

学位論文題名

高温環境下の繊維補強高強度コンクリートの曲げ破壊靱性
に関する研究(Bending Fracture Toughness of Fibre Reinforced High-Strength Concrete
under High Temperature Environment)

学位論文内容の要旨

高強度コンクリートは土木構造物の軽量化や断面縮小化を可能とすることから、今後もその使用量の増加が見込まれているが、その一方で火災時において急激な強度低下を示し、また自身の稠密さゆえに高い爆裂リスクを負う材料としても知られている。それゆえ、高強度コンクリートの高温での劣化挙動の把握、および耐火性向上に関する検討は現在、世界的な要求となってきた。高温でのコンクリートの力学的挙動に関する既往研究では、加熱後の残存状態における供試体に対して載荷試験を実施する、いわゆる「冷間試験」による検討をしている例が多い。この冷間試験による検討は、コンクリートの残存特性を評価する際に合理的であるが、今まさに火災が起きている状況を想定した場合、冷間試験から得られる情報では、コンクリートの高温での劣化挙動を完全に把握出来ていない。そのため、より厳しい条件での検討、すなわち供試体を加熱しながら試験を実施する「熱間試験」による検討が必要である。したがって、高強度コンクリートの劣化挙動の把握には、熱間および冷間試験の比較が重要であるが、両者を実施した研究は皆無に等しい。

本論文では、繊維補強高強度コンクリートの曲げ破壊靱性に関する高温環境における挙動を詳しく把握するため、熱間および冷間試験条件における曲げ破壊特性の検討を実施した。また、繊維補強高強度コンクリートにおける熱間および冷間試験と供試体長の関係、熱間および冷間試験と含水状態の関係についても併せて検討している。これらの検討には高強度コンクリートの耐火性向上を期待されているものの、既往研究において検討実績の少ないハイブリッド繊維補強高強度コンクリートを中心に実施している。

本論文は7章で構成され、各章の概要を以下に示す。

第1章は序論であり、研究背景および研究目的を述べており、本研究の位置付けおよび本論文の構成を述べている。

第2章は、高温環境下の高強度コンクリートに関する既往研究についてまとめている。

第3章では、高温環境下の繊維補強高強度コンクリートの圧縮強度、弾性係数、引張強度といった基礎的性質について検討を行うため、冷間試験における各設定温度と繊維補強高強度コンクリートの残存強度の関係についてまとめている。設定温度としては20℃、200℃、400℃および600℃とした。対象とするコンクリートは、高強度コンクリート(以降、Plainと呼称)、ポリプロピレン繊維補強高強度コンクリート(以降、PPと呼称)およびハイブリッド繊維補強高強度コンクリート(以降、HYと呼称)である。その結果、いずれのコンクリートも加熱温度の上昇に伴い最大で60%の圧縮強度低下を示すことが明らかとなり、圧縮強度の低下は繊維の混入によって制御できないことが明らかとなった。また、繊維補強高強度コンクリートの弾性係数は圧縮強度と比較して、高温加熱の影響を受けやすい

ことも明らかとなった。

第4章では、繊維補強高強度コンクリートの曲げ破壊靱性に高温環境が与える影響を検討するため、熱間および冷間試験における曲げ強度試験および破壊エネルギー試験を実施している。さらに、ハイブリッド繊維補強の高温での曲げ破壊に対する有効性についても検討している。設定温度としては20℃、200℃、400℃および600℃とした。対象とするコンクリートはPlain,PPおよびHYである。その結果、曲げ強度に関してはいずれの供試体とも熱間試験が冷間試験と比較して小さい値を示すことが明らかとなった。また破壊エネルギーに関してはPlainおよびPPは熱間および冷間試験の影響を受けないが、HYは熱間試験が冷間試験と比較して小さい値を示すことが明らかとなった。したがって、繊維補強高強度コンクリートの曲げ破壊挙動の評価を行う際に、冷間試験と熱間試験による評価とでは異なることが明らかとなった。さらに、ハイブリッド繊維補強に関しては、熱間試験の様な厳しい条件においても高強度コンクリート曲げ強度の維持および破壊エネルギーの確保に有効であることが明らかとなった。

第5章では、供試体長と繊維補強高強度コンクリートの曲げ破壊靱性の関係を比較するため、熱間および冷間試験において長さの異なる供試体の曲げ強度試験および破壊エネルギー試験を実施し、これらの関係をまとめている。供試体長としては、国内規準であるJCI供試体、および海外で実績の多いRILEM供試体の2種類を比較している。これらの研究成果を有効に利用し、データを共有するためには両者の関係を明確にしておく必要がある。加えて、鋼繊維混入割合の異なるハイブリッド繊維補強の効果についても検討している。設定温度としては20℃、200℃、400℃および600℃とした。対象とするコンクリートは、PlainおよびHYである。その結果、JCI供試体とRILEM供試体による曲げ強度および破壊エネルギーは異なることが明らかとなった。したがって、曲げ破壊靱性の評価に際して供試体長の選択には注意が必要であることが明らかとなった。

第6章では、含水状態が繊維補強高強度コンクリートの曲げ破壊靱性に及ぼす影響を比較するため、熱間および冷間試験において乾燥状態および湿潤状態の供試体に対する曲げ強度試験および破壊エネルギー試験を実施し、これらの関係についてまとめている。設定温度としては20℃、200℃、400℃および600℃とした。対象とするコンクリートは、高強度コンクリート、ポリプロピレン繊維補強高強度コンクリート、鋼繊維補強高強度コンクリート、ハイブリッド繊維補強高強度コンクリートである。その結果、湿潤状態の供試体の曲げ強度および破壊エネルギーは乾燥状態の供試体のそれと比較して、小さい値を示すことが明らかとなった。また、乾燥状態の供試体の曲げ強度および破壊エネルギーは、加熱温度の上昇に伴って低下傾向を示すが、湿潤状態の供試体では温度によっては必ずしも低下せず、増減の変動を示すことが明らかとなった。

第7章は本研究の総括であり、本研究により得られた知見をまとめたものである。

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	堀 口	敬
副 査	教 授	千 歩	修
副 査	教 授	横 田	弘

学 位 論 文 題 名

高温環境下の繊維補強高強度コンクリートの曲げ破壊靱性 に関する研究

(Bending Fracture Toughness of Fibre Reinforced High-Strength Concrete
under High Temperature Environment)

高強度コンクリートは耐久性に優れ土木構造物の軽量化や断面の縮小を可能とすることから、その使用量が増加している材料である。ところが同時に、火災時における急激な強度低下や爆裂のリスクが危惧されている材料でもあり、高強度コンクリートの高温時の劣化挙動の把握、および耐火性の向上に関する検討が世界的な課題となっている。こうした高温環境下の力学的挙動を把握する手法として、従来から加熱後の残存状態における評価試験、いわゆる冷間試験による検討が主として実施されてきた。冷間試験は高強度コンクリートの残存特性を評価する際には合理的であるが、高温下の挙動を的確に評価することは不可能である。そのため、高温環境下の試験(熱間試験)が必要であり、冷間試験との比較検討が重要であるが、両者の試験を実施し比較検討した研究は皆無に等しい。

本論文は、高温環境下に曝された繊維補強高強度コンクリートの破壊靱性を冷間試験とともに熱間試験により評価し、それらの特性を詳しく検討したものである。以下に、その詳細をまとめる。

第1章の序論、第2章の既往の研究に続き、第3章では、繊維補強高強度コンクリートの高温下の力学的挙動に関して、圧縮強度、弾性係数、引張強度等を詳しく検討している。その結果、ハイブリッド繊維補強により高温下の引張強度が向上し、高温下のひずみ量の増大を抑制できることを明らかにしている。以上の特徴的な2点を除き繊維補強高強度コンクリートの高温下における力学的挙動は、繊維で補強されていない高強度コンクリートの挙動とほぼ同様の挙動を示すことが示されている。

第4章では、高温下の曲げ破壊靱性を評価するため2種類の試験(熱間試験と冷間試験)を実施し、両者の関係を詳細に検討した結果、熱間試験で得られる曲げ強度と破壊エネルギー値は冷間試験による値に比べて低い値を示すことが明らかにされた。この結果は従来から圧縮強度において報告されている挙動と逆の結果を示した。従って、高温下の破壊靱性を評価する場合は熱間試験による評価が必要であり、熱間試験と冷間試験を用途に応じて選択することがきわめて重要であることが示されている。

第5章では、使用する供試体の形状が異なる2種類の試験(JCI試験とRILEM試験)を実施し、両者の関係を詳細に検討している。その結果、JCI試験によって得られる曲げ強度と破壊エネルギーは全体的にRILEM試験によって得られた値に比べて大きな値を示すことが明らかにされている。特に熱間試験では、JCI試験の破壊エネルギーは冷間試験のそのの半分以下の値をとり、冷間試験ではJCI試験の曲げ強度と破壊エネルギーはRILEM試験のそのの、それぞれ6割程度、4割程度の値を示した。従って、両者の試験結果を一義的に比較することは困難であり、貴重なデータを共有するためには注意が必要であることが示されている。

第6章では、コンクリートの含水状態が高温下の繊維補強高強度コンクリートの破壊靱性に及ぼす影響を検討し、高含水状態においては熱間試験による曲げ強度が冷間試験のそれに比較して低い値を示すことが明らかにされている。破壊エネルギーに関しても同様な傾向を示し、高含水状態では熱間試験の破壊エネルギーが冷間試験のそれに比較して低い値を示すことが明らかにされている。低含水状態では、熱間試験と冷間試験の両者の値に明確な違いは認められなかった。以上の結果から、熱間試験による曲げ強度と破壊エネルギーの低下は含水状態が大きく関係していることが指摘されている。

第7章は総括であり、本研究で得られた成果をまとめてある。

これを要するに、著者は、コンクリート構造物の耐火性を向上するために不可欠な高温下の繊維補強高強度コンクリートの破壊靱性を評価する手法に関して、熱間試験の重要性を指摘し、供試体の形状や含水率がその評価方法に大きく影響すること、さらにハイブリッド繊維補強が高温下の靱性向上にきわめて有効であることなどの新知見を得たものであり、コンクリート工学および防災工学、維持補修工学の発展に寄与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。