

学位論文題名

連続繊維補強コンクリート部材の

せん断耐力に関する研究

学位論文内容の要旨

連続繊維補強材は、高強度かつ軽量であるとともに、耐腐食性に優れるといった魅力ある特徴を持ち合わせており、鉄筋やPC鋼材の代替材としての積極的な利用が望まれる。しかし、連続繊維補強コンクリート部材に対し、現行の設計概念や設計式を、直接適用することには多くの問題点が存在する。これは、連続繊維補強材が降伏域を持たない異方性弾性材料であること、および、鋼材に比べ高強度ではあるが、弾性係数が小さいといった材料特性を有することなどに起因する。現在、連続繊維補強コンクリート部材に対する安全で、合理的かつ経済的な設計方法を構築することが急務な課題となっている。

本論文は、土木コンクリート構造物の基本要素である、はりおよびスラブに着目し、連続繊維補強コンクリートはりおよびスラブのせん断耐荷機構を明らかにするとともに、そのせん断耐力評価方法の構築を行うものである。本論文は、全6章から構成されている。

第1章は、序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章においては、非線形有限要素解析を用いて連続繊維補強コンクリートはりのせん断耐荷機構について述べている。はりの斜めひび割れ面における作用せん断力に対する抵抗力は、曲げ圧縮域での分担せん断力と斜めひび割れ域での分担せん断力により構成されるものと考え、これらの分担力が、主筋およびせん断補強筋の弾性係数の大きさ、降伏強度の大きさ(降伏の有無)といった補強筋の力学的特性により、如何なる影響を受けるものであるか検討した。主筋の弾性係数やせん断補強筋の弾性係数が小さい場合には、斜めひび割れの進展が早いために、曲げ圧縮域での分担せん断力が小さく、斜めひび割れ域での分担せん断力が大きくなることを明らかにした。また、はりに斜めひび割れが存在することにより、曲げせん断領域では平面保持の仮定が成り立たず、中立軸が上昇することを明らかにした。

せん断耐荷機構の比較を行ったはり解析供試体は、曲げ圧縮域での平均せん断応力および圧縮応力が一定のレベルに達して破壊を起こすものであることより、これらの平均応力を曲げ圧縮域での限界応力と考え、主筋やせん断補強筋の弾性係数が小さい場合には、弾性係数が大きいものに比べ曲げ圧縮域が減少し、低い荷重レベルで限界応力に達し破壊に至ることを示した。また、せん断補強筋の降伏強度が小さく降伏する場合にも同様のことが示された。

第3章においては、数値実験による連続繊維補強コンクリートはりのせん断耐力評価式の構築を行っている。これは、はりがせん断圧縮破壊を起こす場合を想定したものであり、その破壊基準を曲げ圧縮域での主応力により規定している。その評価式は、曲げ圧縮域でのコンクリートによるせん断抵抗力、水平領域でのコンクリートによる伝達せん断力、斜めひび割れ域でのせん断補強筋以外が受け持つせん断抵抗力、斜めひび割れ域でのせん断補強筋が受け持つせん断抵抗力の和として定義される。これらの抵抗力は、せん断スパン比、コンクリート強度、主筋およびせん断補強筋の関数として与えられる各抵抗応力とその分布領域を掛け合わせるにより算出される。最終的に、既往の実験結果との比較を行うことにより、本章で導かれたせん断耐力評価式の検証を行った結果、的確にせん断耐力を予測できること

が示された。ただし、せん断補強筋の剛性（補強筋比と弾性係数の積）が100MPa程度より小さい場合には、はりは斜め引張的な破壊を起こすために、せん断圧縮破壊を対象とした本せん断耐力評価式は、危険側の評価を与えることが明らかとなった。

第4章においては、非線形有限要素解析により連続繊維補強プレストレストコンクリートはりのせん断耐荷機構について検討するとともに、そのせん断耐力評価式の構築を行っている。はりにプレストレスが作用する場合には、プレストレスが作用しない場合に比べ、曲げ圧縮域での分担せん断力が大きく、斜めひび割れ域での分担せん断力が小さいことを明らかにした。また、斜めひび割れ域では、プレストレスの無い場合に比べ、せん断補強筋が受け持つ分担せん断力が大きく、せん断補強筋以外の分担せん断力が小さくなることを示した。

プレストレスが作用する場合もまた、曲げ圧縮域での平均せん断応力および圧縮応力が、一定のレベルに達して破壊に至ることを明らかにした。その平均応力の大きさは、プレストレスが作用しない場合と概ね一致することより、プレストレスが作用する場合には、プレストレスが作用しない場合に比べ、曲げ圧縮域が大きいために、限界応力に達する荷重レベルが上がり、せん断耐力が増加することを明らかにした。

その結果から判断し、プレストレスが作用しない場合の破壊基準をプレストレスが作用する場合にも適用できるものと考え、第3章で導いた連続繊維補強コンクリートはりのせん断耐力評価式を基準として、プレストレスの影響を平均プレストレスをコンクリート強度で除したプレストレスレベルにより評価した連続繊維補強プレストレストコンクリートはりのせん断耐力評価式を構築した。最終的に、既往の実験結果との比較を行うことにより本せん断耐力評価式の検証を行った。その結果、連続繊維補強プレストレストコンクリートはりのせん断耐力評価式は、せん断補強筋の剛性が100MPa以下の小さい場合においても、その耐力を精度良く予測できることが明らかとなった。これは、プレストレスが作用するはりは、その破壊が斜め引張破壊からせん断圧縮破壊へと変化する為であり、せん断補強筋の剛性が小さいはりに対しても本評価式を適用できることによると考えられた。

第5章において、連続繊維補強コンクリートスラブの押抜きせん断特性に関して述べている。連続繊維補強コンクリートスラブの破壊性状は、鉄筋コンクリートスラブと同様なものであること、破壊時の連続繊維補強材の応力を用いれば、鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力式で評価できることなど、その基本的な押抜きせん断特性を明らかにした。また、連続繊維補強コンクリートはりのせん断耐荷モデルを基本とした、連続繊維補強コンクリートスラブの押抜きせん断耐荷モデルを提示した。

第6章は、結論であり、各章の主たる結果をとりまとめたものである。

学位論文審査の要旨

主査	教授	角田	與史雄
副査	教授	芳村	仁
副査	教授	佐伯	昇
副査	教授	城	攻
副査	助教授	上田	多門

学位論文題名

連続繊維補強コンクリート部材の せん断耐力に関する研究

連続繊維補強材は耐腐食性に優れ、かつ高強度、軽量などの特徴があり、鉄筋またはPC鋼材に代わる高性能補強材・緊張材として注目されている。しかし、鋼材に比べて弾性係数が低く最大弾性ひずみが大いこと、降伏現象を持たない脆性材料であることなどから、従来のコンクリート部材に対する設計法をそのまま適用することはできない。本論文は、連続繊維補強コンクリート部材のせん断耐力の算定法に関する研究結果をまとめたものである。

はじめに、主筋およびせん断補強筋として、鉄筋または連続繊維補強材を使用したはりのせん断破壊実験を行い解析結果と比較することにより、本研究で用いる非線形有限要素解析法が、せん断圧縮破壊型のせん断耐荷性状を精度良く評価できることを明らかにしている。

次に、非線形有限要素解析により連続繊維補強コンクリートはりのせん断耐荷機構について詳細に検討し、主筋またはせん断補強筋の弾性係数が小さいほど斜めひび割れの進展が早く、曲げ圧縮域の面積が減少すること、破壊はそれらの弾性係数の値にかかわらず曲げ圧縮域の平均せん断応力と平均圧縮応力とがある限界状態に達したときに生じることなど、従来の実験的研究では不明確であったせん断耐荷機構を明らかにしている。

上記の成果をもとに、曲げ圧縮域コンクリートの平均主応力に基づく破壊基準を提案するとともに、せん断耐力を、曲げ圧縮域のせん断抵抗力、非ひび割れ水平域コンクリートの伝達せん断力、斜めひび割れ域でのせん断補強筋以外が受け持つせん断力およびせん断補強筋が受け持つせん断力の4成分に分解し、その各々に対する主要変数の影響を定式化することにより、それらの和としてはりのせん断耐力を算定するという独創的な方法を考案し、それに基づく連続繊維補強コンクリートはりのせん断耐力の実用的算定法を提案するとともに、実験結果との比較より、実用上十分な精度を有することを明らかにしている。

次に、連続繊維プレストレストコンクリートはりのせん断耐荷機構について非線形有限要素解析によって検討し、プレストレスがある場合に対してもプレストレスがない場合と同一の破壊基準が適用できること、プレストレスの効果は、曲げ圧縮域の面積の増加によるせん断抵抗力の増加と、斜めひび割れの傾斜角度の減少によるせん断補強筋の分担せん断力の増加によることを明らかにするとともに、これらの影響を定式化することにより、連続繊維プレストレストコンクリートはりのせん断耐力の実用的算定法を提案している。また、既往の実験結果との比較により、その算定法が十分な精度を持っていることを明らかにしている。

最後に、連続繊維補強コンクリートスラブの押抜きせん断耐荷性状について検討し、その耐荷モデルの提案を行っている。

これを要するに、著者は、従来不明確であった連続繊維補強コンクリートはりおよびスラブのせん断耐荷機構およびせん断耐力の算定に関して多くの新知見を得ており、構造工学およびコンクリート工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。