

【報 告】

コンクリートの動弾性係数の利用方法

樋 口 芳 朗*

要 旨 本文は共鳴試験によつてコンクリートの動弾性係数、動セン断弾性係数、動ポアソン比、および対数減衰率を求めた結果を述べ、これらの試験値から気象作用、侵食作用等によるコンクリートの品質の変化を推定するにはタワミ振動から求めた動弾性係数を利用するのが適切であること、コンクリートの品質管理を目的とする場合は、縦振動から求めた動弾性係数を利用するのが便利であること、等について述べたものである。

1. 緒 言

共鳴試験によつて求められるコンクリートの常数には数種類あるが、これらについては近年多くの論文が発表されており、米国¹⁾および英国²⁾などでは測定法自体がすでに規格化されている。わが国でもこの測定法は相当普及し、昭和 33 年 1 月には日本工業規格³⁾が制定されるにいたつたが、共鳴試験によつて求められる常数はどのように利用するのが適切であるか、また利用するにあつてどの常数を用いるのが適切であるか、という点についての検討があまりなされていないので、筆者がこれまでに行なつた実験にもとづき、内外の文献も参考として考察を加えてみたいと思う。

2. 共鳴試験によつて求められるコンクリートの常数**

共鳴試験によつて求められるコンクリートの常数の代表的なものとしては、動弾性係数 E_D 、動セン断弾性係数 G_D 、動ポアソン比[†] μ_D (これは E_D と G_D とから計算で求める)、対数減衰率 δ がある。これらのうち対数減衰率は、その利用方法について論じた論文⁴⁾⁻⁶⁾は存在するが、測定器械、測定法、等に考慮を払わないと満足な結果が得られないので一般に実施されにくいし、規格の中に採用される可能性も当分ないと思われる。本論文では、動弾性係数 E_D (タワミ振動から求められる E_{DD} と縦振動から求められる E_{DL})、動セン断弾性係数 G_D 、および E_D と G_D とから計算で求められる動ポアソン比 μ_D について主として考察を加え、対数減衰率につい

* 正員 国鉄技師、鉄道技術研究所主任研究員

** 共鳴法以外に、コンクリート内の弾性波の伝達速度を、直接伝達時間を測定することにより求める方法 (ソニスコープを用いる方法等) もあるが、一般に共鳴法に比して測定精度がおおるし、また縦波速度しか求められないことが多い。従つてヒビワレ空ゲキの存在をも含めた現場のコンクリートの品質に対する大まかな等級づけに用いたり、注入補強の効果をみたりするには共鳴法よりすぐれているが、形状の一定した標準供試体を対象とした場合、共鳴法より検討する価値が少ないと思われる。

ては各国でこれまでになされてきた実験結果を概観するにとどめる。

なお、4 種類の供試体 ($\phi 10 \times 20$ cm, $12.5 \times 12.5 \times 25$ cm, $15 \times 15 \times 30$ cm, $\phi 15 \times 30$ cm) について 12 種類の配合のコンクリートに対し動弾性係数および動セン断弾性係数を求めてみたが、固有振動数や形状寸法の影響を明瞭に指摘できるような結果は得られなかつた。

3. 共鳴試験をもつて強度試験に代えることの可能性について

わが国では共鳴試験によつて求められた常数を用い

図-1 (a) コンクリートの動弾性係数と動セン断弾性係数および強度の関係

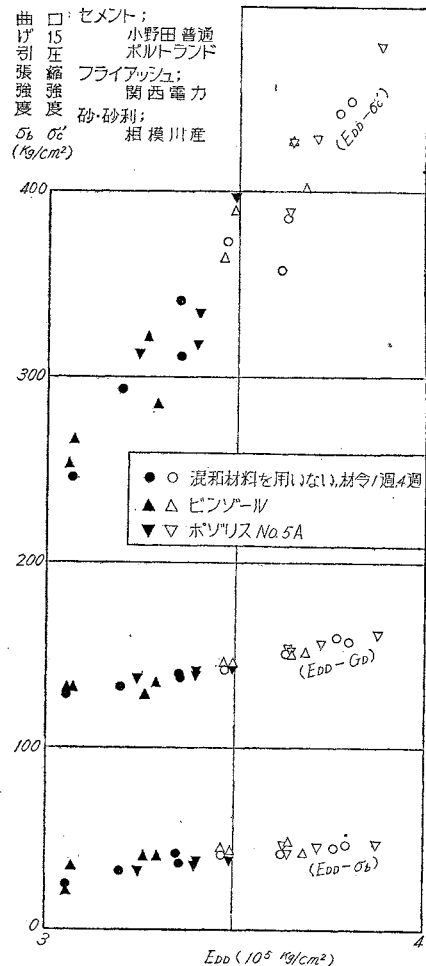
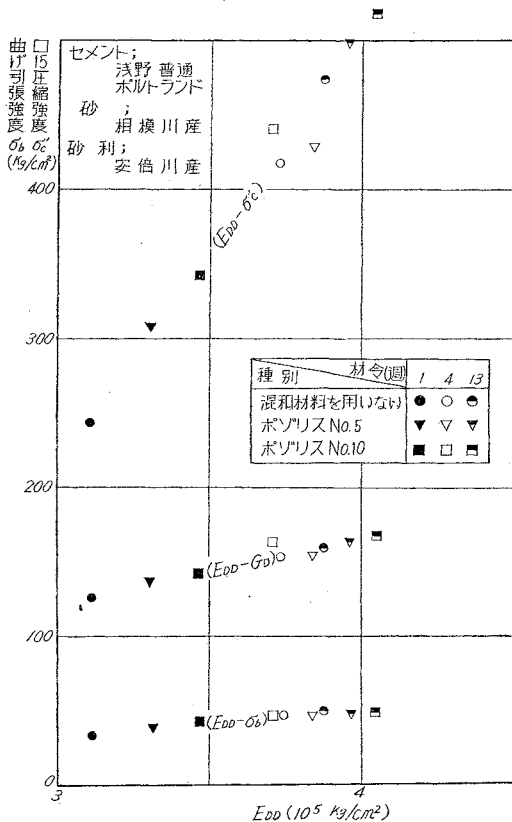


図-1 (b) コンクリートの動弾性係数と動せん断弾性係数および強度の関係



て、コンクリートの強度を推定しようとするところから研究がはじめられており⁷⁾、この方面の発表論文は相当多い。わが国でなされた多くの実験結果(図-1に筆者の行なった実験例を示す)からもうかがえるとおり、材料、配合、等がある範囲にかぎり、供試体は水で飽和したものにきざつておくと、 E_D あるいは G_D と強度との間に良好な相関関係のあることは確かである。しかし材料、配合を変えた場合は相当大きい影響を受けることが指摘されている^{8)~10)}、また材令、養生方法、供試体の乾湿によつて、大きい影響を受けることも明らかにされている⁴⁾から、対象とするコンクリートを非常に局限する場合をのぞき、一般に共鳴試験をもつて強度試験に代えうるとはいえないと思われる。最近水野氏¹¹⁾は材令、粗細骨材比、空気量、乾湿、等を考へて補正した動弾性係数を用いることにより、供試体の強度を有効な精度で推定することができるという有益な論文を発表されているが、さらに対象とするコンクリートの範囲をひろげた場合、単位セメント量、単位水量、骨材セメント比、等の要素をも加味することが、必要となることは明白で、品質管理を行おうとするコンクリートと、なるべく同じ条件のもとにある供試体をつくつて、あらかじめ動弾性係数と強

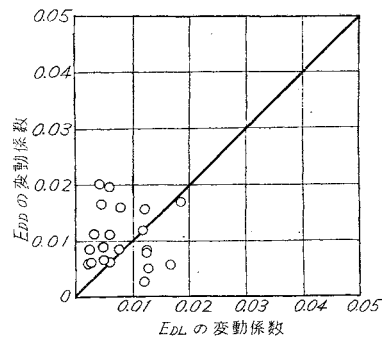
度との間の関係を求めておき、これにより品質管理を行なうといった表現の方が実用的ではないかと思われる。

動弾性係数を取る方が強度を取るよりとくに有利であるのは1~3日というような材令の若いときに試験をして、そのときおよびその後の強度を推定することができて、しかも後の定められた材令における強度試験のために供試体を温存できること、型ワク取りはずしの適当な時期を定めるための試験を任意の時期に行へること、等の点にあるといえよう。しかし現在のように設計の基準が強度におかれているかぎり、コンクリートの品質をみるには強度試験を行うのが一番直接的であり、一般的に共鳴試験をもつて強度試験に代えることはこの点からも不可能であると思われる。

4. コンクリートの品質管理を目的とする場合に適当な動弾性係数

コンクリートの品質管理を目的とする場合に基準としてとる常数は、コンクリートの品質の差異以外の原因で変動することの少ないものであることが望ましい。例えば同一のコンクリートでつくつた供試体3コに対して求めた常数の平均値をもつて、品質管理のための基準としてとる常数とする場合、3コの値のバラツキから求めた変動係数はなるべく小さいことが望ましい。この点を調べるため、 $\phi 15 \times 30$ cmの供試体について求めた E_{DD} と E_{DL} をとり上げてみると、図-2に示すとおり E_{DL} をとつたときのバラツキの方が E_{DD} を取つたときのバ

図-2 縦振動およびタワミ振動から求めた動弾性係数の変動係数



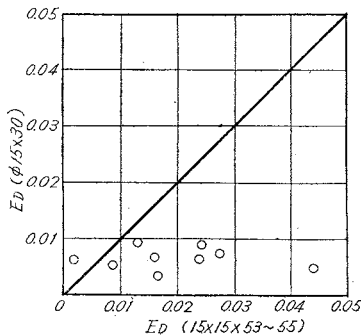
ラツキよりも一般に小さいことがわかる。これは E_{DD} の方が E_{DL} より供試体の局部的欠かんと鋭敏に反映する可能性のあること、円柱供試体を例にとると E_{DL} を求めるさいは供試体の寸法の影響が長さの1乗および直径の2乗によるのに対し E_{DD} を求めるさいは供試体の寸法の影響が長さの3乗および直径の4乗によること、また E_{DL} を求めるときは供試体の長さを正確に測ることにより寸法の影響からくるバラツキを小さくすることができるのに対し E_{DD} を求めるときは、たとえ供試体

の直径高さを数カ所で正確に測つたとしても、タワミ振動に対する寸法のバラツキの複雑な影響を十分に補正することができないこと、等によるものと思われる。

供試体に局部的な欠かんを生ずるコンクリートは、現場で施工しても局部的な欠かんを生じやすいと考えると E_{DD} をとつた方が、 E_{DL} をとるより現場で施工されたコンクリートの品質のバラツキを忠実に反映するようにも思われるが、しかしこの点における E_{DD} と E_{DL} の差は一般に大きいとは思えないし、局部的欠かんを反映する程度においては、後述するように強度をとる方が E_{DD} をとるより格段にすぐれている。寸法のバラツキの影響を E_{DD} が大きく受けることは、コンクリートの品質管理を行おうとする場合 E_{DD} をとるより E_{DL} をとつた方が適切であることを示すといつてもよいと思われる。このことは供試体に局部的な欠かんを生ずることは、単に供試体製作上のミスによつて起るものが多く、現場で施工したコンクリートの局部的欠かんとは無関係である場合も多いと思われること、コンクリートの品質管理を行なう場合、ミキサから排出されるまでの過程におけるバラツキの原因を究明することに主眼をおくときは、供試体の局部的欠かんを鋭敏に反映しない常数をとつた方がむしろ適当であると思われること、一般に E_{DL} を求める方が E_{DD} を求めるより簡単であること、等を考えると一層明らかになれると思われる。

また同じコンクリートでつくつた $\phi 15 \times 30$ cm の供試体 3 コと $15 \times 15 \times (53 \sim 55)$ cm の供試体 3 コを試験して求めた E_{DD} の変動係数を比較すると図-3 のよう

図-3 2種の供試体に対して求めた動弾性係数の変動係数



であり、 $\phi 15 \times 30$ cm の供試体に対する E_{DD} の方が明らかに小さい。これは円柱供試体の方がコンクリートの打込みを一樣にしやすいこと、寸法のバラツキによる影響をより少なく受けること、等によるものと思われる。

以上述べたところにより、品質管理を目的とする場合は、タワミ振動から求めた E_{DD} より縦振動から求めた E_{DL} を用いる方が便利であり適切であると思われる。

次に、 $\phi 15 \times 30$ cm の供試体 3 コに対して求めた E_{DD} と圧縮強度との変動係数を求めると、図-4 に示すとお

図-4 (a) 圧縮強度および動弾性係数の変動係数

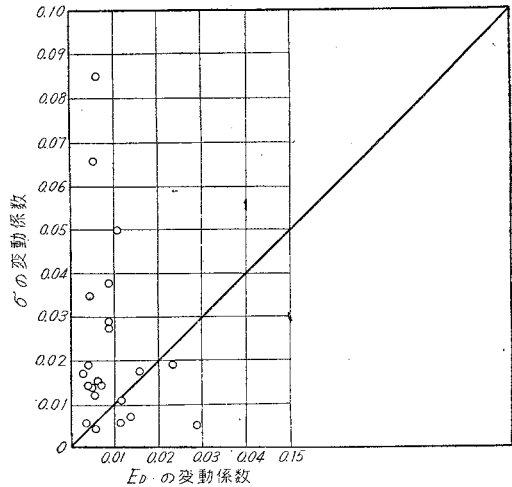


図-4 (b) 同 上

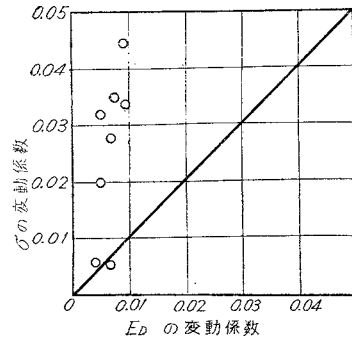
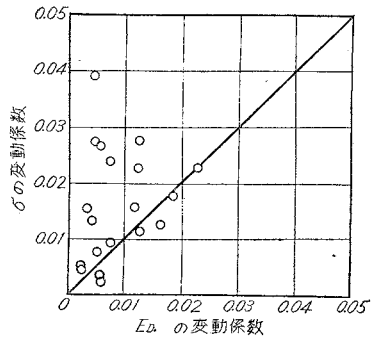


図-4 (c) 同 上



り明らかに E_{DD} の変動係数の方が小さい。この原因としては前にも述べたとおり、圧縮強度の方がコンクリートの局部的欠かんを明らかに反映するということが考えられるが、この局部的欠かんの中にはキャッピング、底板、等の欠かんのように現場で施工したコンクリートの欠かんとは、無関係なものも多いことを考えると、コンクリートの品質管理を目的とするさい、コンクリートそのものの品質のバラツキを求めるには圧縮強度よりむしろ動弾性係数をとる方が適当である面もあるのではないかとと思われる（コンクリートの品質管理はコンクリート

の強度を基準とすることになっている現在、以上述べたことから、品質管理を目的とする場合、強度より動弾性係数をとる方が適当である、というような結論を早急に引き出すことはもちろんできない。

5. 気象作用、侵食作用等によるコンクリートの品質の変化を推定する場合に適当な動弾性係数

共鳴試験がその真価を一番発揮するのは同一供試体を対象として、コンクリートの品質の変化を推定する場合であると思われる。わが国でも共鳴試験をこのような方面に応用することは昭和 30 年頃から本格的になってきた¹²⁾。事実、コンクリートの耐久性の研究などは共鳴試験が用いられなかつたら非常な不便を感じるようになるであろう。何となればコンクリートが損害を受けた程度

を強度によつてみようとすれば、おびたしい数の供試体を要するだけでなく、供試体間の品質のバラツキが試験結果に不利な影響を与える可能性があるからである。

次にコンクリートの品質の変化を推定しようとする場合、共鳴試験によつて求められる常数のうちどれを採用するのが最も適当であるかという問題について考えてみよう。

コンクリートの硬化の程度をみるとか、骨材アルカリ反応を調べる場合のように、コンクリートに変化を与える原因が表面だけからおよぼされるのではない場合（この場合は E_{DD} を用いても E_{DL} を用いても大きな差はないであろう）は別として、われわれがしばしば遭遇するところの気象作用や侵食作用のように、コンクリートに変化を与える原因が表面からおよぼされる場合を考えてみよう。

表一 乾湿および 1%硫酸液の作用を受けたコンクリートの動弾性係数、動セン断係数および動ポアソン比の変化

		材令 (日)	E_{DD} (10^2kg/cm^2)	E_{DL} (10^2kg/cm^2)	G_D (10^2kg/cm^2)	μ_D		E_{DD}/E_{DL}	
A E 剤 を 用 い な い	水	14	3 655 (0.95)	3 655 (0.93)	1 447 (0.95)	0.26	(1.04)	1	(1.02)
		28	3 827 (1)	3 902 (1)	1 524 (1)	0.25	(1)	0.98	(1)
		29	2 589 (0.68)	2 839 (0.73)	1 133 (0.74)	0.14	(0.56)	0.91	(0.93)
		30	2 788 (0.73)	3 022 (0.77)	1 180 (0.77)	0.18	(0.72)	0.92	(0.94)
		365	3 939 (1.03)	4 005 (1.02)	1 583 (1.04)	0.24	(0.96)	0.98	(1)
	1 % 硫 酸 中	14	3 721 (0.97)	3 770 (0.97)	1 465 (0.98)	0.27	(0.96)	0.99	(1.01)
		28	3 823 (1)	3 878 (1)	1 494 (1)	0.28	(1)	0.98	(1)
		29	2 723 (0.71)	2 902 (0.75)	1 148 (0.77)	0.18	(0.64)	0.94	(0.96)
		30	2 999 (0.78)	3 063 (0.79)	1 262 (0.84)	0.18	(0.64)	0.98	(1)
		365	3 751 (0.98)	3 925 (1.01)	1 565 (1.04)	0.20	(0.71)	0.95	(0.97)
ビ ン ゾ ー ル	水	14	3 468 (0.95)	3 456 (0.95)	1 401 (0.90)	0.23	(0.92)	1	(1)
		28	3 660 (1)	3 629 (1)	1 465 (1)	0.25	(1)	1	(1)
		29	2 418 (0.66)	2 639 (0.73)	1 088 (0.74)	0.11	(0.44)	0.91	(0.91)
		30	2 687 (0.73)	2 789 (0.77)	1 140 (0.78)	0.18	(0.72)	0.96	(0.96)
		364	3 862 (1.05)	3 893 (1.08)	1 563 (1.06)	0.24	(0.96)	0.99	(0.99)
	1 % 硫 酸 中	14	3 496 (0.95)	3 513 (0.96)	1 405 (0.96)	0.24	(0.96)	1	(1)
		28	3 653 (1)	3 644 (1)	1 462 (1)	0.25	(1)	1	(1)
		29	2 419 (0.66)	2 748 (0.75)	1 093 (0.75)	0.11	(0.44)	0.88	(0.88)
		30	2 755 (0.75)	2 790 (0.77)	1 170 (0.80)	0.18	(0.72)	0.98	(0.98)
		364	3 741 (1.02)	3 781 (1.04)	1 534 (1.05)	0.22	(0.88)	0.99	(0.99)
ボ ゾ リ ス No. 5 A	水	14	3 680 (0.98)	3 626 (0.96)	1 470 (0.96)	0.25	(1.14)	1.02	(1.02)
		28	3 763 (1)	3 753 (1)	1 524 (1)	0.22	(1)	1	(1)
		29	2 427 (0.65)	2 730 (0.73)	1 101 (0.72)	0.10	(0.46)	0.89	(0.89)
		30	2 721 (0.72)	2 896 (0.77)	1 149 (0.75)	0.18	(0.82)	0.84	(0.84)
		349	4 088 (1.09)	4 104 (1.09)	1 661 (1.09)	0.23	(1.04)	1	(1)
	1 % 硫 酸 中	14	3 679 (0.98)	3 648 (0.97)	1 470 (0.96)	0.25	(1.09)	1.01	(1.01)
		28	3 762 (1)	3 771 (1)	1 527 (1)	0.23	(1)	1	(1)
		29	2 426 (0.65)	2 808 (0.78)	1 097 (0.72)	0.10	(0.43)	0.86	(0.86)
		30	2 885 (0.77)	3 013 (0.80)	1 241 (0.81)	0.16	(0.70)	0.96	(0.96)
		349	3 868 (1.03)	4 002 (1.06)	1 599 (1.04)	0.21	(0.91)	0.97	(0.97)

註：カッコ内の数字は材令 28 日ときの数字を 1 としたときの値である。セメントは小野田普通ポルトランドセメント、骨材は相模川産のものを用いた。単位セメント量は AE 剤を用いない場合およびビンゾールを用いた場合は 330 kg、ボゾリス No. 5 A を用いた場合は 295 kg とし、配合はウォーカーピリチーおよび材令 28 日の圧縮強度をほぼ等しくするようにした（スランプは約 6 cm）。

供試体は $10 \times 10 \times 42 \text{ cm}$ とし、水中養生を行い、材令 28 日で $100 \sim 110^\circ\text{C}$ の炉の中で 24 時間乾燥したのち 3 コは水中、3 コは 1%硫酸液にひたした。

表一を見ると、コンクリートを $100 \sim 110^\circ\text{C}$ の炉の中で一昼夜 ($100 \sim 110^\circ\text{C}$ の温度で供試体の中まで乾燥させるには相当の長期間を要する) 乾燥させた場合の変

化の程度は E_{DD} が E_{DL} や G_D より鋭敏であることがわかる。このことは表面からの影響を E_{DD} が最も鋭敏に反映することを示すものと思われ、気象作用、侵食作

用、等による影響を示すパラメーターとしては E_{DD} を用いるのが適当であることを示すものと思われる。

表一1 に示す実験においては、硫酸の濃度が薄かったこと、硫酸液が静止していたこと、材令 28 日における炉中乾燥が、侵食作用を促進したかどうか疑問であつたこと、用いた材料やコンクリートの配合がすぐれていたこと、等のうちいくつかの原因によつて、1%硫酸液によるコンクリートの侵食が表面のきわめて薄い層にかぎられたため、この侵食による被害があまり明らかに現われず、本節に述べた結論を薬品の侵食作用による影響の方からも実証しようとしたが、乾燥による影響のときのように明白には実証できなかつた。

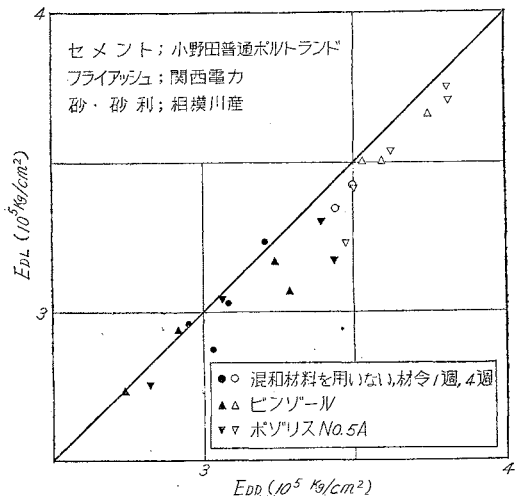
E_{DD} が表面からの影響を最も鋭敏に反映する原因としては、 E_{DD} を求めるに当つて行なうタワミ振動が影響を受けた表面において最も大きいヒズミを呈することが考えられる（厳密にいえば E_{DD} の算出式は齋等質な物質にしか適用できないことは確かであり、また表面がはなはだしく侵食された場合は供試体の寸法を測るのが困難であるという欠点を有することも確かである）。なお G_D を求めるに当つて行われるネジリ振動においても影響を受けた表面において最も大きいヒズミを呈するのであるが、本実験の結果では、表面からの乾燥の影響を E_{DL} と同程度の鋭敏さにおいてしか反映していない。一般に G_D を求める方が E_{DD} を求めるより困難でまぎれやすいことの多いことも考えると G_D を求めることの利益はあまりないように思われた。

また、動ポアソン比 μ_D を $\mu_D = \frac{E_{DD}}{2G_D} - 1$ として算出したものを見ると、一見したところ、表面からの乾燥による影響を E_{DD} などよりはるかに鋭敏に反映しているように思われる¹³⁾。このことが本質的なことであるかどうかということをつぎに検討してみよう。例えば表面から供試体を乾燥させた場合、 E_{DD} も G_D もともに減少するのであり、従つて $E_{DD}/2G_D$ の変化の程度は E_{DD} や G_D の変化の程度よりにはるかに明らかである。 μ_D が最も鋭敏なパラメーターに見える原因は 1 を引いているところにあるわけであるが、 $\mu_D = \frac{E_{DD}}{2G_D} - 1$ という式は齋等質な物質にしか適用できないことを考えると（表面と内部で含水状態が違えば齋等質でない）、このような原因で鋭敏化されたことはあまり意味がないと思われる。 E_{DD} でも E_{DL} でも G_D でもある常数を引くことに定めれば、欲する程度に鋭敏化することができるであろう。要するに μ_D を求めるには E_D と G_D の両者を求めなければならないこと、 G_D の測定はあまり容易でないことが多くまぎれやすいこと、 μ_D を求める式は齋等質な物質にしか適用できないこと、 μ_D が表面からの影響を最も鋭敏に反映するというのはあまり意味のない計算操作にもとずいたものにすぎないこと、等の諸点から μ_D というパラメーターを重要視する意義はあまりないと思

われる。

また E_{DD}/E_{DL} ¹⁴⁾ は供試体が表面から乾燥するにあたり明らかに減少している。このことは E_{DD} が E_{DL} より表面からの影響を大きく受け、減少の程度がいちじるしいことを考えると当然であり、 E_{DD}/E_{DL} の値をもつて表面からの乾燥を定性的に示すパラメーターとして用いることを示している。ただし E_{DD}/E_{DL} の値は乾燥前でも必ずしも 1 を示さないこと（図一5）その他を考えると、 E_{DD}/E_{DL} を表面からの乾燥深さを示す定量的なパラメーターとして用いることは困難であると思われる。

図一5 縦振動およびタワミ振動から求めた動弾性係数



6. 対数減衰率についての考察

コンクリートの対数減衰率 δ もまた共鳴試験によつて求めることのできることを、測定法や測定器械に考慮を払わないと満足な結果が得られないので一般には求めにくいこと、規格の中に採用されることは当分ないと思われること、等はすでに 2. に述べたとおりであるが、筆者ら⁴⁾ が動弾性係数と対数減衰率とを組み合わせることによつてコンクリートの圧縮強度の推定精度をあげること示してから、Kilian⁵⁾ が初期の材令の内部摩擦係数にもとづいてコンクリートの品質を判定することができることを主張する論文を発表し、また Depelsenaire⁶⁾ は否定的な結果を示したりしている。わが国でも坂博士¹⁵⁾ はわが国で普通用いられている装置では対数減衰率の安定した測定結果の得られないこと、および得られた対数減衰率は筆者らの求めた値の約 2 倍であることを発表されたし、また水野氏¹¹⁾ はわが国で普通用いられている装置でも対数減衰率の安定した測定結果の得られること、および動弾性係数だけから圧縮強度を推定するより対数減衰率と組み合わせると圧縮強度を推定する方がよいことは確かであるが、たとえ対数減衰率と動弾性係数とを組

み合わせても、圧縮強度を推定することは非常に困難であると発表されている。筆者らも限られた実験範囲において得られた結果についてしか結論を下していないのであるが、各研究者によつて得られた結論が相当くい違つてゐることは、対数減衰率の測定が動弾性係数の測定ほど容易でないことによるのであると思われる。一応簡単に既往の対数減衰率測定結果を概観しておくこととおりである。

コンクリートの対数減衰率の測定結果を最初に示したのは、おそらく Obert & Duvall¹⁶⁾ であつたと思われる。Obert & Duvall の示した値は、 π を対数減衰率で割つたもので示してあるが、対数減衰率に直すと湿潤状態の供試体で大体 0.04~0.07 を示し、乾燥するにつれて例外なく減少するという実験結果を示している。筆者ら⁴⁾ の求めた対数減衰率の値は湿潤状態の供試体で大体 0.04~0.06、乾燥状態の供試体で大体 0.02~0.04 という値を示すとともに、対数減衰率は材令とともに減少すること、乾燥するとともに減少すること、乾燥するにつれて水セメント比による変化が顕著でなくなることを明らかにしている。Kilian⁵⁾ のとり上げた内部摩擦係数と対数減衰率との関係は明らかでないが、定性的にいえば対数減衰率が材令とともに減少することが明らかにされている。Depelseñaire⁶⁾ は内部摩擦係数が、コンクリートの品質によつてあまり変化せず、しかも測定のパラツキによつてしばしばかくされてしまうため、何らの結論も得られないとしている。Depelseñaire も π を対数減衰率で割つたものを示しているが、対数減衰率に直して示すと空中保存の供試体に対し大体 0.013~0.054 であつた。坂博士¹¹⁾ は大体 0.05~0.10 という値を示され、乾湿、材令の影響は相当不規則でばらついた結果を示しておられる。水野氏¹¹⁾ は湿潤状態の供試体に対して大体 0.035~0.11、乾燥状態の供試体に対して大体 0.02~0.05 という値を示されている。

一般に対数減衰率を求める場合、用いる測定器に許容されている振動数の誤差が測定結果に致命的な影響を与えないかどうかを検討することは第一に要求されるし、また定性的にいつて材令、乾燥、等の影響は規則的に出るのが妥当と思われることも指摘されなければならない。またとり上げようとしている振動以外の振動の影響が介入していないように注意することも重要であると思われる。いずれにしても対数減衰率の測定は相当微妙なものであり、適切な測定器を用いた実験結果が累積さ

れてのち始めて明快な結論が下されるのではないかと思われる。

7. 結 言

本論文で得られたおもな結論は次のとおりである。気象作用、侵食作用、等によるコンクリートの品質の変化を推定するにはタワミ振動から求めた動弾性係数を利用するのが適切であること、コンクリートの品質管理を目的とする場合には縦振動から求めた動弾性係数を利用するのが便利であること、動セン断弾性係数および動ポアソン比を用いることによる利点はあまり考えられないこと、等である。

本研究を実施するに当つては、国分正胤先生から終始ご懇篤なご指導ご鞭撻を頂いた。ここに厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) ASTM C 215-55 T 最初のものは 1947 年に提案されている。
- 2) BS 1881-1952 (セメント コンクリート No.112 参照)
- 3) JIS A 1127 共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数および動ポアソン比試験方法
- 4) C.E. Kesler and Y. Higuchi: "Determination of Compressive Strength of Concrete by Using its Sonic Properties" Proc. ASTM Vol.53, p.1044, 1953
- 5) G. Kilian: "Le contrôle de la qualité des bétons utilisés sur les chantiers des grands barrages" Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Fevrier 1954
- 6) H. Depelseñaire: "Auscultation vibratoire des bétons, application aux béton des procédés acoustiques de détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux" Travaux, Octobre 1954
- 7) 高林利秋:「コンクリート無破壊試験法」1953
- 8) R. Jones: "The non-destructive testing of concrete" Magazine of Concrete Research, No.2, June 1949
- 9) 明石外世樹:「コンクリートの非破壊試験方法」1954
- 10) 樋口芳朗:「音響学的測定法によるコンクリートの強度の判定」土木学会誌 35-3, 1950
- 11) 水野俊一:「コンクリートの品質管理のための無破壊試験の利用について」土木学会誌, 42-12, 1957
- 12) 国分正胤:「各種 AE 剤の使用法に関する研究」土木学会論文集 第 23 号, 1955
- 13) Chefdeville: "Application of the method toward estimating the quality of concrete" RILEM Bulletin No. 15, Aug. 1953
- 14) N. Stutterheim, J.P.A. Lochner, J.F. Burger が同一趣旨のことを示唆していることを後に見出した。"A method for determining the dynamic Young's modulus of concrete specimens developed for corrosion studies" Colloque international sur l'essai non destructif des bétons, Paris 11-13 Janvier 1954, 後に Mag. of Concrete Research, June 1954 にも発表された。
- 15) 坂 静雄:「コンクリートの静弾性係数と動弾性係数」セメント技術年報, VIII, 1954
- 16) Obert & Duvall: "Discussion of Dynamic Method of Testing Concrete with Suggestions for Standardization" Proc. ASTM 1941

土木工学叢書 プレストレスト コンクリートの設計および施工 猪股 俊司著

プレストレスト コンクリート構造物のほとんどすべてについて、設計上の理論を統一的に記述し、数値計算例題を多数示し、細部の施工方法について詳述した労作です。

B 5 判 850 ページ・上製布装箱入 定価 2 800 円 (〒100 円) 会員特価 2 660 円 (〒100 円)

土木学会監修