

[1044] 寒冷期用特殊混和剤を使用したコンクリートの強度発現性状

正会員 ○西田 行宏 (新潟大学大学院)
 正会員 川瀬 清孝 (新潟大学工学部)
 正会員 米山 紘一 (新潟大学工学部)
 土井 希祐 (新潟大学工学部)

1 まえがき

寒中コンクリート施工で重要なことは、初期凍害を防止することである。コンクリートの圧縮強度が 40~50kgf/cm²以上に達すれば初期凍害を受けることが比較的少なくなると言われている。このためには、従来、骨材やコンクリートに対して給熱や保温を行うなどの手段を構じたり、材料面では、早強性のセメントや硬化促進剤の使用が行われてきた。

寒中コンクリートに対する混和剤の使用については、コンクリートの防凍目的では否定され、硬化促進の目的であっても、鋼材の発錆防止の観点から制約があった。最近、ヒータ等を用いることなしにセメント100kg当たり数割加えるだけで 0~-15°C程度の外気温でも十分な強度発現を得ることができ、しかも無塩化物であるため鋼材の発錆に対する心配がないとされる寒冷期用特殊混和剤が市販されるに至った。この混和剤を用いたコンクリートに関する研究はメーカ^[1~6]その他^[7,8]に見られる。しかしながら、強度発現を起こす最低温度、氷点下での積算温度と強度発現との関係、等不明な点が多い。

昭和61年秋に改訂されたRC示方書およびJASS5 仕様書の寒中コンクリートにおける特殊混和剤の位置付けを考慮した上で、この種の混和剤が今後ふえると予想されるため、本研究は、この寒冷期用特殊混和剤を用いたコンクリートの低温下における強度発現性状を基礎的に調べたものである。そして、得られた結果を踏まえて、コンクリートが強度発現を起こす最低温度、積算温度と強度の関係、等について検討を行った。

2 実験概要

2.1 使用材料

実験に使用した各材料は次の通りであった。

- (1) 寒冷期用特殊混和剤：メラミンスルホン酸系高縮合物及び含窒素無機塩を主成分とする淡褐色透明な比重 約 1.4 , pH 8.9 の液状混和剤を1種類のみ用いた。(以下単に混和剤と呼ぶ)
- (2) セメント：普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、および高炉セメントB種(置換率40%)の計3種類のセメントを用いた。表-1にセメントの試験成績を示す。
- (3) 骨材：新潟県胎内川産の砂利と砂を用いた。これらの物理試験結果を表-2に示す。
- (4) 水：新潟市水道局の上水道水を用いた。

表-1 セメントの試験成績

種類	比重	比表面積 (cm ² /g)	凝 結			安定性	圧縮強さ(kgf/cm ²)				酸化マグ ネシウム (%)	三酸化 硫黄 (%)	強熱 减量 (%)
			水量 (%)	始発 (h-min)	終結 (h-min)		1 d	3 d	7 d	28 d			
普通	3.15	3150	28.1	2-22	3-30	良	-	143	252	418	1.0	1.9	0.7
早強	3.15	4280	29.7	2-12	3-18	良	138	269	367	476	0.9	2.9	0.5
高炉B	3.05	3770	29.2	2-34	3-58	良	-	134	217	413	2.6	1.8	0.9

(5) AE剤：空気量調節の目的で変性ロジン酸塩を主成分とする陰イオン系の界面活性剤を用いた。

表-2 骨材の物理試験結果

骨材	比重	吸水率(%)	粒度分布 (フルイ残留%)					F.M.
			25mm	20	15	10	5	
粗	2.59	1.58	0	35	53	82	100	7.17
			5mm	2.5	1.2	0.6	0.3	
細	2.59	1.52	0	14	27	51	86	2.76
			5mm	2.5	1.2	0.6	0.3	

2.2 実験計画

本実験は、φ10×20cmの円柱供試体を作製し、その圧縮強度とヤング率を測定することとした。供試体は配合要因と養生要因とで大別される。配合要因としては、セメントの種類、水セメント比、混和剤混入率、スランブ値の相違を取り上げ、養生要因としては、養生温度、養生材令の相違を取り上げた。

供試体を実際に作製した配合要因の組合わせは表-4に示す通りであり、この表に示される各配合の供試体を、表-3に示す養生要因の組合わせで養生したのち、強度およびヤング率試験に供した。

表-3 養生要因の組合わせ

養生温度 (°C)	材 令		
	7日	14日	28日
20	○	○	○
0	○	○	○
-5	○	○	○
-10	○	○	○
-15	○	○	○

なお、各セメントの混和剤混入率 6%、セメント100kgで、-10および-15°Cで養生する供試体については、その温度測定を行うこととした。測定位置は、供試体内中心部と供試体側面(型枠の内側)中央部の2箇所とし、測定期間は、打設後1週間とした。

2.3 配合

配合は目標スランブ値が8cmの場合と18cmの場合に大別されるが、両者とも目標空気量は5[%]とした。実際に練上がったコンクリートの空気量から計算される各配合の単位水量は表-4に示す通りであった。

表-4 配合要因の組合わせ及び単位水量等の結果

目標スランブ値 (cm)	8									18						
	普通			早強			高炉B			普通						
セメントの種類	43			50			50			50			60			
W/C (%)	4.3			5.0			5.0			5.0			6.0			
	s/a (%)	Air (%)	W (kg /m³)	s/a (%)	Air (%)	W (kg /m³)	s/a (%)	Air (%)	W (kg /m³)	s/a (%)	Air (%)	W (kg /m³)	s/a (%)	Air (%)	W (kg /m³)	
混和剤混入率	0	38.5	4.4	149.9	38.5	5.2	146.7	38.5	5.7	145.9	38.5	4.1	148.4	39.0	6.2	158.0
	3				38.5	6.0	137.5							39.0	4.5	158.3
[Q/セメント100kg]	6	38.5	4.4	127.8	38.5	4.1	131.2	41.0	6.4	128.9	41.0	5.0	130.0	39.0	5.6	148.1
	9	38.5	4.5	122.6	38.5	5.5	127.3							39.0	4.6	143.6

2.4 実験方法の要点

(1) コンクリートの練混ぜには重力・可傾式バッチミキサを用い、各配合毎一度に、80%分の全材料を投入し、3分間攪はんした。なお、目標練上り温度は12±3°Cとした。

(2) 練上がったコンクリートを鋼製型枠に2層に詰め、各層をφ27mmの棒状パイブレッタにて適度に内部振動締固めを行った。

(3) 型枠に打設した供試体の上面をサララップで覆い水分の蒸発を防いだ後、供試体を5°Cの部屋に6時間静置した。その後、供試体を所定の各温度の槽または部屋に移設した。0°C以下で養生した供試体は圧縮強度試験前に20°Cの部屋で解凍した。

これら養生、キャッピング、脱型、等についての流れを図-1に

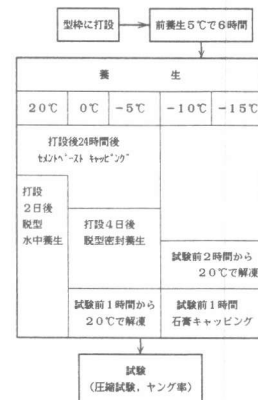


図-1 養生等の流れ

示す。

(4) 圧縮強度試験はJIS A 1108に準じて行った。

(5) ヤング率試験にはコンプレッソメータを用い、圧縮強度の1/3の応力点における静割線弾性係数をヤング率とした。この場合、同一条件の3個の供試体のうち、最初の1個の圧縮強度が約 32 kgf/cm² 未満の場合は、コンプレッソメータの装着が困難となるため、その条件の供試体のヤング率試験は実施しないこととした。

3 試験結果および考察

3.1 圧縮強度

(1) 普通ポルトランドセメントの場合

水セメント比 43%, 目標スランブ 8cm の際の材令と圧縮強度の関係を図-2 に示す。混和剤を使用することにより、氷点下でも材令の経過に連れて確実に強度の増加が見られる。

図-3 は混和剤の混入率と28日強度の関係を示す。20℃養生の際には混和剤の混入率が增加すると強度が伸び悩む傾向がみられるが、氷点下においては混和剤の混入率に比例して強度が増大することが分かる。

図-4 は養生温度と28日強度の関係を示している。混和剤を使用することにより氷点下での強度発現量が增大することが分かる。そのピークは -5℃ 前後にある。

図-5 はセメント水比と28日強度の関係を示す。混和剤を使用した場合にも、セメント水比説が成り立っているようである。

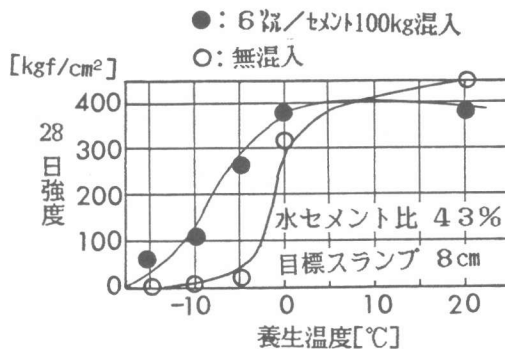


図-4 養生温度と28日強度との関係

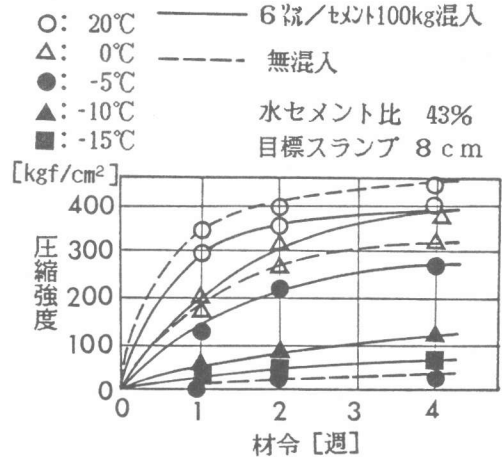


図-2 材令と圧縮強度との関係

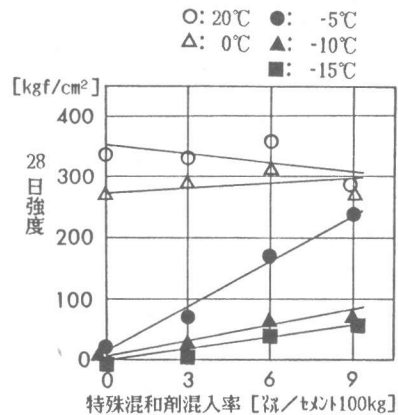


図-3 混入率と28日強度との関係

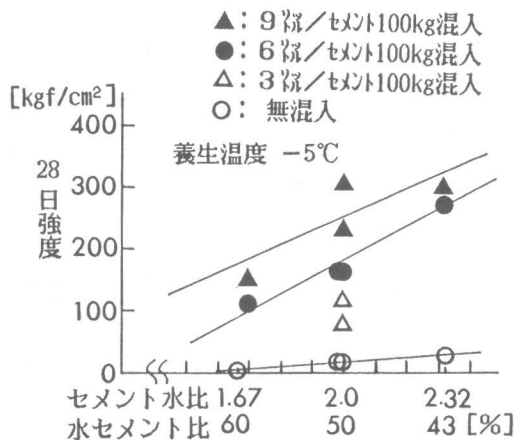


図-5 セメント水比と28日強度との関係

(2) 早強ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種の場合

材令と圧縮強度の関係を図-6に示す。混和材を使用することにより早強性のセメントほど大きな圧縮強度が得られている。

3. 2 強度発現の生じる最低温度

(1) 普通ポルトランドセメントの場合

前に示した図-4(養生温度と28日強度との関係)を用い28日強度を養生温度の3次式で推定し、材令28日でも強度の発現しない温度を求めた。その結果を図-7に示す。強度発現の生じる最低温度は混和剤の混入率に比例して低くなる事が分かる。また、水セメント比によってもその値は変化し水セメント比が低いほど低くなる。(図-8参照) これを数式化した結果を以下に示す。

$$T_0 = k_0 + k_1 (C/W) + k_2 (\text{Agent})$$

ここで

T_0 : 強度発現の生ずる最低温度[°C]

C/W : セメント水比

Agent : 特殊混和剤混入率 [ℓ/セメント100kg]

$k_0 \sim k_2$: 実験定数

(2) 早強ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種の場合

普通ポルトランドセメントと同様に、強度発現の生じる最低温度は混和剤を使用すると低くなった。図-9にその結果を示す。

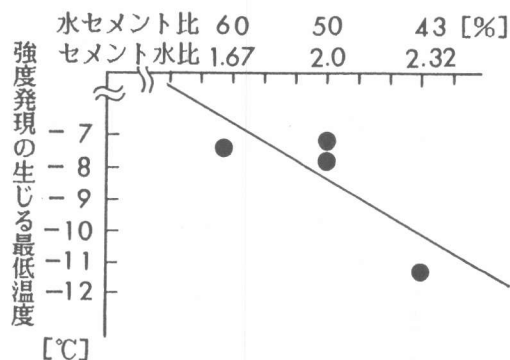


図-8 無混入の際に強度発現の生じる最低温度

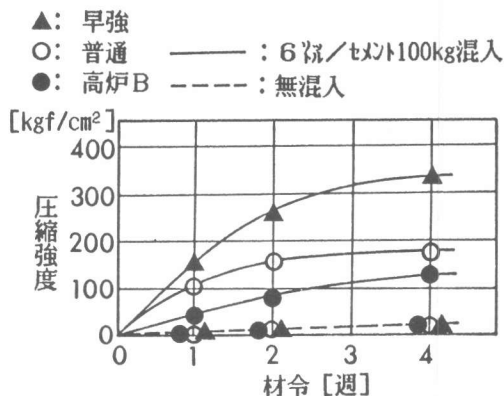


図-6 セメントの種類別にみる材令と圧縮強度との関係

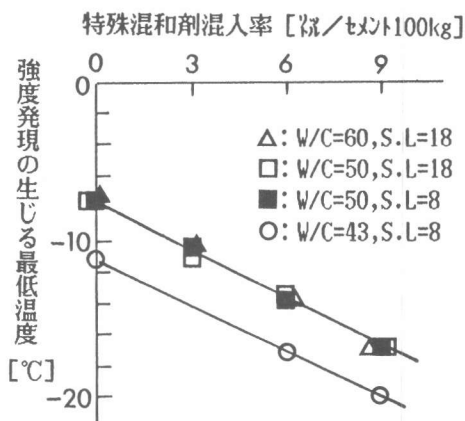


図-7 混入率と強度発現の生じる最低温度との関係

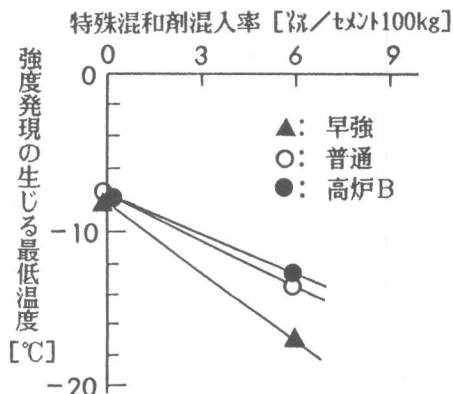


図-9 セメントの種類別にみる強度発現の生じる最低温度

3.3 積算温度と強度の関係

寒中コンクリートの管理手段の一つとして積算温度から強度を推定しようとする手法があるが、その適用範囲は養生温度が0~40℃の時と[9]も、初期温度が16~27℃かつ水分損失のないとき[10]ともいわれている。試験データをこの手法で整理したのが図-10である。一般に積算温度の基準温度として-10℃が使用されるが本実験では混和剤を使用することにより-10℃以下でも強度発現を生ずることから、基準温度を-20℃にとって整理した。20および0℃養生の強度はほぼ1本の直線上にあると見なせるが、それより低い養生温度のもとでは養生温度別にラインが別れてしまうことが分かる。

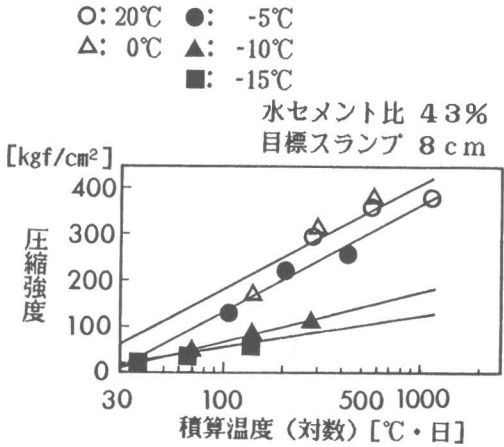


図-10 積算温度と圧縮強度との関係

3.4 ヤング率

一般に同一材料のコンクリートでは長期材令で強度が大きい程、またセメントペーストの強度が同一の場合には骨材の方がセメントペーストよりもヤング率が高いこと(軽量骨材の場合を除く)から骨材量が多いほどヤング率は高い値を示す。混和剤を用いたコンクリートのヤング率は用いないものに比べ、同一強度のコンクリートでも若干高い値を示している(図-11参照)。この理由として混和剤の減水効果により単位水量が減少しその結果骨材量が増えていることが考えられるが、実用的には、混和剤を用いることによりコンクリートのヤング率が大きく変化することはないと考えられる。

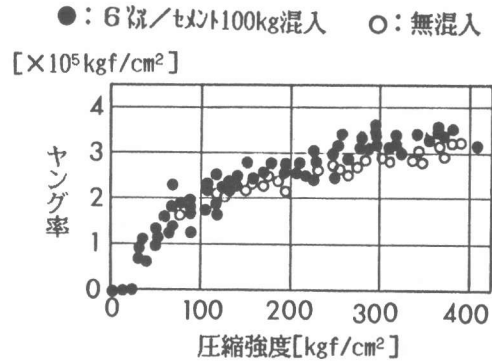


図-11 圧縮強度とヤング率との関係

3.5 養生中のコンクリートの温度変化

図-12は早強ポルトランドセメントに対し混和剤を6%使用したコンクリートについて、打設時から1週間までの供試体中心部の温度変化を示している。打設6時間後に-10℃の養生槽に供試体を移した際に、潜熱によると思われる部分(6時間40分付近)が存在することから、この供試体の凍結温度は約-3℃であったとも考えられる。しかしながら、混和剤を蒸留水で希釈した溶液の濃度と氷点の関係について行った実験データに、この供試体の練混ぜ水と混和剤使用量とから計算される濃度を適用した場合、この供試体の凍結温度は-4℃と推定される。実際は、これにセメントの水和反応の影響が加わり、供試体の凍結温度は-4.5~-5℃程度であるものと推定される。いずれにせよ、-10

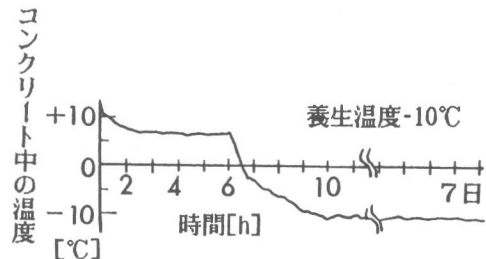


図-12 コンクリート中の温度変化

℃の養生温度との差は大きく、供試体の凍結の可能性が十分推測されるが、7日および28日強度はそれぞれ57および105kgf/cm²と増進傾向を示していた。これらのことから今後、型枠による拘束効果の影響およびコンクリートの初期凍害判定方法の確立を検討する必要があるものと考えられる。

一方、測定期間中の供試体中心部の温度は養生温度より高くなることはなかった。このことは、実験に用いた供試体寸法程度では、蓄熱現象による影響がなかったことを示しているものと思われる。

4. 結論

今回使用した寒冷期用特殊混和剤は氷点下でもコンクリートの硬化を促進する効果を有し、水セメント比が低く、しかもセメント固有の硬化速度が早いものに対してより効果的に働くことが判明した。また特殊混和剤を使用することによる強度の増加量はある養生温度で最大となり、20℃養生程度では逆に減少を示す結果となった。

特殊混和剤を使用することにより-15℃程度でも強度発現を生じさせることは可能である。しかしながら氷点下では積算温度だけから一元的に強度を推定することは出来ないようである。

<参考文献>

- [1]中黒英二 児玉和巳 御所窪邦男 梅沢健一 小野秀幸 「寒冷期用特殊混和剤ANF-28の性能効果に関する実験的研究(その1)」 日曹マスタービルダーズ研究所報 NO.4 1981
- [2]西条修 浅野研一 増川勲 御所窪邦男 児玉和巳 「寒冷期用特殊混和剤ANF-28の性能効果に関する実験的研究(その2)」 日曹マスタービルダーズ研究所報 NO.5 1982
- [3]西条修 御所窪邦男 児玉和巳 「寒冷期用特殊混和剤ANF-28の性能効果に関する実験的研究(その3)」 日曹マスタービルダーズ研究所報 NO.6 1983
- [4]児玉和巳 御所窪邦男 能町宏 岡沢智 「寒冷期用特殊混和剤ANF-28を用いたセメント硬化体の組織構造と強度発現性について」 日曹マスタービルダーズ研究所報 NO.6 1983
- [5]西条修 梅沢健一 中川脩 御所窪邦男 「耐寒用特殊混和剤ノンフリーズに関する実験的研究(その4)」 日曹マスタービルダーズ研究所報 NO.7 1986
- [6]西条修 梅沢健一 中川脩 御所窪邦男 守屋慶隆 「耐寒用特殊混和剤ノンフリーズを用いた寒中コンクリートの施工について」 日曹マスタービルダーズ研究所報 NO.7 1986
- [7]太田利隆 今井益隆 中井俊英 「耐寒剤を用いたコンクリートの性状について」 第37回建設省技術研究会報告(昭和58年度) PP.166~169
- [8]西田行宏 長谷川文鷹 米山紘一 吉見正人 「新防凍剤使用コンクリートに関する基礎研究」 第4回土木学会新潟会研究調査発表会論文集 PP.13~18 昭和61年
- [9] A.G.A.Saul「Principles Underlying the Steam Curing of Concrete at Atmospheric Pressure」Mag of Concrete Research,Mar.1951
- [10] Poul Klieger「Discussion of Maturity and the Strength of Concrete by J.M.Plowman」 Mag.of Concrete Research,Nov.1956