

混凝土の合理的配合に就いて

工學士 宮 原 涉

〔概略〕混凝土は現代に於ける構造材料中最も重要なる位置を占めるものであるが現状の混凝土には未だ多くの問題が残されてゐる、而して其の配合は夫等の内で最も注意を要する問題であらう。

本文は如何にすれば合理的な配合を求めそして保ち得るかを論じたもので、其前半に於ては従來の配合設計を批判して著者の最も合理的と考へる設計方法を説明し、後半に於ては従來の配合方法を指摘して著者の最も合理的と考へる方法を提唱し、混凝土の配合は須く重量式配合法に依るべきことを結論としたものである。

— 目 次 —

序 論

- 第一節 良い混凝土とはどんなものか
- 第二節 混凝土の強度流動性及經濟度に就いて、
- 第三節 混凝土の配合の緊要なる理由

本 論

- 第一章 混凝土の合理的配合設計に就いて
 - 第一節 混凝土配合理論の概説
 - 第二節 Abrams教授の配合設計法の説明
 - 第三節 従來の配合設計法と其の批判
 - 第四節 合理的配合設計方法の解説
- 第二章 混凝土の合理的配合方法に就いて
 - 第一節 従來の配合方法と其の批判
 - 第二節 重量式配合法の解説
 - 附 含水量に對する修正方法
 - 第三節 秤量式混凝土配合機に就いて

結 論

— 序 論 —

- 第一節 良い混凝土とはどんなものか

如何なる混凝土が良い混凝土であるかと云ふ事は(1)混凝土使用の目的と(2)經濟上の關係とから決まる問題である。

例へば水の出ない様な場所で、少しばかりの荷重 (Load) を地盤に分布させる目的で作る混凝土の基礎の如きものであれば、其の混凝土の強度 (Strength) は餘り問題にならないから、容積比で1:4:8といふ様な混凝土が良い混凝土である場合もあらう、水槽を作るとすれば水の漏らない事が第一に必要である。倉庫を作る時は強度の外に耐火、耐濕的である混凝土が良い混凝土である。要は最も經濟的に使用の目的を達する事の出来る混凝土が最も良い混凝土であると考へられる。然し混凝土の使用の目的は實に千差萬別であるから、同一構造物にしても時と場所によつて、使用すべき良い混凝土といふものは異つて來る譯だから、鐵筋混凝土に使用する混凝土は1:2:4基礎に用ふる混凝土は1:3:6が良い混凝土であるといふ風に片附けて終ふ事の出来ないことは明白である。

唯大體について云ふと、普通鐵筋混凝土工事に使用する混凝土としては(1)欲する強度 (Strength) と(2)仕事に相當の注意で安全に且つ容易に出来る流動性 (Workability) とを有し(3)且經濟的 (Economical) である様な混凝土を良い混凝土と考へて良いと思ふ。(吉田徳次郎博士著「鐵筋混凝土施工法」參照)

之は獨り混凝土に限らず、一般に構造材料の使用に當つては必ず(1)必要なる條件 (Necessary condition) と(2)充分なる條件 (Sufficient condition) の二つの Condition が満足されなければならない。

此の二つの條件が成り立つ場合に初めて材料が合理的に使用されたと得ひ得るのである

今之を混凝土の配合に就いて見れば其の強度と流動性と經濟の三つの性質について以上の二條件が充たされる様な配合が所謂混凝土の合理的配合である譯である。

第二章 混凝土の強度、流動性及經濟度に就いて

鐵筋混凝土構造に使用される混凝土の強度として、最も重要なるものは其の應壓強度(Compressive Strength)である。前節に述べた欲する強度とは、構造物の設計に當つて採つた混凝土の許容強度(Allowable Strength)に一定の安全率(Safety factor)を乗じたものである例へば構造計算に許容應壓強度(Allowable Compressive Strength)を 50kg/cm^2 と採つた場合には安全率を3とすれば、欲する應壓強度は $50\text{kg/cm}^2 \times 3 = 150\text{kg/cm}^2$ となる譯である。

混凝土の應壓強度は同一の材料配合及混練方法に依つたものでも、試験體の(1)形狀(2)填充方法(3)養生方法(4)試験方法(5)材齡等の相違に依つて、著しく差異を生ずるものであるから、此等の事項に關しては大正十五年混凝土に關する協議會に於て定められた混凝土應壓強度試験方法に關する標準中に一々詳しい規格が定められてゐる。即ち其の標準に依れば試験體の形狀は通常直徑15種高さ30種の圓塔で、此目的のためには、鐵製のMouldが使用されてゐる。填充方法は混凝土をMould中に三層又は四層に分けて入れ、直徑1.5種長さ約49種下端を約3種の間鈍く尖した鐵棒を以つて前層に漸く達する程度に毎層約三十回之を突いて填充する。養生方法は材齡一日乃至二日に到りMouldを外し其後は攝氏十度を下らざる温度の水中又は濕砂中に置いて養生をする。

又試験は試験體の濕潤状態に於て行ふ事になつてゐる、材齡は一週、四週、十三週を以つて標準としてゐるが普通一般に四週後の強度を以つて混凝土の強度を論じてゐる、尙此の標準には試験装置に關する項がないが試験體の上下に置く座板の(plate)の厚さや品質に

よつても混凝土の應壓強度は影響を受けるものであるから、此點に關しても一定の標準を定める必要があると思ふ。

以上の標準に依つたものと、實際構造物として作られた混凝土とは多少の差異のあることは明白で、實際に打たれた混凝土の強度を知るためにMouldを構造體中にうめ込んでおいて他の部分と全く同じ状態のままで養生し例へば四週後に取出して其の強度を試験しようとするものも考案されてゐる。(詳細次號)

次に混凝土の流動性(Workability)とは、一定の強度其の他の欲する性質を具備せる混凝土を製作するに當り、材料の混捏から打ち終りに到る迄に於ける作業の難易を示すもので、混凝土が均一質のものとなり、鐵筋の間や型枠の隅々までよく行き渡つてセメント糊状態(Cement paste)が、鐵筋を包んで鐵筋防錆の目的を達し型枠を除去した時に平滑な混凝土の表面が得られる様な施工が相當の注意を以つてして、容易に且安全に行はれ得るために絶體には必要な性質である。

(Proceeding of the American Concrete Institute 1928の Workability に關する諸論文参照)

此の流動性の測定に關しては前述の混凝土應壓強度に關する標準中に軟さの表し方として二つの方法を擧げてある。

(1) Slump test に依る法。

此は装置が最も簡單なために現今最も廣く使用されてゐるもので、上徑10種下徑20種高さ30種の截頭圓錐型に試験體を作ると同じ様に混凝土を詰込み靜かに型を引上げて混凝土頂の下りを種にて計つて此をslumpとする、普通の鐵筋混凝土工事ではslumpは先づ18種乃至23種のものが使用される。

Slumpは同一混凝土を用ひても、其の結果が不同であつて精確なる結果は望み難いものである、又使用水量大なるも配合の貧なる混凝土にあつてはslumpを生じない事がある。又配合の異なるもので同一slumpであつても、作業の難易は必しも同一ではないので此に對

して相當の修正を加へなければならぬ様な缺點がある。

(2) Flow test に依る方法。

此は第 圖に示すが如き装置を用ひ、上部の型に混凝土を詰込み型を靜かに取外して下の平板を上下しつゝ廻轉する時、擴つた混凝土の下徑の糸の下徑に對する百分率を以つて Flow とする、普通の混凝土としては Flow 180% 乃至 220% のものが使用されるが、此は試験をしてゐる間に Cement 糊狀體は骨材 (aggregate) から分離し、水がセメント糊狀體から分離するから出來上つた混凝土の workability を測定するものでなくて、使用水量の多少を比較する事になる、又 slump test の時と同様に、型を引抜いた時に、ある種の混凝土に對しては cement paste が混凝土體から分離して流れ出て、平板を十五回上下する事の効果が甚だ薄弱となる場合も尠くない。

(3) 尙此の外に Drop test に依る方法、がある。

此は九州帝大教授吉田博士の考案になる下圖の如き装置を使用するものにして、Flow test の時と全く同様に上部の型に混凝土を詰め索條を引く事によつて其の底板を左右に開きて、混凝土を 20 厘下の板上に落下せしめ、其時の直徑を原の下徑にて割つたものを以つて Workability を測るのである。

此方法は落下した瞬間に於て混凝土全體としての workability を測定するのであるから、搗き固め、振動等の作業によつて混凝土體からセメント糊狀體又は水が分離したものの流動性を測定するといふ缺點を除去し得るものである、吉田博士の試験の結果によれば普通鐵筋混凝土工事に使用して安全なる混凝土の

流動性は普通配合の範圍内では平均 1.85 位である。(九州帝國大學工學彙報第一卷第四號參照)

最後の混凝土の經濟的であるか否かは、一定の強度並びに流動性を有する混凝土を製作するに要する單價を比較する事によつて判斷出来る。然し乍ら其の性狀例へば強度に差異のあるものでは其單價のみを以つて其の經濟を論ずることは不可能であつて、此様な時は強度を單價で割つたもの、此を經濟度と呼ぶ此經濟度の大小に依つて何れの混凝土がより經濟的であるかを判斷することが出来る。

第三節 混凝土の配合の緊要なる理由

鐵筋混凝土構造が發明されたのは今から丁度六十五年前であつた。然も今日鐵筋混凝土構造と云へば、餘りに知れ渡つて居て、現代の構造物と云へば直ちに聯想される程である。凡そ近代科學の急速なる進歩は實に驚くべきものが多いが、鐵と混凝土に依る構造學の進歩も亦其一つであらう。吾々は其普及の過程を追想して、之に要した年月の餘りに短いのに驚く外はない。

斯くの如き進歩發達の内に注意すべき一大事實がある。夫は鐵筋混凝土構造等は、其各の材料よりも其を一體とした、構造方法の研究が先立つて進歩した事實である。混凝土の使用は獨り鐵筋混凝土に限らず、尙廣い範圍に用ひられ乍ら、其の研究が却つて遅れたのは寧ろ不思議と思はれる。實際混凝土の研究は、其の發端こそ古いが極めて斷片的に何等の結論に至らずして最近に及んだ。其間鐵筋混凝土構造としては、大なる進歩を遂けて、或程度の完成を見た、此は時代の要求が餘りに急であつた事に基因するものと思はれる。

凡そ一つの構造方法を論ずる場合に、其材料の性狀を明かにすることなくして、單に其構造方法のみを論ずるは、聊か不充分なるの誹をまぬかれぬ。鐵筋混凝土構造は正に其の一例であつた。時代が全く斯様な研究過程を強要し、夫は當時としては無理からぬ事で

(ドロップテスト装置)

あつたが、其缺點は最近漸く明白となり、茲に研究は再び混凝土に立ち戻つた。而して夫に偉大なる貢獻を爲したものは米國の學界であつた。即ち 1916年 Lewis Institute の D. A. Abrams 教授の研究發表に始まり、其後多くの研究者に依つて、今日では混凝土の合理的配合の理論は略大成したと云つて良い。

翻つて本邦に於ける混凝土の現状を見るに鐵筋混凝土構造の方面にあつては、不斷の進歩發達は直ちに實際の設計に應用せられてより經濟的なる構造物が作られてゐるに拘らず其材料たる混凝土の施工については、何等見るべき進歩なく此を混凝土の配合につきて考へれば慣習に依る 1:2:4 の容積比が依然として踏襲せられ、何等合理的配合の實施された例を餘り聞かない。此の慣習に依る 1:2:4 の容積配合比は此を結果から見るとは、先づ第一に現今の學說の特色とも云ふべき水量に關して何等の規定がない。たとへ同じ材料で同一の配合であつても、加水量に依つて混凝土は強度に莫大の差を生じ得る。従つて現在の配合に依る時は、豫定せる強度以上のものを得る場合もあるが、又半面に豫想よりもはるかに低い強度の混凝土を得る可能性が甚だ多い。豫定せる強度以上のものは、強度の點から見れば、危険ではないが、其は不經濟な事であり豫定以下の強度の場合は甚しく危険な事となるのであつて、吾々技術者たる者は斯くの如く不安全なものを使用することは絶體に許されない事である。

又此方法を材料の經濟の方面から見れば、例へば一定の強度の混凝土を得るにしても、混凝土が硬くてよい所は配合が悪くてよく、又骨材の粒の割合が良好で強度が大となるものは、配合を少し悪くして其の單價を低くすることが出来る。尙單に 1:2:4 といふ配合丈では砂のかなり粗大なものは其まゝでは、施工が困難で使用しにくいものであるが、此等は後に述べる合理的配合によつて使用する時は自由に利用し得るもので、しかも普通の

細砂よりもあらゆる點に於て經濟的であるのである。

此を要するに、現状では或場合は強度に不足を生じ、或る場合には餘裕を残してゐる譯であつて、前者の場合は不安心な點で不可であり、後者は國家經濟上から見て不可である。

此等を時と場合とに應じて適當に應用し、且天然材料を廣く利用してより合理的な、より經濟的な混凝土を確實に作るが吾々施工に當る者の義務であり、又使命であると考へる。

以上は主として配合設計に就きて述べたのであるが、之は配合方法に關しても同様である。即ち理論上、實驗上、最も合理的に設計された配合比も其の配合方法よろしきを得なければ、結局出來上つた混凝土の性状といふものは實に不確實なものとなり、或る場合は經濟的に不可なものともなり、又或る場合は強度の點に對し危険千萬なものとなる。其處で如何にすれば最も合理的に其の配合を保持し得るかといふ問題に對して、著者の考へを述べて直接混凝土施工の任に當られる方々の御參考に供したいと考へる。同學の士の御叱正を得ば幸甚である。

— 編者より —

混凝土は、今や工事と云ふ工事ならどんな工事にでも、使用されないと云ふ事はなくなつてゐる。なるほど混凝土はその様に擴まつては來た、又その理論も相當の進歩を遂げた然し現在現場で實際に施工されてゐる混凝土は、果して此の進歩した理論に準據し、合理的に施工されてゐるだらうか？宮原氏は直接現場の經驗と實驗から、此の問題を檢討して、從來の混凝土論を修正し新らしき、現場に於ける施工を基調とした理論を確立せんとする現場人。其研究態度と技術者の良心の眞なる點敬服の外はない。本號に載せた處はその序論で次號から本論に入る。紙面の都合で二三の圖面を省略せねばならなかつた事を遺憾とする。