

## 第6章 配合及び水量

### 第1節 総 説

#### § 98. 概 説

コンクリートの配合と言ふのは、コンクリート材料であるセメント、細骨材及び粗骨材の配合比を言ふのである。コンクリートの配合と言ふ語の中には、使用水量の割合をも含ませるのが適當であるけれども、單にコンクリートの配合と言ふ時には、上記の様に、セメント、細骨材及び粗骨材の配合比を言ふのが從來の習慣である。

コンクリートの配合及び水量は、(1) 所要の性質のコンクリートが得られる様、(2) 経済的である様、之を定めなければならない。

コンクリート使用の目的は千差萬別である。従つて、コンクリートに要求される性質は、構造物の種類其の他に依つて大分異なる譯であるが、一般に就いて言へば、強度、水密性、耐久性、耐火性及び磨耗に對する抵抗力、等が、其の主なものである。

コンクリート又は鐵筋コンクリート構造物が、與へられた外力に耐へ得る爲に、コンクリートに相當な強度が必要であることは明白である。

水槽、地下室、等に於て、水密性の大きいコンクリートを必要とすることは明白であり、又、鐵筋コンクリートに於ては、コンクリートが鐵筋防錆の目的を達し、構造物が風雨、有害な瓦斯、等の影響に對して耐久的である上からも、コンクリートが十分水密的であることが必要である。

强度及び水密性の大きいコンクリートは、一般に十分な耐久性を有する。

コンクリートの特徴の一つは、其の耐火性にあるのであるが、特に猛火に襲はれる惧れある建物（例へば倉庫）とか、特に重要な構造物で、火災に逢つても、構造物の強度に殆ど何等の損傷、弱點を蒙らない様にしたいと言ふ様な耐火構造に於ては、特に耐火的のコンクリートを造る必要がある。

磨耗に對する抵抗力は、コンクリート道路とか、波浪の影響を受ける海中構造物などに於て、特に大切な性質である。

是等の大切な性質の内で、强度、水密性及び耐久性は、主として、コンクリートの配合及

び水量に關係し、耐火性は主として使用する粗骨材の性質に關係し(§ 324 参照)、磨耗に對する抵抗力は、主として、配合、水量、骨材の性質及び締固め、等に關係するものである。

經濟的に所要の性質を有するコンクリートを造るには、(1) 材料を有效に使用すること、(2) コンクリートの取扱ひが容易で作業がはかどること、を必要とする。(2) は作業に適するウォーカビリチーを有する様に、配合及び水量を定めることに歸着する。

依つて、配合及び水量は、コンクリートが所要の強度、水密性、耐久性、等を有するのみならず、作業に適するウォーカビリチーを有する様に、之を決定しなければならない。

コンクリートの品質及び強度を示す標準として、簡単の爲に、コンクリートの壓縮強度を用ゐることが、一般に行はれて居る。コンクリートに必要な強度は、壓縮強度のみではなく、引張強度、剪断強度、鐵筋との附着強度、等も極めて大切である。而して、是等のものは、必ずしもコンクリートの壓縮強度に正比例するものではないが、適當な設計及び施工に依つて製造されたコンクリートの強度は、太體に於て、其の壓縮強度で表はすことが出来るものである。

又、コンクリートの水密性、磨耗に對する抵抗力、等も、壓縮強度に正比例するものではないが、普通の場合、相當な壓縮強度を有するコンクリートでなければ、矢張り是等の性質を十分具備することが出來ないと言ふ點と、是等の試験をすることは容易でないと言ふ關係、等からして、コンクリートの品質を示す標準として、壓縮強度を用ゐる場合が多いのである。それで、鐵筋コンクリート標準示方書は、第4條に、『構造物の設計に於ては材齡28日に於けるコンクリートの壓縮強度を基準とすべし。』と規定して居る。

従つて、コシクリートの配合及び水量の決定方法は、コンクリートの壓縮強度を目標として之を定める様に發達して來たのである。しかるに、近來セメントの強度が著しく増大した爲に、壓縮強度は所要の目的に對して十分であるにしても、セメントの使用量が過少であるコンクリートは、其の耐久性が不十分である。それで、現今は、一般に、コンクリートの壓縮強度及び耐久性を目標として、配合及び水量を決定する様に進んで居る。

配合及び水量に就いて、鐵筋コンクリート標準示方書は、次の様に規定して居る。

#### 『第22條 総則

コンクリートの配合及び水量は、所要強度及び作業に適するウォーカビリチーを有し、水密性大なる様之を定むべし。』

#### § 99. 配合及び水量の表はし方

配合は、普通に、セメント、細骨材及び粗骨材の重量比又は容積比で表はされる。配合重

量比は大工事の場合に多く用ゐられ、配合容積比は小工事の場合に多く用ゐられる。時としては、セメントの容積と、細骨材と粗骨材との混合物の容積との比で、配合を表はすことがある。例へば、配合容積比で1:5のコンクリートと言ふのは、セメント1m<sup>3</sup>と細粗骨材混合物5m<sup>3</sup>との割合に配合するコンクリートである。

セメント一定量の容積は、其の測り方によつて大いに差があるから、セメントを容積で正確に計量することは甚だ困難である。故に、配合は容積比で表はしても、セメントは重量に依つて計量しなければならない。依つて、配合を容積比で示す爲には、使用すべきセメント重量を容積に換算する必要がある。之が爲に使用すべき、セメントの単位容積重量を、鐵筋コンクリート標準示方書は、§ 32に述べた理由により、1500kg/m<sup>3</sup>と規定して居る。

骨材一定量の容積も、其の計量方法によつて異なるから、之を容積で測るには、其の計量方法を一定する必要がある。骨材を容積で計量する標準方法は、骨材単位容積重量試験標準方法(§ 430 参照)に示してある、骨材の容積測定法(棒突き法)である。

配合比は、之を示方配合比及び現場配合比で表はすのが適當である。

示方配合比と言ふのは、示方書又は責任技術者によつて指示される配合比のことである。例へば、示方配合重量比が1:2:4のコンクリートと言ふのは、セメント1kgに對し、細骨材2kg、粗骨材4kgを使用するコンクリートである。此の場合、骨材の重量は、表面乾燥飽和状態(§ 55 参照)に於ける重量である。示方配合容積比1:2:4と言ふのは、セメント1m<sup>3</sup>(1500kg)に對し、細骨材2m<sup>3</sup>、粗骨材4m<sup>3</sup>を使用するコンクリートである。此の場合、骨材の容積は、空氣中乾燥状態又は表面乾燥飽和状態に於ける骨材の容積を、骨材単位容積重量試験標準方法(§ 430 参照)の棒突き方法によつて測定した時の容積を言ふのである。

示方配合比に於ける細骨材は、凡て板篩5を通過し、粗骨材は凡て板篩5に殘留するものとする。コンクリートに於ける細骨材の量は、ウォーカビリチー、使用水量、従つて、使用セメント量にかなり大きい影響を有するものであるから、上記の様に、細粗骨材を正しく區別した示方配合比は、各所に於けるコンクリートの配合比の比較にも役立つものである。

現場配合比と言ふのは、示方配合比を、現場に於ける細粗骨材の區別に關する餘猶、骨材の含水量、細骨材の表面水による膨み、及び材料の計量方法、等を考慮して表はしたものである。

現場に於ては、板篩5を全部通過する細骨材、及び、板篩5に全部殘留する粗骨材を使用することは困難であり、又、其の必要もない。然し、現場で、示方配合比の通りに骨材を計量する爲には、板篩5に殘留する細骨材は之を粗骨材とし、板篩5を通過する粗骨材は、之

を細骨材としなければならない。

示方配合重量比に於ける骨材の重量は、其の水分に關して、表面乾燥飽和状態のものであるが、現場で斯の如き状態の骨材を得ることは一般に出來ない。依つて、現場で骨材を計量する時は、骨材の含水量に對する修正に就いて考慮しなければならない。

骨材を容積で計量する時は、細骨材の表面水に依る膨み、及び現場に於ける材料計量の方法と棒突き方法との差による容積の差、等に就いて考慮しなければならないことは、當然である。

依つて、現場で、示方配合比の通りに材料を計量するに就いて、混雜や誤を起さない爲に、示方配合比を現場配合比で示す必要があるのである。

コンクリート又はモルタルのセメント糊中に於ける水量は、セメント水重量比又は水セメント重量比で表はされる。此の場合、水セメント重量比又はセメント水重量比と使用セメント量とから計算される水量は、表面乾燥飽和状態の骨材を使用して造った、新らしいコンクリート中に於ける水量である。即ち、乾燥した骨材を使用する時は、骨材の吸水量を使用水量から減じ、表面水を有する骨材を使用する時は、表面水量を使用水量に加へた、水量である。

セメント水重量比は、之とコンクリートの壓縮強度との關係が、普通の範囲に於て、直線的である利益がある。水セメント重量比は有效數字が2桁で十分であるに比し、セメント水重量比では有效數字3桁を探らなければならない點が不便である。水セメント重量比は、從來、廣く用ひられたものである。

配合及び水量の表はし方に就いて、鐵筋コンクリート標準示方書は、次の様に規定して居る。

### 『第23條 配合及び水量の表はし方

(1) 示方配合はセメント、細骨材及び粗骨材の重量比又は容積比を以て表はすものとす。但し容積比を以て表はすときは、セメントの容積は重量 1500 kg を以て  $1\text{m}^3$  とし、骨材の容積は『骨材の単位容積重量試験標準方法』(附録第4章)に依りて測定したものとす。

(2) 現場配合比とは示方配合比を現場に於て、細骨材の表面水に依る膨み、材料計量方法その他を考慮して表はしたるものとす。

(3) コンクリート又はモルタルのセメント糊中に於ける水量は、セメント水重量比又は水セメント重量比を以て示すものとす。』

### § 100. 配合の設計

コンクリートの配合設計と言ふのは、與へられたコンクリート材料を用ひて、所要の性質

### § 101. セメント糊の品質とコンクリートの強度との關係

を有し、且つ經濟的なコンクリートが得られる様に、配合及び水量を決定することで、コンクリート材料の選擇を終つた後、コンクリートを造るための第1の手段である。

強度、水密性及び耐久性、等に關して満足なコンクリートを造るためにには、是等の性質のコンクリートを造るに適するセメント糊を以て、骨材粒の總ての表面を覆ひ、骨材粒間の間隙を充すと同時に、作業に適するウォーカビリチーを得るに必要な量のセメント糊を使用することが必要である。

所要の性質及びウォーカビリチーのコンクリートを與へる配合及び水量は澤山あるから、其のうちで、最も經濟的なものを見出すことが必要である。

セメントは、コンクリート材料のうちで最も高價なものであり、セメント糊がコンクリートの性質を決定する主要部分であるから、コンクリートの配合及び水量の設計は、或るセメント糊の最小量を以て、作業に適するウォーカビリチーのコンクリートを造り得る様に、細粗骨材の配合比を決定することに歸着する場合も尠くない。セメントの使用量をなるべく専くする様に努めることは、容積變化の専いコンクリートを造る目的からも、極めて大切である。然し、骨材の單價も亦、或る程度まで、配合及び水量の設計に關係を有するものである。如何となれば、所要の性質及びウォーカビリチーのコンクリートの單價を最小にすることが、配合決定の基準であるからである。

材料が與へられたとして、コンクリートの配合及び水量を設計するには、

- (1) セメント水重量比又は水セメント重量比、
- (2) セメント使用量又はセメント骨材比、
- (3) 骨材の粒度又は粗細骨材重量比、
- (4) ウォーカビリチー、

の4つの事項に就いて考慮しなければならない。

一般に、是等の4つの事項を任意的に選ぶことは出來ない。普通、是等の事項の2乃至3が、構造物の種類、設計上の假定から来る條件、耐久性に關する一般の經驗、等によつて定められ、残りは、コンクリートの運搬、取扱ひ及び打込み等の、設備、手段及び方法に適合するウォーカビリチーを有する經濟的なコンクリートが得られる様に、適當に定められるのである。

依つて、先づ、是等の事項がコンクリートの性質に及ぼす影響に就いて述べ、第2節で、配合及び水量の設計方法を説明する。ウォーカビリチーに就いては、§ 89 に述べてある。

### § 101. セメント糊の品質とコンクリートの強度との關係

セメント糊の品質と、コンクリートの強度及び其の他の性質との間には、**水セメント比法則**と稱せられる次の關係がある。

清潔で強硬な骨材を使用するプラスチックなコンクリートに對し、或る施工上の條件の下に於て、コンクリートの強度及び其の他の性質は、セメント糊の品質によつて支配される。茲にプラスチックなコンクリートと言ふ意味は、コンクリートのウォーカビリチー及び強度に對して必要なセメントの最小量以上のセメント量を使用する、ウォーカブルなコンクリートのことである。

セメント糊の品質は、セメント糊中に於けるセメントと水との割合に關するものである。セメント糊の品質を示す爲に、

セメント空間比 (Prof. A. N. Talbot),

セメント空隙比 (M. O. Withey),

水セメント比 (D. A. Abrams),

セメント糊の比重 (R. L. Bertin),

セメント水比 (Prof. I. Lyse),

等が提唱されたが、是等は凡て同様な考へに基くもので、現今は、水セメント比又はセメント水比が一般に用ゐられて居る。それは、適當に造つた新らしいコンクリートに於ける空隙は、之を無視して差支へないから、實用的目的に對して、新らしいコンクリートに於ける空隙は、使用水量に等しいと考へることが出来るからである。使用水量は、總てのコンクリートに對して直接に測ることが出来るが、空隙其の他は、間接な方法で測らなければならぬ。依つて、實際のコンクリート工事上からは、水セメント比又はセメント水比を使用するのが便利なのである。

D. A. Abrams が發表した (1918) コンクリートの壓縮強度と水セメント比との關係式は、

$$\sigma = \frac{A}{B^x}$$

である。茲に、

$\sigma$  は壓縮強度,

$x$  は水セメント重量比,

A は定數で、主として骨材の種類に關係する。

B は定數で、セメント及び骨材の種類、コンクリートの材齡、等に關係する。

水セメント重量比の代りに、セメント水重量比を用ゐると、之とコンクリートの壓縮強度との間の關係は、

$$\sigma = A + B \frac{c}{w}$$

で表はすことが出来る。茲に、

$\sigma$  は壓縮強度,

A 及び B は定數で、材料及び試験の條件に關係する。

$\frac{c}{w}$  はセメント水重量比,

である。

§ 90 に述べた様に、骨材が一定である場合、或る流動性のコンクリート  $1\text{m}^3$  を得るに必要な水量は、セメント使用量の多少の變化に關せず、ほど一定であるから、今、此の一定な水量を  $W\text{ kg}$ 、コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用するセメント量を  $C\text{ kg}$  とすれば、セメント水重量比と壓縮強度との關係式は、

$$\begin{aligned} \sigma &= A + \left(\frac{B}{W}\right) C \\ &= A + K C \end{aligned}$$

となり、コンクリートの壓縮強度は、セメントの使用量に正比例することが判かる。

セメント水重量比と壓縮強度との關係式に於ける定數 A 及び B を定めるには、與へられた材料を用ひて、壓縮強度試験を行はなければならない。猶ほ、其の結果を現場のコンクリートに應用するに就いては、過去の經驗に準據する必要がある。

壓縮強度試験を行ふことが出來ない時には、従來の試験の結果が参考になる。

標準養生 (§ 190 参照) を行つたコンクリートの材齡 28 日の壓縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) と、セメント水重量比 ( $\frac{c}{w}$ ) の關係は、普通のポルトランドセメントを使用する場合に對し、

$$\sigma_{28} = -89 + 171 \frac{c}{w} \text{ kg/cm}^2$$

優良なセメントを使用する場合に對し、

$$\sigma_{28} = -126 + 215 \frac{c}{w} \text{ kg/cm}^2$$

位と考へてよい。

米國の聯合委員會の標準示方書 (1940) は、普通ポルトランドセメントを使用する場合、 $\sigma_{28}$  が  $175\text{ kg/cm}^2$  乃至  $315\text{ kg/cm}^2$  のコンクリートに對し、

$$\sigma_{28} = -130 + 220 \frac{c}{w} \text{ kg/cm}^2$$

を推奨して居り、一層安全を探る必要ある場合に對しては、

$$\sigma_{28} = -79 + 168 \frac{c}{w} \text{ kg/cm}^2$$

を推奨して居る。

水セメント重量比に關し、鐵筋コンクリート標準示方書は、次の様に規定して居る。

### 『第25條 セメント水重量比又は水セメント重量比

セメント水重量比又は水セメント重量比は、コンクリートの所要圧縮強度に応じて試験の上之を定むるものとす。

已むを得ず試験に依らざる場合には、材齢28日に於ける圧縮強度約 $135\sim210\text{ kg/cm}^2$ の場合に對し、表-3の値を標準とす。

表-3 材齢28日に於けるコンクリートの圧縮強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )

普通セメント

JESに依る材齢28日の耐壓強度

300 $\text{kg/cm}^2$ 以上 400 $\text{kg/cm}^2$ 未満のとき	$\sigma_{28} = -70 + 105 c/w$
400 $\text{kg/cm}^2$ 以上 500 $\text{kg/cm}^2$ 未満のとき	$\sigma_{28} = -90 + 135 c/w$
500 $\text{kg/cm}^2$ 以上のとき	$\sigma_{28} = -150 + 190 c/w$

早強セメント

JESに依る材齢28日の耐壓強度

300 $\text{kg/cm}^2$ 以上 400 $\text{kg/cm}^2$ 未満のとき	$\sigma_{28} = -105 + 110 c/w$
400 $\text{kg/cm}^2$ 以上 500 $\text{kg/cm}^2$ 未満のとき	$\sigma_{28} = -135 + 140 c/w$
500 $\text{kg/cm}^2$ 以上のとき	$\sigma_{28} = -165 + 175 c/w$

茲に  $c/w$ : セメント水重量比

表-3のセメントの耐壓強度は、硬練りモルタル試験によるセメントの耐壓強度である。

早期及び長期に於ける圧縮強度の増加率は、セメントの種類及び粉末度、等によつて異なるものである。

以上に述べた、セメント糊の品質とコンクリートの圧縮強度との關係は、引張強度、曲げ強度、磨耗に對する抵抗力、等に於ても同様である。

### § 102. セメント糊の品質とコンクリートの强度以外の性質との關係

セメント糊の品質とコンクリートの强度以外の性質との關係は、次の如くである。

(1) ヤング係数 (§ 308 参照)

コンクリートの强度を高めると同じ條件が、コンクリートのヤング係数を高める。即ち、水セメント重量比の小さいコンクリートは、ヤング係数が大きい。

(2) クリープ (§ 316 参照)

一般に、コンクリートの强度を大ならしめる條件は、コンクリートのクリープを減する。

(3) 水密性及び耐久性 (第14章第2節及び第4節 参照)

同一のセメント及び骨材を使用するコンクリートに於て、コンクリートの水密性及び耐久性は、强度の場合と同様、一般に、セメント糊の水セメント比が小さい程、大きい。

近來、セメントの强度の増進及びコンクリートの製造技術の進歩により、所要の圧縮強度

### § 102. セメント糊の品質とコンクリートの强度以外の性質との關係

を有するコンクリートを造ることが比較的容易になつた結果、圧縮強度のほかに、コンクリートの水密性及び耐久性を特に重要視するに到つて居る。コンクリートが耐久的である爲には、十分水密的であることが必要であつて、水の侵入を許す豆板其の他の缺點のないものでなければならない。之がためには、適當な水セメント比のセメント糊を、作業に適するウォーカビリチーが得られる丈の量使用し、打込み及び締固め作業に十分注意しなければならない。

現在の處では、コンクリートの所要の耐久性と、セメント糊の水セメント比との間の關係を、試験によつて定めるまでには進んで居ない。それは、所要の水密性及び耐久性を數字的に示すことが困難であること、水密性及び耐久性試験は一般に面倒であるのみならず、十分満足な試験方法もまだ出來て居ないこと、等に因るのである。それで、所要の水密性及び耐久性を得るために必要なセメント糊の水セメント比は、一般に、経験によつて定められた所に従つて、之を定めなければならぬ。

水、風雨、寒暑、其の他の作用を受けるコンクリートに於て、其の耐久性を基として水セメント比を定める時には、第19表に示す値を標準とする。

第19表の値は、コンクリートがプラスチックでウォーカブルであり、密度の大きい齊等性のコンクリートが得られる様に打込み、締固め、適當に養生した場合に對するものである。

現今は、セメントの强度が非常に大になつたので、耐久的なコンクリートを造るに適當な第19表の水セメント重量比を用ひれば、普通の場合、構造上の目的に對して、必要な强度以上の强度のコンクリートが得られる。

(4) 耐火性 (§ 324 参照)

コンクリートの耐火性は、骨材の種類によつて異なるが、骨材が同じであれば、セメント糊の水セメント比が小さい程、大きい。

(5) 容積變化 (第14章第3節 参照)

コンクリートの容積變化は、セメント糊に於ける水セメント比が小さい程小さく、又、セメント糊の量が大きい程大きい。

コンクリートが硬化する際の發熱量は、コンクリートの容積變化に密接な關係がある。水セメント比が小さい程、發熱量が大きいから、コンクリートの容積變化も大きい。普通のコンクリート構造物に於ては、コンクリートの發熱が容積變化に及ぼす影響はたいしたものないが、堰堤の様な大塊のコンクリートに於ては、發熱の影響を緩和するための手段が必要になる。それで、大堰堤の工事に於ては、出来る丈のセメント使用量を小さくすること、發

表 19 各種の露出状態に對する水セメント重量比(百分率)

構造物の種類又は位置	露 出 状 態			温 和 な 氣 候			雪又は霜を伴ふ場合		
	薄い断面	中庸の断面	大きな断面	薄い断面	中庸の断面	大きな断面	薄い断面	中庸の断面	大きな断面
	鐵筋 コンクリート	無筋 コンクリート	鐵筋 コンクリート	鐵筋 コンクリート	無筋 コンクリート	鐵筋 コンクリート	鐵筋 コンクリート	無筋 コンクリート	鐵筋 コンクリート
<b>A. 水理構造物又は臨水構造物、完全飽水若しくは時に飽水される可能性があるが、絶えず水に侵つてゐる構造部分に於ける水線の場合</b>									
海水の場合	44	49	53	53	58	62	49	53	58
淡水の場合	49	53	58	53	58	62	53	58	62
<b>B. 水線から離れて居るが、時々水に濡れる水理構造物又は臨水構造物</b>									
海水の場合	49	53	58	53	58	62	53	58	62
淡水の場合	53	58	62	53	58	62	53	58	62
<b>C. 上記の何れにも屬しない普通の露出状態の構造物、建築物及び橋梁</b>									
海水の場合	53	58	62	53	58	62	53	58	62
淡水の場合	58	62	66	58	62	66	58	62	66
<b>D. 絶えず完全に水中に侵つて居る構造物</b>									
海水の場合	53	58	62	53	58	62	53	58	62
淡水の場合	58	62	66	58	62	66	58	62	66
<b>E. 水中コンクリート</b>									
上層	49	53	62	49	53	62	49	53	62
基層	53	58	62	53	58	62	53	58	62
<b>G. 特別な場合</b>									
(a) 強硫酸鹽性の地下水、又は其の他の腐蝕性流體又は鹽類に曝されるコンクリートに對しては、最大水セメント重量比を44%以上としない。									
(b) 構築物の内部及び全く地下下に埋設された構築物の様に、全然氣象作用を受けない構築物に對しては露出による危険はなく、從つて水量は強度及びウォーカーピラーの方から決定する。									

熱量の勘いセメントを使用することのほかに、熱を取去るために、コンクリート中に埋込むた鐵管に冷却水を通して、收縮繩目のグラウチングを行ふ前に、全コンクリート體が年平均氣温になる様にすることもあるのである。

前に述べた様に、強度、水密性及び耐久性、等の大きいコンクリートを造ることは、使用セメント量の増加によつて、比較的容易に目的を達することが出来るが、容積變化の勘いコンクリートを造るためには、經濟上の問題は別としても、出來る丈け少量のセメントを使用しなければならない。之が、大塊コンクリートの配合の決定に於て、むづかしい點の一つである。

§ 90 に述べた様に、與へられた細粗骨材混合物に對して、流動性を同じに保てば、使用水量もほど一定であるから、所要の強度或は耐久性を得るために必要なセメント量も定まる。依つて、セメントの使用量を減ずるには、使用水量を減すること、即ち、流動性の勘い硬練りコンクリートを使用するより仕方がないことになる。而して、硬練りのコンクリートを用ひて、所要の性質のコンクリートを造るには、十分な締固めが是非必要になる。堰堤其の他のコンクリート施工に於て、振動機の使用を必要とする理由は、こゝにあるのである。

### § 103. セメントの最小使用量

骨材の品質及び粒度が適當であれば、或る點まではセメントの使用量を減じて、水密的で、耐久的なコンクリートを造ることが出来るけれども、骨材を有效に附着させる丈けのセメントが不足する點に達すれば、強度は兎も角として、水密性及び耐久性の大きいコンクリートを造ることが出来ない。それは、セメントの使用量を或る程度以上勘くすれば、同じ流動性に對して、セメント糊が餘りうすくなり、セメント糊に於ける空隙が非常に大きくなるからである。

所要の水密性及び耐久性は、構築物の種類及び構造物が氣象作用を受けるか否か等によつて異なるから、許容し得べきセメントの最小使用量は、構築物の種類其の他によつて異なる。それで、堰堤、鋪装、鐵筋コンクリート、等に於ては、是等の過去の成績に關する經驗から、必要であると考へられるセメントの最小使用量が定められる。殊に、鐵筋コンクリートに於ては、鐵筋の防錆及びコンクリートと鐵筋との附着力を十分にするため、適當な水セメント比のセメント糊で鐵筋を完全に包むことが必要であり、又、十分水密的でなければならぬから、セメントの最小使用量を規定することが必要なのである。

各種の構築物に對するセメント使用量の範囲は、大體、第20表の如くである。

第20表

各種の構造物に使用するコンクリートの流動性、セメント使用量及び骨材の最大寸法

構造物の種類	流動性	コンクリート1m <sup>3</sup> に使用するセメント量(kg)	粗骨材の最大寸法(cm)
大塊コンクリート 〔堰堤、大きい橋脚、大きい基礎〕	中硬練り	195~280	7.5~15
相当體積の 大きいコンクリート 〔橋脚、厚い壁、基礎、大きいアーチ及び大梁〕	中硬練り	225~340	5~10
	中軟練り		
鋪装の類 〔路面、厚い版、相当厚い基礎〕	中硬練り	250~340	4~6
	中軟練り		
大きい鐵筋 〔大きい部材、小さい橋梁、コンクリートの基礎、鐵筋の間隔が構造の類相当廣い時〕	中軟練り	280~390	2.5~5
	軟練り		
小さい鐵筋 〔薄い版、小さい柱、鐵筋使用量の多い部材、鐵筋間隔が小さい部材〕	軟練り	310~390	1~2.5

セメントの最小使用量に就き、鐵筋コンクリート標準示方書は、次の様に規定して居る。

## 『第24條 セメントの最小使用量

鐵筋コンクリートに於ては、出來上りコンクリート1m<sup>3</sup>に付き、少くとも300kgのセメントを使用すべし。但し橋梁、其の他の構造物にして、煤煙、乾濕、鹽分等に對し特に鐵筋の防護を必要とする場合には、前記の最小使用量を増大すべし。

振動機を使用する場合、又は寸法大なる構造物にして、其の受くる應力度が許容應力度より特に低く、鐵筋防鏽に支障なき場合等に於ては、前記の最小使用量を270kgまで減少することを得。』

## § 104. 粗骨材の最大寸法及び粗細骨材比

粗骨材の最大寸法は、或る水セメント比及び流動性のコンクリートに對して、必要なセメント糊の量に大きい影響を有すること、粗骨材の最大寸法は、一般に構造物の種類によつて定まること、材料の分離を最小にするため、最大寸法の大きい粗骨材を使用する貧配合のコンクリートは、之を無筋のコンクリートのみに使用すること、等に就いては、§ 70, § 95, 及び § 97, 等に述べた通りで、大體の標準は第18表及び第20表に示してある。

コンクリートに於けるセメント糊の量は、コンクリートの流動性、從つて、ウォーカビリチーに影響する。セメント糊の量を減すれば硬練りになり、増加すれば軟練りになる。セメ

## § 104. 粗骨材の最大寸法及び粗細骨材比

125

ント糊の附着力と骨材の粒度とが相俟つて、セメント糊の比較的うすい連續した膜によつて、混吊に保ち得る骨材の量を支配するのであるから、セメント糊が濃い程、即ち、水セメント比が小さい程、粗細骨材比の大きい値で、ウォーカブルなコンクリートが得られ、セメント糊がうすい程、即ち、水セメント比が大きい程、所要のウォーカビリチーに對して、粗細骨材比を小さくしなければならない。

一般に、粗細骨材比を大きくすれば、或るウォーカビリチーのコンクリートを得るために必要な、セメント糊の量は減するが、粗細骨材比が或る値以上になると、コンクリートが荒々しくなり、材料の分離を起す傾向が大きくなり、コンクリートがプラスチックでウォーカブルで無くなる。依つて、此の値よりも大きい粗細骨材比で、所要のウォーカビリチーのコンクリートを得るために、濃いセメント糊を使用しなければならないことになる。即ち、セメントの使用量を増加して、水セメント比を小さくしなければならない。此の時、コンクリートの強度は増加するが、コンクリートの単價も高くなる。極端な場合として、細骨材を用ゐないとすれば、所要のウォーカビリチーのコンクリートを得るために、非常に濃いセメント糊を多量に使用しなければならないから、必要なセメント量が非常に増大するのである。

水セメント比の値を、強度、耐久性其の他から定まる値よりも小さくすることは、不必要であり、又、一般に不經濟であるから、或る水セメント比のセメント糊と骨材とに對して、所要のウォーカビリチーが得られる範囲に於て、必要なセメント糊の量が最小である様な粗細骨材比が、經濟的見地から最も望ましいものである。而して、或る水セメント比のセメント糊に對して、最も作業に適するウォーカビリチーを與へる粗細骨材比があり、逆に、或るウォーカビリチーに對して、セメント糊の量、従つて、使用水量の最小な粗細骨材比がある。

所要のウォーカビリチーと經濟とに關して、適當な粗細骨材比の値に大きい關係を有するものは、細骨材の粒度である。實用上の範囲に於て、細骨材粒が小さい程、又、配合が富である程、粗細骨材比を大きくすることが出来る。経験によると、或る水セメント比のセメント糊に對して、所要のウォーカビリチーのコンクリートを造るには、細骨材は、網篩0.3を通過するものの適當量を含むことが必要である。網篩0.3を通過すべき微粒の量は、セメント糊の水セメント比によつて異なるので、セメント糊が濃い場合には、比較的小量でよいが、うすい場合には、相當多量を必要とする。水セメント重量比が57.5%のセメント糊に對し、適當なウォーカビリチーを得るには、網篩0.3を通過する微粒の量約10%が必要である。

細骨材に於ける微粒が不足する時、ウォーカビリチーをよくするための普通の方法は、粗細骨材比を小さくするにあるが、之は、富配合のコンクリートの場合のほかは、材料の分離及び水の上昇を防ぐのに有效でない。

粗粒の非常に多い細骨材を使用すると、つぶつぶで、仕上げに困難なコンクリートが出来る。それで、粗粒の量の多い細骨材を使用する時、粗骨材は、砂の粗粒の大きさの粒を極く少量含むことが必要である。

### § 105. 粗細骨材比を決定する諸方法

粗細骨材比は、一般に、作業に適するウォーカビリチーが得られる範囲に於て、之を大きく採る程、経済的なコンクリートが得られるることは、§ 104 に述べた通りである。

小工事の場合で、粒度が適當な骨材を使用する場合には、粗細骨材比は、経験を基として、之を決定すればよい。極く大體の標準は、第21表の如くである。

第21表 粗細骨材重量比の値

粗骨材の最大寸法 mm	粗細骨材重量比	
	貧配 合	富配 合
20	1	1.5
25	1.15	1.7
40	1.33	2.0
50	1.5	2.33

又、第22表の値も参考になる。

然し、大工事又は大切な工事に於ては、粗細骨材比の最適な値を決定する爲に、相當な研究をするのが有利である。適當な粗細骨材比を決定する方法の主なものは、3つある。

(1) は、骨材の空隙を基として、粗細骨材比を決定する方法で、粗粒の骨材の空隙をそれよりも小さい粒の骨材で順次填充する様に、骨材の粒度を定めるものである。此の方法は、§ 109 に述べてある。

(2) は、篩分け試験の結果を基として、適當な粗細骨材重量比を決定する方法である。之に2つの方法がある。

1つは、細粗骨材混合物の粒度を、或る範囲内にある様に定めるか、又は或る標準粒度曲線に合する様に定める方法である。此の場合に於ける骨材粒度の範囲又は標準粒度曲線は、實驗又は経験により、或る工事に於ける骨材の種類、最大寸法、セメント使用量及び流動性、等に對し、最適のコンクリートを生ずる様に豫め定められたものである(§ 59 参照)。

他の方法は、細粗骨材混合物の粗粒率(§ 60 参照)が、實驗的に定められて居る範囲内にある様に、粗細骨材比を定める方法である。

セメントの使用量は、コンクリートのウォーカビリチーに關係するから、使用セメント量

に應じ、粗細骨材比を定めなければならない譯である。然し、或る工事に於て、或る種類の構造物に使用するセメント量の變化は、比較的小範囲であるから、斯の如き場合に對しては、セメントの使用量を考慮しないで、細粗骨材混合物の粒度の範囲、標準粒度曲線、粗粒率の範囲、等を豫め定めることが出来るのである。但し、骨材粒は體積を有するのに、篩分けは平面上の篩目を通過させるのであるから、骨材粒が凡て球でない限り、篩分け試験其のものが近似的のものであつて、たゞ、適當な代表的試料が得られる時丈けに好結果を與へるものである。以上の理由により、骨材の篩分け試験の結果を基として定めた細粗骨材の配合は、試験バッチによつて適當に修正する必要があるのである。

猶ほ、實際に於ては、現場で比較的容易に入手できる骨材を使用しなければならないから、一定の標準粒度に全く合する様な細粗骨材の混合物を用ゐることは甚だ困難である。それで、或る現場に於いて澤山の實驗の結果や、経験が出來た時、(2) の方法が非常に有効となるのである。

(3) は、試的方法である。(1) 及び(2) の方法は、適當な粗細骨材比を決定するのに便利な参考資料となるものであるが、一般の場合に對しては、試的方法による方が、最も満足な結果が得られ、且つ便利である。試的方法に就いては、§ 113 乃至 § 115 に述べてある。

猶ほ、熟練な技術者が現場でコンクリートを觀察すれば、砂が過多であるか、過少であるかは、容易に判斷出来るものである。それで、出來て居るコンクリートの粗細骨材比が不適當であるならば、現場で、適當な修正を施すことが必要になる。其の方法は、§ 115 に述べてある。

## 第2節 配合の設計方法

### § 106. 概 説

或るコンクリート又は鐵筋コンクリート構造物に使用すべきコンクリートの、經濟的配合を決定する爲の完全な方法は、次の如くであると思はれる。

使用し得べき各種の材料を以て、各種の配合及び水量のコンクリートを製造し、是等のコンクリートのウォーカビリチー、壓縮強度、水密性、耐久性、磨耗に對する抵抗、等の試験を行ひ、是等のコンクリートを以て其の構造物の設計をなし、一切の工事費を計算し、其の結果から、最も經濟的に且つ安全に構造物建造の目的を達し得る材料、配合及び水量のコンクリートを決定する。此の方法は、コンクリート又は鐵筋コンクリート構造物の設計及び施

工に精通した技術者が居り、コンクリートの配合決定の爲に要する時間と労力とを厭はない大工事に對して、最も完全な方法であつて、他のどんな方法を用ゐるにしても、此の方法に近い程、満足な結果が得られるのである。

然し、此の方法は一般に採用し得べきものではない。それで、成る可く手數を省いて、満足な結果を得むとして、澤山の研究が行はれ、種々の方法が擧出されて居る。

現今、多く用ゐられて居るコンクリートの配合及び水量の設計方法は、次の4つに大別することが出来る。

(1) 慣例による配合決定法 (§ 107 参照)

(2) 骨材の空隙に應じて配合を定める方法 (§ 109 参照)

(3) 所要の流動性及び性質のコンクリートを造るに對して、セメントの使用量を最小にする方法 (§ 110 参照)

(4) 水セメント比の最大値が定められ、所要の流動性を有する經濟的コンクリートの配合を設計する方法 (§ 111 乃至 § 115 参照)

上記のどの方法によるにしても、配合及び水量を決定するには、實驗室に於ても、現場に於ても、實際コンクリートを造つて見て、事情の許す限り必要な試験を行ひ、所要のウォーカビリチー及び性質のコンクリートを得る様に努めることが大切である。

一般に、水セメント比を基とする方法によれば、配合の加減をするのに便利であり、又、經濟的な配合の設計が容易に出来る。

### § 107. 慣例による配合決定法

此の方法は、コンクリート使用の目的に應じ、從來の慣例によつて、何等の實驗を行はずに配合を決定し、水量は作業に適するウォーカビリチーを得る様に現場で定める。従つて最も簡単ではあるが、極めて粗雑な方法である。

故に、此の方法は、極めて小量のコンクリートを造る場合、比較的大切でない工事の場合、材料の性質及び骨材の粒度などが既知であり、其の變化が小範囲である場合、又は、配合の決定について他の一層手數のかかる方法を用ゐることが出來ない様な場合、等にのみ用ゐられる。

普通に用ゐられる配合の慣例は、容積比で、次の如くである。

**1:1:2** 大きい圧縮強度及び水密性を必要とする時に用ゐられる甚だ富配合のものである。

**1:1:3** 前者ほど圧縮強度は大きくなないが、以上と同様な目的に使用される富配合のものである。

### § 108. 米國聯合委員會のコンクリート及び鐵筋コンクリート標準示方書の表を用ゐる方法 129

**1:2:4** 標準配合などと稱せられ、鐵筋コンクリート工事に最も廣く用ゐられ、又、震動を受ける基礎などにも用ゐられるものである。此の配合のコンクリートは、屢々、材齡28日に於て  $140 \text{ kg/cm}^2$  の圧縮強度を有するものと假定される。

**1:2:5** 機械の基礎、擁壁、橋臺、橋脚、普通の床、壁、等に用ゐられる中等配合のものである。

**1:3:6** あまり大きくなない應力を受ける大塊の構造物に使用される貧配合のものである。

**1:4:8** 實際上、自重のみを受ける様な大塊のコンクリートに使用される甚だ貧配合のものである。

猶ほ、水中コンクリートを施工する時には、セメントの流失に對して、以上よりも1割乃至3割餘分のセメントを使用することがある。

以上の配合は、粗骨材には 50% の空隙があるものと假定し、之を填充するために粗骨材の容積の  $\frac{1}{2}$  の容積の細骨材を用ゐ、セメントの量はコンクリート使用の目的に應じて加減するか、又は細骨材の 2 倍の容積にセメントの容積を加へた和に等しい粗骨材を用ゐるものである。標準配合 1:2:4 は、細粗骨材に各々 50% の空隙があるものと假定し、粗骨材の空隙を細骨材で填充し、細骨材の空隙をセメントで填充すると言ふ考へに基くものである。

配合をセメントの容積と細粗骨材の混合物の容積との比で表はす時には、1:2:4 の配合は約 1:5, 1:2:5 は約 1:6, 1:4:8 は約 1:9 の配合に相當する。

### § 108. 米國聯合委員會のコンクリート及び鐵筋コンクリート .

#### 標準示方書の表を用ゐる方法

第22表は、米國聯合委員會の標準示方書 (1940) が、配合及び水量の設計の参考として擧げて居る表で、(1) 粗骨材の最大寸法、(2) 材齡 28 日の圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ )、(3) コンクリート  $1 \text{ m}^3$  に使用するセメント量、(4) 最大水セメント重量比、(5) 粗細骨材重量比、(6) セメント 1 袋 (50 kg) に対する表面乾燥飽和状態骨材の近似量、等の關係が示してある。

第22表の値は、スランプ約 10 cm のコンクリートに對するものであるから、他のスランプの場合に對しては、セメント使用量を變化しなければならない。表に於ける數値は、極く近似的のものであるから、次の様にして、セメント使用量を修正すれば十分である。即ち、スランプ 2.5 cm の差に對して、セメント使用量をコンクリート  $1 \text{ m}^3$  に對して、7 kg 變化する。スランプが 10 cm 以上の時は、相當するセメント量を増加し、スランプが 10 cm 以下である時は、相當するセメント量を減ずる。

表に示す、水セメント重量比と圧縮強度との關係を、セメント水重量比と圧縮強度との關係

第22表 配合及び水量設計の参考表

粗骨材の最大寸法 (mm)	圧縮強度 $\sigma_{28}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	コンクリート 1m <sup>3</sup> に使 用するセメ ント量(kg)	最大水セメ ント重量比 $\frac{w}{c}(\%)$	粗細骨材 重量比	セメント1袋に對する表面乾燥飽和状態骨材の近似量(kg)		
					全量	細骨材	粗骨材
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
25	158	274	71	1.17~1.5	352	149	203
50	158	251	71	1.33~1.7	394	160	234
75	158	229	71	1.5~1.94	447	165	282
25	193	312	63	1.22~1.55	304	128	176
50	193	285	62	1.18~1.35	341	133	208
75	193	262	62	1.57~2.05	384	138	246
25	210	335	58	1.27~1.63	277	112	165
50	210	307	58	1.38~1.65	314	122	192
75	210	285	58	1.5~1.94	351	128	223
25	232	363	53	1.33~1.7	250	101	149
50	232	335	53	1.44~1.86	282	107	175
75	232	307	53	1.86~1.57	319	117	202
25	260	402	49	1.4~1.78	224	85	139
50	260	374	49	1.5~1.94	250	90	160
75	260	346	49	1.63~2.13	282	96	186
25	300	447	44	1.44~1.86	197	75	122
50	300	413	44	1.57~1.86	224	80	144
75	300	380	44	1.7~2.23	250	86	164

係式で書くと、

$$\sigma_{28} = -79 + 168 \frac{c}{w}$$

となり、之は、普通ポルトランドセメントに對するものである。此の式は、試験を行はない場合に使用するものであるから、相當安全である様、定めてある。猶ほ、早強ポルトランドセメントを使用する時は、材齡7日で、普通ポルトランドセメントを用ゐる場合の材齡28日の強度を出すものと考へて安全である。

第22表に示す粗細骨材重量比は、極く近似的のもので、所要のウォーカビリチーのコンクリートを造る爲に、此の表の範囲以外の値を使用するのが適當である場合が屢々ある。猶ほ、此の數値は、細粗骨材の比重が相等しい場合に對するものであるから、比重が異なる場合には、比重の差に就いて考慮しなければならない。

セメント1袋(50kg)に對する骨材の重量の近似値は、表面乾燥飽和状態に於ける骨材

の比重が2.65である場合に對するものであるから、比重が $g$ である骨材を使用する時には、此の表に示された近似値に、 $\frac{g}{2.65}$ を乗じた値を用ゐる。

### § 109. 骨材の空隙に應じて配合を定める方法

此の方法の主眼とする所は、空隙が最小であるコンクリート、即ち最大密度のコンクリートを造らむとするにあるので、他の事情が同じであれば、最大密度のコンクリートが最大強度を有するコンクリートであると言ふ、概念に基くものである。

骨材の空隙に應じて配合を決定するのに、次の3方法が普通に行はれて居る。

(1) 粗骨材の空隙を測定し、其の空隙を填充するに十分な丈けのモルタルの量を使用する。粗骨材にモルタルを加へれば容積が増加するから、粗骨材の空隙をモルタルで十分填充することが出来る爲には、粗骨材の空隙よりも、場合に應じて、10%乃至20%餘分のモルタル量を使用することが必要である。

コンクリートの強度は使用したモルタルの強度に等しいと見てよい。

粗骨材の空隙を簡単に測定するには、既知の容積を有する容器に粗骨材を入れ、器の底から器の上面に達する迄注水し、其の水量を測ればよい。空隙率については、§ 57に述べてある。

(2) 空隙が最小になる様な細粗骨材混合物の配合を求め、其の混合物の空隙を填充し、なほ多少の餘裕ある丈けの量のセメント糊を使用する。コンクリートの壓縮強度其の他は、水セメント比から判断する。

細粗骨材混合物の空隙が最小になる爲の是等の配合を求めるには、各種の配合に混合した混合物の単位容積重量を測定し、最大重量を與へるもの求めればよい。

此の混合物の空隙率は、§ 57に述べた方法によつて計算する。水を注入する方法では、細骨材中の空氣を完全に追ひ出して水で置換へることが困難であるから、正確な結果が得られない。

(3) 與へられた材料を以て、各種の配合及び水量のコンクリートを造り、其の単位容積の重量を測定し、単位容積の重量が最大である配合及び水量のコンクリートが、最大壓縮強度、最大水密性を有するコンクリートであると假定する。

之は、實驗に手數がかかるけれども、最大密度のコンクリートを造らうとする方法のうちで、最も其の目的に適する結果を與へるものである。

コンクリートの壓縮強度其の他は、水セメント比又はモルタルの強度から判断してよい。以上、いづれの方法を用ゐるにしても、信頼し得べき結果を得る爲には、コンクリートの

圧縮強度試験を行つて、強度を照査する必要がある。

骨材の空隙は同じでも、其の大小粒混合の程度によつて骨材表面積の總和に大きい差を生ずるから、單に骨材の空隙のみを標準として配合を決定せむとする以上的方法が、不完全のものであることは明白である。

### § 110. セメント使用量と流動性とが定められて、コンクリートの配合を設計する方法

堰堤やコンクリート鋪装の様な特殊の構造物の場合に於ては、構造物の過去の實績から、セメントの最小使用量と、工事の設備、コンクリートの取扱い、打込み、等に適する流動性とが、示方されることがある。此の場合の、配合及び水量の設計方法は、§ 112 乃至 § 115 に述べる配合及び水量の設計方法に準ずればよい。

各種の構造物に對して使用されるセメント量其の他は、第20表に示してある。

### § 111. 水セメント比と流動性とを定めて、配合及び水量を設計する諸方法

水セメント比は、構造物の種類及び構造物使用の目的等に應じ、所要の強度、又は、所要の耐久性を基として、之を定める。

強度を基として、水セメント比を決定する爲には、コンクリートの強度とセメント水重量比との關係を求めるために、試験を行はなければならない。實驗室に於ける豫備試験の結果は、實際の構造物に於けるコンクリートの強度と異なるから、豫備試験の結果を用ゐるに就いては、此のことを考慮し、過去の經驗によつて、適當な修正を施すのが適當である。已むを得ず試験を行ふことが出來ない場合は、§ 101 に述べてある所に従つて、使用すべき水セメント比を定める。

氣象作用其の他を受けるコンクリートに於て、耐久性を基として水セメント比を定める必要ある場合には、第19表を参考として、之を定める。

骨材の最大寸法及びコンクリートの流動性は、作業に適するウォーカビリチーのコンクリートが得られる様に、之を決定しなければならない。此の點に就いては、§ 95 に述べた通りで、各種の構造物に對して適當なスランプ及び粗骨材の最大寸法は、第18表に示してある。

水セメント比及び流動性を基として、配合の設計をするのに多くの方法がある。次に、簡単な實用的方法と、大切な工事に用ゐられる試的方針とを説明する。

圧縮強度試験を行つて、強度を照査する必要がある。

骨材の空隙は同じでも、其の大小粒混合の程度によつて骨材表面積の總和に大きい差を生ずるから、單に骨材の空隙のみを標準として配合を決定せむとする以上的方法が、不完全のものであることは明白である。

### § 110. セメント使用量と流動性とが定められて、コンクリートの配合を設計する方法

堰堤やコンクリート鋪装の様な特殊の構造物の場合に於ては、構造物の過去の實績から、セメントの最小使用量と、工事の設備、コンクリートの取扱い、打込み、等に適する流動性とが、示方されることがある。此の場合の、配合及び水量の設計方法は、§ 112 乃至 § 115 に述べる配合及び水量の設計方法に準ずればよい。

各種の構造物に對して使用されるセメント量其の他は、第20表に示してある。

### § 111. 水セメント比と流動性とを定めて、配合及び水量を設計する諸方法

水セメント比は、構造物の種類及び構造物使用の目的等に應じ、所要の強度、又は、所要の耐久性を基として、之を定める。

強度を基として、水セメント比を決定する爲には、コンクリートの強度とセメント水重量比との關係を求めるために、試験を行はなければならない。實驗室に於ける豫備試験の結果は、實際の構造物に於けるコンクリートの強度と異なるから、豫備試験の結果を用ゐるに就いては、此のことを考慮し、過去の經驗によつて、適當な修正を施すのが適當である。已むを得ず試験を行ふことが出來ない場合は、§ 101 に述べてある所に従つて、使用すべき水セメント比を定める。

氣象作用其の他を受けるコンクリートに於て、耐久性を基として水セメント比を定める必要ある場合には、第19表を参考として、之を定める。

骨材の最大寸法及びコンクリートの流動性は、作業に適するウォーカビリチーのコンクリートが得られる様に、之を決定しなければならない。此の點に就いては、§ 95 に述べた通りで、各種の構造物に對して適當なスランプ及び粗骨材の最大寸法は、第18表に示してある。

水セメント比及び流動性を基として、配合の設計をするのに多くの方法がある。次に、簡単な實用的方法と、大切な工事に用ゐられる試的方針とを説明する。

### § 112. 簡単な配合設計法

此の方法は、骨材に關して其の最大寸法丈けを考慮し、粒度に就いて考慮しない點が不完全であるが、非常に簡単であるのみならず、粒度が特に悪くない骨材を使用する場合には、實際上の多くの場合に對し、満足な結果を與へるものである。

#### 第1段

コンクリートの強度を基とする時は § 101 に述べた所により、耐久性を基とする時は第19表に依つて、適當な水セメント比を選定する。

#### 第2段

構造物の種類及びコンクリート打ちの作業に應じて、粗骨材の最大寸法及びスランプを選定する (§ 70, § 95, § 97, 第18表, 第20表 参照)。

#### 第3段

定めた最大寸法の粗骨材に對して、所望のスランプのコンクリート 1m<sup>3</sup> を造るに必要な水量を定める。

簡単に配合及び水量の設計をする場合、同じ骨材に對し、コンクリート 1m<sup>3</sup> に使用する水量が同じであれば、コンクリートの流動性は、セメント使用量の多少の變化に關せず、ほぼ一定であると假定してよい (§ 90 参照)。それで、粒度が適當である砂及び砂利を使用する時、コンクリート 1m<sup>3</sup> に使用する水量とスランプとの關係は、大體、第23表の値を用ゐることが出来る。

第23表 コンクリート 1m<sup>3</sup> に使用する水量とスランプとの關係

砂利の最大寸法	コンクリート 1m <sup>3</sup> に使用する水量 (kg)		
	スランプ <sup>a</sup> 2.5 cm ~ 5 cm	スランプ <sup>b</sup> 7.5 cm ~ 10 cm	スランプ <sup>c</sup> 15 cm ~ 17.5 cm
20 mm	174	189	208
25 mm	164	179	198
40 mm	159	174	194
50 mm	150	164	179

#### 第4段

1m<sup>3</sup> のコンクリートに使用するセメント量を定める。之は前に定めた水セメント比と、使用水量とから容易に計算出来る。

#### 第5段

コンクリート 1m<sup>3</sup> に使用する骨材の全重量を求める。之に2つの方法がある。

(1) は、簡単であるが多少不正確である。

先づ、コンクリート  $1\text{m}^3$  の重量を假定する。普通の砂利コンクリートに對しては、之を  $2350\text{ kg}$  と假定すればよい。此の値は、粒度が荒い骨材に對しては大きすぎるし、粒度の細かい骨材に對しては少し小さ過ぎるが、普通の場合に對しどう適當な平均値である。

コンクリート  $1\text{m}^3$  の重量から、コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用するセメント及び水の重量を減すれば、コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用すべき骨材の全重量が計算出来る。

(2) は、骨材の比重を用ゐる方法で、(1) よりも多少正確である。

骨材の比重は、 $2.63$  と假定すれば安全である。然れば、骨材の固體単位重量 (§ 56 参照) は、 $2630\text{ kg/m}^3$  である。

セメント糊の容積は、セメントと水との總體容積の和であつて、之を  $V_p$  とすれば

$$V_p = \frac{C}{1000 g_c} + \frac{W}{1000} (\text{m}^3)$$

である。茲に  $C$  及び  $W$  は、夫々コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用するセメント及び水の重量 ( $\text{kg}$ )、 $g_c$  はセメントの比重、である。

$1\text{m}^3$  から  $V_p$  を減じたものが、骨材の固體容積である。故に、 $(1-V_p)$  に  $2630$  を乗じたものが、コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用すべき骨材の重量 ( $\text{kg}$ ) となる。

## 第6段

粗細骨材重量比を定めれば、前段の結果から、コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用すべき細粗骨材夫々の重量が求められる。

適當な粗細骨材比は、骨材の粒度に大きい關係を有するものであるから、一般的の標準を示すことは甚だ困難である。一般的の原則としては、§ 104 に述べた様に、作業に適するウォーカビリチーを得る範囲に於て、粗細骨材比を大きくすれば、經濟的なコンクリートが得られる。

使用する骨材に對する過去の経験があれば、之に従ふのが便利であるが、然らざる場合、大體の見當をつけるには、第21表及び第22表の値が参考になる。

猶ほ、普通のコンクリート工事に對しては、粗骨材の絕對容積を、砂利に對して  $0.45$ 、碎石に對して  $0.50$ 、に採れば、十分安全な結果が得られるものである。

## 第7段

以上の様にして、所要の性質及びスランプを有するコンクリートの配合及び水量が決定出来るが、猶ほ、安全のために、上記の様にして決定した凡ての材料を  $1\%$  乃至  $2\%$  増大したもの、設計の配合及び水量とするがよい。

上述の方法は、甚だ近似的のものであるが、之は假定が近似的である丈けで、使用する材

料に對する水セメント比と強度との關係、所要のウォーカビリチーを得るために必要な水量、適當な粗細骨材比、等を實驗によつて定めれば、極めて満足な結果に達し得るものである。

## 例題

粗骨材の最大寸法が  $50\text{ mm}$  で、粒度が適當な砂及び砂利を使用し、スランプ  $7.5\text{ cm}$  乃至  $10\text{ cm}$ 、 $\sigma_{28} = 210\text{ kg/cm}^2$  のコンクリートの配合を設計せよ。

## 解

(1) セメント水重量比と壓縮強度との關係式は、§ 108 に述べた、

$$\sigma_{28} = -79 + 168 \frac{c}{w}$$

を用ひてみる。然れば  $\sigma_{28} = 210\text{ kg/cm}^2$  のコンクリートを得るには、

$$210 = -79 + 168 \frac{c}{w}$$

$$\therefore \frac{c}{w} = 1.72$$

$$\text{或は } \frac{w}{c} = 58\%$$

(2) 今、砂利の最大寸法が  $50\text{ mm}$  であり、所望のスランプが  $7.5\text{ cm}$  乃至  $10\text{ cm}$  であるから、第23表によりて、コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用する水量を  $164\text{ kg}$  に採る。

(3) 然れば、コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用すべきセメント量は、

$$164 \times \frac{c}{w} = 164 \times 1.72 = 282\text{ kg}$$

(4) セメント糊の容積は、セメントの比重を  $3.15$  と假定する時、

$$V_p = \frac{282}{3150} + \frac{164}{1000} = 0.254\text{ m}^3$$

故に、コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用すべき骨材の重量は、骨材の比重を  $2.63$  と假定する時、

$$(1-0.254) \times 2630 = 1960\text{ kg}$$

(5) コンクリート  $1\text{m}^3$  に使用するセメントの量が  $282\text{ kg}$  であるから、あまり貧配合でもないし、富配合でもない。第21表によれば、粗細骨材重量比を  $1.5$  乃至  $2.33$  に選べばよいし、第22表によれば  $1.4$  乃至  $1.7$  に選べばよいことが判かる。又、砂利の絕對容積を、 $0.45$  に採れば、使用すべき砂の絕對容積は、

$$1 - 0.254 - 0.45 = 0.296$$

であるから、砂及び砂利の比重を相等しいと假定すれば、砂利砂重量比は  $0.45 \div 0.296 = 1.5$  となり、之は十分安全な値である。依つて、今、砂利砂重量比を  $1.6$  に選べば、コンクリート  $1\text{m}^3$  に對し、

$$\text{砂は } 1960 \div 2.6 = 750\text{ kg}$$

砂利は  $1960 - 750 = 1210 \text{ kg}$

を使用すべきことになる。

(6) 猶ほ、安全のために、凡ての材料を 2% 増すとすれば、所要のコンクリート  $1 \text{ m}^3$  を造るには、セメント 287 kg, 水 167 kg, 砂 765 kg, 砂利 1230 kg を使用すべきことになる。

### § 113. 實驗室に於ける試的方法

#### (1) 概 説

實驗室に於て、水セメント比を基として配合及び水量を設計する試的方法は、種々の配合の骨材混合物が所要のウォーカビリチーを得るに必要な、或る水セメント比のセメント糊の量を試的に求め、是等のコンクリートのうちから、最も經濟的なものを選定するにある。最初に試みる配合及び水量は、§ 112 に述べた簡易法又は過去の經驗から之を決定し、所要のウォーカビリチーを得るまで、粗細骨材比及び水量を變化して試験を行ふ。そして、是等のコンクリートのうちで最も經濟的なものを選定する。普通、セメント糊の使用量の最小なコンクリートが、最も經濟的なコンクリートである。

最も經濟的な配合及び水量を設計するために、如何程の數の試験バッチを造るべきかは、コンクリート工事の大小、試験のために許される時日、及び試験費、等によつて定まるものである。

實驗室で設計した配合及び水量のコンクリートは、現場に於て、コンクリートの打込みに都合のよい様に、之を修正しなければならないものであることを忘れてはならない。コンクリートは、一般に、現場に於て、實驗室に於けるものよりも軟く見えるものである。それは、主として、混合の條件が異なることによるもの様である。然し、實驗室に於ける試験は、配合及び水量の變化の影響を秩序的に知ること、又、現場に於て必要な試験バッチの數を減すこと、等に於て、大きい價値を有するものである。

#### (2) 方 法

與へられたコンクリート材料を以て、作業に適するウォーカビリチー、及び、所要の壓縮強度又は耐久性を有するコンクリートの、配合及び水量を設計する試的方法の順序は、次の如くである。

説明を簡単にため、細粗骨材は、其の粒度に關して、夫々 1 種であるとする。

#### 第1段

セメントの比重 (§ 418 參照)、骨材の比重 (§ 431 及び § 432 參照)、吸水量 (§ 433 及び

§ 434 參照)、單位容積重量 (§ 430)、を決定する。

已むを得ず是等の試験を行はない時は、ポルトランドセメントの比重は 3.15 とし、骨材の比重は、第 11 表によるか、2.65 位と假定し、吸水量は第 9 表により、骨材単位容積重量は第 8 表により、適當に假定する。

#### 第2段

セメント糊の水セメント重量比は、之をコンクリートの壓縮強度の方から定める必要ある時は、從來知れて居る水セメント比と壓縮強度との關係 (§ 101) から判断によつて定め、コンクリートの耐久性を基とする時は、第 19 表の値を用ゐる。

#### 第3段

試験バッチの量は、粗骨材の最大寸法に應じ、なるべく現場に於けるコンクリートと同じ状態のコンクリートが得られる爲めに、大量に定める程よい譯である。然し、試験バッチの量が大になると作業が面倒になるから、作業が容易な點からは少量の方がよい。それで、大量、骨材の最大寸法によつて定まる壓縮強度試験供試體 (§ 447 參照) 1 個乃至 3 個を造り得る量を用ゐるのが便利である。

試験バッチの量が定まれば、之を造るに要する骨材の量を、§ 112 第 5 段の方法によるか、第 22 表を参考とするか、又は其の他の方法で計算し、之に多少の餘猶を探つて、使用すべき骨材の全重量を定める。

#### 第4段

粗骨材の最大寸法に應じ、最初の試験バッチに於ける粗細骨材比を、過去に於ける試験の結果、經驗、第 21 表又は第 22 表、を参考として、適當と思はれるよりも幾分小さく定める。そして、試験バッチに使用する細粗骨材を夫々計量する。實驗室に於ける骨材は、通常、空氣中乾燥狀態であるから、之に骨材の吸水量に相當する丈けの水を加へて約 15 分間放置し、表面乾燥飽和狀態の骨材であると考へる。

#### 第5段

第 4 段で造つた細粗骨材混合物に、第 2 段で定めた水セメント重量比のセメント糊を加へる。セメント糊は之を徐々に加へて混合し、出來たコンクリートの流動性を時々試験し、所要のウォーカビリチーが得られる時のセメント糊の量を定める。即ち、必要な流動性を示すために、スランプ、フロー其の他の試験を行ひ、所要のスランプ、外觀其の他から、ウォーカビリチーを判断し、スランプ其の他が定められて居ない時には、なるべく現場に於けると同じ締固めを行つて見たり、運搬、打込みに都合がよいか、材料の分離、水の上昇が起らぬいかを觀察し、又、スランプ其の他の流動性試験も行つて、作

業に適するウォーカビリチーであるか否かを判断して、適當なウォーカビリチーを得るまでセメント糊を加へて、其の量を求める。

#### 第6段

第5段によつて、最初の試験バッヂの粗細骨材比に對し、所要のウォーカビリチーを得るために必要なセメント糊の量が定まれば、次の様にして、此の粗細骨材比のコンクリート $1\text{m}^3$ を造るに要する材料の量を計算する。

今、試験バッヂに使用したセメント糊のセメント水重量比を  $k$ 、セメント糊の重量を  $P\text{ kg}$  とすれば、此のセメント糊中に於ける水の重量  $w$  は、

$$w = \frac{P}{1+k} \text{ kg.}$$

であり、セメントの重量  $c$  は、

$$c = kw \text{ kg}$$

である。

又、試験バッヂに使用した細骨材の重量を  $s\text{ kg}$ 、粗骨材の重量を  $g\text{ kg}$  とすれば、此のコンクリートの容積  $V$  は、空氣隙を無視する時、

$$V = \frac{w}{1000} + \frac{c}{1000g_c} + \frac{s}{1000g_s} + \frac{g}{1000g_g} (\text{m}^3)$$

である(§ 56 参照)。

然れば、此のコンクリート $1\text{m}^3$ を造るに要する材料の量は、

$$\text{セメント } C = \frac{c}{V} \text{ kg} \quad \text{水 } W = \frac{w}{V} \text{ kg}$$

$$\text{細骨材 } S = \frac{s}{V} \text{ kg} \quad \text{粗骨材 } G = \frac{g}{V} \text{ kg}$$

である。

よつて、是等に各材料の単價を乗じて和を求めれば、此のコンクリート $1\text{m}^3$ の材料費が計算出来る。

コンクリートの流動性及び打込み方法が同じであれば、コンクリートの混合費、打込み費、等はほど一定であるから、コンクリートの単價の比較は、其の材料費を比較すればよい。

#### 第7段

第2の試験バッヂに於ては、骨材の全重量は最初の試験バッヂと同じにし、粗細骨材重量比丈けを少し大きくし、最初の試験バッヂと同様、所要のウォーカビリチーを得るに必要な、セメント糊の量を試的に求め、從つて、此の配合及び水量のコンクリートの $1\text{m}^3$ の材料費を計算する。

#### 第8段

第3の試験バッヂに於ては、第2の試験バッヂに於けるよりも、粗細骨材重量比丈けを大きくして、前の試験バッヂに於けると同様にして、コンクリート $1\text{m}^3$ に對する材料費を計算する。

#### 第9段

斯く粗細骨材重量比を漸次増加して行くと、一般に、所要のウォーカビリチーを得るためには、コンクリート $1\text{m}^3$ に使用すべきセメント糊の量が漸次減じ、コンクリート $1\text{m}^3$ の材料費が廉くなる。然し、粗細骨材比のある値に達すると、コンクリートが荒々しくなり、又、材料の分離を生ずる傾向を示し、所要のウォーカビリチーを得るためにには、セメント糊及び細骨材を増加しなければならない様になる。

依つて、此のコンクリートに砂を加へて粗細骨材重量比を小さくし、且つ所要のウォーカビリチーとなるまでセメント糊を加へて、此の時の粗細骨材重量比及びセメント糊の量を定める。

然れば、是等の試験バッヂの結果から、所要のウォーカビリチーのコンクリートを得るために、使用セメント糊の量が最小となる粗細骨材重量比と、最小なセメント糊の量とを判定することが出来る。そして、其のコンクリート $1\text{m}^3$ の材料費を計算する。

普通の場合、所要のウォーカビリチーに對し、セメント糊の量が最小である配合及び水量が最も經濟的なものであるが、各材料の單價も經濟的配合及び水量の決定に關係することは明白であるから、各試験バッヂのコンクリートの $1\text{m}^3$ の材料費を計算して、最も經濟的な配合及び水量の決定の参考にするのが適當なのである。

#### 第10段

正確な結果を得るためにには、第9段の様にして定めた配合及び水量のコンクリートに就いて、更に試験バッヂを造つて研究する。そして、最も經濟的で、しかも作業に適するウォーカビリチーを有するコンクリート $1\text{m}^3$ に使用すべき水量及び粗細骨材重量比を判定する。

#### 第11段

以上の試験バッヂに用ひたセメント糊の水セメント比は、第2段に述べた様に、概略の値を用ひたのであるから、正しく、所要の壓縮強度を與へる水セメント重量比を定めるには、壓縮強度試験を行はなければならない。壓縮強度試験の順序は、次の様にするのが便利である。

§ 93 に述べた様に、コンクリート $1\text{m}^3$ に使用する水量が一定であれば、コンクリートの流動性もほど一定であるから、前記の試験バッヂによつて選定した粗細骨材重量比及び水量のコンクリートに於て、セメントの使用量を、適當範圍に變化してコンクリートを造り、壓縮強度試験を行ふ。

そして、

$$\sigma = A + B \frac{c}{w}$$

に於ける定数 A 及び B を定めれば、所要の圧縮強度に対するセメント水重量比が定まり、W は既知であるから、従つて使用セメント量 C を求めることが出来る。

#### 第12段

第11段で定めた水セメント重量比は、一般に、試験パッチに用いた水セメント重量比と異なる。従つて、第10段で定めたコンクリートの骨材量に、修正を施さなければならない。其の方法は、次の如くである。

コンクリートに於ける空隙を無視する時、新らしいコンクリートの容積は、水、セメント及び骨材の絶体容積の和であるから、コンクリート 1m<sup>3</sup> に使用する水量を一定にし、セメントの使用量を變へる時、セメントの絶体容積の變化丈け骨材の絶体容積を變へれば、コンクリートの容積に變化はなく、コンクリートの流動性も變化しない。

即ち、比重が  $g_c$  であるセメントの使用量を  $C'$  (kg) 丈け變化する時、比重が  $g_m$  である骨材の使用量の變化  $M'$  kg を、

$$\frac{C'}{g_c} = \frac{M'}{g_m}$$

$$\text{或は, } M' = C' \frac{g_m}{g_c}$$

である様に定めれば、コンクリートの容積には變化がなく、流動性も亦變化しない。

細粗骨材混合物の比重  $g_m$  は、粗細骨材比が與へられる時は、各々の比重から容易に計算することが出来る。

依つて、或るコンクリートに於て、其の 1m<sup>3</sup> に使用する水量を一定にし、或る流動性のコンクリートを得むとする時、或るセメント水重量比のコンクリートを他のセメント水重量比に變へるための材料の變化を求めるには、單にセメント水比の變化に、使用水量を乗じてセメント量の變化を求め、之に  $\frac{g_m}{g_c}$  を乗じて骨材量の變化を求めればよい。勿論、セメントの使用量を増加する時には、之に應する丈け使用骨材の量を減じ、セメント使用量を減ずる時は、之に應する丈け使用骨材量を増加する。

普通のポルトランドセメント及び骨材に對し、比重は、 $g_c = 3.15$ ,  $g_m = 2.65$  と假定してよいから、普通のコンクリートに對し、

$$\frac{g_m}{g_c} = 0.84$$

である。即ち、セメント 1kg の變化に對し、骨材 0.84kg 丈けを變化すればよいことが知

れる。

本段で定めた骨材セメント重量比及び第10段で判定したコンクリート 1m<sup>3</sup> の水量及び粗細骨材比により、求める配合及び水量を決定することが出来る。

#### 第13段

セメント糊の水セメント比は、最適な粗細骨材比の値に多少の關係を有するから、第12段に於て定めた水セメント比のセメント糊を用ひ、更に、試験パッチを造つて、此の試的方法を繰返せば、一層正しい結果が得られる譯である。但し、最適のウォーカビリチーは之を判断で定めなければならないのであるから、餘程、熟練者でないと、繰返しによる效果はあまり大きくない。

以上は、細粗骨材とも、其の粒度に關して唯1種である場合に就いて説明したのであるが、細骨材の粒度が一定であり、粗骨材が其の大きさによつて數種に分けてある時は、各種大きさの粗骨材の使用量を秩序を立てて變化し、是等の各々に對して、上記の様な試的方法を行へば、經濟的に使用し得る最適の配合、又は、或る大きさの粗骨材の最大及び最小の使用量、等を比較的容易に決定することが出来る。

細骨材が大きさに就いて數種ある時は、各種の大きさのものを種々の割合に混合した細骨材を用ひて、以上の試的方法を行ふことになるので、試験パッチの數は非常に大になる。此の場合、細骨材の粒度に關する從來の研究 (§ 105 参照) が非常に参考になる。然し、普通の現場に於て使用し得る細骨材の粒度は、實際上から定まる場合が多いので、大堰堤工事の様な特別の場合のほかは、左程澤山の試験パッチを造らないで、十分目的を達し得る場合が多いのである。

#### § 114. 實驗室に於ける試的方法の例題

與へられた材料の性質は、次の如くである。

セメントは普通ポルトランドセメントで、其の比重は 3.15、硬練りモルタル試験による耐壓強度は材齡 28 日に於て 600 kg/cm<sup>2</sup> である。

砂及び砂利の比重は、夫々 2.63 及び 2.65 である。砂、砂利ともに其の粒度に關して夫々 1種であり、砂利の最大寸法は 25 mm である。砂及び砂利は、空氣中乾燥狀態で、其の 15 分間の吸水量は夫々 1.5% 及び 1% であり、單位容積重量は夫々 1600 kg/m<sup>3</sup> 及び 1650 kg/m<sup>3</sup> である。

材料の單價は、セメント 1 袋 1.5 圓 即ち 1kg が 3 錢、砂 1m<sup>3</sup> (1600 kg) が 5.6 圓 即ち 1kg が 0.35 錢、砂利 1m<sup>3</sup> (1650 kg) が 8.25 圓 即ち 1kg が 0.5 錢である。

$\sigma_{28} = 160 \text{ kg/cm}^2$ , スランプ 15 cm の鉄筋コンクリート用コンクリートの配合及び水量を設計せよ。

解

コンクリートの所要圧縮強度  $\sigma_{28}$  が  $160 \text{ kg/cm}^2$  であるから、之に相当するセメント水重量比の値を、鉄筋コンクリート標準示方書の表3(§ 101 参照)の、ポルトランドセメントの耐圧強度が  $500 \text{ kg/cm}^2$  以上の場合の式、

$$\sigma_{28} = -150 + 190 \frac{c}{w}$$

から求めてみると、

$$160 = -150 + 190 \frac{c}{w}$$

$$\therefore \frac{c}{w} = 1.63$$

$$\text{或は } \frac{w}{c} = 61\%$$

依つて、水セメント重量比が 61% のセメント糊を用ひて、試験バッチを造ることにする。今、作業が容易のために、1バッチの量は、 $15 \times 30 \text{ cm}$  の圧縮強度試験供試體1個を造るに十分な丈けに採る。然れば、骨材の全重量を 12 kg に採ればよい。

最初の試験バッチは、砂が少し過多なものを選び、砂利砂重量比 ( $\frac{G}{S}$ ) を 1.1 に採る。然れば、最初の試験バッチに使用する砂は 5.7 kg, 砂利は 6.3 kg となる。

此の砂及び砂利の混合骨材の吸水量は、

$$5.7 \times 0.015 = 0.085 \text{ kg}$$

$$6.3 \times 0.01 = 0.063 \text{ kg}$$

$$\text{計 } 0.148 \text{ kg}$$

である。依つて、0.148 kg の水を骨材に加へ、よく混合して之を骨材に吸收させる。

次に、水セメント重量比が 61% のセメント糊を、15 cm のスランプを生ずるには足りないと思はれる位加へて、コンクリートを造り、スランプを測り、又、ウォーカビリチーを観察する。 $\frac{w}{c}$  が 61% のセメント糊を加へるには、此のセメント糊を造つておいて加へてもよいし、又は、 $\frac{w}{c}$  が 61% になる様にセメントと水とを別々に加へてもよい。

更に、セメント糊を加へ上記の様にして行くと、遂にスランプが 15 cm 以上になる。それで、スランプと使用したセメント糊との関係を圖示すると、スランプ 15 cm に相當するセメント糊の量が求められる。斯くして求めたセメント糊の重量が 4.9 kg であつたとする。此のセメント糊の量は、砂の粒度によつて大分異なるもので、之が試験バッチに依つて、配合を決定することが必要な理由である。

然れば、 $\frac{c}{w} = 1.63$  であるから、

$$w = \frac{4.9}{1+1.63} = 1.86 \text{ kg}$$

$$c = 1.63 \times 1.86 = 3.04 \text{ kg}$$

である。そして、此の試験バッチの出來上り容積は、

$$V = \frac{1.86}{1000} + \frac{3.04}{3150} + \frac{5.7}{2630} + \frac{6.3}{2650} = 0.00737 \text{ m}^3$$

である。

従つて、此のコンクリート  $1 \text{ m}^3$  を造るに必要な材料の量は、

$$\text{セメント } C = \frac{3.04}{0.00737} = 412 \text{ kg}$$

$$\text{砂 } S = \frac{5.7}{0.00737} = 773 \text{ kg}$$

$$\text{砂利 } G = \frac{6.3}{0.00737} = 855 \text{ kg}$$

$$\text{水 } W = \frac{1.86}{0.00737} = 252 \text{ kg}$$

である。

依つて、此のコンクリート  $1 \text{ m}^3$  の材料費は、

$$\text{セメント } 412 \times 0.03 = 12.36 \text{ 圓}$$

$$\text{砂 } 773 \times 0.0035 = 2.71 \text{ 圓}$$

$$\text{砂利 } 855 \times 0.005 = 4.28 \text{ 圓}$$

$$\text{計 } 19.35 \text{ 圓}$$

である。

第2の試験バッチに於ける骨材の全重量は 12 kg とし、砂利砂重量比 ( $\frac{G}{S}$ ) を 1.3 とし、最初の試験バッチと同じことを行ふ。其の結果、15 cm のスランプを得るために必要なセメント糊の量も減じ、コンクリートの材料費も減じたとする。

第3の試験バッチは  $\frac{G}{S}$  を 1.6 に採つたとする。

コンクリートが少し荒々しくなり、スランプが 15 cm の時、水が分離する傾向にあつたとすれば、之に砂及びセメント糊を加へて、欲するウォーカビリチーのコンクリートを造る。此の場合加へた砂の重量は 0.28 kg であり、使用したセメント糊の全重量は 3.6 kg であつたとする。

砂利砂重量比が 1.6 である時、初めに使用した砂の重量は 4.62 kg であるから、使用した砂の全重量は  $4.62 + 0.28 = 4.9 \text{ kg}$  であり、砂利の重量は 7.38 kg であるから、 $\frac{G}{S}$  は

$7.38 \div 4.9 = 1.5$  である。骨材の全重量は  $4.9 + 7.38 = 12.28 \text{ kg}$  であり、セメント糊の重量が  $3.6 \text{ kg}$  であるから、骨材  $12 \text{ kg}$  にたいして使用したセメント糊の重量は  $3.6 \div 12.28 \times 12 = 3.5 \text{ kg}$  である。

$\frac{w}{c}$  が  $61\%$ ,  $\frac{G}{S}$  が  $1.5$ , 骨材の重量  $12 \text{ kg}$  に對して使用するセメント糊の重量が  $3.5 \text{ kg}$  であるコンクリート  $1 \text{ m}^3$  を造るに要する材料の量を、前と同様にして計算すると、

$$W = 202 \text{ kg}, C = 330 \text{ kg}, S = 730 \text{ kg}, G = 1100 \text{ kg},$$

となり、材料費は、17.95圓となる。

以上の様な、多くの試験バッチに就いて  $\frac{G}{S}$  とコンクリート  $1 \text{ m}^3$  の材料費との關係を圖示すると、スランプが  $15 \text{ cm}$  で、材料費が最小な、砂利砂重量比及び之に相當する使用水量が判定できる。

以上の結果から、各試験バッチに就いて観察したウォーカビリチー其の他を考慮に入れて、 $\frac{G}{S}$  及びコンクリート  $1 \text{ m}^3$  に使用する水量を選定する。今の場合、 $\frac{G}{S} = 1.5$ , 水量  $202 \text{ kg}$  を選定したとする。

次に、圧縮強度試験を行つて、コンクリートの圧縮強度と  $\frac{c}{w}$  との關係を定める。今の場合、鐵筋コンクリート用のコンクリートを考へて居るのであるから、 $\frac{w}{c}$  の範囲は大體  $70\%$  乃至  $55\%$  である。それで先づ、是等の兩點のコンクリートに就いて、圧縮強度試験を行ふのが便利である。

$\frac{G}{S}$  が  $1.5$  の混合骨材の比重は、今の場合、

$$(2.63 + 1.5 \times 2.65) \div (1 + 1.5) = 2.64$$

である。

$\frac{w}{c}$  が  $70\%$ , 即ち、 $\frac{c}{w} = 1.43$  に對し、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  に使用する水量が  $202 \text{ kg}$  であれば、セメントの使用量は、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  に對し、

$$1.43 \times 202 = 290 \text{ kg}$$

である。而して、水は  $0.202 \text{ m}^3$  の絶対容積を有し、セメントは

$$290 \div 3150 = 0.092 \text{ m}^3$$

の絶體容積を有するから、使用すべき骨材の重量は、

$$(1 - 0.202 - 0.092) \times 2640 = 1860 \text{ kg}$$

である。従つて、此のコンクリート  $1 \text{ m}^3$  に要する砂は、

$$1860 \times \frac{1}{2.5} = 740 \text{ kg}$$

砂利は、

$$1860 \times \frac{1.5}{2.5} = 1120 \text{ kg}$$

骨材の吸水量は、

$$\text{砂} \quad 740 \times 0.015 = 11.2 \text{ kg}$$

$$\text{砂利} \quad 1120 \times 0.01 = 11.2 \text{ kg}$$

$$\text{計} \quad 22.4 \text{ kg}$$

で、コンクリートの混合に使用する水量は、 $202 + 22.4 = 224.4 \text{ kg}$  である。

故に、 $15 \times 30 \text{ cm}$  の圓盤供試體3個を造る爲に、 $0.016 \text{ m}^3$  のコンクリートを造るには、

$$\text{セメント} \quad 290 \times 0.016 = 4.65 \text{ kg}$$

$$\text{水} \quad 224.4 \times 0.016 = 3.59 \text{ kg}$$

$$\text{砂} \quad 740 \times 0.016 = 11.8 \text{ kg}$$

$$\text{砂利} \quad 1120 \times 0.016 = 17.9 \text{ kg}$$

を使用すべきことになる。

次に、 $\frac{w}{c} = 55\%$  即ち、 $\frac{c}{w} = 1.82$  に對し、所要セメント量は、  
 $202 \times 1.82 = 368 \text{ kg}$

である。故に、 $\frac{c}{w} = 1.43$  の場合に較べて、  
 $368 - 290 = 78 \text{ kg}$

丈けのセメント量の増加である。

骨材混合物の比重は  $2.64$ 、セメントの比重は  $3.15$  であるから、

$$\frac{g_m}{g_c} = \frac{2.64}{3.15} = 0.84$$

従つて、 $\frac{c}{w} = 1.43$  の場合よりも、骨材の使用量を  
 $78 \times 0.84 = 65.5 \text{ kg}$

丈け減すればよい。

依つて、 $\frac{c}{w} = 1.82$  の場合の骨材の量は、  
 $1860 - 65.5 = 1795 \text{ kg}$

それで、

$$\text{砂} \quad 1795 \times \frac{1}{2.5} = 720 \text{ kg}$$

$$\text{砂利} \quad 1795 \times \frac{1.5}{2.5} = 1075 \text{ kg}$$

骨材の吸水量は、

$$\text{砂} \quad 720 \times 0.015 = 10.8 \text{ kg}$$

$$\text{砂利} \quad 1075 \times 0.01 = 10.75 \text{ kg}$$

$$\text{計} \quad 21.55 \text{ kg}$$

故に、混合用水量は、

$$202 + 21.55 = 223.55 \text{ kg}$$

依つて、 $15 \times 30 \text{ cm}$  の供試體3個を造るため、 $0.016 \text{ m}^3$  のコンクリートを造るには、

セメント 5.9 kg, 水 3.58 kg, 砂 11.50 kg, 砂利 17.2 kg

を使用すればよい。

斯く、 $\frac{w}{c} = 70\%$  及び  $\frac{w}{c} = 55\%$  のコンクリートについて圧縮強度試験を行つた結果、 $\sigma_{2s}$  が夫々  $145 \text{ kg/cm}^2$  及び  $227 \text{ kg/cm}^2$  であつたとすれば、是等の値を用ひて、

$$\sigma_{2s} = -155 + 210 - \frac{c}{w}$$

が得られる。

今、 $\sigma_{2s} = 160 \text{ kg/cm}^2$  のコンクリートを造るには、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  に使用する水量が 202 kg であるから、之に對するセメント量 C は、

$$C = \frac{160 + 155}{1.04} = 302 \text{ kg}$$

然れば、骨材の重量は

$$2640(1 - 0.202 - \frac{302}{3150}) = 1850 \text{ kg}$$

故に、

$$\text{砂 } 1850 \times \frac{1}{2.5} = 740 \text{ kg}$$

$$\text{砂利 } 1850 \times \frac{1.5}{2.5} = 1110 \text{ kg}$$

骨材の吸水量は、

$$\text{砂 } 740 \times 0.015 = 11.1 \text{ kg}$$

$$\text{砂利 } 1110 \times 0.01 = 11.1 \text{ kg}$$

$$\text{計 } 22.2 \text{ kg}$$

依つて、スランプ  $15 \text{ cm}$  を有し、 $\sigma_{2s} = 160 \text{ kg/cm}^2$  のコンクリート  $1 \text{ m}^3$  を造るに要する材料は、

セメント 302 kg

水 202 kg

$$\frac{c}{w} = 1.5 \text{ 或は } \frac{w}{c} = 66.5\%$$

骨材の吸水量 22.2 kg

砂 740 kg

砂利 1110 kg

である。

### § 115. 現場に於て、試的に配合及び水量を決定する方法

實驗室で定めた配合及び水量は、現場で多少修正する必要があるのが普通である。又、時としては、現場で、實際のバッヂを用ひて、適當な配合及び水量を決定する必要のある場合もある。

現場に於て、實際のバッヂによつて、配合及び水量を決定する時の試的方法は、實驗室に於ける場合と幾分異なる。

説明を簡単にするため、先づ、細粗骨材は、夫々其の粒度に關して1種である場合を述べる。

#### 第1段

先づ、現場に於ける骨材の表面水、又は、骨材が乾燥して居る時は吸水量、を測定する。

#### 第2段

豫備實驗又は過去の経験を基として、所要の性質及びウォーカビリチーのコンクリートが十分安全に得られる配合及び水量を選定する。即ち、水セメント比は、所要の強度又は耐久性のコンクリートを得るに必要な値よりも幾分小さくし、粗細骨材重量比は適當であると想像されるよりも小さく採りて、砂が幾分多すぎる位に定める。此の場合、§ 112 の簡単な配合設計法が大いに参考になる。

#### 第3段

現場に於ける1バッヂの所要材料を第2段で定めた配合に従つて計量し、之にコンクリート打ちが所期の進行をするに必要な丈けの水量を加へてコンクリートを造り、コンクリート打ちを始める。現場で實際のバッヂを用ひて配合及び水量を定める時、水セメント比を一定に保たむことは得策でない。コンクリートを所要の速度で取扱ふことが出来る流動性及びウォーカビリチーを得るに適する水量を用ゐるのが實際的である。そして、使用した水量に骨材の表面水又は吸水量に對する修正を施して、表面乾燥飽和状態の骨材に對し、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  の使用水量を計算する。

#### 第4段

セメントの使用量及び骨材の絶體容積は第3段の場合と同じにし、粗細骨材重量比丈けを第3段の場合よりも少し増加した配合の材料に、所要の流動性及びウォーカビリチーを得るために必要な丈けの水を加へてコンクリートを造り、第3段と同じ作業及び計算を行ふ。

#### 第5段

次に、第4段の場合よりも、粗細骨材比丈けを増加した配合に就いて、第4段と同じ作業

を行ふ。

斯く粗細骨材比を増加して行くと、所要の流動性に對し、コンクリート  $1m^3$  に使用すべき水量を減じ得ることが判かる。然し、ある粗細骨材比の値に對して、遂にコンクリートが荒々しくなり、最早や水量を減することが出來ない點に達する。之は、明かに、粗細骨材比が適當な値よりも大きすぎるとの證據である。

#### 第6段

第5段の様なコンクリートが出來たら、粗細骨材比を第5段の場合よりも幾分減じ、使用水量も幾分増加し、前段と同様な作業を行ふ。

#### 第7段

上記の様な作業によつて求められた各種粗細骨材重量比と使用水量との關係から、所要の流動性及びウォーカビリチーに對し、コンクリート  $1m^3$  に使用しうべき最小水量を判定することが出来る。

#### 第8段

第7段で定めた最小使用水量を一定にし、粗細骨材比を、此の最小水量を使用しうる最大値まで増加する。

斯くして、コンクリート  $1m^3$  に使用すべき水量と、粗細骨材重量比とを決定することが出来る。

#### 第9段

第8段までの試験バッチに於ては、使用セメント量を一定にしてあるから、決定した使用水量に對する水セメント比は、一般に、强度又は耐久性の方から定められた水セメント比の値と一致しない。依つて、所定の水セメント重量比を得る様にセメント量を増減する。而して、セメント  $1kg$  の變化に對しては、§ 114 に述べた様に、骨材の重量を  $\frac{g_m}{g_c}$  だけ變化すればよい。此の際、セメント使用量を減ずる時は、粗細骨材比を減ずるのが適當であることから考へて、セメント量を減ずる場合には、増加する骨材は主として細骨材を用ゐるのが適當である。

以上の様にして、細粗骨材が其の粒度に關して夫々1種である場合、現場に於ける試的の配合及び水量の決定が出来る。是等の作業のどの點に於ても、コンクリート打ちの作業に障害を及ぼし、工事の進捗を害する様なことはない。

猶ほ、此の方法によつて好結果を得るために、種々の注意が必要である。例へば、骨材に於ける含水量が屢々變化する時には、此の方法によつて、正しい配合設計をすることは殆ど不可能であるから、骨材の含水量を一定にすることに就いて、特に注意しなければならぬ。

い(§ 86 参照)。又、此の作業中、配合を決定する技術者は、凡てのバッチのコンクリートの流動性及びウォーカビリチーを検査するに便利な場所に居り、必要な計算を行ふと同時に、電話其の他で、材料の計量係と密接な連絡をとり、配合及び水量の變化を命令通りに迅速なく勵行させることが必要である。

粗骨材が其の大きさに關して數種に分けた時、其の適當な配合を定めるには、§ 113 の實驗室に於ける試験バッチの場合に述べたと同様、其の配合を順序を立てて變化し、變化した各々の場合に對して上記の様な試的方法を行へば、經濟的に使用しうる適當な配合、及び、或る大きさの骨材の許容最大及び最小使用量、等を決定することができる。

### 第3節

#### コンクリートの出來上り高、 $1m^3$ のコンクリートを造るに要する材料の量、及び壓縮強度と單價との關係

#### § 116. 實驗によつて、 $1m^3$ のコンクリートを造るに要する 材料の量を決定する方法

與へられた材料を以て、與へられた配合及び水量のコンクリート  $1m^3$  を造るに、何程づつの材料を要するかを求めるには、實驗によるのが最も正確である。次に例を以て、其の實驗の方法を説明する。

配合容積比  $1:2:4$ 、水セメント重量比  $60\%$  のコンクリート  $1m^3$  を造るに要する材料の量を求めるとする。

骨材は空氣中乾燥状態のものであるとする。先づ骨材の単位容積重量(§ 430)と、其の有效吸水量(§ 55 参照)とを測定する。其の結果、砂及び砂利の  $1m^3$  の重量は夫々  $1485 kg$  及び  $1584 kg$ 、有效吸水量は各々  $1\%$  であつたとする。

然れば、此の骨材の表面乾燥飽和状態に於ける  $1m^3$  の重量は、砂  $1500 kg$ 、砂利  $1600 kg$  である。セメントは規定により、 $1m^3$  の重量を  $1500 kg$  に採る。

與へられた、配合容積比  $1:2:4$  を重量比で示すと、 $1500:(2 \times 1500):(4 \times 1600)$ 、或は  $1:2.0:4.27$  である。

依つて、セメント  $10 kg$  に對し、表面乾燥飽和状態の砂  $20 kg$  (即ち、空氣中乾燥状態の砂  $19.8 kg$  に水  $0.2 kg$  を加へたもの)、表面乾燥飽和状態の砂利  $42.7 kg$  (即ち砂利  $42.3$



$$\text{砂利 } G = \frac{6400}{4.926} = 1300 \text{ kg, 或は } \frac{1300}{1600} = 0.812 \text{ m}^3$$

上記の骨材の重量は表面乾燥飽和状態のものであるから、與へられた空氣中乾燥状態の骨材を用ゐる時には、砂は、 $610 \div (1 + 0.01) = 604 \text{ kg}$  に水  $6 \text{ kg}$  を加へたもの、砂利は  $1300 \div (1 + 0.01) = 1287 \text{ kg}$  に水  $13 \text{ kg}$  を加へたものを使用する。依つて、全使用水量は、 $183 + 6 + 13 = 202 \text{ kg}$  となる。

工事に於て、コンクリート材料の豫算を組む時、又は、材料を購入する場合には、以上の値に多少餘裕を探ることが必要である。普通の場合、セメントに  $2\%$ 、砂に  $10\%$ 、砂利に  $5\%$  位の餘裕を取ればよい。

猶ほ、工費の豫算其の他の場合に於て、一層餘裕を見込む大概略の所要材料の量を求めるには、第40表(§394)を使用すればよい。又、第22表も参考になる。

### § 118. コンクリートの圧縮強度と単價との関係

打ち終つたコンクリートの價格は、材料費と、運搬、打込み、養生、等の労力費と、設備費、總係費、等との和である。

コンクリートのウォーカビリチーがほど同じであれば、労力費及び其の他の経費は、配合の貧富によつて餘り變化しないから、コンクリートの價格の變化は、主として、材料費の變化によるものである。

コンクリート  $1 \text{ m}^3$  の材料費  $P$  は、次式で示すことが出来る。

$$P = p_c C + p_s S + p_g G \quad (a)$$

茲に、

$p_c$ ,  $p_s$ ,  $p_g$  は、夫々、セメント、細骨材及び粗骨材の  $1 \text{ kg}$  の價格、

$C$ ,  $S$ ,  $G$  は、夫々、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  を造るに必要な、セメント、細骨材及び粗骨材の重量( $\text{kg}$ )、

である。

適當に造つた新らしいコンクリートの出來上り容積は、§ 56 に述べてある様に、

$$V = \frac{W}{1000} + \frac{C}{1000 g_c} + \frac{S}{1000 g_s} + \frac{G}{1000 g_g} \quad (b)$$

である。

今、 $1 \text{ m}^3$  のコンクリートを造るに要する細粗骨材混合物の重量を  $M \text{ kg}$ 、其の比重を  $g_m$  とすれば、

$$\frac{S}{1000 g_s} + \frac{G}{1000 g_g} = \frac{M}{1000 g_m} \quad (c)$$

### § 118. コンクリートの圧縮強度と単價との関係

と書くことが出来るから、(b) 式は、

$$V = \frac{C}{1000 g_c} + \frac{M}{1000 g_m} + \frac{W}{1000} \quad (d)$$

となる。

更に、

$$D = \frac{C}{1000 g_c} + \frac{M}{1000 g_m} \quad (e)$$

とおけば、

$$M = 1000 g_m D - C \frac{g_m}{g_c} \quad (f)$$

であり、(d) 式は、

$$V = D + \frac{W}{1000} \quad (g)$$

となる。

依つて、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  に使用する水量  $W$  を、實驗其の他によつて定めれば、(g) 式により、

$$D = 1 - \frac{W}{1000} \quad (h)$$

で、 $D$  の値が定まる。

普通の材料に對して、

$$\frac{g_m}{g_c} = 0.84$$

と採つてよいから(§ 113 参照)、(f) 式は、

$$M = 1000 g_m D - 0.84 C \quad (i)$$

と書くことが出来る。

(i) 式の  $M$  の値を (a) 式に入れれば、細粗骨材混合物の  $1 \text{ kg}$  の價格を  $p_m$  とする時、

$$P = p_m (1000 g_m D - 0.84 C) + p_c C$$

或は、

$$P = 1000 g_m D p_m + C (p_c - 0.84 p_m) \quad (A)$$

となる。

今、 $g_m = 2.65$  と假定すれば、(A) 式は、

$$P = 2650 D p_m + C (p_c - 0.84 p_m) \quad (B)$$

となる。

依つて、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  に使用する水量を定めれば、(h) 式によつて、 $D$  の値が定まり、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  の材料費は、(A) 式又は(B) 式によつて容易に計算することが出来る。又、(A) 式又は(B) 式から、セメントの單價が、コンクリート  $1 \text{ m}^3$  の材料費に及ぼ

