

34. 木質構造の地震応答特性に関する実験および解析的研究
 - 鋳造による接合金物の性能評価 -

1310920004 永岡伊玖磨
 指導教員 藤井大地 教授

振動実験 制震装置 等価減衰定数 等価剛性 粘性減衰係数

1. はじめに

近年、地震に抵抗する技術は進歩し、様々な装置が開発されている。その技術の例として、耐震、制震、免震があり、超高層の建物には、免震や制震、中層や一般的な住宅には、制震や耐震を用いることが多く、その用途は、多種多様である。木造の建物には、耐震や制震の技術を用いている。しかし、その多くのものが装置を取り付けることが困難であり、一般の住宅にはあまり普及していない。その一方で、近年では大きな地震が頻繁に発生しており、2016年4月に発生した熊本地震では、多くの木造住宅が被害を受けた。そのため、低コストで、取り付けることが容易な新しい装置の開発の必要性が考えられている。そこで、本研究では、企業が開発を考えている鋳造によって作られた立体金物を装着した木造軸組試験体に静的載荷実験を行うことによって性能評価を行う。また、PC上で実験での試験体と同じようなモデル図を作成し、様々な地震波による地震応答解析を行い、立体金物の性能についての検討を行う。

2. 実験の概要

2.1 試験体の概要

実験に用いる試験体は、写真1のような木造軸組み試験体の柱頭、柱脚接合部の4つの角の部分に写真2のように立体金物を取り付けて静的載荷実験を行う。試験体の様子は、写真1に示している。また、ほぞ寸法は、4か所とも75×30×40mmであり、柱部材は105×105mmのすぎで、梁部材は105×150mmのベイマツである。試験体の高さは、2730mm、幅は910mmである。また、立体金物は、ダクタイル鋳鉄(FCD500)で作成されており、長さは150mmである。この実験では、この立体金物の減衰性能を実験で調査し、実験で得たデータを用いて解析を行う。



写真1 試験体



写真2 立体金物

2.2 実験の方法

本実験では2.1で示した試験体に立体金物を取り付けて、加力試験機を使用して、静的載荷試験を行う。

本実験での加力は、1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30の順に変形角を大きくしていく。各変形角で、圧縮と引張の1セットを各3サイクル計6回行い、終局加力として、1/15の引張試験を行う。立体金物の性能を知りたいため、荷重と試験体の柱脚の接合部における斜めの変位も計測する。

2.3 実験結果

実験結果として、1/15の変形角で左下部分の金物が写真3のように破壊された。また、結果からP-δグラフが得られた。このグラフから等価減衰定数 Heq を知るために、荷重が全ての部材に対称にかかるかと仮定して $M-\theta$ の関係に変換し、変形角の1サイクルでの損失エネルギー ΔW と等価剛性 K における弾性ひずみエネルギー W を求め、(1)式により等価減衰定数 Heq を求めた。

$$Heq = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{\Delta W}{We} \right) \quad (1)$$

変形角 1/200 の3サイクル目のグラフが図1である。この時の ΔW は青色の部分の面積で値は、2.0608 となり We は赤色の部分の面積で値は、0.9622 となる。(1)式から Heq は、0.17052 となる。



写真3 特殊立体金物の破壊形状

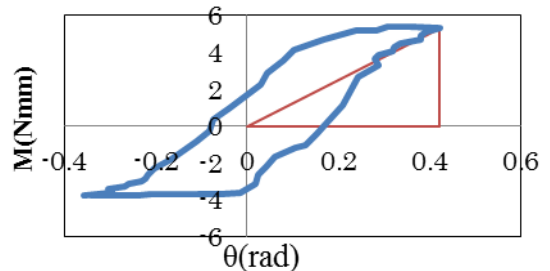


図1 M-θ 関係グラフ(1/200)

3. 地震応答解析の概要

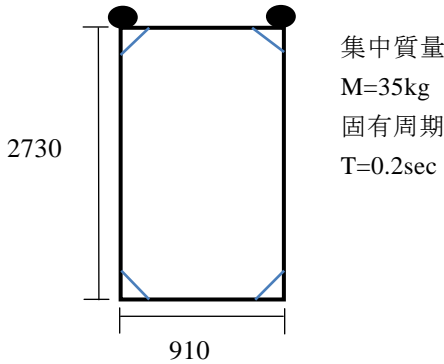
3.1 解析の概要

本研究では、平均加速度法を用いて、地震応答解析を行う。解析モデルは、実験に用いた木材を骨組にモデル化し、地震波を与えて解析を行う。解析で用いる地震波は、1940 年の ElCentro 波、2011 年の東北地方太平洋沖地震での宮城沖で観測された地震波、2016 年の熊本地震の前震と本震の合計 4 つの地震波である。

また、実験結果から得た等価減衰定数 H_{eq} から粘性減衰係数 c を求め、解析モデルにその値を与えたものと 0 を与えたもの、装置を付けるものと付けけないもの等の比較を行い立体金物の性能を検討する。

3.2 解析例

解析例として、図 2 のような解析モデルを作成し、地震応答解析を行う。解析で用いる粘性減衰係数 c の値は、実験の結果より得られた値であり、1/200 の加力の 3 サイクル目の時の値は、513.98(Ns/mm)である。これを用いて解析を行う。また、参考として ΔW を 3 倍として粘性減衰の性能を高めたものの解析も行う。



3.3 解析結果

解析の結果、表 1 のような結果が得られた。4 種類の地震波それぞれに共通して、立体金物を装着することで地震による建物の変位が減少していることがわかる。また、 $c=0$ を与えた場合の層間変位と実験結果で得た c を与えた場合の層間変位を比較すると、ElCentro 波では、約 35%、熊本前震の地震波では、約 25%、熊本本震では、約 10%、東北地方太平洋沖地震の宮城沖で観測された地震波では、約 30%変位が減少していることがわかる。参考として行った減衰性能を 3 倍にしたものでは、さらに減少していることがわかる。層間変形角も装置を付けることで、減少していることが確認された。

表 1 長さ 150mm の解析結果、変位の比較

ElCentro	層間変位(mm)	層間変形角(rad)	固有周期(s)
装置なし	85.47	1/31.9	0.7316
$c=0$	8.969	1/304.4	0.2075
c を与える	5.447	1/501.2	0.2075
$\Delta W3$ 倍	4.306	1/633.9	0.2075

熊本前震	層間変位(mm)	層間変形角(rad)	固有周期(s)
装置なし	32.71	1/83.5	0.7316
$c=0$	7.791	1/350.4	0.2075
c を与える	-5.916	1/461.5	0.2075
$\Delta W3$ 倍	-4.453	1/613.1	0.2075

熊本本震	層間変位(mm)	層間変形角(rad)	固有周期(s)
装置なし	-83.69	1/32.6	0.7316
$c=0$	3.571	1/764.5	0.2075
c を与える	3.197	1/853.9	0.2075
$\Delta W3$ 倍	2.986	1/914.3	0.2075

宮城沖	層間変位(mm)	層間変形角(rad)	固有周期(s)
装置なし	12.1	1/225.6	0.7316
$c=0$	0.5578	1/7256.8	0.2075
c を与える	0.3762	1/7256.8	0.2075
$\Delta W3$ 倍	0.3606	1/7570.7	0.2075

3. まとめ

実験結果より、立体金物の接合部が、伸ばされることによって切れてしまったため改良を考える必要があることがわかった。この金物は、小さく接合部に取り付けるだけで、性能が発揮されるため、開口部などを設けたい場所や大きな筋交いなどを取り付けることが困難な場所などに使用することが期待できる。

また、解析の結果から、装置を取り付けることで、最大層間変位を減少させることができることがわかった。地震波によって、性能の差がみられるのは、固有周期と地震波の周期の関係によるものと考えられる。減衰性能としては、どの地震波でも最大層間変位を約 10%以上は減少させることができることがわかったが大きな値とはならなかった。しかし、今後の改良次第では、性能の上昇は期待できると考えられる。

実験と解析の結果から総合すると、この立体金物の活用が期待できることがわかったので 今後の改良に期待したい。

参考文献

- 1) 藤井大地：Excel で解く 3 次元建築構造解析，丸善，2005.2
- 2) (一社)日本免震構造協会編：設計者のための免震・制震構造ハンドブック，朝倉書店，2014.7
- 3) 高橋俊介：耐震、制震、免震の科学，日刊工業新聞社，2012.10
- 4) 高山峰夫，田村和夫，池田芳樹：耐震・制震・免震が一番わかる，技術評論社，2012.11
- 5) 柴田明德：最新耐震構造解析，森北出版，1981.6