

I-A 153 弾性軟化モデルにおける見掛け弾性係数に関するコンクリート一軸引張実験

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

1.はじめに

今日、コンクリート構造物の設計法は、従来の許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行する傾向にある。それに伴い、既設コンクリート構造物の維持管理のためにも、その終局限界状態を把握することが必要となってきた。このような状況の中で、ひび割れを考慮した弾塑性解析技術は必要不可欠である。

コンクリート材料の引張軟化曲線はひび割れ解析を行う時に必要な伝達応力とひび割れ開口幅の関係を表す最も重要な材料特性である。しかし、ひび割れ発生時の材料挙動は複雑であり、ひび割れの進展と共にひび割れ発生部の周辺が除荷され、ひずみが低減するような局所的な現象を、引張軟化曲線だけでは反映しきれない。分布ひび割れモデルのように、ひび割れ要素は連続で、ひび割れの影響は要素内部で一様としてみなす破壊力学モデルに引張軟化曲線を組み込んだ場合、収束上の問題が生じる原因の一つがここにあると思われる。

そこで、著者らはコンクリート材料の引張軟化特性に基づく見掛け弾性係数の概念を導入し、弾性軟化モデルを考案した。弾性軟化モデルは、コンクリート材料の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たひび割れ解析モデルである。本報告は、弾性軟化モデルによる解析に必要な、見掛け弾性係数とひび割れ開口幅との関係を求めるために行ったコンクリートの一軸引張実験の結果について述べるものである。

2.実験概要

実験供試体を図1に示す。形状の影響の検討および文献との比較のため、角柱(6cm×5cm×15cm)と円柱(φ5cm×10cm)の2種類の供試体を作成し、それぞれ中央部に5mmのノッチを設けた。ノッチにはクリップ型変位計を取付け、ひび割れ開口幅を計測した。また、ノッチの両側にひずみゲージを貼り、ひび割れ箇所以外のひずみを計測した。図1に示すように、 l を測定長さとする。供試体の両端には接着剤を用いてステンレス製の治具を取付け、それらを試験機に固定させ変位制御により一軸引張荷重を与えた。取付治具と供試体の剥離に対しては、取付治具と供試体の接着部分に浅い溝を付け、接着面積を増して接着強度を上げることで対処した。さらに、供試体表面6個所にAEの発生頻度からひび割れ進展状況を推定するためのAEセンサーを設置し、連続して計測しながら実験を実施した。なお、使用した普通コンクリート供試体の強度特性は、圧縮強度334.0(kgf/cm²)、弾性係数2.6E+05(kgf/cm²)、割裂試験による引張強度29.9(kgf/cm²)である。

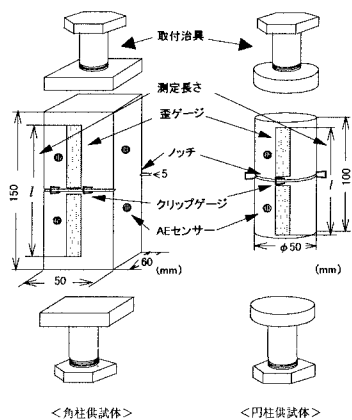


図1 実験供試体

コンクリートの引張破壊は脆性破壊に近い、ひび割れ発生後の破壊挙動は非常に急激である。そのため、載荷方法に以下のような工夫を行った。まず最大荷重付近に達した時点で荷重をほぼ無載荷状態まで低下させ、再載荷した。そして最大荷重に達すると、載荷と除荷を小刻みに繰り返しながらひび割れを少しずつ進展させていった。これにより、ひび割れの進展状況を緩和させることができ、軟化挙動を再現することができた。

3.実験結果および考察

3.1 ひび割れ発生後の挙動

本実験による荷重と変位の関係を図2に示す。図からわかるように、円柱と角柱のノッチ部の断面積が違いため、最大荷重はそれぞれ約400 kgf、600 kgfとなった。また、最大荷重でクリップ型変位計の伸び率が急激に増大した。その直後に、荷重が急激に低下し、ひび割れ開口幅が次第に大きくなっていく。この現象がいわゆる、コンクリートの引張軟化現象である。これらの結果から、ひび割れの発生は最大荷重時をもって判断しても差し支えないと思われる。角柱については、ピーク後の荷重の低下の遅れは、荷重の偏心によるものと考えられる。

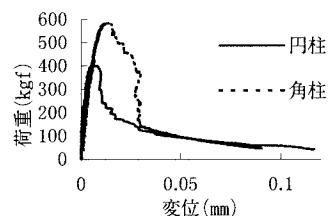


図2 荷重と変位の関係

また、ひずみとひび割れ開口幅の関係を図3に示す。ひび割れの進展と共に、連続体部分は除荷され、ひずみは低減していくことがわかる。そして、その関係は非線型である。これらの結果から、コンクリートのひび割れ解析上、引張軟化特性のみならず、連続体部分の非線形挙動についても考慮すべきであることがわかる。

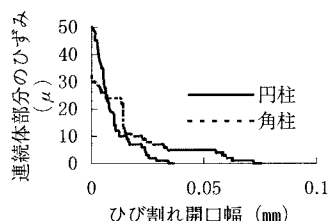


図3 ひずみとひび割れ開口幅の関係

3.2 見掛け弾性係数とひび割れ開口幅との関係

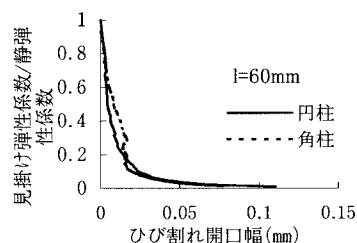
コンクリート材料の剛性はひび割れの発生によって局部的に低下し、再度上昇することはない。弾性軟化モデルはこの非可逆なプロセスを見掛け弾性係数を用いて表現し、ひび割れ発生後の解の安定性を図ったものである。弾性軟化モデルでは、ひび割れ要素に不連続面を含むため、通常連続体を対象とした静弾性係数、ひずみに対してそれぞれ見掛け弾性係数 E' 、見掛けひずみ ε' を定義する。見掛け弾性係数は、以下のように求められる。

$$\text{見掛け弾性係数: } E' = \frac{\sigma^e}{\varepsilon'} = \frac{P/A}{\varepsilon' + \omega/l} \quad \dots\dots (1)$$

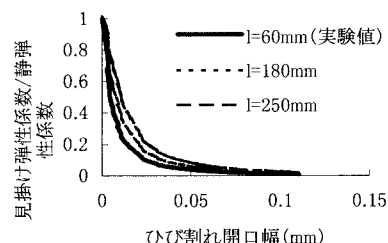
P : 荷重, A : 断面積, ε^e : 弾性体のひずみ,

ω : ひび割れ開口幅, l : 測定長さ

見掛け弾性係数とひび割れ開口幅との関係（以下 $E'-\omega$ の関係と記す）を図4に示す。ひび割れの開口と共に見掛け弾性係数が急激に低下し、ひび割れ開口幅が約0.03mmになると静弾性係数の10%以下にまで低下する。ここで注目すべきは、見掛け弾性係数を用いた場合、円柱供試体と角柱供試体の結果がほぼ一致し、供試体形状にほぼ依存しない点である。



$E'-\omega$ の関係は、図5に示すように測定長さにより変化する。測定長さが短いとき、見掛け弾性係数の低下の度合いが著しい。そして、測定長さが長くなるほど、その低下は緩やかになる。弾性軟化モデルを用いてひび割れ解析する上では、ここでいう測定長さはひび割れ要素の特性長さに相当する。このように、弾性軟化モデルは、ひび割れ要素の大きさの影響を $E'-\omega$ の関係により直接反映できる。



4.まとめ

本実験を通し、見掛け弾性係数とひび割れ開口幅の関係が得られた。今後は、本実験の結果を弾性軟化モデルに組み込み、具体的な構造物のひび割れ解析に適用し、モデルの妥当性を検討するつもりである。

謝辞: 本実験は熊本大学地域共同研究センターにて行ったものである。本実験にあたり、熊本大学の重石光弘助教授に大変貴重な助言をいただいた。記して、感謝の意を表したい。

<参考文献>

(1) Dirk Arend Hordijk: Local approach to fatigue of concrete, 1991

図5 測定長さの変化に対する $E'-\omega$ の関係