

建物被害推定のための改正メルカリ震度階級算定法の検討

(その1) 中低層建物の被害データを用いた定式化

Method of Calculating Modified Mercalli Seismic Intensity Scale for Earthquake Damage Estimation Part I Formulation Based on Damage Data of Mid- to Low-rise Buildings

○中澤駿佑・汐満将史・境有紀

○Shunsuke NAKAZAWA・Masashi SHIOMITSU・Yuki SAKAI

We investigated methods for calculating Modified Mercalli Intensity (MMI) based on damage data of buildings. It was found that calculation methods using PGV tend to overestimate MMI for records with significant long-period responses, leading to a poor correlation with actual damage. In contrast, the method utilizing response spectra improved these errors in long-period records. Furthermore, the relationship between MMI and the seismic capacity of damaged buildings was examined through nonlinear seismic response analysis. Consequently, this study quantitatively defines the seismic performance of buildings prone to damage within the MMI explanatory table.

1. はじめに

震度階級は、地震発生直後の被害推定や想定地震の被害想定において重要な役割を担う指標である。日本では気象庁震度階級が用いられているが、海外では多くの国で改正メルカリ震度階級(以下、MM震度階)が用いられる。本稿では、様々な地域の被害データと強震記録を用いて、建物の大きな被害と対応するようにMM震度階を計算する手法について提案し、求めたMM震度階から被害を受けると推定される建物の耐震性能との関係を定量的に表現するための検討を行った。

2. 被害データに基づくMM震度階の算定法

MM震度階は正式には体感や現地の被害状況から決定されるが、速報のために地動最大加速度PGA、地動最大速度PGVを用いる算定式が提案されている¹⁾。これはカリフォルニアで発生した8地震の記録に基づくものであるため、文献2)で用いられた、日本、台湾、アメリカ、ニュージーランド、トルコで発生した地震の被害データを用いて文献1)と同様の手法でMM震度階を計算することを試みた。文献1)の手法では式(1)のPGVによる式が高震度に対応しているため、表1に示す被害データに基づいて式(1)の係数の補正を行った。

$$I_{v1} = 3.47 \log PGV + 9.29 \quad (5 < MMI) \quad (1)$$

まず、文献2)Table 1の被害データに基づいて式(2)に示すPGVの被害関数を構築した。次に、解説表の対応に基づくMM震度階と気象庁震度階級の関係(式(3))³⁾と、震度の被害関数(式(4))⁴⁾を用

いて、MM震度階の被害関数式(5)を得る。式(2)と式(5)の係数を比較して、高震度における新たなMM震度階の式(6)を得た。

$$D_{PGV} = \Phi(0.79 \log PGV - 1.53) \quad (2)$$

$$I_{MM} = 2 I_{JMA} - 2.5 \quad (3)$$

$$D_{IJMA} = \Phi(1.12 I_{JMA} - 8.57) \quad (4)$$

$$D_{IMM} = \Phi(0.56 I_{MM} - 7.17) \quad (5)$$

$$I_{v1} = 1.41 \log PGV + 10.06 \quad (6)$$

式(6)を用いて計算したMM震度階の被害関数と、文献2)の被害データとの対応を図1に示す。ただし、建物棟数が少ないものをはじめ、精度に注意が必要であるものは参考値として小さいマーカーとした。被害率の大きな記録は震度10になるものの、震度10でも被害が無いケースが多い。これは、PGAは0.1秒以下の極短周期、PGVは10秒以上の長周期成分に対応しており、建物が全壊・大破といった大きな被害を受ける周期帯である周期1-2秒⁵⁾と対応していないためと考えられる。そこで、応答スペクトルを用いてMM震度階を計算する手法を用いた場合を図2に示す。この手法は、低震度を人体感覚と対応する周期0.1-1秒震度⁵⁾、高震度を建物被害と対応する周期1-2秒震度を用い

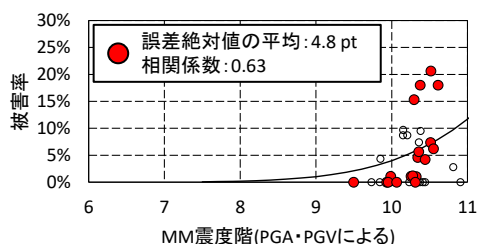


図1 MM震度階と被害率の対応

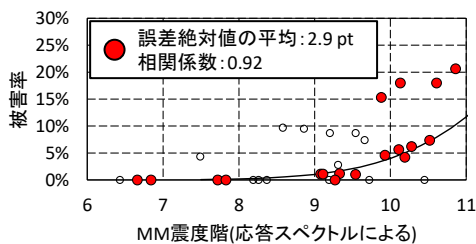


図2 MM 震度階と被害率の対応

ることで、応答スペクトルを用いて MM 震度階を算定する算定法²⁾である。図2でも、古い建物が多い1995年兵庫県南部地震 JR 鷹取や大開口の建物が多い2007年能登半島地震 K-NET 穴水といった耐震性能の低い建物が多い地点で実被害率との誤差は大きい。震度10に被害率0%が多数含まれる点や、被害率0%の点が最大の震度となる点が改善し、相関係数や誤差の絶対値の平均を見ても全体的な対応の向上が確認できる。

4. MM 震度階と被害を受ける耐震性能の対応

MM 震度階の解説表には「耐震設計された多くの建物で中程度から重度の被害」など、耐震性と被害状況への言及がある。しかし、「耐震設計された建物」が示す耐震性能は各地域の耐震基準によって異なり、地域によらず同じ表現を用いる必要がある。そこで、解説表に被害を受ける目安となる具体的な耐震性能の指標を示すために、非線形地震応答解析によって被害を受ける耐震性能と MM 震度階との関係を調べた。

建物の復元力特性は、木造建物に修正 Takeda-slip モデル⁷⁾、RC 造建物に Takeda モデル⁸⁾を用

い、それぞれのパラメータは表1に示す値を与えた。耐震性能の指標として降伏時のベースシア係数 C_y を用い、木造建物は実在する建物の弾性周期 0.15~0.5 秒⁹⁾より C_y を 0.1~1.5 まで 0.1 刻みで変化させ、RC 造建物は実在する建物の階数・ C_y ・弾性周期の関係¹⁰⁾を考慮し C_y を 0.3~2.1 まで 0.1 刻みで変化させた。これらの建物に文献2)の地震動を入力し、変形が全壊する C_y の値を調べた。横軸に応答スペクトルによる MM 震度階、縦軸に C_y を取って解析結果を図3に示す。図3に基づき、被害を受ける建物の耐震性能を表2に示す。「耐震設計された建物」という定性的な表現に対応する耐震性能は各地域の耐震基準によって異なるが、表2では C_y によって定量的に表現するため、地域によらず同じ解説を用いることが可能となる。

5. まとめ

建物の全壊・大破といった大きな被害との対応に基づいて MM 震度階を計算する手法について検討を行った。最大加速度・最大速度による手法では建物が被害を受ける周期帯と地震動強さ指標が対応する周期帯の違いによって誤差が大きく、建物被害と対応する周期帯の加速度応答を用いる必要があることがわかった。

次に、非線形地震応答解析によって MM 震度階と被害を受ける建物の耐震性能の関係を調べ、解説表の定量的な記述法を考案した。

謝辞はその2にまとめて示す

参考文献

- 1)Wald, D. J., Quintro, V.,Heaton, T. H. and Kanamori, H.: Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity and Modified Mercalli Intensity in California, *Earthquake Spectra*, 15, pp.557-564.,1999.
- 2) 境有紀, 汐満将史, 中澤駿佑, 応答スペクトルを用いて改正メルカリ震度階を計算する方法の素案, 京都大学防災研究所年報, 第66号 B, 2023.
- 3) Trifunac, M. D. and Brady, A. G.: On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, pp.139-162,1975.
- 4) 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, 第524号, 65-72, 1999.
- 5) 境有紀, 神野達夫, 瀧澤一: 建物被害と人体感覚を考慮した震度算定方法の提案, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, CD-ROM, 2002.11.
- 6) 境有紀, 中澤駿佑, 亀井健司, 建物被害から見た関東平野で発生する地震動の性質, 第51回地盤震動シンポジウム, 60-68, 2023.
- 7) 飯塚裕暁, 境有紀, 木造建物における自由度系地震応答解析のための復元力特性モデルの提案, 日本地震工学論文集, 第9巻, 第1号, 113-127, 2009.2.
- 8) Takeda, T., Sozen, M.A. and Nielsen, N.N.: Reinforced concrete response to simulated earthquakes, *Journal, Structural Division, ASCE*, Vol.96, No.ST5, 1970, pp.2557-2573.
- 9) 境有紀, 飯塚裕暁, 非線形地震応答解析による地震被害推定を目的とした平均的な木造建物群モデルの構築, 日本地震工学論文集, 第9巻, 第1号, 32-45, 2009.2.
- 10) 境有紀, 熊本匠, 地震動の方向性の定量的な検討と地震被害推定のための平均方向の提案, 日本地震工学論文集, 第10巻, 第5号, 1-20, 2010.

表1 復元力特性モデルのパラメータ

モデル	降伏点 剛性低下率 α_y	Q_c/Q_y	降伏後 剛性低下率 β	除荷剛性 低下率 α	スリップ 剛性低下率 γ	スリップ 剛性硬化係数 δ	全壊・大破 相当の塑性率
修正 Takeda-slip	0.20	0.30	0.15	0.50	3.0	1.0	8
Takeda	0.20	0.30	0.15	0.50			8

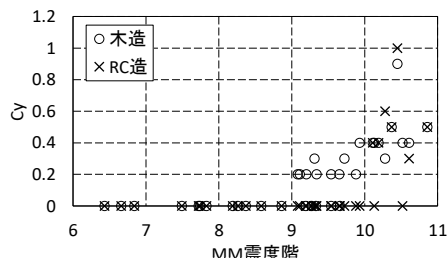


図3 MM 震度階と全壊・大破する C_y の関係

表2 各震度階で被害を受ける建物の性能

震度階級	大きな被害を受ける建物の性能
8	木: C_y が0.2未満, RC: C_y が0.3未満
9	木: C_y が0.2~0.3, RC: C_y が0.3未満
10	木: C_y が0.3以上, RC: C_y が0.3以上