

コンクリートの初期性状に関する研究（その1）

野中 稔
曾田 俊紀
新見 芳男

■ はじめに

建設工事のうち躯体部分での型わく工事は工程的、経済的にみて、最も重要な工事といえる。この型わく工事を合理的（存置期間や転用回数、またスライディングフォーム工法の滑揚速度など）に進めるために、型わくの側からみたコンクリートの初期の性状を調査しようとするものである。

コンクリートの初期性状に関する研究は数多くの報告があるが、実際に打込まれたコンクリートの初期性状を追求したものはあまり見受けられない。そこで今回はコンクリートの初期性状に影響すると思われる要因、たとえば、使用材料、その調合、打設方法そして養生方法などが考えられるが今回の実験では、現場に搬入されたコンクリートに起こり得る3要因をとり出し、現場において調査したものを基とし、それを実験室内で再現して、標準養生による供試体の圧縮強度と比較したものであ

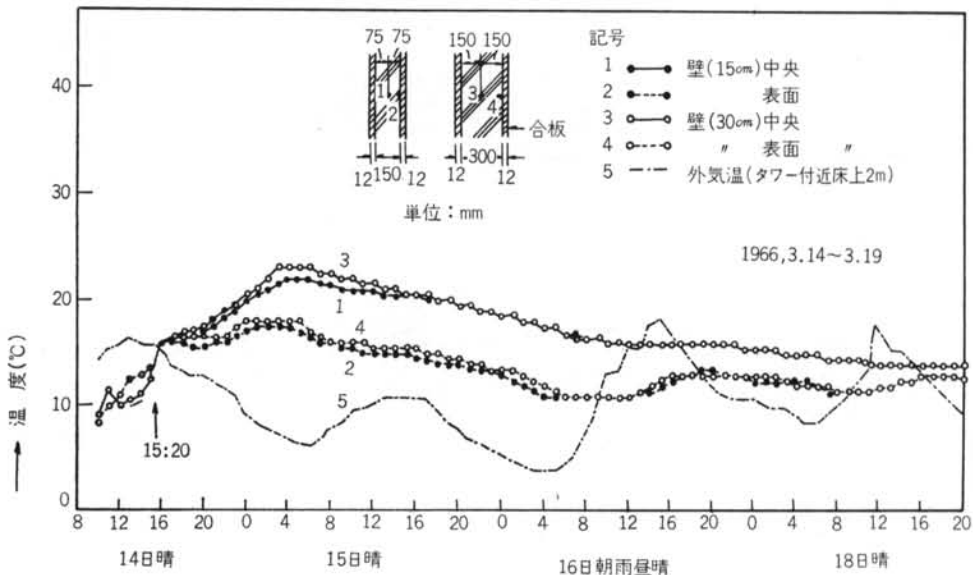
る。

なおこの実験により、一般工法では型わくの存置期間の短縮、スライディングフォーム工法では滑揚速度の増大などの可能性を検討することを目的とした。

§ 1. 要因および水準の選定

コンクリートの硬化速度は一定の材料や調合では、温度・時間そして圧力の3つの条件によて左右される。今回の実験では一般的な条件で打設されたコンクリートを調査した結果、それにもとづいて、それぞれの水準を選定した。

ただし、コンクリートの初期性状におよぼす要因をすべてとり出すことはできないので、今回は以下に示すのみの実験にとどめた。



図一 F銀行新築工事における温度測定

1.1 温度（セメントの水和による発熱）

普通に打設されたコンクリートはセメントの水和によって発熱し、それによってコンクリートの温度が上昇すると考えられる。これは使用材料やセメントの使用量、コンクリートの形状や工法、また外気温度によってその上昇温度が左右されるが、実際に現場に打設されたコンクリートの温度の測定を行なってみた。図-1は一般工法による事務所建築、図-2はスライディングフォーム工法での測定結果である。この結果よりみると、圧縮強度試験用のテストピースのコンクリート温度と、実際に打設されたコンクリートの温度との差異が顕著に現われている。これらの差異は被測定物の状態、(季節、位置、風向、風速、型わく材料など)によっても異なるが、今回の試験では実測データより、コンクリート温度を打設後8時間で打設した時の温度より10℃上昇させ、それを16時間後に打設直後のコンクリート温度まで降下させるようにした。

1.2 時間（加水後から打設までの時間）

現在現場のコンクリートの大半はレデーミクストコンクリートが用いられている。この場合に製造工場より現場までの運搬時間、つまりセメントに加水された時点より運搬、打設して、それが落付くまでの時間が、コンクリートの初期性状に影響することが考えられる。図-3は、東京都内およびその近辺におけるコンクリートの運搬時間の調査結果を示す。なお、鳥田専右氏¹⁾の論文に

より、可傾式ミキサーを用いた実験室内におけるコンクリートの練り置き状態と、実際のコンクリート運搬車による練り置き状態とはその容積など異なるが、性状はほぼ同様であるので実験室内において行なうこととした。

1.3 圧力（コンクリートへの圧力の有無）

コンクリート打設にともない、まだ固まらないコンクリートは上部のコンクリートの圧力を受ける。この圧力の大きさもコンクリートの容積や高さおよび打設方法、型わくのせき板の表面あらさや材質、鉄骨の位置や形状、鉄筋の径や種類および間隔によって変わる。図-4はスライディングフォーム工法を想定し、実験室内において、無筋状態で行なったものである。これは1時間に30cmの打設速度で、内部振動機(100V、振動棒径45mm)を用い、前回打設したコンクリートの天端まで振動棒を挿入した。調査事例も1つであるので図-4の結果からすべてを判断することはできないが1つの参考例とし

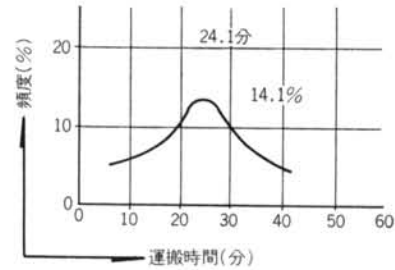


図-3 レデーミクストコンクリートの走行時間分布

1	コンクリート内部 1	6	モールド(外気にさらす)
2	" " 2	7	型わく天端より常に300の点
3	" " 3	8	サイロ内部
4	" " 4	9	外 気
5	" " 5	10	生コン車現場着コンクリート温度

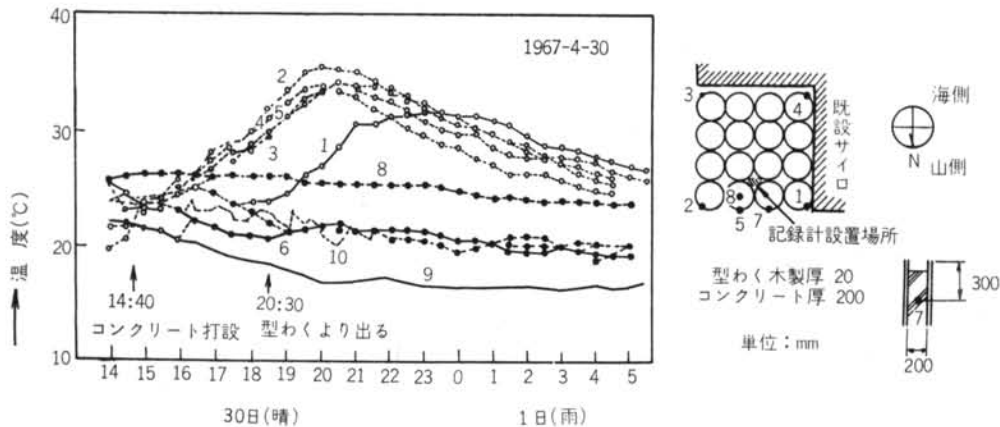


図-2 製油穀物サイロ工事における温度測定

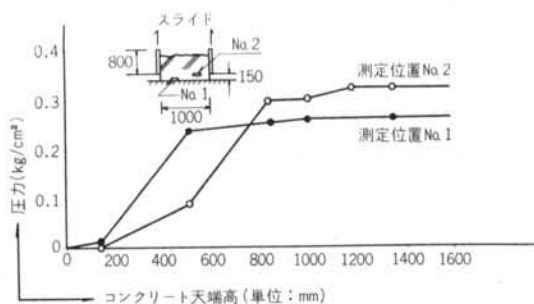


図-4 コンクリート圧力測定

た。

今回の実験では基本練り後、圧縮強度試験用の型わくにつめ、1時間ごとに0.1kg/cm²ずつ圧力を増大させ、5時間目に最高の0.5kg/cm²の圧力とした。加圧開始から24時間後に圧力を開放し通常の養生方法にもどした。

1.4 要因の割付

以上の要因および水準を表-1のようにまとめ、表-2にその割付を示した。ただし今回の試験においては使用材料および割合は一定とした。

要因	水準1	水準2	備考
A. セメントの水和による発熱	20℃一定	20℃を30℃に上昇	10℃上昇は基本練り後から8時間目とし、16時間目にもこの温度20℃にする
B. コンクリートの練り置き時間	0分	30分	基本練りから成形するまでの時間
C. コンクリートへの圧力	0	0.5kg/cm ²	基本練り後から5時間目に0.5kg/cm ² とする

表-1 要因および水準表

列番	1	2	3	4	5	6	7
	A	B	A×B	C	A×C	B×C	e
試験 No.							
C-1	1	1	1	1	1	1	1
C-2	1	1	1	2	2	2	2
C-3	1	2	2	1	1	2	2
C-4	1	2	2	2	2	1	1
C-5	2	1	2	1	2	1	2
C-6	2	1	2	2	1	2	1
C-7	2	2	1	1	2	2	1
C-8	2	2	1	2	1	1	2

表-2 割付直交表

§ 2. 使用材料および割合

2.1 セメント

〇社製普通ポルトランドセメントを使用した。化学成分および物理試験結果を表-3、表-4に示す。

製造会社名	igloss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
小野田社	0.8	0.1	21.5	5.1	3.1	65.4	1.4	1.6	99.0

表-3 セメントの化学成分

比重	ブレン cm ² /g	凝 結					
		温度	湿度	水量	始 発	終 結	
3.16	3220	20.5℃	85%	26.9%	2時間25分	3時間34分	
フロー mm	曲げ強さ kg/cm ²			圧縮強さ kg/cm ²			
	3日	7日	28日	3日	7日	28日	
243	31.0	48.0	73.9	117	238	430	

表-4 セメントの物理試験結果

2.2 骨材

細骨材、粗骨材の粒度分布は日本建築学会 JASS5の標準粒度曲線より、それぞれ中間の粒度分布に近づけて行なった。骨材の産地、性質、ふるい分け試験結果を表-5、表-6に示す。

産地	表乾比重	吸水率 o/Wt	粗粒率	大きさ mm	ふるい通過率%					
					5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
富士川	2.63	1.3	2.71	5以下	100	89	71	45	19	5

表-5 細骨材

産地	表 乾 比 重	吸水率 o/Wt	粗粒率	大きさ mm	ふるい通過率%				
					25	20	15	10	5
安倍川	2.65	0.6	6.94	25以下	100	75	63	31	0

表-6 粗骨材

2.3 水

水道水を使用した。

2.4 混和剤

Y社製の空気連行剤を使用した。

2.5 コンクリートの割合

コンクリートの割合は日本建築学会標準仕様書 JASS5に準じて行ない、水やセメント比55%、セメント量300kg/cm³、スランプ値15cmとし、スランプは許容範囲±2cm、空気量は3.5~4.5%の範囲内とした。実施した割合を表-7に示す。

W/C %	スランブ cm	細骨材率 o/V1	重 量 kg/cm ³				
			有効水	セメント	砂	砂利	AE剤
55	15	40.4	165	300	757	1145	0.075

表-7 コンクリート調査表

§ 3. 供試体の作製

3.1 供試体寸法および個数

供試体の寸法は径100mm、高さ200mmを使用し、1材令3個とし、材令数は10で、1試験は30個とした。試験回数は8回で合計240個である。

3.2 供試体の成形

コンクリートの混練は可傾式55ℓミキサーを用い、注水後3分間を基本練りとし、混練されたコンクリートは前記寸法の型わくに2層に分けて、各層を規定のつき棒により15回突き成形した。

また成形された供試体のキャッピングは材令7時間までは圧縮強度試験30分前に石膏で行ない、材令24時間以後は早強セメントで行なった。

3.3 供試体の圧縮強度試験方法

試験機は材令3日(72時間)までは10tアムスラー万能試験機を使用し、それ以後は30tアムスラーを使用した。

荷重速度は表-8に示す値を標準とした。

材 令	3H	4H	5H	6H	7H	24H	48H	72H	1W or 4W
荷重速度 (kg/cm ² /sec)	0.002	0.004	0.008	0.02	0.03	0.3	0.6	1.0	2~3

表-8 荷重速度

3.4 供試体の作製

成形された供試体は各要因にもとづき、以下の方法および養生を行なった。

3.4.1 コンクリートの温度管理

コンクリートは1.1に示してある現場実測より、その温度上昇および下降曲線に合わせるように自動温度可変室にて予備試験を行ない、コンクリート温度と温度可変室内との時間的なずれを測定し、コンクリート供試体内を現場実測データに近いようコントロールした。成形されたコンクリートは図-5に示すように8時間で10℃の上昇を行ない、それ以後16時間目に元の温度にした。なお48時間までは型わく内につめたまま空中養生とし、それ

以後は20±1℃の水中養生とした。

コンクリート温度の測定は20℃一定の場合には棒状温度計を供試体の1つに挿入し、30分ごとに計測して記録した。コンクリート温度を10℃上昇をさせる場合には、熱電対を供試体の中央に埋設してそれを自記記録させた。

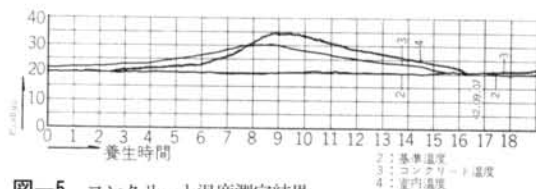


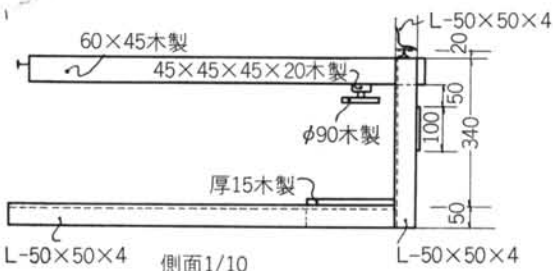
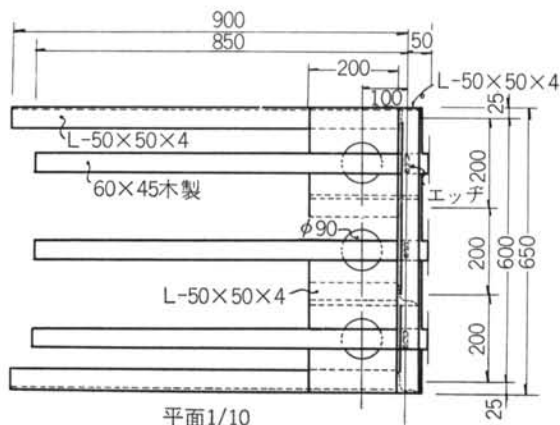
図-5 コンクリート温度測定結果

3.4.2 コンクリートの練り置き時間

図-3より、コンクリートの練り置き時間は30分とし、実験室内において可傾式ミキサー(容積55ℓ)を用い、基本練り後30分間放置し、そして成形直前にもう一度3分間練り返して、所定の方法によって成形した。

3.4.3 コンクリートへの加圧方法

供試体への圧力は図-4に示した値よりも大きくした。加圧装置は図-6(a)に示すとうり、コンクリート上面に圧力が加わるようにし、1時間ごとに0.1kg/cm²



注：仕口は全部溶接接合とする。 単位：mm

図-6(a) コンクリート加圧装置

の圧力を増し、5時間目で 0.5kg/cm^2 になるようにした。24時間以後には加圧を開放し、他の供試体と同様な方法で養生した。

なお加圧はテコの利用により、その一端にプラスチック製ピンを下げ、錘りとしては水道水を用いた。

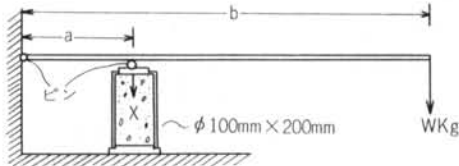


図-6(b) 加圧方法

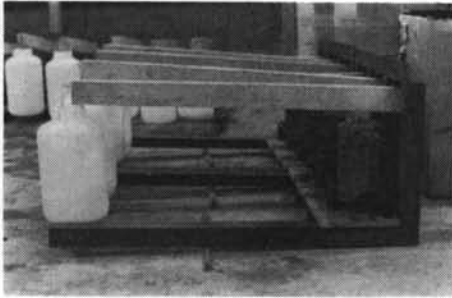


写真-1 コンクリートへの圧力装置

§ 4. 試験結果

標準養生(C-1)(コンクリート温度 20°C 一定とし、成形後48時間後より 20°C 水中養生)のものを基準としてコンクリート温度を 10°C 上昇させた供試体(C-5)、コンクリートへ5時間で 0.5kg/cm^2 の圧力をかけた供試体(C-2)およびコンクリートを基本練り後30分放置した供試体(C-3)、そしてそれぞれの要因を同時に加えた供試体(C-4, C-6, C-7, C-8)との圧縮強度の発現の比較を行なった。その試験結果を表-9と図-7に示す。

A. C-1を基準とした場合のC-5は24時間までは約50%の圧縮強度発現速度であり、時間的にみると約45分早く、同一の強度値に達する。それが24時間から48時間まではその速度変化は平行となり、1週では標準養生(C-1)の供試体の方が圧縮強度値は大きくなる。

B. C-1とC-2との比較ではC-5の場合よりもその差は低く、約20%の圧縮強度発現であり、約30分早く、同一強度値に達する。24時間以後1週まではC-1とほぼ同じ発現速度で、わずかにC-2の方が大きい。

C. C-1とC-3では24時間まではC-2の場合とほぼ同値であるが24時間から48時間までは同速度の上昇を示し、それ以後1週まではC-5よりも圧縮強度値は

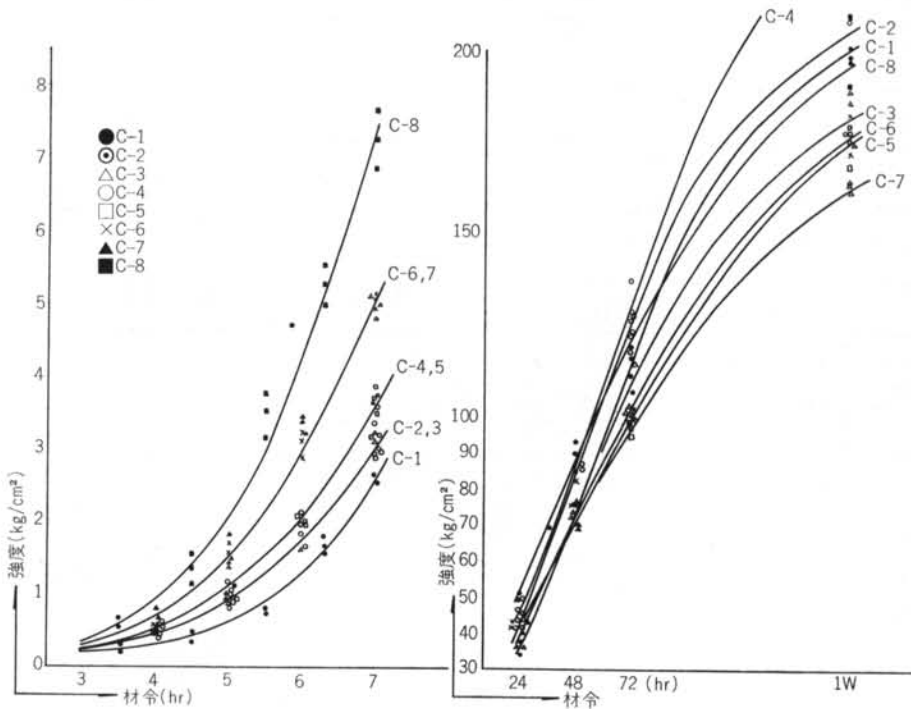


図-7 圧縮強度と材令の関係

わずかに高いが、強度ののびは標準養生(C-1)よりも低い値を示している。

D. C-1とC-4, つまり標準養生の供試体とコンクリートを基本練り後30分間放置し, 成形後圧力をかけた供試体との圧縮強度発現状態は24時間まではコンクリートの温度上昇(C-5)とほぼ同じ発現速度であるが, 24時間以後1週において, その速度を維持し, C-1よりも1週で約25%の高い値を示している。なお24時間までをみると, それぞれ単独に与えた供試体(C-2, C-3)との強度発現の積とほぼ同値になることがいえる。

E. C-1とC-6およびC-7, つまりコンクリート温度上昇と圧力をかけた供試体(C-6), およびコンクリート温度上昇と基本練り後成形するまで30分間放置した供試体(C-7)との圧縮強度発現の状態は, 24時間までは, それぞれ単独に加えられた供試体の強度(発現速度標準養生と比較して)の積にほぼ一致するのが, 24時間から48時間, またそれ以後1週までの強度の延びはコンクリート温度を10℃上昇のみの供試体(C-5)とほぼ一致する強度値を示している。

F. C-1とC-8, つまりコンクリート基本練り後30分間の放置後に成形し, コンクリートの温度を上昇さ

単位: kg/cm²

試験番号	強度平均値 \bar{x} 標準偏差 δ 変動係数 V	材 令										備 考	
		3 時間	4 時間	5 時間	6 時間	7 時間	24 時間	48 時間	72 時間	1 W	4 W	スランブ cm	空気量 %
C-1	\bar{x} kg/cm ²	※※※ 0.22	※※※ 0.39	※※※ 0.78	※※ 1.66	2.58	35	74	111	200	341	16.0	
	δ kg/cm ²	0.014	0.068	0.022	0.164	0.032	1.41	7.49	7.55	16.28	14.13		
	V %	6.4	17.4	2.8	9.9	1.2	4.0	10.1	6.8	8.1	4.1		
C-2	\bar{x} kg/cm ²	0.19	0.47	0.90	1.82	2.94	42	85	122	205	338	16.0	
	δ kg/cm ²	0.033	0.048	0.064	0.173	0.202	2.00	7.75	7.94	24.00	7.00		
	V %	17.4	10.2	7.1	9.5	6.9	4.8	9.1	6.5	11.7	2.1		
C-3	\bar{x} kg/cm ²	0.25	0.47	0.98	1.62	3.11	36	73	106	182	314	17.0	4.2
	δ kg/cm ²	0.045	0.058	0.109	0.122	0.089	0	10.05	10.14	22.90	11.00		
	V %	18.0	12.3	11.1	7.5	2.9	0	13.8	9.6	12.6	3.5		
C-4	\bar{x} kg/cm ²	0.32	0.55	1.09	1.98	3.52	46		128	239		16.0	4.3
	δ kg/cm ²	0.048	0.053	0.095	0	0.130	4.12		5.91	12.17			
	V %	15.00	9.6	8.7	0	3.7	9.0		4.6	5.1			
C-5	\bar{x} kg/cm ²	0.23	0.42	0.95	2.02	3.72	43		96	175		16.0	
	δ kg/cm ²	0.014	0.061	0.071	0.268	0.370	2.24		3.32	9.70			
	V %	6.1	14.5	7.5	13.3	9.9	5.2		3.5	5.5			
C-6	\bar{x} kg/cm ²	0.27	0.63	1.56	3.20	5.06	42	77	100	177	273	15.1	
	δ kg/cm ²	0.036	0.098	0.141	0.481	0.198	1.00	3.74	8.19	5.00	8.06		
	V %	13.3	15.5	9.0	15.0	3.9	2.4	4.9	8.2	2.8	3.0		
C-7	\bar{x} kg/cm ²	0.26	0.60	1.58	3.33	4.96	42	69	102	163	274	16.0	4.3
	δ kg/cm ²	0.53	0.080	0.105	0.192	0.138	2.24	0	2.83	1.00	11.05		
	V %	20.4	13.3	6.6	5.8	2.8	5.3	0	2.8	0.6	4.0		
C-8	\bar{x} kg/cm ²	※※※ 0.54	※※※ 1.34	※※※ 3.49	※※ 5.26	7.25	49	88	119	196	306	16.0	4.0
	δ kg/cm ²	0.087	0.138	0.222	0.170	0.410	1.00	6.93	1.00	10.78	14.93		
	V %	16.1	10.3	6.4	3.2	5.7	2.0	7.9	0.8	5.5	4.9		

注: ※※※強度試験時30分遅れ ※※20分遅れ

表-9 コンクリート強度試験結果表

せ、それに圧力を加えたものの供試体との比較は図-8に示したごとく、3時間から24時間まで標準養生の供試体(C-1)とではその強度値の上昇速度はかなり早く、それが24時間から、その上昇は遅くなり、1週間ではほぼ同値となり、4週の圧縮強度では逆転した値を示す。

図-9は要因分析結果による寄与率と材令の関係を示したもので、これよりみると材令24時間以内の強度発現についてはコンクリート温度の変化の影響が非常に大きく、24~72時間においては圧力の影響の方が大きく左右している。それ以後については温度変化、圧力ともほぼ

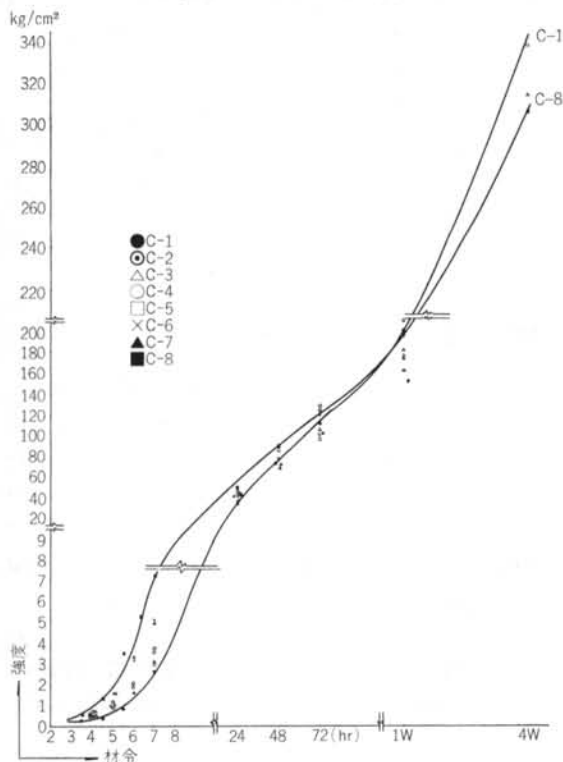


図-8 強度と材令の関係

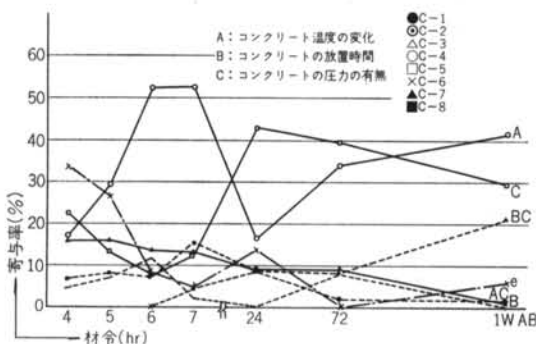


図-9 要因分析結果による寄与率と材令の関係

同等の効果があるものとみなすことができる。

また、コンクリートの基本練り後の放置時間は標準養生したものと比較して約30分のずれがある。これは放置時間を養生時間とすると、その強度発現速度はほぼ一致することがいえる。なお交互作用は材令72時間まではほとんどないと考えられるが、1週間以後の強度では、基本練り後からの放置とコンクリートへの圧力の交互作用の影響が大きくなっていることがいえる。

§ 5. 考 察

コンクリートの初期性状に影響する要因は、その使用材料の種類から初まって、最後のコンクリートの養生方法に至るまで数多く考えられる。今回の実験では要因のすべてを取り出して実験を行なったものでなく、その影響が大と考えられるものの3要因を取り出し、それも二水準のみの実験を行なったにすぎない。また実際に打設されたものの中から供試体を取り出したものでなく、現場に打設されたコンクリートの調査結果から、それを実験室内で再現したのである。この実験結果から実際に打設されたコンクリートの初期性状、特にその圧縮強度を断定することは早計であるが、ある程度の予測はできるものと考えられる。

今回の実験の目的である施行面より、特に型わく工事からみたコンクリートの初期性状を知り、それによる工事方法、たとえば一般工法では型わくの存置期間、スライディングフォーム工法では滑揚速度などの適性な方法を見つけ出すことにある。

実際に打設されたコンクリートの性状(圧縮強度)を知る方法としては、現在一般的には同時に圧縮強度用供試体を作り、それを材令ごとに試験を行なって、実際に打込まれたコンクリート強度を間接的に知る方法がとられている。

今回の実験では、20℃の実験室内において実際に打設されたコンクリートの条件に近くした供試体と、在来の標準的な養生方法(JIS A1132, コンクリートの強度試験用供試体の作り方に準じた)による供試体との比較をしたものである。

図-10は「C-8に対するC-1の強度遅延時間」の関係を示したもので、これよりみると標準養生(C-1)は材令24~72時間の間では約6~9時間の圧縮強度発現の遅れが認められる。建築学会標準仕様書 JASS 5によれば、壁などの垂直面の型わくが脱型できるコンクリート強度は50kg/cm²以上としている。このことは図-8

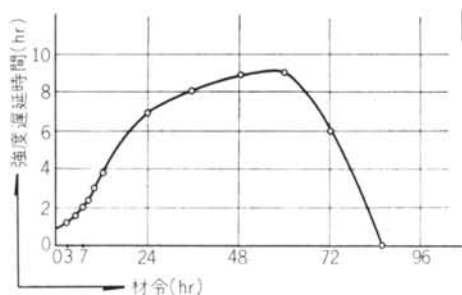


図-10 C-8に対するC-1の強度遅延時間

からみて、20℃の場合では標準養生の圧縮強度は約30～32時間目に50kg/cm²に達しているが、しかし実験室内における実際に打設されるコンクリートに近くした供試体(C-8)では約7～8時前に所定の強度に達している。つまり標準養生の強度が35～37kg/cm²前後に達したときに、すでに実際に打設されたコンクリートは50kg/cm²になっていることが推定できる。

スライディングフォーム工法の場合のコンクリートは型わく(通常型わくせい1,200m前後)が時速25～40cmの滑揚速度であるので、3～5時間で露出する。そこで、その露出されたコンクリートはその上部のコンクリート重量を支えているだけの圧縮強度(1.20cm×2.3g/cm³=0.276kg/cm²)があれば良いことになる。しかし、現在はコンクリートと型わくの摩擦や打設による衝撃などを含めて0.7～1.2kg/cm²の圧縮強度が必要とされている。この工法でのコンクリート強度の管理方法は前記一般工法と同じ方法で行なうので、当然圧縮強度の試験値と実際の構造物のコンクリートとは異なった値となる。つまり3～5時では特にその傾向がみられる。図-11は「C-1に対するC-8の強度百分率を示したもので、4～7時間の初期材令では、その比率が標準養生の供試

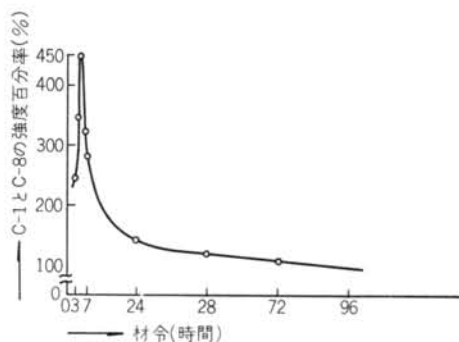


図-11 C-1に対するC-8の強度百分率

体よりも3～4倍近くもあることが分かる。このことは実際に打設されたコンクリートが0.7～1.2kg/cm²になる時点では圧縮強度試験値はその1/3～1/4、つまり0.25～0.4kg/cm²の強度があれば良いと推定できる。

今回の実験結果により、3日以後の強度に関しては、現在行なわれている圧縮強度試験による方法によっても差異は認められないと考えられる。

■ おわりに

この実験はすべての要因を取り入れたわけではなく、また水準の選定もスライディングフォーム工法の条件に近い値を取ったので、一般工法の場合と若干違っている。また、コンクリートの打設時の温度環境や型わくの形態によるコンクリート中の水分の脱水など初期性状に影響する要因も今回の実験には含まれていない。今後現場の調査を含めて、今後もこの問題の追求を進めていきたい。

この実験に関して小野田セメントKK中央研究所の方々および当研究所宮路栄二研究員の協力に感謝します。

<参考文献>

- 1) 鳥田専右他3名：“練りまぜ時間がコンクリートに与える影響”清水建設研究所報第2報，第3報
- 2) 笠井芳夫：“コンクリートの初期性状に関する研究”セメント技術年報 昭和36年，37年，38年，39年
- 3) 木沢久兵衛，棚橋 勇：“コンクリートの初期性状に関する研究”日本建築学会論文報告集・No 103 昭和39年
- 4) 鳥田専右：“レディーミクストコンクリートの輸送時間管理に関する研究”清水建設研究所報 第7号
- 5) C.A.VOLLICK：“Effect of Revibrating concrete” ACI Journal March 1958