

No.

綾北ダム実測解析報告書

(昭和39年度分)



建設省土木研究所
ダム構造研究室

本報告は昭和35年以來宮崎県依りの依頼に依り行つて来た綾北カムの実験解析に対し昭和39年度行つ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年度迄に於いてはブラムラインに依る天端フラインに於ける半至方向撓みを昭和35年4月2日依り昭和38年3月19日迄の資料にもとづいて重回帰分析に依り解析を行つた。その結果半至方向撓みは

$$\begin{aligned} \delta = & 44.92 + 0.637(t_1 - 11.34) - 1.307(t_2 - 11.63) - 3.421(\alpha_2 - 0.0292) \\ & - 1.744(\alpha_3 + 0.339) + 0.0018(R - 225)^2 - 25.520 \log(1 + \theta) + 47.895 \log\left(\frac{1 + \theta}{161}\right) \\ & - 21.495 \log\left(\frac{1 + \theta}{201}\right) + 70.306 \log\left(\frac{1 + \theta}{1066}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

にて表わされることが明らかになつた。

§2. 撓みに対する重回帰分析

昭和39年度は更に昭和39年3月3日迄の資料を追加して前回と同様な重回帰分析を行つた所

$$\begin{aligned} \delta = & 49.063 + 0.699(t_1 - 11.03) - 1.423(t_2 - 11.63) - 5.442(\alpha_2 + 0.0769) - 2.009(\alpha_4 + 0.0339) \\ & + 0.00133(R - 225)^2 - 24.609 \log(1 + \theta) + 65.143 \log\left(\frac{1 + \theta}{161}\right) - 38.746 \log\left(\frac{1 + \theta}{201}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

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なるが、図-1から明らかなようにカ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なるのは(2)式の解析では温度の因子をふやして解析した為と考えられる。いづれにせよカムの動きは38年3月以降も変化はなく極めて安定した状態にあると言ひ得る。

さてこゝで撓みの解析で用ゐた方程式

$$\delta = C + \sum a_i t_i + \sum b_i \alpha_i + d R^2 + \sum k_i \log \frac{1 + \theta}{1 + \theta_0}$$

についてもう一度考察を加えてみる。この方程式ではカ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(R)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つてゐる。)

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 δ の形で表わされると仮定した場合と δ^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 δ の場合には

$$\begin{aligned}\delta = & 41.121 + 0.700(t_3 - 11.03) - 14.20(t_4 - 11.63) - 5450(\alpha_2 + 0.0769) \\ & - 2.017(\alpha_4 + 0.0339) + 0.0000151(h - 225)^3 \\ & - 20.355 \log(1 + \theta) + 60.953 \log \frac{1 + \theta}{161} - 38.788 \log \frac{1 + \theta}{201} \quad (3)\end{aligned}$$

δ^4 の場合には

$$\begin{aligned}\delta = & 0.634(t_3 - 11.03) - 13.43(t_4 - 11.63) - 5736(\alpha_2 + 0.0769) \\ & - 1.961(\alpha_4 + 0.0339) + 0.000000181(h - 225)^4 \\ & - 0.7625 \log(1 + \theta) + 29.277 \log \frac{1 + \theta}{161} - 26.595 \log \frac{1 + \theta}{201} \quad (4)\end{aligned}$$

なる結果が得られた。

これらの結果を比較する為温度に依る撓み($\delta_T = \sum a_i t_i + \sum b_i \alpha_i$)とクリープに依る撓み($\delta_c = \sum R_i \log \frac{1 + \theta}{1 + \theta_i}$)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270^mから290^m迄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。

これを言い換えれば水位に依る撓みは標高270^mより標高290^m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270^mより標高290^m迄の間、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。

グラフに依る撓みが各解とも値が異なることから考えて水位に依る撓みとグラフに依る撓みとの分離が充分でないと考えられる。これはグラフに依る撓みは主として港水初期に生じ、又水位が低い時も港水初期にしかなく、しかもこの時期のデータは数が少ない。このため水位に依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。この結論に達した。

たまたまアーケタ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ような値をとるか又温度変化に依り撓みがどのよう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。

先ずタ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)~(g)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270"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270"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270"以上の温度勾配はのみならず、標高270"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ずれは表-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

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

表-1

標 高	226 ^m	245	275	285
平均温度の振幅(A _i)	1°C	4	8	10
温度勾配の振幅(B _i)	0.34‰	1.0	0.9	0
平均温度の位相(λ _i)	180°	180	148	144
温度勾配の位相差(μ _i)	160°	120	109	—
$A_i \cos \frac{2\pi}{\omega} \lambda_i$	-0.999	-3.999	-6.630	-7.882
$B_i \cos \frac{2\pi}{\omega} \mu_i$	-0.315	-0.463	-0.271	—
$-A_i \sin \frac{2\pi}{\omega} \lambda_i$	-0.0439	-0.104	-4.477	-6.154
$-B_i \sin \frac{2\pi}{\omega} \mu_i$	-0.128	-0.858	-0.958	—

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

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。この様子を方々完全調整計算に依り δ_s , δ_c を求めると

$$\delta_s = El_{298.30} - El_{247.50} = -7.10 + 1.30 = -5.80$$

$$\delta_c = El_{298.30} - El_{247.50} = -7.40 + 1.50 = -5.90 \quad \text{従って}$$

$$\delta_T = -11.05 \sin \frac{2\pi}{365} (\theta + 52) \quad (5)$$

となる。一方突割値では温度変化に依る撓みは

$$\delta_T = -14.6 \sin \frac{2\pi}{365} (\theta + 50) + 7.5 \quad (6)$$

となっている。

次に水位に依る撓みについて述べると、水位が $El_{298.30}$, El_{290} , El_{275} , El_{260} の時について計算を行った。その結果は図-5及び図-6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テークーの比較的短い標高 270~290^m の間では q_1 , q_2 , q_3 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なるが $q_1 \sim \delta_H$ 曲線はほぼ平行で水位変動に依る撓みの変動はほぼ一致する様である。しかしこの範囲外ではその値も変化状態も全く異なっている。

以上の考察から

(i) 温度に依る撓みは位相のづれに関して計算値と実測

値とは比較的良く一致しているが、振中については計算値の方がかなり小さい値を示している。これは計算では標高270m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揃重ねなければ、きりした結論は出せないと考えられる。

田水位に依る撓みは水位が標高270m~290mの間では計算値と計算値、計算値に依り解析した結果とはいづれも値は異なるが、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解(2)式~(4)式を用いるもタム。挙動を推定することは出来るが、水位がこの範囲外になると、た時(2)~(4)式は異なり、た挙動を示す恐れがある。

水位に依る撓みが水位長のどのような函数形で示すのが良いか、又それを判定するにはどのような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フに依る撓みとは分離が不充份であり、水位に依る撓みも信頼性のあるのは水位が標高270m~290mの範囲内にある時である。

従って(2)~(4)式に依り従っ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270~290m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 270^m~290^mの間では

$$\delta_H = 0.00133 (H-225)^2 \quad (7)$$

又は図-3 依り 求めることが出来る。

クリーフに依る撓み δ_c は 37 年以降は -49.00^{mm} 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

$\sum a_i t_i + \sum b_i d_i$ は図-6 依り

$d(H-225)^2$ は (7) 式又は図-3 依り

$\sum f_i \lg \frac{1+\theta}{1+g_i}$ は -49.00

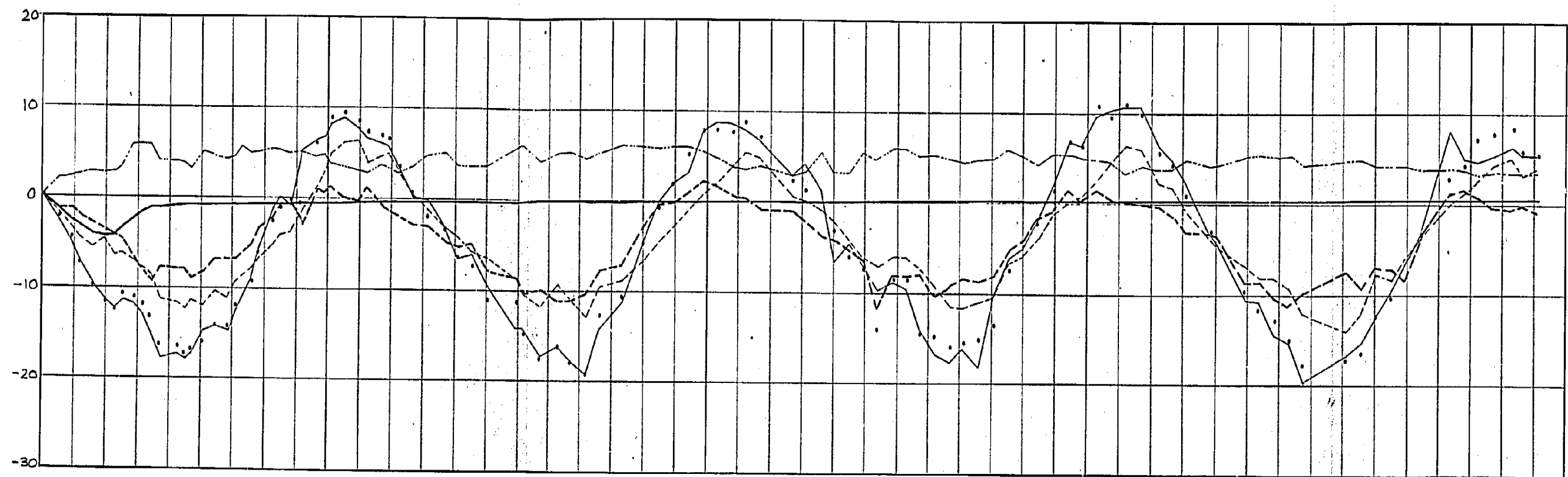
とすることに依り容易に求められる。

この様に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的観点から示すと表-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. 綾北ダムのための実測解析図

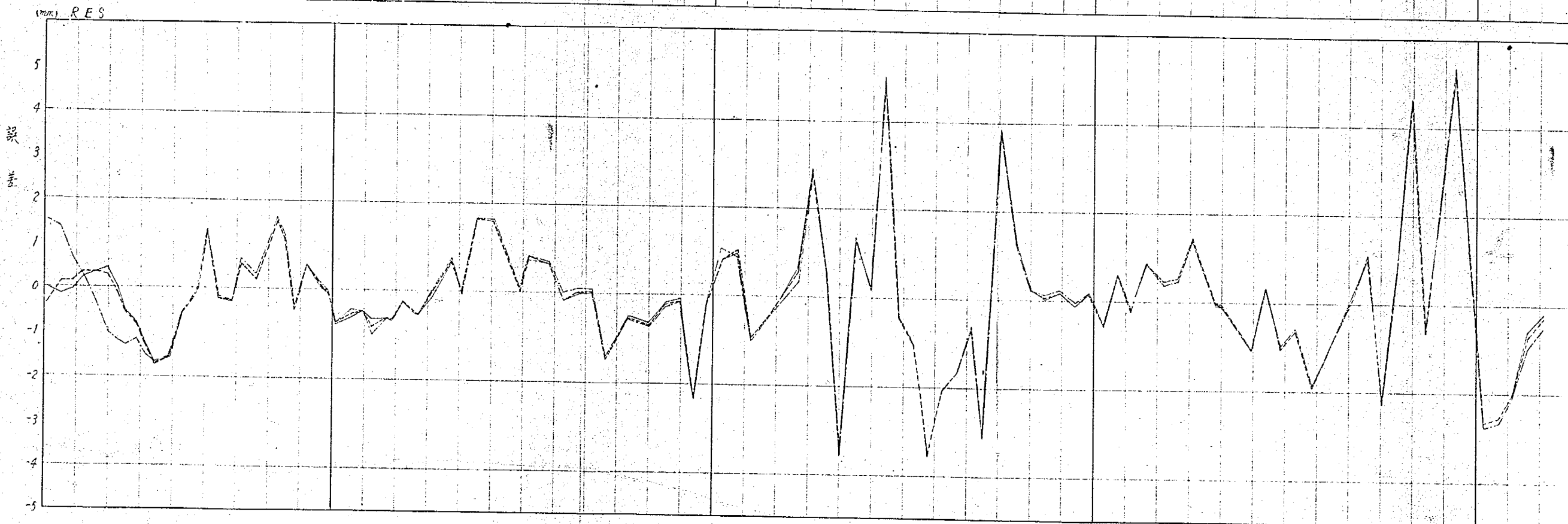
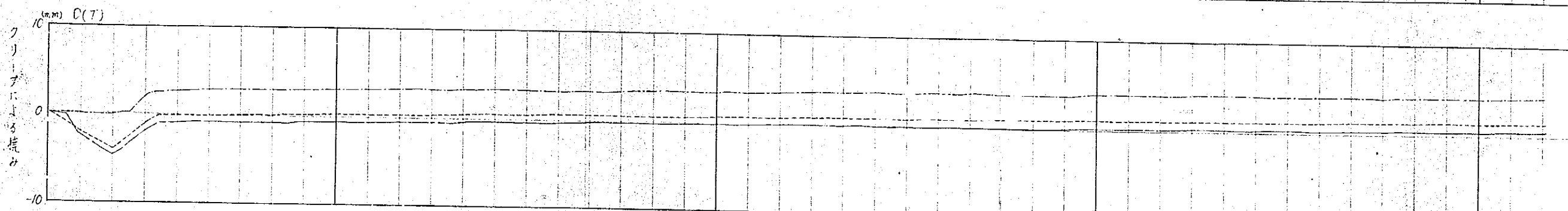
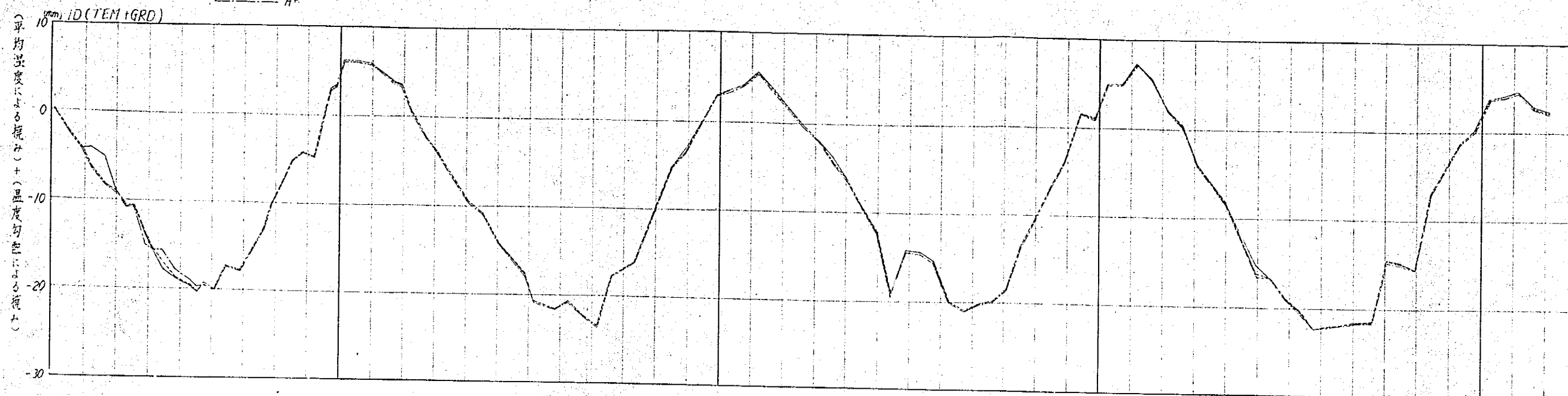


4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
昭和35年									36												37												38												39		

12-2

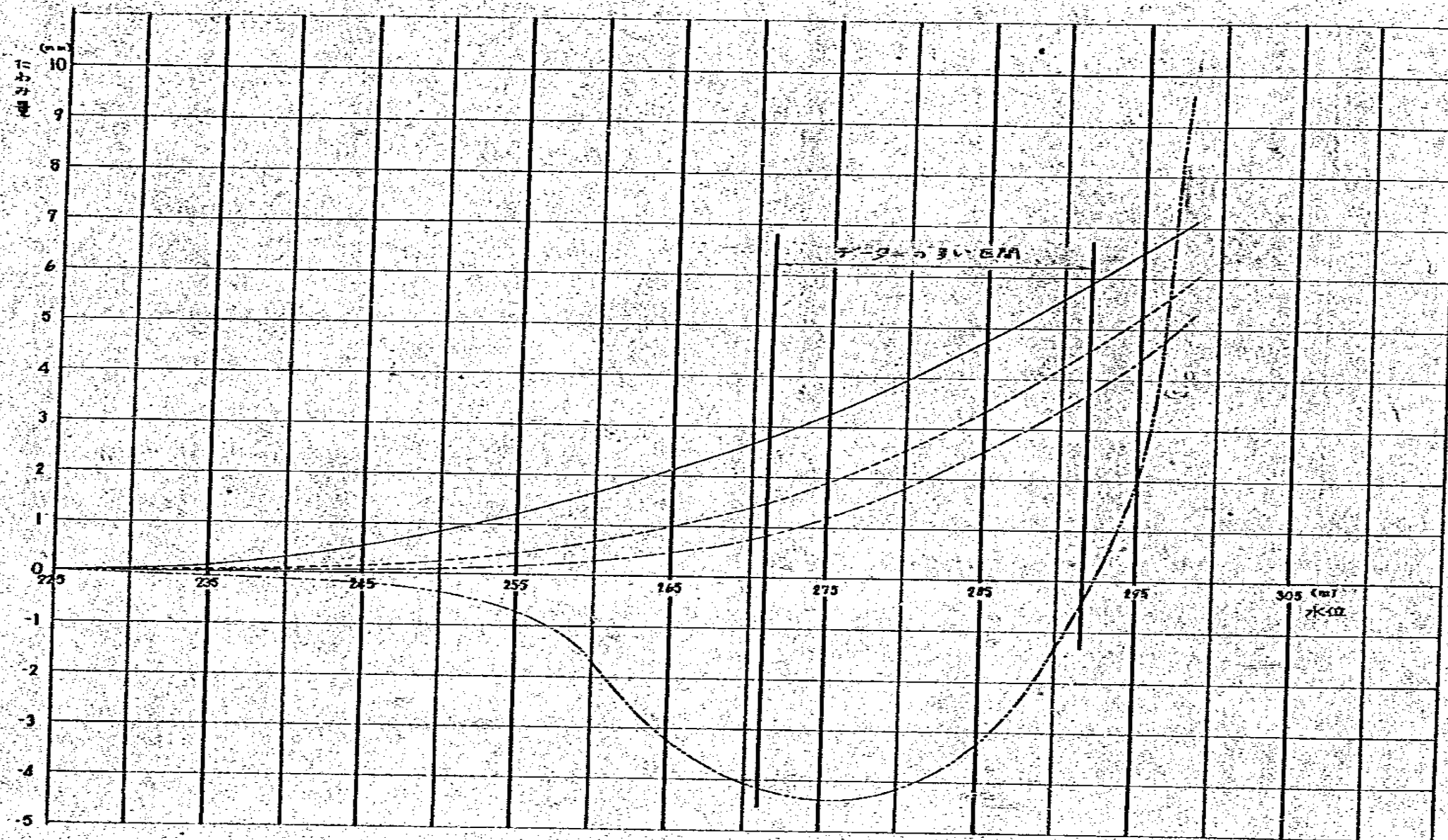
— H^2
 - - - H^3
 - - - H^4

図-2 綾北ダム撓み重回帰分析比較図



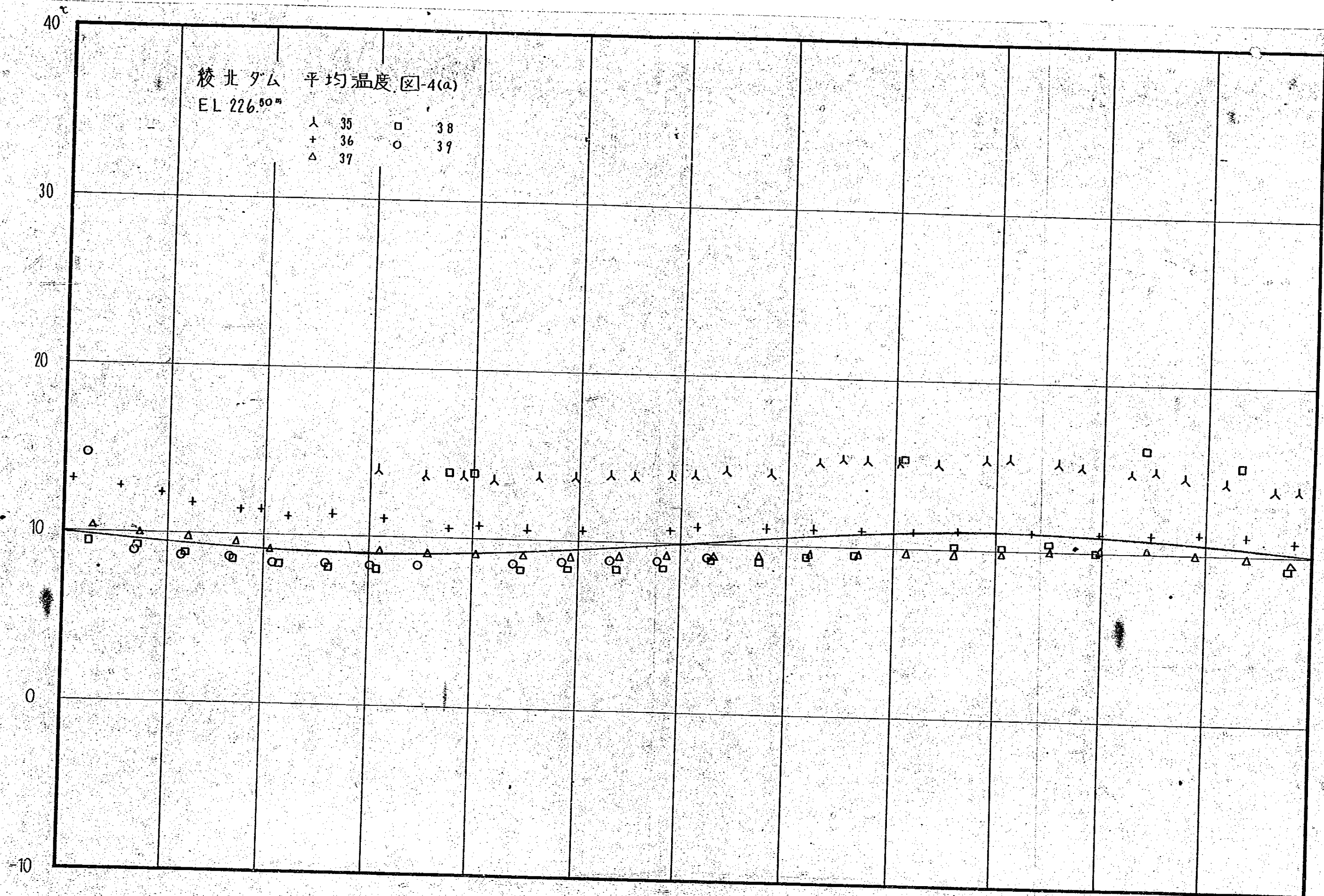
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
35									36									37									38									39		

図-3 綾北ダム水位たわみ曲線図

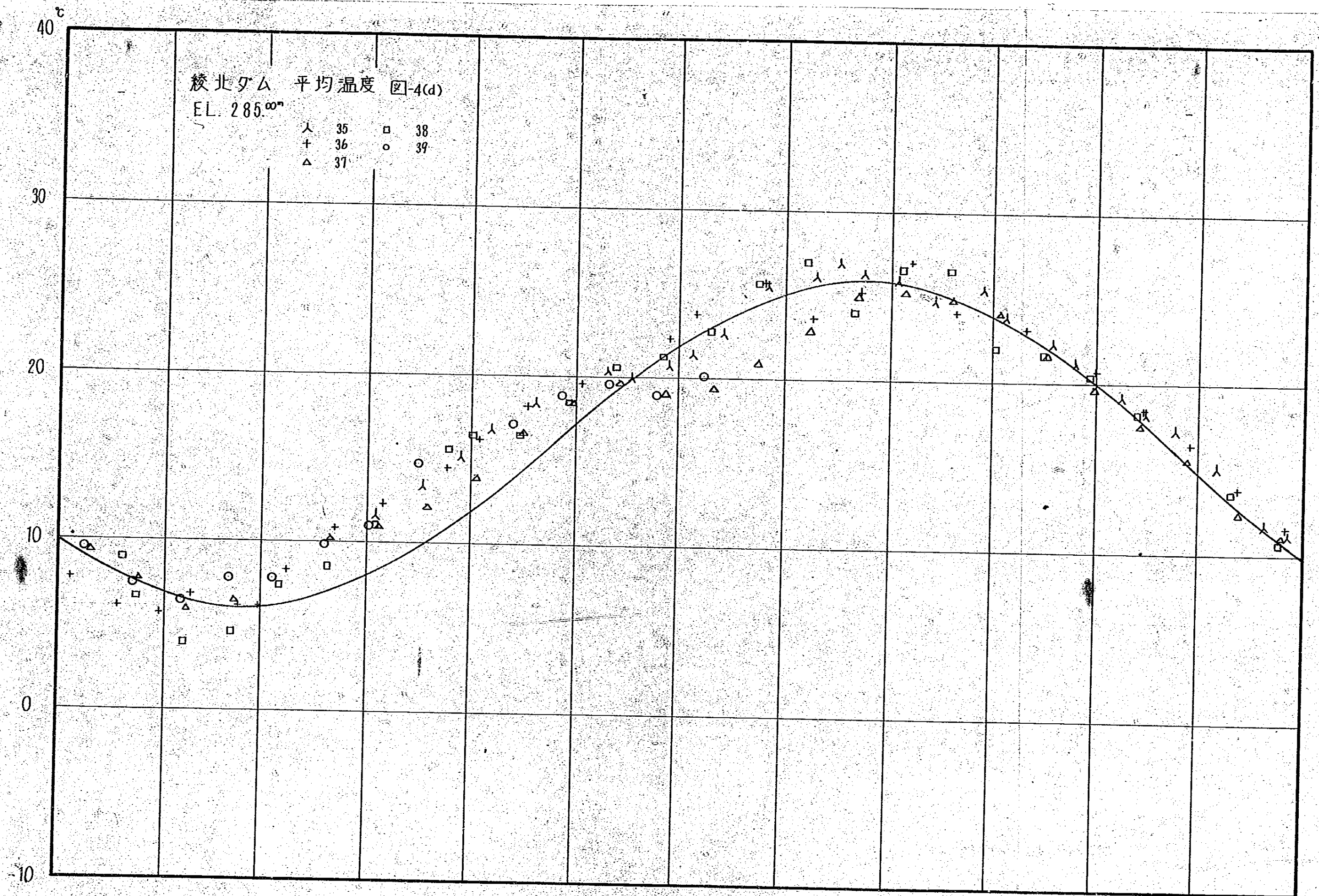


凡例

——	H^1
- - -	H^2
...	H^3
——	計算値



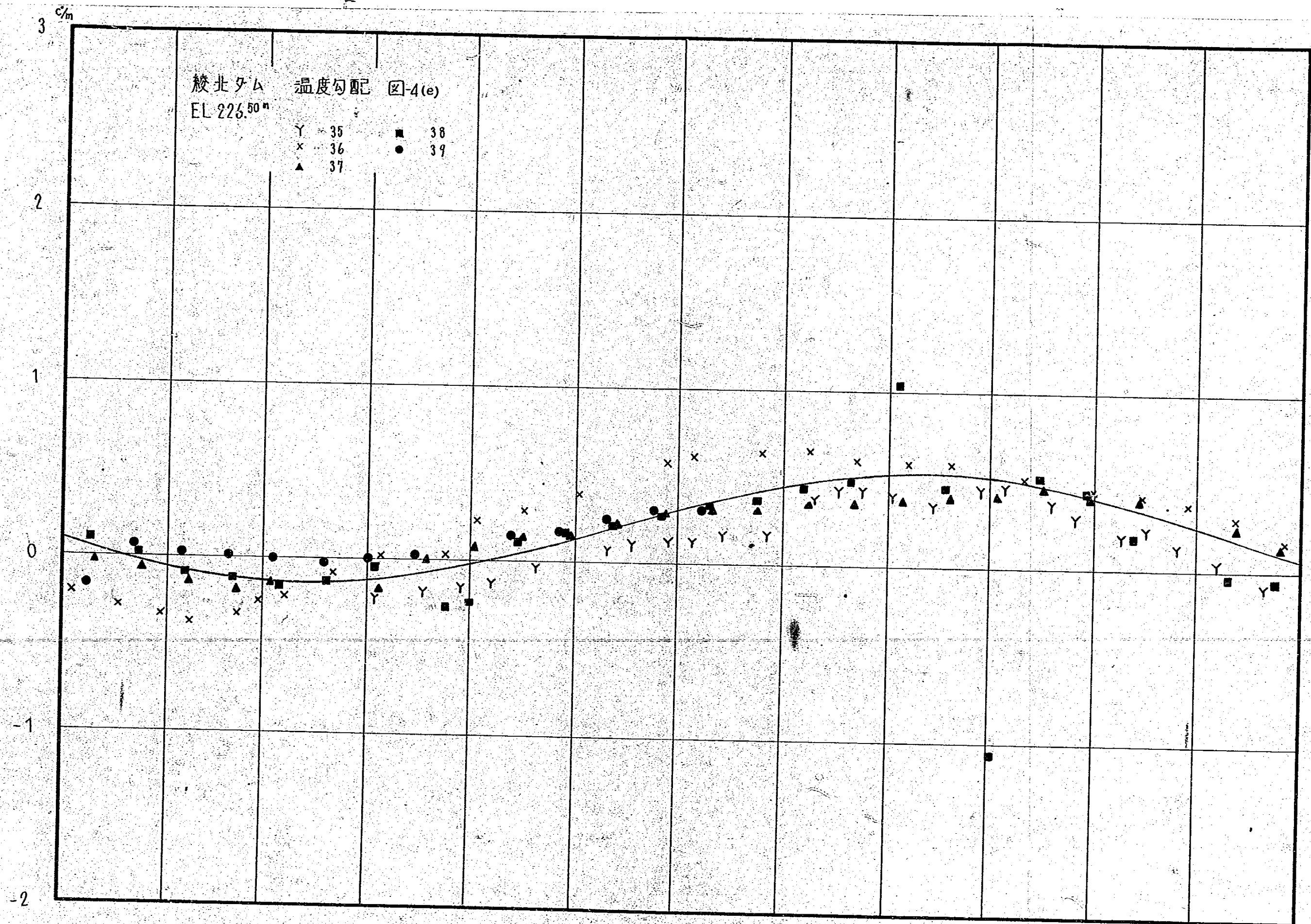
S 36~39



綾北ダム 平均温度 図-4(d)

EL 285.00ⁿ

人	35	□	38
+	36	○	39
△	37		

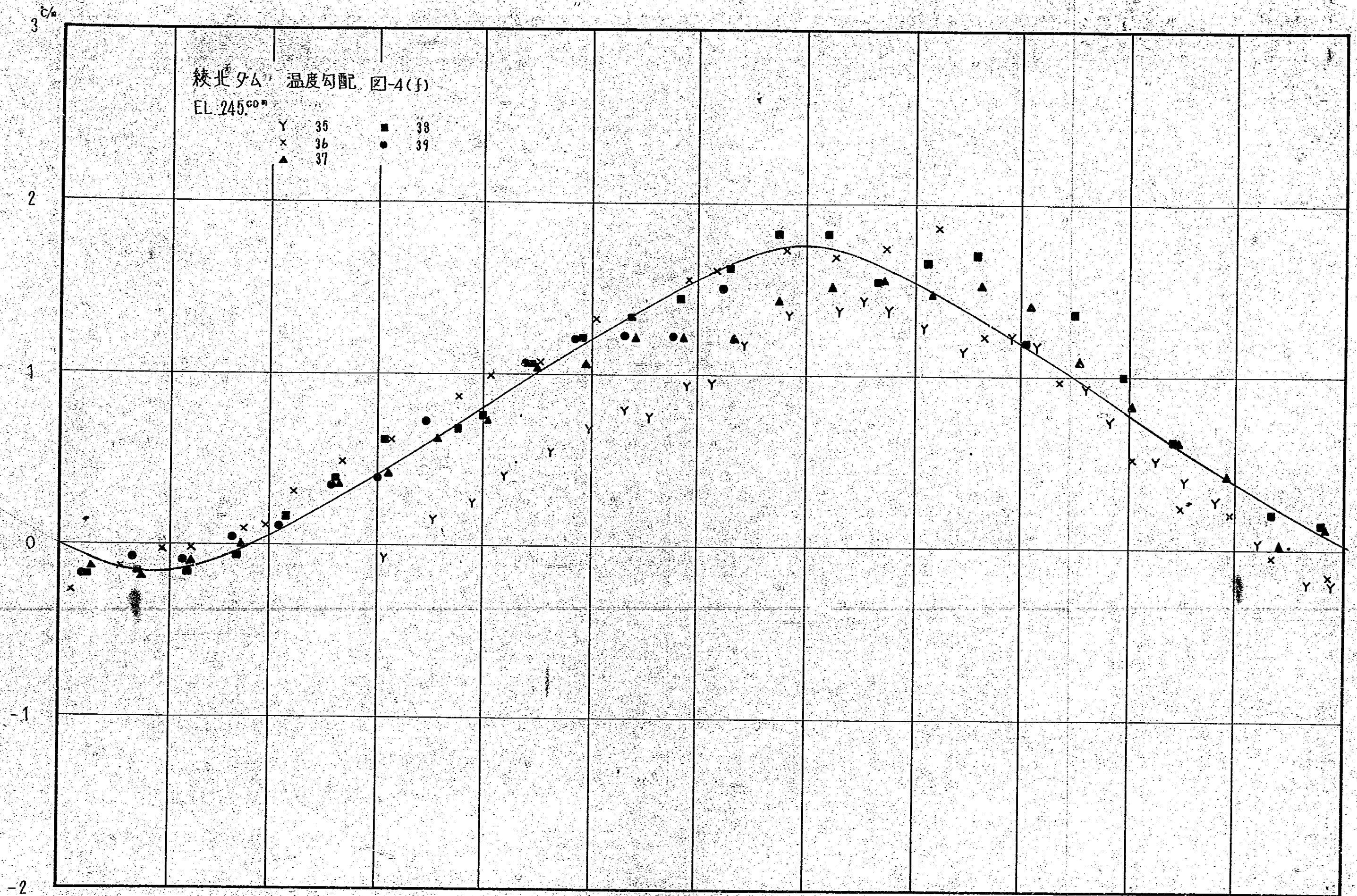


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S 35 ~ 39											

綾北ダム 温度勾配 図-4(f)

EL. 245.60m

Y	35	■	38
x	36	●	39
▲	37		



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

S: 35 ~ 39

3 °C/m

綾北ダム 温度勾配 図-4(8)

E.L. 285.00m

Y	35	■	38
X	36	●	39
▲	37		

2

1

0

-1

-2

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

S 35 ~ 39

図-5 絞北ダム 標高たわみ曲線

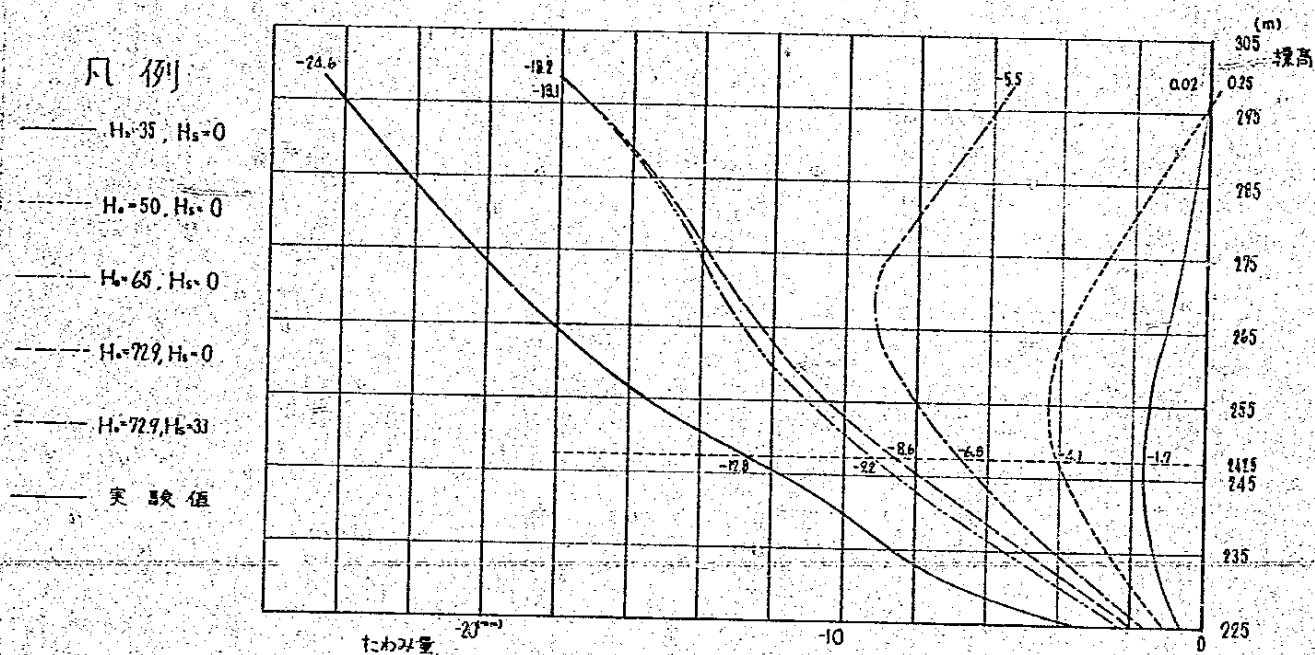
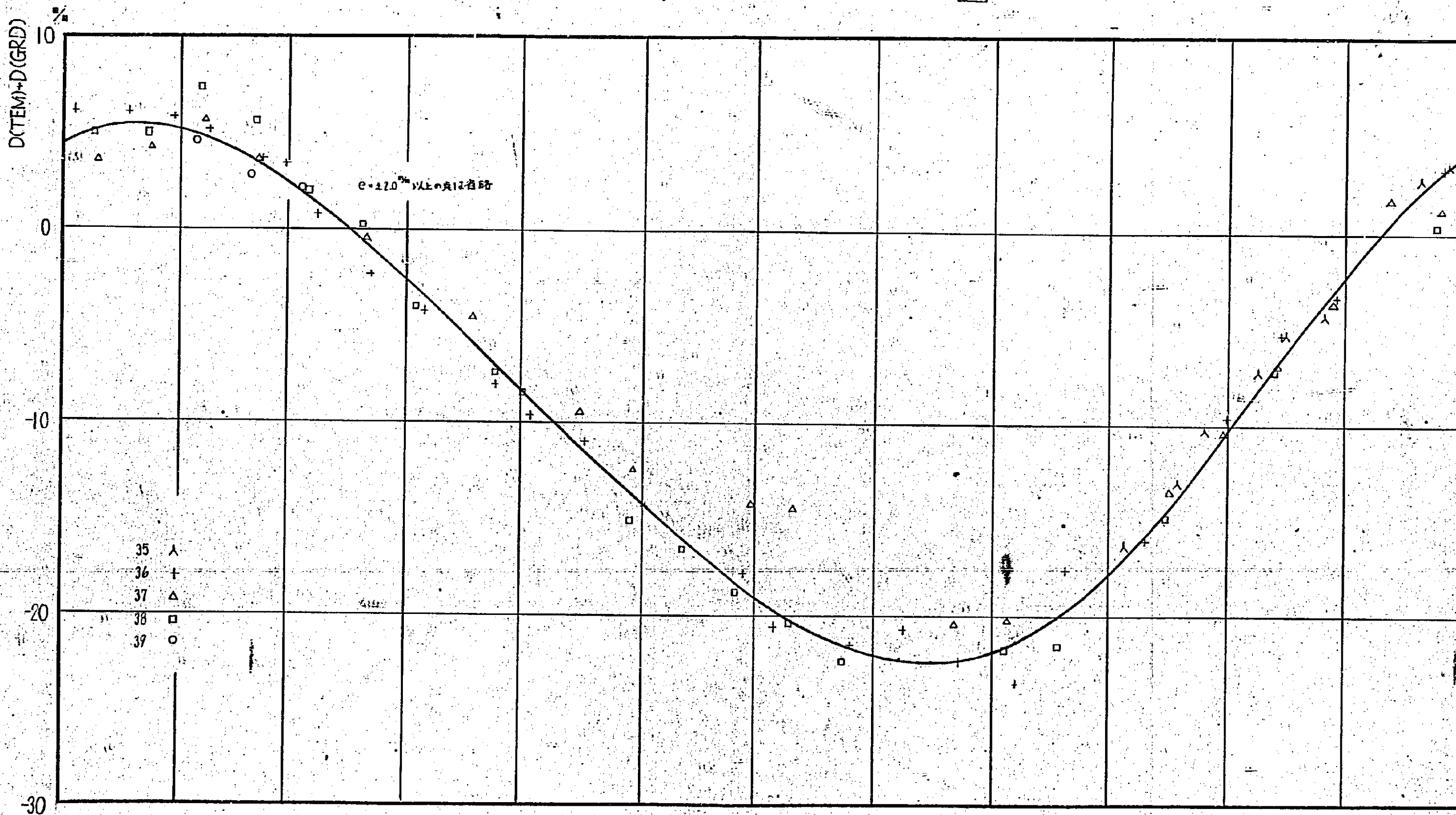


図-6 絞北タムの温度に依るにわみ



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S 35 ~ 39											