

破壊力学 (Fracture Mechanics) とは？

狭義の意味で:

- ・クラック (ひび割れ) 近傍での力学的特性
(応力集中、notch sensitivity、脆性的挙動)
- ・クラック状の欠陥を含む部材 (構造物) の安全性に関する力学

広義の意味で:

- ・クラック (ひび割れ) や損傷に関する力学的特性を取扱う
ex. 不連続体、局所化、損傷力学、マイクロメカニクス、弾塑性力学

コンクリートへの応用として:

- ・コンクリート材料のひび割れの発生、伝播、累積
- ・コンクリート部材の非線形挙動、損傷、破壊現象、安定 / 不安定条件

設計基準 : Design Criterion

破壊基準 : Fracture Condition

許容応力度設計法: $\mathbf{s}_{\max} \leq \mathbf{s}_a = \frac{f_k}{\mathbf{g}}$

限界状態設計法:

終局限界: $\mathbf{g}_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0$

使用限界:

$$w_{cr} \leq w_a$$

(ひび割れ幅)

線形破壊力学: $K \leq \frac{K_c}{\mathbf{g}}$

(応力拡大係数)

弾塑性破壊力学: $J \leq J_c$

(J積分法)

材料の非弾性特性の分類

弾塑性材料 (Elasto-Plastic Material) :

変形成分は弾性ひずみ (回復成分) と塑性ひずみ (非回復成分) との和によって表される

脆性材料 (Brittle Material) :

クラックの発生とともに破壊する材料

準脆性材料 (Quasi-Brittle Material) :

クラックの発生後、塑性進行領域を有するが、脆性的な挙動を示す材料

延性材料 (Ductile Material) :

初期のクラック発生後 (初期降伏の後) 十分な塑性ひずみを有し、安定的に変形する

線形破壊力学: Linear Fracture Mechanics

初期ひび割れ (初期欠陥)

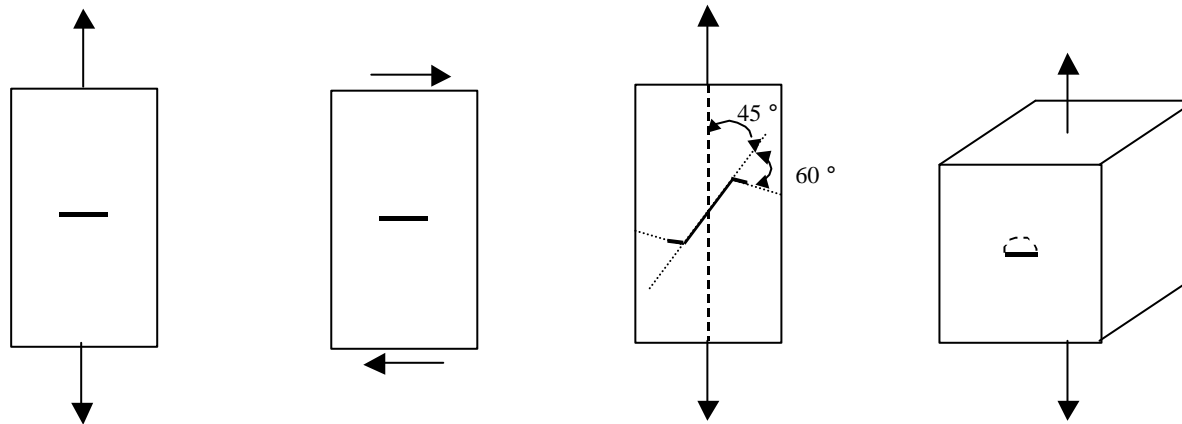
破壊モードの分類: モード I、モード II、モード III

クラック先端での応力分布・変位分布

応力拡大係数: K_I 、 K_{II} 、 K_{III}

初期ひび割れ: Initial Cracks

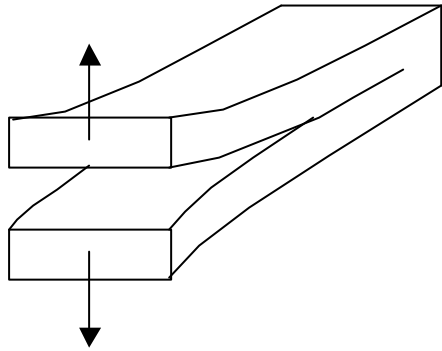
- ・施工時（製造時）のひび割れ（欠陥）
- ・硬化過程のひび割れ（欠陥）
- ・外的作用（荷重、気象）によるひび割れ（欠陥）



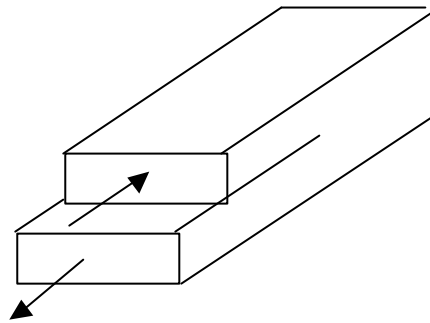
初期ひび割れと外的荷重の作用

（初期ひび割れと荷重（応力）の作用方向は任意となる）

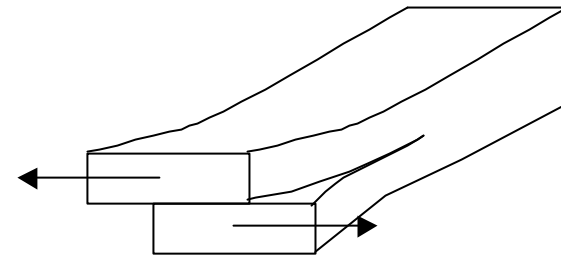
ひび割れの変形様式：破壊モードの分類



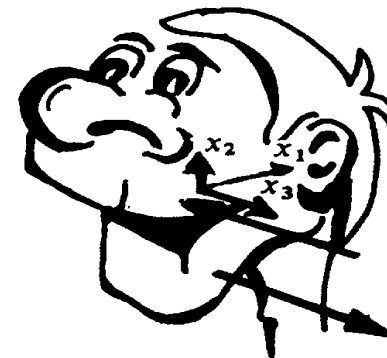
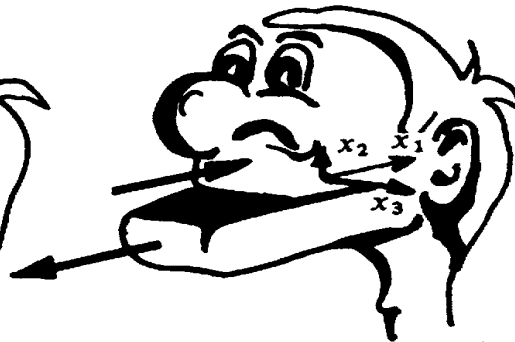
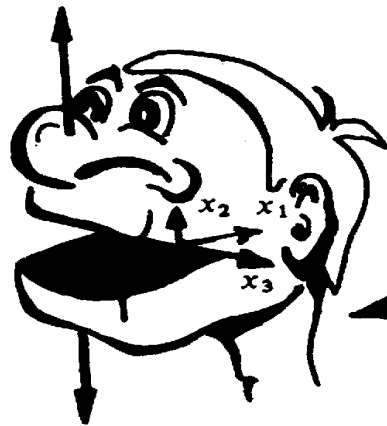
モード：開口型



モード：面内せん断型

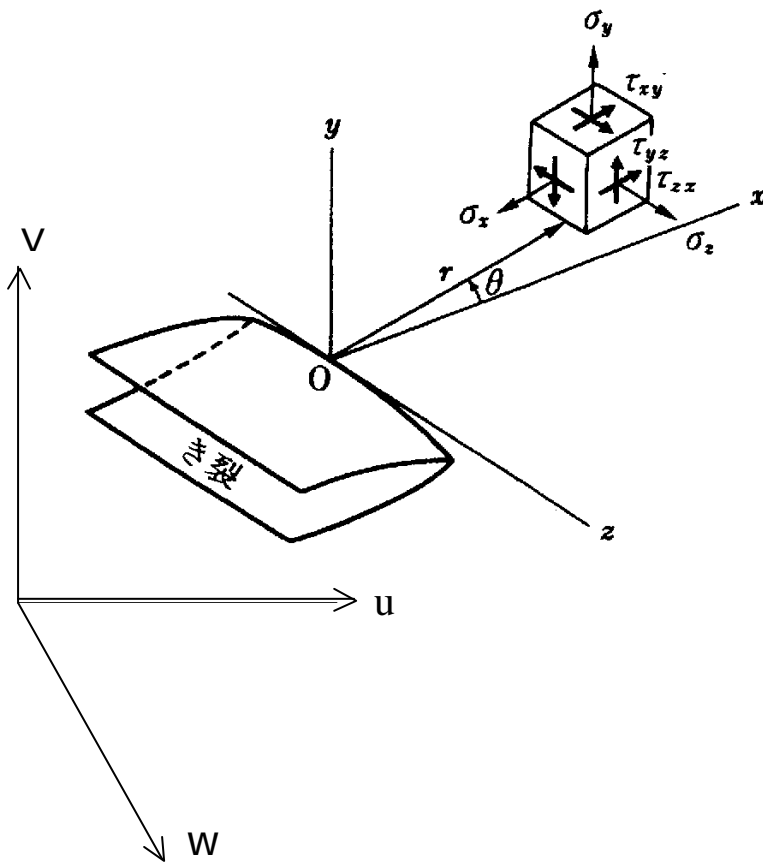


モード：面外せん断型



クラック先端での応力・変位分布 (モード I)

クラック先端の局所座標と
応力成分の定義



モード I に対する応力と変位の弾性解:

応力場; $r^{1/2}$ の特異性
$$s_x = \frac{K}{\sqrt{2pr}} \cos \frac{q}{2} \left(1 - \sin \frac{q}{2} \sin \frac{3q}{2} \right)$$

$$s_y = \frac{K}{\sqrt{2pr}} \cos \frac{q}{2} \left(1 + \sin \frac{q}{2} \sin \frac{3q}{2} \right)$$

$$t_{xy} = \frac{K}{\sqrt{2pr}} \sin \frac{q}{2} \cos \frac{q}{2} \cos \frac{3q}{2}$$

$$s_z = n(s_x + s_y), \quad t_{xz} = t_{yz} = 0$$

変位場; $r^{1/2}$ の特異性

$$u = \frac{K}{G} \sqrt{\frac{r}{2p}} \cos \frac{q}{2} \left(1 - 2n + \sin^2 \frac{q}{2} \right)$$

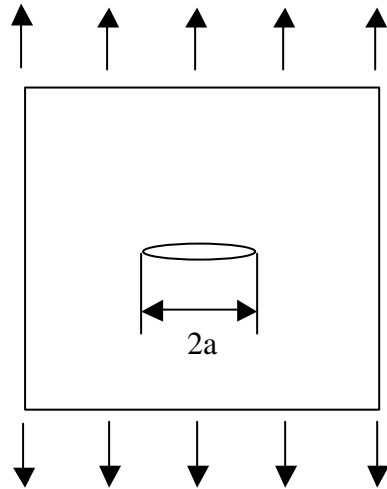
$$u = \frac{K}{G} \sqrt{\frac{r}{2p}} \sin \frac{q}{2} \left(2 - 2n - \cos^2 \frac{q}{2} \right)$$

$$w = 0$$

クラック先端の延点線上:
$$(s_y)_{q=0} = \frac{K}{\sqrt{2pr}}$$

$$(u)_{q=0} = \frac{k+1}{G} K \sqrt{\frac{r}{2p}}$$

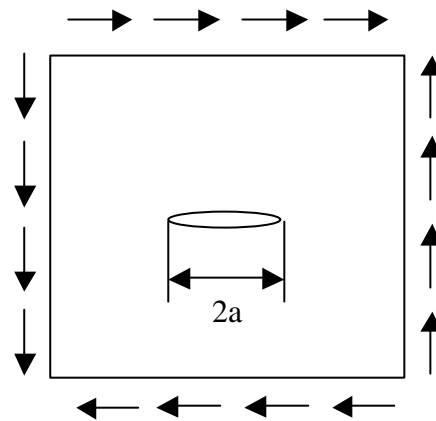
各モードにおける代表的な応力拡大係数



$$K = c_1 S \sqrt{a}$$

$$K = 0$$

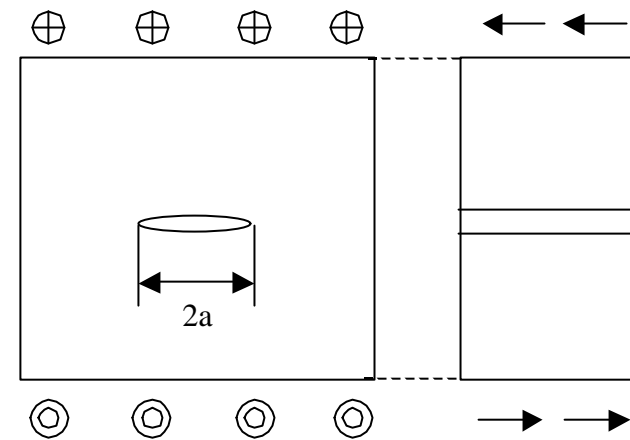
$$K = 0$$



$$K = 0$$

$$K = t \sqrt{a}$$

$$K = 0$$



$$K = 0$$

$$K = 0$$

$$K = t \sqrt{pa}$$

応力拡大係数 (Stress Intensity Factor) の力学的特徴

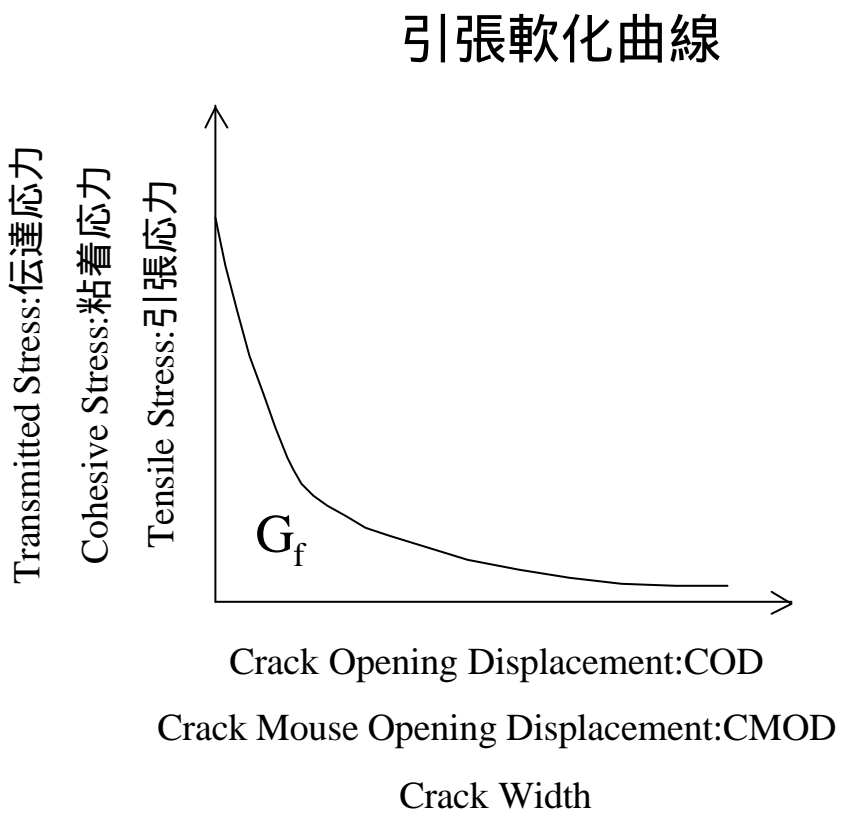
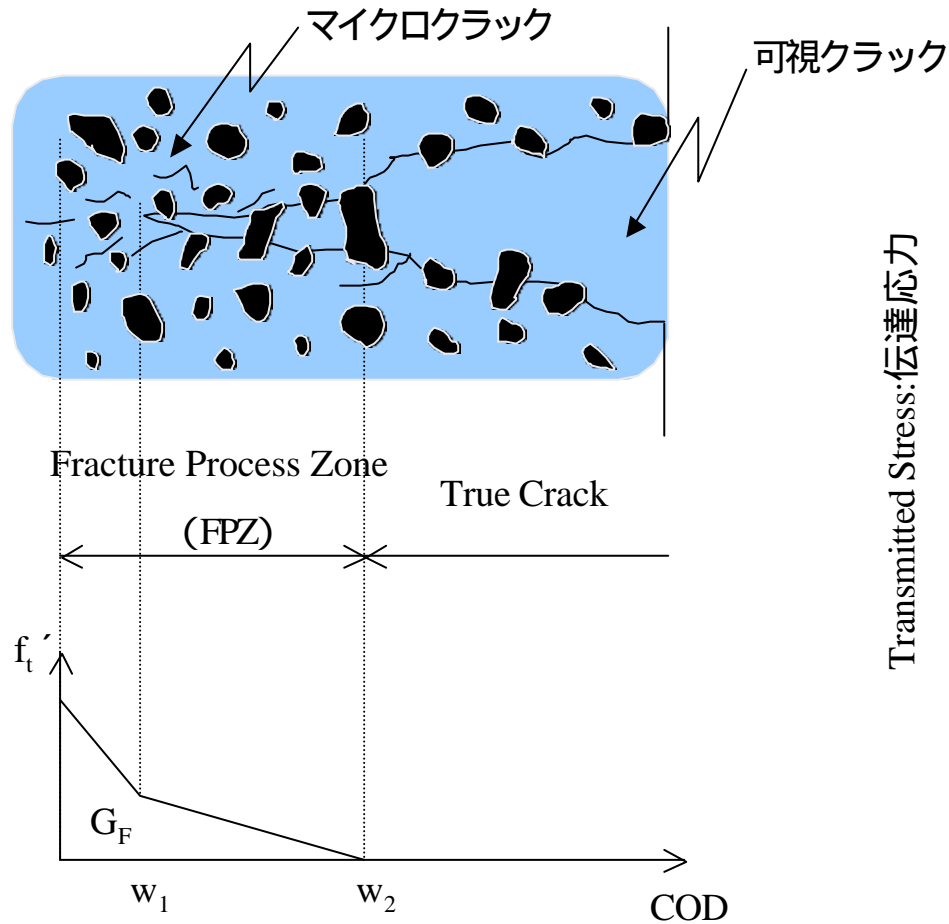
材料中にクラック (欠陥) を含合することによる応力の再配分を評価

クラックの変形様式 (モード I、II、III) の分類とクラック先端の力学

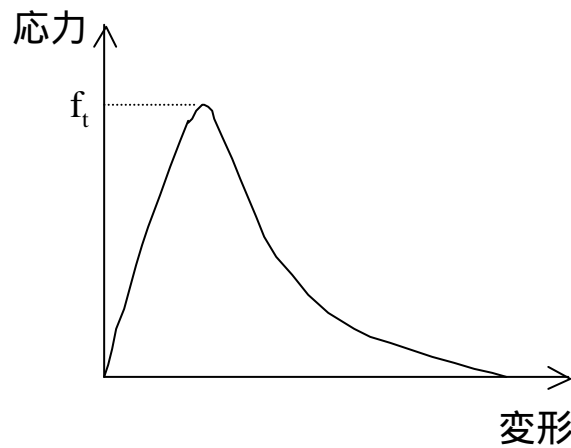
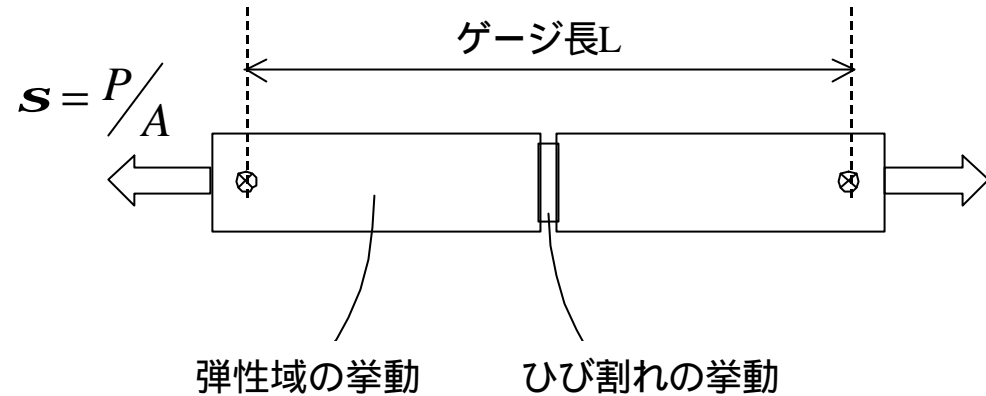
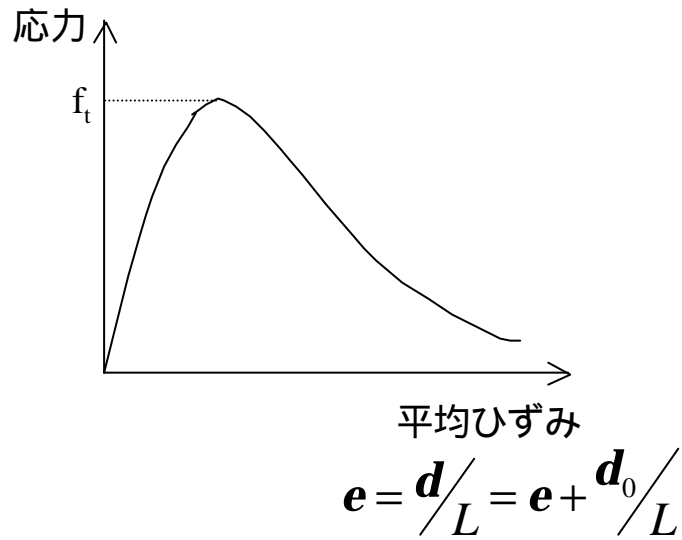
クラック先端 / 近傍の応力と変形の大きさを表すパラメータ

応力 σ とクラック長 a で表される K_I 座標 (r, θ) に依存しない

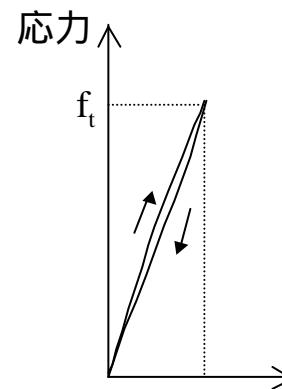
コンクリートのひび割れ挙動と軟化曲線



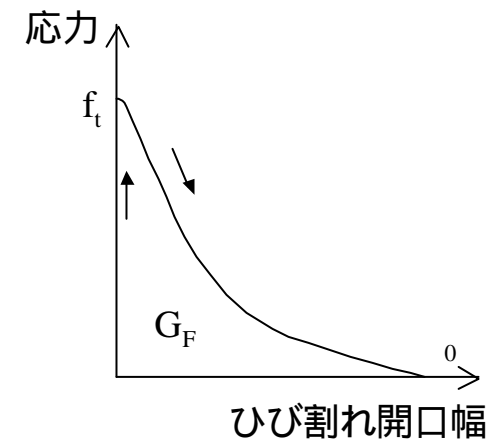
ひび割れを含む弾性体の非線形挙動



=



+



$$d = eL + d_0$$

