

構造に関する測定(続)

高田 孝信\*

3. 振動の測定

(1) 構造物に対する振動測定の必要性

構造物を合理的に設計するには、構造物に対する荷重条件と、それともなう挙動をできるだけ適確に把握せねばならぬ。構造物は種類によって地震力、風荷重、交通荷重などの動荷重を受け、構造物は振動を起こす。現在これらの荷重は、静荷重におきかえて取扱かっているが、構造物と動荷重の性質いかんによっては、構造物の応力状態や安定状態に構造物の動的特性に大きく左右される。この傾向は、構造物の剛性が低下するにつれて顕著となり、その様相は構造物が複雑になるにつれて把握が困難となる。地震荷重に対して、重力ダムのような十分な剛性を持ったものでは、従来の静的な震度法で十分であるが、薄肉の高いアーチダムでは堤体自体の振動性状は無視し得なくなる。この傾向は、ダムよりさらに剛性の小さい橋梁において、しかも構造物が大形化するにつれて一層顕著な様相を呈してくる。したがって、このような場合には動力学を加味した設計法が必要となってくるが、これを実情に即した設計法として確立するには、その反面実際の構造物の動的挙動の実態を把握する必要がある。実構造物の動的挙動の把握とは、一般的にいえば動的特性の把握で、そのためには振動測定が必要となる。実際の土木構造物は、地盤という複雑な支持体の上または中にあり、その境界条件の複雑なことは他の一般構造物とは比較できない。そのため動的挙動の実態は、実測によらねば適確に把握することはできない。ここに振動測定の必要性が生じてくる。

振動測定では、構造物の動的特性を利用することにより逆にその剛性、強度に対する安全性、損傷度合などの測定も可能となる。また実測を行なうことにより、設計の適否、さらには施工の良否に対する判定も行なうことができる場合がある。

\* 正会員 工博 東洋大学教授

(2) 振動測定装置の現状

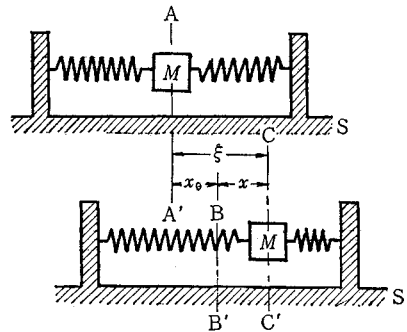
a) 測定装置の具備すべき機構

構造物に対する振動を測定する場合には、構造物振動の一般的性状と各種の測定装置に対する予備知識が必要で、この両者の適当な組合せにより所期の目的を達することができる。測定装置には、振動の捕え方により機構的には機械式や電気式、あるいは直接式や換振器を用いた間接式などがあり、換振器にも取り出す対称により変位計、速度計、加速度計などがある。

換振器(ピック アップ・トランスジューサーなど)を用いた場合には別に記録装置が必要となり、微振動の場合には、換振器で捕えた振動の振幅を拡大する増幅器を用いる場合がある。記録装置としては、一般にオシログラフを用いている(後述)。

① 振子形振動計の原理: 通常用いられている振動計は、その内部に制振器(またはダンパーともいっている)を取付けられた振子を有し、測定せんとする構造物が振動すれば、計器内の振子は強制的に振動させられ、振子と構造物の間には相対的に変位を生ずることになっている。その相対変位は、振子と構造物との自己振動周期の比により異なり、構造物の変位、速度または加速度に比例する。これらの相対変位は直接レバーにより拡大して記録する方法と、一度電気量に変換する方法とがある。

図-1 物体 S と振子 M の関係



測定せんとする構造物と計器内の振子との運動関係を図示したのが 図-1 である。すなわち、被測定構造物の振幅を  $x_0$ 、振子(質量を  $M$  とする)と構造物との相対変位を  $x$  とすれば、振子に対する運動の方程式は

$$M\ddot{x} + kx = -M\ddot{x}_0 \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $k$  は振子  $M$  を支えているスプリングのばね定数である。通常振動計には振子の自由振動を制御するためのダンパーがついているが、この減衰係数を  $\epsilon$  とすれば式(1)より、

$$\ddot{x} + 2\epsilon \dot{x} + p^2 x = -\ddot{x}_0, \quad 2\epsilon = c/M, \quad p^2 = k/M \dots \dots \dots (2)$$

いま、 $p > \epsilon$  の場合測定せんとする構造物の振動変位を、

$$x_0 = x_m \sin p_0 t$$

で表わせば、発振後ある時間経過すれば、自由振動の項は消え、

$$x \approx \frac{x_m}{\sqrt{(u^2-1)^2 + 4h^2u^2}} \sin(p_0 t - \delta_0)$$

ただし、

$$u = \frac{p}{p_0} = \frac{T_{p_0}}{T_p} = \frac{\text{構造物の振動周期}}{\text{計器振子の振動周期}}$$

$$h = \varepsilon/p = \text{減衰定数}, \delta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{2hu}{u^2-1}\right)$$

.....(3)

$u \ll 1$  の場合

$$1/\sqrt{(u^2-1)^2 + 4h^2u^2} \approx 1, \delta \approx 180^\circ$$

したがって、

$$x \approx x_m \sin(p_0 t - 180^\circ) = -x_m \sin p_0 t = -x_0$$

この場合には振動計は変位計となる。

$u \gg 1$  の場合

$$1/\sqrt{\left(1 - \frac{1}{u^2}\right)^2 + 4\left(\frac{h}{u}\right)^2} \approx 1, \tan \delta_0 = \frac{2hu}{u^2-1}$$

$$\approx 0$$

$$\therefore \delta \approx 0$$

よって

$$x \approx x_m (p_0/p)^2 \sin p_0 t = -\frac{1}{p^2} \ddot{x}_0$$

この場合には振動計は加速度計となる。

$\varepsilon \gg p$  の場合

$$1/\sqrt{\left(\frac{u^2-1}{2hu}\right)^2 + 1} \approx 1, \delta_0 \approx 90^\circ$$

よって

$$x \approx \frac{x_m p_0}{2\varepsilon} \sin^2(p_0 t - 90^\circ) = -\frac{x_m p_0}{2\varepsilon} \cos p_0 t$$

$$= -\frac{\dot{x}_0}{2\varepsilon}$$

この場合には振動計は速度計となる。

これら計器は減衰係数  $\varepsilon$  や、ばね定数  $k$  の大小により、このような性質を付与することができるが、その詳細については文献 1)などを参照されたい。

**b) 機械式振動計および記録装置**

本形式は多少原始的な感じがするが、一般に取扱いが簡単で、測定値にも安定性があるが、機構上、増幅率が電気式に比し小さい。本形式には、変位直接測定式と振子式とがある。振子の振幅は、レバーで拡大して記録する。

① 変位直接測定器：この種のものとしては、古くから利用されているものに田辺式たわみ度計がある。この計器は倍率が最大 10 程度であるが、自記式で変位の大きい桁の振動試験向きである。詳細は文献 3)を参照されたい。

② 振子式測定器：この形式に属するものとしては、地震計として古くから用いられているものが多い。変位

計の場合には重量がきわめて大きいので、大構造物以外には不適當である。詳細は文献 1)を参照されたい。

**c) 電気式振動測定装置**

① 構成と換振器の種類：電気的に振動を測定する場合には、まず物体の変位、速度、加速度などの振動現象を電気振動（電圧または電流）に変換し、それらをオシロ グラフや磁気テープなどに記録する。したがって、装置としては振動変換器と記録装置よりなり、電気振動が微弱な場合には、中間に増幅器を用いる。本方法の利点は換振器が小型であること、増幅率が大きいこと、多点同時観測が可能なこと、測定点が相当離れていても電線を延長することにより記録が可能なことなどで、最近最も多く利用されている。しかし、一般に極微弱な電気振動を大きく増幅するので、定量的な測定値を求める場合には細心の注意を要する。

物体の振動現象を電気振動に変換する方法には、現在つぎのような方法が考えられている。

- 1) 一定磁束中をコイルが移動することにより、電圧を誘起せしめる可動線輪形
  - 2) コイルを固定して磁気抵抗を変えることにより、磁束を変化させる変磁束形
  - 3) 電気抵抗値の変化を読みとる抵抗変化形
  - 4) ある種の結晶体にひずみを与えると、電位差を生じ、また逆に電位差を与えるとひずみを生ずる。このようなピエゾ電気形
  - 5) 電気容量変化形
  - 6) 磁歪現象を利用するもの
- などがある。

1) および 2) に属する換振器は、いわゆる電磁形として変位計、速度計、加速度計として使用されている。

③ 可動線輪形換振器：本換振器は振子に取付けた線輪を電磁石または永久磁石で作られた磁場内で運動させ、この線輪に生ずる起電力を利用したもので、今測定せんとする構造物の変位を  $x$ 、固有周期を  $T_0$  とし、振子の固有周期および減衰定数を  $T_p, h_p$ 、検流計の固有周期および減衰定数を  $T_n, h_n$  とすれば、一般的に表 1 の関係がある。すなわち  $T_n \ll T_p \ll T_0$  であれば検流計の偏れ  $\phi$  は被測定構造物の速度に比例することになる。なお各部の特性を適当に組合せることにより、変位計、加速度計としても利用可能となる。詳細は文献 1)

表-1

振子	$T_0 \ll T_p$	$h_p \gg 1$	$T_0 \gg T_p$
電流計			
$T_0 \ll T_n$	$\phi \propto \int x dt$	$\phi \propto x$	$\phi \propto \frac{dx}{dt}$
$h_n \gg 1$	$\phi \propto x$	$\phi \propto \frac{dx}{dt}$	$\phi \propto \frac{d^2x}{dt^2}$
$T_0 \gg T_n$	$\phi \propto \frac{dx}{dt}$	$\phi \propto \frac{d^2x}{dt^2}$	$\phi \propto \frac{d^3x}{dt^3}$

を参照されたい。

④ 変磁束形換振器：この形は磁極間の空げきを変化させることにより、磁気抵抗を変化させ、それにより磁束そのものを変化させる方式で、永久磁石を使用するものと電磁石を使用するものがある。固有周期は比較的短い( $T_p=1/20$  秒程度)。詳細は文献 1) を参照されたい。

⑤ 電気抵抗変化形換振器：電気抵抗の変化を利用するもので、摺動抵抗形、電気抵抗線形などがあるが、最近では抵抗線形の利用率が高い。抵抗線形換振器は、機械式振子の変位量を電気抵抗線式ひずみ計を用いて記録するもので、抵抗値の変化量は、電橋を用いて検流回路の電流変化量に置換して測定する。この方式の換振器は小型でよいこと、振子の特性により変位計、加速度計の両方が作りうること、測定量と変位の間に広い範囲にわたって直線性を有すること、測定精度がよいこと等の理由により、最近多く使用されている。加速度計は 2g 用、5g 用などが市販されている。

⑥ ピエゾ形変換器：水晶、ロッシェル塩などの結晶体は、ひずみを受けると両端に電位差を生ずる。この原理を利用したもので、荷重点のような圧力を受ける点の測定に利用される。

⑦ 磁歪形変換器：鉄、ニッケル、コバルト、あるいはこれらの合金は磁化すると体積、長さが増える。逆に磁化されている上記の強磁性体に力を加えて変形させると、帯磁の状態が変化する。このような現象を磁歪といっているが、磁場と強磁性体の棒軸を一致させ、この棒に張力がねじれを与えると、棒は軸方向に磁化される。このような性質を利用して動的なひずみ量を測定するもので、湿気、温度などの影響を受けないので現場試験用に適している。詳細は文献 7) を参照されたい。

#### d) 記録装置

記録装置としては、現在主としてオッシロ グラフを用いている。オッシロ グラフは電流または電圧の急速な時間的な変化を感光紙のようなものに記録するもので、電磁式と陰極線式とがある。詳細は文献 3) などを参照されたい。以下略述することとする。

① 電磁オッシロ グラフ：普通のオッシロ グラフは、検流計、光学装置、感光記録装置の三要素からなり、検流計は永久磁石による強磁界におかれた繊細な帯状金属板に反射用鏡が取り付けられ、帯状板に張られた細線に通ずる電流の変化によって、鏡が回転するようになっている。なおこの回転板(振動子)の固有周期を高めるためには、振動子を吊上げているばねの張力を大きくして数百サイクル以上にしてある。したがって、記録可能な周波数は振動子の種類により異なる。

電磁オッシロには、感光記録の方法により現像式と無現像式とがあり、光学式以外にペン書き式のものもある。

ただし、ペン書き式では振動数は 100 サイクル/秒程度に落ちる。

② 陰極線オッシロ グラフ：電磁オッシロ で測定できない高いサイクル用として使用できる。また同一波形がくり返される場合には、ブラウン管上に固定して波形観測が可能となる。

③ アナログ デープ式磁気記録装置：記録用として、磁気テープを用いている。時間座標の圧縮拡張、A-D変換器と結んで、デジタル電算機への入力などが可能となり、解析しきわめて便利である。

### (3) 測定要素と解析および整理法

構造物の振動性状は、固有周期、減衰定数および振動モードの三要素に支配される。これらは、構造物の構成材料、形状、寸法および支持条件によってきまる構造物固有の動的特性を示す。構造物はある動的荷重を受けた場合、いかなる挙動を示すかは、構造物自体の動的特性と動荷重の性質によりきまる。したがってこれら両特性の調査は、構造物の動的挙動を決定するのに必要なことである。

構造物の振動性状のうち、固有周期や振動モードは、構造物の構成や支持条件がわかっておれば後述のように理論的に算出することができるが、不明確な実際構造物では、理論解析と実測の併用により、その実態を求めざるを得ない。

#### a) 構造物の振動性状

構造物の振動としては、弾性波動的な内部要素の場合と、構造物全体の変位、変形をとともなう場合の二つが考えられる。前者の場合は、衝撃的な高速荷重を受ける構造物にとっては構造物の破壊に関連があり重要な問題であるが、荷重条件が緩慢な一般の土木構造物では、あまり関係がない。後者の場合は、一般には曲げやせん断力の影響を受け、振動性状は等断面弾性棒については近似的に、

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - \left[ I_m + \frac{EI \rho}{Gk'} \right] \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial t^2} + \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = Q(x, t) \dots\dots\dots (4)$$

弾性版に対して、断面回転やせん断ひずみの影響を無視すれば、

$$D \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = Q(x, y; t) \dots\dots\dots (4)'$$

なる振動の方程式により求められる。ただし  $\rho$  は弾性棒および版の密度、 $EI, D$  は棒および版の曲げ剛性、 $A$  は棒の断面積、 $h$  は版の板厚である。また式(4)の第二項は弾性棒の断面回転とせん断ひずみの影響項を示し、右辺は外部への減衰力を含んだ外力を示している。通常の弾性棒では、外力が作用していない場合、式(4)は

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0$$

これは、いわゆる弾性棒の自由振動に対する基礎方程式で、

$$w = X(x) \cdot q(t)$$

とすれば、振動モードを示す規準関数  $X(x)$  は、

$$X(x) = c_1 \cosh \lambda x + c_2 \sinh \lambda x + c_3 \cos \lambda x + c_4 \sin \lambda x,$$

$$\lambda^4 = \frac{\rho A p^2}{EI}$$

規準座標  $q$  は  $q(t) = A \cos pt + B \sin pt$ ,  $p = 2\pi/T$ ,  $T$ : 固有周期の形で表わされ、境界条件を用いて  $X(x)$  の状況、および振動数方程式より固有振動数を求めることができる。たとえば、両端単純支持の場合には、振動数方程式は  $\sin \lambda l = 0$ , よって  $n$  次の固有円振動数  $p_n$  は

$$p_n = \left( \frac{n\pi}{l} \right) \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

ただし、 $l$  は支点間隔である。またそれに対する振動モード  $X_n$  は

$$X_n = c_n \sin \frac{n\pi x}{l}$$

このように、固有振動数およびモードは自由度の数  $n$  だけ存在し、振動変位  $w$  は  $w = \sum_1^{\infty} X_n(x) \cdot q_n(t)$  で与えられる。

以上は完全弾性棒に対する自由振動の状況を示したものであるが、一般の棒の場合には、必ず減衰性を有するものである。その状況については、振子の運動として減衰性がいかなる影響を示すかは既述のとおりである。ただしその際には、線形的な速度に比例する減衰項を有する場合について取扱ったが、一般的に言えば、減衰項はかなり複雑で、それらは固体摩擦、粘性抵抗、流体造渦抵抗、内部摩擦または構造減衰などに分けられ、非線形的要素を多分に含んでいるが、大体的場合には粘性抵抗的な変形（または変位）速度に比例するとみなした線形的な減衰（たとえば  $c \partial w / \partial t$ ）としても、大した誤差を生じない場合が多い。問題は減衰定数の大小で、この値は図-2に示すように、強制振動に対する共振性に大きな影響をおよぼす。また、構造物が一つの質点系とみ

図-2 重錘と振動数  $u$  と減衰性  $h$  の振動  $x/x_m$  に対する影響

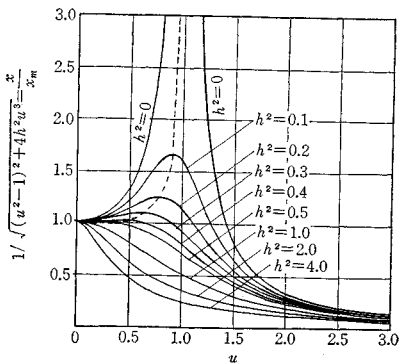
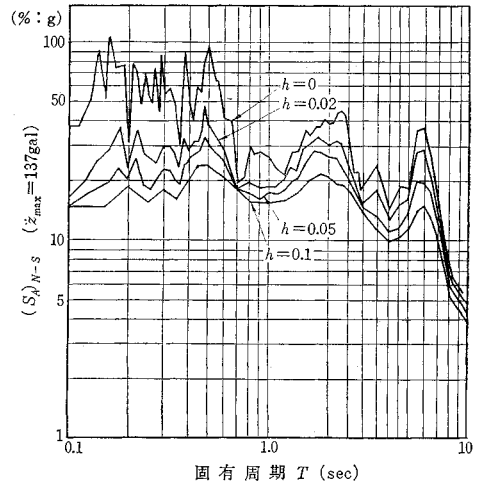


図-3 新潟地震 N-S 成分に対する応答加速度スペクトル (建設省土研報告 12 号より転載)



なされるような場合、それに対する地震動による応答加速度の一例を図-3に示すが、それによっても、減衰項の影響する所が大きいことがわかる。また構造物が老朽、または、がたが生じたような場合にも、減衰定数は大きくなる。詳細は文献1),3)などを参照されたい。

#### b) 振動特性の測定とその解析および整理法

振動特性を求めるには、いわゆる振動試験を行なうわけであるが、それにはつぎのような三つの方法が考えられる。

① 模型試験による方法：強制振動には、起振機または振動台を用いるところの波形および固有周期の測定。

② 実物試験による方法：起振機および走行車による強制振動、および自由振動による。三要素の測定が可能。

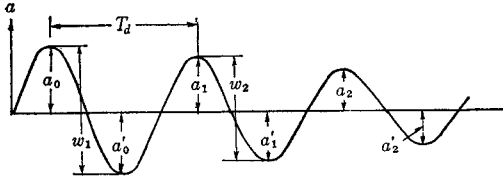
③ ランダム振動による方法：本質的には②にも含まれる。強制力が風力や地震力のような不規則な振幅や、周期として与えられる場合、それにより誘起される振動記録を基にして解析する。固有周期や減衰定数の測定が可能。解析の一方法として高橋の方法がある。文献6)を参照されたい。

これから設計せんとする構造物の固有周期や波形は大體理論解析、または模型試験により求められるが、減衰定数については推定によらざるを得ぬ。したがって、できるだけ正しい値をきめるには、類形の構造物に対する豊富な実測値が必要となる。

実測により振動特性を求めるには、通常オシログラフなどで記録された時間（横軸に示す）に対する変位、速度または加速度曲線を基にする。作用力を直接求める場合には加速度が最も便利であるが、固有周期を求めるにはいずれの曲線でもよい。しかし、振動モードや減衰定数を求めるには、変位曲線が便利である。なお、速度

計や加速度計を用いた場合には、これらの記録を変位に換算せねばならぬが、波形が不規則な（正弦波でない）場合には、積分回路を通さねばならぬ。したがって、振動の測定には変位計が最も好ましいが、変位計は既述のように固有周期を長くせねばならぬので、計器自体が大型になるという不便がある。

図-4



振動モードや周期の測定は比較的簡単であるから以下主として減衰定数の求め方について述べることにするが、その前に減衰定数に対する取り方について述べておく。いま構造物を単純化して一質点系とみなし、その自由振動について考えて見ると、既述のように減衰係数  $\epsilon$  があまり大きくない場合には図-4に示すように、振幅  $a_n$  は

$$a_n = Ae^{-\epsilon t_n} \cos(pat_n + \delta_0),$$

$$p_d = p \sqrt{1-h^2} = 2\pi/T_d$$

したがって、

$$a_n/a_{n+1} = e^{\epsilon T} = v = \text{減衰比}$$

$$\theta = \log \frac{a_n}{a_{n+1}} = \epsilon T = \text{対数減衰率}$$

といい、

$$\theta = 2\pi \cdot h / \sqrt{1-h^2}, \quad h = \epsilon/p = c/c_c = \text{減衰定数}$$

$\epsilon \ll p$  の場合には  $\theta \approx 2\pi(c/c_c)$  なる関係がある。ただし  $c_c = 2\sqrt{kM}$  を特に臨界減衰係数といっている。

減衰定数（または係数）の求め方には、三通りがある。すなわち、

1) 変位-時間曲線を基にして求める場合

この場合にも固体摩擦がなく、減衰があまり大きくない場合と、固体摩擦項を含み減衰が多少大きい場合の二通りに分けて考えられる。前者の場合には、図-4より倍振幅  $w$  について見るに

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_2}{w_3} = \frac{w_3}{w_4} = \dots = v$$

図-4より倍振幅を  $m$  番目ごとに読みとれば、 $N$  回目の読み  $\bar{w}_N$  は

$$\bar{w}_N = \bar{w}_1 \cdot v^{-(N-1)}$$

ゆえに

$$\log_{10} \bar{w}_N = \log_{10} \bar{w}_1 - m(N-1) \log_{10} v$$

$$= (\log_{10} \bar{w}_1 + m \log_{10} v) - (m \log_{10} v) N$$

となる。したがって、横軸に  $N$ 、縦軸に  $\log_{10} \bar{w}_N$  をとって図示すれば、図-5のような直線を得る。この勾配

図-5

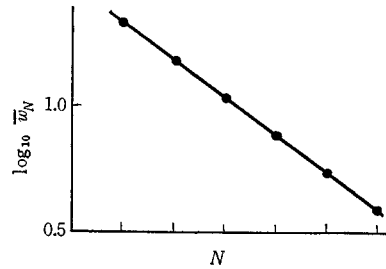


図-6

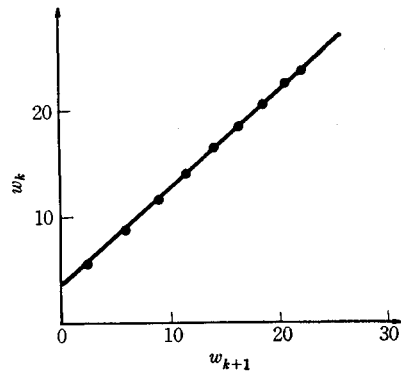
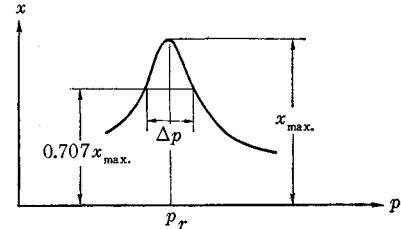


図-7



から  $N$  の係数  $m \log_{10} v$ 、すなわち対数減衰率が求められる。もちろん、図-4から減衰周期  $T_d$  を求めることができる。

つぎに後者の場合には、基礎方程式は固体摩擦項を  $\mu$  で表わせば

$$\ddot{x} + 2\epsilon \dot{x} + p^2(x \pm \mu) = 0$$

となり、振動試験から得られた変位-時間曲線より、倍振幅の読み取りを連続的に  $m$  番、および  $m+1$  番目に対して、

$$w_m = v w_{m+1} + 2\mu(1+v)$$

で表わされるので、これらの読み取り値を図示すれば図-6のようになる。この直線の傾斜から、減衰比  $v$  が求まり、縦軸との交点より固体摩擦の項が求まる。詳細は文献3)を参照されたい。

2) 共振曲線より対数減衰率を求める方法

共振曲線は固有周期を求めるのに必要である。この曲線は強制振動数と変位曲線とを図示したもので、減衰係

数の大小により共振曲線は異なり、減衰係数があまり小さい場合には、共振点の振幅は過大となり、共振点そのものの推定は可能となっても振幅の測定は不可能となる。いま図-7に示すような共振曲線が得られた場合には、

$$\theta = \pi \cdot 4p/p_r$$

となる。詳細は文献 4) を参照されたい。

3) 不規則波形減衰振動から減衰係数と周期とを求める方法

詳細は文献 6) を参照されたい。

#### 4. 構造物に対する荷重または支持条件などの測定

3. においては、構造物自体の振動測定について述べたが、構造物を安全かつ合理的に設計または維持するには、荷重条件や支持条件のような環境条件の把握が必要となる。本項では、このような問題やこれまで言及しなかったが測定を要する問題を取り上げることとする。

##### (1) 荷重条件に関する測定

###### a) 地震に関する観測

地震観測については、気象庁により全国的に観測網が整備されているが、われわれ構造物関係者の要求には合致しない点があり、最近建築物や土木構造物の耐震設計資料を得るため、気象庁とは別個に観測網を作りつつある。地震計としては加速度 500 gal および 1000 gal まで記録できるような強震計 (SMAC 型と DC 型の 2 種があり、機構は機械式、記録装置もふくめて三成分を一つの箱に内蔵してある) で、土木関係ではダム、橋梁、岸壁などの重要構造物、およびその付近の地盤に設置することになっている。この観測記録により基礎地盤を加味した構造物の地震時特性が求められ、また強震時におけ

る地震記録も得られることになる。このような記録の収集は、動的耐震設計法の確立と実施に役立つ。

###### b) 流体荷重の観測

流体荷重としては、風圧と水圧とがある。特に重要なのは台風のような強風時における風荷重、または風速の観測である。流体圧は形状と流速の自乗と相乗により決まる。流速中、風速に対しては風杯式や風車式などがあり、自然風のような変動のはげしい風に対する追従の点では、後者がすぐれているようである。水圧については、水の関係で述べるはずである。また具体例については応用編にゆずる。

###### c) 土圧および支持力の測定

これは土木構造物に取ってはきわめて重要な問題であり、設計の適否に対する支配的要素となる場合がある。しかし、この問題も土の関係が多く、また具体的な問題については応用編にゆずる。

###### d) 変形、変位状態の観測

基礎地盤の変状は不等沈下とともに、構造物をしばしば破壊に導き、コンクリート構造物のクリープは思わざる変形とひずみを引き起こす。地盤不良地点における構造物、長大 P C 構造物には、常に長期的な観測態勢が必要となる。そのため、水準計、クリープ計等の設置が考えられているが、具体的には応用編にゆずることとする。

#### 参 考 文 献

- 1) 萩原尊礼著：振動測定
- 2) 応力測定技術研究会編：応力測定法
- 3) 高田・大久保：最新土木施工法講座、現場における応力の測定
- 4) 松平 精著：基礎振動論
- 5) 妹沢克准著：振動論
- 6) 高橋浩一郎：振動体の不規則なる運動よりその周期および減衰率を求める方法について、理研井報、14 輯 4 号 (1935 年)
- 7) 安積健次郎：磁歪現象を利用した歪測定、非破かい検査 3 巻 4 号

明日の工事への貴重な指針となる	定評ある土木学会の報告書シリーズ	東京都新宿区四谷 1 丁目 振替 東京 16828 番
B 5 判 692 頁	日本道路公団編 関門トンネル工事誌	1500 円 (会員特価) 千 200 円
B 5 判 2356 頁	日本道路公団編 若戸大橋調査報告書・工事報告書 <昭和 39 年度土木学会賞受賞>	30000 円 (千 共)
B 5 判 230 頁	電源開発 K K 編 工事報告 大島セミアーチダム	1200 円 (会員特価) 千 150 円
B 5 判 346 頁	編集委員会編 工事報告 川俣アーチダム	1600 円 (会員特価) 千 150 円
B 5 判 550 頁	九州電力 K K 編 工事報告 一ツ瀬 杉安アーチダム	2300 円 (会員特価) 千 150 円
B 5 判 1380 頁	関西電力 K K 編 工事報告 黒部川第四発電所	9800 円 (会員特価) 千 300 円
B 5 判 1000 頁	編集委員会編 新潟地震震害調査報告	予価 10000 円 (予定特価) 3 月刊

工事報告類の出版も学会ではお引受けしております。

ご希望の向きは土木学会編集課 (351-5130) へご相談下さい。