

I-A 113

コンクリートの引張軟化特性に基づく弾性軟化モデル

日本工営（株） 正会員 師 自海
 日本工営（株） 正会員 中野 雅章
 日本工営（株） 正会員 石橋 晃睦
 日本工営（株） 正会員 吉田 保

1. まえがき 構造解析技術の進歩や破壊力学の研究の進展に相まって、コンクリート構造物におけるひび割れの影響、複雑な材料非線形挙動については、かなり解明されつつある。その背景には、既設コンクリート構造物の安全性を評価する上での構造物の終局限界状態を把握することの重要性の高まりや限界状態設計法への移行などが挙げられる。

コンクリート構造物のひび割れ解析において引張軟化特性はひび割れ開口幅と伝達応力をリンクさせる最も重要な材料特性である。既存の破壊力学モデルの中で、実用性にたけている分布ひび割れモデルは、ひび割れ要素を連続材料としてみなし、ひび割れの影響がその要素の内部では、一様であると仮定する。しかし、解析上直接分布ひび割れモデルに引張軟化曲線を組み込んだ場合、収束しにくいという深刻な問題がある。現在この問題は、同種の研究あるいは、業務に携わる技術者にとって、大きな壁となっている¹⁾。

コンクリート材料の剛性はひび割れの発生によって局部的に低下する。そして、その剛性の低下は非可逆的である。しかし、ひび割れ発生後、要素剛性マトリックスを伝達応力とひび割れ開口幅の関数とする分布ひび割れモデルの支配方程式は可逆な物理現象を表わしているので、これをそのまま非可逆的現象に適用することは難しい²⁾。

そこで、この問題を解決するために、弾性軟化モデルを考案した。弾性軟化モデルは、引張軟化特性に基づく見掛け弾性係数とひび割れ開口幅との関係を用いてひび割れの影響を評価する力学モデルである。このモデルは、ひび割れによるコンクリートの剛性の低下プロセスを見掛け弾性係数を用いて非可逆的なプロセスとして表現することにより、安定で収束性のある解を導き、より信頼性のあるひび割れの評価を可能にしたものである。

2. 弾性軟化モデル

図1に示すように、ひび割れ要素における応力-ひずみ関係は次のように表される。

$$\text{ひびわれ発生前: } \sigma = E^e \cdot \epsilon \quad (1)$$

ここで、 E^e はコンクリートの静弾性係数である。

$$\text{ひびわれ発生後: } \sigma^c = E^c \cdot \epsilon' \quad (2)$$

ここで、 $E^c (< E^e)$ は見掛け弾性係数である。ひび割れの発生によって、その要素の材料剛性が低下する。ひび割れの発生に伴い、応力が解放される。解放応力は引張強度 f_t を基準に次のように定義される。

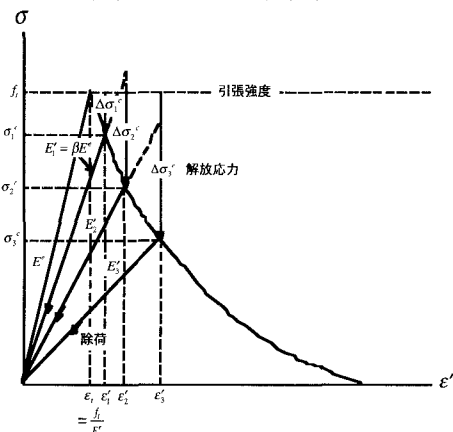


図1 弾性軟化モデルにおける応力-ひずみ関係

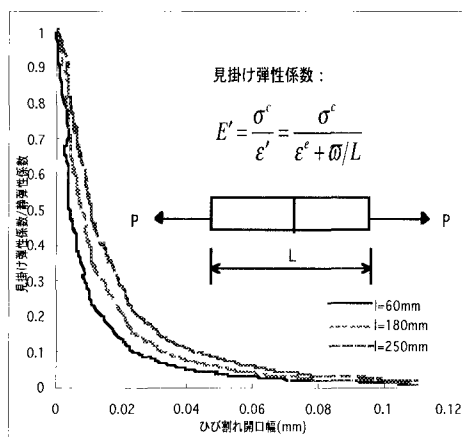


図2 見掛け弾性係数とひび割れ開口幅の関係

$$\Delta\sigma^c = f_t - \sigma^c = f_t - E' \cdot \epsilon' \quad (3)$$

クラック開口幅と解放応力の関係を次のように規定する。

$$\omega(E') = \frac{\Delta\sigma^c \cdot L}{E^*} \quad (4)$$

ここにLは要素の特性長さで、E*は特性弾性係数である。クラック開口幅が限界幅 ω_0 に達すると、 $E' = 0$ 、 $\Delta\sigma^c = f_t$ になる。従って、

$$E^* = \frac{f_t \cdot L}{\omega_0} \quad (5)$$

見掛け弾性係数とひび割れ開口幅の関係（図2）をコンクリートの一軸引張実験によって求めたあと、ひび割れ解析は図3のように行われる。

3. 数値解析例 経年劣化したトンネルの補修のため行うトンネル覆工耐力の評価を想定し、図4に示すように強度の異なる二層のコンクリート円環に対して弾性軟化モデルを用いたひび割れ

解析を行い、その適用性について検討した。図4より荷重レベル10tfあたりからひび割れが発生しているのが分かる。また、図5よりひび割れは、載荷点内側と水平支持の外側に発生し、荷重の増加とともに発生範囲が次第に広がっていくのが観察された。図5中に終局荷重38tfにおけるひび割れの発生領域と低減された見掛け弾性係数の一例を示す。

4. まとめ 弾性軟化モデルは、ひび割れによるコンクリートの剛性の低下プロセスを見掛け弾性係数とひび割れ開口幅の関係に基づいて、非可逆的なプロセスとして表現するモデルである。この手法を、二層のコンクリート円環に適用した結果、収束性の高い安定した解析解が得られることが確認された。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会: 破壊力学の応用研究委員会報告書、1993年10月
- 2) Dahlblom, O. and Ottosen, N. S. : Smeared crack analysis using generalized fictitious crack model, J. of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 116, No. 1, pp. 55-76, 1990

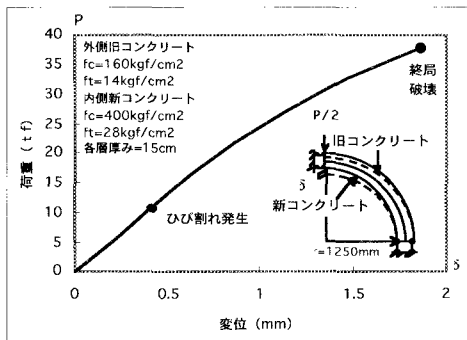


図4 新旧コンクリート円環ひび割れ解析結果

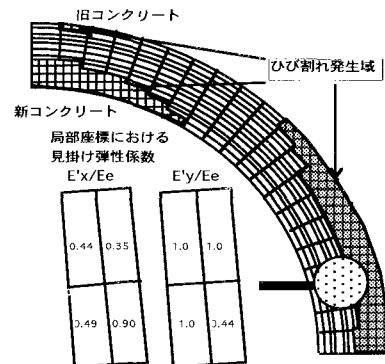


図5 終局破壊におけるひび割れ進展状況図