

I-217 コンクリート内部の亀裂の新しい定式化

東北大学 正会員 ○堀 宗朗
東北大学 正会員 三浦 尚

1. 序

コンクリート内に発生する亀裂は、コンクリートの耐久性や破壊に大きな影響をもつ。近年、破壊力学の手法を用いてコンクリートの亀裂の研究が行われている¹⁾。特に、微視的な立場から考える場合、鉄筋及び鉄骨の表面から発生する横び割れの伸張や亀裂先端でのプロセスゾーンの力学的性質の解析には、破壊力学の直接の応用が可能である。本来相異なるこの二種類の現象は、一つの簡単な数学的モデルを用いて考える事ができる。すなわち、1)横び割れの場合、鉄筋や鉄骨を亀裂面の橋渡しをする補強物とみなし、ひび割れを両面に引張り力のはたらく亀裂として扱う。また、2)プロセスゾーンの場合、実際の亀裂と先端のプロセスゾーンを組み合わせ仮想的な亀裂とし、プロセスゾーンを仮想亀裂先端での介在物とみなす。従って、両者共、図-1に示すような両面に適当な等価力が働く亀裂として仮定する事が可能である。本研究では、等価力を受ける亀裂の問題を新しい形で定式化し、その定式化の有用性を調べる。

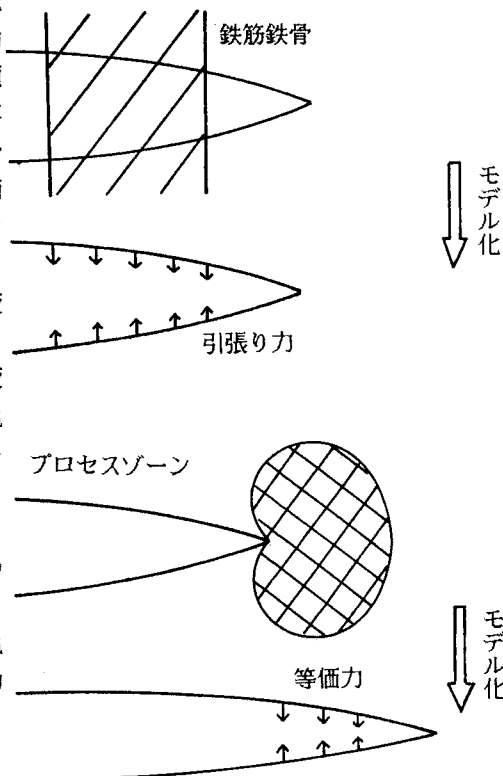


図-1 コンクリートの亀裂問題

2. 定式化

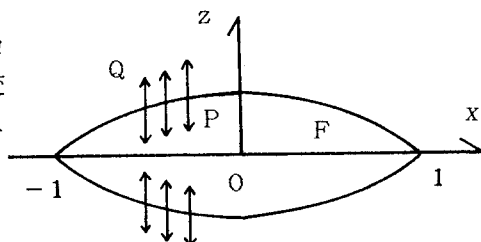
簡単のため、図-2に示す有限亀裂を考える。亀裂の両表面に働く等価力は、モデルの性質上、コンクリートや鉄の材料の性質に依存する他に、亀裂の開口変位（亀裂幅）にも依存しなければならない。破壊力学の標準的な定式化では

$$-\int_{-1}^1 dy (y-x)^{-1} f(y) + P(x) - Q(x) = 0 \quad (-1 < x < 1) \quad (1)$$

ここに、 f 、 P 、そして Q は、無次元化された転位分布密度関数、等価力、そして外力である。転位分布密度関数の積分は、亀裂開口変位を与えるため、等価力 P は、 f の積分の関数である。また、記号 f は、特異積分のコーシーの主値を表す。図-2に示すように亀裂の開口変位は、両端で0であるから、(1)は、次のように換えられる。

$$-\int_{-1}^1 dy (y-x)^{-2} F(y) + P(x) - Q(x) = 0 \quad (-1 < x < 1) \quad (2)$$

ここに、 F は無次元化された開口変位であり、 F の微分

図-2 等価力 P と外力 Q を受ける有限亀裂

が(1)内の f を与える。記号 f は、2階の特異積分の主値であるが、開口変位 F が両端で0となることから、有限の値をとる²⁾。

(2)の形の積分方程式は、(1)の積分方程式より強い特異性をもつが、数学的には等価である。物理的にも開口変位の方が転位分布密度より把握しやすい。特に、コンクリート内の亀裂を考える際、ひび割れ幅が重要なパラメーターであるので、(2)の定式化の方が望ましい。さらに、チェビシェフの第二種多項式を用いる事によって、1)等価力 P が、開口変位 F の線形ないし非線形の関数であっても、解の唯一性が保証される事、2)チェビシェフ多項式の係数から数値解を比較的容易に計算できる事が示されている³⁾。

3. 簡単な例

等価力 P が開口変位の線形な関数として与えられる場合を考えてみよう。これは、例えば、プロセスゾーンを亀裂先端のバネと仮定した事に対応する最も簡単なモデルである。この時、

$$P(x) = k F(x) \quad (3)$$

ここに、 k は無次元化されたバネ定数である。亀裂の伸展のパラメーターである先端での応力拡大係数 K_I は、次のように評価できる。

$$K_I \sim k^{-1} \quad (4)$$

k 等が無次元化されているので、 K_I も同様に無次元化される。また k が大きくなるにつれて K_I が小さくなり、亀裂の伸展が抑制される事が示される。

次に横ひび割れのモデルとして、等価力 P が、 F の平方根に比例する場合を考えてみる。これは、鉄筋ないし鉄骨とコンクリートの間の付着力が一定と仮定した帰結である。この時、 P は

$$P(x) = \alpha F(x) \quad (5)$$

ここに α は付着力の強さを表す無次元化されたパラメーターである。鉄筋鉄骨とコンクリートのすべり(亀裂開口変位に対応)と付着力(等価力に対応)の間には、(5)のような関係がある事が、実験的に報告されている⁴⁾。そして、応力拡大係数は

$$K_I \sim \alpha^{-1/2} \quad (6)$$

(4)と同様付着力が強くなるにつれて、亀裂の伸展が抑制される事がわかる。

4. 結語

従来の転位分布密度関数に代わる亀裂開口変位に関する強い特異積分方程式を考える事によって、コンクリート内部に発生する亀裂問題をより有効にモデル化また定式化できる事が示せた。特にひび割れ幅を扱う場合には、この定式化は簡便で、破壊力学的解析には、有用性が期待できる。

5. 参考文献

- 1) 例えば、International Workshop on "Fracture Toughness and Fracture Energy," (1988)8月12-14日、仙台、東北大学。
- 2) S.Nemat-Nasser and M.Hori, "Toughening by partial or full bridging of cracks in ceramics and fiber reinforced composites," Mech. Mat., 6,299,(1987)。
- 3) M.Hori and S.Nemat-Nasser, "Asymptotic solution of a class of strongly singular integral equations" (1989,SIAM掲載予定)。
- 4) 三浦尚、瀬本浩史、"RC及びSRC部材に発生する最大ひびわれ幅に関する研究"(1989、第11回コンクリート工学年次講演会発表予定)。