

3. 博士論文：ポリプロピレン繊維による繊維補強セメント系複合材料を用いた建築架構の耐震性能および耐衝撃性状に関する研究

Study on seismic performance and impact resistance of building frame using fiber reinforced cementitious composites with polypropylene fiber

森 浩二^{*1}

□ 目的

本研究は建築物の耐久性向上と長寿命化を通じて社会コストと環境負荷の低減を図ることを目標としている。建物の長期性能を低下させる要因は大きく劣化現象と損傷現象の2つに分類され、劣化現象はコンクリートの中性化や常時荷重による疲労など、損傷現象は地震などの自然現象や設計想定外の外乱などが該当する。建物の供用期間が長くなると同時に事象の再現期間も長くなるが、再現期間に応じて単純に設計荷重を増加させることは困難であり、大きさや発生確率の定量化が困難な事象に対してはロバスト性を高めることが有効とされている。また、近年では建物の棟間衝突や、免震建物と擁壁との衝突などが問題となっており、衝突回避のための設計手法や衝突時の損傷を防ぐ機構の設置とともに、衝突時における架構の性能把握が課題となっている。

ポリプロピレン短繊維（写真－1）は繊維補強セメント系複合材料に用いる合成繊維の一種で、コンクリートやモルタルに発生したひび割れに対して繊維による荷重伝達を行う材料として用いられる。2015年にコンクリート補強用の短繊維として初めてJIS化された材料で、製造コストが低く、耐腐食性に優れるといった長所があるが、化学的性質が疎水性であることからセメントとの付着性が低いが、繊維を表面加工することで機械的に付着力を増強する工夫が行われている。ポリプロピレン短繊維は建物のロバスト性向上への期待が持たれるが先行研究は少ない。そのため、本研究では建築架構の耐震性能と耐衝撃性状に対する、ポリプロピレン繊維補強セメント系複合材料の補強効果について実験的および解析的な検討を行った。

□ 概要

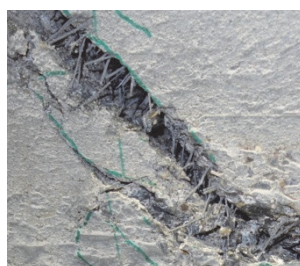
本論文は全7章で構成される。1章は序論として研究背景や目的について述べ、2章では既往の研究を示している。3章から6章では本研究で行った実験および解析の結果について述べ、7章は結論として本研究で得られた知見のまとめと今後の課題を示している。ここでは3章から6章の概要を示す。

3章では、異形鉄筋に対する繊維補強セメント系複合材料の引抜き付着特性について、引抜き付着実験を行い、割裂破壊に対する補強効果と付着剛性について検討を行った。また、コンクリートを対象とした既存の付着-すべりモデルを用いた数値解析を行い、一方向繰返しの引抜きに対する付着挙動が、モルタルの場合は既存の付着-すべりモデルに適合すること、繊維補強セメント系複合材料では履歴の特徴が大きく異なることを示した。

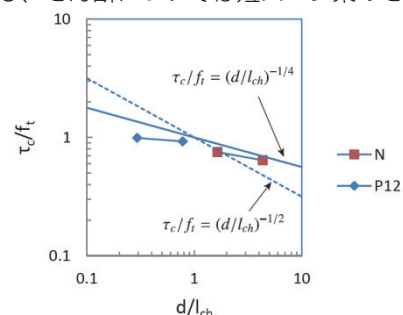
4章では、ポリプロピレン繊維を用いた鉄筋コンクリート梁を対象に、曲げやせん断といった部材の基本的な性状に対する補強効果について実験的な検討を行った。梁の曲げについては、普通コンクリート、ポリプロピレン繊維補強コンクリート、ビニロン繊維補強コンクリートを用いた場合の比較を行い、曲げ圧縮破壊に対する繊維補強の効果、疎水性のポリプロピレン繊維についても親水性のビニロン繊維と同様に得られること、ひび割れ分散の効果によって載荷初期の曲げ剛性が普通コンクリートより低下する場合があることを示し、せん断については短スパン梁のせん



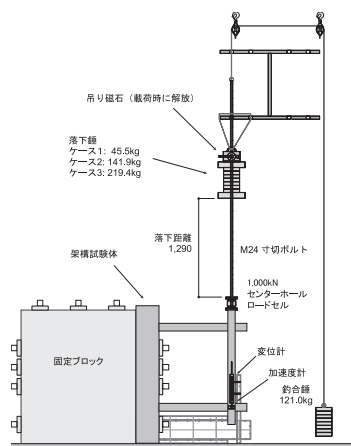
写真－1 ポリプロピレン繊維



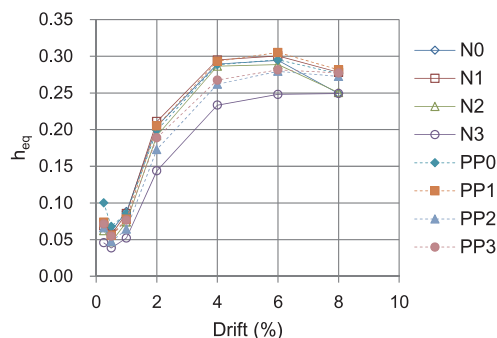
写真－2 せん断実験



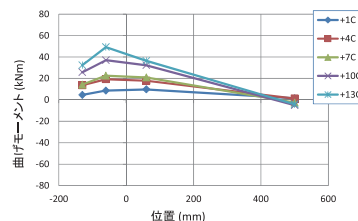
図－1 破壊エネルギーと寸法効果



図－２ 衝撃実験



図－３ 等価粘性減衰定数



図－４ 柱脚モーメント分布

断実験（写真－２）によってポリプロピレン繊維補強によるせん断強度の増加と寸法効果の抑制を示し、ひび割れ時の破壊エネルギーを評価することで寸法効果の抑制が説明できることを示した（図－１）。

５章では、架構に対する耐衝撃性とその後の残存性能についての検討として、棟間衝突を想定して90°回転させた小型のRC架構に重錘を落下させる衝撃実験（図－２）と、その後の静的繰返し載荷実験を行った。衝突時の最大変位や加速度、衝突後の残存性能として初期剛性と等価粘性減衰定数などに対する検討を行い（図－３）、重錘の衝突エネルギーは分散して試験体に入力すること、ポリプロピレン繊維補強により衝撃荷重による損傷が緩和されることを示した。また、柱のヒンジ領域と他の領域とでひび割れ長さの評価を通じて、ポリプロピレン繊維によりヒンジ領域のひび割れが減少する一方で、中央部のひび割れが増加する場合があることを示した。

６章は、ポリプロピレン繊維補強コンクリートの応用として行った、鉄骨間柱柱脚簡易固定工法についての実験的検討である。風荷重を受ける間柱柱脚に対しての損傷低減を目的としてポリプロピレン繊維補強コンクリートを適用する場合を想定し、実大の間柱の中央に横力を加える方法で実験を行い、柱脚の曲げとせん断に対するコンクリートの支圧抵抗機構を確認するとともに（図－４）、ポリプロピレン繊維補強によって柱脚コンクリートの損傷が抑制される効果を示した。

□ 結論

本研究は、収縮ひび割れ低減などに用いられるポリプロピレン繊維による繊維補強セメント系複合材料を、建築架構の耐荷性向上の目的で使用した場合の耐震性能および耐衝撃性状について、付着、曲げ、せん断などの基本性状についての実験的な検討を行うとともに、鉄筋コンクリート架構に対する棟間衝突等を想定した低速衝撃荷重について、衝撃時の性状と残存性能、ポリプロピレン繊維による補強効果について実験に基づく検討を行ったものである。また、ポリプロピレン繊維補強セメント系複合材料の鉄骨間柱柱脚への応用例の提案を行っている。これらの検討を通じて、ポリプロピレン繊維補強セメント系複合材料の補強効果と応用例について研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- １．繊維補強により割裂破壊が抑制される効果と、付着剛性増加の効果を明らかにした。
- ２．曲げ実験の結果、ポリプロピレン繊維補強によって、曲げひび割れが分散して発生し、変形の局所化が抑制されることを明らかにした。
- ３．せん断実験の結果、ポリプロピレン繊維補強によってせん断強度の増加、寸法効果による強度低下を抑える効果があることを明らかにした。
- ４．棟間衝突に対する鉄筋コンクリート架構の衝撃性や残存性能に関する基礎的な性状を明らかにした。
- ５．ポリプロピレン繊維補強による耐衝撃性向上の効果を明らかにした。
- ６．床スラブにポリプロピレン繊維補強セメント系複合材料を用いた場合の鉄骨間柱柱脚に対する補強効果を明らかにした。