

制振装置を含む木造軸組架構の振動台実験による性能検証実験  
その 4 フレーム解析モデルの検証とエネルギー吸収量の評価

木造軸組構法      フレーム解析      モデル化  
接合部要素実験      粘弾性ダンパー

正会員 ○加藤 惇<sup>\*1</sup> 同 佐藤利昭<sup>\*2</sup> 同 井口道雄<sup>\*3</sup>  
同 真崎雄一<sup>\*4</sup> 同 涌井栄治<sup>\*5</sup> 同 肥田剛典<sup>\*2</sup>  
同 永野正行<sup>\*6</sup>

1. はじめに

前報（その 1~3）では、一連の振動台実験で得られた試験結果と共に、試験体相互の比較・分析結果を報告した。本報（その 4）では、既往研究<sup>1)~3)</sup>で検討を進めてきたフレーム解析モデルの解析精度を、試験体 GVA の試験結果を基に検証し、さらに架構全体と粘弾性体のエネルギーの吸収量を評価する。

2. フレーム解析モデルの構築

2.1 既往研究と解析モデルの概要

本実験で使用した制振装置は、既報にてフレーム解析モデルを検討した装置<sup>1)</sup>の柱-斜材接合部を改良したもので、改良後の装置についても、既に接合部の要素実験を実施し、その結果を基に静的解析モデルを構築している<sup>2), 3)</sup>。以降で述べる動的解析モデルは、それらの知見を踏まえたものである。図 1 に解析モデルの概要をまとめて示す。

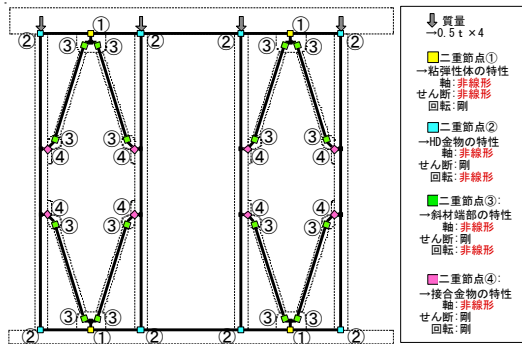


図 1 動的解析モデルの概要

図 1 に示すモデルは、試験体 GVA の加振方向 1 構面と対応させたもので、二重節点 ① ~ ④ により制振金物や接合部の非線形特性を評価する。質量配置は、同図のモデルが 1 構面を対象とすることから、積載荷重 4.0 ton を 1/2 倍し、それを各柱頭に均等に振り分けた。

2.2 制振金物のモデル化

節点 ① は、制振金物に内蔵した粘弾性体の特性を表し、黄らの研究<sup>4)</sup>を基に、次式で剛性  $k_v$  と減衰係数  $c_v$  を評価する Kelvin-Voigt モデルをせん断方向の特性に用いた。

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

$$c_v = 2.18f^{-0.53}\gamma_a^{-0.089}e^{-0.1\theta} \times A/d \quad (2)$$

式 (1), (2) で  $f$ : 振動数,  $\gamma_a$ : せん断歪み,  $\theta$ : 温度を表し,  $A$  と  $d$  はそれぞれ粘弾性体のせん断面積と厚さを表す。軸

方向には、既往研究<sup>1), 3)</sup>と同様、せん断方向の 3 倍の剛性を設定し、回転剛性は剛とした。

2.3 柱-横架材接合部の履歴モデル

節点 ② は、HD 金物の特性を表し、回転剛性には以前実施した要素実験<sup>5)</sup>に基づくモデルを設定した。軸方向の特性は、金物の認定試験の結果および木材へのめりこみを考慮し、正負で異なる特性を与えた。図 2 に、柱-横架材接合部に設定した履歴モデルをまとめて示す。

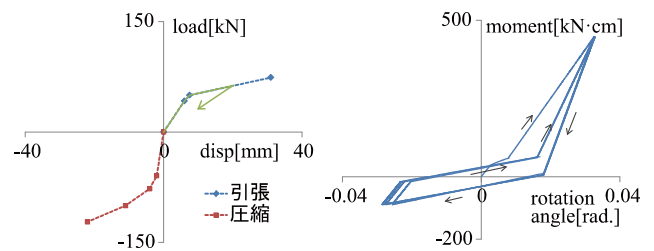


図 2 HD 金物の履歴モデル（左：軸方向、右：回転）

2.4 要素実験に基づく斜材接合部のモデル化

制振装置を含む軸組架構では、架構の応答に伴い図 3, 4 に示す 2 つの降伏性状が、柱-斜材接合部に観察される。



図 3 斜材端部の降伏性状

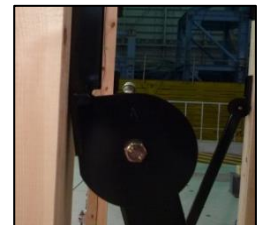
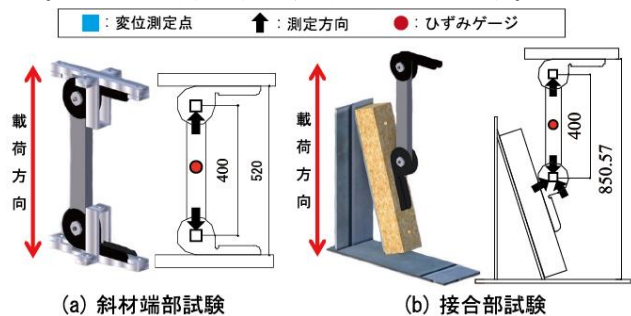


図 4 接合金物の降伏性状

図 1 に示した解析モデルでは、節点 ③ が図 3 の斜材端部、節点 ④ が図 4 の接合金物の降伏性状を評価する。既報<sup>2), 3)</sup>では、これら各部の特性を、要素実験によって把握した。図 5 に要素実験の概要をまとめて示す。



(a) 斜材端部試験

(b) 接合部試験

図5 接合部要素実験の概要

図5の試験(a)は、斜材端部の特性としてボルト孔近傍の損傷を評価することを目的に、接合金物自体の変形を拘束した試験である。試験(b)は、制振装置の取り付け角度を考慮した接合部全体の試験である。図6に両試験の結果を示す。なお、図6(右)に示す試験(b)の結果では、試験(a)より得られた斜材端部の特性を除去し、図4と対応する接合金物の損傷のみを抽出してある。

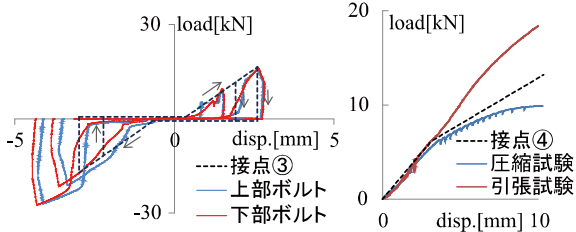


図6 接合部実験の結果と解析モデルの特性

図6には各節点に設定したモデルも同時に示してある。なお、シミュレーション解析では、要素実験と振動台実験の試験条件の差異を考慮し、節点③の特性に関してのみ、同図より摩擦力を高めに評価した。また節点④の特性には、Bi-linear型の履歴モデルを用いている。

3. 振動台実験に対するシミュレーション解析

フレーム解析は、上述の特性を用い、さらに一連の地震波加振に対する予測精度を検証するため、図7に示す、4種の加速度波形を1つの入力として応答計算を行った。

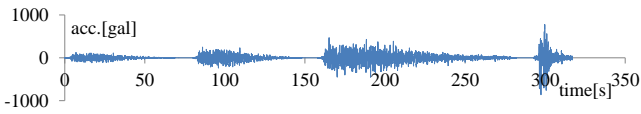


図7 入力加速度の時刻歴波形

各地震波加振における解析精度の検証結果として、実験値を縦軸に、計算値を横軸にとり、図8(a)に最大層間変位、(b)に粘弾性体のせん断変形量の最大値を比較した結果を示す。なお、この計算では粘弾性体の温度を一定値とした。

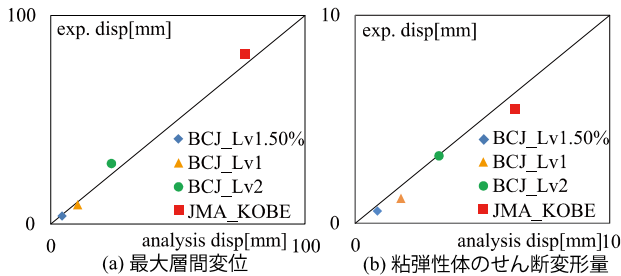


図8 実験と計算による最大応答の比較

図8より、最大層間変位、粘弾性体のせん断変形量とも実験値と計算値は概ねよく整合しており、応答予測が可能であることが示唆される。参考に、JMA-KOBE 入力時の応

答波形を図10, 11に示す。

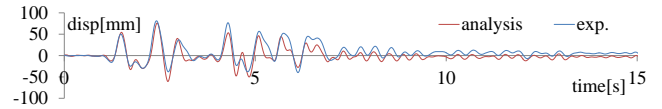


図10 実験と計算による層間変位波形の比較

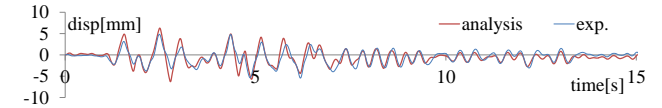


図11 実験と計算による粘弾性体のせん断変形の比較

図10, 11より、実験値と計算値は調和的で、本解析モデルの妥当性が確認され、他のケースでも同様の傾向が確認できた。図12に各地震波入力に対するエネルギーの吸収量と、粘弾性体の吸収割合を示す。

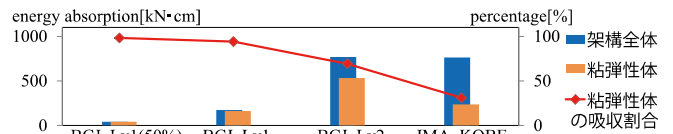


図12 各地震波入力時のエネルギー吸収量

本制振装置では、入力レベルの増大に伴い粘弾性体のエネルギー吸収割合が低下するが、BCJ-Lv.2でも50%以上のエネルギーを制振部材にて吸収していることが分かる。

4. まとめ

本報(その4)では、振動台実験を実施した試験体GVAに着目し、既往研究に基づくフレーム解析モデルの構築と、その応答予測精度を検証し、実験値と計算値の比較より、本解析モデルの妥当性が確認された。さらに応答計算の結果より制振部材のエネルギー吸収量を把握し、BCJ-Lv.2に対して、架構への入力エネルギーの半分以上を粘弾性体が吸収していることが明らかとなった。

謝辞

本研究(その1~その4)は、GVA友の会会員各位の多大な協力の基に行われた。また、実験の実施にあたり、防災科学技術研究所に多くの便宜を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 青木拓哉, 永野正行, 佐藤利昭, 真崎雄一, 井口道雄: 粘弾性制振装置を付与した木造軸組架構の擬似動的解析による性能評価, 日本建築学会技術報告集, 第38号, pp165~170, 2012. 2
- 2) 加藤惇, 佐藤利昭, 真崎雄一, 井口道雄, 永野正行, 肥田剛典: 粘弾性制振装置の接合部特性の評価 その1 接合部の要素実験, 日本地震工学会大会, CD-R, 2012. 11
- 3) 佐藤利昭, 加藤惇, 真崎雄一, 井口道雄, 永野正行, 肥田剛典: 粘弾性制振装置の接合部特性の評価 その2 接合部のモデル化とフレーム解析, 日本地震工学会大会, CD-R, 2012. 11
- 4) 黄一華, 加藤敏史, 和田章, 岩田衛, 竹内徹, 大熊潔: 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
- 5) 真崎雄一, 佐藤利昭, 井口道雄: 木造軸組架構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1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp473~474, 2009. 8

\*1 東京理科大学大学院 修士課程  
 \*2 東京理科大学 助教, 博士(工学)  
 \*3 東京理科大学 名誉教授, 工博  
 \*4 (有) MASA 建築構造設計室 代表取締役  
 \*5 (有) MASA 建築構造設計室 構造設計部長, 工修  
 \*6 東京理科大学 教授, 博士(工学)

\*1 Graduate Student, Tokyo University of Science  
 \*2 Assist. Prof., Tokyo University of science, Dr. Eng.  
 \*3 Prof. Emeritus, Tokyo University of Science, Dr. Eng.  
 \*4 Director, MASA Architectural Design Bureau  
 \*5 Manager, MASA Architectural Design Bureau, M.Eng.  
 \*6 Prof., Tokyo University of Science, Dr. Eng.