

CNF を添加した薬液固結砂の強度特性について

早稲田大学 学生会員 ○山本 馨
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 川村 淳
ケミカルグラウト (株) 正会員 渡邊 陽介

薬液注入工法 CNF 針貫入勾配

1. はじめに

セルロースナノファイバー(CNF)は木材の主成分であるセルロースをナノサイズまでほぐした繊維である。CNFは軽量かつ高強度であること、比表面積が大きいことなどの特性から、次世代の高付加価値バイオマス素材として新規需要が期待されており、地盤改良材として活用することができれば環境面で優れた材料になることが期待できる¹⁻²⁾。現在、薬液注入工法に用いられる水ガラス系溶液型注入材は粒子を有していないため浸透性に優れているが、耐震強化施設(レベル2地震動に対応)のように大きな強度を要求される場合、改良強度が不十分と判断されることがある。

本報告ではCNFの性能を活かした薬液注入材の補強材としての活用を検討する。CNFを薬液注入材に添加することで、薬液固結砂の強度増加や従来薬液と異なる性能が発揮されることを期待して、薬液固結砂の強度特性を確認した。材料特性を把握するために、本研究では一軸圧縮試験、針貫入試験及び繰返し非排水三軸試験により改良効果を確認した。

2. 試験内容

2.1 試験条件

本実験で使用する薬液固結砂の供試体は乾燥砂とプラモールド($\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$)を使用し水中落下法により作製した。供試体の目標相対密度は60%に設定した。使用した乾燥砂の物性値を表2-1に示す。

薬液は長期耐久性と浸透性が期待できる特殊中性・酸性系薬液を選定した。本試験で実施した薬液配合を表2-2に示す。今回使用したCNFは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である。薬液への添加方法は配合水の一部をCNF懸濁液に置き換える方法を採用した。ここでいうCNF濃度とは、薬液全体重量に対するCNF乾燥重量の割合のことである。

作製した薬液固結砂の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った。

2.2 実験手順

・一軸圧縮試験(JIS A 1216)

3, 7, 14, 28日間養生時に一軸圧縮試験を実施した。

試験本数は各ケースの各材齢5本ずつとした。

・針貫入試験(JGS 3432)

7, 14, 28日養生時に、携行型試験機を使用して針貫入試験を実施した。針の貫入長さが10mmに達した時点で針の貫入長さLと貫入荷重Pを読み取り針貫入勾配NPを算出する(式2.1)。

携行型針貫入試験は各配合の各材齢(3材齢)につき3本ずつ、合計9本の供試体に対して実施した。試験箇所は各供試体の上部、中部、下部について、それぞれ4方向から計12か所とし、1材齢あたり36点で評価している。

・繰返し非排水三軸試験(JGS 0541)

地震時の強度特性を求めるために、28日養生後の供試体について繰返し非排水三軸試験を実施した。20回載荷時に両振幅歪みが5%に達したときの繰返し応力振幅比を液状化強度 $R_{L20,5\%}$ とした。表2-3に試験条件を示す。

$$\text{針貫入勾配 NP} = \frac{\text{貫入荷重 P}}{\text{貫入長さ L}} \quad \dots (\text{式 2.1})$$

(N/mm) (N) (mm)

表2-1 乾燥砂の物性値

項目	記号	単位	物性値
試料	-	-	豊浦砂
土粒子密度	ρ_s	g/cm^3	2.648
最大間隙比	e_{\max}	-	0.917
最小間隙比	e_{\min}	-	0.596
60%粒径	D_{60}	mm	0.213

表2-2 薬液配合

ケース	名称	シリカ濃度	CNF濃度
(1)	標準配合	6.2%	0.00%
(2)	高濃度配合	11.8%	0.00%
(3)	標準+CNF0.10%	6.2%	0.10%
(4)	標準+CNF0.25%	6.2%	0.25%
(5)	標準+CNF1.70%	6.2%	1.70%
(6)	高濃度+CNF0.10%	11.8%	0.10%
(7)	高濃度+CNF0.25%	11.8%	0.25%

表2-3 繰返し非排水三軸試験 試験条件

項目	記号	単位	数値
背圧	u_b	kN/m^2	500
圧密応力	σ'_c	kN/m^2	100
有効拘束圧	σ'_0	kN/m^2	100

3. 試験結果

図3-1に一軸圧縮試験結果を示す。

28日養生時において、標準配合にCNFを0.10%添加した配合(3)、0.25%添加した(4)の一軸圧縮強さは300 kN/m^2 程度とCNF無添加の配合(1)と同程度であった。CNFを1.70%添加した配合(5)は28日養生時で一軸圧縮強さ210 kN/m^2 程度で配合(1)を下回る結果になった。この原因としてCNFが過添加であったことにより、薬液の粘度が増加したことによって供試体が均一に作製できなかったため(図3-2)、一軸圧縮強さが低くなったと考察される。高濃度配合においてはCNFを0.10%添加した配合(6)が700 kN/m^2 程度とCNF無添加の配合(2)の薬液固結砂より強度増加が見られた。CNFを0.25%添加した配合(7)に関してはCNF無添加の薬液固結砂と同程度の値となった。

図 3-3, 図 3-4 に携行型試験機による針貫入試験の結果を示す. 高濃度配合 (配合(2)・配合(6)・配合(7)) は CNF 無添加より CNF を添加した薬液固結砂の方が強度増加する結果となった. 特に配合(6)は 28 日養生時で 3.94N/mm と CNF 無添加と比較して 1.4 倍程度の強度増加を示した. 図 3-4 より, 変動係数も 16.83% と低く, ばらつきが少ない強度発現が均一な薬液固結砂であった. 一軸圧縮試験と針貫入試験に相関があることは既往研究²⁾³⁾にもあり, 今回高濃度薬液に CNF を 0.10% 添加した配合の薬液固結砂はばらつきが少なく, 高い強度が得られたことは CNF の効果によるものと思われる.

表 3-1 に一軸圧縮強度試験, 繰返し非排水三軸圧縮試験, 針貫入試験の結果一覧を示す. 配合(6)において, 一軸圧縮強さと針貫入勾配は CNF 未添加の配合(2)と比較して大きな値を示しているが, 液状化強度比 $R_{L20.5\%}$ は同等の値となった. この要因として, 薬液固結砂自体の液状化抵抗値が高く, 結果として CNF を添加しても差異が見られなかったと考えられる.

図 3-5 に 28 日養生時における一軸圧縮強さおよび針貫入勾配と CNF 濃度の関係を示す. この結果より高濃度配合に CNF を 0.10% 添加した配合は CNF 未添加より強度増加が見られ, 標準配合においては CNF を 0.25% 添加した配合において良好な結果が得られたことが確認できる.

4. まとめ

本報告では特殊中性・酸性薬液に CNF を添加することで, 薬液注入材の性能向上を期待できるか確認した. 結果, CNF の添加量によるが, 従来の注入材料と比較して更に高い強度を発現させることができた. 今後は配合ケースを増やすことでより適切な CNF 添加量を模索するとともに, CNF 添加による薬液固結砂の強度増加メカニズムの把握や CNF の分散性について検討を継続したいと考える.

<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), 2-13, 2016
- 2) 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 回地盤工学会関東支部発表会, 2018
- 3) 宗村・北村: 針貫入試験による一軸圧縮強度の推定例, 全地連「技術 e-フォーラム 2009」, 2009

【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.

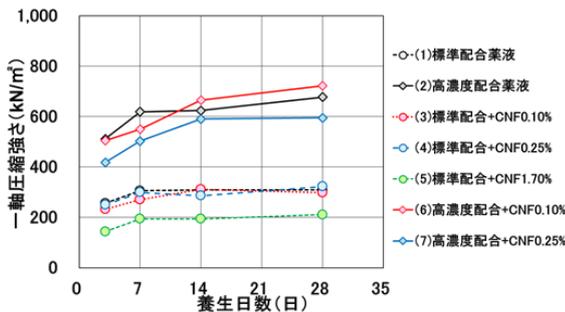


図 3-1 一軸圧縮試験結果



図 3-2 (5)標準+CNF1.70% 供試体

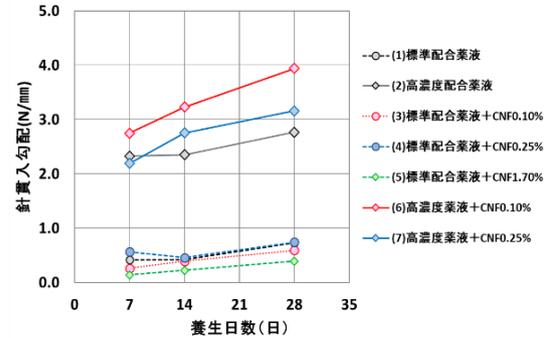


図 3-3 針貫入試験結果 (針貫入勾配)

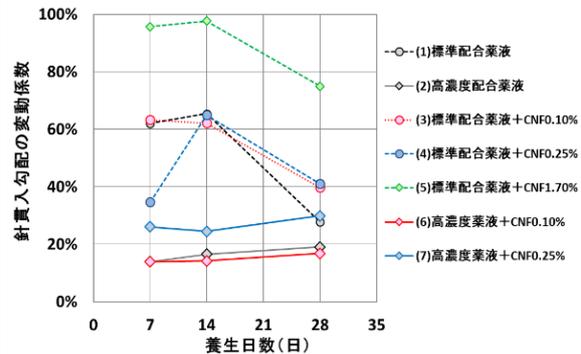


図 3-4 針貫入試験結果 (変動係数)

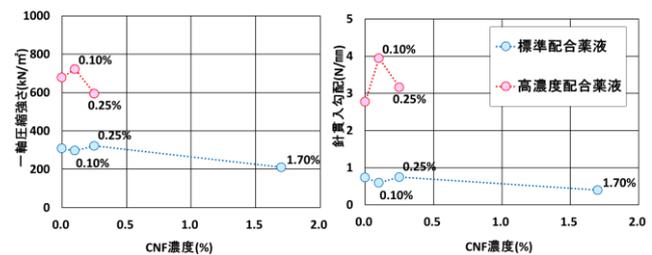


図 3-5 28 日養生時の一軸圧縮強さおよび針貫入勾配と CNF 濃度の関係

表 3-1 試験結果まとめ

ケース	q_u kN/m ²	$R_{L20.5\%}$ -	針貫入勾配 NP	
			平均値 N/mm	変動係数 %
(1)	308	1.630	0.730	27.71
(2)	677	1.854	2.769	19.06
(3)	297	1.672	0.594	39.66
(4)	322	1.626	0.744	41.02
(5)	210	1.451	0.395	74.95
(6)	722	1.585	3.940	16.83
(7)	595	1.623	3.158	29.87