

論文

[1119] 断熱養生したコンクリートの低温時における耐寒剤の効果

正会員 寺田米男 (北海学園大学建築学科)

1. はじめに

最近の我々の耐寒剤を用いたコンクリートの研究 [1, 2, 3] は冬期間のコンクリート工事を容易にするための一端であり、養生設備を軽減し、さらに、積雪寒冷地における通年施工を促進し、工事の省力化を図ろうとするものである。

コンクリートに耐寒剤を用いる場合は、現場において本格的養生上屋を設けて加熱養生を行わず、簡易な養生によって所定の強度、耐久性を得ようとすることを目的とすることが多い。

今回の実験においては、入手容易な断熱材を用いてセメントの水和熱を有効に活用し、コンクリートを1日間(耐寒剤を用いないものは3日間)断熱養生し、その後は計画した低温で材令91日まで養生した性状のなかから強度を主体として試験した。その結果、単位セメント量 300kg/m^3 程度の通常のコンクリートにおいても耐寒剤を用いてその効果を十分に期待できる。

2. 実験内容

2. 1 実験の目的

本実験の主たる目的はセメントの水和熱を利用した断熱養生と耐寒剤の効果のみで寒中コンクリートを行う場合の資料を得ようとするものである。

2. 2 使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント

骨材：使用骨材の性状は表-1のとおり。

混和剤：耐寒剤Aは含窒素化合物のカルシウム塩を主成分とする無塩化タイプ。

耐寒剤Bはポリグリコール

エステル誘導体及び含窒素化合物、AE剤は陰イオン系界面活性剤。

2. 3 コンクリートの調合

普通ポルトランドセメント、水セメント比60%のAEコンクリートを基準とし(JASS 5では水セメント比60%のAEコンクリートの材令28日強度75%以下になる期間を寒中コンクリートの期間としている)、さらに、水セメント比52.5%、45%を加え、耐寒剤を用いるコンクリートには上記3種類の水セメント比と同一単位セメント量とした。スランプ：18cm、空気量：4%を基準とした。耐寒剤はA、Bとも単位セメント量 100kg/m^3 につき4ℓ使用した。調合は表-2に示した。なお、AEコンクリートと耐寒剤入りコンクリートでは細骨材、粗骨材は同量であり耐寒剤A、Bコンクリートでは耐寒剤の種類以外は同一調合とした。

表-1 骨材の性状

種別	産地	絶乾比重	吸水率(%)	実績率(%)	FM	塩分(%)
細骨材	苫小牧海砂	2.67	1.15	65.1	2.73	水洗
粗骨材	静内川砂利	2.75	0.96	63.1	6.71	—

表-2 コンクリートの調合

番号	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m³)	重量 (kg/m³)			混和剤	
				セメント	細骨材	粗骨材	耐寒剤 (ℓ)	A E 剤 (C. C)
1	60	40.8	173	288	767	1133	—	72
2	52.5	38.4	175	333	705	1150	—	83
3	45	36.4	178	395	645	1150	—	99
4	56.3	40.8	162	288	767	1133	11.5	58
5	48.6	38.4	162	333	705	1150	13.3	67
6	41.0	36.4	162	395	645	1150	15.8	79

2. 4 実験方法

供試体の養生方法は20℃標準養生と図-1のような恒温槽のなかに、さらに図-2のような断熱層で密封された箱に10φ×20cm、厚さ7mmのビニル管を型枠とし、これにコンクリートを充てんし、底部をビニル板、頂部をビニルシートで試験材令まで封かん、材令1日間断熱養生し（耐寒剤を用いないA Eコンクリートは3日間）、材令2日目以降は所定の低温で養生した。圧縮強度試験時の供試体は凍結しているので温水で約1時間浸せきしたのち試験した。設定した低温度と期間は表-3のとおり。

表-3 供試体の養生方法

番号	断熱封かん	低温封かん
1～3	3日間	材令4～91日、0℃
4～6	1日間	a. 材令2～91日、0℃
		b. 材令2～28日、-5℃、 材令29～91日、0℃
		c. 材令2～28日、-7.5℃、 材令29～56日、-2.5℃、 材令57～91日、0℃

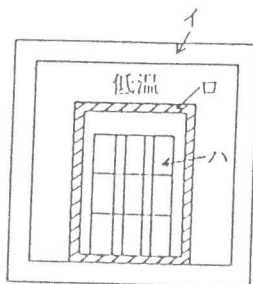


図-1 養生装置

イ、恒温槽
ロ、断熱箱
ハ、供試体

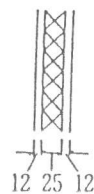


図-2 断熱層

両面 コンクリート用型わく 各12mm厚
内層 スタイロホーム 25mm厚
塩化ビニール供試体 7mm厚
熱貫流抵抗値(R) 計1,237m²・h・℃/kcal

3. 実験結果

3. 1 練り上りコンクリートの性状

練り上りコンクリートの性状を表-4に示した。目標スランプを18cmとしたが、耐寒剤を用いたものは通常のA Eコンクリートより平均約1cm大きくなった。実際には約3%の単位水量を低減できるが、本実験の目的が耐寒剤の性能を知ることにあるのでそのままとした。空気量は許容範囲にある。練り上り温度は日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説の5. 4の規定を満たしている。

3. 2 コンクリートの断熱効果

上記したように本実験の目的は耐寒剤とセメントの水和熱を放出しないよう断熱養生し、コンクリートを初期凍害からまもり、所定の強度を得ようとするものである。設定した温度は水が凍結する温度の0℃と-5℃（札幌市の1～2月の平均気温-4.5℃に近い）及び-7.5℃（旭川市の1～2月の平均気温-8.1℃に近い）。材令29日以降は0℃（札幌市の3月の平均気温-0.4℃に近い）及び-2.5℃（旭川の3月の平均気温-2.8℃に近い）とし、材令57日以降はすべて0℃とした。断熱養生は通常のAEコンクリートでは初期凍害のおそれがあるので3日間とし、他は1日間とした（表-3参照）。断熱養生期間中の熱電対による自記温度記録の平均温度によれば、通常のAEコンクリートでは1日目11℃、2日目6℃、3日目2.5℃、耐寒剤を用いた0℃養生のものは1日目平均10℃、-5℃及び-7.5℃養生のものは1日目平均8.5℃となった。これを土木学会標準示方書の施工編の式（解15.3.4）及び（解表15.3.1）、（解表15.3.2）を用いて解析したところ、耐寒剤を用いたコンクリートでは断熱養生1日間終了時の温度は3～8℃内にあり、自記温度記録と略一致した。

3. 3 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-3～4に示す。図中の各推定値曲線は下式により求めた。[1, 2, 3, 4]

$$F = f_{\theta} \cdot f_t \cdot F_{28} \quad (1)$$

ここに、 F ：任意材令強度(kgf/cm²)、 F_{28} ：材令28日20℃養生強度(kgf/cm²)

は令28日20℃養生強度を1.00とする任意材令強度比で次式で表わすことができる。

$$\text{標準養生の場合} \quad f_t = \frac{t}{t + \lambda \cdot x \cdot r_4} \quad (2)$$

$$\text{封かん養生の場合} \quad f_t = \frac{t}{t + \lambda \cdot x^2 \cdot r_4} \quad (3)$$

ここに、 t ：材令（日）、 λ ：セメントの種類や混和剤の種類で定まる係数、 x ：強度上の水セメント比、 $r_4 = (28 - t)$ （日）

f_{θ} は温度補正式で養生温度20℃で1.00、-10℃で0となり、一般式は次式で表わされる。

$$20^{\circ}\text{C} \geq \theta_z \geq 2^{\circ}\text{C} \\ f_{\theta} = \Theta^{0.65} \cdot \exp \left\{ \left(\frac{n_2 t}{t + n_3 \cdot r_{0.5y}} - \frac{n_4}{t} \right) \left(\frac{1}{\Theta} - 1 \right) \right\} \quad (4)$$

$$2^{\circ}\text{C} \geq \theta_z \geq -10^{\circ}\text{C} \\ f_{\theta} = \Theta^{0.65} \cdot \exp \left\{ \left(\frac{n_2 t}{t + n_3 \cdot r_{0.5y}} - \frac{n_4}{t} \right) (3.75\Theta) \right\} \quad (5)$$

ここに、 θ_z ：養生温度（℃）、 $\Theta = \frac{\theta_z + 10}{30}$ 、 n_1, n_2, n_3, n_4 ：各係数、

$r_{0.5y} = (183 - t)$ （日）

表-4 練り上げコンクリートの性状

番号	混和剤の種別	スラブ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)
1 2 3	AE剤	18.6 18.5 18.1	3.6 4.0 4.8	18.8 18.6 19.0
4 5 6	耐寒剤 A	19.6 19.2 19.5	4.4 4.4 3.2	16.5 17.9 17.8
4 5 6	耐寒剤 B	19.1 19.5 19.6	4.4 3.9 3.8	17.0 16.7 17.0

ただし、耐寒剤A、Bコンクリートの値は練り上げ回数3回の平均値

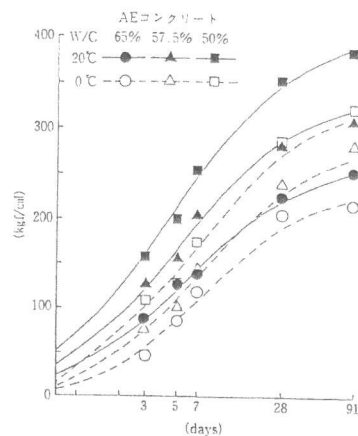


図-3 コンクリートの圧縮強度と材令の関係
(AEコンクリート)

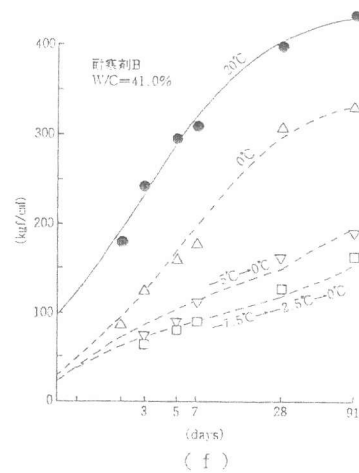
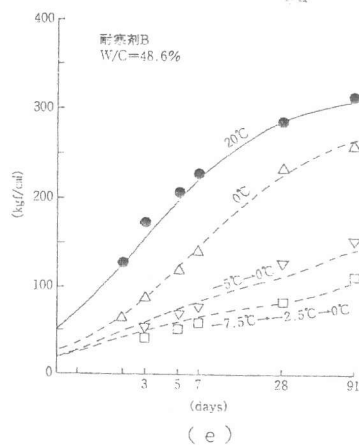
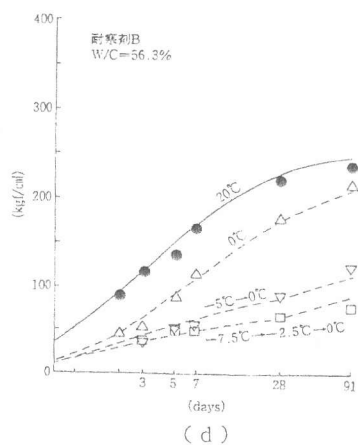
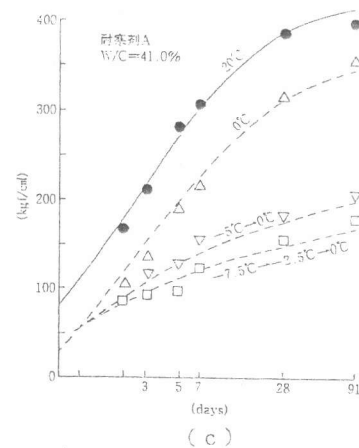
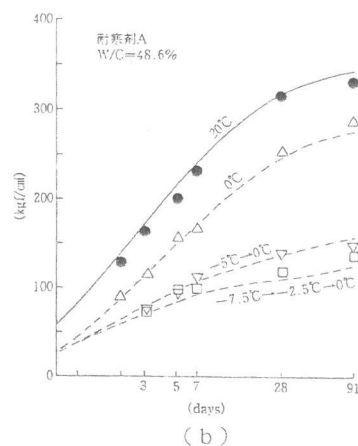
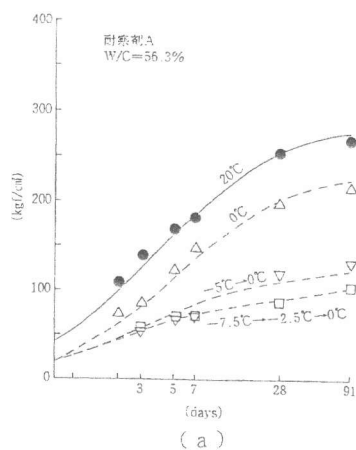


図-4 コンクリートの圧縮強度と材令の関係
(耐寒剤入りコンクリート)

つぎに、式(1)～(5)に用いた各値、各係数を示す。

F_{28} 式、 $F_{28} = a + bX$ (kgf/cm^2) の X は強度上のセメント水比であり、 a 、 b は表-5、 λ n_1, n_2, n_3, n_4 は表-6 に示す。

表-5 セメント水比式の係数

番号	混 凝 剤	標準養生		封かん養生	
		a	b	a	b
1 3	A E 剤	-209	280	64	90.2
4 5	耐寒剤 A	-140	242	19	110.7
6	耐寒剤 B	-317	329	-40	147.3

表-6 f_t 、 f_θ の諸係数

番号	混 凝 剤	λ	n_1	n_2	n_3	n_4
1 3	A E 剤	0.285	1.0	0.6	0.05	1.8
4 5	耐寒剤 A	0.20	1.0	0.6	0.025	0.8
6	耐寒剤 B	0.185	1.0	0.6	0.05	1.5

F_{28} を標準養生と封かん養生で比較すると、封かん養生では供試体は自己保有水のみで養生するため強度は低く、水セメント比が小さいものほど単位セメント量に対する単位水量の比率が小さく、標準養生時のように水の十分な補給がないため標準養生強度に対する強度低下の比率は大きい。既報告[1, 2, 3]では、凍結融解装置を用い、1日-10℃～+5℃を1サイクルさせ、+5℃養生時は0℃以上の水中養生となったため本実験の封かん養生よりも強度が大きくなった。また、 f_t について標準養生と封かん養生を比較すると、式(2)、式(3)中で x が x^2 となり初期材令の強度比が大となる[4]。すなわち、封かん養生では自己保有水のみで養生され、材令が進むと保有水の残存が少くなり、 f_t の増進が小さくなる。換言すれば、任意材令の強度 F は初期材令で標準養生と封かん養生の差は小さいが材令が進むと差は大きくなる。 f_θ について言えば、断熱養生時は2℃以上であるため式(4)を用いる。 f_θ についての表-7をみると、セメントの水和熱を利用した職養生の効果がきわめて大きいことを示している。 f_θ は養生温度の高低にかかわらず、初期材令で大きな伸びを示す性質があるので、コンクリートの練り上り温度とセメントの水和熱を放散させないようにすることによりきわめて早期材令で初期凍害防止に必要な強度50 kgf/cm^2 を得ることができ、設定温度が0℃の場合、 $W/C=60\%$ と同じ単位セメント量のコン

表-7 A E 剤と耐寒剤Aの場合の f_θ の計算値

番号	断熱養生 (日)	養生温度 (℃)	材 令 (日)						
			1	2	3	5	7	28	91
1	3	0	0.33	0.48	0.57	0.66	0.71	0.93	1.01
2	3	0	0.35	0.52	0.60	0.71	0.77	1.02	1.12
3	3	0	0.36	0.54	0.64	0.76	0.83	1.11	1.22
(1)	1	0	0.33	0.42	0.49	0.55	0.60	0.83	0.91
(2)	1	0	0.35	0.45	0.52	0.58	0.64	0.90	1.02
(3)	1	0	0.36	0.45	0.54	0.63	0.69	0.99	1.11
4	1	0	0.48	0.61	0.68	0.77	0.82	1.00	1.06
5	1	0	0.51	0.65	0.73	0.83	0.89	1.09	1.17
6	1	0	0.53	0.69	0.78	0.90	0.97	1.20	1.28
4	1	-5	0.41	0.45	0.47	0.49	0.51	0.54	0.60
5	1	-5	0.44	0.49	0.51	0.54	0.56	0.60	0.67
6	1	-5	0.46	0.52	0.56	0.59	0.61	0.66	0.74
4	1	-7.5	0.41	0.43	0.43	0.44	0.44	0.45	0.49
5	1	-7.5	0.44	0.46	0.46	0.47	0.48	0.48	0.53
6	1	-7.5	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.56	0.61

注) 番号(1)、(2)、(3)は材令1日間のみ断熱養生を行うものと仮定した場合の計算値

クリートで材令28日標準養生強度の75%以上を確保できる。設定温度 -5°C 、 -7.5°C の場合は断熱養生後の強度の増進はきわめて小さく、材令91日に達しても標準養生強度の50%を獲得することは出来ない。

4. まとめ

既報[1, 2, 3]に引続き最近開発された2種類の耐寒材を用いたコンクリートの低温時の強度を中心とした実験を行った。今回の実験の特徴は加熱養生を行わず、セメントの水和熱を利用した断熱養生を行って強度を確保しようとしたものである。

その結果をつぎのようにまとめることができる。

(1) コンクリート打込み後の初期の断熱養生の効果は大きい。今回の実験では一部を除き断熱養生期間を1日としたが、少くともコンクリート温度を設定した低温に達するまで断熱養生すれば、耐寒剤の効果を十分にあげることができる。

(2) 打込み温度をできるだけ $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ になるようにして耐寒剤の性能をあげるようにする。

(3) 0°C 以下の低温養生ではコンクリートが凍結するので、封かん養生となるため(実際のコンクリート構造物に近い)、水中養生強度より低く、水セメントが小さいほどその傾向が大きいことを前提としなければならない。

(4) 耐寒剤を用い断熱養生を1日間行った $W/C=60\%$ に相当する常用のAEコンクリートが初期凍害を防止するために必要な強度 50kgf/cm^2 を得る期間は、設定温度 0°C の場合は2日、設定温度 -5°C の場合は3日、設定温度 -7.5°C の場合は5日で達成できる。

(5) (4)の調合コンクリートが材令28日で標準養生材令28日強度75%以上の達成を目標とする場合、設定温度 0°C では可能であるが、 -5°C 、 -7.5°C では不可能であり、春の温暖期まで待たなければならない。

(6) 耐寒剤を用いて断熱養生する場合、寒中コンクリートの期間は現行のJASS 5の積算温度 $370^{\circ}\text{C}\cdot\text{D}$ (平均温度 3.2°C)から $280^{\circ}\text{C}\cdot\text{D}$ (平均温度 0°C)まで短縮できる。

参 考 文 献

- 1) 寺田米男：新しい耐寒剤を用いたコンクリートの性状について、コンクリート工学年次論文報告集第12巻，VOL. 12-1，PP. 59~64，1990.6
- 2) 寺田米男：新耐寒剤のコンクリートへの適用について、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、PP.3~4，1990.10
- 3) 寺田米男、奥田恭三、平石信也：新耐寒剤を用いたコンクリートの低温時における性状に関する研究、コンクリート工学論文集，VOL. 2，No. 1，PP.115~123，1991.1
- 4) 寺田米男：コンクリート強度の推定式に関する研究(1)、日本建築学会構造系論文報告集第361号，PP.12~20，1986.3