

マグニチュードは最初アメリカの地震学者リヒターが考案した尺度であり、震源から放出される地震波のエネルギー総和を間接的に表現する手段として用いた。震源から100km離れたところにある特定の種類の地震計が記録した針の最大の振れ幅の大きさを、マグニチュードとした。ただし、実際には、地震計が震源からちょうど100km離れたところにあることはまずないので、距離によってマグニチュードの値を修正している。

マグニチュードという値を定義するときにリヒターが工夫したことは、地震の揺れは小さいものから大きいものまでさまざまなので、最大の振れはばの大きさをそのまま数字で表すのではなく、その数字のケタ数をマグニチュードとしたことにより、巨大地震のマグニチュードも少ないケタ数で表せた。リヒタースケールと言われている。

本来、マグニチュードはカリフォルニアに起こる浅い地震を対象としていたため、震源の深度は無視されている。その後の地震の研究で改良されて、現在7種類のマグニチュードが提案されているが、日本で普通に用いられているマグニチュードは、気象庁マグニチュードであり、日本周辺で起こる地震を日本で観測したときに最も無理なく表現できるように改良されたものが使用されている。通常、この気象庁マグニチュードをMで表す。

マグニチュードが1増えると、地震のエネルギーは約32倍になる。2増えれば、エネルギーは32倍の32倍で1000倍になる。つまり、M8の巨大地震（1923年の関東大震災を引き起こした関東地震はM7.9）のエネルギーは、マグニチュード6の中規模の地震1000回分に相当することになる。

例えば、富士山を持ち上げるときのエネルギーを考えてみると、M8の地震のエネルギーは2兆トン（仮定）の富士山を3mほど持ち上げるエネルギーに相当する。また、電力を例にすると、出力175万kWの発電所が1年間に発電する電力に等しいエネルギーである。

通常、マグニチュードMの大きさによって、Mが7以上を「大地震」、5以上7未満を「中地震」、3以上5未満を「小地震」、1以上3未満を「微小地震」、1未満を「極微小地震」に分類している。特に、M7.8程度以上を「巨大地震」と呼んでいる。ちなみに、観測史上最大の地震は、1960年のチリ地震で、この地震のマグニチュード（巨大地震の規模を表すの適したモーメントマグニチュード M_w ）は9.5だった。

表1に代表的な地震のマグニチュードとその被害及びその被害を学び耐震基準等へ及ぼした影響を示す。

表 1 代表的地震と耐震基準の変遷

年	月	日	地震	マグニチュード	法規・規準等	備考
1891	10	28	濃尾地震	M8		れんが造の被害が大であった
1892						震災予防調査会が設立される
1914					「家屋耐震構造論」(佐野利器)	設計震度が提案される
1919					市街地建築物法の公布 (1920年施行)	建物の高さは100尺以下と定められる
1922					「架構建築耐震構造論」 (内藤多仲)	たわみ角法が紹介される
1923	9	1	関東大地震	M7.9		建物の被害が大であった
1924					市街地建築物法の改正	水平震度0.1が導入される
1933					鉄筋コンクリート構造計算規準の発表	耐震設計の具体的な計算法が提案される
1933	3	3	三陸地震	M8.1		津波の被害が大であった。津波高さ28.7m
1941				M8.0	鉄骨造計算規準の発表	
1944	12	7	南海地震	M7.9		
1946	12	21	南海地震	M8.0		
1947					日本建築規格3001号	長期・短期の導入、震度を0.2以上にする
1948	6	28	福井地震	M7.1		この後震度 が生まれた
1950					建築基準法の制定	設計震度が改定される
1952	7	21	カーンカソテイ地震	M7.7		
1963					建築基準法の改正	高さ制限が撤廃される
1964	6	16	新潟地震	M7.5		液状化による被害が大であった 石油貯槽の震害
1964			アラスカ地震			
1968	5	16	十勝沖地震	M7.9		短柱にせん断破壊がみられた
1970					建築基準法施行令の改正 (1971年施行)	せん断補強筋法が強化される
1971	2	9	ザンフェルナド地震	M6.4		ジャンプ 13道路橋落下
1971					鉄筋コンクリート構造計算規準の改定	せん断補強筋法が強化される
1974	5	9	伊豆半島沖地震	M7.0		
					KHK: コンビナート保安防災指針	設備産業施設耐震基準が提案される
1978	1	14	伊豆大島近海地震	M7.0		
1978	6	12	宮城県沖地震	M7.4		都市型の地震災害を引き起こした 石油貯槽の震害(貯槽隅内部破損)
1978					大規模地震対策特別措置法	
1980					建築基準法施行令の改正 (1981年施行)	新耐震設計法が制定される
1981					高圧ガス設備等耐震設計基準	設備産業施設耐震基準の制定 (地表 300 Gal)
1983	5	26	日本海中部地震	M7.7		液状化の被害がみられた スロッシングによる浮屋根破損及び火災
1987			千葉県東方沖地震	M6.7		
1989	11	17	ロマリアータ地震	M7.1		高速道路の損傷、ライフラインの被害
1990					容器構造設計指針	
1993	1	15	釧路沖地震	M6.8		
1993	7	12	北海道南西沖地震	M7.8		津波の被害が大であった
1994	1	17	ノースリッジ地震	M6.8		Q3高速道路落下
1994	10	4	北海道東方沖地震	M8.1		
1994	12	28	三陸はるか沖地震	M7.5		アスファルトタンクの象の足座屈
1995	1	17	兵庫県南部地震	M7.2		都市直下型地震で、被害が基大であった
1996					容器構造設計指針改訂	
1997					高圧ガス設備等耐震設計基準改定	高レベル地震動・配管設計基準追加 (レベル1地震: 300 Gal、レベル2地震: 600 Gal)
1999	8	17	トルコ-コジャエリ地震	M7.4		石油精製設備炎上
1999	9	21	台湾-集集地震	M7.6		
2000					高圧ガス設備等耐震設計指針改定	レベル2指針
2000	10	6	平成12年鳥取県西部地震	M7.3		
2001	3	24	平成13年芸予地震 M6.7	M6.7		
2003	5	26	宮城沖地震 M7.0	M7		
2003	7	26	宮城県北部地震 M5.5	M5.5		
2003	9	26	平成15年十勝沖地震	M8.1		石油貯槽の震害 (浮屋根損傷、火災、崩壊)

震度階級

震度階級は、ある地点での地震の揺れの強さを表す。震度階級は略して単に震度ということもある。ある地点の揺れは、地震のエネルギー規模（マグニチュード）だけでなく、震源からその地点までの距離、震源の深さ、伝播経路、その地点周辺の地盤条件等に左右される。

ある地点の震度階級を考えると、一般には他の条件が同じならマグニチュードが大きいほど震度階級は大きい値となる。一方、直下型地震では、マグニチュードがさほど大きくなくても、震源から距離の近い周辺では震度階級が大きく、狭い範囲に大きな被害をもたらすことがある。

従来、震度階級は気象官署の担当官の体感と周囲の状況から表 2 により判定して決めていた。

表 2 (旧)気象庁震度階級(1949)

震度	呼称	説明
0	無感	人体に感じないで地震計に記録される程度。
1	微震	静止している人や特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震。
2	軽震	大ぜいの人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかる程度の地震。
3	弱震	家屋がゆれ、戸障子がガタガタと鳴動し、電灯のような吊り下げ物は相当ゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。
4	中震	家屋の動揺が激しく、すわりの悪い花びんなどは倒れ、器内の水はあふれ出る。また、歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震。
5	強震	壁に割れ目が入り、墓石・石どうろが倒れたり、煙突・石垣などが破損する程度の地震。
6	烈震	家屋の倒壊は30%以下で、山くずれが起き、地割れを生じ、多くの人が立っていることができない程度の地震。
7	激震	激震 家屋の倒壊が30%以上に及び、山くずれ、地割れ、断層などを生じる。

平成 7 年の兵庫県南部地震の経験により気象庁震度階級には次のような問題点があることが指摘された。

- (1) 当初最大の震度階級が 6 と発表され、被害状況の調査のあと一部の地域が震度階級 7 に認定された。震度 7 の判定法は、被害の詳細な調査を必要とし、判定までに相当の時間を要するため、災害応急対策等に利用する災害情報としては適切な判定方法とは言い難い。
- (2) 震度 5 以上の状況は、幅が大きすぎるためにきめ細かい防災への対応に適切でない。
- (3) 判定基準が、都市を中心としたライフライン、建築物の耐震化、高層化など生活環

境の大きな変化に対応していない。

気象庁はこのような状況を改めるため、平成 8 年気象庁告示第 4 号にて、次のように改正した。

- (1) 震度階級を計測震度より求めるようにした。

表 3 上欄の計測震度の値に応じて、下欄の震度階級を定める。

表 3 震度階級

計測震度	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5	5.5	6	6.5	
震度階級	0	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7

計測震度は、震度計により計測された加速度、周期、継続期間から体感や建築被害との相関が高くなるように定められたアルゴリズムに従い計算して得られる。

計測震度は、全国各地に展開されている約 600 箇所の計測震度観測点の震度計の記録を自動的に計測震度に変換することによって得られる。(計測震度計)

- (2) 従来の震度階級 5 と 6 を弱と強に細分して 8 階級から 10 階級とした。
- (3) また、従来の震度階級表にあった「障子が鳴動する」などの表現や微震、軽震、弱震、強震などの名称は廃止され、新しく「気象庁震度階級関連解説表」(表 4) が作成された。同解説表には、震度階級と実際にどのような現象、被害が発生するかの関係が示されているが、震度階級は計測震度によって決定されるものであり、この表に記述されている現象から決定されるものではない。

新しい震度階級は平成 8 年(1996)10 月から適用され、例えば 6.5 以上の計測震度が観測されるならば、地震直後のテレビの画面に震度階級 7 が表示される。

震央距離 100km のところの震度階級でマグニチュードを表す方法(河角廣、1943)や震度階級 5 以上の地域の面積からマグニチュードに換算する方法(村松、1969)によって、震度階級の分布とマグニチュードの関係が得られ、古文書の地震被害状況から地震計がなかった時代の地震についてもマグニチュードを推定することができる。

マグニチュードと震度の違いは電球に例えて説明する。

電球には「100W(ワット)」というような値が書いてある。この値は、電球がどれだけ電力(エネルギー)で発光するかを示すもので、この値が大きいほど明るくなる。

しかし、実際に本を見るとき、自分のいる位置にどれだけ光が届くかによって見え方が違う。明るい道路の水銀灯でも、100m も離れたところでは暗くて、その光で字を読むことが出来ない。反対に、小さな懐中電灯でも、近くから照らしてやれば、読むことができる。このようにある地点における明るさは、ワットではなくルクスという単位で表わされる。さて、ここで地震の場合、ワットがマグニチュードに、ルクスが計測震度に対応する。

いくらマグニチュードが大きな地震でも、その地震が遠くで起こったものであれば、震度は小さ値となる。マグニチュードが小さくても、その地震震源の近くでは、震度は大きい。

表 4 気象庁震度階級関連解説表 (平成 8 年 2 月)

震度階級	人間	屋内の状況	屋外の状況	木造建物	鉄筋コンクリート	ライフライン	地盤・斜面
0	人は揺れを感じない						
1	屋内に居る人の一部が、わずかな揺れを感じる。						
2	屋内に居る人の多くが、揺れを感じる。眠っている人の一部が、目を覚ます。	電灯などのつり下り物が、わずかに揺れる。					
3	屋内に居る人のほとんどが、揺れを感じる。恐怖感を覚える人もいる。	棚にある食器類が音を立てることがある。	電線が少し揺れる。				
4	かなりの恐怖感あり。一部の人は身の安全を図ろうとする。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。	つり下り物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が倒れることがある。	電線が大きく揺れる。歩いている人も揺れを感じる。自動車を運転していて、揺れに気づく人がいる。				
5弱	多くの人が、身の安全を図ろうとする。一部の人は、行動に支障を感じる。	つり下り物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置物の多くが倒れ、家具が移動することがある。	窓ガラスが割れて落ちることがある。電柱が揺れるのがわかる。補金されていないブロック塀が崩れることがある。道路に被害が生じることがある。	耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁などに亀裂が生じるものがある。	安全装置が作動し、ガスが遮断される家庭がある。まれに水道管の被害が発生し、断水することがある。 [停電する家庭もある。]	軟弱な地盤で、亀裂が生じることがある。山地で落石、小さな崩壊が生じることがある。
5強	非常に恐怖を感じる。多くの人が、行動に支障を感じる。	棚にある食器類、書棚の本の多くが落ちる。テレビが台から落ちることがある。タンスなど重たい家具が倒れることがある。変形によりドアが開かなくなることがある。一部の戸が開く。	補金されていないブロック塀の多くが崩れる。掘立付が不十分な自衛防火機が倒れることがある。多くの墓石が倒れる。自動車の移動が困難となり、停止する車が多い。	耐震性の低い住宅では、壁や柱がかなり破損したり、傾くものがある。	耐震性の低い建物では、壁・梁(はり)、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。耐震性の高い建物でも、壁などに亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生することがある。 [一部の地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
6弱	立っていることが困難になる。	固定していない重い家具の多くが移動、転倒する。開かなくなるドアが多い。	かなりの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものがある。耐震性の高い住宅でも、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁や柱が破壊するものがある。耐震性の高い建物でも、壁・梁(はり)、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生する。 [一部の地域でガス、水道の供給が停止し、停電することもある。]	地震れや山崩れなどが発生することがある。
6強	立っていることができず、はげしい動きができない。	固定していない重い家具のほとんどが移動、転倒する。戸が開かれて飛ぶことがある。	多くの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補金されていないブロック塀のほとんどが崩れる。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものが多い。耐震性の高い住宅でも、壁や柱がかなり破損するものがある。	耐震性の低い建物では、倒壊するものがある。耐震性の高い建物でも、壁・柱が破損するものがある。	ガスを遮断・送るための導管、水道の配水施設に被害が発生することがある。 [一部の地域で停電する。広い地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
7	揺れにほんろうされ、自分の意志で行動できない。	ほとんどの家具が大きく移動し、飛ぶものもある。	ほとんどの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補金されているブロック塀も破損するものがある。	耐震性の高い住宅でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	耐震性の高い建物でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	[広い地域で電気、ガス、水道の供給が停止する。]	大きな地盤陥、地すべりや山崩れが発生し、地形が変わることもある。

* ライフラインの [] 内の事項は、電気、ガス、水道の供給状況を参考として記載したものである。

最大加速度及び最大速度

耐震設計で用いる特定の場所での地震の強さは、そこで計測された地震波の最大加速度で表すことが一般的に行われている。加速度の単位は、SI単位系で cm/s^2 で表される。地震関係ではGal（ガル）という単位が使用されることが多い。1 Gal = 1 cm/s^2 である。Galはイタリアの天文学者ガリレオ・ガリレイ（Galileo Galilei）の頭3文字を取ったものである。

最大加速度（Gal）が大きくても建物の被害が少なかったり、またその逆だったりするのに対し最大速度で見ると被害の状況とほぼ一致することが経験的に知られるようになり、最近では地震の大きさの尺度として最大速度を使うようになってきた。

地震動の場合、速度は、一秒間にどれだけ変位したかを観測しこれをkine（カイン）の単位で表す。すなわち、1kine = 1 cm/s と定義する。

地球上である物体を自由落下させると、空気の抵抗がないとき、重力の加速度は980 Galであり、落下する速度は毎秒980kineずつ増していくといえる。

兵庫県南部地震では最大818 Galが観測された。このときの最大速度は最大92kineであった。通常地震動の場合、最大速度は加速度の値の1/10程度となる。

耐震設計で用いられる設計地震動の強さは、通常は地表面における最大加速度又は最大速度で、Gal又はkineで表される量で定義する。また、設計震度は最大加速度を980 Galで除した値である。設計震度0.3といえは $0.3 \times 980 = 294$ （約300）Galである。耐震設計における震度（設計震度）と気象庁の震度（震度階級）は異なる概念である。

気象庁の震度は、前述したように震度計で計測される計測震度から設定されるが、体感や建築被害との相関が高くなるように定められているため、物理的な最大加速度とは必ずしも対応関係はないが、1秒程度の固有周期をもつ構造物の場合の対応関係を表5に示す。1996年以前の旧気象庁震度階級と以降の震度階級をあわせて示している。両者は、意味合いが異なるので注意を要する。

表5 震度階と最大加速度対応

(1) 気象庁震度階級(1995)

計測震度	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5	5.5	6	6.5	
加速度(参考) Gal	0.5	1.9	6	19	60	100	200	330	600	
震度階級	0	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7

(2) (旧)気象庁震度階級(1949)

加速度 Gal	0.8	2.5	8	25	80	250	400				
震度階級	0										

さいごに

毎年1度くらいはマグニチュード6クラスの地震、10年に1度は7～8クラスの巨大地震が日本のどこかに来襲し、大きな影響を及ぼす。そうすると直ちに、テレビ、インターネットや新聞報道で地震の大きさ、強さなどの情報が報じられる。しかしながら、これらの情報は耐震設計の規定する数値とは直接関連せず、役に立つ情報とはならない。

今回は、一般の地震に関する情報と耐震設計の基本となる入力最大加速度との関連を解説した。実地震と耐震設計のための入力の大きさとの関係が理解できたと思う。

次回は、実地震の性格（動特性）を解説し、構造物がどのように応答するか、構造物の耐震設計を行うために地震動に関するどのようなデータが必要か、また、どのような方法により地震時の状態をシミュレーションするか等の耐震設計の基本的な方法の解説を行う。