

木造軸組構法における制振構造の研究

—エネルギー法による制振装置の性能評価—

木造軸組構法 制振装置 エネルギー法 粘弾性ダンパー

正会員 真崎雄一*1 同 佐藤利昭*2
同 井口道雄*3

1. はじめに

2005年に国交省告示として「エネルギーの釣合いに基づく耐震計算法(以下、エネルギー法)」が新たに制定され、制振装置を含む建物の耐震性能評価が可能となったが、その条項をそのままに制振装置を含む木造住宅に適用することはできない。本報では、既報^{1),2)}で実施した動的実験で得られた制振装置の構造特性を基に、エネルギー法を適用する上で必要となる、ダンパー部分の等価な繰り返し回数(n_i)と主架構とのエネルギー分配を検討した結果について述べる。

2. 制振装置のモデル化

既報²⁾では、実験を基に粘弾性制振装置(GVA)の構造特性を抽出した。抽出したGVA要素の履歴特性を図1に示す。

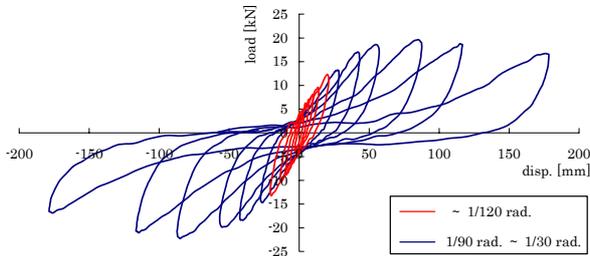


図1 制振装置(GVA)の履歴特性(2スパン分)

制振装置GVAを含む木造架構の地震応答計算を行うために、図1の履歴特性の簡易モデル化を試みた。エネルギー法では希に発生する地震動に対する検証と、極めて希に発生する地震動に対する検証で計算方法が異なるため、本報では各入力レベル毎に履歴モデルを作成する。各モデル(D-Model, S-Model)の概要を図2に、パラメータを表1に示す。

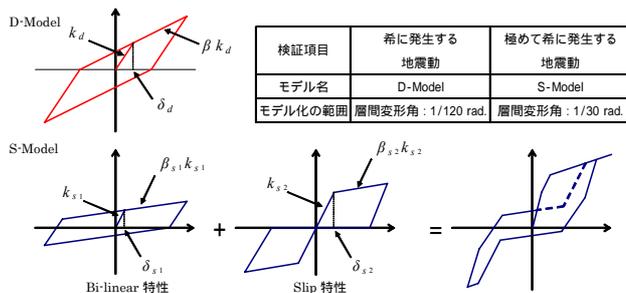


図2 GVA要素のモデル

図1に示す制震装置GVAの履歴特性のエネルギー吸収量に着目し、実験値と簡易モデルの結果とを比較して図3に示す。図よりモデル化とパラメータの妥当性が確認された。

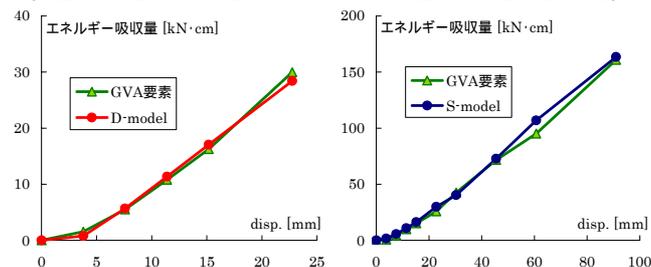


図3 エネルギー吸収量の推移(簡易モデルとGVA要素の比較)

表1 各モデルの諸元

検証モデル	D-Model (d)	S-Model	
		Bi-linear (s1)	Slip (s2)
初期剛性: k [kN/mm]	1.41	0.95	0.24
降伏変位: [mm]	3.79	3.79	22.75
	0.3	0.11	0.3

3. 応答解析による検証

3.1 1質点モデルの設定と解析条件

制振装置を有する木造住宅にエネルギー法を適用する上で必要となるダンパーの効果に関する検討を、想定した建物モデルの応答解析により行う。本報では、図4に示す1質点弾塑性モデルを用いて検討する。

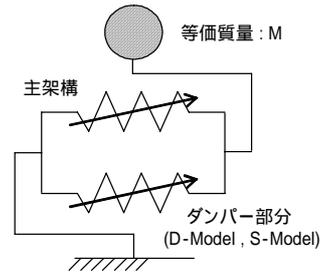


図4 1質点系弾塑性モデル

想定した建物は、標準的な木造住宅(2階床面積: 60m², 1階床面積: 80m², 軽い屋根)で、壁量は地震力に対する必要壁量の1.5倍とする。この建物について固有値解析を行い1次固有周期0.502 secを算出した上で、図4に示す等価質量M(=32.5 ton)を決定する。

これを基準モデルとして、主架構ばねの割線剛性より評価した初期固有周期を0.2sec~0.7secの範囲で0.05sec刻みに合計11種類の解析モデルを設定した。ここで設定したパラメータは、住宅品質確保促進法による耐震等級3以上の建物から建築基準法の要件を満足しない範囲までを想定している。また各モデルの主架構ばねは、Bi-linear + Slip型の復元力特性で表現し、各係数は壁倍率からの換算法に従った³⁾。解析モデルの主架構ばね特性の諸元を表2に示す。

表2 各検証用モデルの主架構ばねのパラメータ

モデル名	Bi-Linear		Slip		初期固有周期 [sec]	減衰定数
	初期剛性: k [kN/mm]	降伏変位: [mm]	初期剛性: k [kN/mm]	降伏変位: [mm]		
T-0.2	21.38	1.53	0.05	10.69	0.057	
T-0.25	13.69			6.84		
T-0.3	9.50			4.75		
T-0.35	6.98			3.49		
T-0.4	5.35			2.67		
T-0.45	4.22			2.11		
T-0.5	3.42			1.71		
T-0.55	2.83			1.41		
T-0.6	2.38			1.19		
T-0.65	2.02			1.01		
T-0.7	1.75			0.87		

(モデル名の数値は初期固有周期を表す)

制振装置は通常の配置とし、6P相当の履歴モデルを設定した。応答解析にはNewmark-β法(β=1/4)を用い、主架構の減衰は瞬間剛性比例型とし、減衰定数を3%と仮定した。検証に用いた入力地震波はEl Centro NS波, Hachinohe NS波, Hachinohe EW波, Taft NS波, Taft EW波, JMA Kobe NS波を25kine, 50kineに基準化した波形と、日本建築センター波(BCJ Lv.1およびLv.2)を用いた。参考として、各入力地震波の最大加速度と速度を表3に示す。

表3 入力地震動の最大加速度と速度

入力地震動	原波		25kine相当		50kine相当	
	加速度 [gal]	速度 [kine]	加速度 [gal]	速度 [kine]	加速度 [gal]	速度 [kine]
El Centro.NS	341.7	34.2	249.7	25.0	499.5	50.0
Hachinohe.EW	182.9	35.5	128.8	25.0	257.6	50.0
Hachinohe.NS	225.0	33.9	165.9	25.0	331.7	50.0
JMA Kobe.NS	818.0	90.9	224.9	25.0	449.8	50.0
Taft.EW	179.5	15.7	253.3	25.0	506.6	50.0
Taft.NS	152.7	17.4	242.5	25.0	485.0	50.0
BCJ波-Lv.1	-	-	207.3	29.0	-	-
BCJ波-Lv.2	-	-	-	-	355.7	56.3

3.2 ダンパー部分の繰り返し回数の検討

制振装置の等価な繰り返し回数 (n_i) は、ダンパー部分の平均累積塑性変形倍率 $d\bar{\eta}_i$ と最大塑性率 $d\mu_{max}$ をもとに、次式により求められる。

$$n_i = d\bar{\eta}_i / (d\mu_{max} - 1) \quad (1)$$

式(1)に示す平均累積塑性変形倍率 $d\bar{\eta}_i$ は、本報で想定した Bi-linear 型の復元力特性の場合には、塑性歪みエネルギーとして吸収されるエネルギー dE_{pi} 、降伏荷重 dQ_{ui} 、降伏変位 $d\delta_{ui}$ を用いて、式(2)より算出される。⁴⁾

$$d\bar{\eta}_i = \frac{1}{2} \cdot (1 - \beta) \cdot \frac{dE_{pi}}{dQ_{ui} \cdot d\delta_{ui}} \quad (2)$$

以上により算出される $d\bar{\eta}_i$ と $d\mu_{max} - 1$ の関係を各入力レベル毎にまとめ、図5に示す。但し、主架構の最大応答変位が希に発生する地震動で $1/120rad.$ 、極めて希に発生する地震動で $1/15rad.$ を超えた場合には、ダンパー部分の履歴モデルと対応しないため、各図から除外している。また極めて希に発生する地震動の検証では、Slip 型の復元力特性を含むため、既往研究⁵⁾を参考に、式(2)の降伏荷重を降伏せん断耐力に読み換えて、各数値を算出した。

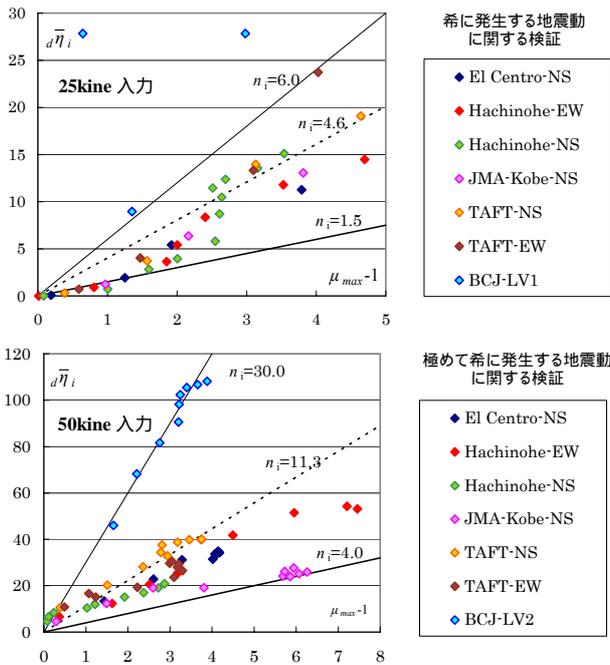


図5 各入力レベルにおける $d\bar{\eta}_i$ と $d\mu_{max} - 1$ の関係

図5より、希に発生する地震動では概ね $n_i = 1.5 \sim 6.0$ 、極めて希に発生する地震動で $n_i = 4.0 \sim 30.0$ の範囲に数値が分布し、平均値はそれぞれ $n_i = 4.6$, $n_i = 11.3$ となった。以上より各入力レベルの地震動に対する検証には、これらの下限値である $n_i = 1.5$ および 4.0 を用いることが望ましい。

3.3 塑性歪みエネルギーの分配則

主架構およびダンパー部分の降伏変位が等しければ、希に発生する地震動では、塑性歪みエネルギーの分配は剛性に比例する。そこで本報では、S-Modelによる解析結果を対象に主架構とダンパー部分の塑性歪みエネルギーの分配則を導く。

応答解析結果に基づき、ダンパー部分の塑性歪みエネルギー量 dW_p と、建物全体の塑性歪みエネルギー量 W_p の関係を図6にまとめる。図6は縦軸を dW_p / W_p とし、初期固有周期の関係(左)と制振装置の等価剛性 ($d k_{eq}$) を建物全体の等価剛性 (k_{eq}) で除した剛性比との関係(右)が示してある。

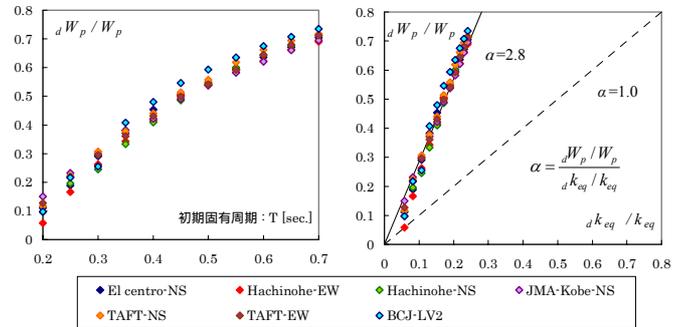


図6 dW_p と W_p の関係 (左: 初期固有周期, 右: 等価剛性比)

左図より、Bi-Linear+Slipの復元力特性を用いた場合でも、塑性歪みエネルギーと初期固有周期との間に強い相関があることが認められる。また右図より、制振装置には分配される塑性歪みエネルギーは建物全体との等価剛性比の2.8倍であることが分かった。これより、ダンパー部の塑性歪みエネルギー量 dW_p と、それ以外の構造躯体の塑性歪みエネルギー量 fW_p は次式により推定できることになる。

$$dW_p = \alpha \left(\frac{d k_{eq}}{k_{eq}} \right) \cdot W_p \quad (3)$$

$$fW_p = \left\{ 1 - \alpha \left(\frac{d k_{eq}}{k_{eq}} \right) \right\} \cdot W_p \quad (4)$$

4. まとめ

本研究では、粘弾性制振装置を含む木造住宅の耐震性をエネルギー法により評価する上で必要となるダンパー部分の等価な繰り返し回数 (n_i) とエネルギー分配則を示した。

- 謝辞 -
- 本研究は GVA 友の会関係各位の多大な協力のもとに実施された。また元東京理科大学大学院生 小川英記君の努力に負うところが大きい。記して謝意を表します。
- 参考文献 -
- 1) 佐藤他: 木造軸組構法における制振構造の研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), C1 (22044), PP87 ~ 88, 2005.9
- 2) 佐藤他: 木造軸組構法における制振構造の研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), C1 (22154), PP307 ~ 308, 2006.9
- 3) JSCA 編: 木造 建築構造の設計, 2004.8
- 4) 秋山宏: 建築物の耐震極限設計 第2版, 1987.5
- 5) 五十田博: エネルギーの授与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(北陸), C1, PP401 ~ 402, 2002.9

*1: (有) MASA 建築構造設計室
 *2: (有) MASA 建築構造設計室 (元東京理科大学大学院), 工修
 *3: 東京理科大学理工学部, 教授, 工博

Masa Architectural Design Bureau
 Masa Architectural Design Bureau M.Eng.
 Prof., Tokyo University of Science Dr.Eng.