

令和 4 年 9 月 5 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02375

研究課題名（和文）吊り天井システムの地震時の損傷発生機構とその被害軽減方法に関する研究

研究課題名（英文）Study on the damage generation mechanism of a suspended ceiling system during an earthquake and its damage mitigation method

研究代表者

元結 正次郎（Motoyui, Shojiro）

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：60272704

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、近年の地震時において多発している吊り天井システムの損傷について、その発生機構と被害軽減方法を提案することを目的として実験的および数値解析的検討が行われている。研究対象は大きく2種類に分類される。ひとつは鋼製下地在来工法天井と呼ばれるものであり、建築室空間において最も多用される形式の吊り天井であり、もうひとつはグリッドシステム天井と日本では呼ばれるもので超高層ビルのオフィス空間に用いられるものである。両天井システムに対して地震時に発生する大規模な落下被害の被害発生機構を明らかにしている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震時の吊り天井の落下等の被害は、地震直後および地震後の室空間の機能を著しく低下させる。この室空間の機能低下は、企業の本社機能・生産ライン施設・流通施設のすべてに起こりうるものであり、社会全体の機能性に及ぼす影響は計り知れない。また、システム天井は世界標準仕様に近い仕様の天井であり、この種の天井の耐震設計法を明示することは国際的にも非常に意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this research project, experimental and numerical analysis studies are being conducted with the aim of proposing the mechanism of occurrence and damage mitigation methods for the damage to the suspended ceiling system that is scattered during recent earthquakes. Research subjects are roughly classified into two types. One is the conventional ceiling made of steel, which is the most frequently used type of suspended ceiling in the building room space, and the other is the grid system ceiling, which is called in Japan and is used for the office space of skyscrapers. It's a dropped thing. For both ceiling systems, we have clarified the damage generation mechanism of large-scale fall damage that occurs during an earthquake.

研究分野：建築構造

キーワード：吊り天井 耐震性能 動的不安定現象 非線形振動

## 1. 研究開始当初の背景

近年の建築分野において解決すべき課題として吊り天井の落下委被害の軽減が日本のみならず世界の地震国で掲げられていた。2011年の東北地方太平洋沖地震では東北地方のみならず南関東にいたる広範囲において吊り天井の落下被害が多発し、さらには人的被害が発生したことを受けて平成25年8月に国土交通省告示771号(以下、天井告示)が公布されるに至った。しかしながら、それまでの研究が特定の吊り天井を対象にして行われてきており、それらの研究成果を受けて制定された上記の告示もまた極めて限定された仕様・工法の吊り天井に対するものとなっている。ここで、吊り天井システムを幾つかに分類しておく。工法としては、「金属製の野縁・野縁受けを使用した鋼製下地在来工法天井」(以下、在来工法天井)と「T形断面を有する部材を同一平面上に配置するシステム天井」(以下、システム天井)の2種類があり、耐震化構法としては「隙

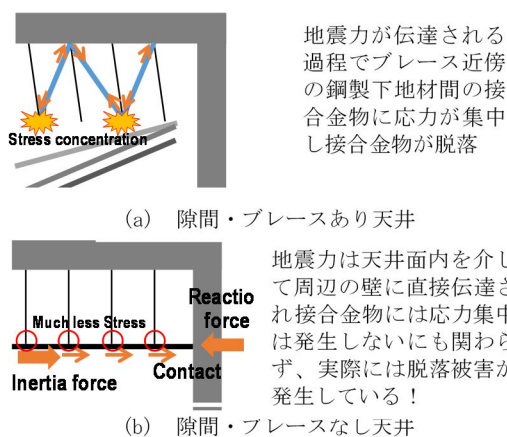


図1 吊り天井の耐震化構法

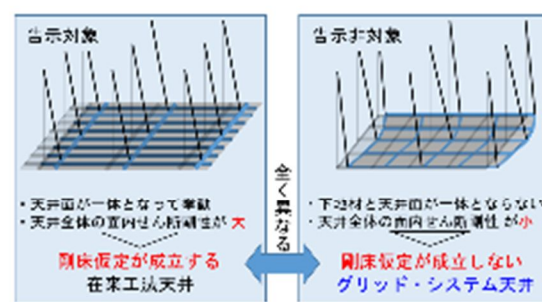


図2 システム天井の特徴

間・ブレースなし構法」と「隙間・ブレースあり構法」の2種類が存在する(図1)。この中で、当初の告示において対象とされていたのは隙間・ブレースあり鋼製下地在来工法天井であり、その後隙間なし鋼製下地在来工法天井へと拡張された。

しかしながら、隙間・ブレースなし鋼製下地在来工法天井においては鋼製下地材に過大な応力が発生しないように考えられるにも関わらず当該天井においても大規模な落下被害が発生した理由については不明な点が残されていたのが申請時の状況であった。このことは下地材の発生応力が大きくなっても天井落下が発生する可能性を示しており、隙間・ブレースあり天井においても下地材のみを補強しても落下被害が発生することを意味していると考えられる。

なお、本研究課題を申請した時期においては研究対象としてはいなかったが、世界的には一般的な工法であるシステム天井が海外の過去の地震でかなりの被害を受けていること、さらに国内でも当該天井の被害が複数確認されていることから当該天井の落下原因解明することも国際社会的に有意義であると判断し、研究対象に加えることとした。鋼製下地在来工法天井とシステム天井の違いは、図2に示すように、システム天井では天井パネルは下地材に緊結されていないために天井面の面内剛性が小さく天井面は剛体として挙動することはない点が挙げられる。この差異は、特に鉛直ブレースを用いて耐震化する場合に大きな影響を及ぼすが、その影響については全く明らかにされていなかったために、システム天井に対する合理的な耐震設計法は構築されていなかった。

## 2. 研究の目的

### (1) ブレースなし隙間なし天井の落下条件

本研究課題の目的のひとつは、隙間・ブレースなし鋼製下地在来工法天井の落下現象に対して論理的に矛盾のない原因を見出し、これを実験的および数値解析の検討を通して検証することである。

### (2) システム天井の落下原因の解明と抑制方法

2つ目の目的は、世界的に標準的な天井工法であるシステム天井が地震時に落下する現象の原因を解明することである。さらに、当該天井において使用される鋼製部材はメーカーによる違いが存在する。そこで、動的实验に依らない比較的簡易な性能確認試験を提示することも目的としている。

## 3. 研究の方法

各目的に対して行った検討方法について説明する。

### (1) ブレースなし隙間なし天井の落下原因

事前検討として、天井の規模を変化させた吊り天井の動的挙動を数値解析により検討した。その結果、天井懐が深くなると吊りボルト自体に動的不安定現象が発生する場合があること、また、

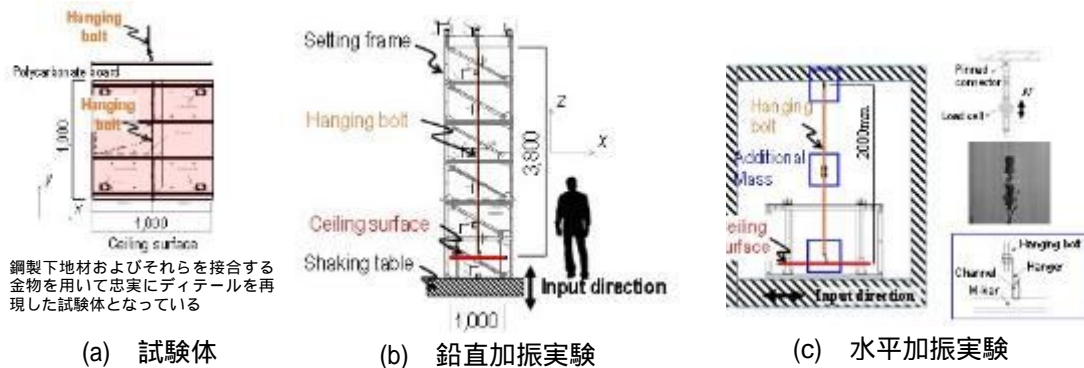


図3 吊りボルト1本を抽出した試験

その不安定現象により天井面が上下に波打つ現象が発生することを見出した。そこで、本研究課題では、天井懐が深い、すなわち吊りボルトが長い吊り天井に焦点を当て、吊りボルト単体を抽出した試験体による動的実験を実施した(図3(a))。動的実験は2種類設定しており、ひとつは鉛直加速度を入力する実験であり、もうひとつは水平加速度を入力する実験である(図3(b)および(c))。両者とも入力波形は比較的高い周波数から比較的低い周波数までの加速度一定のスイープ波形としている。水平加振には必ずしもポローチンによる動的不安定現象とは同一の現象とは限らないが、同様に横振動に対する固有振動数を中心に考えている。本動的実験により、天井系において動的外乱を受けた場合に不安定現象あるいは強非線形現象が発生することを確認し、その発生条件について数値解析結果により明らかにする。

## (2) システム天井の落下原因の解明と抑制方法

まず、小規模な試験体を用いた動的実験を実施した(図4)。この実験の特徴は、天井面内のせん断変形を誘発するために付加質量を設置している点である。この応答結果から固有振動数を検出し、既知である質量を考慮して天井面の面内せん断剛性を導出する。さらに、この結果を基に作成した数値解析モデルを構築し、この数値解析モデルにて複数の入力波形による実験結果をどの程度再現可能かを検証する。

この数値解析モデルを用いて実大級のシステム天井を具体的に試設計し、これを試験体とする動的実験を実施している。図5に示すように、試験体1体の大きさは5m x 12m程度であり、これは世界最大級の試験体となっている。加振は中国同済大学の振動台にて行った。科学的にデザインされた実大級の試験体を用いて、設計予測値と実験値との対応を検証する試みは初めてである。

前述したようにメーカーによる個体差を考えると国内外に関わらずメーカーごとにせん断剛性を含む性能を設計者に提供する必要がある。その場合に、ここで提示した振動台実験をメーカーに要求することは難しいために、天井面の耐震性能に対する標準試験法を構築することが望まれる。図6に本研究課題で提案する簡易せん断特性評価標準試験法を示す。この試験の妥当性は本試験結果と上記の小規模試験体による振動台実験の結果とを比較することで検証する。

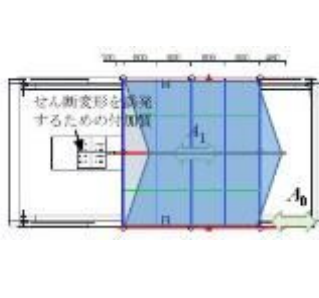


図4 小規模試験体を用いた振動台実験

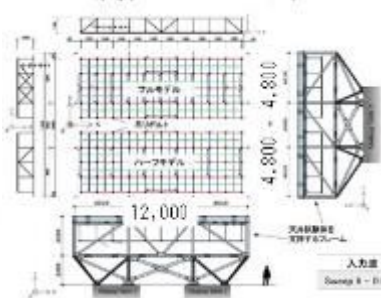


図5 大規模試験体を用いた振動台実験

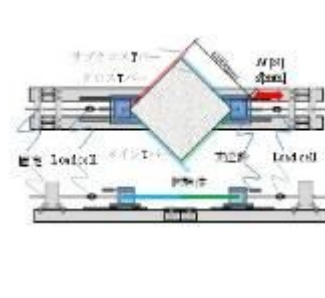


図6 面内せん断特性の簡易評価試験

## 4. 研究成果

### (1) ブレースなし隙間なし天井の落下原因

図7は図3(a)に示した振動台実験の結果である。同図(a)は吊りボルト下端部、すなわち天井面の鉛直応答加速度の時刻歴であり、同図(b)は吊りボルトの軸力の時刻歴である。まず、鉛直応答加速度(長期的な重力加速度は差し引いている)について説明すると、加振当初は、入力している加速度の振幅( $\pm 8\text{m/s}^2$ )間で変動し、吊りボルトは安定した挙動となっているが、入力加速度の振動数が3.1Hz近傍で乱れ始め、その直後に急激に大きな応答加速度が発生している様子が確認される。軸力変動についても同様の様子が確認され、3.1Hz近傍では自重の3倍を超える軸力が計測されている。なお、申請者らの研究によれば、吊りボルト1本あたりの耐荷能力は1000N程度(図中の青線)であるとされており、この実験ではこの耐荷能力を超える軸力が発

生じた結果天井面は落下に至った。

ここで最も重要な点は、1G を下回る鉛直慣性力であるにも関わらず、吊りボルトは動的に不安定に陥っているという点である。このことは、通常的设计で静的な鉛直地震力として 1G を考える場合があり、多くの設計者は吊りボルトが圧縮にはならないことから安全という判断を下す場合があるが、これが正しくないことを意味している。したがって、不安定領域が可視化されたストラット図などにて動的不安定になる可能性をチェックした上で、その危険性がある場合には吊りボルトの横振動に対する固有振動数をより高いものにするなどの対応を図らなければならない。

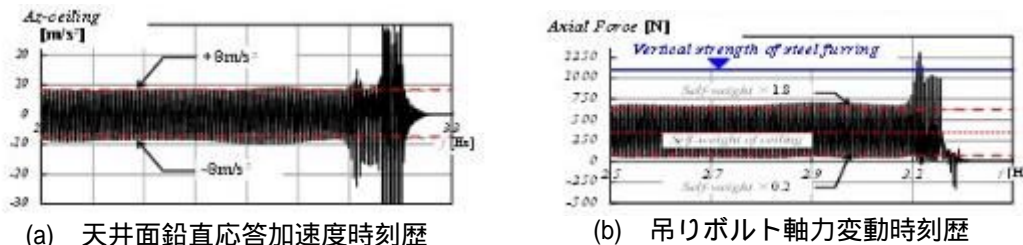


図 7 鉛直加振振動台実験結果

図 8 は図 3(b)に示した振動台実験の結果である。上段は吊りボルト中央の水平変位、中段は天井面の鉛直変位、下段は吊りボルトの軸力のそれぞれ時刻歴をしめしている。図中の破線は吊りボルトの横変位に対する固有振動数であるが、いずれの応答値も固有振動数近傍とは異なる入力振動数のときに最大値となっており、通常の共振とは異なる挙動となっている。この挙動は既存の考え方である非線形共振曲線（図 9 左）を考えることで説明することができる。この非線形共振曲線の特徴は、固有振動数で最大値とならずに入力加速度が大きくなるにつれ固有振動数からのずれは大きくなる点である。このために、図 8 の最大応答値が固有振動数でない時点で発生している。また、非線形共振曲線にはハードニングパターンとソフトニングパターンが存在し、いずれかに属するかは履歴特性に依存する。この水平加速度を受ける吊りボルトの問題では一周期における履歴特性は図 9 右に示すようにソフトニングを示すものとなるので、非線形共振曲線もまたソフトニングパターンとなる（図 9 左の赤線）。この共振曲線の形状と図 8 の水平変位の時刻歴の形状が相似的となっている。共振曲線と振動数変化を合わせるために時刻歴の図を左右反転した図を図 10(a)右に示す。スイープ波形において振動数が右から左に変化する過程で応答が急激に大きくなり、ある時点で劇的に小さくなる特徴的な挙動が共振曲線にて説明することができる。

このような共振曲線となる場合には、入力加速度が僅かに大きくなっただけでも応答値は飛躍的に大きくなる。図 9 では入力加速度が 10m/s<sup>2</sup> から 11m/s<sup>2</sup> と 1 割増加しただけであってもその時の応答値は 100m/s<sup>2</sup> から 300m/s<sup>2</sup> に増加する。つまり、10m/s<sup>2</sup> に対する共振曲線（図中

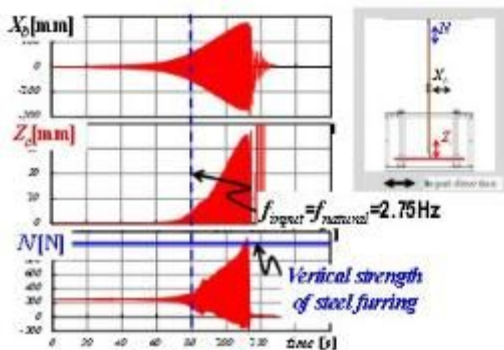


図 8 水平加振振動台実験結果

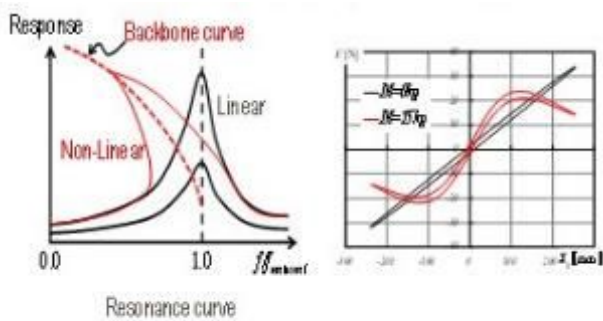


図 9 非線形共振曲線

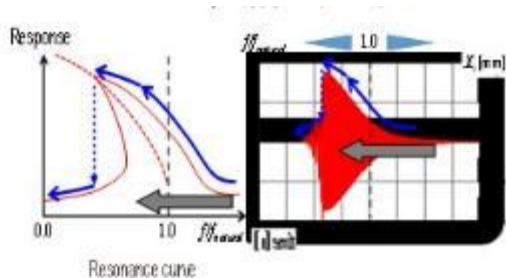


図 10(a) 非線形共振現象

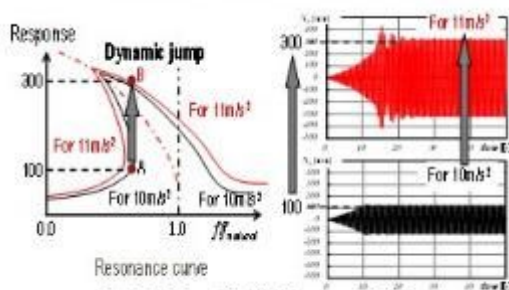


図 10(b) 動的ジャンプ現象

の黒線)の点Aから11m/s<sup>2</sup>に対する共振曲線(同、赤線)の点Bにジャンプすることとなる。このような動的ジャンプが発生することは耐震設計上望ましくないことから、設計時には対象となる吊りボルトに対する非線形共振曲線を描き、動的ジャンプの発生の有無を判断する必要がある。

## (2) システム天井の落下原因の解明と抑制方法

図11は図4で示した小規模試験体による振動台実験で得られた応答加速度  $A_1, A_0$  (図4参照)のスペクトル比である。この結果から、入力加速度の大きさによって変化するものの、固有振動数はおよそ1Hzであることが分かる。この固有振動数および付加質量  $M$  の値(584kg)を用いて、ブレースモデル(図12)に置換するときのブレース軸剛性  $EA$  が求められることができる。図13は、このブレース置換したモデルを用いて入力加速度振幅を変化させた複数の実験結果(黒線)と数値解析結果(赤線)を比較したものである。すべての入力加速度振幅に対する結果において両者はよく対応しており、本解析モデルはシステム天井の動的挙動を再現するに十分な精度を有していることが確認される。

図14は上記で求めたシステム天井に対する物性値を用いて大規模試験体の応答を予測したものである。図の左側が実験で得られた応答変位分布を、右側が数値解析によって求められた固有モードである。両者ともにシステム天井の特性である天井面の非剛床性を表す結果となっており、その分布形状もよく対応しており、システム天井を耐震設計する際に用いる解析モデルとしては十分な精度を有している。

図15は図6に示したシステム天井の面内せん断性能を評価するための簡易実験法にて得られた実験結果である。この結果は振動台実験の復元力の特徴をよく表現するものとなっている。また、図中の0.3kN/mmは図16に示す天井ボードのみによる圧縮試験によって得られた剛性であり、このボード単体の剛性はシステム天井の面内せん断剛性を評価するには不适当であり、鋼製部材の接合部の影響も考慮できる本実験方法が簡便であり有効であることが理解される。

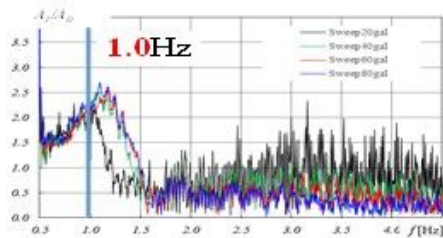


図11 振動台実験で得られた応答加速度から求めた応答倍率

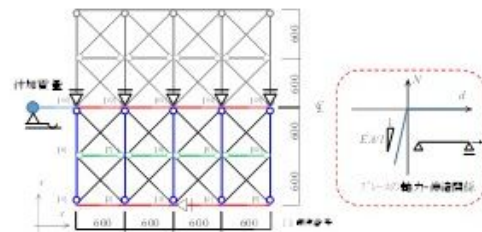


図12 ブレース置換モデルへの変換

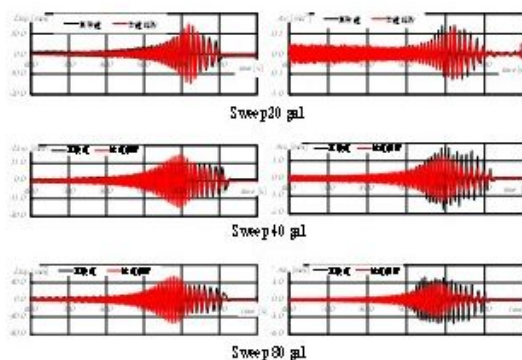


図13 実験結果と数値解析結果との比

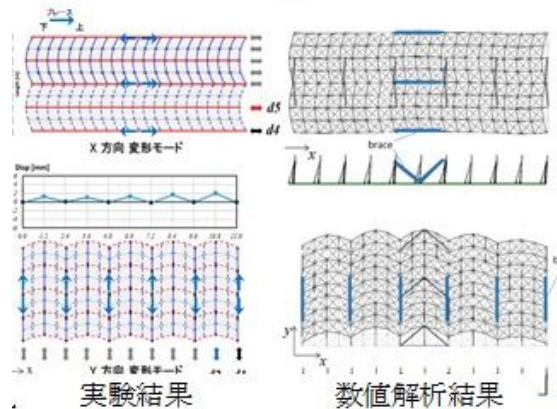


図14 実験結果と数値解析結果との比

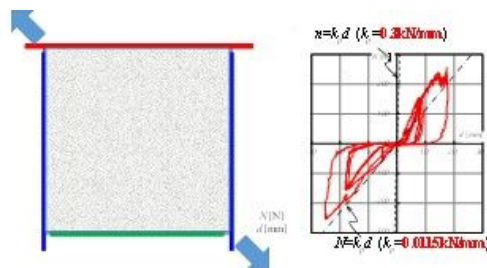


図15 簡易せん断性能評価試験結果

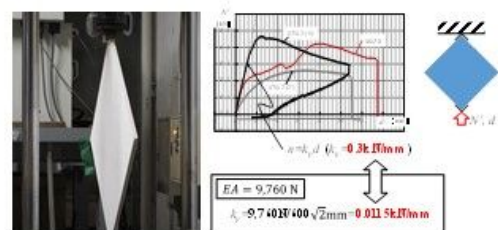


図16 天井パネル単体の圧縮試験

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Yasuaki Sato, Kimcheng Tea and Shojiro Motoyui	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on In-Plane Shear Stiffness in US-Style Suspended Ceiling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Fourth International Workshop on Seismic Performance of Non-Structural Elements (SPONSE)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 石原 直, 沖 佑典, 吉敷祥一, 元結正次郎, 岩田善裕	4. 巻 66B
2. 論文標題 上下端ピン支持の曲げ棒でモデル化された非構造部材の地震力に関するモード解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 941-946
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 渡辺俊也, 山下哲郎	4. 巻 85
2. 論文標題 下部構造と支承部の非線形復元力特性を考慮した鉄骨置屋根構造の地震応答解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 209-218
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijs.85.209	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 中西 真子, 久田 嘉章, 山下 哲郎	4. 巻 19
2. 論文標題 既存超高層建築のリスク評価手法を用いた制振補強による費用対効果に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 5_440 ~ 5_462
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5610/jaee.19.5_440	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 山下哲郎, 和田直記	4. 巻 84
2. 論文標題 大スパンの鉄骨置屋根を支持するスライド支承の摺動安定性に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 1251 ~ 1258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.84.1251	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 荒井雄大, 山下哲郎	4. 巻 84
2. 論文標題 主架構の振動特性を考慮した大スパン片持ち屋根の地震応答に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 1073 ~ 1080
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.84.1073	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 伊藤賢治, 山下哲郎, 渡辺俊也	4. 巻 84
2. 論文標題 置屋根支承部の繰返しせん断加力実験と耐力評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 649 ~ 657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.84.649	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏	4. 巻 Vol.25 No.59
2. 論文標題 数値計算に基づくスプリンクラ設備の耐震性能評価 建築の非構造部材・建築設備の耐震補強と改修に関する研究(その2)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 249 ~ 253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.25.249	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岩澤瞭、山下哲郎	4. 巻 83巻748号
2. 論文標題 大スパンH形鋼ラーメンの非弾性地震応答による累積たわみに関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 819 ~ 826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.83.819	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中西真子, 久田嘉章, 山下哲郎, 笠井和彦	4. 巻 18巻2号
2. 論文標題 長周期・長時間地震動や活断層近傍の強震動など極大地震動を考慮した都心に建つ既存高層建築の制振補強に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 62 ~ 81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yudai ARAI, Tetsuo YAMASHITA	4. 巻 -
2. 論文標題 Seismic response evaluation of large-span cantilevered roofs considering dynamic interaction with mainstructures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Abbreviated proceedings, IASS2018 Boston, July16-20, "Creativity in structural design" (in USB)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kenji ITO, Tetsuo YAMASHITA	4. 巻 -
2. 論文標題 Cyclic shear tests of conventional bearings supporting long span steel roofs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Abbreviated proceedings, IASS2018 Boston, July16-20, "Creativity in structural design" (in USB)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 寺西正輝, 元結正次郎	4. 巻 63B
2. 論文標題 多軸応力状態に対する完全弾塑性体から成るサブレイヤーモデルの区分巨視的評価手法の提案	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 元結正次郎, 沖佑典	4. 巻 63B
2. 論文標題 剛に接合される弦材の弾性構面外座屈を考慮したトラス梁要素の提案	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 47~54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石原直, 山中祐一, 山田哲, 元結正次郎, 清家剛, 脇山 善夫	4. 巻 63B
2. 論文標題 非構造部材の耐震設計用慣性力評価のための構造躯体の加速度について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 75~82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 野原大樹, 伊藤賢治, 渡辺俊也, 山下哲郎	4. 巻 25
2. 論文標題 鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 303~310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shojiro MOTOYUI, Yasuaki SATO, Yusuke OKI	4. 巻 -
2. 論文標題 Unstable behavior of suspended ceiling during earthquake	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceeding of 16th World Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計74件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Tola CHHAT, Shojiro MOTOYUI
2. 発表標題 Effect of in-plane shear stiffness on dynamic characteristics of full-scale ceiling system
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shojiro MOTOYUI
2. 発表標題 Dynamic instability phenomenon of ceiling suspended with long hanging bolts during earthquakes
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Reiko MOROHOSHI, Shojiro MOTOYUI, et.al.
2. 発表標題 Resistance mechanism of the sloped ceiling composed with braces and compression-reinforced hanging rods
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuaki SATO, Shojiro MOTOYUI
2. 発表標題 Structural behavior of the dry partition wall with light-gauge steel
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣田 勇, 元結 正次郎
2. 発表標題 天井を支持している吊りボルトに動的水平外乱が作用した場合の軸力変動
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tea Kimcheng, 元結 正次郎, Chhat Tola, 櫻庭 記彦
2. 発表標題 グリッドタイプシステム天井の面内せん断変形が動的挙動に及ぼす影響 その1 面内せん断剛性評価および簡易数値解析モデルの提案
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chhat Tola / Tea Kimcheng / 櫻庭 記彦 / 笠井 和彦 / 元結 正次郎
2. 発表標題 グリッドタイプシステム天井の面内せん断変形が動的挙動に及ぼす影響 その2 実大天井システムの動的特性に及ぼす面内せん断剛性の影響
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩井 徹, 元結 正次郎, 石川 和広, 柏 直樹
2. 発表標題 超軽量平面膜天井の合理的な設計法構築に向けた力学的検討
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白井 駿太郎 / 元結 正次郎 / 上田 眞 / 伊藤 佑治
2. 発表標題 鋼製下地在来工法天井の含水による経年的状態変化に関する研究 その1 天井ボードにおける含水および振動特性
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田 眞 / 元結 正次郎 / 白井 駿太郎 / 今井 詩織 / 山本 浩司
2. 発表標題 鋼製下地在来工法天井の含水による経年的状態変化に関する研究 その2 含水率が天井ボードの力学的特性に及ぼす影響と考察
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋吉 秀樹, 坂 雄一郎, 水谷 国男
2. 発表標題 既存天井内設備機器の落下防止対策施工方法に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水谷 国男, 向井 智久, 坪井 淳一, 田辺 恵一
2. 発表標題 置き基礎を用いた屋上配管の耐震性に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Ishiguro and T. Yamashita
2. 発表標題 Dynamic experiment of integrated ceiling system used in large span office buildings
3. 学会等名 FORM and FORCE, IASS Symposium 2019, 60th Anniversary Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ito, T. Yamashita and S. Watanabe
2. 発表標題 Inelastic shear strength and deformation of conventional steel roof bearings
3. 学会等名 12th Pacific structural steel conference PSSC'19 (8 page paper in USB) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuya AKASAKA, Toyohiro NISHIKAWA
2. 発表標題 Study of unit of design water supply amount and potential evaluation of rainwater utilization in middle-scale office building
3. 学会等名 45th International Symposium of CIB W062 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水陸朗、元結正次郎、廣田勇
2. 発表標題 吊り材の動的不安定挙動に関する研究 その1 吊り材の軸力の変動
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣田勇、元結正次郎、清水陸朗
2. 発表標題 吊り材の動的不安定挙動に関する研究 その2 水平・鉛 直二方向加振による検証
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上條楓、元結正次郎、北爪大樹
2. 発表標題 動的外乱を受けるグリッドタイプシステム天井の力学的性 状に関する研究 その1 振動台実験概要と損傷状況
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 元結正次郎、上條楓、櫻庭記彦、ティア キムチェン
2. 発表標題 動的外乱を受けるグリッドタイプシステム天井の力学的性 状に関する研究 その2 せん断変形と損傷発生メカニ ズムに関する検討
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲葉信子、元結正次郎、飯田秀年、ティア キムチェン
2. 発表標題 超軽量天井面材を用いた新たな天井システムの開発 その1 天井構成の説明と静的試験
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ティア キムチェン、元結正次郎、稲葉信子、飯田秀年、上條楓
2. 発表標題 超軽量天井面材を用いた新たな天井システムの開発 その2 振動台実験
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上田眞、佐々木康人、元結正次郎
2. 発表標題 鋼製下地天井の騒音計による固有振動数の測定に関する研究
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小川光陽、櫻庭記彦、元結正次郎
2. 発表標題 不完全合成梁理論による軽量鉄骨下地間仕切り壁の面外曲げ剛性評価
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shojiro Motoyui, Kaede Kamijo, Fumihiko Sakuraba, Kimcheng Tea
2. 発表標題 Study on In-plane shear stiffness in US-style suspended ceiling
3. 学会等名 The 6th Joint Workshop on Building / Civil Engineering between Tokyo Tech & Tongji (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本修平, 橋場 諭, 安井信行, 水谷国男, 鈴木卓也
2. 発表標題 既存吊ボルトを活用した天井落下防止工法と性能試験 その5 性能試験の解析による検証
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水谷国男, 鈴木卓也, 橋場 諭, 松本修平
2. 発表標題 既存吊ボルトを活用した天井落下防止工法と性能試験 その4 中腹破断発生時の性能試験について
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋場 諭, 松本修平, 安井信行, 水谷国男, 鈴木卓也
2. 発表標題 既存吊ボルトを活用した天井落下防止工法と性能試験 その6 解析による天井面積拡大に伴う天井性能の検証
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 品田直也, 木村 崇, 田村 稔, 水谷国男
2. 発表標題 吊り支持機器の落下防止対策に関する研究
3. 学会等名 2018年度空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji ITO, Tetsuo YAMASHITA
2. 発表標題 Cyclic shear tests of conventional bearings supporting long span steel roofs
3. 学会等名 IASS2018 Boston, July16-20, "Creativity in structural design" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yudai ARAI, Tetsuo YAMASHITA
2. 発表標題 Seismic response evaluation of large-span cantilevered roofs considering dynamic interaction with mainstructures
3. 学会等名 IASS2018 Boston, July16-20, "Creativity in structural design" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒井雄大, 山下哲郎
2. 発表標題 建物の振動特性を考慮した大規模庇の地震応答評価
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畠山尚子, 年縄巧, 山下哲郎
2. 発表標題 鉄骨空間構造物の二次部材の地震応答に関する研究
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲永匠悟, 寺澤友貴, 松井良太, 竹内徹, 実石明, 小西克尚, 山田哲, 山下哲郎, 石原直, 長谷川隆
2. 発表標題 立体トラス屋根を有する鉄骨置屋根体育館の地震被害分析
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田淳史, 山下哲郎
2. 発表標題 弾性支承を用いた鉄骨置屋根体育館支承部のせん断応力に関する研究 その3 2 質点モデルの作成及び簡易応答評価
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺俊也, 伊藤賢治, 山下哲郎
2. 発表標題 せん断が支配的な置屋根体育館支承部の復元力特性に関する研究 その1 繰り返し加力実験の概要
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤賢治, 渡辺俊也, 山下哲郎
2. 発表標題 せん断が支配的な置屋根体育館支承部の復元力特性に関する研究 その2 実験結果の分析
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shunya WATANABE, Tetsuo YAMASHITA
2. 発表標題 Earthquake Response Analysis of Large Span Facilities Considering Restoring Force Characteristics of Roof Bearings
3. 学会等名 12th Asian Pacific Conference on Shell & Spatial Structures (APCS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuo YAMASHITA, Ryo IWASAWA
2. 発表標題 Accumulated Downward Deformation of Large-Span Steel Moment Frames Due to Inelastic Earthquake Response
3. 学会等名 12th Asian Pacific Conference on Shell & Spatial Structures (APCS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下哲郎
2. 発表標題 支承部の特性と設計法
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北) シェル・空間構造パネルディスカッション(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢ヶ崎 啓介, 西川 豊宏, 大橋 一正
2. 発表標題 事業継続計画策定における建築設備の地震リスクに関する研究 (第8報) 超高層建築における給水自給率について
3. 学会等名 2018年度空気調和・衛生工学会大会 (名古屋)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺 荘児, 西川 豊宏, 大橋 一正, 田口 茂敏, 矢ヶ崎 啓介, 菅野 晃平
2. 発表標題 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究 (その15) 実使用量に基づく超高層建築の給水自給率予測と非常災害用井戸による対策事例
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会 (東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田口茂敏, 西川豊宏, 大橋一正, 渡辺荘児, 矢ヶ崎啓介, 菅野晃平
2. 発表標題 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究 (その14) 水槽を有する超高層建築における地震時の給水自給率について
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会 (東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅野晃平, 西川豊宏, 大橋一正, 渡辺荘児, 田口茂敏, 矢ヶ崎啓介
2. 発表標題 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究 (その13) 水槽を有する超高層建築における地震時の水賦存量の予測
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会 (東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏, 大橋一正, 渡辺荘児, 田口茂敏, 菅野晃平
2. 発表標題 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究 (その12) 超高層建築の給排水衛生設備の耐震性能について
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会(東北)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 品田真優, 元結正次郎
2. 発表標題 グリッドタイプシステム天井における接合部の力学的特性 その1 力学的特性の実験的検討
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上條楓, 品田真優, 元結正次郎
2. 発表標題 グリッドタイプシステム天井における接合部の力学的特性 その2 クロス接合部引張試験における損傷性状と数値解析モデル
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 嶋川雄平, 元結正次郎
2. 発表標題 吊り天井の耐震性能に及ぼす吊り材の影響に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊 菜, 元結 正次郎
2. 発表標題 吊ボルト中間に荷重を受けた際の鋼製下地在来工法天井下地材の損傷荷重に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋場 諭, 松本 修平, 水谷 国男, 鈴木 卓也
2. 発表標題 既存吊りボルトを活用した天井落下防止工法と性能試験 その1 工法の概要と各部材の性能試験
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水谷 国男, 松本 修平, 橋場 諭, 鈴木 卓也
2. 発表標題 既存吊りボルトを活用した天井落下防止工法と性能試験 その2 落下衝撃荷重計試験結果
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本 修平, 橋場 諭, 水谷 国男, 鈴木 卓也
2. 発表標題 既存吊りボルトを活用した天井落下防止工法と性能試験 その3 落下実験により測定された衝撃荷重の緩和策について
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 沖佑典, 元結正次郎
2. 発表標題 トラス梁における弦材間の接合条件を考慮した構面外座屈後挙動の簡易解析手法 その4 剛に接合される弦材の構面外座屈後挙動を考慮したトラス梁要素の提案
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 清水陸朗, 元結正次郎, 沖佑典
2. 発表標題 トラス梁における弦材間の接合条件を考慮した構面外座屈後挙動の簡易解析手法 その5 トラス梁要素の空間構造への適用例
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村崇, 水谷国男, 品田直也
2. 発表標題 ワイヤを用いた建築設備の耐震補強と落下防止対策に関する研究 その3 ワイヤで補強された天吊り設備機器の地震応答波加振実験 実験概要
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 品田直也, 水谷国男, 木村崇
2. 発表標題 ワイヤを用いた建築設備の耐震補強と落下防止対策に関する研究 その4 ワイヤで補強された天吊り設備機器の地震応答波加振実験 実験結果
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 品田直也, 木村崇, 田村稔, 中川冬彦, 永坂茂之, 水谷国男
2. 発表標題 建築設備の耐震施工法に関する研究 その4 ワイヤで補強された吊り支持機器の地震応答波実験
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水谷国男, 宮崎翼, 品田直也, 木村崇
2. 発表標題 天吊り空調機の耐震施工法とその効果に関する研究 吊長さ吊幅及び重量の異なる空調機器模型のSweep 加振実験結果
3. 学会等名 日本冷凍空調学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野原大樹, 伊藤賢治, 渡辺俊也, 山下哲郎
2. 発表標題 鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究
3. 学会等名 日本鋼構造協会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 蔭山快, 山下哲郎
2. 発表標題 軸圧縮を受ける直交異方性円筒格子シェルの座屈解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 伊藤賢治, 野原大樹, 和田直記, 山下哲郎
2. 発表標題 鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究 その1 2 軸加力実験の概要
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野原大樹, 伊藤賢治, 和田直記, 山下哲郎
2. 発表標題 鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究 その2 実験結果の分析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡辺俊也, 和田直記, 山下哲郎
2. 発表標題 鉄骨置屋根構造ピン支承部の復元力特性に関する研究 その3 支承部の復元力特性を反映した鉄骨置屋根構造の静的増分解析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田淳史, 山下哲郎
2. 発表標題 弾性支承を用いた鉄骨置屋根体育館支承部のせん断応力に関する研究 その2 簡易2 質点モデルによる地震応答評価
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩澤瞭, 山下哲郎
2. 発表標題 鉄骨造体育館梁間方向ラーメン構造の塑性化挙動に関する研究 その4 地震力を受ける際の累積たわみとパネル塑性化の関係
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荒井雄大, 山下哲郎
2. 発表標題 常時微動計測による鉄骨大庇の振動特性の同定及び地震応答推定
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏, 大橋一正
2. 発表標題 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その11) 給排水衛生設備の耐震性能予測
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏, 大橋一正, 米山嘉貴
2. 発表標題 事業継続計画策定における建築設備の地震リスクに関する研究(第7報)
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shojiro MOTOUJI
2. 発表標題 Unstable behavior of suspended ceiling during earthquakes in Japan
3. 学会等名 3rd workshop of Seismic Performance of Non-structural element (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鎮西宏、元結正次郎
2. 発表標題 防振ゴムを有する鋼製下地在来工法天井の不安定挙動に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 渡辺菜、嶋川雄平、品田真優、沖佑典、元結正次郎、北川健人、金箱温春
2. 発表標題 既存木質系天井における天井面の面内せん断剛性に関する 考察 その1 天井仕上げ材と野縁間のビス接合特性
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 嶋川雄平、渡辺菜、品田真優、沖佑典、元結正次郎、北川健人、金箱温春
2. 発表標題 既存木質系天井における天井面の面内せん断剛性に関する一考察 その2 天井面の面内せん断剛性
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田原健一、佐々木康人、佐藤幸博、元結正次郎、佐々木 聡
2. 発表標題 クリアランスを有さない天井の振動台実験 その4 連続多質点系を用いた解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 品田直也、水谷禎男、永坂茂之、水谷 国男
2. 発表標題 ワイヤーを用いた建築設備の耐震補強と落下防止対策に関する研究 その1 ワイヤーで補強された天吊り設備機器の静的加力実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 水谷禎男、水谷国男、永坂茂之、品田直也
2. 発表標題 ワイヤーを用いた建築設備の耐震と落下防止対策に関する研究 その2 ワイヤーで補強された天吊り設備機器の動的加振実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 元結正次郎, 大塚貴弘, 他	4. 発行年 2018年
2. 出版社 日本建築学会	5. 総ページ数 279
3. 書名 建築構造における強非線形問題への数値解析による挑戦	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	水谷 国男  (Mizutani Kunio)  (40468913)	東京工芸大学・工学部・教授    (32708)	
研究分担者	山下 哲郎  (Yamashita Tetsuo)  (80458992)	工学院大学・建築学部（公私立大学の部局等）・教授    (32613)	
研究分担者	西川 豊宏  (Nishikawa Toyohiro)  (80594069)	工学院大学・建築学部（公私立大学の部局等）・教授    (32613)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関