

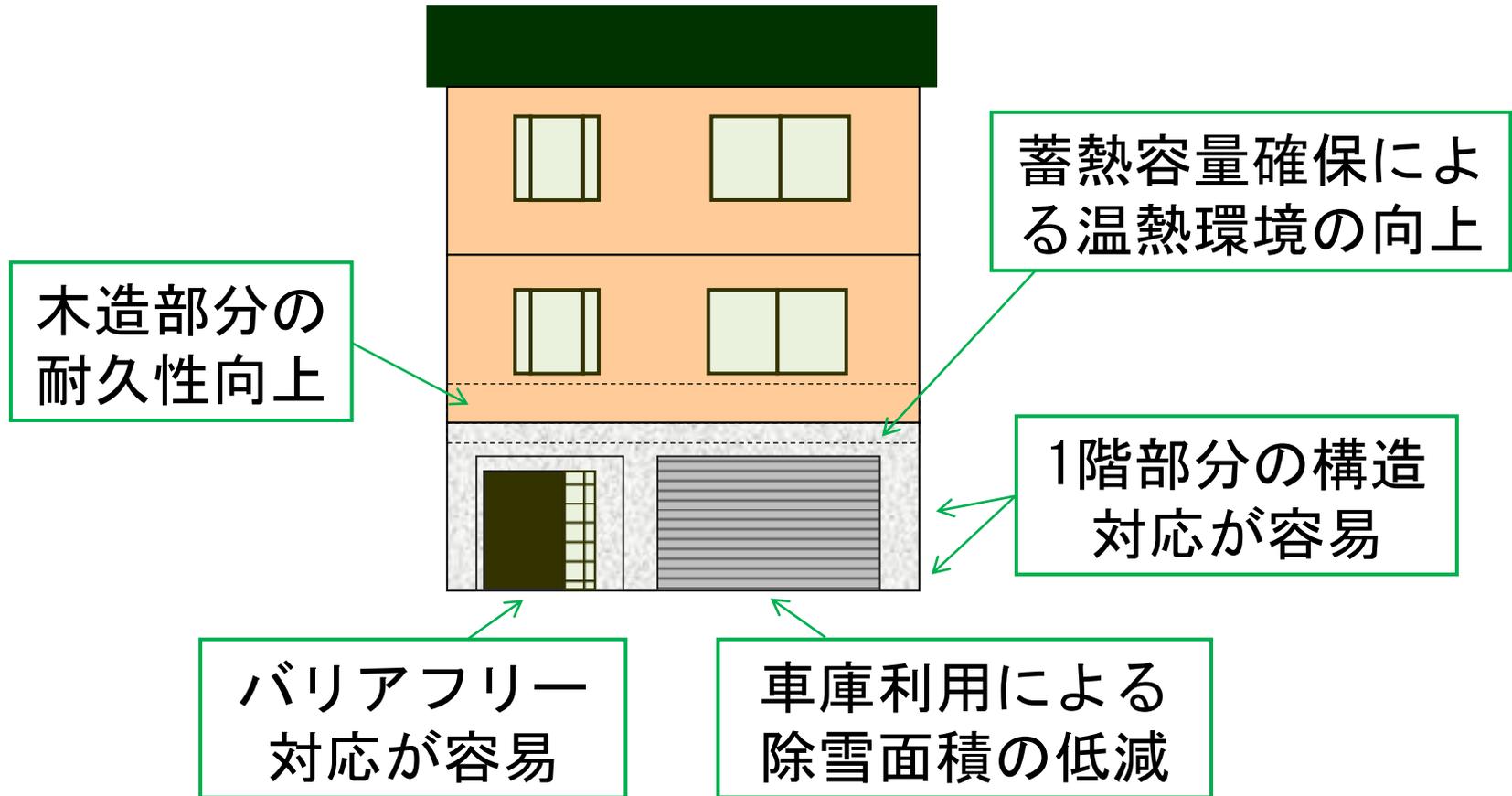
木造住宅の構造設計技術セミナー

混構造3階建て住宅の構造設計の要点

2015年2月

(一社)北海道建築技術協会

1階をRC造 (CB造)、2、3階を木造とした 混構造3階建て住宅の利点



今後望まれること

(1) 構造計算による安全性の確認が必要になって以降、混構造住宅の新築戸数が減少している。積雪寒冷地における混構造の利点を考えると、今後改めて、適切な構造計画や構造計算に基づいた普及が望まれる。

(2) 北海道内における混構造住宅の既存ストックは近い将来、改修・改築の時期を迎える。これらの既存ストックを社会資産として活用して行くためには、適切な構造診断や構造改修法の検討が必要。

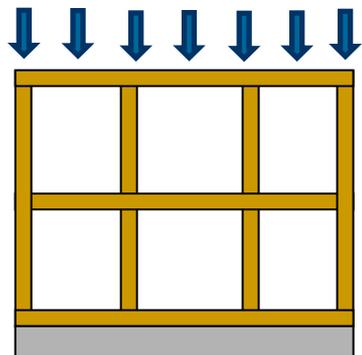
⇒ 一般的な仕様範囲の混構造住宅に対しては、市販構造計算ソフトの利用も可能だが、基本的な構造計画や構造計算の基本原理は、設計・施工責任者自身が正しく理解しておく必要がある。

北海道の木造住宅構法の構造的特徴

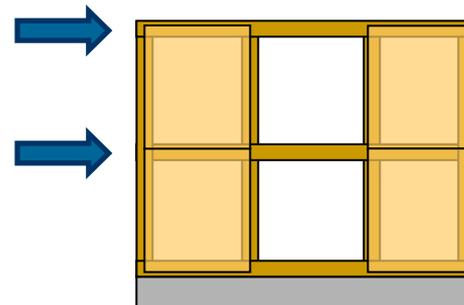
[在来軸組構法]

(施工) まず柱・梁等の軸組を組み立て、それを骨格として壁や床を仕上げる「軸組構造」。

(構造) 鉛直荷重(固定荷重、積載荷重、積雪荷重)は柱・梁等の軸組で、水平力(風圧力、地震力)は耐力壁(筋かい軸組を含む)構面と床構面で土台・基礎に伝える「軸組壁式構造」。



(地震力は鉛直荷重に比例)

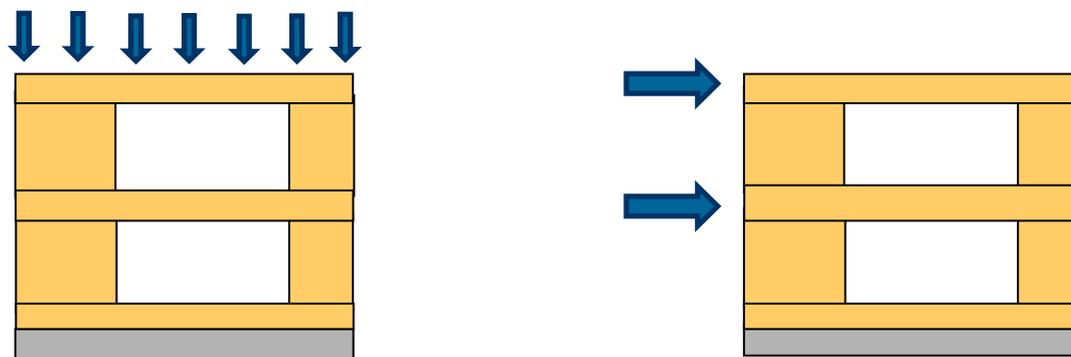


北海道の木造住宅構法の構造的特徴

〔桝組壁工法〕

（施工）下階床組→下階壁組→上階床組→上階壁組の順に組み立てる「壁式構造」。

（構造）鉛直荷重（固定荷重、積載荷重、積雪荷重）、水平力（風圧力、地震力）ともに耐力壁構面（壁組）と床構面（床組）で土台・基礎に伝える「壁式構造」。



北海道の木造住宅構法の比較

〔断熱・気密性能〕 以前は枠組壁工法が有利と言われていたが、現在では在来軸組構法の性能が向上しており、構法による差はほとんどない。

〔水平力に対する法令上の構造原理〕 どちらも壁式構造。

〔新築時の設計自由度〕 法的な制約は在来軸組構法が少ない。しかし、実質的な構造計画の要点はどちらも同じ。

⇒ 法令適合は最低要件、実質的な性能確保とは別。

〔増改築の自由度〕 法的な制約は在来軸組構法が少ない。しかし、構造安全性を損なわない増改築には、構法によらず、様々な配慮や工夫が必要。（⇔ 新築と同。）

北海道の木造住宅構法の比較

[平面・立面計画] 北海道には、縁側や広い掃出し開口、複雑な屋根形状などを持つ伝統的な在来軸組構法住宅は少なく、平面計画・立面計画ともに、構法による差は少ない。

⇒ 北海道の木造住宅の構造計画においては、構法によらず、共通の構造的視点で捉えられる部分が多い。

⇒ 在来軸組構法の構造計画を考える場合も、耐力壁線区画や水平構面（床組・小屋組）の考え方が比較的明確な枠組壁工法の構造計画が参考になる。

木造3階建てと混構造3階建ての違い

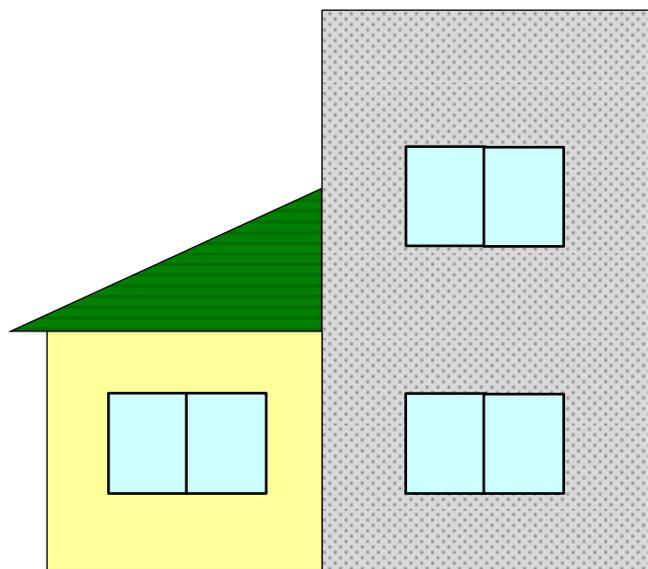
戸建住宅で一般的なのは、1階WRC造（CB造）、2階以上木造（在来軸組構法、桝組壁工法）。

⇒ 木造と混構造の構造的な違いは、同じ構造要素で構成されているか、構造特性（変形特性、耐力、振動特性など）の異なる構造要素が併用されているかにある。

⇒ 同じ木質系でも、丸太組構法と在来軸組構法の併用や、木質ラーメン構造と在来軸組構法（桝組壁工法）の併用なども、構造的に見れば混構造に該当。

また、変形特性の異なる合板釘打ち耐力壁と筋かい軸組を併用する場合なども、本来は、混構造と同様の配慮が必要。

混構造の種類と設計・施工上の要点



[平面混構造]

公共建築等の中大規模建築には多い。
戸建住宅では少ない。

(注意点) RC造部分と木造部分で構造特性が異なる。

(対応策) 構造計画の方針を明確にする。

(1) RC造部分と木造部分の荷重負担範囲を構造的に分離して考える。

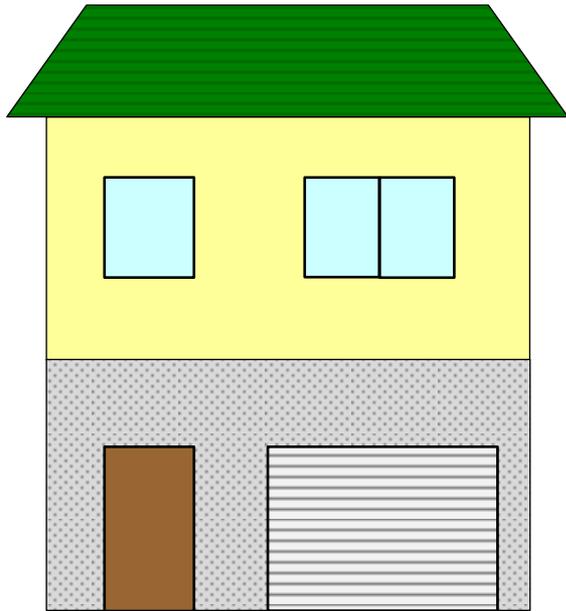
⇒ 変形吸収能のある接合。

(2) 計算仮定上は、水平力をすべてRC造部分に負担させ、木造部分は鉛直荷重のみ負担とする。

⇒ 剛性・耐力の高い接合。

剛性の高い木造水平構面。

混構造の種類と設計・施工上の要点



[立面混構造]

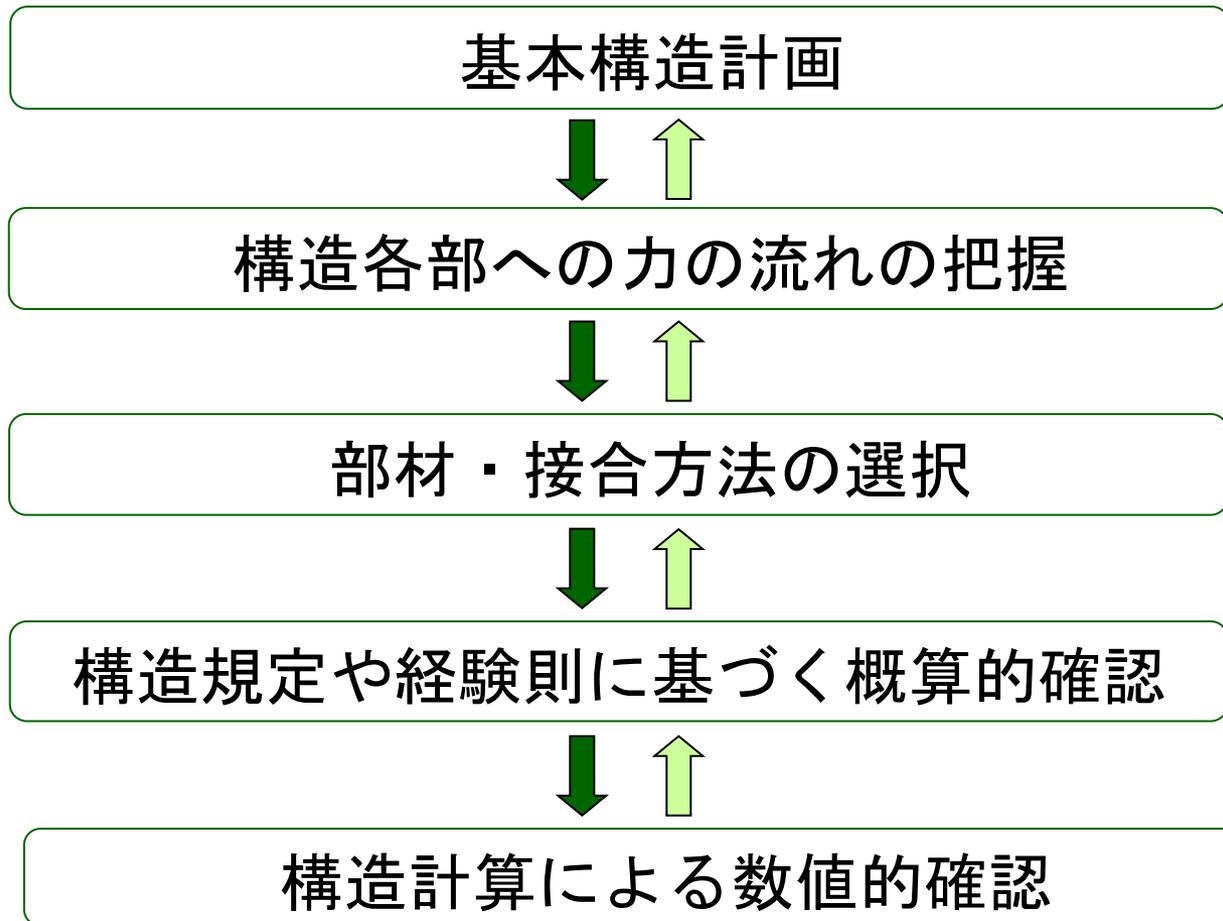
戸建住宅では、WRC造+木造が一般的。

(注意点) 各層の重量比により、層せん断力分布 (A_i 分布) が変化する。RC造部分と木造部分で剛性の差が大きい。

(対応策) 地震力の算定時に、各層の A_i を適切に考慮する。

RC造部分と木造部分が確実に一体となって変形、振動するように、アンカーボルト接合部の耐力に余裕を持たせる。

混構造3階建て住宅の構造設計の流れ



[WRC造＋木造の基本構造計画と力の流れの把握]

(1) 水平力に対する構造計画

多雪地域では地震力に対する検討が中心（地震力は建物の重量（固定荷重＋積載荷重＋積雪荷重）に比例）。

一般的な木造では、水平力に対して耐力壁を配置して抵抗させる。この考え方は、もともとWRC造の構造原理を木造に応用したもの。

⇒ 1階WRC造部分と2、3階木造部分で、耐力壁配置の基本的な考え方には大きな違いがない。構造材料は異なるが、構造原理は共通。

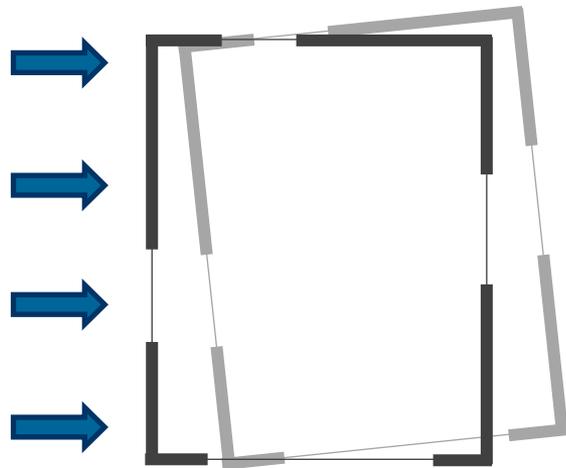
ただし、木造部分は一体構造ではなく、各部材間の接合耐力が構造全体の耐力を直接左右する。

⇒ 接合部設計が特に重要。

耐力壁配置の要点の一つは、各耐力壁線、特に外壁の耐力壁線に、偏りなく耐力壁を配置すること。

しかし、実際には採光や動線の関係で、理想的な耐力壁配置が行いにくい場合が生じる。

⇒ 偏心によるねじれを生じ易い。



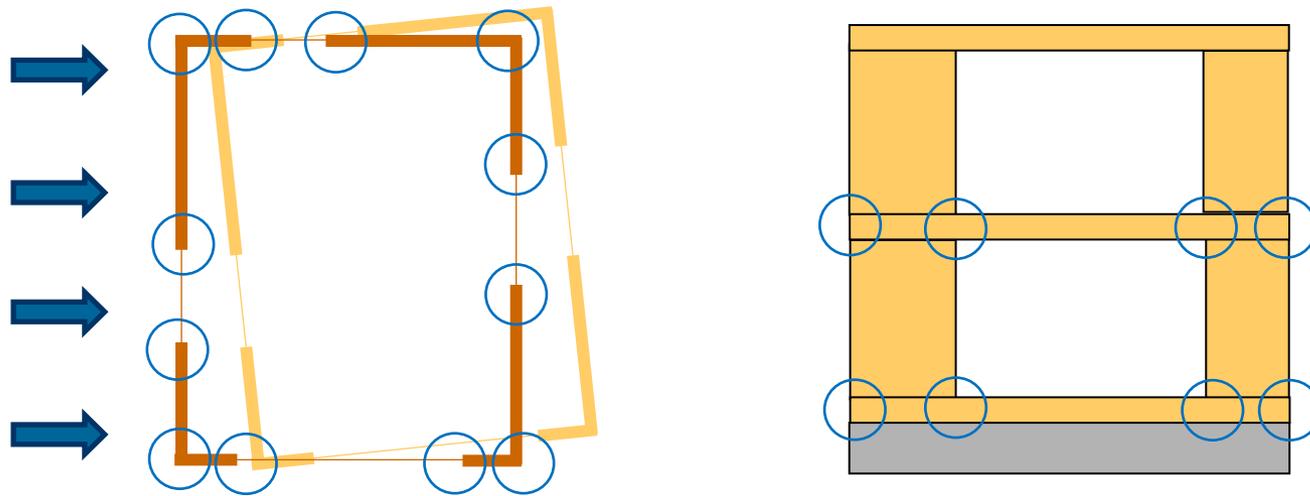
WRC造部分の1面
に広い開口

(対応策)

耐力壁の総量を十分確保する。

1面の耐力壁が少ない場合は、それと直交する2面に耐力壁を大目に配置して、建物のねじれを抑える。

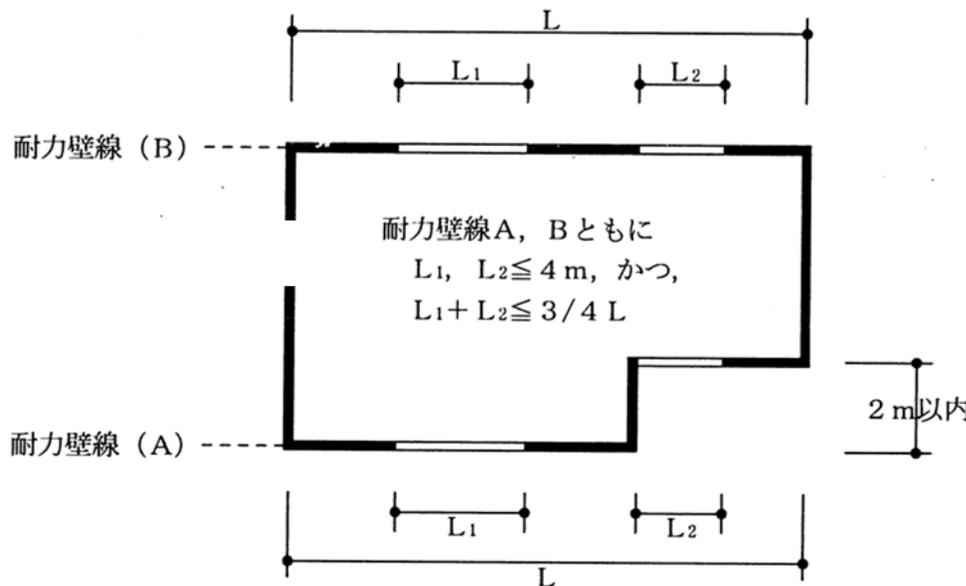
木造耐力壁の配置についても考え方は同じであるが、木造は一体構造ではないため、出隅、入隅部分や開口部脇が構造上の弱点となりやすい。このため、隅部、開口部脇の一体化（接合部補強）に特に注意が必要。



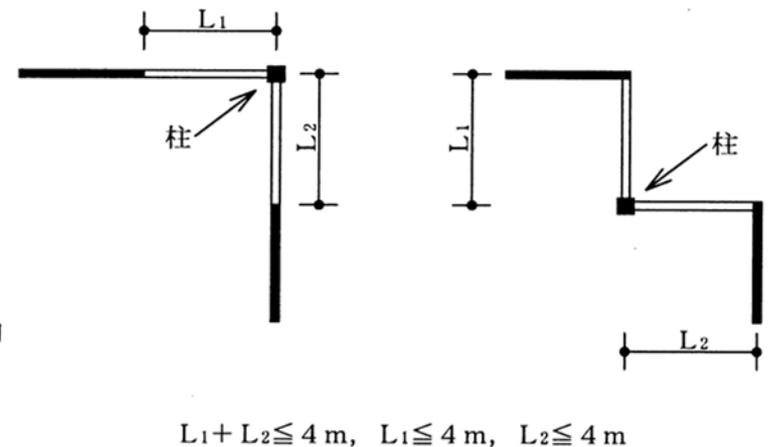
○ 弱点部（接合に注意）

外壁面の耐力壁配置（開口部配置）に対する配慮も重要。枠組壁工法では、連続する開口部の長さや出隅、入隅部分の開口部配置について制限が設けられている。

⇒ 出隅、入隅には、原則として片側に耐力壁を配置。
(構造計算による例外規定有り)



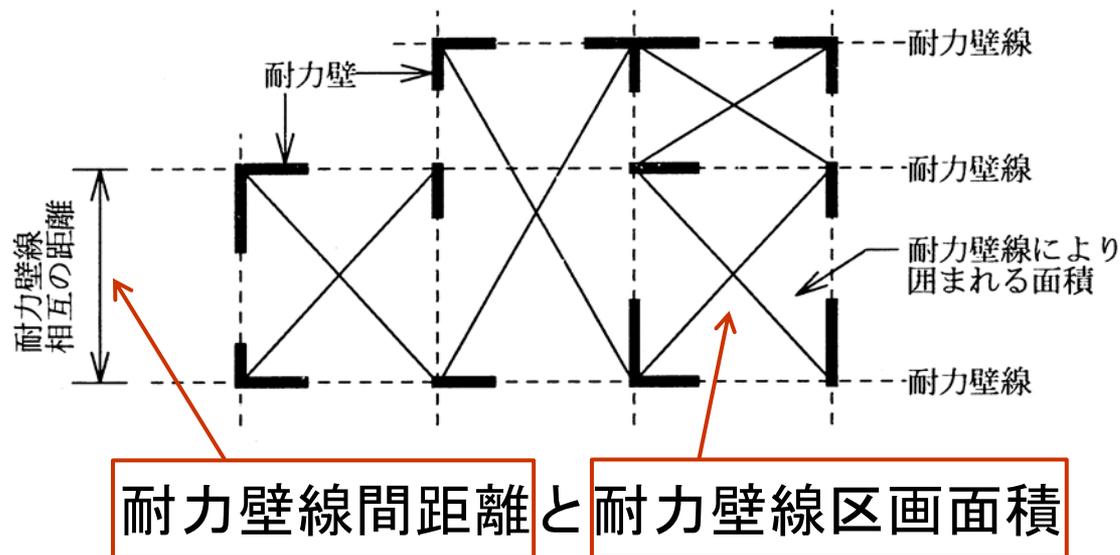
耐力壁線上の開口制限
(開口幅 $\leq 4\text{m}$ 、開口率 $\leq 3/4$)



出隅、入隅の例外規定
(開口幅計 $\leq 4\text{m}$)

水平力を耐力壁に伝えるためには、床や屋根の面内せん断剛性が重要。

2階床RCスラブの設計では、耐力壁線間距離や耐力壁線区画面積を一定範囲に抑えるのが無難。CB造では、耐力壁線間距離を耐力壁厚さの50倍以下、耐力壁線区画面積を 60m^2 以下としている。WRC造ではこのような制限はないが、上記の数値がおおまかな目安となる。



木造の水平構面はRCスラブに比べて面内せん断剛性が低いため、耐力壁線間距離や耐力壁線区画面積に対応した床仕様となるよう注意が必要。

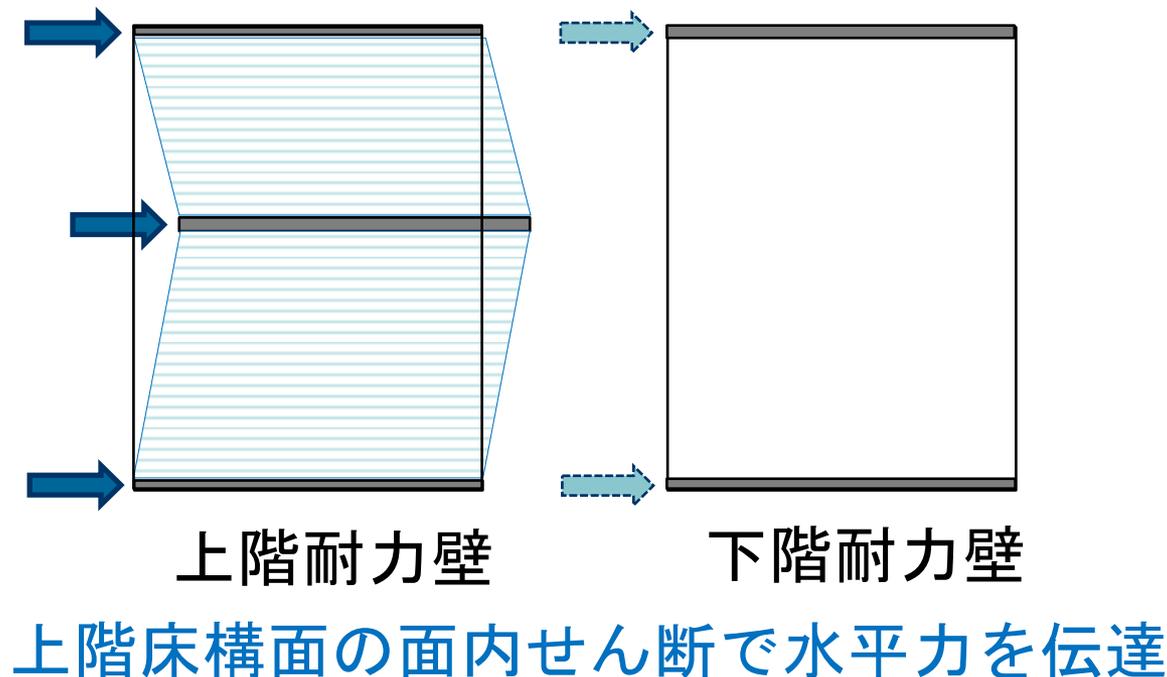
枠組壁工法では、告示で耐力壁線間距離を12m以内、耐力壁線区画面積を40m²以内（条件によって60m²以内、72m²以内まで拡張可）としている。この耐力壁線間距離や耐力壁線区画面積は、戸建住宅で特に制約となることは少ない。

建築基準法レベルの在来軸組構法では、耐力壁線間距離や耐力壁線区画面積の規定がない。

⇒ 品確法関連規定（耐力壁線間距離8m以内、条件によって12m以内）や枠組壁工法の告示に準じて、一定範囲に納めるのが安全。

木造部分で上階と下階の耐力壁線が一致しない場合、上下階の耐力壁線のずれが大きいと、力を伝えるための水平構面の役割が非常に重要になる。

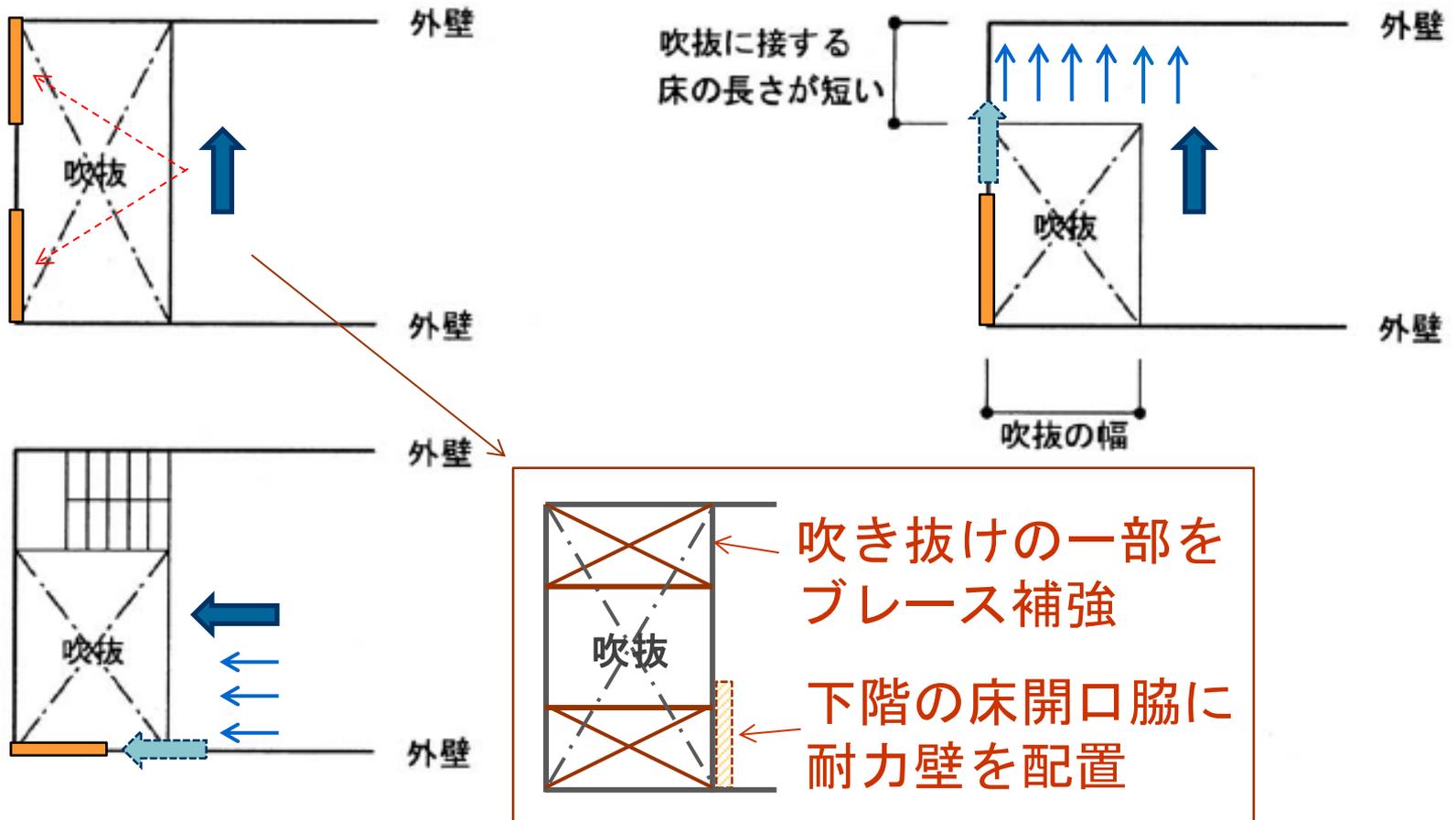
(注意点) 耐力壁線間距離に応じた床の面内せん断剛性の確保と壁一床間の接合耐力の確保。



吹き抜けがある場合、吹き抜けに接した外壁耐力壁線まで力が有効に伝わらないことがある。

Y方向の水平構面の剛性が0となる例

Y方向の水平構面の剛性が確保しにくい例



木造部分では、上階耐力壁が下階の梁上に載っていることがある。

梁上の耐力壁は、梁がたわむ分だけ見かけの変形角が増大し、有効せん断耐力が低下する。

このような耐力壁配置は避けるのが望ましいが、やむを得ない場合は、有効せん断耐力を適切に低減することが推奨される。

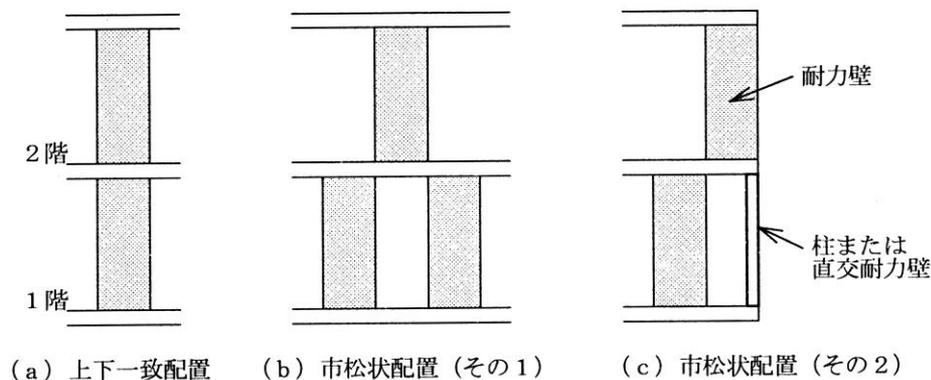


図 2.4 耐力壁の垂直的配置

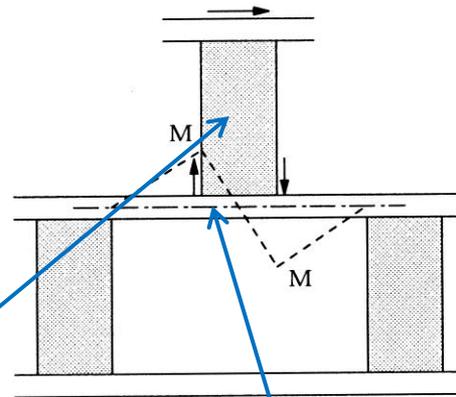


図 2.5 注意を要する耐力壁の配置

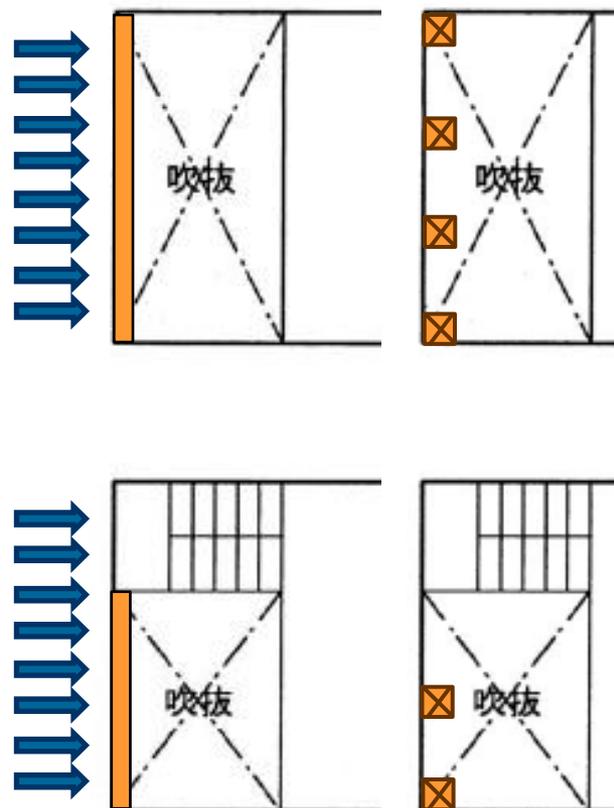
有効せん断耐力（壁倍率）の検討。 梁の短期曲げの検討。

外壁に面した吹き抜け部分や広い開口部には、耐風梁を配置する。吹き抜けの外壁部分に通し柱のある場合は、それを耐風梁とするが、通し柱のない場合は、胴差の曲げで風圧力に抵抗させる。

⇒ 鉛直・水平どちらかの連続部材を耐風梁とする。

枠組壁工法の場合も、吹き抜けや開口部の大きい場合は、構造用集成材などを耐風梁として用いるのが安全。

吹き抜けの外壁部には、耐風梁を配置



[部材・接合方法の選択と概算的確認]

(壁量計算による木造部分の概算的構造確認)

3階建て木造住宅の、構造規定に基づく概算的構造確認の中心は、水平力に対する壁量計算。

必要壁長(実長×壁倍率)＝必要せん断耐力／1.96(kN/m)

(許容応力度計算) 建物の重量から地震力を、建物形状と見付け面積から風圧力を計算し、それに抵抗できるだけの耐力壁を配置する。

(壁量計算) 床面積あたり基準重量から地震力が、見付け面積あたり基準風圧力から風圧力が予め概算されている。⇒ 床面積と見付け面積から必要せん断耐力を概算。

⇒ 合理的な壁量計算≒許容応力度(許容耐力)計算

（積雪寒冷地における現行の壁量計算の問題点）

(1) 地震用必要壁長（建築基準法レベル）の計算基礎となっている固定荷重は、積雪寒冷地の現在の標準的仕様から算定される荷重よりも小さく設定されている。

(2) 在来軸組構法の地震用必要壁長（建築基準法レベル）には積雪荷重が加算されていない。

このため多雪地域では、壁量計算による必要壁長が許容応力度計算で求められる必要壁長よりかなり不足している。

在来軸組構法でも品確法の必要壁長は積雪荷重が考慮されている。（⇒ 長期優良住宅（耐震等級2以上）では、極端に必要壁長が増加する。）

枠組壁工法の必要壁長には当初から積雪荷重が加算されている。

(積雪寒冷地における現行の壁量計算の問題点)

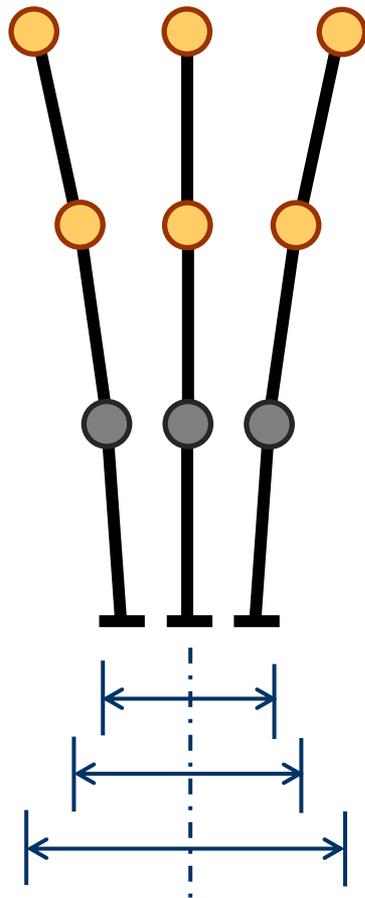
(3) 各階の地震用必要壁長（建築基準法レベル）は、総2階、総3階を想定した A_i 分布に基づいて算定されている。

A_i の値は上階重量（床面積）の下階重量（床面積）に対する比が小さい（狭い）方が大きくなるため、上階重量比が小さい（床面積が狭い）と単位床面積あたりの必要壁長が増加する。したがって、総2階、総3階を想定した必要壁長は過小評価となる場合がある。

ただし、品確法の必要壁長には床面積比が考慮されている。

(4) 現行の地震用必要壁長は、いずれも総木造の場合の A_i 分布に基づいたものである。1階をWRC造とする混構造では、上階の重量比が総木造より小さくなるので、そのままは適用できない。

A_i 分布のおおまかなイメージ



上階ほど振幅が大きい（移動距離が長い）ので、加速度が大きくなる。

地震力＝質量×加速度

同じ負担重量（質量×重力加速度）だと、地震力（層せん断力）が大きくなる。

ただし、各層の負担重量は下階ほど大きいので、加わる力は下階の方が大きい。

（実際にはもう少し複雑）

現在のところ、積雪寒冷地の混構造3階建てに適用できる壁量計算基準は示されていない。このため、形式的に壁量計算を行っても、実質的にあまり意味がない。

しかし、詳細な構造計算（許容応力度計算）を行う前に、構造計画の適否を簡便に確認できる壁量計算は実務的に非常に有用である。今後は、北海道の現状に合った必要壁長の提案が望まれる。

考慮すべきポイントは、

- (1) 固定荷重の評価
- (2) 積雪荷重の加算
- (3) A_i 分布の評価
- (4) 地域地震係数の考慮

混構造3階建ての木造部分の単位床面積あたり必要壁率
 の枠組壁工法3階建ての単位床面積あたり必要壁率に対
 する換算係数（参考値）

| 階 | 垂直積雪深 (cm) | 地域地震係数 | | |
|-----------|---------------|--------|------|------|
| | | 1.0 | 0.9 | 0.8 |
| 3 | 100 | 1.17 | 1.06 | 0.94 |
| | 200 | 1.17 | 1.05 | 0.94 |
| 2 | 100 | 1.20 | 1.08 | 0.96 |
| | 200 | 1.19 | 1.07 | 0.95 |
| 耐力壁配置用概算値 | | 1.20 | 1.10 | 1.00 |

混構造3階建ての木造部分の単位床面積あたり必要壁率
(参考値)

| 階 | 垂直積雪深 (cm) | 地域地震係数 | | |
|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 1.0 | 0.9 | 0.8 |
| 3 | 100 | 41 | 37 | 33 |
| | 200 | 64 | 58 | 52 |
| 2 | 100 | 61 | 55 | 49 |
| | 200 | 81 | 73 | 65 |
| 耐力壁配置用概算値 | | 1.17-1.20 | 1.05-1.08 | 0.94-0.96 |

(壁量計算による木造部分の概算的構造確認)

木造耐力壁の配置計画では、壁量計算の他に耐力壁配置の偏りを抑えるための、偏心率計算または4分割法による確認が必要になる。

(4分割法)

長所：概算的な確認法として、計算が簡便。

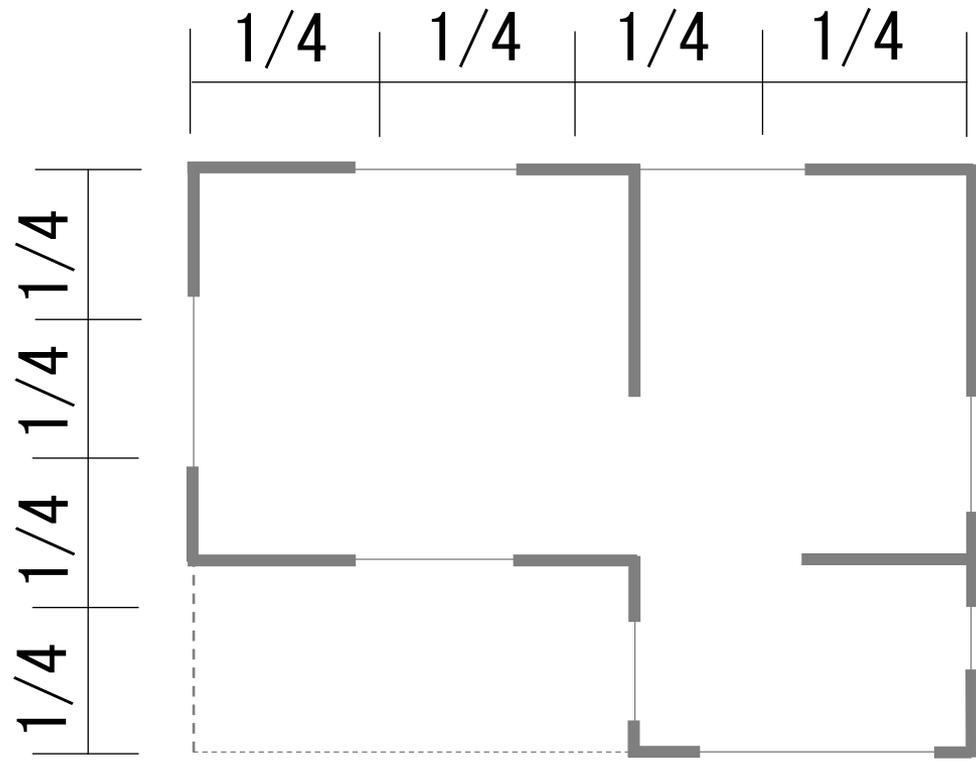
短所：建物の平面形状が複雑だと、4分割法の考え方になじまず、取扱いに苦労する。

(偏心率計算)

長所：原理が明確で、複雑な平面形状にも適用できる。

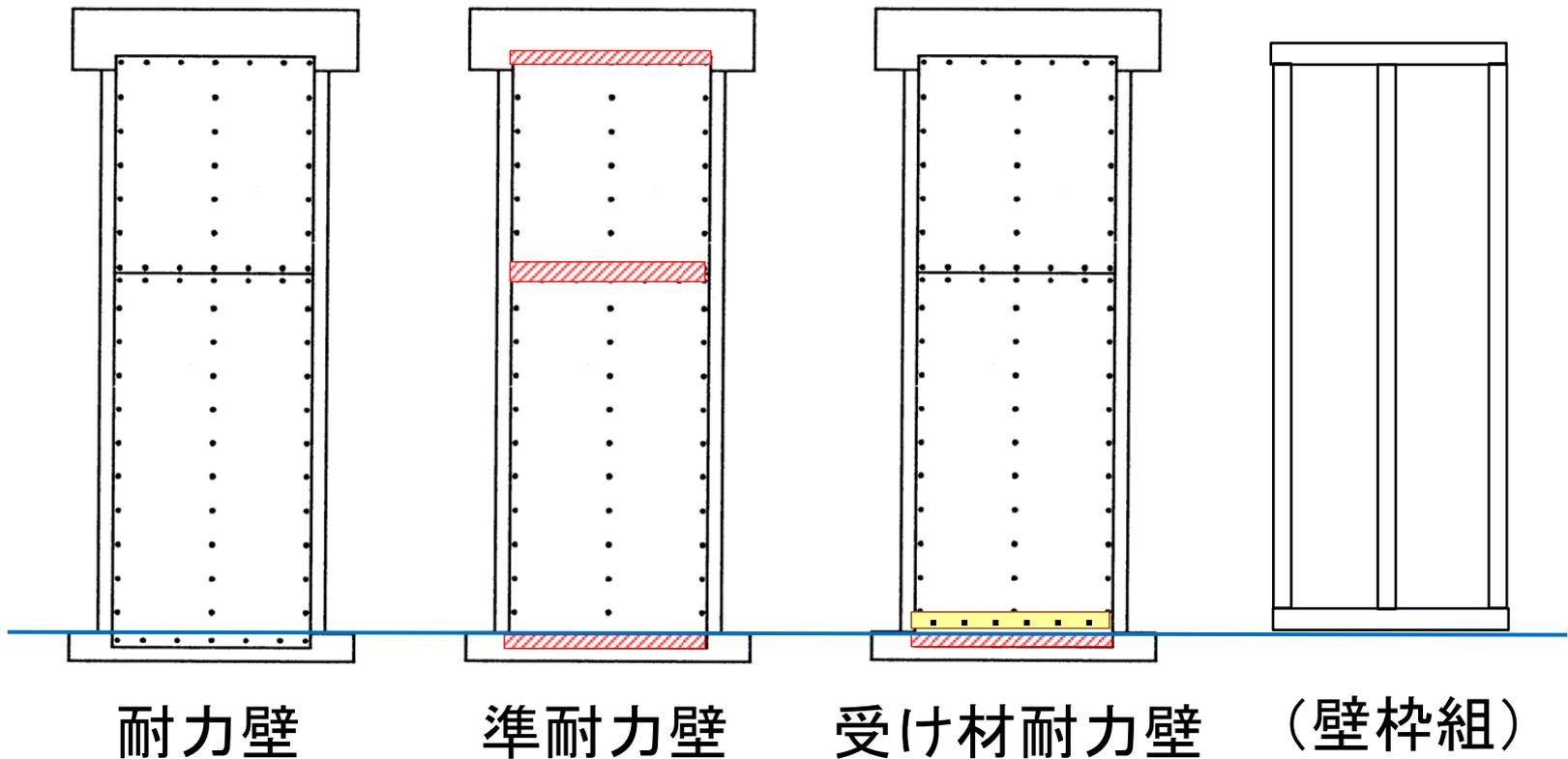
短所：計算がやや複雑で、作業量が多い。

(⇒ 一旦計算シートを作っておけば、2回目からは同じ手順で計算可。)



(耐力壁と準耐力壁)

品確法では、在来軸組構法の内部耐力壁用に準耐力壁等の規定がある。



（部材・構造要素間の接合方法の選択）

木造住宅の各種構造規定や部材・構造要素の許容応力度（許容耐力）は、接合部が先行破壊しないことを前提に決められている。

したがって、接合仕様は部材・構造要素よりも安全余裕が大きくなるように選択するのが原則。

⇒ 接合部は部材・構造要素の1.2倍～1.5倍程度余裕を持たせるのが安全。

（近年は様々な接合金物が市販されていますが、表示耐力が同じでも、実際の耐力特性にはかなり幅があるので、表示耐力ぎりぎりとなる使い方はできるだけ避けた方が無難。）