

2-2-3 阪神淡路大震災以後

Point!

阪神淡路大震災を教訓にして、木造住宅の耐震化は大きく前進することとなりました。一方で、多くの既存住宅が既存不適格となりました。

2000年の法改正の意義

建築基準法制定以降、※①大地震が発生する度に建築物の基準は見直されてきました。各年代の建物は、それまでに発生した地震被害の教訓から当時では最新の耐震基準であったと思われませんが、木造建築については、※②長い間具体的内容に乏しい規定に留まっていました。阪神淡路大震災後の2000年の法改正は、接合部の耐力や建物のねじれの影響等を考慮した基準が定められ、木造建築の耐震関係基準における大きな転換期となっています。

阪神淡路大震災の被害

1995年1月17日に発生した阪神淡路大震災では、木造住宅の倒壊により4000人以上の方が亡くなりました。特に昭和56年以前の木造住宅の倒壊による死者が大半を占めており、昭和60年以後の住宅金融公庫仕様の住宅や、2×4工法の住宅では、被害が相対的に少なかったことが報告されています。古い木造住宅の耐震機構の欠如、具体的な規定・仕様に準じた住宅の一定の耐震性能が示されたといえます。

木造軸組工法以外の構造基準

2×4工法は、同じ木造住宅でありながら、耐力壁で囲まれた区画の面積制限や、耐力壁の配置の偏りに対して水平構面が変形しないよう剛床化する規定が設けられていました。

また、鉄筋コンクリート造や鉄骨造においても、海外からの新しい構造技術として戦後の学術研究が盛んに行われ、構造計算による基準が設けられていました。特にこれらの研究成果は、1981年の法改正では、※③新耐震設計法にまとめられ、その構造安全性能の有効性が震災で確認された形となりました。

木造技術の発展と継承

木造については、日本の伝統的な工法として、その技術力の高さを誇っていますが、阪神淡路大震災の被害によって、耐震性能の脆弱性を露呈することとなりました。大地震は世代を越えた頻度で発生することも多く、大地震の経験と有効な耐震技術を世代間で受け継ぐことは容易ではありません。また、木造技術が職人の手の中にあり、一通りでは説明されない木

※①大地震が発生…  
参照：Chapter7  
…326頁

※②長い間具体的…  
参照：Chapter2-2  
…31頁

※③参照：  
Chapter2-2  
…31頁

質構造の特性が解明されない状態が続いていました。さらに大学等の教育機関、研究機関における構造分野は、西洋から伝来し、戦後特に関心が高まった鉄筋コンクリート造や鉄骨造に集中したこともあり、木構造の技術的な発展・継承が損なわれることとなりました。こうしたことから、木造住宅を手がける設計士においても、最新の木構造については必ずしも熟知しておらず、現場職人等の経験とカンによる施工の常態化が生じていました。

### 木造住宅の供給者側の責務

地震は自然災害とはいえ、阪神淡路大震災にみる被災状況から、「大地震のせいでも多くの人が犠牲になる」というよりも、※①「人が造った建物の倒壊によって犠牲になる可能性」がずっと高いことが分かります。日本の住宅は、現在約4700万戸あり、そのうち耐震基準に満たない住宅は約1150万戸といわれています。このうちの多くが木造住宅になります。木造住宅の既存不適格が多いことの背景の一つには、基準の不整備に関わらず、木造住宅の作り手が基準に甘んじて耐震性に配慮してこなかったことも挙げられます。建物の耐震化にあたって、基準の遵守だけでなく、その仕組みや※②地震に抵抗するメカニズムを理解することが大事です。

2000年の法改正以後、現場では金物が増えたといわれましたが、金物の設置によって、それまでにない耐震性能を付与することを要求したためです。接合部の補強によって接合部から建物がばらばらに壊れる、※③危険な破壊を防ぎます。

※①阪神淡路大震災で亡くなった人の原因は、建物の倒壊による圧死が最大(全体の3/4)であった。

※②地震に抵抗する…  
参照：Chapter2-4  
…50頁～

※③「危険な破壊」  
参照：Chapter2-3  
…44頁～

## 安全な壊れ方

Point!

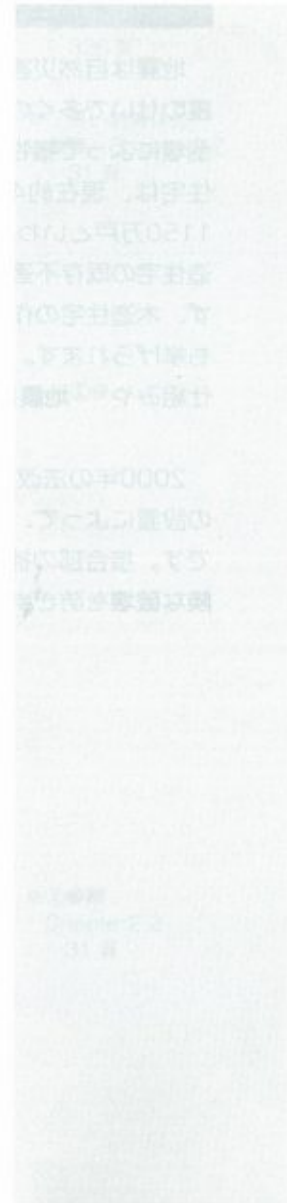
木造住宅は耐力壁先行破壊によって、大地震時における建物の耐震性能を担保するのが基本です。絶対に壊れない建物はありません。

2000年の法改正において、十分な壁量を確保した上で、耐力壁の性能を担保するための仕様規定が見直されました。これは、大地震時における建物の壊れ方について、耐力壁より先にその他の構造要素(床、柱、梁、基礎、接合部)で破壊を生じさせないとする考えによるものです。

耐力壁が破壊するまで耐力を最大限発揮する壊れ方は、安全な壊れ方といえます。大地震において、少しも変形せず壊れない設計となると、非常に不経済な設計となる他、想定を超える大地震の可能性に対して完璧な耐震設計をすることに無理が生じます。

避けなければならないのは、人が逃げる前に建物に押しつぶされたり、接合部が外れて梁などが落下することです。より安全な壊れ方を検証することによって、人命の確保をめざすことが設計の心得となります。

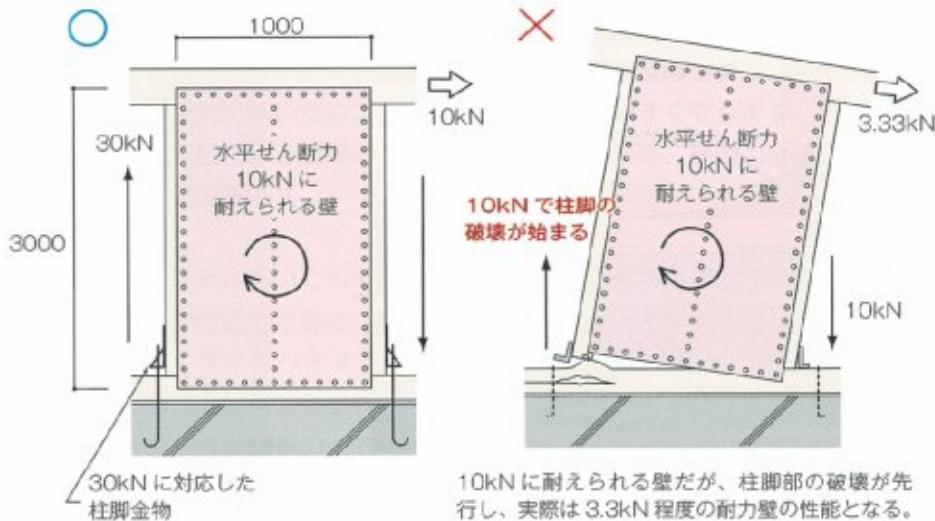
以下に、耐力壁の性能低下につながる危険な設計を挙げます。





2-3-1 接合部先行破壊の危険

図：柱脚の浮き上がりによる耐力の低減



※耐力壁の変形と同時に柱が抜け出してしまう、耐力壁の所定の耐力が発揮されない。耐力壁の抵抗時に接合部は健全（柱が引き抜けない）である必要がある。

耐力壁に力が作用すると柱を引き抜こうとする力が生じます。これに対し、柱頭柱脚金物が抵抗するわけですが、引抜力に見合った金物が設置されていない場合には、柱が浮き上がってしまい、耐力壁の性能は低くなります。

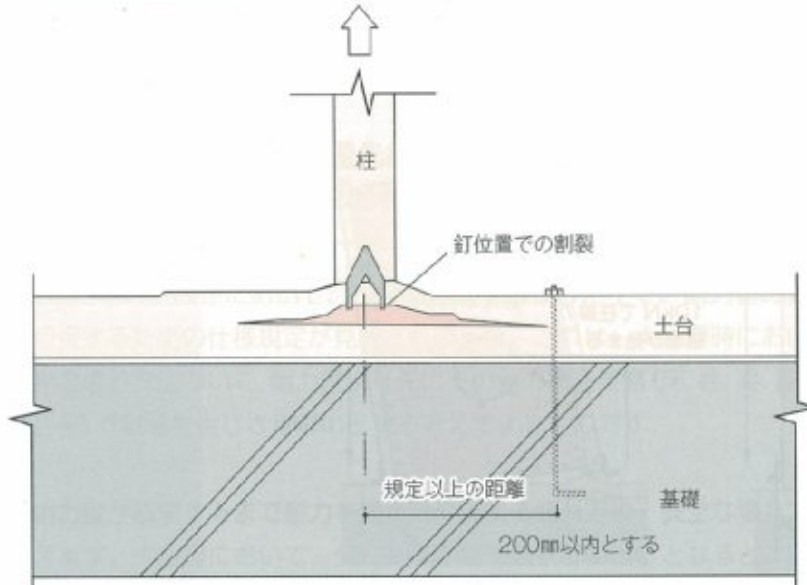
また、柱の引抜力は、適切な金物の選択とともに基礎の抵抗力を確保することによって壁の性能が担保されます。柱の引抜きに対して、土台の曲げ破壊・割裂破壊を防止するために、適所にアンカーボルトを配置します。

柱には引抜力他、2階床や屋根、壁の重量といった※①柱上部から押さえ込み力が作用しています。押さえ込み力が大きい場合には、実際の引抜力は低下し、金物の仕様は小さくなります。

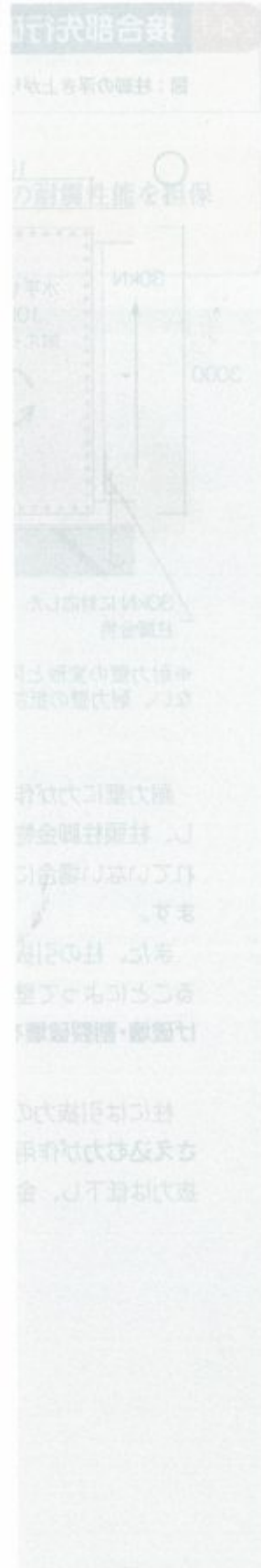


※①参照：  
Chapter6-6...283頁

図：アンカーボルトの不適切な配置による土台の割製破壊



※引抜金物の付近には、土台を押さえるアンカーボルトを設ける必要がある。柱からの設置距離が長いと、柱の引き抜き時に、土台が割製または曲げ破壊する危険性がある。



2-3-2 基礎先行破壊の危険

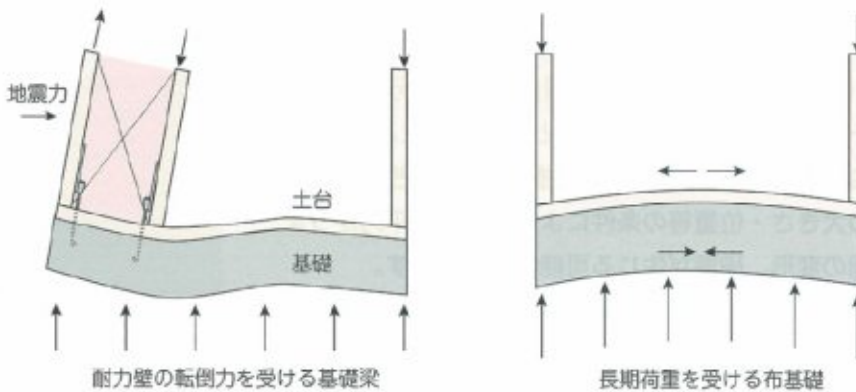
耐力壁が変形し転倒力が作用すると、基礎梁に曲げようとする力が働きます。

基礎の耐力不足により基礎梁が折れてしまった場合には、耐力壁は最大耐力を発揮できないため、建物の耐震性に影響を及ぼします。特に無筋基礎は曲げ抵抗に弱いため、大地震時に破壊されやすくなります。

床下換気口による基礎の欠損、基礎梁の非連続性、高耐力壁直下の基礎にも注意が必要です。

基礎は常時においても地面から力を受けています。柱間が離れていると、土台には曲げ応力が働き、中央に床下換気口がある場合など、特にひび割れが生じやすくなります。ひび割れから水が侵入すると、鉄筋が腐食し、基礎梁の強度が落ちる恐れがあるため、初期の時点でひび割れの補修を行うことは、性能確保の上で重要です。

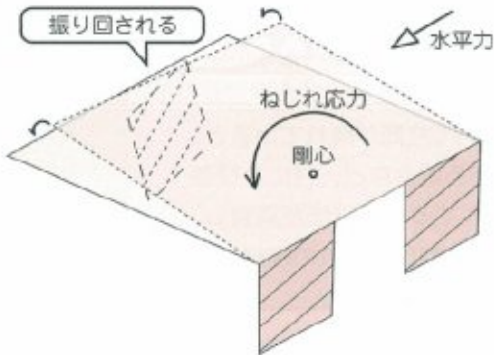
図：基礎梁の曲げ応力



2-3-3 偏心によるねじれ変形の危険

耐力壁の配置が偏っていると、地震力に対する抵抗力の中心(剛心)と重さの中心(重心)のずれが大きくなります。このように偏心が大きい場合には、ねじれ応力が生じ、壁の少ない側での変形が増大し、接合部等から破壊が生じやすくなります。

図：偏心により生じる現象



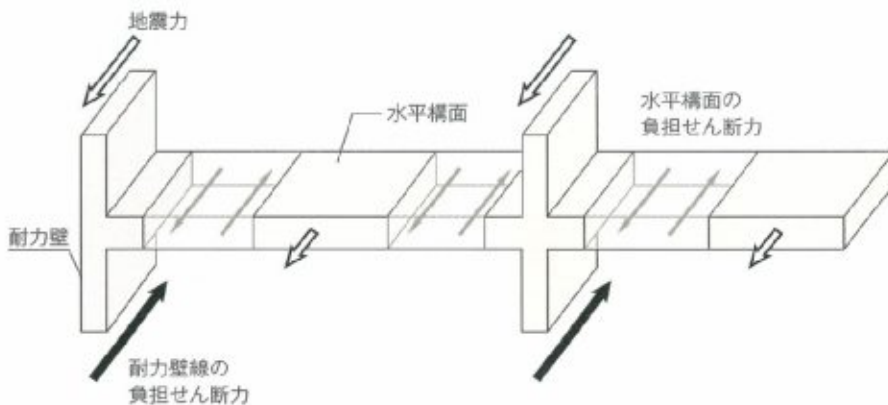
この図は、耐力壁の配置が偏心している場合、地震力に対する抵抗力の中心(剛心)と重さの中心(重心)のずれが大きくなり、ねじれ応力が生じ、壁の少ない側での変形が増大し、接合部等から破壊が生じやすくなることを示しています。

2-3-4 水平構面の変形の危険

2000年の法改正で、耐力壁の釣り合い良い配置に関して四分割法が規定され、建物の偏心が一定以下に抑えられることとなりました。しかし、水平構面に関する明確な規定がないため、床の仕様やL字型、凹型などの不整形な形状、吹抜けの大きさ・位置等の条件によっては、水平力がうまく分配されず、水平構面の変形、破壊が生じる可能性があります。

※①前面道路側の車庫+玄関によって壁がほとんど設けられないプラン等では、力の伝達が複雑で危険な破壊が生じやすいため、水平構面や接合部を含む構造検討によって安全性を確認する必要があるといえます。

図：耐力壁と水平構面の抵抗機構概念図



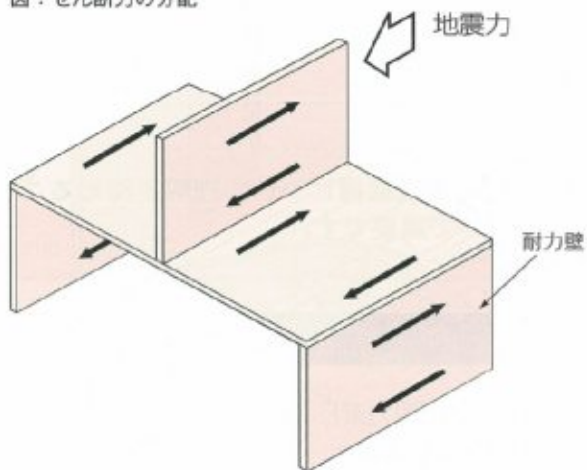
水平力やねじれ力に対して、建物の耐力壁が水平構面を介して釣り合っている必要がある。

この図は、耐力壁と水平構面の抵抗機構を示しています。地震力に対して、耐力壁が水平構面を介して釣り合っている必要があることを示しています。

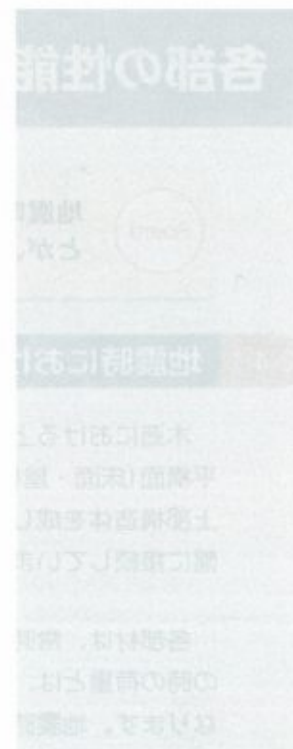
※①「前面道路側の車庫+玄関」参照：Chapter1…16頁



図：せん断力の分配



- ・2階床面に作用する地震力及び2階の耐力壁から伝わるせん断力は、2階床面を通じて1階耐力壁に分配される。
- ・2階耐力壁直下に柱がない場合には、水平構面でやりとりする力が大きくなり、高い水平構面の剛性が必要となる。





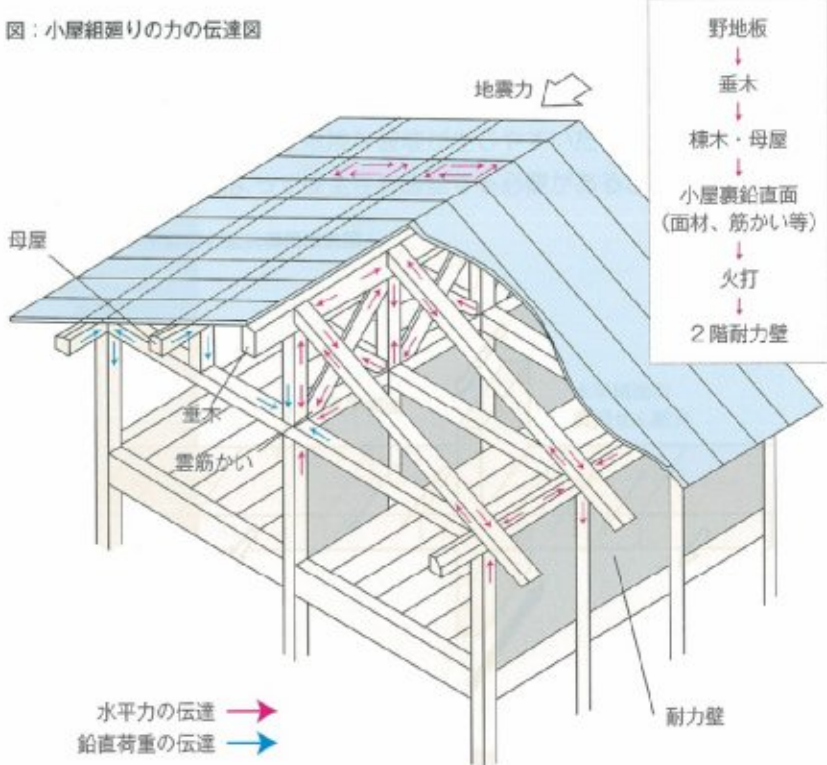
# 各部の性能と役割

**Point!** 地震時における力の流れ、各種耐力要素の抵抗機構について理解を深めることが、診断及び設計時の適切な判断において重要です。

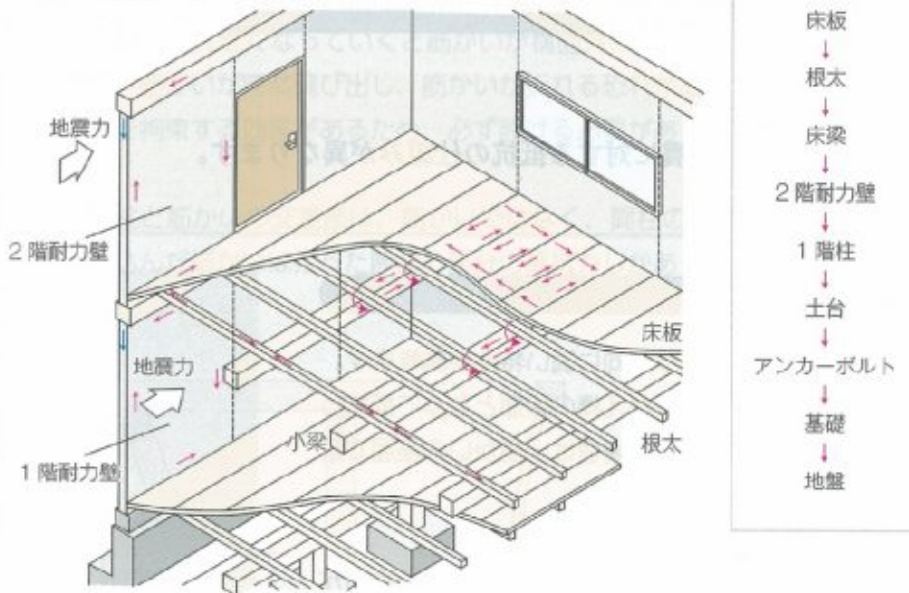
## 2-4-1 地震時における力の伝達の仕組み

木造における上部構造は、軸組(柱及び横架材)、鉛直構面(耐力壁)、水平構面(床面・屋根面・小屋面)に大別できます。各部材は接合部によって上部構造体を成しており、上部構造はアンカーボルト及び基礎を介して地盤に接続しています。

各部材は、常時においては、上からの荷重を周辺部材に伝えますが、この時の荷重とは、建物の自重(固定荷重)及び人や家具の重量(積載荷重)になります。地震時においては、これに地震力が加わりますが、地震力は水平方向に作用する力になります。水平力は水平構面から耐力壁へと伝達され、周辺の軸組へ流れます。また、耐力壁や水平構面の外周部材にあたる軸組は、作用する圧縮力や引張力を負担します。



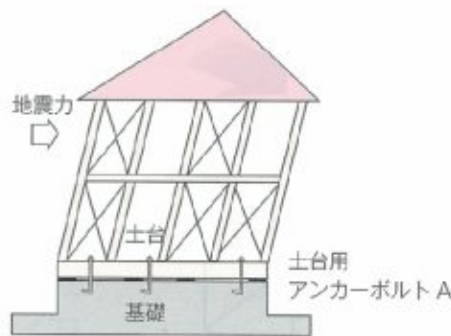
図：2階床組廻りの力の伝達図



力は隣接する部材、構面にスムーズに流れることが重要です。部材や耐力壁のスパンが長くなると、これを支持する部材・構面に流れる力が多くなり、負担が大きくなります。力の伝達経路で破壊や変形を生じさせないように、接合部や水平構面の剛性を確保する必要があります。

### アンカーボルト

アンカーボルトは地震時に上部建物の浮き上がりやズレを防止します。



- 耐震診断において、精密診断法1の適用条件として、アンカーボルトの設置が定められています。ただし、既存建物に設置されていない場合には、補強時に設置することで、精密診断が可能です。

### 小屋裏鉛直面

屋根面に作用した水平力を2階の耐力壁に伝達するにあたって、軸組だけでなく、小屋裏鉛直構面を設け、小屋裏の変形を抑えます。



※「小屋裏鉛直面」参照：Chapter3-3-3 ...89頁

2-4-2 各種耐力壁の抵抗の仕組み

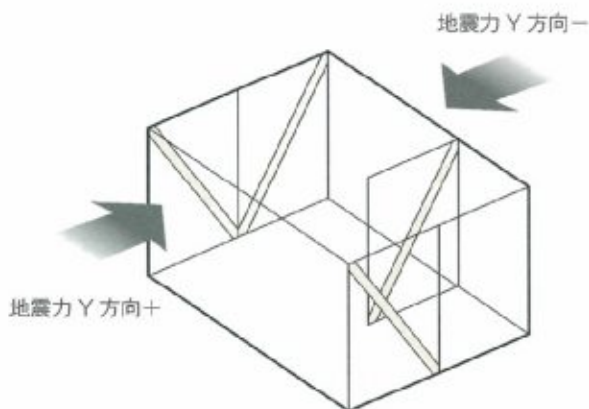
Point!

耐力壁の種類によって、地震に対する抵抗の仕組みが異なります。

1. 筋かい耐力壁

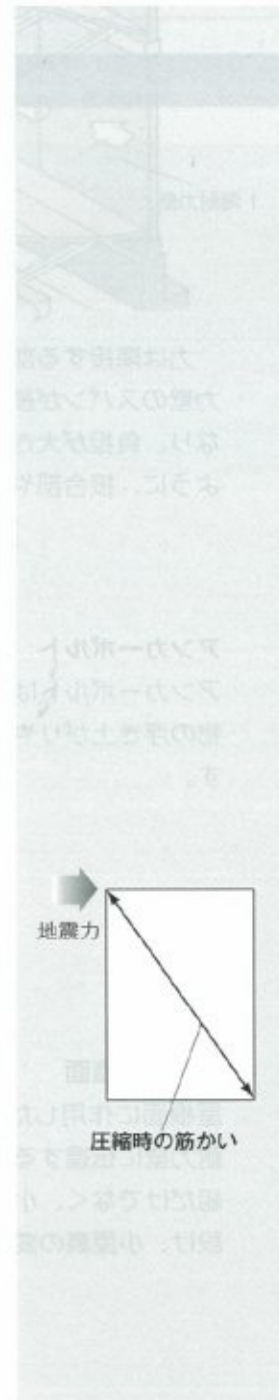
木造の筋かいは、圧縮方向に強く、引張り方向に弱い特性があります。力の作用する方向に対して、筋かいがつかえ棒の状態となって抵抗しているのは、圧縮筋かいです。圧縮力で耐える場合は、筋かいの座屈で耐力が決まることが多いです。

建物に組み込む筋かい全てを同じ向きで入れてしまうと、逆向きに力がかった場合には、抵抗力が低下します。したがって筋かいは原則一対を1組として入れるようにします。



圧縮筋かい

筋かいは力の向きに対抗する向きで、筋かいの小口面で力を受けます。力を押し返す時、次の①～④のような現象が起きると筋かいは耐力を失います。また、廻りの部材を破壊し、建物を危険な状態にする恐れが生じます。

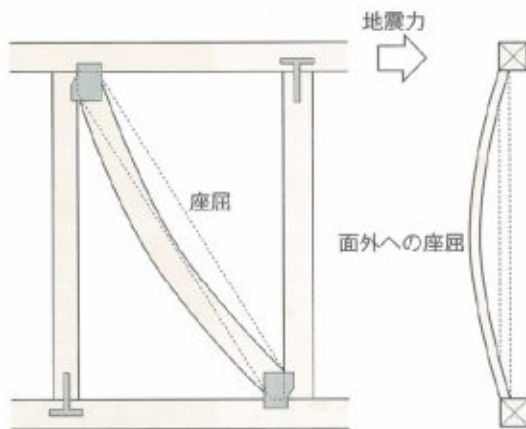




## ①間柱無し(化粧筋かいの場合等)

圧縮力が大きくなっていくと筋かいが構面外へ曲がって※①はらみ出します。筋かいが突然飛び出し、筋かいが折れる恐れがあります。間柱は筋かいを拘束する効果があるため、必ず設ける必要があります。

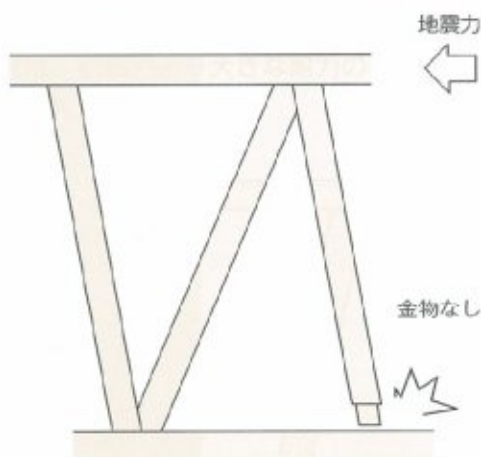
間柱と筋かいの交差部は、筋かいではなく、間柱の方を欠き込みます。欠き込んだ筋かいは残った断面の部分の抵抗力しかありません。



## ②柱脚部の引き抜け破壊

柱脚金物が設置されていないため、柱が引抜かれています。耐力壁が地震力を受けて平行四辺形に変形する時、脚元が引張られます。

※②引抜力の大きさに応じた適切な金物を設置する必要があります。



※①「はらみ出し」  
参照：Chapter1…21頁

※②引抜力  
建物端部などでは引抜力が相対的に大きくなるため、注意が必要です。



## 2-4-3 各種水平構面の抵抗の仕組み

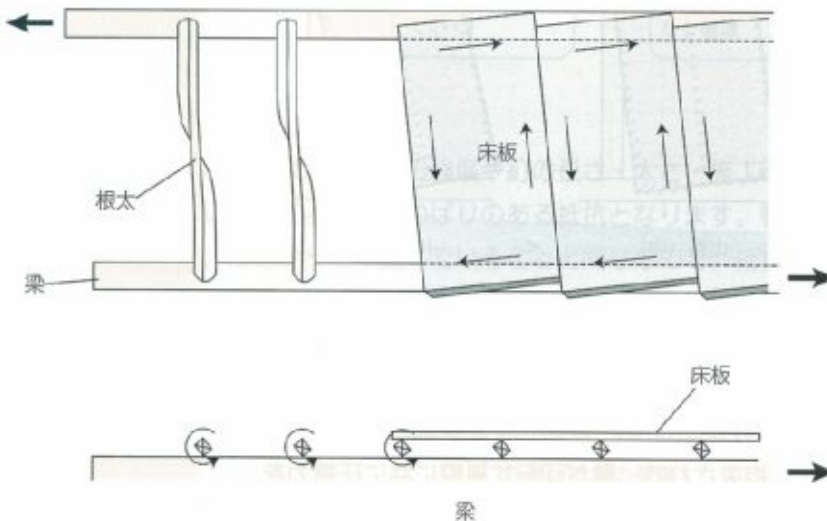
### 1. 面材張り水平構面

面材張り水平構面の性能は、根太・垂木仕様及び、面材仕様によって異なります。

#### ①根太・垂木

根太の仕様は、転ばし根太、半欠き根太、落とし込み根太があり、それぞれ地震時の耐力や変形の大きさが異なります。

床面に地震力が加わると、力は、梁→根太→面材と伝わります。このとき、面材-根太間にずれ、また根太-梁間にずれが生じ、転ばし根太はねじれるように回転します。



半欠き根太は、転ばし根太よりもねじれによる回転は小さくなり、落とし込み根太では、大入れ仕口とした場合にはねじれません。根太間に転び止めをしっかりと密着させて設ければ、転ばし垂木のねじれを抑えることができます。

尚、屋根面の垂木は、床面の根太と同様の性状で地震力に抵抗します。



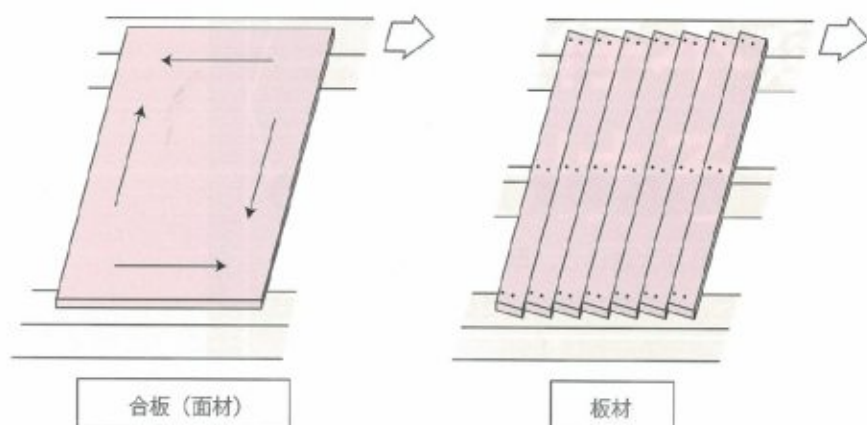
## ②面材

床材の仕様において、面材と板材では、性能が大きく異なります。

面材は、面材張り耐力壁と同じ抵抗の仕方です。面材自体は十分硬く(剛性が高く)、釘打ちの性能で耐力壁・床面の性能が決まります。

この抵抗機構では、面材が細長くなるほど釘を打てる本数が少なくなるため性能が低下します。したがって板材の性能は低くなります。水平構面の性能を上げるには、梁組み内の火打やプレースの耐力とあわせて性能が確保される場合が多いといえます。

床全体の性能は、①根太・垂木及び②面材を両方考慮し決まります。



## 面材張り外周部材の性能

耐力壁、床面、屋根面といった面材で構成された面の枠(額縁)にあたる部分は、地震時には圧縮力・引張力に対応しなければなりません。仕口や継ぎ手箇所では、これらの力が作用した時に外れやすいので、適宜金物で補強をする必要があります。高耐力の壁や水平構面の場合、外周部材に作用する力は大きくなるので、仕口や継手には、ホールダウン金物等の高耐力の金物を要する場合があります。

詳細な構造検討を行わない場合は、高耐力の金物に頼らないように設計することが肝要です。大きな力がかかるということは、そこが破壊した場合、危険性が増大することを意味するからです。

3-3-2 下屋を有する建物

Point!

下屋の接合部の耐力不足による先行破壊を防止します。

下屋の注意点

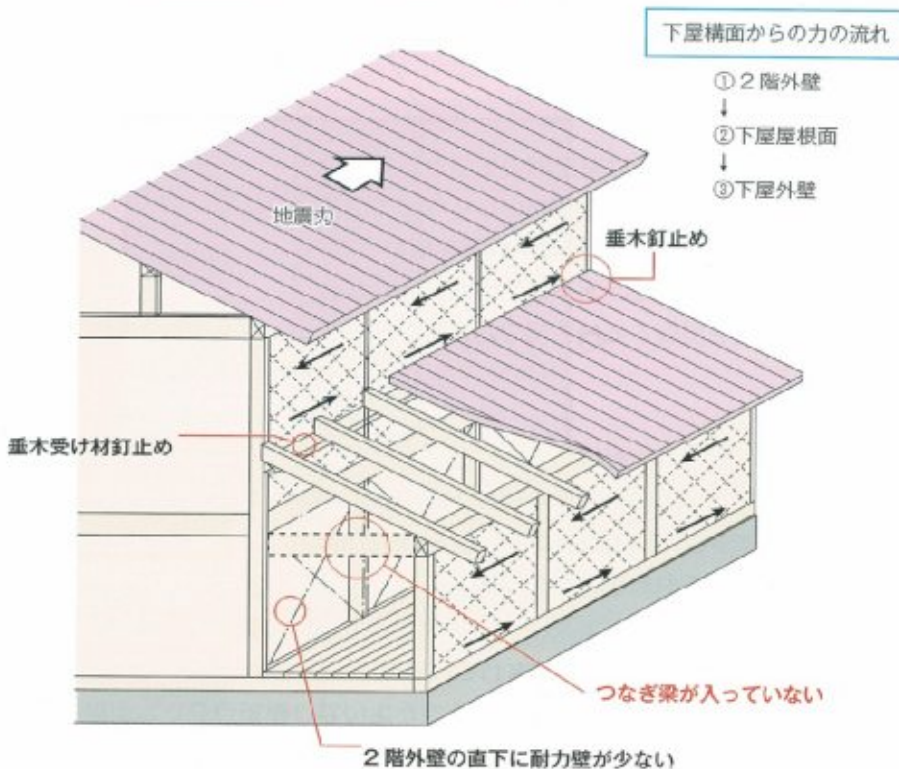
以下のチェック項目に該当する場合には、特に注意が必要です。

Check：下屋の接合部の耐力不足

下屋の垂木は、一般に釘止め程度で、水平力が加わった場合には容易に釘が引抜かれてしまいます。また、下屋の軒桁と主屋に架かるつなぎ梁がないこともあり、この場合には、より多くの力を釘だけで負担しなければならない状態となっています。耐力壁や水平構面の耐力に関わらず、先行破壊しやすい構造上の弱点といえます。

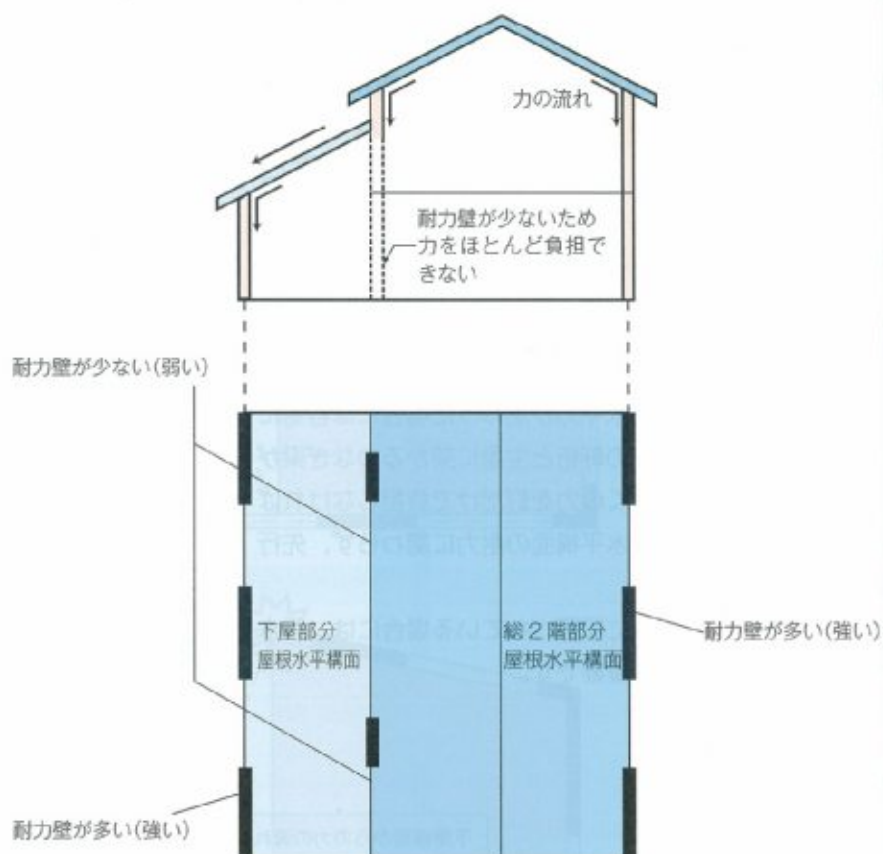
垂木が垂木受け材を介して主屋の外壁に設置されている場合には、垂木受け材の接合部が先行破壊しないことが重要です。

図：下屋を有する建物において、注意を要する仕様





## Check : 2階の外壁直下に壁が少ない



下屋は、主屋と外部空間の緩衝帯あるいは室空間の拡張として設けられることが多く、下屋と主屋との境界部分に壁が少なくなっています。そのため、2階から伝達される地震力が下屋の屋根面を伝わって、下屋の耐力壁に伝達されます。したがって、水平構面に高い剛性が必要であるとともに水平構面の性能を担保する接合部の耐力確保が重要となります。

しかしながら、一般的な下屋の仕様は、転ばし垂木に面材・板張りの仕様が多く、火打ちが設置されることも少ないため、下屋の水平構面の仕様は総じて低くなっています。<sup>※①</sup>地震時には下屋部分の変形・損傷が大きくなり、下屋が引きちぎられる場合があります。



※①「過去の震災による木造住宅の被害」  
参照：Chapter1-1  
…19頁…



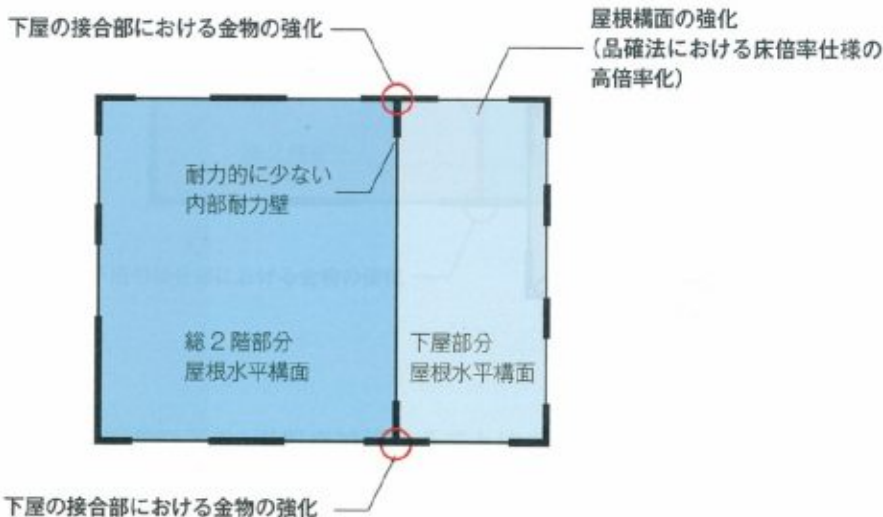
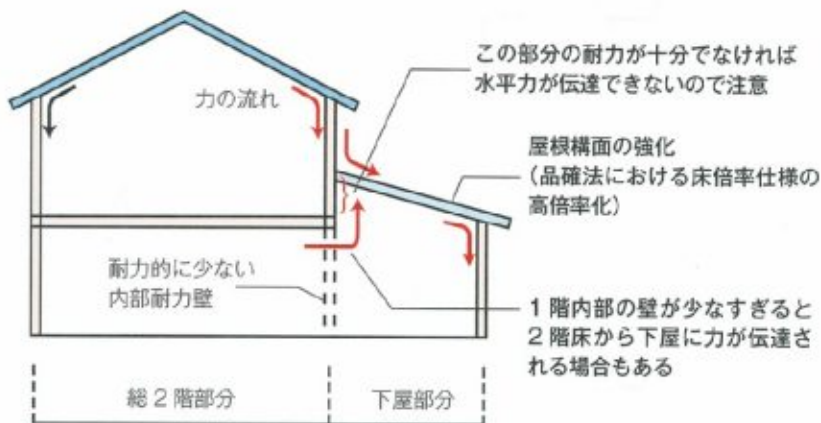
補強

Point!

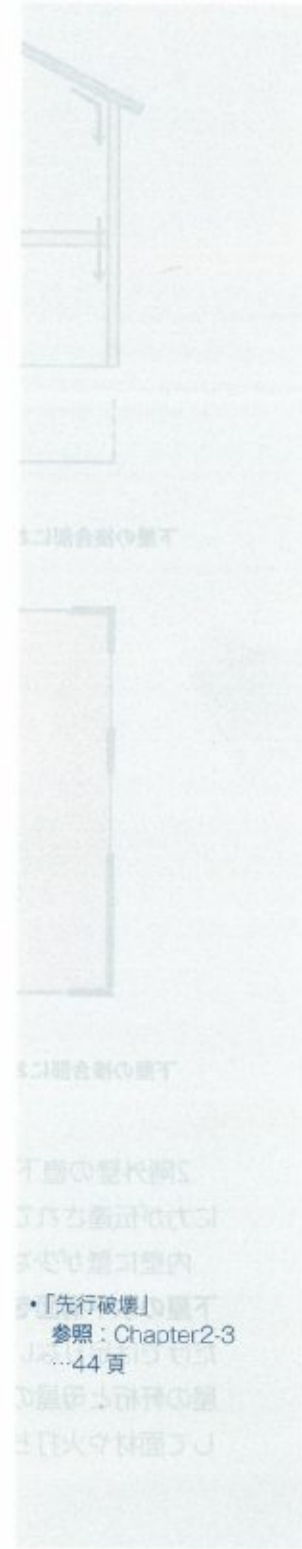
接合部及び水平構面に対し、十分な安全性を担保した補強を行う。

補強例① 接合部の補強および水平構面の高耐力化

下屋は床面とレベル差のある水平構面であり、壁を介して水平構面を形成する機会が多いため、力の伝達がスムーズに行われるよう施工方法に十分注意する必要があります。



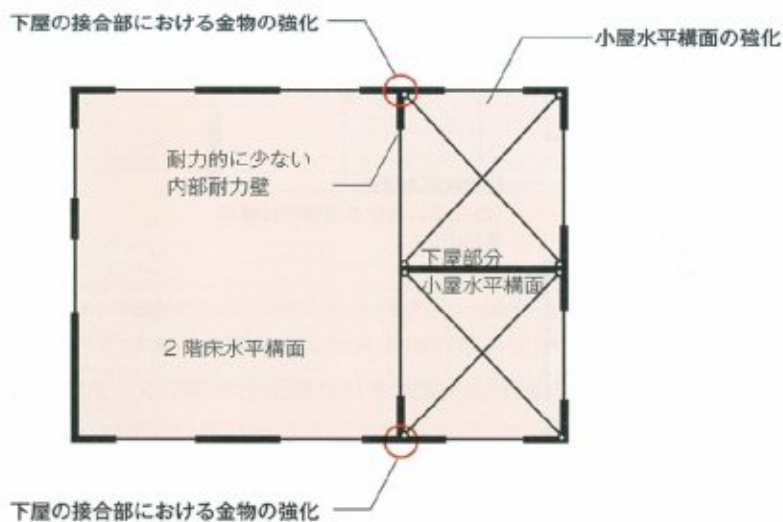
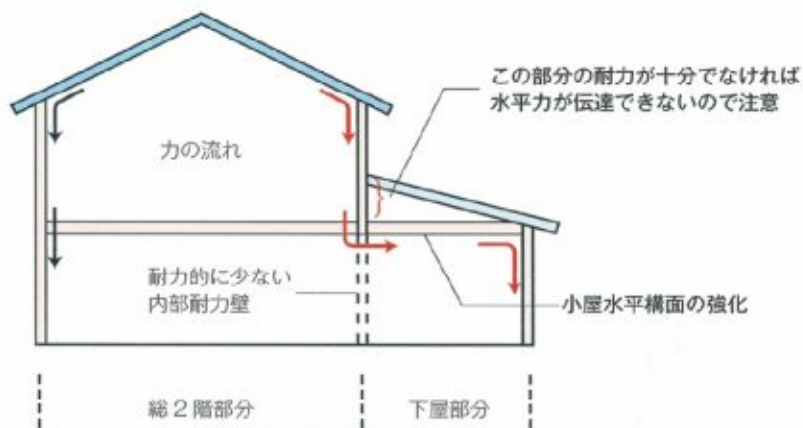
連続した水平構面によって力の伝達に支障がないよう、下屋屋根—2階床間の壁を水平構面と同等以上の補強を行います。下屋の垂木は、受け材を外壁耐力壁の上からビス等で留めつけます。下屋の付け根の接合部は、水平構面より先行破壊しないように十分な耐力のある金物で補強します。



・[先行破壊] 参照：Chapter2-3  
…44頁

## 補強例② 2階床構面を下屋の小屋構面と連続させる。

下屋に水平天井を設けられる場合には、図のように2階床構面を延長させる形で水平構面を補強します。また接合部も忘れずに補強します。



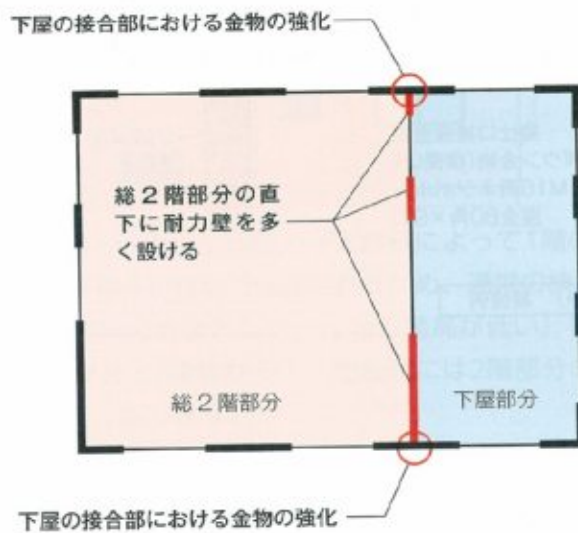
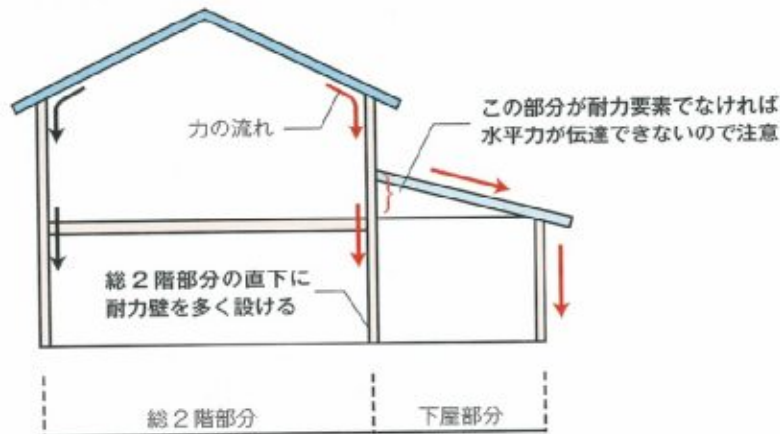
2階外壁の直下に壁が少ない場合、地震力は下屋の屋根面及び2階床面に力が伝達されて下屋の外壁及び内壁へ流れます。

内壁に壁が少ない場合には、下屋の外壁により多くの力が流れるため、**下屋の水平構面を十分強化する必要があります。**この場合、屋根面の強度だけでは足りないことが多く、小屋水平構面の強化も必要といえます。下屋の軒桁と母屋の胴差しにつなぎ梁が無い場合もありますが、新たに設置して面材や火打ち材、ブレース等で補強します。



**補強例③ 下屋の取り付く2階外壁直下に耐力壁を設ける。**

2階からの力を最もスムーズに下階へ伝える補強といえます。



総2階部分直下の1階壁を補強することによって、下屋の外周耐力壁の負担が小さくなります。また、それに伴って下屋水平構面の負担も軽減されます。間仕切りの変更を伴う場合が多いため、意匠計画と合致する必要がありますが、一般に施工規模を小さくする補強計画といえます。