

マイクロトラスストラクチャを用いたコンクリート部材の骨組モデルによる構造解析手法に関する基礎的研究

Fundamental Study on Structural Analysis Method
using Micro Truss Structure Frame Model of Concrete Member

柴田良一¹⁾

Ryoichi Shibata

1) 博(工) 岐阜工業高等専門学校 建築学科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236番2, E-mail: ryos@gifu-nct.ac.jp)

In this study, we propose a method to directly model and analyze individual fibers using a framework of an assembly of tiny trusses called a micro truss structure (hereinafter abbreviated as MTS), aiming at precise numerical analysis of fiber-reinforced reinforced concrete members.

Key Words : Micro Truss Structure, Reinforced Concrete Structure, Fiber Reinforcement

1. 背景と目的

繊維補強コンクリートは、本来引張強度が低いコンクリートに短繊維を混入することで安定した引張強度を確保し、コンクリートのひび割れ幅を小さくして耐久性を高めることができる材料である。短繊維自体は数ミリから数十ミリ程度の長さであり、それを直接モデル化する解析手法は原理的には可能であり、剛体バネモデルを拡張した研究などが行われている。しかし、繊維が莫大な数になることに加え、方向の区別もつかないため3次元構造物の全体を解析する規模としては困難である。

そこで、マイクロトラスストラクチャー (以下MTSと略記) という微小トラスの集合体の骨組を用いて、連続体であるコンクリート部分もMTSで離散化し、さらに個別の繊維を直接モデル化して解析する手法を提言する。この手法では、最も単純な構造解析要素であるトラス部材を用いて解析を効率化し、膨大な数の要素の解析ではElement-by-Element法を用いることで、全体剛性マトリクスを作成せずに構造解析を実現している。本研究ではこのMTSのヤング率や断面積の条件を変えることで、対応する連続体を表現し、繊維で補強した場合のコンクリートの挙動を数値解析で検討することを目的とする。

2. MTS解析の研究方法

本研究では、Fortran90プログラミング言語で独自に開発したMTS解析プログラム及びデータ作成プログラムと、オープンソース可視化ツールのParaViewを用いて進める。

以下の手順でMTSによる数値解析を実施する。

- ① 解析対象となる連続体の寸法や条件等を決定する。
- ② 荷重条件を考慮して連続体をMTS骨組に置換する。
- ③ MTS骨組のヤング率と断面積を設定する。
- ④ 構造解析を行い、結果を目標と比較する。

以上の手順を③の設定を変えながら繰り返す。

本研究では手順③において、MTS部材1本の断面積を以下の手法で決定した。

- ③-1 図1のように断面積に対応する垂直部材のみで連続体と断面積を一致させる。
- ③-2 連続体解析や公式などの目標となる変位の誤差を基に断面積を調整する。

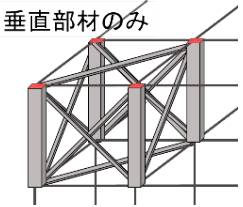


図1 MTSの骨組構成

3. MTS解析モデルの設定

伊藤ら¹⁾の実験モデルを参考に、荷重条件に対応したコンクリート梁部材の挙動再現を検討する。解析モデルは、400×100×100 (mm) の直方体を片持梁とした。本研究では、先端の荷重より曲げモーメントが作用する状態として、最大の応力が作用する固定端に接続する部材に注目し、この部材の最大荷重を比較することでMTSの有用性の検討を行う。MTS部材1本の長さは1mmとし、コンクリート部材1本の断面積は0.3696mm²と設定した。100×100の断面に相当する面の

表1 MTSモデルの検討条件

条件1	コンクリートのみ	
	コンクリートの物性値	・ヤング率 E= 17331N/mm ² ・圧縮応力 σ = 26.0N/mm ² 引張応力はσの1/10とする
条件2	条件1に鉄筋を追加	
	鉄筋の物性値	・直径 φ = 3 mm ・ヤング率 E= 2.05 × 10 ⁵ N/mm ² ・かぶり厚 dt= 10mm
条件3	条件2に繊維を追加	
	繊維の物性値	・直径 φ = 0.66mm ・長さ ℓ = 30mm ・ヤング率 E= 29400N/mm ² ・混入率1.0%(体積比) ・PVA短繊維

す。

表1に示す条件2の鉄筋は、MTSにおけるコンクリートの補強による効果の確認のために追加されたものである。また、条件2における配筋の様子と、条件3における繊維の配置の様子を図3に示す。図中の赤線は鉄筋を表し、無数の青線は繊維を表している。

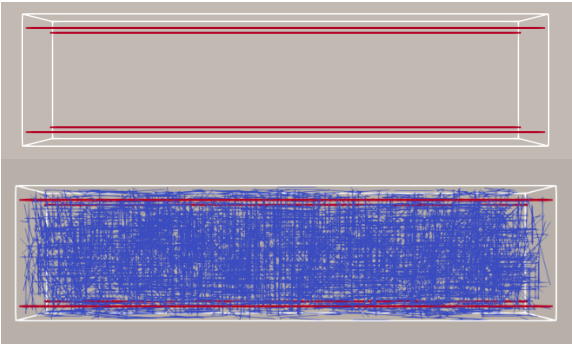


図2 条件2と3の解析モデルの状態

4. 解析結果とMTSの分析

各条件での軸力と最大荷重を表2に示す。条件1の変形の様子を図3に、条件2の鉄筋の軸力分布の様子を図4に、条件3の繊維の軸力分布の様子を図5に示す。これらの図は、全て実際の10倍の変形量で示されている。

表2 各条件での注目する部材の軸力と最大荷重

	軸力(N)	最大荷重(N)
条件1	21.84	1190
条件2	21.26	1223
条件3	21.21	1226

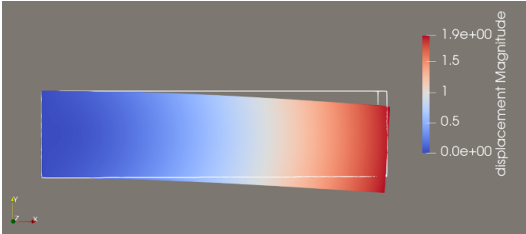


図3 条件1での変形状態

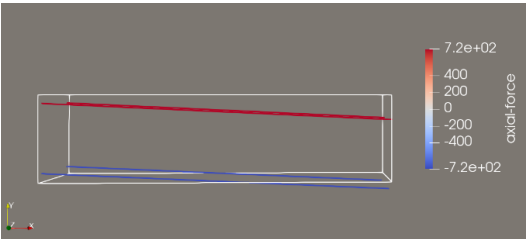


図4 条件2での変形と鉄筋の応力

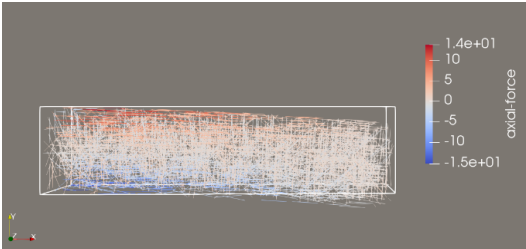


図5 条件3での変形と繊維の応力

まず、条件1と条件2を比較する。表2より、コンクリートのみの最大荷重は1190Nとなり、鉄筋を追加した場合の最大荷重は1223Nとなった。鉄筋を入れることで強度が高くなると予想していた通り、条件2の最大荷重は条件1より33N増加した。最大荷重が増加したことで、鉄筋により片持ち梁の曲げ強度が高くなったことが分かる。頭をみても、上端筋が赤いことから鉄筋が引張力を負担していることが分かる。これらから、MTSでも鉄筋による強度の増加を表現できることが確認できた。

次に、条件2と条件3を比較する。前提として、佐々木ら²⁾の実験では、繊維補強コンクリートの曲げひび割れを発生する荷重は、繊維の有無によらず同程度だったとある。つまり、ひび割れが発生するまでの繊維の効果はほとんどなく、繊維の効果が表れるのはひび割れが起きてからの塑性範囲内ということである。そのため、本研究の弾性範囲に留まった解析では、繊維の効果が表れないと想定していた。結果としては、条件2に繊維を追加した場合の最大荷重は1226Nとなった。条件3は条件2より最大荷重が3N増加した。想定していた通り、繊維の有無による差は小さいことから、弾性範囲の繊維の効果は少ないことが明らかとなった。しかし、繊維の混入により、僅かだが最大荷重が増加したことから、強度が高くなったことを確認できた。図5をみても、繊維の赤い部分から引張力を負担していることが分かるが、全体的に負担している割合が小さいことも見て取れる。

5. まとめ

本研究では、MTSを用いてコンクリートや鉄筋コンクリートの挙動を数値解析で表現できることを確認できた。また、弾性範囲での繊維補強コンクリートの表現では、繊維の効果が少ないことを確認できた。

今後は、弾塑性範囲まで解析を行い、MTSでひび割れを表現することで、繊維補強コンクリートの亀裂の様子や破壊後の耐力の変化を検討する。

参考文献

1) 伊藤ら:短繊維補強コンクリートの圧縮破壊性状に関する実験的研究、土木学会論文集、Vol.62、pp341-355、2006年5月
2) 佐々木ら:高強度コンクリートの力学特性に与える鋼繊維の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp277-282、2013年

謝辞: 本研究の展開は、河村瑞乃氏(岐阜高専建築学科)のご協力を頂いたことに感謝いたします。