



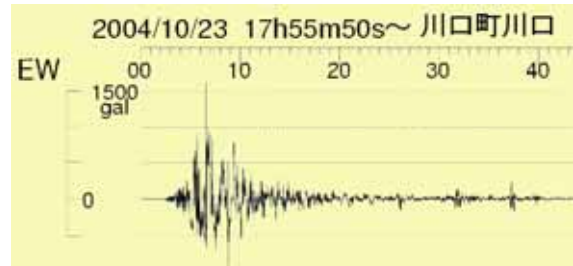
第3章 揺れを知ろう！

—揺れと被害の関係は？—

千葉県が設置した地震計では、毎年 100 回以上の地震が観測されています。これらの震源は十勝沖、インドネシア沖であったり、千葉県直下であったり様々です。また、揺れ方もいきなりドーンときたり、または船に乗っているときのようにゆったりとした揺れだったり様々です。

なぜ、このような揺れの違いが生じるのでしょうか？そして、この揺れの違いが被害に大きく結びついていることを知っていますか？

ここでは、少しでも被害の軽減につなげることができるよう、千葉県やその周辺で発生する地震や揺れについて学びましょう。



57. 2004 年新潟県中越地震で観測された地震波形

震源に近い新潟県川口町の強震波形です。東西方向の加速度が重力加速度よりも大きい 1,500gal(ガル)に達しました。

気象庁ホームページよりデータをダウンロードし作図

【ガル(gal)】 単位時間にどれだけ速度が変化したかを表した値で単位は cm/sec^2 で示します。揺れの強さを表す際に震度とともに良く使われます。地球の重力加速度である 980 ガルを超えると物体はその間浮くこととなります。

元禄地震と関東地震

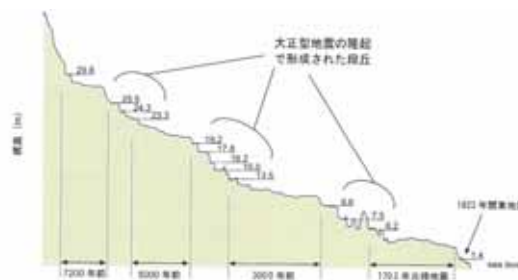
千葉県はわかっている歴史の範囲では過去 2 度にわたって甚大な地震災害にあっています。「防災誌元禄地震」で紹介した元禄 16 年(1703 年)の元禄地震、そして本誌で紹介した大正 12 年(1923 年)の関東地震(関東大震災)です。これらの地震はいずれも相模トラフで発生したプレート境界付近を震源とする海溝型の地震です。

これらの 2 つの地震は房総半島の先端を隆起させ、それぞれ段丘を形成しました。房総半島南部にはこのような地震で形成されたと考えられる段丘が大きなものは 4 面、これらの間に小さなものが 11 面あり、大きな段丘は元禄地震相当の地震によるもので「元禄型」、小さな段丘は関東地震相当の地震によるもので、関東地震が発生した大正 12 年にちなんで「大正型」と呼ばれています。これらの段丘を時系列に並べると、隆起量の大きな「元禄型」の地震は約 2,000 年周期、それより隆起量の小さな「大正型」の地震は約 200~300 年周期で発生していると考えられます。このように海溝型の地震は周期的に大地震を発生することが、相模トラフ、南海トラフ、宮城県沖、十勝沖の日本海溝沿いなどで明らかになっています。



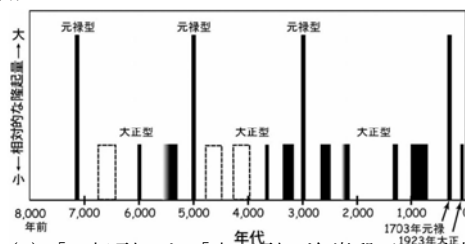
(a) 海岸段丘の形成年代

「地図にみる関東大震災」図録より(宍倉, 2008)より引用 写真提供: 千葉県史料財団



(b) 海岸段丘の標高

「測量から明らかになった段丘面の地形断面図」(宍倉・川上, 2006)より引用



(c) 「元禄型」と「大正型」海岸段丘の形成間隔

各段丘の年代をまとめた年表(宍倉, 2006)より引用

58. 南房総に見られる海岸段丘と地震との関係

南房総市千倉町の海岸に見られる段丘です。一番新しい大きな段丘(元禄型)は元禄地震、一番新しい小さな段丘(大正型)は関東地震によって形成されました。

元禄地震と関東地震はともに千葉県に大きな被害を及ぼした地震で、ともに陸の北米プレートとフィリピン海プレートとの境界面で発生した地震といわれていますが、元禄地震の震源域は外房の房総半島南東沖まで達し、地震の規模も元禄地震のほうがやや大きかったようです。また、被害の特徴として、元禄地震では津波による流失や溺死による被害、関東地震では主に建物の倒潰や圧死による被害という違いが記録から確認できます。

【元禄地震と関東地震】

比較する項目	元禄地震	関東地震
震源域	相模湾から房総半島南東沖	相模湾から房総半島沖
地震の規模	7.9~8.2	7.9
最大推定震度	7	7
津波の最大波高	10m以上	9m
最大隆起量	4~5m	2.4m
千葉県での主な被災地域	九十九里平野 ~房総半島南部	房総半島南部
千葉県での死者数	6,534人 (津波による溺死者2,000人以上)	1,346人 (住家倒潰による死者1,255人)
千葉県での家屋被害	14,905戸(家屋流失 5,295戸)	19,976戸(住家全半壊 19,474戸)

「防災誌元禄地震」(千葉県、2008)、「1923 関東大震災報告書-第1編-」(中央防災会議、2006)をもとに作成



かなめいし
地震・ナマス・要石

江戸寛政時代に書かれた「寛政見聞録」には、寛政江戸地震(江戸時代末期1855年に発生し、被害は江戸を中心に死者4千人以上)が発生した寛政2年10月2日のことについて「ウナギを捕りに行ったが、代わりにナマズが3匹とれた。昔からナマズが騒ぐときは地震が来ると言えがあるので、急いで自宅に戻り家財を出して地震に備えた。家族は笑っていたがその夜地震に襲われた。」とあります。

また、地震は地底にいる大きなナマズが起こすものだから、そのナマズを鹿島神宮(茨城県)の要石(かなめいし)で押さえつけようという信仰は古くからありました。



59. 鹿島神宮の要石
鹿島神宮に祀られている霊石で、限りない大きさがあるといわれています。



60. なまず絵(東京大学地震研究所図書室所蔵)
鹿島大明神が地震の原因とされるナマズを捕まえて要石で押さえつけようとしている絵です。
出典：東京大学地震研究所図書室和古文書目録

寛政江戸地震の後、地震の原因とされたナマズを主人公とした「なまず絵」と呼ばれる瓦版が大流行しました。

「なまず絵」のナマズは地震の身代わりとして悪者扱いされていますが、江戸末期の不安定な世の中に対する世直しの意味も込められていたようです。

伝説として語られるナマズですが、地震の予兆として、動物たちが異常行動を起こすのは国内外を問わず報告されています。

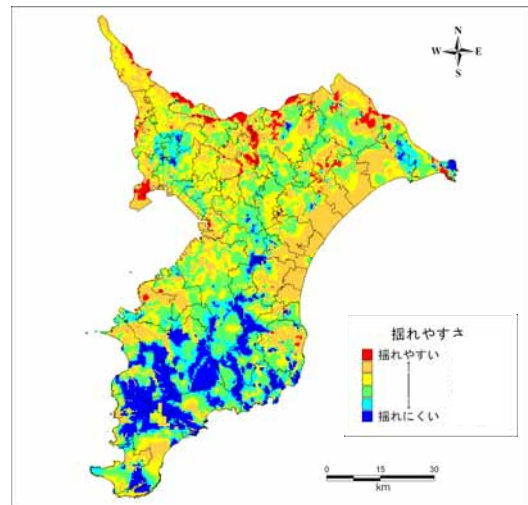
場所によって違う揺れ

地震の際に気象庁が発表する各地の震度情報で、隣町はさほど揺れていないのに、どうしてここだけこんなに揺れるのだろうか？と感じたことはありませんか。地震の揺れは一般には震源から遠くなるにしたがって弱くなるのですが、場所によっては、震源から遠く離れているのに強い揺れとなることがあります。それはなぜでしょうか。

私たちが感じる揺れは、地表付近の地盤が軟弱な場所では、硬い地盤の場所に比べて大きくなります。また、地下の深い部分の地盤の構造によって、地震波の振幅が大きくなることもあります。これらの現象は、地震波が硬い岩盤から軟らかい地盤に伝わる時に振幅が大きくなることや、屈折や反射などにより地震波が重なり合って振幅が大きくなるという地震波の性質によります。

特に、地盤が軟らかい低地、埋立地、周囲を山に囲まれた盆地などでは地震波の増幅によって予想外に大きな揺れになることがあります。

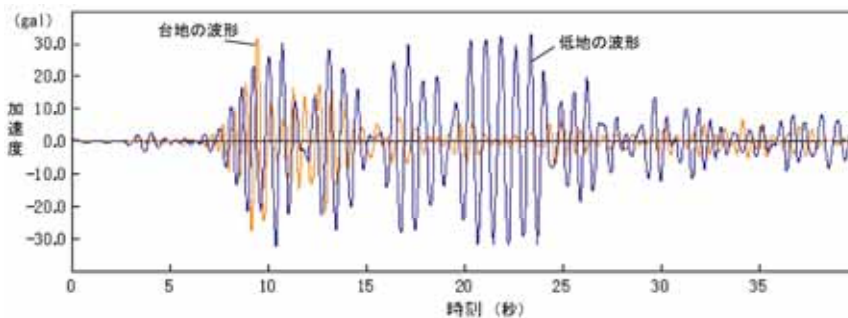
千葉県では、東京湾に面した埋立地、利根川沿いの低地、九十九里沿岸地域などが比較的揺れやすいとされています。



61. 千葉県内の揺れやすさマップ

埋立地や利根川沿いの低地、九十九里沿岸地域など地盤が柔らかいところは揺れやすくなっています。

「平成 19 年度千葉県地震被害想定調査報告書」(千葉県、2008)より引用



地震発生年月日 2000年6月3日
マグニチュード* 6.3
震源 銚子沖
県内最大震度 5弱

地震波形データから周期0.5~1.0秒の波を抽出して作図。

62. 台地と低地の揺れ方の違い

2000年6月3日、銚子沖を震源とし県内最大震度5弱を観測した地震で、台地上にある県立小見川高校と、利根川沿いの低地にある旧小見川町役場で観測された周期0.5~1秒の範囲の波形です。2つの観測点は約2kmしか離れていませんが、オレンジ色で描かれた台地の波形は揺れが早くおさまっているのに対し、青で描かれた低地の波形では同じような強い揺れが長く続いています。このような揺れ方の違いは、台地を構成する下総層群(十数万年前以前の地層)と、低地を構成する沖積層(約2万年前から現在までの地層)と呼ばれる地層の性質の違いに因るものです。

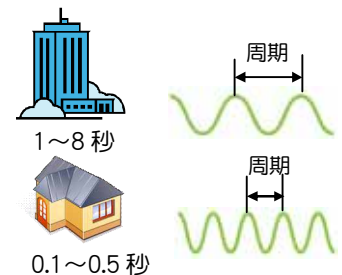
「局所的地質環境における震動特性の比較」(岩井ほか、2001)より引用

揺れる建物・揺れない建物

地震の揺れは地盤、建物にも伝わります。地盤の揺れのリズム(周期)とその建物に固有の揺れのリズム(固有周期)が一致する、すなわち共振すると、その建物はここぞとばかりに大きく揺れます。

日本付近で発生する地震の多くは、0.2~1秒の周期で伝わってきます。それに対し、平屋建ての住宅は0.1~0.5秒、高層ビルでは1~8秒、石油タンクは10秒前後の固有周期を持っています。このような建造物の固有周期と地震の揺れの周期が一致すると建物は大きく揺れて被害が出ます。

巨大地震が発生すると表面波と呼ばれる長い周期の地震波が発生し、この波は遠くまで衰えずに伝わります。そのため震源から遠い場所でも建物の固有周期によっては予想外の被害が発生することがあります。



63. 建物による固有周期の違い

【固有周期】人間の走る速さや性格が人によって異なるように、物体を揺らすと、揺らすものによって揺れが1往復する時間(周期)がそれぞれ異なります。これを固有周期と呼びます。

コラム ゆったり揺れの恐怖

2003年十勝沖地震の教訓

2003年（平成15年）9月26日04時50分、釧路沖の深さ45kmでマグニチュード8.0の巨大地震が発生し、北海道の釧路市などで最大震度6弱を観測しました。この地震では、震源から約220kmも離れた苫小牧市の石油コンビナートで石油タンクの全面火災が発生しました。原因は、巨大地震から発生した長周期地震波に石油タンクが共振して、スロッシング（ゆったり揺れることにより、容器の中で液体が大きく揺れる現象）が起こり、タンクの浮き屋根が壊れて中の液体に引火したためです。全国から消火剤を集め消火作業を行いました。タンク内の石油が燃え尽きるまで火は消えませんでした。

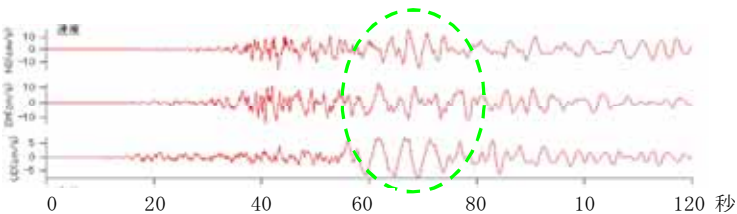
この火災は、同じように石油コンビナートを抱える臨海工業地域に大きな衝撃を与え、長周期地震波への防災対策が急ぎよ見直されることになりました。



64. 苫小牧での石油タンク全面火災

スロッシングによりタンクの浮き屋根が壊れ、中の液体に引火して全面火災が発生しました。

「平成15年十勝沖地震の現地調査委員会報告」（浅井ほか、2003）より引用



65. 苫小牧で観測された長周期震動

上から南北、東西、上下方向の速度波形を示しています。地震発生から1分以上経過した後、周期の長い長周期の振動（緑色の破線）が発生し、石油タンクと共振したと考えられます。

気象庁ホームページ

<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/>より引用

高層マンションでは

最近の高層マンションなど高層建築物は免震・制振構造を取り入れていますが、固有周期が長いと、長周期の地震波に共振し、長時間にわたり「ゆったり揺れ」が続く恐れがあります。建物は大きく揺れるため、屋内では家具やテレビなどが倒れたり、特にキャスター付きの家具などは部屋中を動き回ります。揺れがおさまった後でもエレベーターが停止し利用ができなくなることから、避難が困難になります。

最近マンションの高層化が進んでいますが、地震に備えて家具の固定や避難訓練などのほか、高層階ではエレベーターの停止により人の行き来や物資の搬入が困難になるため、多めの水・食糧などの備蓄が必要となります。



関東地方は長周期地震波にも要注意!



66. 関東堆積盆のイメージ図

関東平野は、古くて硬い岩盤がなべ底状に沈降したところに柔らかい地層が厚く堆積しています。この堆積構造と2層の固有周期の差が、地震波を大きく増幅させる危険性を含んでいます。

関東平野は関東堆積盆と呼ばれ、第四紀の比較的新しい地層が2,000~3,000mの厚さで鍋状に堆積しています。このような地質構造は表面波が発達しやすく、揺れに対して周期6~10秒の長周期が卓越するといわれています。

そのため、長周期の表面波が発達しやすい東海地震や東南海地震などマグニチュード8クラスの巨大地震が発生すると、関東堆積盆のような長周期の卓越周期を持つ地盤に立地する高層建築物やコンビナートの石油タンクなどは共振し、甚大な被害に及ぶ可能性が大きくなります。

千葉県では、このような長周期地震波の災害に備え、市原市の臨海地域に長周期の地震波を記録できる地震計を設置し、観測を続けています。

【表面波】地震波のひとつで、地表面を伝わる長周期の波です。巨大地震が発生すると顕著に現れることが多く、伝わり方や大きさは地形や地質構造などの影響を受けます。

液状化ってなに？

液状化は、地震時の強い揺れにより、地下の地盤が泥水のような状態になる現象です。

液状化の被害が初めて話題になったのは、1964年（昭和39年）に発生した新潟地震の時です。この地震で、それまで建物を支えてきた砂の層が泥のように柔らかくなり信濃川河畔や新潟空港で多くの建物が沈下したり、倒れたりしました。

液状化によって死者が出ることはなく、また新潟地震の教訓をもとに液状化が発生しやすいところでは杭を打つことによって建物自体の被害を防いでいますが、地盤沈下が起こります。また、液状化では地下の管路が外れたり浮き上がったりするためライフラインの被害が大きくなります。



67. 新潟地震で液状化により傾いたアパート

当時のアパートでは杭を打たず直接基礎としていたため、傾いたり倒れたりしました。

写真提供：渡邊 馨一郎氏

液状化現象の起こりやすいところ



みなさんは、海岸の砂浜に行って波打ち際で足踏みをしたことがありますか？ まだ、波が来ないときに足踏みをする、水が浮き出て来て、足が沈んでいきます。これは液状化と同じ現象です。

液状化はどんな場所でも起こるわけではありません。最も液状化が起こりやすいのは、約1~2万年前以降にできた新しい砂の地層で地下水が浅いところです。例えば、左の図のように河川沿いの沖積低地、埋立地などは液状化の危険が大きいといわれています。

1987年の千葉県東方沖地震でも、液状化被害は利根川下流地域の低地や、九十九里平野、東京湾の埋立地など軟弱な地盤が広がっているところに発生しました。

68. 千葉県の液状化危険度マップ

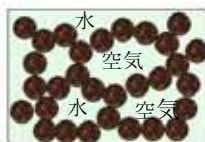
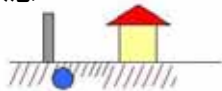
「平成19年度千葉県地震被害想定調査報告書」（千葉県、2008）より引用

液状化の起こるしくみ

通常は、地盤は砂や泥の粒子がお互にくっついて安定した状態にあります。地震などの振動によって、砂や泥の粒子同士が離され土壌中の水に浮いた状態になります。これが液状化現象です。液状化が発生すると、地盤は柔らかく流動状態になり建物を支える力がなくなるため、建物が倒れたり沈下したり、また、地表面が固いもので覆われているとその亀裂から砂が噴出したりすることがあります。

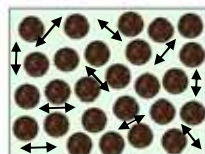
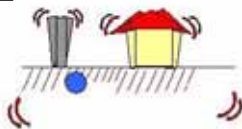
【液状化による地盤の変化】

① 普通の状態



一般に地盤は、様々な大きさの砂や泥の粒子がくっついた状態にあり、その隙間には空気や水が入っています。この状態では、地盤は安定しています。

② 地震発生



地震が発生すると粒子が離れ、それぞれの粒子が水の中に浮いたような状態になります。このとき地盤は柔らかくなって、まるで液体のような状態になります。

③ 液状化後



液状化が起こると、ばらばらになった粒子は沈んで水が上がってきます。地表面に裂け目があると、噴砂現象が見られることもあります。

69. 液状化の

国土交通省ホームページ

<http://www.hrr.mlit.go.jp/bosai/niigatajishin/paneru/ekijoka/introduction.html> より引用、作図

コラム 人工地層と地震被害

column

普通、地層は川や海の堆積作用や火山噴火などにより造られますが、それに対し人工地層、耳慣れない言葉ですが、実は私たちの身近に数多くあります。埋立地、造成地、盛土地、堤防、これらはすべて人間が造った人工地層です。

地震災害を考えると、これら人工地層が大きくクローズアップされます。それはなぜでしょう？理由は、簡単です。すなわち地震災害に、きわめて脆弱だからです。

人工地層の場合、地震災害で心配されるのは、液状化と土砂災害です。

液状化現象は人の手が加えられた土地ほど起こりやすく、海、溜め池、川の一部を埋め立てた場所は、大地震が起こるとその脆さが現れる可能性が高いのです。

東京湾岸の臨海部では、かつての干潟や沖合の水深7 m付近までを浚渫砂で大規模に埋め立てました。これら人工地層分布域では、1987年千葉県東方沖地震の際に液状化が発生しました。阪神・淡路大震災でも、西宮市や甲子園町などで、旧河川の跡をなぞるように分布して液状化の発生が見られました。

また、1978年（昭和53年）宮城県沖地震で白石市の谷埋め造成地が地すべりを起こし、造成方法が問題視されました。2004年（平成16年）の新潟県中越地震でも十日町市における道路の亀裂が盛土に関係しているという研究報告もあります。



70. 東京湾に広がる埋立地

埋立地は、地震の際に液状化被害が心配される人工地層です。



71. 堤防の破壊（1987年千葉県東方沖地震）

堤防は人工構造物で、盛土などによって造成されており、液状化によって地盤がゆるみ沈下し、水が噴出しました。写真提供：古山 豊氏



72. 道路の破壊（1987年千葉県東方沖地震）

長南中学校内の舗装された道路が液状化によってゆるみ、陥没しました。写真提供：古山 豊氏

このように、人工的に形成された地形は地震に大変弱いのですが、同じ盛土地でも、水部の埋立地では大きな地震などにより液状化現象が起きやすく、山間部の宅地造成等の谷埋め部では亀裂や陥没などが起こる場合があります。盛土斜面では土砂崩れなどの危険性があります。したがって、今私たちが住んでいる家の周りの地形がどのように改変されたかを知ることは、地震防災のうえで大変重要です。

【地震被害を受けやすい地形】

地形の分類		地震被害の内容
一般の低地	谷底平野・氾濫平野、海岸平野・三角州、後背低地・旧河道	地震時には特に揺れが大きくなります。また、液状化現象などの地盤災害も懸念されます。
人工地形	水部の埋立地・干拓地、低地の埋土部、低地の盛土部、造成地の谷埋め部	水部の埋立地及び干拓地は強い地震の際に、液状化現象が起きやすく、また造成地の谷埋め部は陥没、亀裂などの地盤災害が懸念されます。

国土地理院ホームページ：http://www1.gsi.go.jp/geowww/saigaikiroku/4hazardmap/6.html より引用