

CNF とフライアッシュを混入した PCM の気中環境下における強度及び各種耐久性に関する研究

高知高専 学生会員 ○清水成 高知高専 正会員 横井克則 近藤拓也
高知大学海洋コア総合研究センター 非会員 浦本豪一郎

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多数のコンクリート構造物は、近年になり劣化が散見されはじめ、使用性への悪影響のみならず、剥離落下事故なども確認されている。劣化への対策として、ポリマーセメントモルタル(以下、PCM と呼称する)などの補修材料を用いた断面修復工法が用いられているが、これら PCM は各種劣化因子への抵抗性及び強度などの品質向上のために様々な研究がなされている。

一方、近年になり利用用途の拡大が図られているセルロースナノファイバー(以下、CNF と呼称する)は、セルロースをナノレベルまで解繊して得られる繊維状の物質である。鋼鉄の5倍以上の強度、重量は1/5の軽さという性質から、CNF は使用用途の拡大を目的にコンクリート分野でも研究¹⁾が行われているが、未だ研究報告数は少ないのが現状である。

そこで本研究では、耐久性に関する検討を行うとともに、既往の研究成果である CNF を混入させたコンクリートを気中養生した場合の強度増加²⁾が PCM に CNF を混入した場合でも同様に確認できるかを検討した。

2. 使用材料及び耐久性試験

2.1 使用材料及び配合

本研究のベースとなる PCM は、著者らが研究開発に協力し、現在は一般の補修補強工事に用いられているものを使用した。使用した CNF は、広葉樹を原料とした化学パルプから製造した水分液体(濃度 3wt%)で外観は写真-1 に示すとおりである。使用したフライアッシュは JIS 規格品のフライアッシュ 2 種(密度 2.29g/cm³, 比表面積 3,260cm²/g)である。本研究での配合表を表-1 に示す。PCM のみの配合を N, N に CNF とフライアッシュをそれぞれの割合で混入したものを CNF(1L 当たりの混入量記載), FA(置換率)とし、CNF 及び FA を共に混入した配合は CNF(1L 当たりの混入量)FA(置換率)とした。W/B は全配合で同様であり、フライアッシュの置換率は 5%及び 10%である。

2.2 圧縮及び曲げ強度試験

曲げ強度試験は、材齢 7, 28, 91 日で JIS R 5201 の 11.6 及び 11.7 に準じて実施し、圧縮強度試験は曲げ試験直後に曲げ試験後の供試体の折片を用いて実施した。養生は、温度 20±2°C, 相対湿度 60±5%の恒温恒湿室で気中養生した。

2.3 促進中性化試験

促進中性化試験は JIS A 1171 に準じて実施し、0.01mm まで測定可能なノギスを使用して、供試体(40×40×160mm)の 2 側面、計 6ヶ所(1側面 3ヶ所)の平均値とした。

2.4 凍結融解試験

凍結融解試験は、100×100×400mm の角柱を用いて JIS A 1148 に準じて実施し、試験は A 法(水中凍結融解試験方法)を適用した。30 サイクル毎に 3 回測定を行い、その平均値で相対動弾性係数を算出し、耐凍害性を評価した。

2.5 SEM 観察

SEM 観察は、高知大学海洋コアセンター設置の走査電子顕微鏡を用いて観察した。CNF 単体は自然乾燥させ、観察面を 10×10mm 程度に切り出し、精密研磨、超音波洗浄後、供試体水分が蒸発するまで乾燥炉に静置した。観察前に白金を蒸着させ、SEM 観察の供試体試料の事前準備とした。



写真-1 CNF 外観

表-1 配合表

	N	CNF0.3	CNF1	FA5	CNF0.3FA5	CNF1FA5	FA10	CNF0.3FA10	CNF1FA10
PCM(g/L)		1582			1503		1424		
Fly ash(II)(g/L)		0			79		158		
Water(g/L)	226	225.7	225	226	225.7	225	226	225.7	225
CNF(g/L)	0	0.3	1	0	0.3	1	0	0.3	1

キーワード セルロースナノファイバー、フライアッシュ、PCM、耐久性、曲げ強度

連絡先 〒783-8508 高知県南国市物部乙 200-1 高知高専横井克則研究室 TEL088-864-5582

3. 結果及び考察

3.1 圧縮及び曲げ強度

N に対する圧縮及び曲げ強度を図-1 に示す。CNF を混入した配合では N と比較し同程度の圧縮強度発現となっており、CNF 混入による強度増加効果は小さいと考えられる。一般に、CNF に含まれる糖は水和反応を遅延させ強度発現に悪影響を与えるが、本研究では確認できなかった。今回の気中養生では、昨年得られた水中養生時の強度傾向²⁾とは変わり CNF 混入配合である CNF0.3 及び 1 において大幅な強度増加が見られ、材齢 28 日で N に対して約 20~30% である。これは、水中養生された供試体の強度の約 90% 程度であり、気中養生としては十分な強度発現で、完全な水中養生が困難な施工現場においては有意であると考えられる。

曲げ強度は、圧縮強度の試験結果と同様に気中養生では顕著な強度増加が見られ、CNF0.3 及び 1 の強度増加率は、材齢 28 日時点で N に対して順に約 39%、約 23% であった。水中養生を実施した N の強度(8.59N/mm²)と比較しても、強度は順に約 18%、約 8% と上回っており十分な強度発現であると考えられる。水中養生に比べ、気中養生などの乾燥環境下において強度発現が顕著にみられる傾向は既往の報告と一致していた。SEM 観察において、CNF 空隙内で網目状に架橋組織を形成していることが確認された。このような網目状の繊維存在が、空隙を架橋作用によって補強し、曲げ強度の増加に寄与したと考えられる。また、曲げ強度は圧縮強度の 13% から最大で 20% であるが、CNF と FA 併用によって 20.7% と圧縮強度に対して大きな強度を示す傾向となった。

3.2 促進中性化

促進中性化試験の結果を図-2 に示す。フライアッシュを混入した配合は N と比較し中性化深さが増加する傾向が見られた。これは、フライアッシュの持つポゾラン反応により水酸化カルシウムの消費量が増すことで pH が低下するため、一般に知られているフライアッシュを用いたコンクリートと同様の傾向である。また、CNF を混入した場合は、その混入率が 1.0g/L の時に中性化深さが増加する傾向が見られた。一般に、糖類はセメント硬化体中の水酸化カルシウムと反応して、可溶性の糖酸カルシウム塩を生成し、溶出によって組織を多孔質化する³⁾。CNF の主な構成要素の一つは、グルコースであり構成要素は糖分である。この多孔質化等の要因が、中性化深さの増加に影響したと考えられる。

3.3 耐凍害性

凍結融解試験の結果を図-3 に示す。CNF を混入した配合の CNF0.3 及び CNF1 は N と比較し、相対動弾性係数が同程度の値を示した。また、フライアッシュを置換した配合は、より顕著な相対動弾性係数の低下を示す結果となったが CNF 併用配合では FA5 及び FA10 と比較し、約 20% 大きい値を維持できる結果が得られた。一般に、コンクリートで耐凍害性を有しているとされる 300 サイクル時点で相対動弾性係数が 60% を得られなかったが、フライアッシュの置換

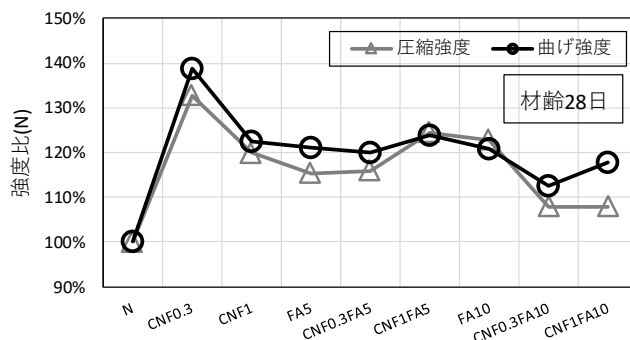


図-1 N に対する圧縮及び曲げ強度

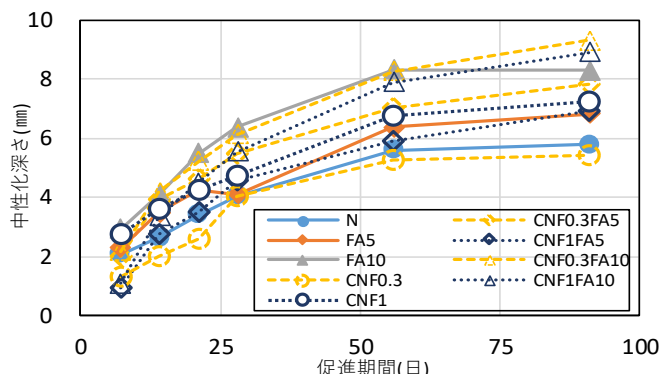
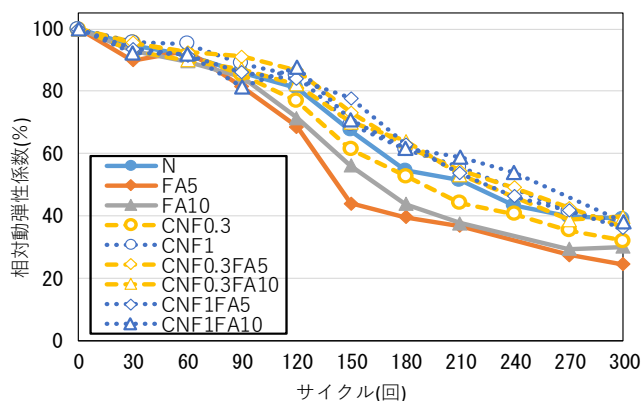


図-2 促進中性化試験



による耐凍害性低下の抑制に期待が持てる結果となった。

4. まとめ

- (1) PCM に CNF を混入し乾燥環境下で養生した場合、N に対して圧縮強度は約 20~30%、曲げ強度は最大で約 40% の強度増加が確認された。
- (2) PCM に CNF を混入した場合、N に対する中性化深さが増大する傾向が見られた。FA と併用した場合はその傾向が顕著であり、実用時には十分な対策が必要である。
- (3) フライアッシュと CNF を併用することで、耐凍害性の低下を抑制できる傾向が確認できた。

参考文献

- (1) 佐々木 亘ら: セルロースナノファイバーを混入したコンクリートの基礎的特性、プレストレストコンクリートの発表に関するシンポジウム論文集, pp.307-310, 2018
- (2) 清水 成ら: CNF とフライアッシュを混入したポリマーセメントモルタルの基礎的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, V-287, 2021
- (3) 若杉 三起夫: 化学腐食と補修・補強, コンクリート工学, pp.74-78, 7号, 31巻, 1993