

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：53401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420489

研究課題名(和文)丸太に特殊機能を付加した液状化対策技術の高度化に関する研究

研究課題名(英文) Study on improvement of log piling method for liquefaction mitigation by adding special functions

研究代表者

吉田 雅穂 (Yoshida, Masaho)

福井工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：90210723

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：丸太を地盤に打設し密度を増大させる液状化対策工法は、レベル1地震動を越える外力の場合は部分的な液状化を許容しているため、同工法の耐震性能を高めるには新たな機能を付加する必要がある。そこで、同工法に間隙水圧消散の機能を付加するため、丸太の幹軸および幹軸直交方向に孔を開け、孔の中に植物由来の目詰まり防止フィルターを取り付けた排水機能付き丸太を考案し、透水試験と振動台実験でその有効性を検討した。その結果、同丸太の透水係数は間隙水圧消散を原理としたグラベルドレーン工法と同等であり、液状化時の過剰間隙水圧を早期に消散することを確認した。また、小規模構造物の沈下抑制にも有効であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Although a countermeasure against liquefaction using logs is aiming at increasing the density of loose sandy ground, it allows that some layers partially liquefy against Level 2 earthquake ground motions. The log with drainage function based on a water pressure dissipation method was proposed by opening holes in a core and on the surface of the log. The principle of the method is to dissipate water pressure when an excess pore water pressure increases by Level 2 earthquake ground motions. Permeability tests and small scale shaking table tests were conducted to evaluate the effectiveness of the piling log with drainage function. As a result, the log with drainage could reduce the rate of accumulation of excess pore water pressure and increase the velocity of its dissipation by its high permeability. Furthermore, the settlement of lightweight structure could be mitigated because the effect of log with drainage improved liquefaction resistance.

研究分野：地震工学

キーワード：地震 液状化 木材 間隙水圧消散

1. 研究開始当初の背景

日本の森林面積は国土の約 66% を占めているが、そのうち約 41% が昭和 20 年代以降に造成されたスギやヒノキを中心とする人工林であり、現在では 50 年生以上の高齢級の人工林が約半分に達し、全国各地で伐採時期を迎えた森林が急増している。森林が環境保全に果たす役割は、地球温暖化の緩和、土砂災害の防止、水源の涵養、生物多様性の保存など多岐にわたるが、それらの重要な役割は、伐採 植林 育成 伐採というサイクルにより森林が適切に保全されてこそ発揮されるものである。したがって、樹木伐採後の木材の利用拡大を図ることが、現在の我が国の重要な課題となっている。

このような背景の基、本研究応募者らは平成 18 年度より、木材の用途拡大を目的として、間伐した丸太を土木事業で利用するための研究に着手している。具体的には、地震時に液状化の可能性がある砂地盤や、軟弱な粘性土地盤を対象として、丸太を打設することにより地盤を補強する技術を開発することである。これまでの研究によって、地下水位変動域以深に埋設された木杭が、長期間(数 100 年以上)、樹種に関係なく(マツやスギ)腐朽せず健全であったことが明らかとなっている。このことは、地下水位の高い地盤を対象となる液状化対策や軟弱地盤対策には非常に都合の良い条件といえる。

また、これまでの室内模型実験や現場施工実験の成果を基に、平成 25 年 3 月には千葉県浦安市の戸建住宅の液状化対策として、スギの間伐丸太を用いた地盤補強の試験施工を行った。また、平成 25 年 9 月には福井県福井市の県道の軟弱粘性土地盤対策として、スギの間伐丸太を用いた地盤補強の試験施工を行った。

以上のように、木材を用いた地盤補強技術はその実用化に向けて着実に研究が進められているが、レベル 2 地震動への対応や施工時間の短縮等の課題が残されている。

2. 研究の目的

丸太を用いた液状化対策工法は丸太を軟弱地盤に打設することで密度増大を図る工法である。しかし、本工法はレベル 1 地震動を越える地震外力が作用した場合は部分的に液状化することを許容しているため、同工法の耐震性能を高めるためには新たな機能を付加した工法の高度化が必要である。そこで、同工法に間隙水圧消散の効果を付加するため、丸太の幹軸方向と幹軸直交方向に孔を開け、孔の中に植物由来の目詰まり防止フィルターを取り付けた排水機能付き丸太を考案し、室内実験や現場実験でその有効性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 排水機能付き丸太を用いた液状化対策
東日本大震災以降、従来の液状化対策工法の改良等が精力的になされている。しかし、地震動継続時間が長い場合や、レベル 2 地震動の大きな加速度レベルの場合では、従来の方法では十分な対策効果が得られないことが明らかとなっており、既存工法の併用案などが提案されている。

当研究組織が行った模型振動実験によれば、丸太を打設した地盤内で発生した過剰間隙水圧の消散速度は無対策地盤と比べて速くなる結果が得られている。この理由として、発生した水圧が丸太周面に沿って地表面方向に消散することを明らかにしている。この結果をヒントに考案したのが「排水機能付き丸太」である。丸太は木材であるため加工が容易である点を活かし、丸太の樹幹軸の中心とそれに直交する側面に穴を開け、その孔の中に椰子の実の外皮繊維を埋め込んで排水機能を付加したものである。本研究では、穴の大きさを換えた丸太を用いて、透水係数や目詰まり度を明らかにする室内模型実験を実施する。さらに、戸建住宅の液状化対策として排水機能付き丸太を用いた場合の、過剰間隙水圧の消散効果と住宅の沈下抑制効果を模型振動実験により明らかにする。

(2) 排水機能付き丸太の鉛直支持力

本研究で提案する丸太は、その外周面に孔を空けたり、溝を掘ることで地盤の透水性能を高めることを目的としている。一方、その加工によって地盤との接触面積が減少することで支持力が低下する懸念が存在する。そこで、丸太周面積の減少による支持力低下の影響を実地盤における押し込み試験で明らかにする。

(3) 丸太のねじり強度

現在、実地盤において丸太を打設する際、地層に堅固な層が介在する機会が多いため、鋼管で無排土先行掘削した後に丸太を無回転で圧入する方法が採用されている。この施工方法では先行掘削の工程が加わるため、先行掘削せずに丸太を回転圧入することで施工時間の短縮が図られる。そこで、丸太に炭素繊維等の補強シートを巻き付けて回転圧入に必要なねじり強度を向上させる方法の有効性を模型実験により明らかにする。

4. 研究成果

(1) 排水機能付き丸太の透水性能

模型振動実験に用いる実物の丸太の 10 分の 1 縮尺の丸太模型を用いて透水試験を実施した。丸太の幹軸方向と幹軸直交方向に孔を開け、直交方向の孔の大きさをパラメータとした試験の結果、排水面積の増加に伴い透水係数が大きくなり、それは動水勾配の増加に伴い低下することを明らかにした。また、そ

の透水係数は間隙水圧消散を原理とした液状化対策であるグラベルドレーン工法で用いられている砕石と同等であり、人工ドレーン材の10分の1程度であった。

つぎに、実物の丸太の幹軸方向と幹軸直交方向に孔を開けた実丸太の透水試験を実施した。その結果、排水面積率が同一の条件では丸太模型の約2倍の透水係数であった。また、同孔に詰まり防止のためのフィルター材を取り付けた排水機能付き丸太を用いて透水試験を実施した。その結果、フィルター材による透水係数の低下は僅かであり、その性能は間隙水圧消散工法の1であるグラベルドレーン工法で用いられている砕石より高い透水性を有することを明らかにした(図1)。

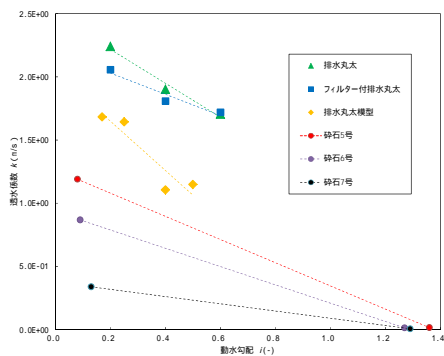


図1 透水試験の結果

(2) 排水機能付き丸太を用いた液状化対策

戸建住宅の液状化対策を目的とし、新設を模擬して住宅の直下に丸太を打設する場合と、既設を模擬して住宅の周囲に打設する2種類を対象として、実物の丸太の10分の1縮尺の丸太模型を用いて、排水機能付きの丸太と通常の丸太の効果と比較する模型振動実験を行った。その結果、直下ならびに周囲打設のいずれの場合においても、排水丸太を打設することで住宅直下地盤における過剰間隙水圧の早期消散効果が得られ、住宅の沈下が軽減されることが明らかとなった。

また、実物の丸太の幹軸方向と幹軸直交方向に孔を開け、同孔に詰まり防止のためのフィルター材を取り付けた排水機能付き丸太を打設した地盤に、レベル2地震動に相当する入力を与えた模型振動実験を実施した。その結果、排水機能付き丸太を打設した周辺地盤では液状化後の過剰間隙水圧が早期に消散することを明らかにし、フィルター材が丸太の孔の目詰まりを防止する効果も確認できた(図2)。

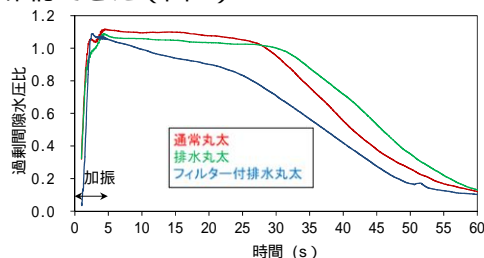


図2 模型振動実験の結果

(3) 排水機能付き丸太の鉛直支持力

秋田県八郎潟干拓地にある水平成層ではば均質と考えられる軟弱な粘性土地盤において、通常丸太と排水機能付き丸太を用いて地盤工学会の杭の押し込み試験法に準拠した鉛直支持力の比較検討実験を行った。この場合の排水機能付き丸太は丸太の外周面に溝を掘り荒縄を埋め込んだ仕様である。実験の結果、排水機能付き丸太は溝の分だけ周面積が減少するが、両者には鉛直支持力および丸太内部の荷重に違いは認められず、丸太加工による支持力への影響はないことを明らかにした(図3)。

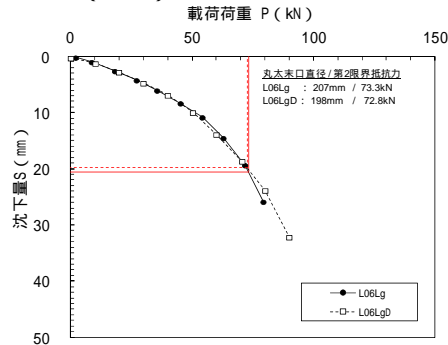


図3 押し込み試験の結果

(4) 丸太のねじり強度

丸太に補強材を螺旋状に巻いてねじり強度を高める方法を検討するため、ポリエチレン製丸棒にポリプロピレン製テープを様々な条件で巻いて強度を調べるねじり試験を行った。その結果、補強面積を増やすことでねじり剛性が大きくなり、せん断応力上昇に伴うねじり剛性の低下が緩和されることが明らかとなった。また、同一面積であれば、太いテープで巻く方が効率的であることを示した(図4)。

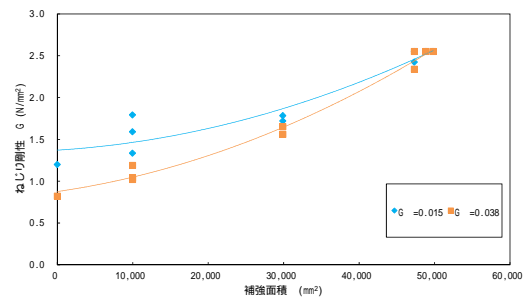


図4 ねじり試験の結果

(5) 熊本地震における住宅の液状化被害

本研究で提案する排水機能付き丸太は住宅等の小規模構造物に対する液状化対策への適用を想定しており、丸太打設による密実化地盤の耐震性能を上回るレベル2地震動が作用した場合に、発生した過剰間隙水圧を早期に消散して構造物の沈下等の被害を軽減することを目的としている。2017年4月に発生した熊本地震の現地調査を行った結果、河川流域および旧河川において液状化に起因

する住宅の傾斜や沈下の被害が多数発生しており、新設ならびに既設住宅の液状化対策の必要性和対策時に留意すべき点を確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Hendra Setiawan, Yuko Serikawa, Mitsuru Nakamura, Masakatsu Miyajima and Masaho Yoshida: Structural damage to houses and buildings induced by liquefaction in the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan: Geoenvironmental Disasters, 査読有, Springer, 4:13, 12p., 2017.4.5.
DOI 10.1186/s40677-017-0077-x

[学会発表](計9件)

吉田雅穂, 松浦透, 沼田淳紀: 排水機能付き丸太の液状化対策効果に関する基礎的実験, 第52回地盤工学研究発表会平成29年度発表講演集, 2017.7.14, 「名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市)」

沼田淳紀, 吉田雅穂, 佐々木修平, 村田拓海, 川崎淳志, 佐々木貴信: 軟弱粘性土中にある丸太の押込み試験の結果, 第52回地盤工学研究発表会平成29年度発表講演集, 2017, 2017.7.14, 「名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市)」

沼田淳紀, 村田拓海, 吉田雅穂, 松下克也, 佐々木修平, 佐々木貴信: 排水機能を付けた丸太の粘性土地盤における鉛直支持力, 第67回日本木材学会大会研究発表要旨集, 2017. 2017.3.17, 「九州大学箱崎キャンパス(福岡県・福岡市)」

芹川由布子, Hendra Setiawan, 中村満, 宮島昌克, 吉田雅穂: 2016年熊本地震における液状化による既設構造物の傾斜被害に関する調査的研究, 土木学会中部支部平成23年度研究発表会講演概要集, 2017.3.3, 「金沢大学(石川県・金沢市)」
Masaho Yoshida, Masakatsu Miyajima, S. Miwa, Atsunori Numata: Study on Liquefaction Countermeasure Technique by Using Logs with Drainage Function for Residential Houses, Proc. of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 7p. 2017.1.9, 「サンチアゴ(チリ)」

芹川由布子, Hendra Setiawan, 中村満, 宮島昌克, 吉田雅穂: 2016年熊本地震による住宅の液状化被害に関する調査的研究, 土木学会第36回地震工学研究発表会概要集, No.A12-986, 5p., 2016.10.17, 「金沢歌劇座(石川県・金沢市)」

吉田雅穂, 五十島康平, 川端祐輝: 排水機能付き丸太を用いた液状化対策に関する模型振動実験, 第51回地盤工学研究発表会平成28年度発表講演集, pp.1811-1812, 2016.9.13, 「岡山大学(岡山県・岡山市)」

Masaho Yoshida, Kohei Isoshima, Yuki Kawabata: Study on countermeasure against liquefaction by piling logs with drainage function, Abstract of the 14th International Symposium on Geo-disaster Reduction, 1-4, 1p., 2016.9.12, 「成都(中国)」

五十島康平, 吉田雅穂: 排水機能付き丸太を用いた液状化対策に関する基礎的検討, 第50回地盤工学研究発表会平成27年度発表講演集, pp.1815-1816, 2015.9.1, 「北海道科学大学(北海道・札幌市)」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 雅穂 (YOSHIDA, Masaho)
福井工業高等専門学校・
環境都市工学科・教授
研究者番号: 90210723

(2) 研究分担者

宮島 昌克 (MIYAJIMA, Masakatsu)
金沢大学・環境デザイン学系・教授
研究者番号: 70143881

(3) 研究分担者

沼田 淳紀 (NUMATA, Atsunori)
飛鳥建設株式会社・技術研究所・
主席研究員
研究者番号: 10443649