

建築家のための 耐震設計教本 新訂版

建築家は巨大地震を前に
何ができるのか？
プロとしての自信を
与えてくれる1冊！



彰国社

日本建築家協会・耐震総合安全機構 編

「建築家のための耐震設計教本 新訂版」編集委員会

委員

浅野美次、安達和男、大越俊男、庫川尚益、黒田渉、中田準一、平山昌宏、深澤義和

執筆者一覧

浅野美次（日建ハウジングシステム）

安達和男（日本設計）

阿部一尋（AB 住計画一級建築士事務所）

阿部芳文（日本設計）

荒 真一（織本構造設計）

飯田正敏（織本構造設計）

井田 寛（日本設計）

稲生 宏

井上 博（井上博設計事務所）

梅野 岳（久米設計）

大越俊男（東京ソイルリサーチ）

大沢幸雄（FMC）

桂木宏昌（日本設計）

金子美香（清水建設）

菊地 守（アーキタイプ建築設計事務所）

岸崎孝弘（日欧設計事務所）

庫川尚益（くらかわプランニング設計）

黒田 渉（日本設計）

河野 進（河野進設計事務所）

郡山貞子（郡山建築設計事務所）

輿 尉（日本設計）

島田喜男（島田建築事務所）

高木恒英（インターセクション）

田部井哲夫（東京ソイルリサーチ）

富松太基（日本設計）

中田準一（前川建築設計事務所）

南條洋雄（南條設計室）

服部範二（KR 建築研究所）

平山昌宏（環境システック）

深澤義和（三菱地所設計）

長谷川裕能（日本設計メディカルコア）

平井 堯（元日建設）

三木 哲（共同設計・五月社一級建築士事務所）

村尾成文（建築家）

森岡茂夫（アルフィ建築デザイン）

山口秋子（織本構造設計）

山崎和広（織本構造設計）

吉川寛文（織本構造設計）

米本孝志（織本構造設計）

コーディネーター

佐藤寿一（耐震総合安全機構）、筒井信也（日本建築家協会）、中田亨（耐震総合安全機構）

装丁・本文基本デザイン

伊原智子（るび・デザインラボ）

推薦のことば

矢野克巳（元耐震総合安全機構代表）

使う人のための耐震

東日本大震災で私がショックを受けたのは東北6県の「社団法人・高層住宅管理業協会」が発表した被災データである。マンション1,642棟の調査で「建築学会の被災度判定基準」による判定は「大破0棟」で、被災者生活再建支援法に基づく「罹災証明書」の場合は「全壊100棟」であった。この違いは、建築「物」の被害の大きさを計る場合と、住む「人」の立場で判断する場合の違いである。

これまでも、高層建築の上層階は揺れが激しく人口密度が増えると指摘され、対策を総合的にするべきと言われてきた。東京のような過密大都市は火災被害が大きいと言われているが、建築界の多くは防火に対しては法令に頼るだけであった。

これらのことを考えると、改善すべき事項は、構造設計者は「揺れから人を守る」ために速度応答値を求め（加速度・変位のみでなく）、適切な水準であることを確認すること、設備設計者は、ライフラインから建築物へ導入・排出するところを十分に備えたうえで、機能保持を目指すことではないか。屋外の主要施設は、建築物が杭打ちならば杭打ち基礎とする対応が必要であろう。また、建築物と周りの地盤との相対変位差も、これまでの想定値が不十分である場合が極めて多いと思考する。

建築家は、仕上げ材の耐震性については構造設計者と十分協議検討したうえで対策を決めてほしいと思う。現在の建築は多様である。使用者もまた多様である。老人と若い人では揺れや避難の対応能力に大差がある。したがって、低層階と高層階、揺れやすい地盤、火災危険度の高いまちなどのことを配慮する建築家でないと社会は信頼してくれないであろう。

医師は人に応じた診断と対策をとる。建築家は、地震に対して法令のみに逃げ込まず、名医と同じく名建築家であってほしいと思う。構造・設備技術者も、法や規準などに逃げ込まず、個別の判断に悩み・苦しみながらベストを尽くす人をパートナーとしてほしい。

これまで、構造設計者用の耐震教本は数多くあったが、設計、設備、施工などそれぞれの立場から建築を総合的にとらえたこの教本のような本はほとんどなかった。今回、各執筆担当の方々の熱意が、このように素晴らしい本として結実したことを心より慶賀する次第である。

目次 建築家のための耐震設計教本 新訂版

推薦のことは	3
まえがき	4
初版まえがき	5
建築家と耐震設計	6

【用途ごとの課題】

(1) 共同住宅	66
(2) 超高層住宅	67
(3) 学校	68
(4) 美術館・博物館・図書館	69
(5) 病院	70
(6) ホール・集会場・体育館	72
(7) 市庁舎	73
(8) 地域防災センター	74
(9) ホテル	75
(10) 避難所	76

6 構造方式の多様化とその選択

6-1 耐震構造の計画	78
6-2 免震構造の計画	80
6-3 制震構造を目指す	82
6-4 高層建築の耐震計画	84

7 建物の形態と耐震性能

7-1 耐震性能上バランスのよい建物とは	86
7-2 平面的にバランスのよい建物をつくる	88
7-3 剛性の低い階をつくらない	90
7-4 エキスパンション・ジョイントの効用と 注意点	92
7-5 地下室の効用と注意点	94
7-6 その他の留意点	96

8 非構造部材の耐震設計

8-1 躯体から非構造部材の耐震性へ	98
8-2 ガラスを落下させないために	100
8-3 カーテンウォールは意匠とともに性能を	102
8-4 ALC とパネル外壁の耐震設計	104
8-5 天井崩落を防ぐ	106
8-6 内壁・内装の耐震設計	108
8-7 家具・備品の固定とレイアウト	110

9 設備の耐震設計

9-1 耐震設計のポイント	112
9-2 地震被害例と被害を受けやすい部位と設備	114
9-3 地震後の設備機能の確保	116
9-4 免震建物における設備計画のポイント	118
9-5 エレベーターの耐震対策（1）	120
9-6 エレベーターの耐震対策（2）	122

10 木造住宅の耐震設計

10-1 木造住宅の耐震設計と工法	124
10-2 木造住宅の耐震改修	126
10-3 木造密集地の居住環境と防災	128

11 工事監理と竣工後のフォロー

11-1 工事の良否で耐震性能に差が出る	130
11-2 施工者選択のポイント	132
11-3 建築・構造・設備の工事監理	134
11-4 竣工時の性能保証と情報管理	136
11-5 メンテナンスとリニューアル	138
11-6 既存建物の耐震診断	140
11-7 既存建物の耐震補強	142
11-8 災害における建築家の役割	144
11-9 地震保険と建築家賠償保険	146

12 構造技術者、設備技術者との協働

12-1 建築家の統括力とチームワーク	148
12-2 建築家と構造技術者、設備技術者	150
12-3 構造技術者および設備技術者の役割	152

13 都市施設の限界と自律的防災体制

13-1 都市インフラの限界	154
13-2 防災と環境を両立するインフラ整備	156
13-3 自分で賄う機能を身につける	158
13-4 情報インフラの限界と活用	160

14 まちづくりと震災対策

14-1 建築とまちは社会の資産である	162
14-2 まちに防災機能を組み込む	164
14-3 火災に備える地域計画	166
14-4 外部空間の防災機能	168
14-5 土木構造物・工作物などの耐震性	170
14-6 復興計画の考え方	172

15 これからの生活空間と震災対策

15-1 ライフスタイルと災害	174
15-2 高度情報化社会と災害対策	176
15-3 高齢化社会と災害対策	178

付録	180
あとがき	182

●インデックスについて

このインデックスは本書の内容を建築の時系列的フェーズから引けるように分類されています。各章は建築の流れに沿って読み進めていくことができますが、それにこだわらず関心のあるところ、必要なところを検索し、利用してください。

調査	計画時に調べる事項に関係すること
企画	設計の前段階に関係すること
設計	設計に関すること
施工	施工に関すること
維持	建物の完成後に必要なこと
その他	地震の仕組み、災害の調査報告、高度な専門知識、異業種や行政、市民との連携など

3-1 津波の原因と種類

海洋プレートが沈み込むとき、大陸プレートの先端が海洋プレートに引きずられ、沈降し、その根元では隆起する。一部のアスペリティーが滑り、連動して大陸プレートが滑り、元の形に戻る。そのとき、先端の海底が隆起し津波が生じ、根元の陸が沈降し、海面になる。

プレート境界面地震

海洋プレートが沈み込むときに、大陸プレートを引きずり込み、その先端が沈降する。一部の固着面（アスペリティー）で摩擦応力が限界に達すると、突然滑ってM8程度の大地震が発生し、元の状態に戻る。

このとき、陸上プレートは、その先端が隆起し、元の状態に戻る。この海底の隆起がその上の海水を持ち上げ、津波を発生させる（図1）。この部分を津波の波源領域と呼ぶ。プレート全体が元に戻るまでには、長時間余震が起り、徐々に安定する。

境界面の残留摩擦応力が大きい場合、広い範囲の境界面が一部のアスペリティーの滑りに連動して、広範囲に滑り、M9程度の巨大地震が発生し、小さな摩擦応力に戻る（図2、3）。

津波と速さ

津波の高さは海洋では2～3mであるが、波長が100kmを超えるので、海面の変化は少ない。沖に出ていた漁船は津波に気付かず、浜に戻ってみれば津波に流されて何も

残っていなかったことから、浜の波、津波と呼ばれるようになった。

津波の速さは、深さ4kmの海洋では時速720kmになる。沿岸では、津波の速さは、水深10m、波高6mで時速46kmになる。

普通の波と津波

波は、音が交じり合わないのと同じように、重なり合わずに、それぞれの波が形状を保って進んでいく。波の周期は波長に関係し、周期10秒では波長が156mである。このとき海水は、波長の半分の深さまで動く。周期10秒では、80m潜れば海水は動かない。

一方、津波の周期は数十kmなのに、海洋の深さが4km程度しかないので、海水は、海面から海底まで、一様に数百m水平に行ったり来たりする。したがって、海底に堆積した砂や泥が巻き上げられ、津波になって襲ってくる。

津波の種類

アスペリティーと関係なく、広い領

域でゆっくり滑り、強震動を発生させずに津波を発生させることもある。津波地震と呼ばれている。さらにゆっくり滑るときには、地震動も津波も発生しないスロー地震と呼ばれる。

津波は、海岸から発生地点までの距離が600km以下の場合、近地津波と呼ばれ、それ以遠の場合は遠地津波と呼ばれる。

津波の高さが2mを超えると被害が急に多くなり、大津波と呼ばれる。

津波常習地帯

三陸海岸が津波常習地帯になっているのは、複雑なリアス式海岸が津波を増幅させるばかりでなく、沖合の日本海溝が津波を集中させる海底地形になっているからである。

津波はなかなか減衰せず、遠くまで伝わり、三陸海岸では、1700年のシートル沖のカスケーディア地震による津波や、1960年のチリ地震による津波にも襲われている（表1）。チリ地震津波は、1万7,000kmを22時間30分かけて、襲ってきた。

なお、津波の襲来は、歴史的には、

西日本のほうが多い。また、地震直後に津波が襲う特性がある。

明治三陸大津波

1896年にM8.5の巨大地震が発生した。震度2～3の弱震が5分ほど続き、震害はまったくなかった。しかし、地震後30分程度で、高さ20mの津波が来襲し、2万2,000人が犠牲になった。津波地震であった。津波の遡上高は、綾里（現大船渡市）で38.2mを記録した。田老村（現宮古市）では、村民の83%が犠牲になった。43カ所で高地移転が行

われたが、不便なために、10年後には大半が元に戻ってしまった。

昭和三陸津波

1933年にM8.1の巨大地震が発生した。震度5の強震であったが、特に震害はなかった。20～30分後に7～8mの津波が襲い、3,000人が犠牲になった。津波は6回程度繰り返された。特に、田老村では、人口の20%が亡くなり、家屋の63%が全壊・流失した。津波の規模は、明治に比べ3/4程度で、被災戸数も、明治の3/4程度といえる。犠牲者は、

明治の1/7程度であった。37年前の記憶があり、見張りや素早い避難が犠牲者を減らしたといえよう。

（大越俊男）

図版出典

- 1) 東京大学地震研究所HP、津波発生のメカニズムより作成 <http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/charade/tsunami/mechanism/>
- 2) 山下文男著『津波でんでんこ』新日本出版社、2008年より作成
- 3) 海洋開発機構HP、2011年4月28日プレスリリース http://www.jamstec.go.jp/jkids/press_release/20110428/
- 4) 国土技術政策総合研究所・建築研究所「平成23年度東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）」2011年5月

表1 三陸津波発生の歴史²⁾

発生年	名称	M	遡上高	死者・行方不明者
869	貞観地震津波	8.3		1,000
1611	慶長三陸津波	8.1		5,000
1677	延宝三陸津波	7.5		
1700	カスケーディア地震津波	9		
1763	宝暦三陸津波	7.4		
1856	安政三陸津波	7.5	6.0m	
1896	明治三陸津波	8.5	38.2m	21,959
1933	昭和三陸津波	8.1	28.7m	3,064
1960	チリ地震津波	9.5	4.9m	139
2011	東北地方太平洋沖地震津波	9	40.4m	20,381

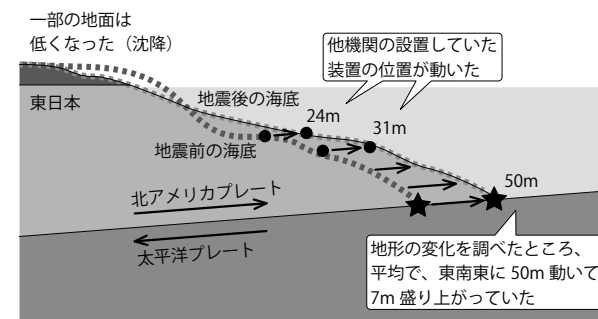


図2 東日本太平洋沖地震における北米プレートの動き³⁾

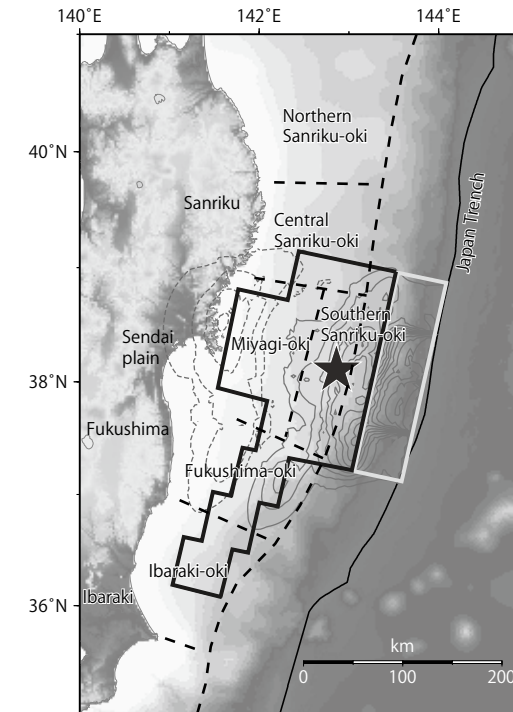


図3 東北地方太平洋沖地震より計算された海底地殻変動実線が隆起（1m間隔）、破線が沈降（0.5m間隔）、黒い線が最初の波源域、白い線が第二の波源域⁴⁾

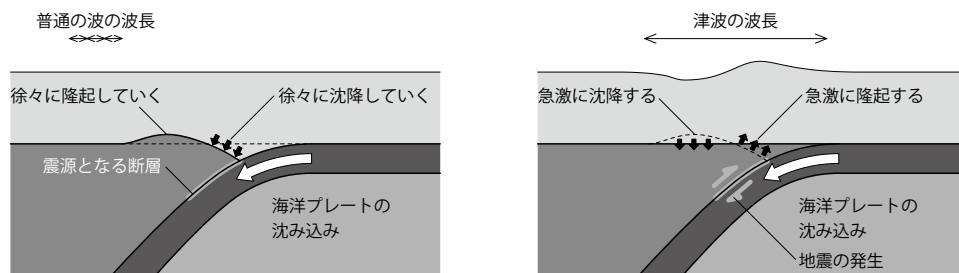


図1 プレートの沈み込みによる地震と津波の発生¹⁾

調査
企画
設計
施工
維持
その他

7-3 剛性の低い階をつくらない

建物において、各階の剛性バランスおよび層間変形角の制限などが、建物の安全性および耐力上重要な要素になってくる。これらの指標として剛性率の制限を設けている。

剛性率が原因となった被害

近年の地震における建物の被害状況報告書および現地調査の被害の状況について、剛性率の影響と思われるものを下記に示す。

図1のピロティのある建物において、1階ピロティ部の層崩壊、ピロティ柱のせん断破壊などの被害が見られた。

図2の中高層建築物において、構造種別がある階で変わり、剛性、耐力が急変したためと考えられる中間階での被害が見られた。

剛性率・層間変形角とは

図3のように上階が耐力壁、腰壁などで剛性、耐力共に下階に比べ著しく大きい場合、地震エネルギーは下階に集中してしまうため、上階は損傷が軽微でも下階は大きなダメージを受けてしまう。

耐震構造による対策としては、建物全体で地震エネルギーを吸収できるように、各階の剛性バランスがとれた構造計画とすることである。具体的には、耐震要素である耐力壁やブレースを各階にバランスよく配置して建物全体の剛性・耐力を高める計画や、柱・梁のみで構成する純ラーメン構造とし、柱・梁断面を調整して各階の剛性・耐力を確保する計画などである(図4)。耐震要素を配置する計画は、耐震要素を各階に効果的に配置する必要があるが、建築計画、設備計画との整合をとることが難しい場合が多く、設計初期の段階から考

慮する必要がある。

純ラーメン構造は、各階の柱・梁を耐震要素として地震力に抵抗する架構である。ブレースや耐力壁などの耐震要素がないため、平面プランは計画しやすいが、柱・梁断面が大きくなりやすいので天井高さの設定などに注意が必要である。特に、長スパンを有する建物、階高が高い建物、建物重量が重い場合などは余裕を持った断面で計画するか、図5のように間柱形状の耐震要素を配置するなど工夫が必要である。

また、純ラーメン構造は各階の剛性バランスがよく建物全体で地震エネルギーを吸収できる一方、建物全体の剛性が低い場合に各階の層間変位が大きくなり、その損傷度合いが大きくなる傾向にある。地震時の損傷を小さくするには、各階の層間変位をなるべく小さくすることが大切である。

以上のような建物の耐震性を定量的に示す指標として、建物各層の剛性バランスを示す指標が剛性率であり、建物の損傷程度を示す指標が層間変形角(層間変位を階高で除した値)である。

注意が必要な建物

図6のようにエントランスとなる1階や中間にホールを有する階などは比較的大きな空間が要求されることが多く、このような建物ではその特定の階に被害が集中しやすい。

また、図7のように下層階がオフィ

ス、店舗などで上層階が住宅となるような計画の場合、その間に設備切替え層が必要となるが、梁を上下に配置して階として扱うか、大きな梁として二重床形式のピット形状とするかによって建物の構造的バランスが大きく変わるため注意が必要である。

図8のように下階が鉄骨鉄筋コンクリート造で、上階が鉄筋コンクリート造となるような構造種別が変わる場合は、剛性、耐力が大きく変化するため、図2のような層崩壊となってしまうことがあるので注意が必要である。

図9のように2層程度を鉄骨造としてペントハウスフロアとするような計画をする場合は、地震時に上階の鉄骨造がむち振りのような挙動を示すため非常に大きな加速度が生じてしまうので注意が必要である。

免震構造について

剛性が小さい階があるとその階に地震エネルギーが集中する特性を利用して、意図的に剛性の低い階を最下階に設け、その階で地震エネルギーを吸収し、上階の損傷を抑える構造計画も考えられる。免震建物などがその代表的な例である。免震建物は免震層の剛性が建物剛性に比べて非常に小さいため、図1のようなピロティ形状の建物でも層崩壊の可能性を低減することができる。

(吉川寛文)



図1 1階ピロティ部で層崩壊した例



図2 中間階で層崩壊した例¹⁾

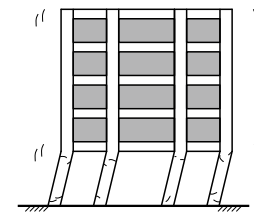


図3 ピロティ建物の層崩壊

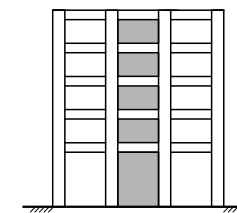
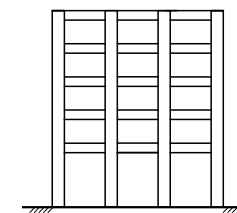


図4 架構形式の例



純ラーメン構造

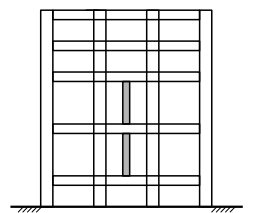


図5 間柱を配置

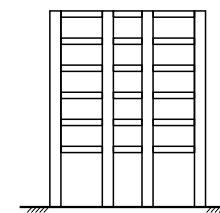
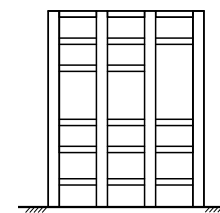


図6 注意が必要な建物



階高が不均等

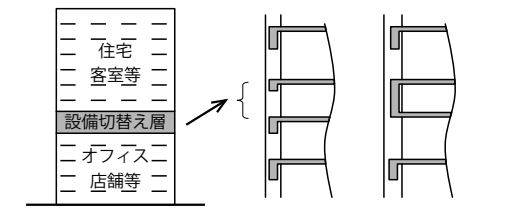


図7 用途が切り替わる場合の例

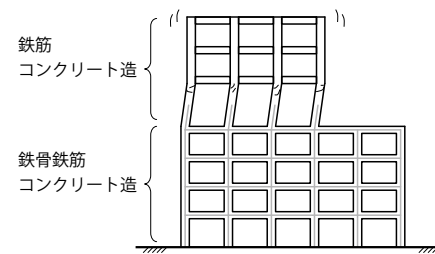


図8 構造種別が変わる建物の例

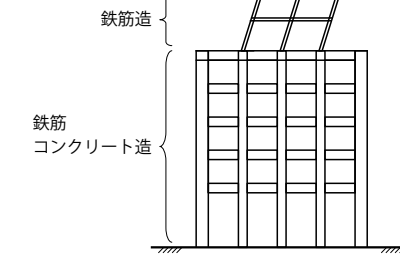


図9 上階に被害が生じる例

図版出典

1) 日本建築家協会都市災害特別委員会編『建築家のための耐震設計教本』彰国社、1997年

8-7 家具・備品の固定とレイアウト

家具類の転倒・落下を防ぐことは、地震時の人的被害を低減する上で重要である。また、病院、電算センター、官庁施設など、地震後にも重要な機能を果たさなければならない建物では、家具の転倒・落下を防止して地震後の「機能維持」を図る必要がある。

家具被害が及ぼす影響

地震時の負傷の多くは、家具の転倒や落下物が原因である⁽¹⁾。家具の転倒や落下を防ぐことは、家具や収納物の物的被害を防ぐだけでなく、人的被害を低減するためにも重要である。また、避難通路に家具が転倒したり収容物が散乱すると、地震後の避難にも支障をきたす恐れがある。さらに、家具の転倒や収容物の散乱により、地震後の事業や生活の継続が困難になる可能性もある。病院、電算センター、官庁施設など、地震後にも重要な機能を果たさなければならない建物においては、特に家具の地震対策に留意する必要がある。

家具類の転倒

文献(2)をもとに、代表的な家具の転倒限界加速度を図1に示す。転倒限界加速度は家具の寸法により異なり、図1の直線を上回る加速度では各家具の転倒可能性が高い。また、図には各種建物の床応答の例も併せて示した。床応答は地震により異なるため図に示したのは一例であるが、一般に建物の下階よりも上階で家具の転倒可能性が高いことや、免震建物で家具の転倒可能性が低いことなどが読み取れる。

家具類の固定

家具の転倒や移動を防止するには、あらかじめ家具を造付けにすることが最良である。しかし、実際には、建物使用者の都合で家具が追加設置さ

れることも多く、そのような場合に備えて、家具が固定できるように壁の下地を補強し、どの部分に固定できるのかを使用者側にわかるようにしておくことも重要である。

家具を固定する場合には、固定先の壁や床に十分な強度があるか確認する必要がある。家具の重量によって固定に必要な力は変わるため、内容を想定して十分に余裕を持たせた強度で固定すべきである。東日本大震災においても、天井勝ちのパーティションに重い家具を固定していたために、家具が壁と天井を壊して転倒した被害や(図2)、図書室の本棚の頭つなぎの強度が不十分で本棚が連鎖的に倒れた被害などが見られた(図3)。安易な固定が被害を大きくする可能性もあることに注意が必要である。

適切なレイアウト

すべての家具を壁や床に固定することは、実際には難しい。家具のレイアウトを工夫することにより、被害を低減することも考えられる。

(1) 転倒しにくい設置方法

背の高い家具を部屋の中央に設置する場合には、家具を背中合わせに配置して、両者を固定することによって転倒しにくくすることも考えられる。また、パーティションは、T字型やコの字型に設置することで転倒しにくくなる。

(2) 生活空間と収納空間の分離

建物使用者が滞在する空間と、収

納空間を分離することで、人的被害を低減させる方法もある。オフィス内のパーティションで区切った場所に、冷蔵庫やコピー機など転倒・移動の危険性のあるものをまとめて配置することもその一例である。

(3) 避難の動線を考えた配置

避難経路や避難扉の周辺に家具が倒れたり落下物が散乱すると、避難や救助の障害になる恐れがあり、家具のレイアウトを考える上で、避難の動線を考えることも重要である(図4)。

(4) 窓際への設置を避ける

窓際に設置された家具が地震時に窓ガラスに衝突し、ガラスが破損して建物外部へ落下した被害例がある。特に高層建物では、窓際に背の高い家具や重量の重い家具を設置することは避けたい。

高層建物での注意点

高層建物では、背の高い家具の転倒だけでなく、キャスターの付いた機器類の移動も問題になる(図5)。超高層建物の上階を模擬した振動台実験では、固定されていない背の高い家具の転倒のほか、コピー機が室内で大きく移動する挙動が確認されている⁽³⁾。コピー機やピアノなど、重量の重いものは移動すると危険なため、転倒・移動防止対策が必要である。

また、高層建物は長い時間揺れることで被害が大きくなる可能性がある。東日本大震災では、ラッチ機構の付いていない机や棚の引出しが少

しずつスライドし、その影響で家具の重心がずれて転倒した被害が見られた。ラッチ機構の付いた家具を使用する、または背の低い机や家具も固定することが必要になる。

免震の効果

建物が免震構造の場合には、加速度応答が低減されるため、家具の転倒被害が大幅に少なくなることが報告されている。建物全体を免震化することが難しい場合でも、建物内を部分的に免震化する免震床や、美術品などを守るための免震テーブルなども開発されており、必要に応じて適切に活用したい。(金子美香)

参考文献

- (1) 東京消防庁『家具類の転倒・落下防止対策ハンドブック』2010年
- (2) 日本建築学会『非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工

要領』2003年

- (3) 長江ほか「E-Defenseにおける超高層建物実験」防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターHP

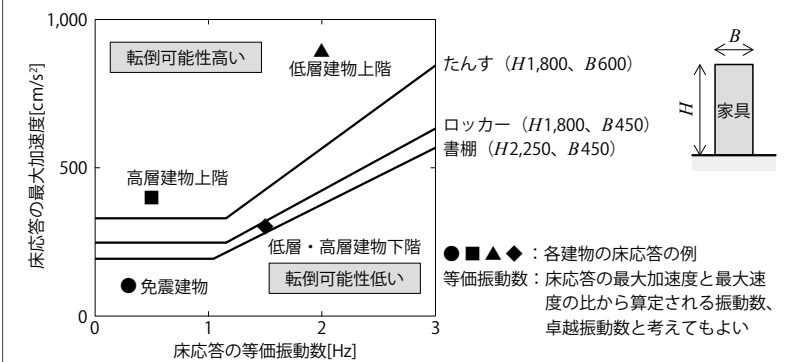


図1 各家具の転倒限界(直線を上回る加速度で、家具の転倒可能性が高い) たんすとロッカーは、低層・高層建物の下階では転倒可能性が低い、上階では高い。免震建物ではスレンダーな書棚でも転倒可能性は低い

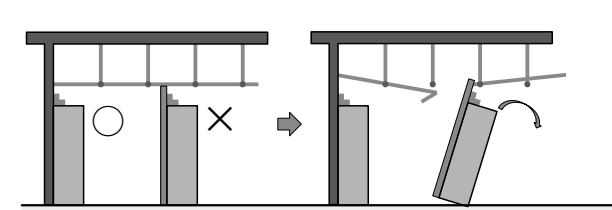


図2 天井勝ちで施工されている間仕切り壁に重い家具を固定すると、家具が壁や天井を壊しながら転倒する恐れがある

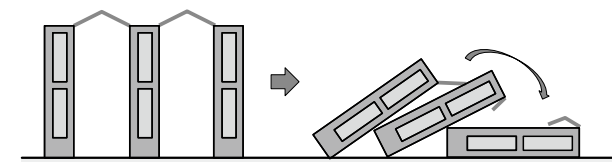


図3 図書室の本棚の頭つなぎの強度が不十分だと、本棚が連鎖的に倒れる恐れがある

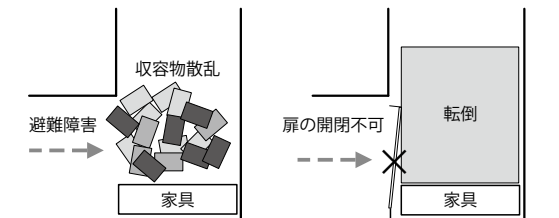


図4 避難経路や避難扉の周辺に家具が倒れたり落下物が散乱すると、避難や救助の障害になる恐れがある

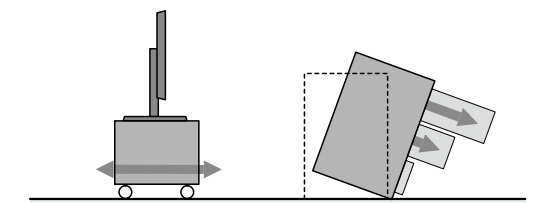


図5 高層建物では、キャスターの付いた家具の移動や、引出しのスライドによる家具の転倒にも注意が必要である

9-2 地震被害例と被害を受けやすい部位と設備

設備が地震被害を受ける要因には「震度」と「変位（相関）」とがある。「震度」による損傷は前項の「設計用水平震度」や「基礎の形状」などにより設計・施工されていれば大きな損傷はない。しかし、「変位」はいろいろな状況で生じてしまうので設計・施工上では損傷が生じないように適切に考慮した措置が必要となる。

震度による損傷例と対策

図1や図2に示すコンクリート基礎上にアンカーボルトで緊結されている機器の損傷部位には、機器本体や機器底部などのベース部材、機器上部や側面に設けられた支持部材などがある。

水槽は製品の耐震化が規定されていることもあり耐震仕様の製品には「耐震仕様 1G」などの表示がされている。しかし、耐震仕様の水槽でもマンホール付き天板の被害例などは依然として多い。

また、最近目立つ損傷例としては、図3～5に示す床置き式機器をコンクリート基礎などに緊結する機器脚部や底部のベース部材が変形したりアンカーボルトで破断したり、本体のみならず防振架台まで変形したり、天吊り機器では上部や側面に設けられている支持部材の損傷例が多い。これらの多くは脚部や支持部材の強度を強くすれば解決される。しかし、設計・施工側にも機器の耐震強度を考慮した機器の選定や据付け方法を検討する必要がある。

コンクリート基礎は構造躯体と機器とを緊結する媒体として設備耐震ではアンカーボルトと同じく重要なものである。鉛直支持用の一般的自重支持用基礎と比べると耐震基礎には水平方向への耐力が必要であることからその仕様にはいろいろな条件がある。

屋上で置式基礎を用いたい場合には制約がある。押さえコンクリートとの接着面積が広いベタ基礎では水平

震度が1以下（耐震クラスB）であれば基礎に浮き上がりが生じない限り使用することが可能である。しかし、図6に示す設置面積が小さい梁形基礎では、基礎の浮き上がりに加えてアンカーボルトに引抜き力が作用しないことが条件となり、さらに設置面積が小さい独立基礎では耐震クラスBでも屋上には用いることができない。

これらの基礎形状の計画には、機器の寸法や重量に基礎重量を加えた合計重量と構造設計上の許容積載荷重とからの判断が必要となる。許容積載荷重を超える場合には梁形基礎を組み合わせて基礎を構成するなどの基礎の軽量化の検討をする必要もある。置式基礎は追加工事などで使用してしまうことが多いので注意を要する。

また、設備で用いるアンカーボルトは埋込み深さが浅い傾向にあることからL形やLA形は用いないなどの措置が必要である。

変位による損傷例と対策

図7に示す建物導入部を通過する配管には建物と地盤との変位から鉛直、XY方向の三軸方向への変形が強制され、変位も時には大きくなる。そこで一般には通過する配管の変位を吸収する方法としてエルボで3または4クッションとしたり、変位吸収管継手を用いたりしている。さらに配管の損傷を少なくする方法として、建物側と縁が切れたピット（必要性により受台付き）などを用いて通過する配管

の変位を少なくすることが行われている。

エキスパンション・ジョイント部を通過する配管も変位は三軸方向に生じるので配管はクランク形に曲げて可とう性を有する変位吸収管継手を3個あるいは2個設ける必要がある。しかし、このようにするには大きな空間が必要となって実際には難しい場合が多い。そこで図8に示すように多くがエキスパンション・ジョイント部を通過する部分の配管軸方向に1個の変位吸収管継手を設けていることが多い。しかし、この方法では管軸方向の変位には対応できないことから損傷が生じる可能性は高い。このような状況からエキスパンション・ジョイント部には配管を通過させないことが、もし通過させることが避けられない場合には変位が小さい1階に限ること、などの措置が基本となる。

図9など機器と接続配管など設備内に生じる変位に対する措置でも苦慮することがある。通常使用時の快適性を求めて高性能の防振装置は機器から生じる振動を極力低減するために用いられる。しかし、高性能の防振装置は比較的大きな変位が生じるので、一方では耐震性を弱めてしまう傾向にある。図10は高性能の防振装置例であるが、快適性を求めることと耐震性とは相反する特性を持つので最適な防振装置の選定と設計・施工法とが必要となる。

このような状況から変位吸収に関しては、内圧が小さい接続配管であり

脆性材料で製造された水槽にはフレキシブル管継手が、その他防振装置が設けられて変位が生じる機器の接続配管には変位吸収管継手が、加えてファンの接続ダクトにはキャンバス継手が用いられる。しかし、変位を

吸収する変位吸収管継手やキャンバス継手の前後にはしっかりと固定すなわち耐震支持が必要であり、それらの据付け位置の設定には注意が必要である。

（平山昌宏）



図1 アンカーボルトの抜け



図2 コンクリート基礎のコーナー部が破損



図3 機器の脚部が変形



図4 アンカーボルトで機器のベース部材が破断



図5 機器のベース部材が変形し防振架台も変形



図6 梁形コンクリート基礎の転倒



図7 建物導入部の配管

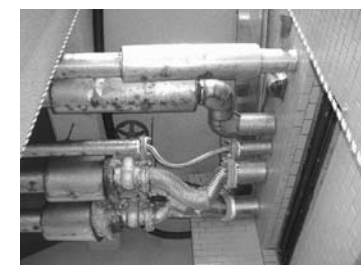


図8 エキスパンション・ジョイントを通過する配管



図9 空調機からのキャンバスダクト接続部の破断



図10 防振装置が外れストッパーが変形

10-2 木造住宅の耐震改修

旧耐震時代に建てられた木造住宅の多くは在来型の軸組構法で建てられている。建築基準法のたび重なる改正により強化された現在の耐震基準から見ると評点が0.3～0.5程度のものが多く見受けられる。

耐震基準の変遷

1891年の濃尾地震で木造建築に大きな被害が出たことで木造の耐震性について本格的な議論が始まったとされるが、法律に取り入れられるようになったのは関東大震災の翌年、1924年に市街地建築物法が改正され、耐震要素として筋かいの必要性が盛り込まれたのが最初である。死者3,900人、家屋の全壊約3万6,000棟の被害を出した福井地震の2年後の1950年に建築基準法が制定され、このときに初めて壁量規定が導入された。その後1959年、1981年の改正で壁量が増え現在に至っている。2000年には地耐力に応じた基礎の種類、耐力壁の配置方法や筋かい、柱頭、柱脚の固定方法が明確化されるなど木造住宅にとって重要な改正が行われた。

既存不適格

現存する建物にはそのほとんどに何らかの既存不適格要素があるといっても差し支えない(表1)。木造住宅の耐震改修ではこの問題を避けて通れない。

増改築に該当するようであれば、原則的には建築確認申請が必要になる。その場合は現行基準が遡及適用されるのでサッシなどの防火設備や基礎などの改修が必要になる場合もあり過大な費用負担となる。耐震改修促進法の認定があっても構造規定のすべてが遡及適用される。細街路に面した老朽木造住宅などは現行法

の遡及適用に耐えられないため大規模な増改築は困難である。一部のみの改修にとどめて遡及を回避すれば、狭小道路の拡幅が進まない。法律や工事費用が障害となって耐震改修が非常に難しいというのが現状である。こうした場合は改修か建替えかの見極めが重要となる。

耐震改修の促進

自然建替えを待たずして、木造住宅の耐震化率を上げることは喫緊の重要課題であるにもかかわらず思うように進まない。その理由として、

- ①地震災害に対する切迫感がない。
- ②耐震改修工事の効果が不明。
- ③業者への信頼感がない。
- ④工事費用が不足。

その他高齢化、健康問題など個人的理由などが加わる。

新耐震以降の木造住宅

耐震改修を促進するための助成がさまざまなかたちで行われているが、対象となるのは1981年以前の旧耐震の建物である。木造については1981年の改正で従来に比べて耐力壁の量が増えたが、その機能を十分に発揮させるための措置については阪神・淡路大震災後の2000年(平成12年)の法改正まで明文化されなかった。

2000年の法改正では基礎、筋かい、軸組に関して具体的な仕様が明確化された。

最近の地震被害を見ると柱が引き

抜かれて軸組が解体したり、筋かいの配置バランスが悪く軸組がねじれて倒壊に至っているケースが多い。今後は2000年以前に建てられた住宅の耐震改修も視野に入れておく必要がある。

耐震診断と補強設計

木造住宅の耐震診断の方法は難易度に応じて簡易診断、一般診断、精密診断がある。

①簡易診断：一般の人々に耐震化の必要性を認識してもらう目的で、居住者自ら行う。
②一般診断：建築士などが建物を目視調査して耐震補強の要不要を判断する目的で行う。
③精密診断：建築士や構造の専門家が建物についての詳細な情報をもとに補強の要不要、補強後の耐震性を診断する。

簡易診断以外はいずれも上部構造の評点により以下のように判定する。

1.5以上：倒壊しない。

1.0～1.5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。

診断結果が評点1.0を下回れば補強する必要が生じる。旧耐震の建物はすべて築30年以上経過しており、老朽化も加わり評点も0.3～0.5程度のものが多く見受けられる。

耐震補強の方法として基礎や土台、壁、開口部ごとにさまざまな工法が

開発されている。免震、制振に働くものもある。耐震改修工事は費用が300万円程度以下、工期も数週間以内であることが多い。

精密診断の結果に基づき補強計画を立て詳細な設計図書を作成するが、その際に工事後の建物の耐震性について、施主に正しく理解してもらうことが重要である。計算上の評点の数値と実際の地震における挙動とは必ずしも一致するものではないことなども同時に説明する。

また、既存住宅の耐震補強工事は居住者が住み続けながらの工事にな

表1 新耐震以降2000年までに建築された570万戸の木造住宅が既存不適格となっている(2008年総務省住宅・土地統計調査より作成)

築年別、木造住宅数	
～1950年	1,796,300
～1981年	11,494,900
1981年～2000年	5,690,700



図3 解体後2階床梁の不足が判明したため追加補強

ることが多いので、日常生活への影響を最小限にする配慮も必要になる(図1～4)。

耐震改修の工事監理

新築工事と異なり既存建物の場合には工事が始まってからわかることもあり、計画通りにいかない場合がある。そのような場合はなぜ変更が必要になったのか、どのように変更するのか、費用はどうなるのかなどを明確に説明して完全な理解を得ておかないと、後日のトラブルのもとになる。建物の老朽度や既存工事の不具合な



図1 工事着手直後。外壁はそのままに内部から改修



図4 耐震改修とリフォームを同時に行うことで成果を実感しやすい。コストパフォーマンスもよい

どが工事中に判明した場合などには追加の補強工事が必要になるケースもある。そのため工事監理者には木構造についての十分な知識と現場で臨機応変に対処できる能力が必要となる。改修工事の設計・工事監理を行う者は単に構造技術だけでなく施主の生活感覚をよく理解しながら業務を行うことが重要だ。

耐震改修工事は一般に工事金額が小さいこともあって、施工業者まかせにするケースも見られるが、悪質な工事を防ぐためにも、適切な工事監理は不可欠である(図5)。(庫川尚益)



図2 基礎や土台を新設。既存の柱脚部を補強する



図5 まだまだ多い悪質な改修事例

調査

企画

設計

施工

維持

その他