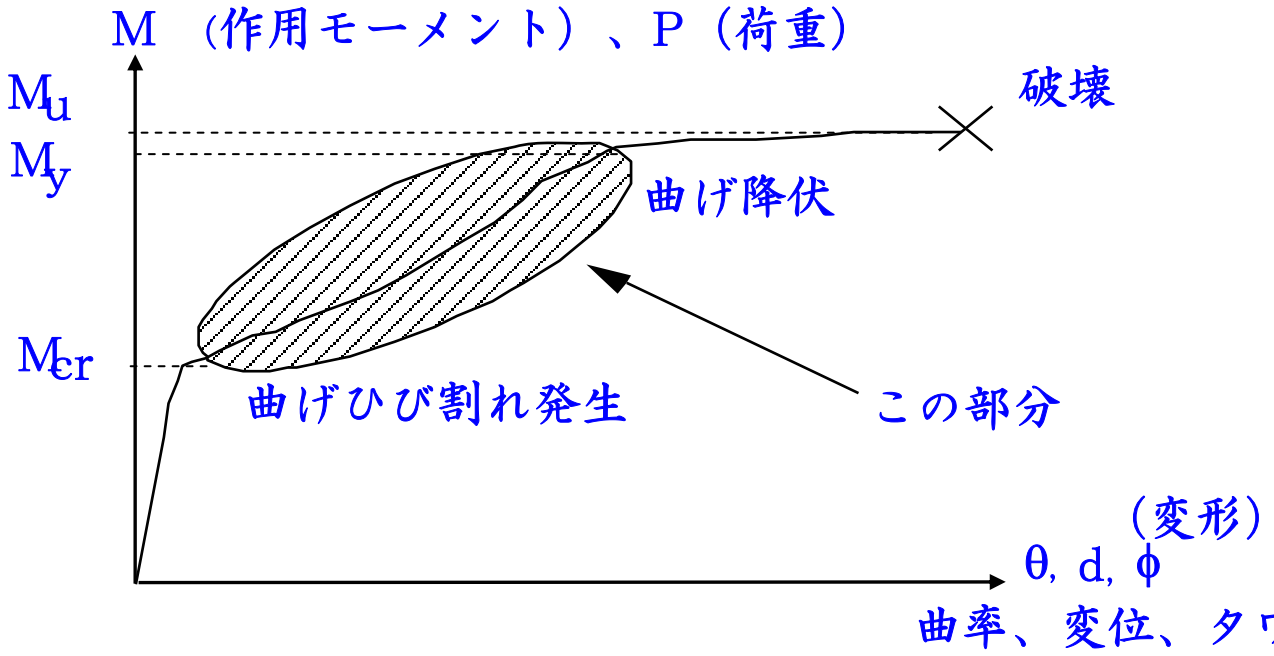
2.3　曲げひび割れ発生から降伏まで

○曲げひび割れ発生後、断面に補強鉄筋が配置されていないと、はりは直ちに二つに折れて破壊してしまう。→　無筋コンクリートの破壊

○したがって、鉄筋コンクリート構造物として機能させるためには、少なくとも、曲げひび割れ発生荷重に抵抗するだけの補強鋼材（鉄筋）を配置しておくことが必要となる。　→　「最小鉄筋量」の概念

○曲げひび割れ発生から、補強鉄筋降伏までの間の解析方法
　→　これがいわゆる「RC計算」（RCの弾性計算）である。



（基本仮定）曲げひび割れ発生後、鉄筋の降伏まで

(1) 平面保持（＝ひずみの直線分布）Plane section remains plane.

→　変形の適合条件

(2) 完全付着（鉄筋のひずみは同一位置のコンクリートひずみに一致する）。→　変形の適合条件　　（実際の鉄筋の写真はPPTで）

(3)　鉄筋は弾性体（ヤング係数E_s）とする。→　応力－ひずみ関係

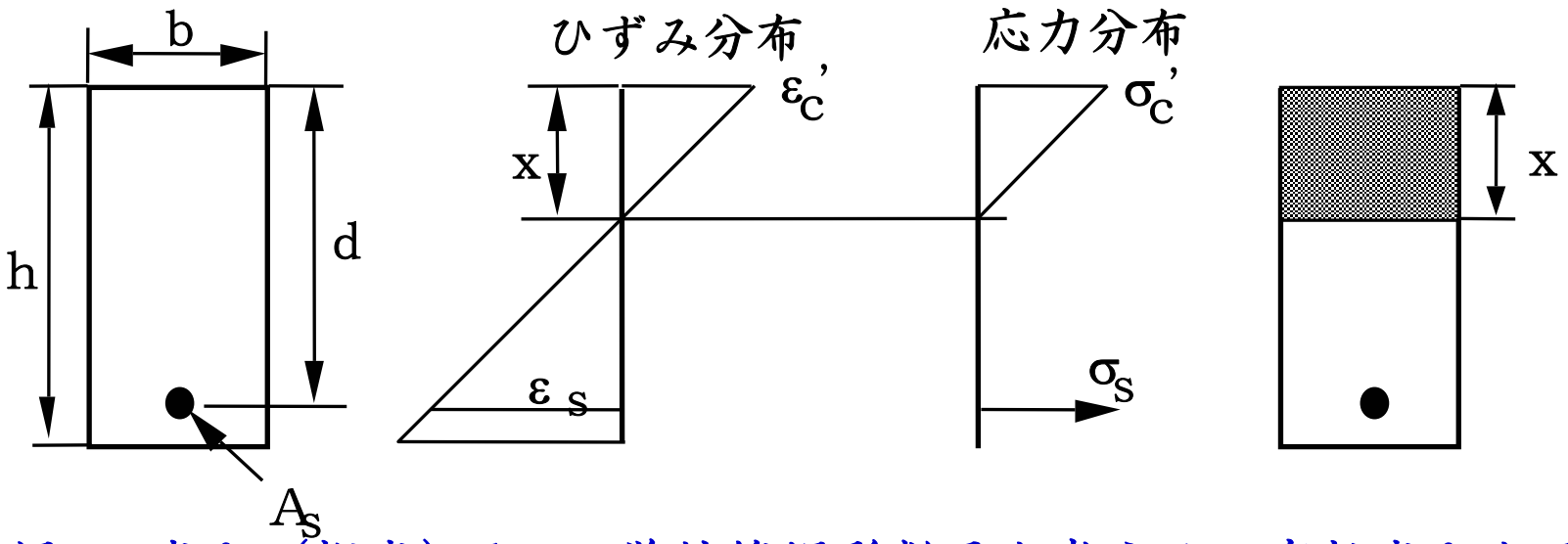
(4)　コンクリートは圧縮に対して弾性体（ヤング係数 E_c ）とする。

→　応力－ひずみ関係

(5)　コンクリートは引張に抵抗しない（←∵ひび割れているから）

→　応力－ひずみ関係

（コンクリートの引張抵抗を無視する考え方がRC計算の特徴である。ただし、これは現実には正しくない。テンションスティフニングの存在。）



幅b、高さ（桁高）h、の単鉄筋矩形断面を考える。有効高さをd、鉄筋の断面積をA_sとする。鉄筋とコンクリートのヤング係数はE_s、E_cでその比率 n をヤング係数比と呼ぶ（$n = E_s / E_c$）。基本仮定にしたがって、中立軸の位置 x を求める。

○応力−ひずみ関係

$$\sigma_c' = E_c\,\varepsilon_c', \quad \sigma_s = E_s\,\varepsilon_s$$

○力の釣合条件

コンクリートの圧縮力

$$C' = \frac{1}{2}\sigma_c'\,b\,x$$

鉄筋の引張力

$$T = A_s\,\sigma_s$$

力の釣合は、

$$C' = T$$

○ひずみの適合条件

$$\varepsilon_s = \frac{d - x}{x} \varepsilon_c'$$

以上より、 $\frac{1}{2} E_c \varepsilon_c' b x = A_s E_s \frac{d - x}{x} \varepsilon_c'$

$$E_c b x^2 = 2 A_s E_s (d - x)$$

$$b x^2 = 2 A_s n (d - x)$$

$$bx^2 + 2A_s n x - 2 A_s n d = 0$$

$$\therefore x = \frac{-A_s n + \sqrt{(A_s n)^2 + 2A_s n bd}}{b}$$

$$= \frac{A_s n}{b}\left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 b d}{A_s n}}\right]$$

となる。

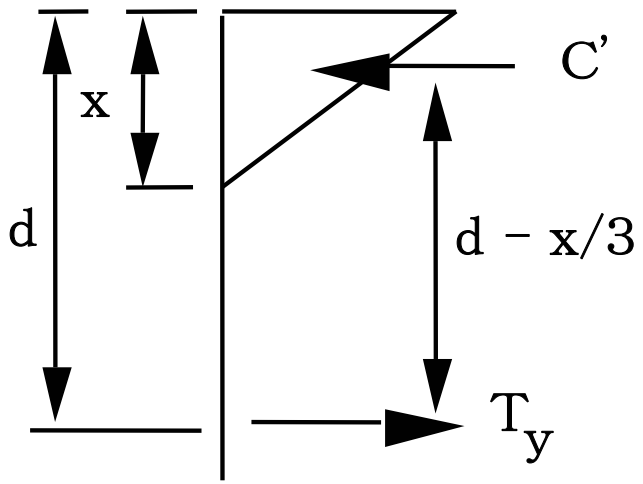
つまり、中立軸位置 x は、鉄筋断面積 A_s、ヤング係数比 n 、断面の幅 b 、有効高さ d のみから決まり、荷重の大きさに依存せず、一定である。この x を用いれば、任意の鉄筋応力 σ_s に対応する断面の抵抗モーメントが計算できる。あるいは任意の作用モーメントに対する鉄筋応力 σ_s が計算できる。

例）降伏時

断面の降伏モーメントをM_yとすると

$M_y = T_y\,(d - x/3)$ で計算できる。

ここに、$T_y = A_s\,f_y$



○ このRC計算では、コンクリートの引張抵抗を無視しているが、この計算法が実務設計では多用されている。

○ しかしながら、圧縮を受けるコンクリートを弾性体とするこの考え方は、RCはりの破壊の計算には適用できない。　←　破壊時には圧縮力を受けるコンクリートが弾性体ではなくなるためである。
つまり、非線形挙動を示すのである。
　この材料非線形性がコンクリートの最大の特徴である。