



土 木 研 究 所 資 料

第 620 号

天ヶ瀬ダム実測解析報告書

昭和 45 年 11 月

建設省土木研究所

天ヶ瀬ダム実測解析

ダム部ダム構造研究室

飯田隆一

姫野博功

米道久

目次

1. 概 要	1
2. 実測の目的	1
3. 撓みの解析	2
3.1 ダムの挙動に影響を与える因子	2
3.2 温度解析	3
3.3 撓みの解析（撓みの重回帰分析）	8
3.4 撓みによるダムの安全管理	14
3.5 計算値と実測解析値との対比	15
4. 歪みの解析	16
5. 今後の測定	25

1. 概 要

本報告は近畿地建の依頼で昭和40年より行ってきた実測解析の報告書である。天ヶ瀬ダムは淀川水系宇治川に洪水調整、発電を目的として建設されたダムで高さ65.5m、堤頂長254m、のアーチダムである。

本ダムは図-1に示すようにブルムライン、温度計、応力計、継目計等数多くの計器が設置されている。

これらの計器より測定された資料から撓みの重回帰分析を行いダムにどのような因子が影響を与え、ダムが安全に挙動しているか否かを知り、更にその結果を用いてその後のダムの安全性を判断する為の管理方法を確立させると共に計算値との対比を行った。

又、ダム内に最も多く埋設されている歪計が正常な動きを示し、ダムの微視的な現象を表わす資料として利用出来るか否かについても検討を行い、その中で正常に動いていると思われる計器について歪の重回帰分析を行った。

2. 実測の目的

ダムの実測の目的は、施工管理、安全管理、構造解析の3つに大別される。施工管理は施工中のコンクリートの温度規制のための温度測定と継目グラウトのための時期の選定、継目グラウト中の継目の開閉状況をみるための開度測定等がある。しかし完成後のダムであるためこれを除外し、安全管理を主に述べる。

ダムの安全管理の上で重要なものとして全漏水量と撓みの測定がある。これらの測定値よりダムの安全性を判断する方法として、設計々算値と測定値を比較することが考えられる。しかし設計々算は多くの仮定と省略の上に成り立っており、更にダムの挙動に影響を与える全因子を考慮しているとは言い得ず適当な方法とは思えない。

最も確実な方法は過去の測定値からみて現在が安定しているか否かを知る事である。すなわち撓み、全漏水量の測定値が外荷重の変動により増減するか、又同一荷重状態に於て測定値がどのように変化するかを検討し、ダムの安全性を判断すべきである。

この場合どの測定値がいかなる現象を表わしているかについて考えてみる。一般に構造物が変形する場合、

$$\begin{aligned}e &= \frac{M}{EI} Z \\ \theta &= \int \frac{M}{EI} dx \\ \delta &= \iint \frac{M}{EI} dx \cdot dx\end{aligned}$$

にて示されるように外荷重により各部に歪が生じ、それが積分されて廻転が生じ、更に廻転が積分さ

れたものとして撓みが生ずる。

従って歪は部分部分の現象を示し、撓みは構造物全体の総合現象を示していると云い得る。又このような見方からすれば揚圧力、個々の漏水量、応力は部分部分の現象を、全漏水量は総合現象を示していると考えられる。

以上の事からダムは総合現象を示すものとして全漏水量と撓みが、部分部分の現象を示すものとしては個々の排水孔の漏水量と揚圧力、応力、歪等があげられる。従ってダムの安全性はダムの総合現象を示す測定値によって判断される。では部分部分の現象を示す測定はいかなる意味を持っているであろうか。若し総合現象を示す測定値に異常が現われた場合、これらの測定値からはその原因と対策を検討することは困難であるが、部分部分の現象の測定値からその原因と対策を検討するのに有効である。従ってこれらの実測資料を整理し万一の場合に備えておくべきだろう。

3. 撓みの解析

3-1 ダムの挙動に影響を与える因子

一般に重力ダムは主として貯水位の影響を受ける。しかしアーチダムは内部温度の変化の影響も強く受ける。

このためアーチダムの任意の時点での撓みを推定するためには、任意の条件の時の水位による撓み、温度による撓みを求める必要がある。過去の資料から測定値を原因別に分離分析するためには統計的に重回帰分析をする方法が最も適していると考えられる。

ダムの温度変化がダムの撓みにどのような形で影響を与えているかについて考えてみる。内部温度は図-2に示すような曲線分布をしている。若し断面に何も拘束がないとすると各点の温度に比例した膨脹、収縮が生ずる筈である。

しかし実際には断面は連続体の一部であるため拘束があり、実際の温度分布とモーメント及び面積が等しい直線的な温度分布を受けたと同じ伸びと廻転を生じ、実際の温度分布と直線的な温度分布との差(図-2斜線部分)による温度膨脹は拘束応力に転化する。

この直線的な温度分布を等置直線温度分布と名づけると、実際の温度分布と等置直線温度分布との差による拘束応力は他の部分の応力、変位に影響を与えないが、等置直線温度分布により生ずる伸びと廻転は他の部分の応力、変位に影響を与える。この伸びはその断面での平均温度(t_i)により生じ、廻転は等置直線温度分布の勾配(以後温度勾配(α_i)と呼ぶ)により生ずる。

従って撓みに影響を与える因子としてはいくつかの断面での平均温度、温度勾配をとればよい。これらの因子は理論的に一次の形で影響を与える。

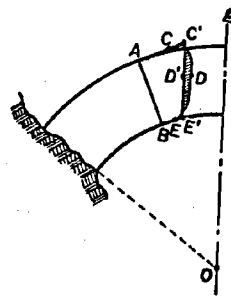


図-2

一方水位の影響は何次式で表わされるかは未定であるので一応 $f(h)$ の形で表わされるとしよう。内部温度の変化、水位変動の外にコンクリートおよび岩盤のクリープが考えられる。このように時間と共に変化する量を $\log \frac{1+\theta}{1+g_1}$ (θ は時間) とし、ダムのかみみを

$$\delta = \sum_i a_i t_i + \sum_i b_i \alpha_i + f(h) + \sum_i K_i \cdot \log \frac{1+\theta}{1+g_1} \dots\dots\dots(1)$$

で表わされとする。この場合、実際には各標高の平均温度、温度勾配も外気温の変化により生じ相関性があると考えられるので(1)式に基づいて過去の資料から最小二乗法により各項の係数 a_i, b_i, k_i を求めた後に各因子間の相関係数を求め、相関性の高い因子は除去して解析し直す方法をとった。

3-2 温度解析

かみの解析を行うにあたってまず平均温度、温度勾配の計算を行った。図-3に示す通り平均温度とはダムの厚さの方向の平均温度のことであり、温度勾配とは実際の温度分布図の面積とその一次モーメントが一致するように直線分布(等値直線温度分布)でおきかえたときの勾配をいう。

本ダムに於いては温度計の埋設位置より拱頂部の EL 21.0 m, EL 31.5 m, EL 46.5 m, EL 61.5 m の温度を用いて平均温度、温度勾配を計算し重回帰分析に用いた。温度計算の結果を示したのが図-4である。

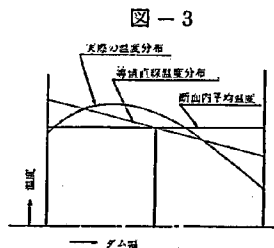


図-3

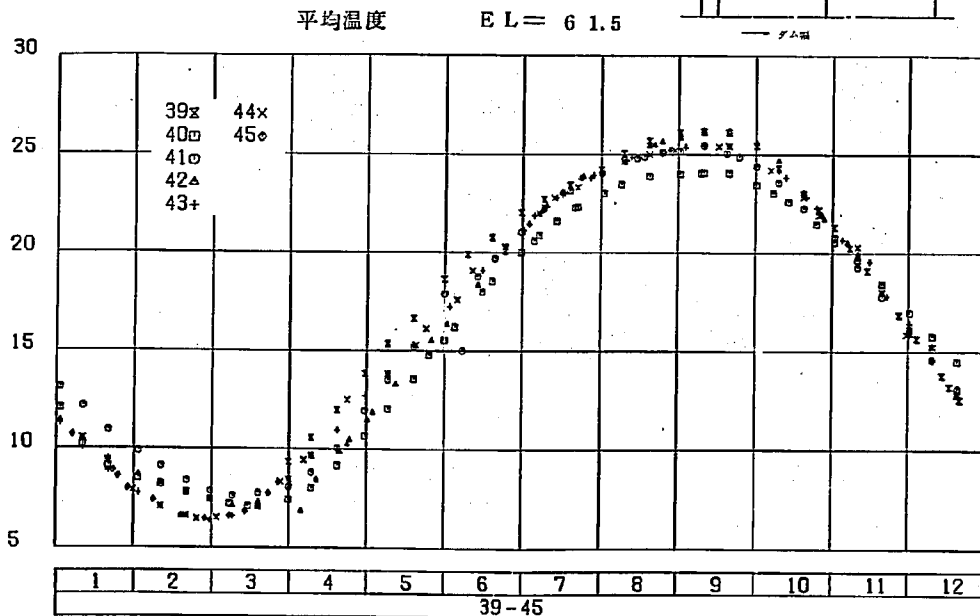


図-4

平均温度 $EL = 46.5$

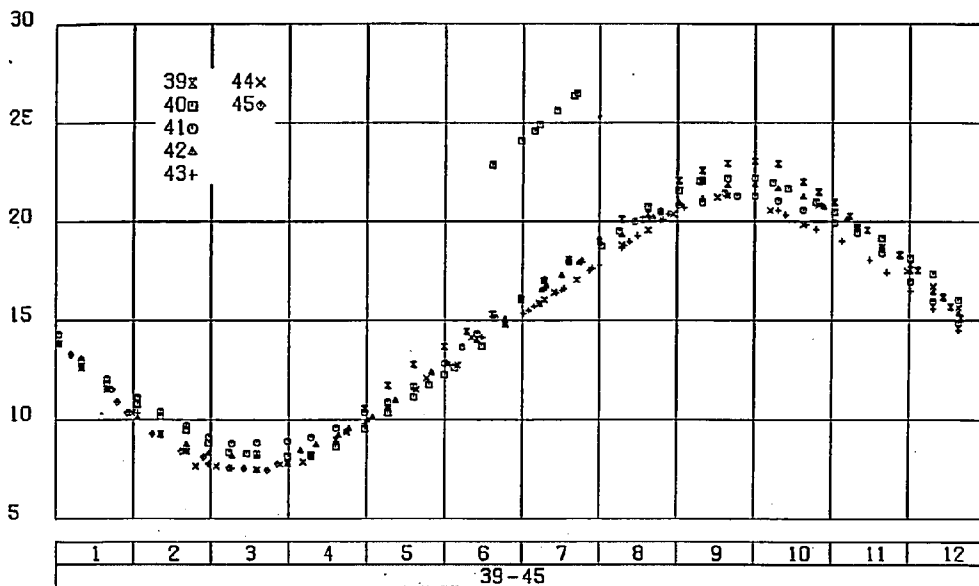


图 - 4

平均温度 $EL = 31.5$

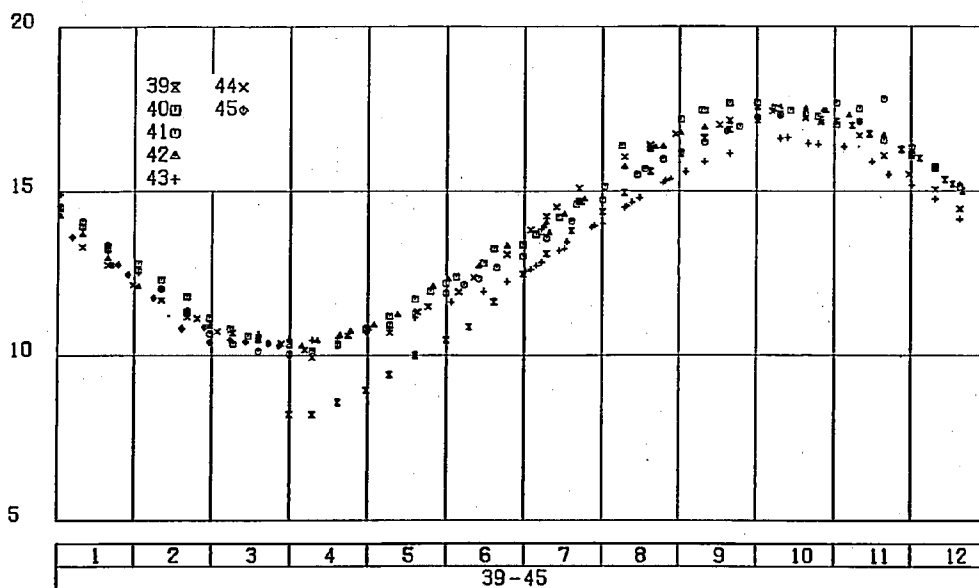


图 - 4

平均温度 $EL = 21.0$

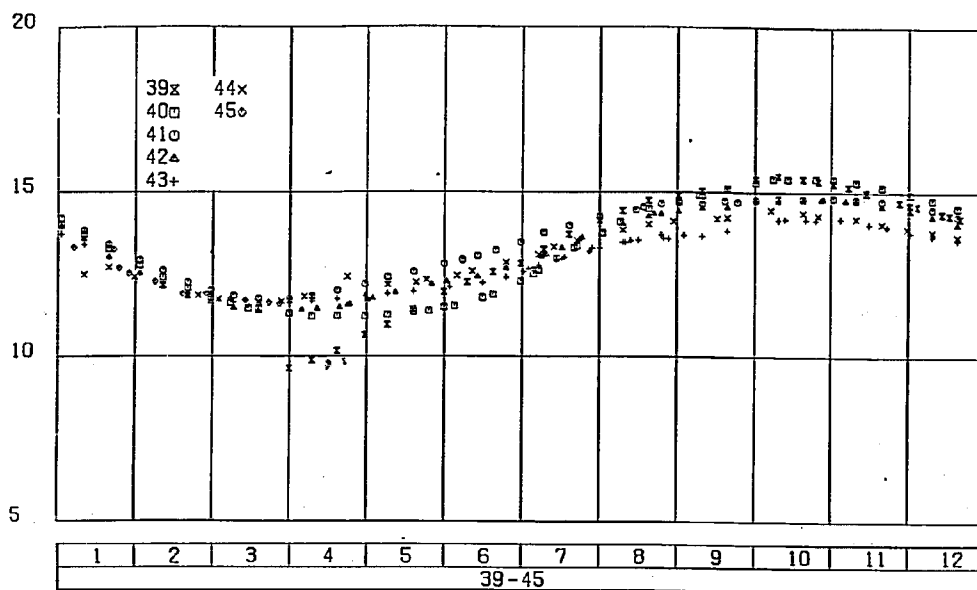


图-4

温度勾配 $EL = 61.5$

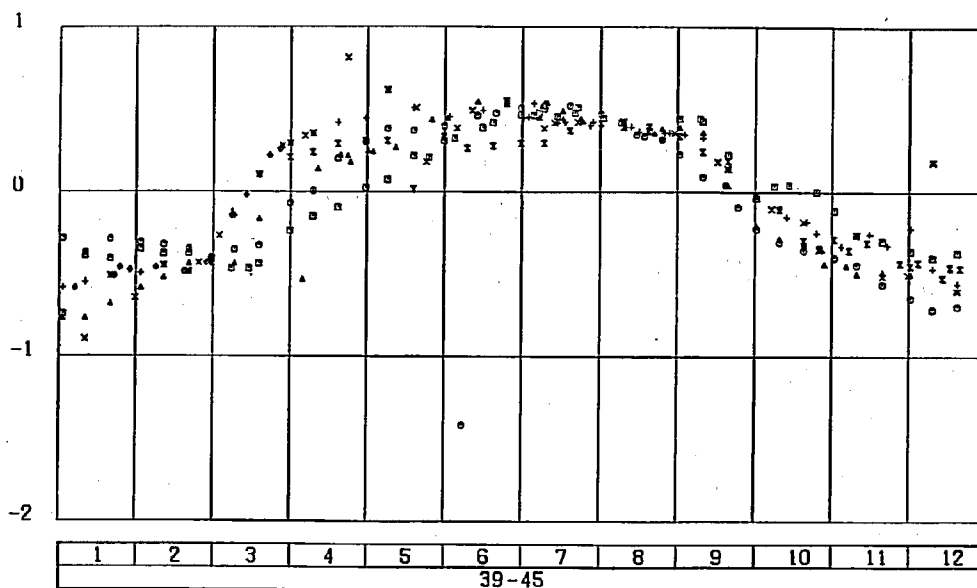


图-4

温度勾配 $EL = 46.5$

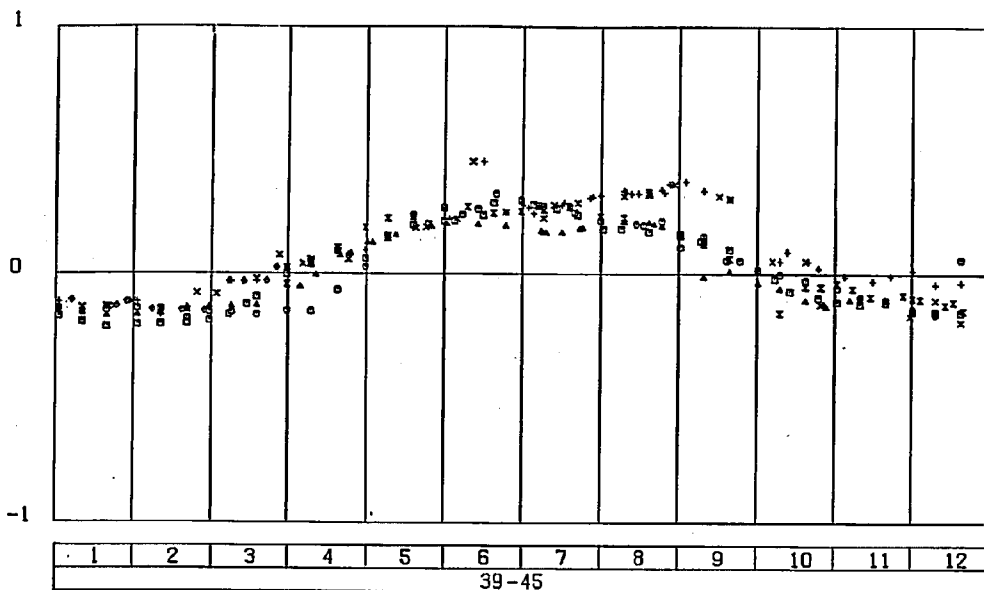


図 - 4

温度勾配 $EL = 31.5$

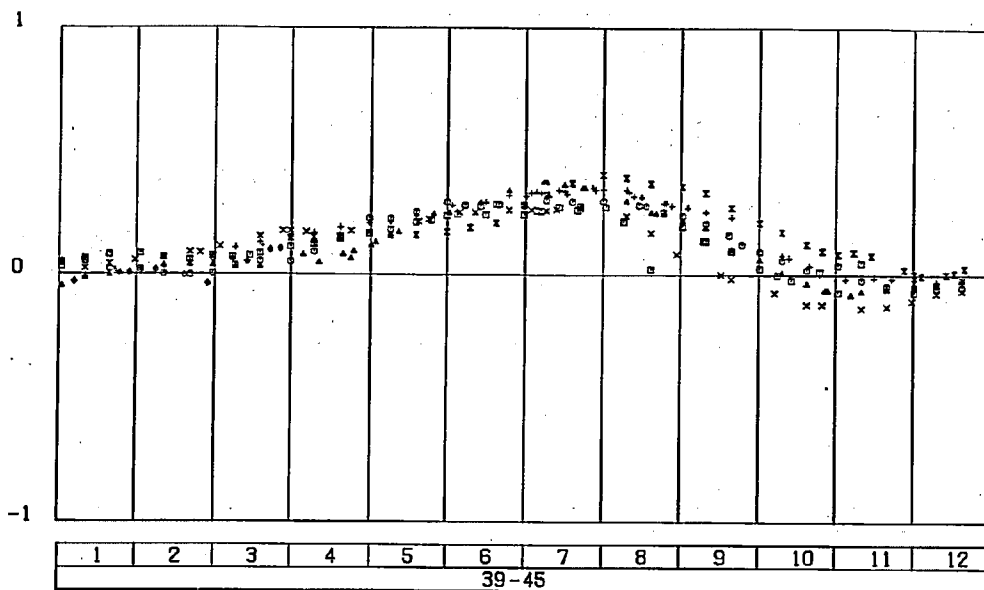


図 - 4

温度勾配

EL = 21.0

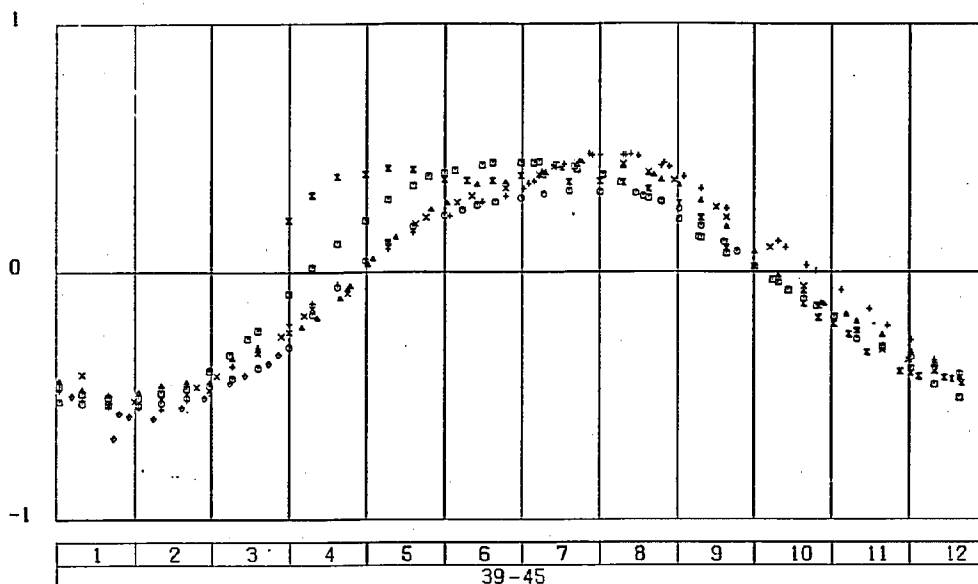


図 - 4

表 - 1

	標高 (m)	位置	ダム厚 (m)	振幅 (mm)	位相 (日)	最 高		最 低	
						値	月・日	値	月・日
平均 温度	61.5	Crown	8.30	9.4	-19	25.5	9月10日	6.8	3月 8日
	46.5	"	11.00	6.9	-37	21.8	9月25日	8.1	3月18日
	31.5	"	13.10	3.6	-53	17.3	10月15日	10.2	3月27日
	21.0	"	14.16	1.8	-56	15.0	10月15日	11.4	4月 2日
温度 勾配	61.5	Crown	8.30	0.50	+42	0.49	7月 8日	-0.50	1月 1日
	46.5	"	11.00	0.23	+35	0.26	7月 4日	-0.19	1月31日
	31.5	"	13.10	0.20	+34	0.33	7月17日	-0.07	1月15日
	21.0	"	14.16	0.47	+24	0.42	7月22日	-0.52	1月28日

(但し位相は外気温との位相差を示し、外気温より遅れるものを⊖、早いものを⊕とする。又外気温は実測値より最高を8月15日最低を2月15日とした。)

図-4より平均温度、温度勾配の振巾、外気温との位相差等を示したのが表-1である。

図-4、表-1より

- 1) 平均温度、温度勾配の振巾はダム厚が大きくなるに従って小さくなる。
- 2) 平均温度の位相差はダム厚が大きくなるに従って大きくなり、温度勾配の位相差は平均温度とは逆に小さくなっている。

3-3 撓みの解析 (撓みの重回帰分析)

天ヶ瀬ダムは中央最大断面にブラムラインが設置され、天端 (EL 82 m) と標高 18 m の間の撓みが測定されている。この撓みの重回帰分析を行い、各因子別の撓みを分離分析した。(1)式において水位の影響を示す $f(h)$ の関数形は未定であるので、まず水位は二次式で表わされると仮定して解析を行い、次に三次式、四次式で表わされると仮定して解析し、3つの比較検討を行った。

水位による撓みを δ^2 で表わされると仮定したときの解析結果は

$$\begin{aligned} \delta = (\delta^2) = & -11.009 + 2.3242(t_1 - 9.5) - 1.0769(t_2 - 8.15) - 1.3033(t_4 - 8.4) \\ & - 4.3147(\alpha_1 - 0.20) + 0.0086372(h - 33.25)^2 + 8.9649 \log \frac{1+\theta}{1+190} \\ & - 9.9464 \log \frac{1+\theta}{1+465} + 13.208 \log \frac{1+\theta}{1+1560} - 43.935 \log \frac{1+\theta}{1+2,000} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

が得られた。この解析にもとずき、水位による撓み、平均温度の変化による撓み、温度勾配の変化による撓み、経年変化による撓みに分離し、更に(2)式により求めた値 (以後実測解析値とよぶ) と実測値との比較をしたのが図-5である。

この結果によれば(2)式による実測解析値と実測値はかなりよく一致している。しかし経年変化による撓み (大部分は岩盤のクリープによるものと思われる。) は昭和44年9月頃に一時的に大きくなっている。一般に重回帰分析計算により得られた水位による撓みはデーターの多い水位区間での δ_n-h 曲線の勾配を実際のものに近いように統計的に解が求められるために、水位データーの少ない区間の水位による撓みの値に信頼性がなくなる。そこで経年変化が一時的に増加する時期の貯水位をみると、EL 72 m 以下の水位が大部分で水位データーの少ない区間にある。従って前述したように少ない水位データーの δ_n-h 曲線と実際のものとに差が生じ、この差が経年変化に含まれて一時的に増加したものである。このような現象は解析上の問題より生じたものでダムそのものが異常な動きをしているのではなく、実際にはほぼ直線的な変化をしダムは安定した状態にあると云い得る。

次に比較検討のため $f(h)$ を δ^3 の形で解析した結果は、

$$\begin{aligned} \delta(\delta^3) = & -6.6593 + 2.246(t_1 - 9.5) - 1.0543(t_2 - 8.15) - 1.2817(t_4 - 8.4) - 4.4886(\alpha_1 - 0.2) \\ & + 0.00014459(h - 33.25)^3 + 9.0139 \log \frac{1+\theta}{1+190} - 10.029 \log \frac{1+\theta}{1+465} \\ & + 12.746 \log \frac{1+\theta}{1+1560} - 39.845 \log \frac{1+\theta}{1+2000} \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta(h) = & -4.4695 + 2.1785(t_1 - 9.5) - 1.0254(t_2 - 8.15) - 1.2691(t_3 - 8.4) - 4.6060(\alpha_1 - 0.2) \\ & + 0.0000026726(h - 33.25)^4 + 9.1022 \log \frac{1+\theta}{1+190} - 10.14 \log \frac{1+\theta}{1+465} \\ & + 12.149 \frac{1+\theta}{1+1560} - 33.54 \log \frac{1+\theta}{1+2000} \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

なる結果が得られた。さて(2), (3), (4)式を比べると個々の係数はかなり異っているものがある。しかし残差(2), (3), (4)式より計算した実測解析値と実測値の差)の不偏分散の平方根は(2)式では1.7840, (3)式では1.7754, (4)式では1.7757と(3)式が最も小さいが大差なく、統計学的に優劣をつけ難い状態にある。

そこでこれらの点について更に詳細に検討するために温度変化による撓み ($\delta_T = \sum a_i t_i + \sum b_i \alpha$) と経年変化による撓み ($\delta_0 = \sum K_i \log \frac{1+\theta}{1+g_i}$) と残差について(2), (3), (4)式の比較をしたのが図-6である。又水位による撓み、温度による撓みを示したのが図-7, 図-8である。

図-6を観察すると(2)~(4)式により得られる温度変化による撓み、経年変化による撓み、残差はとも殆んど一致している。図-7の水位~撓み図を見ると、(2), (3), (4)式の水位による撓みの値は異なるが、水位データーの多い区間(EL 65 m ~ EL 78 m)の撓み変動量は(2)式が8.5 mm, (3)式が8.4 mm, (4)式が8.0 mmとほぼ一致している。すなわち、EL 65 m ~ EL 78 mの間での水位変動に対する撓みの変化は各解とも一致しているが、その値にはかなりの差がある。

以上の解析結果から、

i) 温度変化による撓みと水位による撓みが充分に分離されていないと考えられる。

この理由として解析期間の昭和38年4月~45年3月の水位は夏に低下し、冬に上昇して温度変化と同じような動きをしている事、計算値と実測値の対比から、実測値の方が計算値より、34%位大きい事から考えられる。このような現象を除去するには周期的な変動を繰り返さないように水位を変動させれば解決される筈である。

ii) 水位による撓みはデーターの多い水位区間(EL 65 m ~ EL 78 m)での水位変動による撓みの変化は一応正しいと考えられるが、それ以外の区間の変化と絶対値は信頼性に乏しい。

iii) 経年変化による撓みと水位変動による撓みとの分離は充分でない。

経年変化による撓みは湛水初期に下流向の撓みが生じ、湛水1年後からはほとんど変化がなくなっており、ダムは安定した状態、すなわち岩盤、コンクリートが時間の経過に伴い硬化し、より変形しにくい状態にはいっていると云い得る。

iv) 残差は各解ともほぼ一致している。これは残差が解析上の問題から生じたものでなく、撓みか、温度測定での誤差によるものと考えられる。

図-5 天ヶ瀬ダム重回帰分析図

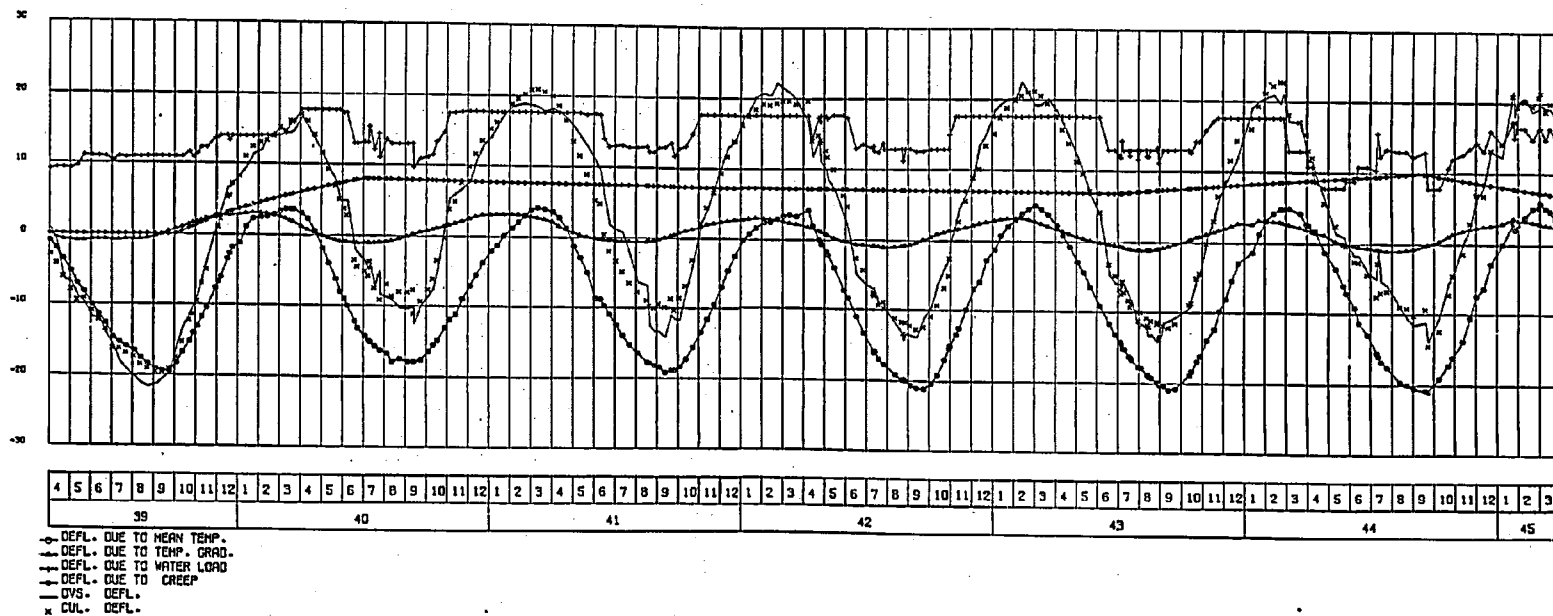


图-6 比较图

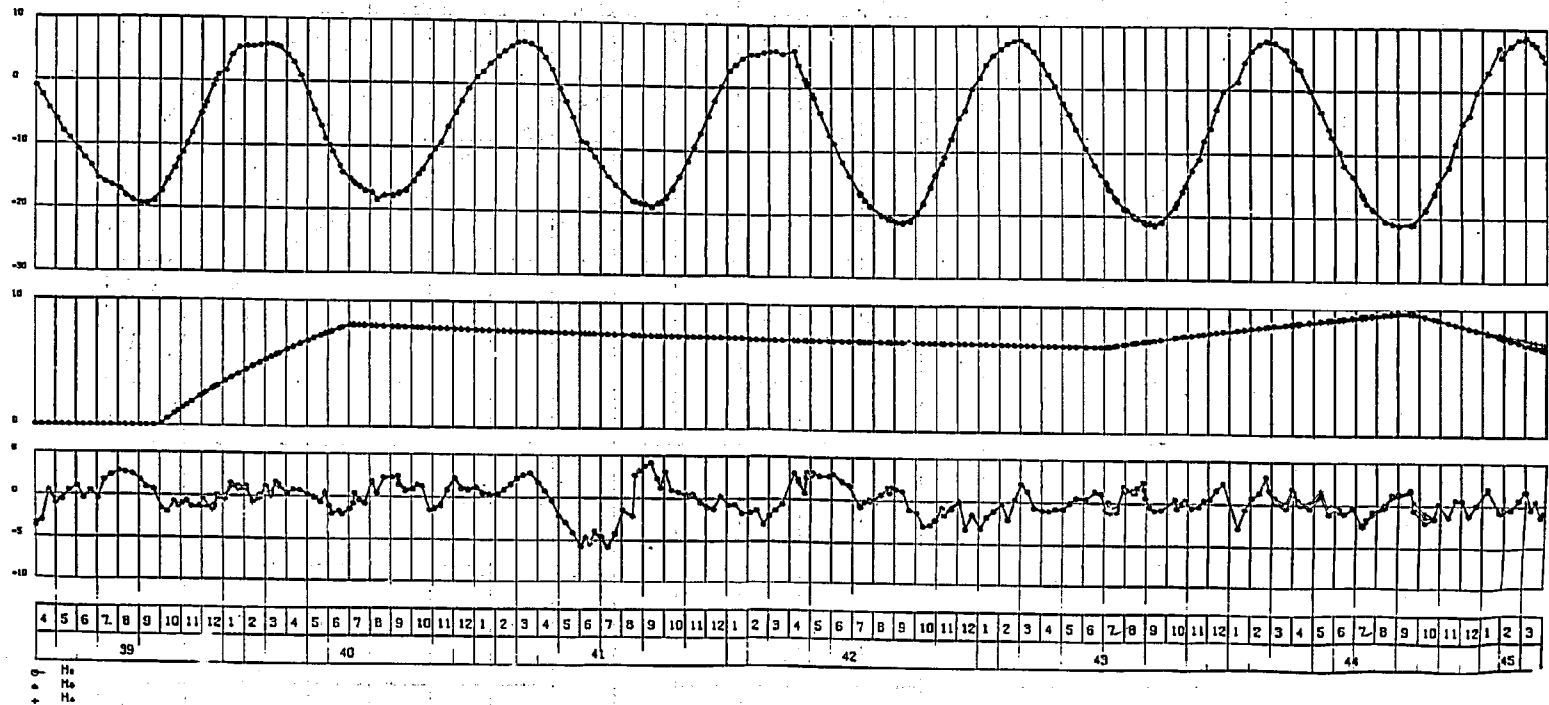


図-7 天ヶ瀬ダム水位～撓み曲線

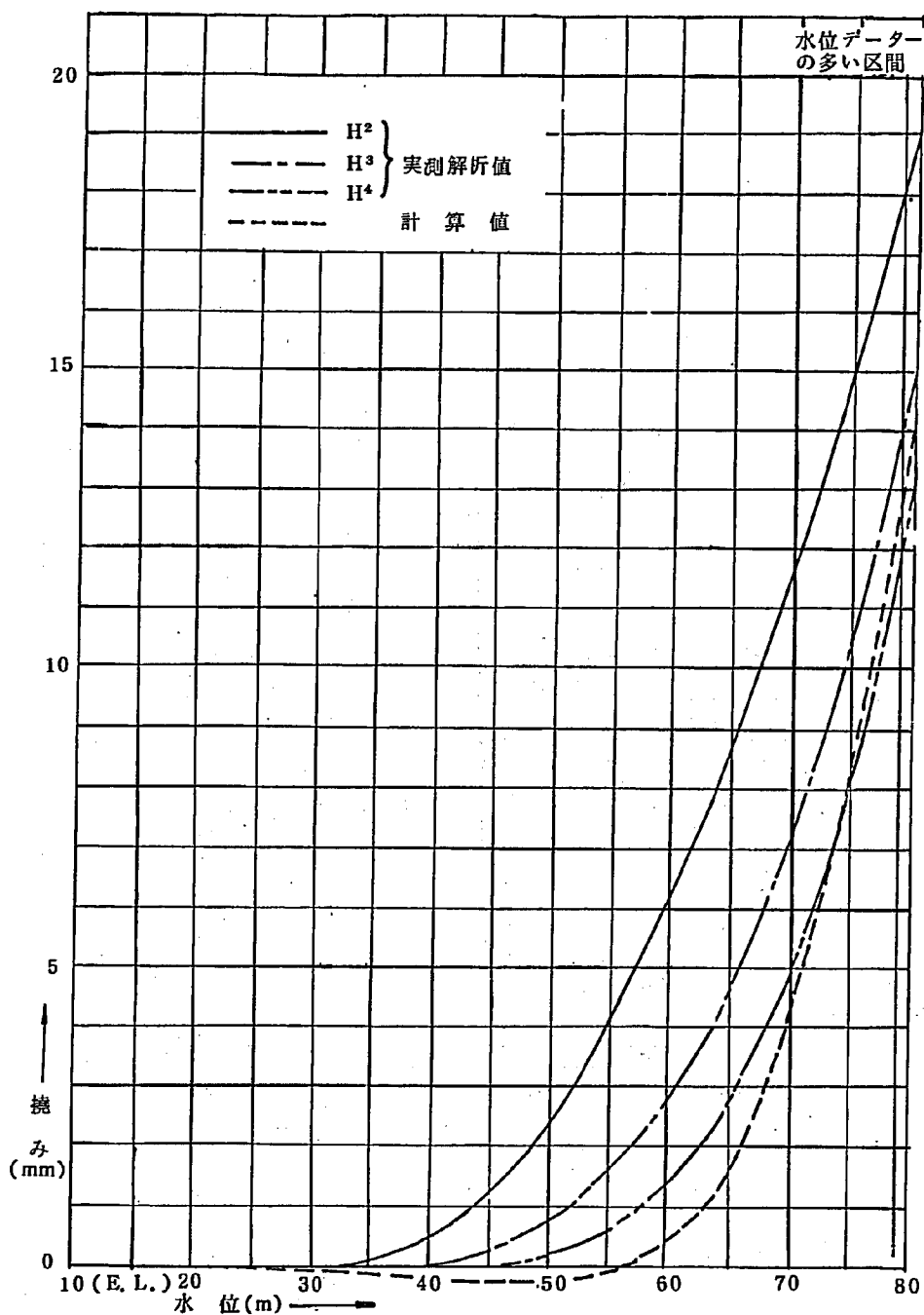
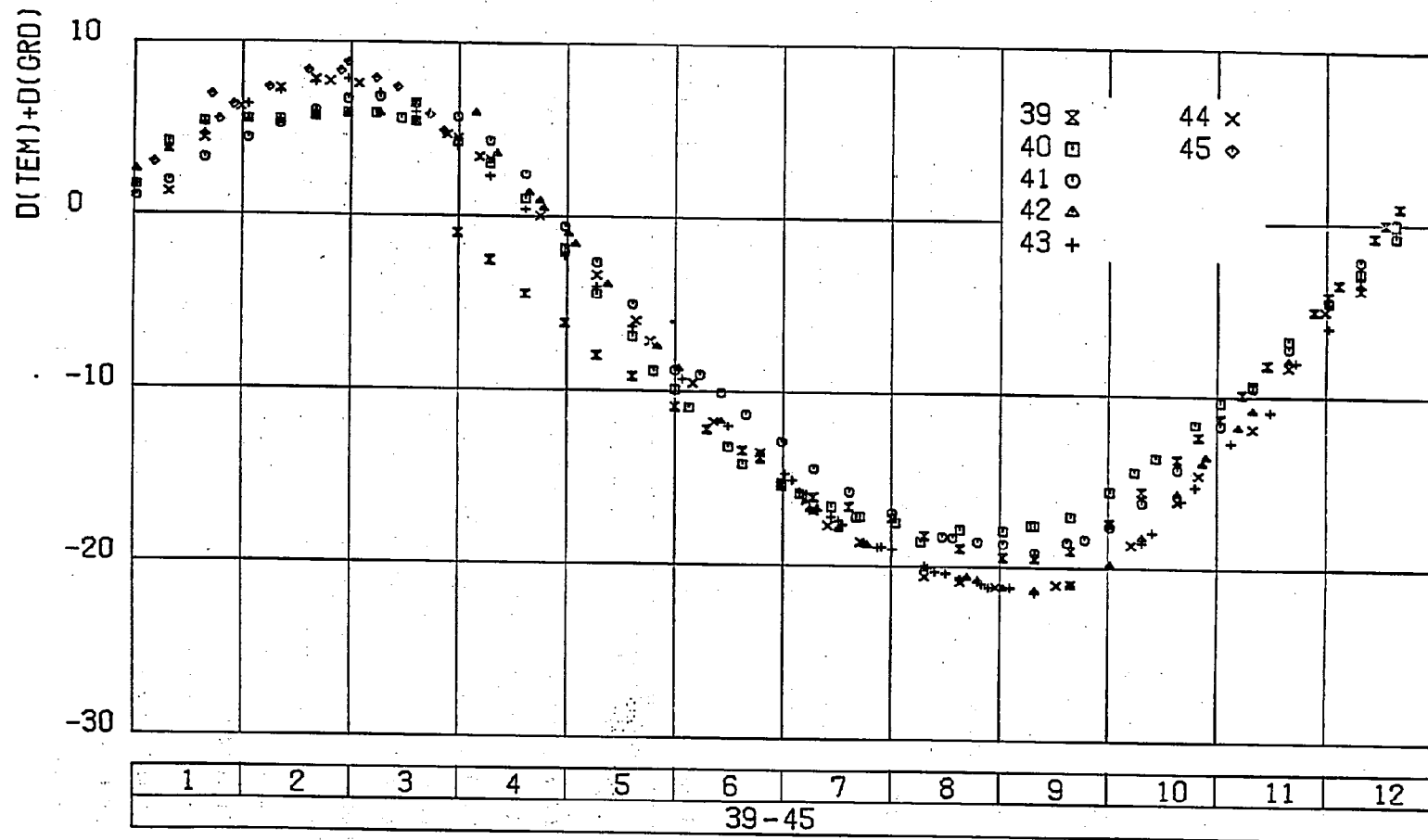


図-8 温度による撓み



3-4 撓みによるダムの安全管理

統計的手法により(2)~(4)式なる挙動方程式を得た。これらの式は水位データーの多い標高65m~78mの区間で精度を有するもので、任意の時点の水位及び温度条件を代入して求めた実測解析値と実測値を比較することにより、ダムが過去と同じ動きをしているか否かを判断することが出来る。しかし実際に(2)~(4)式を計算するには各標高の平均温度、温度勾配を求めるなどかなり複雑な手続が必要で、ダム管理所でダムの安全管理に用いるには不向である。そこで月・日と貯水位がわかれば簡単に近似的に求められる方法を示したのが表-2である。

表-2 天ヶ瀬ダム撓み簡易計算表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
式	常 数	温度変化による撓み	水位変動による撓み	経年変化による撓み	全撓み	
	C	$\sum a_i t_i + \sum b_i \alpha_i$	$f(h)$	$\sum K_i \log \frac{1+\theta}{1+g_i}$	$(1)+(2) + (3)+(4)$	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
(2)	-11009	図-7の実線	$0.0086372(h-3325)^2$ 又は図-6の実線	6.8680		
(3)	-66593	図-7の実線	$0.00014459(h-3325)^3$ 又は図-6の点線	7.0855		
(4)	-44695	図-7の実線	$0.0000026726(h-3325)^4$ 又は図-6の一点鎖線	7.3290		
ex.	-11009	7.50	14.84	6.868	18.20	実測の撓み 19.3

(但し h……m)

表-2の下段は昭和45年3月9日の貯水位が74.70m、実測の撓みが9.3mmのとき表-2の使用例を示したものである。表-2によれば未知数は温度変化及び水位変動による撓みである。そこで図-8の3月9日の温度変化による撓み、図-7より標高74.70mの時の貯水位による撓みを求め、全撓みを計算した。その結果、実測解析値は18.2mm、実測値は19.3mmで両者はほぼ一致しておりダムは過去と同じ動きをし安全であると判断できる。この計算例はげの場合であったが、げの場合も同様で(2)~(4)式のいずれを使用しても大差ない。尚、この表を用いてダムを管理する場合、

- i) この表は水位データーの多いEL70m~78mの区間の水位のときにしか適用出来ない。又年による温度による撓みの振巾の差が約±2mmある。
- ii) 解析誤差がげ÷げ÷げ÷1.8mmあるので考慮して実測値と実測解析値を対比されたい。
- iii) 解析上昭和39年4月1日の撓みを0として計算しており、昭和45年4月以降の撓みについては実測値に+17mmを加えたものを実測値として実測解析値(表-2を用いて計算した値)と対比されたい。
- iv) この表を用いてダムの安全管理を行う場合、昭和48年位まで使用可能である。若しそれ以降

も引き続き撓みによるダムの安全管理を行うには更にデーターを追加し解析し直したものを使用すべきである。

尚、対比した結果実測値と実測解析値の差が異常に大きいとき、また、実測値と実測解析値の差が一定の方向に増加し出すときには注意を要する。

3-5 計算値と実測解析値との対比

前節での解析は過去の測定値からみて現在ダムが安定した状態にあるかを判断し、この解析結果に基づきダムを管理するために行ったものであった。

現在の設計計算は多くの仮定と省略の上で行われており、実際のダムに影響を与える全因子を考慮しているとは限らず、安全管理を行う上で設計値と実測値とを対比するのは最適な方法とは云い得ない。しかし設計値と実測値を対比することは現在の設計方法を検討する上で重要なことであり、温度変化による撓みと水位変動による撓みについては計算値とさきに行った実測解析値の対比を行った。

設計計算は荷重分割完全調整計算により温度荷重は実測により求められた平均温度、温度勾配を用いた。

まず温度による撓みについて対比する。完全調整計算の温度による撓みは、

$$\delta_T(C) = 10.2 \sin \frac{2\pi}{\omega} (\theta + 34) \dots\dots\dots(5)$$

一方実測解析の温度による撓みは(図-8)

$$\delta_T(O) = 13.7 \sin \frac{2\pi}{\omega} (\theta + 34) - 5.9 \dots\dots\dots(6)$$

となっている。

この(5)式と(6)式を比較すると位相は全く一致するが、振幅は(6)式の方が約25%大きくなっている。このことは、撓みの重回帰分析によると温度による撓みの分離が充分でなく、温度による撓みの中に水位による撓みが含まれているものと考えたが、実測解析の温度による撓みが計算値より小さいことから実証された。

4. 歪の解析

歪の測定はダムの局部現象の測定であり、ダムの安全性を巨視的に管理する場合には必要ないが、ダムに異常が生じた時、その原因と対策を検討する上で必要となってくる。

ダムには歪計、応力計等数多くの計器が埋設されているが、これらの計器はかなり感度が高く埋設時の取扱いの不充分さ等から破損あるいは理解し難い測定値を示すものも多く、万一の場合に備え測定し続けるにしても、ダムに異常が生じた時、その原因と対策を検討するのに利用出来ないものであるならば無駄な労力をかけたことになる。

そこで適当な時期に各計器の測定値がダムの局部現象の測定資料として利用出来るか否かを知るために歪計の生死判定を行い、正常に動いていると思われる計器について歪の重回帰分析を行った。

4-1 歪の生死判定

歪計の生死判定を行う場合まず歪補正計算を行いこれを図化する。この場合歪は撓みと同様に貯水位及び温度の影響を受けるので、図の上部に貯水位、平均温度、温度勾配を併記する。

判定の方法は歪計グラフの歪値と個々の水位変動及び温度変化の対応性を調べ、良いと思われるものから順次1, 2, 3, 4, 5の点数を判定表につけ判定を行う。

この場合、温度変化との対応は季節的な周期変動を示し判定し易いが、水位変動との対応は埋設位置や方向により異り判定が困難である。

そこで水位変動との対応性を検討する場合、まず急激な水位変動(図-9 I, II, III, IV)の区間で水位上昇、下降に対し歪の値が⊕側に変動するか⊖側に変動するかを調べ、その結果に基づき他の水位区間(図-9 a~jの区間)の対応性を調べる方法をとった。本ダムは図-1に示すような個所に歪計が埋設されているがその内表-3に示す歪計の検討を行った。

表-3

計器番号	ブロック	E. L.	成分数	位 置	計器番号	ブロック	E. L.	成分数	位 置
S ₂	9	21.0	9	中 央	S ₂₂	9	46.5	7	上流側
S ₃	9	21.0	7	下流側	S ₂₃	9	46.5	9	中 央
S ₁₀	9	31.5	7	上流側	S ₂₄	9	46.5	7	下流側
S ₁₁	9	31.5	9	中 央	S ₃₂	9	61.5	7	上流側
S ₁₂	9	31.5	7	下流側	S ₃₃	9	61.5	7	下流側

これらの歪計について歪補正計算(温度補正)をし、歪値と水位及び温度との関係を示したのが図-9である。この図-9より歪の生死判定を行ったのが表-4である。図-9, 表-4より

- i) 総体的に季節的な周期変動が顕著に現われており、温度変化と非常によく対応している。反面水位との対応は殆んど認められない。
 - ii) 一個の歪計の中で個々の成分を見た場合にはよくないものもあるが、歪計全体としてみた場合 E L 60 m 以外は正常に動いているようである。
- という事が云える。

判定表(表-4)に基づきこれらの歪計がダムの局部現象を示す資料として使用し得るか否かについての検討を行った。これを示したのが表-5である。

表 - 5

計器番号	E. L.	位 置	判定	摘 要	計器番号	E. L.	位 置	判定	摘 要
S ₂	2 1.0	中 央	○		S ₂₂	4 6.5	上流側	○	
S ₃	2 1.0	下流側	○		S ₂₃	4 6.5	中 央	○	
S ₁₀	3 1.5	上流側	○		S ₂₄	4 6.5	下流側	○	
S ₁₁	3 1.5	中 央	○		S ₃₂	6 1.5	上流側	×	
S ₁₂	3 1.5	下流側	○		S ₃₃	6 1.5	下流側	×	

(○ 測定継続, × 測定打ち切り)

9-E L 6 0-S 3 3 以外の計器についてはほぼ温度変化もしくは水位変動との対応がみられ, 今后も測定を継続し, 測定資料を整理, 保存すべきである。

図-10は生死判定の結果正常に動いていると判定された8個の計器のうちE L 2 1.0-S₂, E L 2 1.0-S₃, E L 3 1.5-S₁₀, E L 3 1.5-S₁₁, E L 4 6.5-S₂₂, E L 4 6.5-S₂₄について応力計算を行い, これを重回帰分析したものである。

この図より,

- i) 鉛直方向の計器については水位による影響が現われているがそれ以外の計器は水位の影響が現われていない。
- ii) 温度応力の振巾及び位相の計算値と実測値を対比したのが表-6である。

表 - 6

計 器 名	方 向	位 相		振 幅	
		実測値	計算値	実測値	計算値
E L 4 6.5-U	接 線	3 0	2 6	3	2.2
	鉛 直	2 2	7 6	3	4.1
E L 4 6.5-D	接 線	-	2 3	3	7.6
	鉛 直	7 0	7 6	1 5	4.1
E L 3 1.5-U	接 線	7 9	2 6	8	2.2
	鉛 直	- 6 5	5 6	2	3.6
E L 3 1.5-D	接 線	-1 2 0	3 4	5	7.2
	鉛 直	-1 2 0	5 6	1 5	3.6
E L 2 1.0-D	接 線	7 2	6 0	7	8.1
	鉛 直	5 5	2 6	1 0	4.5

この表をみると位相及び振巾ともに殆んど一致していない。

i)について検討すると, 本ダムに於いては水位変動が周期的な変動をなし温度変化と似かよった動き

を示している。このため水位によるものと温度によるものとの分離が充分ではなく、水位によるものの持ち分が温度によるものに含まれ、このような現象が表われたものと思われる。

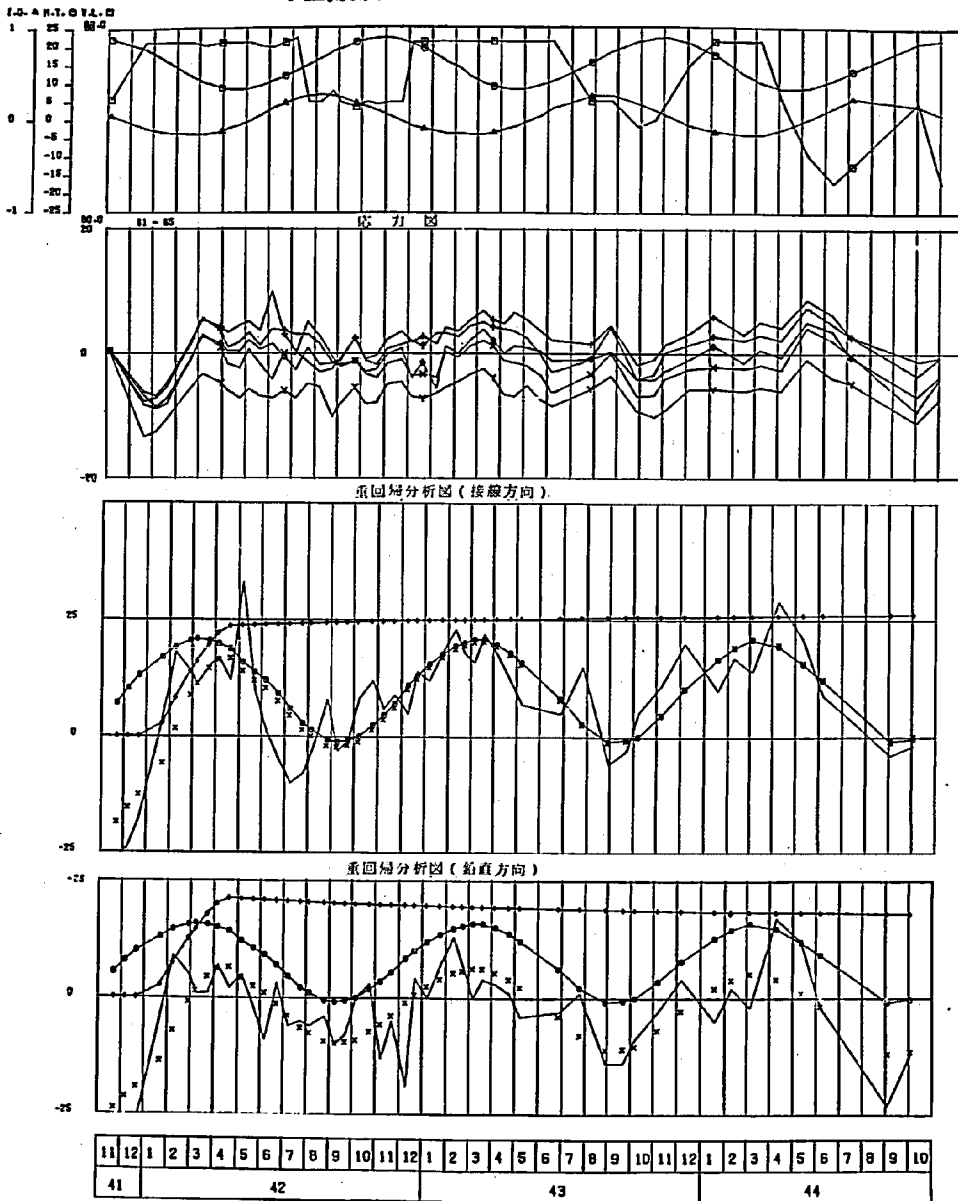
II)について検討すると、重回帰分析には温度補正したものをを用いているが歪の温度補正は歪計による温度を使用している。又、堤内温度は直線分布と仮定しているが実際には曲線分布をなしている。従って上、下流面においては直線分布と仮定した値と実際の値には差があり、これが計算値と実測値の相違となったものと思われる。

以上のことより、定性的にも定量的にも充分な結果は得られず、今後の研究課題として更に検討していきたい。

☒- 10

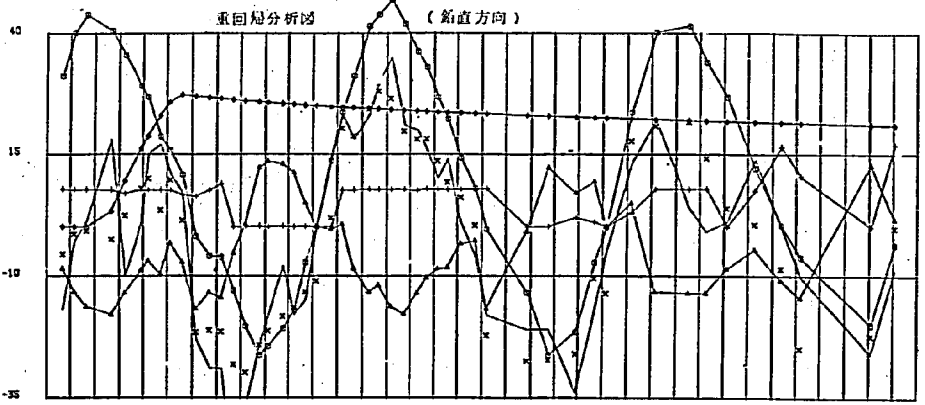
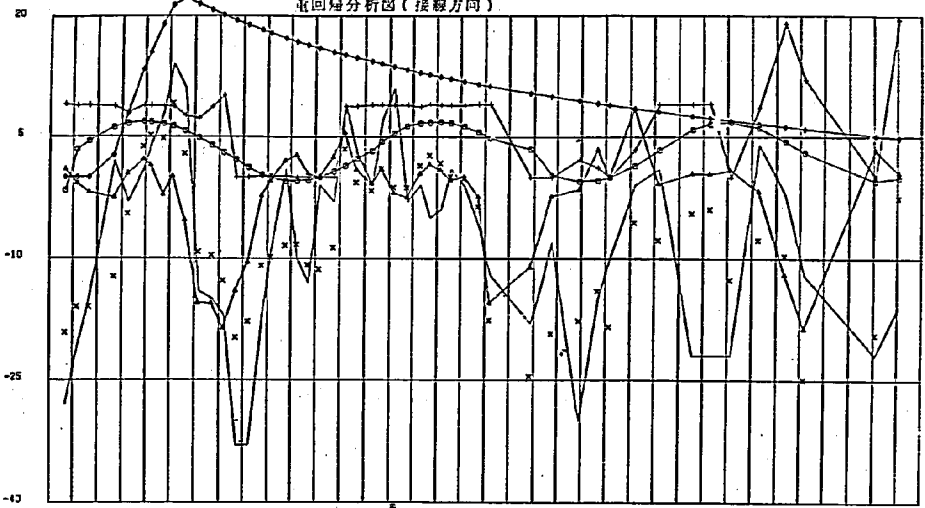
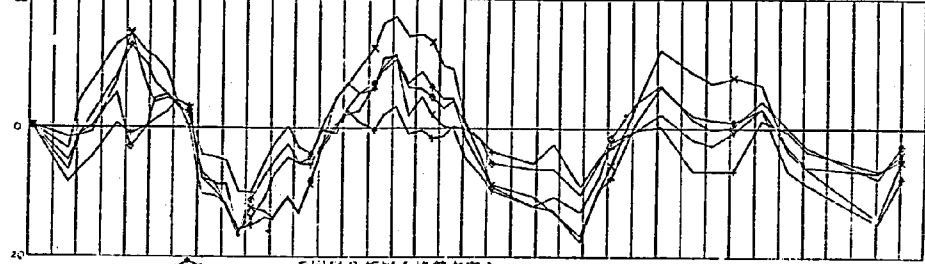
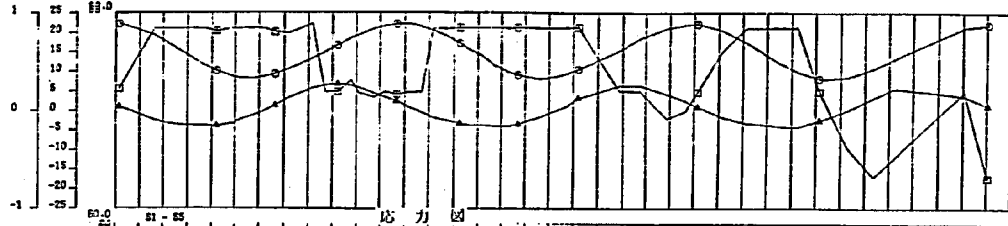
凡 例	
力 団	重 回 帰
* METER 9	— DEFL. DUE TO MEAN TEMP.
x METER 8	— DEFL. DUE TO TEMP. GRAD.
x METER 7	+ DEFL. DUE TO WATER LOAD
x METER 6	— DEFL. DUE TO CREEP
y METER 5	— OVS. DEF.
* METER 4	— CUL. DEF.
x METER 3	
x METER 2	
+ METER 1	

EL 4 6.5 (上流側)



EL46.5 (下流側)

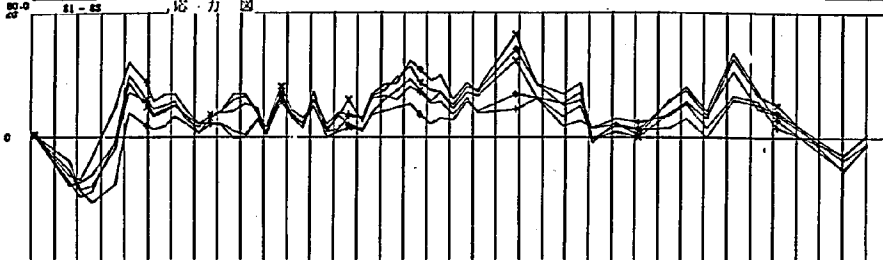
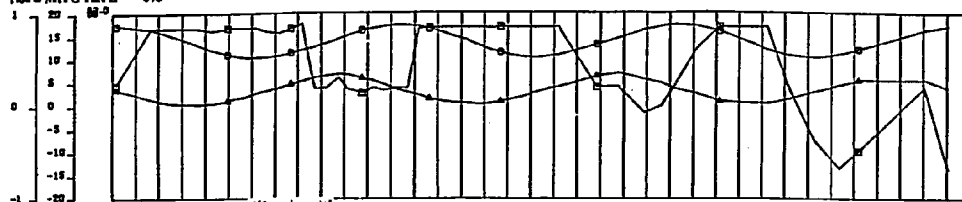
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.



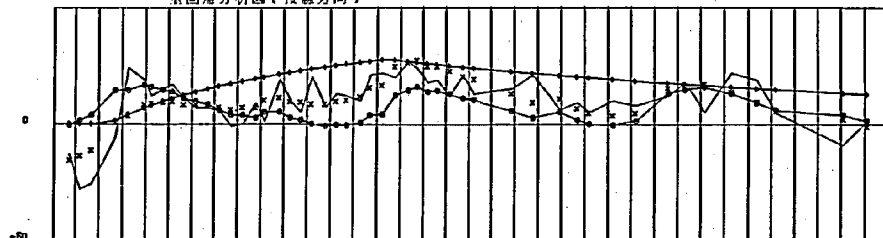
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

EL 3 1.5 (上流側)

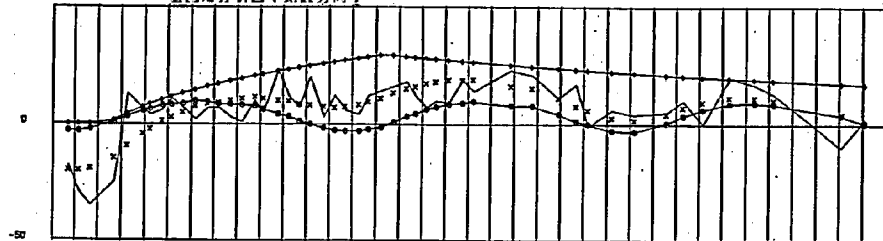
T.S. & N.T. C.V.A. 510



重回帰分析図 (接線方向)



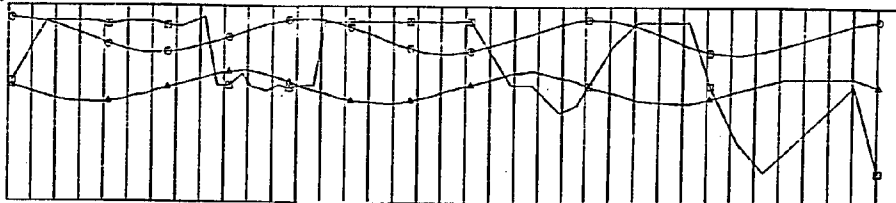
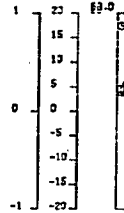
重回帰分析図 (鉛直方向)



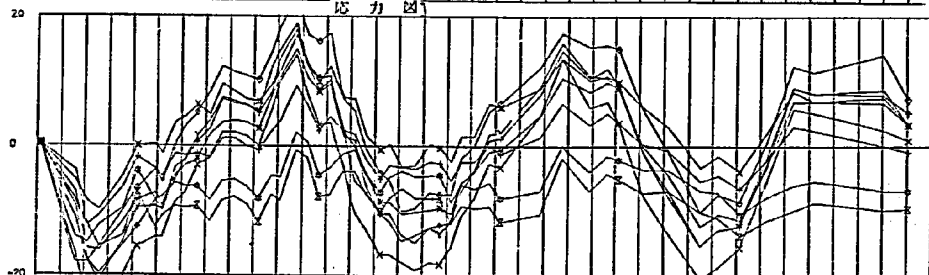
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 41 | 42 | | | | | | | | | | | 43 | | | | | | | | | | | 44 | | | | | | | | | | | | |

EL 3 1.5 (下流側)

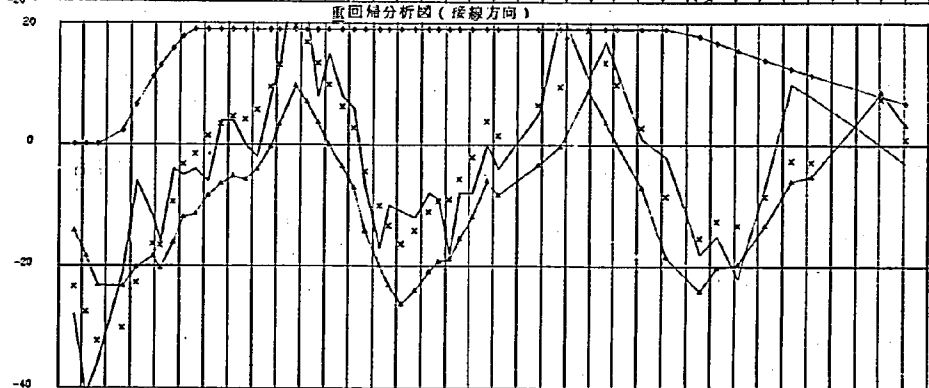
T.O. A.M.T. C.V.L. D



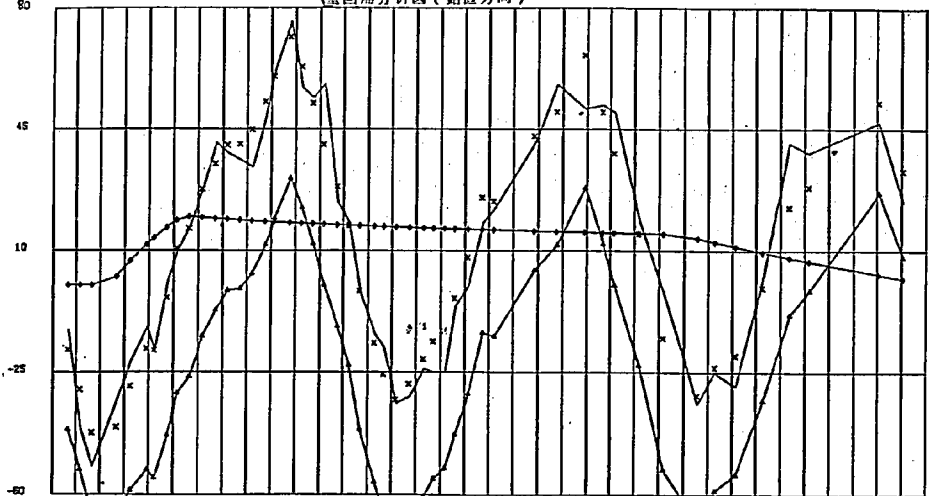
応力図



重回帰分析図 (縦線方向)



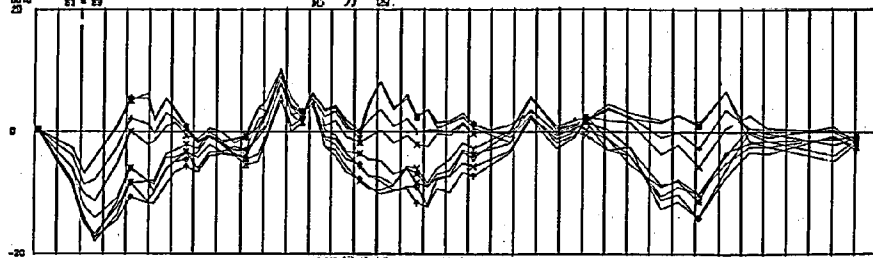
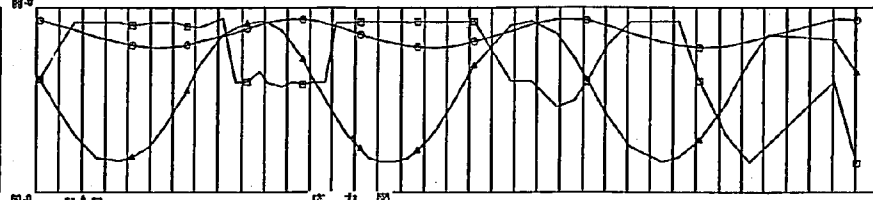
重回帰分析図 (鉛直方向)



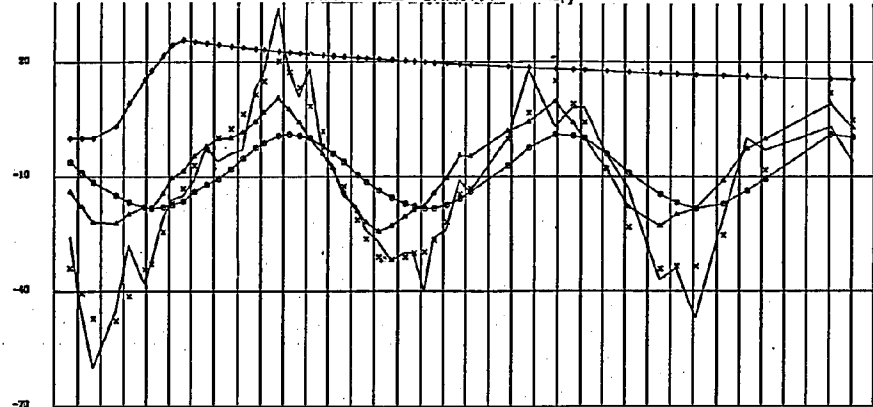
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 41 | 42 | | | | | | | | | | | 43 | | | | | | | | | | | 44 | | | | | | | | | | | | |

EL 2 1.0 (中央)

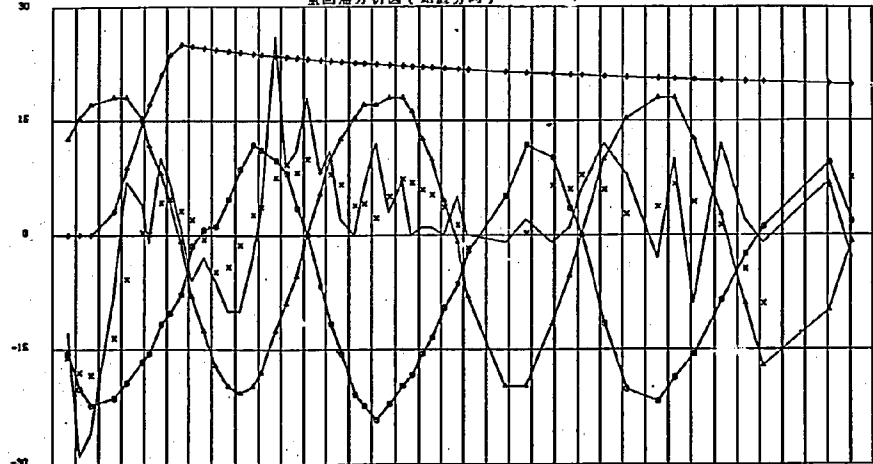
T.O. A.R.T. C.V.L. C



重回帰分析図 (横観方向)



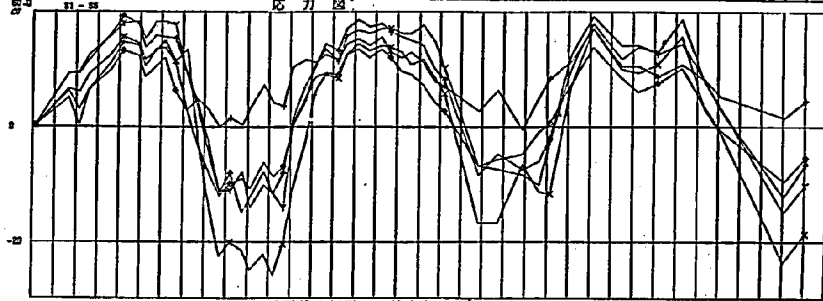
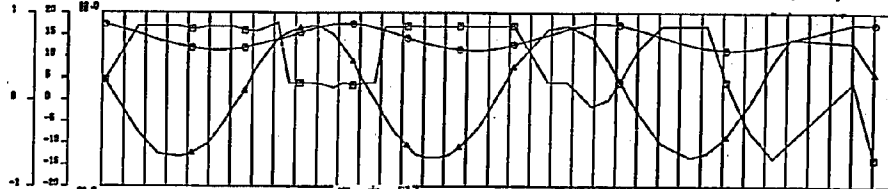
重回帰分析図 (鉛直方向)



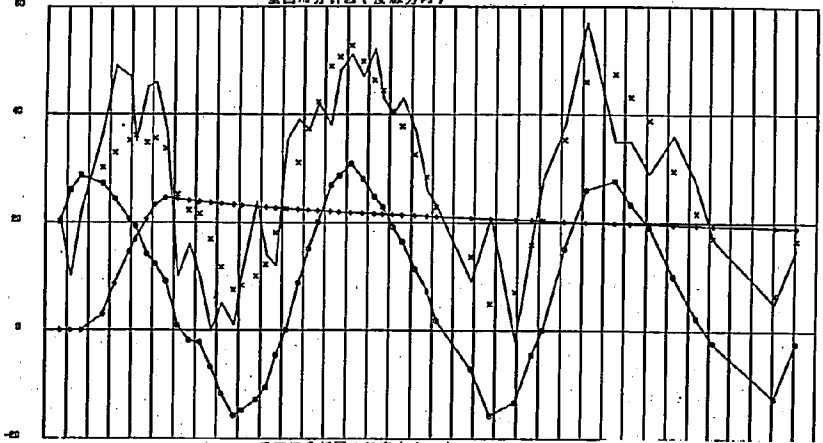
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

EL 21.0 (下流側)

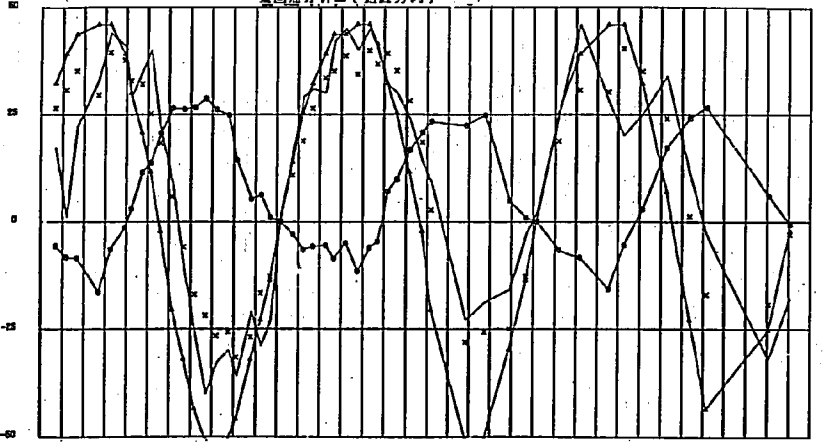
Y.S.A.B.T.O.F.A.-2



重回帰分析図 (横断方向)



重回帰分析図 (鉛直方向)



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--|
| 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 | |
| 41 | 42 | | | | | | | | | | | | 43 | | | | | | | | | | | | 44 | | | | | | | | | | | |

5. 今後の測定

天ヶ瀬ダムは湛水を開始してから約6年経過している。その間諸々の測定を行っているが、歪計、応力計等に於ては埋設時の取扱いの不充分さ等から破損したりあるいは理解し難い値を示すことが多く又、時間の経過に伴ない計器が故障したり、計器誤差が測定誤差を上まわるようになってくる。

従って埋設計器類については次の事に留意し測定を実施されたい。

1) 漏水量、揚圧力の測定

i) 全漏水量の測定は月4回行うこと。

ii) 各々の排水孔の漏水量及び揚圧力の測定はいつでも測定できる状態にしておき、もし全漏水量が非常に大きいとき測定されたい。

iii) 整理方法は横軸に時間を縦軸に全漏水量のグラフを描く。この場合同水位の漏水量が減少していくかあるいは変化しないときダムは安全であると判断してよい。

2) 撓み

i) 撓みは月に4回測定すること。

ii) 整理方法は縦軸に撓み、横軸に時間のグラフを描き、実測解析値(3-4の表-2で計算した値)を併記する。

iii) 撓みを用いてダムの安全管理を行う場合のことについては3-4を参照。

iv) ブラムラインの故障及びピアノ線の取り替え等により基準値が変更になる場合、過去に同じ水位、月、日の時の撓みからか、あるいは表-2により求めた撓みから逆に基準値を定めるのも1つの方法である。

3) 温度計

温度計、歪計等は時間が経過するに伴い計器誤差が漸増する。本ダムの場合このまま温度計で測定した温度は、過去6年間の実測値から推定した温度に比べ誤差が上まわることが考えられる。従って今後の温度測定は打ち切ってさしつかえない。但しこの場合、測定の必要が生じたらただちに測定し得る状態にしておく事が望ましい。

4) 歪計

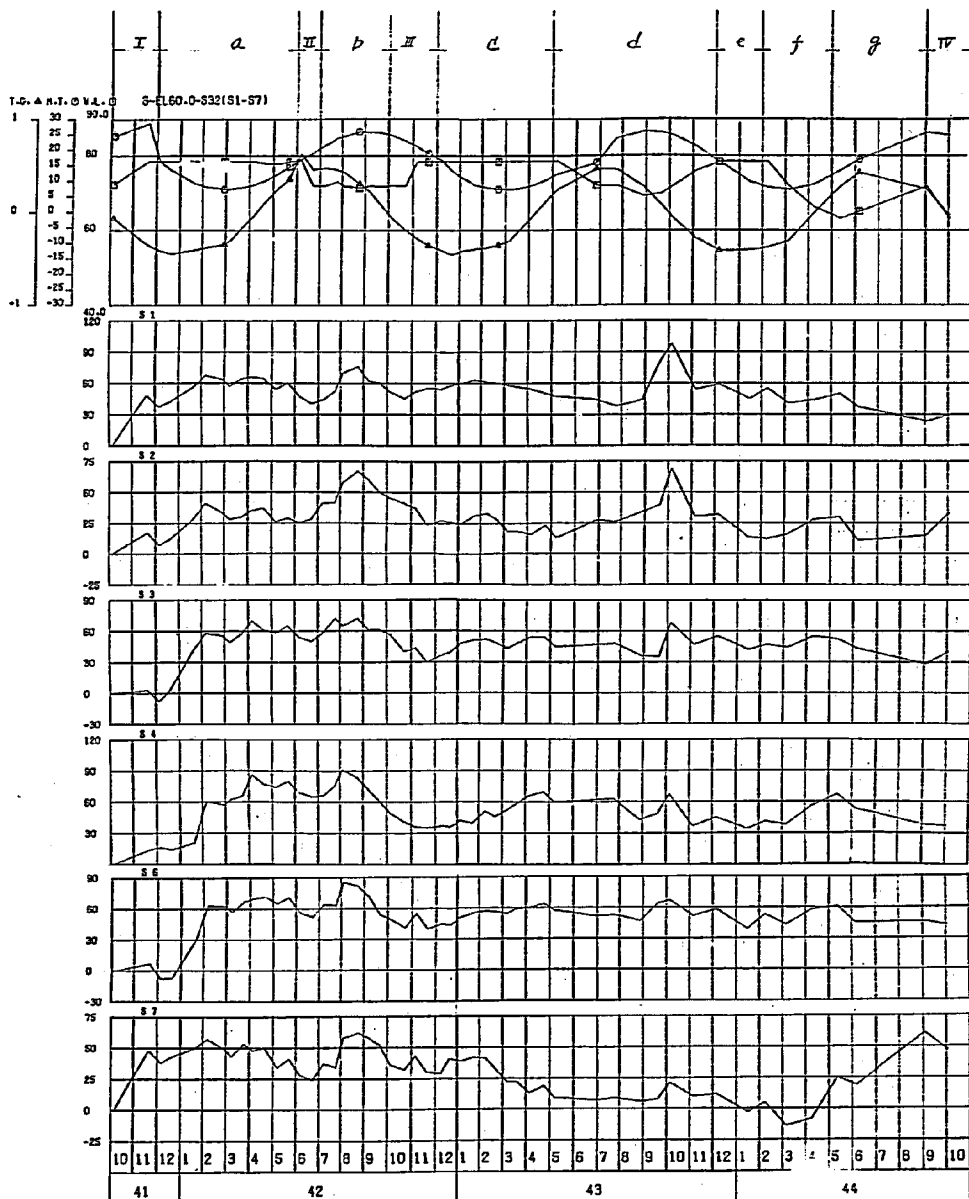
i) 前節の歪の判定結果により9-EL60-S33の歪計の測定を打ち切って差し支えない。

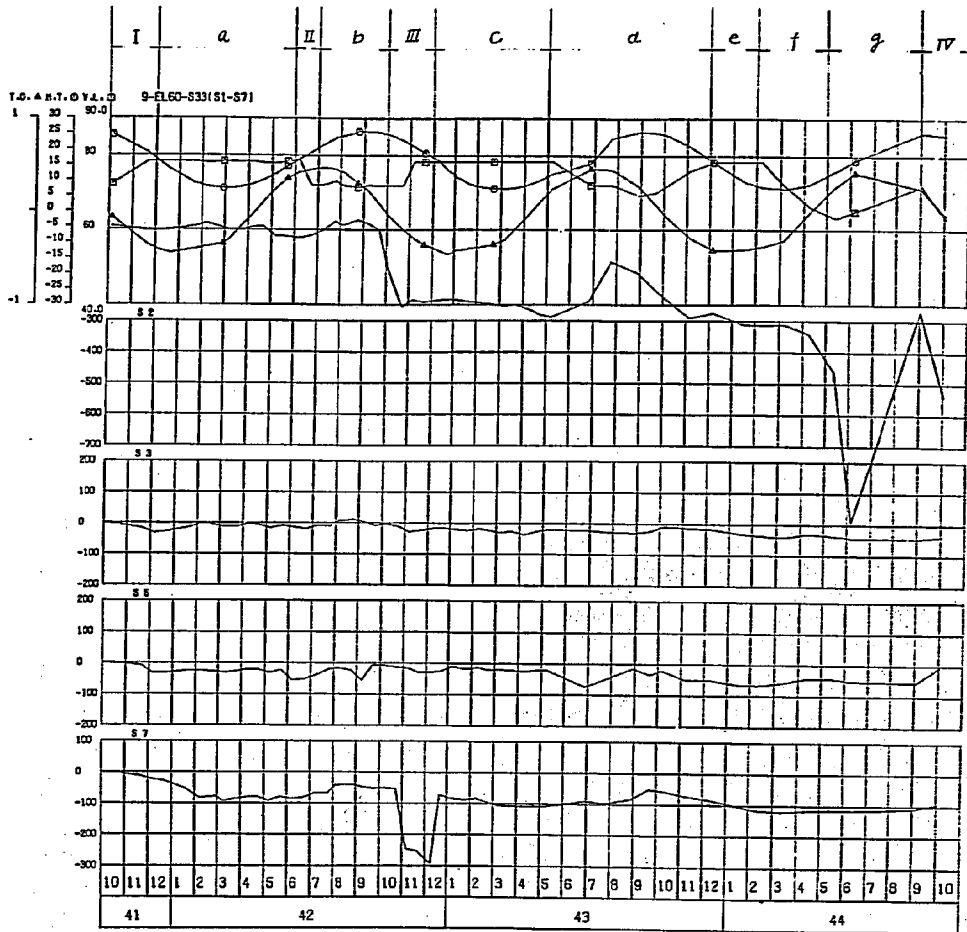
ii) その他の9個の歪計は月1回の測定を行うこと。

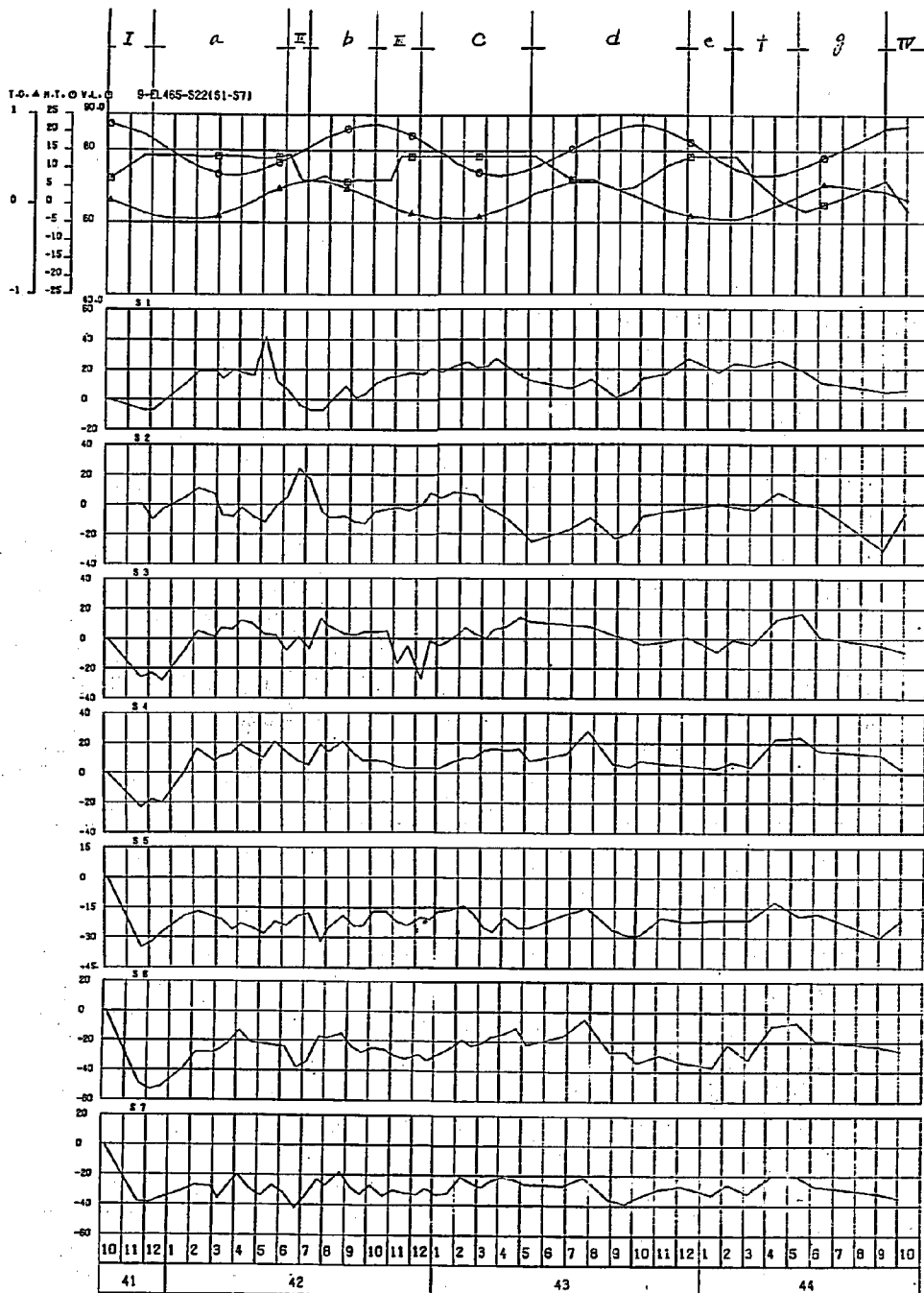
5) その他の計器

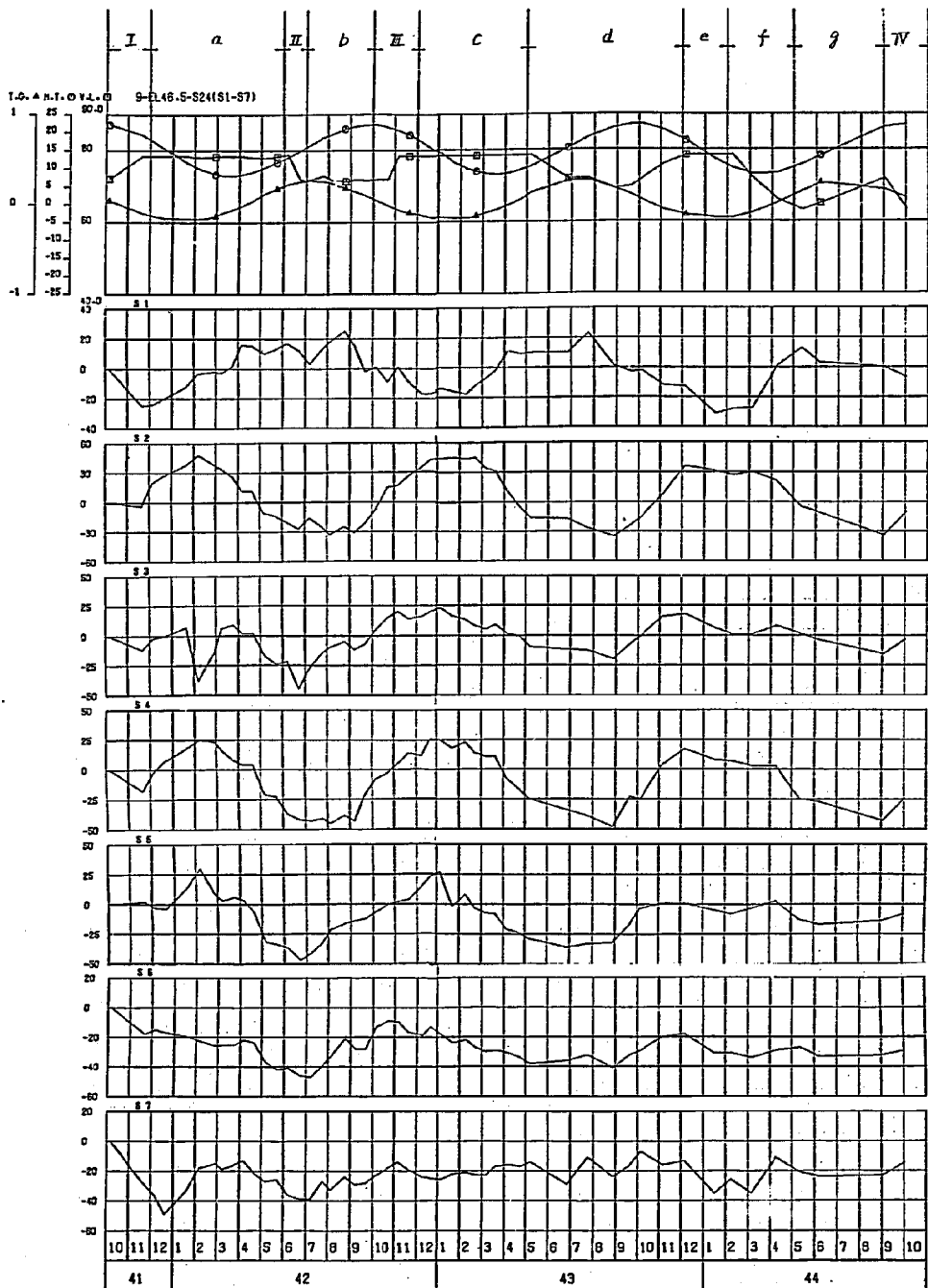
その他の計器については、今後測定を打ち切っても差し支えない。尚、地震計については土木研究所の振動研究室に相談されたい。

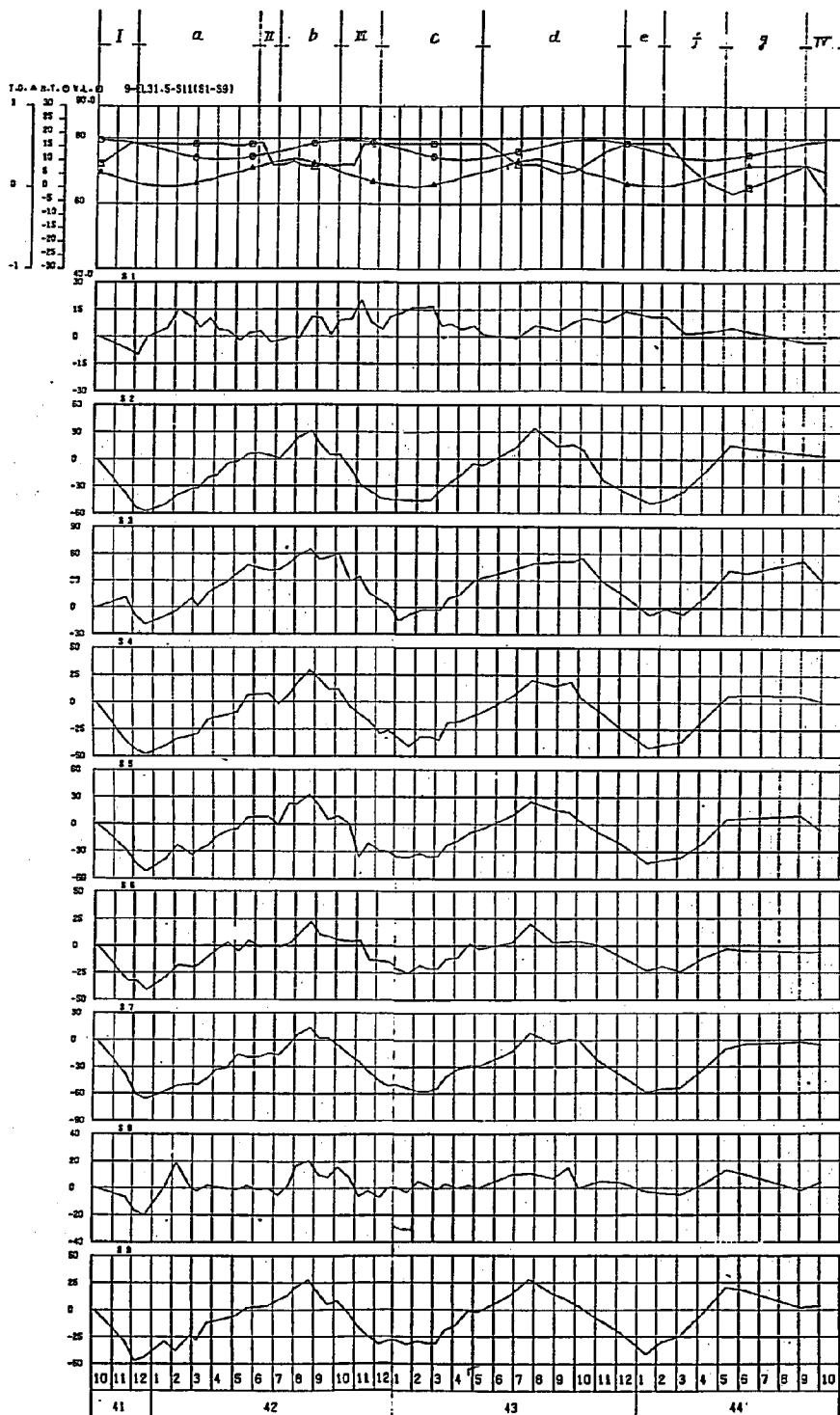
图-9

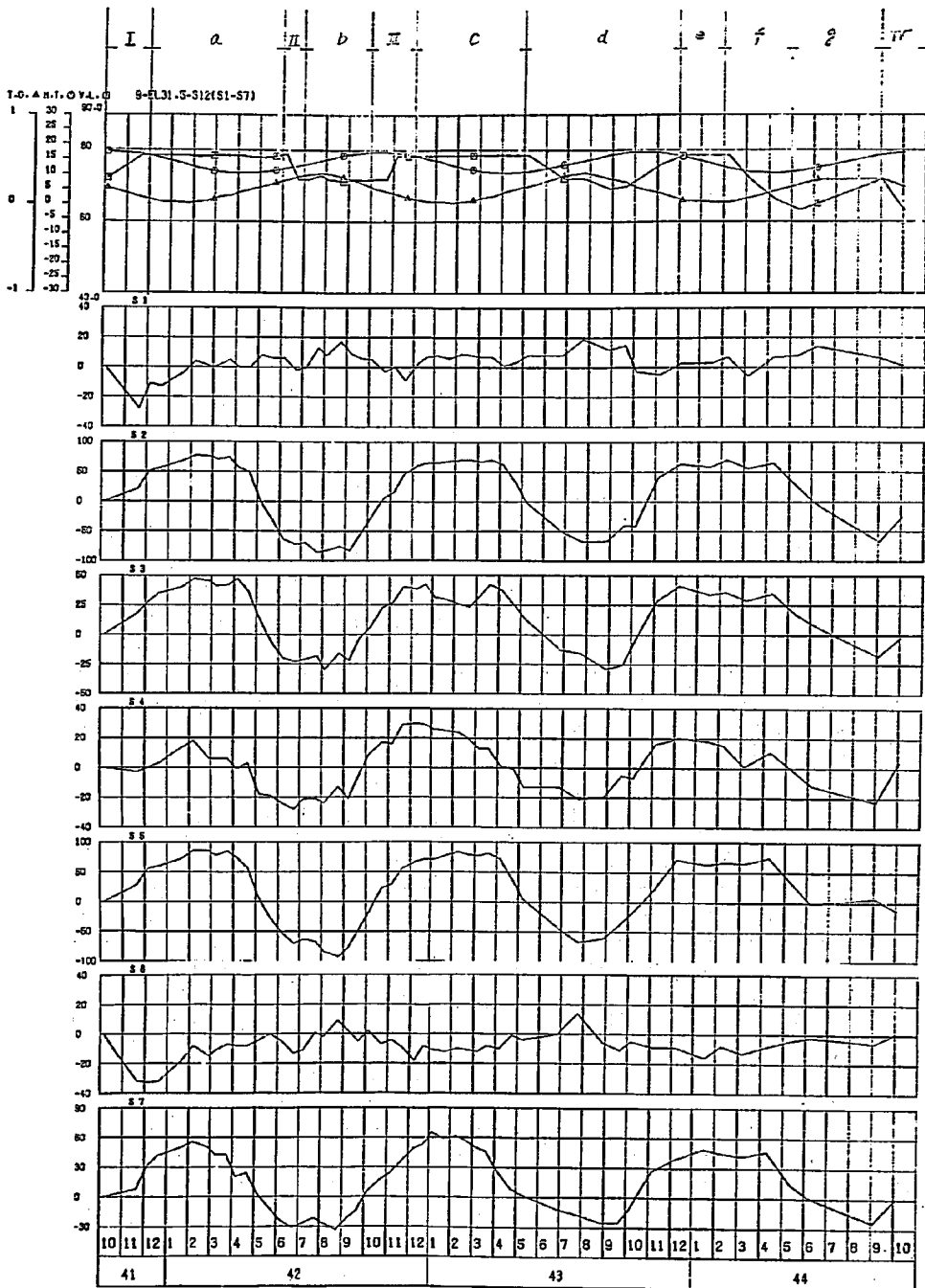


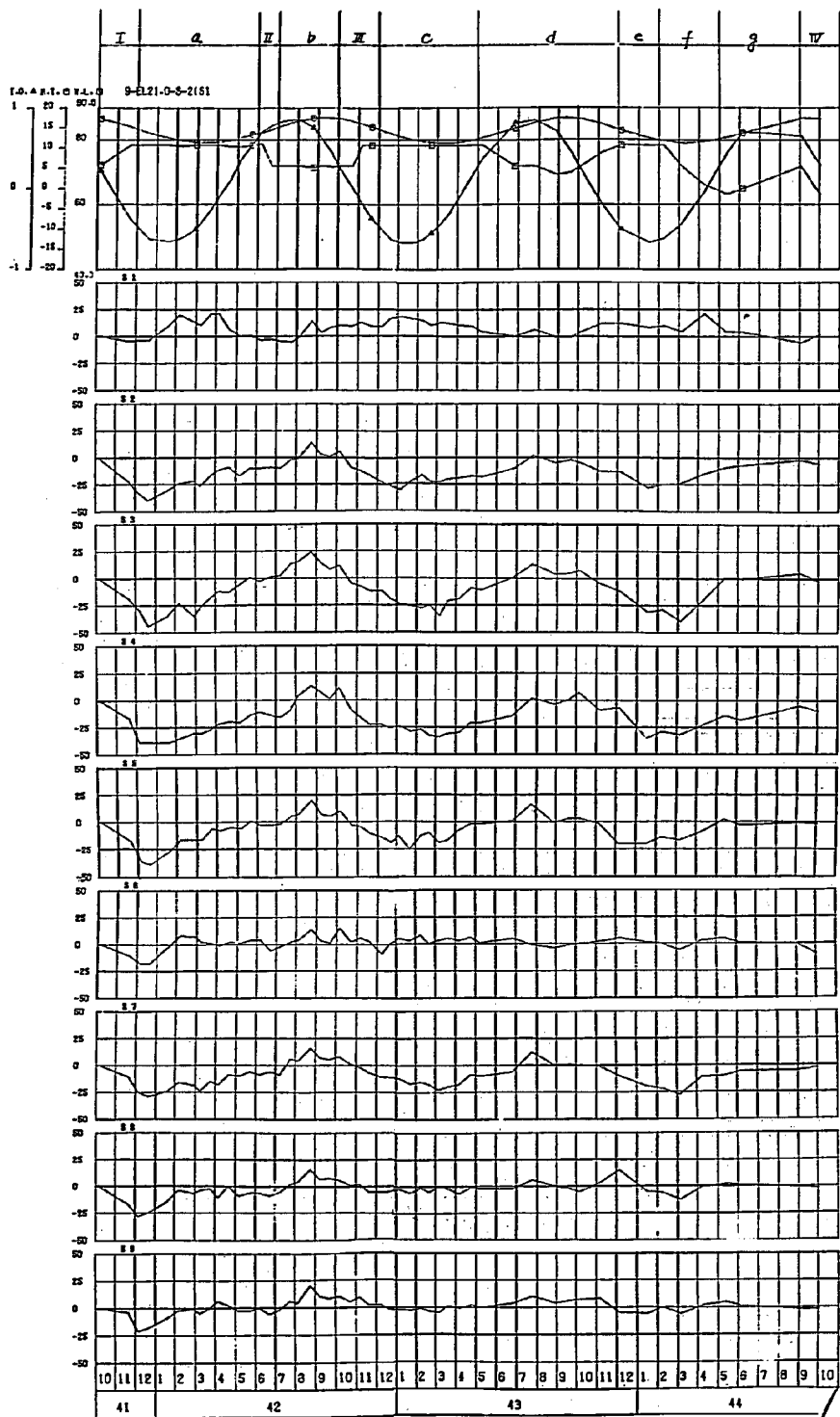












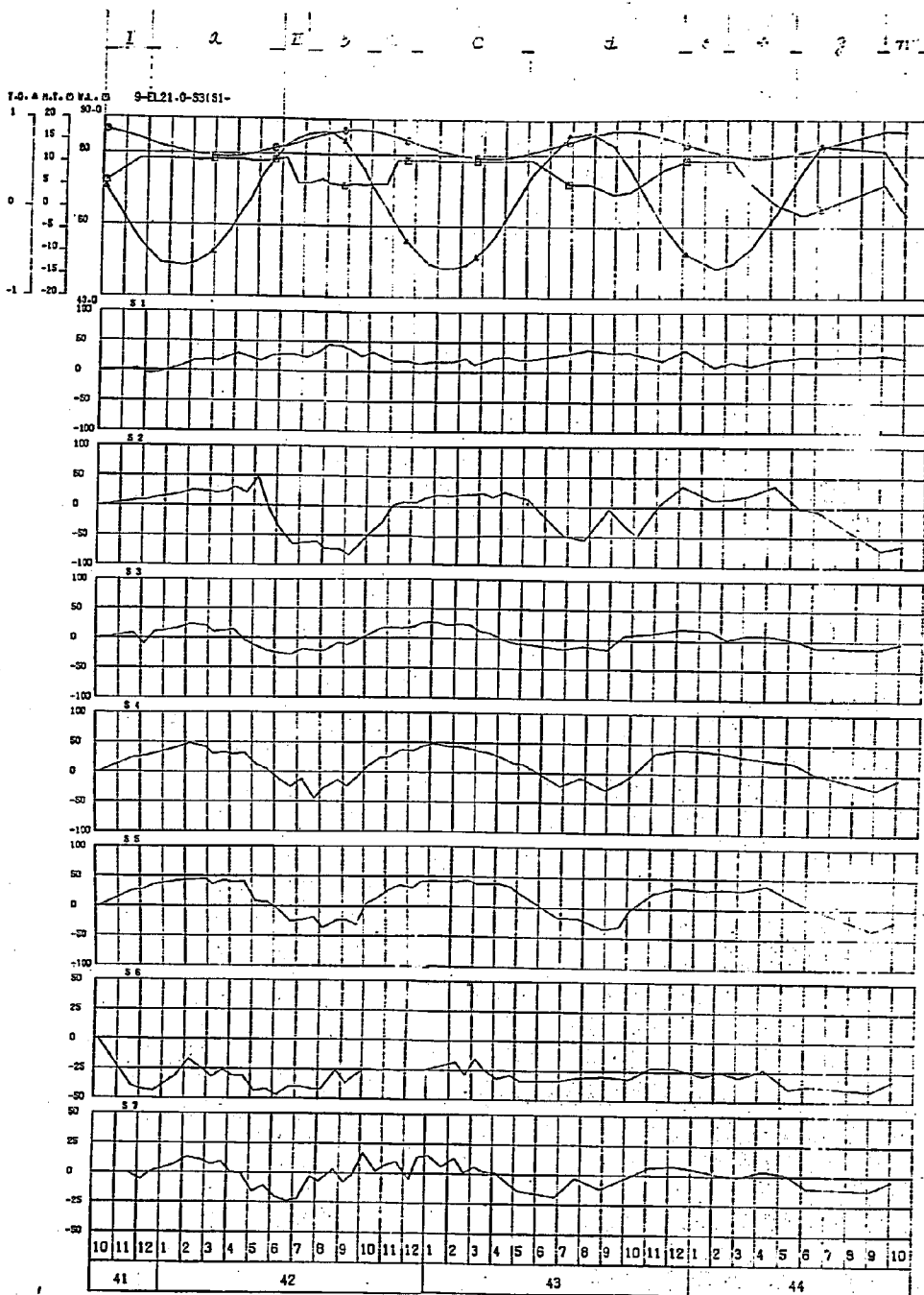


表 - 4
歪 計 判 定 表

| 判定事項 | BLOCK
EL
成分 | 9 中 | | | | | | | | | 9 下 | | | | | | | | |
|----------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 21-S ₂ (S ₁ ~S ₉) | | | | | | | | | 21-S ₃ (S ₁ ~S ₇) | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | ③ | 4 | 5 | 6 | ⑦ | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ⑥ | 7 | 8 | 9 |
| 水位の急激な変動 | [I] | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | | |
| " | [II] | △ | △ | ○ | ○ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| " | [III] | □ | △ | ○ | □ | □ | △ | △ | △ | △ | ○ | ○ | △ | ○ | △ | △ | | | |
| " | [IV] | × | ○ | × | ○ | △ | ○ | △ | △ | ○ | × | × | × | × | ○ | × | | | |
| その他の水位変動 | (a) | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | | |
| " | (b) | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | □ | □ | △ | □ | △ | △ | | | |
| " | (c) | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | △ | ○ | ○ | ○ | □ | □ | ○ | □ | △ | | | |
| " | (d) | ○ | × | × | × | × | ○ | × | □ | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ | □ | □ | | |
| " | (e) | □ | △ | △ | △ | △ | ○ | △ | △ | ○ | △ | □ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| " | (f) | △ | × | ○ | × | × | × | ○ | △ | ○ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | □ | △ | | |
| " | (g) | × | ○ | × | ○ | △ | △ | × | × | × | △ | × | ○ | × | × | □ | △ | | |
| 水位の総合判断 | | △ | △ | △ | △ | △ | □ | □ | △ | □ | △ | □ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | | |
| 平均温度の対応性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 温度勾配の " | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | □ | ○ | | |
| 総合判断 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | □ | ○ | | |
| 点 | | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | | |

| 判定事項 | BLOCK
EL
成分 | 9 上 | | | | | | | | | 9 中 | | | | | | | | |
|----------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 31.50-S ₁₀ (S ₁ ~S ₇) | | | | | | | | | 31.50-S ₁₁ (S ₁ ~S ₉) | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | ① | ② | 3 | ④ | ⑤ | ⑥ | 7 | 8 | 9 |
| 水位の急激な変動 | [I] | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | □ | □ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| " | [II] | × | ○ | × | ○ | □ | △ | △ | | | × | × | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| " | [III] | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | | △ | × | □ | △ | □ | ○ | △ | ○ | △ |
| " | [IV] | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | | | △ | × | ○ | × | × | △ | × | ○ | ○ |
| その他の水位変動 | (a) | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| " | (b) | □ | △ | △ | △ | △ | □ | △ | | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| " | (c) | ○ | △ | □ | □ | △ | △ | □ | | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | △ |
| " | (d) | × | △ | ○ | ○ | □ | × | ○ | | | □ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| " | (e) | ○ | □ | □ | □ | △ | × | △ | | | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | □ | △ |
| " | (f) | □ | △ | ○ | △ | △ | △ | ○ | | | □ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| " | (g) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | | | × | ○ | ○ | ○ | □ | ○ | □ | ○ | ○ |
| 水位の総合判断 | | | | | | | | | | | △ | △ | △ | □ | □ | □ | △ | ○ | □ |
| 平均温度の対応性 | | ○ | ○ | ○ | □ | □ | □ | ○ | | | | | | | | | | | |
| 温度勾配の " | | | | | | | | | | | □ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 総合判断 | | ○ | ○ | ○ | □ | □ | □ | ○ | | | □ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 点 | | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | | | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |

| 判定事項 | BLOCK
EL
成分 | 9 下 | | | | | | | | 9 上 | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 1.5 0-S ₁₂ (S ₁ ~S ₇) | | | | | | | | 4 6.5-S ₂₂ (S ₁ ~S ₇) | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 水位の急激な変動 [I] | | × | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | × | ◎ | | × | △ | ◎ | × | ○ | × | × | | |
| " [II] | | ◎ | ◎ | □ | × | ◎ | ◎ | ◎ | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | | |
| " [III] | | □ | □ | □ | □ | □ | △ | △ | | △ | △ | ○ | □ | ◎ | ○ | ○ | | |
| " [IV] | | ◎ | × | × | ◎ | ◎ | ◎ | × | | △ | ◎ | × | ◎ | ◎ | ○ | ○ | | |
| その他の水位変動 (a) | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | △ | △ | △ | △ | □ | △ | □ | | |
| " (b) | | △ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | | △ | △ | □ | △ | △ | △ | △ | | |
| " (c) | | ○ | □ | △ | △ | △ | □ | △ | | □ | △ | △ | △ | △ | △ | □ | | |
| " (d) | | × | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ◎ | | ◎ | □ | △ | □ | △ | × | ○ | | |
| " (e) | | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ○ | □ | | □ | ○ | △ | ◎ | ◎ | □ | □ | | |
| " (f) | | △ | ○ | □ | □ | □ | × | △ | | □ | □ | ○ | △ | △ | △ | △ | | |
| " (g) | | × | × | × | ◎ | ◎ | × | × | | × | ◎ | ○ | △ | ◎ | △ | △ | | |
| 水位の総合判断 | | △ | ○ | □ | □ | ○ | △ | □ | | △ | □ | □ | □ | ○ | □ | □ | | |
| 平均温度の対応性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 温度勾配の " | | □ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | □ | ◎ | | ◎ | ○ | ○ | □ | □ | ○ | □ | | |
| 総合判断 | | □ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | □ | ◎ | | ◎ | ○ | ○ | □ | ○ | ○ | □ | | |
| 点 | | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | | |

| 判定事項 | BLOCK
EL
成分 | 9 中 | | | | | | | | | 9 下 | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4 6.5-S ₂₃ (S ₁ ~S ₈) | | | | | | | | | 4 6.5-S ₂₄ (S ₁ ~S ₇) | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 水位の急激な変動 [Ⅰ] | ○ | ◎ | × | ◎ | × | × | × | △ | | × | × | × | × | × | × | × | | | |
| ” [Ⅱ] | △ | ○ | ◎ | □ | ◎ | ○ | ◎ | △ | | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | | | |
| ” [Ⅲ] | △ | □ | ○ | ○ | □ | △ | × | △ | | □ | □ | □ | □ | □ | △ | □ | | | |
| ” [Ⅳ] | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | △ | | ◎ | × | × | × | × | × | × | | | |
| その他の水位変動 (a) | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | | |
| ” (b) | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | | |
| ” (c) | □ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | □ | | | |
| ” (d) | □ | ○ | ◎ | × | △ | × | × | △ | | × | ◎ | ◎ | ○ | ◎ | ○ | □ | | | |
| ” (e) | △ | ○ | △ | ◎ | △ | △ | ○ | ◎ | | △ | ◎ | △ | ○ | □ | △ | △ | | | |
| ” (f) | △ | ◎ | × | × | × | × | × | × | | × | ○ | × | □ | × | □ | △ | | | |
| ” (g) | ◎ | ◎ | × | × | × | ○ | × | × | | × | × | × | × | □ | △ | △ | | | |
| 水位の総合判断 | □ | ○ | □ | △ | △ | ○ | △ | △ | | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | | | |
| 平均温度の対応性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 温度勾配の ” | □ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | □ | | | |
| 総合判断 | □ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | □ | | | |
| 点 | | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | | | |

| 判定事項 | BLOCK
EL
成分 | 9 上 | | | | | | | | | 9 下 | | | | | | | | |
|----------|-------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 60-S ₃₂ (S ₁ ~S ₇) | | | | | | | | | 60-S ₃₃ (S ₁ ~S ₇) | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 水位の急激な変動 | [I] | ◎ | × | ◎ | ◎ | × | | | | | | | | | | | | | |
| " | [II] | ◎ | ○ | ○ | ◎ | □ | | | | | | | | | | | | | |
| " | [III] | ○ | □ | □ | □ | □ | | | | | | | | | | | | | |
| " | [IV] | × | ◎ | × | × | × | | | | | | | | | | | | | |
| その他の水位変動 | (a) | △ | △ | △ | △ | □ | | | | | | | | | | | | | |
| " | (b) | △ | △ | □ | △ | △ | | | | | | | | | | | | | |
| " | (c) | □ | □ | □ | △ | △ | | | | | | | | | | | | | |
| " | (d) | ○ | ○ | ◎ | △ | □ | | | | | | | | | | | | | |
| " | (e) | △ | △ | △ | △ | △ | | | | | | | | | | | | | |
| " | (f) | ◎ | ◎ | △ | × | □ | | | | | | | | | | | | | |
| " | (g) | × | △ | × | × | ○ | | | | | | | | | | | | | |
| 水位の総合判断 | | ○ | △ | □ | △ | □ | | | | | | | | | | | | | |
| 平均温度の対応性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 温度勾配の " | | □ | □ | □ | □ | □ | | | | | | | | | | | | | |
| 総合判断 | | □ | △ | □ | △ | □ | | | | | | | | | | | | | |
| 点 | | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|---|------|---|
| ◎ | 良 好 | 1 |
| ○ | やゝ良好 | 2 |
| □ | 普 通 | 3 |
| △ | やゝ不良 | 4 |
| × | 不 良 | 5 |