

第 I 章 日本の地震と建築物

第1節 日本の地震危険

1.1 震災の特性

「交通事故」「火災」「風水雪災等」「震災」は、わが国における代表的な災害である。災害による被害の大きさを、その災害による死者・行方不明者数をもって測るとすれば、近年の災害の中で、わが国に最も大きい被害を与えているものは交通事故である。図1.1.1は災害別の死者・行方不明者数(交通事故は死者数)を示している。交通事故による死者数はここ数年減少傾向にあり、近年では3,000人程度となっている。

火災による死者・行方不明者数は交通事故に次いで多い。都市の不燃化の進展、消防力の強化とともに、いわゆる大火と呼ばれる大規模な火災は発生しにくくなったが、最近でも毎年 1,500 人程度の死者・行方不明者が出ている。

風水雪災等の気象災害による被害は火災よりもさらに少ない。1970 年代以前には、1945 年の枕崎台風(死者・行方不明者 3,756 人)や 1959 年の伊勢湾台風(死者・行方不明者 5,098 人)のような死者・行方不明者数が 1,000 人を超える規模の台風・豪雨が複数生じており、年間での死者・行方不明者数が 1,000 人を超える年も珍しいものではなかった。近年では 300 人を超える災害も発生するなど激甚化の懸念はあるものの、治水事業の成果もあり、かつてのように 1,000 人を超えるには至っていない。

一方、震災はほかの災害とは明らかに異なる特性を持っていることがわかる。震災による死者・行方不明者数は、交通事故と比較すると大幅に少なく、この期間の平均的な死者・行方不明者数で比較した場合には火災のそれよりも少ない。震災による死者・行方不明者数は

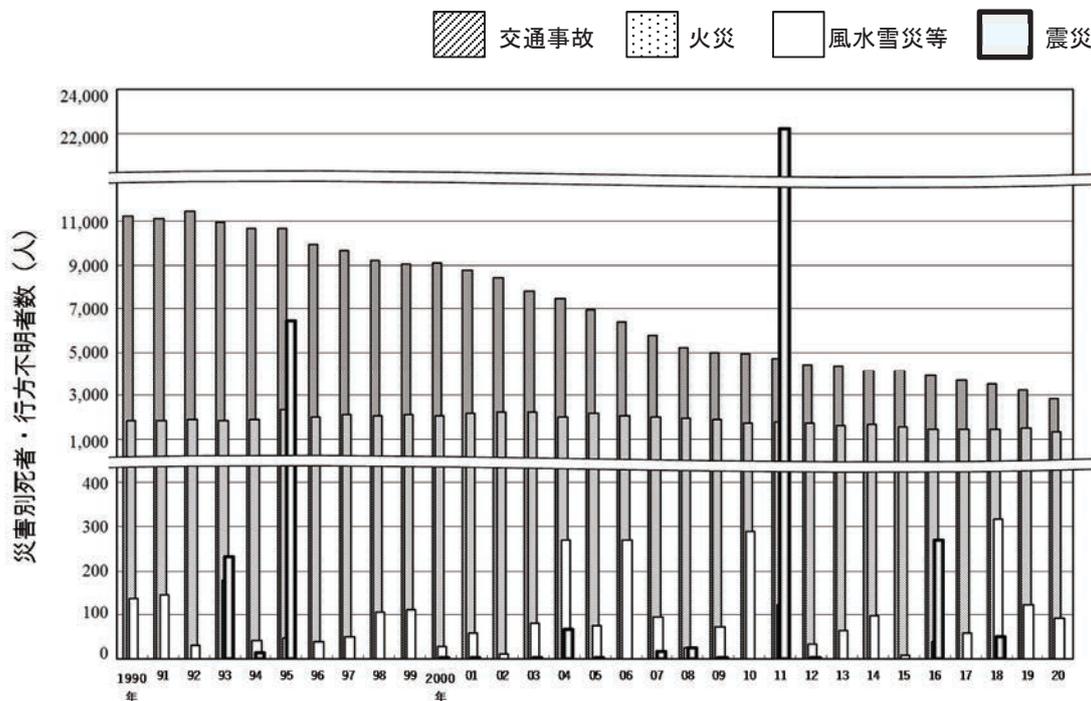


図 1.1.1 災害別の死者・行方不明者数

震災には火山・津波を含み、風水雪災等は落雷等も含む(関連死として分けて集計されている場合は関連死も含む)。
「交通安全白書」(2022)、「消防白書」(2022)、「理科年表」(2021)を基に作成

1990 年から 2021 年の約半数の年はゼロである。

しかし、1995 年には、「平成 7 年(1995 年)兵庫県南部地震」(以下「兵庫県南部地震」という。)(阪神・淡路大震災)によって 6,000 人以上、2011 年には、「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震」(以下「東北地方太平洋沖地震」という。)(東日本大震災)によって 20,000 人以上の死者・行方不明者が出ている。

表 1.1.1 は明治以降の死者数別の地震回数である。この期間には死者を伴う地震は 109 回発生している。そのうち、死者数が 1~99 人の被害地震(被害を伴う地震)が、全体の 8 割を占め、ほぼ 2 年に 1 回の割合で発生している。その一方で、死者 1,000 人を超えるような、大規模な被害地震が 12 回発生し、さらに、死者が 1 万人を超える地震は 3 回発生している(1923 年の大正関東地震(関東大震災)、1896 年の明治三陸地震、2011 年の東北地方太平洋沖地震)。このように、地震はひとたび発生すると、ときに極めて大きな災害をもたらす特性を持っている。

また、交通事故や火災などと大きく異なる点として、災害の広域性と社会への影響の大きさをあげることができる。巨大な地震の場合には 1 回の地震で、広い範囲にわたり家が倒れ、多くの人々が被災し、都市機能さえ麻痺する可能性がある。さらに、交通事故や火災は当事者の努力によって、ある程度の制御が可能であるが、震災は、現在のところその発生に関して制御することは全く不可能である。同様に、風水雪災等に対しても、それをコントロールすることは難しいが、天気予報などによって精度良く発生を予知することが可能となっており、一定の事前対策を立てることができる。震災については、自然現象である地震の発生を確度をもって予知することは

困難とされており、このことは被害を大きくさせる要因の 1 つと考えられる。

統計的に見て、その死者・行方不明者は交通事故や火災より少ないにもかかわらず、古来、震災は恐ろしいものの筆頭にあげられてきた。その一因には、上記のように地震の「まれに」「突然」「大被害」をもたらすという特性をあげることができる。

表 1.1.1 死者数別地震回数(1868~2012 年)

死者 (人)	1 ~ 9	10 ~ 99	100 ~ 999	1,000 ~ 9,999	10,000 ~	合計
地震 回数	64	25	8	9	3	109

「日本被害地震総覧 599-2012」(2013)を基に作成

1.2 わが国周辺の地震活動

1.2.1 地震の分布

図 1.1.2 は世界で 1970 年から 2018 年の間に発生したマグニチュード(M) 5.5 以上の地震の震央をプロットしたものである。地震の多い地域や少ない地域が存在し、発生場所には偏りがある。よく見れば、地震の震央は地球上に紋様を描くように、細長く帯状に分布していることもわかる。例えば、太平洋に面する大陸・島弧(弧状に連続している島嶼^{とうしょ})沿岸の地域は、震央が狭い範囲で連なり、太平洋を取り囲んでいる。この地域は世界的に見ても地震が多い地域であり、環太平洋地震帯と呼ばれている。特にその西側—カムチャツカ半島から日本列島、インドネシア、ニュージーランドにかけては極端に地震が多い地域である。日本列島は震央を示す点

でほぼ埋め尽くされており、わが国の地震の多さを物語っている。

わが国は、この地震多発地帯ともいべき地域に位置しており、世界の地震の約 1 割が、また M6.0 以上の地震に限れば約 2 割がわが国周辺で発生している。わが国の陸地面積が全世界のわずか 0.3%に過ぎないことを考えれば、非常に高い頻度といえる。

図 1.1.3 はわが国周辺で 1990 年から 2022 年 7 月の間に発生した有感地震(体を感じる揺れを伴う地震、震度 1 以上)の回数の月別推移である。大地震の後の余震や、群発地震などの影響を受けて、飛び抜けて回数の多い月もあるが、それらを除いて考えても、毎月 50~100 回、年間 1,000 回もの地震が発生している。

図 1.1.4 は、わが国周辺で 1970 年から 2018 年の間に発生した M5.5 以上の地震の震央をプロットしたもの

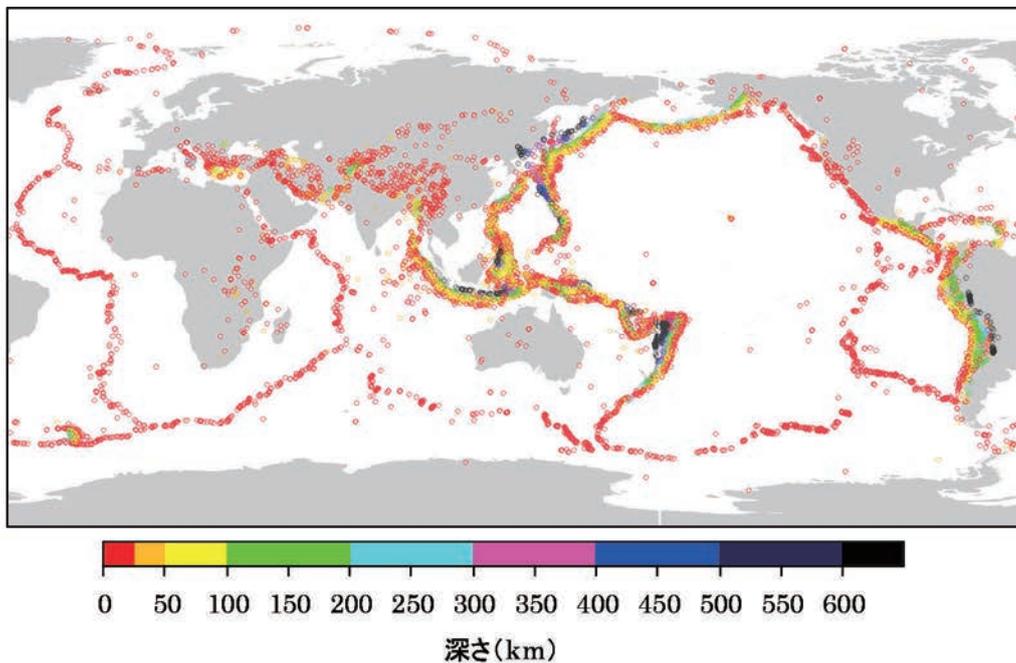


図 1.1.2 世界で 1970 年から 2018 年の間に発生した地震の震央分布 (M5.5 以上)
GEM Foundation and the International Seismological Centre のデータを基に作成

である。この地域の地震発生状況をマクロ的視点から観察すると、次のようなことがいえる。東日本の太平洋沿岸や、九州から南西諸島にかかる地域は日本海側に比べて地震が多く、図 1.1.2 でも見られた帯状の分布をは

っきりと見ることができる。より細かい視点から観察すれば、その帯状の分布内にも、いたるところに濃淡が見られる。地震活動は地域によって異なる様相を呈していることがわかる。

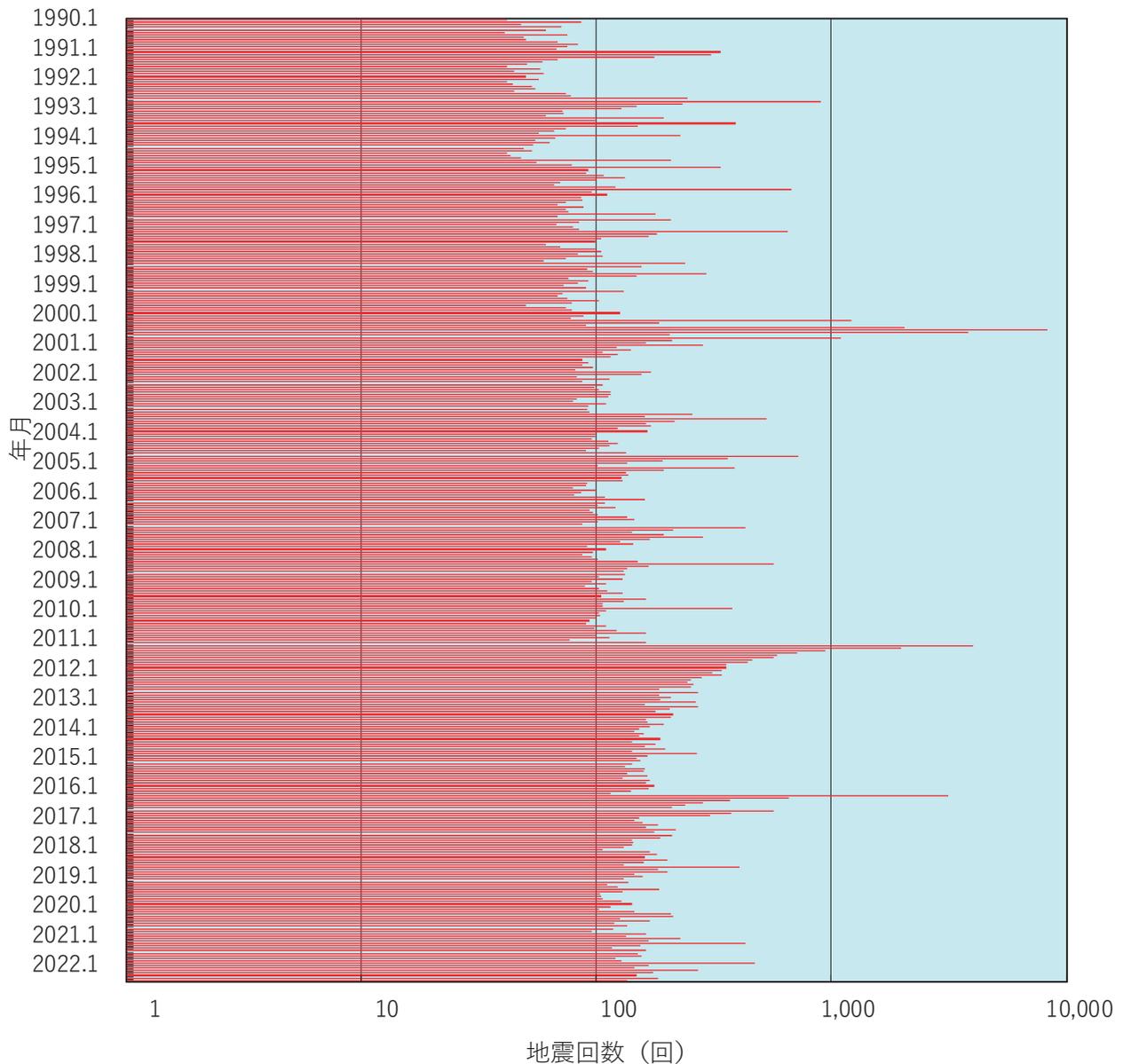


図 1.1.3 わが国周辺で 1990 年から 2022 年 7 月の間に発生した有感地震の回数の月別推移
気象庁のデータを基に作成

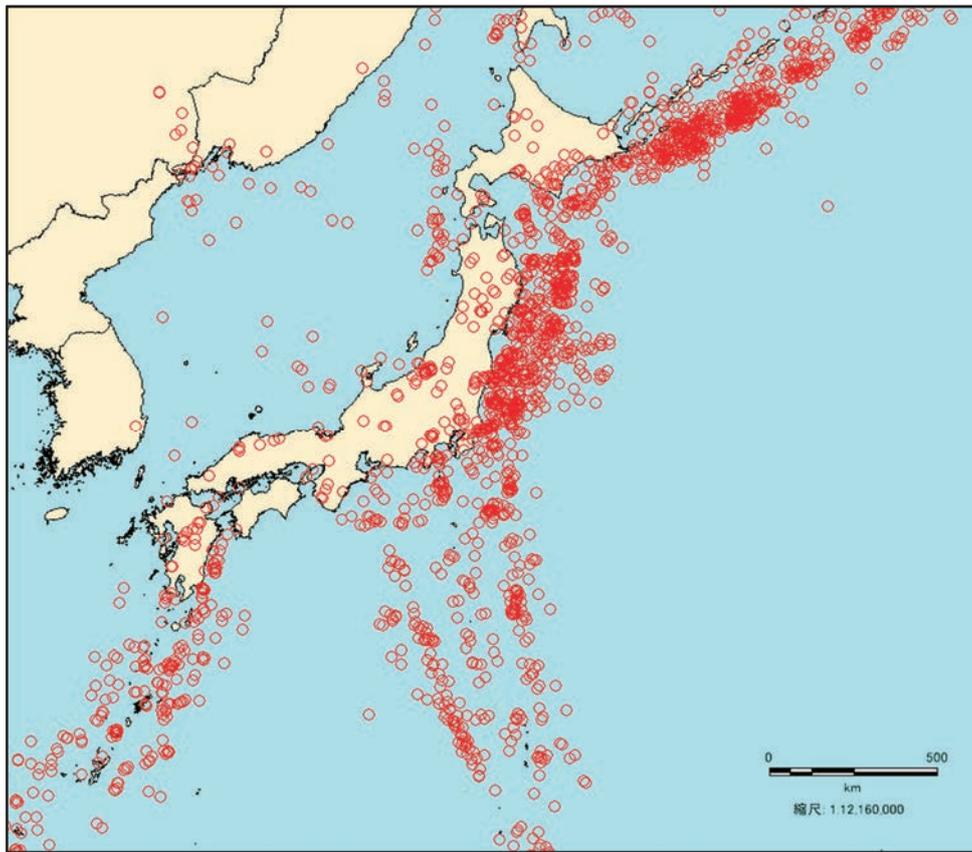


図 1.1.4 わが国周辺で 1970 年から 2018 年の間に発生した地震の震央分布 (M5.5 以上)
GEM Foundation and the International Seismological Centre のデータを基に作成

1.2.2 地震発生のメカニズム

現在、地震の発生メカニズムは、プレートテクトニクスによって説明されており、多くの研究者がこれを支持している。その考え方によれば、地球は十数枚のプレートと呼ばれる、厚さ数十 km 程度の岩盤によって隙間なく覆われており、それぞれのプレートが別々の方向に移動しているとされている(図 1.1.5, 図 1.1.6 を参照)。プレートの境界では、プレート同士のぶつかり合いによって山脈を築いたり、一方のプレートがもう一方のプレートの下に沈み込んで海溝を形成するなどの地殻変動が生じている。地震は、このような地殻変動によってプレートに蓄積される歪が限界まで達したときに、プレート自体が破壊したり、プレート間ですべりが生じるなどして、歪エネルギーが一気に解放される現象として説明されている。

したがって、プレートの境界付近では、地震活動が活発になる傾向がある。実際、図 1.1.5 や図 1.1.6 のプレート境界と図 1.1.2 や図 1.1.4 で見られる帯状の震央分布を比較すれば明らかなように、両者の位置はほぼ一致している。特に図 1.1.5 において沈み込み帯とされている境界は、他のプレート境界よりも一段と地震の発生数が多い。わが国は、その沈み込み帯に隣接した地域に位置しており、わが国周辺で地震が多いのも、このような地理的環境によるものと考えられる。

図 1.1.7 は、わが国周辺で発生した地震の深さ方向の分布を示した図である。これらの地震のほとんどは、その発生場所とメカニズムによって 3 つのタイプに分類することができる(図 1.1.8 を参照)。図 1.1.6 に示したように、わが国周辺には少なくとも 3 枚のプレートが存在しており、非常に複雑なメカニズムによって地震が発生してい

るといわれているが、大まかには図 1.1.8 のように単純化して、A・B・C のように地震のタイプを分類することができる。

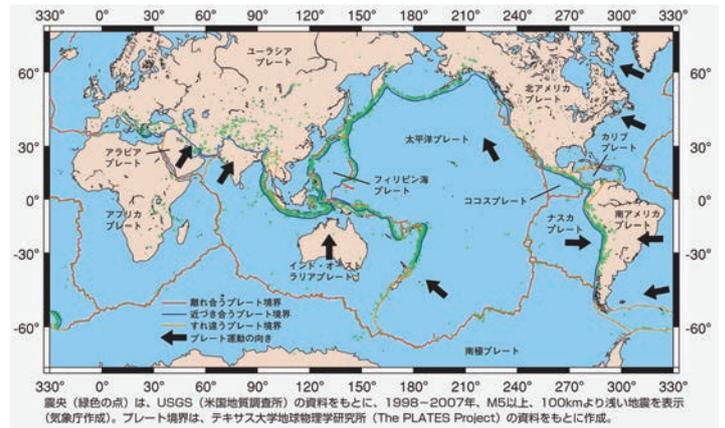


図 1.1.5 世界の地震分布とプレート境界
地震調査研究推進本部のウェブサイトより転載

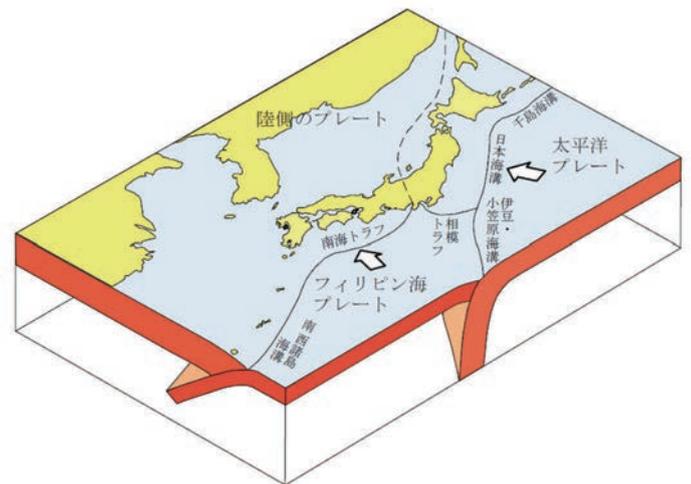


図 1.1.6 わが国周辺の海底地形とプレート境界
点線は不明瞭なプレート境界
地震調査研究推進本部のウェブサイトより転載

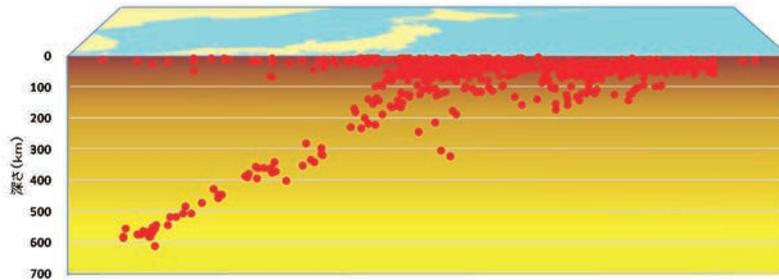


図 1.1.7 わが国周辺で 1970 年から 2018 年の間に発生した地震の深さ方向の分布 (M5.5 以上)
GEM Foundation and the International Seismological Centre のデータを基に作成

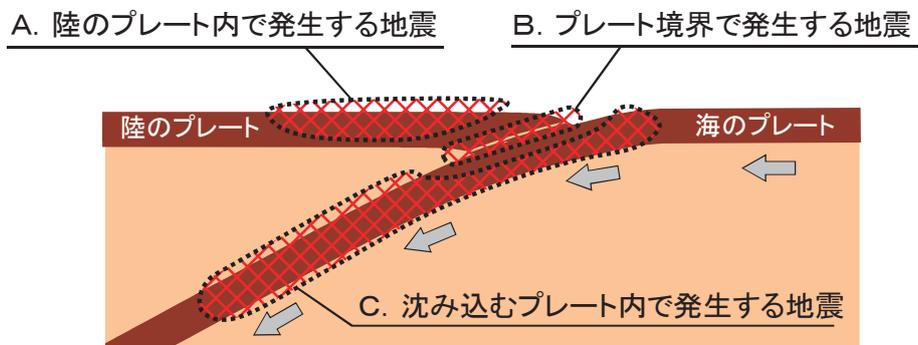


図 1.1.8 発生場所で区別した場合の地震のタイプ

A 陸のプレート内で発生する地震

海のプレートは図 1.1.8 に示すように、陸のプレートの方向へ、地域によって異なるが、1 年間に数 cm 移動している。日本列島を乗せた陸のプレートは、常に海のプレートに押されている状態にあるといえる。そのため、A の範囲には、強い圧縮力が働いており、その力にプレートが耐え切れなくなると、プレートの一部が破壊し、亀裂(断層)が生じる。このときに地震が発生する。兵庫県南部地震、「平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震」(以下「新潟県中越地震」という。),「平成 28 年(2016 年)熊本地震」(以下「熊本地震」という。)などはこのタイプの地震に分類される。

断層は、プレートの破壊しやすい弱い部分であるため、千年から数万年という長い時間を経て、歪が再び限

界に達したときには、同じ断層面が破壊すると考えられている。つまり、断層では繰り返し地震が発生すると考えられている。なお、断層のうち、最近の地質時代(約 170~200 万年前)以降に地震が発生し、今後も地震を発生させると考えられるものを「活断層」という。

多くの場合、この破壊は地下数 km から数十 km という範囲で発生するが、大地震を発生させる断層は、そのサイズも大きいものとなり、その一部が地表に到達することがある。わが国周辺にはかつての大地震の痕跡ともいえる活断層が約 2,000 も存在するといわれている。その位置やずれの量、周囲の地層の年代などは、繰り返し発生する大地震の場所や、地震規模、地震を起こした履歴を明らかにするための貴重な手がかりとなるため、活断層の調査は地震防災上、極めて重要である。

B プレート境界で発生する地震

陸のプレートと海のプレートは、図 1.1.8 の B の領域で接している。普段、その間には高い圧力が働いており、プレート同士は固着している。海のプレートは陸のプレートの下に沈み込むように移動しているため、陸のプレートは海のプレートに引き込まれるように、押し下げられる。この歪がプレート同士の固着力の限界にまで達したときに、B の領域にすべりが発生し、陸のプレートの歪エネルギーが一気に解放され、地震を起こす。このタイプの地震は、海底部分の地殻変動が大きくなるため、津波を伴うことが多い。

海のプレートの沈み込みにより、陸のプレートには、歪エネルギーが絶え間なく供給される。そのため、このタイプの地震も、活断層で発生する地震と同様に、同じ地域で繰り返し発生する。ただし、活断層で発生する地震の活動周期は、通常数千年から数万年という長い期間であるのに対して、プレート境界で繰り返し発生する地震の活動周期は、数十年から数百年と、比較的短期間であると考えられている。例えば、宮城県沖で発生するこのタイプの地震は、過去の記録では、平均 36 年という極めて短い間隔で発生している(表 1.1.2 を参照)。また、このタイプの地震の場合、M8 クラス以上の規模となることも珍しくなく、甚大な被害をもたらすおそれがある。東北地方太平洋沖地震などはこのタイプの地震に分類される。

C 沈み込むプレート内で発生する地震

沈み込む海のプレート内部の破壊によって、発生する地震である。図 1.1.7、図 1.1.8 からわかるように、このタイプの地震はかなり深い場所でも発生し、深さが 500km

表 1.1.2 宮城県沖の地震の発生履歴

地震発生年	地震規模	間隔
1897 年	M7.4	} 39 年
1936 年	M7.4	
1978 年	M7.4	} 42 年
2005 年	M7.2	} 27 年

「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」(地震調査研究推進本部(2019)を基に作成)

を超えることもある。また、浅い場所で発生した場合には、海底部分の地殻変動が大きくなり、津波を伴う地震となる場合もある。

「平成 5 年(1993 年)釧路沖地震」や「平成 6 年(1994 年)北海道東方沖地震」、「平成 13 年(2001 年)芸予地震」(以下「芸予地震」という。)などはこのタイプの地震に分類される。

1.3 地震危険度評価

1.3.1 地震危険度

地震危険度は、各々の立場により、その言葉の意味するところは異なる。例えば、建物の所有者にとっては、対象物への損害の可能性を、工場の立地場所を検討している人や都市計画を進める人にとっては、地震そのものが発生する可能性や予想される地震動の強さを危険として認識することが考えられる。地震危険度といった場合に考えられる具体的な指標としては、主に以下のようものをあげることができる。

- a. どこで発生するか
- b. どれくらいの規模の地震か
- c. いつ発生するか、発生する確率はどの程度か

d. 地震動はどの程度の大きさになるか

e. 予想される被害はどの程度か

これらの指標のうち、a.から c.までは地震そのものの発生に関する指標であり、一種の地震予知・予測情報といえる。これを基に d.(評価地点の地震動の強さ:地震ハザード^註)や e.(対象物の被害:地震リスク^註)が算出される。ただし、地震ハザードや地震リスクなどは、その時々によって、意味するところが異なってくることもある。ここでは、地震ハザードについては「強い地震動に見舞われる可能性を評価したもの」、地震リスクについては「地震によって受ける経済的な直接損失」と定義する。

1.3.2 地震予知・予測

地震予知・予測は大まかに下記のように定義できる。1 つは「3 日以内に東京で M7 クラスの地震が起こる」といったような、発生直前から数週間程度の将来の地震予知である。もう 1 つは、現在から数年間、あるいは今後 50 年、100 年など長期間にわたる地震発生を予測するものである。ここでは、前者を短期的予知と呼び、後者を長期的予測と呼ぶことにする。

両者の境界は明瞭ではないが、その性質は全く異なっている。短期的予知は、地震が発生する直前に与えられる情報であるため、人々の防災意識を一時的にでも喚起させる効果が高い。また、「危険な建物から外に出る」「電車を利用しない」などの対策をとることが可能であり、人命を守る上で、極めて有効な情報であるといえる。

一方、長期的予測では、地震発生まで猶予があると思われがちであり、防災意識を向上させる効果は短期的予知に比べると低い。しかし、建物やインフラの耐震改修、防災設備の強化などが政策的に行われ、人命だけでなく、経済的な損失の減少も期待することができる。地震予知といった場合に、多くの人がイメージするのは短期的予知であろうが、長期的予測も地震防災上、非常に重要な情報である。

(注) ハザードとリスクという用語は、日本語では通常いずれも「危険」と訳されるが、地震防災の分野では、それぞれ異なった意味を持っている。地震ハザードは地震の発生確率であるとか、ある地点で予想される最大の地震動、または、その発生確率、あるいは活動周期などを表現し、被害をもたらす危険原因・現象の強度および発生確率を表すことが多い。一方、地震リスクは、「不確実な損害の発生確率あるいは予想される損失」という意味で使用される。ここで、損害・損失とは、特に経済的損失を指すことが多い。次のような式をもって表現されることもある。

$$\text{リスク} = \text{対象物の価値} \times \text{損傷度} \times \text{発生確率}$$

この場合、「対象物の価値×損傷度」は、損害の大きさを表し、それに「発生確率(不確実性)」を乗じることで、リスクは定量化される。地震リスクの定量化は、地震保険の料率を定める上で極めて重要であるほか、企業のリスクマネジメントなどの分野で利用される。

(1) 短期的予知

以前から、大地震には前兆現象が伴うということがいわれてきた。例えば、大正関東地震の際には、「砲声に似た鳴動が聞こえた」「河川をイワシの大群が遡った」「井戸が枯れた」「火の玉がみえた」など、前兆現象の体験談が多数報告されている。また、兵庫県南部地震の際には、「ラジオ放送に雑音が入り、神戸に近づくにつれて大きくなった」というようなラジオ放送波に異常伝播があったという報告もされている。これらは、地震直前の臨界状態における諸現象の結果として生じるものと考えられており、短期的予知は主として、その現象を前兆現象として捉え、それを基に行われる。この種の地震予知研究は、極めて学際的な研究分野であり、世界的にもギリシャや中国、ロシア、イタリア、台湾等で研究が進められているという。

わが国では、1978年に制定された大規模地震対策特別措置法(昭和53年法律第73号)(大震法)に基づいて、東海地震の発生直前の防災対策が定められている。東海地震による被害が懸念される地域では、地震計や歪計、傾斜計などの観測機器を使用した監視体制が整備され、東海地震は地震発生直前の予知が可能で唯一の地震と考えられてきた。地殻変動などに異常が見られ、それが東海地震の前兆現象と判断された場合には、この法律に基づいて、静岡県全域を中心とした8都県にまたがる地域(地震防災対策強化地域、付録資料3を参照)の様々な社会活動が規制されることとなっている。しかし、内閣府に設置された南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループが2017年9月に公表した報告書「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応のあり方について(報

告)」では、「現時点においては、地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測する科学的に確立した手法はなく、大震法に基づく現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできないため、大震法に基づく現行の地震防災応急対策は改める必要がある。」と示された。それを受け、政府では、現在南海トラフ沿いで異常な現象が観測された場合の防災対応のあり方および防災対応の実施のための仕組みについて検討が進められている。

(2) 長期的予測

長期的予測は、その類似的なものを含めれば、比較的古い時代から行われてきた。わが国では、古文書などにかつての大地震の記事を見ることができる。最も古い地震の記事は、416年の地震であり、以来、約1600年間にわたって、不完全ではあるものの、過去の地震の位置と規模を読みとることができる。この情

大地震の回数 (北海道と沖縄を除く地域で集計)

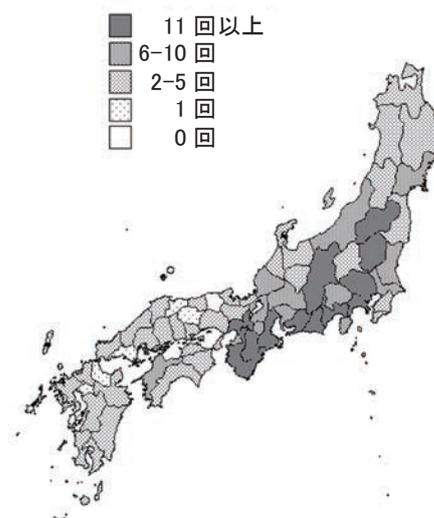


図 1.1.9 日本大地震分布図

416年から1860年までの地震を対象に、大地震の発生回数を集計したもの。なお、大地震は「土地の陥落、亀裂、著き家屋の被害、人命の損失等あるもの」と定義されている。(大森(1899)を基に、集計対象となった地域に限定して図を作成)

報を基に、時系列的に過去の地震をリストアップしたものは地震カタログと呼ばれており、地震防災の分野で様々に利用されている。わが国で実用的な地震カタログが初めて編纂されたのは 1899 年のことであった。これを利用して、大森房吉（東京帝国大学 地震学教室教授）は地震の発生回数を集計して地図に示している（図 1.1.9 を参照）。この中では、将来の地震発生確率については触れられていないが、統計的に平均的な活動周期などを求め、地域ごとの地震の頻度について論じており、長期的予測の先駆けとなるものであった。

今村明恒（東京帝国大学 地震学教室教授）は地震カタログを精査し、東京を襲う大地震には周期性があることを発見した。1905 年には今後 50 年以内に東京に大地震が発生する可能性があるという論文を発表している。この長期的予測は東京の地震対策の推進を意図したもので、地震学的に確実な根拠はなかったともいわれているが、この後、1923 年に大正関東地震が発生したため、これを予知したものとして話題となった。

これに類似した説として、1970 年に河角広（東京大学 地震研究所長）は「関東南部における強震動の発生周期は 69 ± 13 年」という説を発表した。この説によれば、1923 年の大正関東地震の 69 年後である 1992 年に大地震の発生する確率がピークを迎え、遅くとも 2005 年までには発生するとされていた。この説には異を唱える研究者も多かったが、当時、東京都ではこれを基に地震防災計画が立案されるなど、社会的にも反響があった。

プレート境界で発生する地震は、活動周期が比較的短いいため、活動履歴が歴史に残されていることが少ない。近い将来に発生し広範囲で大きな被害が起こる

可能性が指摘されている、南海トラフ沿いで発生する地震もこのタイプの地震であり、1361 年以降では、90～150 年の間隔で地震が発生したことが古文書などから明らかになっている。地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という。第 II 章第 4 節 4.15.1 に詳述）は、歴史記録や観測記録等を踏まえつつ、新たな調査研究に基づき、順次長期評価（地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を予測すること）を行っている。

活断層で発生する地震については、兵庫県南部地震の後、その危険性が再認識され、活断層の調査が積極的に行われるようになった。地震本部は、約 2,000 もの活断層の中から、地震が発生した際の社会的影響が大きい活断層の位置や過去の活動履歴などを調査のうえ、長期評価を行ってきた。近年では、これらの評価が一巡したことから、精度・信頼度を向上させた新たな評価手法を導入し、従来の活断層ごとの評価に加え、複数の活断層の活動を考慮した地域評価を実施している。

なお、地震本部の長期評価では、プレート境界や個々の活断層で発生する地震について、その地震ごとに「マグニチュード〇〇の地震が 30 年以内に発生する確率は $\times \times \%$ 程度」といった情報が公表されている。

これまで述べてきたもののほかに、地震空白域という長期的予測に関する考え方がある。地震はプレートに蓄積された歪エネルギーの解放現象であるなら、エネルギーが十分蓄えられるまで、その震源では地震が発生しないはずである。逆にいえば歴史的には大地震が発生しているにもかかわらず、長期間にわたり地震が発生していない地域（地震空白域）ではエネルギーが蓄えられており、地震が切迫しているという考え方である。

この概念は、活動周期が比較的短いプレート境界で発生する地震で理解しやすく、北海道の東沖で地震空白域が埋められるように地震が発生したという研究報告もある。また、駿河湾から遠州灘にかかる地域(図 1.1.10 の(A)の地域)では 1854 年の安政東海地震以来、大地震が発生していないため、その地域は地震空白域とされ、地殻変動などの地震の前兆現象を捉えるため、国をあげての観測体制がとられている。

このように、新たに得られた地形・歴史記録・地震活動などに関する知見をもとに、震源域となり得る領域の設定や地震発生確率について見直しがされている。

1.3.3 地震ハザード評価

実用的な地震ハザード評価が行われた初めての事例は、1951 年に河角広によって作成された、いわゆる河角マップ(図 1.1.11 を参照)である。河角は、距離と地震動の強さの関係式を用いて、679 年から 1948 年に発生した地震の地震動の強さ分布を計算し、その頻度をもって、全国の地震ハザードを図示した。これはわが国で初めて作成された地震ハザードマップである。河角マップは、当時の建築基準法における設計用地震力の地域係数を設定するために作成されたものであるが、それ以降の地震ハザード評価に関する研究に大きく影響を与え、この手法を発展させた地震ハザードマップが数多く作成された。

1980 年代までの地震ハザードマップは河角マップをはじめとして、過去の地震の記録から、平均的なハザードを統計的に求めたものであった。わが国でこの分野の研究が発展したのは、歴史が古く、統計期間を長く設定できることがその一因であると思われる。しかし、活動周

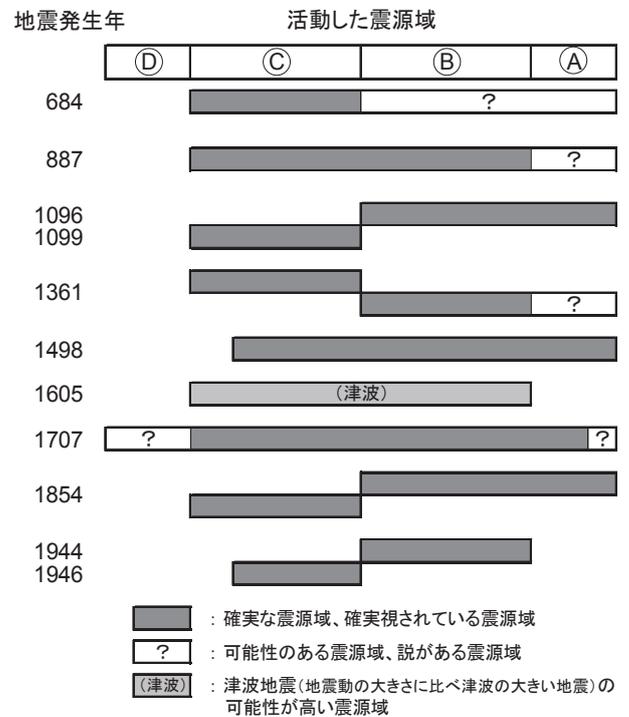
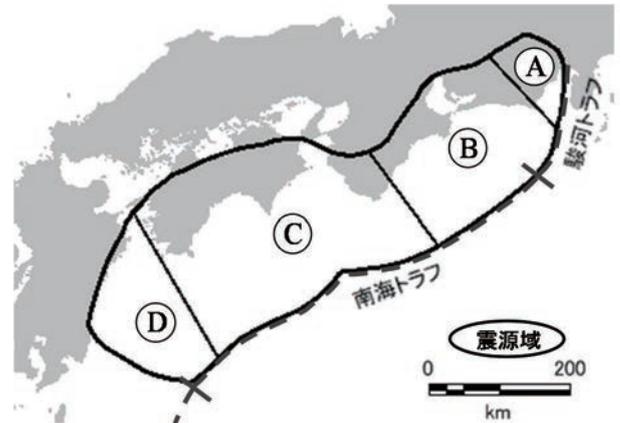


図 1.1.10 南海トラフ沿いで発生した巨大地震の履歴
 「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)」(地震調査研究推進本部) (2013)を基に作成

【参考】南海トラフ沿いで発生した巨大地震の特徴と被害想定について
 南海トラフ沿いの地域(図中 ABCD)では、M8 クラスの巨大地震が、100 年から 200 年という短い間隔で繰り返し発生している。A~C の地域の 3 地震が同時に発生したと考えられている 1707 年宝永地震(M8.6)では、「全体で確かな死 5 千余、潰家 5 万 9 千、流失家 1 万 8 千」(理科年表)とされている。また、A~D の地域の地震が同時に発生した場合、地震の規模は M 9 クラスとなり、死者は最大で 32 万人、全壊および焼失棟数は最大で 240 万棟に及ぶと推定されている(中央防災会議(2012)、南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告))。

期の短いプレート境界で発生する地震ならともかく、活断層で発生する地震の活動周期は、通常千年から数万年と長いため、約 1,600 年間の歴史資料では精確な地震ハザードの評価は難しい。また、過去の地震から求める平均的なハザードだけではなく、地震の切迫性を考慮する必要性も認識されるようになったこともあり、前述の長期評価を利用したハザード評価が行われるようになった。例えば、損害保険料率算定会（現 損害保険料率算出機構）は、活断層とプレート境界の活動履歴を利用して地震の切迫性を考慮し、2000 年から 50 年間の最大計測震度が 5.5 以上となる確率などの地震ハザードマップを作成した（図 1.1.12 を参照）。

地震本部は、前述の長期評価などをもとに、2005 年 3 月に、「今後 30 年以内に震度 6 弱以上（計測震度 5.5 以上）の揺れに見舞われる確率の分布図」などの地震ハザードマップ（確率論的地震動予測地図 2005 年版）を公表した。その後、2010 年版まで毎年、改訂・公表を行っていたが、東北地方太平洋沖地震の発生を受け、確率論的地震動予測地図について解決すべき多くの課題が指摘されたことなどにより、2011 年版の公表は見送られた。地震本部は課題の検討を進め、検討の中途ではあるものの、その時点までの検討結果をとりまとめた報告書を 2012 年 12 月、2013 年 12 月に公表した。その後、2014 年 12 月に、東北地方太平洋沖地震を踏まえた一連の検討結果を反映した 2014 年版を公表した。確率論的地震動予測地図は、2014 年版以降も改訂されており（最新版は 2020 年版（図 1.1.13 を参照））、今後も順次改訂されていくことが見込まれる。



図 1.1.11 河角マップ

平均して 100 年間に 1 度発生することが予想される
最大加速度の分布 (gal)
大崎 (1983) より転載、原図は Kawasumi (1951)

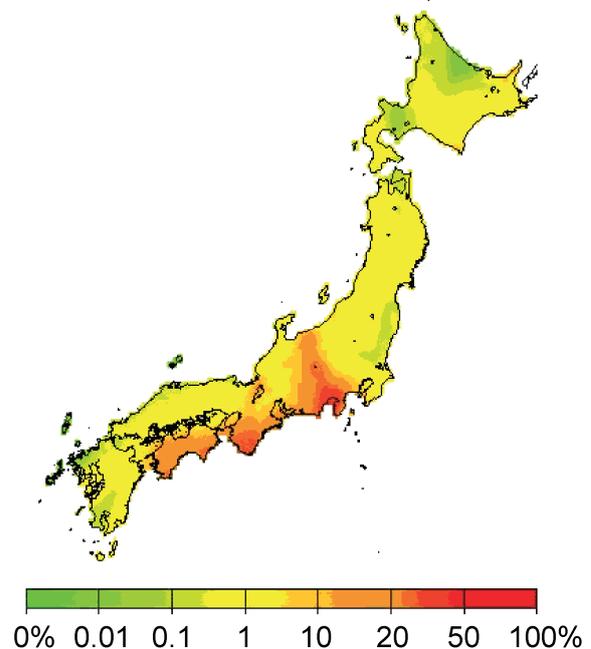


図 1.1.12 2000 年から 50 年間の最大計測震度が
5.5 以上（震度 6 弱以上）となる確率
損害保険料率算定会 (2000) より転載

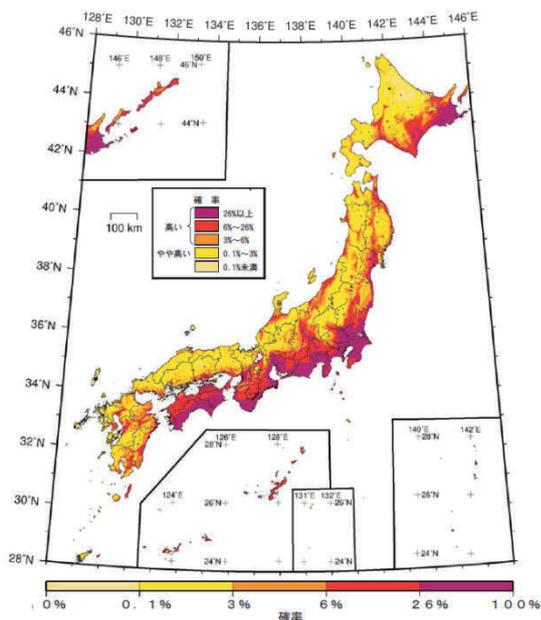


図 1.1.13 2020 年から 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率(確率論的地震動予測地図の一例)

「全国地震動予測地図 2020 年版」(地震調査研究推進本部) (2021) より転載

1.3.4 地震リスク評価

近年、海外の企業だけでなく、日本国内においても地震リスクマネジメントが広く行われるようになった。地震リスクマネジメントとは、ある建物(あるいは工場、企業など)がさらされている地震危険度を評価し、それに対して何かしらの対策をとることである。大地震の発生が懸念されている地域の建物に対して、その地震による被害を予測し、それに見合う地震保険をつける、あるいは、費用対効果を考慮した上で、耐震補強を施すことなどはその一例であるといえる。重要なことは、正しく地震リスクを認識し、効率的な対策を講じることである。したがって、地震リスクマネジメントを行う上で、地震リスク評価は重要である。このような情勢を反映して、地震リスクを

扱うコンサルティング会社がわが国でも活躍し、また、大手建設会社なども地震リスク評価のソフトウェアを開発している。

地震リスク評価については、広く実用化されているが、一方で、地震ハザード・地震リスクには不確実な部分も多く、評価精度の向上に向けては、継続的な調査研究が不可欠であると考えられる。

＜参考文献＞

- 今村明恒(1905), 市街地に於ける地震の生命及財産に対する損害を軽減する簡法, 太陽, 博文館.
- 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013), 日本被害地震総覧 599—2012, 東京大学出版会.
- 大崎順彦(1983), 地震と建築, 岩波書店.
- 大森房吉(1899), 日本地震史料目録ノ調査, 震災予防調査会報告, 26.
- Kawasumi, H.(1951), Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times. Bull. Earthq. Res. Inst., 21.
- 河角広(1970), 関東南部地震 69 年周期の証明とその発生の緊迫度ならびに対策の緊急性と問題点, 地学雑誌, 79.
- 気象庁 ウェブサイト
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>
- 総務省(2022), 令和4年版交通安全白書.
- 国立天文台編(2021), 理科年表 2022, 丸善.
- 地震調査研究推進本部 ウェブサイト
<https://www.jishin.go.jp/>
- 地震調査研究推進本部(2010), 活断層の長期評価手法(暫定版).
- 地震調査研究推進本部(2019), 日本海溝沿いの地震活動の長期評価.
- 地震調査研究推進本部(2013), 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版).
- 消防庁(2022), 消防白書(令和 3 年版).
- 地震調査研究推進本部(2005), 全国を概観した地震動予測地図.
- 地震調査研究推進本部(2021), 全国地震動予測地図 2020 年版.
- 損害保険料率算定会(2000), 活断層と歴史地震を考慮した地震危険度評価の研究, 地震保険調査研究, 47.
- 中央防災会議 ウェブサイト
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/>
- 力武常次(1998), 予知と前兆—地震「宏観異常現象」の科学—, 近未来社.
- 中央防災会議(2013), 南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会(報告).
- 中央防災会議(2012), 南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告).
- 中央防災会議(2017), 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応の在り方について(報告).
- 日本地震学会理事会(2012), 日本地震学会の改革に向けて:行動計画2012.
- GEM Foundation and the International Seismological Centre
<http://www.isc.ac.uk/iscgem/index.php>

第2節 日本の建築物の地震被害

わが国は、南北に長く、気候、風土が多岐にわたり、また、国土の全域にわたって自然災害が発生している。過去において、地震、噴火、津波、豪雨、洪水、暴風、豪雪、寒冷などにより様々な自然災害に見舞われている。このような環境から、どこの地域に建築物の敷地を求めても、自然災害を完全に回避することは困難である。

わが国において可能な限り安全で安心できる建築物を確保するため、各種防災対策が要請され、また、たとえ被災した場合でも、安全の確保や被害の拡大を防ぐ工夫が求められている。

2.1 建築物の近代化

2.1.1 木造建築物

わが国における住宅など小規模建築物の多くは、木材を用いてきた。木材は、「燃える」、「腐る」、「材に節等が多い」、「強度が一定ではない」、「長い間に変形する場合がある」などの短所はあるものの、木造建築物は、風通しが良く、夏の高温多湿の気候に適したものであり、各地方で特色ある木造文化を形成し、長い伝統がある。

木造建築物で昔から恐れられたのは、地震、雷、火災が代表的だが、歴史的にまず対策が進められたのは「防火」であり、科学的に検討され始めたのは、明治政府が樹立してからである。明治政府は東京の大火を防ぐため、1870年に土蔵塗家の奨励、1872年に銀座の道路改造と家屋のレンガ造化、屋根の瓦葺き化を進め、都市の大火防止に大きな効果をあげた。

2.1.2 鉄骨造および鉄筋コンクリート造の建築物

わが国では、鉄を構造材料として用いる鉄骨構法は、建築分野より土木、造船の分野が先行していた。鉄材は当時輸入されており、建築の分野で本格的に使用されたのは1894年に建てられた三階建ての秀英舎印刷工場が初めてといわれている。

コンクリートの主原料であるセメントは明治初期から製造されていたが、レンガ造、石造の目地モルタルや基礎コンクリートに用いられるのみであった。わが国にコンクリートを鉄筋で補強する鉄筋コンクリート構法が導入されたのは、1897年頃からである。鉄筋コンクリート構法も鉄骨構法と同様に土木分野が先行し、建築物での導入は、1905年に建てられた佐世保鎮守府港内のポンプ小屋といわれている。1906年に米国カリフォルニア州で発生したサンフランシスコ地震で、鉄筋コンクリート構法が耐震性、耐火性で優れていることが明らかになり、わが国でも鉄筋コンクリート構法の研究が本格的に始まった。

2.2 建築物の地震被害

レンガ造と石造は、明治の都市建築の近代化と不燃化のため導入され、耐火性・耐久性に優れていたが、耐震性に不足があり、1891年に発生した濃尾地震で多大な被害を受けた。また、同地震では、木造建築物も、大火対策で奨励された瓦屋根が重く、筋違など水平方向の外力に抵抗する部材はあまり無かったことから大きな被害を受けた。

この地震を契機に、建築物の耐震性の研究が本格的

に始まり、レンガ造、石造の耐震性が見直され、わが国の事情を考慮した設計がなされるようになった。また、1906年のサンフランシスコ地震の経験を教訓とし、鉄筋コンクリート造や鉄骨造の普及を政策の中心に据えていくこととなった。

一方、木造建築物についても、耐震性の研究が促進され、濃尾地震の翌年に創設された「震災予防調査会」により、1894年の庄内地震で被害があった山形県酒田地方の地震復興家屋のための構造指針が示され、今日の軸組み構造の耐震性確保の方向付けがなされた。

1923年の大正関東地震では、地震後の火災が被害を極めて大きくした。死者・行方不明者約10万5,000人、住家の全半壊約21万1,000棟、焼失約21万2,000棟と、甚大な被害に見舞われたが、濃尾地震以降の耐震理論の有効性が実証されることになった。この地震でも、レンガ造、石造の建築物は壊滅的被害を受けたのに対し、鉄筋コンクリート造建築物の被害は比較的少なかった。また、大正関東地震の翌年の1924年に市街地建物法が改正され、建築物の耐震設計法がわが国で初めて採り入れられた。

1948年の福井地震では、木造建築物の被害が極めて大きい中で、大破した鉄筋コンクリート造建築物は百貨店だけであり、鉄筋コンクリート造建築物の耐震性が確かめられた。

1964年の新潟地震では、砂地盤における液状化被害が注目された。新潟市内の鉄筋コンクリート造建築物の多くが地盤の液状化により基礎の被害を受け、中には転倒するものもあった。これは、地震動による直接的な建築物の被害とは異なるものであり、液状化現象が注目される契機となった。

1968年の十勝沖地震や1978年の宮城県沖地震では、鉄筋コンクリート造建築物で、せん断破壊が数多く発生した。

これらの大地震による被害の教訓を生かし、さらにそれまでに蓄積された耐震工学に関する研究成果に基づいて、1971年および1981年に建築基準法が改正され、それぞれ耐震基準が大幅に見直された。

高度成長後の都市の直下で発生した初めての大地震である1995年の兵庫県南部地震では、建築物の倒壊が多数発生し、木造建築物だけでなく、耐震性が高いと考えられてきた鉄筋コンクリート造建築物も大きな被害を受けた。被害状況の調査により、木造建築物・鉄筋コンクリート造建築物ともに、1981年以前に建てられた建築物に多くの被害が見られ、建築年代により耐震性が異なることが明らかになった。また、木造建築物では、蟻害・腐朽の有無が建築物の被害に影響していたことも明らかになった。

2011年の東北地方太平洋沖地震では、太平洋沿岸部で、津波に伴う木造家屋等の壊滅的な流失が発生した。また、東北地方から関東地方にかけての多くの旧河道や埋立地において、液状化による被害が発生した。地震動による直接的な建築物の被害については、地震の規模や各地で観測された震度からすれば比較的少なかったといわれている。適切な耐震補強・改修が施された建築物の多くは被害を免れたものの、1981年より前の耐震基準で設計されたものでは、耐力不足などを原因とする被害が見受けられた。

2016年の熊本地震では、益城町で最大震度7を観測する地震が2回発生するなど、熊本県から大分県にかけて大きな揺れに複数回見舞われた。1981年以降

の耐震基準は、倒壊被害の防止に有効であることが認められたが、当該耐震基準の導入以降の建築物においても、倒壊被害が見られた。

2018年の北海道胆振東部地震では、札幌市清田区で液状化による顕著な地盤沈下が発生し、建築物の構造や建築年によらず、基礎の不同沈下による傾斜の被害が見られた。

以上のように、地震による建築物の被害には地震動との関連や津波、液状化被害などそれぞれ特徴があり、必要な対策が検討されてきた。また、近年では免震構造等、被害を低減する技術も発達し、普及してきている。

<参考文献>

大橋雄二(1993), 日本建築構造基準変遷史, 日本建築センター.

日本建築学会(2001改訂), 建築法規用教材, 丸善.
鹿島都市防災研究会(1996), 建築物の地震被害, 鹿島出版会.

大崎順彦(1983), 地震と建築, 岩波書店.

阪神・淡路大震災調査報告編集委員会(1998), 阪神・淡路大震災調査報告, 丸善.

日本建築学会(2011), 2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報, 社団法人日本建築学会.

国立天文台編(2021), 理科年表 2022, 丸善.

熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会(2016), 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.

国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所・一般財団法人ベターリビング・地方独立行政法人北海道立総合研究機構(2018), 平成30年(2018年)北海道胆振東部地震による建築物の基礎・地盤被害に関する調査報告(第1編:札幌市清田区里塚地区の悉皆調査).

