

鳴子アーチダムのたわみ測定について

東北地方建設局 鳴子ダム管理所

奥 山 禮 助

ま え が き

鳴子ダムのたわみ測定には、プラムライン観測によるものと三角測量によるものと両者を用いている。

プラムラインは拱頂片持梁の天端から上段監査廊を通過して下段監査廊まで設置され、その観測は上段および下段監査廊で行っている。

プラムラインによる方法は非常に簡単に観測できる利点があるが基礎岩盤の変形を加味し得ないこと、観測点に限られる等の欠点がある。

三角測量は、ダム下流面及びヶ所、岩盤10ヶ所に測量用観測点を埋込み、下流水圧領域外の各点に観測台を設置して観測を行っている。測量にはウィルドの精密経緯儀および精密水準儀を用いるが、測量は高度の技術を必要とし、現場では老練な技術者が得られないので国土地理院に依頼して行っている。

三角測量によるたわみ測定は、岩盤、堤体各点の施工途中における変位まで測れる点は非常に優れているが、測量には相当の労力と日数を要し、従って測定回数に制限を受ける欠点がある。

三角測量は第4回目（湛水以来第2回目）を行ったに過ぎないがプラムライン観測は毎日午前9時に継続実施しているので、湛水開始以来1960年末迄の成果を一応ここにとりまとめる。今後に資せんとするものである。

一、プラムライン観測

1. 実施の概要

ちなみにその概要を述べるならば、ダム拱頂片持梁の中に径

48cm 長さ2mの鉄管を、コンクリートリフトを打ち上げる度毎に継足し、上段および下段監査廊を通して鉛直に79m立て、この中に0.4mmのピアノ線を懸垂した。ピアノ線はパイプ天端に懸垂用三叉を取付けて固定し、重錘には111Kgの円筒形のものを用いた。重錘線の長さは80mにも及ぶため、相当に長い周期を有し、地球自転の影響を受けるため重錘は油タンクの中に入れ、振れを防止してある。

観測台は半径、切線両方向からたわみを測定できるようになっている。両方向にスケールのきざんだ固定台を設置し、この台の上をバーニヤ目盛がきざんだある望遠鏡の取付台をスライドさせるようにしたものである。

堤体がたわみを起した場合、上段監査廊 (E.L. 215.0) および下段監査廊 (E.L. 179.0) の両位置において、望遠鏡によりピアノ線を標定し、原位置に対する移動量をバーニヤで読み取れば、E.L. 179.0に対するE.L. 215.0および天端 (E.L. 259.5) の関係位置を定め、これによつてたわみを測定することができる。

2. プラムライン観測値と貯水位・気温の履歴

先ず、プラムライン観測値の関連要素として、貯水位・気温 (何れも午前9時観測値) をとり、履歴図を作った。

上段の実線が貯水位、点線が気温である。

中段は実線がE.L. 259.5 たわみ値、点線がE.L. 215.0 たわみ値を示す。

この図から判るとおり、貯水位とたわみ値はほぼ同じ波形で変動している。

ここで更に詳細に検討するため一部期間におけるたわみ値と貯水位の経過をグラフに書いて見る。1959. 11. 1 ~ 1960. 2. 20 間および1960. 3. 30 ~ 7. 31 間について示したのが図1・2である。この図から、たわみ値は貯水位のみによることなく明かに季節的変動があつて、同一水位についても気温の

高い季節には少く、気温の低い季節には多いことが判る。

またこの間において小さい変動があるのは一時的な気温上下の影響を受けていることも推測される。(詳細後述)

そこで、次に温度をとりあげる。

3. 堤体温度の影響

アーチとして当然、温度荷重を考慮しなければならないから、各エレベーションのコンクリート自体の温度を次のとおりとりあげて覆工団下段に挿き加えた。

E.L. 252.3	① 中央(VII)BLの上流面 T86 観測値
	② III BLの中央(T58)とⅨ BLの中央(T114)の平均値
E.L. 242.3	III BLの中央(T57)とⅨ BLの中央(T112)の平均値
E.L. 226.3	Ⅲ BLの中央(T63)とⅩ BLの中央(T100)の平均値
E.L. 194.3	Ⅴ BLの上流面より 4.75m (T27) と下流面より 4.75m (T28) の平均値
E.L. 179.0	Ⅶ BLの上流面より 14m (T24) 観測値、下流面より 14m (T24) は故障。

この温度変化状況を見るに、E.L. 194.3以上は1年間を1サイクルにして規則的な波形を插いているが、E.L. 179.0は逐次下降の方向にあって、そのサイクルは明かではない。

E.L. 252.3	① ピーク	7月末か8月初め	おおむね気温と同じ
E.L. 252.3	②	8月末から9月初め	前者より1ヶ月遅れ
E.L. 242.3		9月末から10月初め	1ヶ月遅れ
E.L. 226.3		11月末から12月初め	2ヶ月遅れ
E.L. 194.3		12月頃	半月遅れ

ここで、何れかのE.L.の温度を因子としてとるとすれば、プログラムライン観測値はE.L. 179.0に対する相対的変位の決定であるから、その温度変化を考慮に加えなければならないが、

E.L. 179.0 温度変化は

1957	14.5 ~ 13.5	1958	13.5 ~ 12.0
1959	12.0 ~ 11.0	1960	11.0 ~ 10.5

このように緩慢な降下方向を辿っており、その変化量も少ないので一応考慮から除外することとした。

かくして種々試算を行つたところ

E.L. 259.5 たわみ値 ----- E.L. 252.3 ② 温度

E.L. 215.0 * ----- E.L. 242.3 温度

このように関連因子として適当なことが判つた。

この内、E.L. 259.5 たわみ値については、E.L. 252.3 ② 温度は最も近いエレベーションの温度であるから諒解し易いが、E.L. 215.0 たわみ値は当該エレベーション付近の温度に関連がないことは多分に E.L. 259.5 たわみに影響される結果と思われる。

4. プラムラインたわみ値カーブ

野水位を E.L. 236.0, 240.0, 245.0, 250.0, 254.0 と夫夫一定にして堤体温度（前記のとおり関連あるもの）とたわみ値との関係をプロットした結果から、図3のようなカーブを描くことができる。ただし、E.L. 254.0 については、低温・高温部のデータが無く、カーブを必要部分だけ延長できなかった。

しかし、このカーブを作る段階において、潜水初期にはたわみ値が少く、或る期間至過後にこの一定のカーブにほぼ載つたものであることを附加えなければならぬ。

現在定着状態のたわみ値に対する当時のたわみ値の差、即ち現在よりどれだけ少かつたかを図4に示したが、最初の潜水が最も大きな差を示している。

満水もしくはこれに近いエレベーションの水位に対しては第1回潜水でほぼ定着したのに反し、低水位の場合において定着するのにより多い時日を要したことも注目し得る。

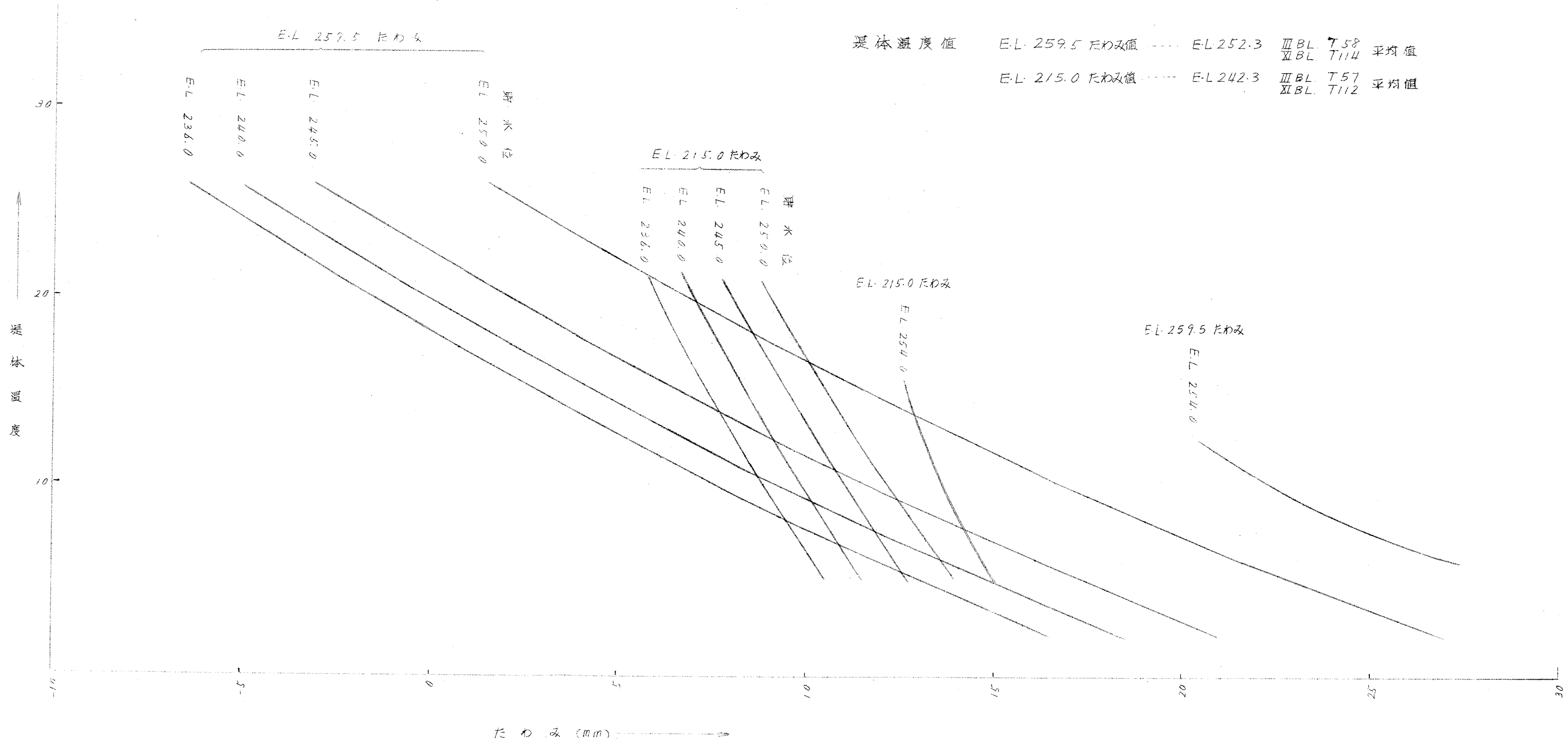
このカーブを観察することによつて、たわみ値に対する温度の要因がいかに大きいかを知ることができる。

E.L. 259.5 たわみ値の最大（下流方向）になる場合は、因子としての E.L. 252.3 ② 温度が最低になる（2月末頃）時期に最

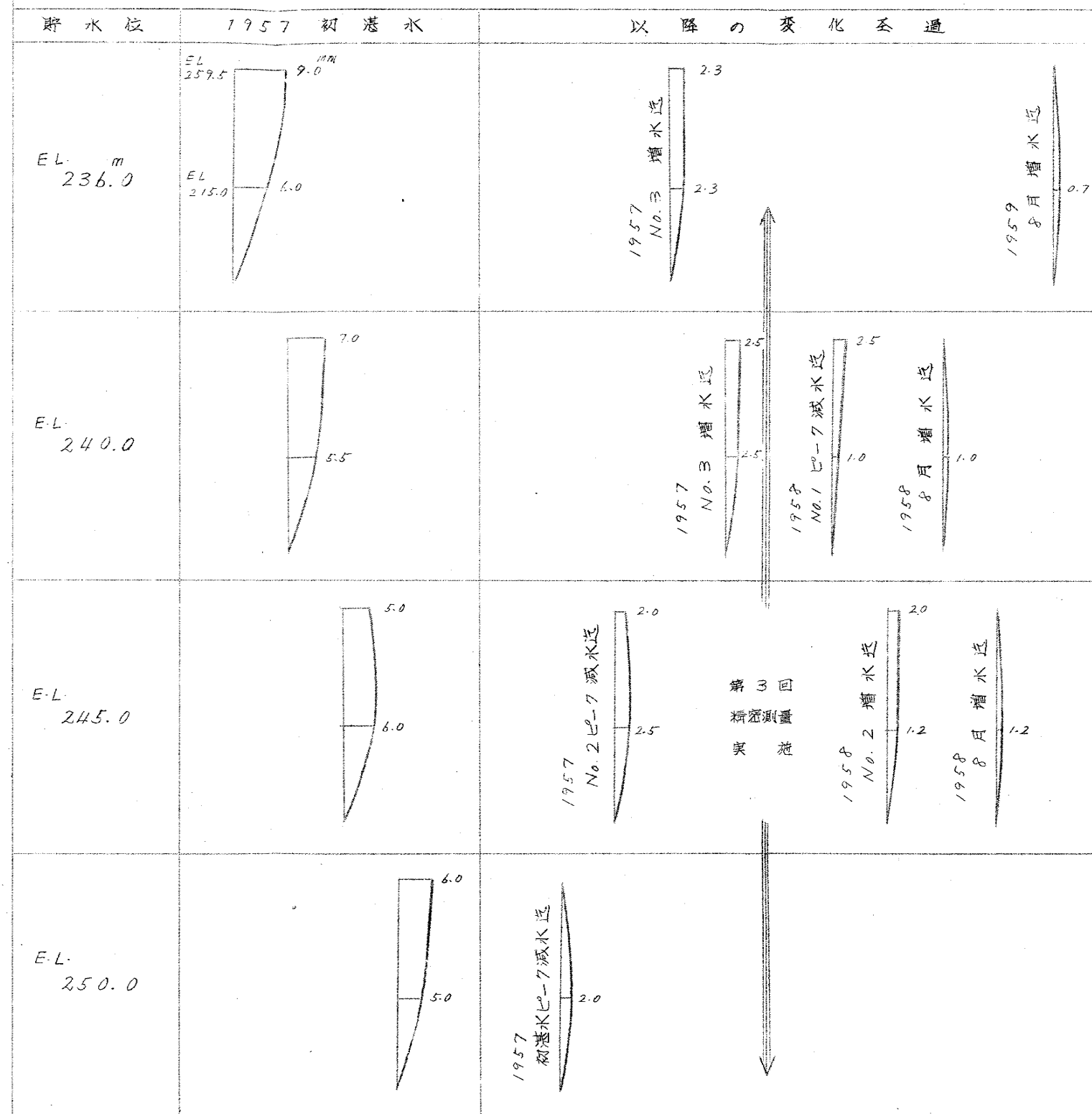
第 3 図

鳴子ダム

アラムライソ観測による
半全方向たわみ値と貯水位、堤体温度相関曲線



第4図 1960年定着状態たわみ値に対する当初のたわみ値差グラフ
(マイナス)



大水位を示した場合であり、また、上流方向に最大値をとるのは E.L. 252.3 ④ 温度がピークになる（8月末か、9月初め）時期に最低水位を示した場合であることも判る。

次に、E.L. 259.5 が上流方向へたわみ、E.L. 215.0 が下流方向へたわみ、その差が最大になるときは堤体下流面に最大引張応力を生ずるのであるが、それはこのグラフより E.L. 252.3 温度ピーク時期に最低水位に達した場合であることも知ることができる。

5. たわみ値と水位と気温ヒステリシスその他要因

たわみ値の因子とした堤体温度は前述のとおり気温より1ヶ月乃至数ヶ月遅れて伝播された波形を示しているので余り小刻みな動きはしないものと思われる。しかるに、たわみ値の履歴図を見るに、貯水位がスムーズに変化している場合でもたわみ値に小さな“フレ”があることが判る。

とは堤体をとりにくく水温、気温の小刻みな変動や輻射熱等の影響を考えられる。過去午前・午後2回観測の場合において午後（3時）が午前（9時）よりおおむね1mm程度減少しているものがあるのは気温上昇のためと推定されている。

さて先にとりあげたたわみ値と貯水位の履歴図において、プログラムラインたわみ値カーブから堤体温度を 2° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° と一定にした場合の関係を求めて描き入れる。

次にこの履歴期間における堤体温度と気温を図5にグラフとし、堤体温度の 1°C 刻み変化の月日を求め、これからたわみ値カーブのルールによつた場合の至路を点線を描き入れる。ここで実線と点線の開き、また急激な実線の動き等を気温の変動と対照することが出来る。

その一（59. 11. 2 ~ 60. 3. 20）について見るならば

11. 28 の低温	12. 3 ~ 4 の高温	12. 7 の低温
12. 14 の高温	12. 19 ~ 21 の低温	1. 5 の高温
1. 14 の低温	2. 6 の低温	2. 7 の高温

2. 25 の高温

3. 2 の高温

9. 11~12 の高温

3. 15 の低温

これらの気温の影響は、たわみ値に明白にあらわれている。しかし、定量的に関係づける式には至っていない。ただ、相対的に気温の変動に対するたわみ値の変動を求めることは、このグラフから容易である。

例えば、 $12.4 \rightarrow 12.7$ 10°C に対し 17 mm
 $1.3 \rightarrow 1.5$ 11°C " 17 mm
 $2.6 \rightarrow 2.7$ 10°C " 14 mm

次にヒステリシスについて検討しなければならない。ヒステリシスについて考慮するならば、樹重減少即ち貯水位低下の場合のたわみ値のルートは、貯水位上昇の時より若干上廻った値を辿る筈である。

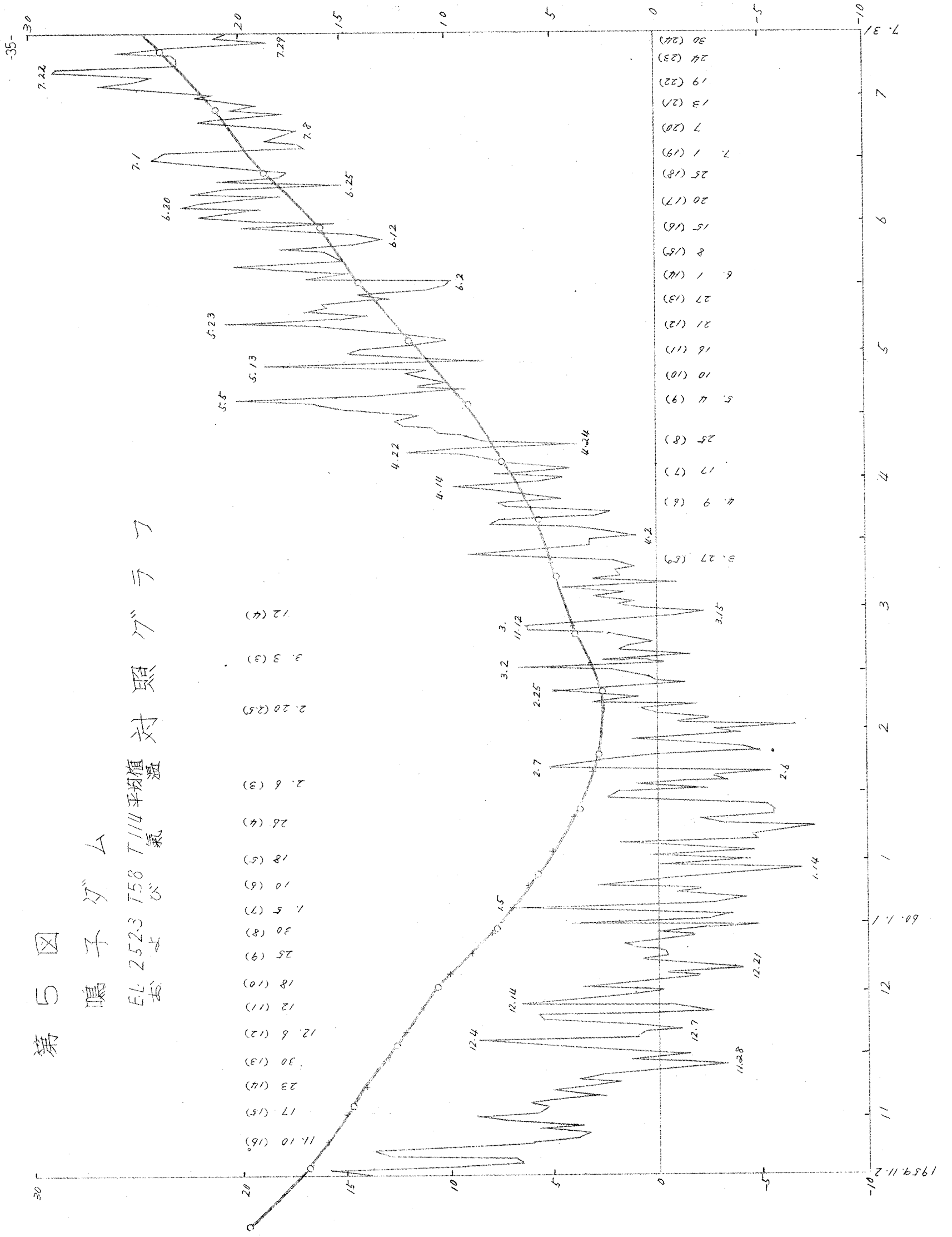
このことを全通図その一について見るならば、貯水位が低下し始めて 1.14~2.6 頃迄は、点線ルートより 1~1.5 mm 程度上廻っている。全通図その二においても貯水位が低下始めて 6.7 より 7 月中旬迄 1~2 mm 程度たわみ値が点線ルートより多い。上昇時において、実線と点線がおおむね 0.5 mm 程度の開き以内に留まっていることからして、下降時のこのような事実はヒステリシス現象と考えてよいと思われる。

次に、両全通図を見るに 251.0~252.0 の貯水位以上において点線と実線の動きがややかけ離れた部分がある。全通図その一においては 12.6~8 の低温、12.16~22 の低温、また全通図その二に 22.1~23 の高温、5.1~5 の高温、5.7~9 の低温部分等であるが、関連堤体温度 E.L. の 252.30 が直接水温の影響を受けているであろうことを考慮すれば、次のことが言える。即ち貯水位が低く、E.L. 252.30 の堤体部分に水温の影響が少い場合は上下流面共に気温だけの因子でよいが、貯水位が 251.00 程度以上の場合には上流は水温、下流は気温によりその温度差をも新に因子として加えなければならないと思わ

第5図

鳴子ダム

EL 252.3 T58 T114平均値 気 温 対 照 グラフ



れる。

以上約 9ヶ月間の経過図等から検討するに、貯水位・堤体温度を因子とした、たわみ値カーブは基幹としては適正なものと言えるが、気温、気温と水温との相対的關係、ヒステリシス、輻射熱等の要因をも定量的に加えなければならない。

今回は、気温については午前9時観測値のみをとりあげたが、24時間記録等をも採用し、その他必要な観測体制をとり、解明を進める必要がある。

二. 三 角 測 量

1. 実施の概要

測量用現標は薄青銅に黒白の塗料を焼付したもので、コンフリート打設に伴って下流面に埋込んだ。現標は堤体28ヶ所に、どのたわみが把握できるように配置すると共に、特に変動の後継と考えられる面アバット付近に密に配置した。また岩盤には雨水によって現標が汚れないように雨除けをつけて、左右岩盤夫々5ヶ所に設置した。

堤体の現標は、水平位置(X・Y)と間接測定により高さを決定するのであるが、このために水圧による変動がないと考えられる2点を基準両端点とし、8ヶ所の基準点をもつて基準点網を構成し、その基準点の内、適当な点を使用して堤体の現標を観測した。

2. 現在迄の経過

第1回 (1956. 11. 28 ~ 12. 10) コンフリート打設完了時

第2回 (1957. 3. 18 ~ 3. 29) 稚目グラウト完了、退水開始前

第3回 (1957. 10. 25 ~ 11. 8) 平均貯水位 246.40

第4回 (1960. 10. 13 ~ 10. 27) " 242.27

第1回より第4回に至る間の測点の水平変位状況を図6に示す。

(2), (3) 等は, それぞれ第2回, 第3回等を示す。

3. 変位一般の傾向

コンフリート打設完了時(1)に対し, 継目グラウト施工の結果(2)は堤体中央部 (No. 3 ~ 8ブロック)

上 段 左岸寄りの上流方向

中 段 おおむね左岸方向

下 段 左岸寄りの下流方向

左岸 (No. 9, 10ブロック) 右岸 (No. 2ブロック) 部
半至下流方向

次に湛水後(3)の結果は, 堤体中央部は, 半至下流方向, 左右岸部はアバット方向に変位した。

今回(4)は, 堤体中央部においては, 上段は半至上流方向, 中段以下は, 半至下流方向へ進み, 右岸部は半至下流方向, 左岸部は半至上流方向と注目すべき傾向を示している。

(4) は(3)に比し貯水位が少いにもかかわらず全般に変位が進んだことは, (3)当時は E.L. 252.60 のピークを1回至験したに過ぎないが, (4)は既に満水ピークを6回も至験しているため, 種類の要因が積重ねられたものと推定される。

4. 堤体の動き

E.L. 250 (No. 1a ~ 13a)

この動きは, 次の三つに区分される。

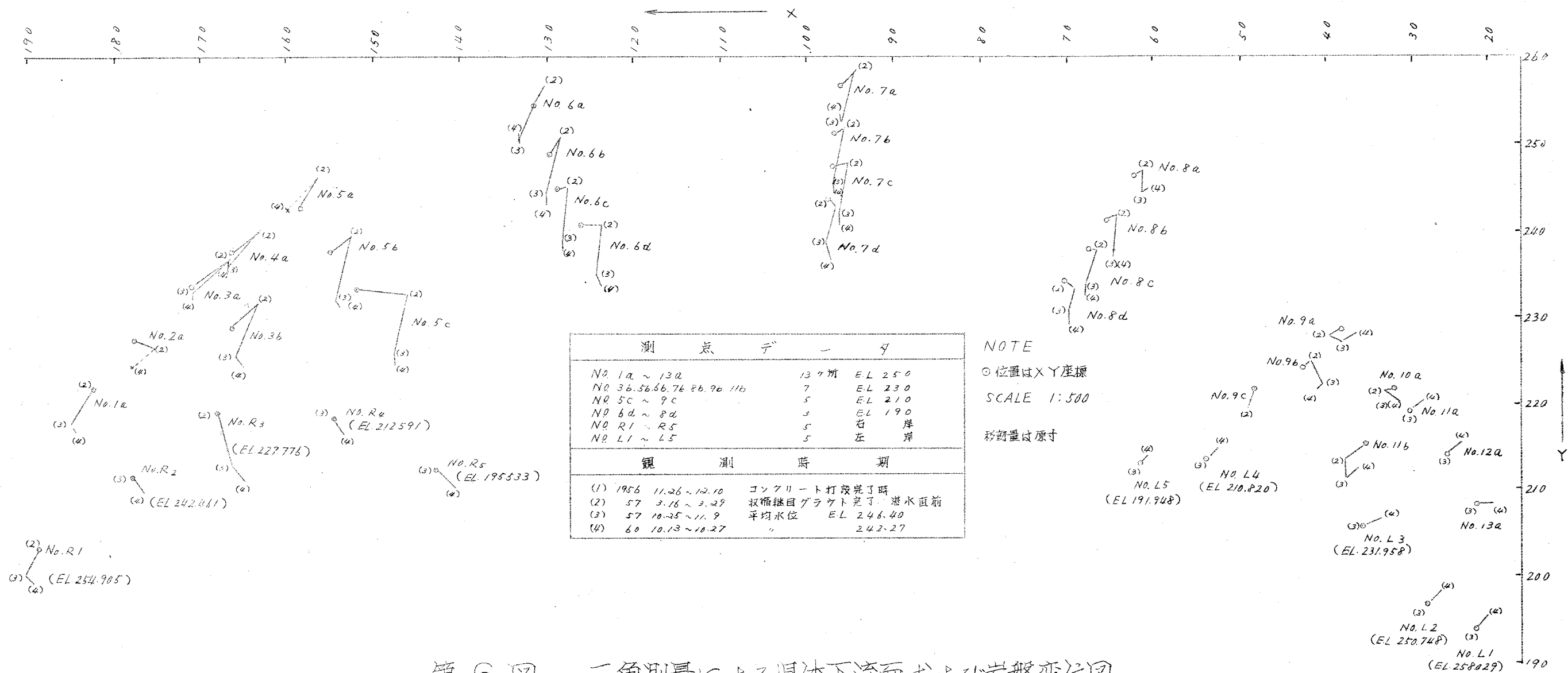
(イ) No. 4a ~ 8a

たわみ値は (3)より(4)が減少して復元の方角にあり, 最も判り易い代表的な動きを示している。No. 5a の(3)は欠測であるが, その動きはおおむね同じと推定される。

No. 8a の(4)の動きは, 左岸方向に傾り(イ)と同傾向を示している。

(ロ) No. 1a ~ 3a

No. 1a は(1)を, No. 2a は(3)を, それぞれ欠測しているが, この両者は全般におおむね同じ動きと考えられる。



第 6 図 三角測量による堤体下流面および岩盤変位図

No. 3a は(3)近は、(1)と同じであるが、(4)に至る動きはこのブロックに属する中間的存在である。

No. 1a の(3)より(4)に向う方向については注意しなければならない。

(い) No. 9a ~ 13a

No. 11a ~ 13a は(1)(2)を欠測しているが、このブロックの動きは No. 9a を以て代表できると推定される。

(1)より(2)は、半至下流方向、(2)より(3)はアバット方向へそれぞれ変位したことは右岸の No. 1a, 2a と同じであるが、(3)より(4)の動きが半至上流方向即ち復元に進んでいるのは、右岸と逆である。

E.L. 230 (No. 3b, 5b ~ 9b, 11b)

(A) No. 3b, 5b ~ 8b

E.L. 250 と異り(3)より(4)に向い変位が増大している。しかし、No. 8b だけが(3)(4)同位置にあるが、これは No. 8a から 8d に向い、縦に見れば判るとおりプラスマイナスの境界にあたっている。

(ロ) No. 9b

(1)より(2)の動きは全く特殊なものである。

(ハ) No. 11b

この付近の代表的な動きと考えられる。

E.L. 210 (No. 5c ~ 9c)

E.L. 230 とおおむね同じ動きを示しているが、No. 5c がグラウトにより左岸方向へ大きく、約 11 mm 変位したのは局所的な特殊性があつたものと考えられる。

E.L. 190 (No. 6d ~ 8d)

E.L. 210 とおおむね同じ動きを示しているが、No. 6d がグラウトによる左岸方向への変位がやや大きいのが目につく。

5. 取付岩盤の動き

右岸 (No. R1 ~ R5)

R1, R3 が第2回より、その他は第3回より測量を行つてゐるに過ぎないが、その動きを最寄りの堤体測点と比較すれば、次のとおり。

No. R 1 (E.L. 254.905) 3 mm (3)→(4)

No. R 2 (E.L. 242.461) 4 mm (3)→(4) に対し

(3)→(4) 面はこれとほとんど同じ変位方向を辿った堤体上の測点 No. 1a は

No. 1a (E.L. 250.0) 2 mm

また

No. R 3 (E.L. 227.776) 6 mm (3)→(4) に対し

No. 3b (E.L. 230.0) 3 mm

このように、岩盤の変位が多いことは、岩盤が弾性体として不良なため、満水時の歪を残しているのではないかと推定される。

No. R 5 の (3)→(4) の変位も堤体測点 No. 5c, 6d に比較して遙かに大きいものである。

左岸 (No. L 1 ~ L 5)

No. L 3 (E.L. 231.958) と堤体測点 No. 11b (E.L. 230.0) の動きを (3)→(4) について比較するに、方向、量共に同じであることから、左岸岩盤はおおむね良好な弾性体と考えられる。

しかし、No. L 2 (E.L. 250.748) と No. 13a (E.L. 250.0) の比較については、その結果ははっきりしていない。

6. 中央 (No. 7 ブロック) 断面変位の検討

三角測量の No. 7a ~ 7d 断面はブラムライン観測断面にもあたるが、第2回測量結果を基準にしてグラフを作れば図7のとおり。

E.L. 179.0 を基準とするブラムライン観測結果と対照してもスムーズな曲線に入るので、互にその精度が確認される。

参考のため (2) を基準として (1) を書き入れれば ② のカーブとなる。

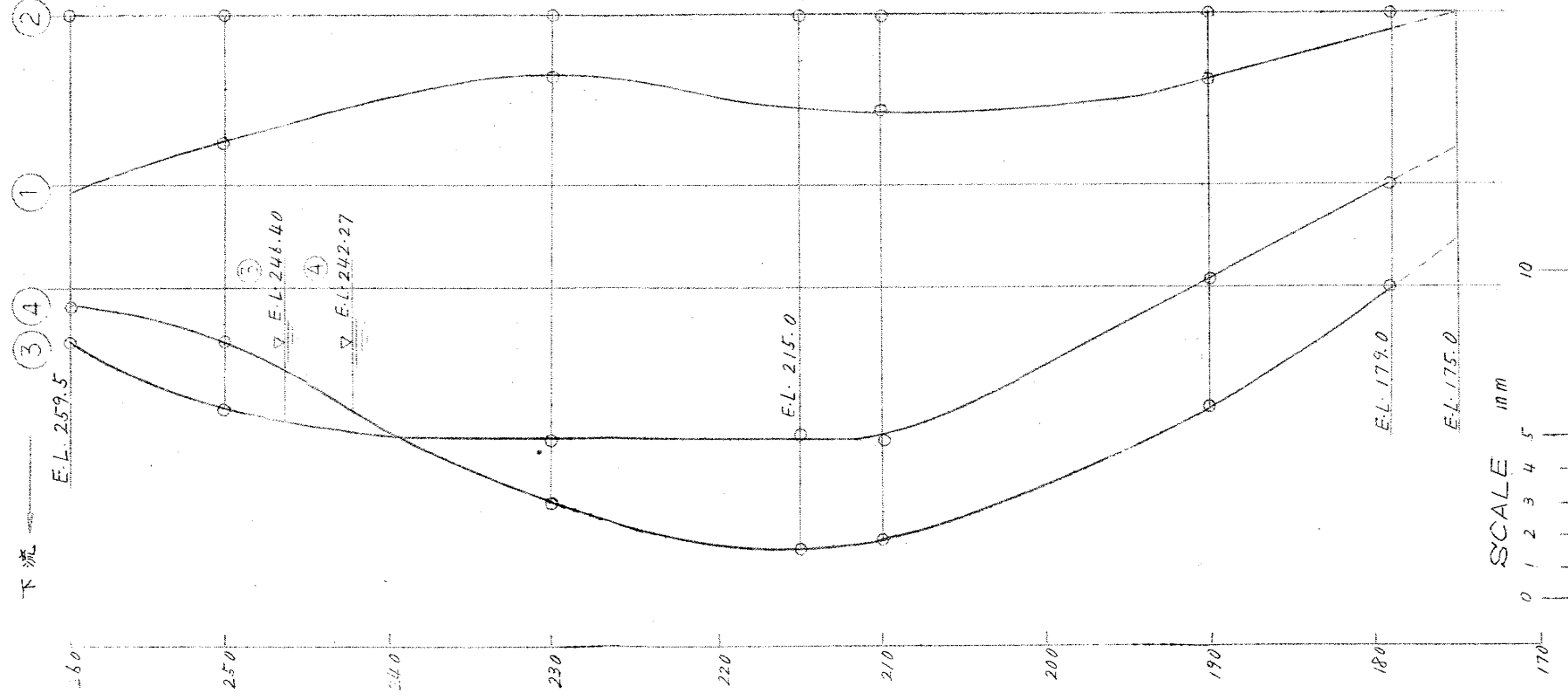
図において ③カーブが (3) に、④カーブが (4) に該当する。

第 2 章

五
丁
丁
丁

ダムセンターにおける半全方向変位

精密測定量と成果対照グラフ



② → ③	① → ④	① → ②
プラズマイン データ + 4.9	プラズマイン データ + 0.5	プラズマイン データ + 0.5
精密測量データ No. 7a 12.0	精密測量データ No. 7a 10.0	精密測量 データ - 4.0
プラズマイン データ + 7.6	プラズマイン データ + 7.9	精密測量 データ - 2.0
精密測量データ No. 7b 13.0	精密測量データ No. 7b 15.0	精密測量 データ - 3.0
プラズマイン データ + 4.9	プラズマイン データ + 0.5	精密測量 データ - 2.0
精密測量データ No. 7c 13.0	精密測量データ No. 7c 16.0	精密測量 データ - 2.0
プラズマイン データ + 7.6	プラズマイン データ + 7.9	精密測量 データ - 2.0
精密測量データ No. 7d 8.0	精密測量データ No. 7d 10.0	精密測量 データ - 2.0

- 注：1. 調査別量は、第1回（1956.11）を基準として、第4回（1960.10）迄行つたが、
アラムティン膵臓は、1957年4月（精密別量第2回）を基準としている。
2. このグセラフは、第2回を蝕として描いたものである。

この図からも明かなように(4)は(3)より水位が低いのに対し、E.L. 250～天端間は1.5～2.0mm浸元しているが、E.L. 250から下部に進むに従い、その差は逐次減少し、E.L. 240付近では(3)(4)同じたわみ値となり、その後は岩盤に至るまで(4)の方が3mm前後たわみ値増を示している。

このように(4)は(3)に比し水位は低いにもかかわらず、E.L. 240以下においてたわみ値が多い原因を考える前に、先にプラムライン観測値が種々の要因を含みな水からも、現在定着した或るカーブに載っていることを説明したが、この精密測量実施時のプラムライン値もそのルールに合致しているかどうかを確認することとする。

国 次	たわみ 区 分	関 連 堤体温度	貯 水 位			観測値	差
			E.L. 245.0	250.0	246.40		
③	E.L. 252.5	17°C	(補正) $4.7 - 2.0 = 2.7$	2.5	4.3	4.9	+0.6
	" 215.0	18°	$8.5 - 1.2 = 7.3$ (E.L. 240.0)	9.6 (245.0)	7.9 (242.27)	7.6	-0.3
④	" 252.5	20°	-0.1	2.0	0.9	0.5	-0.4
	" 215.0	20°	7.0	8.0	7.5	7.9	+0.4

プラムライン値の要素としては気温その他まだ解明していない点も多いので満足とは言えないが、おおむねルールに合致していることが判った。この計算表のうち E.L. 245.0 欄において補正とあるのは既に(一の4. プラムライン たわみ値カーブについて)に述べたところであるが、この当時に対する現在の定着状態は堤体コンフリート継目の収縮あるいは岩盤の弾性不良による変位を至驗したものと推定される。

堤体コンフリート自体の残泊歪の影響は極めて微少なものと考えられる。

ここで E.L. 179.0 の絶対変位量は約 8.4mm とあらわれているが、このカーブをそのまま E.L. 175.0 の岩盤まで延長すれば、岩

盤の変位は約 2.2 mm であつて、設計上の最大静荷重（E.L. 25 m. 0）時の基礎変位値に相当するので、満水時の歪かそのまゝ大部分残留しているのではないか、或いは岩盤が想定より悪かつたのではないかと推定される。

お す び

今回は一応データをとりまとめた程度であつて、理論的計算と照合して解明することは今後の課題として残されている。

ともかく三角測量回数も種々の制約を受けるため少ない。出来れば 36 年度には満水・渇水の 2 回実施したい。之によつて左右岸の岩盤変位傾向の相違についても、そのいとぐちが窺見できるのではないかと思われる。

気温・水温・輻射熱等の要因についても、今後観測方式等を再検討して究明したいと考えている。