

二 瀨 ダ ム 実 測 解 析 報 告 書

飯 田 隆 一

内 藤 寿 夫

目 次

1. 概 要	1
2. ダムの安全管理の為の測定	1
3. 撓みの解析	3
3.1 ダムの挙動に影響を与える因子	3
3.2 撓みの解析結果 - 1	4
3.3 撓みの解析結果 - 2	16
3.4 温度による撓みの計算値との比較	19
3.5 水位による撓みの計算値との比較	29
4. 撓みの測定による安全管理	34
5. 今後の測定に対する勧告	36
5.1 漏水量，揚圧力の測定	36
5.2 撓みの測定	36
5.3 温度の測定	36
5.4 歪，縫目の開閉の測定	37

1. 概 説

本報告は昭和 37 年以来関東地方建設局の依頼に依り行つて来た二瀬ダムの実測解析の報告書である。

二瀬ダムは高さ 95.0 m のアーチダムで、このダムには図-1 に示す様にブラムライン、歪計、温度計、継目計等数多くの計器が設置されている。

これらの計器により

- (i) ダムが安全に挙動しているか否か
- (ii) ダムの完成後の構造作用を解析する

の二つの目的をもつた解析を行なう必要がある。しかし現段階ではダムの安全管理についても充分観測計器が利用されていないので、(i)を主目的とした解析を行なった。

2. ダムの安全管理の為の測定

ダムの安全管理の上で重要なものとしては漏水量、揚圧力の測定がある。しかしこれについては現在ダム管理に於いてかなり良く行なわれているので、ここではダムの構造作用面での安全管理に限定して取り扱った。一般に構造物が変形する場合に、その各部に歪が生じ、これが積分されて廻転が生じ、さらに廻転が積分されたものとして撓みが生ずる。これは一般に応用力学で用いられる公式

$$\epsilon = \frac{M}{EI} Z$$

$$\theta = \int \frac{M}{EI} ds$$

$$\delta = \int \int \frac{M}{EI} ds \cdot ds$$

からも明らかである。従つて歪は個々の部分の現象を示めし、廻転は部分の総合現象を示めし、撓みは構造物全体の総合現象を示めしているといひ得る。

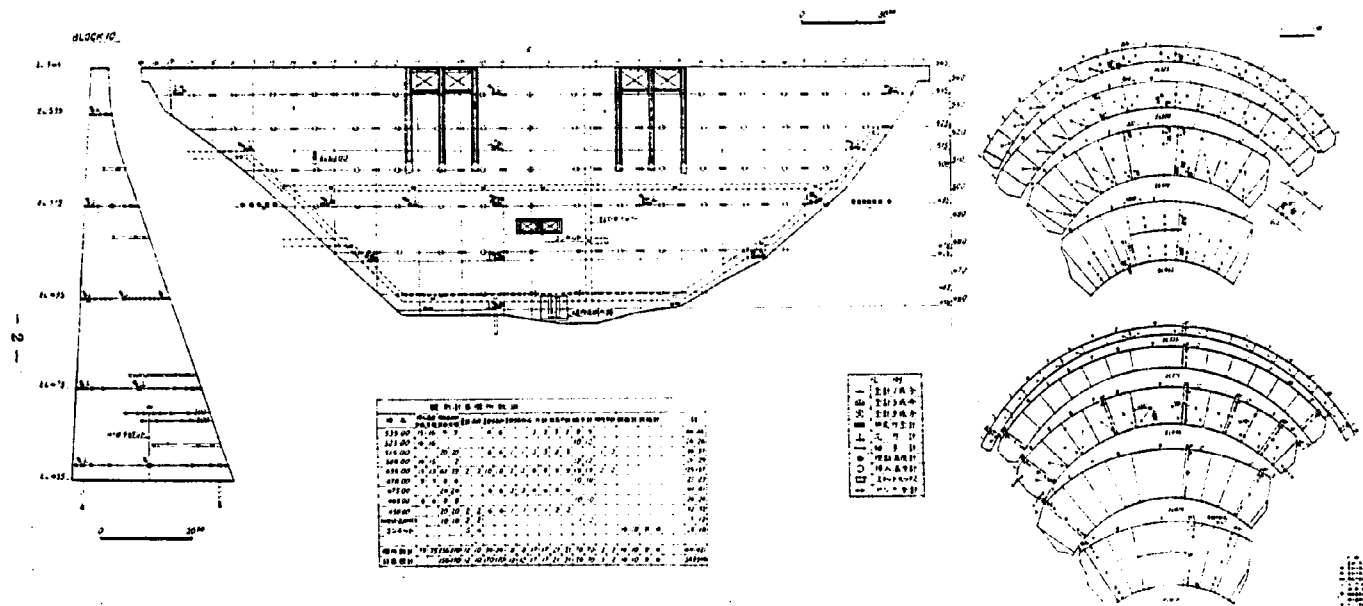
この様な意味から全体の管理を行なうには撓みの測定が最も適しており、部分的な調査を行なうには歪の測定が適しているといひ得る。

この様な観点からダム全体の安全性を撓みの測定値からいかにして判定するかに主眼をおいて解析を行なった。

さて撓みの測定結果により管理を行なう場合に、現在が正常のものと思ふか否かを知らなければならぬ。これを判断する為に、設計値と比較することも一つの方法である。しかし設計計算は多くの仮定と省略の上に立っており、さらにダムの挙動に影響を与える各因子を考慮しているとは云ひ得ない。最も確実な方法は過去の測定値からみて、現在が安定した状態

图-1 平面展开图 A

B



にあるか否かを判断することである。

この様な観点から本報告書では過去の測定値から将来のダムの挙動を推定し、これによりダムの安全性を検討し得るような解析方法をとった。

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。この為アーチダムの任意の時点での撓みを推定する為には、任意の条件のときの水位による撓み、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為には統計的な手法による以外にない。この様な解析を行なうに当ってダムの撓みに影響を与えられる因子について考察してみよう。

先ずコンクリートの内部温度の変化について考察を加えてみる。コンクリートの内部温度は図-2に示めす様に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為、拘束があり、実際の温度分布とモーメントと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の差(図-2の斜線部分)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

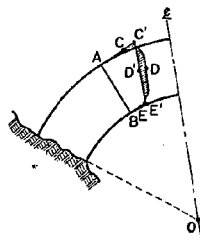


図-2

差による拘束応力は他の部分の応力、変位には影響を与えないが、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。従って撓みに対し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と温度勾配をとればよい。これらの因子は理論的にも一次の形で影響を与える。

水位の影響は何次式の形で表わされるかは未定である。従って一応 $f(h)$ の形で表わされるとしよう。

内部温度の変化、水位の他にコンクリート及び岩盤のクリープが考えられる。この様な時間と共に変化する量を $\log \frac{1+\theta}{1+g_i}$ (θ は時間) で表わされるとすると、ダムの撓みは

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

なる形で表わされることになる。

しかし実際には各標高の平均温度も温度勾配も外気温の変化により生ずるので、相関性があると考えられたので、(1)式に基づいて過去の資料から最小自乗法により各項の係数 $a_i, b_i, k_i, \dots$ 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という方法をとった。

3.2 撓みの解析結果 - 1

二瀬ダムはアーチクラウン断面 (BL9)，左岸断面 (BL4) と右岸断面 (BL13) にブラムラインが設置されており、クラウン断面 (BL9) では天端と標高 469.4 m の間で、左岸断面 (BL4) では天端と標高 481.4 m との間で、右岸断面 (BL13) では天端と標高 485 m との間の撓みの差が測定されている。これらの箇所 で測定された撓みを前節で述べた重回帰分析を行なう事によりその撓みを計算するのであるが、まずアーチクラウンの半径方向撓みについて解析を行なってみよう。

重回帰分析を行なうに当って、温度変化を与える因子としては温度計が比較的密に埋設されている断面の E1458 m, E1475 m, E1495 m, E1515 m, E1535 m での平均温度と温度勾配を示せば図-3 の如くである。即ち平均温度と温度勾配はほぼ正弦曲線に近い周期的な変動を繰り返えし、年による差は小さい様である。しかし夏期には洪水調節の為の水位を制限して、E1501 m 程度まで低下させるので、E1535, 515 m ではこの標高より水位が下がる時が多いのでこの区間では、これらの標高の温度勾配は正弦曲線よりかなり外れているものもある。

解析に使用した資料は昭和35年11月17日より昭和39年7月16日迄のものを用いた。

(1)式に於いて水位の影響を示めす $f(h)$ の関数形は未知である。従って先ず簡単の為 に水位 h の二次式で表わされると仮定して解析し、次いで h の三次式、四次式で表わされると仮定して解析し、比較検討を行なった。

水位による撓みを h^2 で表わされると仮定したとき解析結果は、

$$\begin{aligned} \delta = & -0.2088(t_1 - 11.92) - 0.1327(t_3 - 14.69) - 2.6573(\alpha_1 + 0.1244) \\ & - 0.8796(\alpha_3 + 0.1485) + 0.0778(\alpha_4 + 0.6032) + 0.0002668(h - 469.40)^2 \\ & - 49.519 \log \frac{1+\theta}{1-0.1} + 33.355 \log \frac{1+\theta}{1-8.0} + 71.054 \log \frac{1+\theta}{4.67} - 64.512 \log \frac{1+\theta}{6.03} \dots (2) \end{aligned}$$

である。この結果にもとづき、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)式により求めた値と実測値との比較を図示すれば図-4 の如くである。

この結果によれば(2)式による計算値と、実測値とはかなり良く一致しており、また経年

图 - 3 (a)

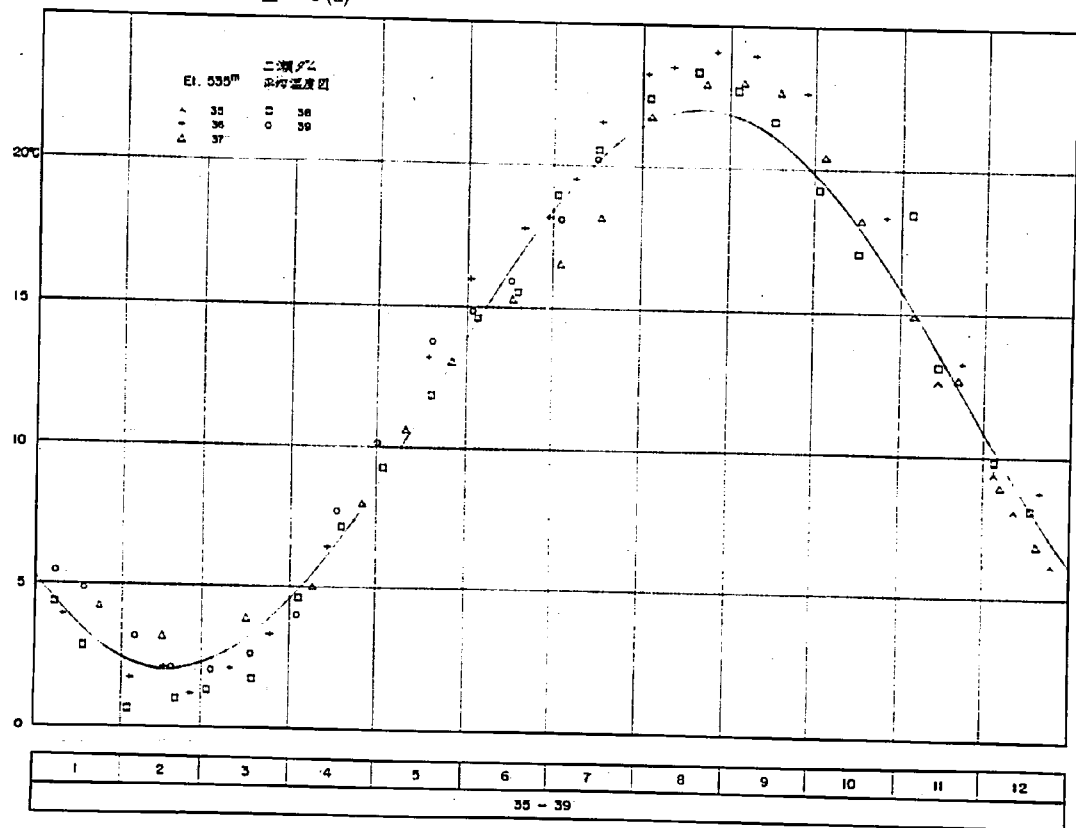


図 - 3 (b)

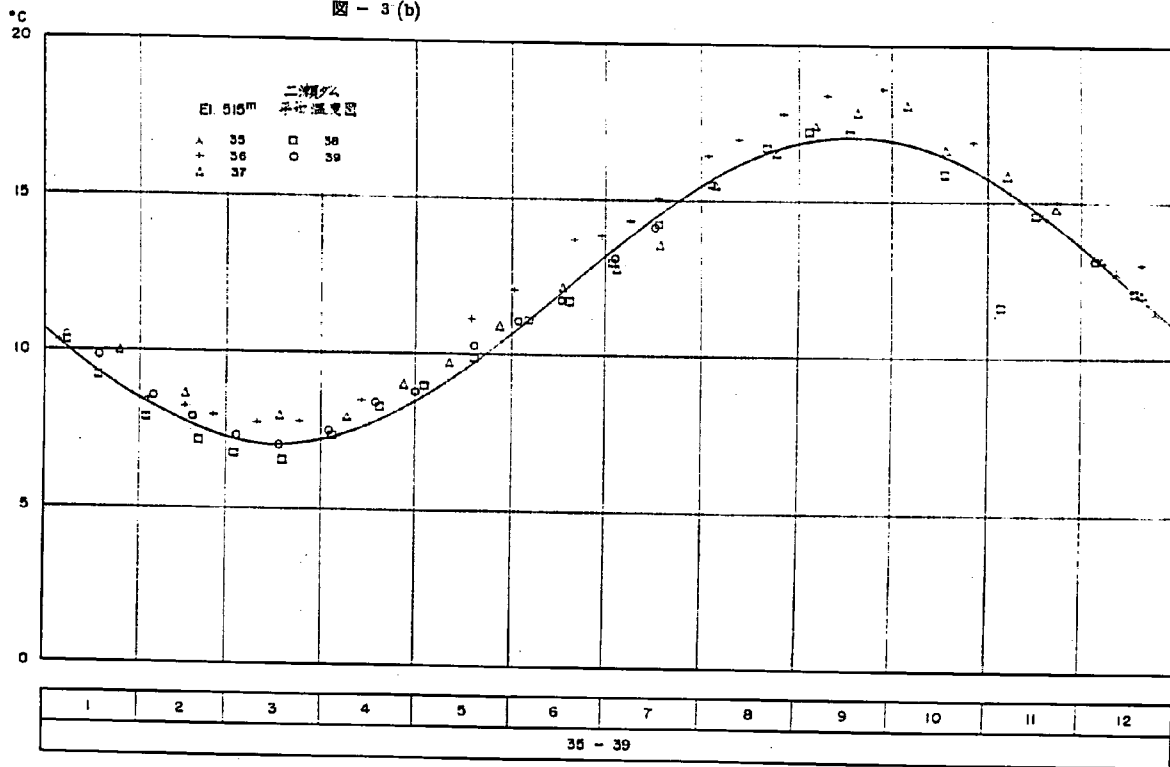


図 - 3 (c)

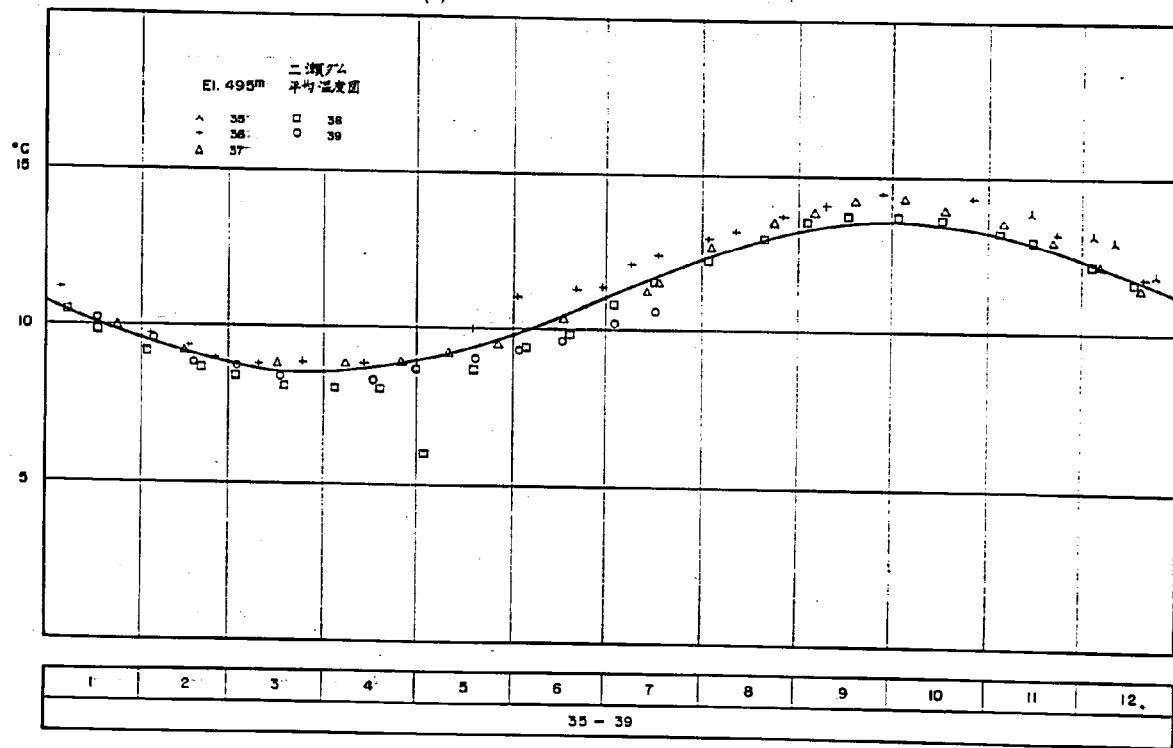


図 - 3 (a)

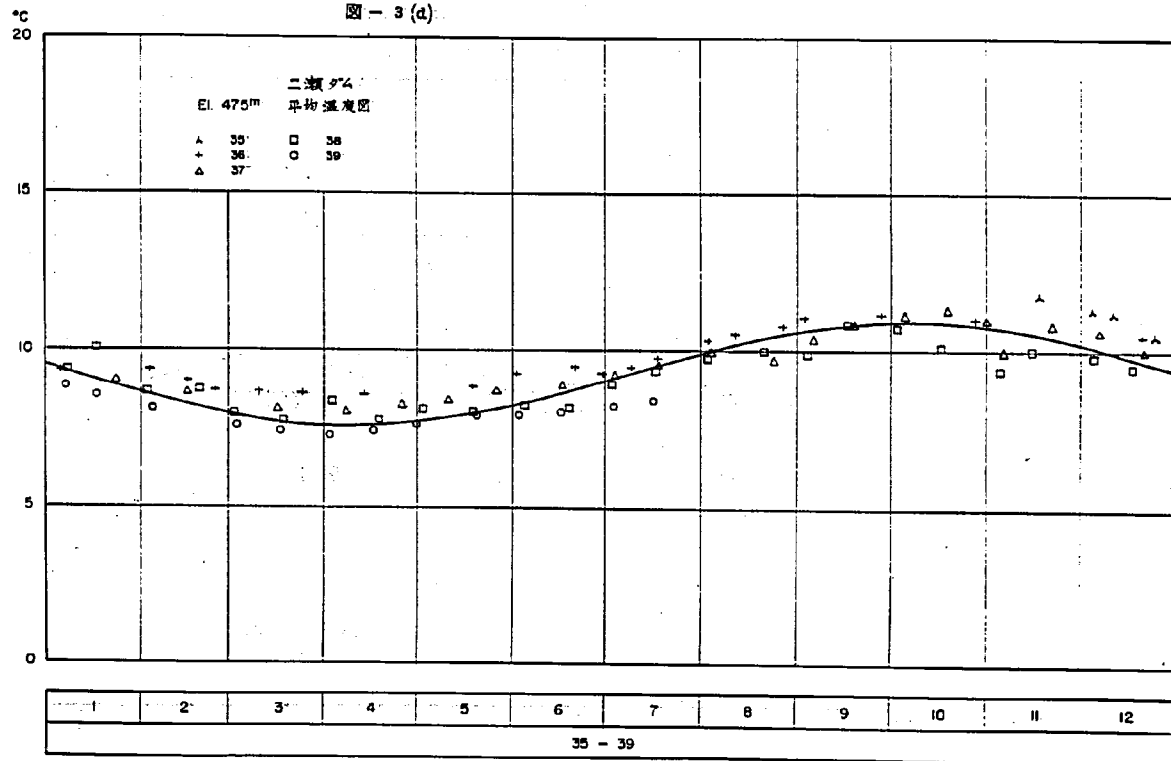


图 - 3 (e)

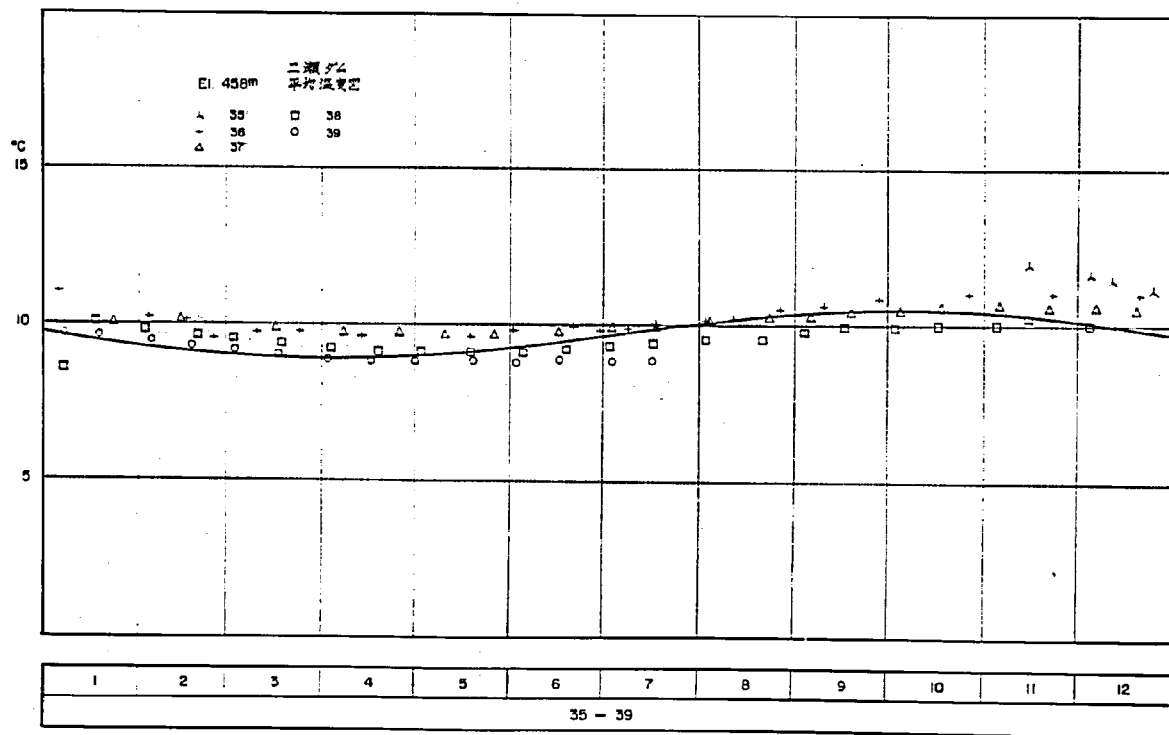


圖 - 3.(f)

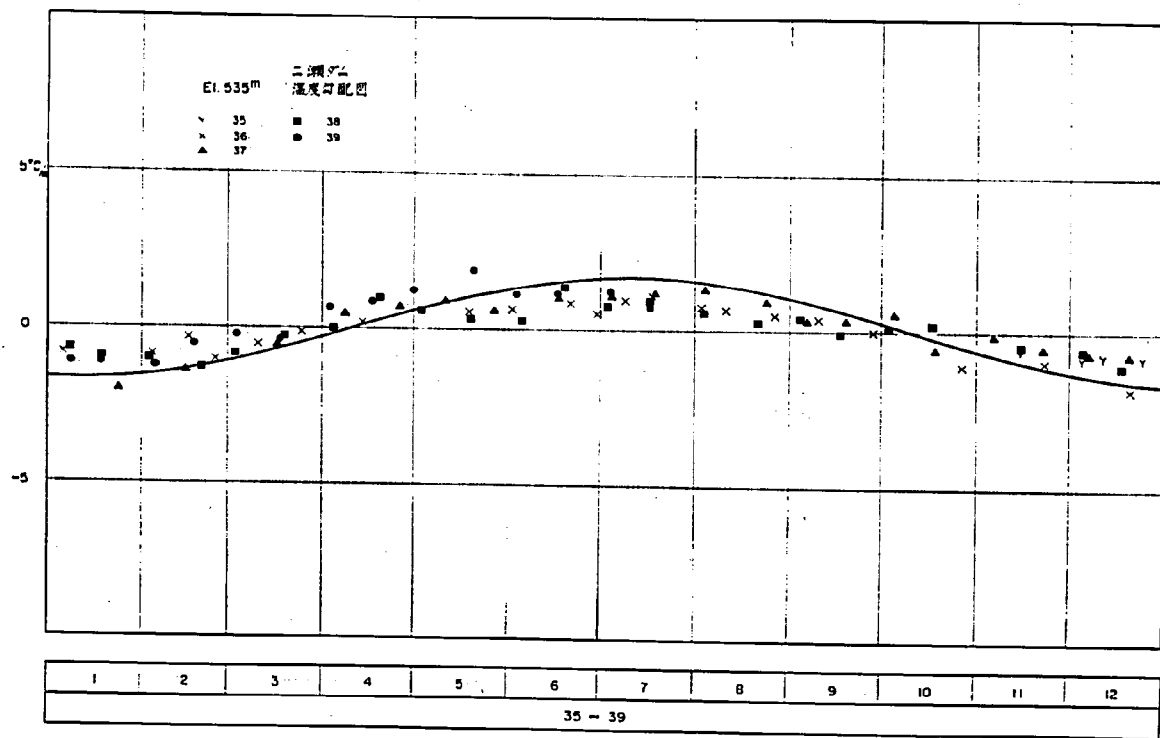


图 - 3 (g)

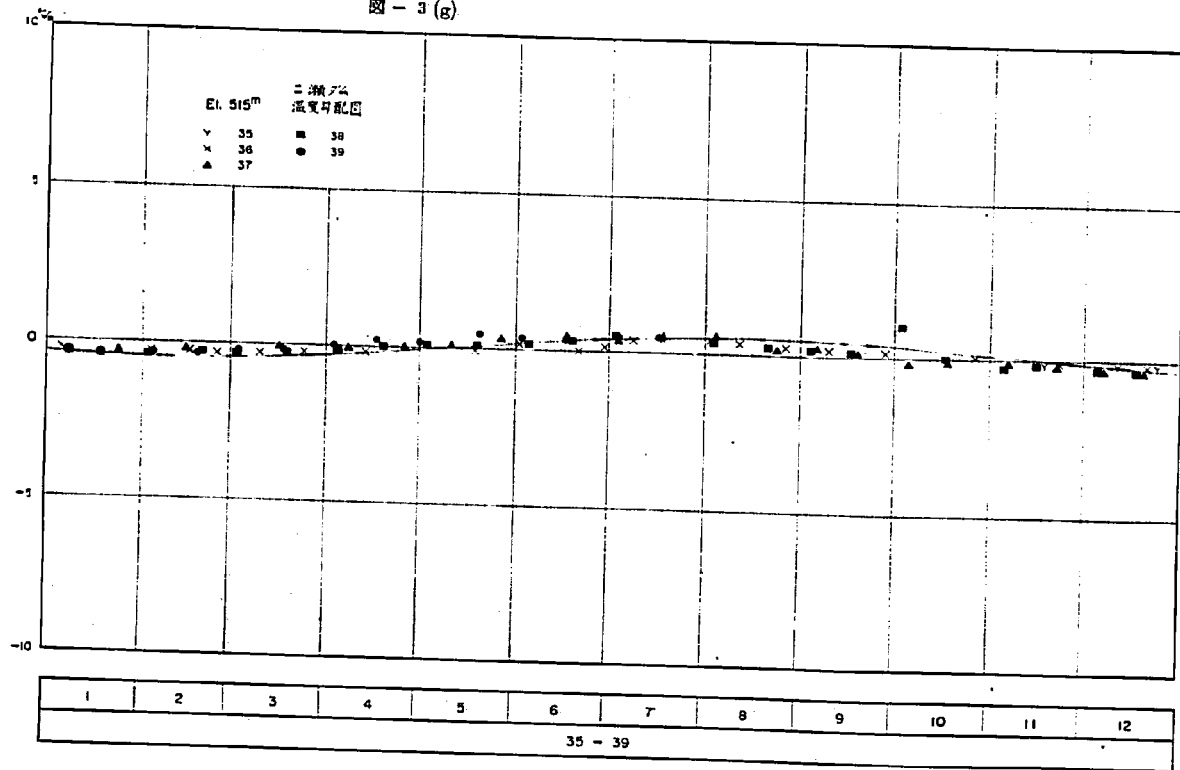
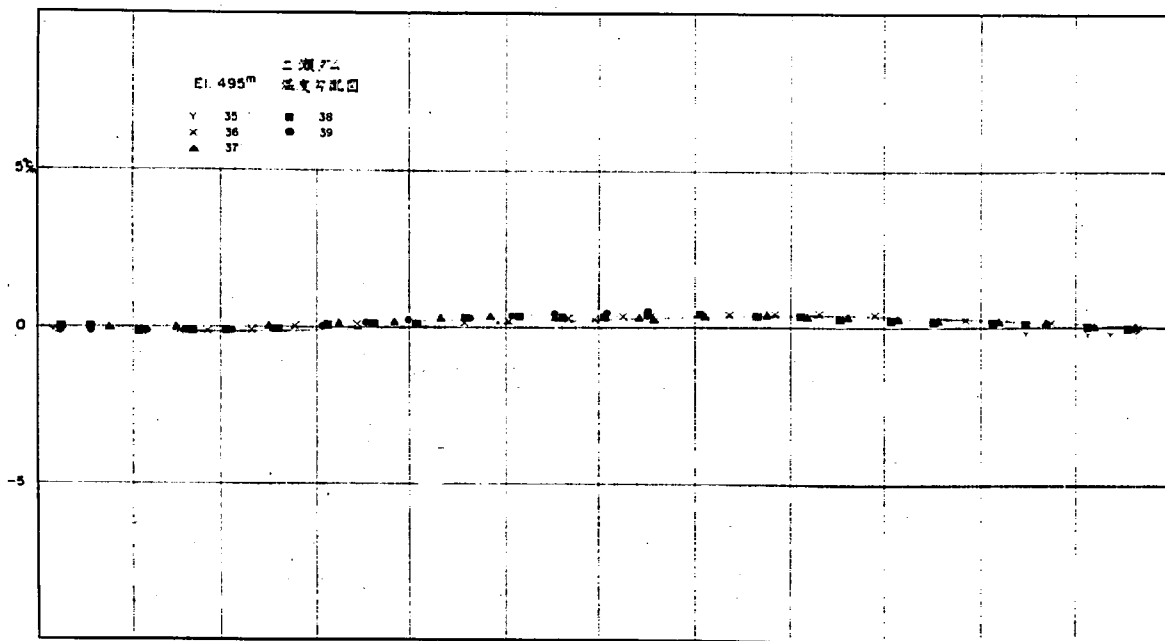


图 - 3 (h)



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

図 - 3 (1)

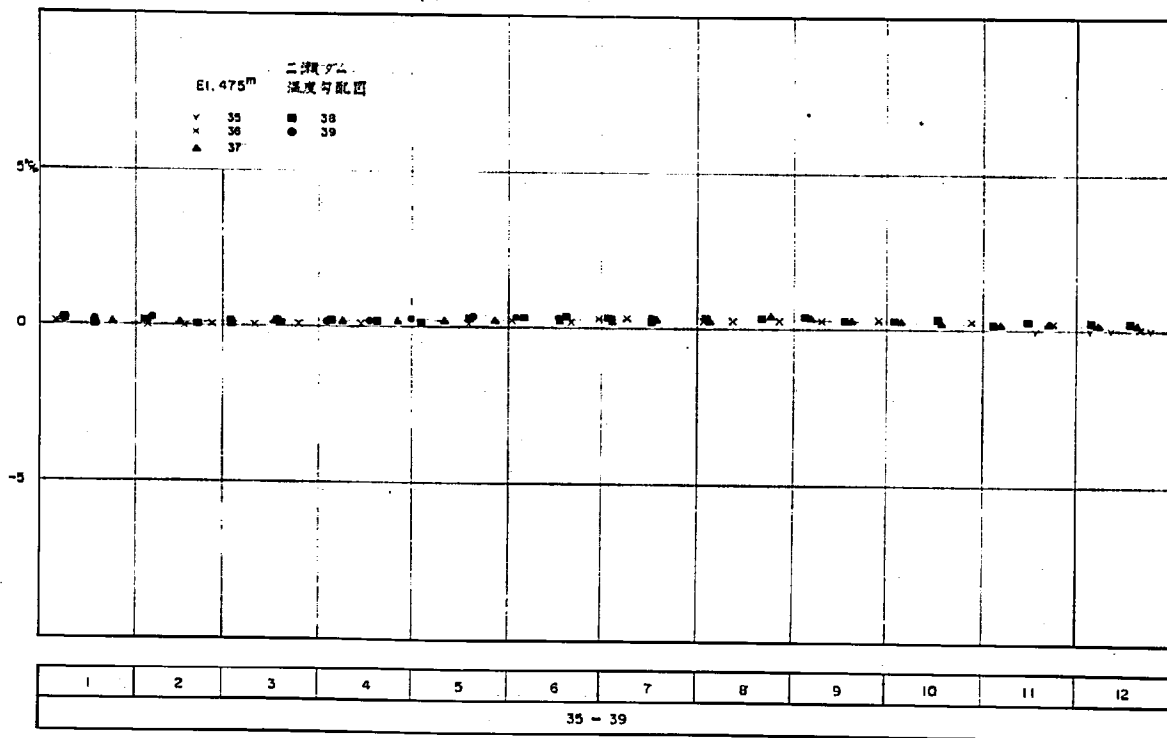
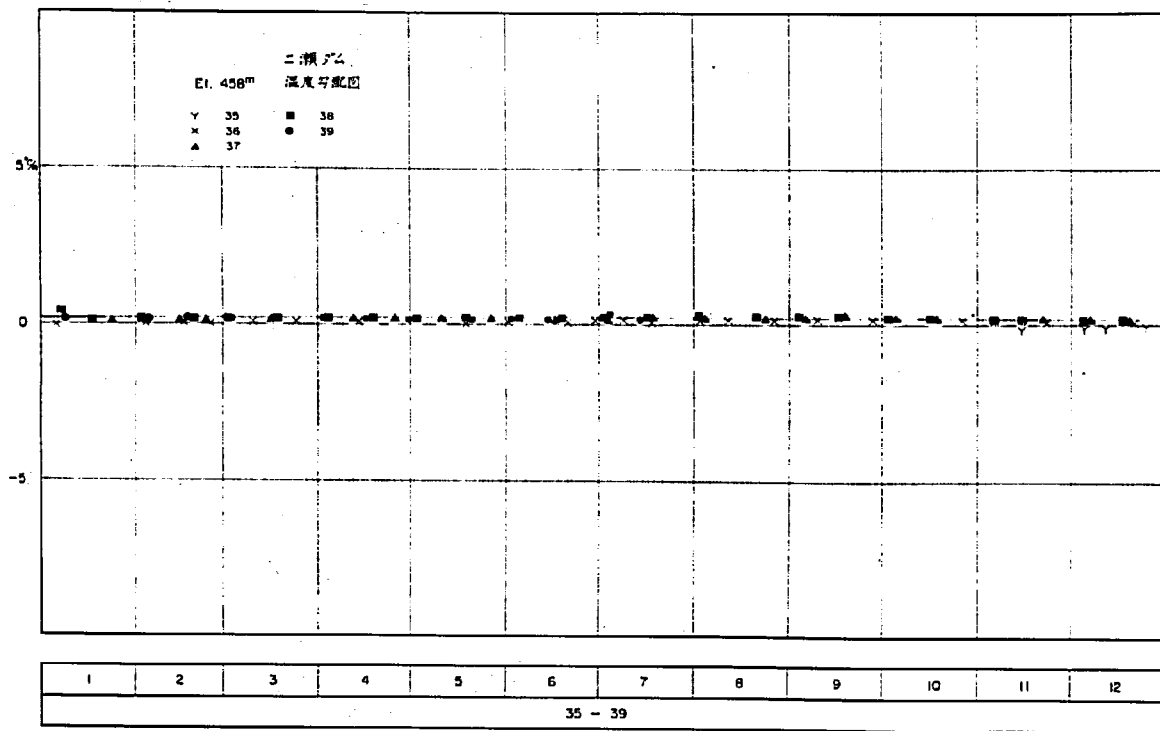


图 - 3 (d)



変化（大部分は岩盤のクリープによるものと思われるが）は昭和36年11月よりほぼ横ばい状態な値を示しており、ダムは安定して来ている事を示している。

次に比較検討の為に $f(h)$ を h^3 及び h^4 の形で解析した結果は

$$\begin{aligned} \delta = & -0.2056(t_1 - 1.192) - 0.1354(t_3 - 1.469) - 2.5951(\alpha_1 + 0.1244) \\ & - 0.8868(\alpha_3 + 0.1485) + 0.0791(\alpha_4 + 0.6032) + 0.000003465(h - 469.40)^3 \\ & - 43.224 \log\left(\frac{1+\theta}{1-\theta}\right) + 28.9221 \log\left(\frac{1+\theta}{1-\theta}\right) + 6.8009 \log\left(\frac{1+\theta}{1-\theta}\right) \\ & - 63.0001 \log\left(\frac{1+\theta}{1-\theta}\right) \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta = & -0.2160(t_1 - 1.192) - 0.1365(t_3 - 1.469) - 2.6374(\alpha_1 + 0.1244) \\ & - 0.8890(\alpha_3 + 0.1485) + 0.0772(\alpha_4 + 0.6032) + 0.000000047(h - 469.40)^4 \\ & - 41.519 \log\left(\frac{1+\theta}{1-\theta}\right) + 29.8441 \log\left(\frac{1+\theta}{1-\theta}\right) + 6.4932 \log\left(\frac{1+\theta}{1-\theta}\right) \\ & - 62.410 \log\left(\frac{1+\theta}{1-\theta}\right) \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

なる結果が得られた。それで(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)式により計算した値と実測値との差)の不偏分散の平方根は(2)式では0.1450mm, (3)式で0.1357mm, (4)式で0.1318mmと(4)式が最も小さいが大差なく、統計学的に優劣が判定し難い状態にある。

そこでこれらの点を更に詳細に調べる為に温度変化による撓み($\delta_T = \sum a_i t_i + \sum b_i \alpha_i$)と経年変化による撓み($\delta_\alpha = \sum k_i \log \frac{1+\theta}{1-\theta}$) 残差について(2), (3), (4)の結果を比較すると図-5の如くである。また水位による撓みと水位との関係を示せば図-10の如くである。

これらの図を観察するに、温度変化による撓みと残差は(2)~(4)式では良く一致するが水位による撓みと経年変化による撓みは各々或る程度の相違がある。

これを更に観察すると経年変化による撓みは湛水後2年以降では(2), (3), (4)式の相互の差はほとんど変化しておらず、ほぼ一定値を示している。一方水位による撓みについていえば、この解析に用いたデータは水位がB1510m~B1530m迄の間が大部分を占めており、その間では δ_H-h 曲線は各解ともほぼ平行している。これを云いかえれば水位による撓みは標高510mより標高530mの間では水位変動に対する撓みの変化は各解共ほぼ一致しているが、その値にはかなりの差がある。

3.3 撓みの解析結果-2

次にクラウン(BL.9)の接線方向変位と右岸BL4および左岸BL13の半径方向撓みと接線方向撓みについてもクラウンの半径方向撓みと同様な解析を行なった。その結果得られた各項の係数を示せば表-1の如くである。

D_1 _____
 D_2 - - - - -
 D_3 - - - - -

図-5 二瀬ダム掘り重回帰分析比較図(半径方向)

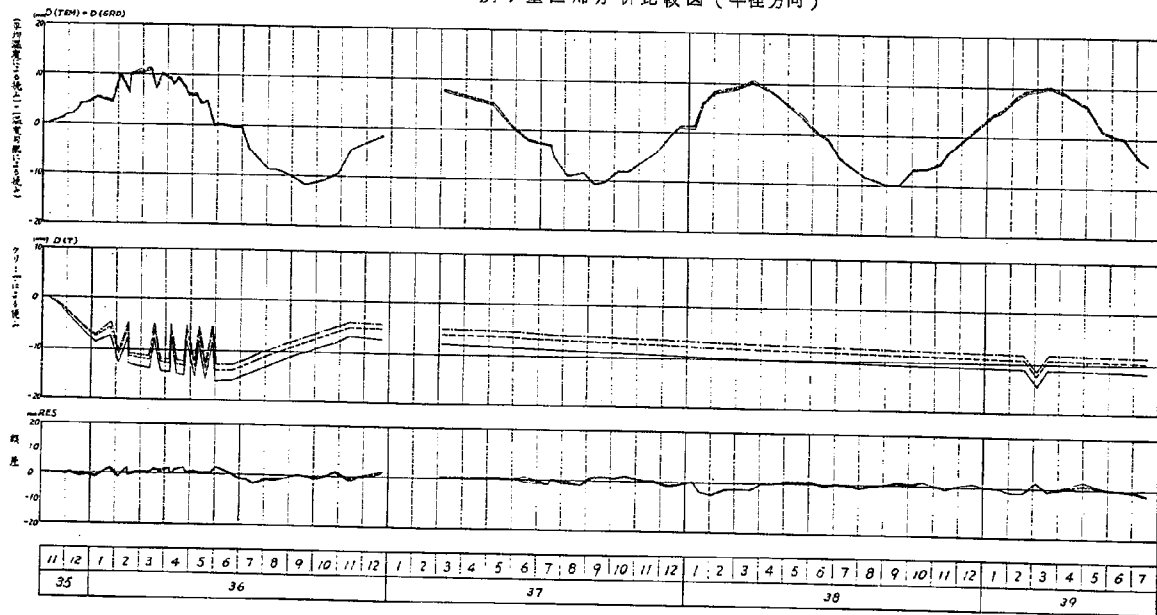


表 - 1

	f(h)	式	定数項	平均温度変化				温度勾配の変化				水位	経年変化			
			C	$t_1-11.92$	$t_2-13.80$	$t_3-14.69$	$t_4-12.64$	$\alpha_1+0.1244$	$\alpha_2+0.1480$	$\alpha_3+0.1485$	$\alpha_4+0.6032$	$h-469.40$	$\log \frac{1+\theta}{101}$	$\log \frac{1+\theta}{180}$	$\log \frac{1+\theta}{314}$	$\log \frac{1+\theta}{467}$
クラウン	接線方向	h^2 (5)	0	-0.272	0	0	0.065	0	0	-0.679	0.128	0	-1.469	0	0	1.462
		h^3 (6)	0	-0.272	0	0	0.065	0	0	-0.679	0.128	0	-1.469	0	0	1.462
		h^4 (7)	0	-0.272	0	0	0.065	0	0	-0.679	0.128	0	-1.469	0	0	1.462
右岸 (瓦4)	半径方向	h^2 (8)	0	0	0	0	0.3180	124.350	0	0	0	0	17.444	0	-75.4085	48.208
		h^3 (9)	0	0	0	0	0.3180	124.350	0	0	0	0	17.444	0	-75.4085	48.208
		h^4 (10)	0	0	0	0	0.3180	124.350	0	0	0	0	17.444	0	-75.4085	48.208
	接線方向	h^2 (11)	9284	1.132	0	-0.232	0.167	0	0	0	0	0.000132	3.535	0	-6.933	0
		h^3 (12)	0	1.121	0	-0.230	0.167	0	0	0	0	0.00000169	3.273	0	-6.623	9.197
		h^4 (13)	0	0	0	-0.235	0.224	30.758	0	0	-0.143	0	4.350	0	-22.649	20.132
左岸 (瓦13)	半径方向	h^2 (14)	0	0	0	0	-0.3373	159.401	0	0	0	0	-50.709	-71.6245	-87.2861	0
		h^3 (15)	0	5.5596	0	0	-0.3819	108.427	0	0	0	0.00001206	0	0	-51.752	0
		h^4 (16)	0	5.5143	0	0	-0.3895	110.696	0	0	0	0.000000178	0	0	-52.292	0
	接線方向	h^2 (17)	-23.112	-1.035	0	0	0.180	-13.341	0	-0.911	0	0.000183	0	0	1.344	20.274
		h^3 (18)	-43.630	-2.746	0	0.300	0.139	0	0	-2.015	0	0.00000426	0	0	-15.491	51.812
		h^4 (19)	-18.347	0	0	0	0.129	-29.897	0	-0.658	0	0	7.234	0	-1.695	16.209

また各撓みの解の内 h^2 と仮定したものにもとづき水位による撓み、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これらの式により求めた値と実測値とを比較すれば図-6の如くである。

これらの図を観察するにいずれも実測値と計算値との差は大きくこれらの解析結果がダムの挙動を表わしているとは云い難い。この様な結果になった原因としては

- (i) 水位による撓みの関数形の選定がまずかったこと。
- (ii) (i)式に考慮した因子以外の因子が大きく作用したこと。
- (iii) この解析では相互に相関性が強い因子を整理し有意義でない因子を落して解析しているが、二瀬ダムは水位の規制が複雑で季節的な変動をしている為クラウンの半径方向撓みのようにその影響が著しいときはよいが、影響が間接的なときは他の因子特に温度変化との相関性から有意義でないと判定され、誤差が多くなったこと。
- (iv) 図-3を観るに $EL\ 490\text{ m}$ 以下の温度はダムが厚い為充分安定した状態になっていないで少しづつ下っている。この為、下部温度の影響の多い撓みは不安定な解を与えたこと。

等が考えられる。この内(i)については $f(h)$ を h^3 、 h^4 と仮定した解と比較すればより明らかとなるが(図-7)、 $f(h)$ を h^3 、 h^4 と仮定しても誤差は小さくなっていないことからすれば(図-7参照)(i)の原因はほとんど考えられない。

(ii)の原因は現在の設計理論からしてこれ程大きい誤差を説明しきる因子を考えることは困難である。

室牧ダムに於てこれと同様な撓みを解析した結果は極めて良好であったことを考えるならば二瀬ダム(iii)、(iv)の原因が複雑に作用し、クラウンの半径方向撓み以外は極めて解析しにくい状態にあったと考える以外にない。今後当研究所では研究的な意味も含めて解析方法を検討すると共に、 $EL\ 490\text{ m}$ 以下の温度が安定した後のデータまで含めて解析し、良好な結果が得られるか否か検討したいと考えている。

なお(iv)についてはクラウンの半径方向変位に対しても影響を与えていることが考えられるが、 $EL\ 490\text{ m}$ 以下の温度変化は小さく、これに与える影響も小さいと考えられ、事実(2)~(4)式でこの部分の温度変化の影響はほとんど現われていないことは(2)~(4)式は(iv)の影響をほとんど受けていなかったことを示している。

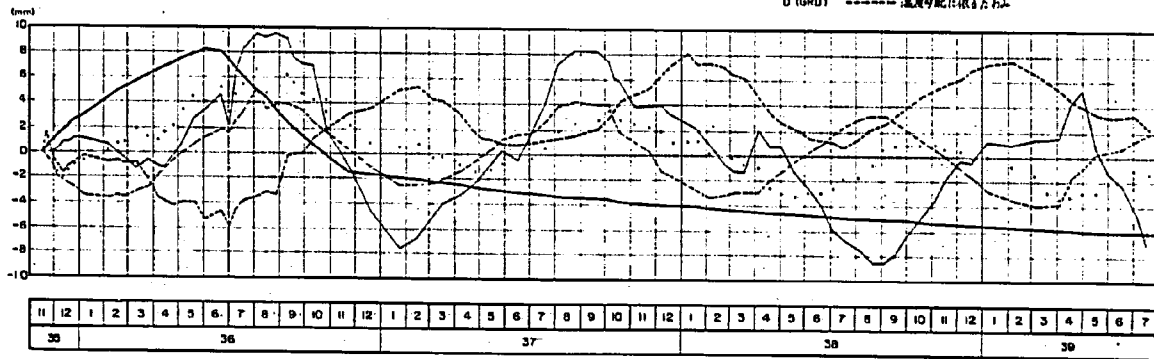
3.4 温度による撓みの計算値との比較

現在アーチダムの荷重分割法に対する電子計算機のプログラムが完成し、設計計算に用いられているので、各水位および二瀬ダムで実測された温度変化に対し荷重分割法完全調整計算を行ない、実測値との比較を行なった。

ダムの温度変化については次のような方法で加味した。各標高の平均温度および温度勾配の変化は前述した様に週期的な正弦曲線に近い変動を示している(図-3参照)。この正弦曲線の振幅と位相の遅れは表-2に示す通りである。

図-6-a 二瀬ダム右岸4B天端のたわみの実測解析図(半径方向)

- 凡 例
- D (H) --- 水圧に依るたわみ
 - D (TEM) --- 堤体平均温度に依るたわみ
 - D (T) --- 経年変化に依るたわみ
 - D (Q) --- たわみ実測値
 - D (C) --- 傾斜のみに依るたわみ
 - D (GRD) --- 温度勾配に依るたわみ



- 凡 例
- (H) — 水平に於けるたわみ
 - (TEM) - - - 堤体平均温度によるたわみ
 - (GRD) - - - 堤体温度勾配によるたわみ
 - (TI) — 経年変化によるたわみ
 - (OI) — 純土質測定値
 - (IC) . 断接点計算値

図-6-b 二瀬ダム左岸13B天端のたわみの実測解析図(半径方向)

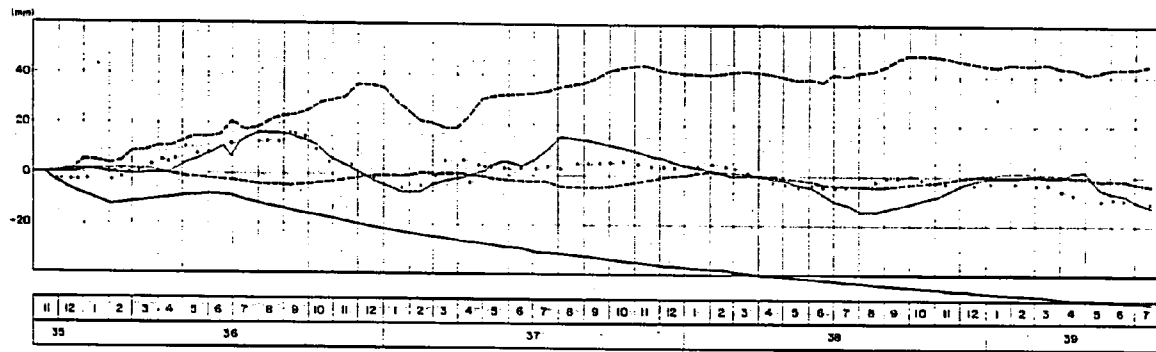
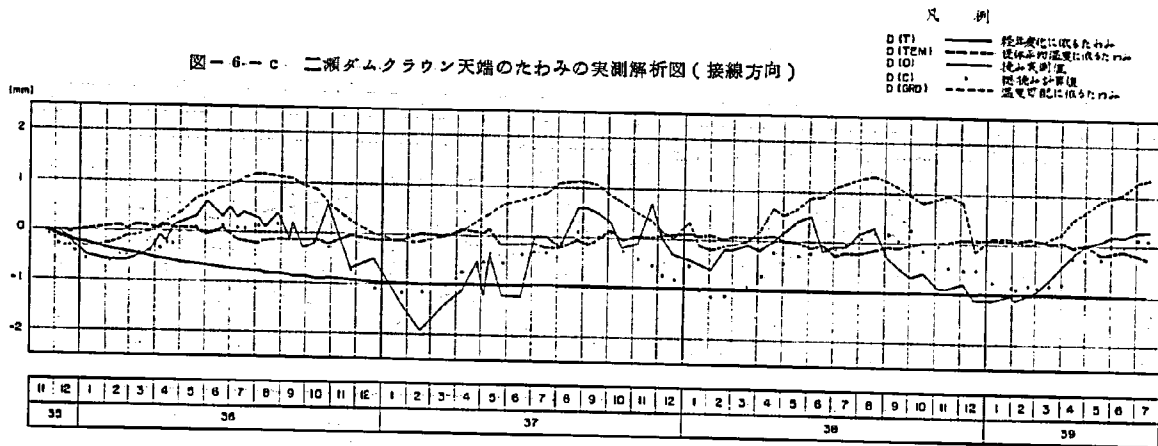
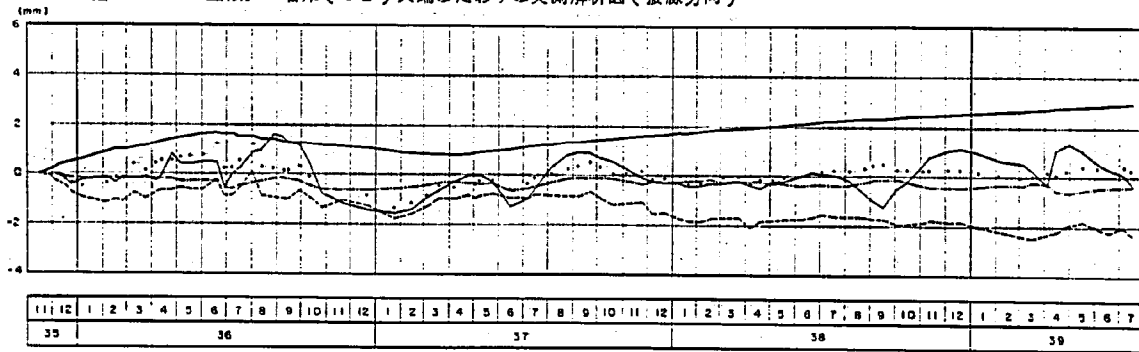


図-6-c. 二瀬ダムクラウン天端のたわみの実測解析図(接線方向)



- 凡 例
- D (M) ——— 水圧によるたわみ
 - D (TEM) - - - - 温度平均温度によるたわみ
 - D (GRD) - - - - 温度温度勾配によるたわみ
 - D (T) ——— 経年変化
 - D (O) ——— 接点実測値
 - D (C) ——— 転換み計算値

図-6-d 二瀬ダム右岸(4B)天端のたわみの実測解析図(接線方向)



凡 例

- D (H) ----- 水温に依るたわみ
 D (TEMP) ----- 堤体平均温度に依るたわみ
 D (T) ----- 堤体温度に依るたわみ
 D (D) ----- たわみ実測値
 D (C) ----- たわみ計算値
 D (DRD) ----- 温度勾配に依るたわみ

図-6-e 二瀬ダム左岸(13B)天端のたわみ実測解析図(接線方向)

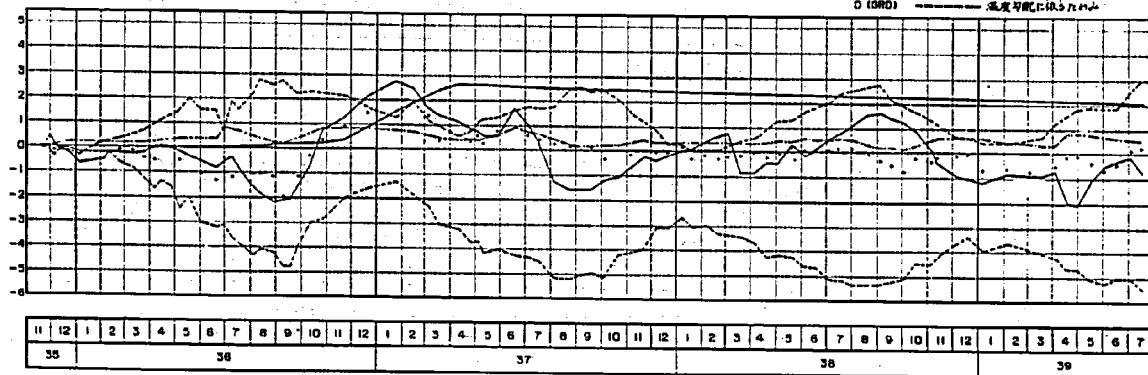


図-7-a' 二瀬ダム左岸(13-B)天端掘み重回滞分析比較図(半径方向)

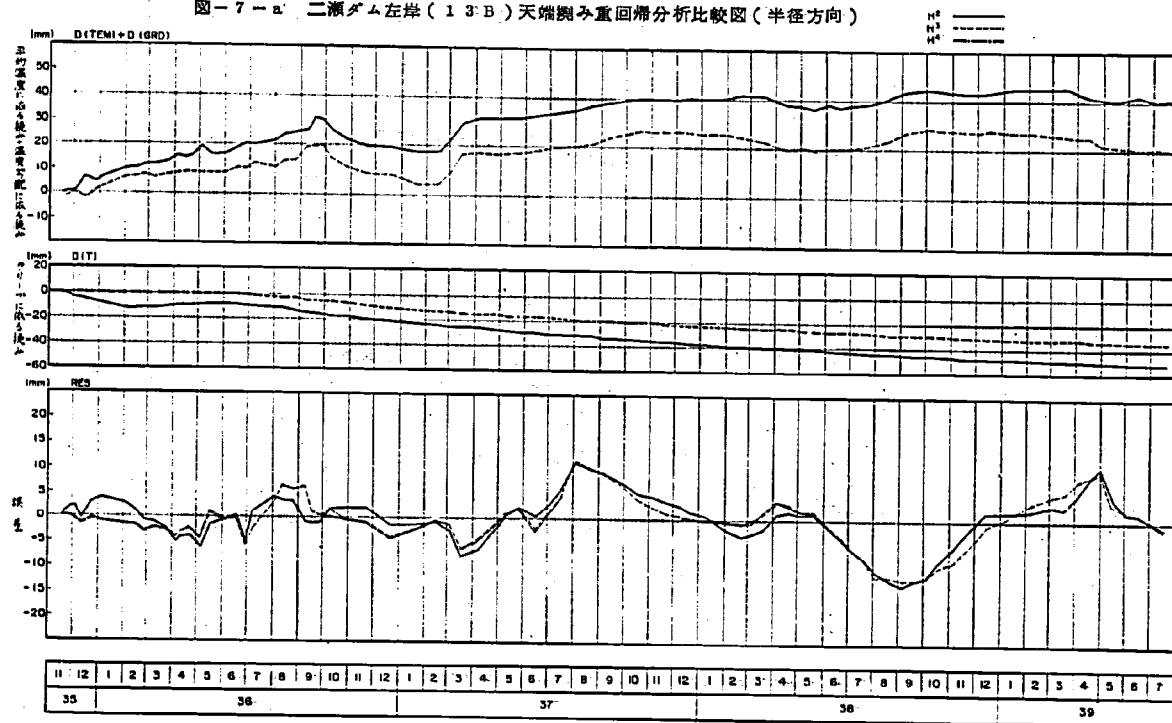


圖-7-b 二瀬ダム右岸(4B)天端掘り重回帰分析比較図(接線方向)

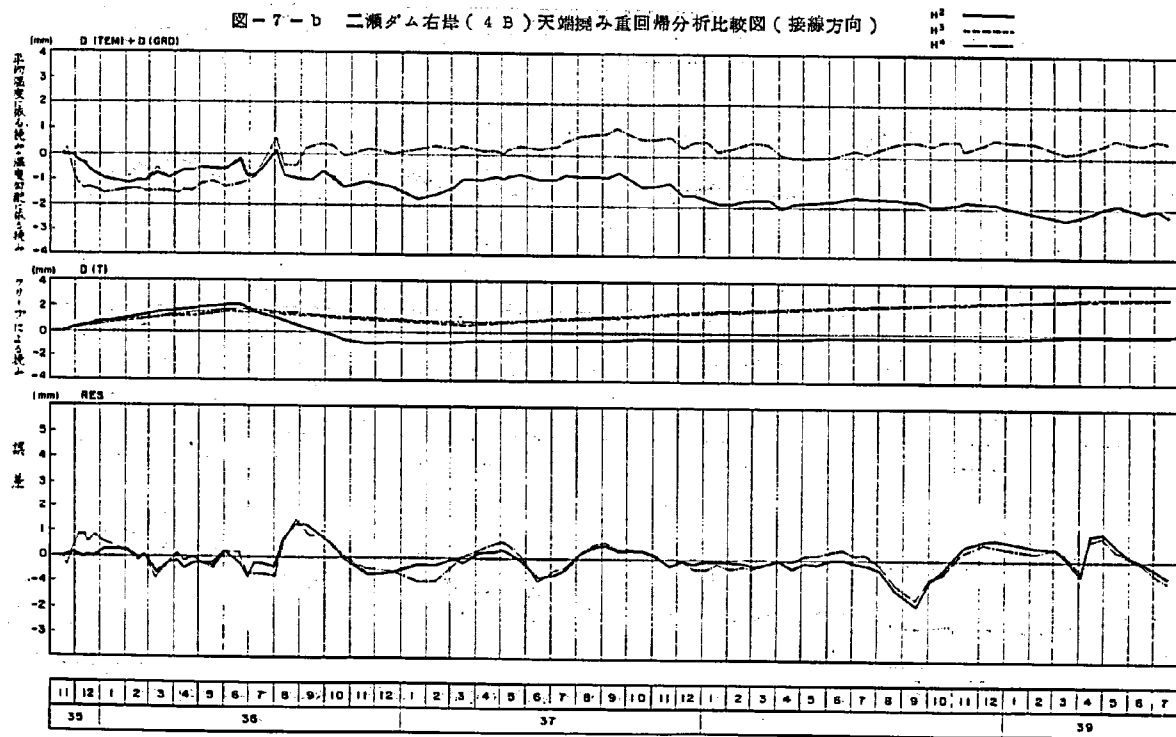


図-7-c 二瀬ダム左岸(13B)天端撓み重回帰分析比較図(接線方向)

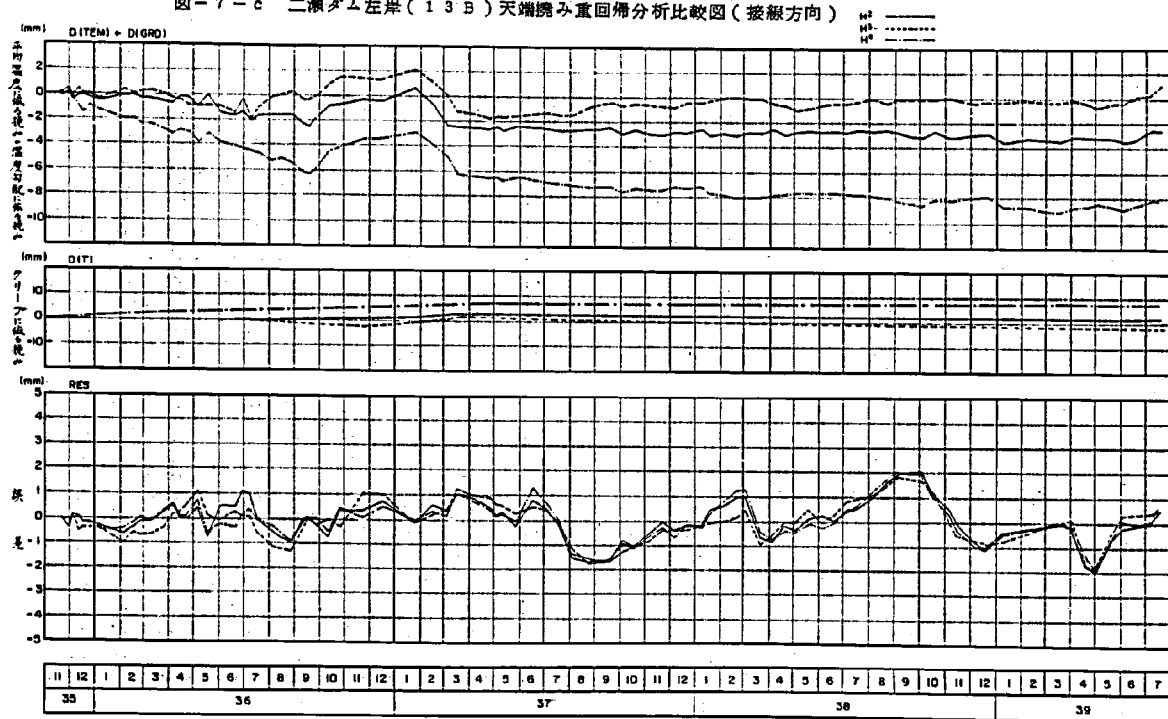


表 - 2

標 高 (m)		振 巾 (a)	周期のずれ ($\frac{\pi}{\omega}$)	位 相 差 (δ)	定 数 項 (c)	sin の係数 ($-a \cdot \cos \frac{\pi}{\omega} \delta$)	cos の係数 ($-a \cdot \sin \frac{\pi}{\omega} \delta$)
	単位及び値		0.9863	days			
	番 号	①	②	③	④	⑤	⑥
	内部計算					$-\textcircled{1} \cos \textcircled{2} \textcircled{3}$	$-\textcircled{1} \sin \textcircled{2} \textcircled{3}$
458.00	平均温度	- 0.5	0.9863	40	9.6	-0.3197	0.3844
475.00	"	- 1.8	"	10	9.4	-1.7734	0.3083
495.00	"	- 2.9	"	0	11.1	0.	0.
515.00	"	- 5.4	"	-16	12.2	-3.1964	-1.4688
535.00	"	-11.1	"	15	12.3	-1.0730	-2.8350
458.00	温度勾配	0.	"	0	0	0	0
475.00	"	- 0.20	"	30	0.20	-0.1739	-0.0987
495.00	"	- 0.25	"	40	0.15	-0.1931	-0.1589
515.00	"	- 0.45	"	50	0.05	-0.2934	-0.3412
535.00	"	- 1.00	"	60	-0.20	-0.5125	-0.8587

さて或る標高の平均温度，温度勾配が

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

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

なる形で表わされたとする。すると

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

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

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，温度勾配としたとき，計算により求めた撓みを 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，温度勾配としたとき計算により求めた撓みを δ_c とすれば温度変化による撓みは

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

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 δ_E 、 δ_C を完全調整計算により求めたのが表-3である。

表 - 3

機 み 位置及び方向		平均温度による機み		温度勾配による機み		平均温度、温度勾配 の合成による機み	
		振巾 (mm)	位相差 (°)	振巾 (mm)	位相差 (°)	振巾 (mm)	位相差 (°)
アーチクラウン	半径方向	-5.849	26.48	7.810	58.97	-13.140	45.12
	接線方向	-0.0225	-26.57	0.036	56.32	0.040	88.77
右 岸 アバットメント	半径方向	-4.295	26.22	-4.258	64.41	-7.923	45.85
	接線方向	-0.688	-25.83	0.175	59.05	-0.695	-40.34
左 岸 アバットメント	半径方向	-4.509	14.78	-6.875	30.92	-10.580	43.41
	接線方向	-0.740	34.58	0.0447	-63.43	0.736	31.09

この表の値からアーチクラウンの半径方向のみを考えてみるならば

$$\delta_{T.C.O.R} = -13.14 \sin \frac{2\pi}{\omega} (\theta + 45.12) \dots\dots\dots (20)$$

一方実測値では温度変化による機みは

$$\delta_{T.O.C.R} = -10.70 \sin \frac{2\pi}{\omega} (\theta + 31) - 0.7 \dots\dots\dots (21)$$

となっている。

(20) 式と (21) 式を比較すると、位相の遅れは比較的よく一致している、振幅は約 23% 計算値が多くなっている。(20)、(21) 式の値を比較したのが図-8である。

3.5 水位による機みの計算値との比較

次に水位による機みについて比較してみよう。各水位 (水位が E1500m, E1520m, E1535m) のときの完全調整計算により求めた機み曲線を示せば図-9の如くである。

これから天端のアーチクラウンの機み (E1545mの機みとE1450mの機みの差) の関係を図に示せば図-10の如くである。

図-10を観察するに計算値は h^2 , h^3 , h^4 のいずれを仮定した場合の実測値とも値が異なるが、データの多かったE1510m~E1530mの間での水位変動による機みの変動は計算値と h^2 , h^3 , h^4 を仮定した場合の実測値とは皆ほぼ一致している。このことから二瀬ダムは計算と似たような挙動をしていると云い得る。

図-8 二瀬ダムの温度に依るたわみ図

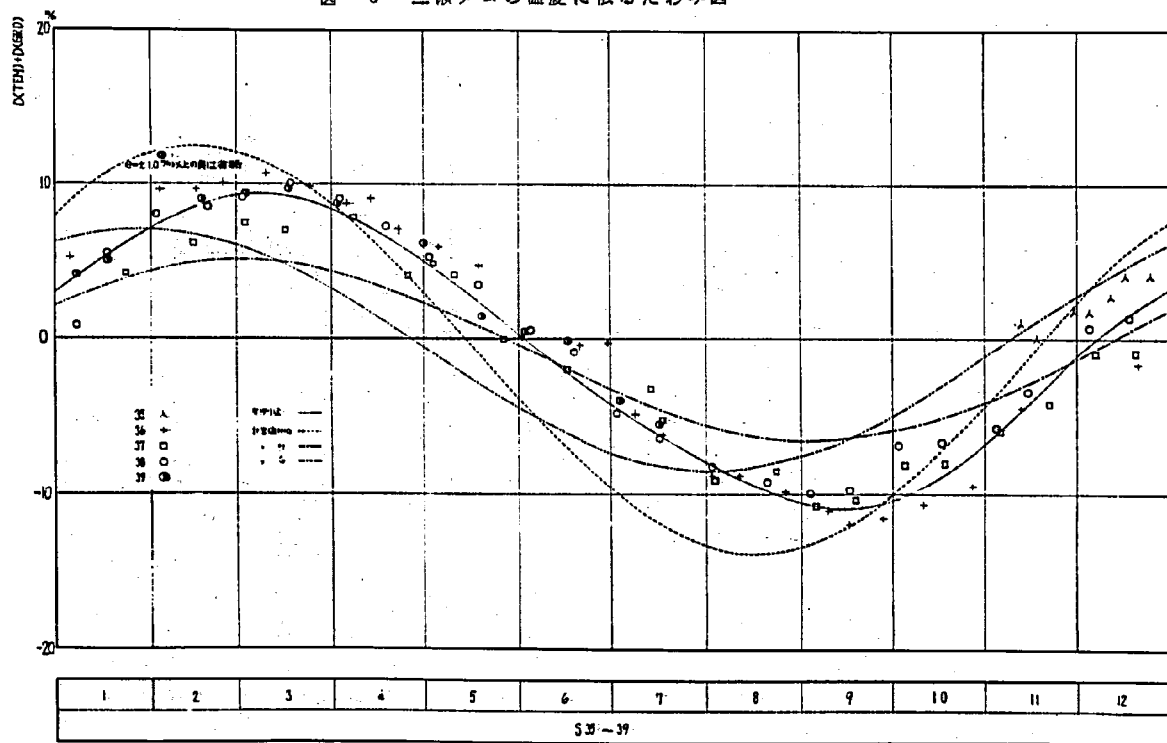


図 - 9 二瀬ダム標高たわみ曲線

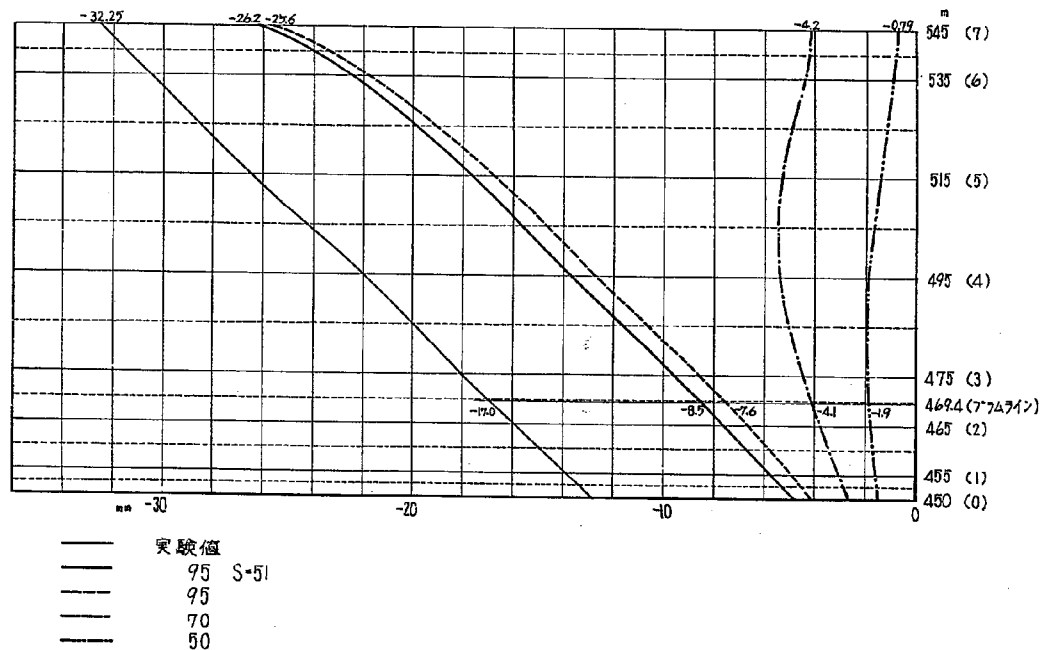
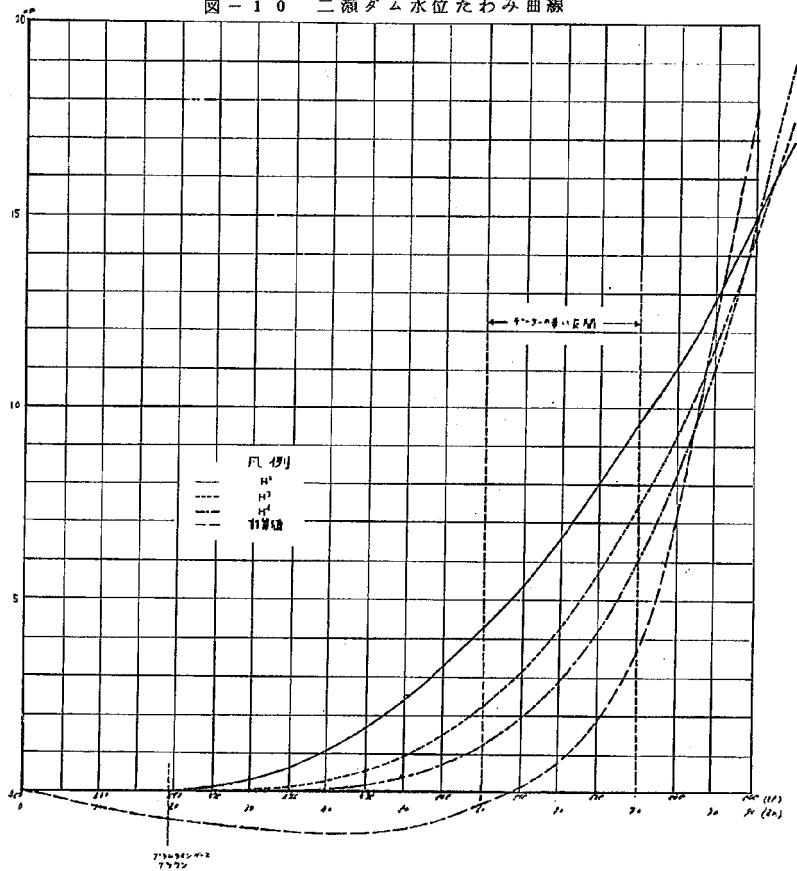
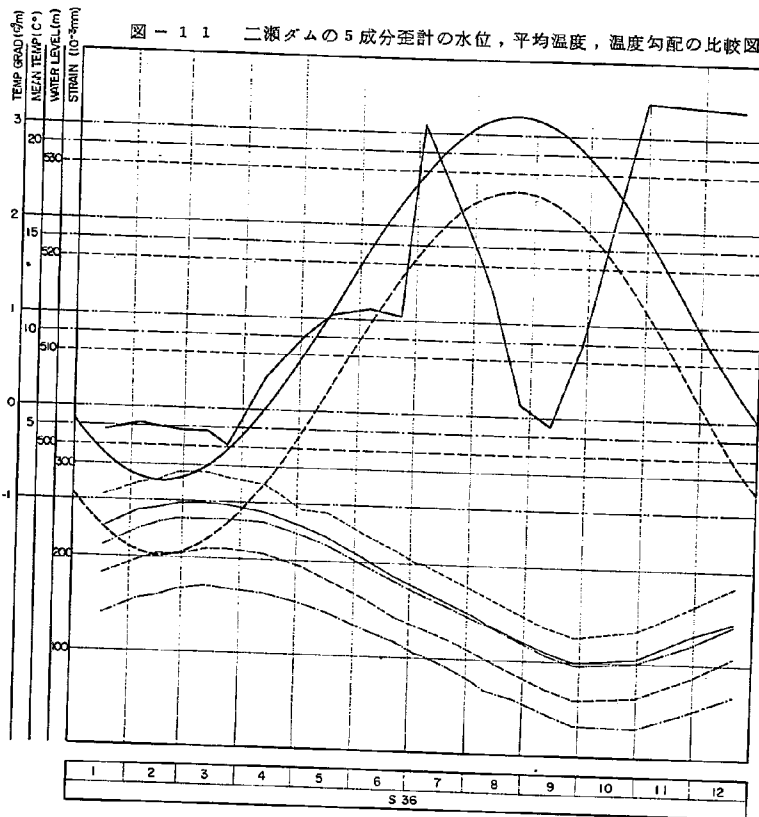


図 - 10 二瀬ダム水位たわみ曲線





4. 擁みの測定による安全管理

前節に於いて統計的な手法による二瀬ダムの擁みの解析結果について述べ、(2)～(4)式および(1)～(3)式なる挙動方程式を得た。これらの式は標高510m～標高530m迄の間で精度を有するものであるが、これらの式に水位及び温度条件を代入して求めた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。しかし実際には(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きが必要で、ダム管理所でダムの安全管理に用いるには不向きである。

そこでコンクリートの内部温度の変化は周期性をもっていて、年による差が少ないことに着目して、温度変化による擁みと月日との対応を図示したところ(図-8)、年による差は±1mm以下であった。

又経年変化による擁みは昭和36年11月以降はほとんど変化がない。従って表-4に示すような方法により(2)～(4)式は近似的に計算し得る。

(2)～(4)式の統計学的にみた許容誤差は表-4に示めされる通りである。しかし表-4を用いて計算したときには図-8により温度変化による擁みを求めた誤差が追加される。

今後擁みの測定を行ない実測値と(2)～(4)式または表-3により求めた値との差が表-4に示めす値と図-10により温度変化による擁みを求めた為の誤差を考慮した上での許容値を越えていないときは、ダムはこの解析の対象とした昭和35年11月より39年7月までと同じ状態にあると云い得る。

(i) 実測値と計算値との差が異常に大きいとき

(ii) 実測値と計算値との差が一定の方向に値を持ち出したとき

は土木研究所に相談されたい。

尚、クラウンの半径方向擁みに関する解析結果はダムがかなり安定していることを示しているが、EL530m以上の水位のデータが比較的少ないことと、EL490m以下の堤内温度が昭和31年度までは完全には安定していないので、当所としてはより安定し、より高い水位まで適用し得る挙動方程式を得るために、今後も資料を受け解析したいと考えている。

表 一 4 機 米 の 計 算

構 み	(1)		(2)	(3)	(4)	(5)
	式	常 数	温度変化による撓み	水位による撓み	経年変化による 撓	全 撓 み
		C	$\sum a_i t_i + \sum b_i \alpha_i$	$f(h)$	$\sum k_i \log \frac{1+\theta}{1+g_i}$	$(1)+(2)+(3)+(4)$
アーチクラウン 半径方向	(2)	0 既設	図 - 8	$0.0002668(h-46940)^2$ 又は図-12の実線	-276.2 既設	
	(3)	0 "	"	$0.000003465(h-46940)^3$ 又は図-10の点線	-225.8 "	
	(4)	0 "	"	$0.000000047(h-46940)^4$ 又は図-10の一点破線	-19.23 "	

表-5 アーチクラウン天端半径方向の実測値と計算値の差の許容値

測定回数	5	10	20	50
許容誤差	2.397	2.781	3.075	3.478

表-6 撈み測定値記録整式

[illegible]

5. 今後の測定に対する勧告

二瀬ダムは湛水を開始して以来、既に7年を経過しようとしており、今回の解析結果からかなり安定して来た状態にあると云い得る。

解析は昭和37年以来行なってきたのであるが今後は次の点について測定する事が望ましい。

5.1 漏水量、揚圧力の測定

漏水量、揚圧力の測定はダムの安全管理の上で最も重要なものの一つであるから、今後とも月に2回程度の測定は継続したいと考えられる。

漏水量の測定結果の整理方法としては、個々の漏水量を記録する必要はなく、右岸、左岸及び河床監査廊の三つに分けて、その各々の合計量と、各々の部分で最も多いと考えられる排水孔の記録を縦軸に漏水量、横軸に年月日にとったグラフを作成すると良い。なおこのグラフには水位も併記されたい。

揚圧力の測定結果の整理方法としては漏水量の場合と同様に三つの部分に分け、各々の部分で最も値の大きい孔と、代表的なもの2、3ヶについてグラフを作成すると良いと考えられる。このグラフにも水位の変動を併記されたい。なお3ヶ月に1回程度はグラフを作らない孔について測定し、異常な変化があるときはその後1回またはそれ以上の頻度で測定し、グラフを作成されたい。従って月に2回測定する孔と、3ヶ月に1回測定する孔とで記録紙を分けると便利かと思われる。

5.2 擁みの測定

前述したように巨視的に見たダムの安全管理を行なう上では擁みの測定は最も適当なものである。この為本報告書でも擁みの解析について述べて来た。

二瀬ダムの擁み測定はブラムラインにより行なっている。

今後の測定としては測定は月2回程度でよいと考えられる。測定値の整理は表-6に示すように表-4に示す方法により求めたものと比較されたい。

5.3 温度の測定

二瀬ダムの堤内温度はE1490m以上はほぼ安定しているが、E1490m以下は完全に安定した状態にはなっていない。従って今後のコンクリートの内部温度の測定は現行通り必要であると考えられる。しかしながらアーチアバットメントの温度計の配置は不明確な所も多く、解析に使用しにくい所も多いのでアーチアバットメントの内部温度の測定は今後不必要であると考えられる。

その為9 BlockのE1458.0m、E1475.0m、E1495.0m、E1515.0m、E1535.0mに埋設されている温度計については今後とも擁みの測定が行なわれた日に必ず測定されたい。

5.4 歪、継目の開閉の測定

前述した様に、歪および継目の開閉はダムの個々の部分の現象を示めしている。従ってダムの構造作用の解明の面から云えば極めて有意義な資料を提供するが、ダム管理の面からみれば、巨視的な安全管理を行なうには適当したものと云い得ない。しかし撓みの測定により得られるものはダムの総合現象であって、個々の部分の現象ではない。従って撓みの測定で異常が捕えられたり、クラックが発生したりしたとき等に撓みの測定からその原因と対策を結論づけることは不可能である。このときは継目の開閉と歪の測定からその原因と対策を調査し、検討する必要がある。

二瀬ダムは湛水後7年を経過し、現在迄各計器の測定が行なわれて来たことを考えるならば構造作用解明に対する必要なる資料は求ったと考えてさしつかえない。従って今後測定すべき資料は必要最小限にとどめてもさしつかえないと考えられる。

最後に今後測定すべきものと測定間隔を示めせば表-7の如くである。

表-7 今後測定すべきものの一覧表

測定の種類	測定箇所	筒数	測定間隔	整理方法	備考
漏水量	右岸の全漏水量		月に2回	水位を併記したグラフ	
	左岸の全漏水量		"	"	
	上段監査廊の全漏水量		"	"	
	下段監査廊の全漏水量		"	"	
	右岸で最大の漏水量		"	"	
	左岸で最大の漏水量		"	"	
	上段監査廊の全漏水量		"	"	
	下段監査廊の全漏水量		"	"	
機み	アーチクラウン天端	1	月に2回	表-5	
	右岸天端	1	"	"	
	左岸天端	1	"	"	
温度	10B1のE1458.00m	歪計1 温度計4	機みと同じ 測定日	データシートのみ	03T01, 03T02, 03E04, 03T03, 03T04,
	10B1のE1475.00m	歪計3 温度計2	"	"	04T01, 04E01, 04E06, 04T03, 04E15,
	10B1のE1495.00m	温度計7	"	"	14T01, 14T02, 14T04, 14T05 14T07, 14T09, 14T13,
	10B1のE1515.00m	歪計1 温度計4	"	"	12T01, 12T02, 12E05, 12T03, 12T05,
	10B1のE1535.00m	歪計2 温度計2	"	"	13E01, 13T02, 13E06, 13T03,
歪	10B1のE1458.00mの上流側	5	月に1回		03E03 5成分
	10B1のE1458.00mの下流側	5	"		03E13 "
	10B1のE1475.00mの上流側	5	"		04E01 "
	10B1のE1475.00mの下流側	5	"		04E15 "
	10B1のE1535.00mの上流側	5	"		13E01 "
	10B1のE1535.00mの下流側	5	"		13E06 "
	3B1のE1495.00mの上流側	5	"		10E01 "
	3B1のE1495.00mの下流側	5	"		10E14 "
	14B1のE1495.00mの上流側	5	"		16E01 "
	14B1のE1495.00mの下流側	5	"		16E15 "