

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06285

研究課題名(和文) 火災加熱を受ける床板のメンブレン効果に関する実験的研究

研究課題名(英文) Experimental study on membrane action of floor slabs exposed to fire.

研究代表者

平島 岳夫 (Hirashima, Takeo)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：20334170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、火災加熱を受けるRC床板のメンブレン挙動を明らかにすべく、鉄筋モルタル床板による縮小試験体を用いた載荷加熱実験を実施した。

この実験によって、火災時に床板が下面から加熱される場合は床板厚さ方向の温度勾配によって曲面化し、常温時よりも火災時の耐力が高くなる場合があることを示した。火災時にメンブレン挙動を示す床板の耐力は、降伏線理論に基づく崩壊荷重の2～3倍の値を示した。これより、床板のメンブレン挙動を考慮した火災時耐力を用いることで、鋼構造における小梁の耐火被覆を省略できる可能性を示し、そのことを検証するための実大規模実験を計画した。

研究成果の概要(英文)： In this study, small-scale load-bearing high-temperature tests of reinforce mortal slabs were carried out in order to clarify the membrane action of reinforce concrete slabs exposed to fire heating.

The test results indicated that strength of the slabs in fire was larger than the strength at ambient temperature because deflection of the slab exposed to fire heating from the lower surface developed due to temperature gradient through the thickness of the slab. The strengths of the slabs in membrane action were two or three times of the collapse load on the basis of yield line theory. Therefore, if the fire resistance of reinforce concrete slab taking into consideration of the membrane action is available for fire safety design of steel structures, the steel beams can be composed without the fire protection. In order to investigate the fire behaviour of floor system composed with steel beams and reinforce concrete slab, the large-scale load bearing fire tests were planned.

研究分野：建築耐火構造

キーワード：火災 鉄筋コンクリート床 メンブレン効果 熱たわみ 耐力 破壊性状

1. 研究開始当初の背景

(1) 床板の火災時メンブレン効果

火災時、約 1000℃の火熱を真下から受けるコンクリート床板では、上下面の温度差が 700℃を超え、その熱膨張ひずみ差は 1%を超える。このひずみ差による板の反りと材料の剛性・強度の低下が重畳して、火災時に床板のたわみは増大する。このとき、床平板は温度上昇と共に曲面板に変容し、床板には床荷重に釣合う面内膜応力が生じ、この膜応力の成長に伴い床板の荷重支持能力が増大する。本研究ではこの現象を床板の火災時メンブレン効果と称す。

(2) 当該研究の学術的背景

鋼構造においてデッキ合成スラブまたは鉄筋コンクリートスラブ（まとめて RC 床板と称す）の火災時メンブレン効果を見込めば、RC 床板を支える小梁の耐火被覆を省略できる可能性がある。英国の研究グループは、小梁の耐火被覆が無くても火災時にたわみ込む RC 床板が容易に崩落しないことを実大火災実験で示し、床板のメンブレン効果を考慮した鋼構造物の耐火設計法を提案した。一方、たわみの増大に伴い耐力が増加する RC 床板のメンブレン効果は有限であり、鉄筋が破断する時点で破壊する。当時、この効果が破綻するたわみ限界に関するデータは不足しており、RC 床板の厚さ方向の温度分布に起因するたわみがその耐力を増大させる効果に関するデータも不十分であった。また、本課題に対する国内の研究成果は皆無であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、RC 床板の火災時メンブレン効果を実験により明らかにすることである。本研究期間内では、次の 3 項目を具体的な目標とした。

- ① RC 床板の厚さ方向の温度分布に起因するたわみがその荷重支持能力を増大させる割合を、常温実験と高温実験との結果比較により明らかにする。
- ② 床板の破壊時挙動をも得られるような荷重加熱実験を計画し、RC 床板の火災時メンブレン効果が破綻する時点のたわみ限界を明らかにする。
- ③ 床板の仕様がそのメンブレン効果に及ぼす影響を明らかにし、その結果に基づき鋼構造物の床システムを検討し、的を絞った実大規模の荷重加熱実験計画を提案する。

3. 研究の方法

(1) 縮小試験体による高温実験

RC 床板の火災時メンブレン効果を踏まえた耐火設計法を構築するためには、実大規模の荷重加熱実験が本来必要である。一方、床板の仕様が火災時メンブレン効果に及ぼす影響は大きく、実験ではこの影響を明らかにする必要があるが、全てを実大実験で把握す

るとなると経費上の問題が発生する。実大規模の荷重加熱実験では、たわみ限界の把握が困難化するという難点もある。そこで、本研究では、鉄筋モルタル床板（以下、床板と称す）による縮小試験体の荷重加熱実験を計画し、この実験によって当該メンブレン効果に関する基礎的知見を得ることとした。

実験装置を図 1 に示す。上部の荷重フレームとジャッキ等の加力装置は既存のものを用い、加熱装置と下部の荷重支持フレームを新設した。加熱装置は、1.2m×1.2m の範囲で床板を下から加熱できる電気炉とした。この加熱装置では床板の周辺支持部を十分に加熱できないが、床板中央の範囲での鉄筋破断で火災時耐力が決まることを想定し、この加熱装置を採用した。試験体および荷重支持フレームは加熱装置に合わせて製作した。荷重支持フレームと試験体は丸鋼で接触させ、試験体周囲の支持部で水平拘束と回転拘束ができるだけ生じないようにした。また鉄骨梁と床板が頭付きスタッドで接合される場合を想定し、床板支持部の上方向変位を拘束できる浮き防止フレームを製作し、荷重加熱を受ける床板の変形挙動に及ぼす境界条件の影響を調べた。

鉄筋モルタル床板は 1.6m×1.6m の正方形とし、支持スパンは両方向とも 1.5m とした。また比較用に実施した一方向支持の実験では 1.6m×1.3m の床板を用いた。床板の厚さは 30mm と 60mm の 2 種類とし、床板上面から引張鉄筋までの有効深さ（それぞれ 15mm と 45mm）による違いを調べた。鉄筋には溶接金網を使用し、その直径は 4mm と 6mm の 2 種類とし、鉄筋比による違いを調べた。また 1 段配筋と 2 段配筋の違いについても調べた。3 年間で合計 48 体の実験を実施した。

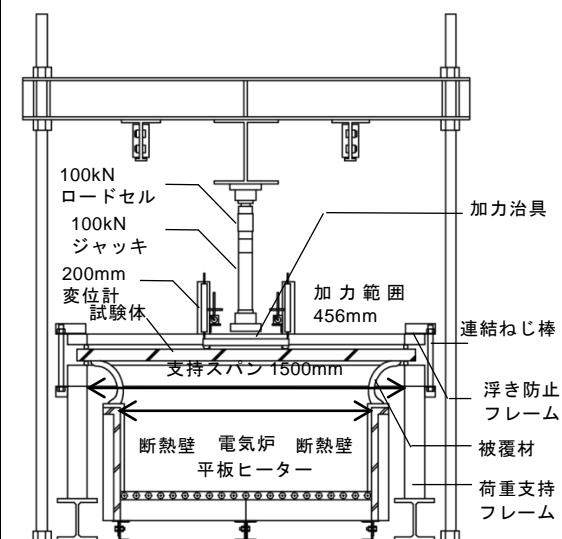


図 1 実験装置

- (2) 一定高温度下での荷重実験による検討  
一定高温度下で荷重実験（以下、定常温度実験）は、無荷重の状態です定の温度まで加熱し、鉄筋温度が目標の温度に到達したら鉄

筋温度が増減しないよう電気炉を制御し、その温度を保った状態で荷重（正確には載荷部分での鉛直変位）を漸増させ、最大荷重および破壊時のたわみを得る実験である。定常温度実験の実験変数は、床板内部の引張鉄筋の温度である。火災時は荷重を受けた状態で温度が漸増するが、定常温度実験による検討が必要な理由を以下に述べる。

定常温度実験では、無載荷で加熱を行うため、床板厚さ方向の温度勾配に起因する熱たわみが得られる。後述する載荷加熱実験では温度勾配に起因する熱たわみと力学的たわみの割合を定量化できないが、無載荷時の熱たわみを得ることで両者の割合を把握した。2つ目の理由は、使用した鉄筋の高温強度低下率を把握するためである。溶接金網の径は小さいため、鉄筋の高温引張試験で強度を把握できない。したがって、使用した鉄筋の高温強度は、一方向支持床板の定常温度曲げ実験で得た最大荷重より逆算して得た。また、一方向支持床板の実験による高温曲げ耐力の低下と二方向支持床板の高温耐力低下を比較することで、メンブレン効果を考察した。

### (3) 一定荷重下の温度漸増実験による検討

一定高温度下での温度漸増実験（以下、載荷加熱実験）では、常温で所定の荷重を与え、その荷重を保持しながら加熱し、破壊に至るときの温度とたわみを得る。載荷加熱実験の主たる実験変数は載荷荷重であり、この実験からも床板の鉄筋温度と耐力の関係を得られる。本研究では、高温下で常温時よりも荷重支持能力が増加することも示せるよう、常温から鉄筋温度が 400℃に至るまでに、荷重も同時に漸増させる実験を実施した。また一部の実験では、床板端部の上方向変位の拘束条件を変えて、破壊時温度およびたわみ挙動の違いを調べた。

## 4. 研究成果

### (1) 床板厚さ方向の温度勾配によるたわみ

定常温度実験の無載荷時の昇温過程で、床板厚さ方向の温度勾配によるたわみ（以下、熱たわみと称す）を得た。図 2 に電気炉加熱による温度-時間関係（板厚 60mm の例）を示す。電気炉の電圧を最大にした際の雰囲気温度は ISO 標準加熱温度に対して約 2/3 倍であり、他実験も同様に加熱した。

無載荷時の熱たわみとして板厚 60mm の結果を図 3 に示す。一方向支持と二方向支持の実験結果を比較すると、下端筋温度が 150℃（約 50 分、上下面温度差 200℃位）以降で差が大きくなった。自重による圧縮応力に起因するモルタルの載荷時熱ひずみの影響を、一方向支持床板の方がより大きく受けたと考えられる。一方、二方向支持の場合は、床板のたわみを抑制する応力が生じ、載荷時熱ひずみがたわみに及ぼす影響は比較的小さかったと考えられる。一方向支持の場合、熱たわみ  $\delta$  の理論値は下式(1)で表せる。

$$\delta = \frac{\alpha \Delta T l^2}{8d} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$ ：モルタルの線膨張係数[k<sup>-1</sup>]、 $\Delta T$ ：床板の上下面の温度差[K]（実験値）、 $l$ ：スパン[mm]、 $d$ ：板厚である。

図 3 より式(1)による計算値と一方向支持実験値は下端筋温度 200℃位までは概ね一致したが、それ以降は実験値が大きな値を示した。二方向支持の場合は、一方向支持の計算値に対して小さな値となるが、下端筋温度が 500℃位になったときはこの計算値と同程度となった。Bailey が提案する設計法では、二方向支持床板の熱たわみとして式(1)の値を 2.4 で除した値を採用しているが、本実験結果はその値よりも大きな値を示した。

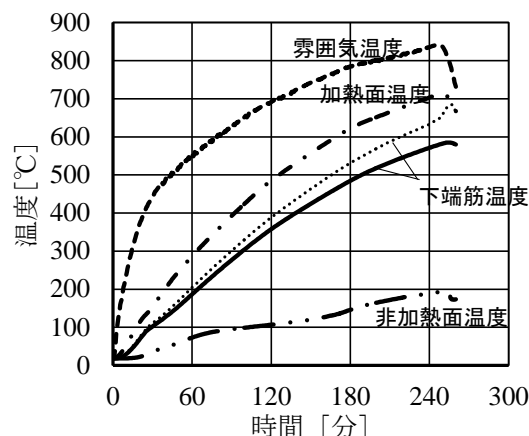


図 2 電気炉加熱による温度-時間関係

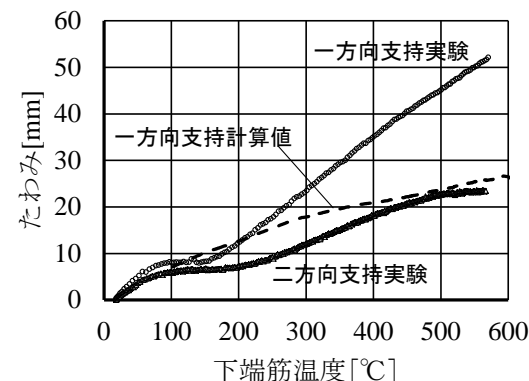


図 3 無載荷時の熱たわみ（板厚 60mm）

### (2) 床板の高温時耐力と破壊時たわみ

床板の高温時耐力と破壊時たわみは、定常温度実験と載荷加熱実験の両者よりそれぞれ得たが、ここでは最終年度の載荷加熱実験の結果を用いて、床板の火災時メンブレン挙動について説明する。載荷加熱実験での荷重は、式(2)による床板の降伏線理論に基づく崩壊荷重（以下、崩壊荷重計算値）を目安とした。

$$P_{cr} = \frac{0.9 d_e A_s \sigma_u \times \beta}{l} \quad (2)$$

ここで、 $P_{cr}$ ：崩壊荷重計算値[N]、 $d_e$ ：床板上面から下端筋までの距離[mm]、（板厚 30mm は 15mm、板厚 60mm は 45mm）

$A_s$  : 下端筋の断面積[mm<sup>2</sup>],  $l$  : スパン[mm]、  
 $\sigma_u$  : 曲げ実験から得た鉄筋の強度[N/mm<sup>2</sup>]、  
 $\beta$  : 荷重条件によって決まる係数である。  
 本実験荷重による係数  $\beta$  の値は 11.5 である。  
 常温時の崩壊荷重計算値に用いた鉄筋強度は 635 N/mm<sup>2</sup> (ミルシートの引張強度と同等) であり、板厚 60mm の床板における一定荷重の値は 54.3kN とした。

図 4 に荷重加熱実験における荷重制御の結果 (二方向支持床板, 板厚 60mm) を示す。図 4 に示す 2-t60-L の実験では、常温で崩壊荷重計算値まで荷重し、その荷重を保持しながら加熱し、下端筋温度が 733°C に至るまで荷重を支持した。鉄筋が 700°C に至ると強度は常温時の 1/5 程度まで低下するが、上端筋 (下端筋と同じ径・間隔の溶接金網) の温度は 400°C 以下であった。床板がメンブレン挙動を示すときは上端筋も引張応力を負担し、火災時には温度が低い上端筋が極めて有効に働く。本実験でこの現象を明らかにした。図 4 に示す 2-t60-H の実験では、常温で崩壊荷重計算値まで荷重し、400°C に至るまでに同試験体の常温実験による最大荷重値 91.3kN まで荷重を漸増させ、常温実験最大荷重を 400°C 以降で保持し、下端筋温度 486°C に至るまで荷重を支持した。実験に使用した鉄筋の 500°C での強度は常温時の 0.83 倍位であったが、この温度近くまで常温時最大荷重を支持できた理由は、床板厚さ方向の温度勾配に起因する熱たわみがメンブレン効果に寄与し、床板の耐力が増大したためと考えられる。

図 5 に荷重加熱実験におけるたわみ (二方向支持床板, 板厚 60mm) を示す。常温時に崩壊荷重計算値まで荷重したときのたわみは約 25mm で、以降は温度上昇に伴いたわみが増加し、崩壊時に至るときのたわみ (以下、崩壊時たわみ) は 100~125mm であった。このたわみはスパンの 1/15~1/12 の値であり、板厚 30mm 実験でもこの崩壊時たわみは同程度であった。

崩壊時の鉄筋温度とたわみを、板厚 30mm の結果も含めて表 1 に示す。板厚 30mm では一段配筋であったが、鉄筋温度が 600°C に至るまで常温時崩壊荷重計算値による荷重を支持した。表中に括弧で示す値は、床板端部の上方向変位を拘束した実験の結果である。端部を拘束すると加熱初期から隅角部の損傷が大きくなり、板厚 60mm では鉄筋が破断する前に隅角部上面でモルタルが圧壊するなど、端部拘束が床板の挙動に悪影響を及ぼす場合もあった。ただし、全体では端部の上方向変位拘束の有無による違いは小さく、床板の端部境界条件が火災時メンブレン挙動に及ぼす影響は小さかった。表 1 に示す割増係数は、崩壊荷重計算値に対する荷重 (耐力) の比である。高温時の崩壊荷重計算では、一方向スラブの高温曲げ実験より得た鉄筋の高温引張強度を用いた。荷重加熱実験では、この割増係数が概ね 1.9~3.0 の値を示し、この値は常温時の結果を大きく上回り、床板

の火災時メンブレン効果が確認された。

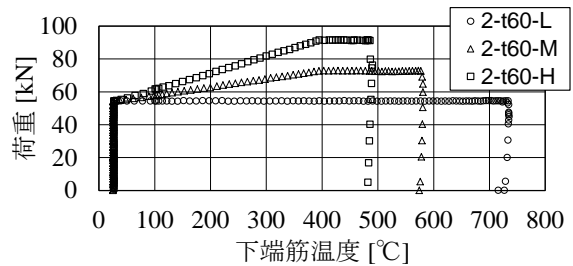


図 4 荷重の制御と破壊時下端筋温度

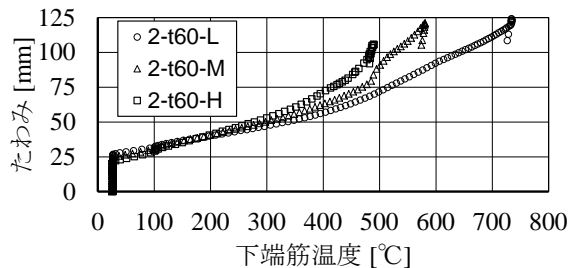


図 5 荷重加熱実験におけるたわみ

表 1 崩壊時の鉄筋温度とたわみの結果

板厚 [mm]	崩壊時鉄筋温度 [°C]	荷重 (耐力) [kN]	崩壊時たわみ [mm]	崩壊荷重計算値 [kN]	割増係数
30	25	45.9	74.4	19.65	2.34
30	416	45.9	120.2	17.57	2.61
30	432	32.8	108.0	17.32	1.89
(30)	(408)	(32.8)	(101.4)		
30	600	19.7	132.1	7.01	2.81
60	25	91.3	59.8	54.34	1.68
60	486	91.3	103.0	45.51	2.01
60	580	72.8	120.5	24.47	2.97
(60)	(385)	(71.7)	(81.9)		
60	733	54.3	121.6	-	-

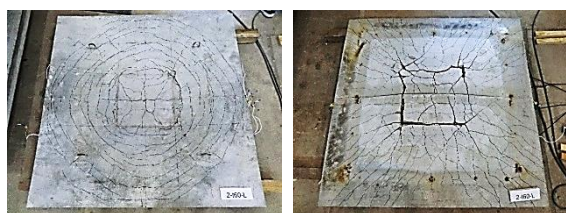
\*733°Cでの鉄筋強度は得られず計算値はなし

### (3) 床板のひび割れおよび破壊性状

床板がメンブレン挙動を示したときの典型的なひび割れ状況 (板厚 60mm の例) を図 6 の (a) と (b) に示す。図 6 の (a) に示すように、床板の上面 (非加熱面) では、同心円上のひび割れが発生し、床板の中心から半径方向には引張応力が生じたことが分かり、円周方向には圧縮応力が生じたことが推測される。一方、図 6 の (b) に示す下面 (加熱面) では、加力範囲の外側では降伏線に沿うひび割れが、加力範囲の内側では鉄筋に沿うひび割れが確認された。図 6 での破壊状況は鉄筋の破断によるものであり、このような実験では、床板のメンブレン効果が確認された。

鉄筋の破断を想定した本実験では、想定外の 2 つの破壊も見られた。1 つ目は、加力部でのパンチングシア破壊である。コンクリートの代わりにモルタルを使用したことで、よりパンチングシア破壊が生じやすい状況であったと考えられる。初年度に実施した定常温度実験では、加力範囲が小さく、床板がメンブレン効果を発揮する前にパンチングシ

ア破壊した実験が複数あった。これより次年度以降の載荷加熱実験では、加力治具を変更して載荷範囲を拡大してパンチングシア破壊を防止した。2つ目は、床板隅角部でのモルタルの圧壊である。最初の試験体では床板の鉄筋比を0.6%と1.2%に設定したが、この設定が比較的大きく、モルタル上面での圧壊が生じた。モルタルの圧壊が先行する場合も床板のメンブレン効果は発揮されない。これより最終年度の試験体では、確実に鉄筋の降伏・破断が先行するよう、鉄筋を0.55%に減らした。以上から、床板の高温時耐力を算定する際は、パンチングシア破壊およびコンクリートの圧壊に対する検討も必要である。



(a) 上面 (非加熱面) (b) 下面 (加熱面)  
図6 床板のひび割れおよび破壊状況

#### (4) 実大規模実験の計画

前記(2)で示した結果より、火災時メンブレン挙動を示す床板の耐力は、降伏線理論に基づく耐力の2~3倍の値を示し、二方向支持床板が保有する荷重支持能力の高さを明らかにした。これより、RC床板のメンブレン効果を踏まえた耐火設計を行えば、鋼構造における小梁の耐火被覆を省略できる可能性が示された。本研究期間中、鉄骨梁とRC床板による実大規模の載荷加熱実験を行うべく日本鉄鋼連盟からの研究予算を獲得し、その試験体の製作までを行った。実大規模実験では、5.8m×4.2mの床システム試験体を用いて、その火災時耐力を把握するとともに、無耐火被覆の小梁による床システムでも十分な耐火性能を有すること、外周梁における頭付きスタッドの影響が小さいこと明らかにする。そのために床スラブの仕様を検討し、荷重条件を含めて実験条件を決定した。

#### (5) 研究成果のまとめ

本実験研究より得られた成果を以下にまとめる。

- ① 床板の厚さ方向の温度分布に起因するたわみは、二方向支持床板の場合でも一方向支持床板の熱たわみ理論値に近い値を示した。
- ② この熱たわみで床板が曲面化することで鉄筋温度が400℃~500℃に至るまで常温時耐力より低下することなく、鉄筋が400℃位までは常温時よりも火災時の耐力が増加することを示した。
- ③ 鉄筋が破断した床板の崩壊時たわみは、スパンの1/15~1/12であった。板厚による違いは比較的小さかった。

- ④ 鉄筋が破断した床板の耐力は、たわみに伴う耐力増加(メンブレン効果)により、崩壊荷重計算値の2~3倍の値を示した。
- ⑤ 以上の縮小試験体による載荷加熱実験結果を踏まえて、実大規模の実験を計画し、その試験体を製作した。

#### (6) 国内外における位置づけとインパクト

本研究成果は、床板の火災時耐力に関する基礎資料となり、日本建築学会・鋼構造耐火設計指針の改定版に反映できると考える。国外でも床板の火災時メンブレン効果に関する実験データは少ないため、本研究で得た知見は有用である。

#### (7) 今後の課題と展望

二段配筋のフラットRCスラブでは、火災時メンブレン効果が十分に発揮されることが分かったため、降伏線理論による常温崩壊荷重を与えた載荷加熱実験で、ISO加熱3時間以上の荷重支持能力を有することを示せると考える。またデッキ合成スラブを用いた床システムでも小梁の耐火被覆を省略できる可能性を示せる実大規模実験を計画する。

本研究期間内では、実験費用不足のため、申請時の計画で予定していた床板のアスペクト比(短辺長さに対する長辺長さの比)の影響までは調べることができなかった。今後、実験治具を改良し、アスペクト比の影響についても調べる。また、数値計算による応力解析を行なえるよう、解析プログラムの開発に着手する。

#### <引用文献>

- ① C. G. Bailey, D. B. Moore: The structural behaviour of steel frames with composite floorslabs subject to fire: Part 1: Theory, The Structural Engineer 78, No.11, pp.19-27, 2000.6

#### 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3件)

- ① 深津志向、木下晃一、吉田徹、平島岳夫、火災時における床スラブの膜作用効果その3. 鉄筋モルタル床板の載荷加熱実験、構造工学論文集、査読有、Vol. 64B、373-382 (2018)
- ② Shiko FUKATSU, Zijing LIU, Toru YOSHIDA, Kenta WATANABE, Takeo HIRASHIMA, SMALL-SCALE TESTS ON TENSILE MEMBRANE ACTION OF REINFORCED MORTAR SLABS AT ELEVATED TEMPERATURE, Proceedings of 11th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 査読有 (2018)
- ③ 吉田徹、深津志向、渡邊健太、平島岳夫、火災時における床スラブの膜作用効果

その 2. 鉄筋モルタル床板の高温加力実験、構造工学論文集、査読有、Vol. 63B、415-423 (2017)

[学会発表] (計 24 件)

- ① 深津志向、木下晃一、吉田徹、平島岳夫、火災時における床スラブの膜作用効果 その 3. 鉄筋モルタル床板の載荷加熱実験、構造工学シンポジウム (2018)
- ② Shiko FUKATSU, Zijing LIU, Toru YOSHIDA, Kenta WATANABE, Takeo HIRASHIMA, SMALL-SCALE TESTS ON TENSILE MEMBRANE ACTION OF REINFORCED MORTAR SLABS AT ELEVATED TEMPERATURE, 11<sup>th</sup> Asia- Oceania Symposium on Fire Science and Technology (2018)
- ③ 劉子敬、木下晃一、深津志向、小幡陸夫、高橋優斗、平島岳夫、火災時におけるコンクリート床スラブの膜作用効果 その 6. 実験概要と一方向スラブの載荷実験結果、日本建築学会大会 (2018)
- ④ 木下晃一、深津志向、小幡陸夫、高橋優斗、菊地毅之、平島岳夫、火災時におけるコンクリート床スラブの膜作用効果 その 7. 鉄筋モルタル床板の常温載荷実験、日本建築学会大会 (2018)
- ⑤ 高橋優斗、木下晃一、深津志向、小幡陸夫、菊地毅之、平島岳夫、火災時におけるコンクリート床スラブの膜作用効果 その 8. 載荷加熱実験における崩壊時たわみおよび崩壊時耐力の検討、日本建築学会大会 (2018)
- ⑥ 小幡陸夫、菊地毅之、高橋優斗、木下晃一、深津志向、平島岳夫、高温時におけるモルタルの力学的特性 (その 1. 一定温度下での圧縮実験)、日本建築学会大会 学術講演梗概集 (防火)、査読無 (2018)
- ⑦ 菊地毅之、小幡陸夫、高橋優斗、木下晃一、深津志向、平島岳夫、高温時におけるモルタルの力学的特性 (その 2. 一定圧縮応力下での温度漸増実験)、日本建築学会大会 学術講演梗概集 (防火)、査読無 (2018)
- ⑧ 劉子敬、木下晃一、深津志向、小幡陸夫、高橋優斗、平島岳夫、鉄筋モルタル床板の火災時メンブレン効果に関する実験 その 5. 実験概要と一方向スラブの載荷実験結果、平成 30 年度日本火災学会研究発表会 (2018)
- ⑨ 木下晃一、深津志向、小幡陸夫、高橋優斗、菊地毅之、平島岳夫、鉄筋モルタル床板の火災時メンブレン効果に関する実験 その 6. 常温時における内部鉄筋のひずみ、平成 30 年度日本火災学会研究発表会 (2018)
- ⑩ 高橋優斗、木下晃一、深津志向、小幡陸夫、菊地毅之、平島岳夫、鉄筋モルタル床板の火災時メンブレン効果に関する実験 その 7. 載荷加熱実験における崩壊時たわみおよび崩壊時耐力の検討、平成

- 30 年度日本火災学会研究発表会 (2018)
- ⑪ 小幡陸夫、木下晃一、深津志向、高橋優斗、菊地毅之、平島岳夫、高温時におけるモルタルの力学的特性、平成 30 年度日本火災学会研究発表会 (2018)
- ⑫ 劉子敬、深津志向、木下晃一、菊地毅之、平島岳夫、鉄筋モルタル床板の火災時メンブレン挙動に関する実験的研究、日本建築学会関東支部研究発表会 (2018)
- ⑬ 菊地毅之、深津志向、木下晃一、劉子敬、平島岳夫、高温加熱下でのモルタルの力学的特性に関する実験、2017 年度日本建築学会関東支部研究発表会 (2018)
- ⑭ 吉田徹、深津志向、渡邊健太、平島岳夫、火災時における床スラブの膜作用効果 その 2. 鉄筋モルタル床板の高温加力実験、構造工学シンポジウム (2017)
- ⑮ Shiko FUKATSU, Toru YOSHIDA, Kenta WATANABE, Takeo HIRASHIMA, SMALL-SCALE TESTS ON TENSILE MEMBRANE ACTION OF REINFORCED MORTAR SLABS AT ELEVATED TEMPERATURE, 12<sup>th</sup> International Symposium on Fire Safety Science (2017)
- ⑯ 深津志向、木下晃一、吉田徹、平島岳夫、火災時におけるコンクリート床スラブの膜作用効果 その 4. 載荷加熱時の熱たわみ挙動、日本建築学会大会 (2017)
- ⑰ 木下晃一、深津志向、吉田徹、平島岳夫、火災時におけるコンクリート床スラブの膜作用効果 その 5. 高温時耐力の検討、日本建築学会大会 (2017)
- ⑱ 深津志向、吉田徹、平島岳夫、火災時におけるコンクリート床スラブの膜作用効果 その 2. 鉄筋モルタル床板の実験概要、日本建築学会大会 (2016)
- ⑲ 吉田徹、深津志向、平島岳夫、火災時におけるコンクリート床スラブの膜作用効果 その 3. 鉄筋モルタル床板の実験結果、日本建築学会大会 (2016)
- ⑳ 吉田徹、渡邊健太、平島岳夫、鉄筋モルタル床板の火災時メンブレン効果に関する実験、日本建築学会関東支部研究発表会 (2016)

(他 4 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平島 岳夫 (HIRASHIMA TAKEO)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：20334170

### (2) 研究分担者

前田 孝一 (MAEDA Koichi)

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10125958