

研 究



コンクリート配合法に就て

池 本 泰 兒

現在混凝土構造物の應力計算に關しては随分委しく研究されてゐるが、構造物施工上の基本となる可を混凝土に使用する材料、配合及び施工方法に就ては一般に現場擔當者は相當無關心である様な氣がする。私はどうしても混凝土現場施工の方法を大いに改善して出来るだけ理論とも合致せしめる様にしなければいけないと考へてゐる。

現在一般に現場に於ては混凝土の配合に就ては全國的に殆んど同じく決定された配合表に依てゐる。然し各現場毎

に夫々異なつた材料を使用して居るのであるから、私は其の異なつた材料に依て夫々其の現場に適應した配合を決定しなければならぬものであると云ひたい。

之に於て土木學會第24卷第12號に内山實氏の『リースの説と之に基づくコンクリート配合の設計法』と云ふ論説も讀んで之れあるかなと思つたので其の概要を此處で紹介して見たいと思ふ。

◇

現在土木工事に一般的に用ひられてゐるコンクリート
1 m³に對する配合料は大體次表である。

第 1 表

配合	セメント	砂	砂利
1:1:2	31.3 袋	0.39 m ³	0.78 m ³
1:1.5:3	8.0	0.42	0.85
1:2:3	6.4	0.45	0.90
1:2.5:5	5.25	0.46	0.92
1:3:6	4.5	0.47	0.94
1:4:8	3.4	0.48	0.96

此の數量の材料を混合すると果して1 m³の混凝土が出
來るかどうかを一應檢算して見る。

『道路構造ニ關スル細則案』第19條に橋梁死荷重に就て
夫々の材料の1 m³の重量が出されてゐて、夫れに依ると
混凝土の重量は2200 kg/m³、礫1700 kg/m³、砂1700 kg/
m³となつてゐる。内山氏の試験せられた材料では、粗骨
材 1655 kg~1685 kg/m³、細骨材 1709 kg/m³であるか
ら礫及砂を1700 kg/m³とすることは、大體平均値として

註 解

差し支へないであらうと思ふ。

次にセメントは1袋の重量は50 kgとして今次の重量を
計算に入れないうで第1表の配合數量に依つて混凝土1 m³
の重量を算出して見る。

第 2 表

配合	混凝土 1 m ³ の重量
1:1:2	2554 kg
1:1.5:3	2559
1:2:4	2615
1:2.5:5	2608
1:3:6	2622
1:4:8	2618

之れに依つて見らるる様に第1表の配合數量に依つて出
來た混凝土の重量は大體 2600 kg/m³となつてゐる。之れ
は結局1 m³以上の混凝土が出来上がつてゐる勘定になつ
てゐることを示してゐる。
何故斯うなつたのかを考へて見ると、二つの理由を考へ
ることが出来る。

其の一つの理由は、 1 m^3 の容積の中に水の容量を考へに入れなかつたのでないかと思はれることである。普通鐵筋混凝土に用ふる場合はスランズを $10\text{ cm} \sim 15\text{ cm}$ 位にして大體水セメント比は 60% 位になるのだから $1:2:4$ 配合混凝土であるならばセメント 320 kg として 192 kg の水を入れることになる。 192 kg は 192 l で之れを骨材にすると $0.192 \times 1700 = 316\text{ kg}$ となるから前記の 2200 kg を超過せるものは大體に於て水の容積を考へに入れなかつたのでないかと考へられる。混凝土と云ふものは、粗骨材と細骨材とセメントが空氣の入る餘地のない様にびつたりと結合する様に配合せられてゐる可きだから、之れに 190 l の容積の水を入れるとすれば材料を夫れだけ減じなければならぬ譯になる筈である。

混凝土を固めるためには水を要する。固めるだけに必要な水の量ならばセメント試験に使用されてゐる様に 20% 前後でいい筈であるが、混凝土に可塑性を持たせるために 60% 或は其の前後の水量を要する。だから混凝土が結合

した後には其の不要になつた水は水泡となつて蒸發してしまふのであると思ふ。エブラマンス氏の配合理論に依つて水の少ない程混凝土が強いと云はれてゐるのは此の水泡の蒸發した中空の部分が多い程混凝土は弱くなると考へられるからであらう。初め私が混凝土の重さを計算するのに水の重量を省略したのは、混凝土になつてからは大部分の水が蒸發すると考へたからである。

第2の理由として考へられるのは、『道路構造に關する細則案』の第32條に調合 $1:2:4$ 混凝土の強度が規定してあるが此處に混凝土の『調合割合ハ容積ニ依リ「セメント」は 1500 kg ラ以テ 1 m^3 トス』とあることに依つて容積配合として數量が出されてゐるが、其のセメント量 64 袋を出す爲に重量配合の方法で算出し、之れを容積配合にして他の骨材の數量を出したものでないのであらうかと考へられる。

即ち 64 袋に於て 1 袋を 35 l として 224 l となる。之れを 225 l と考へれば砂は其の2倍の 450 l 、砂利が其の

2倍 900 l、即ちセメント 6.4袋、砂 0.45 m³、砂利 0.9 m³と云ふ計算が出たのでないかと思はれるのである。之れは

1:2:4 と普通云はれてゐるものは重量配合に依つて算出し之れを容積配合で表はす様にするものであるに拘らず、セメントだけを重量比で出したものを砂と砂利とをセメントの容量に依つて其の盛容積比で出したのでないであらうか。

今 1 m³ 即ち 1000 l の混凝土を造る配合比 1:2:4 を重量比で其の配合量を計算して見る。

セメント 50 kg (1袋)、砂 100 kg (容積は 100 ÷ 1.7 = 59.1 l)、砂利 200 kg (容積は 200 ÷ 1.7 = 118.2 l)、之れにセメントの 60% の水を入れるとして水 30 kg (30 l) を混じて混凝土を造る場合夫々各成分が占める實際の容積即ち其の中にある空気を全部除いたと考へたときの正味の容積の和を計算して見ると、

$$\text{セメント } 50 \text{ kg} \cdots \cdots \frac{50}{3.1 \times 1} = 16.1 \text{ l}$$

$$3.1 \text{ はセメントの比重、故に } 3.1 \times 1 \text{ kg は空際なしのセメ}$$

ント 1 l の重量で、これでセメント重量 50 kg を割れば正味の容積となる。

$$\text{砂 } 100 \text{ kg} \cdots \cdots \frac{100}{2.65 \times 1} = 37.8 \text{ l}$$

$$2.65 \text{ は砂の比重である。}$$

$$\text{砂利 } 200 \text{ kg} \cdots \cdots \frac{200}{2.65 \times 1} = 75.5 \text{ l}$$

2.65 は砂利の比重である。

水	30 l
合計	159.4 l

此合計に表はれた容積正味容積であるから之が出来上り混凝土の容積となるのである。即ち上記の材料を混和して出来る混凝土の量である。今出来上り 1000 l の混凝土に必要な材料は、

$$\text{セメント } \frac{50 \text{ kg} \times 1000}{159.4} = 314 \text{ kg} \text{ 即ち } 314 \div 50 = 6.3 \text{ 袋}$$

$$\text{砂 } \frac{59.1}{159.4} = 0.372 \text{ l}$$

$$\text{砂利 } \frac{118.2}{159.4} = 0.744 \text{ l}$$

水 $\frac{30}{159.4} = 0.188$ 即ち 188 l

即ちセメント 6.3 袋、砂 0.372 m³、砂利 0.744 m³、水 188 l となるものである。

次に砂が 20%、砂利が 5% 膨らんでおるとすれば、

砂 $0.372 \times 1.2 = 0.447 \text{ m}^3$

砂利 $0.744 \times 1.05 = 0.782 \text{ m}^3$

即ち、セメント 6.3 袋、砂 447 m³、砂利 0.782 m³、水

188 l となるのである。

同じ様な計算で他の配合のものを出せば次の表となる。

水・セメント比は總て 60% とした。

第 3 表

① 標準配合の場合

配合	セメント	砂	砂利	水
1:1:2	9.7 袋	0.288 m ³	0.576 m ³	241 l
1:1.5:3	7.6	0.338	0.676	228
1:2:4	6.3	0.372	0.744	188
1:2.5:5	5.3	0.393	0.786	160

② 現場配合の場合

砂を 20%、砂利を 5% の膨みを持つる場合とす。

第 4 表

配合	セメント	砂	砂利	水
1:1:2	9.7 袋	0.346 m ³	0.606 m ³	241 l
1:1.5:3	7.6	0.406	0.711	228
1:2:4	6.3	0.447	0.782	188
1:2.5:5	5.3	0.473	0.830	160
1:3:6	4.6	0.493	0.865	138
1:4:8	3.7	0.523	0.920	109

今此の配合に依る各 1 m³ の重量を計算すると、

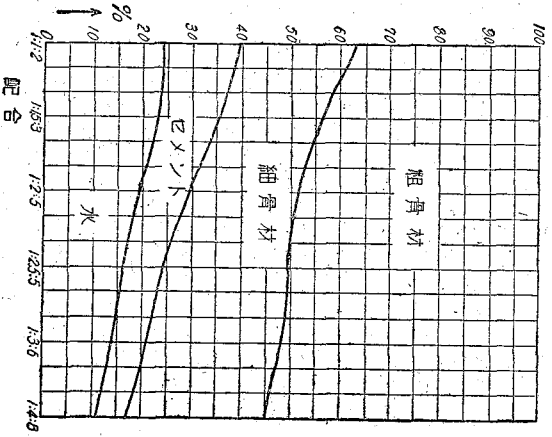
第 5 表

配合	1 m ³ の混練土の重量
1:1:2	1953 kg
1:1.5:3	2003
1:2:4	2212
1:2.5:5	2264

1:3:6 2321
 1:4:8 2308

となる。1:2:4 あたりが標準の重量になつてゐる様に見える。之を又混凝土 1 m³ 内に於ける各材料の絶対容積を

圖表にして示せば次の様になる。
 本圖の夫々の横太線の間が水、セメント、細骨材、及粗骨材の絶対容積になつてゐるのである。



絶対容積と云ふのは、例

第 1 圖

へば砂利にすれば、其の砂利間の空隙を全然無くしたもので、其の砂利の純容積の意味である。だから此の圖面を見ても判る様に、混凝土内の空隙は、水分が蒸發して中空になるもの他は全然無い様に考へられてゐるのである。だから任意の材料を、1:2:4 とか 1:3:6 とかの配合に混合することは既に不合理なので、骨材は使用材料を最大密度になる様に配合を定めなければならない。然し多少の材料間の空隙は、避け得ざる水の入つた中空の場所と合致してゐることは勿論考へ得られる。

處で第 1 表の配合數量は標準配合として與へられてゐる様に見えるが、實際には一般に之れを現場配合として使用されてゐるのである。即ち材料算出の場合にも此の配合量に依り、又現場の練合せにも此の配合量でやつて居られる様に思ふ。

砂及び砂利には濕りに因る膨らみと云ふものがある。砂ならば 2%~4% 位の濕りがある場合 20%~40% 位の膨らみであつて、普通工事に使用されてゐる砂ならば大概此

位の濕りを持つてゐるのであるから購入も其の膨らんだ砂で、又工事施工にも其の膨らんだ砂でやるとすれば、若し豫め平均の濕りを持つてゐるものとして、配合量が決められてゐるならば、夫れを設計算出に用ひる數量とし、更に之を現場配合に用ひても大體差し支へないとも云へる。普通考へられる膨らみは砂に於て 20%、砂利に於て 5% 位であらうか。但し地方に依り時季に依り濕氣が多いか少ないか又其の様な場所とかに依つて其の配合量を出される人の判断に依つて多少の増減はあつてもいいと思ふのである。

今第 1 表の配合數量を標準配合でなく骨材の膨みを考慮に入れた現場配合であると考へる場合之れを標準配合に換算して見ると次の様になる。

第 6 表

配合	セメント	砂	砂利
1:1:2	11.3 袋	0.312	0.740
1:1.5:3	8.9	0.336	0.808
1:2:4	6.4	0.360	0.857
1:2.5:5	5.25	0.368	0.872

今第 6 表の配合數量に於て、水の重量を計算に入れないで混凝土 1 m³ の重量を算出して見れば、

第 7 表

配合	混凝土 1 m ³ の重量
1:1:2	2354 kg
1:1.5:3	2343
1:2:4	2385
1:2.5:5	2372
1:3:6	2381
1:4:8	2372

斯くすれば、重量は略 2200 kg/m³ に近づいて来て、大體に於て 1 m³ の混凝土になつてゐる様に思はれるのであるが、此の配合數量では最大密度を得る様に配合されたものと比較して見ると砂の量が少なく砂利の量が相當多くなつてゐることが知られる。このことは、砂利の間隙を砂に依つて填充することが不充分であり、出来上つた混凝土

内に空隙が出来ることになるのである。

事實上に於て現在の現場打ち混凝土を切り取つて其の壓縮強度の試験をしたものを見るのに驚く程其の強度の低いのは、砂利と砂との配合が最大密度を持つ様に配合されてゐないからであらうと考へるのである。

私は現在一般に使用せられてゐる配合が實際のものに適合してゐないとして別の配合を計算して見た。然してこの私の計算が何時でも何處にでも用ひられるものであるといふのではない。これは唯計算の一例を示したのに過ぎないのである。

先づ第一に此の配合のいけないのは、水の量をセメントの60%にしてしまつた點にある。1:2:4配合のものを或る種の鐵筋混凝土に使用する場合なら此の表の1:2:4のものでも大體いゝのだが、其の他の配合のものを此の表で用ひるものはいけない。水の量は出来るだけ少ない方が強いのであるが、可塑性を持たせるために施工上相當軟弱にしなければならず、其の爲にはスランプ試験をして、必要

の軟度とするのである。此の爲に使用箇所に依つて常に水の量は變化せられるのである。可塑性の標準としては、

第 8 表

工 種	最大スランプ
1. 塊コンクリート	7.5 cm
2. 鐵筋混凝土	
薄き部分	1.5 cm
厚き部分	7.5 cm
薄いスランプ	2.0 cm
3. 道路鋪裝	
人工仕上	7.5 cm
機械仕上	2.5 cm
4. モルタル床仕上	5 cm

若し配合を決め且つ使用骨材の形状及軟度が決まれば大體に於て水の量のかに依つてスランプが決まる。即ち混凝土を軟かくするためには水の量だけに依るのである。然して此の水の量に依つて1 m³の混凝土を得る各材料の容積が異なつて來るのである。

そして配合の決まつてゐる場合にしても、其の形状粒度の異なる各現場の材料を使用するとすれば、水の量と混凝土のスランプと且つ出来上がった混凝土の強度との間には何等の關係がないのだから豫め一般的の配合量を規定して置くといふことは出来ないことになるのである。

現在に於て混凝土構造物の應力計算ならば随分詳細の計算をして夫々設計せられてゐるに拘らず其の根本となるべき材料の強度を左右すべき混凝土の配合に關して一般施工者は餘りに無關心であり過ぎると思はれるのである。

現場毎に材料の性質が異なるのであるから、其の使用材料に依つて必要な強度を得る様に各材料の配合を決定せらる可きであつて、豫め一般的の標準配合を規定して置くことはどうしても間違ひであると思ふ。規定するにしても建築學會の混凝土の示様書位のものを決めなければならぬことになるであらう。然し之として鐵筋混凝土に使用する混凝土のみに就てである。

處で、此の混凝土の配合量の決定方法は六難しいものか

と云へば、私はそんなものでなく、何處でもほんの少しの勞力を用ふれば容易に出来るものであると思ふ。其の配合方法の一つとして、私は土木學會誌第24卷第12號に掲載せられてゐる内山實氏の「リースの説と之に基くコンクリート配合の設計法」といふ論説を読まれる様に推奨したいと思ふのである。

◇

其の論説を読まれるとしても、一應比處に其の概要を述べて見やうと思ふ。

リースの説に依つて、具へられた諸材料を以つて所要の施工敷度並に壓縮強度を有する混凝土の配合を設計するには次の階程に依らなければならない。

- (1) 細粗骨材の配合比を決定すること。
- (2) 所要の施工敷度に應じて必要な使用水量（コンクリート 1 m³ 當り）を決定すること。
- (3) 所要強度に應じて必要な使用セメント量（コンクリート 1 m³ 當り）を決定すること。

(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こと。

(5) 斯くして得た標準配合を現場配合に推算することである。以下之れを説明する。

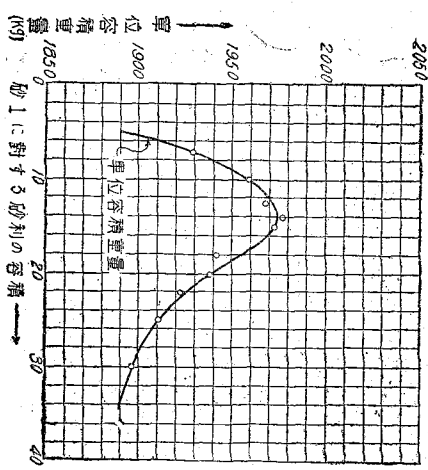
(1) 細粗骨材の配合比を決定する。

一般に混凝土配合に於て考へられる様に骨材混合物が最大密度になる様に其の配合を決めなければならぬ。其の最大密度の配合比は實際に現場で使用する骨材に就て實驗的に決定するのである。

夫れには骨材配合比(容積)を1:0.7から1:3まで變化させ、それ等骨材混合物の單位容積重量を測定して、其の單位容積重量の最大なる配合比が最大密度を與ふるものと考へることが出来る。内山氏の試験に使用せられた材料に依れば單位容積重量は次の圖面にて示され、此の場合最大密度になるものは1:1.4の配合の時であることが知られる。

(2) 所要の施工軟度に應じて必要な使用水量(コンクリート1m³當り)を決定する。

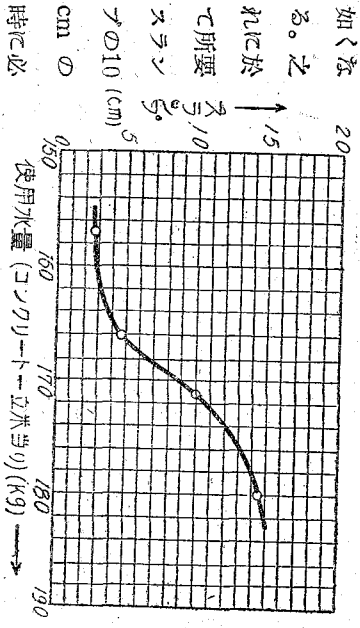
或る混凝土に於て使用材料と使用水量とを一定すれば普通に使用される混凝土の範圍に於ては、配合の如何に關せず混凝土の施工軟度は略一定なものであるから、使用する



第 2 圖

ランソフの場合の使用水量を決定すればよいのである。此の使用水量の決定に際して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。

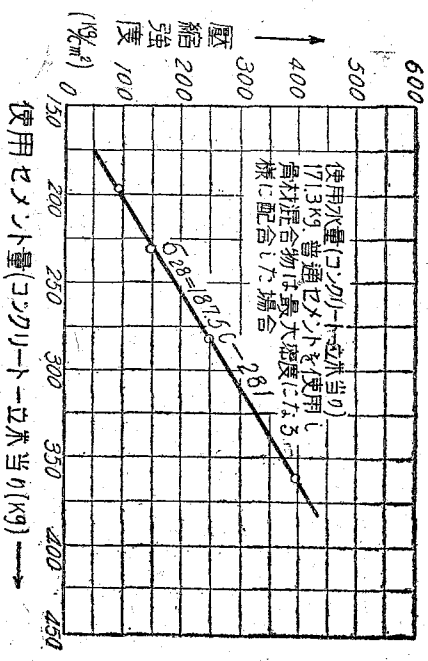
最大密度の骨材配合比が1:1.4であるとして、所要スランプが10cmになる様な使用水量を決定しやうとするに、今任意の配合比を1:2.5:3.6を採り、之に使用水量(コンクリート1m³當り)として156.9~179.8kgを興へた場合のスランプを測定する。之れを圖示すれば次圖の如くなる。之れに於て所要スランプの10(cm)の時に必要である使用水量は171.3kgである。



第 3 圖

(3) 所要強度に應じて必要なる使用セメント量(コンクリート1m³當り)を決定する。

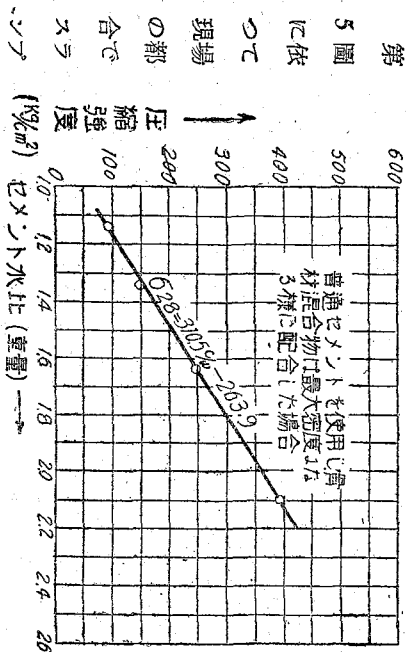
今使用水量を171.3kgに一定して使用セメント量の異なる4種の配合比即ち1:1.9:2.7, 1:2.5:3.6, 1:3.2:4.4, 1:3.8:5.3(此の使用セメント量は360.8kg, 281.9kg, 231.2kg, 195.9kgである)を選定して其の材齡28日に於ける壓縮強度を試験して見るならば第4圖の如き結果を得る。之れはスランプ10cmの場合の使用セメント量と壓縮強度との關係を示すものである。即ち若し300,



第 4 圖

240、及 180 kg/cm² の壓縮強度を要する場合には第 4 圖に依り其のセメント量は 310 kg、277 kg、240 kg と知ることが出来るのである。

次に第 4 圖から壓縮強度とセメント水比との關係を誘導すれば第 5 圖が得られる。



第 5 圖

を變へるために使用水量を變化させる場合、其の使用水量時に於ける使用セメント量と壓縮強度との關係を知ることが出

来る。即ち第 5 圖の横軸のセメント水比の値に使用水量の數値を乗す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壓縮強度との關係となつたのである。

(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 1 m³ 當りの使用水量及使用セメント量が決定したら其の配合比を決定するのであるが、1 m³ 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、セメント及骨材の總量と考へることが出来るから、

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

となる。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 及セメント水比 c/w が既知なる場合には、之等を上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。即ち使用水量 W_w と使用セメント量 W_c が既知なる場合には次式にて W_{ag} を得るのである。

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

今所要強度 240 kg/cm² を得んとする場合ならば、 $W_w = 171.3$ kg、 $W_c = 277$ kg として前式に依り

$$1 = 0.1713 + 0.0887 + \frac{W_{ag}}{2650}$$

故に $W_{ag} = 1961$ kg と決定せられる。此の實驗の場合細骨材混合物 1:1.4 の場合の單位容積重量は 1973.5 kg/m³ であつたから使用すべき骨材の容積は $1961.0/1973.5 = 0.9936$ m³ であつて、其の配合(容積)比は $(0.9936) \times 1/2.4 : 0.9936 \times 1.4/2.4 = 0.483 : 0.676$ となり、結局コンクリート 1 m³ 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 m³、粗骨材 0.676 m³ となる。此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 となる。

(5) 以上の配合は標準配合であるから之を現場配合とするには砂及び砂利の膨らみを見込んで其の容積を決めるのである。

