

第Ⅲ部門

一面せん断試験と表面観察による地中における CLT のせん断特性の評価

福井工業高等専門学校専攻科 学生員 ○田中 こころ
 福井工業高等専門学校 正会員 吉田 雅穂

1. はじめに

土木分野におけるカーボンニュートラルへの貢献を目的として、本研究では建築材料として利用されている CLT (Cross Laminated Timber) を軟弱地盤対策に利用する技術開発に着目した。CLT はラミナの繊維方向が直交するように積層接着した木質系材料であり、品質のばらつきが少なく、木材特有の異方性の影響を軽減できる長所がある。本研究で対象とする CLT を用いた対策は、板状の CLT を地盤中に水平または鉛直に設置することで地盤を補強することを目指している。図-1 に 2021 年 11 月に秋田県大潟村で行われた、CLT を用いた盛土の地盤補強の現場実験を示す。この地盤の安定性を評価するためには、地中にある CLT のせん断特性（粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ ）の評価が必要となる。

そこで本研究では、乾燥した砂地盤中にある CLT を模擬した一面せん断試験を実施し、その表面状態が地盤のせん断強度に与える影響を比較検討した。表面状態は、絶乾状態の CLT（乾燥 CLT）を基本ケースとし、飽和化させて表面を湿潤状態とした CLT（飽和 CLT）、インサイジング加工を模擬して表面に切り込みを入れた CLT（インサイジング CLT）の計 3 種類とした。また、乾燥 CLT と飽和 CLT の表面を電子顕微鏡で観察し、水分が木材の表面状態に与える影響を調べた。

2. 一面せん断試験

本研究では図-2 に示す装置を用いて JGS 0561 に基づいた定圧一面せん断試験を行った。せん断箱は直径 100mm、高さ 50mm であり、上層の可動箱内には乾燥した豊浦標準砂（密度 2.655g/cm^3 、平均粒径 0.170mm 、最大間隙比 0.931 、最小間隙比 0.600 ）で作製した相対密度約 70%の地盤模型を、下層の固定箱内には CLT を模擬した直径 99mm、厚さ 25mm の円盤状のスギを設置した。この時、せん断面は固定箱の木材上面に合わせ、木材の繊維方向をせん断方向に一致させた。せん断変位速度は約 0.2mm/min とし、30 秒毎に可動箱に与えたせん断変位を変位計、せん断力を荷重計、垂直変位を変位計で測定した。CLT の平均含水率は乾燥 2.8%、飽和 112.3%、インサイジング 7.1%であった。また比較対象として、乾燥した豊浦標準砂のみの試験も行った。圧密応力は地盤補強で CLT を設置する場合の深さ（G.L.-1~4m）での応力を考慮し、 20kN/m^2 、 50kN/m^2 、 80kN/m^2 の 3 種類とした。

図-3 に圧密応力とせん断強さの関係、表-1 に各ケースの回帰直線より求めた粘着力および内部摩擦角を示す。ここでせん断強さは、せん断応力にピークがある場合はその値とし、ピークがない場合はせん断変位 3mm でのせん断強さとした。同表より、乾燥 CLT は乾燥砂より粘着力は大きく、内部摩擦角は小さかった。このことから、CLT は砂粒子と異なり変形しないため粘着力は増加するが、乾燥した木材表面では摩擦抵抗が少ないため内部摩擦角が減少すると考えられる。また、飽和 CLT は乾燥



図-1 CLT による地盤補強の現場実験

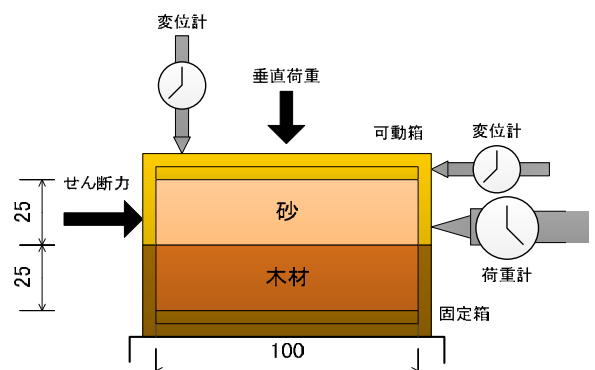


図-2 実験装置の概要

Kokoro TANAKA and Masaho YOSHIDA

a26211kt@fukui-nct.ac.jp

CLT より内部摩擦角が大きい。この原因として、CLT が水を含んで表面状態が変化することにより、摩擦抵抗が増加したことが考えられる。一方、インサイジング CLT は乾燥 CLT より粘着力が大きい。これは、インサイジングによる凹部に砂粒子が混入することで砂と CLT が強く結合するためと考えられる。

盛土の軟弱地盤対策に CLT を利用することを想定し、最も圧密応力の大きい 80kN/m^2 のせん断強さの結果で考察する。乾燥した砂地盤中に乾燥した CLT を設置すると、摩擦力の低下によって強度は低下するが、インサイジング加工をすることで強度は増加する。さらに、CLT が飽和化して木材の表面状態が変化することで、強度は大きく向上する。CLT は木材の腐朽の可能性が低い地下水位以下の地盤中で使用するため、このことは地盤補強に有利に働くといえる。

3. 電子顕微鏡による CLT 表面の観察

CLT が飽和した時の表面状態の変化を調べるために、図-4 に示すように 8mm 四方の測点を 7 箇所設定し、電子顕微鏡（オリンパス（株）、デジタルマイクロスコプ、DSX1000）を用いて、前章で用いた乾燥 CLT と飽和 CLT の表面の高さ分布を計測した。

図-5 と図-6 に乾燥と飽和の高低差が顕著であった測点 2、5、7 の CLT 表面の高さ分布を、カラーマップ（暖色が高い）で示す。カラースケールは各測点で同一としており、測点 2 は $126\mu\text{m} \sim 437\mu\text{m}$ 、測点 5 は $9\mu\text{m} \sim 403\mu\text{m}$ 、測点 7 は $278\mu\text{m} \sim 521\mu\text{m}$ の範囲である。乾燥 CLT の各点の高低差は、測点 2 が $136\mu\text{m}$ 、測点 5 が $210\mu\text{m}$ 、測点 7 が $140\mu\text{m}$ 、飽和 CLT は測点 2 が $274\mu\text{m}$ 、測点 5 が $394\mu\text{m}$ 、測点 7 が $228\mu\text{m}$ であり、いずれも飽和 CLT の方が高低差が大きい結果となり、他の測点においても同様の傾向を示した。同傾向は、木目の部分で特に強調されており、木材が飽和化することで表面の凹凸が大きくなり、このことが前章の飽和 CLT におけるせん断強さの向上に影響したと考えられる。

4. おわりに

本研究の結果より、飽和化して表面が湿潤状態となった CLT は地盤のせん断強度を高める傾向を示したため、CLT 自体の剛性による地盤のせん断強度を高める効果に加えて、土と CLT の接触面で生じる強度増加も期待できることを明らかにした。

謝辞 試験では福井高専専攻科の銅健吾氏と下村成輝氏、元学生の黒田勇氣氏の協力を得た。CLT の現場実験は、（一社）日本 CLT 協会による令和 2 年度 CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業において行われた。ここに記して謝意を表する。

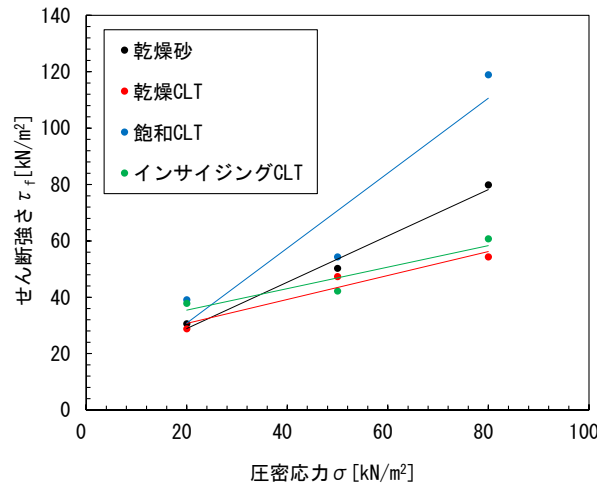


図-3 圧密応力とせん断強さの関係

表-1 各ケースのせん断特性

ケース	粘着力 c [kN/m^2]	内部摩擦角 ϕ [$^\circ$]
乾燥砂	12.5	39.4
乾燥CLT	22.2	23.0
飽和CLT	4.2	53.1
インサイジングCLT	27.8	20.9

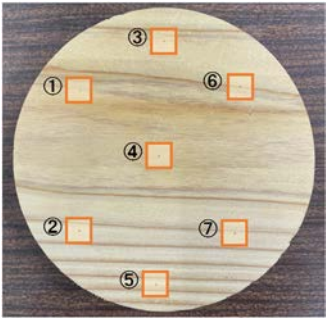


図-4 CLT 表面の測点

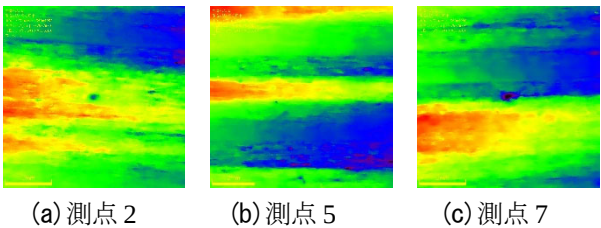


図-5 乾燥 CLT の高さ分布

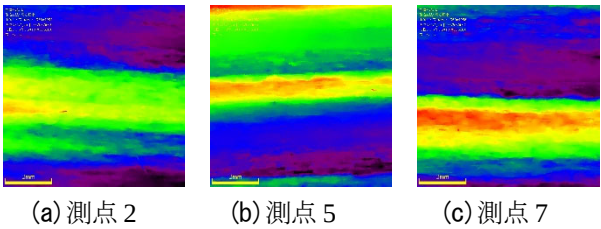


図-6 飽和 CLT の高さ分布