

# 低温養生によるコンクリートの初期強度

高橋 久雄 大池 武  
久保田 昌吾

## Early Strength of Concrete upon Low-Temperature Curing

Hisao Takahashi Takeshi Ohike  
Shogo Kubota

### Abstract

The early strength of concrete is important for determination of sliding speed in slip-form construction such as with the SVETHO System. This paper describes early compressive strengths of concretes on curing at 5°C. Tests were conducted on concretes with water-cement ratio of 0.52, slumps of 5, 10 and 15 cm, and temperatures of freshly mixed concrete of 5, 10 and 20°C. The resulting early compressive strengths obtained for one kind of concrete of slump of 5 cm and temperature as mixed of 20°C were 0.3 to 0.4 kg/cm<sup>2</sup> after elapse of 3 to 4 hours from the time of mixing.

### 概 要

SVETHO工法のようなスライディングフォーム工法で施工する場合は、型わくを離脱する時の所要のコンクリート初期強度を確保することが極めて重要である。しかし、気温の低い冬期においては所要の初期強度が得られにくく、施工能率を低下させる原因ともなっている。本実験では、5°C養生におけるコンクリートの初期強度発現性状を把握する目的から、スランプ5・10・15cm 練り上り温度5・10・20°Cの9種類の組合せによるコンクリートの初期強度について検討した。これらの結果によると、スランプ5 cm、練り上り温度20°Cの好条件にも拘らず、材令3～4時間で0.3～0.4kg/cm<sup>2</sup>の強度を得るに止まり、何らかの保温措置を講じないかぎり所要の初期強度を得るのに6～8時間を要することが分った。

### 1. まえがき

SVETHO 工法のようなスライディングフォーム工法で施工する場合は、型わくの離脱する時の所要のコンクリート初期強度を確認しながら型わくをスライドさせていく方法をとるため、所要の初期強度を確保することは施工能率を高めるためにも極めて重要なことである。しかし、本工法によって冬期に施工する場合は、コンクリートの養生温度が低いため初期強度の発現も一般的に遅い。

本実験では、これら養生温度の比較的低い場合におけるコンクリートの初期強度について検討する目的から、5°C養生したコンクリートの初期強度について、スランプ・練り上り温度などの因子を変えて検討した。なお、これらの実験はあくまで現場施工に促したもの

であるため、各因子も広範囲なものとして限定して計画した。

### 2. 実験計画

今回実施した実験の組合せは表-1のとおりである。このうち養生温度の設定については、現行の JASS 5では積算温度で370°D・D以下となる期間に打設するコンクリートを寒中コンクリートと称しており、これは28日間の平均気温が3.2°C以下に相当する。また、土木学会では、寒中コンクリートの適用期間を「日平均気温が4°C以下になると予期された

要 因		水 準
調 合	水セメント比	52%
	スランプ	5, 10, 15cm
コンクリートの練り上り温度		5, 10, 20°C
養 生 温 度		5°C(20°C)

表-1 実験の組合せ

ときとしている。これら双方から考慮すると、4℃以下が寒中コンクリートと称される温度であろうと考えられる。一方、スライディングフォーム工法においては、初期強度の発現性状を考慮すると寒中施工は、避けた方がよく、寒中施工をする場合には何らかの保温措置を講じる必要がある。これらを勘案して本実験では、寒中コンクリート期間に入る付近の養生温度5℃を設定した。

スランプについては、養生温度5℃から考慮すると5cm、またはそれ以下で設定することが適当である。しかし、練り上り温度を高めたものについても計画したため、5cmの他に中練りの10・15cmの2種を加えた合計3種とした。

練り上り温度については、外気温度を5℃と仮定した場合、コンクリートプラントの製造設備によっても異なるが、過去の経験からその練り上り温度は7～8℃となる。また、外気温度が低く所要の初期強度が得られない場合には、コンクリート用材料の水または骨材などを温めて練り上り温度を上げる措置がとられることがある。以上述べたような種々の条件を加味して、最も条件の厳しい5℃（外気温度と同じ）および練り上り温度を高めた場合の10℃・20℃の合計3種とした。なお、比較用としてスランプ10cm・練り上り温度20℃・養生温度20℃のものについても追加実験を行った。

### 3. 使用材料

#### 3.1. セメント

表一2に示す強度のチチブ普通ポルトランドセメントを使用した。

材令(日)	曲げ(kg/cm <sup>2</sup> )	圧縮(kg/cm <sup>2</sup> )
7	51.1	197
28	71.1	356

表一2

#### 3.2. 骨材

粗骨材は、川砂利(富士川産)を25～15mm, 15～5mm, 5mm以下の3種にふるい分け、細骨材も粗骨材と同様に川砂(富士川産)を5～1.2mm, 1.2mm以下の2種にふるい分け後にJASS 5のI級骨材標準粒度範囲に入るように混合して使用した。

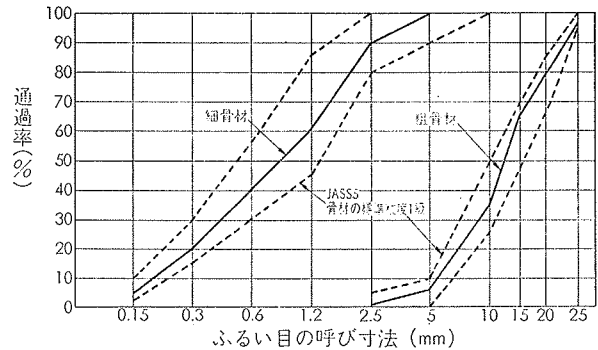
#### 3.3. 混和剤

標準型AE減水剤ボジリスNo. 5Lを使用した。

### 4. コンクリート

#### 4.1. 調合

種類	産地	絶対比重	吸水率(%)	ふるいを通るものの重量百分率(%)											損粒率
				25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
川砂利	富士川	2.62	1.22	97.9	78.2	65.1	35.4	6.4	1.0	—	—	—	—	—	6.79
川砂	富士川	2.56	1.97	—	—	—	—	99.7	90.0	60.0	40.5	19.9	5.0	—	2.85



図一1 骨材試験結果

調合を決定する際の調合条件は下記のとおりとし、表一3に示す調合を試験練りによって定めた。

#### 調合条件

- (a) 調合強度：295 kg/cm<sup>2</sup>
  - 設計基準強度：210 kg/cm<sup>2</sup>
  - 標準偏差：25 kg/cm<sup>2</sup>
  - 温度補正值：60 kg/cm<sup>2</sup>
- (b) 水セメント比：52%
- (c) スランプ：5, 10, 15cm
- (d) 空気量：4%

水セメント比 (%)	スランプ (cm)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絶対容積 (ℓ/m <sup>3</sup> )			重量 (kg/m <sup>3</sup> )			混和剤 (ボジリス No.5L) (kg/m <sup>3</sup> )
				セメント	砂	砂利	セメント	砂	砂利	
52	5	37	142	86	271	462	272	694	1,215	0.544
52	10	36	151	92	258	459	290	660	1,206	0.580
52	15	35	153	93	250	464	294	640	1,220	0.588

表一3 コンクリートの調合表

#### 4.2. 練り混ぜ

コンクリートの練り混ぜは可傾式ミキサ (容量50ℓ) を用い、練り上り温度5, 10℃は室外で、20℃は室内で練り混ぜた。練り上り温度の調整は、練り混ぜを開始する前に予め各使用材料の温度を測定し、JASS 5, 5・13・1のコンクリート練り上り温度推定式から練り混ぜ水の水温を定め、計画したコンクリートの練り上り温度を得た。

#### 4.3. 試験項目と方法

4.3.1. スランプ JISA1101「コンクリートのスランプ試験方法」に準じた。

4.3.2. 空気量 JISA1128「まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法」に準じた。

4.3.3. 単位容積重量 JISA1116「コンクリートの単位容積重量試験方法および空気量の重量による試験方法」に準じた。

4.3.4. **コンクリート温度** 棒状アルコール温度計およびCC熱電対によった。

4.3.5. **養生** 採取したコンクリート供試体は、材令24時間まで恒温室内（5℃）に放置して養生し、以後短期・長期強度の供試体はキャッピングを行った後に標準水中養生とした。これは、通常現場で試験する場合と同条件で行ったものである。なお、恒温室の温度管理は、予め熱電対を埋め込んだ供試体（φ10×20cm）を用意し、供試体中心部の温度が5℃となるよう温度調節をした。また、各組合せによるコンクリート供試体を採取する際に温度測定用供試体を併せて採取し、熱電対を埋め込んで練り上り温度の変化を調べた。

4.3.6. **圧縮強度** JISA 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準じて供試体（φ10×20cm）を作製し、初期強度の場合は試験材令20～30分前に石膏キャッピングを行い、写真-1に示す初期強度試験器を用いて強度を測定した。また、短期・長期強度の場合はJISA 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じた。

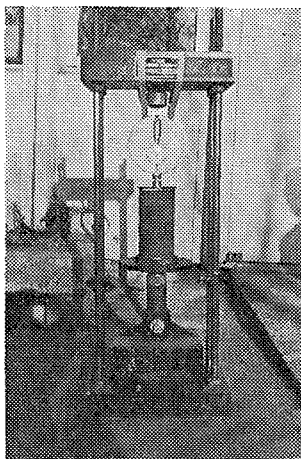


写真-1 コンクリート初期強度試験器

4.4. **試験結果と考察**

4.4.1. **まだ固まらないコンクリート** 各種類別コンクリートのスランプ・空気量・単位容積重量を表-4に示す。このうち、スランプ・空気量については、試験練りによって適正調合を定めたため容易に目標値が得ることができた。しかし、練り上り温度の5・10℃については使用材料の貯蔵および練り混ぜを室外で行ったため、各バッチごとについて練り上り温度の調整を必要とした。その調整方法は先の4・2で述べたとおりJASS 5の練り上り温度算定式によった。恒温室搬入後のコンクリート温度の経時変化は図-2に示

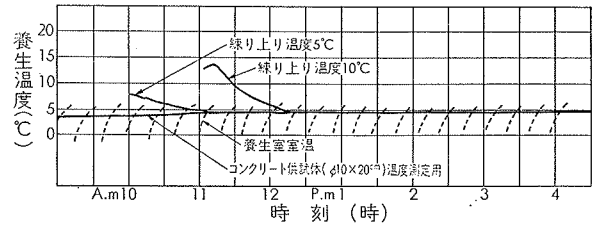


図-2 コンクリートの養生温度記録図

種類		実 測 値			
スランプ (cm)	練り上り温度 (℃)	スランプ (cm)	空気量 (%)	練り上り温度 (℃)	単位容重 (kg/ℓ)
5	5	5.3	3.5	5.0	2.367
	10	4.5	3.7	10.0	2.385
	20	5.2	3.5	19.5	2.348
10	5	10	3.5	5.0	2.350
	10	9.6	3.5	9.8	2.354
	20	10	3.2	20.9	2.371
15	5	15	3.5	4.6	2.347
	10	14.5	3.5	9.3	2.351
	20	14.8	4.0	20.9	2.335

表-4 まだ固まらないコンクリートの試験結果

スランプ (cm)	練り上り温度(℃)	材 令									材令24時間までの養生温度(℃)
		3時間	4時間	6時間	8時間	10時間	24時間	3日	7日	28日	
5	5	0.29	0.35	0.51	0.71	—	7.42	—	219	324	5
	10	0.32	0.39	0.65	0.87	1.04	8.15	—	261	393	
	20	0.35	0.44	0.71	0.89	1.22	8.33	—	230	319	
10	5	0.18	0.29	0.41	0.61	0.80	7.27	—	260	377	
	10	0.19	0.26	0.46	0.62	0.92	6.34	—	255	369	
	20	0.24	0.32	0.47	0.69	0.89	5.71	—	202	303	
15	5	0.14	0.25	0.43	0.61	0.73	7.40	—	227	345	
	10	0.15	0.25	0.44	0.60	0.87	7.42	—	262	372	
	20	0.17	0.26	0.40	0.55	0.75	5.51	—	220	318	
10	20	0.71	—	2.01	—	7.55	45.17	143	228	329	

表-5 コンクリートの強度試験結果

すとおりで、練り上り温度5・10℃の供試体温度は恒温室に搬入する時点で約3℃程上昇している。これは練り混ぜ後供試体を作製する間に外気温度が上昇したために生じたもので、練り上り直後の温度とは若干相違する結果となった。

4.4.2. **圧縮強度** 初期強度と短期・長期強度に分けて以下にその結果を述べる。

(1) **初期強度** スランプ・練り上り温度別初期強度試験結果を表-5、図-4～5に示した。

スランプと初期強度との関係は、練り上り温度の高低に拘らずスランプ5cmの初期強度が高い。また、練り上り温度5・10℃においてはスランプ10・15cm間に顕著な強度差が認められなかった。

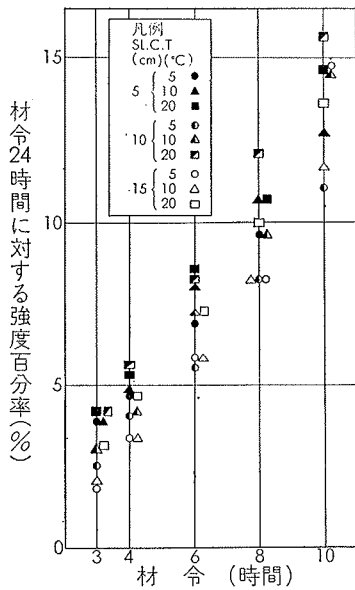


図-3 材令24時間強度に対する強度比

練り上り温度と初期強度との関係は、先にも述べたとおりスランプ5cmを除く他は練り上り温度の差が強度面に有意な差となって現われていない。しかし、スランプ5cmの場合は練り上り温度が上昇するに従って初期強度も高くなる傾向が見られた。

以上述べたスランプ・練り上り温度と初期強度との関係を考慮すると、高い初期強度を得るための手段として練り上り温度を高める方法をとった場合には、スランプ5cm程度の硬練りのものには効果的であるが、スランプ10cm以上のものについては打込み以後の養生温度を適当に保つような措置を講じないかぎり有効であるとは言えない。それは、先に図-2で示した養生温度記録図を見ても分かるとおり、例えば練り上り温度を10℃に高めても約1時間後の供試体中心部の温度は5℃に下がり、練り上り温度を高めた効果が初期強度面に寄与していないものと考えられる。

また、本実験結果から所要初期強度に達するまでの材令(時間)について検討した結果を図-6に示す。所要初期強度の値は、コンクリートの調合設計・調合管理・品質検査指針案(日本建築学会)によれば0.6~1.0kg/cm<sup>2</sup>となっており、ここでは0.6kg/cm<sup>2</sup>について検討した。なお、図中に示す練り上り温度20℃・

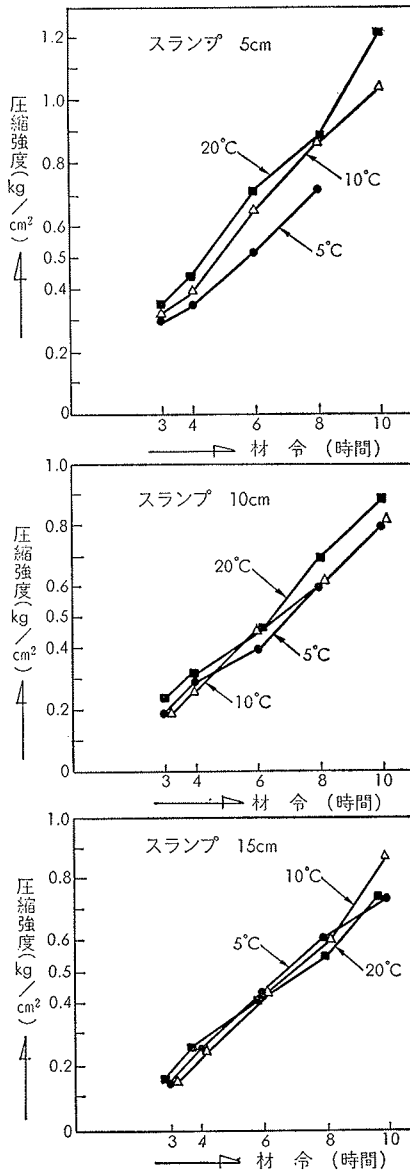


図-4 スランプ別練り上り温度と初期強度の関係

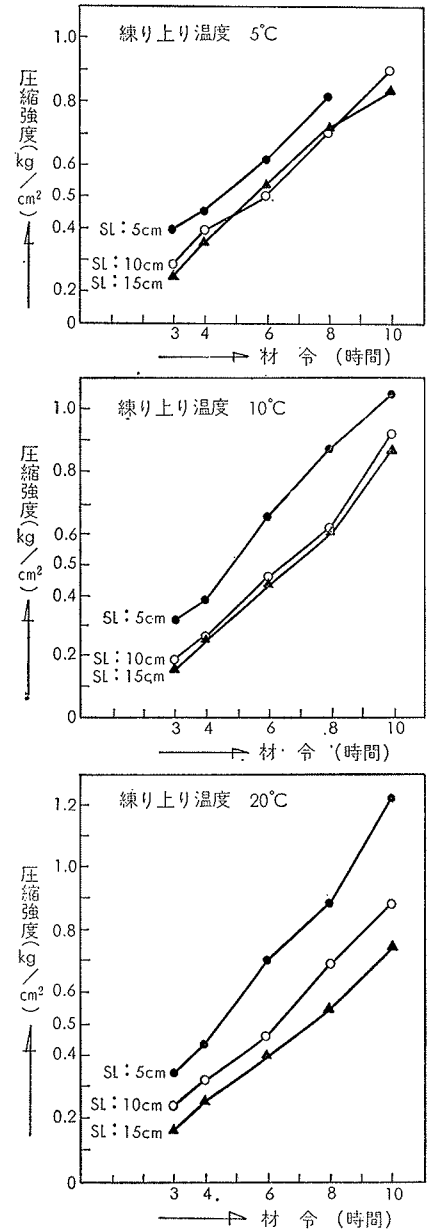


図-5 練り上り温度別スランプと初期強度の関係

スランプ15cmの値に若干不明瞭な点が見られるので参考値程度に止められた。

(2) 短期・長期強度  
初期強度と短期・長期強度との関係を把握する目的から、材令7日・28日強度との関係を検討した結果、図-7に示す関係を得た。これによるとスランプの大小に拘らず練り上り温度10℃の強度が高く、20℃のもの

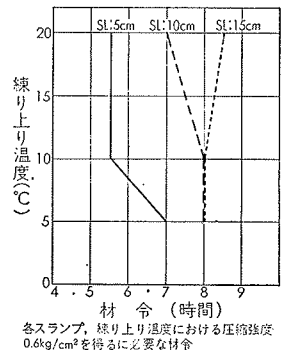


図-6 各スランプ・練り上り温度における圧縮強度0.6kg/cm<sup>2</sup>を得るに必要な材令

は3種ともに低い。先に初期強度の項でも述べたとおり、低スランプの場合は練り上り温度を高めることが初期強度の発現に有効であると記したが、その反面、短期・長期強度には不利となる結果が得られた。このような傾向は文献によっても明らかとなっていることであるが、初期のコンクリート温度を1~2時間高めただけで長期強度が著しく低下することは、初期のコンクリート温度が長期強度に如何大きく影響を及ぼしているかを意味するものである。

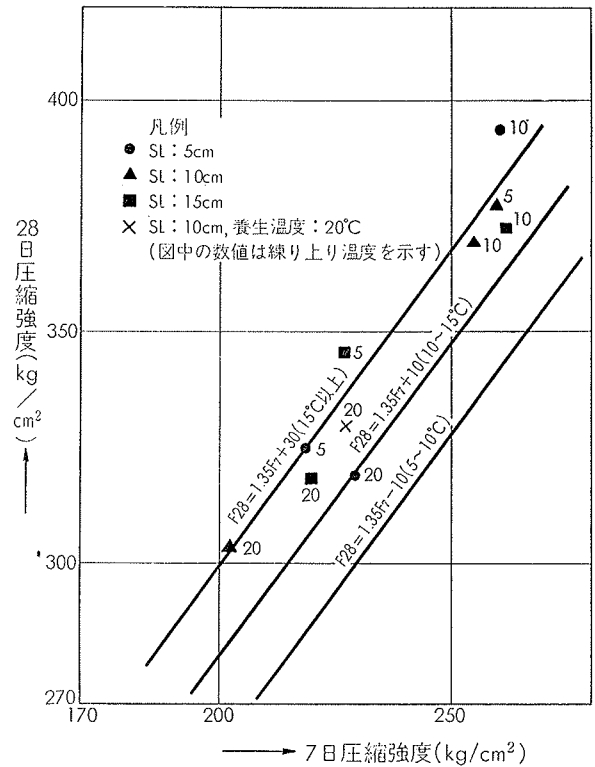
5. まとめ

今回の実験結果から、5℃養生したコンクリートの初期強度について概略以下のことが云える。

- (1) 打込み可能なかぎり硬練りのコンクリートを用いた方が初期強度面から有利であり、できればスランプ5cmで打込むことが望ましい。
- (2) 練り上り温度を高めた場合は初期強度にとって有利であるが、短期・長期強度にはむしろ不利となる傾向があるので、予め試験練りによって検討する必要がある。
- (3) 所要初期強度を0.6kg/cm<sup>2</sup>とした場合、0.6kg/cm<sup>2</sup>に達するまでの材令(時間)は、練り上り温度に拘らずスランプ5cmの方が10・15cmに比して1~2時間早い。
- (4) 養生温度が低い場合は、所要の初期強度を得るのに6~8時間を要するので、打設箇所に何らかの保温措置を施す方がよい。

参考文献

- 1) 笠井：コンクリートの初期圧縮強度推定方法，日本建築学会論文報告集，昭和42年11月
- 2) 笠井：先に提案したコンクリートの初期圧縮強度推定方法の適用性について，日本建築学会論文報告集，昭和44年9月



図一7 7日強度と28日強度の関係

- 3) 笠井・柴田：20℃・7日強度あるいは20℃・28日強度を基準とした初期圧縮強度推定方法，日本建築学会関東支部第40回学術研究発表会，材料施工，昭和44年
- 4) 高野・柳川：初期養生温度がモルタル及びコンクリートの強度に及ぼす影響，セメント技術年報 VII
- 5) 建築工事標準仕様書・同解説 (JASS 5)，日本建築学会
- 6) コンクリートの調査設計・調査管理・品質検査指針案・同解説，日本建築学会
- 7) 土木学会標準示方書，土木学会