

01 背景・目的

我が国で最も建設棟数の多い木造住宅の耐震性能を効率的に向上させるには、制振装置を付加することが有効である。制振装置とは、繰り返しの地震動にも対応できる利点を有するが、S、RC 造と比べて制振技術を適用した木質構造の設計法は確立していない。本研究では、制振装置（以下、ダンパー）を含む履歴特性を持つ一般的な木造住宅を想定した質点系モデルの解析を行い、累積塑性変形倍率と塑性率から求まる等価繰り返し係数 n などを用いて、制振装置の有効性と設計法を考察する。

02 研究概要

木質構造の構造的特徴は、復元力特性がスリップ型となることが知られている。そのため、降伏変位を超える変形が建物に生じると、架構の剛性が大きく低下する解析モデルとする必要がある。ここでは、木質構造の地震時エネルギーを図 1 に示すスリップ要素とバイリニア要素、それにダンパーを加えた式 1) で表現する。

$$E_s = E_{ws} + E_{wd} + E_d \quad 1)$$

各要素のエネルギーは式 2) ～ 4) とする。

$$E_{ws} = b_{ws} \cdot Q_w \cdot a_{ws}(\delta_m - \delta_{ws}) \quad 2)$$

$$E_{wd} = b_{wd} \cdot Q_w \{a_{wd}(\delta_m - \delta_{wd})\} \quad 3)$$

$$E_d = Q_d \{a_d(\delta_m - \delta_d)\} \quad 4)$$

ここで、 a_{ws} 、 a_{wd} 、 a_d は各要素へのエネルギー配分を表す係数である。文献 2) よりエネルギー法を用いて応答算出を行うには、累積塑性変形倍率 $\bar{\eta}$ と塑性率 μ^* を用いた式 5) に示す等価繰り返し係数 n を式 6) ～ 7) より求め、 N 回繰り返し地震時の荷重変形関係が得られる。

$$n = \frac{\bar{\eta}}{\mu^*} \quad 5)$$

$$\bar{\eta} = \frac{E_a}{2F_y \cdot \delta_y} \quad 6)$$

$$\mu^* = \frac{|\delta_{max}|}{\delta_y} - 1 \quad 7)$$

03 解析モデル

等価繰り返し係数 n 、各要素へのエネルギー配分を表す係数 a_{ws} 、 a_{wd} 、 a_d を求めるため、木造制振を想定した質点系モデルの解析を行う。

解析モデルの概要を図 2 に示す。一般的な木造住宅とするため 1 ～ 3 質点とし、質量は ZEH 水準などの建築物として提案された壁量から計算し、1 階質量で基準化する。耐力は式 1) を表現するため、図 1 に示すスリップ、バイリニア、ダンパーの 3 要素とし、荷重変形関係が N 回繰り返し地震によって降伏から終局間 ($1/120$ - $1/30$ rad) の応答で評価を行う。解析パラメータは、表 1 に示す階数、耐震要素、ダンパーの降伏変位や割合など建物に関すること、入力地震動や繰り返し回数など外力に関することである。入力地震動は表 2 に示す最大速度 50kine で基準化したもの、JMA 神戸 NS 波の原波など 6 波とした。入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3 に示す。

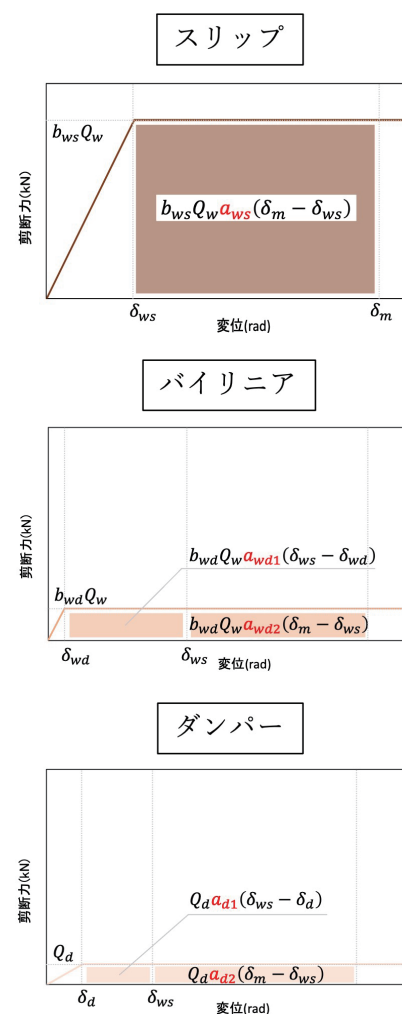


図1 各要素の荷重変形関係

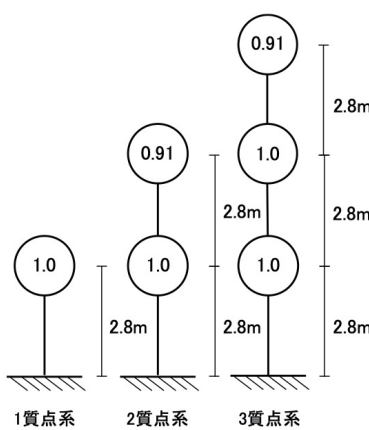


図2 解析モデルの概要

表1 解析パラメータ

質量	壁量計算より算出し1階質量で基準化(モルタル壁)
耐力	スリップ+バイリニア+ダンパー スリップ・バイリニア要素(筋交い、構造用合板等) ダンパー要素(制振装置)
変位	Ry=1/30rad
解析パラメータ (※は基準パラメータ)	階数(1-2-3 質点系) 耐震要素(7) 入力地震動(6) 繰り返し回数(1-2-3 回) ダンパーの降伏変位(5-10 [*] -15-20mm) ダンパーの割合(0-10-20 [*] -30-40-50%)

表2 入力地震動

入力地震動	備考
ELCentroNS	50Kine
TaftEW	50Kine
HachinoheNS	50Kine
KobeNS	原波
KobeNS-L2	KobeNS 位相
BSL	ランダム波

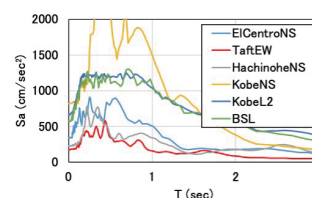
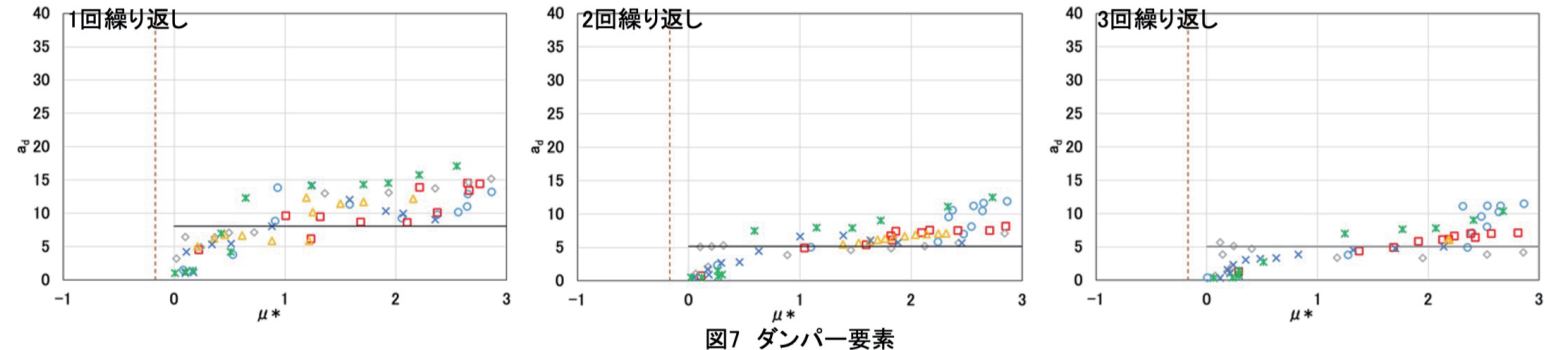
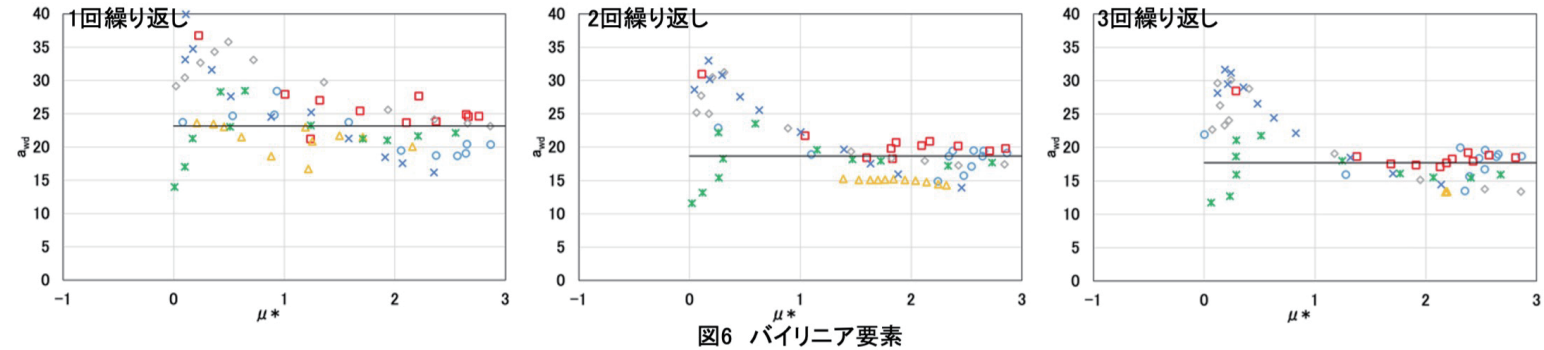
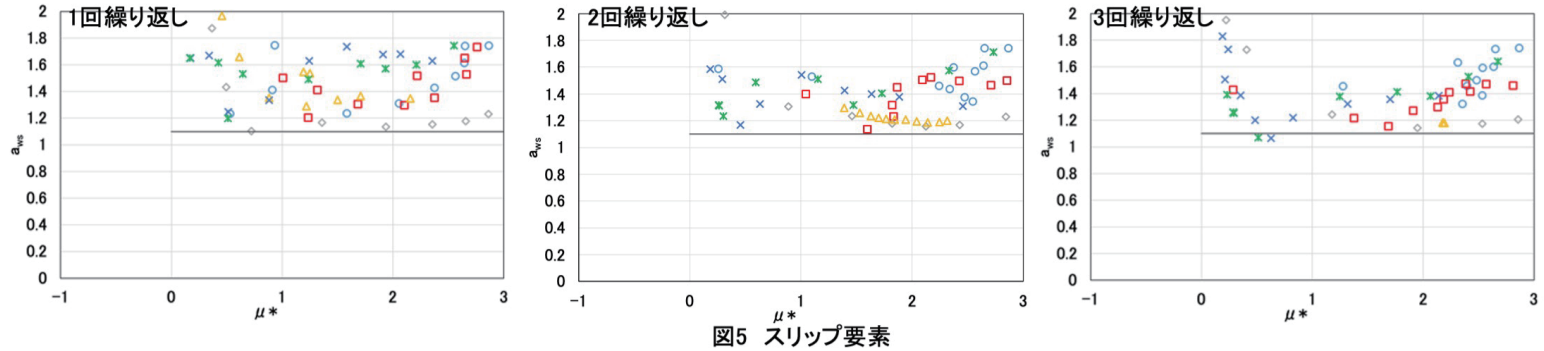
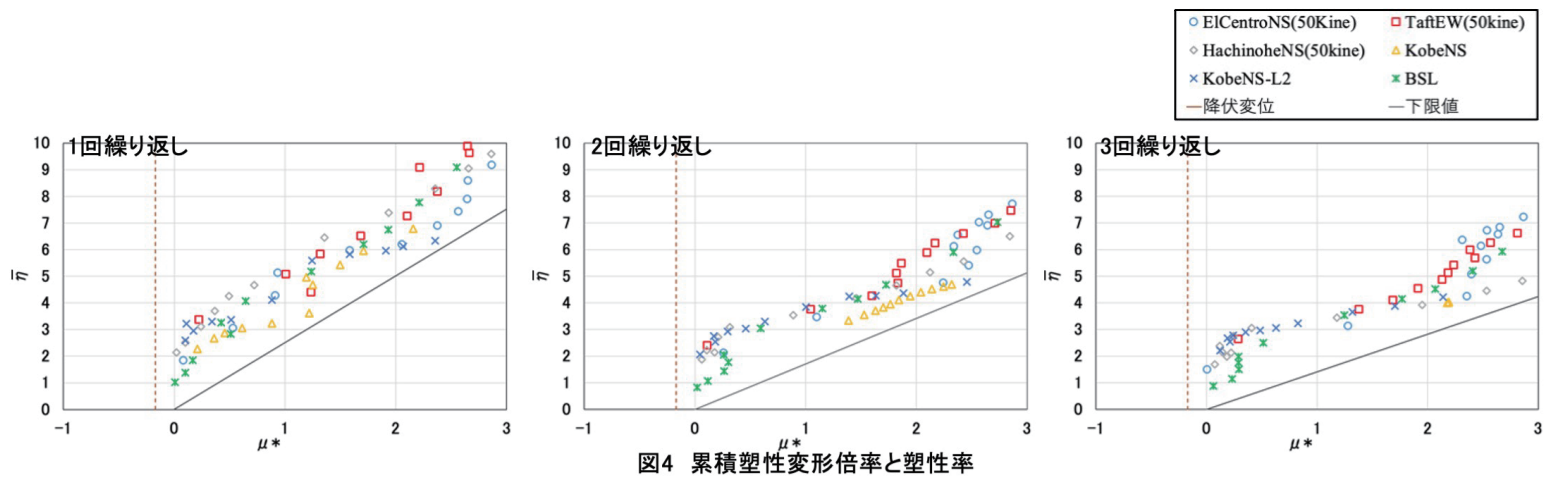


図3 入力地震動の加速度応答スペクトル

04 解析結果

結果の 1 例として、1 質点系のダンパーの降伏変位 20mm としたときの $\bar{\eta}$ と μ^* の関係を図 4 に示す。 η は繰り返し回数で除することで平均化を行なった。等価繰り返し係数 n は、回帰分析から得られた 95% 信頼区間の傾きとし、切片を 0 としたものである。 n の値は、繰り返し回数 1 で 2.5、繰り返し回数 2 で 1.7、繰り返し回数 3 で 1.4 となった。繰り返し回数 1 と 2 で n が大きく下がっている。文献 2) ではダンパーを持たない木造建物で 1.5 程度であり、繰り返し回数 3 の n が同程度であった。

図 4 の $\bar{\eta}$ を、各要素へのエネルギー配分としたものを図 5 ～ 7 に示す。 a_{ws} 、 a_{wd} 、 a_d を 95% 下限値から求め、表 3 に示す。表より、スリップは 1.1 で安定している。バイリニアとダンパーは、繰り返し回数 1 と 2 で大きく数値が下がっていることが確認され、これは n と同様の傾向である。図 6、7 より、ダンパーは建物が降伏後にエネルギーを吸収していること、バイリニアは変形が増大するに従いエネルギー吸収が小さくなることが確認された。



05 まとめ

エネルギー法に基づく耐震設計を木造制振建物に適用するため、一般的な木造住宅を想定した質点系の解析を実施した。解析より、制振装置を含む建物の等価繰り返し係数 n は地震の繰り返し回数 3 で 1.4 となり、主にバイリニア要素とダンパー要素が繰り返し地震時のエネルギーを吸収していることが確認された。

表3 エネルギー配分を表す係数

	n	a_{ws}	a_{wd}	a_d
1 回繰り返し	2.5	1.1	23	8
2 回繰り返し	1.7	1.1	18	5
3 回繰り返し	1.4	1.1	17	5

参考文献

1) 建築研究所：鋼構造建築物へのエネルギー法活用マニュアル、2008.9。
2) 五十田博：エネルギーの授受に基づく耐震性能評価法の木質構造への適用、日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.401-402、2002.8。
3) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計