



2017 年 3 月 11 日 (土) 13:30 ~ 17:00

総合福祉センターあいトピア

主催：豊橋技術科学大学 安全安心地域共創リサーチセンター

共催：(公財) 豊橋市国際交流協会

後援：豊橋市

基礎から学ぶ地震と防災



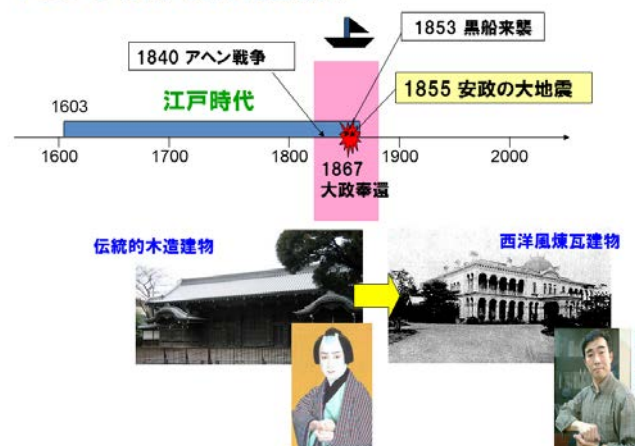
齊藤 大樹

豊橋技術科学大学
安全安心地域共創リサーチセンター長
建築・都市システム学系 教授

地震はなぜ起きるのか？

日本の歴史を振り返りましょう。江戸時代の終わりに、欧米の国々がアジアを植民地にしようとしてやってきました。1840年には中国と英国の間でアヘン戦争が起きました。1853年にはアメリカのペリーが黒船に乗って日本にやってきました。そうしたときに安政の大地震が起きました。やがて江戸幕府が滅び、日本は開国を余儀なくされました。西洋諸国に追いつくために、日本の伝統的木造建物は西洋風の煉瓦建物に置き換わりました。ちょんまげと着物も、西洋風の姿に変わっていきました。

160年前(明治維新)



鯨（なまず）絵



その頃の日本には、地震は地下にいる大きなナマズが起こすという迷信がありました。ナマズ絵とよばれる錦絵を家に貼っておくと、地震で家が潰れないと信じていました。このナマズ絵では、神様が「要石」という大きな石をナマズの頭に乘せて、地震を起こさないように押さえつけています。

要石はどこにある？



要石



茨城県の鹿島神宮の敷地内に、要石が祭られています。地表には10cmほどの石の頭が見えます。将軍が家来に命じて7日間、地面を掘ったそうですが、石の底を見つめることができなかったという言い伝えがあります。

地震の発生メカニズムについて、はじめて科学的な分析を行ったのが、ドイツ人のアルフレート・ヴェゲナーです。

彼は、南アメリカの東側の地形と、アフリカの西側の地形が、ジグソーパズルのように形が似ていることに気づきました。

そこで、現在、離れて存在する2つの大陸が、昔は繋がっていたのではないかと考えました。彼はこれを大陸移動説として学会で発表しましたが、当時の科学者からは「うそつき」と呼ばれました。彼は、もし大陸が繋がっていたとしたら、動物が大陸の間を移動した痕跡があるに違いないと考え、化石を調べました。

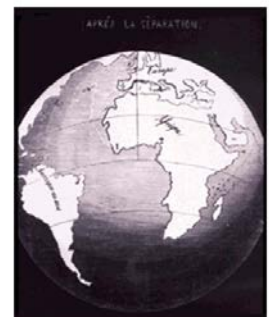
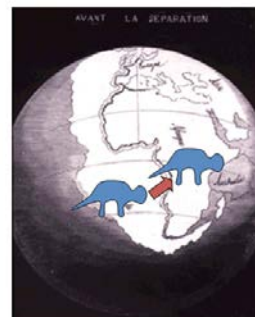
大陸移動説

アルフレート・ヴェゲナー (1880-1930)



大昔

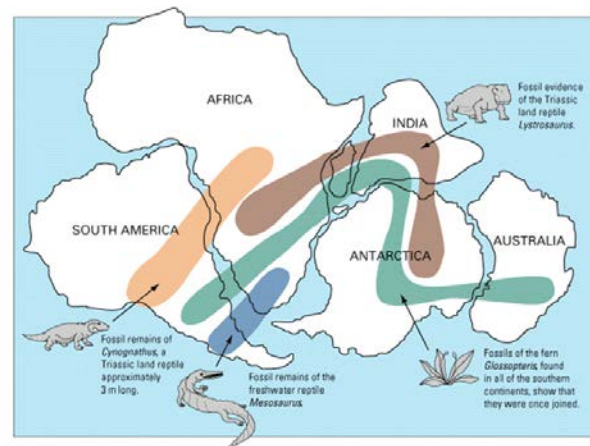
現在



うそつき！

すると、確かに同じ動物の化石が異なる大陸に分布して見つかりました。彼は、これを大陸が繋がっている証拠と考えましたが、他の学者は納得しませんでした。

化石を調べてみよう



というのは、その当時の学者の間では、現在の海の場所には幻の大陸があって、全ての大陸は繋がっていたという学説が信じられていました。皆さんも、アトランティス大陸（大西洋）やムー大陸（太平洋）、レムリア大陸（インド洋）など、大洋に存在したといわれる幻の大陸の伝説を聞いたことがあるでしょう。この科学的な説明として、ちょうどリンゴが乾燥して表面に皺ができるように、高温だった地球が次第に冷えて収縮したため、大陸を繋いでいた陸地が沈んで海になり、陸地にできた皺が山脈になったという学説が長い間信じられていました。これを「地球収縮説」といいます。

結局、ヴェーゲナーの大陸移動説は、あまりに斬新すぎて、認められなかったのです。

幻の大陸があった(地球収縮説)



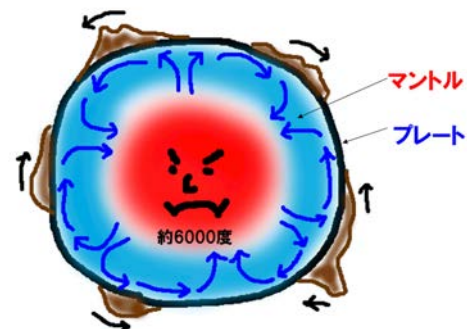
ヴェーゲナーは、重たい大陸が移動する原動力として、月の引力や地球の自転による遠心力などを考えましたが、結局、説明することができませんでした。今では、大陸を移動させているのは、地球内部で起きている対流現象だということが分かっています。冷めた味噌汁を温めたときに、下に溜まった味噌が火山の噴火のように沸きあがって、また下に沈んでいく様子を見たことがあると思います。このように、暖められた液体が軽くなって上昇し、温度の低いものが下降して循環的な流れが生じることを対流といいます。

地球の中心部には、約 6000 度という高温の鉄の固まり（コア）があり、その外側の岩石（マントル）は長い時間をかけて流体のように対流運動をしていると考えられています。マントルの外側には、地球を囲む薄い岩石の層（地殻）があります。また、地球上には、ちょうど剥いたミカンの皮のように、地殻を乗せた薄いプレートが何枚もあり、マントル対流にともなって年間数センチ程度の速度で移動しています。地球内部のマントル対流が大陸を動かしていたのです。

なぜ大陸は移動するのか？ ヴェーゲナーさんの心残り

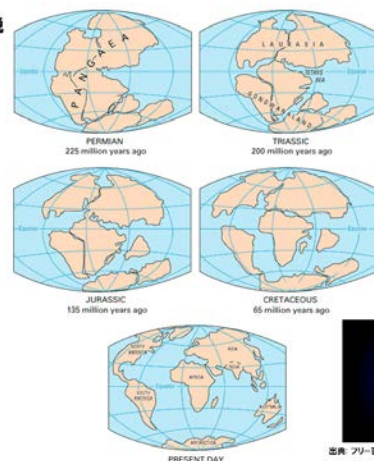


マントル対流が大陸を動かす

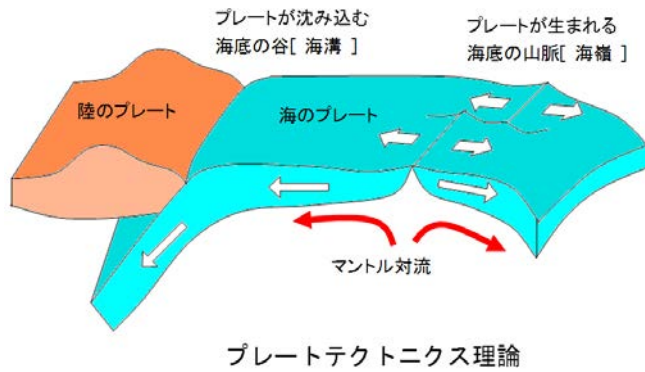


ヴェーゲナーは、地球にははじめに一つの大陸しかなく、それが分裂・移動して現在の各大陸になったのだと考えました。彼は、最初の大陸をギリシャ語で「すべての陸地」という意味でパンゲアと名づけました。プレートテクトニクスによれば、パンゲアが分裂した場所が現在の中央海嶺に当たります。分裂した大陸は数億年をかけてやがてひとつにまとまり、また分裂するというサイクルを繰り返すと考えられています。

大陸移動説 (1915)



出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』

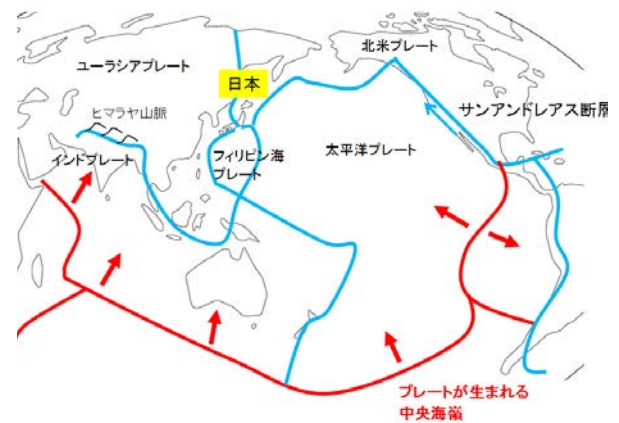


プレートテクトニクス理論
いれい) といいます。このようなプレートの動きを説明する理論をプレートテクトニクスといい、地球物理学の標準的な理論になっています。現在では、そうしたプレートの動きを人工衛星により正確に測定することができます。

太平洋の東側の南米沖には、南北に走る中央海嶺があり、そこで生まれた太平洋プレートは年間 8cm ほどの速度で北西に移動してユーラシアプレートの下に潜り込んでいます。これは、大陸プレートと海洋プレートが衝突する典型的な例です。一方、大陸プレートと大陸プレートが衝突する場合があります。かつてインドは独立の大陸でしたが、ユーラシアプレートに衝突して下に潜り込みながら押し上げた結果、海底が折り曲げられて 8,000m の高さに持ち上がりました。これがヒマラヤ山脈です。実際にエベレストの頂上では深海に棲むウミユリの化石が見つかっています。

また、インドは独立した小さな大陸でした。プレートの動きによって、徐々に北上し、ユーラシア大陸と衝突しました。その圧力によって海底が持ち上げられて、現在のヒマラヤ山脈が出来上がりました。世界最高峰のエベレストもここに 있습니다。実際、ヒマラヤ山脈の岩石の中から貝殻の化石が発見されます。

マントル対流によって動いているのは大陸だけではなく、海洋もプレートに乗って動いています。大陸のプレートは比重の小さい花崗岩で出来ていますが、海洋のプレートは比重の大きい玄武岩で出来ているため、両者がぶつかると、海洋のプレートが下に潜り込んでマントルに沈んでいきます。沈み込むプレートの反対側では、それを補うように、海底の割れ目から新しいプレートが次々と生産されています。プレートが沈み込む海底の谷を海溝（かいこう）といい、プレートが生まれる海底の山脈を海嶺（かいりょう）

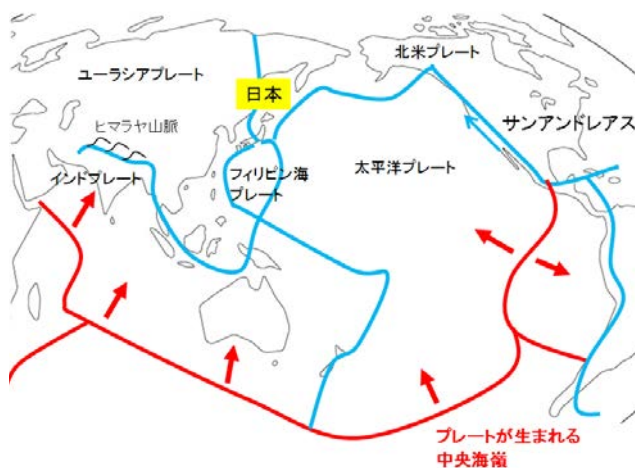


ヒマラヤ山脈は2つの大陸が衝突して出来た



日本にも似たような場所があります。伊豆半島はかつて海に浮かぶ島でした。フィリピン海プレートに乗って北に移動し、日本列島と衝突して伊豆半島となりました。その押す力によって丹沢山地が出来たと考えられています。

地球の南半球に、プレートが生まれる海嶺が分布しています。そこで生まれたプレートの多くは北に移動して、別のプレートの下に沈み込んでいきます。海嶺の多くは、深い海の底にあるため、水圧で噴火活動は抑えられています。しかし、海嶺が地表にある場所があります。



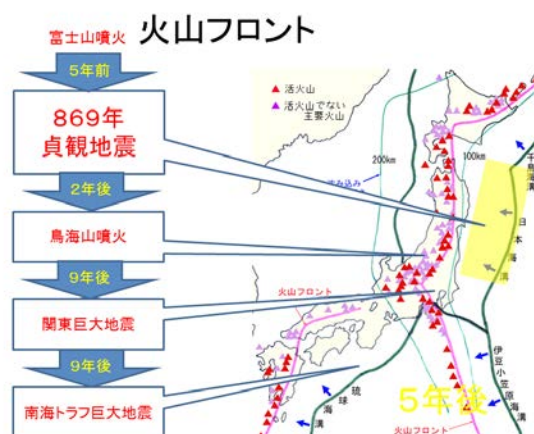
アイスランドは国の真ん中に海嶺があり、そのため国の面積が少しずつ広がっています。また、火山の国なので、世界最大の露天風呂があるそうです。

世界最大の露天風呂（アイスランドは海嶺の上にある火山の国）



日本はプレートが沈み込む海溝の近くにあります。海嶺ではないのに、火山が沢山あるのはどうしてでしょう。実は、沈み込んだプレートが溶けてマグマとなり、地表に上昇して火山になっているのです。従って、火山の位置は、プレートが沈み込む海溝と並行しており、これを火山フロントと呼びます。マグニチュード9の東日本大震災のあと、3年後に御嶽山が噴火し、4年後に阿蘇山と口永良部島が、5年後に桜島が噴火しました。また、2016年4月には熊本で震度7の地震が起きました。巨大地震をきっかけに、火山活動や地震活動が活発化している気がします。

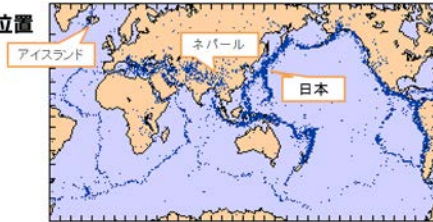
実は同じようなことが約1000年前に起きていました。869年の貞観地震のあと、2年後に新潟の鳥海山が噴火し、9年後に関東で巨大地震が起きました。さらに9年後には南海トラフ巨大地震が起きています。また、貞観地震の5年前には富士山が噴火しています。つまり、現在の日本は、約1000年前のような地震活動期にあると考えられます。



プレートの位置

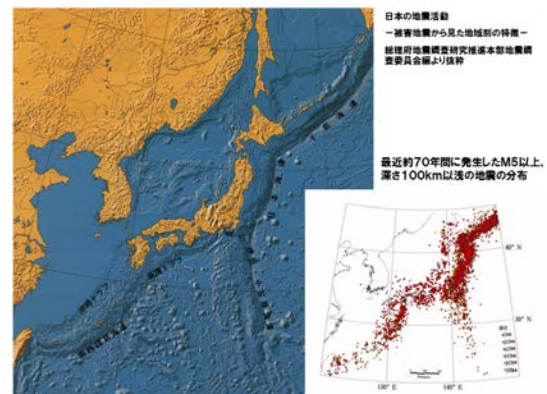
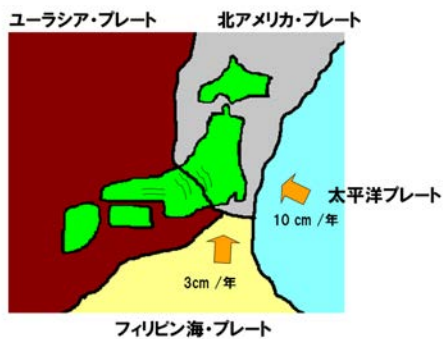


震源の位置



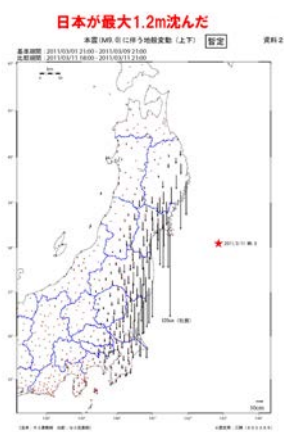
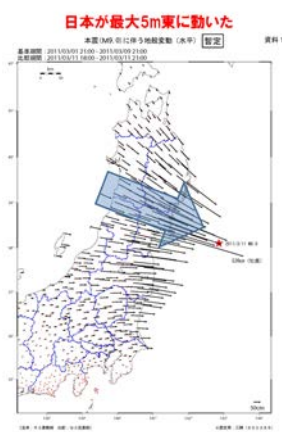
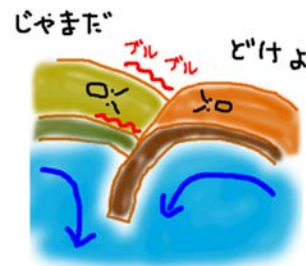
上の図はプレートの位置を示しています。下の図は、地震の発生分布です。プレートの境目で地震が多く発生していることが分かります。また、プレートが生まれる海嶺よりもプレートが別のプレートの下に沈み込む海溝の方が多く地震が発生しています。

日本に地震が多いのは、日本列島が4枚のプレートがぶつかり合う世界でも類のない場所に位置しているからです。日本列島の東には日本海溝があり、南には南海トラフがあります。海洋プレートが沈み込む海溝のうち、とくに深さが 6,000m より浅いものをトラフと呼びます。地震の発生は海溝やトラフに沿って多いことが分かります。



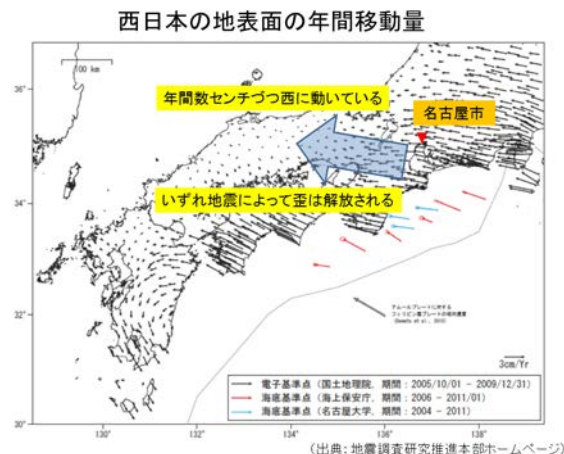
プレートが潜り込むと、反対側のプレートが抵抗して歪がたまります。限界に達すると、プレートの境目（断層）が破壊して、押し戻す動きが起きます。このとき発生する衝撃波が地震です。

プレートの衝突によって地震は起きる



東日本大震災では、たまりにたまった歪が一気に解放されて、日本列島が最大 5 m ほど東に動きました。また、地面も 1 m 以上沈んだ場所がありました。こうした地面の動きは、全国に張り巡らされた電子基準点による GPS 観測から正確に求めることができます。

一方、西日本の南には南海トラフがあり、フィリピン海プレートが年間数センチ程度のスピードで潜り込んで、ぐいぐいと日本列島を北西に押しています。豊橋市の付近では、年間3センチほど北西に押されていることが分かります。過去70年大きな地震が起きていないので、単純計算で2m以上も押されたことになります。この歪はまだ開放されていません。たまりにたまった歪が一気に解放されることは時間の問題なのです。



なぜ建物は地震で崩壊するのか？

地震で激しく地面が揺れると、立っていることが難しくバランスを崩して転ぶことがあります。大けがになることはめったにありません。一方、人間よりもずっと頑丈に作られているはずの建物が、地震の揺れで倒壊することがあります。なぜ人は平気なのに頑丈な建物は壊れてしまうのでしょうか。こんな疑問から、地震のときに建物に作用する力について考えてみましょう。



加速度を感じていますか？

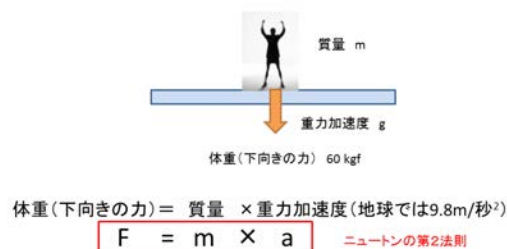


床がなくなると身体は下に落下します。これは地球の引力が働くからです。落ちるスピードはどんどん速くなります。その加速度は、引力による重力加速度です。

みなさんの体重は、身体に働く地球の引力の大きさを表しています。その値は、「質量」と「重力加速度」の積で表されます。

質量は物に固有の値ですが、重力加速度は地球と月では値が異なります。もし地球よりも引力の小さい月の上で体重を計ったら、体重計の数値はずっと小さな値になります。月の重力加速度は地球の約 1/6 なので、体重も約 1/6 になります。

重さは質量 × 加速度



力は 質量 × 加速度

体重(下向きの力) = 質量 × 重力加速度 (地球では9.8m/秒²)



同じ地球の上なので、下向きの重力加速度は同じですが、質量が違います。従って、下向きの力は質量の大きな「お相撲さん」の方が大きくなります。

質量によって力が変わる

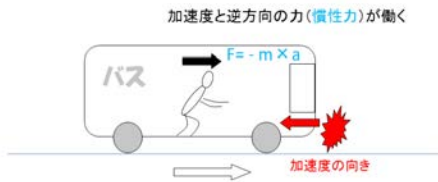
$$F = m \times a$$



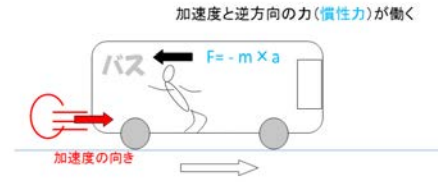
加速度は下向きだけとは限りません。バスが急停車すると、身体が前に倒れそうになります。このとき、身体には「質量」と「加速度」を掛けた力が働きます。この力のことを慣性力といいます。加速度は、バスが止まろうとする加速度と逆向きになります。

バスが急発進すると、こんどは身体は後ろにのけぞります。このときも、身体には「質量」に「加速度」を掛けた慣性力が作用します。

横からの加速度による力

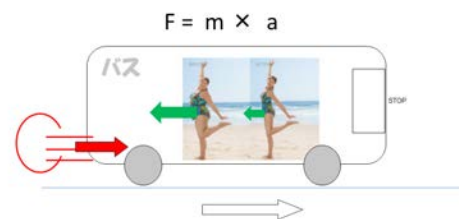


横からの加速度による力



太った人と痩せた人が同じバスに乗っていた時に、バスが急発進すると、どちらの人に大きな慣性力がかかるでしょう。加速度は同じなので、質量の大きな太った人に大きな慣性力がかかります。

どちらの慣性力が大きい？



どちらの慣性力が大きい？



さて、最初の質問に戻りましょう。地震で地面が揺れると、地面に立っている人よりも建物の方がずっと質量が大きいので、建物にはそれだけ大きな慣性力が働きます。つまり、地震の揺れで人が平気なのに建物の方が壊れてしまうのは、建物が慣性力を支えきれなくなるためです。一般に建物は重力を支えるために上下に強い構造ですが、地震による左右の慣性力には弱い構造です。

そのため石や煉瓦を積み上げた構造（一般に組積造といいます）は、地震で崩れやすく、日本のような地震国には適していません。海外では、組積造の建物が多く、地震で倒壊して多くの死傷者が発生しています。

明治維新のあと、西洋風の煉瓦造建物が数多く建てられました。東京の銀座街の建物は、火災で焼失したあと、煉瓦造により建て替えられました。また、東京の浅草には、当時、アジアで一番高い煉瓦のタワーが建てられました。

煉瓦造の家は地震に弱い



ネパール地震(2015年4月25日)

1891年 濃尾地震(M8.0) / 1923年 関東大震災(M7.9)

煉瓦は西洋文明の象徴だった
しかも火災に強い



明治6年(1873年)銀座煉瓦街

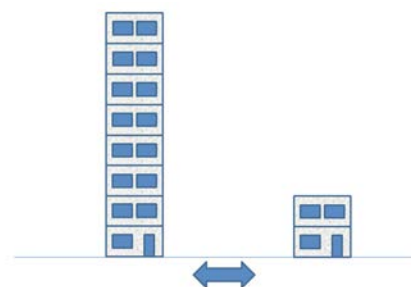


明治23年(1890年)浅草凌雲閣

しかし、1891年の濃尾地震や1923年の関東大震災で、煉瓦造建物は大きな被害を受けました。そのため、その後、煉瓦造を建てることは法律で厳しく規定され、日本から姿を消しました。

高い建物と低い建物はどちらが安全か？

高い建物と低い建物は、どちらが地震に対して安全でしょうか。地震の揺れによって働く慣性力を考えると、質量の大きい高い建物の方が不利に思えます。しかし、慣性力は質量と加速度の積ですから、建物の揺れによって生じる加速度の大きさも考えなくてはなりません。



揺らしてみよう！



実際に模型を揺らしてみましよう。早く揺ると低い建物が揺れて、ゆっくり揺ると高い建物が揺れます。どうしてこのような現象が起きるのでしょうか？

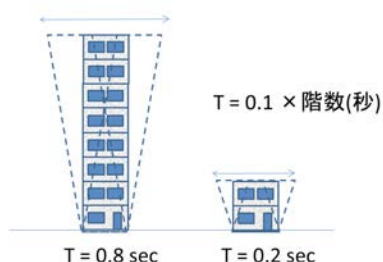
実は、建物には固有の揺れのスピードがあり、ひと揺れにかかる時間を固有周期といいます。地面の揺れの周期がこの固有周期と一致すると、タイミングよく慣性力が働くので、その周期の建物の揺れだけが拡大されます。これを共振といいます。

建物の固有周期は、おおよそ階数に0.1を掛けた値となります。8階建てでは0.8秒、2階建てでは0.2秒です。

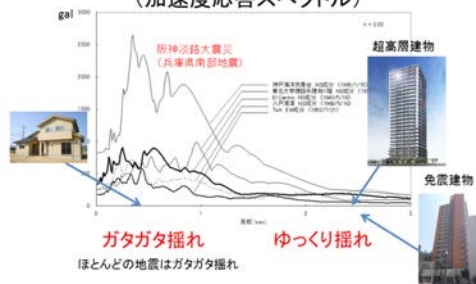
固有周期ごとに建物の揺れの最大加速度をプロットしたグラフを「加速度応答スペクトル」といいます。様々な地震動について加速度応答スペクトルを求めてみます。

このグラフから、①スペクトルの山はおおむね固有周期1秒以下にあり、固有周期の短い中低層の建物が大きく揺れること、②逆に固有周期が1秒を超えるような高層建物や免震建物の揺れは小さくなることが分かります。

建物の固有周期

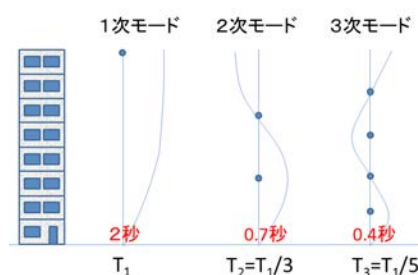


地震動の揺れと建物の応答 (加速度応答スペクトル)



建物は階数が増えると、途中で折れ曲がるようなクネクネとした揺れをすることがあります。その揺れの形は建物に固有であるため、固有振動モードといいます。揺れの固有周期が長い順番に1次モード、2次モード、3次モード…と階数分のモードが存在します。超高層建築物では、おおよそ固有振動モードの形はサイン関数に、各次の固有周期と1次固有周期の比は波長の比(1, 1/3, 1/5, …の順)になります。つまり、1次モードの固有周期が2秒の超高層建物は、2次モードの固有周期は約0.7秒(2秒の1/3)、3次モードの固有周期は約0.4秒(2秒の1/5)です。ガタガタとした細かい地震

高層ビルはクネクネ揺れる



では、短い固有周期の高次モードが励起されて、建物はくねくねと揺れます。一方、ゆっくりとした揺れでは、長い固有周期の1次モードが励起されて、高層階が大きく揺れます。

どうしたら建物は地震に強くなるか？

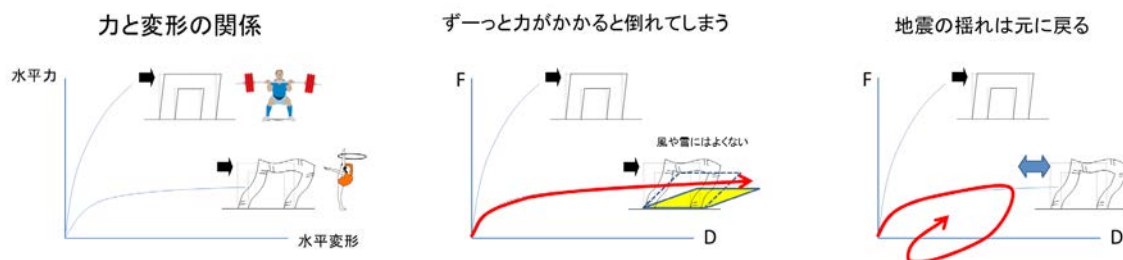
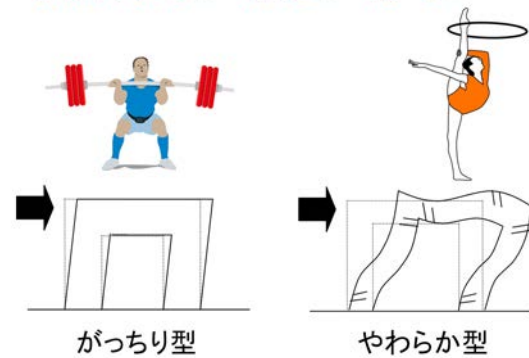
地震で建物が倒れないようにするには、どのような構造がよいでしょうか。ひとつの方法は、柱や梁をがっちり強く作って地震が来てもびくともしない構造にすることです。しかし、めったにこない地震のために、お金をかけて強く作るのは不経済かもしれません。そこで、地震のときには多少壊れてもよいことにして、せめて建物が倒れないように、柱や梁をねばり強く作ることになります。具体的には、木造の接合部に金具を用いたり、鉄筋コンクリート部材の鉄筋を密に入れたりします。このように「強さ」と「粘り」の組み合わせで地震に耐える仕組みが耐震構造の基本的な考えです。

がっちり型は、大きな水平力に耐えますが、あまり変形できません。一方、やわらか型は、少しの力しか耐えられませんが、大きく変形できます。

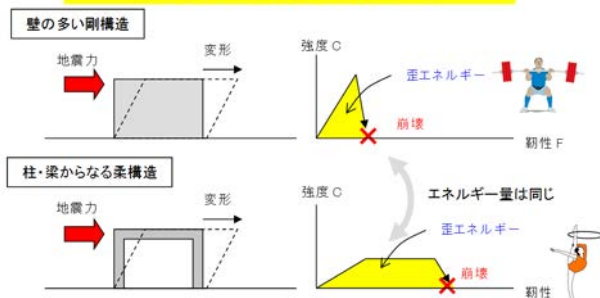
実は、やわらか型は、長い時間ずっと力がかかる風や雪に対しては、変形がどんどん進んで倒れてしまうので、よくありません。

地震は途中でもとに戻る揺れが来るので、少しくらい変形が進んでも大丈夫なのです。これが、地震に対して、やわらか型が使える理由です。

Q. 強くするか? 柔らかくするか?



**地震に対する建物の強さ
= 力(強度) × 変形(靱性)
= 仕事(またはエネルギー)**

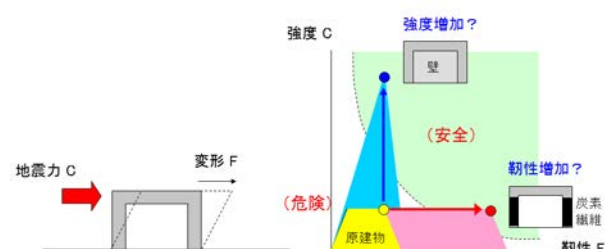


地震に対する建物の構造には、建物を頑丈につくる強度型（がっちり型）と多少壊れても潰れずに変形する靱性型（やわらか型）の2つの型があることを学びました。このとき、力と変形の関係が描く面積（これを歪エネルギーといいます）が同じであれば、耐震性能は同等であるとみなすことができます。

たとえば、もともとの建物の耐震性能が小さい、すなわち吸収できる歪エネルギーが小さいときに、どのように補強すればよいでしょうか？

一つの方法は、壁を増やして強くすることです。もう一つは、柱がつぶれないように炭素繊維などを巻いて、変形できるようにすることです。どちらも歪エネルギーを増やすことができます。

吸収エネルギーを増やして地震に強くする

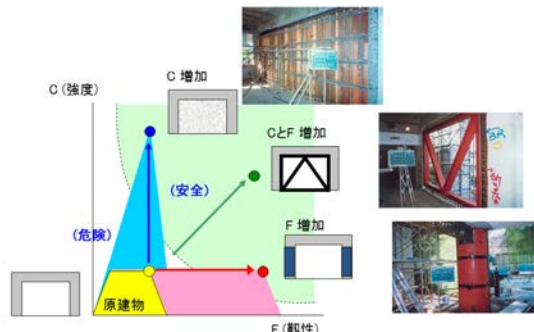


建物の耐震補強技術のうち、伝統的な方法について説明しましょう。

強度を上げる方法として、開口部を鉄筋コンクリート造の壁で完全に塞いでしまう方法がよく使われます。また、変形能（靱性）を増やす方法として、柱を鉄板や炭素繊維で覆う方法があります。また、両者の中間的な方法として、鉄骨の筋交い（ブレースといいます）を入れる方法があります。とくに、学校の教室のように、南向きの窓で外光を入れたい場合には、この方法がよく使われます。

豊橋技術科学大学の建物は、外側にブレースを付けて補強しています。

補強技術(1. 伝統的方法)



ブレースによる補強事例 (豊橋技術科学大学)

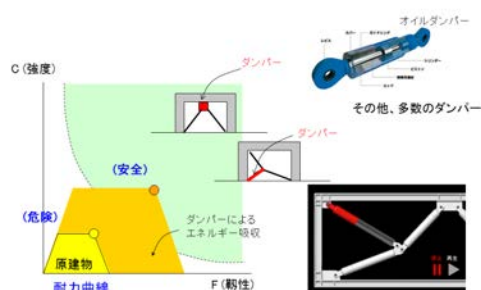


建物の内部に特殊な装置を入れて、振動エネルギーを吸収する方法もあります。この装置を制振ダンパーといいます。建物の歪エネルギーに制振ダンパーのエネルギー吸収分が加わることで、建物の耐震性能が向上します。

粘性系ダンパーとして広く用いられているオイルダンパーでは、オイルが充填されたシリンダーの中をピストンが移動するときに、その速度に比例した抵抗力を発生します。車に振動を抑えるショックアブソーバーと同じ原理です。

たとえば、超高層建物の補強に、オイルダンパーはよく使われます。この例では、超高層建物の中間階に、288個のダンパーがあとから設置されました。

補強技術 (2. 制振ダンパー)



オイルダンパーによる耐震グレードアップ

鉄骨造、54 階建て、高さ216m、建設年 1979、東京 → 2009年補強

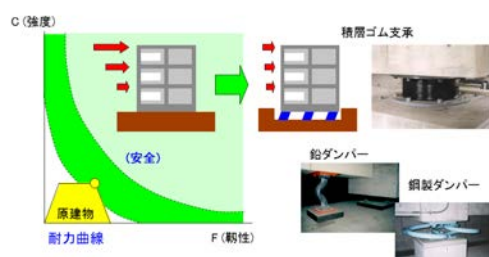


たとえば歴史保存建物のように、建物に補強用のブレースやダンパーなどを付けたくない場合には、建物の下にゴムの土台を入れて、地震による慣性力を減らすことで安全にすることができます。この構造を免震構造といいます。

東京駅は、約100年前の姿に復元されました。352個の免震ゴムで支える免震構造にすることで、当時の構造でも安全にすることができました。

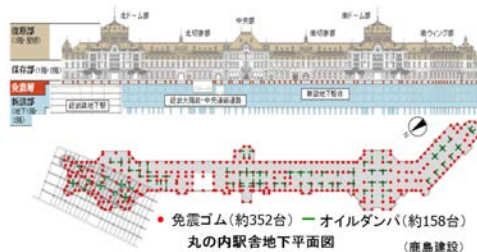
補強技術 (3. 免震)

建物にブレースとかダンパーを付けたくない



東京駅の免震改修

丸の内駅舎は1923年大正関東地震(M7.9)でも被害を受けなかった強靱な鉄骨煉瓦造の躯体。しかし、今後の更なる安全と未来への継承を目的として、免震化工事を実施。現行基準の地震動で免震設計。



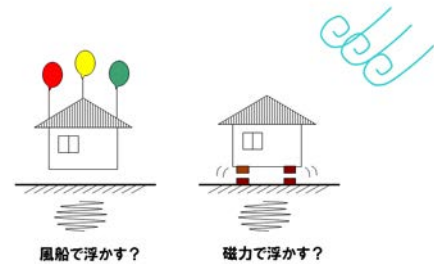
免震構造って何？

ここでは、簡単な思考実験をしながら、免震構造の仕組みを理解しましょう。

まず、地震のときに建物が揺れない方法をいろいろ考えてみましょう。

たぶん、究極の方法は、建物を空中に浮かべてしまうことでしょう。現在の技術では、リニアモーターカーのように、磁石の力で電車を浮かすことができるので、あながち夢物語ではないかもしれません。でも、もし建物が空中に浮かんでいたら、出入りが大変そうです。それに、風が吹いてきたら、遠くに飛ばされてしまうかもしれません。

地面から浮かせる？



とりあえず、建物を浮かすのはあきらめて、別の方法を考えましょう。

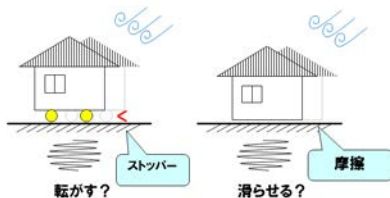
例えば、建物の下に転（ころ）を敷くのはどうでしょう。あるいは、建物をつつつの台の上に乗せて、地震のときに滑らせてはどうでしょう。いずれも、地震のときには、建物が転がったり滑ったりすることで、建物に伝わる横力を小さくすることができます。

台風が来ることは、天気予報で事前に分かります。そこで、台風が来たときには建物をストッパーで固定しておき、台風が去ったあとにストッパーを外す方法が考えられます。また、建物を滑らせる場合には、摩擦係数を調整して、台風の力では建物は動かずに、やや大きい地震のときだけ動くようにする方法もあるでしょう。

鎌倉の大仏様は、仏像と台座の間にはステンレス版が敷かれており、地震のときに仏像が滑るように工夫されています。

滑り免震の例

転がす？ 滑らせる？

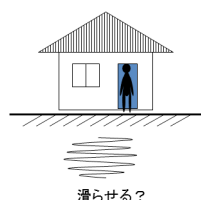


鎌倉の大仏：1960年の改修の際に、ステンレスの板が基礎に敷かれた

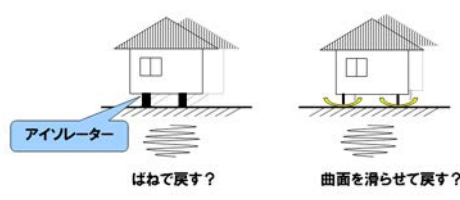
建物を転がしたり滑らせたりする方法では、地震後に建物が移動してしまい、元の位置から大きくずれてしまうかもしれません。では、地震の後でも建物が元に位置に留まるようにするには、どのような工夫ができるでしょう？

たとえば、建物と基礎をばねで繋いでおいて、建物が移動したときに、ばねの力で元の位置に戻してはどうでしょう。建物の自重を支えて、かつ水平方向に変形できるように、ばねとしては、軟らかいゴムのような土台がよさそうです。あるいは、凹面に建物を載せて、その上を滑らせるという方法もあります。建物が滑っても、自重の力で元の位置に戻ります。

元に戻すには？

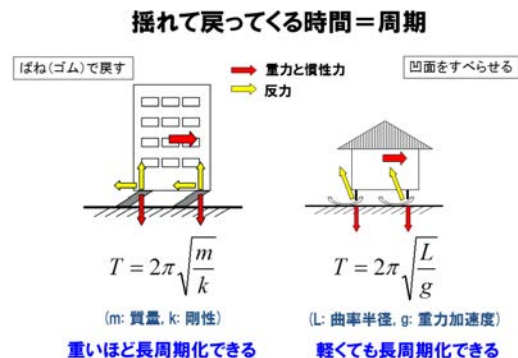


元に戻す力(復元力)

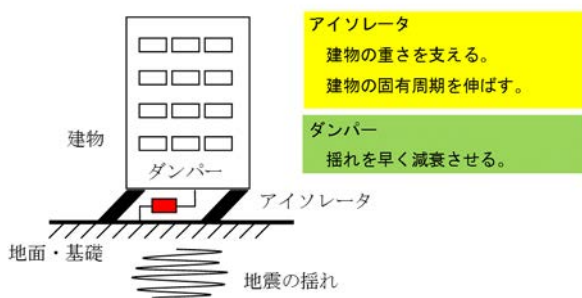


「ばねで戻す」方法では、固有周期は重さの平方根に比例します。つまり、重たい建物ほど固有周期を長くすることができます。また、ばねの剛性の平方根に逆比例します。つまりゴムのような剛性の小さい（柔らかい）ばねで支えることで周期を長くできます。

一方、「凹面を滑らせる」方法は、固有周期は凹面の曲率半径の平方根に比例します。つまり、平らな凹面ほど固有周期を長くすることができます。重さには関係がないので、軽い住宅の免震に適しています。また、両方を併用することよく行われます。



免震構造の仕組み



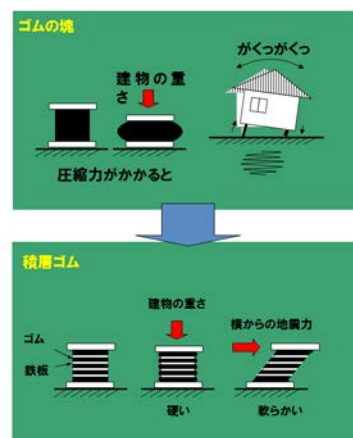
さらに、建物の揺れを早く減衰させるダンパーを追加しましょう。すでに説明したように、ダンパーは、振動に伴ってエネルギーを吸収する装置です。ダンパーを用いることで、建物の揺れを徐々に小さくすることができます。

以上のように、免震構造では、建物の重さを支えて固有周期を長くするアイソレータと揺れを減衰させるダンパーを併用することで、効果的に地震時の建物の揺れを小さくできます。

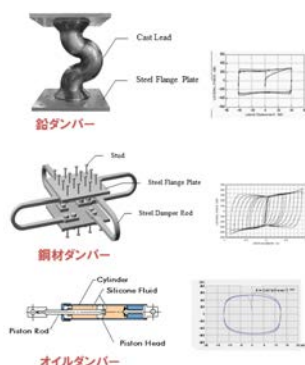
1969年にマケドニアの首都スコピエに、ゴムの土台を使った世界で最初の免震建物が建設されました。ただ、ゴムの固まりは水平方向だけでなく上下方向にも柔らかいため、地震のときには水平の揺れと上下の揺れが組み合わさって建物が傾くロッキング振動が起きる問題がありました。そこで、鉛直方向には硬く、水平方向には柔らかいゴム支承として、積層ゴム支承が考え出されました。積層ゴムは、厚さ数ミリの薄いゴムの層と鋼板とを交互に重ね合わせて接着した構造をしています。こうすることで、鉛直方向の変形に伴うゴムの横への膨らみを鋼板が拘束し、建物の重さによる上下変形を小さく抑えることができます。一方で、水平方向の力に対しては、ゴムのせん断変形を鋼板は拘束しませんが、柔らかく変形します。この積層ゴムの発明によって、実用に耐える免震構造が実現しました。

アイソレータ

積層ゴム支承

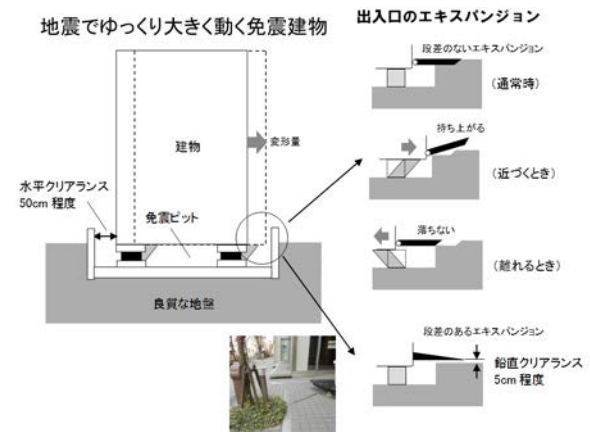


ダンパー



免震装置に使われるダンパーは、比較的大きな変形に追従できることや、どの方向にも変形できるように、形状には様々な工夫がなされています。

免震構造では、免震層が変形できるように建物の周囲に障害物のない空間（水平クリアランス）を設ける必要があります。マンションやビルの免震では、通常は地下に免震ピットがあるため、建物周囲に手すりや植栽を設けることでピットへの人の落下を防ぎます。また、出入口には建物と一緒に動く蓋（エキスパンション）を設けます。



海外の伝統建築に見る耐震技術



イランの北部の高床式建築物
(from Dr. Ahmad Naderzadeh)



丸太を組み合わせた基礎で地震の揺れを低減



アルジェリアのカスバにある寺院
(from Dr. Abdessemed-Foufa and Dr. Benouar)



丸太を壁に挟んで地震の揺れを低減

免震装置は建物の地下なので、地震のあとに、装置が壊れているかもしれません。そのまま放置しておくと、次の地震のときに免震装置が働かず、危険です。地震のあとには、メーカーに装置の状態を確認してもらいましょう。

過信は禁物

放置された装置の不具合



鉛ダンパーのひび割れ及び拡大図



鉛ダンパーの定着部が破壊



鋼材ダンパーの塗装のはがれと変形



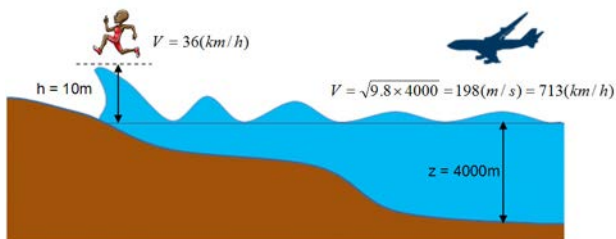
支承の鋼材部分のさび

津波にどう備えるか？

■津波のスピード

$$\text{津波速度 } V(m/s) = \sqrt{g(m/s^2) \times (z(m) + h(m))}$$

ここに、 g : 重力加速度($\approx 9.8 \text{ m/s}^2$)、 z : 水深、 h : 波高



東日本大震災では、2万人近い犠牲者の約9割が津波により亡くなりました。

津波の速度は水深と波高により決まります。太平洋の平均深さは約4000メートルで、この深さを伝える津波の速度は時速約713kmというジェット機並みのスピードになります。陸地に近づいて水深が浅くなると速度は遅くなりますが、後ろの津波が追いつくので全体が盛り上がります。さらに、入り組んだ湾では左右から波が重なって波高が増します。仮に陸上での津波の高さを10mとす

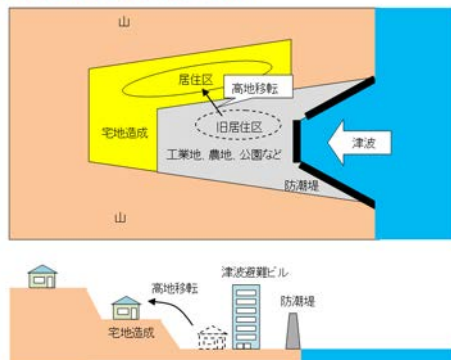
ると、その速度は時速36kmとなり、100m走の陸上選手並みのスピードで津波が迫ってくるのです。

我々は津波にどのように備えればよいのでしょうか？

津波被害をなくす効果的な方法は、津波が到達しない高台に住居を移転することです。しかし、漁業を営んでいる人のために、海辺までの交通路を整備したり、堤防や背の高い津波避難ビルを建設する必要があります。

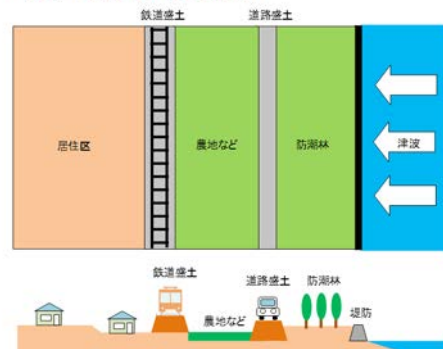
近くに高台のない平野部では、土地利用を制限するとともに、海岸堤防や砂丘、防潮林、道路盛土などで津波の勢いを減衰させる多重防御が必要です。

港湾部の津波対策（高地移転）



津波のハード対策

平野部の津波対策（多重防御）



国は、地方自治体に対して最大クラスの津波に対する浸水区域や水深を設定して公表することを義務付けています。そこで作られる津波ハザードマップは、避難場所、避難路などを整備するときの基礎となるものです。みなさんは、住んでいる地域が津波で浸水するかどうか、知っていますか？

大地震が発生すると広い範囲の地域が一度に被災します。水道・電気・ガスなどのライフラインが使えなくなると、生活の継続に支障が出ます。公共交通機関が止まることで、帰宅困難者が発生し、道路が渋滞すると、消防や救急が間に合わない事態が起きます。地震災害に備えるには、自分と家族を守る「自助」と、地域で助け合う「共助」、そして国や自治体からの救助や支援を受ける「公助」の3つの取り組みが重要です。

国や自治体の助けはすぐには来ません。災害のときに頼りになるのは周辺住民や企業同士の「共助」です。普段から地域ぐるみで防災訓練を行い、防災の知識の普及や啓発に努めましょう。防災訓練は、お互いが知り合う貴重な機会です。

津波に対する統一標識（2008年にISOにより国際規格化、2009年にJIS化された）



Q. 地域防災力をいかに高めるか？



豊橋市は、以前から東海地震や東南海地震の発生が心配されており、防災活動が熱心に行われてきました。工学院大学の久田先生からお借りしたスライドで、その活動を紹介しましょう。なお、この活動には豊橋技術科学大学も参加しています。

通常の防災訓練では、あらかじめ設定されたシナリオ通りに組織として整然と行動することが求められます。しかし、実施の地震では、シナリオ通りにいくことはまずありません。時々刻々と変化する状況に応じて、各自が臨機応変に対応する必要があります。

そこで、2006年に豊橋市の山田町で行われた防災訓練では、住民に予告せずに被害看板を街中にランダムに設置し、訓練の中で被害看板に応じた対応を取る方法が取られました。この方法を「発災対応訓練」といいます。

発災対応訓練(実践的でリアルな訓練)

2006年豊橋市防災訓練

住民:情報収集、消火・避難活動



被害看板設置(火災・建物・道路)



(スライド出典 工学院大学 久田嘉章・村上正浩)

たとえば、防災訓練の参加者は、街中で火災の看板を発見したら、すぐに初期消火の行動を開始します。同時に、被害の状況を自治会に報告して、自治会は報告をまとめた被災マップを作成します。マップには、どこで火災が発生しているか、どの建物が倒壊しているかといった情報がまとめられていて、その情報は豊橋市の防災拠点に集められます。

このようなよい訓練が過去に行われていますが、残念ながらその後、継続はされていません。どうすれば、こうした活動が継続できるのか、皆さんと一緒に考えてみたいと思います。

情報収集・伝達

住民:情報収集、消火・避難活動(飽海地区73名、山田地区153名)



初期消火訓練
(消火器・バケツ・消火栓)



被災マップ作成
(総代確認)



一般防災訓練
(消火器・救援・救護)



避難訓練(要援護者)



避難者名簿作成

(スライド出典 工学院大学



校区防災拠点

久田嘉章・村上正浩)