

平成11年度 農林水産省補助事業  
低コスト住宅資材供給体制整備事業

# 木質建材利用合理化技術実用化事業報告書

## (地震力の流れと荷重変形性能)

平成12年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



## まえがき

木造軸組構法住宅の発展を図っていくためには、設計、施工の両面から新しい技術を導入することを通じて木質建材の利用の合理化を図っていくことが必要である。そのためには、精度の高い設計法の適用が行えるような技術を整備することが重要である。

本事業では、以上のような観点から木質建材の利用合理化に資するため、接合部、耐力壁等に関するデータを整備することを目的として、数多くの強度実験を実施し、そのデータを整備してきた。

一方、これらのデータを利用し、より精度の高い設計法を適用するには、木造軸組構法住宅の構造特性を理解しておくことが必要である。本報告書は、設計上で重要となる木造軸組構法住宅の特性において、実験より明らかとなってきた「地震力の流れ」と「荷重変形性能」について平素にまとめたものである。

平成12年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター  
理事長 岡 勝 男



## 目 次

## 第1章 材料及び接合部の荷重変形性能

1 材料と接合部の性能	1
2 材料強度と変形	4
3 接合強度と変形	5
4 面材	8
4-1 釘の打ち方による面材の耐力の違い	8
4-2 面材の抵抗力の考え方	9

## 第2章 建物全体の荷重変形性能

1 建物全体の荷重変形性能	10
1-1 剛床仮定での建物の変形	11
2 水平構面⇄鉛直構面間の力の流れ	13
3 水平構面の剛性（柔床）の影響によるせん断変形	14
4 全体の変形	15

## 第3章 構造要素の荷重変形性能

1 鉛直構面	16
1-1 筋かい耐力壁（軸力系耐力壁）	16
1-2 面材耐力壁（せん断系耐力壁）	17
1-3 土壁耐力壁（せん断系耐力壁）	18
1-4 たれ壁・腰壁・袖壁、床・天井勝ちの間仕切り壁	18
1-5 小屋裏構面	21
1-6 壁線	22
1-7 耐力要素が連続することによる効果	23
2 床・屋根（水平構面）	33
2-1 水平構面の要素	33
2-2 水平構面の剛性	37
2-3 剛床が成立するとみなせる条件	37
3 基礎	38
3-1 島タイプの場合の力の流れ	38
3-2 半島タイプの場合の力の流れ	38

## 第4章 構造形態による力の流れ

1 屋根構面からの力の流れ	39
1-1 二階間仕切り壁と小屋裏構面の剛性の違い	39
1-2 外壁と内壁との力の伝達の割合	39
2 吹き抜け構造	40
2-1 吹き抜け構造の構造上の問題点	40
3 オーバーハング	41
3-1 オーバーハング構造の力の流れ	41
3-2 オーバーハング構造の要点	41
4 下屋（セットバック下屋）	42
4-1 下屋構面からの力の流れ	42
4-2 下屋構造の要点	42
5 1階耐力壁下部に布基礎がない場合の力の流れ	44



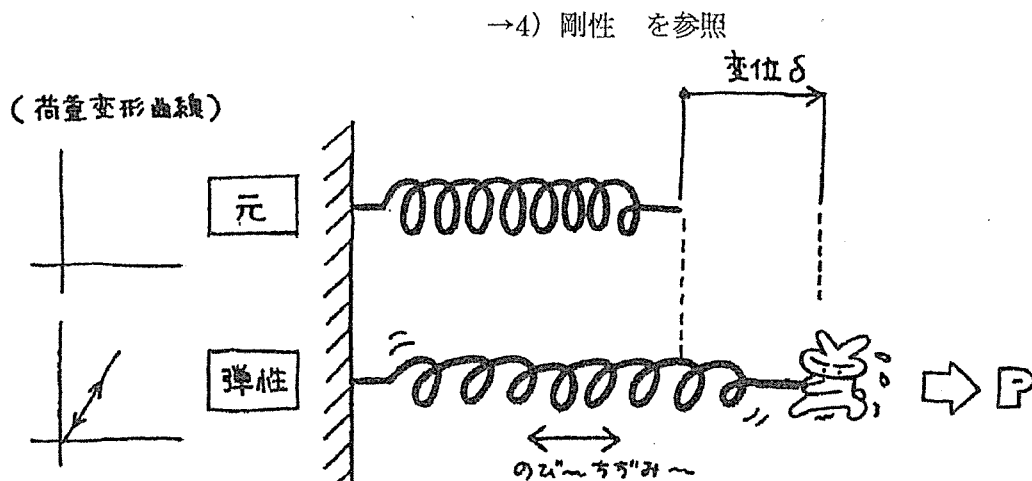
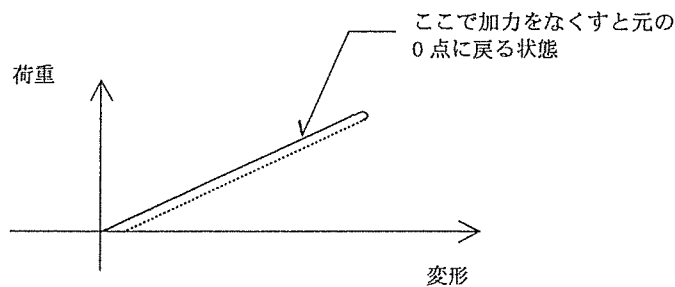
第1章 材料及び接合部の荷重変形性能

1 材料と接合部の性能

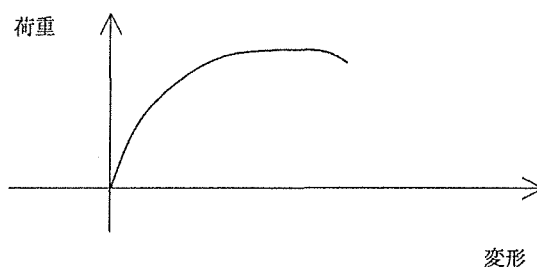
性能を評価する基準として 最大耐力やかたさ(剛性)、ねばり(靱性)などの特性が考えられます。これらの特性は荷重-変形関係で表されます。

荷重と変形の関係には次のような性質があります。

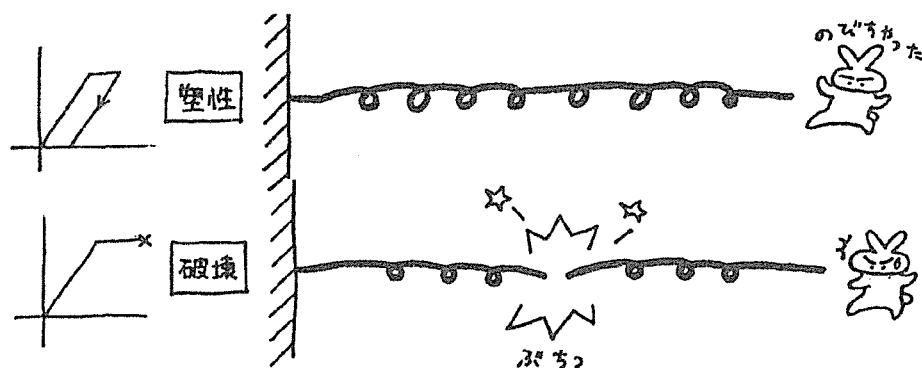
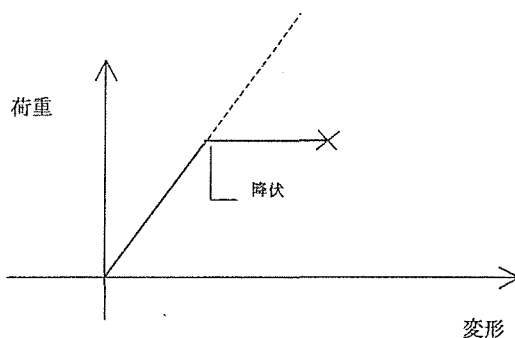
- 1) 弾性変形・・・荷重と変形の大きさが比例している状態。荷重をなくすと元の状態に戻ります。ゴムやばねのようなものがこのような変形をします。荷重と変形量の関係のグラフは原点を通る直線になります。この直線の傾きが大きい(荷重の増加に対する変位の増加が小さい)ほど硬いものだということになります。



- 2) 塑性変形 …… 荷重と変形の関係が比例していない変形状態。荷重をなくしても元の状態に戻らず、塑性状態で変形した分だけがそのまま残ります(残留変形)。ビニール膜などはこのような変形をします。荷重と変形量の関係のグラフは直線になりません。荷重が一定で変形のみが増大する(グラフの傾きが0)の状態を完全塑性状態といいます。

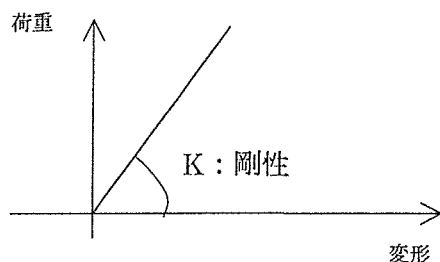


- 3) 降伏 …… 弾性変形している状態から、ある荷重の大きさを越えると塑性状態になることを降伏といい、その点を降伏点といいます。

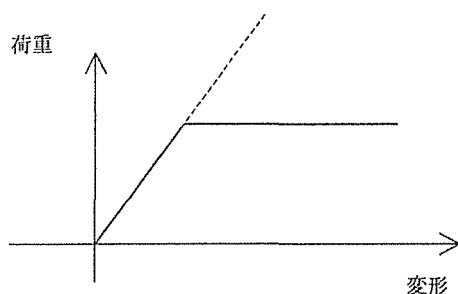




- 4) 剛性 …………… 変位の増加荷重の増加に対する荷重の増加の割合を表す指標です。荷重と変形量の関係のグラフ上ではグラフの傾き＝剛性になります。



- 5) 靱性 …………… 変形時のねばり強さの指標です。塑性変形する区間が長いほど靱性が高くなります。
- 6) 脆性 …………… 変形時の脆さの指標です。剛性が高く、かつ靱性が低い場合は非常に脆性が高いといえます。
- 7) 完全弾塑性 …… ある1点までは弾性変形状態でその点で降伏した後完全塑性状態になること。弾性変形状態から塑性状態なることを降伏という。グラフは弾性変形状態と完全塑性状態の2直線の折れ線（バイリニア）になります。



建物に、被害が全く生じないようにするには建物の材料や接合部等全ての変形が弾性変形範囲に収まらないといけません。しかし、百年に1回起きるかもしれないような大地震に対しても、被害が生じないようにするのは経済的ではない場合があるので、建物が倒壊したりして人命に被害が及ぶようなことがない程度の塑性変形を許容した設計が許されています。

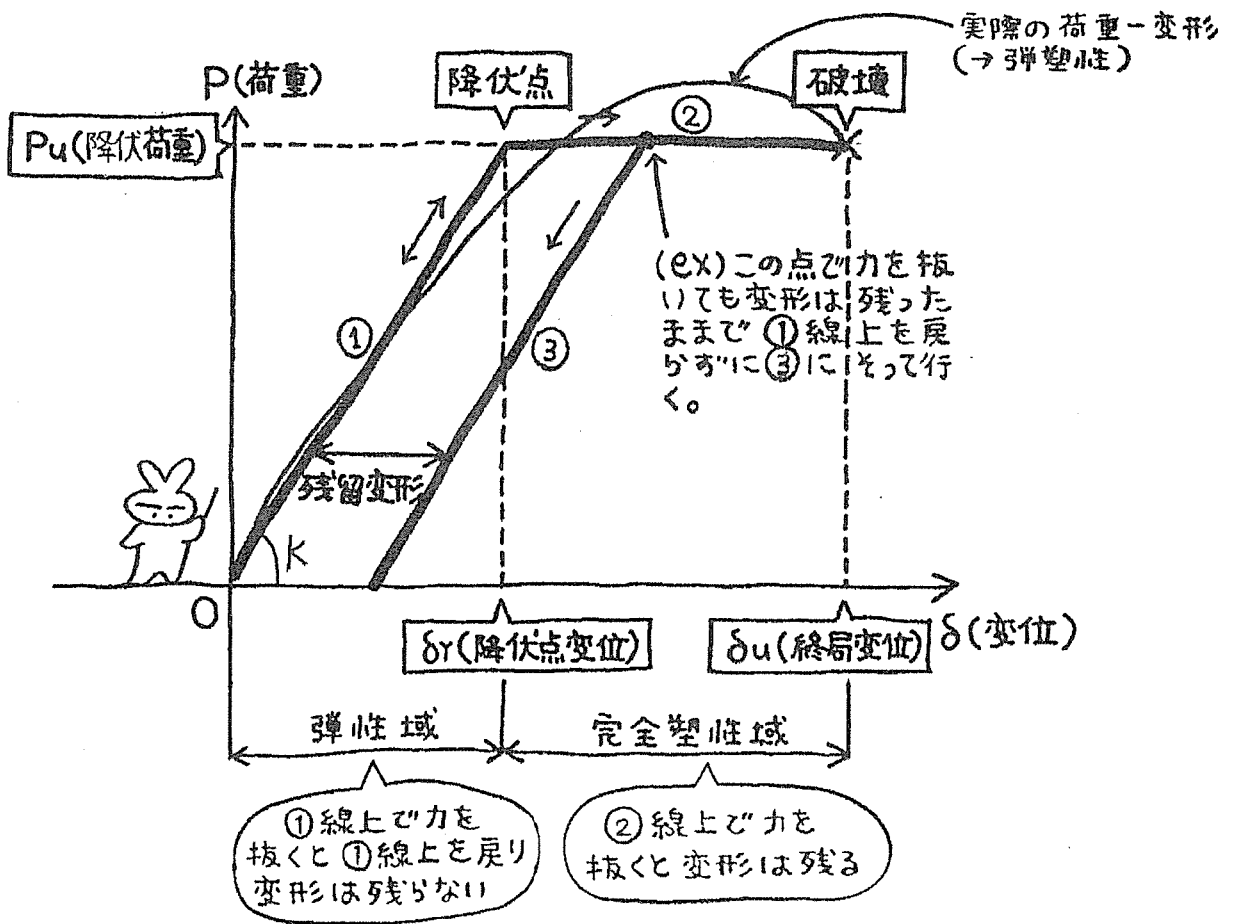
この建物が倒れないぎりぎりの状態を終局状態といい、そのときの強度を終局強度といいます。塑性変形は地震動のエネルギーを変形することでよく消費できるので、終局状態を計算に入れることで耐震性をアップすることができます。

耐力要素・建物全体の終局耐力の計算は、材料・接合部の荷重-変形性能を用いて全体の変形を計算することで可能になります。

2 材料強度と変形

現実の木材は、はじめは弾性で途中から塑性になる（弾塑性）ような性質を示します。これを、構造要素が破壊されるか、あるいは荷重が最大荷重の 0.8 倍まで低下したときまでに吸収するエネルギーが等しいような完全弾塑性要素に置き換えて考えることで、終局時の変形性能を正しく、計算上で評価できるようになります。

材料の荷重-変形性能は、構造計算が成り立つように、試験結果を完全弾塑性に置換して、材料性能のばらつき・施工精度、劣化等の影響を統計的に処理して求めます。



$K$ : 剛性

### 3 接合強度と変形

接合部の場合、材料自身の性能に加えて、要素同士が組み合わされたときの変形・力の伝達・挙動を評価しなければなりません。場合によっては接合部や壁体としての試験結果から評価したほうが適切な場合もあります。

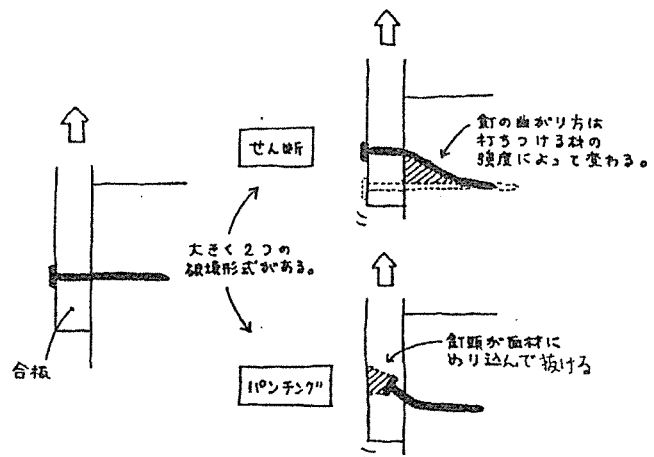
接合部の荷重-変形性能も、試験結果を完全弾塑性に変換して、材料性能のばらつき・施工精度、劣化等の影響を統計的に処理して求めます。

木構造では部材単体の性能よりも接合部での性能によって耐力が決定されている場合が多いのでよく検討することが必要です。また、木材特有の力学的性質によって、S造やRC造とはまったく異なる変形・破壊の性状を持つので注意が必要です。

#### ● 釘などのせん断、パンチング

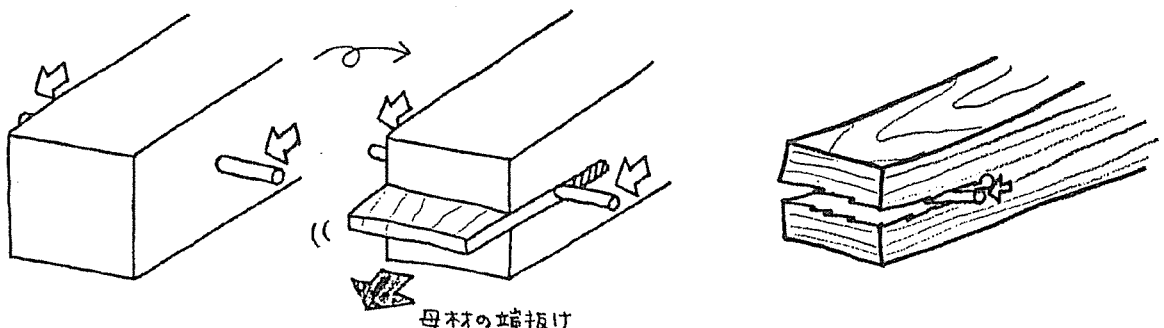
打ちつける材の性質によって耐力や破壊形式が変わってくるので、釘+側材の試験データから接合部の性能を決定するのが適切でしょう。

また、施工的には釘の頭がめり込んでいたりすると、パンチングが生じているのと同じなので、耐力が下がります。(ほとんどの試験では釘を手打ちしているので、既存の試験データは、釘頭がめり込んでいないときのものです。)



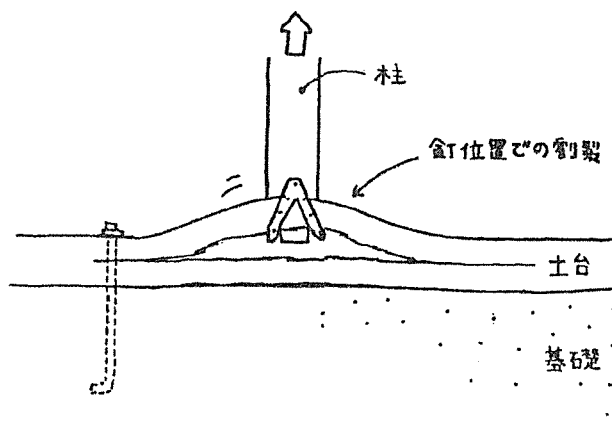
#### ● 母材のせん断、端抜け

木材の繊維方向のせん断力は、非常に脆性的な破壊を引き起こします。



## ● 割裂

木材の繊維方向と直交方向に引き裂こうとする場合、釘などの接合具のせん断強度が木材の割裂に対する強度より高い場合、脆性的な破壊が生じます。



例えば、柱脚部に山形金物を使っている場合で土台が弱いと

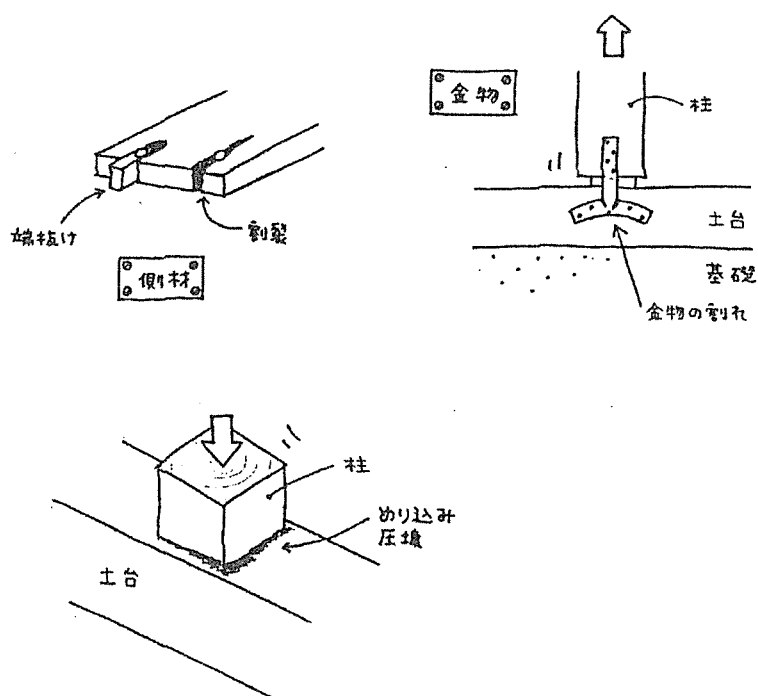
ZN90 釘のせん断耐力 > 土台の割裂に対する耐力

となって土台の割裂による脆性的な破壊をおこします。

## ● 側材の端抜け、補強金物の切断、降伏。

木口に近い場所に釘等が打たれている場合、木口から十分な端距離をとっていないと、せん断による端抜けや、割裂などの脆性的な破壊が起きる場合があります。

補強金物を使用する場合、釘や母材の耐力が十分ある場合は、金物の側で破壊が起きる場合もあります。この場合は金属のねばりが生きた靱性の高い破壊性状になります。

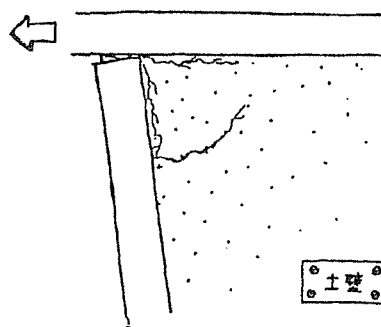


## ● めりこみ

ねばり強い（靱性の高い）変形性状を示します。ただし、一定以上の変形になるとせん断破壊的な性状をしめします。

● 圧壊

圧縮破壊という意味で、土壁の場合ではコーナー部が柱と梁の変形によって圧縮されて破壊します。この場合の破壊は脆性的です。

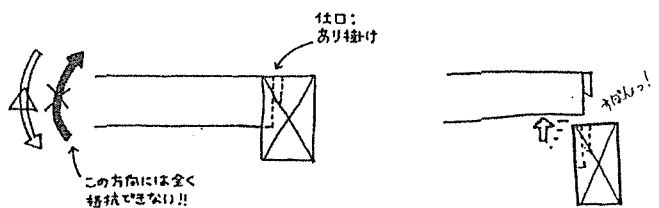
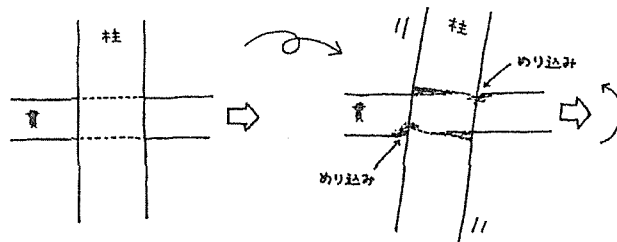


● 柱・梁等の接合部

柱一貫の接合部はめり込みによる抵抗をします。

木造の仕口は、抵抗に方向性がある場合があります。

貫による抵抗増強

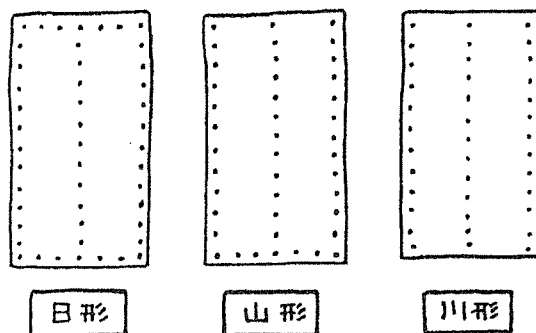


上にあげた例だけでなく、他の現象についても適切なモデル化を行い、すべて弾塑性評価します。

## 4 面材

## 4-1 釘の打ち方による面材の耐力の違い

面材の面内方向のせん断耐力は、釘の太さや長さだけでなく、釘の打ち方によって大きくかわってきます。

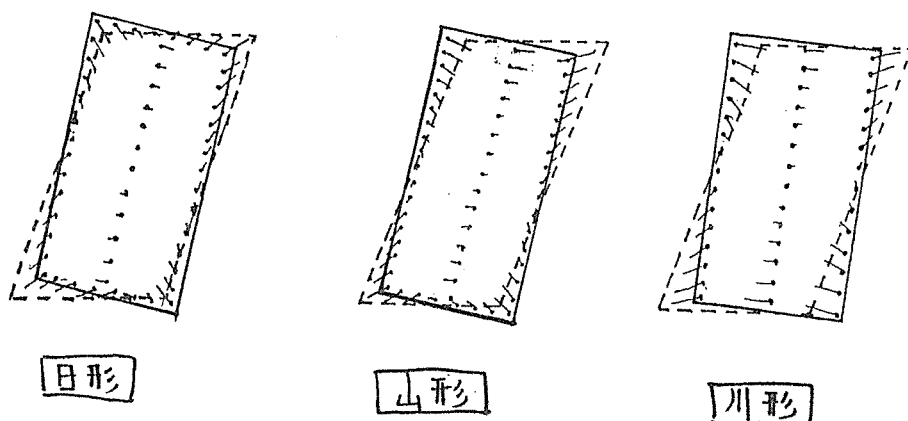


N50@150 で釘を打ちつけたときで、日形を1とすると

釘打ち方	日形	山形	川形
耐力	1	0.78	0.60

程度となります。

山形や川形の釘の打ち方は床や天井勝ちになっている壁（→第3章 1-4）等で多く見られます。



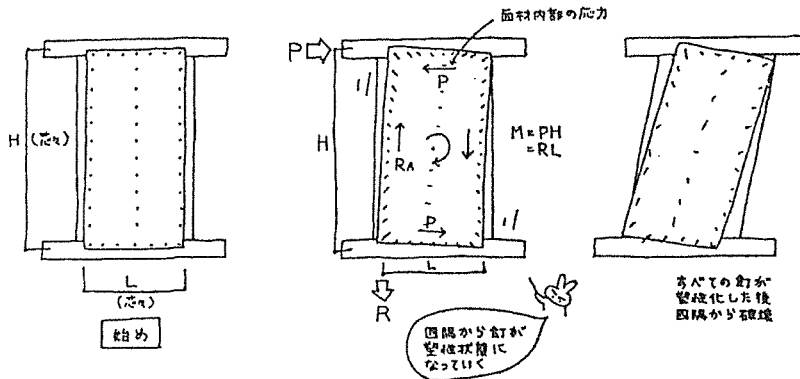
水平力が加わり面材がずれ始めると四隅の釘から抜け始めます。川型や山形の場合、釘が面材の辺に直角に近い方向に抜け出すので、面材の端から十分な距離をとって釘を打ちつけていないと、面材が引き千切れて耐力が低下し、脆性的な破壊を引き起こしやすくなります。

→第3章 1-4 たれ壁・腰壁・袖壁、床・天井勝ちの間仕切り壁

4-2 面材の抵抗力の考え方

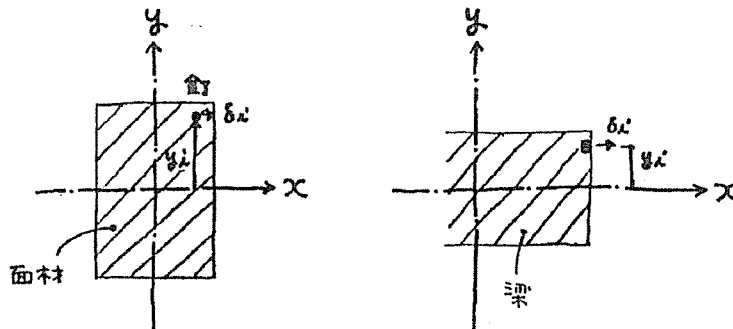
面材は剛体（変形しない）とみなして、釘のせん断変形だけを考えます。

力の釣り合いから水平力  $P$  による剛体回転モーメント  $P \cdot H$  につりあうために面内にもモーメント  $M = P \cdot H$  が生じます。このモーメントは鉛直方向の反力によるモーメント  $R \cdot L$  につりあいます。



梁の曲げモーメントがが（梁断面内の微小要素に生じる材軸方向の応力×中立軸からの距離）の総和で表すことが出来るように、このモーメント  $M$  も（面材に打たれた釘のせん断力×中立軸からの距離）の総和で表すことが出来ます。

この考え方を使って面材の抵抗モーメントは、釘のせん断耐力を用いて、梁の曲げと類似の方法で求めることが出来ます。



## 第2章 建物全体の荷重変形性能

### 1 建物全体の荷重変形性能

建物が地震力等によって変形するときに、建物としての限界の性能を決める指標は、ひとつは、建物が倒れないことです。もうひとつは、全ての構造要素が接合部で一体化されて挙動することです。もし、部材が外れたり落ちたりすれば、中で生活している人の安全を守ることが出来ません。

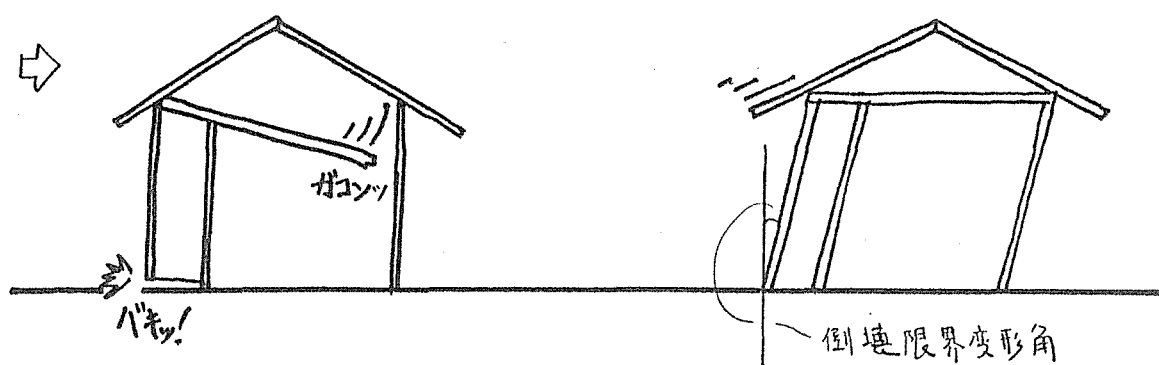
したがって、建物としての限界の性能は

A. 「材料または接合部が破壊する寸前」

か、

B. 「建物が自立できる限界の傾きに達したとき」

のいずれか小さいほうの耐力で決定されます。



(A)材料・接合部の破壊

この破壊は部分的な破壊で、一気に建物全体の倒壊にはつながりませんが、内部にいる人が被害を受ける可能性があります。

(B)限界変形角に達した場合

この角度よりも傾くと、急に自重が建物を倒壊させる方向に働き、倒壊する危険性が非常に高くなります。

耐力壁などの耐力要素が壁面内に1列に組みこまれているものを耐力壁線、あるいは単に壁線といいます（→第3章 1-6 壁線）。この壁線やその他鉛直方向に設置されている耐力要素からなる面を鉛直構面（→第3章 1 鉛直構面）といいます。同様に、床面や屋根面などの水平方向の耐力要素殻なる面を水平構面（→第3章 2 床・屋根（水平構面））といいます。

建物全体の变形は、鉛直構面ごとの变形と水平構面ごとの变形を組み合わせた結果生じる水平方向の変位と回転になります。そこで、鉛直構面と水平構面に分けて考えることにします。まず、水平構面の变形を無視して（剛床仮定）考え、それに水平面の変形の足し合わせて考えます。



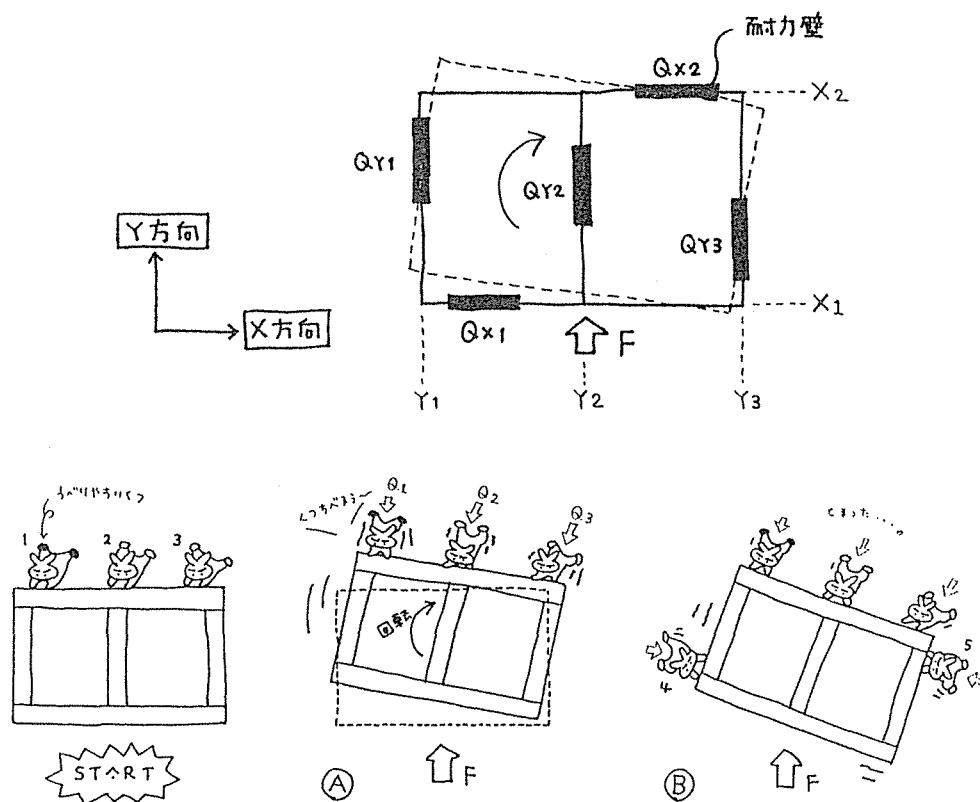
## 1-1 剛床仮定での建物の変形

はじめは床（屋根）が剛床（変形が生じない）とみなしたときの、完全塑性状態での偏心の評価について考えます。

耐力壁の荷重 - 変形関係が完全弾塑性だとします。

地震力によって Y 方向の耐力壁がすべて降伏したと（荷重一定になる）します。そうになると、地震力・耐力壁の偏在や剛性の違い（偏心）によって、建物にねじれが生じようとしたときには、ねじれ力には X 方向の耐力壁だけが抵抗できます。

X 方向の耐力壁の回転剛性によって建物のねじれ角が決定されます。



図で説明すると

①図で車の押す力  $F$  によって移動しようとする箱を①～③の三人が支えているとします。①の靴が滑りやすくして少しの力しか支えられないと、左右で支える力が違うので箱はバランスを崩して回転しようとしています。車の押す力が小さいうちは②が回転を止めようとしていますが、力が大きくなると他の二人の靴も滑り出し、ある一定以上の力は支えられなくなり、回転も止まらなくなります。

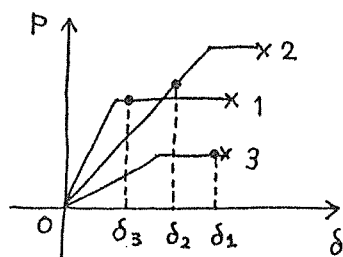
けれども、③のように横から支えてやれば回転しようとする力を止めることができます。

これと同じことが鉛直構面と建物質量に生じる地震力の間でもいえます。

(本当は動いているときと止まっているときでは摩擦力が違うので弾塑性モデルにならないがねじれの説明としてはわかりやすいのであえてこのように説明しています。)

このようにして建物が変形する場合、その中のいずれかの耐力壁の変位が、終局状態に達するか、限界変形角に達したにときが、建物全体の終局状態になります。

この時の各鉛直構面ごとの変位は、剛床と仮定しているので、耐力壁の変位分布は直線状になり、容易にもとまります。




[1-1の建物モデルの場合]

$\delta_1$ :  $Y_1$ 通鉛直構面の変位

$\delta_2$ :  $Y_2$ 通鉛直構面の変位

$\delta_3$ :  $Y_3$ 通鉛直構面の変位

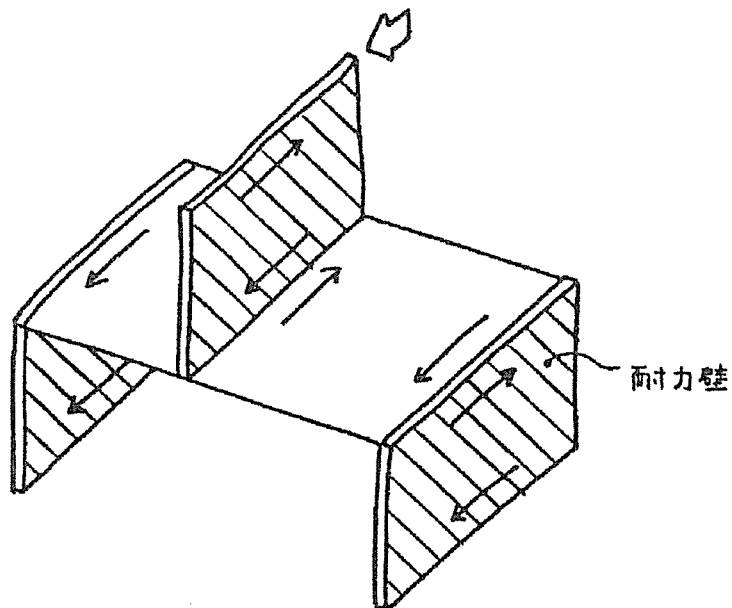
  $\delta_1$ が決定

## 2 水平構面⇔鉛直構面間の力の流れ

建物は形状や、重量の偏りの為に、構面ごとに負担する地震力が異なります。また、耐力壁線も、剛性・、終局耐力の違い（直下の耐力壁線がない場合を含む）があります。

地震力や階上の壁線から伝わるせん断力が、階下の耐力壁線に伝わる時は、直下の耐力壁線だけでなく、他の耐力壁線にも水平構面を通じてある比率で、せん断力が分配されていきます。

このとき、水平鋼面の剛性の違い(開口の影響含む)も、力の伝達の比率に関係します。



## 3 水平構面の剛性（柔床）の影響によるせん断変形

各構面ごとの荷重の不均等による構面間のせん断力のやり取り（→2）によって床面にせん断変形が生じます。

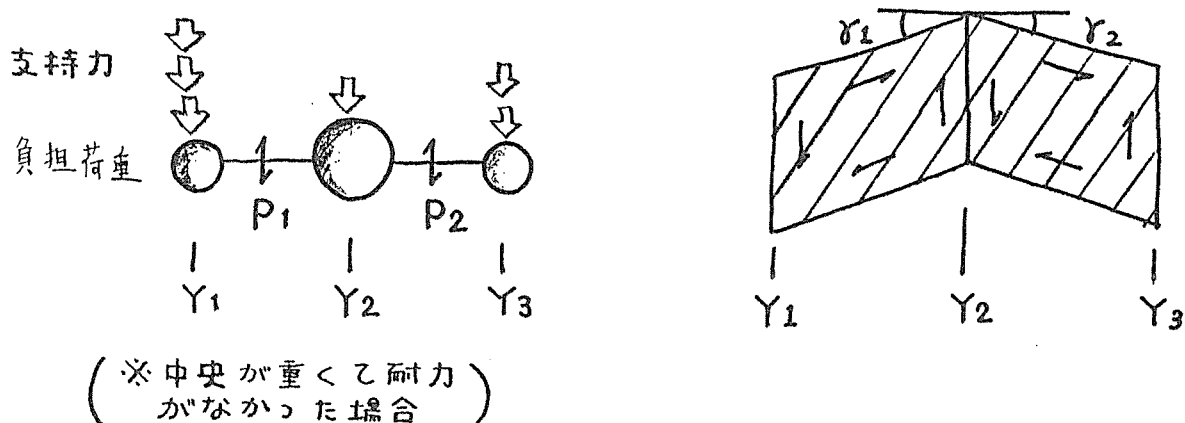
地振動による建物の加速度がどの構面でも同じとみなします。（実際は異なりますが、同じとしても、答えは実用上問題無い精度で得られます。）

各構面の負担する質量は簡単に求められるので、力＝質量×加速度 の関係より、実際に作用する外力  $P_n$  の大きさが求められます。この  $P$  からその構面が負担できる耐力（＝終局耐力  $Q_{un}$ ）を引いた残りは他の鉛直構面に水平構面を伝わって伝達されます。もちろん  $P_n$  の総和が  $Q_{un}$  の総和より大きい場合は、水平面の変形やせん断力の移行を検討するまでもなく、建物が倒れてしまうということは明らかです。

このときの面内のせん断力は、適切な骨組モデルを静的に解くことで求められ、

$$\text{せん断力 } \tau = G \cdot \gamma \quad (G: \text{せん断剛性}, \gamma: \text{変形角})$$

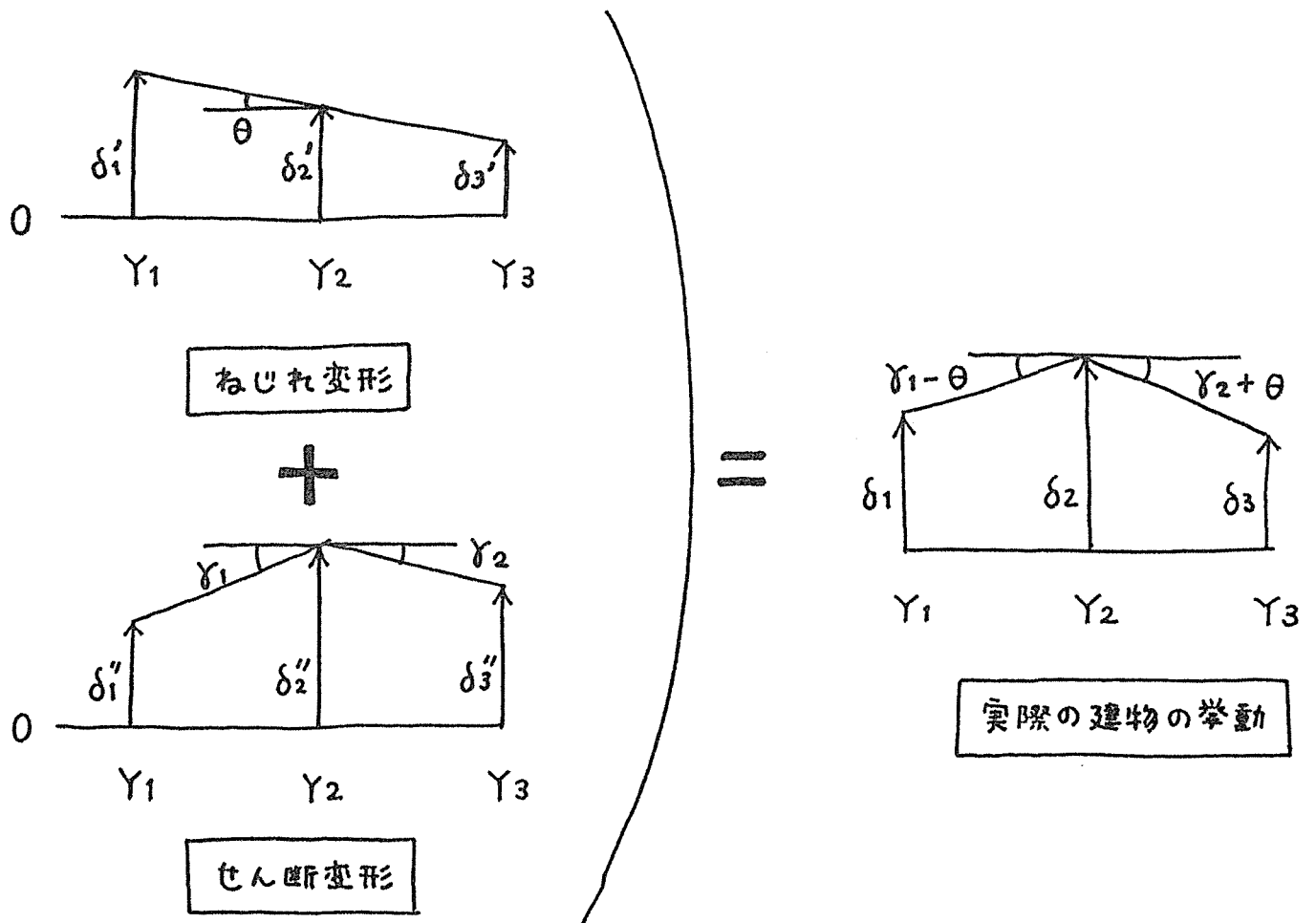
の関係からこのときのせん断変形角  $\gamma$  をもとめることができます。



4 全体の变形

1.と2.の变形を足し合わせることで実際の建物の挙動をあらわすことができます。

耐震性の評価は、柔床の場合各構面の変位分布は直線分布にならないので、代表として各構面の変位の平均値を用いて評価することになっています。



第3章 構造要素の荷重変形性能

1 鉛直構面

1-1 筋かい耐力壁（軸力系耐力壁）

圧縮時

① 座屈

細長い材に圧縮力が作用すると突然面外へ材が曲がって飛び出す場合があります。これを座屈といいます。間柱や面材で拘束されていると座屈しにくくなります。

② 端部の端抜け

梁の木口近くに。柱のホゾなどの仕口があると、地震時に木口から破壊しやすくなります。

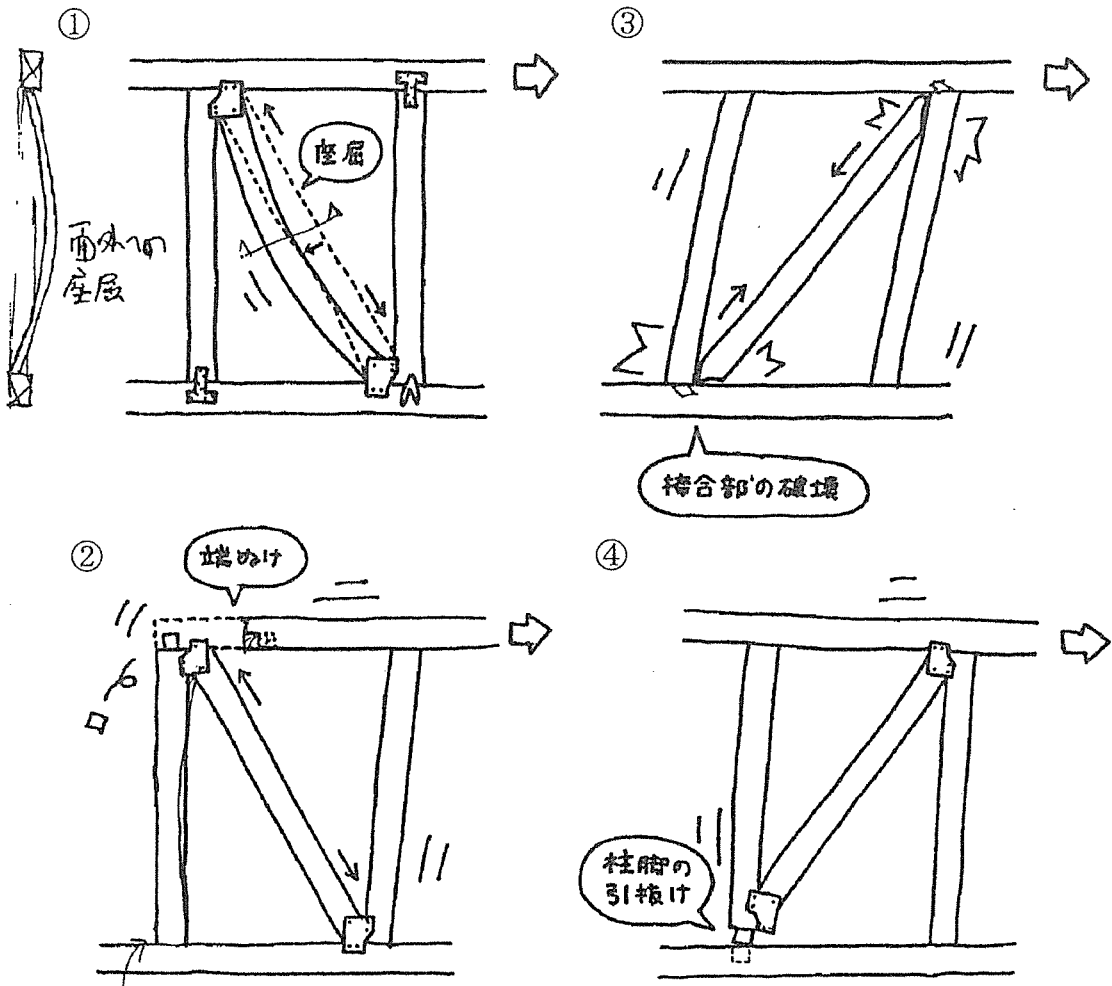
引張り時

③ 接合部の破壊

筋かいと柱・横架材の接合強度が足りない場合がしばしばあります。

④ 柱脚の引抜け

柱と横架材が応力に応じて緊結されていない場合は、柱が引き抜かれて倒壊する危険性が高くなります。

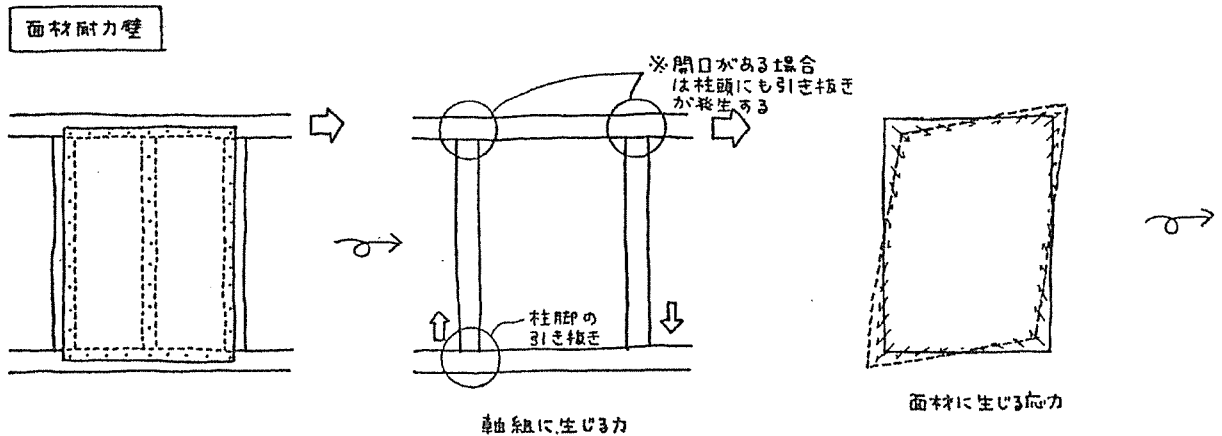


1-2 面材耐力壁（せん断系耐力壁）

ファスナー（釘）の配置と応力の分布によって耐力が替わってきます。

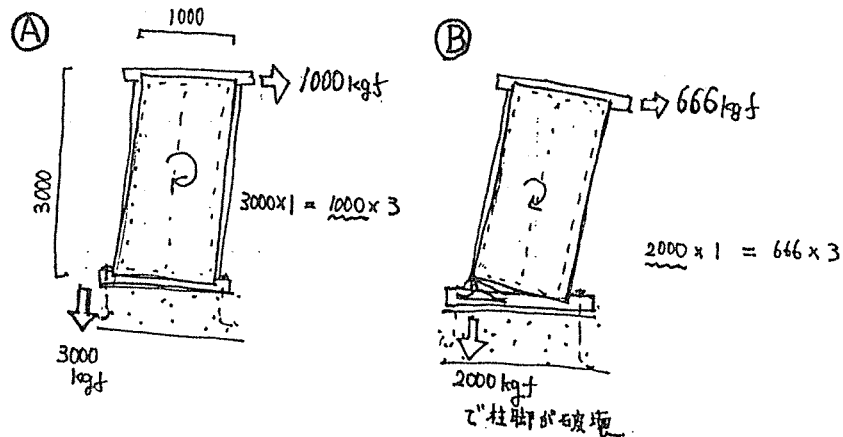
→ 第1章 4 面材

力の釣り合いから、軸組（枠組）にも力が生じます。特に、転倒モーメントによる柱脚の引き抜き力や、耐力壁が連続する場合の浮き上がり（→ 第3章 1-7-2）による柱頭の引抜き力に対しては、十分に考慮する必要があります。



面材耐力壁はせん断系で抵抗するが、柱脚部の引き抜き力が処理されていないと柱脚の引き抜きで耐力が決まってしまう。

たとえば、柱脚が十分補強された面材耐力壁(A)が 1000kg の水平力に耐えられるとします。このとき、(A)の柱脚には 3000 kg の引き抜き力が生じています。同じ耐力壁で柱脚部が 2000kg の引き抜き力にしか耐えられない(B)の場合、柱脚の引き抜き力の制限から 666kg の水平力にしか耐えられません。

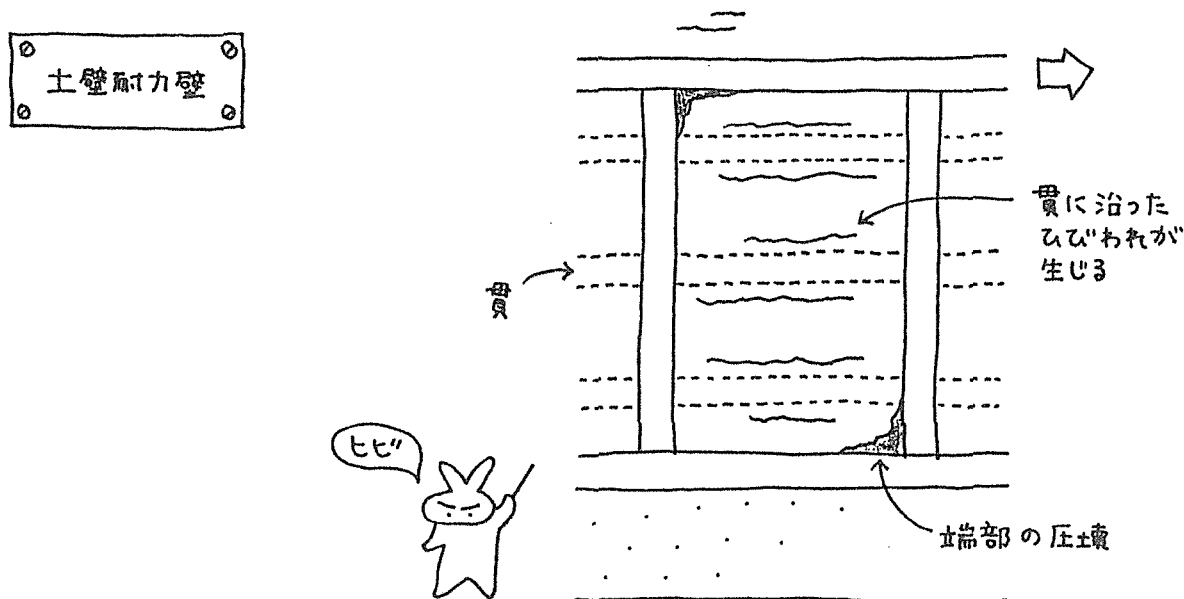


1-3 土壁耐力壁（せん断系耐力壁）

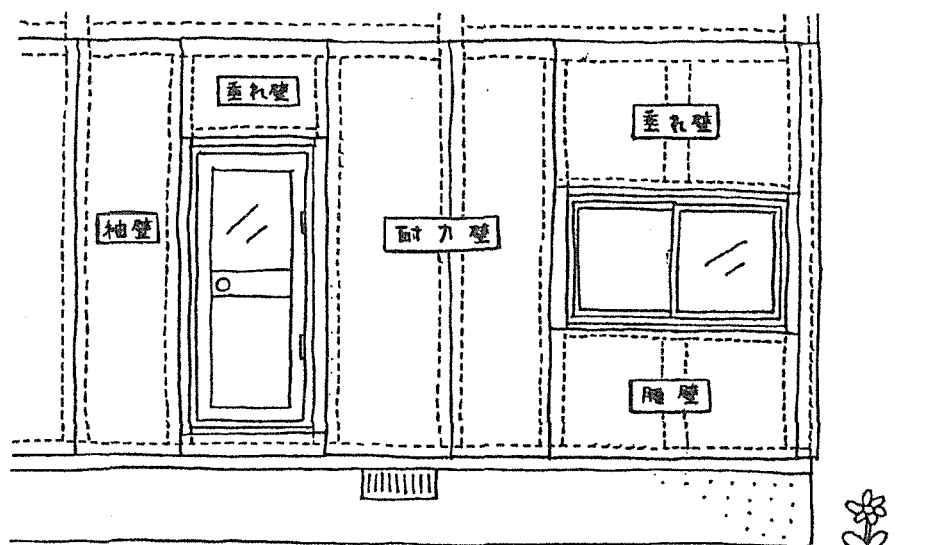
土壁の場合は、壁土のせん断、隅部の圧縮によって抵抗しています。

水平力が作用した時は、隅部が変形によって圧壊し始めた後に、貫に沿って亀裂が生じ、最後に X 形のせん断による亀裂が生じるようです。土壁の性能については、まだ未解明な点もあるので、慎重に考えたほうが良いでしょう。

実験的には無開口壁の長さが耐力に比例しているという結果が得られています。



1-4 たれ壁・腰壁・袖壁、床・天井勝ちの間仕切り壁



たれ壁・腰壁・袖壁は、雑壁と呼ばれている部分ですが、実際には耐力要素として働きます。

袖壁は幅が狭いので耐力の割に転倒モーメントによる柱引き抜きが大きくなること以外は普通の耐力壁と同じとみなせます。

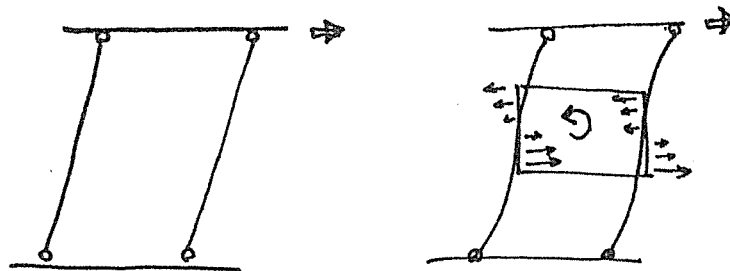


● 柱と小壁からなる曲げ系耐力要素となる場合

たれ壁・腰壁等の小壁だけで水平力に抵抗する場合は、垂れ壁・腰壁は梁から土台に水平力を伝えることができないので、柱を通じてせん断力が伝わっています。

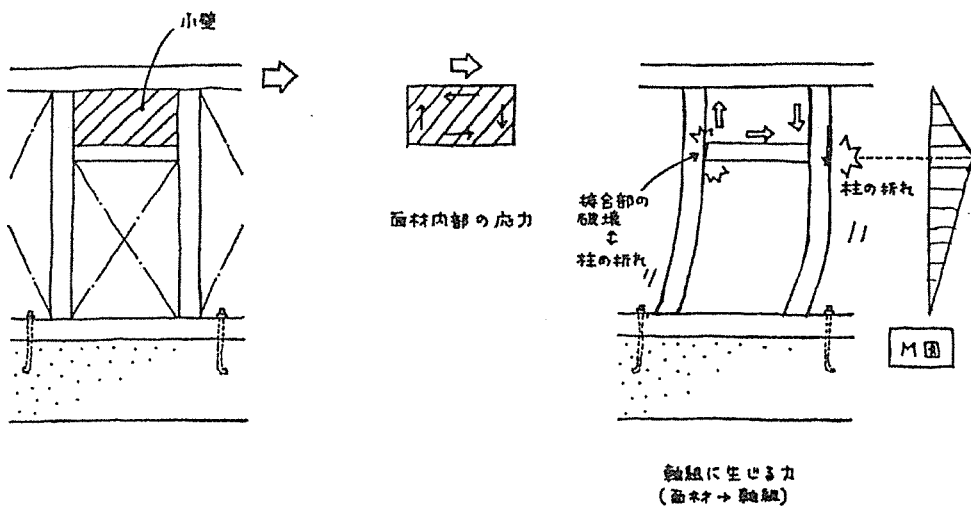
小壁はモーメントに対してのみ抵抗します。このとき、面材内部のせん断応力の釣り合いによって、開口部の枠材に水平方向の力が発生し、枠材が柱から引き抜けたり、柱を折り曲げたりするように働きます。

柱には、せん断力による曲げが生じます。開口部が大きい場合は曲げによる変形が大きくなります。



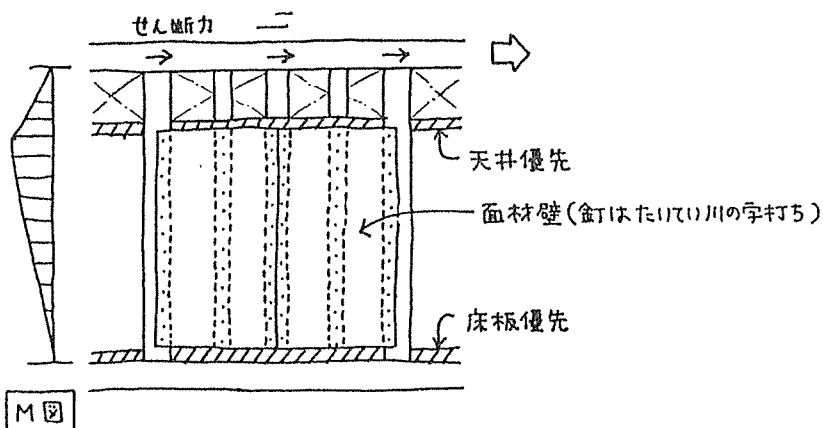
垂れ壁の場合

小壁をウェブ、枠材・梁をフランジとした I ビームによるラーメン架構的なものになります。

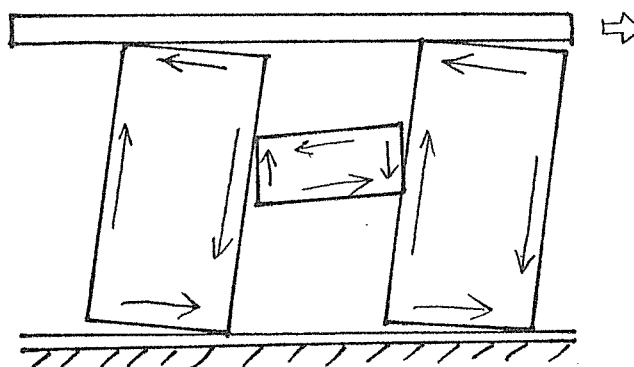


また、床・天井勝ちの間仕切り壁は、室内からは一見、完全な耐力壁に見えますが面材要素が天井や床板で切れているので、実際には垂れ壁や腰壁に近い構造です。

床・天井勝ちの間仕切り壁



- 耐力壁間の鉛直方向力を伝達するせん断抵抗要素となる場合



たれ壁・腰壁等の小壁が、耐力壁と接している場合は、耐力壁に生じる鉛直方向力を耐力壁間で伝達する役目をします。

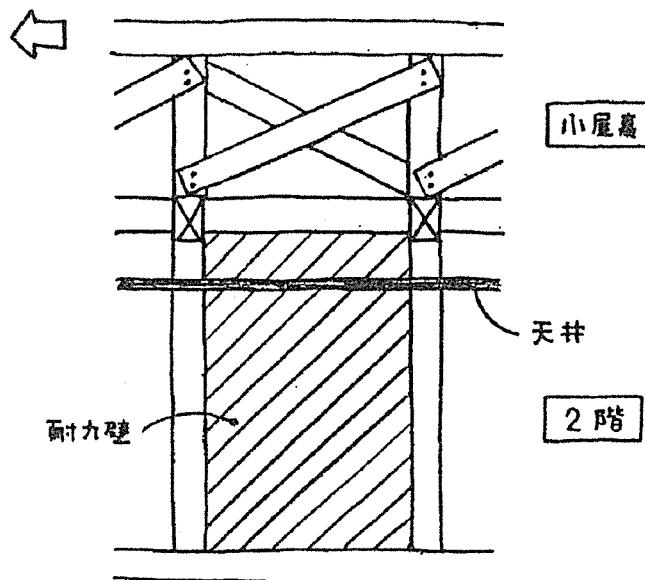
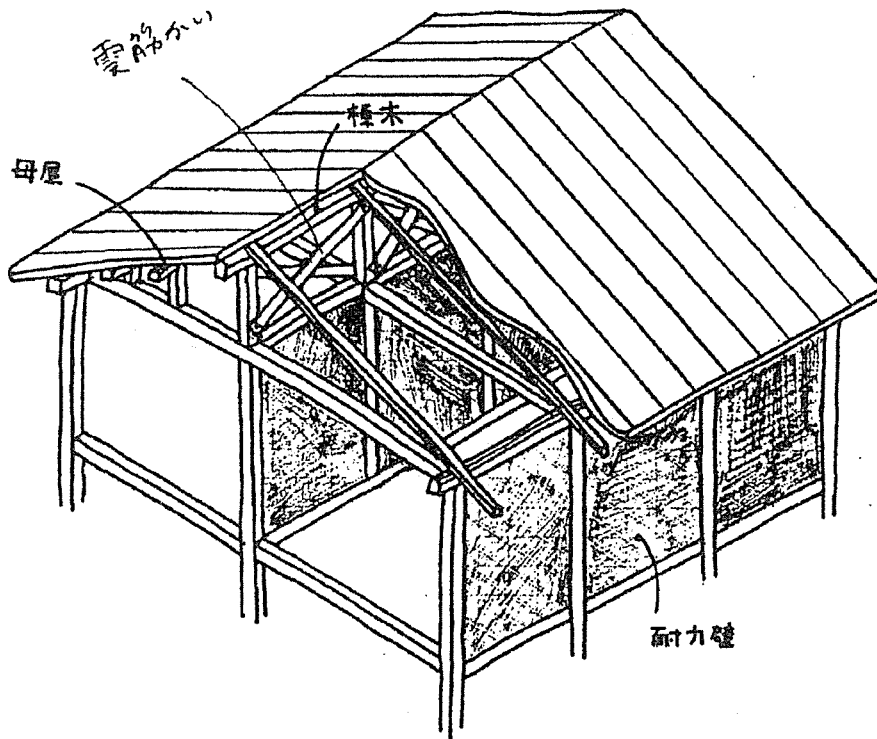
→ 第3章 1-7-2 浮き上がり

1-5 小屋裏構面

構造的にみると、小屋裏も1層と考えられますから、本来ならば、屋根の地震力を内部に伝えるために、小屋裏にも鉛直構面が必要です

旧来の和小屋のように耐力壁が屋根面に届いていないと屋根質量に生じる地震力が内部の耐力壁に伝達されません。

これには、屋根構面の剛さも影響します。 → 第3章 2 床・屋根



## 1-6 壁線

## 1-6-1 壁線内の力の流れ

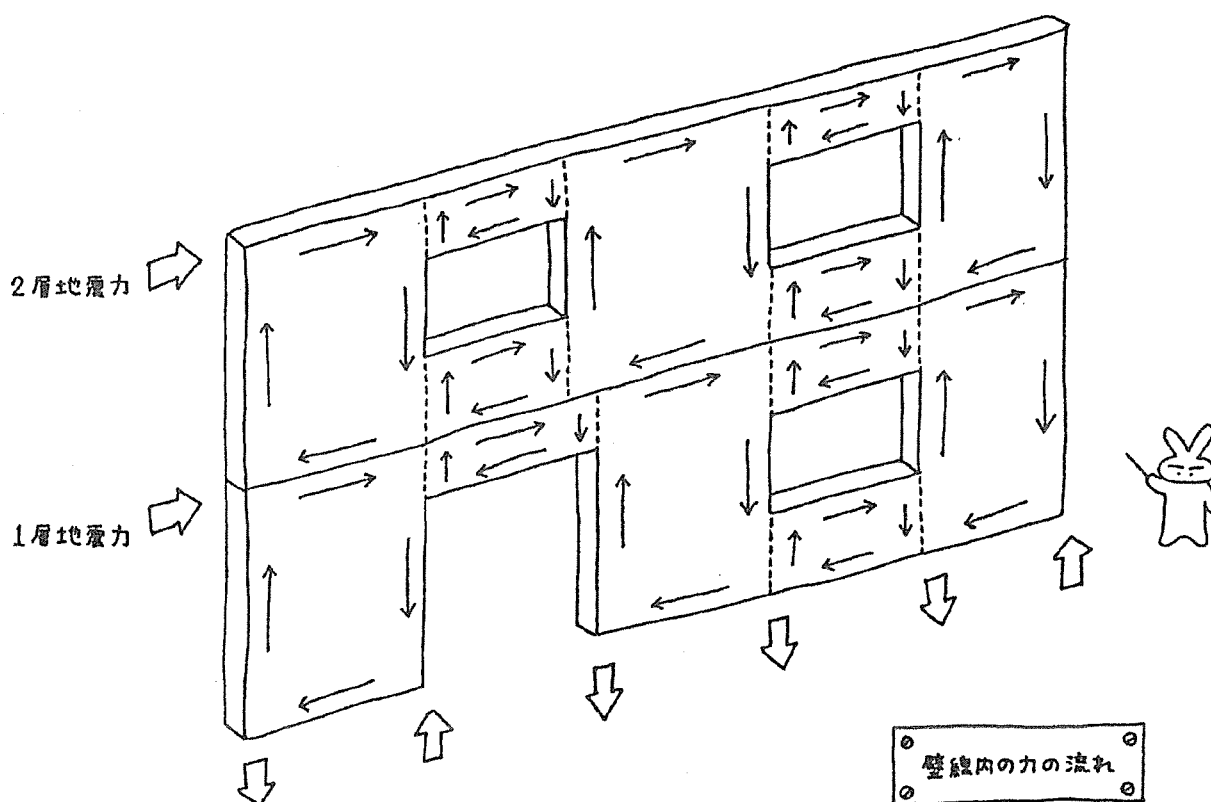
実際の建物では、個々の耐力要素は壁面の中に 1 列に組みこまれます。これを耐力壁線といいます。

壁線内では個々の耐力要素の上下端は梁桁・土台によって一体化されているので、梁がちぎれたり座屈しない限り、壁線内の耐力要素の変位はすべて同じになります。

→ 1-7-3 剛性の異なる耐力要素を組み合わせ

上下方向のせん断力は隣り合う要素同士で打ち消しあいます。

→ 第3章 1-7-2 浮き上がり



壁線間の距離は、水平構面を通じて力がやり取りされる場合に、変形量や、耐力にかかわってきます。

→ 第2章 建物全体の荷重変形性能

## 1-7 耐力要素が連続することによる効果

耐力要素が建物内に組みこまれて、耐力壁線として連続しているような場合、二次的、立体的な効果が生じ、単体の場合よりも耐力が増えたり、剛性が向上したりする場合があります。

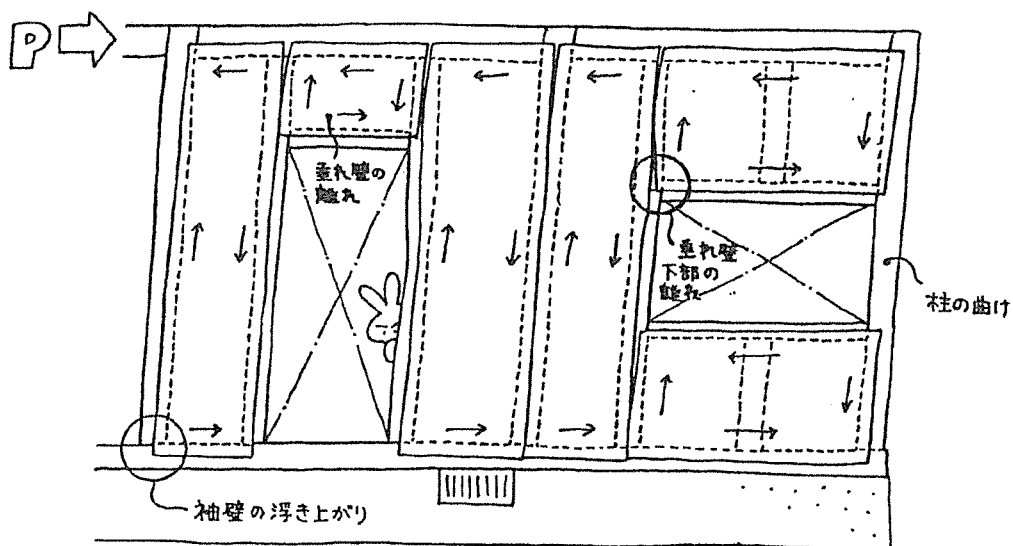
## 1-7-1 開口部付き耐力壁

開口部分での剛性の低下、応力集中が生じます。

垂れ壁、腰壁の応力によって、窓枠材に大きな引抜き力が生じます。

開口部の高さによって、耐力壁部分の柱脚部の引抜き力が変化します。

→ 1-7-2 浮き上がり



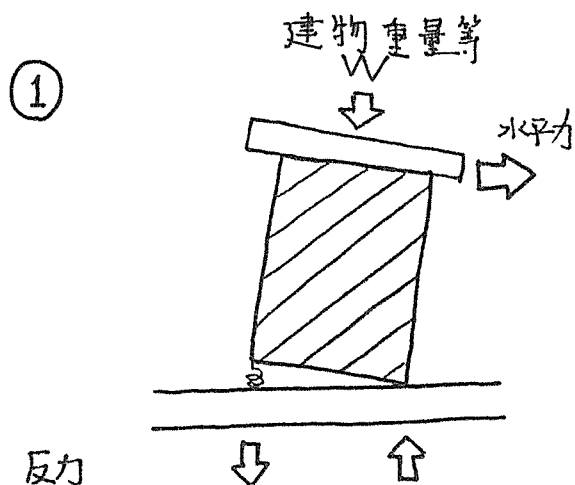
## 1-7-2 浮き上がり

## ● 浮き上がりのメカニズム

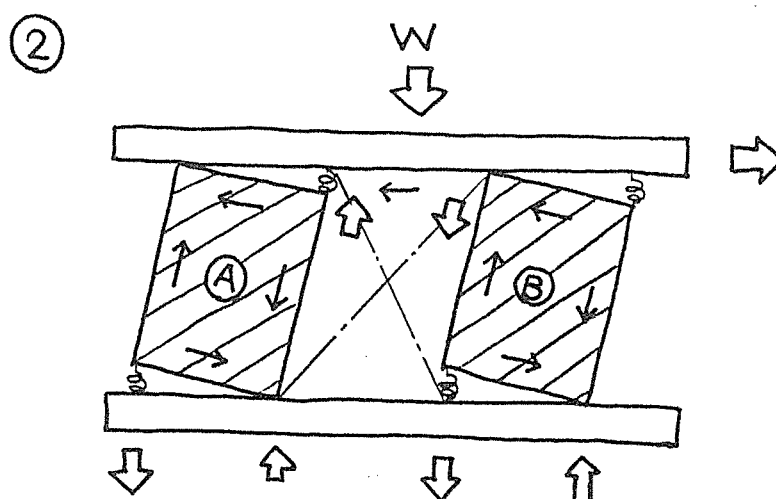
耐力要素が壁線内にある場合、面材間で力のやり取りが生じます。

柱脚部の引抜き力は、梁や小壁による影響をうけて、次のように変化します。

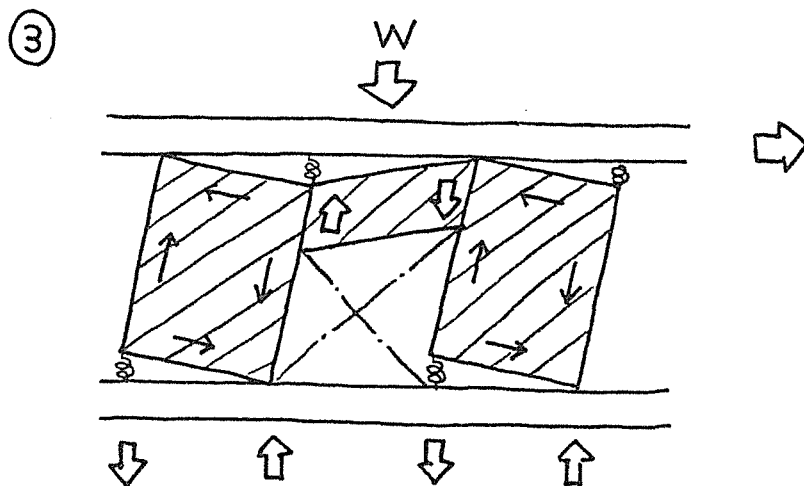
- ①耐力壁単体の場合……第1章 4 面材 で示したような転倒モーメントの簡単なつりあひになります。耐力は面材の釘か柱脚部のどちらかの耐力で決定されます。



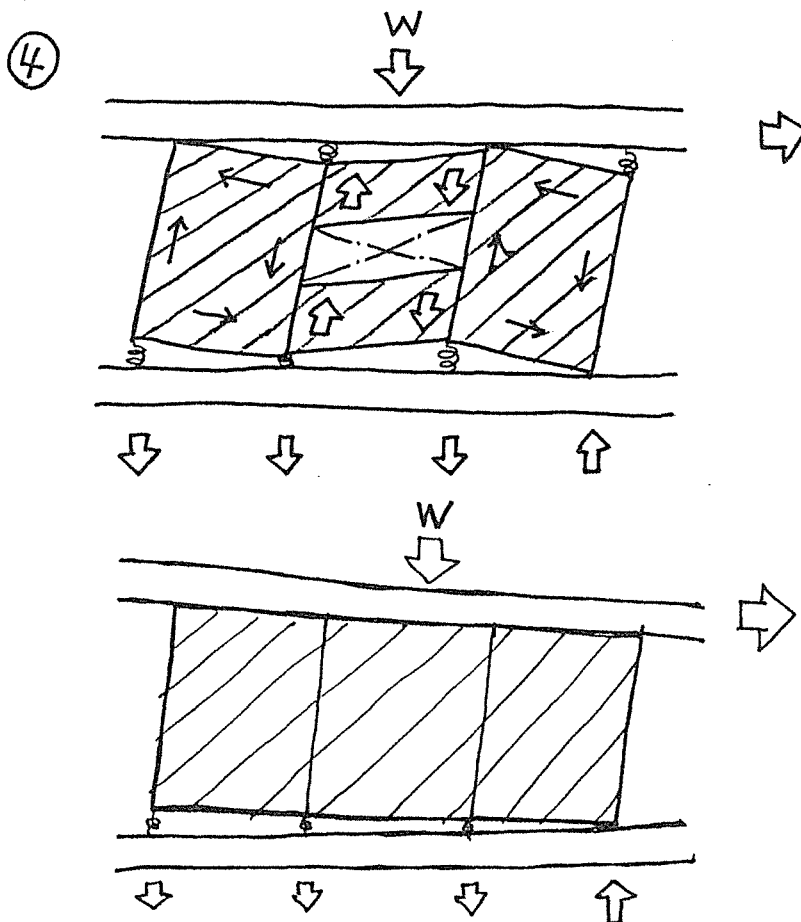
- ②のような場合……梁の力の釣り合いから、(柱頭金物+梁曲げ)のばねの耐力の分だけ梁を通じて力が再分配されます。これによって、耐力壁 B の柱脚の引き抜きが減少/耐力壁 A の柱脚の押え込み力が減少します。B の耐力が柱脚の引抜きで決まっている場合、柱脚引き抜きの減少分だけ更に多くの水平力を負担できるようになります。



③のような場合……………垂れ壁／腰壁が伝達するせん断力によって、②よりも多くの力が分配されるようになり、面材 B の浮き上がり抑制効果も、大きくなります。



④又は無開口の場合……………開口の高さが狭くなるにつれ、垂れ壁、腰壁を伝わって、分配される力は更に増えていきます。開口高さがある一定以下になると、面材 A に伝達される浮き上がり力が抑え込み力を上回り、面材 A の柱がすべて浮き上がるようになります。



※図中面材が変形しているようにかかれていますが、これは釘のすべりを表現したものです。

- 浮き上がりによる耐力への影響

耐力壁線全体では、浮き上がりによる破壊が抑制される分、耐力が増えます。従って、垂れ壁や腰壁の効果を実算に入れことで、耐力壁の枚数が同じ場合は、①<②<③<④ という順序で耐力が大きくなります。

ただし、このとき垂れ壁や腰壁内部のせん断力の釣り合いから、開口の枠材部分にも引き抜き力が生じます。この引き抜き力は開口の幅が広いほど大きくなります。この引き抜き力によって、枠材の接合部が破壊する場合があります。

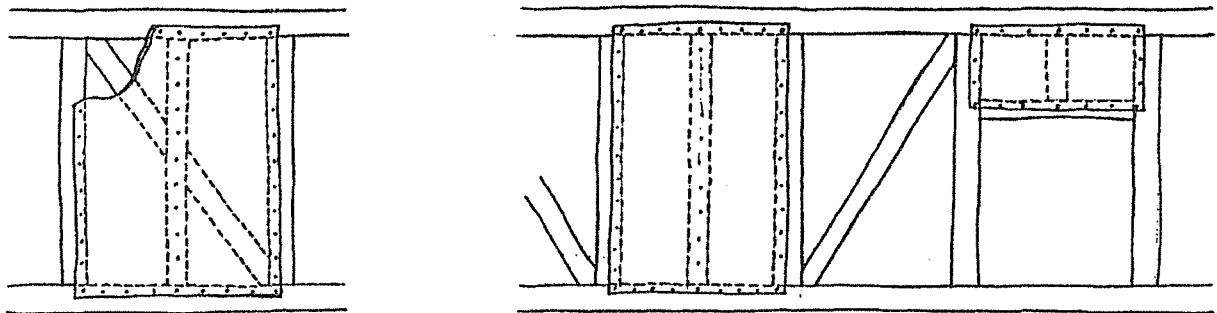


1-7-3 剛性の異なる耐力要素を組み合わせ

● 剛性の違いが影響→面材+筋交いの例

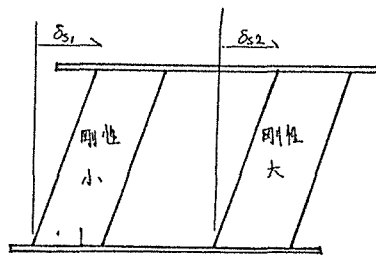
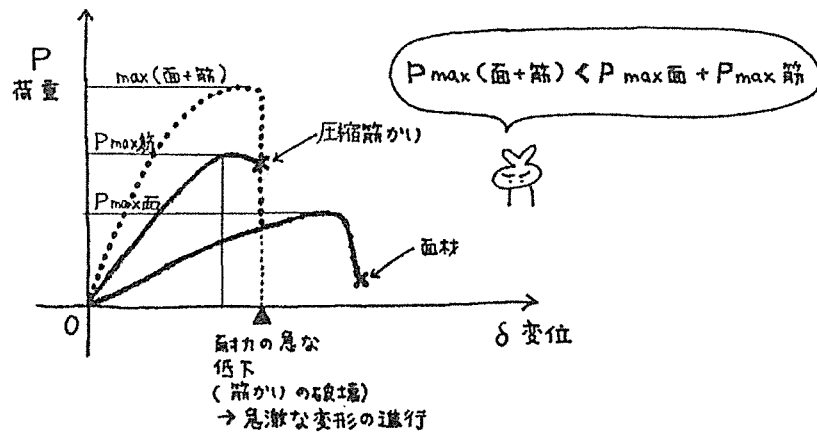
①の場合も②の場合も変位が同じになるので、荷重 - 変形関係は荷重 - 変形図中の点線のようになります。

この例でいえば面材が最大耐力に達しても筋交いは最大耐力の半分の耐力しか発揮していないことがわかります。

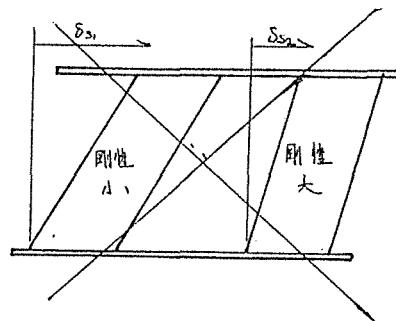


① 面材 + 筋かり

②



$$\delta s1 = \delta s2$$



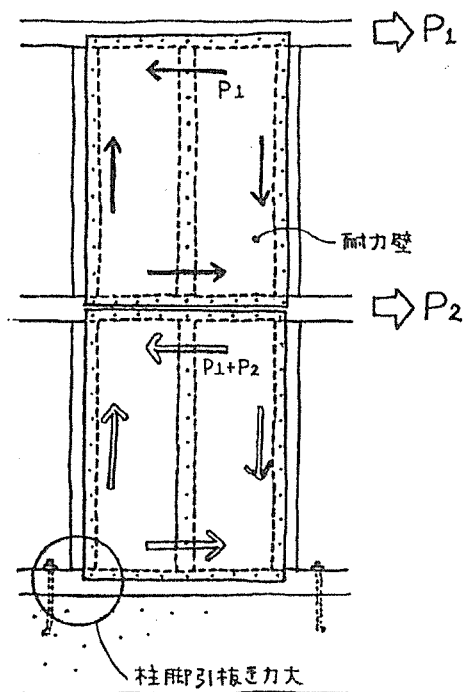
$$\delta s1 > \delta s2$$

同一構面内に剛性の違う要素があっても、剛性による変位の大小はなく、同一変位となります。

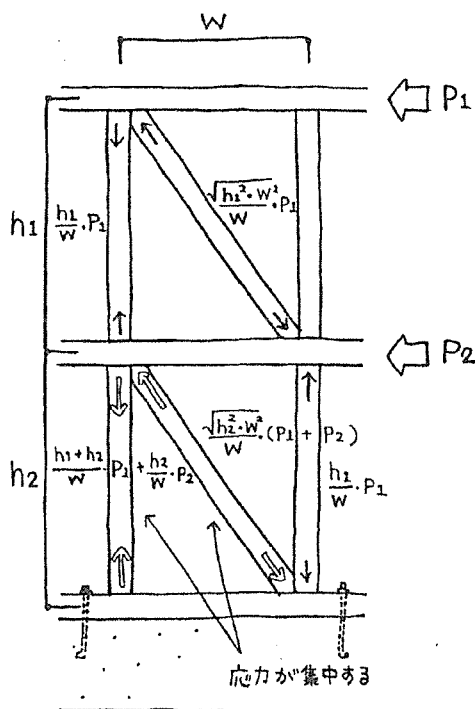
1-7-4 2連層耐力壁

柱脚引抜き力が増大します。

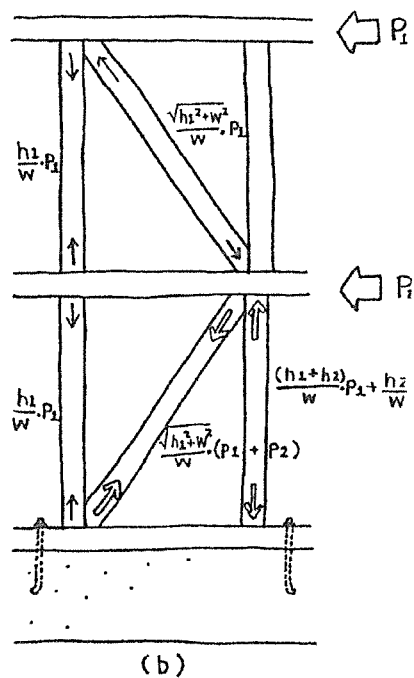
筋交いの場合、端部に応力集中します。



2連層耐力壁

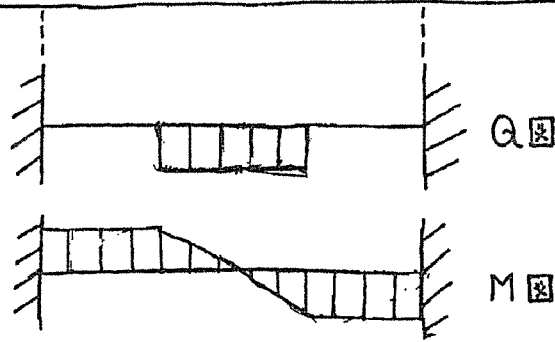
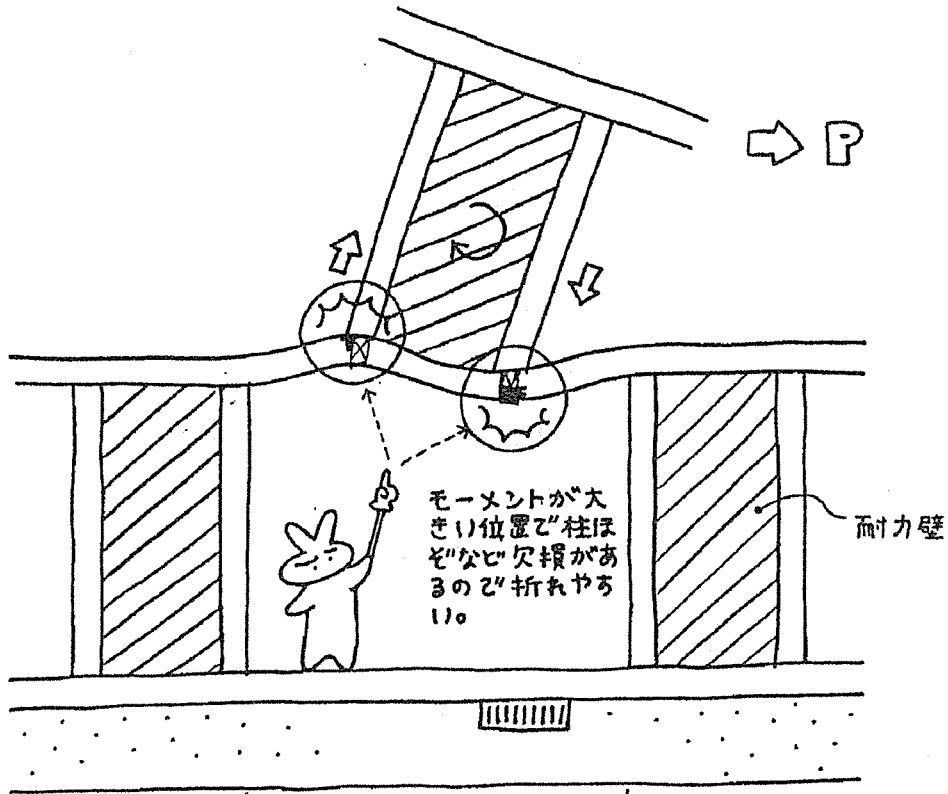


筋交い

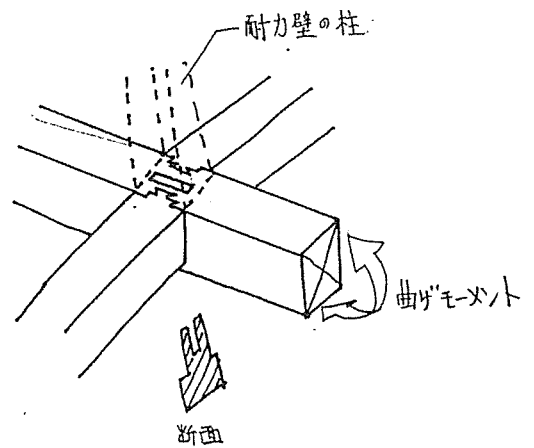


1-7-5 梁上にある耐力壁

梁に曲げが生じ、変位が大きくなります。又モーメントが大きい位置に柱や直交する梁による梁の断面欠損があるので梁が折れやすくなります。



[梁上耐力壁の柱脚部]



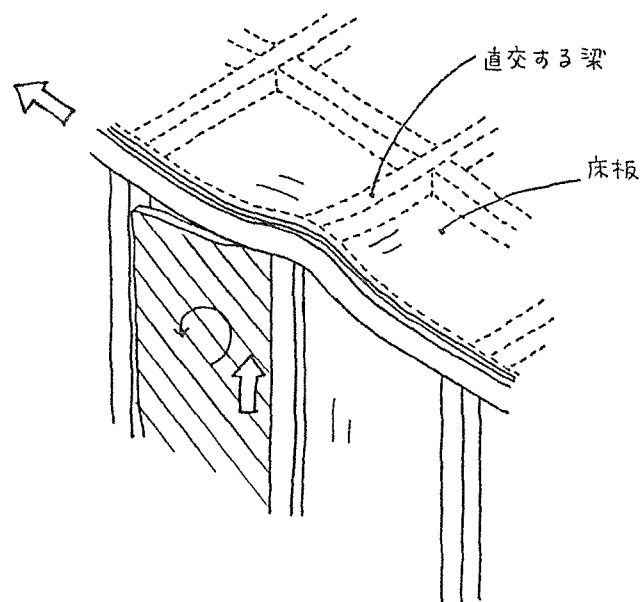
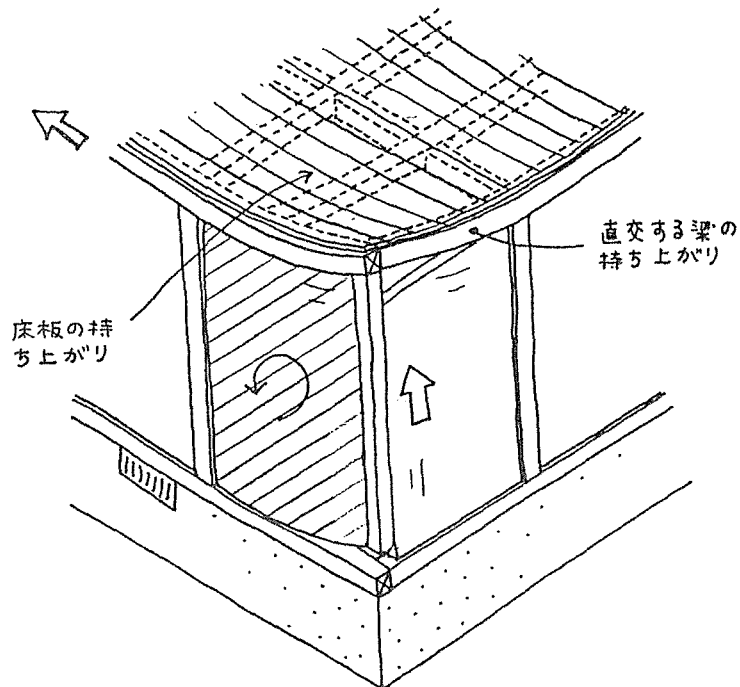
## 1-7-6 カウンターウェイト

## ● カウンターウェイトの効果

壁体に浮き上がりが生じようとしたとき、梁・桁・床の影響で、柱頭に作用する上階の重量はゾーニングで考えるよりも多くの場合大きくなります。

この効果によって、耐力壁の浮き上がりが抑制され、柱脚部の破壊が生じないことで耐力の増加する場合があります。

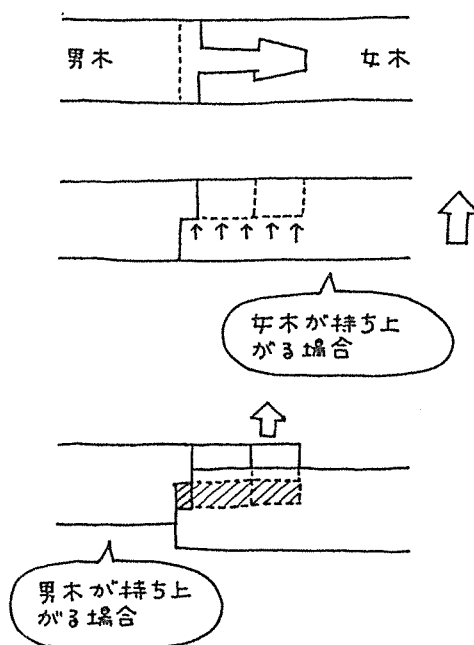
→ 第3章 1-7-2 浮き上がり



## ● 梁の継ぎ手の影響

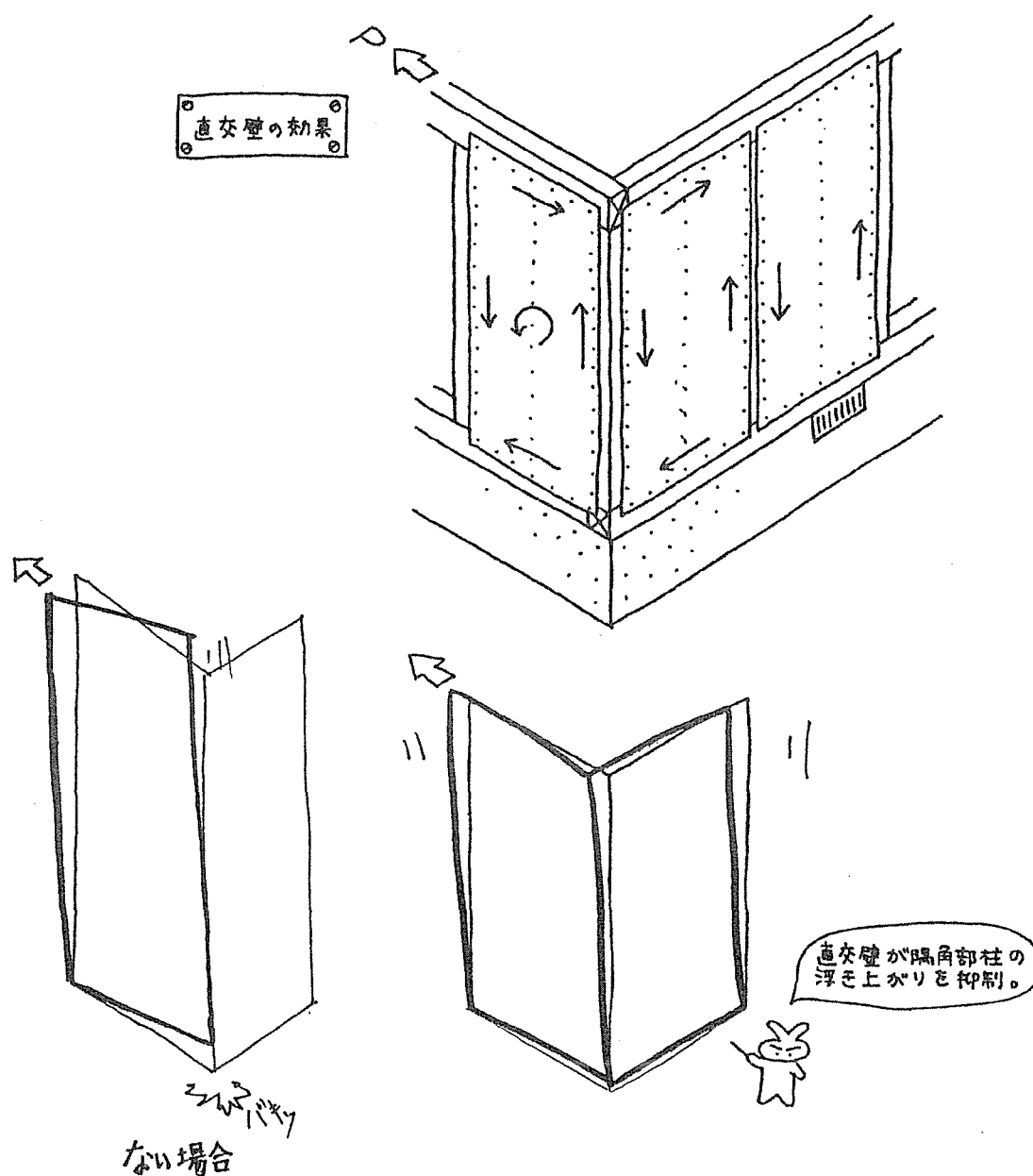
男木と女木がある継手で男木のほうから持ちあがる場合、男木が上にはずれて持ちあがってしまう場合があります。この場合はそこから先に力が伝達されないでカウンターウイトが減少します。

梁の継ぎ手の影響



1-7-7 直交壁の効果

- 隅角部柱の浮き上がり抑制



通常、隣接する耐力要素による浮き上がりの抑制効果（→1-7-2 浮き上がり）が無い場合、転倒モーメントによる浮き上がりが生じます。

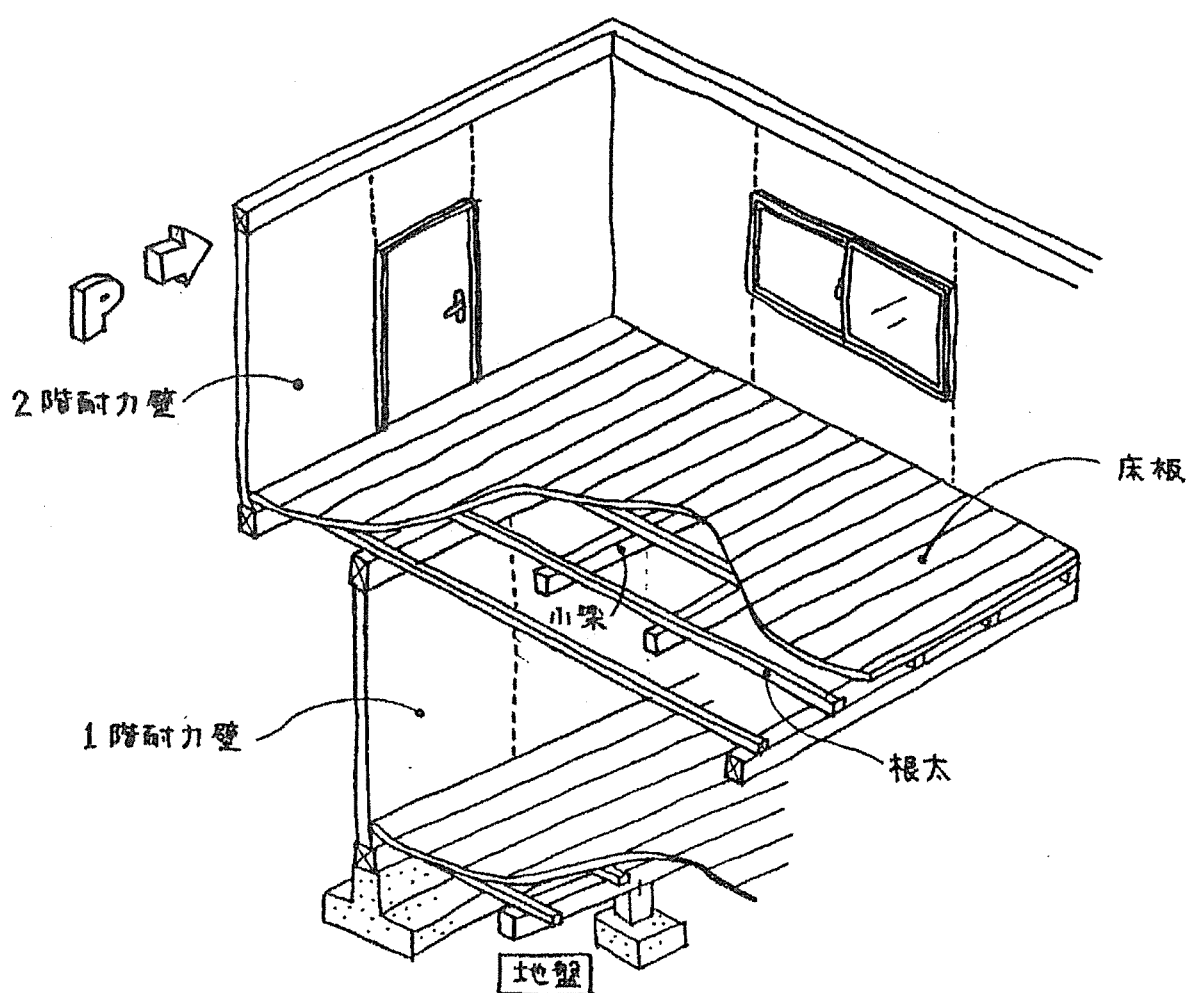
耐力壁に直交して別の耐力壁が取り付けいていた場合、浮き上がりが生じようとする時、直交する耐力壁が引きずられて持ち上げられようとするのに抵抗するので浮き上がりが抑制され耐力が増加します。

## 2 床・屋根（水平構面）

## 2-1 水平構面の要素

水平構面は一般的な軸組工法の場合、梁（母屋・棟木）、根太（垂木）、床板（野地板）によって構成されます。

水平構面の剛さは、部材の種類や接合方法等によって大きく変わってきます。具体的な例をあげると床板の種類や形状、根太の仕様、火打ち梁の有無などです。更に、耐力や変形の大きさは、これらの条件だけでなく、水平構面の面積や形状によって変わってきます。

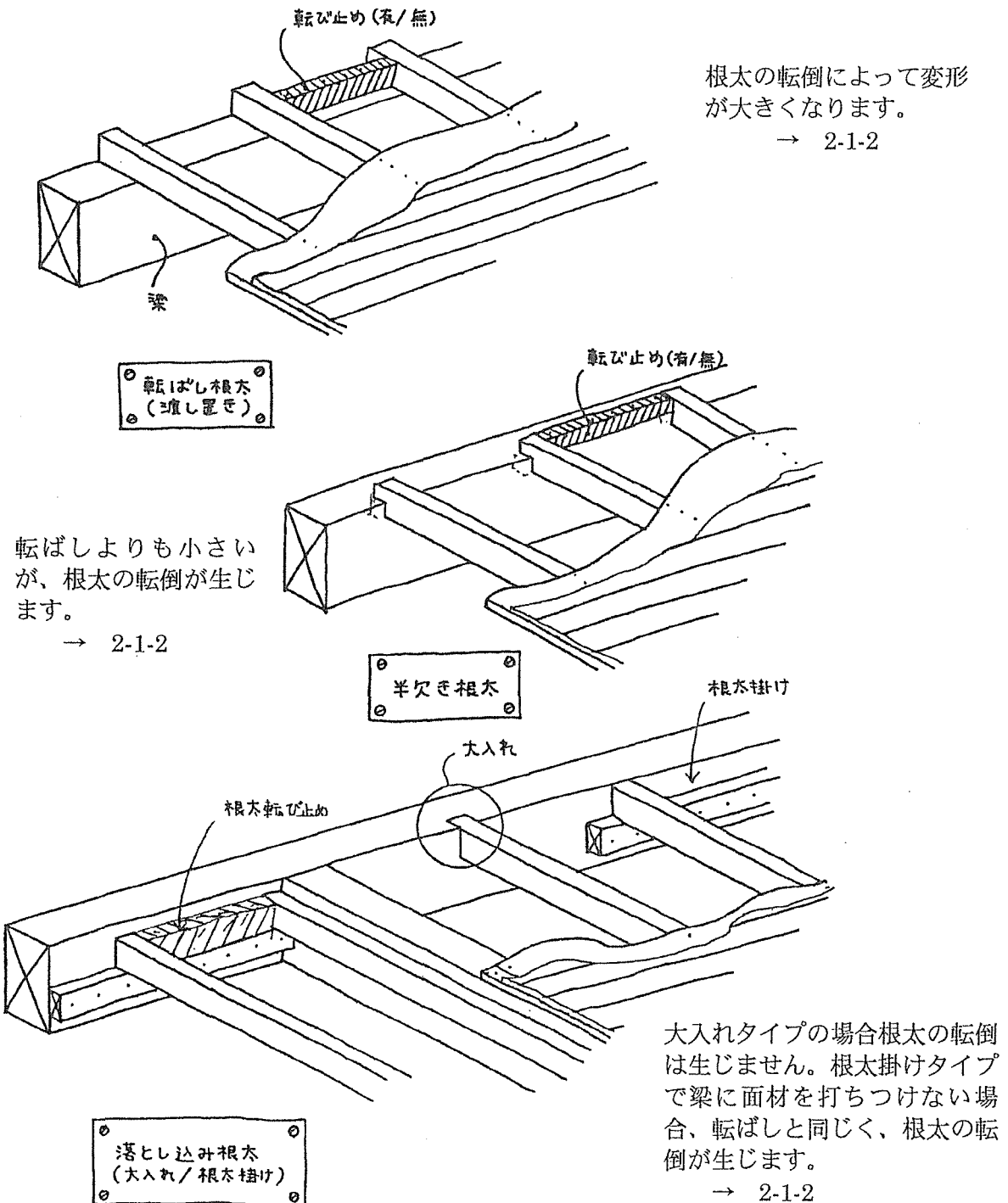


2-1-1 根太仕様

根太の仕様は大体次のように大別されます。

仕様	副仕様	剛さの比較 (落とし込み・大入れを1とした理論値)
● 転ばし根太	転び止めあり	1 (転び止めと根太の隙間を考慮しない場合の理論値)
	転び止めなし	0.39
● 半欠き根太	転び止めあり	1 (転び止めと根太の隙間を考慮しない場合の理論値)
	転び止めなし	0.57
● 落とし込み根太	大入れ	1
	根太掛け	=転ばし根太仕様

※根太 45x105、床板 合板 910×1820 t=12 の場合



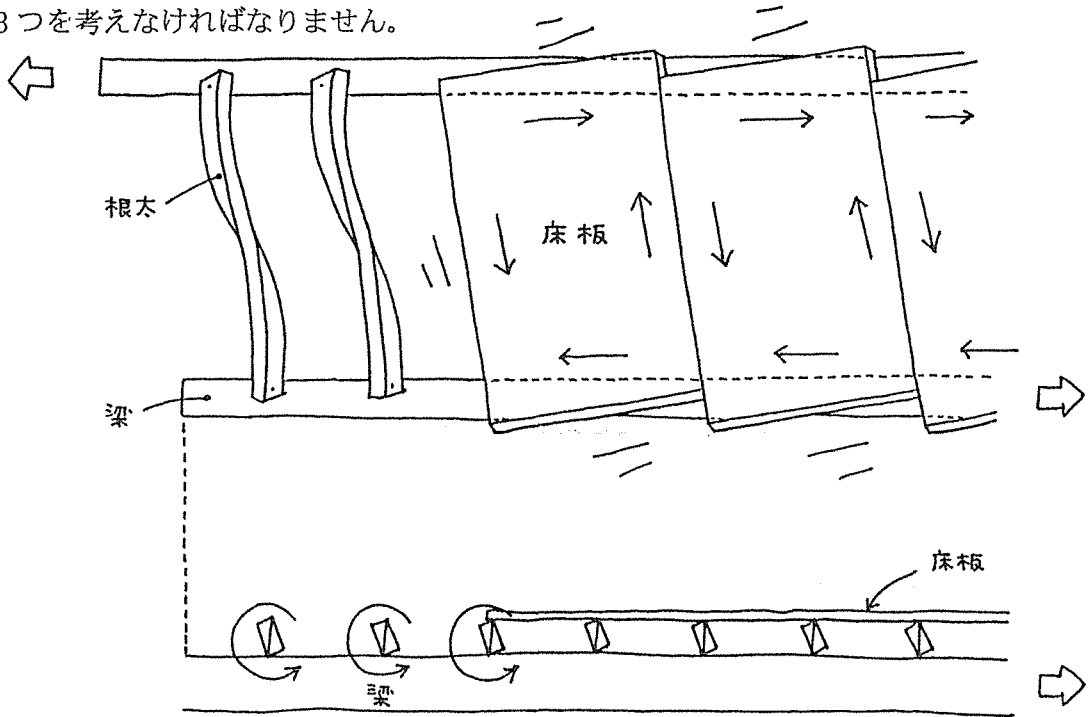


2-1-2 転ばし根太、垂木への力の作用

水平構面の中をせん断力が伝わる時、個々の部材単位での力のやり取りは次のようになります。

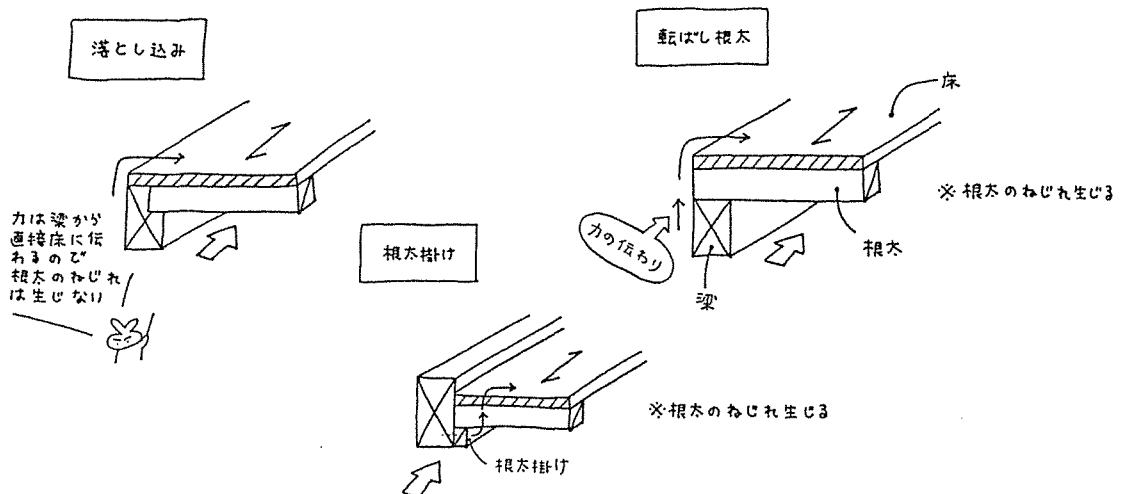
力は梁→根太→面材（床板）→根太→梁の経路によって伝わります。このとき、面材の水平構面からの偏心によって根太にねじりモーメントが生じます。

このモーメントによって、根太の転倒・ねじれが生じます。よって、転ばし根太仕様の床組の変形を考えると、面材-根太間のずれ、根太-梁間のずれと根太の転倒（ねじれ）の3つを考えなければなりません。



根太のねじれモーメントの大きさは、力が梁から面材に伝わる時に根太のなかを通る距離によって決まってきます。

落とし込み等で面材を直接梁に打ちつけている場合は、梁から面材へ直接力が伝わるので根太にねじれは生じません。逆に転ばし根太や、落とし込みでも根太掛けに根太を掛けている場合はモーメントが生じます。



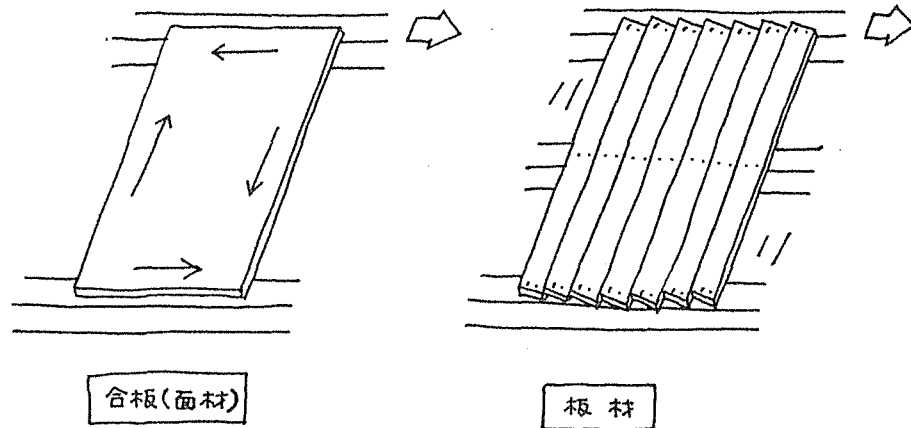
## 2-1-3 床材仕様

面材（合板）：

面材自身の性能は釘打ちによって性能が決まります。 → 第1章 3 面材

板材：

面のようにせん断力を伝達できないので、接合部の回転で抵抗します。



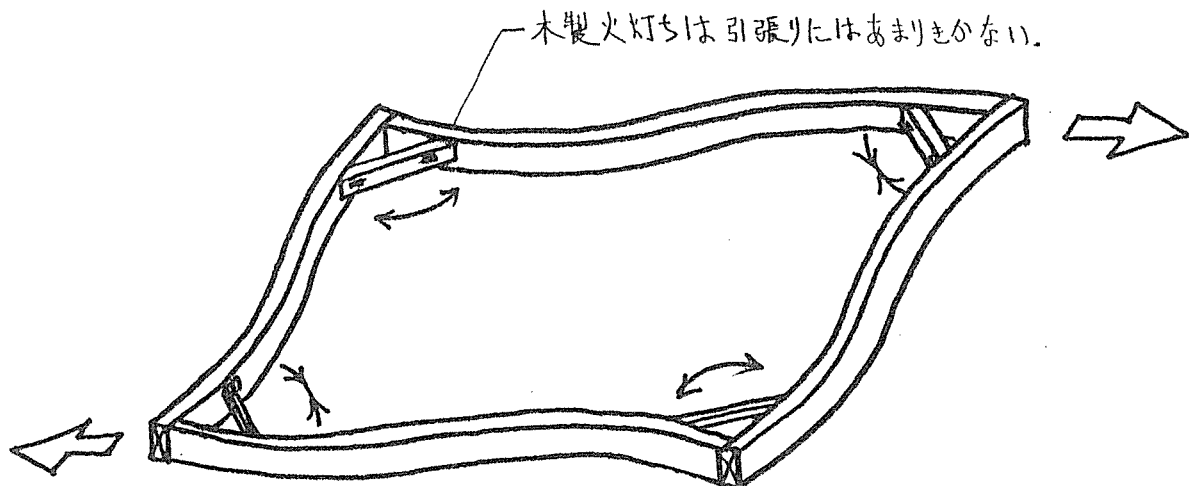
例えば、幅 90cm の合板と幅 10cm の板にそれぞれ釘を 2 本打つとすると剛性は釘間隔の 2 乗に比例するので 81 倍、終局耐力は 9 倍になります。（変形量は異なる。）

## 2-1-4 火打ち梁

火打ちの剛性+梁の曲げ（水平方向）剛性で水平面の剛性が決まります。

スパンが長くなると梁の曲げが卓越し、変形が大きくなります。

木の火打ちは引張り力にあまり抵抗できません。



## 2-2 水平構面の剛性

水平鋼面の剛性＝根太の接合部の剛性×根太転びの剛性×面材（くぎ）の剛性  
 +火打ち梁の剛性×梁の曲げの剛性  
 屋根の場合は根太を垂木に読み替えます。

## 2-3 剛床が成立するとみなせる条件

地震応答解析（建物の構造モデルデータに実際の地震動のデータを入力してコンピュータで地震動に対する建物の挙動をシュミレーションする方法）の結果、水平構面のせん断変形による各構面間の相対変位  $\delta s$  を鉛直構面の降伏変位  $du$  で除した値  $\delta s/du$  が 0.2 を超えた付近から剛体仮定の場合とのずれが大きくなっていることがわかっています。

そこで

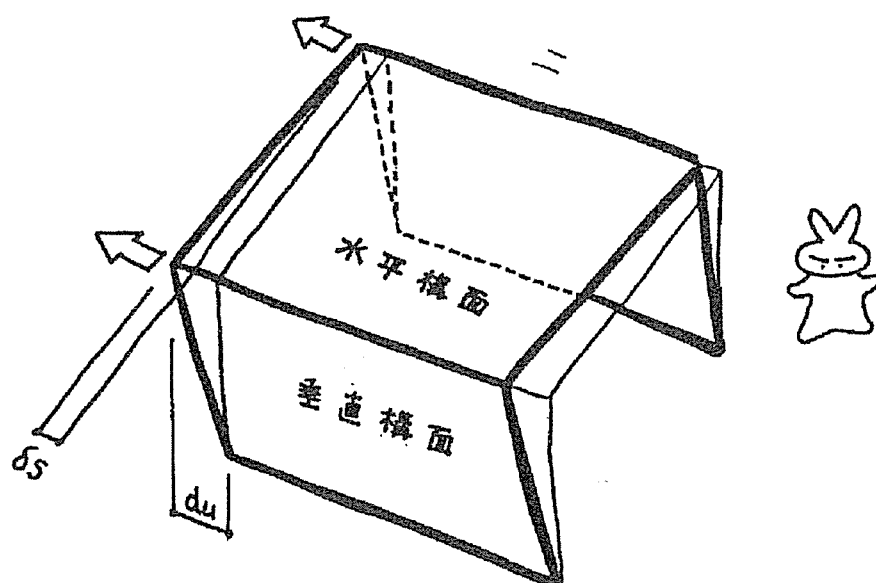
$$\delta s/du \leq 0.2$$

を剛床判定の基準としています。

つまり水平構面が鉛直構面よりも十分に剛ければ剛床が成り立つということになります。たとえば、鉛直構面が降伏した（塑性状態に入った）ときの変位 ( $du$ ) が 30cm だとします。

$$30 \times 0.2 = 6.0$$

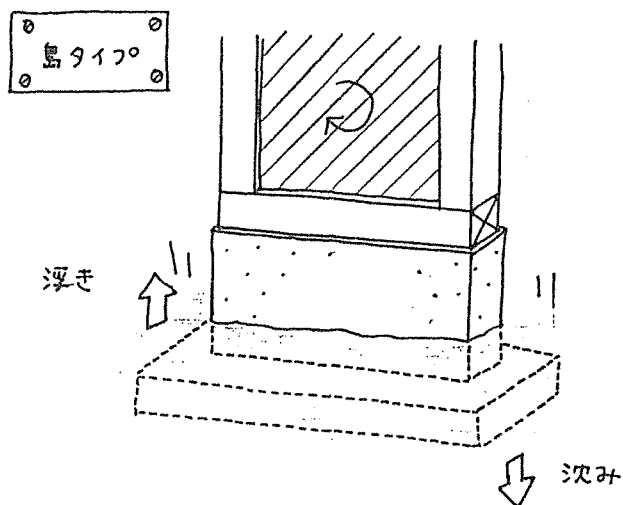
より、そのときの鉛直構面間をつなぐ水平構面の相対変位 ( $\delta s$ ) が 6 cm より小さければ、剛床とみなせることになります。



3 基礎

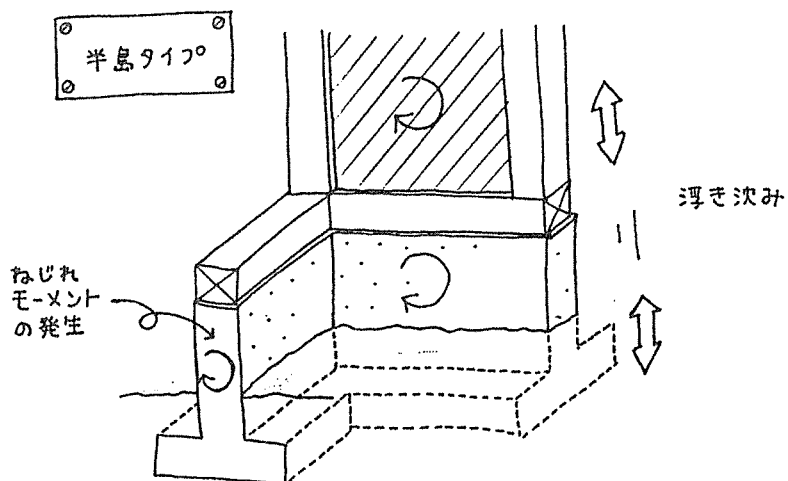
3-1 島タイプの場合の力のながれ

転倒モーメントによる浮き上がりとしみ込みが生じます。



3-2 半島タイプの場合力のながれ

転倒モーメントによる沈み込みが生じます。直交する基礎にねじれモーメントが生じます。



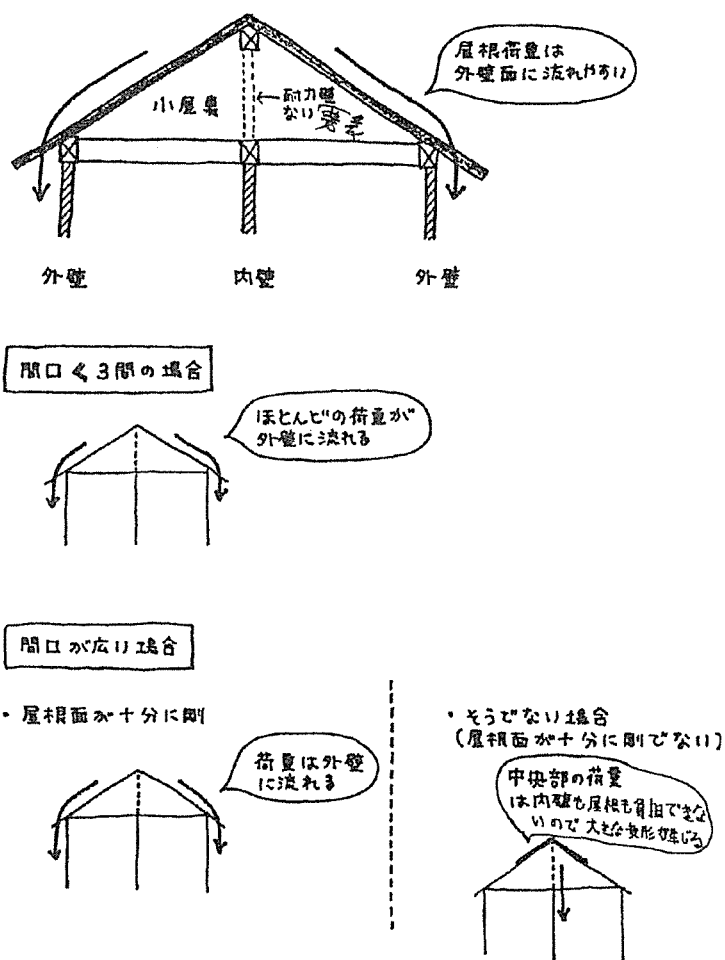
## 第4章 構造形態による力のながれ

### 1 屋根構面からの力の流れ

#### 1-1 二階間仕切り壁と小屋裏構面の剛性の違い

和小屋で小屋裏の補強がないか雲筋交い程度の場合、桁行き方向の間仕切り壁は小屋裏まで耐力壁が伸びていないので、屋根質量に生じる地震力は、内壁には小屋梁を伝ってわずかに流れるだけで、ほとんど外壁面に流れてしまいます。

小屋梁等に継手があると、剛性の低下によって内壁への屋根の地震力の伝達はさらに減ってしまいます。



#### 1-2 外壁と内壁との力の伝達の割合

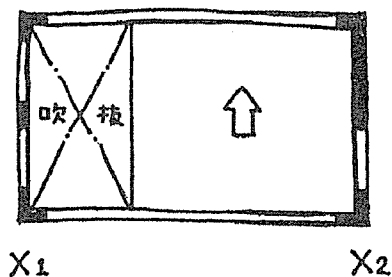
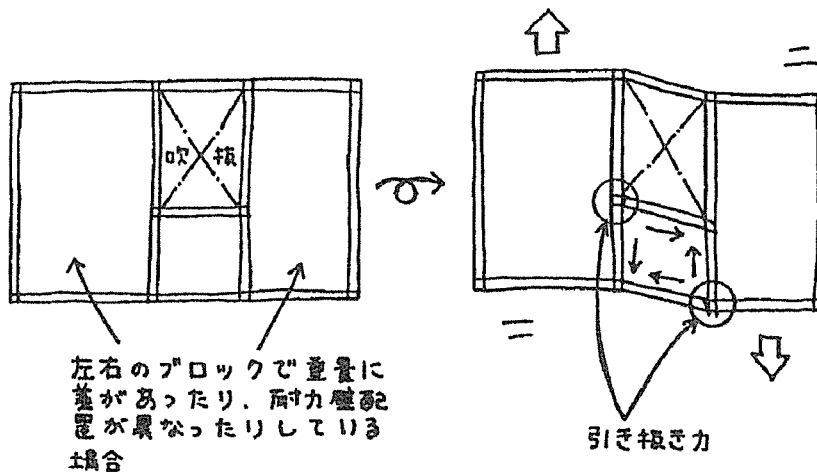
鉛直鋼面（外壁と内壁）と水平鋼面（屋根面）の剛性と屋根荷重の分布で決まってきます。間口が狭い場合、切妻屋根の梁行き方向は、地震力のほとんどが外壁に流れると考えられます。

間口が広い場合は、屋根面が十分に剛でなければ、屋根面に大きな変形が生じる可能性があります。

2 吹き抜け構造

2-1 吹き抜け構造の構造上の問題点

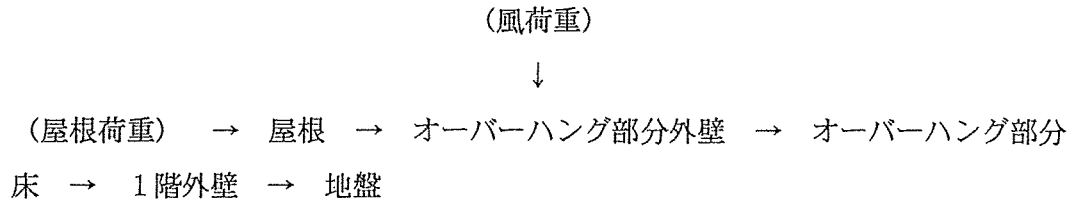
- 吹き抜けの残りの部分の床に力が集中する。また建物の全断面が吹き抜けていた場合そこでせん断力が伝達されなくなります。
- 垂れ壁の場合に同じく吹き抜け周りの梁に引き抜き力が生じます。
- 変形が大きくなります



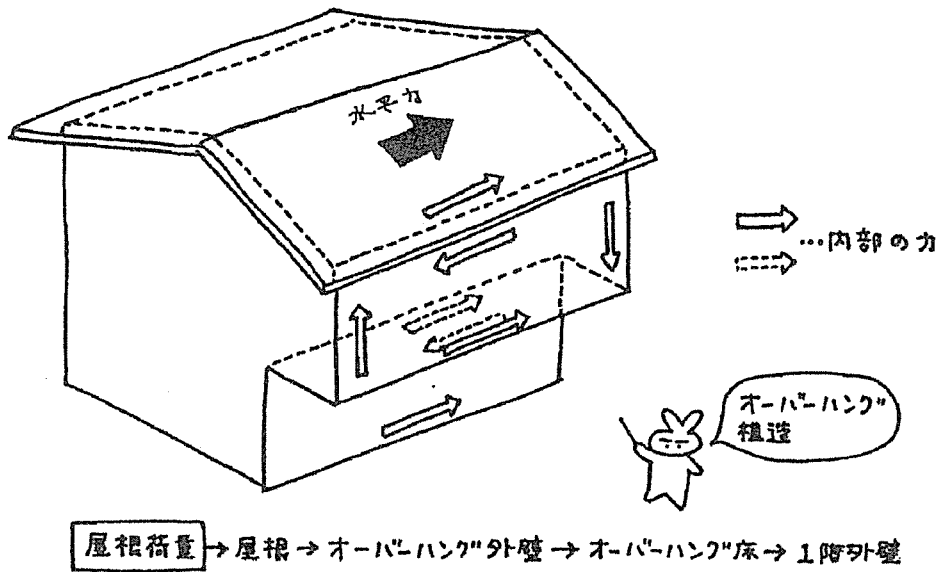
X1には力がほとんど伝わらない

3 オーバーハング

3-1 オーバーハング構造の力の流れ



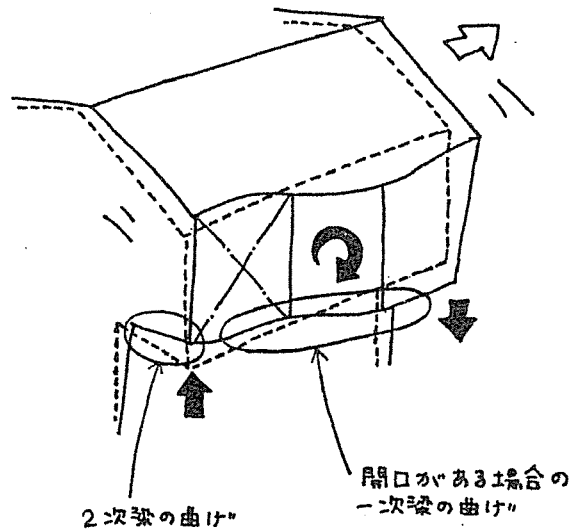
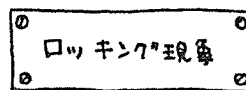
→ 第2章 2 水平構面⇄鉛直構面間の力の流れ



3-2 オーバーハング構造の要点

ロッキング現象

オーバーハング上にある耐力壁の回転によって、耐力壁の取り付け梁だけでなく、直交する梁にも曲げが生じます。これによって大きな変形が生じます。



4 下屋（セットバック下屋）

4-1 下屋構面からの力の流れ

4-2 下屋構造の要点

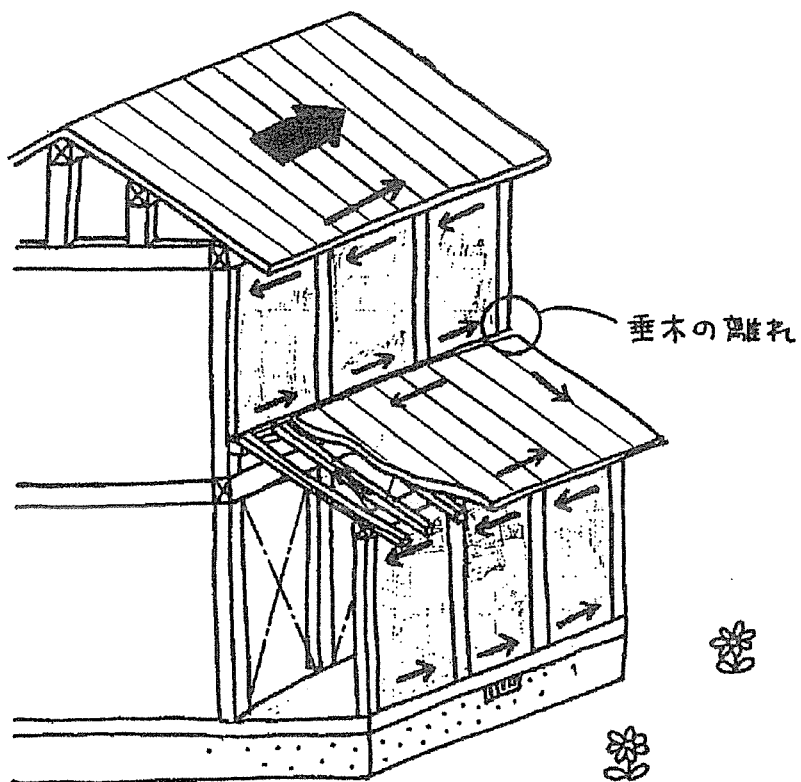
- 下屋屋根面による水平力の伝達

2階外壁の直下に耐力壁がない場合、水平力は下屋屋根面を伝わって下屋外壁へと流れます。

2階外壁→下屋屋根面→下屋外壁

→ 第2章 2 水平構面⇄鉛直構面間の力の流れ

下屋構面からの力の流れ  
 (2階外壁→下屋屋根面→下屋外壁)

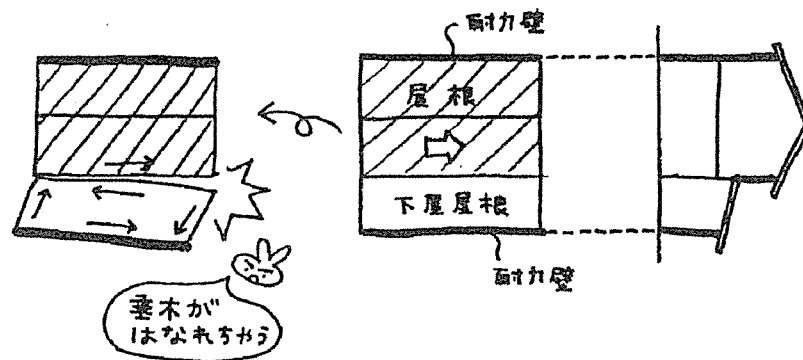


2階外壁の直下に  
 耐力壁がなく下屋  
 が取り付いている



- 下屋屋根面のねじれ

下屋屋根面にも普通の水平構面と同様の力が作用しますが、下屋にはフレームとなる梁がないので、ねじれによる引き抜き力を垂木自身が負担する必要があります。



## 5 1階耐力壁下部に布基礎がない場合の力の流れ

せん断力は1階床構面を伝わって周囲の基礎に力が伝達されます。

しかし、転倒による浮き上がり力は処理できないので、束がすっぽ抜けてしまう可能性があります。

