

加藤 雅樹 研究室

工学部 建築学科 准教授
かとう まさき
加藤 雅樹 先生



研究室でのゼミ授業

高強度コンクリートの爆裂現象に、 耐火構造研究から迫る

国内の建築が耐用期間中に経験し、大きな被害が生じる災害といえば地震が挙げられるが、火災によっても大きな被害が生じている。そして地震の少ない国は多数あるが、火災は世界中で起きる災害なのである。その火災に建築物が耐えるために所定の耐火性能を備えた構造を一般に「耐火構造」と呼ぶ。耐火に関わる研究は、設計だけでなく、材料、環境などを含んで広い分野に及んでいる。

建築物には多種多様な材料が利用されるため、それらが火災を受けた場合の構造性能を知ることは重要である。また、その火災の発生する環境によって火災性状に大きな違いが生じるため、建てられる用途や周辺環境、その中に収納されるものの燃え方等にも注意する必要がある。例えば紙類などを多く収納する施設では火災が長い時間継続したり、温度が高くなる可能性があるからだ。

そのような火災の特徴や、建築に用いる様々な材料の耐火性能を理解し、より安全な環境を作り上げることが今日の建築にとって重要な課題になっているといえよう。

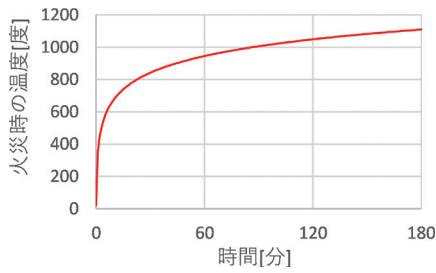
高強度コンクリートの爆裂現象に迫る

主要な建築材料の中でもコンクリートは加藤先生の大きな研究対象になっている。コンクリートは近年高強度化が進み、これまでより大きな設計基準強度 $100\sim 300\text{ N/mm}^2$ という高い強度が実用化されている。この「高強度コンクリート」は、強度が増したお

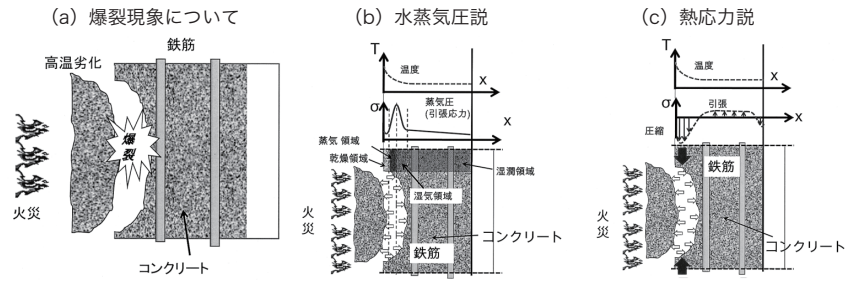
かげで部材断面積の低減に力を発揮し、開放感のある空間の実現に貢献している。しかし、【図1】に示されるような火災時の加熱を受けると爆裂が生じる可能性があることがわかっていることも事実だ。ここで言う「爆裂」とは、高温に曝された部材表層のコンクリートが剥落する現象を言う。【図2(a)]のように爆裂が生じると鉄筋コンクリート部材のかぶりコンクリート（表面付近）が剥落して断面欠損が生じるため、部材の耐火性能が大きく低下するのである。

「この爆裂現象の発生メカニズムに関する研究は古くから行われており、大きく分けて『水蒸気圧説』と『熱応力説』があります。『水蒸気圧説』とは、【図2(b)]に示すように、火災などによる加熱に伴ってコンクリートに含まれる水分が蒸発し、するとその体積も急速に増加して、コンクリート表層の細孔に大きな水蒸気圧が生じ、引張破壊により爆裂を引き起こす、というものです。また、『熱応力説』は、【図2(c)]に示すように、加熱によるコンクリート表層の熱膨張が周囲の常温コンクリートにより拘束され、圧縮応力が生じて圧縮破壊により爆裂を引き起こす、とするものです。

この2つの説に着目し、これまでに多くの実験・解析研究が行われています。主に①コンクリート強度が大きい、②部材の断面寸法が大きい、③加熱昇温速度が大きい、④コンクリートの含水率が高い、⑤加熱前に部材に生じている圧縮応力が大きい、といった条件下で爆裂が生じやすい傾向があることが分かっているのですが、未だそのメカニズムの解明には至ってい



【図1】火災時の温度 (ISO834に記載されている標準加熱温度曲線)



【図2】爆裂現象
出典：日本建築学会「構造材料の耐火性ガイドブック2017」

ないのです」とも加藤先生は話す。

ポリプロピレン繊維などを混ぜ込むことで爆裂が起きなくできることも分かってきているが、その原因も解明されていない状態なのだ。

加藤先生は、これまで民間の研究所で耐火に関する研究を進めてきたが、2023年度に本学に着任し、この2説を中心に爆裂の原因を特定する基礎研究に取り組み始めたところだ。

建築資材によって異なる耐火構造を知る

建物の主な構造材にはコンクリート、鋼、木の3つがあると加藤先生は話す。

「これら3つの材料はそれぞれに長短の特徴を持っています。コンクリートはほとんど燃えることがなく、構造的に火に強いものです。鋼は強度はあるのですが、熱に強いとは言えず300℃程度で強度が低下し始めます。木はもともと燃えやすく260℃程度で炭になってしまいますが、構造素材としては軽く、自然素材でもあります。これらの性質をうまく利用して、例えば木であれば難燃系の薬剤を注入して燃えにくくしたり、木や鋼を芯材として周囲に耐火被覆を巻くなど、様々な研究が進んでいます。木はそれ自体が燃えやすいものであり、ヒノキ、マツ、スギなどの樹種による違いもあります。人の生活に馴染みやすい素材で人気も高いのですが、取り組む課題は未だ多いです。

そのほかにもプラスチック系等の新材料も増え、複合材の進歩が続いています。現在は一つずつ実験や解析を行って、基礎データを蓄積したいと思っています」と加藤先生は話す。

手探りで耐火構造の基礎研究を進める

「材料開発においては、既に、木材には難燃性薬剤を注入して燃えづらくしたり、難燃性の素材を木や鋼の周りに巻き付けて保護する方法なども盛んに研究さ

れ、実建物への普及も進んでいます。

私の研究は材料レベルで火災のような高温時にどのように強度等の性能が低下してしまうのか調べ、そして次のステップで、柱や梁などの部材レベルでどんな性能や安全性を持っているかなどを調べようとするものです。1つの材料ではなく、複数の材料を組み合わせた部材も対象としています」と語る。

新しい開発の最先端で見つかる思いがけない弱点、材料ごとに異なる意外な弱点、これまでない新しい材料などに対して、火災という重大な災害とどう向き合っていくか。常温時に優れた構造性能を持っていても、火災に弱い材料もある。そういった中で、対症療法的な改善だけでなく、加藤先生のような火災に対する研究を基礎の部分で積み重ねる必要性が高まっていると言えよう。

現在、先生自身がテーマとしている「高強度コンクリートの爆裂」に関する研究「木材が燃える現象や燃え止まる現象を考慮した部材温度の解析方法」に関する研究などについて卒業研究を行う学生もいる。

加藤先生は新任で、研究室に所属する学生は学部4年生の4人のみだ(取材時点)。おかげで、ほぼマンツーマンで学生の研究に関わることができている。

学部4年生の上関稜真さんは「私も先生の指導の下で高強度コンクリートの爆裂の研究に取り組んでいます。爆裂を起こす要因については色々な説があり、それを少しでもはっきりさせるために、コンピュータ上で専用ソフトを運用してコンクリートのモデルを作り、色々な力を加えたり温度変化を与えたりした時にどんな変化が起こるかを調査・研究しています。実験データは既存のものがたくさんあるのですが、現在はまだそれらを仕分けして入力したり、研究に合うモデルを作るなど、準備段階にいるところです。今回の私の卒業研究では、『熱応力説』に基づいて調査を行い、私なりの一つの成果が出せるところまでやっていきたいと思っています」と話してくれた。

太田 正人 (ジェイクリエイト)