

## 本書作成関係委員会 (敬称略)

### 巨大災害の軽減と回復力の強いまちづくり特別調査委員会

委員長 福和伸夫  
幹事 菊地 優, 牧 紀男, 加藤孝明  
委員 (省略)

### 長周期地震動等への対策と建築・エリアの即時対応WG

主査 久田嘉章  
幹事 鱒沢 曜  
委員 田村和夫, 飛田 潤, 西村 功, 池田芳樹, 久保智弘, 諏訪 仁,  
中城康彦, 齊藤広子, 村上正浩, 増田幸宏, 稲垣景子, 三好勝則

## 執筆者一覧 (敬称略, 五十音順, 2015年3月現在, \*は主査)

池田芳樹	鹿島建設(株)建築設計本部テクニカルマネージャ	【2.1節, 2.2.1~2項, 2.2.4項, 2.3.3項】
久田嘉章*	工学院大学建築学部教授	【第1章】
鱒沢 曜	鱒沢工学研究所代表	【2.2.3項, 3.1.3~4項, 3.2.1項, 4.4.3項】
増田幸宏	芝浦工業大学システム理工学部准教授	【3.1.1項, 3.2.2~5項】
三好勝則	工学院大学建築学部特任教授	【2.3.1~2.3.2項, 3.1.2項】
村上正浩	工学院大学建築学部准教授	【第4章】

# まえがき

2011年東日本大震災では、東北地方の太平洋沿岸部などの津波常襲地域における「逃げる対策」の重要性と並行して、東京に代表される巨大都市の中心市街地での「逃げない対策」の必要性を認識した。すなわち、東京都心の最大震度は5強であり甚大な被害は生じなかったが、公共交通は停止し、ターミナル駅周辺には膨大な数の帰宅困難者が溢れ、幹線道路は大渋滞となり緊急車両の通行が困難になるなど、首都機能はマヒ状態となり、改めて巨大都市の脆弱性が浮き彫りとなった。このため、国や東京都では大都市の中心市街地における混乱を防止するため、震災後に在館者は施設内に待機し、身寄りのない周辺の来街者をも収容可能とする「逃げない対策」の推進を奨励している。

一方、東日本大震災における福島第一原発に代表される「想定外の事故」をできるだけ無くすため、震災だけではなく水害などの自然災害に関して、国や自治体では従来の常識を超える巨大な災害を想定した被害結果を次々に公表している。最悪の場合、巨大都市では震災による直接被害や大規模な延焼火災と同時に水害が発生し、大群集による集団パニック（群集雪崩・流言飛語・治安悪化）など複合化する大規模災害への検討が必要となる。超高層建築や地下街など大規模な都市施設でも、想定内の被害による「逃げない対策」に加え、建物の大規模な損傷や電源の喪失、火災や多数の傷病者の発生など万が一の過酷な被災状況を想定し、「逃げる対策」を含んだ柔軟な対応力を向上することが必須になっている。そのためには、対象となる地域や建物の様々な災害による危険性（ハザード）を正しく認識したうえで、できるだけ被害を抑制するための耐震・耐火・耐水性能の向上などによる建物やライフライン施設などのハード対策に加え、万が一の過酷事象をも想定したリスクマネジメントや危機管理などのソフト対策、さらに周辺地域や自治体と連携した共助・公助による減災のための体制づくりなど、多重化した防護体制を構築する必要がある。

以上のような背景により、本書は東京に代表される大都市における震災などによ

まえがき

る自然災害を想定し、建物・まちから「逃げない対策」を推進するために必要な知見をとりまとめた。本書が想定する主な読者層は、建築やまちの防災を専攻する建築系学部3年生以上・大学院生、あるいは住民や事業者・自治体の防災担当者・施設管理者などである。建築やまちづくりの分野における災害は震災と火災が主な対象であるが、本書では水害や群集による人災など、複合化する都市部での災害もできるだけ網羅し、総合的な災害対策の推進に寄与することを目指した。一方、永い蓄積がある震災や火災の対策に比べ、都市の建築やまちの総合的な災害対策には多くの分野を横断した取組みが必要であり、その研究は歴史が浅く、対策の実例も多くないのが実情である。本書でも震災と火災に比べ、その他の災害や複合災害に対する内容や実例が十分とは言えないことを了承頂き、今後の発展に期待したい。

最後に、本書は2011年東日本大震災を契機に設立した日本建築学会「東日本大震災調査復興支援本部」における「研究・提言部会（2011-2012年度）」、および、「巨大災害の軽減と回復力の強いまちづくり特別調査委員会・長周期地震動等への対策と建築・エリアの即時対応WG（2012-2013年度）」における成果を活用しています。関係諸氏には心より御礼申し上げます。

2015年8月

日本建築学会

# 第 1 章

---

## 建物・まちで起きる可能性のある 震災など自然災害を知る

本章では災害に強く、逃げないですむまちや建物をつくるために必要な基礎知識として、様々な自然災害を概観する。災害に対して効果的なハード・ソフト対策を行うには、まず対象地域を襲う可能性のある色々な災害の成因やその特性を知ることが重要である。本章では建築分野で従来から扱われていた震災や火災だけでなく、主に土木工学の分野であった水害に加え、今後検討が必要となる都市型の複合災害も紹介する。

まず 1.1 節では、地震の発生や地震動の伝播、表層地盤などによる増幅効果など、地震と地震動に関する基礎知識を学ぶ。次に 1.2 節では震災の実例とそこから学べる教訓として、1923 年関東大震災、1995 年阪神・淡路大震災、および、2011 年東日本大震災に代表される過去の主要な地震災害を紹介する。最後に 1.3 節では、都市を襲う可能性があるその他の様々な災害として、津波や洪水、内水氾濫、高潮などの水害と、都市型の火災、および都市型の複合災害を紹介する。

現在では自然災害における経験を踏まえ、建築基準法など様々な法整備が行われている。しかしながら、一般に法規は守るべき最低限の基準であり、それが目標ではないことに注意が必要である。災害がいつ、どの程度の規模で起きるか正確に予測することは不可能であり、本章で紹介するように、これまで幾度も想定外の過酷な事態に遭遇し、法基準が改定されている。有効な対策は過去の事例に解答がある場合が多い。一方、現在、東京に代表される巨大都市は、都心部の人口の集約化と広域・高層・高速・深層化が進み、利便性（リターン）を引き換えに前例のない大きなリスクを抱えている状況である。今後は、対象となる地域や建物で起こりうる様々な災害を想定し、万が一の事態にも対応できるハード・ソフト対策を考案し、実行できる高い知見を持った専門家（エキスパート）が求められている。

## 1.1 | 地震と地震動

### 1.1.1 地震の基礎知識

- 要点**
- ① 地震・地震動・震災，およびマグニチュードと震度の違いを理解する
  - ② 様々な地震のタイプを知る
  - ③ 海溝型巨大地震と活断層を理解する

#### ① 地震・地震動・震災，およびマグニチュードと震度の違いを理解する

はじめに地震に関する基礎知識を学ぶ。地震工学では地震と地震動，震災を区別する。地震とは，地下の岩盤に蓄えられたひずみエネルギーが断層面のすべり破壊で解放される現象とその震源域を意味する。地震によって生じる地盤の揺れを地震動，被害を生じるような強い揺れを強震動，地震による災害を震災と呼ぶ（例えば，2011年東北地方太平洋沖地震による震災が2011年東日本大震災である）。

次に地震と揺れの大きさの尺度である，マグニチュードと震度をそれぞれ理解しよう。マグニチュード（MagnitudeのMと略記）は地震の大きさ（規模）を表す指標値で，一般にM5未満を小地震，M5～6を中地震，M7程度を大地震，M8程度を巨大地震，M9程度を超巨大地震，に分類する。Mには様々な定義があるが，代表的な2つのMを紹介する。まず，気象庁マグニチュード（ $M_J$ と略記）は我が国で用いられ，地震計で記録する地震動の振幅で決まるローカルマグニチュードと呼ばれるMである。 $M_J$ は観測記録から即時に決定できる利点があるが，地震の規模が巨大になると地震動の振幅が頭打ちになるため，巨大地震の大きさを正確に表現できなくなる欠点がある。次に，地震の大きさを物理量から求めるMとして，次式で定義されるモーメントマグニチュード（ $M_W$ と略記）がある。

$$M_W = (\log_{10} M_0 - 9.1) / 1.5 \quad (1)$$

ここで $M_0$ は地震モーメント（震源断層のずれの量と断層面積，および岩盤の剛性の積で定義：単位は力×距離の $N \cdot m$ ）であり，地震の大きさを示す代表的な物理尺度である。 $M_W$ を求めるには地震動を観測して震源モデルを求める必要がある。よって即時性では $M_J$ に劣るが，物理的に明快で，巨大地震の大きさも正確に表現できる世界共通のMであるため，現在では最も広く用いられている。一般に小～中規模地震では $M_J$ が $M_W$ より大きい，超巨大地震では逆に $M_W$ が大きくなる。

例えば、1995年兵庫県南部地震では  $M_j = 7.3$ 、 $M_w = 6.8$  であるが、2011年東北地方太平洋沖地震では  $M_j = 8.4$ 、 $M_w = 9.0$  である。

次に、震度（Intensity の I と略記）とは各地で観測される地震動による知覚、身の周りの物体の動き、構造物の揺れや被害の程度、地盤変状の程度などから総合的に推定する地震動強さの指標である。I にも様々な種類があり、建物や地震観測機器の発展などにより、しばしば改正されるので注意を要する。海外で広く使用されている改正メルカリ震度（MMI と略記）は、I（無感）から X II（多くの建物が倒壊、物が飛ぶ、地面が変形する、など）までの 12 階級で定義される。一方、気象庁震度（ $I_j$  と略記）は、気象庁が公表する震度である。 $I_j$  は、1996 年以前には気象台の気象官による体感や、周囲の被害状況などから推定する 8 階級（0：無感，1：微震，2：軽震，3：弱震，4：中震，5：強震，6：烈震，7：激震）であった。しかしながら、この方法では震度 6 以上の判定に周辺の被害状況を調べる必要があり、1995 年兵庫県南部地震の際、震度 7 の公表に多大な時間を要したことが大きな問題となった。このため、1996 年以降は強震計（計測震度計）の自動計算による計測震度に改正された。その際、震度 5 と震度 6 は強・弱の 2 つに分けて、現在の 10 階級となった。一般に震度 5 程度から室内被害が生じ、**図 1.1.1-1** に示すように震度 6 程度から建物被害が、震度 6 強以上で建物に大きな被害が出る場合が多い。



図 1.1.1-1 気象庁震度階級（6弱以上）のイメージ<sup>1)</sup>

## ② 様々な地震のタイプを知る

**図 1.1.1-2** は日本周辺の主要なプレートの沈み込み構造と、それによる地震の主要な 3 つのタイプの地震を示している。第 1 の地震のタイプはプレート間地震（プレート境界地震、または海溝型地震）と呼ばれ、海のプレートが陸のプレートに沈み込む境界（海溝やトラフ）で発生する地震である。しばしば太平洋や日本海の沖合を中心として逆断層型の巨大地震（コラム（p.5）参照）が発生し、地震や津波による大被害を生じている。第 2 のタイプは沈み込む海のプレート内部で発生する

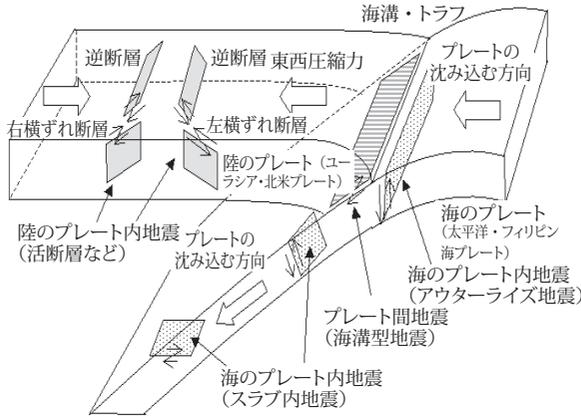


図 1.1.1-2 日本列島とその周辺で発生する様々な地震のタイプ<sup>2)</sup>に加算

海のパレート内地震（スラブ内地震とも呼ばれる）であり、しばしば巨大地震も発生しているが、深い場所で生じる場合は大被害には至らないことが多い。一方、沖合の浅い巨大地震の場合は津波による大被害を生じる場合があり、陸地から見て海溝より外側で隆起している地形からアウターライズ地震とも呼ばれる。最後のタイプは、陸のパレート内地震（地殻内地震、内陸型地震、または陸域の地震）である。プレート間地震に比べて活動度が低く、一般に地震規模も大きくない場合が多いが、震源が浅いため都市直下などで発生すると大災害となる。地殻内で  $M_j$  が 7 程度以上の大規模な地震が発生した場合、地表に断層が現れることが多い。地震により地表に現れる断層は地表地震断層と呼ばれている。

### ③ 海溝型巨大地震と活断層を理解する

図 1.1.1-3 に日本周辺のプレート境界、代表的な巨大地震、および活断層の分布を示す。ここで活断層とは、第四紀（約 200 万年前から現在）の間に動いたとみなされ、将来も活動する可能性が高い断層である。日本周辺地域はそれぞれ海と陸のパレートが 2 枚ずつあり、海のパレートである太平洋プレートは年間 8～10 cm 程度の速度で西向きに、フィリピン海プレートが年間 4～7 cm 程度の速度で北西向きに、それぞれ移動している。太平洋プレートは沖合の海溝（日本海溝など）から、フィリピン海プレートはトラフ（相模・駿河・南海トラフなど）から、それぞれ陸のパレートの下に沈み込んでいる。一方、陸のパレートとして東北日本は北米プレート、西南日本はユーラシアプレートの上であり、その境界は糸魚川静岡構造

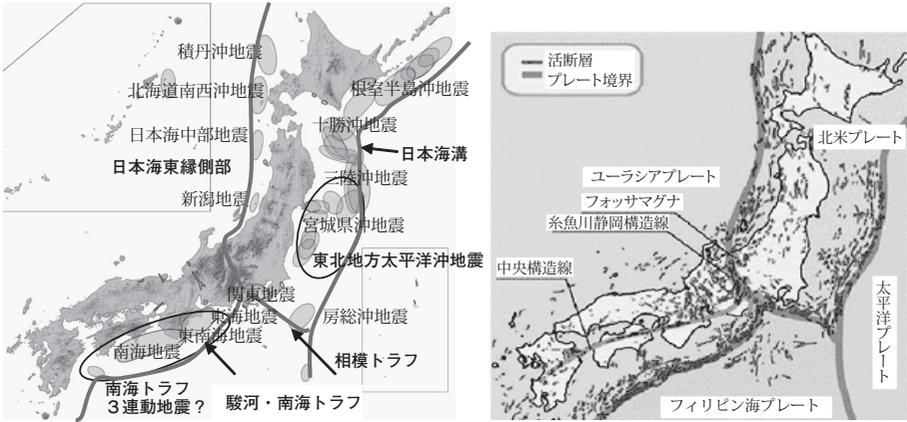


図 1.1.1-3 日本周辺のプレートと代表的な海溝型巨大地震（左）<sup>2)</sup> と活断層の分布（右）<sup>3)</sup>

線から日本海東縁部に位置している。図 1.1.1-3 より巨大地震の多くはプレート間地震（図 1.1.1-2 参照）として発生しており、今後再現される可能性が高い。また陸域にある活動度の高い主要な約 110 の活断層帯は、地震調査研究推進本部などで調査されて、活動履歴や発生確率など長期評価の結果が公開されている。一方、日本列島には 4 枚のプレートがぶつかり、2000 を超える活断層があるなど、非常に複雑な状態である。したがって、いつ・どこで・どの程度の地震が起きるのか正確に予測することは本質的に困難であることを理解すべきである。

**コラム** 断層運動の種類

地震の発生源である断層運動の種類には、図 1 に示すように大別し「縦ずれ断層」と「横ずれ断層」がある。縦ずれ断層には、傾斜した断層面上側の地盤（上盤）が下側の地盤（下盤）に対してずり下がる「正断層」と、逆に上盤が乗り上げる「逆断層」がある。正断層は断層面に直交する引張力が作用する場合、逆断層は圧縮力が作用する場合に発生する。一方、横ずれ断層には、断層面より向こう側の地盤が左向きに動く「左横ずれ断層」と、逆に右向きに動く「右横ずれ断層」がある。

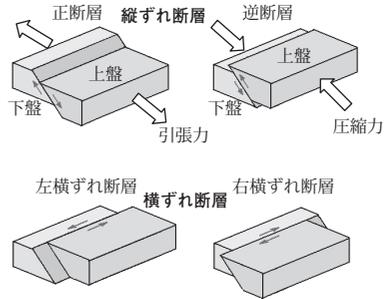


図 1 断層運動の種類<sup>4)</sup> に加筆