

Properties of Fiber Reinforced High Strength Concrete under High Temperature Condition

(高温環境条件下における繊維補強高強度コンクリートの特性)

学位論文内容の要旨

Recent fire accident on San Fransisco-Oakland Bay Bridge on 29 April 2007 reveals how fire remains one of the serious potential risks to most building and structures. In spite of its superior performance compared with conventional concrete under ambient temperature condition, high strength concrete is found to be prone to high temperature condition. Current report deals with properties of fiber reinforced high strength concrete under high temperature condition. Some issues related to properties of fiber reinforced high strength concrete under high temperature condition included explosive spalling phenomenon and physical residual properties, explosive spalling and mitigation mechanism, fracture properties, and microstructure change of heated concrete. Thesis report is presented as follows:

Chapter 1 provides the introduction of current experimental study including significance, objectives, scope of research, and outline of thesis.

Chapter 2 provides the literature review including all past experimental research which had been performed in the field of high strength concrete under high temperature condition.

Chapter 3 deals with the first issue, explosive spalling phenomenon and physical residual properties (i.e. compressive strength, modulus of elasticity, and permeability coefficient) of heated fiber reinforced high strength concrete. During exposition to high temperature, failure of high strength concrete is sometimes rapid and catastrophic, characterized by the explosive spalling of layers from the exposed concrete surface. One effective way to mitigate explosive spalling is to include short synthetic fibers, repercolating the matrix of high strength concrete during high temperature exposition. Unfortunately, generation of pores which is beneficial during the mitigation of explosive spalling will reduce the residual properties of high strength concrete. To deal with this issue, limited addition of short polypropylene fibers to certain volume fraction and optimization in polypropylene fiber geometry into high strength concrete mixture have been performed in the experimental study. The experimental results show that finer and shorter polypropylene fiber, uniformly distributed along concrete matrix, is found to be effective in mitigating explosive spalling and minimizing the reduction in residual properties of high strength concrete after high temperature exposition. Furthermore, correlation between ultrasonic pulse velocity and physical residual properties has also been established.

Chapter 4 deals with the second issue, explosive spalling and mitigation mechanism. Experimental study is performed to investigate thermo-hydral process takes place inside high strength concrete under elevated temperature condition. Experimental result on the buildup of pore pressure inside heated plain

high strength concrete and polypropylene fiber reinforced high strength concrete brings into light the mechanism of explosive spalling and its mitigation.

Chapter 5 deals with the third issue, fracture properties of heated fiber reinforced high strength concrete. In order to improve the fracture behavior, combination of short polypropylene and steel fibers, termed as hybrid fiber, is utilized into high strength mixture. The idea is to achieve a synergy between these fibers during and after the exposition of high strength concrete to high temperature. While the melting of polypropylene fibers will prevent explosive spalling, steel fibers will maintain the energy absorption capacity of heated high strength concrete. Experimental result on fracture behavior of heated fiber reinforced high strength concrete confirms the effectiveness of hybrid fiber in improving the toughness of heated high strength concrete.

Chapter 6 deals with the last issue, microstructure of heated high strength concrete. In order to investigate chemical change on heated high strength concrete, X-Ray Diffraction analysis, Scanning Electron Microscopy, and Electron Probe Micro Analysis have been performed in the experimental study. In terms of microstructural change of heated concrete, Mercury Intrusion Porosimetry analysis is performed to investigate the change in pore structure of heated concrete and digital imaging of heated concrete is performed to investigate induced microcracks upon heating. Change of properties in the microstructure level is found to be the main factors affecting the performance of heated concrete in the macro level.

Chapter 7 provides the conclusions of current experimental study.

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	堀 口	敬
副 査	教 授	大 沼	博 志
副 査	教 授	千 歩	修
副 査	准教授	早 坂	洋 史

学 位 論 文 題 名

Properties of Fiber Reinforced High Strength Concrete under High Temperature Condition

(高温環境条件下における繊維補強高強度コンクリートの特性)

コンクリート構造物の耐火性に関する研究は、それほど新しいものではない。特に建築分野ではコンクリート構造物の耐火性に関する多くの研究が国内外を問わず古くから実施されている。ところが、近年のコンクリートの高強度化・高性能化は著しく、今までの研究成果では解決できない新しい耐火性に関する問題が浮上した。その代表的なものが、コンクリートの爆裂問題および高温下での力学的挙動の変化である。その背景には、近年のユーロトンネルやグレートベルトトンネルなどの火災事故における激しい爆裂事故があり、コンクリートの高強度化に伴う耐火性の確保が大きな課題となっている。

コンクリートの高強度化に伴い顕在化した爆裂に対する方策に関しては、有機短繊維による補強の有効性が注目されている。短繊維の補強により高強度コンクリートの爆裂現象を緩和し、高温下での力学的性能を向上させるものである。しかしながら、高温環境下における繊維補強高強度コンクリートの研究は始まったばかりであり、詳細な特性は明らかになっていない。

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諸特性を詳しく検討したものであり、その詳細を纏めると以下ようになる。

本論文では大きく 4 項目の内容が詳細に検討されている。第一は、繊維補強高強度コンクリートの耐火性全般についての検討である。実験の結果、高強度コンクリートの爆裂現象は普通コンクリートに比較して急激であり、時として壊滅的な様相を示すことが示されている。こうした爆裂現象を低減するためには、有機繊維の混入が有効であり、爆裂の主な要因である内部水蒸気圧の低減効果は有機繊維の溶融による内部空隙構造の変化によるものであることを示し、次項で述べる爆裂現象の詳しいメカニズムの検討の重要性を指摘している。耐火性に関わる繊維補強高強度コンクリートの残存力学特性については、圧縮強度、ヤング係数および透水係数について検討を行っている。さらに超音波非破壊試験による残存強度の推定が可能であることを示している。

第二の内容は、爆裂現象のメカニズムと緩和対策に関する研究である。高温環境下におけるコンクリート内部の圧力測定の結果から、コンクリートの内部圧力は温度とともに上昇し高強度コンクリートは普通コンクリートに比較して大きな値を示すこと、さらに有機繊維の混入によりその圧力

は著しく低減することを明らかにし、有機繊維による爆裂低減のメカニズムについて検討を行っている。

第三の内容は、高温環境下の繊維補強高強度コンクリートの破壊性状である。繊維補強高強度コンクリートの破壊靱性を向上させるためには、ハイブリッド繊維と呼ばれる有機繊維と鋼繊維とのハイブリッド化を提案している。すなわち、温度上昇に伴う爆裂現象の低減には有機繊維が有効であり、さらに温度上昇に伴う破壊靱性の低下に対しては鋼繊維により補強するという考え方である。詳細な実験の結果、高強度コンクリートの破壊靱性に関するハイブリッド繊維補強の有効性が示されている。

最後の四番目の内容は、高温環境下に曝された高強度コンクリートの微視的構造に関する研究である。高温に伴うコンクリートの化学的変化を X 線回折で検討し、さらに SEM(Scanning Electron Microscopy) や EPMA(Electron Probe Micro Analysis) により検討を行っている。さらに、コンクリート内部の空隙構造の変化については MIP(Mercury Intrusion Porosimetry) によって検討し、高温暴露による空隙構造の変化について検討を行っている。内部に発生する微細ひび割れについてもデジタルカメラによる画像解析によって検討を行っている。実験の結果、コンクリートの耐火性はこうしたコンクリートの微視的構造の変化に影響を受けることが示されている。

これを要するに、著者は、コンクリートの高強度化に伴う構造物の耐火性を確保するために不可欠な高強度コンクリートの爆裂現象の解明とその緩和対策、高温環境下における繊維補強高強度コンクリートの力学的挙動を明らかにするとともに、ハイブリッド繊維補強高強度コンクリートの有効性を指摘するなどの新知見を得たものであり、コンクリート工学、火災安全工学およびトンネル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。