

建築物を対象としたCFD解析のモデリングに関する研究



西村研究室
DZ17208 坂本優人

キーワード

CFD解析 STREAM STLファイル
AutoCAD ArchiCAD SketchUp

1. 研究背景・目的

CFD解析は、コンピューターシミュレーションを用いて流体に関する運動方程式を解き、空気の流れや温度の分布状況、圧力などの可視化を行う。CFD解析を行う前に対象建築物の3Dモデルを作成しなければならない。CFD解析ソフトで3Dモデルを作成することは出来るが、建築物の3Dモデルを作成する建築専用ツールが備わっていない。建築物の3Dモデルを作成を行うには不向きであるため他の3DCADでモデリングを行い、CFD解析ソフトにインポートした方が効率がよい。3Dモデルを作成するにあたって様々な3DCADが存在する。3DCADで3Dモデルを作成し、3次元データファイルのフォーマットへと変換を行い、そのデータをCFD解析ソフトに取り込んだ時にどんな問題が起こるかについて調査を行う。また、何の3DCADがスムーズに解析を行うことができ、CFD解析に向いているかを検討する。

2. 研究方法

解析対象建築物のデータ収集を行う。建築図面や設備図面を集めたり、実際に現地に行き対象建築物の確認をする。その際可能な限りCADデータを収集する。ただし、一般に建築物は築年数が古いためCAD図面が存在しない場面が多い。その際には青焼き図より、まず2次元データを作成する必要がある。二次元CADを制作したのちモデルを3次元化する必要がある。このようにして得られた情報をもとに3D CADなどのモデリングソフトを使用して、建築図の3次元化を行う。ここではAutoCAD、ArchiCAD、SketchUpのモデリングソフトを用いて3Dモデルを作成する場合を例として検討を行う。それらのデータを3次元データファイルのフォーマットへと変換する。3次元データフォーマットとしては、代表的なものとして、Parasolidフォーマット、STLフォーマットなどいくつかの種類が存在するが、一般的に建築CAD用のエクスポートフォーマットとしてはParasolidがない場合が多い。そのためSTLフォーマットへ変換を行うことが最も確実な手法だと思われる。そのSTLファイルをCFD解析ソフトに取り込む。それぞれのSTLファイルを解析ソフトに取り込んだ時起こった問題点について調査する。

今回は建築用の気流解析ソフトとして広く使用されているSTREAMを用いた場合についての検討を行う。

3. STLファイルをSTREAMにインポートした場合

3-1. AutoCADの場合

AutoCADを用いて3Dモデルを作成した場合、STREAMにインポートした結果CFD解析ソフトに適しているかについて調査を行う。ここでは住吉の長屋(安藤忠雄)を例として考える。図1の(a)はAutoCADで3Dモデルを作成したもの、図2の(a)はSTLファイルへの変換を行ったもの、図3の(a)はSTREAMにインポートしたものを表している。AutoCADからエクスポートしたSTLファイルの場合だと建物の壁や床、ドアなどのパーツがグループ化のようになってしまう。そのため吹き出し口は天井パーツと一体化してしまいSTREAMで条件設定を行う際、吹き出し口から風を出すことができない。窓パーツは壁パーツと一緒にすることで1箇所だけ開けたい時や2箇所開けたい時、自由に外したりすることができない。また、STREAMにインポートした3Dモデルの寸法と図面の寸法を比較すると長手方向、短手方向、高さ方向共に端数が出ており、ずれが生じる。

3-2. SketchUpの場合

SketchUpを用いて3Dモデルを作成した場合、STREAMにインポートした結果CFD解析ソフトに適しているかについて調査を行う。ここでも住吉の長屋を例として考える。図1の(b)はSketchUpで3Dモデルを作成したもの、図2の(b)はSTLファイルへの変換を行ったもの、図3の(b)はSTREAMにインポートしたものを表している。SketchUpからエクスポートしたSTLファイルの場合だと壁や床、窓などのパーツが多数の三角形に変形する。そのためパーツ数が多くなってしまふ。窓パーツが三角形に分かれてしまうことで窓を開ける際に一度の操作で外すことができず何度か外す操作を行わなければならない。また、AutoCADと同様に3Dモデルの寸法に端数が生じる。

3-3. ArchiCADの場合

ArchiCADを用いて3Dモデルを作成した場合、STREAMにインポートした結果CFD解析ソフトに適しているかについて調査を行う。ここではAutoCADとSketchUp同様住吉の長屋を例として考える。図1の(c)は

ArchiCADで3Dモデルを作成したもの、図2の(c)はSTLファイルへ変換を行ったもの、図3の(c)はSTREAMにインポートしたものを表している。ArchiCADからエクスポートしたSTLファイルの場合だとAutoCADと異なり、建築物の壁パーツや床パーツ、窓パーツなどが別々に表示される。吹き出し口は天井パーツと一体化しないため条件設定を行う際吹き出し口から風を出すことが可能となる。窓パーツは一箇所だけ開けたり、二箇所開けたりなど自由に外すことも可能である。しかし、建築物の寸法に端数が生じるのはAutoCAD、SketchUpと同様である。

3-3-1. STREAMにインポートする際樹木がある場合

3Dモデルを作成する際に樹木を設置した場合、STREAMにインポートした結果について調査する。3Dモデルで樹木や各種の家具類が置いてある場合にはこれらも同時にインポートされる。また、インポートする際に非常に多くの時間を必要とする。樹木がある場合は約25分間、ない場合は約10秒間インポートの時間を要し、かなりの差の違いがある。これは葉の一枚一枚が要素として出てしまうことがあるからである。このことから家具を置いても部品ごとに要素が出てしまいインポートの時間がかかり、解析する際もかなりの時間を必要とするのではないかと考える。そのため解析ソフトにインポートする前に3Dモデルを作成する時点でこれらを取り除いておく必要がある。

3-3-2. 曲線の壁がある場合

建築物に壁がある場合、STREAMにインポートした時起きる問題点について調査する。ここでは風の教会(安藤忠雄)を例として考える。図4の(a)は風の教会の3DモデルをSTREAMにインポートしたものを表す。風の教会の通路には壁が曲線となっている部分がある。図4の(b)は曲線の壁の部分拡大したもの。図4の(b)を見ると縞模様のように多数のパーツが出てることがわかる。このような状態になる要因は、天井と床のパーツが曲線の壁パーツと重なってしまっていたためである。重ならないように修正したものを図4(c)に表す。修正後は修正前と変わりパーツが出なかった。曲線の壁がある場合にはモデリングする際に他のパーツと重ならないように注意しなければならない。

3-3-3. 開口部に使用するパーツの検討

STREAMで解析するためにインポートした建築物をメッシュで切る必要がある。メッシュは一般的にい100万程度までのものしか解析をすることができない。もし、それを超える場合はメッシュを削除し、減らさなければならない。メッシュを削除するのは少し時間を要する。また、パーツ数も多すぎるとインポートに時間を要する。解析において3Dモデルの完成度が高いとメッシュ数とパーツ数が多くなる。なるべくメッシュ数やパーツ数を減らすためには少し完成度を下げる必要がある。3Dモデル

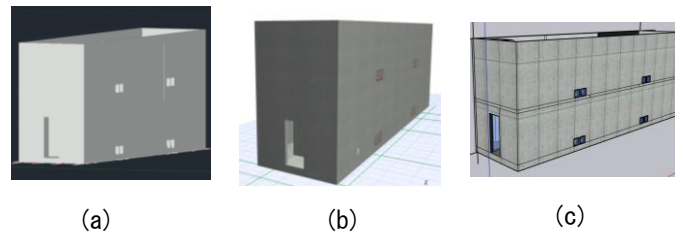


図1. 3DCAD

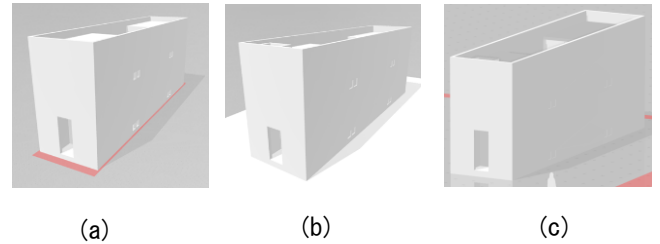


図2. STLファイル

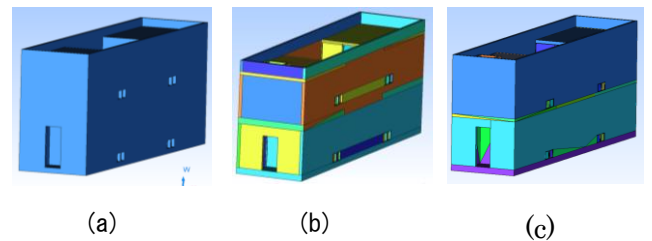


図3. STREAMにインポートした場合

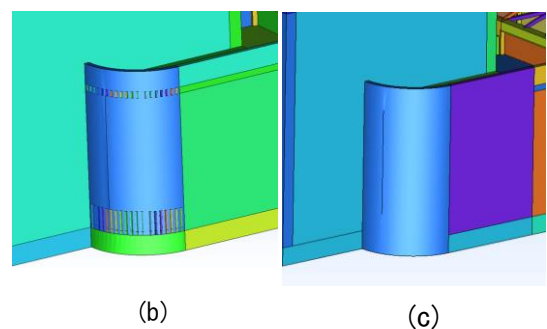
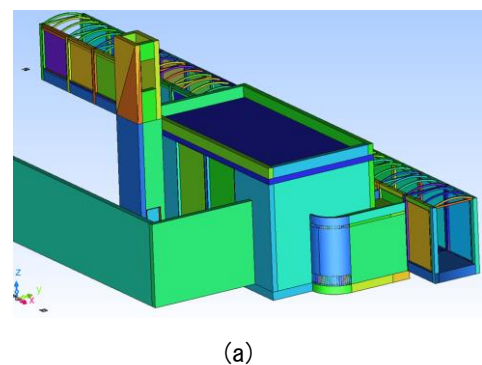


図4. 曲線の壁ある場合

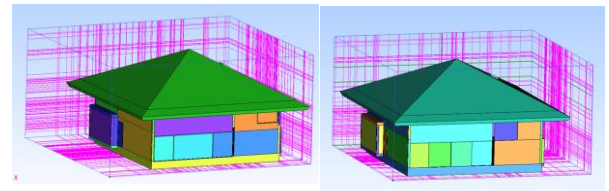
のクオリティを下げるとどのくらい違いがでるのか、クオリティを下げても解析は可能かについて調査する。ここでは、白の家(篠原一男)を例とし開口部のパーツに窓パーツを使用したものと壁パーツを使用したものを比較し考える。図5の(a)は窓パーツの場合、図5の(b)は壁パーツの場合を表す。メッシュ数は窓パーツの場合約160万メッシュ、壁パーツの場合約35万メッシュである。パーツ数は窓パーツの場合338個、壁パーツの場合120個である。窓パーツより壁パーツの方がメッシュ数とパーツ数共に少ない数となった。窓パーツには枠や障子があるためパーツ数が多いと考える。窓パーツの場合は100万メッシュを超えたためメッシュを削除し減らさなければならない。壁パーツの場合は35万メッシュであったため減らさずに解析することができる。

次に解析結果について比較する。窓パーツの場合はメッシュ数が約80万と約35万と約4000、壁パーツの場合は約35万と約4000の解析を行った。風は南風に設定した。まず、窓パーツの場合のみで比較を行う。80万メッシュは解析時間が25分間と長く、逆に、4000メッシュはかなり短く10秒間であった。80万メッシュと35万メッシュの空気の流れは南側の開口部から室内に風が入り北側と東側の開口部から抜けていった。4000メッシュの空気の流れは80万メッシュと35万メッシュとは違い、東側の開口部から外に抜ける風が流れていなかった。35万メッシュは80万メッシュより解析時間が短く、空気の流れに違いがなかった。よって窓パーツの場合の中では35万メッシュが一番適している。窓パーツの35万メッシュの場合と壁パーツの35万メッシュの場合を比較する。窓パーツの解析時間は13分間、壁パーツは12分間となり、空気の流れにも違いがない。これらのことから開口部に壁パーツを使用しても解析することができることがわかった。また、メッシュ数を極端に減らすと解析時間は短いが建築物の形状が変形してしまい正確な結果を得ることができないことがわかった。

3-3-4. アーチの有無比較

前述の開口部に使用するパーツの検討と同様に3Dモデルのクオリティを下げるとどのような違いがあるか、クオリティを下げても解析は可能なのかについて調査する。ここでは風の教会を例とし通路上部にアーチがあるものとないものを比較し考える。図6の(a)はアーチがある場合、図6(b)はアーチがない場合を表す。メッシュ数はアーチがある場合約410万メッシュ、アーチがない場合は約110万メッシュである。パーツ数はアーチがある場合313個、アーチがない場合267個である。アーチがある場合よりない場合の方がメッシュ数とパーツ数共に少ない値となった。アーチがある場合のメッシュ数はない場合の4倍近くあるため削除するのに長い時間要する。

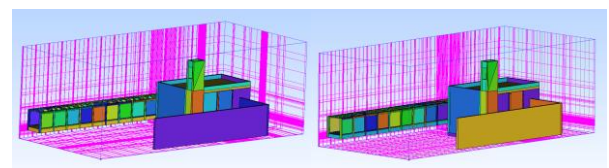
次に解析結果について比較する。アーチがある場合とない場合、共にメッシュ数が約80万と約40万と約1万の解析を行った。風は西風に設定した。



(a) 窓パーツ

(b) 壁パーツ

図5. 開口部に使用するパーツの検討



(a) アーチあり

(b) アーチなし

図6. アーチの有無比較

アーチがある場合とない場合共に解析時間が80万メッシュは約20分間と長く、1万メッシュは数秒であった。80万メッシュと40万メッシュの空気の流れは、西から吹いた風が通路を通り東上部の方に抜けている。1万メッシュの空気の流れは80万メッシュと40万メッシュとは違い、雑な流れとなっている。40万メッシュは80万メッシュより解析時間が短く、空気の流れに違いがなかった。3パターンの中からは40万が一番適している。アーチがある場合の40万メッシュとアーチがない場合の40万メッシュを比べる。アーチがある場合は解析時間は10分間、ない場合は9分間となり、空気の流れにも違いがない。これらのことからアーチがなくても解析をすることができることがわかった。また、白の家と同様にメッシュ数を減らしすぎると建築物の形状が変形してしまい正確な結果を得ることが出来ないことがわかった。

3-3-5. STLとDXFの比較

3次元データファイルのフォーマットにはSTLファイルの他にDXFファイルが存在する。STLファイルとは3Dシステム社によって開発されたファイル形式であり、3Dプリントをする上での標準形式となっており、多くのCADソフトウェアで読み込みや書き出しが可能である。DXFファイルとは、Autodesk社が開発したファイル形式であり、多くの3Dモデリング、レンダリングが対応している。

3Dモデルを作成しSTLファイルに変換した場合には3Dモデルのサイズに端数が生じ、一部のパーツは三角形になってしまう部分もあった。DXFファイルに変換した場

合にはどんな違いがあるかSTLファイルと比較し調査をする。図7の(a)はSTLファイルに変換した場合、図7の(b)DXFファイルに変換した場合を表す。DXFに変換しSTREAMにインポートを行うと端数が生じず、STLで三角形になってしまった箇所が正しい形状として読み込まれた。パーツ数はSTLの場合199個、DXFの場合129個である。メッシュ数はSTLの場合は約130万メッシュ、DXFの場合は約60万メッシュである。DXFの場合はパーツが三角形に分かれなためパーツがSTLより少なくなり、同時にメッシュ数も減少する。次に解析結果を比較する。解析のメッシュ数は共に50万メッシュに揃え行った。図8にそれぞれの解析結果を表す。比較すると空気の流れに違いがないことがわかった。解析時間はSTLの場合17分間、DXFの場合15分間となりあまり差がない。これらからSTLよりDXFの方が3Dモデルが綺麗にインポートされ、パース数、メッシュ数も少ないためCFD解析ソフトに適しているのではないかと考える。

4. まとめ

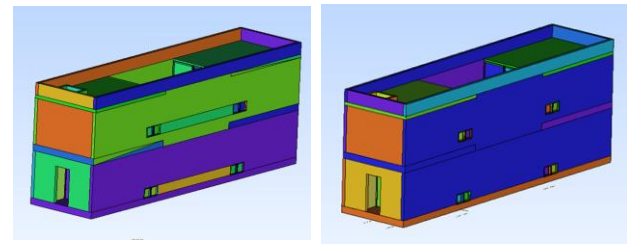
建築物を対象として気流解析を行う場合、以下のような問題が発生する。

- AutoCADの場合はSTLファイルをSTREAMにインポートした時、壁や床、窓などのパーツが一体化してしまうため条件設定する際に不便である。
- SketchUpの場合はSTLファイルをSTREAMにインポートした時、多数の三角形に大きく変形してしまうため操作がしにくい。
- ArchiCADの場合もSTLファイルをSTREAMにインポートした時、三角形が出るがSketchUp程多くはない。
- AutoCADとSketchUpとArchiCAD共に3Dモデルのサイズに端数が出る。
- 3Dモデルの作成で樹木や家具を設置した場合、STREAMにインポートする際多くの時間を必要とする。
- 窓パーツを使用すると枠や障子によりメッシュ数とパーツ数が多い。
- 曲線の壁がある場合は天井と床パーツと重なるとパーツ数が増える。
- アーチがある場合メッシュ数が多い。
- メッシュ数が多いと解析時間が長く、逆に、少なすぎると解析時間は短い正確な結果を得ることができない。

AutoCADとSketchUpとArchiCAD共にサイズに端数が出るのは、STLファイルは三角形の集合体でできているため三角関数によりずれが生じている。ArchiCADはずれが小さいため解析に影響はあまりない。しかし、AutoCADとSketchUpは前述の問題点によりCFD解析ソフトに適していない。よって、3つの3D CADの中ではArchiCADが一番適している。ArchiCADを用いてスムー

ズに正確な解析を行うためには以下のことに注意すべきである。

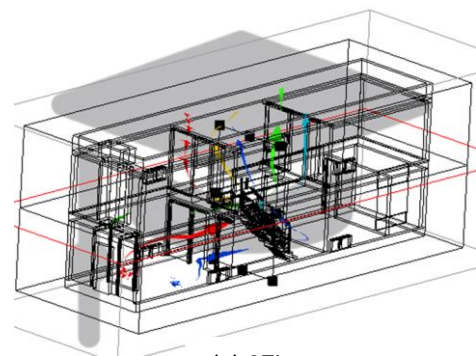
- 3Dモデルの解析を行う前に樹木や家具類は事前に取り除いておく。
- 解析に意味を持たない部分は簡単に作成するか、外しておく。
- メッシュは極端に減らしすぎない。
- 3DモデルをDXFファイルに変換する。



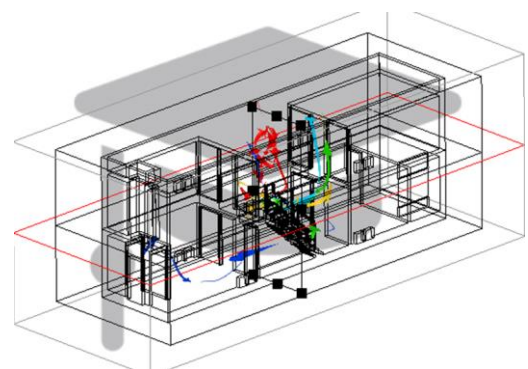
(a) STL

(b) DXF

図7. STLとDXFの比較



(a) STL



(b) DXF

図8. STLとDXFの解析結果の比較

(参考文献)

- 1) 二川幸夫：「TADA0 ANDO DETAILS」
A. D. A EDITA Tokyo Co Ltd 1991. 10
- 2) 安藤直美・柴田晃宏・庇護結子：「建築のしくみ」
丸善出版株式会社 2008. 4