

GIS情報を用いた木造倒壊予測図作成

1170116 狭間弘菜

高知工科大学 システム工学群 建築都市デザイン専攻

要約

GIS情報を用いて年代別倒壊特性を持つモデルを作成し、1995年兵庫県南部地震時の神戸市東灘区の建物を対象に地震応答解析を行った。解析結果を用いて木造倒壊予測図を作成した。倒壊予測図と実被害状況図を比較し、モデル構築手法の妥当性を検討した。

Key Words : 建築年別倒壊特性、GIS情報、木造建物倒壊予測

1. はじめに

小八木¹⁾の研究により、対象とする地区の沖積層の厚さ、木造建物の割合、建築年代別の割合等の情報による木造倒壊危険地区の予測手法が示されている。しかしながら、戸別の建物の危険度を予測することはできない。

河野²⁾は建築年代、面積別に異なる倒壊特性をもつ木造家屋モデルの構築手法を提案した。このモデル構築手法に基づくと、建築年、建築面積、階数、屋根の重さの情報を把握すると、モデルを構築し木造建物の倒壊予測を行うことができる。

GIS 情報を用いると、戸別の建物の面積、位置情報を取得できる。

GIS を用いて戸別の建物の危険度を知らなければ、その建物周辺の道路状況を知ることができる。避難経路の選定なども可能になり、より現実的な防災計画を立てることが可能になる。

本研究では、GIS 情報を用いて、木造建物の倒壊予測を行うことを目的とした。

2. GIS 情報を用いたモデル構築手法の提案

2.1 先行研究

河野は建築年代別の木造建物モデル構築手法を提案した。平面計画を建築年代ごとに行い、偏心率が算出した値と一致するように耐震壁の位置を決定する。河野のモデル構築手法の概要を表 2.1 に示した。偏心率は年代ごとのばらつきを考慮した 1) 式を用いる。

$$y = 31389e^{-0.005626x} \quad 1)$$

y: 偏心率 x: 建築年

河野が提案した手法に基づく平面計画では、水周り、玄関、収納、階段をすべて 0.91m モジュールの面積で示している。よって、モデルの平面形状は 0.91m モジュールである必要がある。また、居室を約 6 畳空間として変化させている。居室は基本的に 2.73m×3.64m の 6 畳空間であると考えた。そのため、作成するモデルの平面の辺の長さは 2.73m 以上である必要がある。

表 2.1 モデル構築手法の概要

年	階数	面積	偏心率	必要階数	接合部	固定の位置	開口部	間仕切り	各機能の床面積と位置	LDK空間の構成	LDK空間の面積	
1950	階高 1階	2940mm	0.54	120m ² /m ²	柱	短ほぞ差		襖間仕切り		DK空間	考えなくてよい	
	軸組	105m x 105m			梁	短ほぞ差						
1960	通柱	120m x 120m	0.51	150m ² /m ²	柱	短ほぞ差		各居室外壁に面する窓枠・扉枠・壁付開口	便所 1畳	北側	LDK空間	LDK空間の面積の40%をLDK室とする。うち、LDKは全体の2分の1
1970	土台	120m x 120m	0.48						梁	羽子板ボルト		
	梁	120m x 210m		耐圧(筋交)	45mm x 90mm	2階	0.5階	間仕切り壁	洗面 2畳	北側	LDK空間	LD+K
1980	耐力壁(筋交)	100m x 40mm	0.46	150m ² /m ²	柱	平金物(GP-T)	1820mm	間仕切り壁	廊下 2畳	北側	LDK空間	LD+K
	耐力壁	内壁							0.5階	廊下 2畳		
	床	構造用合板	2階									

2.2 モデル構築用座標の作成方法

GIS で取得できる任意形状の建物ポリゴンを河野のモデル構築手法に適用するために、取得した GIS 情報を変換し、モデル構築用座標を作成する方法を提案する。作業手順を図 2.2 に示した。

a) は取得した GIS 情報である。各建物に適切な直交座標系を求めるために、取得した図形の隣合う辺に 2) 式の関係がある場合には、各辺を横ベクトルと縦ベクトルに分離した。これを b) に示す。3) 式から 6) 式に従い、適切な直交座標系 uv を求めた。c) は uv 座標系となるように、建物の頂点を回転させた図である。さらに、各辺の中点を通り、直交座標系に対して平行な直線を引き、その交点を建物の頂点とした。これを d) に示した。

$$-\frac{1}{\sqrt{2}} < \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} < \frac{1}{\sqrt{2}} \quad 2)$$

$$\vec{x} = \frac{\sum \vec{X}_i}{|\sum \vec{X}_i|}, \vec{y} = \frac{\sum \vec{Y}_i}{|\sum \vec{Y}_i|} \quad 3)$$

\vec{X}_i : 横ベクトル \vec{Y}_i : 縦ベクトル

$$\vec{uv} = \frac{\vec{x} + \vec{y}}{|\vec{x} + \vec{y}|} \quad 4)$$

$$\vec{u} = \begin{pmatrix} \cos \pi/2 & -\sin \pi/2 \\ \sin \pi/2 & \cos \pi/2 \end{pmatrix} \vec{uv} \quad 5)$$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} \cos \pi/2 & \sin \pi/2 \\ -\sin \pi/2 & \cos \pi/2 \end{pmatrix} \vec{uv} \quad 6)$$

0.91m モジュールに基づく平面となるように頂点の位置を調整した。これを e) に示す。図形を構成する始点と終点が原点位置となるように図形を平行移動し、0.91m モジュールの方眼上で最も近い点へ頂点を移動した。

さらに、居室空間を変化させることができるように、次の作業を行った。

- 図形の辺が 2.73m 以上であるか判定を行った。f) のように 2.73m 以下の辺がある場合、その辺の前後の頂点を移動することにより、2.73m 以下の辺を消去した。前後の頂点を消去する辺の中点を通り座標軸に平行な直線上の点となるように移動した。
- 頂点を移動すると、図形の形が変化し、図形を構成する辺の長さも変化してしまう。そのため、上の処理を変換後の図形にも行った。
- 上記 2 つの処理をすべての辺の長さが 2.73m 以上になるまで繰り返し行った。

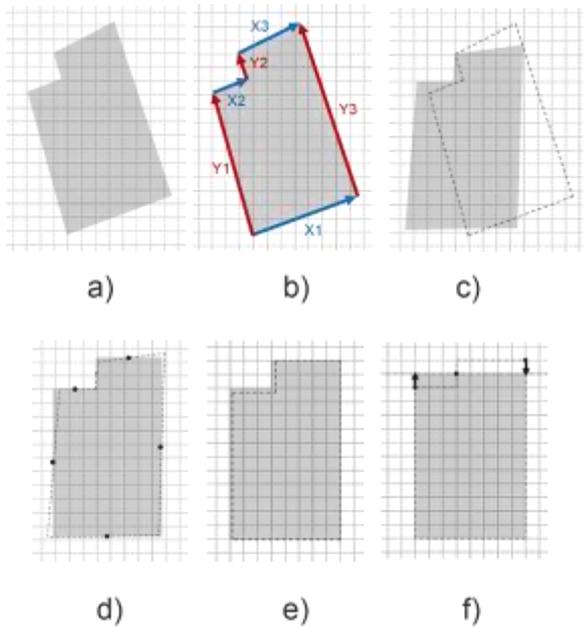


図 2.2 モデル構築用座標作成手順

3. GIS 情報を用いたモデルの作成

1995 年兵庫県南部地震時の東灘区西部岡本地区にある約 10,000 m²の街区内の建物の GIS 情報を取得しモデルを作成した。福島ら³⁾が作成した被害状況図により建物位置と建物形状、被害状況の情報を収集した。また、阪神淡路大震災調査報告⁴⁾の東灘西部地区の築年の分布図より建築構造、築年の情報を収集した。築年については、参考資料の年代区分に基づき、河野のモデル構築手法における築年を表 3 のような属性情報として与えた。また、作成した GIS 情報には階数の情報、屋根の重さの情報が不足している。建物は全て平屋、屋根は重い建物と考えた。

対象地区の建物情報と座標変換後の座標位置情報を元に作成したモデルを図 3 に示した。

表 3 築年の区分

阪神淡路大震災調査報告による築年区分	対応した築年
1948(S.23)～1961(S.36)	1950
1961(S.36)～1974(S.49)	1960
1974(S.49)～1985(S.60)	1970
1985(S.60)～	1980

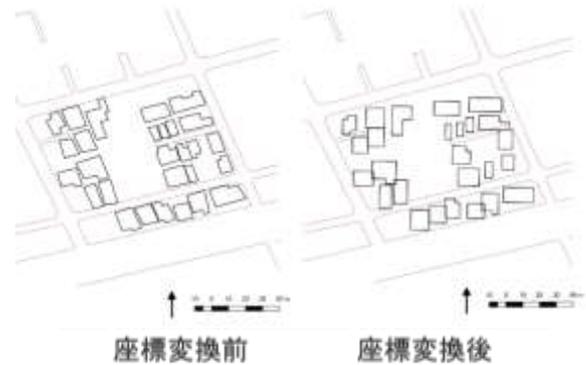


図 3 座標変換前後の建物と作成モデル

4. 地震応答解析

wallstat⁵⁾ を用いて地震応答解析を行い、倒壊挙動をシミュレーションした。入力地震波は JMAKOBE を用いた。この地震波の計測震度は 5.9 である。地震波の入力倍率を変化させて解析を行った。入力倍率と計測震度の関係を表 4 に示した。

表 4 入力倍率と計測震度、震度階級の関係

入力倍率	計測震度	震度階級
0.3	4.9	5 弱
0.4	5.1	5 強
0.5	5.3	5 強
0.6	5.5	6 弱
0.7	5.6	6 弱
0.8	5.7	6 弱
0.9	5.8	6 弱
1.0	5.9	6 弱
1.1	6.0	6 強

4.1 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 4.1 に示す。築年が現在に近づくほど赤色の部分が減っている。また、各築年を見ると、面積が小さくなるほど赤色の部分が減っている。どの築年、面積でも計測震度が大きくなると赤色が増えている。

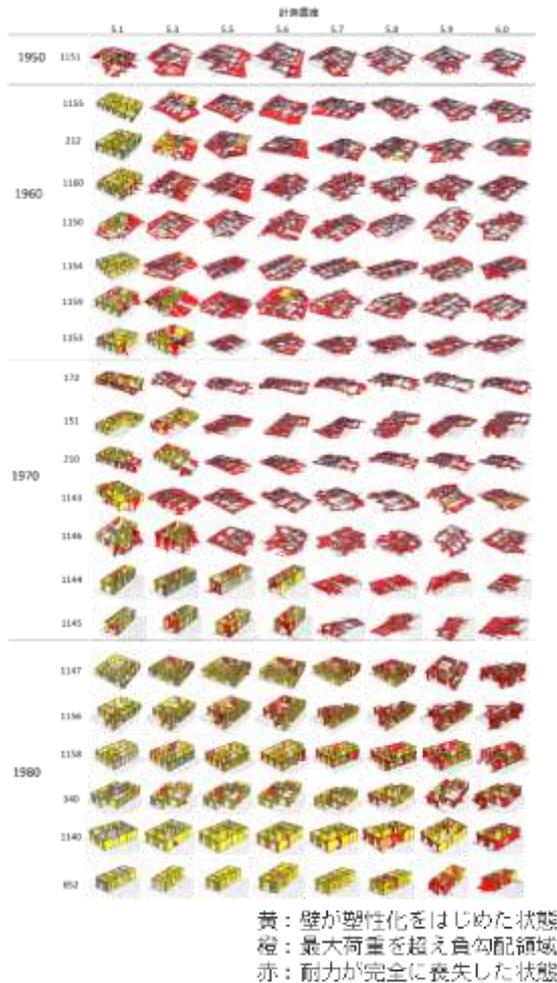


図 4.1 各建築年の計測震度ごとの解析結果

4.2 河野作成モデルの解析結果との比較

今回作成したモデルについて、河野と同様の判定方法⁶⁾を行い、一部損傷、半壊、全壊の3段階で判定した。河野が示した解析結果と今回作成したモデルの解析結果と比較することで、再現性の検証を行う。結果を表 4.3 に示す。

表 4.2 河野作成モデルの解析結果との比較

建物番号	河野モデル結果	作成モデル結果
1051	○	○
1155	○	○
1322	○	○
1180	○	○
1230	○	○
1394	○	○
1350	○	○
1364	○	○
1372	○	○
151	○	○
230	○	○
1143	○	○
1144	○	○
1144	○	○
1145	○	○
1147	○	○
1196	○	○
1158	○	○
340	○	○
1140	○	○
492	○	○

○：一部損傷 △：半壊 ×：全壊

河野が示した解析結果では、1960年代は建築面積と地震動の大きさに関係性は見られず、どの規模の家屋も同様の被害となっている。1970年代と

1980年代の建物は建築面積の増加に伴い倒壊している。

年代別倒壊傾向をみると、両結果ともに現在に近づくほど耐震性を増していた。面積別の倒壊傾向は今回作成したモデルの面積が河野の解析結果よりも大きいものであったため、比較が困難である。しかし、河野のモデルとほぼ同じ面積のモデルがいくつか存在した。1980年、1970年の床面積別の結果を見ると、河野と同じように面積の増加に伴い倒壊傾向を示した。概ね河野と同様の傾向を示すモデル構築が可能であると言える。

5. モデル構築手法の妥当性の検討

被災度判定結果を用いて、倒壊予測図作成した。作成した倒壊予測図と福島らが作成した実被害状況図を比較し、モデル構築手法の妥当性の検討を行った。

5.1 実被害状況図と倒壊予測図の比較

対象街区は1995年兵庫県南部地震時、街区内部最大震度6を計測した地域である。⁷⁾よって、計測震度が6.0になるよう地震波の入力倍率が1.1倍のときの地震応答解析結果を用いて被災度判定を行い、判定結果を元に木造倒壊予測図を作成した。被災度判定は、福島らの判定基準に基づくものとし、被災度をランクA、B、C、被害無し⁸⁾の4段階に分類した。判定基準の詳細を図 5.1.1 に示した。

ランク	判定基準
ランクA	（被害が軽微で倒壊の可能性が極めて低い） ・外壁の破損（軽微な程度）が認められる。 ・内装の破損（軽微な程度）が認められる。 ・その他（被害が軽微でランクAに該当しない）
ランクB	（外壁も被害が軽微で倒壊の可能性が低い） ・外壁の破損（軽微な程度）が認められる。 ・内装の破損（軽微な程度）が認められる。 ・外壁の破損（大きな破損が認められる。窓枠が壊れている。ガラスが破損している） ・内装の破損（大きな破損が認められる。天井が壊れている。天井が落ちてきている） ・その他（被害が軽微でランクBに該当しない）
ランクC	（内装が破損して倒壊の可能性が高い） ・外壁の破損（大きな破損が認められる。窓枠が壊れている。ガラスが破損している） ・内装の破損（大きな破損が認められる。天井が壊れている。天井が落ちてきている） ・その他（被害が軽微でランクCに該当しない）

図 5.1.1 判定基準（木造のみ抜粋）

実被害と作成した倒壊予測図を図 5.1.2 に示した。実被害を見ると面積の大きいものでも被害無し⁸⁾のものが存在するが、木造倒壊予測図では、すべての建物がC判定となった。

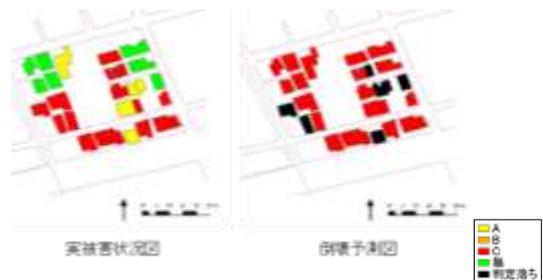


図 5.1.2 木造倒壊予測図と実被害状況図の比較

5.2 考察

河野は神戸市自治体調査による建築年代別全壊率と解析結果を比較している。河野が作成したモデルの全壊率と自治体の全壊率の比較を図 5.2.1 に示した。

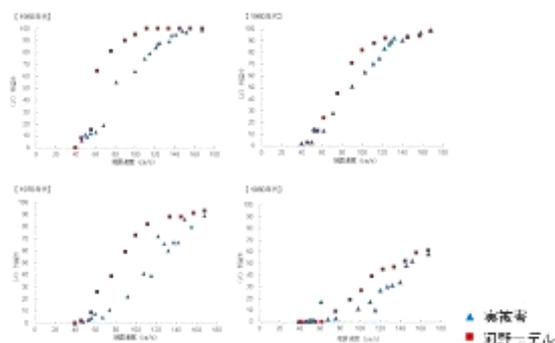


図 5.2.1 全壊率の比較

図 5.2.1 より河野のモデル結果、実被害の全壊率は共に、地震動が大きくなる程に増加する傾向があることが分かる。また、地震動が小さいときの全壊率は河野、実被害とも同程度の値であると言える。地震速度が大きくなるほど、河野のモデルの全壊率が実被害を上回っている。これは、モデルの偏心率を安全側としているためだと述べられている。

しかし、実被害と比較した際、被害無しの場合も倒壊する結果となった。実被害を見ると面積の大きいものでも被害なしのものが存在する。実被害の GIS 情報を元に建築面積別被災建物の割合を求め、図 5.2.2 に示した。これを見ると、特に 1980 年では、面積が小さいほど被害率が大きくなる傾向がある。河野が示した面積別の倒壊特性と逆の傾向を示していることが分かった。

河野のモデル構築手法は、年代別の傾向は捉えているが、面積別の倒壊特性について見直す必要がある。

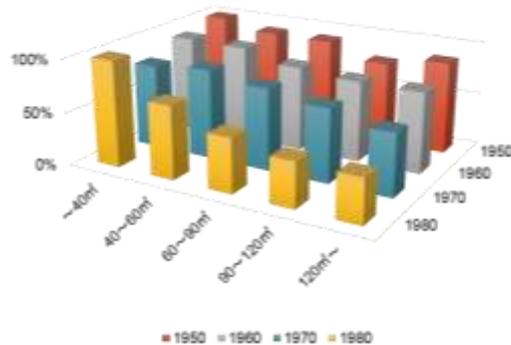


図 5.2.2 年代・建築面積別の被災建物の割合

6. まとめ

本論文は、GIS 情報を用いた木造建物倒壊予測図の作成を目的としたものである。本研究では GIS 情報を用いたモデルの構築手法を提案し、実際に 1995 年兵庫県南部地震時の東灘区西部の GIS 情報

を用いてモデルを作成した。作成したモデルを wallstat を用いて地震応答解析を行い、その解析結果と河野の解析結果を比較し河野のモデル構築手法の再現性を検証した。また、東灘区西部の実被害データと今回作成した解析結果を比較し、モデル構築手法の妥当性の検討を行った。本研究で得られた知見を以下にまとめた。

- 1) GIS 情報を用いて年代別の倒壊特性を持つ建物のモデルを構築することが可能になった。
- 2) 実被害と作成したモデルの解析結果を比較すると面積別の被害傾向に違いがあったことから、河野のモデル構築手法を修正する必要があることが分かった。

7. 参考文献

- 1) 小八木雅典：高知市における地震時の木造倒壊危険地区の抽出，高知工科大学修士論文，2002
- 2) 河野あすみ：建築年代別の家屋特性を考慮した木造家屋モデルを用いた倒壊要因の分析，高知工科大学修士論文，2014
- 3) 福島徹，大西一嘉：建物被災情報の GIS 化とその分析，建設工学研究所報告第 38-B 号 阪神・淡路大震災特集号，1996. 11
- 4) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 建築編-4 木造建築物建築基礎構造，pp. 54-pp. 64，1998. 3
- 5) 木造住宅 倒壊解析ソフトウェア wallstat，<http://www.nilim.go.jp/lab/idg/nakagawa/wallstat.html>，2017 年 2 月 12 日参照
- 6) 岡田成幸，高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン，日本建築学会構造系論文集第 524 号，pp. 65-pp. 72，1999. 10
- 7) 気象庁：平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震調査報告 気象庁技術報告 第 119 号，pp. 71-pp. 74，1997