

論文

[1008] 新しい耐寒剤を用いたコンクリートの性状について

正会員 寺田米男（北海学園大学工学部）

1. はじめに

日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説では、寒中コンクリートの期間を材令28日までの積算温度 M が $370^{\circ}\text{D}\cdot\text{D}$ 以下となる時期と規定し、土木学会：コンクリート標準示方書では、平均気温が 4°C 以下になることが予想されるときと規定している。これは、札幌市などを例にとると、11月1日から3月20日までの約5ヶ月は寒中コンクリートの期間となり、（JASS 5では東京都には寒中コンクリートの期間はない）初期凍害防止に必要なコンクリート強度 $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ を得るまでに積極的な養生を行う必要があることを義務づけている。このため、コンクリートを断熱養生か加熱養生しなければならない、それらに要する労力、経費は大きいものであり、これらの事態を回避するため、冬期間建設工事を休止することも多く、社会、経済に与える影響は大きい。現在、日本建築学会：JASS 5，土木学会：コンクリート標準示方書では、コンクリートの調合、配合において寒中コンクリートでは水セメント比を小さくしたり、AE剤、AE減水剤の使用は認めているものの、耐寒剤の類は有害の疑いが大きいとして認めていない。従前、塩化カルシウムその他の防凍剤を使用されることがあったが、初期強度は高くなるが長期強度が低下したり、鉄筋を腐食させたり、乾燥収縮が大きいなどコンクリートの耐久性を損なうことがあるとして、仕様書から全面的に削除されて今日に至っている。最近、2社が相次いで、低アルカリ、無塩化の新しいタイプの耐寒剤を開発した。これらの耐寒剤は、コンクリートの凍結温度を下げ、打設後の初期凍害を防止し、低温時のセメントの水和を促進し、長期的耐久性を損わないなどの性能を有するものであれば、現場における養生設備は大幅に軽減され、冬期間工事を容易にするものである。これらの趣旨に基き、温度を -10°C まで低下させたコンクリートの強度その他の性状についての結果を報告する。

2. 実験内容

2.1 使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント（NP）

早強ポルトランドセメント（HP）

骨材：使用骨材の性状は表-1のとおり。

混和剤：耐寒剤は2社製品のうちの1社のもので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。

表-1 骨材の性状

種別	産地	絶乾比重	吸水率（%）	実積率（%）	FM	塩分（%）
細骨材	苫小牧海砂	2.70	1.12	70.4	3.04	水洗
粗骨材	静内川砂利	2.75	0.95	62.6	6.65	—

2.2 コンクリートの調合

セメントはNP, HPの2種, 単位セメント量を350, 400, 450kg/m³の3種, AE剤単味のもの, 耐寒剤を用いたものの2種, これらを組合せた計12種の調合とし、表-2に示した。耐寒剤はセメント量100kgにつき4ℓとした。

2.3 実験方法

養生方法は20℃標準養生と、低温養生では最初の第1日を5℃の恒温槽(気中)で養生、第2日目から材令28日まで「コンクリートの凍結融解試験方法(案)(JSCE-1986)」に規定する試験装置を用い、図-1に示すように、1日-10℃～+5℃を1サイクル繰返す凍結融解を27サイクルまで行った。圧縮強度は20℃養生と耐寒剤を用いたものは材令1, 2,

3, 7, 28日で、耐寒剤を用いない低温養生では2, 3, 7, 14, 28日で測定し、比較した。また、コンクリートの乾燥収縮の程度を知るため「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法(JIS A 1129-1975)」によりダイヤルゲージ方法で材令91日まで測定した。なお、参考までに標準養生供試体の材令28日におけるヤング係数を測定した。

表-2 コンクリートの調合

実験 番号 No.	実験条件			コンクリートの割合							
	セメント の種類	単位セメ ント量 (kg/m ³)	耐 寒 剤	水セメン ト比 (%)	細竹 材率 (%)	重量 (kg/m ³)				耐寒剤 (l)	AE剤 (cc)
						水	セメン ト	細竹材	粗竹材		
1	NP	350	—	50.3	40	176	350	726	1111	—	70
2	"	400	—	44.5	38	178	400	672	1117	—	80
3	"	450	—	40.7	36	183	450	616	1117	—	90
4	HP	350	—	50.3	40	176	350	726	1111	—	70
5	"	400	—	44.5	38	178	400	726	1117	—	80
6	"	450	—	40.7	36	183	450	616	1117	—	90
7	NP	350	○	46.3	42	162	350	764	1072	14	70
8	"	400	○	40.5	40	162	400	707	1081	16	80
9	"	450	○	36.7	38	165	450	651	1081	18	90
10	HP	350	○	46.3	42	162	350	764	1072	14	70
11	"	400	○	40.5	40	162	400	707	1081	16	80
12	"	450	○	36.7	38	165	450	651	1081	18	90

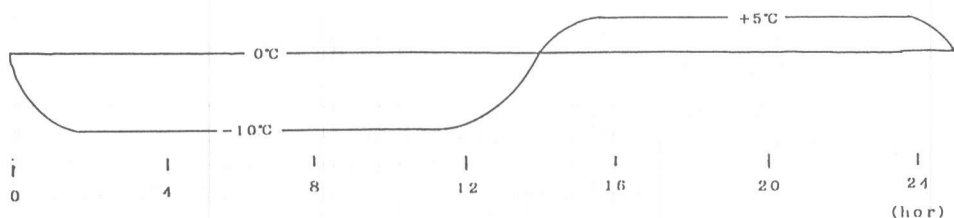


図-1 養生温度のサイクル

3. 実験結果

練り上りコンクリートの性状を表-3に示す。目標スランブは18 cm, 空気量は $4 \pm 1\%$, 温度を $10 \sim 20^\circ\text{C}$ とした。

表-3をみると、耐寒剤を用いないもののスランブはほぼ満されているが、耐寒剤を用いたものは2~3 cm大きくなり、さらに減水できるとみられるが、W/Cが変化するのでそのままとした。空気量は許容差内にある。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の規定を満している。圧縮強度試験結果を図-2・1~2・6に示す。図中の各曲線は次式により求めることができる。1), 2), 3), 4)

表-3 練り上りコンクリートの性状

実験 番号	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 ($^\circ\text{C}$)	実験 番号	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 ($^\circ\text{C}$)
1	18.4	3.2	17.8	7	21.2	4.0	16.0
2	18.9	4.1	17.4	8	20.8	4.9	16.8
3	18.8	3.8	18.5	9	20.6	5.0	17.3
4	17.2	3.3	15.3	10	20.5	3.7	18.0
5	18.1	3.4	15.5	11	20.5	4.3	18.3
6	18.2	3.8	16.0	12	20.0	4.4	18.5

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

ここに、 F ：任意材令強度 (kgf/cm^2)， F_{28} ：材令28日標準養生強度 (kgf/cm^2)。

f_t は材令28日標準養生強度を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。

$$f_t = \frac{t}{t + \lambda \cdot x \cdot r_4} \quad (2)$$

ここに、 t ：材令(日)， λ ：セメントの種類や混和剤の種類などによりきまる係数， 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°C で1.00となり、 -10°C で0となり、一般式は次式で表わされる。

$$20^\circ\text{C} \geq \theta_z \geq 2^\circ\text{C}$$

$$f_{\theta} = \theta^{0.65} \cdot \exp \left\{ \left(\frac{n_2 t}{t + n_3 \cdot r_{0.5Y}} - \frac{1}{t} \right) \left(\frac{1}{\theta} - 1 \right) \right\} \quad (3)$$

$$2^\circ\text{C} \geq \theta_z \geq -10^\circ\text{C}$$

$$f_{\theta} = \theta^{0.65} \cdot \exp \left\{ \left(\frac{n_2 t}{t + n_3 \cdot r_{0.5Y}} - \frac{1}{t} \right) (3.75 \theta) \right\} \quad (4)$$

ここに、 θ_z ：養生温度($^\circ\text{C}$)， $\theta = \frac{\theta_z + 10}{30}$ ， n_1, n_2, n_3 ：各係数， $r_{0.5Y} = (183 - t)$

(日)。

つぎに、(2)，(3)，(4)式に用いた本実験による各係数を示す。

実験番号 Na 1 ~ Na 3 $\lambda = 0.24$

実験番号 Na 4 ~ Na 6 $\lambda = 0.18$

実験番号 Na 7 ~ Na 9 $\lambda = 0.17$

実験番号 Na 10 ~ Na 12 $\lambda = 0.10$

実験番号 Na 1 ~ Na 6 $n_1 = 1.1, n_2 = 0.7, n_3 = 0.025$

実験番号 Na 7 ~ Na 12 $n_1 = 1.3, n_2 = 0.7, n_3 = 0.025$

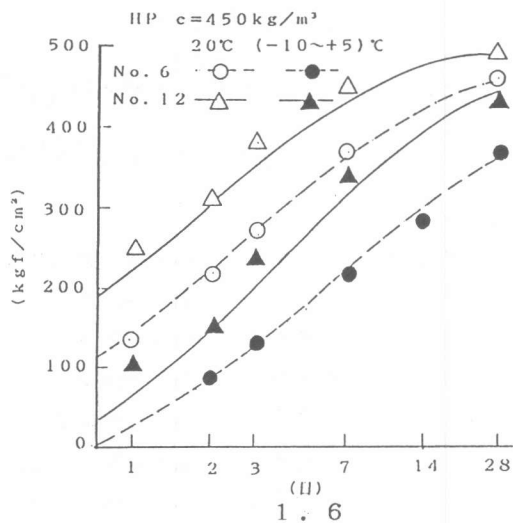
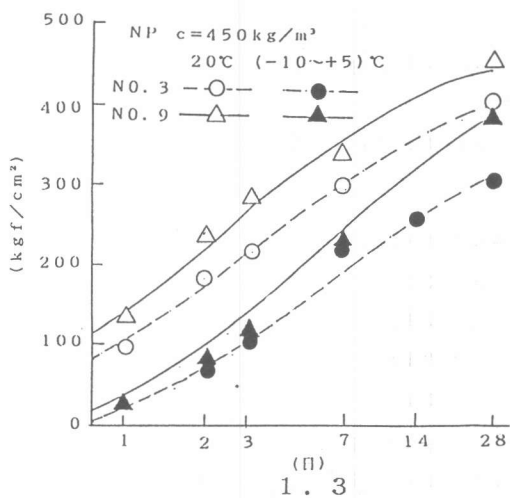
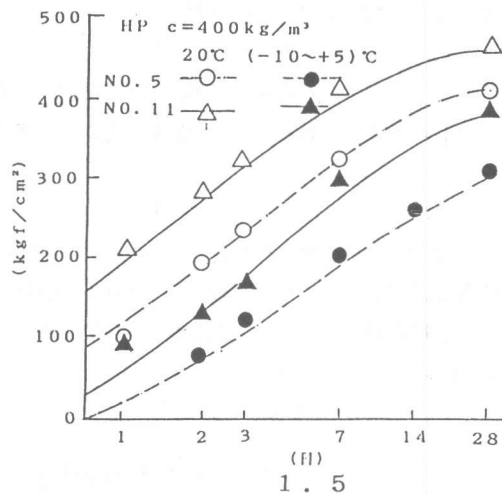
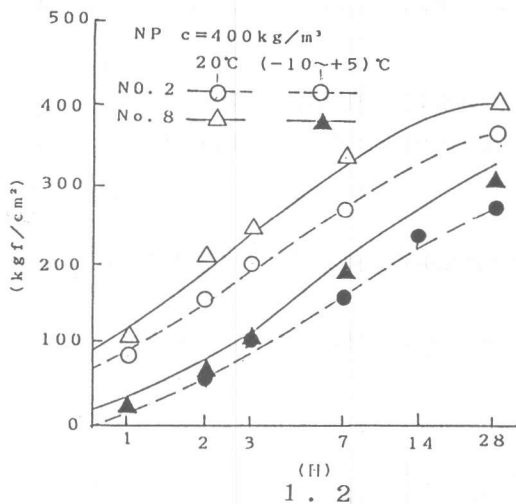
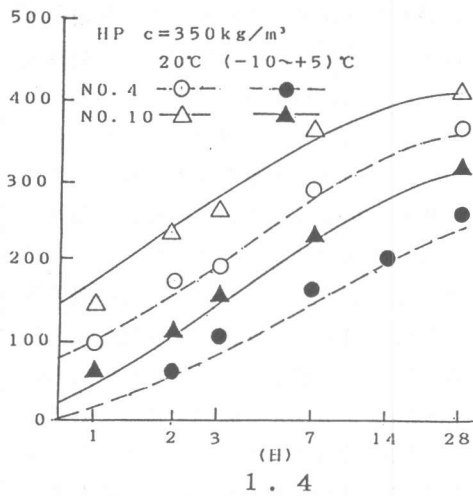
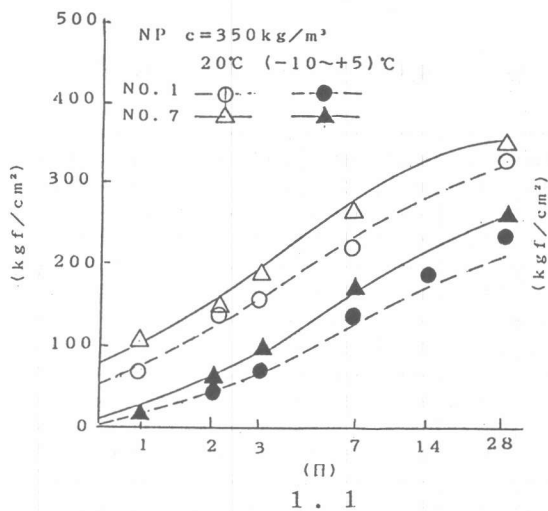


図-2 コンクリートの圧縮強度と材令の関係

本実験においては上記の諸式，諸係数を用いて実験結果に近似させた。すなわち，材令1日では5℃養生であるから f_{θ} は(3)式を用い，材令2日～28日までは $-10^{\circ}\text{C}\sim+5^{\circ}\text{C}$ （平均養生温度： -2.5°C ）であるから f_{θ} は(4)式を用いている。耐寒剤を用いたコンクリート強度は初期材令から28日まで、いづれも耐寒剤を用いないものの強度を上廻っている。また，材令1日のみ5℃養生し、以後材令28日まで $-10^{\circ}\text{C}\sim+5^{\circ}\text{C}$ を繰返した いづれの供試体も初期凍害をうけることがなかった。なお，初期凍害を防止するため必要とされる $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ を得るまでに必要とする日数を(1)～(4)式を用いて計算したものが，表－4である。これをみると，耐寒剤を用いると，0.5～1.0日初期養生が短縮され，30～40%初期養生が軽減される。

表－5には標準養生材令28日供試体についてのヤング係数を示した。また，表中に日本建築学会RC計算規準によるヤング係数計算式から求めたもののものをせた。両者を比較すると，計算式から求めたものが実験値よりも殆どすべてが若干大きくなっている。

なお，本実験においては耐寒剤のアルカリ骨材反応への影響を調べることはできなかったが，乾燥収縮の程度を実験したものが図－3・1～図3・2である。これをみると，使用セメントがNP，HPを問わず，耐寒剤を用いた場合、いづれも材令91日において 2×10^{-4} 程度収縮が小さくなっている。

4. まとめ

本実験においては，アルカリ量の少い新しいタイプの耐寒剤の性能についてのいくつかを試験をした。このなかには，まだ固らないコンクリートの運搬時間中の経時変化や硬化したコンクリートのアルカリ骨材反応などを含んでいないが，つぎの諸点について知ることができた。

- (1) 耐寒剤を用いたAEコンクリートは，通常のAEコンクリートより単位水量を減ずることができる。
- (2) 空気の連行性は正常であり，ワーカブルなコンクリートが得られる。
- (3) 標準養生の場合，耐寒剤を用いたものの圧縮強度は，使用しないものの強度を各材令とも上廻った。

表－4 $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ を得るまでの期間

番号	日	番号	日
1	2.8	7	1.8
2	2.0	8	1.4
3	1.7	9	1.2
4	2.1	10	1.2
5	1.6	11	1.0
6	1.3	12	0.8

表－5 コンクリートのヤング係数
($10^5\text{kgf}/\text{cm}^2$)

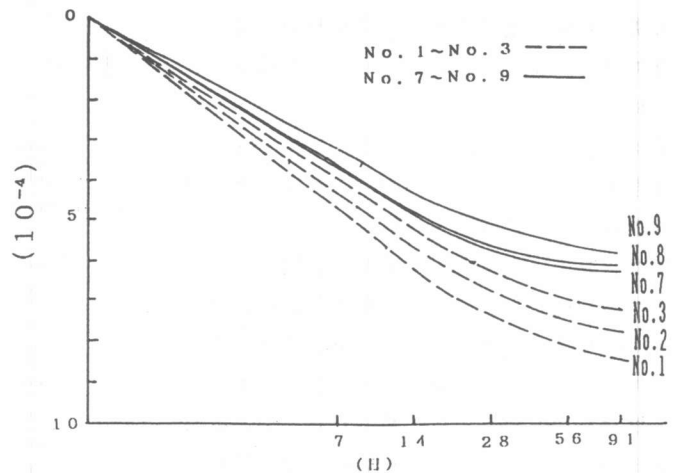
No.	実験値	計算値	No.	実験値	計算値
1	3.15	3.20	7	2.99	2.78
2	3.23	3.29	8	2.98	3.07
3	3.08	3.42	9	3.09	3.22
4	2.78	3.19	10	3.03	3.15
5	3.04	3.27	11	3.17	3.25
6	3.03	3.63	12	3.10	3.34

(4) $-10^{\circ}\text{C} \sim +5^{\circ}\text{C}$ を1日1サイクルとした低温養生の場合、最初の1日を 5°C 養生をして凍結を防止したが、材令2日以降、すべての種類のコンクリートにおいても初期凍害を受けていない。

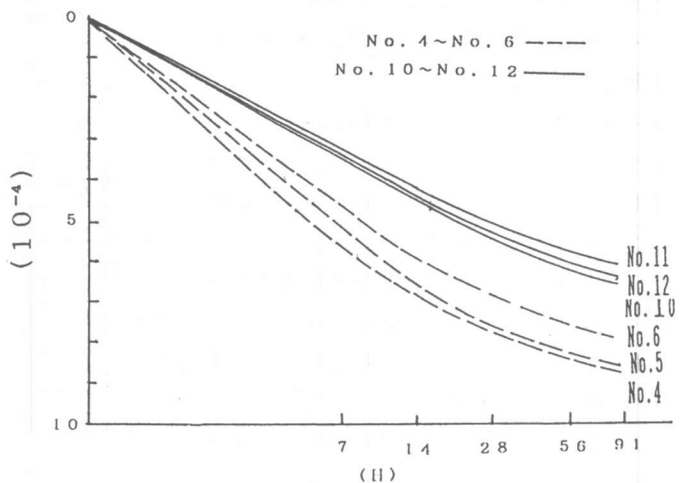
(5) (4)のような養生を行った場合、初期凍害を防止するために必要な強度 $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ を得るために必要な日数は、耐寒剤を用いた場合、すべて2日以内となり、使用しない場合と比較し養生期間を30～40%低減できる。

(6) コンクリートの乾燥収縮は、耐寒剤を用いた場合、使用しないものより、若干小さくなったが、耐寒剤の成分によるものか否かは定かではない。

今後はコンクリート打込み直後からの養生条件を厳しくし、どの程度の苛酷な条件まで耐えられるかについて検討したい。



3. 1



3. 2

図-3 コンクリートの乾燥収縮

参 考 文 献

- 1) 寺田米男：コンクリート強度の推定式に関する研究(I)，日本建築学会構造系論文報告集，第361号，昭和61年3月，PP.12～20
- 2) 寺田米男：コンクリート強度の推定式に関する研究(II)，日本建築学会構造系論文報告集，第366号，昭和61年8月，PP.18～26
- 3) 寺田米男：コンクリート強度を推定する新手法，セメント・コンクリート，No.446，1984年4月，PP.40～46
- 4) 寺田米男：続，コンクリート強度を推定する新手法，セメント・コンクリート，No.492，1988年2月，PP.11～19
- 5) 福島直昭ほか：新しい耐寒用特殊混和剤の効果に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，1989年10月，PP.215～216
- 6) 渡辺 宏ほか：脱アルカリ耐寒剤を用いたコンクリートの冬期野外環境下における強度特性，寒地技術シンポジウム'89講演論文集，1989年11月，PP.618～623