

間隙の違いが丸太打設による地盤の鉛直変位に及ぼす影響

金沢大学 学生会員 平田 慈英
 金沢大学教授 正会員 宮島 昌克
 飛島建設(株) 正会員 村田 拓海
 飛島建設(株) 正会員 沼田 淳紀

1. はじめに

IPCC 第6次報告書では、過去10年間の世界の平均気温は産業革命前よりすでに1.09°C上昇していることが示され温暖化を含む気候変動は喫緊の課題である。また2011年東北地方太平洋沖地震では、千葉県南房総市から青森県おいらせ町の広い範囲で液状化が発生し、震央距離380kmの千葉県浦安市などの遠方における被害も甚大であった。この液状化により、住宅など多くの構造物が沈下や傾斜といった被害を受けた。今後、大地震発生の可能性が高まっており地震減災対策も重要課題となっている。

これらを同時に解決する具体策として開発された丸太を用いた液状化対策工法¹⁾(以下、LP-LiC工法)は、地盤中に丸太を打設することで地盤を締め固めて密度増大を図るものであり、地下水位以深の地盤中に打設された丸太は生物劣化が生じないため、液状化対策を行うと同時に半永久的に地中に炭素を貯蔵²⁾できる。現在のLP-LiC工法の設計は、対策原理が同じであるサンドコンパクションパイル工法(以下、SCP工法)における方法³⁾の設計チャートを用いている。この設計チャートは施工時の地盤の盛り上がりが含まれたものと考えられるがLP-LiC工法は過去の実績においては、施工による地盤の盛り上がりはほとんど確認されていない。このことから、LP-LiC工法とSCP工法では、施工時の地盤の鉛直変位の特性が異なると考えられ、現在の設計法は過剰設計となっている可能性があり、合理化する必要がある。これを確認する目的で行われた模型実験⁴⁾では、丸太模型と実験に使用する土の粒径の幾何学的相似性をできるだけ満足させるために、粒径が小さく、かつ、非塑性なシルトが用いられ、丸太打設による鉛直方向の体積変化は地盤の初期相対密度と関係があり、初期相対密度が小さい場合は沈下、大きい場合は隆起することが明らかになっている。この模型実験では初期相対密度が丸太打設による地盤の鉛直変位に影響を与えていると結論づけられている。しかしながら、この模型実験では一種類の土試料でしか行われておらず、初期相対密度以外にも要因がある可能性がある。

そこで本研究では、一般的な液状化試験で使用されているような土試料を使用し間隙量が体積変化に影響を与えているかを確認するために模型実験を行った。

2. 実験概要

(1) 実験方法

模型実験の縮尺を1/10とし、土槽は鉄製の剛土槽(幅 $W=600\text{mm}$ ×奥行 $D=600\text{mm}$ ×高さ $H=400\text{mm}$)、丸太模型(以下、丸太)にはスギ(直径 $D_{\text{Log}}=12\text{mm}$ ×長さ $L_{\text{Log}}=300\text{mm}$ 、先端ペンシル状)を用いる。模型地盤(以下、地盤)は、所定の相対密度になるように含水比と投入量、層厚(50mm)を管理しながら突き固めにより作製し、地盤高さが350mmになるように仕上げた。その後、土槽下部の注水口からゆっくり注水し、飽和化のために1日以上養生した。その後、土槽側面2箇所を設置した有孔管により、水位が地表面から50mm下となるように調整した。

地盤の高さ計測後は、丸太を3回に分けて打設し、1回ごとに地盤の高さの計測を行った。1回目の丸太打設は、打設間隔が直径の8倍になるように36本、2回目は打設間隔が直径の4倍になるように85本打設した。3回目は、それまでに打設された丸太間地盤に100本打設し、3回の合計で221本の丸太を地盤に打設した。また、丸太は頭部の位置が初期地盤の平均高さになるまで打設した。表1に実験ケース一覧を示す。No.2, 4のケースについては、地盤が硬く、丸太を打設することが困難であったため3回目の丸太打設を行っていない。

(2) 実験に使用した試料

実験には文献⁴⁾と同じように自然界に存在する土として、十勝港で採集した砂を使用した。表2に竹内シルトと十勝港砂の物理特性を示す。表3に十勝港砂と竹内シルトの初期地盤の余裕間隙比の比較を示す。十勝港砂は非塑性で自然界に存在するという点で竹内シルトと同様であるが、間隙に大きな差があるためこの試料を使用する。

3. 実験結果

図1に初期地盤を基準とした鉛直方向の地盤の体積変化率と初期地盤の余裕間隙比の関係を示す。余裕間隙比は初期地盤の間隙比から最小間隙比を引いた値とした。No.2, 3, 4のケースでは、丸太を打設することで体積が膨張しており、その膨張量は丸太を打設するごとに大きくなることが認められる。一方で、No.1

のケースでは初期地盤から体積が収縮の傾向が見られ、その収縮量は丸太の打設本数を増やすごとに大きくなることが認められる。

竹内シルトと十勝港砂の2つの試料の丸太の打設による鉛直変位に与える影響は、両者の余裕間隙比が異なることに起因すると考えられる。余裕間隙比がある一定以上になると土試料の種類に関わらず地盤の鉛直変位は膨張する傾向があることが認められる。初期地盤の間隙が小さい場合は丸太を打設した時に間隙が減少せず地盤が膨張し、初期地盤の余裕間隙比が大きい場合は、丸太を打設しても余裕間隙比が大きいままで隆起には至らず、杭圧入に伴い表面の地盤が杭に引き込まれて、地盤が収縮するということが考えられる。なお、本実験は1G場の模型実験であることから拘束圧が小さいこと、剛土槽を用いていることにより水平方向と下方向への地盤の変位が拘束されていることから、地盤の鉛直方向の体積膨張量を過大に評価している可能性がある。

3. まとめ

この模型実験では体積が膨張する実験ケースでは同じ初期地盤の余裕間隙比の場合、改良率が高いほど膨張量が大きくなる傾向があることが明らかになった。また、試料に違いによる丸太打設による地盤の鉛直変位への影響はあまり見られなかったが、初期地盤の余裕間隙比の違いが丸太打設による地盤の鉛直方向の体積変化の傾向に影響を与えていることが明らかになった。

参考文献

- 1) 沼田淳紀, 上杉章雄: 地球温暖化対策のための木材利用の可能性について, 第14回地球環境シンポジウム, 土木学会, pp.97-102, 2006.
- 2) 中村裕昭, 濱田政則, 本山寛, 沼田淳紀: 地中に使用した木材の長期耐久性に関する事例調査, 第9回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp.277-282, 2011.
- 3) 地盤工学会: 地盤工学・実務シリーズ18 液状化対策工法, pp.233-238, 2004.
- 4) 村田拓海, 沼田敦紀, 宮島昌克, 平田慈英: シルトを用いた丸太会打設による地盤の鉛直変位に関する模型実験, 木材工学研究発表会講演概要集 20, pp.43-49, 2021.

表1 実験ケース一覧

No	試料	初期相対密度 %	累計丸太打設本数		
			1回目 本	2回目 本	3回目 本
1	竹内シルト	43.5	36	121	221
2	竹内シルト	63.1	36	121	-
3	十勝港砂	42.5	36	121	221
4	十勝港砂	62.3	36	121	-

表2 物理特性の比較

項目		竹内シルト	十勝港砂	
土粒子の密度	ρ_s	g/cm ³	2.640	2.689
最小密度 (JIS法)	$\rho_{\min JIS}$		0.944	1.155
最大間隙比 (JIS法)	$e_{\max JIS}$		1.797	1.328
最大密度 (JIS法)	$\rho_{\max JIS}$	g/cm ³	1.305	1.498
最小間隙比 (JIS法)	$e_{\min JIS}$		1.023	0.795
最大密度 (最小法)	$\rho_{\max mm}$	g/cm ³	1.512	1.809
最小間隙比 (最小法)	$e_{\min mm}$		0.746	0.486
最大粒径	D_{\max}	mm	0.85	2
細粒分含有率	P_f	%	90	4.5
粘土分含有率	P_c	%	8	6.8
50%粒径	D_{50}	mm	0.040	0.168
均等係数	U_c		4.2	6.4
液性限界	W_L	%	40	-
塑性限界	W_P	%	NP	NP
塑性指数	I_P		NP	NP

表3 初期地盤の余裕間隙比の比較

試料	竹内シルト		十勝港砂	
初期相対密度	43.5	63.1	42.5	62.3
初期間隙比	1.340	1.122	0.970	0.799
最小間隙比	0.746		0.486	
余裕間隙比	0.594	0.376	0.482	0.313

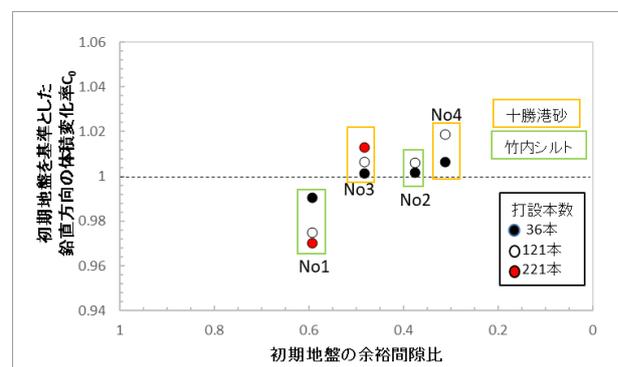


図1 初期地盤を基準とした鉛直方向の体積変化率と初期相対密度の関係