

学 位 論 文 題 名

高温加熱を受けるマスコンクリート部材内の
水分移動と物性変化に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、大型コンクリート構造物の建設が増大し、コンクリートに要求される性能もより高度化している。特に原子力発電所施設に用いられるコンクリートは、原子炉運転時あるいは事故時に高温を受けることを想定し、高温を受けてもコンクリートが健全であることが要求されている。このため、その設計ではあらかじめ想定された高温条件下でのコンクリートの品質評価が重要となり、これが構造物の安全性確保に不可欠なものとなっている。

従来、高温を受けるコンクリートの物性評価は、主として通常の建築構造物を対象としたものであり、火災時の熱応力評価、あるいは火災を受けたコンクリートの品質評価を目的とした研究が主流である。このため、対象とするコンクリート部材も寸法が小さく、断面寸法の大きな部材が高温を受けた場合を想定した研究事例は、その実験の困難さもあって非常に少ないのが現状である。

そこで、本研究では高温加熱を受けるコンクリート部材の品質評価を行うにあたり、マスコンクリートの条件を考慮し、部材内部の水分移動に着目して、水分移動の特性、および水分移動がコンクリートの物性に与える影響について検討を試みた。

第1章は序論であり、高温を受けるマスコンクリート部材の物性評価の現状と問題点について述べ、高温を受ける部材の物性評価が適正に行われていないことを指摘した後、本研究の意義、目的について述べた。

第2章は、高温域での含水率測定法の開発に関するものである。はじめに、コンクリート中の水分移動の測定法に関する既往の技術とその特徴を調査し、コンクリート断面内の含水分布を測定する方法として、電気抵抗を利用した電極法が最適であることを指摘した。さらに、この方法を高温域にまで拡張するため、校正曲線を作成する際の供試体のシール方法を確立し、高温域におけるコンクリート部材内の含水分布の測定を可能にした。また、常温において乾燥が持続する実際の構造体コンクリート部材による実験から、この方法が十分に実構造物に適用し得ることを確認した。

第3章では、小型のテストピースを用いて常温から600℃までの温度範囲におけるコンクリート物性を温度および水分移動の影響を考慮して実験的に検討した。

コンクリートの物性として、力学特性については圧縮強度、弾性係数、割裂強度、熱特性については熱伝導率・熱拡散率、比熱、密度、線膨張率（温度－熱変形特性）を取りあげ、加熱中の水分移動とその逸散を許容したアンシール条件と、水分移動を拘束した175℃までのシール条件を主要な実験要因として実験方法を検討し、その影響を考察した。ここでは、実験の困難さから、これまでその値が明確ではなかったシール条件下の各特性値を求めたほか、加熱中に水分移動が生じるアンシール条件では弾性係数をはじめとして各物性値の変化が大きいものの、シール条件ではその変化が小さいことを示し、従来アンシール条件下のもとで評価されていた高温下のコンクリートの物性が、加熱時の水分移動の条件を考慮することにより異なるものとなることを明らかにした。

第4章は、実断面をもつ模擬部材による実験である。原子力発電所施設などのマスコンクリートでは加熱が全面にわたることはない。このため、ここでは従来ほとんど例のない部材の一面が高温加熱された場合の内部温度と水分状態を実験的に検討した。この結果、高温加熱されるコンクリート部材内部には、温度と含水率の分布に応じた蒸気圧が発生し、水分移動にはこの圧力形成が寄与していることを示した。また、高温加熱されるマスコンクリート部材には水分移動が顕著な乾燥した（アンシール条件）ゾーンと、高温域ではあっても水分を保持している（シール条件）ゾーンが併存すること、このシール条件のゾーンとアンシール条件のゾーンとの境界には極めて含水率の高いゾーンが形成され、この高含水率のゾーンが水分の移動をさまたげ、乾燥の進行を遅らせていることを明らかとし、マスコンクリート部材では加熱時の挙動が断面の小さな一般部材とは異なることを指摘した。さらに、加熱終了後の模擬部材からコアを採取し、加熱後のコンクリートの圧縮強度、弾性係数の分布と温度、含水率との関係を検討し、含水率と弾性係数の低下との関係が明瞭であることを指摘した。

第5章では、第3章および第4章の結果に基づき温度、水分移動と物性との関係を整理し、その影響を総括的に考察した。ここでは、一面を高温加熱されるマスコンクリート部材内の物性変化を、温度分布の計算および小型テストピースの実験結果にもとづいて考察し、マスコンクリート部材内で生じるコンクリートの物性変化を経時的に示した。

第6章は結論であり、得られた結論をまとめている。

以上、高温加熱を受けるマスコンクリート部材の水分移動および物性変化に関する研究検討を行い、原子力発電所施設などの高温を受けることが想定される大型構造部材の品質評価を行う上で有用な結果と知見を得た。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	鎌 田 英 治
副 査	教 授	井 野 智
副 査	教 授	佐 伯 昇
副 査	教 授	城 攻

学 位 論 文 題 名

高温加熱を受けるマスコンクリート部材内の 水分移動と物性変化に関する研究

近年、大型コンクリート構造物の建設が増大し、コンクリートに要求される性能もより高度化している。特に原子力発電所施設に用いられるコンクリートは、原子炉運転時あるいは事故時に高温を受けることを想定し、高温を受けてもコンクリートが健全であることが要求されている。このため、その設計ではあらかじめ想定された高温条件下でのコンクリートの品質評価が重要となり、これが構造物の安全性確保に不可欠なものとなっている。しかし、従来高温を受けるコンクリートの物性評価は、主として通常の建築構造物を対象としたものであり、火災時の熱応力評価、あるいは火災を受けたコンクリートの品質評価を目的とした研究が主流である。このため、対象とするコンクリート部材も寸法が小さく、断面寸法の大きな部材が高温を受けた場合を想定した研究事例は、その実験の困難さもあって非常に少ないのが現状である。

本研究は、高温加熱を受けるコンクリートの物性変化の状況を小型供試体による実験および実大模擬部材による実験により明らかにしたものであるが、実験にあたって高温時のマスコンクリート部材内の含水状況の変化を重要な要因として取り上げ、これを測定するための水分計の開発から取り組むなど、従来の研究では見られなかった新たな見地から研究を進め成果を得ている。

本研究の成果とその評価を要約すると以下のようなになる。

- 1) コンクリート内部の含水率の測定法として、常温域のコンクリートを対象に一部の研究者によって用いられてきた電極法に検討を加え、校正曲線を作成するための実験を工夫するなど、著者はこれを高温域での測定法として拡張することに成功している。100℃を上回る高温条件下のコンクリート部材内の含水率の測定はこれまで行われておらず、その確立は、本研究の成果を得るうえで重要な役割を果たしている。
- 2) 小型供試体による実験では、常温から600℃までの範囲で、圧縮強度、弾性係数、割裂強度値を、熱特性値として熱伝導率、熱拡散率、比熱、密度、線膨張率（温

度－熱変形特性）を得ている。従来、このような特性値の測定が加熱時にコンクリートからの水分の拡散を許容したアンシール条件でなされているため、著者はこれに加えて175℃までの温度範囲で、水分の移動を拘束したシール条件での実験を行い、この結果として、水分移動が拘束されたシール条件下では、高温加熱を受けたコンクリートの物性変化が従来知られていたものよりも小さく、加熱時の水分条件がコンクリートの物性変化に及ぼす影響の大きいことを明らかにしている。

3) 実断面をもつ模擬部材による600℃までの高温加熱実験では、実際の部材が加熱される状況を考慮して部材の一面から加熱が進行する条件を採用している。このような実験は、従来ほとんどなされておらず、これにより、高温加熱を受けるマスコンクリート内部の温度、水分、圧力形成の状況を初めて明らかにしている。この実験では、高温加熱を受けるマスコンクリート部材内には温度と含水率の分布に応じた蒸気圧が生じ、水分移動にはこの圧力が寄与していること、また一方では、部材内に極度に乾燥したゾーンと100℃を上回る高温域であっても水分を保持しているゾーンが併存し、この境界に極めて含水率の高いゾーンが形成され、この高含水率ゾーンが水分の移動をさまたげているなどの新知見を得ている。この結果は、マスコンクリート部材が高温加熱を受けた場合の状況が断面の小さな一般部材とはかなり異なっていることを示している。

4) 高温加熱を受ける部材の温度履歴を解析し、その結果をもとに部材の物性変化を検討している。この結果、高温加熱を受けるマスコンクリート部材内で生じる物性変化が小型のテストピースによる実験では十分に再現することが困難であること、この理由が、マスコンクリート部材が高温加熱を受けた場合に生じる特異な水分・圧力状況によることを示している。

以上、本研究は、これまでその実態が明らかではなかった高温加熱を受けたマスコンクリート部材内で生じる物性変化を明確に示したもので、建築構造・材料学分野に新知見を与え、その進歩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。