

CNF を添加した薬液注入材料の注入特性と地盤改良効果について

早稲田大学 学生会員 ○齋藤 拓未
 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
 ケミカルグラウト(株) 正会員 渡邊 陽介
 ケミカルグラウト(株) 正会員 川村 淳

薬液注入 CNF 室内注入試験

1. はじめに

セルロースナノファイバー(CNF)は木材などの植物細胞壁の基本骨格であるセルロースをナノサイズにまでほぐした繊維であり、比表面積が大きく軽量で高強度、線熱膨張率が極めて小さいといった特徴を有している¹⁾。既往研究²⁻³⁾ではそれらの特徴に着目し強度増加などを目的とした地盤改良材に活用する検討を行い、CNF を添加し水中落下法で作製した薬液固結砂の強度増加に CNF が寄与することを確認している。本報告では湿潤砂堆積法で作製した供試体に CNF を添加した水ガラス系の薬液を注入し注入特性を確認するとともに、固化供試体についての一軸圧縮強さと供試体の全体的な均一性を一軸圧縮試験および針貫入試験により確認した。

2. 試験内容

2.1 土質条件

本試験で使用した君津砂の物性値を表 2-1 に示す。注入用プラモールド(φ50mm×100mm)に含水比が 15%となるよう調整した君津砂を 3 層に分けて湿潤砂堆積法により目標相対密度が 60%となるように突き固めた。ここで図 2-1 の注入装置概要図に示すように薬液を注入孔から均一に注入するため模擬地盤の上下に珪砂 4 号でフィルター層を 0.5cm ずつ設置した。注入試験は各ケースにつき 9 本(3 材齢×3 供試体)実施した。供試体作製後には完全飽和となるよう通水を行い、その後注入を行った。

2.2 注入条件

本試験の薬液配合を表 2-2 に示す。薬液はシリカ濃度 7%の特殊中性・酸性系薬液を選定し、CNF(国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所から提供された酵素・湿式粉碎でスギから製造した水懸濁タイプ)の薬液への添加方法は配合水の一部を CNF 懸濁液に置き換えている。ここで CNF 濃度とは、薬液全体質量に対する CNF 乾燥質量の割合のことである。作液方法は既往研究⁴⁾よりミキサの回転数 16,000r.p.m かつ攪拌時間 15 分の場合が最も効果的であると確認されており、この条件で攪拌を行った。注入は注入速度 0.56L/min、注入量は十分な注入がされるように供試体体積の 1.5 倍にあたる 300ml の間隙水及び薬液が排水されるまで注入を行い、薬液注入時には土槽底面で注入圧力測定を行った。注入後の薬液固結砂供試体は密閉容器内に保管し、温度 20℃程度、湿度 90%以上の湿潤状態を保ちながら気中養生を行い 7 日、14 日、28 日養生後に一軸圧縮試験(JIS A 1216)と針貫入試験(JGS 3432)をそれぞれ実施した。

また、注入法で作製する供試体と同条件で、水中落下法でも供試体を作製した。これは供試体作製方法により生じる強度の違いを確認する目的で実施したものである。

表 2-1 君津砂物性値および地盤条件

項目	記号	単位	物性値
土粒子密度	ρ_s	g/cm ³	2.707
最大間隙比	e_{max}	-	1.04
最小間隙比	e_{min}	-	0.675
均等係数	U_c	-	1.940

表 2-2 薬液配合および注入条件

ケース番号	シリカ濃度(%)	CNF 濃度(%)
(1)	7	未添加
(2)	7	0.10
(3)	7	0.25

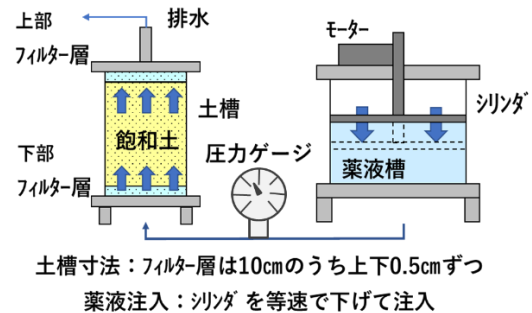


図 2-1 注入装置概要図

3. 試験結果

図 3-1、図 3-2 にそれぞれの注入時間と注入圧力の関係を示す注入チャートを整理した。図 3-1 に示すケース 1 およびケース 2 については各ケースで注入時の圧力に大きな違いは認められなかったため代表的な値の結果を示している。一方、図 3-2 のケース 3 では各供試体で注入圧力に変化が生じたためすべての供試体について示した。ケース 1 では、注入圧力は 100kPa 程度であり圧力上昇なく注入された。ケース 2 では注入圧力は最大 200kPa 程度であり、ケース 1 の最大注入圧力より 100kPa ほど高くなった。この圧力上昇は CNF を添加した影響と考えられる。

図 3-2 に示す通りケース 3 の注入圧力はケース 2 に比べさらに上昇した。また、ケース 3 のうち 1 本は注入圧力が 1000kPa まで上昇し圧力が高い状態で注入されている供試体がある。この供試体は薬液槽内に溜めた薬液中の CNF が時間経過によって沈降し CNF の繊維密度が上昇した結果、その部分を注入したことで注入圧力が上昇したと考えられる。

図 3-3 に 28 日養生時における各配合の一軸圧縮試験結果を、表 3-1 に各薬液配合における供試体の破壊ひずみの平均値を示す。比較のために水中落下法で作製した供試体の試験結果についても記載する。図 3-3 より、注入法で作製した供試体に CNF を添加すると一軸圧縮強さは 60~70kN/m² 増加し、CNF を 0.10% 添加したケース 2 で一軸圧縮強さが最も高い値を示した。またケース 2 で一軸圧

縮強さは水中落下法と注入法で作製した供試体それぞれ未添加と比べ高い値を示した。このことから CNF の添加により薬液固結砂供試体の増強効果が確認されたといえる。

ここで、注入法で作製した供試体は水中落下法で作製した供試体と比べ一軸圧縮強さは低い値を示している。この要因として、薬液の上向きの注入により土粒子のかみ合わせがわずかに乱れ、供試体内の強度が低下したと考えられる。また表 3-1 より破壊ひずみは注入法で作製した供試体の方が水中落下法の供試体より大きく、特に破壊ひずみが大きく、特に注入法の CNF 未添加のケース 1 では一軸圧縮強さも小さい。この結果は軸ひずみのポアソン比に応じて生じる周ひずみにより微視的な破壊が一軸圧縮強さの小さいケースで多く発生したことを意味する⁵⁾。このような破壊ひずみが大きく一軸圧縮強さの小さい結果は湿潤砂突き固め時や供試体脱型時の乱れによると思われる。

図 3-4 に 28 日養生時における各配合の針貫入試験結果および変動係数を示す。針貫入勾配を見ると注入法で作製した供試体は水中落下法で作製したものと比べ 1N/mm 程度低い値を示し、一軸圧縮強さの作製方法の違いによる強度の低下と比べ大幅に低い値を示した。この要因として一軸圧縮試験結果と同様に薬液を供試体内に上向きに注入した溜めであると思われるが、注入されやすい供試体のモールドとの界面において供試体の土粒子のかみ合わせが乱れた結果、供試体表面の強度を計る針貫入勾配が一軸圧縮強さと比較して大幅に低下したと考えられる。また変動係数についても水中落下法と比較して注入法で作製した供試体は針貫入勾配の値のばらつきが大きいことから、供試体表面が不均一であることを表している。

4. まとめ

注入法で作製した薬液固結砂に対し CNF を添加すると強度増強効果が確認された。ただし、注入圧力の上昇や針貫入勾配のばらつきを考慮すると CNF 添加量は薬液重量に対し 0.10%程度が適切と思われる。今後は本報告の結果を踏まえ、実際に現場で使用される機材を用いて注入試験を行い地盤への注入性や改良効果の検討を行いたいと考える。

<参考文献>

- 1) 眞柄, セルロースナノファイバー製造技術実証事業, 生物資源, 10(3), 2016
- 2) 山本, 赤木, CNF を添加した薬液固結砂の強度特性について, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019
- 3) 中野, 赤木, CNF を添加した薬液固結砂の強度特性および針貫入試験による強度推定について, 第 15 回地盤工学学会関東支部発表会, 2018
- 4) 齋藤, 山本, 赤木, CNF を添加した薬液注入材の CNF の分散性について, 2019
- 5) 甲村, 岩石の限界ひずみに関する考察, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.68, No.3, 526-534, 2012

【謝辞】

本研究は林野庁補助事業「木材のマテリアル利用技術開発事業」の一部を報告するものである。

研究の実施にあたり、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所に多大なご協力を頂いた。末筆ではあるが、ここに記して深甚な謝意を表す。

表 3-1 各配合の供試体破壊ひずみ(%)

		CNF 濃度(%)		
		未添加	0.1	0.25
作製方法	水中落下法	1.74	1.97	1.84
	注入法	2.27	1.91	2.02

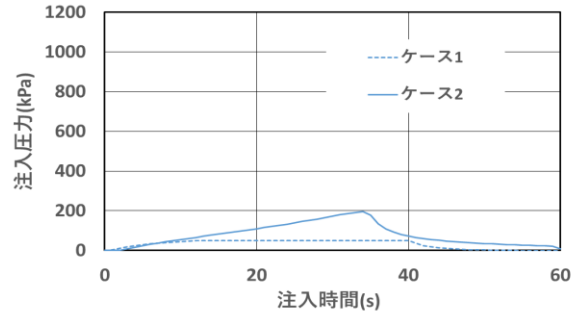


図 3-1 注入時間と圧力関係
(ケース 1: シリカ 7%, CNF0%)
(ケース 2: シリカ 7%, CNF0.1%)

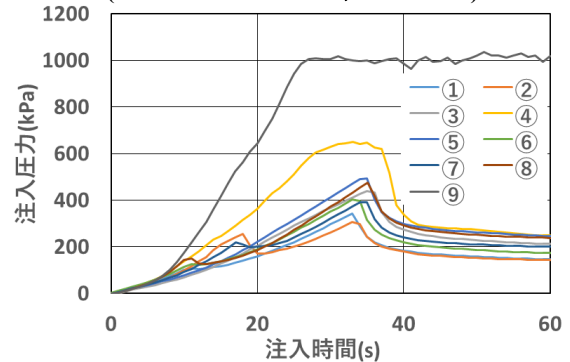


図 3-2 注入時間と圧力関係
(ケース 3: シリカ 7%, CNF0.25%)

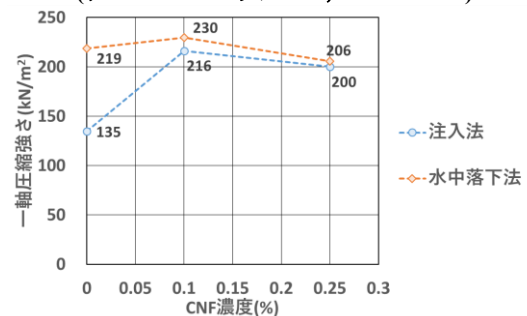


図 3-3 一軸圧縮試験結果

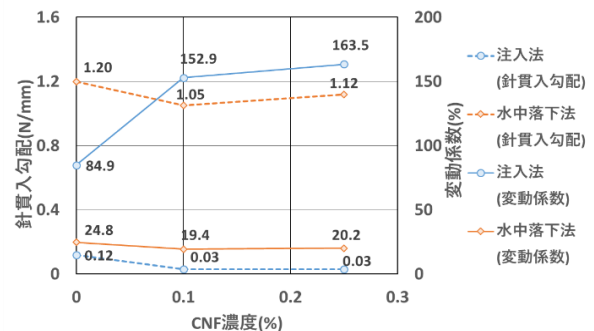


図 3-4 針貫入試験結果と変動係数