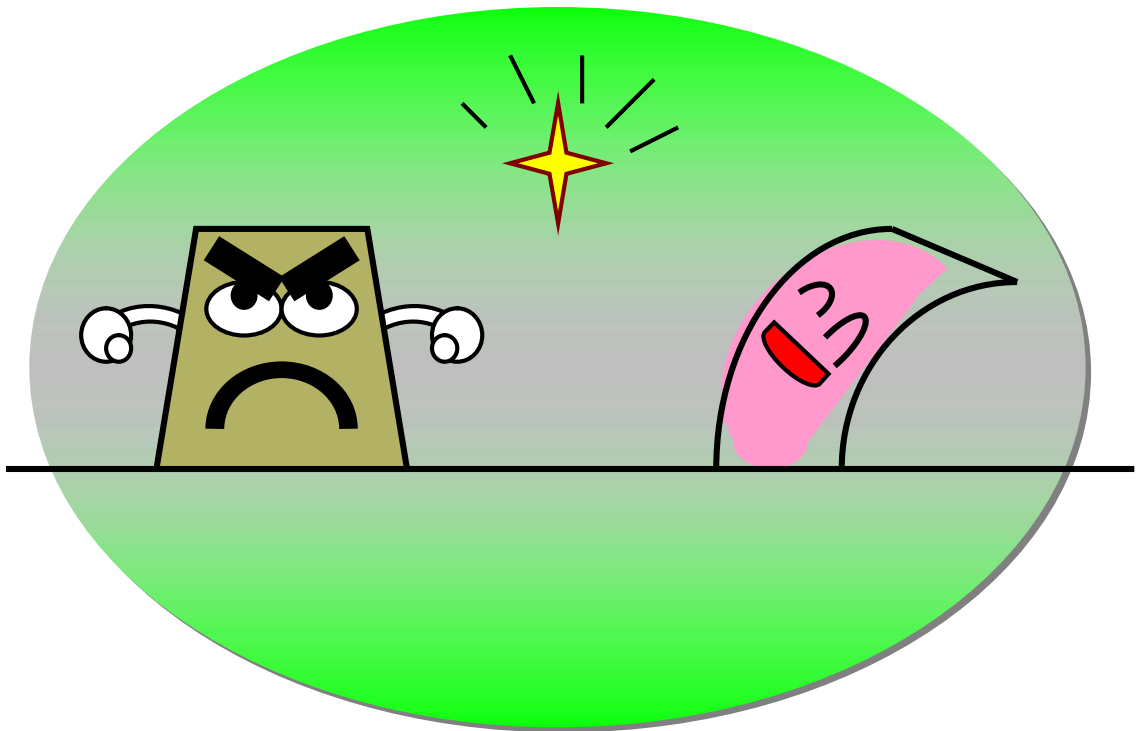


耐震設計とは

～耐震設計の基礎知識～



コンテンツ

この冊子は、耐震設計や耐震改修など、建築物が地震に対抗するためにどのような設計や工事をすればよいか、その基本的な考え方について、一般の方にもわかりやすくその概要をご紹介します。



目次

◆耐震設計とは	1
◆耐震診断のあらまし	8
◆主な耐震補強工法	16
◆免震・制震工法	26
◆非構造部材等の耐震対策	28
◆まとめ	31
●コラム1 ～良い壊れ方、悪い壊れ方～	7
●コラム2 ～建物のバランスについて～	12
●コラム3 ～耐震診断の結果はどう読む？～	15
●コラム4 ～間接接合部について～	21

耐震設計とは

○建物への地震力のかかり方

地震動は「縦ゆれ」と「横ゆれ」があります。
建物が地震力を受けると、それぞれ、「上下」「左右」にゆさぶられることとなります。

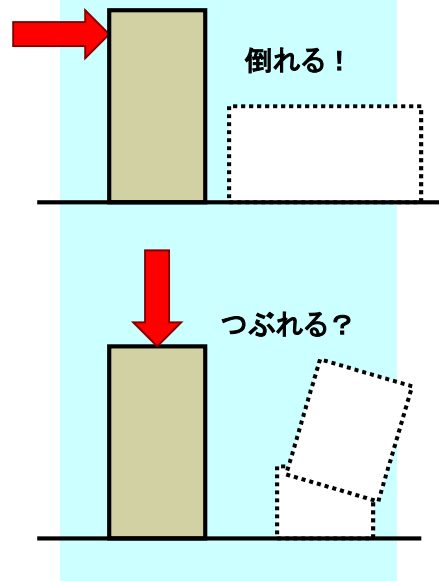
ところで、建物が倒壊するというのはいかなる状態なのでしょう。「倒れる」はともかく、「つぶれる」というのは、何か上から力がかかって、建物がぐしゃりとなるようなイメージがあります。

建物は、建物自身の重量や家具、人など、上からの力を常に受けており、これに対抗できるように設計されます。よって、上からの地震力が加えられることによって、一気に建物がつぶれることはあまり考えられません。

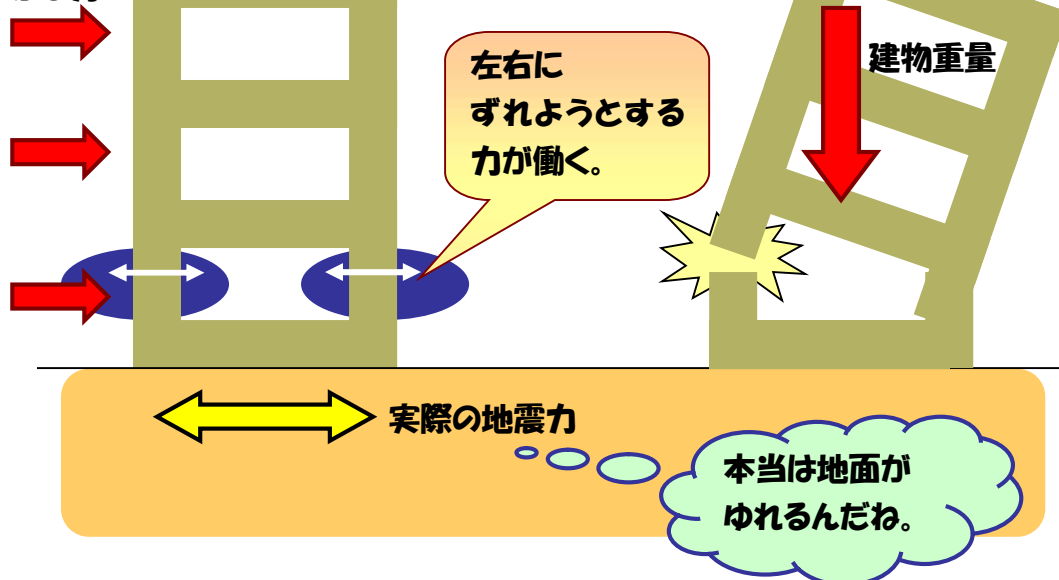
むしろ、上からの力を常時支えている柱や壁が、地震の「横ゆれ」＝横からの力によって破壊されることにより、上階の建物重量を支えられなくなって建物全体が倒壊する、という壊れかたをします。

したがって、**耐震設計では、地震を「横ゆれ」の力としてとらえます。**

地震は縦ゆれと横ゆれだが…



建物にかかる力

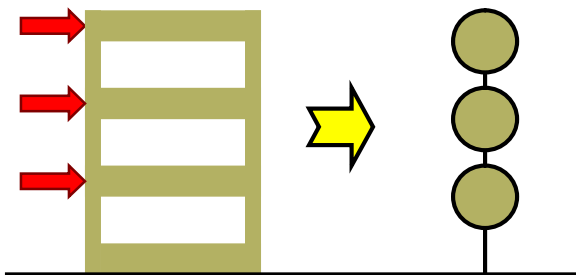
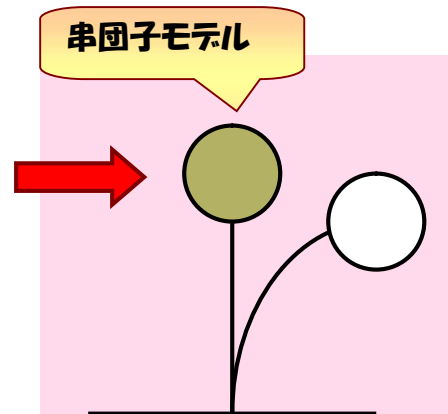


○串団子モデル ～頭の重いもの、足の長いもの～

針金の先に、串団子がささったものを想像してみてください。団子（頭）を横から押すと、どのようにゆれるでしょうか。

頭の重いものや、針金（足）の長さの長いものは、大きくゆれます。また、足の柔らかいものは、ゆっくりと大きく、固いものは早く細かくゆれます。

つまり、建物のゆれ方は地面のゆれ方と同じではなく、建物の持つ特性（＝固有周期）によってゆっくり大きく揺れたり、細かくゆれたりするのです。



耐震設計では、建物各階の床部分に団子があるものと仮定して、各階ごとに地震力を作用させ、建物のゆれ方を検証します。

○地盤からの地震の伝わり方

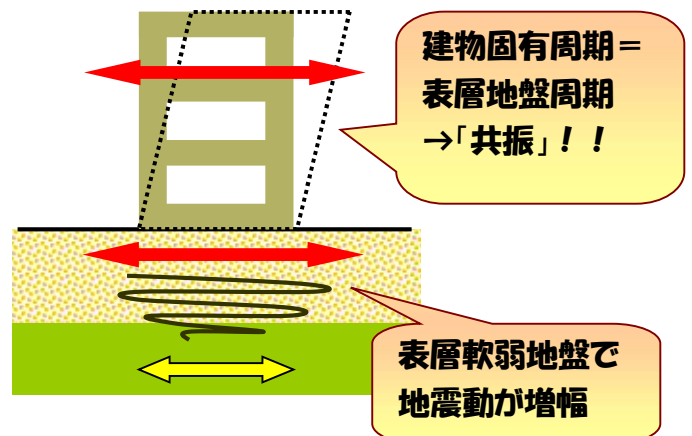
地震動は、地中深くから地表面に到達してきますが、そのゆれは、地中深くのゆれのままでなく、地表面の地盤の状態によって増幅され、建物に伝わります。

現在の耐震設計では、地表の地盤を次のように分類しています。

地盤の種別		ゆれ方（地盤の固有周期）
第1種	非常に固い（岩盤など）	↑ 早い（0.4秒） 中間（0.6秒） ↓ ゆっくり（0.8秒）
第2種	その他	
第3種	非常に柔らかい（埋立地など）	

地盤が軟弱になり、そのゆれ方がゆっくりになるほど、地盤と建物のゆれ方が一致する「共振現象」のおこる可能性が高くなります。

共振現象がおこると、建物が非常に大きくゆさぶられ、耐震設計上危険です。このため、地表面の地盤の状態を、作用する地震力に影響する要素として評価します。



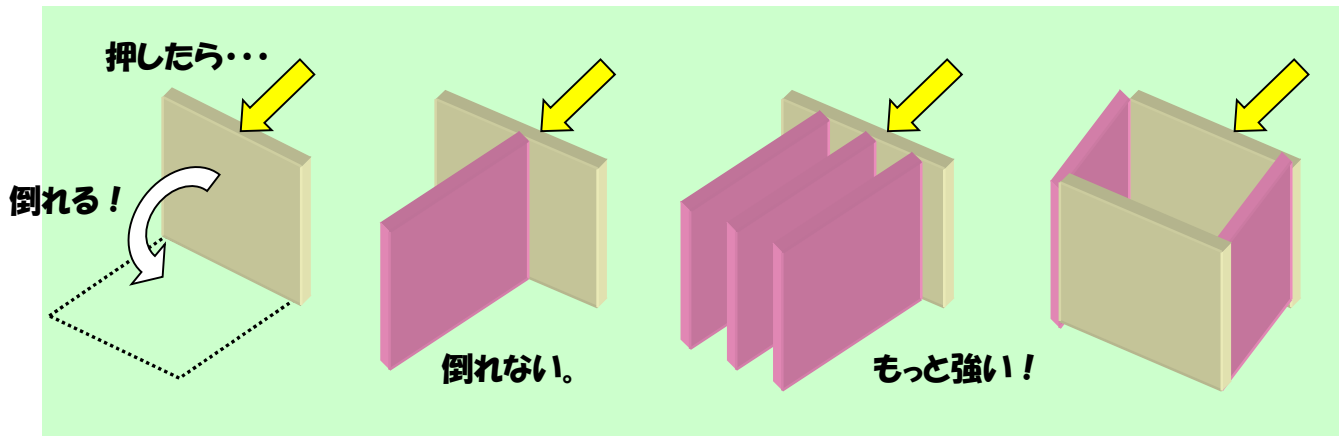
○地震に耐える構造要素

では、耐震性を持たせるためには、建物をどう設計すればよいのでしょうか？
今まで見てきたように、地震力を「横からの力」ととらえると、横から押されても倒れないような要素で対抗すればよいことがわかります。

それでは、建物を構成する部材で、そのような耐震対抗要素とは、いったい何でしょうか？

そうです、「壁」の要素です。力の方向と平行にあるものがこれにあたります。

例えば、1枚の壁をイメージしてください。力の方向に直行して壁を立てた場合、力がかかると、壁は簡単に倒れてしまいます。しかし、この壁の背に、力の方向と平行な壁を立てればどうでしょう。倒れませんね。1枚ではなく、2枚、3枚とたくさん壁を立てればよりしっかりします。箱形にしてもいいですね。

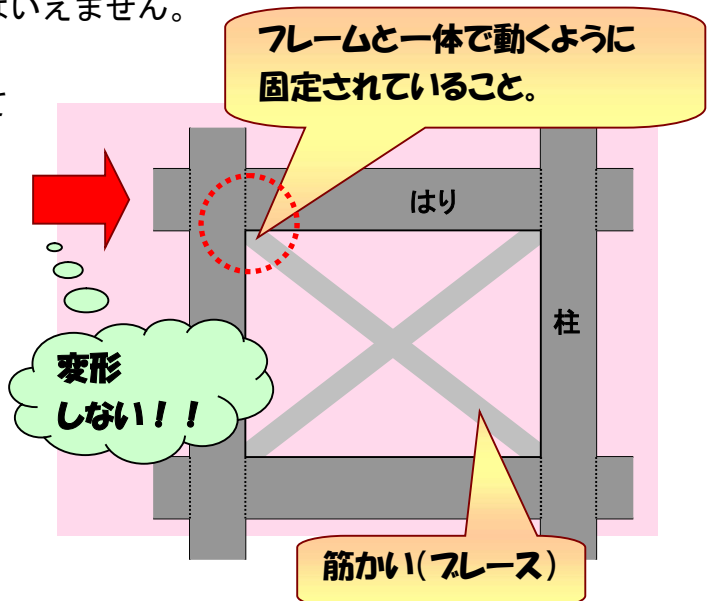


ところで、「建物って壁もあるし、ちゃんと箱の形をしているんじゃないの？」
と思いませんか？確かにそうなのですが・・・

壁にもいろいろあります。ここでいう「壁」とは、地震に対抗できる「耐震壁」
のことです。力を受けて、すぐに変形してしまう弱い材質の壁材や薄い壁、大きな穴が開いている壁などは、耐震壁とはいえません。

なお、耐震壁が建物の耐震要素として
きくためには、壁周囲の柱・はり
(=フレーム)と壁が一体化し、
建物と一緒に動く必要があります。

また、壁と同様のはたらきをする
ものとして、筋かい(ブレース)が
あります。筋かいがあることで、
フレームが変形しないからです。



○柔剛論争！！

先ほど見たように、非常に大ざっぱにいうと、壁の多い建物ほど耐震性が高いことがわかりました。このような建物は、「ガッチリ」した構造であり、力に対してその強度で抵抗することから「強度型」とか、「剛な建物」などと呼ばれます。

一方、柳の枝のように、しなやかに変形することで、地震に耐えるという考え方もあります。このような建物は、「じん性型」とか、「柔な建物」などと呼ばれ、「強度型」だと設計想定以上の力を受けたときに”ポッキリ”折れてしまうのに対し、ねばり強く曲がりながら地震のエネルギーを吸収することで抵抗します。

どちらのタイプがより良い、ということはなく、昔から「柔剛論争」として議論されてきました。実際には、建物の用途や使い方、構造種別、高さ、規模などによって、設計方針を決めていきます。



○耐震設計の要求クライテリア（基準）

地震がきたとき、耐震設計をしていれば、建物は絶対に壊れないのでしょうか。実は、そうではありません。

例えば、巨大地震がきたとき、絶対に壊れない建物を造ることは、地震の大きさがわかっているならば、工学的には可能です。しかし、大変なコスト（建設費）がかかりますし、一般的に建物の使い勝手も悪くなります。

いいかえると、建物が存在する間に遭遇するかもしれないという巨大地震に対して、これに備えて絶対に壊れない設計をすることは、不経済・非効率という面もあるのです。

そこで、建築基準法では、地震の大きさや遭遇する確率によって、建物に要求される耐震性の性能基準（クライテリア）を区分しています。

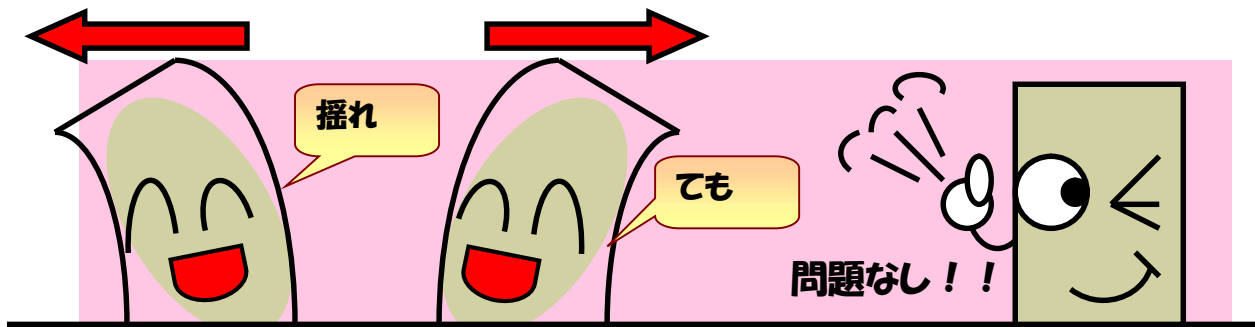
地震の大きさ	発生頻度	要求クライテリア
中地震	まれに発生 耐用年数中に数回遭遇	建物が損傷しない
大地震	極めてまれに発生 耐用年数中に1回遭遇するかもしれない?	人命が失われない

○ 1次設計、2次設計という考え方

建物に要求される性能について、もう少し詳しく見ていきましょう。

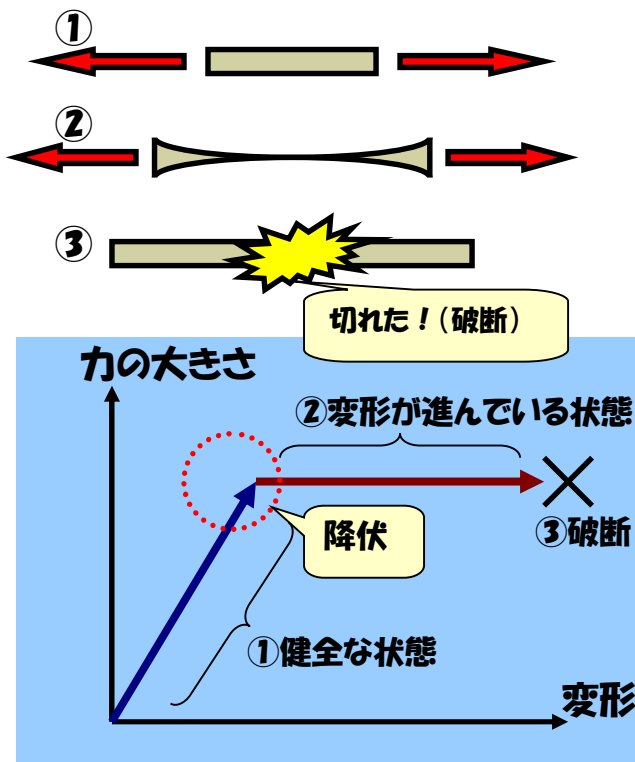
「建物が損傷しない」というのは、その建物が、地震で被災した後も、仕上材などの軽微な補修だけで、続けて使用することが可能な健全な状態を維持できることをいいます。

このように建物を設計することで、数回遭遇するとされる中地震がもし本当に起こっても、そのたび莫大な補修や建て替えをしなくてすむようになります。



それでは、「損傷しない」とは具体的にどういう状態なのでしょう？

例えば、構造材の一つである鉄筋を両側から引っ張ったとき、しばらくはもちこたえますが、どんどん大きな力をかけていくと、力の大きさがある一定以上になったとき、それ以上力を大きくしなくても鉄筋がどんどん伸びていってしまい、最後には”プチン”と切れてしまいます。

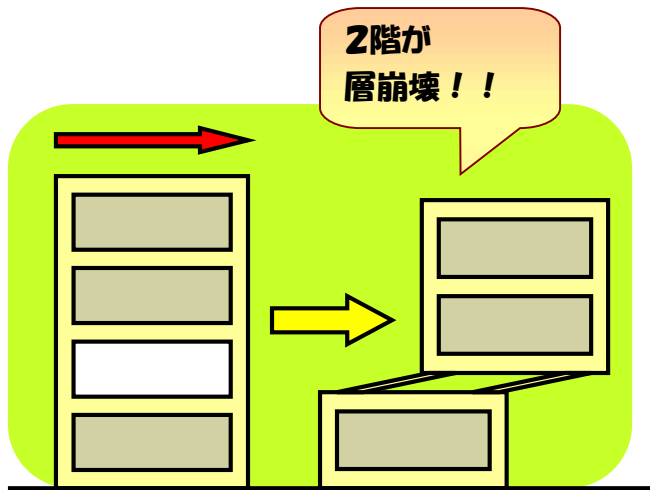


鉄筋が伸びたり変形して元の形に戻らなくなったら、これは「健全な状態に戻らない」、ということになります。

このような状態を「^{こうぶく}降伏」する、といいます。

つまり、「建物が損傷しない」というのは、構造材の量を増やしたり、強い材料を使って、建物を作っている構造材が「降伏」しないように全体を設計することなのです。

これを、「弾性設計」、「1次設計」などと呼びます。



一方、「人命が失われない」というのは、どういう状態なのでしょう？

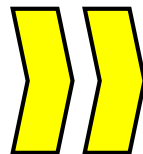
これは、建物に損傷を生じても、少なくとも層崩壊しない、という状態をいいます。

層崩壊というのは、ある階がぺしゃんこになってしまうことです。

『建物への地震力のかかり方』を思い出してください。

柱などが横から力を受けて損傷し、上の階の重量を支えられなくなったら、建物は層崩壊を起こします。

このようなこわれ方は、大変危険です！！



◇1階が層崩壊した建物◇

ひびが入っても、少し傾いても、とにかくぺしゃんこにならないようにしなければ、中にいる人はたまったものではありません。

つまり、大地震時の建物の要求性能を評価するときは、

「建物がいかに安全に壊れるか」を工学的に追求しなければならないのです。こ

のような考え方は、「塑性設計」、「2次設計」などと呼ばれます。



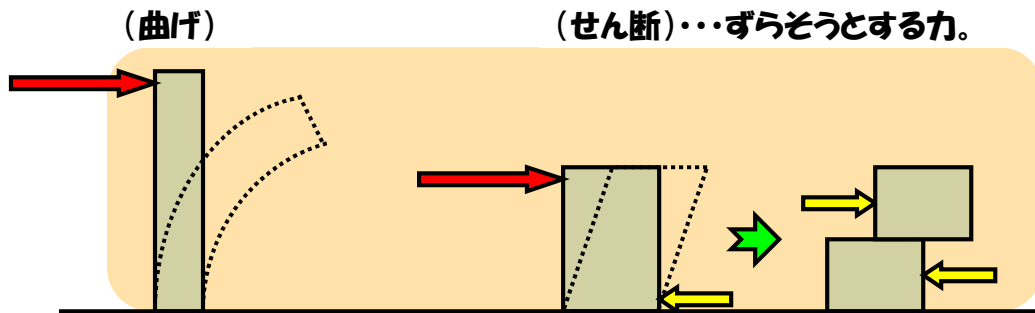


◆コラム1◆ ～良い壊れ方、悪い壊れ方～

部材のこわれ方には、良い壊れ方と悪い壊れ方があります。

どういうものか、少しご紹介しましょう。

横から力を受けたとき、部材には「**曲げようとする力**」と、「**ずらそうとする力**」がはたらきます。



「**曲げ**」が支配的な壊れ方となる場合、「**降伏**」(＝もとに戻らない状態)してから、完全に壊れてしまうまでに、少し時間がかかります。

例えば、柱が「**曲げ破壊**」で壊れる場合、降伏しても、しばらくは上からの建物の重みに耐え、支えることができる、ということです。

一方、「**せん断**」の場合は、降伏してすぐに、急激に壊れてしまいます。従って、「**せん断破壊**」を起こした柱のまわりに、上からの建物の重みを支える他の要素がない場合は、その柱の周囲では、上階の建物部分が一気に落ちてくることとなります。

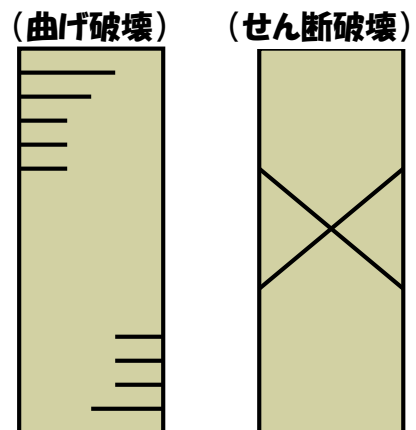
「**曲げ**」の場合は”じわ～り”と、「**せん断**」の場合は”ぐしゃっ”と壊れるようなイメージでしょうか。

どちらの壊れ方が良いかわかりましたか？そうです、「**曲げ破壊**」ですね。

最後に、鉄筋コンクリート造の柱が「**曲げ破壊**」「**せん断破壊**」を起こしたとき、どんなひび割れができるのか見てみましょう。

左の絵のようなひび割れができます。

地震を受けて、柱に大きな”**パッテン**”ができていたら、**要注意！！**ということです。



耐震診断のあらまし

○耐震診断って何だろう？

さて、これまで「耐震設計」の基本的な考え方を見てきましたが、それでは、最近よく耳にする「耐震診断」とはどう違うのでしょうか？

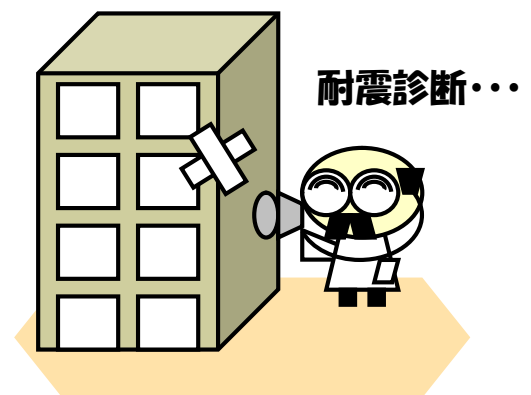
耐震診断の歴史は古く、現在の耐震設計基準よりも少し前に作られています。

「耐震設計」も「耐震診断」も、どちらも「建物の耐震性能を評価する」ための手法であり、評価のための耐震性能の目標や数値は、現在の耐震設計基準の考えに基づいています。まあ、兄弟みたいなものですね。

「耐震設計」	今から建てる建物について、法律で定められた耐震性能を満たすよう、構造的な計画・設計をする
「耐震診断」	すでに建っている（今ある）建物について、その耐震性能を評価し、改修が必要かどうかを判断し、補強計画をたてるときの参考にする

一番大きな違いは、次のようなことです。

「耐震診断」では、コンクリートの強度やひび割れなどの建物の劣化のすすみ方、過去の地震や風水害、火災などの被災歴、増改築工事の歴史など、**今ある建物の現状について現地などで調査を行い、その状態の良し悪しを、建物の耐震性能の評価の際に、考慮する**のです。



耐震設計の最低基準は、「**建築基準法**」という法律で定められており、**現在の耐震設計基準は、昭和56年に作られました。**（これを「**新耐震基準**」と呼びます。）

大まかにいうと、この時、前の章で見た「建物がいかに安全に壊れるか」を評価する設計法が初めて導入されたのです。

そして、阪神大震災など、その後の地震の被災経験から、「**現在の耐震設計基準を使えば、おおむね大地震でも安全**」、ということがいわれています。このため、

昭和56年より前に建築された建物については、「新耐震基準で設計されていない（＝旧耐震基準である）ため、耐震診断をする必要がある」

といわれているのです。

○耐震診断のいろいろ

今まで、建物の構造材（柱、壁、はりなど）だけをクローズアップしてきましたが、実際の地震被害では、看板が落ちてきたとか、窓ガラスが割れたとか、場合によっては土地が崩れた、なんてこともあるわけです。

これらの構造体以外の地震被害は、例えばコンクリートにひびが入った、とかいう構造材の被害などより、住んでいる人や周辺の人にとっては、より危険で深刻なものになることがあります。

そこで、「耐震診断」では、構造体のほかに、以下のような項目についても耐震診断基準を定め、地震に対する危険性について評価することができるようにしています。



仕上材や看板など（非構造部材）	◇建物への固定度や落下・転倒の危険性
建築設備	◇建物の変形についていけるか（追従性） ◇故障せずに継続使用できるか
建物の配置	◇地盤状況や浸水の危険性、ライフライン

また、木造住宅や、規模の大きな建築物、そのうちでも、鉄筋コンクリートの柱・はり・壁で構成される学校校舎などの建物や、広い空間構造の体育館など、建物の構造材種別やかたちによって、より適切に耐震性能を評価できるよう、様々な耐震診断基準が定められています。

さらに、費用や緊急度、求められる正確性などに応じて、簡易診断・一般診断・精密診断など、耐震診断の精度についても、段階別に定められているものもあります。

木造住宅	木造住宅の耐震診断と補強方法 （日本建築防災協会）	一般診断法、精密診断法
鉄筋コンクリート造	既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準（日本建築防災協会）	1次、2次、3次診断
鉄骨造	既存鉄骨造建築物の耐震診断指針（日本建築防災協会）	他
公共建築物	官庁施設の総合耐震診断基準（建築保全センター）	
体育館	屋内運動場等の耐震性能診断基準（文部科学省大臣官房文教施設企画部） など	

○耐震診断の方法の概要

さて、またまた構造体の話に戻ります。

鉄筋コンクリートの建物を例に、耐震診断の概要を見ていきましょう。

構造体の耐震診断の方法ですが、下のような要素を評価します。

耐震性能 = 「①強度」 × 「②じん性」 × 「③形のよさ」 × 「④劣化の度合い」

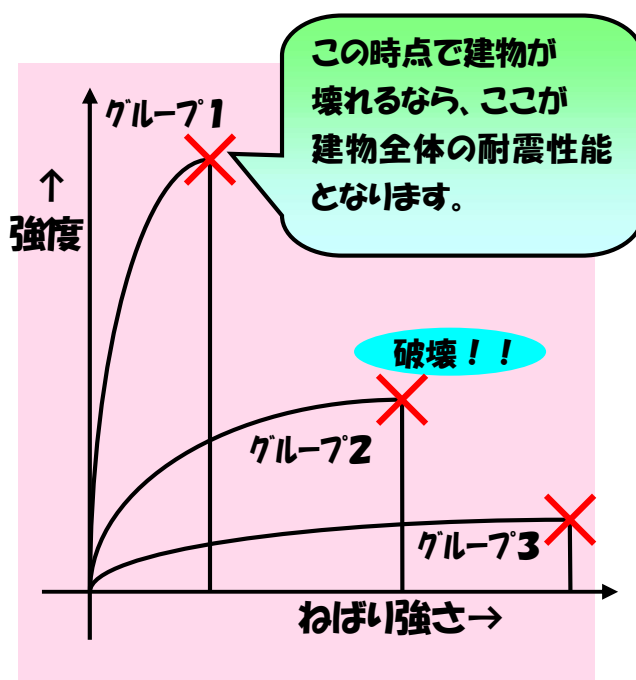
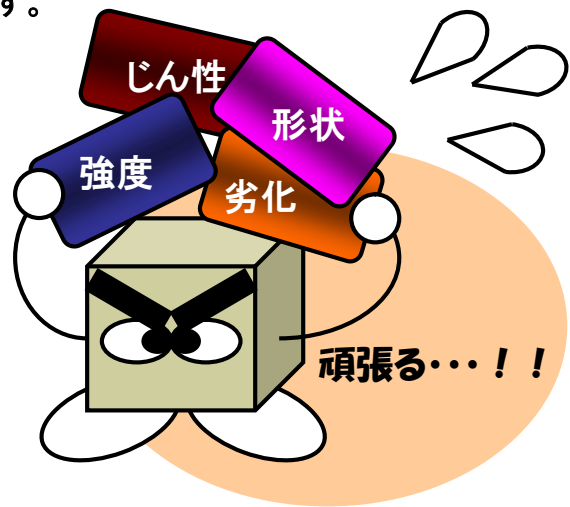
もうちょっと具体的に見ていきましょう。実は、④の「劣化の度合い」以外は、通常の耐震設計にも通じる考え方なのです。

◆①の「強度」は、耐震抵抗要素が多い、つまり壁などがたくさん入っていて建物が固い、ということです。これは、ずばり、壁や柱などの断面積の合計で評価できます。

◆②の「じん性」は、はて？どこやらでてきた言葉でしたね。

「柔剛論争」のくだりを、もう一度見てみてください。そうです。柳の枝みたいに、「ねばり強い」ということでしたね。

いいかえれば、ねばり強さ＝すぐに壊れない、ということです。



つまり、「コラム」でもご紹介したとおり、壊れ方（良い壊れ方、悪い壊れ方）を評価するのです。

建物全体として、どんな壊れ方になるかを調べるために、まず、建物を構成する構造材の一つ一つについて調べます。

「曲げ破壊」、「せん断破壊」のどちらが支配的な壊れ方になるかをそれぞれ判定し、その壊れ方の種類ごとに構造材をグループ分けすることで、どの破壊形式が、建物全体を代表する壊れ方になるかを評価します。

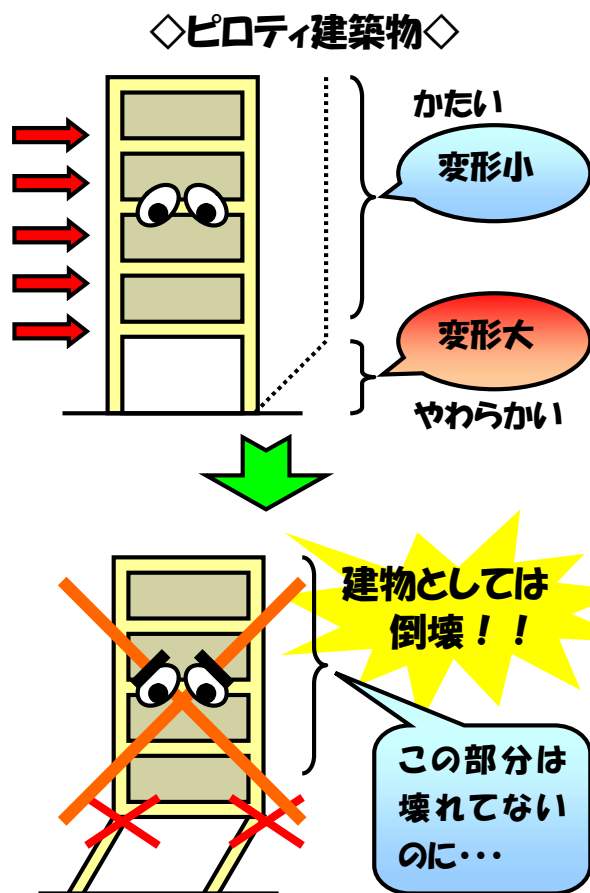
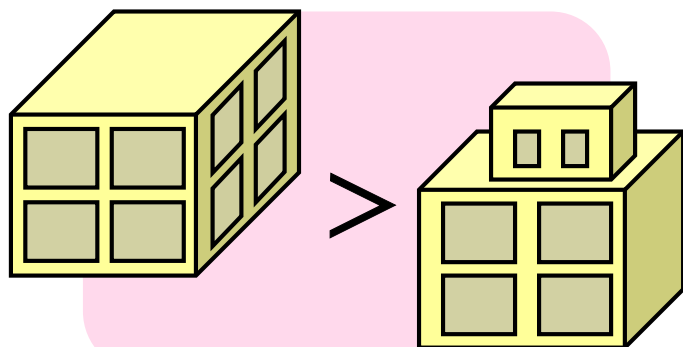
◆③の「形のよさ」は、建物全体の形状のバランスを評価します。

わかりやすい代表例が、ピロティ建築物です。1階を駐車場にするなど、他の階にくらべて壁の量が極端に少ないと、その階が真っ先に壊れます。

しかもこの場合、1階の破壊が建物全体の倒壊の決め手になってしまいますから、2階から上の部材がいくら健全なままで、まだ地震に対抗できる状態でも、建物全体としては、1階が壊れた時点での耐震性能しかない、ということになります。

その他、平面の形が四角形でなく、L型になっているものや、低層階部分と高層階部分の大きさが極端に異なるものなどは、「いびつな形の建物」と評価されます。

逆に言えば、理想の形とは、壁が一様に入っている真四角の建物なのです。



つまり、バランスの良い建物とは、「弱点や偏りが無い」ということになります。

こういう建物は、建物全体が本来持っている耐震性能を十分発揮するまで、いい換えれば、全ての部材が降伏するまで、建物が壊れずにもちこたえるのです。

◆④の「劣化の度合い」は、新築と違い、耐震診断に特有の考え方です。これは、鉄筋のさび、コンクリートのひび割れや中性化など、建てられてから年数が経過していることによって、「どれだけ建物が傷んでいるかを評価するものです。」

建物の傷みぐあいや、火災などの被災歴を調べ、該当するものがある場合は、減点方式で係数を決めていきます。



◆コラム2◆ ～建物のバランスについて～

「建物のバランスの良さ」は、なんとなく直感でわかりますよね。

・・・しかし、感覚ではわかるものの、これを工学的に扱うには、数値や点数で評価できる指標が必要です。

耐震診断では、先ほどの③「形のよさ」がこれにあたり、「**形状指標**」^{けいじょうしひょう}と呼ばれます。減点方式で建物の形を評価し、形が悪いと形状指標が1.0より小さくなるため、これが耐震性能への低減係数としてはたります。

一方、通常の耐震設計では、「**剛性率**」^{こうせいりつ}「**偏心率**」^{へんしんりつ}という2つの指標を使います。

建物は3次元ですから、簡略化のため、**高さ(=階)方向を「剛性率」、水平(平面)方向を「偏心率」として、それぞれ評価します。**

「**剛性率**」は、地震力を加えたときの、**階層ごとのゆれのひどさ(=変形量)の度合い**として求められます。

ゆれがひどいほど、剛性(率)が小さい、つまり、その階は柔らかい、ということを表します。先ほどのピロティ階などがそうですね。

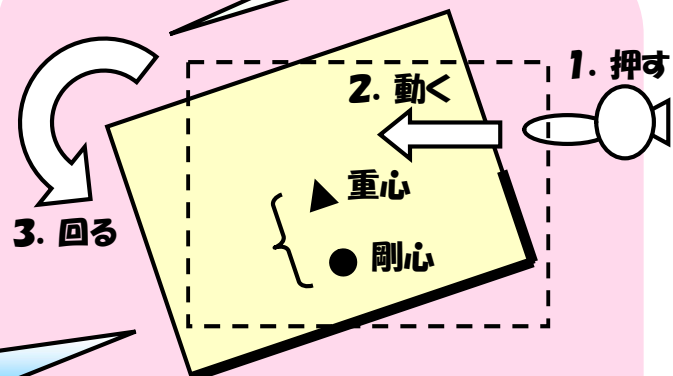
これは、壁などの耐震抵抗要素の量(=階の固さ)や、階の重さが影響します。(串団子のお話を思い出してください。)

一方、「**偏心率**」は、階ごとの、**壁などの平面的な配置の偏り(かたより)**を評価します。

地震力による水平方向の建物変形に注目すると、実際には、押された方への平行移動に加え、回転しようとする力(ねじれ)が生じます。

壁が少ない部分は、大きく回ってしまいます

このとき、壁がフロアの四隅にまんべんなく配置されていれば、回転は壁により抑制されますが、片側に壁がかたよっているときは、壁のないゾーンに大きな回転を生じて、建物に損傷をもたらします。



偏りが大きい
= ねじれやすい
= 偏心率が大きい

※偏心率は、重さの中心(重心)と、剛性(固さ)の中心(剛心)のずれの大きさを評価できます。

○ 1次診断・2次診断・3次診断

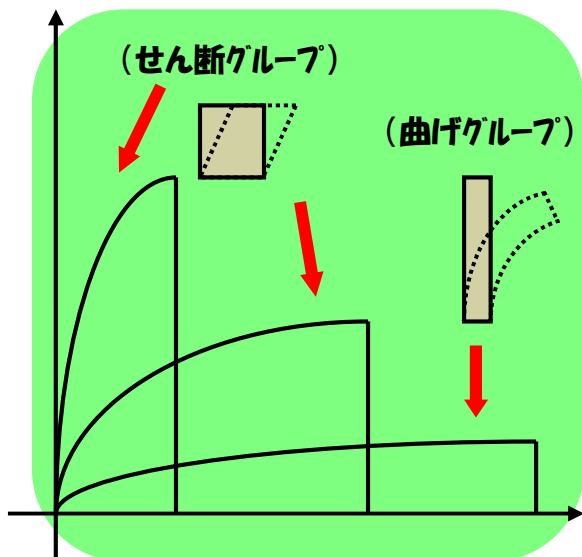
既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準（日本建築防災協会）では、1次・2次・3次と、精度の異なる3つの診断方法が定められています。

【1次診断】

ずばり、壁・柱の断面積が多いか少ないかで、耐震性能を評価します。壁の多い建物については、比較的评价が適正です。

計算は断面積とコンクリートの強度で略算するので、最も簡単です。

本格的に耐震診断をする前に、簡略的に耐震性を把握するために使います。

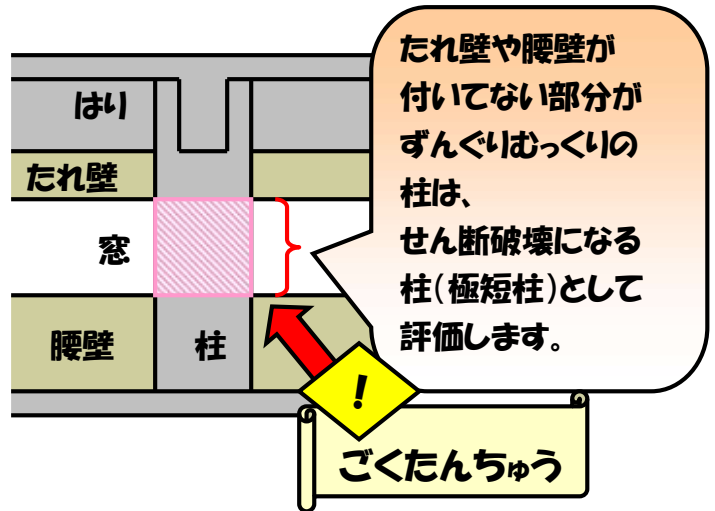


物は、比較的这个こういう特性に合った壊れ方をする（柱先行崩壊型）ため、最もポピュラーな診断方法として使われています。

【3次診断】

2次診断の仮定の壊れかたをしないような建物については、3次診断を適用します。具体的には、鉛直部材が崩壊するより先に、はりが崩壊（はり先行崩壊型）したり、壁が回転することで建物の耐震性能が決まるような場合があります。

2次診断では建物全体の動きを考慮せず、個々の鉛直部材の耐震性→各階の耐震性→建物全体の耐震性と集計しながら評価をすすめていくのに対し、3次診断では、柱・壁に加え、はりの強度や特性も考慮し解析を行う（＝フレーム解析）のが特徴です。



【2次診断】

2次診断では、はりなどの水平構造部材がこわれな！という大胆な仮定をすることにより、これらを見捨て、柱・壁などの、階を支える鉛直部材のそれぞれについて、そのこわれかた別（曲げ破壊型・せん断破壊型）に分類したグループごとの強度と、じん性（＝変形能力）を評価することにより、建物全体の耐震性能を判定します。

仮定は大胆ですが、旧耐震基準で実際に建てられた鉄筋コンクリート造の建

○木造住宅の耐震診断

木造住宅の場合も、構造部分を耐震診断で評価する要素は基本的に同じです。

「強度」・・・壁の強さ、壁の量

「じん性」・・・柱・はりの接合の状況（金物など）

「形よさ」・・・壁の配置のバランス、屋根などの重さ、地盤の状況など

「劣化の度合い」・・・建材の劣化による耐震性の低減の度合い

木造住宅でいう「壁」＝耐震抵抗要素は、「構造用合板」（板材、パネル）のほか、「筋かい」（斜材）などがその代表的なものです。これらが十分に設置されているか、また、バランスよく入っているかを評価します。

また、これらが有効にはたらくためには、柱やはりと一体で動くようにしっかりと固定されていることが必要です。

屋根の重さや軟弱地盤であることなども、耐震性を左右します。「現地調査」を行うことにより、実際の建物の状態を適切に評価します。

○一般診断法、精密診断法

先ほども見てきたように、木造住宅の耐震診断基準※には、「一般診断法」と「精密診断法」があります。

※ 2×4工法などについては、この耐震診断法は適用できません。別の方法で評価を行います。ここでは、柱・はりで構成される一般的な在来軸組工法を主に扱います。

【一般診断法】	【精密診断法】
◆比較的簡易な診断法	◆やや高度で詳細な診断法
◆主に、耐震補強が必要かどうかを判定するために行う。	◆一般診断法により補強が必要と判定された場合、どの程度の補強が必要かを、より正確に把握するために行う。
◆どの程度の補強が必要かをおおまかに把握することが可能。	◆実際の建物の動き方・壊れ方を工学的に検証。
◆壁量が多いか少ないかを主に評価。	◆特殊な建物形状で一般診断法を適用できない場合や、特殊な補強工法を使用する場合には、精密診断法を適用。
◆現地調査では、壁材をはがして骨組みを確認するといったような「破壊調査」を原則行わない。	◆「破壊調査」により、建物の状況をより詳細に調べる。

木造住宅の耐震診断・改修についての詳しい内容は、パンフレット「耐震改修の基礎知識（施工マニュアル）」（香川県土木部住宅課）を参考にしてください。

◆コラム3◆ ～耐震診断の結果はどう読む？～



主な耐震診断基準の判定基準を一覧にしてみました。

診断基準	判定基準	
木造住宅 ◆一般診断法 ◆精密診断法	上部構造	1.5 以上 倒壊しない 1.0 以上～1.5 未満 一応倒壊しない 0.7 以上～1.0 未満 倒壊する可能性がある 0.7 未満 倒壊する可能性が高い
	各部*	注意事項・問題箇所の指摘のみ
鉄筋コンクリート造 ^{※2} ◆1次診断 ◆2次診断 ◆3次診断	構造体	構造耐震指標 $I_s = E_0 \cdot S_D \cdot T$ (建物の保有性能値) E_0 : 保有性能基本指標(強度指標 C、じん性指標 F より算出) / S_D : 形状指標 / T : 経年指標 $I_{s0} = E_s \cdot Z \cdot G \cdot U$ (目標値) E_s : 耐震判定指標 ^{※3} (1次診断)0.8 (2次・3次)0.6 Z : 地域指標 / G : 地盤指標 / U : 用途指標 $I_s \geq I_{s0}$ であることを確認する。 ^{※4}
	非構造部材	算定基準はあるが、判定指標は確立されていない
鉄骨造 ^{※5}	構造体	各階の構造耐震指標 $I_{Si} = E_{0i} / (F_{esi} \cdot Z \cdot R_t)$ $E_{0i} = Q_{ui} \cdot F_i / (W_i \cdot A_i)$ 保有水平耐力に係る指標 $q_i = Q_{ui} / (0.25 F_{esi} \cdot W_i \cdot Z \cdot R_t \cdot A_i)$ (1) $I_s \geq 0.6$ かつ $q \geq 1.0$ 倒壊の危険性が低く、原則として補強の対象としない (2) (1)及び(3)以外 倒壊の危険性があるので、補強必要 (3) $0.3 > I_s$ 又は $q < 0.5$ 倒壊の危険性が高い
公共建築物 ^{※6}	上部構造体	構造耐震指標 $GI_s = Q_u / (I \cdot \alpha \cdot Q_{un})$ (保有性能値) Q_u : 保有水平耐力 / I : 重要度係数 / α : 補正係数 / Q_{un} : 必要保有水平耐力
	他	$GI_s \geq 1.0$ 地震に対して倒壊又は崩壊する危険性が低い。 $0.5 \leq GI_s < 1.0$ 倒壊又は崩壊する危険性がある。 $GI_s < 0.5$ 倒壊又は崩壊する危険性が高い。
体育館 ^{※7}	構造体	鉄骨造 (1)～(3)と同じ (ただし(1)の 0.6→0.7 に読替え)

※ 一般診断法:基礎、地盤のみ。精密診断法:その他、床・屋根の損傷、柱の折損、接合部、屋根葺き材の落下等がある。

※2 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準(日本建築防災協会)

※3 耐震判定指標 E_s は、補正係数を全て 1.0 とした場合に構造耐震指標と一致するので、1次診断の 0.8、2次・3次診断の 0.6 は、この値を満足すれば現行の基準による場合と同程度の耐震性能を持つという判断で定められた。

※4 新耐震基準の終局時と同等の最大変形量内に抑制するため、累積強度指標 $C_{TU} \times S_D \geq 0.3$ ($q \geq 1.0$) を併せて検証する。

※5 建築物の耐震改修の促進に関する法律に基づく告示第 184 号 建築物の耐震診断の指針による

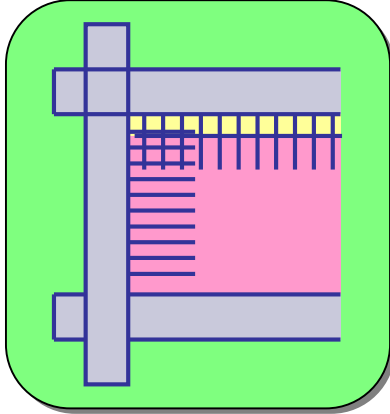
※6 官庁施設の総合耐震診断基準(建築保全センター) 構造体の他、施設の位置・配置等、構造体、非構造部材及び建築設備の診断を必要に応じ行う。なお、I・II類施設については、要求機能確保のための GI_s の評価ランクもある。

※7 屋内運動場等の耐震性能診断基準による。

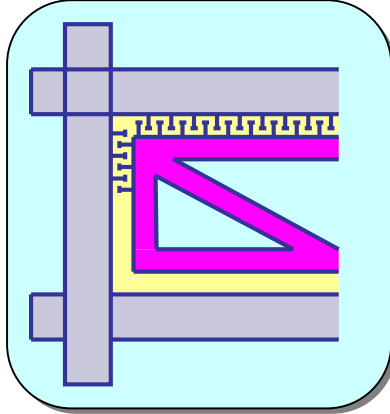
主な耐震補強工法 <非木造の建物>

ここでは、鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建物について、耐震改修でおこなう主な耐震補強の工法やその特徴を紹介します。

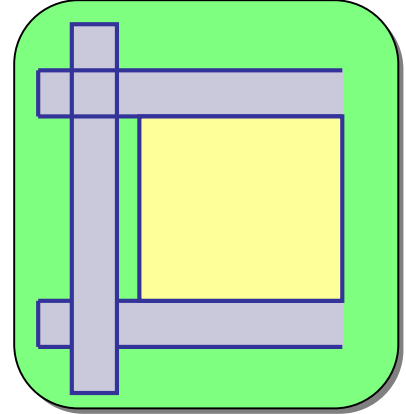
■壁の増設・増打ち



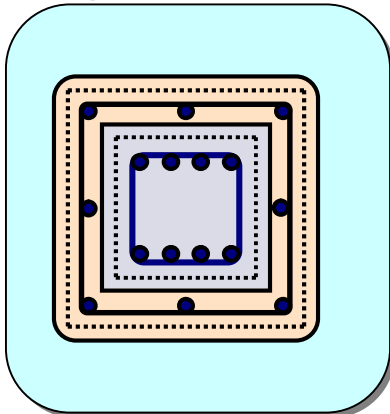
■耐震ブレース等



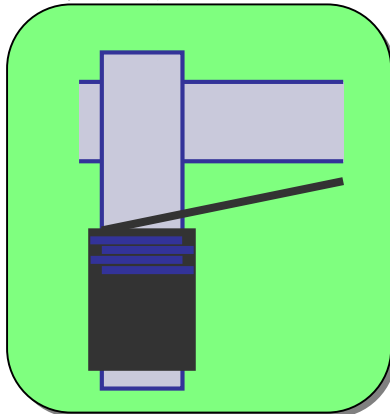
■耐震スリット



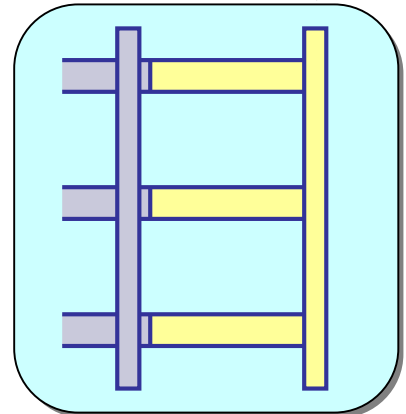
■柱・壁の増打ち



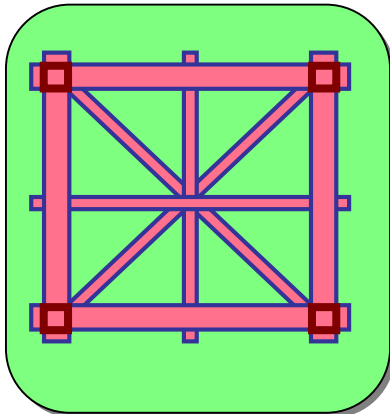
■炭素繊維巻きなど



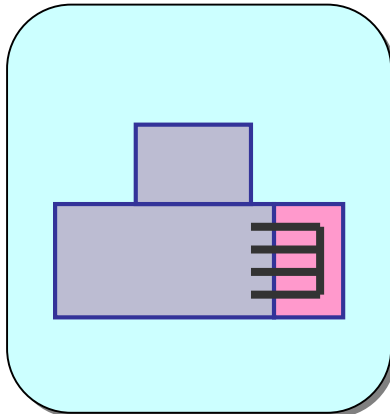
■フレームの増設



■床剛性補強



■基礎の補強



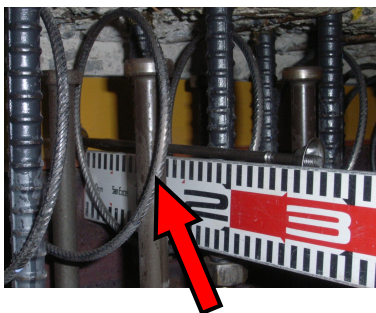
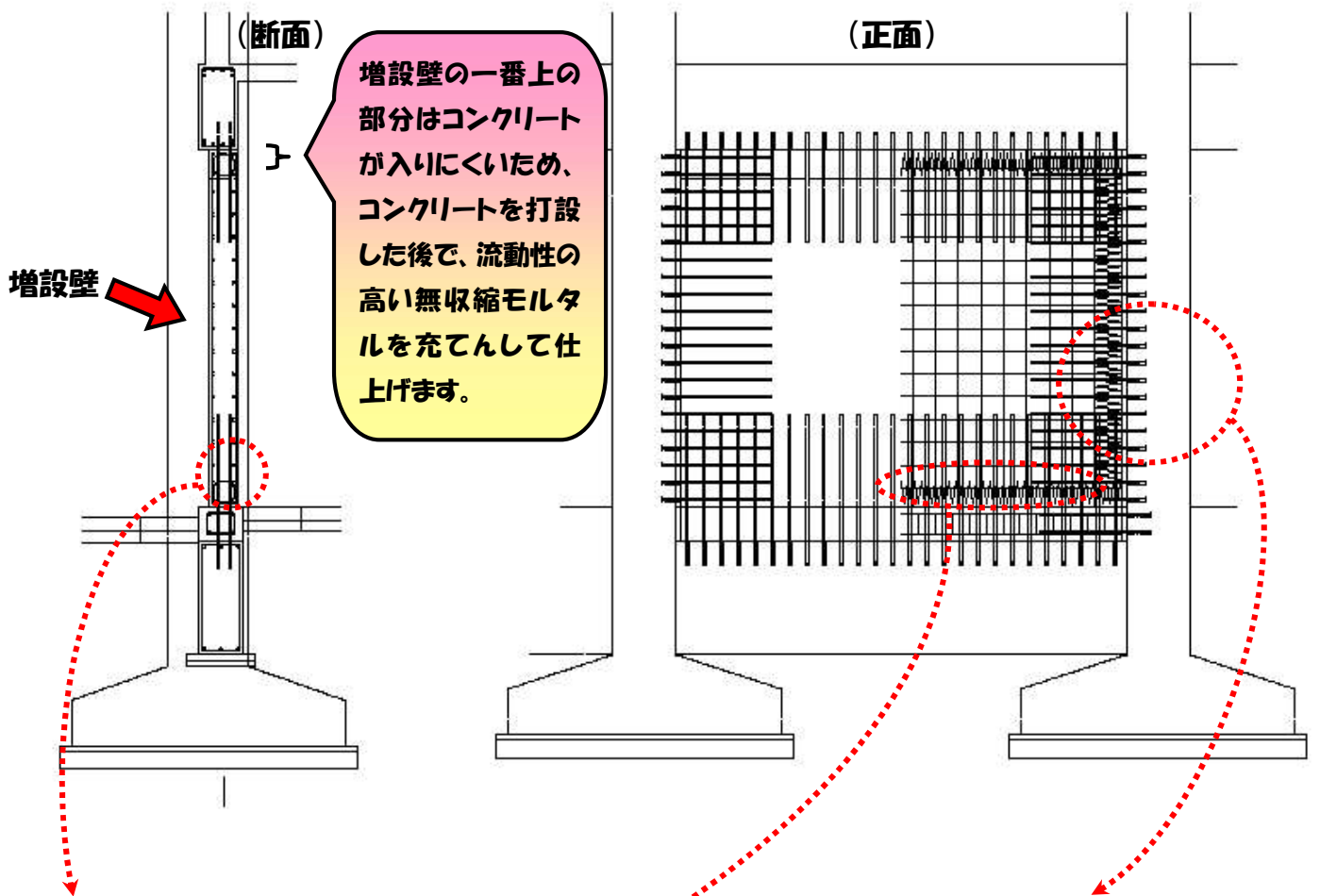
■荷重軽減など



■壁の補強

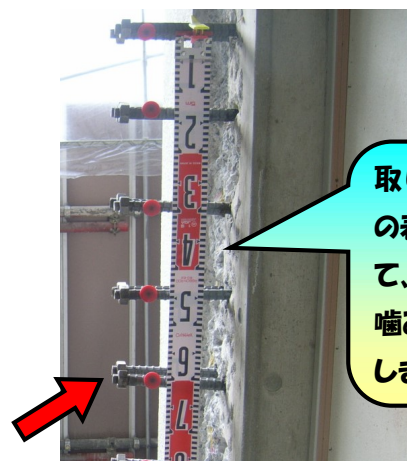
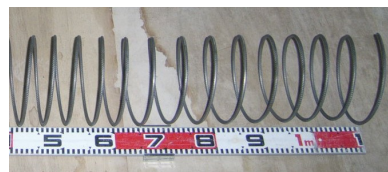
◇耐震壁増設

壁のない空間に、新たに耐震壁を設置するものです。既存の柱・梁面にあと施工アンカーを打ち、補強壁と一体的な構造となるようにします。



◆スパイラル筋(割裂補強)

既存部分と増設壁との接合部(四周)にセットし、コンクリートや、無収縮モルタルの割れを防ぎます。

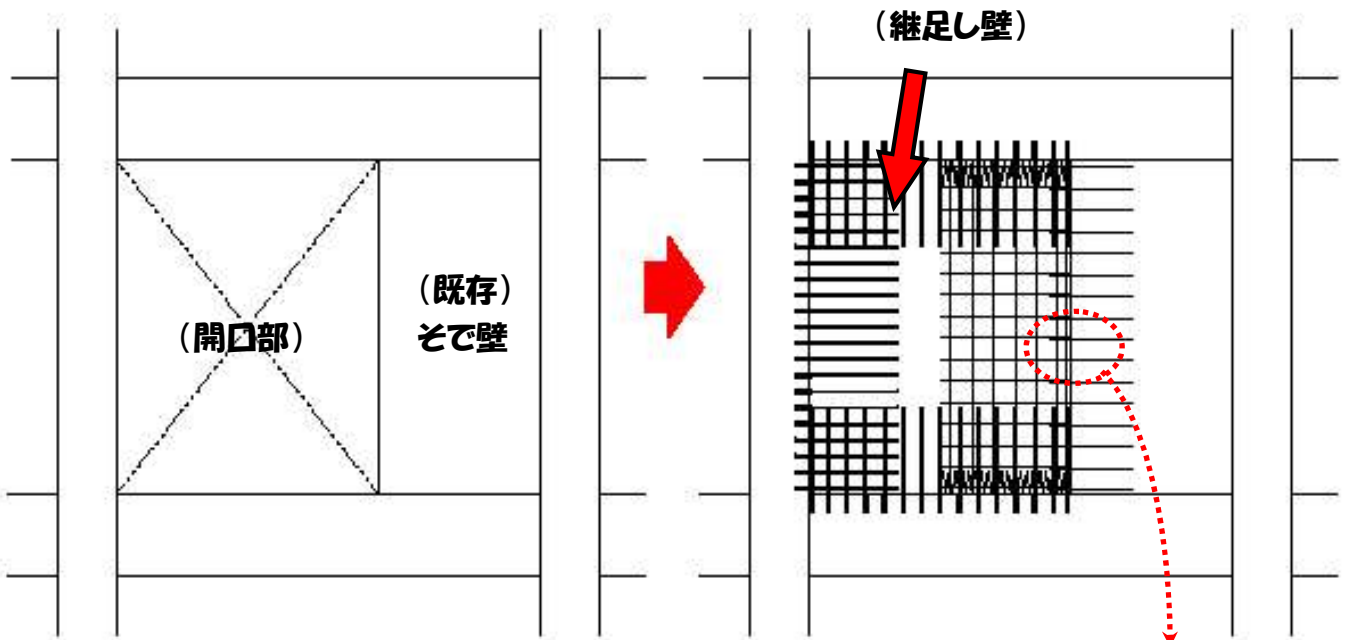


◆あと施工アンカー

ドリルで穴を開け、強力な接着剤を使って既存部分に鉄筋を差して固定し、増設壁と一体になるように、鉄筋の定着長さをとります。

◇開口閉塞

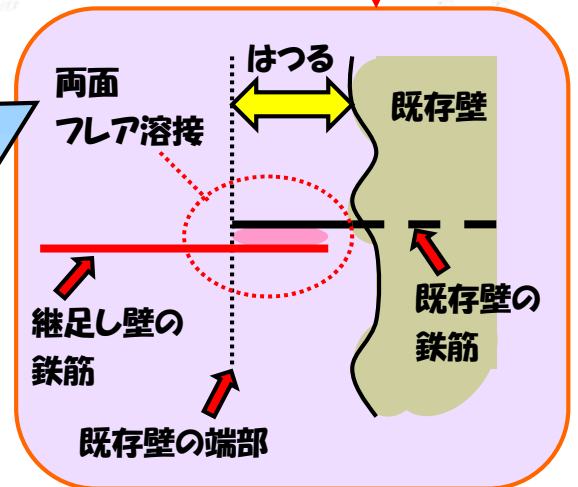
窓が入っていたり、そで壁等の部分的な壁のみで、フレーム内全体が壁でない場合、既存の壁を耐震壁として評価できないことがあります。このため、開口部に壁を継ぎ足し、耐震壁となるようにするものです。



※開口閉塞は、既存壁と継足し壁の接合が難しいポイントです。

柱やはりとは違って、壁は厚みが無いため、あと施工アンカーをセットできないことや、効かないことがあるからです。

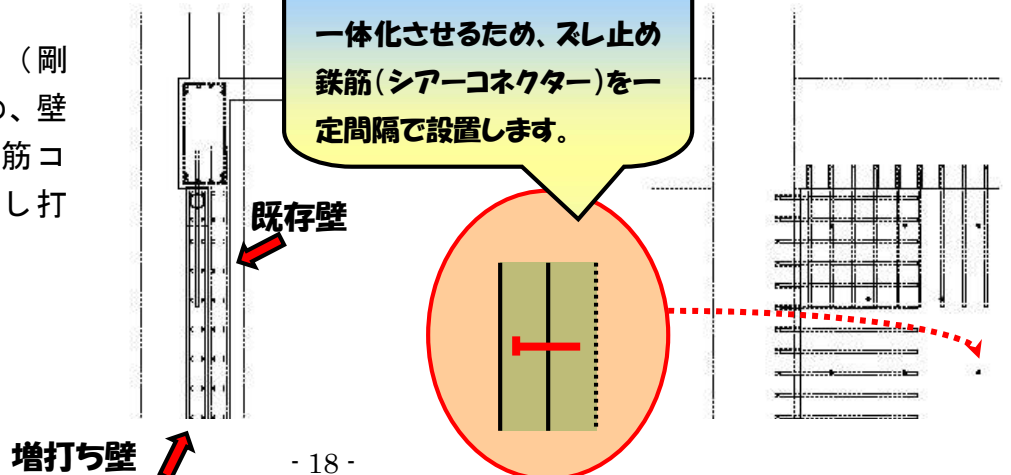
既存壁の端部コンクリートをはつりこんで、中の鉄筋を少し外へ出し、継足し壁の鉄筋と溶接して、鉄筋を一体化することが必要です。



◇壁増打ち

耐震壁の耐力（剛性）を上げるため、壁の厚み方向に鉄筋コンクリートを増し打ちします。

既存壁と増打ち壁を一体化させるため、スリ止め鉄筋（シアコネクタ）を一定間隔で設置します。



◇耐震ブレース

壁の代わりに鉄骨の斜材（ブレース）を設置するもので、外からの採光を確保したいときや、出入口をとりたいとき、基礎が弱く建物を現状より重くできない場合などの壁補強の工法として、よく使われます。

◆いろいろな耐震ブレース



鉄骨の枠に耐震ブレースを取り付け、枠と既存の柱・はりの間（間接接合部）には、アンカーと割れ止め筋をセットし、無収縮モルタルを注入して接合します。



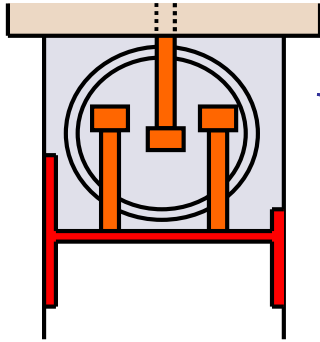
◆仕上げ完成状況



鉄骨の接合部（プレート・ボルト）・枠材や、無収縮モルタル等の間接接合部は、耐震ブレースの母材（鉄骨の斜材）が降伏するまでこわれないう、十分な強さをもたせて設計します。
これは、ブレース材が、地震に対して十分に抵抗し、最後までその能力を十分に発揮することができるようにするためです。

耐震ブレース工事のポイント

◆間接接合部

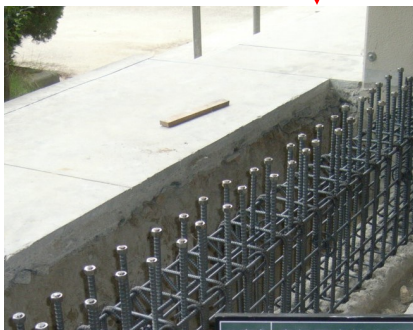
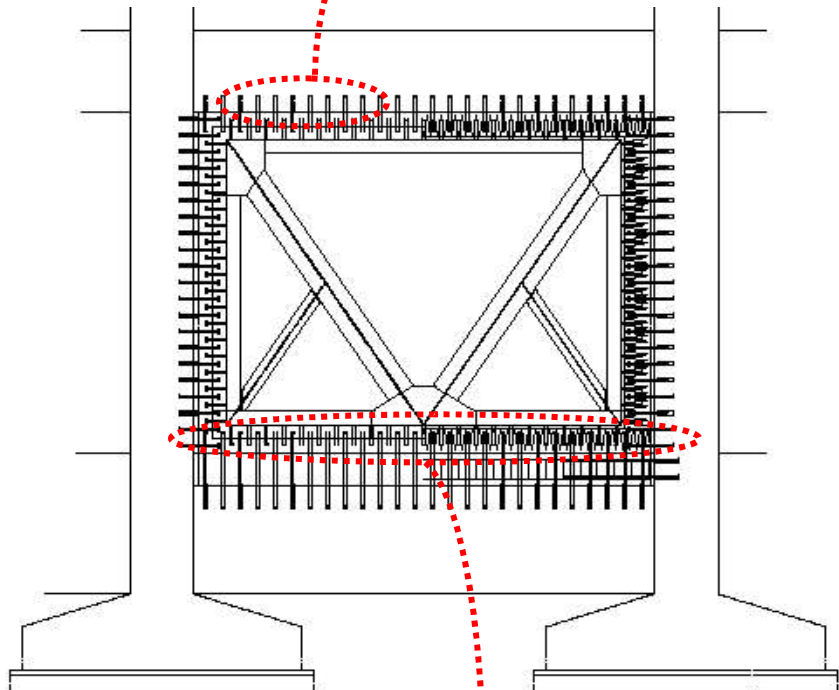
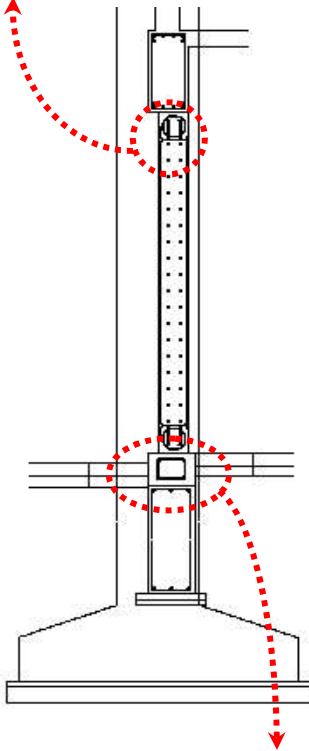
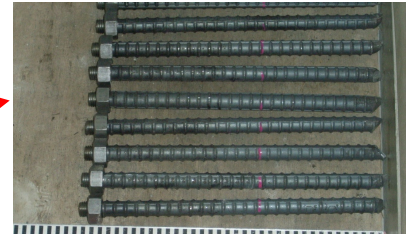


既存の柱・はりのフレームと、耐震補強材とを接合する部分を指します。

既存部分の寸法には必ず誤差があるため、誤差の調整に対応できるように、取付寸法等、余裕のある設計をしておきます。

◆あと施工アンカー(ナット付)

耐震ブレース工事によく使います。ナットがあることで、引張力に対して抜けにくくなります。



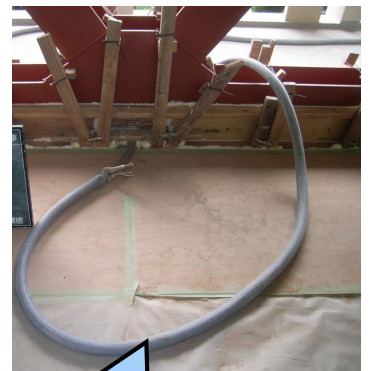
◆はりの増打ち

鉄骨ブレースを設置するフレームが1階部分の場合で、地中梁が深い位置にあるときは、増打ちをして、はりをかさ上げします。

◆無収縮モルタル

最後に、鉄骨材周囲の間接接合部に注入します。

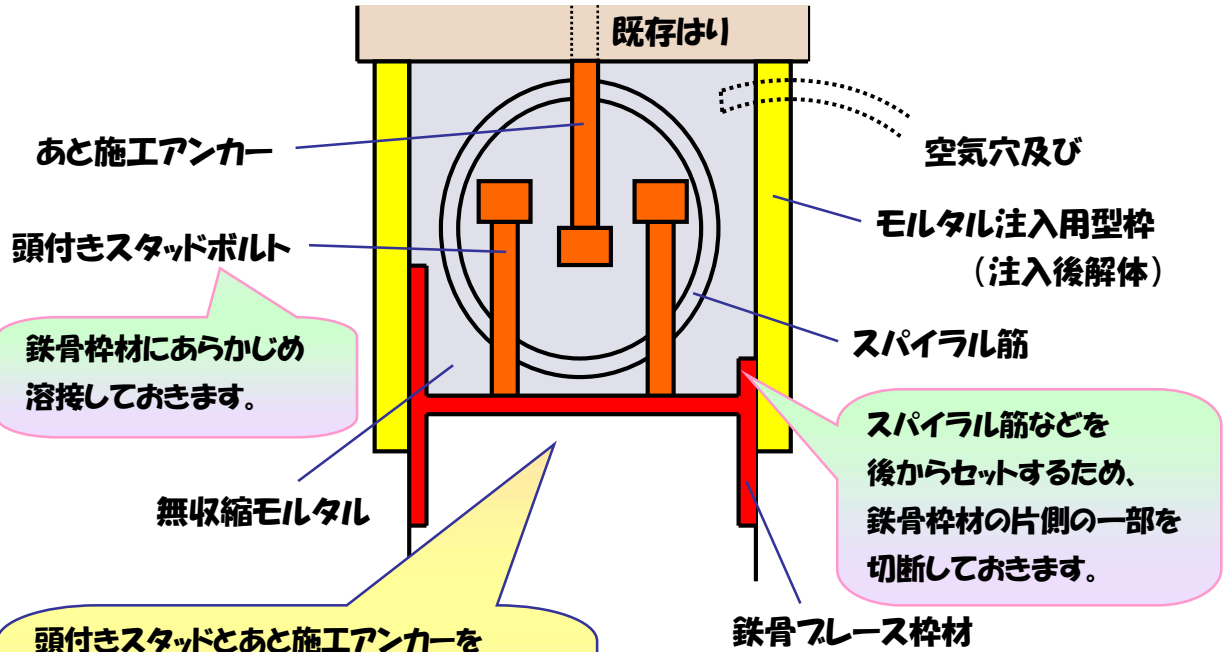
無収縮モルタルは流動性が非常に高いため細部まで注入しやすい反面、型枠の小さなすき間から流れやすいことから、シール材などでしっかりと型枠の穴をふさぎます。



型枠に差しこんだ空気穴チューブからモルタルがあふれたら、注入完了です。



◆コラム4 ～間接接合部について～



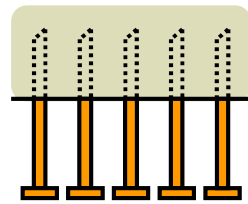
鉄骨枠材にあらかじめ溶接しておきます。

スパイラル筋などを後からセットするため、鉄骨枠材の片側の一部を切断しておきます。

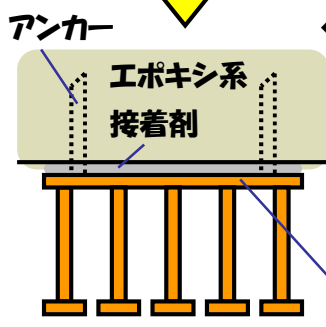
頭付きスタッドとあと施工アンカーをかみあわせ、おおむねスパイラル筋の中にセットすることで、引っ張りやせん断に抵抗しやすい納まりを実現します。

あと施工アンカー工事はドリルで穴をあけたりするため、建物を使いながら工事する場合など、施工中の騒音や振動、粉じんの問題があります。

このような場合は、接着剤による接合工法や、接着剤とアンカーを併用するハイブリッド工法等を採用することも考えられます。



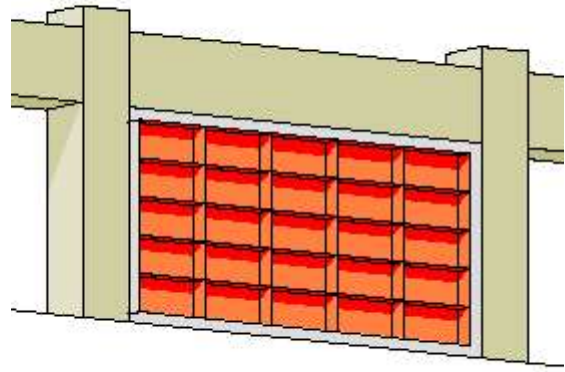
◆従来工法
アンカーをたくさん打つので、騒音・振動と粉じんの問題があります。



◆ハイブリッド工法
アンカーと接着剤を併用し、打ち込むアンカーの数を減らします。

◇耐震鋼板パネル等

鉄板を加工したパネルや格子状の鉄骨材を使った補強方法もあります。デザイン性や重量の問題、施工上の都合などにより採用されることがあります。



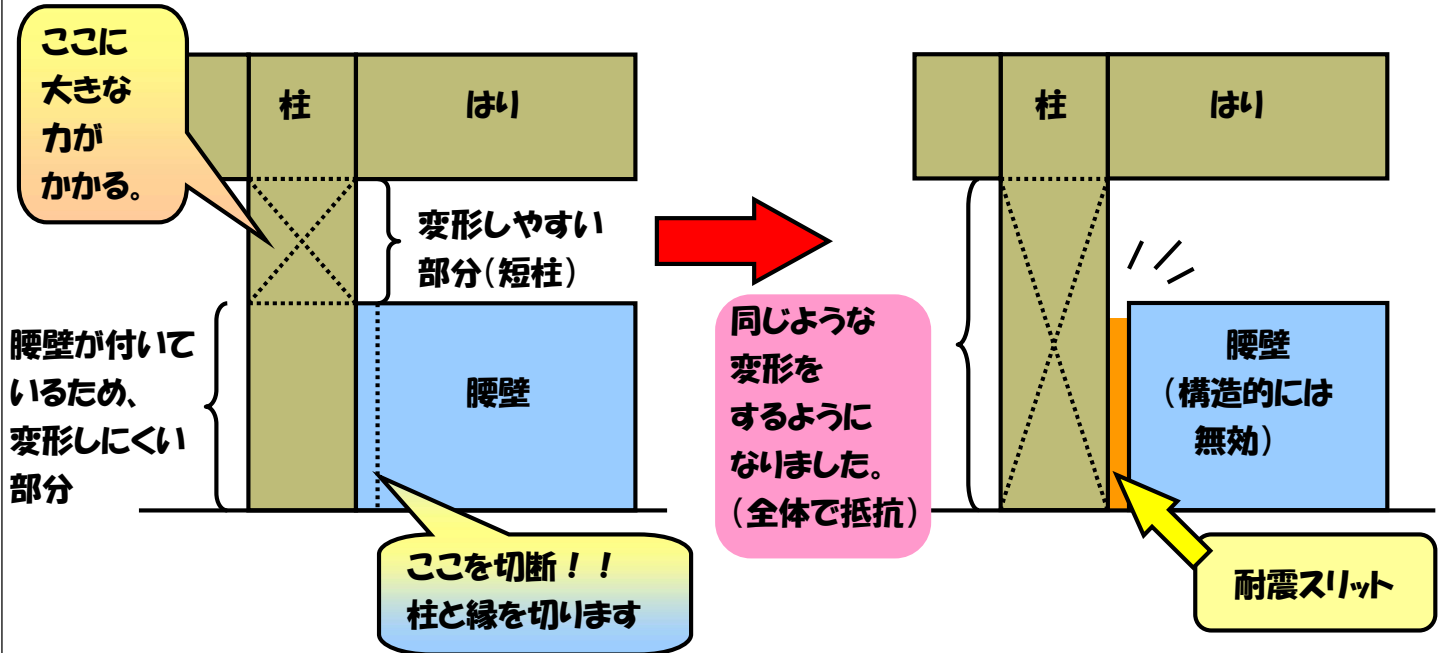
■柱・梁及び接合部の補強

◇耐震スリット

腰壁やたれ壁からの悪影響による柱の破壊をさせないため、壁と柱の間のコンクリート構造体を切断して縁を切り、相互に力が伝わらないようにする工法です。

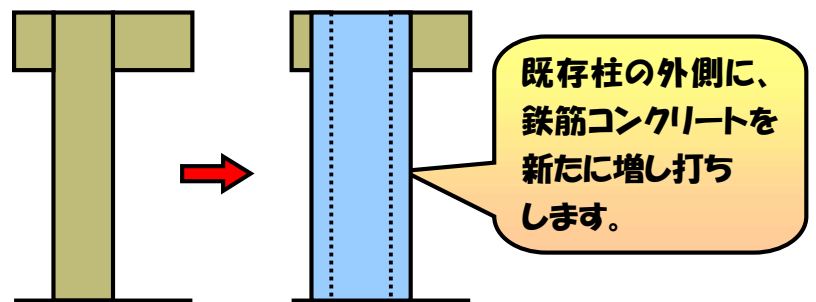
柱には良いのですが、壁を構造的に効かなくさせる工法なので、建物全体の強度低下や壁の面外座屈などの影響については、注意が必要です。

また、外壁にスリットを設ける場合は、壁に穴をあけるわけですから、雨水の浸入など、構造以外の点について、納まりの詳細検討が必要です。



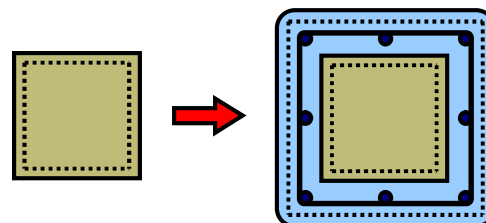
◇柱・はり材の増打ち

柱・梁材の断面積を増すことで、強度を上げたり、ねばり強さを増すことができます。



◇炭素繊維補強・◇鋼板巻き補強・◇その他

コンクリートで増打ちができないような場合は、カーボンファイバーやアラミド繊維、鉄板を柱や梁に巻きつけることで、同じような効果を出すことが可能です。



繊維を柱などに直接巻きつける場合、専用の機械を使用しますが、施工スペースが無い場合は、既製品の繊維カバーをボルトで固定するような工法もあります。

■フレーム増設等

◇フレーム増設・◇既製フレーム外付け・◇その他

新しいフレームを建物外部に増設して建物と一体化することで、建物全体の抵抗要素を増やして地震に対抗する工法です。

外壁側から既製のフレームを設置し既存の柱・梁を補強することで、建物を使いながら工事をすることもできます。

これらの工法は、既存の建物部分と増設フレームが一体で動くよう、その接合方法や、増設フレームまでの床剛性(水平剛性)の確保などの構造計画が特に重要になります。

水平ブレースの設置など、既存部分と増設部分との間で力を確実に伝達できるようにすることが重要！！



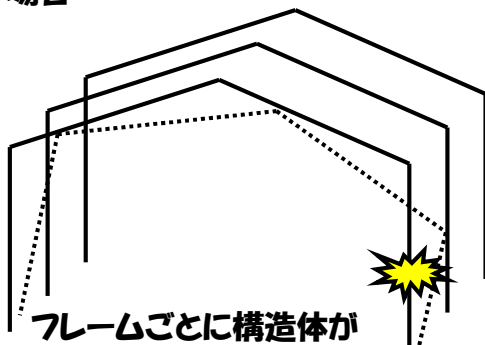
■床の水平剛性補強

◇ブレース補強・◇床スラブ設置・◇その他

床や屋根面が一枚の固い状態である場合、ある柱で抵抗しきれない力は、床や屋根の水平構面を通して別の柱や壁ブレースへ伝達され、建物全体が一体で動くことで力に抵抗することができます。

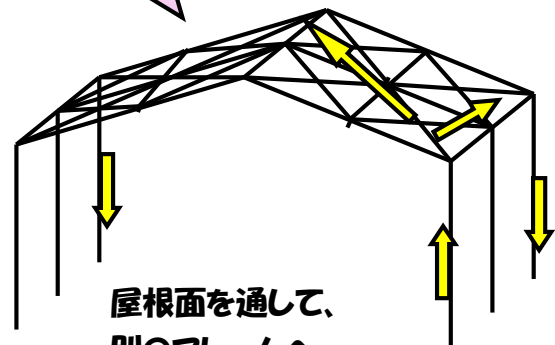
床の固さ(水平剛性)を上げるためには、床面にブレースを入れたり、デッキプレートを設置してコンクリートを打設することなどが有効です。

屋根が一体で動かない
(一枚の固い状態でない)
場合...



フレームごとに構造体がそれぞれ力を負担するため、力の集中する部分が壊れやすい。

屋根面
ブレース補強



屋根面を通して、別のフレームへ力が伝達される。



【屋根面フリース補強の例】
・体育館

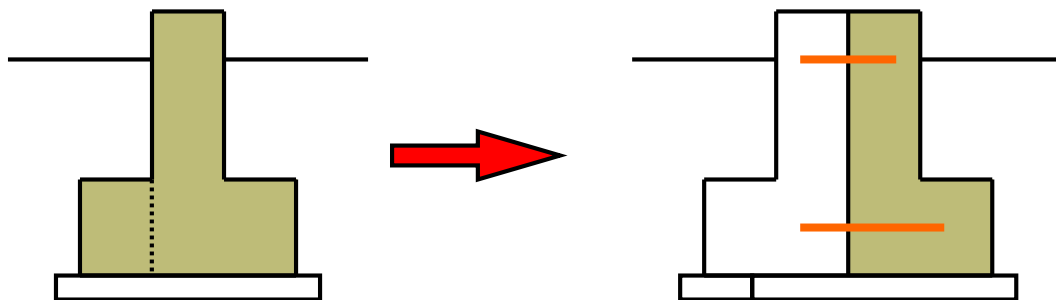
フリース材を新たに
屋根面一面に設置又は
増設し、屋根面が一体で
動くようにしたもの。

■基礎の補強

◇基礎の増設・◇その他

基礎を補強することで、建物の転倒や回転、沈下を抑えることができます。基礎の補強工法は、鉄筋コンクリートの増打ちや、鋼管ぐいの設置などがあります。

また、地盤改良や液状化防止など、土地そのものの状態を改善する工法もあります。



■その他の工法

◇荷重軽減工事

建物重量を軽減することも、有効な耐震改修工事です。重い屋根や外壁を軽いものにとりかえたり、場合によっては、3階建てを2階建てにするような最上階撤去工事も有効です。

主な耐震補強工法 <木造の建物>

木造の建物の主な耐震改修の方法です。なお、詳細については、先述のパンフレット「耐震改修の基礎知識（施工マニュアル）」（香川県土木部住宅課）に掲載されていますので、参考にしてください。

耐震補強	壁の補強 （耐震壁の増設）	◇筋かいの設置 ◇構造用合板の設置
	接合部の補強	◇金物・ボルトの設置 ◇補強材（方づえなど）の設置 ◇断面欠損部の補強
	柱・はり・土台などの構造部材の補強	◇継手部分の補強（金物設置、継手の取替え、添え木補強など） ◇劣化・腐朽・断面欠損部材の取替え ◇そで壁の設置による補強 ◇部材の取替えまたは増設による補強
	床などの補強（水平構面補強）	◇床下地に構造用合板の設置（水平剛性確保） ◇火打ち梁の設置 ◇小屋組や床下へ振止め・根がらみ材の設置
	基礎の補強	◇鉄筋コンクリート基礎の新設（既存玉石・敷石基礎、置き基礎など） ◇鉄筋コンクリート基礎の増打ち（既存無筋コンクリート基礎など） ◇べた基礎打ち（既存布基礎・直接基礎など） ◇地盤改良
免震など	建物の軽量化	◇重い屋根（瓦屋根など）を軽い屋根（金属板など）に取替え など
	免震、制震工法	◇免震装置（地震動の入力をシャットアウト） ◇制震装置（地震の揺れを抑制、ダンパー付筋かいなど）
その他	蟻害対策	部材の取替え、防蟻処理
	敷地の耐震化	擁壁の設置・やり替え、アンカーなど
	非構造部材の耐震化	屋根材・壁・ブロック塀、空調室外機（落下・転倒防止）
	家具の耐震化	金具設置など（落下・転倒防止）

免震・制震工法

■免震工法とは？

免震とは、言葉のとおり、地震を「免れる」工法です。具体的には、積層ゴムなどの免震装置を介することで、地盤から伝わってくる地震動を直接建物に入れないようにするものです。

免震工法のメリットは、建物の揺れ（＝加速度）や変形を抑えることで、地震による損害を最小限にできるという点です。

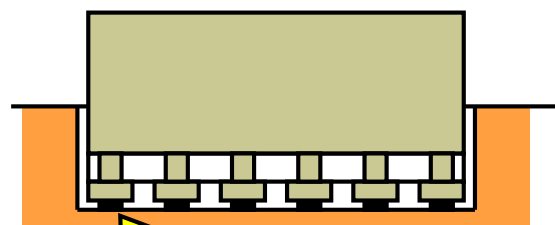
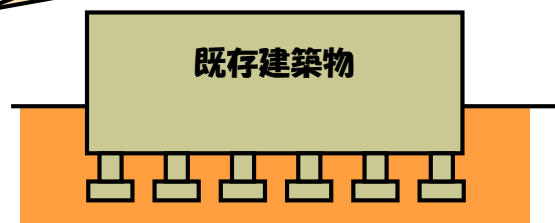
倒れてはいけないうち蔵物を入れる博物館の蔵庫（→揺れの抑制）や、ユサユサと揺れることで生じる建物の変形によって、天井などの仕上材が落下したり、ひびが入ったり（→変形の抑制）、という損害への対策になります。

従って、防災拠点施設など、大地震時でも損傷せず使いつづけなければならない、高度な耐震性能を要求される建物によく使用されます。

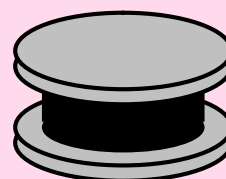
また、壁の設置などの耐震補強ができないような文化財建築物や、必要な耐震補強壁が多すぎて建物が使い物にならなくなるような場合、新築で耐震壁の設置を少なくしたい場合にも有効です。

ただし、免震装置そのものは、地震のエネルギーを一手に引き受けることになり、大きな変形を伴うため、設計上の工夫が必要です。

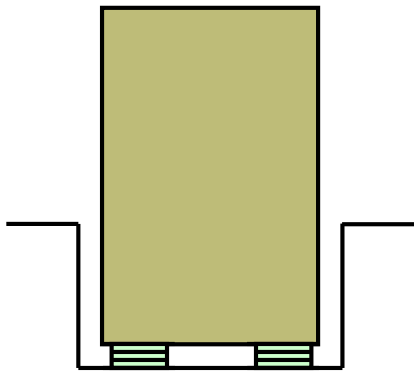
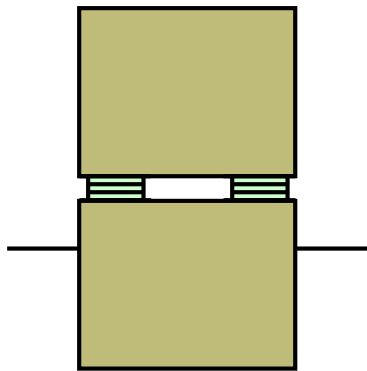
耐震改修工事として文化財建築物等に免震装置を設置するものを「免震レトロフィット」といいます。



免震装置
積層ゴムアイソレーター



主な免震工法

種別	基礎免震	中間層免震
		
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・建物全体を免震化できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・工事が比較的容易。(使いながら工事もしやすい)
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤下の建物周囲掘削、基礎の仮支承など、工事が大規模になる。 ・地盤との取り合わせなどに、納まりの工夫が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・免震層より下の建物部分を免震化できない。 ・免震層における設備配管などの振り回しスペースを確保する必要がある。

■制震工法とは？

地震のエネルギーを吸収する機構を設けて、建物の揺れを緩和するものを制震工法といいます。代表的な制震装置は、ダンパーです。油の粘性などを利用して、揺れようとする力を打ち消す方向へ力が働きます。また、機械による制御で、建物の揺れを抑制する制震装置もあります。

地震被害の軽減のほか、強度型の耐震設計が難しく、風など、使用する人間が感じる「建物の揺れ」の制御を考慮する必要のある高層建築物の場合にも有効です。

一般的に、周辺を掘ったり地面と縁を切らなければならない免震工法よりも、制御工法の方がコストは安いといわれています。

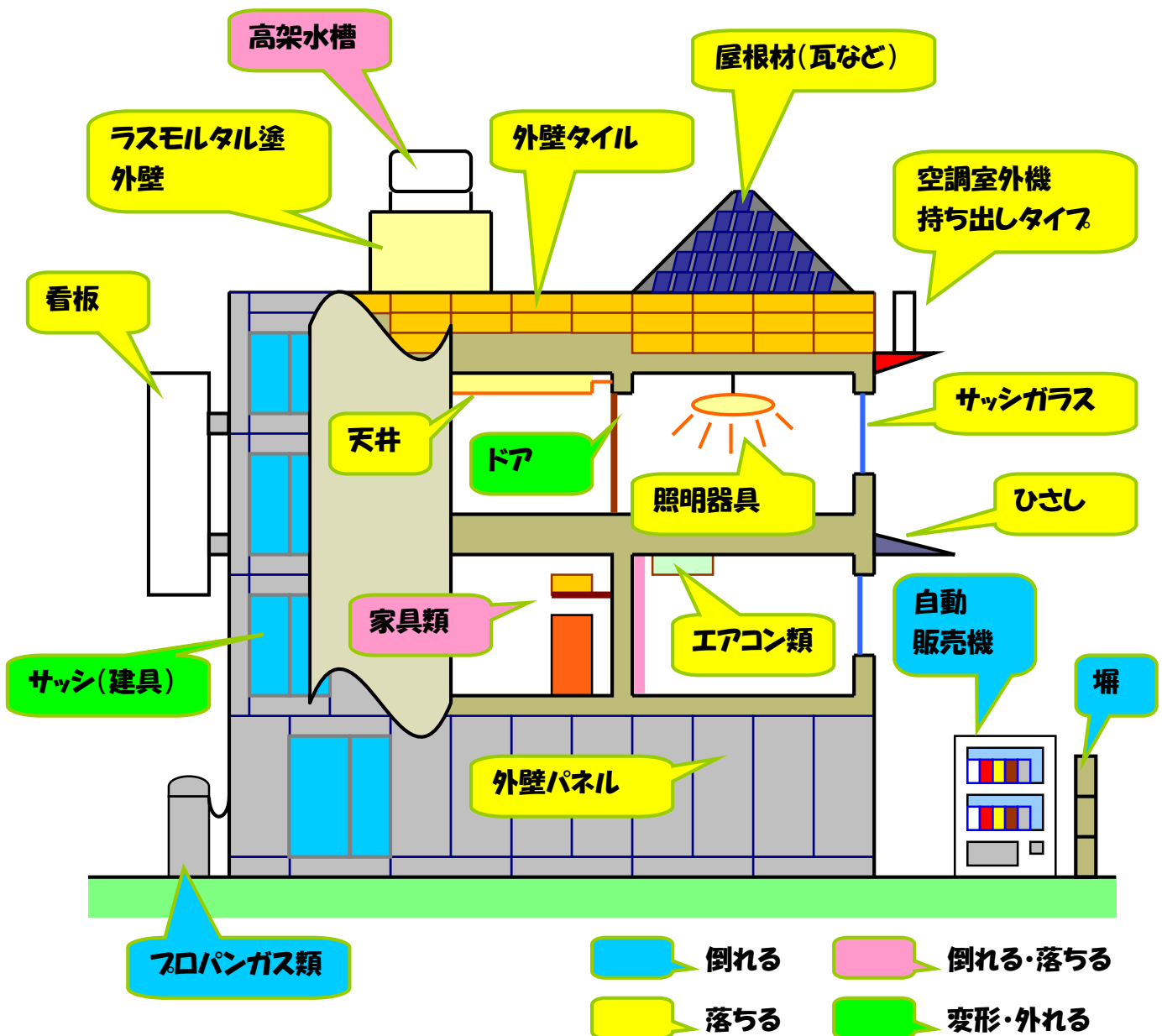
ふつうに建物を建てるよりは割高になるため、従来は、もっぱら大規模の建物に使われていました。

地震時の揺れを抑えることも大きな目的ですが、地震にあっても被害が少ないので、建物の補修をせずそのまま使用できるというメリットがあるため、最近は、免震・制震とも、住宅用のものがたくさん出ています。

非構造部材(仕上げ材)等の耐震対策

仕上げ材など、建物の構造体以外の耐震対策についても、非常に重要です。耐震壁にひびが入ったくらいでは人は死にませんが、外を歩いていて、その耐震壁に固定されている2階の外壁パネルやサッシの窓ガラスが落ちてきたらどうでしょう。

地震はいつ、どこにいるときに起こるかわかりません。ですから、落下したり倒れたりすることで大きな被害を及ぼす恐れのあるものは、耐震対策を十分にとっておくことが大切なのです。



■仕上げ材の耐震対策

建物の仕上材は、使用する場所、固定の方法や仕上材の種類などによって、耐震対策を個別に考える必要があります。

仕上材の種類	使用場所	外装材、内装材
	使用部位	壁、屋根、ひさし、天井、床、建具
	材料	木材、金属、モルタル、陶器（瓦・タイルなど）、合成樹脂、石、れんが、ガラスなど
	具体例	瓦屋根、ラスモルタル塗壁、サイディング壁、パネル工法壁、吊り天井、装飾ルーバー、天窓
固定の方法	工法	釘打ち、ボルト留め、金具留め、接着、塗り（左官）、積み、はめ込み、シール留めなど
	固定度	完全固定、可動域あり、変形追従設計など
耐震対策の例	<p>【落ちないようにする。】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・塗り壁・・・浮きの補修・下地への固定又は塗替え ・パネル壁・・・固定金具を耐震金具に取替え ・天井・・・吊り材の追加・補強、金具設置など、可動域（クリアランス）の確保（変形追従） ・サッシのガラス・・・硬化したシール材の撤去・打ち替え 飛散防止フィルム貼り、網入りガラスへの取替え など 	

例のように、落ちてくる恐れのあるものを、**落ちてこないようにする**のが仕上材の主な耐震対策といえます。

また、建物がさほど変形しないよう、**構造体で変形を抑制**するような設計を行うことで、仕上材の被害は軽減されます。建物が大きく変形（柔らかい建物）すると、避難するときにドアが開かない、などということも考えられます。

■コンクリートブロック塀の耐震対策

コンクリートブロック塀についても、地震により倒れると、重さがあるため大きな被害を及ぼします。

コンクリートブロック塀は、ブロックの空洞部分に鉄筋を入れ、モルタルで接着しながら積み上げ、空洞部分をモルタルで埋めて作ります。

倒れないようにするには、適正に鉄筋やモルタルを配置・使用すること、地面の下に十分な深さの鉄筋コンクリート基礎を設置すること、塀の面と直交方向に控え壁（倒れ止め）を一定間隔で設置することが重要です。

また、既存ブロック塀のモルタルが劣化してはがれていたり、ブロックにひびが入っていると大変危険です。そのような場合は、改修工事を行います。

■建築設備・看板等の耐震対策

室外機や冷却塔、煙突などの建築設備や看板は、屋外の高いところに設置することが多いため、転倒や落下をしてきたときは、通行人などに大きな被害をもたらします。

また、このような人的被害のほか、建築設備は、タンクの破裂、配管の破断や変形など、地震による損壊により使えなくなることも問題です。

落下・転倒対策としては、固定部分又は倒れ止め部分が健全かどうかの定期点検と、工法の検討が重要となります。看板などは面が大きく、風にあおられることが多いため、強風に耐えられるように固定します。

地震や台風などの脅威に際して、固定部分にかかる力の大きさや繰り返し回数、遭遇頻度などを検討します。また、複数箇所固定することによって、一部が損傷してもすぐに落下・転倒しないような方法をとることも有効といえます。

設備配管などを2ヶ所以上で固定する場合、地震などの外力で建物に固定した部分が移動するため、どうしても変形は発生します。

変形を軽減する方法としては、配管を直接固定しないで一部をさや管構造などとし、動きに追従できるようにしたり、フレキシブル管などの変形性のある材料を使用するなどの方法があります。

■家具の耐震対策

建物と同様に、家具についても耐震対策が重要です。今まで見てきた非構造部材の耐震対策と同様に、落ちてこないよう補強したり、倒れないよう金具で固定するなどの方法が有効です。

また、倒れやすく危険な家具などを、就寝場所など、部屋の中で、人が長い時間居る場所に置かない、などの工夫も大切です。



まとめ

地震に対して、建物などの安全をどのように考えればよいか、ここまで大まかに見てきましたが、いかがでしたか？

実際の構造計算や耐震診断は、小難しい数式をたくさん使ったり、コンピューターを使って反復計算をしたり・・・と、なかなかちょっとのぞいてみたところで、何をしているかわかりにくいものです。

けれど、今まで見てきたように、**基本的な考え方や、大切なポイントは、何故それがよいか、何故そうなるのかを素直に考えれば、どれもこれも、ごくあたりまえのことばかりなのです。**

「壁がたくさんあれば建物は強い」とか、「真四角の建物は強い」とか、「偏りがなく、弱点のない建物は強い」とか、「落ちそうなものは落ちないように固定する」とか・・・

どうですか？誰でも、常識的に考えればそうだよ、といえることばかりですよ。

それと、もうお気づきかもしれませんが、耐震設計や耐震診断をするとき、実際のそのとおりの建物をそのまま評価することはできませんから、いろんなプロセスで、かかる力や、建物形状、部材の壊れ方などについて、計算したり、数字で評価したりできるように、このように**みなす**という「**仮定**」をしていました。

実際の設計において、構造計算をする前には、まず、「**構造計画**」といって、これらの「**仮定条件**」の設定をします。これを「**モデル化**」ともいいます。

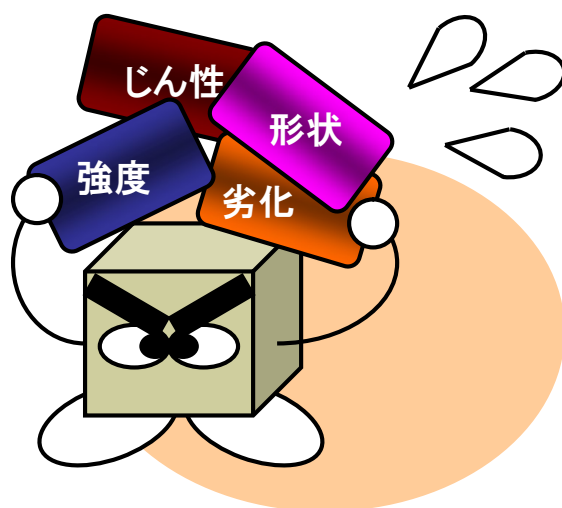
ここで、実際の建物とは似ても似つかない、とんでもない仮定をすると、実際の建物とは全く違ったモデルで計算をすることになり、計算結果と全く違った挙動をする建物ができあがってしまいます。

つまり、「**モデル化**」をするにあたって、これらの「**常識的**」「**ごくあたりまえ**」という感覚が、実は、とても大切なのです。

ご自身の住んでいるお家がどんな形になっているか、どこの壁が効くのか、力がどういう風に流れるようになっているのか、「**モデル化**」して絵に描いてみたり、頭の中でちょっと想像したりしてみませんか？

耐震設計とは

～耐震設計の基礎知識～



耐震設計とは (ver_1.1)

作成 香川県土木部建築指導課

香川県高松市番町4-1-10

TEL 087-832-3612

https://www.pref.kagawa.lg.jp/kenchiku/taisokuhou/info_other/taishin_other.html 平成22年9月