

鋼構造部材の設計 (4)

部材の座屈:全体座屈

「教科書:第7章 柱部材」を精読しておくこと



本日の講義の主な内容

- ・全体座屈とは？
- ・オイラーの座屈荷重の求め方
- ・細長比, 細長比パラメータ
- ・有効座屈長

座屈現象 Buckling

異なるつりあい経路をとる
分岐現象
不安定現象

自分で実験やってみよう！
プラスチック定規
カードなど



(1) 弾性座屈

全体座屈
Euler座屈

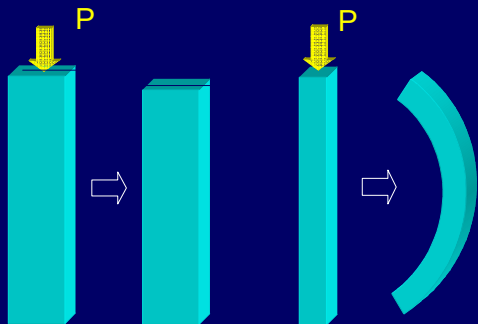
柱部材において弱軸周りに生じる。

急激な強度変化, 不安定破壊
Ex. 構造物の建設中の事故



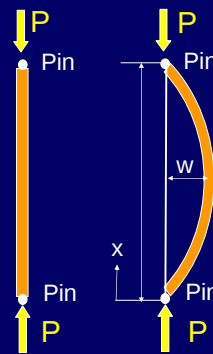
変形モード

図心軸に軸力が作用した場合



そのまま縮むモード 面外にはらみだすモード

Euler座屈強度



1744 Euler

$$EI \frac{d^2x}{dx^2} + Pw = 0$$

$$w = A \sin \alpha \cdot x \quad \left(\alpha^2 = \frac{P}{EI} \right)$$

$$\sin \alpha \cdot l = 0 \Rightarrow \alpha \cdot l = n\pi$$

$$P = \frac{(n\pi)^2 EI}{l^2}$$

$$\text{for } n=1 \quad P = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = P_E$$

エネルギー的に
安定なモードの出現

(2) 細長比

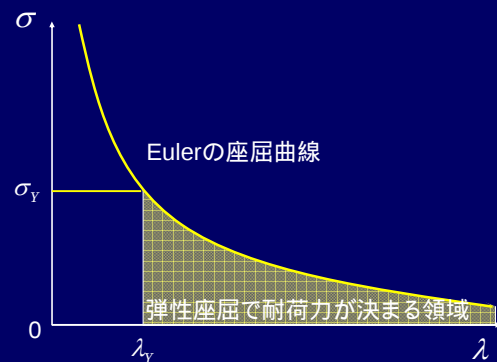
$$\lambda = \frac{l}{r} \quad \sigma_E = \frac{P_E}{A} = \pi^2 \frac{EI}{\lambda^2}$$

$$\sigma_E = \sigma_Y \Rightarrow \lambda = \lambda_Y$$

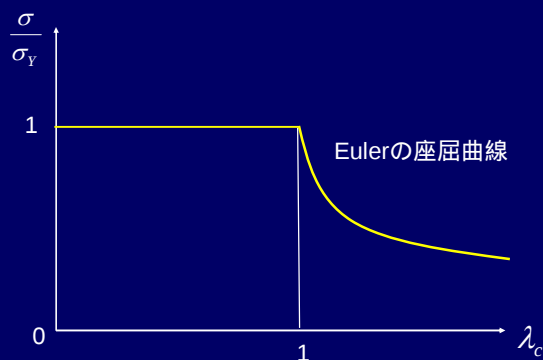
無次元化した細長比: 細長比パラメータ

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\lambda_Y} = \sqrt{\frac{\sigma_Y}{\sigma_E}}$$

圧縮応力 σ と細長比 λ の関係



無次元化された座屈曲線



(3) 有効座屈長

境界条件, 支持条件の違い

⇒ 部材長が異なる

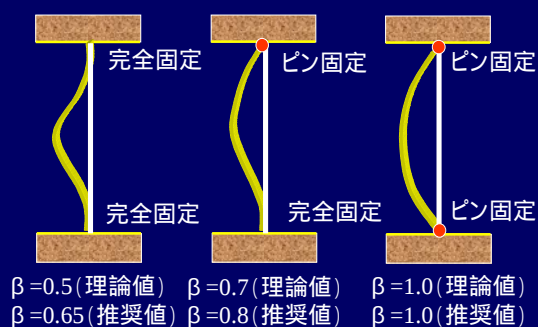
有効座屈長 or 換算座屈長 l_{ef}

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{l_{ef}^2} = \frac{\pi^2 EI}{(\beta l)^2}$$

β : 有効座屈長係数

座屈モードと β

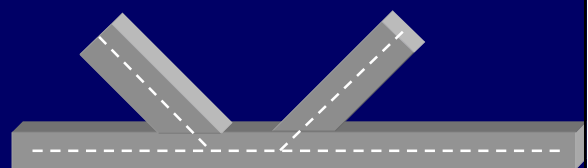
座屈モードから, おおよその有効座屈長がわかる.



(4) 不完全さのある柱

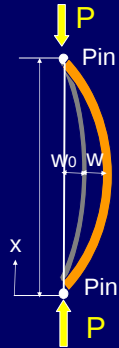
✦ 偏心载荷を受ける柱

例えば, トラス部材でのトラスの軸線と中立軸の食い違い



(4) 不完全さのある柱

元たわみのある柱



溶接による残留変形

ある程度の変形を前提に
設計値を考える

$$EI \frac{d^2 x}{dx^2} + P(w + w_0) = 0$$

$$w_0 = A_0 \sin \frac{\pi x}{l}$$

(6) 柱の耐力, 許容設計応力

柱の耐力曲線と安全率, 抵抗係数

実験的なアプローチ

計算によるアプローチ

実験結果: 部材の初期不整, 部材端の拘束
残留応力, 荷重の偏心を含んでいる.

柱の耐力曲線

複数の耐力曲線

日本, 道路橋示方書: 1本の曲線

土木学会座屈設計ガイドライン: 3本の曲線
(グループ1-3, 下図)

EUROCODE: 5本の曲線

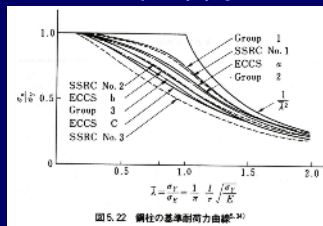


図 5.22 鋼柱の基準耐力曲線⁽³⁾

鋼材の許容軸方向圧縮応力度

道路橋示方書

局部座屈を考慮しない許容軸方向応力度

安全率1.7

(ただし, SM570, SMA570: 上限255MPa)

(5) 柱部材: 局部座屈

「教科書: 第8章 局部座屈」
を精読のこと.



Damage Cases in Steel Bridge Piers
In the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake



鋼構造部材

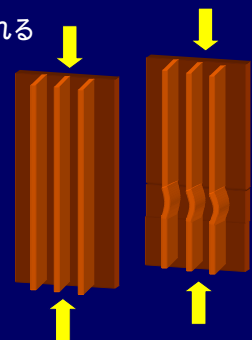
Steel Structural Components

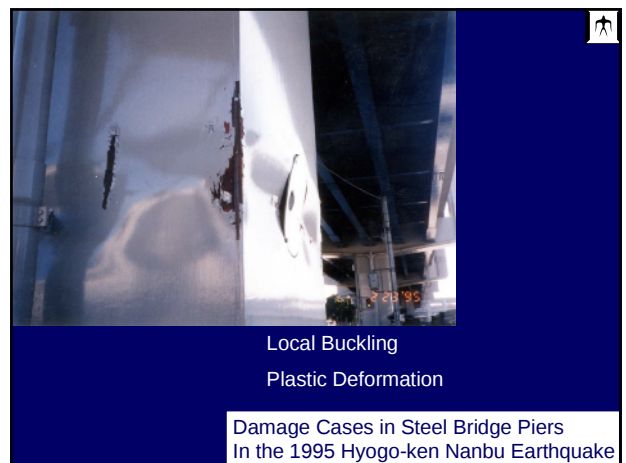
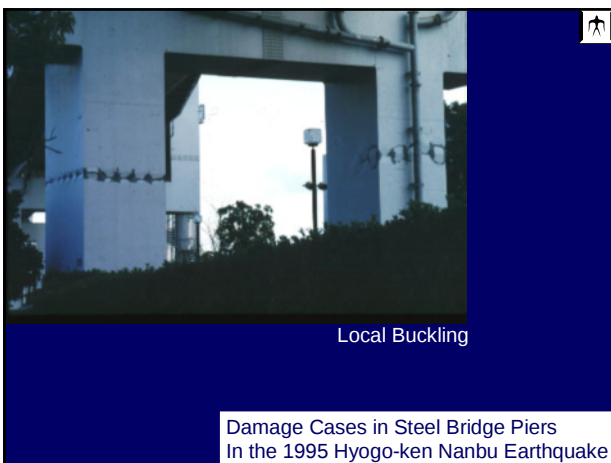
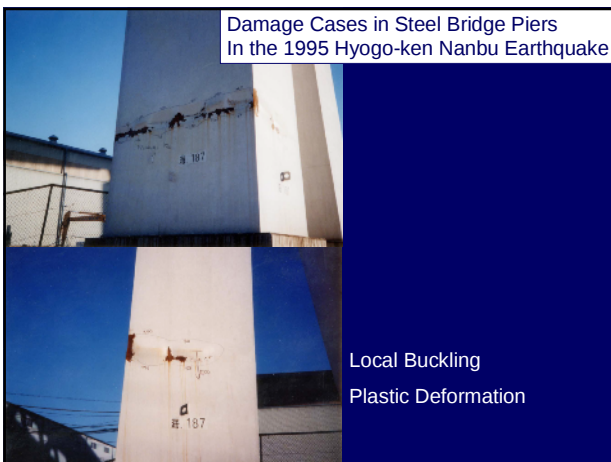
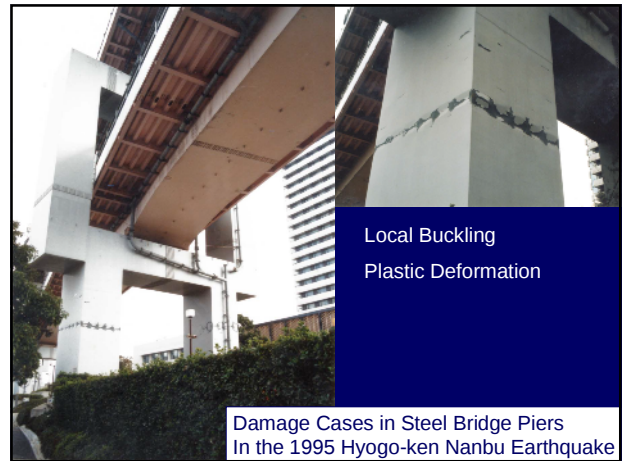
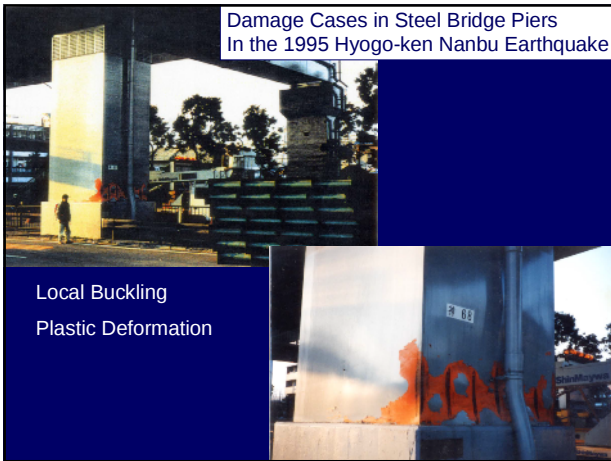
鋼板要素を集成して構成される

鋼板要素の座屈

柱としての機能の
低下・喪失

柱としての座屈 (全体座屈)
鋼板要素の座屈 (局部座屈)
の関係を考える.





今日の講義の主な内容

- ・板の弾性座屈
- ・板の強度 (耐力)
- ・局部座屈 (板の座屈) と全体座屈 (柱の座屈) の連成

(1) 板の弾性座屈

板のたわみの支配方程式

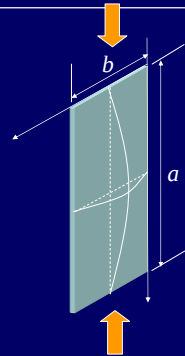
$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = p(x, y)$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

板の曲げ剛性

$$D \longleftrightarrow EI$$

はりのたわみの支配方程式



板の弾性座屈応力と座屈係数

弾性座屈応力

$$\sigma_{cr} = k_m \sigma_E$$

ここで,

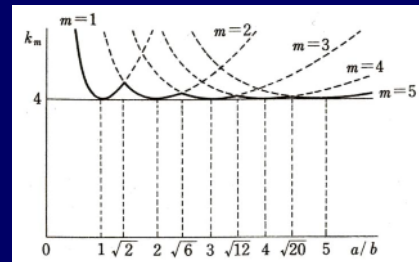
$$\sigma_E = \frac{\pi^2 D}{b^2 t} = \frac{\pi^2 E t^2}{12 b^2 (1-\nu^2)}$$

板幅bを部材長とする柱のEuler座屈応力

$$k_m = \left(m \frac{b}{a} + \frac{1}{m} \frac{a}{b} \right)^2$$

板の座屈係数 アスペクト比

板のアスペクト比と座屈係数



$$k_m = \left(m \frac{b}{a} + \frac{1}{m} \frac{a}{b} \right)^2$$

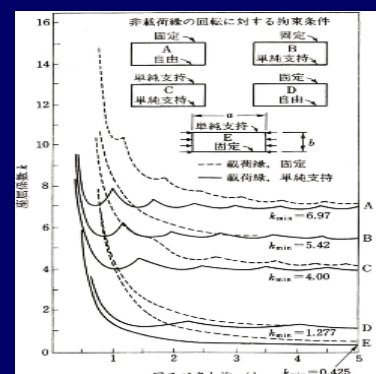
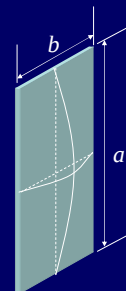
(2) 板の強度

$$\sigma_{cr} = k \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2) (b/t)^2}$$

k: 板の座屈係数
板の形状, 境界条件,
材料, 荷重条件で決まる.

幅bは, 板の座屈において
重要な寸法である.

様々な板縁の拘束条件下での 板のアスペクト比と座屈係数



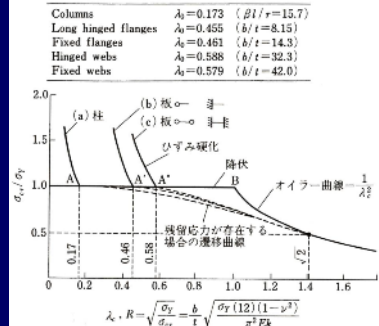
座屈曲線

弾性座屈域 (Euler座屈域)

降伏域

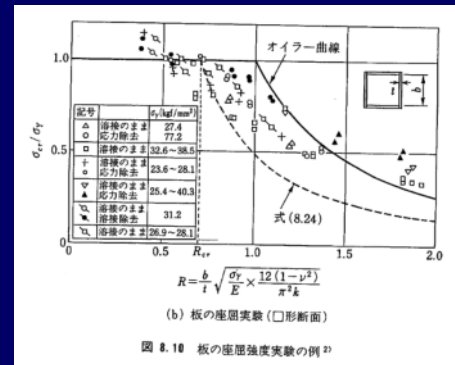
ひずみ硬化域

細長比パラメータ
幅厚比パラメータ



板の耐荷力曲線

(道示の場合: 教科書 p153, 道示 p165)



(3) 局部座屈と全体座屈

$$(\sigma_{cr})_{plate} \geq (\sigma_{cr})_{column}$$

$$\frac{b}{t} \leq 0.3 \frac{\beta l \sqrt{k}}{r}$$

柱としての強度を発揮するのに十分な条件:
幅厚比 (局部座屈を発生させない)

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \frac{1}{R^2}$$

幅厚比パラメータ R

局部座屈と全体座屈の連成 (道示の場合: p125)

$$\sigma_{cr} = \sigma_{eng} \cdot \sigma_{col} / \sigma_{con} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

ここに,

σ_{con} : 許容軸方向圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{eng} : 表-3.2.2 に示す局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度

(N/mm²)

σ_{col} : 4.2.2 から 4.2.4 及び 14.3 に規定する局部座屈に対する許容応力度

(N/mm²)

σ_{con} : 表-3.2.2 に示す局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度の上限値

(N/mm²)

(4) 補剛板の強度

補剛された板 (補剛板) では,
全体としての座屈防止,
補剛材自身の座屈防止
が必要.

