

混凝土の合理的配合に就て……………(5)

本 論……………(4)

工 學 士 宮 原 涉

第三節 骨材の含水率測定について

標準配合比から現場配合比を求めるには、其の場合の骨材の含水量を知る必要がある。骨材の含水量は、骨材の量に對するその割合を以つて表して置けば、使用に便利である。骨材の量に對する含水量の割合は、之を容積比に依つて示す事も出來、又重量比を用ひて表はすことも出來るが、既に述べた通り骨材の容積といふものは、骨材の狀況如何に從つて、自ら變化するといふことを考へれば、重量比を以つて骨材の含水率を表はす方が、より妥當と考へられる。

即ち重量配合法にあつては、骨材の含水率が判れば、標準配合比の内、砂と砂利との配合比を各その含水率に從つて割増し、一方で其丈水の配合比を減すればよい譯である。

骨材の含水率を正確に測定するには、一定量の骨材を資料として採り、先づ含水状態に於けるその重量を秤る。次に資料を定重量となる迄完全に乾燥して再びその重量を求める。前者と後者との差が、その資料に含有せられる水量を示すものである。この水量を乾燥後の資料の重さを以つて割れば、求める骨材の含水率が得られる。

砂利の含水率は、之を實驗に徴して見るに常に大した差異は認められない。依つて一度、以上の乾燥法に依つて含水率を求めて置けば同じ砂利については、普通の場合その含水率をそのまま適用して差支へないであらう。

此に反して砂にあつては、その場合によつ

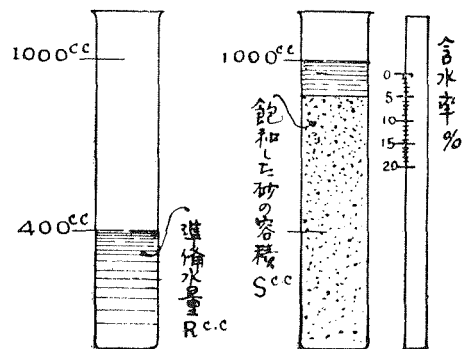
てかなり大きい差異が見られる。従つて一度求めた含水率を、他の場合にそのまま使用することは、砂にあつては許されない。然し乍ら一々乾燥法によつて含水率を求めることは、正確な結果は得られるけれども、現場作業としては面倒であつて、實際云ふ可くして行はれないことであらう。

次に述べる方法はそれ程面倒でもなく、然も實際この方法に依つた結果は、乾燥法によつたものに對して極めて近似的の値が求められる様である。

其の方法は、成る可く細長い容器、例へば 1 litre 入りの Meter glass、如きものに、豫め一定量の準備水を入れ、之に含水率を測定せんとする砂を徐々に投入し、準備水が砂の空隙を十分に充たして砂の上に表はれ、水面が定位置例へば 1000^{cc} の線に達した時砂の投入を止める。容器を充分振盪して砂を落着かせる時は砂の上端の位置が直ちにその砂の含水率を表はすことになる。

其の理由は、第八圖に於て、準備水の量を

第 八 圖



Re.c とし、x% の含水率を有する砂を投入した場合、落着いた砂の容積を Se.c とすれば、次の關係式が成り立つであらう。

$$1000 = R + S - Sv + Swx \dots \dots \dots (29)$$

茲に、v:砂の飽和状態に於ける空隙率
w:飽和状態に於ける砂 1c.c の重量
(29)式を變化させれば

$$S = \frac{1000 - R}{1 - v + wx} \dots \dots \dots (30)$$

この v と w とは、同じ砂では一定であり、R は準備水量であるから之も一定である。従つて(30)式から、投入された砂の量 S 即ち第八圖に於ける砂の上端の位置は、砂の含水率 x に反比例し其他のものには關係しないことが判る。然もその關係は一次式で表はされてゐるから、砂の含水率の變化に連れて、砂の上端の位置は Straight に反比例して上下することを示す。

従つて同じ砂に就いては、豫め乾燥法によつて正確にその含水率を測定した濕砂を用ひて、含水率と砂の高さとの關係を示す目盛を作つて、Meter glass に記して置けば、含水率の不明な濕砂を入れた時、砂の上端の位置に相當する含水率の目盛が、その場合の濕砂の含水率を示すことになる。

勿論この方法は、同じ砂について云へることであつて、搬入される砂の組成が變れば、目盛もそれに應じて變へなければならぬ。然し砂の組成が變つた時には、當然その標準配合比も變へなければならぬから、同一標準配合比の使用出来る間は、一度求めた目盛を用ひて簡単に含水率を知ることが出来る。

第四節 秤量式混凝土配合機について

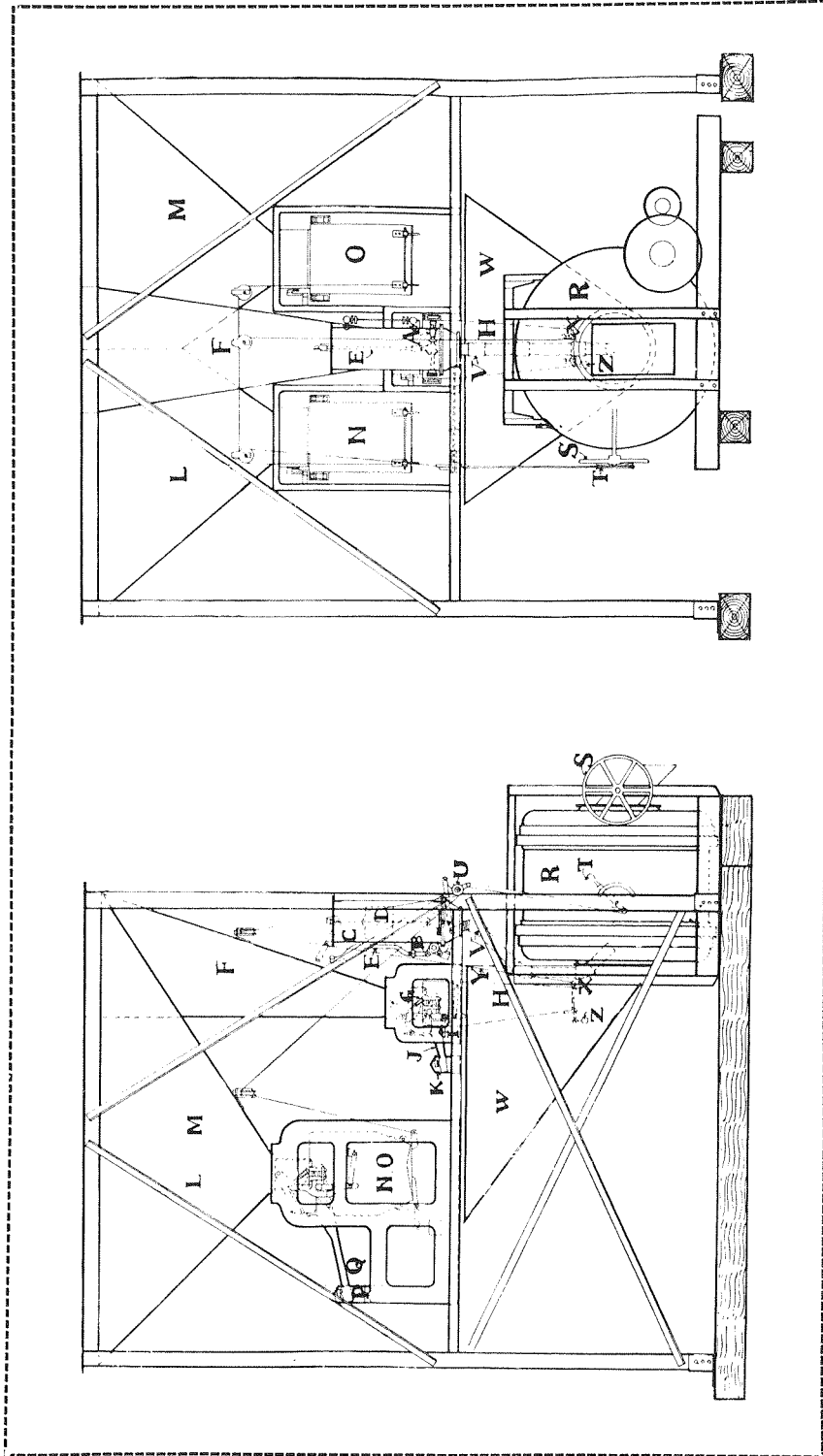
混凝土の配合に當つて、従來使用されてゐる容積法の不正確を除去するには、須く重量法に依るべきことは前述の如くであるが、之が装置として著者の考案したものが即ち秤量式混凝土配合機である。

第九圖はその正面と側面とを表はしたもので、以下この圖を用ひて本機の機能の概略を説明する。

先づ(A)は給水栓にして、之に水道管又は相當の水壓を有する給水管を接続すれば、給水弁(B)の開くに従つて水は自ら水計量器(C)の中に浸入する。水計量器(C)の内には浮罐(D)が吊されてゐる水面が漸次上昇して浮罐(D)に達すると、浮罐(D)は水のために押し上げられる。浮罐(D)が上方に動けば、之に連結された槓桿(E)は下り、之がために給水弁(B)は廻轉し遂に閉鎖するに至つて給水は停止される。従つて浮罐(D)の位置を適當に定めることに依つて、一回に水計量器(C)中に入つて来る水の量を任意に調節することが出来る。

セメントは豫めセメントビン(F)内に蓄へられ、下部の排出口(G)が開けばセメントは自重に依つてセメント秤量器(H)内に落下する。セメント秤量器(H)は(I)點に於て支へられた平衡桿(J)の一端に懸り、その他端には秤重(K)が吊されてゐる。セメント秤量器(H)が空の場合には圖の如く秤重(K)の方が下つてゐるが、セメントが落下するに従つてセメント秤量器(H)の重量は増して次に balance して来る。セメント秤量器(H)が下る時は、之と共にへ字型の金物の中央が引き下げられて、丁度秤重(K)とセメント秤量器(H)の重さが平衡する時一文字になる様になつてゐる。へ字型金物は一端は固定され、他端はセメントビン(F)の排出扉(G)の先端に連結されてゐるため、中心が引き下げられれば自然排出扉(G)に連結された方向に押されて、一文字になつた時丁度排出扉(G)は閉鎖する様に構造されてゐる。従つて秤重(K)を適當に採つて置けば一回にセメント秤量器(H)内に入るセメントの量を任意に調節することが出来る。

砂及び砂利は各砂ビン(L)及び砂利ビン(M)中に蓄へられ、セメントと全く同一順序を経て、各砂秤量器(N)及び砂利秤量器(O)を以



(9) 秤量式混凝土配合機圖
(左側面、右正面)

つて計量される。従つて砂の秤重(P)及び砂利の秤重(Q)を適當に定める時は、一回に計量される砂及び砂利の量を任意に得ることが出来る。

即ち各材料の秤重を現場配合比に従つて適當に定むる時は、以上の如くにして各計量器内に各材料が現場配合比の割合に正しく計量されることになる。以上の動作は一般に前回の混合時間中に起るものであるから、全體の混合時間に何等の影響を及ぼさない。

前回の分の混合が終れば運轉手は混合機(R)の把手(S)を廻して混凝土を混合機(R)からDischargeする。Dischargeが終れば運轉手は把手(S)を逆廻轉して混合機(R)の排出口を閉鎖する。

排出口が閉鎖するや直ちに運轉手は把手(T)を下方に廻す。把手(T)が下方に動かされれば槓桿作用によつてShaft(U)は左廻轉し、之がために水計量器(C)の底板は押上げられる装置となつてゐる。底板が押上げられれば水計量器(C)内の水は全部自重によつて導管(V)を通つて混合機(R)内に落下する。

之と同時に(U)のShaftが左廻轉するため、之に結び付けた索條(X)は順次に引かれて、各秤量器(H,N,O)の下部の扉を止めてゐた金物(X)がはづれる。之等の金物(X)がはづれれば、各材料は自重によつて各下部の扉を排してHopper(W)を通り混合機(R)内に投入される。

水計量器(C)から水が全部出た時運轉手は把手(T)を上方に戻せばShaft(U)は右廻轉し之に連絡して水計量器(C)の底板は閉じ、同時に浮罐は初めの位置に下り給水弁(B)は開かれて、水は漸次水計量器(C)内に入る。その水量が一定量となれば前に説明した通り自然に給水弁(B)は閉じて、所要の水量が再び計量されることになる。

セメント秤量器(H)内のセメントが出て終へば下部の排出扉はそのCounter weight(Z)のために留金物(X)を排して元の位置に歸り

一度閉じた扉は留金物(X)があるため自らは開かなくなる。之と同時にセメント秤量器(H)は中のセメントが無くなつたため輕なり秤量(K)の重さに依つて上方に動く。秤量器(H)が上昇すれば、前と逆に一文字になつてゐた金物が再びへの字形とならんとしてそれがためにセメントビン(F)の排出口(G)は引き開けられる。斯くして前に述べた如く、セメントはセメントビン(F)よりセメント秤量器(H)内に落下し初めて再び所要の量が秤量器(H)中に入るに及んでセメントの落下は自然に停止する。

砂及び砂利はセメントに於けると全く同様にして、自働的に所要の量が再び秤量器内に計量されて次の動作をまつことになる。

斯くの如く運轉手がOne Discharge毎に把手(T)を一回宛動かすことに依つて、以上の動作が自働的に繰返へされて、毎回現場配合比に相當する各材料が正確に計量され、水・セメント・砂・砂利の順序に混合機内に投入混合されることとなる。

第五節 材料投入の順序について

混合機によつて混凝土の混合をなす場合に混合機の構造及び混合の時間が、混凝土の性状に影響を及ぼすことはよく知られてゐることであるが、材料を混合機に投入する順序の影響については從來餘り考へられてゐなかつた。

最近此の問題が盛んに論ぜられるに至つたのは、そもそも吉田博士の研究發表に其の端を發するものであらう。

(吉田徳次郎：混凝土材料を混合機に投入すべき順序について、九州帝大工學部彙報第三卷第六號參照)

博士は之に就いて二種類の實驗の結果を發表して居られるが、實驗第一は小野田ポートランドセメントを使用し、混凝土は容積配合比で1:2:4のものを用ひて、セメント一立方米

の重量を1500kg、凡ての材料を重量比に換算して計量してある。使用された混合機は Rainsame type 七切練のものにして、次表の如き

土の應壓強度に及ぼす影響を大きくして測定しやうと試みたもので、各作業の間に實際の場合よりも甚だ大きい時間をあけてあるので

實驗第一	材料投入の順序	材齡28日の應壓強度		材齡7日の應壓強度
		kg/cm ²		
(1)	セメント、水を30秒混合した後に砂及砂利を加へて更に一分間混合す	153	(151)	72
(2)	セメント、砂、砂利及水即ち凡ての材料を同時に投入して1分30秒混合す	151	(149)	77
(3)	セメント、砂、水を同時に投入し45秒混合したる後砂利を加へて更に45秒混合す	141	(139)	69
(4)	セメント水を30秒間混合し砂を加へて30秒混合し最後に砂利を加へて30秒間混合す	132	(130)	70
(5)	セメント、砂、砂利を同時に投入し45秒容練したる後水を加へて45秒混合す	115	(113)	57
(6)	砂利、セメント、水を同時に投入し45秒混合したる後砂を加へて45秒混合す	113	(112)	61
(7)	セメント、砂を30秒容練し之に水を加へて30秒混合しモルタルを作り最後に砂利を加へ30秒混合す	107	(105)	56
(8)	砂利、セメント、水を同時に投入し30秒混合し砂を加へて1分間混合す	105	(104)	61
(9)	セメント、砂を30秒容練し砂利を加へて30秒容練し最後に水を加へて30秒混合す	101	(100)	60

九種類の投入順序に依つたものの、水セメント比が55%、65%、75%、80%、90%の場合の平均強度は次の通りであつた。

此の表は材齡28日の應壓強度の順にならべたもので、括弧内の數字は最低強度を100とした場合の増加の割合を示してゐる。これで見ると(1)即ちセメント糊状體を作り之れに砂及砂利を加へたもの、及び(2)即ち凡ての材料を同時に投入しものの應壓強度が最大であつて水を最後に投入する場合の強度が著しく低くて、其間に約50%の差異を示してゐる。

然し以上の實驗は、材料投入の順序が混凝

勿論實際のものではない。

それで材料の投入を終つてから一分間以上も混合を行ふ様な實際の場合に對して、材料投入の順序が混凝土の應壓強度に如何なる關係あるかを見るために行つたのが實驗第二である。

實驗第二に於ける混凝土の材料及び配合比は實驗第一の場合と同様で、水セメント重量比を75%とし、鉄筋混凝土工事に對し普通の場合に最も適當な Workability を與へるものを用ひた。

實驗第二	應 壓 強 度 kg/cm ²		
	材 齡	(1) 砂、セメント、砂利、水の順序に投入したるもの	(2) 水、セメント、砂、砂利の順序に投入したるもの
材料の投入を終りてよりの混合時間	7日	66	68
	28日	129	144
1分 {	7日	64	71
	28日	137	143
1.5分 {	7日	63	69
	28日	126	135
3分 {	7日	68	70
	28日	128	136
5分 {	7日	68	70
	28日	128	136

材料投入に要した時間は何れも約10秒である。この表の数字を比較して見ると、(2)即ち水を最初に投入したものの應壓強度が凡て(1)即ち水を最後に加へたもより大であつて(1)の場合に比較して大約10%強度の大なることを示してゐる。材料投入の順序によつて水とセメントが接觸する時間の差は僅かに10秒に過ぎないのに、其強度が常に大であると云ふことは注目すべき現象である。

以上の實驗から明白に斷言し得ることは次の二項である。

(1) セメントの水化を完全ならしむるために、水はセメントを殆んど同時に混合機中に投入すべきである。

(2) セメントと骨材を空練したる後、最後に水を加へる方法は強度が最も劣る。

水とセメントが接觸してから混合される時間が永い程其の混凝土の應壓強度が大であるといふことは、之れによつてセメントが水を充分に吸収し、更に混凝土機内で骨材の粉砕作用を受け、セメントが一層有効に使用されることに依るものと考へられる。

混合機を使用する様になつても、混凝土に於ける使用水量は必ず一定にすべきであると云ふことが一般に認められなかつた時代には混凝土の Workability を適當に調節するために最後に水を加へた方が便利であつたが、混凝土に於ける使用水量は必ず一定にすべき事が確認されて來た今日に於ても、水を最後に投入すると云ふ方法が屢々行はれて居るのは全く在來の慣習に捕はれて居る結果と判斷する外はなく、以上の實驗からも絶體に避くべき事柄であることが判る。

従つて材料の投入は水を最初にすべきことは明白であるが、他の材料を如何なる順序に投入すべきかについては、吉田博士は前記の實驗の結果からして、最初に水とセメント次に砂最後に砂利とすべきである。而してセメントと水とは水を先に投入する方が實際上行利であるから、材料の投入は水セメント砂

砂利の順序にすべきことを推論されてゐる。

此に對して、前記の實驗の結果だけからは水、セメント、砂、砂利と一つづつ順序に投入するのを最上とする論據が発見出來ない。水、セメントを先にする、といふよりも水とセメントの混合時間をなるべく長くすることの必要なことこそ理論上からも、實驗上からも當然のことであるが、砂、砂利を順序よく入れるかよいか、砂、砂利を同時にセメント糊狀體に投入するがよいか、將又水セメントを混合すると同時に、砂砂利を初めから混合するがよいかといふことは判斷出來兼ねる事柄であつてむしろ現状に於いては各材料を同時に投入すべきであるといふ意見が少くない。

(長江一：吉田博士の發表された混凝土材料を混合機に投入する順序に就ての私見エンヂニア第九卷第五號参照)(宮本武之輔：混凝土材料投入の順序に就て、エンヂニア第九卷第十號参照)

この事は前表の内28日の材齡のものが投入方法の順序に其の強度の順序も(1)(2)(3)(4)となつてゐるが、材齡7日のものは(2)(1)(4)(3)の順序に強度が變つてゐる。而して(1)と(2)とは材齡7日、28日共に其強度は餘り差がないのと、一方今日の Mixer には多く Power loader が付いてゐるので、水、セメント、砂、砂利の順序に別々に材料を投入することは實際混合の能率上不可能であることから一應尤な議論である。

然し乍ら以上は強度のみについて觀察されたものであつた、強度と同様に混凝土に欠ぐ可からざる性質の流動性の方面からも、一應考へて見る必要があるのではなからうか。吉田博士の實驗では強度のみを試験されて、各の場合の流動性を測定されなかつた事は誠に遺憾な事であるが若しその流動性を精密に試験されたならば、更に興味ある結果が得られたことと想像される。

即ちセメントと水とで出来るセメント糊狀體の如き液體狀のもの、砂及び砂利の如き他の固體とを充分に混合するには、先づ第一

に液體狀のものを充分に捏混したる後に、固體を加へて更に全體をよく混合するといふことが、極く一般に行はれてゐる順序である。例へば Asphalt Concrete を作るには、先づ Asphalt を熱して融かし、之にセメント又は石灰粉等を加へて Mastic を作り、最後に砂利等を加へて混合するが如きである斯くの如くすれば材料混合の目的である均一性のものを得るといふことが、最も容易に且つ完全に出來るといふ事が、經驗からよく知られてゐる。良質の混凝土は、セメント、水とで出來るセメント糊狀體で砂の表面を覆ふと同時に、空隙を填充したるモルタルを以つて、砂利の表面を覆ひ同時に、其間隙を填充して得られるものであるから、混凝土の混合の順序も矢張り先づセメントと水とをよく捏混してセメント糊狀體を作り、之に砂を加へて混合してモルタルを作り、最後に砂利を加へて充分に全體を混合すれば、最も容易に且つ完全に欲する流動性を得ることが出來る様に思はれる。

材料投入の順序如何は一面混凝土の經濟に關係するものである。何となれば投入に要する時間は混凝土工事の能率に影響するところ

るべきかを論じたものであつて、混凝土の配合の問題を二つの段階に別つて、前段にあつては配合比の求め方について、後段に於ては配合方法に關する私案を提示したものである

先づ配合比の設計については、之を實際使用する材料を用ひて實驗的に求むべきことを唱へ、混凝土使用の目的を達する限りに於て最も有効に各材料を使用する方法を解説した

混凝土の性狀は、之を形造る材料そのものの性質に左右されることは云ふ途もないが尙その他に混凝土の性狀に影響を及ぼす多くの Factor が存在することを忘れてはならない。此等の Factor の影響如何を知るには、之を實驗に徴するより他に道はないであらう一例として混凝土の強度に及ぼす温度の影響を考へて見るに、此については A. B. Mc Danil 氏の詳しい實驗報告がある。

(A. B. Mc Danil : Influence of Temperature on the strength of Concrete. Illinois Bulletin No. 81 参照)

その結果から假りに東京に於ける昭和三年の平均温度に對する強度比を計算して見ると次の様になる。

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
平均温度	3.0	3.8	6.8	12.6	16.5	20.4	24.1	25.5	22.0	15.9	10.5	5.2	13.9
四週の應壓比	77	78	85	97	106	108	15	117	12	102	92	82	100

が決して少くない。従つて能率上から云へば、出來得る限り投入の所要時間を短縮することが望ましいことであるが、一面材料投入後の混合時間が1分乃至 $1\frac{1}{2}$ 分といふ如き短時間が普通であると現状では、その様な短時間により均質のよりよき流動性の混凝土を得るためには、先づ水とセメントを捏混してセメント糊狀體を作り、引續き之に砂、砂利を投入混合すべきではなからうか。

結 論

本文は混凝土配合の現状にあき足らずして之を最も合理的に行ふには如何なる方法に依

即ち全年の平均からの偏差は約20%であつて、又 8月を100とする時は1月は實に66%に過ぎない。Mc Danil 氏の實驗は材齡が四週以内のものに限られてゐるが、更に長期のものについては吉田彌七教授の實驗がある。

(吉田彌七：混凝土の應壓強度並びに流動性に及ぼす施工季節の影響、土木學會誌第十五卷第二號 参照)

即ち教授の一週、四週の外に六ヶ月、一ヶ年のものについて調べた結果の詳細は、此處に省略するが、その實驗の範圍内では次の様に結論することが出来る。

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

(2) 冬季に行つた本實驗に於てその混凝土の養生中の溫度と耐壓強度との關係は一週及四週のものに於ては Me Danil 氏の實驗と略同様の傾向を示してゐる。

尙此實驗報告には混凝土の流動性に及ぼす溫度の影響をも調べられてゐる。それに依れば普通の混凝土の流動性は寒い時の方が暑い時よりも良好であると謂ふ。

斯くの如き結果から考へて、假りに混凝土の強度について之を見るに、若し冬季のものを以つて強度を豫想して配合比を定むる時は夏季に於ける實際の強度は豫想以上のものとなり經濟的に不可と謂はなければならぬ。之に反して夏季のものを用ひて定めたる配合比をそのまま冬季のものに應用する時は、豫想せる強度が得られないこととなつて構造上危険なものとなる。

之を要するに時と場所とに應じて適當に應用し、材料そのものの價値を完全に發揮せしめて、必要にして且つ完全なる性狀を有する混凝土を作ることが所謂混凝土配合の合理化であつて、此がためには先づ正しき配合比の選定といふことが目下の急務ではなからうか。

次に混凝土の配合方法に關しては、從來一般に行はれてゐる容積配合法は、その根底に於て不正確を來す可き避く可からざる幾多の缺陷を有してゐるものと考へられる。従つてより正確に配合比を保持するためには須く重量配合法を採用すべきことを論じ、之が装置として秤量式混凝土配合機の機構の大要を説明したのである。

本装置に依る混凝土配合の効果を舉ぐれば第一に各材料を正確に秤量して從來の容積配合法に伴ふ配合の不正確を除去し、常に均等なる性狀を有する混凝土を容易に且つ完全に製作する點であり、第二に最初に水とセメン

トを摺混して、次に砂、砂利を混合して他の投入順序に配合するものに比し、より良き強度と流動性を有する混凝土を容易に且つ完全に製作するに在る。然も本機の使用は唯單に把手を上下するのみにして、他は凡て重力を利用して自動的に操作を繼續し得るを以つて、人力の節約に於ても大なる効果を有するものと信ずる。

之を要するに、本機の使用によつて初めて正しき配合比の保持といふことも可能であつて、混凝土配合の合理化は重量配合法によつて大成するものと考へる。

筆者元より淺學不才、然かも匆忙の間に筆を探りたるため Digma に陥りたる所多からんも、幸に先輩各位の御叱正を得てその誤りを正すを得ば筆者の喜び之に過ぐるものはない。筆を擱くに當りて日頃御教示を忝うせる大林組本田現業部長に對し厚く感謝する次第である。

(昭和五年十一月十八日)

大林組日本銀行出張所に於て)

—— 餘白を借りて ——

一度本誌に連載されるや、各地の讀者並に専門家各位から非常な期待を以て迎えられ、混凝土工事界に一大センセーションを捲起した宮原工學士の混凝土の合理的配合に就てはいよいよ本誌を以て終結を告げました。讀者諸君も既に御承知の通り宮原氏は日本銀行増築場の現場に在り、大林組の主腦技術家として要務の傍ら、本論を草されたのであります。氏の眞しなる研究的態度は累號の論文に依つてお分りですが、氏は更に來る新年號より筆を材料論に進めることを快諾して下さいました。即ち、砂、セメント、砂利、鐵筋、鐵骨等に就てそれぞれ實驗を非調とした眞實なる價値を持つた論文を寄せられる筈です。本誌まで既載の分は多數讀者の希望により近く工事研究會混凝土叢書第一輯配合編として、之を一冊にまとめて刊行する豫定です。尙本論誤植が多く大分御注意を受けましたが、それ等は全部總めて本誌巻末に正誤表を掲げて置きましたから御参照下さい。