

## 良質な社会的資本ストックを目的とした木造住宅制振標準化研究

A Study on Standardization of Passive Response Control System for High-quality Wooden Building Stocks

第一工業大学 工学部 建築デザイン学科 教授 古田 智基

### (研究計画ないし研究手法の概略)

本申請課題は、木造住宅の制振構造標準化を目指し、安価で既往の技術・設計法で適用ができ、フェイルセーフ機能を兼ね備え、暴風に対しても効果を発揮する下図に示す「減衰機能付加型筋かい金物」を提案・試作し、静的加力実験によりその性能評価を行う。

ベースとなる筋かい金物は、既存の柱取り付けタイプの形状を採用し、それに、高減衰ゴムと筋かいに接合する鋼板を加硫接着する。基本的に既存の筋かい金物と同じ形状となるので、軸組への取り付け方法も既存の金物と同じである。この試作したデバイスで通常の筋かい材（壁倍率2.0の仕様（断面：90mm×45mm））を在来軸組工法の軸組に接合し、軸組の桁に静的な水平力を正負交番に繰り返し载荷する。そして、実験結果から壁倍率を評価し、目標である壁倍率2.0をクリアするよう、高減衰ゴムの剛性やビスの種類・本数、金物の形状等を調整する。壁倍率2.0をクリアすることは、既存の筋かい金物の代替として、減衰機能も有する本デバイスを普及・標準化させるためには必須である。

そして、実際に住む側のユーザー目線で見ても費用対効果が確認できる設計・性能評価手法を提示する。このとき、従来の壁量による評価では、本デバイスの減衰機能が適切に評価できないことが予想される。従って、実際の戸建て木造住宅において考えられる壁量充足率や、各階の床面積比などの範囲で地震応答解析を実施し、最大応答値をデータベース化することで、簡単な数表から各建物の地震応答（変位および加速度）を把握できるようにすることを考えている。

既存の筋かいに減衰機能を付加したデバイスを設置するアイデアはこれまでになく、既存の筋かい金物に替えて本デバイスを適用することにより、木造住宅の制振構造化を標準とする。すなわち、通常使用されている既存の二倍筋かい金物に置き換えできるようにするために、二倍筋かい金物と同等の剛性を有し、かつ減衰性能とダクティリティを付加させる。これまでの研究で、大地震時の応答変位は半減することが解析により求められており、コストも10万円台前半/棟（新築搭載時）の見込みを立てている。

### (実験調査によって得られた新しい知見)

在来軸組構法において、筋かいは主要な耐震要素であるが、釘打ちの構造用合板などに比べて靱性が乏しく、また、柱や横架材といった軸組との接合部は、地震による建物の振動エネルギーを効率良く吸収するディテールになっていない。

そこで、筋かい金物に塑性変形が集中する部分をつくり、さらに、高減衰ゴムも付加することで、剛性と靱性をバランス良く持ち合わせ、従来の金物に比べて制震効果が高い「制震機能付加型筋かい金物（以下、筋かい金物）」を開発した。本報告書では、この筋かい金物の概要と、この金物を用いた筋かい耐力壁の静的せん断加力試験を行った結果を報告する。

## 1. 本筋かい金物の概要

本筋かい金物の外形を図1に示す。これは、厚さが3.2mmの亜鉛めっき鋼板を図2のように切り出し、左右4カ所に切り欠きを施したうえで、図3のように折り曲げ加工したものである。切り欠き部では、折り曲げた後の内径は5mmである。せん断弾性係数 $0.4\text{N/mm}^2$ の高減衰ゴムは、鋼板を折れ曲げることでできた5mmの幅のスペースに充填され、加硫接着される。内部への充填と同時に、このゴムは金物の表面も被覆し、鋼材の急激な塑性変形や腐食を防止する。写真1に完成した金物を示す。

本筋かい金物は、図4のように内使いとし、筋かい側に径が3.7mm、長さ45mmのビス6本、柱側に径が3.7mm、長さ75mmのビス9本で留め付ける。軸組のせん断変形に伴って筋かいに軸力が作用すると、金物の表面と裏面にずれ変位が生じ、切り欠き部にひずみが集中して、エネルギーを吸収する。また、高減衰ゴムにもせん断変形が生じ、減衰力を発生する。

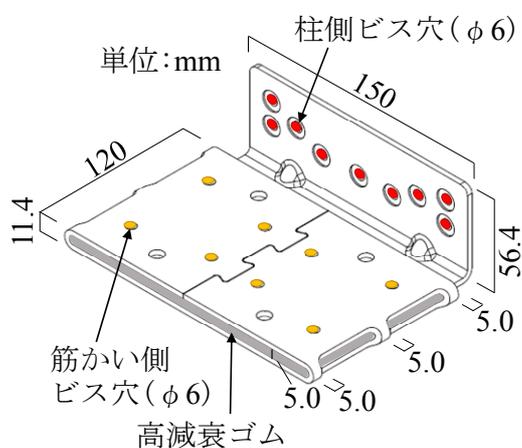


図1 本筋かい金物の外形

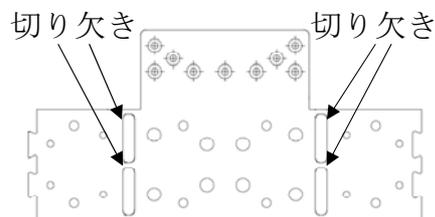


図2 折り曲げ前の本金物

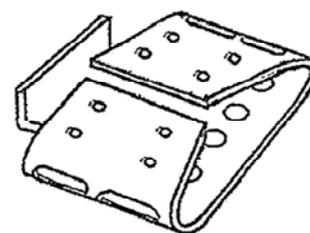


図3 折り曲げ方法

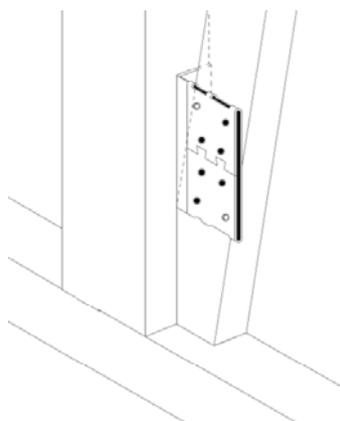


図4 本金物を軸組に取付けた状態

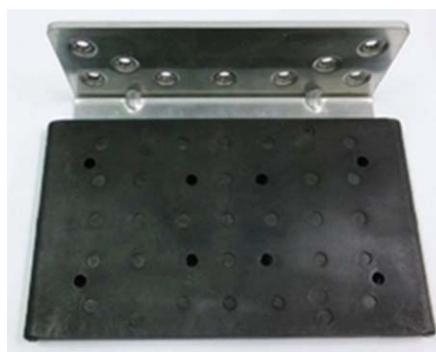


写真1 高減衰ゴムを加硫接着して完成した本金物

## 2. 静的せん断加力試験

本筋かい金物を断面が $45\text{mm}\times 90\text{mm}$ の筋かいの両端に用いた片筋かい試験体を3体製作し、静的せん断加力試験を行った。横架材芯々間距離は $2,730\text{mm}$ 、両柱芯々間距離は $910\text{mm}$ で、その中央に $30\text{mm}\times 105\text{mm}$ の間柱を設置した。桁(ベイマツ)の断面は $180\text{mm}\times 105\text{mm}$ であり、柱および土台(スギ)の断面は $105\text{mm}\times 105\text{mm}$ である。柱-桁および柱-土台仕口は短ほぞ差しであり、試験

はタイロッド式で行った。真の変形角 1/600rad~1/50rad で正負 3 回繰り返し载荷を行い、その後、筋かいの引張側に単調载荷を行った。筋かいの圧縮側には 1/120rad までとした。なお、今回の試験で用いた金物は、安全側の評価が得られるよう、金物表面の被覆としての高減衰ゴムは接着されているが、内部のゴムは金物に接着されていない。

図 5 に荷重-真の変形角関係、図 6 に包絡線を示す。1/100rad を超えると、金物の表面と裏面のずれが顕著になり、荷重-変形角関係の履歴面積が大きくなった。さらに変形が進むと、金物の表裏のずれがさらに大きくなり、ひずみが集中する 5mm 幅の部分が破断して耐力が低下した。柱側のビスで最も端のものについては、頭部が破断してしまう場合もあったが、そのことによる耐力の低下は顕著ではなかった。また、筋かいの端部に割れが生じる場合もあったが、耐力の低下は生じなかった。

表 1 に特性値の一覧を、表 2 に壁倍率を評価した結果を示す。これらの表の数値は、軸組の負担力を差し引いた包絡線から得られたものである。4 つの指標は近い値であり、剛性、耐力、靱性のバランスがとれていることが分かる。4 つの指標では  $P_y$  が最小値となり、ばらつきによる低減を考慮すると、壁倍率は 1.88 となった。

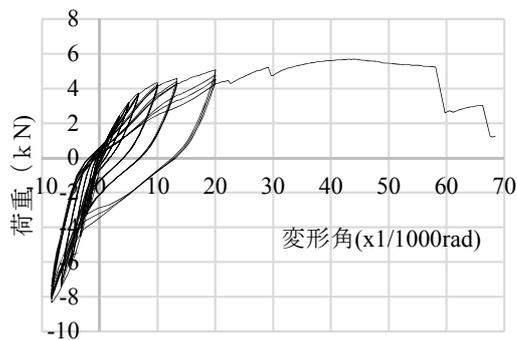


図 5 No.3 の荷重-変形角関係

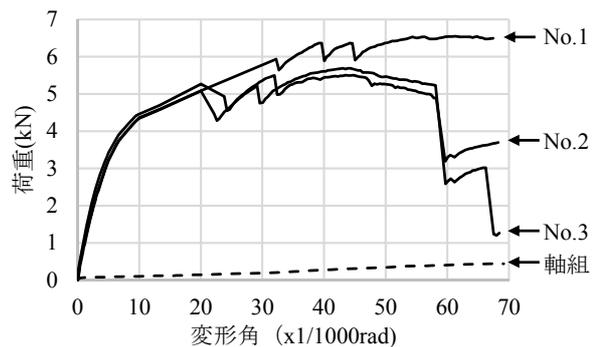


図 6 全試験体の包絡線

表 1 完全弾塑性モデルの特性値一覧

	No.1	No.2	No.3
$P_y$ (kN)	3.74	3.28	3.40
$P_{max}$ (kN)	6.16	5.30	5.39
$P_{(1/150rad)}$ (kN)	3.66	3.82	3.65
$P_u$ (kN)	5.62	4.88	4.90
$\mu$	6.24	8.06	6.92
$D_s(=1/\sqrt{2\mu-1})$	0.30	0.26	0.28
$0.2 \cdot P_u/D_s$ (kN)	3.81	3.80	3.51
$2/3 P_{max}$ (kN)	4.11	3.53	3.59
$K$ (kN/rad)	526	672	580
$\gamma_y(x10^{-3}rad)$	7.11	4.88	5.86
$\gamma_v(x10^{-3}rad)$	10.69	7.25	8.44
$\gamma_u(x10^{-3}rad)$	66.7	58.4	58.4

表 2 壁倍率の評価

	平均値 (kN)	変動係数 CV	ばらつき 係数	50%下限値 (kN)	壁倍率
$P_y$	3.47	0.068	0.967	3.35	<b>1.88</b>
$P_{(1/150rad)}$	3.71	0.025	0.988	3.66	2.05
$0.2 \cdot P_u/D_s$	3.70	0.045	0.978	3.61	2.03
$2/3 P_{max}$	3.74	0.085	0.959	3.58	2.01

- ・  $P_y$ :降伏耐力
- ・  $P_{max}$ :最大耐力
- ・  $P_{(1/120rad)}$ :1/120rad時の耐力
- ・  $P_u$ :終局耐力
- ・  $\mu$ :塑性率
- ・  $D_s$ :構造特性係数
- ・  $K$ :初期剛性
- ・  $\gamma_y$ :降伏耐力時の変形角
- ・  $\gamma_v$ :仮想降伏点における変形角
- ・  $\gamma_u$ :終局変形角

### 3. 復元力特性のモデル化

静的せん断加力試験で得られた荷重－変形角関係から、本金物を用いた筋かい耐力壁の履歴モデルを作成する。

まず筋かいの引張側について、復元力特性を 3 折れ線のトリリニアとし、試験結果に近づくように各パラメータを調整すると、図 7 のような荷重－変形角関係が得られた。

次に筋かいの圧縮側は、4 折れ線の NCL モデル<sup>1)</sup>を用い、同様に、試験結果に近づくように各パラメータを調整した。静的せん断加力試験では、筋かいの圧縮側は 1/120rad までであったため、筋かいに座屈は生じなかったが、解析モデルでは、せん断力が 6.5kN で座屈が生じると仮定している。

上記のような復元力特性を骨組解析モデルに設定し、増分解析を実施して、たすき掛けの筋かい耐力壁の荷重－変形角関係を求めた。その結果から算定した等価粘性減衰定数は、1/100rad で 8.7%、1/50rad で 16.3%となり、釘打ちの構造用合板に匹敵する減衰性能を有していることが分かった。

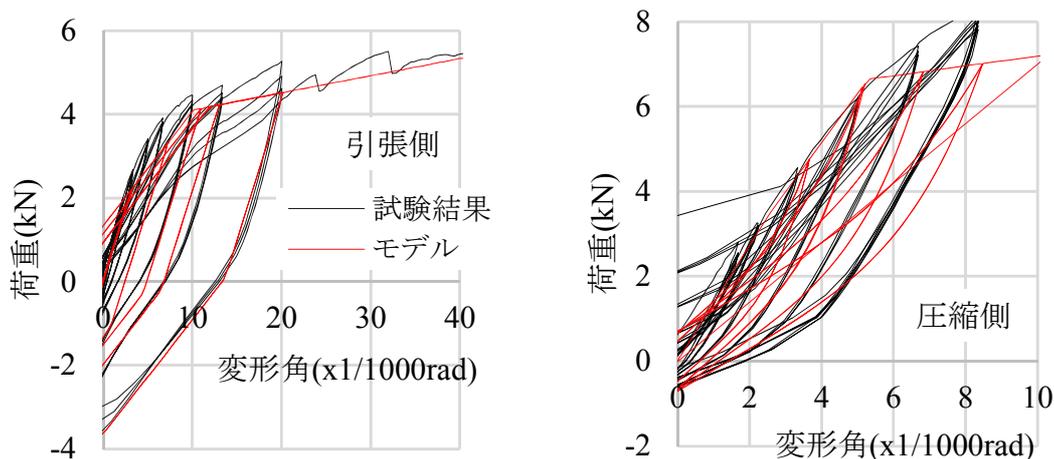


図 7 荷重－変形角関係のモデル化

### 4. まとめ

剛性と靱性をバランス良く持ち合わせ、従来の金物に比べて制震効果が高い筋かい金物を開発し、その概要と静的せん断加力試験結果を示した。実験結果から壁倍率を評価し、目標である壁倍率 2.0 (筋かい引張り応力時の壁倍率 > 1.5) をクリアすることを確認した。

また、本金物を設置した場合の効果ソフトの入力・出力例を図 8 に示す。本ソフトは、地震応答解析結果を基としており、1 階と 2 階の床面積、壁充足率、合板負担率を入力するのみで効果が確認できるようになっている。木造住宅の構造検討の主流である壁倍率計算を行った建物 (確認申請対応) であれば、このソフトで制振効果が十分確認できる。

				Ver.1.0(2階建て)
			→入力するセル	
建物名:				
1階	60.00	m <sup>2</sup>		
2階	60.00	m <sup>2</sup>		
2階/1階	1.00	(0.25-1.25)		
壁量充足率	1.00	(1.0-2.0)		
合板負担率	0.00	(0-0.75)		
	層間変位(mm)			
	既存金物	制振金物		低減率(%)
1階	141	61		57
2階	93	63		32

図8 ソフトの入力・出力画面

参考文献

- 1) 松永裕樹, 曾田五月也, 宮津裕次: 木質構造物の復元力特性のモデル化と動的解析への適用, 日本建築学会関東支部研報告集, pp.201-204, 2008.3

( 発表論文 )

- Tomoki Furuta, Masato Nakao : EARTHQUAKE RESPONSE ESTIMATION OF WOODEN HOUSE WITH NEW BRACE FASTENER, World Conference on Timber Engineering (WCTE 2014), 2014.08
- 古田智基, 中尾方人: 高減衰ゴムデバイスを筋かい部材として用いた木造住宅の地震応答性状の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造Ⅲ, pp.429-430, 2014.09

( 特許出願 )

- 古田智基, 中尾方人: 筋かい金物および木造建物の接合構造, 特願2014-089800号
- 古田智基, 中尾方人: 木造建物の耐力壁構造, 特願2014-105970号