

# 論 說 報 告

第 24 卷 第 12 號 昭和 13 年 12 月

## リースの説と之に基くコンクリート配合の設計法

會 員 内 山 實\*

**要 旨** コンクリートの配合に關する理論としては、エブラムスの水セメント比説が今日餘りにも有名である。併し配合理論として本説を採用するときは、就中現場に於て、施工軟度を一定に保ちつゝ圧縮強度を自由自在に加減せんとする際、作業上相當の困難に逢着するものである。1932 年以來リース教授によつて提唱せられた一聯の学説並に其の配合設計法は、簡明且常識的で、其の適用に際しても、エブラムスの不便を完全に補つて餘りあるものである。

本文はリースの説を、當所實驗室に於て、本邦産のコンクリート諸材料を以て實驗的に検討し、更に本説に基くコンクリート配合の設計法其の他を、例を以て説明したものであつて、其の目的は第一に、リースの説を採用することにより、吾々のコンクリート配合に對する考へ方並に其の設計方法を再び簡明にして常識的なる領域にまで引戻し度いため、第二にはコンクリート圧縮強度の現場に於ける加減をより自由自在に且的確に行ひ得る様にし度いため、第三には時局に即応して、必要に応じ、コンクリート圧縮強度を容易に高め得る様にし度いため等である。

### 目 次

1. 緒 言	1293
2. リースの説と其の検討	1294
(1) 使用材料	1295
(2) 使用水量一定なるコンクリートの施工軟度に就て	1295
(3) 使用水量一定なるコンクリートの圧縮強度に就て	1297
3. リースの説とエブラムス説との關係	1299
4. コンクリート配合の設計法	1300
(1) 細粗骨材の配合比を決定する	1300
(2) 所要の施工軟度に応じて、必要なる使用水量を決定する	1301
(3) 所要強度に応じて、必要なる使用セメント量を決定する	1302
(4) 使用水量及使用セメント量を知つて、コンクリートの配合比を決定する	1304
5. 施工軟度を一定に保ちつゝ圧縮強度を加減する場合の處理	1305
6. 結 論	1306

### 1. 緒 言

コンクリートの配合に關する理論としては、エブラムスの水セメント比説が今日餘りにも有名であつて、コンクリートが plastic and workable なる範圍内に於ては、其の圧縮強度は水セメント比に依つて定まる、と云ふ感念は既にこゝ 10 數年に亙つて、コンクリート配合設計上の根幹をなしつゝある様だ。併しながら現状の如く、配合理論としてエブラムスの説を採用することは、之を詳細に考へてみると、實際問題として、決して結構なこととは云へない。即ち今現場に於て必要上コンクリートの圧縮強度を変化させ度いと思つたとき、先づ一般には水セメント比を変化させて此の目的を達せんとするのが定法であるが、斯くすると、必然的にコンクリートの施工軟

\* 鐵道技師 工学士 鐵道大臣官房研究所勤務

度が變つて來て、施工軟度の一定を保し難い。ところが、同一現場ではコンクリートの運搬、突固其の他の填充作業上、施工軟度は常に一定に保ち度いのが普通であるから、結局エブラムスの説に依る以上、現場でコンクリートの圧縮強度を隨時自由に加減することは勿論、時たま變化させることもなかなか容易な業ではないことになるのである。又、昨今は時局柄、鋼材節約の意味で、漸次無筋コンクリート構造物の進出を見る機運となり、之に關聯して、コンクリート圧縮強度を高めることに對する欲求も亦、相當熾烈なるものがある。今エブラムスの説に依つた場合、圧縮強度を高めるためには、水セメント比を小さくすること、即ち硬練コンクリートを使用して、其の高強度を發揮させることが直感的に考へられるのであるが、其のためにはコンクリート打に際し振動機を使用する等、其の填充作業に特別の考慮を拂ふことを餘儀なくされると云ふ不利が必然的に起つて來るのである。以上は極めて手近な、現場に於ける不便を擧げたに過ぎないのであるが、エブラムスの説を主幹とする配合設計法、特に其の經濟的的配合設計法等には、嚴密に云へば未だ二三の不利な點が含まれて居ると思ふ。

爾來コンクリートの配合に關しては、其の学説も極めて多く、エブラムスの説以後に於て發表されたものでも、既に相當數に昇つて居るのであるが、就中 1932 年以來米國 Lehigh 大学教授リース (Lyse) に依つて提唱せられた一聯の学説並に配合の新設計法は、簡明且常識的で、其の適用に際しても、エブラムスの不便を完全に補つて餘りあるものとして、廣く世の注目を集めたものである。

本文に於ては、順序として先づリースの説に就て記述し、之を當所實驗室に於て、本邦産のコンクリート諸材料を以て實驗的に検討し、次に本説とエブラムス説との關係を究明し、最後に本説に基づくコンクリート配合の設計法其の他を例を以て説明したのである。本文の目的は第一に、リースの説を採用することによつて、吾々のコンクリート配合に對する考へ方並に其の設計方法を、從來の水セメント比説を離れて、再び簡明にして常識的な領域に迄引戻し度いため、第二にはコンクリートの圧縮強度の加減がより自由自在に且、的確に現場に於て行はれ得る様にし度いため、第三には特に振動機等を使用して硬練コンクリートに依らなくとも、從來の軟練の儘で、只、使用セメント量を増すことに依り、極めて手軽に、相當程度までコンクリートの圧縮強度を高め得るものだと云ふことをはつきり認識して、時局に即応して、コンクリートの效用の萬善を期し度いため等である。昭和 13 年 5 月鐵道省第 10 回改良講演會に際し、東大教授吉田徳次郎博士は御講演「コンクリートの施工に就て」中に於て、最も推賞すべき配合設計法として、本リースの説に御言及あり、筆者も其の際本説の有する幾多の利點に、深く感銘した一人であつて、本實驗の動機は當に其處に存在する次第である。尙本文の全般に互り、與へられたる同博士の御懇切なる御指導に對して、茲に更めて深甚の謝意を表する次第である。

## 2. リースの説と其の検討

リースがコンクリートの施工軟度並に圧縮強度に關して提唱した学説は、Constant Water Content Theory 及 Cement Water Ratio Theory\* と稱せられるものであつて、更に之等に續いて、以上の 2 学説を根據とするコンクリート配合の新設計法\*\* を提案したのである。今、之等を要約すれば、使用セメント及骨材の品質が一定であるならば、コンクリートの施工軟度は、普通に使用されるコンクリートの範圍に於ては、配合の如何を問はず、使用水量に依つて決定せられ、其の圧縮強度は其の使用水量を一定にするとき、使用セメント量に依つて定まる、と

\* "Tests on Consistency and Strength of Concrete Having Constant Water Content," by Inge Lyse, Proceeding of the A. S. for T. M., Vol. 32, Part II, 1932.

"Cement-Water Ratio by Weight Proposed for Designing Concrete Mixes," E. N. R., Nov. 5, 1931.

\*\* "Simplifying Design and Control of Concrete Mixes," E. N. R., Feb. 13, 1932.

云ふのである。之は使用水量に依つてコンクリートの軟さが左右せられ、又、セメントは何處までもコンクリート中に於ける結合劑であつて、コンクリートの強度は、使用セメント量の多寡に依つて定まるのだと云ふ從來の吾々の常識に完全に順応したものであると云ふことが出来る。當實驗室に於て試みた實驗の結果に附隨して、リースの説を更に詳細に記述すれば以下の如くである。尙、本文に含まれた實驗は昭和 13 年 6 月 1 日より同年 8 月 10 日の間に行はれ、其の間に於ける實驗作業室内の温度は  $23^{\circ}\sim 19.5^{\circ}\text{C}$  であつた。

### (1) 使用材料

セメント：普通セメント、高炉セメント及早強セメントの 3 種類を取扱つた。其の規格試験の結果は表-1 である。

表-1. セメントの規格試験結果 (セメント試験室の温度  $26.5^{\circ}\text{C}$ )

セメントの種類	比重	粉末の程度 (残滓量)	凝 結		圧 縮 強 度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )		
			始 發	終 結	3 日	7 日	28 日
普通セメント	3.154	1.60%	2 時 20 分	3 時 45 分	485.5	564.8	633.8
高爐セメント	3.060	1.78%	3 時 05 分	4 時 10 分	341.5	434.7	592.7
早強セメント	3.163	2.28%	2 時 25 分	3 時 35 分	541.8	634.8	—

骨材：骨材は總べて多摩川産で、土木學會標準試験方法に依る品質試験の結果は表-2 である。

表-2. 骨材の品質試験結果

細 骨 材					
比 重	空 隙 率 (%)	粗 粒 率	洗試験に依り失はるゝ量 (%) (重量)	有機不純物試験	單位容積重量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
2.68	36.2	2.8	2.0	標準値以下	1709

粗 骨 材					
粗 骨 材 の 種 類	比 重	空 隙 率 (%)	粗 粒 率	最大寸法 (mm)	單位容積重量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
普通粗骨材	2.62	35.7	6.9	24	1682
特殊粒度に組成せる粗骨材 1	2.62	35.7	7.8	32	1685
特殊粒度に組成せる粗骨材 2	2.62	36.8	6.2	12	1655

細粗骨材の吸水量は試験の結果、夫々の重量の 1% とした。

水：東京市上水道水

### (2) 使用水量一定なるコンクリートの施工軟度に就て

今、使用水量 (コンクリート  $1\text{m}^3$  當り)  $165.9\text{kg}$  を一定とし、前項 1. に指示した細骨材及普通粗骨材を使用し、配合比 (容積)  $1:1\frac{1}{2}:3$ ,  $1:2:4$ ,  $1:2\frac{1}{2}:5$ , 及  $1:3:6$  の 4 種のコンクリートに就て、其の施工軟度を驗する意味に於て、土木學會標準試験方法に依りスランプ試験を行つた。尙、此の際前項 1. に指示せる 3 種の異なるセメントの場合を實驗した。本試験の結果は表-3 である。表-3 に依つて明らかなる如く、 $1:2:4$  乃至  $1:3:6$  程度の普通に使用されるコンクリートの範圍に於ては、前記リースの説は相當良く成立するものと云ふことが出来る。併し、 $1:1\frac{1}{2}:3$  程度の富配合になると、其の結果は餘り思はしくない。此の點に就ては、リースも既に之を認め、配合の如何を問はず、施工軟度が使用水量に依つて決定せられるのは、普通に使用されるコンクリー

トの範囲に於てであると明らかに断つて居る（スランブ試験は、特に温度及湿度の変化が渺ない地下室で之を行ひ、且毎回の試験所要時分を終始一定して、水分の蒸發量を共通とした）。

表-3. スランブ試験結果  
(使用水量一定、普通粗骨材を使用、セメントの種類異なる場合)

配 合 比	ス ラ ン ブ (cm) (3 回 平 均 値)		
	普通セメント	高 炉 セ メ ン ト	早 強 セ メ ン ト
1:1½:3	6.6	2.9	8.8
1:2:4	8.4	6.3	9.6
1:2½:5	8.4	8.8	10.4
1:3:6	8.9	8.5	8.5

次に使用水量（コンクリート 1m<sup>3</sup> 當り）165.9kg を一定とし、前項に指示せる普通セメント及細骨材を使用し、骨材品質の一半を変える意味で、粗骨材としては夫々前項に示した普通粗骨材、特殊粒度になる様に適宜組成せる粗骨材 1. 及 2. を有する 3 種のコンクリートに就て、スランブ試験を行つた。尙此の際 1:2:4, 1:2½:5 及 1:3:6 の 3 種の配合比に就て實驗した。本試験の結果は表-4 である。表-4 に依ると、骨材の形状及粒度はコンクリートの施工軟度に非常に影響を與へることが解る。

表-4. スランブ試験結果  
(使用水量一定、普通セメント使用、粗骨材の異なる場合)

粗 骨 材 の 種 類				ス ラ ン ブ (cm) (5 回 平 均 値)		
記 號	粗 粒 率	最大寸法 (mm)	1:2:4	1:2½:5	1:3:6	
普通粗骨材	6.9	24	8.0	8.5	8.5	
特殊粒度に組成せる粗骨材 1.	7.8	32	16.1	15.6	13.4	
特殊粒度に組成せる粗骨材 2.	6.2	12	1.2	1.2	0.8	

以上の結果に對し、リースの結論するところは次の 4 項目である。即ち

(a) 使用水量一定なるコンクリートの施工軟度は、骨材の形状及粒度、セメントの種類が一定である限り、普通に使用されるコンクリートの範囲に於ては、配合の如何に關せず常に略々一定である。

(b) セメント種類の如何は、コンクリートの施工軟度に幾分の影響を與へる。

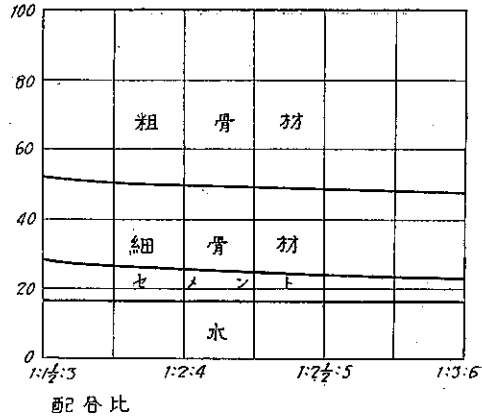
(c) コンクリートに所要の軟さを與へるための必要水量は、細粗骨材の形状及粒度に依つて、著しい差異がある。

使用材料の品質が一定である場合、使用水量さへ一定にすれば、施工軟度は配合の貧富に殆んど關係なく一定になると云ふのが、リースの所謂 Constant Water Content Theory であつて、此の理論は表-3 及 表-4 の結果から、大体是認することが出来るのである。此の事實の成立する理由は、推察するに、一般に使用水量を一定とする場合、富配合では、セメント糊は濃くなり幾分流動性を減ずるが、一方セメント糊の量が大きいから此の低減を補ふことになり、逆に貧配合の場合は、糊は薄くなつて幾分流動性を増すが、糊量が渺ないため此の増加が打消されることになるからであつて、結局使用水量一定なコンクリートでは、其の施工軟度は大体一定になるものと思はれる。

上記の如く使用セメント、細粗骨材及其の施工軟度が一定なコンクリートに於ては、使用水量が略々一定であるから、其の 1m<sup>3</sup> 中に含有せられる水量も一定であると云ふことが出来る。従つて、又該コンクリート 1m<sup>3</sup> 中に含

まれる固体の絶対容積の総和も一定でなければならない。表-3 の実験結果に於て、普通セメントを使用した場合、4種のコンクリート中に含まれて居る各種材料の絶対容積を百分率を以て図示すれば、図-1の如くであつて、固体の絶対容積の総和は、常に一定であることを示して居る。従つて今、施工軟度を一定に保ちつゝ配合をより良くし度い場合には、追加セメントの絶対容積に等しいだけの骨材混合物を減じてやらねばならない。普通セメント及細粗骨材混合物の比重は、夫々大体 3.12 及 2.65 と見做し得るから、使用セメント量 1kg の増加に對しては、 $2.65/3.12 \div 0.85$  kg の骨材を低減してやる必要があり、斯くして始めて施工軟度を一定に保ちつゝ配合の貧富を加減出来ることになる。此の點に關するリースの結論は、

図-1. コンクリート 1m<sup>3</sup> 中に於ける各材料の絶対容積 (%)



(d) 施工軟度を一定に保ちつゝ配合を変更せんとする場合

には、先づコンクリート 1m<sup>3</sup> 當りの使用水量及使用材料の品質を一定に保ち、今、假りに使用セメント量を減ずる場合ならば、減ぜらるべきセメント重量の 0.85 倍だけの細粗骨材混合物を増し、逆にセメントを増す場合ならば上記 0.85 倍だけの骨材混合物を減じてやる必要がある。

(3) 使用水量一定なるコンクリートの圧縮強度に就て

前項表-3 に示せる各種コンクリートに就て、材齢 28 日に於ける圧縮強度試験を行つた結果は表-5 の如くである (圧縮強度試験は土木學會標準試験方法に依り、供試体寸法は 15 cm × 30 cm の円筒、気温 18°C の恒温恒濕噴霧養生室にて養生した)。

表-5. 各種コンクリートの圧縮試験結果

配合比 (容積)	圧縮強度 (材齢 28 日) (kg/cm <sup>2</sup> )					
	普通セメント		高炉セメント		早強セメント	
	各回値	平均値	各回値	平均値	各回値	平均値
1:1 1/2:3	402.55	405.2	280.12	283.0	454.98	442.5
	395.56		277.29		438.01	
	417.63		291.44		484.61	
1:2:4	257.48	253.0	178.26	180.3	331.05	336.1
	251.83		186.75		341.80	
	249.56		175.99		335.58	
1:2 1/2:5	167.51	158.5	101.86	100.8	200.33	199.2
	149.96		103.28		199.76	
	157.89		97.33		197.50	
1:3:6	71.87	89.0	63.38	59.0	145.44	134.7
	95.64		58.85		132.42	
	99.60		54.89		126.20	

上記各種コンクリートの 1m<sup>3</sup> 當りの使用水量、使用セメント量及セメント水重量比 (c/w) を計算すれば、表-6 の如くである。

表-6.

	配 合 比			
	1:1½:3	1:2:4	1:2½:5	1:3:6
1m <sup>3</sup> 當り使用水量 (kg)	165.9	165.9	165.9	165.9
1m <sup>3</sup> 當り使用セメント量 (kg)	370.4	288.1	235.7	199.6
セメント水比 (重量)	2.23	1.74	1.42	1.20

表-6 の結果から、各種コンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係を図示すれば図-2 となる。本図に於ては、横軸にセメント水比(重量)を採り、縦軸には圧縮強度を採つたのであつて、何れのセメントを使用した場合にも、セメント水比と圧縮強度との間には、略々直線的関係の存在することを示して居る。以上の事實に對しリースは次の如く結論して居る。

(a) 使用セメント種類の如何に係らず、コンクリートの圧縮強度はセメント水比に正比例して増大する。

(b) 結局セメントはコンクリート中に於ける結合剤であつて、セメント粒子がコンクリートに施工軟度及結合力を與へるに必要な

最小量以上に存在する場合は、コンクリートの圧縮強度は、単位使用水量中に含有されるセメント粒子量の増加に正比例して、増大するものである。

(c) 使用セメントの種類に依つて、コンクリートの圧縮強度とセメント水比との間の直線関係は、夫々獨自なものとなる。

図-2 の直線関係は一般に

$$\sigma_c = A + B \frac{c}{w} \dots \dots \dots (1)$$

の形で表される。茲に

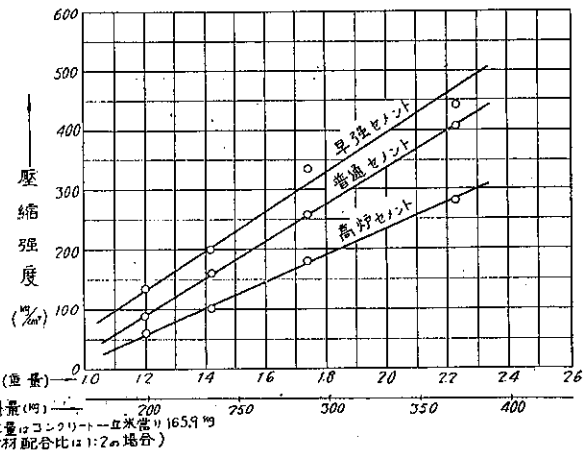
$\sigma_c$ : コンクリートの圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

A, B: 使用材料及実験上の諸條件から決定される常數

c/w: セメント水比 (重量)

エブラムスの説に於ける水セメント比と圧縮強度との関係は一般に logarithmic curve となり、現場に於て其の實際使用材料に就て之を制定することは、曲線の性質上容易でない。併しリースの説が如く、セメント糊の品質を表す因子として、セメント水比を採用すれば、其の圧縮強度との間の関係は、上記の如く極めて簡単な直線関係

図-2. セメント水比 (重量) と圧縮強度との關係



となるものである。従つて其の現場に於ける制定も容易であつて、最も手数を省きやすい場合、異なるセメント水比を有する只 2 種類のコンクリートに就て、其の確實なる圧縮強度（実験値）を知ることが出来れば、此の 2 點を直線で連結することに依り、其の現場個有のセメント水比と圧縮強度との關係を制定することが出来る。

施工軟度一定なるコンクリート換言すれば、使用水量一定なるコンクリートに對しては、(1) 式に於て  $w$  が常數になるから、其の圧縮強度は次式で示される。

$$\sigma_c = A + \frac{B}{w} c = A + Kc \dots\dots\dots(2)$$

本式は、一般に現場に於てそうである如く、施工軟度一定のコンクリートに於ては、其の圧縮強度は直接使用セメント量に正比例することを示して居る。従つて図-2 に於て、横軸に  $1m^3$  當りの使用セメント量を探れば、直線は直ちに使用セメント量と圧縮強度との間の關係を現はすことになり、所要強度に応じて、使用セメント量を加減するのに非常に便利なものとなる。又、本直線を使用することに依り、延いては圧縮強度とコンクリート單價との關係を明瞭にすることが出来るから、コンクリート構造物の經濟的設計に對し、資するところも甚だ多いと思ふ。

### 3. リースの説とエブラムス説との關係

今リースの説とエブラムスの説との關係を闡明するために、使用材料の同一なる 1:2:4 ( $w/c=60\%$  重量) 及 1:3:4 ( $w/c=80\%$ ) の 2 種類のコンクリートを考へる。兩種コンクリートの施工軟度が相等しく、其の圧縮強度が夫々  $180 \text{ kg/cm}^2$  及  $135 \text{ kg/cm}^2$  であつた場合、エブラムスは此の強度の開きは水セメント比の差異に依るものだと説明するであらう。併しリースの説に依つて之を解釋すれば、兩種のコンクリートは施工軟度が等しいのであるから、其の含有して居る水量は相等しいと見做すことが出来、従つて上記の強度の開きは、兩者に於けるセメント含有量の差異に依るものと断定することになる。之は全く使用材料及使用水量が一定であるならば、**コンクリートの施工軟度は、普遍に使用されるコンクリートの範圍に於ては、配合の如何に關せず、常に略々一定となる、**と云ふ新事實の發見に依つて始めて可能なる解釋であつて、明らかに後者のがより常識的で、肯定し易いと思ふ。

リースにしるエブラムスにしる、其の歸結するところは同じではあるが、エブラムスに依る水セメント比中心主義の説明よりは、リースの説に依る方が**セメントはコンクリート中に於ける結合剤である、**と云ふ吾々の本來の常識を生かしつゝ説明することが出来るから、此の點リースの方に一步の長があるものと思ふのである。

エブラムスの説が、今日の如く斯くも廣くコンクリート技術界を風靡したのは、コンクリートの合理的施工の黎明期に於て、水セメント比と云ふ極めて單一な因子を取上げた卓拔さに依るものと思ふ。併しながら、エブラムスが一般コンクリートの間に成立する水セメント比と圧縮強度との關係を特に摘出し、之を餘りにも強調しすぎたことは、**セメントは何處までもコンクリート中に於ける結合剤であつて、コンクリートの強度はセメントの使用量に依つて、左右せられるのだ、**と云ふ本來の常識を隠蔽し去つて、使用水量さへ小さくすれば、強度はいくらでも向上させることが出来、又強度の上昇を計る方法は、水セメント比を小さくすること以外にないかの如き錯誤を起させ延いては使用水量を低減さすことに、異常の注意を喚起した傾向のあるのは頗る遺憾とするところである。

尙、エブラムスの説いた水セメント比と圧縮強度との關係曲線 (logarithmic curve) は、幸ひにもリースの説くセメント水比と圧縮強度との關係に轉換することが出来る。図-3 は、爾來諸先輩に依つて實驗的に制定せられた水セメント比と圧縮強度との關係であるが、之をセメント水比を因子とする様に轉換すれば、図-4 の如くになり、何れの場合も大体直線的傾向を示す。此の事實はリースの説の眞實性に對する極めて有力なる證左であると考へ

ることが出来、又新しくして得られた直線関係は、セメント水比と圧縮強度との関係の概略値を與へるものとして現場で使用して差支へないものである。

図-3. 水セメント比と圧縮強度との関係

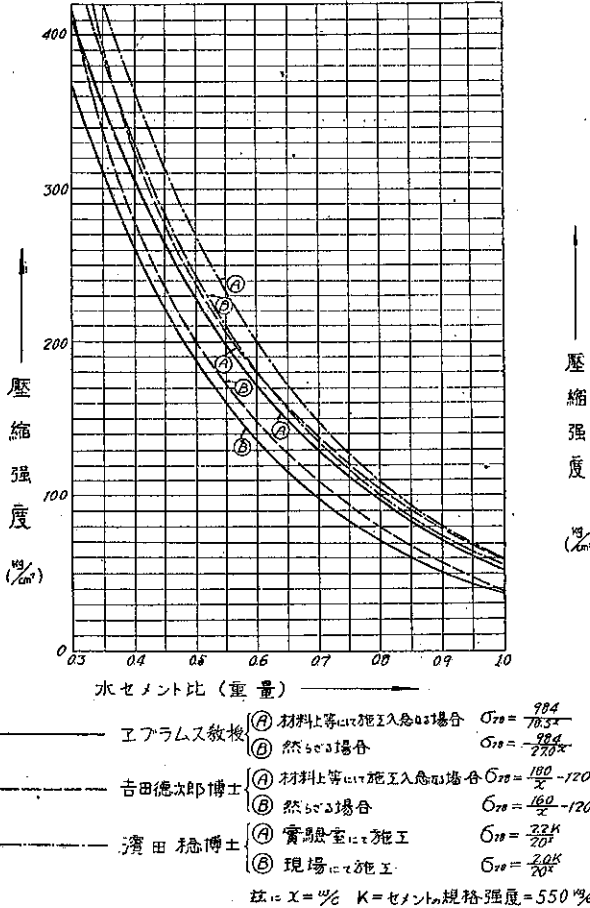
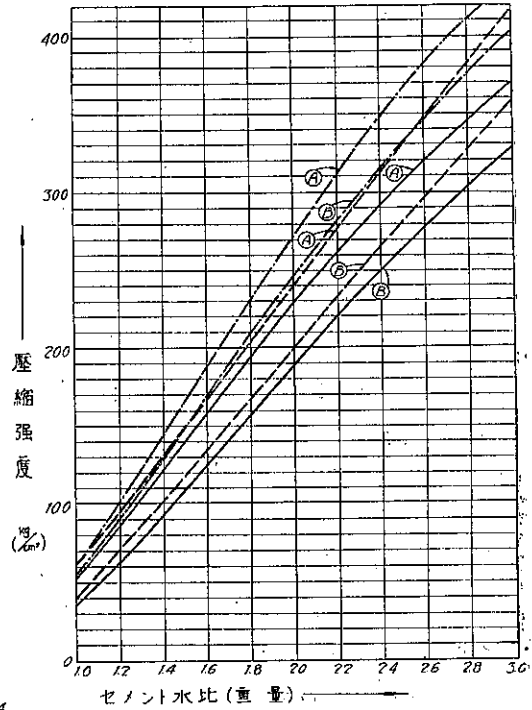


図-4. セメント水比と圧縮強度との関係



#### 4. コンクリート配合の設計法

リースの説に依つて、與へられた諸材料に對し、所要の施工軟度並に圧縮強度を有するコンクリートの配合を設計するには、如何にすべきかを説明すると、次の如き階程に依るのである。即ち

- (1) 細粗骨材の配合比を決定する。
  - (2) 所要の施工軟度に応じて、必要なる使用水量 (コンクリート 1m<sup>3</sup> 當り) を決定する。
  - (3) 所要強度に応じて、必要なる使用セメント量 (コンクリート 1m<sup>3</sup> 當り) を決定する。
  - (4) 使用水量及使用セメント量を知つて、コンクリートの配合比を決定する。
- (1) 細粗骨材の配合比を決定する

細粗骨材の配合比に關しては、リースは別に何等言及して居ないのであるが、之はやはり骨材混合物が最大密度になる様に決定するのが、至當な方法であると考へる。最大密度の配合比は、實際其の現場で使用する骨材に就て



實驗的に決定するのが最も良い。

今、一例として、表-2 に示せる細骨材及粗骨材（表-2 粗骨材の欄中普通粗骨材と命名せるもの）並に普通セメントを使用して、施工軟度としてスランプ 10cm を有し、材齡 28 日に於ける所要圧縮強度が、夫々 300, 240 及 180kg/cm<sup>2</sup> を有する 3 種のコンクリートの配合比を、以下各階程を経て設計して見る。

先づ順序として、細粗骨材の配合比を、最大密度になる様に實驗的に決定して見る。即ち骨材配合比（容積）を 1:0.7 から 1:3.0 まで変化させ、それ等骨材混合物の單位容積重量を、標準方法に依り測定した。其の結果は表-7 であつて、單位容積重量が最大なる配合比が、最大密度を與ふるものと考へられるから、所要配合比は 1:1.4 である。

尙、本結果を確かめる意味に於て、上記各種配合比の收縮係数を次式によつて計算して見ると表-7 の如くになりやはり 1:1.4 が最大密度を與へることが解る。

$$S = \frac{r w_f + (1-r) w_c}{w_m} \dots\dots\dots (3)$$

- 茲に S: 收縮係數
- w<sub>f</sub>: 細骨材の單位容積重量 (kg)
- w<sub>c</sub>: 粗骨材の單位容積重量 (kg)
- w<sub>m</sub>: 細粗骨材混合物の單位容積重量 (kg)
- r:  $\frac{\text{細骨材の容積}}{\text{細骨材の容積} + \text{粗骨材の容積}}$

表-7.

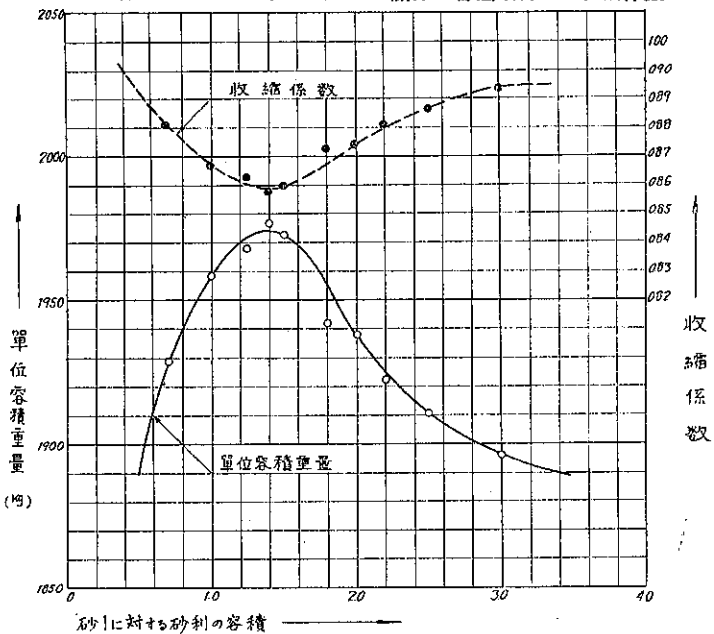
配合比(容積)	1:0.7	1:1	1:1.25	1:1.4	1:1.5	1:1.8	1:2	1:2.2	1:2.5	1:3
單位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )(3回平均値)	1928.7	1958.0	1967.7	1976.6	1972.5	1941.3	1938.0	1922.0	1910.3	1895.7
收 縮 係 數	0.881	0.866	0.862	0.857	0.859	0.872	0.873	0.880	0.885	0.892

表-7 の結果を図示すれば図-5 となる。

(2) 所要の施工軟度に応じて、必要なる使用水量（コンクリート 1m<sup>3</sup> 當り）を決定する。

リースの説に依ると、使用コンクリート諸材料が一定であるならば、コンクリートの施工軟度は、普通に使用されるコンクリートの範圍に於ては、使用水量に依つて定まると云ふのであるから、前項細粗骨材配合比の決定に繼いで、所要の施工軟度に応ずる様に、使用水量を決定する必要がある。之は勿論現場の諸材料を使用し、スランプ試験の結果決定すべきであるが、茲に幸ひなことに、リースに依れば、使

図-5. 骨材配合比(容積)と重量との關係及各種配合比の收縮係數



用材料及使用水量を一定にすれば、普通に使用されるコンクリートの範囲に於ては、配合の如何に關せず、コンクリートの施工軟度が略々一定になると云ふのであるから、使用水量の決定に際しては、全く任意の一配合比を選定して、之を對象とすれば良いことになり、作業が非常に簡単になる。即ち現場の骨材及セメントを使用することを原則とし、任意の一配合比に就て、其の使用水量を數種に変え、夫々のスランプを測定して、其の中から所要スランプの場合の使用水量を決定すれば良いのである。但し本使用水量の決定に際しては、濕砂を使用する場合は其の含水量を、乾燥砂の場合には、其の吸水量を考慮に入れることを忘れてはならない。

前項設計例に於て、最大密度の骨材配合比 1:1.4 が決定したから、次に所要スランプ 10 cm になる様な使用水量を決定して見る。今、任意の配合比 1:2.5:3.6 を採り之に使用水量 (コンクリート 1m<sup>3</sup> 當り) として 156.9~179.8kg を與へた場合のスランプを測定した。其の結果は表-8 である。

図-6. 使用水量とスランプとの關係図

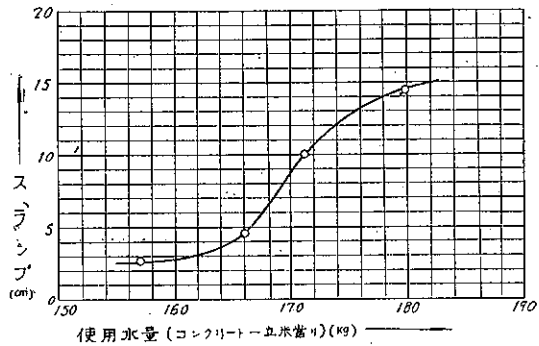


表-8.

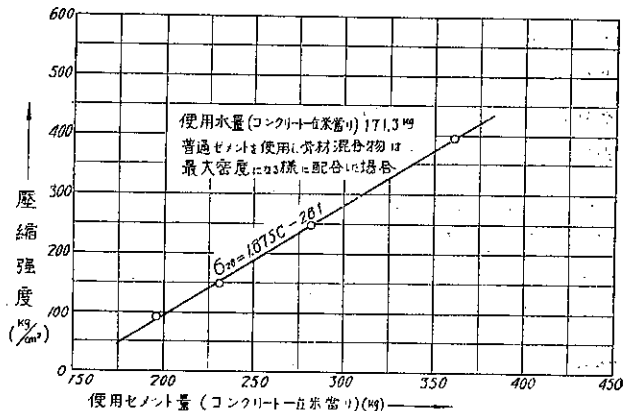
配合比 (容 積)	ス ラ ン プ (cm) (平均値)			
	使用水量 156.9 kg	使用水量 165.9 kg	使用水量 171.3 kg	使用水量 179.8 kg
1:2.5:3.6	2.7	4.5	10.0	14.5

表-8 の結果を図示すれば、図-6 となり、スランプと使用水量との間の關係曲線が得られる。本例に於ては所要スランプが 10 cm であるから、必要なる使用水量は此の際 171.3 kg である。

(3) 所要強度に応じて、必要なる使用セメント量 (コンクリート 1m<sup>3</sup> 當り) を決定する。

所要強度に応じて、必要なる使用セメント量を決定するには、既に發表せられて居る水セメント比と圧縮強度との關係 (例へば図-3)、若くはセメント水比と圧縮強度との關係 (例へば図-4) を使用し、所要強度に応じての水セメント比、若くはセメント水比を決定すれば、此の際使用水量が既知であるから、之から使用セメント量の概略値を算定することが出来る。上記の便法に依つても、大なる誤差はないものと思ふが、併し嚴密に云へば コンクリートの圧縮強度は使用諸材料に依つて、自ら變化するものであるから、出來ればリースの説くが如く、實際の使用材料に就て、制定極めて容易であるセメント水比と圧縮強度との關係若くは使用水量一定なときの使用セメント量と圧縮強度との關係を、豫め作つて置けば、各種の圧縮強度に對するセメント水比、若くは使用セメント量の極めて的確なる値を決定することが出来る。

図-7. 使用セメント量と圧縮強度との關係



今、前項の設計例に依り、使用水量 171.3 kg を一定とし、使用セメント量の異なる 4 種の配合比を選定し、其の材齢 28 日に於ける圧縮強度を驗するに其の結果は表-9 となり、本結果より吾々はスラップ 10cm の場合に於ける使用セメント量と圧縮強度との關係を制定することが出来る (図-7 参照)。

表-9.

配合比 (容積)	使用セメント量 (kg)	圧縮強度 (材齢 28 日) (kg/cm <sup>2</sup> )	
		各 回 値	平 均 値
1 : 1.9 : 2.7	360.8	388.77 404.05 390.47	394.4
1 : 2.5 : 3.6	281.9	233.15 257.48 250.13	246.9
1 : 3.2 : 4.4	231.2	143.17 156.75 145.44	148.5
1 : 3.8 : 5.3	195.9	90.54 91.68 94.51	92.2

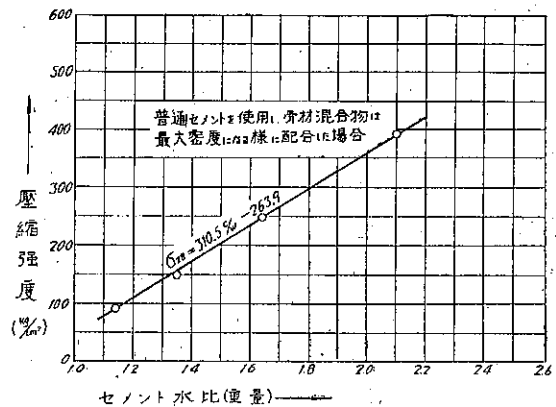
本場合に於ては、4 種の配合比を選んで図-7 を制定したのであるが、現場に於て最も簡便に之を制定し度いときは、最小限度 2 種の配合比を選び、其の確實なる圧縮強度を驗すれば、本直線が得られる理である。

前項の設計例に於ては、所要圧縮強度は 300, 240 及 180 kg/cm<sup>2</sup> の 3 種であるから、図-7 に依り使用セメント量は夫々 310kg, 277kg 及 246kg と決定される (因みに「土木學會鉄筋コンクリート標準示方書」に於ては鉄筋コンクリート用としてはセメントの最小使用量は、1m<sup>3</sup> 當り 300kg と指定して居る)。

尙、図-7 は使用水量 171.3 kg の場合であつて、本結果から更に圧縮強度とセメント水比との關係を誘導すれば、図-8 となる。

図-8 の如くセメント水比と圧縮強度との關係を出して置けば、今度は現場の都合でスラップを幾分変へるために使用水量を多少変化させた場合、其の使用水量時に於ける使用セメント量と圧縮強度との關係が直ちに制定出来るから便利である。即ち図-8 の横軸のセメント水比の値に、使用水量の數値を乗ずれば、横軸は使用セメント量を表すことになり、本直線は其の儘、使用セメント量と圧縮強度との關係となるのである。

図-8. セメント水比と圧縮強度との關係



茲で特に附言して置きたいことは、本実験に於ては比較的新鮮なるセメントを使用し、骨材としてセメント糊を最も有効に使用する意味で、特に最大密度の配合比を採用し、又 18°C の恒温恒湿（湿度 100%）養生室に於て、其の養生に萬全を期して居る關係上、本結果は一般現場のコンクリートに期待し得るよりも、幾分高い強度を與へて居るだらうと想像される點である。即ち現場コンクリートの圧縮強度は、本実験室的結果よりは、總體的に約一割乃至二割の低減は免れないものと思はれる。

(4) 使用水量及使用セメント量を知つて、コンクリートの配合比を決定する。

コンクリート 1m<sup>3</sup> 當りの使用水量及使用セメント量が決定したならば、其の配合比を決定するのであるが、其の計算方法を擧げれば次の如くである。

第 1 法： 1m<sup>3</sup> のコンクリートは、其のために使用された各種材料、即ち水、セメント及骨材の絶対容積の總和と考へることが出来るから、

$$1 = \left( \frac{W_w}{1000} \right) + \left( \frac{c}{w} \cdot \frac{W_w}{1000 \times 3.12} \right) + \left( \frac{W_{ag}}{1000 \times 2.65} \right) \dots \dots \dots (4)$$

である。茲に  $W_w$  : 使用水量 (kg)

3.12 : セメントの比重 (一般平均値)

2.65 : 骨材の比重 (一般平均値)

$W_{ag}$  : 使用骨材の重量 (kg)

$c/w$  : セメント水比 (重量)

今、使用水量  $W_w$  及セメント水  $c/w$  が既知なる場合には、之等を (4) 式に代入して、使用すべき骨材の重量  $W_{ag}$  を算定することが出来る。尙、一般にさうである様に、使用水量  $W_w$  とセメント使用量  $W_c$  が既知である場合には、次式に依つて同様に骨材使用量  $W_{ag}$  を算定することが出来ることになる。即ち

$$1 = \left( \frac{W_w}{1000} \right) + \left( \frac{W_c}{1000 \times 3.12} \right) + \left( \frac{W_{ag}}{1000 \times 2.65} \right) \dots \dots \dots (5)$$

茲に  $W_c$  : 使用セメント量 (kg)

前項の設計例に於て、所要強度 240 kg/cm<sup>2</sup> の場合、即ち  $W_w=171.3$  kg,  $W_c=277$  kg の場合に就て使用骨材の重量を算出して見れば 即ち (5) 式より  $1=0.1713+0.0887+W_{ag}/2650$  故に  $W_{ag}=1961$  kg と決定される。細粗骨材混合物の単位容積重量は 1973.5 kg/m<sup>3</sup> (図-5 参照) であるから、使用すべき骨材の容積は  $1961.0/1973.5=0.9936$  m<sup>3</sup> であつて、之を細粗骨材に分ければ、最大密度の配合比が 1 : 1.4 であり、其の時の収縮係数は 0.857 (図-5 参照) であるから、其の配合 (容積) 比は  $(0.9936/0.857) \times 1/2.4 = 0.9936/0.857 \times 1.4/2.4 = 0.483 : 0.676$  となり、結局コンクリート 1m<sup>3</sup> 當りの使用材料は使用水量 171.3 kg, 使用セメント量 277 kg 細骨材 0.483 m<sup>3</sup>, 粗骨材 0.676 m<sup>3</sup> となる。此の配合比を基礎として、所定コンクリート構造物に要する諸材料の全數量、若くはミキサに投入すべき各バッチの數量等を算定することが出来る (勿論ミキサに投入すべき各材料の數量は、上記配合比から更に現場配合比を制定し、之に依つて決定すべきものである)。

尙、上記の配合比を書き直せば、

$$(277/1500) : 0.483 : 0.676 = 0.185 : 0.483 : 0.676 = 1 : 2.6 : 3.7 \text{ となる。}$$

全く同様に、所要スラブ 10cm, 所要強度 300 kg/cm<sup>2</sup> 及 180 kg/cm<sup>2</sup> の場合を計算すれば、表-10 の如くである。

表-10.

所要圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	使用セメント量 (kg)	使用水量 (kg)	眞實配合比(重量) W <sub>c</sub> (kg) : W <sub>m</sub> (kg)	名稱配合比(容積)
300	310	171.3	310 : 1933	1 : 2.3 : 3.2
240	277	„	277 : 1961	1 : 2.6 : 3.7
180	246	„	246 : 1987	1 : 3.0 : 4.2

第 2 法： 今、骨材混合物を最大密度にする様な細粗骨材の配合比を  $p:q$  とし、 $1\text{m}^3$  のコンクリート中に於けるセメント、細骨材、粗骨材及水の絶対容積を夫々  $D, D_f, D_c$  及  $D_w$  とすれば、

$$D + D_f + D_c + D_w = 1 \dots\dots\dots(6)$$

である。又細骨材と粗骨材との間には次の様な関係がある。即ち

$$\frac{D_f}{D_c} = \frac{(1-v_f)p}{(1-v_c)q} \dots\dots\dots(7)$$

茲に  $v_f$  : 細骨材の空隙率  
 $v_c$  : 粗骨材の空隙率

(6) 及 (7) 式より  $D$  及  $D_w$  を既知量として、 $D_f$  及  $D_c$  の値を誘導すれば次式となる。

$$D_f = \frac{(1-D-D_w)(1-v_f)p}{(1-v_c)q + (1-v_f)p} \dots\dots\dots(8)$$

$$D_c = \frac{(1-D-D_w)(1-v_c)q}{(1-v_c)q + (1-v_f)p} \dots\dots\dots(9)$$

故に、(8) 及 (9) 式に夫々  $D, D_w, v, v_f, p$  及  $q$  の値を代入すれば、細骨材及粗骨材の絶対容積が解る。 $D: D_f: D_c$  なる絶対容積比は、其の各項に夫々比重  $\times 1000\text{kg}$  を乗ずれば重量配合比となり、更に之は容積配合比に換算することが出来る。

前項の例に依れば、使用水量 = 171.3 kg、使用セメント量 = 277 kg であるから、夫々の絶対容積は

$$D_w = \frac{171.3}{1000} = 0.1713 \quad D = \frac{277}{1000 \times 3.12} = 0.0887 \quad \text{となり、}$$

尚、 $p:q = 1:1.4, v_f = 36.2\%, v_c = 35.7\%$  であるから、

$$D_f = \frac{(1-0.0887-0.1713)(1-0.362) \times 1}{(1-0.357) \times 1.4 + (1-0.362) \times 1} = \frac{0.4721}{1.5382} = 0.3069$$

$$D_c = \frac{(1-0.0887-0.1713)(1-0.357) \times 1.4}{(1-0.357) \times 1.4 + (1-0.362) \times 1} = \frac{0.6661}{1.5382} = 0.4330$$

其の絶対容積比は 0.0887 : 0.3069 : 0.4330 になる。従つて重量配合比は

$$0.0887 \times 3120\text{kg} : 0.3069 \times 2680\text{kg} : 0.4330 \times 2620\text{kg} = 277\text{kg} : 822\text{kg} : 1135\text{kg}$$

となり、容積配合比は、 $\frac{277}{1500} : \frac{822}{1709} : \frac{1135}{1682} = 0.185 : 0.481 : 0.675 \doteq 1 : 2.6 : 3.7$

となり。第 1 法の結果と一致する。

### 5. 施工軟度を一定に保ちつゝ圧縮強度を加減する場合の處理

前項の設計例に於て、スラブ 10cm で、所要圧縮強度 240kg/cm<sup>2</sup> のコンクリートは、第 1 法に依つて計算した結果、出来高  $1\text{m}^3$  を作るために、セメント 277kg、細粗骨材混合物 1961kg を要することが解つた。本項では、上記コンクリートを使用して居た現場に於て、仕事の都合上、スラブは依然 10cm に保ちつゝ圧縮強度

を假りに  $300\text{kg/cm}^2$  に上げんとした場合、どうすれば良いかに就て述べて見る。

図-7 に依つて、所要強度  $300\text{kg/cm}^2$  に對する使用セメント量を見れば、 $310\text{kg}$  であることが解るから、先づ使用セメント量をコンクリート  $1\text{m}^3$  當り  $310-277=33\text{kg}$  の割合で増してやる必要がある。併し今の場合、使用水量は一定であり、骨材使用量を其の儘にして置いて、セメント量を増したのでは、コンクリートの出来高は當然  $1\text{m}^3$  以上に増すことになるから、此の際丁度  $1\text{m}^3$  のコンクリートを作るためには、骨材使用量を幾分減じてやる必要がある。尙、此の事は既に前項に於て述べたる、使用材料及施工軟度が一定なるコンクリートに於ては、其の  $1\text{m}^3$  中に含有せられる水量は一定であると同時に、該  $1\text{m}^3$  中に含まれて居る固体の絶対容積の總和も亦一定である、と云ふ事實からも首肯出来るのである。今、使用セメント量を  $1\text{kg}$  増加する場合には、其の絶対容積に等しいだけの骨材、即ち  $2.65/3.12=0.85\text{kg}$  を減すべきである。故に使用セメント量  $33\text{kg}$  の増加に對しては、 $33 \times 0.85=28\text{kg}$  の骨材減量となり、結局所要圧縮強度  $300\text{kg/cm}^2$  のコンクリートに於ては、使用セメント量  $310\text{kg}$ 、骨材使用量  $1961-28=1933\text{kg}$  となるのである（斯様にして得られた眞實配合比（重量）は、改めて  $W_0=171.3\text{kg}$ 、 $W_c=310\text{kg}$  として、第1法(5)式に依つて計算した結果と全く合致するのであつて、之は本結果と表-10 に於ける計算値とを比較して見れば明らかである。従つて、使用セメント量の増減に伴つて行ふべき骨材使用量の加減は、(5)式を用ひて改めて計算することなく、上記の方法に依るのが、極めて簡便である）。

使用骨材重量が解つたならば、之を細粗骨材配合比に分けることは、第1法に慣つて行ふことが出来る。即ち使用すべき骨材の容積  $=1933/1973.5=0.9795\text{m}^3$  今、最大密度細粗骨材配合比  $1:1.4$  其の収縮係數  $0.857$  であるから、 $\frac{0.9795}{0.857} \times \frac{1}{2.4} : \frac{0.9795}{0.857} \times \frac{1.4}{2.4} = 0.476 : 0.666$  となり、コンクリート  $1\text{m}^3$  當りの各種使用材料は使用水量  $171.3\text{kg}$ 、使用セメント量  $310\text{kg}$ 、細骨材  $0.476\text{m}^3$ 、粗骨材  $0.666\text{m}^3$  となる。従つて使用セメント量を増すと同時に、上記骨材配合比へ移行すれば、スランプ  $10\text{cm}$  圧縮強度  $300\text{kg/cm}^2$  を確保することが出来るのである。

逆に、所要強度を現在の  $240\text{kg/cm}^2$  から  $180\text{kg/cm}^2$  に下げたい時も全く同様であつて、図-7 から  $180\text{kg/cm}^2$  に對する使用セメント量  $246\text{kg}$  を知り、セメント減量  $277-246=31\text{kg}$  に相當する骨材の絶対容積  $31 \times 0.85 = 26\text{kg}$  を増してやれば良いのであつて、結局新規骨材使用量は  $1961+26=1987\text{kg}$  となり、眞實配合比（重量）は  $246\text{kg} : 1987$  となる（本結果も表-10 の(5)式に依る計算値と全く一致する）。

## 6. 結 論

以上の如く、リースの説並に之に基くコンクリート配合の設計法を詳細に點檢すれば、それ等の利點としては、次の諸項が擧げられる。

(a) 使用材料が一定であるならば、普通に使用されるコンクリートの範圍に於ては、其の使用水量でコンクリートの施工軟度が定まり、其の使用セメント量でコンクリートの圧縮強度が定まる。と云ふ吾々從來の常識を完全に生かして居ること。

(b) 其の学説の主幹をなす圧縮強度とセメント水比、若くは使用セメント量との關係は直線形をなし、従つて現場で其の實際使用材料に就て之を制定することは、從來のエブラムスの曲線に比べて、遙かに容易であり、又其の配合設計法は全般的に云つて極めて簡明である。

(c) 現場に於てはコンクリートの運搬、突固其の他の填充作業上、所要の施工軟度が先づ決定するものであつて、普通の場合該工事を通じて、其の施工軟度を一定に保ち度いものである。故に使用水量を一定に保ちつゝ使用セメント量を加減することに依り、施工軟度を常に一定に保ちつゝ容易に圧縮強度を加減し得るリースの説の方がエブラムスの説よりも實際現場に於ける適用上から云つて、遙かに便利であつて、従つて現場に於ける圧縮強度の加

減が、より自由自在に、且よりの確に行はれ易いのである。

尙、前掲図-7 は良質の諸材料を使用した場合の実験室の結果ではあるが、其の到達した強度は相當高いものであつて、従來鉄筋コンクリートに廣く使用せられつゝあるスランブ 10cm 程度の軟練コンクリートに於て、使用セメント量 280kg 程度で材齢 28 日の圧縮強度  $250\text{kg/cm}^2$  を、更にセメントを増して 360kg 程度では、優に  $390\text{kg/cm}^2$  を發揮して居る。斯様な軟練コンクリートでは、使用セメント量を餘り増加すると、收縮龜裂を生ずる惧れがある等々派生的な問題を起すものと思はれるが、ともかく、 $390\text{kg/cm}^2$  と云ふ數字は、高强度は硬練コンクリートにしか期待出來ない様に思つて居た吾々にとつては、相當驚異的なものであると云ふことが出来る(尙同量のセメントを使用しつゝ更に振動機等を使用して硬練コンクリートとして施工する方法を講ずれば、此の數字は更に一段と高められることは想像に難くない)。

従つて時局に即応して、必要に応じ、従來の軟練コンクリートの施工法其の儘で、只、使用セメント量を増すことに依り、極めて容易に相當程度まで圧縮強度を高めることも可能である。

(d) リースの方法に依れば、使用セメント量と圧縮強度との關係を明確に知ることが出来るから、従つて、コンクリートの圧縮強度と單價との關係を明瞭にすることが出來て、コンクリート構造物の經濟的設計に資するところも甚大である(尙、コンクリートの強度を高めるために、コンクリート  $1\text{m}^3$  當り、使用セメント量  $W_0'$  kg を増した場合、一方に於て  $0.85 W_0'$  kg の骨材を減じ得るから、コンクリートの單價としては、之等の差額だけしか増額しないことになる)。