

# 構造のおはなし その2



熊本大学工学部建築学科

村上 聖

# 建築構造設計の概要

構造安全性

荷重・外力

架構・部材

**荷重・外力**

長期荷重 = 固定荷重 + 積載荷重

短期荷重 = 長期荷重 + 地震力等

# 構造安全性

長期荷重

使用限界状態

\* 過大なひび割れ・たわみ、振動障害

短期荷重

中地震動

修復限界状態

\* 無被害(軽微)

大地震動

終局限界状態

\* 崩壊しない(人命)



無被害のRC造アパート



2階建て木造住宅、1階が倒壊



1~3階事務所、4階以上アパート



全階が崩壊した4階建て事務所

1995年 阪神大震災における建物の被害状況

# 構造設計法

## 許容応力度設計

使用限界、修復限界状態

応力度 許容応力度 (弾性範囲)

\* 弾性解析

## 耐震安全性の確認

終局限界状態

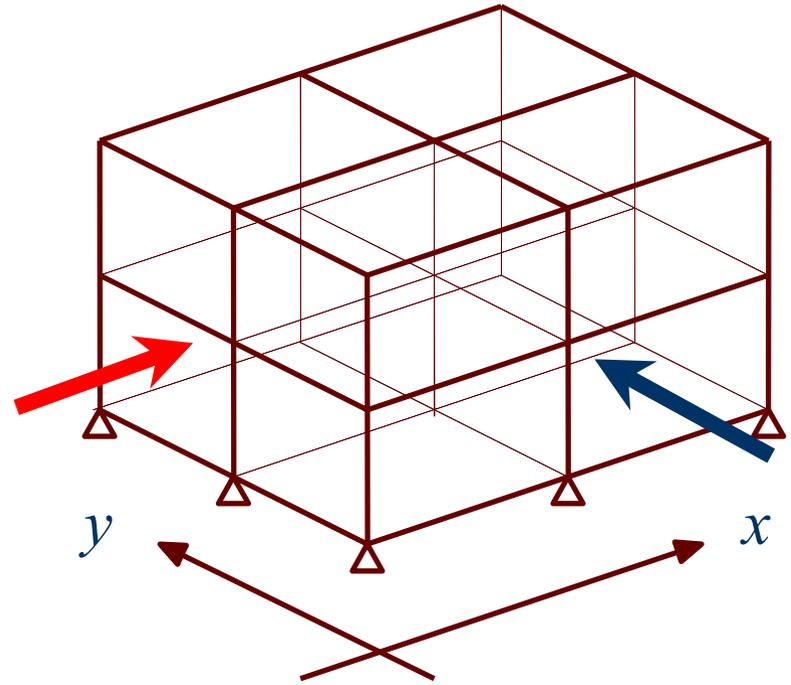
保有水平耐力 必要保有水平耐力

\* 塑性解析

# 架構・部材

柱・梁  
基礎  
接合部

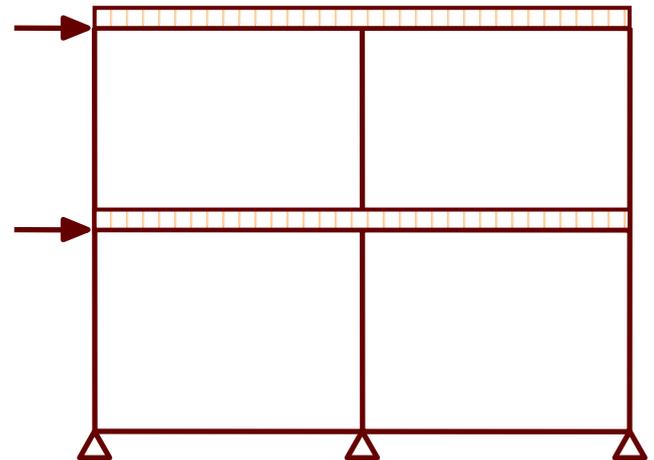
線材  
支点  
節点



立体ラーメン

荷重・外力分配

平面ラーメン



# 許容応力度設計の概要

## 構造計画

部材断面寸法の仮定

荷重・外力の仮定

応力計算

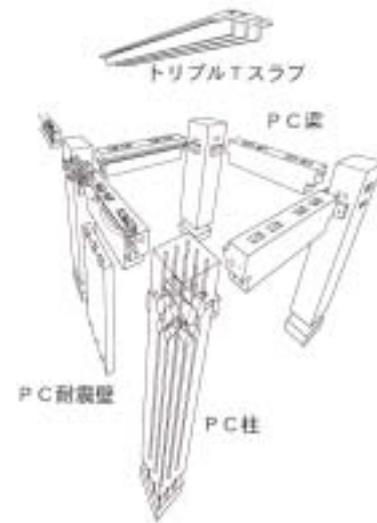
断面算定

配筋設計

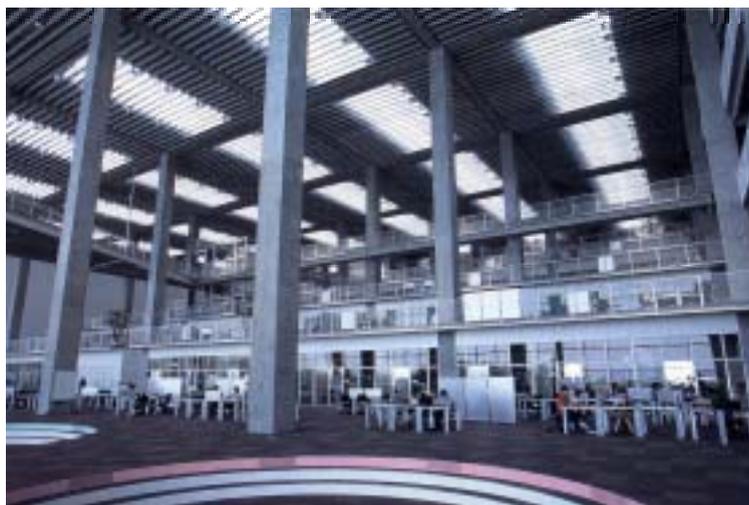
# 構造計画

構造形式(一般に、ラーメン構造)

柱割(スパン長)、階高、大梁、  
床スラブ(小梁)、壁、基礎



PC工法



PC圧着工法

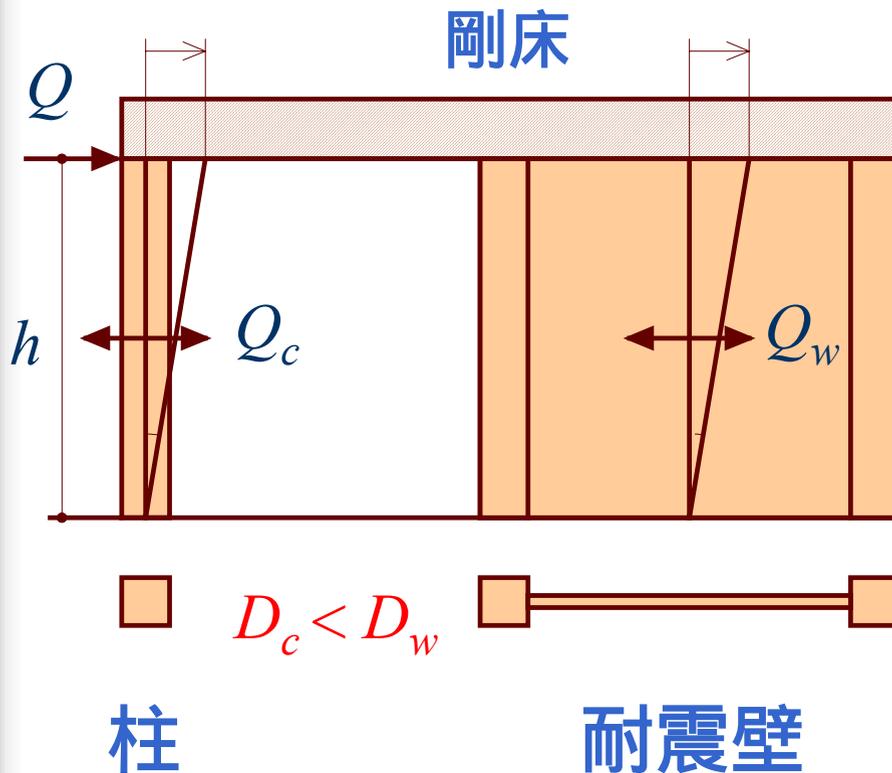


# 耐震壁の役割

外力

変形抵抗

応力



$$Q = Q_c + Q_w$$

$$Q_c = D_c \delta \left( = \frac{D_c}{D_c + D_w} Q \right)$$

$$Q_w = D_w \delta \left( = \frac{D_w}{D_c + D_w} Q \right)$$

$$Q = (D_c + D_w) \delta$$

$$\therefore \delta = \frac{Q}{D_c + D_w}$$

# 許容応力度設計の概要

構造計画

部材断面寸法の仮定

荷重・外力の仮定

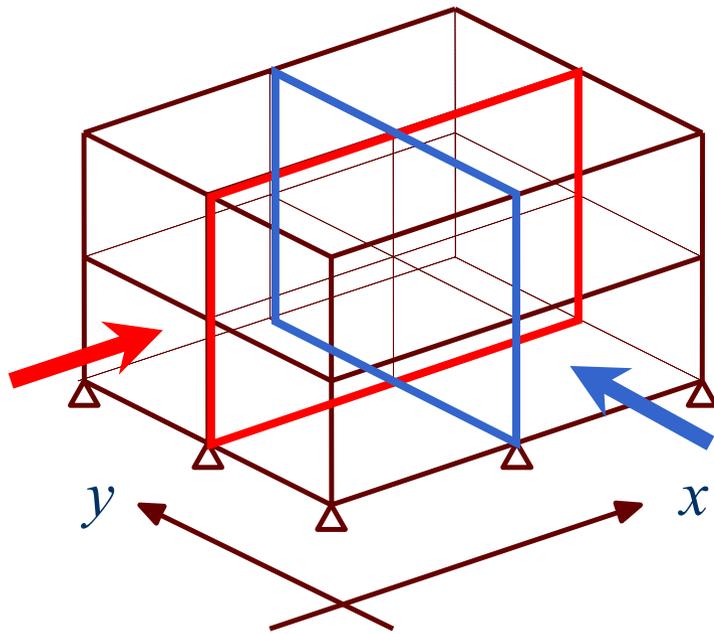
応力計算

断面算定

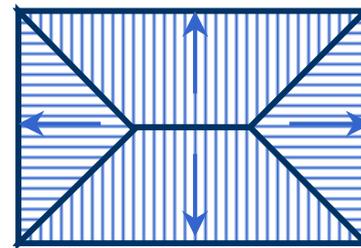
配筋設計

# 部材断面寸法の仮定

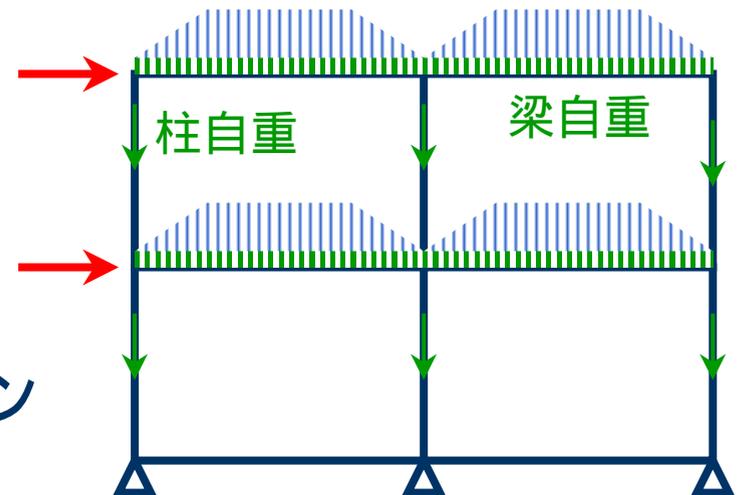
## 荷重・外力の仮定



立体ラーメン



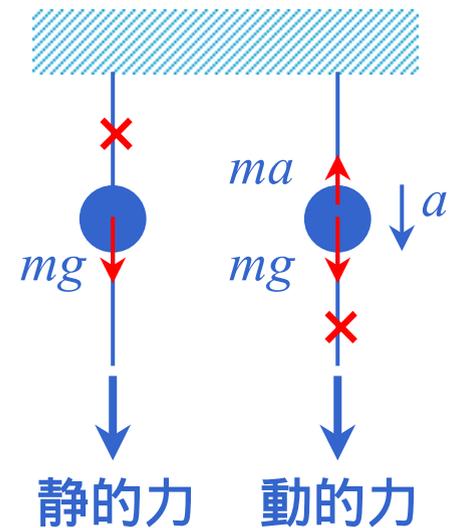
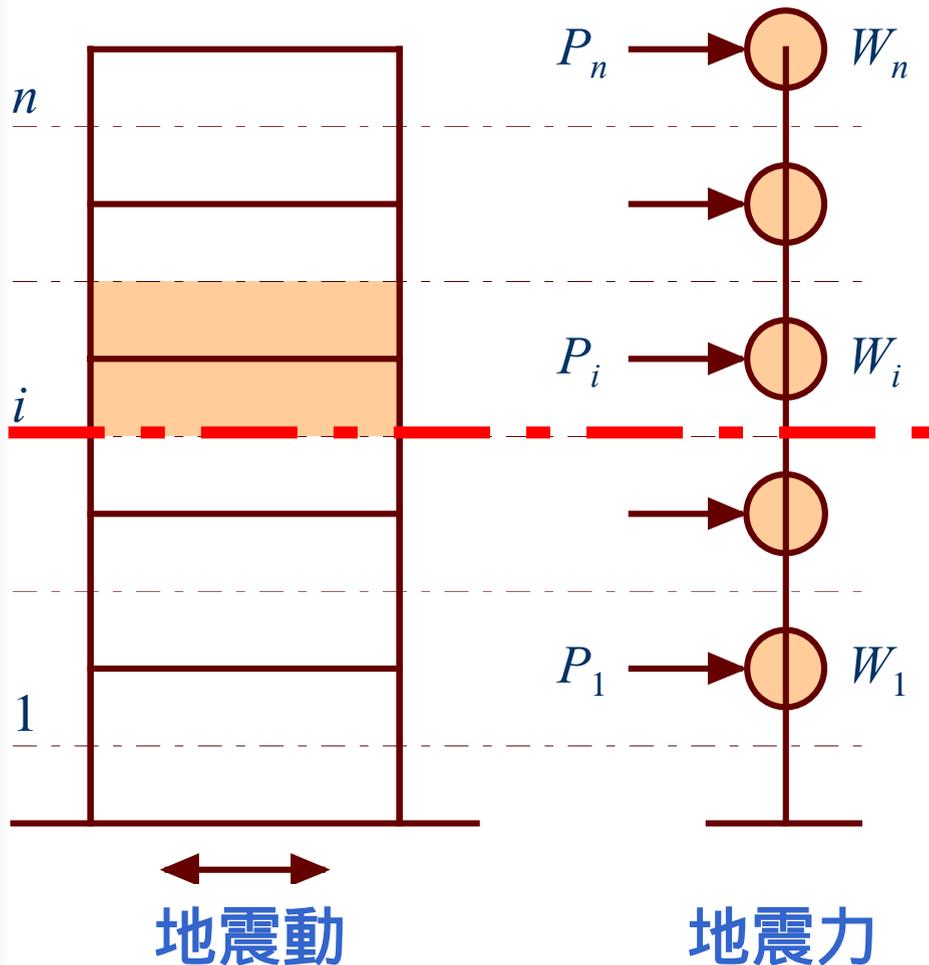
床荷重



平面ラーメン

# 地震力の算定

慣性力



層せん断力

$$Q_i = \sum_{j=i}^n P_j \Rightarrow C_i \times \sum_{j=i}^n W_j$$

層せん断力係数

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

$C_0$ : ベースシア係数

# 許容応力度設計の概要

構造計画

部材断面寸法の仮定

荷重・外力の仮定

応力計算

断面算定

配筋設計

# 応力計算

長期荷重 (鉛直荷重)

短期荷重 = 長期荷重 + 地震力 (水平力)

たわみ角法、固定モーメント法、D値法

マトリックス法

剛度:  $K = \frac{I}{l}$        $I$ : 断面2次モーメント、 $l$ : 材長

剛比:  $k = \frac{K}{K_0}$        $K_0$ : 標準剛度

中間荷重による固定端モーメント:  $C$

単純梁としたときの  $M$ 、 $Q$ :  $M_0$ 、 $Q_0$

# 許容応力度設計の概要

構造計画

部材断面寸法の仮定

荷重・外力の仮定

応力計算

**断面算定**

配筋設計

# 断面算定

応力度 許容応力度 (長期・短期)

設計用応力 許容応力

$M_D$

$M_A$  : 許容曲げモーメント

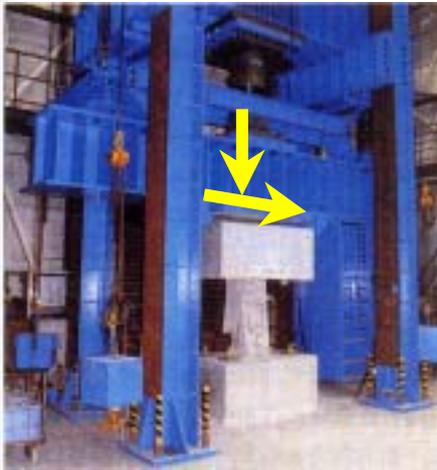
**主筋算定**

$Q_D$

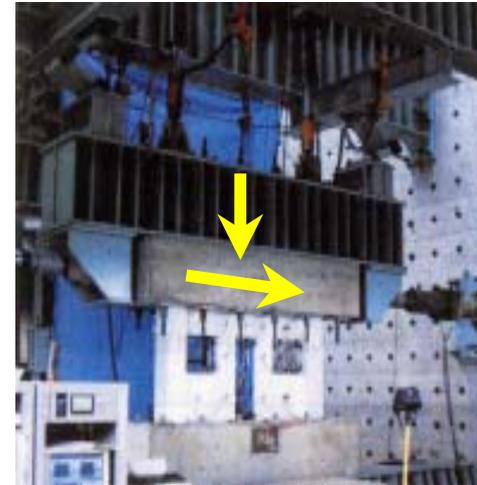
$Q_A$  : 許容せん断力

**せん断補強筋算定**

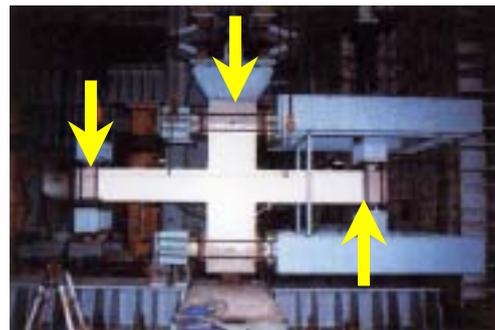
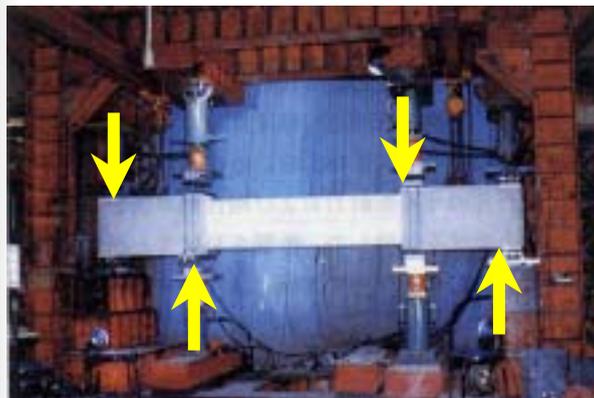
# 鉄筋補強の原理



RC柱



開口壁



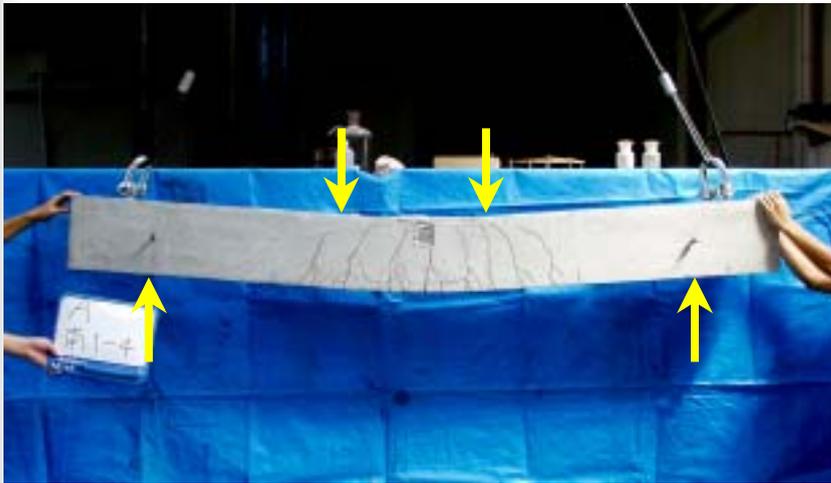
柱梁接合部



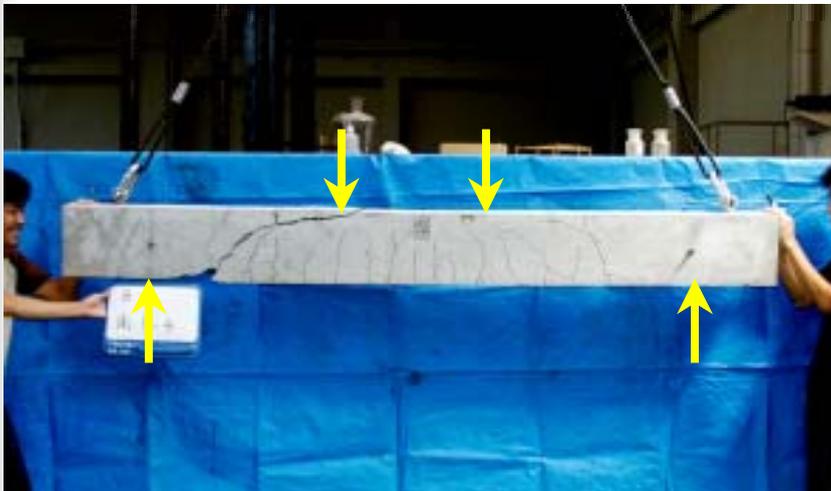
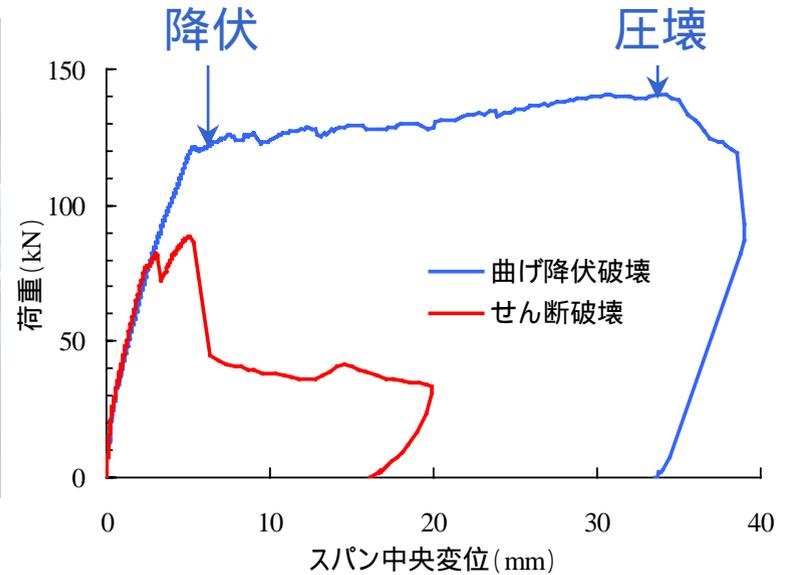
RC梁



# 曲げモーメントを受ける部材



曲げ降伏破壊



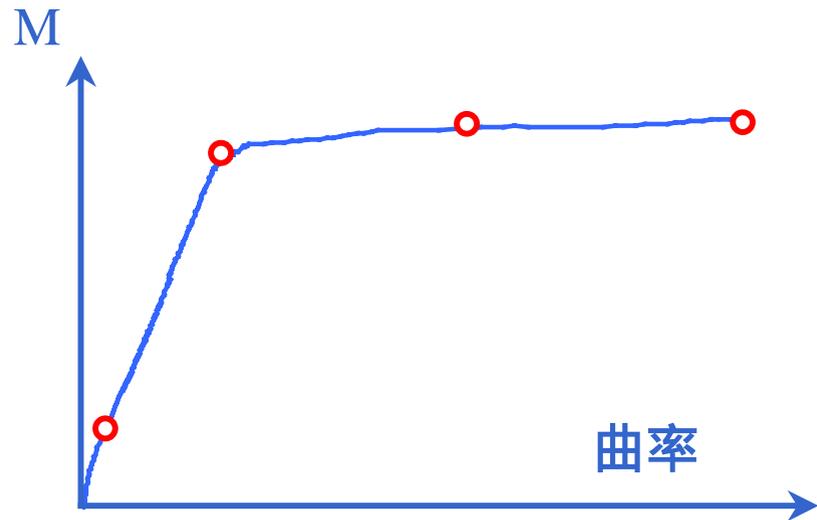
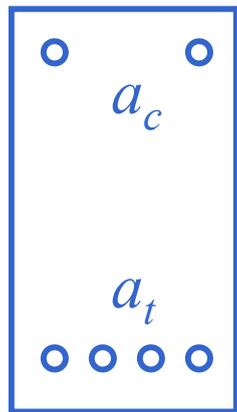
せん断破壊

曲げ降伏破壊先行

\* 粘り強い壊れ方

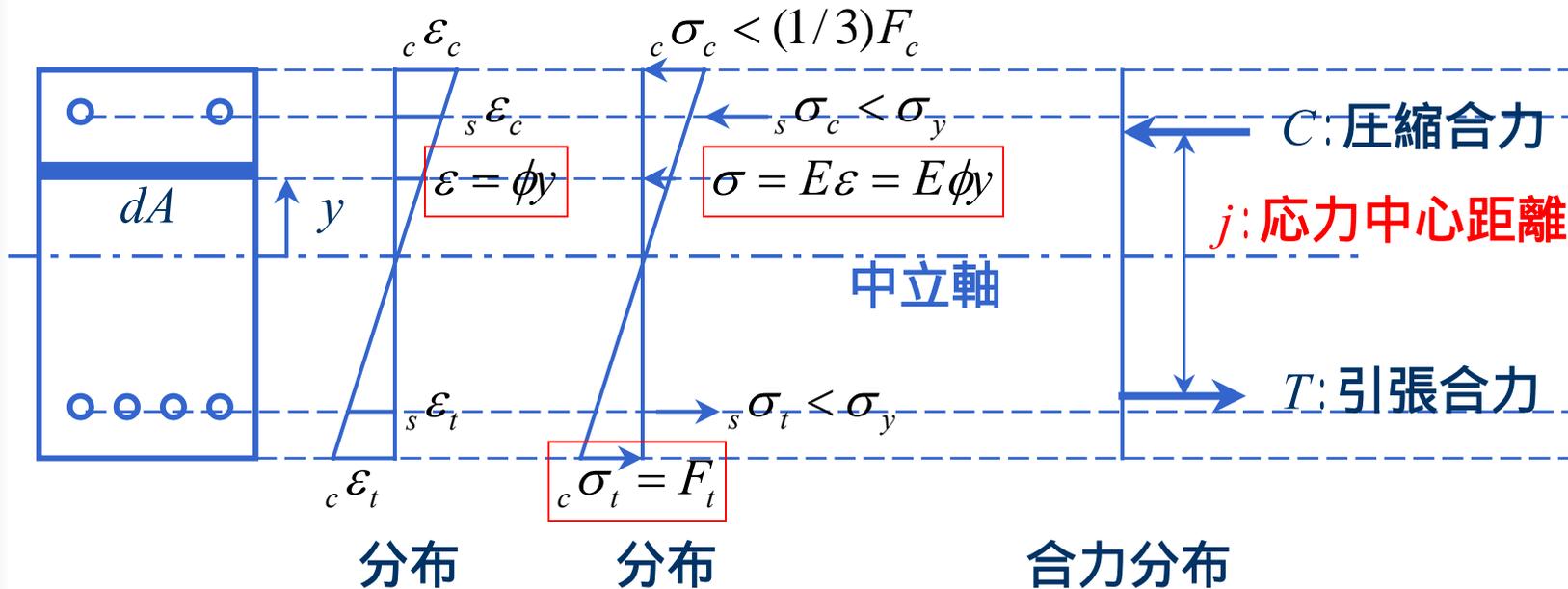
せん断破壊先行

\* 脆性的な壊れ方



曲げモーメント - 曲率関係

応力分布状態 (曲げひび割れ発生)



## (1) 軸方向の力のつり合い

$$N = \int_A \sigma dA = \int_A E \phi y dA = E \phi \int_A y dA = E \phi S_n$$

$$\because N = 0$$

$$S_n \left( = \int_A y dA \right) = 0 \Rightarrow \text{中立軸は、断面の図心を通る}$$

$$C = T$$

## (2) モーメントのつり合い

$$M = \int_A y \times \sigma dA = \int_A E \phi y^2 dA = E \phi \int_A y^2 dA = E \phi I_n$$

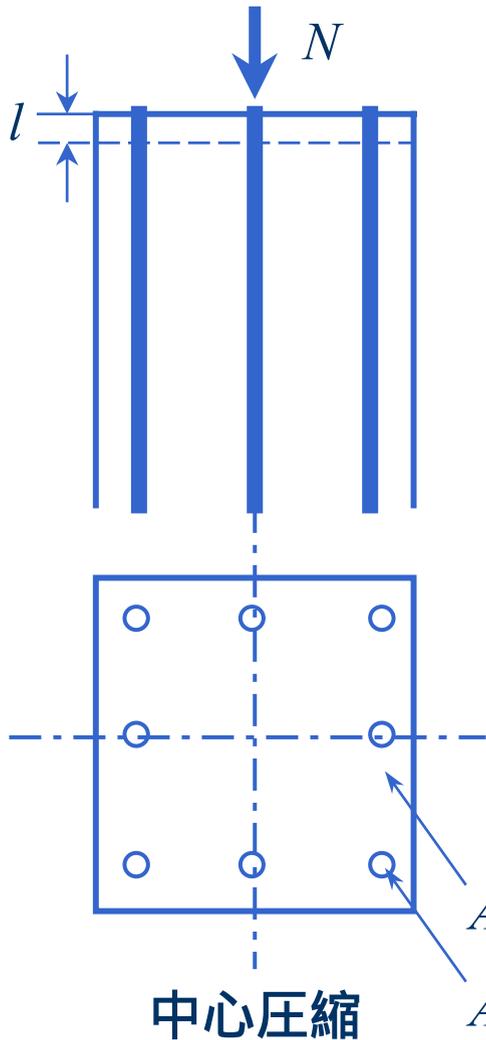
$$\Rightarrow M = EI_n \phi$$

$$M = T \times j \left( = C \times j \right)$$

## (3) 応力度

$$\sigma = E \varepsilon = E \phi y = \frac{M}{I_n} y$$

# 等価断面の概念



$$N = \sigma A = EA \varepsilon$$

$$N = N_c + N_s$$

$$N_c = \sigma_c A_c, N_s = \sigma_s A_s$$

$$\sigma_c = E_c \varepsilon_c, \sigma_s = E_s \varepsilon_c$$

$$N = E_c A_c \varepsilon_c + E_s A_s \varepsilon_c$$

$$\therefore \varepsilon_c = \varepsilon_s$$

$$N = E_c \left( A_c + \frac{E_s}{E_c} A_s \right) \varepsilon_c$$

$$= E_c (A_c + n A_s) \varepsilon_c = E_c A_{ec} \varepsilon_c$$

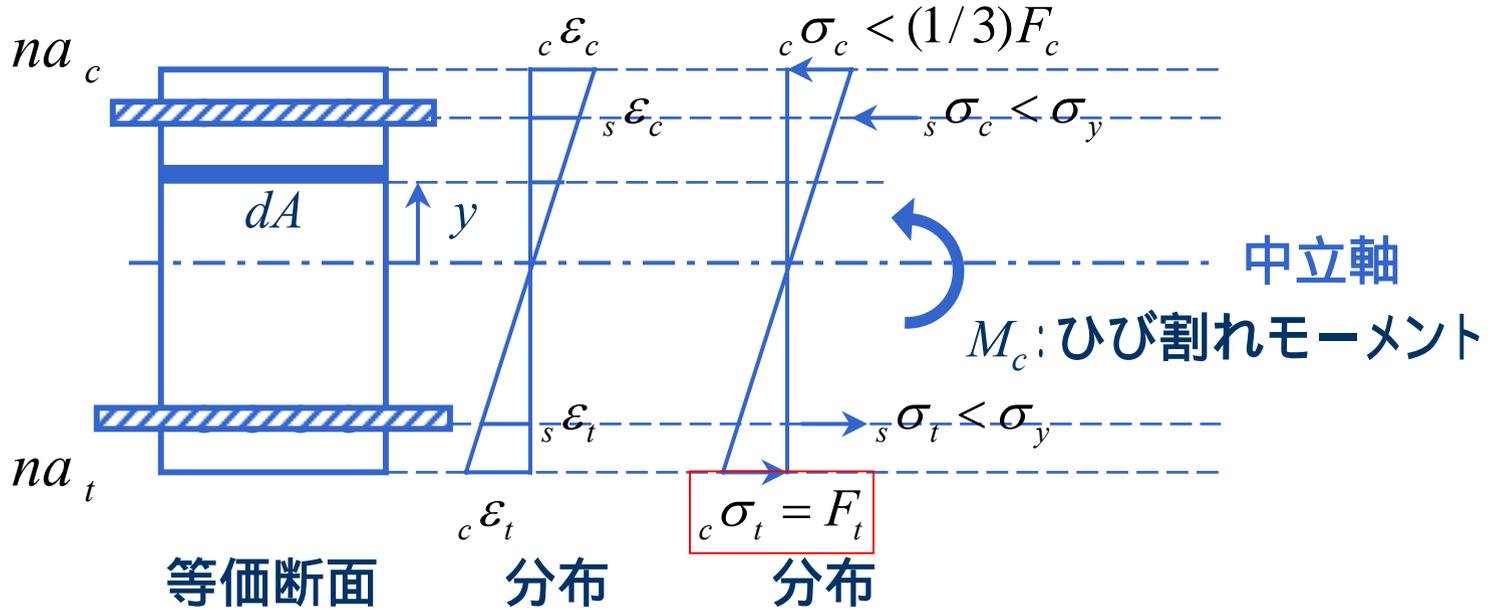
$A_c$ : コンクリート断面積

$A_s$ : 鉄筋断面積

$n = E_s / E_c$ : ヤング係数比

$A_{ec} = A_c + n A_s$ : 等価断面積

# 応力分布状態 (曲げひび割れ発生)



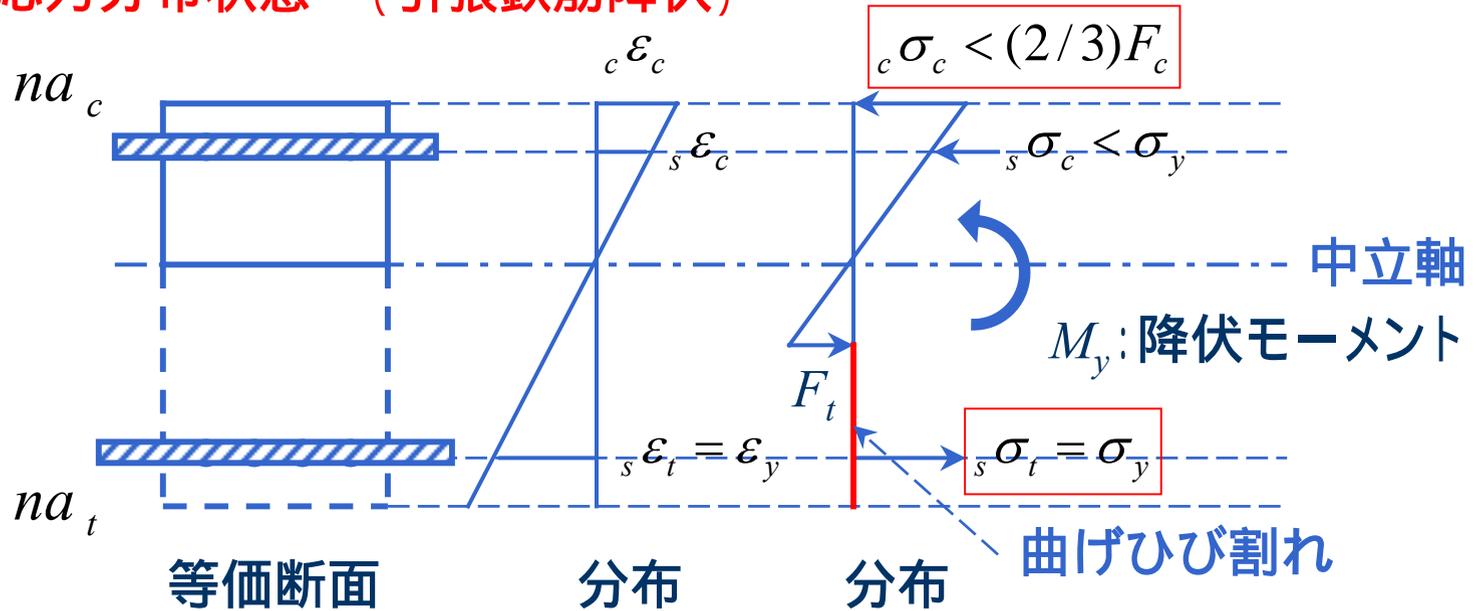
$$S_n = \int_A y dA = 0$$

$$M = EI_n \phi \Rightarrow M = E_c I_n \phi$$

$$\sigma = E \epsilon \Rightarrow c \sigma = E_c c \epsilon = E_c \phi y = \frac{M}{I_n} y \rightarrow c \sigma_t = F_t$$

$$s \sigma = E_s s \epsilon = n E_c \phi y = \frac{nM}{I_n} y$$

# 応力分布状態 (引張鉄筋降伏)



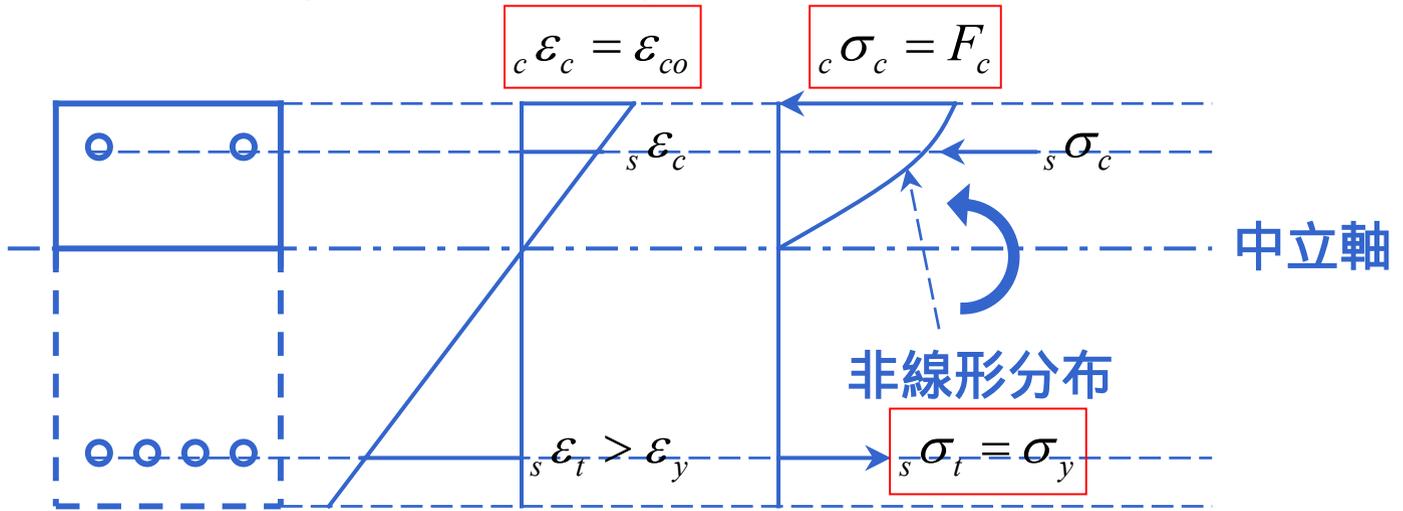
$$S_n = \int_A y dA = 0 \quad M = EI_n \phi \Rightarrow M = E_c I_n \phi$$

$$\sigma = E \epsilon \Rightarrow c \sigma = E_{cc} \epsilon = E_c \phi y = \frac{M}{I_n} y \rightarrow c \sigma_c \leq \frac{2}{3} F_c$$

$$s \sigma = E_{ss} \epsilon = n E_c \phi y = \frac{nM}{I_n} y \rightarrow s \sigma_t = \sigma_y$$

$$M = T \times j = a_t \sigma_y j$$

# 応力分布状態 (圧縮強度時点)

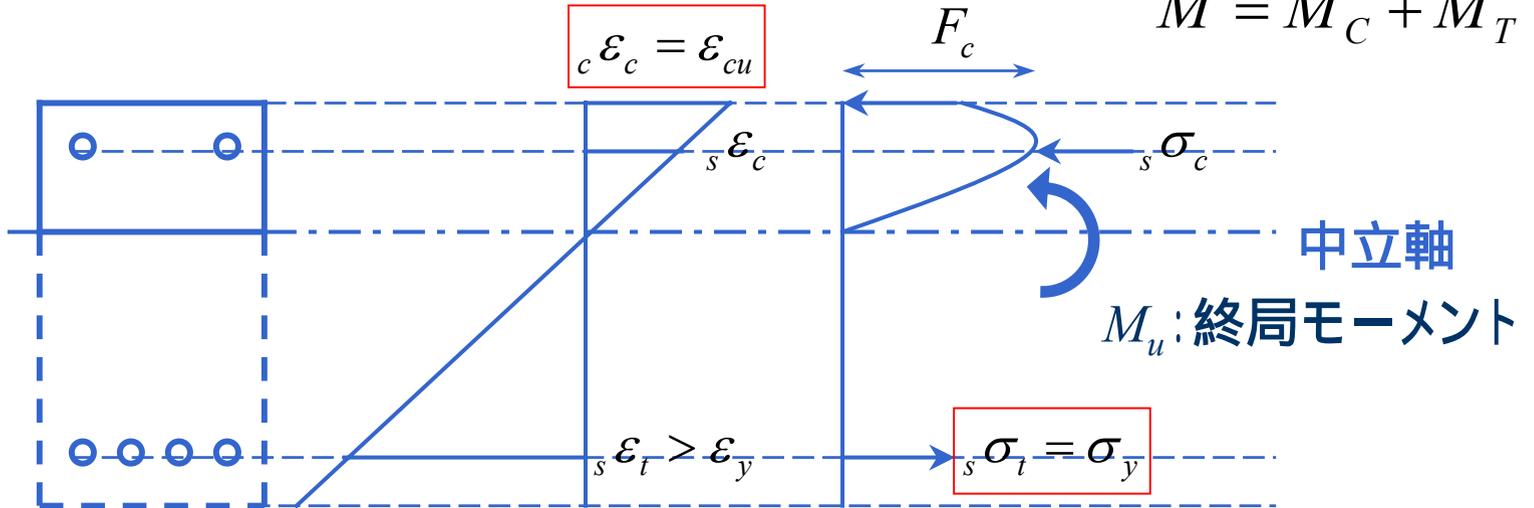


分布

分布

$$C = T$$

# 応力分布状態 (終局時点)



分布

分布

# 主筋算定

$$M = T \times j = a_t s \sigma_t j$$

コンクリート引張強度無視

$$M_A = a_t f_t j \left( j = \frac{7}{8} d \right)$$

$$M_A \geq M_D \Rightarrow a_t \geq \frac{M_D}{f_t j}$$

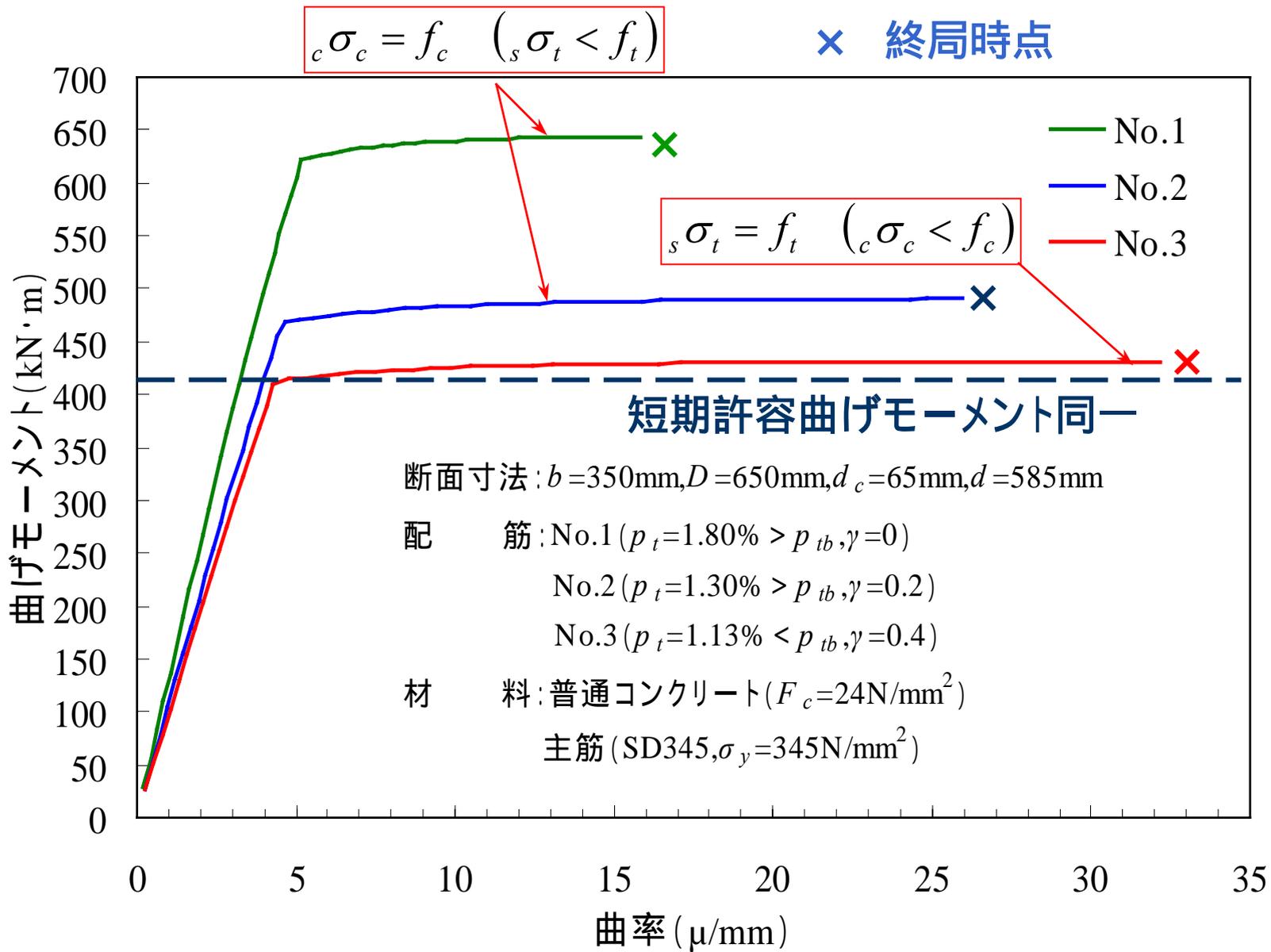
上式の適用範囲:  $s \sigma_t = f_t \quad (c \sigma_c < f_c)$

圧縮縁コンクリートで決まる場合:  $c \sigma_c = f_c \quad (s \sigma_t < f_t)$

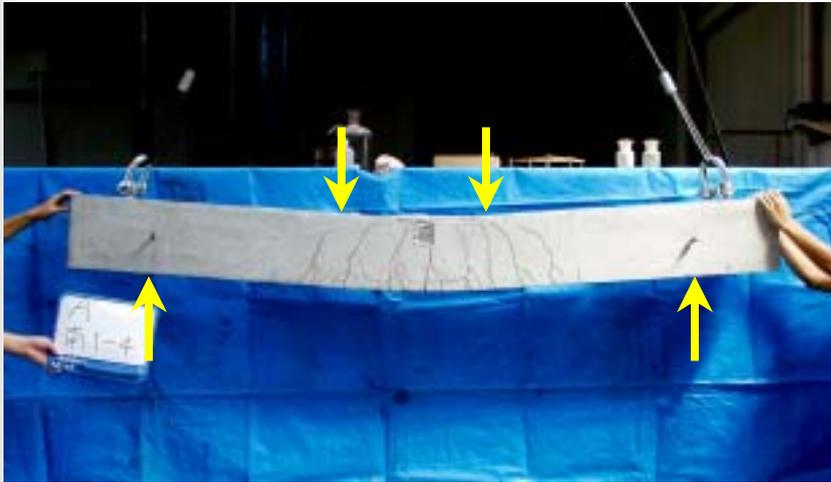


圧縮鉄筋を増やし

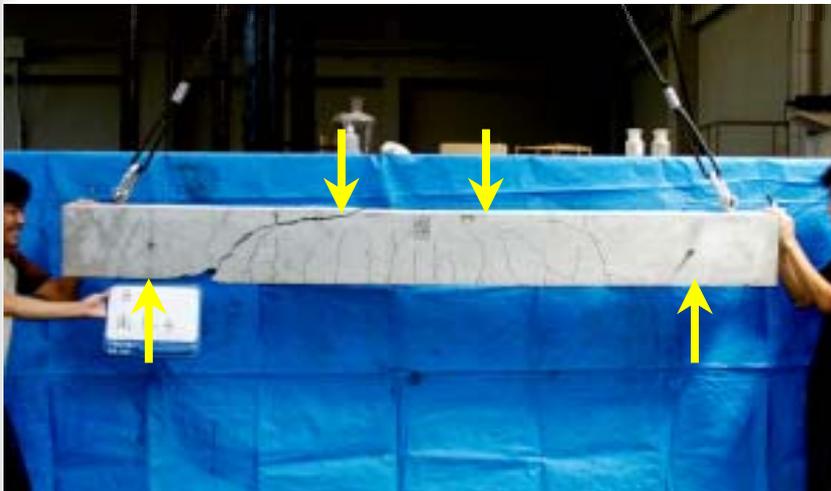
引張鉄筋で許容状態が決まるようにする



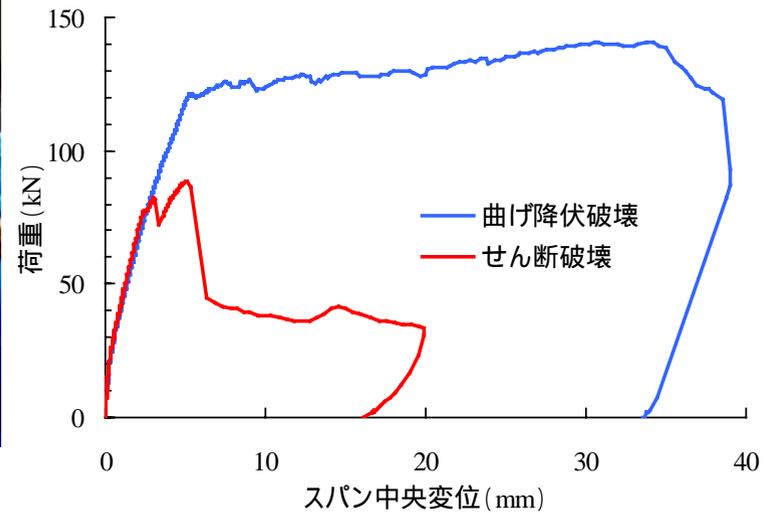
# せん断力を受ける部材



曲げ降伏破壊



せん断破壊



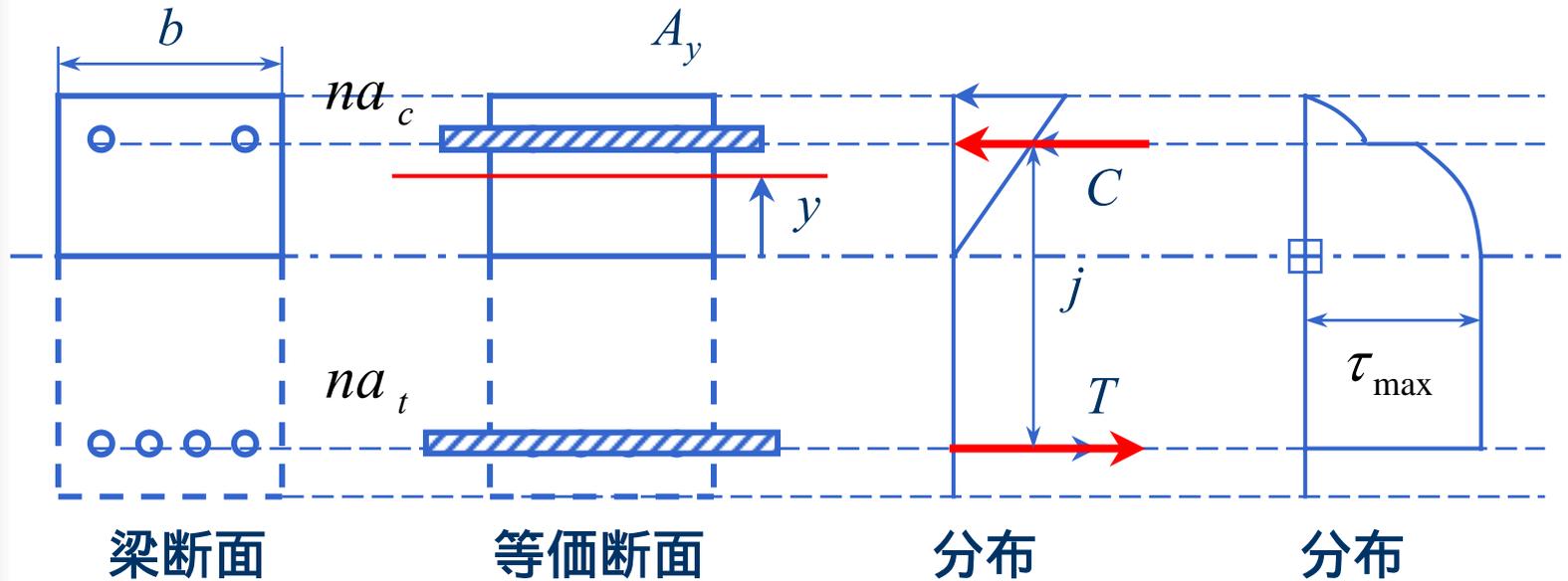
曲げ降伏破壊先行

\* 粘り強い壊れ方

せん断破壊先行

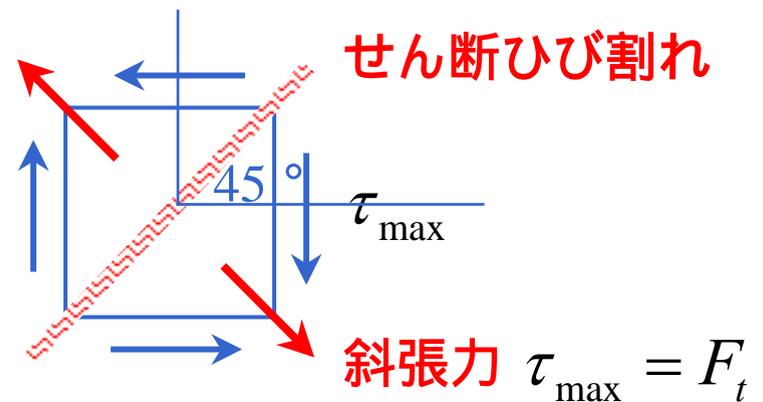
\* 脆性的な壊れ方

# せん断応力度

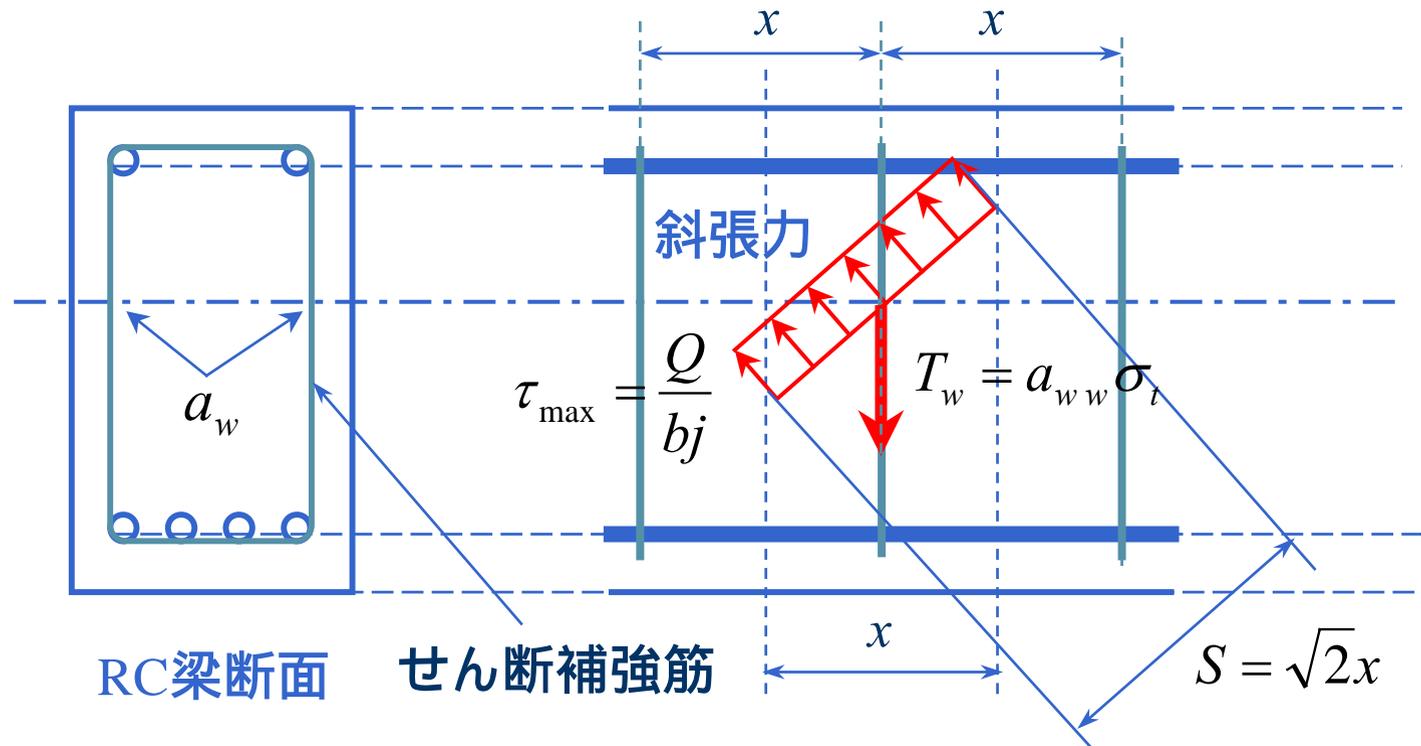


$$\tau = \frac{QS_y}{bI_n} \quad \left( S_y = \int_{A_y} ydA \right)$$

$$\tau_{\max} = \frac{Q}{bj}$$



# 斜張力理論



$$\tau_{\max} = \tau_c + \tau_w$$

$$\tau_w b S \cos 45^\circ = T_w$$

$$\therefore \tau_w = \left( \frac{a_w}{bx} \right) w \sigma_t = p_{ww} \sigma_t$$

$$\frac{Q}{bj} = \tau_c + p_{ww} \sigma_t$$

$$\therefore Q = (\tau_c + p_{ww} \sigma_t) bj$$

$$\Rightarrow Q_A = (f_s + p_{ww} f_t) bj$$

# せん断補強筋算定

$$Q_A \geq Q_D$$

短期設計用せん断力:

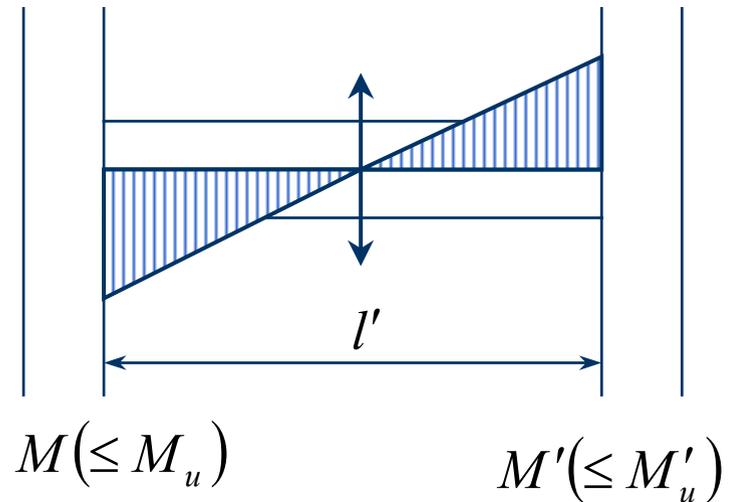
$$Q_D = Q_L + kQ_E$$

$$Q_D = Q_L + \frac{\sum M_u}{l'}$$

許容せん断力:

$$Q_A = \{ \alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002) \} b j$$

$$Q = \frac{M + M'}{l'} \leq \frac{M_u + M'_u}{l'}$$

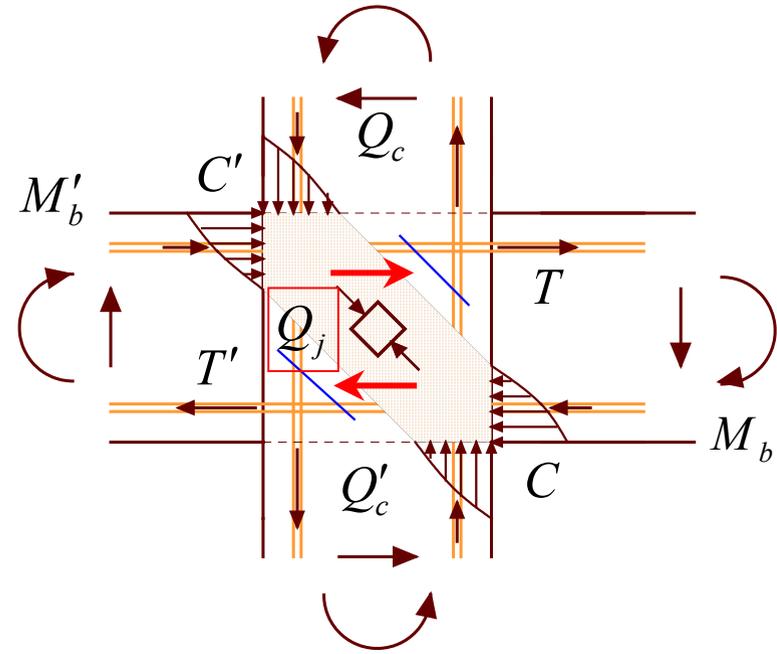
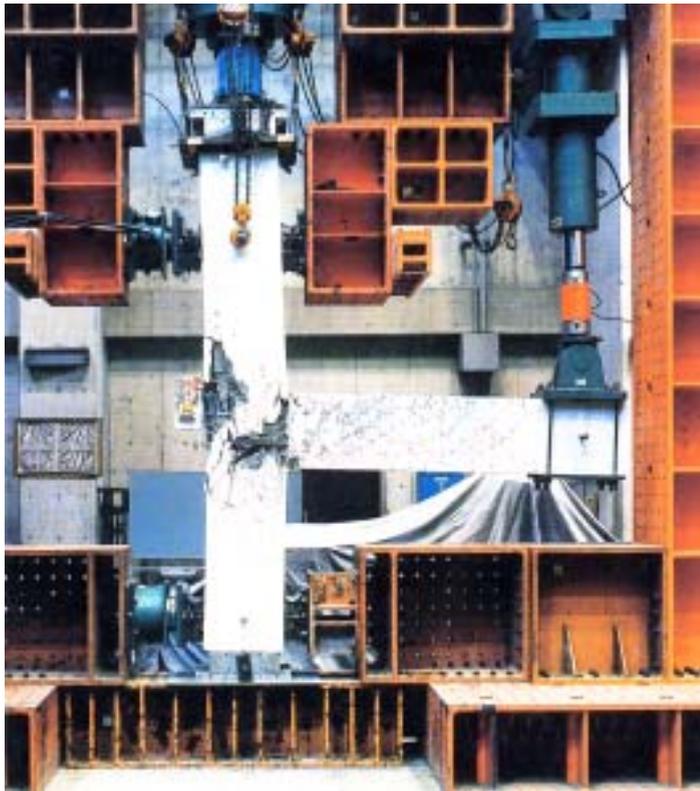


# 柱梁接合部

高強度化 接合部小

補修・補強が困難

$$Q_{Aj} \geq Q_{Dj} \quad (\text{短期のみ})$$



$$Q_{Aj} = \kappa_A (f_s - 0.5) b_j D$$

$$Q_j = T + C' - Q_c = T + T' - Q_c$$

$$= \frac{M_b}{j} + \frac{M'_b}{j} - Q_c = \sum \frac{M_b}{j} - Q_c$$

$$\Rightarrow Q_{Dj}$$



# 許容応力度設計の概要

構造計画

部材断面寸法の仮定

荷重・外力の仮定

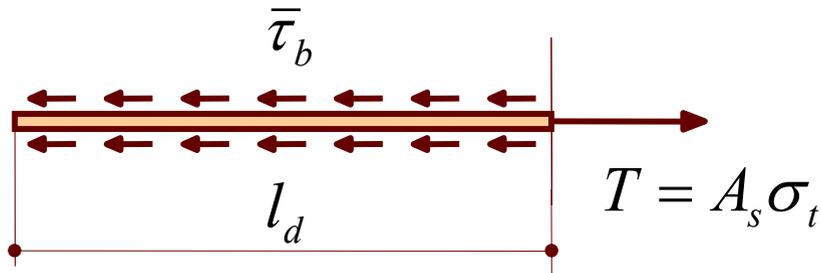
応力計算

断面算定

配筋設計

# 付着・継手・定着

## 平均付着応力度



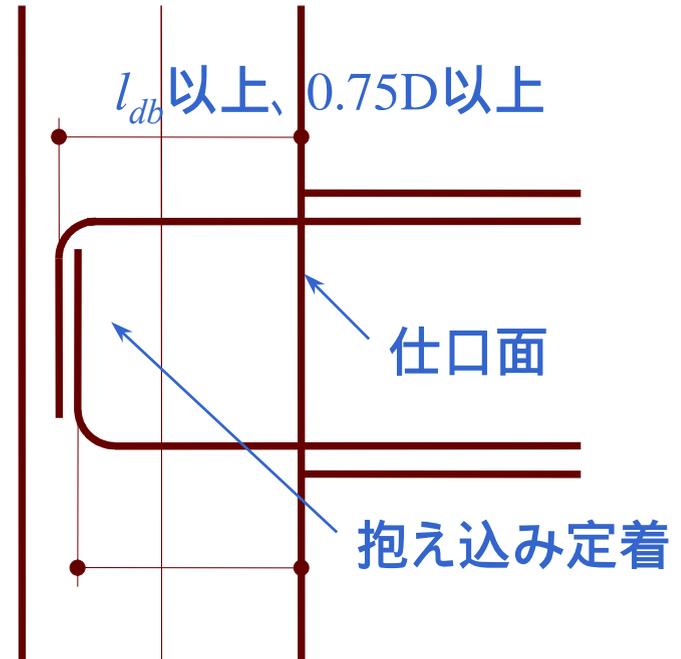
付着力 引張力

$$\bar{\tau}_b \psi l_d = A_s \sigma_t$$

$$\therefore \bar{\tau}_b = \frac{\sigma_t A_s}{\psi l_d} \leq K f_b$$

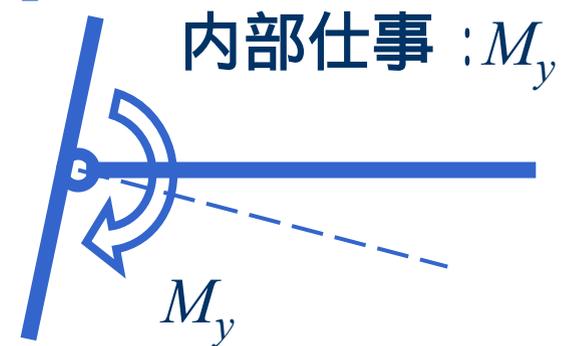
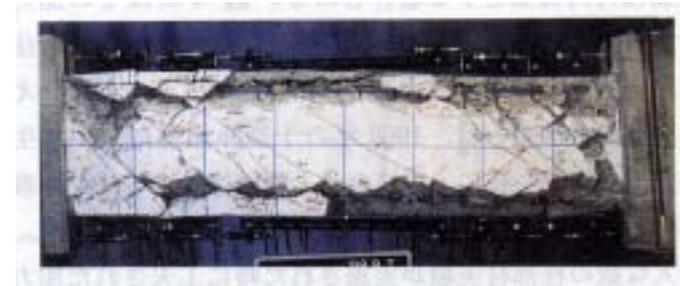
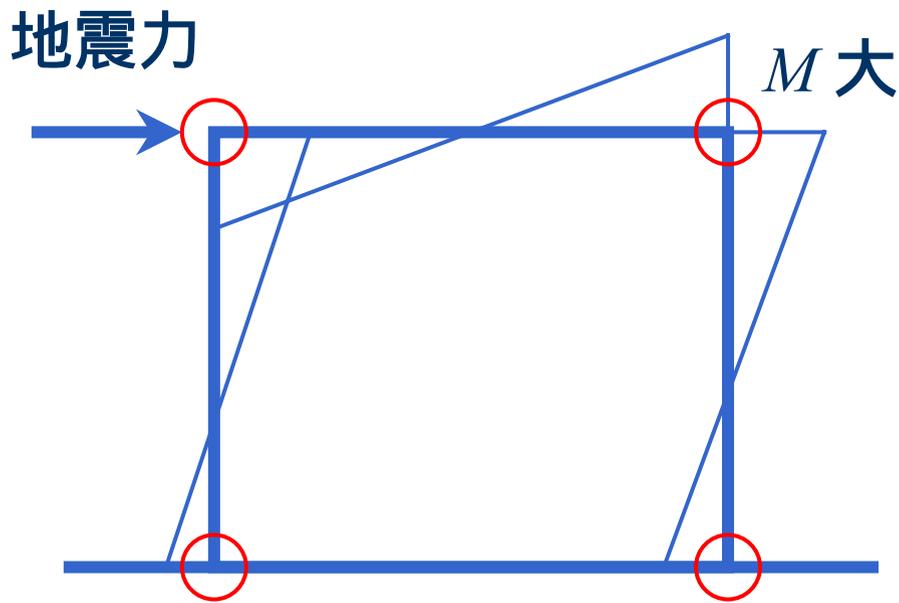
$$\therefore l_d \geq \frac{\sigma_t A_s}{K f_b \psi} (= l_{db})$$

必要付着長さ

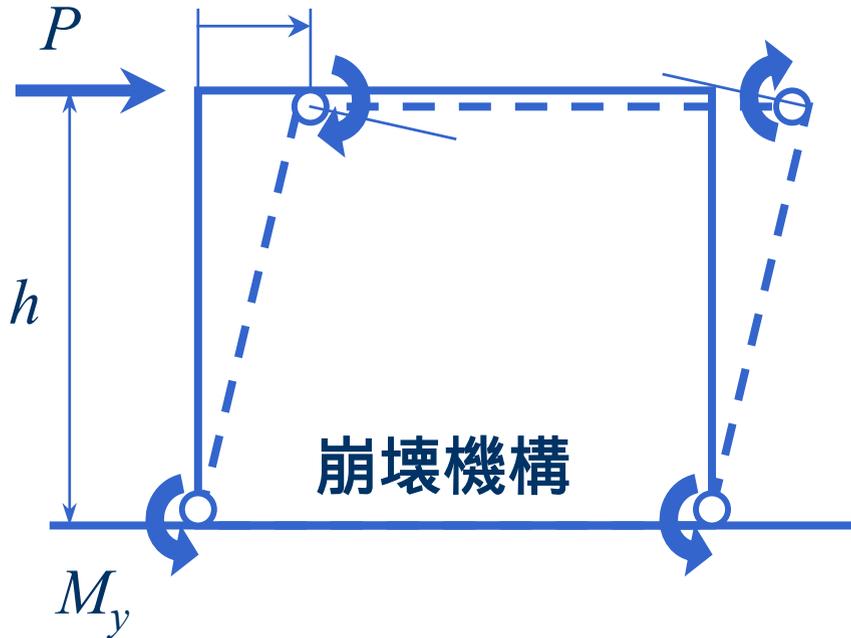




# 耐震安全性の確認



# 保有水平耐力

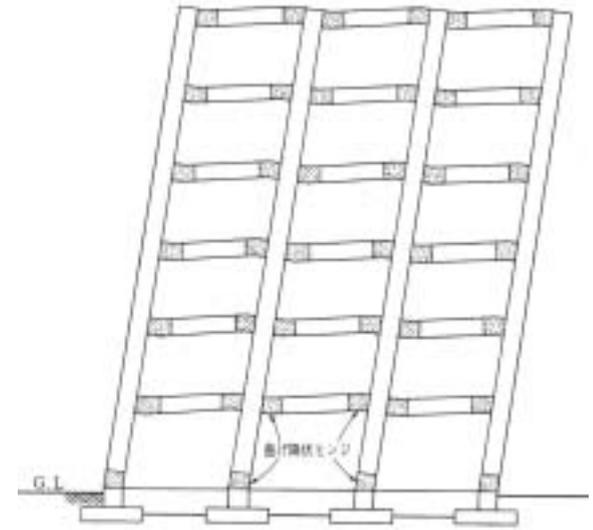


外部仕事 内部仕事

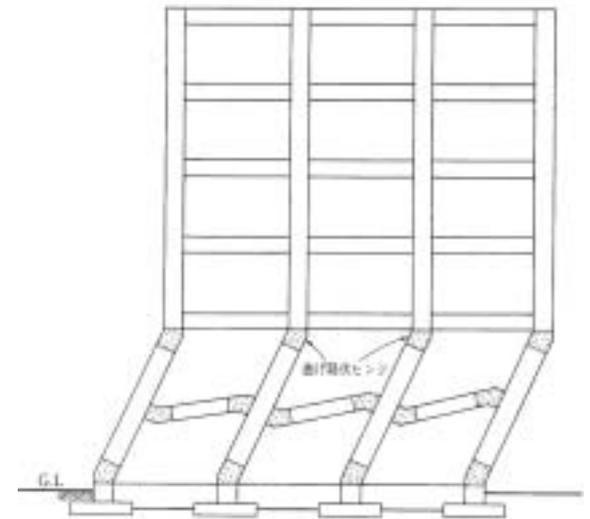
$$P\delta = 4M_y\theta$$

$$\therefore \delta = h\theta$$

$$P = \frac{4M_y}{h} : \text{保有水平耐力}$$



全体降伏機構



層降伏機構

# 記号説明

## 応力

$N$ : 軸力、 $M$ : 曲げモーメント、 $Q$ : せん断力

添え字  $D$ : 設計用 (design)、 $A$ : 許容 (allowance)

## 応力度・ひずみ度等

$\sigma$ : 垂直応力度・ひずみ度、 $\sigma_c$ : 圧縮応力度、 $\sigma_t$ : 引張応力度

$\tau$ : せん断応力度・ひずみ度、 $\tau_b$ : 付着応力度、 $E$ : ヤング係数

添え字  $c$ : concrete、 $s$ : steel bar、 $c$ : compression、 $t$ : tension、 $b$ : bond

## 強度

$F_c$ : コンクリート圧縮強度、 $F_t$ : コンクリート引張強度、 $F_y$ : 鉄筋降伏強度

## 許容応力度

$f_c$ : コンクリート許容圧縮応力度、 $f_s$ : コンクリート許容せん断応力度

$f_t$ : 主筋許容引張応力度、 $wf_t$ : せん断補強筋許容引張応力度

$f_b$ : 許容付着応力度

## 断面寸法等

$b$ : 部材幅、 $D$ : 部材せい、 $d$ : 有効せい、 $l$ : スパン長さ、 $h$ : 柱高さ

$x$ : せん断補強筋間隔、 $a_c$ : 圧縮鉄筋断面積、 $a_t$ : 引張鉄筋断面積

$a_w$ : 一組のせん断補強筋断面積、 $p_t$ : 引張鉄筋比、 $p_w$ : せん断補強筋比

$S$ : 断面1次モーメント、 $I$ : 断面2次モーメント