

特集：熊本地震

熊本地震に思うこと

熊本保健科学大学
学長 崎元 達郎

1. 地震の被害

今回の熊本地震で亡くなられた方々のご冥福をお祈りし、被災された皆様に心からのお見舞いを申し上げます。

熊本地震の被害状況の一部を写真1～5に示す。



写真1 我が家の居間の状況



写真2 熊本城の石垣の崩壊



写真3 旧制第五高等学校本館 (左) と煙突の倒壊 (熊本大学内)

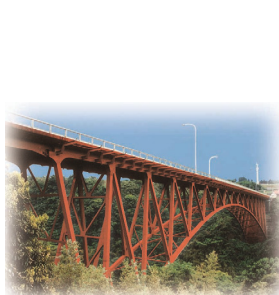


写真4 在りし日の阿蘇大橋と大橋崩落現場

写真5 眼鏡橋二俣橋の被災

小生が専門とする橋梁に関しては、震度7が2回襲った大地震の割には、被害はさほど大きくはなかったと考えている。緑川パーキングエリア付近で九州自動車道を跨ぐ「府領第一橋」(3径間PC中空床版橋、橋長約61m)が落橋し、高速道路をふさいだ。これは、**図1**に示すように、上下端がピボット支承(回転できる球座)のロックング橋脚2基(軸力だけを支え、横力に抵抗できない鋼円柱脚各3本からなる)のピボットが損傷したものと考えられる。

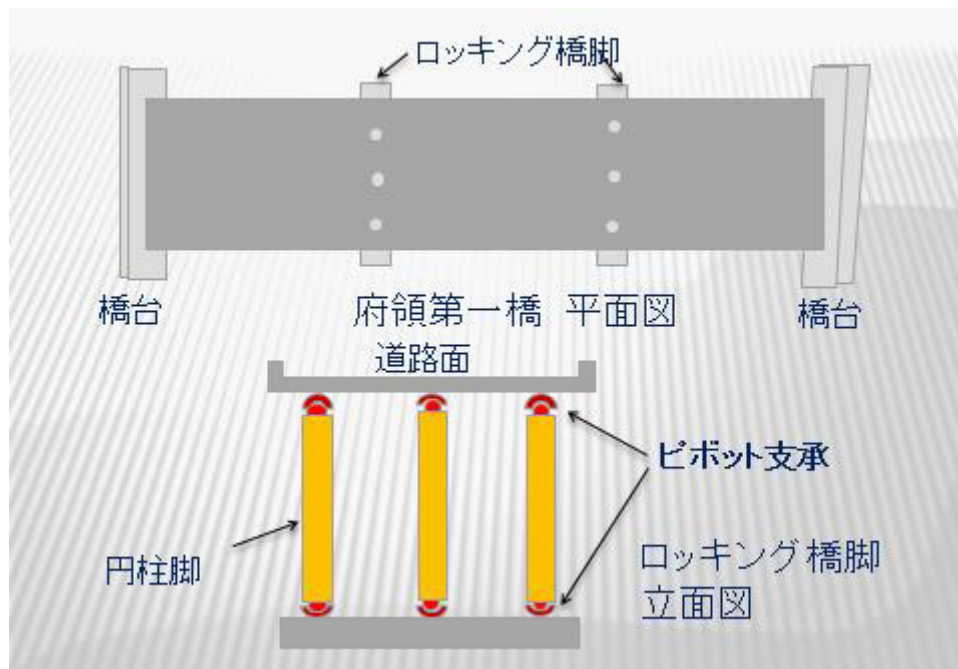


図1 ロックング橋脚の説明

熊本市内では、JR熊本駅の東で白川を渡る白川橋(下路式アーチ系の鋼ローゼ桁橋)のJR駅側のピン支承が破損し、橋台と取り付け道路との間で段差を生じ、全面通行止めになった。この他、多くの橋で橋台と取り付け道路との間で段差を生じた。この現象については、支持地盤まで杭を打って支えられている橋台は動かず、取り付け道路が沈下したためであると説明して、橋が動いたとの誤解を解いている。その他、**写真4**に示す阿蘇大橋の崩壊は大きく報じられたが、橋のある部位が損傷したというより、山崩れの土砂の重量と衝撃により崩壊したと考えられる。橋梁の被害についての詳細については、(社)日本橋梁建設協会の「熊本地震橋梁被害調査報告書」(平成28年10月)などを参照していただきたい。同報告書での調査結果の概要は以下のようである。¹⁾

- 1) 調査橋梁478橋の内、83橋(17%)に損傷が見られた。
- 2) 損傷した橋梁83橋について、橋梁全体の部位を対象とした場合の損傷割合は、「橋台」が40%、「支承部」が43%、「路面」が39%となっている。また、上部工のみの部位を対象とした場合には、「支承部」が64%、「伸縮装置」が43%で損傷割合が高い。(なお、1橋当たり複数の損傷部位が存在するので、数値の合計は100%以上となる)

2. 地震を知る

思うこと① 「日本においては、内陸直下型地震も、海洋性地震も、震度6以上の地震がいつでも起こり得る」と宣言した上で、より効果的な誤解のない警告・警報の方法を検討すべきである。

地震は、図2に示すように、マグマの上の100km程度の厚さのある海洋プレートが日本列島のあ
る陸側のプレートの下に沈み込むときのしわ寄せによって生じると言われており、活断層による内陸
直下型と海洋性のものがある。

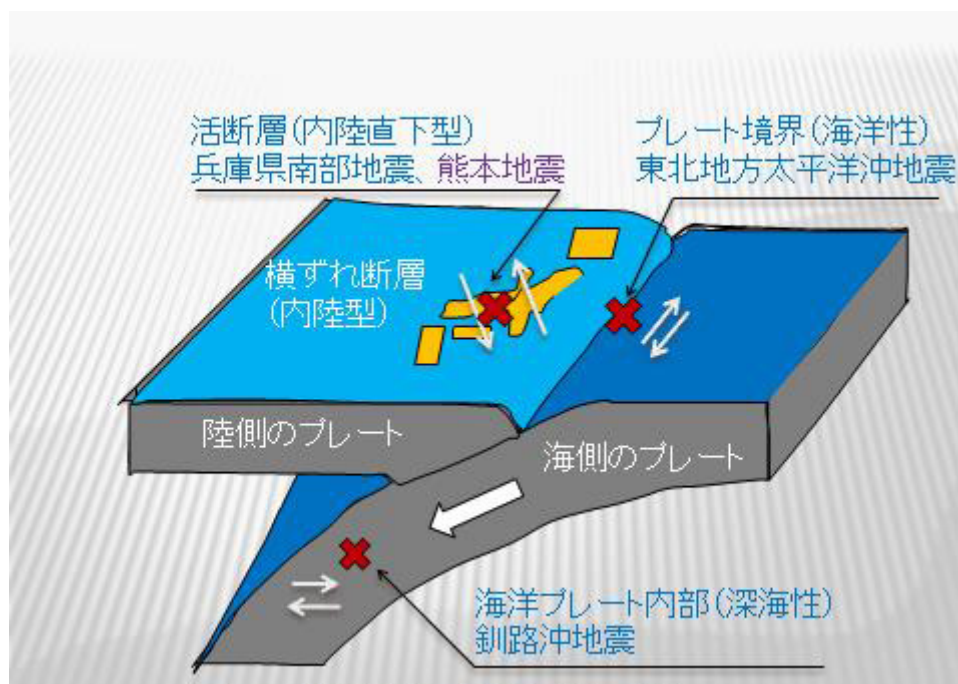


図2 地震はどのようにして起こるか

熊本地震は、兵庫県南部地震と同様に、内陸直下型である。ところで、地震がいつ起こるかを予知することは、現状では困難であるので、30年以内に発生する確率などの表現をとっていた。ちなみに、今回発生した熊本地震についての発生前の「今後30年以内に震度6以上の地震が起こる確率」は、熊本の布田川断層については、0～0.9%とされていた²⁾。兵庫県南部地震(1995年1月)の発生前における30年以内の発生確率も0.02～8%であった³⁾。一方、南海トラフなどで発生する海洋性地震が30年以内に発生する確率は、50～60%、首都直下型地震は70%程度と言われているが、いまだに発生していない³⁾。

結論として、今の科学技術では、地震の予知は全くできないと言ってよく、「30年以内の発生確率」の表現も、誤解を与えるので、「日本においては、内陸直下型地震も、海洋性地震も、震度6以上の地震がいつでも起こり得る」と宣言した上で、より効果的な誤解のない警告方法を検討すべきである(思うこと①)。

熊本地震後、2016年8月、政府は、活断層型の地震発生予測を発生確率が高い順にS(3%以上)、

A (0.1~3%)、Z (0.1%未満)、X (確率不明であるが発生を否定できない) の4ランクにおける方針をまとめた。しかしながら、海洋性地震の発生確率との差や一般市民が受け取る印象の問題は解決していない。

思うこと② 活断層直下型の地震では、P波・S波の到達時間差が1秒前後であるので、発生後の警報や列車停止システムは有効でなくなる。

地震は地盤を波となって伝わってくるが、その波には、図3に示すように粗密波・縦波(P波)と横波(S波)がある。P波(ガタガタという揺れ、Primary wave)の方がS波(ゆさゆさという揺れ、Secondary wave)より伝搬速度が速く、先に到達する。しかし、今回のような直下型地震であると、震源から近いので、伝達速度の速い縦波(P波)と遅い横波(S波)の到達時間の差がほとんどない。初期微動を感じるとすぐに、地震発生の警報が出されるが、横波による大きな横揺れが生じるまでの時間差が無ければ、有効ではない。

熊本の人は、大きな地震動を受けた後に、携帯電話から「地震です!地震です!」の警報音を聞いて、「何言ってんだ今さら」と思ったことでした。したがって、この到達時間差を利用している新幹線等の早期地震検知システムも有効でなく(震源が遠い海洋性の東日本大震災ではこれが機能したのだが)、新幹線営業中の時間に地震が発生していれば、相当の被害が出た可能性がある。発生時刻に関してのもう一つの不幸中の幸いは、阪神・淡路のように、食事の支度をする時間ではなかったので、火災が発生しなかったことである。

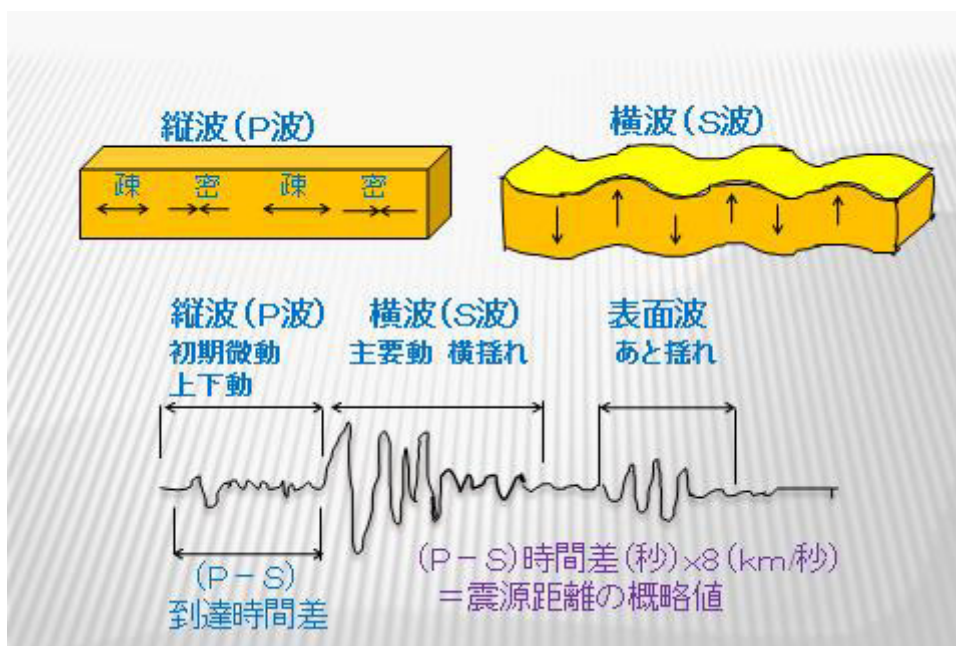


図3 地震波の伝わり方

3. 地震と建物

私は、地震など外力に対する構造物の強さを研究してきたが、その立場で、地震と建物に関する豆知識を少し紹介する。

思うこと③ 震度7の上下動は、無重力状態を発生させる。テレビが浮遊したり、冷蔵庫が移動しても何ら不思議ではない。

○ 揺れの大きさは、気象庁が定めた10段階の震度（階）で表されるが、震度（階）と地盤が揺れるときの加速度には図4の左側の図に示すような関係がある⁴⁾。地震波には、種々の周期の波が含まれているので、震度（階）と地盤の加速度は、一般に一对一の対応をしないが、理解しやすいように、周期0.4秒の地震波がしばらく継続した場合を仮定すると、その時の震度（階）と地盤の加速度の関係は、図4の右側の表のようになる。

すなわち、震度（階）が一段階上がるごとに地盤が揺れる時の加速度はほぼ倍になることが分かる。最大の震度7の時の地盤の加速度は、 1000cm/sec^2 (1.02G) 以上であるので、震度7の上下動であれば、地球の引力（重力加速度 $1\text{G} = 980\text{cm/sec}^2$ ）以上であるから、エアポケットのような無重力状態になり物体が浮遊することになる。水平の揺れであれば、ニュートンの法則により、この加速度 a に物体の質量 m を乗じた力 ($F = m \cdot a$) で押されるので、この力に耐えられなければ、転倒、倒壊することになる。

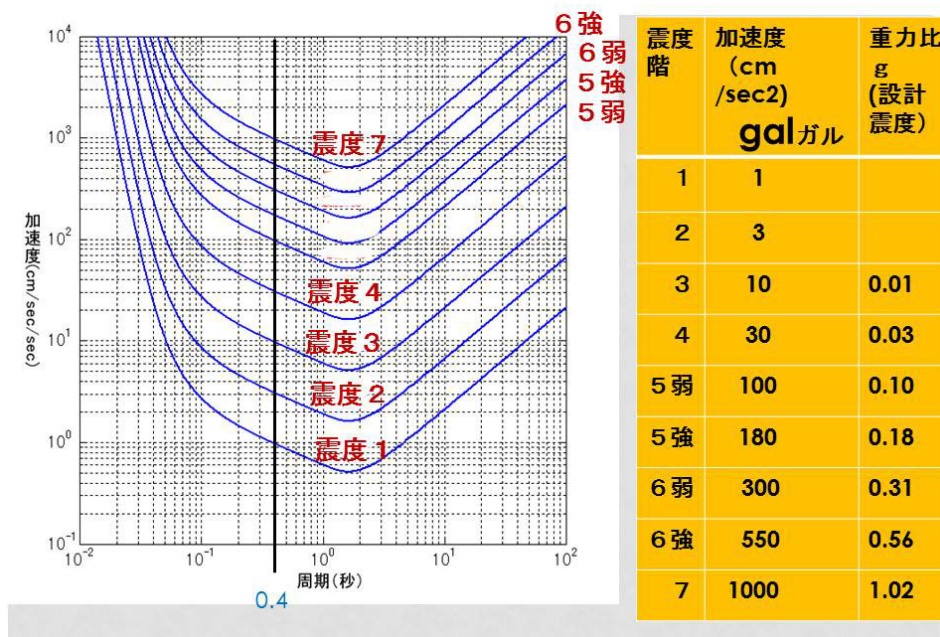


図4 震度階と地震の加速度

思うこと④ 今回の熊本地震のように、震度6強～7の前震で、倒壊はしないが損傷を受けて弱くなった状態に、震度6強～7の本震が生じるという場合は、設計上想定されておらず、人命を守ることができない。設計の考え方を変える必要があるのではないか？

○ 1981（昭和56）年以前に建築されたマンションなどの耐震性は保証されない。1981（昭和56）年以降の新耐震設計法で設計されたマンションなど（公共構造物も）は、震度5強（ $180\text{cm/sec}^2 = 0.18$

G) の揺れに対して損傷はせず、震度 6 強～震度 7 で損傷はするが倒壊せずに人命だけは守るとい
う設計の考え方によっている⁵⁾。しかしながら、今回のように、震度 6 強～震度 7 が 2 回連続する
と、1 回目で損傷した構造物は、2 回目の地震で倒壊しないことを保証していません。今回の被害
は、2 回目の本震で生じたものが多いようです。

○ 現在の耐震設計法は、ニュートンの力学を基本とした連続体の力学で行っているので、震源の遠
い海洋性の地震には、適用可能で有効であるが、構造物が建っている基礎や地盤そのものが、ずれ
たり、傾いたり、裂けたりすることは設計上想定していないので、設計や建物を過信してはいけな
い。

○ 建物の設計に用いる地震力は、「地震地域係数 z」により、低減できることになっている。この地
域係数 z は、過去の地震発生データを基に、日本の各地域ごとに 1.0～0.7 と定めたもので、関東、
中部、関西の大都市圏では 1.0、四国 4 県は 0.9、熊本、大分は 0.8～0.9、沖縄は 0.7 などとなっ
ている⁶⁾。今回の熊本地震で経験したように、どこでも震度 7 の地震が起こり得ることを考えると、
現在の地域係数は、問題を含んでいるので、最新の知見を基に改定すべきで、原則 1.0 以上にすべ
きと考える。

思うこと⑤ 直下型地震では、共振が起こる暇があるのかと疑問であるが、免震構造は効果があった
ようである。

○ 構造物や地盤が、震動する時には、固有の周期があり、地盤を伝わってきた地震波の周期が、構
造物の固有周期に一致したときに、その揺れ方が大きくなる。このことを共振という。地盤が振動
する時の周期は、一般に 1 秒以下であり、構造物の固有周期は、**図 5** に示すように木造住宅や、高
さ 5 m 以下の建物の固有周期は 1 秒以下であるので、共振しやすく、損傷を受けやすく、倒壊もし
やすい。高層のビルディングや、長い吊橋などは、固有周期が、数秒から 10 秒程度であるので、
共振はしにくいというのが、高層化が可能な理由である。今回の経験では、共振する暇もなく、最
初の一撃で壊れるような印象を持ったものの、後で聞くと、**図 6** に示すような免震構造のマンショ
ンなどはほとんど損傷がなかったとのことである。

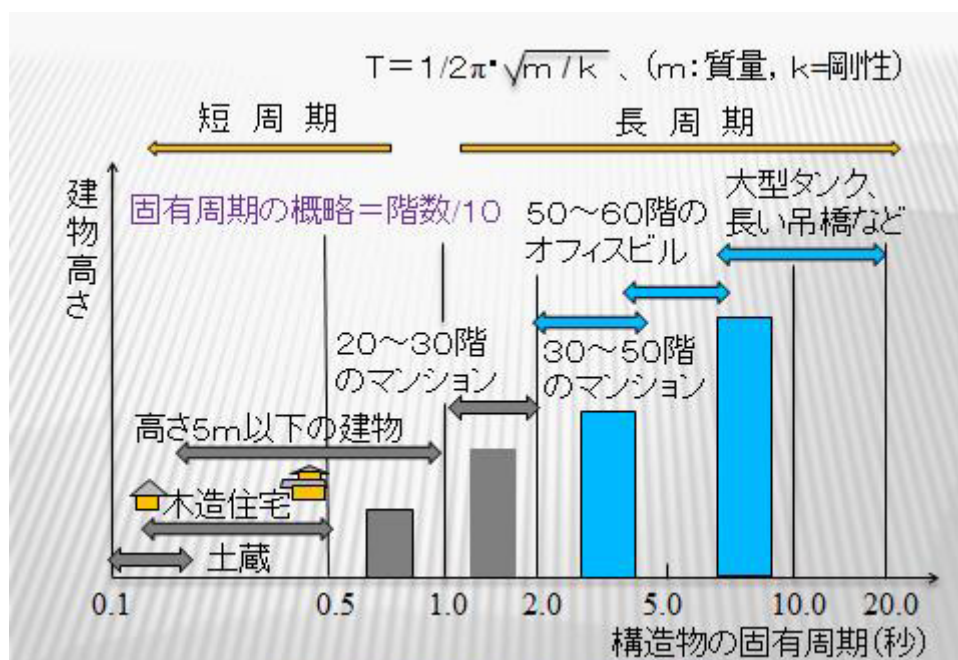


図 5 構造物の固有周期



図 6 免震構造

4. 地震に対する住宅の安全を考える上での一般的事項

1) 頭でっかち (Top Heavy) を避ける

平屋でも屋根の重い家は倒壊しやすいので、重い屋根の家は、壁の量を増やす必要がある。熊本など、九州は、古来、台風の通り道であったので、屋根が風で吹き飛ばされないように、重い屋根瓦で押さえるという感覚が働いているのではないかと思う。これが、地震にとっては、不利になったわけで、今後は、台風にも、地震にも強い家を立てなければならない。

思うこと⑥ 日本瓦の謎は本当か？

日本瓦について、興味深い話がある。少し古い伝統的日本家屋では、瓦をしっかり留めることはしておらず、地震の揺れが大きくなると、意図的にずれ落ちるようにしてあって、頭でっかちを回避して、倒壊を免れるというのである。このことを、学問的に確認していないのであるが、もし本当であれば、すごい技術であると思う。トカゲのように、尻尾を切らせて、生き延びる類の生きる知恵である。

2) ピロティ構造は要注意！

思うこと⑦ ピロティ構造は、本来は杭の上の高床式建物、地震の無い国フランスの産物であり、地震国日本では要注意！

図 7 に示すピロティ構造は、本来は、杭の上の高床式建物ですが、地震の無い国フランスの建築家ル・コルビジェが、多用して、有名になったものである。土地の狭い日本でも、マンションの 1 階部分を駐車場にするために、用いられたりしているが、熊本でもその多くは被災している。地震国日本で、この形式を用いるには、相当の注意が必要である



図 7 ピロティ構造は要注意

3) 建物をつくる材料としては、木、コンクリート、鉄の順に強くなる

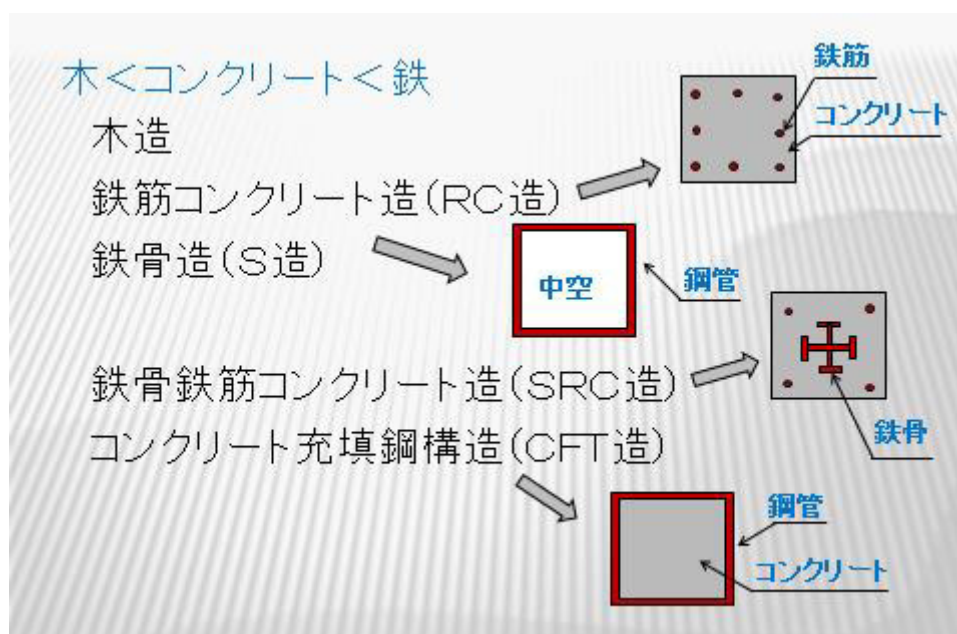


図 8 建築材料

4) 家を建てる土地が、盛土（もりど）か切土（きりど）か、埋め立てかぐらいは気に留めよう

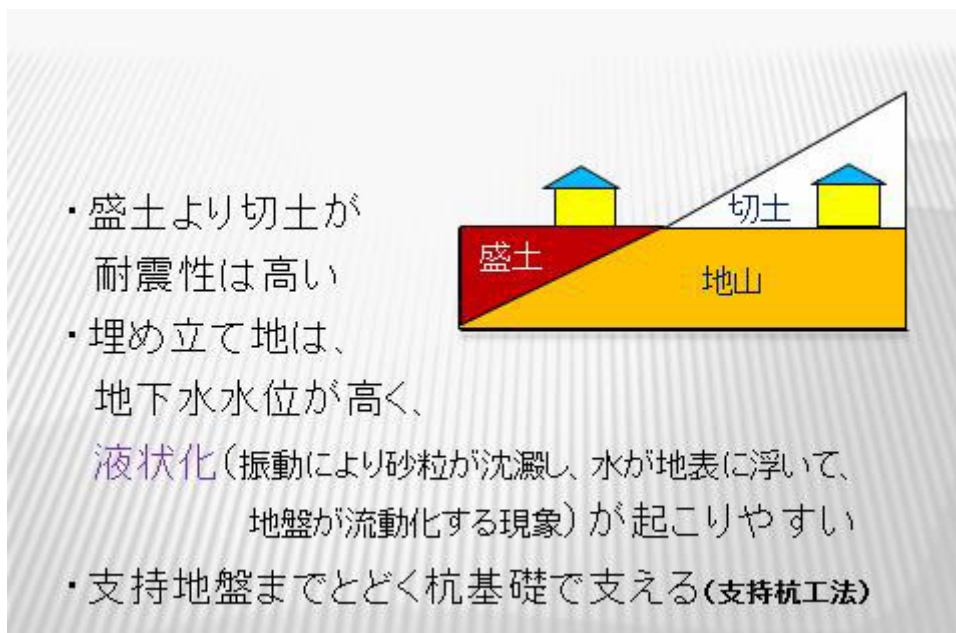


図9 盛土、切土、埋め立て

5) 室内の耐震対策

- ・家具の転倒被害は、5階程度の建物であれば、上層階ほど揺れが大きく転倒しやすい。
- ・床材別では、じゅうたん>畳>フローリング の順に転倒被害が多い。
- ・図10に示すように、細長く、背の高い物ほど転倒しやすい。

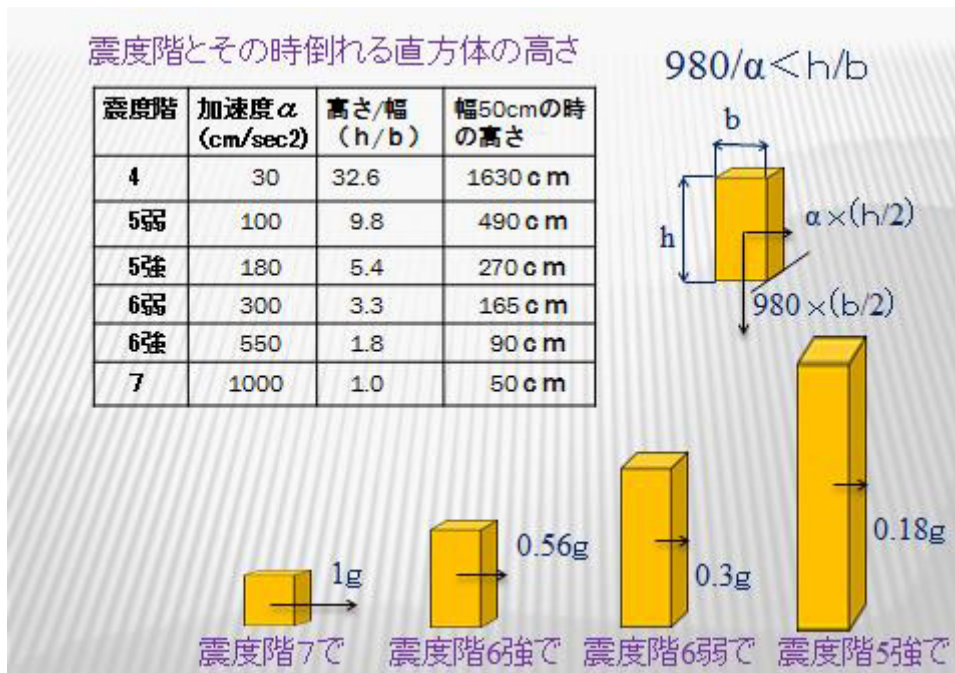


図10 直方体の家具や墓石はどの程度で倒れるか

- ・観音開きの扉のある棚は、開いて、内容物が飛び出すので要注意。
- ・家具と天井との間にツッカイ棒と言われるが、効果は限定的、固定金具との併用が好ましい。

5. 自然災害における安全に関する考察

1) 安全に対する社会的コンセンサス

公共の道路・橋などの社会基盤構造物の建設費用と安全の関係には、二律背反の関係がある。すなわち、現在の技術力をもってすれば、お金をかければ、活断層直上の構造物をのぞけば、巨大地震に耐える建造物をつくることはある程度可能である（安全という便益）。一方、社会資本に投ぜられる資金は、血税であるので、いくらでも費用をかけるわけにはいかない（限界のある費用）。

このような費用と便益の二律背反の関係の中で、納税者である国民が納得する投資と安全に関する方針をどうするか？という問題である。

2) 既往最大震度に対して安全を保証する

上記1)に対する答えは、「過去に経験した最大の震度（既往最大震度）に対して安全を保証する」という考え方である。1995年（平成7年）の兵庫県南部地震（阪神淡路大震災、最大震度7、1000ガル程度）が発生するまでは、1923年（大正12年）の関東地震（関東大震災、推定最大震度6、現在の震度6弱、300ガル程度）を既往最大震度と考えていた。

300ガル程度の加速度に対して安全に設計していたものが、1000ガルの加速度による力を受けたのであるから、あのような大被害となったと考えられる。1995年以降は、兵庫県南部地震を既往最大地震（最大震度7）として、多くの公共構造物の耐震補強がなされた。2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）が発生した。マグニチュード9.0、最大震度7であり、多くの被災者と甚大な被害を受けたが、多くの被害は津波によるものであり、兵庫県南部地震後の耐震補強が功を奏して、新幹線をはじめ公共の構造物については、地震動（横揺れ）に起因する大きな被害はなかったことは土木学会の調査でも明らかになっている。

3) 耐震設計の保証の限界

熊本地震の場合は、震度7が、28時間の間に2回起こったわけで、先に述べたように、震度7が1回という既往最大地震（震度）に対して安全であっても、2回目の震度7で倒壊しない保証はないわけである。さすれば、熊本地震のような場合を既往最大地震（2 x 最大震度7）にするのかという議論があり得るのであるが、現在までの調査によると、昭和56年の新耐震設計法に加えて、平成7年、平成12年の建築基準法改正後に造られた木造民家が、ほぼ安全であったことなどから、従来の考え方が踏襲されそうである。

それにしても、今後、日本において、兵庫県南部地震や熊本地震よりも、大きな震度の地震が生じないという保証はないわけで、その場合は、地震によって命を失っても、少なくとも公共の構造物の損壊による場合は、仕方がないということになる。

6. むすび

平成28年4月14日までは、私も、熊本県内で、大きな地震災害が生じることは少ないと考えていたが、反省せざるを得ない。一方、先に述べたように、南海地震の発生確率は高い。発生した場合、大分、宮崎の被災者を熊本等が引き受ける立場になる。話で聞くのと実際に経験するのは、全く違

うので、今回の熊本地震における経験を生かしたいものである。

思うこと⑧ 学生諸君のボランティア実施率の高さに感銘

地震後、熊本保健科学大学1年生に、減災についての講義をしたときの受講者274人に、アンケートで地震後ボランティアをしたかどうかを聞いた。その結果、4割の人がボランティアに参加し、さらに、2割の学生が地震休講中に帰省先の街頭で熊本の被災者のための募金活動をしたとの回答であった。6割強の学生が、自ら被災者でありながら何らかの形で人々のために働いたことになる。この比率は、小生の想像を超えるものであり、誇らしく思っている。また、医療専門職としての学びへの動機づけも強くなっており、恐ろしかった地震ではあったが、一抹の救いを感じたことであった。

参考文献

- 1) 「熊本地震橋梁被害調査報告書」：(社)日本橋梁建設協会、平成28年10月
- 2) 「布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改訂)」：文部科学省 地震調査研究推進本部・地震調査委員会、「平成28年(2016年)熊本地震」に関する情報 平成25年2月1日公表、PDF、表2
<http://www.jishin.go.jp>
- 3) 「特集 地震を知って地震に備える」、「地震は身近な危険」：内閣府防災情報のページ
http://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h21/05/special_03.html
- 4) 震度と加速度：気象庁ホームページ <http://www.data.jma.go.jp>
ホーム>各種データ・資料>地震の活動状況>強震観測>震度と加速度
- 5) 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：日本建築センター、昭和56年2月1日発行、p.198-199
- 6) 地域係数 z ：「国土交通省告示」第1793号 昭和55年

<略歴>

崎元 達郎(さきもと たつろう)

1967年 大阪大学工学部 構築工学科 卒業
1972年 大阪大学大学院 構築工学専攻 単位取得退学
1979年 大阪大学大学院 博士(工学)学位取得
2015年 熊本保健科学大学 学長
現在に至る