

審査の結果の要旨

氏名 スリヤント ベニー

複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料(HPFRCC)は、セメント系材料に短繊維を混入させることで引張性能を向上させる繊維補強コンクリート(FRC)に分類される材料のひとつであり、ひび割れ発生後にひずみ硬化を示す特徴を有す。従来のセメント・コンクリート材料の適用範囲を広げ、特に、社会基盤施設の補修・補強に用いられてきた。近年、これを構造部材として用いる試みがあるものの、橋梁床版への適用では共用後わずか数ヶ月で甚大な損傷が生じるなど、従来の一軸応力下における材料特性の知見では説明不能な現象が現れている。輪荷重により主応力軸が回転するなど、複雑な応力履歴下での特性、特に普通コンクリートに比べ低いと推定される損傷面でのせん断伝達性能の解明が不可欠であることが考えられる。本研究では、HPFRCC が複雑な応力履歴を経験した場合の力学特性を把握すべく、主応力軸回転下における性能を実験及び数値解析から明らかにしたものである。即ち、主応力軸を回転させたことによる性能の低下をその損傷程度に応じて実験的に把握し、これをもとに、非線形数値解析に導入可能な空間平均構成モデルを構築した。数値解析による検証実験により、HPFRCC の主応力軸回転下でのせん断特性を明らかにし、その実構造物部材への適用性を論じた。以下に各章の概要を纏める。

第一章は、本論文の研究目的について述べ、既往の研究の整理を行っている。FRC 及び HPFRCC の開発の経緯とその性能、適用例について纏め、それらが主応力軸固定下での静的及び疲労力学性能に限定されていることを指摘し、主応力軸が回転した際の、特に損傷面へのせん断応力伝達特性に関する研究が稀であり、その力学性能の把握が実構造物部材への適用に不可欠であることを示している。

第二章は HPFRCC のせん断伝達特性を把握するため新たに考案された実験を論じている。HPFRCC プレートに曲げ荷重により損傷を与えた後、所定の角度をもって試験を直方体に切り出し、再び荷重をすることにより主軸を回転させるものである。様々な角度に損傷を導入して HPFRCC の力学特性を抽出できる点に独創性がある。損傷の程度、第一ひび割れの角度による強度及び初期剛性の力学性能が低下することを明確に示すことに成功している。また二方向に生じるひび割れ形態の特徴と、計測によりひび割れ面におけるせん断特性を明らかにした。

第三章は、第二章で示した実験結果をもとに有限要素数値解析に導入可能な空間平均構成モデルを纏めた。既往の鉄筋コンクリート挙動を高精度に再現可能なモデルを HPFRCC に適用すべく、圧縮、引張およびせん断モデルを拡張した。せん断モデルの構築に際しては、実験と検証解析を基に普通コンクリートに比べ低いひび割れ面におけるせん断伝達性

能と、その軟化挙動をモデルに導入した。

第四章は、第三章で構築したモデルを非線形有限要素解析プログラムに組み込み、第二章で行った実験の検証を行った。実験で行った複雑な損傷導入プロセスを忠実に再現すると共に、その過程で導入された二方向ひび割れと、強度及び初期剛性の低下、さらにひび割れの開口およびせん断ずれの空間平均挙動を実験と同様にシミュレーションした。

第五章は、HPFRCCの実構造部材への適用を念頭に、HPFRCCに補強鉄筋を配したパネルの純せん断試験の数値解析を行い、その挙動を検証した。鉄筋との相互作用を構成モデルに組み込むと共に、等方および非等方な補強筋比のパネルの再現を通し、非等方補強時のひび割れ発生後の主ひずみ方向の回転と強度の低下、せん断挙動について論じ、構築した構成モデルの妥当性を示した。

第六章は、構造部材のせん断試験の検証を行った。HPFRCCの収縮等の影響により、部材内の引張強度が材料試験のものより低下していることを示した上で、単調、繰り返し載荷時におけるせん断耐力とひび割れパターンの違いを、普通コンクリートのせん断試験の結果と比較とともに示した。以上により、本研究で構築したHPFRCCの空間平均モデルの適用性を示した。

第七章は、本研究の実験及び解析により示された、HPFRCCの低いせん断特性を改善するための試みとして、従来のHPFRCCでは引張性能を低下させる要因となるため用いられない骨材を混入させた実験を第二章で実施したものと同様に行った。骨材混入量を変化させることによる引張性能の低下およびせん断性能の向上のバランスについて論じ、適切な混入量を選択すれば、せん断性能が向上すると共に、第二ひび割れが主応力軸直角方向に沿うものに変化し、十分な引張性能を有することを示した。

第八章では、HPFRCCとともにFRCに分類される材料として実用化が進む超高強度繊維補強コンクリート(UHPFRC)の多方向ひび割れ発生時の力学特性について、HPFRCCと比較しつつその性能を検証した。本研究で用いたUHPFRCは補強材として鋼繊維を用いており、高いせん断強度が得られること、高い充填性がゆえに施工中に生じる繊維の配向の影響が大きいことが示された。

本研究は、繊維補強コンクリートの力学特性のうち、特に主応力軸回転下におけるひび割れ面上のせん断特性に着目し明らかにすることで、これまで限定的であった構造部材への適用の可能性を示したものである。せん断性能を制御することにより、従来の補修・補強の用途の枠を超えた繊維補強コンクリートの適用範囲を示すことは、良質な社会ストック整備が求められるこれからの社会への貢献は大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。