

氏名（本籍）	森 山 守（鳥取県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 351 号
学位授与日付	平成 20 年 9 月 10 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	繊維補強セメント複合材料の適用と力学性能、耐久性能、耐火性能の評価 (Applications of fiber reinforced cement composites and evaluation of their mechanical properties, durability and fire resistance)
学位論文審査委員	(主査) 教授 六 郷 恵 哲 (副査) 教授 森 本 博 昭 教授 内 田 裕 市

論文内容の要旨

近年、引張力下あるいは曲げモーメント下において複数の微細ひび割れを生じ、大きな引張変形を示す複数微細ひび割れ型繊維補強セメント系複合材料（HPFRCC）が開発された。この材料は、一般的なセメント系材料の脆性的な破壊性状を克服し、ひび割れ幅が小さいため止水性能や防食性能などの耐久性にも優れているため、補修・補強材料としての利用が期待されている。HPFRCC の耐久性を検討するためには、HPFRCC を用いた構造物に対する要求性能の種類やその要求レベル、想定する供用期間等の条件を設定しなくてはならない。しかしながら、HPFRCC の適用方法や適用箇所についての具体的な情報は少ないため、HPFRCC の耐久性評価を検討する必要がある。また、HPFRCC を実構造物に適用するためには、引張強度に関する簡易な基準試験法が整備されることが必要となる。ある程度の装置と技能があれば、試験機関、試験装置、試験実施者によらず、同じ結果が得られる簡易な引張試験器を開発する必要がある。

土木技術の発展にともない、トンネル構造物においても従来構造の見直しが行われ、二次覆工の省略が可能となってきている。これにより二次覆工にかかるコストが無くなり、また、トンネル断面積の縮小が計られコスト削減が見込まれる。しかし、二次覆工を省略することは、トンネル火災時には一次覆工が損傷を受け、甚大な被害が生じるおそれがある。このため、一次覆工に耐火性能が求められている。

この論文は、繊維補強セメント複合材料の適用と力学性能、耐久性能、耐火性能の評価を行うことを目的としており、基礎研究編（第2～5章）と適用事例編（第6～7章）とで構成されている。基礎研究編では、HPFRCC が複数のひび割れが生じた状態で使用されることを前提として、ひび割れの存在が構造物の使用性能あるいは安全性能等に関する耐久性に与える一般的な影響を把握するため、水や塩化物イオンなどの物質透過性と HPFRCC 中での鉄筋腐食に関する既往の知見を整理し、中性化および塩害に関する基礎的研究の結果を耐久性の観点からまとめた。適用事例編ではトンネル覆工材料として HPFRCC を利用することを目的とし、適用のための各種試験を行ったものをまとめた。

第1章「序論」では、コンクリート構造物の劣化の原因やその実態を述べ、これらの現状分析を行い、本研究の目的について述べた。

第2章「HPFRCC の引張性能および引張性能の評価方法」では、簡便な一軸引張試験法を提案するとともに、提案した一軸引張試験装置により HPFRCC の一軸引張試験を実施し、引張応力下における HPFRCC の引張性能ならびに引張性能の寸法効果について検討した。さらに、試験が容易な曲げ試験の結果から、HPFRCC の引張応力-ひずみ関係を逆推定する方法について検討した。

第3章「HPFRCC のひび割れ発生前後の引張性能および耐久性能」では、HPFRCC のひび割れ発生前後ならびに凍結融解を受ける前の養生条件を水中と気中の2種類とし、HPFRCC のひび割れ発生後の耐凍結融解性能や凍結融解試験後の引張性能について評価を行った。また、複数微細ひび割れの幅および深さが、塩化物イオン拡散係数に及ぼす影響、および混入繊維の違いと塩害耐久性の関係について評価した。

第4章「HPFRCC で補修された RC 梁のひび割れ挙動」では、HPFRCC で補修された RC 梁を対象として、HPFRCC の引張性能と補修厚さが補修後のひび割れ挙動や荷重-変形関係に及ぼす影響について検討を行った。

第5章「繊維補強セメント複合材料の耐火性能に関する評価及び火災診断方法の提案」では、繊維混入率と耐火性能ならびに耐火による劣化状況について検討し、火災診断方法を提案した。

第6章「繊維補強セメント複合材料の現場への適用事例」では、HPFRCC を用いた材料を飛驒トンネル非常駐車帯部の覆工に適用した。また、現場で適用するための各種試験を実施し、現場への適用をはかった。

第7章「TBMにおける覆工 RC ライナーへの現場適用事例」では、第5章から得られた実験結果を用いて、飛驒トンネル本坑の一次支保工の RC ライナーに耐火性能（従来は二次覆工が受け持つ）を持たせたシングルシェル構造を採用した。大断面トンネルにおけるシングルシェルは、国内の山岳工法トンネルでは初の試みである。

第8章「結論」では、本研究により得られた結果を総括するとともに、今後の課題について述べた。HPFRCC は、研究や現場での施工実績を踏まえると、構造物の長寿命化やメンテナンスの軽減が図られることから、

今後の進展が期待されること、特に、変形追従性に優れ大変形時でもひびわれ幅を小さく制御できる特性から、コンクリート構造物の補修への適用が期待されることを述べた。

論文審査結果の要旨

この論文においては、複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料（HPFRCC）を含む繊維補強セメント複合材料の力学性能、耐久性能、耐火性能を明らかにするとともに、トンネル実構造物へ適用した結果をまとめている。ひび割れが生じた後もHPFRCCは耐塩害性能ならびに耐凍害性能に優れていることを明らかにしている。HPFRCCで補修した鉄筋コンクリート梁のひび割れ性状ならびに耐荷性能を明らかにしている。コンクリートの耐火性能に及ぼす繊維混入の効果を明らかにするとともに、残存繊維を用いた火害性能診断方法を提案している。吹付け鋼繊維補強コンクリートの表層にHPFRCCを吹き付けた新しい覆工部材の性能を確認するとともに、トンネル実構造物へ適用し、その有用性を明らかにしている。

この論文は、次に詳しく示すように重要な研究結果を含んでおり、新規性、有用性の点で優れている。したがって、審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

(1) HPFRCCの引張性能と引張試験装置

簡便な一軸引張試験装置を提案するとともに、提案した一軸引張試験装置を用いてHPFRCCの一軸引張試験を実施し、引張応力下におけるHPFRCCの引張性能ならびに引張性能の寸法効果について検討している。提案した試験装置によって、施工現場においても簡易かつ確実にHPFRCCの引張試験を行うことができることを明らかにしている。供試体厚さがHPFRCCの引張強度や引張降伏強度に及ぼす影響はほとんど認められないが、引張終局ひずみについては、供試体厚さが大きいほどばらつきが大きくなることを報告している。

(2) HPFRCCのひび割れ発生前後の引張性能と耐久性能

HPFRCCのひび割れ発生前後ならびに凍結融解を受ける前の養生条件を水中と気中の2種類とし、HPFRCCのひび割れ発生後の耐凍結融解性能や凍結融解試験後の引張性能について評価を行っている。急速凍結融解試験前後で行った一軸引張試験結果より、凍結融解作用を受けてもHPFRCCが有する引張性能の著しい低下は確認されず、ひび割れの有無に関わらず、凍結融解作用がHPFRCCの引張性能に与える影響は小さいことを明らかにしている。また、複数微細ひび割れの幅および深さが、塩化物イオン拡散係数に及ぼす影響、および混入繊維の違いと塩害耐久性の関係について評価している。HPFRCCの塩化物イオン拡散係数は、普通モルタルおよび普通コンクリートに比べ著しく低く、鉄筋腐食速度が遅いことを明らかにしている。

(3) HPFRCCで補修したRC梁供試体のひび割れ挙動

HPFRCCで補修したRC梁供試体を対象として、HPFRCCの引張性能と補修厚さが補修後のひび割れ挙動および荷重-変形関係に及ぼす影響について検討している。終局ひずみの小さいHPFRCCで補修した梁供試体では、ひび割れの局所化が早く生じ、終局時の曲率が小さくなること、補修厚さが厚くなるほどひび割れ分散性がよくなり荷重も大きくなることを明らかにしている。

(4) 繊維補強セメント複合材料の耐火性能と火害診断方法

繊維混入率と耐火性能ならびに耐火による劣化状況について検討し、火害診断方法を提案している。繊維補強セメント複合材料及びHPFRCCともにRABT加熱曲線（60分）にしたがう加熱を受けても表面の爆裂等がなく、十分な耐火性能を有していることを確認している。火災による受熱を受けたコンクリートの火害診断には、平面方向の損傷範囲を知る方法として、打音検査と反発硬度の測定が有効なことを確認している。深さ方向への損傷範囲を知る方法として、直径30mm程度の小径コアを深さ方向に採取して領域ごとに圧縮強度を測定することと、ポリプロピレン繊維が熔融せずに残存している深さを拡大鏡で確認する検査が特に有効なことを明らかにしている。

(5) 繊維補強セメント複合材料を積層したトンネル覆工

HPFRCCを用いた材料を飛驒トンネル非常駐車帯部の覆工に適用している。トンネル覆工の二次層で使用する吹付け鋼繊維補強コンクリートは、通常の覆工コンクリートと同等以上の耐久性を有しているが、中性化に対しては十分な性能が確保できなかったため、三次層として、HPFRCCを吹付け施工している。HPFRCCには、中性化防止に加え、コンクリートの剥落防止を期待している。

(6) 耐火性能を有するRCライナー

TBMで掘削した飛驒トンネル本坑の一次支保工の鉄筋コンクリート（RC）ライナーに耐火性能（従来は二次覆工が受け持つ）を持たせたシングルシェル構造を採用した結果について報告している。大断面トンネルにおけるシングルシェルは、国内の山岳工法トンネルでは初の試みである。

最終試験結果の要旨

(1) 公表論文

この論文の主要部分は、審査付き論文7編と国際会議論文4編として既に発表済みである。この論文が学位論文として完成された内容を有することを確認した。

(2) 修得単位

指定された単位を修得していることを確認した。

(3) 公聴会

公聴会を開催して審査を行った。学位審査委員会で審議の結果、最終試験に合格と判定した。