

# 「新耐震基準」から 40 年を振り返る

構造研究グループ長 小山信

## 目次

- I はじめに
- II 被害地震と耐震基準法等の変遷
- III 新耐震基準」改正の概要
  - 1) 地震に対する構造計算方法
  - 2) 地震力
- IV 新耐震基準の効果と地震被害軽減への施策
  - 1) 新耐震基準前後の建築物被害率
    - ① 平成 7 年(1995 年)兵庫県南部地震
    - ② 平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震
    - ③ 平成 28 年(2016 年)熊本地震
  - 2) 地震被害軽減の施策
    - ① 建築物の耐震改修の促進
    - ② 住宅性能表示
    - ③ 防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン
- V 新たな設計法
  - 1) 限界耐力計算法
  - 2) 免震建築物の構造計算
- VI 新たな設計用入力地震動(長周期地震動)
- VII おわりに

## I はじめに

我が国の建築物は、過去において地震、台風、火災等により幾度となく甚大な被害を受けてきた。このような災害等に対して建築物の安全を確保し、質の向上を図っていくことは、国民の生命、健康および財産の保護、ならびに公共の福祉を増進する観点から重要である。日本の建築物（建築基準法第二条第一項に用語が定義されているもの）は、建築基準法および建築基準法に基づく建設省・国土交通省告示、等建築基準法関係規定に従って設計・建設される。建築基準法は、昭和 25 年の制定当初から第一条に「この法律は、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もつて公共の福祉の増進に資することを目的とする。」と記し、全ての建築物が遵守すべき最低の基準が規定さ

れている<sup>1)</sup>。建築物が耐えるべき各種の荷重および外力の一つとして地震が採用され、許容応力度計算によって行われていた耐震設計基準は、昭和 56 年(1981 年)6 月 1 日に施行された「建築基準法施行令の一部を改正する政令」において所謂「新耐震基準」と称される新たな基準が導入された。この制定より 40 年を迎えたのを機に、新耐震基準を振り返るとともに、近年社会的に注目されている長周期建築物等の設計用入力地震動について取り上げる。

## II 被害地震と耐震基準法等の変遷

大地震は古来よりたびたび発生し、人々は震災に見舞われてきた。図 1 は、1855 年の安政江戸地震のあとに刷られた錦絵で、地震を引き起こすと考えられていた大鯰を俎の上に乗せ、江戸

庶民が各自道具を手に打ちのめして退治する図柄になっている。当時の家は木と紙で出来ていたので、大地震が発生すると、倒壊したり、その後の火災で焼き尽くされたりした。

わが国の被害地震と建築物に関する耐震基準法などの変遷をまとめると、図2のようになる。左側には、安政江戸地震より36年後に発生した1891年の濃尾地震から東北地方太平洋沖地震を、右側には、100年前の1919年に制定された市街地建築物法とその後の建築基準法等の改正を載せている。これから、被害地震を経験して耐震規定が改正される関係が見て取れる。

1892年濃尾地震の後、政府は1892年に震災予防の研究と実施を目的とした震災予防調査会を設立した。1919年制定、1920年施行の市街地建築物法は、建物の自重などに対して安全性を確認する規定であった。その後、1923年関東地震で甚大な被害を出したことから、翌年の1924年に水平震度を0.1以上と改正され、自重の一割(0.1)の横力が建物にかかった時に、柱や梁などの部材に生ずる応力度が、部材に設定される許容応力度を超えないようにする、現在の長期許容応力度に相当する許容応力度によって設計していた。同様に、震度7(激震)が新設されるきっかけとなった1948年福井地震を経験し、1950年に制定/施行された建築基準法及び同施行令では、許容応力度の長期・短期の概念が導入され、短期許容応力度が以前の許容応力度の2倍となり、併せてそれまでと同じ耐震性を確保するために水平震度も0.2となった(実質、以前と変わらない)。

1981年に、現在使われている“新耐震設計法”を導入する改正が行われた。その後、1995年には兵庫県南部地震を受けての改正と、地震により多くの建築物が倒壊したことを踏まえ、新耐震基準を満たさない建築物について積極的に耐震診断や改修を進めて地震に対する建築物の安全性を向上させる目的で、建築物の耐震改修の促進に関する法律(耐震改修促進法)が制定された。2000年の改正で応答変位を計算する限界耐力計算法と告示スペクトルが、2005年にはエネルギーの釣合いに基づく耐震計算等の構造計算(エネルギー法)が導入された。日本の建築構造基準の変遷は、文献3)、4)に詳しくまとめられているので参照されたい。

### Ⅲ 「新耐震基準」改正の概要

#### 1) 地震に対する構造計算方法

新耐震基準は、昭和56年(1981年)6月1日に施行された「建築基準法施行令の一部を改正する政令」において新たに導入された。当時の文献<sup>5)</sup>によると、昭和39年(1964年)新潟地震や年



図1 鯨退治<sup>2)</sup>

被害地震		耐震規定等
濃尾地震(M8.0)	1891年	
	1919年	市街地建築物法制定
関東大震災(M7.9)	1923年	施行規則第三章第二節「構造強度」
	1924年	市街地建築法改正
福井地震(M7.1)	1948年	設計震度0.1(東京下町の震度0.3/材料安全率3)
	1950年	建築基準法制定 設計震度0.2(短期許容応力度の倍増と対)
	1952年	地域係数(水平震度の数値を減らす基準)制定
十勝沖地震(M7.9)	1968年	
	1971年	建築基準法施工令改正
宮城県沖地震(M7.4)	1978年	鉄筋コンクリート造柱のせん断補強筋規定強化
	1979年	地震地域係数改正
	1981年	建築基準法施行令改正(新耐震基準) 中地震/大地震に対する2段階設計(C <sub>0</sub> =0.2/1.0)
兵庫県南部地震(M7.3)	1995年	建築基準法改正 建築物の耐震改修の促進に関する法律制定
	2000年	建築基準法改正 限界耐力計算法(令第82条の5) 告示スペクトル(建告1461号) 免震告示(建告2009号)
		住宅の品質確保の促進等に関する法律施行
	2005年	エネルギー法(国第631号)
東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)	2011年	

図2 被害地震と耐震基準法等の変遷

昭和43(1968年)十勝沖地震において一部の建築物にかなりの被害が生じたこと等から従来の耐震規定が必ずしも十分なものでないことが明らかになったこと、一方で、地震記録の蓄積、動的設計法の確立等の振動工学や構造計算における解析手法が進歩し、新しい耐震設計法を開発する技術的基盤が整えられてきた。その様な状況の下、建設省は昭和47年度(1972年度)に研究開発制度「総合技術開発プロジェクト」を開始し、その最初のプロジェクトとして「新耐震設計法の開発」(1972-1976)に着手し、5年間に渡って官学民一体となった研究開発を進め、成果は「新耐震設計法(案)」として取りまとめられ1977年に公表された。その後、昭和53年(1978年)の宮城県沖地震等により「新耐震設計法(案)」の妥当性が実証されたこともあり、建築基準法の体系に盛り込まれることになった。1950年に制定された

旧耐震基準と 1981 年に改正されたその構造計算フローの比較を、図 3 に示す。本改正では、従来の許容応力度の計算（一次設計）に加えて、構造種別や高さに応じた地震に対する構造計算規定（二次設計）を導入して、数十年に一度程度発生する中規模の地震動ではほとんど損傷しないことの検証を一次設計の許容応力度計算で行い、数百年に一度発生する大規模の地震動では倒壊・崩壊しないことの検証を二次設計で行う構成とした。図 4 に、耐震基準の概要を示す<sup>6)</sup>。

許容応力度設計（一次設計）では、数十年に 1 度程度発生する中規模の地震動を想定して標準せん断力係数  $C_0$  を 0.2 以上に設定してほとんど損傷（部材の各部に働く力 ≤ 許容応力度）しないことの検証を行っている。換言すれば、それを上回る地震力に対して、建築物がどのような応答・挙動を示すかは不明である。

これに対して、二次設計と呼ばれる新しい構造計算の規定は、地震時の建築物の変形を制限する層間変形角の規定(令 82 の 2)、偏心率等建築物の構造計画に関する規定(令 82 の 3)、塑性域まで含めた終局的な設計法である保有水平耐力の規定(令 82 の 4) が盛り込まれた。二次設計では建築物の規模に応じて適用可能な耐震設計ルート 1～3 があり、それぞれでは、ルート 1：柱・壁量の確認、ルート 2：柱・壁量の確認、層間変形角、剛性率・偏心率、ルート 3：層間変形角、保有水平耐力、の項目について確認を行うことになっている。また、60m を超える建築物は、

大臣認定ルートを採用した。

検討すべき項目のうち、ルート 3 で検討される保有水平耐力の計算は、地上部分の各階について保有水平耐力  $Q_u$  が必要保有水平耐力  $Q_{un}$  以上であること ( $Q_u > Q_{un}$ ) を確認する。

保有水平耐力は、建築物が崩壊形（全体崩壊、部分崩壊、局部崩壊）に達したときに水平抵抗要素（柱、耐力壁）が負担する水平せん断力の和で、各階ごとに求める。必要保有水平耐力は、建築物が有すべき各階の保有水平耐力の下限値で、建築物の特性に応じて計算される。建築物の特性は、構造特性係数  $D_s$  と形状係数  $F_{es}$  で考慮される。構造特性係数  $D_s$  は、建築物の振動に関する減衰性、各階の靱性に応じて、必要保有水平耐力を提言する係数で、架構の靱性が高いほど、減衰が大きいほど、小さい値を取ることが出来る。形状係数  $F_{es}$  は、建築物の立面的、平面的な耐震要素の偏りに応じて必要保有水平耐力を割り増す係数で、図 5 に示す剛性率に応じた係数  $F_2$  と偏心率に応じた係数  $F_e$  の積によって与えられる。必要保有水平耐力  $Q_{un}$  は、

$$Q_{un} = D_s F_{es} Q_{ud} \quad (1)$$

によって計算される。

なお、上記のように保有水平耐力の計算は終局状態における建築物の強度確保を目指したもので、地震時に生ずる建築物の変形を直接求めている。そのため、構造物に要求する性能を明示し、その性能を設計供用期間に構造物が保持することを客観的に確認する性能設計には適していない。

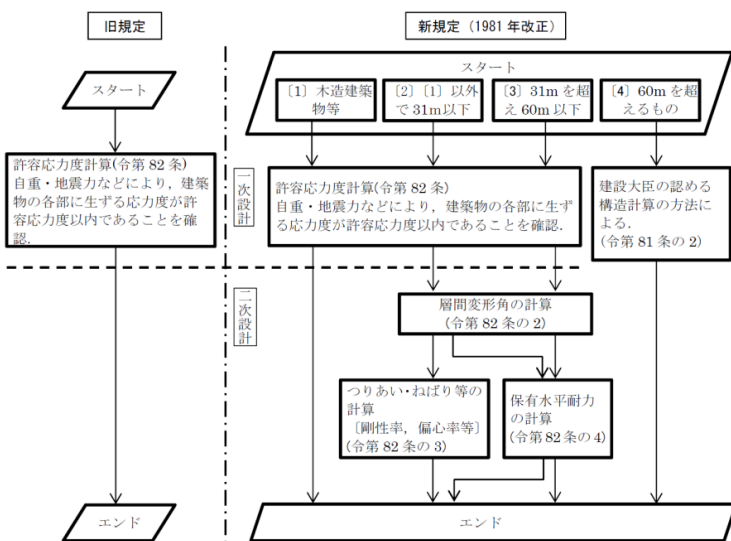


図 3 1950 年と 1981 年に改正された構造計算フロー（新旧）の比較<sup>5)</sup>

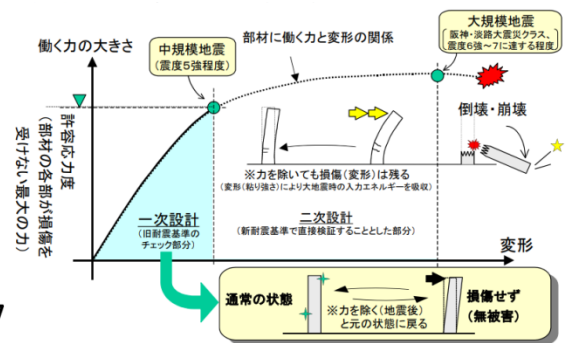


図 4 建築基準法の耐震基準の概要<sup>6)</sup>

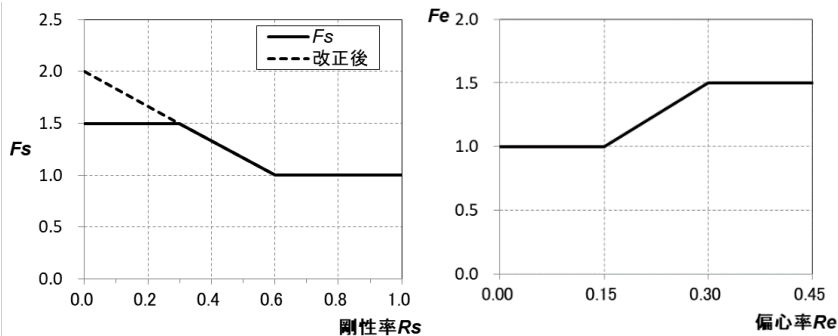


図5 剛性率に応じた係数  $F_s$  と偏心率に応じた係数  $F_e$  ( $F_s$  の破線は、1995年[平成7年]改訂により引き上げられた値)

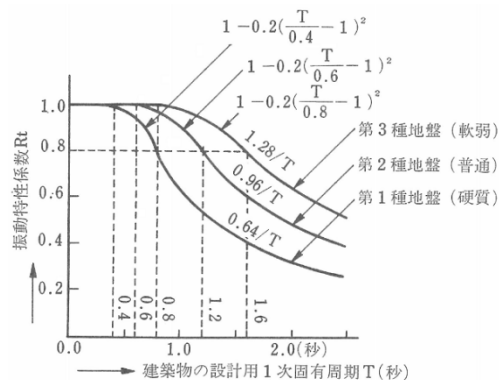


図6 振動特性係数  $R_i$ <sup>5)</sup>

## 2) 地震力

地震力の規定は、従来の水平震度法に代わって、振動工学の研究成果を導入して建築物の振動特性、地盤の種類による影響を取り入れた。

その地震力は令第88条によって規定される。令第88条によると、建物の地上部分の地震力については、式(1)によって計算される当該建築物の各部分の高さにおける地震層せん断力係数(ある層に作用するせん断力をその層以上の固定荷重と積載荷重の総和で除した値。)を乗じて計算される。

$$C_i = ZR_iA_iC_0 \quad (2)$$

ここで、 $Z$ は地震地域係数で、その地方における過去の地震の記録に基づく震害の程度及び地震活動の状況その他地震の性状に応じて1.0から0.7までの範囲内において国土交通大臣が定める数値 $R_i$ は振動特性係数(図6)で、建築物の振動特性を表すものとして建築物の弾性域における固有周期及び地盤の種類に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値、 $A_i$ は地震層せん断力の建築物の高さ方向の分布を表す係数で、国土交通大臣が定める方法により算出した数値、 $C_0$ は標準せん断力係数である。 $R_i$ を算出する際に考慮される地盤の種類(第一種地盤から第三種地盤)、ならびに地盤の種類に基づいた $R_i$ の形状は、建設省告示第1793号第2において規定される<sup>7)</sup>。標準せん断力係数 $C_0$ は、施行令88条第2項によって0.2以上とすること、また第3項によって施行令第82条の4第2号の規定により必要保有水平耐力を計算する場合においては、前項の規定にかかわらず、標準せん断力係数は、1.0以上としなければならないと規定され、それぞれは中程度の地震力(震度5強程度を想定)と大地震時の地震力(震度6強～7程度を想定)の2つレベルに対応している。一方、建築物の地下部分の各部分に作用する地震力は、第4項に示されるように地盤種別など地盤条件によらず当該部分の重さ(荷重)に地盤面からの深さに応じて定まる

水平震度を乗じて計算する規定を設けた。

必要保有水平耐力を計算する二次設計で用いる標準せん断力係数 $C_0=1.0$ は、文献8)によるとマグニチュード8.0、震源距離約50kmの第1種地盤での減衰定数5%の速度応答スペクトルの最大値が65cm/s、加速度応答スペクトルに変換すると800cm/s<sup>2</sup>となり、第2種地盤の場合はこの値の1.2倍程度と考えて960cm/s<sup>2</sup>でほぼ1g程度になることから定めたことと記されている。また別の文献<sup>9)</sup>では、大地震時の地動加速度を0.33～0.4gで短周期建築物の地震応答倍率を2.5～3と考えると $C_0=1.0$ となつたとされている。この大地震時の地動加速度は、関東地震における東京下町の地盤震度0.3にたどり着くとされている<sup>10)</sup>。

なお、後述する限界耐力計算法が導入された際の2000年施行令改正において、令第81条第1項第4号に規定する超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準として、平成12(2000)年建設省告示第1461号「超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件」で規定された解放工学的基盤における加速度応答スペクトル(告示スペクトル)は、第二種地盤の $R_i$ を地震荷重と同等のものと考えて定めている。

上記の式(1)に含まれる地震地域係数 $Z$ は、1977年に公表された総合技術開発プロジェクト「新耐震設計法の開発」の地域係数に関する提案の部分を活用して、古文書の記録などをもとにした研究成果を基本に1952年建設省告示第1074号第4項で規定されたそれまでの数値を改正することで(昭和53年建設省告示第1621～1623号)、新耐震設計法の導入に先立つ1979年より施行された<sup>11)</sup>。これにより、北海道から東北、北関東の太平洋側、北陸、鳥取県東部、香川県東部、徳島県東部、九州の太平洋側、鹿児島県の南西諸島、沖縄県で係数が増加した。なお現行の地域係数のもととなった「新耐震設計法の開発」の地域係数は、地盤の地域特性を含まず地震活動度のみを反映した



地震危険度に関する研究成果(マップ)を優・良・可に分類し、重み(3.0、2.0、1.0)を与えて平均した値を正規化し、日本全体を地震活動度のA)高い地域、B)中程度の地域、C)低い地域、に区分して、それぞれの地域に1.0、0.9~0.8、0.8~0.7の地震係数の値を割り振っている。したがって、地域係数は地域ごとにその地域における過去の地震に基づく震害の程度や地震活動状況に基づいた低減係数を示している、地震が発生した場合の地震動最大値の大小を示しているわけではない。図7に、新旧地震地域係数を並べて示す。

1981年の改正では、上記の耐震規定のほかにも許容応力度の整理統合と追加、保有水平耐力の計算に用いる材料強度の数値の設定、木造住宅の壁量規定の見直し、等が行われた。

#### IV 新耐震基準の効果と地震被害軽減への施策

##### 1) 新耐震基準前後の建築物被害率

気象庁では、顕著な災害を起こした自然現象について名称を定めることとしている<sup>12)</sup>。1981年以降で気象庁が名称を定めた地震を、表1に示す。震度7を記録した地震は、平成7年(1995年)兵庫県南部地震、平成16年(2004年)新潟県中越地震、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震、平成28年(2016年)熊本地震、平成30年(2018年)北海道胆振東部地震の5つである。このうち、平成7年(1995年)兵庫県南部地震、平成16年(2004

年)新潟県中越地震、平成28年(2016年)熊本地震に関して公表された報告書によると、1981年前後に建設された建物で、換言すると新耐震基準の適用の有無で被害率に違いがあることが明らかになっている。

##### ① 1995年(平成7年)兵庫県南部地震

建設省の建築震災調査委員会の報告<sup>14)</sup>によれば、神戸市中央区の特定の区域を対象とした悉皆調査、及び建設業協会調査に基づく分析の結果、表2に示されるように、「1981年(昭和56年)以降に建築された建築物は倒壊に至るような大きな被害は少ないが、それ以前に建設された建築物の被害は大きく、中でも1971年(昭和46年)以前の建築物の被害が大きいことが定量的に明らかになった。」「1981年以降の基準は抜本的に改正する必要はないが、既存建築、とりわけ新耐震設計法導入前の古い建築物の耐震性の向上が喫緊の課題であると考えられる。」と記されている。一方で、ピロティ建物(他の階に比べて極端に耐震壁が少ないピロティ部分を最下層に有する建物)の被害のように、不適切な設計・施工や剛性・強度のバランスの悪さ、などにより被害に至った例も確認された。建設省は、「建築物の構造耐力上の安全確保に係る措置について」の建設省住宅局建築指導課長通知<sup>15)</sup>を平成7年(1995年)5月31日に通知し、「建築物の耐震改修の促進に関する法律<sup>16)</sup>」を同10月27日に公布

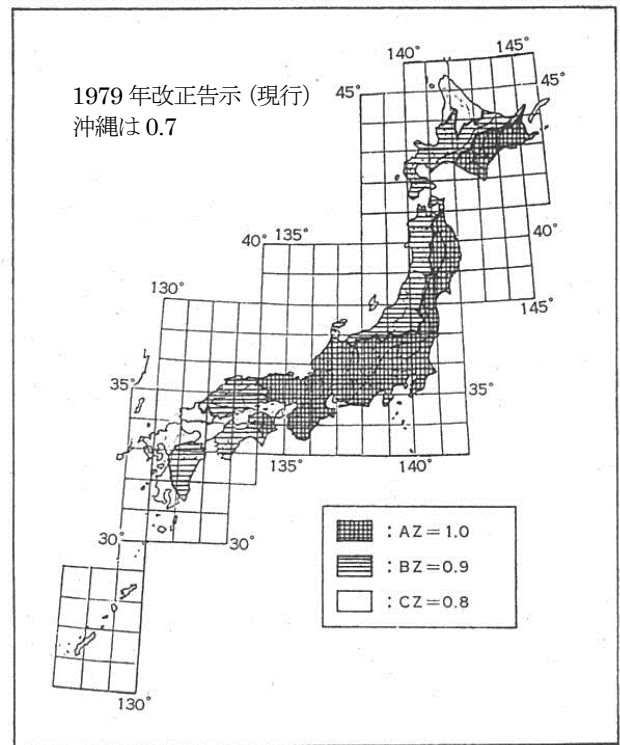
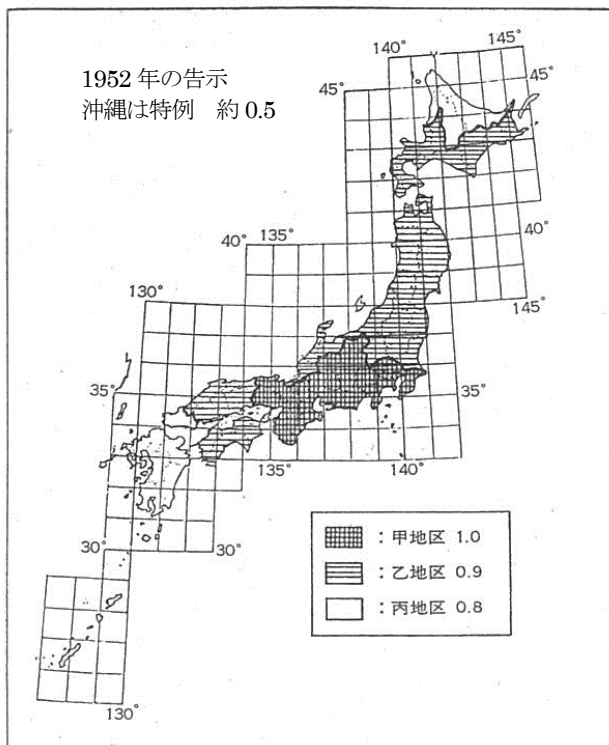


図7 新旧地震地域係数の比較<sup>11)</sup>

表 1 気象庁が名称を定めた 1981 年以降の地震<sup>12,13)</sup>

震央地名・地震名	M	最大震度	死者	不明者	負傷者	住家		
						全壊	半壊	一部破損
昭和57年(1982年)浦河沖地震	7.1	6	0		167	13	28	875
昭和58年(1983年)日本海中部地震	7.7	5	104		163	140	490	
昭和59年(1984年)長野県西部地震	6.8	4	11	18	10	13	86	
平成5年(1993年)釧路沖地震	7.5	6	2		967	53	255	
平成5年(1993年)北海道南西沖地震	7.8	5	202	28		601	408	
平成7年(1994年)北海道東方沖地震	8.2	6	0		437	61	348	
平成7年(1994年)三陸はるか沖地震	7.6	6	3		788	72	429	9,021
平成7年(1995年)兵庫県南部地震	7.3	7	6,434	3	43,792	104,906	144,274	
平成12年(2000年)鳥取県西部地震	7.3	6強			182	435	3,101	
平成13年(2001年)芸予地震	6.7	6弱	2		288	70	774	
平成15年(2003年)十勝沖地震	8.0	6弱	1	1	849	116	368	
平成16年(2004年)新潟県中越地震	6.8	7	68		4,805	3,175	13,810	
平成19年(2007年)能登半島地震	6.9	6強	1		356	683	1,740	
平成19年(2007年)新潟県中越沖地震	6.8	6強	15		2,346	1,331	5,710	37,633
平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震	7.2	6強	17	6	426	30	146	
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震	9.0	7	19,729	2,559	6,233	121,996	282,941	748,461
平成28年(2016年)熊本地震	7.3	7	273		2,809	8,667	34,719	162,500
平成30年(2018年)北海道胆振東部地震	6.7	7	43		782	469	1,660	13,849

した。また、建築物の立面的および平面的な耐震要素の偏りによる必要保有水平耐力を割り増すための形状係数( $F_{es}$ )に影響を与える剛性率に応じた数値 $F_s$ を定める建設省告示第 1792 号が、1995 年(平成 7 年)に改訂されて上限値 1.5 が引き上げられた(図 5 左の破線部分)<sup>17)</sup>。

### ② 平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震

長岡市耐震改修促進計画(第二期計画)<sup>18)</sup>の第 2 章「大地震の教訓と今後想定される地震の危険性」に被災状況が記されている。それによると、「半壊以上の被災建築物の多くは旧耐震基準の建築物となっている。」「半壊以上の被災建築物のうち旧耐震基準の建築物の割合は、木造建築物では 8 割以上、非木造建築物では約 7 割に達している。」「長岡市の半壊以上の被災建築物は、新耐震基準の建築物は約 4%にとどまるのに対し、旧耐震基準は約 13%にのぼる。」と記されている。

### ③ 平成 28 年(2016 年)熊本地震

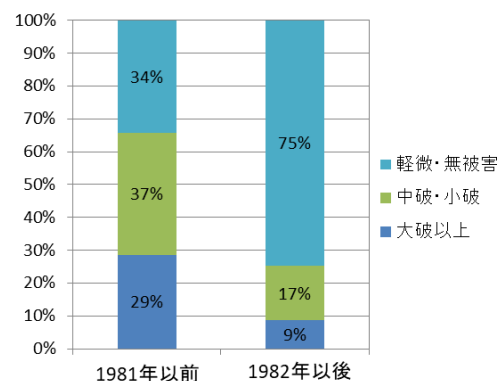
平成 28 年(2016 年)熊本地震に関しては、構造種別ごとに以下の様に報告されている。

鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造については、国土交通省国土技術政策総合研究所と国立研究開発法人建築研究所が地方自治体によって収集された被害情報やマスコミ情報に基づき実施した被害を受けた建築物の調査、及び建築学会が益城町で実施した悉皆調査並びに建築学会等のその他の機関で把握している調査より、以下の知見が得られている<sup>19)</sup>。

- ・鉄筋コンクリート造等建築物で倒壊・崩壊が確認された 10 棟は、すべて旧耐震基準の建築物であった。
- ・新耐震基準導入以降の鉄筋コンクリート造等建築物で倒壊・崩壊に至らなかったものの上部構造が大破と判定されたものが 9 棟あった。4 棟は、1995 年兵庫県南部地震におけるピロティ建築物の被害を受けて 1997 年に運用の強化がなされた下階壁抜け柱が多く存在するピロティ構造であるが、強化以前の設計等によりそれが適用されていなかったと考えられる。その他の 5 棟は、柱および柱梁接合部に大きな損傷が生じ一

	1971 年以前	1972～1981 年	1982 年以降
倒壊又は崩壊	95 ( 17% )	10 ( 5% )	5 ( 3% )
大破	102 ( 18% )	14 ( 7% )	8 ( 5% )
中破	129 ( 23% )	22 ( 11% )	8 ( 5% )
小破	95 ( 17% )	42 ( 20% )	17 ( 11% )
軽微	102 ( 18% )	66 ( 32% )	58 ( 39% )
無被害	45 ( 8% )	51 ( 25% )	54 ( 36% )
	568 ( 100% )	205 ( 100% )	150 ( 100% )

表 2 平成 7 年兵庫県南部地震中央区の特定地域を対処とした悉皆調査建築物と被害状況のクロス集計(建築物全体)<sup>14)</sup>



部の層に大きな残留変位が生じた4本柱からなるものが1棟、1層に損傷が集中して大破と判定された渡り廊下が4棟であった。

- ・耐震スリットを有しない RC 造方立て壁・袖壁やエキスパンションジョイントなど構造耐力上主要な部分として扱われない部材の被害によって継続使用に影響を与えた事例、上部構造に著しい被害がなかったものの建築物の傾斜によって継続使用が困難になった事例が確認されている。

鉄骨造建築物に関しては、建築学会が益城町で実施した悉皆調査（276 棟対象）に基づいた被害率が報告されている<sup>19)</sup>。年代ごとの倒壊・崩壊または大破と分類された建築物の棟数と被害率は、表3に示すように1981以前が約16%、1981～2000年が約10%、2000年以降は約5%であった。また、この悉皆調査における1981以降の新耐震の建築物219棟のうち、倒壊・崩壊は6棟であった。1981以降の新耐震建築物219棟のうち倒壊・崩壊した6棟は、柱梁接合部の不十分な溶接方法による破断、不適切な柱降伏による層崩壊、が要因と考えられるものがそれぞれ1棟ずつあった。また、隣接建築物や周囲擁壁の衝突や倒壊が要因となり倒壊・崩壊したと考えられるものが3棟、基礎下の地盤の崩落により倒壊・崩壊したと考えられるものが1棟あった。

木造については、日本建築学会により実施された益城町中心部における建築物の被害状況の悉皆調査の情報と、建築確認台帳や航空写真等の情報を用い、構造別・建築時期別の建築物被害状況の整理を行っている<sup>19)</sup>。

図8に示すように、益城町中心部における年代ごとの被害状況（倒壊・崩壊率）が、新耐震以前は28.2%、新耐震以降2000年改正以前の木造の倒壊・崩壊は8.7%、2000年改正以降の木造の倒壊・崩壊は2.2%と、古いほど顕著に高かった。その差は、新耐震基準は旧耐震基準の約1.4倍の壁量が確保されているためと考えられる。なお、住宅性能表示制度による耐震等級3（倒壊等防止）の住宅は新耐震基準の約1.5倍の壁量が確保されており、これに該当するものは、大きな損傷が見られず、大部分が無被害であった。

## 2) 地震被害軽減の施策

### ① 建築物の耐震改修の促進

1995年兵庫県南部地震では6,400人余の方が犠牲となり、約25万棟の家屋が全半壊した<sup>20)</sup>。死亡者の死因は、88%が家屋、家具類等の倒壊による圧迫死と思われるもの、10%が焼死体（火

表3 年代毎の倒壊・崩壊、大破の棟数及び被害率(建築学会の悉皆調査)<sup>19)</sup>

	旧耐震	新耐震		計
	～1981.5	1981.6～2000.5	2000.6～	
総棟数	57	153	66	276
大破の棟数	5 ( 8.8%)	10 ( 6.5%)	2 ( 3.0%)	17 ( 6.2%)
倒壊・崩壊の棟数	4 ( 7.0%)	5 ( 3.3%)	1 ( 1.5%)	10 ( 3.6%)
大破と倒壊・崩壊の合計棟数	9 ( 15.8%)	15 ( 9.8%)	3 ( 4.5%)	27 ( 9.8%)
中破以下	48 ( 84.2%)	138 ( 90.2%)	63 ( 95.5%)	249 ( 90.2%)

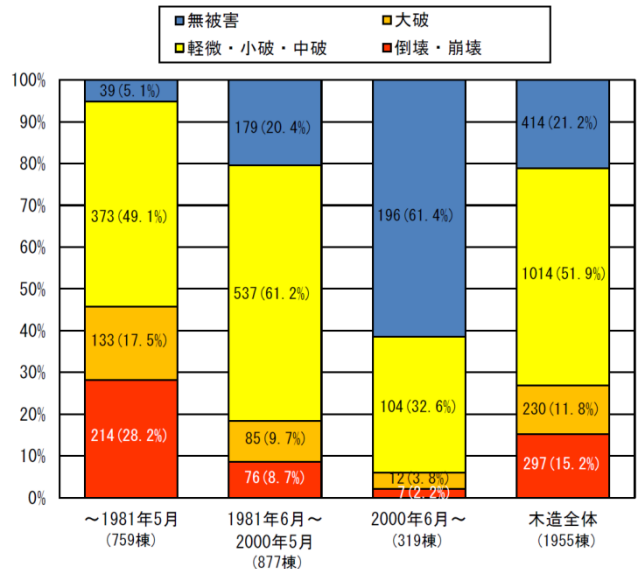


図8 平成28年熊本地震 学会悉皆調査結果による木造の建築時期別の被害状況<sup>19)</sup>

傷死体)及びその疑いのあるものとされている<sup>21)</sup>。一方で、上記のように新耐震基準（1981年（昭和56年）以降に建築された比較的新しい建築物の被害の程度は軽く、現行の新耐震基準は概ね妥当であると考えられている。この教訓をもとに1995年（平成7年）12月25日に「建築物の耐震改修の促進に関する法律（耐震改修促進法）」が施行され、現在の新耐震基準を満たさない建築物について積極的に耐震診断や改修を進めることになった。

「建築物の耐震改修の促進に関する法律（耐震改修促進法）」は、第1条において「この法律は、地震による建築物の倒壊等の被害から国民の生命、身体及び財産を保護するため、建築物の耐震改修の促進のための措置を講ずることにより建築物の地震に対する安全性の向上を図り、もって公共の福祉の確保に資することを目的とする。」と記されている。その後の平成16年（2004年）新潟県中越地震、平成17年（2005年）福岡県西方沖の地震を経験したのち、平成18年1月改正施行が行われ、

- ・国土交通大臣による基本方針の策定及び地方公共団体による耐震改修促進計画の策定

- ・地方公共団体による耐震改修等の指導等の対象に、多数の者の円滑な避難に支障となるおそれがある建築物の追加
- ・地方公共団体による耐震改修等の指示等の対象に、幼稚園、小中学校、老人ホーム等の追加及び規模要件の引き下げ
- ・耐震改修支援センターによる債務保証、情報提供等の実施が実施された<sup>22)</sup>。

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震のあと、南海トラフの巨大地震や首都直下地震の被害想定の見直し作業が進められ、建築物の安全性を取り巻く情勢の大きな変化を踏まえて、平成25年11月改正施行が行われ、(1)建築物の耐震化の促進のための規制措置として、耐震化の促進のために、多数の者が利用する一定規模以上の建築物、一定量以上の危険物を取り扱う貯槽場、処理場、住宅や小規模建築物等への指導と助言、要緊急安全確認大規模建築物、要安全確認計画記載建築物の耐震診断の義務化、診断結果の公表、されるようになった。(2)建築物の耐震化の円滑な促進のための措置として、耐震改修計画の認定基準の緩和(増築、改築の範囲の拡大)及び認定に係る建築物の容積率、建ぺい率の特例措置の創設、区分所有建築物の耐震改修の必要性に係る認定、耐震性に係る表示制度の創設、が講じられた<sup>例えば<sup>23)</sup></sup>。また、平成30年(2018年)の大阪府北部の地震でもブロック塀の倒壊により尊い命が奪われたが、平成31年施行の改正ではブロック塀等が倒壊した場合に通行障害が生じることを防ぐため、通行障害建築物に、建物に附属する一定の高さ・長さを有するブロック塀等を耐震診断の実施及び診断結果の報告に追加することが義務付けられた<sup>24)、25)</sup>。

上記の様に、切迫する首都直下地震や南海トラフ巨大地震などの災害に備えるため、住宅・建築物の耐震化の促進を図っている。平成30年時点の耐震化率は、住宅が約87%、多数の者が利用する建築物が約89%となっている。令和3年4月時点の耐震診断の義務付け対象建築物の耐震化率は、要緊急安全確認大規模建築物が約90%(11,026棟分の9,895棟)、要安全確認計画記載建築物が約40%(5,731棟分の2,285棟)、合計で約73%となっている<sup>26)</sup>。

## ② 住宅性能表示

「品確法」と略して呼ばれる「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が、平成11年に制定された。この法律は、①住宅の品質確保の促進を図り、②住宅購入者等の利益の保護、③住宅にかかる紛争の迅速かつ適正な解決、を図り国民生活の安定向上と国民経済の健全な発展に寄与することを目的としている<sup>27)</sup>。

その中の住宅性能表示制度は、マンションや一戸建ての建物の品質について、第三者である専門家(住宅性能評価機関)が一定の基準に沿って評価して統一された表示ルールで比較できるように表示を行うことで、良質な住宅を安心して取得できる市場を形成するためにつくられた制度である。同制度の利用は、住宅供給者・取得者や既存住宅の取引者等の選択に委ねられている<sup>28)</sup>。

性能表示事項のうち、構造躯体の地震などに対する強さの分野では構造躯体の倒壊等防止と損傷防止の目標を設定し、それらの性能を示す「ものさし」として、「耐震等級1、2、3」を定めている。構造躯体の倒壊防止事項にかかる耐震等級1から3は、等級1は基準法と同じ極めて稀に発生する地震力(建築基準法施行令第88条第3項に定めるもの)に対して倒壊・崩壊等しない程度、等級2や3では等級1で耐えられる地震力の1.25倍、1.5倍の力に対して倒壊や崩壊等しない程度、の性能を求めている。同様に、構造躯体の損傷防止項目にかかる耐震等級1から3は、基準法と同じ稀に発生する地震力(建築基準法施行令第88条第2項に定めるもの)の1.0倍、1.25倍、1.5倍の力に対して損傷しない程度、の性能を求めている。耐震等級の効果については、前述の様に2016年熊本地震において耐震等級3(倒壊等防止)の住宅は大きな損傷が見られず、大部分が無被害であったことが報告されている。なお、住宅性能表示の評価書を取得すると、耐震性の等級に応じて地震保険の割引(10～50%)を受けることができる。

## ③ 防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン

最近では平成28年(2016)の熊本地震でも顕著に現れたように、これまでの大地震においては大地震後に防災拠点として機能することが期待されている建築物(防災拠点建築物)について、倒壊・崩壊には至らなかったものの、構造躯体の部分的な損傷、非構造部材の落下等により機能継続できなかった事例が存在している。

大地震後に機能継続できるためのより高い性能が求められる防災拠点建築物は、大地震時の建築物の倒壊等の防止を目標とする建築基準法に従って設計/建築だけでは不十分である。そこで、防災拠点等となる建築物が地震後の機能継続を図るにあたり参考となる事項を記載した、防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン<sup>29)</sup>を平成30年(2018)にとりまとめた。ガイドラインには、建築主や設計者・管理者にとって参考となる基本的な事項や既往の指針、事例等が示されている。



## V 新たな設計法

1981年の新耐震基準が導入された以降にも、建築構造や耐震設計にかかる検討の成果や社会の要求に基づいて、新たな設計法が導入されている。

### 1) 限界耐力計算法

限界耐力計算法（令第82条の5）は、平成12年(2000年)の政令改正において従来の構造計算と並立する形で設けられた構造計算である<sup>30)</sup>。限界耐力計算は、保有水平耐力計算や許容応力度等計算などで想定する荷重外力に加えて、極めて稀に発生する積雪及び暴風に対する安全性を直接検討するとともに、極めて稀に発生する地震動において生ずる建築物の変形量（応答

変形）を計算し、その変形に対して安全であるように部材を設定することで安全性を確認する手法である。本規定は、図9に示すように以下の要求性能をもとに構成されている。

- ①常時作用する荷重、存在期間中に数回程度遭遇する可能性の高い積雪、防風に対して、建築物が損傷しないことを確かめる。
- ②積雪時と暴風時について、極めて稀に発生する最大級の荷重・外力に対して建築物が倒壊・崩壊しないことを確かめる。
- ③稀地震に対して、建築物の地上部分が損傷しないことを確かめる。
- ④稀地震に対して、建築物の地下部分が損傷しないことを確かめる。
- ⑤極稀地震に対して、建築物の地上部分が倒壊・崩壊しないことを確かめる。
- ⑥使用上の支障が生じないことを確かめる。
- ⑦屋根ふき材等が風圧・地震に対して構造耐力上安全であることを確かめる。
- ⑧土砂災害に対する検討を行う。

地震に対する建築物の安全性の検証においては、損傷限界時、安全限界時の建築物基礎底位置における加速度応答スペクトル  $S_{a1}$ （損傷限界時）、 $S_{a2}$ （安全限界時）を算定する。 $S_{a1}$ 、 $S_{a2}$ は、平成12年(2000年)建設省告示第1461号で規定された解放工学的基盤における加速度応答スペクトル（告示スペクトル） $S_0$ と対象地域の地震活動度  $Z$ 、表層地盤の増幅特性  $G_s$ （損傷限界時の件当時は略算法）に基づいて定める。上部構造は、建築物の応答が定常応答する場合を想定して一質点系モデルに縮約する。建築物の変形は損傷限界・安全限界などの建築物の状態に応じて算出し、その変形に基づいて建築物の固有周期等を算出することにより建築物に作用する地震力を求め、損傷限界耐力や安全限界耐力（保有水平耐力）がそれを上回ることを確認する。

新耐震基準である保有水平耐力計算と限界耐力計算の相違点は、表4の様になる<sup>31)</sup>。保有水平耐力計算では困難な変形を評価できることから、建築主と設計者が建物の性能に関して対話をしながら建築主が求める性能を有する建物を造るための性能設計に対応できる設計法である。

### 2) 免震建築物の構造計算<sup>32)</sup>

免震建築物の構造計算の方法として、限界耐力計算と同様の考え方に基づく手法が、平成12年(2000年)建設省告示第2009

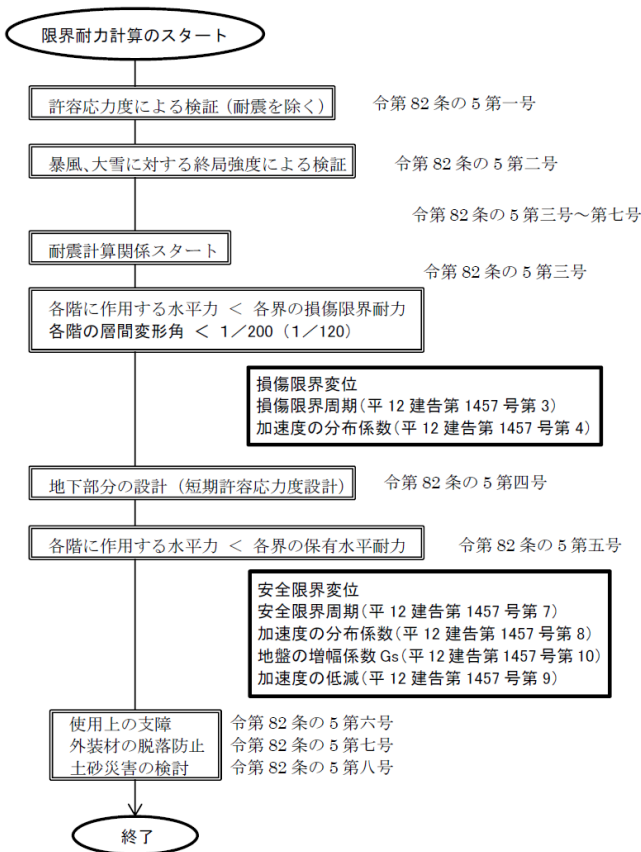


図9 限界耐力計算の流れ<sup>30)に加筆</sup>

表4 限界耐力計算と保有水平耐力計算との主な相違点<sup>31)</sup>

限界耐力計算	従来の保有水平耐力計算
<ul style="list-style-type: none"> <li>・(塑性)変形を陽な形で評価できる</li> <li>・構造種別に関わらず適用範囲が広い</li> <li>・崩壊メカニズムに対応した変形を求めることができる</li> <li>・実状に即した限界変形に基づいて限界値を評価できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(塑性)変形を陽な形で評価できない</li> <li>・従来の仕様規定が前提で成り立つ</li> <li>・崩壊メカニズムと構造特性係数 <math>D_s</math> 値との関連が明確でない。</li> <li>・限界変形が明確でない</li> </ul>

号「免震建築物の構造方法に関する安全に必要な技術的基準を定める等の件」で定められた。同告示の第6での第2項から第5項までに定める、2 構造計算方法等、3 上部構造の構造計算、4 下部構造の構造計算、5 土砂法に定める外力などへの構造計算、の基準に従うことで、限界耐力計算と同等以上に免震建築物の安全性を確かめることができるとなっている。

### 3) エネルギー法<sup>32)</sup>

エネルギーの釣合いに基づく耐震計算等の構造計算（エネルギー法）は、平成17年（2005年）国土交通省告示第631号で導入された。地震時に建築物に作用するエネルギーを直接取り扱い、精算によって当該エネルギーを安全に吸収できることを確認できる手法である。限界耐力計算と同等の構造計算として規定されており、超高層建築物を除くすべての建築物に対して適用できる構造計算として扱われる。

保有水平耐力計算や限界耐力計算では取り扱うことが出来ない履歴型のエネルギー吸収部材を含んだ構造にも対応している構造計算法である。

### VI 新たな設計用入力地震動(長周期地震動)

前述の様に、平成12(2000)年建設省告示第1461号「超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件」で規定された告示スペクトルの元である式(1)によって計算される地震層せん断力係数 $C_0$ の形状は、図6に示す地盤の種別に基づいた $R_f$ によって決まる。文献5)やその後継版である文献17)、32)では、 $R_f$ は周期0秒から2.5秒までの範囲で描かれている。すなわち、平成12(2000)年建設省告示第1461号は、周期2.5秒以上に固有周期を有する超高層建築物等の設計に用いる長周期地震動としては必ずしも適切ではないことが考えられる。

日本の高層建築物は1963年7月の建築基準法による特定街区の規制の改正より建物高さ(31m)の制限が撤廃され、建設が可能となった。特に高さ45m(1981年以降は高さ60m)を超える超高層建築物を設計・建設する場合、法第20条第1項<sup>1)</sup>で「荷重及び外力によつて建築物の各部分に連続的に生ずる力及び変形を把握することその他の政令で定める基準に従つた構造計算によつて安全性が確かめられたものとして国土交通大臣の認定を受けたものであること。」と規定されており、時刻歴の

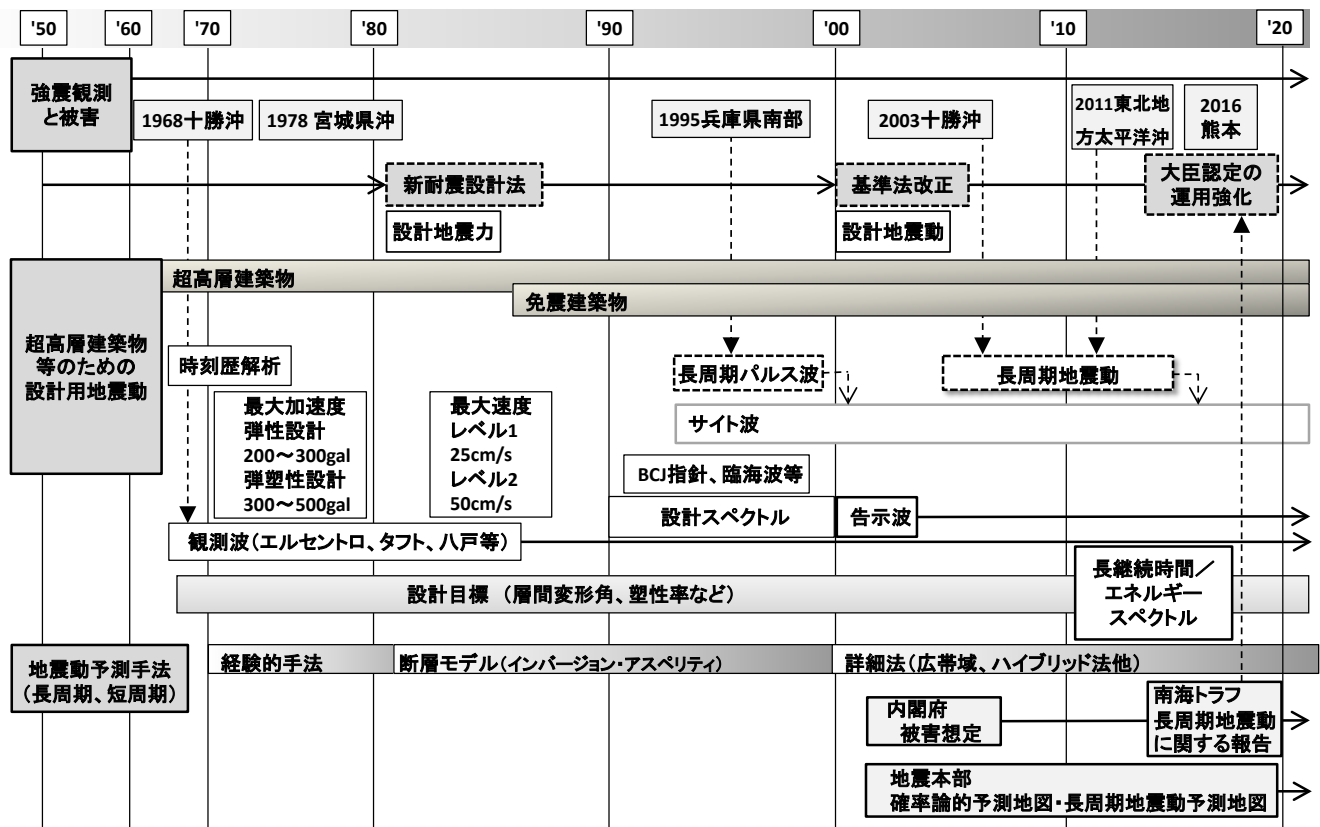


図10 超高層建築物等のための設計用地震動の変遷<sup>33)</sup>

地震動を入力とした動的解析により建物の安全性を確認する耐震設計が行われている（時刻歴応答解析建築物性能評価業務、所謂“高層評定”）。そこでは、保有水平耐力計算で用いる地震力とは異なる地震動が動的解析に用いられている。

図 10 に、超高層建築物等のための設計用地震動の変遷を示す<sup>33)</sup>。初期における動的解析では、米国カリフォルニア州で得られた強震記録である El Centro 1940、Taft 1952 に加えて、当時、超高層建築物が建設された東京、大阪、名古屋、仙台などで観測された特定の記録（Tokyo-101、Osaka-205 等）が設計に用いられていた。その後、周期 2～3 秒の周期成分を含むものとして、1968 年十勝沖地震の際に運輸省港湾技術研究所（当時の名称）が八戸港湾で観測した強震記録が加わり、El Centro 1940、Taft 1952、および Hachinohe 1968 の 3 波が標準的な波形（標準 3 波）として設計で用いられるようになった。これらの地震記録の振幅は、係数を掛けて調整（弾塑性設計の加速度振幅は 300～500cm/s<sup>2</sup>、速度振幅は 50cm/s）して用いていた<sup>34)</sup>。また、2000 年の建築基準法が改正で規定された告示スペクトルによる安全性の検証が義務づけられた。しかしながら、標準 3 波のような特定の地震動では、各建設地の敷地地盤に起因する震動特性が考慮されていないことから、建設地の震動特性を反映したサイト波（模擬地震動）の必要性が指摘された。そこで 1990 年代には、図 11 に示す BCJ-L2 波<sup>35)</sup>、臨海波<sup>36)</sup>や New RC 波<sup>37)</sup>等の工学的基盤で定義される設計用地震動が提案されている。この頃より、これらの設計用地震動を用いて建設地における工学的基盤で浅の表層地盤での増幅特性を考慮して、入力地震動を設定するようになった。一方で、建設地周辺における活断層分布、断層モデル、過去の地震活動、地盤構造等に基づい

て設定される模擬地震動（サイト波）が 1990 年代より設計用地震動として用いられるようになった。これらサイト波は、告示第 1461 号 4 イのただし書き「敷地の周辺における断層、震源からの距離その他、地震動に対する影響及び建築物への効果を適切に考慮して定める場合」に対応するものになる。

その後、平成 15 年(2003 年)十勝沖地震の際に震央から約 250km 離れた苫小牧での石油タンク火災<sup>38)</sup>を契機として、超高層建築物等の設計で考慮すべき地震動として長周期地震動が再認識され、長周期地震動に関する研究や検討がより一層すすめられることとなった。さらに、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震において東京、横浜、大阪などに建設された超高層建築物が長時間続いた長周期地震動に揺すられて大きな応答を示した<sup>39)</sup>ことから（図 12）、大規模地震によって生じる長周期地震動による長周期構造物などへの影響の大きさをあらためて認識させた。これらを受け国土交通省は、内閣府において取り纏められた「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告（2015 年 12 月 17 日）」<sup>42)</sup>も勘案し、平成 29 年(2017 年)4 月 1 日以降に申請する性能評価に基づく大臣認定の運用を強化した<sup>43)、44)</sup>。その結果、三大都市圏と静岡県 の 10 区域において超高層建築物等を大臣認定により新築する場合は、告示波もしくはサイト波 3 波以上と観測地震波 3 波以上の合計 6 波以上による検討に加えて、図 13 に示す区域でそれぞれに与えられた擬似速度応答スペクトルを満たす長周期地震動 1 波以上を用いて検討することとなった<sup>45)</sup>。この三大都市圏と静岡県 の 10 区域において用いることとなった長周期地震動の評価手法は、平成 23、24 年度建築基準整備促進事業「超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討」<sup>46)、47)</sup>の成果に基づいて作成さ

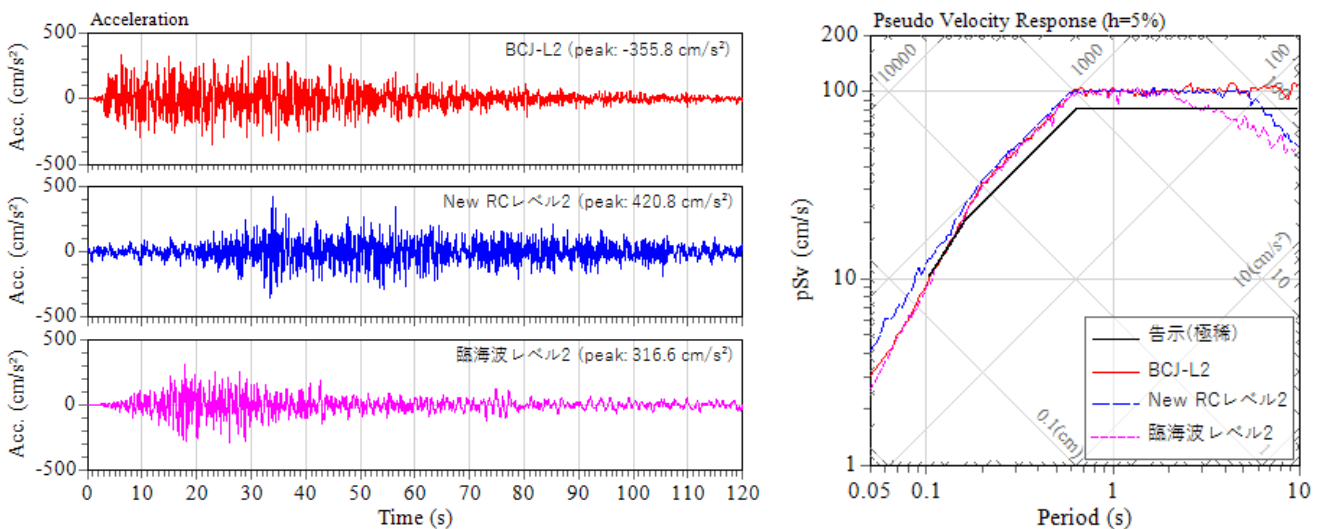


図 11 各種設計用地震動の波形(左)と pSv スペクトル(右)



れている。

内閣府は、南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告を公表した後、相模トラフ沿いの巨大地震等による長周期地震動について最新の科学的知見を幅広く整理及び分析し、防災の観点から検討を行うため、平成 28 年(2016 年)1 月 27 日に「相模トラフ沿いの巨大地震等による長周期地震動検討会[座長 平田直 国立研究開発法人防災科学技術研究所首都圏レジリエンス研究推進センター参与・首都圏レジリエンス研究センター長]」を開催している<sup>48)</sup>。国交省は、南海トラフ巨大地震に対して適用するために作成した所謂基盤促の作成方法を相模トラフ沿いの巨大地震に適用するために、平成 28、29 年度の基準整備促進事業「S23 相模トラフ沿いの巨大地震等による設計用長周期地震動の作成手法に関する検討(事業主体:株式会社 大崎総合研究所)」を実施した<sup>49)、50)</sup>。そしての改良した方法<sup>51)</sup>を適用して、約 1km 間隔の任意地点の工学的基盤における pSv スペクトルを Tz ( $V_s=3.2\text{km/s}$  の地震基盤から工学的基盤までの堆積層伝播時間)に基づいて計算し、市区町村ごとの平均 pSv スペクトルを求めて区域分けの検討を行った<sup>52)</sup>。図 14 に示すように、最大値に基づいて 80cm/s 以上(A)、60~80cm/s (B)、60cm/s 以下(C)の区域に分類したところ、断層面の浅い部分に近い 37 市区町が(A)に該当し、その外側の 41 市区町が(B)、関東地方の大部分の 268 市区町村は(C)となった。一方で、Tz に依らずに観点ごとの増幅特性を考慮して pSv スペクトルを求めると、震源断層に近い地点の中には周期 2 秒以下において pSv

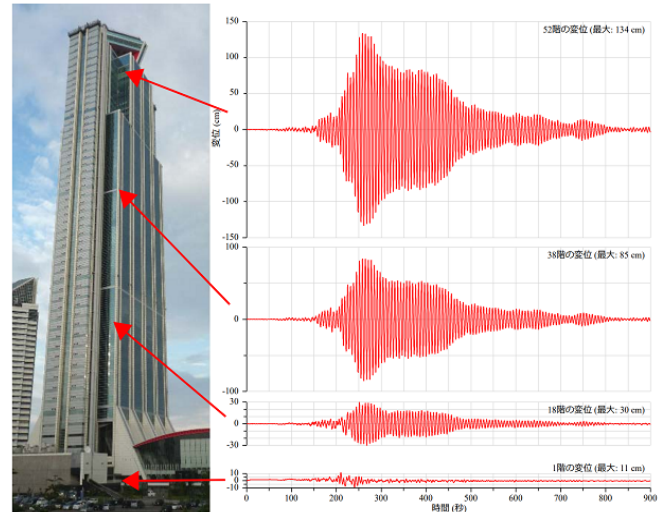


図 12 東北地方太平洋沖地震における大阪府咲洲庁舎の強震記録<sup>40)</sup>(加速度記録を変位に変換。建物の 52 階では両振幅で 2.7m に及ぶ揺れが継続し、内装材・防火戸等の損傷[360 か所]、EV のロープ絡まりによる閉じ込め事象[4 基]が発生。<sup>41)</sup>)

で数 100cm/s を上回る値が計算される場合もある。なお、ここで示した pSv スペクトルのレベルは、引き続き精査を要するものでこのまま設計用長周期地震動となるものではないことに留意されたし。

## VII おわりに

新耐震基準が施行された昭和 56 年(1981)6 月から 5 年半が経った 1987 年 2 月から 1988 年 12 月にかけて、雑誌「建築の研究」において「新耐震設計法を振り返ってみて」と題する連載

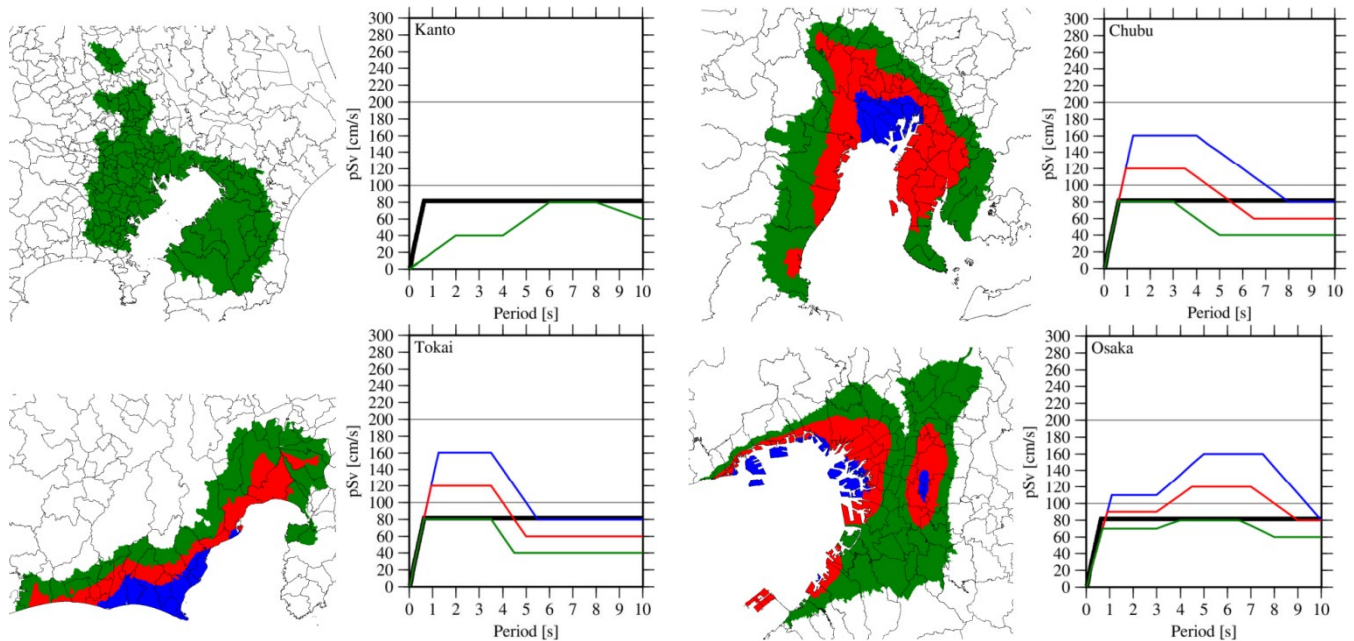


図 13 4 地域の簡略化スペクトルと区域分け<sup>45)</sup>



特集が12回にわたって掲載された<sup>53)</sup>。新耐震基準の作成/施行に関わった研究者、行政官、新耐震基準で構造設計・構造審査を行う技術者など、産学官の23名より寄稿された。その冒頭に、5年が経過した時点で新耐震の功罪や不備な点を振り返ってみることは、これからの建築に関する研究や行政、実務の発展に役立つのではないかと考えて企画したと記されている。

寄せられた意見には、新耐震設計法への好意的意見と批判的意見が混ざっていた。好意的意見には、・ねじれや層剛性の急変に対する評価が定量化され、多くの建築物が構造的にバランスよく建てられるようになった、・許容応力度計算と保有耐力設計の導入により、多くの建築物が強度のみではなく粘りも考慮して設計されるようになった、・日本全体にわたって一様に建築物の耐震性をある程度確保できるようになった、などが挙げられた。批判的意見には、・導入された構造特性係数  $D_s$  や形状係数  $F_{es}$  に関するもの（例えば、これら係数は建築物の挙動を十分には示していない）、・上部構造を支える基礎及び敷地の耐震性保障の必要性、・新耐震喜寿の導入による計算に要する時間の大幅な増加、・法令・告示・通達・計算指針などで計算の細部まで活字化されたことによるコンピュータ活用の進捗と過度な依存、・詳細な規定への適合を確認するための建築行政における業務量と審査時間の増加、大地震による構造体被害より頻度の高い中小地震時の非構造部材に対する規定の充実、「新・新耐震設計法」へ向けた検討を始めるべき、等があった。

これらの指摘の中には、新耐震基準から40年を経て、なお残されている、或いは重要性が増しているものもある。社会の要

#### 参考文献

- 1) 昭和二十五年法律第二百一十号建築基準法： e-Gov 法令検索, [https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=325AC0000000201\\_20210826\\_503AC0000000044](https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=325AC0000000201_20210826_503AC0000000044) (参照 2022-01-04)
- 2) 鯉退治：安政大地震絵, 国立国会図書館デジタルコレクション, <http://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1303363> (参照 2022-01-04)
- 3) 大橋雄二：日本建築構造基準変遷史, 日本建築センター, 1993/12
- 4) 小谷俊介：建築構造の耐震基準の変遷, コンクリート工学 Vol.41, No.5, 2003.5
- 5) 建設省住宅局建築指導課・建設省：改正 建築基準法施行令新耐震基準に基づく構造計算指針・同解説, 日本

Sagami trough earthquake/  
Areas classified by pSv value

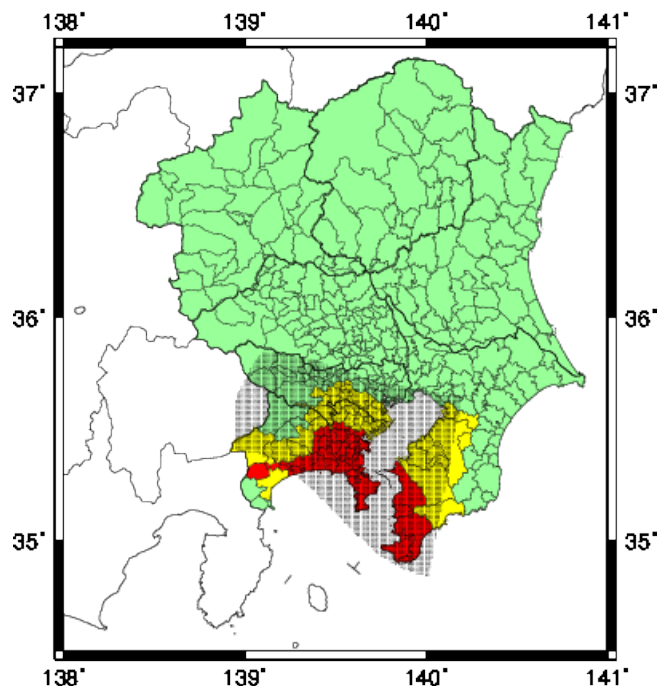


図14 大正関東地震を想定した pSv スペクトルに基づいた区域分け<sup>52)</sup>

求と建築技術の高度化、多様化に対応し、国民の生命、健康および財産の保護、ならびに公共の福祉を増進する観点から、耐震安全性の向上、耐震基準も高度化に資する不断の取り組みが求められる。

建築センター, 1981.9

- 6) 国土交通省：建築基準法の耐震基準の概要, <https://www.mlit.go.jp/common/000188539.pdf>, (参照 2022-01-04)
- 7) 国土交通省：建築基準法施行令第八十八条第一項、第二項及び第四項の規定に基づく Z の数値,  $R_t$  及び  $A_i$  を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準, <https://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201703/00006623.pdf> (参照 2022-01-04)
- 8) 建設省建築研究所：総プロ「新耐震設計法の開発」研究報告 新耐震設計法(案), 建築研究報告, No.79, 1977.3

- 9) 石山祐二：建築構造を知るための基礎知識 耐震規定と構造動力学<新版>，三和書籍，2018.4
- 10) 加藤研一：改正建築基準法に至る地震外力の考え方ー設計適用の観点から見た現状と課題ー，第30回地盤震動シンポジウム，日本建築学会，pp.13-23，2002
- 11) 大橋雄二：水平震度の数値を減らす基準（昭和27年建設省告示大1074号），建築技術，No.331，1979.3
- 12) 気象庁：気象庁が名称を定めた気象・地震・火山現象一覧，[https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/meishou/meishou\\_ichiran.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/meishou/meishou_ichiran.html)（参照2022-01-04）
- 13) 宇佐美龍夫：最新版日本被害地震総覧[416]-2001，東京大学出版会，2003
- 14) 建築震災調査委員会：平成7年阪神・淡路大震災 建築震災調査委員会中間報告，日本建築センター，1995.8（<http://www.lib.kobe-u.ac.jp/directory/eqb/book/11-43/html/pdf/76-78.pdf>）
- 15) 建設省：建築物の構造耐力上の安全確保に係る措置について，建設省住宅局建築指導課長通知，1995.5 <https://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/sgml/104/81000254/81000254.html>（参照2022-01-04）
- 16) 平成七年法律第二百二十三号建築物の耐震改修の促進に関する法律：e-Gov法令検索，<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=407AC0000000123>（参照2022-01-04）
- 17) 国土交通省住宅局建築指導課・他：2001年版建築物の構造関係技術基準解説書，平成13年3月
- 18) 長岡市：長岡市耐震改修促進計画(第二期計画)，2017.3，<https://www.city.nagaoka.niigata.jp/shisei/cate01/taisin-plan.html>，<https://www.city.nagaoka.niigata.jp/shisei/cate01/file/taisin-plan-03.pdf>，（参照2022-01-04）
- 19) 平成28年（2016年）熊本地震熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会報告書，3.4 鉄骨造建築物の被害の特徴と要因，<http://www.nilim.go.jp/lab/hbg/0930/pdf/text.pdf>（参照2022-01-04）
- 20) 気象庁：平成7年（1995年）兵庫県南部地震の概要，平成19年版消防白書，[https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995\\_01\\_17\\_hyogonambu/index.html](https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995_01_17_hyogonambu/index.html)（参照2022-01-04）
- 21) 警察庁：サリン・銃・大震災に対峙した警察，平成7年度版警察白書，1995.9 <http://www.npa.go.jp/hakusyoh/h07/h070103.html>（参照2022-01-04）
- 22) 国土交通省：「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」の施行について，2006.1. [https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/07/070125\\_4\\_.html](https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/07/070125_4_.html)（参照2022-01-04）
- 23) 本橋真也子：耐震改修促進法の概要 耐震改修促進法の概要，建設コスト研究，No.85，2014.4（[https://www.ribc.or.jp/info/pdf/sprep/sprep85\\_02.pdf](https://www.ribc.or.jp/info/pdf/sprep/sprep85_02.pdf)）
- 24) 国土交通省：建築物の耐震改修の促進に関する法律等の改正概要(平成25年11月施行及び平成31年1月施行)，[https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku\\_house\\_fr\\_000054.html](https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_fr_000054.html)（参照2022-01-04）
- 25) 国土交通省：避難路沿道の一定規模以上のブロック塀等を耐震診断の義務付け対象に追加～ブロック塀等の耐震化促進に関する政令を閣議決定～，2018.11. [https://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000753.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000753.html)（参照2022-01-04）
- 26) 国土交通省：住宅・建築物の耐震化について，[https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku\\_house\\_fr\\_000043.html](https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000043.html)（参照2019-10-04）
- 27) 国土交通省：住宅の品質確保の促進等に関する法律，最終更新日 令和3年12月27日，[https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku\\_house\\_tk4\\_000016.html](https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000016.html)（参照2022-01-04）
- 28) (一社)住宅性能評価・表示協会：住宅性能表示とは，<https://www.hyoukakyoukai.or.jp/seido/info.html>（参照2022-01-04）
- 29) 国土交通省：「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」をとりまとめました～ガイドライン及び参考指針集・事例集を作成し，地方公共団体や建築関係団体等に周知～，[https://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000726.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000726.html)（参照2022-01-04）
- 30) 国土交通省建築研究所：改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景，ぎょうせい，2001.3
- 31) 緑川光正：建築基準法令改定と性能設計への動き，溶接学会誌71巻第2号 pp. 494-497，2002
- 32) (一財)建築行政情報センター，(一財)日本建築防災協会：2020年版建築物の構造関係技術基準解説書，令和

2年10月

- 33) 中川博人：私信，2022年1月4日
- 34) 日本建築センター：ビルディングレター「高層建築物の動的解析用地震動について」，1986.
- 35) 建設省建築研究所・日本建築センター：設計用入力地震動作成手法技術指針（案）本文解説編，設計用入力地震動研究委員会 平成3年度成果報告書，1992.
- 36) 臨海部構造安全委員会・日本建築防災協会：臨海部における大規模建築物群の総合的な構造安全に関する調査・検討報告書 総集編，1992.
- 37) 青山博之・平石久廣・榊田佳寛・阿部道彦・塩原等・上之園隆志・勅使川原正臣・野口博・藤谷秀雄：鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発，建築研究報告，No. 139，2001.
- 38) 座間信作：巨大地震と石油タンクのスロッシング，Safety & Tomorrow, pp. 27-33, 第154号，2014.
- 39) 鹿嶋俊英，小山信，大川出：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震における建物の強震観測記録，建築研究資料，No. 135，2012.3
- 40) 鹿嶋俊英：建築研究所の強震観測の60年，平成29年度建築研究所講演会資料，2018.3
- 41) 大阪府総務課：咲洲庁舎の安全性等についての検証結果，2011.5，<https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/13203/00073224/110512sakisimaanzenkensyo.pdf>，（参照2022-01-04）
- 42) 南海トラフの巨大地震モデル検討会・首都直下地震モデル検討会：南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告，2015.
- 43) 国土交通省住宅局建築指導課：超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について，2016.
- 44) （一財）日本建築センター：時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書  
[https://www.bcj.or.jp/upload/rating/bizunit/standard/standard01/jikokureki\\_gyoumuhouhou\\_kihyou.pdf](https://www.bcj.or.jp/upload/rating/bizunit/standard/standard01/jikokureki_gyoumuhouhou_kihyou.pdf)（参照2022-01-04）
- 45) (国)建築研究所：長周期地震動を考慮すべき主な地点と地震動の考え方，<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/lpe/2.pdf>（参照2022-01-04）
- 46) 国土交通省：42. 超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討，平成23年度建築基準整備促進事業成果概要，<https://www.mlit.go.jp/common/000208404.pdf>（参照2022-01-04）
- 47) 国土交通省：42. 超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討，平成24年度建築基準整備促進事業成果概要，<https://www.mlit.go.jp/common/000995439.pdf>（参照2022-01-04）
- 48) 内閣府：相模トラフ沿いの巨大地震等による長周期地震動検討会，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkatyoushuuki/index.html>（参照2022-01-04）
- 49) 国土交通省：相模トラフ沿いの巨大地震等による設計用長周期地震動の作成手法に関する検討，平成28年度建築基準整備促進事業成果概要，<http://www.mlit.go.jp/common/001183677.pdf>（参照2022-01-04）
- 50) 国土交通省：相模トラフ沿いの巨大地震等による設計用長周期地震動の作成手法に関する検討，平成29年度建築基準整備促進事業成果概要，<http://www.mlit.go.jp/common/001234584.pdf>（参照2022-01-04）
- 51) 佐藤智美，中川博人，小山信，佐藤俊明，藤堂正喜：強震観測記録に基づく相模トラフ沿いの地震の長周期・長時間地震動の予測式，日本建築学会構造系論文集第758号，pp.501-511，2019.04
- 52) 小山信：相模トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動の区域分けに関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，日本建築学会大会，構造Ⅱ，pp.173-174，2020.9
- 53) 一般社団法人建築研究振興協会：新耐震設計法を振り返ってみて(1)～(12)，建築の研究，No.59～70，1987.2～1988.12