

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その67）
 オフィスビルのモデリング法の検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 67)

Analyze of the Method of Office Modeling by the BEST

正会員 久保木 真俊（日建設計） 名誉会員 村上 周三（建築研究所）
 正会員 石野 久彌（首都大学東京名誉教授） 正会員 郡 公子（宇都宮大学）

Masatoshi KUBOKI*1 Shuzo MURAKAMI*2 Hisaya ISHINO*3 Kimiko KOHRI*4

*1 NIKKEN SEKKEI Ltd. *2 Chief Executive, Building Research Institute, Dr.Eng

*3 Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng *4 Associate Prof., Utsunomiya Univ., Dr.Eng

The purpose of this study is to analyze the method of modeling office by the BEST. This report is studied about methods of modeling beam, core, and numbers of zone. The heat capacity of beam is arranged the one of furniture. The modeling of core is applied to difference temperature factor of next room. The multiple zone ventilation is effective for modeling of numbers of zone. These three methods of modeling are verified the effective for improve the precision of load calculation by work volume as usual.

1. 序

BESTを有効に活用するには、効率と精度を両立したモデリング方法の確立が必要である。モデリングを行う際には必ず、簡易化あるいは仮定という作業が生じる。実際の建物形状やシステムを忠実に再現して入力することは、作業時間の増大を招くため、いかに簡易に精度向上を図るかが重要となる。

本論文では、特にオフィス建築のモデリング方法に着目した。BESTにおける各入力因子の有効度を、負荷計算結果と実在建築の実績データ値との比較によって検証する。有効度は、作業時間増減率と精度向上率から、考察する。

入力因子として、従来の負荷計算ではあまり考慮されていないと考えられる、梁のモデル化、非空調ゾーンのモデル化、多数室ゾーンのモデル化の3点について、着目し、モデルビルを用いた負荷計算により、有効度を明らかにしていく。

モデルビルは、14階建て、延べ床面積21,000m²程度の実オフィスビルを基に作成した。入力した基準階のゾーニング、内部発熱、躯体条件をまとめたものを表1に示す。

ゾーニングは空調機系統に対応した形で分割し、室内温湿度条件、内部発熱条件は、実際の設定値を用いている。東西方向に横長の建物形状、天井レスという空間形状などの特徴を持つ。

本論文ではBEST Ver.1003を用いて計算を実施した。

表1 モデリング建物概要

室面積・ゾーニング			空調機 01 ゾーン 空調機 02 ゾーン 外壁 ガラス 内壁	
	天井高さ	4m	所在地	東京
室内温湿度条件	冷房時	27 DB、45%RH		
	暖房時	22 DB、45%RH		
内部発熱	人体			
	照明			
	機器			
	躯体条件			
	外壁仕様	タイル 10mm PC コンクリート 150mm 吹付ウレタン 20mm 非密閉空気層 石膏ボード 22mm		
	内壁仕様	石膏ボード 22mm		
ガラス仕様	複層ガラス（熱線吸収 12mm+透明 6mm） 実仕様では中空層の内ガラスに発熱膜 白色内ブラインド 実仕様では電動の外ブラインド			
スラブ仕様	タイルカーペット 8mm 鋼板 2mm 非密閉空気層 軽量コンクリート 160mm			

2. 梁のモデル化方法

負荷計算において、建物躯体の熱容量を正確に入力することで、空調の立ち上がり負荷や空調停止後の自然室温計算、躯体蓄熱効果検証などに与える影響が大きいと考えられる。

ただし、梁については全体熱容量へ与える影響が小さく、入力の手間からも、省略されがちであると予測される。しかし、今回建物のように天井レスで梁があらわしになっている状況では梁の熱容量の与える影響が大きいと予測した。

梁の簡易モデリング方法を下記のように定めた。

i) 天井のない場合梁の入力

方法 梁を間仕切り壁（平面内壁）に等価置換吸熱すべき表面積を合わせて実質部容積を合わせる。

- ・梁の高さ： h （= 梁成 - スラブ厚）[m]
- ・梁幅： d [m]
- ・梁の総長さ： L [m]

梁により余分に生じた表面積は、 $2hL$ [m²]（梁の底面はスラブ底面減少分と等しいので無視できる）

置換すべき内壁は厚さ d 、面積 $2hL$

となる。内壁の表面積は両面あるが、計算上は片面（計算室側）の吸熱応答しか扱わないので hL ではなく、 $2hL$ とする。

方法 梁の熱容量を家具熱容量として入力

全ての梁の重量を求める。

- ・梁の単位長さ当たりの重量： g [kg/m]
- ・梁の総長さ： L [m]
- ・梁の本数： n [本]
- ・梁の比熱： C [J/(kg·K)]

より梁の重量は nXL 、熱容量は $CngL$ のとなる。

続いて、家具の熱容量の入力に合わせて、室容積で割った値を求める。

- ・室容積： XYZ [lit]

単位容積あたりの梁の合計熱容量は、 $CngL/XYZ$ [J/(lit·K)]となる。

ii) 天井内の梁の入力

梁容積分をスラブの厚さに置き換えてスラブを厚くするという方法を採用する。

一つの梁による断面積の増加分は dh なので、全ての梁による体積増加分は、 dhL となる。よって、スラブに増加すべき梁分厚さは、床面積を S として式(1)のようになる。

$$\frac{dhL}{S} \quad (1)$$

なお、梁の総長さ L についてであるが、梁長さ×梁本数である。ここに梁の本数の数え方は、隣室境界の梁のときは 0.5 本、外気との境界のときは外壁として計算に

含めるので 0 本とし、梁形状が複数あるときは平均的な梁を仮想するか、種類毎別内壁、あるいは床増し分として扱う。

iii) 柱の入力

柱についても梁と同様に、柱の室内に出ている部分は内壁に、天井内部分は床厚の増し分として置換する。

- ・柱の大きさ： $a \times b$
- ・階高： h_f （厳密には階高 - スラブ厚）
- ・天井高： h_c
- ・柱本数： n
- ・床面積： S

室内柱表面積（天井下部分）は、 $2(a+b)nh_c$

この柱表面積と等しい面積の内壁に置換し、柱体積と等しい体積の内壁とする。内壁の厚みを x とすると、式(2)から求める。

$$x \cdot (a+b)nh_c = abnh_c \quad \dots \text{内壁面積 } 2(a+b)nh_c$$

$$x = \frac{ab}{a+b} \quad (2)$$

天井内体積は、 $abn(h_f - h_c)$ であるから、床増し厚は式(3)となる。

$$\frac{abn(h_f - h_c)}{S} \quad (3)$$

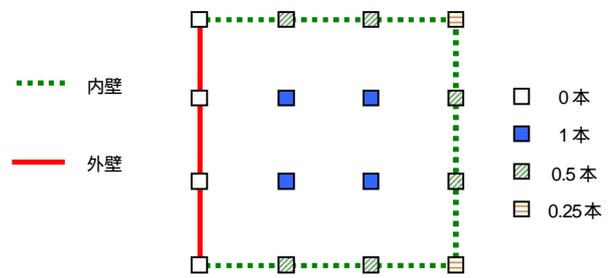


図1 柱モデリング方法

柱の本数の数え方は、図1のように隣室との境界とき 0.5 本、2面隣室という隅角部のとき 0.25 本、外気と接するときは外壁扱いするので 0 本とする。

研究対象建物の天井は、天井ボードの無い直天仕上げとなっているため、居室内に梁（H鋼）が露出している。

図2に梁伏図を示す。

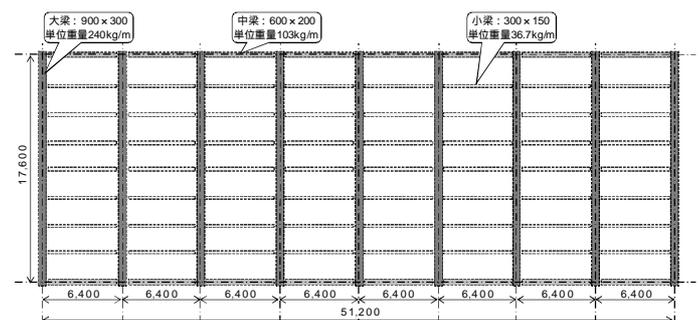


図2 梁伏図

この影響を考慮するために、梁を家具類と同様に考えて入力する。家具類の計算では、熱的な遅れを実験値と理論値から逆算して求め、空気とは区別して扱う。梁を家具類に置き換える考え方は以下のとおりとなる。

全ての梁の重量を求める。

大梁の重量： $240[\text{kg}/\text{m}] \times 17.6[\text{m}] \times 9[\text{本}] = 38,016.0[\text{kg}]$

中梁の重量： $103[\text{kg}/\text{m}] \times 6.4[\text{m}] \times 16[\text{本}] = 10,547.2[\text{kg}]$

小梁の重量： $36.7[\text{kg}/\text{m}] \times 6.4[\text{m}] \times 56[\text{本}] = 13,153.3[\text{kg}]$

以上より、梁の合計重量は $61,716.5[\text{kg}]$ となります。

全ての梁の熱容量を求める。

H 鋼の比熱を $461[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ とすると、

梁の合計熱容量： $61,716.5[\text{kg}] \times 461[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})] = 28,451,306.5[\text{J}/\text{K}]$

家具の熱容量の入力に合わせて、室容積で割った値を求める。

室容積： $17.6[\text{m}] \times 51.2[\text{m}] \times 4[\text{m}] = 3,604.48[\text{m}^3] = 3,604,480[\text{lit}]$

単位容積あたりの梁の合計熱容量は、

$28,451,306.5[\text{J}/\text{K}] \div 3,604,480[\text{lit}] = 7.89[\text{J}/(\text{lit} \cdot \text{K})]$

となる。これで梁を家具類とみなした熱容量が求まる。

以上の梁の熱容量入力の有無による負荷計算結果への影響を検証した。図 3、4 に夏季代表日、代表週における全熱負荷計算結果を示す。梁の入力有条件は入力無条件に比べ、空調の立ち上がり負荷が下がり、実績との誤差が約 43% から 4% に改善されている。また、代表週における負荷計算結果でも、空調開始時の立ち上がり負荷が実績値に近い形で再現性されていることを確認した。

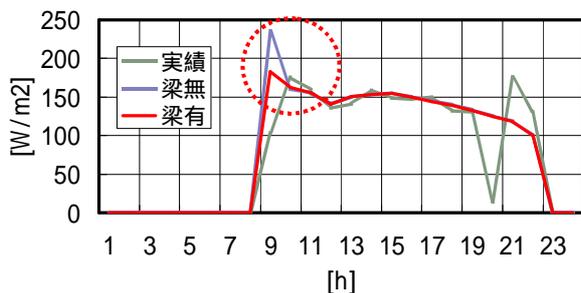


図 3 夏季代表日 負荷計算結果

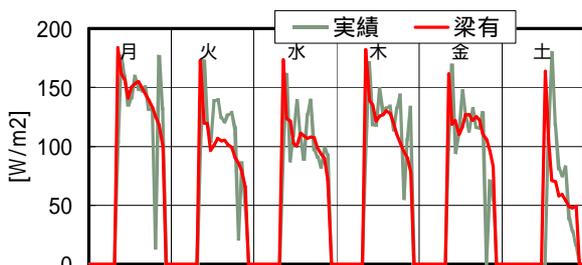


図 4 夏季代表週 負荷計算結果

入力時間増加率は、建物規模にもよるが、本建物の場合、建築モデリング所要時間 4 時間中の約 5% 程度の増加となる。

3. 非空調ゾーンのモデル化方法

非空調空間となる、トイレ、廊下、コアなどは通常はモデリングせず、空調負荷に影響を与えないゾーンとすることが多い。ただし、例えばトイレは、オフィスビルの専用部の空気を一部パスした第 3 種換気を行うことが多い。この場合、空調負荷に与える影響は少なくないと思われ、検証を実施することとした。

BEST では各ゾーンの相互の熱的影響を隣接温度差係数にて簡易に定義することができる。また、さらに非空調ゾーンをモデル化して、ゾーン間換気を定義することもできる。本研究ではこの特徴を活かし、非空調ゾーンの設定の有無による計算精度を比較した。

i) 隣接温度差係数による入力

コア部分を実際に入力して計算するのではなく、コア部分を非空調室とみなして、内壁の隣室温度差係数を 0.3 として計算する。例えば夏季で外気温 35、自室温 26 とすると、

隣接非空調ゾーン室温 = $0.3 \times 35 + (1 - 0.3) \times 26 = 28.7 []$ となる。

ii) ゾーン間換気による入力

空調ゾーンと非空調ゾーン間の風量を設定することにより、非空調ゾーンの影響を再現する。

パス風量をゾーン境界長さで除することで、境界域 1m あたりの風量を設定する。

以上の非空調ゾーンモデル化について、隣接温度差係数設定の有無による負荷計算結果への影響を検証した。

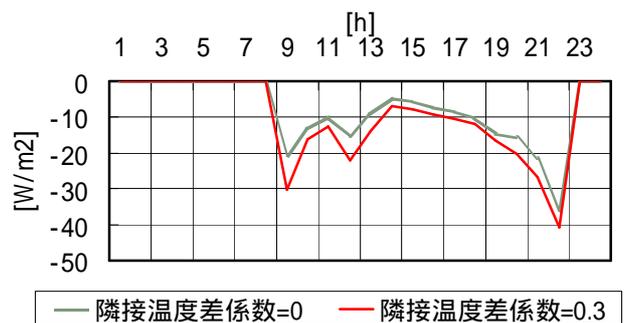


図 5 冬季代表日 負荷計算結果

図 5 の代表日負荷計算結果より隣接温度差係数を設定することで、隣室温度が外気温に近づくため、全体的に負荷が増大する結果となった。

また、図 6 のように冬季 (12 月 ~ 2 月) 暖房積算負荷を実績値と比較した。隣接温度差係数により非空調ゾーン温度を定義することで、負荷計算精度が向上していることを確認した。

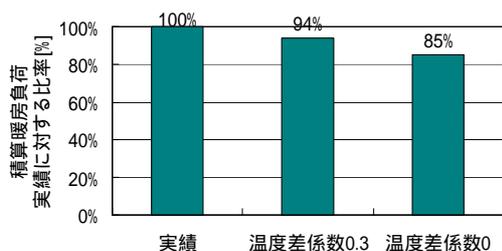


図6 冬季暖房積算負荷結果

入力時間増加率はほぼ無く、有効な設定方法と考えられる。ただし、隣接温度差係数値自体の設定で結果が変化する。一般的には今回設定した0.3前後の数値が適正値と考えられる。また、ゾーン間換気をさらに設定する場合は、非空調ゾーンのモデル化が必要となり、作業時間増加率が隣接温度差係数設定に比べ大きくなる。

4. 多数室ゾーンのモデル化方法

インテリアとペリメータゾーンの各負荷計算は、従来では相互間の熱的影響を考慮することは少ないと考えられる。その場合、通常、インテリアとペリメータは一体空間であるので、ペリメータ部分は負荷を過剰に見込みすぎる可能性がある。

一方、BESTではゾーン間換気を設定することでインテリアゾーンとペリメータゾーンの熱的な相互影響を考慮することができる。そこでゾーン間換気考慮の有無による、最大負荷と室温の差異を検証した。

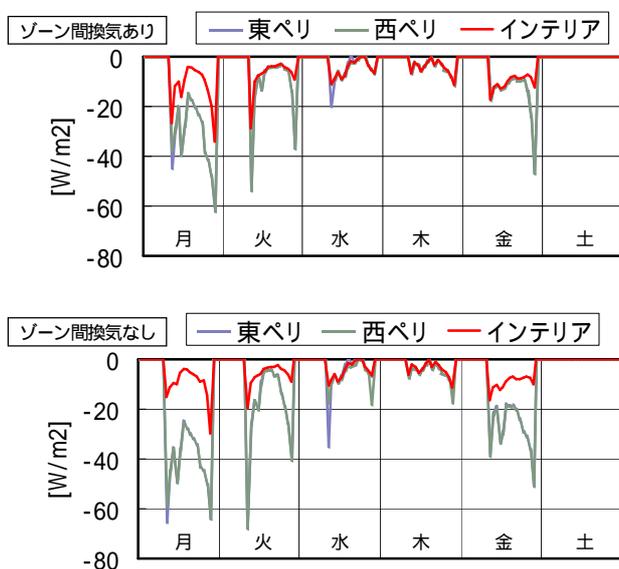


図7 冬季代表週 負荷計算結果

図7に冬季代表週におけるゾーン間換気有無別のインテリア・ペリメータゾーンの暖房負荷計算結果を示す。ゾーン間換気を考慮すると、暖房負荷値は、インテリアは10W/m²ほど大きく、ペリメータは20W/m²ほど小さくなる結果となった。図8のようにペリメータとインテリアの負荷比率がゾーン間換気あり条件で実績値に近づくことからゾーン間換気設定の有効性が確認された。また、作業時間の増加はほぼ無く、精度向上のために有用

な方法と言える。

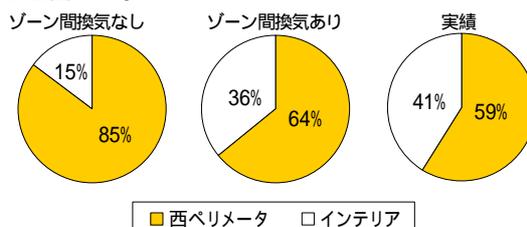


図8 冬季インテリア・ペリメータ負荷比率

5. 結

以上の検証を行った3項目に関して、表のように従来負荷計算方法からBESTによる計算方法採用による計算精度の向上率、作業増加率をまとめた。

梁のモデル化

天井レスの大空間空調を行う室内の負荷計算を行う場合に特に有効となる。作業時間はやや増加する。

非空調ゾーンのモデル化

隣接温度差係数のみ設定の場合、設定が簡易かつ、精度向上率も良い。加えて、非空調ゾーンとのゾーン間換気を設定するとさらに精度向上が望める。ただし、ゾーン換気を行う場合、非空調ゾーンのモデル化を行う必要があるため、作業時間が増加する。

多数室ゾーンのモデル化

ペリメータとインテリアゾーンのゾーン間換気設定することで精度向上。作業時間も従来とほぼ同等である。

表2 各入力因子の精度向上率、作業増加率

	精度向上率	作業増加率
梁のモデル化	空調立ち上がり負荷 計算精度約40%向上	約5%増加
非空調ゾーンのモデル化	暖房積算負荷の計算 精度が約10%向上	ほぼ増加なし
多数室ゾーンのモデル化	インテリア・ペリメータ 負荷比率計算精度 が約20%向上	ほぼ増加なし

【謝辞】本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、統合化WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。統合化WG 名簿(順不同)主査：石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員：井上隆(東京理科大学)、一ノ瀬雅之(東京大学)、内海康雄(宮城工業高等専門学校)、大西晴史(関電工)、木下泰斗(日本板硝子)、久保木真俊(日建設計) 工月良太(東京ガス)、黒本英智(東京電力)、郡公子(宇都宮大学)、菟田英晴(鹿島建設)、品川浩一(日本設計)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、菅長正光(菅長環境・設備一級建築士事務所)、滝澤総(日建設計)、滝澤博(元鹿島建設)、高橋亜璃砂(大林組)、長井達夫(東京理科大学)、二宮博史(日建設計)、二宮秀與(鹿児島大学)、丹羽勝巳、野原文男、長谷川巖、田端康宏(以上、日建設計)、平林啓介(三菱UFJ銀行)、柳井崇(日本設計)、事務局：生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

【参考文献】

- 1) 新川隆将 他：オフィスにおける内部発熱負荷要素に関する実態調査、日本建築学会大会学術講演論文集 D-2, pp1171-1172, 2007.08