# GBRC水平炉を用いた様々な端部境界条 件による梁耐火実験の紹介

Introduction of load-bearing fire tests on beams with various end boundary conditions using a GBRC horizontal furnace

#### 四元 順也\*1

#### 1. はじめに

梁の防耐火構造部材としての大臣認定取得を目的とし た耐火性能評価試験<sup>1)</sup>(以下、標準耐火試験)では、梁 端をピンローラーで支持した単純支持部材に一定の曲げ モーメントを作用させた状態で火災加熱を与える。この 試験は、ISO834-6<sup>2)</sup>で国際的に標準化された試験法を ベースとしたものであり、梁の基本的な火災時正曲げ性 能を把握する上で一般的かつ重要な試験である。

しかしながら、実建物における梁部材は、両端部が周 辺の架構に接合されており、単純支持下での標準耐火試 験とは多くの点で異なる挙動を示す。例えば、火災昇温 時の熱膨張および火災減衰期の冷却過程の熱収縮が周辺 架構に拘束されることによって、付加的な応力(熱応力) が部材に発生し、その影響により早期の局部座屈発生や 応力集中による梁端接合部の破断など、火災時の構造安 全性に対して悪影響をもたらす危険性がある。一方、周 辺架構による拘束は悪影響のみならず火災時ならではの 良い効果を発揮する場合もある。ボルト等の部品が密集 する接合部は熱容量が比較的大きく、また周辺架構への 吸熱効果も加わり、梁スパン中央部に比べて温度上昇が 抑えられる。それにより、接合部の回転拘束効果が一定 程度保持され、火災時における梁の荷重支持能力を補助 する可能性がある。また、材軸方向の変形が周辺架構に より拘束された梁では、火災を受けて大変形を起こすと、 曲げによる釣り合いから吊り橋状の釣り合い機構(カテ ナリー状態)に移行することで、曲げ耐力を損失した後 であっても荷重を保持し続ける可能性がある。

このような良い効果を耐火設計に活かすには、前述の 危険性も含めた火災時挙動を把握する必要があるが、そ のためには梁端境界条件をパラメータとした比較実験に より梁端拘束による影響を特定することが重要となる。

当法人では2018年12月に梁や床等の水平部材を対 象とした耐火実験を行う加熱炉(GBRC水平炉)を池田 事業所に新設した。GBRC水平炉は様々な梁端境界条 件に対応できるよう設計されており、これまでに通常の 耐火性能評価試験とは異なる梁端境界条件の耐火実験を 多くご依頼いただいてきた。本報では、GBRC水平炉 の概要を紹介したのち、これまで実施した様々な梁端境 界条件による耐火実験のうち特徴的な3つを紹介する。

# 2. GBRC水平炉の概要

# 2.1 炉の仕様

GBRC水平炉を図-1、写真-1、仕様概要を表-1に示す。 炉の最大加熱範囲は高さ2m、幅3m、長さ10mである。 特に炉の長さについては国内の水平部材用試験炉の中で最 大であり、最大9mまでの支持スパンに対応している。

門形の載荷フレームは3台備えており、合計で最大 1000kNまでの鉛直荷重に対応している。**写真-2**に示 す試験体支持台は、梁の標準耐火試験で用いる炉外用支 持台に加え、CFT造に耐火被覆を施した炉内用支持台 を、それぞれ3台ずつ備えている。これらは、高さが可 変であり、また設置位置を自由に移動することができる。

表-1 炉の仕様概要

最大加熱範囲	高さ2m、幅3m、長さ10m
支持スパン	最大9m
載荷フレーム	最大1000kNの鉛直荷重
加熱装置	フレットフレームバーナー36台
加熱方法	ISO834標準加熱温度曲線
	UL1709加熱(5分以降1093℃一定)



長手方向側面

GBRC水平炉(寸法単位:mm) 図-1



写真-1 GBRC水平炉



内部 (炉床取り外し時)



炉外用支持台 炉内用支持台 写真-2 支持台の外観



この載荷設備に加え、国内最大の炉の長さによって、2.2 節で後述の連続支持や梁端回転拘束の境界条件に対応で きることが、GBRC水平炉の最大の特徴である。

加熱設備は、直接火炎を前方に噴出させる従来の対流 型バーナーではなく、炉内温度の均一性を向上すること のできる放射型のフラットフレームバーナーを全36台 備えている。加熱条件は、ISO834標準加熱温度曲線 (図-2)のほか、橋梁用鋼ケーブルの耐火試験に用いら れるプール火災(石油タンク火災や可燃性液体の火災に 見られる液面燃焼)を模したUL1709加熱(図-3)も可 能である。

# 2.2 実施可能な梁端境界条件

GBRC水平炉で実施可能な梁端境界条件を図-4に示す。 (a) 単純支持型、(b) 連続支持型、(c) 梁端回転拘束型、(d) フレーム (固定端) 型の4つのモデルに対応している。 (a) 単純支持型は、1章で前述の通り、標準耐火試験に 用いられる方法であり、火災時の正曲げ挙動を把握する ための試験である。図-5に示すように梁端部がピンお

よびピンローラー上に支持される。支持台の高さを変更 することにより、GBRC水平炉では最大で約1000mm の梁せいの試験体を設置することが可能である。



<sup>※</sup>便宜上、モデルは固定端として示したが、実際には回転拘束 および軸変形拘束の度合いは周辺フレームの剛性に依存する。





図-5 載荷加熱実験セッティング例(標準耐火試験・単純支持型)(寸法単位:mm)

(b)連続支持型は、連スパンの床および屋根の標準耐火 試験においてよく用いられ、中間支点位置での回転拘束 による影響を含めた挙動を把握できる。

(c) 梁端回転拘束型は、端部載荷により支点位置での回転を制御することにより完全回転拘束の状態を再現でき、梁端の負曲げを含めた梁の火災時挙動の把握が可能である。これは静定構造のため載荷荷重の測定値を用いて曲げモーメント分布の推移が得られる。そのため火災終局時の正曲げおよび負曲げ耐力を定量的に把握できるのが大きな特徴である。

(d) フレーム (固定端) 型は、2層フレームの試験体を用 いることで、梁端の回転拘束に加えて軸方向の変形を拘 束するため、熱応力の影響を含めたより実建物に近い火 災時挙動の把握が可能である。一方、不静定構造のため 荷重測定値から曲げモーメント分布を得ることはできな いが、非加熱部分の部材のひずみを測定するなどの工夫 により、梁に発生する力を考察することが可能である。

それぞれの梁端境界条件による実験方法の詳細は3~ 5章で具体例を交えて紹介する。なお、連続支持型については本報では紹介を省略する。

# 福厚比の大きな鉄骨梁の局部座屈挙動に着 目した耐火実験<sup>3),4)</sup>

### 3.1 実験目的

幅厚比が比較的大きな鉄骨梁では、火災時の熱膨張に よる軸方向変形が拘束されることで生じる熱応力の影響 で早期に局部座屈が発生し、全塑性モーメントよりも耐 力が低下する懸念がある。その影響を明らかにするため、 軸変形拘束の有無(図-4の梁端回転拘束型およびフレー ム型)をパラメータとした載荷加熱実験を実施した。

#### 3.2 実験概要

試験体および実験セッティングとして、梁端回転拘束型 を図-6、フレーム型を図-7に示す。また、フレーム型の試 験体外観を写真-3、実験セッティング外観を写真-4に示す。

実験対象の鉄骨梁は1時間耐火相当の被覆を施した H-370×182×6×6 (SS400)とした。フランジの幅 厚比は14.7 (FCランク)である。本実験は曲げによる 局部座屈挙動を把握することに主眼を置いているため、 せん断崩壊を予防する目的で、ウェブの幅厚比は59.7 (FBランク)とし、せん断区間の被覆は3時間耐火相当 とした。これらの仕様は梁端回転拘束型、フレーム型と もに共通である。

梁端回転拘束型(図-6)では、支持スパン4000mmで ピンローラー治具に設置し、支点を加熱炉内に入れること で梁端付近も加熱されるように設定した。試験体の載荷は、 梁の中央部で2点載荷とし、常温降伏荷重の42%に相当 する荷重を加えた。さらに、梁端回転拘束の状況を再現 するため、支点の外側の試験体端部を載荷し、支点での たわみ角がゼロとなるように制御を行った。この載荷条件 下で、ISO 834標準加熱温度曲線に従い加熱を行った。



長手方向断面(A-A'断面)





短手方向断面(B-B'断面)

図-6 梁端回転拘束型の実験セッティング(3章実験)(寸法単位:mm)



長手方向断面(A-A'断面)



短手方向断面(B-B'断面)

図-7 フレーム型の実験セッティング(3章実験)(寸法単位:mm)



写真-3 2層剛フレーム試験体の外観



写真-4 フレーム型の実験セッティング外観

#### 3.3 実験結果

実験後の試験体状況を写真-5、梁のスパン中央たわ みを図-8に示す。いずれの試験体も梁端部の下フラン ジおよびウェブに局部座屈がみられた。加熱中の試験体 の観察およびたわみの増加傾向より、30~40分程度で 局部座屈が発生したと考えられる。

梁端回転拘束型では、標準耐火試験において崩壊判定 に用いられるたわみ規定値を超えた54分時に、載荷荷 重を保持できなくなり曲げ崩壊に至った。フレーム型で は、35分時までは梁端回転拘束型よりもたわみが小さ かったものの、それ以降は梁端回転拘束型よりも大きな たわみで推移した。これは、熱膨張変形が周辺フレーム に拘束されることによる付加的な圧縮力により、早期に 局部座屈が発生した可能性を示唆している。しかしなが ら、たわみ規定値に達した50分以降も、油圧シリンダ のストローク限界である200mmに至り実験を終了す るまで荷重支持能力を保持しつづけた。



フレーム型 写真-5 実験後の試験体変形状況



図-9にひずみ測定値から計算した上段柱のせん断力 の推移を示す。せん断力は加熱開始後に大きく上昇して おり、これは中段梁に熱応力が発生することで曲げモー メントが急増したためである。この熱応力は中段梁の断 面内温度差によるたわみ込みに伴う梁端回転の拘束およ び熱膨張変形の拘束により生じるものである。45分以 降のせん断力の低下は、中段梁端部の曲げ耐力が低下し て曲げモーメントを柱に伝達できなくなったことを示す。 たわみ規定値を超えた以降の52分頃にはせん断力がゼ ロとなり、この頃に曲げ崩壊に至ったと考えられる。そ の後、せん断力は負の値となり、つまり中段梁に引張力 が作用する状態となった。これは、曲げによる釣り合い から吊り橋状の釣り合い機構 (カテナリー挙動)に移行 したことを示している。これより、幅厚比の大きな鉄骨 梁において、熱応力により早期に局部座屈が発生するも のの、カテナリー挙動の発現により、曲げ崩壊後も安定 的に荷重を支持できる可能性が示された。



#### 3.4 実験のまとめ

3章では、軸変形拘束の有無をパラメータとした比較実 験により、境界条件の違いによる影響が明らかとなった実 験例を紹介した。本実験のようにフレーム型であってもひ ずみ測定により部材に生じる力の考察が可能である。

# 2. 梁端ウェブ接合の回転抵抗に着目した鉄骨 小梁の耐火実験<sup>5),6)</sup>

# 4.1 実験目的

直交する大梁に梁端ウェブでボルト接合された鉄骨小 梁は、一般に両端ピンと仮定して構造設計されるが、実 際には梁端のボルト接合(以下、ウェブ接合)である程 度の回転抵抗を有し、小梁端部が回転拘束されることで 火災時における小梁の崩壊温度が上昇することがわかっ ている。小梁がRCスラブとの合成梁の場合には、梁中 央部の正曲げ耐力が向上することに加え、梁端のスラブ 筋がウェブ接合の回転抵抗をより高める可能性がある。 これらを考慮すると、作用応力に余力のある小梁では耐 火被覆を省略できる可能性がある。一方で、ボルト投入 量が比較的少ないウェブ接合部では、小梁の火災昇温時 の熱膨張および火災減衰期の冷却収縮が周辺架構で拘束 されることで生じる熱応力による変形が集中し、梁が曲 げ崩壊に至る前に接合部で破断する危険性がある。

本実験では、梁端ウェブ接合を有する無耐火被覆小梁 の火災時曲げ耐力を考察するために、梁端回転拘束型の 実験を実施した。さらに、大梁と小梁から成る平面フ レーム型の実験も行い、火災昇温時と冷却時における挙 動を確認した。

## 4.2 実験概要

梁端回転拘束型では梁上のスラブ仕様をパラメータと した全3体実施したが、本報ではそのうち、スラブ筋を 2段配筋した等厚RC床板を用いた試験体のみ紹介する。 梁端回転拘束型の試験体および実験セッティングー例を 図-10に示す。試験体は小梁(合成梁)、大梁、端部載荷 用の片持ち梁から構成され、写真-6に示すように大梁 と接合部のみに1時間耐火相当の被覆を施し、小梁は無 耐火被覆とした。接合部への入熱を実建物における状況 に近づけるため、大梁および片持ち梁も加熱されるよう 炉内に設置し、片持ち梁も無耐火被覆とした。しかしな がら、大きな曲げとせん断力が作用する片持梁が高温化



図-10 梁端回転拘束型の実験セッティング(4章実験)



写真-6 ウェブ接合部近傍

すると、そこで崩壊する恐れがあるため、写真-7に示 すように、片持ち梁と大梁は上下フランジ同士を溶接し て曲げ崩壊を防止し、スチフナおよびウェブ部分にせん 断補強板を溶接することでせん断崩壊を防止した。中央 載荷は、梁に長期許容曲げモーメントの4割が作用する 荷重とした。支点 (大梁) 位置での回転を拘束するため の端部載荷の方法については、3章の梁端回転拘束型(図 -6)と同様である。この載荷条件下でISO834標準加熱 による加熱を行った。

平面フレーム型の試験体および実験セッティングを図 -11に示す。平面フレーム試験体は、四周の大梁フレー ムと小梁(等厚RC床板との合成梁)から構成され、小 梁に直交する大梁の中央部分でピンローラー支持されて いる。小梁は直交大梁にウェブ接合されており、大梁フ レームによって小梁の梁端回転と軸変形が拘束されてい る。小梁は無耐火被覆とし、大梁フレームには3時間耐 火相当の耐火被覆を施した。本実験では接合部仕様をパ ラメータとし、ボルト3本で耐火被覆を施した仕様、ボ



図-11 平面フレーム型の実験セッティング(4章実験)

ルト6本で無耐火被覆とした仕様および単純支持梁の3 種類を実施した。載荷荷重は小梁に長期許容曲げモーメ ントの5割が作用する荷重とした。加熱はISO834標準 加熱に準拠し、たわみがたわみ規定値まで達した時点で 加熱を終了したのち、その後の冷却過程も載荷を継続し て、冷却過程における挙動を確認した。

#### 4.3 実験結果

梁端回転拘束型の実験後の試験体状況を写真-8、載 荷荷重測定値から求めた曲げモーメントの分布および時 間推移を図-12および図-13に示す。図-13には、文献 5)で提案した曲げ耐力評価モデルに基づく曲げ耐力計 算値の時間推移を併記する。一例としてスラブ筋を考慮 したウェブ接合部の曲げ耐力評価モデルを図-14に示す。 本実験では、65分時にたわみ規定値に達した以降も、



90分まで荷重を支持し続けたため、90分以降に荷重支 持能力を損失するまで荷重を漸増させた。単純支持の場 合に想定される崩壊時間は30分程度であるのに対し、 梁端部のみ耐火被覆を施すことでウェブ接合部の回転抵 抗の効果により、耐火時間が3倍以上に大きく延長され た。実験後の試験体観察より、梁端接合部断面における スラブ筋の破断およびスパン中央におけるスラブ上端の 圧壊が確認され、梁端とスパン中央が曲げ崩壊に至った と考えられる。

図-12、13より、0分時では梁端接合部における曲げ モーメントは33kNm程度であったが、加熱開始後すぐ に接合部の曲げモーメントが接合部の曲げ耐力付近まで 増加した。これは小梁の断面内温度差によるたわみ込み に伴う梁端回転を拘束することで生じる熱応力によるも のである。その後、15分頃から接合部の曲げモーメン トが徐々に低下しているが、これは写真-8に示す梁端 部の局部座屈の発生により梁端部で負担できる曲げモー メントが低下したためと考えられる。崩壊時における接 合部の曲げモーメントと曲げ耐力計算値はよく一致して おり、曲げ耐力評価モデル(図-14)を用いて接合部の 曲げ崩壊を精度よく予測できることを示した。崩壊時の スパン中央とウェブ接合部の曲げ耐力の比はおよそ7:3 であり、常温時には曲げを負担しないと仮定して構造設 計されるウェブ接合部であっても、相当の曲げモーメン トを接合部が負担することで火災時における無耐火被覆 小梁の荷重支持能力を向上させることがわかった。

フレーム試験体のスパン中央たわみを図-15、実験後 の試験体の損傷状況を写真-9に示す。フレーム試験体 では加熱終了直後に一時的にたわみが急増する現象がみ られた。これは、ウェブ接合部における高力ボルトと添 板が小梁の昇温膨張時の支圧状態から冷却収縮時の支圧 状態に転じる際に、一時的に回転抵抗が低下したことが 要因と考えられる。一方、写真-9(a)~(c)に示すよう に実験後のボルトのせん断変形および接合部の回転変形 は非常に小さく、接合部の破断はみられなかった。接合 部を無被覆とした試験体では、加熱終了直後に写真-9(e) に示すスラブ端部のコンクリートに付着割裂が生じた。 これは、無被覆のボルト部分の耐力が低下し、冷却収縮 時の引張力がスラブ筋に集中したためと考えられる。一 方、この付着割裂が梁端回転抵抗の低下に直結すること はなかった。フレーム試験体では、加熱終了直後のたわ み急増およびスラブ端部の付着割裂の発生があったもの の、限界たわみ到達後の放冷過程においても接合部が破 断することなく梁は荷重支持能力を保持し続けた。





写真-9 試験体の損傷状況;(a)たわみ状況、(b)ボルトの損 傷状況、(c)接合部の回転(3本仕様)、(d)接合部の回転(6本 仕様)、(e)端部スラブ側面の付着割裂

## 4.4 実験のまとめ

4章では、梁端回転拘束型の実験により得た曲げモー メント分布を用いて火災時曲げ耐力を検討した例および 平面フレーム型の実験により加熱昇温時および冷却時の 挙動を確認した例を紹介した。なお、本平面フレーム実 験は、本部の旧水平炉を用いて実施したものであるが、 池田事業所の新水平炉でも同様の実験が可能である。

# 2. 梁端ドリフトピン接合を有する木質梁の耐 火実験<sup>7)~9)</sup>

# 5.1 実験目的

木質梁端部に用いられるドリフトピン接合部は金物の 降伏が先行するよう構造設計される。一方、木材は 100℃程度の低温域から大きく強度低下をはじめるため、 火災時においては、断面欠損を有する梁端接合部での木 材の割裂・せん断破壊が先行して、架構が脆性的に崩壊 する危険がある。既往実験より60分以下の加熱を受け る梁端接合部の火災時温度、炭化状況および必要被覆厚 さ等が示されているが、火災終了後の放冷過程における 知見は未だ得られていない。火災終了後も木材の自己燃 焼が終了するまでに数時間を要し、さらに木質柱・梁等 の可燃物が密集する接合部付近ではその傾向がより顕著 となる可能性がある。木質フレームの火災安全性の検証 には、放冷過程をも含めた梁端接合部の挙動を把握する ことが重要である。本実験では、梁端回転拘束型の実験 により、ドリフトピン接合で接続された木質柱-梁フレー ムの放冷過程を含む火災時挙動を調べた。

# 5.2 実験概要

本耐火実験は2種類の断面寸法を実施したが、ここで はそのうち小断面(420mm×210mm)の実験のみ一 例として紹介する。試験体外観を写真-10、実験セッ ティングを図-16に示す。木質梁および柱にはスギ構造 用集成材を用いた。接合部の仕様をパラメータとし、図 -17に示す一般的なT型金物およびT型金物の底面にせ ん断補強用の底板がついた底付金物、また比較として単 純支持(接合部なし)の3仕様を実施した。梁中央載荷



写真-10 木質柱-梁フレーム試験体の外観



図-16 梁端回転拘束型の実験セッティング(5章実験)



では梁に長期許容曲げモーメントの2/3が作用するよう な荷重を一定載荷した。柱の外側には鋼製はね出し梁が 取り付いており、この端部を載荷することにより、柱位 置での回転を拘束した。3章および4章で紹介した梁端 回転拘束実験と異なる点として本実験では柱も再現した ことが挙げられるが、柱も炉内に設置して加熱すること により、実建物に近い梁端接合部周辺での自己燃焼の状 況を再現した。ISO834標準加熱温度曲線を用いて1時 間の加熱を行い、その後も載荷を継続したまま冷却過程 の挙動を確認した。

# 5.3 実験結果

試験体の損傷状況の一例として底付金物仕様を**写真** -11に示す。試験体はスパン中央での曲げ破壊となり、 接合部での破断等はみられなかった。これはT型金物仕 様も同様である。

図-18にスパン中央たわみの時間推移を示す。実験は 梁が荷重を保持できなくなるまで継続した。フレーム試 験体の2体は単純支持よりも長時間の荷重支持能力を有 した。単純支持と底付金物仕様では、たわみ速度が急増 してすぐに荷重を保持できなくなった。一方、T型金物 仕様では約185分でたわみ速度が急増したのちすぐに は崩壊に至らず、約210分まで荷重を支持し続けた。







図-19にフレーム試験体の曲げモーメント分布を示す。 いずれの試験体も梁端部で一定程度の曲げモーメントを 負担していた。木質構造のドリフトピン接合部であって も、梁端の回転抵抗に寄与して、梁の火災時曲げ耐力を 補強する効果があることがわかった。また、最も長い時 間の荷重支持能力を発揮したT型金物仕様では、破壊し た210分時において、接合部における曲げモーメント が増加していることがわかる。これは、スパン中央の曲 げ耐力もしくは剛性低下に伴い、梁端接合部に曲げモー メントが再配分されたことを示す。これによって最も長 い時間の荷重支持能力を発揮したと考えられる。T型金 物仕様においてのみ曲げモーメントの再配分が生じた原 因については、本実験結果だけでは不明であり、今後の 検討が必要である。



### 5.4 実験のまとめ

5章では、木質の柱-梁フレームを用いた梁端回転拘 東型の実験例を紹介した。火災時の曲げモーメントの再 配分は、曲げ耐力に達した後もある程度の耐力を維持し たまま破断等を起こさずに変形し続けられる能力が必要 であるため、脆性的に破壊する木材では期待しづらいと 考えられる。よって、本実験のT型金物仕様で曲げモー メント再配分が生じた現象は稀有な結果と思われる。一 方で、木材であっても特定の条件が揃えば曲げモーメン ト再配分による梁端接合部の回転拘束効果を最大限に活 かせる可能性が示されたと考える。

#### おわりに

本報では、GBRC水平炉の概要およびこれまで実施 した様々な梁端境界条件による耐火実験のうちの特徴的 な3つを紹介した。

ここに掲載した実験以外にも、ご希望の実験方法がご ざいましたら、お気軽にご相談ください。ご要望にお応 えできるよう鋭意検討させていただきます。

#### 謝辞

本稿3章~5章は、既発表3)~9)の実験の一部を紹介 したものである。共著の皆様には試験体図や実験データ 等を本稿へ掲載することについてご快諾いただきました。 記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1)日本建築総合試験所:防耐火性能試験・評価業務方法書, 2020.6
- ISO834-6, Fire-resistance tests -Elements of building construction- Part 6:Specific requirements for beams, 2000.7
- 3) 趙小敏,四元順也,尾崎文宣,平島岳夫,木村慧,村上行 夫,鈴木淳一:端部回転拘束された幅厚比の大きなH形鋼 梁の載荷加熱,日本火災学会研究発表会概要集,pp.17-18, 2022.5
- 4) 趙小敏,四元順也,尾崎文宣,平島岳夫,木村慧,村上行 夫,鈴木淳一:鋼梁の局部座屈挙動に着目した2層鋼ラー メンの載荷加熱実験,日本建築学会大会学術講演会(北海 道), pp.27-28, 2022.9
- 5)四元順也,平島岳夫,豊田康二:連続床形式で梁端のみ耐 火被覆された合成梁の火災時曲げ耐力 梁端ピン接合を有す る合成梁の火災時耐力に関する研究 その2,日本建築学会 構造系論文集 第84巻 第766号,pp.1631-1641,2019.12
- 6)四元順也、ロバーツドゥウィプトゥラ、平島岳夫、尾崎文宣、 村上行夫、木村慧:直交梁とピン接合された無耐火被覆完 全合成梁の載荷加熱実験 梁端ピン接合を有する合成梁の火 災時耐力に関する研究 その1、日本建築学会構造系論文集 第83巻 第753号、pp.1713-1723、2018.11
- 7) 平島岳夫,菊地毅之,四元順也:構造用集成材梁の耐火性 能に梁端ドリフトピン接合部が及ぼす影響 その1 研究目 的およびスギ実験の概要,日本建築学会大会学術講演会(名 古屋), pp.285-286, 2021.9
- 8)四元順也,平島岳夫,菊地毅之:構造用集成材梁の耐火性 能に梁端ドリフトピン接合部が及ぼす影響 その2 常温載 荷実験の結果,日本建築学会大会学術講演会(名古屋), pp.287-288,2021.9
- 9) 菊地毅之,四元順也,平島岳夫:構造用集成材梁の耐火性 能に梁端ドリフトピン接合部が及ぼす影響 その3 載荷加 熱実験の結果,日本建築学会大会学術講演会(名古屋), pp.289-290,2021.9

#### 【執筆者】



\*1 四元 順也 (YOTSUMOTO Naoya)