

学位論文題名

長短繊維を混入したハイブリッド繊維補強
コンクリートのひび割れ抵抗性に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、工業あるいは産業が進み、高度な経済環境の中に多くの人々が活動しながら、快適な生活空間を保持し、調和のとれた効率を保つためには、これらのプロセスから排出される多量の廃棄物を長期的に、また安全に生活、産業あるいは自然空間から遮断する構造物が必要となってきている。また、一般的に大型コンクリート構造物においては温度ひび割れの問題があり、ひび割れ抵抗性を向上させることが必要となっている。コンクリート構造物は性能あるいは経済性から考えてこれらに対して十分に期待を担うものであるが、長期的ひび割れあるいは耐久性に対して十分な安全性が確保されているとは言いがたい。

本研究はコンクリートのひび割れ性能を改善するためにコンクリート中に繊維を混入させ、若材齢時を含めたコンクリートのひび割れ耐力あるいは靱性を向上させようとしたものである。

第1章では、繊維補強コンクリートのひび割れあるいは曲げ強度の向上に対する有効性、繊維補強効果の複合則あるいはひび割れ強度に対する靱性の破壊力学的考察など単一繊維補強の混入を中心に進められてきたこれまでの研究をさらに発展させ、2種類以上の形状あるいは材質の違う長短繊維を用いる繊維補強(ここではハイブリッド繊維補強と呼ぶことにする)に注目して研究を展開しようとしたもので、その研究の背景、目的および論文の構成を述べている。

第2章では、切欠きを有する曲げ供試体を用いて、長短繊維補強コンクリートのたわみあるいはひび割れ開口変位(CMOD)を基に単一繊維補強と比較しながらハイブリッド繊維補強の効果について曲げ強度の複合則を導くことによって明らかにしている。

荷重-たわみ曲線と荷重-CMOD 曲線から、同じ総混入率のものを比較した結果、単一繊維補強コンクリートよりハイブリッド繊維補強コンクリートが最大荷重および最大荷重後の荷重-たわみ曲線の面積による靱性の増進が大きいことを明らかにしている。ひび割れ発生直前の弾性領域におけるCMODの実験値と破壊力学による理論値を比較した結果、両者はほぼ良い相関性を示し、ひび割れ発生荷重の評価が妥当であること、弾性域において線形破壊力学が適用できることを明らかにしている。また、一般に用いられる繊維の体

積混入率による複合則を用いて、マトリックスおよび繊維の分担を考慮し、単一繊維補強およびハイブリッド繊維補強コンクリートの曲げ強度の算定式を構築し、算定値と実験値はよい対応を示すことを明らかにしている。

第3章では、繊維補強コンクリートのひび割れ抵抗性について、限界ひずみエネルギー解放率を求める算定式を新たに導びき、この妥当性を検討すると同時にハイブリッド繊維補強が単一繊維補強より限界ひずみエネルギーに対し高い効果が得られることを明らかにしている。すなわちコンクリートのひび割れ抵抗性の評価として破壊力学的観点により、限界ひずみエネルギー解放率を用いることとし切欠きを有する曲げ供試体を用いて、限界ひずみエネルギー解放率を実験より求めた結果、ハイブリッド繊維補強コンクリートが単一繊維補強コンクリートより限界ひずみエネルギー解放率の増進が大きく、ひび割れ抵抗性の向上を計るためにハイブリッド繊維補強が有効であることを述べている。また、繊維の体積率による複合則を適用し、ひび割れ先端の応力集中によってできる塑性域などを考慮して、限界ひずみエネルギー解放率について新しい算定式を構築している。

第4章では、マスコンクリートにおいて問題となっている温度ひび割れ制御をハイブリッド繊維補強によって制御すること考え、実構造物の温度履歴を考慮し、若材齢の2、3、5日および28日のモデル実験を行い、マスコンクリートと同じ環境下での若材齢時のひずみエネルギー解放率を求めた結果、プレーンコンクリートに比べてハイブリッド繊維補強コンクリートの限界ひずみエネルギー解放率は大きく向上することを明らかにしている。

第5章では、実構造物としてマスコンクリート構造物の温度ひび割れ発生を算定し、実構造物による温度ひび割れの観察と解析との検証を行った結果、新しく提案した限界ひずみエネルギーによる温度ひび割れ予測が有効であり、また、繊維補強コンクリートを用いることによって温度ひび割れを制御することが可能であることを明らかにしている。すなわちマスコンクリートの実構造物においてハイブリッド繊維補強コンクリートのひび割れ抵抗性能の有効性を検討するため、マスコンクリート内部の温度応力解析を有限要素法を用いて行い、ひずみエネルギー解放率と比較している。その結果、プレーンコンクリートを用いた場合、実構造物に温度ひび割れが生じる可能性があることが示されるが、ハイブリッド繊維補強を用いた場合、実構造物の温度ひび割れ発生の可能性は少なく、温度ひび割れを制御することが可能であることを明らかにしている。

第6章は、本研究の総括であり、得られた成果をまとめたものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 昇
副 査 教 授 角 田 與史雄
副 査 教 授 三 上 隆
副 査 教 授 内 山 武 司

学 位 論 文 題 名

長短繊維を混入したハイブリッド繊維補強 コンクリートのひび割れ抵抗性に関する研究

近年、高度な経済環境の中で多くの人々が快適に活動するために社会基盤が整備され、自然の脅威を防ぎあるいは自然を守りながら、豊かな生活空間を保持しようとしている。さらに今日、調和のとれた社会の効率性を保つために多量に排出される廃棄物の問題あるいは安全な交通機関施設などの確保が必要となってきた。

一般的にこれらの構造物には大型のコンクリート構造物が用いられ、性能あるいは経済性の面から考えてこれらに対して十分に期待を担うものであるが、ひび割れを主体とした耐久性の解明がさらに必要となっている。

本研究ではコンクリートのひび割れ性能を改善するためにコンクリート中に繊維を混入し、若材齢時を含めたコンクリートのひび割れ発生耐力あるいは靱性を向上させようとしたものである。

これまで用いられていた単一繊維補強によってコンクリートのひび割れ発生耐力、曲げ強度の向上に対する有効性、繊維補強効果の複合則あるいは靱性などの研究が行われてきたが、これらの研究をさらに発展させ、2種類以上の形状あるいは材質の違う長短繊維を用いる繊維補強(本研究ではハイブリッド繊維補強と呼んでいる。)に注目して研究を展開したものである。

まず、ハイブリッド繊維補強コンクリートのひび割れ挙動および強度について調べるため切欠きを有する曲げ供試体を用いて、荷重-たわみ曲線、荷重-CMOD(ひび割れ開口変位)曲線を求め、同じ総混入率のものを比較した結果、単一繊維補強コンクリートよりハイブリッド繊維補強コンクリートの方がひび割れ発生耐力、最大荷重および最大荷重後の荷重-たわみ曲線の面積による靱性の増進が大きいことを明らかにしている。またひび割れ発生直前の弾性領域におけるCMODの実験値と破壊力学による理論値を比較した結果、

両者はほぼ良い相関性を示し、ひび割れ発生荷重の評価が妥当であること、ひび割れ発生において線形破壊力学が適用できることを明らかにしている。さらに一般に用いられる繊維の体積混入率による複合則を用いて、単一繊維補強およびハイブリッド繊維補強コンクリートの曲げ強度の算定式を構築し、実験値と算定値はよい対応を示すことを明らかにしている。

次に、コンクリートのひび割れ抵抗性の評価として破壊力学により、限界ひずみエネルギー解放率を実験より求めている。その結果ハイブリッド繊維補強コンクリートが単一繊維補強コンクリートより限界ひずみエネルギー解放率の増進が大きく、ひび割れ抵抗性の向上を計るためにハイブリッド繊維補強が有効であることを述べている。また、繊維の体積率による複合則を適用し、ひび割れ先端の応力集中によってできる塑性域などを考慮して、限界ひずみエネルギー解放率について新しい算定式を構築し、その妥当性を明らかにしている。

さらに、マスコンクリートにおいて問題となる温度ひび割れをハイブリッド繊維補強によって制御することを考え、実構造物の温度履歴を考慮し、若材齢の2、3、5日および28日のモデル実験を行い、マスコンクリートと同じ環境下での若材齢時の限界ひずみエネルギー解放率を求めている。その結果、プレーンコンクリートに比べてハイブリッド繊維補強コンクリートの限界ひずみエネルギー解放率は大きく向上することを明らかにしている。またこれを実証するため実構造物としてマスコンクリート構造物を取り上げ、温度ひび割れ発生を算定し、実構造物による温度ひび割れの観察と解析との検証を行っている。その結果新しく提案した限界ひずみエネルギーによる温度ひび割れ予測が有効であり、また、繊維補強コンクリートを用いることによって温度ひび割れを制御することが可能であることを明らかにしている。すなわちマスコンクリート内部の温度応力解析を有限要素法を用いて行い、限界ひずみエネルギー解放率と比較した結果、ハイブリッド繊維補強を用いた場合、実構造物の温度ひび割れ発生の可能性は少なく、温度ひび割れを制御するために有効であることを明らかにしている。

これを要するに、著者はコンクリート中に長短繊維を混入したハイブリッド繊維補強によって若材齢時を含めたコンクリートのひび割れ抵抗性の向上を計るための新知見を得たものであり、コンクリート工学に対して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。