

鋼構造物の設計 (8)

第3部: 鋼構造部材の設計

3.4 柱部材: 全体座屈

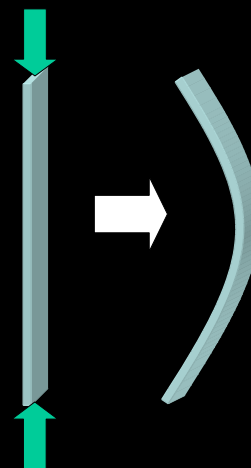
教科書 第7章



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

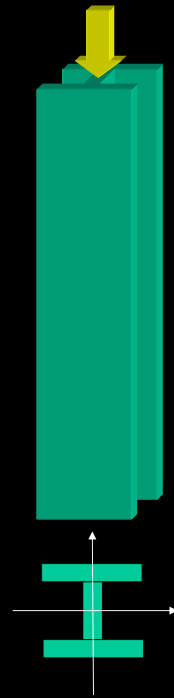


(1) 弾性座屈

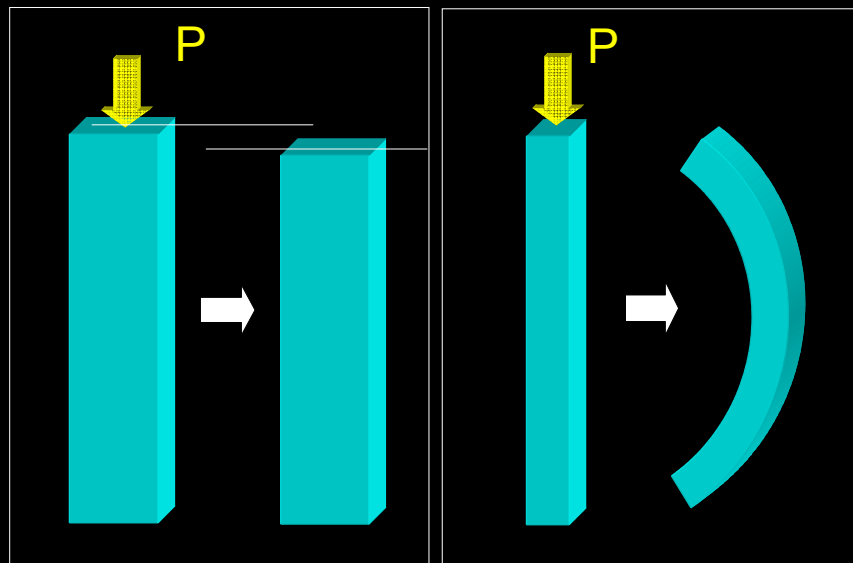
全体座屈
Euler座屈

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



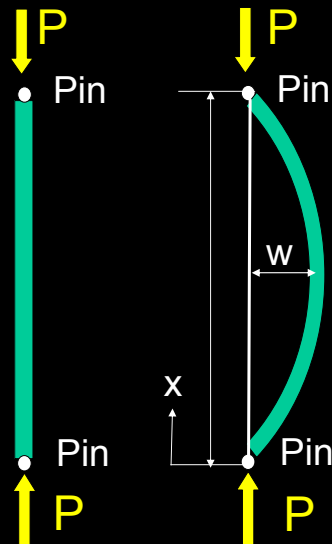
変形モード 図心軸に軸力が作用した場合



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



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

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

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

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

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

エネルギー的に
安定なモードの出現

(2) 細長比

$$\lambda = \frac{l}{r}$$

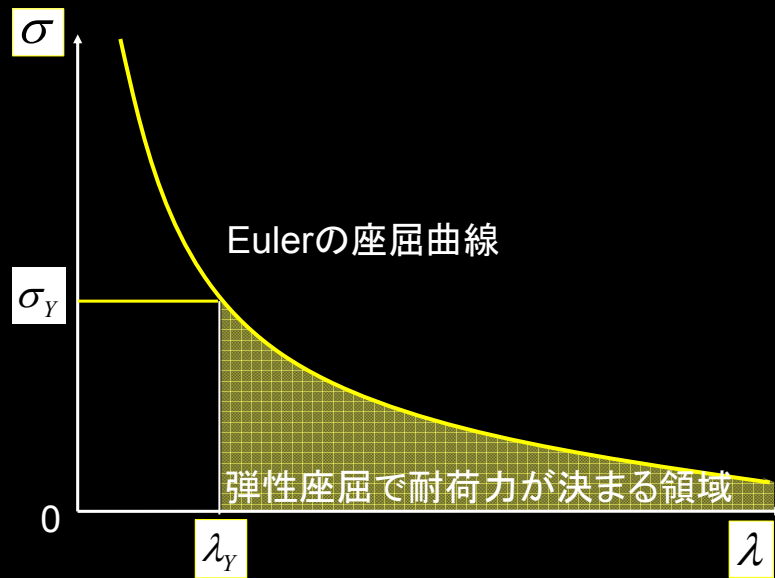
$$\sigma_E = \frac{P_E}{A} = \pi^2 \frac{EI}{\lambda^2}$$

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

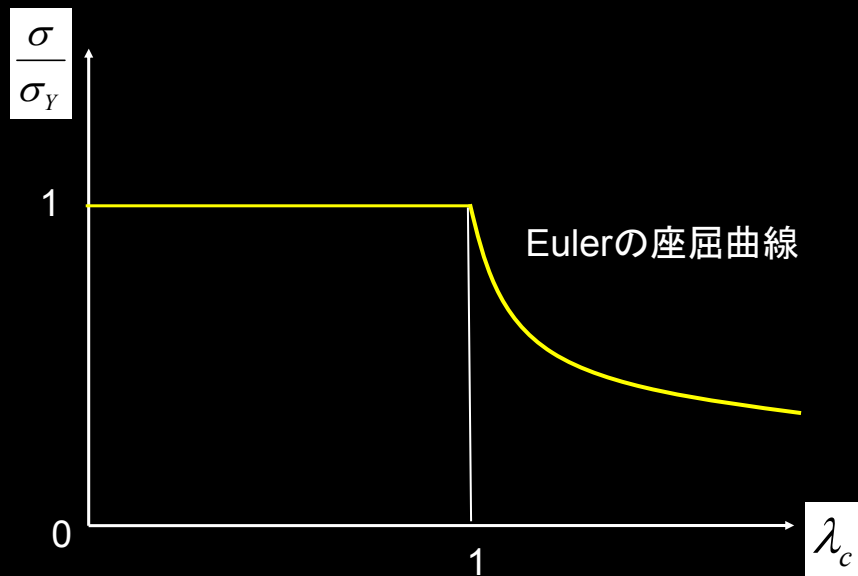
無次元化した細長比: 細長比パラメータ

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

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

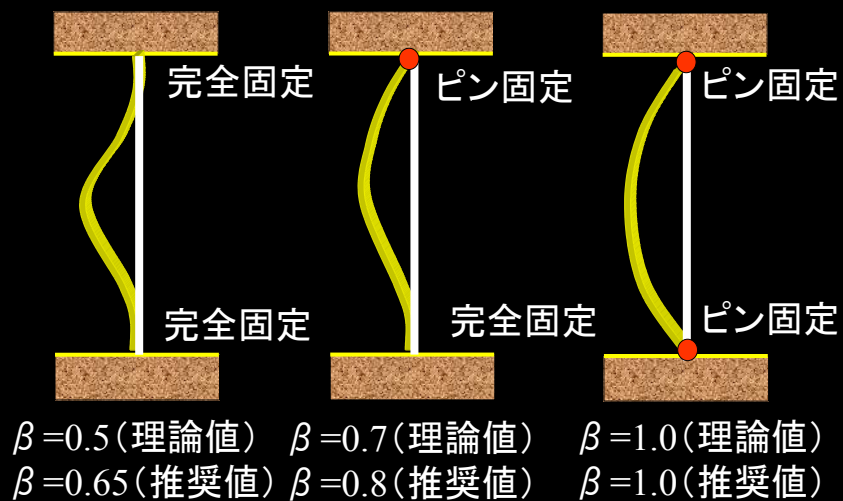
有効座屈長or換算座屈長 l_{ef}

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

β : 有効座屈長係数

座屈モードと β

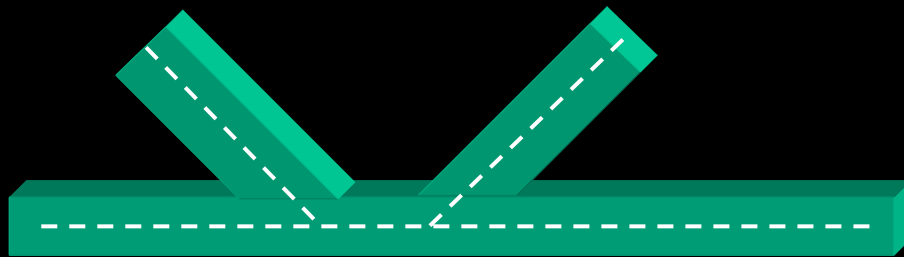
座屈モードから, おおよその有効座屈長がわかる.



(4) 不完全さのある柱

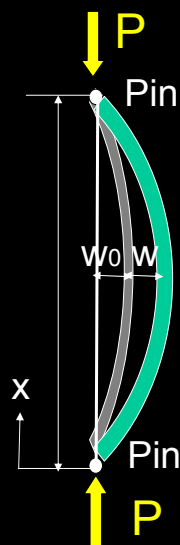
✚ 偏心載荷を受ける柱

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

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

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

(5) 非弾性座屈

多くの座屈現象は、非弾性域で生じる。
溶接残留応力の影響による非弾性挙動

Engesser

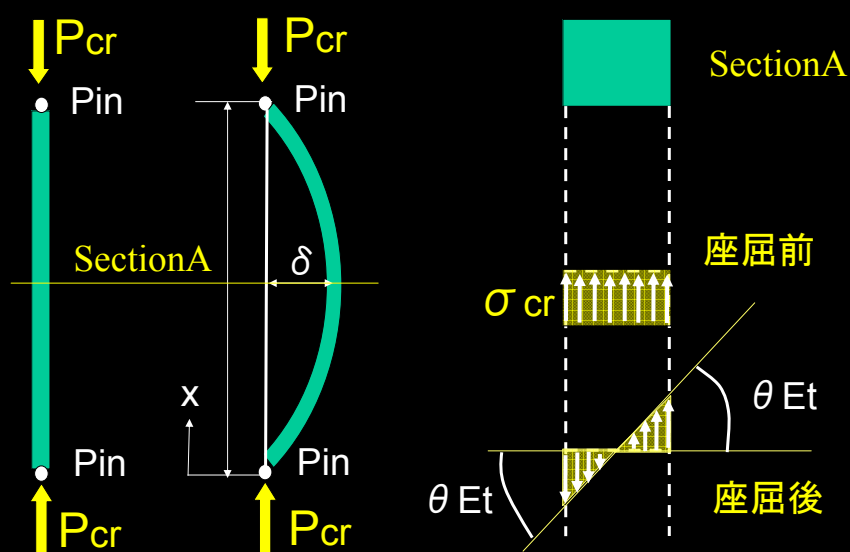
✚ 接線係数理論 (1889)

弾性座屈理論の E を E_t に変えて、拡張
柱の強度の下限値

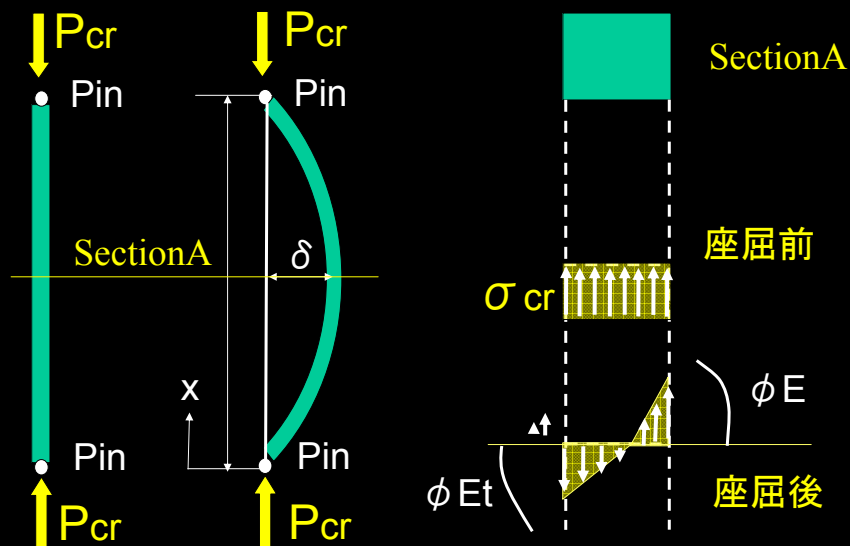
✚ 等価係数理論 (1895)

接線係数理論を修正したもの
除荷域には、 E_t ではなく、 E を用い、
等価係数を計算する。
柱の強度の上限値

接線係数理論 (1889)



等価係数理論(1895)



(6) 柱の耐荷力, 許容設計応力

柱の耐荷力曲線と安全率, 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.

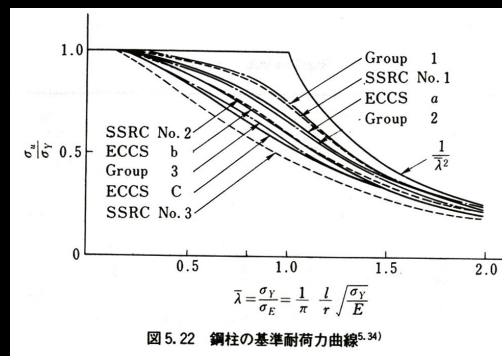
柱の耐荷力曲線

複数の耐荷力曲線

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



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)