

鋼繊維補強鉄筋コンクリート梁のせん断挙動のモデル化とその特性に関する研究

長崎大学大学院 生産科学研究科 ティモティ ニョムボイ

鋼繊維補強コンクリートは、コンクリートマトリックス中に鋼繊維を分散混合することにより、コンクリート系材料に特有の低引張強度と脆性的破壊特性を改善することを目的として開発された複合材料の一種である。通常の鉄筋コンクリート（以後、RC と略記）のコンクリート中に鋼繊維を混入することにより曲げ耐力やじん性が向上する。しかしながら、鋼繊維補強 RC はりの破壊パターンがせん断による場合には、せん断耐力やその変形能に関しては、定量的な破壊メカニズムの解明は未だ十分には行われていない。そのため鋼繊維補強 RC を構造物に適用するための設計指針も限定的にしか存在せず、鋼繊維補強 RC 構造が広く普及しない一因となっている。本研究では、鋼繊維補強 RC はりのせん断耐力と変形挙動を定量的に明らかにすることを目的として、実験的及び解析的方法により検討したものである。

既往の研究によれば、鋼繊維によりひび割れ面で応力が伝達されるために、コンクリートの引張破壊特性が改善され、鋼繊維補強 RC 部材の斜め引張破壊荷重が増加する傾向や変形性能が改善されることが報告されている。したがって、鋼繊維補強 RC はりのせん断耐力と変形挙動を究明するためには、鉄筋のダウエル効果、コンクリートのせん断強度、骨材のかみ合わせ作用などの影響因子とともに、鋼繊維の補強効果を明らかにすることが不可欠となる。そのためには、ひび割れ発生位置におけるひずみの計測が重要となってくる。しかし、ひび割れ位置を正確に予測することは困難であり、また、ひずみゲージによる計測ではひび割れ発生・進展と同様にひずみ場の計測においても限界があり、鋼繊維補強 RC はりの鋼繊維の補強効果を定量的に評価することは困難であった。本研究では、光学的計測法である電子スペckルパターン干渉法（ESPI）及びデジタル画像相関法（DICM）を用いて実験を実施した。

短スパン鋼繊維補強 RC はりの実験より、ひび割れとひずみの発生・進展過程を全視野計測により可視化することができ、鋼繊維が RC はりの変形能の向上とひび割れ幅の低減効果に寄与することを明確に示すことができた。また、スパン長 1.6m 試験体による実験より、鋼繊維補強 RC はりの破壊耐力は鋼繊維を混入しない RC はりに比べ増大すること、さらに、鋼繊維補強 RC はりとせん断補強鉄筋を有する RC はりにおいては、両者はほぼ同等の破壊耐力と変形能を有することが確認された。

一方、解析的な面からは、曲げせん断荷重を受ける鋼繊維補強 RC はりの理論解析モデルを誘導した。経験に基づいたせん断耐力モデルと違い、本理論解析モデルは、力の

つりあいによる理論展開がベースとなっており、破壊に至るまでのせん断挙動を説明できる。本理論解析モデルの有効性を検討するために、前記の実験結果と比較し、よく一致することを確認した。なお、最大せん断耐力に関しては、既往の論文の研究結果でも大きなばらつきがあるが、それらとの比較において約 70%の精度で相関があることを確認した。さらに、鋼繊維混入量やせん断スパン有効高さ比 (a/d) の影響を明らかにするために、パラメトリック解析を実施するとともに、はりのせん断設計法として、理論解析モデルと従来の設計モデルを基に「等価せん断設計法(ESDM)」を提案した。

本論文は全 9 章で構成されている。それぞれの章の内容は以下に示す通りである。

第 1 章では、鋼繊維補強鉄筋コンクリートはりの研究の背景、意義、目的および構成について述べた。

第 2 章では、SFRC の適用可能性、コンクリート中の鋼繊維の特性、および SFRC 梁のせん断耐力に関する最近の研究に関する文献調査結果を述べた。

第 3 章では、本研究で採用した研究方法について概説するとともに、実験方法に関する詳細な説明を述べた。

第 4 章では、SFRC 梁のせん断耐力を予測するための新しい理論モデルについて詳述し、理論モデルの有効性について検討した。

第 5 章では、鋼繊維混入コンクリートの硬化前のコンクリートの材料特性を示すとともに、硬化後のコンクリートの力学的特性について述べた。これは解析的研究において重要な役割を果たすものである。

第 6 章では、短スパン SFRC はりの載荷試験を実施し、電子スペックルパターン干渉 (ESPI) 計測によるひび割れの発生・進展の可視化と破壊・変形特性について述べた。さらに、等価なせん断補強筋量を有する梁と比較し鋼繊維の補強効果を明らかにするとともに、本研究で用いた鋼繊維のせん断補強量の有効性を確認した。

第 7 章では、曲げせん断を受ける SFRC 梁の有限要素解析について述べた。SOFISTIK FEM Code による有限要素解析結果は、SFRC 梁の耐力と変形挙動をよく一致していることを示した。

第 7 章では、SFRC 梁のせん断耐力を予測する新しい理論解析モデルについて説明し、の SFRC 梁への適用性を検討した。

第 8 章では、第 4 章で導いた理論解析モデルと実験および数値解析による結果と比較検討した。さらに導出したモデルを用いて設計法を作成した。

第 9 章では、本研究のまとめと今後の展望について述べた。