

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 9 月 2 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01533

研究課題名(和文) 地盤材料の非線形強度を用いた剛塑性有限要素法の開発と設計基準の定量的分析

研究課題名(英文) Development of rigid plastic finite element method using nonlinear shear strength of soil material and quantitative analysis of design standard

研究代表者

大塚 悟 (Ohtsuka, Satoru)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：40194203

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は基礎の支持力解析手法の精緻化と支持力式の高度化である。剛塑性有限要素法の高速度化、土・水連成解析手法、地盤材料の線形および非線形降伏関数に対する構成式の開発を実施した。事例解析より、基礎の支持力式について、粘性土地盤から砂質地盤、中間土地盤までを対象に帯基礎の鉛直、水平、モーメントの複合荷重に対する限界荷重曲面を定式化した。また、ケーソン構造物を対象に地盤に浸透力が作用する条件で土・水連成解析を実施して、遠心模型試験結果との比較より適用性を明確にした。また砂質地盤に対して、せん断抵抗角の拘束圧依存性をモデル化して基礎の寸法効果を考慮した支持力式を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

基礎の支持力は古典的な研究課題であるが、構造物の設計に不可欠な項目である。我が国の設計業務では支持力の推測に道路橋示方書が幅広く用いられ、多くの実績がある。しかし、支持力式は模型実験や数値解析に基づいて開発されるが、複合荷重や基礎の寸法効果などの技術課題もあり、精度に関する検証は十分でない問題がある。本研究による高精度の支持力式は、世界の設計基準に大きく寄与するため、波及効果は非常に高いと言える。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to refine a bearing capacity analysis method and advance bearing capacity equations of rigid footing. A rigid-plastic finite element method was improved to be highly accelerated, a coupled soil-water analysis method was developed, and constitutive equations for linear and nonlinear yield functions of geomaterials were introduced. From the case study analyses of various conditions, limit load surfaces for combined vertical, horizontal, and moment loads on strip footing were formulated for base ground from cohesive to sandy and intermediate soils. The applicability of the coupled soil-water analysis to the practice was clarified by comparing the results of caisson foundation with those of centrifuge model tests under the condition where seepage forces act on the ground. For sandy soils, a bearing capacity equation was developed that takes into account the effect of footing size by modeling the internal friction angle depending on confining pressure.

研究分野：地盤工学、土木工学

キーワード：基礎の支持力 複合荷重 中間土 寸法効果 支持力式 土水連成解析

1. 研究開始当初の背景

基礎の支持力は地盤工学の古典的な研究課題であるが、構造物の設計に不可欠な重要項目である。我が国の設計業務において支持力の評価は道路橋示方書などの支持力式が幅広く用いられており、多くの実績がある。支持力式は模型実験による経験式 (A) や塑性論による簡易解析 (B) をベースにしており、Terzaghi の支持力式や欧州・米国の設計式に比べると基礎の寸法効果を考慮したり、複合荷重の効果を取り入れるなど高度化されているが、標準的な設計課題を念頭に開発されている。数値解析の模型実験に対する短所は解析モデルのために正解の保証のないことであるが、精度が確認できれば模型実験で実施できない様々な仮想条件に対する検討が可能な長所を有する。基礎の支持力式は標準的な設計課題に対して開発されているが、実務における応用範囲は広く、また地盤の耐荷力を簡便に把握する技術支援効果は大きい。

支持力式は、載荷重が鉛直・水平・モーメントの複合荷重になると、例えば偏心載荷の場合に基礎と地盤の離合の接触問題や砂質土と粘性土のせん断強度特性の差異による接地圧分布の評価など、複合荷重に対する限界荷重曲面は十分に精度が検証できていない。砂質地盤の場合には基礎の大きさによる寸法効果の問題もあり、支持力式の精度の検証や合理化は設計問題および地盤工学上の長年の古くて新しい技術課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は基礎の支持力解析の精緻化と支持力式の高度化にある。研究代表者が開発してきた剛塑性有限要素法について、解析法的高速化、土・水連成解析手法の統合化、地盤材料の線形および非線形降伏関数に対する構成式の整備と、地盤と構造物間の接触要素の導入などの改良を実施する。

3. 研究の方法

3-1 剛塑性構成式の開発

地盤工学では構造物の安定性評価に、土楔を仮定する極限釣り合い解析や極限解析の上界定理を用いる方法の実績が多い。これはすべり線の発生に伴う地盤の崩壊現象をわかりやすくモデル化することにより、現実的な解を与えることから実務や研究で幅広く用いられてきた。しかし、崩壊機構を事前に設定して可能な解を探索するために得られる解の信頼性は、必ずしも高くない。近年に極限解析の上界定理に有限要素法を適用する方法が Tamura et al. (1984, 1987, 1980) などにより開発されたが、上界定理における最小解の探索が剛塑性構成式を用いた釣り合い解析に等価なことを明らかにされた。研究代表者は Hoshina et al. (2011) など Drucker-Prager の降伏関数に対する剛塑性構成式をダイレタンシーに関する制約条件をペナルティ法により考慮して提案した。また、地盤と基礎の接触面に Mohr-Coulomb 則に従う接触要素の剛塑性構成式を開発した。接触要素におけるダイレタンシーはペナルティ法により考慮した。なお変位速度については接触要素における変位の不連続量を用いて定式化した。更には、拘束圧に対して非線形な強度特性を応力の高次関数で表現し、剛塑性構成式は導出した。Drucker-Prager の降伏関数と異なり非決定応力のないことから、ひずみ速度に対して応力は唯一に定まる特徴がある。

剛塑性構成式の特徴は応力とひずみ速度の関係を記述する点にあり、例えば弾性論の構成式とは随分と異なる。塑性挙動の非拘束流れを表現し、ひずみ速度の大きさは基本的に不定である一方で、応力は降伏曲面上に存在する。剛体挙動はひずみ速度を非常に小さく表すが、応力は上記に記載したひずみ速度の閾値とひずみ速度のノルムの比率を用いた縮小された降伏曲面上に配置する。

3-2 剛塑性有限要素法の開発

剛塑性構成式を適用すると、剛塑性有限要素法を容易に定式化できる。しかし、変位速度に関する非線形連立方程式となるために、解法には数値解法が必要になる。本研究では Newton-Raphson 法などを試みたが、どのような問題に対しても安定的に解を得るには直接代入法が比較優位な結果となった。土・水連成解析への適用を視野に間隙水圧を変数に加えて、構成式は有効応力に関連付けている。しかし、剛塑性構成式には間隙水圧を定める理論のないことから、土・水連成解析はハイブリッド解析のように間隙水圧分布が別の理論によって与えられる疑似連成解析となる。斜面問題の場合には飽和・不飽和浸透解析を並列して実施して、得られる間隙水圧分布を剛塑性有限要素法の入力値としている。地盤の不飽和領域では全応力解析を実施して、飽和領域では有効応力解析を実施する。不飽和領域ではサクシオンを算出して、地盤強度のうち粘着力をサクシオンの関数として与える。このモデル化により、サクシオンが大きいと粘着力は大きく、小さいと低下する見かけの粘着力の力学特性を表現する。飽和領域では有効応力解析を

実施するが、間隙水圧分から得られる浸透力が上向きに作用すると有効応力が減少して地盤強度が低下する現象を表現する。

4. 研究成果

4-1 論文リスト

本報告書に記載する、「基礎の支持力」に関する研究成果について、代表論文に絞って掲載する。

- ① Pham Ngoc Quang, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe, Yutaka Fukumoto and Takashi Hoshina: Ultimate bearing capacity of rigid footing under eccentric vertical load, *Soils and Foundations*, JGS, 59(6), 1980-1991, 2019.
- ② Pham Ngoc Quang, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe and Yutaka Fukumoto: Limit load space of rigid footing under eccentrically inclined load, *Soils and Foundations*, JGS, Vol.60, No.4, 811-824, 2020.
- ③ 投稿中（査読審査）の論文 4 編

4-2 複合荷重に対する基礎の支持力式

4-2-1 偏心鉛直荷重に対する限界荷重曲面【文献①】

基礎に偏心鉛直荷重を載荷すると、基礎と地盤間の接地圧分布は荷重の載荷位置によって変化するだけでなく、基礎と地盤間の摩擦や、地盤も砂質地盤と粘性土地盤で分布は大きく変化する。本研究では基礎と地盤間に剛塑性構成式を用いた接触要素を導入するが、数値解析より接地圧分布は接触要素を用いない場合に対して高精度で合理的な結果が得られた。砂質地盤および粘性土地盤について地盤の材料定数（砂質地盤では内部摩擦角 ϕ ）および基礎幅 B 、荷重の偏心量 e を変化した数値解析を系統的に実施して、得られた限界荷重曲面を簡易な数式に取りまとめた。

$$\frac{V}{V_{ult}} = \left(1 - 1.85 \frac{e}{B}\right)^2 \quad \frac{M}{BV_{ult}} = 0.55 \frac{V}{V_{ult}} \left(1 - \left(\frac{V}{V_{ult}}\right)^{0.49}\right) \quad (\text{砂質地盤}) \quad (1)$$

$$\frac{V}{V_{ult}} = 1 - 1.85 \frac{e}{B} \quad \frac{M}{BV_{ult}} = 0.63 \frac{V}{V_{ult}} \left(1 - \left(\frac{V}{V_{ult}}\right)^{0.8}\right) \quad (\text{粘性土地盤}) \quad (2)$$

次に、基礎の中心位置に傾斜荷重（鉛直 V 、水平荷重 H ）が作用する際の支持力解析を実施し、砂質および粘性土地盤の限界荷重曲面を取りまとめた。

$$\frac{H}{V_{ult}} = \frac{\tan\phi}{0.76} \frac{V}{V_{ult}} \left[1 - \left(\frac{V}{V_{ult}}\right)^{1/(1.7\tan\phi+0.4)^2}\right] \quad (\text{砂質地盤}) \quad (3)$$

$$\frac{H}{V_{ult}} = \frac{1}{\pi + 2} \left(1 - \left(\frac{V}{V_{ult}}\right)^{7.4}\right) \quad (\text{粘性土地盤}) \quad (4)$$

4-2-2 偏心傾斜荷重に対する限界荷重曲面【文献②】

偏心傾斜荷重は基礎中心からの偏心量が同じ場合にも水平方向には異なる 2 つの方向がある。言い換えると、荷重によるモーメントが等しい場合にも傾斜荷重の方向が異なる場合が存在する。図 1 に荷重の偏心量が $e/B = 0.3$ 、傾斜角度が $\pm 10^\circ$ の事例における砂質・粘性土地盤の破壊形態を示した。(a)砂質地盤の内部摩擦角は $\phi = 30^\circ$ であり、(b)粘性土地盤はせん断強度 $c_u = 100kPa$ である。両地盤ともに水平荷重の作用方向により破壊形態は大きく異なり、支持力に差異が生じる。図 2 に偏心傾斜荷重に対する砂質および粘性土地盤の限界荷重曲面を示す。図は鉛直支持力 V_{ult} （中央荷重）で正規化した、モーメント M と水平荷重 H の限界荷重空間（ $MB/V_{ult} \sim H/V_{ult}$ ）を示すが、鉛直荷重 V_0 を一定に保ち、荷重の偏心量 e と水平荷重 H を変化させた結果を表す。解析条件は $V_0/V_{ult} = 0.5$ 、 $\gamma = 18kN/m^3$ 、 $B = 5m$ 、砂質地盤の内部摩擦角は $\phi = 30^\circ$ を用いた。

砂質地盤の偏心傾斜荷重に対する限界荷重曲面（鉛直荷重 $V_0 = const$ における断面）は次式にまとめられる。式中のパラメータは $C = 0.195$ であり、着目した鉛直荷重 V_0 に対して曲面を表す 2 つのパラメータ、 H_0 および M_0 は各々式(1)および式(3)より求められる。図に示すように砂質地盤の限界荷重曲面は傾斜角の反転に関して非対称な形状を示す。

$$\left(\frac{H}{H_0}\right)^2 + \left(\frac{M}{M_0}\right)^2 + 2.C \left(\frac{H}{H_0}\right) \left(\frac{M}{M_0}\right) = 1 \quad (5)$$

粘性土地盤の偏心傾斜荷重に対する限界荷重曲面（鉛直荷重 $V_0 = const$ における断面）は次式にまとめられる。着目した鉛直荷重 V_0 に対して曲面を表す 2 つのパラメータ、 H_0 および

M_0 は各々式(2)および式(4)より求められる。図に示すように傾斜角の反転に関してほぼ対称な形状を示すこと、および荷重傾斜角が大きいと曲面に直線部が生ずる点が砂質土と異なる特徴である。

$$\left(\frac{H}{H_0}\right)^2 + \left(\frac{M}{M_0}\right)^2 = 1 \quad (6)$$

砂質および粘性土地盤の鉛直・水平・モーメント荷重に対する限界荷重曲面について、複数の荷重経路により極限荷重を求めたが、載荷方法によらずに同一の限界荷重曲面が求められた。限界荷重曲面は多くの載荷方法に対して汎用性のあることが確かめられた。

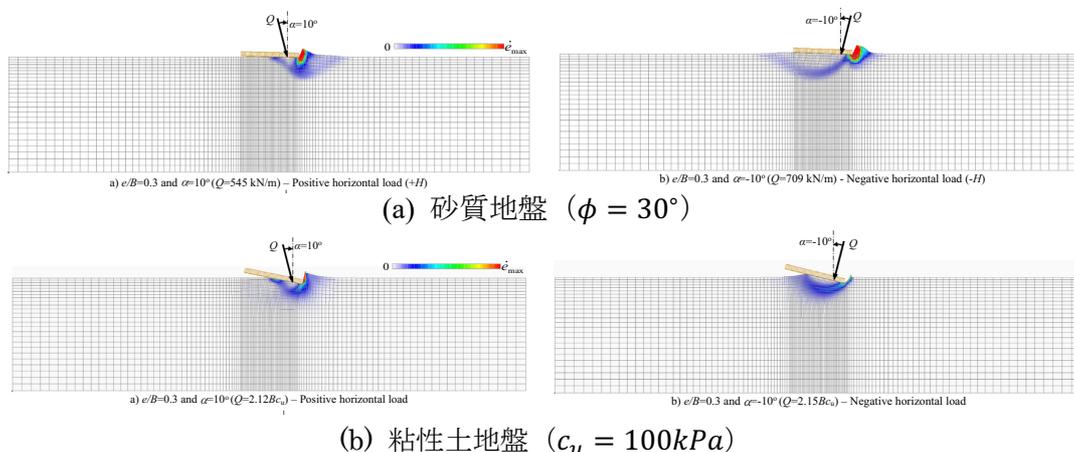
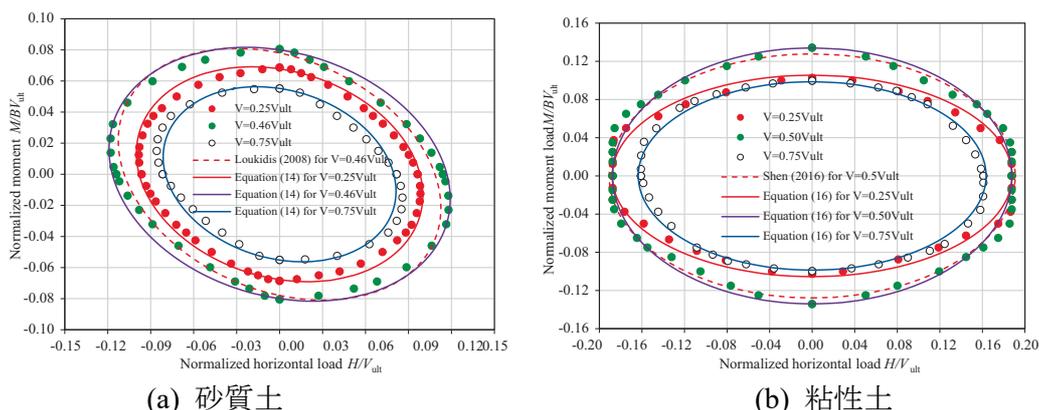


図1 砂質・粘性土地盤における偏心・傾斜荷重の破壊形態（傾斜角度：±10°）



(a) 砂質土 (b) 粘性土
図2 偏心傾斜荷重に対する限界荷重曲面 ($V_0 = const$ 断面)

4-3 基礎の寸法効果を考慮した支持力式【文献③】

砂質地盤の支持力は基礎の寸法効果によって支持力が変化する。我が国の設計指針では、日本建築学会（AIJ）や道路橋示方書（JRA）にて次式の支持力式が用いられる。

$$q = \frac{1}{2} \gamma B \eta N_\gamma, \text{ where } \eta = \left(\frac{B}{B_0}\right)^{-1/3}, B_0 = 1 \text{ m} \quad (7)$$

上式は根入れのない砂質地盤の支持力式であるが、支持力係数に修正係数 η を適用している。一方、海外の指針はユーロコードや米国基準も修正係数を導入しておらず、基礎の寸法効果は支持力式に取り入れられていない。修正係数は先端的な取り組みと言えるが、数少ない遠心模型試験と数値解析を補助的に用いて提案されており、支持力式の精度は十分に調べられていない。本研究では、砂質土について豊浦砂の実験結果（Tatsuoka, et al.(1987)）より、間隙比によって異なる内部摩擦角が得られるほか、内部摩擦角が拘束圧によって変化する非線形性を示す特徴があることに着目して、基礎の寸法効果を解析的に表現する。解析では、相対密度によって異なる材料特性を定義する方法と、相対密度に関わらずに平均的な材料物性を用いる解析を実施した。

図3に支持力式の比較を示す。図にはAIJ、JRAの支持力のほか、Terzaghi式の支持力も示している。基礎幅の小さい場合には両者の差異が小さいものの、基礎幅が大きくなると両者の差異は拡大し、基礎の寸法効果は非常に大きいことが分かる。図に、Terzaghiの支持力式で用いるDrucker-Pragerの拘束圧に対する線形強度を用いた剛塑性

剛塑性 FEM による結果を示すが、線形強度の場合には Terzaghi の支持力式とよく一致し、豊浦砂の非線形強度（平均的特性）を用いた場合には、AIJ、JRA の支持力式と極めて高い一致を示す。AIJ、JRA の支持力式は半実験式であるが、支持力式を良い対応を示すことから解析手法の妥当性が検証できる。

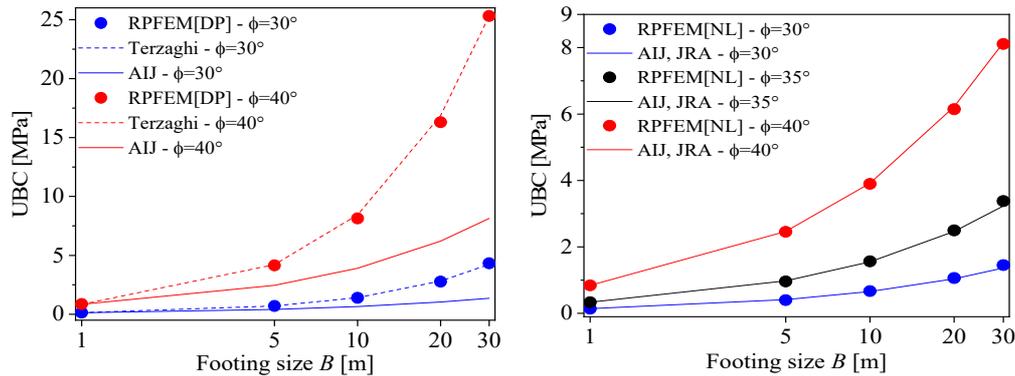


図3 支持力式の比較と線形強度の解析結果

AIJ、JRA の支持力式における修正係数は基礎幅 B の関数で表記されるが、土の単位体積重量 γ も拘束圧に影響する因子である。事例解析の結果、基礎幅と単位体積重量の支持力に及ぼす影響は同等であり、変数に $\gamma B/p_a$ (p_a は大気圧) を用いると支持力の変化を統一的に表現できることがわかった。以上から、鉛直荷重（基礎中心載荷）に対して次の支持力式を提案した。

$$q = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \eta_\gamma \quad \text{where} \quad \eta_\gamma = 0.55 \left(\frac{\gamma B}{p_a} \right)^{-\frac{1}{3}} \quad 0 \leq \eta_\gamma \leq 1 \quad (3-4-19)$$

図4 に遠心模型実験との比較を示すが、単位体積重量が $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ の近傍の場合 AIJ、JRA とともに提案式は実験結果とよく一致する。次に、根入れのある場合の鉛直荷重（基礎中心載荷）に対する支持力式を事例解析に基づいて取りまとめた。

$$q = \left(\frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \eta_\gamma \right) + (q_o N_q \eta_q) \quad \text{where} \quad \eta_q = 0.55 \left(\frac{q_o}{p_a} \right)^{-\frac{1}{8}} \quad 0 \leq \eta_q \leq 1 \quad (3-4-20)$$

図5 に豊浦砂の各相対密度の物性値を用いた数値解析、多様な砂質地盤の物性値を用いた数値解析と支持力式との比較を示すが、各々20%、10%の解析誤差に収まり、合理的な支持力評価の可能性が示された。文献で得られる他の砂質土の材料物性を用いた検討を実施したが、支持力式の精度は10%程度の誤差内に収まった。

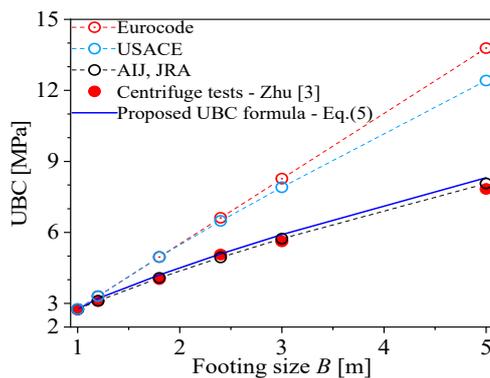


図4 遠心模型実験との比較

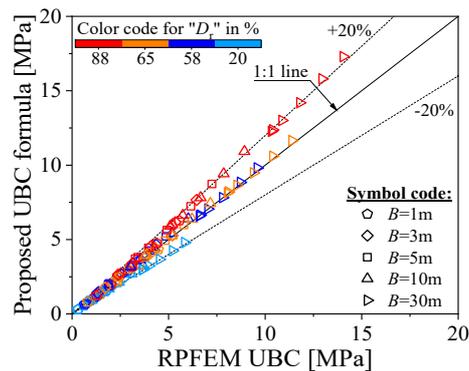


図5 支持力の精度検証（相対密度）

強度特性の異なる砂質土への適用性については、強度特性と遠心模型試験結果の報告されている、Karlsruhe sand、Silica sand、Leighton buzzard sand についても、解析手法の適用性を照査したが、高い精度で実験値を評価することができた。豊浦砂の強度特性に基づいて提案した支持力式はこれらの砂質地盤に対して概ね10%程度の誤差内で支持力を評価できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Pham Quang N., Ohtsuka Satoru	4. 巻 21
2. 論文標題 Ultimate Bearing Capacity of Rigid Footing on Two-Layered Soils of Sand?Clay	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Geomechanics	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002095	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 該当する
1. 著者名 Tahir Iqbal, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe and Yutaka Fukumoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Size effect of footing in ultimate bearing capacity of intermediate soil	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Second International Conference on Press-in Engineering, IPA	6. 最初と最後の頁 37-45
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 該当する
1. 著者名 Quang Pham N., Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe, Yutaka Fukumoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Consideration on Limit Load Space of Footing on Various Soils Under Eccentric Vertical Load	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 16th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geotechnics	6. 最初と最後の頁 75 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-64518-2_10	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 該当する
1. 著者名 Pham N. Quang, Ohtsuka Satoru	4. 巻 1
2. 論文標題 Numerical Investigation on Bearing Capacity of Rigid Footing on Sandy Soils Under Eccentrically Inclined Load	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2nd Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering	6. 最初と最後の頁 333 ~ 341
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 河村精一, 水野和憲, 大塚悟	4. 巻 1
2. 論文標題 不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層斜面模型の遠心力載荷加振実験(5) - 剛塑性有限要素法を用いた考察 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第48回岩盤力学に関するシンポジウム, 土木学会	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 無
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 Pham Ngoc Quang, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe and Yutaka Fukumoto	4. 巻 60(4)
2. 論文標題 Limit load space of rigid footing under eccentrically inclined load	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soils and Foundations, JGS	6. 最初と最後の頁 811-824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2020.05.004	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 Tahir Iqbal, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe and Yutaka Fukumoto	4. 巻 7(1)
2. 論文標題 Discussion on efficacy of rigid plastic finite element method for ultimate bearing capacity analysis of intermediate soil using non-linear shear strength model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The 5th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2020, NUT	6. 最初と最後の頁 ST1-9-45
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 無
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 該当する

1. 著者名 河村精一, 水野和憲, 大塚悟	4. 巻 1
2. 論文標題 不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層斜面の地震時挙動評価(8) - 剛塑性有限要素法による評価 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第15回岩の国内シンポジウム, JSCE	6. 最初と最後の頁 405-410
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 Quang N.Pham, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe & Yutaka Fukumoto	4. 巻 59
2. 論文標題 Group effect on ultimate lateral resistance of piles against uniform ground movement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 27-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2018.08.013	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 Kazuhiro Kaneda, Masamichi Aoki & Satoru Ohtsuka	4. 巻 17
2. 論文標題 Assessing the ultimate bearing capacity of footing in two-layered clayey soil system using the rigid plastic finite element method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal on Geotechnique, Construction Materials and Environment	6. 最初と最後の頁 144-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2019.60.8259	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 Kazuhiro Kaneda, Masamichi Aoki, Tomohiro Tanikawa & Satoru Ohtsuka	4. 巻 17
2. 論文標題 Ultimate vertical bearing capacity of clayey squeeze breakdown using rigid-plastic finite element method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal on Geotechnique, Construction Materials and Environment	6. 最初と最後の頁 76-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2019.60.7249	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 Quang N. Pham, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe & Yutaka Fukumoto	4. 巻 6
2. 論文標題 Effect of Ground Movement Direction on Ultimate Lateral Resistance of Line Alignment Piles in Clay	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions on GIGAKU	6. 最初と最後の頁 1-8
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 無
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 該当する

1. 著者名 大塚 悟, Huynh Anh Dung, Pham Ngoc Quang	4. 巻 1
2. 論文標題 基礎の寸法効果を考慮した地盤支持力式の適用性に関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第22回応用力学シンポジウム (土木学会)	6. 最初と最後の頁 353-354
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 無
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 該当する

1. 著者名 Satoru Ohtsuka, Yutaka Fukumoto, Hiroyuki Yamazaki & Kazuhiro Kaneda	4. 巻 JGS-044
2. 論文標題 Stability analysis of caisson type seawall against tsunami in comparison with model tests	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 16th Asia Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 1-4
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 Quang N.Pham, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe & Yutaka Fukumoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Bearing capacity of footing resting on sand for eccentric vertical load	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 4th international Conference on Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development (Geotec-Hanoi)	6. 最初と最後の頁 1135-1142
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 該当する

1. 著者名 Quang N.Pham, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe, Yutaka Fukumoto & Takashi Hoshina	4. 巻 56
2. 論文標題 Ultimate bearing capacity of rigid footing under eccentric vertical load	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 1980-1991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2019.09.004	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 Pham Quang N., Ohtsuka Satoru, Isobe Koichi & Fukumoto Yutaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Ultimate Lateral Resistance of Pile Group in Clayey Soils Against Various Directions of Ground Movement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of 1st Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering	6. 最初と最後の頁 408 ~ 414
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 該当する

1. 著者名 Kazuhiro Kaneda, Masamichi Aoki & Satoru Ohtsuka	4. 巻 1
2. 論文標題 Assessing the ultimate bearing capacity of footing in two-layered clayey soil system using the rigid plastic finite element method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of 8th International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment	6. 最初と最後の頁 335-340
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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Tahir Iqbal, Satoru Ohtsuka, Yutaka Fukumoto and Koichi Isobe
2. 発表標題 Size effect of footing on ultimate bearing capacity formula for c- soil
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会, 地盤工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Quang N.Pham, Satoru Ohtsuka, Koichi Isobe & Yutaka Fukumoto
2. 発表標題 Ultimate bearing capacity of rigid footing on sandy soil under eccentrically inclined load
3. 学会等名 公益社団法人地盤工学会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 Huynh Anh Dung, Dang Hoang Son, 大塚 悟 & 福元 豊
2. 発表標題 基礎の寸法効果を考慮した中間土地盤の支持力式に関する検討
3. 学会等名 公益社団法人地盤工学会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Huynh Anh Dung, Quang Ngoc Pham, 大塚 悟, 福元 豊 & 保科 隆
2. 発表標題 基礎の寸法効果を考慮した中間土地盤の支持力式に関する研究
3. 学会等名 公益社団法人地盤工学会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Quang Ngoc Pham, Satoru Ohtsuka, Yutaka Fukumoto & Takashi Hoshina
2. 発表標題 Ultimate bearing capacity of rigid footing on sandy soil against eccentric vertical load
3. 学会等名 公益社団法人地盤工学会
4. 発表年 2018年～2019年

〔図書〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------