

V-141 コンクリートの引張ひずみ軟化特性のモデル化

岐阜大学 正会員 六郷恵哲

岐阜大学 正会員 小柳 治

1. まえがき

ひびわれの進展によって生じるコンクリートの破壊現象を有限要素法等によりシミュレートする場合、破壊力学のアプローチを加味し実際の現象にできるだけ忠実なシミュレーションを行なうことにより、得られる情報の有用性は高まる。ここでは、ひびわれ先端領域におけるコンクリートの引張ひずみ軟化特性(引張ひずみまたは変形と減少する平均引張応力の関係)の概略について述べ、これを二直線で近似した場合の問題点について検討する。

2. 引張ひずみ軟化特性と破壊エネルギー

一般にコンクリート供試体の引張試験を行なうと、図-1に示すように、最大耐力点後、微小ひびわれが局所的に集中し遂には供試体は破断する。全体の引張変形は、供試体の非破壊領域の回復性の変形と破壊領域の非回復性の変形との和で表わされる。Hillerborg(1)は、この非回復性の変形を1本の仮想ひびわれ幅 w の広がりて表わした「仮想ひびわれモデル」を提案した。同様に、Bazantら(2)は、この変形をある領域に均等に分布させた「ひびわれ帯モデル」を提案した。引張ひずみ軟化曲線下の面積は、単位ひびわれの進展に消費される破壊エネルギー G_F に対応し、これらのモデルは、破壊力学の基本概念と結びつく。切欠のあるはりの曲げ試験で得られる荷重変位曲線下の面積(全消費エネルギー)をひびわれ断面積で除して破壊エネルギー G_F を求める試験方法が、RILEMの委員会(50FMC)により提案されている。コンクリートの引張ひずみ軟化曲線を純引張試験から直接求めることは一般に容易ではないが、図-2の例は、Petersson(3)が計測したものである。

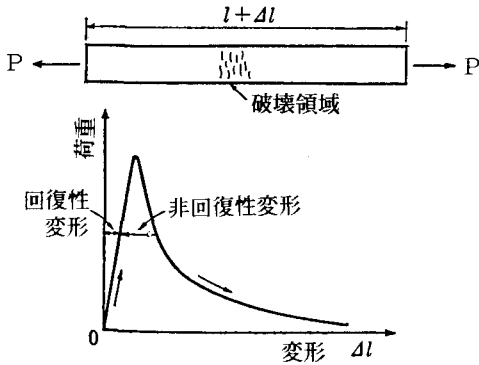


図-1 コンクリートの純引張試験

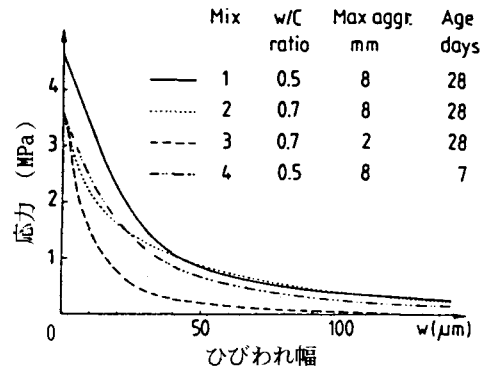


図-2 引張ひずみ軟化曲線の計測例(3)

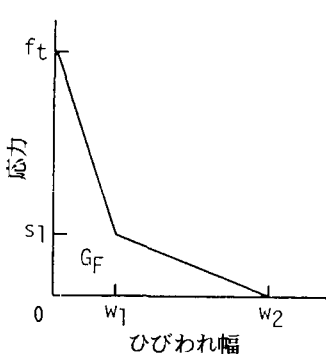


図-3 二直線モデル

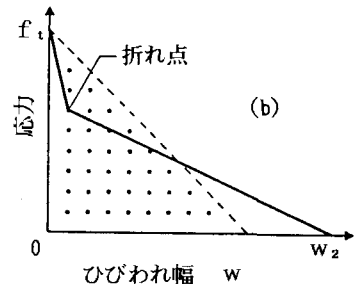
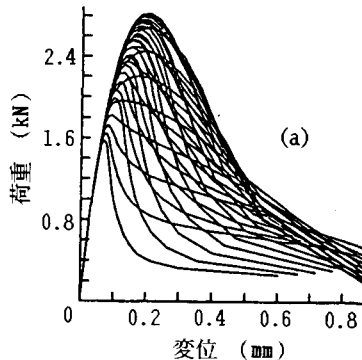


図-4 二直線モデルとシミュレーション結果(4)

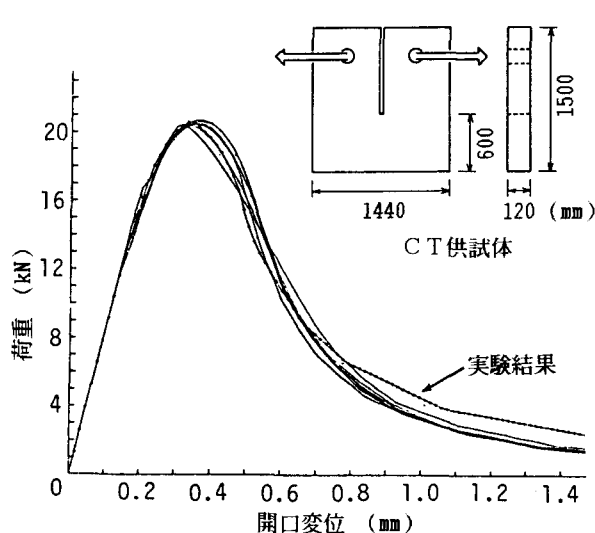


図-5 C T 供試体の荷重変位曲線

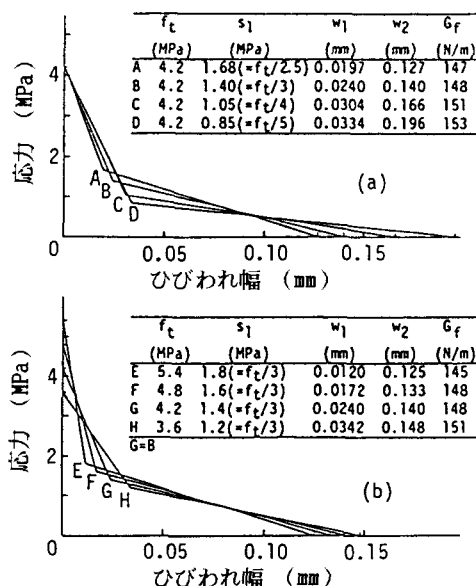


図-6 図-5のシミュレーションに用いた二直線モデル

3. 引張ひずみ軟化曲線のモデル化

コンクリートの引張ひずみ軟化曲線の最も簡単な近似として、図-3においてパラメタ f_t , s_1 , w_1 , w_2 で表わされる二直線がしばしば用いられる。Roelfstraら(4)は、図-4に示すように、破壊エネルギー G_F (二直線下の面積) と引張強度 f_t とを一定として折れ点の位置 (s_1 と w_1) を36通りに変化させた二直線モデルを用いて はりの荷重変位曲線を FEM によりシミュレートした結果を報告し、破壊エネルギー G_F の値だけでなく、引張ひずみ軟化曲線の形状の影響も重要なことを指摘している。曲げを受けるコンクリート供試体(はりやコンパクトテンション(C T)供試体)の荷重変位曲線から、逆に二直線モデルの4つのパラメタを推定する方法も開発している(4)。

4. 二直線モデルの唯一性

本節では曲げを受ける供試体の荷重変位曲線の実測値から二直線モデルを推定する場合の解の唯一性について検討する。C T 供試体の実験で得られた荷重-開口変位曲線を図-5に黒点のある実線で示す。図-6に示す7種類の二直線モデルを用いて荷重変位曲線をシミュレートした結果を実線で図-5に示す。図-6(a)では、 f_t を4.2MPaとし f_t/s_1 の値を2.5~5に予め設定した後にシミュレーション結果が実験結果(特に、最大耐力と荷重変位曲線の形状)とよく一致するよう s_1 , w_1 , w_2 を定めた。図-6(b)では、 $f_t/s_1 = 3$ とし f_t を3.6~5.4MPaとしてパラメタを求めた。図-5からわかるように、7種類のシミュレーション結果は実測結果といづれもよく一致している。したがって、曲げを受ける供試体の荷重変位曲線のみからは二直線モデルを一義的に求めることはできない。二直線モデルを利用するには、この点に留意する必要がある。なお、図-6中の表からわかるように、二直線モデルの形状は異なっても、二直線下の面積(破壊エネルギー G_F) は ほぼ一定となるため、実験とシミュレーションを併用して破壊エネルギー G_F を求める方法は有効であると考えられる。

5. あとがき

コンクリートの引張ひずみ軟化特性とそのモデル化について述べた。曲げ荷重変位曲線からひずみ軟化の二直線モデルは一義的には定まらないことを示した。

参考文献

- (1)Hillerborg, A., Report TVBM-3005, Div. of Build. Mat., Lund Ins. of Tech., Sweden, 1978.
- (2)Bazant, Z.P. and Oh, B.H., Materials and Structures, Vol.16, No.93, 1983.
- (3)Petersson, P.E., Report TVBM-1001, Div. of Build. Mat., Lund Ins. of Tech., Sweden, 1981.
- (4)Roelfstra, P.E. and Wittmann, F.H., in Fracture Toughness and Fracture Energy of Concrete, ed. by F.H. Wittmann, Elsevier, 1986.