

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

三井住友建設(株) 正会員 博(工) ○佐々木 亘
 三井住友建設(株) 正会員 博(工) 谷口 秀明
 大王製紙(株) 佐々木寛人
 大王製紙(株) 大川 淳也

キーワード：セルロースナノファイバー，乾燥，割裂引張強度，鉄筋拘束試験，収縮ひび割れ

1. はじめに

セルロースナノファイバー (以下, CNF と称す) は, 植物の細胞壁を形作る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 1/5 の軽さでその 5 倍以上の強度を有している¹⁾とされ, また, 国内に豊富に資源蓄積のあるバイオマス材料であることから, 次世代の大型産業資材・グリーンナノ材料として製造と利用に関する研究が活発に行われている。その一方で, 国内においては CNF のコンクリートへの適用検討に関する報告はほとんどみられないのが現状である。そこで本稿では, CNF を混入させたコンクリートの基礎物性を調べた結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験で使用した材料を表-1に示す。用いた CNF は広葉樹を原料とした化学パルプから製造したものであり, 2 wt.%の濃度で水に分散した状態で用いた。

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-2に示す。実験要因は水セメント比 (W/C) および CNF 量である。W/C を 55%, 40%, 30%の 3 水準とし, それぞれに対して CNF 量を 0 および 0.3 kg/m³ の 2 水準とした。なお, CNF 自体の体積は配合上の 1 m³に含めず (外割), 分散媒である水は単位水量の一部となるように計量した。W/C = 55%は一般的な RC 構造物に用いられるコンクリートを想定したものであり, セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。W/C = 40%および 30%は PC 上部工で用いられるコンクリートを想定したものであり, セメントには早強ポルトランドセメント

表-1 使用材料

材料	物性など	記号	
水	上水道水 (千葉県流山市)	W	
セメント	普通ポルトランドセメント (密度 3.15 g/cm ³ , 比表面積 3330 cm ² /g)	N	C
	早強ポルトランドセメント (密度 3.13 g/cm ³ , 比表面積 4690 cm ² /g)	H	
細骨材	富津産山砂 (表乾密度 2.65 g/cm ³ , 吸水率 1.73%) と 岩瀬産硬質砂岩砕砂 (表乾密度 2.60 g/cm ³ , 吸水率 1.58%) を容積比 4:6 で混合	S	
粗骨材	岩瀬産硬質砂岩砕石 2005 (表乾密度 2.65 g/cm ³ , 実積率 60.4%)	G	
化学混和剤	AE 減水剤 (リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体)	WR	
	高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸エーテル系)	SP	
	AE 剤 (変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤)	AE	
セルロースナノファイバー	2 wt.% 水分散液	CNF	

表-2 コンクリートの配合

記号	W/C [%]	s/a [%]	単位粗骨材絶対容積 V _G [L/m ³]	Air [%]	単位量 [kg/m ³]				
					W	C		S	G
						N	H		
N55	55.1	50.2	330	4.5	185	336	-	872	875
H40	40.0	48.4			175	-	438	813	
H30	30.0	44.4			175	-	583	692	

※それぞれの W/C で CNF 量を 0 および 0.3 kg/m³ の 2 水準設定した

を使用した。粗骨材量はW/Cによらず一定としたが、予備検討からCNFの添加によりコンクリートの粘性増加と流動性低下が予想された。このため、化学混和剤の使用量により流動性を高めた場合であっても材料分離抵抗性を確保する目的で、粗骨材量は小さめの値とした。コンクリートの練混ぜには公称容量100リットルの強制二軸ミキサを用いた。

2.3 測定項目

測定項目はフレッシュ時のスランプまたはスランプフローおよび空気量、硬化後の圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度、自己収縮ひずみ、乾燥収縮ひずみ、および収縮に伴う拘束応力である。圧縮強度、静弾性係数および割裂引張強度は、φ100×200 mmの円柱供試体を用いて標準水中養生および材齢7日まで20℃封緘以降20℃60%RH (以下、「7日封緘以降気中養生」と称す)の2つの養生条件で測定を行った。自己収縮ひずみは、打込み直後より20℃封緘とした100×100×400 mm角柱供試体のひずみを埋込み型ひずみ計により測定した。乾燥収縮ひずみは100×100×400 mm角柱供試体の長さ変化をJIS A 1129-2:2010 付属書Aに準じて測定した。拘束応力の測定では、JCI「コンクリートの自己収縮応力測定方法」²⁾を参考とし、100×100×1500 mm角柱供試体の断面中央にD32鉄筋を配置した。鉄筋の長さ方向の中央300 mmの範囲で節およびリブを取り除いたうえでテフロンシートを二重に巻き付け、コンクリートとの付着を生じないようにした。この供試体の、コンクリートの打込み後の鉄筋中央部のひずみを測定し、コンクリートの収縮を鉄筋が拘束することにより生じる応力を算定した。養生条件は7日封緘以降気中養生とした。さらに、100×100×400 mm角柱供試体と埋込み型ひずみ計を用いて、7日封緘以降気中養生における自由収縮ひずみの測定も併せて実施した。

表-3 フレッシュ性状

W/C [%]	CNF [kg/m ³]	WR [C×%]	SP [C×%]	AE [C×%]	スランプ [cm]	スランプフロー [mm]		Air [%]
55	0	1.0	-	0.007	20.5	368	357	4.5
	0.3	1.0	-		8.5	-	-	5.2
40	0	-	0.7	0.003	20.0	328	315	5.5
	0.3	-	1.2		14.0	-	-	4.6
30	0	-	1.4	0.002	-	561	559	5.4
	0.3	-	2.5		23.0	464	438	3.7

3. 実験結果および考察

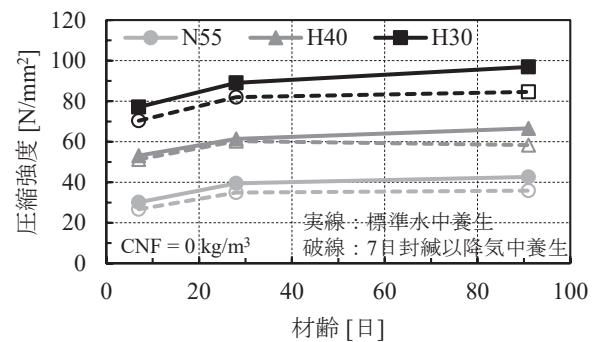
3.1 フレッシュ性状

化学混和剤の使用量とスランプまたはスランプフローおよび空気量の測定結果を表-3に示す。W/C=55%ではWR量を一定、W/C=40%および30%ではCNFの添加と併せてSP量を増加させたが、いずれにしても、CNFの添加により流動性が低下していることが分かる。AE剤の使用量はW/CごとにCNF量によらず一定としたが、W/Cが小さい場合にはCNFの添加に伴って空気量が減少する傾向が見られた。

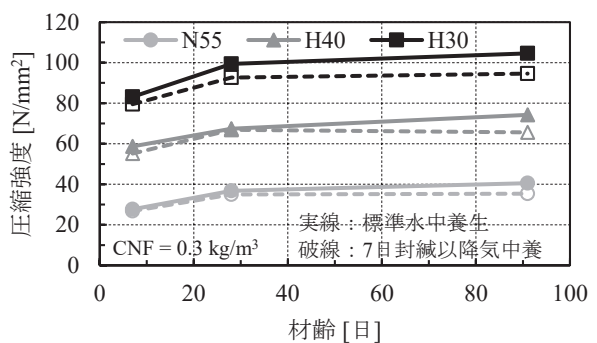
3.2 硬化後の物性

(1) 圧縮強度

図-1に材齢と圧縮強度の関係を示す。いずれの条件でも、標準水中養生に比べて7日封緘気中養生では若干圧縮強度が小さく、また、長期材齢での強度増進の程度も小さくなっていることが分かる。H40および



(a) CNF 0 kg/m³



(b) CNF 0.3g/m³

図-1 圧縮強度

H30 では、CNF = 0 kg/m³ に比べて CNF = 0.3 kg/m³ では圧縮強度が全体的に高くなっているが、空気量 1% の増加で圧縮強度が 4~6% 低下する³⁾ とするとほぼ同程度の値となることから、この圧縮強度の変化は CNF の混入によるものではなく、空気量の影響であると考えられる。

(2) 静弾性係数

図-2 に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図中には参考として、コンクリート標準示方書⁴⁾ に示される圧縮強度とヤング係数の関係式から求められる値も併せて示している。この図より、CNF が静弾性係数に与える影響はほとんど見られないことが分かる。

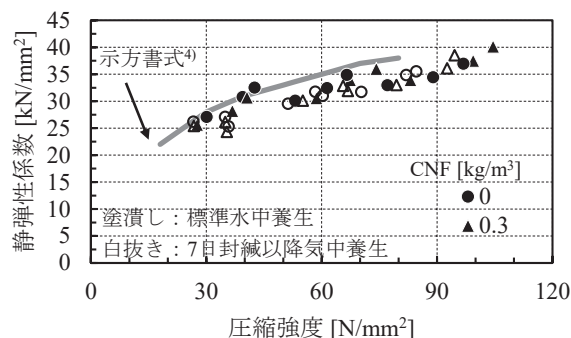
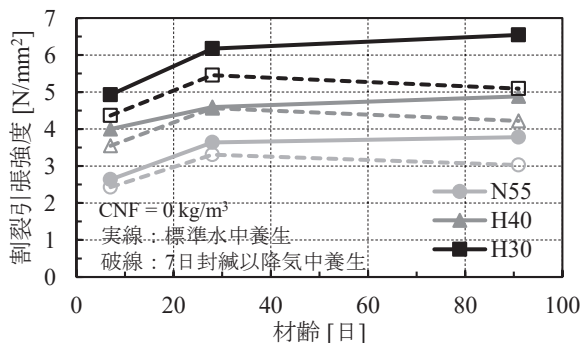


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係

(3) 割裂引張強度

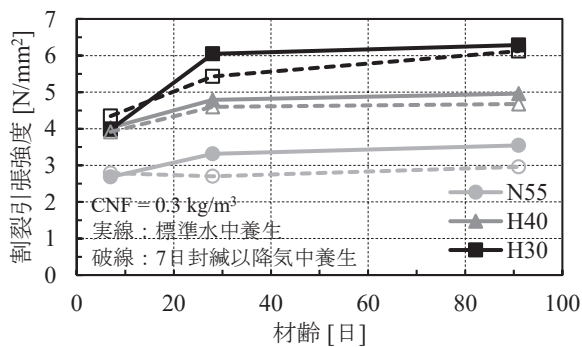
図-3 に材齢と割裂引張強度の関係を示す。CNF = 0 kg/m³ では、7 日以降気中養生の場合に長期材齢で割裂引張強度が低下する傾向にあることが分かる。また、W/C が小さいほど標準水中養生との差異が大きい、すなわち、低下の程度が大きくなっているが、この傾向は既往の報告⁵⁾ と一致している。これに対し、CNF = 0.3 kg/m³ では 7 日以降気中養生であっても割裂引張強度の低下が生じず、乾燥環境下での割裂引張強度が改善された。圧縮強度や後述の自己収縮および乾燥収縮では CNF の影響が見られなかったことから、乾燥作用の軽減ではなく、乾燥環境下におけるマトリクスのひび割れ発生強度を力学的に改善している可能性が考えられる。



(a) CNF 0 kg/m³

(4) 収縮ひずみおよび拘束応力

図-4 ~ 7 に自己収縮ひずみ、乾燥収縮ひずみ、7 日封緘以降気中養生条件での収縮ひずみならびに拘束応力の経時変化を示す。いずれも 2 体の供試体の平均値である。図-7 にみられる拘束応力の急激な低下は、供試体 2 体のうち 1 体にひび割れが生じたことを示しており、図-6 に示した 7 日封緘以降気中養生条件での収縮ひずみは、図-7 に示される鉄筋拘束供試



(b) CNF 0.3 kg/m³

図-3 割裂引張強度

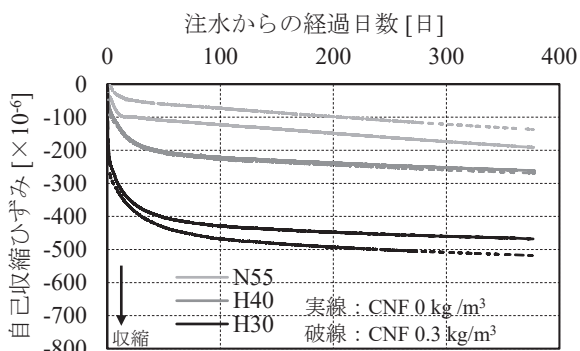


図-4 自己収縮ひずみ

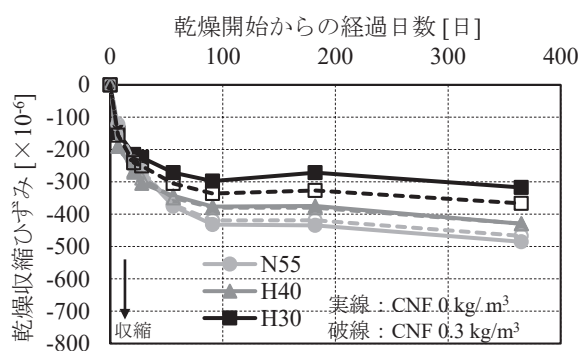


図-5 乾燥収縮ひずみ

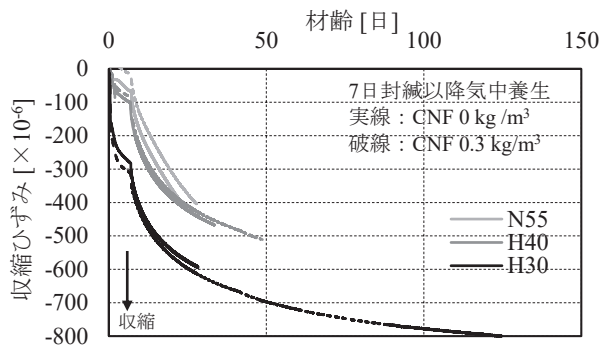


図-6 収縮ひずみ(7日封緘以降気中養生)

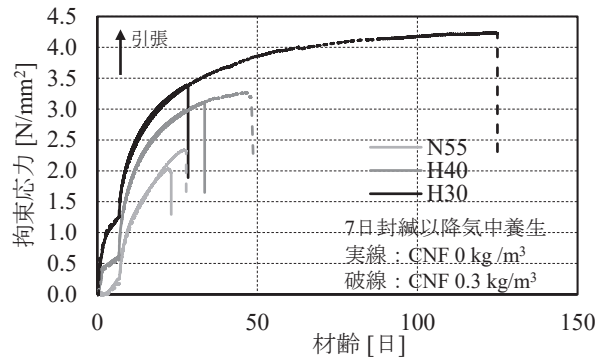


図-7 拘束応力の経時変化

体にひび割れが生じた材齢までの測定データを示している。

収縮ひずみに与える CNF の影響については、自己収縮および乾燥収縮については同様の傾向であった。すなわち、CNF の混入によって収縮ひずみが N55 では若干小さく、H40 ではほぼ同程度、H30 では若干増加した。しかし、7 日封緘以降気中養生での収縮ひずみや拘束応力の経時変化は必ずしも同様の傾向ではなく、CNF の混入による影響は小さい。したがって、自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみで確認された傾向はばらつきの範囲内である可能性も考えられる。いずれにせよ、CNF の混入による収縮ひずみへの影響は大きいものではないようである。

一方、図-7 に示したように、CNF の混入によって拘束応力の発生挙動にはほとんど差異が見られないものの、ひび割れ発生応力および材齢が増加していることが分かる。特に H30 でその差異が顕著であることから、乾燥環境下において引張強度が改善されたことを主たる要因として、ひび割れ抵抗性が向上した可能性が考えられる。

4. まとめ

W/C = 55~30%のコンクリートに CNF を混入させ基礎的な物性を調べた結果、以下の知見を得た。

- (1) CNF の混入によりフレッシュコンクリートの流動性は低下する。
- (2) コンクリートの圧縮強度、静弾性係数および収縮ひずみに与える CNF の影響は小さい。
- (3) コンクリートに CNF を混入させることで、乾燥環境下での引張強度を改善し、乾燥収縮に伴うひび割れの抵抗性を向上させることができる可能性がある。特に、強度域の高いコンクリートでその効果が高い。

参考文献

- 1) 矢野浩之：セルロースナノファイバーとその利用，日本ゴム協会紙，第 85 巻，第 12 号，pp. 376-381，2012.
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの自己収縮研究委員会報告書，2002. 9
- 3) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'17，2017. 9
- 4) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2018. 3
- 5) 田澤栄一，宮沢伸吾，重川幸司，三宅啓文：乾燥を受けるモルタルの引張強度について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 13, No. 1, pp. 369-374, 1991.