

平成22年 6 月 9 日現在

研究種目：若手研究(スタートアップ)

研究期間：2008～2009

課題番号：20860058

研究課題名(和文) 地盤環境に配慮した非着底型地盤改良技術の開発

研究課題名(英文) Floating type ground improvement system in consideration with environmental aspects

研究代表者

石藏 良平 (ISHIKURA RYOHEI)

山口大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：90510222

研究成果の概要(和文)：非着底型地盤改良技術は、支持層まで改良する従来の着底型地盤改良技術と比較して、改良体積を小さく抑えられることから、コスト縮減を図れるだけでなく、原地盤をより自然状態に近い状態に残せるなど、要求性能の多様化に対応できる一つの技術である。本研究では、非着底型改良体の設計基準強度を明確にするため、数値シミュレーションおよび模型実験により、改良体の経時的に変化する材料特性を考慮した荷重分担特性の定量化を試みた。また、現場動態観測結果との比較から、非着底型改良地盤の沈下量推定法の検証を行った。

研究成果の概要(和文)：Floating-type deep mixing soil stabilization is a method with acceptable settlement for maintaining the proper functioning of high standard roads or high embankments on soft grounds. The advantage of this method is that it reduces the cost of construction of soil structures on deep soft soil layers. In addition, the soft soil layers are retained under the improved portion; this ensures a smooth flow of ground water in this type of improved ground, which is not the case in ground improvement by the end-bearing-type stabilization method.

In this study, in order to evaluate the stress distribution ratio of the improved ground with respect to the improvement ratio and improvement depth, model tests and analysis were conducted. Furthermore, a method for predicting the total settlement for this type of improved ground was confirmed from the field measurements in full scale test embankments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	830,000	249,000	1,079,000
2009年度	880,000	264,000	1,144,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,710,000	513,000	2,223,000

研究分野：地盤工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤改良, 非着底型, 応力分担比, 圧密沈下

## 1. 研究開始当初の背景

我が国や国外において、軟弱地盤対策は、軟弱地盤上に構造物を建設するという観点から、構造物の沈下と安定性が最重要課題とされ、これまで数多くの地盤改良技術が開発されている<sup>1)</sup>。しかしながら、今日の土構造物に求められる要求性能は、これまでの沈下や安定性に対する性能に留まらず、経済性や環境への配慮など多様化しており、従来技術では対応できない状況が発生している。

このような背景の中、所定の目的をより合理的に解決するため、個々の地盤改良技術を組合せ、併用することの重要性が高まっている<sup>2)</sup>。申請者はこれまで、要求性能の多様化に対応できる併用技術の一つとして、図1に示す、高盛土や高規格道路直下の基礎地盤を対象とした、浅層固化処理を併用した非着底型深層混合処理地盤の提案を行っている<sup>3)</sup>。

従来の地盤改良の考え方では、構造物の沈下と安定性の観点から、剛性や強度の大きな改良地盤を支持層まで造成する方法が一般的であったが、本研究では、上部構造物の機能が保たれる範囲内で、はじめから沈下を許容した非着底型改良形式を提案している。さらには、深層改良部をできる限り低い改良率に抑えるため、不同沈下や側方への変位抑制を目的として、浅層改良の併用を提示している。非着底型かつ低改良率で地盤改良を行い、所定の目的を達成できれば、経済性や、原地盤をより自然に近い状態で残せるなどの環境的な観点での付加的価値が創出される。

また、施工機械の改良深度限界を超えるような軟弱地盤層が非常に厚い地域では、非着底型改良形式は、大変有効な手段といえる。しかしながら、非着底型改良形式は従来の着底型と比較して、地盤の安定性の低下や変形量の増大が懸念されるものの、申請者等の一部を除き、非着底型改良地盤の挙動に関してはほとんど研究が進んでおらず、現場での設計法も確立されていない。

## 2. 研究の目的

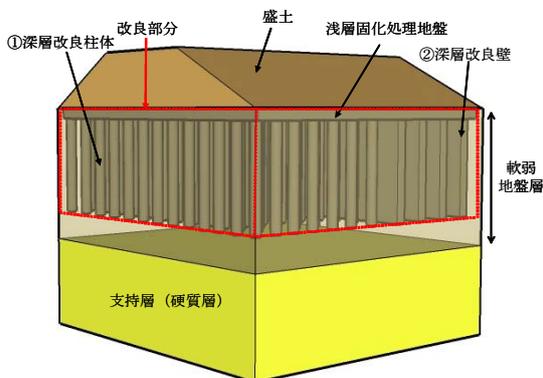


図1. 浅層改良を併用した非着底型改良地盤

申請者はこれまで、浅層改良を併用した非着底型深層改良地盤の沈下と安定性に対する併用技術の優位性を数値シミュレーションにより確認し、大きな圧密沈下が発生する改良地盤の沈下量と改良率や改良深さなどの改良条件とを関連付けた沈下量推定法を提案している<sup>3)</sup>。提案する沈下量推定法の実規模構造物への適用性について検証する必要がある。

また、申請者は今後、非着底型改良体に、これまで検討を行ってきたセメント固化処理土だけでなく、サンドコンパクションパイルや建設副産物である高炉水砕スラグといった材料特性の異なる材料を適用することを考えている。提案する非着底型改良形式の設計法を確立するためには、これまで検討を行っている改良地盤全体としての沈下や安定性だけでなく、非着底型改良体の設計基準強度を明確化する必要がある。そのためには、時々刻々と変化する非着底型改良体の材料特性を考慮した改良地盤の荷重分担特性を明らかにする必要がある。

しかしながら、非着底型改良地盤の挙動に関しては、ほとんど研究が行われておらず、明確な設計法についても提案されていない。

本研究では、改良体の経時的に変化する材料特性を考慮した荷重分担特性を定量化し、非着底型改良体の設計基準強度を明確にすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

数値シミュレーションおよび模型実験により、実際の非着底型改良体を想定した、材料特性が経時的に変化する条件での改良地盤の荷重分担機構を明らかにし、その基礎データをもとに、改良地盤の荷重分担比の定量化を行う。また、申請者らがこれまで提案している浅層改良を併用した非着底型真相改良地盤の沈下量推定方法について、実規模構造物での検証を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 非着底型杭状改良地盤の応力分担機構に関する実験的検討

#### ① 試験の概要

作製した荷重装置の概要を図2に示す。荷重装置は一次元圧縮条件とし、荷重板を介して模型地盤に対して荷重を載荷する。荷重板中心に設置した改良体の上端および先端に作用する荷重を個別に計測できるようにになっている。改良体には、直径3cm、長さ11cm、15cmのアルミ製の金属を使用し、荷重板に作用する荷重を調節することで、載荷面に作

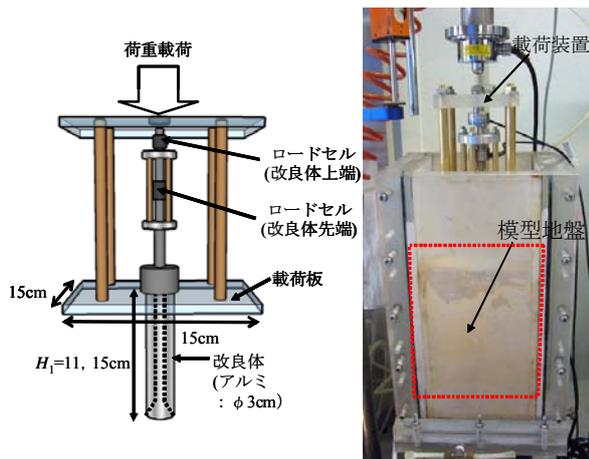


図 2. 荷重装置の概要

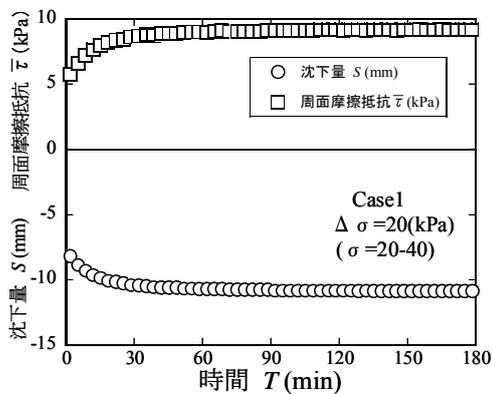


図 3. 沈下量と周面摩擦の経時変化一例

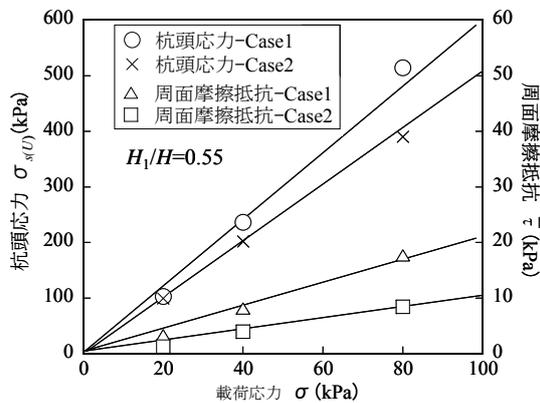


図 4. 周面摩擦抵抗と杭頭応力の収束値

用する平均的な荷重応力  $\sigma$  を調整した。模型地盤のサイズは、荷重面  $15\text{cm} \times 15\text{cm}$  であり、含水比  $w=80\%$  で練り返した市販のカオリン粘土を  $\sigma=20(\text{kPa})$  で予圧密し、一次圧密終了時に模型地盤の高さ  $H$  が  $20\text{cm}$  となるように調節した。荷重時間は、無改良ケースの沈下量を 3t 法で打ち切る時間とした。アクリル容器内面には、メンブレンを貼り、壁面の摩擦

を軽減した。実験は、2つの配置で実施し、改良体長  $H_1$  は2種類とした。荷重は改良体挿入後、荷重応力  $\sigma=20, 40, 80(\text{kPa})$  と段階的に荷重を行い、各荷重段階において、一次圧密の終了を待った。

なお、荷重装置については、地盤内の挙動をより詳細に把握するための平面ひずみ型の模型荷重装置を作製し、現在も実験を継続中である。

## ②結果と考察

図 3 に模型地盤の沈下量  $S$  と周面摩擦抵抗  $\bar{\tau}$  の経時変化を示す。周面摩擦抵抗  $\bar{\tau}$  は、荷重板中心に設置した改良体の上端および先端に作用する荷重の差を改良体の周面積で除した平均的な値を意味する。周面摩擦抵抗  $\bar{\tau}$  は改良体と未改良土間に相対変位が生じることで発現されると考えられ、模型地盤の沈下量の増加に伴い増加するが、沈下量が収束すると同時に一定値に収束する傾向を示した。

図 4 に圧密沈下終了後の杭頭応力  $\sigma_{s(U)}$  と周面摩擦抵抗  $\bar{\tau}$  の収束値の一例を示す。いずれの結果も原点を通る比較的良好な直線関係を示した。また、改良体間隔が小さな Case2 の方が、改良体 1 本あたりに発生する周面摩擦抵抗  $\bar{\tau}$  が小さくなる傾向を示した。

次に、各荷重段階における圧密沈下終了後の改良体および未改良土に作用する鉛直応力について考察する。改良体 1 本あたりの杭頭応力を  $\sigma_{s(U)}$ 、荷重板直下の未改良土に作用する応力を  $\sigma_{(U)}^*$  として、荷重板直下の改良体と未改良土に作用する鉛直応力の比(応力分担比)を以下の式で定義した。

$$n_{(U)} = \frac{\sigma_{s(U)}}{\sigma_{(U)}^*} \quad (1)$$

応力分担比  $n_{(U)}$  の経時変化の傾向から、 $n_{(U)}$  は荷重初期段階から徐々に上昇し、一定値に収束する傾向を示すことが明らかになっている。これは、圧密沈下の発生とともに改良体に作用する周面摩擦抵抗  $\bar{\tau}$  が徐々に増大し、改良体に分担される応力が増大したためと考えられる。

図 5 に各荷重段階における圧密沈下終了後の応力分担比  $n_{(U)}$  の収束値を示す。ばらつきは見られるものの、全ケースにおいて荷重応力  $\sigma$  が応力分担比  $n_{(U)}$  に与える影響は小さいことがわかる。

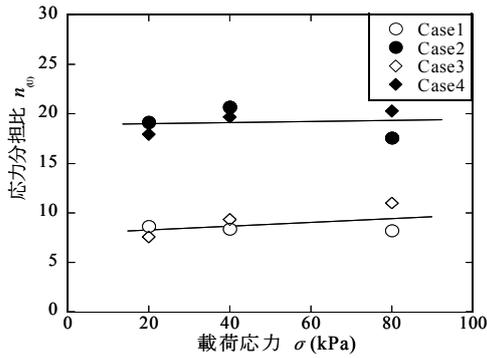


図 5. 応力分担比と載荷応力との関係

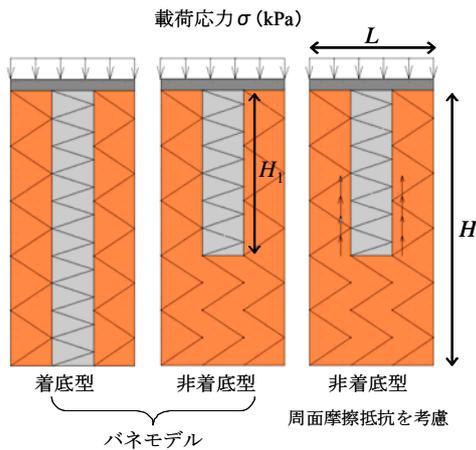


図 6. 非着底型改良地盤のモデル化

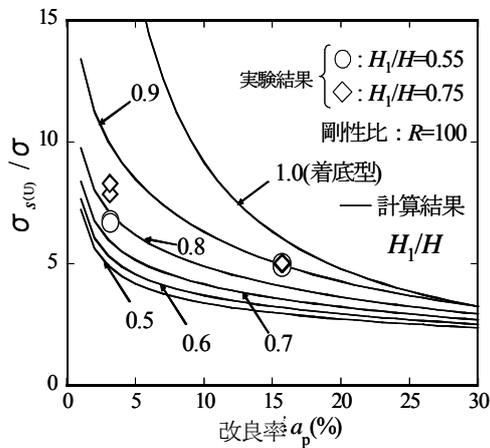


図 7. 杭頭応力の実験結果と計算結果

次に、図 6 に示される周面摩擦抵抗を考慮したバネモデルを用いて、非着底型改良体の杭頭応力  $\sigma_{s(u)}$  を推定し、実験結果との比較を行った。改良体に作用する周面摩擦抵抗  $\bar{\tau}$  は、改良体長  $H_1$  と改良体間隔  $L$ 、粘土の強度増加率  $c_u / p_0$  を用いて、以下の近似式により概ね評価できることがすでに示されている<sup>3)</sup>。

$$\frac{\bar{\tau}}{p_0} = \frac{c_u}{p_0} \cdot \frac{1}{H_1/L} \quad (2)$$

式(2)を用いて、非着底型改良体に作用する杭頭応力  $\sigma_{s(u)}$  を計算することができる。

図 7 は改良率  $a_p$  と正規化杭頭応力  $\sigma_{s(u)} / \sigma$  との関係について実験結果と計算結果とを比較したものである。着底型 ( $H_1 / H = 1.0$ ) の計算結果は、図 6 左に示す定ひずみ条件でのバネモデルを用いて計算を行っている。実験結果との比較から、非着底型改良体に作用する杭頭応力は、着底型改良体に作用する杭頭応力と比較して、小さくなる傾向を示した。

### ③まとめ

圧密沈下時において、非着底型杭状改良地盤に作用する応力分担機構の経時変化について検討するため、一次元圧縮条件下での模型実験を行った。その結果、圧密沈下の発生とともに改良体周面に摩擦抵抗が発現するため、圧密沈下終了時に改良体に最も応力が分担されることが明らかになった。また、実験結果と計算結果との比較から、従来の着底型改良と比較して、非着底型改良の方が、改良体への荷重分担率を小さくできる可能性が示された。

現在、非着底型改良体の周面摩擦抵抗の発現メカニズムを解明するため、平面ひずみ条件での模型実験装置を開発し、地盤内の挙動を観察中である。また、強度や剛性がばらつく地盤改良材を実際の改良体として用いた模型実験を行い、沈下と安定性の両面から検討を行う予定である。

## (2) 動態観測結果に基づく沈下量推定法の検証

### ①動態観測結果との比較

浅層改良を併用した非着底型深層改良地盤は、非着底型の改良形式であり、経済性や環境面において有効な技術として期待されているが、従来の着底型地盤改良技術と比較すれば、大きな圧密沈下が発生するため、沈下量を定量的に評価することが重要となる。本報告では、ここでは、実務において、著者がこれまで提案している沈下量推定方法の実用性を高めるため、実規模構造物での適用性を検証した。

有明海沿岸道路建設の一環として、福岡県大牟田市昭和開地区において、対象とする実規模改良地盤への試験盛土が実施された。

現場施工事例の概要を図 8 に示す。盛土直下の基礎地盤には、改良仕様の異なる 2 ケー

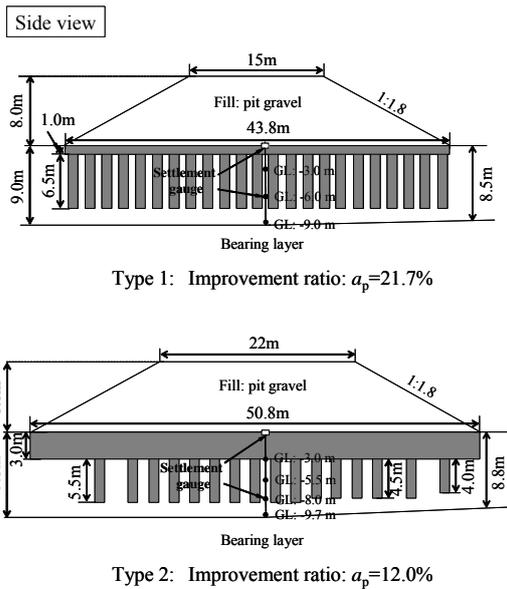


図 8. 施工事例の概要

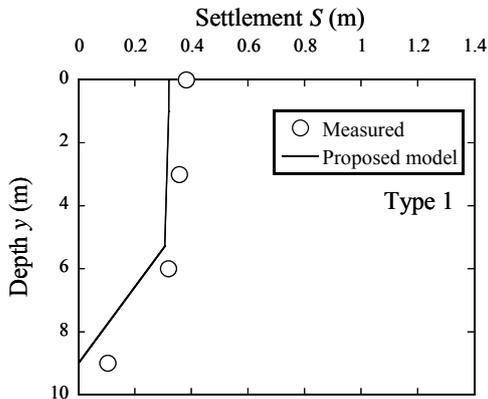


図 9. 実測結果と計算結果の比較 (Type 1)

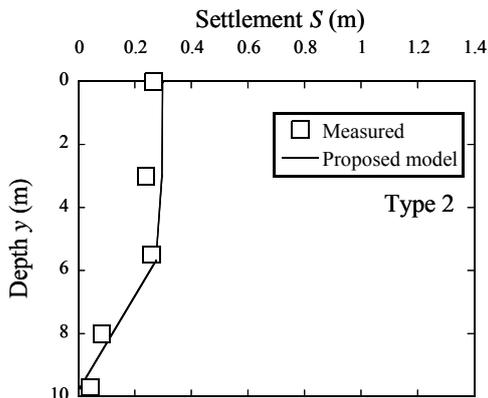


図 10. 実測結果と計算結果の比較 (Type 2)

スの地盤改良が行われた。深層改良部は、非着底型での杭式改良が行われ、盛土幅に対して全面的に矩形配置で深層改良体が打設さ

れた。深層改良体の直径は約 1m であった。盛土中心直下に沈下計を設置し、軟弱地盤の各層別での沈下計測が行われた。設置された沈下計の位置を図に併記する。

図 9 および 10 に各施工事例での実測結果と計算結果との比較を示す。実測結果は沈下計により計測した各施工事例の盛土中心直下における深度方向の沈下量分布を表している。計算結果は、改良地盤を浅層改良層、等価基礎部および圧密沈下対象層の 3 層系の地盤に置き換えて沈下量を計算している。計算結果は、各層厚の圧縮性を深さ方向に一定と仮定しており、各層で線形的に変化するモデルとなっている。盛土荷重のような台形荷重を一樣等分布荷重に置き換えて計算しているため、計算結果と実測結果に差異はみられるものの、現場施工された実規模盛土直下の改良地盤の沈下量についても提案する沈下量推定法を用いて概ね評価できることが確認された。

## ②まとめ

ここでは、著者らがこれまで提案している浅層改良を併用した改良率  $a_p=10\sim 30\%$  程度の非着底型低改良率深層改良地盤の沈下量推定法について、実規模構造物への適用性について検討した。

実規模改良地盤の動態観測結果との比較から、提案する沈下量推定法の実規模構造物への適用性について検証した。動態観測による実測結果との比較から、沈下量推定法は、圧密沈下対象層の傾向などを概ね捉えることができることを示した。沈下量推定法は、現場施工された実規模盛土による改良地盤の沈下量についても実用的な精度で評価できることを示した。

## 【参考文献】

- 1) (社) 地盤工学会: 軟弱地盤対策工法—調査・設計から施工まで—, 2006.
- 2) (社) 地盤工学会: 地盤補強技術の新しい適用—他工法との併用技術—, 2006.
- 3) 石藏良平, 落合英俊, 大嶺聖, 安福規之, 小林泰三: 浅層固化処理を併用した非着底型深層改良地盤の沈下量推定方法, 土木学会論文集 C, 第 63 卷, 第 4 号, pp.1101-1112, 2007.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

- 1) 曲げ破壊に着目した非着底型深層改良体を有する浅層改良地盤の安定性の検討: 石藏良平, 大嶺聖, 安福規之, 松田博, 落合英俊, 日本材料学会, 材料, Vol.59, No.1, pp.38-43, 2010.1. (査読有)

2) Estimation of Settlement of In-situ Improved Ground Using Shallow Stabilization and Floating-type Columns: Ryohei ISHIKURA, Hidetoshi OCHIAI, Hidetake MATSUI, Proceedings of 17<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.2394-2398, Alexandria, Egypt, 2009.10. (査読有)

3) 浅層改良を併用した非着底型深層改良地盤の沈下計算図表と実規模構造物への適用: 石藏良平, 落合英俊, 大嶺聖, 安福規之, 松田博, 松井秀岳, 土木学会論文集 C, 第 65 巻, 第 3 号, pp.745-755, 2009.9. (査読有)

4) Bearing Capacity of Improved Ground with a Combined Technology of Shallow Stabilization and Floating-type Cement Treated Columns: Ryohei ISHIKURA, Hidetoshi OCHIAI, Kiyoshi OMINE, Noriyuki YASUFUKU, Hiroshi MATSUDA, Proceedings of International Symposium on Deep mixing and Admixture Stabilization, pp.321-326, Okinawa, Japan, 2009.5. (査読有)

5) 非着底型深層改良体を有する浅層改良地盤の支持力特性: 石藏良平, 落合英俊, 大嶺聖, 安福規之, 松田博, 松井秀岳, 第 8 回地盤改良シンポジウム論文集, 日本材料学会, pp.329-334, 2008.11. (査読有)

〔学会発表〕 (計 3 件)

1) 圧密沈下時における非着底型杭状改良地盤の応力分担機構: 鹿島浩司, 松田博, 石藏良平, 第 62 回土木学会中国支部研究発表会概要集, 2010 年 5 月 15 日, 徳山工業高等専門学校.

2) 地盤反力の分布を考慮した浅層改良地盤の曲げ応力計算と模型実験による検証: 石藏良平, 松田博, 安福規之, 大嶺聖, 落合英俊, 第 64 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.961-962, 2009 年 9 月 3 日, 福岡大学.

3) 浅層改良を併用した非着底型深層改良地盤の沈下計算図表とその適用: 石藏良平, 松田博, 落合英俊, 安福規之, 大嶺聖, 第 44 回地盤工学研究発表会講演集, pp.735-736, 2009 年 8 月 18 日, 関東学院大学.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石藏良平 (ISHIKURA RYOHEI)

山口大学大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 90510222

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし