

第1章 地震・震害・耐震の基礎知識

－ Q 1 －

最近起こった地震は、どんな地震だったのですか？
また、どのような被害が生じていますか？

－ A －

最近約20年間に日本で起こった大きな地震についての被害の特徴を表1-1にまとめます。

1948年福井地震を契機として新設された「震度7」が適用された4つの地震が発生しています。

1995年（平成7年）1月17日に起こった「兵庫県南部地震」は、震源が浅く、また、淡路島と神戸市の南部の人口密集地域を直下から襲撃したため、同島北部から宝塚市に至るベルト状地域を中心に、戦後最大規模の災害をもたらしました。この地震で、多くの都市構造物、建築物が破壊され、また、神戸市長田地区など、古い木造家屋が密集した地域には、家屋の圧壊が着火・延焼につながり、大火災によっても多大な人命と財産が失われました。

また、2004年（平成16年）10月23日に起こった「新潟県中越地震」は、地震の規模を表すマグニチュード（M）が6.8と通常日本付近では年1～2回起こっても不思議はない程度の地震でしたが、大きな災害を引き起こしました。特に、山間部の農村地域に起こり、大雪による建築物の圧壊など2次災害が心配されました。

2011年（平成23年）3月11日に起こった「東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）」は、宮城県牡鹿半島の東南東沖130km、仙台市の東方沖70kmの太平洋の海底を震源とし、岩手県沖から茨城県沖までの南北約500km、東西約200キロメートルのおよそ10万km²という広範囲全てが震源域とされる地震の規模がモーメントマグニチュード（M_w）9.0と日本周辺における観測史上最大の地震でした。最大震度は宮城県栗原市で震度7を、宮城・福島・茨城・栃木の4県36市町村と仙台市内で震度6強を観測しました。東北地方～関東地方の太平洋沿岸部に巨大津波（最大遡上高40m）が発生し、多大な人命と財産が失われ、福島第一原子力発電所1, 2, 3号炉でメルトダウン発生するなど未曾有の災害をもたらしました。また、北海道南岸～関東南部に至る広大な範囲で地震の揺れや液状化現象、地盤沈下、ダムの決壊などによる被害が発生しました。

ライフラインは寸断され、震災発生直後の避難者40万人以上、停電は800万世帯以上、断水は180万世帯以上にのぼりました。

2016年（平成28年）4月14日から群発した「熊本地震」は、内陸部の地震でM6.5以上の地震の直後にさらに大きな地震が発生したのは、日本の地震観測史上（明治18年（1885年）～）熊本地震が初めてであり、一連の地震で震度7が2回観測されたのは、現在の気象庁震度階級（1996年～）で熊本地震が初めてでした。益城町など布田川・日奈久断層帯に沿って、および周辺の河川に沿って家屋の倒壊、土砂災害があり被害が集中し、多大な人命と財産が失われました。

写真1-1～4 に兵庫県南部地震、十勝沖地震、新潟県中越地震によるビルディング、道路橋、タンク、鉄道の被害例を示します。

地震現象の解説や被害状況については、多くの出版物やビデオなどが発行されています。

表 1-1 日本における最近の地震被害の特徴

地震名	発生年月日	マグニチュード (M)	地震被害の特徴
熊本地震	2016. 4. 16 (平成 28 年)	7. 3	死者 161 人、負傷者 2, 692 人、全壊 8, 369 棟、半壊 32, 478 棟。地すべり、がけ崩れ、道路・鉄道の寸断、田畑の地割れ、新幹線の列車脱線、高架橋の損傷、ライフラインの被害など。
東北地方 太平洋沖地震 (東日本大震災)	2011. 3. 11 (平成 23 年)	9. 0 (Mw)	死者 19, 475 人、方不明者 2, 587 人、負傷者 6, 221 人、住家被害 全壊 121, 744 棟、半壊 279, 107 棟、非住家被害 公共建物 14, 562 棟、その他 91, 895 棟。広大な範囲で被害(北海道南岸～関東南部)。東北地方及び関東地方の太平洋沿岸部に津波が発生。道路、鉄道の被害、鉄筋コンクリート造建物の圧壊、倒壊、木造建物の圧壊、流出。同時多発火災の発生、ライフラインの全面停止。港湾施設の壊滅的被害。福島第一原子力発電所原子炉のメルトダウン。液状化現象、地盤沈下、ダムの決壊など。
岩手県沿岸 北部地震	2008. 7. 24 (平成 20 年)	6. 8	死者 1 人、負傷者 211 人。建物の天井落下、窓ガラスの破損、停電、断水、落石による道路の通行止め、列車の運休など。
岩手・宮城 内陸地震	2008. 6. 14 (平成 20 年)	7. 2	死者 17 人、不明者 6 人、負傷者 426 人、全壊 30 棟、半壊 146 棟。山体崩壊、土砂崩れ、河道閉塞など。
新潟中越沖 地震	2007. 7. 16 (平成 19 年)	6. 8	死者 15 人、負傷者 2, 346 人、全壊 1, 331 棟、半壊 5, 708 棟。原子力発電所の火災、ライフラインの被害、自動車工場の被害など。
能登半島地震	2007. 3. 25 (平成 19 年)	6. 9	死者 1 人、負傷者 356 人、全壊 686 棟、半壊 1, 740 棟。道路の崩落、ライフラインの寸断、漁港などでの液状化など。
福岡県 西方沖地震	2005. 3. 20 (平成 17 年)	7. 0	死者 1 人、負傷者 1, 204 人、全壊 144 棟、半壊 353 棟。離島での建物被害、窓ガラスの飛散など。
新潟県 中越地震	2004. 10. 23 (平成 16 年)	6. 8	死者 68 人、負傷者 4, 805 人、全壊 3, 175 棟、半壊 13, 810 棟。地すべり、がけ崩れ、道路・線路の寸断、田畑の地割れ、新幹線の列車脱線、高架橋の損傷、ライフラインの被害、電子部品工場の被害など。
十勝沖地震	2003. 9. 26 (平成 15 年)	8. 0	行方不明 2 人、負傷者 849 人、全壊 116 棟、半壊 368 棟。液状化による港湾地区の被害、原油・ナフサタンクの火災など。
芸予地震	2001. 3. 24 (平成 13 年)	6. 7	死者 2 人、負傷者 228 人、全壊 70 棟、半壊 774 棟。港湾施設、道路の被害、地すべり、がけ崩れ、ボイラアンカボルト破損。
鳥取県 西部地震	2000. 10. 6 (平成 12 年)	7. 3	負傷者 82 人、全壊 435 棟、半壊 3, 101 棟。老朽瓦屋根木造建物の倒壊、山間部での斜面崩壊、落石、沿岸部での液状化による地盤被害、都市部でのライフライン被害など。
兵庫県 南部地震	1995. 1. 17 (平成 7 年)	7. 2	死者 6, 434 人、負傷者 43, 792 人、全壊 104, 906 棟、半壊 144, 274 棟。高架道路、高架・地下鉄道の被害、鉄筋コンクリート造建物の圧壊、倒壊、木造建物の圧壊、同時多発火災の発生、ライフラインの全面停止、港湾施設の壊滅的被害など。
北海道 南西沖地震	1993. 7. 12 (平成 5 年)	7. 8	死者 202 人、全壊 594 棟。津波による人的被害、建物の倒壊など。

－ Q 4 －

地震の大きさ、地震動の強さはどのように決められているのですか？

－ A －

一般に発生した一つの地震の規模の大きさを表わす数値をマグニチュードといい、Mで表します。このマグニチュードは地震によって発散されるエネルギーの大きさを示す数値ともいえますが、ある地震が起こったときの全エネルギーを測定することは不可能です。そこで、震源からある一定の地点における最大の変位のゆれ幅（振幅といいます）を目安にしてマグニチュードが決められています。日本では、気象庁により以下の式が示されています。

①変位振幅による場合

$$M_D = 0.5 \times \log(A_N^2 + A_E^2) + \beta_D(\Delta H) + C_D$$

②速度振幅による場合

$$M_V = 1/0.85 \times \log A_Z + \beta_V(\Delta H) + C_V$$

これらの式で、 A_N 、 A_E は南北方向、東西方向における水平地震動の変位の最大振幅(10^{-6} m)、 A_Z は上下地震動の速度の最大振幅(10^{-5} m/s)、 ΔH は各々その地点と震央(震源の真上点)との距離(10^3 m)、震源の深さ(10^3 m)です。

また、 β_D 、 β_V は ΔH の関数(距離減衰項)、 C_D 、 C_V は補正係数です。

変位振幅によるマグニチュードの式の第1項は、以前は水平二方向の波形を合成したものの最大振幅を用いて表されていましたが、2003年に上記した形で標記されるようになりました。

MとエネルギーE(単位：J(ジュール))との関係は、

$$\log E = 4.8 + 1.5M$$

この式から、Mが1.0大きいとエネルギーは約32倍、2.0大きいと約1,000倍の差がでることになります。例えば、M=5.0の地震が約1,000回起こってM=7.0の地震1回に相当することになります。図1-5は、日本近辺で生じた主な地震をMの大きさに分けて示したものです。Mの大きい地震が主として太平洋側に集中していることがわかります。

一方、地震動は地震計（特に強震計）によって加速度で記録されることが多く、この場合、記録波の振幅の最大値がその地震動の大きさの目安になります。単位はガル(Gal : cm/s^2)で表わされます。図1-6は、1995年（平成7年）1月17日の兵庫県南部地震における神戸海洋気象台での記録ですが、このように地震動は水平2方向と垂直方向の3点セットで記録されるのが普通で、各方向により最大値の発生時刻が異なります。最大速度 (cm/s)や最大変位 (cm)の大きさも加速度からの積分計算で得ることができます。加速度、速度、変位の最大値の生起時刻も異なるのが普通です。図1-7は、兵庫県南部地震における水平加速度の最大値の分布状況を推定したものです。

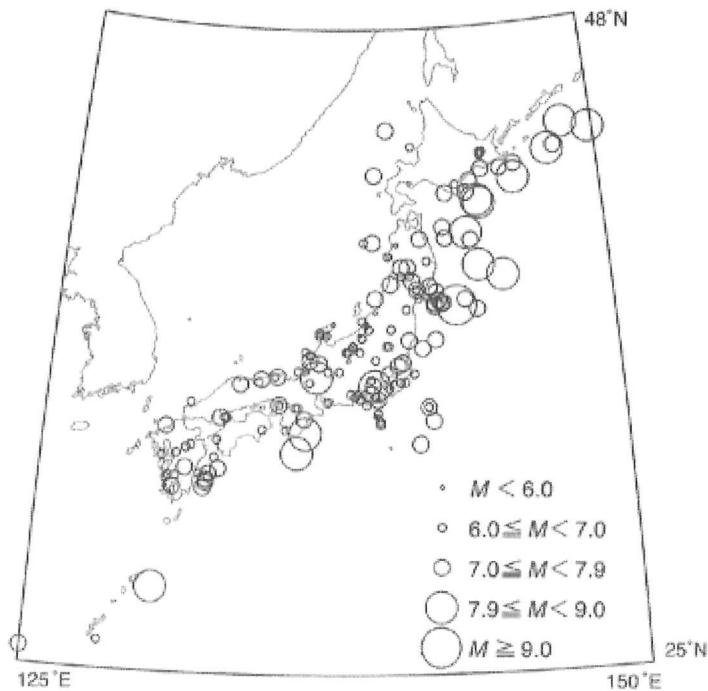


図1-5 日本付近の主な地震の震央(1885年以降, 理科年表(平成27年)より)

－Q5－

震度と改定された震度階について教えてください。

－A－

一般に「震度」という用語には2種類の意味があり、ひとつは、ある地点における地震動の大きさを示す数値、他のひとつは耐震設計計算に使われる係数で、地震動の最大加速度を重力の加速度($g=980$ ガル)で割った値です。

震度階級（震度階ともいう。）に出てくる震度は前者です。震度階級も国際的にはいくつかの種類がありますが、日本では、従来(兵庫県南部地震以前)は気象庁震度階級として、0からⅦの8段階に分かれていました。この「従来震度」は、観測担当者が体感などから判断して推定しており、それぞれの階級に対応する最大加速度も想定されていました。例えば震度Ⅴは“強震”といわれ80～250ガル、震度Ⅶは“烈震”といわれ250～400ガルに相当するとされてきました。

しかし、従来の震度階級には次のような弱点がありました。

- ① 震度Ⅶと判断するための記述がⅥまでの7段階の表現と異なっており、兵庫県南部地震のときに震度の決定の際に混乱を生じることがありました。特に、震度の発表には速報性が要請されるので、震度を計測によって決定する方法が必要であるとの声が高まりました。
- ② 震度ⅤとⅦについては、従来からその適用範囲が広すぎ、この区分けでは防災対策をとる時にも支障があるとの指摘がありました。このことは、兵庫県南部地震後に特に大きな問題となりました。

こうした背景から、気象庁は「従来震度」を大幅に見直し、新しい震度階級を1996年4月から実施しました。この震度階級は、震度計に記録された地震動の大きさ（計測震度）を基にしたもので、震度ⅤとⅦは、それぞれ強と弱の2階級に分けられ、震度5弱、5強、6弱、6強と4クラスとなりました。新しい震度階級が定められたことから、1996年10月に関連解説表が示されましたが、内容が実情と合わなくなった場合変更することになっており、2008年の岩手・宮城内陸地震などその後の地震被害をもとに、2009年3月、より実態に近いものに改正されました。その中の「人間の体感・行動」の部分を表1-2に示します。

表1-2 気象庁震度階級関連解説表 (抜粋)

震度階級	人の体感・行動
0	人は揺れを感じないが、地震計には記録される。
1	屋内で静かにしている人の中には、揺れをわずかに感じる人がいる。
2	屋内で静かにしている人の大半が、揺れを感じる。眠っている人の中には、目を覚ます人もいる。
3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。歩いている人の中には、揺れを感じる人もいる。眠っている人の大半が、目を覚ます。
4	ほとんどの人が驚く。歩いている人のほとんどが、揺れを感じる。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。
5弱	大半の人が、恐怖を覚え、物につかまりたいと感じる。
5強	大半の人が、物につかまらなると歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる。
6弱	立っていることが困難になる。
6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。揺れにほんろうされ、
7	動くこともできず、飛ばされることもある。