

混凝土の合理的配合に就て……………(2)

本 論……………(1)

工 學 士 宮 原 涉

第一章 混凝土の合理的配合設計に就て

第一節 混凝土配合理論の概説

現今の混凝土配合理論の嚆矢とも見る可きものは、米國 (Chicago) の Lewis Institute 材料研究所の教授 D. A. Abrams 氏の提唱せし水セメント比説 (Water Cement Ratio Theory) で Abrams 教授は三個年間に亘り約五萬個の試験體を作つて實驗した結果、練上つた混練土が Plastic で Workable のものならば、其の混凝土の應壓強度は、骨材の粒の割合 (Grading) セメント骨材の配合比、及水量の三點に關しては、單に使用した水とセメントの量の比即ち水セメント比 (Water Cement ratio 以下之を $\frac{W}{C}$ を以て示す) に依つて判斷する事が出

來るといふ事を、1918年の米國 Portland Cement 協會の總會席上で發表したのである。

(Duff. A. Abrams : Design of Concrete mixture, Bull. Mat. Res. Lab Lewis Institute, Chicago 1918参照)

而して教授は、その關係を次の指數式で表はしてゐる。

$$S_n = \frac{A}{B \frac{W}{C}} \dots\dots(1)$$

茲に A = セメントの強度に關する常数 (Constant)

B = 養生中の溫度其他に關する常数

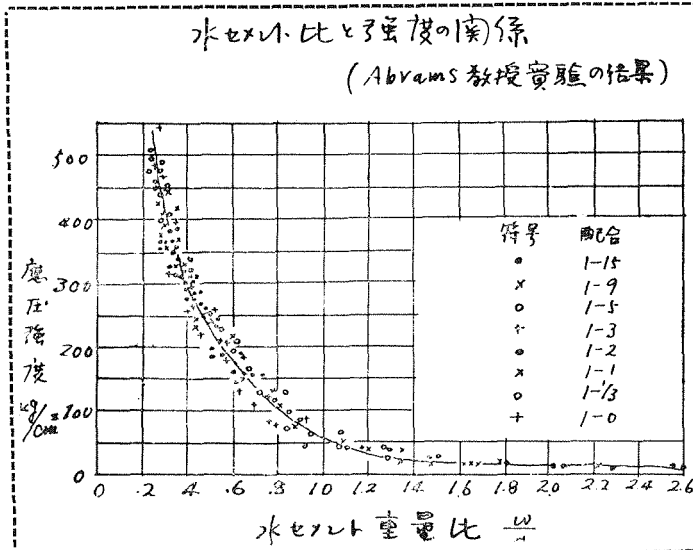
N = 材令 (日)

Abrams 教授の實驗に於ては

$S = 6' \times 12'$ 圓筒形試験體の濕砂中四週の應壓強度 (lbs/□")

$\frac{W}{C}$ = 水とセメントの容積比

第 一 圖

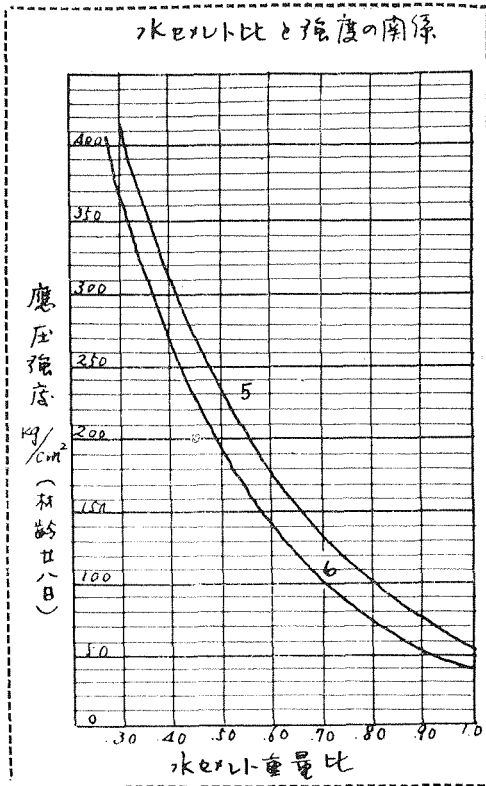


を使用して (1) 式中の A, B 常数値を求めて (2) 式を得てゐる。

$$S_{28} = \frac{14000}{7 \frac{W}{C}} \text{ lbs/□''} \dots\dots(2)$$

(2) 式は實驗室内で行はれたものに就いて求められたもので、普通工事場に於て製作される混凝土については B の値は (2) 式の 7 の代りに 9 を採るべきであると謂はれてゐる。

Abrams 教授の水セメント比は容積比に依るも、之を重



第二圖

量比にて表はし、且 Lbs/cu' を kg/cm² にて表はす時は、(2)式は次の如くなる。

$$S_{28} = \frac{984}{71.51 \frac{w}{c}} = \frac{984}{18.9 \frac{w}{c}} \text{ kg cm}^2 \quad (3)$$

第一圖は教授の實驗の結果を以上の如くにして、kg/cm² と重量比に換算して圖示したものである。尙此試驗に用ひられたセメントの應壓強度は 1:3 モルタルに於て次の通りであつた。

7日.....133 kg/cm²

28日.....224 kg/cm²

其後多くの人々によつて、殊に本邦産の材料を使用した實驗の結果を見れば、Plastic で Workable な混凝土にあつては、大體(1)式の如き關係式が成り立つ事が證明されてゐる。

(復興局技術試驗所報告第二部第七編、其他混凝土の強度試驗に關する報告参照)

然し元來此の指數式は計算が厄介であるので、吉田徳次郎博士は、此を使用しに便利な双曲線式に書き換へられた。即ち

$$S = \frac{A}{\frac{w}{c}} - B \dots\dots\dots(4)$$

茲に A 及び B は前と同様な常數で、上等の材料を用ひて、入念な施工をなす場合は

$$S = \frac{180}{\frac{w}{c}} - 120 \dots\dots\dots(5)$$

材料の性質施工に就いて不十分な點があると思はれる普通の場合は

$$S = \frac{160}{\frac{w}{c}} - 120 \dots\dots\dots(6)$$

(5)及(6)式を圖示したものが第二圖である。

(吉田徳次郎：鐵筋混凝土施工法参照)

何れにしても以上は、混凝土の應壓強度は、其の水量とセメント量との比によつて決まると考へるのであるが、然し此は混凝土が Plastic で workable である範圍に限られ、然らざる場合は前述の如く簡單に其の應壓強度を判斷することが出來ないと主張したのが米國 Illinois university の Arther N. Talbot 教授である。其は教授が1921年米國材料試驗協會の會合の席上で發表したもので、混凝土の應壓強度は水セメント比 (Water Cement ratio) の代りに、セメント空際比 (Cement Space ratio) を使用した方が實驗の結果によく一致するといふのである。

(Arther N. Talbot : The strength of Concrete its relation to the Cement Aggregate & water. Illinois Bulletin 137. 1923 参照)

即ち混凝土中のモルタル (Mortar) は粗粒骨材の空隙 (void) を填充し且その表面を覆ふに足る丈の量を有し、尙其のモルタルが最小容積になるに必要な丈の水量、即ち基準水量 (Basic water content) を使用したもの (此状態のものを標準調度 normal consistency といふ) であれば、其の混凝土の應壓強度は混凝土、

中の全空隙 (total void 此をvを以つて示す) と、セメントの絶體容積 (Absolute volume 此をcを以つて示す) の比即ち $\frac{v}{v+c}$ と一定の関係があることを Talbot 教授が實驗の結果證明したのである。

教授は $\frac{v}{c}$ の残りに其れを變形した $\frac{c}{v+c}$ といふものを用ひて、次の如き關係式を導いてゐる。

$$S_n = q \times P \left(\frac{c}{v+c} \right)^i \dots \dots (7)$$

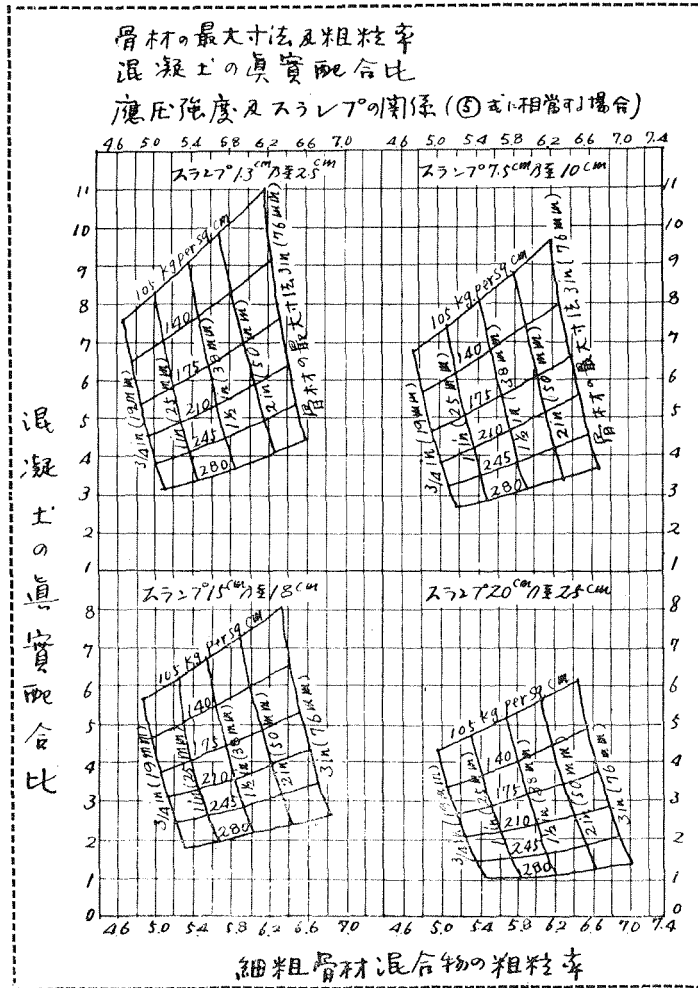
茲にS=前同様混凝土の強度 Lbs/□"

q=水量に關する常數

基準水量の場合はq=1.0.

p及i=材料の性質其他に關する常數

第 三 圖



c=混凝土單位容積内に含まるセメントの絶體容積

v=混凝土單位容積内に含まる全空隙 (水を含む)

教授の基準水量の混凝土につきて求めた常數の値を入れ、ば次の様になる

$$S_{28} = 32000 \left(\frac{c}{v+c} \right)^{2.5} \text{ lbs/□"} \dots (8)$$

上式の常數は使用する材料其他の條件が異れば變るのは當然であつて、本邦産の材料について行はれた實驗の結果は次の通りである。

水量比1.0及1.2の場合

$$S_{28} = 1783 \left(\frac{c}{v+c} \right)^{2.18} \text{ kg/cm}^2$$

水量比1.4の場合

$$S_{28} = 0.838 \times 1783 \left(\frac{c}{v+c} \right)^{2.18} \text{ kg/cm}^2$$

水量比1.6の場合

$$S_{28} = 0.729 \times 1783 \left(\frac{c}{v+c} \right)^{2.18} \text{ kg/cm}^2$$

茲に水量比とは前述の Normal consistency 場合の water content を 1.0 として其より x% 丈水量の増した場合 (此を Basic に對して Varied or Relative water content と云ふ) を $(1 + \frac{x}{100})$ の水量比をもつと云ふ。(復興局技術試驗所報告 第二部 第七編 参照) (7)の關係式は嘗つて Feret 氏がモルタルに就いて誘導した式と同形で、之を初めて混凝土に應用して實驗上から證明し得た譯である。

(I. O. Baker · A Treatise on Masonry Construction 参照) Talbot 教授の實驗の結果を見ると、基準水量の混凝土については、其の粗粒骨材とモルタルとの附着が十分で、混凝土は全體となつてゐれば殆んど力學上の法則に従つてモルタルの部分と粗粒骨材の部分たるを問はず、破壊してゐる

る。斯くの如き現象を現はすものとすれば材料の通有性である所の、密度の大なるもの程、強度も亦大なるといふ最大密度説もモルタルに、延いては混凝土に適用し得る譯である。

それで Talbot 教授は最も正しく混凝土の強度理論を解決した事になるので、其の意味に於て教授のセメント空隙比説は最も正しい混凝土の配合理論とされてゐるのであつて、前述の Abrams 教授の水セメント比説は此の説の特別な場合 (Special case) に過ぎない事となる。

然し乍ら $\frac{c}{v+c}$ なる値は、實際に當つては之を求める事が、かなり面倒であり又基準水量

以外のものについては一々之を修正しなければならぬので、Talbot 教授の説は學説としては、完全であるが、實際使用する場合には不便な事が多いのと、一面吾々が普通使用する混凝土は Plastic で workable である所から、むしろ水セメント比を用ひて配合を設計する方が使用に便であり又其で充分であると考へられる。

第二節 Abrams 教授の配合設計法の説明

此處に述んとする方法は混凝土の應壓強度は、水セメント比に依つて定まるものとし、欲する流動性に應じて、骨材の粗粒率 (fineness modulus) を用ひて配合を設計する方法である。

骨材の粗粒率とは骨材の最粗粒混合の割合 (grading) を示すものにして、其の求め方の詳細は前掲の「混凝土應壓強度試験に關する標準」大正十五年十月の中に骨材篩分試験標準方法として掲げられてゐる。即ち次に示すが如き九種の米國標準篩を以て骨材を篩ひ各篩の目よりも粗粒なるもの全體に對する重量百分率の總和の $\frac{1}{100}$ を以て其骨材の粗粒率とする。

米國標準

篩 番 號 1' 3/4' 3/8''

4 8 16 30 50 100

角孔ノ大サ (mm) 25.4 19.0 9.5

4.76 2.38 1.19 0.59 0.297 0.149

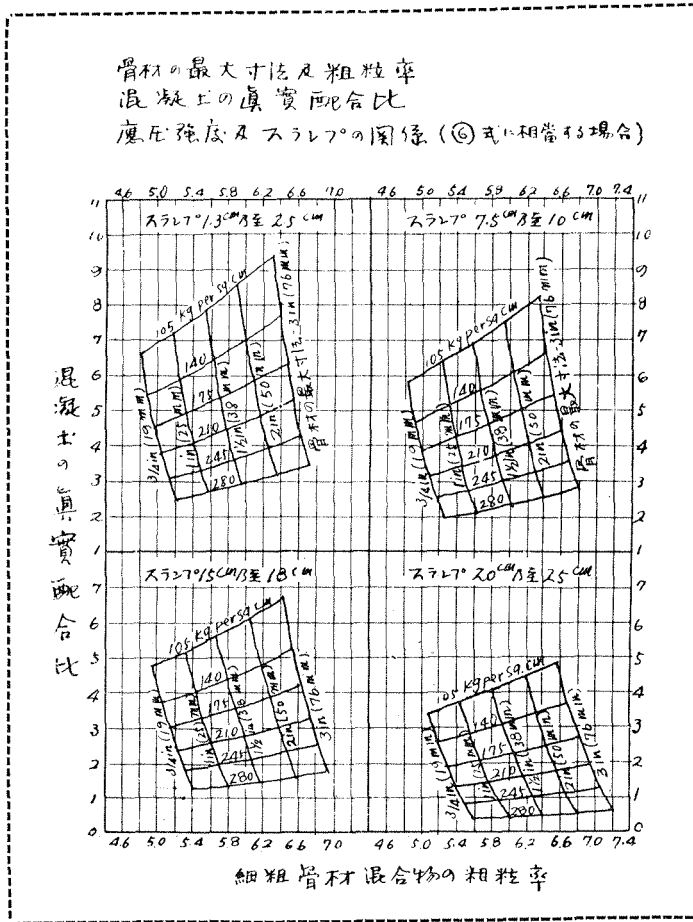
針金の直徑 (mm) 4.12 3.42 2.33

1.27 0.84 0.54 0.33 0.188 0.102

篩番號順

標準方法は角孔の大きさに於て 6~3%、針金の直徑に於て上下約 15~10% の誤差を許されてゐるので普通は次の Tayler's sieve を使用してゐる。

第 四 圖



篩 番 號	1''	3/4''	3/8''	4	8	14	28	48	100
角孔ノ大サ(mm)	26.67	19.0	9.423	4.699	2.362				
篩 番 號 順	1.168	0.589	0.295	0.147					
針 金ノ直徑(mm)	3.76	3.43	2.33	1.65	0.81	0.63			
篩 番 號 順	0.32	0.233	0.106						

(American standard specification for concrete & Reinforced Concrete, 1929. 参照)

今實例につきて之を説明すれば、

篩 番 號	角孔の 大 小 mm	相模川砂利		相模川砂	
		殘留量 gr	留 留 百分率 %	殘留量 gr	留 留 百分率 %
1''	25.4	0	0	0	0
3/4''	19.0	132.5	6.625	0	0
3/8''	9.5	1,082.0	54.1	0	0
4	4.76	1,907.0	95.35	2.0	0.4
8	2.38	1,960.5	98.025	37.0	7.4
16	1.19	1,980.5	99.025	120.5	24.1
30	0.590	1,995.5	99.725	243.0	48.6
50	0.297	2,000.	100.0	425.0	85.0
100	0.149	2,000.	100.0	487.0	97.4

$$\text{砂利の粗粒率} = \frac{6.625 \times 54.1 \times 95.35 \times 98.025 \times 99.025 \times 99.725 \times 100 \times 100}{100} \times \frac{1}{100} = 6.5285$$

$$\text{砂の粗粒率} = \frac{0.4 \times 7.4 \times 24.1 \times 48.6 \times 85.0 \times 97.4}{100} \times \frac{1}{100} = 2.629$$

混凝土が plastic で workable な範圍では、其の應壓強度は其水セメント比によつて判斷することが出来るが、其の流動性 (workability) は使用されたセメント糊狀體 (cement paste) の量、骨材の最大寸法及細粗粒混合の状態 (grading) によつて大いに異なることは明白である。故に欲する應壓強度の外に、欲する workability を有する混凝土を作るためには、水セメント比を一定に保つのみならず、骨材の最大寸法及び grading に應じて、欲する workability を得るに必要な丈の量のセメント糊狀體を使用しなければならない。與へられた細粗骨材について其の配合を適當にすれば欲する流動性を得る。ために使用するべきセメント糊狀體の量を少なからしめる事が出来、従つて最も經濟的な配合を求める事が出来る譯である。

Abrams 教授は實驗の結果 grading が略

uniformly に變化してゐる骨材を用ひ、plastic で workable で、其の應壓強度が水セメント比に依つて定まる様な混凝土にあつては、等しい粗粒率を有する細粗骨材混合物の一定量と同じ水セメント比のセメント糊狀體の一定量とを使用して作られた混凝土の應壓強度並びに流動性は相等しいものである事を證明してゐる。(Abrams: Design of concrete Mixture 参照)

そこで混凝土の經濟的配合の設計を爲すに便利な様に骨材の最大寸法及粗粒率、混凝土の眞實融合比 (Real mix) 應壓強度及流動性等の間の關係を一つの圖表にまとめ上げた第三圖及第四圖は即ち其である。

此處に骨材の最大寸法 (Max. size) とは其番号篩を通過し其次の番号篩に15%以上殘留するものを以つて示す。

又混凝土の眞實配合比とセメント容積に對して使用する細粗骨材混合物の容積を謂ふ。

第三圖又は第四圖から slump によつて示される一定の workability に對して欲する強度を示す曲線と、使用する骨材の最大寸法に應ずる曲線との交點を求むれば、其點の縱矩 (Ordinate) 及横矩 (Abseissa) によれば、求むる混凝土の有す可き眞實配合比と細粗骨材混合物の粗粒率 (m を以つて示す) の値を知ることが出来る。

骨材混合物の粗粒率 (m) が判れば與へられた細粗骨材各の粗粒率 (mf 及 mc) は實驗的に既知のものであるから、其等の混合物の粗粒率が先に求め得た m の値に等しくなる様に混合の割合を決めればよい。其の割合を求めるには、次式を用ふる。

$$r = \frac{mc - m}{mc - mf}$$

茲に r は細粒骨材の容積と混合骨材中の細粗各別に測つた容積の和との比を示すものである。従つて粗粒骨材の容積と、細粗骨材各の容積の和との比は (1-r) にて示されることとなる。(以下次號)