

建築防災論

名古屋大学大学院環境学研究科 福和伸夫

1. 建築物の耐震化の必要性

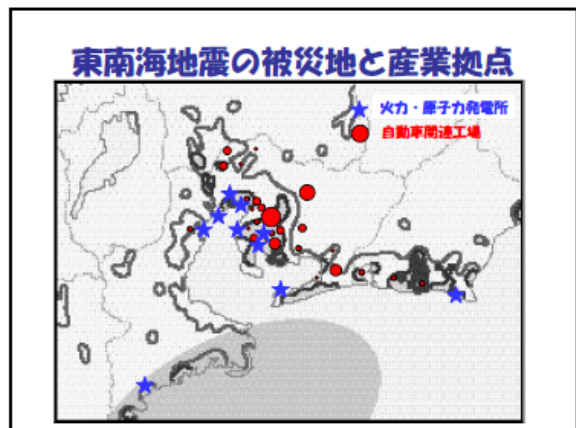
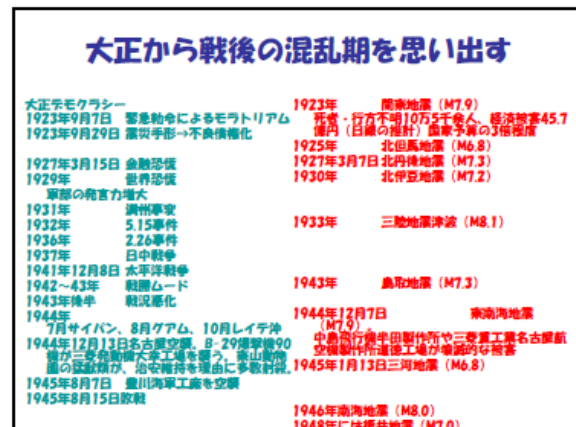
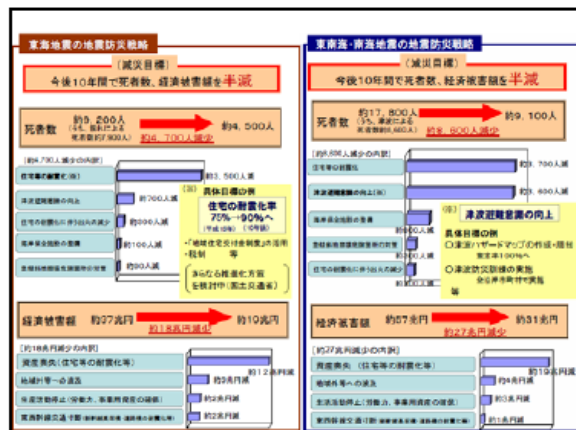
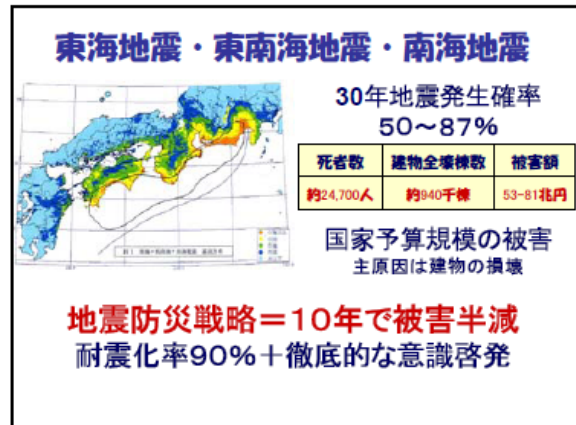
今世紀前半に甚大な地震被害が予想されている。中でも、私たちの地域が確実に被災する東海・東南海・南海地震の被害は甚大であり、我が国の国家予算に早々する被害が見込まれる。今世紀前半には、首都直下地震や宮城県沖地震の発生も懸念されており、その被害金額は計り知れない。

このため、昨年3月に、中央防災会議では、地震防災戦略を策定し、今後十年で、地震被害を半減することを約束した。要点は、抜本的な耐震化と国民の意識啓発にある。

過去の地震被害と歴史の変化との関係を調べてみると、甚大な地震被害が社会を混乱させ、そして、歴史をも動かす可能性があることが分かる。例えば、大正関東地震から昭和東南海・南海地震に至る時期は、金融恐慌から開戦～終戦へと歴史の流れと符合する。

我が国は、戦後の復旧・復興を早期に果たすために、過去に大きな被害を受けた場所に、重要施設を作ってきた。例えば、東南海地震の時に強いゆれに見舞われた地域には、現在、発電所や自動車関連工場が集中して立地している。

現実を直視し、地震被害を抜本的に軽減する努力をしなければ、次の世代や国際社会に対し取り返しのつかないことになる。将来に予見できる災害を軽減することは私たち現役世代の責務である。地震被害の最大の原因は建物の損壊にあり、早期の耐震化が必要である。しかし、家屋は個人財産であり、耐震化の成否は、国民一人一人の意識に依存する。



何を進めるにも、ヒト・コト・モノ・カネの4極が大事になる。耐震化の推進には、住民の意識啓発、耐震化を促進する法・制度の整備、安価で効果的な補強工法の開発、補助制度を含む経済的なインセンティブ作りなどが必要となる。この中で、「意識」の問題が最も大きい。耐震化の大事さを認識すれば、自ずと制度整備、工法開発は進む。

意識啓発には、啓発の担い手作り、効果的な啓発手法の開発や防災教育、啓発のための教材作り、経済的なお得感、がポイントとなる。なかでも、啓発の担い手の役割が大きい。

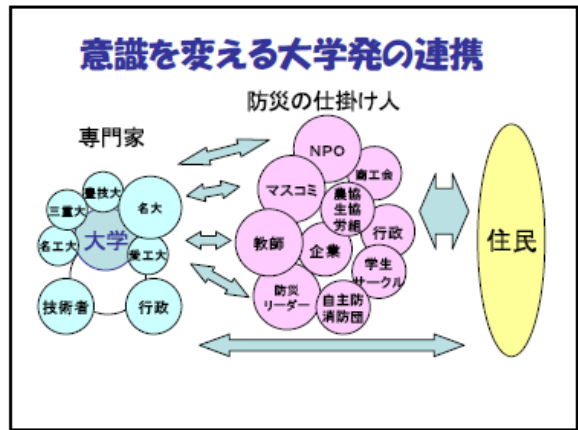
防災担当者・研究者の数は限られており、全国民を直接啓発することは難しい。住民と接する媒介者（マスメディア、消防団や自主防、防災リーダー、教師、農協や生協、商工会や労組、学生サークル）の意識に依存する。その意味で、あいち防災カレッジの修了者の役割は極めて大きい。

地域での活動の核になるのは、お節介で人好きな「地域大好き人間」である。防災に加え防犯・環境・福祉など、安全・安心で人にやさしいまち作りを、日頃から楽しく進め、「防災と言わない防災」を実践することが必要である。

地場で防災活動を始めるには、地震災害への「気づき」が必要である。気づけば、自ら「学び」、災害発生の原因を理解し、回避の方法を考える。ここまで来ればほぼ成功である。周辺の住民を巻き込み、互いに「対策」を考え「実践」が始まる。後は、「対策」→「実践」→「点検」→「改良」と、PDCA (Plan, Do, Check, Act) のサイクルが自然に回りだす。

耐震補強の4つの障壁

- **制度の壁**
診断・改修を進める制度・施策・仕組み
- **技術の壁**
安価で有効な改修法の開発
- **経済の壁**
財政的なインセンティブ
- **意識の壁**
意識をかえる、こころ、気持ち



想像力から対策が始まる

- **気づき=意識**
何が起ころかを知る (想像力)
- **理屈・原因=知識**
何故起ころかを知る (学習力)
- **対策・戦略=認識**
何をすれば良いかを知る (対応力)
- **実践**
具体的対策へ (行動力)

防災のPDCA (TQC=Total Quality Control)

NPOによる防災まちづくりキャラバン隊

地域主導の防災まちづくりへ展開

各地域で、町内会や自主防災会などの既存組織を活性化すると共に、まちの建築家を巻き込んで旨く協働して、耐震化を促進していきたい。当然、行政も頑張る必要がある。

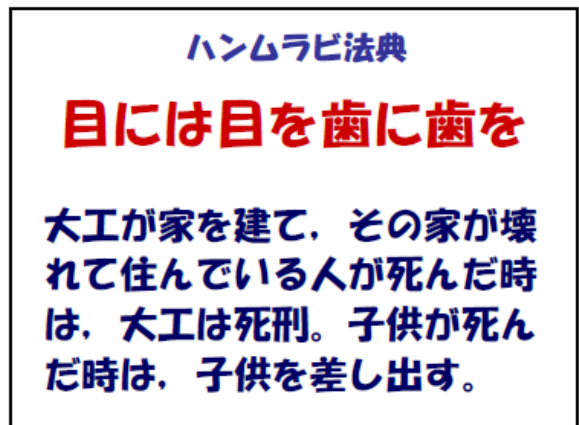
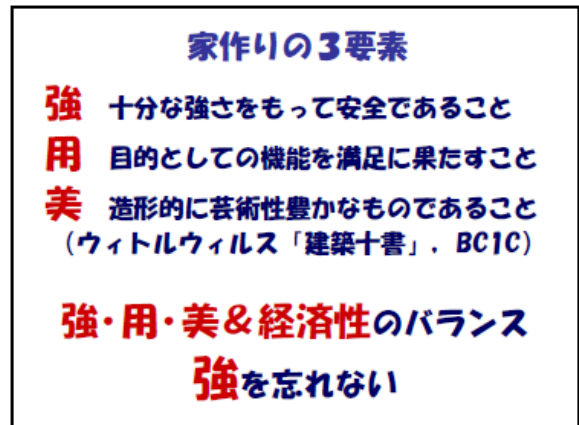
今後、地域住民、メディア、専門家、行政が一体となって、国民一人一人が身近な所から防災を考える環境作りをしたい。そのためには、様々な形での啓発が必要であり、それを支える道具作りも大事になる。

筆者らも、住民が耐震化の大事さに気づき、そして、自ら学習して、耐震化を進めることを支援する「地域防災力向上シミュレータ」を、愛知県・名古屋市と協力して作りつつある。

また、耐震化の大事さを実感できる振動実験教材「ぶるる」シリーズを開発したりしてきた。

紀元前1世紀に、ウィトルウィウスは建築十書で「強」・「用」・「美」の大事さを訴えた。最近、安全の足下が崩れている。安全は自分で作るものであることを誰もが再認識する必要がある。

耐震強度偽装問題でクローズアップされた技術者の倫理についても、再構築が必要である。ハンムラビ法典を思い出し、家作りは人の命を左右するものであることを再認識したい。



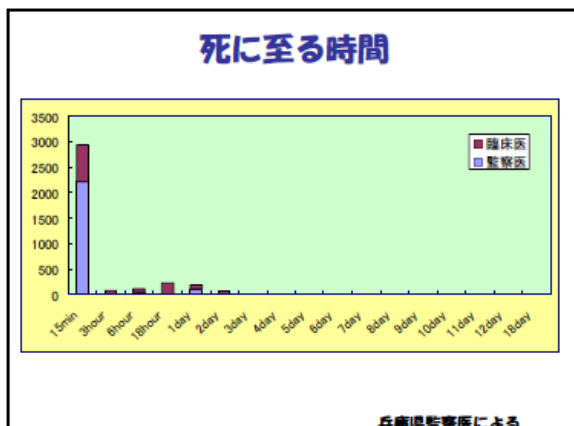
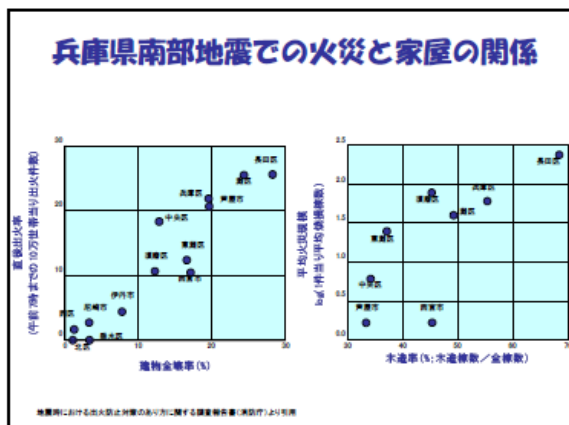
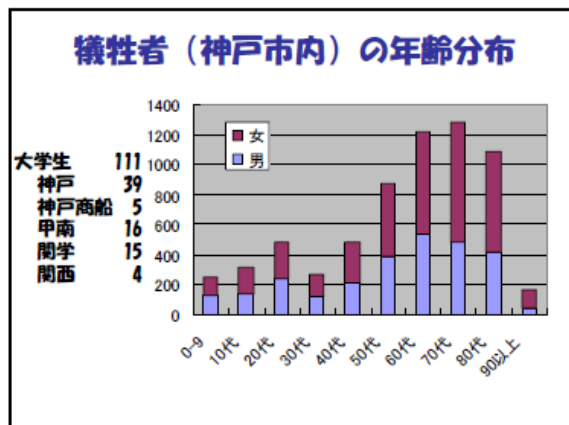
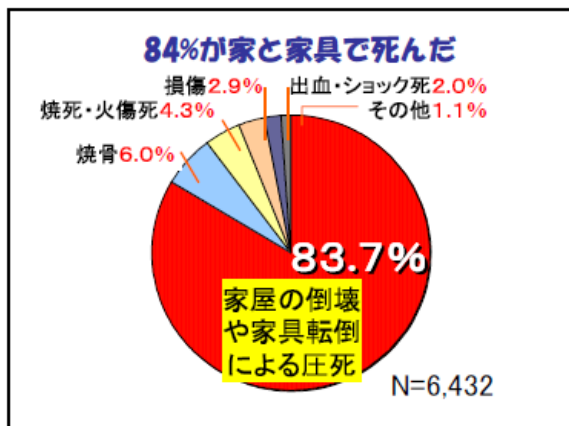
1995年兵庫県南部地震では、建築物の全半壊が約20万棟、建物被害額が6兆円、死者六千数百人の内9割が建物内での圧死や窒息が原因した。

犠牲になった方々の年齢にも特徴がある。60歳以上の高齢者と20代の若者が多く犠牲になった。高齢者は耐震性の不足する古い家屋の1階で就寝する機会が多い。また、行動も徐々に緩慢になる。大学生などの若者も耐震性の不足する下宿に居住する機会が多い。兵庫県南部地震は早朝に発生したために、その時間に耐震性の無い家屋に居た人たちが多く犠牲になった。

死因が家屋の倒壊となるため、殆どの犠牲者は、即死に近い状態であり、救助の手は間に合わなかった。人の生き死に関しては、耐震化と家具固定しかないことが分かる。

火災発生の最大の原因も家屋の倒壊にある。一般に、鍋・アイロンやタバコなどが原因した家屋内の火災の殆どは住民によって消火されている。しかし、家屋が倒壊すると消火する家人が居なくなる。そして、倒壊した家屋が道をふさぎ、さらに燃え代となって、火災が延焼する

このようなことから、地震災害軽減には建築物の耐震化が不可欠であることがわかる。国の地震防災戦略でも最重要課題は建築物の耐震化であるとの立場が貫かれており、耐震化率90%を十年で達成するとしている。これを実現するため、昨年末には、建築物の耐震改修の促進に関する法律も改正された。



建築物の耐震改修の促進に関する法律の一部を改正する法律 公布 (2005.11.7)

目的: 延命、財産保護、被害軽減、経済効果の向上、国土強靭化の促進

趣旨: 延命、財産保護、被害軽減、経済効果の向上、国土強靭化の促進

主要な改正点:

- 計画的耐震化の推進: 国は基本方針を作成し、地方公共団体は耐震水準向上計画を作成
- 建築物に対する指導等の強化: 国土省は耐震基準の向上に関する指導、助言を実施; 地方公共団体による指導等の実施; 国土省による指導等の実施; 地方公共団体の指導に協力を要する特定建築物を公表; 国庫の危険性の高い特定建築物については建築基準法により改修を命令
- 支援措置の拡充: 耐震改修計画の認定対象に一定の収益を伴う耐震改修工事等を追加; 耐震改修支援センターによる耐震改修に係る情報提供等

特定建築物: 3階建て以上、床面積: 1000㎡以上、不特定又は多数の者が利用

効果: 地震による死者数・経済被害が減少; 国土強靭化の促進; 国土の強靭化の促進; 国土の強靭化の促進; 国土の強靭化の促進

2. 兵庫県南部地震における地震被害

1995年兵庫県南部地震における建物被害の典型例を、写真1～11に示す。

(1) 戸建て住宅の被害

写真1～3は比較的古い木造家屋の被害例である。写真1は角地に建つ2階建て木造家屋であり、1階が傾けながら倒壊している。写真2は、同時期に建設されたと思われる隣接する3棟の2階建て家屋であり、一番右側の建物の被害が大きい。写真3は1階の駐車場部分が崩落している。

これら3つの写真から、耐震性の低い建物の共通点が見える。まず、古い家屋の耐震性の低さである。この原因としては、①古い耐震基準による耐震性能の低さ（耐震部材の不足）に加え、②家屋の老朽化による腐朽や蟻害も認められる。これに加えて、③重い屋根、④上下階の壁量バランスの悪さ、⑤平面的な壁の配置の悪さ、⑥柱・梁接合部などの接合金物の不足、⑦軟弱地盤・液状化地盤などでの基礎の剛性・強度不足、⑧揺れの強さ、などが被害発生要因として考えられる。

建物に作用する力は建物質量と揺れの強さの積（ $f = ma$ 、 f ：慣性力、 m ：質量、 a ：加速度）であり、揺れの強い地盤上の重い屋根の建物では柱・壁に大きな力が作用する。このため、耐震部材が不足すると被害が増大する。また、上下階で壁量の差が大きいと、上下の剛性バランスが崩れ、剛性の小さな階に変形が集中する。さらに、変形が集中した層の接合部の強度が不十分だと、崩落しやすくなる。平面的にも壁が偏在すると、剛性の中心が偏るため、建物全体が傾けやすくなり、端部の柱の変形が大きくなる。

(2) 鉄筋コンクリート造と鉄骨造の被害

RC（鉄筋コンクリート）造建物やS（鉄骨）造建物も戸建住宅と共通の問題点を抱えている。写真4は1階が駐車場で2階以上が住戸の共同住宅であり、典型的なピロティ建築である。1階の剛性と靱性（粘り）の不足により、1階が崩落している。この場合は1階柱のせん断補強筋（帯筋）の不足が顕著であった。写真5と6は自動車販売店の被害の様子であり、建物用途の特殊性のため、1階の壁量が不足している。

写真7～8は、鉄骨建物の接合部の破断の様子であ

る。本来鉄骨部材は粘り強く抵抗する性質を持っているが、柱と梁や、柱と基礎との間の接合部に十分な強度がないと、肝心の鉄骨の良さが失われてしまう。神戸における低層鉄骨建物の多くが、接合部破断で崩壊していたことは、施工管理の重要性を感じさせる。

10階建程度の中層の事務所ビルでは、中間階の1層が崩落するという、破壊形式が目撃された。その典型が、神戸市役所旧庁舎である（写真9）。1981年より前の建物では、上階の方が建物応答が大きくなるという、建物の応答増幅効果の考慮が不十分だった。このため、柱の断面寸法を変化させた特定の階などで耐力が不足し中間階に損傷が集中した（写真10）。

(3) 建物被害の年代差・階数差

次に、RC建物の建築年や建物高さによる被害率の差異を見てみる。図1は震災の帯の中（震度7地域に相当）に存在したRC建物の構造的な被害率を示したものがある³⁾。わが国では、1950年の建築基準法制定以降、1971年と1981年の2度、耐震基準が大きく改訂されている。このため、2つの年代での被害率の差異が顕著である。ただし、建築年による耐震性の差異よりも、建物階数による耐震性の差の方が大きい。

(8) 家具の転倒

兵庫県南部地震では、けが人も沢山出た。家具の転倒が直接的原因のものが約半数を占める。さらに、家具の転倒で散乱したガラスによって、揺れの直後や後片付け中に負傷した事例が多く見られる。この他にも、ブロック塀の倒壊、外壁や屋外設置物の落下、ガラスの落下、自販機の転倒などによる被害も多い。

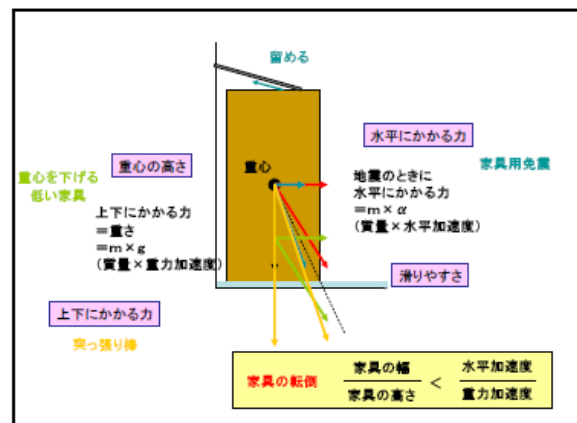




写真1



写真2



写真3



写真4



写真5



写真6



写真7



写真8



写真9



写真10

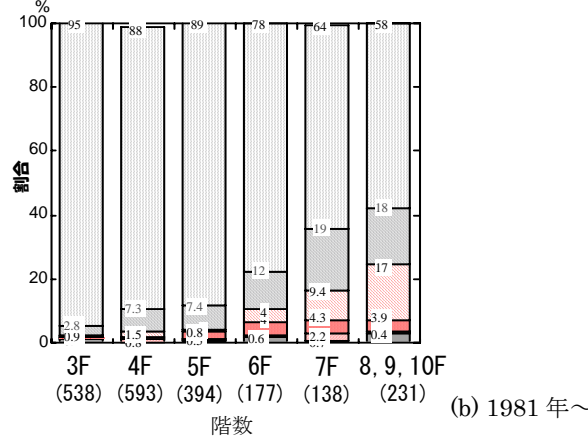
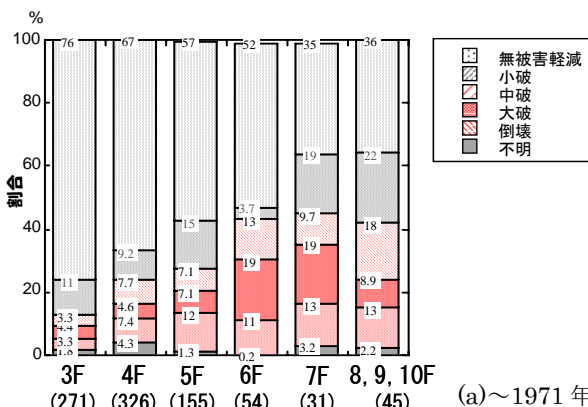


図1 震災の帯でのRC建物の被害率³⁾

3. 耐震化の促進

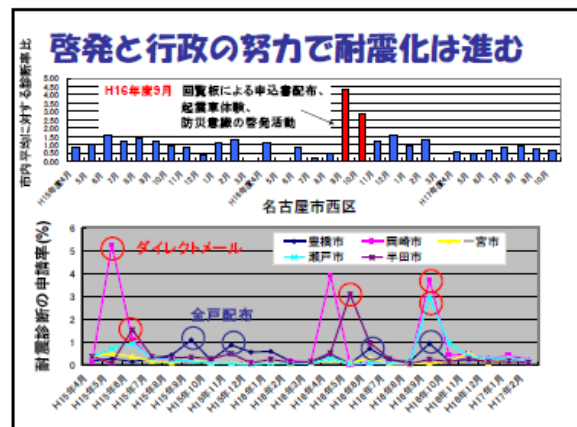
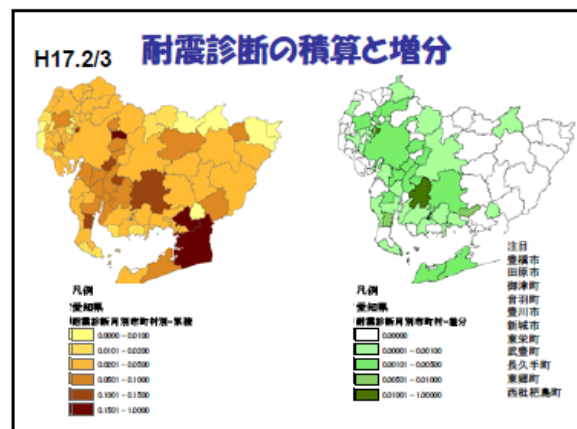
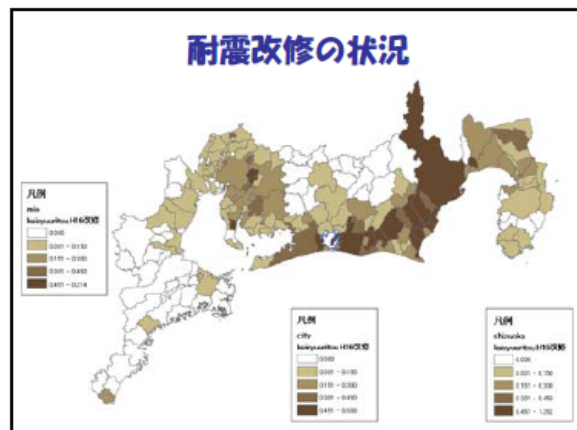
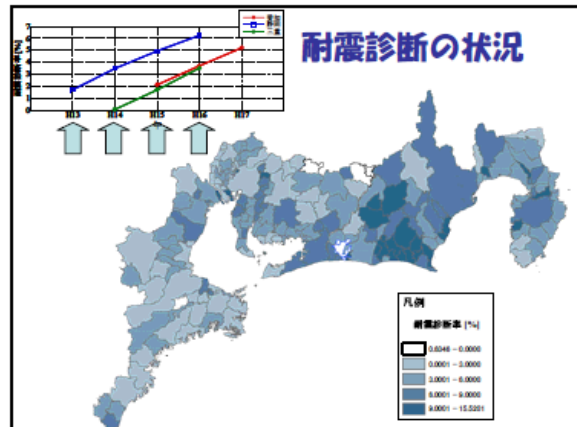
現在、全国の住宅の1/4に相当する1150万戸が耐震性に問題があると言われている。地震被害の主たる原因が、既存不適格木造建物の倒壊にあることから、愛知県を初めとして、多くの自治体で、1981年以前の木造家屋に対する無料耐震診断制度が導入されている。愛知、静岡、三重の3県は、我が国で最も耐震診断が精力的に行われている。しかし、3県の中でも市町村によって耐震診断率には差がある。

この傾向は耐震改修の進捗状況を見ても良く分かる。耐震改修については、静岡、愛知、三重の順に進捗しているようであり、被害がより大きく予想されている地域での改修率が高い。

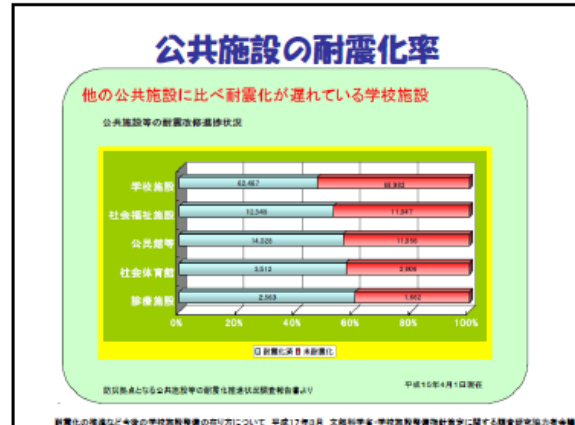
愛知県の場合、耐震診断が精力的に行われているのは、強い揺れが予想される東三河地域や、東南海地震で大きな被害を受けた碧海地域、住民運動が活発な尾張東部地域である。

また、耐震診断の申し込みは恒常的に行われている訳ではなく、ある特定の月には特定の市町村で申し込みが多く行われている。

この原因を調べたところ、無料耐震診断の申込用紙をダイレクトメールで送付したり、各戸配布した月に申し込みが多く行われている。また、防災関連の啓発イベントを実施した後に、耐震診断申込用紙を回覧板で回覧した月に申し込みが増えている。このようなことから、適切な啓発と、丁寧な行政行為がセットで行われることが、耐震化を促進することが分かる。



公共施設の耐震化も余り進んでいない。中でも、学校施設の耐震率は50%程度に留まっている。第2次ベビーブームの時代に多くの学校施設が建設され、この時期に耐震基準が改定されたため、既存不適格建物の割合が相対的に大きいためである。学校施設は避難拠点になる場合も多いため、現在、精力的に耐震化が進められている。



耐震化を進める上では、4つの障害があると言われている。制度、技術、経済、意識の障害である。耐震化を進める制度の整備、安価で効果的な耐震化工法の開発、経済的なインセンティブ作り、そして、何より大事なのは耐震化の必要性についての意識啓発である。

耐震補強の4つの障壁

- **制度の壁**
診断・改修を進める制度・施策・仕組み
- **技術の壁**
安価で有効な改修法の開発
- **経済の壁**
財政的なインセンティブ
- **意識の壁**
意識をかえる、こころ、気持ち

現在、制度面や経済面では、耐震化の補助制度の整備や、税金の減免、耐震改修促進法の改正など、アメとムチの政策で、耐震化の促進のための環境の整備が行われつつある。

耐震化を促す行政サポート

- ・戸建木造住宅の無料耐震診断
- ・耐震改修工事への助成
- ・税金の減免
- ・耐震改修促進法
 - 耐震改修の指示・命令
 - 未耐震改修建物のリスト公表

アメとムチ

また、名古屋大学、名古屋工業大学、豊橋技術大学の耐震研究者が愛知県・名古屋市の建築行政や、建築関係団体と協力して、安価で効果的な耐震化工法の開発に取り組んでいる。

60年前と今

<p>60年前</p> <ul style="list-style-type: none"> ・良い地盤に住んでいた ・地震に弱い家 ・家具の無い生活 ・職住近接 ・電気はランプだけ ・薪で炊事 ・井戸水 ・くみ取り便所 ・連絡は人間が出向く ・大家族・地域ぐるみ 	<p>今</p> <ul style="list-style-type: none"> ・軟弱な地盤や傾斜地に ・地震に強い家 ・周辺は家具だらけ ・職場は遠い ・電気に頼った生活 ・ガスで炊事 ・上水道 ・水洗便所 ・電話・携帯・Internet ・核家族・地域と隔絶
---	--

意識啓発についても、中央防災会議に、災害軽減のための国民運動の推進に関する専門調査会が設置され、耐震化の国民運動が巻き起こされようとしている。

現在は、62年前に発生した東南海地震のときは、社会状況が大きく異なる。当時と比べて、現代社会は、災害に対して随分脆弱になっている。このことを広く住民の人たちに理解して貰い、少しでも耐震化を進めることが大事である。

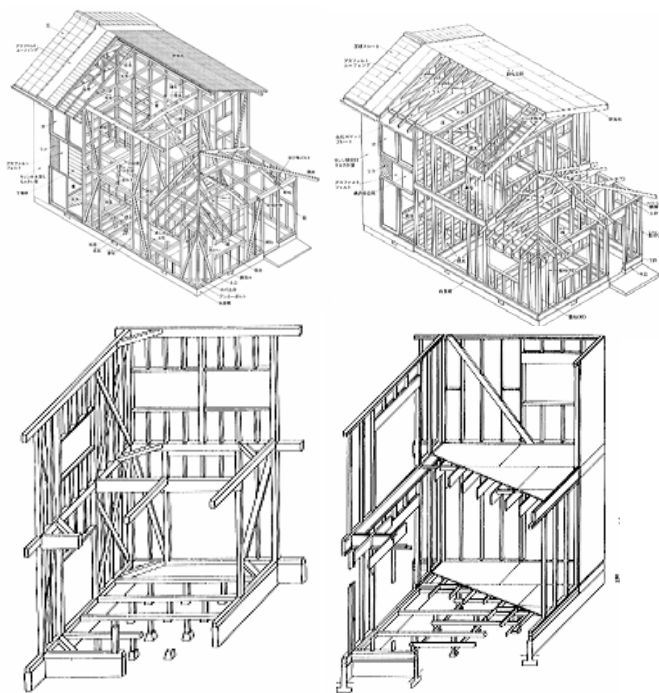
あいち防災カレッジを修了したあいち防災リーダーの皆さんは国民運動の先頭に立っている。

参考 1. 建築物の構造種別と架構形式

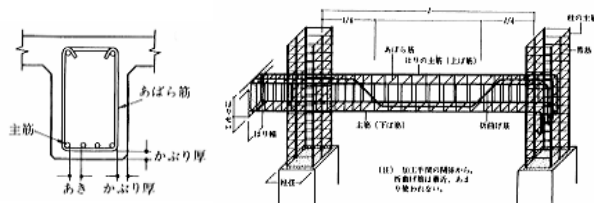
建築物は用途や建物規模によって種々の構造が使い分けられる。ここでは代表的な構造種別と架構形式について概説する。

(1) 戸建住宅

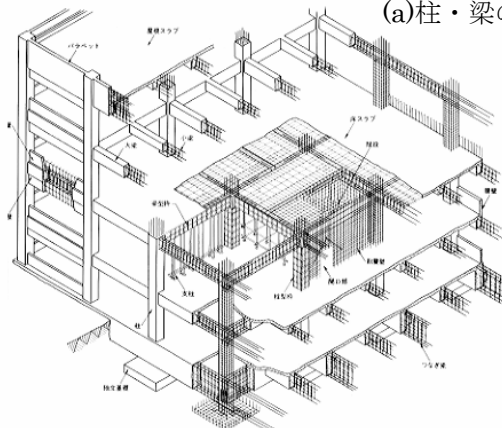
戸建住宅には、木造に加え、鉄骨、鉄筋コンクリートなどが用いられている。木造の場合、図2に示すように、軸組工法と枠組壁工法が利用される。軸組工法は、いわゆる在来工法であり、柱・梁・筋交などの線材で構成される。地震力には筋交と柱が主として抵抗する。軸組工法の中にも、柱・梁を表に出す真壁と、壁の中に隠す大壁が、屋根の架構形式として束立ちで構成する和小屋と、三角形のトラス形式で構成する洋小屋形式がある。枠組壁工法はいわゆるツーバイフォーであり、面材である構造用合板が主たる耐震要素となる。鉄骨住宅の場合には、柱・梁のみから構成するラーメン構造、さらにブレースを組み合わせたもの、ユニット形式などの工業化住宅が存在する。また、最近、薄板材料を用いたスチールハウスと呼ばれる工法も米・豪から導入されている。



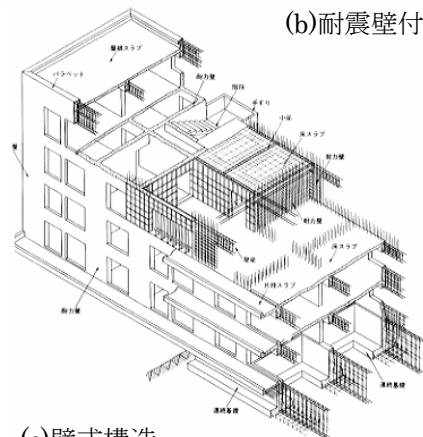
(a)軸組工法 (b)枠組壁工法
図2 木造戸建住宅⁹⁾



(a)柱・梁の鉄筋



(b)耐震壁付ラーメン構造



(c)壁式構造

図3 鉄筋コンクリート造⁹⁾

(2) 鉄筋コンクリート造と鉄骨造

一方、事務所ビルや共同住宅などに用いられているのは、鉄筋コンクリート (RC) 造、鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 造、鉄骨 (S) 造などである。5~6 階建て以下の低層の建物は RC、十数階建て以上の高層のものは S 造が使われる場合が多く、その中間は SRC 造が用いられる。コンクリートと鉄と比べると鉄の方が単位重さ当たりの性能が良い。鉄の強度はコンクリートの約 10 倍、重さは約 3 倍なので、単位重さ当たりの強度は 3 倍程度ある。ただし、コストは鉄の方が高い。鉄はより少ない材料で建物を作ることができるので、重層となる高層建物は鉄骨造が多い。低層の場合は負担する力が少なくて済むので低コストの RC 造が採用される。ただし、最近では高強度のコンクリートが開発されたため、高層マンションなどでは RC 造が採用される機会が増え

てきた。また、平屋の工場や体育館などでは、軽い屋根で柱間隔を飛ばすため、鉄骨造が採用される場合が多い。

鉄筋コンクリートは、図3aに示すようにコンクリートと鉄筋とで構成した混合材料である。引張に弱いコンクリートの弱点を鉄筋（主筋）で補い、逆に鉄の錆びをコンクリートで防いでいる。コンクリートと鉄は線膨張率がほぼ等しいので、温度変化があっても両者は一体で伸び縮みする。コンクリートの外側にある帯筋やあばら筋は内部コンクリートがはらみだすことを防ぐと共に、せん断に対する補強効果を有する。鉄筋コンクリート構造には、柱と梁だけで構成したラーメン構造、耐震壁も併用した耐震壁付ラーメン構造(図3b)、壁のみで地震力を負担する壁式構造(図3c)がある。ラーメン構造や耐震壁付ラーメン構造は事務所ビルなどに用いられる場合が多く、壁式構造は共同住宅や学校建物の張間(短辺)方向で採用される場合が多い。地震時には、壁式構造は図4aのように、ラーメン構造は図4bのように変形する。

図5は鉄骨造の一例である。柱・梁とブレースにより架構を構成し、床はデッキプレートにコンクリートスラブを打設している。柱と梁はボルトや溶接により接合され、柱はコンクリート基礎にアンカーされる。鉄は、粘り強い材料であり、その材料の特性を発揮させるには、接合部の強度と施工管理が鍵となる。

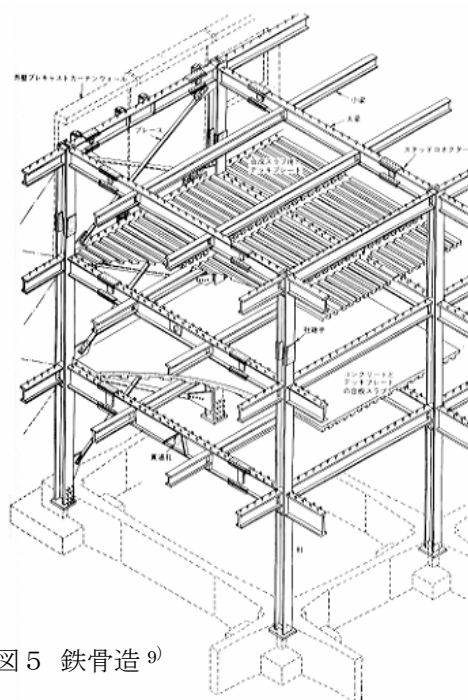


図5 鉄骨造⁹⁾

(3) 基礎構造

建物を支える基礎は、地盤条件に応じて図6の様に使い分けられる。一般に基礎は、地盤が変形してもその変形が建物に影響を与えないよう十分に剛にする。地盤条件が良好な場合は直接基礎を、支持力が不足する場合は杭基礎を採用する。

基礎は一旦被害を受けると補修が難しいため、地盤条件に応じて慎重に設計・施工をする必要がある。

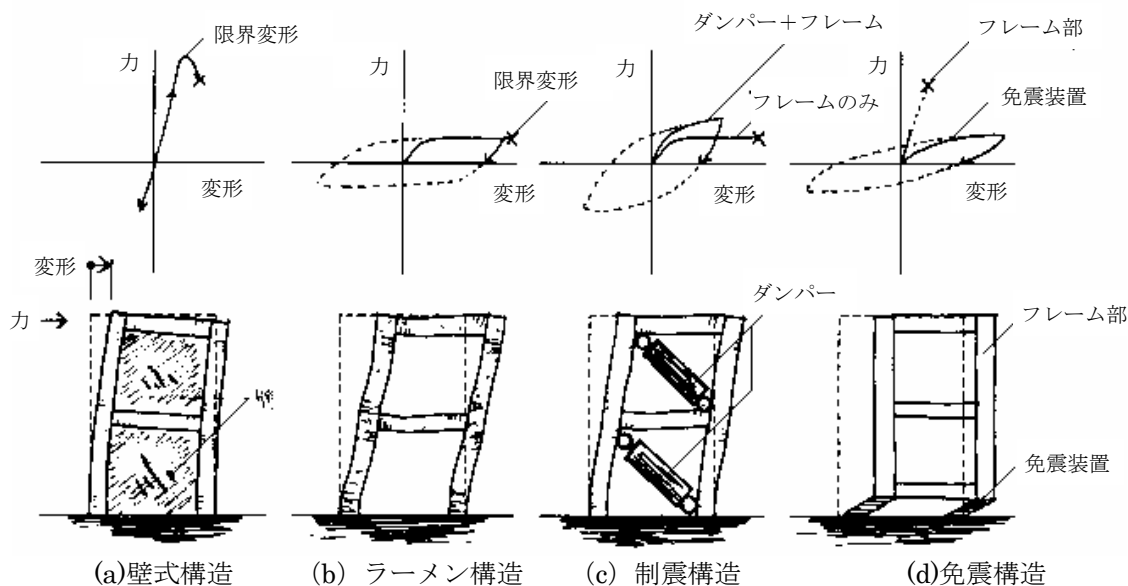
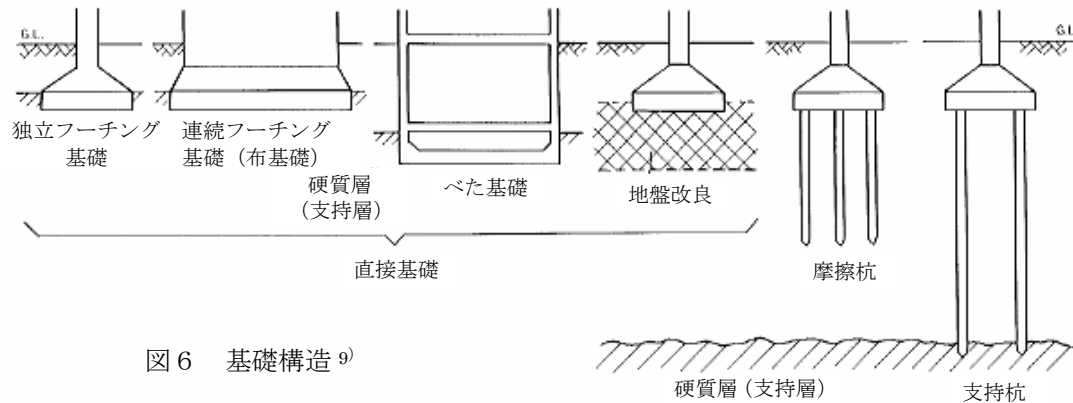


図4 代表的な構造形式の変形性状⁶⁾

図6 基礎構造⁹⁾

参考2. 建築物の耐震性

(1) 耐震性：地震力と耐力

建物の耐震性は、地震時に建物に作用する力と、建物の耐震部材が持つ耐力の綱引きで決まる。建物に作用する力は地震力と呼ばれ、時々刻々変化する。地震力とは、建物の質量に建物の応答加速度を乗じた慣性力のことである。建物応答は、建物に入力する地震動に建物の応答増幅効果を乗じたものである。従って、地動の強さが大きく、建物が大きく応答増幅し、建物質量が大きいと地震力は大きくなる。地動の強さは、地域の地震活動度や地盤による揺れの増幅効果に依存する。建物の応答増幅には、建物の固有周期と地動の卓越周期との近接の有無や、建物の揺れにくさの指標である減衰の大小が関係する。

これに対して、建物の耐力は、強さと粘りの積で示される。壁は、強度は大きいに変形能力が小さく脆性的に壊れる。これに対して、柱は、強度は小さいに変形能力が大きく塑性変形能力も大きい。ただし、腰壁や垂壁が付くと短柱になり、変形能力が減じられ脆性的なせん断破壊が卓越するようになる。

また、剛性のバランスも耐震上、重要なポイントである。高さ方向の剛性（堅さ）の変化が一様でないと、剛性の小さい層に変形が集中する。この層の変形能力が十分ないと層崩壊の原因になる。平面的にも、壁が偏って配置されて、剛性が偏在すると、地震時に力が作用する重心位置（概ね床の図心に一致）と抵抗の中心である剛心位置がずれるため、偏心による揺れ動が生じ、端部の柱の変形が大きくなる。

(2) 耐震基準

耐震基準は、地震被害の経験に基づいて、改善を繰り返してきた。1923年関東地震での無被害RC建物の設計震度などを参考に、翌1924年に、水平震度0.1（建物応答加速度が100ガルに相当）に対する弾性設計（建物に損傷を生じさせない設計）の規定が市街地建築物法（物法）に導入された。その後、安全率の改定や戦時中の特別措置などを経て、1950年に制定された建築基準法で、水平震度0.2に対する弾性設計が規定された。基本的には、物法と同様の耐震基準である。

その後、耐震基準は1971年に改訂された。1964年新潟地震や1968年十勝沖地震の被害を受けて、柱のせん断補強の重要性が認識され、1971年にせん断補強筋の規定が強化された。さらに、1981年に新耐震設計法が導入された。この際には1978年宮城県沖地震での被害経験も生かされた。新耐震設計法では、従来の200ガル程度の応答（地動で80～100ガル程度に相当：標準せん断力係数 $C_0=0.2$ ）に対する弾性設計（許容応力度設計）に加え、300～400ガル程度の地動に対する終局強度設計（保有水平耐力の確認： $C_0=1.0$ ）が導入され、2段階設計法となった。保有水平耐力の確認では構造部材による粘り強さの違い（塑性変形能力：構造特性係数 D_s ）を考慮している。

我が国では法の不遡及の原理により、建築設計時の法律に準拠していれば、耐震規定の改定があっても耐震性を向上させる必要は無い。このため、現行の耐震基準を満足しない既存不適格建築物が大量に存在し、全国で1000万戸を越えて残存している。