

FRP 補強されたコンクリートはりのせん断強度寸法効果解析

名古屋大学大学院 学生会員 平井 友紀

名古屋大学工学部 正会員 二羽淳一郎

1. はじめに

コンクリートはりの補強材として FRP ロッドを用いるにあたり、それがせん断耐荷力に与える影響を明らかにするための研究がこれまで多く行われてきている。

鉄筋で補強された場合、斜め引張破壊における寸法効果はすでに多くの研究で確認されており、これを考慮した設計式が提案、採用されている。同様に FRP 補強された場合にも寸法効果が現れるであろうが、鉄筋と剛性などが異なることから、既存の設計式をそのまま用いることには問題があると考えられる。

そこで本研究では、今後のコンクリート構造物の大型化を考え、実験的な研究が困難であると考えられる有効高さ 5 m までのはりについて、補強材のヤング率を変化させたときの寸法効果の影響を数値解析によって明らかにすることを目的とした。

2. 破壊力学の適用によるひび割れのモデル化

本研究では、あらかじめマクロな仮定のひび割れ位置を決定し、このひび割れによって一連のひび割れ形成過程をモデル化する「仮想ひび割れモデル」を用いることにした。このモデルではひび割れを一つの不連続面として離散的に捉え、概念的に明快であるといえる。

引張応力を受けてコンクリートにマイクロクラックが発生し、これらが凝集して引張強度に達した後、マクロな仮想ひび割れ幅の拡大に伴い伝達される応力が低下していく引張軟化挙動によって、ひび割れ面での応力伝達を表現する。このときの軟化曲線は、図 1 のように応力-ひび割れ幅関係で示されるが、この曲線下の面積が破壊エネルギーとなる。軟化曲線は実験的あるいは解析的に各種提案されているが、ここでは、一般によく用いられる 2 直線モデルの内の 1/4 モデル (図 2) を用いる。

数値解析するにあたって、仮想ひび割れ位置に設けた 2 つの節点間にコンクリートの引張軟化挙動と破壊エネルギーを現す非線形のロッド要素を配置し、その他のコンクリート要素は弾性挙動するものとした。仮想ひび割れ位置にこのロッド要素を配置しておけば通常の増分解析が可能になる。なお、引張強度到達前の弾性領域に対しては、ひび割れ発生以前のロッド要素の伸びをできるだけ抑制するという意図から、大きな剛性 $E_R = 100 E_C$ を与えている。

また、ひび割れ面には、面に垂直なロッド要素と水平なロッド要素を配置することにした。前者に関しては、せん断ひび割れの挙動も曲げひび割れと同様に取り扱ってもよいとする意見が一般的であるため、コンクリートの軟化特性を持たせて配置した。後者に関しては、ひび割れ面でのせん断剛性を解析に取り入れるために配置した。しかし、すべり破壊の特性についての実験的な情報はこれまでのところ、得られていないのが現状であり、したがってこのロッド要素の剛性はひび割れ発生前には弾性挙動をするものとし、ひび割れ発生後には完全に応力を伝えないものとした。

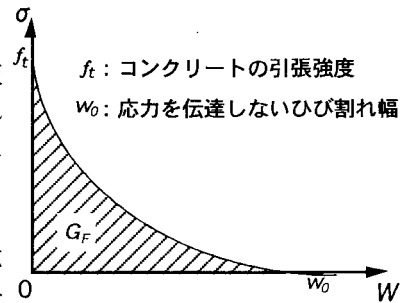


図 1 引張軟化局緯線

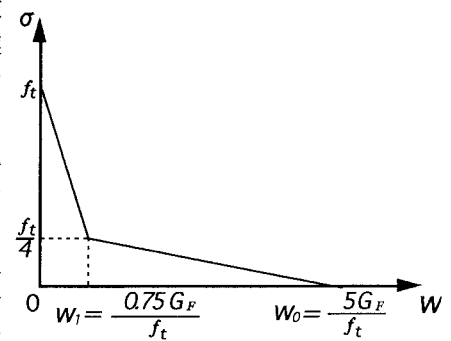


図 2 1/4モデル

3. 数値解析

3.1 解析の手法

せん断補強されていない単純支持されたはりに2点集中荷重がかかる状態を想定した。有限要素法において、仮想ひび割れ位置、及び曲げひび割れ位置のロッド要素は2節点のトラス要素とし、それ以外のコンクリート要素は弾性体の3節点の3角形要素とした。補強材は弾性体の2節点トラス要素としている。非線形性はひび割れ部分のロッドによってのみ表現される。解析手法は載荷点に強制変位を与える変位制御型の増分解析で、Newton-Raphson法を用いて各イテレーション毎に剛性値を更新した。

また、この解析では、曲げひび割れと斜めひび割れの2つのひび割れを想定するため、載荷と除荷のパスを与えておく必要がある。図3に示すように除荷、再載荷時の剛性はコンクリートの弾性剛性に一致するものとした。

3.2 ひび割れ位置の設定

斜めひび割れ位置を適切に決定する事は、非常に重要である。図4に示すように x , y , θ_1 , θ_2 のパラメータを用いて、それぞれを変化させ最も低いせん断耐力を示す値を用いた。実際には、まず1直線のひび割れを想定し x , θ_1 を決定した後、 y , θ_2 を変化させ決定した。その結果、有効高さ d cmにおいて $x=1.0 d$, $y=0.7 d$, $\theta_1=40^\circ$, $\theta_2=30^\circ$ が得られた。

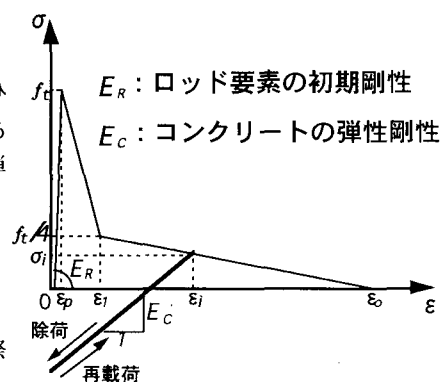


図3 除荷、再載荷パス

4. 解析結果

有効高さ $d=10, 50, 100, 300, 500$ cm、補強筋のヤング率 $E_s=2.0 \times 10^6, 1.0 \times 10^6, 5.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ に変化させて、各補強材の剛性での寸法効果を数値解析的に評価する。解析結果を客観的に評価するためにコンクリート標準示方書 (JSCE) と CEB-FIPモデルコードのせん断強度式と比較した。

$E_s=5.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ と比較したものを図5に示す。この場合、鉄筋に対して4分の1の剛性であるが、鉄筋と同様に寸法効果の影響を見ることができる。補強材の剛性がせん断強度の寸法効果に与える影響についてさらに考察を進め、発表でより詳しく述べる。

5. 参考文献

1) 二羽、Nasra ZAREEN、田邊：破壊力学に基づくコンクリートはりのせん断強度寸法効果解析、土木学会論文集、掲載予定

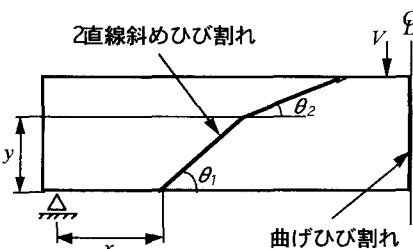


図4 ひび割れ位置のモデル化

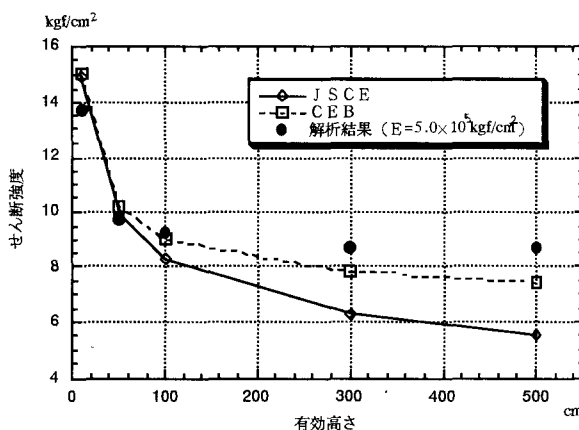


図5 解析結果