

V-14

耐寒剤使用コンクリートの積算温度と圧縮強度の関係

(ロジスティック曲線の適用性)

北見工業大学大学院 学生員 小笠原育穂
 北見工業大学工学部 正 員 鮎田 耕一
 北見工業大学工学部 正 員 桜井 宏
 北見工業大学工学部 正 員 猪狩平三郎
 水 元 建 設(株) 正 員 水元 尚也

1. はじめに

北海道をはじめとする積雪寒冷地における寒中コンクリートの施工では、養生不十分による強度不足、すきま風による隅角部の凍害など予期しないコンクリートの品質低下を招きやすく、特に入念な施工管理が必要となる。これらの品質低下を防止する目的でジェットヒーター、ボイラー等の熱源を利用した給熱養生が行われているが、夏期の施工に比べて給熱のための諸設備が必要になる。このように、寒中コンクリートの施工は技術的、経済的な問題があるため、積極的に行われていないのが現状である。

一方、近年給熱養生を行わずに耐寒剤を使用して寒中コンクリートを施工する事例が報告されている。この施工方法が確立されれば、寒中コンクリートの省力化、合理化を図るうえで好都合である。そこで、筆者らは、耐寒剤を用いた寒中コンクリートの合理化施工法の確立に資することを目的として、1992年1月の厳寒期にオホーツク海沿岸で試験施工を行った。その結果、耐寒剤を用いたコンクリートは、簡単な保温養生を行うだけで初期凍害を受けることなく、強度発現も良好であることを明らかにした¹⁾。

本研究では、試験施工に伴って行った実験から、耐寒剤を使用したコンクリートの積算温度と圧縮強度の関係に対するロジスティック曲線の適用性について検討した。

2. 実験及び解析方法

2.1 使用材料

使用材料を表1に示す。

2.2 配合及び練上がり性状

使用したコンクリートの配合及び練上がり性状を表2に示す。表中のブレンコンクリートとは耐寒剤を使用していないコンクリートのことである。なお、耐寒剤使用コンクリートでは、AE助剤を用いて空気量を調整した。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント(比重3.16)
細骨材	川砂(比重2.56, 吸水率1.98%)
	陸砂(比重2.61, 吸水率1.71%)
	川砂:陸砂=1:1で混合(粗粒率 2.73)
粗骨材	川砂利(比重2.58, 吸水率1.83%, 粗粒率7.24, 最大寸法40mm)
耐寒剤	ホウ酸・リチウム系誘導体及び含窒素化合物
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物及びポリアール複合体

表2 コンクリートの配合及び練上がり性状

配合及び練 上がり 性状 コン リート種類	配 合							練上がり性状				
	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					単位混和剤量 (ℓ/m ³)		スラン グ (cm)	空気 量 (%)	温度 (℃)
			W	C	S		G	耐寒剤	AE減水剤			
					川砂	陸砂						
耐寒剤使用エンクリート	42.5	37.6	138	325	338	348	1136	16.250 *	---	9.0	5.7	14
ブレンエンクリート								---	0.813	9.0	4.7	15

注) *: 5 g/C=100kg

Relation between Maturity and Compressive Strength of Concrete Containing Nonfreezing Agent
 by Ikuo OGASAWARA, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI, Heizaburoh IGARI and Takaya Mizumoto

2.3 供試体及び養生

耐寒剤使用コンクリート供試体（φ12.5×25 cm）、プレーンコンクリート供試体（φ12.5×25cm）ともにレディーミクストコンクリート工場で作成した。供試体は、型枠をつけたまま同工場試験室（室温10℃程度）に3日間静置し、その後北見工業大学に搬入し脱型した。耐寒剤使用コンクリート供試体は脱型後、ラップフィルム及びビニール袋で封かん状態にし、その後、20, 10, 0, -5, -10℃の各一定温度条件下に静置した。一方、プレーンコンクリート供試体は脱型後、実験室（室温20℃, 湿度60～70%）に1日間静置し、その後ラップフィルム及びビニール袋で封かん状態にして20, 10℃の一定温度条件下に静置した。

2.4 圧縮強度試験方法

レディーミクストコンクリート工場で作成した円柱供試体を用いて材令3日～3ヵ月で行った。試験時の積算温度を図1に示した。上図は積算温度を日単位で求めた場合であり、下図は時間単位で求めた場合である。圧縮強度試験は、封かんを解除しキャッピングを行ってから、封かん養生温度10, 20℃の供試体は水槽（水温20±3℃）に入れ、封かん養生温度0, -5, -10℃の供試体は5℃の水に浸し、2時間以上浸水させてから行った。

2.5 積算温度

積算温度は、一般に次式で与えられる。

$$M = \sum (T - T_0) \Delta t \quad \text{----- (1)}$$

ここに、M：積算温度（℃・日又は℃・時）

T：コンクリート温度（℃）

T₀：基準温度（℃）

Δt：時間（日又は時間）

基準温度T₀は、水和反応が起こり得る最低のコンクリート温度で、一般には-10℃が用いられている。本研究では、-10℃のほかに-15℃も用いて解析した。これは、耐寒剤を用いることによって-10℃以下にコンクリート温度が下がっても水和反応が進むことを想定したものである。

積算温度は、耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートともに材令3日まではレディーミクストコンクリート工場試験室に静置したコンクリート温度を基に、その後は封かん養生温度をコンクリート温度として、日単位と時間単位についてそれぞれ算出した。ただし、プレーン供試体は封かん状態にする前の1日は、実験室の室温（20℃）をコンクリート温度として積算温度を算出した。

2.6 ロジスティック曲線の適用

本研究では、強度増進曲線にロジスティック曲線を用いた。ロジスティック曲線は、一般に次式で表される²⁾。

$$y = \frac{\gamma}{1 + \alpha \exp(-\beta t)} \quad \alpha, \beta, \gamma > 0 \quad \text{--- (2)}$$

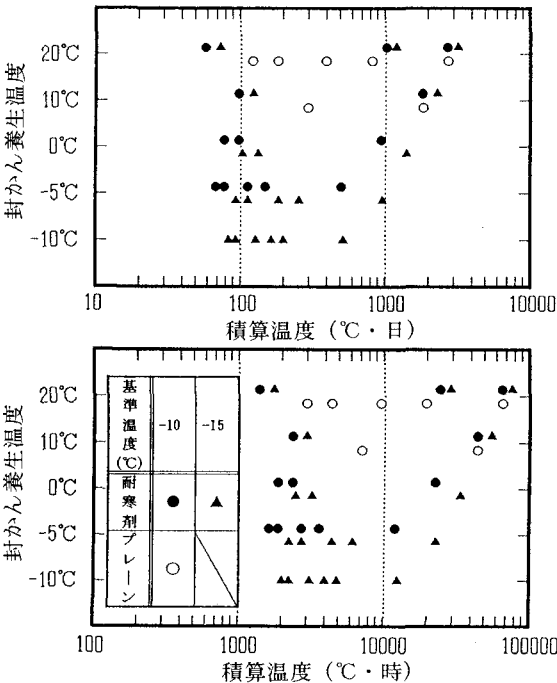


図1 積算温度の分布

(2) 式の時間変数 t を任意の変数 x に変え、 α を $\exp \alpha$ に置き換えると

$$y = \frac{\gamma}{1 + \exp(\alpha - \beta x)} \quad \text{-----} \quad (3)$$

となる。ここで、 x を積算温度 M の対数とし、 y を積算温度 M のときの圧縮強度 f' (kgf/cm²)、 γ を最終到達強度 F (kgf/cm²) とすると、強度増進曲線として

$$f' = \frac{F}{1 + \exp(\alpha - \beta \log M)} \quad \text{-----} \quad (4)$$

が得られる^{3) 4)}。

この曲線によると、強度発現性状は、 $f' = F/2$ の変曲点に達するまでは加速度的に増加し、変曲点を越えると増加の伸びは緩やかになっていき、やがて最終到達強度 F に近づいて行くというパターンを描く。

実験結果のロジスティック曲線による近似は、3 点法により最終到達強度 F を推定した後、 $X = \log M$ 、 $Y = \ln \{ f' / (F - f') \}$ と変数変換して最小二乗法により係数 α 、 β を求めた。なお、3 点法には等間隔の値が必要なことから、本研究では、試験時の積算温度 (図 1) の範囲内の表 3 に示した 3 点を用い、それぞれの強度を一次補間から求めた。

表 3 3 点法に用いた積算温度の値

積算温度の 算出方法及 基準温度	日単位 (℃・日)		時間単位 (℃・時)	
	-10℃	-15℃	-10℃	-15℃
耐寒剤使用				
コンク	60	75	1440	1800
リート	360	450	8640	8640
	2160	2700	51840	64800
プレーン	150		3600	
コンク	600		14400	
リート	2400		57600	

3. 結果 及 び 考 察

-10℃、-15℃を基準温度として日単位で求めた積算温度と圧縮強度の関係をロジスティック曲線で表したものを図 2 に示した。また、ロジスティック曲線の係数を表 4 に示した。耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートともに積算温度(℃・日)と圧縮強度の関係はロジスティック曲線で表され、基準温度-10℃で高い相関が認められる(上図)。また、耐寒剤使用コンクリートは、基準温度-15℃の場合も高い相関が認められる(下図)。同様に、時間単位で求めた積算温度と圧縮強度の関係は図 3 に示すロジスティック曲線で表され、基準温度-10℃、-15℃における相関係数は日単位で積算温度を求めた場合と同じであった。このことから、積算温度はコンクリートの日平均温度から求めて実用上十分精度があるといえる。また、図 2、図 3 の結果から、基準温度-10℃と基準温度-15℃の相関係数はほぼ同じであり、耐寒剤使用コンクリートの場合でも積算温度の基準温度は-10℃でよいといえる。

以上のことから、耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートともに圧縮強度は積算温度と密接な関係があり、その関係はロジスティック曲線で近似できること、さらに、耐寒剤使用コンクリートでも積算温度の基準温度は-10℃でよいことが明らかになった。

表 4 ロジスティック曲線の係数

積算温度の算出方 法及び基準温度		日単位		時間単位	
		-10℃	-15℃	-10℃	-15℃
耐寒剤使用	F	495	494	495	494
コンク リート	α	3.122	3.438	5.253	5.619
	β	1.541	1.573	1.542	1.576
プレーン	F	314		314	
コンク リート	α	3.440		5.888	
	β	1.767		1.764	

4. ま と め

耐寒剤 (主成分:ホリカ®リコールエステル誘導体及び含窒素化合物、使用量:5 ℓ /C=100kg) 使用コンクリート (単位セメント量325kg/m³、水セメント比42.5%) を用いて行った実験の結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 積算温度 [(℃・日)あるいは(℃・時)] と圧縮強度の関係はロジスティック曲線で精度よく近似できる。
- (2) 耐寒剤使用コンクリートの場合でも積算温度の基準温度は-10℃を適用できる。

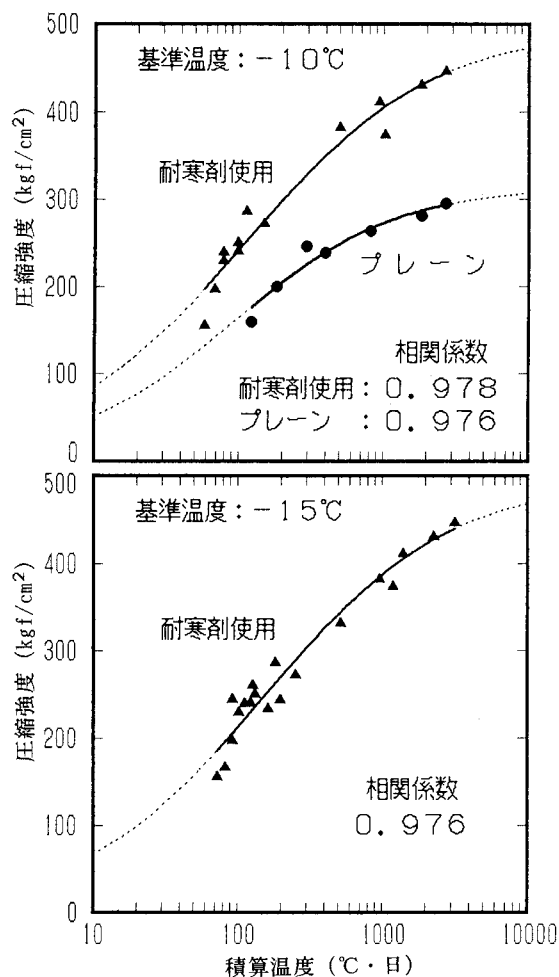


図2 積算温度（日単位）と圧縮強度の関係

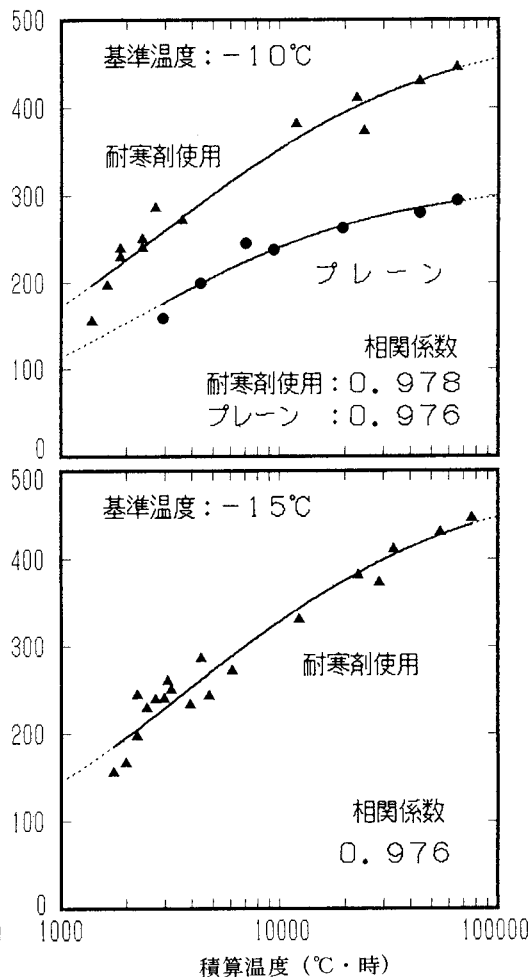


図3 積算温度（時間単位）と圧縮強度の関係

本研究の実施にあたり、ご協力いただいた北海道網走土木現業所、北見建設業協会並びに佐呂間開発工業（株）に感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 鮎田耕一，桜井宏，猪狩平三郎，小笠原育穂，長田幸樹：耐寒剤を使用した寒中コンクリートの試験施工，第8回寒地技術シンポジウム講演論文集，pp.521～526，1992.12
- 2) 簗谷千風彦：回帰分析のはなし，pp.186～217，東京書籍，1991
- 3) 洪悦郎，鎌田英治，田畑雅幸，浜幸雄：ロジスティック曲線を応用したコンクリートの強度推定式の提案—普通ポルトランドセメントの場合—，日本建築学会構造系論文報告集，第367号，pp.1～6，昭和61年9月
- 4) 洪悦郎，鎌田英治，林直樹：寒中コンクリートを対象としたコンクリート強度増進曲線の検討，セメント技術年報42，pp.295～298，昭和63年