

# コンクリートの試験方法

—よいコンクリートを安く造るために—

丸 安 隆 和

## 1. ま え が き

コンクリートは、セメント、水、砂および砂利などの材料を現場で適当な割合で混合して造るものであるから、鋼やその他の金属材料のように、工場の行届いた設備と管理のもとで造られるのとくらべると、設計通りの一般的な品質のコンクリートを常に造るということはなかなか困難なことである。しかし、土木工事に使われるコンクリートは、例えばダムの工事にしても、道路の舗装にしても、非常に大量であるのが普通であるから、所望の品質のコンクリートを造るのにわずかな量であつてもセメントの使用割合が節約できれば、全体の工事では非常に量が節約できることになり、工事費もいちじるしく軽減されることになる。また、一般の製品のように、もし不合格品ができたことがわかつても、これを取のぞいたり、取りこわしたりすることが不可能である場合が多いし、一部分に悪いところが出て、そこが破壊の原因となるようなことがあれば、土木の構造物が公共的なものが多いだけに、その影響するところが極めて大きいのである。

それで、実際にコンクリートの工事を行うに當つては常に一般的な品質のコンクリートができるように、諸種の設備を改善するのはもちろんであるが、どのような条件のもとではどのようなコンクリートができるか、今造つているコンクリートが所望の品質のものであるかどうか、について常に注意し、監督しなければならないのである。

コンクリートの品質を試験するにはいろいろな方法があるが、ここでは特に重要と思われるものと、最近コンクリートの試験方法として新しくクローズアップされている問題について述べようと思う。

## 2. コンクリートの壓縮試験

コンクリートに必要な強度としては、壓縮強度のほか引張強度、ずれ強度等があるが、これらの強度は適当な方法で造つたコンクリートであれば、大體壓縮強度で判断できるし、また、壓縮強度は他の強度にくらべると非常に大きいので、一般にコンクリートは壓縮用の材料として用いられる。それで、コンクリートの品質をあらわすのに壓縮強度であらわすことが多い。

コンクリートがミキサから吐き出されると、その中から試料をとつて壓縮用の供試體がつくられる。供試體は直径 15 cm、高さ 30 cm の圓壩である。このように、供試體の形を定めたのは、同じコンクリートであつても

その形が立方體であつたり、同じ圓壩でも直径がちがつたりまた直径と高さとの割合が異つたりすると得られた壓縮強度の値が異なるからである。供試體の形と大きさによつて、えられた強度がどの位の差になるかの例を示すと次のようである。

|     | 直径または1邊の長さ (cm) | 高さ (cm) | 比較強度 (%) |
|-----|-----------------|---------|----------|
| 圓 壩 | 15              | 7.5     | 178      |
|     | 15              | 15      | 115      |
|     | 15              | 30      | 100      |
|     | 15              | 45      | 95       |
| 立方體 | 15              | 15      | 113      |
|     | 20              | 20      | 115      |

直径と高さの比が 1:2 の場合

| 圓壩の直径 (cm) | 5   | 7.5 | 15  | 20 | 30 | 45 |
|------------|-----|-----|-----|----|----|----|
| 比較強度 (%)   | 108 | 106 | 100 | 96 | 92 | 86 |

同じように造つたコンクリートでも、試験するまでの間いかに保存していたかによつて強度の増進の仕方が非常にちがう。従つて、コンクリートの品質を比較するためには、同一の状態に保存しておかねばならぬ。標準養生とは、18°C~24°C の水中に貯える方法で、養生の温度が高い程、強度の出方が早く、また、空気中におくよりも水中におく方が強度が大きくなる。

試験するとき供試體が乾燥していると、濡潤な状態のときよりも強度が大きくなる。また、荷重を加える速度が速いほど強度が大きくなる。それで、これらの點についても一定の方法で試験して比較することが必要である。

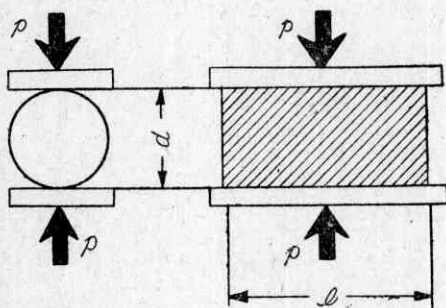
高強度のコンクリートが破壊するときには、音を出して急激にずれ應力による破壊を生ずるのが普通であり、壓縮強度の小さいコンクリートは、徐々に壓縮應力による破壊するのが普通である。それで、破壊の状況および外觀によつてコンクリートの品質をある程度まで判断することができる。(口繪 1 頁参照)

## 3. コンクリートの引張強度試験

前述したように、コンクリートは引張強度よりも壓縮強度の方がはるかに大きいので、一般に鐵筋コンクリートの部材を設計するときには、コンクリートの引張強度を無視して、コンクリートは壓縮強度のみに抵抗するものと假定して設計する。しかし、道路の舗装などでは、コンクリートの引張強度が大切な条件となる。

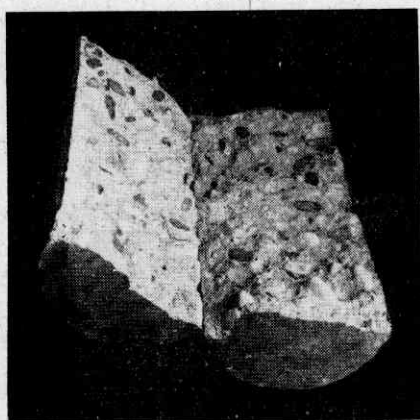
コンクリートの引張強度を試験するにはいろいろな方法があるが、現在広く用いられている方法は次の2通りである。(1) 15×15×50 cm のはりを用いて曲げ強度を求めめる方法 (2) 壓縮強度試験片と同じようにして造つた供試體を用いて壓裂試験を行う方法である。

曲げ試験については、別に新しいものではないので、ここでは壓裂試験について説明しよう。この方法は、戦時中赤澤常雄氏によつて創案された方法であつて、コンクリートの試験方法としてはまだ外國にも見ない新しい方法である。第1圖のように圓錐供試體を横にして直径



第1圖 壓裂試験要圖

の方向に壓縮すると、その直径にそつて一樣な引張應力  $\sigma = 2P/\pi \cdot d \cdot l$  が生ずることは弾性學の方から示されている。P は上下に加える力であり、d は直径、l は載荷される長さである。もちろん、嚴密な破壊の理論についてはさらにくわしく調べなければならないが、實際にこの方法によつてコンクリートの試験をして見ると、他の方法にくらべて種々の影響に支配されることが少く、信頼度の高い結果がえられる。更に便利なことは、壓縮強度の供試體と同じ型枠で造ることができる点にある。第2圖は、このようにして破壊した試験片の1例である。



第 2 圖

このようにしてコンクリートの引張強度が容易に試験できるようになつたので、この方法を用いていろいろなコンクリートに關する性質を試験することが可能になつた。例えば、すでに硬化したコンクリートに新しくコンクリートを打繼ぐとき、どのような方法によるのが最も

よいか、どんな原因が打繼目を弱くする原因となるかなどの研究に利用されて大きな貢献がなされた。

このようにして求めた引張強度と、壓縮強度および曲げ強度を比較すると、材令 28 日で壓縮強度は約 10 倍、曲げ引張強度は約 2 倍の値を示すのである。

#### 4. 音波によるコンクリート試験

コンクリートは、上述のように供試體を造つてその強度を測定するのが、いままでの一般のやり方であつたが實際にでき上つた構造物についてその強度を調べたり、また内部の龜裂の狀況などを調べたりするには、この方法では不可能である。それで、コンクリートを破壊することなしに、その構造物の強度を知る方法が今までいろいろ考えられてきた。その一つが音波を用いる方法である。

音波によつて、材料の性質を調べるには次のような方法が考えられる。(1) 試験しようとする材料に音波を伝えその材料の固有振動數を求めめる方法、(2) 音波を送つて反射してくる波の狀態から内部の龜裂その他の狀況を知ろうとする方法、(3) 一定の距離を音波が傳わる速さを測定して、コンクリートの弾性係數を知り、また龜裂の有無を知ろうとする方法である。

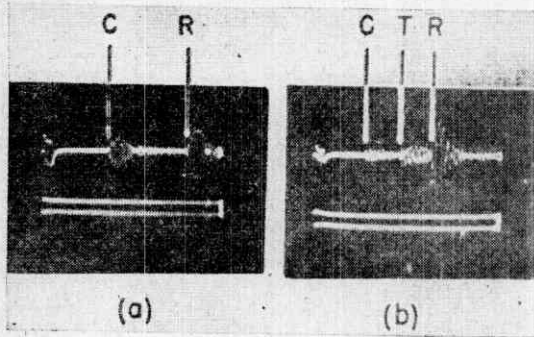
第1の方法は、すでに広く利用されている方法で、わが國でも昭和 16 年頃から高林博士によつて初めてコンクリートに應用され、その後種々の研究改良が行われ、最近では各所で研究に利用されている。

第2の方法は、コンクリートが、セメント、砂、砂利が混合されている複雑な材料であり、どうしても空隙の存在をさけることができないので、反射波を用いて試験するには非常に不便であり、鋼その他の材料とこの點が非常に趣の異なるところである。従つて、現在この方式による試験はあまり行われていない。

第1の方法は、實驗室において造られた供試體のように、両面が平行で波が正しく發振面に反射され、その間の距離が正確に確定できるものでなければ利用できない。しかし、實際の構造物では、この条件にびつたり適合するものは非常にまれである。このような場合には、どうしても第3の方法によらなければならない。

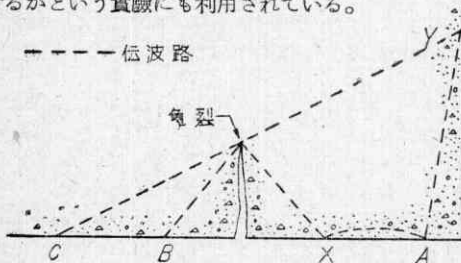
一般に、コンクリートは、動彈性係數が  $3.0 \sim 4.5 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> 密度 2.3~2.4 (ton/m<sup>3</sup>) であるので、この中を傳播する音の速さは 3000~4000 m/sec となり、この波を速度を正確につかむことは非常にむづかしい。しかしこの方法も、改良され進歩して、最近では縦波ばかりではなく、横波や表面波まで同時に測定できるような段階にまでなつてきた。このために、第1の方法においても重要な要素であつたポアソン比が、縦波と横波、または縦波と表面波の速度の比をとることによつて求めることができる。第3圖は、この方法で測定した、縦波、横波、表面波の記録の一例である。著者も、陰極線オシログラフ

ラフに階段状時間軸を用いることによつてこの方法によつて相當精密な測定ができることを確め、この装置を製作中である。



第 3 圖

この方法を利用すれば、コンクリート内部の状況が相當明白になるのであるが、その應用例の一つを第 4 圖に示した。これは、あるダムの龜裂をしらべたときの圖であつて、X、Y に發振器、A、B、C……に受振装置をおく。このとき波が X から A、Y から A に傳わる場合にはコンクリート中を直接傳ふことができるが、X または Y から B 又は C に行くには龜裂を迂回するので到着するまでに要する時間は平均速度によつて計算する値より長くかかる。このことから龜裂の深さを求めたのである。そして、コンクリートの龜裂は、施工してから間もなくあらわれるが、これが自然に癒着してくるらしいということもわかつた。また、コンクリートの凍結融解作用を繰返したとき、コンクリートがどんな影響をうけるかという實驗にも利用されている。



第 4 圖

### 5. コンクリート中の空氣量を測定する方法

ごく最近まで、コンクリートの構造物は永久的なものであると考えられていた。従つてコンクリート構造物を設計するときには、今までは強度だけを問題にし、また所要の強度が出せるように材料の配合などがきめられていたのであるが、コンクリートにも壽命があることがわかつた。例えば、寒い地方では凍結したり融解したりするとコンクリートの壽命がいちじるしく短くなるし、また潮風や煤煙の作用をうけるところでも、非常に壽命がちぢめられる。特に、これらの作用を最もひどくうけるのは、表面積の大きいコンクリート舗装面である。それで近頃では、道路の舗装その他氣象條件の影響をはげし

くうけるような構造物のコンクリートの配合をきめるには、強度よりもむしろ所要の耐久性が得られるよう考えるようになってきた。コンクリートの耐久性は主にセメントと水の割合によつて支配される。一般に水が少くなる程耐久性は増すが、水が少くなればなる程コンクリートが硬くなり、仕事がやりにくくなる。従つて、コンクリートはその施工が容易に確實にできる程度のやわらかさでなければならない。この二つの點をいかに調和させるかが非常にむずかしいのである。

この問題に對して、最近著しい進歩をもたらしたのがエアーエントレンドコンクリートの發見である。今までコンクリート中に氣泡があると、コンクリートが弱くなるものと考えられていたが、この氣泡が非常に小さいもので、おのおの氣泡が連続せず一つ一つが獨立しているとこの氣泡がボールベアリングの作用をして、水の量が同じであつても氣泡のないものにくらべて非常に施工がしやすくなることがわかつた。そして、この空氣入りのコンクリートを道路の舗装などに用いると、耐久性の方で非常によい成績が得られることが實驗されて、最近では廣く用いられるようになってきたのである。

しかし、氣泡が多くなれば強度が減少するのは當然である。従つて空氣量があまり大きくなりすぎはならない。空氣量としては 4~5% 程度がその限度である。空氣量がいろいろな要素によつて影響をうけるので、これを一定の値に保つことはなかなかめんどうなことであるが、これと同時に、發生した空氣量がどの程度になつていくかを知ることがまた大切なことになるのである。

コンクリートが、混合してからあまり時間がたつたず、まだ軟い間に一定の壓力を加えると、その中に含まれる空氣は壓縮されてその容積が減少する。また壓力をのぞけばもとの體積にもどる。すなわちこの間にはボイルの法則がなりたつ。それで、加えた壓力とコンクリートの體積の減少とをしらべれば、コンクリート中の空氣量を知りうることになる。このようにして空氣量を測定する方法を壓力法といつて、空氣量測定法として最も廣く用いられている方法である。

壓力法の測定に用いる装置は口繪を参照されたい。

このように、コンクリート中に空氣が混入されてよい結果をもたらすのは、前述のように、獨立したごく微少な空氣泡の場合のみであつて、施工するとき、突固めが不十分であるために生ずるような大きい空隙をふくんでいてはならない。従つて空氣量の試験をするときには大きい氣泡は全部とりのぞいて、微細な獨立した氣泡の量のみが測定できるように考慮しなければならない。また壓力を加えたとき、容器が膨脹するので、これに對する補正も行わなければならない。

コンクリートに、新しくエアーエントレンドコンクリートが發明されて、コンクリートに關する學問は劃期的

