

1995年兵庫県南部地震における木造家屋被害の要因分析

金沢大学 池本敏和*
 鹿島建設(株) 松川晃之**
 金沢大学 北浦 勝*

兵庫県南部地震では、木造家屋の被害が極めて多く、そのために多数の死傷者が出た。特に全壊家屋の多いところは東灘区、灘区、中央区であり、どの地区でも全壊数は10,000棟を越えていた。これらの地区では、他の地区と比べ死傷者数が多いことから、家屋倒壊や家具類の転倒が死傷者数を増やしたものと考えられる。このような惨事を軽減するためには、今回の地震による木造家屋被害の要因を抽出し、どこに問題があったかを考えなければならない。本研究では、木造家屋に被害を及ぼしそうな潜在的要因、すなわち地質、地形、古い土地利用分類、建築年代などに注目し、多変量解析手法を用い家屋被害の要因分析を行った。ここでは、入力の大きさは要因中に陽には含まれていない。対象地区は東灘区である。分析の結果、建築年代と家屋被害との相関が高く、また地形分類が家屋被害に比較的大きな影響を及ぼしていることがわかった。

1. はじめに

兵庫県南部地震は神戸市を中心に多大な災害を引き起こし、木造家屋の倒壊や火災により多くの人命が失われた。今回の地震を今後の地震防災上の教訓とするためには、被害が生じた要因を調べ、どのような所に危険があったのかを明らかにすることが重要である。建物の被害については既にいくつかの文献で検討されている^{1)~4)}。

本研究では、地震被害として兵庫県南部地震の被害の中で最も多くの死者を出すこととなった木造家屋の被害に注目する。木造家屋被害と地盤特性または家屋特性との関係を明らかにするために、多変量解析を用いて要因分析を行う。

2. 神戸市における木造家屋被害

表2-1は、神戸市各区の被害数を示している。死者数は、1995年12月27日に自治省消防庁から発表されたものである。この際に関連死を災害死と認められたのは災害史上初めてのことである。また、全壊家屋は6万棟を超えた。特に、全壊家屋が多いのは、東灘区、灘区、長田区の3区で、いずれも10,000棟を越えており、これらの地域では死者数も多い。これは家屋の倒壊や家具の転倒による圧死が死因の9割近くにもものぼっていることと対応している。山側に位置する北区と西区では、比較的被害の程度は小

さかった。このように海側と山側では被害の程度に明らかな差が見られた。

以下に地質図・地形図^{5),6)}から読み取れる特徴について述べる。

地質図から、全壊家屋の多くが低位段丘・沖積層上に分布している。神戸市の東部では低位段丘上に、西部では沖積層上に損壊家屋が多い。また、同じ地質でも被害の程度に差が見られることから、地質だけでは、被害に関わる要因を決めることはできない。地形分類図から、全壊家屋の多くが緩扇状地上に分布していることがわかる。東灘区と灘区では、全壊家屋が見られる北限が緩扇状地の北限とほぼ一致する。中央区のJR元町駅付近一帯では全壊家屋が減少するが、ここは地形的には台地である。このように全壊家屋の分布には、地形の影響が大きく

表2-1 神戸市各区の被害

	死者数(名)			負傷者数(名)	家屋被害(棟)			
	計	直接死	関連死		全壊	半壊	全焼	半焼
神戸市	4,484	3,897	587	14,679	67,421	55,145	6,975	413
東灘区	1,455	1,338	117	3,383	13,687	5,538	334	36
灘区	923	857	66	1,112	12,757	5,675	466	95
中央区	239	183	56	3,782	6,344	6,641	67	47
兵庫区	540	442	98	1,755	9,533	8,109	940	113
長田区	907	763	144	533	15,521	8,282	4,759	75
須磨区	383	309	74	637	7,696	5,608	407	35
垂水区	16	2	14	1,020	1,176	8,890	1	8
北区	11	1	10	817	271	3,140	1	2
西区	10	2	8	1,640	436	3,262	0	2

キーワード：兵庫県南部地震，木造家屋，多変量解析

* 金沢大学工学部，0762-34-4656
 ** 鹿島建設(株)設計部，03-5561-2045

全壊率は、昭和23年以前では64%、昭和24～36年では53%、昭和37～49年では51%、昭和50～60年では38%、昭和60年以後では13%であり、建築時期の古いものほど全壊率が高い。また、昭和61年以後の家屋では、新しいためか全壊率が大幅に低くなっている。

次に建築時期別の全壊率を地区ごとに見ると、図3-3のようになる。昭和23年以前の家屋は、ほとんどの地区で全壊率が80%程度である。どの地区においても上述のごとく建築時期が最近のものほど全壊率は小さくなっている。このことは家屋の軸組や土台の老朽化などによる地震に対する抵抗力の低下と建築基準法による建物の強化が関係していると考えられる。以上見たように、木造家屋の建築時期と被害との間には関連が認められた。しかし、それが老朽化による家屋の耐力低下によるものか、建築基準法の改制による耐震性の向上によるものなのかを識別することは明らかではない。おそらく、両者の影響が共に現れているものと考えられる。

(3) 多変量解析結果

被害の有無のデータと、表3-1に示す家屋特性や地盤特性の要因を用いて多重ロジスティック分析を行った。分析結果を表3-1に示す。βの寄与率は推定値/標準誤差の値(C値)で表わされる。C値によると、建築時期の方が地質、地形分類、古い土地利用図などの地盤に関するパラメータより有意性が高いことがわかる。建築時期が古いほど被害の程度が大きいことと対応している。他に、緩扇状地、低位段丘、市街地の順に被害への影響が大きいことがわかる。

次に、東灘区のこの地区を2つに分け、一方のデータから推定式を算出し、残りのデータから式の精度を検証した。分析結果から、多重ロジスティック関

数によるモデルは、以下のように表わされる。

$$x\beta = -1.13 + 3.00x_1 + 2.13x_2 + 1.82x_3 + 1.12x_4 + 0.18x_5 + 0.75x_6 + 0.14x_7 \dots (4)$$

この式による推定精度を危険度から被害の有無について判別した。結果を表3-2に示す。判別の結果、実際の被害に対する的中率は79.8%となった。また、本モデルで求めた各地区の危険度の平均値と各地区の木造家屋の全壊率との関係は図3-4のようになる(相関係数=0.694)。危険度の低いところでは

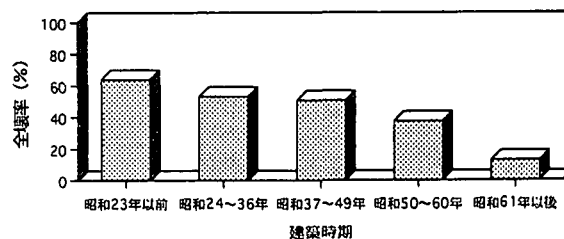


図3-2 建築時期と被害率との関係(東灘区)

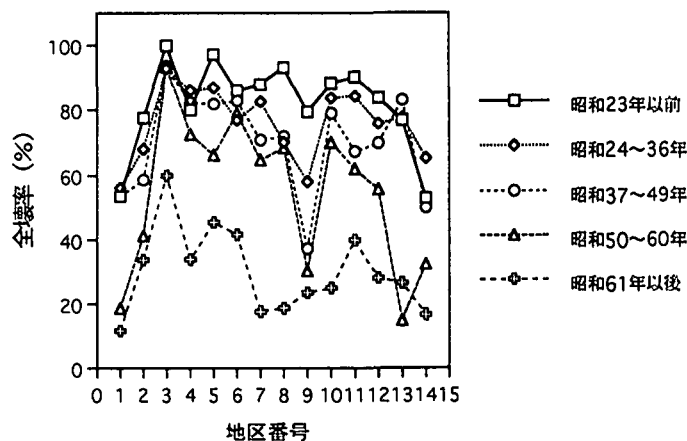


図3-3 建築時期別の全壊率の変化

表3-1 分析結果

係数	アイテム	カテゴリー	推定値A	分散共分散	標準誤差B	C=A/B
β ₀			-1.13	0.13	0.36	-3.16
β ₁	建築時期	昭和23年以前	3.00	0.13	0.36	8.29
β ₂		昭和24～36年	2.13	0.08	0.28	7.54
β ₃		昭和37～49年	1.82	0.06	0.24	7.57
β ₄		昭和50～60年	1.12	0.06	0.25	4.54
β ₅	地質	低位段丘	0.18	0.06	0.24	0.73
β ₆	分類	緩扇状地	0.75	0.05	0.21	3.55
β ₇	古土地	市街地	0.14	0.06	0.24	0.61

関わっていると言える。

(1) 多重ロジスティックモデル^{7),8)}

マルチプルリスクの概念は、複数の危険因子（リスクファクター）が重なってある現象が起こるという考え方で、その複数の発症危険因子の複合的な影響を評価するために開発された手法が、多重ロジスティックモデルである。このマルチプルリスクの概念は、複数の原因によって引き起こされるような事象に対して適用でき、その事象の危険因子を分析、検討する際には、多重ロジスティックモデルが有効な道具となる。多重ロジスティックモデルの特徴として、ある事象が複数の原因によって起こる場合に、それぞれの原因の強さ（寄与の程度）を解析できること、それぞれの原因の強さから、事象の生起確率を求めることができること、が挙げられる。特に、後者の点で、説明変数の線形結合式のみで表される重回帰分析や判別分析の方法とは異なる。

ある事象 E の生起確率 $P(E|x)$ が、 p 個の属性変量ベクトル x の値に依存するとし、 $P(E)$ を観測された p 次元のベクトル x の事象 E に対する条件付き確率 $P(E|x)$ で表す。確率 $P(E|x)$ と非生起確率 $1 - P(E|x)$ の比の対数が x の線形結合式で表すことができると仮定する。

$$\log \frac{P(E|x)}{1 - P(E|x)} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p = x\beta \dots (1)$$

となる。ここで、

$$x = (1, x_1, x_2, \dots, x_p), \beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)'$$

また、 $P(E|x)$ について整理すると下式となる。

$$P(E|x) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)}$$

$$= \frac{\exp(x\beta)}{1 + \exp(x\beta)} \dots (2)$$

各属性変量の係数 β は、事象に対する寄与の度合い

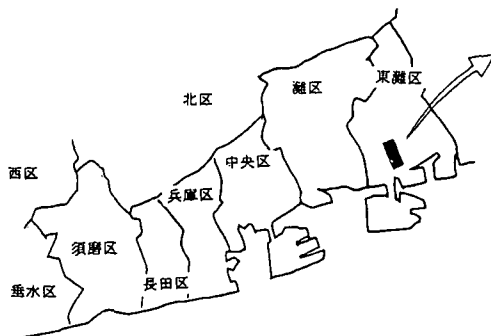


図 3-1 解析対象地域

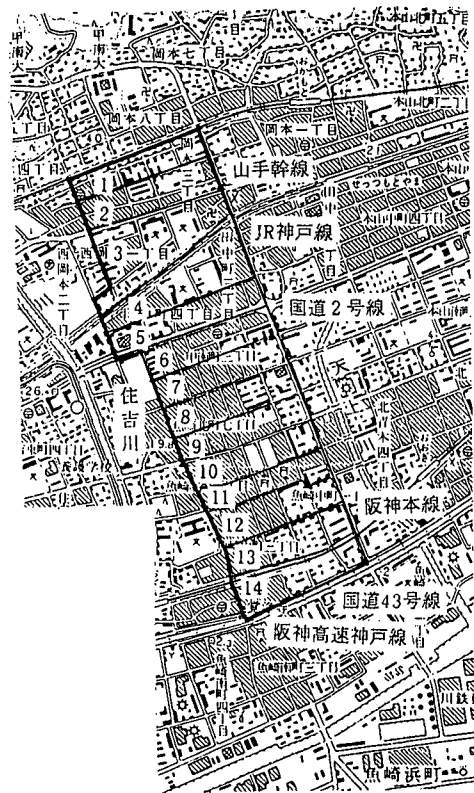
を表す。非線形モデルにおけるパラメータの最尤推定では、ニュートン・ラフソン法を用いた。

(2) 東灘区における木造家屋特性と被害

神戸市内において、日本建築学会が1月下旬から2月下旬にかけて行った調査によって得られた約2,400棟の木造家屋被害のデータを用いた。対象地域は図3-1に枠で囲んだ東灘区の一部である。この地域を14地区に分ける。被害程度は倒壊、大破、中破、小破以下の4つに、建築時期は昭和23年以前、昭和24~36年、昭和37~49年、昭和50~60年、昭和61年以後の5つに分ける。被害程度に対応する被害形態は、倒壊では1階、または2階部分の層崩壊、全階層崩壊、大破では家屋等の一部崩壊、柱の折損や傾斜大、外壁の大部分が剥離落下、基礎の崩壊等を、中破では瓦のずれや脱落、外壁や基礎のひび割れ等を、小破以下では軽微なひび割れ及び外観上被害なしとする。建築時期は昭和23年、36年、49年、60年とし、震災後の航空写真により調査員が読みとったものである。

図3-2は、対象地域における木造家屋の全壊率と建築時期との関係を示す。ここでの全壊率の定義は、次式のようなである。

$$\text{全壊率 (\%)} = (\text{倒壊} \cdot \text{大破数} + \text{中破数} \times 0.5) / \text{全数} \times 100 \dots (3)$$



被害がなく、危険度の高いところでは両者に良い相関が認められる。

本論文には掲載していないが、中央区における地盤特性に関する要因結果でも同じような傾向が見られた。以上のことから、一部の限られた地区における分析結果ではあるが、木造家屋被害と各要因との関係について検討できたことは興味深いと考えている。

5. まとめ

本研究で行った要因分析の結果、東灘区において木造家屋被害の要因分析を行ったところ、建築時期、地形分類などが家屋の被害に影響していることがわかった。また本モデルの検証を行うために、実際の被害データに適用したところ、高い的中率が得られたことから、本分析の有効性を確認することができた。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：平成7年（1995）兵庫県南部地震災害調査報告書，建設省土木研究所資料，pp.54～73，1996.
- 2) 岩崎好規，他2名：阪神・淡路大震災，東海出版会，pp.58～77，1996.
- 3) 日本建築学会近畿支部，1995年兵庫県南部地震－木造家屋の被害－，1995.
- 4) 北原昭男・藤原悌三：建設年代を考慮した木造住宅の地域分布と地震被害の想定，日本建築学会学術講演梗概集，pp.11～12，1995.8.
- 5) 藤田和夫・笠間太郎：神戸地域の地質，地域地質研究報告，通産省工業技術院地質調査所，1983.
- 6) 藤田和夫・笠間太郎：大阪西北部地域の地質，

表 3-2 判別結果

危険度	被害なし	被害あり
0～0.5	64	44
0.5～1	177	802

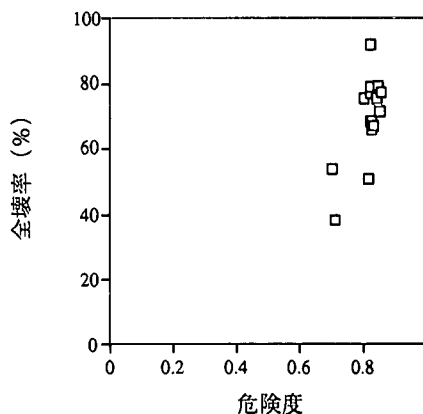


図 3-4 危険度と全壊率との関係

地域地質研究報告，通産省工業技術院地質調査所，1982.

- 7) 柳井晴夫・高木廣文：多変量解析ハンドブック，現代数学社，pp.160～182，1995.8.
- 8) 田中 豊・垂水共之・脇本和昌：パソコン統計解析ハンドブック，共立出版，pp.270～295，1984.

Factors Analysis of Damage to Wooden Houses due to the 1995 Hyogoken Nanbu Earthquake

Toshikazu Ikemoto, Teruyuki Matsukawa, Masaru Kitaura

The toll caused by the Hyogo ken Nambu earthquake stands at 6,310 with 2 persons missing. Many people were crushed due to collapse of wooden houses while they were sleeping. The damage data obtained in Higashinada area, were utilized to analyze the outline and tendency of damages. Multivariate analysis is carried out to clear the relationship among each damage cause, such as geological category, soil condition and construction year.¹⁾