

常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリートの冬季施工に向けた電熱マットの給熱養生効果

(株) 大林組 正会員 ○川西 貴士 正会員 青木 峻二
正会員 富井 孝喜 正会員 齊藤 翔太

1. はじめに

近年、高強度で耐久性が高く、生産性の向上に資する超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC と呼称）の利用が増えている。一般に UFC は高温の蒸気養生が必要であるが、常温硬化型の UFC も開発されている。しかし、冬季の施工においては管理材齢の延長が必要となる。所要の管理材齢の確保が困難な場合は、保温養生や給熱養生が必要となる¹⁾。

現場で汎用的に用いられている電熱マットは 40℃ 程度の給熱が可能であるが、外気温が 10℃ を下回るような冬季施工においては、さらに高い温度による給熱養生が必要となる場合も想定される。そこで、常温硬化型の UFC の冬季施工に向けて、60℃ 程度まで給熱が可能な高温型の電熱マットを考案した。本稿では、その電熱マットによる給熱養生効果について報告する。

2. 実験の概要

実験に用いた常温硬化型の UFC の使用材料および配合を表 1 に示す。目標とする圧縮強度は 180N/mm² とした。実験は、表 2 に示すとおり養生方法を変えた 7 ケースについて行った。Case2～7 については、雰囲気温度が 5～10℃ の環境下にて、断熱材で供試体を被覆した状態で保温または給熱養生を行った。断熱材の厚さは 50mm とした。Case3～7 における給熱養生の概略図を図 1 に示す。給熱養生は、写真 1 に示すとおり、カーボンナノチューブ製の面状発熱体を有する電熱マットを用いて行い、電熱マットの外側を断熱材にて保温した。電熱マットには、60℃ で通電し 70℃ で電気が切れる温度制御装置を設置した。養生方法は、表 2 に示すとおり、最初に前養生として断熱材のみの保温養生を行い、続いて電熱マットを用いた給熱養生を行った。保温養生は 3 時間および 18 時間の 2 水準とし、給熱養生は 14、22、46 時間の 3 水準とした。Case1 は比較用として 20℃ 一定の条件下で養生を行い、Case2 は 5 日間の保温養生のみとした。Case2～7 については、

所定の保温および給熱養生終了後は、5℃ 一定環境下で養生を行った。

モルタルの硬化後、表 2 に示す所要の材齢にて圧縮強度試験（JIS A 1108 準拠）を実施した。試験体の寸法は φ50×L100mm とした。

表 1 使用材料および配合

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

表 2 養生方法および実験ケース

実験ケース	養生方法	圧縮強度の実施材齢 (日)							
		1	2	3	7	28	56	91	182
Case1	20℃ 一定	—	—	○	○	○	○	—	—
Case2	保温養生5日間	○	○	○	○	○	—	○	○
Case3	保温養生3時間＋給熱養生14時間	○	○	○	○	○	○	—	—
Case4	保温養生3時間＋給熱養生22時間	—	○	○	○	○	○	—	—
Case5	保温養生3時間＋給熱養生46時間	—	—	○	○	○	○	—	—
Case6	保温養生18時間＋給熱養生22時間	—	○	○	○	○	○	—	—
Case7	保温養生18時間＋給熱養生46時間	—	—	○	○	○	○	—	—

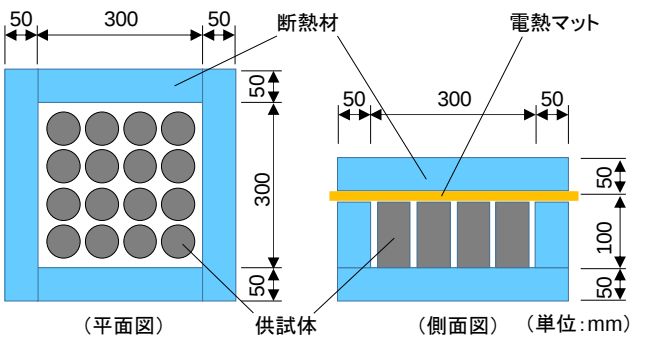


図 1 給熱養生の概略図（Case3～7）



写真 1 電熱マットの外観および給熱養生状況

キーワード 常温硬化型、超高強度繊維補強コンクリート、冬季施工、電熱マット、給熱養生

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 生産技術研究部 TEL042-495-1012

3. 品質試験結果

各実験ケースにおけるモルタル温度の履歴を図2に示す。保温養生を3時間としたCase3～5は、水和熱の影響により最高温度が84～85℃程度まで上昇した。断熱材にて保温養生を行ったCase2は、最高温度が40℃程度であった。

圧縮強度試験の結果を表3に示す。保温養生のみのCase2は、材齢182日においても所要の180N/mm²に達しなかった。給熱養生を行ったCase3～7は、いずれも給熱養生の完了時点で所要の180N/mm²を超えた。

超高強度モルタルの圧縮強度は、図3に示すとおり10℃以上の場合、見かけの活性化エネルギーを修正した有効材齢およびゴンペルツ曲線を用いた強度発現式によって、モルタルの温度履歴から圧縮強度を推定できることが報告されている²⁾。そこで、圧縮強度の推定値と圧縮強度試験結果(測定値)との比較を行った。

材齢と圧縮強度の関係を図4に示す。Case2については、雰囲気温度が5～10℃での養生であり、若干測定値が低い結果であったが、いずれも概ね推定値と測定値が合致した。電熱マットを用いて強制的に熱を与えた場合でも、圧縮強度の推定が可能であることが確認でき、既往の推定方法の妥当性を再確認した。

4. まとめ

超高強度繊維補強コンクリートの冬季施工に向けて、電熱マットを用いた給熱養生対策について検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 電熱マットにより給熱し、60℃以上の温度で保温することで雰囲気温度が5～10℃の環境下においても給熱養生の完了時で圧縮強度180N/mm²を確保できる。
- (2) 修正した有効材齢を用いてモルタル温度から圧縮強度の推定が可能である。

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.70，2017

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

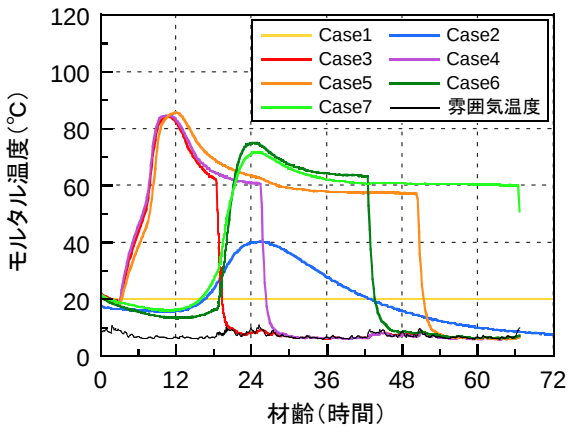


図2 モルタル温度の測定結果

表3 圧縮強度試験結果

実験 ケース	圧縮強度の実施材齢（日）							
	1	2	3	7	28	56	91	182
Case1	—	—	128	152	187	194	—	—
Case2	57	114	125	134	148	—	159	169
Case3	196	197	193	191	196	199	—	—
Case4	—	199	191	202	212	206	—	—
Case5	—	—	207	205	214	213	—	—
Case6	—	203	204	191	204	206	—	—
Case7	—	—	207	207	210	205	—	—

※単位：N/mm²

$$t_e = \sum \exp\left(-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right) \Delta t \quad \dots\dots\dots (\text{アレニウス則})$$
$$F_T = F_{T,inf} \cdot \exp(-1.149(t_e - 0.467)^{-0.529}) \quad \dots\dots\dots (\text{ゴンペルツ曲線})$$

ここに

t_e : 修正有効材齢(日)

E_a : 見かけの活性化エネルギー(kJ/mol)

R : 気体定数(8.31J/mol/K)

T_0 : 基準温度(293K)

T : 養生温度(K)

Δt : T を維持する間の材齢(日)

F_T : 養生温度 T で実施した圧縮強度(N/mm²)

$F_{T,inf}$: 圧縮強度の終局値(235N/mm²)

図3 圧縮強度の推定方法²⁾

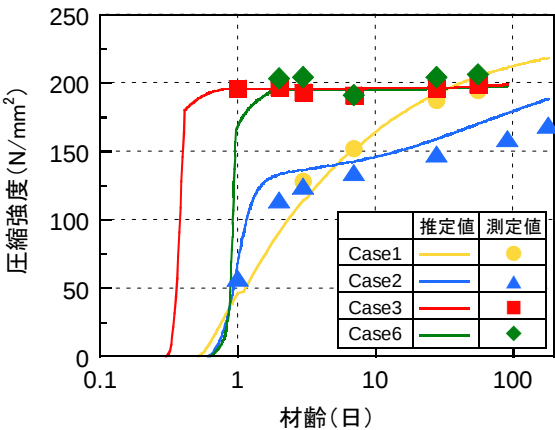


図4 測定値と推定値の比較