

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

八千代エンジニアリング株式会社 正会員 ○鶴飼 昌寛
岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 久世 益充
岐阜大学 正会員 杉戸 真太

1. 目的

地震による広域的な建物被害予測では、震度などの地震動強度指標と建物強度に関係する建築年代や構造種別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、過去の被害地震で得られた各地の震度、被害調査、罹災証明などを用いて作成される。しかし、甚大な建物被害が発生した地震の多くは、兵庫県南部地震などの内陸型地震によるものが多い。

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よる建物被害予測への適用には注意が必要と思われる。強震継続時間の長い地震動が構造物に作用する場合、衝撃的な揺れにより倒壊する場合と、倒壊を免れても地震力が繰り返し作用することで、構造部材の損傷が拡大し、倒壊に至る可能性が考えられる。前述したように、海溝型地震を対象とした建物被害予測においては、既存の被害関数では強震継続時間の長い地震動を十分に考慮することが難しいと思われるため、建物被害予測結果が過小評価となる恐れがある。

本研究では、継続時間の異なる地震動波形を用いて解析した結果¹⁾を基に、強震継続時間が建物被害に与える影響について考察した。

2. 強震継続時間の指標

本研究では、計測震度を指標とするため、計測震度の特徴から考えて、強震継続時間は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 Lai²⁾による等価継続時間 T_d を強震継続時間として定めて検討した。式(1)に示すように等価継続時間(sec)は、地震動パワー P_T (cm^2/sec^3)、最大加速度 $A_{\max}$ (cm/sec^2)により表される。 T_d は地震動パワーが等しい地震波でも、ピークが明瞭な地震波では継続時間が短い。反対に、振幅の変動が緩やかでピークの見られない地震波では、 T_d は長くなる傾向が見られる。

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

3. 建物被害率の算出

構造物の被害と強震継続時間の関係を示すために、川出¹⁾は在来軸組構法の木造構造物について建築年代別の最低基準耐力に合わせて壁部材の復元力モデルを定めている。この復元力モデルをもとに二階建ての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成分の地震動波形について時刻歴応答解析を行い、曲げ破壊に至った割合と計測震度の関係を求めている。

本研究では、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(昭和25年)の建築基準をもとにした地震応答解析の結果を等価継続時間 T_d の異なる5つのグループ(T_d が短いA・B, T_d が長いC・D・E)に区分³⁾して、計測震度ごとに破壊に至った割合を求めた。

4. 建物被害関数の推定

等価継続時間の各グループの計測震度と破壊率について、式(2)に示すロジスティック回帰で被害関数を推定した。ここに、被害率 P は、計測震度 I 、係数 a 、 b である。図-1に、3.で述べた5グループの計測震度と被害率を整理し、各グループの被害関数を比較した結果を示す。被害率の値のばらつきは大きい、 T_d の違いで被害率が異なる傾向を確認できる。

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

5. 強震継続時間と被害率の関係

強震継続時間の違いによる被害関数の補正を行うために、まず表-1に示すように、強震継続時間の違いによる被害率の回帰曲線から、同じ被害率の値になる各グループの計測震度を算定し、 T_d が短いグループと長いグループの計測震度の差を表した。

T_d の違いで計測震度を比較すると、同じ被害率になる計測震度は、 T_d が短いグループ(A)と T_d が長いグループ(E)の計測震度差 ΔI を比較すると $\Delta I = 0.15 \sim 0.21$ となっている。また、被害率の値が大きくなるにつれて、 ΔI も大きくなる傾向が見られる。次に、図-2に示すように、グループ(E)の被害率からグループ(A)の被害率を引いた値について、計測震度に対する被害率を比較すると、計測震度5.4～5.5では、強震継続時間の違いが被害率の大きな差として現れることがわかる。一方で、被害率が高くなる震度6強レベルでは、強震継続時間による被害率の差が小さくなる傾向が確認できる。

6. 建物被害予測への適用

本研究では、強震継続時間と被害率の関係を基に、既往の建物被害関数に強震継続時間の影響を簡易的に適用する方法について考える。

前述のように、強震継続時間による差を計測震度の差として表した場合、計測震度が高い領域では被害率と計測震度の差が相関しなくなることを考慮して、被害率の差が最大となる計測震度では計測震度の差分だけ被害率を割り増し、被害率の差がほとんどなくなる計測震度での割増しが0となるようにした等価計測震度を定義することとした。

強震継続時間の長いグループ(E)と短いグループ(A)の被害率の差は計測震度5.44で最大となることから、計測震度5.44のときのグループ間の計測震度差は0.2である。そこで、計測震度5.44の被害率として、計測震度+0.2の被害率を当てはめる。次に、計測震度6.0では被害率がほぼ100%に近いことから被害率の差がないとして、計測震度6.0の被害率を適用する。

そして、これを内閣府⁴⁾で用いられた被害関数に当てはめて、計測震度区間5.5~6.0においてもとの被害関数の計測震度と等価な計測震度を表す関係式を式(3)のように設定した。ここで得られた I_{eq} を内閣府の被害関数に代入することで、補正した被害率が算定される。

$$I_{eq} = -1.014I^2 + 12.245I - 30.966 \tag{3}$$

I_{eq} : 等価計測震度, I : 計測震度

また、図-3に示すように、簡易的に内閣府の被害関数を補正する場合は、等価計測震度をもとに算定した結果から直線的に補間した式(4)のように計測震度の関数を設定した。

$$P = 0.295I - 1.593 \quad (5.5 \leq I < 6.0) \tag{4}$$

P : 全壊率, I : 計測震度

7. 考察

本研究において、建物の耐力を超える震度レベルの力を受けた場合、衝撃力のみで倒壊する現象を被害率の補正に取り入れる方法を示せた。使用した建物の復元力モデルは建物の最低基準耐力をモデル化した解析結果であることから、この補正は木造建物の旧築年の最低基準の場合の補正と考えられる。したがって、このモデルより耐力がある建物の被害率は、減少すると推測されることから、本研究の割増しは、継続時間の影響を最大限見込んだ場合と考えられる。また、川出ら¹⁾の行った新しい建築年代の被害率は継続時間の違いによる差はほとんどない結果であったことから、建築年代が新しいものについては継続時間の影響は僅かであると考えられることから、建物被害率の補正は、旧築年のみに適用することが妥当といえる。

参考文献

1)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，岐阜大学工学部社会基盤工学科卒業論文，2007。
2)Erik H.Vanmarcke, Shin-Sheng P.Lai：Strong Motion Duration And RMS Amplitude of Earthquake Rec-ords,Bulletin of the Seismological Society of Ameri-ca, Vol.70,No4,pp.1293-1307。
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評価シンポジウム，p.75-78，2012。
4)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。

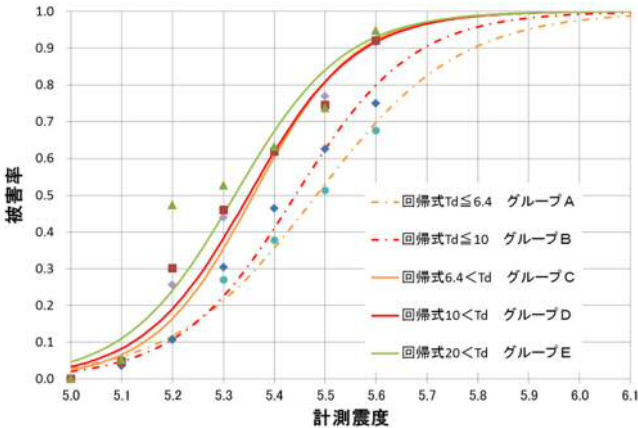


図-1 グループ別の被害関数

表-1 グループ別の計測震度差

		基準Td	平均Td	被害率											
				0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	
計測震度	短いグループ	A	Td≤6.4	4.61	5.43	5.45	5.48	5.51	5.54	5.57	5.60	5.64	5.68	5.73	5.79
		B	Td≤10.0	5.75	5.39	5.42	5.44	5.46	5.49	5.51	5.54	5.57	5.60	5.64	5.69
	長いグループ	C	6.4<Td	15.2	5.32	5.34	5.36	5.38	5.40	5.42	5.44	5.47	5.49	5.53	5.57
		D	10.0<Td	17.38	5.31	5.33	5.35	5.37	5.39	5.41	5.44	5.46	5.49	5.53	5.58
		E	20.0<Td	24.73	5.28	5.30	5.32	5.34	5.37	5.39	5.41	5.44	5.47	5.51	5.56
ΔTdとΔIの関係		case		ΔTd		ΔI									
		A—C	10.59	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.20	0.22	
		A—D	12.77	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	
		A—E	20.12	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	
		B—D	11.63	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	
		B—E	18.98	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	

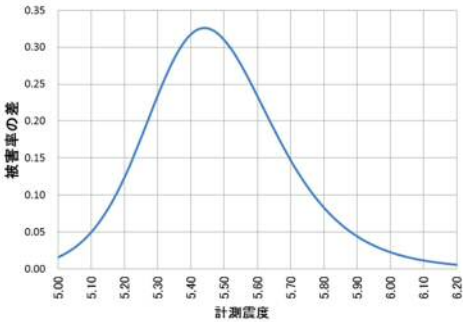


図-2 グループ(A)と(E)の被害率の差

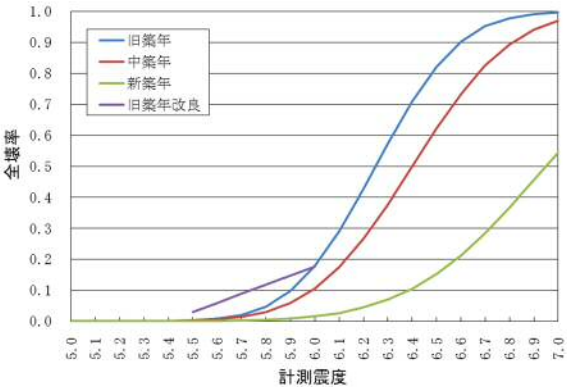


図-3 内閣府の被害関数の補正