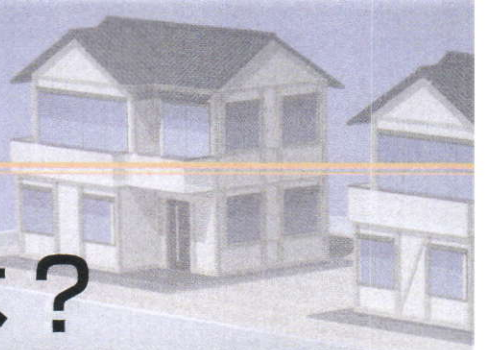


地震に耐える建物とは？

鉄筋は多いほどいいの？　どんな建物が地震に強い？

地震大国日本に住むかぎり，地震で建物が倒れないかどうかは住宅選びの際の大きな関心事です。それだけに，鉄筋の量をごまかした耐震強度偽装事件には大きな注目が集まっています。「必要な鉄筋の量」はどのようにして決まるのでしょう。「地震に強い建物」とはどんな建物でしょう。

協力

和田 章　東京工業大学・建築物理研究センター教授

耐震強度の偽装が発覚した建物には，使われた鉄筋の量が基準よりも少ないものがあったといいます。では鉄筋の量は，多ければ多いほどいいのでしょうか？　そもそも鉄筋は，建物の構造にとって，どんなはたらきをしているのでしょうか？

鉄筋は最低限どのくらい必要？

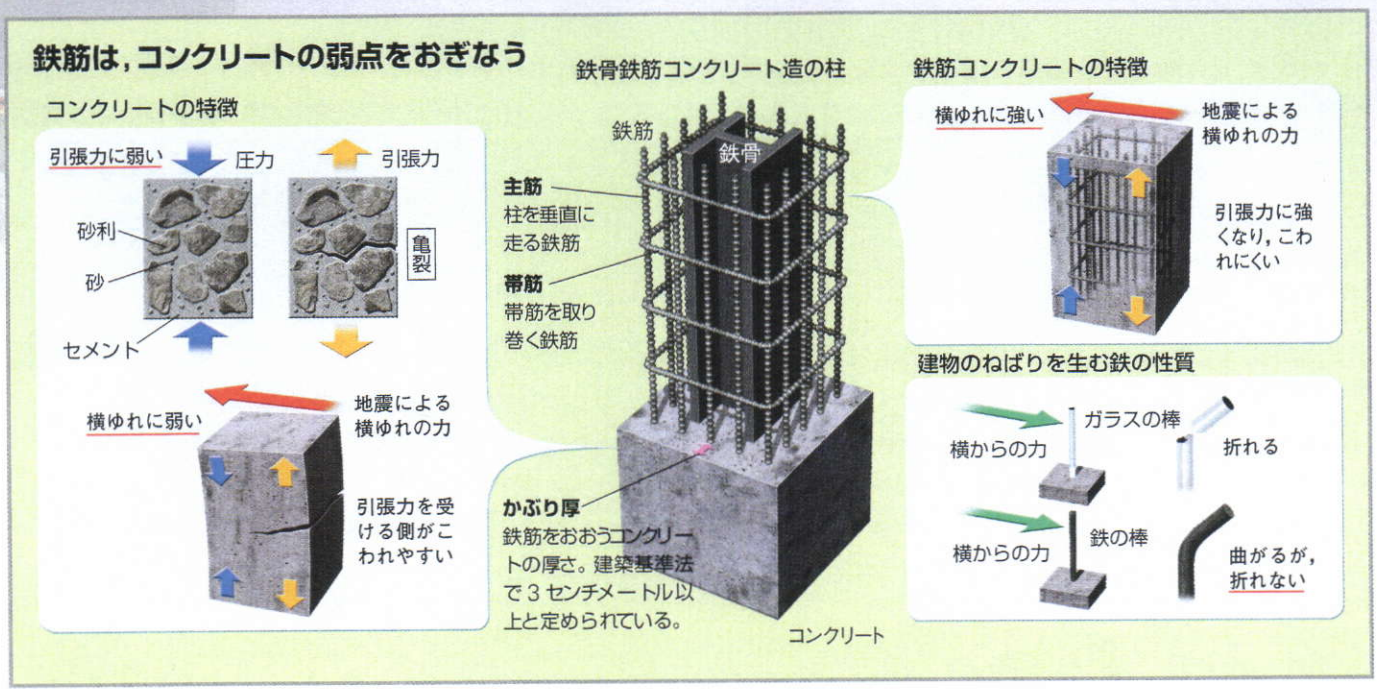
建物をつくる上で，コンクリートはとてもあつかいやすい材料です。砂利・砂・セメント・水を材料にしてつくるコンクリートは，運搬や成形がしやすく，コストも安いのです。だがコンクリートのみでできた柱には弱点があります。地震のゆれが柱をゆがませようとするとき，柱の側面はひっぱられる力を受けます。コンクリートはこの「引張力」に弱いため，地震によって破壊されやすいのです。

そこで，鉄筋が必要になります。鉄筋とは，鉄でできた太さ数センチメートルの，引張力に強い棒です。多くのマンションやビルは，鉄筋を埋め込んでコンクリートを補強した「鉄筋コンクリート（RC）造」で建てられています。都合のいいことに，コンクリートと鉄の熱膨張率は，偶然にもほぼ同じであるといいます。

東京工業大学の和田 章 教授は，最低限必要な鉄筋の量について次のように語ります。「鉄筋が耐えられる引張力は，大まかにいって，断面積あたりでコンクリートの200倍程度です。鉄筋コンクリートの断面積の200分の1，つまり0.5％以上を鉄筋が占めないと，あまり鉄筋を入れる意味がありません。この割合は，建築基準法で0.8％以上と定められています」。

鉄の性質が，建物のねばりを生む

和田教授は，鉄筋の役割をさらにつけ加えます。「ガラスの棒に横から一定以上の力を加えると折れますが，ねばり強い構造ならば，



曲がりはしますが折れません。鉄筋は，変形することで地震のエネルギーを吸収することができるのです」。

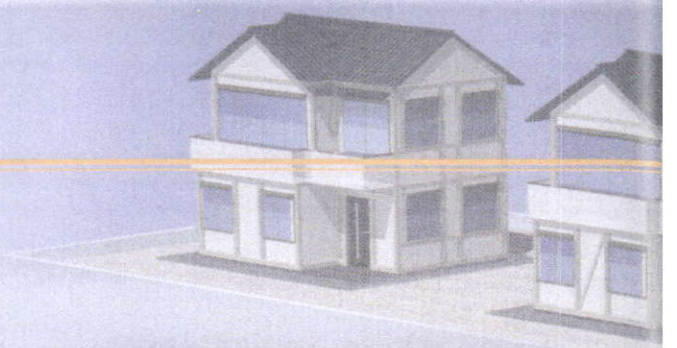
コンクリートそのものはもろいが，鉄筋を上手に入れることで，柱やはりにねばりが生まれます。すると，結果として建物全体もねばり強くなります。和田教授は綱引きを例にして解説します。「力の弱い人から順に綱をはなすと，残された人の負担がふえ，チームはあっさりと負けるでしょう。しかし，引きずられながらも各人が綱をはなさずに力を出しつづければ，チームは長くもちこたえられます」。建物も，柱やはりがつくるチームです。地震のエネルギーが特定の柱やはりに集中しても，それがねばりを発揮して破壊されずにいれば，建物は倒壊しないですむのです。

地震に対する建物の強さを「耐震強度」といいます。これは強度（形を保とうとする性質）とねばり（変形しながら地震に耐える性質）をかけ合わせた強さのことです。建築基準法は，震度6強から震度7にかけての大地震，つまり阪神淡路大震災クラスでも倒壊しない耐震強度をもつよう定めています。これが「耐震基準」です。

強度は鉄筋の量だけでは決まらない

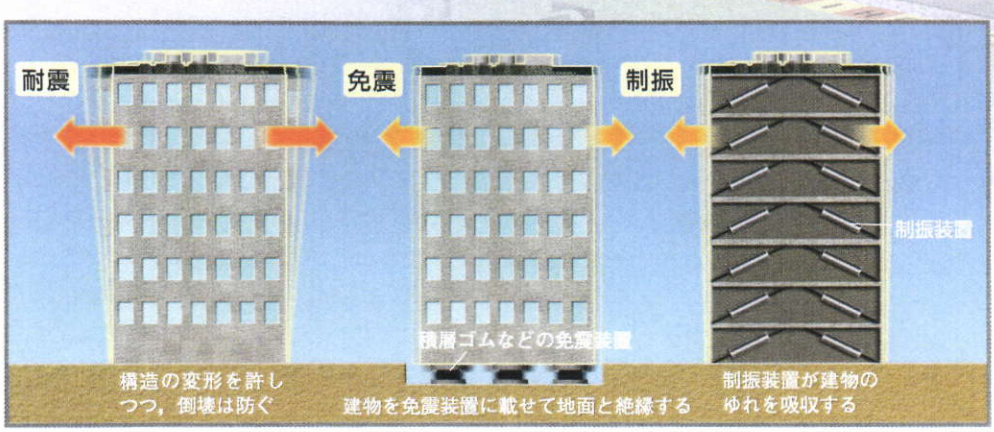
強度やねばりを得るには，十分な量の鉄筋が必要です。それでは，柱などに含まれる鉄筋の量は多ければ多いほどいいのでしょうか？　和田教授は答えます。「コンクリートと

コンクリートの弱点を鉄筋によっておぎなったものを「鉄筋コンクリート（RC）造」という。さらに鉄骨を入れて補強したものを「鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）造」という。中央には，鉄骨鉄筋コンクリート造の柱をえがいた。ここから鉄骨をのぞいたものが鉄筋コンクリート造である。



耐震・免震・制振のちがい

「耐震」では，たとえ建物の構造が変化しても，倒壊は防げる。「免震」は建物と地面を放し，揺れそのものをまぬかれようとする。「制振」は，揺れを制振装置で制御しようとする。免震と制振を備えれば，より地震に強い建物になる。



鉄筋は，もちつもたれつたがいに相手を補強しあっています。細い柱に鉄筋を多く入れすぎると，コンクリートは鉄筋を保護できず，鉄筋が柱の外側に曲がってコンクリートはボロボロになり，たいへん危険です」。

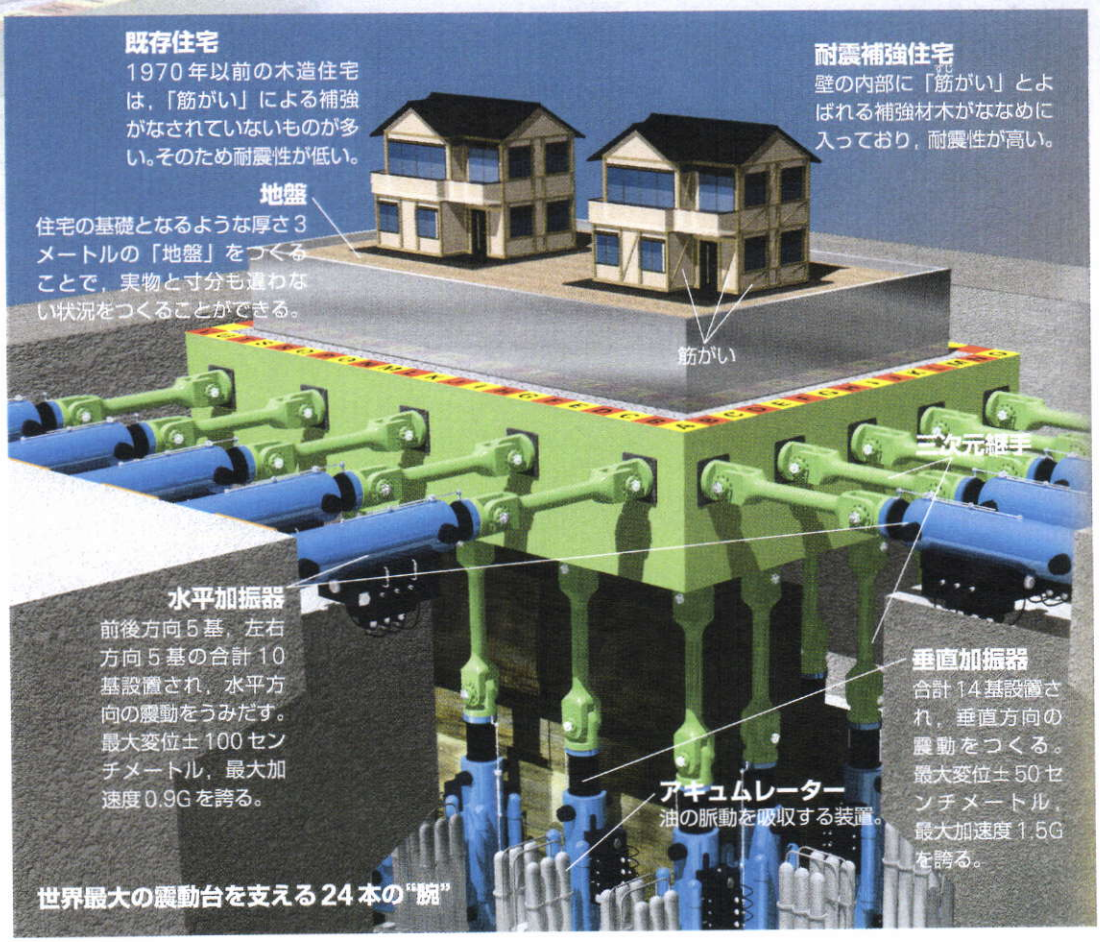
また，柱の強度は，鉄筋の量だけで単純に決まるわけではありません。鉄筋には，さびに弱いという弱点があります。だが，アルカリ性であるコンクリートに包まれた鉄筋はさびません。実際の建築現場では，建築途中の鉄筋がさびることはよくありますが，コンクリートに埋めればさびはなくなります。さびを防ぐため，鉄筋の外縁からコンクリート表面までの厚さ（かぶり厚）は3センチメートル以上必要です。ところが，たとえ鉄筋の量が多くても，きちんとまっすぐに組まれていなければ，かぶり厚にムラが生じて柱の耐久性は落ちてしまいます。

和田教授はさらに付け加えます。「建物を支える構造には，柱やはりのほかに，壁もあります。壁をうまく配置した建物は，同じ鉄筋の量でも，壁の少ない建物にくらべて大きな耐震強度をもちます」。

少ない量の鉄筋ですむように工夫して設計することは，構造設計者にとって，ある種の腕の見せ所になっています。「最近では，構造設計の前に，まずコンピューターで最低限必要な鉄筋の量を求めてしまう傾向があります。本来なら，まず略計算や経験にもとづいて構造設計し，建築作業のしやすさを考慮して鉄筋の太さや本数を決め，あとで耐震強度を確認すべきなのです」（和田教授）。

耐震・免震・制振。何がちがう？

ところで，分譲マンションのパンフレットなどには，「耐震」「免震」「制振（制震）」などのうたい文句が並びます。これらのちがいは何でしょう？



木造建物の耐震実験
木造建物では筋がい補強が重要。イラストでは巨大な耐震実験施設「実大三次元震動破壊実験施設（E-ディフェンス）」での木造建物実験をえがいた。このイラストでは住宅，震動台，加震器などすべて同じ縮尺でえがいている。E-ディフェンスでは，築30年以上の既存住宅と耐震補強がなされている住宅を同時に震動台にのせ，完全に同じ条件で耐震補強の効果が試せる。

これまでみてきた耐震構造は，「地震に耐える」しくみです。大地震の際，たとえ再利用ができないほどのひびや変形が建物に生じようとも，ねばりによって倒壊だけは防ぎ，人命を守ろうというものです。

一方，免震構造は「地震を免れる」しくみです。地面と建物の間にゴムなどをはさむことで，地面と建物を切りはなし，地面のゆれを建物に伝わりにくくさせます。そして制振構造は，「地震による振動を制御する」しくみです。地面のゆれはそのまま建物に伝わりますが，建物の内部にある制振装置がゆれを吸収します。

免震・制振構造をそなえた建物は，耐震のみの建物にくらべて一般的にゆれが小さく，より地震に強いといえるでしょう。