

V-9

耐寒剤使用コンクリートの積算温度適用性について

北見工業大学	学生会員	久保裕一
北見工業大学	フェロー	鮎田耕一
北見工業大学	正会員	桜井宏
北見工業大学	正会員	猪狩平三郎

1. はじめに

夜間などに気温が氷点下になることが多い温度条件は、コンクリートに初期凍害を起こさせるばかりでなく、その後の強度発現を停滞させ、最悪の場合、構造物自体に致命的な欠陥を生む原因ともなる。このため初期凍害防止策として、耐寒剤を用いたコンクリートの研究が行われている。この耐寒剤の有効性は既に報告¹⁾しているが、温度と強度発現の関係など十分に解明されていない点も多い。

そこで本研究では耐寒剤使用コンクリートの圧縮強度と積算温度との関係を検討した。

2. 実験方法

2.1 実験概要

耐寒剤使用コンクリート(NF)の養生温度を変えて材齢91日までの圧縮強度発現性状を調べた。比較のため耐寒剤を使用していないコンクリート(ブレンコンクリート:PL)も用いた。また、屋外に耐寒剤使用コンクリート、ブレンコンクリートそれぞれのスラブを打ち込み、若材齢でコア供試体を切取り圧縮強度を求めた。表1に耐寒剤の使用量及び養生温度を示す。

表1 耐寒剤使用量及び養生温度

コンクリート種類	記号	耐寒剤使用量 (L/C=100kg)	養生温度 (℃)
耐寒剤使用 コンクリート	NF	5	20, 10, 0, -5, -10
ブレンコンクリート	PL	-	20, 10

2.2 使用材料

- (1) セメント：普通ポルトランドセメント（比重3.16）
- (2) 骨材：粗骨材は川砂利（最大寸法40mm、比重2.58、粗粒率7.20、吸水率1.83%）、細骨材は川砂（比重2.56、粗粒率2.70、吸水率1.98%）と陸砂（比重2.61、粗粒率2.70、吸水率1.71%）を容積比率 1：1で混合。
- (3) 混和剤：耐寒剤NF（主成分：ポリグリコールエステル誘導体及び含窒素化合物）、及びA.E減水剤（主成分：リグニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体）

2.3 配合及び練上がり性状

コンクリートの配合を表2に示す。スラブの目標値は 8 ± 2.5 cm、空気量の目標値は耐寒剤使用コンクリートでは $5.5 \pm 1\%$ 、ブレンコンクリートでは $4.5 \pm 1\%$ とした。

Application of Maturity to Concrete Containing Nonfreezing Agents
by Yuichi KUBO, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Heizaburoh IGARI

表2 配合表

コンクリート 種類	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和剤	
			W	C	S	G	耐寒剤 (ℓ/m ³)	AE減水剤 (ℓ/m ³)
NF	42.5	37.6	138	325	686	1136	16.25	—
PL							—	0.813

2.4 供試体及び養生方法

2.4.1 円柱供試体

供試体 (φ12.5×25cm) は、打込み後、型枠をつけたまま約10℃の室内に3日間静置し脱型した。脱型後、ラップフィルムとビニール袋により封かん状態にし、表1に示す所定の温度条件下に静置した。なお、このほか20℃水中養生も行った。また、供試体中心部に熱電対を埋設し、コンクリート温度を測定し積算温度の算出に用いた。

2.4.2 コア供試体

供試体採取用スラブ (90×180×55cm) は、サロマ湖へ流入する小河川付近で作成した。打ち込み後、耐寒剤使用スラブは合成繊維製の不織布養生シート (厚さ3mm) で覆い、保温養生を材齢12日まで行った。一方、プレーンコンクリートスラブはブルーシートで囲い、ジェットヒータで給熱養生 (設定養生温度15℃) を材齢13日まで行った。コア供試体 (φ10×20cm) は所定材齢でスラブから切取った。また、スラブ中心部に熱電対を埋設し、コンクリート温度を測定し積算温度を算出した。

2.5 圧縮強度及び積算温度

圧縮強度試験は封かん供試体ではJIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い材齢3～91日で実施し、コア供試体ではJIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切取り方法及び強度試験方法」に従い材齢3、5、7日で実施した。コンクリートの圧縮強度 (f'c) は、温度 (T) によって強度発現が異なるため、寒中コンクリートのように温度が極めて低くなるような場合には、強度を温度と材齢の両者を加味した積算温度 (M) の関数式で表すのが合理的である²⁾。積算温度は一般に、(1)式により表される。

$$M = \sum (T - T_0) \Delta t \quad \dots\dots (1) \quad f'c = \frac{F}{1 + \exp(\alpha - \beta \log M)} \quad \dots\dots (2)$$

M : 積算温度 (℃・日)

T : コンクリート温度 (℃)

T₀ : 基準温度 (℃) 一般に -10℃

Δt : 時間 (日)

F : 最終到達強度 (N/mm²)

M : 積算温度 (℃・日)

α、β : 係数

積算温度と圧縮強度の関係は、ロジスティック曲線を用いて解析した。これはコンクリートの水和速度が材齢によって変化するためである。ロジスティック曲線式を(2)に示す。ここで最終到達強度Fは20℃封かん養生の材齢91日の圧縮強度を用い、X=logM、Y=ln{f'c/(F-f'c)}と変数変換して最小二乗法から係数α、βを求めた。

3. 実験結果及び考察

3.1 圧縮強度

材齢91日までの耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートの封かん養生の圧縮強度試験結果を図1、図2にそれぞれ示す。耐寒剤使用コンクリートでは-10～20℃の範囲で養生温度が高くなるにつれて、材齢91日までの強度は大きくなった。最も低い-10℃で養生された耐寒剤使用コンクリートの圧縮強度も、多少のばらつきはあるものの材齢とともに増加傾向にあり、材齢7日の圧縮強度は耐凍害性を十分確保する20N

/mm²以上²⁾であった。スラブから切り取ったコア供試体の圧縮試験結果を図3に示す。耐寒剤使用コア供試体の圧縮強度は、簡単なシート養生であったにもかかわらず、給熱養生したプレーンコンクリートのそれよりすべての材齢で大きな値を示した。

3. 2 積算温度

耐寒剤使用、プレーンコンクリートの圧縮強度と積算温度の関係を図4に、圧縮強度と積算温度の回帰直線及び直線式を図5に示す。耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリート両者の積算温度に対する強度増進傾向には差がみられ、耐寒剤使用コンクリートの回帰直線の回帰係数aはプレーンコンクリートに比べ大きい。

強度増進曲線にロジスティック曲線を適用した場合の圧縮強度と積算温度の関係を図6、図7にそれぞれ示す。ロジスティック曲線は圧縮強度と積算温度の関係を精度良く表し、実測値との相関係数は耐寒剤使用、プレーンコンクリートとも0.9以上であった。

土木学会コンクリート標準示方書には寒中コンクリートの「激しい気象作用を受けるコンクリートの養生終了時の所用圧縮強度の標準」として、連続して、あるいはしばしば水で飽和される構造物の断面の薄い場合は150kgf/cm² (≒15N/mm²)としている。それぞれのロジスティック曲線から求められる圧縮強度が15N/mm²になるときの積算温度は、耐寒剤使用コンクリートでは40°C・日であり、プレーンコンクリートでは90°C・日であった。これはそれぞれ5°Cで養生した場合の材齢3日、6日経過時の値であり、-5°Cの場合で材齢5日、15日経過時の値である。示方書では、連続して、あるいはしばしば水で飽和される構造物の5°Cで養生する場合の養生日数の目安を9日としている。耐寒剤使用により養生日数を大幅に短縮できるばかりでなく、コンクリート温度が-5°C程度になるような簡単なシート養生においても養生日数5日で所定の強度を十分満たすことが可能である。

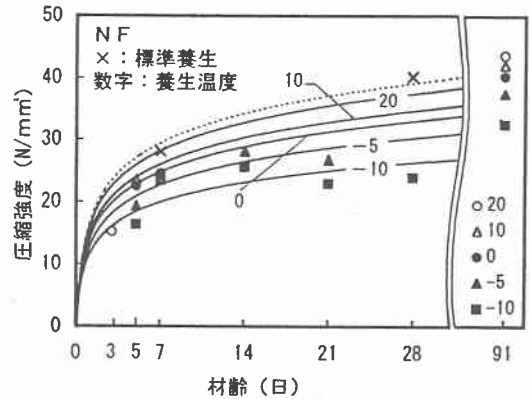


図1 圧縮強度と材齢
(耐寒剤使用コンクリート)

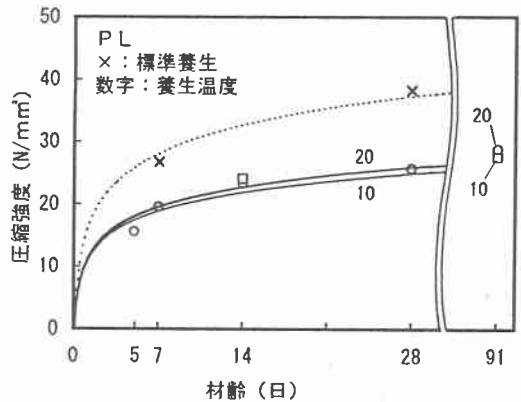


図2 圧縮強度と材齢
(プレーンコンクリート)

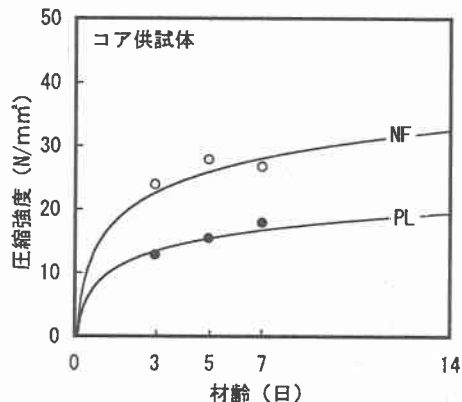


図3 圧縮強度と材齢
(スラブ切りコア)

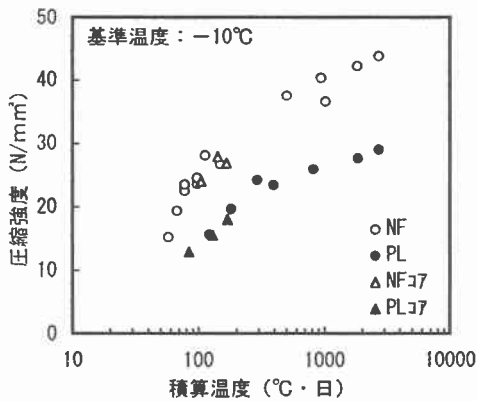


図4 圧縮強度と積算温度

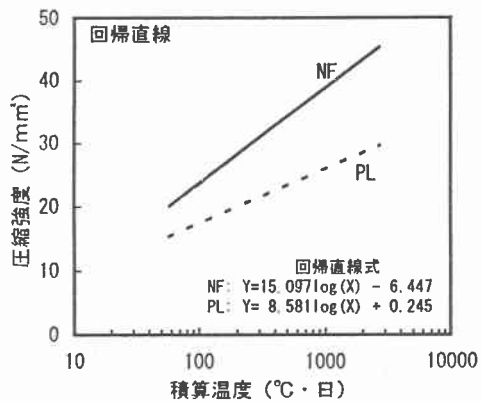


図5 圧縮強度と積算温度
(回帰直線)

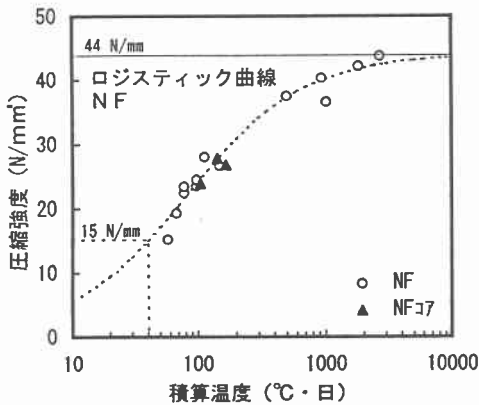


図6 圧縮強度と積算温度
(耐寒剤使用コンクリート)

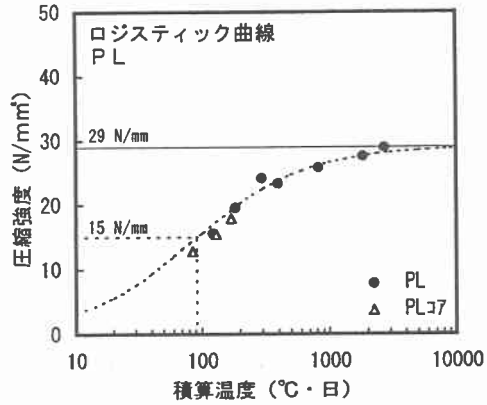


図7 圧縮強度と積算温度
(プレーンコンクリート)

4. まとめ

耐寒剤（主成分：ポリグリコールエステル誘導体及び含窒素化合物）を単位セメント量100kg当たり5ℓ、使用したコンクリート（水セメント比42.5%，細骨材率37.6%，単位セメント量：325kg/m³）を用いて行った本研究結果から以下のことが明らかになった。

- (1) 強度は-10°Cの低温条件でも増進し、材齢7日の時点での圧縮強度は耐凍害性を十分確保しうる20N/mm²以上であった。
- (2) 圧縮強度と積算温度の関係はロジスティック曲線で表すことが可能であり、屋外で打ち込まれたスラブから採取したコア供試体の圧縮強度とも高い相関性を示した。

参考文献

- 1) 鮎田耕一、桜井宏、小笠原育穂：耐寒剤を使用したコンクリートの強度発現性状、セメント・コンクリート論文集、No.48、pp.476~481、(1994)
- 2) 林正道、鮎田耕一：コンクリート工学<耐久性・寒中コンクリート詳説>、山海堂(1993)