準モデルと CSM モデルの 2 種類を採用した. 標準モデルは, Smagorinsky 定数 $C_s=0.13$ を用い,

壁面近傍ではサブグリッドスケール応力が過大にならないように van Driest 減衰関数を用いて C_s を補正した. 一方, CSM モデルでは, 壁面での減衰関数を必要とせず, C_s はひずみ速度テンソルと渦度テンソルの関数として定義されている.

解析コードはオープンソース OpenFOAM である. なお, 計算格子の作成方法と解析スキーム等については文献 2 を参照されたい. 計算時間刻みを $\Delta t=2.5\times 10^{-5}$ 秒として, 最初の 3 秒は助走計算とし, 次の 6 秒 (実時間で 10 分間相当) を評価対象時間とした. これは風洞実験での 1 サンプル長と等しい. 風洞実験結果と比較するため, 得られた風圧は実験と同様に実時間 0.5 秒で移動平均を行い, 外圧係数の平均値, 標準偏差およびピーク値を整理した.

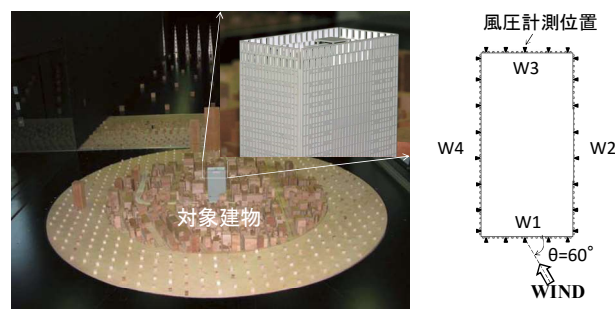


図-1 風洞実験の様子と一般階平面での風圧計測位置

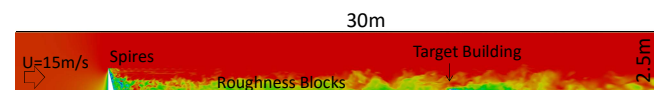


図-2 解析領域の鉛直断面

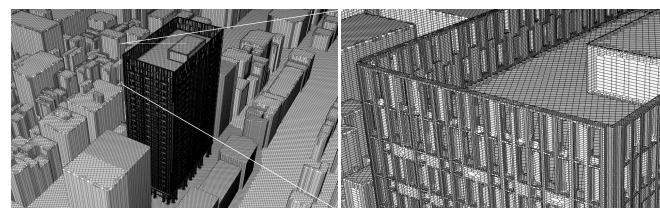


図-3 対象建物近傍の計算格子とその拡大図

3. 考察

3.1 建物に作用する外圧風圧

図4は標準モデル及びCSMモデルを用いた場合の対象建物の平均外圧係数である。図5はこれらのモデルを用いた場合の負側のピーク外圧係数である。いずれの結果は、壁面 W1 の右上部分に正圧、左下部分に負圧が、壁面 W4 右部分に強い負圧が発生しており、建物壁面にやや特殊な風圧分布性状が示されている。なお、標準モデルの結果と比べて、CSMモデルでは壁面 W1 や壁面 W2 において同様な結果を得られたが、壁面 W3 と壁面 W4 において負圧分布が顕著に生じることが分かる。

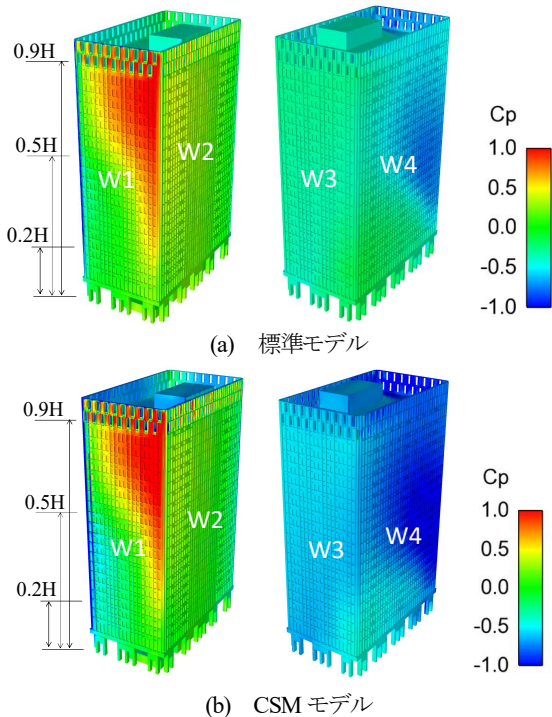


図4 対象建物の平均外圧係数 (前面：左，背面：右)

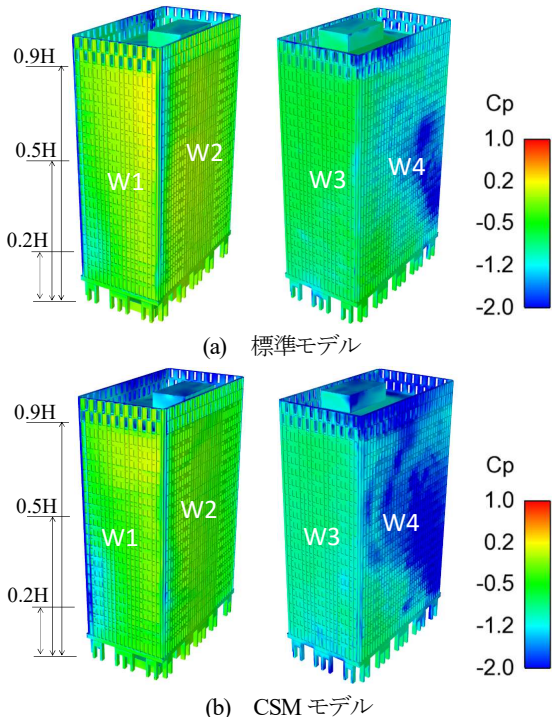
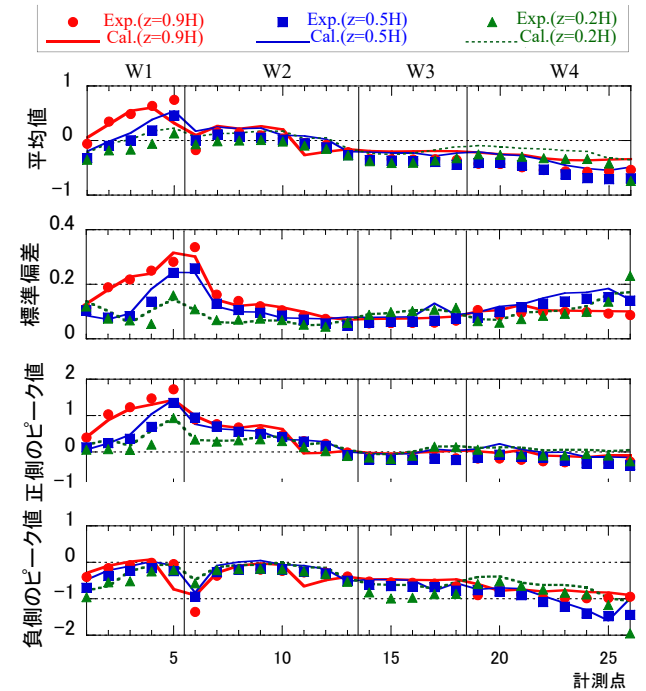


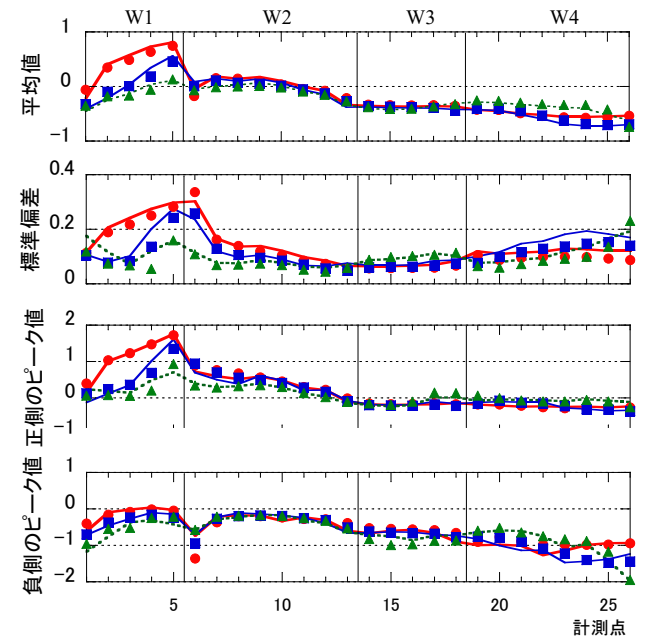
図5 対象建物の負側ピーク外圧係数 (前面：左，背面：右)

図6には風洞実験と標準モデル及びCSMモデルによる低層部と中層部および高層部 (高さ $z=0.2H, 0.5H, 0.9H$) での外圧係数の水平分布を示す。壁面 W2 と W3 の外圧係数は高さ方向に殆ど変化しないのに対して、壁面 W1 の外圧係数は、平均値、標準偏差、および正側ピーク値が高層部ほど大きくなっている。壁面 W4 では低層部 $z=0.2H$ で大きな負側のピーク値-2 (計測点 26) が生じている。

標準モデルを用いた場合、前面とした壁面 W1 と W2 の角での高さ $z=0.9H$ では、また背面とした壁面 W4 では外圧係数の平均値、標準偏差および負側のピーク値はやや過少に評価されている。一方、CSMモデルを用いた結果は、特に壁面 W4 での負側のピーク値-2 を良く再現し、実験結果とほぼ良い一致を示すことが分かる。



(a) 標準モデル



(b) CSM モデル

図6 高さ $z=0.2H, 0.5H, 0.9H$ での外圧係数分布

で得られたものである (課題番号: hp140055)。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) Kobayashi, H.: The subgrid-scale models based on coherent structures for turbulent channel flow, Phys. Fluids 17, 2005.
- (2) Smagorinsky, J. (1963): General circulation experiments with the primitive equations. I. The basic experiment, Monthly Weather Review, Vol.91, pp.99-164, 1963
- (3) ファムバツク, その他: LES によるセットバックした建物の局部風圧の検討, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, pp.359-364, 2012.
- (4) ファムバツク, その他: LES の SGS モデルによる一様流中のセットバックした建物の局部風圧の検討, 第 23 回風工学シンポジウム論文集, pp.463-469, 2014.

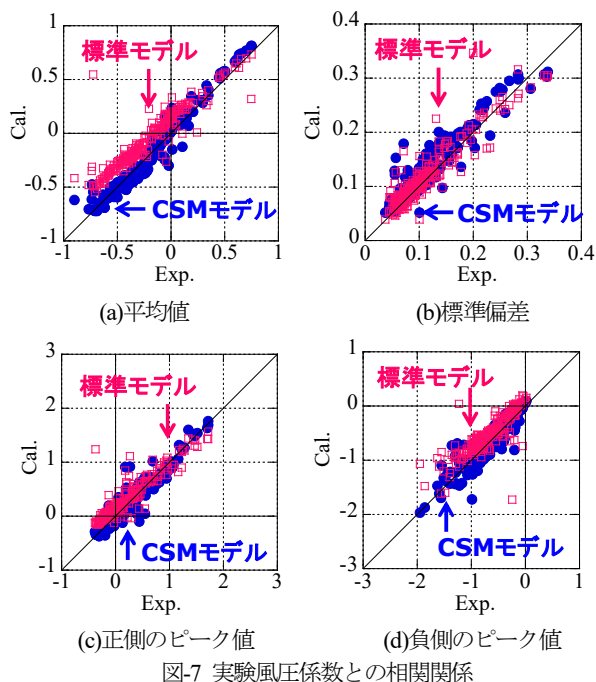


図-7 実験風圧係数との相関関係

図-7に、外圧係数の平均値の標準偏差、および正・負側のピーク値の実験結果と、それぞれの標準モデルおよび CSM モデルを用いた計算結果の相関を示す。ここで、計算結果は実験模型の 271 点の風圧測定点位置に対応する点での値である。いずれの SGS モデルについても実験と計算の相関は概ね良好であるが、標準モデルの結果はややバラツキが大きいことが分かる。

3.2 対象建物近傍の流れ場

建物壁面に作用する風圧分布性状を明らかにするために、CSM モデルを用いた風速分布を調べた。図-8 に対象建物近傍の、高さ $z=0.2H, 0.4H, 0.6H, 0.8H$ での水平断面の平均風速分布を示す。高さ $z=0.2H$ では、周辺の密集建物群の影響により、ほぼ街路に沿って流れている。高さ $z=0.4H$ と $0.6H$ は、殆どの周辺建物群の高さを上回っており、上流また後流に隣接する高層建物の影響のみが顕著に現れ、対象建物角から生じた剥離せん断層や上流側の高層建物からの剥離せん断層が大きく変形している。高さ $z=0.8H$ では、隣接高層建物の高さを上回るため、ほぼ対象建物単体での流れ場に近い流れが生じている。これらにより、図4、5に示すように前面とした壁面 W1 の右上部分に正圧、左下部分に負圧が、側面 W4 右部分に強い負圧が発生するなど、隣接建物の影響により建物壁面にやや特殊な風圧分布性状が生じることが分かる。

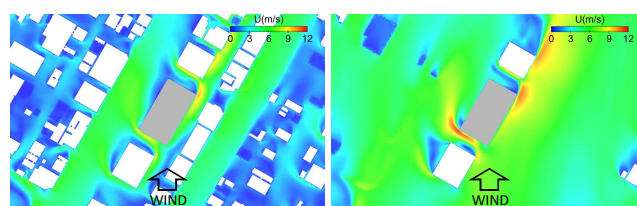
図9はCSMモデルを用いた場合に換算された平均Cs値である。Csは標準モデルを用いた場合に0.1~0.2の定数を用いると言われているが、CSMモデルから換算された平均Cs値は渦の強い剥離している領域に大きな値の空間分布を示すことが分かる。

4. まとめ

本研究では、中層市街地内に建てられた実建物を対象にして、CSM モデルを用いた LES の計算結果を検討した。対象とした建物は隣接高層建物の影響を強く受けており、壁面風圧分布性状にそれが現れている。また、各層での外圧係数分布の比較により、CSM モデルの解析結果が標準モデルと比べて風洞実験結果と良く一致していることが確認できた。

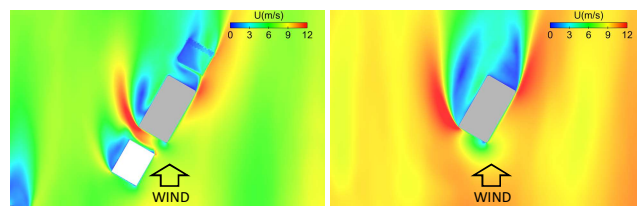
謝辞

本検討は、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」を利用し



(a) $z=0.2H$

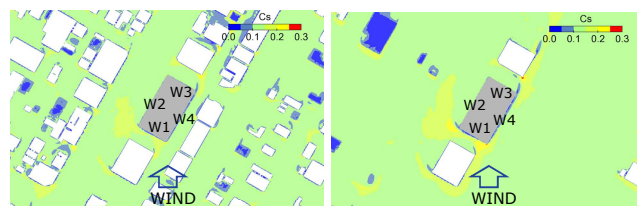
(b) $z=0.4H$



(c) $z=0.6H$

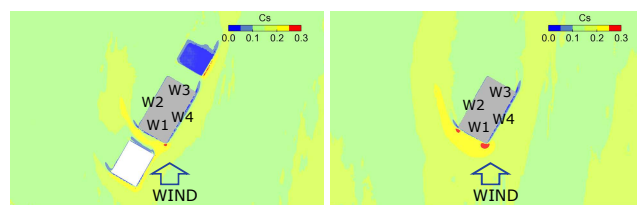
(d) $z=0.8H$

図-8 対象建物近傍の水平断面での平均風速分布 (CSM モデル)



(a) $z=0.2H$

(b) $z=0.4H$



(c) $z=0.6H$

(d) $z=0.8H$

図-9 CSM モデルの換算された平均 Cs 値