

第三編 コンクリート

第十七章 總 說

§ 86 緒 言

從來セメントに關しては Tetmayer, Bausinger, Feret, Faiza その他の研究があり、相當の進歩を見たがコンクリートに關しては何等の發達を見ず、單にモルタルの強度より之を豫測するか局部的に若くは單に叙述するに過ぎざりしが爲にその應用は一般的ならずして、特殊の場合のみに限らるゝに止り、何等の發達を見なかつた。その配合は 1:2:4 又は 1:3:6 の如く任意に之を定め、之により得らるべき強度に就て確固たる知識を有せざるのみならず、現場施工の注意をも缺く事少からず従つて構造物が、危険且不經濟となる例も極めて多かつたが近年水力工事の勃興に伴ひ、高堰堤が築造せられ殊に道路舗装としてコンクリートが使用せらるゝに至り、是等の合理的施工の要求より研究試験が促進せられ次第に (1) セメントと骨材との適當なる配合により所要強度を有するコンクリートの設計を立つる事を得。(2) 是等材料を以て最も經濟的配合を定め得られ、(3) 強度を増大せしめて構造物を安全且經濟的に施工し得るに至つた。

米國に於ては 1916 シカゴの Lewis Institnte に於てポルトランドセメント製造業協會が綜合的試験研究を行ふ爲にエブラムス教授(Duff A. Abrams)の主任のもとに構造材料研究所 (Structural materials research laboratory) を設立し、骨材及コンクリートに關する基本的研究を行ひ、1917 年水比說 (Water-cement-ratio theory) 粒度率說 (Fineness modulus theory) 等幾多有益なる研究を發表した。

イリノイ大學タルボット教授は、そのコンクリート研究室 (Concrete Research Laboratory) で 1920 年モルタル空隙說 (Mortar Void theory) を發表し、メーン州アウグスタ市道路局技師エドワード氏は 1918 年、表面積說を發表し、その他獨逸に於ても Otto Grof が發表し、漸くコンクリート工學の劃期を作るに至つた。

§ 87 強度指定示方書 (Specified strength system)

コンクリート工に當り配合を指定するよりも強度を指定するは、その構造物設計に用いた強度を確保する上に於て直接であり實質的であるが、従來強度指定は施工者又は請負者に対する過重の負擔であり、所要強度を得るに必要な配合を指定するは責任技術家の當然の義務なりとし、若くは一種の不安を感じて廣く適用される時期に至らざるも施工が次第により改良され、Control が完全に行はるれば普及すべきものであり、之を實施したものは何れも相當の經濟的利益を擧げ安全にして經濟的なる構造物を完成してゐる。

米國ウイスコンシン州 Fond du Lac に於て Immel Construction Co. が施工せるものは始め 1:2:3 配合を設計強度を低下する事なくして $1:3\frac{1}{4}:3\frac{3}{4}$ に變更し、立坪 28 圓の節約を見た。

イリノイ州 Mundelein に於て行へる道路鋪装工の示方書は (1) 28 日強度 3000 听/平方吋以上、(2) 毎日の施工に於てスランプ 2 吋以上は鋪設を許さない。(3) 強度 3,000 听/平方吋以下のものは 100 听/平方吋毎に契約單價 10% を減額し、(4) 強度 2,000 听以下の部分は除却して、新規に鋪設せしむ。(5) 砂と砂利との配合比 1:2 とすとの條件から成り、其施工結果は (1) 配合 1:2:4 と定め、(2) 中央混合所より 1/2 哩を運搬し、(3) スランプの變化 3/4 吋~ $1\frac{1}{4}$ 吋に止り、(4) 強度は平均 4,000 听/平方吋で、その範圍は 3,000~3,400 听/平方吋 10%、3,400~3,800 听/平方吋 26%、3,800~4,200 听/平方吋 22%、4,200~4,600 听/平方吋 20%、4,600~5,000 听/平方吋 10%、5,000~5,400 听/平方吋 9% を占め、強度指定法の有効なるを示してゐる。

第十八章 コンクリートの配合

§ 88 概説

コンクリート配合を決定する條件は (1) 施工に應ずるウラカビリテイ。(2) 必要とする強度との 2 である。如何に強度を確保し得てもそのコンクリートが施工に必要なウラカビリテイを有しなければ何等の價値がない。ウラカビリテイは稠度を以て測定するもので、その決定法は従來幾多の考案があるが、スランプ

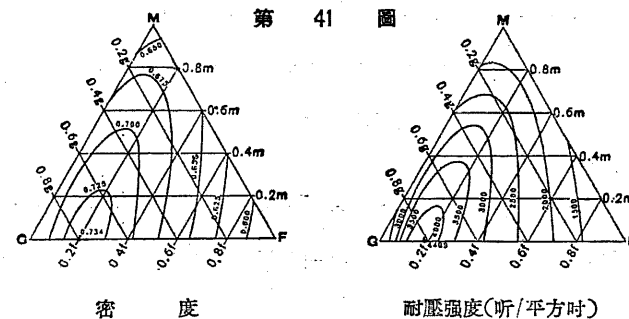
テスト、フローテスト、落下試験が相當廣く用ひられ、殊に最も簡單なる方法としてスランプが普及してゐるが、何れもウラカビリテイの相關的數値を表すに過ぎないものである。

現在コンクリートはその耐壓力の大なる特性を利用して抗壓材として用ふるから、その配合も主として耐壓強度を目的として定めらる。抗張力は第一編に於て述べたるが如くセメントの化學作用に基きて石材に比し比較的大であるが、構造物の設計に於て抗張強度を無視してゐる。抗張強度は耐壓強度と相關的關係にありて比例するものと考へらるゝ事あるも決して然らず、將來耐壓力と抗張力との比をも小ならしむべき配合が創案されるであらう。然し現在は耐壓強度を目的とし、通常徑 15 cm 高 30 cm の圓筒形試験體の材齡 28 日の耐壓強度を指示し、その他の抗剪、抗張、抗曲強度等は之と關聯するものとの假定に立脚して配合を決定してゐる。

配合決定の理論は未だ明かでないが、實驗に基きて幾多の方針 Principle の發表されその主なるものは次の如し。

§ 89 フェレー氏の最小空隙説 (Feret; Minimum void theory, 1892)

Feret は空隙の最も小さい緻密のコンクリートが強度が最大である事を實驗的に證明した。モルタルに於て粗、中及細粒の三種の砂の混合割合を種々に更へたる骨材とセメントとを 1:3 配合とし、その空隙を測定し、密度を求め更に是等砂を用ひたるモルタル強度と對照すれば第 41 圖の如し。



砂の等密度線とモルタルの等強度線とが略同一形状をとるを示し、密度最大即

最小空隙のものが最大強度を示してゐるを證した。かくしてセメントペーストが砂の空隙を填充し、そのモルタルが砂粒の空隙を填充するものが最大強度のものであるとし、空隙は砂利が通常 40~60% 平均 50% 之より砂の容積を砂利の 50% とする所謂 1:2:4 又は 1:3:6 の配合の根原を造つたものである。

§ 90 フーラーの最大密度説 (William B. Fuller, max. density theory)

フーラーが 1904 年乃至 1907 年の試験によつてコンクリートの最大密度を得る爲に骨材配合に關して最大密度曲線 (Max. density curve) を作り、細組骨材を適當なる配合により人工的に此

曲線に近似するものに配合する方法を述べた。

最大密度曲線は § 39 に述べたるが如く、砂利 3 種砂 1 種を混合して之に近似する粒度とせるは第 42 圖の如し、然し之は應用される場合少く尙之によ

りセメントと骨材との一定配合より成るコンクリートの強度を豫想する事が出来なかつた。その後 G. H. Williams は最大密度と最大強度とは一致するものでないと證明した。

§ 91 エブラムス氏水比説及粒度率説

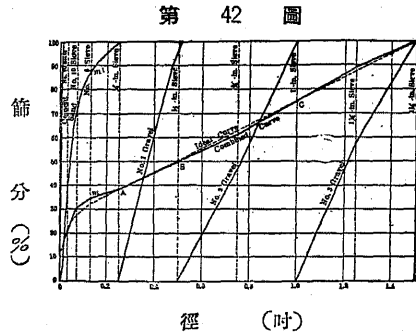
エブラムス氏は最も經濟的に施工條件に應ずる最強コンクリートを得る目的を以て行へる幾多の實驗より歸納して水比説と粒度率説を立てた。之は近年コンクリート工學に貢獻する所極めて大であつた。

(1) 水比説 (Water-cement ratio theory)

コンクリートが施工に必要なウラカビリティの範圍に於ては、混合水量がその強度を左右するものであつて、次式の如き關係がある。

$$S = \frac{A}{B^2} = \frac{14,000}{7^2}$$

S コンクリート耐壓強度 斤/平方吋 材齡 28日



- A セメントに關する常數、その強度、材齡、養生法により異なる
- B 施工常數 現場施工の功拙により異なるもの
- a 水とセメントとの容積比、但セメント 94 斤/呎³

水比説に従へばセメントと骨材との配合比を異にするものも水量の加減により同一強度のコンクリートを造り得、故に配合決定の方針として次の二を基本とする。

a 一定量のセメントを用ひて許容し得らるゝ稠度に於て可及的水量少きコンクリートを造る事。

b 一定の水比を用ひ可及的セメントの少量を有する配合を求むる事。
水比説による關係式の數値を例示すれば次の如くである。

- A セメントの品質向上により一定し難いが實驗値を擧ぐれば

ポルトランドセメント	14,000	最小水比	0.4
高級ポルトランドセメント	20,000	同	0.4
アルミナセメント	36,000	同	0.7

- B 現場施工の狀況により一定し難いが實驗値を擧ぐれば

現場施工の不完全なる例	9	第 43 圖	B
同 普通の場合の平均値	7	同	A
室内試験の手續りの場合	5.85	同	C
施工の完全なる例	4.5	同	D

我國に於て比較的施工の完全なる現場の實例を擧ぐれば次の如し。

A セメント $S = \frac{15,000}{6^2}$

B セメント $S = \frac{14,400}{6^2}$

C セメント $S = \frac{13,000}{6^2}$

第 43 圖に於て E は (A=36,000, B=9) F は (A=20,000, B=9) G は (A=20,000, B=4.5) の場合を示すものである。

更に一定範囲のウラカビリティを有するコンクリートの強度に及ぼす配合比、骨材、粒度等の影響は次式の如く表さる。

$$S = \left\{ \frac{A}{B^2} + 500M_r - 1,000V_r + 50V_r^2 \right\} \left\{ (1+b) - b(S_m+c) \right\}$$

$$S_m = N - \frac{13.05}{x - 0.09 \left\{ \frac{5.4V_r}{M_r} - 3 \right\}}$$

茲に S 耐圧強度 斤/平方吋

A 及 B 常数

M_r 眞配合の骨材粒度率

V_r セメントと骨材の容積比

x 水比

S_m スランプ 吋

$$b = 0.066 \left(\frac{9}{B} \right)^{\frac{x_0}{9-B}} \times \frac{\log_e B}{\log_e 9}$$

x_0 は次式より求む。

$$\frac{c}{9x_0} - \frac{c}{90.7} = 500$$

但し、上式中 N, c の値は次の如くである。

$N = 22.55$ ポートランドセメント

$= 21.55$ アルミナセメント

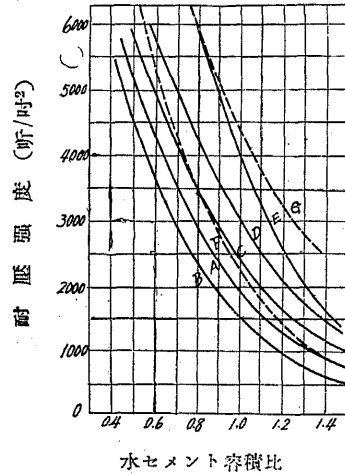
$c = 0$ ポートランドセメント

$= 1$ アルミナセメント

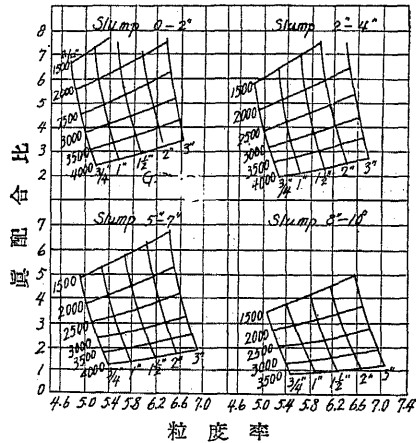
而して、配合比 V_r が 7.5 以上の場合は更に次式の如く是正の要がある。

$$S = \left\{ \frac{A}{B^2} + 500M_r - 1,000V_r + 50V_r^2 - 3.25V_rM_r \right\} \left\{ (1+b) - b(S_m+c) \right\}$$

第 43 圖



第 44 圖



A を 14,000, B を 9 とせる場合には是等の關係は第 44 圖の如し。

(2) 粒度率説 (Fineness modulus theory)

粒度率等しき骨材を用いたるコンクリートはその寸法を異にするも、強度は同一であるとの實驗結果に基きて配合決定の基礎とするものである。

エブラムス氏が配合 1:5 のコンクリートに關してその骨材の粒度率同一にして粒度の異なるものにつき耐壓試験を行ひ、その結果歸納されたるものである。

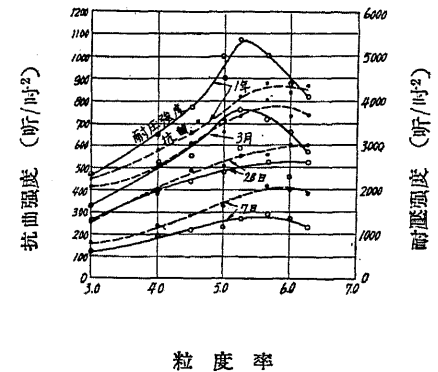
第 207 表に示すが如く、粒度率 6.04 にして粒度の異なる 27 種の骨材を用いたるコンクリートの耐壓強度は稠度の異なる場合も夫々等しき強度を示してゐる。その強度の變化は 3% に過ぎない。

粒度率の大なるに伴ひコンクリートの強度は増大するも一定の限度に達して最大強度を表し、之以上は却つて強度減少す。その極値はセメント量の大なるもの程大である。

徑 $1\frac{1}{2}$ 吋の砂利を用ひ配合 1:4 稠度 1.10 のコンクリートで強度と粒度率との關係は第 45 圖の如し。

配合比に對する骨材の粒度率の限度は第 208 表の如し。本表は砂利及砂に對するもので、碎石に對しては 0.25% を減すべく、塊コンクリートの場合は $\frac{3}{4}$ 吋のものに 0.1%, $1\frac{1}{2}$ 吋のものに 0.2%, 3 吋のものに 0.3%, 6 吋のものに 0.4% を加へる。砂の粒度率限度は 1.50 とする。

第 45 圖



第 207 表 等 粒 度 率

粒 度 篩 残 留 (%)								
No.100	No.48	No.28	No.14	No.8	No.4	$\frac{3}{8}$ 吋	$\frac{3}{4}$ 吋	$1\frac{1}{4}$ 吋
99	98	95	90	81	68	49	24	0
99	98	96	92	84	67	46	22	0
98	97	93	88	80	67	52	29	0
97	94	91	85	77	67	85	35	0
95	92	87	82	75	67	67	39	0
95	90	84	78	73	67	62	55	0
95	89	82	75	67	67	67	62	0
100	97	91	79	72	67	58	40	0
100	97	93	88	83	67	50	27	7
99	97	94	86	77	67	47	27	16
98	95	90	83	83	83	50	22	0
98	94	90	86	83	80	55	18	0
96	90	80	80	80	80	60	39	0
100	96	92	87	81	75	50	23	5
95	91	87	82	77	73	59	40	0
99	95	88	80	76	73	61	32	0
90	85	81	78	75	73	66	56	0
100	93	82	73	73	73	63	47	0
100	100	100	92	81	60	45	26	0
100	98	95	90	80	60	50	31	0
100	99	96	92	84	55	50	28	0
100	99	96	91	80	50	50	38	0
98	84	84	84	84	57	57	57	0
99	98	91	86	80	76	38	38	0
99	98	91	86	80	76	46	30	0
99	98	91	86	80	76	61	15	0
99	98	91	85	80	76	67	8	0

平均
最小
最大

平均値に對する變化の割合(%)

第 203 表

眞配合	骨 材 率			
	0~No.8	0~No.4	0~ $\frac{3}{8}$ 吋	0~ $\frac{3}{4}$ 吋
1:9	2.45	3.05	3.85	4.65
1:7	2.55	3.20	3.95	4.75
1:6	2.65	3.30	4.05	4.85
1:5	2.75	3.45	4.20	5.00
1:4	2.90	3.60	4.40	5.20
1:3	3.10	3.90	4.70	5.50
1:2	3.40	4.20	5.05	5.90
1:1	3.80	4.75	5.60	6.50

コ ン ク リ ー ト の 比 較

粒度率	表面積(平方吋)		コンクリート強度 (吋/平方吋 28 日)	
	骨材 1 吋毎	セメント 1 瓦毎	稠度 100%	同. 110%
6.04	602	8.8	3,300	2,890
6.04	569	8.2	2,950	2,650
6.04	764	11.4	3,120	2,760
6.04	999	15.2	3,140	2,790
6.04	1,292	20.1	3,100	2,800
6.04	1,452	23.0	2,830	2,740
6.04	1,565	25.2	2,680	2,580
6.04	761	11.9	3,070	2,690
6.04	616	9.0	3,080	2,790
6.04	709	10.5	3,150	2,710
6.04	834	12.6	3,080	2,500
6.04	898	13.3	3,050	2,550
6.04	1,391	21.5	2,970	2,550
6.04	672	10.0	2,930	2,710
6.04	1,315	20.2	3,000	2,580
6.04	911	13.9	2,950	2,740
6.04	1,992	31.3	2,680	2,440
6.04	1,076	16.7	2,820	2,620
6.04	390	5.6	3,040	2,780
6.04	557	8.3	2,900	2,770
6.04	483	7.0	2,940	2,750
6.04	514	7.6	3,080	2,750
6.04	1,276	19.7	3,000	2,780
6.04	701	10.4	2,940	2,700
6.04	697	10.2	3,020	2,660
6.04	689	10.1	2,930	2,670
6.04	685	9.9	2,970	2,630
6.04	904	13.8	2,990	2,690
6.04	390	5.6	2,680	2,440
6.04	1,992	31.3	3,300	2,890
	34.4	37.2	3.41	3.04

表 の 限 度

寸 法	0~ $1\frac{1}{2}$ 吋	0~2吋	0~3吋	0~6吋
5.00	5.40	5.80	6.25	7.05
5.15	5.55	5.95	6.40	7.20
5.25	5.65	6.05	6.50	7.30
5.40	5.80	6.20	6.60	7.45
5.60	6.00	6.40	6.85	7.65
5.90	6.30	6.70	7.15	8.00
6.30	6.70	7.10	7.55	8.40
6.90	7.35	7.75	8.20	9.10

砂利及砂の粒度率を知りてその混合骨材の粒度率を此極値とするには次式を用ひ、又は第 46 圖より直に求める事が出来る。

$$M = rM_f + (1-r)M_c$$

M_f 砂の粒度率
 M_c 砂利の粒度率
 M 混合骨材の粒度率
 r 混合骨材の砂に対する容積比

最大強度を有するコンクリートの骨材粒度は最大密度のものにあらずして、之より少しく粗なるものである。セメント量の増加に伴ひ、骨材密度は粗なるものを必要とし最大密度と最良粒度のものとは差が益々大となる。

水量の決定に當りては、コンクリートの標準稠度 (Normal consistency) をスランブ 1/2 乃至 1 時のものとし、之を単位と定め之に對してあるコンクリートの水量の比をとりて稠度比 (Relative consistency) とし、尙粒度率、配合比、骨材の吸水率含水率をも考慮して次式を定めた。

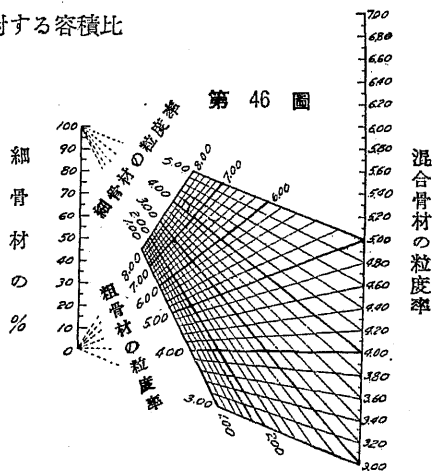
$$x = R \left\{ \frac{2}{3} p + \left(\frac{0.30}{1.26^n} + a - c \right) n \right\}$$

$$= R \left\{ \frac{2}{3} p + \left(0.22 - \frac{m}{42} + a - c \right) n \right\}$$

- x 水セメント比 R 稠度比
 p セメントの標準稠度 m 骨材の粒度率
 n セメントに對する骨材の配合容積比
 a 骨材の吸水量の容積率 c 骨材の含水量の容積率

§ 92 水比説及粒度率説に基く配合設計 (Design of mixtures)

コンクリート配合の設計は幾多の方法があるが所要強度のコンクリートを得る爲に如何なる種類寸法の砂利及砂を購入すべきか、その配合水量所要材料の決定



第 46 圖

は合理的、經濟的施工を目標とする施工技術家に對して重大なる責務である。今水比説及粒度率説に基く方法を述べる、現場に於ては更に特殊の條件に應じ試験を行ひ之を確保するの要がある。

(1) コンクリートの所要性質

配合の決定は先づ必要とするコンクリートの性質條件を定めなければならぬ。

今その條件を次の如く定める。

- 構造物に用ふる鐵筋コンクリートとす。
- 耐壓強度 28 日に於て 2,000 呎/平方吋 とす。
- ウラカピリテイはスランブを 6 吋とす。
- 骨材は徑 1 吋以下の川砂利と徑 1/4 吋以下の洗砂とす。
- 砂利及砂は現場にありて多少水分を含有するものとす。

(2) 配合決定の器具

現場試験器具として次のものが少くとも必要である。

- 篩一組 No. 50, No. 16, No. 4, 3/8吋, 3/4吋のもの 1 宛
- ブリキ罐 徑 2-7/8吋高 10 吋もの、徑 5-3/8吋高 11 吋もの 1
- スランブコーン 上徑 4 吋下徑 8 吋高 12 吋 1
- 試験體型 徑 6 吋高 12 吋數箇
- 搗棒 徑 5/8 吋 1
- カンバズツク約三呎平方のもの 1
- 石工鍬 1、尺度長 1 呎もの 1、方眼紙數葉

(3) 配合決定

骨材の粒度率を測定し眞實配合及混合骨材の粒度率を決定し、砂利及砂の配合割合を定め名稱配合比を求め現場配合比に直し、混合水量を求め、更には是等の配合によるコンクリートと異なる他の配合との經濟價值を比較して最も合理的配合を決定するを要する。

(a) 砂利及砂の粒度率測定法

カンバス上に骨材をとり四分法により代表的試料を定め、砂利を 20 呎、砂を

10 听とる、之を篩分析を行ひ、各篩に残留する容積をブリキ罐に入れて測量し粒度%を測定する、篩 No. 30 及 No. 8 を缺く場合は方眼紙に粒度曲線を作りて求めより粒度率を決定す、今砂利が 6.90 砂が 2.935 であるとする。

(b) 眞配合 (True mix, Real mix) 及混合骨材の粒度率

第 44 圖より標準強度 2,000 听/平方吋 現場作業の充分でない場合 1,500 听/平方吋のコンクリートは砂利径 1 吋を用ひてスランプ 6 吋の場合は混合骨材の粒度率 5.30 セメント骨材の眞配合 5.20 である。

(c) 砂利と砂との混合割合

粒度率が 6.90 の砂利と 2.935 の砂を混合して 5.30 の骨材とするに配合すべき砂の割合は

$$r = \frac{M_c - M}{M_c - M_f} = \frac{6.90 - 5.30}{6.90 - 2.935} \times 100 = 40.3\%$$

即砂約 40% 砂利約 60% である。之は亦第 46 圖を用ひて直に求むる事が出来る。

(d) 砂利及砂の名稱配合 (Nominal mix)

砂利 60% と砂 40% を混合した骨材の容積はブリキ罐に乾燥搗固めたる砂を深 4 吋砂利を同様に 6 吋入れ之をよく混合した場合高 8.5 吋になつたとすれば容積の収縮率は 15% である。

従て骨材 5.20 を得る爲に砂利及砂を別々に計量したものは $5.20/0.85 = 6.12$ を要する。依て

$$\text{砂利の容積 } 6.12 \times 0.60 = 3.67$$

$$\text{砂の容積 } 6.12 \times 0.40 = 2.45$$

即コンクリートの名稱配合は 1:2.45:3.67 を得る。

(e) 現場配合 (Field mix)

名稱配合は設計書に記載するもので現場にある水分を含める砂利及砂にはそのまゝ用ひられない。

含水量による砂利及砂の容積膨脹を測定するには始め現場の濕砂を輕装して 10 吋罐に入れ、之を乾燥せしめ三層に各層毎に搗固めて入れたる場合深 $8\frac{3}{4}$ 吋とすれば容積膨脹率は $(10 - 8.75)/8.75$ 即 14.3% であり 2.45 立方呎乾燥砂に

對して濕砂 $2.45 \times 1.143 = 2.80$ 立方呎を要する。

同様に砂利の容積膨脹を測定して、乾燥砂利の深 9.75 吋とせば膨脹率は $(10 - 9.75)/9.75 = 2.56\%$ であり 3.67 の乾燥砂利を得る爲に濕砂利 $3.67 \times 2.0256 = 3.75$ を要する。従つて現場配合は 1:2.80:3.75 となる。而して現場配合は必要に應じ更正するを要する。

(f) コンクリート 1 立方碼の材料所要量

簡単にする爲第 47 圖により眞配合 1:5.2 のセメント量はコンクリート 1 立方碼に對し 5 立方呎である。1 樽 4 立方呎として 1.25 樽現場配合による砂は $5 \times 2.80/27 = 0.52$ 立方碼、砂利は $5 \times 3.75/27 = 0.70$ である。

(g) 混合に要する水量

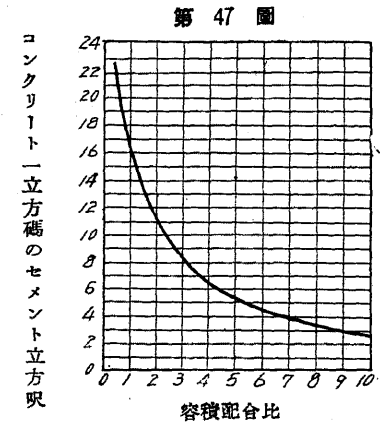
第 45 圖より所要強度のコンクリートは水比 1 水量セメント 1 立方呎に對し 6.24 インベリアルガロンである。然し砂利及砂には含水量があるから加ふるべき水量は是等の含水量を減じたものである。

使用する砂及砂利の含水量と容積膨脹率を測定する、今その結果が次の如くであるとする。

水量%	2	3	4	5
膨脹率%	15	20	25	30

今現場砂が 14.3% の膨脹を示せばその含水率は重量で約 2% である。同様に砂利も測定するが一般に砂より少で 1~2% に過ぎないから、今 1% であるとする。而して 1 立方呎の重量が砂 90 听、砂利 100 听とすれば 1 立方碼のコンクリートに對して

$$\text{濕砂に含有する水量 } 0.52 \times 27 \times 90 \times 0.02 = 25 \text{ 听}$$



湿砂利の分

$$0.70 \times 27 \times 100 \times 0.01 = 20 \text{ 听}$$

合計 45 听即 4.5 インペリアルガロンを含む。此場合濡潤せる骨材だから吸水率に対する更正の必要はない。

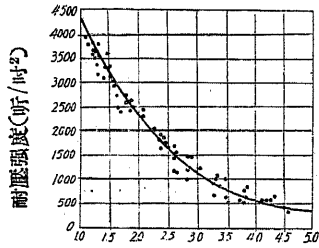
之より 1 立方碼コンクリートに加ふる水量は

$$6.24 \times 5 - 4.5 = 26.7 \text{ インペリアルガロンである。}$$

§ 93 タルボットのモルタル空隙説 (Talbot's mortar void theory)

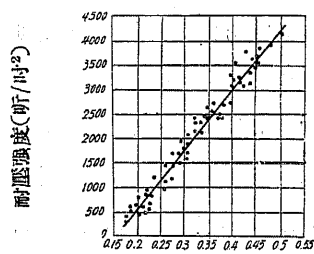
イリノイ大學で研究されたものでコンクリートはセメントが一定量で骨材の粒度が異れば空隙の小さいものが強度大である。セメントと骨材粒度異なるコンクリートはその空隙とセメント量により定り強度は一定容積中のセメントの絶対容積と空隙との比により表はし得るとし、之を Cement-Void ratio と稱した。第 48 圖に示すが如し。

第 48 圖



$$\frac{v}{c} = \text{Voids-Cement Ratio}$$

第 49 圖



$$\frac{c}{v+c} = \text{Cement-Space Ratio}$$

更にコンクリートの強度はその一定容積中のセメントの絶対容積に対する空隙とセメントの絶対容積との和の比に伴ひて増減するものとし、之を Cement-space ratio と稱した。第 49 圖の如し。

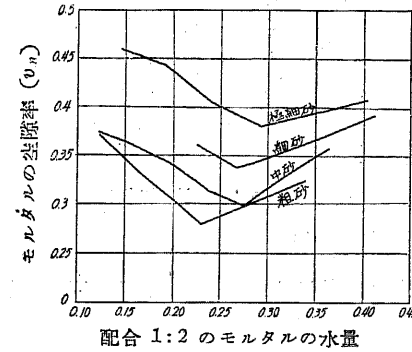
通常骨材の容積はコンクリートより小で、そのモルタル分の容積は粗骨材の空隙より大である。かゝる混合物ではコンクリートの空隙はモルタル中の水と空気との部分より成る。故にモルタルの密度がコンクリートの強度を決定する要素であり、之を測定すればそのコンクリートの空隙を計算し得られる。

砂とセメントとの配合化を變へたるモルタルの空隙を測定し、之と配合比との

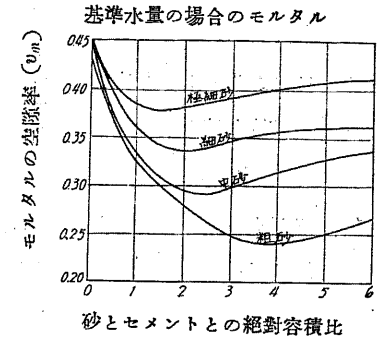
關係を作れば之を用ふるコンクリートの基本關係が得られる。

セメントに一定の砂を混じて水量を異にするモルタルを造れば、そのモルタル空隙を最小ならしむる場合の水量を基準水量 (Basic water content) と稱する。砂により異り第 50 圖に粗中細の 3 種の砂の場合を示す。

第 50 圖



第 51 圖



此基準水量を用ひたるモルタルの砂セメント比を異にせる場合の空隙は第 51 圖の如し。

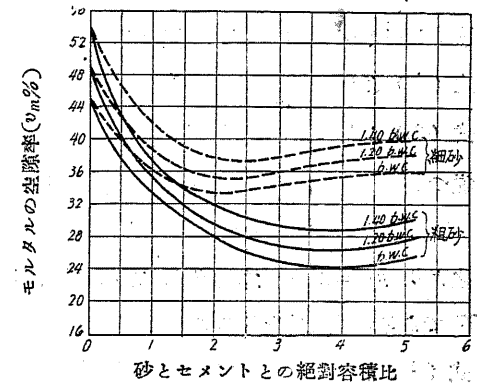
第 52 圖

水量の異なるモルタルの場合

基準水量よりも多い水量を用ひたるモルタル空隙は第 52 圖の如く常に基準水量の場合より大である。

その場合の水量は第 53 圖の如し。

是等の關係から一定の砂を用ひたるモルタル空隙を知りて所要強度のコンクリ

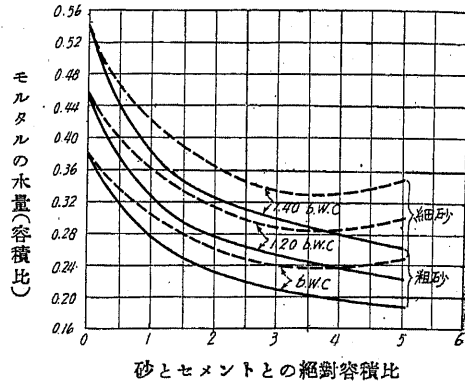


ートの配合設計に應用するには次の關係式を用ふる。

$$a+b+c=d=1-v \tag{1}$$

$$\frac{a+c}{1-v_m} + b = 1 \tag{2}$$

第 53 圖



- (3)
- a コンクリート単位容積中の砂の絶対容積
 - b 同 砂利の絶対容積
 - c 同 セメントの絶対容積
 - d コンクリートの密度
 - v 同単位容積中の空隙 (水及空気)

v_m コンクリート中のモルタルの単位容積中の空隙

之を用ひて所要コンクリートの配合を求むる事が出来る。今例示すれば次の如し。

(1) 材齢 28 日の耐圧強度 2,500 听/平方吋の配合を定むるに當り砂利の容積を 0.50 砂は粗粒のものを用ひ、水量は基準水量の 120% とす。

第 48 圖より所要強度のコンクリーは $v/c=1.7$ を得。

第 52 圖より v_m を 0.30 と假定し

$$\text{式 (1) より} \quad a+0.5+c=1-1.7c$$

$$\text{式 (3) より} \quad 0.5=1-\frac{v}{0.30}$$

$$\text{従つて} \quad v=0.15, \quad c=0.088,$$

$$a=0.5-2.7 \times 0.088=0.262$$

之より $a/c=2.98$ を得。然るに第 52 圖より a/c が 0.298 の場合は V_n が 0.27 である。故に之を用ひて更に計算すれば

$$\text{式 (1) より} \quad a+0.5+c=1-1.7c \quad a+2.7c=0.5$$

$$\text{式 (3) より} \quad 0.5=1-\frac{v}{0.27}$$

$$\text{従つて} \quad v=0.135, \quad c=\frac{0.135}{1.7}=0.080$$

$$a=0.5-2.7 \times 0.08=0.294, \quad a/c=0.294/0.080=3.7$$

即絶対容積比は 0.080:0.294:0.50 を得る。

(2) c と c/a を知りて d とコンクリートの強度を求む。

今 $c=0.1, \quad a=0.25$ とす。

$$a/c=2.5, \quad v_m=0.30 \quad \text{とす。}$$

之より b の値は $(0.1+0.25)/0.70+b=1$ 。従つて $b=0.50$ である。故に

$$d=0.10+0.25+0.50=0.85$$

而して $v/c=0.15/0.10=1.5$

第 48 圖よりコンクリート強度は 3,000 听/平方吋である。

(3) b と c を知りて a 及 d を求む。今 $b=0.55, c=0.10$ とす。

$$\frac{0.1+a}{0.70}+0.55=1 \quad \text{従つて} \quad a=0.215$$

之より $d=0.215+0.55+0.10=0.865$

従つて $v/c=0.135/0.10=1.35$ 第 48 圖より強度 3,200 听/平方吋である。

§ 94 エドワード氏の表面積説 (L.N. Edward's surface area theory)

セメントの一定量に對する骨材表面積の比を一定にすればそのコンクリートの強度は同一であると論じたものである。

第 54 圖、第 55 圖は骨材の表面積を計算したものである。

第 56 圖は粒度の異なる砂 J, K, L, M, N 等を取り、その表面積を計算し、セメント 1 gm に對する表面積 10 吋² 及 15 吋² の二種のモルタルを作り、その強度を測定すれば何れも略同一強度を呈するものなる事を示すものである。

今例をあげてその應用を考ふれば次の如し。

(1) 砂の表面積 15 吋² につきセメント 1 gm の配合比より砂 1 kg に對するセメント量及混合水量を求む。

今砂 1 kg の表面積は 5,856 吋² であるとし、之より

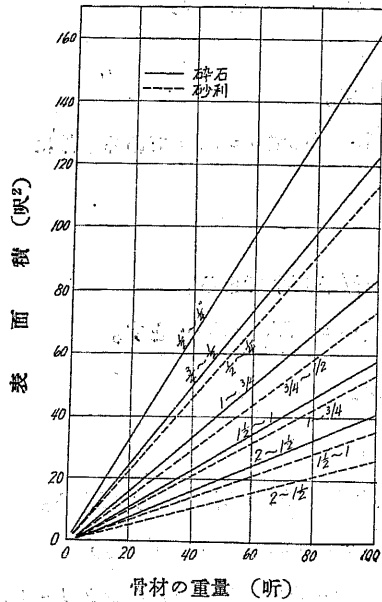
$$\text{セメント所要量}=5,856/15=390.5 \text{ gm}$$

$$\text{混合水量}=c.p+\frac{A}{210}=390.5 \times 0.2225+\frac{5,856}{210}=115 \text{ cc}$$

c セメント量 gm p セメント標準稠度 A 骨材表面積

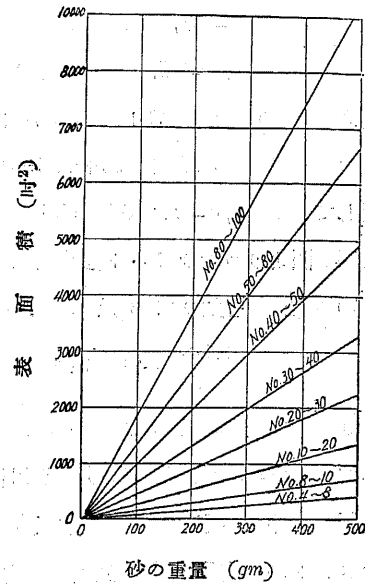
第 54 圖

骨材の重量に対する表面積



第 55 圖

砂の重量に対する表面積



(2) 骨材表面積 15 呎² につきセメント 1 gm を配合するものとして砂と砂利との配合比 1:2 の場合のコンクリートの各材料量を求む。

- a. 砂の表面積は 5,856 呎²/1kg, 1,845 呎²/100 呎とす。
- b. 碎石の表面積 151 呎²/200 呎とす。

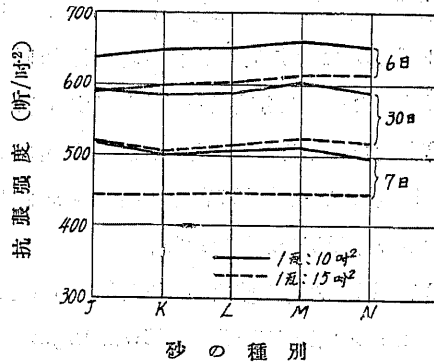
従つて砂と碎石との表面積は 1,996 呎²

之よりセメント量

$19.96 \times 2.11 = 42.12$ 呎を得る。

(3) 此表面積説を R. B. Young 氏がエブラムスの水比説と共に考へてコンク

第 56 圖



リートの強度を豫想した。

$$w = xc + na \tag{1}$$

w 混合水量(呎³)、 c セメント量(呎³)、 x 標準稠度、

a 骨材表面積(呎²/100 呎)、

n 骨材表面積 100 呎² を濕すに要する水量(呎³)

水比説より $S = \frac{A}{B^x}$

$$R = \frac{w}{c} = \frac{xc + na}{c} = x + \frac{na}{c} \tag{2}$$

故に $na = c(R - x) \tag{3}$

$$c = \frac{na}{R - x}$$

コンクリート配合は骨材 100 呎² に対するセメント呎数により定め、今 100 呎² に対し 1 呎とせば

$$a = 24.00 \text{ 呎}^2$$

$$n = 0.75 \text{ 呎}/100 \text{ 呎}^2$$

$$na = \frac{24 \times 0.75}{62.5} = 0.288 \text{ 呎}^3$$

セメント 1 立方呎を 87.5 呎とせば

$$x = \frac{87.5 \times 0.22}{62.5} = 0.308 \text{ 呎}^3$$

セメント量

$$= \frac{1 \text{ 呎} \times 24}{87.5} = 0.274 \text{ 呎}^3$$

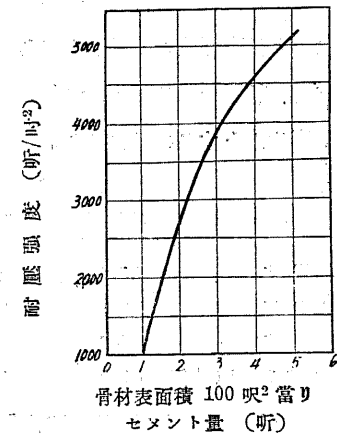
従つて水比は

$$R = 0.308 + \frac{0.288}{0.274} = 1.358 \text{ 式(3)より}$$

$$S = \frac{14,000}{71.853} = 1,074 \text{ 呎}/\text{平方呎}$$

骨材の表面積 100 呎² につきセメント量を定めたるコンクリートの強度は第 57 圖の如し。

第 57 圖



§ 95 配合に関する諸説の比較

以上述べたる諸説は單に實驗の結果より歸納されたるもので、理論的のものにあらず。何れも長短あり最も廣く用ひらるゝはエブラムス氏説にして歐洲に於ても廣く用ひらるゝも比較的水量多き場合に適合し硬練りに對しては豫想と實際と一致せざる憾あり、タルボット氏説は硬軟何れにも適用し得るも操作複雑にして施工に不更が少くない。表面積説は一の理論を説明したものでエブラムス氏説をかりて始めて強度を豫想し得るを以て適切でない。

その他配合に關しては單に最大密度を目標として之を決定するもの等あるも、大系づけられたものゝみを茲に述べたが、是等の研究は更に一段の進歩に俟つべきものと考へらる、殊に現在の耐壓強度を目的とする配合法は、將來抗曲強度を目的とするに至るべく、尙進歩の過程にありと考へらる。

然しコンクリート工學の發達に伴ひ、その性質が著しく改善されたるは明にして之を岩石の性質と比較すれば第 209 表の如く、コンクリートがセメントの化學作用により抗張強度が比較的大であつて、耐壓強度との比は岩石の何れよりも小なるはその特質である。而して是等強度も漸次増大して現在に於て砂岸に優り石灰石を磨せんとするの勢にあり。

第 209 表

種別	耐壓強度 (kg/cm ²)	抗曲強度 (kg/cm ²)	抗張強度 (kg/cm ²)	同 比	彈性係數 (kg/cm ²)
花崗岩	1,511	136	51	29.7:2.7:1	530,000
安山岩	1,048	85	44	23.8:1.9:1	480,000
砂岩	463	74	27	17.1:2.7:1	390,000
コンクリート(1箇月) 200		39	21	10.0:1.9:1	250,000

§ 96 コンクリート單位容積の所要材料量

コンクリートの單位容積に要するセメント、砂及砂利、水量の決定は幾多の方式があるがその主なるものは次の如し。

(1) スタントンウラカー (Stanton Walker) は次式を用ひた。

$$N_c = \frac{6.75}{0.5 + x + \frac{W_f + W_s}{166.5}}$$

N_c セメント樽數/コンクリート 1 立方碼

x 水比

W_f セメント 94 听に對する砂の重量听

W_s 同 砂利の重量听

第 58 圖の如し。

第 47 圖にもセメント量を示してある。更に從來用ひられたものに Gillette 及 Fuller 式があるが何れも正確でない。之を正確に求むるはコンクリートの性質に基くから不可能である。従つて著者が施工せる場合は砂利類は採取現場で貨車積 1.07 立坪が到着の際 0.93 立坪に收縮し之を 1 立坪として各配合毎に實驗して之を定めた。

(1) Gillette 式

$$N = \frac{216}{p + ns(1.1 - 0.9v) + ng(1 - 0.9V)}$$

N コンクリート 1 立坪分のセメント樽數

n 1 樽分のセメント量(呎³)、 p 同ペースト量(呎³)

s, g セメントに對する砂、砂利の容積比

v, V 砂、砂利の空隙率

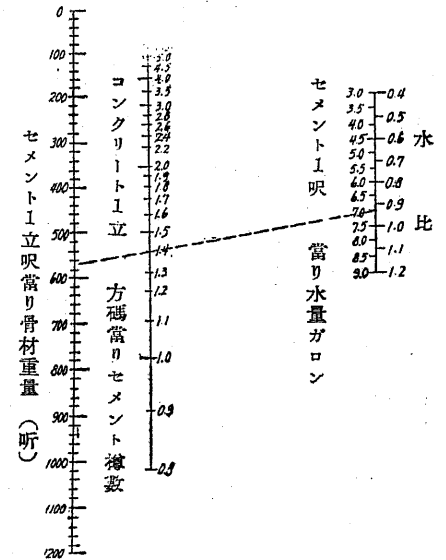
(2) Fullers 式 セメント砂、砂利の配合比を x, y, z としコンクリート 1 立坪分の所要量を求むれば次の如し。

セメント樽數 $Q = 88/(x + y + z)$

砂 立坪 $= Qy/216$

砂利 立坪 $= Qz/216$

第 58 圖



第十九章 コンクリートの力學的性質

§ 97 ウラカビリティ (Workability)

コンクリートの品質はウラカビリティと強度とを以て表すウラカビリティは稠度を測定して之により定むると考へらるゝも幾多の方法が考案せられその主なるものは次の如し。

(1) 息角法 (Angle repose method)

Harold A. Thomas か求めたもので現場で適當する方法で水量が少ないが大なる場合に用ひ得るものである。

コンクリートの息角とその流動状態は第 210 表の如し。

水量 %	状態	息角	摘要
6.0	Damp earthy Condition	58°	
8.8	Wet // //	47°	通常の Dry concrete
10.2	Stiff // //	35°	
12.5	Mushy // //	15°	通常 Méd. Conc. 34° Chntc を容易に流る
13.0	Sloppy // //	10°	17° Chntc を流れ水量多く分離し易し
14.5	Very sloppy // //	5° 13°	同上
15.6	Soupy	4° 30'	セメントペーストと骨材と結合せず

(2) 側壓測定法 (Lateral-pressure-of-Concrete method)

ゴム板を用ひてコンクリートの側壓を受けしめその撓み量を測定するものである。

(3) オリフィス流出法 (Orifice discharge method)

粘度計を用ふる方法であるが材料が分離して一般に用ひられない。

(4) 離心力法 (Centrifugal-force method)

コンクリートを填充せる圓筒を廻轉せしめ、その廻轉數とコンクリート面上上昇する高との關係を求むるものであるが之は骨材の分離を生じて正確でない。

(5) 攪拌抵抗測定法 (Resistance-to-disturbance method)

電動力を用ひコンクリートを攪拌してその仕事量を測定するものであるが結果

が一樣でない。

(6) 針入法 (Penetration-of-needle Method)

アスファルト針度計と同一方針の考案であるが針の位置により結果が一定しない。

(7) スランプテスト (Slump Test)

上徑 4 吋下徑 8 吋高 12 吋の截頭用錐形にコンクリートを 4 層に毎層を徑 5/8 吋の鐵棒を以て 25 回搗きて填充した後靜にその型を上方に引上げた場合コンクリートの高の減少を測り之をスランプとして吋數で表すものである。各國共に標準法として用ひらる場合少くないが操作簡單に過ぎ結果が異なる缺點あり且水量との關係が相關的關係を表さない場合もあり殊に硬練りには適しない。本邦土木學會も之を標準示方書に規格し寸法はメトリック式をとり上徑 10 cm 下徑 20 cm 高 30 cm としスランプは cm 數で表す事となつてゐる。

(8) フローテスト (Flow test)

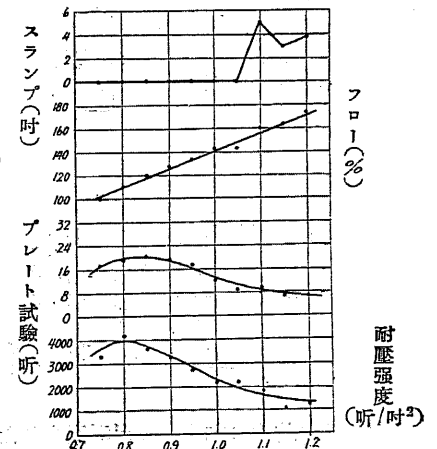
徑 40 吋の鐵板上に於て上徑 6 3/4 吋下徑 10 吋高 5 吋の截頭圓錐型にコンクリートを 2 回に充填し型を靜に上方に取去れる後鐵板を 10 秒間に 15 回、高 1/2 吋を上下して振動を與へ、コンクリートを崩壊せしめその擴がりの平均直径をもとの下徑 10 吋の % によりて表すもので多く試験室に用ひられ水量とフローとは比例するも骨材の分離を生ずる。

スランプと同様に土木學會標準示方書に制定せられメトリック式に換算して上徑 17 cm 下徑 55.5 cm 高 13 cm の型を用ひ之を 1.3 cm 上下せしむる事と定められてゐる。

(9) プレートテスト (Plate test)

スランプ及フローテストが水量少いコ

第 59 圖



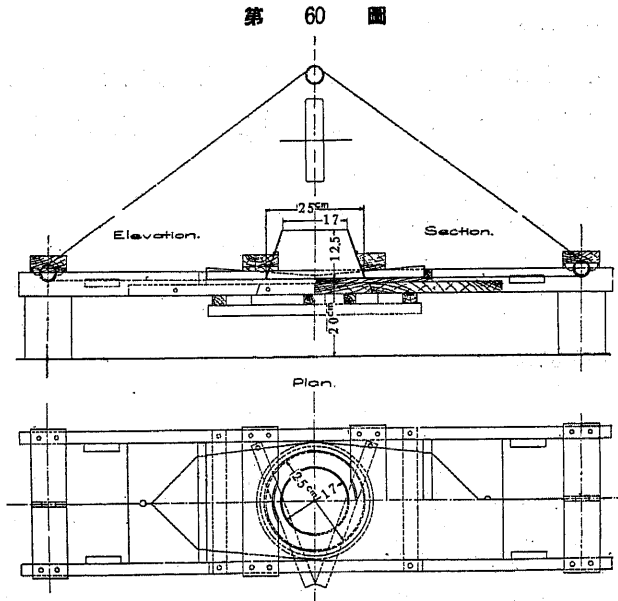
水セメント比

ンクリートの試験に適當でないのを之を考案されたもので上徑 12 吋、下徑 6 吋高 9 吋の截頭圓錐型にコンクリートを充填し之を 12 吋の高より直徑 12 吋の鐵板上に落下せしめ、その鐵板上に止る重量を測定するもので主として鋪裝コンクリートに適して作られたものである。

F. H. Jackson 及 G. Werner が 1:2:4 コンクリートで試験した結果は第 59 圖の如く強度と略比例してゐる。(A. S. T. M 1925 proc.)

(10) 落下試験

吉田博士の考案で第 60 圖に示すが如く上徑 17 cm、下徑 25 cm 高 125 cm の截頭圓錐型にコンクリートを 2 回に毎層 25 回搗きて充填し高 20 cm より急に落下せしめ、その擴がれる平均直徑と原下徑 25 cm との比を求め「擴り」として表すので極めて硬練りのものより軟練りのもの迄測定し得る特徴を有してゐる、土木學會標準示方書にも制定された。



(11) その他次の如きものが考案されたが何れも用ひられなかつた。

(a) Viscosimeter の應用で徑 15 cm 高 30 cm の圓筒形のコンクリートを上

につきあげて崩壊する際の直徑の擴りを測定してもとの比を以て表すものありフローと類似するも材料の分離を生ずる。

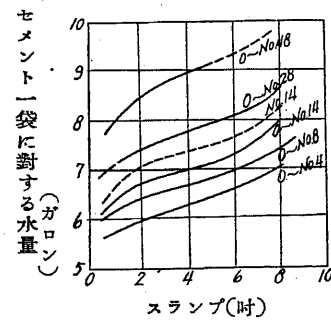
(b) コンクリートに木造圓錐型を埋込み之を引抜く際の抵抗を測定するものあるが埋込の位置により變化が多い。

以上各種の方法のうちスランプ、フロー及落下試験が廣く用ひられ是等の關係は凡そ次の如し。

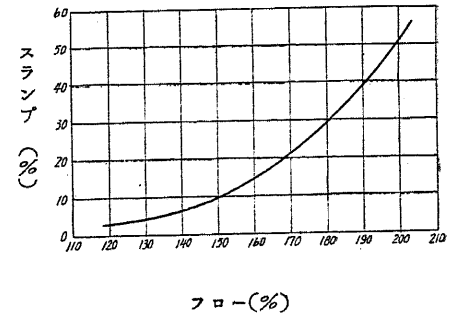
(1) 一定配合のコンクリートに於て水量とスランプとの關係

配合 1:2.4:4 とし砂利は $1\frac{1}{2}$ 吋のもので $1\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$ 吋のもの 25%、 $\frac{3}{8}$ ~ $\frac{3}{8}$ 吋のもの 50%、 $\frac{3}{8}$ ~ No. 4 のもの 25% をとり砂は各種粒度のものを用いたるコンクリートの水量とスランプの關係は第 61 圖の如し、細砂を用いたるものはスランプ小である。

第 61 圖
コンクリートの水量とスランプ



第 62 圖



(2) スランプとフローとの關係

スランプとフローとは比例しないが例示すれば第 62 圖の如き關係にある。

(3) ウラカビリティの標準として規定されたものは第 211 表の如し。

第 211 表

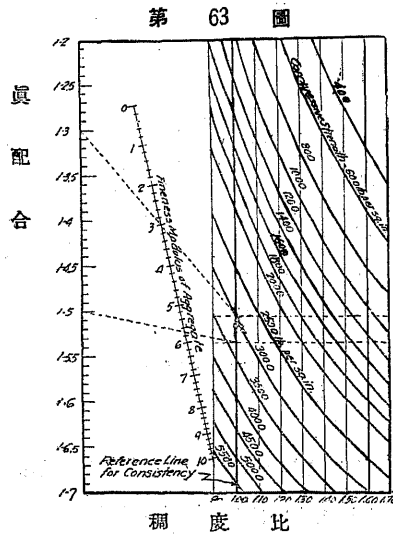
種 別	スランプ
大量コンクリート	3 吋以下
鐵筋コンクリート柱及薄き垂直斷面	6 吋以下
同 上 厚き斷面	3 吋以下

同	上	薄き水平断面	8 吋以下
鋪	装	手工仕上	3 吋以下
		機械仕上	1 吋以下
床モルタル		仕上	2 吋以下

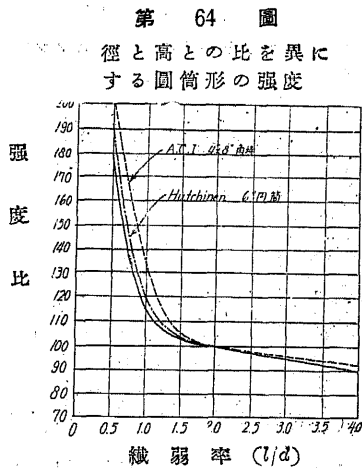
§ 98 耐壓強度

耐壓強度の大なるはコンクリートの基本的性質である。その材料配合水量混合法が何れも強度に影響を及ぼし殊に水量及セメント量の影響大である。更にセメントの化学的性質に鑑み材齢と共に強度増進するものたるは衆知の事實である。

(1) 一定の骨材粒度率と配合及水量を有するコンクリート耐壓強度はエブラムス氏が第 63 圖の如き関係を與へた。之から粒度率 3.0 の骨材を用ひ眞配合 1:3 で稠度比 1.1 のコンクリートの耐壓強度は材齢 28 日に於て 2,500 听/平方吋であるを知る。



第 63 圖



第 64 圖

徑と高との比を異にする圓筒形の強度

(2) 試験體の形状

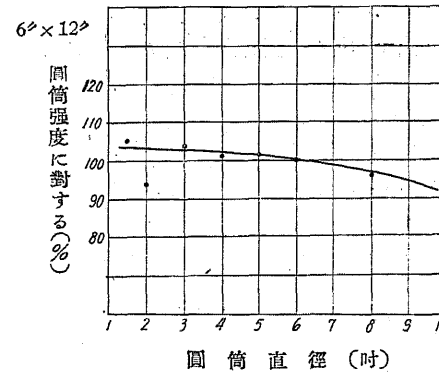
通常圓筒又は立方型を用ひ、前者は米國に後者は歐洲に用ひらる。

圓筒は徑 6 吋高 12 吋のもの最も普通で土木學會は之をメトリック式に徑 15 cm 高 30 cm と定めた。直徑と高との比を異にする試験體はその形状の織弱

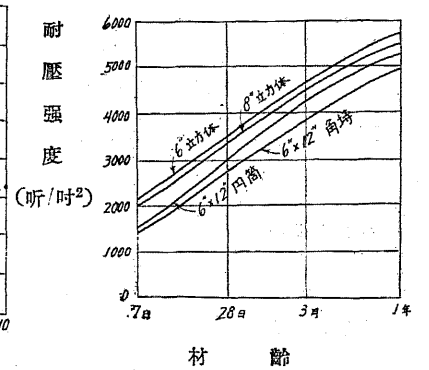
率の影響を受け強度が異なるを以て今徑と高との比を 2 とする前記標準圓筒の強度に對する他の圓筒形の強度を比較すれば第 64 圖の如く織弱率高きもの程強度小なるを示せり。

徑と高との比 2 を有する圓筒形につきその大を異にするものゝ強度を測定したものは第 65 圖の如く大の小さなものは荷重の偏差少きために強度大である。

第 65 圖



第 66 圖



立方型と圓筒形との強度比較はゴンナーマンの行へるもの第 66 圖の如し、配合 1:5 骨材は 1 1/2 吋以下で粒度率 5.5 のものを用ひた、6×12 吋圓筒強度と比較すれば次の如し。

立方體	6 吋	強度 118%
	8 吋	113%
角 塊	6×12吋	93%
	8×16吋	91%

(3) 材 齡

材齡に伴ふ強度の増進に關しては從來幾多の實驗式ありて多くは Logarithmic equation で次式をとる。

$$\sigma_a = k_1 \log d + k_2$$

σ_a 材齡 d 日の耐壓強度 kg/cm^2

k_1, k_2 , 配合養生その他に基きて定める常數

その主なる実験式は次の如し。

但し S_7, S_{28}, S_d 耐圧強度材齢 7 日、28 日、 d 日、 kg/cm^2

Wrey (Missouri 大學) 式 6'' \times 12'' 圓筒強度によるもの

$$S_7 = 0.8S_{28} - 400$$

$$S_{28} = 1.25S_7 + 500$$

$$S_d = S_{28} - \frac{S_{28} + 2,000}{3}(1.447 - \log d)$$

米國標準規格局 (Bureau of standard) 式 8'' \times 16'' 圓筒強度、配合 1:2:4

$$S = 1,550 \log d + 2,550$$

Morsch 式 配合 1:2 $\frac{1}{2}$:5

$$S = 1,900 \log d + 1,150$$

コンクリート委員會

$$S_{28} = S_7 + 30\sqrt{S_7}$$

イリノイ大學

$$S_d = 1,400 \log d + 150$$

Lewis Institute

$$S_d = 2,500 \log d - 1,200$$

プラーグ大學 配合セメント 300 kg/m^3 のものに就て

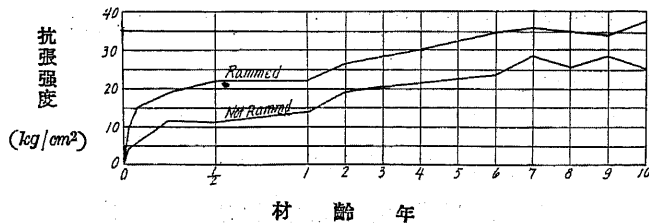
$$\sigma_d = 140 \log d + 70$$

$$\sigma_d = \text{材齢 } d \text{ 日の耐圧強度 } \text{kg/cm}^2$$

コンクリートは材齢の進むに従ひ強度増進するは上記の如くであり、水量の異

第 67 圖

1:3 モルタル強度増進率



るものも長年月を経過すれば次第に強度近接するに至る傾向があるが搗固めたる影響は年月を経過するも不變にしてその強度の差は永久に保たれる、廣井博士がモルタルに就て行はれたる結果は第 67 圖の如し、茲に搗固の永久的効果を知り得る。

§ 99 弾性係數

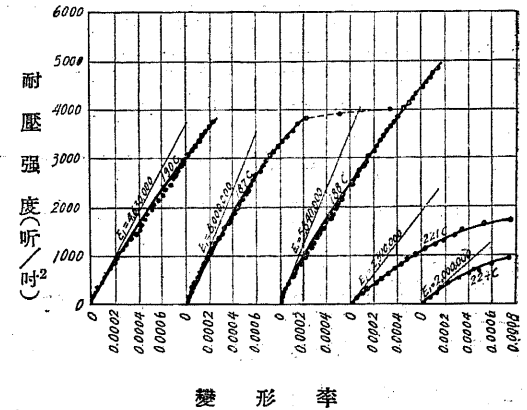
コンクリートは完全なる弾性體ではなくその應力變形は第 68 圖の如く直線でない。之が耐圧強度との關係

を示せば第 69 圖の如し、その應力變形圖は耐圧強度と同様に材料配合混合及材齢等により異なるものである。

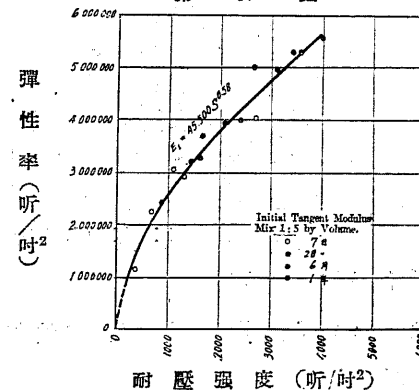
スタントウラカーが配合 1:3 乃至 15 材齢 7 日乃至 1 年のものにつき耐圧強度の 50~90% の荷重を加へた場合の弾性係數は耐圧強度の函數として表せば次式をとつた。

$$E = KS^n$$

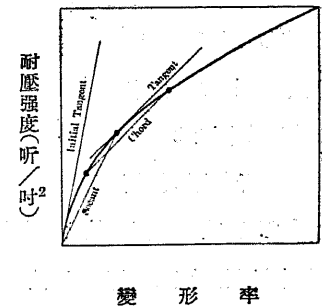
第 68 圖



第 69 圖



第 70 圖



E 弾性係数 听/平方吋 S 耐圧強度 听/平方吋

K, n 常数

不完全弾性體の弾性係数は定数でないから第 70 圖に示すが如く 4 種の係数をとつた。

E_i Initial tangent modulus 初期正切係數

E_t Tangent modulus 正切係數

E_s Secant Modulus 正割係數

E_d Chord Modulus 弦係數

通常耐圧強度との關係は次式で表はさる。

$$E_i = 33,000 S^{\frac{5}{8}}$$

$$E_{t25} = 66,000 S^{\frac{1}{2}} \quad \text{但耐圧強度の 25\% の荷重に於て}$$

今エブラムス水比説に基く配合のコンクリートの弾性係数を求むれば第 71 圖の如し。

配合 1:5 骨材粒度

率 5.75 稠度比 1.1 の

コンクリートの強度は

材齡 28 日に於て

2,200 听/平方吋でその

初期弾性係数は

4,000,000 听/平方吋 耐

壓強度の 25% の荷重

を受くる場合の正切係

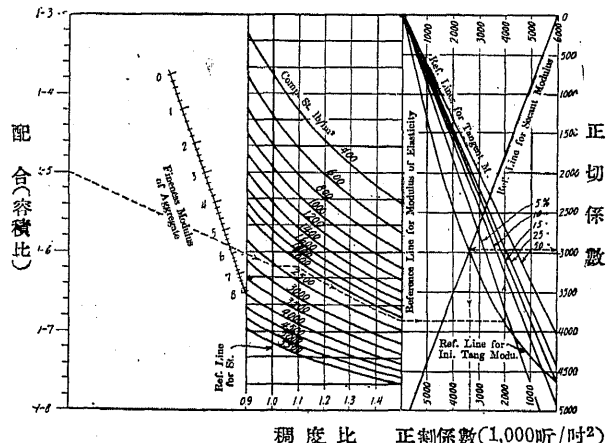
數は第 71 圖より

2,900,000 听/平方吋 同

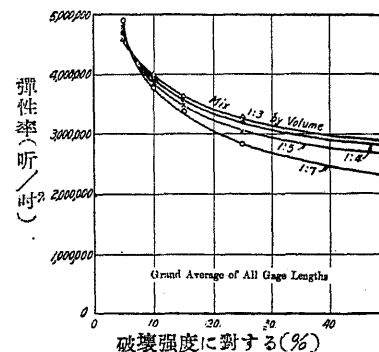
様 25% 荷重の正割係數は 3,300,000 听/平方吋 を得る。

抗張變形を受くる場合の弾性係数は Bureau of public Road に於ける試験は第 72, 73 圖の如し、耐壓の場合と同様である。

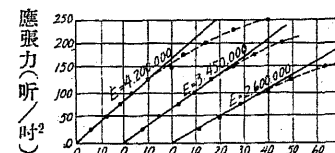
第 71 圖 初期正切係數 (1,000 听/吋²)



第 72 圖



第 73 圖



變形 1/10,000,000 吋

§ 100 抗張強度

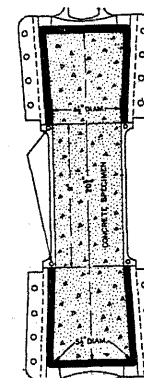
抗張強度は試験體製作困難にして正鵠なる結果を得られないのと構造物設計に當り抗張強度を無視する慣例により従來之を輕視して居た、然し抗曲強度の重大なるに鑑み將來此の試験研究の進歩を促すべく耐壓強度を目的とするコンクリートの研究が更に抗曲抗張強度を目的とするに至るべきものと思はる。

一般に抗張強度は耐壓強度の 10% 内外で材齡の進むに従ひ、次第にその割合は減少するものゝ如し。

その試験體は第 74 圖の如き形を用ふ。

A. N. Johnson が徑 11.5 cm 高 23 cm の耐壓強度と抗張強度を 1:2:3 配合のコンクリートに就て行へる試験は第 212 表の如く抗張強度は耐壓強度の 8~16% にあり材齡に伴ふ耐壓強度の増進大なるものに比し抗張強度の増進は幾分小である。

第 74 圖



第 212 表

材齡 (日)	耐壓強度 (kg/cm ²)	抗張強度 (kg/cm ²)	抗張/耐壓 (比)
33	152	24.5	0.16
69	214	25.3	0.12
140	236	23.5	0.10
154	295	20.7	0.07

185	302	23.0	0.08
215	303	23.3	0.08

Proudley が 1:2:4 コンクリートに就て行へる結果は第 213 表の如し。

第 213 表

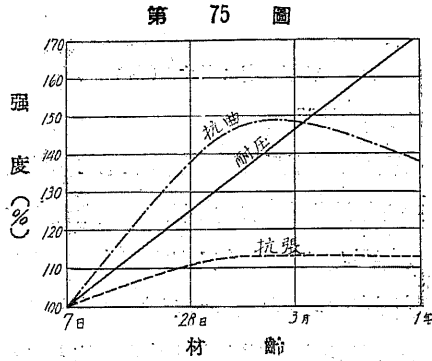
材齡 (日)	耐壓強度 (kg/cm ²)	抗張強度 (kg/cm ²)	抗張/耐壓 (比)
7	105	10.2	0.116~0.087
28	170	15.8	0.125~0.086

モルタル試験に就て見るも耐壓強度の増進率に比し抗張抗曲強度は幾分その増進少である。第 75 圖に示すが如し。

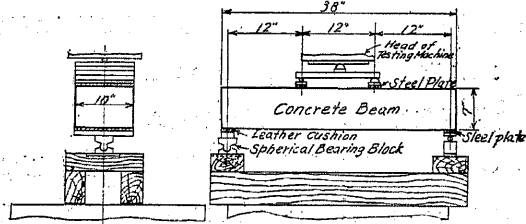
§ 101 抗曲強度

通常第76圖に示すが如き二點に荷重を加へて試験を行ひその耐壓強度に對する割合は 15~30% である。

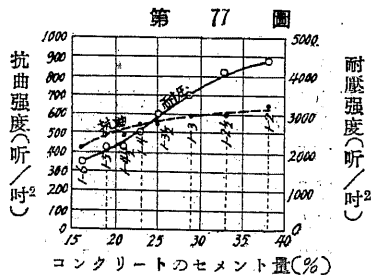
配合を異にするコンクリートの耐壓強度と抗張強度との關係は第 77 圖の如く稠度を異にするもの關係は第 78 圖の如し。



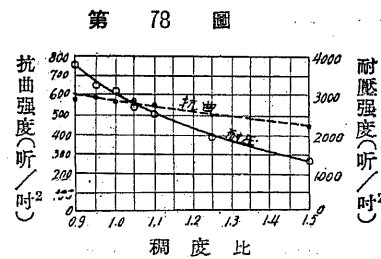
第 76 圖



Method of Loading concrete beams



第 77 圖



第 78 圖

§ 102 抗剪強度

抗曲強度と略同等の強度を有す、1:2:4 配合水比 0.865 比重 2.50 吸水率 5.94% のコンクリートに就て試験せるものは第 214 表の如し。

第 214 表

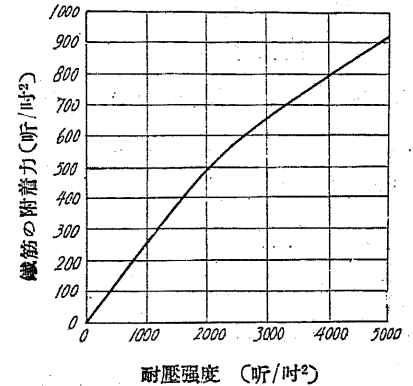
材齡 (日)	耐壓強度 (kg/cm ²)	抗剪強度 (kg/cm ²)	同 (%)
7	66.0	15.1	22.8
28	157.0	42.8	27.3

§ 103 附着強度 (Bond strength)

鐵筋との附着力は他の強度と同様に水比の増加に伴ふて減少し、骨材の粒度率及材齡に伴ふて増大す。耐壓強度との關係を配合 1:7 水比 0.9~1.5 で材齡 7 月~1 年に亘り試験せるものは第 79 圖の如し。

煉瓦等との附着力は材料相互の性質により異り、煉瓦の吸水率大なるものはモルタル分が吸収されて結合力大である、第 215 表の如し。

第 79 圖



煉瓦吸水率 (%)	附着力 (kg/cm ²)
23.3~11.7	2.47
8.0~3.2	1.27

§ 104 磨耗抵抗

コンクリートの機械的外力に對する磨耗抵抗は從來幾多の實驗が行はれたがその結果は次の如くである。

- (1) 粗骨材として軟石を用いたるものは抵抗小であり、磨損率 7% 以上のものは殊にその影響が著しい。頁岩質石灰石質のもの多きものも亦抵抗小である。
- (2) 細骨材として硬質粗砂を用ふれば抵抗大である。
- (3) 配合はモルタル分 1:2 以上のものを有する富配合のものは、磨耗量に影響する事少いが貧配合のものは磨耗大である。

(4) 混合水量大なるもの及極めて小なるもの亦共に磨耗量大である。

タルボットデヨンスコンクリートラトラー (Talbot-Jones concrete Rattler) を用ひて行へる試験も正確なる相関的數値を表し得ないが、耐壓強度と磨耗量との關係はエブラムス氏が次式を作つた。

$$S = \frac{A}{W^n} = \frac{2230}{W^{1.04}}$$

配合 1:4 材齡 4 月

S 耐壓強度

W 磨耗量

水比、耐壓強度と磨耗量との關係を配合 1:4 につき求めたるものは第 80 圖の如し。強度小なるものは磨耗大である。

配合と耐壓強度磨耗量との關係は第 81 圖の如し。

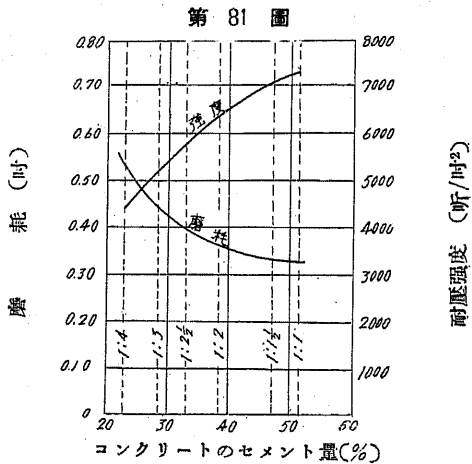
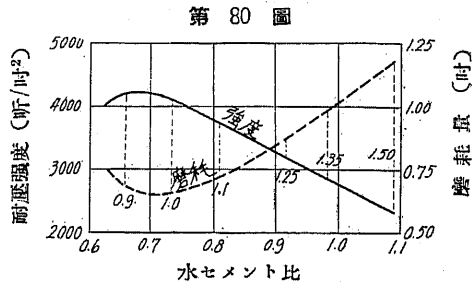
§ 105 衝撃抵抗 (Impact Resistance)

コンクリートは石材に比し衝撃抵抗の小さいのは基本的の缺點である。従つて街渠縁石工 (Curb) に特に花崗石、岸壁隅角に石材又は階段隅縁に他の材料を取付けて之を補つて居る。

衝撃抵抗の測定は Hatt-Turner 等でも行ひ得るが、舗装コンクリートに對して H. S. Mattimore の行へるものは衝撃荷重 13 kg を高 10 cm より毎分 90 廻轉で 5,000 打撃を與へコンクリート面の損傷を測定して衝撃係數と定めた。

$$\text{衝撃係數} = \frac{\text{重量の損傷分 gm}}{170} \times 100$$

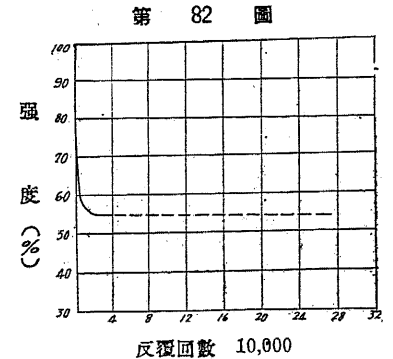
衝撃抵抗は (1) 粗及細骨材共に影響を與へ殊に後者の影響著しく、(2) 配



合 1:2:3 程度のもの最も均一の結果を表し、之以上の富配合のもの又は之以下の貧配合のものは粗骨材の影響を受くる事が大である。

§ 106 疲勞強度 (Fatigue of Strength)

橋梁その他の構造物、道路舗装等何れも反覆荷重を受くるもので、その設計に用ふる強度は疲勞強度から定めなければならぬ。従つて極めて重要である。部材の種類によりては方向を異なるに應力即ち張力と壓力とを交互に反覆して受くるものもあるも、コンクリート構造物は主として單なる反覆荷重である。



R. B. Crepps がモルタル配合 1:2

材齡 6 月のものに就て行へる實驗は第 82 圖の如く、耐壓強度の 55% の應力を反覆せしむる場合は永久に破壊さるゝ事なく耐久性がある。

是等は乾燥状態のものであるが、飽和せる試験體は更に弱くして Purdue 大學で Hatt 教授の行へるものは次の如し。

強度の % の應力の場合	反覆回数
89%	1
55%	220
50%	8,400~17,200
40%	71,700

従つて許容強度の決定は是等の條件を考慮して適當に定むべく 40% では安全率が 2.5 である少くも之以下でなくてはならぬ。

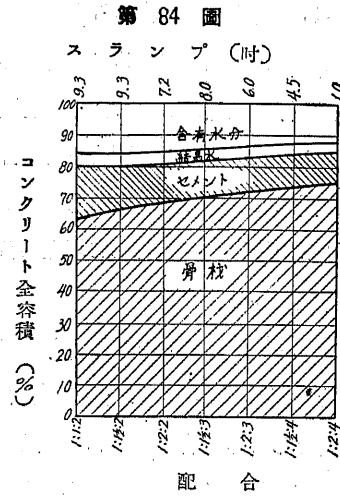
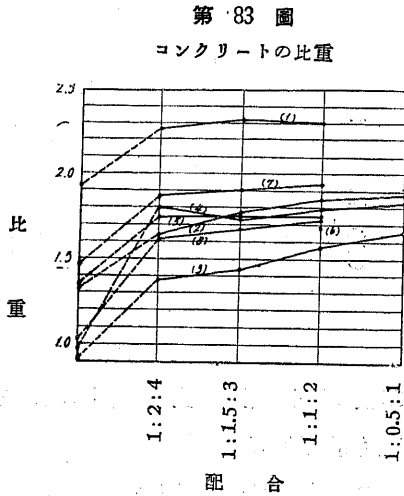
第二十章 コンクリートの物理的及化學的性質

§ 107 物理的性質

I 比重 (Specific gravity)

通常 2.3~2.4 の間にありて空隙率の及ぼす影響大で搗固めたるものは大であ

る。骨材の性質によりて異り軽質のものを用いたる材齢 13 週のもの第 83 圖の如し。(1) は普通砂利砂、(2) は硬質抗火石、(3) は軽質抗火石、(4) は砂と燼滓、(5) 砂と火山砂利 (6) 火山砂利及砂、(7) 砂と煉瓦屑、(8) 砂と火山砂利を用いたものである。



混加水量をセメント 1 袋に對し $6\frac{1}{2}$ ガロンとし、配合スランプを異にするコンクリートの容積組成を求むれば第 84 圖の如く空隙率 12~16% を有す。

I 温度係數 (Thermal coefficient)

コンクリートの温度係數は鐵の $10^{-4} \times 0.12$ に略近似するも、配合により異り、Keller の測定したものは第 216 表の如し。

第 216 表
温度係數

配合	膨脹係數
1:0	0.000 0126
1:1	0.000 0110
1:2	0.000 0101
1:4	0.000 0104
1:6	0.000 0092
1:8	0.000 0095

II 熱傳導率 (Heat conductivity)

熱傳導率のイリノイ大學實驗は稠度比 1.1 コンクリートに對するもの第 217 表の如し。温度との關係は第 218 表の如し。

第 217 表
熱傳導に關する常數 (Ill. Bull. 122)

配合	比重	傳導率(C.G.S)	比熱	Difusibility(h^2)
1:0	1.83	0.00147	0.278	0.00289
1:2	2.26	0.00344	0.216	0.00705
1:3	2.28	0.00379	0.218	0.00762
1:4	2.29	0.00352	0.218	0.00705
1:5	2.29	0.00323	0.217	0.00650
1:7	2.23	0.00384	0.227	0.00758
1:9	2.16	0.00352	0.223	0.00732
比較用 鋼	7.85	0.144	0.106	0.173
空氣	0.00129	0.000055	0.237	0.179

第 218 表
熱傳導率 Ill. Bull. No. 122

配合	傳 導 率 (C.G.S.)		
	50°C~100°C	100°C~200°C	200°C~308°C
1:0	0.00140	0.00163	0.00140
1:2	0.00326	0.00344	0.00318
1:3	0.00336	0.00379	0.00318
1:4	0.00413	0.00352	0.00328
1:5	0.00327	0.00323	0.00334
1:7	0.00400	0.00384	—
1:9	0.00574	0.00352	—

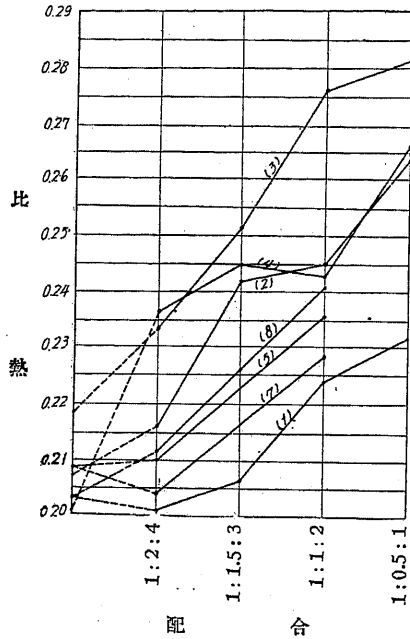
輕量コンクリートは傳導率小である。第 83 圖と同様のコンクリートにつき比熱を測定したものは第 85 圖の如く、その熱傳導率は第 86 圖の如く、之より空隙率との關係を求むれば次式の如し。

$$K = \frac{0.005}{0.5^v}$$

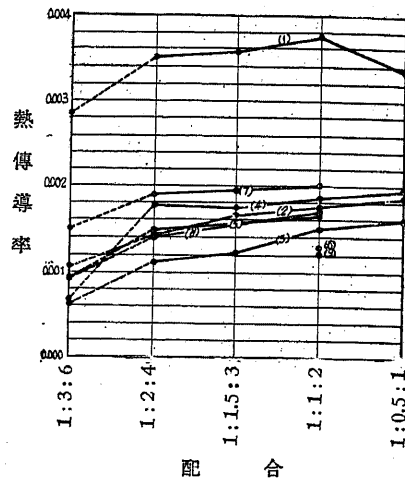
K 傳導率

v 空隙率

第 85 圖
軽量コンクリート比熱(13週)



第 86 圖
軽量コンクリート熱傳導率(13週)



§ 108 水のコンクリートに及ぼす影響

(1) 含水量の變化に伴ふ膨脹及收縮

コンクリートは養生中濕潤に保つから含水量増大し、之に伴ひて膨脹す。養生を中止して乾燥すれば含水量を失ひて收縮す。イリノイ大學に於て松本虎太氏の實驗は第 87 圖の如し。

(2) 乾燥及之に伴ふ含水量の減少率

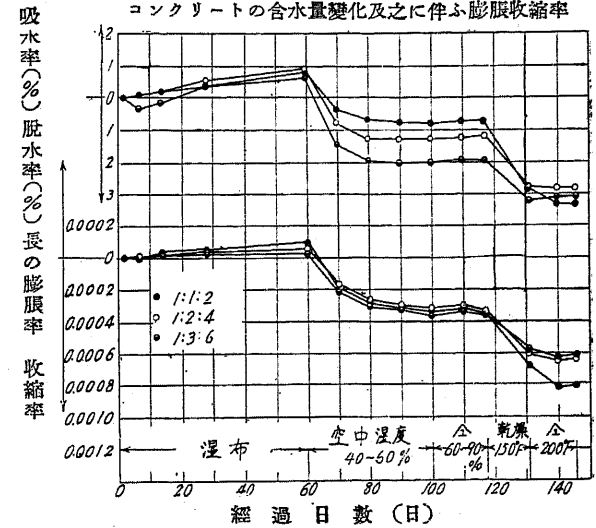
含水量の減少は限度あり 1:2:4 コンクリートで 150°F に加熱せるものゝ減少量は第 88 圖の如く漸進的に含水量一定となる傾向あり、

(3) 吸水及之に伴ふ膨脹率

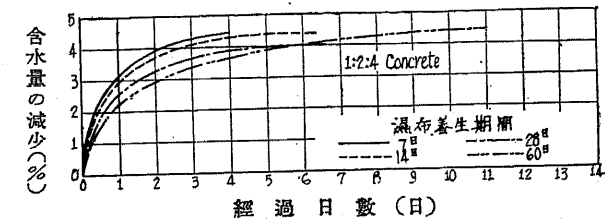
浸水せる場合の吸水率も時日の経過に伴ひ次第に飽和して一定限度に近づき之に伴ふ膨脹率も同様である。第 89 圖の如し。

(4) 材齡に伴ふ收縮率

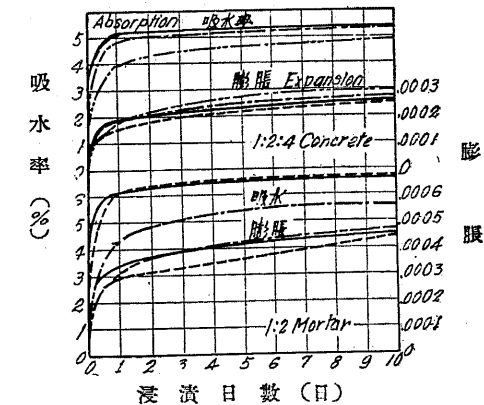
第 87 圖
コンクリートの含水量變化及之に伴ふ膨脹收縮率



第 88 圖
150°F に乾燥せる場合の含水量の減少



第 89 圖



コンクリートを 0~60 日間湿度 40~80% の空中、60~100 日間、同 50% の空中、100~110 日間 200°F に加熱すればその收縮率は第 90 圖の如し。

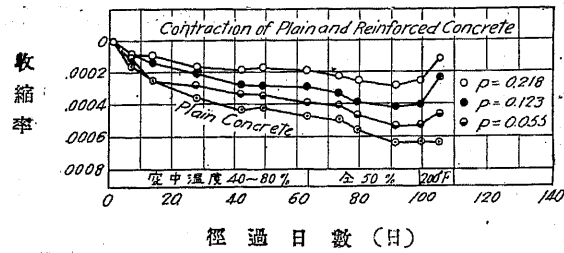
(5) 透水率

(Permeability)

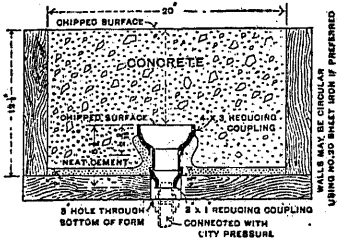
透水量は空隙率その個々の間隙の大きさとその連続性により異なる。第 91 圖の如き方法を取りてテラートムソンの行へる配合 $1:2\frac{1}{4}:4\frac{1}{2}$ コンクリート實驗は第 92 圖の如く強度密度と相反して透水率も増減する。

(6) 含水量の強度に及ぼす影響
コンクリートの強度は木材と同様

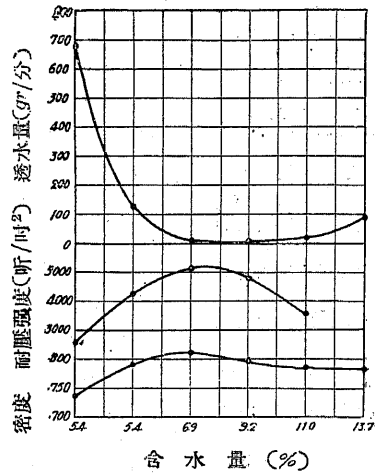
第 90 圖



第 91 圖
透水量試験



第 92 圖



に含水量に伴ひて増減するものである。その関係の法則は未だ定め得ないけれども、水を以て飽和したるコンクリートは乾燥せる場合の強度の 80~85% である。Purdue 大學 Hatt 教授の實驗は第 219 表の如し。

第 219 表
抗 曲 強 度 (kg/cm²)

配合	乾燥	飽和	摘 要
1:2:3.5	59.1	47.5	氣乾状態
1:2:3.5	55.0	47.2	爐上乾燥

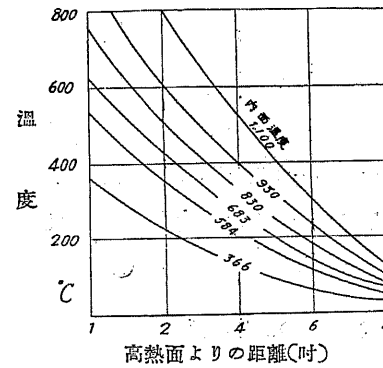
§ 109 熱のコンクリートに及ぼす影響

(1) 加熱の際の温度上昇率

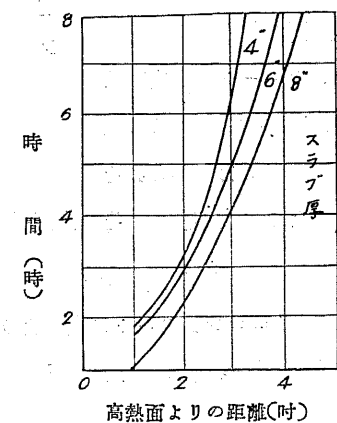
コンクリート壁が1面に於て高熱を受くる場合他面の温度は比熱傳導率により

異り Birmingham 大學 Panton 教授が配合 1:2:4 のものにつき行へる實驗は第 93 圖の如く、厚さの影響著しくその内部温度 1300°C の場合壁體内部が 625°C に達する迄の時間を測定せるものは第 94 圖の如し。

第 93 圖



第 94 圖



(2) 高熱を受けたるコンクリートの強度及彈性係數

Woolson が 1:2:4 コンクリートを 30 分毎に 140°C 宛上昇して加熱し、之を徐々に冷却せしめて行へる結果は第 220 表の如し。石灰岩骨材は耐火性小である。

第 220 表

加熱温度 °C	0°	100°	300°	500°	700°	900°	1,100°	1,200°
耐壓強度 火山岩骨材	136	136	134	120	103	82	57	39
耐壓強度 石灰岩骨材	128	110	90	75	63	52		

彈性係數を應力 42 kg/cm² に於て測定したものは第 221 表の如し。

第 221 表

加熱温度 °C	0	260	400	540	680
火山岩骨材 彈性係數	151.000	63.000	35.000	13.000	9.000
火山岩骨材 強 度	120	120	71	63	61
石灰岩骨材 彈性係數	140.000	53.000	25.000	17.000	8.000
石灰岩骨材 強 度	100	97	81	71	56

(3) セメントの凝結の際の温度上昇

凝結の際の上昇は先に述べたるが如く、今高礬土セメントを用ひてコンクリートの温度を測定せしものは第95圖の如し。

コンクリート體の内部は一般に凝結の際上昇せる温度を保持してゐるから、そ

の表面より温度が高い。その内部温度に關して平野博士の實驗式は次の如し。

$$t_a = \frac{a}{b+d} + c$$

t_a = コンクリートの表面より d cm の距離の部分の温度

a, b, c 常數、第222表の如し。

配合	a	b	c
1:1.5:3	3,120.51	3.10	-71.78
1:2.4	2,975.95	2.88	-67.27
1:3:6	3,912.89	2.94	-67.14
1:4:8	2,206.78	2.25	-44.51

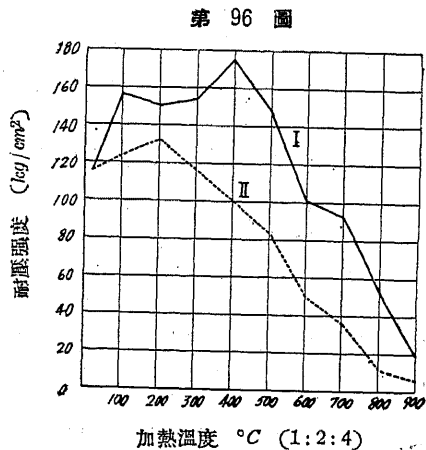
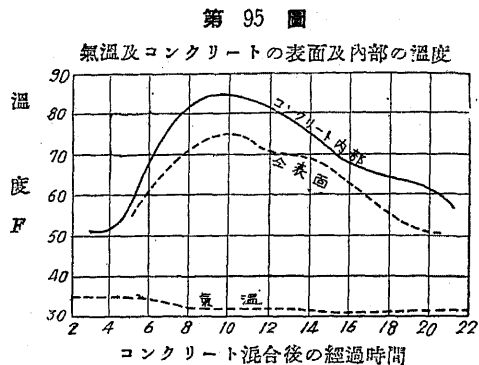
(4) 温度と強度との關係

平野博士の研究によれば強度と温度との關係は次の如し。

a. 温度 $100^{\circ}C$ 附近に於て幾分強度減少し、その後次第に増加し、

b. $300^{\circ}C$ に於て最大強度を呈し、

c. $400^{\circ}C$ に於て次第に減少してもとの強度と同様とな



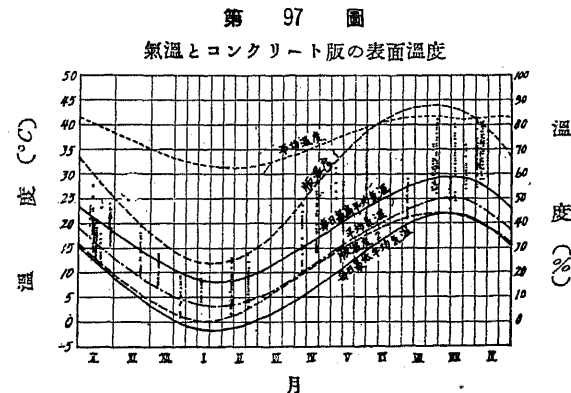
り、その後結晶水を失ふに伴い強度減少す。

第96圖に示すが如し。Iは加熱状態のものゝ強度を示しIIは加熱して冷却したものゝ強度を示す。後者が著しく強度小である。

(5) コンクリートの温度に及ぼす気温の變化の影響を1箇年に互り測定せる結果は、

第97圖の如く、

気温よりも著しく高く厚15cmの舗装版は $\pm 20^{\circ}C$ の變化を受ける。



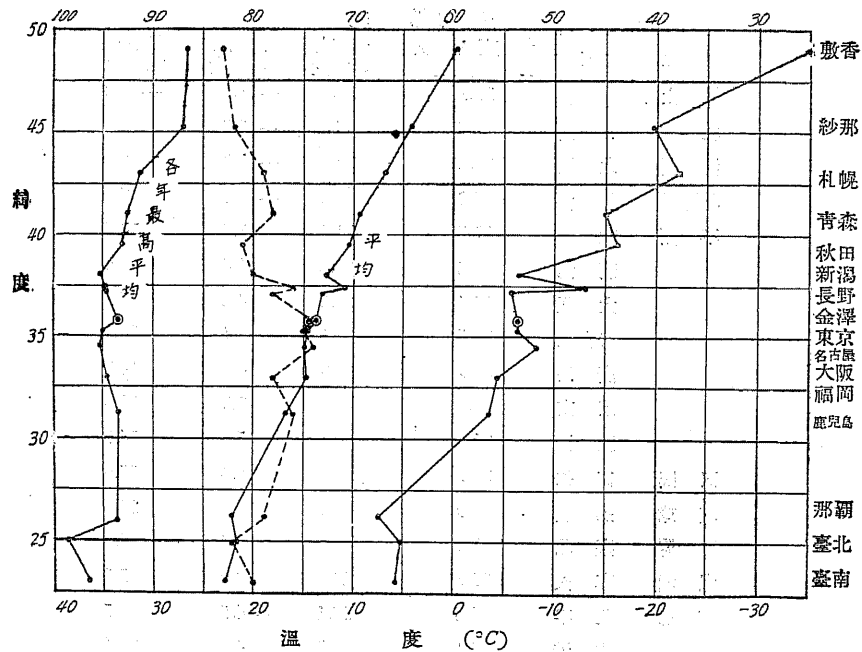
地名	最高月と最低月の温度差	最高月の温度	最低月の温度	年平均温度
樺太 敷香	37.7	15.8	-17.9	-0.2
朝鮮 仁川	28.5	24.8	-3.7	10.7
滿洲 大連	29.6	24.6	-5.0	10.2
北海道 札幌	27.3	21.0	-6.3	7.0
本州 秋田	25.5	23.9	-1.6	10.4
新潟	24.2	25.6	1.4	12.6
大阪	23.1	27.3	4.2	15.1
名古屋	23.5	26.6	3.1	14.1
廣島	22.9	26.9	4.0	14.7
東京	22.6	25.6	3.0	13.9
福岡	21.4	26.4	5.0	14.9
四國 高知	20.7	26.1	5.4	15.6
琉球 那覇	11.9	27.9	16.0	22.0
臺灣 臺北	13.4	28.1	14.7	21.6
滿洲 奉天	37.7	24.7	13.0	7.1
支那 北平	31.6	27.1	-4.5	11.5
香港	9.1	24.0	14.9	22.1
東洋 シンガポール	1.4	27.7	26.3	27.1

印度	カルカッタ	10.8	30.0	19.2	25.9
歐洲	モスコ	27.4	17.6	9.8	3.8
	オスロ	21.2	17.5	3.7	6.0
	ウイ	19.4	19.4	0.0	9.5
	ベル	18.9	18.9	0.0	9.2
	ロー	18.1	24.7	6.6	15.3
	パリ	14.4	17.7	3.3	10.4
	ロ	13.0	16.9	3.9	9.7
	ロ	13.0	16.9	3.9	9.7
埃及	ポートサイド	13.1	27.8	14.7	21.8
米國	シカ	27.3	23.0	4.3	9.8
	紐	25.2	23.7	1.5	11.2
	ザ	8.4	21.3	12.9	17.0
	ノ	4.2	25.6	21.4	23.6

第 98 圖

緯度と気温 (各年最低平均)

湿度 (%)



機械的作用に就て述べるが如く、石材コンクリート等が一日中及一年中の温

度の變化に伴ふて生ずる熱應力の爲に結合が弛めらるゝはその反覆回数極めて大なるが故に何れの材料も遂に風化するに至るもので、その作用は地況によりて異り寒暑の差即气温變化の大なる地方程大である。今世界各地の年平均気温、月別最高及最低温度並にその差を擧ぐれば第 223 表第 98 圖の如し。赤道に近くに従い變化小にして北方地方が大である。更に 1 日に於ける差の影響も著しきものありて気温變化少き熱帯地方の沙漠は之に基くものである。

§ 110 混加剤の影響

コンクリートの化學的性質は主として骨材が珪酸質の砂利砂なるを以て全くセメントの化學的性質に基くから、茲に述ぶる要がない。只混加剤を加へたるものうち主としてコンクリートで試験を行つたものにつぎ述べる。

(1) 鹽化カルシウム (CaCl₂)

鹽化カルシウムは白色の粉末で極めて吸濕性のものである。比重 2.15 (15°C) 温度係數 6.2×10⁻⁴/°C 比熱 0.209 熔融點 710~806°C である。水溶液から析出する際は、六方晶形をとり CaCl₂·6H₂O となる。温度 30°C で結晶水に溶解し尙 CaCl₂·H₂O, CaCl₂·2H₂O, CaCl₂·4H₂O の形をとる。その 100 gm を溶解するに要する水量は温度により異り、第 224 表の如し。

第 224 表

温度 °C	0	10°	20°	40°	60°	80°	100°	160°
CaCl ₂ (%)	37.3	39.4	42.7	53.4	57.8	59.5	61.4	69.0

第 225 表

溶液中の CaCl ₂ (%)	6.97	12.58	23.33	36.33	50.67	62.9
比 重	1.0545	1.0954	1.1681	1.2469	1.3234	1.3806

鹽化石灰を混ずれば凝結を促進する事大にしてセメント重量の 3% のものは急結に近く、その強度も著しく増進する事第 226 表に示すが如し。成型後 6 時間を經て零下温度に於て冷凍を受けしむれば殊に CaCl₂ の効果著しきを知るべし。

従つて施工の急速を必要とする場合若くは寒中工事の場合用ひらる。

第 226 表

鹽化石灰混加量 (セメントに對する重量 %)	0			1			2			3		
凝 結 初 終(時)	2.50~3.40			1.21~1.40			0.32~1.39			0.07~1.12		

コンクリート 1:2:4					
耐圧強度 (kg/cm^2)	1 週	93	184	199	203
	4 週	230	250	274	263
	3 月	386	296	319	309
	6 週	292	233	326	346
スランプ cm		2.5	3.0	4.0	4.5
同 成型後 6 時間にして冷凍したるもの材齢 1 週の強度 (kg/cm^2)					
冷 凍	16 時間試験	42	—	—	140
	40 時間	36	—	—	121
	64 時間	36	—	—	117
同 材 齢 4 週の強度 (kg/cm^2)					
冷 凍	16 時間	114	—	—	231
	40 時間	118	—	—	182
	64 時間	118	—	—	193

$CaCl_2$ を混加してコンクリートの最大強度を得る爲に必要な % は材齢及その材料品質により異なり第 227 表の如く、之を加へたるコンクリートの強度増進の割合は配合により異なり第 228 表の如し。

第 227 表

最大強度を得る $CaCl_2$ 混加量(%) (コンクリート 1:5:2)

材 齢	2 日	7 日	28 日	3 月	1 年	3 年
$CaCl_2$ A	4	3	3	3	4	4
$CaCl_2$ B	4	2	4	4	4	4
カ ル	7	7	7	10	10	7
同 低 鹽 素	10	10	7	10	10	15
ゾトリフックス	7	7	6	7	4	7

第 223 表

$CaCl_2$ を混じたるコンクリートの強度比

コンクリート配合	材 齢					
	2 日	7 日	28 日	3 月	1 年	3 年
1:7	1.20	1.06	—	—	—	—
1:5.2	1.47	1.24	1.09	1.09	1.19	1.16
1:4	1.49	1.30	1.16	1.12	1.10	1.13
1:3	1.59	1.30	1.28	1.18	1.13	1.16
1:2	1.49	1.30	1.23	1.31	1.07	1.07

鹽化カルシウムを混入せるコンクリートは収縮率増加するもその影響は著しからずして 1% 混合のものは殆ど影響ない。

(2) 硫黄を滲透せしめたるもの

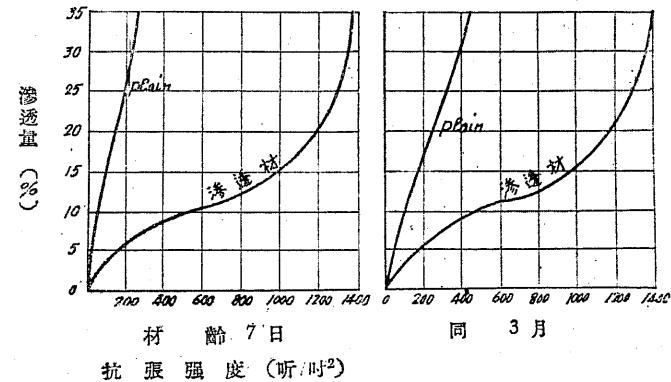
硫黄はコンクリートの混加剤でないがコンクリートに滲透せしむれば著しく強度を増進するものである。その應用工法が發達しないから廣く用ひられないが、プレキャスト (Precast) のものには便宜である。

硫黄は比重 2.00 コンクリートの滲透量は 10~25% 通常 13~18% である。之を 130~180°C に熔融したものにコンクリートを浸漬して行ふ。滲透は約深 6 mm/hour の速さである。

耐圧強度は著しく増進す。北カロライナ道路局の試験によれば硫黄處理せざるもの 117 kg/cm^2 のものが處理を行つて 540~680 平均 585 kg/cm^2 に増大した實驗がある。

熔融せる硫黄は凝固する際収縮し結晶して結合力を表し強度が増大するものである。第 99 圖の如し。

第 99 圖
硫黄滲透の影響



(3) 防水劑

防水性を與ふるは § 108 に述べたる如く密度を大に空隙を減ずるにある。

防水性コンクリート工法の混合法に I. O. Baker 法 W.K. Hatt 法、塗布法に

V. G. Hayne 法 Sylvester 法がある。是等は明礬と石鹼水とを混するものである。近年防水劑が多く造られたが是等は強度を減ずるもの多く未だ絶對的のものでない。防水劑は粉狀と液狀のものとなり、脂肪酸アルミを主成分とするものと珪酸分及鹽化カルシウムを混じたるもの若くは瀝青質のもの等あり、各種の專賣品名で供給されてゐる。

プレキャストのものにはその表面を粗糲のものとして之にアスファルトを注入するものあり岸壁護岸材として用ひらる。

第二十一章 特殊コンクリート

§ 111. 膠石 (Granite concrete, glanolithic concrete)

コンクリートが廣く鋪裝に用ひられしは米國及カナダに於て歐洲大戰及その後であつて、その配合は $1:1\frac{1}{2}:3$ を標準とする一層式鋪裝であつた。1923 年第四回國際道路會議に於ては此問題が廣く關心を集め、その後普及を促進したが、1926 年第五回會議に於ては、米國の工法が自動車交通を主とする場合に於て極めて有利なる結果を示すも鐵輪帶の重交通に對しては満足の結果を得ざる事を決議しその後之に對する試験研究の結果、鐵輪帶の重交通に對しては路面層の磨耗抵抗及強度の大なるものを要求し、砂抜きコンクリート所謂膠石又は花崗岩コンクリート、若くはヂュロミット、ルーベニット等の工法が有利なる結果を示すを知り 1930 年第六回會議に於て始めてセメント質で如何なる種類の交通にも適應する鋪裝を築造し得るを決議した。

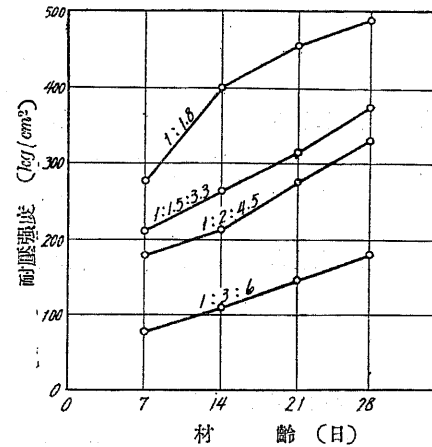
膠石はコンクリートがセメント、砂、砂利を用ふるに對しセメントと砂利又は碎石とを混合して造り、通常硬質粗骨材殊にソリヂテットに對して花崗岩碎石を用ふるから花崗岩コンクリートとも稱せられ、獨、佛、伊、英等歐洲諸國に鋪裝用として廣く用ひられてゐる。その配合は 1.5~3.0 のものを用ひ、最大密度說によりて配合され 1:1.8~2.0 が多い。

土木試験所で行つた試験結果は第 229~231 表第 100, 101 圖の如く、コンクリートに比し強度極めて大、磨耗量小である。

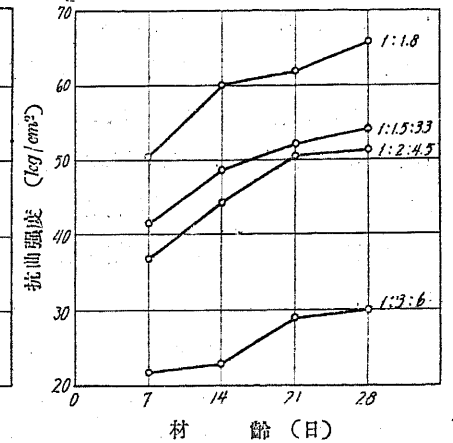
第 229 表

種別	配合比	水比	スランブ (cm)	耐壓強度 (kg/cm ²)				抗曲強度 (kg/cm ²)			
				7日	14日	21日	28日	7日	14日	21日	28日
膠石	1:1.8	0.43	2.5	279.8	401.5	454.1	489.9	50.7	60.2	61.9	65.1
コンクリート	1:1.5:3.3	0.63	1.2	208.7	263.7	317.3	374.6	41.4	48.4	52.3	54.2
同	1:2:4.5	0.75	1.2	178.8	213.3	273.7	332.3	36.8	44.5	50.6	51.3
同	1:3:6	1.10	0.6	76.4	108.9	146.1	182.7	21.8	23.0	29.5	30.0

第 100 圖



第 101 圖



第 230 表

種別	配合比	水比	スランブ (cm)	ラトラ磨耗量 (球形)	
				ラトラ磨耗量 (%) 材齡 21日	アムスラー磨耗量深 (mm) 1,000 R. 材齡 14日
膠石	1:1	0.40	3.0	15.1	—
	1:1.5	0.39	1.2	13.5	—
	1:1.8	0.43	2.5	13.4	8.9
	1:2	0.46	0.5	14.6	—
コンクリート	1:1:2.5	0.49	4.0	21.8	—
	1:1.2:2.5	0.66	4.0	24.2	—
	1:1.5:3.3	0.68	2.0	28.3	10.6
	1:2:4	0.75	1.2	36.2	9.6

第 231 表

膠石磨耗量、配合 1:1.8				
骨材寸法 (mm)	水比	スランブ (cm)	磨耗量 (%)	磨耗量深 (mm)
25.4~6.0	0.40	1.2	13.8	3.7

19.0~6.0	0.44	1.2	15.1	4.0
9.5~6.0	0.50	3.2	24.3	6.7

§ 112 軽量コンクリート

特に重量の軽きを必要とする部分に強度を犠牲として用ふるか若くは熱又は冷気の保存を必要とするか音響防止を必要とする所に用ふるものである。

その工法は種々あるがその性質は §107, 109 に述べたるが如くである。各国の工法の主なるものは次の如し。

(1) セルコンクリート (Cell Concrete)

Bayer の考案でコンクリートに泡状の気泡を生ぜしむるものでモルタルに気泡を有する溶液を混じて造る。極めて軽量のものはその空隙を容易に認め得る、比重 0.60~1.10 のものを造り得る。

瑞典に於てはモルタルに石礫溶液を噴射して造り比重 1.0~1.1 で木材に類し釘打を行ひ得る。

(2) 浮石コンクリート (Pumice Concrete)

浮石は比重 0.50~0.70 で之を用ひてコンクリートを造るものである。

獨逸の西部及中部地方で Zellen Beton と稱するは浮石又はコークスを用ひたる Porous Concrete である。

(3) 鋸屑コンクリート (Saw dust Concrete)

鋸屑は珪酸曹達溶液に入れた後用ふるもので 1:2 モルタルの強度をコロムビア大學で試験せるものは耐圧強度 7日 51 kg/cm^2 28日 76 kg/cm^2 吸水率は多く 17% であつた。

(4) エロクリート (Aerocrete)

之はシンダー、焼成粘土粉を用ふるものである、弾性係数は $106,000 \sim 141,000 \text{ kg/cm}^2$ である。

(5) 火山砂利コンクリート

本邦に於ては伊豆伊東三宅島等より産する火山砂利を用ひて軽量コンクリートを造る。

(6) 氷コンクリート (Ice Concrete)

芬蘭に行ふ工法でセメント砂利砂及氷を用ひてコンクリートを造るもので氷が融解した際にコンクリートとなるものである。

(7) 膨れコンクリート (Expanded Concrete)

化学的にアルカリ金属と水との溶液を混合の際用ふるもので比重 0.7 その保温能力を比較すればその 14 cm 厚のものは煉瓦 46 cm, モルタルの 85 cm, コンクリートの 100 cm と同等であると云はれてゐる。

§ 113 ヴァイブロリックコンクリート (Vibrolithic Concrete)

之は施工に特別の操作を行ふ工法で材料に特殊のものを用ふるものではない。主として舗装に用ふるものでその工法次の如し。

- a. 通常のコンクリートを路盤上に敷均しその上に清浄なる粗粒碎石を均厚に擴げ、更にその上に梯形の木材を配列す。
- b. 振動機 (Vibrator) を有する車輛を此木材上に運轉する、振動機は 700 呎の振動壓を毎分 1,500 回與ふるものを用ひ、之により粗粒碎石をコンクリート層に壓入せしめ、之を終れる後表面を平滑に仕上ぐるものである。

その強度は通常のものと比較すれば極めて大にして米國道路局試験は第 232 表の如し、之により舗装の厚を減ずるかセメント量を減ずる事が出来る。

第 232 表

配合	水比	抗張強度 (kg/cm^2)	
		通常 コンクリート	ヴァイブロリック コンクリート
1:1.5:3	0.72	51.0	64.6
1:2:3	0.82	43.3	—
1:2:3.5	0.86	43.7	55.3
1:2:4	0.90	42.0	52.8
1:2:4.5	0.95	—	47.5

第二十二章 製造法のコンクリートの性質に及ぼす影響

§ 114 混合法の影響

混合法のコンクリートの性質に及ぼす影響は極めて顯著にして施工に細心の注

意を加ふるは絶対に必要である。然れども之は石工學及施工法の部門であるから今材料學的に關して述べる。

(1) 機械練りの特質

手練りも完全に行へば豫定強度を得るは明であるが施工に注意を欠く場合は均一のもを得難く、之に對して機械練りは比較的均質のもを得易い、現場試験の結果を見るに手練強度は機械練り強度に比して7日に於て53% 28日で77% 6箇月で84% 1年で88% で材齡の進むに従ひ漸次近似する傾向あり。

(2) 混合時間の影響

通常のドラム型ミキサーはその廻轉周縁速度200呎/分で造らるゝもの多く之

を用ひて混合時間と生ずるコンクリート強度

との關係を15秒乃至10分間の廻轉に於て

測定せるものは第233表の如く、混合時間

を2倍にすれば強度は約10%宛増加す、

即1分間混合の強度よりも2分間混合せる

ものは強度10%大である、通常全材料をド

ラムに投入してより1分を標準と定むるもの

多い。

第233表

混合時間		強度(%)
0分	15秒	100
0	30	110
1	0	120
2	0	134
3	0	144
5	0	150
10	0	160

(3) イナnderター (Inundator)

コンクリートの均質を得る爲にはバッチミキサーを用ふる場合は毎バッチの材料配合比を一定に保つ爲に容積計量法を用ひずして重量法を用ふべきは近年の工法で推稱される所である。尙砂の含水量が日々變化し §39 にのべたる如く容積膨みを生じ配合化を一定に保ち難い爲にイナnderターを用ひ各バッチの材料量を一定に保つ工法をとるに至つた。

尙セメントペーストを先づ造りて之と骨材とを混するものに Ahler's Concrete strength regulator がある。

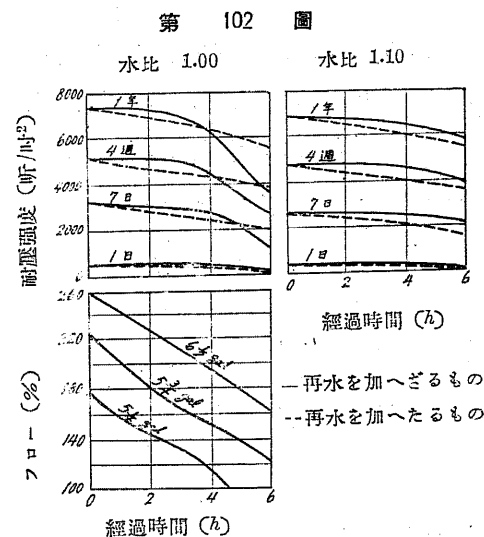
(4) 中央混合所 (Central mixing plant) よりの運搬

一船に中央混合所より運搬したものは距離 3~5 km 迄は強度増進する結果を

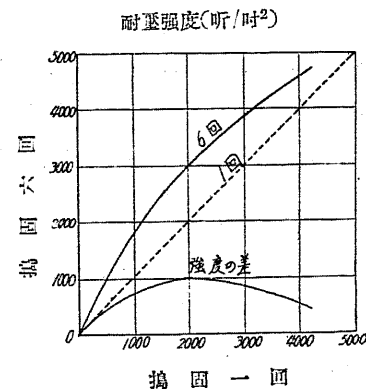
示してゐる。米國 Baltimore と Washington 間に於て行へるものは 6 km 以上に至り漸く強度減少の傾向あるも尙 2 km の部分のものより大であつた。

(5) 練返しの影響 (Retempering)

コンクリートは混合後時間が経過しセメントが凝結を始めたものは漸次ウラカビリティを失ひ之を用ひる際その結合を破壊し強度低下するから示方書に於て之を嚴禁して居り止むを得ざる場合更に水を加へてウラカビリティを與ふるも同時に強度低下する、米國 P. C. A. に於て試験せるものは第 102 圖の如し、水量少きもの程影響大で 4 時間後は殊に著しい。



第103圖



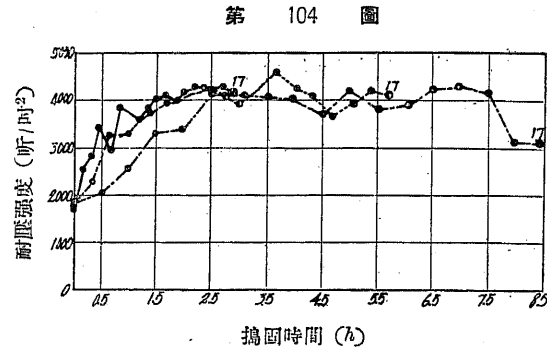
(6) 搦固め (Rodding)

搦固めにより強度を増進するは空隙を減する爲にして Giesecke が試験體製作に當り三層に 25 回搦けるものとその後更に 5 度之を繰り返せるものとの強度を測定したものは第 103 圖の如く搦固めの有効を示してゐる。

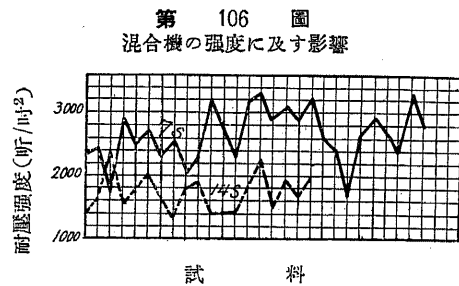
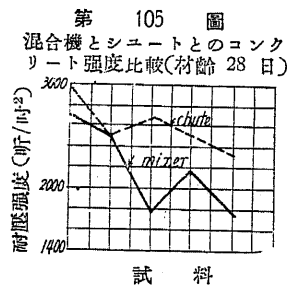
更に 20 回宛繼續して搦きたるものゝ強度を測定せるものは第 104 圖の如く、三箇の試験共に強度増進し 3 時間 30 分前後に於て最大強度を示せり。

(7) 現場試験

通常現場施工のコンクリート強度は季節により異り加奈太 Ontario に於ける結果は八月に於て殆ど豫定強度のものを得、十二月一月二月は之より強度劣るもその他の月は何れも豫定強度大なる結果を得た。



ミキサーより出づるコンクリートとホイストを昇りてシュートより出づるものとを比較すれば後者のものが幾分大である。之れは中央混合所に於ける試料と相當距離運搬せるものとを比較して後者が幾分大なると軌を一にし何れも混合に必要な水量が混合後減少したる爲の影響と考へらる第 105 圖の如し。



ミキサーの大きさの影響は明でないが同一現場に於て7切練りのものと14切練りのものを用ひたる場合の結果は第 106 圖の如く7切練りはスランプ $1\frac{1}{2}$ ~ 3 吋コンクリート、14切練りは同 4~8 吋コンクリートであるが7切練りのは強度の變化大にして幾分均一性を缺くものゝ様である。

(8) 監督の必要

合理的施工を行ふ爲に嚴重なる監督と嚴正なる罰則の必要は明で § 87 に述べたるが如し。而して監督の責任者が豊富なる経験及知識と卓越せる才幹とを有するは必須の條件である、同時に従事する人夫も経験と熟練とを有するは緊要であ

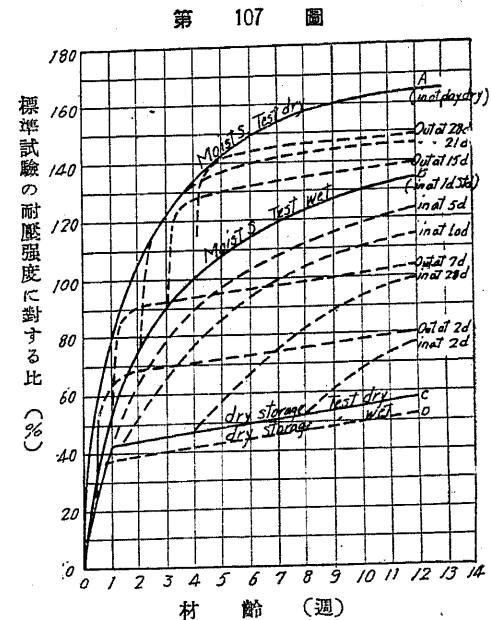
り殊に工夫長の位置は重視すべきものでその在と不在とは影響する所極めて大である。第 234 表は土工の場合の工夫長の職務の重要性を示すものであるがその現場に不在の場合は平均積量 21% 少く運搬速度も 21% 遅いのを見て如何に重視すべきかを知るべし。

第 234 表

作業	作業の所要時間		損失	
	工夫長が現場にある場合	同不在の場合	秒	%
土工ビル運搬(秒)	14.4	19.3	4.9	25
投捨及引き返し(秒)	17.3	20.6	3.3	16
積込引返し(秒)	14.0	18.8	4.8	26
積込(秒)	3.4	5.3	1.9	36
待間又は怠惰(秒)	18.0	46.0	28.0	61
計	67.1	111.0	42.9	39
平均積量 m ³	0.192	0.158	0.034	21
運搬速度 m/分	66.5	54.0	12.5	21

§ 115 養生法の影響 (Effects of Curing on Concrete)

セメントの凝結硬化は先に述べたる如く加水後24時間は $3CaO \cdot Al_2O_3$ 及 $5CaO \cdot 3Al_2O_3$ の加水作用に基く化學變化によりその後7日間は $3CaO \cdot SiO_2$ の作用に基き更に7日後は $2CaO \cdot SiO_2$ の作用に基き是等は水分と接觸する場合にのみ起るが故にコンクリート施工後その強度を充分に増進せしむる爲に養生が必要である同時 表面のみが急激なる乾燥を起し内部が之に伴はざる爲に生ずる龜裂を防ぐにも



絶対必要であり養生でなく養育である。

Herbert J. Gilkey が重量配合 1:2.5 水比 0.7 のモルタルで行つた試験は第 107 圖の如し。試験結果より得たる結論の要旨は次の如し。

- (1) コンクリート 施工後長く濕氣を保有させるだけ結果がよい養生7日後乾燥せるものは標準強度の 65~70% 同 14 日乾燥せるものは 80% に過ぎない。
- (2) 養生を中止して再び行つても強度の回復は充分でない。初期に乾燥すれば後に養生を行ふも永久の害を與へる。
- (3) 養生したものは試験を行ふ場合に乾燥すれば濕潤のものよりも強度が大である。
- (4) 養生は軟練りのものに殊に必要である。

養生法は従來幾多の方法あるが

Olemer と Fred Burggrof の行へる比較試験は第 108 圖の如し。

構造物の養生材料は之に適當なるものを選定すべきもコンクリート鋪裝の如き平面的のものは如何なる種類のものも用ひ得るが、その地方的氣象作用に對應して經濟的材料をとるべく原野の部分は芝草を刈りて用ひ、河岸では川砂を用ふべく田園地方は藁を便宜とすべく都市に於ては蓆、水不足の部分は瀝青材料をも用ひ熱帯地方は $CaCl_2$ を用ひ得べく而して是等の材料を如何に用ふるかの工法は氣象作用に對應せしむるの要がある。

第 108 圖

