

# 混練時間がコンクリートに与える影響

——主として沈みきれつおよび鉄筋付着強度について——

鳥田 専 右  
鈴木 忠 彦

## §1. ま え が き

レディミクストコンクリートの普及にともなうて、コンクリートの長時間混練がひとつの問題となっている。

混練時間がコンクリートの性質に与える影響については内外の諸報告があるが、ここでは主として、

- (1) 沈みきれつ
- (2) 鉄筋付着強度

に与える影響について、実験室内での実験、およびレディミクストコンクリートを使用して行なった実験の結果を報告する。

## §2. 実験の方法

実験は上述のごとく、実験室だけのものと、R.M.C.を用いたものとあるが、さらに後者は夏季と秋季との2回にわたって行なった。以下、これらの実験をそれぞれNo.1, No.2, および No.3と呼ぶ。

使用した材料、その時のコンクリート調合、および温湿度条件は、表-1 ~ 表-5 に示す通りである。

ミキサーについて述べると、実験室のものは2切のテイルティング型で、その回転数は27rpmに固定されていた。回転速度の調節は、ミキサーに5分ごとにある回転数を与え、その間は停止せしめて、全時間についての平均回転数が所望のものになるようにした。

また混練中は、ミキサーの口をゴム引きのシートで被

って、水分の蒸発を押えた。

No.	比重	ブレン cm <sup>3</sup> /g	凝 結			安定性	強熱減 %	マグネ シア %	無水硫酸 %
			水量%	始発	終結				
1	3.14	3190	27.0	2-03	3-10	良	0.65	1.65	1.82
2, 3	3.16	3090	28.4	2-11	3-31	良	0.70	1.10	2.00

No.	フロー mm	曲げ強さ kg/cm <sup>2</sup>			圧縮強さ kg/cm <sup>2</sup>			養生温 度 °C
		3日	7日	28日	3日	7日	28日	
1	248	28.7	44.9	70.6	115	215	406	20
2, 3	248	31.3	46.5	69.7	125	216	400	20

表-1 セメント：アサノ普通ポルトランドセメント

No.	産地	比重	吸水量 %	単重 kg/l	有機 不純 物	ふるい通過率 %						大きさ mm
						5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
1	鬼怒川	2.60	1.53	1.570	良	100	99	96	68	12	1	1.2以下
2, 3	荒川 鬼怒川	2.63	1.60	1.708	良	100	90	73	45	21	2	2.5以下

表-2 細骨材：川砂

No.	産地	比重	吸水量 %	単重 kg/l	ふるい通過率 %						大きさ mm
					30	25	20	15	10	5	
1	相模川	2.65	1.57	1.68	100	92	65	42	10	3	25以下
2, 3	利根川	2.65	0.90	1.71	100	98	78	48	25	1	25以下

表-3 粗骨材：川砂利

No.	W/C %	スランブ cm	砂 率 %	重 量 kg/m <sup>3</sup>			
				有効水	セメント	砂	砂 利
1	65	22	42.2	216	332	733	1027
2, 3	65	21	45.8	205	316	826	985

表-4 コンクリート調合

No.	場所	月	湿度 %	気温 °C
1	屋内	4~6	75~82	22~24
2	屋外	9	75	26~28
3	屋外	11	43~56	18~19

表—5 外的条件

R.M.C. の運搬車は、容量3立方メートルの傾胴型のもので、これに3立方メートルのコンクリートを積載し、試料はシュートから採った。また排出時以外のミキサー回転速度は2rpmであった。

以下に、試験の項目とその方法を述べる。

(1) スランプ試験

JISA 1101による。

(2) ビカー針装置による試験

コンクリートを5mm目標準ふるいでウェットスクリーンして得たモルタルについて、JASS 5.15.2aのセメント異常凝結試験方法を適用して、40分後まで測定した。

(3) ブロクター針貫入抵抗試験

ASTM 403—57 T の方法によった。ただし、数値は  $g/mm^2$  で表わし、測定は各回共4時間後までとした。

(4) 圧縮強度試験

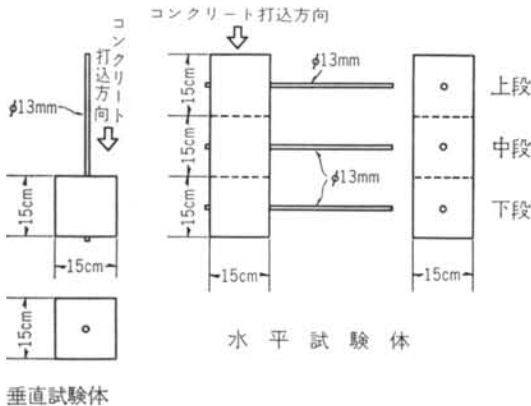
JISA 1108による。養生は20°Cの水中で行なった。

(5) 引張強さ係数試験

JISA 1113により、養生は20°C水中。

(6) 鉄筋付着強度試験

ASTMC 234—57 T の方法に準ずる。ただし、水平鉄筋については、型枠の高さを45cmとして、鉄筋を3段とした。また鉄筋は径13mmのものを使用し、脱型後は20°Cの水中養生を行なった。(図—1参照)



図—1 鉄筋付着強度試験体

(7) フリージング試験

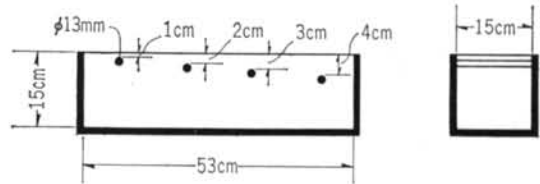
JISA 1123による。

(8) 沈みきれつ測定

JISA 1106 (コンクリートの曲げ試験方法) に使用する型枠に、径13mmの鉄筋を短辺方向に4本、コンクリートを枠の上面まで詰めた時その被り厚さがそれぞれ1cm, 2cm, 3cm, および4cmになるように装着した。

これにコンクリートを上記 JIS の方法によって詰め、鉄筋上に発生する沈みきれつについて、発生するまでの時間、発生後の挙動、および24時間後の幅について観察した。きれつ幅は、試験体の幅を10等分し、その各中心での値(きれつの現れていない箇所は0として読む)の平均値をもって表わした。

また試験体は、1条件に対して1個とした。(図—2参照)



図—2 沈みきれつ試験体型枠

§ 3. 試験の結果と検討

(1) 実験中のコンクリート温度

No. 1 では、コンクリート量が少ないため、その温度は常に室温と一致していた。

No. 2 では29°C から31°C まで、No. 3 では16°C から18°C まで、それぞれ上昇した。

(2) スランプ

ミキサーから排出した直後のスランプ、およびそのまま静置して、その後の時間経過によるスランプ変化を表—6 ~ 表—8、および図—3、図—4 に示す。

時間 rpm	* 3分	30分	60分	90分	120分	180分
0	21.0	19.5	19.0	18.5	17.5	—
3	21.5	22.0	21.5	20.5	19.0	11.0
6	21.5	21.0	20.0	19.0	17.0	—
10	22.0	22.5	21.5	20.0	16.5	7.5

\* この間のみ 27 rpm

表—6 No. 1 の排出直後のスランプ (cm)

rpm	混練時間	ミキサーから排出後の時間 (分)				
		0	10	20	30	40
27	3分	21.0	21.0	21.5	21.5	19.0
*	60分	21.5	20.5	20.0	20.0	17.0
	120分	19.0	19.5	18.0	17.0	11.0
	180分	11.0	7.5	6.0	5.0	4.5
*	60分	21.5	21.0	19.0	19.0	17.5
	120分	16.5	16.5	11.0	9.5	7.0
	180分	7.5	5.5	4.0	2.0	2.0

\* 最初の3分間は27 rpm

表-7 No. 1の排出以後のスランプ変化 (cm)

No. 2			No. 3		
混練時間	排出後の時間 (分)		混練時間	排出後の時間 (分)	
	0	15		0	15
30分	21.3	21.0	40分	20.5	20.5
60分	21.0	20.7	70分	20.0	21.5
90分	21.5	19.5	100分	20.5	21.0
120分	18.7	18.9	130分	21.0	20.5
150分	18.2	17.3	160分	21.0	20.0
180分	17.5	11.0	190分	19.5	19.5

表-8 No. 2, No. 3の排出以後のスランプ変化 (cm)

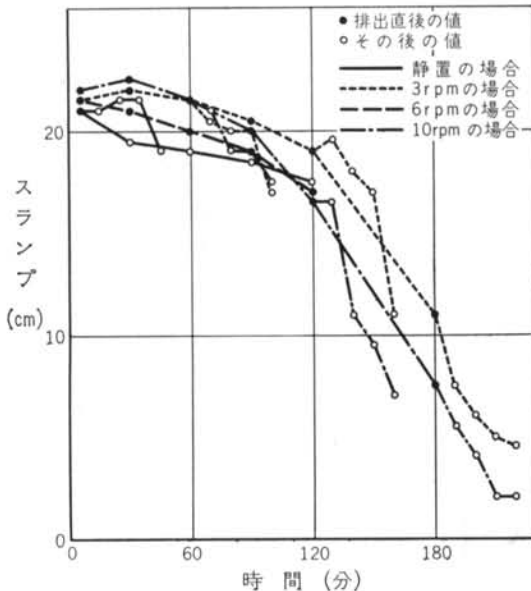


図-3 スランプ変化 (No. 1)

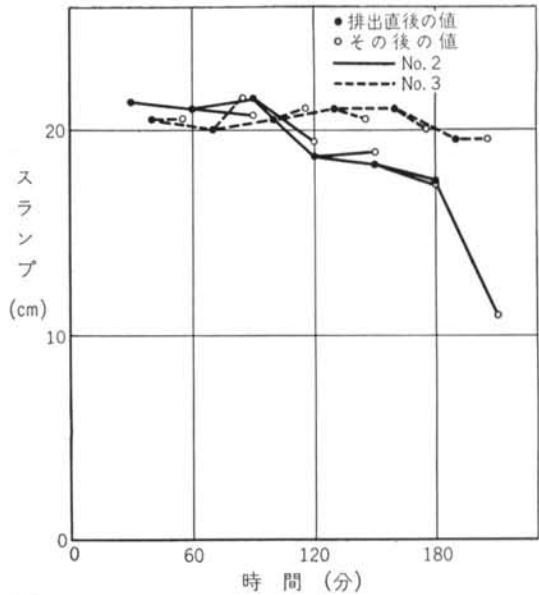


図-4 スランプ変化 (No. 2, No. 3)

排出後のスランプ変化をみたのは、ミキサー内では機械的外力のため軟度が維持されていても、静置すると、急激にそれを失うということがあるかもしれない、もしそうであれば、施工上排出直後のスランプ値だけで、軟度を論ずるわけにはいかないと考えたからである。

結果についてみると、スランプに影響を与えるものは、気温、混練時間のほかに、ミキサーの回転速がある。すなわち、時間の外に与えられる機械的エネルギーも要因として考えなければならない。大量を低回転でアジテートする R.M.C. の場合、実験室試験による場合よりもスランプ変化の少ないのは、このことも関係していると考えられる。排出後のスランプ変化は、排出後30分まではミキサー内にある場合に比して、大して変りはない。

スランプ低下により、限界時間を考えるため、所定の値(ここでは21 cm)より2 cm 少ない点をとってみると、R.M.C. の場合、20℃以下では3時間まで、高温時でも1時間30分までとなる。

### (3) ビカー針試験とプロクター針貫入抵抗試験

結果は表-9 ~ 表-11, および図-5, 図-6 に示す通りである。

これで見ると、混練時間の長いものほど、排出後のこわばりの早いことを示しているが、しかしその数値から施工性の限界について何等かの目標となる事項を見出すことはできなかった。

ただ、ここでいえることは、ミキサーから排出後のスランプ変化、ビカー針試験、およびプロクター針貫入抵

抗試験の結果がいずれも、混練1時間30分と2時間、および2時間30分と3時間との間に、明らかな開きを生じており、これらの試験値相互に共通性が見出せるということである。

そしてこの結果から、前項でスランプ変化の点から限界と考えられた時間以内においては、軟度にほとんど差がないということが、一層はつきりいえる。

rpm	混練時間(分)	経過時間(分)				
		0	10	20	30	40
27	3	38.0	36.0	33.5	28.0	27.5
	60	38.0	37.0	34.5	27.0	17.5
	120	37.0	36.5	34.5	18.0	8.0
3	180	35.0	35.5	11.0	2.5	0.5
	60	37.5	36.5	35.0	33.0	28.0
	120	35.5	36.0	35.0	8.5	4.0
10	180	36.5	24.0	1.5	0	0

表-9 No. 1のビカー針降下量(mm)

混練時間(分)	経過時間(分)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
30	38.0	36.0	34.5	31.5	31.0	23.0	20.0	17.0	12.5	
60	37.5	35.5	34.5	30.5	29.0	24.0	21.0	16.5	13.5	
90	37.5	37.0	35.5	33.0	32.5	22.5	19.5	15.0	12.0	
120	37.0	35.5	34.5	29.5	—	18.0	15.0	10.0	4.0	
150	37.0	35.5	33.5	30.0	22.0	13.5	13.0	9.0	6.0	
180	34.5	36.0	33.0	22.5	20.0	8.0	5.0	4.0	1.5	

表-10 No. 2のビカー針降下量(mm)

混練時間(分)	経過時間(分)				
	0	1	2	3	4
30	0	0	2.8	46.2	225.9
60	0	0	7.0	100.9	306.5
90	0	0	28.7	177.9	484.8
120	0	14.2	57.4	349.3	972.9
150	0	13.3	95.3	456.3	1,512.1
180	0	12.6	172.2	958.8	2,140.0

表-11 No. 2のプロクター針貫入抵抗(g/mm<sup>2</sup>)

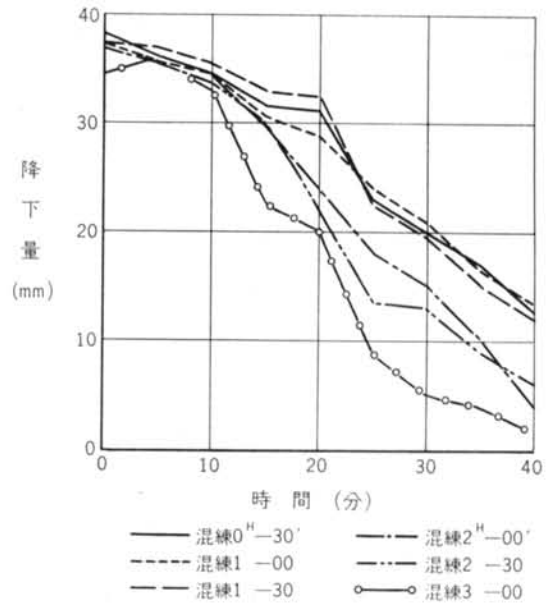


図-5 ビカー針降下量(No. 2)

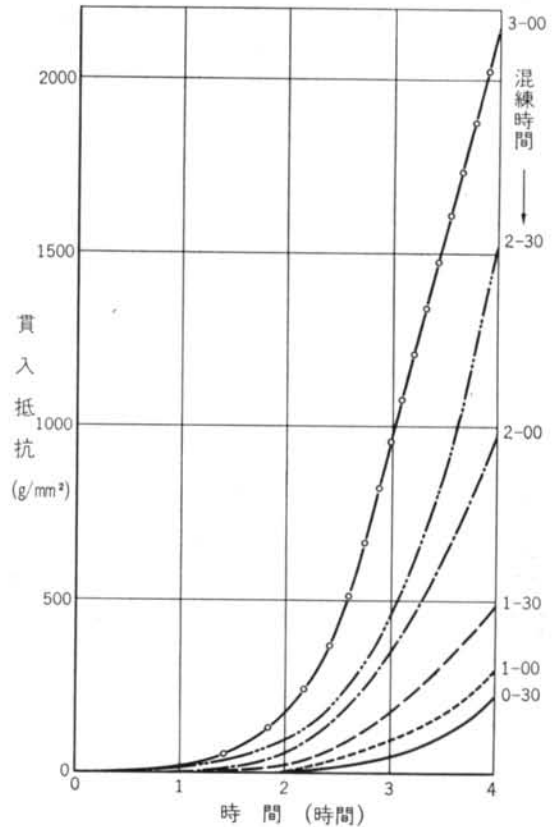


図-6 モルタルのプロクター針貫入抵抗(No. 2)

#### (4) 強度

結果を表-12 ~ 表-15に示す。

rpm	時間				
	*3分	30分	60分	90分	120分
3	249	240	263	234	268
	221	248	234	241	256
	200	224	268	259	260
平均	223	237	255	245	261
10	197	221	249	247	244
	212	236	226	240	263
	220	220	257	227	258
平均	210	226	244	238	255

\* 最初の3分間は27rpm

表-12 No. 1の圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

材令	時間			
	30分	90分	150分	180分
7日	113	125	127	108
	121	120	121	128
	125	129	126	125
平均	120	125	125	120
28日	238	196	219	224
	231	200	202	194
	234	230	208	239
平均	234	209	210	219

表-13 No. 2の圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

材令	時間					
	40分	70分	100分	130分	160分	190分
28日	288	336	318	329	312	294
	330	280	312	329	304	306
	340	332	317	260	278	290
平均	319	316	316	306	298	297

表-14 No. 3の圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

材令	時間					
	30分	60分	90分	120分	150分	180分
28日	25.4	23.9	24.4	25.9	26.8	28.1
	29.4	25.0	25.6	24.4	26.3	26.5
	25.5	23.4	25.0	27.1	21.7	31.0
平均	26.8	24.1	25.0	25.8	24.9	28.5

表-15 No. 2の引張係数 (kg/cm<sup>2</sup>)

No. 1の実験では混練時間の延長とともに圧縮強度が増加しているように見える。この分散分析を行なうと、10rpmの場合、危険率0.01で有意差を認められるが、3rpmの場合は危険率を0.1にしないと有意差が認められない。また10rpmの場合も、最初の1回を除いて考えると、有意差を認めるのに危険率0.05以上となる。

これで見ると、最初ある程度まで、混練時間の延長によって強度が多少増すかもしれないが、それ以上は影響がないと考えられる。運搬車の現場到着以後から試料をとったNo. 2, No. 3の実験では、いずれも時間による強度の変化は認められない。

#### (5) 鉄筋付着強度

No. 2では垂直鉄筋のみを、No. 3では垂直・水平をあわせて実験した。

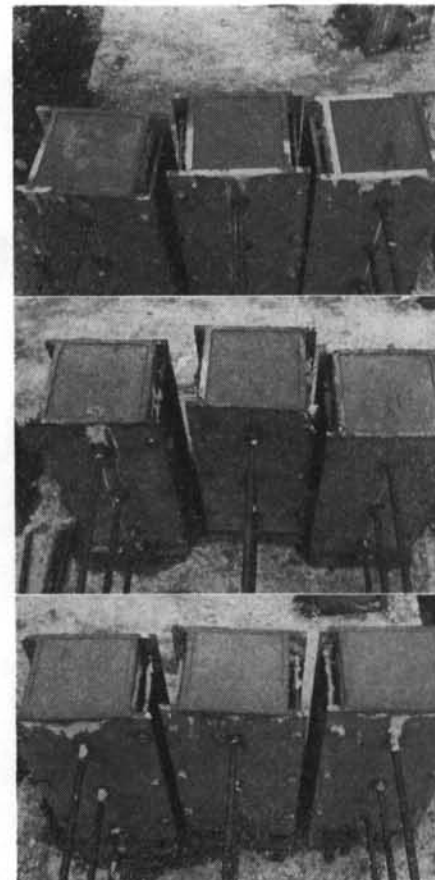


写真-1 水平鉄筋付着強度試験体 (No. 3)

載荷中、載荷端、自由端の移動も測ったが、最大荷重を全付着面積で割ったものを付着強度として表-16~表-18, および図-7, 図-8に示す。

時間	30分	90分	150分	180分
1	35.4	17.3	33.0	24.2
2	40.0	40.2	27.6	22.6
3	37.8	30.2	24.4	26.4
平均	37.7	29.2	28.3	24.4

No. 2 材令28日 最大荷重時

表-16 垂直鉄筋付着強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

時間	40分	70分	130分	190分
1	20.8	22.3	17.4	15.2
2	19.7	24.0	19.9	20.1
3	—	24.4	16.3	16.9
平均	20.3	23.6	17.9	17.4

No. 3 材令28日 最大荷重時

表-17 垂直鉄筋付着強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

段	回	混練時間 (分)		
		40	100	190
上	1	4.16	0	2.04
	2	7.13	0	0
	3	7.19	4.53	0
	平均	6.16	1.51	0.68
中	1	0.41	6.95	0.74
	2	1.47	1.76	0
	3	7.26	0.41	1.02
	平均	3.05	3.04	0.59
下	1	2.70	11.50	2.29
	2	3.23	6.13	2.25
	3	2.49	1.47	0
	平均	2.81	6.37	1.51

注：0と示したものは試験体をセットした時鉄筋の抜け出したもの。

No. 3 材令28日 最大荷重時

表-18 水平鉄筋付着強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

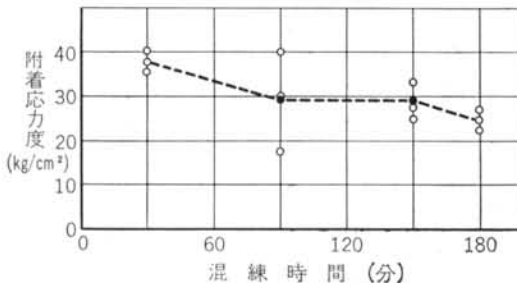


図-7 垂直鉄筋付着強度 (No. 2 最大荷重時)

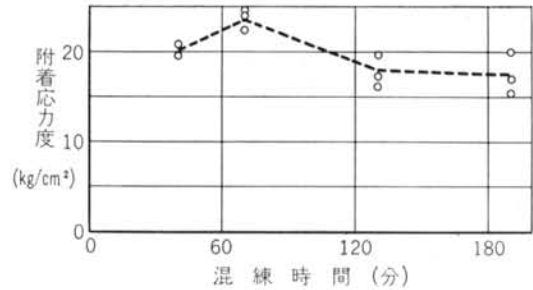


図-8 垂直鉄筋付着強度 (No. 3 最大荷重時)

なお No. 2 では黒皮丸鋼を, No. 3 では磨き丸鋼を用いた。磨き丸鋼を用いると, 強さは落ちるが, パラツキは小さくなる。

最初に, 垂直鉄筋の結果について述べる。表-19(a)の分散分析表に示すように, No. 3の結果では高度の有意差を示す。No. 2の方は, パラツキが大きく, 有意差ありとするには, かなり危険率が大きくはなるが, 両方の結果から, 混練時間の延長が, 付着強度を下げると考えても, 間違いはないように思う。

水平鉄筋の結果の分散分析は, 各条件での繰返しが3回あるので, 表-19(b)のようになるが, これでも有意差を主張するには, 危険率が0.07くらいになる。しかしながら, これも垂直鉄筋の場合と合わせ考え, 混練時間延長による強度低下ありと考えた方がよいと思われる。

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
級内	22.28	* 7	3.18	—
級間(時間)	71.41	3	23.8	7.5(有意)

$F_{3,7}^2(0.025)=5.89$

\* 欠測値1

表-19(a) 垂直鉄筋付着強度分散分析 (No. 3)

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
混練時間	51.26	2	25.63	3.14
鉄筋位置	8.09	2	4.05	—
残差 $e_1$	61.65	4	—	—
繰返し $e_2$	118.07	18	—	—
$e$	179.72	22	8.17	—
全体	239.07	26	—	—

$F_{2,22}^2(0.05)=3.44$

表-19(b) 水平鉄筋付着強度分散分析 (No. 3)

水平鉄筋の付着強度が, コンクリートの沈降によって低下することは一般に指摘されているところであるが,

混練時間を延長すると後述のように沈みは少なくなる。それにもかかわらず、付着強度の低下することは注目すべきであろう。しかしまた、沈みきれつの最も著しい100分混練のもので、上段の付着強度がとくに弱くなっている点も見逃せない。

数値については、この実験の値を構造計算上の付着強度と考えるには問題があるが、これを比較的にみた場合、ある割合以上低下する点を考えて、これを限界とみることは妥当である。この割合を85%とすると、No. 2では約80分、No. 3では約110分が一応の限界点となる。

### (6) フリージングと沈みきれつ

フリージング試験の結果は表-20、表-21、および図-9、図-10に示す。

これで見ると、混練時間の延長はフリージングの減少をもたらす。またミキサー回転数の増大はこの傾向を一層助長する。そして、大量のコンクリートを少ない回転数で混練する R.M.C. の場合、実験室の小型ミキサーによる場合よりもその傾向が小さくなる点は、軟度変化の場合と似ている。

混 練 方 法						
3 分			15分	30分	40分	60分
練置せず	練置15分	練置30分				
13.4	11.5	10.2	6.6	3.9	3.2	1.1

表-20 No. 1のフリージング率 (%) (混練速度27rpm)

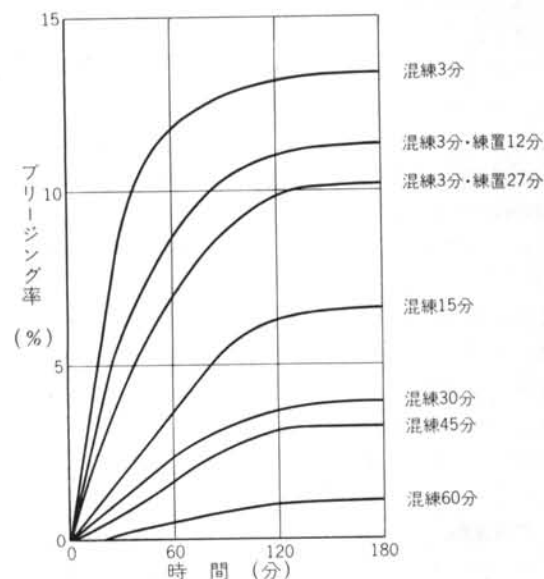


図-9 フリージング (No. 1)

40分	70分	130分	190分
9.9	6.9	3.9	2.7

表-21 No. 3のフリージング率 (%) (混練速度rpm)

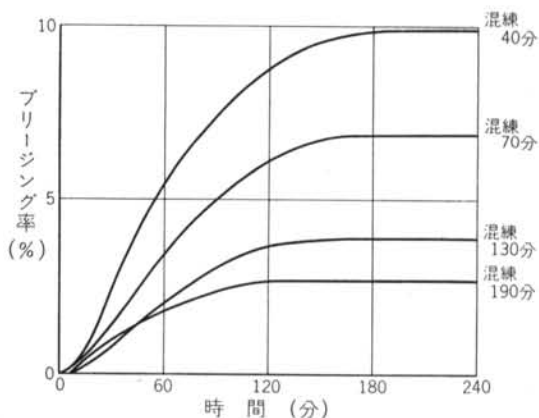


図-10 フリージング (No. 3)

沈みきれつの方は、表-22、図-11、および写真-2に示す通りである。

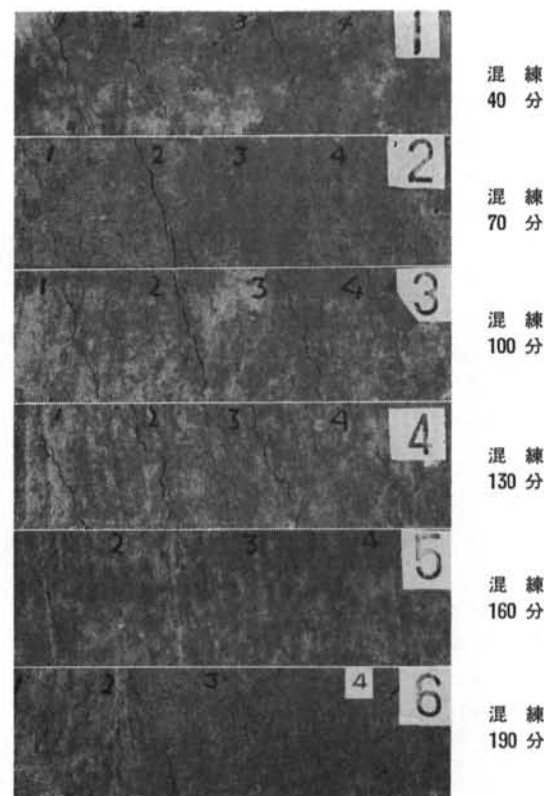
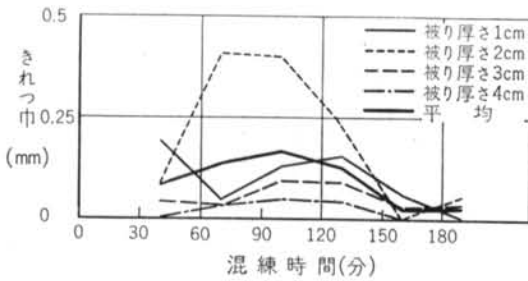


写真-2 沈みきれつ (No. 3)

被り		時間					
		40分	70分	100分	130分	160分	190分
1cm	発生時(分)	60	30	40	30	7	40
	平均幅(mm)	0.20	0.05	0.13	0.15	0.06	*—
2cm	発生時(分)	60	30	40	10	57	30
	平均幅(mm)	0.09	0.41	0.40	0.23	*—	0.06
3cm	発生時(分)	60	35	40	10	37	30
	平均幅(mm)	0.04	0.04	0.09	0.09	0.02	0.04
4cm	発生時(分)	—	35	45	30	37	40
	平均幅(mm)	—	0.03	0.04	0.04	*—	*—

表—22 沈みきれつ (No. 3)

\* 発生後、消滅した。



図—11 混練時間ときれつ幅 (No. 3)

この場合、大きく影響する要因として、混練時間と鉄筋の被り厚さがある。いま、きれつの平均幅についてこの要因の影響を分析すると、表—23のようになる。

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
混練時間	0.0734	5	0.0147	3.63 (有意)
被り厚さ	0.1628	3	0.0542	13.40 (高度に有意)
残差	0.0608	15	0.0040	—
全体	0.2969	23	—	—

$$F_{15}^1(0.025)=3.57 \quad F_{15}^1(0.01)=5.42$$

表—23 沈みきれつ分散分析 (No. 3)

これでみると、この両要因ともが、沈みきれつの発生に影響を持っていることがわかる。被り厚さとの相関は高度に有意ではあるが、この場合はむしろ鉄筋下のコンクリート深さが大きく影響するものと考えられるから、ここで被り厚さの数値と沈みきれつの大きさについて結論を述べることはさし控たい。しかし、混練時間が影響することは一般にいえると思う。

沈みきれつの発生に対する原因としては、コンクリートの沈み(垂直方向の容積変化)、初期収縮、および流動性の喪失などが考えられる。沈みはブリージングに現れ、この場合直接沈み量は測らなかったが、ブリージン

グの著しい混練初期の方が、沈み量が大きであると考えられる。また混練時間の延長は、軟度試験の結果からみても、流動性の喪失をもたらすことは明らかである。

結局、混練時間の延長は、沈みの減少という点ではきれつを押える方向に働くが、流動性の喪失が早いという点では、これを促進する。すなわち、混練時間の短い時は、沈み量は大ではあるが、コンクリートがその間十分な流動性を維持しているため、きれつとなって現れがたく、一方混練時間が長いと、流動性は早く失われるが、沈み量が少ないために、これまたきれつが現れがたい。

かくして一般に、ある混練時間の区域で、きれつが最も著しく現れる。

ただし高温時においては、水分の蒸発に対し十分に防護されていない時に、流動性の喪失は促進されること、およびこれにはセメントの水和反応も影響するはずで、高温時これが早められるという理由で、きれつの最も著しくなる混練時間が前へ移動することが考えられる。

#### § 4. ま と め

以上の実験の結果、混練時間がコンクリートの性質に与える影響として、次のことが考えられる。

(1) 軟度は、混練時間とともに減少するが、R.M.C.の場合、外気温 20°C 以下の場合、3時間くらいまであまり大きく変化しない。夏季でも1時間30分までは影響が少ない。

(2) 圧縮引張強度には余り影響がないと考えてよい。

(3) 鉄筋の付着強度に対しては、かなり影響がある。これも気温に関係するが、20°C 近くでも110分、30°C 近くでは80分を越えると、危険なほど低下する。

(4) 沈みきれつの発生に対しても、明らかに影響がある。標準的な状態では、一般に、混練時間が1時間乃至2時間の区域で、最も著しく現れてくるようである。

以上の諸現象に対しては、混和剤、セメントの種類、コンクリート調合等の影響が当然考えられ、ここにあげた数値を一般化するには更に検討が必要なることはいうまでもないが、コンクリート混練時間の限界を考える上で、沈みきれつ、およびとくに鉄筋付着力に対する影響を考えなければならないということはいえる。なお、試験方法に関する J I S は、昭和38年当時のものによった。

#### <参考文献>

コンクリートの早期亀裂とその防止対策の研究：近藤芳美：清水建設研究所研究報告 第2号，1963