

繰返し給熱養生を行った超高強度繊維補強コンクリートの強度発現特性

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○太田 健司
 (株)大林組 技術研究所 正会員 川西 貴士
 (株)大林組 技術研究所 正会員 石関 嘉一

1. はじめに

近年、高速道路において、塩害の進行や経年劣化に伴い、各地で更新工事が進められている。橋梁床版においては、損傷が著しいこともあり、既設床版を撤去し、新設のプレキャスト床版に取り替える工事が行われている。この床版取替工事において、床版の高耐久化や工期短縮を目的として、超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC とする。）を使用した二次製品が使用される場合がある。しかし、UFC は、冬季に所要の性能を確保するための養生期間が長くなる。特に、環境温度が 10℃を下回る場合には、強度が発現しにくい¹⁾ため、給熱養生が必要となる²⁾。UFC を二次製品に用いる場合、型枠の転用、ストックヤードの確保および製品の出荷材齢の短縮などの観点から、早期に所要の強度を確保できる養生方法の構築が望まれる。

そこで、二次製品工場で標準期に行われている養生方法に加え、冬季製造時には追加の給熱養生を施すこととした。以上より、冬季製造を想定した UFC の養生方法について検討した結果を報告する。

2. UFC を用いたコンクリート二次製品

標準期における UFC を使用したコンクリート二次製品の製造は、一般的なコンクリートおよび UFC の打込み完了後、蒸気養生（最高温度 55±5℃環境を 4 時間保持）を施す。蒸気養生終了後に打継処理を行い、所定の期間まで水中養生および封緘養生した後に、製品の出荷となる。ここで、環境温度が 10℃を下回るような冬季では、標準期に比べ、UFC の強度が発現しにくくなる。そのため、二次製品工場での養生期間を短縮するため、早期に所要の圧縮強度（180N/mm²）を確保できる養生方法が必要とされた。そこで、冬季製造時の養生方法について検討した。

3. 実験概要

UFC に熱養生を施す場合、最高温度 60℃を 24 時間保持することで所要の強度を満足できることが確認さ

れている³⁾。しかし、この養生方法では、二次製品製作時の蒸気養生時間が長くなり、標準期における 2 日サイクルの製造工程が 3 日サイクルへと長くなる。また、コンクリートの強度発現も高くなり、脱型後の打継処理ができなくなる。そのため、1 次養生として標準期と同様の蒸気養生を行い、脱型、打継処理を行った後に 2 次養生や 3 次養生として給熱養生を行うこととした。

蒸気養生および給熱養生を行う際の昇温および降温条件は、15℃/h とした。また、給熱養生終了後は水温 15℃でそれぞれ 7 日間水中養生を行い、その後、冬季の製造を想定して環境温度 10℃の条件にて所定材齢まで封緘養生を行った。ケース 1 は、標準期と同様の蒸気養生を施した。ケース 2 およびケース 3 は、2 次養生および 3 次養生として、1 次養生と同一条件の最高温度 55℃、保持時間 4 時間の条件で繰返し給熱養生を行った。ケース 4 は、2 次養生および 3 次養生の最高温度を 65℃、保持時間を 6 時間の条件とした。

UFC の使用材料および配合を表-1、養生条件を表-2 に示す。試験は、φ50×100mm の円柱供試体を作製し、異なる条件で養生を行い、所定の材齢で圧縮強度試験

表-1 使用材料および UFC の配合

水粉体比 (%) W/P	単位量 (kg/m ³)			高性能減水剤 (kg/m ³) SP	鋼繊維 (kg/m ³) SF
	水 W	専用プレミックス粉体 P	細骨材 S		
12.6	230	1830	331	22	157

表-2 養生条件

養生条件	1 次養生		2 次養生		3 次養生	
	最高温度	保持時間	最高温度	保持時間	最高温度	保持時間
ケース 1	55℃	4h	-	-	-	-
ケース 2			55℃	4h	-	-
ケース 3			55℃	4h	55℃	4h
ケース 4			65℃	6h	65℃	6h
標準養生	材齢 28 日まで 20℃水中養生					

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート、冬季養生、給熱養生、蒸気養生、二次製品、強度推定
 連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL 042-495-1131

(JIS A 1108 に準拠) を実施した。また、圧縮強度試験用の供試体とは別に円柱供試体を作製し、供試体中心部の温度履歴を熱電対により計測した。

4. 給熱養生が UFC の強度発現に及ぼす影響

各養生ケースにおける給熱養生期間中の円柱供試体中心部の温度履歴を図-1 に示す。ケース1~4 のいずれのケースでも、1 次養生時の UFC 温度は 60°C 程度まで上昇している。これは、UFC の水和反応に伴う水和熱の影響と考えられる。その後、供試体中心部の温度履歴は、設定した養生温度と概ね一致している。

圧縮強度試験結果を表-3 に示す。給熱養生の最高温度を 55°C としたケース1~3 については、給熱養生時間の増加に伴って、UFC の圧縮強度は増進した。ただし、いずれも圧縮強度は 180N/mm² に満たなかった。一方で、2 次養生以降の最高温度を 65°C としたケース4 では、給熱養生の終了とともに 180N/mm² 以上を確保できることが確認された。

つぎに、各養生ケースにおいて供試体から得られた温度履歴をもとに、見かけの活性化エネルギーを修正した修正有効材齢およびゴンペルツ曲線を用いた推定式²⁾ から圧縮強度の推定を行った。推定強度および供試体の圧縮強度をプロットした結果を図-2 に示す。ケース1 のみ、供試体の圧縮強度よりも推定強度は材齢14 日頃まで低く算出される結果となった。一方で、繰返し給熱養生を行ったケース2~4 において、推定強度と圧縮強度の試験結果は概ね一致する結果となった。したがって、材齢初期の推定強度は低く算出される傾向にあるものの、繰返し給熱養生を行った場合でも、モルタルの温度履歴から見かけの活性化エネルギーを修正した修正有効材齢およびゴンペルツ曲線を用いた推定式により UFC の圧縮強度は推定可能である。

4. まとめ

UFC を用いた二次製品を冬季に製造する場合、養生期間の確保が課題であった。養生期間を短縮するために、所要の圧縮強度を確保できる給熱養生条件について検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) 環境温度で 10°C を下回るような冬季においても、繰返し給熱養生を行うことで、所要の圧縮強度を確保できることを確認した。
- 2) 繰返し給熱養生を施した場合でも、既往の研究に示される推定式を用いて、UFC の圧縮強度を推定することが可能である。

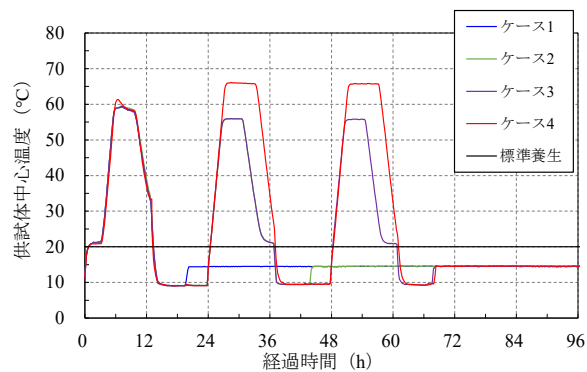


図-1 UFC の温度履歴

表-3 試験材齢および圧縮強度試験結果

養生条件	1 日	2 日	3 日	7 日	8 日	9 日	10 日	14 日	28 日
ケース1	134	-	-	152	157	-	-	157	167
ケース2	-	161	-	167	-	165	-	163	169
ケース3	-	-	172	171	-	-	170	171	174
ケース4	-	-	192	193	-	-	194	196	198
標準養生	77	-	-	143	-	-	-	154	185

単位：N/mm²

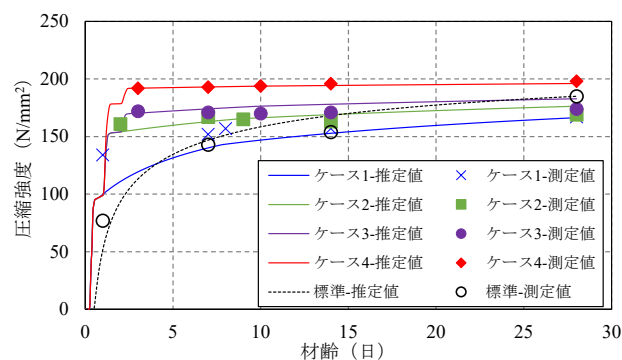


図-2 推定強度と試験により測定した圧縮強度の関係

謝辞

本研究において、宇部興産株式会社に多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会, 超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価報告書, 技術推進ライブラリー, No.70, 2022
- 2) 桐山宏和他, C₃S 系セメントとポゾラン質微粉末を用いた超高強度モルタルの圧縮強度の温度依存性とその評価方法に関する研究, 土木学会論文集, E2 (材料・コンクリート構造) Vol.75, No.3, pp.157-168, 2019