

UFC道路橋床版研究会

技術セミナー2023

2023/1/26

# UFC材料

技術委員会 委員長

内田 裕市（岐阜大学 教授）

# UFC (**U**ltra high-strength **f**iber reinforced **c**oncrete)

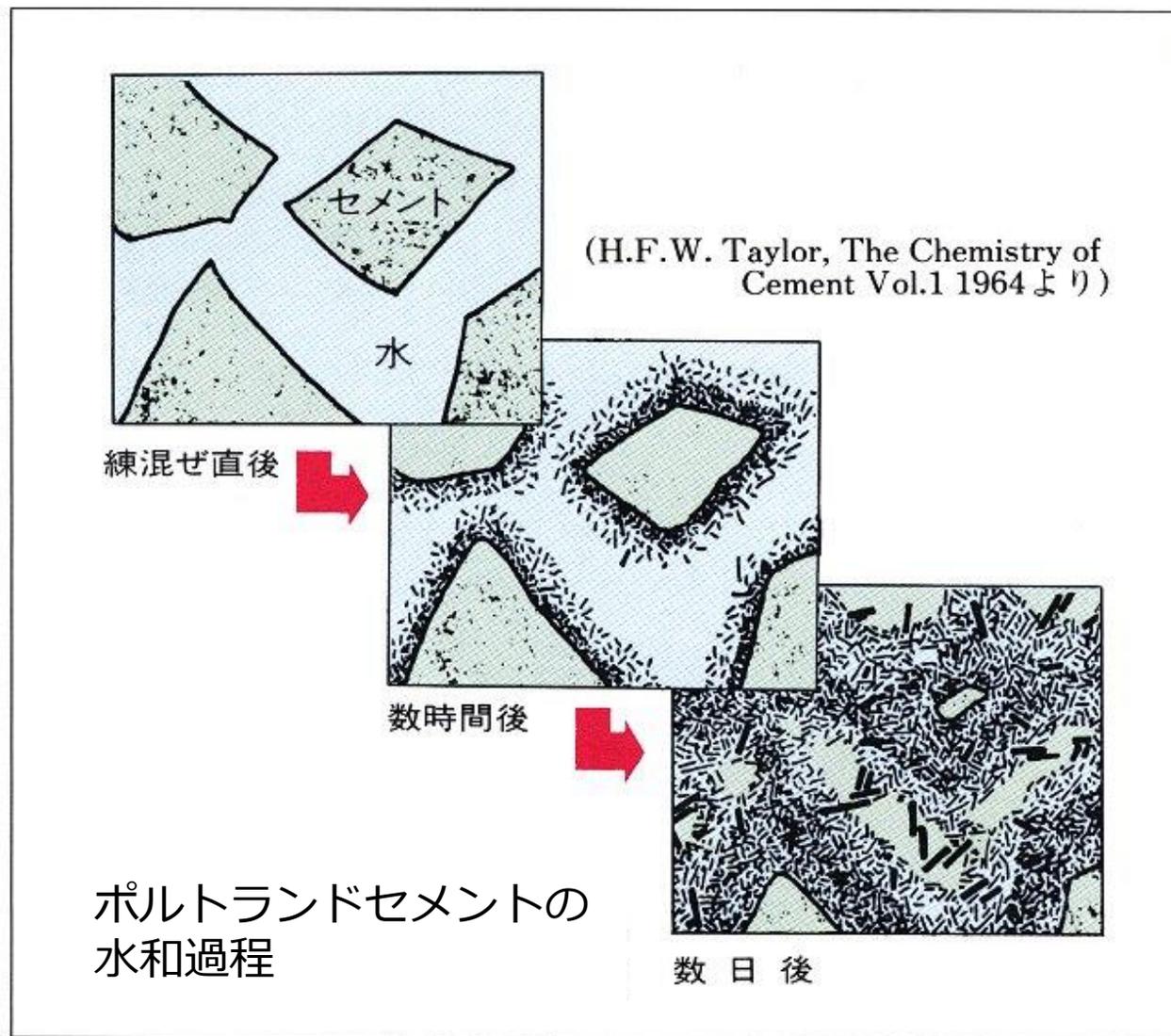
## 超高強度繊維補強コンクリート

- 土木学会指針で規定
  - 圧縮強度  $f'_{ck} \geq 150 \text{ N/mm}^2$  (**180**)
  - ひび割れ強度  $f_{crk} \geq 4 \text{ N/mm}^2$  (**8.0**)
  - 引張強度  $f_{ct} \geq 5 \text{ N/mm}^2$  (**8.8**)
  - **モルタル**,  $w/c < 0.24$ , 高強度鋼繊維, SCC
  - 熱養生

既製品：サクセム, ダクトル, スリムクリート

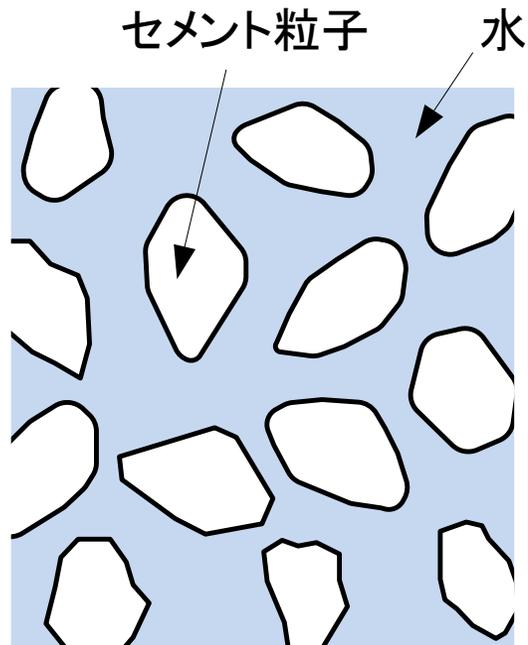


# 強度発現のメカニズム

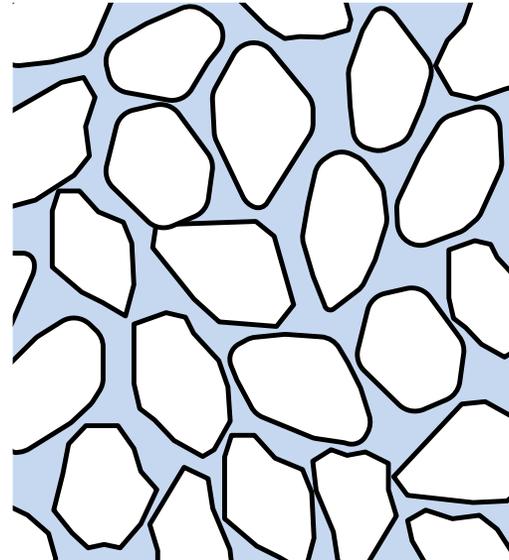


# 強度発現のメカニズム

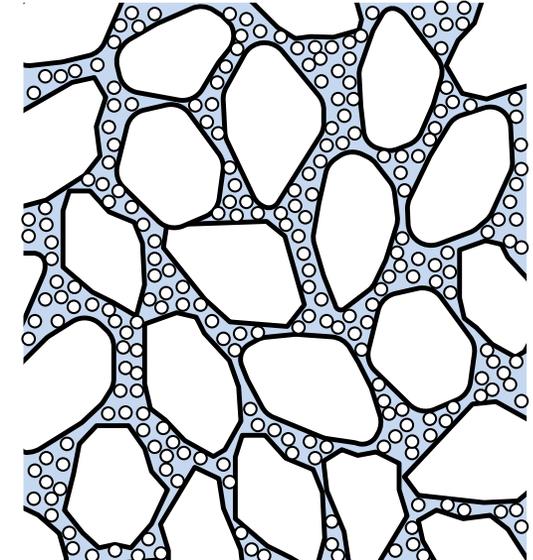
- RPC (Reactive powder concrete)



w/c 大



w/c 小

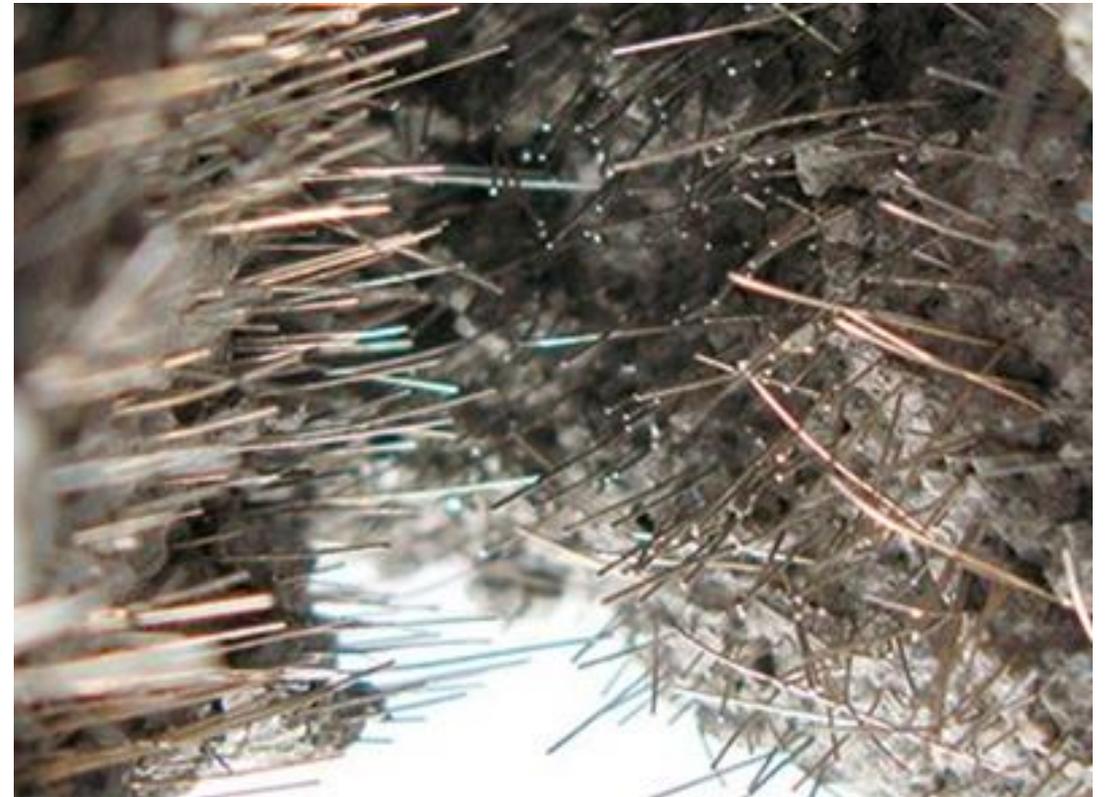


反応性微粉末, 水和生成物による充填

低  圧縮強度  超高強度

# 鋼纖維

## UFC用の高強度鋼纖維

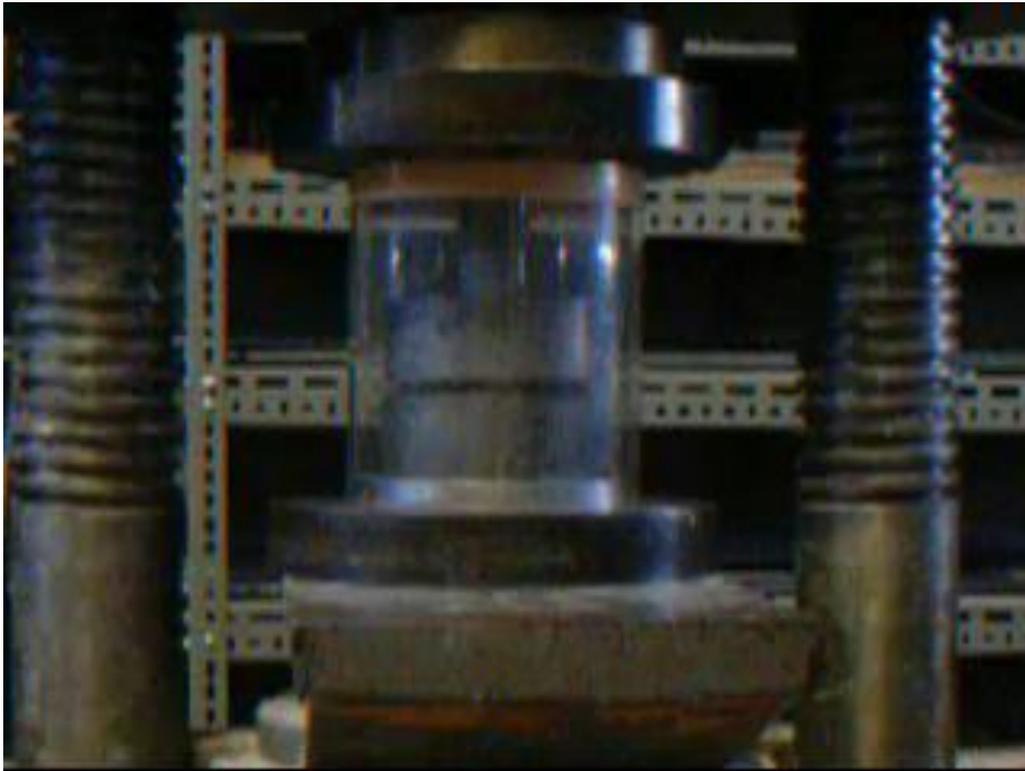


$$f_u > 2000 \text{ N/mm}^2$$

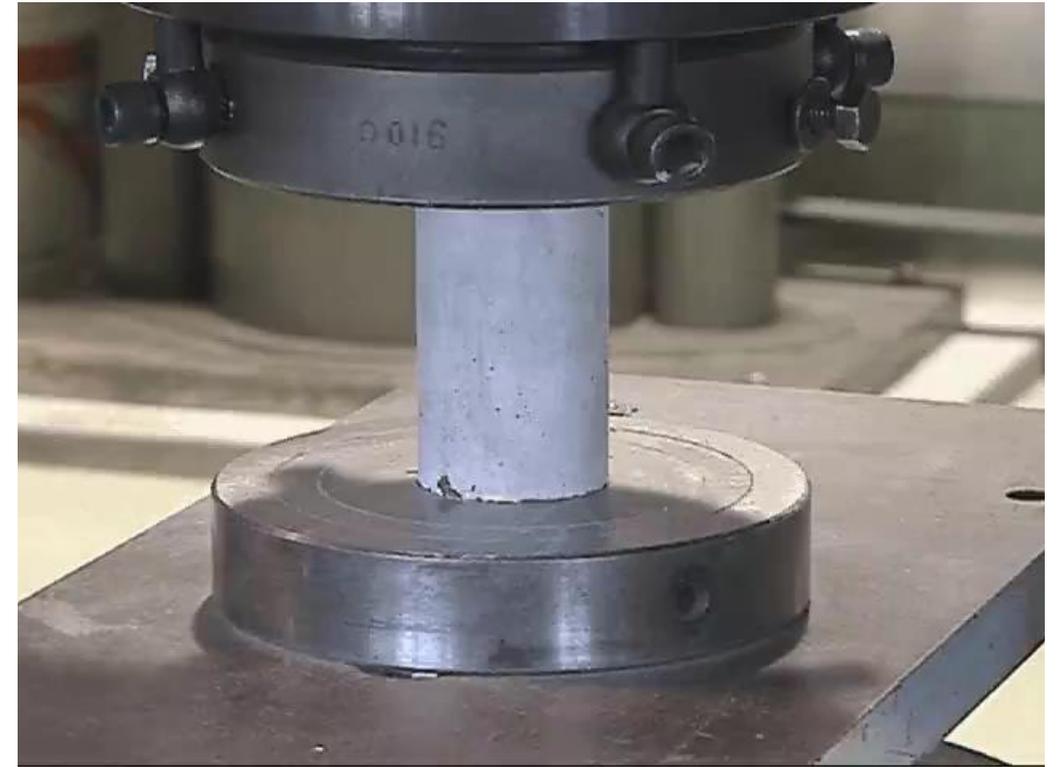
$$\phi = 0.2 \text{ mm}$$

$$l = 20 \text{ mm 程度}$$

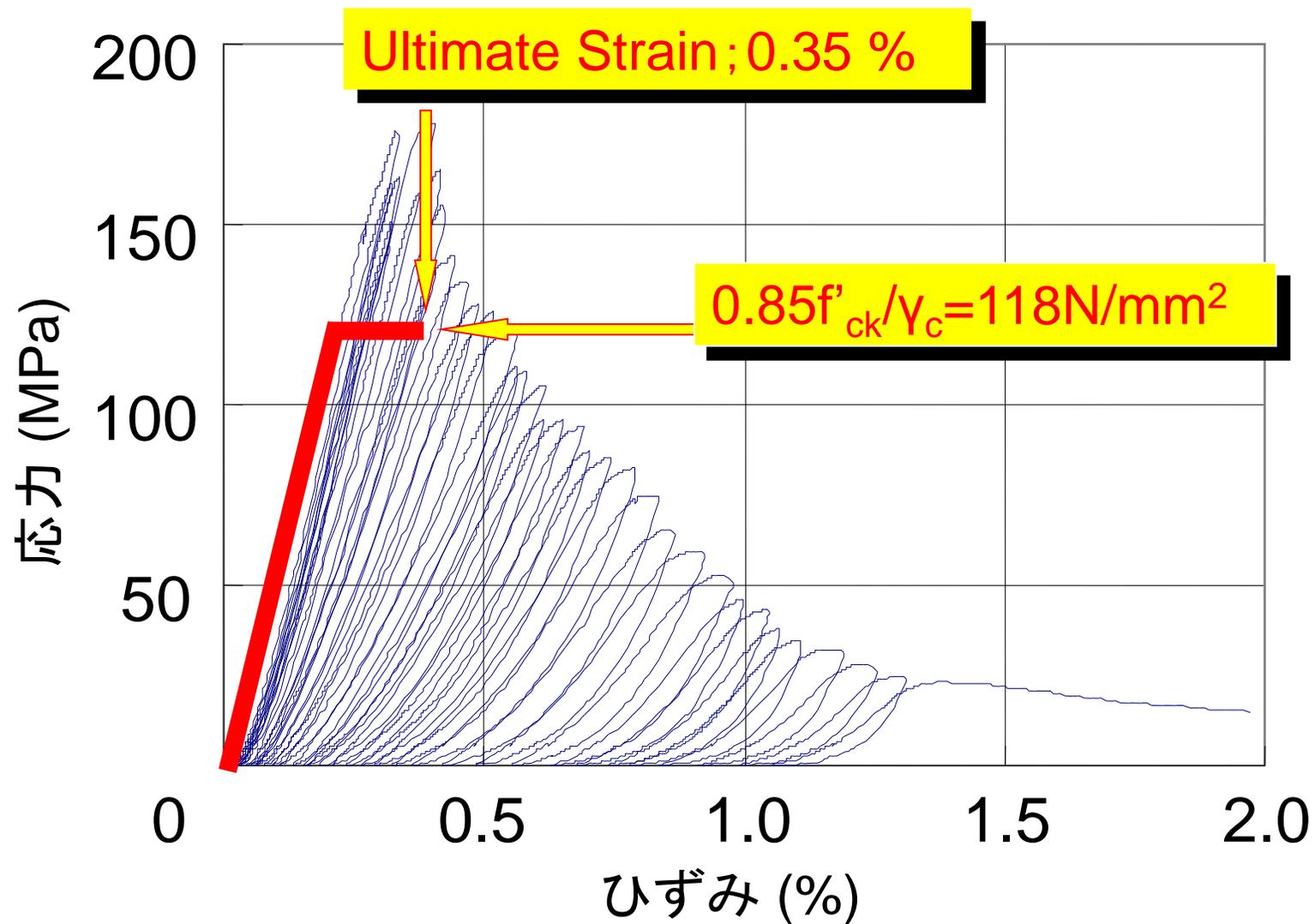
# 繊維混入の目的



繊維なし



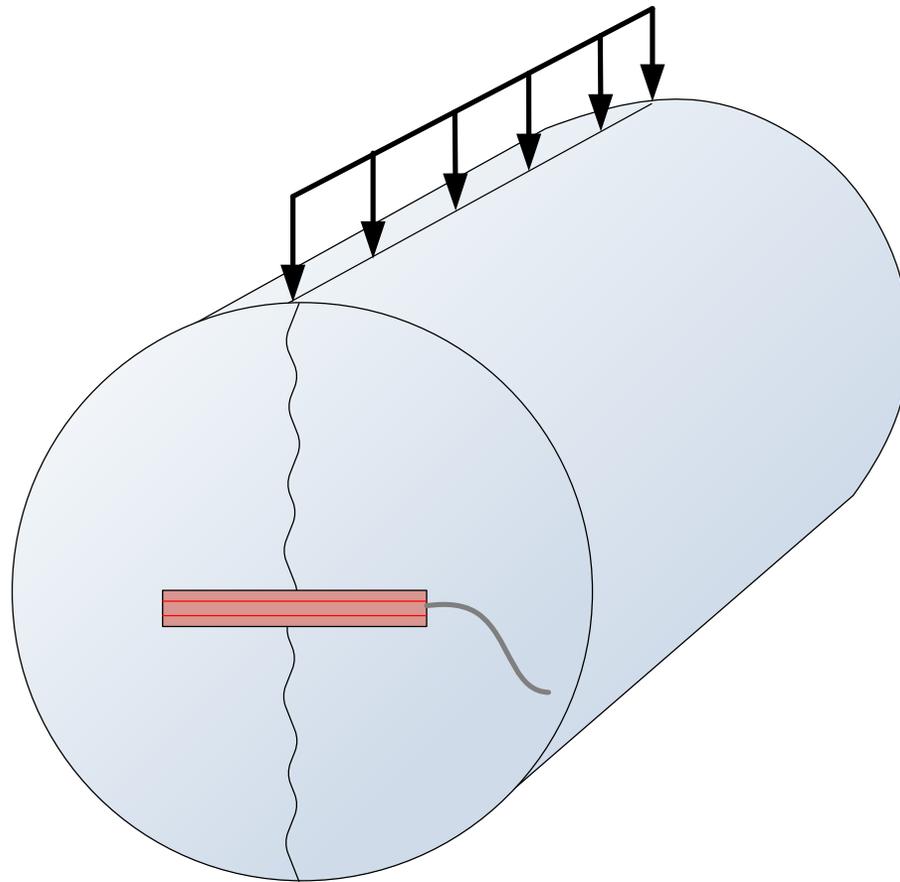
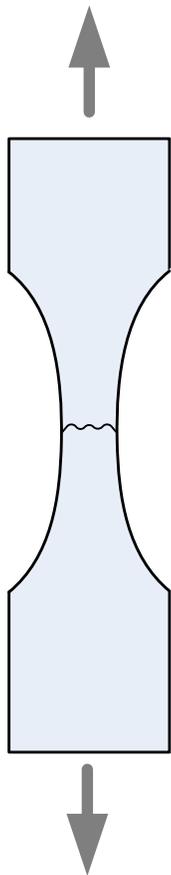
UFC



圧縮応力-ひずみ曲線

[UFC指針]より

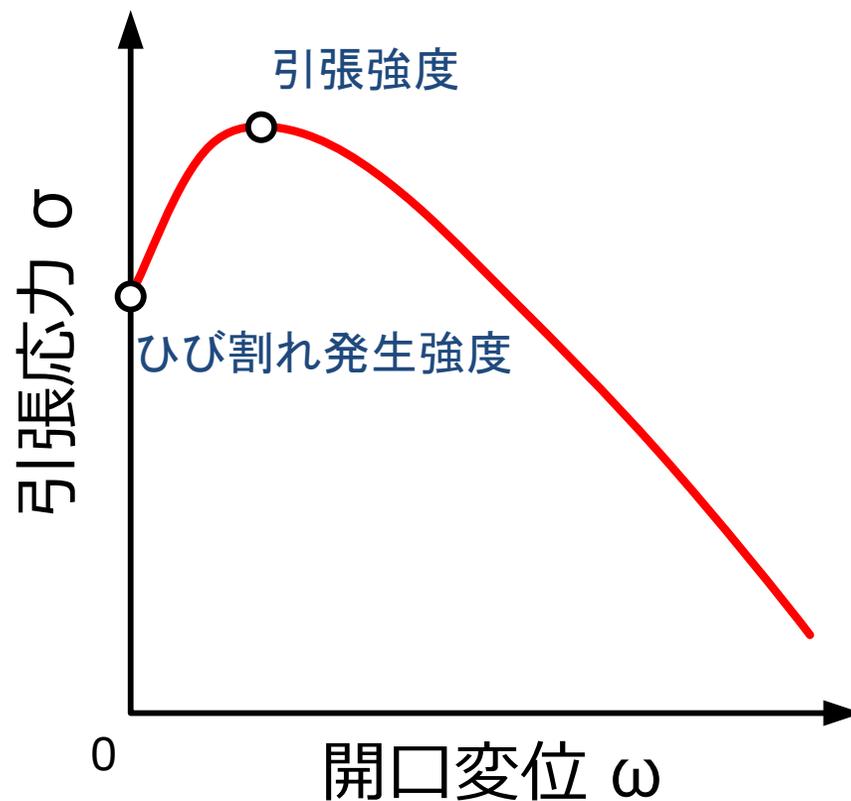
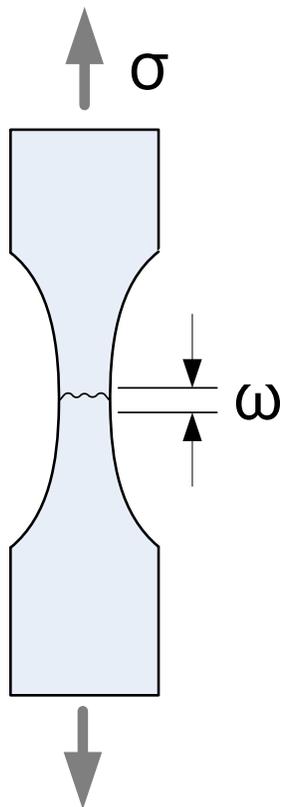
# ひび割れ発生強度



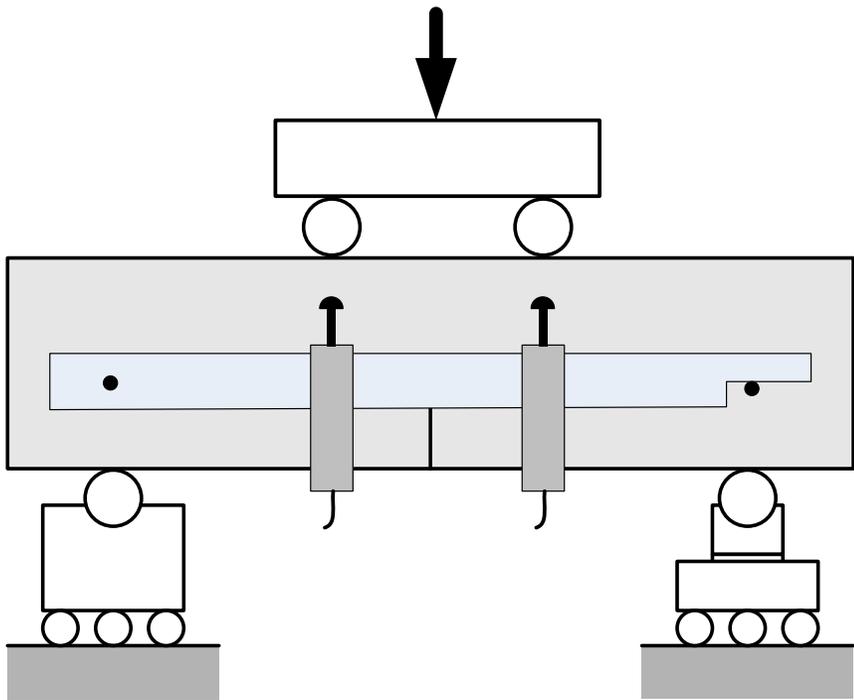
引張応力-ひずみ関係における比例限界として評価

# 引張強度

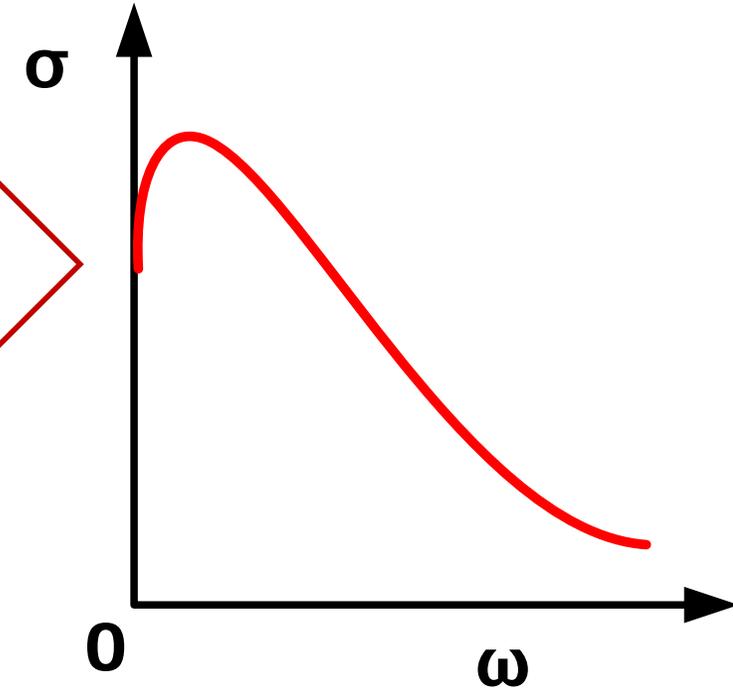
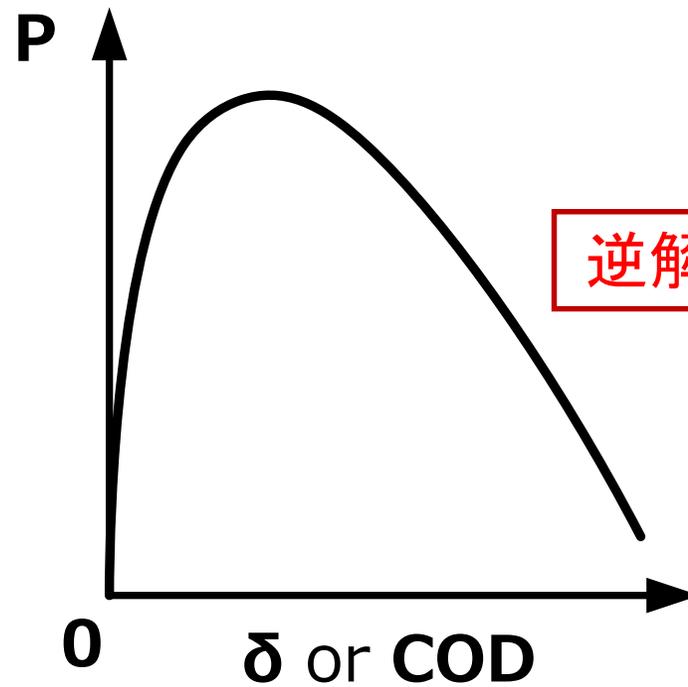
- ひび割れ発生後の**繊維の架橋効果** ⇒ 引張応力-開口変位（ひび割れ幅）曲線（引張軟化曲線）



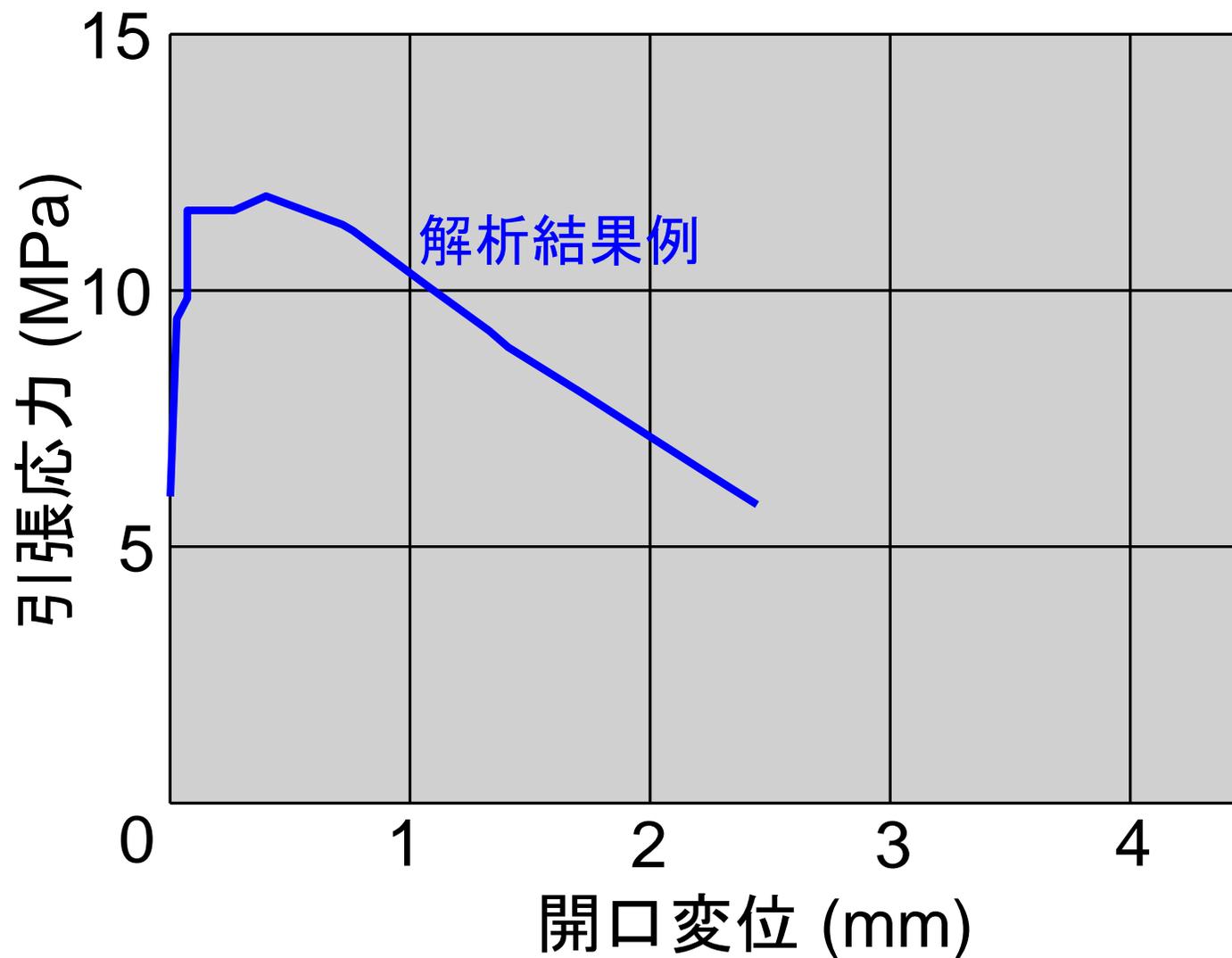
# 逆解析による引張応力-開口変位曲線の推定



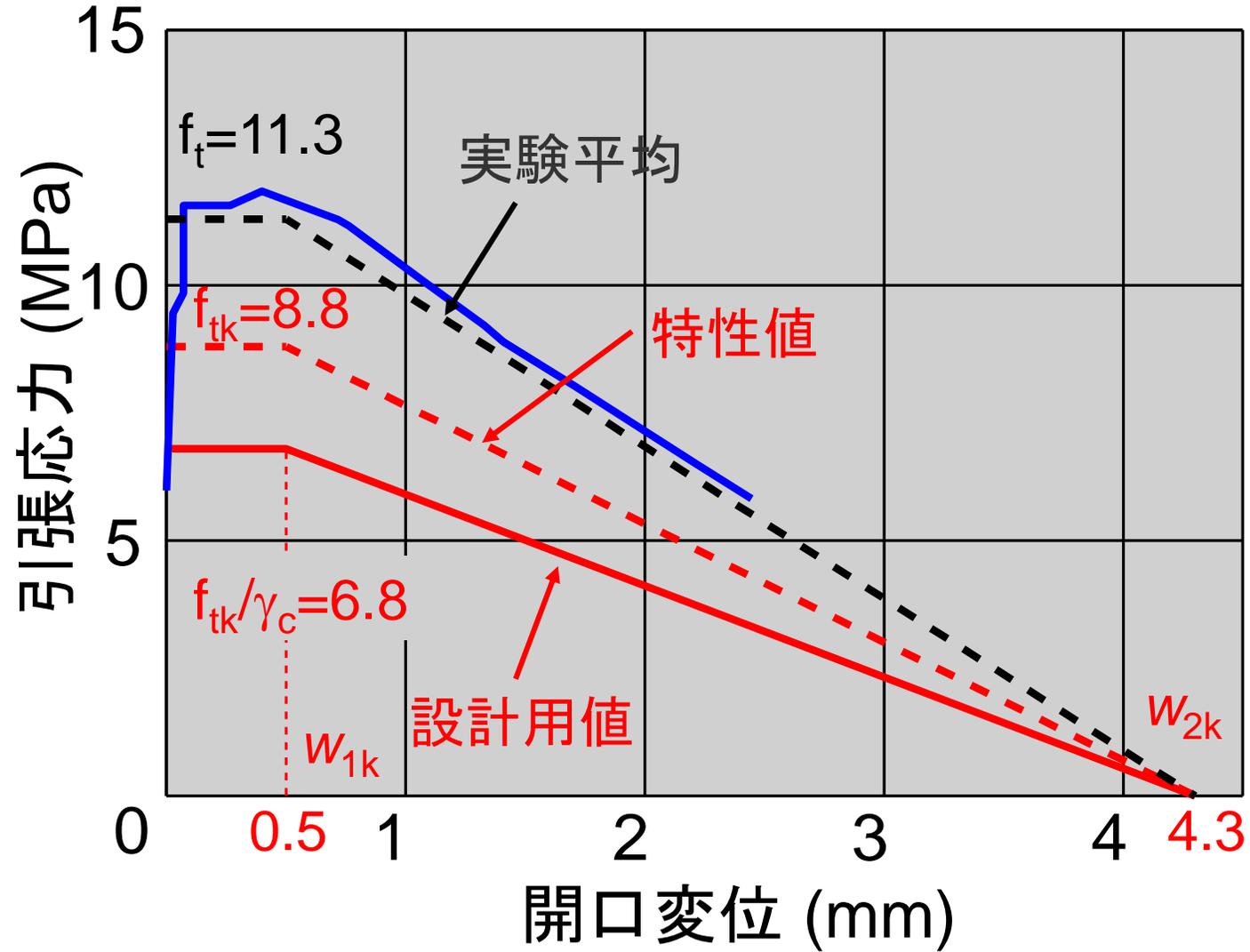
切欠きはりの曲げ試験



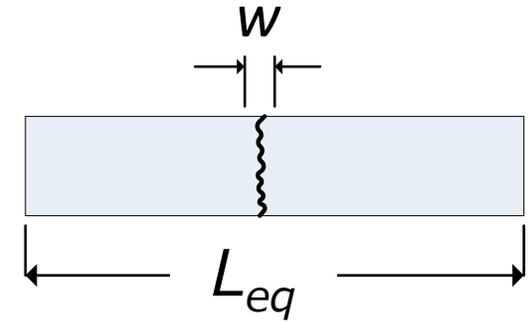
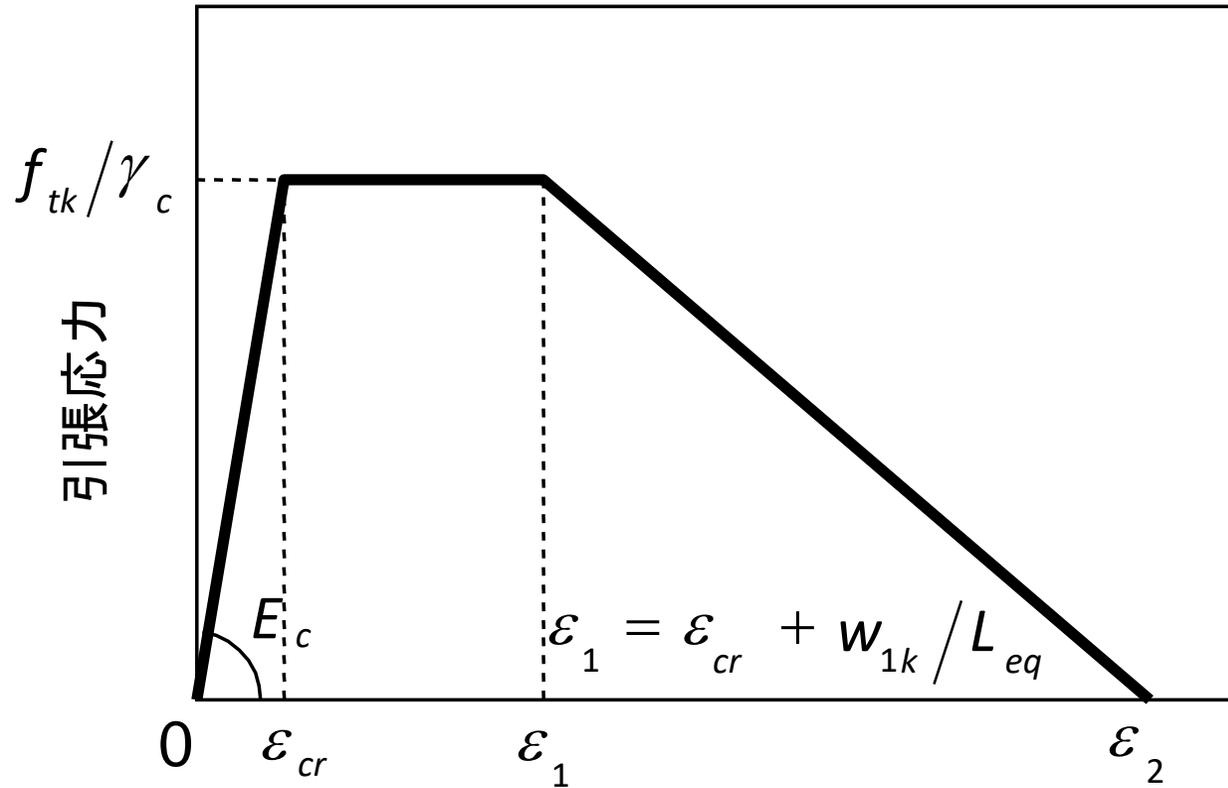
## 引張応力-開口変位曲線



# 引張応力-開口変位曲線



# 引張応力-開口変位曲線から応力-ひずみ曲線への変換



$L_{eq}$ : 等価特性長さ

$$= f_{tk}/\gamma_c / E_c$$

$$= w_{2k}/L_{eq}$$

## 収縮, クリーブ

- 自己収縮は  $600 \sim 800 \times 10^{-6}$  (熱養生中に  $450 \times 10^{-6}$ )  
拘束(とくに型枠)は要注意, 鉄筋補強はしない
- 熱養生後の収縮は  $50 \times 10^{-6}$ 程度
- 熱養生後のクリープ係数は UFC指針 0.4, サクセム 0.7  
※プレストレスロスへの影響はごくわずか

# 疲労強度

圧縮, 曲げ圧縮

$$f_{rd} = 0.85 f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right) \cdot \left(1 - \frac{\log N}{17}\right)$$

引張, 曲げ引張

$$N \leq 7.3 \times 10^4$$

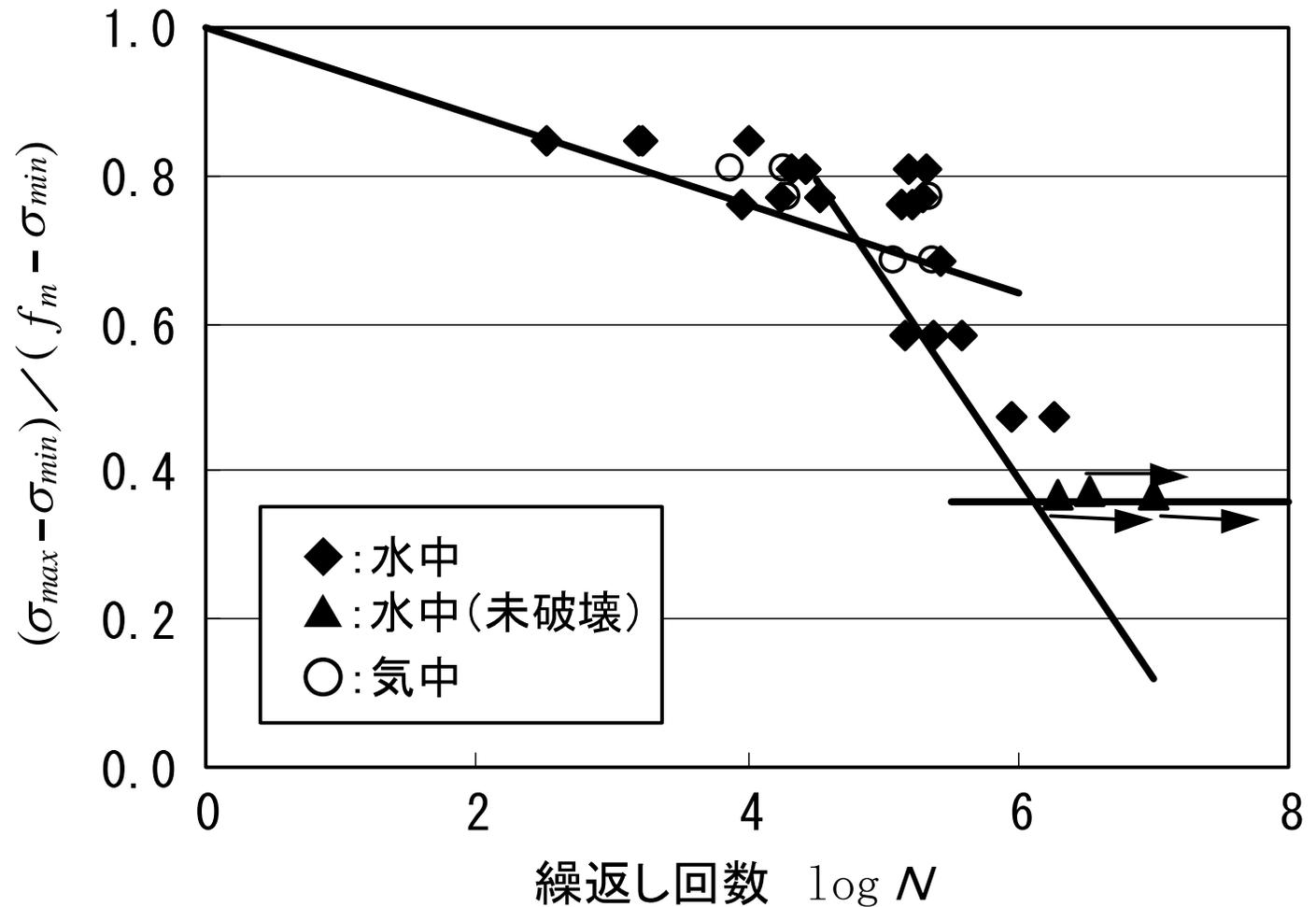
$$f_{rd} = f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right) \cdot \left(1 - \frac{\log N}{16}\right)$$

$$7.3 \times 10^4 < N < 1.3 \times 10^6$$

$$f_{rd} = f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right) \cdot \left(2.0 - \frac{\log N}{3.7}\right)$$

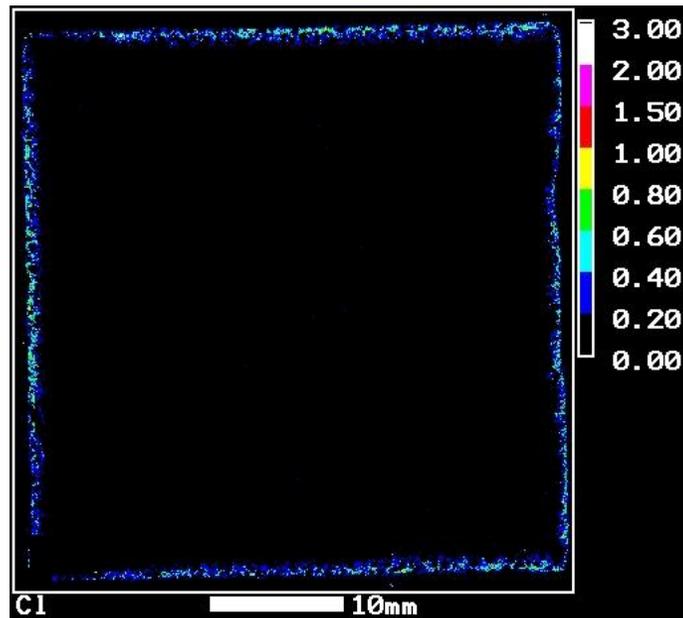
$$N \geq 1.3 \times 10^6$$

$$f_{rd} = 0.36 f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right)$$

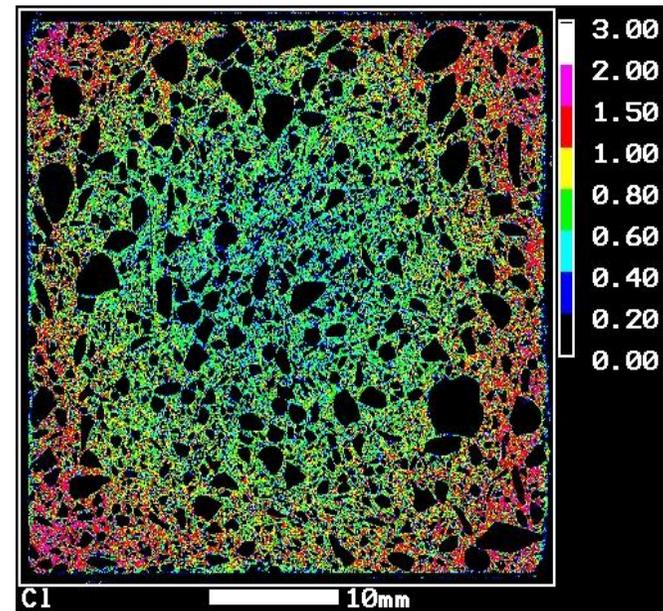


[UFC指針]より

## 耐久性（塩化物イオンの浸透）



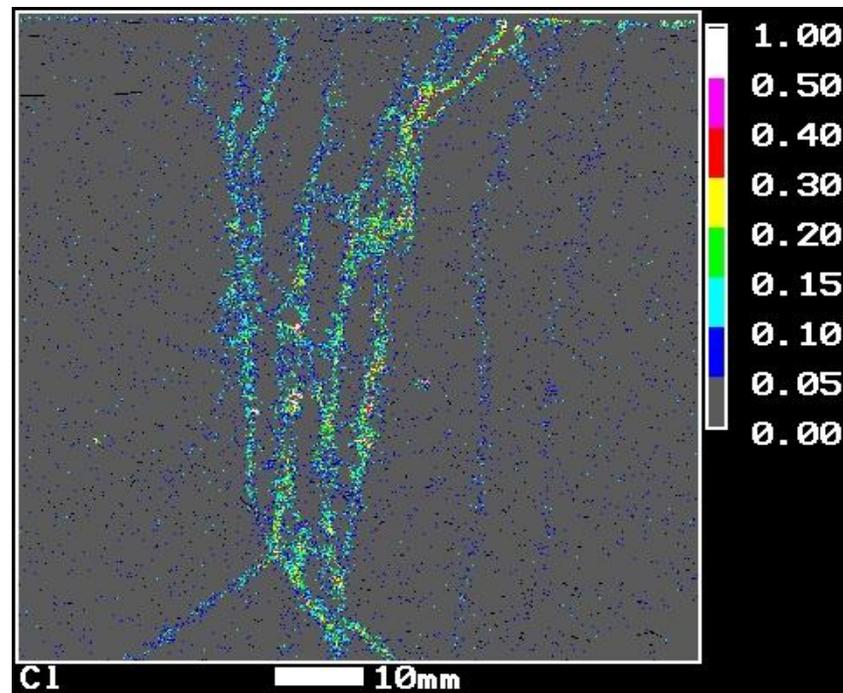
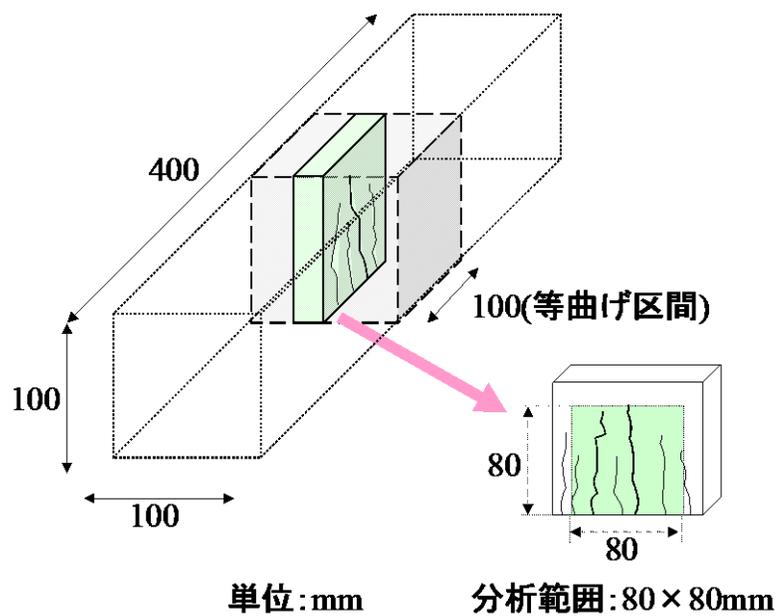
(a) UFC



(b)  $w/c=0.4$

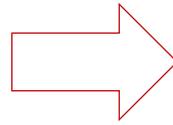
60°C海水浸漬・乾燥繰返し30回（40×40mm断面）

# 耐久性（ひび割れへの塩化物イオンの浸透）



## UFC部材の設計の考え方

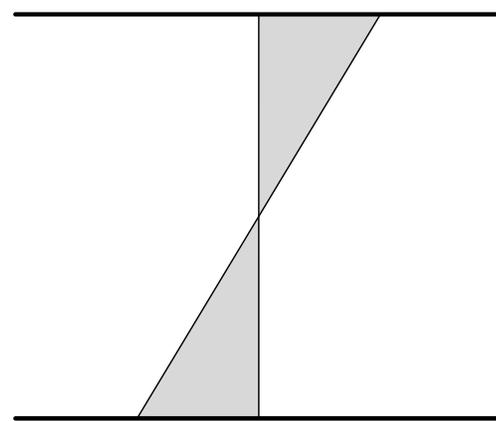
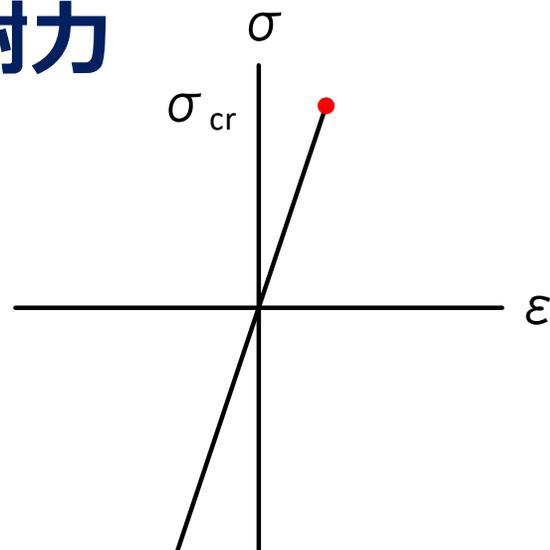
- 超高強度(圧縮強度)を使う
- 供用時にひび割れを許容しない
- 終局時に繊維の架橋効果を使う
- 超高耐久性を使う



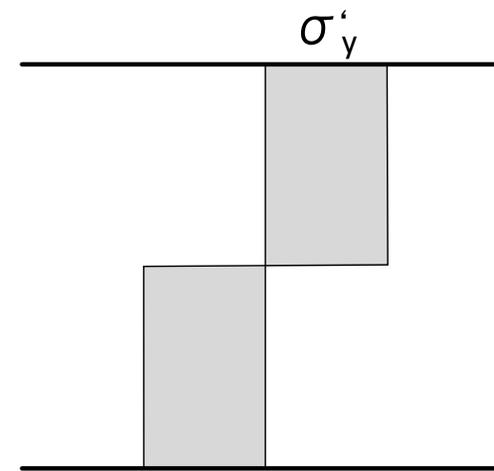
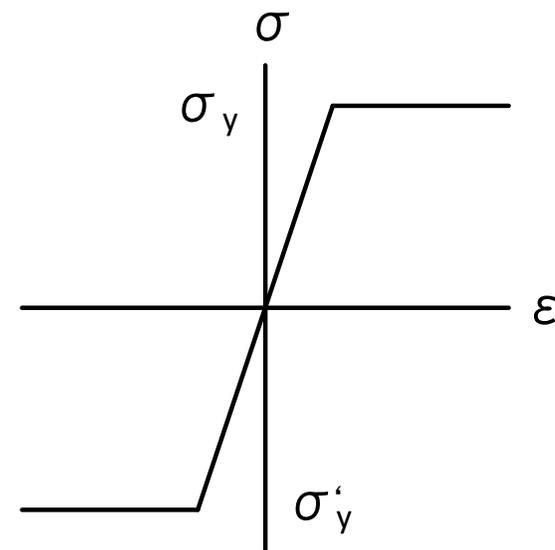
プレストレスト構造

## 参考：引張軟化と耐力

- 曲げ耐力への寄与


 $\sigma_{cr}$ 
 $M_{cr}$ 

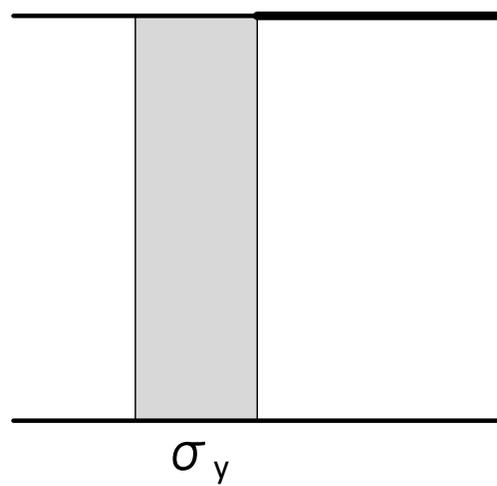
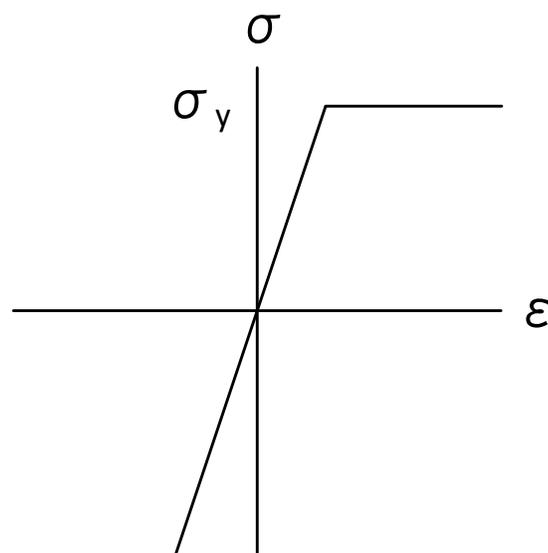
弾性・脆性材料


 $\sigma_y$ 
 $M_p = 1.5M_y$  (全塑性モーメント)

弾塑性材料

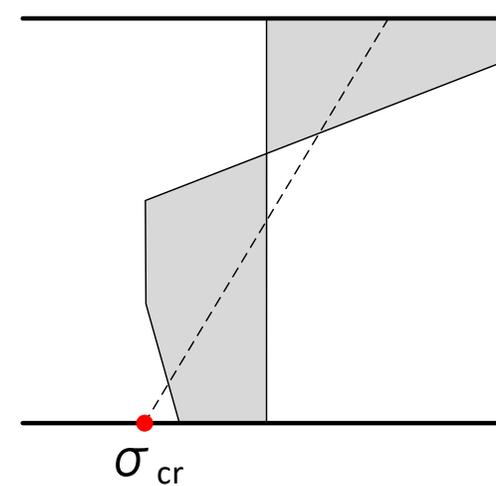
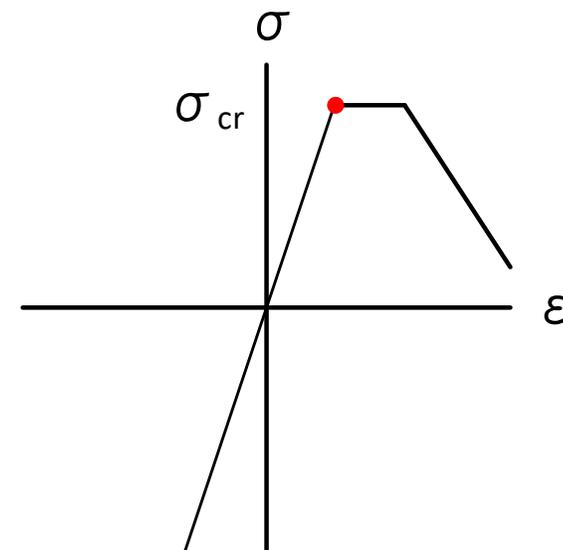
# 引張軟化と耐力

- 曲げ耐力への寄与



$$M_u = 3M_y$$

引張側塑性, 圧縮側弾性材料

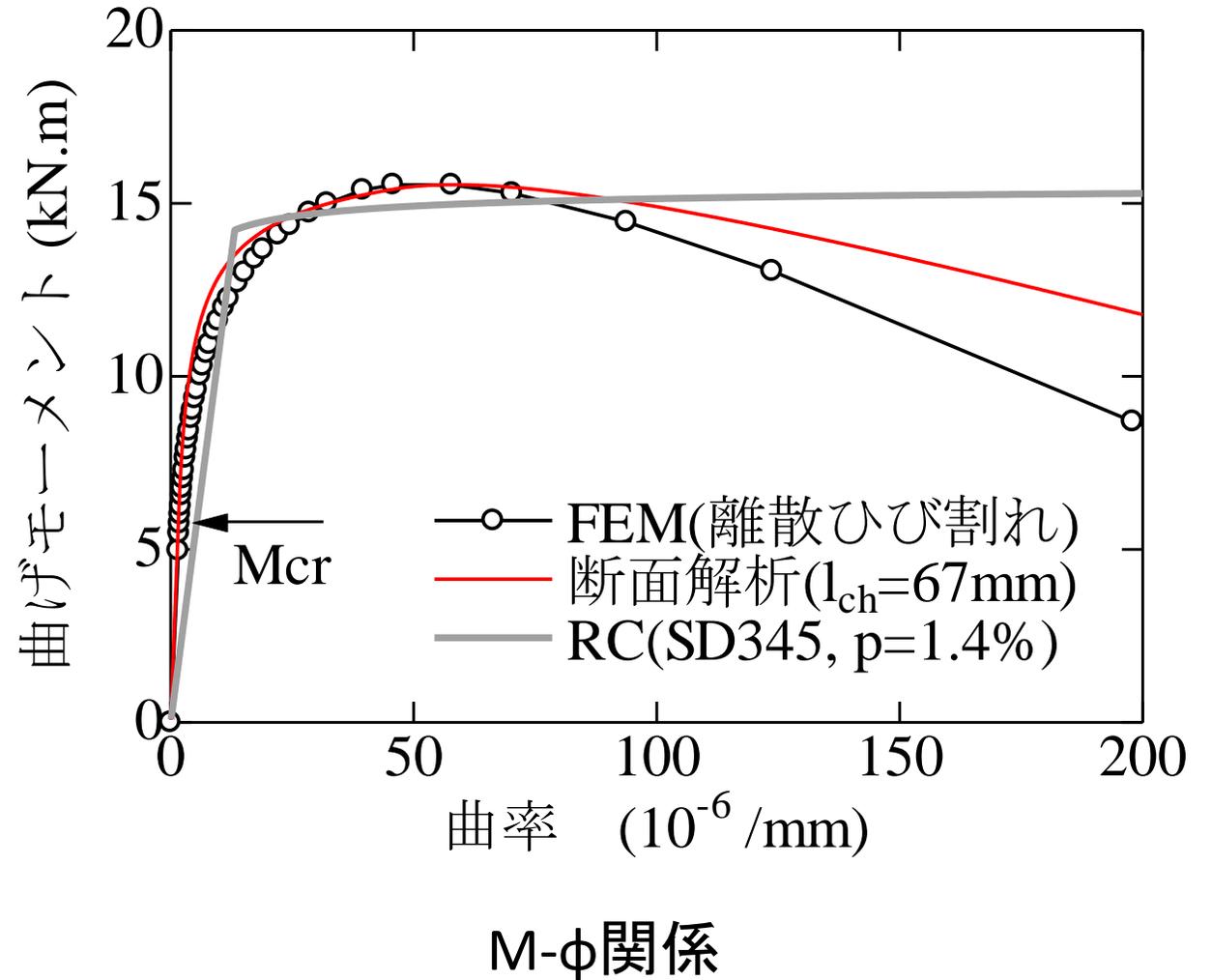
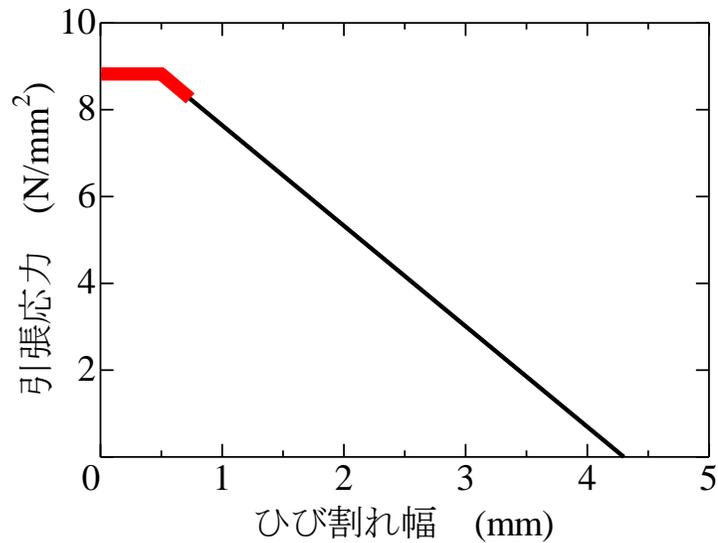
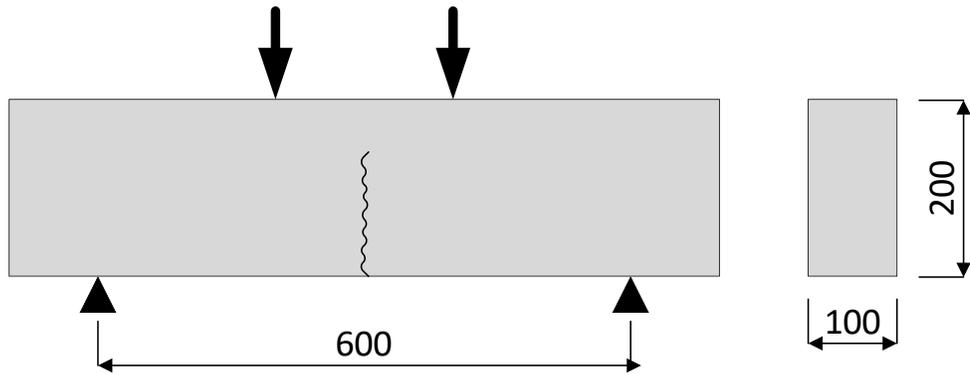


$$M_u > M_{cr}$$

引張軟化, 圧縮側弾性材料

# 引張軟化と耐力

● 曲げ耐力への寄与



# 引張軟化と耐力

- せん断耐力への寄与

