

ファイバーコンクリートの構造特性に関する数値実験的研究

岡山大学環境理工学部 正会員 ○谷口健男

大分県庁

橋本朗雄

岡山大学大学院

学生員 サイフ・エルディーン

1. はじめに

構造材料の開発や様々な新工法が発達していくに伴って、構造物が複雑化し、模型実験による検証が物理的、経済的に困難になってきている。例えば、良好な実験結果が得られたとしても、その再現は不可能であることから、なぜその様な結果が得られたのか検証すること自体困難である。この問題に対する解決策の1つとして、近年著しい進展を見せるコンピュータの高速性能と高メモリ機能を使った数値シミュレーション技術を利用することが挙げられる。数値シミュレーションの主な特徴として、

1. 対象系のモデル化が容易。（幾何学的変更や材料変更が容易）
2. 境界条件の導入が正確。
3. 3次元体内部の現象の可視化が可能。（コンピュータグラフィックス機能）
4. 現象の再現が可能である、が挙げられる。

近年、トンネルや橋梁部でのコンクリートの剥離が大きな社会問題となり、それへの対応が要求されている。その解決策の一つがファイバーコンクリートの利用であり、多くの知見が既に得られ、実際工事にこのコンクリートが利用されている。この新たな構造材料の中でのファイバーの役割の一つはコンクリート中に無数に分布させたファイバーにより、引張強度やひびわれ強度を増加させるとともに靱性を高めること、いまひとつは、もしき裂が生じたとしても、ファイバーがコンクリート破片の落下を阻止する、の2点であると考えられる。本研究では、この様な利点を有する数値実験法をファイバーコンクリート材の開発に用いることを試みる。

本研究では、精度が期待できるファイバーコンクリート有限要素モデルの作成と、そのモデルを用いての有限要素法解析システムの確立を目指し、その解析結果からファイバーコンクリートの力学的特性を明らかにすることを目的とする。

2. 有限要素モデルの作成

ファイバーコンクリートのモデル化で最も重要になるのは、どのようにファイバーを解析領域内に配置していくかであるが、ファイバーの配置に関してはできる限り無作為に配置されるのが望ましい。そのため、ファイバー両端の2点の決定は数値乱数を用いてランダムに決定されるようにする。

しかし、数値実験における解の精度は有限要素モデルのできに左右されやすい。そのため、有限要素モデルに悪影響を及ぼすようなファイバーについては端点を移動するなどして適宜修正を加えた。図1はファイバー20本を設置し、そのために46個の節点をまず配置した。それを示したのが図1の上の図である。このように設定した解析領域を対象に1000個の節点を使って有限要素分割したものが図1の下図である。同図からも明らかなように、有限要素分割後もファイバーを表す直線はそのまま生かされている。

3. 数値実験と解析結果

図2に示すように上で作成した解析領域に境界条件（単純支持の境界条件であって、解析対象として半分モデルを使う）を設定し、数値実験を行った。なお、コンクリート要素には三角形定ひずみ要素を、ファイバーには棒要素を用いた。また、材料定数は以下のとおりである。

（コンクリート，鋼製ファイバー）：圧縮強度（31.6Mpa，—） 引張強度（3.34Mpa，—） 弾性係数（ $2.7 \times 10^4 \text{N/mm}^2$, $2.05 \times 10^6 \text{N/mm}^2$ ） ポアッソン比（0.2, 0.3）

数値実験より、以下の結果を得た。

1. ファイバー設定（位置と向き）に導入した数値乱数の違いにより、それ以外のパラメータが全く同じでも解に若干のばらつきがでた。

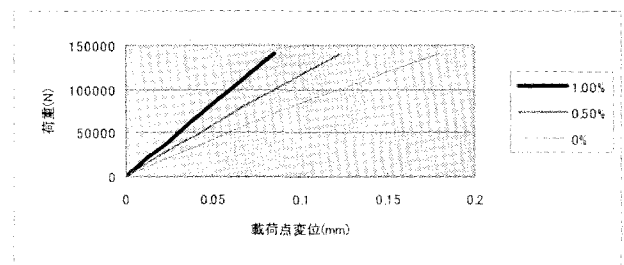
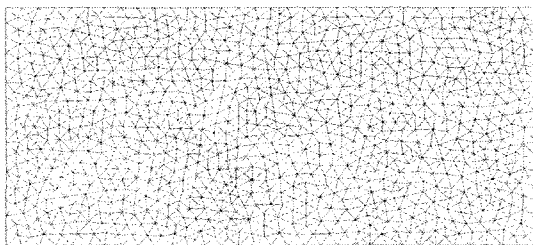
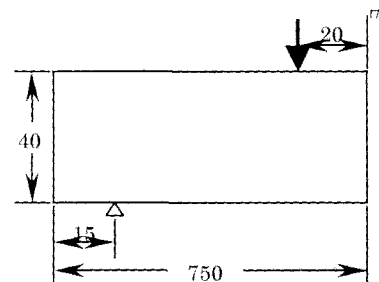
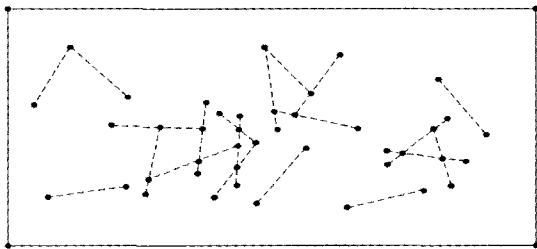
2. 数値実験値と実験値を比較すると、数値実験値の変形が小さい結果を得た。これは剛性が高いことを示す。
3. 入したファイバー本数が構造系の強度に与える影響は大きい。

4. 結論

本研究では、ファイバーコンクリート材開発のための数値実験手法確立を試みた。ファイバーコンクリート構造の有限要素モデル化については、無作為にファイバーが混入された状態をある程度表現することはできた。しかし、作成できた三角形要素の中にまだひずんだものや、他の要素に比し極端に小さなものが多少見受けられるため、要素生成にさらに工夫が必要である。なぜなら、数値実験の精度向上には良好な形状をした有限要素モデルの作成は必須である。

モデル生成法の検証のために、実際に有限要素モデルを用いて数値実験を行い、得られた解をもとに検討を行った。その結果、数値乱数の違いにより解に若干のばらつきが見られた。このようなケースでは統計的扱いを行う必要があり、そのためには、同一パラメータ設定で得られた 20~30 例の平均値を代表解とし、それを実験値と比較することが望まれる。また、ファイバーコンクリート梁について、数値実験解の方が実験値より小さな変形量となる結果が得られた。この理由として、数値実験ではコンクリートとファイバーは剛結していること、定ひずみ要素を用いたことが挙げられる。ファイバー混入率と梁の強度の関係はおおむね予想通りである。ファイバー長を変化させた場合、梁強度は 30mm の時最も高い。なお、ファイバー本数は梁強度に大きな影響を及ぼすと思われる。

本研究を通じてファイバーコンクリートの数値実験法をおおむね確立できたと考えるが、ファイバー配置、コンクリートとファイバーの付着のモデル化など未だ課題が残っている。これらについては今後の課題とするが、同時に更に大規模構造ではファイバー材とコンクリート材をならした形の新しい有限要素モデルが必要となると考える。



図の説明

左上図 ファイバーコンクリート

左下図 要素分割の結果の一例

右上図 数値解析対象（単純支持はりの 1/2 モデル）

右下図 ファイバー混入率と強度の関係（解析結果）