地震応答解析モデルの堅牢な自動構築のための 床形状判読手法の開発

大谷 英之¹・陳 健²・堀 宗朗³

¹正会員 理化学研究所 計算科学研究機構 (〒 650-0047 兵庫県神戸市中央区港島南町 7-1-26)
E-mail: h.o-tani@riken.jp

²正会員 理化学研究所 計算科学研究機構 (〒 650-0047 兵庫県神戸市中央区港島南町 7-1-26)
E-mail: jchen@riken.jp

³正会員 東京大学地震研究所 (〒 113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1)
E-mail: hori@eri.u-tokyo.ac.jp

統合地震シミュレーションでは、都市の建物一棟一棟のモデル構築に市販の GIS データを利用する。このデータは本来図示を目的とし、独立した多角形の集合として記述されているため、有限要素法のモデルに代表される節点と要素からなる解析モデルの自動構築には困難を伴う。本論文は、モデル形状の構築をテンプレートフィッティングという床形状判読で行う新しい方法論を提案する。テンプレートフィッティングは、多様な床形状に対応してあらかじめ多数準備されたテンプレートから、判読対象に最も形状に近いテンプレートを選択する。テンプレートに、柱・壁の配置等の内部構造を前もって仮定し付加すれば、建物各階の平面形状を反映したモデルが堅牢に自動構築でき、その結果として建物モデル全体の堅牢な自動構築が可能である。

Key Words: Integrated Earthquake Simulation, Template-Based Model Construction

1. はじめに

従来、地震被害推定には、距離減衰式やフラジリティカーブといった経験式が利用されている。都市内の全域の地震動や全建造物の被害とその対応を算定するためには、経験式に頼らざるを得なかったからである。大規模数値計算が可能となった現在、新しい方法として、シミュレーションベースの地震被害推定が検討されている。統合地震シミュレーション (Integrated Earthquake Simulation, IES) は、都市を襲う地震災害の 3 つの過程、すなわち、強震動発生・建造物地震応答・被害対応の過程を、さまざまな数値解析手法を組み合わせてシームレスに解析するシミュレーションである。物理シミュレーションに基づく地震被害推定は、従来の相関関係に基づく経験式による算定と異なり科学的合理性の高い被害推定手法である。

IES には都市モデルが必要であり、建造物地震応答のシミュレーションでは、都市の建物一棟一棟に解析モデルが必要である。地震応答解析手法そのものは十分成熟しているため、IES の建造物地震応答計算の信頼度は解析モデルの信頼度によって決まる。しかし、都市の幾千幾万の建物について紙媒体の設計図書を手入し一つ一つ解析モデルを手作業で構築するのは現実的ではない。電子データからモデルを自動構築する手法の改良が重要な課題である。IES では、従来の被害想

定でも利用されてきた家屋台帳データ等に含まれる構造形式・築年代・層数等のデータとは別に、地理情報システム (Geographical Information System, GIS) に蓄積された建造物の形状データも利用する方法が提案されている。

一般に GIS は CAD (Computer Aided Design) のデータ構造に準拠しており、建造物の幾何形状は 3 次元の点座標が並ぶ多角形の集合として記述される。図示が前提とされているため、「どの多角形とどの多角形が隣り合っているか」といった多角形の接続情報は含まれていない。また、記述されるのは建造物表面の多角形であり、内部の幾何形状の情報は持たない。有限要素法のモデルに代表されるように解析モデルには構成要素間の接続情報が不可欠であり、構成要素と接続情報の組み合わせが形状を表す。したがって、解析モデルの自動構築には接続情報を持たない GIS の形状データを、接続情報を持つ形状データに変換する方法が必要である。しかしながら、点・線分・面のデジタル情報の分析・操作を研究する計算幾何の分野でも、接続情報がない多角形の集合を扱う事例は限られており、多角形の接続状況を推定する方法の開発は未開拓の問題であると考えられる。

建築建物の場合、地震応答解析モデルの基盤は床形状である。大多数の床形状は四角形やその組み合わせであるが、例外的に三角形や円弧を使うこともある。し

たがって、形状を忠実に取り込む自動構築のためには、複雑かつ多様な図形要素の接続状況を推定することが必要である。これは他の構造物にも共通する。実際、建築建物と同様、土木構造物も複雑かつ多様な図形要素が接続した部材から構成されている。

GIS データから得られる幾何形状データを活かした解析モデルを自動構築するためには、まず床を表す多角形の接続状況を推定し、さらに、得られた接続情報から「長方形である」や「L字型である」といった床形状の判読を行うことが重要である。接続状況を正確に推定し、正しい床形状の判読を行うことで、複雑な幾何形状を忠実に反映した解析モデルの自動構築が可能となる。

上記を背景とし、本論文は、GIS に含まれる多角形に対して接続状況を推定し、床形状の判読を行う手法の開発を目的とする。床形状判読の重要な点は、床形状を正しく判読し誤りを最小限とする高い堅牢性、そして幾何形状の複雑さに対応できる柔軟性の高さである。堅牢性と柔軟性の高さを両立するため、建築建物の床形状を対象として、テンプレートフィッティングという方法論を考案した。これは、多様な床形状に対応したテンプレートを多数準備し、GIS から抽出された床形状に最も近いテンプレートを選択するという方法論である。テンプレートフィッティングは床形状を判読することで接続状況を推定する手法と考えることができる。

本論文の構成は以下の通りである。第2章において地震応答シミュレーションに必要な構造物の解析モデルの自動構築を説明し、問題点の抽出と原因の分析を行う。第3章ではテンプレートフィッティングという方法論を説明し、従来の方法論に比べた堅牢性と柔軟性の高さを議論する。第4章においてテンプレートフィッティングという方法論に基づいた床形状判読のアルゴリズムを説明する。開発された床形状判読手法の性能を検証するため、実際の GIS データを用いた計算例を第5章に示す。第6章において本研究の結論と課題をまとめる。

2. 地震応答解析モデルの自動構築

IES の地震応答シミュレーションでは、対象とする都市内の全建物に対し、解析モデルを使った地震応答解析を行う。地震応答解析のモデルは多岐多様にわたるが、大きく次のように分類できる。

- (a) 階毎の質量と階の間の剛性を使った質点系モデル
- (b) 構造要素ごとの特性をモデル化した構造要素モデル
- (c) 構造要素の材料特性をモデル化した連続体モデル

図-1 床形状データからの地震応答解析モデル構築

IES に実装される地震応答解析手法に柔軟に対応できるように、上記の解析モデルが自動構築できる必要がある。個々の構造物のモデル構築への利用が想定されるデータとしては、家屋台帳データに含まれる構造形式・築年代・層数などのデータとは別に、GIS に蓄積された構造物個々の外形データがある。

前述のように、GIS の形状データは CAD のデータ構造を持っているため、多角形の接続情報は含まれていない。画像として形状を正しく表示するためには、多角形を正しい位置に描画さえすれば十分だからである。例えば床形状の場合、一つの床面が複数の多角形に分解されている場合もある。計測誤差等の原因で、多角形が重なり合う場合もある。したがって、接続状況の推定は決して単純ではない。さらに、GIS には、データ量削減のため、建物の底部を表す多角形を除いたものがあり、建物の形状データは3次元領域として閉じていない場合もある。このような GIS では接続状況の推定はさらに難しくなる。

建築建物に絞れば、幾何形状を忠実に反映した地震応答解析モデルを自動構築するためには、床形状の正確な判読が重要である。建物の各階に配置される梁・柱・壁と床面積がそれぞれ階層の剛性と重量を決める支配的な要因だからである。GIS のデータを使う自動構築では、多角形の組み合わせとして表わされる床形状を正確に判読することが必要であり、これには多角形の接続情報が必須となる。質点系モデルの場合ですら、各階の重量の算定に接続情報が必要となる。

床形状の抽出・判読のような図形処理を計算機を使って自動的に行うことは、比較的新しい情報学の一分野である計算幾何 (Computational Geometry) の主要な研究課題である。計算幾何はコンピュータグラフィックスの基礎である。しかし、接続情報をもたず、3次元領域として閉じていてもいない多角形の集合から、解析モデルに必要な接続情報をもった中身の詰まった形状データを自動構築する技術は、著者らの調べた限り、あまり研究されていないようである。これは、多角形の集合が3次元領域として閉じていないために建物の内外

判定が難しいことに起因すると考えられる。

通常の方法論では、建物の外形が多角形の集合として与えられた形状データに対し、多角形間の頂点の接続状況を推定し、推定された接続情報から建物の部分ごとの幾何形状を決定・抽出する。しかし、この方法論は複雑な形状に対応する例外処理が多くなる他、GISデータの誤差により、自動構築の堅牢性を向上することが難しい。現時点のIESでは、接続情報が補間された形状データとして、床形状を表す単独の2次元多角形を高さ順に一列に並べたデータを作成しているが、その利用は、質点系モデルの中でも建物各階の床形状を反映しない簡単な地震応答解析モデルの構築か、床形状の長方形への近似に留まっている。より高度なモデルの構築には、正確な床形状の判読が必要である。

多角形の集合に対して、接続情報を与えるような汎用技術が計算幾何に開発されていないことは別に、GISに蓄積された建物の多角形には次の2つの問題点がある。

- (a) 計測誤差に起因する困難：GISに含まれる多角形の頂点の座標は、実際の建物の形状を計測することで得られている。したがって頂点の座標には計測誤差が含まれてしまう。この結果、本来は隣接する二つの多角形が離れる場合や、重なり合う場合もある。これは接続状況の推定を格段に難しくする。
- (b) 付帯設備に起因する困難：近年のGISには、渡り廊下や広告等のような建物の付帯設備のデータも含まれている。地震応答解析の対象とはならない付帯設備は除外しなければならない。付帯設備も多角形として与えられるため、複数の多角形の接続状況を推定した上で、付帯設備であることを判定し、除外するという処理が必要となる。

このため、建物のGISに特化した床形状の抽出・判読技術が必要となる。

3. 形状判読のためのテンプレートフィッティング

本論文で扱うGISでは、建物の形状データが水平な2次元多角形の集合として与えられている。この場合に、同一高さの平面内にある一つあるいは複数の多角形が一つの床形状を表すと考えられる。次章で詳細を説明するが、テンプレートフィッティングは、床形状を表す多角形の接続状況を推定し形状判読を行う。IESが対象とする都市には $10^5 \sim 10^6$ のオーダーの建築建物があるため、形状判読には高い堅牢性が必要である。この堅牢性には次の二つの意味がある。

- (a) 床形状を正しく判読する堅牢性
- (b) 床形状の判読失敗を正しく判定する堅牢性

分割部分や重なりのある多角形の集合で表わされる形状の判読は、通常、多角形間の頂点の接続状況を推定し、頂点の相対位置を分析することで行われる。しかし、この方法論では想定される形状ごとに処理を定める必要があり、また、計測誤差に起因する形状のわずかな変化に対応する例外処理も多くなるため形状判読の堅牢性を向上することが難しい。

上記の二つの堅牢性を考慮するため、本論文では、個々に独立した多角形が持つ多点情報を分析して形状を推定する代わりに、あらかじめ接続情報の与えられているテンプレートを多数用意し、判読対象の形状と最も差異が小さなテンプレートを選択することで床形状の判読を試みる。形状判読の対象とテンプレート図形の形状の差異の評価は次の二通りの方法が考えられる。

- (a) 多角形のグリッド情報への変換を利用する方法
- (b) 多角形の図形処理による方法

複数の多角形を平面に投影して作られるグリッド情報を使えば、形状の差異の評価は容易に行える。平面を格子によりセルの集まりに分け、多角形を含むセルとそうでないセルに区別したものがグリッド情報である。内部に多角形を含むか否かは、真偽値によって簡単に表すことができる。真偽値(Boolean)を使ったグリッド情報をB-Gridと称することにする。図-2(左)に示す通り、B-Gridによる形状の差異は、床形状とテンプレートを表す多角形を同じ大きさの正方形のB-Gridに両者を変換し、2つのB-Gridの真偽値の異なるセルの数を使って次のように計算できる。

$$d = \frac{\text{真偽値の異なるセルの数}}{\text{テンプレートのセルの数}} \quad (1)$$

d の値は、グリッドの寸法を小さくする極限において、抽出された床形状とテンプレート図形の不一致部分の面積をテンプレートの面積で割ったものに等しい。この場合、 $d=0$ は床形状とテンプレートが完全に一致する場合を示す。グリッド情報を用いることで2つの図形の差異は容易に計算できるが、グリッド寸法が大きい場合には、計算結果に誤差が含まれる。グリッドの寸法を小さくすることで差異の計算精度が向上することは自明である。

床形状を表す多角形とテンプレート図形の形状の差異は、図形の頂点情報を直接利用する図形処理を用いた評価により誤差なく計算できる。図形処理による差異の計算では、図-2(右)に示すように、まず、床形状を構成する複数の多角形に対してマーキングを行い一つの図形とする。そしてテンプレートとの排他的論理和により対称差を表す図形を得る。対称差は、床形状とテンプレートの不一致部分を表す。得られた対称差の面積をテンプレートの面積で割ったものが差異の値 d である。図形処理は、計算幾何の分野でも堅牢な

図-2 床形状とテンプレートとの差異の評価方法: (左) B-Grid による方法 (右) 図形処理による方法

実行が難しいことで知られており、実装には工夫が必要である。本研究では、適用できる形状に制限がなく穴の開いた図形にも繰り返し適用できる文献²⁾の方法を参考にプログラムを作成している。

テンプレートフィッティングでは、十分小さい d が得られた場合、床形状を正しく判読したことになる。できるだけ多くのテンプレートを準備しておけば d が小さいテンプレートが選ばれる可能性は高くなる。 d の値は、テンプレートの面積に比した図形の不一致部分の面積を表すので、実際には床形状と一致しないテンプレートが形状判読結果として選ばれることはなく、テンプレートフィッティングによる床形状の正しい判読に関する堅牢性は高いと考えられる。

テンプレートフィッティングは最も小さい d を持つテンプレートを選ぶが、選ばれたテンプレートが床形状に近いとは必ずしも限らない。これは最も小さい d の値が許容できる閾値を超える場合であり、対象とする床形状に近いテンプレートがなかったと判断できる。したがって最も小さい d が設定した閾値以上となる場合は、床形状の判読に失敗したことになる。テンプレートフィッティングでは、床形状の判読失敗に関する堅牢性も高いと考えられる。

グリッド情報による差異の計算も図形処理による差異の計算も、対象とする平面図形の形状に制限はない。テンプレートフィッティングは、曲線部分を含む任意の形状のテンプレート・床形状に対して適用できる柔軟性をもつ。

4. テンプレートフィッティングのアルゴリズム

テンプレートフィッティングによる床形状の判読では、抽出された床形状と最も近いテンプレートをあらかじめ多様な床形状に対応して用意されたテンプレートの中から選択することで行う。床形状は、複数の多角形が一つの床形状を構成するとして GIS データから抽出

図-3 テンプレートフィッティングの流れ

される。テンプレートは、床形状に応じて仮定される内部構造等のデータとひもづけられた四角形やL字型、凸型等の多角形である。分割されたり重なったりしている多角形で表された床形状に対し、前述の d を計算することで、最も近いテンプレートを堅牢に選択でき、テンプレートの選択と同時にテンプレートにひもづけられた地震応答解析モデルに必要な内部構造等のデータが選択される。

あらかじめ用意されたテンプレートに対する床形状判読の手順は次のように整理される (図-3)。

- 多角形の集合に対し、全体を包含する最小の長方形 (以下、フィッティング領域) を決める (図-4)。
- フィッティング領域 (図の灰色の領域) が原点を中心とする一辺2の正方形領域 $\{(x,y) | |x| < 1, |y| < 1\}$ と重なるよう、多角形の集合に対し、回転・収縮を行う。
- 変換された多角形集合の周の情報を使って塗りつぶしを行い、B-Gridを作る。
- 全てのテンプレートとの d を計算し、相違の程度 d の値が最も小さいテンプレートを選ぶ。
- d が閾値を超えていない場合に、判読成功とする。越えた場合には、判読失敗と判定する。
- 判読が成功した場合に、選ばれたテンプレートに対し、多角形の集合に対して行われた変換の逆を行い、床形状を決定する。

多角形の周の情報を使った塗りつぶしに関しては、既にさまざまなアルゴリズムが開発されている。 d の値を使った判定も、B-Gridが真偽値の集合であるため簡単である。したがって、この手順に対応するアルゴリズムは、第一・第二の手順である図形の変換を除き、特に難しいものではない。

多角形の集合に対する第一・第二の手順をまとめて正規化と称することにする。床形状を表す多角形集合は、正規化後にテンプレートと比較される。すべてのテン

図-4 床形状を表す2次元多角形の集合の正規化。

図-5 テンプレートの伸縮に従い変化する柱の数。灰色の領域はテンプレートの形状を示し、黒い四角は柱を示す。

プレートは、正規化操作を行っても不変である必要がある。これは、自身の形状に対するテンプレートフィッティングで自身が選ばれる必要があるからである。ここで、テンプレートは、90度毎の回転と、それぞれ鏡像反転をしたものの8通りを同一視することにする。これにより、テンプレートフィッティングの計算の際に、8通りを別のテンプレートとして管理するよりもメモリを節約することができる。

回転や鏡像反転を加えたテンプレートを同一視することは、テンプレートにひもづけられた内部構造などの付加情報がこれらの操作で不変であることを暗に仮定しているが、実際、内部構造などが従うべき建築設計基準などは、回転や鏡像反転によって不変であると考えられる。なお、正規化の逆の変換によりテンプレートは拡大あるいは収縮されるため、テンプレートにひもづけられる内部構造は、図-5に示す柱の配置のように伸縮に応じて自動的に変化する必要がある。伸縮に対応できない場合には、伸縮のパターンに応じたテンプレートが必要となるため、必要なテンプレートの数が膨大となる。

単純な床形状でない限り、テンプレートに対応する形状が、元の多角形の集合が表す形状と完全に一致することはない。実際、長方形、L字型、凸型の全ての場合において、テンプレートの形状の頂点の座標は、元の多角形の頂点の座標とは一般に異なる。この誤差は小さい寸法のグリッドを使うことで小さくできる。しかし、判読された床形状から構築される地震応答解析モデルに、大きな誤差をもたらさない限り、図形の誤差は許容できると考えられる。

表-1 床形状とテンプレートの差異評価における B-Grid と図形処理の比較

	B-Grid	図形処理
コーディング	容易	大変
誤差	有り	無し
計算時間	長い	短い

図-6 図形処理された多角形と B-Grid へ変換された多角形の比較。白と灰色の市松模様は B-Grid で真の値をとる領域を表す。

5. 計算例

テンプレートフィッティングに必要な処理である床形状とテンプレートの形状の差異 d の計算に関して、B-Grid による方法と図形処理による方法の二つを比較した。表-1 に比較を示す。B-Grid による方法では差異の計算が堅牢に実行できるが、十分な精度を得るためにグリッドの寸法を小さくすると図形処理による差異の計算よりも長時間の計算が必要となる。本研究では、計算に誤差を生じない図形処理による方法を用いてテンプレートフィッティングを行う。このため、B-Grid との比較により開発した図形処理コードの検証を行った。実際の GIS データに含まれる約 38,000 棟の建物に対して、B-Grid による d の計算結果がグリッドの寸法を小さくすることで図形処理によって得られる d の値に収束していくことを確認した。一例を図-6 に示す。多角形のマーキングが成功し、グリッドの格子を 5x5, 50x50 と細かくすることで B-Grid で表現された床形状が図形処理でマーキングされた床形状に近づくことがわかる。

本研究ではテンプレートの形状として、グリッド情報で表せる正方形、L字型、凸型の3種類を設定した。テンプレートフィッティングでは、回転・伸縮による床形状の正規化を行うため、正方形のテンプレートを一種類用意すれば、縦横の長さの異なる多様な長方形の床形状に対して対応できる。一方、L字型と凸型にはさまざまな形がある。図7に示すように、L字型、凸型のテンプレート形状を B-Grid のセルの集合で表すと、L字型は一点、凸型は二点を指定することで、セルの集合として表せる L字型と凸型の形状を全て表すことができる。グリッドの寸法を小さくするとテンプレートの数が多くなり、より精緻な床形状の判読が可能となるがテンプレートの数が多くなる。例えば L字型の場

図-7 3種類のテンプレート

図-8 テンプレートフィッティング成功例 (d の閾値=0.05)

合, 5×5 のグリッドでは鏡像反転形状を同一視して 10 通り, 10×10 のより細かいグリッドでは 45 通りのテンプレートとなる. また, L 字型の場合, グリッド寸法の逆数である辺当たりのグリッド数の 2 乗に比例してテンプレートの数が増え, 凸型の場合には, 4 乗に比例する. 本研究では, テンプレートに対する内部構造の付加を手作業と想定しているため, テンプレート作成に用いるグリッドのサイズは 5×5 に留めた.

テンプレートフィッティングの堅牢性を検証するため, 約 38,000 棟の建物に対し, 正方形・L 字型・凸型の 3 種の形状のテンプレートを用いてテンプレートフィッティングを行った. 形状判読の成功と失敗を判別する閾値を $d = 0.05$ とした場合に, テンプレートフィッティングの成功例と失敗例を図-8 と図-9 にそれぞれ示す. 床形状を表す多角形のマージ結果が黒線, テンプレートフィッティングにより選択されたテンプレートの形状が灰色の領域で表されている. 形状判読が失敗した結果については, 床形状との差異がもっとも小さいテンプレートを示している. 図-8 の floor shape 1-3 は, それぞれ長方形, L 字型, 凸型のテンプレートへの変換が成功した中で d の値が最小であったものである. 複数の多角形からなる床形状に対して図形処理によるマージングが正確に行われ, その結果として GIS の床形状に一致するテンプレートが正しく選択された例である. 図-9 の floor shape 4-6 は, それぞれ長方形, L 字型, 凸型のテンプレートへの変換が成功した中で d の値が最大であったものを示している. これらは, 用意したテンプレートに床形状と一致するものが無い場合に正しく形状判読の失敗を判定できた例である. 床形状とテンプレートが実際には一致しているが形状判読が失敗と判定される場合や, 床形状とテンプレートが実際には一致していないが形状判読が成功したと判定される場合は, 差異の指標 d を用いた判定の性質上ありえない. したがって本研究で提案するテンプレートフィッティングは第 2 章で説明した二つの堅牢性をもっているといえる.

floor shape 4-6 のような複雑な形状に対しても形状判読が成功するためには, 膨大な数のテンプレートが必要となるため検討が必要である. floor shape 7-9 は,

表-2 形状判読の成功と失敗を判定する d の閾値ごとの形状判読結果

d の閾値	長方形	L 字型	凸型	判読失敗
0.05	47.8%	11.3%	1.3%	39.6%
0.10	54.6%	26.7%	5.9%	12.8%

正方形・L 字型・凸型のそれぞれに対して形状判読が失敗した中で最も d の値が小さいものである. いずれも $d = 0.05$ 程度であり, 閾値の値に従って形状判読失敗と判定されたものの床形状自体はテンプレートとよく一致している. 解析モデルを構築する際に必要となる床の重量の推定には GIS の床形状をマージングした結果の面積から行い, 内部構造の付加をテンプレートで行えば, テンプレートフィッティングの閾値はある程度大きなもので問題がないと考えられる. floor shape 10, 11 も $d = 0.10$ 程度であるがよく一致した結果が得られている. floor shape 12 では, floor shape 10, 11 と異なり差異部分が一か所に集中しているため形状の一致はよくないが, 単純な形状をしているために長方形・L 字型・凸型以外の形状に対応したテンプレートを追加することで対応できると考えられる.

表-2 に, 形状判読の閾値が $d = 0.05, 0.10$ の場合の約 38,000 棟の建物に対する形状判読結果を示す. 閾値が $d = 0.05$ では, 判読成功の割合が 60.4%であるが, 多少の形状の不一致を許して閾値を $d = 0.10$ とすれば 77.2%の割合で判読が成功する. 形状判読が失敗となる割合を減らすためには, 多少の形状の不一致を許す方法とテンプレートの数を増やす方法がある. しかし, 床形状の中には, 図-9 の floor shape 4, 5 のような複雑な形状以外にも曲線部分をもつ形状があることから, テンプレートを手作業で増やすには限界があり, テンプレートの自動生成が課題である.

自動構築される解析モデルの形状に関する精度は利用する GIS データに依存する. 地震被害シミュレーションのためのモデル構築にあたって, 実在する都市と市販の GIS データを比較することは重要である. 図-10 に, GIS データから抽出された構造物の平面形状を Google の衛星画像に重ねて示す. おおむね衛星画像と一致す

図-10 GIS データから抽出された構造物の平面形状と Google の衛星画像との比較

図-11 柱・床スラブモデル自動構築

図-9 テンプレートフィッティング失敗例 (d の閾値=0.05)

る結果が得られているが、一部には、衛星写真にある建物が GIS データに含まれていない場合やその逆がある。日々刻々と変化する実際の都市と、GIS データのずれに注意する必要がある。

床形状のテンプレートフィッティングにより構築し

た床スラブと柱からなる解析モデルの一例を図-11に示す。屋上部にペントハウスを持つL字型の建物に対してモデル形状の構築が正しく行われている。例では、多角形の頂点のみに柱を配置している。建物の各階は、床面積と高さから推定した構造形式に応じた階高を仮定することで内挿している。本論文が提案するテンプレートフィッティングという方法論により、幾何形状に忠実な地震応答解析モデルの自動構築が、テンプレートが表す平面形状に応じた適切な内部構造を仮定する問題に帰着できる。間取りなどが合理的に仮定できれば、テンプレートフィッティングは避難シミュレーションのためのモデルの生成にも利用できると考えられる。

6. おわりに

本論文は、IESに必要な地震応答解析モデルのモデル形状を GIS データから構築する際の困難を背景として、

テンプレートフィッティングという新しい方法論を提示した。テンプレートフィッティングは、多様な床形状に対応したテンプレートをあらかじめ多数準備し、GISから抽出された床形状に最も近いテンプレートを選択するという方法論である。床面を表すテンプレートに、その形状に応じた内部構造などを仮定しておくことで、テンプレートの選択と同時に階層のデータが付与できるため、堅牢なモデル自動構築が可能である。幾何形状に忠実な地震応答解析モデルの自動構築は、テンプレートが表す平面形状に応じた適切な内部構造を仮定する問題に帰着される。テンプレート形状に応じた適切な間取りなどが仮定できれば、テンプレートフィッティングは避難シミュレーションのためのモデル生成にも利用できると考えられる。

市販のGISデータに含まれる約38,000棟の建築建物のデータに対し、正方形、L字型、凸字型のテンプレートを用意してテンプレートフィッティングを実行した。

床形状の判読手法について、形状判読を正しく実行できる堅牢性と判読失敗を正しく判定できる堅牢性の二つの堅牢性が確認できた。幾何形状に忠実なモデル形状の構築という観点に基づき形状判読の成功率を上げるためには、実際の都市の多様な床形状に応じたテンプレートを自動生成することが今後の課題として挙げられる。一方で、少数のテンプレートによれば建物平面形状の分類が可能である。

参考文献

- 1) 堀宗朗, 田中謙吾, Sobhaninejad, G., 市村強, 小国健二: 自然災害シミュレーションのためのGISから都市モデルへの汎用的データ変換, 土木学会論文集A, Vol.66, No.1, pp.1-12, 2010.
- 2) Yu Peng, Jun-hai Yong, Wei-ming Dong, Hui Zhang and Jia-guang Sun: A new algorithm for Boolean operations on general polygons, *Computers & Graphics*, Vol. 29, Issue 1, pp.57-70, 2005.

(2013.11.15 受付, 2014.3.9 修正, 2014.3.13 受理)

A TEMPLATE-BASED FLOOR SHAPE RECOGNITION APPLIED TO 3D BUILDING SHAPES OF GIS DATA

Hideyuki O-TANI, Jian CHEN, Muneo HORI

A new approach to automatic construction of numerous building model shapes for seismic response analysis is proposed. It is based on a template-based shape recognition method applied to floor shapes extracted from GIS data. In this approach, adequate number of prescribed templates are precomposed, and one of them is selected to adapt each floor shape composed of a set of polygons. Since the differences between templates and floor shapes can be easily calculated using grid data with boolean values or boolean operations on polygons, the template-based approach enhances the robustness of floor shape recognition and automatic construction of building model shapes.