【084】

3 本継スギ丸太杭の打設時の傾き計測

株式会社田中地質コンサルタント　○藤田 有二、梅田 幸成、本谷 崚
福井県工業技術センター　久保 光

1. はじめに

軟弱地盤上の盛土に対し、その沈下・すべり対策として打設する丸太杭の打設中の地中の傾きを計測した事例を報告する(図-1)。

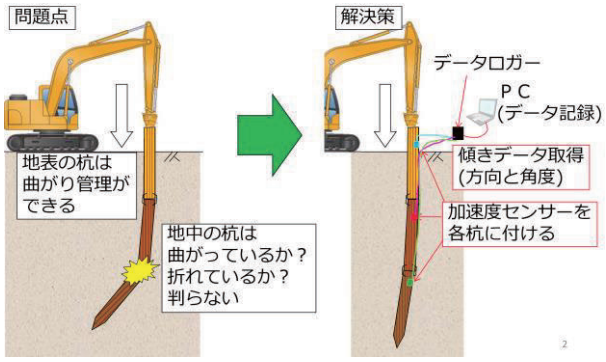

図-1 丸太杭の計測イメージ

(1) 概要

福井県小浜市内の江古川の内水被害対策に築造される輪中堤の軟弱地盤対策として丸太杭を用いたパイルネット工法[1)]が選定された。

当事案の設計では丸太杭は1セット当たり12m 必要である。福井県内で長い丸太杭(6m、2本で1セット)を必要分調達することが困難であったため、短期間に調達可能な丸太杭4m(φ18cm)を3本継いで打設する計画とした。

継手部分は、ズレ止め鉄筋(異形鉄筋φ22mm、L=500mm)を挿入し、カスガイ3本(丸鋼φ13mm、L=240mm)にて各杭間を固定した。

文献[2)]では、長さ8m の丸太杭を打設するにあたり、長さ8m の丸太杭と長さ4m の丸太杭を継杭として利用した場合の比較実験を行って極限支持力や沈下量等について検討しているが、丸太杭を3本継いでの検討は行われていない。また、打設中における丸太杭の地中での傾きに関する検討も行われていない。

(2) 地盤状況

調査ボーリングの結果、当該地の土質構成は主に軟弱な2層に区分され、N 値0～2の軟弱地盤がほぼ水平に堆積している。第1層(Ac1)は、耕作土～砂混じり粘土、シルトで本層内に地下水が停滞する。第2層(Ac2)は、貝殻混じりの海成粘土であり、砂分は少ない。Ac1、Ac2を合わせた層厚は最大16m である。

2. 計測方法

(1) 機材

使用機材は全て汎用品を用い、安価かつ手軽に計測することを目標とした。使用機材一式を図-2に示す。

傾斜を測るセンサーとして、加速度センサー(Freescale 社製・MMA7361L；検出範囲±1.5G)を用いた。加速度センサーの X・Y の2軸を使用し、傾きと方向を計測した。

データロガーとして、マイコンボード Arduino UNO Rev3を使用し、PC に経時変化データを保存した。PC は計測系の電源も兼ねている。

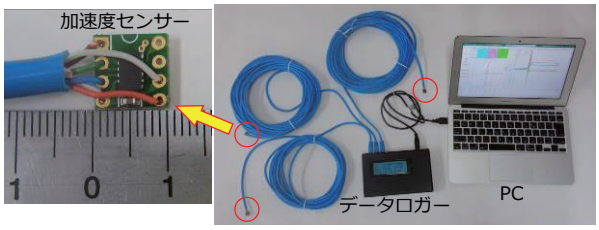

図-2 使用機材

なお、加速度センサーは地下水位以下に埋設されるため、防水加工とし、油圧ブレーカーによる打設を想定して、振動対策を施した。

(2) 手順

丸太杭の打設中の計測は以下の手順で行った。

①打設するための重機に下杭を鉛直方向にセットし、その時点を下杭の傾きゼロとする。
②下杭を打設する。
③下杭と中杭をカスガイで接合する。中杭を鉛直にセットし、この時点を中杭の傾きゼロとする。
④中杭を打設する。
⑤中杭と上杭をカスガイで接合する。上杭を鉛直にセットし、この時点を上杭の傾きゼロとする。
⑥上杭を打設する。

3. 測定結果

測定は土堤延長568m(丸太杭打設2248箇所)のうち、A・B・C の3地点で行った。全地点で、杭の傾き方向は3本とも同様であったため、ここでは、X 軸・Y 軸の合成変位を示す。図-3～図-5は、以下を示す。

左:打設深さと各杭の傾きを水平方向のずれに換算した。打設深さは経時変化データを変換したため、推定が含まれる。

右：各杭打設後における変位を示す。

(1) A 地点

油圧圧入により打設した。打設の進行と共に傾きが増した。下杭の変位は、GL-4m 時点で19cm(2.9°)、GL-8m で26cm(3.9°)、GL-12m で32cm(4.8°)であり、上杭・下杭間の変位の合計は最終的に77cm であった。

また、打設後の結果は、下の杭ほど傾きが大きい(上杭2.9°、中杭4.1°、下杭4.8°)。このことは、非直線的に杭が打設されたことを示す。

(2) B 地点

油圧による圧入とブレーカーの打撃により打設した。ブレーカー打撃中、中杭のセンサーが計測不能になった。中杭は地中に入ってからは下杭と同様の挙動を示していたため、以降は下杭の挙動と同じと推定した。

A・C 地点との相違として、地中での変位の減少が見られた(上杭打設中に下杭の変位は一時的に減少した)。上杭・下杭間の変位の合計は最終的には44cm であり、3地点の中では、最も鉛直に近く打設された。

(3) C 地点

油圧圧入により打設した。結果は A 地点と類似しており、打設の進行と共に傾きが増し、非直線的に杭が打設された。最終的な上杭・下杭間の変位は68cm であった。

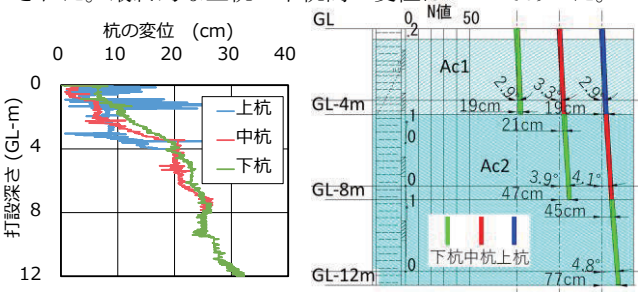

図-3 A 地点・計測結果

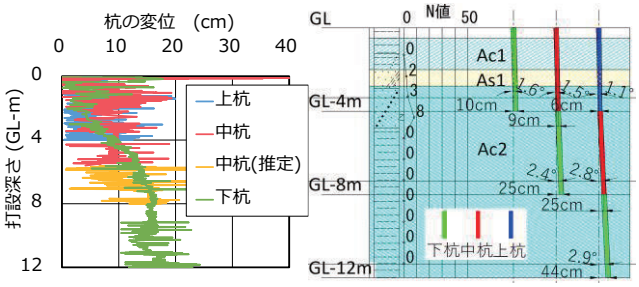

図-4 B 地点・計測結果

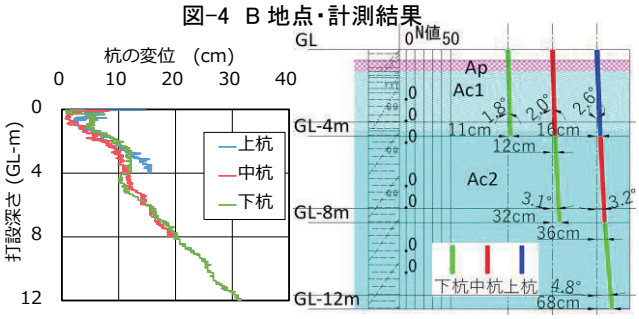

図-5 C 地点・計測結果

4. 考察

(1) 杭の載荷試験の結果との比較

同現場にて、杭の鉛直載荷試験を3箇所で実施した[3)]。

このうち C 地点では、傾き計測と同一の杭で実施した。

試験の結果、3箇所とも極限支持力は、144kN 以上であり設計許容支持力(120.0～137.3kN)より大きかった。したがって、杭は傾いて打設されているが、支持力的には問題ないと考えられる。

(2) 傾きが生じた原因

杭の傾きの傾向は、下杭がまず傾いて打設され、中杭・上杭も地表では鉛直に設定しても、打設中に先行した杭と同様に傾き、最終的に3本の杭が傾いたと考えられる。

傾きが生じる原因として、以下が考えられる。

・先端の尖り加工(三角錐状)

・丸太杭の非直線性(きれいな円柱ではない)

また、図-3～図-5に見られたように、下杭の変位が最も大きく、次いで中杭となる。このことは、地中での変位の進行により、杭は非直線的に打設されたことを示し、カスガイの変形や丸太杭自体の曲がりが発生した可能性がある。

5. 今後の課題

(1) センサーの信頼性

当システムは、盛土施工時～施工後の側方流動やすべりの計測にも、利用可能な原理である。実際に、丸太杭打設の1ヶ月後に A 地点のセンサーは計測可能であった。

しかし、当計測システムは、丸太杭打設中の1時間程度の計測に特化して製作しており、長期的な計測の信頼性や耐久性は考慮していない。今後、地中に埋め込んだセンサーの長期的な信頼性および耐久性を検証する必要がある。

(2) センサーの耐衝撃性能

B 地点ではブレーカーの打撃により、中杭の挙動が計測不能になった。耐衝撃加工が不十分であったため、センサー周りのショック吸収性能を向上する必要がある。

(3) 傾き・曲がりと許容支持力の低下

継ぎ丸太杭の打設時に生じる、傾斜による支持力への影響を、鉛直載荷試験により評価する必要がある。具体的な目標としては、傾斜なしの部材と同等以上もしくは設計許容鉛直支持力であろう。

6. 今後の展望

(1) センサー技術の土木分野への応用

センサーを用いた計測システムを、予算や仕様に応じて使い勝手よく自作し、用途を広げることができる。

(2) 木材利用の観点から

丸太杭の打設において、傾きや曲がりを許容できる評価が得られれば、木材利用が促進されると考える。

環境を考慮した土木技術として、木材利用の拡大は課題である。丸太杭を用いた安価で信頼性の高い軟弱地盤対策工法が普及し、木材の大幅な利用拡大が進むことを期待する。

本研究を行うにあたり、福井県嶺南振興局小浜土木事務所および福井県木材利用研究会の皆様に御指導、御助言をいただきました。心より感謝の意を表します。

《引用・参考文献》

1) 公益財団法人佐賀県建設技術支援機構:水路用ボックスカルバートの木杭－底盤系基礎～設計マニュアル(令和元年度改訂版)～, 2020.1

2) 北海道開発局石狩川開発建設部:パイルネット工法, 1977

3) 久保ほか:「3本継スギ丸太杭の鉛直載荷試験結果」, 令和3年度(2021年度)土木学会全国大会, 2021.9(印刷中)