

強震継続時間の影響を考慮した建物被害予測の一考察

Consideration of Building Damage Prediction due to the Duration Time of Strong Motion

○久世 益充¹, 鶴飼 昌寛², 杉戸 真太³
 Masumitsu KUSE¹, Masahiro UKAI² and Masata SUGITO³

¹ 岐阜大学 流域圏科学研究センター
 River Basin Research Center, Gifu University
² 八千代エンジニアリング(株)
 Yachiyo Engineering Co., Ltd
³ 岐阜大学
 Gifu University

The technique of building damage prediction that is include in the duration time of strong motion, was developed. First, we considered of the relations of the duration time, JMA seismic intensity, and the ratio of building damage. The ratio of building collapse had bigger the strong motion with long duration time than the small one. Next, the simple damage function of the building collapse was developed to include the effect of the duration time of strong motion. In this case study, the estimation of earthquake damage was applied at the Gifu city. The number of building collapse increased approximately 5 % in the case of the Gifu city.

Keywords : Building damage prediction, Duration time of strong motion, Seismic disaster prevention

1. はじめに

広域的な建物被害を予測する手法として、震度などの地震動強度指標と、建築年代や構造種別などの建物別の被害確率の関係を現した建物被害関数が広く用いられている。建物被害関数は、過去の被害地震による震度分布や被害データを調査し、それに基づいて地震動強度と被害の関係をモデル化されたものである。これらのデータについては、比較的大きな被害が報告されている。近年の内陸地震によるものが使用されることが多い。例えば内閣府¹⁾の建物全壊率は、1995年兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震、2001年芸予地震の被害データを基に被害関数が作成されている。

そのため、2011年東北地方太平洋沖地震のような、強震継続時間の長い地震動に対して、既存の建物被害関数を使用する場合には注意が必要と思われる。地震動レベルの大きな場合は、強い揺れ、すなわち衝撃的な揺れにより建物が全壊すると考えられる。しかし、建物全壊を免れる程度の地震力であっても、強震継続時間の長い揺れが建物に繰り返し作用した場合、構造部材の損傷が徐々に拡大し、全壊に至ると考えられる。

以上の背景の下、著者ら²⁾は、強震継続時間の長い地震動の影響を考慮した建物被害予測手法について検討した。本研究では、前述の検討を踏まえて、強震継続時間の影響を考慮した建物被害被害推定を行った。

2. 強震継続時間を考慮した建物被害率の検討

(1) 強震継続時間の算定と比較

地震タイプの違いによる強震継続時間と震度の関係を考察するため、過去の地震動記録を用いて比較を行った³⁾。ここでは K-NET⁴⁾で観測された水平成分の波形記録を用いて、計測震度と強震継続時間を算定した。

強震継続時間については、いくつかの定義が挙げられるが、本研究では、地震動の最大加速度や卓越周期の要因を強く含む指標である、Vanmarcke and Lai⁵⁾の等価継続時間 T_d を用いた。 T_d は次式に示すように、地震動パワー P_T (cm^2/sec^3), 最大加速度 A_{\max} (cm/sec^2) により得られる。

$$T_d = 7.5 \left(\frac{P_T}{A_{\max}^2} \right) \quad (1)$$

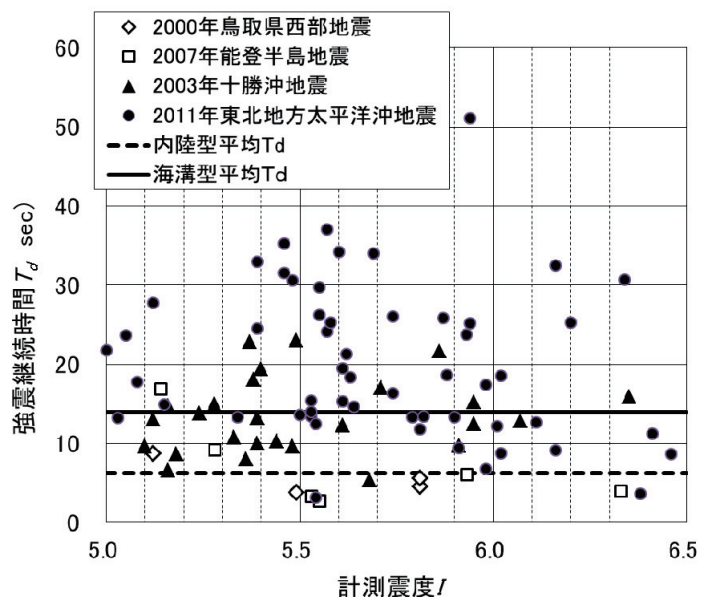


図1 強震継続時間と計測震度の比較

図 1 に、海溝型地震、内陸型地震の計測震度と強震継続時間(T_d)を比較した結果を示す。図に示すように、内陸型地震として 2000 年鳥取県西部地震、2007 年能登半島地震、海溝型地震として 2003 年十勝沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震の観測記録をそれぞれ使用した。なお、計測震度は水平 1 成分の波形より算出し、建物被害が発生すると考えられる震度 5.0 以上のデータを用いた。図に示すように、各々の波形記録の特性によって T_d は大きくばらつくが、内陸型地震よりも海溝型地震の T_d が長い傾向が確認できる。

(2) 構造物の地震応答解析による建物被害率の算定²⁾

構造物被害と強震継続時間の関係は、川出⁶⁾の解析結果を基に考察する事とした。川出は、在来軸組工法の木造構造物を対象に、建築年代別の最低基準耐力に合わせた、壁部材の復元力モデルを作成した。これを基に二階建て木造構造物の骨組みモデルを作成し、強震継続時間や計測震度の異なる 119 成分の地震動波形を用いた地震応答解析を実施した。この結果を用いて、強震継続時間、計測震度、被害率(曲げ破壊に至る割合)の関係と、強震継続時間別に作成した回帰式を整理した結果を図 2 に示す。なお、比較においては、構造物の耐力が低く、強震継続時間の影響が大きいと考えられる、1950 年の建築基準で解析した結果を用いた。強震継続時間については、図 1 に前述したように、内陸型地震の平均($T_d=6.4(\text{sec})$)、海溝型地震の平均値($T_d=14.0(\text{sec})$)を参考に、以下のグループ分けを行った。

[強震継続時間の短いグループ]

グループ A : $T_d \leq 6.4(\text{sec})$

グループ B : $T_d \leq 10.0(\text{sec})$

[強震継続時間の長いグループ]

グループ C : $T_d > 6.4(\text{sec})$

グループ D : $T_d > 10.0(\text{sec})$

グループ E : $T_d > 20.0(\text{sec})$

さらに、グループ別の被害率データを用いて、計測

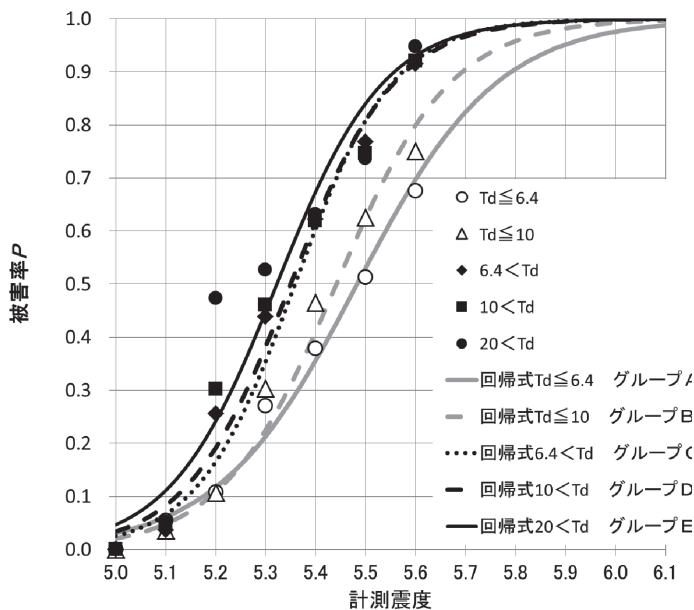


図 2 強震継続時間別被害率の比較

震度 I と被害率 P の関係について、次式に示すロジスティック回帰分析した。なお、 a, b は回帰係数である。

$$P = \frac{\exp(a + bI)}{1 + \exp(a + bI)} \quad (2)$$

被害率と回帰式は、図 2 に示すように、データのばらつきは大きい、強震継続時間の短いグループ A, B よりも、強震継続時間が長いグループ C, D, E の被害率が高い傾向が確認できる。また、同じ被害率において、強震継続時間の長い、または短いグループにおいて、計測震度で最大 0.2 程度の差が見られる。なお、計測震度 6.0 以上では、強震継続時間による被害率の差は小さい。高震度領域では、1 章で前述したように、強い揺れにより構造物が短時間で曲げ破壊に至るためと考えられる。

(3) 強震継続時間を考慮した建物被害予測

図 2 の考察結果より、強震継続時間の影響を考慮した建物被害予測法を検討する。前節で述べた比較結果は特定の構造物モデルによる解析結果であるため、この結果のみで被害関数を作成することは妥当ではない。そこで、実被害データに基づいて提案されている既存の被害関数¹⁾に、強震継続時間の影響を加えた、簡易的な適用法について検討した²⁾。

図 2 に示すように、計測震度 5.5~6.0 においては、強震継続時間の影響により被害率が増加すると考えられる。そこで、図 2 で得られた計測震度と被害率の差の関係を、内閣府の被害関数¹⁾に当てはめることとした。なお、2.(2)で前述したように、計測震度 6.0 以上では強震継続時間の影響が見られないことから、計測震度 5.5 の被害率の増分と、計測震度 6.0 の被害率を直線的に補間することとした。すなわち、強震継続時間の影響を考慮した建物全壊率 P' は次式で表される。

$$P' = 0.295I - 1.593 \quad (5.5 \leq I < 6.0) \quad (3)$$

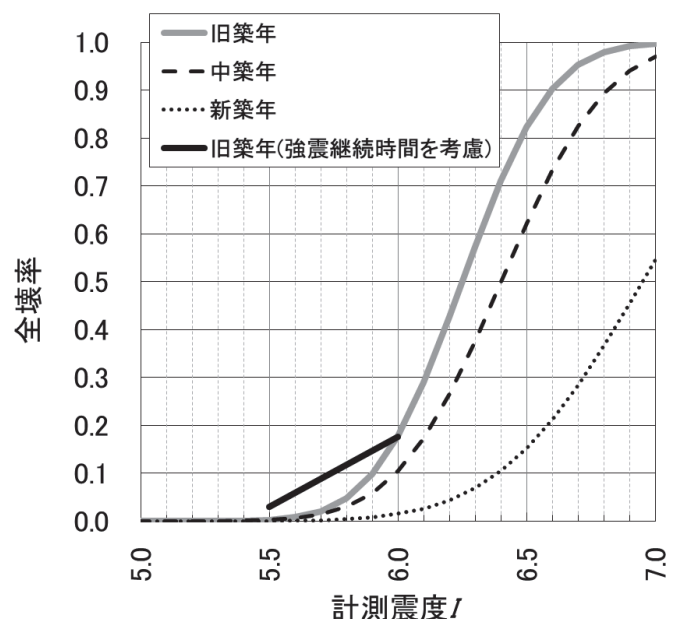


図 3 強震継続時間を考慮した木造被害関数の比較

図 3 に被害関数の比較を示す。計測震度によって被害率の増分は異なるが、式(3)より、強震継続時間の影響により、震度 6 弱レベルにおいて、最大で 10%程度被害率が増加することがわかる。

3. 強震継続時間を考慮した建物被害予測

(1) 強震動継続時間の影響による建物被害数の変化

以上の検討を基に、図 3 の被害関数を用いて建物全壊棟数を予測した結果について考察する。ここでは、いくつかの地域を対象に、図 3 より、強震継続時間の影響を考慮した場合、考慮しない場合の全壊棟数をそれぞれ算出し、震度階別の全壊棟数を比較した。図 4 に、ある 2 地域の震動による全壊棟数を比較した結果を示す。なお、両地域では、建築年代別の木造、非木造の建物データが整備されており、図中の全壊数は木造、非木造の全壊棟数予測結果を合計したものである。さらに、同図は地震動による揺れの被害のみを集計したものであり、液状化が予測される地区の建物被害は除外している。

図 3 に前述したように、強震継続時間の影響は、震度 6 弱レベルの旧築年木造構造物に対して適用される。そのため、図 4 に示すように、地域内で震度 6 弱が予測されており、その地点に旧築年木造構造物が存在している場合に、強震継続時間の影響が予測結果に現れる。すなわち、強震継続時間の影響を考慮することで、両地域共に全壊棟数が増加していることが確認できる。

ところで、地域 A、B を比較した場合、地域 B の方が全壊棟数が増加している。これは、図 5 に後述するように、地域 A よりも比較的旧築年木造建物数が多いこと、液状化被害の違いであると考えられる。地域 A は液状化による被害が予測される地域であり、地域 B は液状化被害がほとんど無い地域である。前述したように、図 4 では液状化による建物被害は除外しているため、地震動の揺れを受ける旧築年木造建物数が、地域 A の方が相対的に少ないことも原因の一つと考えられる。

地域の震度別建物棟数を図 5 に示す。同図より、地域全体の建物の中で、旧築年木造構造物の割合は地域 A、B 共に数%程度である。液状化被害の有無も考えなければならぬが、地域内の震度 6 弱の分布状況と旧

築年木造構造物の分布状況によっては、図 4(a)のように全壊棟数予測結果がほとんど変化しない地域もあれば、図 4(b)に示すように、強震継続時間を考慮することで、地域全体の全壊棟数予測結果が大きく変化する可能性があることが確認できる。

(2) 地震被害想定調査への適用事例

本研究の成果を自治体の地震被害想定調査に適用した事例として、岐阜市の被害想定に適用した結果⁷⁾を図 7、8 に示す。図 7 は、南海トラフで発生する海溝型巨大地震を想定して作成した震度分布図である。震度分布予測は、内閣府の資料⁸⁾に基づいて図 6 に示す断層モデルを設定し、杉戸らの手法^{9)、10)}を用いて算定した地表地震動より、震度分布を求めた。

図 8 に示すように、強震継続時間の影響を考慮した建物被害予測を行い、地域地震防災対策の基礎資料を作成することができた。なお、図示は省略するが、強震継続時間の影響を考慮せずに建物被害予測を行った場合に対して、全壊棟数は概ね 5%程度増加した。

4. おわりに

本研究では、強震継続時間が長い地震動による建物被害について考察し、その予測法について検討した。図 3 に示したように、既存の建物被害関数に強震継続時間の影響を簡便に導入する手法について提案し、建物被害予測結果について比較、考察した。

検討では、旧築年木造構造物における強震継続時間の影響を考察した。これより高い耐力の構造物においては、旧築年木造構造物に対して被害率は小さくなる。そのため、耐力の高い、すなわち、高震度で被害が生じるとされる構造物については、強震継続時間の影響は相対的に小さくなると思われる。川出の解析⁶⁾においても、建築年代の新しい、高い耐力を有したモデルでは、強震継続時間の影響があまり見られないことが報告されている。以上のことから、本研究では、強震継続時間の影響による被害率の割増を、旧築年のみに適用することとした。今後、強震継続時間の定義による被害率の違いや、建築年代の違いについても検討が必要と思われる。

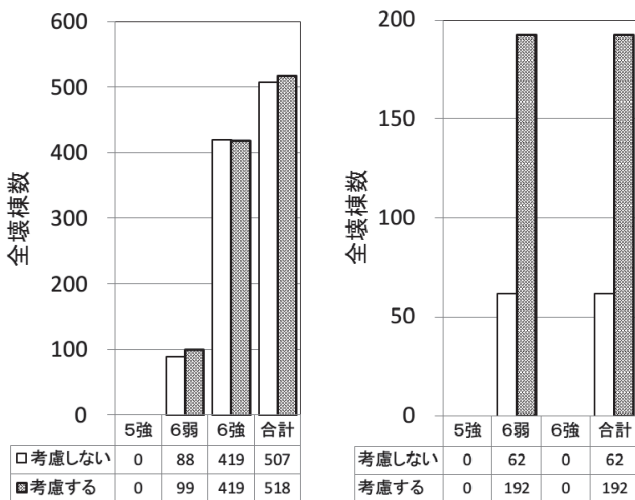


図 4 強震継続時間を考慮した地域別全壊棟数の比較

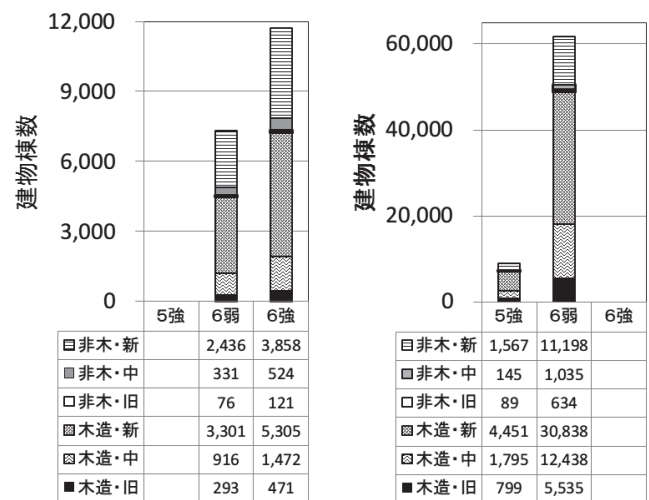


図 5 震度階別建物棟数の比較

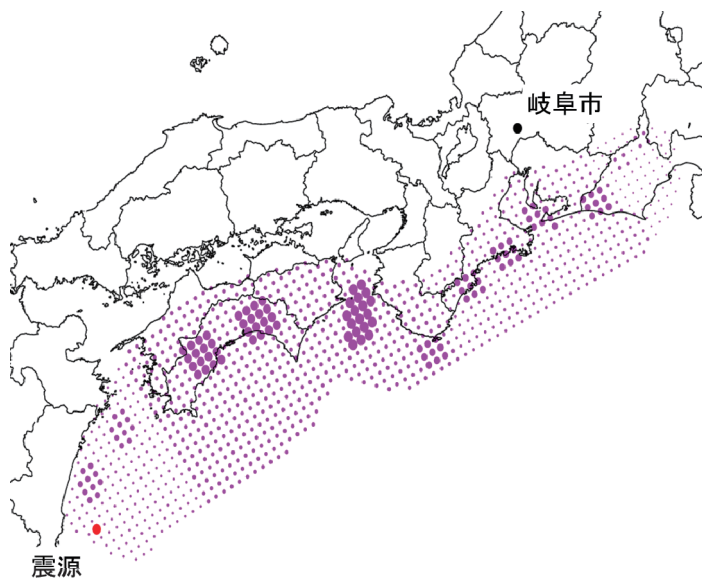


図6 想定地震の断層モデル

謝辞

本研究では、強震継続時間の算定において、防災科学技術研究所 K-NET の観測記録を使用した。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 内閣府 中央防災会議：首都直下地震に係る被害想定手法について，2003.
- 2) 鶴飼昌寛・久世益充・杉戸真太：強震継続時間の影響に関する建物被害率の補正について，土木学会中部支部研究発表会，I-34，2013.
- 3) 鶴飼昌寛・久世益充・杉戸真太：強震継続時間の影響を考慮した建物被害関数の検討，強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性シンポジウム概要集，pp.75～78，2012.
- 4) 防災科学技術研究所，強震観測網(K-NET，KiK-net)，<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/> Erik H.Vanmarcke，Shin-Sheng P.Lai：Strong Motion Duration And RMS Amplitude of Earthquake Records, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.70, No4, pp.1293-1307, 1980.
- 5) 川出真嗣：長い強震動継続時間の影響による構造物応答の不確定性の検討，岐阜大学卒業論文，2007.
- 6) 岐阜市：災害被害想定調査報告書，2013. .
- 7) 内閣府中央防災会議：南海トラフの巨大地震モデル検討会，<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>
- 8) Sugito, M., Y. Furumoto and T. Sugiyama: Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2111/4/A, CD-ROM, 2001.
- 9) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察土木学会論文集，No493/III-27，pp.49-51，1994.

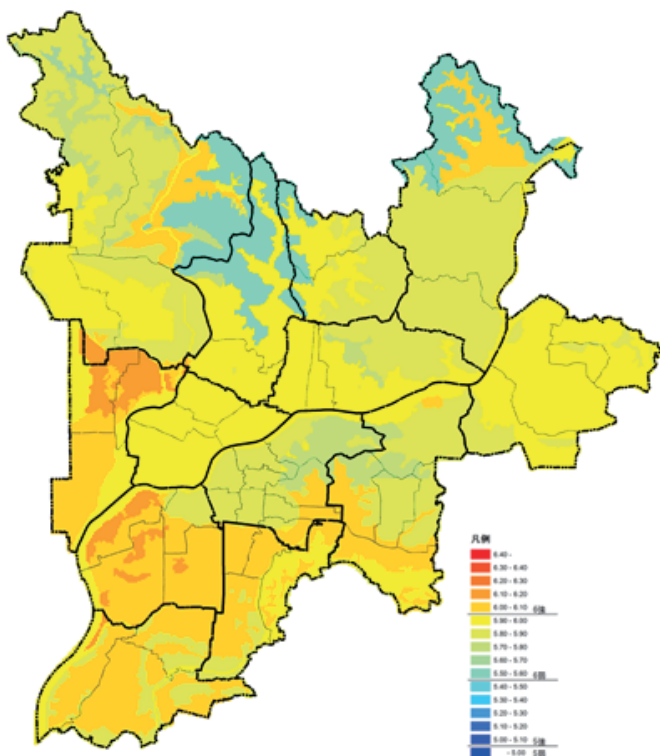


図7 南海トラフの巨大地震を想定した震度予測結果

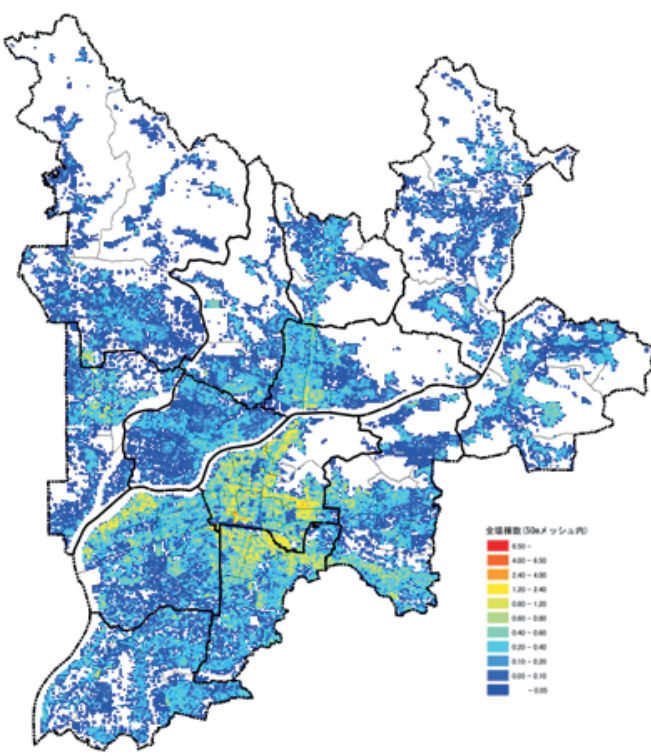


図8 強震継続時間を考慮した建物全壊棟数予測結果