

## PC 用コンクリート (2)

菅原 操\*

### 3. 圧縮強度によるコンクリートの管理

#### (1) コンクリートの管理

PC 用構造物を経済的につくるためには、均等質のコンクリートを施工しなければならないが、均等質のコンクリートを施工するためには、コンクリートの材料および品質についての管理が必要である。

コンクリートの品質管理は、現在、材令 28 日における圧縮強度を対象として行なわれる。したがって試験結果がわかったときには、すでにそのコンクリートは施工されてしまった後で、これを取りこわすことは容易でないのが普通である。そこで、でき上りコンクリートが所定の品質を有するようになるには、材料をよく管理するとともに、計量、打込み、締固め、および養生などの一貫の作業を十分に管理することが必要である。これらの管理が十分であれば、でき上りコンクリートの品質は、十分に管理されているはずであるが、これらの作業は、作業環境が十分でなく、また一般に作業員の熟練度の低い工事現場で行なわれるのが普通であって、なかなかそこまで十分にいかない。

そのため、得られたコンクリートの品質を確かめるためには、コンクリートについて試験して、その結果をしらべる必要がある。そしてその品質の変動が、予期したものよりも大きい場合には、速やかにその原因をつきとめて、取りのぞかなければならないのである。その目的のためには、スランプ、空気量などを測定する方法とともに、コンクリート供試体による圧縮強度試験を行なう必要がある。

#### (2) コンクリートの管理の方法

**a) コンクリートの管理のための試験** コンクリートの管理のため、PC 指針第 14 条では、つぎのように定めてある。

「(1) 工事中、コンクリートの均等性をたかめ、またコンクリートの品質が、定められた管理限界内にあるようにするため、コンクリートの品質管理をしなければならない。

らない。

このために、工事中、材料およびコンクリートの試験をしなければならない。

(2) 現場では、責任技術者の指示にしたがって、つぎの試験をしなければならない。

- (a) 骨材の試験
- (b) スランプ試験
- (c) コンクリートの圧縮強度試験
- (d) その他の試験

(3) 養生の適否を確かめるため、型わく取りはずしの時期を定めるため、また、コンクリートにプレストレスを与えてよいかどうかを確かめるため、あるいは、材令 28 日以前に載荷するとき、載荷時に安全であるかどうかを確かめるために、打込んだコンクリートと同様な方法で製造し、また同じ状態で養生した供試体について圧縮強度試験をしなければならない。

この試験の結果、得られた強度が、標準養生を行なった供試体の強度よりいちじるしく小さい場合には、責任技術者の指示にしたがって、現場のコンクリートの養生方法を改めなければならない。」

コンクリートの均等性を高めるため、工事現場で最も注意を払わなければならないことは、コンクリート 1<sup>m</sup>中に用いられる水量が変化しないことである。水量の変動および、これから生ずるスランプおよび圧縮強度の変動は、主として骨材中にふくまれる表面水、および骨材の吸水量の変動に起因している。

コンクリートの第 1 バッチは、ミキサ内面にモルタルおよび水分が付着するから、モルタルの捨バッチを練ることの必要なのは、一般のコンクリート工事と同様であり、また骨材が野積みの場合には、第 1 バッチは多くの場合、硬練りになりやすいので、とくに注意が必要である。

はじめから 2~3 バッチは、とくに頻繁にワーカビリティの試験を行なって、早く安定した状態にすることが望ましい。

PC 工事では、コンクリートの品質の変動は、圧縮強度の変動係数で 10% 以内になるようにしたい。

均等質のコンクリートを作ることは、すべてのコンクリート工事において必要なことであるが、とくに PC の場合は、単位セメント量が大きくなりがちであり、強度の変動が大きい場合には、目標強度をいっそう高くしなければならないが、そのため単位セメント量が過大となる傾向を生ずるからである。

強度の変動係数が 10% 以内になるようにするには、各材料の品質および計量をつぎのように管理すればよいといわれている。

\* 工博 国鉄建設局 技師

(a) セメントは同一工場の製品で、製造後なるべく1ヵ月以内のものを、風化させないようにして用いる。

(b) 1バッチに用いる量を単位としたときの、細骨材の粗粒率の変動は0.2以内にあるようにする。骨材の入荷ごとの粗粒率の変動も0.2より小さくする。

(c) 水および AE 剤、分散剤などの計量誤差は1%、セメント、細骨材の計量誤差は3%以内になるようにする。

(d) 骨材の表面水量の変動は、計量水量を加減して、スランプまたは VF 値(後述)を調整することによって、その影響を小さくする。表面水量の変動を少なくするには、骨材置場に上屋を設けるのが適当である。

(e) 骨材の粒度および表面水量、材料の計量誤差は管理図を用いて管理するのがよい。

**b) コンクリートの圧縮強度の許容限界** PC工事におけるコンクリートの品質管理のための試験のうち、コンクリートの圧縮強度の許容限界に対する規程は、現在つぎのようになっている。

すなわち鉄筋コンクリート標準示方書第99条、およびPC設計施工指針第15条において、

「責任技術者の指示にしたがい、現場でとったコンクリートについて圧縮強度試験をする場合、同時につくった供試体3個の、材令28日における圧縮強度試験の平均値は、つぎの条件を満足しなければならない。

どの平均値も、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  $\sigma_{28}$  の80%を、また引続きとったどの5回の試験値の平均値も上記の  $\sigma_{28}$  を、少なくとも20回に1回以上の確率で下ってはならない。」と規定されている。

またとくに重要な構造物の場合には、この確率をさらに小さい値にとることが必要であるといわれている。

この条項は、コンクリートの管理のための試験のうち最も本質的な試験である圧縮強度試験における、コンクリートの強度の許容限界を示したものであり、圧縮強度試験によるコンクリートの品質管理は、材令28日における供試体の試験値によることを示したものである。

したがって、供試体は、よくその構造物の品質を代表するように採取しなければならないのである。コンクリートは、一般の工場製品と異なって、製造してから、その品質を確かめうるまで時間がかかり、試験結果を得たときには、そのコンクリートは容易にやり直しのできにくい状態になっているので、その品質を管理することはその製造過程の各段階の管理に重点をおくべきであって、本条は管理の結果として得られるべきコンクリートの品質を表わしたものである。

すなわち、コンクリートの強度にバラツキがあつて

も、その低い強度のものが、ある確率でこれ以下に下ってはならないという下限値を決め、また所要の強度よりも低い強度のものが、一時にかたまって出てくることのないようにする条件を定めたのである。

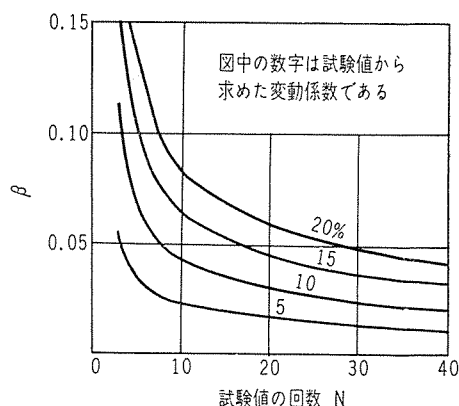
圧縮強度の試験値がこの条に示す条件を満足しない場合には配合の定め方が適当でなかったか、または製造過程の管理の状態が予想以上に悪かったか、あるいは供試体の製作など試験方法が悪かったかのいずれかである。

したがって、このような場合には、試験結果をよく検討して原因を確かめ、試験方法の不良によるものでないことが確かめられれば、目標となる強度を高めて配合設計を行なうか、または、材料、計量設備、練り混ぜなどについて点検し、これらを改善して、コンクリートの品質の変動が小さくなるようにしなければならない。

そのためにはコンクリートの強度の管理図を作成してその品質の傾向をつかむのがよい。

ここで「20回に1回以上の確率」ということは、無限回の試験値をとったときに確率が1/20ということであるから、20回の試験値が必要であるという意味でもないし、また20回の試験値をとったとき、1回以上の試験値が条件に合格していないからそのコンクリートが不合格であるというものでもない。これはさらに試験を続けたときに、条件に合わないものが、その後には出てこないこともおこりうるからである。ある回数の試験値が得られたとき、それらの試験値がこの条に示された条件を満足しているかどうかを調べるには図-6による方法を用いるのが便利である。図の横軸は、試験値の個数

図-6 少ない試験値から平均強度を推定するための図



である。図中の数字は、その試験値から求めた変動係数である。いまたとえば、10回の試験値について計算した変動係数が10%であったとする。このときの10%の曲線が  $N=10$  の軸と交わる点の縦座標  $\beta=0.045$  をとる。目標とした強度  $\sigma_r$  と、10回の試験値の平均値との差が、試験値の平均値に  $\beta(=0.045)$  をかけた値よりも小さいときは、そのコンクリートの平均強度は目標とした

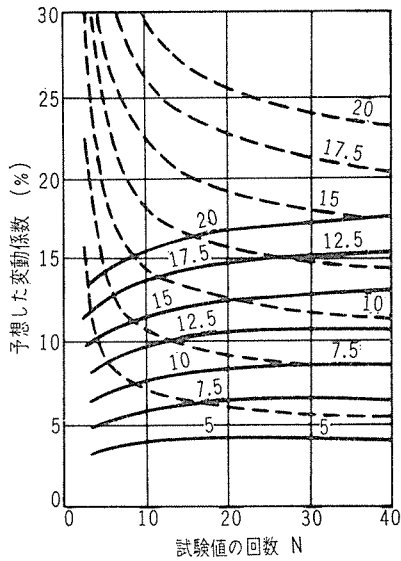
強度に達していると考えてよいのである。

つぎに、計算した変動係数から図一7を用いて予想した変動係数が適当な値であったかどうかを調べる。

すなわち、たとえば10回の試験値からえられた変動係数が15%あったとする。予想した変動係数の値を縦軸にとったとき、この値を示す点が図の実線のうち15%の線より下であれば、予想した変動係数は小

さかったことを示し、点線のうち15%の線より上であれば、予想した変動係数は大きかったことを示すのである。したがってこれらの場合には、変動係数を適当に修正することが必要になるのである。なお予想した変動係数が15%の実線と15%の点線との間にあれば、10の

図一7 予想した変動係数が適当であったかどうかを判断するための図



注：図中の数字は試験値から求めた変動係数(%)である。

試験値からは、大体実用上安全であると考えられるが、安全すぎるかも知れないし、また危険であるかも知れない。それでそのまま作業をつづけ、さらに多くの試験値が得られるにしたがって、あらためて変動係数を計算し、図によって点検して見る必要がある。

以上の2種の検定において満足な結果が得られれば本条に示す条件が満足されていると考えてよいのである。

(3) 現行指針による管理方法の問題点

a) 合否の判断の対象とする試験値の個数を限定することについて PC指針15条の考え方は、この条項が、でき上りコンクリートの強度の合否の判断方法として定められるというよりも、むしろ目標強度を定めたり、あるいは、管理の結果として得られるべき、コンクリートの品質のあり方を示すという立場に立ったものである。すなわち合否の判断のための許容限界を示す条項であるならば、ある許容限界値を下まわる試験値の20回に1回の確率ということは、たとえば20回の試験であるならば、そのうち2回以上、40回の試験ならば3回以上、不合格のものがあってはならない、というように定めるべきであり、またそのような明確な条項でなければ、工事監督者と施工者との間に適確な検収が行われない恐れがあるからである。

いま諸外国のコンクリート示方書の該当条項を見ると表一4のようである。表一4において、コンクリートの

表一4 コンクリートの強度の試験値が満足すべき条件の比較

|                                       | ACI<br>(アメリカコン<br>クリート協会)                                       | DIN<br>(ドイツ)  | BA60<br>(フランス)                 | CEB<br>(ヨーロッパコンクリート<br>委員会)   | 土木学会(現行)   | 日本建築学会  |
|---------------------------------------|---|---|--------------------------------|---|--|---|
| 合否の判定の<br>対象とする試験<br>値が限定数であ<br>るかどうか | 限 定   | 限 定   | 限 定                            | 限 定   |  | 限 定   |
| 規定条項                                  | (1) 続く5個の試験値の平均値が設計強度以上であること。<br>(2) 試験回数20%以上が設計強度以下であってはならない。 | (1) 各供試体の強度が必要強度の85%以上であること。<br>(2) 3個の供試体の圧縮強度の平均が必要強度以上であること。 | 各試験値が必要とする許容応力度に対応する強度以上であること。 | 試験で求めた強度が設計で考えた強度以上であること。   | (1) 各試験値が設計基準強度の80%を1/20以上の確率で下らないこと。<br>(2) 5回の試験値の平均値が設計基準強度を1/20以上の確率で下らないこと。 | (1) 施工級別の判定(略)<br>(2) 1回の試験についての試料の平均値 $\bar{x}$ が次式を満足すれば、所要の調査強度が得られたものと判定する。<br>$\bar{x} - 0.8 S \geq F_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )<br>ここに S は1回の試験における試料の強度の標準偏差である。 |
| 救済条項                                  | ASTM・C 42 または載荷試験(第2章)を行なう。                                     | 構造物の載荷試験(コンクリートの品質の管理とは別項で、やむを得ない場合は実施することを定めている)               | 同 左                            | (1) 適当日数において非破壊試験を行なうが、構造物からコアを切り取り試験を行なう。試験結果が期待する成績の場合には合格<br>(2) 試験の結果が、設計に考慮された特性強度の80~100%の場合、構造物の載荷試験を行なう。<br>(3) 試験の結果が設計に考慮された特性強度の80%に満たない場合は構造物の補強、荷重の制限を行なう。 |  | (1) コアの試験その他による方法<br>(2) 直接載荷<br>(3) 必要あれば補強  |
| その他の処置                                |   | B120の品質のコンクリートでは、請負人は他の適当な機会により確かめることができる。                      | コンクリートの品質について体系的な管理を行なう。       |   |  |   |

強度の不合格率を、確率的な表現であらわしているものではなく、すべてある限定された試験個数において合否を判断する形となっている。これらの表現は理論的には不合理なものであるが、実用上からこのような表現方法をとっているものと考えられる。わが国においても現行示方書が制定されて以来、現場技術者の間には、コンクリートの強度の合否の判定方法について、そのような明確な規程を望む声が高くなっているのである。

このような考え方に立った場合、20回に1回という不合格率をチェックするためには、少なくとも20回の試験値が必要となってくる。しかしPC工事は一般にその規模が小さいので、20回の試験値をまっけて、そのコンクリートの品質を判断していたのでは、時期を失すおそれがあり、また20回の試験値がでない場合もあるのである。そのため、許容限界値との関連において、この不合格率を若干大きいものとし、たとえば「10回に1回」と規定することが一つの処置であろうと考える。しかしコンクリートの性質上、10個ずつ、あるいは20個ずつの試験値のグループが、許容値以下の試験値をそれぞれ1個ずつ有するものではないので、このような条件を完全に満足させるためには、目標となる強度をいちじるしく高めなければならないことになって、不経済であるばかりでなく、単位セメント量が多くなって、コンクリートの品質上も好ましくない結果が生ずる。したがって、目標強度を定めるに当っては試験値がこの条項を満足しない場合も1/10程度はあるものとして計画するのが実用的である。前号にあげた図-1の変動係数と割増し係数との関係を示すカーブはこのような意味をもっているのである。

そこで不合格率の表わし方を「10回に1回より多く下ってはならない」という条項をもってするならば、許容限界よりも低い試験値が、10回の試験値で2回あるいは3回以上あらわれた場合の扱い方についても定めておかないと、またトラブルの生ずるものとなるのである。

以上のようなことから、PC鉄道橋設計施工基準では、圧縮強度試験によるコンクリートの管理の条項を、実用を考慮してつぎのように定めた。

「(1)責任技術者の指示にしたがい、現場でとったコンクリートについて圧縮強度試験をする場合、同時に作った供試体3個の材令28日における圧縮強度の平均値(以下これを試験値という)が、つぎの条件を満足するようにコンクリートを管理しなければならない。

どの試験値も、部材の設計において基準とした材令28日における圧縮強度 $\sigma_{28}$ の90%を、10回に1回より多く下ってはならない。また引続きとったどの3回の試験値の平均値も、上記の $\sigma_{28}$ を10回に1回より多く下

てはならない。

(2)供試体による圧縮強度の試験値が、前号の条件を満足しない場合は、責任技術者の指示をうけなければならない。

(1)項に定めたそれぞれの許容限界を下まわる試験値または3回の試験値の平均値の生じる回数が、10回に2回以上あった場合の処置は、表-5のように考えてよい。

表-5 試験値が第1項の条件を満足しない場合の処置

| 試験値が許容限界以下に下った回数 | 処 置  |  |
|------------------|--|--|
|                  | コンクリートの製造についての処置                             | そのコンクリートを用いて製作した構造物の処置                         |
| 10回に2回           | 目標となる強度を高めるか、材料・計量設備・練混ぜなどについて点検し、必要に応じ改善する。 | 実際の構造物について試験を行ない、コンクリートの品質を確かめ、必要に応じ養生期間を延長する。 |
| 10回に3回またはそれ以上    | 同 上  | 責任技術者の指示により取りこわすか、補強などの処置をとる。                  |

ただし、先述したように供試体だけの製作養生など、試験方法が不良であったことが明らかな場合には、その試験値は除外して考える。

PC工事は、一般の鉄筋コンクリート工事や、トンネル工事などにくらべて小規模なことが多い。したがってコンクリートの強度の合否の判断のための試験値の個数を10としても、なおその工事を通じて10回の試験値が得られなかったり、また10回の試験値が得られたときは工事の大部分が終了し、試験結果をコンクリートの製造の過程に反映させられない場合も生ずるのである。

このような場合、10回未満の試験値を用いて、コンクリートの品質のすう勢をごく概略に判断するには、表-6によるのがよい。

表-6 10回未満の試験値から、コンクリートの品質のすう勢を判断するための表

| 試験値が許容限界以下に下った回数 | 試験値の個数 |     |
|------------------|--------|-----|
|                  | 5~7    | 8~9 |
| 1                | 要注意    | 要注意 |
| 2                | 不合格    | 要注意 |
| 3                | 不合格    | 不合格 |

それでは、コンクリートの強度の合否を判断するための試験値の個数として、さらに小さい、たとえば5個を用いるとしたら、さらに早く、その結果をつかむことができるということになるが、そこには少し無理が出てくるであろう。すなわち、コンクリートの試験値の5個ずつのグループの間の差は、10個ずつのグループの間の差より相当に大きくなり、5個ずつの試験値で常に合格するようなコンクリートを作るには、目標強度をいちじるしく高いものにしなければならなくなり、不経済なコンクリートとなることが予想されるからである。