

# 建築構造と安全その1

---

建築構造概論

# 第2回講義内容

- 建築構造の役割
- 地震と被害例
- 建築構造の目標
- 荷重の種類
- 第2回講義試験

# 建築構造の役割

- 人間が快適な生活を営むためのシェルターを、地上や地下に安全に支える要素である。
- 構造には、骨組みの中の力の流れ、骨組みの形式、材料や架構の作り方によって、いろいろなバリエーションがあり、これらの要素の全てを含んだもの、構造システムという。

# 地震はどうして起きるのか プレートテクトニクス

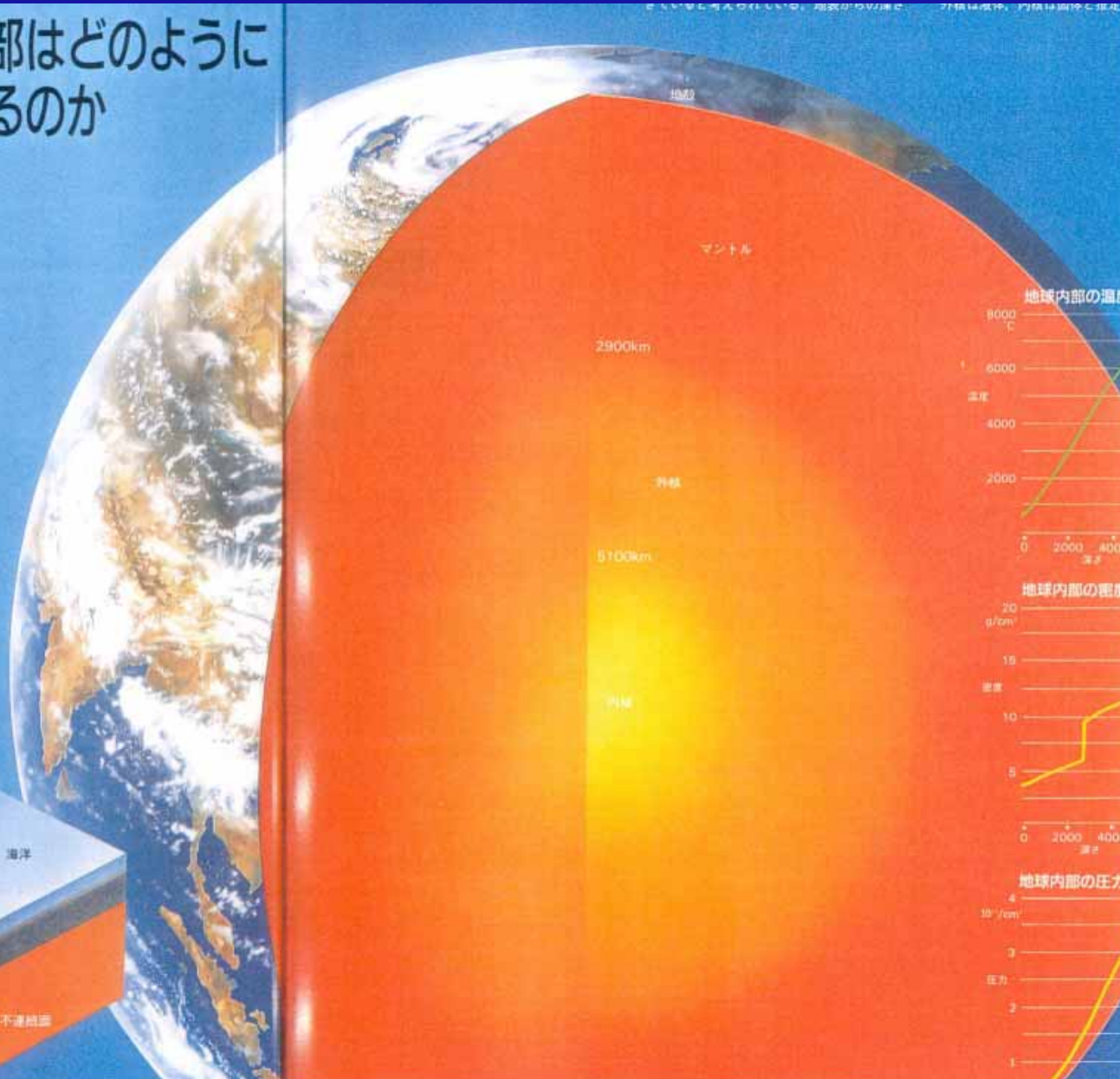
## 地球の構造

### 地球の構造 地球の内部はどのように なっているのか

をしていることは、現在ではだれもが知っているが、古代の人々は地球が丸い形をしていないようになってきた。16世紀に入りマゼランの世界一巡りをして、地球が球形をしていることが実証された。このことは直接調べることはむずかしい。しかし、地震が地球の中をどのように伝わるかを調べることで、かなりのことがわかるようになっている。

**下 肇** 東京大学地震研究所教授

を取り巻いている表層の部分である。それによってことなっている。大陸では30～50km、5～10キロくらいである。上層は花崗岩質で、下層は玄武岩質の岩石からなる。この境界は、発見者の名にちなんでモホロウィチッチ不連続面（モホ面）とよばれる。

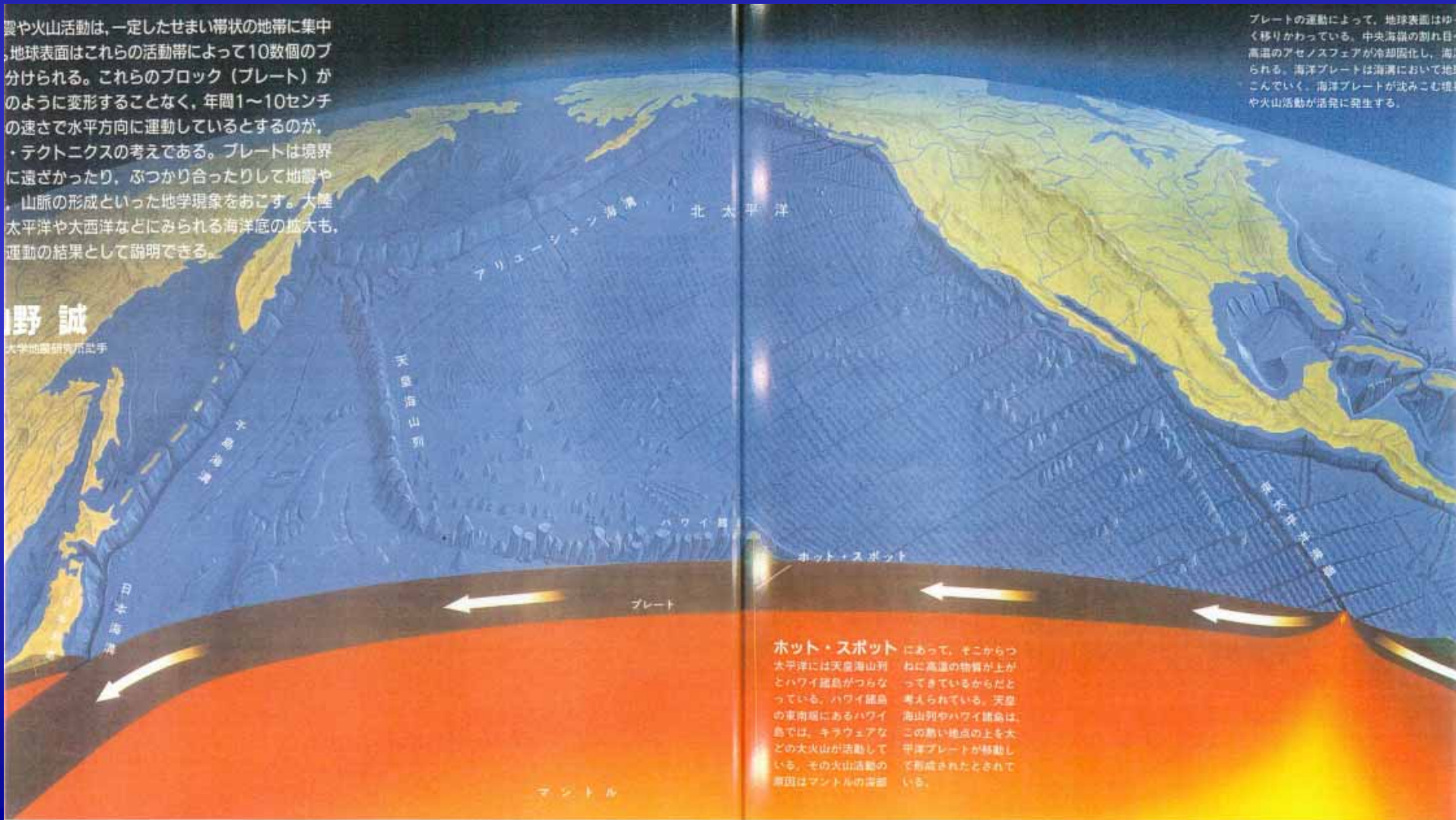


# 地震はどうして起きるのか プレートテクトニクス

・大陸は移動している

震や火山活動は、一定したせまい帯状の地帯に集中し、地球表面はこれらの活動帯によって10数個のブロック（プレート）がのように変形することなく、年間1〜10センチの速さで水平方向に運動しているとするのが、プレートテクトニクスの考えである。プレートは境界に遠ざかったり、ぶつかり合ったりして地震や山脈の形成といった地学現象をおこす。大陸太平洋や大西洋などにみられる海洋底の拡大も、運動の結果として説明できる。

野 誠  
大学地学研究所助手



プレートの運動によって、地球表面はゆく移りかわっている。中央海嶺の割れ目、高温のアセノスフェアが冷却固北し、海られる。海洋プレートは海溝において地こんでいく。海洋プレートが沈みこむ境や火山活動が活発に発生する。

**ホット・スポット** において、そこからつ太平洋には天竺海山列とハワイ諸島がづらなっている。ハワイ諸島は、この熱い地点の上を太平洋プレートが移動して形成されたときからある。

# 地震はどうして起きるのか プレートテクトニクス

## ・日本付近のプレート



# 地震はどうして起きるのか 地震発生メカニズム

- 世界の地震地帯と海溝



# 地震はどうして起きるのか 地震発生のメカニズム

## プレート境界と地震

これはプレートの境界とみごとに一  
界面でのプレートどうしの相対運  
引きおこす力を生じさせるのであ  
地震がよくおこっているのは、太  
巻く海溝沿いである。  
界でも有数の地震国である。これ  
がプレートの沈みこみ帯の上に位  
からである。日本で起きる地震の  
調べてみると、太平洋の側から日  
ってしだいに深くなっていくこと  
この震源が分布している面を深発  
う。深発地震面は日本の下に沈み  
プレートの上面にあたると思えら  
日本の下には深発地震面が二つあ  
太平洋プレートの沈みこみに相当  
う一つはフィリピン海プレートの  
相当する面である。太平洋プレ  
みでは、震源は深さ600キロにま  
る。また東北地方で切った断面で  
地震面は30キロほどの間隔で二



**太平洋地域の地震活動**  
震源をプロットしたコンピューター・グラフィックス。右端の北アメリカ太平洋岸にはじまり、左まわりにアラスカ、アリューシャン列島、カムチャツカ半島、千島列島、日本、伊豆・小笠原諸島、マリアナ群島、そして琉球諸島、台湾、フィリピン、ニューギニア、フィジー、トンガ、ニューゼーランドへとつづく地域での地震活動が活発である。これらはほとんどがプレートの沈みこみ帯と一致する。



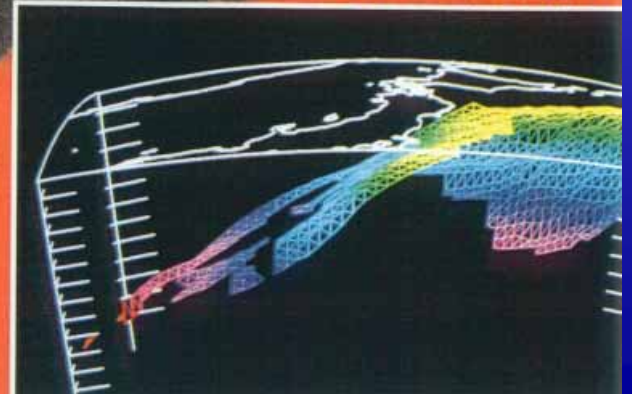
**日本列島直下**  
内陸部でおきる地震。太平洋プレートと日本海の沈みこみにより東側から圧縮を受けて地震が発生する。震源は浅い。

**陸プレートと太平洋プレートがこすれ合う部分**  
地震活動が非常に活発な部分。太平洋プレートとユーラシアプレートの境界面がこすれることによって地震が発生する。

**太平洋プレートの沈みこみ**  
太平洋プレートが日本の下に沈みこむときに、下向きに曲げられる地震が発生する。

**北海道・東北地方の地震活動（深発地震）**  
北緯35度から48度、東経130度から150度の範囲を南北に近い規模でみた深発地震面を、深さごとの色の変化でコンピューター・グラフィックス。食から青、赤に向かうが日本海溝からの沈みこみ帯は深さ約500キロにまで達し、伊豆・カムチャツカ海溝からの沈みこみ帯は震源が浅く

**深発地震面**  
深さ60キロより深い部分では深発地震が発生する。東北日本の下では深発地震面が二重になっており、上面は海洋プレートの沈みこみ方向に圧縮力を受け、下面はひっぱられることによって地震がおきる。これらの地震は、海溝で曲げられた海洋プレートが元の平面にもどろうとするためにおきるプレート内地震であると考えられている。





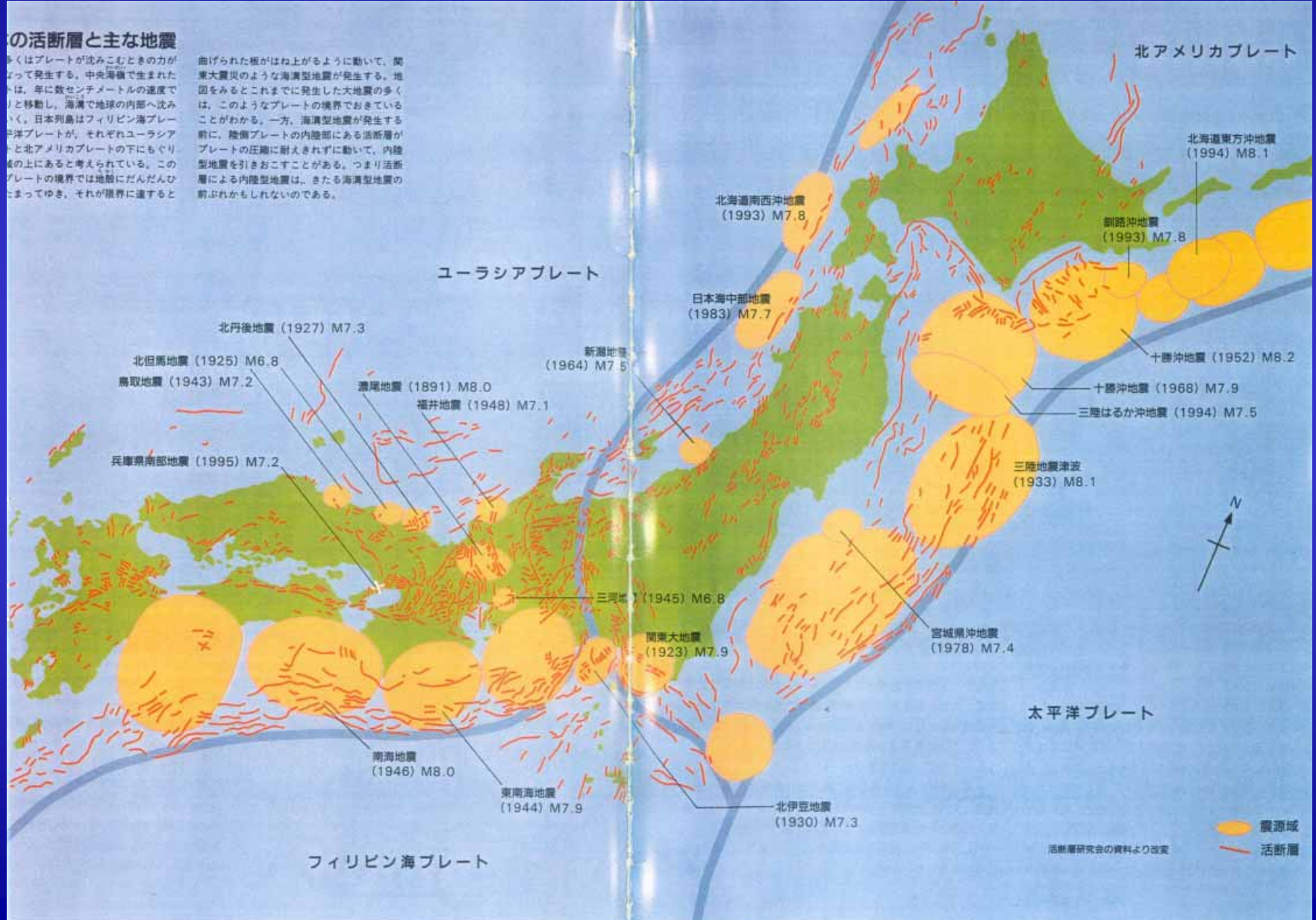
# 地震はどうして起きるのか 地震発生メカニズム

## 活断層と地震

### 活断層と主な地震

多くはプレートが沈みこむときの力が  
たまって発生する。中央海嶺で生まれた  
プレートは、年に数センチメートルの速度で  
移動し、海溝で地球の内部へ沈み  
こむ。日本列島はフィリピン海プレ  
ートと北アメリカプレートの下にもぐり  
こまると考えられている。この  
プレートの境界では地殻にだんだんひ  
きこまれてゆき、それが限界に達すると

曲げられた板はね上がるように動いて、関  
東大震災のような海溝型地震が発生する。地  
図をみるとこれまでに発生した大地震の多く  
は、このようなプレートの境界でおきてい  
ることがわかる。一方、海溝型地震が発生する  
前に、陸側プレートの内陸部にある活断層が  
プレートの圧縮に耐えきれずに動いて、内陸  
型地震を引き起こすことがある。つまり活断  
層による内陸型地震は、さる海溝型地震の  
前ぶれかもしれないのである。



活断層研究会の資料より改変

# 地震はどうして起きるのか 地震発生のメカニズム

## • 地震発生のメカニズム

### 地震発生のメカニズム

地球内部にたくわえられたひずみのエネルギーが一挙に解放されるとき、地震が発生する。プレート・テクトニクスの考えをもとに、地震発生のメカニズムについて考えてみる。



#### 日本列島の太平洋側でおきる地震のしくみ—逆断層型

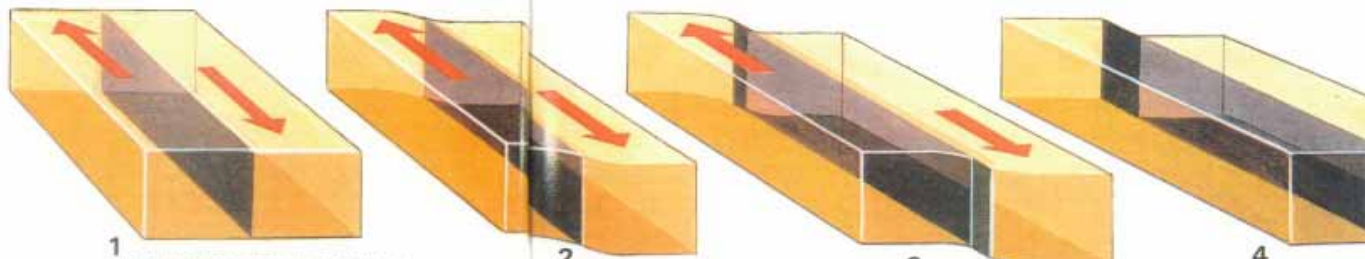


1 マントル対流によって、日本の近くまで水平に移動してきた太平洋の海淵は、海溝の部分で地球の内部へもぐりこんでいく。

2 もぐりこんでいく海底の部分は、日本列島の太平洋へ突きでた地面を、圧縮すると同時に、下へひっぱりこもうとする。

3 地面の先端がひっぱりこまれるにしたがって、その部分に、圧縮された分だけ元の位置へもどろうとする反発力がたくわえられる。

#### 日本の内陸部でおきる地震のしくみ—横ずれ断層型



1 断層をはさむ両側の部分に、たがいに逆方向の力がはたらく。断層に沿った部分の間の摩擦力によって、断層の近くの地面は変形していく。

2 断層面に近い部分の変形のしかたは、少しはなれた部分にくらべると大きい。このために、断層面の近くにひずみがたくわえられる。

3 ひずみがある程度をこえたとき、断層面近くの最も弱いところで、急激な破壊がおき、地震が発生する。

4 地震がおけると、断層面は解き放たれる。断層面にはもどらない位置にもどらな

に「ひずみエネルギー」がたまっていく

断層面の破壊強度や、地震直前に断

て断層をつくることによって生じる。

層裂]、「横ずれ断層型」に分けられる。

みこまれる陸側

# 海洋型地震と直下型地震

- 直下型地震は日本全域で発生する



# 地震のマグニチュードと震度

- 地震のマグニチュード(地震の規模)
- リヒター (C.F.Richter)の定義(地震に固有の値)
- 地震のマグニチュードは震央距離100kmのところにある周期0.8秒、減衰定数0.8、倍率2800倍の標準地震計が記録した最大振幅をマイクロン単位で読み取り、その常用対数で表す。
- 地震のエネルギーエルグ(E)とマグニチュード(M)との間にほぼ次の関係がある(グーテンベルク・リヒター式)。

$$\log_{10} E = 11.8 + 1.5M$$

- マグニチュードが0.1違うとエネルギーは約1.4倍、1違うと約32倍となる。
- 地震が起きる割合は、M=6は、M=7の5 ~ 10倍となる。

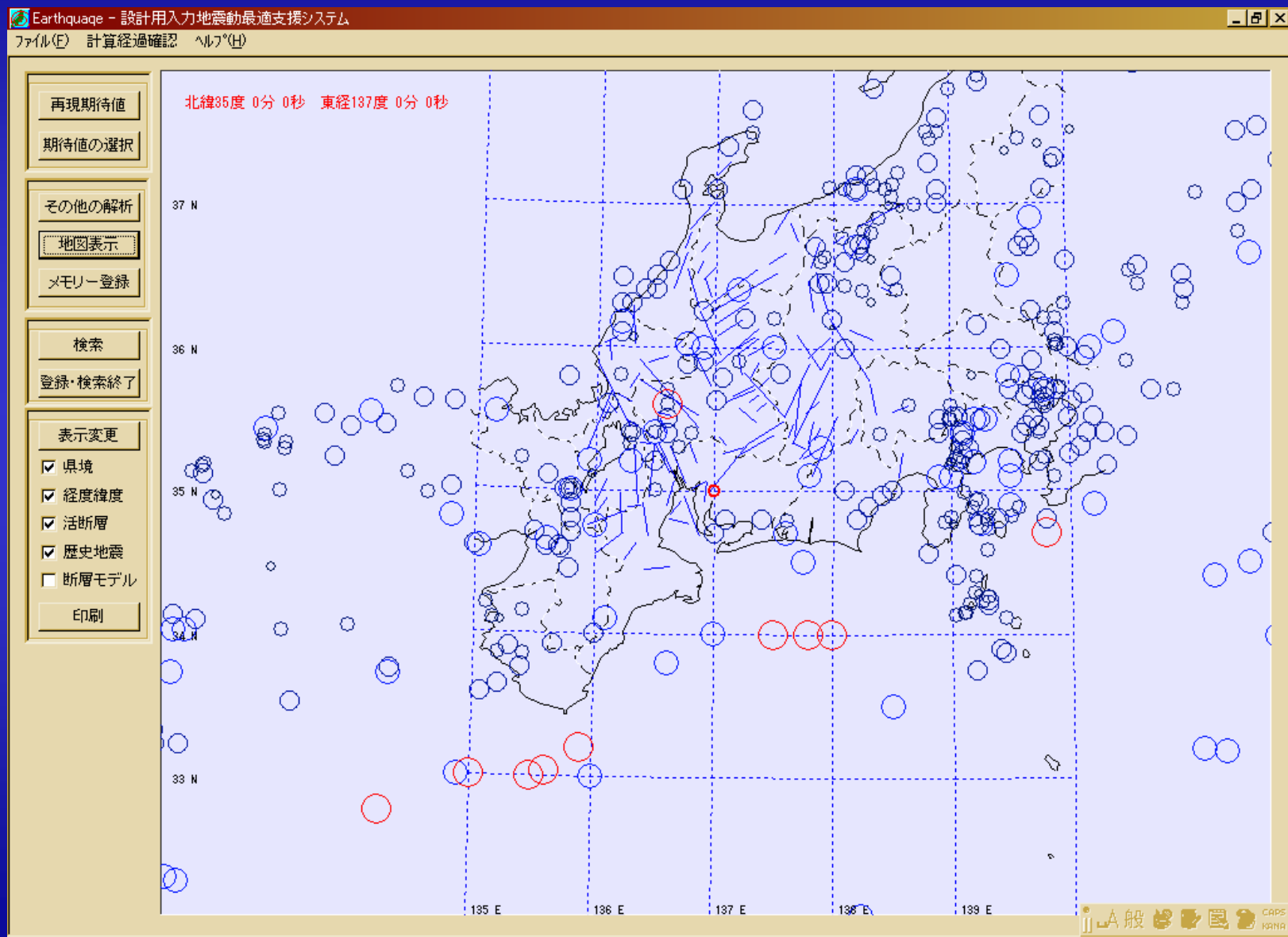
# 地震のマグニチュードと震度

- 地震のマグニチュード(地震の規模)
- 地震の大きさによる分類
- 大地震           7    M
- 中地震           5     $M < 7$
- 小地震           3     $M < 5$
- 微小地震       1     $M < 3$
- 極微小地震     $M < 1$

# 地震のマグニチュードと震度

- 震度(Seismic Intensity)
- 震度はある地域における地震動の強さを段階的に分けた表示である。これは、加速度、エネルギーなどの物理量ではなく、地震動の状況を総合的に判断して定める。
- 我国では気象庁震度階
- Ⅲ：中震、家屋の動揺が激しく、すわりの悪い花瓶などは倒れ、器内の水は溢れでる。(20-80gal)
- Ⅳ：強震、壁に割れ目が入り、墓石、石灯籠が倒れたり、煙突、石垣などが破損する。(80-250gal)
- Ⅴ：烈震、家屋の倒壊は30%以下で、山崩れが起き、地割れを生じ、多くの人々が立っていることができない。(250-400gal)
- Ⅵ：激震、家屋の倒壊が30%以上に及び、山崩れ、地割れ、断層などを生じる。(400gal以上)

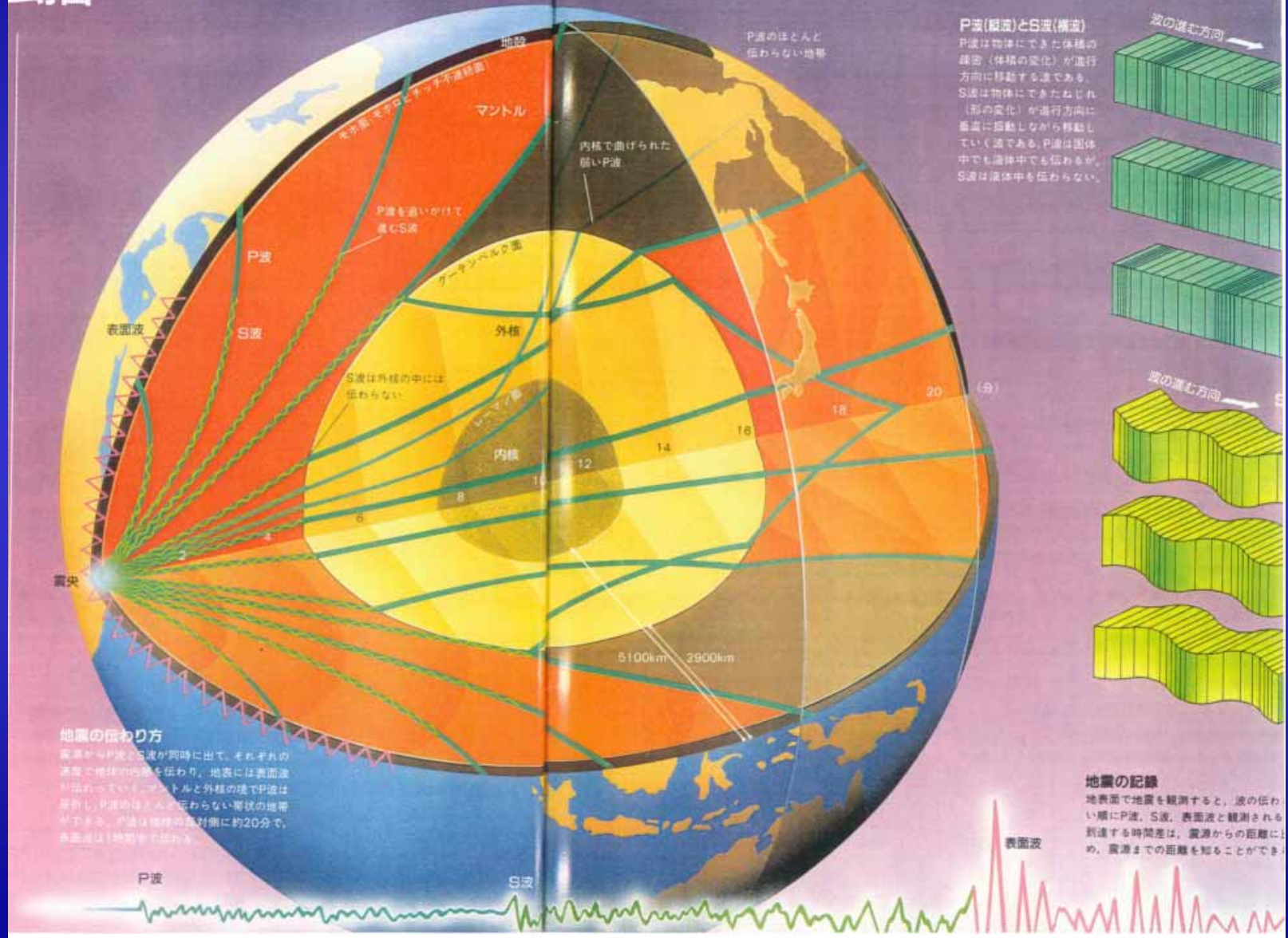
# 中部地方の活断層と歴史地震



# 地震波の伝播と構造物の固有周期

## 伝播

地震波は地中のある深さを境にして屈折したり、消えたりする。この性質を利用して、地球が層構造になっていることが明らかにされた。





# 地震波の伝播と構造物の固有周期

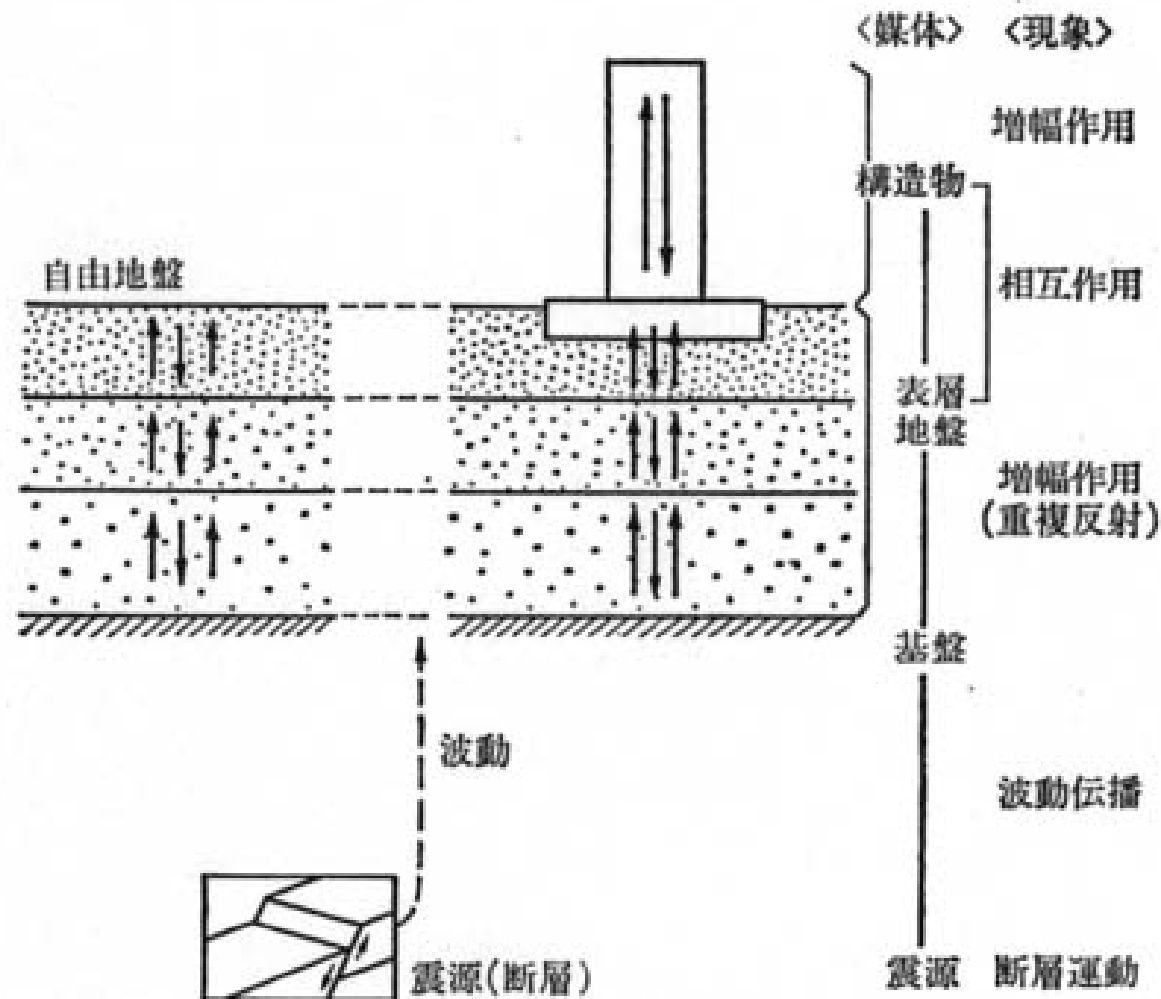
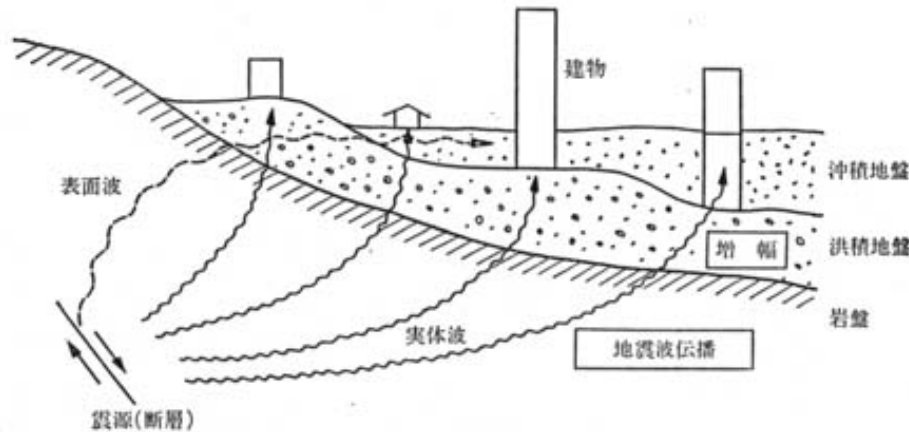


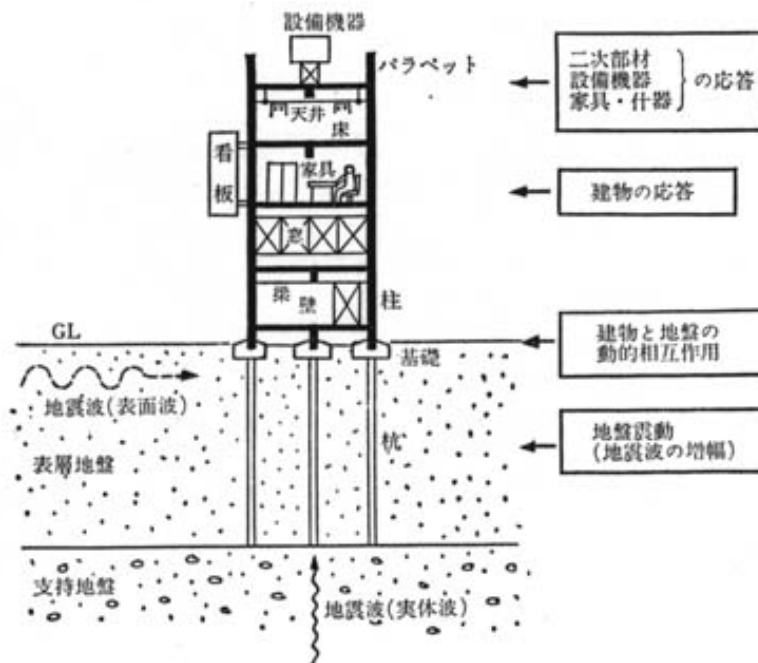
図 8・52 地震波伝搬の概念

# 地震波の伝播と構造物の固有周期

## 表層地盤によるフィルター作用



(a) 地震波伝播の全体像



(b) 地盤、建物の地震応答の構成要因

図 3・1 地震現象の全体像と構成要因

# 地震をどのように評価するのか

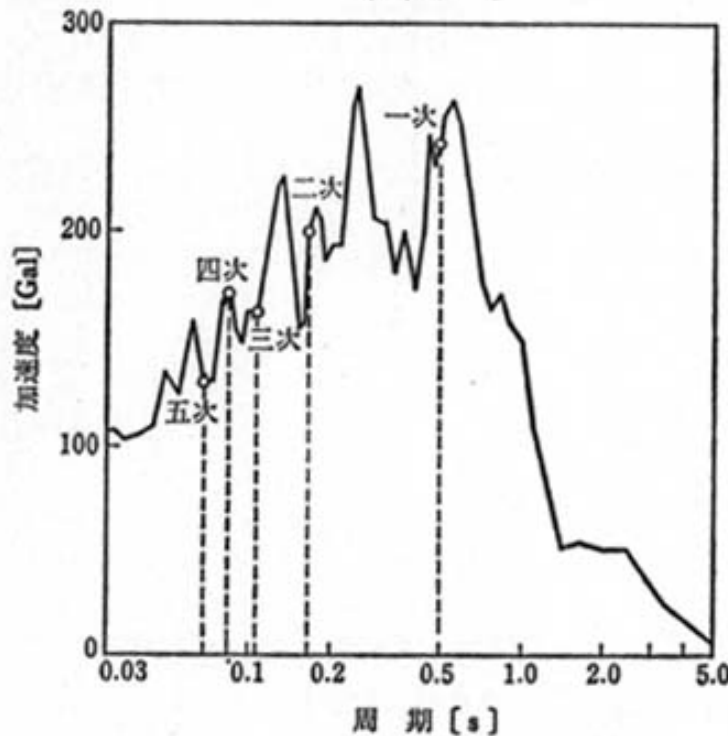
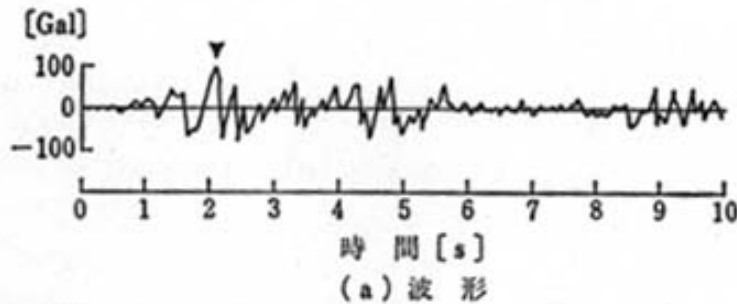


図 5・50 入力地震波 (エルセントロ 1940 NS)

地震を加速度波  
形で捕らえる

固有周期

パワースペクトル

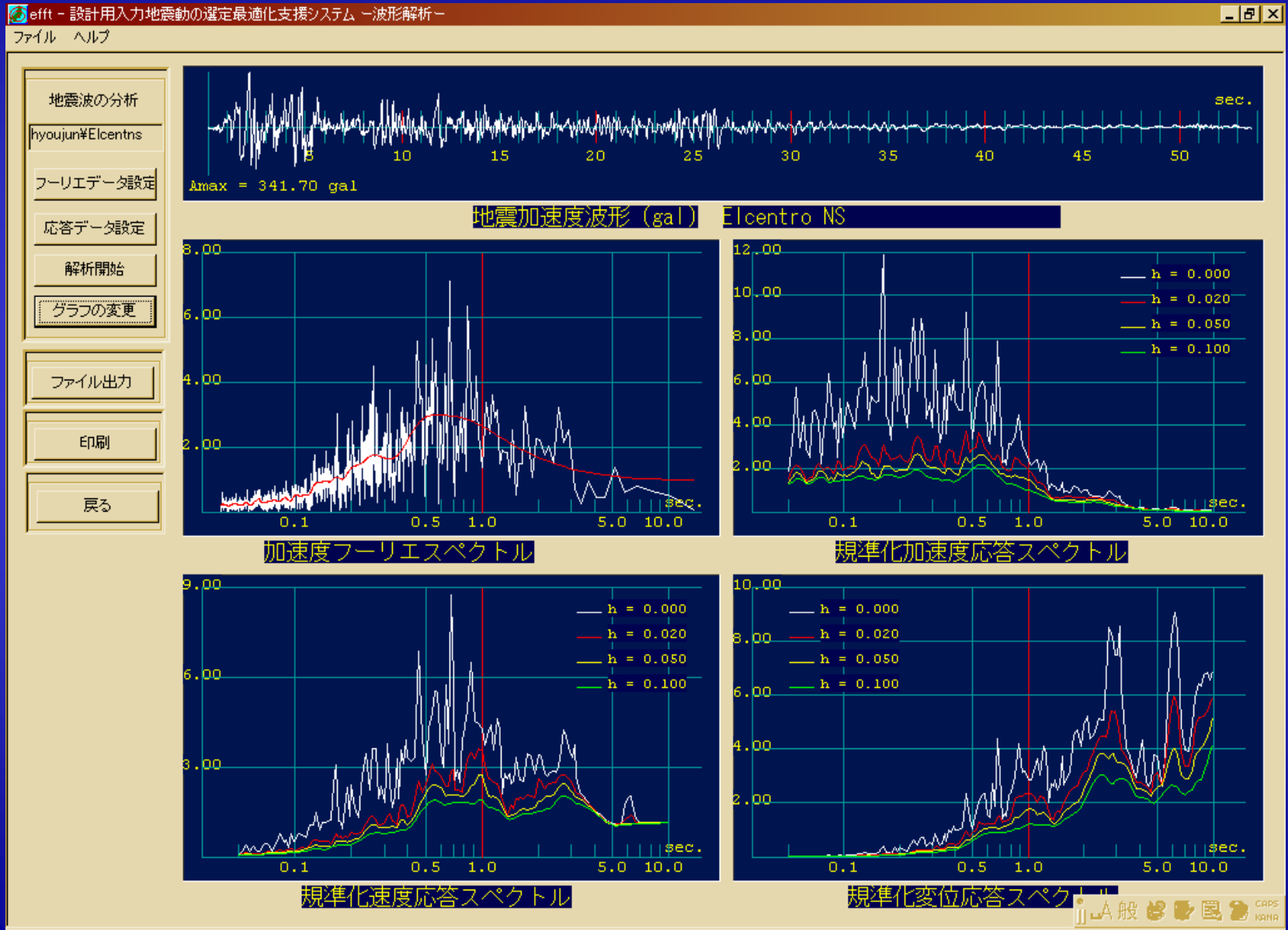
応答スペクトル

加速度応答スペクトル

速度応答スペクトル

変位応答スペクトル

# 地震波形の応答スペクトル：支援システム



# 建造物の固有周期

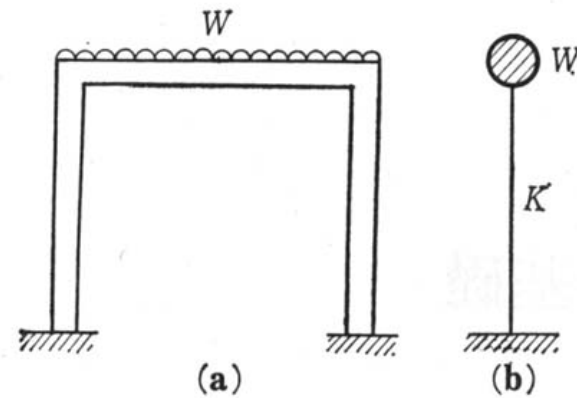


図-II.1.2 建物のモデル化

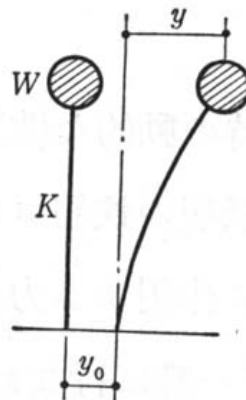


図-II.1.3

# 建物の固有周期

- 構造物は固有の周期で振動する
  - 固有周期は、建物の質量に比例し、硬さに反比例
- 周期と振動モードは対となる
- 建物の第一次固有周期の略算法

$$T = h(0.02 + 0.01\alpha)$$

- $h$  : 当該建築物の高さ (m)
- $\alpha$  : 当該建築物の内柱及びはりの大部分が鉄骨造である階の高さの合計の  $h$  に対する比

# 建造物の固有周期と地震

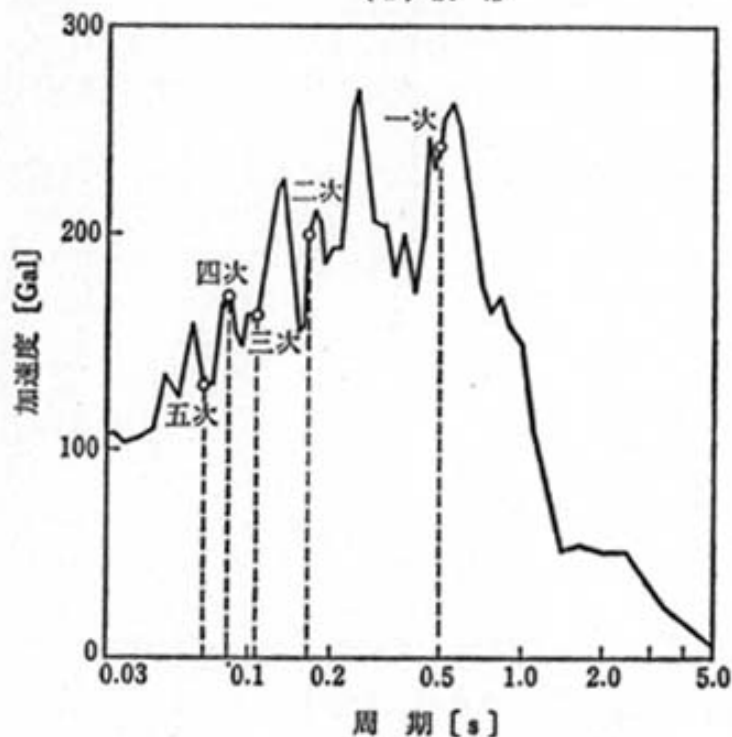
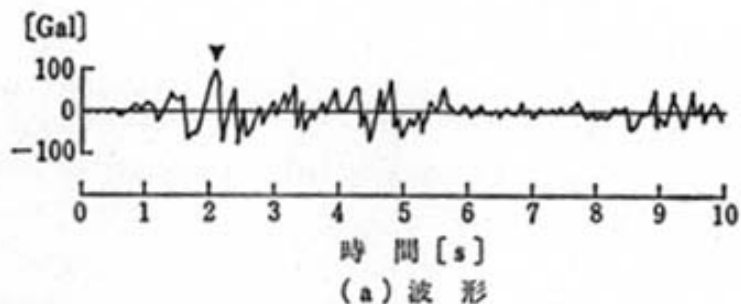


図 5・50 入力地震波 (エルセントロ 1940 NS)

応答スペクトル  
入力エネルギー  
建造物の固有  
周期  
共振現象

# 建築が荷重を受けると地盤まで力は伝わる

- 建築各部分に変形が生じ、力(応力)が発生する。
- それらの応力の大きさを知り、それに抵抗できる強度を持つ材料を用いる。(構造計算)
- $\text{建築(構造)}$
- $\text{荷重} \quad \text{部材の応力} < \text{材料強度}$   
 $\text{材料特性}$



# 建築構造の目標

- 常時：重力に抵抗して建築の形態を維持すること(材料強度と安全率、クリープ)
  - 非常時：建築が破壊、倒壊することなく、人名および財産を保全して、その安全性を保障すること(地震、台風、水害、など)
  - 意匠と構造の調和・融合 構造デザイン
- 
- 建築物を建設するという行為は経済活動

# 荷重

- **固定荷重**: 床、壁、はり、柱など建築自体の重量
- **積載荷重**: 建築の中にいる人や、家具、その他の重さ(統計量)
- **積雪荷重**: 雪の重さ(建設位置に寄って異なる)
- **地震力**(地面が揺れることによって建築に作用する慣性力(水平力))
- **風圧力**: 風が建築に作用する力(水平力)
- 土圧、水圧、温度応力など

# 荷重と安全率

- 長期荷重: 固定荷重、積載荷重、雪荷重(多雪地方)
- 短期荷重: 地震力、風圧力、雪荷重

発生応力 < 使用材料の強度 \* 安全率

例えば: 長期荷重      安全率 = 0.5

                         短期荷重      安全率 = 0.5

# 荷重の組み合わせ

荷重の種類	荷重	一般	多雪地域
長期に生じる荷重	常時	$G + P$	$G + P$
	積雪時		$G + P + 0.7S$
短期に生じる荷重	積雪時	$G + P + S$	$G + P + S$
	暴風時	$G + P + W$	$G + P + W$
			$G + P + 0.35S + W$
	地震時	$G + P + K$	$G + P + 0.35S + K$

G:固定荷重 P:積載荷重 S:積雪荷重 W:風圧力 K:地震力

# 固定荷重の計算

- 例 断面  $30 \times 80 \text{ cm}$  長さ:  $6 \text{ m}$  のはりの重量は: RCの単位体積重量 =  $24 \text{ kN/m}^3$
- 単位: 力  $\text{N}$  (ニュートン)
- はりの全重量 =  $24 \times 0.3 \times 0.8 \times 6 = 34.56 \text{ kN}$
- はりの分布重量 =  $24 \times 0.3 \times 0.8 = 5.76 \text{ kN/m}$

# 積載荷重

部屋もしくははその場所と構造計算の対象によって、値が異なる

計算の対象 室の種類	床の構造計算	大はり、柱、基礎はりの構造計算	地震力を計算する
住宅の居室	1800	1300	600
事務室	2900	1800	800
教室	2300	2100	1100
以下略			

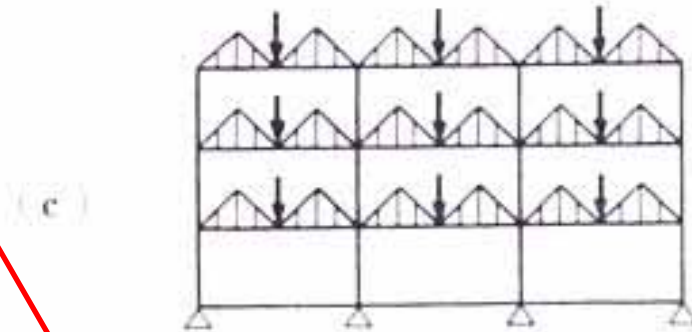
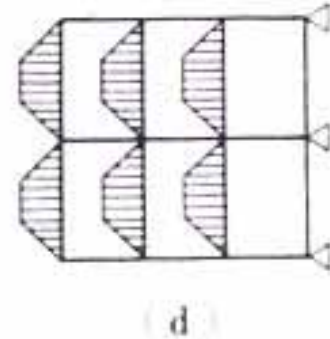
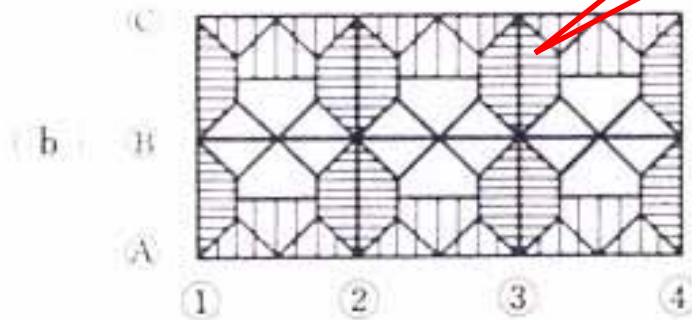
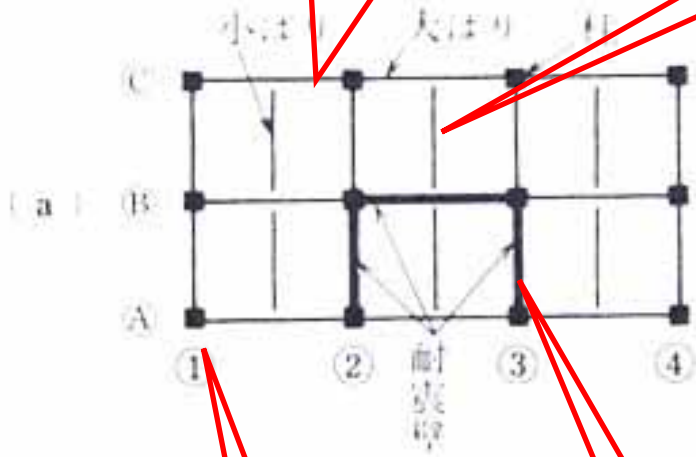
単位：kN/m<sup>2</sup>

# ラーメンに作用する鉛直荷重

大はり

小はり

負担面積



柱

耐震壁

# 雪荷重

積雪の単位荷重に、その地方における主意直積雪量を乗じて設計荷重とする。

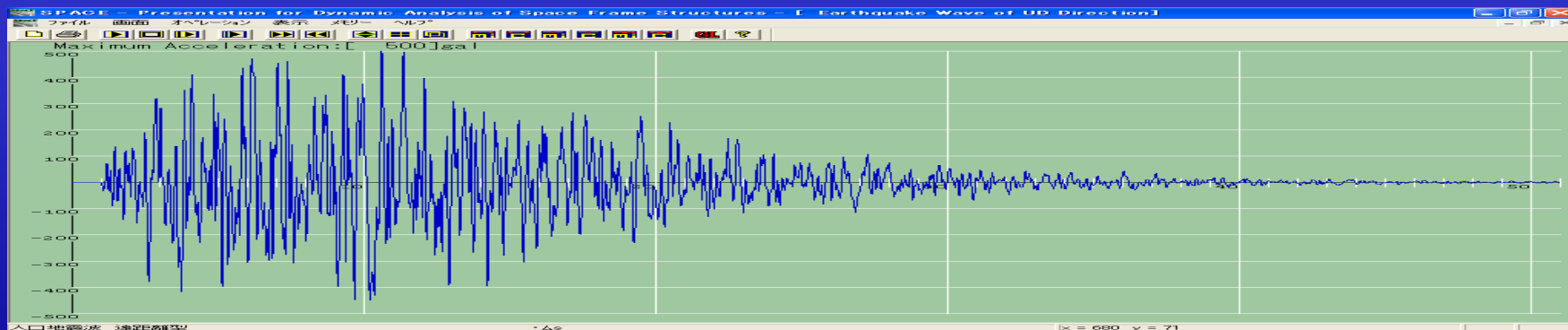
積雪の単位荷重：水平面  $1 \text{ m}^2$ あたり積雪  $1 \text{ cm}$ の重量である。  $20 \text{ N/m}^2/\text{cm}$

屋根形状係数（屋根の勾配）による積雪荷重の低減ができる



# 地震荷重

- 慣性力: 質量 \* 加速度
- 重力加速度:  $g=980\text{cm}/\text{sec}^2$  (gal: ガル)
- 地震加速度: 単位 ( $\text{cm}/\text{sec}^2$  gal) 時間依存
- 水平地震動、鉛直地震動
- 動的解析 静的解析、水平力を設定



# 地震荷重を静的荷重に置き換える 方法その1

- **震度法**: 重力加速度 ( $g$ ) に対する地震動の加速度 ( $a$ ) の割合を震度 ( $k$ ) と表すと、地震力は建築物の重量の  $k$  倍の水平力となって作用する。
- 建築の重量  $W$ 、質量  $m$      $W=mg$      $m=W/g$   
地震動最大加速度を重力加速度の  $k$  倍とすると  
 $a=kg$   
水平地震力による慣性力:  $F=ma=mkg=kW$

# 層せん断力係数

地震層せん断力係数 ( $C_i$ )による方法:

$$C_i = Z \times R_t \times C_0 \times A_i$$

- $Z$ : 地域係数
- $R_t$ : 振動特性係数
- $C_0$ : 標準せん断力係数
- $A_i$ :  $i$ 層の地震層せん断係数の分布係数

# 構造の各種分類法

- 構造用の材料(RC造、S造、SRC造など)
- 線材か面材で構成されているか  
(トラス、ラーメン シェル、壁式)
- 力の伝わり方 (トラス、シェル ラーメン)
- 地震に対する対処法 (耐震壁、ブレース、パネル、免震、制震)

# 地震による水平荷重

水平荷重

$$P_i = k w_i$$

層せん断力

$$Q_i = c_i \quad w_j$$

$J$ ;  $i$ 層から上の全重量

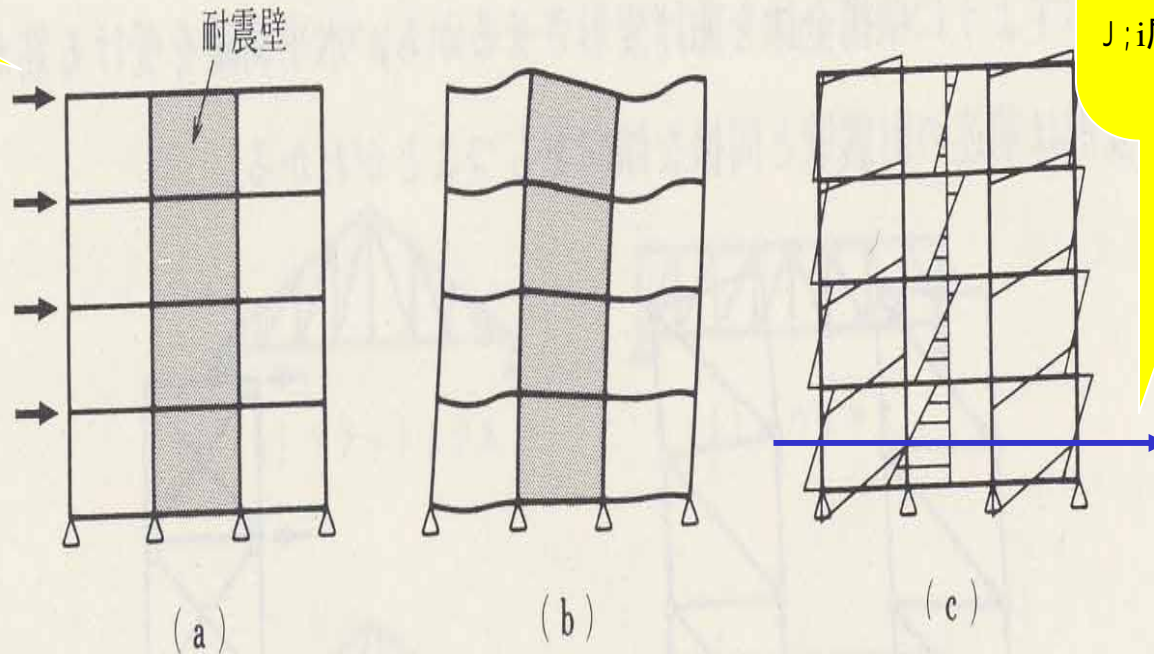


図 3.39 耐震壁を含むラーメンの変形と曲げ応力分布

# 振動の特徴

- 振動の特徴を表す指標：周期と減衰
  - 固有周期： $T=2\pi\sqrt{m/K}$
  - $m$ : 構造物の質量  $K$ : 剛性
  - 略算法による設計用一次固有周期 ( $T$ )
    - S造： $T=0.03h$
    - RC, SRC造： $T=0.02h$
    - 混合： $T=(0.02+0.01\alpha)h$ 
      - $h$ : 構造物高さ (m)
      - $\alpha$ : 全高に対するS造の割合
- 減衰：自由振動の振幅が減っていき、最終的にとまる

# 風圧力について

設計用風圧力

$P(\text{N/m}^2) = \text{風力係数 } c_f \times \text{速度圧 } q$

風力係数は建築の形態によって決められる

# 速度圧

速度圧 $q$ [N/m<sup>2</sup>]は風速の2乗に比例する

$$q=0.6EV_0^2$$

$V_0$ : 過去の耐風による風害の資料から求めた各地の年最大10分間平均風速、30-46m/秒

$E$ : 構造の高さ及び周辺地表状況による影響を考慮した係数  $E=E_r^2Gf$

$E_r$ : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$Gf$ : ガスト影響係数



# 第2回講義まとめ

1 . 地震はどうしておきるのか。

海洋型地震と直下型地震

マグニチュードと震度

地震をどのように捕らえるか

2 . 建築構造の目標

3 . 建築の安全性をどのように確保するのか

4 . 荷重

固定荷重   積載荷重   雪荷重

地震荷重   風荷重