

学位論文題名

繊維補強コンクリートの強度と変形特性
および水密性に関する研究

学位論文内容の要旨

コンクリートは、一般的に耐荷力、経済性および耐久性が優れており、構造材料として広く使用され、コンクリートはメンテナンスフリーであるという認識の基に多くの構造物が造られたが、特に高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の早期劣化の問題が起り、近年コンクリート構造物の耐久性について関心が高まりつつある。本研究ではコンクリートの耐久性向上を図るために、鋼繊維などを混入した繊維補強コンクリート、特に2種類以上の繊維を組合せて混入するハイブリッド繊維補強コンクリートに注目して研究を行った。従来の繊維補強コンクリートは同一の形状および材質の繊維を使用するが、ハイブリッド繊維補強においては2種類以上の繊維を組合せて混入し、単一繊維補強では得ることのできない力学的、物性的効果が期待される。これまでハイブリッド繊維補強に関して、曲げ特性などの力学的性能についていくつかの研究があり、単一繊維補強とは異なるタフネス特性を示すことおよびひび割れ抵抗性が増加することなどが分かっているが、耐久性に関してはまだ明らかにされていない。

本研究は高耐久性コンクリートを開発するために繊維補強コンクリートを取りあげ、形状の異なる鋼繊維を組合せて混入したハイブリッド繊維補強コンクリートの水密性、曲げ特性について研究したもので、第1章の序論から第6章の結論までの構成となっている。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的を述べており、単一およびハイブリッド繊維補強コンクリート材料に関する既往の研究を紹介し、論文の位置付け、構成について述べている。

第2章は透水試験および曲げ試験の実験方法の概要について述べたものである。

第3章は繊維補強コンクリート(SC)の水密性、力学的性能に対する繊維のサイズの影響および繊維混入率の影響を検討するために、長さの異なる4種類の鋼繊維を用いたSCについての実験を行い、透水および強度、変形試験結果について述べたものである。繊維のサイズによってSCの水密性および曲げ特性に与える効果は異なり、繊維の分散状況の違いにより使用繊維を長繊維と短繊維に分類している。長繊維は力学特性、特に曲げ強度、変形特性を高めるのにかなり効果的であり、繊維混入率の増加に伴い曲げ特性増進および水密性向上に対する効果を明らかにしている。一方、短繊維も曲げ特性増進に対する効果を有

し、繊維混入率の増加とともに効果は大きくなるが、その程度は長繊維に比べるとかなり小さいことが判った。また、短繊維は水密性向上に対して効果があるが、長繊維の場合とは異なり比較的少量の繊維混入率の方がその効果は大きく、繊維混入率の増加に伴い水密性向上に対する効果は減少していくことが判った。

第4章はハイブリッド繊維補強コンクリート(HC)の水密性、力学的性能に対するサイズの異なる繊維の組合せの影響を検討するために、鋼繊維の組合せ、組合せた繊維の混入率のバランスおよび短繊維混入率を変化させた HC について実験を行い、透水および強度変形試験結果について述べたものである。HC と SC との試験結果の比較より、全ての繊維の組合せが水密性および曲げ特性に対して効果的であるとは限らず、繊維を組合せることによって逆に水密性および曲げ特性の低下が見られることが判った。さらに水密性に対して効果のあった繊維の組合せが、必ずしも曲げ特性に対しても効果があるとは限らないことから、HC の繊維の組合せ効果が水密性と曲げ特性に対してそれぞれ異なると推察される。水密性に対する効果は繊維の組合せによって水の移動経路がジグザグとなることによって起こり、曲げ特性に対する効果は繊維形状の違いによって効果的に拘束できる微細ひび割れの大きさが異なることが主因であると考察される。また、曲げ特性に対する繊維の組合せ効果の定量化についても実験を行った結果、曲げ特性に対する繊維の組合せ効果はひび割れ発生強度よりも曲げ強度に対する効果が大きいことが判った。水密性に対する繊維の組合せ効果は、水密性に対して大きな影響をもつのはマトリクスの微細構造に対する影響であることが判った。

第5章は水密性を要するコンクリート構造物への HC の適用について検討を行っている。実構造物には荷重が作用するため、圧縮荷重が作用したコンクリートの水密性について検討した結果、圧縮強度の 1/3 程度の荷重による水密性の変化は見られないことを明らかにしている。また HC 中の鋼繊維が腐食した場合、水密性に与える影響を検討するために促進暴露試験を行った結果、暴露後においても HC の水密性の変化は見られないことが判った。コンクリート構造物の水密性について検討する場合、実構造物の透水試験は困難であるため 2 次元有限要素法を用いて解析的に構造物の水密性の検討を行っている。解析の対象構造物に曲げひび割れが生じた水槽を取りあげて解析を行ったところ、繊維無混入の場合と比較して HC を用いた構造物の水密性は高くなるということを明らかにしている。これは HC の材料としての水密性の高さに加えて、ひび割れ発生強度が高いということなども原因として挙げられ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、本研究により得られた知見を要約したものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 昇
副 査 教 授 友 澤 史 紀
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 助 教 授 堀 口 敬

学 位 論 文 題 名

繊維補強コンクリートの強度と変形特性 および水密性に関する研究

コンクリートはメンテナンスフリーであるという認識の基に多くの構造物が造られたが、近年、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の早期劣化の問題が起これ、コンクリート構造物の耐久性について関心が高まりつつある。

本論文は高い耐久性のコンクリートを開発するために繊維補強コンクリートに注目し、形状の異なる鋼繊維を組合せて混入するハイブリッド繊維補強コンクリートの強度と変形特性および水密性について研究している。

はじめに、単一の繊維のみを混入したコンクリート(SC)の力学的性能、水密性に対する繊維のサイズの影響および繊維混入率の影響を明らかにするために、長さの異なる4種類の鋼繊維を用いたSCについて強度変形試験および透水試験を行っている。繊維のサイズによってSCの曲げ特性および水密性に与える効果は異なり、繊維の分散状況の違いにより使用繊維を長繊維と短繊維に分類している。長繊維は力学特性増進および水密性向上に対して効果が見られ、特に曲げ強度、変形特性を高めるのにかなり効果的であり、繊維混入率の増加に伴い補強効果が著しく増大することを明らかにしている。一方、短繊維も曲げ特性増進および水密性向上に対する効果を有するが、その程度は長繊維に比べると小さく、繊維混入率が増加してもその補強効果の変化は長繊維よりも小さいことを明らかにしている。

次に、ハイブリッド繊維補強コンクリート(HC)の力学的性能、水密性に対するサイズの異なる繊維の組合せの影響を明らかにするために、鋼繊維の長さの組合せ、長繊維と短繊維の混入率のバランスなどを変化させたHCについて強度変形試験および透水試験を行っている。HCとSCとの試験結果の比較より、繊維の組合せを適当に選定することにより、曲げ特性および水密性に対して効果的であり、HCの繊維の組合せ効果は曲げ特性と水密性に対してそれぞれ異なることを明らかにしている。繊維の組合せによる水密性に対する効

果は水の移動経路がアレストされることによって起こると考えられ、水密性と圧縮強度との相関性が良いことから、コンクリートの強度を説明するセメント空隙比説を用いて繊維の組合せ効果を明らかにしている。繊維を混入することによりコンクリート中を水が通り難くなる現象を、繊維混入によりコンクリート中の空隙が解析上減少すると想定して SC の透水係数算定式を導き、これらの線形な複合則を改善することにより HC の透水係数の算定式を求めている。この結果、長繊維と短繊維を組合せることによって、同一混入率で 1 種類の繊維のみを混入した SC の透水係数と比較して、HC の水密性が高くなることを明らかにしている。

次に、実環境のコンクリート構造物を考慮に入れて、水密性に対する荷重および乾湿繰返しを受ける暴露状態の影響について検討を行っている。圧縮荷重が作用するコンクリートの水密性について検討した結果、圧縮強度の 1/3 程度の載荷状態における水密性の変化は見られないことを明らかにしている。また繊維補強コンクリート中に乾燥収縮などによる欠陥の発生、鋼繊維の表面腐食が水密性に及ぼす影響などを検討するために促進暴露試験を行った結果、促進暴露後の繊維補強コンクリートの水密性は繊維無混入のコンクリートと比較して高いことが判り、暴露環境下において繊維がコンクリートの水密性向上に対して有効であることを実験的に明らかにしている。

ひび割れの生じる可能性のあるコンクリート実構造物の透水性について、有限要素法を用いて解析的に構造物の水密性の検討を行っている。ひび割れを有するコンクリート部材の透水係数の算定を系統的に行い、実用的な算定式を誘導している。さらに解析の対象構造物に曲げひび割れが生じた水槽を取りあげて解析を行ったところ、繊維無混入の場合と比較して HC を用いた構造物の水密性は高くなるということを示し、HC 自身が材料として水密性が高いことおよびひび割れ発生強度が高いという特性などが有効に働いていることを明らかにしている。

これを要するに、著者は、繊維補強コンクリートのひび割れ抵抗性などの力学特性を基にして繊維補強コンクリートの水密性に関して多くの新知見を得ており、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。