

電子計算機による減衰波形の半自動読取

諸 星 敏 一*

国立防災科学技術センター

Digitizing of Records of Damped Oscillation on Charts by Computer

By

Toshikazu Morohoshi

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Logarithmic decrements of damped oscillations with small and few beats which were recorded on sheets are analyzed by computer. On such an oscillation, for example, a damped oscillation of the internal friction of snow and ice was recorded on a pen-recorder in the course of the study of the snow removal method by breaking compressed snow and ice on a road. The method of computation has an intention of computing many data in little time and of saving much labor.

In this method, amplitudes of waves are input by the pen of GRAF PEN which is a sonic digitizer, and logarithmic decrements are computed by the method of least squares.

Consequently this method took less than half of the time which was required in the previous method.

1. はじめに

当センター新庄支所において、道路上の圧雪の破壊除去の研究の一環として、雪や氷の内部摩擦量（振動エネルギーの損失率）の測定を行なっている（中村 勉，1978）。この内部摩擦の測定法を以下に記す。

高分子材料の短冊形試料の下端を固定し、上端をある力でねじった後、その力を解放し、試料を自由振動させ、その振動を電氣的な減衰波形としてペンレコーダに記録する（竹下 鞏，1970）。試料が単結晶氷の場合の記録の例を図1に示す。次にこの波形の振幅を読み取り、それから対数減衰率と剛性率を求める。通常は、約 -180°C から 0°C 近傍まで、温度を上昇させながら上記の測定を数十回繰り返す。すなわち試料一個に対して数十個の振動記録を得る。得られた波形の読み取りには、造船曲線定規とガラス製物差し（最小目盛 0.5 mm ）を用いているため、波形の読み取りと、これの解析には多大の時間を要する。熟練した人間が、

* 第4研究部情報処理研究室

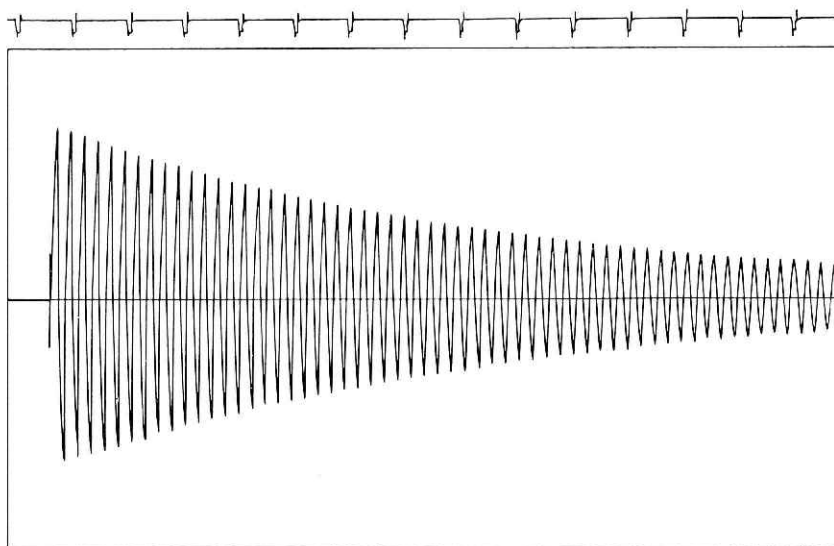


図 1 原記録 (うなりのないもの)
Fig. 1 Source datum (having no beat)

一回の実験記録の解析に要する時間は正味約5時間である (ちなみに今までに解析に要した時間は、5時間×43回=215時間である)。また時には、図2に示すような、他の波との干渉による合成波と考えられる、うなりをもった波が存在することがある。このような場合には、うなりを取り去った波形を用いて本来の解析をすることが望まれる。しかしうなりを取るには、記録を完全にデジタル化し、複雑な数値計算 (たとえば、スペクトル分析などに

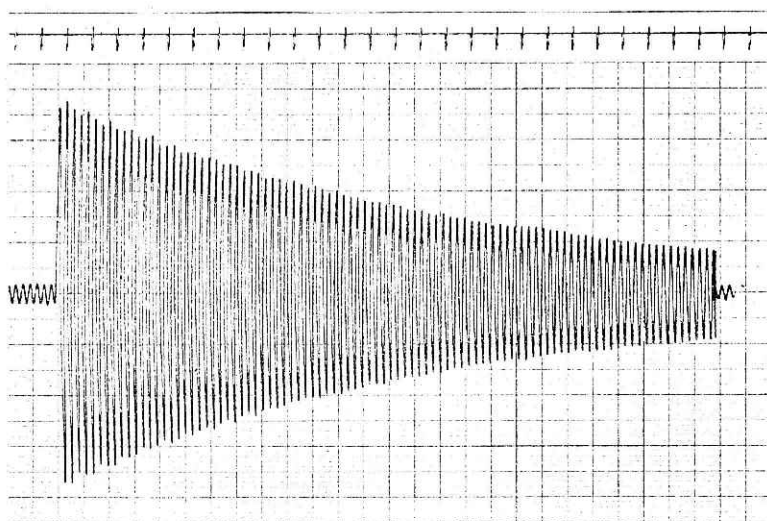


図 2 原記録 (うなりの小さいもの)
Fig. 2 Source datum (having small beat)

よる合成波の周波数の決定)を行なわなければならない。また記録紙上の波のデジタル化は、当センター第4研究部が開発した図形読取装置(大村一夫, 1971)を使用すれば行なえる。しかし記録の読み取りに約15分かかる。これでは、上述したような多量の波形を短時間で処理することが要求されるものには向かない。

そこで筆者は、この実験結果のような記録紙上に描かれた単一および非単一の減衰波形の解析の省力化に重点を置いた電子計算機による読み取り法を開発した。

2. 処理方法

2.1 機器構成と概略の処理方法

読み取り機器の構成を図3に示す。記録紙を座標変換読取装置(超音波方式のデジタルタイザ、分解能XY両方向とも0.1mm、ペン指示方式、以下グラフペンと記す)上に置き、減衰波形の極値(P)を順にペン指示することにより、Pの絶対座標値(P(X, Y))を紙テープパンチャーに出力する。

次にその紙テープを紙テープリーダによる電子計算機に入力し、後で述べる方法により、対数減衰率及び剛性率を計算し、その結果を数表としてラインプリンタに、グラフとしてカーブプロッタに出力する。

2.2 演算

イ 振幅の決定

実験記録の零レベルが変動すること、記録紙のグラフペンへの斜め装着の修正が必要なことなどを考慮して以下の式により振幅(A)を求めた。ただし $P_{2n}(X_{2n}, Y_{2n})$, $P_{2n+1}(X_{2n+1}, Y_{2n+1})$ により得られる振幅を A_n とする。図4に振幅決定の様子を示す。

$$A_n = \sqrt{(X_{2n} - X_{2n+1})^2 + (Y_{2n} - Y_{2n+1})^2} \quad (n=0, 1, \dots, M)$$

今回の記録におけるMは40程度である。

ロ 対数減衰率の決定

(i) うなりのない減衰波形

下の式により、 (A_0/A_1) , (A_0/A_2) , ..., (A_0/A_n) の各組の対数減衰率(α_n)を求め、その中の最大値(MAX(α_n))と最小値(MIN(α_n))を取り去った残りの値の平均値を減衰率(α)とする。

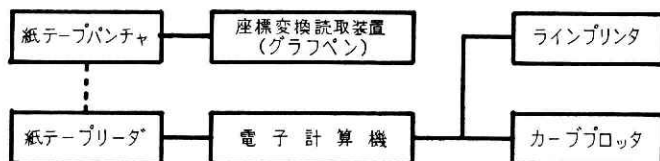


図3 使用機器構成(現在)

Fig. 3 Configuration of the system used (in use)

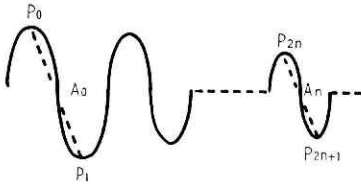


図 4 振幅の計算法
Fig. 4 A method of computation of amplitude.

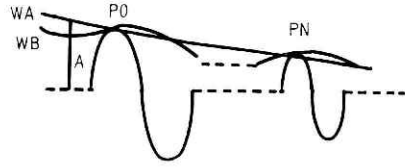


図 5 対数減衰率の計算法
Fig. 5 A method of computation of logarithmic decrement.

$$\alpha_n = \ln(A_0/A_n)/n$$

$$\alpha = (\sum_1^M \alpha_n - \text{MAX}(\alpha_n) - \text{MIN}(\alpha_n)) / (M-2)$$

(ii) うなりのある減衰波形

今回の報告で対象としているもう一つの波は、図2のような記録紙上に描かれていて波の性質がわからない、うなり状の減衰波である。つまり記録波のスペクトル分析等の処理から合成波を判定したり、たとえば氷の結晶の性質から合成波を判定するようなことのできない波である。そこで筆者は最小二乗法を用いて減衰率を求めることにした。

図5の WA は、初期値が A で減衰率 α の波のピークを結ぶ線、WB は実験波のピークを結ぶ線である。この二本の線の差 (ϵ') の二乗和 (E) が最小となる α, A を求める。

$$WA_i = A \cdot \text{EXP}(-\alpha \cdot T_i)$$

$$WB_i = A_i$$

$$\epsilon'_i = WA_i - WB_i = A \cdot \text{EXP}(-\alpha \cdot T_i) - A_i$$

つまり残差 (E) を振幅 (A) と減衰率 (α) の関数とし、それぞれに対して E が極小となる A, α を連立方程式により求める。この時に演算の簡便化のために WA, WB とともに自然対数をとったものの差 (ϵ) を用いた。

$$E(A, \alpha) = \sum_i (\epsilon_i)^2$$

$$\begin{aligned} E &= \sum_i (\epsilon_i)^2 = \sum_i (\ln WA_i - \ln WB_i)^2 \\ &= \sum_i (\ln A - \alpha \cdot T_i - \ln A_i)^2 \end{aligned}$$

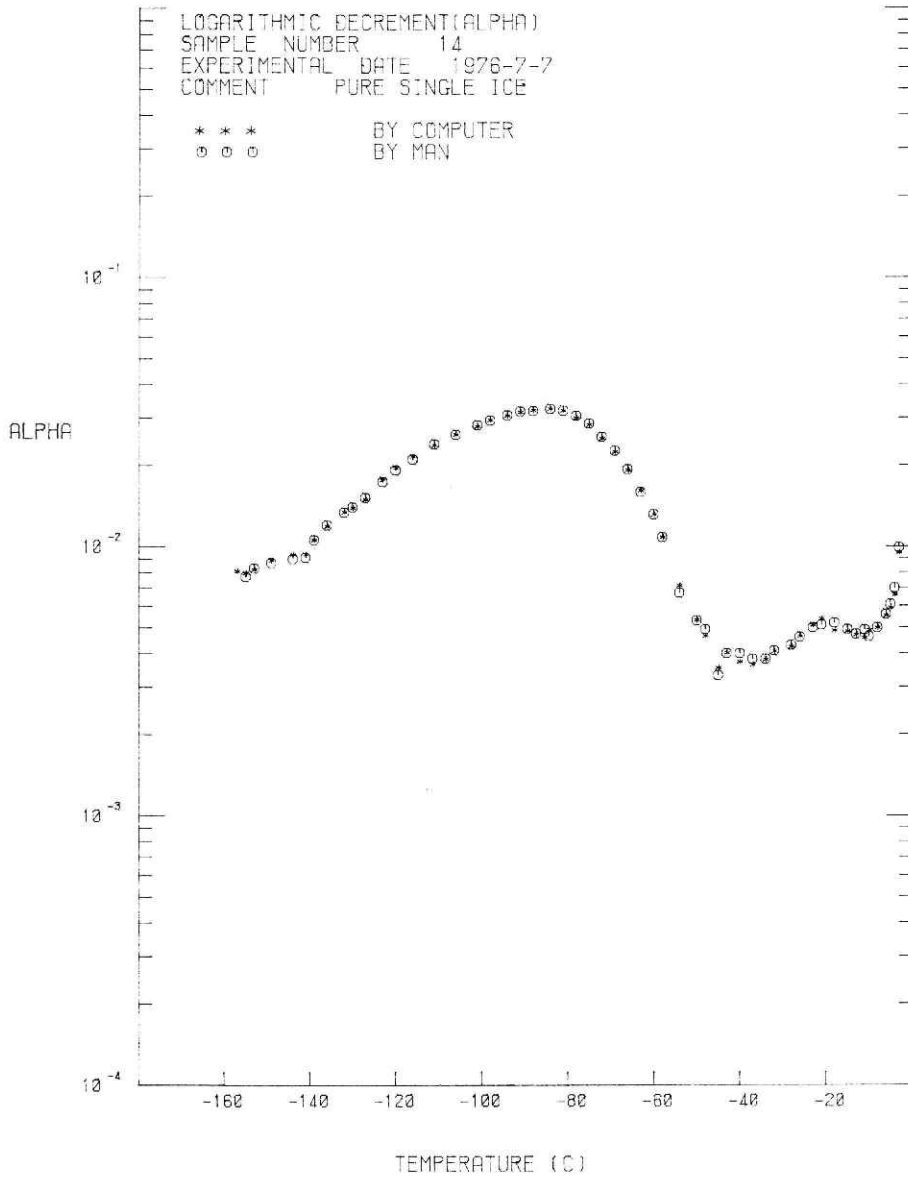
$$\partial E / \partial A = N \cdot \ln A - \sum_i (T_i) \cdot \alpha - \sum_i (\ln A_i)$$

$$\partial E / \partial \alpha = - \sum_i (T_i) \cdot \ln A + \sum_i (T_i^2) \cdot \alpha + \sum_i (\ln A_i \cdot T_i)$$

$$S = \sum_i \epsilon_i^2 / A / N$$

今回の波数 (N) は 40 程度である。

(iii) 結 果



グラフ 1 計算結果 (うなりのないもの)
Graph. 1 Computed result (having no beat)

表 1 計算結果(うなりの小さいもの)
Table. 1 Computed result (having small beat)

| LOGARITHMIC DECREMENT | SAMPLE NUMBER | DATE | HF-DUPEP | ICE | AMPLITUDE | S | MALPHA | TEMPERATURE |
|-----------------------|---------------|-----------|----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|-------------|
| 23 | 2 | 1977-6-27 | ALPHA | 0.126147E-01 | 0.310434E 03 | S = 0.299656E 01 | MALPHA = 0.126000E-01 | -8 |
| | 3 | | ALPHA | 0.870550E-02 | 0.504403F 03 | S = 0.2151749E 01 | MALPHA = 0.640000E-02 | -170 |
| | 4 | | ALPHA | 0.737177E-02 | 0.332472E 03 | S = 0.284174E 01 | MALPHA = 0.860700E-02 | -170 |
| | 5 | | ALPHA | 0.833786E-02 | 0.486574E 03 | S = 0.220484E 01 | MALPHA = 0.890700E-02 | -168 |
| | 6 | | ALPHA | 0.880099E-02 | 0.353830E 03 | S = 0.272735E 01 | MALPHA = 0.910700E-02 | -166 |
| | 7 | | ALPHA | 0.936531E-02 | 0.505839E 03 | S = 0.214776E 01 | MALPHA = 0.913000E-01 | -165 |
| | 8 | | ALPHA | 0.116382E-01 | 0.651986E 03 | S = 0.231613E 01 | MALPHA = 0.121700E-01 | -159 |
| | 9 | | ALPHA | 0.120593E-01 | 0.465700E 03 | S = 0.236324E 01 | MALPHA = 0.174700E-01 | -156 |
| | 10 | | ALPHA | 0.139833E-01 | 0.659040E 03 | S = 0.236085E 01 | MALPHA = 0.144700E-01 | -152 |
| | 11 | | ALPHA | 0.164453E-01 | 0.561456E 03 | S = 0.199776E 01 | MALPHA = 0.164700E-01 | -148 |
| | 12 | | ALPHA | 0.156810E-01 | 0.414720E 03 | S = 0.245180E 01 | MALPHA = 0.171700E-01 | -145 |
| | 13 | | ALPHA | 0.184742E-01 | 0.404754E 03 | S = 0.249028E 01 | MALPHA = 0.184700E-01 | -143 |
| | 14 | | ALPHA | 0.202885E-01 | 0.378076E 03 | S = 0.260636E 01 | MALPHA = 0.202700E-01 | -141 |
| | 15 | | ALPHA | 0.215766E-01 | 0.534592E 03 | S = 0.206309E 01 | MALPHA = 0.21700E-01 | -138 |
| | 16 | | ALPHA | 0.237344E-01 | 0.415048E 03 | S = 0.244324E 01 | MALPHA = 0.244000E-01 | -136 |
| | 17 | | ALPHA | 0.255180E-01 | 0.418124E 03 | S = 0.243177E 01 | MALPHA = 0.262700E-01 | -132 |
| | 18 | | ALPHA | 0.279363E-01 | 0.411909E 03 | S = 0.245402E 01 | MALPHA = 0.289000E-01 | -128 |
| | 19 | | ALPHA | 0.281500E-01 | 0.424693E 03 | S = 0.240431E 01 | MALPHA = 0.279000E-01 | -125 |
| | 20 | | ALPHA | 0.252091E-01 | 0.362724E 03 | S = 0.267244E 01 | MALPHA = 0.269000E-01 | -121 |
| | 21 | | ALPHA | 0.237771E-01 | 0.694828E 03 | S = 0.217281E 01 | MALPHA = 0.239000E-01 | -118 |
| | 22 | | ALPHA | 0.186349E-01 | 0.394558E 03 | S = 0.253281E 01 | MALPHA = 0.187000E-01 | -114 |
| | 23 | | ALPHA | 0.156201E-01 | 0.531883E 03 | S = 0.207319E 01 | MALPHA = 0.156000E-01 | -110 |
| | 24 | | ALPHA | 0.113053E-01 | 0.462474E 03 | S = 0.228069E 01 | MALPHA = 0.118000E-01 | -107 |
| | 25 | | ALPHA | 0.910192E-02 | 0.536089E 03 | S = 0.206409E 01 | MALPHA = 0.910000E-02 | -103 |
| | 26 | | ALPHA | 0.785966E-02 | 0.425228E 03 | S = 0.241413E 01 | MALPHA = 0.750000E-02 | -100 |
| | 27 | | ALPHA | 0.588236E-02 | 0.546436E 03 | S = 0.203796E 01 | MALPHA = 0.610000E-02 | -97 |
| | 28 | | ALPHA | 0.478569E-02 | 0.464858E 03 | S = 0.227442E 01 | MALPHA = 0.500000E-02 | -94 |
| | 29 | | ALPHA | 0.363474E-02 | 0.599678E 03 | S = 0.191240E 01 | MALPHA = 0.410000E-02 | -91 |
| | 30 | | ALPHA | 0.337586E-02 | 0.670316E 03 | S = 0.225675E 01 | MALPHA = 0.380000E-02 | -87 |
| | 31 | | ALPHA | 0.282890E-02 | 0.536981E 03 | S = 0.206671E 01 | MALPHA = 0.310000E-02 | -84 |
| | 32 | | ALPHA | 0.270172E-02 | 0.531193E 03 | S = 0.202827E 01 | MALPHA = 0.290000E-02 | -81 |
| | 33 | | ALPHA | 0.191114E-02 | 0.555766E 03 | S = 0.206595E 01 | MALPHA = 0.250000E-02 | -79 |
| | 34 | | ALPHA | 0.225293E-02 | 0.462276E 03 | S = 0.228325E 01 | MALPHA = 0.220000E-02 | -76 |
| | 35 | | ALPHA | 0.218697E-02 | 0.628228E 03 | S = 0.185229E 01 | MALPHA = 0.200000E-02 | -74 |

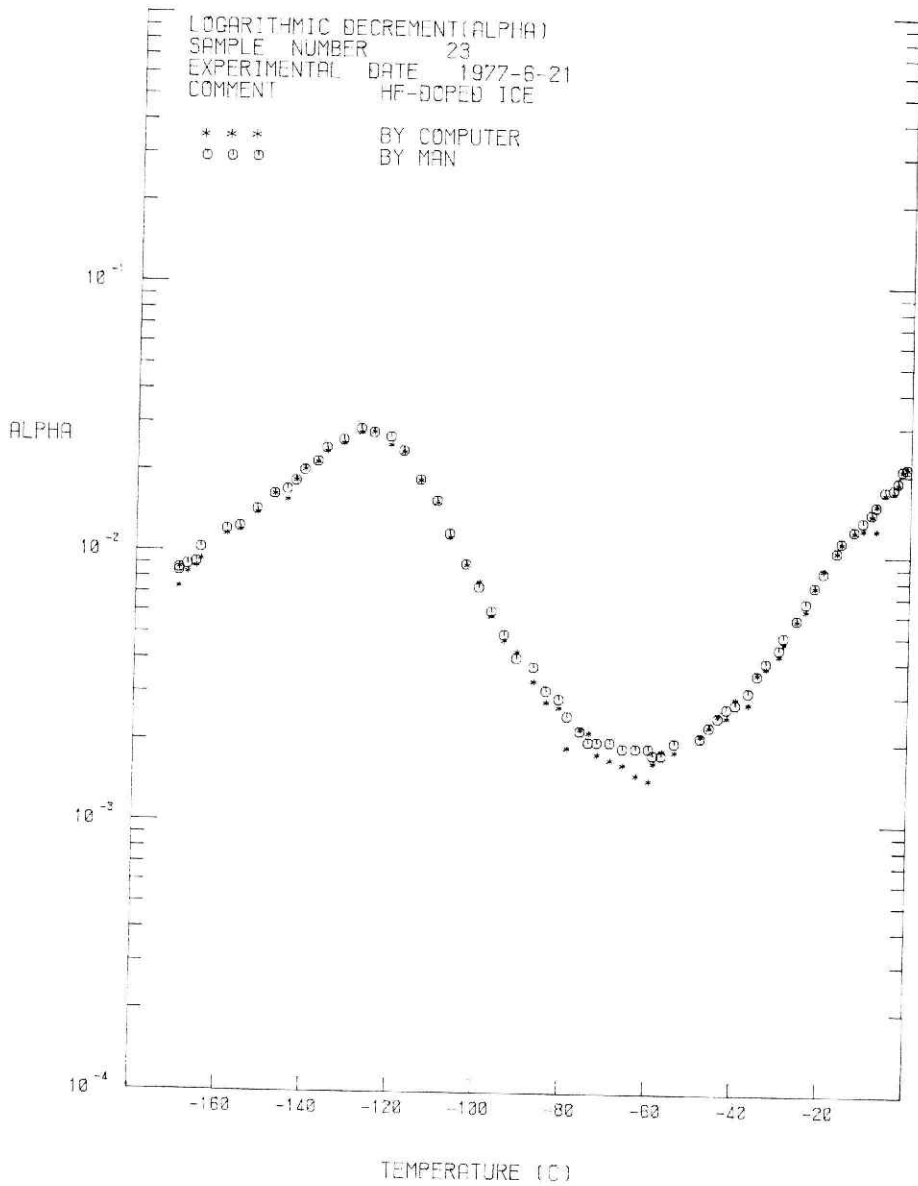
| | | | | | |
|-------------|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| NUMBER = 36 | ALPHA = 0.181958E-02 | AMPLITUDE = 0.527333E 03 | S = 0.208841E 01 | MALPHA = 0.200700E-02 | TEMPERATURE = -72 |
| NUMBER = 37 | ALPHA = 0.172942E-02 | AMPLITUDE = 0.625693E 03 | S = 0.186158E 01 | MALPHA = 0.200700E-02 | TEMPERATURE = -69 |
| NUMBER = 38 | ALPHA = 0.166428E-02 | AMPLITUDE = 0.591603E 03 | S = 0.193048E 01 | MALPHA = 0.190700E-02 | TEMPERATURE = -66 |
| NUMBER = 39 | ALPHA = 0.1522268E-02 | AMPLITUDE = 0.523511E 03 | S = 0.210004E 01 | MALPHA = 0.190700E-02 | TEMPERATURE = -63 |
| NUMBER = 40 | ALPHA = 0.145819E-02 | AMPLITUDE = 0.540706E 03 | S = 0.205308E 01 | MALPHA = 0.190700E-02 | TEMPERATURE = -60 |
| NUMBER = 41 | ALPHA = 0.1497179E-02 | AMPLITUDE = 0.614540E 03 | S = 0.188064E 01 | MALPHA = 0.180700E-02 | TEMPERATURE = -59 |
| NUMBER = 42 | ALPHA = 0.187639E-02 | AMPLITUDE = 0.486138E 03 | S = 0.220656E 01 | MALPHA = 0.180700E-02 | TEMPERATURE = -57 |
| NUMBER = 43 | ALPHA = 0.186645E-02 | AMPLITUDE = 0.507249E 03 | S = 0.214428E 01 | MALPHA = 0.200700E-02 | TEMPERATURE = -54 |
| NUMBER = 44 | ALPHA = 0.187859E-02 | AMPLITUDE = 0.623683E 03 | S = 0.186160E 01 | MALPHA = 0.200700E-02 | TEMPERATURE = 0 |
| NUMBER = 45 | ALPHA = 0.214711E-02 | AMPLITUDE = 0.544152E 03 | S = 0.204417E 01 | MALPHA = 0.210700E-02 | TEMPERATURE = -48 |
| NUMBER = 46 | ALPHA = 0.230532E-02 | AMPLITUDE = 0.526995E 03 | S = 0.208930E 01 | MALPHA = 0.230700E-02 | TEMPERATURE = -46 |
| NUMBER = 47 | ALPHA = 0.256282E-02 | AMPLITUDE = 0.605882E 03 | S = 0.189905E 01 | MALPHA = 0.250700E-02 | TEMPERATURE = -44 |
| NUMBER = 48 | ALPHA = 0.251120E-02 | AMPLITUDE = 0.578173E 03 | S = 0.196109E 01 | MALPHA = 0.270700E-02 | TEMPERATURE = -42 |
| NUMBER = 49 | ALPHA = 0.293812E-02 | AMPLITUDE = 0.524835E 03 | S = 0.209510E 01 | MALPHA = 0.280700E-02 | TEMPERATURE = -40 |
| NUMBER = 50 | ALPHA = 0.281586E-02 | AMPLITUDE = 0.472091E 03 | S = 0.225107E 01 | MALPHA = 0.310700E-02 | TEMPERATURE = -37 |
| NUMBER = 51 | ALPHA = 0.362732E-02 | AMPLITUDE = 0.478628E 03 | S = 0.22302E 01 | MALPHA = 0.360700E-02 | TEMPERATURE = -35 |
| NUMBER = 52 | ALPHA = 0.383446E-02 | AMPLITUDE = 0.444835E 03 | S = 0.254297E 01 | MALPHA = 0.400700E-02 | TEMPERATURE = -33 |
| NUMBER = 53 | ALPHA = 0.426503E-02 | AMPLITUDE = 0.505442E 03 | S = 0.214928E 01 | MALPHA = 0.450700E-02 | TEMPERATURE = -30 |
| NUMBER = 54 | ALPHA = 0.473977E-02 | AMPLITUDE = 0.485149E 03 | S = 0.270978E 01 | MALPHA = 0.570700E-02 | TEMPERATURE = -29 |
| NUMBER = 55 | ALPHA = 0.576590E-02 | AMPLITUDE = 0.588397E 03 | S = 0.193733E 01 | MALPHA = 0.580700E-02 | TEMPERATURE = -26 |
| NUMBER = 56 | ALPHA = 0.627553E-02 | AMPLITUDE = 0.438117E 03 | S = 0.236665E 01 | MALPHA = 0.670700E-02 | TEMPERATURE = -24 |
| NUMBER = 57 | ALPHA = 0.748990E-02 | AMPLITUDE = 0.355547E 03 | S = 0.271911E 01 | MALPHA = 0.770700E-02 | TEMPERATURE = -22 |
| NUMBER = 58 | ALPHA = 0.895613E-02 | AMPLITUDE = 0.481402E 03 | S = 0.222052E 01 | MALPHA = 0.870700E-02 | TEMPERATURE = -20 |
| NUMBER = 59 | ALPHA = 0.104073E-01 | AMPLITUDE = 0.416635E 03 | S = 0.244647E 01 | MALPHA = 0.96400E-01 | TEMPERATURE = -17 |
| NUMBER = 60 | ALPHA = 0.112491E-01 | AMPLITUDE = 0.444079E 03 | S = 0.234391E 01 | MALPHA = 0.113700E-01 | TEMPERATURE = -16 |
| NUMBER = 61 | ALPHA = 0.123710E-01 | AMPLITUDE = 0.425202E 03 | S = 0.241275E 01 | MALPHA = 0.125700E-01 | TEMPERATURE = -13 |
| NUMBER = 62 | ALPHA = 0.126359E-01 | AMPLITUDE = 0.330160E 03 | S = 0.285237E 01 | MALPHA = 0.135700E-01 | TEMPERATURE = -11 |
| NUMBER = 63 | ALPHA = 0.142729E-01 | AMPLITUDE = 0.378416E 03 | S = 0.260660E 01 | MALPHA = 0.145700E-01 | TEMPERATURE = -9 |
| NUMBER = 64 | ALPHA = 0.156450E-01 | AMPLITUDE = 0.334603E 03 | S = 0.282594E 01 | MALPHA = 0.155700E-01 | TEMPERATURE = -8 |
| NUMBER = 65 | ALPHA = 0.172015E-01 | AMPLITUDE = 0.431987E 03 | S = 0.248502E 01 | MALPHA = 0.176700E-01 | TEMPERATURE = -6 |
| NUMBER = 66 | ALPHA = 0.174456E-01 | AMPLITUDE = 0.335274E 03 | S = 0.262102E 01 | MALPHA = 0.179700E-01 | TEMPERATURE = -4 |
| NUMBER = 67 | ALPHA = 0.188099E-01 | AMPLITUDE = 0.313084E 03 | S = 0.284898E 01 | MALPHA = 0.190700E-01 | TEMPERATURE = -3 |
| NUMBER = 68 | ALPHA = 0.210509E-01 | AMPLITUDE = 0.505937E 03 | S = 0.214206E 01 | MALPHA = 0.211700E-01 | TEMPERATURE = -2 |
| NUMBER = 69 | ALPHA = 0.214060E-01 | AMPLITUDE = 0.444228E 03 | S = 0.241150E 01 | MALPHA = 0.214000E-01 | TEMPERATURE = -1 |

表 2 計算結果(うなりの大きいもの)
Table. 2 Computed result (having large beat)

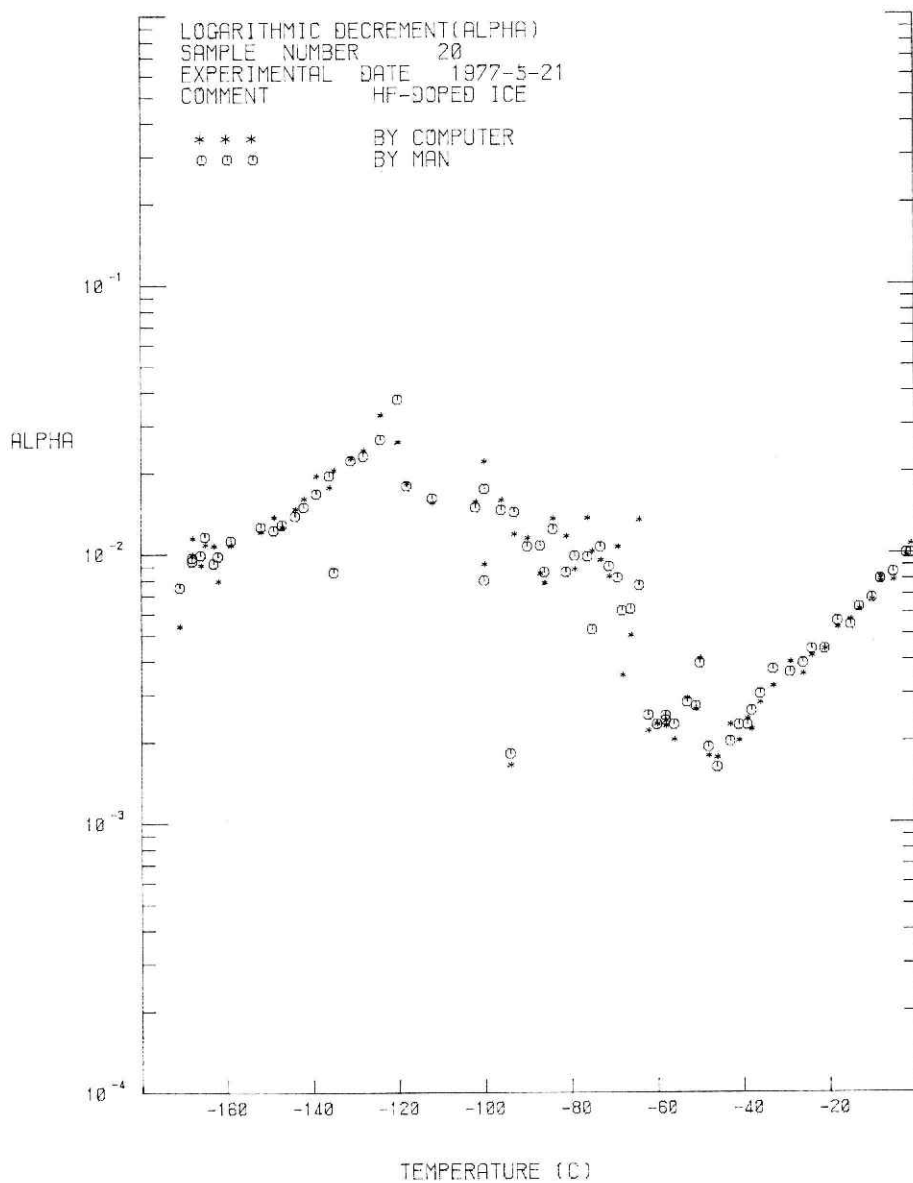
| LOGARITHMIC DECREMENT | SAMPLE NUMBER | EXPERIMENTAL DATE | 1977-5-21 | HF-DROPT ICE | AMPLITUDE | S | MALPHA | TEMPERATURE |
|-----------------------|---------------|-------------------|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | ALPHA | 0.707115E-02 | | | 0.415663E 03 | S = 0.271324E 01 | MALPHA = 0.710300E-02 | TEMPERATURE = 8 |
| 2 | ALPHA | 0.514449E-02 | | | 0.456806E 03 | S = 0.238262E 01 | MALPHA = 0.730300E-02 | TEMPERATURE = -8 |
| 3 | ALPHA | 0.530669E-02 | | | 0.225792E 03 | S = 0.377569E 01 | MALPHA = 0.750300E-02 | TEMPERATURE = -171 |
| 4 | ALPHA | 0.998362E-02 | | | 0.196380E 03 | S = 0.411769E 01 | MALPHA = 0.940300E-02 | TEMPERATURE = -168 |
| 5 | ALPHA | 0.114871E-01 | | | 0.312614E 03 | S = 0.506191E 01 | MALPHA = 0.970300E-02 | TEMPERATURE = -168 |
| 6 | ALPHA | 0.918229E-02 | | | 0.323807E 03 | S = 0.299356E 01 | MALPHA = 0.990300E-02 | TEMPERATURE = -166 |
| 7 | ALPHA | 0.108676E-01 | | | 0.349202E 03 | S = 0.514163E 01 | MALPHA = 0.116300E-01 | TEMPERATURE = -165 |
| 8 | ALPHA | 0.107686E-01 | | | 0.614446E 03 | S = 0.214709E 01 | MALPHA = 0.920300E-02 | TEMPERATURE = -163 |
| 9 | ALPHA | 0.795534E-02 | | | 0.292916E 03 | S = 0.341563E 01 | MALPHA = 0.980300E-02 | TEMPERATURE = -162 |
| 10 | ALPHA | 0.107968E-01 | | | 0.546602E 03 | S = 0.225389E 01 | MALPHA = 0.112300E-01 | TEMPERATURE = -159 |
| 11 | ALPHA | 0.121187E-01 | | | 0.377900E 03 | S = 0.288843E 01 | MALPHA = 0.12300E-01 | TEMPERATURE = -159 |
| 12 | ALPHA | 0.137507E-01 | | | 0.552866E 03 | S = 0.266567E 01 | MALPHA = 0.122300E-01 | TEMPERATURE = -126 |
| 13 | ALPHA | 0.125981E-01 | | | 0.337080E 03 | S = 0.331479E 01 | MALPHA = 0.128300E-01 | TEMPERATURE = -149 |
| 14 | ALPHA | 0.146977E-01 | | | 0.337080E 03 | S = 0.5262840E 01 | MALPHA = 0.138300E-01 | TEMPERATURE = -144 |
| 15 | ALPHA | 0.166786E-01 | | | 0.361720E 03 | S = 0.291905E 01 | MALPHA = 0.149300E-01 | TEMPERATURE = -142 |
| 16 | ALPHA | 0.191748E-01 | | | 0.389318E 03 | S = 0.268760E 01 | MALPHA = 0.167300E-01 | TEMPERATURE = -136 |
| 17 | ALPHA | 0.177142E-01 | | | 0.544669E 03 | S = 0.350976E 01 | MALPHA = 0.195300E-01 | TEMPERATURE = -139 |
| 18 | ALPHA | 0.204381E-01 | | | 0.566307E 03 | S = 0.508278E 01 | MALPHA = 0.850300E-02 | TEMPERATURE = -135 |
| 19 | ALPHA | 0.227273E-01 | | | 0.444458E 03 | S = 0.377644E 01 | MALPHA = 0.22300E-01 | TEMPERATURE = -131 |
| 20 | ALPHA | 0.244170E-01 | | | 0.526612E 03 | S = 0.341992E 01 | MALPHA = 0.230300E-01 | TEMPERATURE = -124 |
| 21 | ALPHA | 0.328705E-01 | | | 0.425612E 03 | S = 0.260311E 01 | MALPHA = 0.266300E-01 | TEMPERATURE = -120 |
| 22 | ALPHA | 0.266625E-01 | | | 0.520762E 03 | S = 0.385376E 01 | MALPHA = 0.178300E-01 | TEMPERATURE = -118 |
| 23 | ALPHA | 0.182898E-01 | | | 0.315855E 03 | S = 0.294529E 01 | MALPHA = 0.160300E-01 | TEMPERATURE = -112 |
| 24 | ALPHA | 0.155280E-01 | | | 0.457377E 03 | S = 0.385041E 01 | MALPHA = 0.146300E-01 | TEMPERATURE = -102 |
| 26 | ALPHA | 0.156173E-01 | | | 0.331671E 03 | S = 0.371654E 01 | MALPHA = 0.160300E-01 | TEMPERATURE = -102 |
| 27 | ALPHA | 0.215604E-02 | | | 0.364017E 03 | S = 0.300860E 01 | MALPHA = 0.790300E-02 | TEMPERATURE = -94 |
| 28 | ALPHA | 0.164229E-02 | | | 0.538791E 03 | S = 0.446694E 01 | MALPHA = 0.174300E-01 | TEMPERATURE = -100 |
| 29 | ALPHA | 0.220413E-01 | | | 0.273213E 03 | S = 0.649555E 01 | MALPHA = 0.145300E-01 | TEMPERATURE = -96 |
| 30 | ALPHA | 0.159457E-01 | | | 0.261167E 03 | S = 0.343206E 01 | MALPHA = 0.142300E-01 | TEMPERATURE = -93 |
| 31 | ALPHA | 0.118464E-01 | | | 0.506961E 03 | S = 0.411084E 01 | MALPHA = 0.106300E-01 | TEMPERATURE = -87 |
| 32 | ALPHA | 0.116729E-01 | | | 0.337524E 03 | S = 0.260718E 01 | MALPHA = 0.137300E-01 | TEMPERATURE = -80 |
| 33 | ALPHA | 0.843126E-02 | | | 0.639969E 03 | S = 0.398735E 01 | MALPHA = 0.850000E-02 | TEMPERATURE = -86 |
| 34 | ALPHA | 0.777911E-02 | | | 0.593828E 03 | S = 0.268090E 01 | MALPHA = 0.12300E-01 | TEMPERATURE = -84 |
| 35 | ALPHA | 0.135096E-01 | | | 0.375440E 03 | S = 0.461524E 01 | MALPHA = 0.12300E-01 | TEMPERATURE = -84 |

電子計算機による減衰波形の半自動読取—諸星

| | | | | | |
|-------------|----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| NUMBER = 36 | ALPHA = 0.114106E-01 | AMPLITUDE = 0.604056E 03 | S = 0.194919E 01 | MALPHA = 0.850300E-02 | TEMPERATURE = -61 |
| NUMBER = 37 | ALPHA = 0.472295E-02 | AMPLITUDE = 0.386679E 03 | S = 0.383975E 01 | MALPHA = 0.940300E-02 | TEMPERATURE = -79 |
| NUMBER = 38 | ALPHA = 0.135802E-01 | AMPLITUDE = 0.421532E 03 | S = 0.416011E 01 | MALPHA = 0.970300E-02 | TEMPERATURE = -76 |
| NUMBER = 39 | ALPHA = 0.102407E-01 | AMPLITUDE = 0.668038E 03 | S = 0.272099E 01 | MALPHA = 0.520000E-02 | TEMPERATURE = -75 |
| NUMBER = 40 | ALPHA = 0.245768E-02 | AMPLITUDE = 0.305948E 03 | S = 0.461928E 01 | MALPHA = 0.136300E-01 | TEMPERATURE = -71 |
| NUMBER = 41 | ALPHA = 0.21778E-02 | AMPLITUDE = 0.542784E 03 | S = 0.343096E 01 | MALPHA = 0.890300E-02 | TEMPERATURE = -69 |
| NUMBER = 42 | ALPHA = 0.56014E-01 | AMPLITUDE = 0.521079E 03 | S = 0.435272E 01 | MALPHA = 0.810300E-02 | TEMPERATURE = -68 |
| NUMBER = 43 | ALPHA = 0.58667E-02 | AMPLITUDE = 0.635264E 03 | S = 0.624150E 01 | MALPHA = 0.610300E-02 | TEMPERATURE = -66 |
| NUMBER = 44 | ALPHA = 0.496784E-02 | AMPLITUDE = 0.342548E 03 | S = 0.662517E 01 | MALPHA = 0.748300E-02 | TEMPERATURE = -64 |
| NUMBER = 45 | ALPHA = 0.135994E-01 | AMPLITUDE = 0.266467E 03 | S = 0.392820E 01 | MALPHA = 0.256300E-02 | TEMPERATURE = -62 |
| NUMBER = 46 | ALPHA = 0.210832E-02 | AMPLITUDE = 0.595932E 03 | S = 0.322908E 01 | MALPHA = 0.256300E-02 | TEMPERATURE = -60 |
| NUMBER = 47 | ALPHA = 0.232415E-02 | AMPLITUDE = 0.700934E 03 | S = 0.264550E 01 | MALPHA = 0.240300E-02 | TEMPERATURE = -58 |
| NUMBER = 48 | ALPHA = 0.239320E-02 | AMPLITUDE = 0.719525E 03 | S = 0.257741E 01 | MALPHA = 0.230300E-02 | TEMPERATURE = -58 |
| NUMBER = 49 | ALPHA = 0.220191E-02 | AMPLITUDE = 0.452867E 03 | S = 0.352661E 01 | MALPHA = 0.230300E-02 | TEMPERATURE = -56 |
| NUMBER = 50 | ALPHA = 0.203877E-02 | AMPLITUDE = 0.433182E 03 | S = 0.383055E 01 | MALPHA = 0.230300E-02 | TEMPERATURE = -53 |
| NUMBER = 52 | ALPHA = 0.291252E-02 | AMPLITUDE = 0.607531E 03 | S = 0.328155E 01 | MALPHA = 0.270300E-02 | TEMPERATURE = -51 |
| NUMBER = 53 | ALPHA = 0.284107E-02 | AMPLITUDE = 0.529153E 03 | S = 0.304876E 01 | MALPHA = 0.350300E-02 | TEMPERATURE = -50 |
| NUMBER = 54 | ALPHA = 0.404770E-02 | AMPLITUDE = 0.425900E 03 | S = 0.361566E 01 | MALPHA = 0.120300E-02 | TEMPERATURE = -48 |
| NUMBER = 55 | ALPHA = 0.177801E-02 | AMPLITUDE = 0.507711E 03 | S = 0.351787E 01 | MALPHA = 0.160300E-02 | TEMPERATURE = -46 |
| NUMBER = 56 | ALPHA = 0.175169E-02 | AMPLITUDE = 0.408324E 03 | S = 0.380416E 01 | MALPHA = 0.210300E-02 | TEMPERATURE = -43 |
| NUMBER = 57 | ALPHA = 0.231510E-02 | AMPLITUDE = 0.583331E 03 | S = 0.285231E 01 | MALPHA = 0.230300E-02 | TEMPERATURE = -41 |
| NUMBER = 58 | ALPHA = 0.202240E-02 | AMPLITUDE = 0.590647E 03 | S = 0.419535E 01 | MALPHA = 0.230300E-02 | TEMPERATURE = -39 |
| NUMBER = 59 | ALPHA = 0.254178E-02 | AMPLITUDE = 0.588993E 03 | S = 0.312857E 01 | MALPHA = 0.260300E-02 | TEMPERATURE = -38 |
| NUMBER = 60 | ALPHA = 0.227296E-02 | AMPLITUDE = 0.407403E 03 | S = 0.372498E 01 | MALPHA = 0.570300E-02 | TEMPERATURE = -36 |
| NUMBER = 61 | ALPHA = 0.270677E-02 | AMPLITUDE = 0.492653E 03 | S = 0.366624E 01 | MALPHA = 0.370300E-02 | TEMPERATURE = -33 |
| NUMBER = 62 | ALPHA = 0.321180E-02 | AMPLITUDE = 0.582859E 03 | S = 0.342063E 01 | MALPHA = 0.350300E-02 | TEMPERATURE = -29 |
| NUMBER = 63 | ALPHA = 0.395124E-02 | AMPLITUDE = 0.518374E 03 | S = 0.371228E 01 | MALPHA = 0.350300E-02 | TEMPERATURE = -26 |
| NUMBER = 64 | ALPHA = 0.354405E-02 | AMPLITUDE = 0.566300E 03 | S = 0.371228E 01 | MALPHA = 0.440300E-02 | TEMPERATURE = -24 |
| NUMBER = 65 | ALPHA = 0.614891E-02 | AMPLITUDE = 0.406669E 03 | S = 0.373270E 01 | MALPHA = 0.440300E-02 | TEMPERATURE = -21 |
| NUMBER = 66 | ALPHA = 0.641147E-02 | AMPLITUDE = 0.335955E 03 | S = 0.475275E 01 | MALPHA = 0.560300E-02 | TEMPERATURE = -18 |
| NUMBER = 67 | ALPHA = 0.530984E-02 | AMPLITUDE = 0.591403E 03 | S = 0.268315E 01 | MALPHA = 0.560300E-02 | TEMPERATURE = -15 |
| NUMBER = 68 | ALPHA = 0.564791E-02 | AMPLITUDE = 0.362858E 03 | S = 0.373458E 01 | MALPHA = 0.630300E-02 | TEMPERATURE = -13 |
| NUMBER = 69 | ALPHA = 0.619386E-02 | AMPLITUDE = 0.578938E 03 | S = 0.279621E 01 | MALPHA = 0.630300E-02 | TEMPERATURE = -10 |
| NUMBER = 70 | ALPHA = 0.671206E-02 | AMPLITUDE = 0.593971E 03 | S = 0.562625E 01 | MALPHA = 0.880300E-02 | TEMPERATURE = -8 |
| NUMBER = 71 | ALPHA = 0.784529E-02 | AMPLITUDE = 0.548484E 03 | S = 0.290071E 01 | MALPHA = 0.850300E-02 | TEMPERATURE = -8 |
| NUMBER = 72 | ALPHA = 0.794823E-02 | AMPLITUDE = 0.559476E 03 | S = 0.36639E 01 | MALPHA = 0.850300E-02 | TEMPERATURE = -7 |
| NUMBER = 73 | ALPHA = 0.779366E-02 | AMPLITUDE = 0.501858E 03 | S = 0.308018E 01 | MALPHA = 0.100300E-01 | TEMPERATURE = -7 |
| NUMBER = 74 | ALPHA = 0.107904E-01 | AMPLITUDE = 0.355820E 03 | S = 0.387552E 01 | MALPHA = 0.100300E-01 | TEMPERATURE = -1 |



グラフ 2 計算結果 (うなりの小さいもの)
Graph.2 Computed result (having small beat)



グラフ 3 計算結果 (うなりの大きいもの)
Graph. 3 Computed result (having large beat)

(i) の方法で演算した結果をグラフ (グラフ 1) で, (ii) の方法で演算した結果を数表 (表 1, 表 2) とグラフ (グラフ 2, グラフ 3) で示す.

表には, 実験番号 (一試料の実験中の通し番号, NUMBER), 電子計算機による対数減衰率 ((ii) の式中の α , ALPHA), 残差が最少となる振幅 ((ii) 式中の A , AMPLITUDE), 残差の平均値 ((ii) 式中の S, S), 人間が読み取った対数減衰率 (MALPHA), 実験温度 (TEMPERATURE) を示した. また実験番号の頭に残差の大きなもの (S が 3.5 以上) を表わす星印 (* 印) を付した. これは筆者が実験記録から, S が 3.5 以上のものはうなりが大きい, と判断してのものである.

グラフは, 横軸に温度, 縦軸に対数日盛で対数減衰率 (ALPHA) をとり, 電子計算機によるものを * 印, 人間によるものを縦線を中心から周に 1 本引いた丸印 (以下丸印と記す) で表わしている. なお演算値はそれぞれの記号の中心である.

グラフ 1 (試料番号 14) は, うなりのないものの演算結果である. グラフ 1 からわかるように, 丸印と * 印がほとんど重なっている.

グラフ 2, 表 1 (試料番号 23) は, うなりはあるがうなりが小さく, うなりを持った波の数が少ないものの演算結果である. グラフ 2 からこの結果でもグラフ 1 と同様に丸印と * 印がほとんど重なっている. 数表 (表 1) にも * 印が一つもなく, S の範囲も 1.86 から 3.00 と小さい.

グラフ 3, 表 2 (試料番号 20) は, うなりが大きく人間が氷の内部摩擦の解釈に使用しなかったものであるが悪いものの例として試みに演算した結果である. 図 6 に原記録の例を示す. グラフ 3 からわかるように丸印と * 印の差が大きくばらついている. 表 2 の * 印も 33 個 (72 個中) と多く S の範囲も 2.15 から 4.75 と大きくなっている.

うなりの分布には, 試料番号 23, 試料番号 20 とともに規則性はないがこれらについては温度の低い方に比較的うなりが多いことが認められた.

表 1 の実験番号 44 で, MALPHA が 0 となっているがこれは人間の読み取り値がなかったもので減衰率がゼロということではない.

表 2 で実験番号のぬけているものがあるが, これは筆者が読み取り不可能と判断した記録である. この記録は人間も読み取りには使用していない.

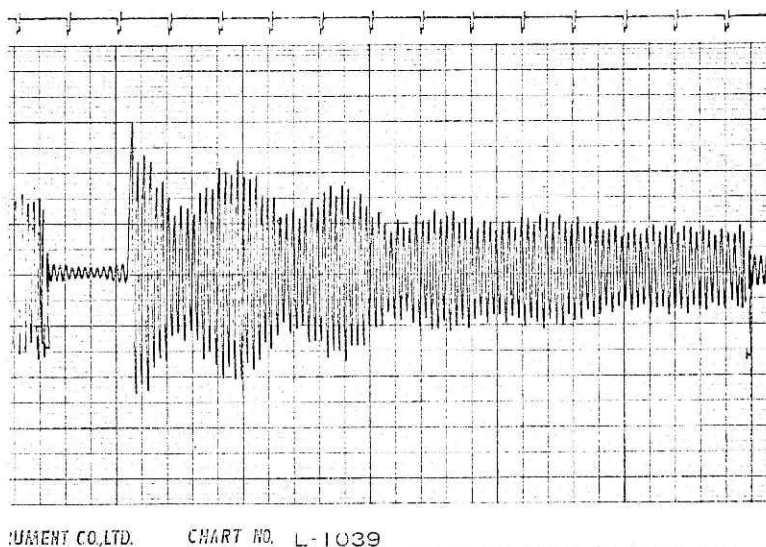
ハ 剛性率の決定

剛性率 (G) は, 波の周期 (T) により以下の式により求められる.

$$G = 4\pi^2 I / T^2 / Q (\text{dyne} \cdot \text{cm}^{-2})$$

この時の Q は試料の形状因子, I は慣性能率で, Q は実験に使用した試料の形により, I は実験に使用したおもりの種類により決定できる定数である. そこで周期 (T) を実験記録から決定すれば剛性率 (G) を求めることができる.

周期は, 振幅をグラフペンで入力する際に同時に記録上の時計パルスの M 秒間の位置



UMENT CO.,LTD. CHART NO. L-1039

図 6 原記録 (うなりの大きいもの)
Fig. 6 Source datum (having large beat)

(T_O , T_M) を入力し, それから N 番目の振幅 AN までに要した時間を求めることにより決定した.

$$T = (AN(X) - AO(X)) / (TM - TO) / (M \cdot N)$$

この時の M は 5 秒, N は入力振幅数を用いるのが適当である.

周期の読み取りに関しては, 人間によるものと大差なかった. これは実験波に他の波による周波数変動の影響が少なかったこと, 読み取り法が人間によるものとほとんど同じ (使用した振幅の位置が少し違う) であったことなどによると思われる. 今回の読み取りに使用した記録の時計パルスの 1 秒間の長さは, 試料番号 14, 試料番号 20 では 1 cm, 試料番号 23 では 5 mm である. つまりグラフペンの読み取り精度が 0.1 mm ということから, 試料番号 14, 試料番号 20 では 0.01 秒の読み取り精度, 試料番号 23 では 0.02 秒の読み取り精度ということになる.

演算結果は, 試料番号 14 の周期が 0.238 秒から 0.254 秒, 試料番号 23 の周期が 0.278 秒から 0.300 秒, 試料番号 20 の周期が 0.118 秒から 0.125 秒で, いずれも温度上昇とともに周期が長くなっている.

2.3 処理時間

一個の試料の通常での内部摩擦測定記録 (約 80 波形) を処理するのに必要な時間は約 2 時間である. この時間の大部分は人間がグラフペンを用いて波形をデジタル化するために要する時間であり, 演算時間は 1 分程度である. しかしこの時間も流動的で, たとえばうなりの少ない波形の読み取りの場合は, グラフペンによる入力振動数を少なくしても十分な

精度で演算できるので、かなりの時間短縮ができる。

2.4 考 察

うなりのないもの（試料番号 14）、うなりの小さいもの（試料番号 23）については、電子計算機を用いて演算した結果と人間の読み取り値に基づいて演算した結果との間には大差がなかったので、十分に内部摩擦測定の実験結果の波形の解析に利用できる。

しかし試料番号 20 の記録程度のうなりがあるものは、電子計算機による演算値と人間による演算値にかなりの差があり、最小二乗法による残差（表の S ）も大きい。人間による演算値が完璧なものとは思われないが、二つの方法による解答に大きな開きがあるのでは、それぞれの答の信頼性は薄い。

そこで筆者は、表中の * 印のものは、今回の演算法（最小二乗法）では人間と同様に、実験記録として不適当であると判断して捨てざるを得ないと考える。よって試料番号 20 のような実験記録（人間が解釈に使用しなかったもの）の電算化は不可能、試料番号 14、試料番号 23 のような記録の電算化は可能ということになる。ちなみに 43 回の実験中試料番号 20 程度のものは 2 回であった。

なおうなりが大きい場合に人間が試みに行なった読み取り法（グラフ 3 の丸印）は、図 5 の PO と PN を用いて減衰率を求める方式である。すなわち実験波と合成波の振幅が同じと仮定してうなりのピークとピークの振幅を用いる方法である。すなわち、次の式を用いることと同じである。

$$\alpha = (\ln PO - \ln PN) / N$$

またうなりの小さなものでも人間の読み取り値と多少の差があるものがみられる（グラフ 2 の -60°C 付近）。これはうなりの不均一性によるものが第一であるが、筆者が行なった演算法に原因があるものもある。それは図 5 の WB が均一に減衰しているときに、筆者の方法では求める減衰曲線が WB の中央を通る線（ WA ）になるため、人間が読み取ったものより減衰率が小さくなる。しかしこのようなことがおこるのはごくわずかであり、グラフペンによる手入力の影響（ $\pm 0.1 \text{ mm}$ 程度の振幅の誤入力）を考えれば無視できる。グラフペンの手入力の影響による減衰率の変化は、減衰率が 10^{-3} 程度の所で 3.9×10^{-4} 程度である。

以上に述べた結果として、筆者は表中の * 印の記録を除けば粘弾性実験の記録の処理を電子計算機を使って半自動的にこなせると考える。

3. 将来の構想

現在の粘弾性実験の記録はペンレコーダに記録されている。記録紙上のデータの電子計算機による読み取りは筆者が今回行なった程度のことしかできない。つまりうなりの大きなものは不適当な記録という判定しかできないのである。しかしこのうなりの大きな記録も捨て

られないような場合も存在するであろう。そこでこのような場合に次のような処理することもできる。

実験の記録を記録紙ではなく、電気的なアナログ値としてデータレコーダに記録し、電子計算機のアナログデジタル変換器によりデジタル化する。そしてそのデジタルデータを用いて数値計算を行ないうりの処理をする。またこの方法によれば、グラフペンによる読み取り法の欠点（ペン指示の際の誤差、記録の斜め装着による誤差、ペン指示による人間の労力）をなくすことができる。

そこで将来計画として、図7のような機器構成による内部摩擦測定用のデータレコーダを用いての処理法の一つを計画している。

実験装置からペンレコーダへの信号を途中から分岐させ、その信号を最大 $\pm 1V$ 程度に増幅してデータレコーダに記録する（ちなみに、実験装置からの出力電圧は $\pm 100\text{ mV}$ である）。またこの時に波の周波数を求めるためにクリスタル時計の出力パルスも同時に記録する。モニターとしてペンレコーダにも記録を描かせる。次に電子計算機の AD（アナログ→デジタル）変換器によりデジタル化し一連の波形値（実験波とノイズ波の混合しているもの）として磁気テープに格納する。そしてその磁気テープに格納された波から実験波を抽出し、その実験波に対する減衰率、周期を計算して求める。

筆者は二、三の方法により、実験波の抽出、時計パルスの抽出、うなりの処理を試みている。

4. おわりに

現在、粘弾性実験の記録のように波形をペンレコーダ等を使用して記録紙に描かせたものの電算化（たとえばドラム式の地震記録計の地震波の P 波到達時間の読み取り、傾斜計の記録の読み取り、強震記録の読み取りなど）の要求が増加してきている。これらの記録の電算化には、データレコーダを用いて電気的に記録したものが最適であるが、高価なため簡単には利用されていない。

そこで筆者は、記録紙上の波形の電算化の方法を開発することにし、その第 1 歩として以前に強震記録の自動読取法を報告した（諸星, 1976）。これは高精度を要求される波形のデジタル化で、図形読取装置を使用して一記録に約 30 分かけて処理する読み取り法である。しかし、この方法は今回の雪氷の内部摩擦の記録の読み取り、すなわち記録の解析に必要な部分（内部摩擦測定実験記録では振幅）だけを短時間で多くの記録の処理をすることを目的

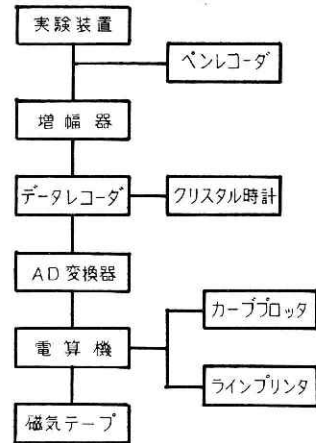


図 7 使用機器構成 (計画)
Fig. 7 Configuration of system used (future)

とする読み取りには向かない。

そこで筆者は座標変換読取装置（グラフペン）を使った読み取りの省力化を第一とする方法を開発し、その方法による結果が雪氷の内部摩擦の解析に十分使用できるものになったので第1報として報告した。

今回の方法にはまだ改良しなければならない点（人間のペン指示の際の省力化，グラフペンのオンライン化によるシステム開発，うなりの処理法など）が多数残されている。筆者はこの点を改良し次回報告する考えである。

5. 謝 辞

氷の内部摩擦測定結果の非公開資料の公表を許可された当センター新庄支所雪害防災研究室長の中村勉氏に感謝の意を表わします。また同資料の電算化について御指導，御協力をいただいた当センター鹿野忠雄前支所長（現管理部長），実験的手法で求められた雪氷の内部摩擦測定結果の細部について，いろいろ御教示下さった同研究室の阿部修氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 大村一夫 (1971): 図形読取装置の試作および応用例. 国立防災科学技術センター研究報告, 7, 23-34.
- 2) 竹 下 鞏 (1970. 2): 振れ振子法による高分子の粘弾性測定試験機の原理と測定法について. 合成樹脂 VOL. 16.
- 3) Nakamura, T. and O. Abe (1978): Internal friction of snow and ice at low frequency. Proceedings of the Sixth International Conference on Internal Friction and Ultrasonic Attenuation in Solids.
- 4) 諸星敏一 (1976): 電子計算機による強震記録の読み取り (第2報). 国立防災科学技術センター研究報告, 16, 29-45.

(1977年12月26日原稿受理)