

## 論 說 報 告

土木學會誌 第十五卷 第二號 昭和四年二月

# 混凝土の耐壓強度並に流動性に及ぼす 施工季節の影響

准員 吉田 彌 七

Effect of Climate on Strength and Workability  
of Concrete

By Yashichi Yoshida, Assoc. Member.

### 内 容 梗 概

我國の南部に於ては各種の混凝土工事は一年中各季節を通じて行はれる所が多い。此の場合各季節に施工したる混凝土の強度が時日の経過に連れて如何に變化して行くか、又其の流動性は如何の問題は吾々に關係の深い興味ある問題である。

本文は此の問題に就ての研究であつて、實驗は 1927 年 2 月乃至 1928 年 8 月の間に於て施行せるものである。

### Synopsis

The object of the present paper is to report the results of the author's investigations on strength and workability of concrete executed in the different seasons and also to report the results of his experiments which have been carried out by him between February 1927 and August 1928.

In the author's opinion, the present problem will be of considerable importance especially when the concrete work is to be executed all the year round as in the southern part of this country.

### 目 次

緒 言 .....	2
第一章 概 論 .....	2
第二章 材 料 .....	3
第三章 混凝土の耐壓強度に及ぼす施工季節の影響 .....	4
第四章 混凝土の流動性に及ぼす施工季節の影響 .....	7
第五章 結 論 .....	8

## 緒 言

混凝土は種々の特長を有するものであるがその主要なるものを挙げれば相當に耐壓強度に富むこと、及如何なる形状にも自由に施工し得る性質即流動性を有する事である。而して之等は混凝土の二大主要性質とでも言ふべき大切なもので混凝土技術者に取つては研究すべき問題である。随つてかくの如き特長を有するが故に混凝土は其の應用の範圍が非常に擴大され現今に於ては結氷期を除く外は春夏秋冬各種の混凝土工事に使用さるゝ状態となつた。然るに我國の如く氣候の變化の多い處では必ずや混凝土は其の施工季節に依りてその性質特に上述の二大主要性質の上に大なる影響を受くる事は想像するに難くない。

先づ耐壓強度に就て考ふるに之は混凝土構造物の寸法を決定する上に於て根本となるべきもので、或一定の調合、水比の混凝土が施工季節の異なる場合夫々何時所定の強度に達するか、又逆に施工後一定時に所定の強度に達する混凝土の調合、水比は如何の問題は設計施工上實に大切な事である。

此の中で耐壓強度と季節の關係より考ふるに材齡が 28 日迄の分は Mr. A. B. McDanil 著 Influence of Temperature on the Strength of Concrete (Bulletin No. 81, July 1915. Eng. Experiment Station, University of Illinois) に精しく論じてあるが、材齡が一層長くなり、季節の變化が起つた場合強度が如何に變つて行くか、又寒い時施工したる混凝土と、暑い時施工したるものとは強度増加の上に於てどんな相異があるかは興味ある問題である。本文は先づ本問題に就て論じた。

又次に一定の混凝土を打つ場合其の流動性の良否は直接施工の難易に關し、又間接にはその混凝土の調合、水比等に影響を及ぼすものである。随つて混凝土の流動性とその施工季節即施工當時の溫度との關係に就て吟味する必要がある。之に關する豫備實驗とも稱すべきセメント・ペーストと溫度との關係は既に本誌第 12 卷第 5 號“Portland Cement Paste の凝結並に流動性に就て”なる拙論に於て述べて置いた。故に此處では混凝土の場合に及んだ譯である。

勿論本研究に關する實驗は小規模且つ不備の點が多い爲萬全は期せられぬがしかし多少でも混凝土構造物の設計施工の参考ともならば著者の望外の幸である。

## 第一章 概 論

### 1 概 要

混凝土及鐵筋混凝土の應用が今日の如く盛になり、その工事の施工が殆んど四季を通じて行はるゝに當り、その二大主要性質たる耐壓強度並に流動性と施工季節との關係に就て吟味することは上述の如く徒勞の試みではないと信ずる。そこで著者は混凝土の標準試驗方法に

準じて2月、4月、6月及8月に於て供試體を作りその關係を確め得た。勿論實際の構造物の寸法形狀は千差萬別で或は薄きものあり、厚きものあり、或は小型のものあり、大塊のものあり又施工の方法も自ら異りて一概に論ずる事は出來ないが、しかし大體の傾向は本實驗の結果によりて推斷するを得るものと思ふ。

## 2 實驗の範圍及其の期間

本實驗の範圍は次の如くである。

1 材料 材料に關して本實驗に使用せるもの即セメント、砂及砂利に就て必要なる物理的試験を行つた。

2 混凝土の耐壓強度に及ぼす施工季節の影響 2月、4月、6月及8月に作つた、普通に施工さるゝ程度の流動性を有する混凝土標準供試體の耐壓強度を夫々1週、4週、6箇月及1箇年目に調べ夫々に關して季節の影響を確めた。

3 混凝土の流動性に及ぼす施工季節の影響 本試験は2と連關して調べたもので供試體を作る直前各 Batch に就て Slump Test 及 Flow Test の方法によりて流動性を調べた。

本實驗は昭和2年2月1日より同3年8月3日迄の1年6箇月に亘つて行つたものである。

3 感謝 本實驗は熊本高等工業學校土木教室混凝土實驗室で行つたもので助手白木源藏並に江口貞雄兩君の勞による所大なるものがある。著者は此所に感謝の意を表する。

## 第二章 材料

### 4 ポルトランド・セメント

本實驗に使用せるポルトランド・セメントは淺野セメント株式會社門司支店の製品にして店熊本販賣店を通じて直送されしもので全部樽詰のものである。實驗室到着後は葉鐵製鐵罐中に移し、出來得る限り實驗中のセメントの性質の變化を防いだ。

實驗記號  $A_2$  と言ふのは2月及4月の實驗に、 $A_3$  は6月の實驗に、 $A_4$  は8月の實驗に用ひたもので數量は夫々4樽、4樽及8樽であつた。到着の日、試験期間及試験の結果は第一表に示す通りである。即表より明なるが如く各セメントは實際上差異なきものと看做して差支へはない。

第一表 セメント試験成績表

セメント別 項目	$A_2$	$A_3$	$A_4$
實驗室到着月日	大正15年12月8日	昭和2年4月2日	昭和2年7月14日
試験期間	昭和2年1月19日～ 同3月27日	昭和2年4月5日～ 同5月3日	昭和2年8月13日～ 同9月10日
比重	3.125	3.134	3.100

セメント別		A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
項目				
粉末の程度	#65に止りたるもの	0.15	0.10	0.00
	#65を通過し#100に止りたるもの	0.85	0.20	—
	#100 " #200 "	4.70	3.50	2.20*
	#200 " 網 "	94.60	93.90	97.00*
合 計		93.80	99.70	99.20
標準稠度		27.5%	27.5%	28.5%
凝 結	{ 初 結	2時50分 at 20.5°C	2時0分 at 26.4°C	2時10分 at 31.0°C
	{ 終 結	9時0分 "	5時45分 "	5時0分 "
膨脹性龜裂		異状なし	異状なし	異状なし
強度 (1:3 モルタル) 耐伸強 1 週後		28.60 kg/cm <sup>2</sup>	28.17 kg/cm <sup>2</sup>	30.88 kg/cm <sup>2</sup>
	" 4 週後	41.11 "	38.02 "	36.27 "
	耐壓強 4 週後	493.59 "	461.33 "	471.76 "

\* #200 の代わりに #170 を使用せり。

## 5 混凝材及水

い 砂 混凝土の配合は Fuller's Practical Curve に随つた。随つて #4 篩目以下の混凝材は緑川砂の篩分けを用ひた。此の砂は熊本縣緑川より産するもので片麻岩、石英片岩及花崗岩よりなる良質のもので泥滓不純物等を含まず、比重 2.67, 15 分間の吸水率 0.45%, 單位重量 1630 kg/m<sup>3</sup>, 空隙率 39%, Fineness Modulus 3.07, Surface Modulus 15.34, 粒度調合は 0~#4 である。

ろ 砂利 本配合の第四番篩目以上の混凝材は緑川砂利の篩分を用ひた。此の砂利は砂同様の岩質で比重 2.70, 15 分間の吸水率 0.9%, 單位重量 1808 kg/m<sup>3</sup>, 空隙率 33.2%, Fineness Modulus 6.57, Surface Modulus 1.57, 粒度調合は 0~1 $\frac{1}{2}$ 吋である。

は 水 水は熊本高等工業學校水道の清水を用ひた。

## 第三章 混凝土の耐壓強度に及ぼす施工季節の影響

### 6 概 要

寒温暑の三季に作つた各種流動性の混凝土の耐壓強度が季節の變化に連れ如何に變つて行くかは吾々のよく承知して居らなくてはならぬことである。そこで著者は 2, 4, 6, 8 月に供試體を作り一定材齡の時に試験してその眞相を確め得た。勿論此の種の實驗としては全く最初のものとは云ふ譯ではないが他山の石として眺めて頂きたい。

### 7 實驗の方法及結果

い 材料 既に述べた通りである。

3 供試體及試験方法 混凝土の配合は實驗の正確を期するため便宜上 Fuller's Practical Curve によつて調合した。水比は普通施工の範圍に適合する様に重量比で 50, 60 及 70% の 3 種を選んだ。供試體の製作, 養生及試験方法は A. S. T. M. C 39-21 T に依つた。供試體の數は 1 組 3 箇を標準とした。試験機は 150 噸の Olsen New Hydraulic Compression Testing Machine である。供試體の寸法は直徑 15 釐高さ 30 釐の標準型である。各季節即 2, 4, 6 及 8 月共夫々 1 週, 4 週, 6 箇月及 1 年の試験が出来る様, 上述の 3 種の水比の供試體 36 個を標準とした。必要によりて上記以外の實驗を試みた Series もある。

本實驗の供試體は上述の様に昭和 2 年の 2, 4, 6, 8 月の月上旬に作り試験適齡に到つて夫々耐壓試験を行つた。養生は全部家外の濕砂中で地表下 60 釐位の處で充分に大氣の影響を受ける。供試體の脱型は 2 月施行のものゝみが寒冷の故を以つて 2 日後とした外全部他は 1 日後に行つた。脱型の時日が供試體の強度に關するは言ふ迄もなきことである。

### は 實驗の結果

本實驗の結果は第二表に示すが如くである。

第二表 各季節に製作せる混凝土の耐壓強度試験成績表

數字は供試體各 3 個の平均値を示す。括弧内は其の材齡其の水比の混凝土の 4 週後の強度を 1.00 とせる場合の比較強度を示す。

#### 2 月の分 (セメント A<sub>2</sub>, 脱型 2 日後)

水比 (水, セメント) 重量百分率	耐壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			
	1 週	4 週	6 箇月	1 年
50	52 (0.329)	158 (1.00)	195 (1.234)	228 (1.443)
60	26 (0.306)	85 (1.00)	147 (1.729)	184 (2.165)
70	22 (0.286)	77 (1.00)	110 (1.428)	130 (1.688)
養生中平均温度, °C	8.1	4.4	17.33	17.46

#### 4 月の分 (セメント A<sub>2</sub>, 脱型 1 日後)

水 比	耐壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			
	1 週	4 週	6 箇月	1 年
50	100 (0.412)	243 (1.00)	296 (1.218)	320 (1.317)
60	54 (0.353)	153 (1.00)	227 (1.483)	264 (1.725)
70	29 (0.231)	121 (1.00)	157 (1.298)	188 (1.554)
養生中平均温度, °C	14.70	16.06	23.87	17.46

#### 6 月の分 (セメント A<sub>3</sub>, 脱型 1 日後)

水 比	耐壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			
	1 週	4 週	6 箇月	1 年
50	125 (0.470)	266 (1.00)	319 (1.199)	350 (1.316)
60	58 (0.387)	150 (1.00)	221 (1.474)	233 (1.554)

70	49 (0.415)	118 (1.00)	166 (1.407)	181 (1.534)
養生中平均温度, °C	22.60	23.79	21.16	17.46

## 8月の分 (セメント A., 脱型 1日後)

水 比	比較耐壓強度			
	1 週	4 週	6 箇月	1 年
50	190 (0.674)	232 (1.00)	335 (1.188)	350 (1.241)
60	109 (0.527)	207 (1.00)	232 (1.121)	241 (1.164)
70	69 (0.489)	141 (1.00)	170 (1.206)	179 (1.269)
養生中平均温度, °C	27.67	29.42	17.40	17.46

上表の結果を圖示すれば附圖第一乃至第八の如くである。附圖第一乃至附圖第四は耐壓強度と水比との關係を各材齡の混凝土に關して描けるもので Abrams 教授の標準曲線を示して比較に便し又普通吾々の設計の標準強度 140 kg/cm<sup>2</sup> の線を記入して参考に供した。附圖第五乃至第八は耐壓強度と材齡との關係を各水比の混凝土別に示したもので全體を通じて見る時は動かすべからざる眞理が通つて居るのを感じることが出来る。之等の圖にも 140 kg/cm<sup>2</sup> の線を入れて置いた。

次に 4 週以下の材齡の混凝土の耐壓強度が養生中の平均温度の高低によつて如何なる影響を受けるかを調べ A.B. McDaniel 氏の實驗と相對して吟味して見よう。

先づ第二表に於て 4 月施工の混凝土の 4 週の耐壓強度を基に取り之を標準温度 20°C の場合に換算して見よう。然るにその養生中の平均温度が 16.06°C であるので假に McDaniel 氏の曲線による訂正係數 1.053 を實驗値に乘すれば略正しき標準耐壓強度を得られる。その値は次の如くである。

水比 (%)	耐壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
50	256
60	161
70	127

上述の値を夫々標準として第二表の 1 週及 4 週の強度の百分率を計算すれば第三表の如くなる。此の表には McDaniel 氏の値をも示して比較に便にした。

第三表 各季節に製作せる混凝土の比較強度

## 2月の分

水 比	比較耐壓強度			
	1 週		4 週	
	實驗値	McDaniel 氏値	實驗値	McDaniel 氏値
50	20.3	38	61.8	72
60	16.1	38	52.8	72
70	17.2	38	60.1	72
平均	17.9	38	58.2	72

水比	比較耐壓強度			
	1 週		4 週	
	實驗値	McDaniel 氏値	實驗値	McDaniel 氏値
<b>4 月の分</b>				
50	39.1	45	95.0	95
60	33.5	45	95.0	95
70	21.9	45	94.5	95
	平均 31.5	45	94.8	95
<b>6 月の分</b>				
50	48.9	53	104	104
60	36.0	53	93.2	104
70	38.3	53	92.2	104
	平均 41.1	53	96.47	104
<b>8 月の分</b>				
50	74.3	57	110.3	110
60	67.7	57	128.6	110
70	53.0	57	110.1	110
	65.0	57	116.3	110

上表の結果を圖示すれば附圖第九及第十の如くである。即圖又は表より明なる如く大體に於て本實驗は McDaniel 氏曲線と同様な傾向を示すものであるが無理に兩者の差異を擧げれば低溫の場合に於て本實驗値の方が小なる點である。その原因は不明なるも蓋し脱型の影響即早きに失した爲であらう。

#### 第四章 混凝土の流動性に及ぼす施工季節の影響

##### 8 概要

混凝土施工の難易が其の流動性の如何によりて支配さるゝは説明を要しない所である。然らば此の流動性が其の施工季節換言せば其の當時の溫度によつて如何なる影響を受けるかと言ふことは水比及粒度調合の影響を調ぶると同様に必要且大切なことである。著者は曾てセメント・ペーストの流動性と溫度との關係に就て研究し本誌第 12 卷第 5 號に於て世に問ふた。その結果によれば 0~20°C 位の間に於ては流動性の大幅な変化は起らないがそれ以上の溫度となると急に悪くなるを認めた。そこで今回は混凝土に就て調査した。

本實驗は總て耐壓強度試験と連關して行つた。

##### 9 實驗の方法及結果

本實驗は耐壓強度供試體を製作する前各練の混凝土を利用して搗混直後 Slump と Flow とを檢した。其の代表的のものを掲ぐると第四表の如くなる。

第四表 混凝土の流動性に及ぼす施行季節の影響

試験月	水比 (%)	温度 °C	Slump (cm)	Flow (%)
2月	70	3.40	16.5	222
	60	4.55	18.5	232
	50	5.80	10.0	205
4月	70	16	15.8	235
	60	16	16.0	240
	50	16	8.3	206
6月	70	23	13.0	231
	60	23	15.2	244
	50	23	5.0	209
8月	70	27	16.0	249
	60	27	16.0	224
	50	27	0.5	181

上表の結果を圖示すれば附圖第十一及第十二の通りである。Flow に就て見る時は0~22°C 程度の温度の時は各水比の混凝土共 Flowability に大差がない。それ以上の温度になると急に Flowability が小となる。70% の水比の混凝土の Flowability が 60% のそれより小なるはセメント・ペーストが混凝土材より分離したため流動性が悪くなったのに歸因するものと考へられる。Slump に就て見る時は約 22°C までは漸次その値が小となり其れ以上の温度となれば硬練の混凝土に於ては急に流動性が悪くなる様に思はれる。要之 20°C 以上の高温となれば混凝土もセメント・ペースト同様流動性は悪くなるものである。随つて夏期に於ては冬期に於けるより混凝土の流動性は悪くなることを覺悟せなくてはならぬ。

## 第五章 結 論

### 10 結 論

本文は混凝土の耐壓強度並に流動性に及ぼす施工季節の影響に関する研究である。既に述べたる様に實驗上其の他に不備の點が多いが本實驗の範圍内では次の様に結論をなすことが出来るものと信ずる。

(1) 氷結せざる範圍内では一年中を通じて何時施工されたる混凝土でもその強度に相異こそあれ、耐壓強度と水・セメント比との間には Abrams 教授が稱へる様な關係が成り立つ。此の關係は 1 週乃至 1 年の材齡の混凝土には眞實で恐らく永久に此の關係が成立するものと思はる。

(2) 寒冷なる時期に施工された混凝土は暑い時施工されたものより永久に強度が弱い。

(3) 冬季に行つた本實驗に於てその混凝土の養生中の温度と耐壓強度との關係は材齡 1



週及4週のものに於ては McDaniel 氏の實驗と略同様の傾向を示して居る。

(4) 普通の混凝土の流動性は寒い時の方が暑い時より良好である。

以上の結論は混凝土の設計施工に當り相等に参考になると思ふ。即一定の耐壓強度を與へて構造物の設計施工をするに當り何時混凝土が所定の強度を發揮する様になるかと言ふことは常に吾々の念頭に置かなくてはならぬことである。例へば  $140 \text{ kg/cm}^2$  を所要の耐壓強度として設計したとする。然らば冬なれば、4週で所定の強度のものを作らんと思へば水比は50%以上即普通の配合では非常な硬練にしなくてはならぬ、若し水比が70%の様な軟練とするならば1年たつても所要の強度に達しないことになる。反之夏期であれば養生さへ良ければ水比が50%程度なれば僅かに1週にして所定の強度に達し70%とするも尙4週ではその値に達することを知らる。其の他混凝土の型枠外しの時期等も上の實驗の結果より略々判断することが出来る。かくの如く論じれば混凝土の施工季節が如何に設計上、施工上に關係の深いかを伺ひ知ることが出来る。

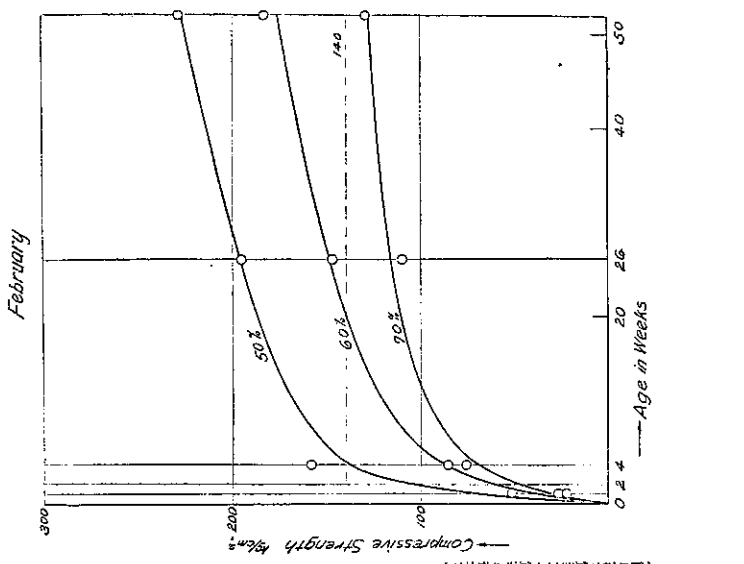
次に流動性は冬期の方が夏期よりも良好である故止むを得ず冬期施工する混凝土の場合にはそれ相等の加水の減量を行ひその強度の増加を計るべきである。

以上述べたる事は今迄相等に知られて居ることで又机上でかくあらんと想像し得らるゝこととなるが混凝土に關係のある方々には幾分かの参考にもなるかと信じて公にした次第である。(完) 昭和3年8月

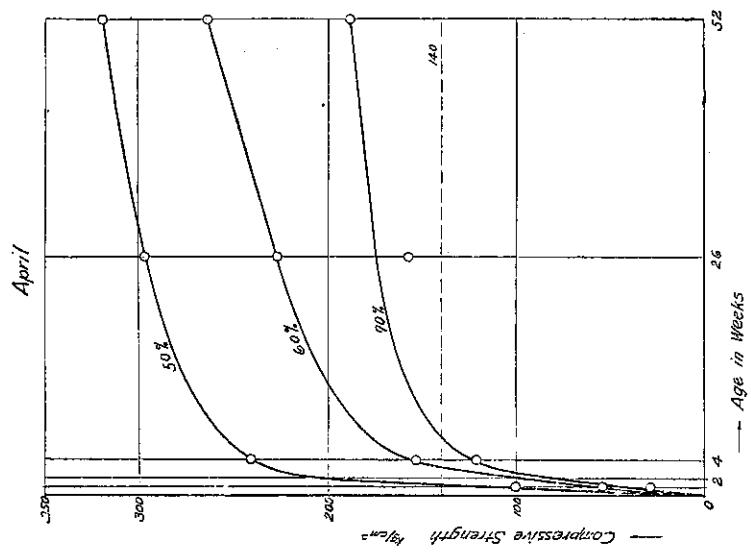


(圖五三號之試驗結果)

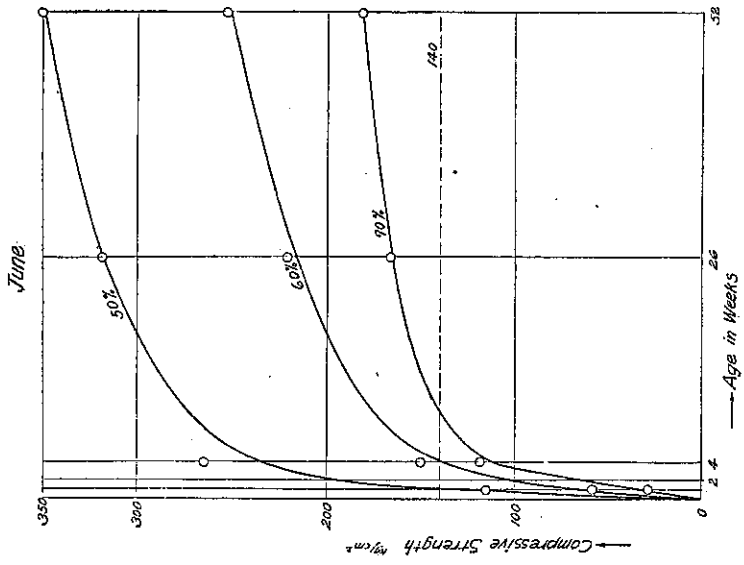
附圖第五



附圖第六

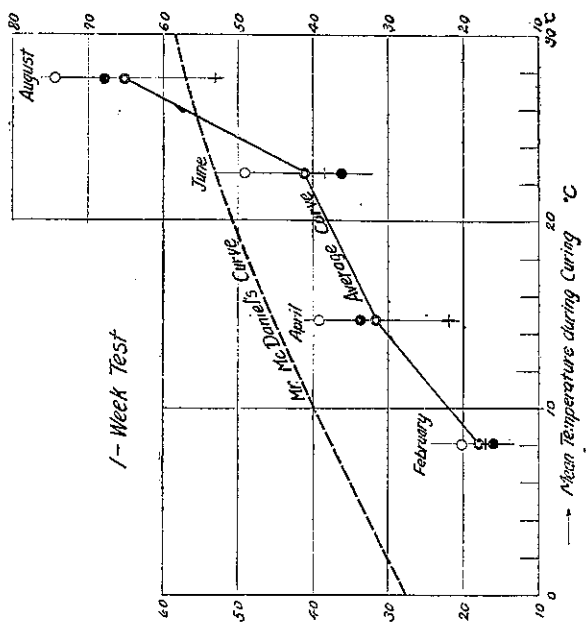


附圖第七

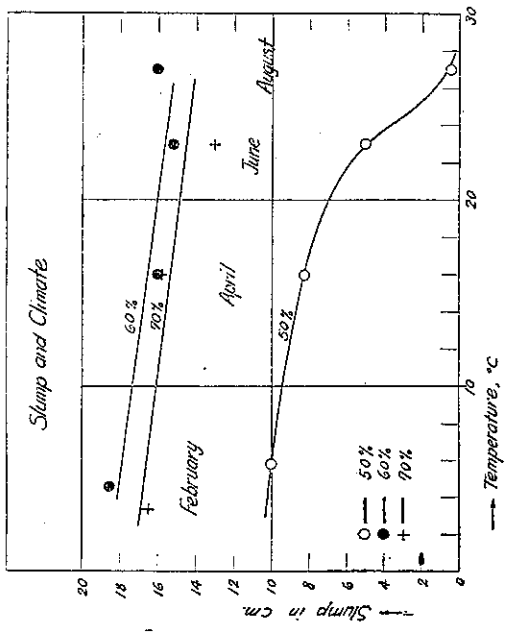




Percentage based on Strength of Concrete at 20°C  
for 28 Days



附圖第十一



附圖第十二

