

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2010

課題番号：20246088

研究課題名(和文)

構造部材・耐火被覆材・区画部材の相互作用が鋼構造物の高温時構造安定性に及ぼす影響
研究課題名(英文)

Influence of interactive behavior between load bearing and insulation members on the structural stability of steel buildings subjected to fire

研究代表者

鈴木 弘之(SUZUKI HIROYUKI)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号：20114093

研究成果の概要(和文)：

建築物に対する現行の耐火設計は架構の変形を無視するが、火災を受けると架構は実際には変形する。火災加熱を受ける鋼架構は、安定性を失うまでにどれほど変形するか、一方、鋼材の温度上昇を抑制する役割を果たす壁や耐火被覆材はこの変形に追従できるかを、前者については理論と解析によって、後者については実大模型に対する2シリーズの載荷・加熱試験によって明らかにした。実験の一つは予め損傷を与えた石膏ボード壁の加熱試験である。もう一つは耐火被覆された鋼角柱の載荷加熱同時作用試験であり、吹付けロックウール・巻付けロックウール・珪酸カルシウム板を被覆材料とした。

研究成果の概要(英文)：

Although present fire resistance design rules out the displacement of buildings, this is not true in practice. In fact, local displacements of heated members and the vicinities are generally not small. In view of this, a study is made on the interactive behaviors of load bearing and thermal insulating members of steel structures subjected to fire. The maximum displacements which heated steel frames can bear stably in fire have been clarified analytically. Two series of full scale tests have been also conducted to see whether insulation members can follow the above displacements. One is the heating test of displaced gypsum board walls. Another is simultaneous loading and heating test of protected steel box columns, where sprayed rock wool, rock wool felt sheet and calcium silicate plates were chosen for protection materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	21,400,000	6,420,000	27,820,000
2009年度	11,700,000	3,510,000	15,210,000
2010年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
総計	37,000,000	11,100,000	48,100,000

研究代表者の専門分野：建築構造・鋼構造・耐火構造

科研費の分科・細目：建築学・建築構造

キーワード：鋼構造耐火、石膏ボード乾式壁、耐火被覆鋼柱、壁・被覆材の火災時変形追従性能、架構の火災時リダンダンシー、架構の火災時変形、地震被災架構の残余耐火性能

1. 研究開始当初の背景

火災時、熱に弱い耐力部材が自身の性能を発揮するためには断熱部材の健全性を必要とする。一方、変形追随性能に乏しい断熱部材がその性能を発揮するためには耐力部材の健全性を必要とする。したがって、両部材の一方の性能が劣化すると、これが他方の性能に影響する。これを両部材の相互作用という。当該相互作用が明らかに顕在化する次の2問題を指摘できるが、今日全く未解明である。(1)火災時、高温化した耐力部材を含む架構が示す変形は局所的には必ずしも小さくなく、このとき断熱部材はこの変形に追随できるか。(2)地震時、永久変形を被った架構がさらに火災を受けたとき、損傷を被った耐力部材と断熱部材より成る架構の耐火性能はどれほど劣化するか。

2. 研究の目的

上の問題に答えるべく次の各項を研究目的とする。(1)予め永久面内せん断角を被った乾式壁の区画保持性能を実験に基づいて明らかにする。(2)変形を伴う被覆鋼柱の高温耐力を実験に基づいて明らかにする。(3)断熱部材の変形追随性能改善を試み、その効果を実験に基づいて明らかにする。(4)架構のリダンダンシーの高さと火災時に架構に発生する変形の間の関係を解析的に明らかにする。(5)地震被災を被った鋼架構の地震後火災に対する高温耐力を解析に基づいて明らかにする。

3. 研究の方法

上記目的(1)(2)(3)に対しては実大模型の載荷加熱試験を計画し実施した。載荷用加力ジグは本予算で作成した。用いた加熱炉は東京理科大学が現有する大型壁炉と中型複合炉である。(4)(5)に対しては理論の構築と数値解析両面の研究を行なった。既開発の有限要素解析である火災応答解析を用いている。

4. 研究成果

(1) 壁の変形追随性：鋼構造建築物の代表的な壁として、非耐力の石膏ボード乾式間仕切壁を取り上げ、当該壁の火災時における変形追随性能を実大の耐火試験によって調べる。壁は柱と梁より成る架構構面内に配されることを想定する。本研究では、壁に変形を

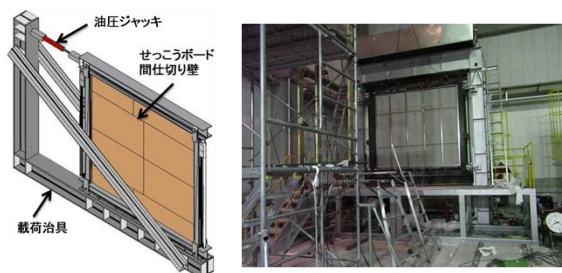


図1 常温時加力試験(左段)と壁炉による加熱試験(右段)

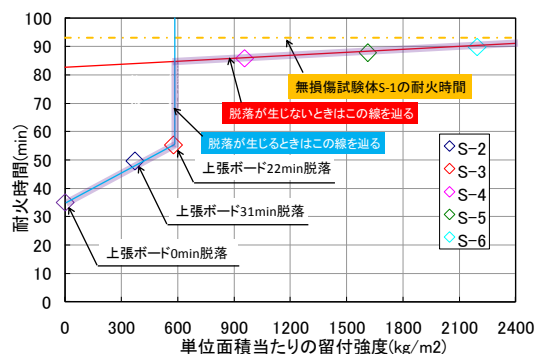


図2 ステープル止め付け量と壁の耐火時間の関係

常温下で課した後、これを壁炉に設置して加熱を課す実験を試みた。この試験方法は、一方では、地震で被災した壁の残余耐火性能を調べるそれに同じである。そこで、壁の火災時変形追随性能の概略を把握でき、同時に、地震後火災に対する壁の残余耐火性能をも把握出来るような実験を試みるべく、壁に設定する変形は、それを囲う構面内の正負繰返しせん断変形とした。壁試験体は、標準的工法およびこれを改良した工法による石膏ボード乾式壁である。改良とは、石膏ボード同志の貼り付け法、あるいは、石膏ボードと下地鉄骨との止め付け法の強化である。下地鉄骨の片面のみに石膏ボードを2枚重ねで貼りつけた片面貼り試験体6体、および両面にそれを行った両面貼り試験体8体を試験体とする。まず、常温下で面内に強制的に正負繰返しせん断変形を加えて、永久せん断角約1/50が残留するような損傷を与える(図1)。次に、この被災壁を大型壁炉に配し、標準加熱曲線に一致する推移で炉内温度を上昇させて、壁の非加熱面側表面が200℃を上回るまで、あるいは火炎が露出するまで加熱を続けた(図1)。

片面貼り壁の実験結果を要約すると次の通りである。標準工法壁は、無被災なら、所定の耐火性能を当然ながら発揮する。しかし、被災すると、上貼り(加熱面側)石膏ボードと下貼りボードとのステープルによる接着性が低下する。これを加熱すると、上貼りボードが、収縮に伴い、加熱面側に反る。接着性低下が反りを抑制できなくなることが要因である。これが原因となって、上貼りボードは早期に脱落してしまう。その後しばらくして壁はその耐火性能を失う。ステープルの鉋打数を増すと、接着力も増し、耐火性能も所定のものに復活する。壁の変形は、それが小さくないときは、明らかに耐火性能に影響を及ぼすことが分かる。石膏ボードに生ずるひび割れや亀裂は、それが貫通しない限り、耐火性能を有意には低下させないことも分かった。図2は以上をまとめている。すなわち、ステープルの鉋打数増に対応して被災壁の耐火性能は向上すること、適量な、あるいはそれ以上の鉋打数の場合、ひび割れ・亀裂が

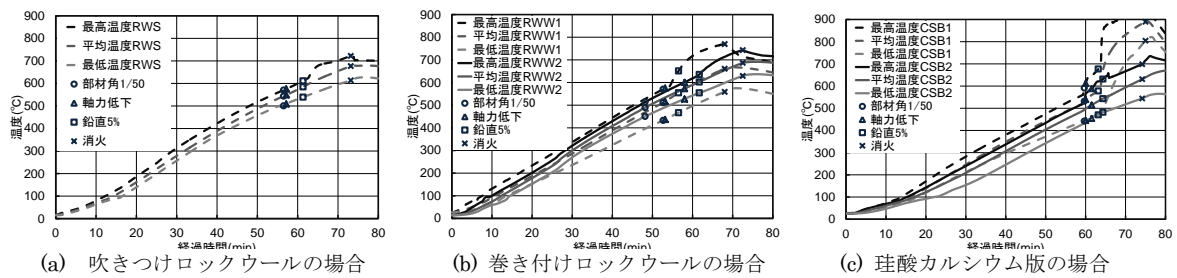


図4 角形鋼管に3種の耐火被覆を施した場合の鋼材各部の時間～温度関係

発生しているにも拘わらず、被災壁は所期の伝熱性能をほぼ発揮することを、図は示している。両面貼りボードにも類似の諸現象が見られたが、紙面の都合上掲載割愛とする。

(2) 耐火被覆鋼柱：耐火被覆鋼柱における鋼柱と耐火被覆材の火災時における相互に作用し合う挙動を直接実験によって調べた。試験すべき部分を含む柱を、耐火炉内を鉛直に貫通する形に配し、これをさらに自己釣合型の加力フレームに組み込んで(図3)、加力と加熱を同時に負荷するという実験である。試験部分の柱長は約2m、試験体鋼柱は実大に近い断面150x100ないし150x150の角形鋼管である。柱に軸力比約0.35に相当する軸力を加える。これを一定に保って標準加熱に相当する炉内温度上昇を課して柱を加熱する。これと同時に柱の部材角を漸増させる。部材角負荷は隣接する梁の伸び出しを模擬するもので、平均部材温度に比例して増加させ、800℃で部材角1/50になるような変位速度とした。耐火被覆材として、吹き付けロックウール、巻き付けロックウールフェルト、珪酸カルシウム板の3種を対象とする。被覆法として標準型ばかりでなく、これを改良したものを含めた。研究期間内に150x100長方形断面柱試験6体、50x150正方形断面柱試験5体の試験に成功した。実験により、被覆材の変形追従能力、被覆材の損傷前後における鋼材温度上昇とその分布、鋼柱の崩壊モード、柱崩壊後の部材温度上昇、柱の残余耐力を得た。以下、正方形断面試験体の実験結果を要約する。

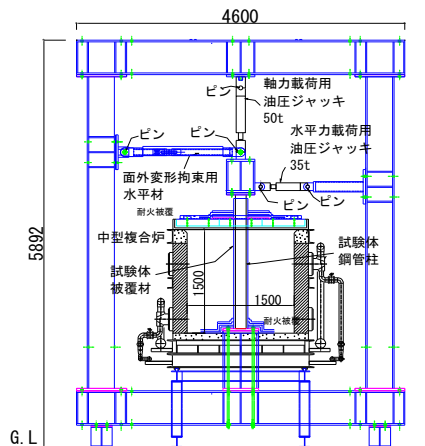


図3 耐火被覆鋼柱の荷重・加熱試験に用いた試験装置

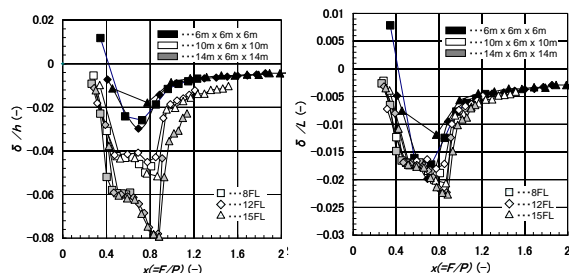
①鋼が圧縮降伏する温度に達するまでに柱は1/100を超える部材角を来すが、この時点では、柱が全体座屈や局部座屈をするような部材温度までには上昇しておらず、どの耐火被覆材の損傷度も僅少に止まる。板被覆、巻き付け被覆では目地の開きに伴ってその付近の鋼材温度は若干増大する。

②鋼断面が降伏する時間に達してしばらくすると、正方形断面柱には局部座屈が発生する。局部座屈後、珪酸カルシウム板被覆通常版では板が剥落し、鋼材温度は柱の広い範囲で急上昇して、得られる性能は芳しくない(図4(c)波線)。そこで、被覆板の長手方向寸法を短縮する、全横目地は通し目地とする、各横目地と鋼柱の間にスペーサとしてセラミックファイバーブランケット帯板を配するなどの改良版を設けた。そうすると、鋼板のスペーサとの接触面は当該スペーサの断熱が効いて低温となり、柱の局部座屈波の膨らみはスペーサ間の空隙に発生するようになる。これによって座屈の膨らみは被覆板に接触しなくなり、これが被覆板の脱落を防いで、局部座屈後の極端な部材温度上昇は抑制されるという一定の性能向上が得られる(同図実線)。

③ロックウール巻き付け被覆通常版の場合、被覆材の加熱に伴う収縮によって縦目地が開き、これが部材温度上昇速度を若干高める。並行して被覆材の脆化も進み、局部座屈後には被覆材は圧壊して一部は剥落し、柱温度の局所的な急上昇が観察される(図4(b)波線)。縦目地の開きを防ぐべく、目地を被覆材のオーバーラップで覆う改良版を設けたところ、局部座屈前も後も、吹きつけ被覆柱の部材温度上昇履歴に匹敵する性能向上を得た(同図実線)。

④ロックウール吹きつけ被覆柱の加熱と強制変形同時作用に対する性能は良好である。その部材温度上昇性状は、単純な非荷重加熱試験のそれと遜色ない。局部座屈後の部材温度急上昇もほとんど見られない(図4(a))。この被覆法に対して改良版を設けることの意味は特には見出せない。従来から極めて多用されている既存吹きつけ工法の良い変形追従性能を検証できたことは、本実験の大きな成果の1つといえる。

(3) 火災時の架構の変形： 架構の示す変形



(a) 柱頭鉛直変位 (b) 柱頭鉛直変位に適合する梁部材角
図5 応力再配分能力の大きさと柱頭の鉛直変位

は壁や耐火被覆材などの断熱系部材の変形追従に悪影響を及ぼす可能性がある。一方、変形に伴って発現する応力再配分作用は架構の崩壊温度を上昇せしめる。変形することの正の効果も認められるのである。火災時における架構の変形がもたらす耐火設計上の役割や影響を明らかにすることは極めて重要である。本研究では、最重要な耐火要素である柱の変形に着目した。加熱された柱の頭部の鉛直・水平変位がそれを支配すると考えられる因子のどのような関数になるかを火災応答解析によって分析した。解析結果を要約すると次の通りである。

図5は、火災加熱を受ける高温化した柱の柱頭の鉛直変位(図の縦座標)はどの程度になるかを示した一例である。対象架構は耐震設計された15層までの3スパンラーメンで、1つの層の中央スパンに区画火災が発生している。火災によって架構は左右に対称な変形を呈し、中央の2つの柱は高温化して柱は高温座屈する。その後、柱頭は沈下し、側部スパンの梁にはこれに伴って部材角が発生する。図5(a)の縦座標は終局時における柱頭沈下量を柱長で除した無次元量であり、同図(b)のそれはこのときに発生している側部スパン梁の部材角である。両図の横座標は、共に、この架構の梁群が持つ応力再配分率 x (側部梁群が座屈した柱を吊り上げ得る力の大きさを表す無次元量で、これが柱の常温時軸方向強度に一致するとき再配分率 x は1)である。両図は、柱沈下量・側部梁部材角は火災発生層位置に依存するか、 x にどのように依存するか、あるいは、当該梁長に依存するかに着目している。側部梁部材角は x のみに依存する(図5(b))。柱沈下量は火災発生層には依存しないが、 x と側部梁長に影響される。 x が小さいとき、架構の応力再配分能力は僅かで、柱が座屈すると間もなく架構は崩壊し、このときの柱沈下量・梁部材角は小さい。逆に、 x が1に近接するほどに大きいとき、柱頭沈下・梁部材角が小さいのは、架構が剛を保っている間に中央スパンの高温梁が崩壊してしまうからである。中間の x で柱頭沈下・梁部材角が大きくなるのはまさに応力再配分がフルに行われるからである。この場合の架構の崩壊時はせん断を受けている側部梁の曲げ崩壊時にほぼ一致する。終局時

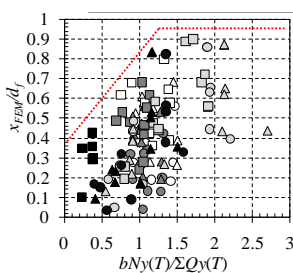


図6 梁の軸方向強度と柱頭の水平変位の大きさ

の側部梁部材角が x のみに依存して、しかも、その量が0.02辺りで停留気味であるのは、梁が曲げ崩壊するときのせん断角の大きさが梁長に大きくは依存しないからである。柱の沈下量が梁長大のと

き大である(図5(a))のはこの事実に対応している。側部梁のせん断角が同じならば、それに適合する柱頭の沈下量は梁長に比例するからである。これより、柱の温度上昇と柱頭沈下に伴って応力再配分作用が発現すること、発現と共に変形は大きくなり、同時に架構の崩壊温度も上昇することが分かる。

図6は火災時における高温化した柱の頭部が終局に至るまでに来す水平変位の大きさを示している。対象はやはり耐震設計を施された12層鋼構造ラーメンである。スパン数は、今度は3~7とし、1つの層の幾つかの連続するスパンに跨がって区画火災が発生したとする。ただし1つ以上のスパンは非火災とする。図は、変形に影響する各種要因の輻湊を度外視し、唯1つのファクターに着目してまとめられている。図の縦軸は色々な柱の頭部水平変位を梁の加熱部分の自由伸び出し量で除した無次元量である。後者自由伸び出しは特定できる梁の不動点から計る。これが1のとき、梁の自由伸び出しと柱頭の節点横移動は適合し、一方、伸び出す梁は周辺に拘束されるから、架構全体が横にスウェイしない限り、無次元量は1を上回ることはいない。横軸は着目するファクターであって、梁の軸方向強度とこれを拘束する周辺架構部分の強度の常温時における比(説明上これを y とする)である。内部火災の場合、梁に対する周辺の拘束は大きく、 y は小であり、このとき加熱された梁は大きくたわみ同時に塑性的に縮んで、図に見るように、柱頭移動は小さい。 y が大きくなる場合とは、加熱スパン数が多い場合、ないし、火災が側部に近づいている場合に該当し、梁の伸び出しを拘束する力が小さくなって柱頭の横移動量が大きくなる。結果は大きくばらつくが、 y が増えると共に横移動量も大きくなる。しかし、全スパン火災でもない限り、移動量は梁の自由伸び出し量を上回ることはいない。柱頭の横移動は今見たように必ずしも小さくはないが、横移動があるといっても、架構の崩壊モードは沈下型であり、その崩壊温度は、加熱される柱を中心圧縮柱と見たときの理論座屈温度を下回ることはいなく、柱頭の横移動の影響を受けない。これをもたらしめているのは前パラグラフで観察した架構の応力再配分能力

である。

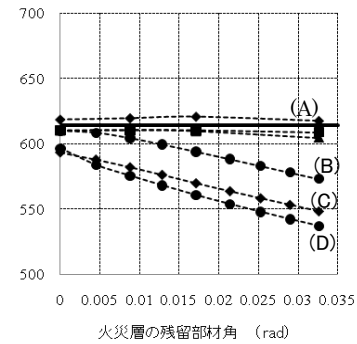
(4) 地震後火災を受ける鋼架構の崩壊温度：地震によって被災した鋼構造骨組の崩壊温度を理論的・解析的に明らかにする。地震後火災の耐火問題は従来ほとんど研究されたことはなく、それ自体重要度の高い研究課題である。地震による小さな残留部材角が架構の崩壊温度を大きく低下させるならば、壁や耐火被覆材の変形追従性よりも高温構造安定が地震後耐火の主テーマでなければならないし、一方、被災による高温構造安定問題が発現する前に断熱部材が劣化するならば、伝熱問題と変形追従問題が当該耐火の主テーマとなる。こうした基本的な前提条件ですら現状では未解明である。本研究では、断熱部材の変形追従問題とは独立して、まずは、地震被災の大きさと架構崩壊温度の関係を具体的に把握する研究に取り組んだ。

我が国の現行耐震設計を施した多層鋼構造ラーメンを対象とし、架構の各階は $D_s=0.25$ に相当する A_f 分布水平力に耐えらる。これを構成する柱はFAランクの正方形角形鋼管、梁はH形鋼である。実情を踏まえ、最下層の柱の軸力比は0.3に一致させた。地震被災として、鋼構造物の代表的な地震被害である残留層間変形角と梁端破断を取り上げる。

被災を残留層間変形角のみとし、有限要素解析によって最下層に強制的に所定の残留層間変形角が発生するような水平力加力を行った後、最下層内に単一スパン・数スパン・あるいは全スパンに亘る区画火災を生ぜしめて、架構の崩壊温度をやはり有限要素解析で求める。図7は多層10スパン架構を対象としたときの与えた残留部材角、区画火災の規模、および得た架構の崩壊温度の関係である。火災が8スパンを下回る場合は、与えた残留部材角に依らず、崩壊は沈下型に止まり、側部に近い柱は大きな部材角を被っているにも拘わらず、崩壊温度は、中心圧縮柱の理論座屈温度にまでほぼ上昇して、無被災架構の崩壊温度と遜色ない。一方、火災が8スパンを超えると、架構は横移動を伴う崩壊形へと移り、この場合は、崩壊温度は上の場合より低下し、火災の範囲が大きいほど、崩壊温度の低下も大きくなる。前者が沈下型に止まるのは火災層の低温部が横移動を拘束するからであり、崩壊温度が有意には低下しないのは、高温部を囲う周辺部材が鉛直荷重に対して応力再配分を促すからである。地震後火災に対する鋼構造耐火では、横移動モードが現れるより危険な場合を研究する必要がある。多くの耐火問題において期待出来る応力再配分作用はこの場合には発現しない。しかし、耐震架構の場合は、図7に見るように、全スパン火災を被ったとしても崩壊温度の低下は数十度のオーダーに止まることを

考慮して、全スパン火災に対する架構の耐火性を調べることによって、地震被災の最悪影響を把握できるであろう。以下は、これに関わる研究成果である。

残留部材角ないし梁端破断を被った鋼架構の高温崩壊を調べるための理論解析用単層ないし3層モデルを有限要素モデルとは独立に構築した。崩壊要因のシンプルな解明と崩壊温度の理論予測を目的とする論考であり、これより次のことが分かった。①地震後残留部材角が存在する鋼架構の崩壊温度は、専ら、火災層の横移動に伴う $P-\Delta$ 効果によって低下する。理論モデルはこれを評価するためのそれである。地震後残留部材角が大きいほど低下はより顕著ではあり、同じ被災度の場合、柱の軸力比や細長比が大きいほど崩壊温度の低下はより大きくはなる。②しかし、耐震設計を施される我が国の通例の架構では、1/50ほどの大きな残留部材角が存在しても、火災時の崩壊温度の低下はむしろ僅少に止まる。③残留部材角に梁端破断が重畳したときの崩壊温度の低下の度合いは残留部材角の大きさによる。これが小さいときは、梁端破断は崩壊温度低下にそれほど影響しない。しかし、地震によって倒壊はしないが小さくはない残留部材角となると梁端破断は有意な崩壊温度低下をもたらす。実際、火災層柱の細長比が0.33でその残留部材角が1/50であるとする、直上2層の梁端が破断



プロット点の並びは、(A)右側 1~7 スパン火災の場合、(B),(C),(D) それぞれ右側 8,9,全スパン火災の場合、太実線は中心圧縮柱の理論座屈温度

図7 火災が何スパンに亘るか
と架構の崩壊温度の関係

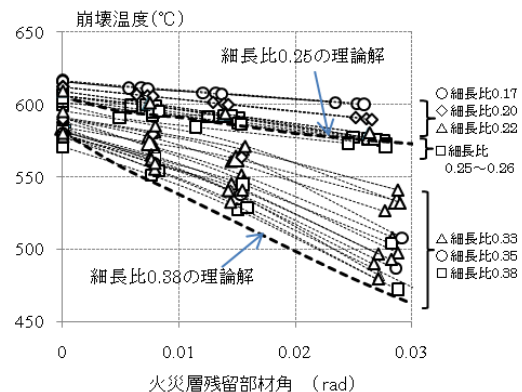


図8 残留部材角と梁端部破断を被災した架構の崩壊温度～残留部材角関係

したときの火災層の崩壊温度は、無被災架構の 600℃をやや下回る崩壊温度に比べて、約 70℃低下する(図 8)。④ 上と同じ地震被災を被った多層多スパン架構の崩壊温度を有限要素解析によって推定したところ、上に得た理論解とほぼ同じという結果を得た。図におけるプロット点(有限要素解)と点線(理論解)が両者の整合を物語っている。15 層程度を下回る被災架構の高温構造安定はオーバーテリングの影響は受けず、専ら、 $P-\Delta$ 効果のみを受ける。この場合の架構の崩壊温度は、火災層単独あるいは火災層とその近傍の構造安定を考慮することによって的確に捉え得ることが分かる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 6 件)

①平島岳夫，豊田康二，谷田貝敦，江寄佑，田坂茂樹，吉田正友，増田秀昭，原田和典、高力ボルト継手を有する H 形鋼梁の耐火性に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、NO. 658、P. 2257、2010 年 12 月、査読有
②鈴木淳一，市原嵩紘，平島岳夫，松山賢，尾崎文宣，松岡祐一，実大 4 層鋼構造建物の完全崩壊実験における耐火被覆の挙動，日本建築学会技術報告集，第 32 号，p. 173-178，2010 年 2 月，査読有

③Shiro Kondo, Koichiro Ohguma, Tomoya Miyauchi, Kenichi Ikeda and HiroYuki Suzuki, Structural Stability of Frames Damaged by Earthquake at Fire, Tokyo University of Science, International Journal for Fire Science of Technology, Vol.28 No.1, pp.33-50, 2009, 査読有

④近藤史朗，宮内智矢，大熊晃一路，大宮喜文，池田憲一，鈴木弘之，地震後に層全体火災を受ける多層多スパン架構の崩壊温度，一地震被害を受けた鋼架構の火災時安定性(その 3)－，日本建築学会構造系論文集，第 645 号，p. 2103-2110，2009 年 11 月，査読有

⑤近藤史朗，宮内智矢，池田憲一，鈴木弘之，地震後の梁端部破断による崩壊温度の低下，一地震被害を受けた鋼架構の火災時安定性(その 2)－日本建築学会構造系論文集，第 636 号，P. 385-392，2009 年 2 月，査読有

⑥近藤史朗，池田憲一，鈴木弘之，地震後の残留層間変形角による崩壊温度の低下，一地震被害を受けた鋼架構の火災時安定性(その 1)－，日本建築学会構造系論文集，第 630 号，p. 1369-1376，2008 年 8 月，査読有

〔学会発表〕(計 28 件)

①鈴木弘之，鈴木淳一，小寺賢，大熊晃一路，足立格，伊藤卓，水平変形を伴う耐火被覆鋼管柱の耐火性能 その 1-実験概要，社団法人日本建築学会 2010 年度大会，2010 年 9 月 9 日～11 日，富山。

②上野夕貴，古山智史，鈴木淳一，鈴木弘之，衣笠秀行，火災によって生じる熱応力が鋼架構の変形挙動に与える影響，その 2-架構の変形挙動のモデル化，社団法人日本建築学会 2010 年度大会，2010 年 9 月 9 日～11 日，富山。

③鈴木淳一，市原嵩紘，伊藤卓，鈴木弘之，大宮喜文，小寺賢，大熊晃一路，足立格，損傷を被った間仕切壁の耐火性能に関する実験 その 1-実験概要，社団法人日本建築学会 2010 年度大会，2010 年 9 月 9 日～11 日，富山。

④大熊晃一路，近藤史朗，鈴木弘之，地震被害を受けた鋼架構の崩壊温度 - 残留部材角と梁端破断を同時に被災している架構の崩壊温度，社団法人日本建築学会 2010 年度大会，2010 年 9 月 9 日～11 日，富山。

⑤小川大樹，鈴木淳一，河野守，高温時応力ひずみ関係が及ぼす H 形鋼梁の崩壊温度への影響，社団法人日本建築学会 2010 年度大会，2010 年 9 月 9 日～11 日，富山。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 弘之 (SUZUKI HIROYUKI)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号：20114093

(2) 研究分担者

辻本 誠 (TSUJIMOTO MAKOTO)

東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：90115600

原田 和典 (HARADA KAZUNORI)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90198911

衣笠 秀行 (KINUGASA HIDEYUKI)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：00224999

大宮 喜文 (OOMIYA YUSHIHUMI)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：10287469

平島 岳夫 (HIRASHIMA TAKEO)

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20334170

鈴木 淳一 (SUZUKI JUNICHI)

建築研究所・防火研究グループ・研究員

研究者番号：10453846