【解　説】

コンクリートの品質管理のための管理図の使い方

水　野　俊　一*

1. 緒　言

昭和 31 年土木学会制定のコンクリート標準示方書には，従来の示方書には見られなかつた項目の一つに，コンクリートの品質管理に関する事項が記載されている。コンクリートの品質管理は，近年，一般にとりあげられてきた問題であるだけに，その意味，方法等がまだ広くは理解されていないようである。コンクリートの品質管理については，改訂コンクリート標準示方書講習会テキスト**があり，くわしく説明されているが，さらにこれに並行して解説することにする。

2. コンクリートの品質管理

コンクリートの品質管理については前述の文献にくわしく述べられているので，ここでは簡単に説明する。

一般の工場製品の場合以上に，現場でつくられるコンクリートの品質には相当の変動がある。コンクリートは一般に，水，セメント，砂，砂利，ときには混和材料をも加えて練り混ぜてつくられるものであるが，各材料の品質には変動があるとともに，砂および砂利の表面水量が変化し，また，各材料の計量誤差および練り混ぜの影響，温度等の影響も入つてくるので，まだ固まらないコンクリートの性質も一様なものとはならない。このコンクリートは，さらに運搬，打ち込み，養生などの施工方法の影響をうけるので，でき上るコンクリートの品質の変動は複雑なものとなる。このようにしてでき上つたコンクリートの品質は，所望のものであることが必要であつて，これより悪い場合にはもちろん，よすぎる場合にも，そのために工事費がかさむようであれば，決してよい施工ではない。コンクリートの品質管理というのは，一言にしていえば，コンクリートが所期の品質のものとなるようにすることであるといえよう。それでは，コンクリートの品質とは何か，所期とはどういうことを意味するか，また，どのようにして所期のものをうるか，この 3 つの点についてまず説明を加えることにする。

ここにいうコンクリートの品質とは，一般には，コンクリートの性質のうちで数量的に表わされるものである。しかし，コンクリートには，数量的に表わされてはいないが重要な性質がある。例えば，ウォーカビリチー，構造物内におけるコンクリートの分離，空隙等である。これらは，数量的に表われていないが，決して無視することのできない性質であつて，広い意味の品質管理には当然入れるべき項目である。それで，将来これらが数量的に表わされるようになれば，直接管理の対象になるであろう。何を管理の対象として考えるかは，造られる構造物の種類によつて異なり一律に決めることはできないが，普通，強度，弾性係数，水セメント比，単位容積重量，スランプ，空気量等が用いられる。強度については，でき上つた構造物について試験するのが望ましいが，これは非常に困難であるし，一般に，強度の ばらつき の大部分はミキサから排出されるまえに，すでにその素因を有していることが多いので，ミキサから排出されるコンクリートの品質を管理するのが，効果的である。それで普通には，ミキサから排出されたコンクリートを対象として品質管理を行うのである。

一方，一般に，品質管理はでき上つた製品の品質だけを対象にしているのでは管理にならない。製品をつくるための材料および作業工程についても管理することが必要である。とくに，コンクリートの場合には材料の品質を管理することがコンクリートの品質管理の第一歩である。材料の品質のうちで問題となるのは，セメントの強度，粉末度，水和熱，骨材の粒度，表面水量等である。

つぎに，所期の品質について説明しよう。構造物を設計する場合に，必要な設計強度 σ_{28} がきまると，これに対して，コンクリートの供試体の強度がどのような条件を満足しなければならないかは，標準示方書によつて決められている。コンクリートの配合は，圧縮強度が少なくとも上記の規定を満足するように決めることが必要となる。すなわち，現場において目標とするコンクリートの平均強度は，強度の ばらつき の大きさ，構造物の重要性等によつて決る割り増し係数 α を乗じた値 $\sigma_r(=\alpha\sigma_{28})$ 以上でなければならない。ばらつき の大きさが未知の場合には安全のために，α を多少大きい値にとることになるが，あまり大きな値を用いるのは不経済であるので，できるだけ早く，所期の ばらつき に相当する σ_r に近い値を用いるように努力しなければならない。コンクリートの施工が異常なく行われていれば，強度試験の結果は大体この平均強度を中心として，ある範囲内に，ある割合で分布することが統計的に推定できる。それで試験結果がある範囲内に入つていれば作業に異常がないと判断し，その範囲を外れれば何か異常があつたのではなか

* 正員　東京大学助手，生産技術研究所第五部
** 丸安隆和著：コンクリートの品質管理，昭和 31 年 11 月，土木学会

ろうかと考えることができるような範囲を決めることができる。この範囲の限界を，一般に，管理限界といつている。所期の品質とは，このような範囲内の品質のことをいつたのである。もとより，この範囲はなるべく小さいのが望ましいのであつて，なるべく小さくするのも品質管理の一つの目的となる。すなわち，管理限界は決して不変のものではないことに注意しなければならない。

つぎに，コンクリートが所期の品質のものとなるようにするには，どのようにすればよいか，その方法が問題となる。これには，まづ，材料の品質の変動状況を調べて，それが正常状態にあるように管理してゆくとともに，大きな変動にたいしては，あらかじめ立てておつた対策に従つて臨機の処置を施すようにし，また各材料の計量誤差も管理することが必要である。さらに，コンクリートについて試験を行い，はたして期待どおりのものができているかどうかを確かめ，もし異常が認められれば，ただちに匡正処置を講ずるようにしなければならない。

コンクリートの品質管理のごく概略は上記のようであるが，実際に現場で管理する場合には，いろいろな問題が生じてくる。各現場によつて，構造物の種類，材料，設備，人員，環境その他技術者の熱意の程度等によつて異なるので，その現場に最も適した方法をとらなければならないし，さらに根本的な問題として，管理の対象としての品質すなわち，特性値に何を選ぶかも重要な問題となる。この場合，スランプ，空気量等は一つの重要な特性値には違いないが，，圧縮強度はコンクリートの最も重要な品質であつて，それによつて他の性質もおよそ推定できるし，圧縮強度の変化の様子を知ればコンクリートの品質の均質性も判断できるので，どこの現場でも必ず試験しなければならないものである。圧縮強度はこのように重要な品質ではあるが，これだけでコンクリートの品質を十分満足に管理できるかといえば，必ずしもそうでない。それは強度を試験してその結果が判明するのは，早くて数日，普通は数週間後になるので，異常を発見してなるべく早く匡正処置を施すという品質管理の立場からいえば，特性値としてはむしろ不適当であるかもしれない。この点からいえば，まだ固まらないコンクリートの洗い分析方法などが有効であるが，試験が比較的面倒で手間がかかり，また熟練した人が行わないと大きな誤差を生ずる等，常時行う試験としては不向である。それでコンクリートの品質管理を効果的に行うためには，単位水量とか水セメント比等を迅速に，しかも容易に知ることができる試験方法が必要となつてくる。いまのところは，材料の品質，計量，練り混ぜを管理するとともに，コンクリートについては，スランプ，空気量を管理し，圧縮強度によつて後日，品質の変動状態を知るようにするほかないであろう。

3. 管 理 図

コンクリートの品質管理というのは，コンクリートの品質がある範囲内にあるようにすることであるということを前節で述べたが，この範囲は普通管理限界と呼ばれ管理図に記入されて，一目して品質の変動状況がわかるようになつている。管理図というのは，縦軸に管理の対象となるものの値を，横軸にはその番号をとつて打点し，さらに管理限界線を画いてあるものである。打点が管理限界線の間にあれば一応異常がないと判断し，限界を外れると何か異常があつたと判断するわけである。それでは，管理限界はどのような意味をもつものであるか説明しよう。管理限界といつても，つぎに示すような3つの種類があるので，そのうちのいずれかを用いるかによつて管理限界の意味が異なつてくる。

a) 標準が与えられている場合　**b**) 標準が与えられてない場合で信頼限界法を用いたもの　**c**) 標準が与えられていない場合で棄却限界法を用いたもの。

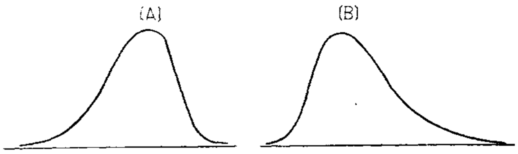
まず，**a**) の標準が与えられている場合について説明すれば，標準とは，統計学的には，母集団が既知の場合である。すなわち，いま強度を例にとると，つくられるコンクリート全体の平均強度と ばらつき（分散）および，同じコンクリートで数多くの供試体をつくつたときの強度の ばらつき（かりに試験による ばらつき という）がわかつている場合とか，あるいは，平均強度と ばらつき とが決められている場合である。

前者の場合は，同じ現場において過去に管理を行つたことがあつて，その場合の数多くの試験結果から平均強度と ばらつき および試験による ばらつき がわかつていて，しかも，これから行おうとする工事において，過去と同じ程度の管理状態で，同じような材料を用い，同じ程度の技術で，同じような環境で仕事をする場合に用いられるものである。後者の場合は，平均強度と ばらつき があらかじめはつきりと決められている場合であるが，平均強度が合致するように配合を決めるのは比較的容易であつても，ばらつき は現場の設備，使用材料，技術等に応じて適当な値に決めなければ，実際の ばらつき をこれに合わせることは非常に困難である。それゆえ，**a**) の標準が与えられている場合というのは，工事の初めにおいて，他の現場の実情から推定して平均強度および ばらつき を決めて一時的に管理限界を求める場合とか，あるいは，長期間にわたる管理実績から強度の ばらつき が明らかになつている特殊の場合にかぎられるであろう。このことは強度ばかりでなく，空気量，スランプ，骨材の表面水量等にもいえることである。

それでは，この場合の管理限界はどのような意味をもつているものであるか説明しよう。管理限界の3つの種類のいずれにおいても，それを求めるときは，試料（強度

等の品質の測定値をいう）の分布は正規分布であるという立場に立つているのである。もとより，実際に造られるコンクリートの品質あるいは材料の品質が正規分布をするかどうかは，各現場によつて分布の型が異なることが当然予想されるので，決めることができないが，一般の場合，圧縮強度とか骨材の粒度は大体正規分布するようである。計量誤差は，計量器の性質および調整の方法によつて異なるが，調整したよい器械では大体正規分布をすると考えてさしつかえないであろう。スランプは，かた練りコンクリートでは大きい方に裾をひき，20 cm 程度の軟練りコンクリートでは小さい方に裾をひく分布をするが，その間のものは大体正規分布に近いであろう。空気量も，それが小さい場合は大きい方に裾をひく分布をするようである。それでは，このように非対称の分布をする場合の管理限界は，どのようにして求めるのがよいか問題となるが，もし非対称の程度がひどいようであ

図—1



れば適当に変数変換をしなければならない。変数変換の方法は，いま，分布の型が［A］のような場合は $z=x^n$ として n に適当な値を用いれば z は大体正規分布に近い分布をするので，この z を用いて管理限界を計算し，これを x に換算すればよい。［B］のような場合には，$z=\sqrt{x}$，$z=\log x$ 等を用いるとよい。このようにして，試料の分布を大体正規分布にすることができるが，この方法を用いるのは特に分布が非対称の場合のみにかぎるべきで，多少の かたより があつても実用上は近似的にそのまま用いてさしつかえないと思う。なぜならば，計算，取り扱い等はなるべく簡単であつて，機械的に，だれにでもできる方法が最も望ましいからである。

ここで話を戻して管理限界の意味を説明すれば，統計学的には，母集団の分布がわかつている場合に，試料がもしこの母集団からの標本であるならば，$(1-\alpha)$ の確率でこの試料は管理限界内に入るべきである，という考えから求められたものである。もつとわかりやすくいえば，$\alpha=0.01$ として，試験した強度がもし管理限界外に出たならば，その供試体をつくつたバッチのコンクリートが，過去において長期にわたつて行つた管理状態と同じような状態でつくられたものとすれば，100 回に 1 回の割合でしか生じないような特別の場合であるということである。それで，過去の工事における正常な施工状態とは異なる何かの原因があつて，このような強度が生じたのではないかと想像することになるわけである。

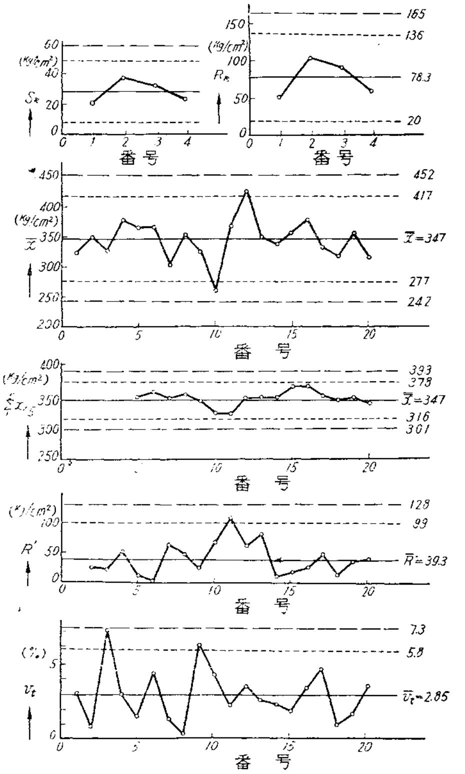
一方，標準が定められている場合については，もし，管理限界以外に強度がでると，これは，コンクリートの製造が定められた強度の変動状態で行われているとすれば，100 回に 1 回の割合でしか生じないような場合であるので，定められたものとは異なる変動状態をしているのではないかと想像するのである。なお **a**）の場合においても，管理限界の計算の方法には，いわゆる 3σ 法によるものと，もつと厳密な方法によるものとの 2 種類にわかれる。つぎに，**b**）の標準が与えられていない場合で信頼限界法を用いたものというのは，標準が与えられている **a**）の場合の計算方法をそのまま用いるが，ただ，母数（母平均，母分散）を経験的に推定したものである。すなわち，いままでつくつてきたコンクリートの試験結果から，これからつくろうとするコンクリートの品質の平均値および分散を推定して，この推定値が真の値である場合の計算方法によつて，管理限界を求めたものである。この方法は，アメリカやイギリスにおけるように，大量生産方式が確立して品質の変動が小さく，十分安定した品質のものがつくられている工場では十分有効に用いられるであろうが，コンクリートの品質管理におけるように，これから本格的な管理を始めようとするところで，しかも，品質の試験を十分な数だけ行うことが困難であるところでは，この管理図が有効であるかどうか疑問である。この方式は，一般に 3σ 法と呼ばれ，JIS Z 9021 管理図法，にも採用されているものである。

最後に，**c**）の標準が与えられていない場合で棄却限界法を用いたもの，というのは，いま造つたものが，いままでにつくつたものと同じ品質をもつものであるかどうかを検定するために求めた管理限界をいうのである。すなわち，標準が与えられていない場合には，どのような品質のものが，どの程度ばらついてつくられるものかがわからないので，適当な準備期間をおき，その間に品質の試験をしなければならない。あまり準備期間を長くおくと，その間に管理が不十分となつたり，品質の変動状態が変化したり，あるいは工事が終つてしまつたりするので，適当な数のデータが集まれば早速管理図をつくることになるわけである。そのときにはもちろん，品質の真の変動を表わす母数，すなわち，平均値および分散の真の値は知ろうと思つてもわからないので，得られたかぎられた数のデータから推定しても誤差が含まれている。それゆえ，母数を計算に用いないで，新しい統計理論を用いて，いままでにつくつたものと，いまつくつたものとが同じ品質のものといえるかどうか，すなわち，いま試験して得た値が，いままでに試験して得られた値から推定される品質と，同じ品質のコンクリートを試験して得られた値である，といえるかどうかを検定しようとするのである。この方法は，近年，多くの人々によつてとり上げられているが，管理限界を求める式が，まだ

すべての場合については得られていないようである。

以上のように，管理限界といつても，考えかた，計算の仕方によつて意味が相当異なるのであるが，そのいずれの場合においても，外側限界および内側限界という2つの限界を設けることがある。図—2に示すように，打点が外側限界を出れば明らかに異常があつたと判断し，外側限界と内側限界の間に入れば異常があるのではなかろうかと注意しなければならないことを示し，内側限界の中に入れば安定した状態にあると判断するのである。外側限界および内側限界としてよく用いられるのは 3σ 限界および 2σ 限界である。これは，平均値より標準偏差の3倍および2倍のところに限界を設ける方法である。外側限界および内側限界から出る確率は，試料が正規分布をするときは，それぞれ 1/741 および 1/44 であるが，正規分布でなくても，試料の分布の山が1つでその頂上がほぼ平均値にあり，山の両側がなだらかに裾をひいている場合には，Camp-Meidell の不等式によると 1/20 および 1/9 よりも小さい。

図—2



一方，限界内に点が分布していてもその分布状態に注意を払うことが必要である。中心線の上下に大体同数交互に分布しているときは，安定した状態にあると考えてよいが，中心線の同じ側に点が連続して現われたり，点が次第に上または下に移動してゆくような場合には，連の理論によつて，この現象がはたして偶然によるものか，あるいは，何か特別な原因があつてそのようになつたものであるかを検討し，偶然には生じにくいものであることがわかれば，その原因を追求することが必要である。普通，中心線の片側に5点続いてでれば注意することが必要で，6点でれば調査を初め，7点でれば技術的な活動を初めるのがよいといわれている。また，連続 11 点中に 10 点が，連続 14 点中に 12 点が，あるいは，連続 17 点中 14 点が，あるいは，連続 20 点中 16 点が中心線の片側にでたときは，ただごとでない原因があると考えてよい，といわれている。

4. 品質の変動の求め方

コンクリートの品質管理のための管理限界および管理図の意味について前節で述べたので，つぎは管理限界の求め方について説明しなければならないのであるが，そのまえに，品質の変動をどのように表わし，どのような計算方法で求めるのがよいかを説明することにする。前にも述べたように，品質の試験をするおもな目的は，品質の平均と ばらつき の大きさおよび，ときには型を調べることである。一口に ばらつき といつても，これは試験の目的によつて一般に異なるものである。例えば，購入する砂の粒度を管理する場合に，1貨車ごとに，その砂の平均の粒度を示す一つの試料をとつて試験して，ばらつき を求めた場合と，1バッチに使用する砂の平均の粒度を表わすような試料を採取して ばらつき を求めた場合とでは，その結果に相異が当然予想されるわけである。それでは，試料はどのような採取の方法をとればよいかが問題となるが，これは本文を依頼された趣旨とは異なるので，ここでは省略し他の機会にゆづることにする。そして，試験結果が得られたとき，それをどのように整理し，それから何が得られるかについて説明することにする。

いま，コンクリートの強度を例にとろう。土木学会の標準示方書には，一般に，同じコンクリートで供試体は同時に3コ，ダムでは 1～2 コとることに決められている。同じコンクリートで何コも供試体をつくるのは，試験誤差のために供試体の強度がばらつくので，その影響を少くするためである。一般に，現場でつくつた供試体の強度は相当ばらつくものであるが，この ばらつき の中には，コンクリートの品質の変動によるものと試験誤差によるものとが含まれている。最終的にわれわれが知ろうとするのは品質の変動であるので，試験誤差をなるべく小さくしたり，その影響を除くことが必要となつてくる。いま，1回に N_t コづつ N 回供試体を造つたとすると，それぞれの供試体の強度は，分散が $(\sigma_m{}^2+\sigma_t{}^2)$

である分布をすることになる。ただし，σ_t は同じコンクリートでつくつた供試体の強度の標準偏差の真の値，σ_m はある期間内につくつた，すべてのコンクリートの真の強度の標準偏差である。この期間のコンクリートの真の強度の全体での平均値を M とし，分布が正規分布であるとすると，個々の供試体の強度の分布は $N\{M,\sigma_m^2+\sigma_t^2\}$ で表わされる。そこで，σ_m を知るためには，σ_t を知れば別に同時に N_t コの供試体をつくる必要がないが，これは，供試体のコ数が非常に多い場合であつて，数が少い場合は真の値が σ_t であつても，試料に現われる標準偏差はばらついていて σ_t と異なるので，結局は，N_t コづつとるのが有効となる場合がある。しかし，1回につくる供試体の数を増すからといつて，回数を減じては意味がない。一般に，供試体の総コ数が等しいように供試体をつくるとすれば，1回につくるコ数を減じて回数を増す方が品質の変動を調べる上からは望ましい。しかし，試験誤差がわかつていないときは，これを知るために $N_t=2$ とするのがよいであろう。また，特に弱い強度がでて，あとからその原因を調べるときに，それが試験誤差によるものかどうかの判断の資料にするためにも $N_t=2$ とするのがよいと思われる。

つぎに計算方法を示せば，まず，試験によるばらつきの計算においては，同時に N_t コの供試体をつくつたとき，その強度を $x_1,x_2,\cdots\cdots,x_{N_t}$ とすれば

平均強度 $\bar{x}=\sum_{i=1}^{N_t} x_i/N_t$

変動係数

$$V_t=100\sqrt{\frac{N_t}{N_t-1}\left\{\sum_{i=1}^{N_t}x_i^2/N_t-\bar{x}^2\right\}}\Big/\bar{x}\ (\%)\cdots\cdots(1)$$

あるいは $V_t=100\sqrt{\sum_{i=1}^{N_t}x_i^2/N_t-\bar{x}^2}\Big/c\cdot\bar{x}$ ……(2)

あるいは $V_t=100\,R/d\cdot\bar{x}$ ……………………(3)

ただし $1/c$ は試料標準偏差から母集団標準偏差を推定する場合の係数で，厳密には次式で表わされる。

$$1/c=\sqrt{\frac{N_t}{2}}\cdot\Gamma\left(\frac{N_t-1}{2}\right)\Big/\Gamma\left(\frac{N_t}{2}\right)$$

R は $x_1,\cdots,x_{N_t}$ のうちの最大値と最小値との差すなわち範囲である。d は範囲から母集団標準偏差を推定する場合の係数であり，参考までに式を示すと，

$$d=\int_{-\infty}^{\infty}[1-\{1-\Phi(x)\}^{N_t}-\Phi(x)^{N_t}]dx,$$

$$\Phi(x)=\int_{-\infty}^{x}\frac{1}{2\pi}\cdot e^{-\frac{v^2}{2}}\cdot dv$$

である。(1) 式は不偏分散の平方根を母集団標準偏差と考えているものである。いま，母集団標準偏差を σ とすると σ^2 の最もよい推定値は

$$u^2=\sqrt{\frac{N_t}{N_t-1}\left\{\sum_{i=1}^{N_t}x_i^2\Big/N_t-\bar{x}^2\right\}}$$

である。すなわち，N_t コの試料からなる組の試験を非常に多数回行うと，u^2 の平均値は σ^2 に近づいてゆく。しかし，u の平均値は σ に近づいてゆかず，σ よりも少し小さい値に近づいてゆくのである。それゆえ，(1) 式は変動係数の推定式としては厳密ではないが，(2)，(3) 式のように，N_t の大きさによつて変化する係数を用いないので覚えやすく，また，あまり差がないのでよく用いられる。(2) 式は，試料標準偏差から母集団標準偏差を推定する厳密な式を用いたものであるが，多数のデータを迅速に処理する上からは計算がやや面倒である欠点がある。(3) 式は範囲から母集団標準偏差を推定するため，計算は最も簡単である。また，N_t の値は普通3および2であるので，範囲を用いたために誤差が大きくなる心配も少ない。$1/c$ および $1/d$ の値を **表—1** に示す。

つぎに，品質の変動の計算においては，N 組のデータ $x_1,x_2,\cdots\cdots,\bar{x}_N$ があるとき，$\bar{x}$ のばらつきを計算するには，$\bar{\bar{x}}=\sum_{i=1}^{N}\bar{x}_i/N$ とすると，前記の (1) および (2) 式において，V_t を V,N_t を N,x_i を $\bar{x}_i,\bar{x}$ を $\bar{\bar{x}}$ とすれば変動係数を求めることができる。また2コづつの移動範囲すなわち $\bar{R}_1'=|\bar{x}_1-\bar{x}_2|,\bar{R}_2'=|\bar{x}_2-\bar{x}_3|,\cdots\cdots,R'_{N-1}=|\bar{x}_{N-1}-\bar{x}_N|$, $\bar{R}'=\sum_{i=1}^{N-1}R_i'/(N-1)$ とすると，変動係数は近似的に $V=88.6\,\bar{R}'/\bar{\bar{x}}(\%)$ で計算することもできる。しかし，(1) および (2) 式で計算する方がよいであろう。このように，品質の変動を変動係数で表わしたが，近来，外国では変動を標準偏差で表わすことも多いようである。この理由は，おもに，強度については，強度の大きいものは一般に変動係数が小さい傾向を示すことによるようである。しかし，一方，強度の大きいものでは標準偏差が大きくなることも考えられるので，必ずしも，標準偏差で表わす方がよいとはいえないようである。それで，標準偏差は統計的取扱い上からは便利ではあるが，ここでは，変動係数を用いることにする。

このようにして $\bar{\bar{x}}$ のばらつきを計算することができるが，$\bar{x}$ には前述のように試験誤差の影響が入つているので，品質の変を求動めるにはこの影響を取り除かなけれ

表—1

N_t	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50
$1/c$	1.772	1.382	1.253	1.189	1.151	1.126	1.108	1.094	1.084	1.054	1.040	1.026	1.015
c	0.564	0.724	0.798	0.841	0.869	0.888	0.903	0.914	0.923	0.949	0.962	0.975	0.985
$1/d$	0.886	0.591	0.486	0.430	0.395	0.370							
d	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704							

ばならない。すなわち，品質の変動係数をV_mとすれば，近似的に，$V_m=\sqrt{V^2-V_t^2/N_t}$ によつて推定することができる。しかし，管理の対象として V を用いてさしつかえない。

もし,N_tの値が試験回数によつて変化している場合には，$\bar{x}$ をどのように取り扱えばよいかが問題となるが，一般には，別に重み（weight）をつけずに取り扱つてさしつかえないと思う。$\bar{x}$ のばらつきは，前にも述べたように，分散で表わすと $(\sigma_m^2+\sigma_t^2/N_t)$ であるので，σ_m が σ_t よりも相当に大きいのが現状では，N_t の少しばかりの差異によつて重みを変えるのは面倒でもあるし，それほど厳密を要することも少いので，簡単に，重みをつけないということにしてもさしつかえないと思う。

以上は強度について説明したのであるが，強度以外にもこの方法を用いることができる。例えば，コンクリートのスランプ，空気量，骨材の表面水量，モルタルの単位容積重量等試験誤差が予想されるものには，同様な考え方を用いてよいであろう。

5. 管理限界の求め方

管理限界を求める計算の方法を，例を示して，説明することにする。いま，同じコンクリートで同時に3コづつ供試体をつくり，20 回試験した結果が **表—2** のようであつたとする。このデータをもとにして，各種限界の計算の方法を示すが，必ずしも，示してあるすべての管理限界を求める必要はないので，そのうちの適当なもののみ採用して管理図を画けばよい。ここで計算方法を示す管理限界は (1) 1 回の試験の平均値 $\bar{x}$，(2) $\bar{x}$ の連続 k コの平均値 $\sum_{i=1}^{k}\bar{x}_i/k$ (3) $\bar{x}$ の 2 コづつの移動範囲 R'，(4) $\bar{x}$ を k コづつ区切つた場合の範囲 R_k および標準偏差 S_k，(5) 試験による変動 v_t，以上の 5 種類である。(1) は主として各バッチのコンクリートの品質を管理するものであるが，前述のように試験誤差も含まれている。(2) はある期間内の平均の品質，(3)，(4) はバッチごとの品質の ばらつき，(5) は試験による ばらつき をそれぞれ管理するものである。

(1) 標準が与えられている場合

いま平均強度強度 $M=350$(kg/cm²)，強度の変動係数（試験による変動の影響を含む）$V=10$(%)， 試験による変動係数 $V_t=3$(%) とする。これは真の強度の変動係数は $V_m=\sqrt{10^2-3^2/_3}=9.85$ (%) の場合である。

計算は，いわゆる 3σ 法によるものの外側限界と内側限界でそれぞれ 3σ 限界および 2σ 限界と記入した。

$\bar{x}_i$ にたいしては

中心線 $M=350$(kg/cm²)

3σ 限界 $M\pm\dfrac{3\,VM}{100}=350\pm\dfrac{3\times10\times350}{100}=455$

および 245 (kg/cm²)

2σ 限界 $M\pm\dfrac{2\,VM}{100}=350\pm\dfrac{2\times10\times350}{100}=420$

および 280 (kg/cm²)

表—2

No.	圧縮強度 (kg/cm²)				$\sum^{5}_{1}\bar{x}/5$ (kg/cm²)	s (kg/cm²)	u^2 (kg/cm²)	R_5 (kg/cm²)	R' (kg/cm²)	$v_t=59.1\,R/\bar{x}$ (%)	$(\bar{x}-300)^2$ (kg/cm²)²
	x_1	x_2	x_3	$\bar{x}$							
1	336	320	325	327	—				—	2.9	729
2	350	353	354	352	—				25	0.7	2 704
3	307	339	347	331	—				21	7.1	961
4	384	371	389	381	—				50	2.8	6 561
5	364	373	367	368	352	20.8	541	54	13	1.4	4 624
6	381	371	354	369	360				1	4.3	4 761
7	308	302	308	306	351				63	1.2	36
8	356	356	354	355	356				49	0.3	3 025
9	337	310	344	330	346				25	6.1	900
10	272	268	253	264	325	37.3	1 736	105	66	4.2	1 296
11	362	372	376	370	325				106	2.2	4 900
12	441	416	439	432	350				62	3.4	17 424
13	357	353	342	351	349				81	2.5	2 601
14	339	335	346	340	351				11	2.3	1 600
15	351	361	360	357	370	32.5	1 319	92	17	1.8	3 249
16	385	388	367	380	372				23	3.3	6 400
17	319	342	345	335	353				45	4.6	1 225
18	319	319	324	321	347				14	0.9	441
19	361	351	358	357	350				36	1.6	3 249
20	307	320	326	318	342	23.4	684	62	39	3.5	324
計				6 944		114.0	4 280	313	747	57.1	67 010
平 均				347.2		28.5	1 070	78.3	39.32	2.85	3 350

$\bar{x}$ の変動係数 $v=\dfrac{100\,u}{\bar{\bar{x}}}=100\sqrt{\dfrac{20}{19}(3\,350-47.2^2)}\Big/347.2=9.9$ (%)

$\sum_{i=1}^{k} \bar{x}_i/k$ にたいしては，$k=5$ の場合は

中心線　$M=350(\text{kg/cm}^2)$

3σ 限界　$M \pm \frac{3\,VM}{100\sqrt{k}} = 350 \pm \frac{3\times 10\times 350}{100\times\sqrt{5}} = 397$

および　303 (kg/cm²)

2σ 限界　$M \pm \frac{3\,VM}{100\sqrt{k}} = 350 \pm \frac{3\times 10\times 350}{100\times\sqrt{5}} = 381$

および　319 (kg/cm²)

試料の標準偏差を σ とするとき，任意に k コの試料をとつてその平均値を求めると，この平均値の標準偏差は $\sigma/\sqrt{k}$ である。しかし，コンクリートの強度は，全体では正規分布をしている場合でも，そのうちの連続した k コをとつた場合，正規母集団からの無作意にとつた k コの試料とは少し異なるようである。すなわち，コンクリートの強度の変動状況を調べてみると，一般に，不規則な波のような形の変動をする場合が多く，比較的大きな値とか小さな値が引き続いて生ずることが多いようである。それゆえ，$\sum_{i=1}^{k} \bar{x}_i/k$ の標準偏差としては，一応，$VM/100\sqrt{k}$ を用いてはいるが，実際は，これよりも大きな値にとるのが望ましく，k の値を小さくするのがよいであろう。しかし，それではいくらにすればよいかは現場によつても異なると思われるし，研究も進んでないので，一応 k の値をそのまま用いているのである。

R_i' にたいしては，

中心線

$$1.128\frac{VM}{100} = 1.128\times\frac{10\times 350}{100} = 39.5\ (\text{kg/cm}^2)$$

3σ 限界の上限　$3.69\frac{VM}{100} = 3.69\times\frac{10\times 350}{100} = 129(\text{kg/cm}^2)$

下限　0 (kg/cm²)

2σ 限界の上限　$2.83\frac{VM}{100} = 2.83\times\frac{10\times 350}{100} = 99(\text{kg/cm}^2)$

下限　0 (kg/cm²)

標準偏差が σ である正規分布をする母集団から任意に k コづつ試料をとつたとき，その最大値と最小値との差，すなわち範囲がどのように分布するかが明らかにされている。すなわち，平均値は $d\sigma$，標準偏差は $d'\sigma$ である。d は前に示したが，d' の式を参考までに示す。

$$d' = \sqrt{2\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{x_N}[1-\Phi(x_N)^N - \{1-\Phi(x_1)\}^N + \{\Phi(x_N)-\Phi(x_1)\}^N]dx_1\cdot dx_N - d^2}$$

$\Phi(x), d$ は前に示したもの，x_N は N コの試料のうちの最小値，x_1 は最大値である。中心線を求める係数 1.128 は $N=2$ のときの d の値であり，3σ 限界の係数 3.69 は，$d+3d'$，2σ 限界の係数は，$d+2d'$ から求められたものである。すなわち，$d+3d'=1.128+3\times 0.853=3.687$，$d+2d'=1.128+2\times 0.853=2.834$ この方法は，範囲の分布が非対称であることを無視して，標準偏差の3および2倍をとつているので，下限の方は（－）になつてしまう。それで下限は一応0としているのである。

R_{ki} にたいしては，$k=5$ とすると

中心線　$d\frac{VM}{100} = 2.326\times\frac{10\times 350}{100} = 81.4\ (\text{kg/cm}^2)$

3σ 限界の上限　$D_3\frac{VM}{100} = 4.92\times\frac{10\times 350}{100} = 172\ (\text{kg/cm}^2)$

下限　$D_3'\frac{VM}{100} = 0\ (\text{kg/cm}^2)$

2σ 限界の上限　$D_2\frac{VM}{100} = 4.05\times\frac{10\times 350}{100} = 142\ (\text{kg/cm}^2)$

下限　$D_2'\frac{VM}{100} = 0.60\times\frac{10\times 350}{100} = 21\ (\text{kg/cm}^2)$

D_3, D_2 は R_i' の場合に述べたと同じ考えかたによつて，$D_3=d+3d'$，$D_3'=d-3d'\geqq 0$，$D_2=d+2d'$，$D_2'=d-2d'\geqq 0$ から求められた係数である（**表—3**）。

表—3

k	2	3	4	5	6	7	10
D_3	3.69	4.36	4.70	4.92	5.08	5.20	5.47
D_3'	0	0	0	0	0	0.20	0.69
D_2	2.83	3.47	3.82	4.05	4.23	4.37	4.67
D_2'	0	0	0.30	0.60	0.84	1.04	1.48

S_{ki} にたいしては

中心線　$C\frac{VM}{100} = 0.841\times\frac{10\times 350}{100} = 29.4\ (\text{kg/cm}^2)$

3σ 限界の上限　$C_3\frac{VM}{100} = 1.756\times\frac{10\times 350}{100} = 61.5\ (\text{kg/cm}^2)$

下限　$C_3'\frac{VM}{100} = 0\ (\text{kg/cm}^2)$

2σ 限界の上限　$C_2\frac{VM}{100} = 1.451\times\frac{10\times 350}{100} = 50.8(\text{kg/cm}^2)$

下限　$C_2'\frac{VM}{100} = 0.230\times\frac{10\times 350}{100} = 8.0\ (\text{kg/cm}^2)$

c は **4.** で説明した値で，**表—1** に示してある。3σ 限界および 2σ 限界は，S_i の分布の平均値 $c\sigma$ に，分布の標準偏差 c' の3倍および2倍を加え，または減じたものである。c' の式を参考までに示すと，

$$c' = \left(\frac{k-1}{k} - c^2\right)^{1/2} \doteqdot \left(\frac{1}{2k} - \frac{2}{8k^2} - \frac{3}{16k^3} - \cdots\cdots\right)^{1/2}$$

である。そこで，$C_3=c+3c'$，$C_3'=c-3c'$，$C_2=c+2c'$，$C_2'=c-2c'$ によつて計算すると，**表—4** に示す値をう

表—4

k	2	3	4	5	6	7	10
c	0.564	0.724	0.798	0.841	0.869	0.888	0.923
c_3	1.843	1.858	1.807	1.756	1.711	1.672	1.584
c_3'	0	0	0	0	0.026	0.105	0.262
c_2	1.417	1.480	1.471	1.451	1.430	1.411	1.364
c_2'	0	0	0.124	0.230	0.307	0.366	0.482

る。なお，係数のうち負になるものは0とする。

v_{ti} にたいしては，$v_{ti}=100\,R_i/d\cdot\bar{x}_i$ によつて計算した場合には，近似的につぎの式で表わすことができる。

中心線 $V_t=3$ %

$$\begin{cases} 3\sigma \text{ 限界の上限} & d_3V_t=2.57\times3=7.71\ (\%) \\ \qquad\quad \text{下限} & d_3'V_t=0\ (\%) \\ 2\sigma \text{ 限界の上限} & d_2V_t=2.05\times3=6.15\ (\%) \\ \qquad\quad \text{下限} & d_2'V_t=0\ (\%) \end{cases}$$

これは，変動係数を範囲から推定する場合であつて，準標偏差 σ で説明すれば，標本値の平均値は σ で，標準偏差は d'/d である。それで，3σ 限界および 2σ 限界は，それぞれ，$(1\pm3\,d'/d)$ および $(1\pm2\,d'/d)$ となる。この値が負になるときは0としている。変動係数の場合は $\bar{x}$ の変動の影響が入るが，実用的にはその影響を無視してさしつかえない。**表—5** にこれらの係数を示す。

表—5

N_t	2	3	4	5	6
d_3	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00
d_3'	0	0	0	0	0
d_2'	2.51	2.05	1.86	1.74	1.67
d_2	0	0	0.14	0.26	0.33

（2） 標準が与えられてない場合

この場合は，ある適当な期間内における試験結果にもとづいて，これから先に行う管理のための限界を求めるのである。信頼限界法による 3σ 法，2σ 法を説明する。

$\bar{x}_i$ にたいしては，

中心線 $\bar{\bar{x}}=347$ (kg/cm²)

$$\begin{cases} 3\sigma \text{ 限界} & \bar{\bar{x}}\pm3\,u=347\pm3\times34.4=450 \text{ および } 244\ (\mathrm{kg/cm^2}) \\ 2\sigma \text{ 限界} & \bar{\bar{x}}\pm2\,u=347\pm2\times34.4=416 \text{ および } 278\ (\mathrm{kg/cm^2}) \end{cases}$$

あるいは

$$\begin{cases} 3\sigma \text{ 限界} & \bar{\bar{x}}\pm2.66\,\bar{R}'=347\pm2.66\times39.3=452 \text{ および } 242\ (\mathrm{kg/cm^2}) \\ 2\sigma \text{ 限界} & \bar{\bar{x}}\pm1.77\,\bar{R}'=347\pm1.77\times39.3=417 \text{ および } 277\ (\mathrm{kg/cm^2}) \end{cases}$$

まず，標準偏差を用いる前者については，N_m 回の試験結果から得られた $\bar{x}$ から計算した不偏分散の平方根 u を真の標準偏差と考え，その3倍あるいは2倍を乗じて限界を求めている。

つぎに，移動範囲 R' を用いる後者については，R' から標準偏差を推定し，これに3あるいは2を乗じて限界を求めているのである。すなわち，標準偏差は $\bar{R}'/d$ とし，$3/d=3/1.128=2.66$，$2/d=2/1.128=1.77$ より係数を求めている。しかし，この方法は $\bar{R}'/d$ が真の標準偏差に等しいという仮定にもとづいているのであつて，厳密ではない。

$\sum_{i=1}^{k}\bar{x}_i/k$ にたいしては

中心線 $\bar{\bar{x}}=347$ (kg/cm²)

$$\begin{cases} 3\sigma \text{ 限界} & \bar{\bar{x}}\pm\frac{3}{\sqrt{k}}\cdot u=347\pm\frac{3}{\sqrt{5}}\times34.4=393 \text{ および } 301\ (\mathrm{kg/cm^2}) \\ 2\sigma \text{ 限界} & \bar{\bar{x}}\pm\frac{3}{\sqrt{k}}\cdot u=347\pm\frac{2}{\sqrt{5}}\times34.4=378 \text{ および } 316\ (\mathrm{kg/cm^2}) \end{cases}$$

これは，$\bar{x}$ におけると同じように，真の標準偏差の代りに u を用いている。

R_i' にたいしては

中心線 $\bar{R}'=39.3$ (kg/cm²)

3σ 限界 $3.27\,\bar{R}'=3.27\times39.3=128$ (kg/cm²)

2σ 限界 $2.51\,\bar{R}'=2.51\times39.3=99$ (kg/cm²)

3σ 法によれば，範囲 R' の分布の標準偏差 $\sigma_{R'}$ は，$\bar{x}$ の標準偏差を $\sigma_{\bar{x}}$ とすると，$\sigma_{R'}=d'\cdot\sigma_{\bar{x}}=d'\cdot\bar{R}'/d$ であるから，3σ 限界は $\bar{R}'+3d'\cdot\bar{R}'/d=(1+3\,d'/d)\bar{R}'$，$2\sigma$ 限界は $(1+2\,d'/d)\bar{R}'$ となる。$N=2$ のときの $d=1.128$ $d'=0.853$ であるから $(1+3\,d'/d)=3.27$，$(1+2\,d'/d)=2.51$ である。

R_{ki} にたいしては，

中心線 $\bar{R}_k=78.3$ (kg/cm²)

3σ 限界の上限 $d_3\cdot\bar{R}=2.11\times78.3=165$ (kg/cm²)

下限 $d_3'\bar{R}=0$

2σ 限界の上限 $d_2\bar{R}=1.74\times78.3=136$(kg/cm²)

下限 $d_2'\bar{R}=0.26\times78.3=20$ (kg/cm²)

R_i' におけると同様な考えかたによつて，3σ 限界の係数は $d_3=(1+3\,d'/d)$，$d_3'=(1-3\,d'/d)$で，**表—4** 中に示してある値と同じである。

S_{ki} にたいしては，$k=5$ のとき

S_{ki} の中心線 $\bar{S}_k=28.5$ (kg/cm²)

3σ 限界の上限 $h_3\cdot\bar{S}_k=2.089\times28.5=59.5$ (kg/cm²)

下限 $h_3'\cdot\bar{S}_k=0$ (kg/cm²)

2σ 限界の上限 $h_2\cdot\bar{S}_k=1.726\times28.5=49.2$ (kg/cm²)

下限 $h_2'\cdot\bar{S}_k=0.274\times28.5=7.8$ (kg/cm²)

試料標準偏差 S_{ki} の標準偏差は，$\bar{x}_i$ の真の分散を σ^2 とすると，$c'\sigma$ であるので，3σ 限界は

$$\bar{S}_k\pm3\cdot c'\sigma=\bar{S}_k\pm3\frac{c'}{c}\cdot\bar{S}_k=\left(1\pm\frac{3\,c'}{c}\right)\bar{S}_k \text{ となる。}$$

表—6

k	2	3	4	5	6
h_3	3.267	2.568	2.266	2.089	0.970
h_3'	0	0	0	0	0.030
h_2	2.511	2.045	1.844	1.726	1.647
h_2'	0	0	0.156	0.274	0.353

2σ 限界は，$\left(1\pm\frac{2c'}{c}\right)\overline{S_k}$ である。**表—6** にこれらの係数を示した。

v_{ti} にたいしては，$v_{ti}=100\,R_i/d\cdot\bar{x}_i$ によつて計算した場合には，近似的に，次式で表わすことができる。

中心線　$\bar{v}_t=2.85$ (%)

3σ 限界の上限　$d_3\cdot\bar{v}_t=2.57\times2.85=7.3$ (%)

下限　$d_3'\cdot\bar{v}_t=0$ (%)

2σ 限界の上限　$d_2\cdot\bar{v}_t=2.05\times2.85=5.8$ (%)

下限　$d_2'\cdot\bar{v}_t=0$

d_3, d_2 等は **表—5** 中に示されている値と同じである。

以上で計算方法の説明を終るが，以上述べた方法は，いわゆる 3σ 法といわれる方法であつて，コンクリートの品質管理に用いるには，さらに厳密な方法が望ましいのであるが，これは紙数の関係で残念ながら割愛し，いずれ近く発表したいと思つている。

上記の各種の限界は，すべて用いる必要は全然ないのであつて，そのうちから適当なもののみを取捨選択して用いていただければよいと思う。一例を示せば，$\bar{x}$, $\Sigma\bar{x}/k, R', v_t$ あるいは，$\bar{x}$, $\Sigma\bar{x}/k, R_k, v_t$ 等がある。$N_t=1$ のときは v_t がないので簡単になる。**図—2** に，3σ および 2σ 限界法を用いた管理図の一例を示してある。

6. 管理図の用い方

管理図の画き方は以上の説明で大体理解できると思うが，これを実際にどのように用いたらよいか，という点について考えを述べよう。

まず，その前に，コンクリート標準示方書に示されている。圧縮強度の許容限界と管理限界との相違について述べる。示方書には，**2.** でのべたように，圧縮強度が満たすべき条件が示されているとともに，その条件を満足するように，配合設計において目標とする平均強度を決めるように定められている。この条件をちようど満たすようなコンクリートをつくつた場合に，5%の管理限界が構造物の設計において基準とした材令 28 日における圧縮強度 σ_{28} の 80% あるいは σ_{28} に合致する場合もありうるであろうが，一般には，合致しないのが普通である。示方書に示されている条件は，コンクリートの平均強度を定めるための条件であつて，コンクリートの品質を管理してゆくための管理限界を示しているのではないと考えてよいであろう。管理限界というのは，前述したように，ただごとでない異常な状態が生じたことを早く検出するための一つの便宜的な限界であつて，普通は，固定したものではなく，たびたび改訂されるべき性質のものである。それで，管理限界が $0.80\,\sigma_{28}$ あるいは σ_{28} よりも，大きい場合があつても小さい場合があつても一向にさしつかえない。また，管理限界は必ずしも材令28日の圧縮強度を用いて定める必要はないのであつて，適当な早期材令の強度で求めてもさしつかえない。かえつてその方がよい場合も多いであろう。圧縮強度の満たすべき条件，および試験結果が，この条件に合つているかどうかの判断のしかたについては，本文を依頼された趣旨からもそれるし，紙数の関係もあるので，省略することにする。

それでは，管理図をどのように用いればよいであろうか。前述したように，強度は，その試験結果がわかるのには何日も必要とするので，強度の管理図は，コンクリートの品質を直接管理する上からは，効果が非常に小さいものである。それゆえ，長期にわたる工事において，数日ないし数週間づつおくれて，以前の施工状態の良否を他のデータとともに判断して，現在および将来の施工においてコンクリートの品質を調整してゆくための手段としては，管理図はある程度有効であるが，小工事等では，あとからチェックする程度のデータ整理の図となつてしまう場合が多いであろう。それゆえ，前述したように材料の品質，計量等の管理図をつくるのはもちろんであるが，できたコンクリートの品質の管理図はかくべからざるものであるから，いまのところ，管理のための特性値としては，スランプ，空気量，ときには，空気を除いたモルタルの単位容積重量等であつて，その方面からコンクリートの品質の管理を行うほかないようである。

材料，計量，コンクリートについて管理図を画くべき特性値が決れば，つぎに，管理限界線を引かなければならないが，限界線は，コンクリートのように試料数が比較的少い場合には，いわゆる 3σ 法によるものよりも厳密な方法によるのが望ましいと思う。工事の初めにおいては，データがないために限界線を引くことができないので，普通の場合は，準備期間とでもいうべき期間を設けて，その期間にデータを集めるのがよいであろう。この期間内においても，以後の工事を代表するようなよいデータが得られるように注意すべきことはもちろんである。このとき，場合によつては，品質に対する要請，規格および過去のデータ等をもとにして，前述の **5. (1)** の標準が与えられている場合の方法を用いて，かりに管理限界を設けておくこともよいであろう。準備期間がどの程度必要であるかは，場合により現場によつて異なるが，普通 20～30 コのデータが集まる期間と考えてよいであろう。20～30 コといつても，同じ日にとつた場合と何日間かにわたつてとつた場合とでは自から異なるので，少くとも数日間にわたるデータが必要である。この

ようにして得られたデータが，あらかじめ設けた管理限界内に入つているか，あるいは，このデータによつて求めた管理限界が，品質の規格とか希望する値に適合するかどうかを確かめ，適合していなければ，ただちに補正するようにすべきである。もし，品質が劣つている場合には，例えば強度についていえば，強度の平均値をまず上げるようにし，それから ばらつき を小さくするように努力するのがよいであろう。ばらつき を小さくするためには，材料の品質，計量等の管理を十分行うとともに，どの原因がコンクリートの品質に最も大きな影響をおよぼしているかを調べ，経済的に許される範囲内で影響の大きなものから順に管理すべきである。そして，適当な期間ごとに管理図を修正してゆくのがよいであろう。

7. 結　言

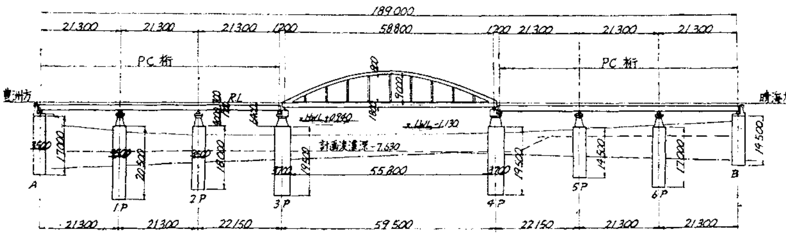
コンクリートの品質管理と管理図についての説明をこれで終えるが，私見が含まれていて誤謬もあることと思う。この点を御含みの上，誤りのご指摘やご意見があれば筆者までお知らせいただければ幸いである。末筆ながら，終始御指導を賜わつた東京大学　丸安隆和教授に深謝してペンをおく次第である。

晴 海 橋 着 工

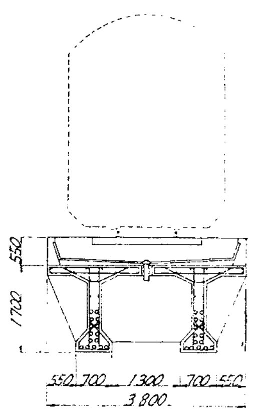
東京港晴海埠頭の臨港線として隅田川河口を横断する晴海線の晴海橋は，国鉄東京工事局によつて施工され，同橋梁の下部構造はケーソン工法を用いてさきに完成したが（白石基礎工業ＫＫ施工），最近上部構造の施工に着手することとなつた。同橋梁の中央部はスパン 58.80 m のローゼ桁，両側部は 3 @ 21.30 m の連続 PC 桁から構成されている（図―1,2 参照）。この PC 桁は鉄道橋としては最初の連続桁である。このコンクリート打ちは7月末から開始されることになつている。

設計荷重：KS-16　ローゼ桁：146 t（石川島重工業ＫＫ）　PC 桁：310 m^3（オリエンタル・コンクリートＫＫ）　設計：国鉄構造物設計事務所

晴　海　橋　略　図



PC 桁 断 面 図



書　評

応用水理学 上
一 般 水 理 学　石原藤次郎・本間仁 編　丸善株式会社 刊

戦後 10 年間水理学のあらゆる分野にわたつて，内外で行われた研究並びに調査の量は実にぼう大なものである。それらを理解しさらに応用するまでには，それにふさわしい基礎的知識の蓄積が必要である。

一般水理学はこの基礎的知識となるべき問題が取り扱われ，執筆者はこの道の諸権威で，その意味においても本書の特異性の一端が知られよう。

その構成は本来の水理学と同様であるが，次の部門からなつている。

1.1.　静 水 力 学（本間　仁）
1.2.　流 体 の 運 動（佐藤清一）
1.3.　固 体 の 抵 抗（本間　仁）
1.4.　管 内 の 水 流（本間　仁）
1.5.　開 水 路 の 定流（本間　仁）
1.6.　水　の　波（林　泰造）
1.7.　地　下　水（内田茂男）

本書の内容は相当高級に属する内容が多分に含まれ，一面には諸事項が簡潔に記述され，全般的に新しい材料が豊富に導入されている。特に 1.6. の中の水路の中を伝わる波の問題並びに 1.7. の地下水の運動の問題はかなりくわしく，実用的に解説されている。

新しい水理学の立場から本書は適切なる好著であるが，これから出版される続編といかに関連づけられるか少なからず興味をいだかしめる問題点で，続編の早期出版を期待するとともに，応用水理学（全三巻）として完成されたときに，さらに再評を試みたい。

B 5 版，215 ページ，箱入上製
定価 580円 昭和32年4月1日発行