No.

室牧ダム実測解析報告書

（昭和39年度分）

研究部　ダム
整理番号　10.※
登記年月日　40.3.26

土木資料
6

建設省土木研究所
ダム構造研究室

本報告は昭和35年度以来富山県よりの依頼に依り行って来た室牧ダムの実測解析に対し昭和39年度に行った解析結果についての報告書である。

§1 38年度迄の解析結果

昭和38年度迄に於いてはアラインメントに依る天端クラウンに於ける半径方向撓みを昭和36年3月30日より昭和37年8月22日迄の資料にもとづいて重回帰分析に依り解析を行った。その結果半径方向撓みは

$$\delta = -12.76 - 0.5706(t_0 - 5.23) - 3.145(\alpha_2 + 0.518) + 0.00115(h-185)^2 + 6.037\log(1+\theta) - 9.980\log\left(\frac{1+\theta}{401}\right) \quad \cdots\cdots (1)$$

にて表わされることが明らかになった。

§2 撓みに対する重回帰分析

昭和39年度は更に昭和39年11月11日迄の資料を追加して前回と同様な重回帰分析を行った所

$$\delta = -25.76 - 1.0286(t_1 - 5.417) + 1.0161(t_2 - 4.705) - 0.8135(t_3 - 5.230) - 2.1006(\alpha_2 + 0.518) - 1.4853(\alpha_3 + 0.922) + 0.001345(h-185)^2 + 11.1712\log(1+\theta) - 11.2517\log\left(\frac{1+\theta}{201}\right) \quad \cdots\cdots (2)$$

なる結果を得た。

この結果を図示すれば図-1の如くである。

(1)式と(2)式とを比較するに式の形は少し異るが、図-1から明らかなようにダムの動きには全く変化が認められない。この様に式の形が異るのは(2)式の解析では温度の因子をふやして解析したいためと考えられる。いづれにせよダムの動きは37年8月以降も変化はなく極めて安定した状態にあると言い得る。

さてここで撓みの解析で用いた方程式

$$\delta = C + \Sigma a_i t_i + \Sigma b_i \alpha_i + d h^2 + \Sigma g_i \log\frac{1+\theta}{1+g_i}$$

についてもう一度考察を加えてみる。この方程式ではダムの撓みは各標高のアーチの平均温度(t_i)、温度勾配(α_i)の一次の函数で表わされ、水位(h)については二次函数で、時間(θ)については$\log(1+\theta)$の形で表わされると仮定している。このうち平均温度、温度勾配についてはその影響が一次の形で現れることは理論的な考察からも明らかである。(荷重分割法でもこれらの因子は一次の形で取扱っている。)

しかし水位に依る撓みが水位の何次式で表わされるかは理論的には定め難く，二次式を仮定した(2)式が妥当なものであるか否かについては問題があると考えられた。

そこで水位に依る撓みが h の形で表わされると仮定した場合と h^4 で表わされると仮定した場合について計算してみた。その結果 h の場合には

$$\delta = -28.40 - 1.0305(t_1 - 5.417) + 0.9700(t_2 - 4.705) - 0.8022(t_3 - 5.230) - 1.9626(\alpha_2 + 0.518) - 1.5836(\alpha_3 + 0.922) + 0.00001598(h - 185)^3 + 12.926 \log(1+\theta) - 13.1207 \log \frac{1+\theta}{201} \quad \cdots\cdots (3)$$

h^4 の場合には

$$\delta = -30.88 - 1.0303(t_1 - 5.417) + 0.9670(t_2 - 4.705) - 0.8075(t_3 - 5.230) - 1.8854(\alpha_2 + 0.518) - 1.5904(\alpha_3 + 0.922) + 0.000000195(h - 185)^4 + 14.354 \log(1+\theta) - 14.544 \log \frac{1+\theta}{201} \quad \cdots\cdots (4)$$

なる結果が得られた。

これらの結果を比較する為に温度に依る撓み ($\delta_T = \Sigma a_i t_i + \Sigma b_i \alpha_i$) とクリープに依る撓み ($\delta_\theta = \Sigma k_i \log \frac{1+\theta}{1+g_i}$) と残差 ($e$) とについて (2)～(4)式の結果をプロットしたものを示せば図－2の如くである。又水位に依る撓みと水位との間を(2)～(4)式について比較したものは図－3に示されている。

これらの図を観察するに，温度に依る撓みと残差は(2)～(4)式では極めて良く一致するが，水位に依る撓みと，クリープに依る撓みは各々或程度の相違がある。

これを更に詳細に観察するとクリープに依る撓みは湛水後3ヶ月以降では(2)，(3)，(4)式の相互の差は変化しておらず一定値を示している。又この解析に用いたデータは水位が標高 235m から 250m 近の間が大部分を占めており，その間では δ_H－H 曲線はほぼ各解とも平行している。

これを言いかえれば水位に依る撓みは標高 235m 依り標高 250m の間では水位変動に対する撓みの変化はほぼ一致しているが，その値はかなりの差がある。

以上の考察から

(i) 重回帰分析に依り得られた温度による撓みは一応正しいものと考えられる。

(ii) 水位による撓みは標高 235m より標高 250m 近の間の水位では水位変動に依る撓みの変化は一応正しいと考えられるがその値については信頼性がない。

クリープに依る撓みが各解とも値が異ることから考えて水位に依る撓みとクリープによる撓みとの分離が充分でないと考えられる。これはクリープに依る撓みは主として湛水初期に生じ水位が低い時も湛水初期にしかなく、しかもこの時期のデーターは数が少い。このため水位による撓みに対する函数形が妥当なものでないときには両者の分離が不確実になったものと思われる。

(iii) 残差は各解共極めて良く一致している。これは残差は解析上の問題から出たのではなく、撓み測定か温度測定での誤差に依るものと考えられる。との結論に達した。

たまたまアーチダムの荷重分割法に対するプログラムが完成したので、各水位について計算を行い、計算結果と実測値とを比較することに依り水位に依る撓みの函数形について検討することにした。

§3 計算値との比較

実測値と対比する計算を行うに当っては水位が種々な値をとった時撓みがどの様な値をとるかと温度変化に依り撓みがどの様に変化するかを検討する必要がある。

この計算は完全調整計算により行い、温度勾配も加味して行った。

先ずダムの温度変化の影響について考察してみる。

温度計の埋設されている各標高で平均温度と温度勾配を求めこれらの値を各年について重ねてプロットしてみると図-4(a)……(j)の如くである。これらの図から明らかなように平均温度及び標高235m以下の温度勾配は極めて規則的な周期的な変動をして各年の間の差は極めて小さい。しかし標高235m以上では水位の昇降の影響をうけてかなり不規則な変動をしている。その為標高235m以上の温度勾配は0とみなし、標高235m以下の温度勾配と各標高の平均温度を正弦曲線的に変化すると仮定した。図-4より求めた正弦曲線の振巾と位相のづれは表-1に示される。

さて或る標高の平均温度、温度勾配が

$$t_i = A_i \sin \frac{2\pi}{\omega}(\theta - \lambda_i)$$

$$\alpha_i = B_i \sin \frac{2\pi}{\omega}(\theta - \mu_i)$$

($\omega = 365$日とする。) と表わされたとする、すると

$$t_i = (A_i \cos \tfrac{2\pi}{\omega}\lambda_i) \sin \tfrac{2\pi}{\omega}\theta - (A_i \sin \tfrac{2\pi}{\omega}\lambda_i) \cos \tfrac{2\pi}{\omega}\theta$$

表－1

標　高	186m	200	215	230	245
平均温度の振巾(A_i)	4°C	4	5	7	10
温度勾配の振巾 (B_i)	1.5 °C/m	1.0	1.5	0.96	—
平均温度の位相差(λ_i)	169 日	181	172	171	151
温度勾配の位相差(μ_i)	132 日	122	124	106	—
$A_i \cos\frac{2\pi}{\omega}\lambda_i$	-3.892	-3.999	-4.918	-6.863	-8.566
$B_i \cos\frac{2\pi}{\omega}\mu_i$	-0.968	-0.505	-0.802	-0.241	—
$-A_i \sin\frac{2\pi}{\omega}\lambda_i$	-0.921	-0.104	-0.898	-1.378	-5.160
$-B_i \sin\frac{2\pi}{\omega}\mu_i$	-1.146	-0.863	-1.268	-0.929	—

$$\alpha_i = \left(B_i \cos\frac{2\pi}{\omega}\mu_i\right)\sin\frac{2\pi}{\omega}\theta - \left(B_i \sin\frac{2\pi}{\omega}\mu_i\right)\cos\frac{2\pi}{\omega}\theta$$

と変形されるから $A_i \cos\frac{2\pi}{\omega}\lambda_i$, $B_i \cos\frac{2\pi}{\omega}\mu_i$ を夫々平均温度，温度勾配とした時の撓みを δ_s, $-A_i \sin\frac{2\pi}{\omega}\lambda_i$, $-B_i \sin\frac{2\pi}{\omega}\mu_i$ を夫々平均温度，温度勾配とした時の撓みを δ_c とすれば温度変化に依る撓みは

$$\delta_T = \delta_s \sin\frac{2\pi}{\omega}\theta + \delta_c \cos\frac{2\pi}{\omega}\theta$$

なる形で変動すると考えることが出来る。この様な考え方で完全調整計算に依り δ_s, δ_c を求めると

$$\delta_s = -6.5 \qquad \delta_c = -5.8$$

従って

$$\delta_T = -8.7 \sin\frac{2\pi}{365}\left(\theta - \frac{49}{\cancel{42.3}}\right) \quad \cdots\cdots (5)$$

となる。一方実測値では温度変化による撓みは

$$\delta_T = -10.0 \sin\frac{2\pi}{365}(\theta - 46) + 5.0 \quad \cdots\cdots (6)$$

となっている。

次に水位による撓みについて述べると，水位が EL 261m, EL 245m, EL 230m の時について計算を行った。その結果は図－5及び図－3に示されている。

図－3から明らかな様に水位に依る撓みはデーターの比較的多い標高 235～250m の間では β^2, β^3, β^4 に依り解析した水位に依る撓みのいづれともその値は異るが $\beta - \delta_H$ 曲線は平行で水位変動に依る撓みの変動はほゞ一致する様である。しかしこの範囲外ではその値も変化状態も全く異っている。

以上考察から

(1) 温度に依る撓みは位相のづれに関しては計算値と実測

値とは比較的良く一致しているが、振巾については計算値の方が1割位小さい値を示している。これは計算では標高235m以上の温度勾配を無視した為とも考えられるが、この点に関しては計算法の特徴を検討すると共に他のダムでの計算値、実測値、実験値との対比の資料を積重ねなければはっきりした結論は出し得ないと考えられる。

(ii) 水位に依る撓みは水位が標高235m～250mの間では計算値と P^2, P^3, P^4 に依り解析した結果とはいづれも値は異るが、水位変動に依る撓みの変動はほぼ一致している。従って水位がこの範囲にあるときはいづれの解((2)式～(4)式)を用いてもダムの挙動を推定することは出来るが、水位がこの範囲外になった時(2)～(4)式は異った挙動を示す恐れがある。

水位による撓みが水位Hのどの様な函数形で示すのが良いか、又それを判定するにはどの様にしたら良いかについては今後検討し後日報告したいと考えている。

§4 安全管理

ダムの撓みはダムの全体の挙動を最もはっきりと示すものである。しかもこの測定は比較的容易なものである。従って撓みの測定に依りダムの安全管理が行い得るならば極めて便利であると考えられる。

前述した様に(2)～(4)式は温度による撓みは比較的正確であると考えられるが水位に依る撓みとクリープに依る撓みとでは分離が不充分であり、水位に依る撓みも信頼性のあるのは水位が標高235m～250mの範囲内にある時である。

従って(2)～(4)式に依り総ての水位の時について安全管理を行うことは無理である。しかし水位が上記の範囲内にあるときは(2)～(4)式に依り安全管理を行うことは許されると考えられる。水位が標高235～250mの間にあるときは(2)～(4)式のいづれを用いてもその信頼性は変りないと考えられるので計算が最も簡単な(2)式にもとづいて考察してみる。

先ず温度に依る撓みは各標高での平均温度と温度勾配を計算しなければ計算し得ない。これはダムを管理する上では極めて複雑なので各年の温度変化に依る撓みを重ねてプロットした所、各年の撓みの差は高々2mm程度、かなり良く一致している。(図-6)従って温度変化に依る撓みはその年の気象状態の差に依り1～2mmの差はあるが、月日に応じて

かなりの精度で推定出来る。又水位に依る撓みは水位が標高 235m～250m の間では

$$\delta_H = 0.001345(h-185)^2 \quad \cdots\cdots (7)$$

又は図－3依り求めることが出来る。

クリープに依る撓み δ_0 は37年以降は－25.66mm でほぼ一定している。

これから(2)式は月日と水位がわかれば

$\Sigma a_i t_i + \Sigma b_i d_i$ は図－6依り

$d(h-185)^2$ は(7)式又は図－3依り

$\Sigma f_i \log \frac{1+\theta}{1+g_i}$ は －25.66

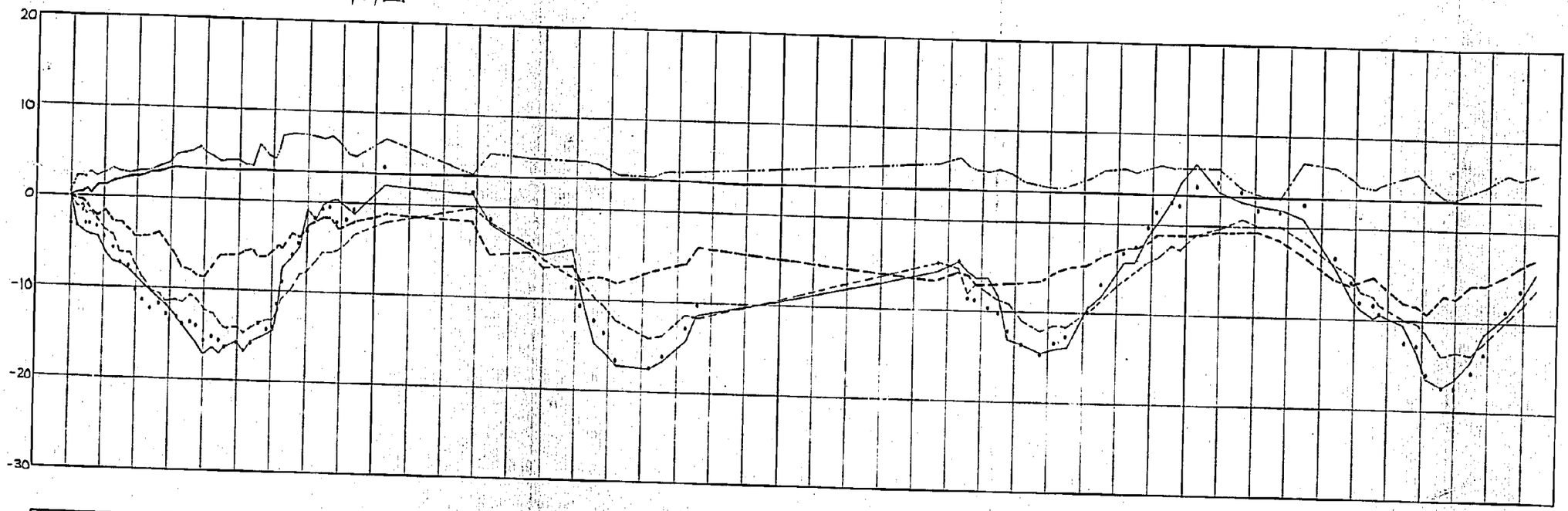
とすることに依り容易に求められる。

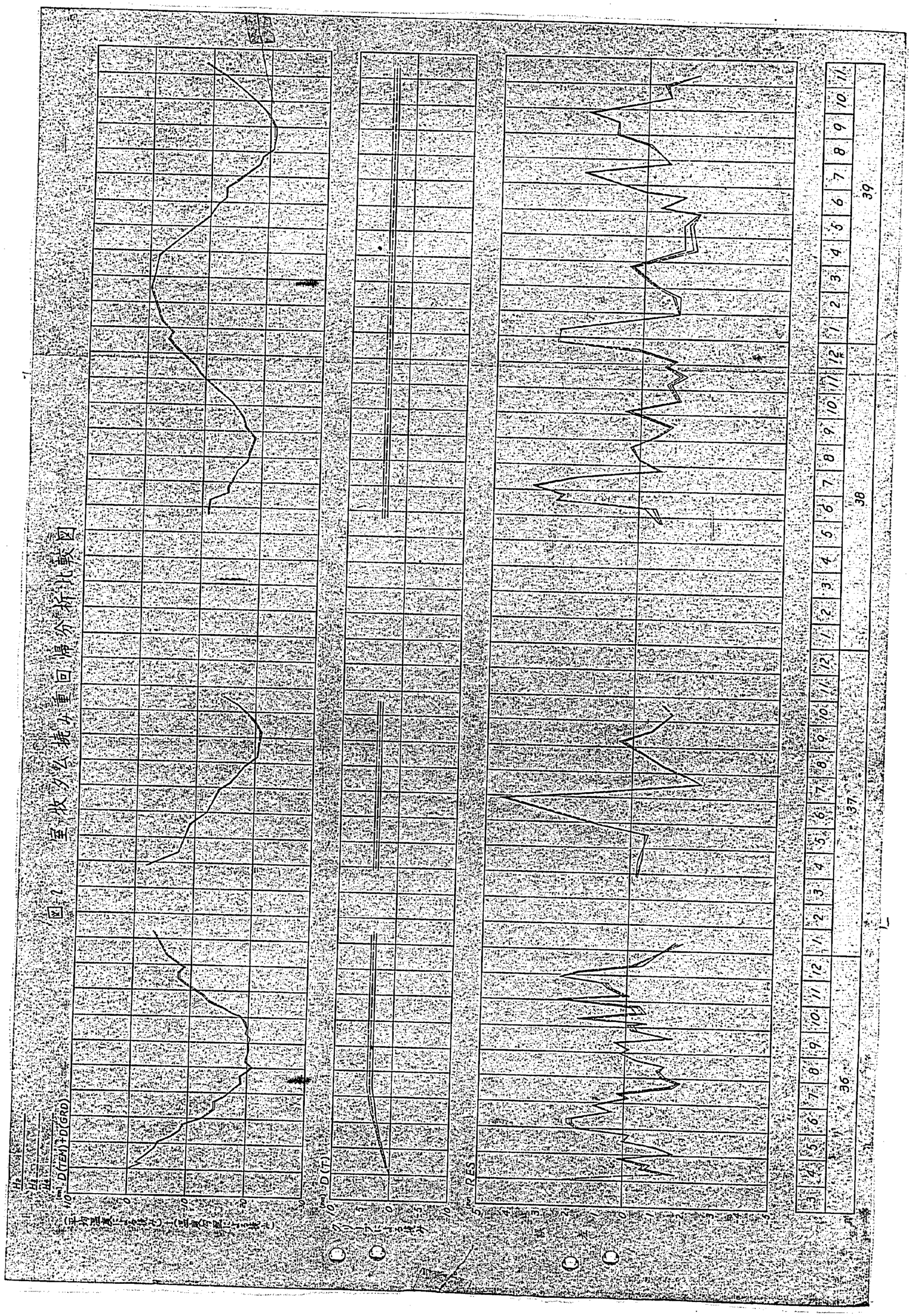
この様にして求めた撓みと実測値との差が時間を追って一方的に増加する時はダムに異常がある時と判断すべきであろう。この差の限界値を統計学な観点から示すと表－2の通りである。

表－2

測定回数	5	10	15	20
許容差	4.40	5.34	5.90	6.65

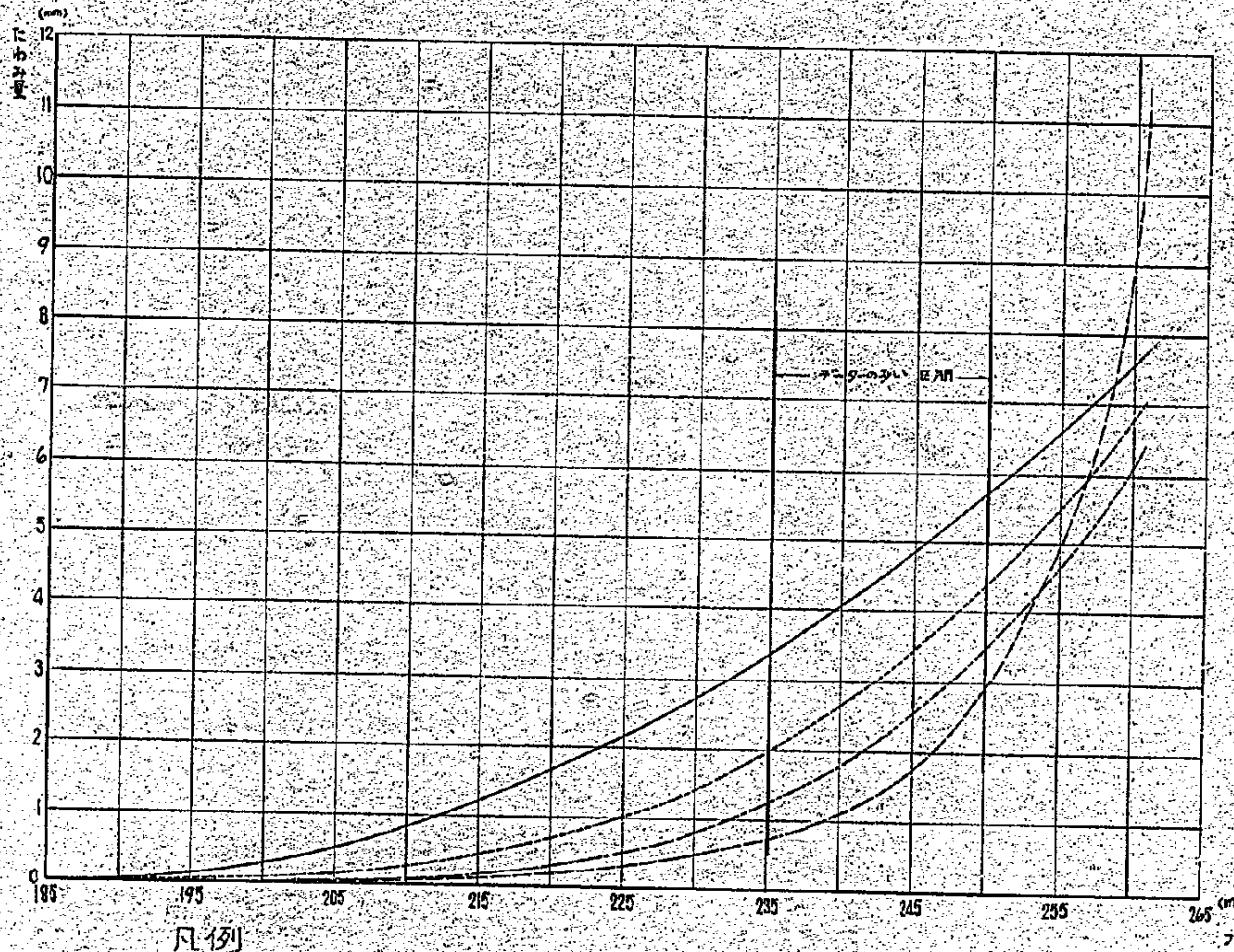
図. 1 室牧ダムのたわみの実測解析図




Hz
Hz
D(TEM)+D(GRD)
(mV)
D(T)
(mV)
RES
(Ωm)
(平均高度にとった値)
(高度補正にとった値)
(生の値)
39
38
37
36

第1図　空波分析比較図

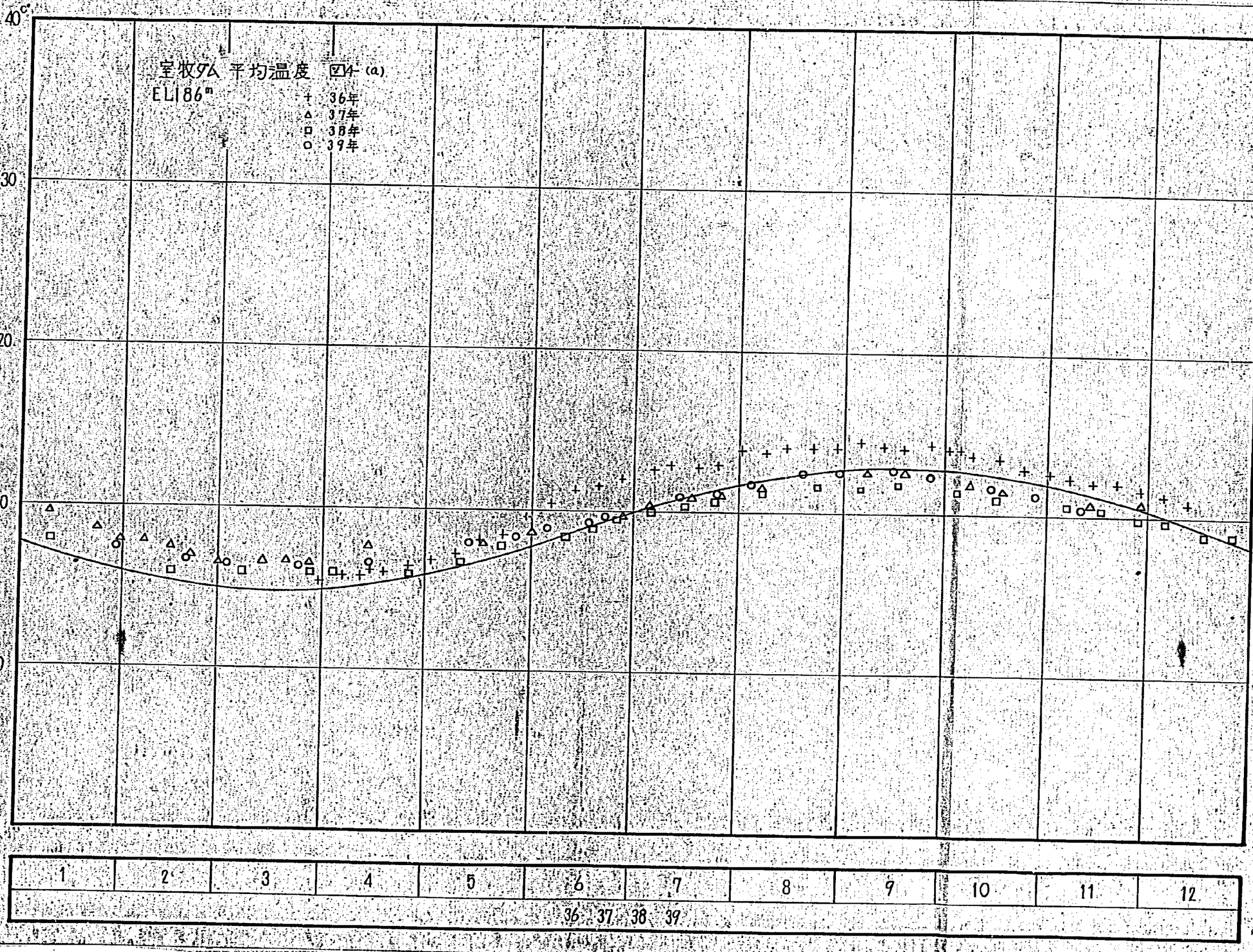
図-3　室牧ダム水位とわみ曲線図

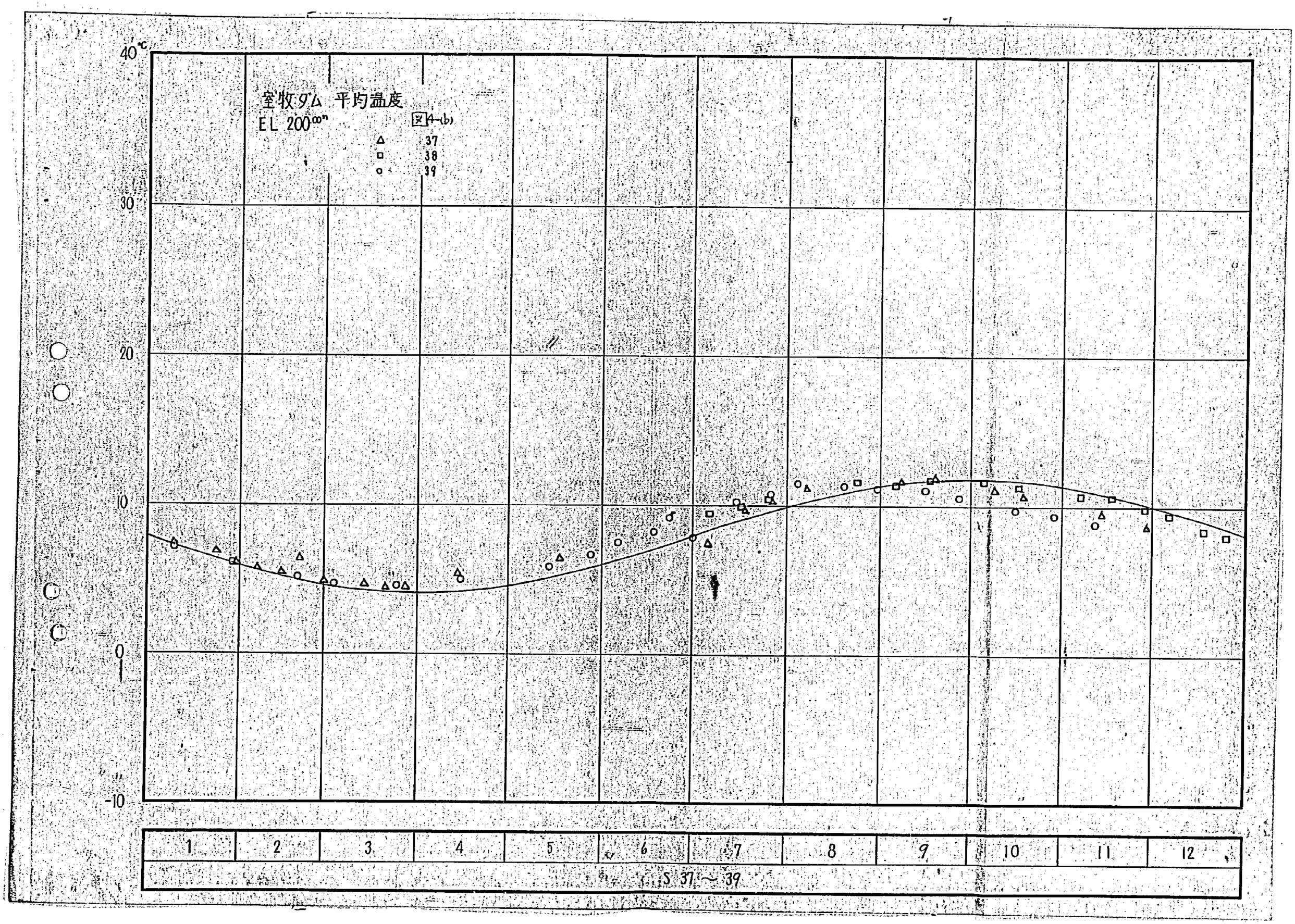


室牧ダム 平均温度 図4-(a)

EL 186m

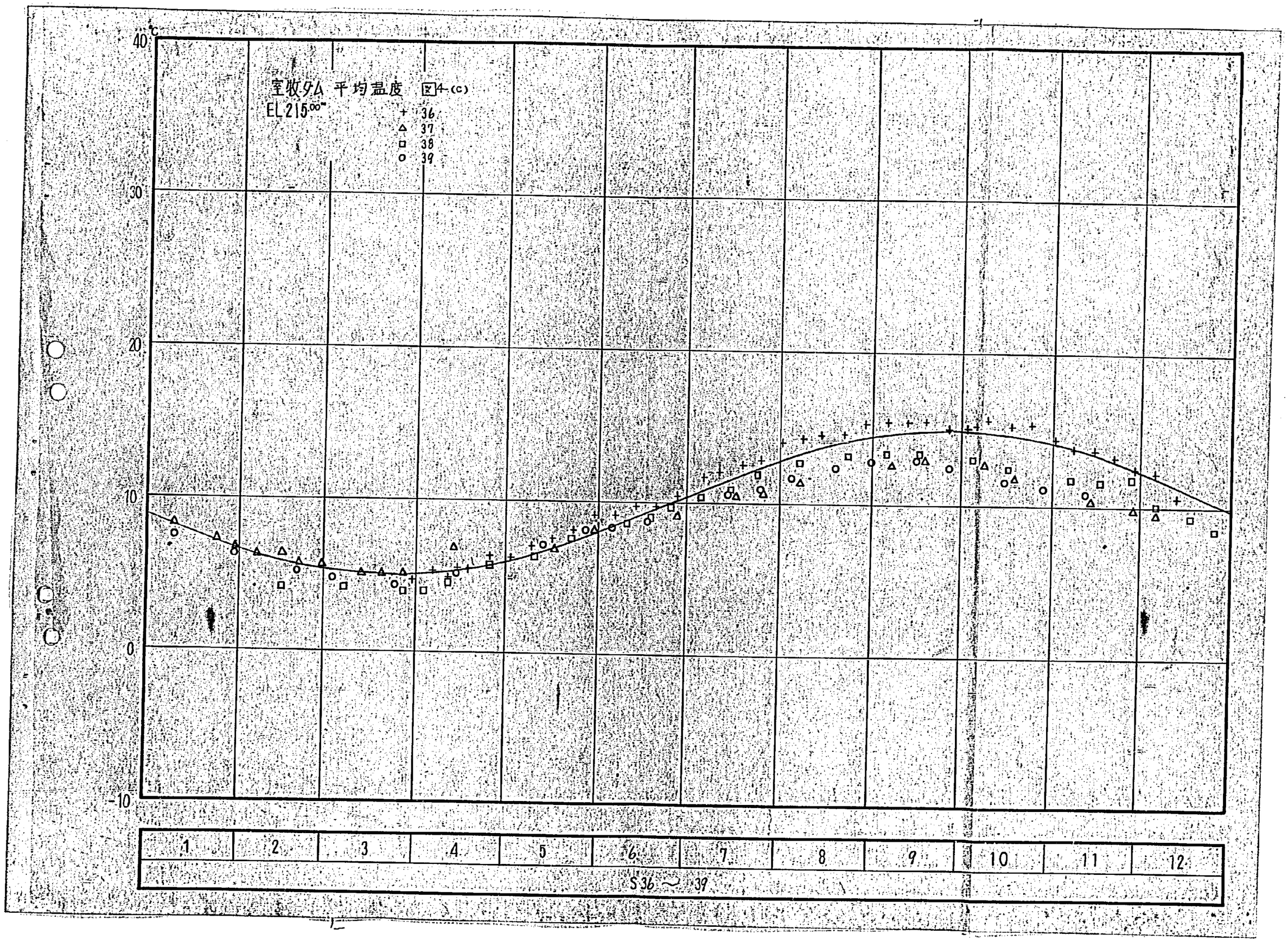
+ 36年
△ 37年
□ 38年
○ 39年




室牧ダム 平均温度
EL 200m
図4-(b)
△ 37
□ 38
○ 39
40℃
30
20
10
0
-10
℃
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
S 37 ～ 39

室牧ダム 平均温度 図4-(c)
EL 215.00m

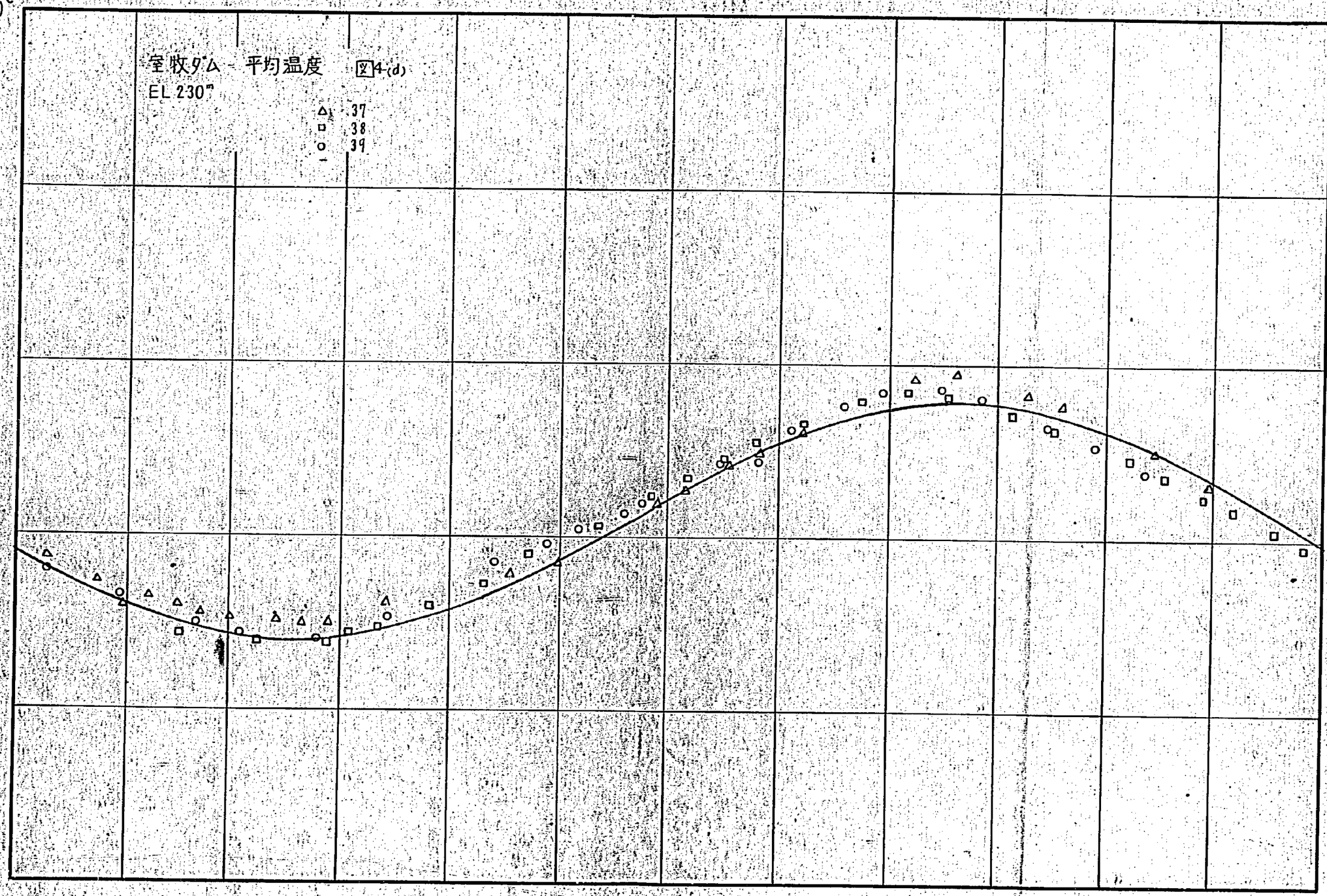
+ 36
△ 37
□ 38
○ 39



室牧ダム - 平均温度　図4-(d)

EL 230m

△ 37
□ 38
○ 39

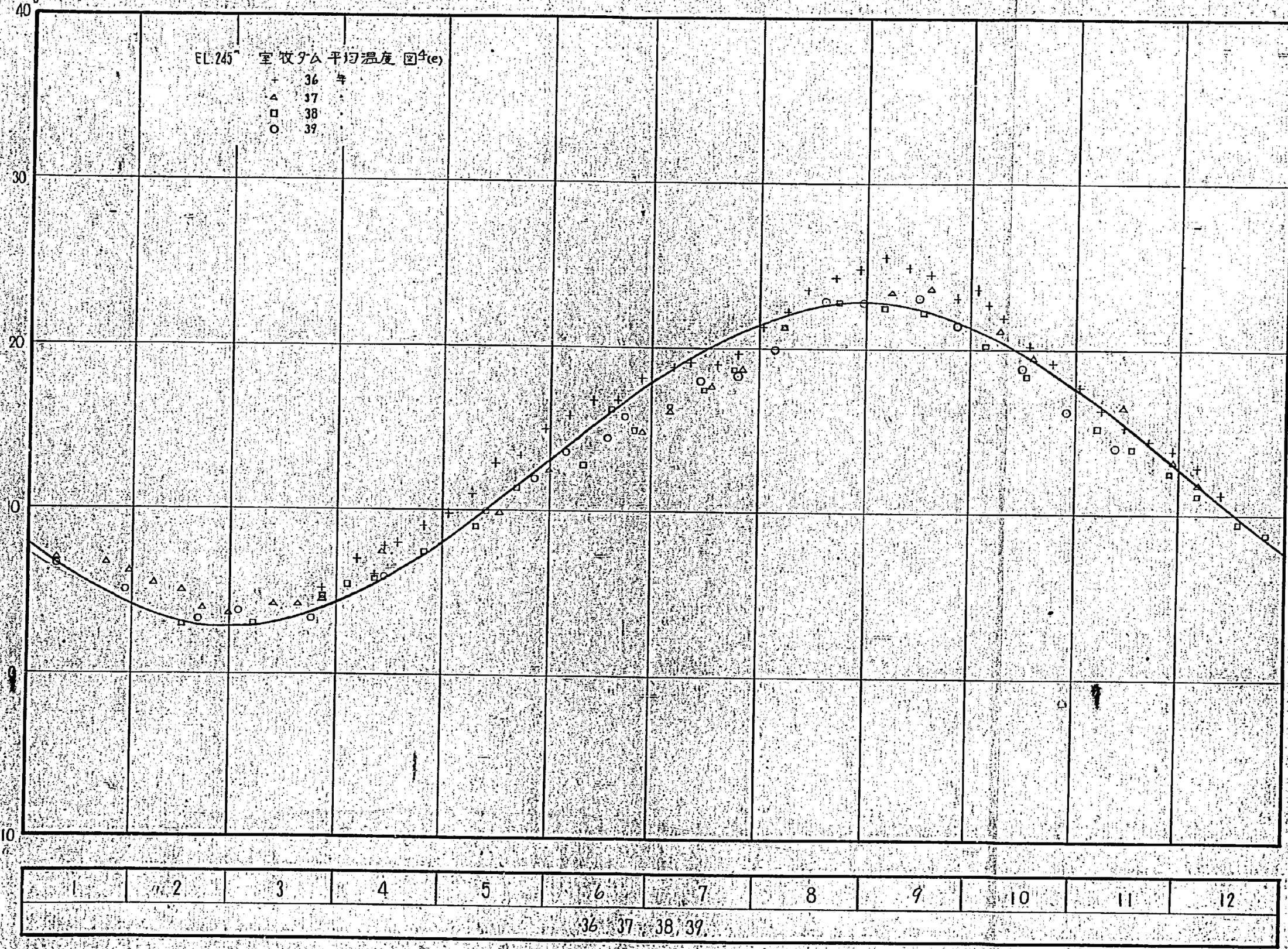


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

S 37 ～ 39

EL.245' 室牧ダム 平均温度 図-4(e)

+ 36 年
△ 37 〃
□ 38 〃
○ 39 〃



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36, 37, 38, 39.											

室牧9A 温度勾配 図ト(f)

EL186m

× 36年
▲ 37
■ 38
● 39

3 C/m
2
1
0
-1
-2

C
C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S. 36 ~ 39											

室牧ダム　温度勾配図(9)

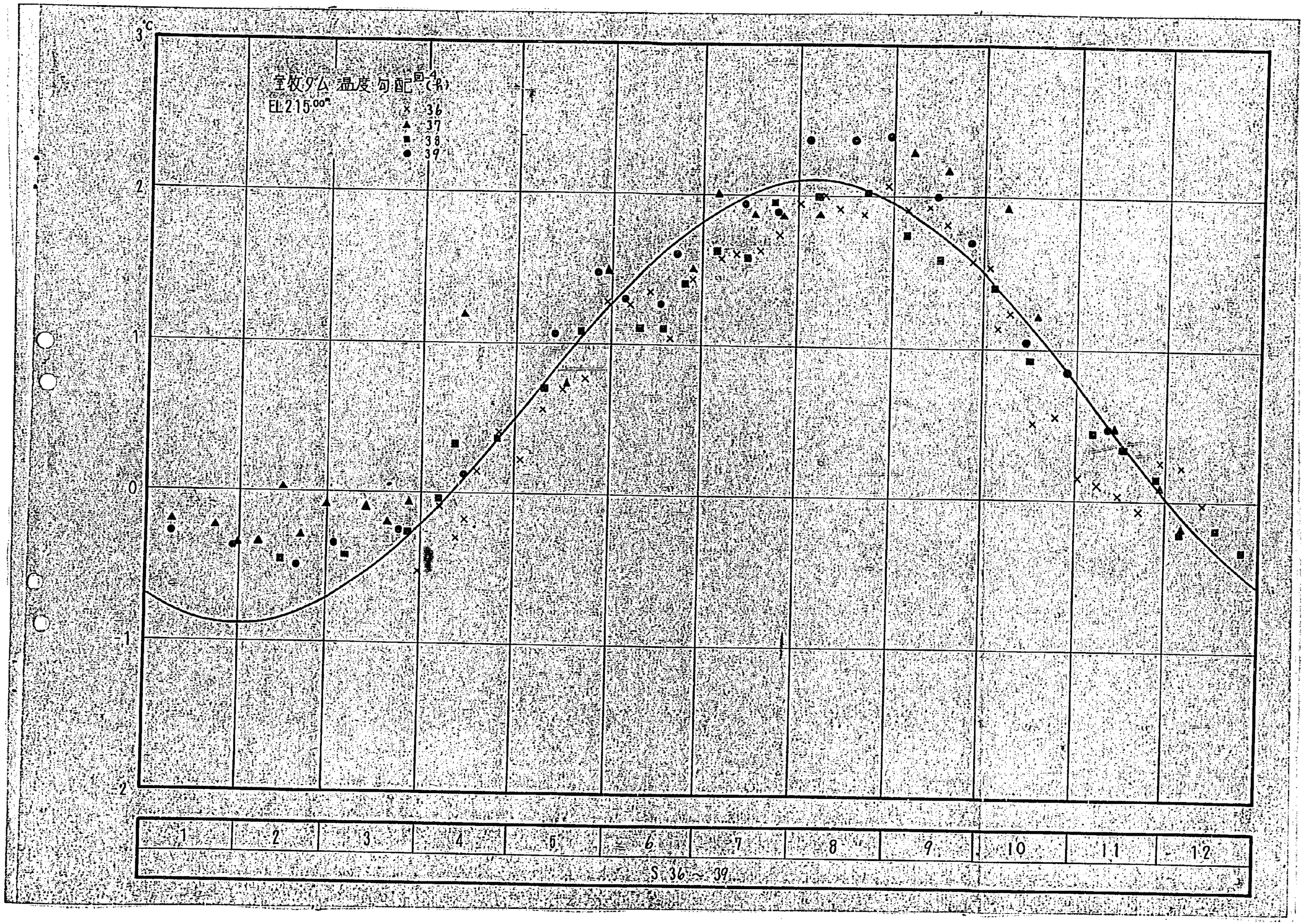
EL 200m

▲ 37
■ 38
● 39

℃/m

3
2
1
0
-1
-2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S 37 ～ 39											


室牧ダム 温度勾配 (℃/m)
EL 215.00m
× 36
▲ 37
■ 38
● 39
3
2
1
0
-1
-2
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
S 36 ~ 39

室牧ダム 温度勾配 図-(1)

EL 230.00m

▲ 37
■ 38
● 39

40°C
30
20
10
0
-10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S 37 ~ 39											

室牧ダム 温度勾配 図-4(1)

EL 240m

× 36
▲ 37
■ 38
● 39

°C/m

3
2
1
0
-1
-2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S 36 ~ 39											

図-5　室牧ダム標高たわみ曲線図

凡例

——— H_0=45, H_1=0

- - - - - H_0=60, H_1=0

——— H_0=76, H_1=0

——— H_0=76, H_1=42

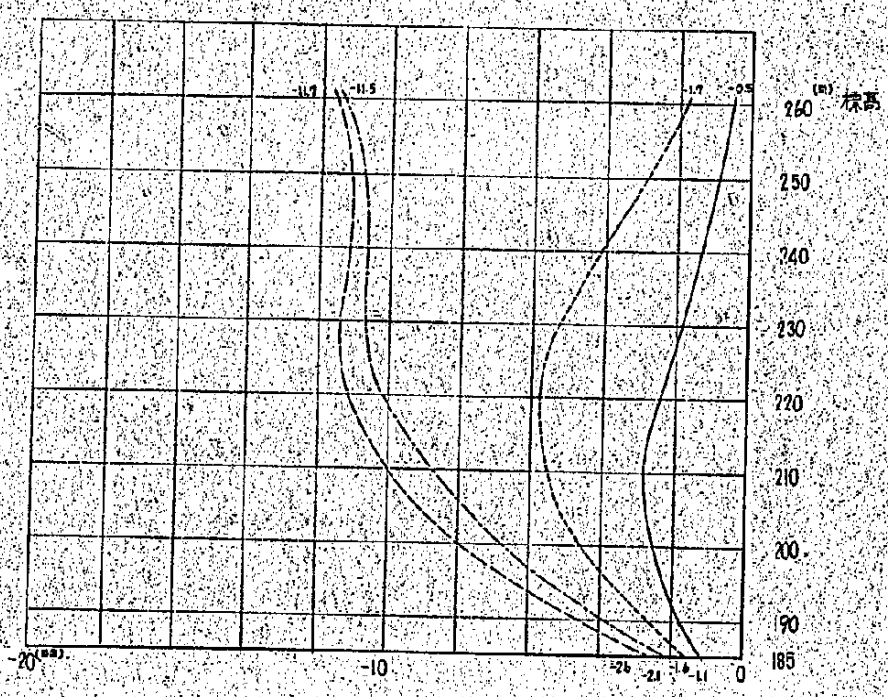
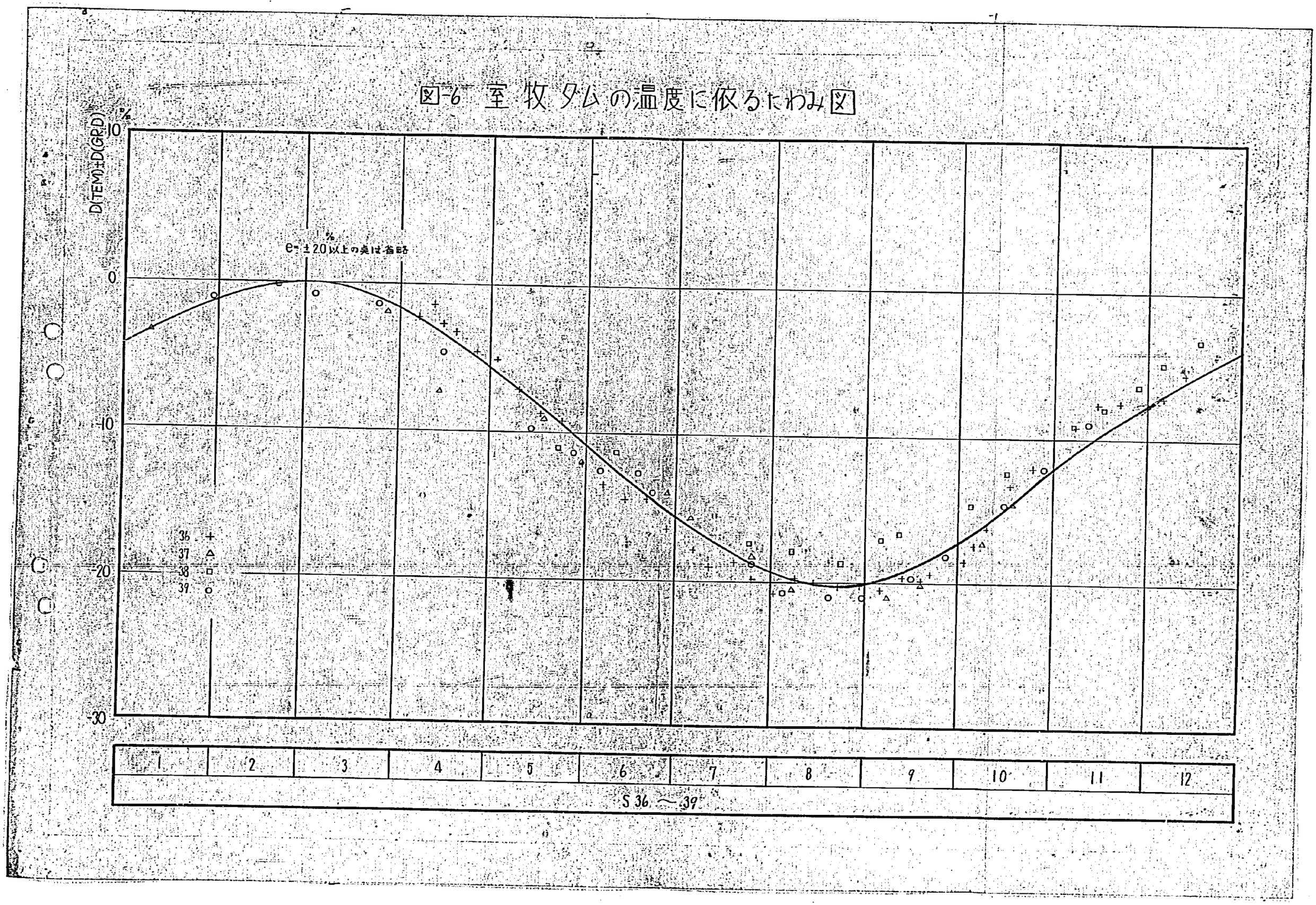



図-6 室牧ダムの温度に依るたわみ図