

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01676

研究課題名(和文) システムトラス屋根構造の終局耐震性能向上および防災施設化

研究課題名(英文) Seismic Performance Improvement of System Truss Roof Structures for Disaster Shelter

研究代表者

竹内 徹 (Takeuchi, Toru)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：80361757

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,200,000円

研究成果の概要(和文)：2016年熊本地震においてシステムトラス体育館の屋根部材が座屈・破断しその一部が落下する事故が複数発生した。システムトラスは我が国の体育館等に広く使用されている構造システムであるが、設計荷重に対し弾性設計されており、想定を超えた地震入力に対する耐力余裕度や崩壊挙動は明確になっていなかった。本研究では、部材実験、トラスユニット実験、部分架構振動台実験および解析によりシステムトラス置き屋根構造の崩壊メカニズムを明らかにした。また屋根全体の崩壊を防止する構法の検討や応答を制御する支承部へのエネルギー吸収要素の導入および設計法を提案し、地震直後の点群データ測定に基づく即時危険度判定手法の検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学校等の体育館は災害時の地域の避難施設として使用されることが多いが、大地震後の安全性・継続使用性が必ずしも担保されているわけではない。現実に2016年熊本地震ではシステムトラスを用いた学校体育館屋根の部材が座屈・破断・落下し、避難所としての使用ができないだけでなく、地震時の使用者の死傷につながる危険性も示した。本研究では被害を生じた屋根構造の損傷メカニズムを解析的に明らかにするとともに、これを防止するための具体的な方策を提示し、さらに実大に近い部分架構模型を用いた振動台実験によってその効果を確認した。今後、提案構法及び設計法を普及させることによって、同種の被害を削減することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In 2016 Kumamoto earthquake, roof members of system truss gymnasiums buckled and ruptured, and some of them fell. The system truss is a structural system widely used in gymnasiums in Japan, however, they are designed to be elastic against the design load, and the bearing capacity margin and collapse behavior against large seismic input have not been clarified. In this study, the collapse mechanism of the system truss roof structure supported by RC frames has been clarified through member tests, truss unit tests, partial frame shaking table tests and analysis. In addition, a construction method to prevent the collapse of the entire roof, the introduction of energy absorbing elements into the bearing to reduce the response, and their design method were proposed, followed by researches on immediate risk assessment based on the measurement of point cloud data after the earthquake.

研究分野：建築構造・防災

キーワード：防災 避難施設 体育館 システムトラス 座屈 破断 地震応答

1. 研究開始当初の背景

システムトラスは球状接合ノードに複数の鋼管部材を任意角度で接合できる標準化された立体トラスシステムで、多くの学校体育館、屋内競技場、スタジアム、展示場・ホール等の屋根構造に使用されている。2016 熊本地震では、災害時に避難施設として重要な機能を持つ複数の学校体育館において支承部に接続する部材の大半が座屈・破断に達し、その一部が床面に落下し崩落に近い状態に至る事故が発生した(図 1)。部材落下・崩落は避難者の死傷につながる危険性が高く、極めて深刻な問題となる。落下部材には設計時に大きな部材力が発生しないはずの部位が多く含まれ、主要部材の座屈・破断に伴い力の流れが変化したことにより破壊に至った可能性が推定された。しかし、同種構造に関する既往の学術的研究は主に弾性範囲での動的特性および個材座屈を伴う座屈耐力に関するものが多く、部材の座屈・破断後の地震時挙動にまで踏み込んだものは見られなかった。また、その多くは RC 架構で支持されたいわゆる「鉄骨置き屋根構造」であり、重量の大きい下部支持構造との連成応答による影響が無視し得ないが、その効果は不明な点が多かった。



図 1 2016 熊本地震の被害例(A 高校体育館)

2. 研究の目的

機械加工部品で構成されたシステムトラスはデジタル設計・加工にも適しているが、部材・接合部の靱性は高いとは言えず、部材付加による補強が困難であり、鉄骨置屋根構造の耐震補強において多用される接合部補強および屋根ブレースの追加による改修構法は適用困難である。耐震改修には、1) 面内耐荷重型の母屋など水平入力ロードパスを確保した設計を行い、屋根・母屋改修を行って主部材部材の損傷を防止する、2) エネルギー吸収部材、エネルギー吸収支承の導入により、屋根応答そのものを低減する、等の方法が考えられる(図 2)。しかしこのような耐荷重型母屋の補剛性能、エネルギー吸収部材および支承による応答低減効果は不明である。本研究では、熊本地震で見られた屋根構造の崩壊メカニズムを明らかにする一方、新たな設計手法および新部材の導入によりシステムトラス屋根架構の応答制御手法の確立を行うものである。

3. 研究の方法

本研究は 3 年の計画にて実施した。まず初年度では 2016 年熊本地震で被害を受けた 2 つの体育館を想定し、同建物モデルにおける地震応答特性の分析と崩壊メカニズムの解析的分析を行った。その結果、トラス屋根を支持する RC 片持ち架構の構面外応答が支承部アンカーのルーズホール範囲を超えて支承部に接続する部材を座屈に至らしめ、張間方向の屋根荷重のロードパスが失われたことによって桁行方向部材に設計軸力を超える張力が発生し、ボルト破断、部材落下に至った過程が明らかになった。

一方、接合部の回転剛性や周辺の部材剛性を考慮した鋼管トラス部材の正確な有効座屈長および座屈耐力の評価にはまだ多くの課題があった。そこで、2 年目となる平成 31 年度では接合部を含むシステムトラス部材を用いた接合部回転剛性の評価および座屈荷重の確認を行った。

この結果、接合部の回転剛性や周辺の部材剛性を考慮した鋼管トラス部材の正確な有効座屈長および座屈耐力の評価が可能となった。

また、同年度では被害を防止するための設計法、改修法についての検討を実施した。検討は地震入力時に RC 構面外応答による水平荷重を受け止める母屋構造を屋根面に付加する強度型アプローチ、および下部 RC 架構による屋根

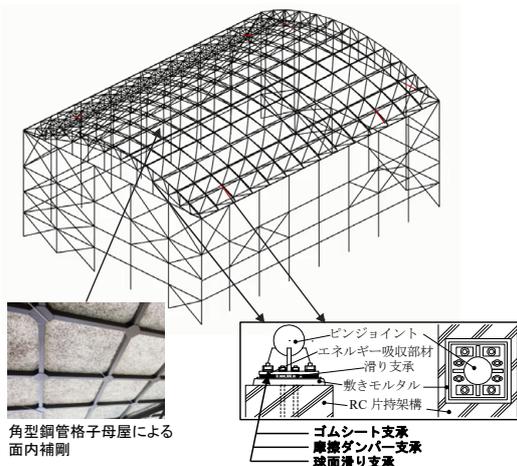


図 2 システムトラス屋根改修イメージ

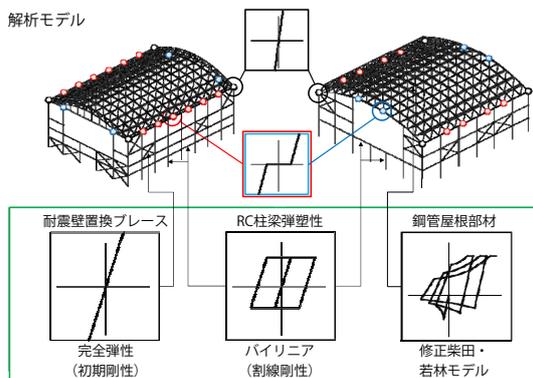


図 3 被害体育館解析モデル

面および支承部への地震入力低減を目的としたエネルギー吸収型支承または TMD による応答制御型アプローチの 2 種で行った。

最終年度となる平成 32 年度では前 2 年度で実施された検討結果を踏まえ、熊本地震で被害を受けた A 体育館の 1/2.5 部分架構を用いた振動台実験を実施し、支持架構の構面外応答によるシステムトラス屋根への部材力発生および動的座屈性状の分析を行い、実被害の再現および前年度までで仮定した屋根構造の被害メカニズムの妥当性確認を行った。併せて前年度で確認したエネルギー吸収型摩擦ダンパー支承を取り付けることで、システムトラス部材への入力が低減され部材破壊が回避できることを確認した。また、同時に点群データを分析することで大地震後のシステムトラス屋根の危険度判定および避難所使用可否判定を即時に行える手法についての検討を行った。

4. 研究成果

4-1: 2016 年熊本地震の被害分析

初年年度となる平成 30 年度実施した熊本地震被害体育館の解析モデルを図 3 に示す。モデルはすべてのシステムトラス屋根材を梁要素に置き換えた立体モデルで屋根を支持する RC 架構を含む。各トラス部材には研究者らの提案する座屈後履歴モデルおよび座屈後の局部座屈による塑性ひずみ集中を考慮した部材破断判定ルーチンを組み込み、部材破断判定後は破断部材の剛性・耐力を零として部材座屈・破断後の力の流れの変化を追跡できるようにした。入力地震動は 2016 年熊本地震時に際し近傍で記録された地震波を使用し、被害体育館の方角に合わせて各方向の入力波を換算し入力した。

解析の結果得られた A 体育館の解析結果の一部を図 4 に示す。RC 架構の構面外応答がまず支承部のルーズホール可動範囲を超過してまず支承部に接続する弦材および斜材を座屈させ（図中オレンジ線）、その直後に直交方向の桁行部材（図中青線）の引張軸力が跳ね上がり、接続ボルト破断軸力に達していることがわかる。その後、弦材は繰り返し変形を受けて破断に至り、完全に応力伝達機能を失う。このように部材座屈・破断後の力の流れの変化を追跡することにより、熊本地震で発生したシステムトラス屋根の破壊過程が初めて数値的に解明された。この被害解析概要は国際会議等で紹介された後、国際学術書籍に採用され出版された（図 5）。

4-2: 接合部を考慮したシステムトラス部材の座屈耐力および破断メカニズムの解明

平成 31 年度に実施した実大接合部つき試験体を用いたシステムトラス部材の曲げ実験では、異なるサイズの接合部のボルトとカプラー部において得られた剛性・耐力に基づき一般的な評価式を誘導した。引きつづきトラスユニット繰り返し载荷座屈実験（図 6）を実施し、鋼管部材が座屈に至る耐力および繰り返し载荷下で座屈後破断に至るまでの特性を確認した。部材試験に基づき設定した接合部回転剛性および隣接する部材の曲げ剛性を考慮した結果、鋼管トラス部材の正確な有効座屈長および座屈耐力を提案評価式に基づき精度よく評価できることが確認された。また、鋼管部材が全体座屈、局部座屈を生じた後、被災体育館の解析で得られた圧縮側のみの繰り返し変形で破断に至ることが確認され、破断に至るまでの繰り返し回数も提案手法で精度よく予測できることが確認された（図 7）。

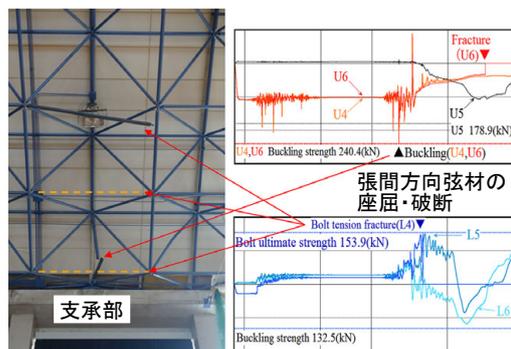


図 4 弦材座屈に伴うロードパスの変化

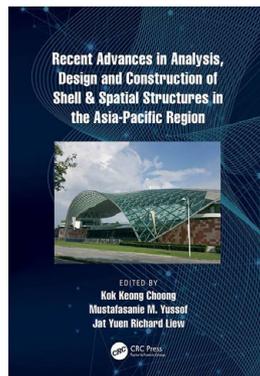


図 5 Recent Advances in Analysis, Design and Construction of Shell & Spatial Structures in the Asia-Pacific Region, CRC Press, 2015



図 6 トラスユニット座屈実験

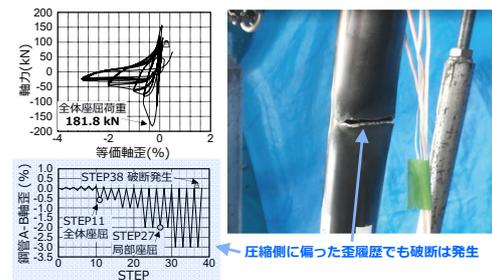


図 7 鋼管部材の破断

4-3 格子母屋部材による主架構補剛効果確認

鉄骨置屋根構造の被害を防止するための強度型アプローチの一環として、地震入力時に RC 構面外応答による水平荷重を受け止める角型鋼管格子母屋による屋根主部材の補剛効果に関する実大実験を実施した。実験の様子を図 8 に示す。試験体は 13m×6.5m の学校体育館屋根面を想定した実大の格子母屋面であり、主構造材としては H 形断面梁を設けている。この梁に曲げモーメントを与えることにより横座屈を誘発させ、格子母屋の拘束効果を確認した。実験は台湾国家地震研究中心と共同で台北において実施された。実験の結果、格子母屋は主構造に対する十分な拘束効果があることが確認された。2016 年熊本地震においても格子母屋を使用した体育館では屋根面に関する被害は皆無であり、同構法をシステムトラス屋根の葺き替えに使用した場合 RC 片持ち架構の反力を受け止める効果が期待できるものと考えられる。



図 8 格子母屋架構の実大繰返し載荷実験

4-4 鉄骨置き屋根架構における RC 架構構面外応答評価およびエネルギー支承の設計法提案

平成 27～28 年度の科学研究費[基盤 B]研究では鉄骨置屋根構造における RC 平面架構の応答を制御する摩擦ダンパー付きエネルギー吸収型支承の提案・実用化を行った。しかしこういった体育館は静的耐震設計法により設計されることが多く、エネルギー吸収型支承の付加減衰効果が考慮されないという課題がある。そこで、本期間の研究では RC 架構面を単純な平板または片持ち柱（棒）モデルに変換し、支承部反力を考慮した振動モードおよび等価減衰係数を評価することで、付加減衰効果を時刻歴応答解析によらず考慮できる簡便な設計法を提案した。図 9 に見るように、提案設計法（棒・板モデル）は静的評価よりはるかに経済的で時刻歴応答解析と同等の精度を有していることが確認できる。

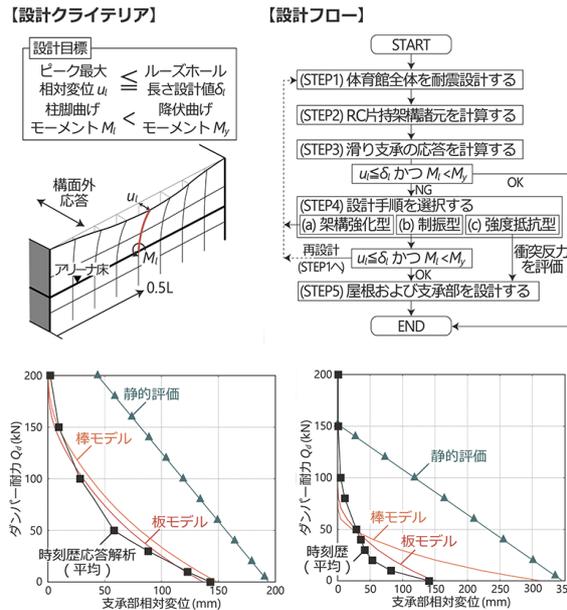


図 9 RC 片持ち架構応答評価および摩擦ダンパー付き支承部の設計法の精度

4-5 TMD を用いた屋根架構の応答制御に関する研究

屋根架構の地震応答を低減させる別の手法として、屋根面または支持架構に同調質量機構 (TMD) を設置することにより、屋根面の応答を制御する手法の研究を実施した (図 10)。検討は主に解析的に行い、屋根面にマルチ TMD を設置する方法と支持架構の屋根支承部レベルおよびギャラリー通路レベルに設置する方法が比較検討された。その結果、屋根面へのマルチ TMD が最も有効である一方、設置の容易な支持架構へのマルチ TMD でも、一定の屋根部応答低減効果が期待できることが確認された。支持架構の TMD 設置位置としては、より上層が望ましく、4 隅より RC 片持ち架構中央部への設置がより効果的であることが分かった。

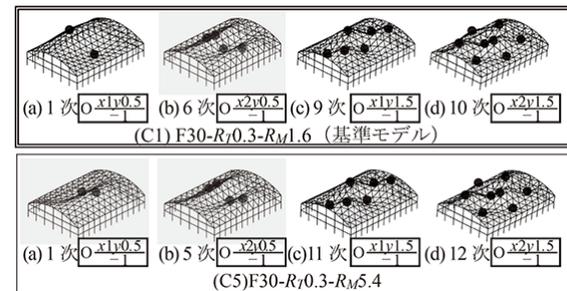


図 10 MTMD を用いた屋根部の応答制御

4-6 部分架構を用いた振動台実験によるシステムトラス屋根架構被害の分析およびエネルギー吸収支承の応答低減効果の確認

最終年度となる令和 2 年度 (2020 年度) では、それまでの研究成果を総合し、熊本地震で被害を受けた学校体育館の部分架構を用いた振動台実験を実施し、RC 架構の応答評価、支承部およびシステムトラス部材の軸力評価および座屈・破壊性状、摩擦ダンパー支承の応答低減効果についての分析・確認を行った。国立研究法人 防災科学研究所との共同実験を行うことによって、同研究所がつくば研究所に有する大型振動台実験施設を用いたスケール 1/2.5 の部分架構を用いた実験を実施することができた。実験は支持 RC 架構を模擬した鉄骨柱による予備実験 (2020.2) をまず実施し、系の応答

特性、部材の応力・変形の測定手法の有効性等を確認した後、実際の被災体育館と同じ RC 架構を用いた本実験(2020.7)を実施した(図 11)。入力地震波は熊本観測波を用い、図 12 に示すように摩擦ダンパーを負荷／撤去しながら入力レベルを上げ、最終的に屋根トラス部材が座屈・破断するまで载荷を実施した。

図 13 に入力を増加させ、弦材が座屈に至った際の状況を示す。座屈は熊本地震入力 100%で発生し、座屈耐力および座屈後履歴は概ね提案評価値と対応した。また座屈部材や RC 架構への衝突により曲げ変形した部材の等、実被害と同様の破壊性状が再現できた。これに先立ち、摩擦ダンパーの有無による応答を図 14 に示す。摩擦ダンパーが付加されていない場合、熊本地震波 75%で RC 架構応答はルーズホール可動範囲を超えてルーズホール端にアンカーボルトが衝突し、支承部反力(弦材軸力)が跳ね上がる一方、ダンパー付き支承では反力が弦材座屈耐力以下かつ応答変位は低減されルーズホール端への衝突が回避されていることがわかる。実験で得られた応答変位は図 9 の手法で予測した値と概ね対応することが確認された。

4-7 点群データ取得による屋根トラス被害分析の検討

地震後のシステムトラス被害状況を迅速に把握する手段として、申請時には部材に添付した歪ゲージおよび非接触型測定による損傷評価を想定していた。しかしながら、損傷の可能性のある部材は屋根内で多数に上り、非接触型測定装置のコストおよびメンテナンスなど歪ゲージ添付による評価は実用化の課題が多いことが明らかになった。そこで、代替案として点群データ測定により、屋根を構成するトラス部材のデジタル形状データを一挙に測定し、座屈などの残留変形が生じている部材を検出する手法を検討することとした。前項の振動台実験後の点群データ測定例を図 15 に示す。座屈した部材が認識できていることがわかる。今後、取得した点群データより損傷部材を検出する手法の開発を進める予定である。

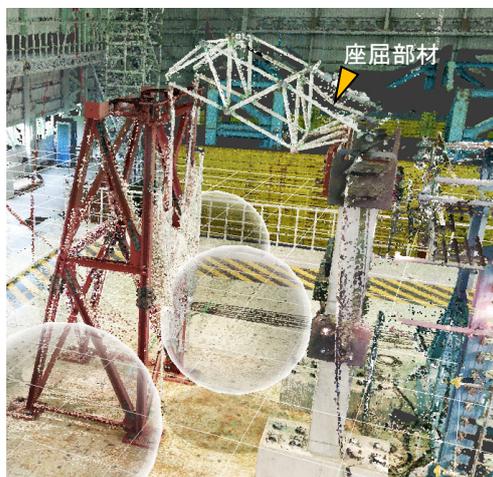


図 15 点群データ測定による損傷部材の検出



図 11 RC 支持架構による本振動台実験 (2020.7)

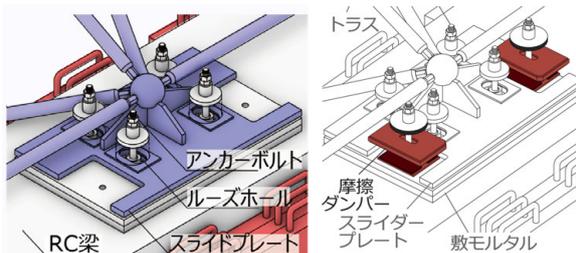


図 12 ルーズホール付き滑り支承と摩擦ダンパー付支承

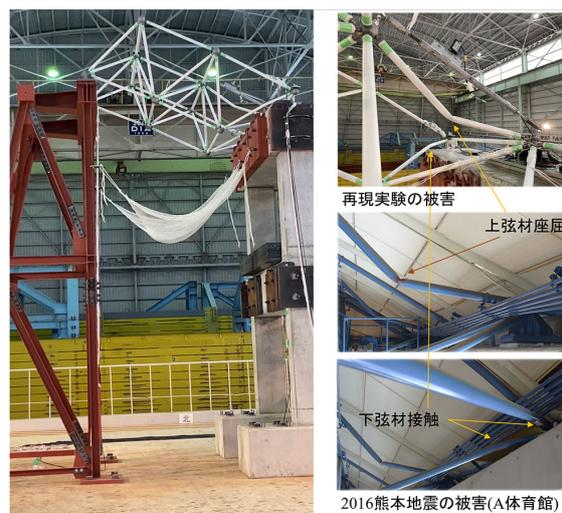


図 13 座屈実験結果と実被害との比較

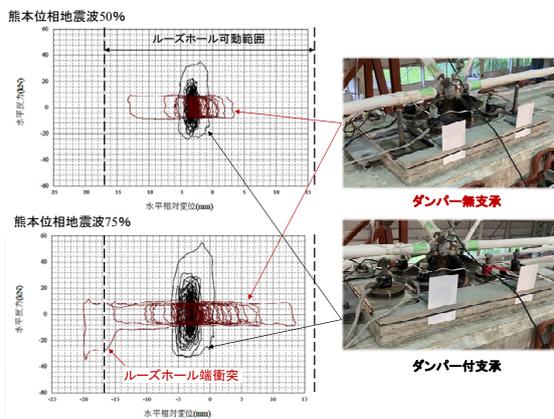


図 14 摩擦ダンパー付支承の効果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Sitler Ben, Takeuchi Toru, Matsui Ryota, Terashima Masao, Terazawa Yuki	4. 巻 213
2. 論文標題 Experimental investigation of a multistage buckling-restrained brace	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 110482 ~ 110482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engstruct.2020.110482	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 該当する
1. 著者名 TERAZAWA Yuki, SUMA Koichi, IWANAGA Masanobu, MAEHARA Satoshi, TAKEUCHI Toru	4. 巻 26
2. 論文標題 BUCKLING STRENGTH OF LATTICED DOMES OF GRID-PURLIN WITH BEAMS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 899 ~ 904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.26.899	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 D.Nair, Y.Terazawa, B.Sitler, T.Takeuchi	4. 巻 Vol.61, No.2
2. 論文標題 Seismic response of long-span domes supported by multi-story substructures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of IASS	6. 最初と最後の頁 140-156
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 該当する
1. 著者名 Atasever Kurtulus, Inanaga Shogo, Takeuchi Toru, Terazawa Yuki, Celik Oguz C.	4. 巻 49
2. 論文標題 Experimental and numerical studies on buckling restrained braces with posttensioned carbon fiber composite cables	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earthquake Engineering & Structural Dynamics	6. 最初と最後の頁 1640 ~ 1661
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/eqe.3321	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 該当する

1. 著者名 TERAZAWA Yuki、SANO Wataru、TAKEUCHI Toru	4. 巻 85
2. 論文標題 DESIGN METHOD OF SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURES BASED ON GENERALIZED RESPONSE SPECTRUM ANALYSIS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 1187 ~ 1197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.85.1187	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 寺澤友貴、岸澤竜之介、竹内徹	4. 巻 Vol. 237, No.107
2. 論文標題 異なる耐震設計法を用いた鉄骨置屋根体育館における屋根トラス部材の損傷評価比較	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鋼構造論文集	6. 最初と最後の頁 51-60
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 KUMAGAI Tomohiko、WAKAO Mari、NITTA Kazuya、OGAWA Toshiyuki	4. 巻 86
2. 論文標題 SEISMIC RESPONSE EVALUATION CONSIDERING NATURAL PERIOD RATIOS AND MASS RATIOS WITH SUPPORTING SUBSTRUCTURE OF HP LATTICE SHELLS WITH STRAIGHT EDGE LINES SUBJECTED TO EARTHQUAKE MOTIONS WITH ARBITRARY DIRECTION	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 213 ~ 223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.213	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 Shimada Yuko、Yamada Satoshi、Kishiki Shoichi、Hasegawa Takashi、Takeuchi Toru	4. 巻 209
2. 論文標題 Method of reinforcement for joints between steel roofs and RC columns in existing buildings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 110255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engstruct.2020.110255	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 該当する

1. 著者名 熊谷知彦, 真間祐一, 秦 克郁, 小河利行	4. 巻 765
2. 論文標題 TMDの振動方向が種々の屋根剛性倍率を有する屋根型円筒ラチスシェルの地震応答低減に与える影響	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 1411-1419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.84.1411	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 寺澤友貴, 稲永匠悟, 松井良太, 竹内徹	4. 巻 754
2. 論文標題 鉄骨置屋根体育館における立体トラス屋根の地震被害分析	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 1789-1799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.83.1789	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 INABA Yusuke, TERAZAWA Yuki, MATSUI Ryota, KUMAGAI Tomohiko, TAKEUCHI Toru	4. 巻 83
2. 論文標題 RESPONSE EVALUATION OF CYLINDRICAL SHELL ROOFS WITH VARIOUS BEARINGS SUPPORTED BY RC SUBSTRUCTURES	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 1263 ~ 1272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.83.1263	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10件(うち招待講演 2件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 岸澤竜之介, 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 異なる耐震設計法を用いた鉄骨置屋根体育館における屋根トラス部材の損傷評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 良太, 小泉 光市, 竹内 徹, Lin Pao-Chun
2. 発表標題 格子母屋により上フランジ補剛されたH形断面梁の塑性変形性能 その1 実大繰返し載荷実験および再現解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉 光市, 松井 良太, 竹内 徹, 岩永 将信
2. 発表標題 格子母屋により上フランジ補剛されたH形断面梁の塑性変形性能 その2 種々の格子母屋付梁の部材区分
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土倉 猛功 , 高橋 寿太郎 , 熊谷知彦, 小河利行
2. 発表標題 等分布雪荷重を受ける単層ラチスドームの弾塑性地震応答性状および許容変形評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井良太、小泉光市、竹内徹、Lin Pao-Chun、岩永将信
2. 発表標題 格子母屋がH形断面梁に与える横補剛効果の検証
3. 学会等名 日本建築学会北海道支部研究報告集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Matsui, Koizumi Koichi, Pao-Chun Lin, Masanobu Iwanaga, An-Chien Wu, Keh-Chyuan Tsai, Toru Takeuchi
2. 発表標題 Plastic Ductility Performance of Grid-Purlin System Connected to Wide Flange Beam
3. 学会等名 International Conference in Commemoration of 20th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内徹
2. 発表標題 最近の地震被害-空間骨組構造の地震被害と 耐震設計の新しい展開-
3. 学会等名 日本建築学会大会 (招待講演)
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, 山下哲郎, 山田哲, 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き屋根体育館の地震被害分析
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T.Takeuchi, Y.Terazawa, S.Inanaga, R.Mastui
2. 発表標題 Collapse analysis of damaged space-frame gymnasiums in Kumamoto Earthquake 2016
3. 学会等名 IASS Int. Conf. 2018 (Boston) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shogo Inanaga, Toru Takeuchi, Yuki Terazawa & Ryota Matsui Shogo Inanaga, Toru Takeuchi, Yuki Terazawa & Ryota Matsui
2. 発表標題 Damage evaluation of space-frame gymnasiums damaged in 2016 Kumamoto Earthquake
3. 学会等名 APCS Int. Conf. 2018 (Bankok) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 大崎 純、竹内 徹、山下 哲郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 京都大学学術出版会	5. 総ページ数 190
3. 書名 シェル・空間構造の基礎理論とデザイン	

1. 著者名 J.Yuen, H.C.Chew, S.L.Chan, T.Kimura, H.Y.Wan, J.Wu, S.Inanaga, T.Takeuchi, Y.Terazawa, R.Matsui.	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Taylor & Francis	5. 総ページ数 178
3. 書名 Recent Advances in Analysis, Design and Construction of Shell & Spatial Structures in the Asia-Pacific Region	

1. 著者名 T.Takeuchi, S.D.Xue, S.Kato	4. 発行年 2019年
2. 出版社 International Association of Shell and Spatial Structures	5. 総ページ数 150
3. 書名 Guide to Earth- quake Response Evaluation of Metal Roof Spatial Structures	

〔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	松井 良太 (Matsui Ryota) (00624397)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	熊谷 知彦 (Kumagai Tomohiko) (70376945)	明治大学・理工学部・専任准教授 (32682)	

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1件

国際研究集会 太平洋鋼構造会議PSSC2019	開催年 2019年～2019年
----------------------------	--------------------

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		
その他の国・地域	台湾国家地震工程研究中心		