

中高層オフィスビルの風力・重力併用型自然換気設計に関する研究 (その1) 風洞実験と換気回路網計算による自然換気量評価

正会員○田中比呂美^{*1} 同 小林 知広^{*2} 同 甲谷 寿史^{*3}
同 梅宮 典子^{*4} 同 落合奈津子^{*5}

4. 環境工学 - 13. 空気流動応用

自然換気 換気量評価 換気回路網 風洞実験

1. はじめに

空調負荷削減やBCP対応のため、近年事務所ビルで自然換気の積極的な導入が見られる¹⁾。本格的な自然換気設計には換気回路網やCFD等の検討が有効だが、比較的短期間での設計が求められる場合これらの検討は容易ではない。一般的な自然換気設計手法は確立されていないため換気口面積等の設計条件は設計者の経験や前例を参考にしていることが多く、汎用的かつ簡易な自然換気設計手法が必要と言える。本研究ではその提案を最終目的とし、本報では通風型及びシャフト型を組み合わせた自然換気設計を行った実建物を対象として熱・換気回路網による換気量算定を行う。その上で自然換気口面積や換気経路の抵抗を変更したパラメトリックスタディを行い、設計条件と換気量の関係についての知見を得る。

2. 解析対象とする実在オフィスビルの概要

図1に対象建物の基準階平面と断面計画を示す。階高は4.2mで自然換気導入階のうち3階から8階を低層フロア、9階から11階を高層フロアと称する。自然換気口(1箇所あたりの開口面積は0.194 m²)は執務室北側(NV-N)に8個、南側(NV-S)に12個設けられ、コア部に高層用シャフトと階段室兼用の低層用シャフトを有する。主風向は春期と秋期でそれぞれSとNNWである。図2に意図された換気経路を示す。低層フロアでは換気口から外気が執務室に流入し、天井裏から廊下を介して低層用シャフトへ流入した後にシャフト上部のバランス式逆流防止窓から排気され

る。高層フロアは天井裏までは低層フロアと同様でその後パスダクトを介して高層用シャフトへ流入し、シャフト上部から排気される。

3. 風洞実験による風圧係数の取得

3.1 実験概要

換気回路網計算のための風圧係数取得を目的として風洞実験を行った。実験は図3に示す大阪市立大学研究用風洞(エッフェル型)で行い、対象建物を中心に直径480mの範囲を縮尺1/400で再現し、境界層流下で風圧測定を行った。実験での建物再現範囲を図4に示す。図5にI型熱線流速計を用いて1.0 kHz, 60sで測定したアプローチフローの風速と乱流強度のプロファイルを示す。風洞内風速は床上500mm高さのピトー管位置で10m/sに設定した。風圧係数の基準動圧はピトー管動圧と風速プロファイルにより算出した対象建物高さ(床上120mm)における外部風速の動圧とする。図6に対象建物模型(2.0mm厚アクリル板製)と風圧測定点を示す。測定点は自然換気口高さで各階の北南面それぞれに3点ずつ、低層シャフトについては屋上階の排気窓位置に上下2点、高層シャフトについては屋上階排気窓位置で北・西・南面各1点ずつ、計59点を微差圧計(Validyne社, DP45)により16風向で測定した。風圧測定は各点100Hzで30sとし、風洞内基準静圧はピトー管の静圧とした。

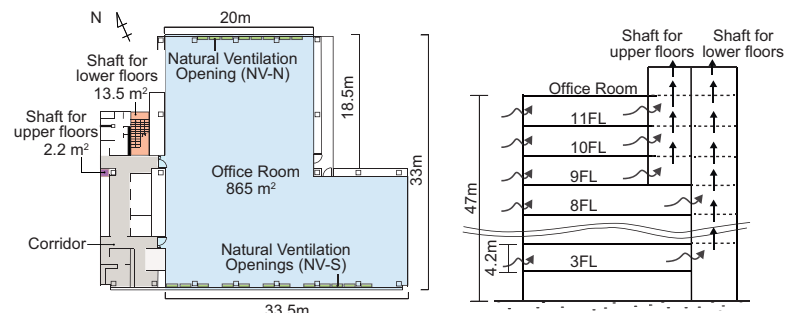


図1 対象建物の平面(左)及び断面(右)

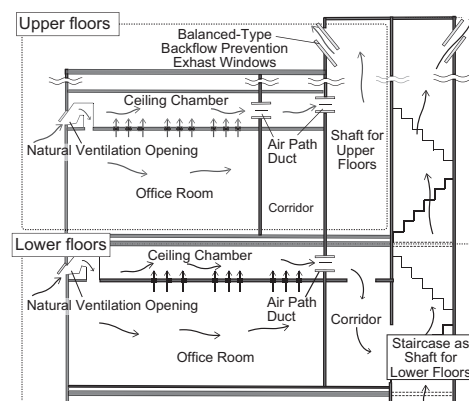


図2 解析対象建物で意図した換気経路

Design Method of Wind and Buoyancy Induced Natural Ventilation System for High and Medium Rise Office Building
(Part1) Natural Ventilation Rate based on Wind Tunnel Test and Flow Network Model

TANAKA Hiromi, KOBAYASHI Tomohiro, KOTANI Hisashi, UMEMIYA Noriko, OCHIAI Natsuko

3.2 実験結果

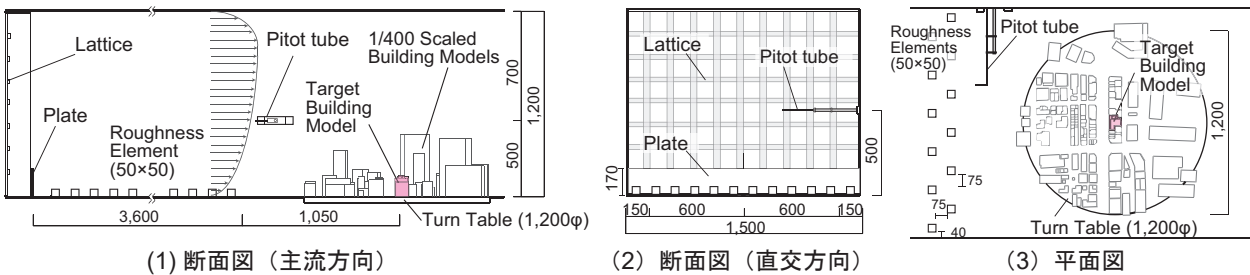
図7に16風向の風圧係数を示す。低層階では周辺建物の影響で概して壁面間の風圧係数差が小さく、水平換気の駆動力は小さいためシャフトを介した自然換気が期待される。上層階では通風とシャフト換気の両者が期待される。次章では、得られた風圧係数を境界条件に用いて回路網計算を行う。

4. 原設計モデルの熱・換気回路網計算

4.1 計算概要

実建物の自然換気量を回路網計算により評価する。外気温は20℃、風速は拡張アメダス標準年気象デー

タ中間期就業時間帯の平均値 4.1m/s、風圧係数は風洞実験値として定常計算を行う。自然換気口の風圧係数は北南面それぞれ3点平均、低層シャフト排気口は2点平均とした。図8に回路網を示す。外壁はガラス面とセメント板で熱抵抗を区別した。換気抵抗の入力値を表1に示す。階段室は文献値²⁾を参考に、高層用シャフトは摩擦損失を想定して流量係数を与えた。執務室-シャフト間(パス)の抵抗は天井開口やパスタクト等の有効開口面積の結合値から与えた。内部発熱は執務室で36.625[W/m²]として日射は無視した。風向は16風向+無風とし、風向Sでは外部風速1.0, 3.0, 10[m/s]でも計算を実施した。



(1) 断面図 (主流方向)

(2) 断面図 (直交方向)

(3) 平面図

図3 風洞内断面図 (内法寸法 [mm])

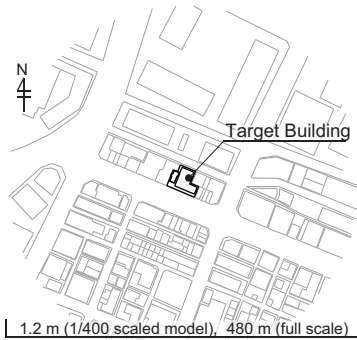


図4 配置図

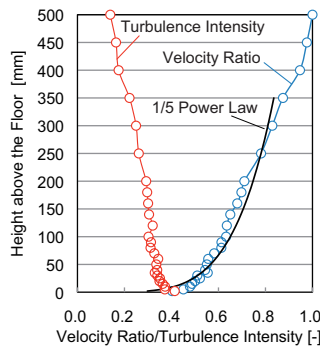
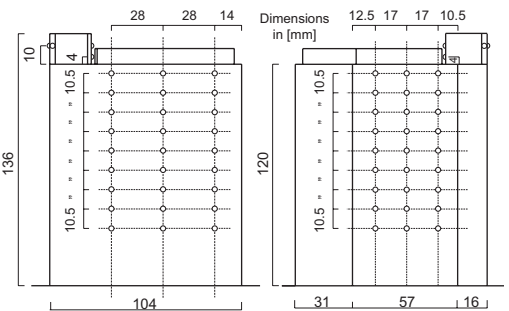


図5 アプローチフロー



(1) 南側 (2) 北側
図6 縮小模型と測定点

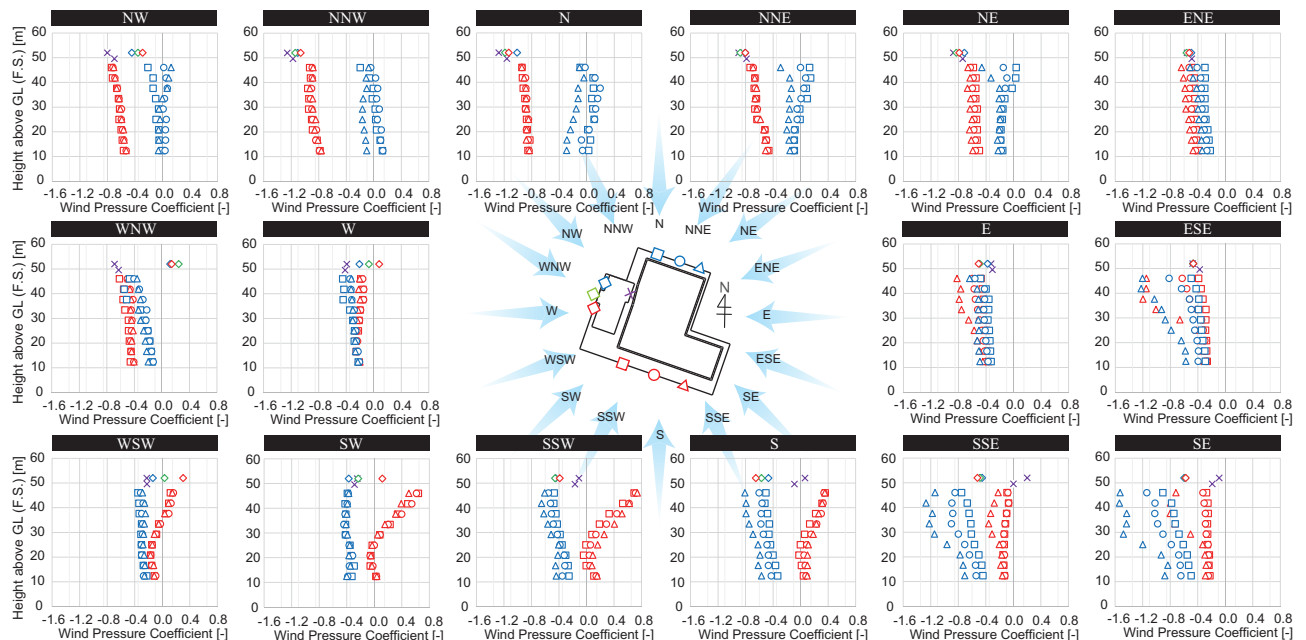


図7 風洞実験から得られた風圧係数

4.2 解析結果と考察

図9に例として無風時、E、S、WNW、NNWの風向での換気量と水平換気率（HVR）を示す。換気量の横軸は各開口からの流入量を表し、自然換気口からの流入のみを新鮮外気とみなしてその合計を有効換気量とした。HVRは自然換気口から流入する外気のうちシャフトに流れず他方の自然換気口から流出する空気の割合とした。換気量はフロア間でばらつきはあるが、無風時はシャフトによる換気が安定して行われ、0.6~2.0 [1/h] 程度の換気回数となった。外部風下では通風が促進されるが、特に温度差による駆動力が小さくなる上部階で有効に働き全体的に2~3倍の自然換気量となり、自然換気システムが有効に働くと考えられる。図10に風向Sで外部風速を変更した際の結果を示す。風速1.0 [m/s]では無風時同様1.0~2.0 [1/h]程

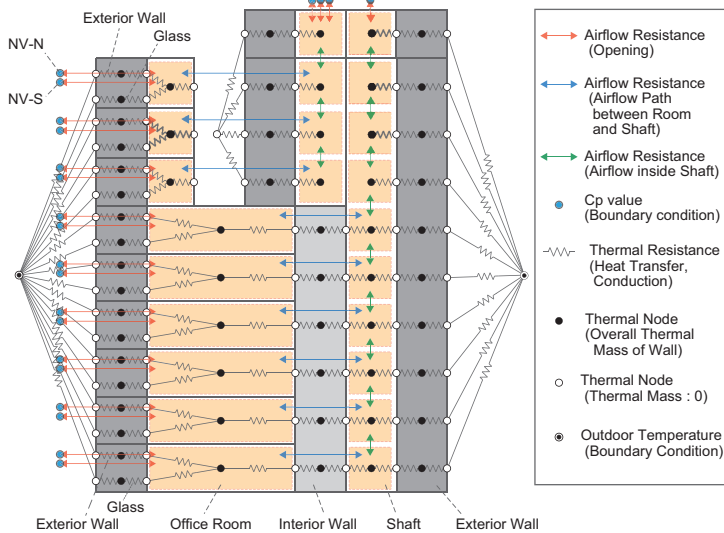


図8 対象建物の熱換気回路網

度の換気回数で、風速の増加とともに換気量とHVRの増加が見られ、シャフト型と通風型の自然換気を併用する効果が示された。

5. 標準モデルの熱・換気回路網計算

自然換気設計条件の変更が自然換気量に及ぼす影響について体系的な知見を得るため、標準的な自然換気建物を想定して主な設計条件についてのパラメトリックスタディを行う。建物形状及び風圧係数は前章と同様とするが、設計条件が換気量に及ぼす影響の基本的な傾向を把握するため、シャフトが1本で執務室南北それぞれの自然換気口総面積を等しくした建物モデル（標準モデル）を対象とする。ここでは「1フロアの自然換気口の有効開口面積合計 ($\alpha A_{opening}$)」と「執

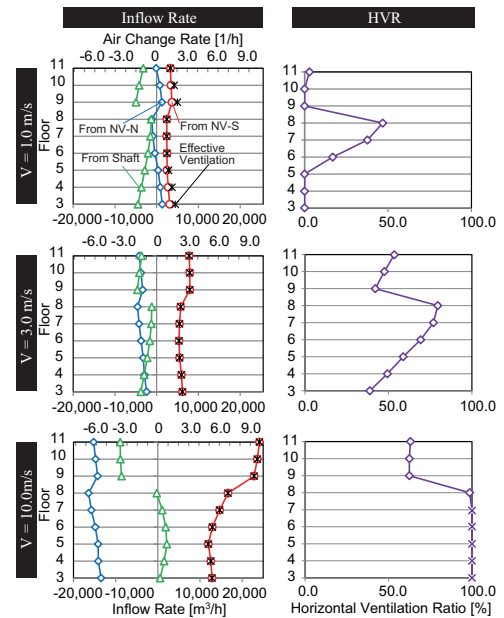


図10 風速変化の影響（風向：S）

表1 換気回路網における有効開口面積

Flow Path	Natural Ventilation Opening (one opening) ($\alpha A_{intake} / A_{intake} = 0.403$)	Flow Path between Office Room and Staircase	Flow Path between Office Room and Shaft	Staircase (one story) ($\alpha_{stair} = 0.17 [-]$)	Shaft (one story) ($\zeta_{shaft} = \lambda \frac{L}{D_e} = 0.0866 [-]$)	Backflow Prevention Window ($\alpha = 0.43 [-]$)
Effective Opening Area	$\alpha A_{intake} = 0.0783 [m^2]$	$\alpha A_{path-lower} = 0.442 [m^2]$	$\alpha A_{path-upper} = 0.448 [m^2]$	$\alpha A_{stair} = 2.30 [m^2]$	$\alpha A_{shaft} = 7.46 [m^2]$	$\alpha A_{stair-top} = 5.23 [m^2]$ $\alpha A_{shaft-top-W} = 2.06 [m^2]$ $\alpha A_{shaft-top-N} = 0.34 [m^2]$ $\alpha A_{shaft-top-S} = 0.34 [m^2]$

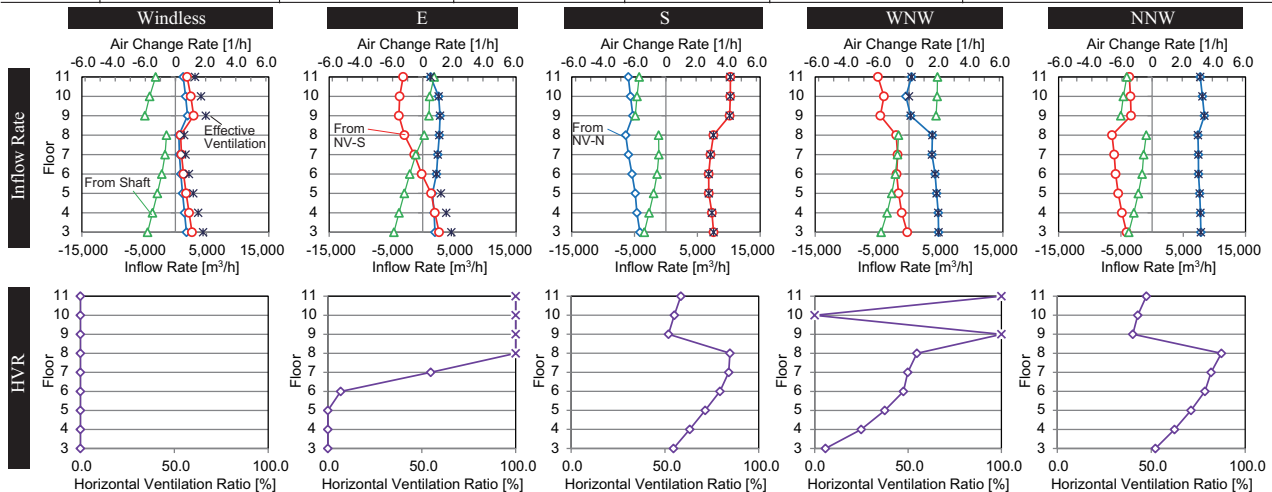


図9 自然換気量及び水平換気率（HVR）の計算結果（外部風速：4.1m/s）

務室 - シャフト間の換気経路の有効開口面積の結合値 (αA_{path})」の2項目を変更して計算を行う。図11に換気回路網を示す。シャフトサイズは2.0 m × 2.0 m で固定し、外気温、外部風速、内部発熱は前章と同様とした。シャフト上部の開口面積は前章の低層シャフト上部開口に面積比率を乗じたものとする。 $\alpha A_{opening}$ と αA_{path} は基準階執務室床面積 (A_f) に対する比率に基づき変更し、表2に示す7条件で16風向の計算を行った。

図12に各条件16風向で得られたフロア別執務室内有効換気回数(平均値と最大・最小値)を示す。上層階で最小値が0となるのはシャフトから逆流が見られる風向があるためである。 αA_{path} を床面積の1/1000で固定した場合 $\alpha A_{opening}$ の大小で換気回数が大きく変化するが、フロア間のばらつきは比較的小さい。 $\alpha A_{opening}$ を

床面積の1/200で固定した場合、 αA_{path} の大小で換気量のオーダーは変わらないもののフロア間でのばらつきが大きくなる。一般的な換気回数(目標値¹⁾とこれらの結果を考慮すると、 $\alpha A_{opening}$ は床面積の1/500程度以上、 αA_{path} は床面積の1/1000程度の確保が目安になると言える。

6. まとめ

本報では風力・重力併用型自然換気を導入した実在オフィスビルの換気量計算を行った上で、標準モデルで換気口面積と換気経路抵抗に関するパラメトリックスタディを行った。その結果、自然換気口の有効開口面積は床面積の1/500以上、室からシャフトまでの換気経路の有効開口面積は1/1000程度が好ましいという知見が得られた。今後はパラメータを増やした検討を行い、より体系的な知見を得る。

[謝辞]

風洞実験を行うにあたり立命館大学の環境・設備研究室に測定機器をお貸し頂いた。実建物のモデル作成にあたっては、松本明広氏(日建設計)及びヒューリック株式会社にご協力頂いた。熱換気回路網計算には神奈川大学の奥山博康先生のご厚意でNETS(研究教育版)を利用させて頂いた。ここに記して謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会編「実務者のための自然換気設計ハンドブック」, 技報堂出版, 2013.8.
- 2) 松下敬幸, 寺井俊夫: 階段室加圧時の気流性状の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, pp.737-738, 1985, 10.

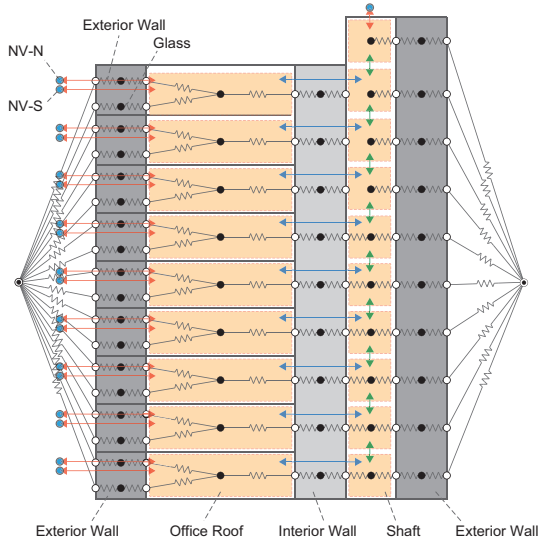


図11 標準モデルの熱換気回路網
(図中の記号は図8と同様)

表2 計算条件

$\alpha A_{path} / A_f$	$\alpha A_{opening} / A_f$			
	1 / 1000	1 / 500	1 / 200	1 / 100
1 / 2000			○	
1 / 1000	○	○	○	○
1 / 500			○	
1 / 250			○	

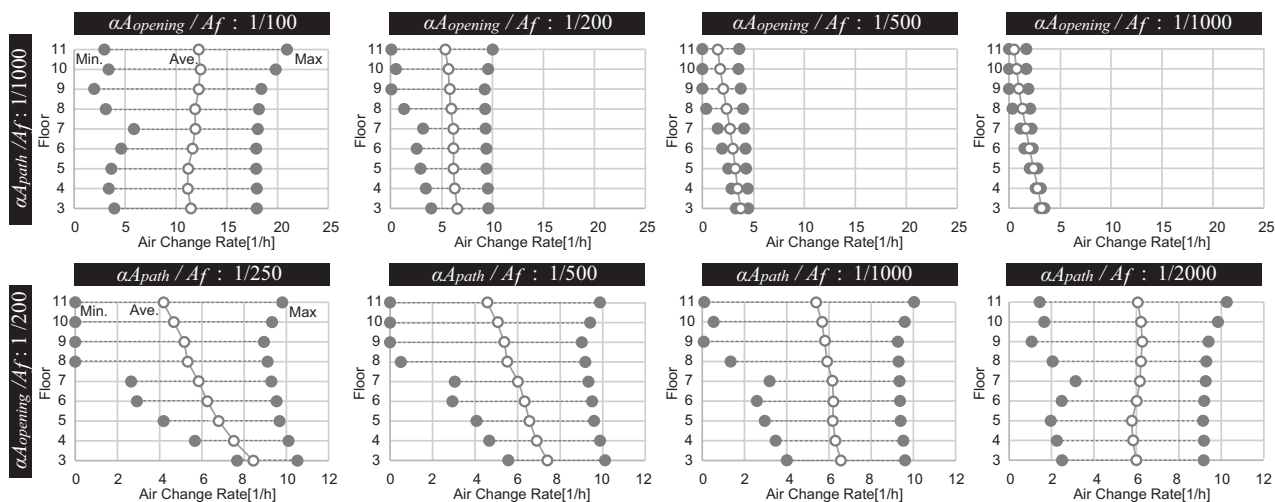


図12 16風向のフロア別有効換気回数(平均値及び最大・最小値)

* 1 大阪市立大学工学部建築学科 学部生 Undergraduate Student, Department of Architecture, Faculty of Eng., Osaka City University
 * 2 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 講師 博士(工学) Lecturer, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr.Eng.
 * 3 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 准教授 博士(工学) Associate Prof., Department of Global Architecture., Graduate School of Eng., Osaka University, Dr.Eng.
 * 4 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授 博士(工学) Professor, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr.Eng.
 * 5 株式会社日建設計 Nikken Sekkei Ltd.