

○木造の構造計算ルートは



木造の構造計算には、どのようなルートがあるのですか。



木造建築物の構造設計法としては、壁量計算（仕様規定）、許容応力度計算、許容応力度等計算、保有水平耐力計算、限界耐力計算などがあります。それぞれ建物の階数、高さ、延べ床面積等によって要求される内容が異なります。

解 説

1 壁量計算（仕様規定）

階数が2以下、高さ13m以下、軒の高さ9m以下、延べ床面積500㎡以下の住宅であれば、建築基準法施行令に定められている仕様規定を満たすのみでよいとされています（建基6①四・20①四、建基令36③）。

仕様規定には、以下の5項目があり、すべてを満たす必要があります。

(1) 壁量の確保（壁量計算）

階数が2以上又は延べ面積が50㎡を超える木造の建物に適用されます。

各階の張り間方向とけた行方向に配置する耐力壁（筋かいを入れた軸組等（建基令46）や面材等を張った壁（昭56・6・1建告1100）など）の長さ（存在壁量といいます。）が、地震により作用する力と風により作用する力として定められた壁の長さの両方（必要壁量といいます。）より長いことを計算で確認します（建基令46④）。

地震に対して $(\text{壁倍率} \times \text{壁長さ}) \text{の合計} \geq \text{床面積に乗ずる値} \times \text{床面積}$

暴風に対して $(\text{壁倍率} \times \text{壁長さ}) \text{の合計} \geq \text{見付面積に乗ずる値} \times \text{見付面積}$

(2) 壁配置のバランスの検討

壁配置のバランスを検討する方法には、偏心率による場合といわゆる四分割法（平12・5・23建告1352）があり、どちらを用いても構いません。

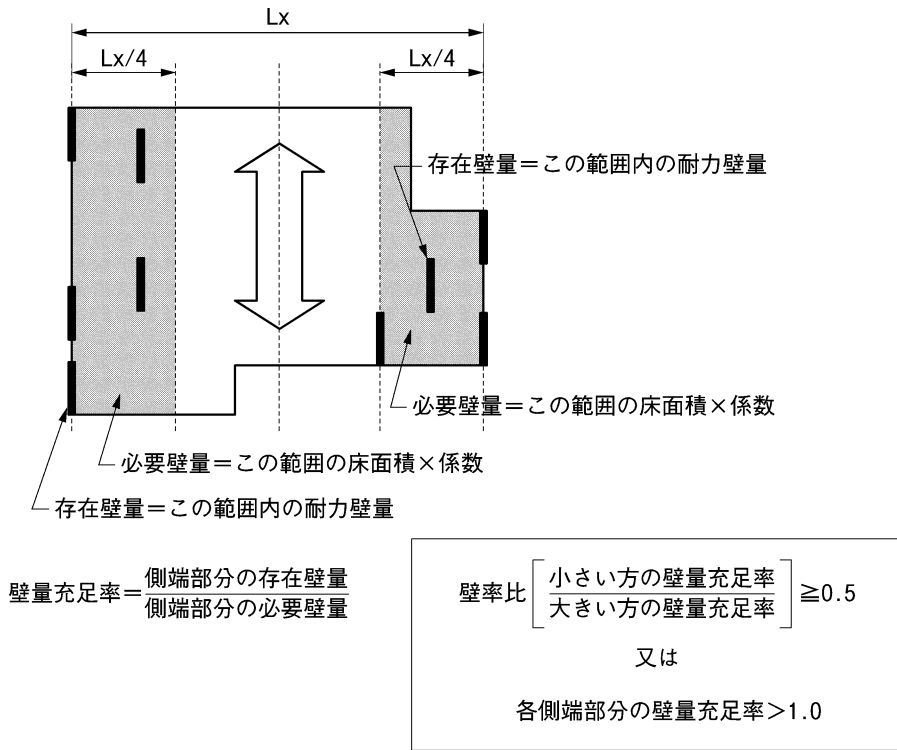


図1 壁配置のバランス

(3) 柱頭・柱脚の接合方法

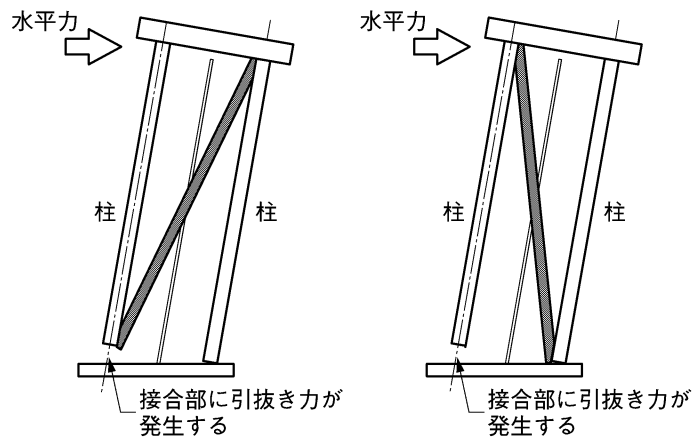


図2 柱頭・柱脚の接合方法

耐力壁端部の柱は、耐力壁が壊れる前に横架材から抜けることのないように、横架材に緊結しておかなければなりません。柱を止め付ける金物は、耐力壁の壁倍率に応じて決定されます。決定の方法は、「木造の継手及び仕口の構造方法を定める件」(平12・5・31建告1460)に定められた表から選択する方法と、国土交通省住宅局建築指導課ほか監修「2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書」(全国官報販売協同組合、第2版、2008年)に記載されている計算方法(いわゆるN値計算)があり、どちらを用いてもよいこととされています。

【N値計算の場合】

① 平屋建ての柱、2階建ての2階の柱

$$N = A_1 \times B_1 - L$$

N：Nの値

A₁：両側の壁の、壁倍率の差(ただし筋かいの場合、補正値を加えます。)

B₁：出隅の場合0.8、その他の場合0.5

L：出隅の場合0.4、その他の場合0.6

② 2階建ての1階の柱

$$N = A_1 \times B_1 + A_2 \times B_2 - L$$

N、A₁、B₁：①に同じ

A₂：上階柱の両側の壁の、壁倍率の差

(ただし筋かいの場合、補正値を加えます。)

B₂：出隅の場合0.8、その他の場合0.5

L：出隅の場合1.0、その他の場合1.6

①②で求めたN値以上の金物を選択します。

(4) 基礎の仕様

基礎の仕様は、構造計算により基礎の設計を行わない場合の基礎の断面形状、配筋などの構造方法を規定しています(建基令38、平12・5・23建告1347)。また、地盤の長期に生ずる力に対する許容応力度に応じて選択できる基礎の構造も定められています。

(5) その他の仕様

このほか、屋根ふき材の緊結(建基令39)、土台と基礎の緊結(同令42)、柱の小径等(同令43)、横架材の欠込み(同令44)、筋かいの仕様(同令45)、火打ち材の設置(同令46③)、部材の品質と耐久性の確認(同令37・41・49)などの項目もあり、仕様を守する必要があります。

2 許容応力度計算

階数が3以上の場合や延べ面積が500㎡を超える場合、あるいは仕様規定の一部を適用除外とする場合などに用いる計算方法です。

考え方は、建物を構成する部材に作用する応力度を算出し、その部材の許容応力度以下であることを確認すればよいというものです。ただし、木造建築物の場合は水平力を負担する部材が耐力壁や床構成部材という複合要素であるため、耐力壁や水平構面の許容せん断耐力や接合部の許容引張耐力の考え方をモデル化して整理されたものを用いることとなります（いわゆるルート1の計算といいます。）。

主な検討項目は以下のとおりです（建基6①二・20）。

① 水平力に対する検討

㊦ 建築基準法施行令3章3節の仕様規定

① 許容応力度計算

- ㊦ 水平力（地震力、風圧力）に対する耐力壁の許容せん断耐力の検定
- ㊦ 柱の短期軸力に対する柱頭・柱脚接合部の許容引張耐力の検定
- ㊦ 水平力に対する水平構面及び横架材接合部の検定
- ㊦ 土台の曲げとアンカーボルトの引張及びせん断の検定

② 鉛直荷重と局部荷重に対する検討

㊦ 建築基準法施行令3章3節の仕様規定

① 許容応力度計算

- ㊦ 横架材の曲げとたわみに対する断面検定
- ㊦ 横架材のせん断に対する断面及び端部の検定
- ㊦ 柱の座屈と面外風圧力に対する断面検定
- ㊦ 柱軸力による土台のめり込みの検定
- ㊦ 軒、けらばの負の風圧に対する垂木断面及び垂木-軒桁接合部の検定

㊦ 屋根ふき材の検討（建基令39・82の4）

③ 地盤と基礎に対する検討（建基令38、平12・5・23建告1347）

3 許容応力度等計算

高さ13m又は軒高9mを超える場合に、許容応力度計算に加えて保有水平耐力計算（建基令3章8節1款の2・82各号・82の2～82の4）（いわゆるルート3）又は剛性率、偏心率及び靱性確保のための計算（建基令3章8節1款の4・82の6二・三）や確認等（いわゆるルート2）を行う方法です。木造の建物においてルート2で計算する場合には、筋

かひの水平力負担割合による応力割増し、筋かひが割裂きやせん断破壊を生じないことの確認等も求められています（昭55・11・27建告1791）。

4 保有水平耐力計算

高さ13m又は軒高9mを超える場合で保有水平耐力計算を選択する場合や、高さが31mを超える場合に要求されます。この計算は主に大地震動に対する性能検証法です（建基令3章8節1款の2）。

5 限界耐力計算

建物規模や構造方法に関係なく用いることができる検証法です。大地震動と中地震動の双方に対して検証を行います。部材単体や複合構成要素の荷重変形関係等の試験データを用いて、損傷限界と安全限界を求める方法です（建基令3章8節1款の3）。

◆筋かい

【建築基準法施行令45条】

(筋かい)

第45条 引張り力を負担する筋かいは、厚さ1.5センチメートル以上で幅9センチメートル以上の木材又は径9ミリメートル以上の鉄筋を使用したものとしなければならない。

2 圧縮力を負担する筋かいは、厚さ3センチメートル以上で幅9センチメートル以上の木材を使用したものとしなければならない。

3 筋かいは、その端部を、柱とはりその他の横架材との仕口に接近して、ボルト、かすがい、くぎその他の金物で緊結しなければならない。

4 筋かいには、欠込みをしてはならない。ただし、筋かいをたすき掛けにするためにやむを得ない場合において、必要な補強を行なったときは、この限りでない。

1 筋かいの仕様

筋かいとは、地震や風等の水平力に抵抗させる目的で、柱や横架材で構成された鉛直構面の対角に取り付けられる部材のことで、「構造耐力上必要な軸組」の一つです。筋かいの断面、筋かい端部の緊結及び欠込みの規定が定められています(建基令45・46)。筋かいの端部の緊結方法の詳細については、告示に定められています(平12・5・31建告1460)。筋かいの壁倍率は、筋かいの断面等に応じて、1～5の数値が与えられています(建基令46④一)。

表1 軸組の種類と倍率(建基令46④一)

	軸組の種類	倍率
(1)	〔省略〕	
(2)	厚さ1.5cm以上で幅9cm以上の木材又は径9mm以上の鉄筋の筋かいを入れた軸組	1
(3)	厚さ3cm以上で幅9cm以上の木材の筋かいを入れた軸組	1.5
(4)	厚さ4.5cm以上で幅9cm以上の木材の筋かいを入れた軸組	2
(5)	9cm角以上の木材の筋かいを入れた軸組	3

(6)	(2)から(4)までに掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組	(2)から(4)までのそれぞれの数値の2倍
(7)	(5)に掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組	5

筋かい自体の仕様については、建築基準法では樹種や等級に定めはありません。したがって、木製筋かいであれば、製材を用いてもよいですし、集成材やLVLなどのエンジニアードウッドを用いることも可能です。ただし、筋かいは水平力を負担する構造部材なので、筋かい自体が脆性的に破壊しないよう一定以上の品質の材として、節や割れ等の欠点が認められるものや比重が極端に低いものなどは避けて選定することが肝要です。鉄筋筋かいについても、建築基準法上では、断面の規定のみで、材種や材質の指定はありません。断面φ9mm以上の炭素鋼の鉄筋（丸鋼又はボルト類）で、かつ、引張の筋かいを壁として倍率2の性能が確認されているものは、「径9mm以上の鉄筋」とみなされます（指定性能評価機関において個別案件ごとに、国土交通省に認定可能かの判断を仰いでいますが、過去の事例より認定対象外となっています。）。しかし、その他の材種を用いたものや特殊形状のものについては、仕様規定に抵触している（壁倍率大臣認定の取得を要する）可能性があるため、事前に各指定性能評価機関に確認することをお勧めします。

2 筋かい端部の仕口への接近

筋かいは、筋かい端部を仕口に接近させ、緊結することを求めています（建基令45③）。これは、筋かいを仕口から偏心させて取り付けの場合、偏心によって柱や横架材等に曲げやせん断等の付加応力が発生し、軸組の破壊が懸念されるため設けられた規定です。筋かいを仕口から離して取り付ける場合、部材や接合部の安全性の検討及び筋かい壁として所定の性能が発揮されるよう検証する必要があります。

3 筋かいの欠込み規定

筋かいには欠込みをしてはならないと禁止されています（建基令45④）。筋かいに欠込みを設けると、断面欠損部に応力が集中し、ひび割れや座屈による耐力低下が起りやすくなります。よって、筋かいと間柱が干渉する場合でも、常に筋かいを優先し、間柱を欠き込むこととされています（図1）。ただし、90角の筋かいをたすきに入れる等のやむを得ない場合は、筋かいが負担する軸力や二次応力に対する安全性を検証することで、欠込みを許容しています。90角のたすき掛け筋かい納まりは独立行政法人

住宅金融支援機構「木造住宅工事仕様書 平成26年版」(井上書院、2014年)や公益財団法人日本住宅・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年版)」(日本住宅・木材技術センター、2009年)が参考となります(図2)。

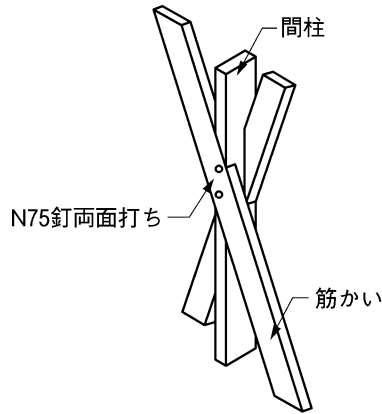


図1 間柱の欠込み

参考：独立行政法人住宅金融支援機構「木造住宅工事仕様書 平成26年版」(井上書院、2014年)

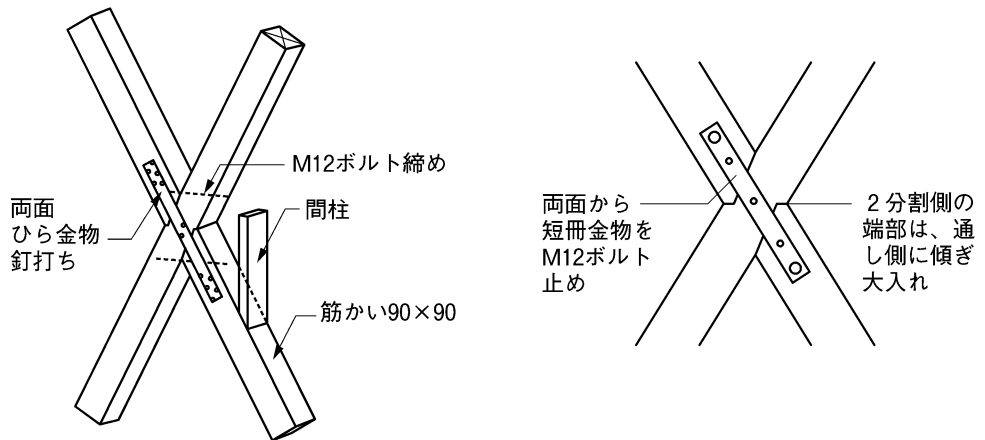


図2 筋かいの納まり例

参考：独立行政法人住宅金融支援機構「木造住宅工事仕様書 平成26年版」(井上書院、2014年)、公益財団法人日本住宅・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年版)」(日本住宅・木材技術センター、2009年)

4 引張筋かいと圧縮筋かい

筋かい壁に作用する水平力の向きによって、筋かいに発生する応力が引張となったり圧縮となったりします。前者を引張筋かい、後者を圧縮筋かいと呼びます（図3）。両者の実際の剛性や耐力は異なりますが、筋かいの壁倍率は、筋かいの向きにかかわらず同一の倍率が与えられています（建基令46）。これは、筋かいをハの字に入れた幅2Pの試験の結果を基としており、引張筋かいと圧縮筋かいの平均値となります。つまり、仕様規定では引張筋かいと圧縮筋かいを同数配置することが求められます。

一方、許容応力度計算においては、原則、実状に応じて、引張筋かいと圧縮筋かいを別々に扱い、実際に発生する応力に対して安全性を検討する必要があります。特に、偏心率の計算の際は、建物のX方向Y方向及び加力方向違いの4パターンの計算を行う方が、工学的に正しいです。しかし、手計算等で手間が掛かる場合は、偏心距離の大きいパターンや壁量（許容耐力）の小さい方を採用するなど、不利側を考慮した判定を行えばよいこととしています。ただし、柱頭柱脚引抜き力の検定を行う場合は、必ず筋かいの向きを判別した上で計算する必要があります。参考として、片筋かいの引張と圧縮それぞれの倍率（等価壁倍率）を表2に示します。ただ、この数値は平成12年5月31日建設省告示1460号に基づいた仕様で端部を緊結した筋かい壁の実験を基にしたものであることに留意してください。

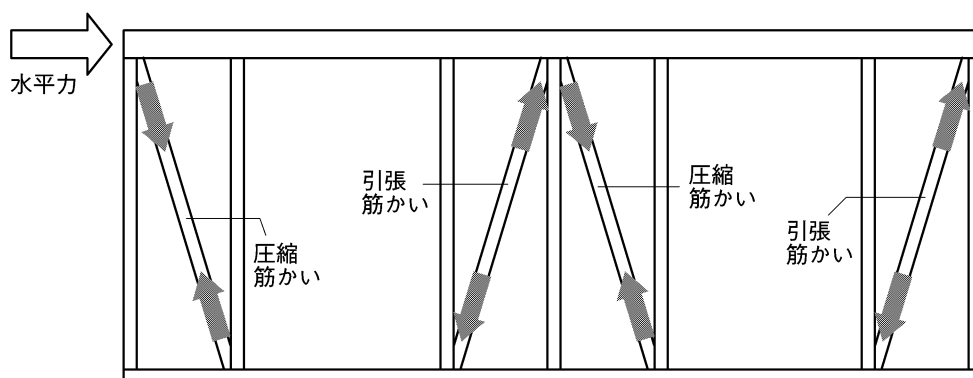


図3 引張筋かいと圧縮筋かい

表2 引張・圧縮筋かいの等価壁倍率

筋かいの種類	平成12年建設省告示1460号に定める筋かい端部の接合仕様	圧縮筋かい等価壁倍率	引張筋かい等価壁倍率
鉄筋φ9	① 柱又は横架材を貫通し、三角座金を介してナット締め ② 鋼板添え板を用い、鋼板を柱及び横架材に8×CN90平打	0.0	2.0
木材15×90	びんた伸ばしの上、柱、横架材双方に5×CN65平打	1.0	1.0
木材30×90	筋かいプレートBP、又は同等以上 ($t = 1.6$ 鋼板添え板を、筋かいにボルトM12+3×ZN65、柱に3×ZN65、横架材に4×ZN65平打)	2.0	1.0
木材45×90	筋かいプレートBP-2、又は同等以上 ($t = 2.3$ 鋼板添え板を、筋かいにボルトM12+7×ZS50、柱と横架材それぞれに5×ZS50平打)	2.5	1.5
木材90×90	柱又は横架材にボルトM12を1面せん断	5.0	1.0

出典：公益財団法人日本住宅・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年版）」（日本住宅・木材技術センター、2009年）

5 筋かい壁の高さ・幅寸法

耐力壁の長さは、最小寸法を900mmとし、面材耐力壁において接合部等の安全性を別途検討したものについては600mmとすることが慣例です（一般財団法人日本建築センター「建築物の構造規定－建築基準法施行令第3章の解説と運用－1997年版」（日本建築センター、1997年）。特に、筋かい耐力壁は、筋かいの角度が大きくなる（傾斜が立ってくる）と、剛性が大きく低減されるため、所定の性能が発揮されるよう筋かいの傾斜角に留意する必要があります。壁の高さ／幅を3.5以下とすることを推奨しているものもあります（公益財団法人日本住宅・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年版）」（日本住宅・木材技術センター、2009年）。また、剛性・耐力が壁長さの比例関係となるよう、壁の最大幅を2m程度としています。

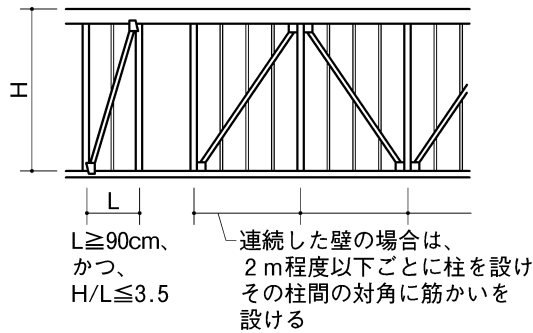


図4 筋かい壁の高さ・幅寸法

参考：公益財団法人日本住宅・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年版）」
（日本住宅・木材技術センター、2009年）

6 筋かい応力の β 割増について

木造において、許容応力度等計算（ルート2）の際、地震力により生じる各階の水平力のうち、筋かいが負担する水平力の比率（ β ）に応じて、「 $1 + 0.7\beta$ （ $\beta \leq 5/7$ のとき）」又は「 1.5 （ $\beta > 5/7$ のとき）」のいずれかの数値を乗じることにより応力を割り増すこととされています。木材を使用した筋かいの割裂き、せん断破壊等が生じないことの確認、木材以外の筋かいの破断しないことの確認、塔状比が4を超えないこと及び柱や梁、接合部が急激な耐力低下が生じないことの確認を行うことが定められています（昭55・11・27建告1791第1）。この規定は、一般に靱性、エネルギー吸収性能が低いといわれる筋かいの強度を増加させること、筋かい端部接合部をはじめとした周辺部材を先行破壊させず、筋かい自身の塑性変形能力を引き出し、層の靱性を確保することなどを目的としていると考えられています。

ただし、これは鉄骨造を想定した考えであり、木造の場合でも成り立つかどうかは定かではありません。木材の筋かいには鉄骨ブレースほど塑性変形能力はなく、木材を用いた筋かい壁の靱性性能は、端部の接合部の性能に左右されます。また、木造においては、筋かい端部の接合方法が多岐にわたるため、それぞれの仕様ごとに靱性性能の確認などの同告示に規定する検討を行うことが必要です。ただし、通常の耐力壁形式の軸組工法で、倍率（建基令46）を基にした許容耐力を採用する、又は、実験により求めた許容耐力を採用するのであれば、靱性に関わる検討が既になされていることとなり、別途検討を要しないこととしています。また、「柱や梁、接合部の急激な耐力の低下を生じないことの確認（昭55・11・27建告1791第1・五）」についても、N値計算等

の柱頭柱脚の引抜き力の検定を行うことで、その確認がなされていると考えられています。いずれにせよ、筋かい壁の性能が十分発現されるよう、また、脆性的に破壊が発生しないよう、周辺部材や接合部を余裕のある設計とすることが重要です。