

被災建物にまつわる人的被害事象の研究動向とこれからの対策

岡田成幸
北海道大学助教授

木耐協の調査¹によれば、わが国の木造住家の半数は耐震精密診断値(I_{S-WF} 値)が0.7未満であり、倒壊または大破壊の危険ありに分類される。このデータを基に I_{S-WF} 値と地域の震度(気象庁震度)および損傷度(建物の被害程度)の関係を調べてみると、わが国の住家の半数近くは、震度階6強~7の地震動で損傷度0.6以上(構造的に大きな損傷:全壊)の被害を受け、 I_{S-WF} 値が1.0以上で「一応安全」と判定されたものでも、震度階7の揺れに見舞われた場合、同様の被害を被る可能性がかなり高いことがわかった。わが国には丈夫ではない建物が未だ多く存在するし、丈夫につくったと思っただけでも地震で人を傷つけてしまう建物がある。日本建築学会は阪神・淡路大震災に鑑み、建築および都市の防災性能向上に関する提言(第三次提言)を行っている²。提言では、これまでの耐震設計のあり方を見直し、人命の安全・機能の確保・財産の保護という視点を打ち出している。例えば、建物機能損傷を4段階(無被害/軽損/中損/大破・倒壊)に分類し、人的被害との関係を耐震メニュー(案)に記述している。これによると、十分な耐震性能を有した建物(耐震1級)は地震動強さ S (建築共用期間中に極めてまれにしか遭遇しない大地震動)の揺れで、人身被害を起ささないよう中損または軽損に留めることとしている。記述は簡単であるが、人身被害を起ささない中損または軽損とは、どのような壊れ方を許容しての表現なのであろうか。現状での研究はこれらの提言に十分に答えられるのであろうか。既往研究と最近の研究動向をレビューし、考察する。

被害想定にみる人的被害に関する既往研究と問題点

地震で人が死ぬという極めて衝撃的事象にもかかわらず、人的被害に関する研究は少なく、またその成果の利用は被害想定に留まっているのは、意外である。被害事象に「人間」という複雑な要素が絡むために状況設定が難しく、かつデータが蓄積し難いため、モデルの精度が向上し難いというこのテーマに潜む悪構造(ill-defined problem)が一因にあろう。便法とし人的問題から人間をはずし、被災した人間の周辺環境(建築物の被害状態や家具転倒など)の問題に限定し、それから人的被害量を推定するに留まっている。著名なところでは1954年の河角⁴による以下の式がある。

$$D = \alpha \times H^\beta$$

ここに、 D は死者数、 H は全壊家屋数、 α および β は正值の回帰係数である。このマクロ回帰式の物理的な意味は全壊家屋数に比例して死者が発生するというのみである。よってここから引き出される人的被害軽減対策は建物全壊数を減らす以外に示

唆されない。阪神・淡路大震災後、自治体等で積極的に行われるようになってきた被害想定においても、使われている式は基本的に変わらない。

これによる問題点は多々指摘できよう。まず、原因・結果の関係が単純すぎ、100倍以上のデータのばらつきがあり、算定精度に大きな問題を残す。現段階で全壊の定義が曖昧であることも、推定精度を劣化させている一因である。筆者らは建物の破壊状態を視覚的表現でパターン化し、定義の明確化に努めている。図1は事象発生確率を、建物損傷度²と建物破壊パターン⁵との関係で示したものである。これを用いれば第三次提言の「機能損傷のイメージ」の記述を基に、図で示したようにグラフ上で比較することもできる。死者の多くはDamage GradeでいうD5およびD6(パンケーキ崩壊)で発生している⁶。これより、人的被害の問題を同式のように全壊家屋と単純に関連させることは問題が大きいことがわかる。全壊(D4以上)という状況下で居住者の生死は明確に二分されているからである。人的被害の問題は建築学的には構造体の部材力学の問題ではなく内部空間の問題であり⁷、それを議論するためには大被害を細分類できる尺度、例えば損傷度あるいはDamage Levelを導入し、人的被害の発生メカニズムを丹念に追ったモデルが必要であり、それにより推定精度の向上と現実的対策提案が期待されるのである。

死者発生メカニズムを辿る

死の分類:避けられたはずの死と助けられない死

建物被害尺度の詳細化の必要性を述べたが、人的被害についても同様である。一般に人的被害の尺度は、無傷/軽傷/重傷/死の4分類で表されることが多いが、それでは対策につながっていない。図2はメキシコ地震時に瓦礫の中から引き出された人たちの傷病と生存時間の関係を示したものである⁸。落下部材の圧迫による呼吸困難のため数分で死に至る場合がある一方、骨折や脱水では数時間から数日の生存が期待される。災害医療分野では、気道閉塞等による数分で至る死を即死(Instant death)、圧挫傷候群等による数時間で至る死を遷延死(Protracted death)、脱水等による数日後の死を遅延死(Delayed death)と分類し、救出・救助の対象を後二者においている。すなわち、倒壊建物からの救出救助活動(Search And Rescue : SAR)のような事後対応が適切であったなら避けられたはずの死(Preventable death)と事後対応では助けられない死(Inevitable death)とがある。

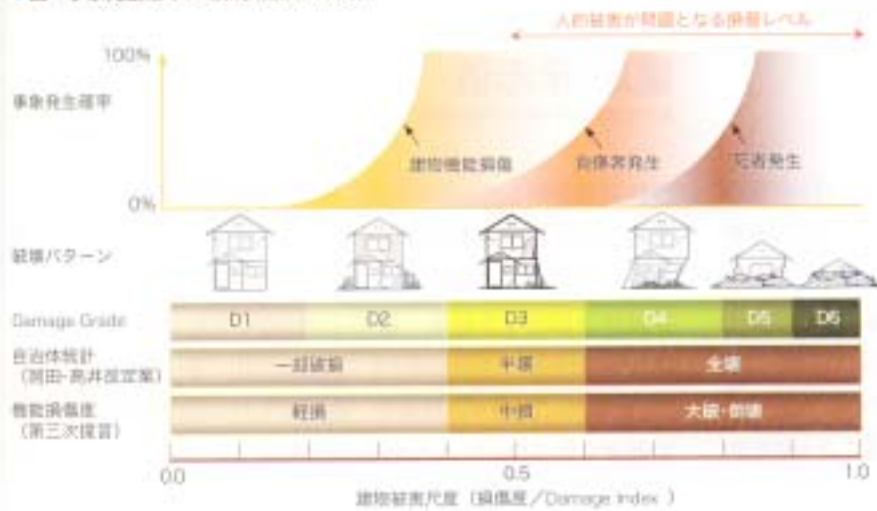
おかだしげゆき

1953年北海道生まれ/北海道大学卒業/同大学院修了/地震防災計画/工学博士/

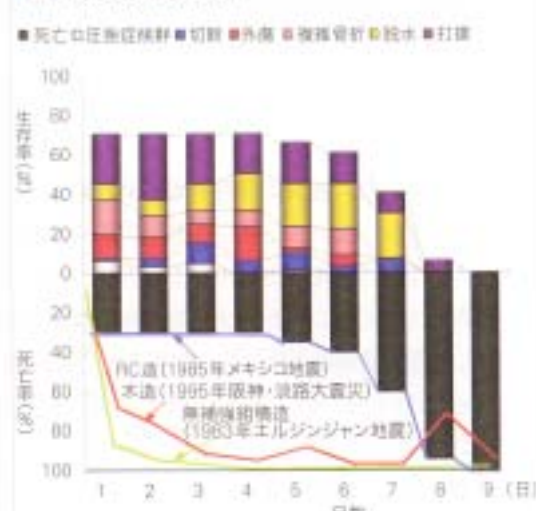
共著に『Earthquake Motion and Ground Conditions』

『阪神・淡路大震災調査報告 共通編3 都市安全システムの機能と体制』/1989年学会奨励賞

◆図1 事象発生確率と建物損傷度との関係



◆図2 被災建物内の生存率



対策

以上より対策の方向性が見えてくる。死を避ける対策は大きく事前・最中・事後の3対策である。Inevitable deathを防ぐには、居住者を圧死させないためにパンケーキ崩壊・居住空間への部材落下を避ける設計、少なくとも生存空間を残す壊れ方を誘導する設計に期待せざるを得ない。これは事前対策であり建築が負っている責任と言えよう。

事後対応で救えるのはPreventable deathであり、対策はSARとその後の医療行為である。両者にどれほどの期待を抱けるのであろうか。阪神・淡路大震災の医療行為の貢献度を算定した研究がある。災害時においても平常時と同様の医療を受診できたとしたならば、Preventable deathを文字どおり救出できたとし、それを100%として阪神・淡路大震災の医療活動を評価した結果、84%であったというものである。以外と大きな貢献度である。換言するならば、あれだけ多くの被害者を出してしまったなら平常時においてさえ、あと16%程度の医療活動向上しか見込めないということである。では、SARへの期待はどうであらうか。SARは時間が勝負である。SARに要する時間は【現着時間(5hr)】【探索時間(数min~数hr)】【救出作業時間(6.5hr・人)】【病院搬送時間(22min)】の和で与えられる。図2からわかるとおり、生存率が50%を切る生存率半減時間(Golden hour)は、無補強組積造および木造が主体の被害で24時間、RC造主体の被害で1週間である。探索時間と救出作業時間の大幅な短縮がなければ大きな改善は見込めない。建築の立場からは救出しやすい崩壊(空間を多く残す崩壊パターン)の誘導が必要であらう。

最中の対策: 死者発生イベント・ツリー解析

地震で揺れている最中の対策はこれまであまり考えられてこなかったものである。その方策を見つけるべく、揺れている最中の事象を因果律で追跡する研究が始まっている。当研究室では阪神・淡路大震災時の死者発生世帯の平面図から事象を因果律

で並べたイベント・ツリー解析を行っている。詳細な議論は別稿に譲るが、建物の損傷度が0.9以下の場合、部屋の中心部に避難移動すると落下部材の直撃による即死を免れ、SARの対象となる確率が高くなるようである。

以上見てきたように、構造体が架構保持力を失った後の破壊の進行過程を誘導し、安全空間と危険空間が峻別できるような構造設計が今後要求されるようになってくるであろう。仮に倒壊したとしても、即死に直結するパンケーキ崩壊は避け、倒壊前に安全空間への避難移動を可能にすべく高い靱性を保持し、かつ倒壊後もSARが容易な空間を多く残す壊れ方を誘導することが、Preventable deathそしてInevitable deathを減らす上で、極めて重要となってくる。事後対応、とくにSARへの寄与は探索時間を短縮させるための情報を提供することであらう。探索建物の選別(Triage)のために、どのような破壊形状の建物であれば生存の可能性が高いか、倒壊建物内のどこに生存者が閉じこめられている可能性が高いのか、このような知識情報がイベント・ツリー解析から明らかになりつつある。

- ★1…日本木造住宅耐震補強事業者協同組合(2002)の約10,000棟のデータによる
- ★2…岡田成幸/「デュアリティのための建物耐震診断結果を利用した損傷度評価関数」/『日本建築学会大会梗概集』/2002.8
- ★3…「建築および都市の防災性向上に関する提言(第三次提言)」/『建築雑誌』/Vol.113, No.1418/p.9-24/1998.2
- ★4…Kawasumi H./Intensity and Magnitude of Shallow Earthquakes, Bureau Central Seism. Intern. Ser. A, Trav, Sci., 19, 99-114, 1954
- ★5…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
- ★6…Okada S. and N. Takai/Classifications of structural types and damage patterns of buildings for earthquake field investigation, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000
- ★7…Okada S./Description of indoor space damage degree of building in earthquake, 11th World Conference on Earthquake Engineering, 1/4 (CD-ROM) 1760, 1996
- ★8…International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, The John Hopkins University, Baltimore, USA, 1989に加盟
- ★9…和藤幸弘・大西一嘉/Protracted Deaths, Preventable Deaths, and Prevented Deaths in an Earthquake/『東濃地震科学研究所報告 7』/pp.51-57/2001
- ★10…括弧内は、阪神・淡路大震災時の平均時間を示す