

個別防災情報のための「地震動入力-建物耐震評点-棟死亡率」の3者間関数化の試み

正会員 ○岡田成幸*
正会員 高井伸雄**
正会員 田畑直樹***

防災情報 棟死亡率 耐震診断
人的被害 損傷度関数 木質構造

1. 死者数既存評価式の問題点

地震による建物倒壊に伴う死者発生評価は、地域の防災行政にとり、また個人の住家耐震化等の対策にとり、その出発点を与える基本問題に位置づけられる。しかし、死者発生を直接評価する基本式は1950年代に提案されたKawasumi式を大きく超えるものはない。既存式は、以下の2つの点で大きな問題を抱えている。

①地域被害情報を与えるのみ：既存式は、比較的広域における建物被害数から地域の死者数を予測するものであり、地域行政情報としての利用はともかく、わが家の死亡リスク評価のような個別防災情報とは成っていない。

②推定精度が低い：既存式は、大規模地震被害については過小評価（たとえば兵庫県南部地震の場合、実死者数の1/5の推定値）を与え、小規模地震被害については過大評価（たとえば鳥取県西部地震の場合、実死者数0名に対し100名近くを推定）を与える傾向が強い。

本研究は以上の2問題を解決すべく関係式を構築する。

2. 棟死亡率の提案

上記問題を解決するため、まず棟死亡率 D_r [%] という考え方を提案する。

$$D_r = \frac{D_n}{P_n} \times 100 \quad \dots (1)$$

ここに D_n は建物一棟当たりの死亡者数、 P_n は地震発生時のその建物内における在宅者数である。棟死亡率は建物の損傷度が大きいほど大きな値となる。1995年兵庫県南部地震について以下の式に従い、建物損傷度別の平均的棟死亡率を求める。

$$D_r(x) = \sum_{i=1}^{N_m} D_n(x)_i / \sum_{i=1}^{N_m} P_n(x)_i \times 100 \quad \dots (2)$$

ここに建物とは当面木造住家とし、その損傷程度(D.Index等)は図1に定義される。式(2)中の N_m はD.Index別の建物棟数、 x は建物損傷度(D.Index)、 $D_n(x)_i$ はD.Index別 i 番目の棟死者数、 $P_n(x)_i$ は地震発生時におけるD.Index別 i 番目の棟人口で以下に与えられる。

$$P_n(x) = P_w \cdot E_r \quad \dots (3)$$

P_w は住宅形式(戸建/集合)別棟人口、 E_r はその時間帯における居住者の在宅率である。 P_w および E_r は調査により個別データとして入手できるが、 P_w については行政保有の当該地域の平均値より求めることも可能であり、 E_r についてはNHK放送文化研究所の国民生活時間調査を利用することも可能である。

式(2)による棟死亡率とはその定義から分かるように、建物の損傷状態からその建物内の居住者の平均的死亡割合を示すものであり、ある地震を想定し当該地域の地震動入力の強さ(最大地動速度や震度等)が与えられたとき、当該建物の損傷状態が建物損傷度関数¹⁾等により推定された場合に、その建物内で発生する死者数の期待値を与える。応用法として、建物を耐震化することによる死者数の低減効果を直接計量することができるなど、個々の世帯への個別防災情報を与えるものである(既存式①の問題点への解答)。

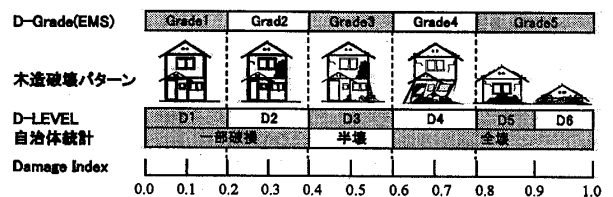


図1 各種の被害尺度の関係

3. 兵庫県南部地震の棟死亡率

式(2)に従い棟死亡率を求める。使用したデータは被害直後に撮影された神戸市被災地航空写真からD-LEVELごとに独自に読み取った13,129棟の建物被害データ、西村から提供を受けた当該地域死者データである。行政区別に求めた棟死亡率と建物損傷度の関係を図2に示す。全壊に相当するD4-LEVELから死者は発生し始めるが、D5-LEVEL以上でその増加傾向は急である。すなわち、死者数を精度良く評価するには4区分(無被害|一部破損|半壊|全壊)の建物被害尺度では分解能は不十分であり、D.IndexまたはD-LEVELの尺度を採用する必要がある。

図2に示した棟死亡率は行政区により地域差が認められる。これは地域(行政区)の全壊率の違いによっている。すなわち、概ね周辺的全壊率が高くなると、建物が

同一損傷であっても死亡危険度が高くなる傾向が認められる。全壊率の高い地域は、低い地域に比べ混乱状況が酷烈であり、救助時間をより要し同じ建物損傷下でも死亡率が高くなっている。既存の死者数評価式では周辺全壊率は説明変数としては考慮されておらず、大規模被害地震と小規模被害地震における死者数発生割合の不一致を説明する一つの理由ではないかと推測する（既存式②の問題点への解答）。

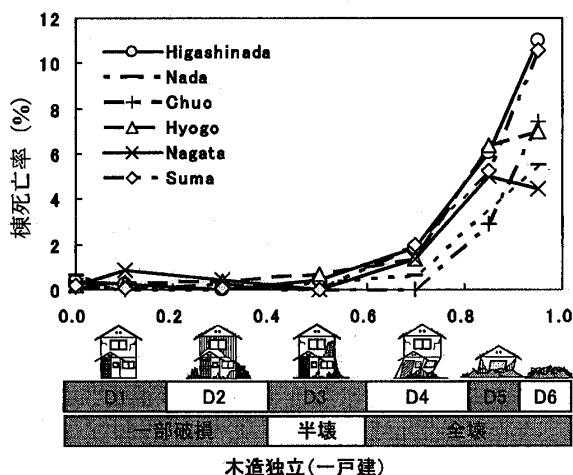


図2 棟死亡率と建物損傷度の関係

4. 棟死亡率関数

以上より、棟死亡率 D_r (定義域[0,100%]) は建物損傷度 x (定義域[0,1.0]、但し 0.6 未満の半壊以下では死者は発生しないものとしカウントしない) と周辺全壊率 y (定義域[0,1.0]) の2変数によって、以下に関数化される。式(4)が木造独立住宅の場合、式(5)が木造集合住宅(長屋・共同建)の場合である。

$$D_r(x, y) = 0.0104e^{6.68x} + 11.0xy^2 \quad \dots (4)$$

$$D_r(x, y) = 0.000580e^{9.32x} + 6.69xy^2 \quad \dots (5)$$

建物損傷度が大きいとき ($D.Index \geq 0.8$) 棟死亡率が急上昇するので両者の関係は指数則で表し、周辺全壊率と棟死亡率との関係は比較的緩いのでべき則で関数化した。上式中の係数は既述データに最小二乗法的にフィッティングさせ求めたものである。図3に木造独立住宅の場合の関数を示す。周辺全壊率の影響は建物損傷度が大きいほど大きくなっている。

5. 提案式と既存式の比較

棟死亡率関数の評価精度を検証するために兵庫県南部地震の町丁目単位における死者数を既存式と比較し図4

に示す。提案式による推定値は、比較のために全壊率を考慮しない場合を併記した。全壊率を考慮した効果が明らかである。また本提案式の推定精度の高さに比較し、既存式は大幅な過小評価となっている。住家の完全崩壊(D5 LEVEL以上)により多数の死者を見る場合、建物被害尺度を D. Index で詳細に扱う必要性が確認できる。

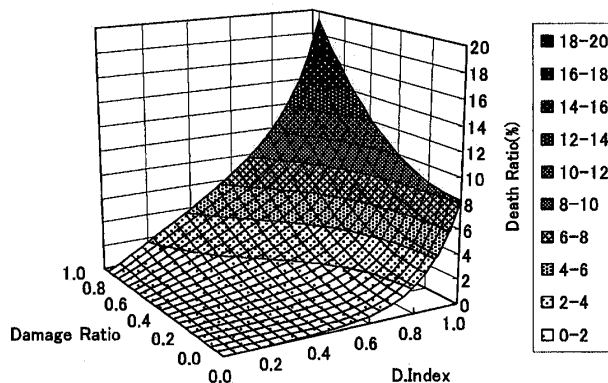


図3 木造独立建物棟死亡率関数3次元表示

6. 建物耐震評点と棟死亡率の関係

建物損傷度 x は地震動入力強さ PGV と建物の耐震性(耐震診断値(評点))で決まる。この関係は建物損傷度関数として以下に与えられている¹⁾。

$$x = 1 - e^{-(\log PGV / \eta)^m} \quad \dots (6)$$

本提案の棟死亡率関数(4)を式(6)に代入し、損傷度 x を消去すると、周辺全壊率 y をパラメータとした{入力地震動強さ-耐震評点-棟死亡率}の関係が関数化され(図5に周辺全壊率 30%の場合を示す)、住家の耐震補強程度に応じた個別世帯の死亡リスクの評価が可能となる。

文献 1)岡田・高井:建築構造系論文集,582,31-38,2004.

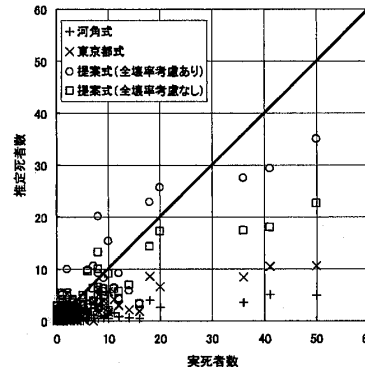


図4 死者数推定精度比較

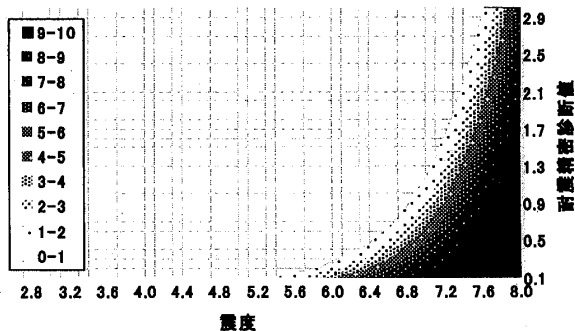


図5 震度、診断値と棟死亡率(%)(全壊率30%)

*名古屋工業大学大学院工学研究科 教授・工博
 **北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)
 ***北海道大学大学院工学研究科 修士(工学)
 (現 東京海上日動リスクコンサルティング株式会社)

*Prof., Grad. Sch. of Eng., Nagoya Institute of Tech., Dr.Eng.
 **Assoc. Prof., Grad. Sch. of Eng., Hokkaido University, Dr.Eng.
 ***Grad. Sch. of Eng., Hokkaido University, M. Eng.
 (The Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co. Ltd.)