

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

薬液注入工法 CNF 針貫入勾配

早稲田大学 学生会員 ○中道 馨
 早稲田大学 学生会員 山本 馨
 早稲田大学 学生会員 中野 陽介
 早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
 ケミカルグラウト(株) 川村 淳 渡邊 陽介

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幅 3-20mm 程度の繊維である。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、地盤材料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。

本研究では CNF の強度や増粘性・チキソ性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、改良体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。また、中野らの既往研究²⁾では針貫入試験により簡易的な薬液固結砂の強度評価方法の確立を目的とした薬液固結砂の一軸圧縮強さと針貫入勾配の関係が報告されている。本研究も CNF を添加した薬液固結砂の一軸圧縮強さと針貫入勾配との関係を取りまとめた。

2. 試験内容

2.1 試験条件

供試体は乾燥砂とプラモールド(φ50mm×100mm)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。本試験で実施した実験ケースを表 2.2 に示す。CNF 未添加の薬液である(1)標準配合(シリカ濃度 6.2%)、(2)高濃度配合(シリカ濃度 11.8%)に加え、標準配合薬液に CNF を添加した(3)標準+CNF0.10%、(4)標準+CNF0.25%、(5)標準+CNF1.70%及び、高濃度配合に CNF を添加した(6)高濃度+CNF0.10%、(7)高濃度+CNF0.25%の計 7 種類を作液した。

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・湿式粉砕でスギから製造した水溶液タイプである。薬液への添加は配合水の一部を CNF 水溶液に置き換える方法で添加した。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。

作製した薬液改良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、各材齢において 5 本の内 3 本は針貫入試験を実施した後のものを使用した。

・針貫入試験(JGS 3432)

3, 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ケースの各材齢につき 3 本ずつ、合計 96 本の供試体について実施した。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 か所とした。

・ホモゲル体積収縮試験

3, 7, 14, 28 日養生時にホモゲル供試体の体積変化率を測定した。容積 100ml のメスフラスコに薬液を 50ml 投入し、薬液ゲル化後に 100ml になるように養生水を加える。メスフラスコは供試体と同様の環境下で養生し、所定期間経過時に養生水を採取する。メスフラスコ内に残った薬液ホモゲルの重量を計測し、初期状態からの収縮率を求めた。

・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。

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

(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 実験ケース

ケース	名称	SiO ₂ 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

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 添加の配合(3)~(5)に関しては 300kN/m²程度と CNF 無添加の薬液改良体と同程度であった。高濃度配合においては CNF を添加した配合(6)が 700 kN/m²程度と CNF 無添加の薬液改良体より強度増加が見られた。配合(7)に関しては CNF 無添加の薬液改良体と同程度となった。

図 3.2 に携行型試験機による針貫入試験の結果を示す。

図 3.2 より高濃度配合 (配合(2)・配合(4)・配合(6)) は CNF 無添加より CNF を添加した薬液改良体の方が強度増加する結果となった。特に配合(6)は CNF 無添加と比較して 28 養生時で 1.4 倍程度の強度増加を示している。

図 3.3 にホモゲル体積収縮試験の結果を示す。

最も高い強度を示した配合(6)は異なる体積収縮結果を示した。

図 3.4 に針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係を示す。

針貫入勾配の増加に伴い、一軸圧縮強さも増加する傾向が見られ、一軸圧縮強さ q_u を針貫入勾配 NP の指数関数と近似すると以下の関係式が得られた。

$$q_u = 404NP^{0.378} \quad \dots(式 3.2)$$

図 3.5 に繰返し非排水三軸試験の結果を示す。

図 3.5 より、液状化強度比 $R_{L20,5\%}$ は CNF を添加しても未添加と同程度であった。

4. まとめ

既往研究に続き、CNF を添加した薬液固結砂の強度特性に関する基礎データ収集を行った。また、CNF 添加薬液固結砂の針貫入勾配と一軸圧縮強さの相関関係が得られた。

薬液ゲルの体積収縮による拘束力が大きい高濃度配合においては CNF を 0.10%添加することで、薬液改良土の強度増加効果を発揮する結果となった。詳細なメカニズムの把握は今後も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、「地域材を活用したセルロースナノファイバー用途技術開発」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。

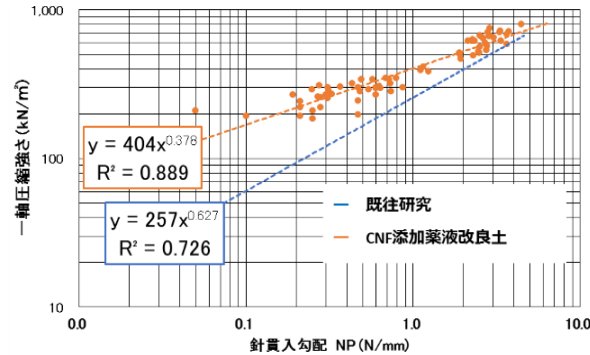


図 3.4 一軸圧縮強さと針貫入勾配の関係

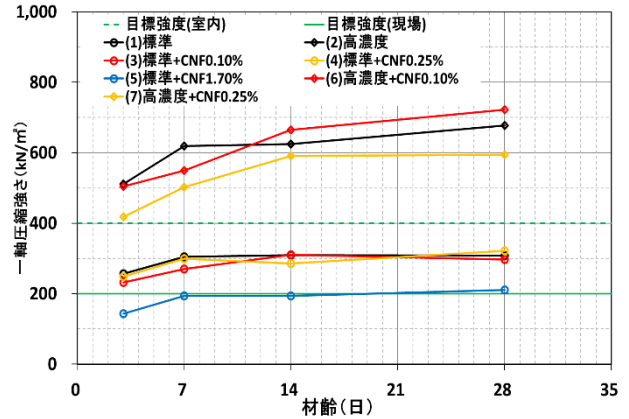


図 3.1 一軸圧縮試験結果

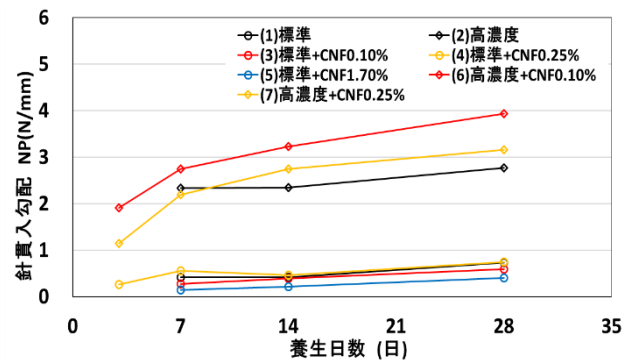


図 3.2 針貫入試験結果

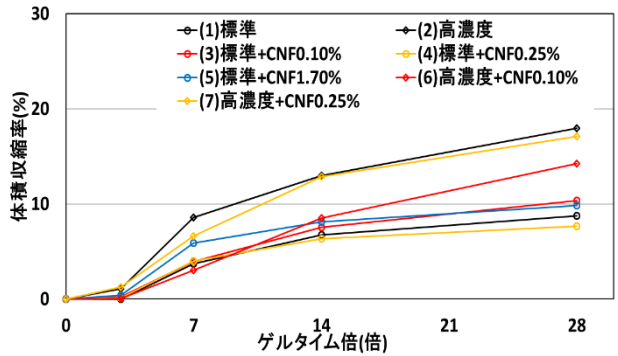


図 3.3 ホモゲルの体積収縮率

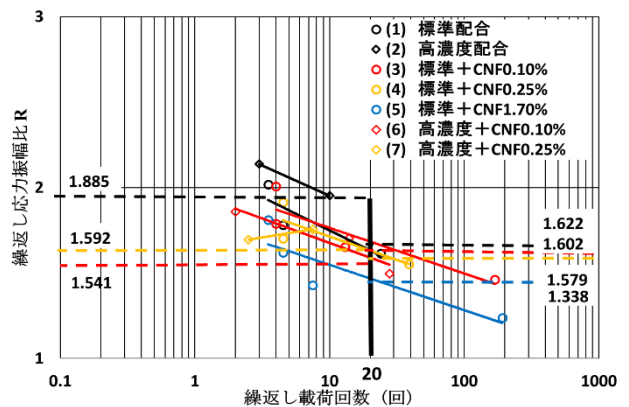


図 3.5 繰返し非排水三軸試験結果