

# Epistula

えびすとら



## 特集 構造部材の耐火性能の向上にむけた研究開発

地震が多い我が国ですが、既に東京では高さが100mを超える超高層ビルが300棟以上も建てられています。これらの建築物は、地震などの災害に対して安全を確保するように設計されています。もちろん火災に対しても、建物の利用者が安全に避難できること、周囲の人や財産などに対して大きな損害を与えないことなどを目的として、避難対策、防火対策などが行われています。そのため、現在では火災による建築物の大きな被害は、ほとんど見られないようになりました。

しかし、昔はそうではありません。木で造られていた住宅や町は、一旦火災が起こると町全体が焼け野原になるような大火が頻繁に発生しました。そこで、近代になると建物や都市を火災から守るために、燃えない材料であるレンガ、コンクリート、鉄などで建物を造るようになりました。確かに燃えない材料で造られた建物そのものは燃えませんが、我々の身の回りには、衣類や家具などの燃えやすいものが溢れています。コンクリートや鉄で作られた建物でも、その中に燃えるものがあれば火災は起こります。そして、ただ建物全体に燃え広がるだけでなく、最悪の場合、火災で建物が壊れてしまうこともあります。

(写真1)

2001年9月に米国で発生した航空機テロでは、超高層ビルに航空機が衝突して激しい火災が起こり、建物を支えていた構造部材の一部が熱により強度を失ったことから110階建ての建物全体が崩壊しました。

また、2005年2月にスペインで発生した高層ビル火災では、21階からの出火にも関わらず、32階建ての建物がほぼ全焼し、高層階の床、外壁が広い範囲にわたって崩壊しました。(写真2) 改修工事中の火災ではありますが、火災が短時間に上下階に延焼し、外周部の鉄骨柱が熱で壊れたことが被害を大きくした理由だと考えられています。

このような高層ビルが火災で崩壊すると、その被害は極めて大きなものとなることから、火災が発生した場合でも、その被害が及ぶ範囲が小さくなるように防火区画を設けることや、建物全体が壊れることが無いように二重三重にも様々な対策を行うことが重要です。建築研究所では、建築物の火災時の安全確保に関する研究を進めており、ここでは最近実施した構造部材の耐火性能に関する研究成果について紹介します。



写真1 火災の熱で柔らかくなり大きく変形した工場の鉄骨の柱



写真2 火災で全焼し上部が大規模に崩壊したスペインの高層ビル

## コンクリート部材の耐火性

### ○コンクリート構造部材は火災に強い？

コンクリートは、鉄筋または鉄骨と組み合わせて建築物、道路、橋梁、地下空間などを構成する構造部材として幅広く用いられています。木材などのように燃える材料では無いので火災に強いと思われていますが、激しい火災の熱に曝されると爆裂を生じて、コンクリートの一部が大きく剥ぎ取られてしまう場合があります。そうなると内部の鉄筋や鉄骨は、直接火災に炙られて著しく耐力が低下し、建築物や道路などが崩壊する危険性があります。過去には、日本坂トンネル自動車火災（1979年）、欧州の英仏海峡トンネル車両火災（1996年）、首都高5号池袋線タンクローリー火災（2008年）があり、どれも補修に長期な時間を要したため、ライフラインの機能が停止したことにより社会的に与える影響は甚大なものでした。また、近年の技術開発により超高強度のコンクリートの施工が可能となりましたが、火災時には一般的なコンクリートに比較して爆裂が発生し易いため、その防止対策が必要となります。（写真3）

### ○火災時のコンクリートの爆裂現象と防止対策

コンクリートの爆裂メカニズムは、①急加熱による骨材とセメントモルタルの熱膨張の差に起因するもの、②加熱面近傍で発生する層間の温度差による熱応力破壊など諸説有りますが、③スポンジ状のコンクリート内の空隙とそこに閉じこめられた結晶水、含水が急激な火熱を受け水蒸気となり、内圧が急上昇して空隙を破壊し表面に近い部分で連鎖的に爆裂が発生する説が有力です。（図1、写真4）

この爆裂防止対策のひとつは、有機繊維をコンクリートに混入する方法です。有機繊維は比較的低温域で溶融するため、コンクリート内部に新たな空隙を発生させ、結晶水等の蒸気圧を逃す道をつくります。また、コンクリートの表面に耐火被覆材を施して、コンクリートの急激な温度上昇を制御する方法も有効です。

### ○建設廃棄物を有効活用した爆裂防止耐火被覆工法

21世紀の大きなテーマに環境問題が上げられ、特に廃棄物の処理は地球的規模の課題となっています。建設分野においても「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」（略称：建設リサイクル法）の制定により建設廃棄物の有効活用が促進されましたが、再資源化が困難なボード類のリサイクル率は未だ低いのが現状です。一方、せっこうボードをリサイクル処理して得られた粉状の廃せっこうは20%以上の多量な結晶水が含まれた二水せっこう（2分子の結晶水をもつ硫酸カルシウム）であり、火災時には結晶水が熱分解し水蒸気となって温度上昇を遅らせる働きをします。この特性を利用して、廃せっこうを軽量モルタルの骨材として用い、超高強度コンクリート構造部材の表面に仕上げ材の層として施工すれば、爆裂防止対策に有効な湿式耐火被覆となります。（図2）

建築研究所では、コンクリートの爆裂防止対策の有効性を評価する研究を行っています。これまでの実験結果から、廃せっこうの特性である水を離脱し吸熱する効果（温度が100℃で停滞する現象）が確認され、温度上昇を250℃程度に抑えることが可能となり、耐火被覆材を構成する材料として耐火性の向上に大きく寄与することが明らかになりました。建設廃棄物の有効活用とコストの低減からも優れた材料であるとともに、今後は高層RC建築物の構造部材、大深度コンクリート構造物の柱や梁、高速道路トンネルの超高強度コンクリートセグメントの保護等々への活用が期待されるものと考えられます。（図3）



写真3 耐火試験後の超高強度コンクリートセグメントの爆裂状況と露出した鉄筋

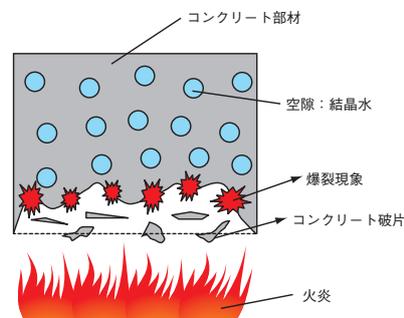


図1 コンクリート部材の爆裂メカニズム（水蒸気の圧力上昇）



写真4 コンクリート構造部材の爆裂状況

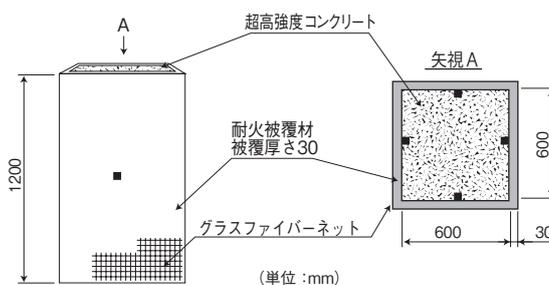


図2 廃せっこう混入軽量モルタル耐火被覆を施した試験体（柱部材）

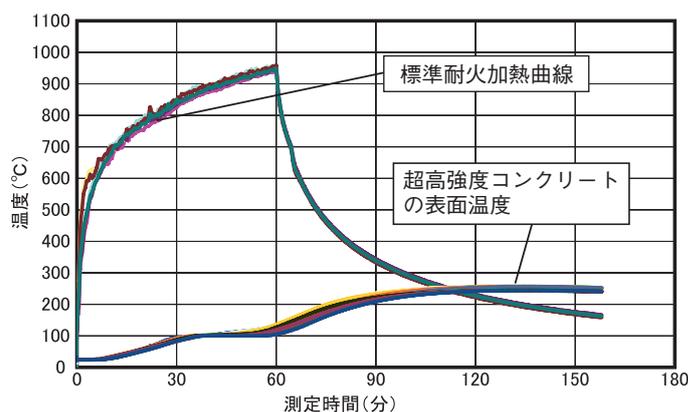


図3 1時間耐火加熱を行った試験結果（試験体表面の温度上昇が低く抑えられている）

# 鋼 構造部材の耐火性

## ○鋼構造部材は火災に強い？

鉄骨・鋼もコンクリートと同じように建築物や橋梁などの構造部材として幅広く用いられています。鋼はもちろん燃えませんが、高温になると強さを失ってしまいます。工場等の鉄骨で造られた建物で火災が発生し、熱で柱や梁がアメのように曲ってしまった火災後の様子をご覧になったことがあるでしょう。火災による高温から建物を守るためには、鉄骨を耐火被覆という断熱性の高い材料で保護することが必要です。

しかし、一方では耐火被覆をしなくても火災に強い建物をつくるのが技術的に可能になってきました。鉄骨を用いた建物が、火災時にどのように壊れるのかを理解することにより、より火災に対して安全につくるための研究を進めています。

## ○鋼構造部材の温度上昇による耐力低下

例えば、鋼構造の柱や梁の耐火性能を試験により評価する場合、鋼材の平均温度350℃以下、最高温度450℃以下であることが判定条件になっています。しかし、その温度に至る途中及びその後、どの程度耐力が低下しているのかは明らかではありませんでした。そこで、一般に多く利用される鋼部材(SS400)を取り上げて、800℃までの温度上昇による耐力低下の全体像を実験的に明らかにしました。

実験した鋼部材は、H形鋼を使用した長さ2mの梁と柱です。それぞれを電気炉内で目標温度に安定させた上で、荷重を徐々に増加させ、崩壊した時点の耐力を測定しました。目標温度は室温から100、200と100℃刻みで800℃まで変化させています。許容応力度法の最大長期荷重を1とした場合、部材が崩壊した荷重との比（ここでは「崩壊荷重比」という）で表した柱の鋼材温度との関係を示したグラフが（図4）です。崩壊荷重比は室温では、柱で約2.2倍、梁で約2.7倍ありました。しかし、温度上昇に伴い崩壊荷重比は低下し、800℃の崩壊荷重比は室温の約1/10程度にまで低下しています。最大長期荷重が作用した場合に崩壊する温度は、柱で約550℃、梁で約600℃となります。

また、高温引張強度を測定し、それぞれの温度における降伏点、ヤング率を求め、この値を予測式に適用して高温時の崩壊荷重比を求めています。実測した崩壊荷重比と比較すると、柱ではその差が小さく良い一致が見られます。

このような結果を利用すれば、構造設計を行った建物が崩壊に至るまで、鋼材温度にどの位の余裕があるのか、定量的に把握することが可能になります。

## ○大断面部材の耐火性能

部材の耐火性能は、実物大の試験体で行うことが基本です。しかし、今までは試験装置の能力不足のために、超高層の実物大の柱を載荷加熱試験で評価することはできませんでした。建築研究所の柱用加熱炉は、現在国内で最大級の載荷能力があり、今回20MNレベルの軸力（50階程度の建物の1階柱に作用する大きさ）を加えながら実物大の鉄骨柱の耐火試験を行いました。

いずれも定められた耐火時間以上の耐火性能を有しており、中には通常は1時間に相当する耐火被覆で3時間以上の性能が得られました。さらに、この試験体の耐火被覆を25%剥ぎ取り（耐火被覆の脱落を想定している）、再度試験した結果、耐火性能が27分に減少しました。このように耐火被覆の損傷、脱落は耐火性能に大きく影響することが実証されました。実験後の状況を写真6に示します。また、耐火被覆が健全な場合の試験と25%剥ぎ取って試験した場合の鋼材温度の履歴を図5に示します。



写真5 載荷加熱試験後の大きく変形した鉄骨柱

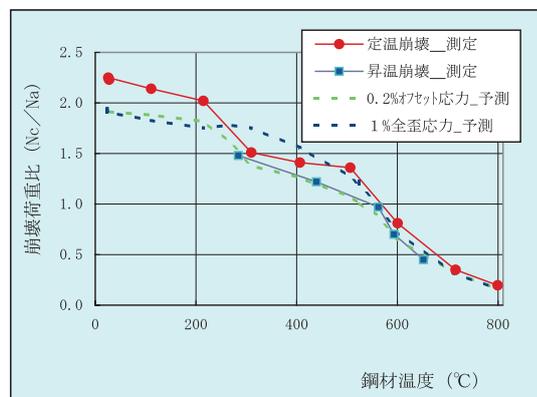


図4 柱崩壊荷重比の鋼材温度との関係



写真6 耐火被覆を25%剥ぎ取った実験後の試験体

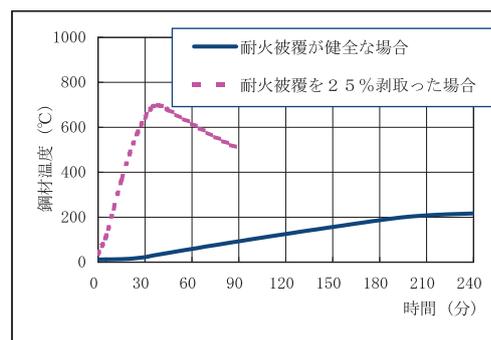


図5 耐火被覆が健全な場合と25%剥ぎ取った場合の鋼材温度履歴

# 研究成果の活用

建築物の耐火性能を得るための対策は、一般に建物の完成時には表面が化粧される（例えば、耐火被覆された梁は天井裏に隠される）ため、直接目で見て確認できないものがほとんどです。そのため、どのように、あるいはどの程度研究成果が利用されているかを知ることが難しいこともあります。しかし、工事中の写真や実際の火災後の調査を通じて、研究成果が生かされていることを確認できた時は嬉しく思います。これからも構造部材の耐火性能を向上させるための研究や技術開発を進めていく予定です。

## 国際地震工学センター(IISEE)ホームページの更新について

国際地震工学センター (IISEE) は、7月にホームページ (英語) を更新し、見やすく、かつ分かりやすくしましたので、お知らせいたします。

国際地震工学センターは、開発途上国の研究者・技術者を対象に国際地震工学研修を実施し、これまで約1,400名の研修生を世界に送り出しました。その研修内容を広く公開し、途上国の地震被害の防止・軽減への貢献をさらに進めるため、国際地震工学に関する研修情報及び技術情報を掲載したホームページを作成しております。URLは従来同様 <http://iisee.kenken.go.jp/> ですので、是非ご訪問下さい。

本ホームページでは、国際地震工学研修で使用している講義ノート (英文) を閲覧できる "IISEE-UNESCO Lecture Notes" (登録制)、講義ビデオを閲覧できる "IISEE E-learning"、研修生が作成した修士レポートの要旨を閲覧できる "Synopsis Database" のページ、また、建築研究所強震観測、世界の被害地震のカタログ (宇津カタログ)、IISEE の地震カタログのサイト、さらに最近国際地震工学センターが進めているユネスコとのプロジェクトである IPRED (International Platform for Reducing Earthquake Disasters) のページがございます。

なお、月刊 IISEE Newsletter は、現在一部の方のみお送りしていますが、定期的に受信を希望される方は、[iiseenews@kenken.go.jp](mailto:iiseenews@kenken.go.jp)宛にお知らせください。

The screenshot shows the IISEE website homepage. At the top, it features the IISEE logo and the text 'INTERNATIONAL INSTITUTE OF SEISMOLOGY AND EARTHQUAKE ENGINEERING'. Below this is a navigation menu with links for Home, Welcome, About IISEE, Newsletter, Training, Publications, Research, Staff, Meeting Calendar, FAQs, WWW links, Access, and Contact. A central image shows a building with cherry blossoms. To the right, there are sections for 'IISEE Net and Training', 'IISEE E-learning', and 'Synopsis Database'. A 'Recent updates' section lists various newsletter issues and special pages, such as 'IISEE Newsletter No.41 is issued on June 22, 2009' and 'Special page of Iwate Miyagi Inland Earthquake of June 14, 2008 is added on June 16, 2008'. At the bottom, there is contact information and a copyright notice for IISEE.

## 岡田外務大臣が「CTBT発効促進会議」で地震観測を専門とする研修の拡充をアピール

去る平成21年9月24日にニューヨークに於いて「第6回包括的核実験禁止条約(CTBT)発効促進会議」が開催されました。この際に岡田外務大臣は今後の我が国の取組として「CTBT発効促進イニシアティブ」を提示し「現在実施している核実験探知のための地震観測を専門とする研修員の招へいを拡充し、国際監視制度(IMS)監視観測施設の維持及び整備に協力していく」と発表しました。

建築研究所では、CTBTの発効に向けた国際貢献として、地下核実験の国際監視システムを担う専門家を養成するため、外務省からの依頼を受け平成7年度より「グローバル地震観測研修」を行っています。岡田大臣の発言を踏まえ、建築研究所では、今後も地震学の知見・技術を基に国際貢献を一層推進していきます。

注)「グローバル地震観測研修」とは、地震観測技術が未発達な国々を対象とし、核実験探知に必要な地震観測技術等の習得を目的とした研修です。

## 出版のご案内

BRI Proceedings No.17

PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SYMPOSIUM 2008- Discuss together on the keen and common issue Part3: Strategies to Mitigate Casualties by Earthquakes Focusing on Non-engineered Construction

BRI Proceedings No.18

PROCEEDINGS of TOKYO INTERNATIONAL WORKSHOP 2009 on EARTHQUAKE DISASTER MITIGATION FOR SAFER HOUSING

建築研究資料 第118号

2008年5月12日 汶川地震(四川大地震)における建物被害と復興に係わる調査活動記録



## 編集後記

火災統計によれば、日本では年間約5~6万件の出火件数のうち、建物火災が約6割の3万件にも上る。一年の中でも気温の低い季節である冬から春にかけて火災の発生は増加する。火災は、世界中のどこにでも古くからある災害の一つである。特に、日本では「火事と喧嘩は江戸の華」と言われるように、頻繁に発生したことから、庶民の住宅はあらかじめ燃えることを前提に安普請であったようだ。ほとんどが借家であったので、住民は身一つで逃げて、あまり死者は発生していない。それどころか、燃えた家を建

て直す仕事が増えて、社会としてもある程度の火事は許容されていたと考えられている。

しかし、経済活動が発達し生活が豊かになると、火災から財産を守ることが重要になり、近代的な防火対策が発達してきたのである。その対策の原点が建物の不燃化であり、火災に強い耐火建築物である。今回の特集では、普段あまり意識されることのない、構造部材のコンクリートや鋼の耐火性能に焦点をあて、最近の研究成果の一部を紹介した。地道な研究ではあるが、人々の安全を支える重要な研究であり、今後も積極的に取り組んでいきたいと考えている。(I. H.)

## Epistula

えびすくら



第47号 平成21年10月発行

編集: えびすくら編集委員会

発行: 独立行政法人 建築研究所

〒305-0802 茨城県つくば市立原1

Tel. 029-864-2151 Fax. 029-879-0627

●えびすくらに関するご意見、ご感想は

[epistula@kenken.go.jp](mailto:epistula@kenken.go.jp) までお願いいたします。

また、バックナンバーは、ホームページでご覧になれます。

(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/epistula.html>)