

木造軸組構法における制振構造の研究

- 粘弾性制振装置を含む架構の静的解析モデル (その 2) -
木造住宅 制振構造 粘弾性ダンパー

正会員 佐藤利昭*1 同 真崎雄一*2
同 井口道雄*3

1. はじめに

前報 (その 1) では、柱 - 梁接合部の回転剛性を考慮した軸組架構の静的解析モデルを作成し、その妥当性を検証した。本報 (その 2) では、粘弾性制振装置を含む軸組架構の静的解析モデルを構築し、その妥当性を実験結果との比較によって検証した結果について述べる。また、そのモデルにより算定した、許容応力度計算で必要となる粘弾性制振装置の壁倍率の試算結果も併せて示す。

2. 粘弾性制振装置の概要

本研究で使用する制振装置は、粘弾性体を内蔵した制振金物、柱間にダイヤモンド型を形成する斜材、柱と斜材の接合金物の合計 3 種類の部材で構成され、標準仕様として制振装置を設置する柱にはホールダウン金物 B-HD30 を取り付ける。図 1 に、軸組架構に制振装置を組み込んだ全体図と制振金物および柱と斜材を接合する金物の写真を示す。なお、制振金物には、180 mm × 30 mm × 5 mm の粘弾性体が 4 枚内蔵されており、その可動範囲は左右それぞれ 15 mm である。

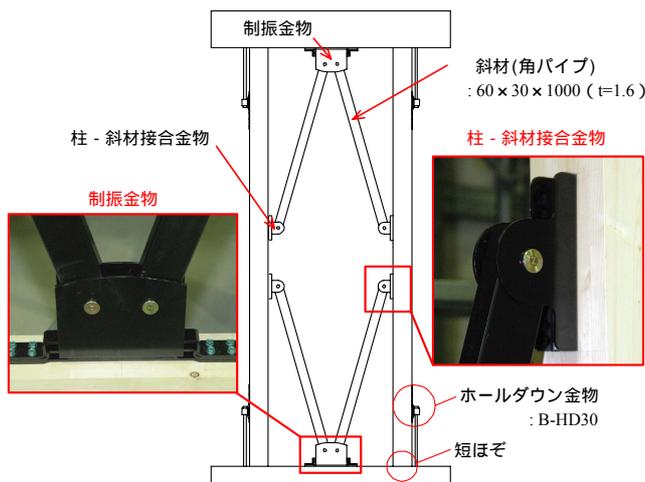


図 1 粘弾性制振装置を組み込んだ架構と接合部

3. 制振装置を含む架構の擬似動的加振実験

図 1 に示した粘弾性制振装置を含む 1 スパンの軸組架構を試験体とし、その頂部の横架材に高速アクチュエータを取り付け、擬似動的加振実験を実施した。試験体は、柱間隔 : 910mm, 横架材間内法高さ : 2700 mm で、柱には 105 × 105 の同一等級構成集成材 E95 - F315 を使用した。加振方法は前報 (その 1) と同様である。図 2 に、水平荷重と架構頂部水平変位の関係 (骨格曲線) を示す。

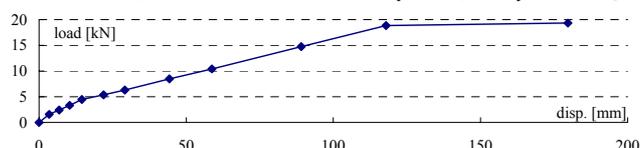


図 2 制振装置を含む架構の骨格曲線 (1P 相当)

表 1 層間変形角と柱中央部の鉛直変位の対応

層間変形角 [rad.]	1/720	1/360	1/240	1/180	1/120	1/90
鉛直変位 [mm]	0.08	0.1	0.2	0.28	0.35	0.5
層間変形角 [rad.]	1/60	1/45	1/30	1/22.5	1/15	
鉛直変位 [mm]	0.8	1	1.5	2.5	3	

本実験では、左右柱脚部の鉛直変位 (柱の中心部) を計測しており、表 1 にその結果がまとめてある。表 1 に示すように、柱中央部における浮き上がり量は最大で 3 mm と小さい。しかしながら、後述する力学モデルでは柱脚部の浮き上がり・沈み込み変形を考慮していないため、この影響については前報と同様の補正が必要となる。

4. 制振装置を含む架構の力学モデル

4.1 力学モデルの概要 制振装置が組み込まれた 1 スパンの軸組架構の力学モデルを図 3 に示す。図中の 1 ~ 10 は節点番号、~ が部材番号を表し、制振金物の粘弾性体部の特性は、等価せん断ばねとして扱う。

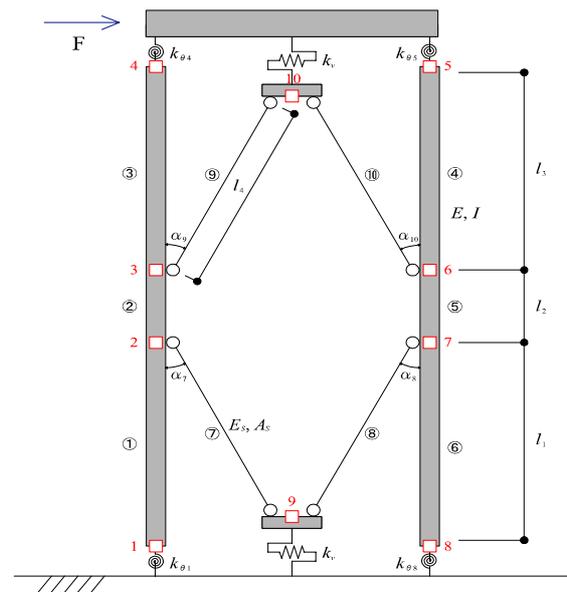


図 3 制振装置の力学モデル

図 3 の力学モデルに対する静的応力解析では、次の条件の下で、剛性 matrix 法を用いて解析している。

- (1) 柱の軸方向変形は考慮しない
- (2) 上下の横架材は剛体とする
- (3) 柱 - 梁接合部は回転ばねで表現する
- (4) 柱 - 斜材接合部はピン接合とする
- (5) 柱脚の浮き上がり (鉛直方向変形) は考慮しない

4.2 柱 - 梁接合部の回転ばね特性 柱 - 梁接合部の回転ばね特性は、前報 (その 1) で評価抽出した軸組架構の静的解析モデルの回転剛性をそのまま用いる。

4.3 制振金物部の等価せん断ばね特性 本報が静的解析を主体とすることから、粘弾性体については、等価せん断ばねとして、黄らの研究¹⁾を参考に次式で評価する。

$$k_v = 8.57 f^{0.3} \gamma_a^{-0.24} e^{-0.073\theta} \times \frac{A}{d} \quad (1)$$

式(1)で、 f : 振動数、 γ : せん断歪み、 θ : 温度、 A : せん断面積 (= 21600 mm²)、 d : 粘弾性体の厚さ (= 10mm) を表す。粘弾性体は振動数や温度に依存するため、それらを適切に評価する必要がある。図4には、本制振装置に対して温度を 20 と設定したときの粘弾性体のせん断剛性と水平変位の関係が示してある。

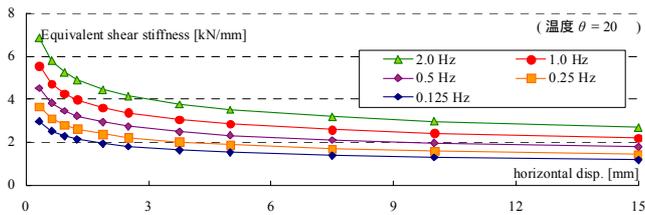


図4 制振金物の等価せん断剛性と水平変位の関係

この他、応力解析では、柱のヤング係数 $E = 9.5 \text{ kN/mm}^2$ 、断面 2 次モーメント $I = (105)^4 / 12 \text{ mm}^4$ 、角パイプのヤング係数 $E_s = 2.05 \times 10^2 \text{ kN/mm}^2$ 、断面積 $A_s = 1.6 \times 180 \text{ mm}^2$ を用いた。また、粘弾性体のせん断変形量が可動変位である 15 mm に達した時点で、式(1)のせん断剛性 k_v を $k_v = \infty$ として計算を行った。

5. 静的解析モデルの妥当性の検証

以上に述べた条件の下で、静的解析モデルの妥当性を検証する。図5に、擬似動的加振実験の結果と計算結果の比較を示す。なお同図には、計算結果に対し、柱脚の鉛直変位に基づく補正を加えた結果も併せて示してある。

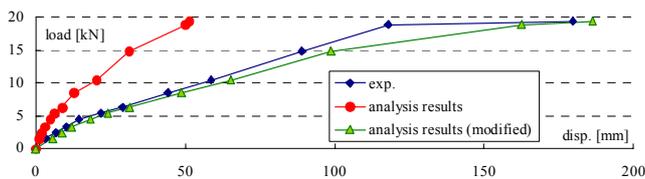


図5 実験値と計算結果の比較

図5に示すように、静的解析モデルによる計算結果は、実験値に比して剛性を高めに評価している。これに対し、柱脚の浮き上がり量を基に補正を加えた結果は、実験値と概ねよく対応している。したがって、粘弾性制振装置を含む軸組架構の変形性状は、図3の力学モデルで十分評価できるといえる。

6. 許容応力度計算の概説と壁倍率

許容応力度計算において、建物を構成する耐震要素の水平剛性は、各要素の仕様に対応した換算壁倍率 (以下、壁倍率と記す) によって評価している²⁾。壁倍率は、各耐震要素に対する静的載荷試験の結果を基に定められるが、

粘性系・粘弾性系ダンパーの静的載荷試験では、ダンパーが持つ性能は評価できないため、実験的にこれらのダンパーの壁倍率を決定することは難しい。

これらを踏まえ、本報では、図3の力学モデルを基に壁倍率を試算する。ここで重要となるのは、粘弾性体の各パラメータを如何に設定するかであるが、ここでは、実用上考えられる振動数や温度の範囲を想定して計算を行う。

温度の設定は、建物の使用上想定される範囲として、0、20、40 とし、振動数の設定は、既往研究³⁾を参考に各建物の特性を反映させることが望ましいが、ここでは一般的な木造住宅の固有周期の範囲から 2 Hz、3 Hz、4 Hz と設定する。水平剛性は、層間変形角 1/150 rad. 時の割線剛性として評価し、このときの計算値 (荷重) を 1.96 kN で除した結果を壁倍率とする。表2に、以上の条件を下に計算した壁倍率の試算結果をまとめて示す。

表2 壁倍率の試算結果

壁倍率		振動数		
		2.0 Hz	3.0 Hz	4.0 Hz
温度	0	5.4	5.6	5.7
	20	2.9	3.1	3.2
	40	1.0	1.1	1.2

表2より、水平剛性に最も影響を与えるのは温度であることがわかる。表2からは、振動数の差異による影響も認められるが、その影響は温度の影響に比して小さい。以上から、建物全体の耐震安全性を検討する上では、適切な温度設定が極めて重要であると考えられる。

7. まとめ

本研究では、粘弾性制振装置を含む軸組架構の静的解析モデルを構築し、その妥当性を検証した。また、モデルによる計算結果を基に、許容応力度計算で必要となる壁倍率を試算した。得られた知見は以下の通りである。

- 1) 粘弾性制振装置を含む軸組架構は、柱・梁接合部の特性を回転ばね、粘弾性体の特性を等価せん断ばねで表し、それらの剛性を適切に評価することによって、精度の良い解析モデルが構築できることを示した。
- 2) 制振装置の壁倍率には、温度の設定が強く影響する。このため、壁倍率をもとに行う耐震安全性の検討では、温度を適切に評価することが重要となる。

- 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、実験の実施にあたり、(株)住宅構造研究所より多くの便宜を戴いた。記して謝意を表します。

- 参考文献 -

- 1) 黄一華他: 振動数と温度に依存する粘弾性ダンパーの動的力学モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第 516 号, PP91 ~ 98, 1999. 2
- 2) (財)日本住宅・木造技術センター: 木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2008 年版), 2008. 12
- 3) 笠井和彦他: 振動数に依存する制振構造の等価周期・等価減衰の評価法とその精度 - 弾性架構と粘弾性ダンパーやオイルダンパーを持つ一質点系構造における全体減衰系への置換法 -, 日本建築学会構造系論文集, 第 580 号, PP51 ~ 59, 2004. 6

*1: (有) MASA 建築構造設計室, 技術主任
 東京大学大学院, 博士課程, 工修
 *2: (有) MASA 建築構造設計室, 代表取締役
 *3: 東京理科大学 名誉教授, 工博

Technological Chief, Masa Architectural Design Bureau
 Graduate Student, The University of Tokyo, M. Eng.
 Director, Masa Architectural Design Bureau
 Prof. Emeritus, Tokyo University of Science, Dr. Eng.