

令和元年5月27日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18908

研究課題名（和文）植物の根の構造に学ぶ新たなプラントルーツ型基礎の提案に関する研究

研究課題名（英文）A new plant root type of foundations learned from real plant roots

研究代表者

大谷 順（OTANI, JUN）

熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・教授

研究者番号：30203821

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、土木分野における基礎構造物の新たな形式を開発する意味において、発想の転換を図り、植物の根の構造とその有効性を学ぶことで、新たな構造形式を提案するものである。まず実際の植物の根の構造とその力学的挙動の解明について模型実験とX線CT装置を用いて、荷重変位関係のみならず、土中内部の状況を可視化し定量的な考察を行った。またその成果を下に、植物の根の構造に学ぶ新たな基礎形状をモデル化し、そのモデルによる引抜き試験を実施することで、工学的見地での力学的挙動の解明を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実際の植物の根が地中において地上の部分をしっかり支えていることは自明である。この挙動に学ぶ新たな基礎形式の開発については、これまで全く実施されていない。また構造的にも植物の根の構造は複雑であり、これを解明することは学術的に大変意義あることであると考えられる。またこれまで比較的決められた規格と形状での基礎構造物であるが、この現実を大きく飛躍的に変える可能性があるという意味ではその社会的意義は大きいと言える。

研究成果の概要（英文）：In this study, a new type of foundation structure is proposed based on the lesson learned from the behavior of real plant roots. This is totally the change of viewpoint from the current situation on the construction activities and the results from this study promises the new development of foundation structures in the field of civil engineering.

First step of this study is precise understanding of the behavior of the real plant roots in the soils. A series of model loading test was conducted to understand the mechanical behavior and in addition to this, an X-ray CT scanner was newly used to visualize the behavior in the soil. The second step is the modeling of this real root behavior. Here, a new foundation model learned from the real plant root was developed and the same model loading test with the first step was conducted. After the comparisons with the real root plants, the new type of foundation structure was proposed.

研究分野：土木工学およびその関連分野

キーワード：新たな基礎構造物 植物の根 引張り試験 X線CT 土と構造物の相互作用

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

申請者はこれまで杭基礎について、X線CT装置を連動させることで杭の施工過程や載荷時の地盤内挙動について解明している。また、これまでの円筒形を主とする杭基礎から、その形状を変化させた杭基礎が開発されつつある。杭先端に羽を付けた杭形式やスパイラル形状の提案もその一例であり、施工性や支持力の高度化を目指してこれまでの円筒形にとらわれない種々の基礎形状の議論が進められている現状にある。

一方、地盤を支えるという意味では最も興味深い分野が植物である。植物は大地に根ざしており、しっかりした根に支えられている。荷重レベルは異なるが、人力で引き抜いてもかなりの抵抗を示すことはよく知られている。発想の転換として、もしこの植物の根の構造を十分に反映した基礎構造物が提案されれば、全く新たな分野を開拓できると考える。以上のような現状を鑑み、土木構造物の基礎形式において「植物の根に学ぶ基礎形式：プラントルーツ型基礎」への挑戦を試みるものである。

2. 研究の目的

本研究は、申請者が所有するμフォーカスX線CT装置を用いて、実際の植物の根の構造について解明する。ここでは、まず実際の植物を対象として、特にアンカー的適用を対象とした引抜き荷重を作用させた場合の土中内部の根の挙動について解明する。またこの結果を踏まえて、形状と剛性を変化させた人工のプラントルーツ型基礎を提案し、これを構造物の基礎形式としてアンカータイプの引抜きに対してどのような挙動を示すかについて検討する。最終的には「植物の根に学ぶ基礎形式：プラントルーツ型基礎」の提案を目指すものである。

3. 研究の方法

(1) 対象とした植物の根系

本研究では天然の植物の根系であるイチヨウの若木を対象とした。図-1に根系サンプルの全体像(3DCT画像)を示す。この根系は、直線に近い形状をした主根部、地下60mmの深さに偏在する上部側根、および地下150mmの深さに偏在する下部側根という3点の構造的な特徴を有している。今回の実験では、この3点の構造的な特徴に注目して引抜き試験を行った。また計測された引抜き抵抗値(N)と、熊本大学のμフォーカスX線CTスキャナ装置を用いて撮影した地盤内部の様子から、引抜き特性の評価を行った。今回の引き抜き試験では、同一の根系サンプルを用いて、根系の構造が引抜き抵抗力に与える影響と、引抜きに伴う根系の挙動について解明した。

(2) 植物の根系を対象とした実験概要

引抜き試験に用いた装置を図-2(a)に示す。今回の実験では、高さが430mm、内径が140mmであり、X線を透過しやすいアルミニウム製の容器を使用した。また引抜き装置に取り付けたボルトにより、鉛直方向へ引抜きを行った。その際、ポールジョイントにより、根系に回転は伝わらないよう

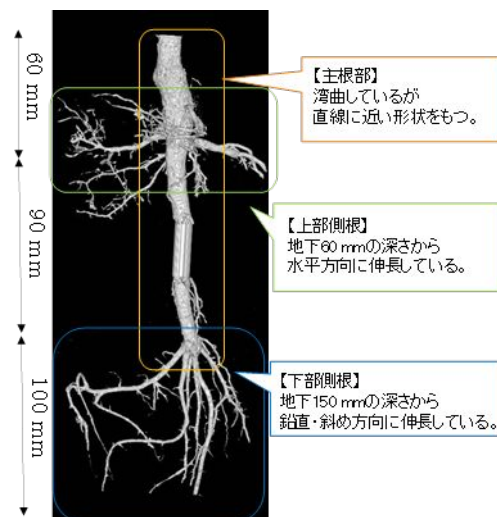


図-1 実験に用いた根系サンプル

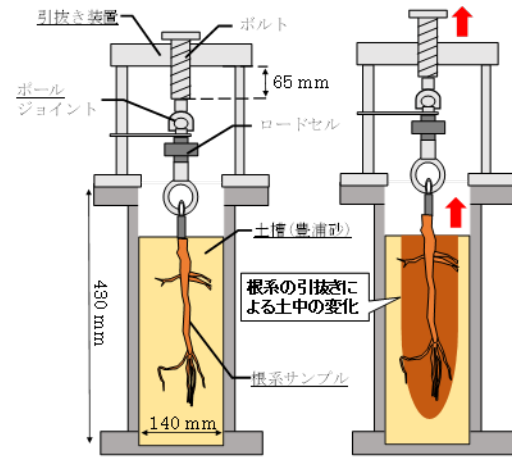
にしている。また土槽の条件を単純にするため、粒径が均一な豊浦砂を使用した。この土槽は作成の際、モールド容器の中央に根系を吊るし、一度に豊浦砂を入れて、根系を埋め戻すことで、豊浦砂の深さにおける密度の変化を極力減らした。その後、根系の側根の間に豊浦砂を詰めるため、振動装置を用い、土槽に振動を 15 秒間与えた。更に地盤密度を高めるために、容器を 4 方向からハンマーで 100 回ずつ叩いた。以上の方法により、土槽の相対密度を 81.5% となるように作製した。また試験では段階的に根系の部位を切断し、その影響を比較した。その際、図-2(a)に示すロードセルを用いて、根系の引抜き抵抗力(N)を計測した。また、熊本大学のμフォーカス X 線 CT スキャナ装置を用いて、図-2(b)に示す様に、根系の引抜きに伴う土中の変化を観察した。以上の 2 点から、本研究の引抜き試験における、根系の構造がもたらす影響について考察した。

4. 研究成果

(1) 植物の根系を対象とした引抜き抵抗の評価

根系サンプルを用いた引抜き試験の結果として、計測された抵抗値(N)と、引抜きによる変位(mm)

の関係を図-3 に示す。試験は図-4 に示す様に、Case1:切断部位なし、Case2:上部側根を切断した状態、および Case3:上部側根と下部側根を切断した状態の 3 ケースで行い、切断の前後で計測された引抜き抵抗値(N)の変化について考察した。上部側根は根系の地下 60 mm において、水平方向に伸長した側根群を示す。図-3 の Case1 と Case2 の比較では、上部側根がもたらす影響は、引抜き変位量 7.0 mm 以前では 20~30 N の引抜き抵抗として表れ、引抜き変位量 7.0 mm 以降では抵抗値の増減として現れている。これより、上部側根は引抜きの初期段階より微小な抵抗を発揮し、変位の増加につれて、抵抗における影響も増加すると考えられる。下部側根は根系の地下 150 mm において、鉛直・斜め方向に伸長した側根群を示す。図-3 の Case2 と Case3 の比較より、下部側根が根系の抵抗力の大半を発生させており、主根単体では大きな抵抗力を発揮できないと考えられる。



(a)実験装置の構成 (b)引抜きに伴う土中の変化
図-2 実験装置の概要

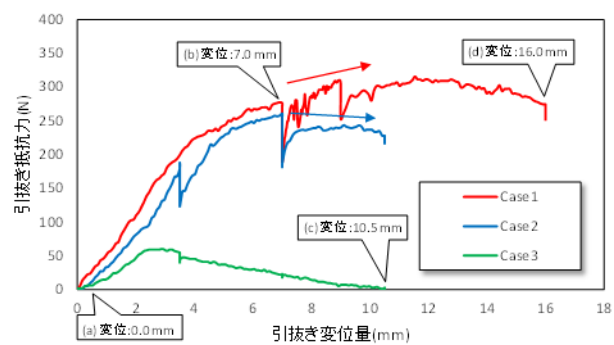


図-3 Case1~3の引き抜き抵抗と変位の関係

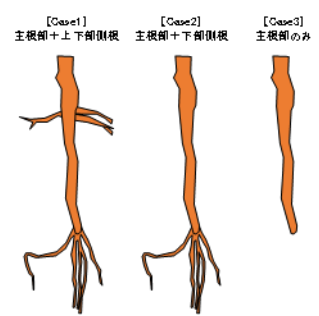


図-4 Case1~3の根系の形状

(2) 植物の根系の場合の
地盤内状況

本研究では、引抜き試験を行う過程で熊本大学のμフォーカス X 線 CT スキャナ装置を用い、引抜きにより土中に発生した、豊浦砂の密度変化の様子を非破壊で観察した。図-5 は、切断部位が無い Case1 の上部側根周辺の様子である。図-5 の主根周辺では、図-3 に示す(b)変位:7.0 mm の段階から密度変化が発生しているが、側根周辺では

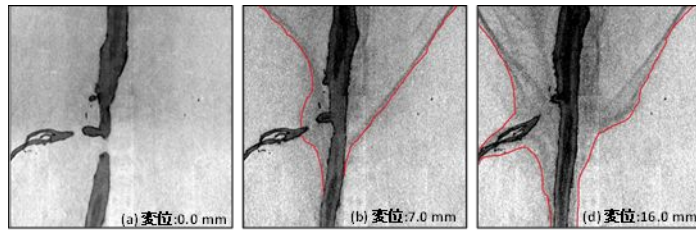


図-5 Case1の上部側根周辺の密度変化の過程
(赤線部が密度変化領域)

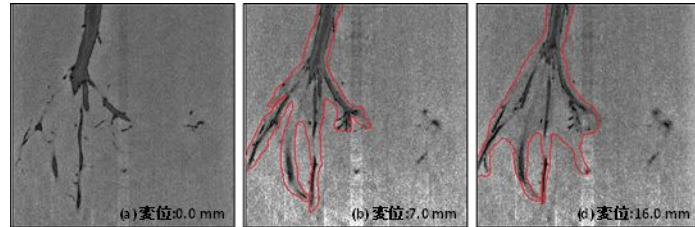


図-6 Case1の下部側根周辺の密度変化の過程
(赤線部が密度変化領域)

は密度変化が発生していないことが確認できる。これより、上部側根は主根と比較すると、引抜き量が大きくなった段階で、抵抗力を発揮することが考えられる。図-6 は、切断部位が無い Case1 の下部側根周辺の様子である。図-6 から引抜きに伴い、側根間に密度変化が発生していることが確認できる。これより、下部側根は引抜き抵抗を発揮する際、側根間の砂を掴むような挙動を発生させることが観察された。

(3) 模型杭の引抜き抵抗性の評価

詳細については紙面の関係で省略したが、模型杭の実験についても同様に実施した。まず先端を曲げた形状の模型杭を用いた引抜き試験として、模型杭を図-7 に示す様に先端 50mm を 0°, 20°, 45°, 90° の角度まで曲げた模型杭について実験を実施した。ここでは地表から杭先端までの鉛直距離が 200mm になるように土槽に埋め、最大引抜き変位量を 20.0mm として引抜き試験を行った。測定された引抜き抵抗力(kN)と引抜き量(mm)の関係を図-8 に示す。0° と 20° の抵抗力を比較すると、模型杭が発揮した引抜き抵抗力は約 2 倍に増大しており、同様に 45° と 90° の結果も比較すると、こちらも約 2 倍に増大していることが分かる。これらの結果から、先端を曲げた模型杭の角度を変化させると、角度の増加に比例して発揮する引抜き抵抗力も増加することが分かる。よって植物根系の様に先端を

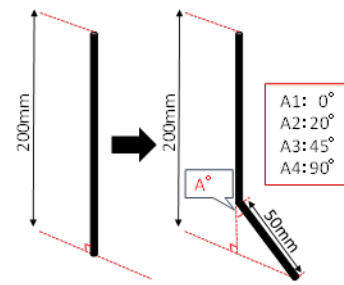


図-7 先端を曲げた模型杭

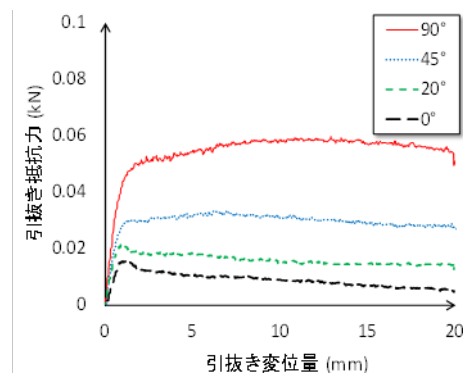


図-8 先端を曲げた模型杭の抵抗力-変位関係

曲げた構造は、その曲げ角度の大きさに比例した引抜き抵抗性を発揮すると考えられる。

(4) 先端を4本に分岐させた模型杭の引抜き抵抗性の評価

次に模型杭の先端から 50mm の部位に更に新たな銅線を接合し、図-9 に示す様に先端を4本に分岐した形状の模型杭を用いて引抜き試験を行った。また前節と同様に模型杭先端の曲げ角度は 20°、45°、90°とした。測定された引抜き抵抗力(kN)と引抜き量(mm)の関係を図-10 に示す。別途実施した先端が2本の場合の引抜き抵抗力と比較すると、先端の分岐した数が増えた方が全体的に大きな引抜き抵抗力を発揮しており、特に 90° の場合には倍以上の抵抗力を発揮することが分かる。この結果から、前節と同様に模型杭は杭先端の曲げ角度、及び先端の分岐した数に応じた引抜き抵抗性を発揮すると考えられる。

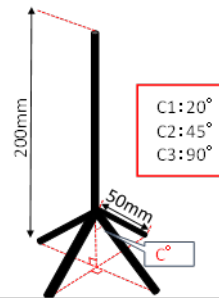


図-9 先端を4本に分岐した模型杭

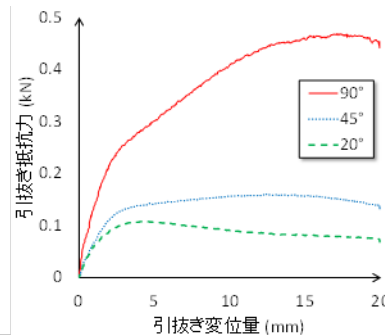


図-10 先端を4本に分岐した模型杭

(5) まとめ

本研究では根系の構造に注目し、引抜き荷重を受けた際に、各部位がもたらす影響について検討した。根系サンプルの主根は、主根単体では大きな抵抗力を発揮できず、周辺地盤に発生する密度変化も微々たるものであることが確認された。また根系サンプルの上部側根は、引抜きの初期段階から微小な抵抗力を発揮し、引抜き変位量が大きくなるにつれて引抜き抵抗力における影響が大きくなることが確認された。また下部側根は、根系サンプルを構成する部位の中で最も大きな抵抗力を発揮しており、引抜きに伴い、側根の間に存在する豊浦砂を掴むような挙動が確認された。

また植物根系を模擬した模型杭については、曲げ・分岐した構造を持つ模型杭の引抜き抵抗特性の解明を試みた。模型杭は先端の曲げ角度に比例した引抜き抵抗力を発揮し、また模型杭先端の分岐に比例した引抜き抵抗力を発揮した。加えて軸・先端部分の周面摩擦を強化した結果、引抜き抵抗の発揮には軸部分より先端部分の方が重要であることが考察されたため、今後は引抜きが地盤内へもたらす影響について植物の根と同様に、X線CTによる非破壊的な撮影を用いて明らかにする。また現段階では模型杭の剛性を考慮していないため、今後の研究において検討していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

岩下光太郎、大谷 順、佐藤宇紘、Bertoni Serena, Bastien Chevalier、植物の根系構造に学ぶ新たな基礎構造物の開発、第53回地盤工学研究発表会、地盤工学会、高松市、

pp.1363-1364、2018

岩下幸太郎、大谷 順、佐藤宇紘、Dong Thomas, Jordan Peiny、植物の根系構造をモデル化した杭基礎の引抜き特性、第 54 回地盤工学研究発表会、地盤工学会、大宮市、2019 (7 月発表予定)

〔図書〕(計 3 件)

Serena Bertoni, Development of a new systems of anchorages learned from plants roots structures using X-ray CT computed tomography, Master Thesis at Polytech Clermont Ferrand, France, 2017.

岩下光太郎、植物の根系構造に学ぶ新たな基礎構造物の開発に関する研究、平成 29 年度熊本大学工学部社会環境工学科卒業論文、2018 .

Thomas Dong, Development of a new system of anchorage learned from plant root structures using X-ray Computed Tomography, Master Thesis at Polytech Clermont Ferrand, France, 2018.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等：特になし

6 . 研究組織

研究代表者のみであるが、フランスのグルノーブルアルプ大学およびクレルモンオーベルニュ大学との共同研究として実施しており、その関係で、クレルモンオーベルニュ大学より毎年学生を受け入れた。