

木造制振住宅のフレーム解析モデルの構築と振動台実験に基づく検証  
その2 振動台実験のシミュレーション解析による検証

木造住宅 制振構造 粘弾性ダンパー  
振動台実験 応力解析 地震応答解析

正会員 ○青木拓哉<sup>\*1</sup> 同 加藤 惇<sup>\*2</sup> 同 佐藤利昭<sup>\*3</sup>  
同 真崎雄一<sup>\*4</sup> 同 井口道雄<sup>\*5</sup> 同 肥田剛典<sup>\*6</sup>  
同 永野正行<sup>\*7</sup>

1. はじめに

本報その1では、制振装置を付与した木造軸組架構について、接合部の要素実験の結果より、斜材を木材とした軸組架構のフレーム解析モデルを構築した。本報その2では、その妥当性を検証するため、振動台実験の結果に対する地震応答解析を実施し、その精度を把握すると共に、制振装置周辺の応力状態を調べることで、破壊性状との対応関係を確認した結果について報告する。

2. 実大振動台実験に対する応答解析

2.1 試験体および振動台実験の概要

粘弾性制振装置は、①粘弾性体を内蔵した制振金物、②ダイヤモンド型に配置された斜材(木材)、③柱-斜材接合金物の合計3種類の部材で構成されている。①の制振金物には、VEM(120mm×90mm×5mm)が2枚内蔵され、可動範囲は左右それぞれ28mmに設計されている。試験体は、1層3スパンの実大架構で、加振方向の各鉛直構面に1つの制振装置を設置している。図1に振動台実験の概要を、図2に試験体の鉛直構面を示す。

計測は、図1に示した加速度計、変位計による計測の他、制振金物には、変位計によるせん断変形量の計測と共に、内蔵している粘弾性体に熱電対を埋め込み、試験時の温度変化も計測している。試験は、振動台上にJMA-KOBE(NS成分)を25kine、50kineに基準化した波形を入力することで実施しており、これらの結果を以降で解析結果と比較し、モデルの妥当性を検証している。なお、試験体の上乗荷重は4tonで、以降の解析でも同様に設定している。

2.2 解析条件

その1で接合部の特性を定めたフレーム解析モデルを用い、地震応答解析を行った。基本的な解析条件は、既報に示した通りで、粘弾性体の温度変化は、各時刻*t*における時刻歴の温度について、次式に従い評価した<sup>1)</sup>。

$$\theta = \theta_{initial} + \frac{1}{sp} \int_0^t \tau \cdot \dot{\gamma} dt \quad (1)$$

式(1)で、 $\theta$ : 温度、 $\tau$ : 応力、 $\gamma$ : 歪み、 $sp$ : 物性値を意味し、 $sp = 19.06 \text{ kgf/cm}^2/\text{C}$ である<sup>1)</sup>。本報では、振動数を変数に持つ等価なせん断バネで粘弾性体を評価しており、粘弾性体変位のフーリエ振幅スペクトルから、別途卓越周期を推定して用いている。減衰定数は剛性比例型3%、時間刻みは1/2500 secとし、質量は部材毎に両端の節点に分配した。

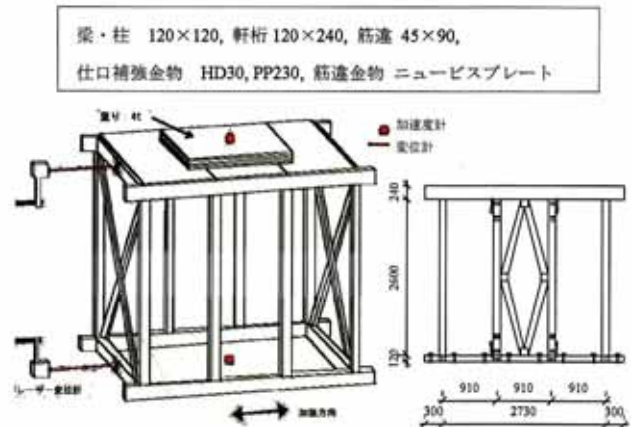


図1 振動台実験の概要

図2 試験体-鉛直構面

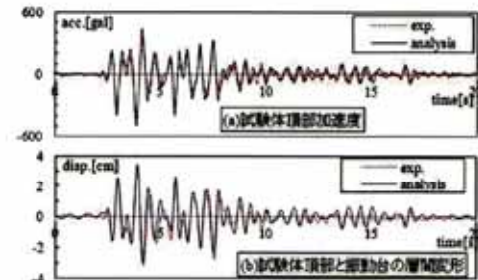


図3 実験結果と解析結果の時刻歴の比較 (25 kine)

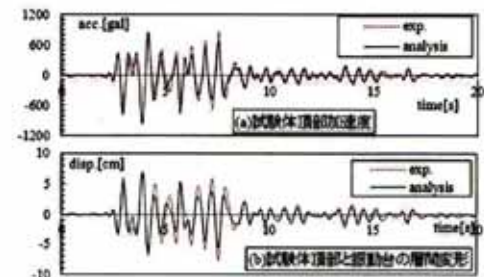


図4 実験結果と解析結果の時刻歴の比較 (50 kine)

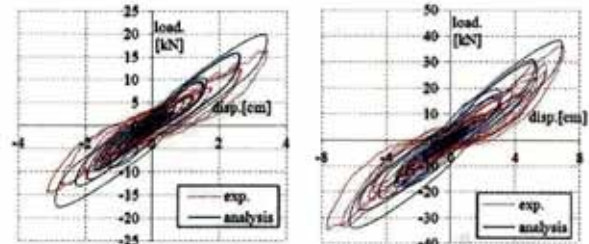


図5 履歴曲線の比較 (左: 25 kine, 右: 50 kine)

Development of frame analysis model for wooden houses with passive control system and simulation analysis of shaking table test, Part-2 Verification by shaking table tests

Takuya Aoki, Jun Kato, Toshiaki Sato, Yuichi Masaki  
Michio Iguchi, Takenori Hida, Masayuki Nagano



### 2.3 解析結果と試験結果の比較

入力レベル 25 kine, 50 kine の各試験における試験結果と解析結果の比較として、図 3, 4 に試験毎の試験体頂部の絶対加速度の時刻歴と試験体の層間変位の時刻歴を、図 5 に各試験の履歴曲線を、図 6 に VEM の変位時刻歴をまとめて示す。図 3, 4 の結果より、入力レベル 25 kine の試験では、加速度・変位とも精度良く結果を再現され、VEM の変形量も概ね追跡できている。一方、入力レベル 50 kine の結果では、特に層間変位の時刻歴で、4 sec 程度から解析結果の方が、試験結果に比して応答が小さい結果となった。図 6 の VEM の変形量に着目すると、4 sec 付近で最大変位に至っており、解析結果の応答が小さい要因としては、この時点で制振装置の斜材および斜材接合部が、要素実験に比して大きく損傷したためと推察される。

この傾向は、図 5 に示した履歴曲線からも確認され、解析結果は両入力レベルとも試験結果に比して高い剛性を有している。ここで参考までに、図 7 に各入力レベルの試験時の擬似速度応答スペクトルを示してあるが、同図に認められるように、試験結果と解析結果では、全体の傾向こそ一致しているものの、周期 0.5 sec 程度の短周期帯では、解析結果の方が高い値を示しており、剛性を高く評価していることが分かる。これらの結果の他、エネルギー吸収量に関しては、試験結果と解析結果は概ね等しく、その結果、図 8 に示してある各試験時の温度時刻歴は、試験体の応答が大きい 8 sec 付近までは良好に再現できている。8 sec 以降では、熱の発散によって温度が低下しており、今後これらを考慮した方法を、このモデルに適用する必要がある。

### 2.4 地震応答解析による応力分布の検討

上記の試験後に実施した、JMA-KOBE 原波を入力した試験では、制振装置の斜材が破壊に至ることを確認した。そこで、参考程度に JMA-KOBE 原波入力時の応力分布を調べた結果を図 9 に示す。同図は、軸力をコンターで表したもので、本解析でも軸力が最大となる箇所は、制振装置の斜材であり、試験結果と調和的な結果と考えられる。

### 3. まとめ

本報告では、粘弾性制振装置を含む軸組架構に対し、フレーム解析モデルを構築し、地震応答解析を行った。振動台実験の結果より、各部の変位や加速度を良好に再現しており、解析結果より得た応力分布と実験で観察された破壊性状は、調和的な結果となることを確認した。

#### — 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

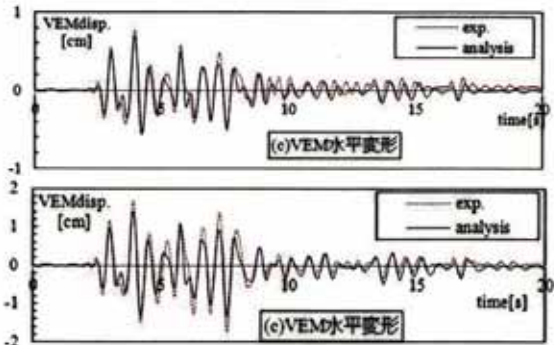


図 6 VEM 水平変位の比較 (上: 25 kine, 下: 50 kine)

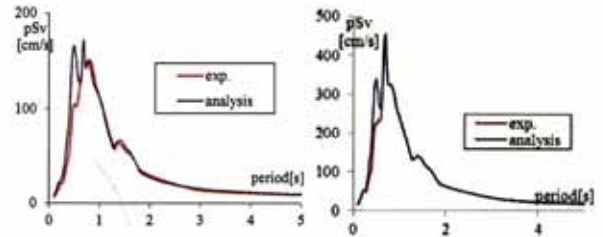


図 7 擬似速度応答スペクトルによる比較 (左: 25 kine, 右: 50 kine)

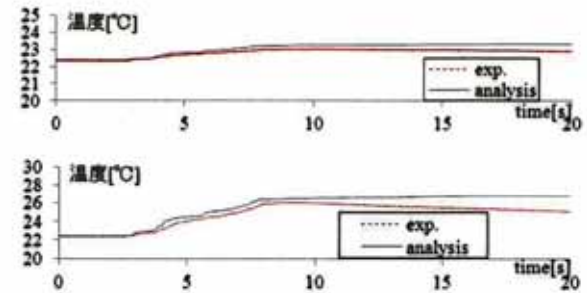


図 8 温度時刻歴の比較 (上: 25 kine, 下: 50 kine)

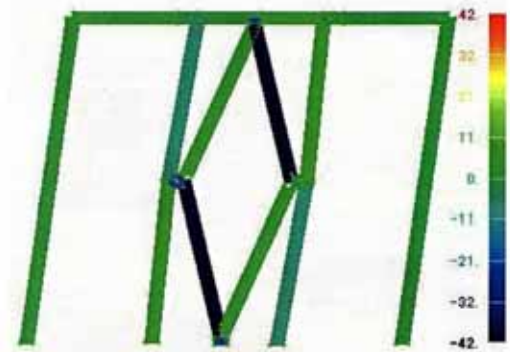


図 9 JMA-KOBE 原波入力時の軸力分布図

- \*1 日立機材 (株), 修士 (工学)
- \*2 東京理科大学大学院 修士課程
- \*3 東京理科大学 PD 研究員, 博士 (工学)
- \*4 (有) MASA 建築構造設計室 代表取締役
- \*5 東京理科大学 名誉教授, 博士 (工学)
- \*6 東京理科大学 助教, 博士 (工学)
- \*7 東京理科大学 教授, 博士 (工学)

- \*1 Hitachi Metals Techno, Ltd., M. Eng.
- \*2 Graduate Student, Tokyo University of Science
- \*3 Postdoctoral Fellow, Tokyo University of Science, Dr. Eng.
- \*4 Director, MASA Architectural Design Bureau
- \*5 Prof. Emeritus, Tokyo University of Science, Dr. Eng.
- \*6 Assist. Prof., Tokyo University of science, Dr. Eng.
- \*7 Prof., Tokyo University of Science, Dr. Eng.