

1. はじめに

近年、連続繊維シートをコンクリート構造物に接着して補強する工法が注目されている。しかし、補強材とコンクリート間の応力伝達メカニズムには、まだ不明な点が多い。そこで本研究では、連続繊維シート補強法による耐力の向上、さらに補強材とコンクリート間の応力伝達機構を解明することを目的とし、補強材とコンクリート間の接着を考慮した離散型要素を提案し、これらの要素を用いて連続繊維シートによりせん断補強された RC はりの有限要素法解析を行った。さらに、実際の実験結果との比較を行い、本解析手法による構造物への適用性について検討を試みる。

2. 解析概要

(1) 解析モデルおよび境界条件

本解析では図1に示すような連続繊維シート(炭素繊維、アラミド繊維)により補強を施した供試体、および比較用として同様のメッシュ分割で補強を施していない供試体の対称性を考慮して左側1/2のみについての解析を行った。境界条件として、支点を Y 方向に固定し、供試体中央部を X 方向に固定した。軸方向鉄筋は、中央部で X 方向と回転角を固定した。載荷点は、せん断スパン有効高さ比($a/d=2.0$)とした。解析手法として、コンクリート要素中の最大主引張応力が引張強度に達するように載荷荷重の調整を行い、その点での最大主引張応力方向に対して直角にひび割れ要素を1つずつ挿入するひび割れ増分法を用いた。連続繊維シートの弾性係数は、炭素繊維シート($E=4.31 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$)、アラミド繊維シート($E=1.08 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$)を用いた。

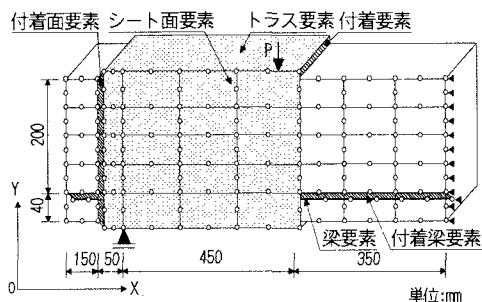


図1 要素分割図

(2) 要素特性

コンクリートは2次の四辺形要素、また軸方向鉄筋は2次の梁要素を採用した。また、コンクリートの引張軟化特性を導入したひび割れ要素[1]、およびコンクリートと軸方向鉄筋間の付着特性を表現する付着要素を用いた。連続繊維シートとコンクリート間の付着は、梁上下面にトラス要素と付着要素、梁側面に四辺形要素と付着面要素を用いた。

図2に連続繊維シートとコンクリート間の付着特性を表現する付着面要素を示す。付着面要素のそれぞれの節点は、コンクリート要素および連続繊維シート面要素の各節点と共有しているものとした。また、局所座標系 s, t 方向に節点相対変位 δ_s, δ_t が生じた場合、コンクリート要素および連続繊維シート面要素にそれぞれせん断応力 τ_s, τ_t が作用するものと仮定すると、式(1)の関係が定義できる。

$$\begin{Bmatrix} \tau_s \\ \tau_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{ss} & S_{st} \\ S_{ts} & S_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_s \\ \delta_t \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中の S_{ss}, S_{tt} の値に、付着応力-すべり関係 [2] を用いて非線形解析を行った。また、解析の簡易化のため、 $S_{st}=S_{ts}=0.(\text{N/mm}^3)$ の一定値を用いた。付着要素の接線方向は、付着面要素と同様に扱い、法線方向は、過大な変形が生じないように $S_{tt}=9.8 \times 10^2 (\text{N/mm}^3)$ と一定値とした。

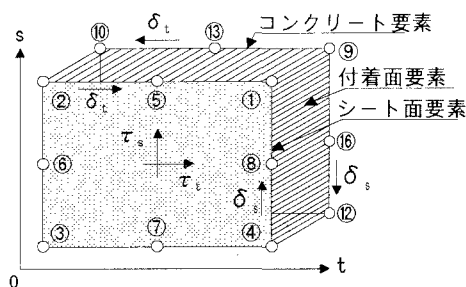


図2 付着面要素(局所座標系)

3. 解析結果および考察

図3に解析結果および実験結果の荷重-変位曲線を示す。本解析結果より、曲げひび割れ発生荷重に至るまでは、比較的両材料とも実験結果と一致していることが確認できた。これは、部材の弾性係数に適切な値を用いたためであると考えられる。しかし、それ以降の荷重-変位曲線は両材料とも著しく異なっている。これは、ひび割れ要素による曲げひび割れ発生以降の部材のひずみエネルギーの解放、および軸方向鉄筋の付着特性が適切にモデル化できていないためであると考えられる。また、解析結果での補強・無補強の荷重-変位曲線に大きな差が見られず、この荷重段階では連続繊維シートによる補強効果が発揮されていないことが確認できる。また、本解析結果は実験結果の最大耐力の1/3程度までしか部材の破壊性状を追従することができなかった。これは、本解析プログラムにおいて枝分かれひび割れ等の2次的なひび割れ発生を表現できていないためである。今後、再メッシュプログラムの改良および要素特性の決定が必要である。

図4に炭素繊維シートのひび割れ進展状況図を示す。シート界面にコンクリートの応力集中が生じるため、梁が曲げ破壊となった。ひび割れの進展は、曲げスパンに発生した後せん断スパンに発生し、斜めひび割れに進展するまで確認できた。また、シート中に発生した斜めひび割れの周辺で、シートとコンクリート間の付着応力が増大し、伝達応力が適切に表現できていることが確認できた。

図5に炭素繊維シートによる補強・無補強の鉄筋曲げモーメントと鉄筋支圧応力分布を示す。鉄筋支圧応力分布は、シート中に発生した斜めひび割れが軸方向鉄筋を横切る箇所で正負に増加している。これは、ダウエル作用による軸方向鉄筋鉛直方向の変位が増大しているためである。次に無補強では、シート補強されたものと比較して斜めひび割れの影響が顕著となるため、ダウエル作用の影響が大きくなると考えた。しかし、荷重が斜めひび割れ発生まで上昇しなかったため、予想された結果を確認することができなかった。

4. 結論

- (1) 連続繊維シートとコンクリート間の応力伝達は、連続繊維シート中に進展するひび割れにアイソパラメトリック付着面要素を導入することにより、斜めひび割れ発生までの部材の破壊性状をある程度表現することができた。
- (2) 今後は、軸方向鉄筋周辺に発生するダウエルひび割れ、分岐するひび割れを適切に表現する再メッシュ分割プログラムの開発、各要素に適切に材料特性を導入する必要があると考えられる。

〔参考文献〕

- [1] 児島・高木・松尾・日比野：ひび割れ要素を用いたコンクリートの曲げひび割れの進展に関する有限要素法解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.3，pp.61-66，1999
- [2] 劉・彦坂・亀山・原田：炭素繊維シートで補強されたRC部材の破壊挙動の有限要素解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.3，pp.1-6，1998

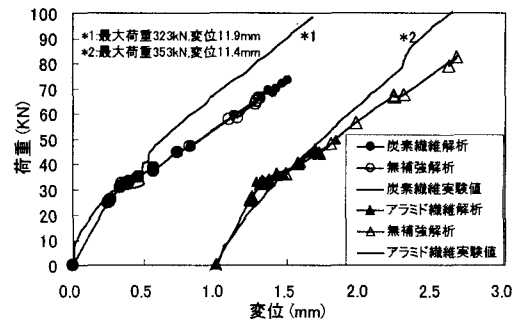


図3 荷重-変位曲線

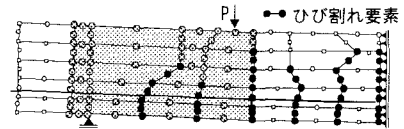


図4 ひび割れ進展状況図

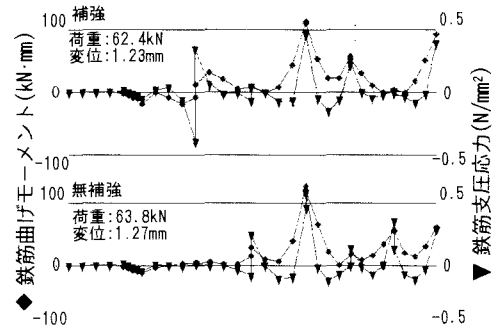


図5 鉄筋曲げモーメントと鉄筋支圧応力分布