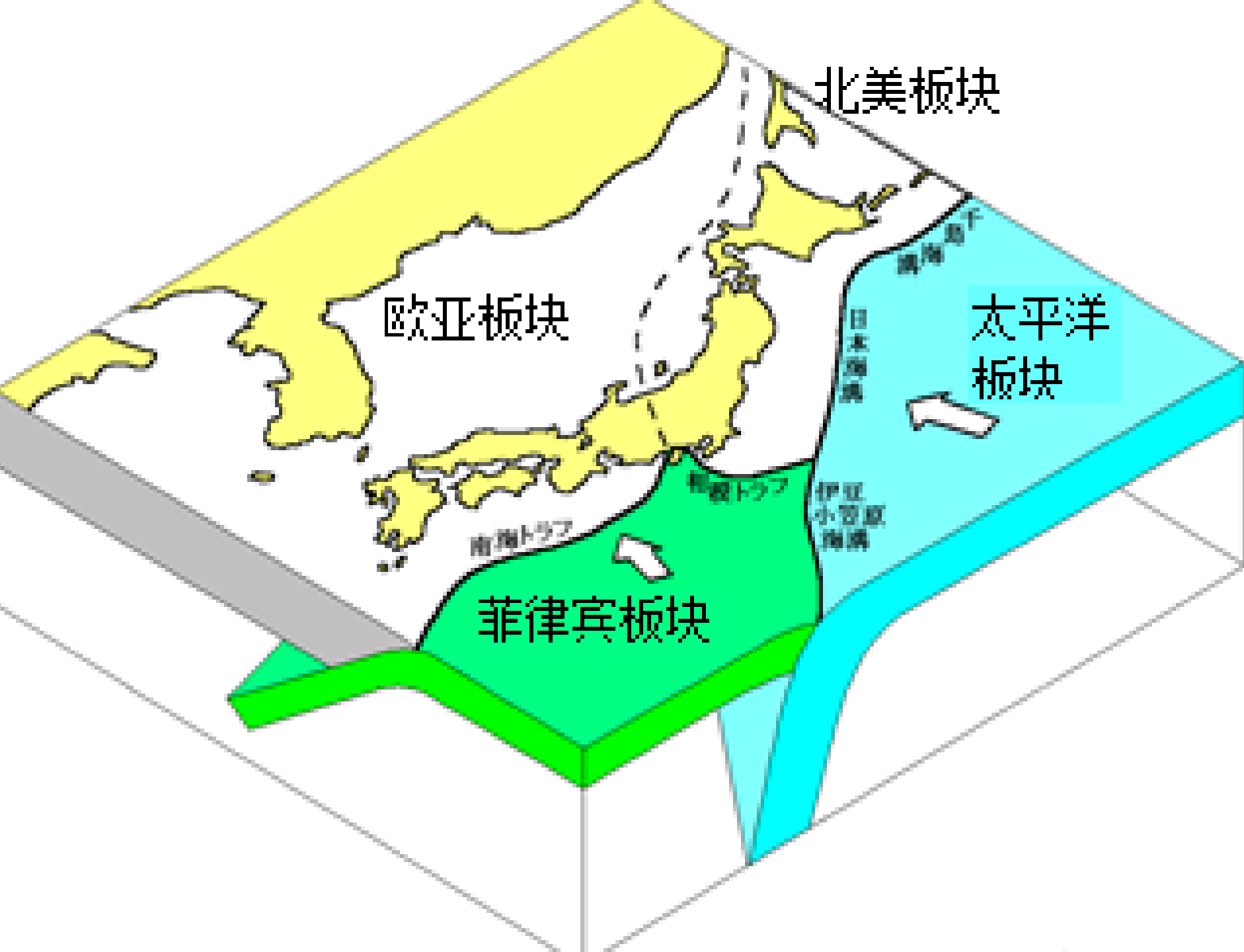


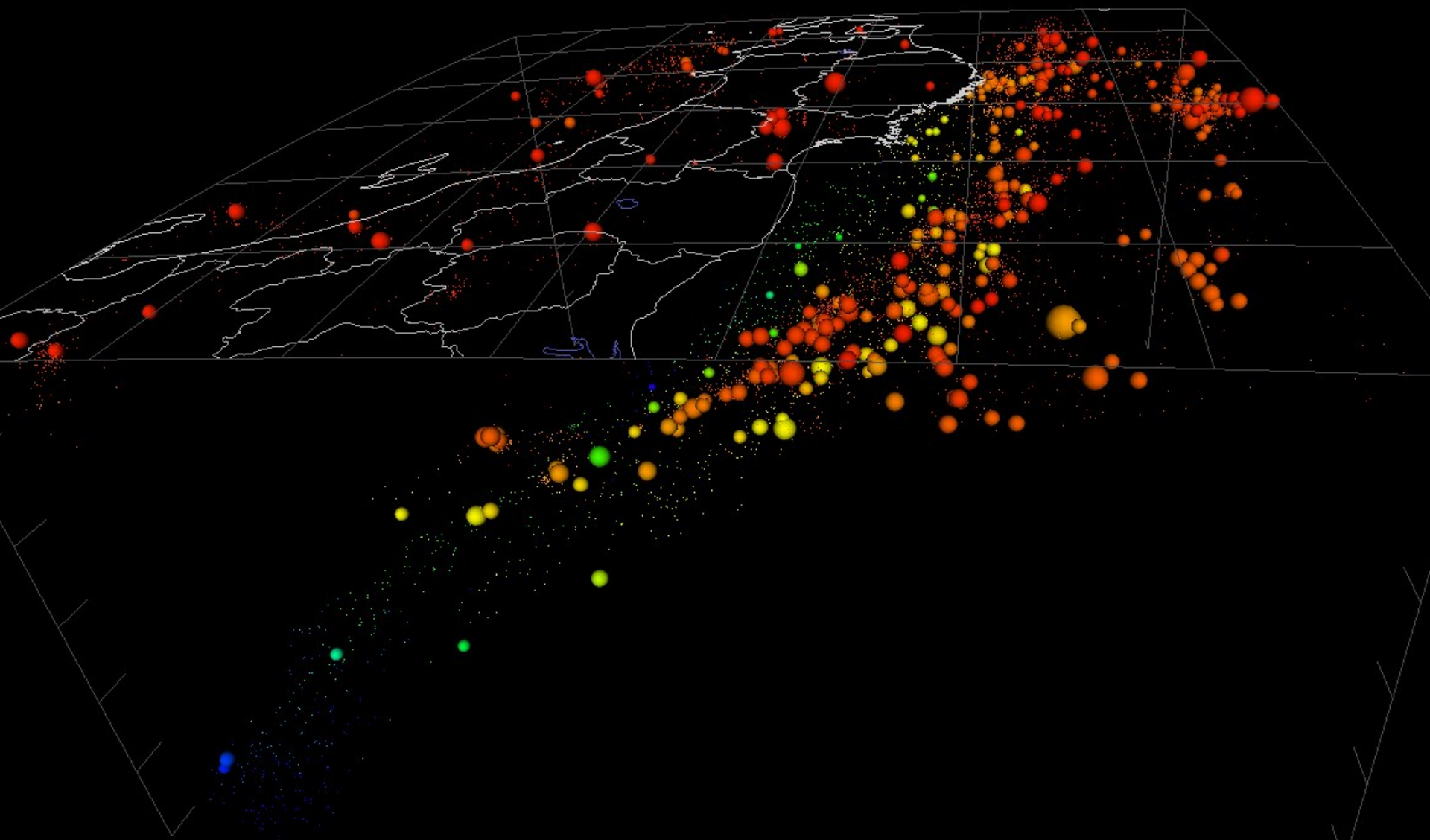
日本抗震设计 基本原理

陳 沛山 教授

(Chen Peishan Dr. Eng.)

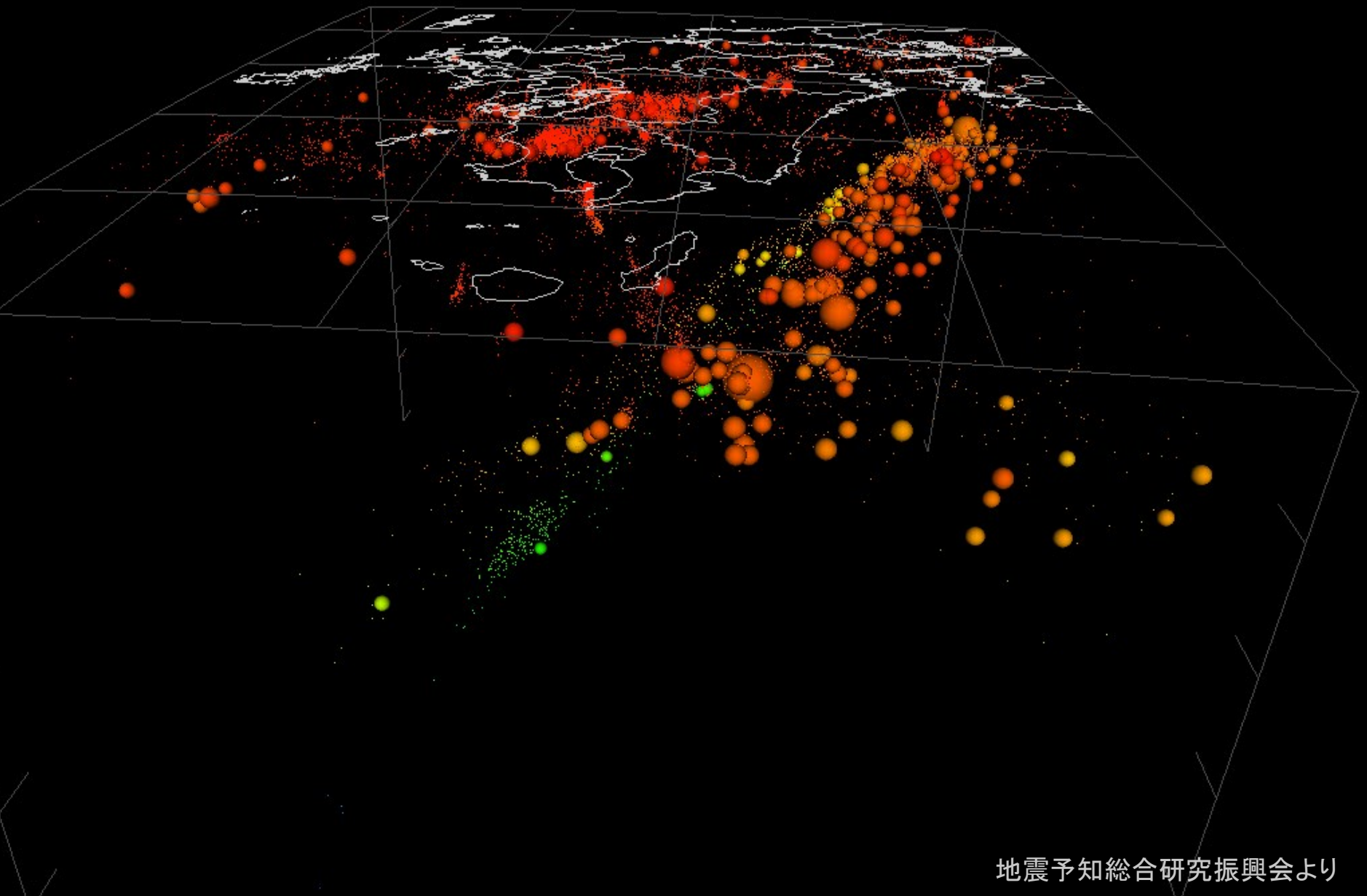
2012年4月





地震予知総合研究振興会より

Peishan Chen, Hachinohe Tech.



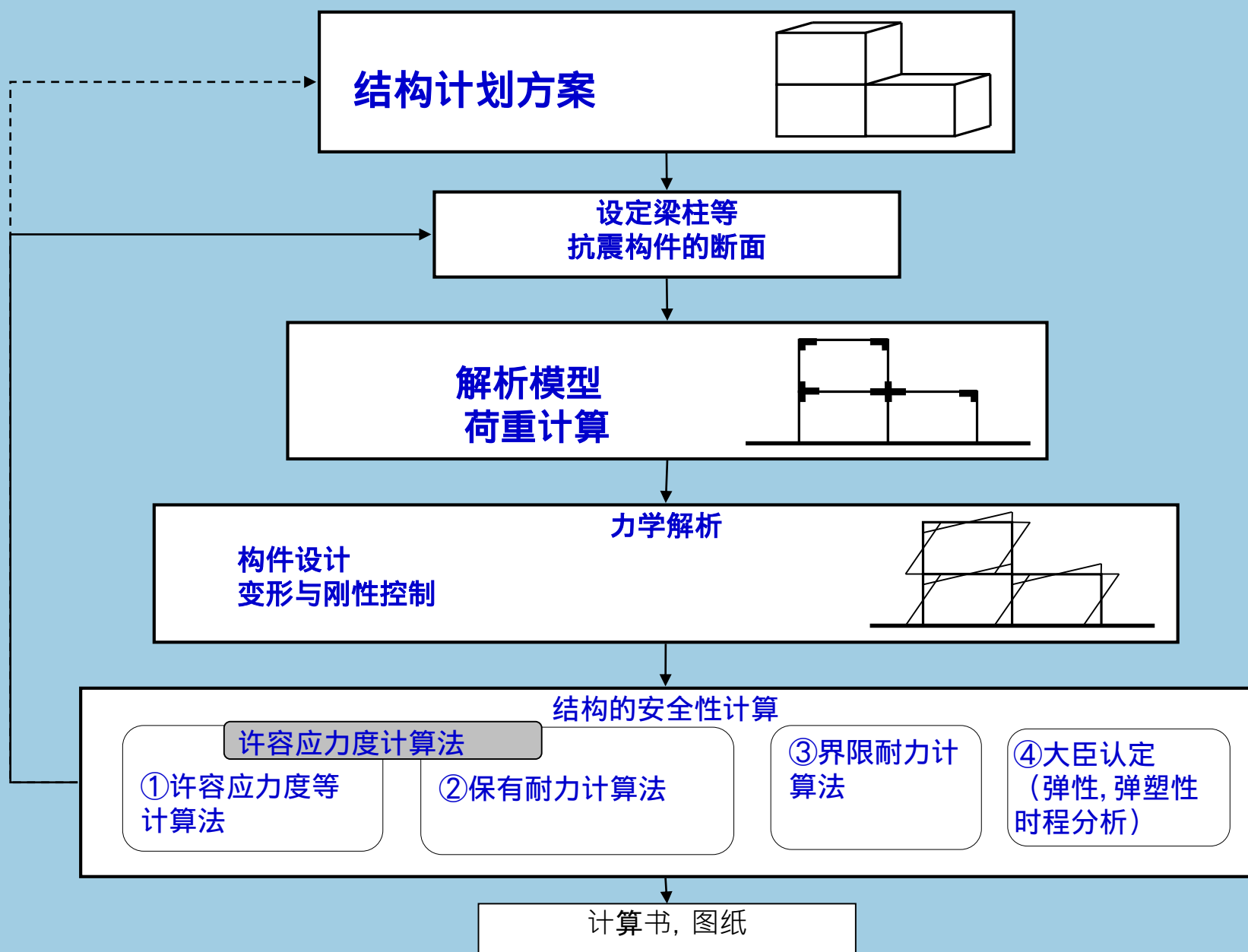
地震予知総合研究振興会より

Peishan Chen, Hachinohe Tech.

年	地震名称与震级	法规修改	灾情，法规修改内容等
1891	浓尾地震 (M8.0)	震灾预防调查会成立	死亡7300人，多数砖瓦房屋破坏
1916		“家屋耐震构造论” (佐野利器)	提出震度k算法
1919		市街地建筑法(1920年)	建筑限高100尺
1923		「架构建筑耐震构造论」(内藤多仲)	提出框架绕度法
1923	关东大地震 (M7.9)		128266栋房屋毁坏，死者99331人，行方不明者43476人
1924		修改市街地建筑法	规定水平震度大于0.1
1933		「钢筋混凝土结构计算规准」发表	框架的分配系数法 (武藤清)
1933	三陆地震 (M8.5)		津波冲毁4086栋房，死者2986人
1941		「铁骨结构计算规准」发表	
1943	鸟取地震 (M7.3)		7485栋房屋倒塌，死者1073人
1947		「日本建筑规格3001」发表	长期和短期许容应力度(容许应力)，震度提升为0.2以上
1948	福井地震 (M7.2)		35420栋房屋倒塌，死者3895人
1950		「建筑基准法」诞生	长期和短期两阶段的抗震算法
1963		「建筑基准法」修改	接触建筑高度100尺(31m)限制
1964	新潟地震 (M7.3)		液化化被害程度很大
1968	十胜冲地震(M7.9)		RC短住剪切脆性破坏，673栋房屋倒塌，死者行方不明52人
1970		「建筑基准法」与法令修改	强化改善RC短住剪切脆性破坏
1971		「钢筋混凝土结构计算规准」修改	强化改善RC短住剪切脆性破坏
1977		「新耐震设计法(方案)」发表	
1978	宫城县冲地震 (M7.4)		651栋房屋倒塌，死者行方不明者27人
1980		「建筑基准法」 (1981年实施)	新耐震设计法诞生
1995	兵库县南部 (阪神・淡路) 地震 (7.3)		都市直下型地震，104906栋房屋倒塌，死者行方不明6437名
2000	鸟取地震 (M7.3)		435栋房屋倒塌，无死亡者，182人受伤
2000		「建筑基准法」修改	界限耐力算法, 性能设计理念
2003	十胜地震 (8.0)		116栋房屋毁坏，死者1人，行方不明1人
2005			耐震设计伪造事件发生
2007		「建筑基准法」修改	①许容应力度等计算，②保有水平耐力计算，③界限耐力计算，④大臣认定法

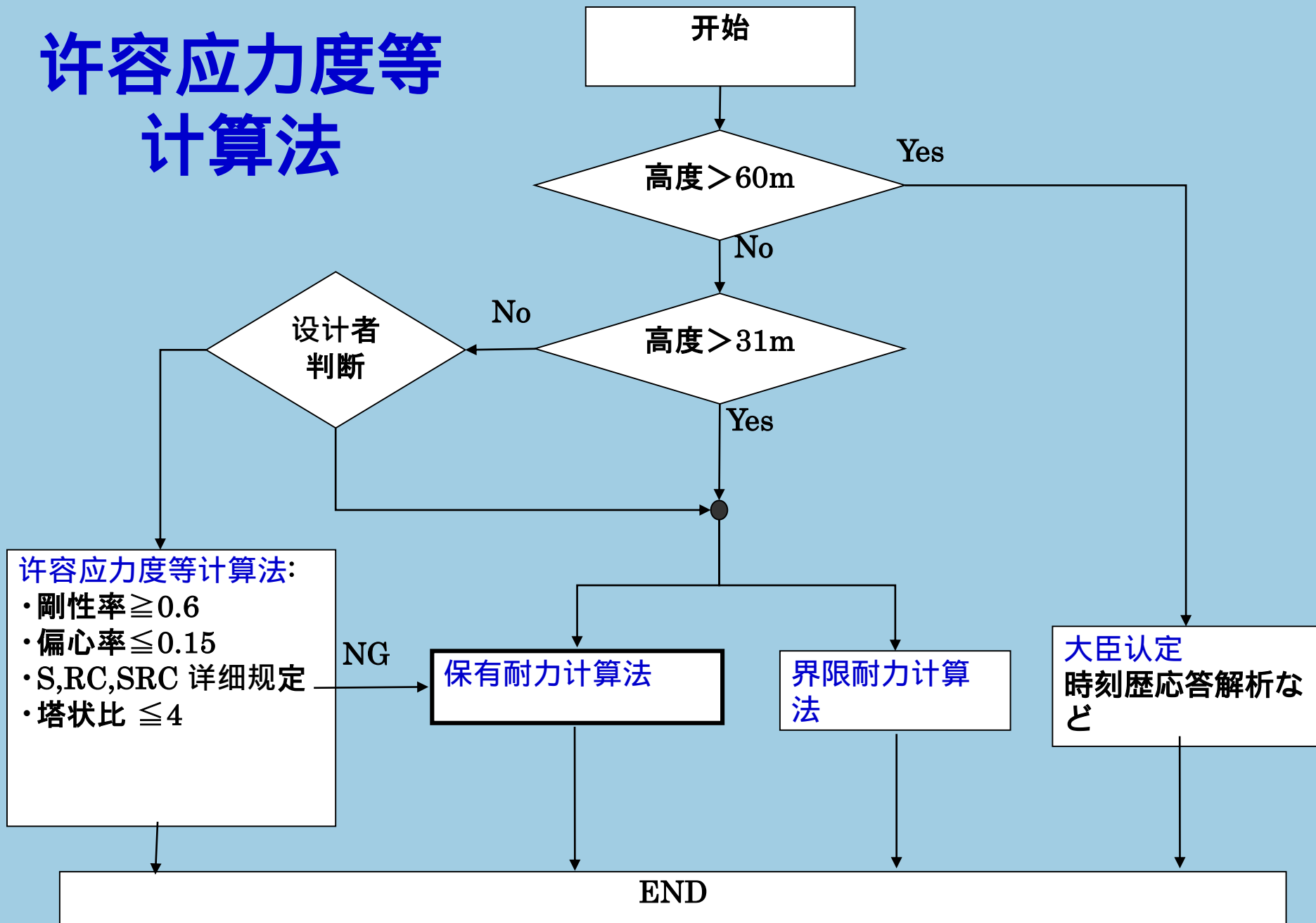
1981年开始实施的新耐震设计计算理念

设计法	对应地震规模			对象范围	设计目标
	频度与规模	地表层加速度	烈度		
1次设计 (第1阶段)	数次遭遇的 中小地震	80~100gal	4~5	确保各构件安全, 结构维持弹性范围, 允许微小的可修复的 损伤。	微小的损伤可以修复 不影响使用功能
2次设计 (第2阶段)	可能遭遇的 最大级地震	300~ 400gal	6以上	确保结构整体安全性, 允许局部朔化, 限制层间变位角, 确保整体刚性均衡。	不倒塌,有韧性, 确保人员生命安全



现行抗震设计与计算流程

许容应力度等 计算法

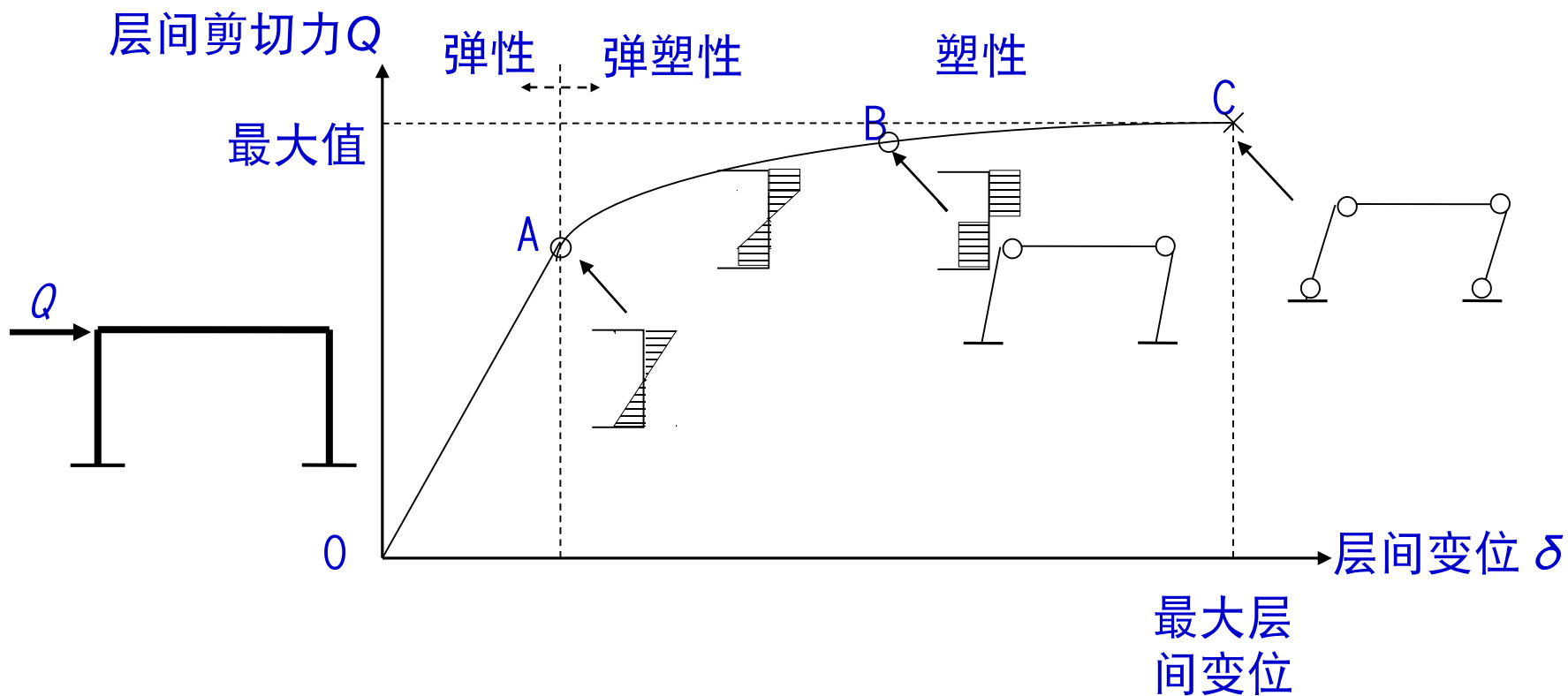


塑性设计

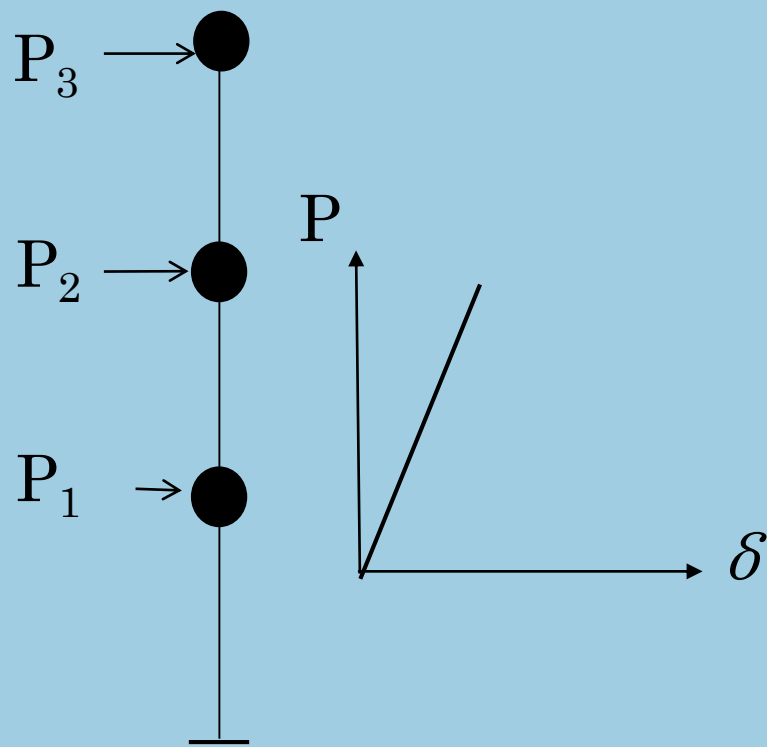
日本的抗震设计的重点是：

塑性设计
韧性

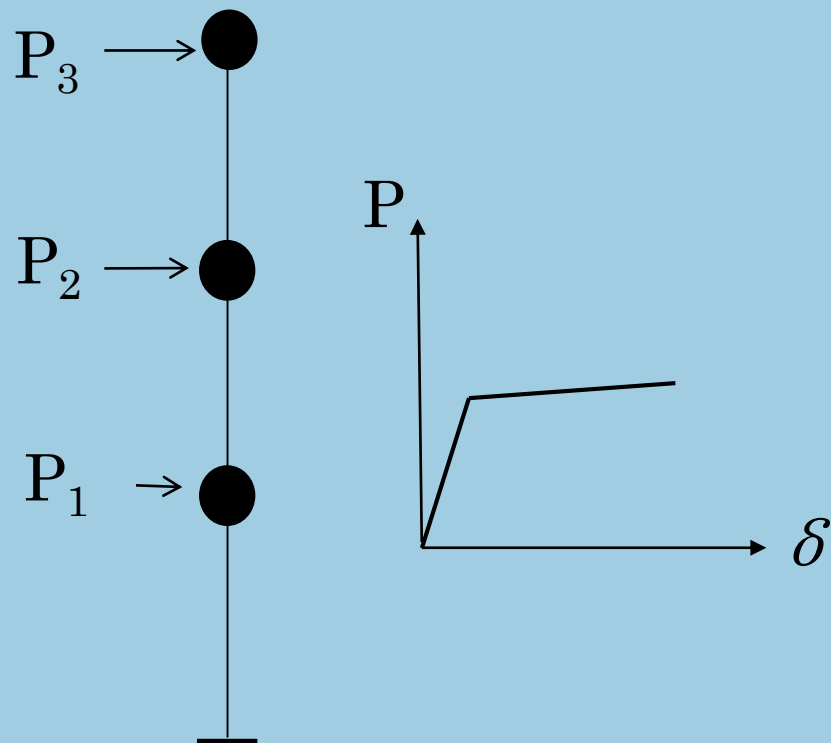
从弹性到塑性



对于同样的地震，哪个系统产生较大的地震力？

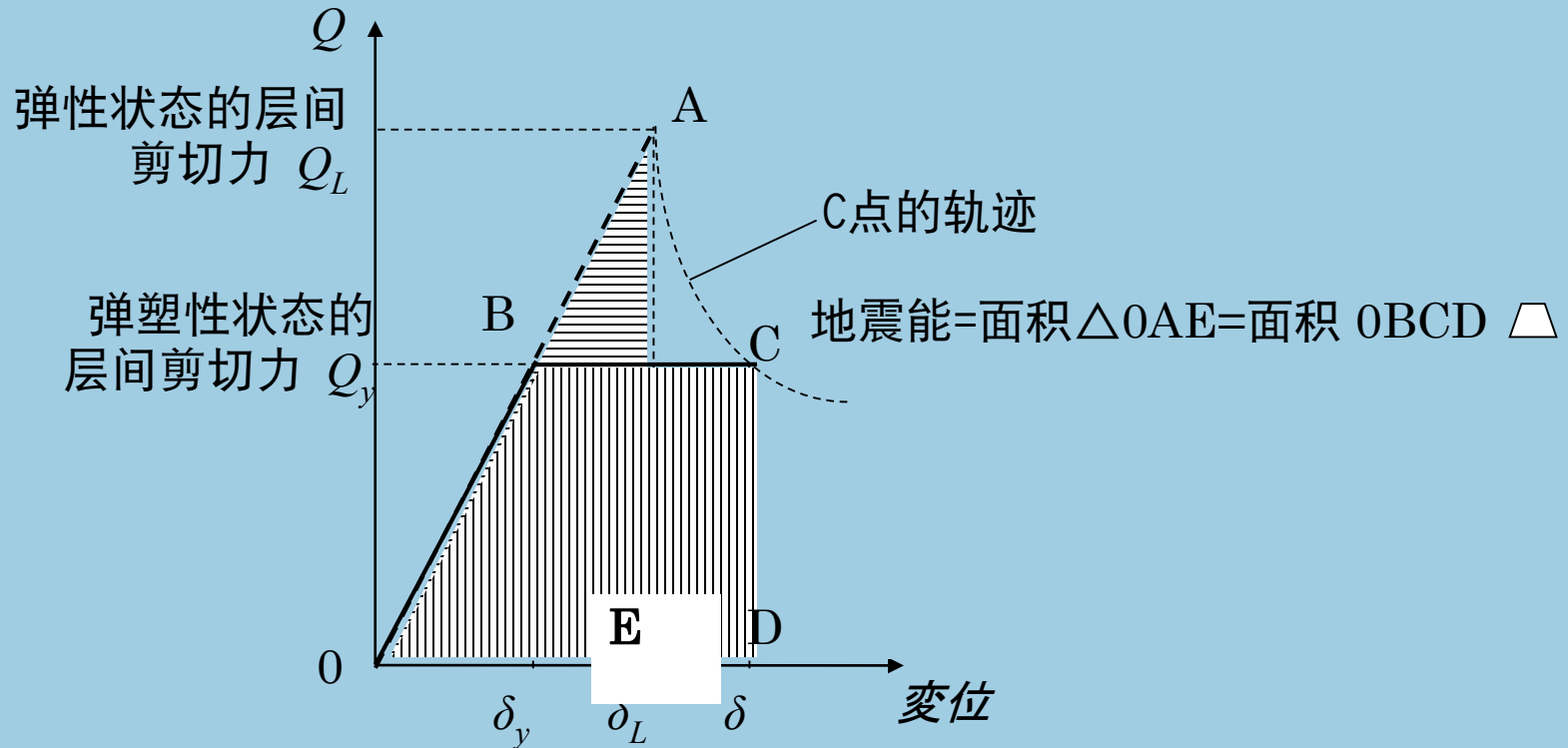


A 系统 (弹性)



B 系统 (弹塑性)

振动能定值不变原理

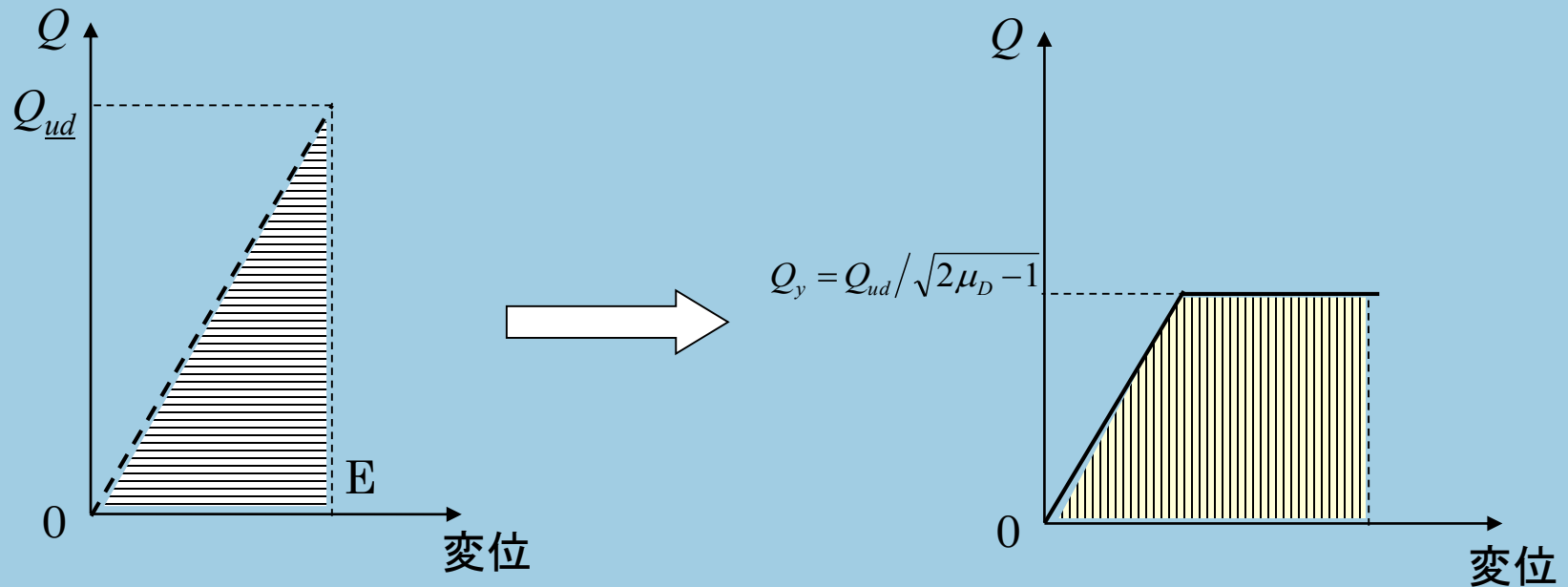


$$E = \frac{1}{2} Q_y \delta_y + Q_y (\delta - \delta_y) = Q_y \delta - \frac{1}{2} Q_y \delta_y$$

塑性率: $\mu_D = \frac{\delta_m}{\delta_y}$

$$\frac{Q_L}{Q_y} = \sqrt{2\mu_D - 1}$$

用弹性结构地震力 求出塑性结构地震力



$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot Q_{ud}$$

保有耐力计算原理

预测最大层间剪切力
(必要保有耐力)

$\leq$

捣毁时的层间剪切力
(保有耐力)

用弹性地震力求出塑性地震力： D_s 系数，其他系数

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot Q_{ud}$$

结构的弹塑性解析模型

弹塑性增量解析 (Push-over)
模拟结构捣毁, Q_u

第*i*层的必要保有耐力 Q_{un}

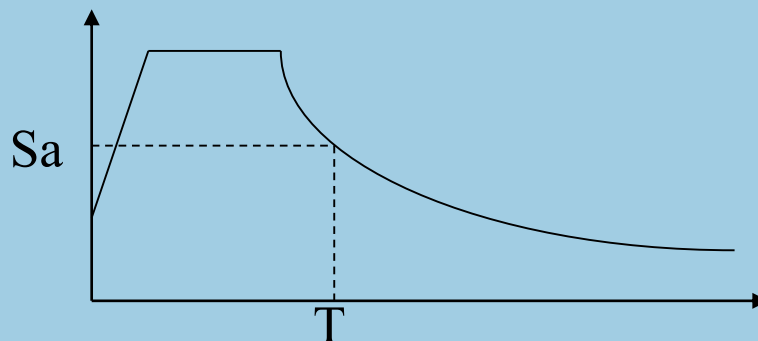
$\leq$

第*i*层的保有耐力 Q_u

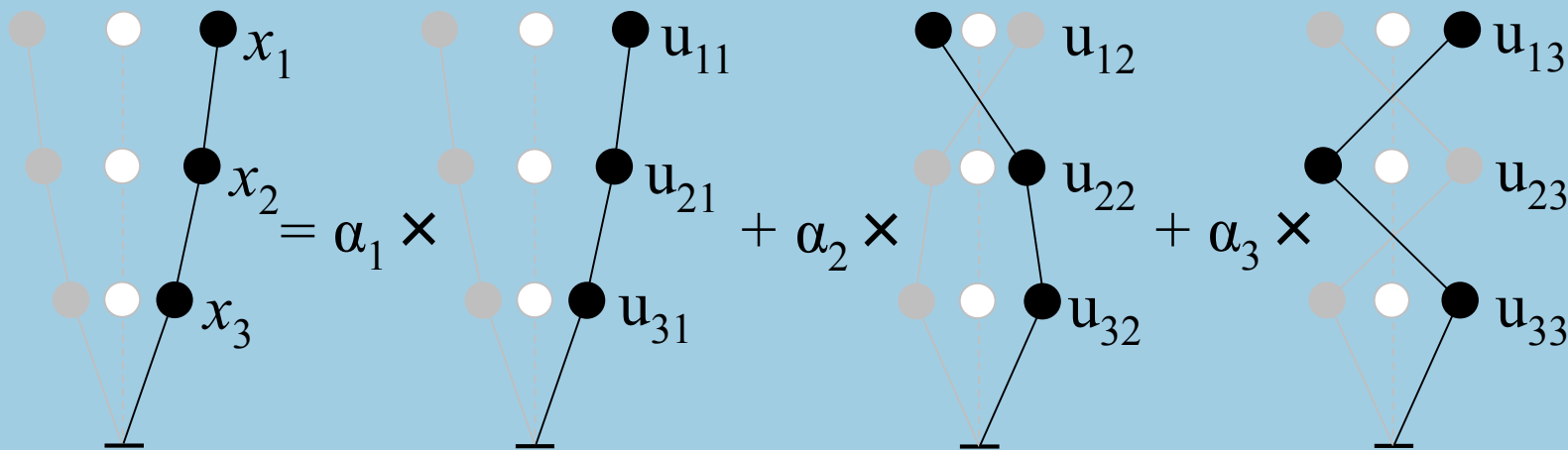
- 1) 高度超过31m的建筑物，必须采用「保有耐力计算」或者「界限耐力计算法」
- 2) 高度为60m以下，不强调动力学时程分析；高度超过60m，时程分析, 大臣认定
- 3) 保有耐力计算 和 界限耐力计算法 = 静力学计算方法(动力学和弹塑性分析为基础)
- 4) 保有耐力时的最大水平地震荷重，相当于反应加速度=1.0G左右(自重)
- 5) Push-over时的最大层间变位角(一般情况)=1/100
- 6) 中小地震时必须保证：层间变位角<1/200 (并非抗震构架的要求)

保有耐力计算 与 界限耐力计算法

保有耐力计算	界限耐力计算法
强度于刚性计算的延长	面向性能设计
· 多层模型的1次振动周期 · 对照反应谱	· 多层模型压缩为单体振动模型 · 对照反应谱
弹性振动模型求解塑性构架的地震力(Ds)。	塑性模型求解塑性模型的地震力
阻尼评价的理论根据不足(Ds)	阻尼评价: 等价线性分析为理论依据, 有待于研究。



复习动力学

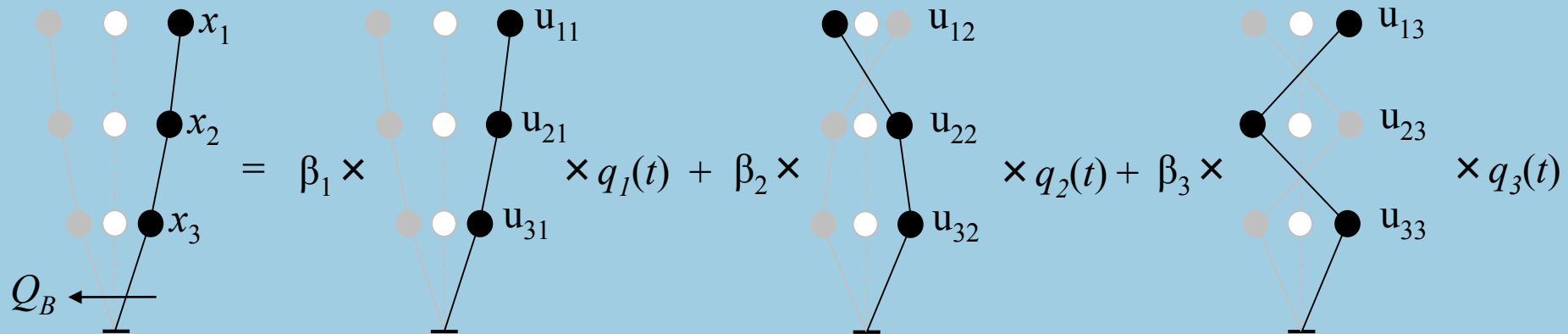


$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \alpha_1 \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \vdots \\ u_{n1} \end{pmatrix} + \alpha_2 \begin{pmatrix} u_{12} \\ u_{22} \\ \vdots \\ u_{n2} \end{pmatrix} + \cdots + \alpha_n \begin{pmatrix} u_{1n} \\ u_{2n} \\ \vdots \\ u_{nn} \end{pmatrix}$$

振型参与系数：

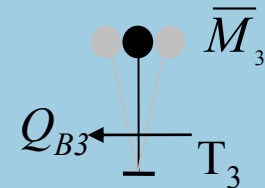
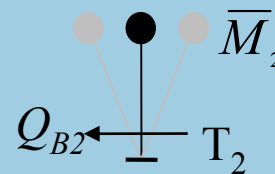
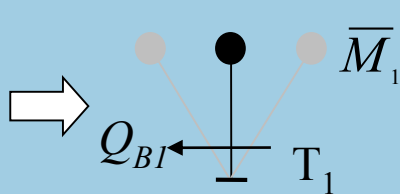
$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} = \beta_1 \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \vdots \\ u_{n1} \end{pmatrix} + \beta_2 \begin{pmatrix} u_{12} \\ u_{22} \\ \vdots \\ u_{n2} \end{pmatrix} + \cdots + \beta_n \begin{pmatrix} u_{1n} \\ u_{2n} \\ \vdots \\ u_{nn} \end{pmatrix}$$

复习动力学



$$\{x_i\} = \beta_1 \cdot U_1 \cdot q_1(t) + \beta_2 \cdot U_2 \cdot q_2(t) + \beta_3 \cdot U_3 \cdot q_3(t)$$

单振子振动的组合



$$Q_B = \sum_{i=1}^n Q_{Bi}$$

$$Q_{B1} = \bar{M}_1 a_1$$

$$Q_{B2} = \bar{M}_2 a_2$$

$$Q_{B3} = \bar{M}_3 a_3$$

$$a_i = \ddot{q}_i + \ddot{x}_o$$

$$\bar{M}_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^n m_j u_{ji} \right)^2}{\sum_{j=1}^n m_j u_{ji}^2}$$

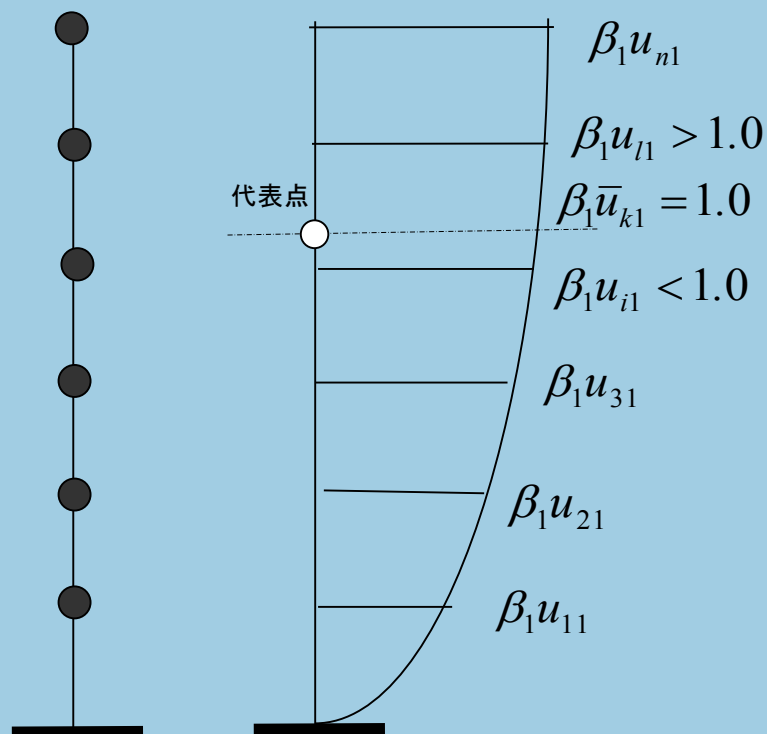
代表点

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \approx \beta_1 \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \vdots \\ u_{n1} \end{pmatrix} q_1(t)$$

$$x_j \approx q_1 \beta_1 u_{j1}$$

存在一个位置: $\beta_1 \bar{u}_{k1} = 1.0$

代表点的位移: $\Delta = q_1 \beta_1 \bar{u}_{k1}$

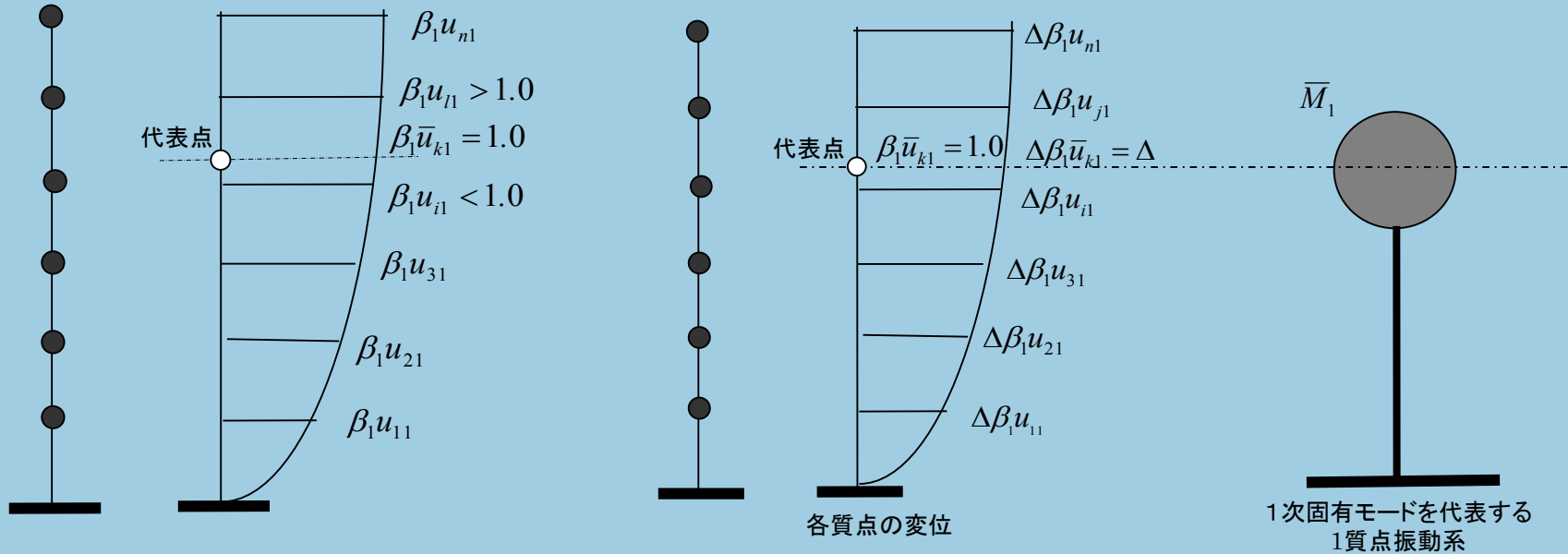


$$q_1 = \Delta$$

$$\begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_n \end{pmatrix} \approx \beta_1 \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \vdots \\ u_{n1} \end{pmatrix} \Delta$$

$$\delta_j \approx \Delta \beta_1 u_{j1}$$

用位移分布求出 代表质量 和 代表点位移



$$\begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_n \end{pmatrix} \approx \beta_1 \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \vdots \\ u_{n1} \end{pmatrix} \Delta$$

$$\delta_j \approx \Delta \beta_1 u_{j1}$$

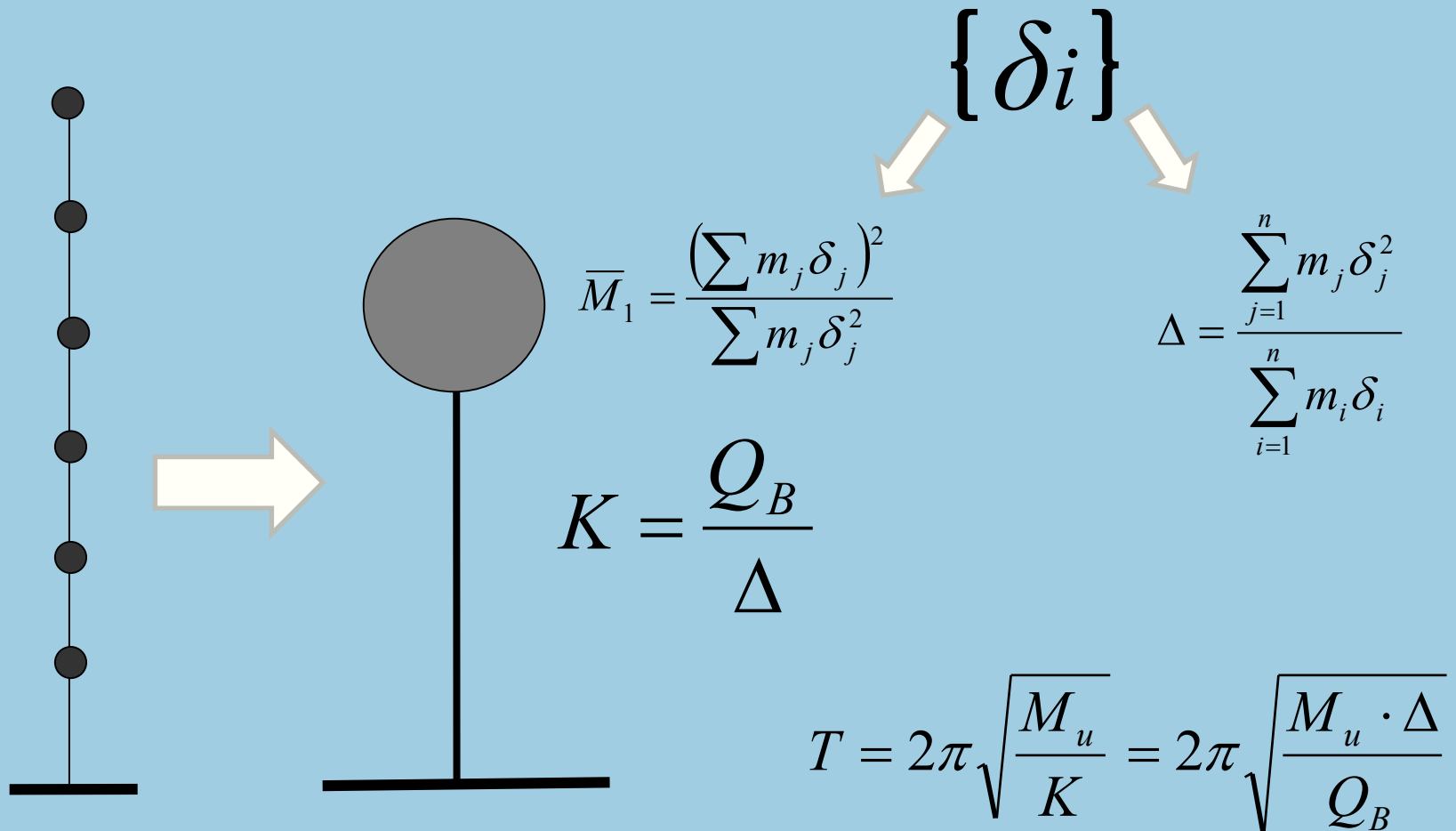
$$u_{j1} = \frac{\delta_j}{\Delta \beta_1}$$

$$\bar{M}_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^n m_j u_{ji} \right)^2}{\sum_{j=1}^n m_j u_{ji}^2}$$

$$\bar{M}_1 = \frac{\left(\sum m_j \delta_j \right)^2}{\sum m_j \delta_j^2}$$

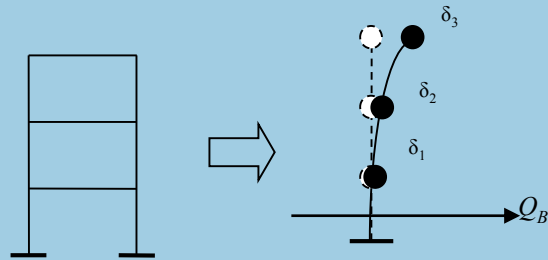
$$\Delta = \frac{\sum_{j=1}^n m_j \delta_j^2}{\sum_{i=1}^n m_i \delta_i}$$

用位移分布 求出 单振子的 质量 和 周期

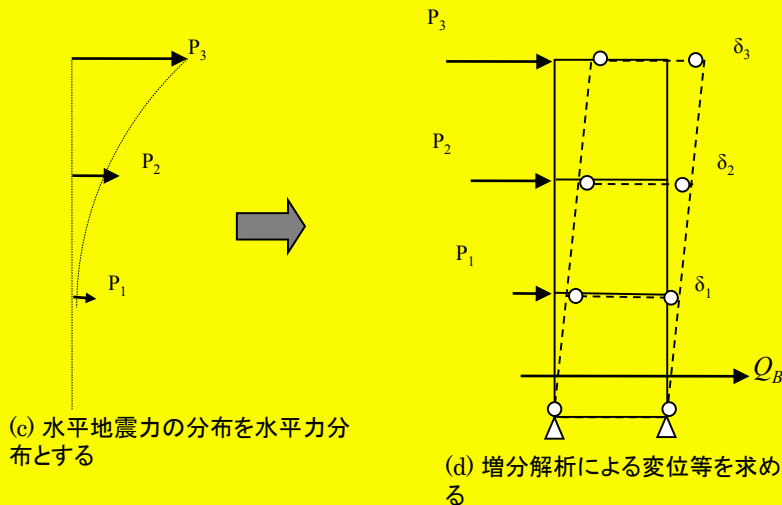


界限耐力算法 地震力の計算

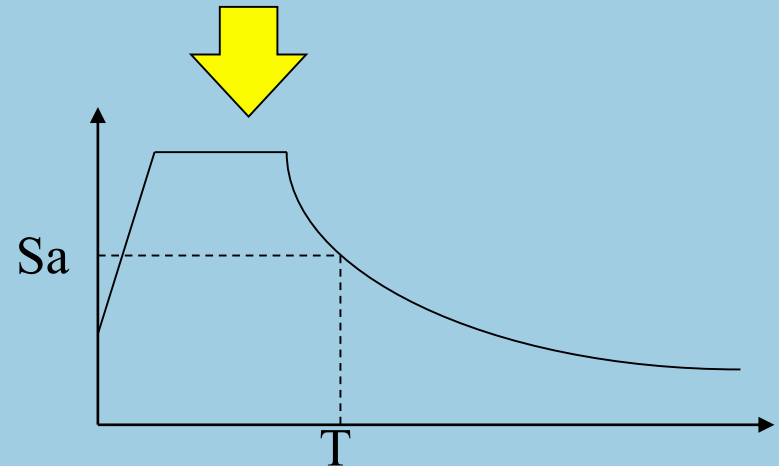
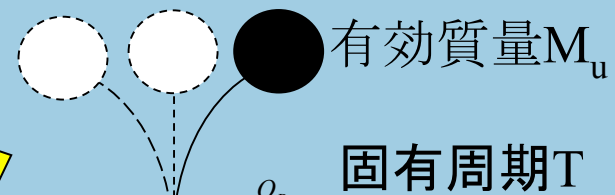
不作振动解析



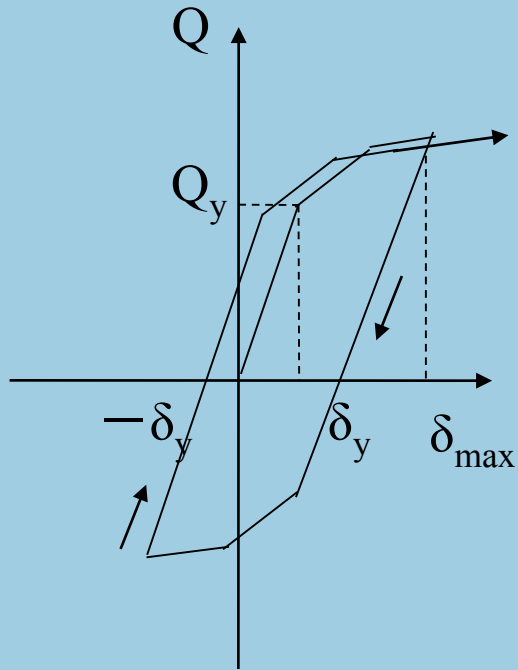
弾塑性増量解析求 $\{\delta_i\}$ Q_B



代表変位 Δ

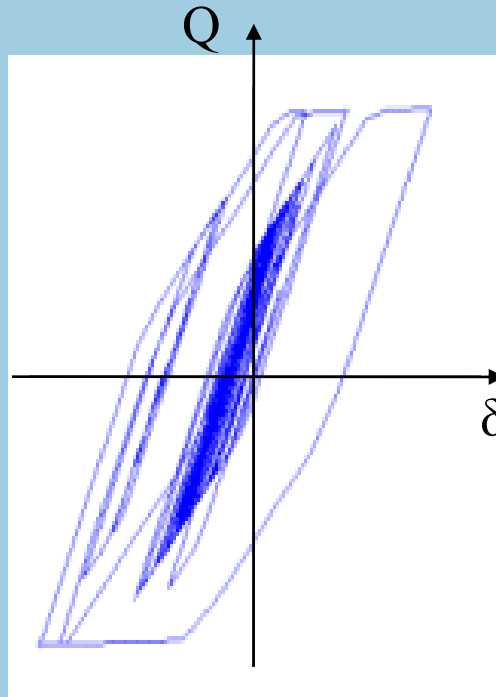


等价线性分析与阻尼



(a)

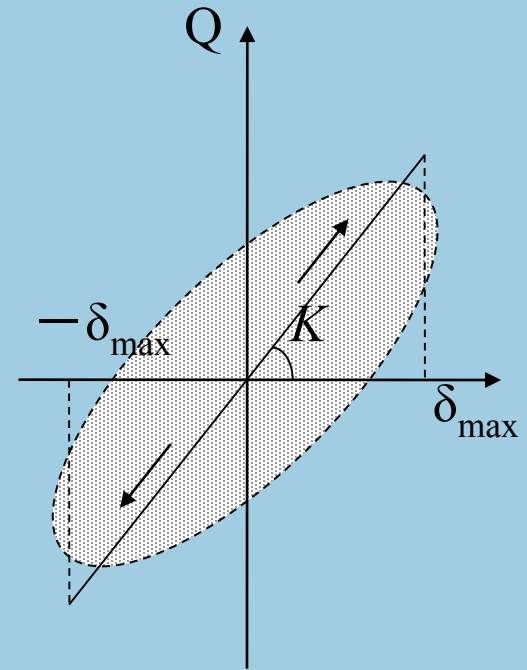
$$\mu_D = \frac{\delta_m}{\delta_y}$$



(b)

$$h = \gamma \left(1 - 1/\sqrt{\mu} \right) + 0.05$$

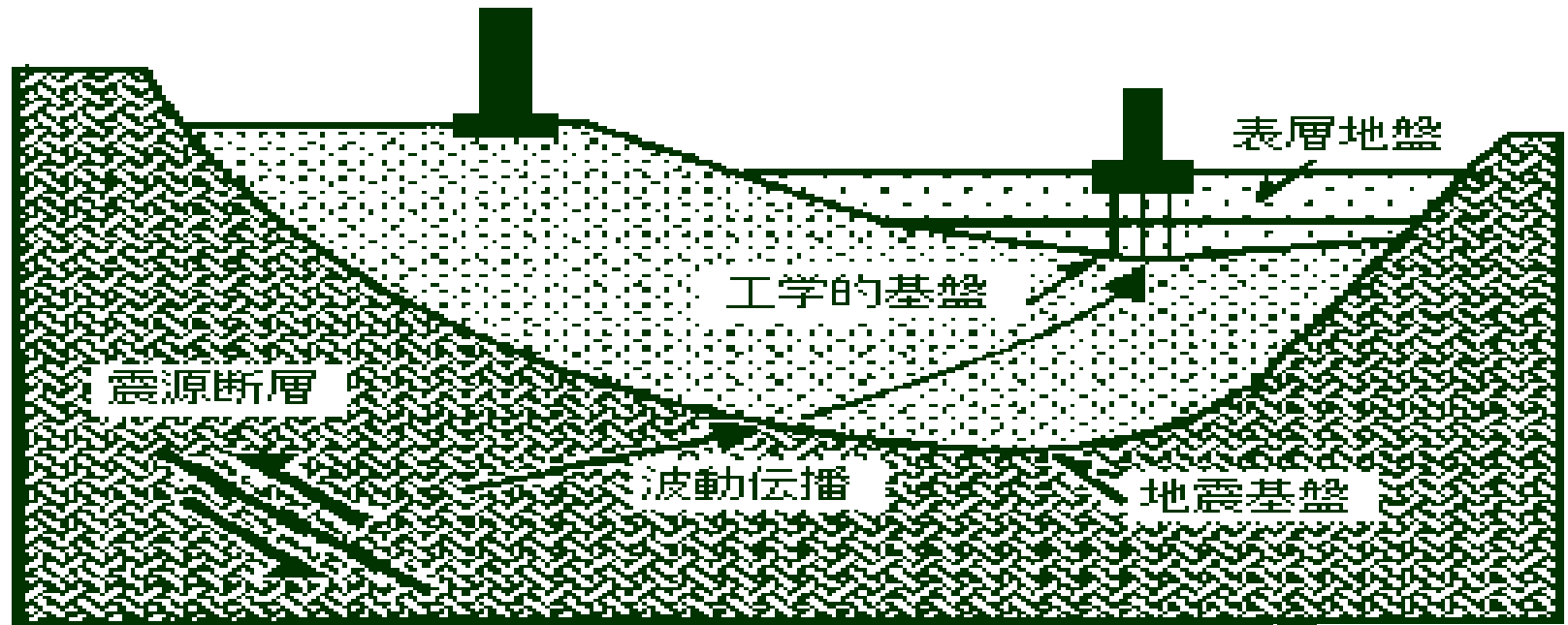
$$S_a = F_h \cdot S'_a$$



(c)

$$F_h = \frac{1.5}{1 + 10h}$$

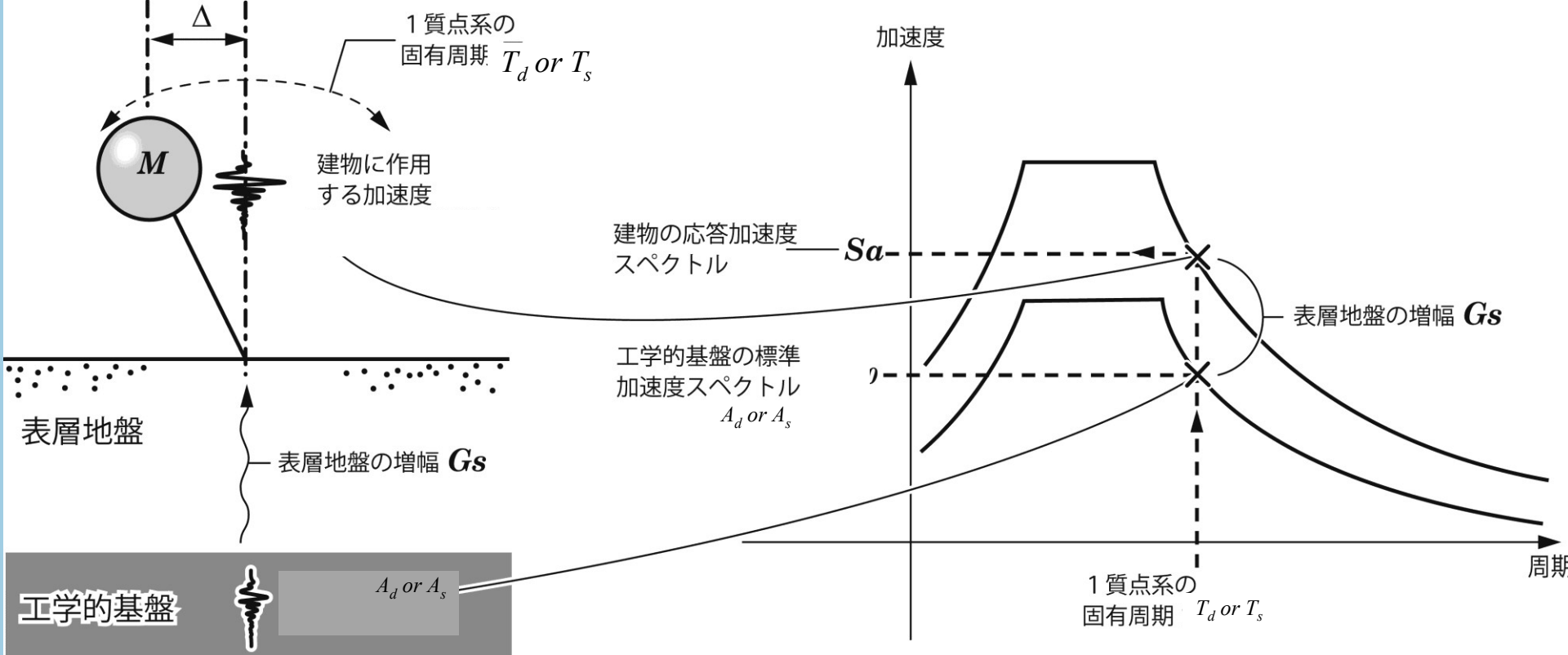
工学的基盘



工学的基盤的有关规定的概要(日本建设省 告示第1457号):

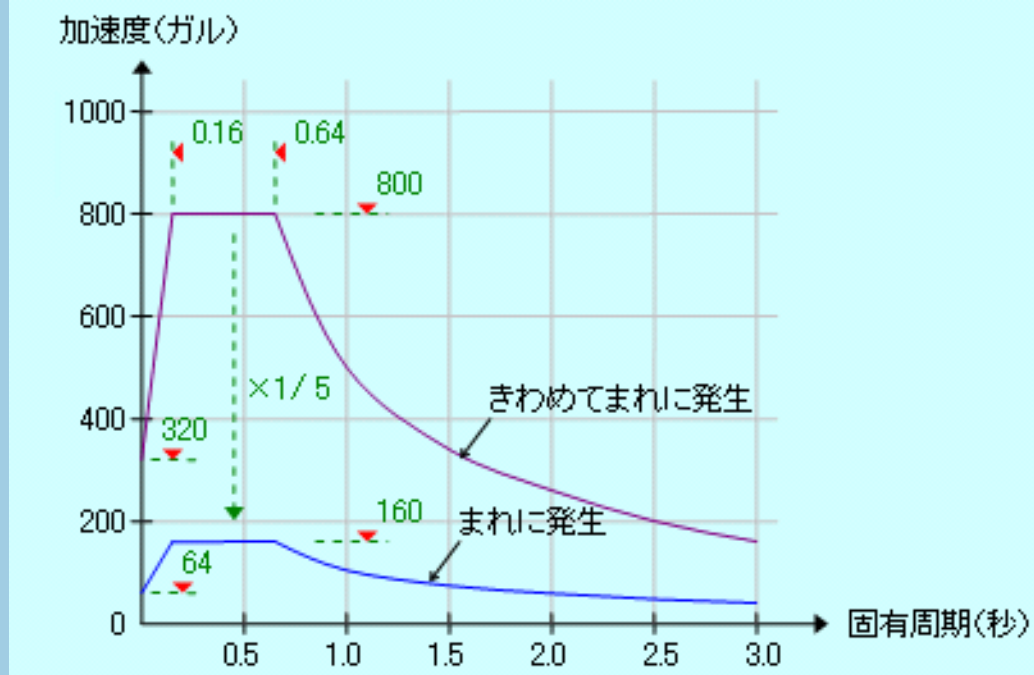
符合如下地下深度, 厚度与刚性的规定

- 1) 剪切速度波速度约400m/s以上
- 2) 厚度约5m以上
- 3) 覆盖层厚度(深度)在厚度的5m以上
- 4) . . . 等等 . . .



$$G_s = \begin{cases} 1.5 & T < 0.576 \text{ の場合} \\ \frac{0.864}{T} & 0.576 \leq T < 0.64 \text{ の場合} \\ 1.35 & 0.64 < T \text{ の場合} \end{cases}$$

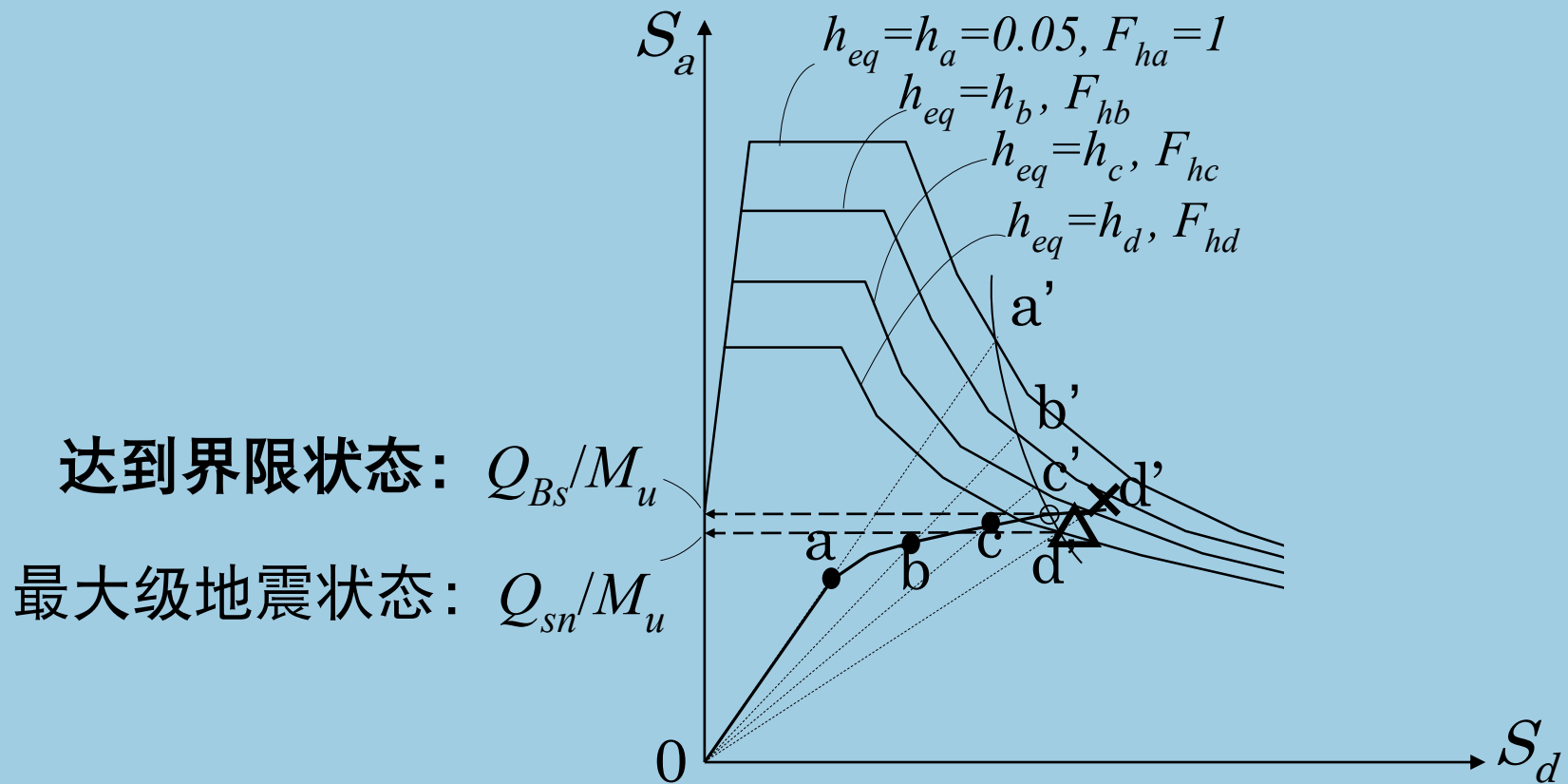
$$G_s = \begin{cases} 1.5 & T < 0.64 \text{ の場合} \\ 1.5 \left(\frac{T}{0.64} \right) & 0.64 \leq T < T_u \text{ の場合} \\ g_v & T_u < T \text{ の場合} \end{cases}$$



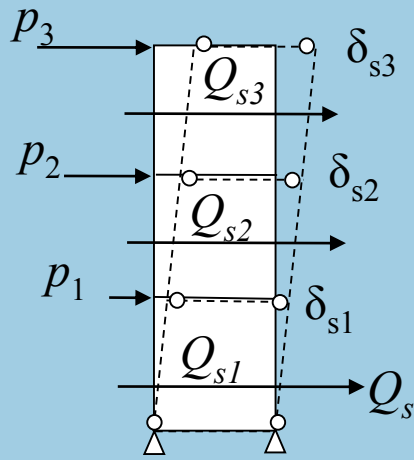
$$A_d = \begin{cases} 0.64 + 6T_d & T_d < 0.16 \text{ の場合} \\ 1.6 & 0.16 \leq T_d < 0.64 \text{ の場合} \\ \frac{1.024}{T_d} & 0.64 \leq T_d \text{ の場合} \end{cases}$$

$$A_s = \begin{cases} 3.2 + 30T_s & T_s < 0.16 \text{ の場合} \\ 8 & 0.16 \leq T_s < 0.64 \text{ の場合} \\ \frac{5.12}{T_s} & 0.64 \leq T_s \text{ の場合} \end{cases}$$

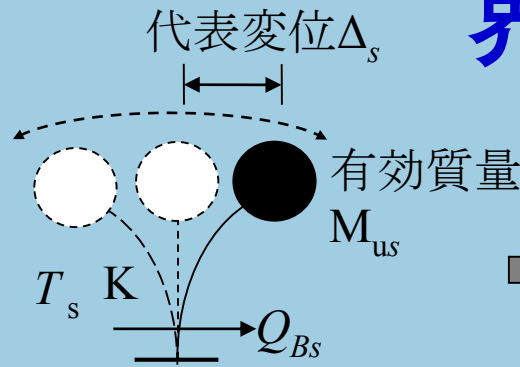
如何预测最大变为



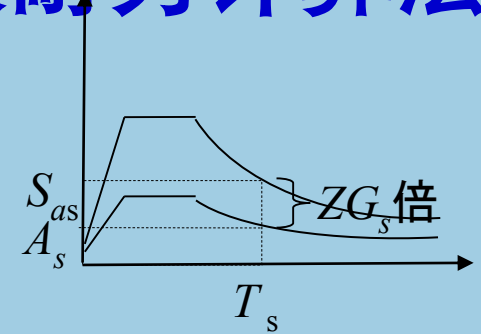
界限耐力算法



(a) Pushover



(b) 单质点振动模型



(c) 谱加速度

$$q_{si} = \frac{Q_{ui}}{F_{ei} \cdot \frac{\sum_{j=i}^n B_{sj} m_j}{\sum_{k=1}^n B_{sk} m_k} \cdot \sum_{l=1}^n m_l g}$$

安全界限耐力:

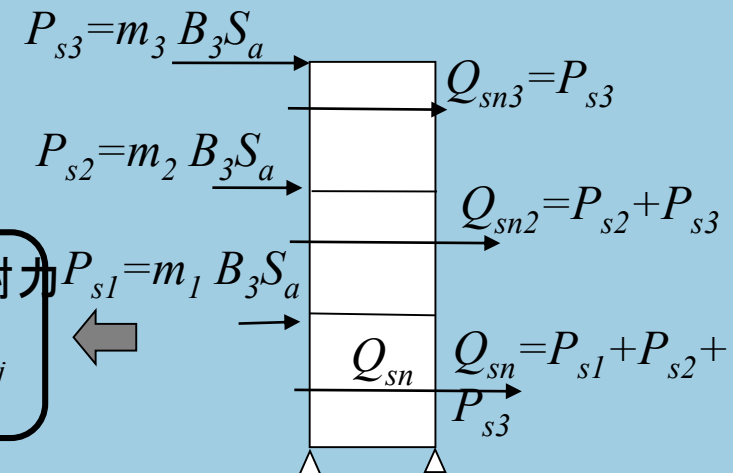
$$Q_s = \min(q_{si}) \cdot \sum_{j=1}^n m_j g$$

判定:

$$Q_s \geq Q_{sn}$$

必要安全界限耐力

$$Q_{sn} = \sum_{j=1}^n P_{sj}$$



(d) 必要安全界限耐力の

界限耐力计算法的安全理念

界限种类	地震力		性能目标	结构计算手法
损伤界限	稀有地震	耐用年限中1次以上遭遇的中小地震	结构没有损伤; 小的龟裂,可以修复; 保证资产价值	各结构部分的应力不超过短期须用应力,弹性范围,可采用静力学和动力学分析方法
安全界限	极其稀有地震(罕遇地震)	耐用年限中可能遭遇的最大级地震	不倒塌,不崩毁; 保证逃难, 保证生命安全	允许架构塑性化, 采用增量解析(Push-over), 可采用静力学和动力学分析方法

总 结

- 日本的结构设计的最基本的计算方法是以法律形式规定的，而不是以规范或标准等形式出现的。
- 日本抗震法规对结构与结构计算作了明确的流程规定，形成了明确的计算程序。
- 特别注重确保结构韧性，在大地震时，允许结构发生局部塑化，但不允许结构坍塌。允许构件龟裂，而不允许构架支离破碎，更不允许崩落。
- 不仅仅强调对应力和强度的要求，而把大量精力投入在如何评价和确保结构的韧性，使结构最大限度的吸收振动动能。
- 日本抗震设计的理论，荷载的计算原理，节点构造的详细规定等等，都有明确的能量分析的理论依据和实验依据（运动能，塑性变形能甚至累积塑性变形能等等）。