

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

早稲田大学 学生会員 ○中野 陽介
 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 国際会員 赤木 寛一
 ケミカルグラウト(株) 川村 淳 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幅 3-20nm 程度の繊維である。CNF はその性質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、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を活かして、ゴム複合材料や消臭シートなど、一部の市場ではすでに実用化されている。この CNF を地盤材料に活用できれば強度だけでなく環境面で優れた材料として期待できる。

ここで次項に紹介する条件で薬液注入材に CNF を添加した事前予備試験を実施したところ図 1.1 の結果を得た。CNF を添加した薬液は未添加の標準配合薬液に比べ、強度発現が早く 7 日養生時で 28 日養生時と同等の結果であった(14 日養生時は供試体端面の整形が不十分であり強度が一時的に低下)。しかし、この結果のメカニズムや CNF を添加した薬液固結砂の検討は十分になされていない。

本研究では CNF の特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予備試験のように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、液状化対策など薬液注入による改良体の長期耐久性を期待する場合、施工後に改良地盤の強度確認が義務付けられている。山本らの研究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 の効果を確認するために比較として CNF 未添加の薬液(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%)を作液した。一方、CNF 添加の薬液は(3)CNF 濃度 1.7%、(4)CNF 濃度 0.25%、(5)CNF 濃度 0.10%の 3 種類を作液した。CNF は森林総研から提供された酵素・湿式粉碎でスギから製造した水溶液タイプを使用した。CNF 添加薬液は標準配合薬液に CNF を添加する方法を基本としたが、今回使用した CNF は水溶液のため、標準配合薬液の配合水の一部を CNF 水溶液に置き換えている。ここでいう CNF 濃度は、薬液全重量に対する CNF の乾燥重量の割合である。

作製した改良体は密閉容器内に保管し、温度 22℃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。試験本数は各配合の各材齢 5 本ずつ(予備試験は 3 本)、合計 20 本の供試体について試験を行った。このとき各材齢において、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(予備試験は一軸圧縮試験のみ)。

・針貫入試験(JGS 3432)

中道らの研究³⁾より、自動針貫入試験機の試験結果のばらつきと、携行型試験機の試験結果のばらつきはほぼ同程度とされている。したがって本研究では携行型試験機を使用して針貫入試験を実施した。針貫入試験は針の貫入長さが 10mm に達するか、貫入荷重がその試験機の最大(本試験機では 100N)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 5 種類の配合の各材齢(7 日, 14 日, 28 日)につき 3 本ずつ、合計 45 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 方向から合計 12 か所とした。

針貫入勾配 NP = 貫入荷重 P ÷ 貫入長さ L ... (式 2.1)

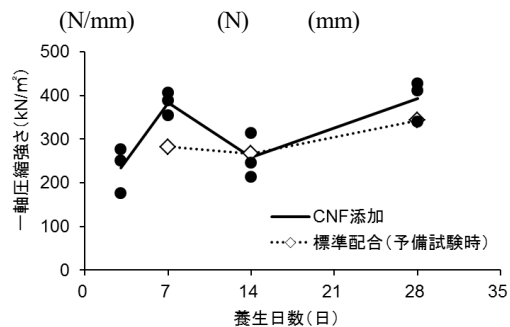


図 1.1 事前予備試験結果 (一軸圧縮試験)

表 2.1 乾燥砂の物性値

| 項目 | 記号 | 単位 | 予備試験 | 本試験 |
|-------|-----------|-------------------|----------|-------|
| 試料 | - | - | 東北珪砂 7 号 | 豊浦砂 |
| 土粒子密度 | ρ_s | g/cm ³ | 2.707 | 2.648 |
| 最大間隙比 | e_{max} | - | 1.04 | 0.917 |
| 最小間隙比 | e_{min} | - | 0.675 | 0.596 |
| 60%粒径 | D_{60} | mm | 0.305 | 0.213 |

表 2.2 実験ケース

| 項目 | ケース | 名称 | シリカ濃度 | CNF 濃度 |
|------|-----|--------------|-------|--------|
| 予備試験 | - | 予備試験配合 | 6.2% | 0.11% |
| 本試験 | (1) | 標準配合 | 6.2% | 添加なし |
| | (2) | 高濃度配合 | 11.8% | 添加なし |
| | (3) | CNF 濃度 1.7% | 6.2% | 1.7% |
| | (4) | CNF 濃度 0.25% | 6.2% | 0.25% |
| | (5) | CNF 濃度 0.10% | 6.2% | 0.10% |

Strength characteristics of chemical stabilized sand with CNF and strength estimation of that by Needle Penetration test. Y.Nakano, H.Akagi, K.Nakamichi K.Yamamoto, (Waseda University) J.Kawamura, Y.Watanabe (Chemical Grouting Co.Ltd)

3. 試験結果

図 3.1 に一軸圧縮試験結果を示す。(4)CNF 濃度 0.25%および(5)CNF 濃度 0.1%の薬液による改良体の一軸圧縮強さは、いずれも 28 日養生時 300kN/m²程度と(1)標準配合の薬液による改良体と同程度の強度を発現する結果となった。また、(3)CNF 濃度 1.7%の薬液による改良体の一軸圧縮強さは 28 日養生時 200kN/m²程度と(1)標準配合の結果を下回った。これは CNF 濃度が過剰に高くなるとミキサーによる攪拌では繊維を十分にほぐすことが難しくなり、均一な改良体を作ることが困難になったためと考えられる。また、(2)高濃度配合については既往研究²⁾の通り $q_u > 400\text{kN/m}^2$ を十分に満足する結果となった。

図 3.2 に携行型試験機による針貫入試験の結果を示す。針貫入試験は材齢ごとに 3 本の供試体について 12 か所ずつ実施したため、針貫入勾配の全体平均値はその計 36 か所の計測結果の平均を用いている。これより 28 日養生時において、(2)高濃度配合の針貫入勾配は 2.8N/mm 程度であり、(1)標準配合、(4)CNF 濃度 0.25%、(5)CNF 濃度 0.1%では 0.6-0.7N/mm 程度、(3)では 0.4N/mm 程度と一軸圧縮強さと同様の関係を示す結果となった。

図 3.3 に針貫入試験と一軸圧縮試験のどちらも実施した供試体から得た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た。そこで、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。

$$q_u = 406NP^{0.378} \quad \dots \text{(式 3.2)}$$

なお関係式とデータ間の決定係数は $R^2 = 0.816$ であった。

既往研究²⁾の通り、薬液固結砂において針貫入勾配と一軸圧縮強さの相関関係は確認でき、一軸圧縮強さは針貫入勾配の指数関数として表せる結果が得られた。今回のように関係式が得られれば、針貫入試験を実施することにより、間接的に一軸圧縮強さを推定することができる。

4. まとめ

標準配合の薬液に CNF を添加した薬液固結砂の強度発現は CNF を添加しない場合と同程度であった。また、CNF を過剰に添加すると均一な改良体を得ることが困難となり、薬液固結砂の強度低下を招く結果となった。

CNF を添加した薬液固結砂に対して、針貫入勾配と一軸圧縮強さの相関関係が得られた。この結果は針貫入試験による一軸圧縮強さの簡易な推定法として期待できる。

今後は、今回実施していない強度増加を起こす最適な配合を探すこと、ミキサーによる攪拌に代わるより高いレベルで繊維をほぐすような攪拌方法を実施すること、既往の研究³⁾にあるように、ホモゲルの体積収縮がより大きい高濃度配合の薬液に CNF を添加することで繊維の土粒子への定着を図りさらなる高強度化を目指すこと、以上の 3 点を検討していく。

<参考文献>

- 1) 農学生命科学研究支援機構“生物資源”第 10 巻第 3 号, 2016
- 2) 山本, 赤木: 高濃度薬液固結砂の長期強特性および針貫入試験による強度推定について, 地盤工学会関東支部, 2017
- 3) 山崎, 赤木: 高濃度薬液固結砂の長期強度特性について (その 1), 第 52 回地盤工学会研究発表会, 2017
- 4) 中道, 赤木: 高濃度薬液固結砂の長期強度特性について (その 2), 第 52 回地盤工学会研究発表会, 2017
- 5) 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、平成 30 年度木材のマテリアル利用技術開発事業「地域材を活用したセルロースナノファイバーの用途技術開発」の一部を報告するものである。研究の実施にあたり、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る。

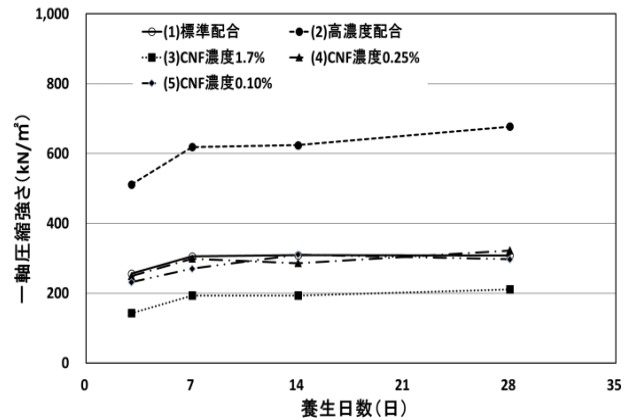


図 3.1 一軸圧縮試験結果

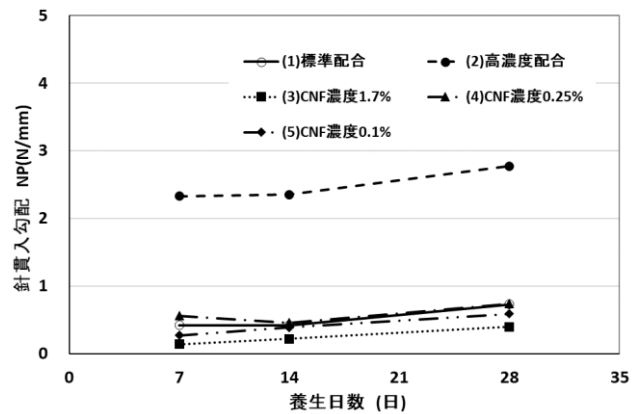


図 3.2 針貫入試験結果

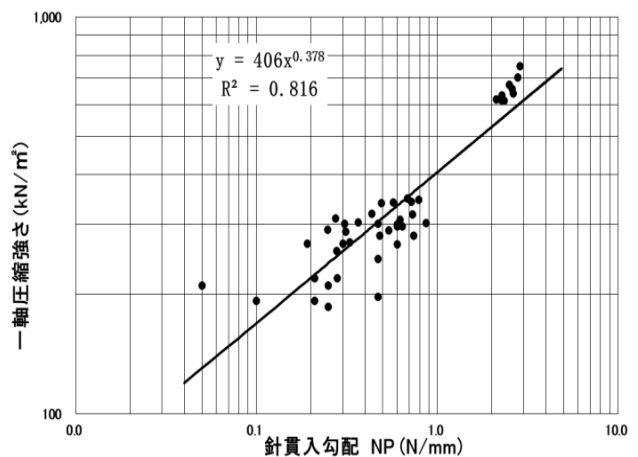


図 3.3 針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係