

コスト削減を目指したヴァーチャル型技術開発法の提案



所属名：岡山大学大学院

環境デザイン工学科

発表者：谷口 健男

1. まえがき

本概要書は、平成 16、17 両年度中国建設弘済会からの支援を得て、岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科比江島慎二と同大学自然科学研究科 Saif Eldeen Ahmed Saif Eldeen Yousef が研究を行い得た結果のまとめであり、同会に深く御礼申し上げる。

2. 概要

コンクリート構造の最大の弱点は引っ張り強度の弱さにあり、その弱点を補う方法として、ファイバーコンクリートが考えられている。このファイバーコンクリートは、3 cm 程度の細いスチール等のファイバーを生コンクリートに混ぜ込み打設することでコンクリートに引っ張り強度を持たせようとする。あるいは、プラスチックファイバーを生コンクリートに混ぜ込む場合もあり、それは強度向上ではなく、コンクリートはく離といった破壊現象を局所的に防止し、安全性の確保を目指す。このため多くの実験的研究が実施されているが、①時間とコストがかかる、②細部での検討が困難である、といった問題点を抱えている。本研究では、数値実験によるファイバーコンクリート特性の解明と利用を報告する。本研究では、①スメアード・クラック・モデルと②均質化法の 2 種類の数値実験法を提案する。両者共に膨大な数のファイバー混入を扱える方法であるが、主に前者は 2 次元構造解析を、後者は 3 次元構造を対象とできる方法である。

3. スメアード・クラック・モデルによる数値実験

スチールファイバーの混入率は、0～3%程度までの値を予定する。ファイバー混入はミキサーで行うことから、その位置や向きはランダムである。その再現に数値乱数を採用するが、その結果、数値解析上好ましくない要素が発生することから、ファイバー配置修正を行ってから Delaunay 法で要素分割後、形状修正して有限要素モデル生成を終える。その後、要素に材料定数を与えて要素剛性を計算し、それらを組み合わせて全体剛性を求める。

スチールファイバーの応力-ひずみ関係は完全弾塑性とする。ポアソン比は 0.3、弾性限界応力を 370 MPa、弾性ひずみを 0.002 (mm/mm)、ヤング率を 2000 MPa とする。コンクリートの引張りでは非線形応力-ひずみ関係に代わり、スメアード・クラック・モ

デル（図-1）を使い、ダメージファクター ω を導入（図-2）し、これにより無数に発生するき裂を同時に扱えるようにする。

2次元はりを使い、手法の妥当性を検証するが、ファイバー混入率は最大3%とした。結果（図-3、4）は、ファイバー混入率がエネルギー吸収に影響を及ぼし、ファイバー配置は

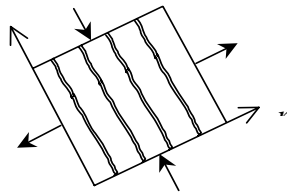


図-1 Smearred Crack Model

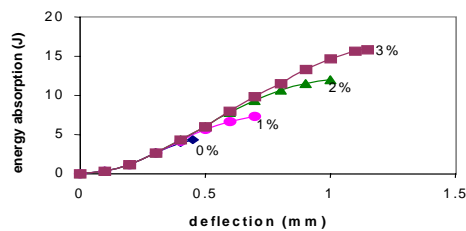
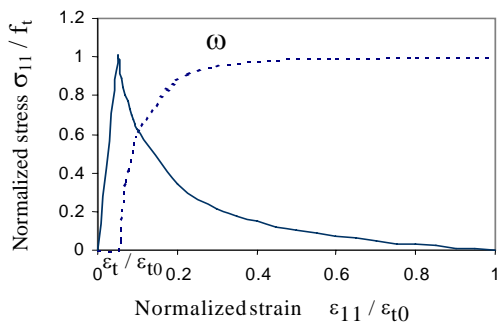
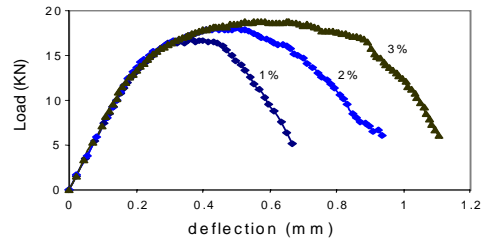


図-3 混入率とエネルギー吸収の関係
(はり中央部のみファイバー配置)

図-2 応力-ひずみ関係と
ダメージファクター

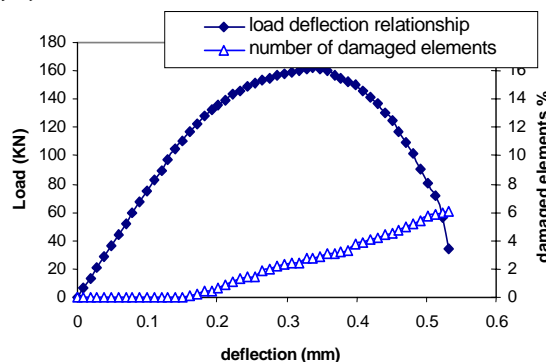


図-4 応力-ひずみ関係とき裂数

はり中央部だけで効果が発揮でき、非線形応力-ひずみ関係が出現するとき、き裂数が線形的に増加、言い換えるとき裂は直線的に進展し、面的な広がりはないことを示す。

結果は、ファイバー混入率がエネルギー吸収に影響を及ぼし、ファイバー配置ははり中央部だけで効果が発揮でき、非線形応力-ひずみ関係が出現するとき、き裂数が線形的に増加、言い換えるとき裂は直線的に進展し、面的な広がりはないことを示す。

4. 均質化法

均質化法は、本来繰返しパターンの複合領域を対象とする方法である。本研究対象は、コンクリートとファイバーの複合系であるが、後者はランダムにコンクリート材料中に配

置されているに過ぎない。また、ファイバー混入率は高々3%程度と考えられるが、この様な低率混入率でランダム配置の繰返し配置への置換えが可能かも疑問である。

図-5(上図)に示す数値乱数を使って発生させたファイバーのランダム配置を、同図(下図)

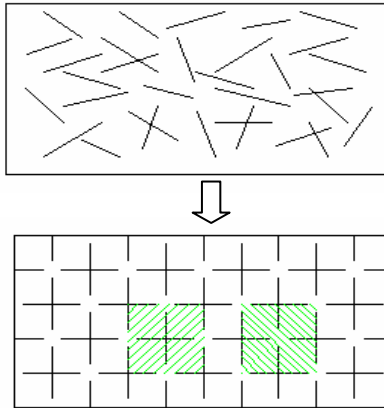


図-5 ランダムからパターンへ

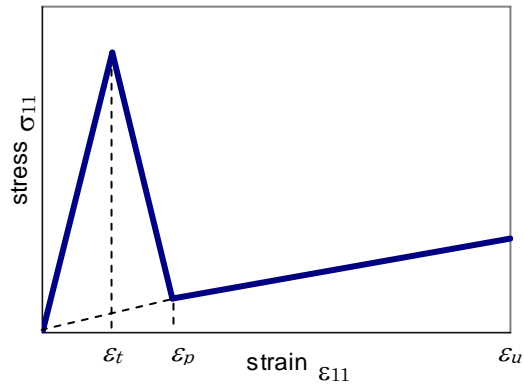


図-6 均質化後の応力-ひずみ関係

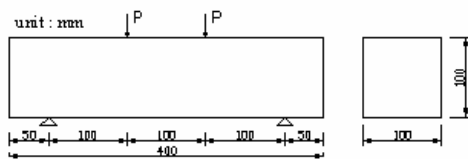


図-7 4点曲げ問題 (諸元)

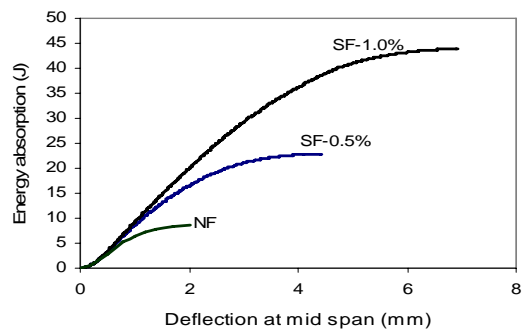


図-9 ファイバー混入率とエネルギー吸収

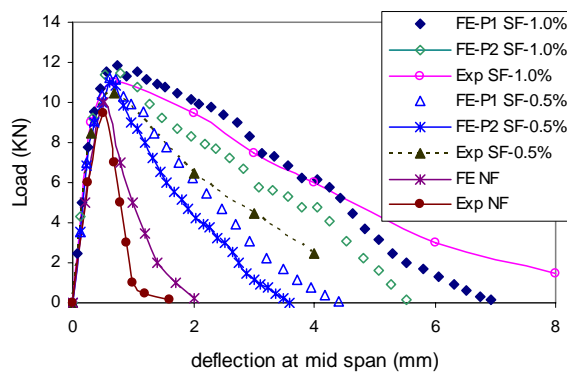


図-8 はり中央部変位と荷重 (実験との比較)

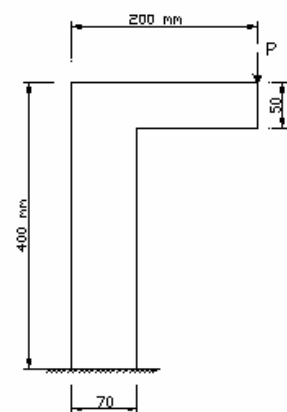


図-10 L型はり数値実験モデル

に示すような繰返しパターン (P1 と P2) に置換えて数値実験に供する。これらパターンは、縦横軸方向に対し対称であることが選定理由である。この2種類の繰返しパターン

を使い最終的に得た均質化したファイバーコンクリートの応力-ひずみ関係を図-6 に示す。

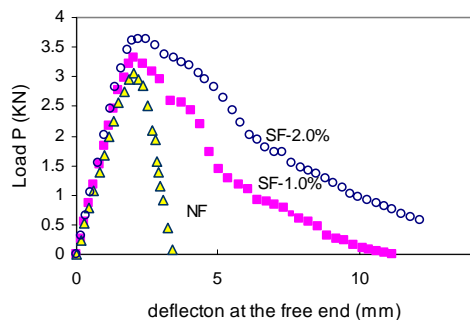


図-11 はり先端変位とファイバー混入率

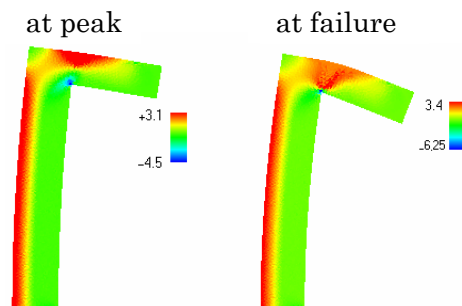


図-12 はりに発生する主応力分布

数値実験には4点はり曲げ問題(図-7)とL型はり(図-10)を利用する。均質化の単位領域であるセル寸法Lファイバー混入率を考慮して決めるが、ファイバー長と直径は30mm、0.6mmとしている。数値実験と既存構造実験との比較(荷重とはり中央部の鉛直変位)を図-8に、エネルギー吸収とファイバー混入率の関係を図-9に示す。また、図-11にはL型はりの先端変位とファイバー混入率の対応を図示する。図-8から、均質化法は実験結果をよく表現できていると言える。その結果、図-9が示すようにファイバー混入率はエネルギー吸収に深く影響し、また図-8と11が示すようにはりの固さを増す。図-12ではりの主応力分布を示すが、これは数値実験の長所である3次元内部状況を可視できることを示す。

5. 結論

本研究から、以下の成果を得た。① スチールファイバーコンクリート材料を使った構造物設計を従来の材料・構造実験以外に、数値実験で行うことが可能であることを示した。② 数値実験方法として、簡単な場合には個別のファイバーを考慮した有限要素解析モデルを使う方法を、一般的な構造物設計での検討には均質化法を利用した方法、の2種類を提案できた。③ 幾つかの数値実験結果から、これら提案した方法の有効性は確かめられた。④ 数値実験法を採用することで、構造物内部の応力状況等が詳細に検討できるところが分かり、これは今後数値実験法がなるにその有効さを発揮できる可能性を示すと考えられる。

6. あとがき

本研究により、従来構造・材料実験が主であったファイバーコンクリートの開発は、計算機能力を駆使する計算力学を用いた数値実験法でも行いえることが判明した。この新しい手法の採用により、単にコスト削減だけでなく、従来は知りえなかった3次元領域の内部の応力状況なども詳細に把握できることにあり、構造設計をさらに容易にさせることが期待できる。最後に、本研究を推進することに対して、資金的援助を頂いた中国建設弘済会に対して深甚な謝意を表したい。