

筋かい金物の接合不良による 耐力壁への影響

九州職業能力開発大学校 西野 晃司*

九州職業能力開発大学校 黒木 宏之

関東職業能力開発大学校 山之内隆志

Effects of the Shoddy Work of Reinforcing Steel Device upon Bearing Wall in Japanese Timbered Houses

Koji NISHINO, Hiroyuki KUROKI, Takashi YAMANOUCHI

要約

在来軸組工法住宅の施工現場では、使用金物の取り付け方法や接合具の選定に正しい知識がないために誤った施工方法を取られていることがある。そこで本報では、在来軸組工法住宅でよく用いられる45×90mmの筋かい耐力壁を取り上げ、その筋かい端部に使用されるBP2金物の接合具に選定ミスが発生した場合、その耐力壁の耐震性能にどのような影響を及ぼすか実験による検証を行った。実験にはよく現場で用いられる5種類の接合具を使用し、面内せん断試験機にて終局時において筋かいに引張力が作用するように実験を行った。これらのうち壁倍率が最も高かったものはドリリングタッピングねじの1.8倍であったが、ねじ首下部分が折れ脆性的な破壊を起こした。この中で性能が良かったものはBP2金物に付属するZS50釘となった。これらのことにより接合具の選定ミスが耐震性能に大きく影響を及ぼすことがわかった。

I はじめに

在来軸組工法住宅の構造上主要な部分には、必ず金物を使用するように義務付けられている。特に耐力壁においては、災害時に起きる外力に抵抗する性能を保证するために必要なものであり、特に施工現場においては管理すべき重要なチェック項目である。そのような中、近年、建築物の設計不良や施工不良といった原因から住宅紛争に発展するケースも多くある。¹⁾ 施工不良は強度や耐久性に大きく影響を及ぼす原因であり、重大な被害を招くことになる。施工不良の多くは、外部から隠れてしまう箇所であり、アンカーボルトの位置ずれや、本来の施工と異なった金物の取り付けがある。このようなことは地震や台風などの災害時に建物の倒壊を引き起こす要因であり、人命に関わる重大な問題である。

本報では、在来軸組工法の耐力壁によく用いられる片筋かい耐力壁を取り上げ、その筋かい金物における接合

不良が耐震性能にどのように影響するのかを実験より検証を行うものとする。

II 研究内容

1 研究目的

在来軸組工法の片筋かい耐力壁に水平力が作用した場合、構造躯体が変形することにより筋かいには圧縮力と引張力が働く。筋かい端部を数本の釘やかすがいで止める比較的簡単な取り付け方では、引張力が発生した場合に根元から外れてしまう危険性がある。そこで基準法によれば、筋かい断面寸法45×90mmのものを片側に取り付けした場合、耐震性能を発揮するために基本的には図1に示すとおり金物(BP-2)を使用し、また構造躯体と金物を緊結するために接合具(スクリー釘ZS50)と角根平頭ボルトM12を用いることになっている。

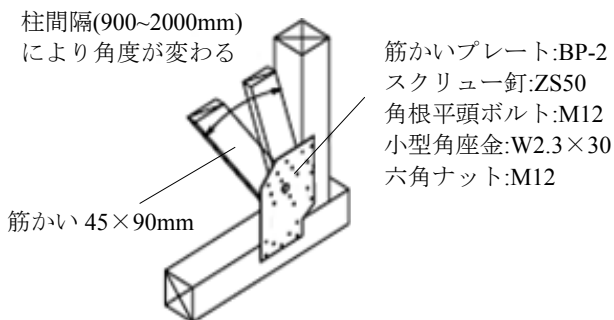


図1 筋かい金物取付方法

しかしながら施工現場では、使用金物の取り付け方法や接合具の選定に正しい知識がないために誤った施工方法を取られていることが現状として挙げられる。また接合具の違いは、厳密な施工検査でも気づきにくいという点からそのままの状態になっていることが多い。(写真1及び2)

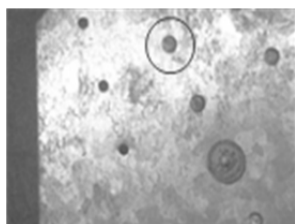


写真1 ZS50 釘施工時

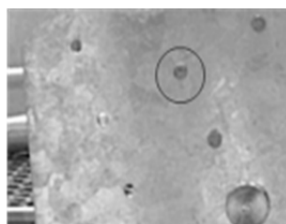


写真2 N50 釘施工時

※写真中の○印は接合具取付位置となる

そこで本研究では、特に筋かい金物の接合具の選定ミスから発生する接合不良が実際の耐力壁の性能にどのような影響を与えるか検証を行うことを目的とする。

2 金物・接合具の選定

在来軸組工法住宅に使用する金物には(財)日本住宅・木材技術センターが正規認定を行った「Zマーク表示金物」とこれに準じた「同等認定品」がある。本報では筋かい金物に住宅金融支援機構監修の「木造住宅工事仕様書 平成22年改訂(全国版)」の標準施工でもある「Zマーク表示金物」筋かいプレートBP2を採用した。この金物の構造躯体への標準の取り付けには、ZS50釘×17本と角根平頭ボルトM12×1本を使用するが、この釘を用いて接合すると、前述のとおり正しく施工されたかどうかの判断がつきにくいものとなる。

また近年、木造住宅施工現場では、施工性を上げるために多種の釘や木用ビスといった接合具が多く用いられていることが現状として挙げられる。


そこで接合具の選定にあたっては、多くの接合具の中

から現場で特によく使用されているものとし、それらを表1に示す。また、選定した接合具の規格を表2に示す。なお実験にあたっては、角根平頭ボルト+ZS50釘を標準試験体とし、ZS50釘を選定した接合具と変更して接合した場合、どのような強度変化が現れるかを検証する。

表1 試験体接合具種類

試験体名	接合具名称	用途
P-A	ZS50 釘	上記金物専用釘 標準試験体
P-B	N50 釘	木造住宅で一般的に用いられる釘
P-C	コーススレッドビス	内装施工時に用いられるビス
P-D	ドリリングタッピングねじ	JIS B 1125
P-E	TBA-65D	T社製金物取り付けねじ

表2 接合具規格

接合具名称	規格		形状写真
	呼び径	長さ	
ZS50 釘	4.5	50	
N50 釘	2.75	50	
コーススレッドビス	3.8	51	
ドリリングタッピングねじ	5	50	
TBA-65D	6	65	

III 試験内容

1 試験概要

本研究で取り扱う試験は、(財)日本住宅・木材技術センター発行(以下、住木センター)「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年度版)」²⁾に記載されている、「筋かい端部接合金物等の同等性能を評価するための比較試験」に基づき実施することとし、耐力壁の面内せん断試験を用いて行った。(図2)

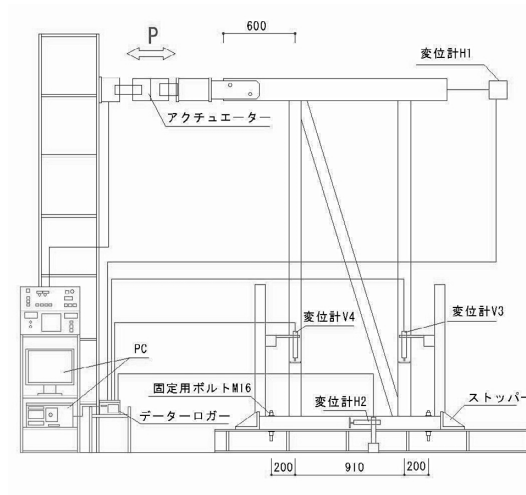


図2 試験装置図

表3 試験体概要表

試験体寸法	幅	910mm
	高さ	土台芯から梁芯まで 2730mm
部材断面寸法	梁	105×180mm
	柱	105×105mm
	土台	105×105mm
	筋かい	45×90mm
部材材種	梁	ベイツ KD材 E110
	柱	スギ KD材 E70
	土台	スギ KD材 E70
	筋かい	スギ 無等級材
金物	羽子板ボルト	タナカ W羽根-II
	筋かい金物	Zマーク金物 BP-2
	引き寄せ金物	タナカ ビス止めホルダウソU

試験体の設置については柱脚固定式を採用し、各接合部においては、柱頭は短ほぞ（長さ 60mm）に N90 くぎ 2 本打ち+羽子板ボルト締め、柱脚は短ほぞに（60mm）N90 くぎ 2 本打ち+引き寄せ金物締めとした。

次に試験体本体の概要を表3及び図3に示す。部材の材種選定にあたっては標準試験を参考とし、できるだけ試験結果のばらつきが発生しないように等級材を用いた。ただし、筋かいについては無等級材を選定したが、材端に木材の欠陥がこないように材取りを行った。

また筋かい金物の取り付けにおいては、角根平頭ボルト1本+各接合具17本とし、接合具ごとに試験体を3体準備した。

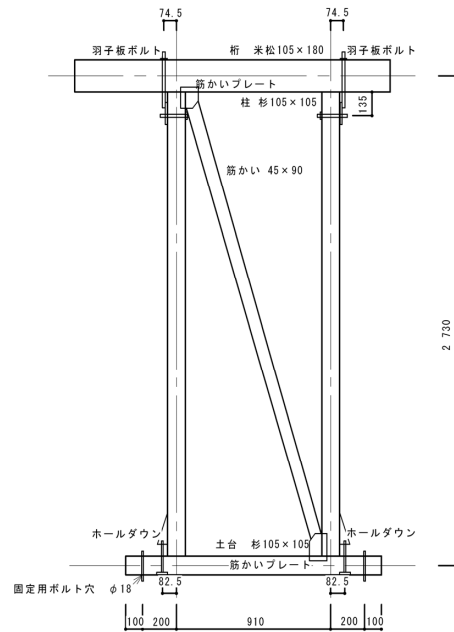


図3 試験体概要図

2 試験方法

本報の試験方法は、柱頭及び柱脚が先行破壊させない仕口の構造方法であることから無載荷式で行った。加力方法は正負交番繰り返し加力とし、繰り返しの原則は見かけのせん断変形角が 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad とし、同一変形段階で3回の繰り返し加力を行った。また終局加力方向は、筋かいに引張力が作用する方向で、最大荷重に達した後、最大荷重の 80% の荷重に低下するまで加力を行った。

3 試験評価方法

試験評価の方法は以下のとおりとし、壁倍率を求めるものとする。

3-1 せん断変形角の算出

耐力壁の内せん断試験における見掛けのせん断変形角 (γ)、脚部の回転による変形角 (θ)、真のせん断変形角 (γ_0) は次式により求める。

見掛けのせん断変形角 γ

$$\gamma = (\delta_1 - \delta_2)/H \dots (1)$$

脚部の回転による変形角 θ

$$\theta = (\delta_3 - \delta_4)/V \dots (2)$$

真のせん断変形角 γ_0

$$\gamma_0 = \gamma - \theta \dots (3)$$

ただし、

- δ1 : 柱頂部の水平変位(mm) (変位計 H1)
- δ2 : 柱脚部の水平変位(mm) (変位計 H2)
- H : 変位計 H1 と H2 の間の標点距離(mm)
- δ3 : 柱脚部の鉛直方向変位(mm) (変位計 V3)
- δ4 : 柱脚部の鉛直方向変位(mm) (変位計 V4)
- V : 変位計 V3 と V4 の間の標点距離(mm)

3-2 短期基準せん断耐力の算出

短期基準せん断耐力 P_0 は、下記の (a) から (b) で求めた試験荷重のうち最も小さい値とした。

- (a) 降伏耐力 P_y
- (b) 終局耐力 P_u に (0.2/ D_s)を乗じる
- (c) 最大耐力 P_{max} の 2/3
- (d) 特定変形角 (1/120rad 時) の耐力

上記の降伏耐力 P_y 、終局耐力 P_u 等は、荷重-変形角曲線の終局加力を行った側の包絡線より求めた。求め方の詳細については「木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2008 年度版)」を参照されたい。

3-3 短期許容せん断耐力の算出

短期許容せん断耐力 P_a は、次の式により算出する。

$$P_a = P_0 \times \alpha \dots (4)$$

ただし、

- P_a : 短期基準せん断耐力
- α : 考えられる耐力低減の要因を評価する係数で、軸組構成材料の耐久性、使用環境の影響、施工性の影響、壁量計算の前提を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数
※本研究では施工性に関する要因を考慮し、 $\alpha = 0.9$ とした。

3-4 壁倍率の算出

壁倍率は、次の式により算出する。

$$\text{壁倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L) \dots (5)$$

ただし、

- P_a : 短期許容せん断耐力 (kN)
- 1.96 : 壁倍率=1 を算出する数値 (kN/m)
- L : 壁の長さ (m)

IV 接合具の設計用許容せん断耐力の算出

本試験を行う前に接合具単体の強度の目安を計るため、設計用許容せん断耐力を求めた。この計算方法は日本建築学会「木質構造設計標準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法—」³⁾に記載されている式を用いて算出した。

1 接合具許容せん断耐力理論式

設計用許容せん断耐力 P_a は次式による。

$$P_a = \frac{1}{3} \cdot j \cdot K_d \cdot j \cdot K_m \cdot \gamma_u \cdot P_y \dots (6)$$

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \dots (7)$$

モード I : 1

$$\text{モード III} : \sqrt{2 + \frac{2}{3} \gamma \left(\frac{d}{l}\right)^2 - 1}$$

$$\text{モード IV} : \frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3} \gamma}$$

ただし、

- P_a : 単位接合部の設計用許容せん断耐力 (N)
- P_y : 単位接合部の降伏せん断耐力 (N)
- γ_u : 終局強度比
- jK_d : 荷重継続期間影響係数
- jK_m : 含水率影響係数
- C : 木材の主材と鋼板添え板よりなる 1 面せん断接合の接合形式係数。上記のモード I, III, IVのうち最小値をとる
- F_e : 主材の基準支圧強度 (N/mm²)
- d : 接合具径 (mm)
- l : 主材厚 (mm) 主材に接する接合具の長さが主材厚よりも小さい場合は有効長さ
- γ : 接合具の基準材料強度と主材の基準支圧強度の比 (F/ F_e)

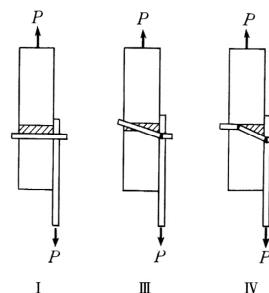


図4 1面せん断接合の降伏モード

ここで上記のモードとは図4に示す降伏モードのことであり、降伏モードⅠについては、母材が降伏することを示し、降伏モードⅢについては、接合具が添板鋼板の境界で降伏することを示し、また降伏モードⅣについては、降伏モードⅢに加え、接合具が母材の中でも降伏することを示す。

2 算出結果

各接合具の1本あたりの設計用許容せん断耐力は、表4のとおりとなった。以上のことから釘径もしくは呼び径が大きい接合具ほど許容せん断耐力が大きくなることわかる。このことにより最も強度が発揮されると推測できる接合具が、TBA-65Dであることが想定できた。また表には参考として角根平頭ボルトのせん断耐力も示した。

表4 各接合具 せん断耐力算出値

接合具名称	許容せん断力 Pa(N)	降伏モード 最小値
ZS50 釘	1083.07	Ⅳ
N50 釘	457.22	Ⅳ
コーススレッドビス	807.29	Ⅳ
ドリリングタッピング グネじ	1337.13	Ⅳ
TBA-65D	1834.15	Ⅲ
角根平頭ボルト	4843.77	Ⅲ

V 試験評価

1 試験結果

評価に用いた荷重-変形角曲線を図5に示す。また試験から得たデータより試験評価にもとづき求めた値を表5及び表6に示す。

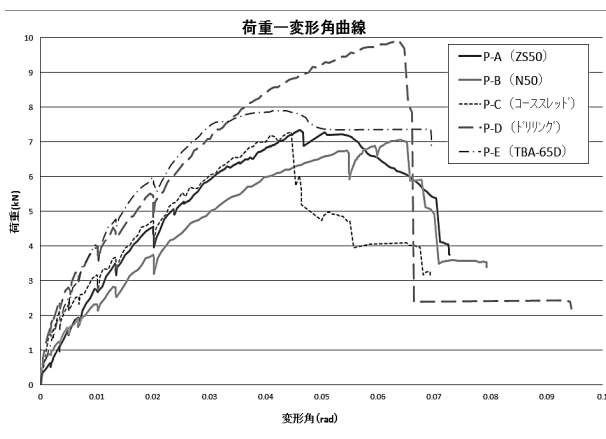


図5 荷重-変形角曲線

表5 各接合具 壁倍率

試験体名	短期許容 せん断耐力 (kN)	壁倍率
P-A	2.668	1.50
P-B	1.683	0.94
P-C	2.132	1.20
P-D	3.202	1.80
P-E	3.085	1.73

※なおすべての試験体において、短期許容せん断耐力を算出した値は、終局耐力 P_u に $0.2/D_s$ を乗じたものであった

2 各試験体の破壊性状

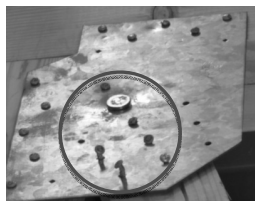


写真3 筋かい上部釘引抜



写真4 筋かい割裂

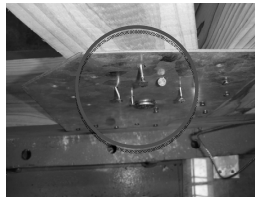


写真5 筋かい下部釘引抜

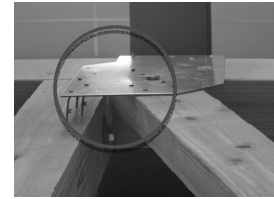


写真6 筋かい上部釘引抜

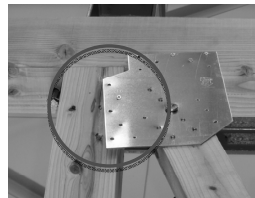


写真7 筋かい上部ビス破断



写真8 土台内部ビス折れ

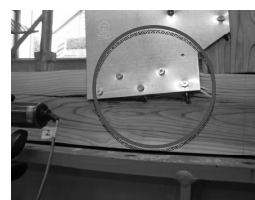


写真9 土台割裂



写真10 筋かい割裂

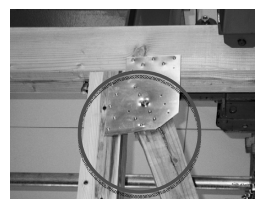


写真11 筋かい割裂



写真12 筋かい割裂

1) P-A (ZS50 釘)

実験後の破壊性状を写真 3 及び 4 に示す。ZS 釘はスクリュー釘であるため、徐々に抜けていくことによって粘り強い耐力を發揮した。しかしながら終局時には、筋かい部の釘の長さ 1/4 程度が抜け出てしまい、角根平頭ボルトのみが耐力を負担していたと考えられる。また土台・柱の接合具はほとんど引抜けておらず、しっかりと耐力を負担していたため、角根平頭ボルトのみに負担がかかり、筋かい端部に割裂を起こして荷重が低下した。

2) P-B (N50 釘)

実験後の破壊性状を写真 5 及び 6 に示す。最大耐力を迎える前から筋かいもしくは土台・柱より釘の引抜けが発生し、他の試験体と比べると荷重の上昇が見られなかった。最終的には角根平頭ボルトのみで筋かいの引張力を負担していた。

3) P-C (コーススレッドビス)

実験後の破壊性状を写真 7 及び 8 に示す。ビス単体の引抜強度があることからある程度の耐力を示しているが、ビスのせん断耐力を超えた時点で、筋かい等の材中でせん断破壊を起こし、ビスの先端がとれてしまい耐力低下を起こした。

4) P-D (ドリリングタッピングねじ)

実験後の破壊性状を写真 9 及び 10 に示す。コーススレッドよりも呼び径が大きいことから、非常に高い耐力を示したが、それに伴いねじ単体にせん断力が加わることで、構造躯体の材中でねじ首下から折れてしまい、耐力壁全体に脆性的な破壊をもたらした。また一部の試験体には土台の割裂を生じたものもあった。

5) P-E (TAB-65D)

実験後の破壊性状を写真 11 及び 12 に示す。この接合具は Z マーク同等認定品に付属するものである。ZS50 よりも呼び径・長さが大きいことから、非常に安定した粘りのある耐力を示した。しかしながら終局時には、呼び径が他のものよりも大きいため、筋かい接合部のネジ穴付近より割裂が発生した。

3 考察

住木センター「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」²⁾によれば、本筋かいの壁倍率は、圧縮側で 2.5 倍、引張側は筋かいの両端を筋かいプレートで緊結する前提で 1.5 倍である。本試験では筋かいに引張力を作用させ、筋かい金物に 5 種類の接合具を用いて実験を行った。その結果、壁倍率は最大でも P-D の 1.8 倍であった。また、P-C 及び P-D のビス類の使用は、上記のとおり脆性的な破壊をもたらしてしまうことから耐震性能の面から劣っているものと言える。P-B の接合具については、最大耐力を迎える前から釘が抜け出てしまい、本来の金物の性能を發揮していない。また、P-A の壁倍率は 1.5 倍ではあったが、この金物に適した非常に粘りのある接合具であったと言える。

VI 結論

本報では実際の施工現場で起こりうる施工ミスを取り上げ、筋かい金物における施工不良が耐震性能にどのように影響するのかを実験・検証した。この筋かい金物の取り付けには 10 本程度の接合具のみで筋かいに働く引張力を負担していることになる。接合具の選定ミスは筋かい耐力壁の耐震性能に大きく影響を及ぼすことが本研究で明らかになった。

【参考文献】

- (1) (公)住宅リフォーム・紛争処理支援センター、住宅相談と紛争処理の現状 CHORD REPORT2012
- (2) (財)日本住宅・木材技術センター、木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2008 年度版)、株式会社研恒社、2008 年
- (3) (財)日本建築学会、木質構造設計基準・同解説、2006 年、pp.256-285

表 6 各試験体 試験評価

試験体名	降伏耐力 (kN)	降伏変位 (rad)	初期剛性 (kN/rad)	最大耐力 (kN)	終局変位 (rad)	終局耐力 (kN)	降伏点変位 (rad)	塑性率	構造特性係数	
P-A	平均値 (Av)	4.674	0.015	303.300	8.340	0.056	7.542	0.025	2.252	0.546
	標準偏差 (SD)	0.588	0.001	54.925	1.010	0.010	0.925	0.003	0.472	0.084
	変動係数 (CV)	0.126	0.039	0.181	0.121	0.180	0.123	0.120	0.210	0.154
P-B	平均値 (Av)	4.188	0.030	148.747	6.247	0.067	6.058	0.042	1.596	0.679
	標準偏差 (SD)	1.069	0.014	34.253	0.766	0.015	0.695	0.012	0.153	0.047
	変動係数 (CV)	0.255	0.456	0.230	0.123	0.230	0.115	0.292	0.096	0.069
P-C	平均値 (Av)	3.582	0.013	282.763	7.380	0.046	6.376	0.023	2.045	0.569
	標準偏差 (SD)	3.736	0.012	303.925	0.676	0.062	7.196	0.024	2.634	0.484
	変動係数 (CV)	3.264	0.022	150.693	0.092	0.065	6.386	0.042	1.541	0.693
P-D	平均値 (Av)	4.849	0.016	307.414	9.647	0.065	8.571	0.028	2.299	0.528
	標準偏差 (SD)	0.449	0.003	32.545	0.344	0.009	0.420	0.004	0.144	0.022
	変動係数 (CV)	0.093	0.187	0.106	0.036	0.134	0.049	0.140	0.063	0.041
P-E	平均値 (Av)	4.522	0.012	355.777	8.227	0.065	7.693	0.018	2.987	0.453
	標準偏差 (SD)	0.833	0.003	16.939	1.950	0.019	1.835	0.010	0.513	0.045
	変動係数 (CV)	0.184	0.274	0.048	0.237	0.292	0.239	0.553	0.172	0.099