

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02374

研究課題名（和文）大地震時の軸力変動を考慮した地盤と杭体の破壊過程の解明および杭基礎の終局限界評価

研究課題名（英文）Failure process of pile foundation considering axial load variation during strong earthquakes and evaluation of ultimate limit state

研究代表者

田村 修次（TAMURA, Shuji）

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：40313837

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、大地震時における杭基礎の耐震設計法の確立をめざし、地盤工学と構造工学の両面から杭基礎の終局限界の挙動を、遠心載荷実験、杭体の載荷試験、数値解析で検討した。それから、転倒モーメントが作用する杭の周面摩擦力は常時より大きいこと、群杭の応力は杭間隔のみならず、杭先端の沈下特性および基礎梁の剛性に依存することを示した。また、コンクリート系杭の終局時における曲げ・せん断挙動を広範囲の軸力比において再現できる解析手法を開発した。鋼管杭の終局メカニズム形成過程を明らかにするとともに、M-N設計耐力式で杭の終局耐力を評価した。さらに、RC系杭の破壊過程と終局状態の関係を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本では一般的な建物において杭基礎の耐震設計は中小地震を対象に行われている。しかし、大地震後の建物の機能維持、事業継続を考えると、大地震に対する杭基礎の耐震設計が必要である。そのため、日本建築学会から建築基礎構造設計指針が2019年に改定され、大地震に対する基礎構造の耐震設計法が示された。本研究の群杭の沈下・応答特性評価は、基礎指針改定の際の判断材料になった。また、コンクリート系および鋼管杭の変形性能は、建築学会から出版予定の杭体の変形性能ガイドブックに反映されている。また、本研究成果は、基礎指針の次期改定における判断材料になる。以上のように、本研究の成果は極めて社会的意義の高いものとなった。

研究成果の概要（英文）：To establish a seismic design method of pile foundations for strong earthquakes, pile behavior in ultimate limit state was investigated by both geotechnical engineering and structural engineering. For this purpose, geotechnical centrifuge tests, static loading tests and numerical analysis were performed. The shaft resistance along a pile under combined horizontal and vertical loadings, effects of bending stiffness of a footing beam and pile tip's support condition on pile stress in a group, pile settlement under cyclic loading, moment-curvature relations and shear capacities of precast and cast-in-site concrete piles, the ultimate strength of steel piles considering the M-N interaction curve according to design criteria and elasto-plastic buckling strength and pile behavior in ultimate limit state were investigated.

研究分野：建築基礎構造

キーワード：杭基礎 大地震 耐震設計 終局限界 沈下 液状化

### 1. 研究開始当初の背景

2015 年秋、杭の施工不良による横浜のマンションの傾斜は、大きな社会問題になった。杭基礎の沈下は、1995 年兵庫県南部地震や 2011 年東日本大震災でも数多く報告され、ほぼ無被害の上部構造物が杭基礎の沈下で傾斜し、取り壊しになっている。杭基礎の不同沈下は、地盤の破壊または杭体の破壊による。これらの破壊は、杭体の軸力変動に依存する。構造物慣性力の転倒モーメントに伴う杭の軸力変動は、設計で考慮されている。一方、地盤からの外力（地震時土圧、杭に作用する外力）による軸力変動は、現在の耐震設計で無視されている。

軸力変動は、砂の粒子破壊に伴う杭の周面摩擦力の低下 (Tamura et al, 2012) や杭先端地盤の非弾性せん断歪の蓄積による杭先端の大沈下 (図 1) を起こす可能性がある。しかし、地盤の破壊による杭の沈下メカニズムの検討例は皆無である。日本建築学会の建築基礎構造設計指針(2001)の周面摩擦力、先端支持力は常時の極限值であり、地震時の周面摩擦力バネ、先端支持力バネの評価法は示されていない。

大きい軸力変動は、杭体の曲げモーメント-曲率関係 ( $M-\phi$  関係) やせん断強度にも影響する。しかし、杭体の変形性能についても、高圧縮軸力、引張り軸力における実験データは極めて少なく、既往の知見の外挿で  $M-\phi$  関係、終局限界が設定されている。圧縮軸力比の大きい杭体はぜい性破壊しやすいことも考慮すると、地震外力（構造物慣性力、地盤変位）があるレベルを超えると、杭体または杭先端地盤の破壊で杭基礎建物の沈下・傾斜事例が急増すると考えられる。また、埋立地で拡底高支持力杭による高層建物が多く建設されている現在の日本の現状は、海外の研究事例も含めて経験則の範囲外の可能性がある。

以上のように、大地震に対する杭基礎の耐震設計の確立に向けて課題は山積みされている。建築基礎構造設計指針(2001)の改訂においても、杭基礎の大地震に対する耐震設計の導入が大きなトピックになっている。研究代表者の田村は杭基礎耐震小委員会の主査、研究分担者の河野、木村は同委員会の委員であり、それぞれ RC 系杭、鋼管杭の変形性能評価の主担当をしており、杭の耐震性に対する共通の危機感をもつ。地盤・基礎構造の破壊で建物が不同沈下すると、復旧費用は極めて高い。高額な復旧コストを考慮すると、基礎構造の耐震性にコストをかけて不同沈下のリスクを減らす性能設計の社会的ニーズは高い。大地震に対して杭基礎の損傷を許容する次世代の耐震設計法が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究は以下を明らかにする。

- 1) 大地震時の繰返し大軸力変動における杭周面摩擦力の評価、杭先端地盤の非弾性せん断歪の蓄積による杭先端の大沈下のメカニズムを明らかにし、その定量的評価法を示す。
- 2) 地盤変位による外力で生じる杭の軸力変動のメカニズムを明らかにし、軸力変動の推定法を提案する。基礎根入れ部や杭に作用する外力と軸力変動の関係を遠心載荷実験で検討し、そのメカニズムおよび推定法を示す。(図 2(a))
- 3) 場所打ち杭および既製コンクリート杭の高圧縮軸力および引張り力が作用したときの  $M-\phi$  関係を明らかにする。静的交番載荷試験を行い、高い圧縮軸力（軸力比 0.6 程度）および引張り力

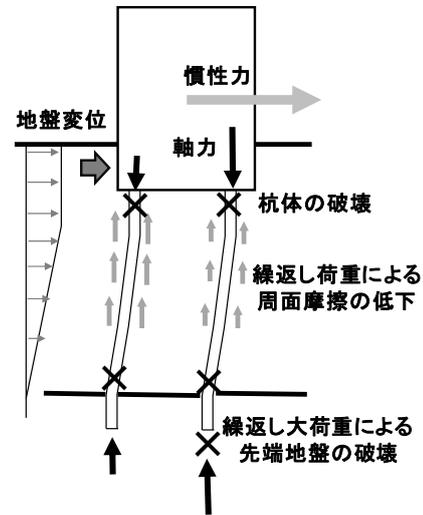


図 1 大地震時の杭基礎の沈下メカニズム

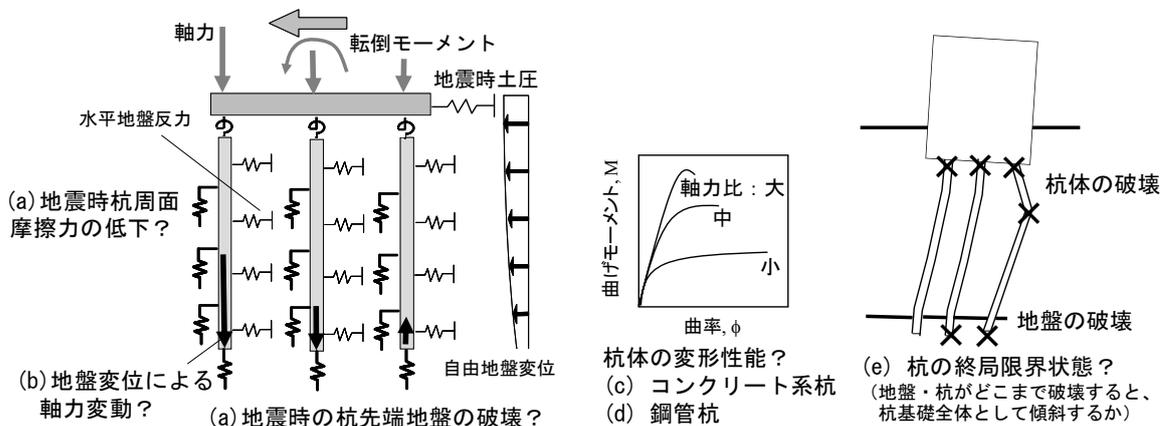


図 2 研究内容の概念図

が作用時のコンクリート系杭の  $M-\phi$  関係モデルを構築する。(図 2 (c))

4) 局部座屈崩壊型鋼管部材および充填コンクリートによる杭頭局部座屈拘束効果を考慮した鋼管の  $M-\phi$  関係を構築する。鋼管杭を対象に載荷実験(単調載荷, 漸増繰返し静的載荷)および有限要素解析を行う。(図 2 (d))

5) 大地震における杭の終局限界状態を明らかにする。 $M-\phi$  関係の軸力依存性を再現できる超小型モルタル杭(林, 田村, 2015)を用い, 地盤-杭-構造系の遠心載荷実験を行う。杭体および杭先端地盤の破壊が杭基礎全体の沈下・傾斜および上部構造物応答に及ぼす影響を明らかにする(図 2 (e))。

### 3. 研究の方法

大地震時における群杭の支持特性評価のため, 遠心場で転倒モーメントを伴う群杭の水平載荷試験, 単杭の鉛直載荷試験を行い, 地震時における周面摩擦力や先端支持力が, 常時とどのように異なるのかを検討した。さらに, 群杭の応答特性評価のため, 地盤-杭-上部構造物系の遠心場における振動実験も行い, 基礎梁の剛性, 杭先端条件, 杭間地盤変位が杭応力に及ぼす影響を検討した。それらの実験結果を土質力学の観点から考察し, メカニズムを推定し, 水平力と転倒モーメントを受ける杭の周面摩擦力の評価法の提案, 基礎梁の剛性, 杭先端条件, 杭間地盤変位を考慮した杭応力評価法を提案し, その妥当性を実験結果と比較することで示した。

コンクリート系杭の変形性能では, 外径 400mm の杭体(SC6 体, PRC2 体, PHR2 体)について, これまで実験データがなかった引張軸力比 0.4 や圧縮軸力比 0.52 までの範囲で, 曲げ載荷実験を行い, 終局時における曲げ耐力と変形性能のデータを取得した。また, 同じ外径 400 mm の杭(PRC6 体, PHC3 体, SC 杭 2 体, 耐震杭 3 体)について曲げせん断載荷実験を行い, 終局せん断耐力を確認した。また, 杭体の曲げモーメント-曲率関係を終局時まで再現できるマルチスプリングモデルやファイバー法に基づく梁モデルを構築し, 既製杭や耐震杭の実験結果を再現した。高強度材料(コンクリート・PC 鋼棒・490MPa 級鋼管)に対応した応力-ひずみ曲線, SC 杭鋼管の局部座屈, コンクリートに対する鋼管の拘束効果などを取り入れており, 実験結果を用いて精度検証を行った。コンクリート杭のせん断挙動に関しては, 汎用 FEM プログラムを用いて, AIJ 指針に含まれていない破壊モードが存在することを示した。

鋼管杭の変形性能では, 縮小模型を用いた遠心 40g 場で実験を行い, 鋼管杭が液状化地盤において終局状態となるまでの挙動と終局時の耐力を検討した。実験試験体は, 上部構造物・鋼管杭基礎-飽和地盤系とし, 上部構造物の転倒モーメントに伴う変動軸力と構造物慣性力による水平力を杭に作用させた。乾燥豊浦砂を空中落下法により堆積させ, 真空槽内で粘性を水の約 40 倍に調整したメトロゾ溶液を間隙水として注入することで飽和地盤を作成した。杭材と板バネの各両面にはそれぞれ歪ゲージを貼付した。加速度計を土槽底部, 基礎部, 上部構造物頂部に設置し, 地盤中に間隙水圧計, 加速度計を設置した。また, レーザー変位計により上部構造物および基礎部の水平変形量を計測した。試験体の諸元について, 杭材の断面寸法は杭径 400, 440 mm, 板厚 8 mm とした。杭材には真鍮 C2680, 板バネにはアルミ A5052 を用いた。杭の初期圧縮軸力比については, 実構造物における鋼管杭の設計軸力を参考に 0.33 とした。試験体パラメータは地盤相対密度  $D_r$  を 30% または 60% とし, 上部構造物の塔状比を 2.4~3.3 とする。入力波には, 人工地震波である臨海波の最大加速度を  $5.0 \text{ m/s}^2$  に基準化したものを用いた。

杭の破壊挙動では, 超小型モルタル杭模型を用い, 乾燥砂地盤-RC 杭-建物連成系の遠心場振動台実験および遠心場静的載荷実験を実施した。杭模型は直径 16~25mm (実大スケールでは 0.8~1.25m) のモルタル断面内に, 径 1.2mm の主筋と 0.8mm のせん断補強筋を配した。地盤は乾燥豊浦砂を用い, 相対密度は 30~90% とした。振動台実験では水平 1 方向加振を複数回実施した。入力波は臨海波を主とし, その振幅を漸増させることでモルタル杭模型の損傷を徐々に進展させる計画とした。静的実験では, 連成系試験体について杭頭部を水平方向に正負交番漸増繰返し載荷することで, モルタル杭模型の損傷と連成系の終局限界水平抵抗力の関係を検討した。

### 4. 研究成果

図 3 に, 基礎梁剛性と杭先端支持条件をパラメータにした遠心場振動実験における上部構造物慣性力と各杭の杭頭水平力を示す。基礎梁の剛性が高いケースでは, 杭位置による杭頭曲げモーメント, せん断力の差は比較的小さかった。基礎梁の剛性が低いケースでは, 中杭の杭頭曲げモーメントおよびせん断力が最も大きかった。杭先端がフリーの場合, 小加振では杭先端支持条件の違いよりも, 基礎梁剛性の違いが杭応力に大きな影響を与えた。大加振では後方杭で引抜きが生じると高剛性基礎梁, 低剛性基礎梁ともに, 後方杭の杭頭曲げモーメント・せん断力が, 前方杭や中杭より著しく小さくなった。これらの杭応力は, 提案する群杭フレームモデルで概ね説明できることを示した。水平力と転倒モーメントを受ける杭では, 図 4 に示すように杭の上部で周面摩擦力が増加した。そのメカニズムを検討したところ, 水平地盤反力による周面摩擦力の増分は, 垂直抗力の増分に比例することを示し, 提案する周面摩擦力の増分の評価法で実験結果を説明(図 5)できることを示した。さらに, 杭間地盤変位を考慮した群杭効果の評価法, 繰返し軸力を受ける杭の沈下量の評価法の提案を行った。遠心載荷実験で用いる小型モルタル模型のクラックの発生を検知するデバイスを開発し, その有効性を示した。この技術は超小型モルタル杭のクラック発生を把握するのに適用できる。

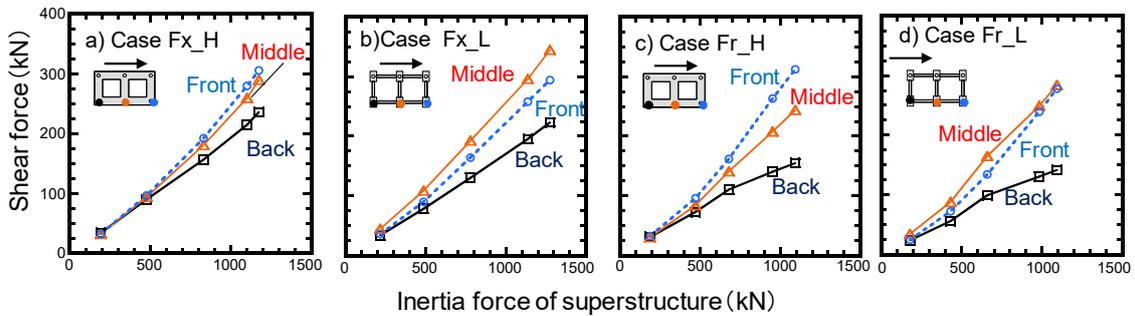


図3 基礎梁剛性と杭先端支持条件をパラメータにした遠心場振動実験における上部構造慣性力と各杭の杭頭水平力

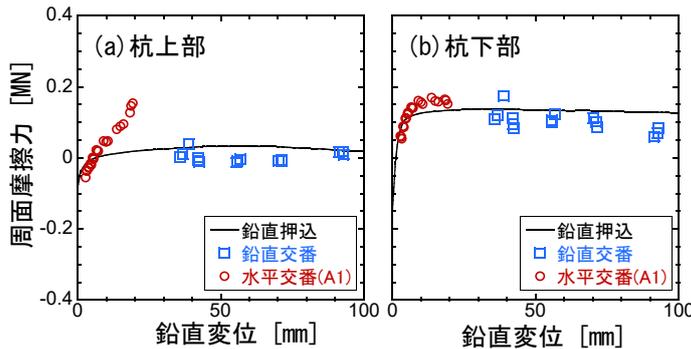


図4 鉛直押込，鉛直交番，水平交番載荷試験における周面摩擦力

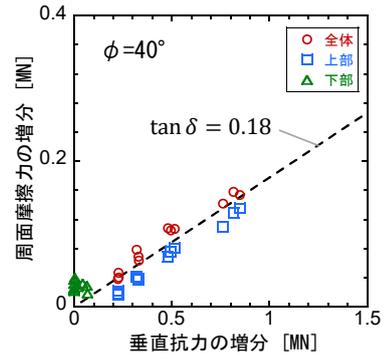


図5 垂直抗力の増分と周面摩擦力の増分

コンクリート系杭では、これまで実験が少なかった引張軸力比 $-0.4$ や圧縮軸力比 $0.52$ のコンクリート杭（SC杭・PHC杭・PRC杭）試験体の曲げせん断実験を行った。軸力比が $0.3$ を超える高圧縮領域におけるSC杭の曲げ耐力，軸力比が $0.2$ を超える高圧縮領域におけるPHC杭・PRC杭のせん断耐力は、AIJ指針の計算耐力値に到達しない場合があること、この理由は鋼管の局部座屈・コンクリートの局部圧壊やせん断すべり（図6）など指針が想定しない破壊モードが原因となっていることなど、終局時の挙動について貴重なデータを得た。杭体や杭頭接合部の実験結果に基づいて、曲げやせん断挙動を再現できる数値解析モデルを構築した。既製コンクリート杭の曲げ挙動に関しては、軸力が $0.3$ 以下の範囲ではピーク後の耐力劣化領域まで荷重-曲率関係（図7）を精度良く再現できるが、軸力が $0.3$ 以上となると精度が悪くなった。せん断に関しては、耐力予測モデルを構築できたものの、抵抗機構を説明するモデル構築が今後の課題となった。



図6 PHC杭のせん断破壊

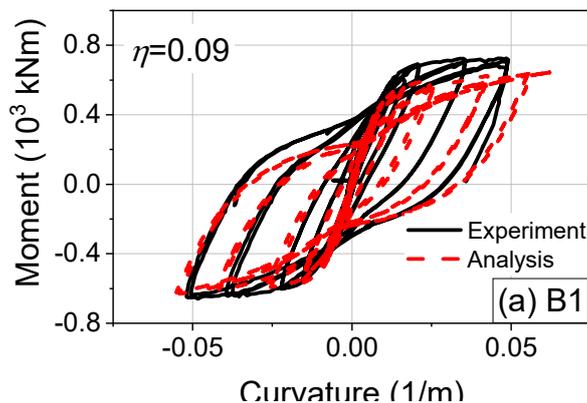


図7 SC杭の実験と解析におけるモーメント-曲率関係

遠心載荷実験結果より、液状化地盤における鋼管杭（4本杭）全体の終局メカニズムについて、地盤相対密度 $D_r$ が比較的小さい（ $30\%$ ）場合、終局時に圧縮側杭（前方杭）でのみ杭頭および杭下端にて塑性ヒンジを形成し、その後局部変形を生じて、全杭が耐力低下する。一方、 $D_r$ が比較的大きい（ $60\%$ ）場合、終局時には圧縮側杭（前方杭）、引張側杭（後方杭）いずれも杭頭および杭下端で塑性ヒンジを形成し、その後局部変形を生じて、全杭が耐力低下することを示した。

図8に、鋼管杭の終局時の耐力と設計指針のM-N耐力曲線との比較を示す。液状化地盤において、変動軸力と曲げモーメントを受ける鋼管杭の終局耐力は、加振回数が1回の場合、修正一般化細長比による杭の弾塑性曲げ座屈耐力  $N_{cr0}$  を適用した建築基礎構造設計指針のM-N設計耐力曲線により、安全側に評価できることを示した。一方で、終局時までの加振回数が2、3回と複数回となる場合、地震動を1回受けて終局状態となる場合よりも、杭の終局耐力が小さくなることを示した。これより、地震動や地盤条件の組み合わせによっては、複数回地震動により崩壊するときの杭の終局耐力は、設計指針のM-N耐力曲線を下回る可能性を示唆した。

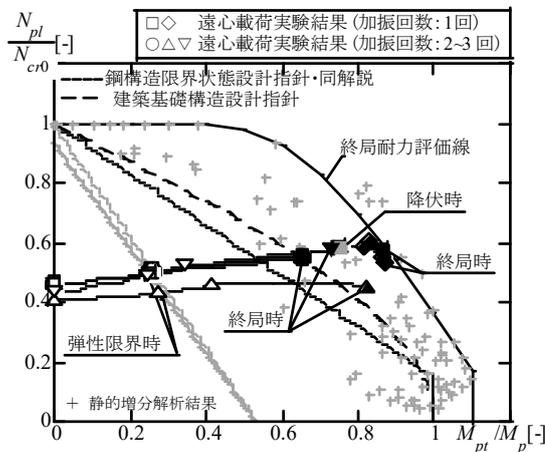


図8 液状化地盤において変動軸力と曲げモーメントを受ける鋼管杭の終局時の耐力と設計指針のM-N設計耐力曲線との比較

地震時の建物応答加速度は、杭頭に1点目の塑性ヒンジが生じても極限には至らず、地中部に2点目のヒンジが形成されることで頭打ちとなる挙動を呈した。杭が2点ヒンジの破壊モードを形成すると、建物基礎部の最大応答水平変位は、入力加速度に対して極端に大きくなる。上記については、静的載荷実験でも同様の挙動を確認した。連成系は、地盤と杭の双方が終局状態に達することで最大耐力を発揮し、その後はRC杭モデルの耐力劣化に伴って系としての水平抵抗力も減少に転じる。砂地盤とRC杭双方の非線形挙動を考慮した数値解析では、杭側面の鉛直摩擦を考慮したクーロンの受働土圧係数を用いた方が、ランキンの受働土圧を用いるよりも実験結果に近い挙動を示した。更に、杭の曲げ破壊で決まる連成系の終局限界水平抵抗力評価を試みた(図9)。ここでは、建築基礎構造設計指針(2001)におけるBromsの終局限界水平抵抗力評価法を援用した。実験結果との比較では、杭中心間隔が比較的広い場合の評価精度が良いが、群杭効果が顕著となる狭い場合はやや過少評価となる傾向であった。

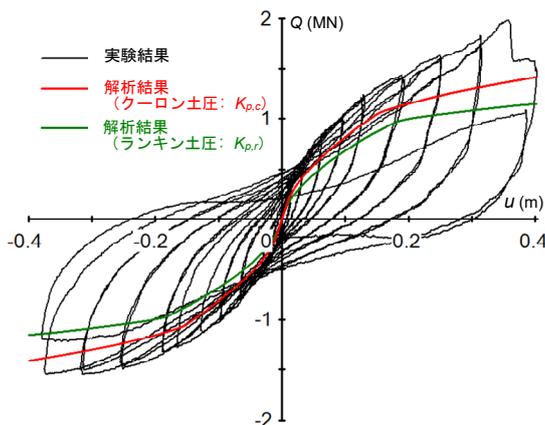


図9 連成系載荷実験と数値解析の比較

上記の成果は、査読論文9件、国際会議論文7件、口頭発表55件として発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>S. Tamura, Y. Ohno, K. Shibata, H. Funahara, T. Nagao and Y. Kawamata       | 4. 巻<br>-         |
| 2. 論文標題<br>Lateral resistance of piles in a group under E-Defense shaking-table tests | 5. 発行年<br>2019年   |
| 3. 雑誌名<br>7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering         | 6. 最初と最後の頁<br>印刷中 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|  |                    |
|--|--------------------|
| 1. 著者名<br>佐藤睦月, 廣瀬智治, 木村祥裕             | 4. 巻<br>26         |
| 2. 論文標題<br>圧縮軸力を受けるコンクリート充填鋼管杭頭部の数値解析  | 5. 発行年<br>2018年    |
| 3. 雑誌名<br>鋼構造年次論文報告集                   | 6. 最初と最後の頁<br>5~10 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし          | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>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<br>-          |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Watanabe H., Mukai T., Kono S., Ohtaki T., Kishida S., Kobayashi K., Kaneko O., Fukuda T., Kiya Y., Imai Y. | 4. 巻<br>-           |
| 2. 論文標題<br>Shear Capacity for Full-Scale Precast Concrete Pile  | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>17th US-Japan-New Zealand Workshop on the Improvement of Structural Engineering and Resilience              | 6. 最初と最後の頁<br>ID2-9 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Thusoo S., Tanaka H., Otaki T., Kono S., Watanabe H., Hayakawa T., Hirade T., Mukai T., Mukai D.      | 4. 巻<br>-             |
| 2. 論文標題<br>Analysis of Bending Behavior of Hollow Precast Steel Encased Concrete Piles Using Fiber Based Models | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of the Eleventh US National Conference on Earthquake Engineering,                         | 6. 最初と最後の頁<br>ID #394 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>田村修次、尾高大介   | 4. 巻<br>第83巻        |
| 2. 論文標題<br>粘性土に根入れされた浅い基礎部に作用する地震時土圧  | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>日本建築学会構造系論文集  | 6. 最初と最後の頁<br>81-87 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.3130/aijs.83.81">https://doi.org/10.3130/aijs.83.81</a> | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. 著者名<br>Tamura, S., Khosravi, M., Wilson, D., Rayamajhi, D., Boulanger, R., Olgun, C., and Wang, Y.                   | 4. 巻<br>Published online |
| 2. 論文標題<br>A simple method for detecting cracks in soil-cement reinforcement for centrifuge modelling                   | 5. 発行年<br>2018年          |
| 3. 雑誌名<br>International Journal of Physical Modelling in Geotechnics  | 6. 最初と最後の頁<br>1-9        |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1680/jphmg.17.00036">https://doi.org/10.1680/jphmg.17.00036</a> | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する             |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Tamura, S., Ishikawa, D., Shibata, K., Funahara, H.  | 4. 巻<br>-            |
| 2. 論文標題<br>Axial load variations in a pile group under cyclic overturning moment and horizontal load | 5. 発行年<br>2017年      |
| 3. 雑誌名<br>Proceeding of PILE 2017  | 6. 最初と最後の頁<br>G3-1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>八森渉・林和宏・田村修次・齊藤大樹                   | 4. 巻<br>Vol.39, No.2    |
| 2. 論文標題<br>乾燥砂地盤 - RC系杭 - 建物系の極限応答に関する遠心場振動実験 | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>コンクリート工学年次論文報告集                     | 6. 最初と最後の頁<br>817 ~ 822 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>佐藤睦月, 的場萌子, 廣瀬智治, 木村祥裕          | 4. 巻<br>第25巻            |
| 2. 論文標題<br>繰り返し水平力を受ける杭頭部コンクリート充填鋼管杭の載荷実験 | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>日本鋼構造協会 鋼構造年次論文報告集              | 6. 最初と最後の頁<br>614 ~ 618 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし            | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Thusoo S., Tanaka H., Watanabe H., Kono S., Hirade H., Mukai D., Mukai T., Mizukami D  | 4. 巻<br>-             |
| 2. 論文標題<br>Study on Structural Performance Evaluation for Concrete Pile System With Post-Earthquake Functional Use                           | 5. 発行年<br>2017年       |
| 3. 雑誌名<br>The 19th Taiwan-Korea-Japan Joint Seminar on Earthquake Engineering on Building Structures SEEBUS2017, Seoul, Korea, September 8-9 | 6. 最初と最後の頁<br>167-175 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>田村 修次                        | 4. 巻<br>44           |
| 2. 論文標題<br>被害事例から学ぶ地盤変状と建物被害           | 5. 発行年<br>2016年      |
| 3. 雑誌名<br>第44回地盤震動シンポジウム               | 6. 最初と最後の頁<br>93-100 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし         | 査読の有無<br>無           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>田村 修次                        | 4. 巻<br>797           |
| 2. 論文標題<br>基礎・地盤の実挙動とモデル化              | 5. 発行年<br>2016年       |
| 3. 雑誌名<br>建築技術                         | 6. 最初と最後の頁<br>120-122 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし         | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

〔学会発表〕 計55件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件）

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>田村修次                       |
| 2. 発表標題<br>新基礎指針における大地震に対する杭の耐震設計法の概要 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会基礎構造大会PD（招待講演）     |
| 4. 発表年<br>2018年                       |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>田村修次、鳥居孝洋              |
| 2. 発表標題<br>杭先端の支持条件が地震時の杭応力に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名<br>地盤工学研究発表会              |
| 4. 発表年<br>2018年                   |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>石川大輔、田村修次、柴田景太、船原英樹       |
| 2. 発表標題<br>転倒モーメントによる軸力変動を受ける杭の周面摩擦力 |
| 3. 学会等名<br>日本地震工学シンポジウム              |
| 4. 発表年<br>2018年                      |

|                              |
|------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊藤雅崇、田村修次、上田恭平    |
| 2. 発表標題<br>地震時の杭頭軸力の変動および再配分 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会          |
| 4. 発表年<br>2018年              |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>石川大輔、田村修次、柴田景太、船原英樹          |
| 2. 発表標題<br>転倒モーメントによる変動軸力が杭に作用した際の周面摩擦力 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会                     |
| 4. 発表年<br>2018年                         |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>大野結衣、田村修次、柴田景太、船原英樹、長尾俊昌 |
| 2. 発表標題<br>杭間地盤変位を考慮した群杭の応答変位法      |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会                 |
| 4. 発表年<br>2018年                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河野進、小林勝已、岸田慎司、向井智久、木谷好伸、金子治、福田健、今井康幸 |
| 2. 発表標題<br>近年の実大規模実験に基づくコンクリート系杭の限界性能           |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会基礎構造大会PD(招待講演)               |
| 4. 発表年<br>2018年                                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>郡司大裕、向井智久、中村聡宏、小林勝已、宮本和徹、石川一真、金子治、河野進、岸田慎司、渡邊秀和、堀川剛、木谷好伸、金子治 |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究(その16, 17)    |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>千濱彬比古, 向井智久, 平出務, 小林勝已, 堀川剛, 平尾一樹, 福田健, 小原拓, 岸田慎司, 奥村貴史, 阿部航, 渡邊秀和, 土佐内優介, 荻田成也, 河野進 |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 (その22, 23)                           |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>浅井陽一, 向井智久, 平出務, 小林勝已, 森島洋一, 船田一彦, 金子治, 河野進, 岸田慎司, 奥村貴史                        |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 (その24 縮小支圧要素試験結果および既往の評価式との比較) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>岸田慎司, 向井智久, 中村聡宏, 小林勝已, 宮本和徹, 長澤和彦, 金子治, 河野進  |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 (その25 既製杭を用いたト形部分架構におけるパイルキャップせん断終局強度式の再検討) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>石川一真, 大滝泰河, 小林勝已, 千濱彬比古, 河野進  |
| 2. 発表標題<br>PHC 杭およびPRC 杭のせん断実験データベースに基づくせん断耐力評価に関する研究 (その1 データベースの概要) (その2 終局せん断耐力式を用いたせん断耐力の評価精度について) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Watanabe H., Mukai T., Kono S., Ohtaki T., Kishida S., Kobayashi K., Kaneko O., Fukuda T., Kiya Y., Imai Y. |
| 2. 発表標題<br>Shear Capacity for Full-Scale Precast Concrete Pile   |
| 3. 学会等名<br>17th US-Japan-New Zealand Workshop on the Improvement of Structural Engineering and Resilience (国際学会)       |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Thusoo S., Tanaka H., Otaki T., Kono S., Watanabe H., Hayakawa T., Hirade T., Mukai T., Mukai D.     |
| 2. 発表標題<br>Analysis of Bending Behavior of Hollow Precast Steel Encased Concrete Piles Using Fiber Based Models |
| 3. 学会等名<br>Eleventh US National Conference on Earthquake Engineering (国際学会)                                     |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>市川和臣, 佐藤睦月, 廣瀬智治, 増田敏聡, 高野公寿, 木村祥裕                      |
| 2. 発表標題<br>軸圧縮を受ける鋼管杭頭部の局部座屈性状 その3 数値解析モデルの構築と鋼管-コンクリート間の応力伝達機構の解明 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>廣瀬智治, 佐藤睦月, 市川和臣, 増田敏聡, 高野公寿, 木村祥裕             |
| 2. 発表標題<br>軸圧縮を受ける鋼管杭頭部の局部座屈性状 その2 ずれ止めの有無による応力伝達機構の実験的検討 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会                                       |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐藤睦月, 市川和臣, 廣瀬智治, 増田敏聡, 高野公寿, 木村祥裕  |
| 2. 発表標題<br>軸圧縮を受ける鋼管杭頭部の局部座屈性状 その1 鋼管杭頭部圧縮載荷実験 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会                            |
| 4. 発表年<br>2018年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Mutsuki Sato, Toshiharu Hirose and Yoshihiro Kimura   |
| 2. 発表標題<br>Compressive Loading Test of Steel Pile Top Filled with Concrete   |
| 3. 学会等名<br>8th International conference on Geotechnique, Construction Materials & Enviroment (GEOMATE) 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>金田将吾・林和宏・田村修次・齊藤大樹       |
| 2. 発表標題<br>乾燥砂地盤における大径RC杭の遠心場振動破壊実験 |
| 3. 学会等名<br>コンクリート工学年次大会             |
| 4. 発表年<br>2018年                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>金田将吾・林和宏・田村修次・齊藤大樹                  |
| 2. 発表標題<br>遠心場における砂地盤 - 鉄筋コンクリート杭 - 建物連成系の振動実験 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会                            |
| 4. 発表年<br>2018年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>林和宏・金田将吾・木村祥裕・田村修次・齊藤大樹                   |
| 2. 発表標題<br>遠心載荷装置を用いた液状化地盤-RC杭-建物系の振動座屈実験(その1 杭要素実験) |
| 3. 学会等名<br>地盤工学研究発表会                                 |
| 4. 発表年<br>2018年                                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>金田将吾・林和宏・木村祥裕・田村修次・齊藤大樹                  |
| 2. 発表標題<br>遠心載荷装置を用いた液状化地盤-RC杭-建物系の振動座屈実験(その2 振動実験) |
| 3. 学会等名<br>地盤工学研究発表会                                |
| 4. 発表年<br>2018年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tamura, S., Ishikawa, D., Shibata, K., Funahara, H.                                       |
| 2. 発表標題<br>Axial load variations in a pile group under cyclic overturning moment and horizontal load |
| 3. 学会等名<br>PILE 2017(国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>田村修次、尾高大介                  |
| 2. 発表標題<br>粘性土地盤における基礎の根入れ部に作用する地震時土圧 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演               |
| 4. 発表年<br>2017年                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>土屋研太、時松孝次、田村修次                     |
| 2. 発表標題<br>地震時繰返し転倒モーメントを受ける杭基礎建物の鉛直応答と残留沈下性状 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演                       |
| 4. 発表年<br>2017年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>船原英樹、柴田景太、長尾俊昌、田村修次                    |
| 2. 発表標題<br>E - ディフェンスを用いた地盤-杭基礎-建物系の振動実験に対する解析的検討 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演                           |
| 4. 発表年<br>2017年                                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>大野結衣、田村修次、柴田景太、船原英樹、長尾俊昌    |
| 2. 発表標題<br>地震時における群杭の水平地盤反力と杭近傍地盤変位の関係 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演                |
| 4. 発表年<br>2017年                        |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>石川大輔、田村修次、柴田景太、船原英樹      |
| 2. 発表標題<br>正負交番転倒モーメントを受ける群杭の軸力変動特性 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演             |
| 4. 発表年<br>2017年                     |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊藤雅崇、田村修次、上田恭平          |
| 2. 発表標題<br>基盤未到達杭を有する群杭の支持力および傾斜性状 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演            |
| 4. 発表年<br>2017年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>田村修次                         |
| 2. 発表標題<br>杭基礎の水平抵抗                     |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演 基礎構造大会PD 主題解説 6 |
| 4. 発表年<br>2017年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>大野結衣、田村修次、柴田景太、船原英樹、長尾俊昌             |
| 2. 発表標題<br>E - ディフェンス実験における群杭の水平地盤反力と杭周辺地盤変位の関係 |
| 3. 学会等名<br>第52回地盤工学研究発表会                        |
| 4. 発表年<br>2017年                                 |

|                                |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊藤雅崇、田村修次、上田恭平      |
| 2. 発表標題<br>支持層未到達杭を有する群杭の支持力特性 |
| 3. 学会等名<br>第52回地盤工学研究発表会       |
| 4. 発表年<br>2017年                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Kaneda, K. Hayashi, W. Hachimori, S. Tamura, T. Saito  |
| 2. 発表標題<br>Failure Behavior of Concrete Pile and Super-Structure Dynamic Response as a Result of Soil Liquefaction during Earthquake |
| 3. 学会等名<br>IGNITE-AICCE'17 Conference (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>林和宏・金田吾将・八森渉・田村修次・齊藤大樹                      |
| 2. 発表標題<br>液状化地盤における大径RC 杭の損傷挙動解明に向けた遠心場振動実験(その1) 実験計画 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演                                |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>金田吾将・林和宏・八森渉・田村修次・齊藤大樹                      |
| 2. 発表標題<br>液状化地盤における大径RC 杭の損傷挙動解明に向けた遠心場振動実験(その2) 実験結果 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演                                |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>石川一真・河野進・渡邊秀和・田中広夢・小林勝己・林和宏・平出務・本間裕介                                |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 その3 PHC杭の曲げ変形性能実験結果 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>水上大樹・河野進・渡邊秀和・田中広夢・小林勝巳・濱田純次・林和宏・後庵満丸                                    |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 その10 中詰めしたSC杭頭の曲げせん断実験結果 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演   |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>船田一彦・河野進・渡邊秀和・田中広夢・小林勝巳・濱田純次・林和宏・木谷好伸                                       |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 その11 鋼材比の異なるPRC杭頭の曲げせん断実験結果 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>八森渉・林和宏・金田吾将・田村修次・齊藤大樹             |
| 2. 発表標題<br>遠心載荷装置を用いた大径鉄筋コンクリート杭の静的水平繰り返し載荷実験 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演                       |
| 4. 発表年<br>2017年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐藤睦月, 的場萌子, 鈴木敦詞, 後藤天志郎, 廣瀬智治, 木村祥裕     |
| 2. 発表標題<br>正負交番水平載荷実験による杭頭部にコンクリートを充填した鋼管杭の弾塑性座屈性状 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会東北支部研究報告集構造系                      |
| 4. 発表年<br>2017年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐藤睦月, 的場萌子, 鈴木敦詞, 廣瀬智治, 増田敏聡, 市川和臣, 高野公寿, 木村祥裕     |
| 2. 発表標題<br>コンクリート充填鋼管杭の終局曲げ耐力と変形性能の評価 その3 鋼管杭と充填コンクリートの応力伝達機構 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演梗概集                                    |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田中広夢, 福井響, 渡邊秀和, 河野進, 小林勝已, 木谷好伸, 浅井陽一, 平出務, 向井智久, 大村哲矢 |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究(その1~11) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Thusoo S., Tanaka H., Watanabe H., Kono S., Hirade H., Mukai D., Mukai T., Mizukami D   |
| 2. 発表標題<br>Study on Structural Performance Evaluation for Concrete Pile System With Post-Earthquake Functional Use                                   |
| 3. 学会等名<br>The 19th Taiwan-Korea-Japan Joint Seminar on Earthquake Engineering on Building Structures SEEBUS2017, Seoul, Korea, September 8-9 (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Thusoo S., Tanaka H., Watanabe H., Kono S., Hirade H., Mukai D., Mukai T., Mizukami D   |
| 2. 発表標題<br>Study on Structural Performance Evaluation for Concrete Pile System With Post-Earthquake Functional Use   |
| 3. 学会等名<br>The 4th Joint Workshop on Building / Civil Engineering between Tongji & Tokyo Tech, June 22-23, 2017, Tongji University, Shanghai, China (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田村 修次                             |
| 2. 発表標題<br>改定によって基礎構造設計指針はどのように変わるのか・杭基礎（水平） |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演（招待講演）                  |
| 4. 発表年<br>2017年                              |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊藤雅崇、田村修次、上田恭平          |
| 2. 発表標題<br>基盤未到達杭を有する群杭の支持力および傾斜性状 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演              |
| 4. 発表年<br>2017年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>大野結衣、田村修次、柴田景太、船原英樹、長尾俊昌    |
| 2. 発表標題<br>地震時における群杭の水平地盤反力と杭近傍地盤変位の関係 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演                  |
| 4. 発表年<br>2017年                        |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>石川大輔、田村修次、柴田景太、船原英樹      |
| 2. 発表標題<br>正負交番転倒モーメントを受ける群杭の軸力変動特性 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演               |
| 4. 発表年<br>2017年                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田中 広夢, 福井 響, 渡邊 秀和, 河野 進, 小林 勝己, 木谷 好伸, 浅井 陽一,          |
| 2. 発表標題<br>大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究 その5～その9 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>林和宏、金田将吾、八森涉、田村修次、斉藤大樹                     |
| 2. 発表標題<br>液状化地盤における大径RC 杭の損傷挙動解明に向けた遠心場振動実験（その1）実験計画 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演                                 |
| 4. 発表年<br>2017年                                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>金田将吾、林和宏、八森涉、田村修次、斉藤大樹                     |
| 2. 発表標題<br>液状化地盤における大径RC 杭の損傷挙動解明に向けた遠心場振動実験（その2）実験結果 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演                                 |
| 4. 発表年<br>2017年                                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>八森涉、林和宏、金田将吾、田村修次、斉藤大樹             |
| 2. 発表標題<br>遠心載荷装置を用いた大径鉄筋コンクリート杭の静的水平繰り返し載荷実験 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演                         |
| 4. 発表年<br>2017年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐藤 睦月, 的場 萌子, 鈴木 敦詞, 後藤 天志郎, 廣瀬 智治, 木村 祥裕 |
| 2. 発表標題<br>正負交番水平載荷実験による杭頭部にコンクリートを充填した鋼管杭の弾塑性座屈性状   |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会東北支部研究報告集構造系                        |
| 4. 発表年<br>2017年                                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐藤 睦月, 的場 萌子, 木村 祥裕, 廣瀬 智治  |
| 2. 発表標題<br>杭頭部にコンクリートを充填した鋼管杭の正負交番載荷試験 |
| 3. 学会等名<br>地盤工学研究発表会                   |
| 4. 発表年<br>2017年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐藤 睦月, 的場 萌子, 鈴木 敦詞, 廣瀬 智治, 増田敏聡, 市川和臣, 高野公寿, 木村 祥裕 |
| 2. 発表標題<br>コンクリート充填鋼管杭の終局曲げ耐力と変形性能の評価 その3: 鋼管杭と充填コンクリートの応力伝達機構 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会学術講演  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

田村研究室  
<http://www.arch.titech.ac.jp/tamura>  
 田村修次 研究室  
<http://www.arch.titech.ac.jp/tokimatsu/people/tamura.htm>

## 6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                         | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                            | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 河野 進<br><br>(kono Susumu)<br><br>(30283493)       | 東京工業大学・科学技術創成研究院・教授<br><br><br><br>(12608)       |    |
| 研究分担者 | 木村 祥裕<br><br>(Kimura Yoshihiro)<br><br>(60280997) | 東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授<br><br><br><br>(11301)    |    |
| 研究分担者 | 林 和宏<br><br>(Hayashi Kazuhiro)<br><br>(40725636)  | 豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教<br><br><br><br>(13904) |    |