

兵庫県南部地震後の建物データに基づく建物復興過程の評価

Evaluation of the process of building recovery using the building dataset after the 1995 kobe earthquake

15TM0305 市村 直登
Naoto Ichimura

指導教員 丸山 喜久

SYNOPSIS

This study evaluates the process of building recovery after the 1995 Kobe earthquake. The building dataset compiled by Kobe City is employed to achieve the objective. A method to estimate the number of demolished buildings due to the ground shaking is developed considering the spatial distribution of the JMA (Japan Meteorological Agency) seismic intensity. A numerical model to estimate the number of reconstructed buildings with respect to the elapsed years after the event is also proposed by this study. Based on these two results, the process of building reconstruction is evaluated assuming the scenario Tokyo Metropolitan earthquake.

1. はじめに

1995 年に発生した兵庫県南部地震では、約 10 万棟の建物が全壊し、構造物被害による圧迫や窒息などを死因とする犠牲者が全体の 3/4 程度を占めた^{1), 2)}。また、兵庫県南部地震と同様に M7 クラスの直下型地震と想定されている首都直下地震では、揺れによる全壊棟数が約 17.5 万棟³⁾と推計されており、地震防災に関する重要な問題の一つである。今後首都圏で兵庫県南部地震時と同程度の被害を出さないためにも、神戸市の建物被害データを分析することは意義があると考えられる。また、兵庫県南部地震後においては、一部地域において復興が遅れが生じ、神戸市内での復興の地域差が浮き彫りとなった⁴⁾。今後、2020 年開催予定の東京オリンピックなどのイベントを控える上で、東京 23 区内で復興が遅れる可能性の高い地域を事前に把握するためにも、東京湾北部震災後の建物の復興過程を定量的に分析することは重要である。

本研究では、神戸市企画調整局から提供を受けた震災復興データアーカイブ内の建物データを用いて、木造建物の解体損傷度（木造建物が解体に至るときの建屋損傷度）⁵⁾を推定する。得られた結果と既往研究⁵⁾を比較し、解体損傷度の普遍性に関して検討する。さらに東京湾北部地震⁶⁾を例として、解体損傷度を用いた木造建物の解体棟数予測を行う。最後に、既往研究⁴⁾の手法をもとにして、地域による復興差を踏まえた上で、東京湾北部地震後の木造棟数変化を予測する。

2. 木造建物の解体損傷度

岡田・高井⁷⁾は、建物の破壊パターンと被災尺度の対応関係として建屋損傷度(Damage Index)を提案した。建屋損傷度は建物の被害程度を 0~1 の連続量として表すことができる利点を有しており、建物被害に起因する死者の予測など、様々な広域的な被害予測に用いられている⁸⁾。しか

し、地震被害により建物解体が行われる場合に、建屋損傷度がどの程度なのかは示されていない。川口ら⁵⁾は地震による影響で木造建物が解体される際の、建屋損傷度の値を解体損傷度と定義した。これは、建屋損傷度が解体損傷度以上の値を示した場合に、その建物は解体されるという仮定の下で定められる量である。地震後の建物の解体には、建屋損傷度のような物理的尺度で表されるものだけではなく、自治体の支援制度⁹⁾など様々な要因が反映されたものであると考えられるが、建物 1 棟、1 棟に関する分析ではなく、広域の解体棟数を予測する場合には、解体損傷度は一つの尺度になり得るものと考えている。解体損傷度の推定の流れ⁵⁾は以下の通りである。まず、図 1 のような耐震精密診断値 I_w ごとに、計測震度 I と建屋損傷度 x の関係を表す損傷度関数^{5), 8)}を構築する。耐震精密診断値は建物の強度を表す指標であり、診断値が小さいと地震に弱い危険な建物であり、診断値が大きいと地震に強い頑丈な建物を意味する。次に、損傷度関数をもとに式(1)のようなべき乗関数を仮定し、計測震度 I と建屋損傷度 x から耐震精密診断値 I_w を算出する¹⁾。 $a(x)$, $b(x)$, $c(x)$ は建屋損傷度 x ごとに決まるパラメータである(表 1)⁵⁾。

$$I_w = \left\{ (I - a(x)) / b(x) \right\}^{1/c(x)} \quad (1)$$

今、ある地域の計測震度 I とその地震で解体された建物数 N が分かっているものとする。耐震精密診断値 I_w の分布は、建築年代ごとに対数正規分布を仮定する⁸⁾。ある地域の計測震度 I は分かっているので、式(1)より、計測震度 I の地震動によって建屋損傷度 x となる建物の耐震精密診断値 I_w の値は一義に定まる。換言すると、計測震度 I の下で損傷度 x 以上になってしまう木造建物棟数は、耐震精密診断値 I_w 以下の建物棟数と等価となる。ここで、木造建物が建屋損傷度 x^D 以上の被害を受けた場合に全て解体されるものとする。この仮定にもとづけば、損傷度 x^D に対応する耐震精密診断値 I_w^D 以下の木造建物棟数は、実際にその地域で解体された建物数 N と一致する。このような損傷度 x^D

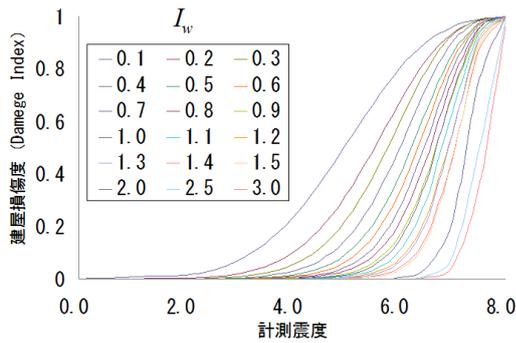


図1 木造建物の損傷度関数⁸⁾

表1 建屋損傷度ごとのパラメータ⁵⁾

建屋損傷度X	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
a	1.4	1.1	0.8	0.3	-0.1
b	4.45457	5.10218	5.6236	6.29789	6.8488
c	0.249531	0.19203	0.15735	0.12832	0.107837
建屋損傷度X	0.6	0.7	0.8	0.9	
a	-0.491386	-0.9713	-1.8204	-13	
b	7.38058	8	9	20.37	
c	0.0910706	0.07569	0.05925	0.02191	

は地域ごとに決まり、これを解体損傷度と定義する⁵⁾。

兵庫県南部地震の際の地震動分布と各区の木造解体棟数、建築年代別の木造棟数¹⁰⁾、耐震精密診断値の相対頻度分布に関するパラメータは大阪圏のもの⁸⁾を用いて、上記の手法で神戸市9区の解体損傷度を推定すると、区ごとの解体損傷度は0.51~0.67の範囲となった。また、神戸市全体の平均的な解体損傷度を推定した。兵庫県南部地震の際の神戸市全体で解体された木造建物棟数は、62308棟である。建屋損傷度に対応する耐震診断値以下となる建物棟数を神戸市全域について合計すると、図3のような結果が得られた。ある建屋損傷度以上の被害を受けた全ての木造建物が解体されると仮定すれば、図3の縦軸は解体棟数と等価となる。線形補間で評価したところ、神戸市全体の平均的な解体損傷度は0.61となった。

川口ら⁵⁾は、村上¹¹⁾がまとめた新潟県中越地震時における市町村ごとの住家解体数をもとに、新潟県8市町の解体損傷度を算出している。新潟県8市町の平均的な解体損傷度は0.59となった。本研究の結果(0.61)と比較すると、平均的な解体損傷度は両地震とも0.6程度の値を示しており、限られた事例での検証ではあるが、解体損傷度は地震間で整合している。また、川口ら⁵⁾の結果をもとに、新潟県中越地震の解体損傷度を新潟県8市町ごとに算出すると図2のようになる。この結果を、本研究の兵庫県南部地震の神戸市9区のもの(図3)と比較すると、新潟県中越地震時の市町別の解体損傷度は、柏崎市の0.36が最小、十日町市の0.74が最大で、標準偏差は0.12である。また、柏崎市を除いた新潟県7市町における標準偏差は0.098となった。柏崎市の解体損傷度が小さい要因としては、震度が比較的小さかった(平均計測震度4.9)にも関わらず解体棟数が多かった(415棟)ことが挙げられる。この結果を詳細に評価するには、柏崎市内の地震動強さの空間的な変動をより詳細に評価することが必要である。一方、神戸市9区に関しては、灘区の0.51が最小、垂水区の0.67が最大で、標準偏差が0.06となった。このことから、柏崎市を除けば集計単位ごとの解体損傷度のバラツキは非常に小さいものと考えられる。

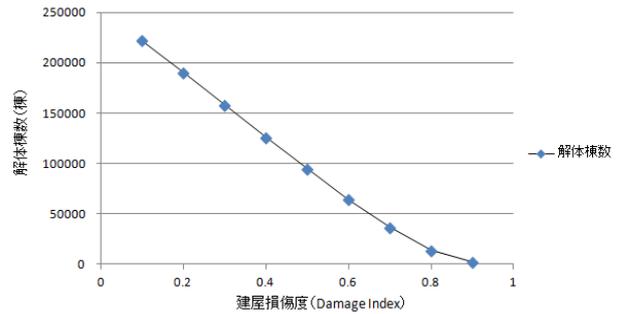


図2 ある建屋損傷度以上の全ての木造建物が解体されると仮定したときの解体棟数(神戸市全体)

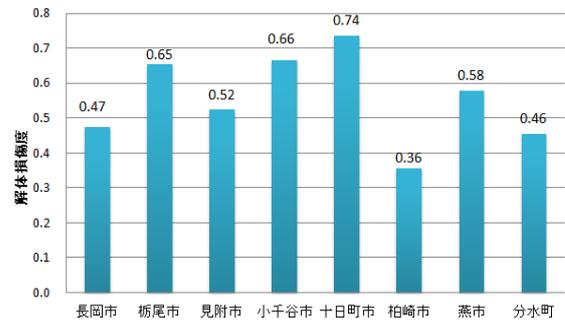


図3 新潟県8市町ごとの解体損傷度(新潟県中越地震)

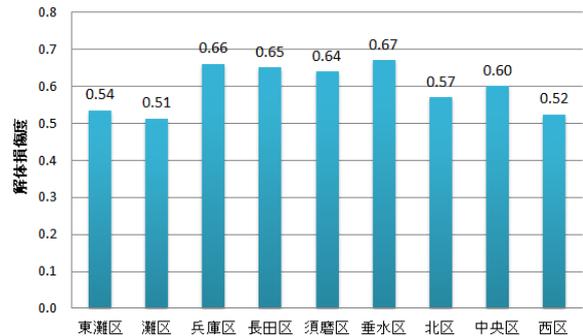


図4 神戸市9区ごとの解体損傷度(兵庫県南部地震)

3. 東京湾北部地震時における木造建物解体棟数の予測

前章までの検討結果によると、解体損傷度は兵庫県南部地震、新潟県中越地震の両地震において、平均的には0.6程度の値を示した。既往地震に関して本研究と同様の検討を行い分析事例を増やす必要はあるが、現時点では解体損傷度は他の地震への適用が期待できる。本研究では、解体損傷度を用いて東京湾北部地震時の木造建物の解体棟数を東京23区について区単位で予測する。解体損傷度の平均値は0.6と定めた。また、区ごとの建築年代別の木造建物棟数には、総務省の2013年の住宅・土地統計調査¹²⁾の木造建物データを用いた。区別に木造の建築年代別戸数が整理されており、本研究ではこの値を棟数と仮定した。建築年代は耐震精密診断値の年代区分に合わせるため、1970年以前、1971~1980年、1981~1990年、1990年以降の4年代に整理し、耐震精密診断値の相対頻度分布に関するパラメータは首都圏のもの⁸⁾を用いた。また、東京湾北部地震の



図5 解体損傷度0.6のときの木造建物解体棟数

震度分布は250mメッシュ単位で与えられるが、これを区ごとに平均した。各区の予想解体棟数は図5のようになる。東京都東部の足立区や葛飾区、江戸川区などで、木造解体棟数がそれぞれ4103棟(全ての木造建物棟数に対する割合:5.0%)、2821棟(4.3%)、3568棟(4.0%)と多く、23区の中心部に位置する千代田区や中央区は木造建物の解体棟数が74棟(11.4%)、72棟(3.0%)と比較的少ない数値となった。また、23区全体での木造建物の解体棟数は約30,000棟となった。

4. 地域の復興差を考慮した木造棟数変化の予測

(1) 神戸市9区・東京23区の木造被害量に基づく分類

本章では、復興に時間がかかると予想される木造における地域毎の復興差を考慮した復興過程を検討した。統計ソフトRの階層的クラスター分析を用いて神戸市9区と東京23区を木造建物の被害が多いと予想されるグループ、木造被害が少ないと予想されるグループで2分類化した¹³⁾。分析に用いた変数は、各区の計測震度、1970年以前の木造構成率、1971年～1980年の木造構成率、旧耐震基準(1980年以前)の木造棟数とし、これらを以下の式(2)より最小値0、最大値1となるように正規化した。

$$x_i' = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (2)$$

x_{\max} は各変数の最大値、 x_{\min} は各変数の最小値とする。神戸市9区は、兵庫県南部地震で大被害を受けた震災の帯を含む6区(東灘区、灘区、中央区、兵庫区、長田区、須磨区)と地震の被害が比較的少なかった3区(垂水区、北区、西区)という分類となった。同様の手法で東京23区も2分類化を行ったところ、木造解体棟数が2000棟を超えている墨田区などの地震被害が大きい15区、木造棟数が少なく解体棟数が少ない千代田区などの地震被害が小さい8区に分類された。そこで、木造の被害棟数が多いと予想される神戸市6区で復興予測式を構築し、東京23区内で木造の被害棟数が多いと予想される15区に適用する。木造被害が少ないと予想されるグループは神戸市のデータ数が少ないため行わなかった。

(2) 木造被害が大きい神戸市6区で復興式構築

建物棟数の回復過程のモデル化においては、上田⁴⁾の人口回復予測モデルを応用する(図6)。本研究では、まず上田

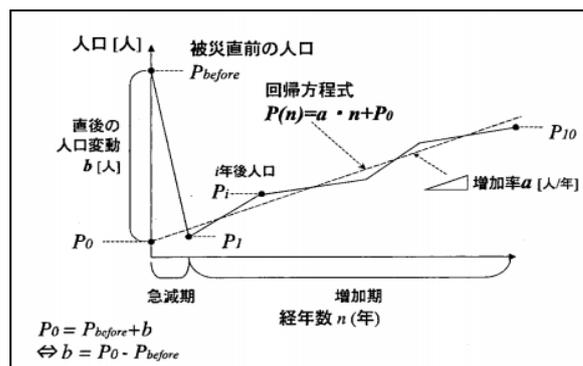


図6 被災後の人口回復モデル⁴⁾

のモデルにおける人口数を建物棟数に置き換えることで、神戸市6区の木造直後の建物解体棟数 b (棟)と x 年間の平均建物増加率 a (棟/年)を算出した。しかし、この b と a は当該区全域での数値であるため、単位面積あたりで基準化した。単位面積当たりの木造解体棟数を β 、建物増加率を α とする。次に、縦軸を α 、横軸を β として木造の散布図を区ごとに作成し、1次線形直線で近似し木造被害が大きい区の復興式を構築する。しかし、兵庫県南部地震における建物の復興速度は地震直後から数年で大幅に回復し、地震後数年目からは緩やかな復興に変化していたため、復興予測式を地震後数年間とそれ以降の2パターンにする。そこで、縦軸 α (単位面積当たりの X 年平均での増加率)横軸 β (単位面積当たりの建物減少数)として散布図を区ごとに作成し、地震後 X 年間の復興予測式を算出し、決定係数が最も下がるのが何年後か検討した。4年平均～5年平均で0.1ほど決定係数が下がっていたため、地震が建物の復興速度に影響を与えるのは地震直後から4年目までと定義した。

(3) 木造被害が多いと予想される東京15区の復興過程予測

東京23区内で木造被害棟数が多いと予想される15区に適用する。地震後4年目までは、神戸市6区における4年平均での回復式を用いて東京湾北部地震後の東京15区の回復過程を予測する(式(3))。

$$\alpha = 0.0448\beta + 2.1001 \quad (3)$$

各区における木造の地震による解体棟数を推定し、これを b とする。解体棟数は、解体損傷度0.6のときの結果とする(図5)。さらに、それらを各区の面積で除することで β を算出する。この結果を式(3)に代入することで α を求め、最後に面積を乗ずることで4年間での平均増加率 a (棟/年)を算出する流れである。各区における木造の増加率 a を比較した(図7)。足立区や江戸川区の増加率が高く、1年でそれぞれ295.5棟、262.9棟が回復すると予測される。一方、15区内では文京区の増加率が56.5棟と最も低い数値となった。また、地震後5年目～地震後10年目の6年間における木造建物の回復過程に関しては、地震による影響から自然更新へ変化すると仮定する。神戸市9区における1999年～2005年の6年間(兵庫県南部地震後5年目～10年目)の平均木造増加率 a (棟/年)を算出し、単位面積あたりで基準化した。神戸市各区の単位面積当たりの平均木造増加率の平均値は3.97(棟/年・km²)となり、これに東京各区の面積を乗ずることで東京湾北部地震後5年目～10年目の東京15区の平均増加率 a (棟/年)を算出した(図8)。面積の大きい大田区の増加率が最も高く、1年で236.0棟が回復する

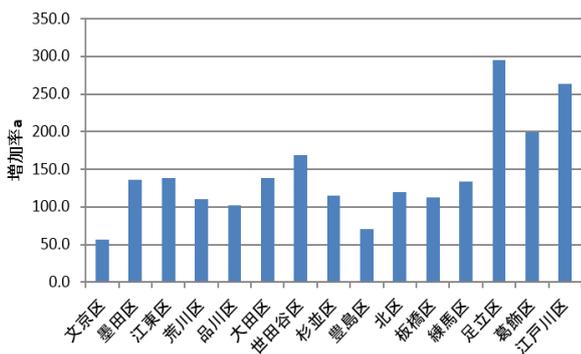


図7 東京15区の建物棟数の平均増加率(4年平均)

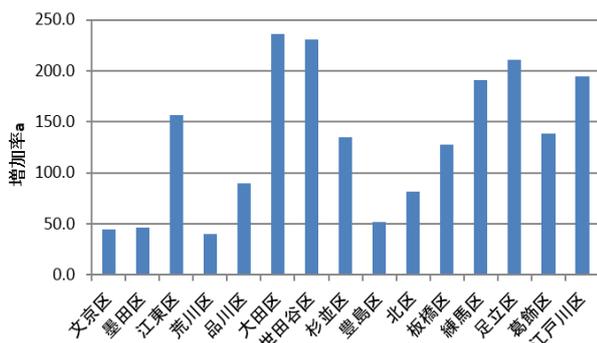


図8 東京15区の木造建物棟数の平均増加率(6年平均)

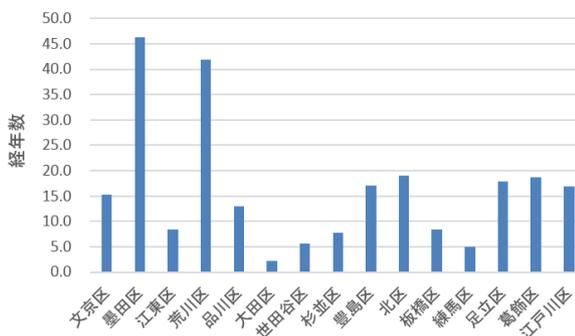


図9 東京15区の回復経年数比較

と予測される。一方、面積の小さい荒川区の増加率が40.5棟と最も低い数値となった。

木造被害が大きいと予想される東京15区で、地震直前の建物棟数と同等になるまで回復するのにかかる年数 b/a (回復経年数) を比較した(図9)。地震後4年目までは各区の4年平均の木造増加率、5年目以降は各区の6年平均の木造増加率を用いた。15区内では、墨田区(46.3年)や荒川区(41.8年)で木造復興が長期化するとみられ、大田区(2.1年)や練馬区(5.0年)は比較的早く復興が進むと予想される。また15区内では、今年(2017年)地震が起きると仮定すると、東京オリンピックまでの3年間で回復が完了するのは大田区(2.1年)のみという結果になった。

5. まとめ

本研究では、神戸市企画調整局から提供を受けた震災復興データアーカイブ内の建物データを用いて、木造建物の

解体損傷度を推定した。得られた結果と既往研究を比較し、解体損傷度の普遍性に関して検討した。さらに東京湾北部地震を例として、解体損傷度を用いた木造建物の解体棟数予測を行った。最後に、地域による復興差を踏まえた上で、東京湾北部地震後の木造棟数変化を予測した。

兵庫県南部地震の際の神戸市9区の解体損傷度は0.61となった。新潟県中越地震の際の解体損傷度と比較したところ、解体損傷度は2地震ともおよそ0.6を示したため、解体損傷度の普遍性は高いと考えられる。更に解体損傷度を用いて東京湾北部地震の際の木造建物解体予測を行った。平均的な解体損傷度を0.6とした場合、東京湾北部地震時における木造の予想解体棟数は、23区全体で約30,000棟となった。クラスター分析により木造被害が大きいと予想された東京15区の回復経年数(地震直前の棟数と同等になるまで回復するのにかかる年数)を比較したところ、墨田区(46.3年)や荒川区(41.8年)で木造復興が長期化するとみられ、大田区(2.1年)や練馬区(5.0年)は比較的早く復興が進むと予想された。15区内では、例として今年(2017年)地震が起きると仮定すると、東京オリンピックまでの3年間で木造回復が完了するのは大田区(2.1年)のみという結果になった。

今後の課題としては、木造被害が少ないと予想されるグループの復興モデル構築とともに、非木造についても同様に建物被害量で分類化を行い、それぞれのグループにおける復興予測を行うことが挙げられる。

参考文献

- 岡田恒男, 土岐憲三: 地震防災のはなしー都市直下地震に備える, 朝倉書店, 2006.
- 高田至郎, 鎌田泰子: 震災救命工学, 共立出版, 2014.
- 中央防災会議 首都直下地震対策検討ワーキング: 首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告), 2013.
- 上田遼: 復興計画のための震災地域の人口回復予測モデルー兵庫県南部地震の神戸市の分析と首都直下地震対策への応用ー, 地域安全学会論文集, No.15, 2011.
- 川口裕樹, 武田正紀, 丸山喜久: 木造建物の解体を考慮した東京都の災害廃棄物量の予測, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.59A, pp. 396-404, 2013.
- 東京都: 首都直下地震による東京の被害想定, 2006.
- 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, No. 524, pp.65-72, 1999.
- 田畑直樹, 岡田成幸, 高井伸雄: 建物損傷度関数と棟死亡率関数の地震防災への利用法, 日本建築学会構造系論文集, No. 611, pp.39-46, 2007.
- 熊谷昌彦, 浅井秀子, 樋口秀, 川口洸葵: 新潟県中越地震における被災住宅に対する公的支援の評価, 日本建築学会技術報告集, Vol. 13, No. 25, pp. 359-362, 2007.
- 総務省統計局: 住宅・土地統計調査, 1993.
- 村上ひとみ: 近年の地震による住宅被害と解体廃棄物の動向調査に基づく廃棄物量予測に関する研究, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.722-727, 2010.
- 総務省統計局: 住宅・土地統計調査, 2013.
- 青木繁伸: Rによる統計解析, オーム社, 2009.