

土 木 研 究 所 資 料

第 3 8 7 号

コンクリートダムの安全管理の手引

昭和 4 3 年 5 月

建設省土木研究所

コンクリートダムの安全管理の手引

飯 田 隆 一
矢 野 明
姫 野 博 功

目 次

1. 概 説	1
2. 測定計器の種類と構造	2
2.1 埋 設 計 器	2
2.1.1 温 度 計	2
2.1.2 歪 計	2
2.1.3 継 目 計	4
2.1.4 応 力 計	4
2.1.5 間 隙 水 圧 計	5
2.2 たわみの測定	5
2.2.1 精密三角測量	5
2.2.2 視 準 測 量	6
2.2.3 プラムライン	7
2.3 岩盤の変位の測定	8
2.3.1 岩盤圧縮変位計	8
2.3.2 逆プラムライン	9
2.3.3 岩盤内に設けた三角網による変位の測定	9
2.4 揚圧力の測定	9
2.5 漏水量の測定	10
2.5.1 個々の排水孔の漏水量の測定	10
2.5.2 全漏水量の測定	10
3. 測定計器の特性と使用方法	12
3.1 計器の温度補正	12
3.2 計 器 の 設 置	13
3.3 応 力 の 測 定	13
3.4 たわみの測定	14
3.5 岩盤の変位の測定	14

3.6	揚圧力の測定	15
4.	測定の目的と重点のおき方	16
4.1	施 工 管 理	16
4.2	ダムの安全管理	16
4.3	構 造 解 析	20
5.	配 置 計 画	21
5.1	施工管理を目的とした配置計画	21
5.2	ダムの安全管理を目的とした配置計画	23
5.3	構造解析を目的とした配置計画	26
6.	測 定 間 隔	27
6.1	施工管理を目的とした場合	27
6.2	ダムの安全管理を目的とした場合	27
6.3	構造解析を目的とした場合	28
7.	施工管理のための測定，および解析	30
7.1	温度の測定および解析	30
7.2	継目の開閉の測定と解析	30
8.	安全管理のための測定および解析	34
8.1	漏 水 量	34
8.2	揚 圧 力	37
8.3	た わ み	45
8.3.1	重力ダム，中空重力ダム	46
8.3.2	アーチダム	48
8.4	歪 ， 応 力	57
8.4.1	計器の生死の判定	57
8.4.1.1	重力ダム，中空重力ダム	57
8.4.1.2	アーチダム	61
8.4.2	解 析	66
9.	構造解析のための測定と解析	70
9.1	た わ み	70
9.2	歪および応力	76
9.2.1	歪の解析方法	76
9.2.2	解 析 例	79
9.3	岩 盤 の 挙 動	80
10.	結 び	84

1. 概 説

貯水を目的としたダムは万一破損を生じた場合には下流に著しい被害を生ずることはアメリカのセントフランシスダム、フランスのマルパッセダム、イタリアのバイونتダムの例でも明らかである。幸い我が国では未だこのような大きな事故は起っていないが、今後ともダムを安全に管理するために充分安全なダムを建設するように努力するとともに、既にでき上ったダムについても充分安全にその機能を果すように管理し、更に若しダムに異常がある場合でも、できるだけ早くその徴候を捕え、軽度の補修ですませ得るように努力することは極めて重要なことである。特に我が国においては完成したダムの数も既に 250 をこえ、世界第二位になっている現在、ダムの安全管理は社会的にも極めて重要度の高いものとなっている。

ダムの安全管理を目的とした測定については戦前に完成したダムについても、既に漏水量・揚圧力の測定等は行なわれて来たが、戦後測定計器の進歩と相まって種々の計器が設置されるようになり、温度、継目の開閉、歪、応力、撓み等、多岐にわたる測定が行なわれるようになって来た。

これらの測定により一部のダムではダムおよびその基礎岩盤の挙動について優れた解析を行なっているが、多くのダムでは測定計器が未だ不備な点が多く、よいデータが得られていない上、測定資料も多すぎるために充分な資料整理が行なわれていないため、構造解析はもちろんの事、ダムの安全管理も充分に行われていないのが現状である。

現在、非常に数多くのダムにおいて歪計、応力計等が数多く設置され、構造解析をも行ない得るようになっているが、これらのすべてのダムで構造解析を行なうことは不必要であるし、また人員的にみて困難である。多くのダムは測定の目的をダムの安全管理にしばって、充分な管理体制をひくことが大切であると考えられる。

本書はダムの安全管理を行なうための測定方法、解析方法を中心にとりまとめたものであるが、一部のダムでは構造解析を目的とした測定、解析を行なうこともあり得るので、これらについても簡単にふれることにした。

2. 測定計器の種類と構造

現在ダムに用いられている測定計器としてはかなりの種類にのぼっており、例えば埋設計器についても Carlson 型、Maihak 型、Telemac 型、Galileo 型等かなりの種類がある。このうち我が国では Carlson 型がほとんどであるので Carlson 型を中心として述べ、外部変形の測定器、揚圧力測定器等について主として用いられているものを中心に述べることにする。

2.1 埋設計器

埋設計器としては温度計、歪計、継目計、応力計、鉄筋計、間隙水圧計等があげられる。これらの計器は前述したように種々種類があるが、現在我が国では Carlson 型のものが主として用いられているので、これについて述べることにする。

2.1.1 温度計

温度計の構造は図-1に示すように、温度計内にある絶縁心棒に

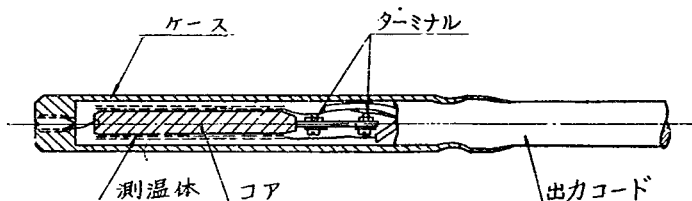


図-1 Carlson 型温度計

銅線が廻きつてあり、この銅線の抵抗変化により、温度変化を測定するようになっている。

温度変化と抵抗変化との関係は白金が最も直線性がよく、銅はこれよりもやや劣るとされているが、ダムの温度測定で問題となる $-5^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}$ の範囲内では充分直線性があるということで用いられている。

測定は温度計から出ているキャプタイヤーコードをホイーストンブリッジにつなぎ、ブリッジにより抵抗値を測定している。また温度計専用の指示器を用いれば、直接温度が指示される。

2.1.2 歪計

歪計の構造は図-2に示すように、歪計内にある鋼棒に二つのコ

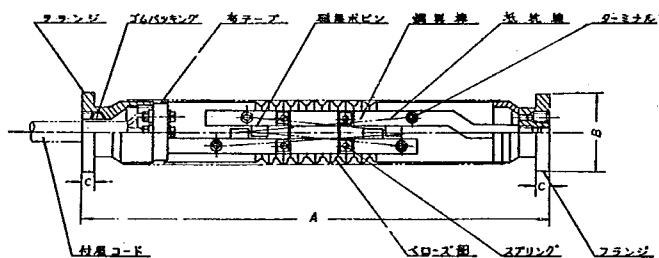


図-2 Carlson 型ひずみ計

イルが巻きつけられており、このうち一つのコイルは歪計の長さが減少したときコイル長は減少し、もう一つのコイルはコイル長が増加するようになっている。この二つのコイルはほぼ同じ抵抗を持っており、更に歪計の長さが変化したときに符号が反対でほぼ同じ値の抵抗変化が起るようになっている。

今、各々のコイルの抵抗を R_1 , R_2 とし、温度変化および歪計の長さの変化により夫々 ΔR_1 , ΔR_2 の抵抗変化が生じたとする。すると変化後各々のコイルの抵抗は

$$R'_1 = R_1 + \Delta R_1 + \Delta R_s$$

$$R'_2 = R_2 + \Delta R_1 - \Delta R_s$$

となる。今、図-3(a)に示すように R'_1 と R'_2 を直列につないでブリッジの一边につなぐと

$$R'_1 + R'_2 = R_1 + R_2 + 2\Delta R_1$$

となるから、ブリッジが平衡するように R_v を変化させると

$$\frac{R_1 + R_2 + 2\Delta R_1}{R_s} = \frac{R_v}{R_s}$$

$$2\Delta R_1 = R_v - (R_1 + R_2)$$

ΔR_1 は温度に比例する量であるから

$$\Delta T = 2\alpha \Delta R_1 = 2\alpha (R_v - R_1 - R_2)$$

また 0°C のときの $R_1 + R_2$ の値を R_0 とすれば

$$T = \alpha (R_1 + R_2 + 2\Delta R_1 - R_0) = \alpha (R_v - R_0)$$

として温度が求められる。

次に図-3(b)に示すように R_1 と R_2 を分けてブリッジの二辺につなぐと

$$\frac{R_1 + \Delta R_1 + \Delta R_s}{R_v} = \frac{R_2 + \Delta R_1 - \Delta R_s}{2R_s}$$

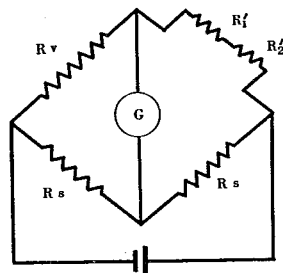
$$\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_2 + \Delta R_1} \left(1 + \frac{\Delta R_s}{R_1 + \Delta R_1}\right) \left(1 + \frac{\Delta R_s}{R_2 + \Delta R_1}\right) \approx \frac{R_v}{2R_s}$$

$R_1 \approx R_2$ であるから、 $\frac{R_v}{2R_s} = Z$ とすれば

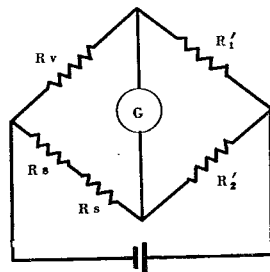
$$2 \frac{\Delta R_s}{R_1} = Z - 1$$

ΔR_s は歪に比例する量であるから、 $\frac{R_v}{2R_s}$ の初期値を Z_0 と

$$\Delta \varepsilon = f(Z - Z_0)$$



(a) 温度測定



(b) 歪測定

図 - 3

このように歪計では温度変化が直接抵抗計には影響しないようになっているが、温度変化により計器自身も伸縮が生ずるのでこれに対する補正が必要となる。即ち補正された歪は

として計算される。

測定範囲は圧縮に対し $800 \sim 1,000 \times 10^{-6}$ ，引張に対し $400 \sim 500 \times 10^{-6}$ である。

継目計の

構造は図-4に示す如くで、構造、測定原理は歪計と基本

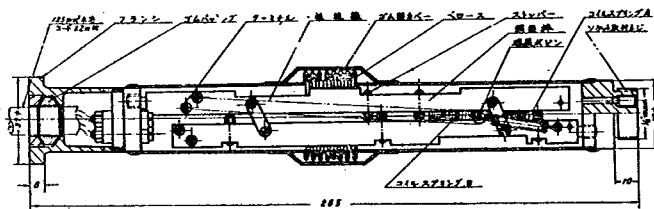


図-4 Carlson 型繰目計

しかし測定される長さの変化が歪計よりかなり大きいので、感度を鈍くし、測定範囲を大きくしている。

また、大きな長さの
変化を測定しているの
で、測定値に対する温
度変化による計器の長
さの変化は無視し得る
として計器に対する温
度補正は行なっていない。

測定範囲は閉じが
0.7 ~ 6.0 μ m, 開きが
6 ~ 12 μ m である。

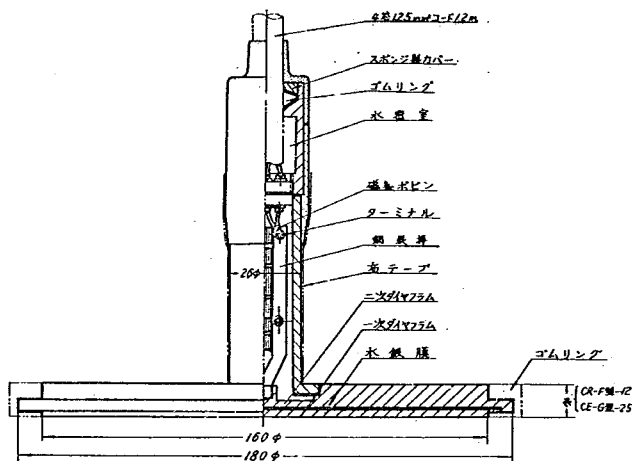


图-5 Carlson 型応力計

2.1.4 応力計

応力計の構造は図-5に示す如くである。受圧板にかかる応力を水銀圧に伝え、この

水銀圧を小円板の変形に変え、この小円板の変形を歪計と同じ原理で測定し、応力を求めるようになっている。

応力計は引張応力は測定し難く、また埋設時に周囲のコンクリートと受圧板との間に空洞、水溜り等できないように充分注意する必要がある。

測定範囲は $0 \sim 30$ ないし $0 \sim 120 \text{ kg/cm}^2$ である。

2.1.5 間隙水圧計

間隙水

圧計の構

造は図-

6に示す

如くであ

る。即ち

先端に多

孔性填材

のつま

った筒があ

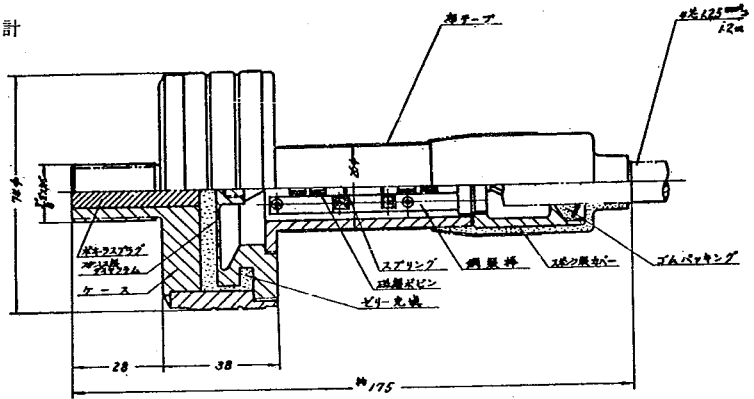


図-6 Carlson 型間隙水圧計

り、筒の内部には油または特殊なゼリーを介して薄膜円板がある。多孔性填材中を浸透した水は介在する油に圧力を伝え、この圧力で生ずる薄膜のたわみを歪計で測定し、水圧の大きさを求めるものである。測定範囲は $1 \sim 16 \text{ kg/cm}^2$ 程度である。

2.2 たわみの測定

ダムのたわみの測定は一

般に精密三角測量、視準測

量による方法、プラムライ

ンによる方法等が行なわれ

ている。

2.2.1 精密三角測量

精密三角測量は図-

7に示すように、ダムの下

流側の岩盤にベースライン

および規準点を設け、さら

にダムの下流面にいくつか

の標的を設け、ベースライン

および規準点是不動であると

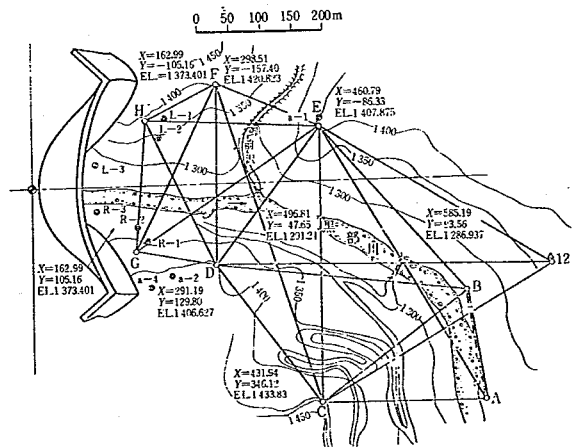


図-7 精密三角測量基準点網図

して、Wild T-3 により精密三角測量によりダムのためをを求める方法である。

この方法の利点はダムの絶対変位が求められることと、ダムの下流面のいくつかの点の変位を同時に求め得る点で優れているが、

- (i) 規準点、ベースラインが比較的表面の岩盤に取りつけられているので、天候、季節などの変化により動くことが多く、或るダムではベースラインの長さを測定する度に長さが異なり、最大 6mm の差があったという例がある。このため測定結果の精度が思わしくない。
- (ii) Wild T-3 の分解能は約 1 秒で、これは 100 m の視準距離にして 1mm に相当する。一般にダムのスパンは凡そ 200 m ~ 400 m であるため、測定結果に 1 ~ 3 mm の誤差は避けられない。これに反し、ダムのためは重力ダムで 1 ~ 5 mm、アーチダムで 10 ~ 100 mm で誤差が比較的大きい。
- (iii) 精密三角測量は外業に 1 ~ 2 週間、内業に 1 ~ 2 週間要する。このため外業中にダムのためが変化する可能性があり、更に費用と労力が大きいため回数多く測定することが困難である。

このような欠点があるため、特殊な研究目的で行なう以外はダム管理の目的からは不向である。

2.2.2 視準測量

視準測量は図-8 に示すようにダムの両岸に規準点と視準点を設け、この二点を含む鉛直平面上のダムの天端に視準点を設ける。

先ず規準点に Wild T-3 または視準測量の倍率の高いトランシットをすえ、対岸の視準点を視準する。次にトランシットを鉛直面にふってダムの天端の標的を視準し、標的がトランシットの中央で視準されるように移動させ、その移動量からダムのためを測定する。

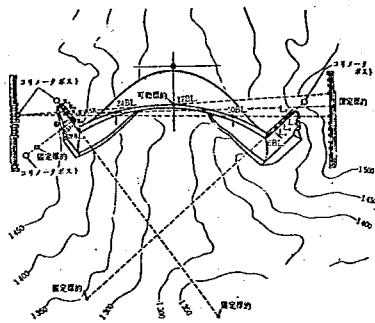


図-8 視準測量測点配置図

この場合に、ダムの天端の視準点を固定し、対岸の視準点を移動させて測定する方法もある。

この方法の利点は

- (i) 絶対変位が測定し得ること。
- (ii) 測定が容易であること。
- (iii) 天端のためしか測定し得ないが視準線を適当にとれば数点の測定が可能である。

等であるが欠点は

(i) 精密三角測量の場合と同様にWild T-3 を用いても $1 \sim 2 \text{ mm}$ の測定誤差は避けられない。

(ii) 冬期の積雪の多い地方では冬期の測定は困難である。

等である。

2.2.3 プラムライン

プラムラインは図-9に示すようにダム本体に鉛直に直径30 cm程度の鉄管を埋設し、この中にピアノ線を下げ、その先端に重錘を下げ、このピアノ線の移動量からダムの相対変位を測定する方法である。ピアノ線の移動量を測定する方法としては

(i) 望遠鏡による方法

この方法は図-10に示すように、上下流方向と堤軸方向の移動量を測定し得るようなバーニヤをピアノ線の側に設置し、このバーニヤの上に望遠鏡をとりつけ、この望遠鏡でピアノ線を視準し、望遠鏡のクロスヘヤーとピアノ線と一致するように望遠鏡を移動させ、この移動量をバーニヤで測定する。この方法では $1/20 \text{ mm}$ の精度で測定し得る。

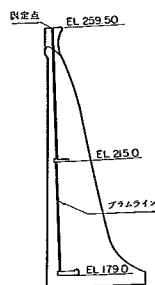


図-9

(ii) 距離計による方法

この方法は写真機等に用いられる距離計と全く同じ原理を用いたもので、距離計をピアノ線のわきに設けられた台にとりつけ、距離計内に現われる二つの像を合わせるように調節すれば上下流方向および堤軸方向の移動量が同時に測定し得る。この方法の精度は $1/10 \sim 2/10 \text{ mm}$ 程度である。

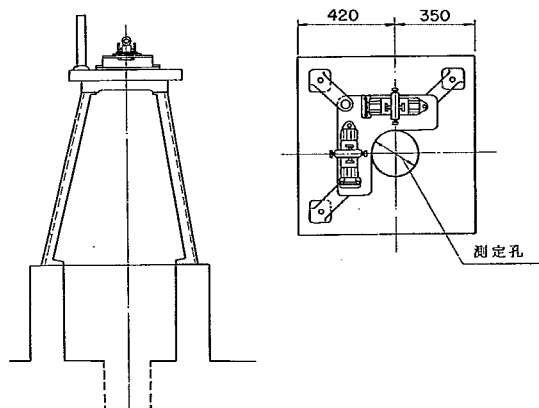


図-10 たわみ測定装置

(iii) 電気的な方法

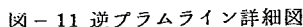
上記の二つはいずれ

等がある。

いづれの方法による場合でも測定値の精度、信頼性は精密三角測量、視準測量より、はるかに優れておりたわみの測定の中では最も優れたものである。

最近、基礎岩盤の安定性が重視され、ダムの基礎岩盤の測定もかなり行なわれるようになってきた。これらのうち主なものをあげると、岩盤圧縮変位計、逆ブラムライン等である。

圧縮側に測定
範囲を広くと
った継目計にパイ
プを取り付けて
10~40 m 位に
長さを長くした
ものである。こ
れをダムの基礎
にボーリングし、



埋設したものである。

計器の構造，測定方法は継目計と同一である。

2.3.2 逆ブラムライン

逆ブラムラインは図-11に示すようにダム基礎に直径220mmのボーリングで穿孔し，ピアノ線をボーリング底にアンカーし，ピアノ線を引き上げ，ドーナツ型の水槽に浮かせたドーナツ型のフロートにピアノ線をとりつけ，このピアノ線の移動量から岩盤の変位を測定するものである。測定器はブラムラインと全く同様である。

この方法は岩盤の変位の測定方法としては極めて優れた方法で，精度，信頼性も極めてよい。

2.3.3 岩盤内に設けた三角形網による変位の測定

この方法は川俣ダム，

黒部第四ダムで行なわれた方法で，岩盤内に設けた監査廊からボーリングを行ない，図-12に示すような三角形網を作り，このボーリング孔内にロッドを入れ，先端だけを固定し，ロッドの自由端の移動量から岩盤の変位を測定する方法である。

この移動量の測定には継目計による方法と，機械的な計器による方法とがある。

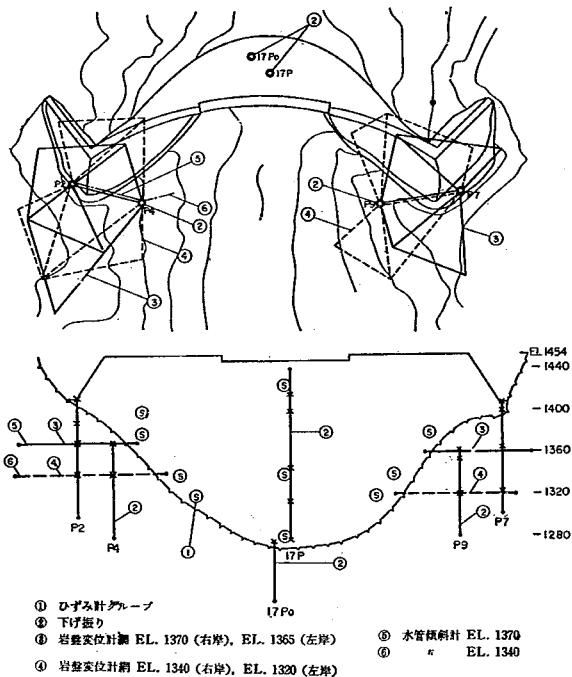


図-12 黒部第4ダムの岩盤変位測定

この測定方法は岩盤内部の変位の分布を知る上では極めて有効であるが，どちらかと言えばダムの安全管理のためよりは研究的な目的のためのものである。

2.4 揚圧力の測定

揚圧力の測定は一般に排水孔にブルドン管圧力計を取り付けて測定する方法と，間隙水圧計による方法とが用いられている。間隙水圧計については埋設計器のところで述べたので省略することにする。

排水孔にブルドン管圧力計を取り付けて測定する方法は測定も簡単なので最も広く用いられている方法である。この方法についてはいまさら説明を加える必要はないと考えられるが、注意事項を二三述べると、

(i) ブルドン管圧力計はフルスケールの圧力に比して小さい圧力に対して測定精度が低い。従って満水位時の揚圧力がフルスケールの $1/2$ 以上になるような計器を用いるべきである。

(ii) ブルドン管圧力計は破損し易い。従って予備の圧力計を持つとともに、圧力検定器を持って、時々計器の検定を行なう必要がある。

等である。

2.5 漏水量の測定

2.5.1 個々の排水孔の漏水量の測定

個々の排水孔の漏水量の測定は一般にメスシリンダーにより単位時間当りの漏水量を測定する方法が用いられている。この方法は漏水量が少ない場合にはかなりの精度で測定し得るが、漏水量が多い場合にはかなり不正確となる。一方ダムの安全管理の面から云えば漏水量が少ない排水孔については特に留意して測定する必要はなく、漏水量が多い排水孔について注意して測定する必要がある。従って漏水量が多く、メスシリンダーによる測定の精度が思わしくない場合（毎分 50 l 以上）には何か他の測定方法を検討する必要がある。即ち低圧力で測定が可能な流量計（愛知時計翼車型 PK-40、金門製作所 PW型）等を用いるのも一法であるが、これらの計器はいつれも圧力が加わることで動くので、流量が低く測定される可能性がある。特に漏水量は多いが、揚圧力の小さい排水孔では注意を要する。

しかし漏水量の測定は絶対値が問題ではなく、時間的な変化が問題であることを考えるならば、揚圧力が 2 Kg/cm^2 前後の値を持ち、漏水量が多い排水孔では充分使用し得ると考えられる。

2.5.2 全漏水量の測定

全漏水量の測定は一般に次の三つの方法が用いられている。

(i) 個々の排水孔の漏水量の和として求める方法

この方法は測定に労力を要し、誤差が多い。従ってかなり用いられている方法であるが良い方法とは云い難い。

(ii) 三角堰による方法

この方法は漏水が監査廊の側溝を流下して、下流に放流される場合に側溝に三角堰を設け、これにより測定する方法である。この方法は測定が簡単で、絶対値はと

にかくとして安定した測定値が得られ、漏水量の増減が極めて容易に把握できる。この方法を用いるときに注意すべきことは三角堰に遊離石灰が付着したり、三角堰が腐蝕したりして、三角堰のナイフエッジが丸くなると精度が低下することである。従って時々三角堰をとりかえる必要がある。

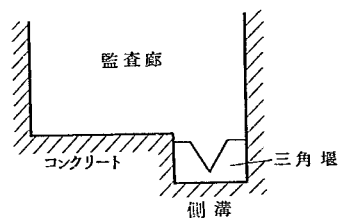


図 - 13

Ⅲ 集水水槽の水位上昇により測定する方法

監視廊、排水孔が下流水位より低い所にある場合に、漏水を集水水槽に集めポンプにて排水する方法がとられる。この場合にポンプが止まっているときの単位時間の水面の上昇から測定する方法である。

この方法も測定が容易で、精度も高く優れた方法であるが、水槽の側壁に遊離石灰が付着して水槽の体積が減少するので、遊離石灰を時々取りのぞくか水槽の寸法を測定することが必要であり、更に水槽が一杯になり背水が側溝に及んでいるときは測定しないようにすることが必要である。

3. 測定計器の特性と使用方法

前章においてダムの測定に用いられる主要な計器の種類と構造について述べた。しかし、これらの測定器による測定値が必ずしも良好な値を示しているとは限らない。筆者が取り扱ったいくつかのダムの測定値を見ると、ブラムライン、漏水量、揚圧力の測定値は、水位および外気温の変化に比較的良好に対応した値を示しているが歪計の測定値は理解し得ないような動きをしているものが多い。このような事実が何故に起っているか、また我々がこれらの計器を使用する場合にどのような点に留意すべきかについて述べてみよう。

3.1 計器の温度補正

ダムにおける測定は長期間にわたっての測定であるため、計器は温度変化を受け、これに対する補正が必要となることが多い。ブルドン管圧力計による揚圧力の測定、漏水量の測定においては温度補正は必要ないが他の計器はほとんど温度補正が必要となる。例えば Carlson 型の埋設計器は温度変化により電気抵抗は変化しないように造られているが、温度変化により計器自身が伸縮するため、測定値に差が生じ、温度補正が必要となってくる。この温度補正值が、測定値の 10~20% 以下であれば問題はないが、それ以上になると測定値の信頼性が問題になってくる。事実、歪計においては温度補正值が測定値の数倍に達していることがある。

そこで温度補正の面から計器を眺めてみよう。前章に述べたように、一般に Carlson 型の計器は全抵抗 R と抵抗比 $\frac{\Delta R}{R}$ を測定し、

$$T = \alpha (R - R_0)$$

より温度を求め

$$f \times \frac{\Delta R}{R}$$

より歪、応力等のみかけの測定値を求め、さらに計器の温度補正として $b \times T$ を引いている。Carlson 型の種々の計器の係数を示すと表-1 の如くである。表-1によると、温度補正係数は継目計、間隙水圧計、応

	温度係数 α	補正係数 f'	温度補正係数 b
継目計	6.00~7.00	0.02~0.03	0
間隙水圧計	5.50~5.00	0.006	0.01~0.02
応力計	5.50~5.00	0.35~0.45	0.10~0.20
鉄筋計	5.50~5.00	12.0~13.0	5.00~5.50
歪計	5.50~4.50	3.50~5.00	13.60

表-1 Carlson 型計器の諸係数

力計はかなり小さいが、鉄筋計、歪計ではかなり大きい。このことは鉄筋計、歪計では温度補正係数または温度測定の際の僅かな誤差が、測定結果に大きな影響を与えることになる。

事実我々の経験では継目計、間隙水圧計はかなり信頼できる測定結果が得られているが、鉄筋計、歪計では信頼性のある結果が得られ難い。これは次節で述べる計器埋設の問題も

あるが、温度補正係数の大きい計器の測定値は信頼性に乏しいと云い得る。

ブラムラインによる測定はダムの測定の中では最もよい結果を与えている。ブラムラインが温度変化を受けた場合には当然ピアノ線の伸縮は生ずる筈である。しかし、ピアノ線が伸縮しても、上下流方向、堤軸方向の変位を測定しているかぎりでは測定値に影響を与えない。

このように考えるならば、ダムの測定においては温度変化の影響の小さい計器を用いることが大切であるとい得る。

3.2 計器の設置

測定値の良否は計器の設置条件にも強く支配される。計器の感度が高い場合、設置条件が悪いと測定値の信頼性は特に低下してくる。

ブラムライン、ブルドン管圧力計のように、コンクリート打設後に設置される計器については、その感度が充分発揮されるように設置することは容易である。しかし、コンクリート打設中に設置される計器については細心の注意が必要である。

埋設計器のうち、温度計、継目計については感度も低いので、充分その性能を発揮する場合が多い。しかし歪計は極めて高感度で約 $1/1000$ 程度の移動量を測定するようになっている。このような高感度の計器は一般に実験室においては極めて慎重な取り扱いを要求されている。しかも歪計は応力を測定するのではなく、歪を測定するのであるから、周囲の材料に順応して変形するようになっており、計器の剛性も極めて小さい。このため、埋設時に破損し易く、埋設するさい入念な取り扱いが必要となって来る。また埋設計器は埋設後破損しても補修することができない。このため破損後、或は計器の寿命のきた後は測定し得なくなる。このため、研究的な目的のための測定については計器が充分な機能を発揮している間に、充分な目的を達すればよいから、埋設計器を大巾に用いることはよいが、ダムの安全管理を目的とした測定においては、少なくともその主要な測定は補修可能な計器によるべきであろう。

3.3 応力の測定

応力の測定は主として歪計、応力計等の埋設計器により行なわれている。これらの計器は先に述べたように、測定値の信頼性についてはやや問題があるが、応力の測定は研究的な目的以外にも、ダムの安全管理のためにもダムの湛水後数年間、ダムの安全性を確認する上で、部分部分の現象を知るために必要となる場合がある。

歪計と応力計とを比較すると、応力計の方が温度補正もはるかに小さく、計器の剛性も大きい。概して安定した値が得られるようである。しかし応力計には引張応力を測定し得ないことと、歪計に比して感度が低いという欠点があり、筆者の経験では最大応力が

15kg/cm²以下の所では外荷重の変動の影響よりもノイズの方が目立ち、定性的な判断もし難い場合が多い。従って100m以下の重力ダム等では応力計による応力測定では十分な成果が得られない可能性が強いが、100m以上の重力ダム、アーチダム等では応力の高い部分に応力計を埋設した場合には可成りの成果が期待し得る。

またダムの安全管理の面から云うならば100m以上の重力ダム、アーチダムのように応力の高いダムでは応力に着目した測定も必要となろう。しかし、100m以下の重力ダムのように応力の低いダムでは応力に着目した測定はそれ程高くないとも考えられる。

しかし、特別な場合には100m以下の重力ダムでもダムの安全管理の上からも応力に着目した測定が必要になる場合があろうし、また横継目を設けてもダムが一体として働いているかどうか、横継目を通して力が伝達されているかどうか等の研究目的のために応力を測定することは考えられる。このような場合には応力計より感度の高い歪計を用いる必要が出てくる。しかし、歪計は前述したように温度補正が大きいことと、埋設時に破損し易いという欠点を持っている。このため、このような場合には一本一本の歪計の温度補正係数を充分検定するとともに、コンクリートの熱膨脹係数を正確に把握するために無応力歪計を用い、更に埋設時には入念な取り扱いが必要となってくる。

3.4 たわみの測定

たわみの測定ではブラムラインによる測定が最もよいことは前章で述べた。ブラムラインはダムのたわみを $2/10 \sim 1/20$ mmの精度で測定することが可能であり、その測定結果も極めて良好である。しかし、ブラムラインは完成したダムに新規に取りつけることは極めて困難である。

一方、視準測量は精度の点ではブラムラインより劣るが、たわみの大きいダムではかなりの成果が得られている。また視準測量は完成したダムに対しても新規の測定を開始することは比較的容易である。このため、ブラムラインの設置が困難な場合、或は新規の測定が必要となった場合、たわみが10mm以上になることが予測されるときは視準測量は有効である。

3.5 岩盤の変位の測定

岩盤の変位の測定は岩盤圧縮変位計・逆ブラムラインにより測定されていることは前章に既に述べた。岩盤圧縮変位計は継目計をパイプで延長したものである。継目計は一般には温度補正係数は0としているが、これは継目計により測定される移動量に比して、温度変化による計器の伸縮は無視し得る程度であるからで、計器の長さが長くなれば当然温度補正は考慮しなければならない。岩盤圧縮変位計は岩盤の中に埋設されるので温度変化は小さいが、地表に近い所では或る程度の温度変化はまぬがれない。事実下釜ダムの特殊コンソ

リデショングラウトにおいて施工管理のためにこの種の計器を用いたが、温度変化によりはっきりした結果が得られなかったと報告されている。

逆ブラムラインはボーリングに多大の費用を要する。しかし、ブラムラインの場合と同様に、その測定結果は極めて良好である。従ってダムの安全管理から、或は研究的な目的から岩盤の変位を測定する必要がある場合には、できるなら逆ブラムラインにより測定することが望ましい。

3.6 揚圧力の測定

揚圧力の測定は一般に排水孔にブルドン管圧力計を取りつけて測定する方法と、間隙水圧計による方法が用いられている。

グラウトカーテンより下流側での揚圧力は当然ブルドン管圧力計により測定すべきであろう。しかし、ダムの上流端附近、グラウトカーテン内或はグラウトカーテンより上流側の揚圧力を測定するときは、このような場所に排水孔を設けることは危険であるので、間隙水圧計を用いる以外にない。幸い間隙水圧計は良い測定結果を与えていることが多いので、このような場合には充分その成果が期待し得る。

4. 測定の実施と重点の置き方

ダムにおける測定の実施は大別して

- (i) 施 工 管 理 (iii) 構 造 解 析
- (ii) ダムの安全管理

に分けられる。これらについて測定の実施の置き方について述べてみよう。

4.1 施 工 管 理

施工管理を目的とした測定は主としてコンクリートの温度規制のための温度の測定と、継目グラウトを行なうダムにおいては継目グラウトを行なう時期の選定、継目グラウトの施工中の継目の開閉状況を見るための継目の開度の測定である。これらの測定は現在コンクリートダムの施工には不可欠のものとなっており、今後更に必要性は高まっていくと考えられる。

最近では高圧グラウトの施工管理のために逆ブラムラインを始めとしていくつかの計器が用いられており、今後新しい施工技術が導入される毎に新しい計器が開発され、新しい測定が行なわれなければならないと考えられる。

4.2 ダムの安全管理

ダムの安全管理方法を検討するに当たって過去のダムの破壊例をふりかえてみるのは参考になると考えられる。

ダムの破壊例として我々の記憶に生々しく残っているのはアメリカのセントフランシスダム、フランスのマルパッセダム、イタリアのバイヨントダムである。このうちバイヨントダムは地 じりによる越流でダム本体は大きな破損を受けていないので除外することになると、セントフランシスダムとマルパッセダムの2つであるが、これはいずれも十分な測定が行なわれていなかったため、破壊前にどのような現象が現われていたか明確な報告はない。しかし、いずれも基礎岩盤の欠点から生じたもので、破壊の直前に急激な漏水量の増加が報告されている。従って漏水量の急激な増加は明らかな危険信号であると云い得る。しかし、この状態でダムの異常を発見したのでは手遅れである場合もあり、或は直ちに水位を下げて対策を検討する必要が生ずるであろう。我々のダムの安全管理の主目的はこのような状態になる前に、できるだけ早い時期にダムの異常を捕え、水位を下げる等、事態に至る以前に対策を構ずるにある。

ダムの異常を捕える方法として設計値と比較することが考えられる。しかし、実際には設計計算には多くの仮定と省略の上に成り立っており、さら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云い得ないので、必ずしも適当な方法とは云い得ない。

次に考えられる方法としてはダムに異常が現われるとしたら、どのような形で現われる

かを想定し、これからダムの異常を早期に発見するように努めることである。この方法は極めて現実的な考え方であるように思われる。そこでもう一度材料の性質にもどって考察を加えてみよう。

一般に完全弾性体に荷重をかけた場合には載荷時間を長くしても変位の増加はないから図-14 (a)のような変位時間曲線を描く。次にコンクリート、岩盤等はかなり低い応力でもクリープする性質があるから、破壊強度より或る程度小さい応力をかけた場合、図-14 (b)に示すような変位時間曲線を示す。この場合、変位の増加する割合は時間とともに減少し、或る一定値に変位が達すると、その後は変位は増加しなくなる。

次にコンクリート、岩盤等に破壊荷重に近い荷重をかけたとき、および軟い金属材料に弾性限界をこえた荷重をかけたときは図-14 (c)に示すような変位時間曲線を示す。この場合或る程度まで変位が増加すると破壊が生ずる。

更に図-14 (c)に示した場合よりも破壊荷重に近い荷重をかけた場合には図-14 (d)に示すような変位・時間曲線が現われる。この場合には変位の増加する割合が時間とともに増加し遂に破壊に至る。

このような材料の性質を考慮して、ダムでの測定値をみたときに次のような段階が考えられる。

- (i) 漏水量、揚圧力、たわみ、応力等の測定値が外荷重の変動によって増減するが、同一の荷重状態でみるときに時間とともに減少する場合。
- (ii) 測定値が同一の荷重状態でみるときに時間に無関係に一定している場合。
- (iii) 測定値が同一の荷重状態でみるときに時間とともに増加しているが、その増加している割合が時間とともに減少している場合。
- (iv) 測定値が水位の上昇等荷重の増加に対して増加するが、荷重の減少によって減少しない場合。
- (v) 測定値が同一の荷重状態でみるときに時間とともに増加していて、その増加する割合が時間に無関係に一定している場合。
- (vi) 測定値が同一の荷重状態でみるときに時間とともに増加していて、その増加する割合が時間とともに増加している場合。
- (vii) 測定値が同一の荷重状態で急激に増加していく場合。

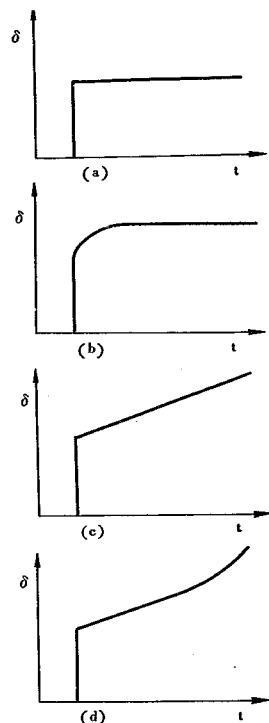


図-14. クリープ曲線

これらのうち、(i)は完成後、数年以上経過したダムでよく見られる現象で極めて安定した状態にあると云い得る。(ii)は、図-14(a)に相当するもので極めて安定した状態にあると云い得る。(iii)は湛水直後のダムによく見られる現象で、図-14(b)に相当するものである。この状態は図-14(b)からも容易に想像されるように、いずれは安定化する傾向を示しており、危険な状態とは云い得ない。

(iv)は(i)~(vii)の段階の中ではやや異質で、それが(iii)の段階にあって生じたものか、(v)~(vii)の段階にあって生じたものか明確に見きわめる必要がある。しかし少なくともそれはダムの安定性に余裕のないことを示しており、一つの危険信号であることは間違いない。このような現象が現われた場合に(iii)の段階にあるか、或は(v)~(vii)の段階にあるかはその前後の動きを観察する以外にない。筆者は或るダムにおいてこのような現象を観察したことがある。しかし幸い前後の動きを観察するに、明らかに測定値の増加は収斂する方向を示していたので(ii)の段階にあると判断し、そのまま観測を継続した。このダムは現在ほぼ(ii)の状態に達している。

(v)は危険な状態にあると云える。しかし、(iii)の状態にあって収斂が遅い場合にも(v)の状態にあるように見えることがある。この場合にはいずれにせよ安全性の余裕は小さいことを示しているのであるから原因、対策等の調査をしておく必要がある。

(vi)は明らかに危険な状態にあり、急速な対策が必要となる。

(vii)は破壊に近い状態であり、それが部分的な現象にとどまっているか否かによりその対策は異なってくるが、ダムの安全性に大きな影響を与える部分の測定値がこのようなになったときは、水位を下げる等の緊急な処置が必要となろう。

一般にダムの測定数は数百個に達する。この各々について以上述べたような観察を下すことは極めて労力のかかることであり、またその必要はないと考えられる。ダムの安全管理に目的をしぼるならば入念に観察し続ける必要のある測定値はかなり限定される筈である。

例えば全漏水量は安定した値を示しているが、比較的漏水量が少ない(例えば10~20 l/min)排水孔の漏水量が増加したとする。この場合にその排水孔の漏水量は注意深く観察は続けるであろうが、その漏水量が増加したからと云って直ちにダムが危険であると考えたり、或は緊急処置が必要であると考えたりはしないであろう。

また例えば他の測定値が安定しているのに、或る歪計または応力計が異常な値を示したとする。この場合にも恐らく、その計器が故障しているか、或は蜂の巣とかヘヤークラック等に依り部分的には異常な現象が起っているがダム全体としては危険であるとは考えないであろう。

このように考えると、局所的な現象を表わす測定値と全体的な現象を表わす測定値とに分け、後者に重点を置いてダムの安全性を判断する必要がある。

一般に構造物が変形する場合に

$$\varepsilon = \frac{M}{E I} Z$$

$$\theta = \int \frac{M}{E I} dx$$

$$\delta = \iint \frac{M}{E I} dx dx$$

にて示されるように、先ず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、さらに廻転が積分されたものとしてたわみが生ずる。従って歪は部分部分の現象を示し、たわみは構造物全体の総合現象を示していると云い得る。

これと同様のことが漏水量について云い得、全漏水量が総合現象を示し、個々の排水孔の漏水量は部分部分の現象を示していると云い得る。また、このような見方からすれば揚圧力の測定は部分部分の現象の測定であると云い得る。

以上からダムの総合現象の測定として全漏水量の測定とたわみの測定があげられ、部分部分の現象の測定として個々の排水孔の漏水量の測定と、揚圧力の測定と応力、歪の測定とがあげられてくる。

ダムの安全管理を行なう場合に、先ず巨視的にみてダムが安全であるか否かを知ることが必要となる。これはダムの総合現象の測定値が前述した(i)～(vii)の段階のいずれにあるかによって達せられる。即ち、全漏水量、たわみの測定値が(i)、(ii)の段階にあるときは、ダムは充分安定した状態にあり、(iii)の状態にあるときはいずれ安定した状態に達すると判断し得る。

以上のようにダムの安全性はダムの総合現象の測定値によって判断される。とすると部分部分の測定値はどのような意味を持っているであろうか。若し総合現象の測定値に異常が現われた場合、これらの測定値からその原因と対策を検討することは困難である。このような場合、部分部分の現象の測定値があれば原因と対策は極めて容易に検討し得る。これから部分部分の現象の測定は総合現象に異常が生じた場合に原因と対策の検討に有効であると云い得る。

以上からダムの安全管理を行なうに当っては全漏水量とたわみの測定値が(i)～(vii)のいずれの段階にあるかから、ダムの安定性を判断し、万一の場合に備えて個々の排水孔の漏水量、揚圧力、応力、歪の測定値を整理するということになる。

4.3 構造解析

研究的な目的のための測定は、そのダムの特徴に応じて種々とられて来た。例えば重力ダムの縦継目の作用、横継目をグラウトする場合の力の分布の仕方、或はアーチダムの実際の応力分布と実験値、計算値との対比等。これらは多種多様にわたっており、ここで一般的に論ずることは困難であり、また本書の目的でもない。そのいくつかの例については9章で述べることにする。

5. 配置計画

測定計器の配置計画はその目的が充分果し得るように立てられなければならない。そこで前章に述べた目的別に述べることにする。

5.1 施工管理を目的とした配置計画

施工管理の上で行なわれる測定は主として温度と継目の開閉である。

温度の測定は温度管理を目的として行なわれ、ひびわれ防止、継目グラウトの時期の選定にとって不可欠のものである。即ち、ひびわれ防止について云えば、ひびわれの大半はコンクリート打設直後に生ずるコンクリートの水和熱による温度上昇のため生ずる。コンクリートの表面と内部の温度差、或はその後に生ずる温度降下による収縮によるものである。このためダムの施工に当ってはコンクリートの表面と内部の温度差をなくし、最高温度を低くするような種々な温度管理が行なわれる。このような温度管理を行なうためには温度の測定は不可欠であり、更に万一ひびわれが生じたとき、その補修方法および今後のコンクリートにひびわれが再び生じないような対策を検討する上にも温度の測定値は不可欠である。

また、継目グラウトを行なうダムにおいては、継目が最も開いた最終安定状態でグラウトする必要がある。このような場合には二次冷却を行なう必要があるか、また行なう場合にはどの程度の期間を行なう必要があるかを知る上で温度測定が必要であり、また継目の開閉の測定も必要となってくる。更に継目の開閉の測定はグラウト時期の選定のみならず継目グラウトの作業中、グラウトの圧力により継目が押し開けられる傾向を有するが、これが或る程度以上になると既にグラウトの終了した部分を再び開けることがあり、これを防ぐためにも継目の開閉の測定がグラウト作業中に必要となる。また継目の開閉の測定はリグラウトの必要か否かの決定にとっても重要である。

このような目的から、コンクリートの温度は各ブロック、各グラウトリフト毎に大凡の状況を把握する必要がある、理想的な配置としては各ブロック、各グラウトリフト毎に上下流方向に数本の温度計を埋設し、上下流方向の温度分布を把握し、温度勾配と平均温度とを知り得るようにすることであろう。しかしこのような配置を行なうと温度計の数が多くなり、測定する手間も多くなるので不経済である。一般にコンクリート内の温度分布はダムの厚さと、打設してからの日数に支配される。そのため打設した時期が同じで厚さも似かよっているときは温度分布はほぼ似ていると考えて支障ない。このため、ダムの鉛直最大断面で3～5標高に上下流方向の温度分布を求めるようにし、他のブロック、グラウトリフトでは中央の温度から推定するように配置すればよいと考えられる。

上下流方向の温度分布を求める場合、コンクリート内の温度分布は表面近くでは温度勾

配は著しく、内部では温度勾配はほとんど生じないので表面近くで密に、内部で疎に温度計を配置するとよい。また縦継目を有する重力ダムでの温度分布を求める場合に先行ブロックでは縦継目の近くではかなりの温度勾配は形成されるが、後行ブロックが打設されて或る程度経過した後は温度勾配はかなり小さくなる。従って、継目グラウト時の選定に測定の重点をおくときは縦継目の近くに特に温度計を密に配置する必要はない。

また、ブロックの中央の温度を測定する場合に挿入式温度計を用いることがある。これは温度計の数が少して数多くの測定が行なえる点で便利であるが、温度計が周囲になじむまでには案外時間がかかり、不正確になる恐れがあり、埋設式の方がよいようである。

継目の開閉の測定も同様に各継目、各グラウト毎に行なう必要がある。この測定はダイヤルゲージ等の機械的な計器によりダムの表面で行なうことも考えられるが、一般に継目は表面では一日の間の温度変化により 0.5mm 以上の開閉を行っており、一方継目グラウトを行なう場合、グラウト圧力による継目の開きの増加を

0.5mm 以下に規定している場合が多いので、表面での継目の開閉の測定では充分な施工管

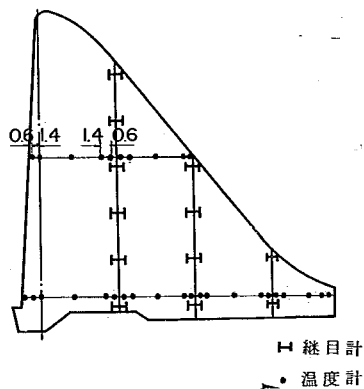


図-15 重力ダムの施工管理を目的とした配置例

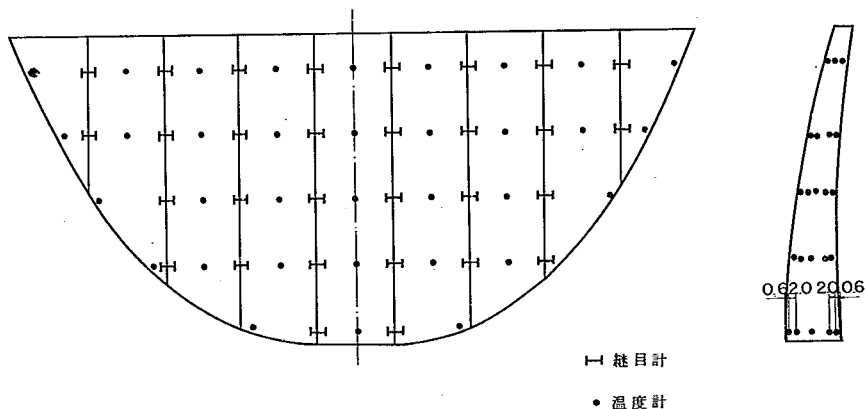


図-16 アーチダムの施工管理を目的とした配置例

理が行ない得ない恐れがある。従って継目面の中央に継目計を埋設するのがよい。

なお温度計、継目計とも比較的信頼性が高いので余分に設置する必要はない。

最近、グラウトの施工管理にかなり測定計器が用いられてきている。しかしこれについては未だ実例も少ないので今後の検討課題としてここにはふれないことにする。

5.2 ダムの安全管理を目的とした配置計画

ダムの安全管理を行なうに当ってはダムの安全性を巨視的に把握することが大切であり、このためには全漏水量の測定とたわみの測定が最も適していることは前章で述べた。

全漏水量の測定は河床部、左岸側、右岸側と三つ位に分けて測定し得れば便利であろう。測定方法は2章に述べたように三角堰または集水水槽により測定するのがよい。

たわみの測定はブラムラインまたは視準測量により行なわれているが、このうちブラムラインが優れていることは既に述べた。ブラムラインは少なくとも最大断面に一つ設置することが望ましい。もしダムの形状その他からブラムラインの設置が困難な場合には最大断面の天端のたわみを視準測量により測定し得るようにしたいと考えられる。

アーチダムは横継目もグラウトされ、一体として挙動する構造物であるから最大断面のたわみが全体の挙動を表わしていると考えても差し支えないが、横継目をグラウトしない重力ダムおよび中空重力ダムは各ブロック毎に単独で安定をはかると考え、設計されているので必ずしも最大断面のたわみをもって全体の現象を把握し得るとは限らない。しかし、最大断面では応力も最も高く、また岩盤にかかる力も最も大きいから他に地質的、或は地形的に特に不利な断面がない限り最大断面のたわみから、ダムの安全性を判断しても支障ないと考えられる。しかし、地質的、地形的に問題があるブロックには追加してブラムラインを設置した方がよい。このことはアーチダムの場合でも全ブロックが一体として動くとはいえ、同様に考慮すべきことであろう。また、これらの問題がある部分では岩盤に逆ブラムラインを設置すれば現象が更に明確に捕え得る。

部分的な測定としては個々の排水孔の漏水量、揚圧力の測定、温度、継目の開度、応力の測定がある。

漏水量、揚圧力について云えば現在、揚圧力の低減の目的で適当な間隔に排水孔が設けられている。一般的にはこれらの排水孔の漏水量、揚圧力を測定すればダムの安全管理を目的とした測定としては充分であろう。勿論ダムによってはこれらの測定以外に漏水量、揚圧力を測定すべき場合はある。しかし、それはダムの状況により定めるべきもので、特に問題のないダムでは揚圧力低減の目的で設けた排水孔における漏水量、揚圧力の測定で充分である。

温度、継目の開閉について云えば、これらの測定は施工管理を目的とした測定ほど詳細に

測定する必要はない。温度について云えば応力測定を行なう断面での温度分布を知れば充分であり、継目の開閉について云えば継目がグラウト後、開いているか閉じているか判定すれば充分である。従って施工管理の目的で設置した計器以外に増設する必要があるのは応力計を埋設する断面における温度計のみである。

応力の測定については現在主として歪計と応力計とが用いられている。しかし3章にも述べたように歪計は感度が高く、温度補正量が大いので安定した値が得がたいので、ダム安全管理を目的とした場合には応力計を用いた方がよいと考えられる。応力計は歪計に比して安定した値を示すが、応力が $10\text{Kg}/\text{cm}^2$ 前後の場合には水位変動に対応した応力の変動を測定することは困難である。従って高さが 100m 以下の重力ダムに使用した場合には充分な目的を達することは困難であろう。しかし、高さが 100m 前後の重力ダムではダム本体の欠点により事故が生ずることは考え難いので、地形、地質上に問題のある点については本体にブラムラインを設置するなり、岩盤に逆ブラムラインを設置すれば部分的な測定としても充分であろう。

100m 以上の重力ダムおよびアーチダムでは発生する応力もかなり高くなり、応力の高い部分に応力計を設置すれば水位変動に対応した応力の変動も測定し得るのでかなりの成果を期待することができる。測定の目的がダムの安全管理にある場合には応力の高い部分のみ応力を測定すれば充分であり、従って重力ダムではダムベース附近をアーチダムではダムベース、アーチのクラウン、アバットメントのみの応力を測定すれば充分であろう。応力の測定を行なう場合に注意すべきことは応力は水位のみならず温度分布の影響を強く

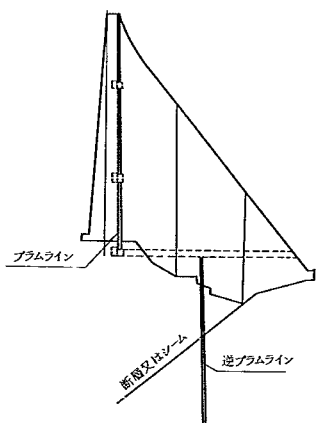


図-17 重力ダム，ダムの安全管理を目的とした計器の配置

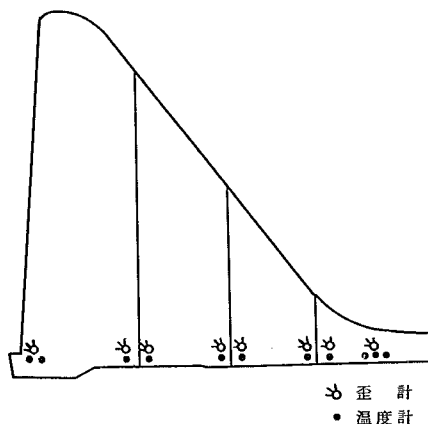


図-18 重力ダム，ダムの安全管理を目的とした計器の配置

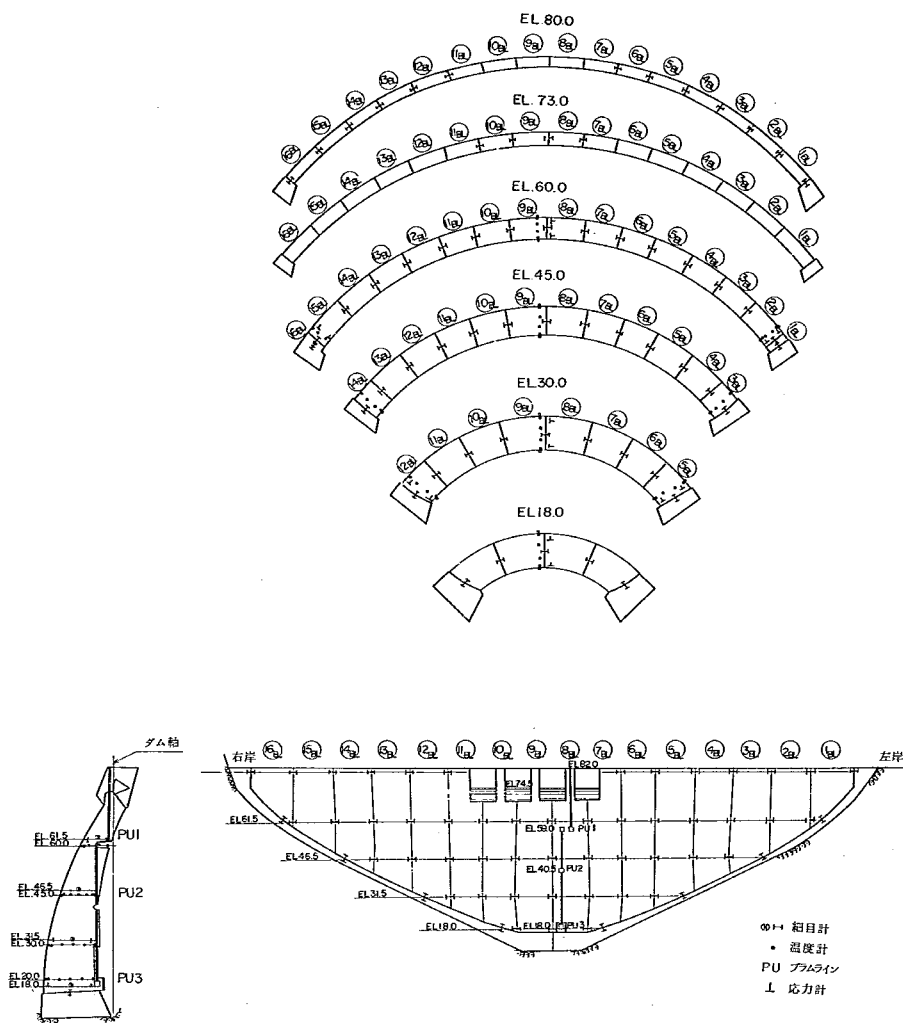


図-19 アーチダム、ダムの安全管理を目的とした計器配置

受けるので、応力測定を行なう断面では上下流方向の温度分布を明確に把握する必要がある、これが可能なように温度計を配置しておく必要があることである。またアーチダムではたわみが温度変化の影響を強く受けるので少なくとも3～5標高で上下流方向の温度分布を測定する必要がある。

5.3 構造解析を目的とした配置計画

構造解析を目的とした測定としては

(i) 設計計算方法の検討

(ii) 設計荷重の検討

を主とした目的として行なわれており、詳しくは

(i) 三次元的な応力の分布状態の検討

(ii) 継目の作用の検討

(iii) 施工中の応力の検討

(iv) 岩盤の動きの検討

等を目的として行なわれてきた。この夫々の目的、ダムの特徴に応じ配置計画が必要となってくるが、本書の主目的はダムの安全管理にあるので、これらについては省略することにする。

ただ構造解析を目的とした測定を計画するに当たって注意すべきことは

(i) 解析の目的をしばり、集中した測定を行なうことが大切である。すなわち既に述べたように、ダムの応力には水位のみならず温度等、種々な因子の影響を受ける。このため解析を行なうにはこれらの因子の影響を分離する必要がある、これらの因子がどのように変化しているか、またどのように影響を与えているかについて検討する必要がある。更に設置する計器の信頼性にも問題があるので或る程度重複した配置も必要となる。このため、あまり広範な解析目的を立て、計器を分散して配置すると解釈不能となる場合が多い。

(ii) 構造解析を目的とした解析を行なう場合に、感度が高い計器を用いる必要が生じ歪計を用いる場合が多い。歪計には3章にも述べたような問題点があるが、今迄に用いられたものがすべて不良であったというのではなく、埋設時に十分な注意が払われ、計器、コンクリートの膨脹係数等に対し、十分な検討がなされている場合には或る程度の成果が得られている。(上椎葉ダム、井川ダム) 要は他の計器に比して取り扱いに特に慎重を要し、更に十分な測定計画が必要であるということである。従ってこのような場合には慎重、且つ組織的な測定計画を立てるとともに、計器の設置に当たっては入念な取り扱いが必要となってくる。

等である。このように構造解析を目的とした測定には入念な配置計画と計器の設置が必要となり、更に解析には多大の労力が必要となる。従ってこの種の測定はいづれのダムにおいても行なうという性質のものではなく、限定されたダムにおいてそのダムの特徴に応じた解析目的を立てて行なうべきものであろう。

6. 測定間隔

測定間隔は当然その測定の目的により異つて来る。そこで4章に述べた3つの目的に分けて述べることにする。

6.1 施工管理を目的とする場合

施工管理を目的とした測定には前節に述べたように温度計と継目計が主として用いられる。温度計は埋設直後に測定し以後1月間は毎日1回測定する。埋設後1ヶ月以降は週に1回測定する。継目グラウトを行なうダムでは二次冷却期間は再び毎日測定する。

継目計については埋設後週1回の測定を行ない、二次冷却期間は毎日1回測定する。尚、継目グラウトの施工中はグラウトを行なっている継目のグラウトリフトのみならず、上下、左右のグラウトリフトに設置された継目計の測定を絶えず行なう必要がある。

6.2 ダムの安全管理を目的とした場合

ダムの安全性を巨視的に判断し得る全漏水量と、たわみについては湛水後初めて満水するまでの間は毎日1回測定を行なう。また、この間の測定からダムが安全であると判断し得ない場合、およびダムに異常が認められた場合には毎日1回測定する。

ダムが一応安全であると認められた以降、湛水後5年までの間は週1回測定を行ない、それ以後は2週に1回測定する。

個々の排水孔の漏水量、揚圧力については全漏水量に支配的な影響を与えるもの、及び0.2 H以上の揚圧力については全漏水量とたわみの測定と同様に、湛水後初めて満水するまでの期間は毎日1回、それ以後、湛水後5年までは週1回、その後は2週に1回測定する。これら以外の漏水量、揚圧力については湛水後、初めて満水するまでは毎日1回以後月1回測定する。

個々の漏水量で全漏水量に支配的な影響を与えるか否かについては全漏水量の20%以上を占めているか、或は満水位時に50 l/min以上であるかによつて判断するのも一法であらう。

温度計について云うと、施工管理の目的でブロックの中央に埋設されたものは湛水開始後測定を中止してもよい。歪計、応力計及び同一断面、同一標高に埋設された温度計については歪計、応力計と同一の測定間隔で行なう。またアーチダムは後述するように、ダムの温度変化により、たわみがかなり変化するので、これを把握するために、中央断面で3～5標高に温度計が数本づゝ設置される。これらの温度計については、たわみの測定と同一の測定間隔で行なう。

応力計、歪計については安全管理を目的とする場合には応力の大きい部分にのみに埋設し10～50本に限定すべきであるが、これらの測定間隔は測定値の小さい漏水量、揚圧力と同

じ測定間隔とする。

温度計、応力計、歪計等はいずれも埋設後に補修することは不可能である。従つて湛水後 10 年近く経過した後は、もし、測定し得たにしてもその値が信頼性があるか否かは疑わしい。従つて 5 年ないし 10 年後に測定器または切替スイッチが故障した時点をもって測定を打切つてよい。

これはダムの安全管理の面から測定が不必要であるというのではないが、一般にダムは湛水後 5 年程度では完全に安定化しており、それ以降ダムに異常が生ずることは特殊な場合をのぞいてほとんどないことゝ、計器の寿命を考えるならば妥当な処理であろう。

継目計についてはその目的は主として施工管理である。しかし、ダムの安全管理からも各ジョイントが開いているか閉じているかは、現象を解釈する上で参考となる。この判断する方法については次章で述べるが継目グラウト後 1～2 年の資料があれば充分である。従つて継目グラウト後、1～2 年の間は月 1 回の測定を行ない以後は中止してよい。

6.3 構造解析を目的とした場合

その目的が施工中の応力の解析にある場合には埋設後 24 時間から始めて以後 1 ヶ月間は毎日 1 回、以降週 1 回測定を行う。

完成後の挙動を解析する場合にはこれらの目的に使用する計器（歪計、応力計、温度計、継目計等）については週 1 回測定する。

これらの計器はその寿命から考えて湛水後 5 年で測定を打切つてよい。
以上を要約して表に示せば表 2 の如くである。

表 2 測定間隔および整理方法一欄表

	測 定 の 種 類	全漏水量	漏水量1	漏水量2	揚圧力1	揚圧力2	たわみ	温度計1	温度計2	継目計	応力計 ¹ 歪 計	応力計 ² 歪 計
		左, 右岸, 河床部に分 けるとよい。	全漏水量に 支配的な影 響を与える もの。また は50ℓ/ min以上の もの5~10 本	前項以外の もの	0.2H以上の 揚圧力を示 すもののみ	前項以外の もの	本体および 岩盤のブラ ムライン, ア ライメント(岩 盤圧縮変位 計, 応力計 に準ずる。)	施工管理用 のもの	応力計2と 同一断面, 同一標高の ものおよび アーチダム において最大 断面に3~ 5標高に上 下流方向に 数本埋設し たもの	全計器	安全管理の みを目的と するもの。 応力の大き い部分のみ 10~50本	構造解析を 目的とする もの 全計器
測 定 間 隔	コンクリート打設後1ヶ月間						岩盤の逆ブ ラムライン は施工管理 に用いるこ とがある この場合は 毎日1回	毎日1回	毎日1回	週1回	週1回	毎日1回
	コンクリート打設1ヶ月後より, 二次冷却開始まで							週1回	週1回	週1回	週1回	週1回
	二次冷却期間							毎日1回	毎日1回	毎日1回	週1回	週1回
	湛水開始後初めての満水まで, 又は ダムに異常があつたとき	毎日1回	毎日1回	毎日1回	毎日1回	毎日1回	毎日1回		週1回	継目グラウ ト後1~2 年で中止	週1回	週1回
	初めての満水から満水後5年まで	週1回	週1回	月1回	週1回	月1回	週1回		週1回		月1回	週1回
	満水後5年以上10年以内	週1回	週1回	月1回	週1回	月1回	週1回		週1回		月1回	
	満水後10年以上	2週1回	2週1回	月1回	2週1回	月1回	2週1回					
整 理 方 法	縦軸測定値 横軸時間のグラフ	○	○		○		○	○	○	○	○	
	縦軸水位, 横軸測定値のグラフ	○	○		○		重カダム中 空重カダム の場合のみ				重カダム中 空重カダム の場合のみ	
	表	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

7. 施工管理のための測定および解析

7.1 温度の測定および解析

施工管理のための温度の測定はコンクリート打設直後の温度規制と、二次冷却開始時期の選定、継目グラウト時期の選定のために行なわれる。

コンクリートの打設直後に生ずるひびわれは主としてコンクリートの平均温度、表面近くに生ずる温度勾配とコンクリートの強度が関係する。従つて温度規制の対象となるのはコンクリートの平均温度と表面近くに形成される温度勾配の規制であり、温度規制のための測定はコンクリートの平均温度と表面近くに形成される温度勾配を把握しなければならない。

しかし、これらの値を各ブロック、各標高で測定することは実際上は不可能であるがコンクリートの熱的性質が主として骨材により支配されることと、一つのダムで場所により骨材が大きく変ることは考え難いことを考えるならばいくつかの標高で上下流方向の温度分布を把握し、これに近い厚さの所ではブロック中央の温度から温度分布を推定するのがより实际的であろう。

また二次冷却開始時期および継目グラウト時期の選定のためにはコンクリートの平均温度の把握が必要となつて来る。これらについても温度規制の場合と同様な取扱をすればよい。

これらの管理をより正確に行なうには、上下流方向に密に温度計を埋設した標高での上下流方向の温度分布の履歴を把握した後に、計算に用いるべき係数を逆算し、これを用いて各ブロック、各標高での温度分布の履歴を実際の打設工程に合せて計算し、これと各ブロック、各標高の中央に埋設した温度計の測定値と対比して管理すればよい。

この種の計算は人手で計算するときは極めて労力を要するので、以前は実際には不可能に近かったが現在では電子計算機により処理し得るので容易に計算し得るようになっている。

測定値の整理方法としては先ず上下流方向に密に温度計を埋設した標高では、これらの測定値を縦軸測定値、横軸時間のグラフを描く。この場合同一ブロックで同一標高の測定値は記号を変えて、一つのグラフに描くと理解し易い。また、上下流方向の温度分布図は打設後1ヶ月間は週1回以後は月1回程度描くとよい。1例を示せば図-20の如くである。また各グラウトリフトの各ブロックの中央附近に埋設された温度計については縦軸測定値、横軸時間のグラフを描く。

7.2 継目の閉閉の測定と解析

継目の閉閉の測定は継目グラウト時期の選定、継目グラウト時の圧力管理のために行な

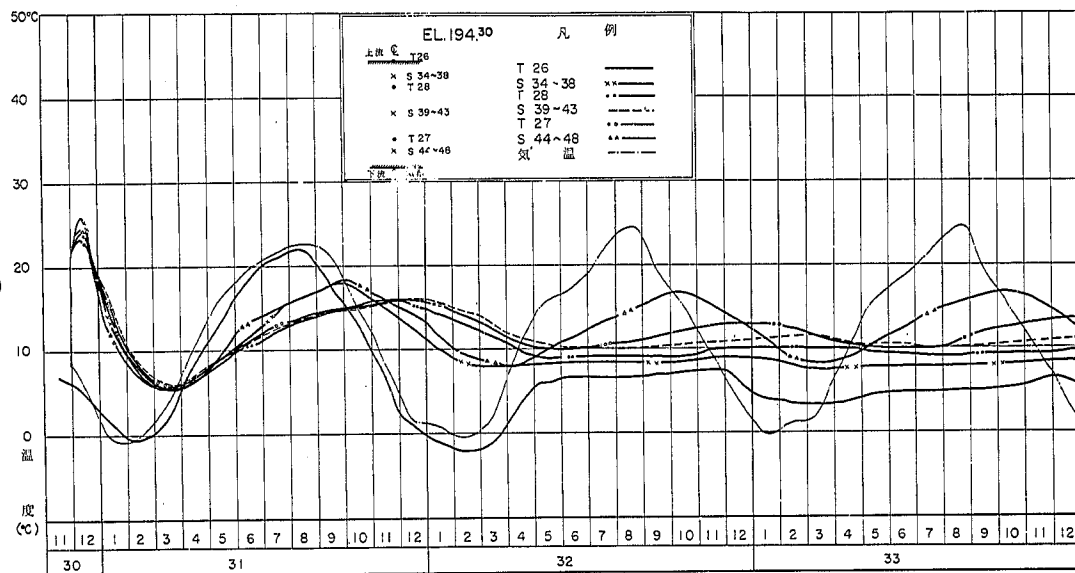


図 20 (a) 鳴子ダム E.L. 194.30 温度分布図

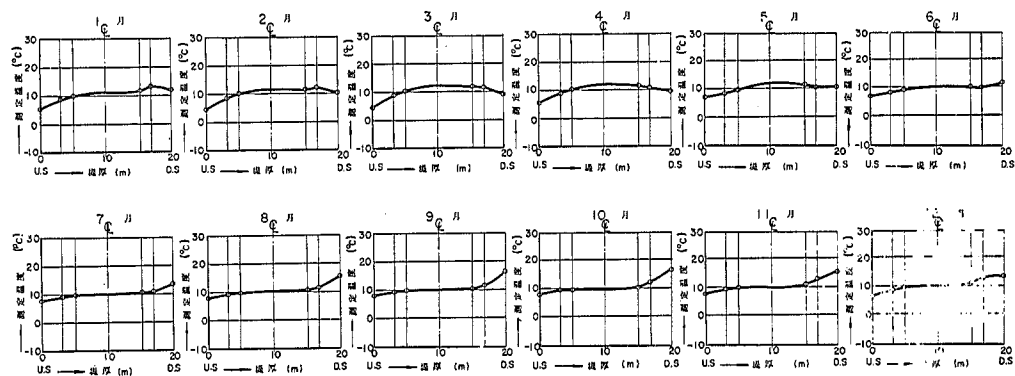


図 20 (b) 鳴子ダム E.L. 194.30 温度分布図 (1 ~ 12)

われる。

これらの測定値は縦軸に測定値、横軸に時間をとったグラフを描くとよい。

尚このグラフに継目計により測定された温度を併記するとよい。

図-21は継目計の測定値をグラフ化したものである。図-21(a)は継目計の測定値の1例を示しているが、このグラウトリフトは31年3月に継目グラウトが行なわれた。図-21(a)をみると継目グラウト以後、測定値は一定してほとんど変化していない。このことはこの継目のグラウトリフトについては継目グラウトは極めて良好であり、継目グラウト以降閉じた状態にあることを示している。

図-21(b)は継目計の測定値のもう1つの例を示しているが、このグラウトリフトは35年4月に継目グラウトが行なわれ、次いですぐ上のグラウトリフトが35年1月に継目グラウトが行なわれた。この図を見るに34年4月より、35年1月までの間は測定値はほぼ一定しているが、35年1月と3月の間に上部のグラウト作業により継目が1.5mm程度開かされており、これ以後4~5月の継目計の温度が最も低下した時期に、継目が最も開き、温度が最も上昇する10~11月に最も閉じ、継目の開度の年間の差は0.2mm程度となっている。これは上部のグラウトリフトのグラウトにより下部のグラウトリフトの継目を開かせてしまった典型的な例で、以後、コンクリートの温度変化に対応して開閉を繰返している。

このように上部グラウトリフトのグラウトにより、下部のグラウトリフトの継目を開かせることはよくあることで、このようなことを避けるためにも、グラウト施工中に継目計を測定することが必要となつて来る。また継目グラウトが充分行なわれなかつたときはコンクリートの温度に対応して開閉するのが一般であり、これも継目グラウト後、継目が開いているかの判断の基礎となる。即ち継目グラウトにより継目がセメントミルクにより満たされ、継目が閉じた状態にあるときは測定値には

- (i) 継目の開度が継目グラウト後一定値を示す
- (ii) 上部のグラウトリフトのグラウト中、継目の開度に変化がない
- (iii) 上部のグラウトリフトのグラウト中、継目の開度が変化したとき

のいずれかのとき継目は開いていると判断される。

このような方法から継目が開いているか否か判断し得るが、若しリグラウトが可能であれば、開いた継目にリグラウトすればよりよい結果が得られる。

尚、継目が開いているか否かはガムの挙動を解釈する上で重要であるので、継目グラウト後1~2年は測定を行って各継目、各グラウトリフトとも継目が閉じているか否か判断することはガムの安全管理の面からも必要である。

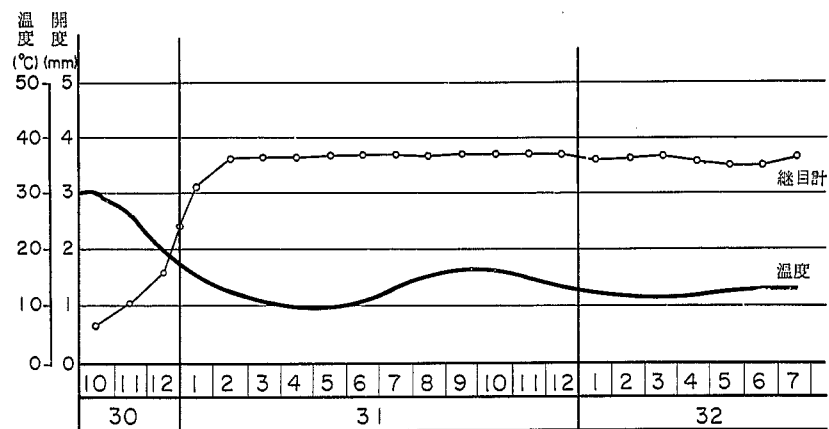


図-21(a) 鳴子ダム縫目計測定図 (J8.7B-EL.178.0)

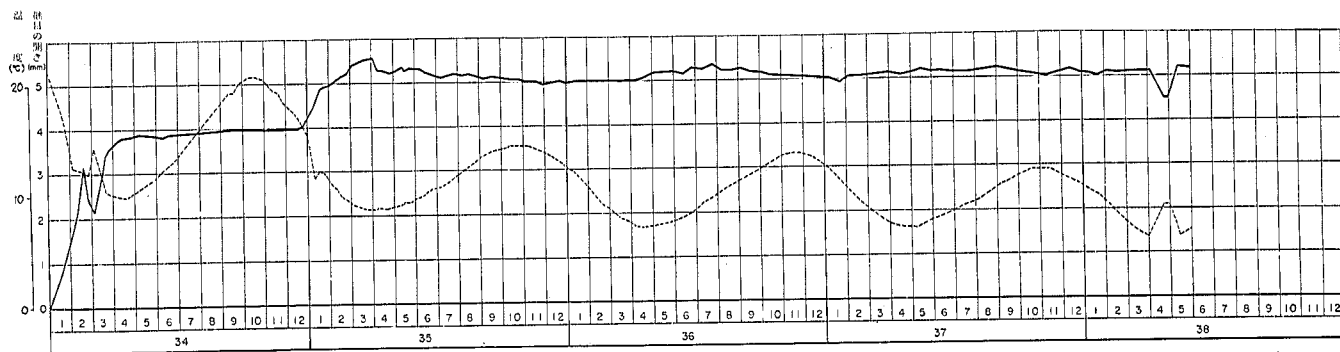


図-21(b) Eダム縫目計測定図 (J8-EL245.0)

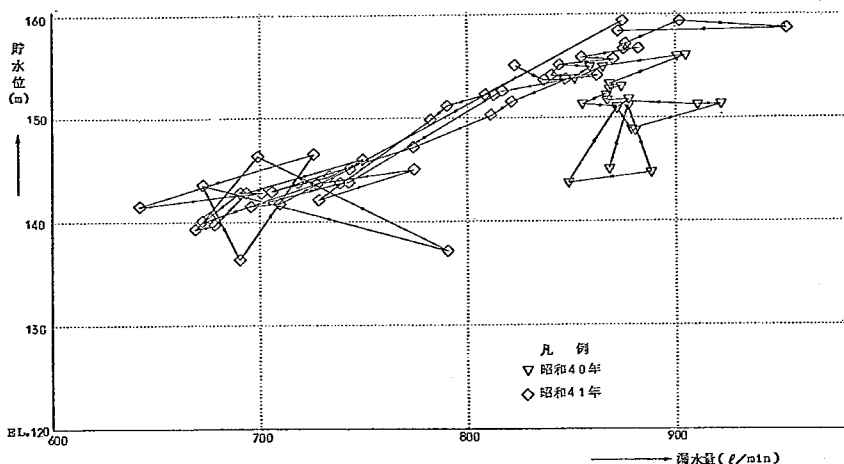
3. 安全管理のための測定と解析

8.1 漏水量

漏水量は多くの場合設計の段階では検討されないことが多い。また時には基礎の透水係数から漏水量を推定することがあるが、基礎が岩盤である場合には実際と一致しないことが多い。従って漏水量は増加しているか否かで判断される。

漏水が貯水池からのものであれば漏水量は水位のみによって変化する筈である。しかしここで注意すべきことはダムを造る前から地下水からの湧水があった場合には、これによる漏水量は貯水位とは無関係にむしろ天候に支配され、雨の時に増加する筈である。従って、湛水を開始する以前から湧水があったかどうか、また湛水初期において漏水量が貯水位に関係するものか、雨量に関係するものか個々の排水孔について見極めておくことは重要なことである。貯水位に無関係で主として雨量に関係するものについては漏水量から除外して考えてよい。

整理方法としては縦軸に水位、横軸に漏水量をとればよい。図一22はAダムの全漏水量を示している。このダムでは41年5月以前には個々の排水孔の漏水量の合計により全漏水量を求めたが、それ以降は三角堰および集水槽の水位により測定を行った。図一22によると40年の測定値はバラツキが多く且つ大きい。このことは全漏水量は三角堰およ



図一22 Aダム水位と漏水量の関係

び集水槽により測定した方がより安定していることを示していると共に40年に比して、41年の方が漏水量が少ないことは全漏水量としてはかなり大きい、ダムは漏水量の面からは安定化しているといえる。

図—23はBダムの漏水量と水位との関係を示している。このダムは昭和32年に湛水を開始し現在に至っているが、33年より漏水量は増加しだし、34年の8月から35年にかけての全漏水量の増加は著しい。しかしその後漏水量の増加は次第に減少し、38年4月以降は完全に安定している。このダムの漏水は継目からの漏水が主で、止水板の着岩部または止水板の溶接部の欠点によるものと考えられていたのでダムの安全性については懸念はなかったが、漏水量が或る時期増加し、その後安定した典型的な例であろう。このグラフをさらに詳細に観察すると、34年8月末から35年2月にかけての漏水量の増加は著しく、標高337mの水位での漏水量をみると10月初旬で150ℓ/min、2月初旬で212ℓ/minと4ヶ月で60ℓ/min 強の増加となっており、この間の漏水量の増加は月平均15ℓ/min 強であったと云える。一方35年6月中旬から8月下旬にかけて水位の昇降があり、この間の漏水量の増加は標高337mの水位に着目すれば約30ℓ/min で、この間の漏水量の増加は月平均15ℓ/min 弱である。このようにみると、このダムの漏水量の増加率は34年8月末から、35年2月にかけての水位の昇降により著しく増加したが、その後35年中は増加率はほぼ一定しており、36年以降は増加率は減少しだし、安定化の方向に向い出している。

34年8月より35年8月にかけての漏水量の増加はダムの異常の一つである。しかしこのダムの場合は継目から漏水が大半であったから、ダムの安全性とは直接関係なく、たゞ漏水量がどの程度増え続けるかのみが問題であった。しかし漏水の大半が基礎岩盤からであり、漏水量の増加が岩盤の漏水の増加によるときは揚圧力の増加を来し、更にはパイピング現象を生じダムの安全性が損はれる危険性があるので、直ちにその原因と対策の検討に着手すべきであろう。

Bダムの例で明らかなように漏水量が増加したとき、先ず第一にすべきことは漏水量の増加がダム本体においてであるか、基礎岩盤においてであるかを調べることである。ダム本体である場合には一般的には施工の不完全からであるが、この場合には漏水場所が拡がっていくことは少い。従って一ヶ所当りの漏水量が極端に多い場合をのぞいて一般には遊離石灰により漏水箇所がせまくなっていくことが多い。漏水量の増加が基礎岩盤である場合には前述したようにダムの安定性が損われる危険性があり、水みちが拡がる可能性もあるので、できるだけ早く対策を検討すべきであろう。

個々の排水孔での漏水量はBダムの例でも明らかなように、全漏水量が増加する傾向を

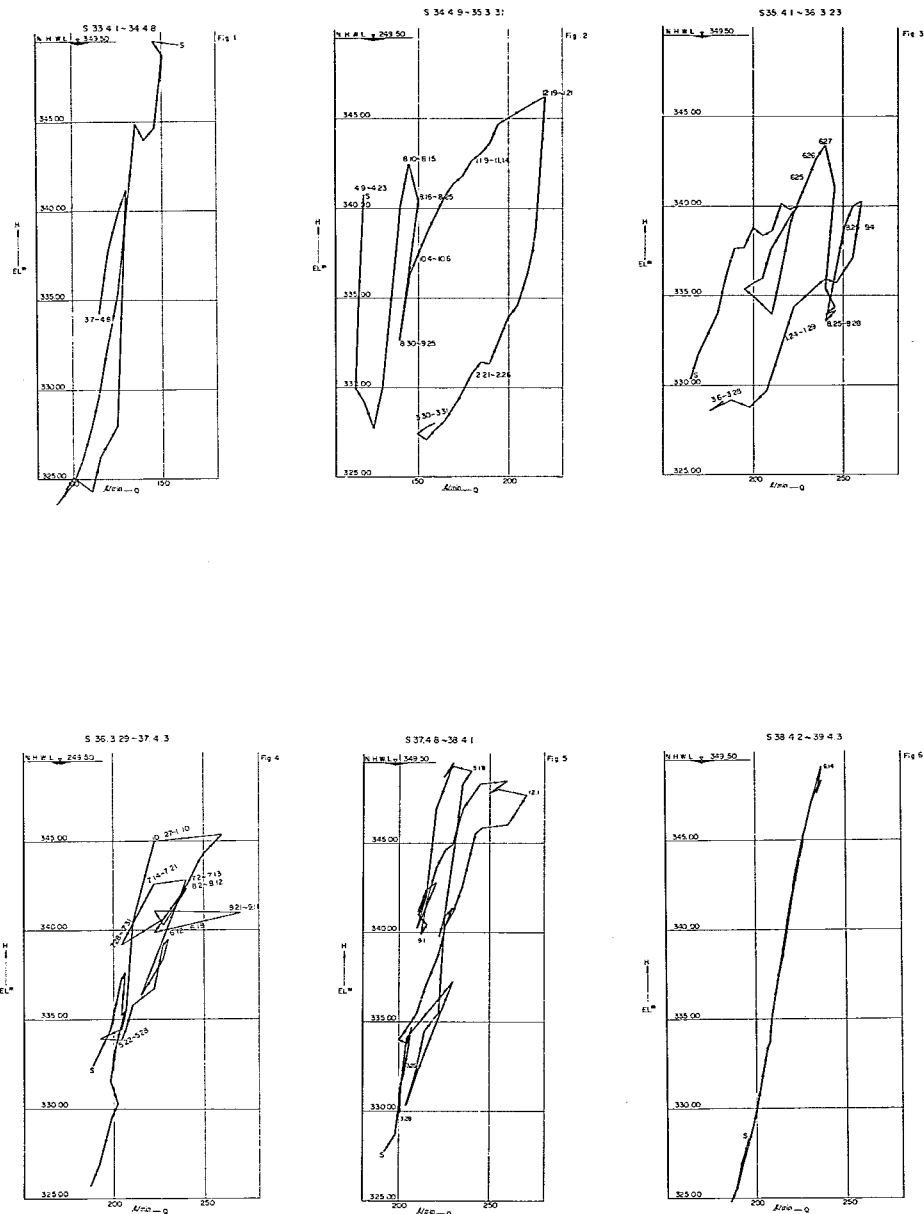


図-23 Bダム水位一漏水量図

また漏水量が多い排水孔および漏水量が増加している排水孔については、浮遊物が入っているか否かを調べる必要がある。若し、浮遊物が入っている場合には水みちが詰がり、一種のパイピングが生じている可能性があるので警戒を要する。

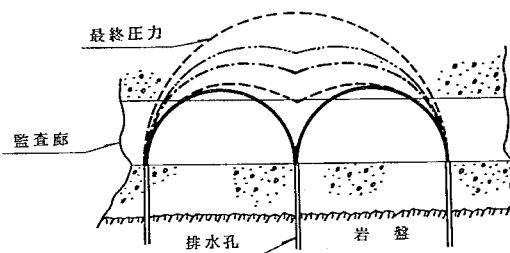
[illegible]

揚圧力の測定は一般に排水孔にブルドン管圧力計を取り付けて測定する方法と間隙水圧計により測定する方法とが行われていることは既に述べた。先ず排水孔にブルドン管圧力

計を取付けて測定する方法について述べることにする。

排水孔のコックを開いている状態においては揚圧力は排水孔の位置では排水孔の孔口までの水深に相当する圧力しかなく、排水孔と排水孔の間の圧力は図—24の実線に示すような圧力分布を示していると考えられる。今真中の排水孔のコックを閉じて、或る時間経過すると、図—24の点線に示すような圧力分布になり、更に或る時間経過すると図—24の1点鎖線に示すような圧力分布となり、更には2点鎖線に示す圧力分布へと変化し、最終的には鎖線に示すような圧力分布となると考えられる。

このように考えると、排水孔にブルドン管圧力計を取り付けて測定する場合には指示する圧力は時間と共に変化する筈であり、更に最終的な圧力であれ、中間的な圧力であれ、設計に用いられる平均の圧力とは異った値を示している。この点は間隙水圧計により測定する場合とは本質的に異っており、間隙水圧



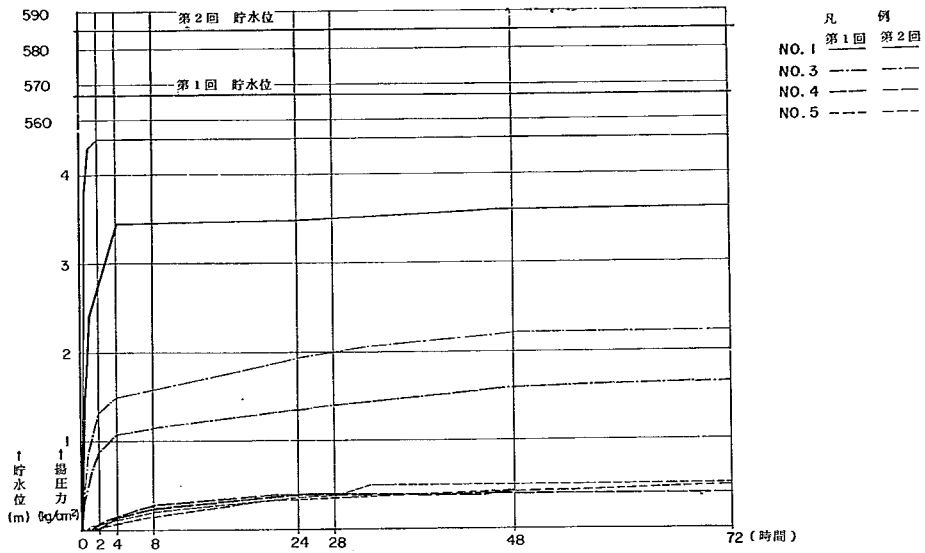
図—24 揚圧力分布図

計によるときは水位変動がない限り、時間的に変化しない筈であり、また設計値と対比し得る値を示している。従って排水孔にブルドン管を取付けて測定する場合には研究的に排水孔間の圧力分布を知るためには両側の排水孔が開いた場合および閉じた場合等の圧力から、排水孔間の圧力分布を推定することが必要となってくると考えられる。しかし実際には基礎岩盤における揚圧力の分布はかたがた局部的な影響を受け、圧力分布の推定にはかなり困難であり、またこの種の研究はあまり行われていない。

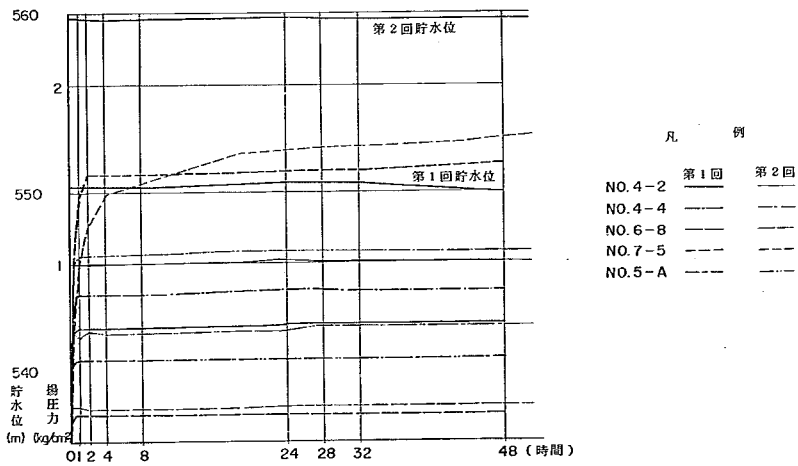
ダム の安全管理を目的とする場合には、これまでの検討は不必要であり、排水孔のコックをしめたときの圧力を目安に管理すれば充分であるが、ここで注意すべきことは圧力はコックをしめてからの時間により異なることである。従ってコックをしめてから、どの程度時間が経過してから揚圧力を測定すべきかということが問題になって来るが、現在の所これに対してははっきりとした規準は設けられていない。そこで筆者は二三のダムで排水孔のコックをしめてから揚圧力の変化する状況を測定してみた。

即ち、五十里ダム、菌原ダム、二瀬ダム、鶴田ダムにおいて、揚圧力の特に大きい排水孔に対し、48～72時間の間ひんばんに測定し、揚圧力がコックをしめてから時間が経過するに従って変化する状況を調査してみた。尚、五十里ダムと菌原ダムにおいては水位の

(a) 五十里ダム



(b) 薩原ダム



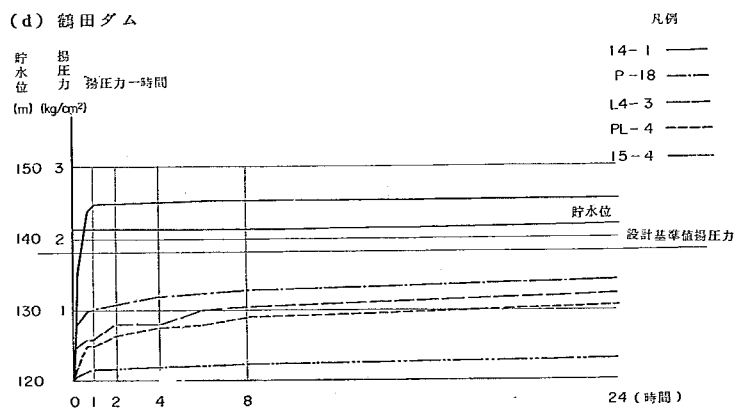
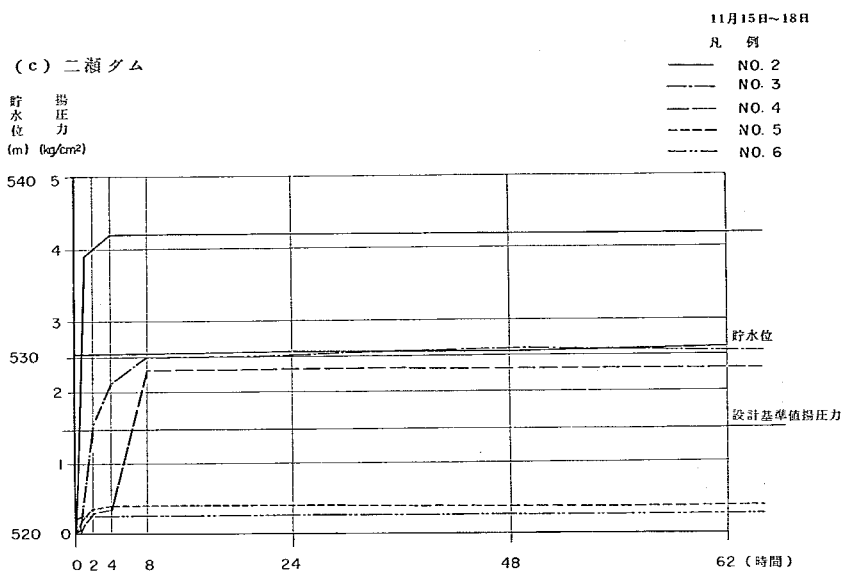


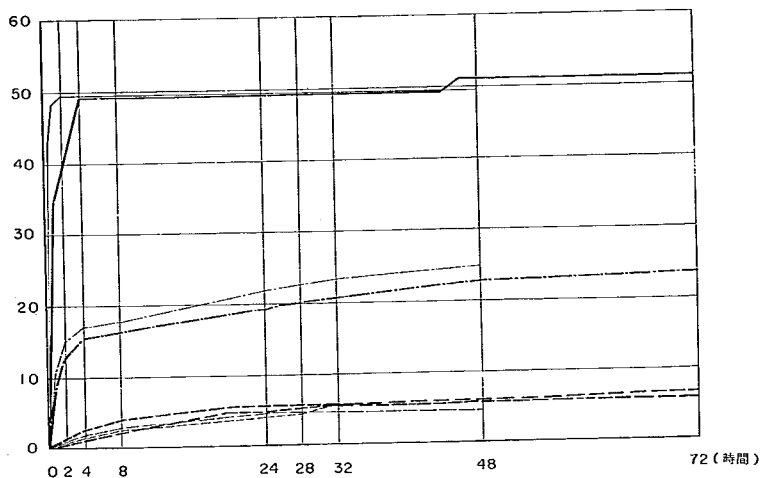
図-25 揚圧力-時間曲線図

(a) 五十里ダム

$\frac{P}{H}$
(%)

第1回 第2回
H 70.5^M 89.0^M

凡例
第1回 第2回
NO. 1 ———
NO. 3 ———
NO. 4 ———
NO. 5 ———



(b) 菌原ソム

$\frac{P}{H}$
(%)

第1回 第2回
H 50.3^M 59.7^M

凡例
第1回 第2回
NO. 4-2 ———
NO. 4-4 ———
NO. 6-8 ———
NO. 7-5 ———
NO. 5-A ———

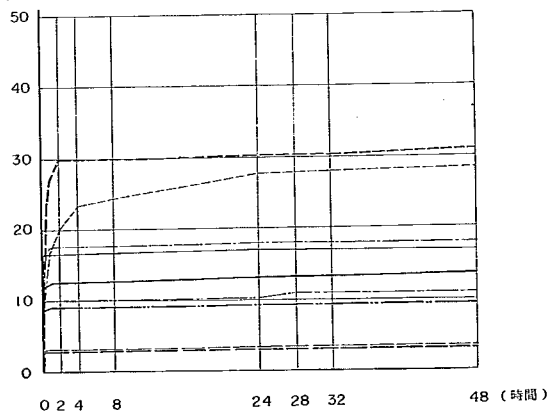


図-26 $\frac{P}{H}$ - 時間曲線図

異なる二つの時期に測定し、貯水位と揚圧力の変化する状況との関係についても調査した。これらのダムでの排水孔の揚圧力とコックをしめた以降の経過時間との関係は図—25に示されている。尚、五十里ダム、齒原ダムについては異った水位において測定しているもので、水位が異った場合にも同じような増加曲線を示すかどうかを調べるために揚圧力と水位との比 (P/H) をとり、この増加状況を図に示せば図—26の如くである。

これらの図を観察すると

- (i) 圧力の増加していく状況は排水孔によりかなり異っており、圧力の大きさとも関係がない。
- (ii) 最初の1時間での増加は著しく、多くの排水孔は2時間以降の増加は僅かである。しかし、8時間位までかなりの増加を示すものもあり、30時間位まで或る程度の増加を示すものもある。
- (iii) 水位が異なる場合の増加状況を図—26でみると、水位が異っても P/H の増加の仕方は個々の排水孔においてはかなり類似しており、一、二 P/H の増加状況がやや異なるものもあるが、全般的にみて、 P/H の増加状況は水位には無関係で、各排水孔個々の曲線を示すと考えてさしつかえないようである。

元来、排水孔は排水することにより、揚圧力を低下させることを目的として設けられるものである。従って揚圧力を測定するために長時間コックをしめることは好ましいことではない。更に、排水孔の揚圧力は前述したように、設計と対比すべき値ではない。このため揚圧力の測定は排水孔の目的から云っても、測定の労力から云っても、コックをしめてから短時間に測定を終了すべきである。しかし図—25からも明らかなように、コックをしめてから1～2時間経過した後の値は小さいが、最終的にはかなり大きな値を示す排水孔もあるので、揚圧力を測定する排水孔については一応コックをしめた後の揚圧力を知っておく必要がある。

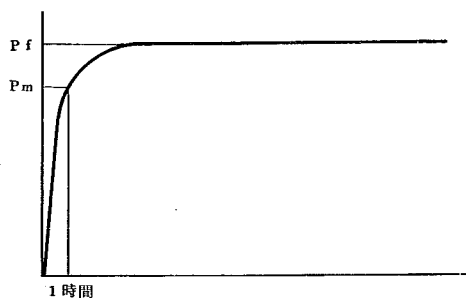
以上から、排水孔の揚圧力を測定する場合には、予め図—25のようなコックをしめた後の揚圧力の変化状況を測定し、平常の測定はコックをしめた後1～2時間後に行うことにし、2時間後の揚圧力と最終的な揚圧力との比を各排水孔毎に求め、平常の測定の時は2時間後の測定値に前述の比を乗ずることにより、最終的な揚圧力を推定するのがよいと考えられる。

尚、この揚圧力～時間曲線は湛水後時間を経過するに従って変化していく可能性がある。特に漏水量、揚圧力が変化した場合には変化する可能性が強い。従って揚圧力～時間曲線は湛水初期には半年に1回、その後は2年に1回程度は測定する必要がある。

揚圧力の測定は局所的な現象の測定であって、全体的な現象の測定ではない。従ってダ

ムの安定に対し、重要な関係を有すると考えられる所のみの揚圧力のみについて充分に注意すればよい。一般に重力ダムでは上流面に平行な監査廊にもうけられた排水孔の位置で $0.2H$ の揚圧力で設計される。この値は前述したように過去の測定例からすれば大きめの値であるので監査廊の位置で $0.2H$ 以上の揚圧力を示すものは揚圧力が大きいものと考えてさしつかえなく、これらの排水孔の揚圧力についてはダムの安全管理上からは注意して測定しておく必要がある。また間隙水圧計により、グラウトカーテン内または前面の揚圧力を測定する場合には $0.2H$ より高い揚圧力を示すのは当然であるし、排水孔より下流側では $0.2H$ よりかなり下廻った値を示さなくてはならない筈である。またアーチダム、中空重力ダムの場合にはダムの厚さも、排水孔の位置、揚圧力の測定箇所も重力ダムの規準で論ずることは出来ない。このような場合にはダムの厚さ、排水孔の位置、揚圧力の測定する位置、およびグラウトカーテンとの相対的な位置関係により異って来るのでどの程度の圧力から注意すべきか一概に決めることはできない。一般にグラウトカーテン内または前面での揚圧力は $0.5H$ 程度でも特に注意する必要はなく、ダムの下流端近くでは $0.1 \sim 0.2H$ 程度でも一応注意すべきであろう。

測定は灌水開始より最初の満水まで毎日 1 回測定を行い、排水孔にて測定する場合にはコックをしめてから $1 \sim 2$ 時間後に測定を行う。排水孔において揚圧力を測定するものについては、この間に $0.15H$ 以上の揚圧力を示したもののについて前述した揚圧力とコックをしめた後の経過時間との関係を測定し、最終圧力が $0.2H$ 以上になるものについてのみ以後週 1 回の測定を行う。この際最終圧力とコックをしめてから $1 \sim 2$ 時間後の圧力との比を求め、以後の測定値にこの比を乗じたものを揚圧力とする。即ち、揚圧力はコックをしめてから 1 時間後に測定すると決めたとする。図—27 に示すような揚圧力とコックをしめてからの経過時間との関係を測定した際の最終圧力を p_f 、測定時（こゝではコックをしめてから 1 時間後）の揚圧力を p_m とする。今、図—27 に示すような測定を行った後任意の水位での揚圧力をコックをしめてから 1 時間後に測定したところ p' であつたとする。この時の最終圧力は



図—27

$$p = p' \times p_f / p_m \quad (8.1)$$

にて推定される。このようにして求められた揚圧力を整理すればよい。 $0.2H$ 以下の揚圧力を示す排水孔については以後月一回の測定を行えばよい。図—25 に示したような揚圧

力と、コックをしめてからの経過時間との関係は水位が低い時は圧力が小さく誤差も大きいので、満水位の70～80%以上の水位で行うこととし、最初の測定は最初の満水の前後とする。なおこの関係は前述したように、その排水孔からの漏水量および揚圧力が変化したときは変わると考えられるので、漏水量、揚圧力が変化した易い湛水初期には時々調査する必要があるので最初に測定してから半年後にもう一度測定し、更に漏水量、揚圧力に大きな変化がないときは以後2年に1回測定し、 p_i/p_a の値を修正するものとする。

間隙水圧計により測定した値についてはこのような修正を行う必要はない。一般に間隙水圧計は特殊な研究目的のためか、排水孔を設け難い所に設けられる。従って排水孔により測定する場合のように、0.2Hという規準で判断することはできない。このため、その測定目的から云っても最初の満水以後も週1回の測定を行うべきであろう。

整理方法については最初の満水以降も週一回の測定を行う揚圧力は漏水量の場合と同様に、縦軸に揚圧力を横軸に湛水開始後の経過時間をとったグラフと縦軸に水位、横軸に揚圧力をとった図を描くといふ。

前述したように揚圧力は局部的な影響を強く受ける。従って1～2孔、高い圧力を示しても同一の水位における揚圧力が同じかやや減少している傾向を示している限り、一応安全であると考えても差支えない。しかし、或る部分が全般に異常に高い圧力を示すときは何らかの対策が必要となり、漏水量もその附近で多いときは水みちを調査してカーテングラウトを追加し、漏水量が小さいときは排水孔を増設する等により揚圧力の低下を計る必要がある。

図-28はAダムにおける測定値を示している。これらから、揚圧力は水位と強い対応性を示しており、また揚圧力は僅かではあるが40年に比して41年は減少していることを示している。

図-29はCダムにおける揚圧力を示している。このダムは41年3月末に初めて湛水し5月まで満水を維持したが4月中旬に急激に揚圧力の上昇を来し、水位の30%以上の揚圧力を示した。これは水圧の増加により、新たな水みちが形成されたことを意味する。この場合、このような現象が生じているのが

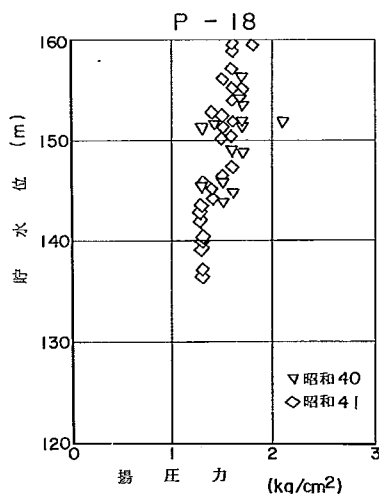
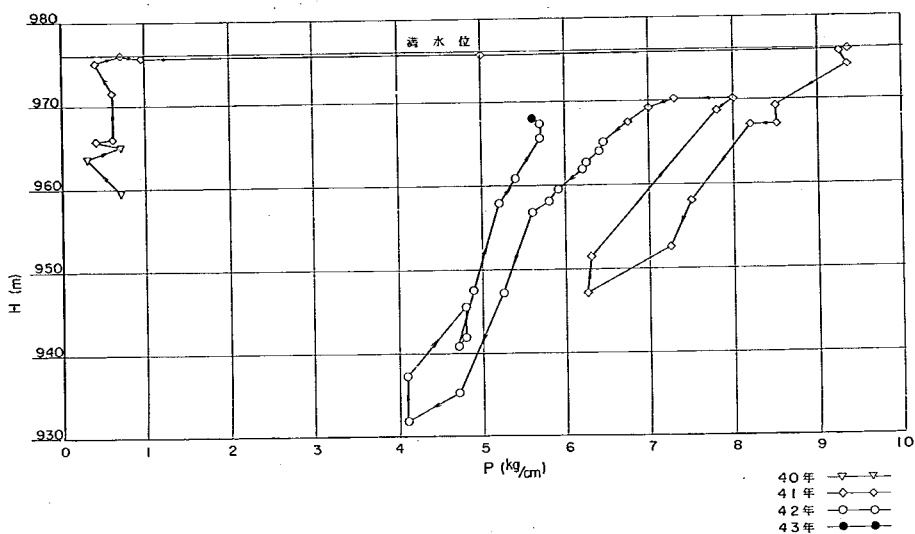


図-28 Aダム水位—揚圧力図



図—29 Cダム水位—揚圧力図

局部的であるか、またどの程度の範囲であるか、更にこれによりダムの安全性に問題はないか、パイピングが生じないかである。このダムはアーチダムであったので、直ちにダムの安全性が損われる危険性はなかったが、このまゝ新しい水みちが発達すればダムの安全性も問題になると考えられたので、直ちに調査が開始され、このような異常に揚圧力が高い部分は局部的であり、またこの部分の漏水量が特に増加していないので、新しい水みちはごく局部的なものであると判断された。その後の測定値をみるとこの新しい水みちは再びつまり次第に揚圧力は低下していく傾向を示している。

8.3 撓み

ダム本体の撓みは第4章に述べたようにダム全体の現象を示すものであって、ダムの安全管理の面から見ると全漏水量と並んで重要な測定の一つである。

ダムの撓みの測定値からダムの安全性を判断する場合には第4章にも述べたように、ダムの挙動が安定しているか、安定化する方向を示しているか、或は安定化する方向を示していないかについて観察することが重要である。このような方法をとる場合にダムの挙動にどのような因子が影響を与えているかが重要になって来る。

重力ダム、中空重力ダムの場合にはダムの厚さが厚いので、ダムの表面附近は季節的な

温度変化を受けるが、内部はほとんど変化せず、ダム全体としては季節的な温度変化はほとんど受けないと考えて差支えない。従ってダムの撓みに影響を与える因子としては貯水位のみを考えれば充分である。これに反し、アーチダムはダムの厚さも薄いので内部もかなり季節的な温度変化を受け、後述するように薄いアーチダムでは水位変動による撓みの変動よりも温度変化による撓みの変動の方がはるかに大きくなっている。従ってダムの撓みに影響を与える因子としては、アーチダムの場合には貯水位の他に温度変化を考えなければならない。

これから重力ダム、中空重力ダムの場合と、アーチダムの場合と分けて述べることにする。

8.3.1 重力ダム、中空重力ダム

重力ダム、中空重力ダムの場合には前述したように、撓みに影響を与える因子として水位のみを考えれば充分であるから、貯水位との対応性のみを観察すればよい。

整理方法としては縦軸に測定値、横軸に時間をとったグラフと縦軸に貯水位と、横軸に測定値をとったグラフを描くとよい。なお測定値～時間のグラフには貯水位～時間のグラフも併記するとよい。

図-30はAダムのダム本体の撓みの測定値を示している。このダムは昭和39年11月に湛水を開始し、現在に至っているが、41年11月末においても完全には安定していない。この間に生じている現象を更に詳細に観察するためにEL140m、145m、150mの水位の時の撓みを夫々破線、点鎖線、実線で結んだものが図-30(a)に記入されている。これを観察すると

- (i) 40年5月～6月の2ヶ月間は水位はEL140m～145mの間に保たれているが、この間は撓みはほぼ同一水位で一定の値を示している。
- (ii) 40年9月中旬より41年1月下旬まで水位はEL150m以上に保たれているがこの間に撓みは下流向に増加し、下流向のクリープがかなり生じている。
- (iii) 41年3月中旬より41年4月下旬まで水位はほぼEL150mに保たれているが、この間の撓みは増加せず僅かに減少している。
- (iv) 41年5月初旬より、9月中旬まで水位はEL140m～145mに保たれているが、この間に撓みはかなり減少し、上流向のクリープを生じている。
- (v) 41年11月初旬より水位は155m以上に上昇したがこの間撓みはまた増加しているようである。

以上の現象を整理すると

- (a) 40年の夏頃までは水位がEL140m～EL145mにあるときは上下流いづれの方

にもクリープは生じていない。しかし、41年には水位がEL150mにおいて上下流
いづれの方向にもクリープは生じなくなっており、水位がEL140m~145mにあると
きは上流向の除荷時に生ずるようなクリープが生じている。

- b) 40年では水位がEL150mでかなりの下流向のクリープが生じている。41年
では水位がEL155m程度になって下流向のクリープが生ずるようになっている。

以上の考察から明らかなように、このダムは41年11月でも未だ完全には安定化し
ていないが、上下流いづれの方向にもクリープが生じない水位および下流向にクリープ
が生ずる水位が40年に比して41年の方が高くなっており、41年ではこれらの水位
より低いときは逆に上流向のクリープを生ずるようになっていることからすれば、ダム
は少くとも安定化の方向に向っていると云い得る。

上記のような現象を示しているために、図-31(b)の貯水位-撓み図は所謂ヒステリ
シス現象に現れるループ型になっている。

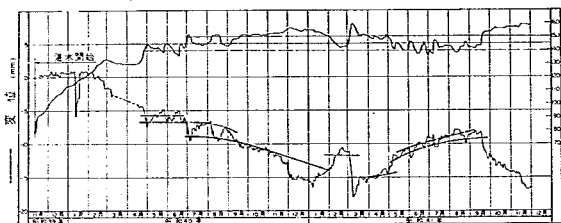
図-31は同じAダムに設置された岩盤のブラムラインの測定値を示している。この
場合にも図-30と同様に貯水位がEL140m, 145m, 150mの時の変位を夫々破線、
1点鎖線、実線で結んである。この図を観察するに生じている現象はダム本体の場合と
ほとんど同じであるが、1つ異なることは40年7月の出水の時に水位の上昇に際しては
下流側へ変位を生じているが、水位の降下に際しては変位がもどっていないことである。
しかし、40年12月にはこの時より高い水位に保たれたが、41年2月の水位の降下
に際しては変位はもどっており、3月の出水においても水位降下時にははっきりとした
変位のもどりを示している。これからこのダムの基礎岩盤は次第に安定化の方向を示
していると云い得る。

このため、図-31(b)の貯水位-変位曲線は載荷時と除荷時と勾配が異り、歪硬化現
象がある金属材料の塑性領域での応力-歪曲線に類似した残留変形が蓄積されていく形
の曲線を示しているが、41年に入るとダム本体と同様にループ型の曲線になっている。

このダムの40年7月初旬の出水に際して岩盤の変位が示した現象は1つのダムの異
常現象である。そこでこの直後に種々検討を行ったが40年7月~8月のEL145m~
150mの水位変動に対し、岩盤は下流向のクリープを生じているが、この附近の水位
で7月上旬に見られた異常現象は再び起る危険は少いと考えられたので、充分な測定を
行いながら2~3m水位を上げたら1ヶ月間その水位を保ち、次に又2~3m水位を上昇
させて現象を観察するという方法をとった。その結果は図にも明らかなように岩盤は下
流向のクリープは生ずるが、変位が急激に増加することなく、41年2月の水位の降下
に際してははっきりとしたもどりを示すに至った。これから岩盤は安定化の方向を示して

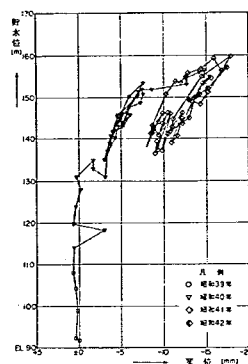
いると判断し、以後も細心の注意を払った測定を続けるとしても、岩盤に対し補修する必要はないとの結論に達した。

(a)



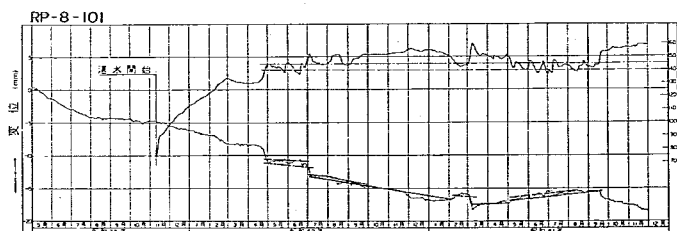
図一30 ダム撓み測定(ダム本体)

(b)

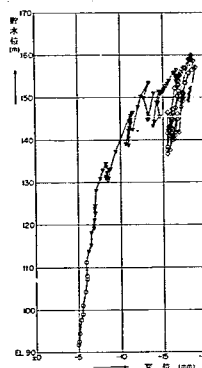


(b)

(a)



図一31 ダム岩盤の変位



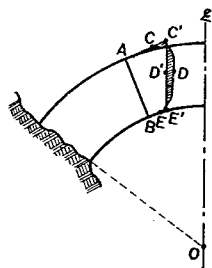
8.3.2 アーチダム

アーチダムの場合には撓みに影響を与える因子として貯水位の他に季節的な温度変化を考えなければならない。このため重力ダム、中空重力ダムの場合のように単に図解的方法で現象を解釈することは出来ない。

このように二つ以上の因子の影響を受ける量を原因別に分離分析するには統計的に重回帰分析することが最も適していると考えられる。この重回帰分析について述べるに先立ち、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るかについて考察して

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してみる。コンクリートの内部温度は図一32に示すような曲線分布を示している。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との差（図一32の斜線部分）による熱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付けると、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



図一32

応力、変位には影響を受けないが、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。

水位の影響はどのような関数形に表わされるか未定であるので、一応 $f(h)$ の形で表わされるとしよう。

内部温度の変化、水位の変化の他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 $\log \frac{1+\theta}{1+g_i}$ (θ は時間) で表わされるとすると、ダムの撓みは

$$\delta = \sum_i a_i t_i + \sum_i b_i \alpha_i + f(h) + \sum_i k_i \log \frac{1+\theta}{1+g_i} \quad (8.2)$$

なる形で表わされる。

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、相関性があるので、個々の温度の因子の係数の値は大きな意味をもっていない。そこで各因子の係数によりはっきりした意味を持たせるためには(8.2)式にもと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 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必要がある。

筆者はこの方法により、鳴子ダム、二瀬ダム、綾北ダム、室牧ダムの撓みについて解析を行った。鳴子ダムを例にとってその解析結果を述べると、鳴子ダムはEL 178.3m,

194.3m, 210.3m, 226.3m, 242.3mに温度計が埋設され、温度分布が求められたので、これらの標高の平均温度、温度勾配を夫々 t_1 , α_1 とし、 $f(h)$ を簡単のために水位 h の二次式で表わされると仮定して解析したところ

$$\begin{aligned} \delta = & -8.2789 + 1.5869(t_1 - 8.8840) - 0.9679(t_3 - 6.144) \\ & - 15.899(\alpha_1 - 0.1267) + 0.0051093(h - 179.6)^2 + 2.6917 \log \left(\frac{1+\theta}{101} \right) \\ & - 4.0293 \log \frac{1+\theta}{465} + 8.1563 \log \frac{1+\theta}{1561} \end{aligned} \quad (8.3)$$

なる式が得られた。この解析結果にもとずき、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、(8.3)により求めた値と実測値との比較を図示すれば図-33の如くである。

この結果によると、(8.3)式による計算値と実測値とはかなりよく一致しており、また経年変化(大部分は岩盤のクリープによるものと考えられるが)は昭和33年6月以降は変化はほとんどなくなり、ダムはその後安定した状態にあるといえる。

次に比較のために $f(h)$ を h^3 , h^4 の形で解析した結果は夫々

$$\begin{aligned} \delta = & 1.4716(t_1 - 8.884) - 1.0929(t_3 - 6.144) - 12.198(\alpha_1 - 0.1267) \\ & - 0.80317(\alpha_3 - 0.0562) + 0.000050442(h - 179.6)^3 + 2.4889 \log \left(\frac{1+\theta}{101} \right) \\ & - 3.9785 \log \frac{1+\theta}{465} + 7.5854 \log \frac{1+\theta}{1561} \end{aligned} \quad (8.4)$$

$$\begin{aligned} \delta = & -2.5910 + 1.4156(t_1 - 8.884) - 1.0430(t_3 - 6.144) \\ & - 12.689(\alpha_1 - 0.1267) - 0.76636(\alpha_3 - 0.0562) + 0.00000059259(h - 179.6)^4 \\ & + 2.7448 \log \left(\frac{1+\theta}{101} \right) - 4.3076 \log \frac{1+\theta}{465} + 7.6544 \log \frac{1+\theta}{1561} \end{aligned} \quad (8.5)$$

なる結果が得られた。さて(8.3), (8.4), (8.5)式を比べると個々の係数はかなり異なっているものがある。しかし残差((8.3), (8.4), (8.5)式より計算した値と実測値との差)の不偏分散の平方根はいずれもほとんど同じで統計学的に優劣はつけ難い状態にある。そこでこれらの点を更に詳細に検討するために温度変化による撓み($\delta_T = \sum a_i t_i + \sum b_i \alpha_i$)と経年変化による撓み($\delta_g = \sum k_j \log \frac{1+\theta}{1+g_j}$)と残差について(8.3), (8.4), (8.5)式の結果を比較した所図-34の如くである。

図-34を観察すると温度変化による撓みと残差は(8.3)~(8.5)では極めてよく一致しているが、経年変化による撓みと水位による撓みは互に或る程度の差がある。これを更に詳細に観察すると、経年変化による撓みは湛水後1年以降では(8.3)~(8.5)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はこの解析に用いたデータは水位がEL238m~254m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EL238m~254mの間では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

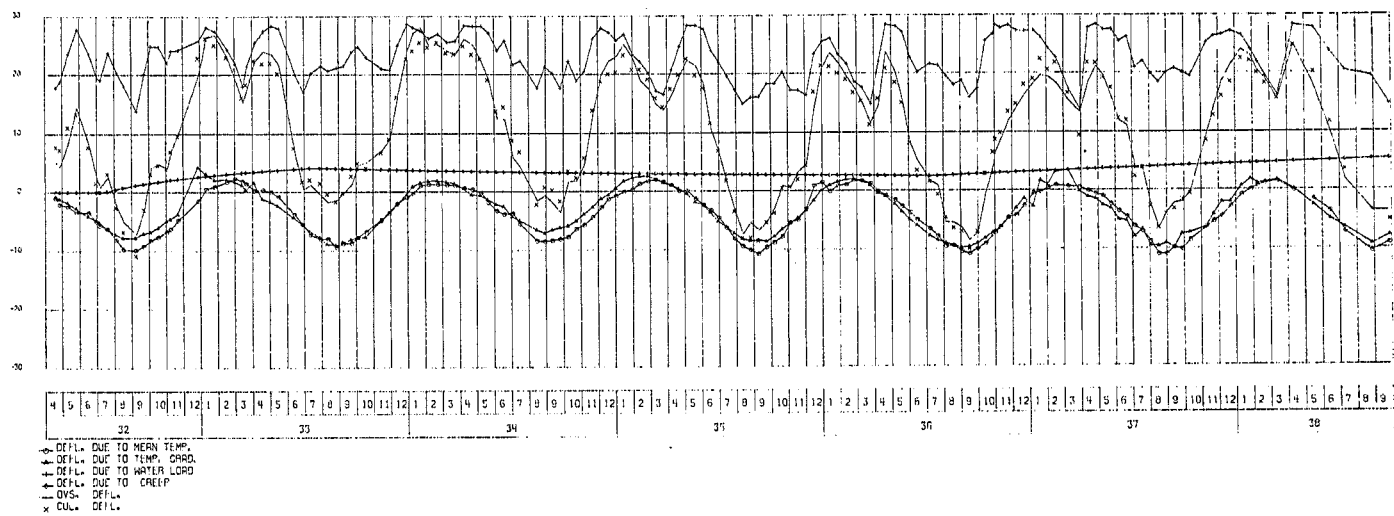


図-33 鳴子ダムたわみ実測解析図(天端標高) 実測値

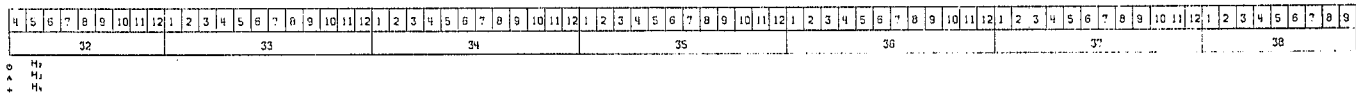


図-34 鳴子ダムたわみ重回帰分析比較図(天端標高)

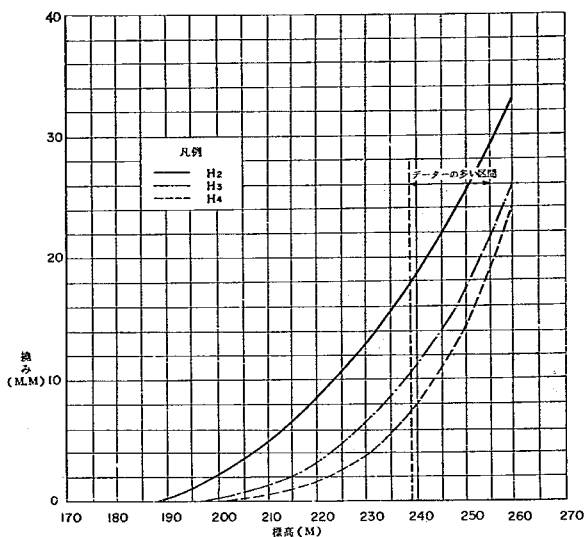
の値にはかなりの差がある。

以上の解析結果から

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

(ii) 水位による撓みはデーターの多い水位の区間では水位変動による撓みの変化は一応正しいものと考えられるが、その値については信頼性がない。

(iii) 経年変化による撓みが各解とも値が異なることから考えて、水位による撓みと経年変化による撓み



図一 35 鳴子ダム水位-たわみ曲線図

との分離が充分でないと考えられる。これは経年変化による撓みの大半が湛水初期に生じていることと、水位が低いときも湛水初期にしかなく、この時期のデーターは数も少ないため、水位による撓みに対する関数形が妥当なものでないときは、データーの多い水位区間での δ_H-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、水位による撓みの値に信頼性がなくなり、また経年変化による撓みの値にも信頼性がなくなって来るものと思われる。

(iv) 経年変化による撓みは各解ともその値は異っているが、その値の変化がなくなる時期は各解ともほぼ一致している。前項にも述べたように水位による撓みの関数形が妥当でない場合には水位による撓みと、経年変化による撓みとの分離が不充分になるために、湛水初期の水位が低いときの水位による撓みの一部が経年変化の撓みに入り込んでいる可能性は強い。しかし経年変化による撓みの変化がなくなるかなり前から水位はデーターの多い水位区間に入っていることから、経年変化による撓みの変化がなくなる時期は両者の分離の不完全さにはあまり強く影響されていないと考えてよい。従って経年変化による撓みはその値は信頼性はないが、その変化がなくなる時期についてはかなり信頼性があると考えられる。

ⅴ) 残差は各解とも極めてよく一致している。これは残差が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よるものと考えられる。

との結論に達した。このような状況は二瀬ダム、綾北ダム、室牧ダムにても全く同様であった。

さて、(8.3)～(8.5)式により求めた撓みと、実測値とは極めてよく一致していることは図—33からも明らかである。従って(8.3)～(8.5)式の解析を行った以降においてもその時の平均温度、温度勾配、水位、湛水開始してよりの日数がわかれば(8.3)～(8.5)式によりダムの撓みは計算され、これと実測値と比較し、ほぼ一致していればダムは解析を行った期間と同一の現象を示している。即ちダムは安定した状態にあると云い得る。この場合に留意すべきことは

(i) (8.3)～(8.5)式は前述した考察からも明かなように、データーの多い水位区間のみ適用し得る。この事は図—35を見れば更に容易に理解し得ることであるが、データーの多い水位区間以外では $f(z)$ を h^2 , h^3 , h^4 と仮定した場合に δ_H-h 曲線の勾配が異って来て、水位による撓みの変化量が不確かになって来る。このため、この水位区間(鳴子ダムでは $EL\ 238m \sim 254m$)以外の水位のときに(8.3)～(8.5)式を適用すれば当然実測値とは異って来る。

(ii) 一般にダムは湛水後時間が経過するに従って撓みが小さくなっていく傾向を有する。また(8.2)式で経年変化による撓みは $\log \frac{1+\theta}{1+g}$ の形で仮定したが、或る程度時間が経過した後はこの量の変化は小さくはなるが、僅かながら変化し続ける。従って2～3年毎に経年変化による撓みを修正する必要がある。このため(8.3)～(8.5)式を求めた後にこれらが支障なく、実測値との対比に用い得るのは2～3年間である。2～3年経過した後は再び解析を行ない修正する必要がある。の二点である。

これらの二点に注意するならば(8.3)～(8.5)式はダムの安全管理に充分用い得るものである。

なお(8.3)～(8.5)式にはいくつかの断面の平均温度と温度勾配を用いているがこれはダムの管理所でこれらの量を求め計算することは極めて複雑で、実際的ではない。しかし、平均温度と温度勾配の変化はいずれも外気温の変化によるもので、周期性をもっていて、年による差が少いことに着目して、温度変化による撓み $(\delta_T = \sum a_i t_i + \sum b_i \alpha_i)$ と月日との対応を図示したところ年による差は $\pm 2\text{ mm}$ 以下であった。(図—36) また経年変化による撓み $(\delta_s = \sum k_i \log \frac{1+\theta}{1+g_i})$ は湛水後2～3年経過すればほぼ一定値を示しており、鳴子ダムの場合、38年以降は(8.3)式では14.5, (8.4)式では30.0 (8.5)式では33.0である。従って図—35, 図—36より水位、月日に対応して δ_H , δ_T を求め、 δ は各式に対応して先に述べた値をとって

$$\delta = \delta_T + \delta_H + \delta_s \quad (8.6)$$

鳴子ダム（天端標高）

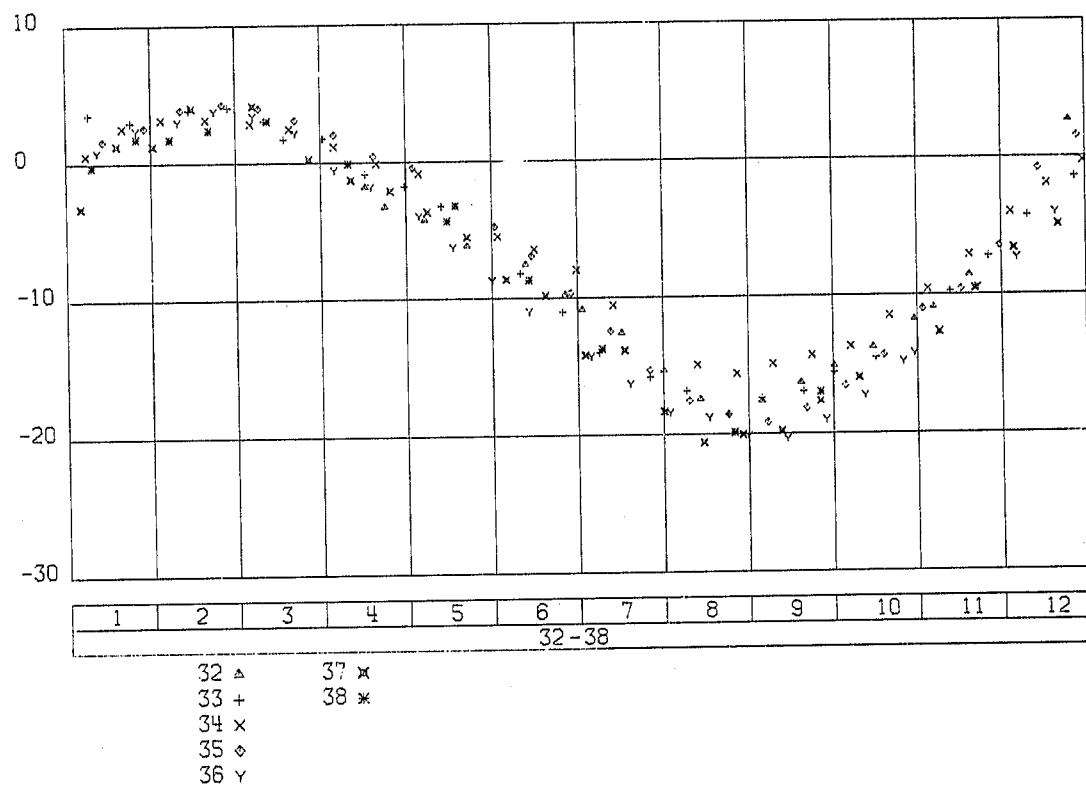


図-36 鳴子ダム温度によるたわみ図

として計算すれば(8.3)~(8.5)式は極めて容易に計算し得る。

以上述べた方法は湛水後1年~2年間のダムの内部温度、水位、撓みの資料があれば求めることが可能であり、それ以降のダムの安全管理にとって有力な方法となり得るものである。しかし、この方法は湛水直後のダムの安全性の確認が最も必要な時期に用い得ない点が最大の欠点である。

しかし前にも述べたようにアーチダムの撓みは水位のみならず温度変化の影響も強く受けるので、重力ダムの撓み、或は漏水量、揚圧力のように簡単にその安全性を検討する方法はない。そこで湛水初期には図-37のように縦軸に測定値、横軸に時間をとったグラフを描きこれに外気温、水位を併記し、これらとの対応性から定性的に判断する以外にない。

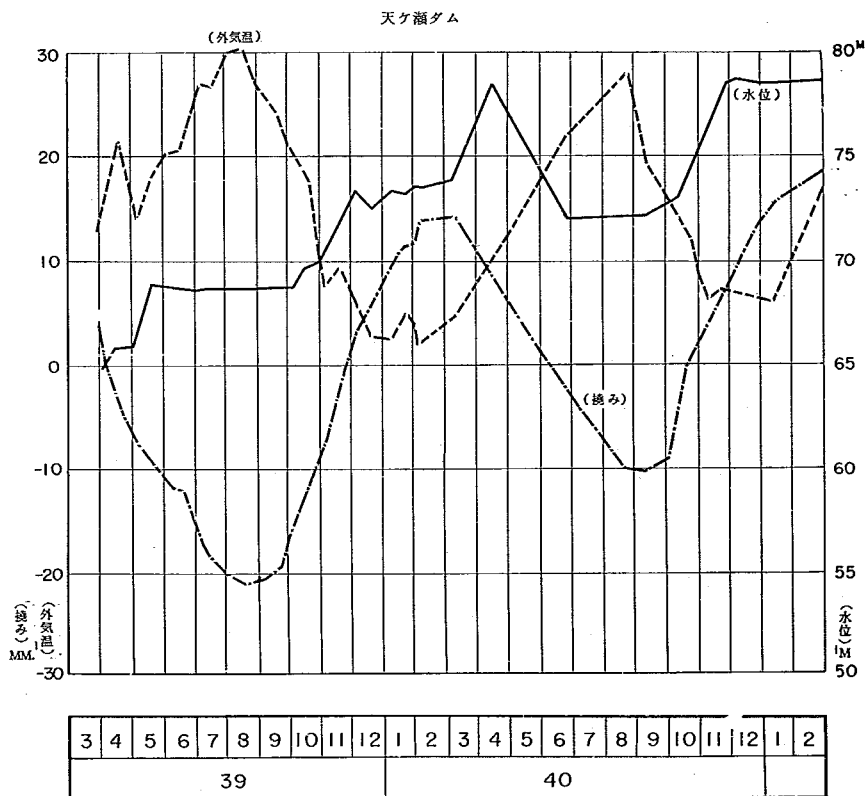


図-37

8.4 歪， 応 力

8.4.1 計器の生死の判定

歪， 応力の測定は前述したように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場合には必要となってくる。これらの測定には一般に埋設型の歪計，応力計が用いられるが，これらの計器はかなり感度が高いので，埋設時の取扱の不充分さ等から，破損或は理解し難い測定値を示すものが多い。一般にダムにはかなりの数の歪計，応力計が埋設されており，これらの計器をすべて測定し，整理することはかなり労力を要することである。これらの計器のうちいくつかは破損，或は理解し難い値を示し，万一の場合に備え測定し続けるにしても，ダムの異常が生じたときその原因と対策を検討するに際して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。そこで適当な時点で各計器の測定値が，ダムの局部現象の測定資料として利用し得るものか否かを判定し，利用し得ないと判断されたものは以後の測定を打切るのが賢明であろう。

この判定方法についても重力ダム，中空重力ダムの歪， 応力は主として水位のみの影響を受け，アーチダムの場合には水位と温度の影響を受けるので重力ダム，中空重力ダムとアーチダムに分けて述べることにする。

8.4.1.1 重力ダム，中空重力ダム

重力ダム，中空重力ダムの応力，歪は主として水位の影響のみを受ける。但し，ダムの表面から5 m以内の所の歪， 応力は外気温，貯水温の季節的な変動の影響を受けるので，このような場合にはその歪計，応力計により測定された温度の季節的な変動を調べ，温度変化が或る程度ある場合（3℃以上）には次項で述べる判定方法によるべきである。

ダムの表面から5 m以上内部に入った所に埋設された歪計，応力計，またはその計器にて測定された温度の季節的な変動が小さい場合にはその測定値は水位のみの影響を受けると考えて差支えない。

一般に応力計は一本一本埋設されることが多いが，歪計は5本または9本を一組として，ロセツトを組んで埋設される。このようにロセツトが組まれるのは二次元応力または三次元応力を求めるために必要であるためであるが，このため或る方向では歪が極めて小さい場合もある。従ってすべての歪計について検定する必要はないが，少くとも1つのロセツトの中で，歪が大きいと考えられる方向の歪計については検定してみる必要がある。この歪が最も大きいと考えられる方向は，上流面近くでは鉛直方向，内部および下流面近くでは，鉛直方向と下流面に平行な方向であるが，この方向の歪

計および応力計をとり出して水位との対応性を検討してみる必要がある。

即ち、縦軸に測定値、横軸に時間をとったグラフを描き、これに水位を併記する。一般に歪計、応力計の測定値はブラムラインの測定値程明瞭な水位との対応性を示していない。水位と無関係な変動がかなり測定されることが多いが、全体的にみて水位との対応性が示されているもの、或は満水位近くでの急激な水位変動（ダムの高さの2割位の）に対して或る程度の反応を示しているものについては以後測定を続けることにより、何らかの現象解釈の一助となる可能性はあるが、全体的にみても水位との対応性がなく、更に満水位近くでの急激な水位変動に対しても何ら反応を示さない場合にはその応力計またはその歪計を含むロセットは現象解釈の一助となる可能性は小さい。

図—38はAダムに埋設された5成分歪計の測定値を示している。このうちS—20 F—67.0—U—1とS—20 F—67.0—U—2は41年の間は水位変動に対応した動きを示しているが40年の間は水位と無関係な動きが目立ち、水位との対応性ははっきりしない。また他の計器は水位との対応性はほとんどない。また40年の間は全歪計とも動きは極めて不規則であることは指示器または切替スイッチに異常があったとも考えられる。この場合S—20 F—67.0—D—1と2はこのロセットの中では最も歪変化の大きいと考えられた方向でもあるので41年におけるような測定値を示す限り、或る程度現象解釈に利用し得る可能性がある。

図—39は同じくAダムの他の5成分歪計の測定値を示している。

この場合には歪計S—15 D—49.5—1のみが41年3月の水位変動に対応した動きを示しているが、その他の期間は全く理解し難い動きを示し、他の歪計は、全期間にわたって測定値は理解し難い動きを示している。このような場合には今後測定を継続しても現象解釈に利用し得るとは考え難い。

図—40は同じくAダムに埋設された応力計の測定値を示しているが、これは個々の変動と水位変動と対応しているとは云い得ないが、全般的にみて水位との対応性はかなりよい。

以上Aダムに埋設された歪計、応力計を3つの例として取り上げ説明を加えたが、図—40の程度の水位との対応性を示す計器については以後測定を継続すべきであるが、図—39のような測定値については今後利用し得る可能性も少いので以後測定は打切っても差支えないと考えられる。

尚この種の判定は灌水開始後1～2年の時点で行うとよいと考えられる。

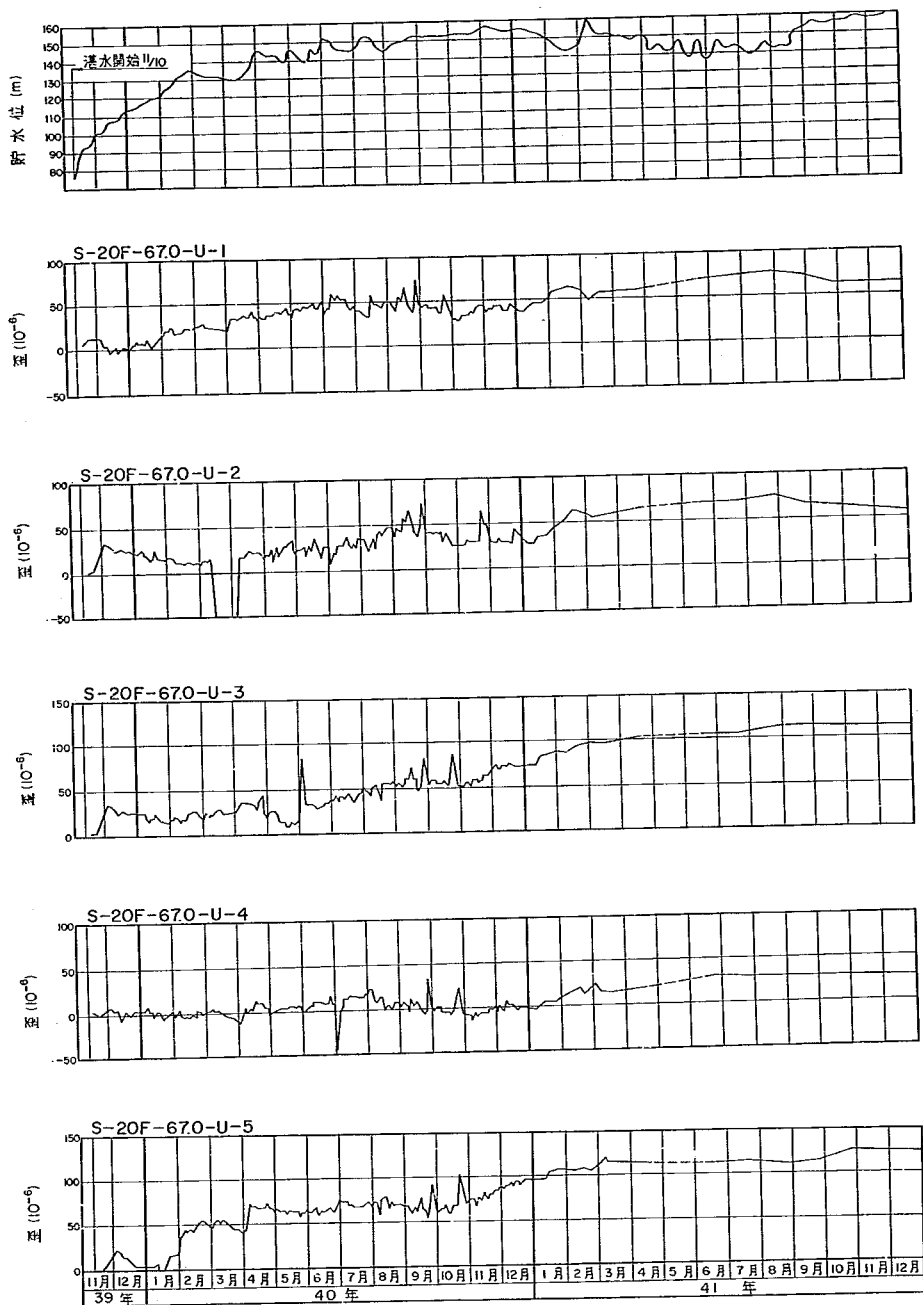


図-38 断層プラグ内5成分歪計測定値

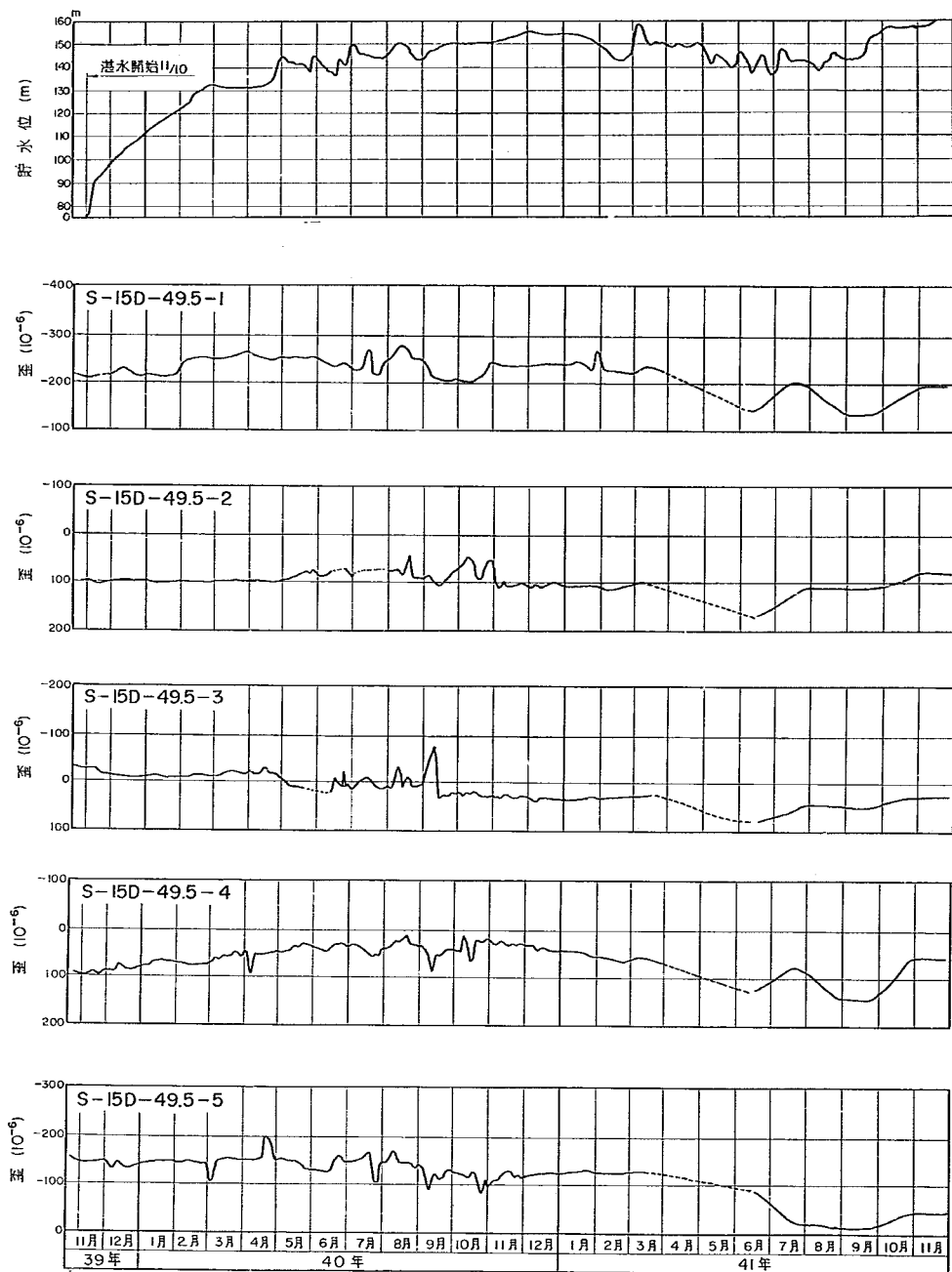
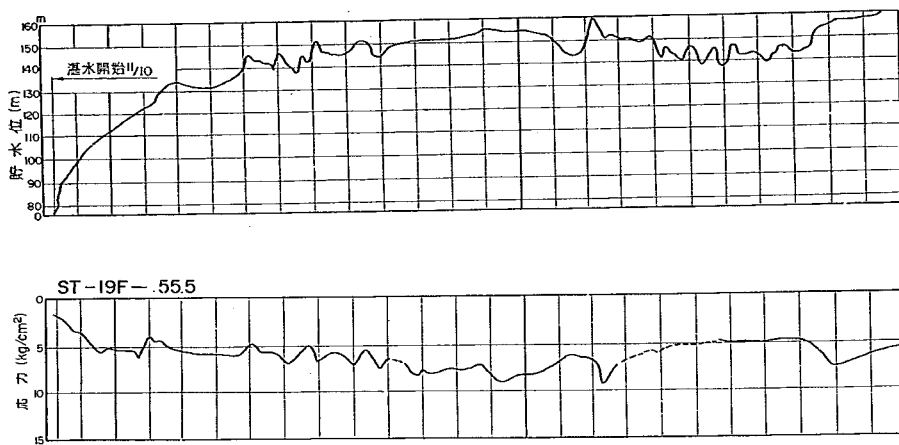


図-39 Cダム5成分計測定値



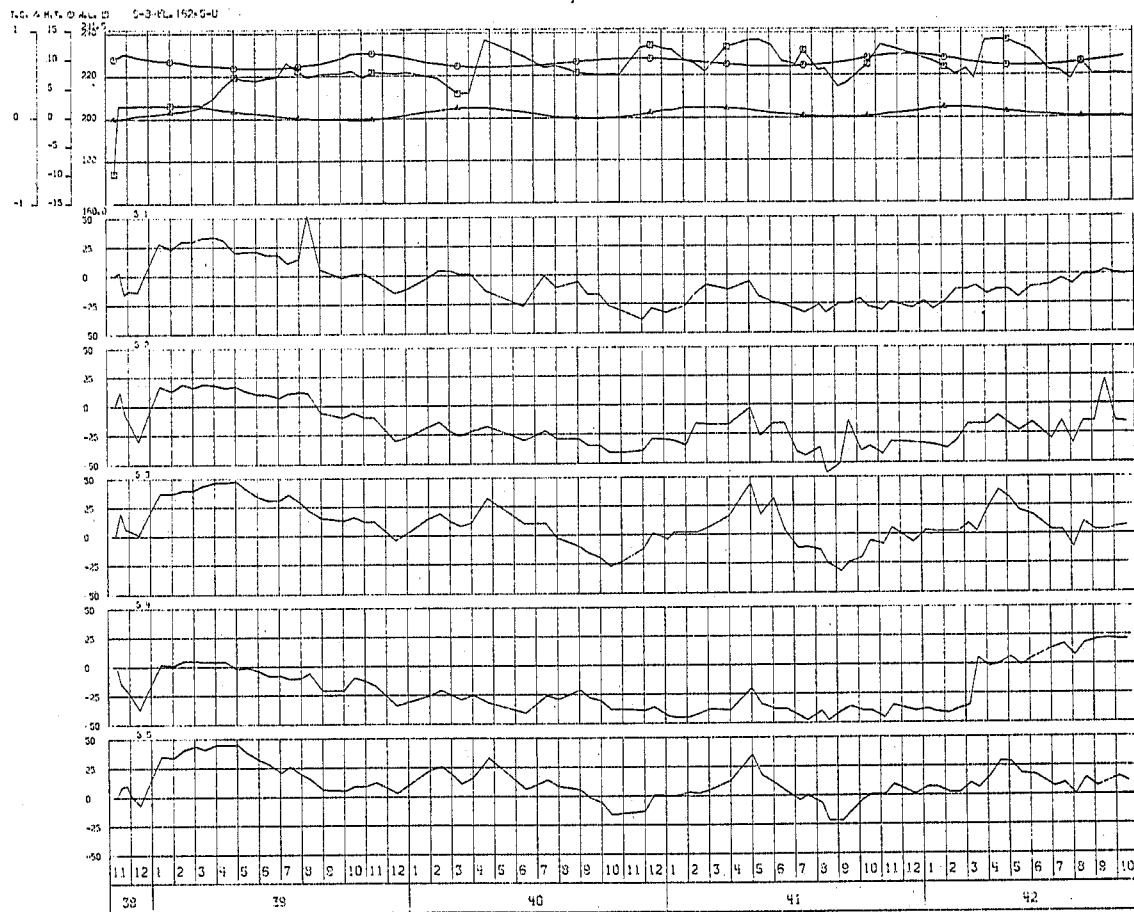
図—40 Aダム応力計測定値

8.4.1.2 アーチダム

アーチダムの場合には撓みの場合と同様に水位の他に温度変化の影響を受けている。従って測定値を縦軸，時間を横軸にとったグラフを描き，これに水位と，外気温とを併記するとよい。

このようなグラフを描いた場合に，ダムに生じている現象をよく捕えている歪計，応力計ならば水位変動との対応関係を示すと共に温度の季節的な変化に対しても対応関係を示す筈である。

図—41は湯田ダムにおける5成分歪計の測定値を示している。この図には外気温の代りにこの歪計が埋設されている断面の平均温度と温度勾配とが示されている。これらの歪計のうち，S3とS5は水位変動と温度変化に対し，或る程度の対応性を示している。即ちこれらの歪計は5月頃に最も引張側の値（+側）を示し，10～11月頃に最も圧縮側の値を示していると共に，40年4月の水位上昇・41年3月から6月にかけての水位の昇降，42年4月の水位上昇共その対応性に現れている。5月に最も引張側の値を示し，11月に最も圧縮側の値を示すということは外気温の変化に対し，凡そ3～4ヶ月の位相の遅れを示しているが，これらの歪計はダムベースの上流面近くに埋設されたものであるので，ダムの厚さも厚く温度変化もかなり外気よりも位相的に遅れる部分であるのでむしろ当然と考えられ，更に図からもこの部分の平均温度は外気に対し，4ヶ月程度の遅れをもっていることから，温度勾配の影響よりも平



均温度の影響が強く現れていると云い得る。また水位上昇は歪の引張側への移行として現れているがS3が鉛直方向、S5は斜め上方に埋設されていることを考えるならば、ダムベースの上流側としては当然な歪の変化であるといえる。従ってS3、S5はよくダムの現象を示しているといえる。他の歪計については温度変化との対応性は僅かに示しているが、水位変動との対応性はほとんど示していない。しかし、埋設された位置を考慮に入れるならば、この部分は水圧荷重によりアーチ作用はほとんど生ぜず、鉛直方向応力のみ生ずる所であるから、当然であるとも云い得る。

図一42は同じく湯田ダムに埋設された他の5成分の歪計の測定値を示している。これらの歪計の測定値はいつでも水位変動に対しても温度変化に対してもはっきりした対応性を示していない。特に40年4月と42年3月の水位上昇は凡そ20mに達し、ダムの高さの約1/4の水位変動である。このような大きな水位変動に対して、はっきりした対応性を示さない計器は今後測定を継続しても、その測定値からダムに生じている現象を理解し、ダムに異常が生じた場合にその原因と対策の検討に用いる可能性は少いといえる。

図一43は湯田ダムの応力計の測定値を示している。これらの図はいつでも39年11月～12月に大きく圧縮側に变化しているが、この時期には水位変動、温度変化においてこのような大きな応力変化を与える要因は存在していないのと、各計器に共通して現れていることから切替スイッチの取換か測定方法の変更(監査廊で測定していたものを遠隔測定に切替)によるものと考えられる。それ以降の変化について観察すると、(a)は全般に3月に最も引張側の値を示し、9月には最も圧縮側の値を示すというはっきりとした周期性を示している。これは明らかに温度との対応性を示しており、水位変動の大きかった40年4月、40年11月、41年3月、41年9月～11月、42年3月における応力の変化ははっきりしていない。これから、この計器の埋設された部分は温度変化による応力はかなり発生するが、水位変動による応力の変化は極めて小さいと考えられる。

次に(b)は温度変化との対応性ははっきりと示していない。しかし前述した水位上昇の著しかった時期に測定値ははっきりと圧縮側に变化しており、はっきりとした水位変動との対応性を示している。従ってこの計器の埋設された部分は温度変化による応力は小さいが水位変動による応力の変化は或る程度生ずる部分であると考えられる。

(c)については温度変化との対応性ははっきりと示されていない。また水位変化については40年3月と40年11月の水位上昇に対しては応力は引張側に变化しているが、41年3月、41年9月～11月、42年3月の水位上昇に対しては応力は圧

T.G. A.M.T. 5-8-EL. 189.50-U

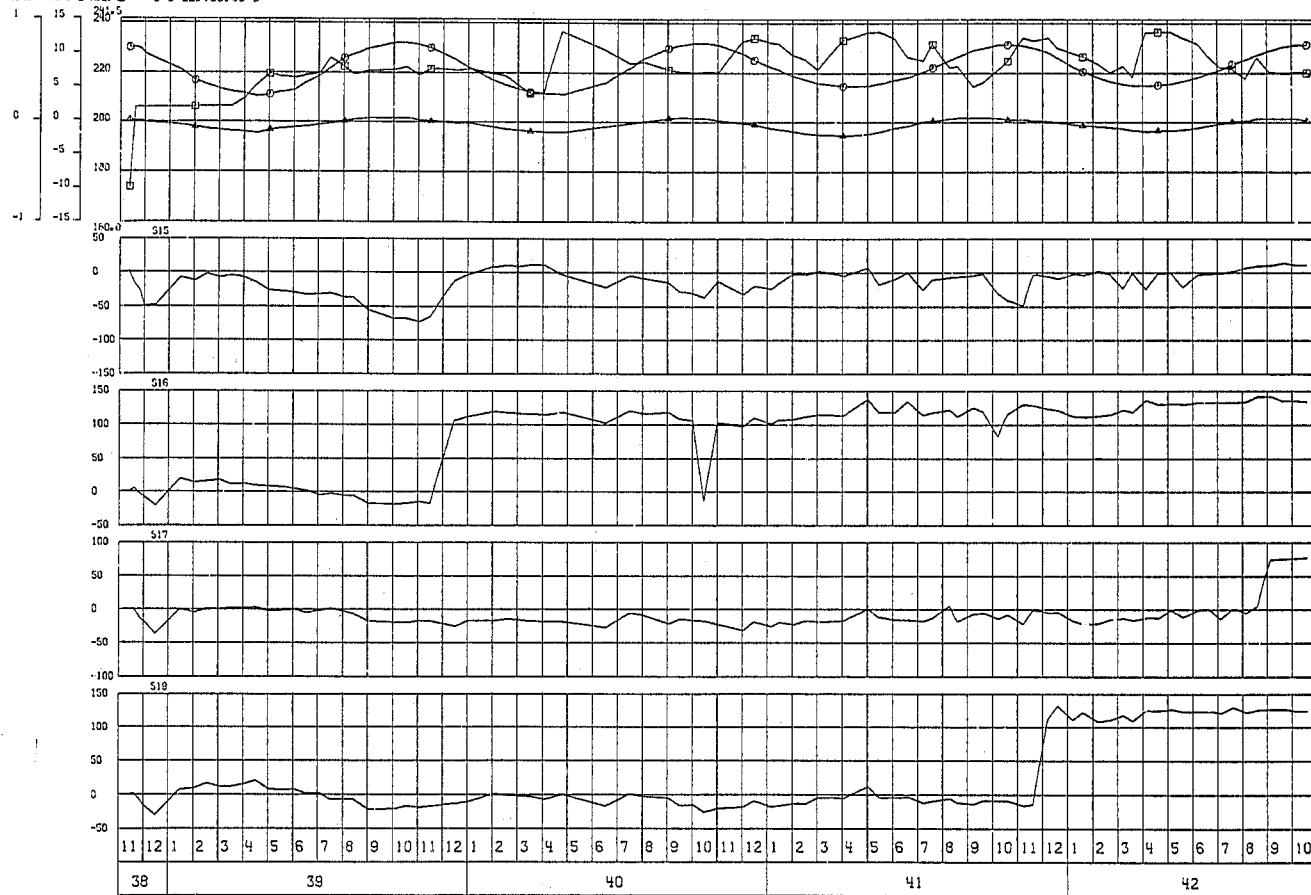


図-42 湯田ダム歪計

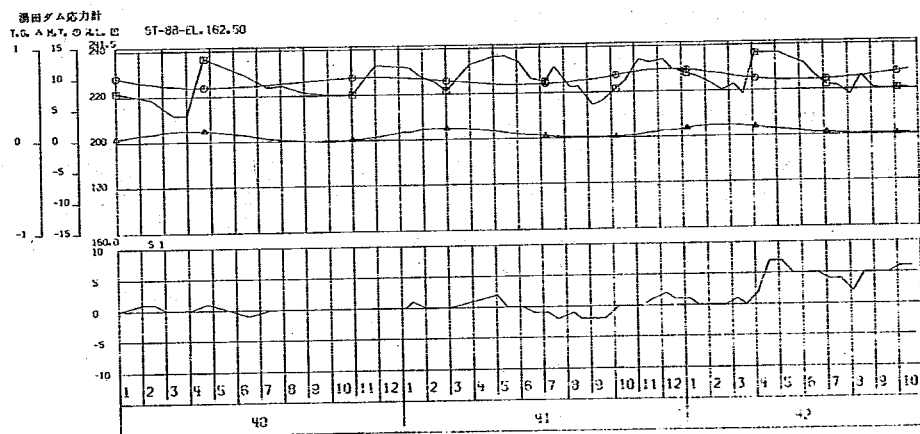
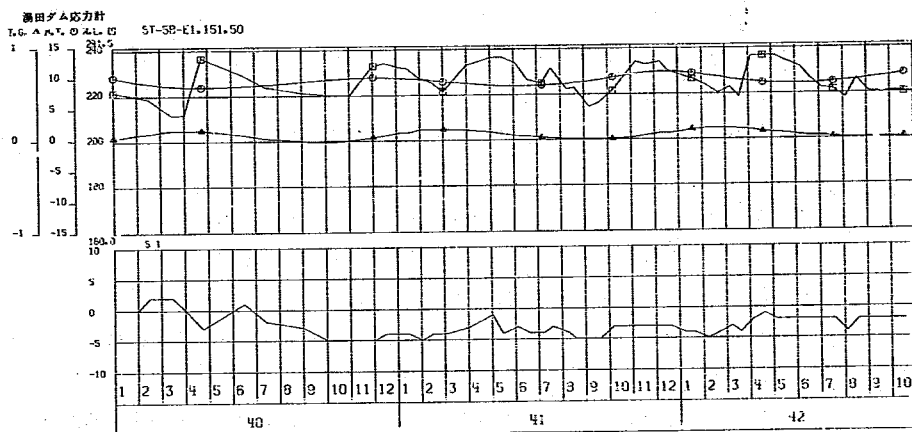
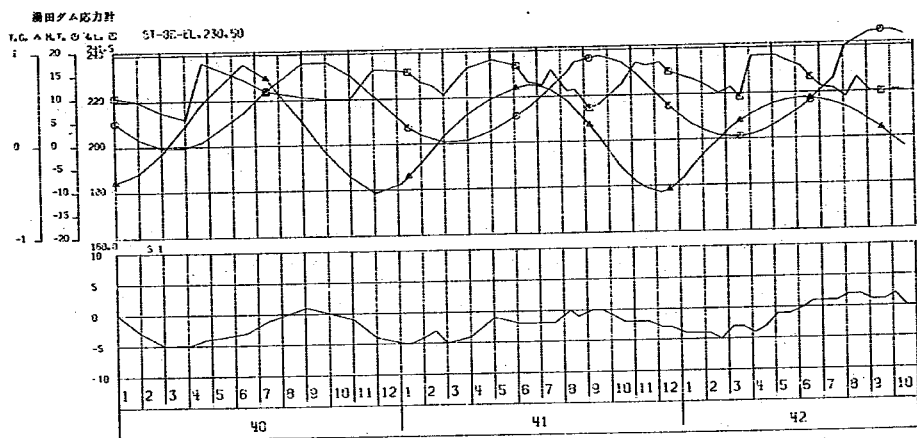


図-43 湯田ダム応力計測定値図

8.4.2 解 析

Eダムは高さ約80mのアーチダムであるが、4月に湛水を開始したが、その年の11月7日より、中央ブロック下部のEL237m打継面に沿って漏水が始まり、12月末までに漏水部分は順次ひろがって中央ブロック全部にわたったが、翌年1月に入ると漏水量は減少し、2月初旬にはほとんどなくなった。この漏水は12月にはかなりの量になり、ダムの下端までぬれる程であった。

i) このキレツは施工中生じたものか、湛水後生じたものであるか。

ii) このキレツはダムの上流面まで達していると考えるべきか否か。

iii) 何故に 1 1 月から 2 月の間に漏水が生じたか。

(iv) 1月末に漏水は止ったがキレツが遊離石灰等でつまって今後再び漏水しないと考えて差支えないか否か。

M) 特にこの部分は計算でも模型実験でも鉛直方向にはかなり大きい圧縮応力が示されていたが何故にこのような現象を示したか。

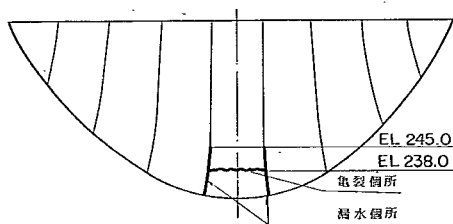
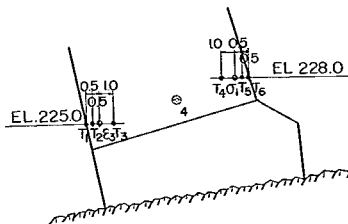


図-44 Eダム亀裂漏水状況



圖一 45 埋設計器配置圖

(vi) このような漏水により、ダムの安全上懸念をいだく必要はないか否か。

(vii) 何か対策を構ずる必要はないか否か。

(viii) 対策を構ずるとしたらどのような方法がよいか。

等であった。

これらの問題を解決するために、このキレツに最も近いEL 228m に埋設されている歪計、応力計の測定値に対し、検討を行ってみた。尚現象をよりよく理解するために、この標高に埋設されている平均温度と温度勾配も求め、併記した。またここに示した応力計は鉛直方向に埋設されており、歪計は温度補正、体積膨脹補正、Poisson 比の補正を行った鉛直方向の歪の値を示している。(図-46)

図-46から湛水開始以後の応力、歪の動きを見るに、ダムの下流側では明らかに春から夏にかけて次第に圧縮側に变化して(応力では正が圧縮、歪では負が圧縮)8月に最も圧縮側の値を示し、以後次第に引張側に变化しだしていた。温度勾配は8月に最大値を示しているが平均温度は9月に最大値を示していることから考えて、この部分の鉛直応力は温度勾配の影響をより強く受けていたことを示している。温度勾配は10月から11月にかけて急激に減少しだしていたが、応力計は10月下旬から、歪計は11月初旬から急に引張側に变化しなくなっている。応力計のみが引張側に变化しなくなった

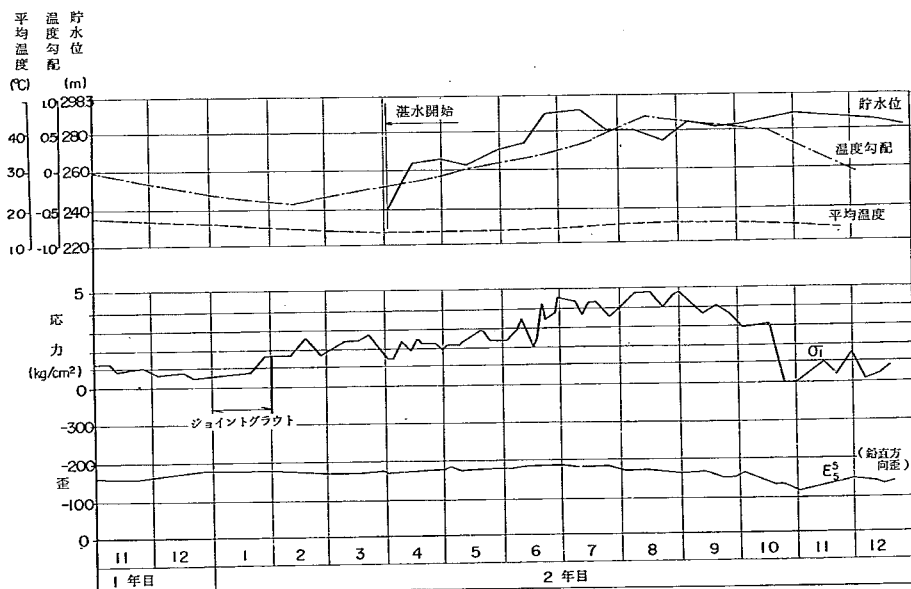


図-46 EダムEL 228.0埋設計器測定値

場合には応力計は引張応力を測定し難いためとも考えられるが、歪計も同様な現象を示していることからして、この時期にキレツが開口したと考えるべきであろう。この時期は実際に漏水が始まり、キレツが発見された時期よりも少し前であるから、応力計、歪計がこのような値を示したのは、キレツが開口して応力が開放されたためと見るべきであろう。

このキレツは施工中に生じたものか、湛水後に生じたものかについてはこれらの調査からは明らかではない。しかし11月初旬に初めて開口したことは明らかである。またこの時期の水位は特に高くはなかったがキレツが開口したのは温度勾配が低下したためである事も明らかである。一般に温度勾配は外気温の変化と位相はほとんど同じであるが、2月初旬に漏水量がとまったのも、温度勾配が再び増加しだしたためと解すべきであろう。キレツが開口しはじめた11月初旬は温度勾配、平均温度とも湛水開始した時期よりも高い値を示しているにも拘らず応力、歪とも引張側の値を示しているのは明らかに水圧荷重により引張応力が生じていたと考えられる。

このことは何らかの対策を構じない場合にはより高い水位で冬になった場合より大きくキレツが開口する恐れがあるので、何らかの対策を行った方がよいと考えられる。

さて、水圧荷重によるこの部分の鉛直応力は計算、模型実験とも圧縮を示していた。これは計算および模型実験に仮定された状況と実際の状況とはかなり異っていたと考えられる。

EL225m~EL245mの間の継目グラウトは湛水開始より1年前に行われているが、EL245m以上の継目グラウトは湛水直前に行われた。継目計の測定値を見るに、EL245m以下の継目はEL245m以上の継目グラウトを行う際にかかなり押しひろげられている。これはダムの下流面を観察してもEL245m以下の継目では漏水があることから見て明らかである。このため、この部分では三次元的に一体な構造物として働かず、鉛直な両端固定梁として働いたものと思われる。これから鉛直な両端固定梁(EL225~EL245m)のほぼ中央附近のEL237mの下流面に引張応力が生じ、冬期に至り下流面の温度が低下したときにこの引張応力が更に大きくなり、水平打継面が開口したものと考えられた。

以上の考察からまた漏水量から見て、このキレツがダムの上流面に達しているとは考え難い。事実漏水は初め、継目の近くから始まり次第にブロックの中央に伸びていったことから考えると、この漏水は継目からの漏水がキレツの開口により、毛細管現象により吸出されたものと解せられた。従ってこのキレツは直ちにダムの安全性に重大な影響があるとは考えられないが、前述のようにこの年の水位は比較的低く、もしより高い水

位で冬を迎えたときは、このキレツがより開口すると考えられるので何らかの処置は行った方がよいと考えられた。

この対策については以上の考察から、EL 24.5m以下の継目に対し、平均温度が最も低下する3月に再注入を行い、三次元的に一体な構造物として働き得るようにすれば、このキレツ附近の引張応力は減少し、温度勾配の減少によるキレツの開口を完全になくすることは出来ないにしても、水位が上昇した場合にもキレツの開口をより大きくすることは防ぎ得ると考えられた。以上の対策が実際に行なわれた。

9. 構造解析のための測定と解析

現在ダムの設計は多くの仮定と省略の上で行われている。これらの仮定や省略が妥当なものであるか否かを確かめ、設計を合理化して行くためには、実際のダムでその挙動を測定し、解析することが必要となって来る。これらについては本書の目的からははずれるが、いくつかの工事々務所ではこの種の測定を計画し、いくつかの管理所ではこの種の測定を行うことがあると考えられるので、今迄に発表されたもののうち代表的なものについて述べることにする。

9.1 撓み

アーチダムのように撓みが水圧荷重の他に温度変化の影響も強く受ける場合には重回帰分析により解析すると原因別に分離分析し得ることは既に述べた。このように分離分析したものと設計計算値と比較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る。

さて前章に述べたようにアーチダムの撓みの測定値を重回帰分析により分離分析した場合に、

- (i) 温度変化による撓みの分離はよく行われる。
- (ii) 水位による撓みと経年変化による撓みの分離は不充分で、このため水位による撓みの絶対値は不確かで、データの多い水位区間における水位変動による撓みの変化する割合のみが確からしきを持っている。

なることが明らかになった。そこで温度変化による撓みと水位変動による撓みの変動を、実測値と、計算値と比較してみよう。計算は荷重分割方法の完全調整計算により、温度荷重としては実際のダムより求められた平均温度と温度勾配とを用いた。

比較を行ったのは鳴子ダム、綾北ダムのクラウンの天端の半径方向変位、室牧ダムのクラウンの天端と左右岸の天端の半径方向変位と、二瀬ダムのクラウンおよび左右岸の天端の半径方向変位に対して行った。その結果は表—4と図—47、48に示されている。

まず温度変化による撓みについて考察すると、全般的にみて計算値と実測値とは或る程度一致している。しかし更に詳細に観察すると、半径方向変位については、二瀬ダムでは全般に計算値の方が大きく、クラウンで4.7%、右岸側では8.5%、左岸側では3.4%ほど計算値の方が大きくなっているが、綾北ダムでは逆に16%ほど計算値の方が小さくなっている。鳴子ダム、室牧ダムでは一致度はかなりよい。

また、平均温度の変化と、温度勾配の変化はいずれも外気温の変化によって生ずるので相関性が強く、実測値に重回帰分析を適用しても平均温度の変化による撓みと温度勾配の変化による撓みに分離することはかなり困難である。しかし、実際のダムから測定した平均温度と温度勾配の変化を荷重分割法に適用して計算すれば、その計算方法が妥当なものであれば、その分離は可能である。図—47および表—4によれば温度変化による撓み

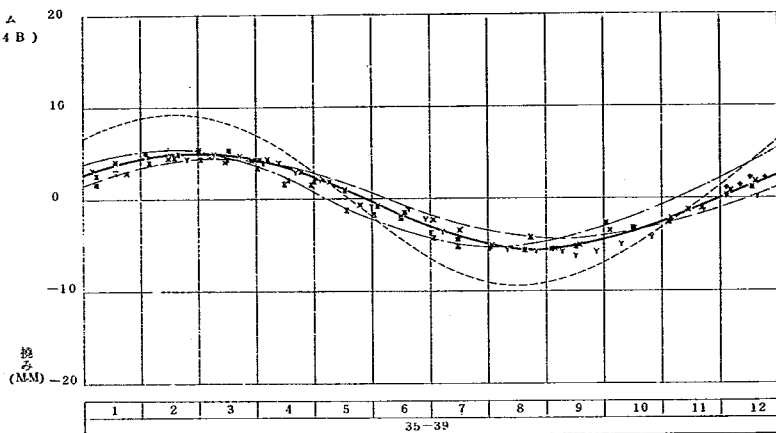
は計算値と実測値とはかなり一致しているので、計算方法はほぼ妥当なものと考えてよく、従って平均温度の変化による撓みと、温度勾配による撓みの比率も表一4に示す程度と見做し得る。これから室牧ダムのように薄肉のアーチダムでは平均温度の変化が支配的な影響を与えているが、ダムの厚さが厚くなるに従って温度勾配の影響が強くなり、二瀬ダムのような厚肉アーチダムになると、むしろ温度勾配の変化による撓みの方が、平均温度の変化による撓みよりも大きくなっている。このことは今後の設計の上からも注意すべきことと考えられる。

次に水位による撓みについて考察すると、室牧ダムの7ブロックの撓み以外は絶対値は異なるが、データの多い水位区間での水位変動に対する撓みの変動は実測値と計算値とはほぼ一致している。これらについても更に詳細に観察すると鳴子ダムでは水位変動に対する撓みの変動は計算値の方がやや大きい。他のダムのクラウンの撓みの変動は計算値と実測値とはほぼ一致している。一方右左岸の撓みについては室牧ダム、二瀬ダムとも水位変動による撓みの変動は計算値の方が小さいようである。

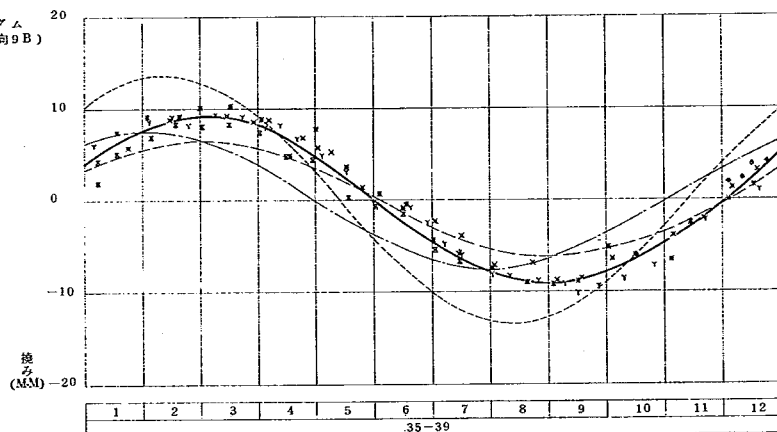
表一4 実測値と計算値の差の計算

ダム名	位 置	実 測 値		計 算 値						実 測 値 と 計算値の比
		平均温度、温度 勾配によるもの		平 均 温 度		温 度 勾 配		平 均 温 度 温 度 勾 配		
		振 幅	位相差	振 幅	位相差	振 幅	位相差	振 幅	位相差	
二瀬ダム	C r 天端半径方向	9.10	29	6.177	25.96	7.813	59.83	13.407	44.92	1.47
	右岸 "	5	31	4.392	22.82	5.288	55.77	9.286	40.86	1.85
	左岸 "	7.8	39	5.887	21.19	5.121	58.41	10.454	38.43	1.34
室牧ダム	C r "	9.5	47	7.50	43.58	1.38	70.50	8.760	47.54	0.92
	右岸 "	6.3	51	5.664	44.210	0.459	73.54	6.070	46.24	0.96
	左岸 "	6.3	46	5.707	44.210	0.468	73.92	6.120	46.30	0.97
鳴子ダム	C r 天端半径方向	11.2	28	6.959	21.028	6.367	55.756	2.760	38.102	1.14
綾北ダム	" "	12.6	53	6.30	41.73	4.614	71.17	1.057	53.72	0.84
二瀬ダム	C r 天端接線方向	0.57	65	0.1	0	0.22	0.81	0.19	0.91	0.33
	右岸 "	0.50	58	0.70	26.56	1.07	0.81	0.63	47.55	1.26
	左岸 "	1.2	34	0.68	28.39	0.14	1.54	0.58	34.37	0.48

二瀬ダム
(半径方向 4 B)



二瀬ダム
(半径方向 9 B)



二瀬
(半径方向 13 B)

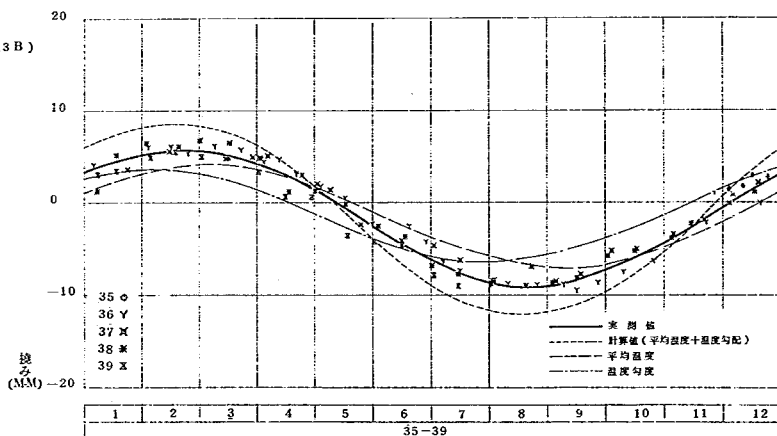


図-47 温度によるたわみ図 (a)

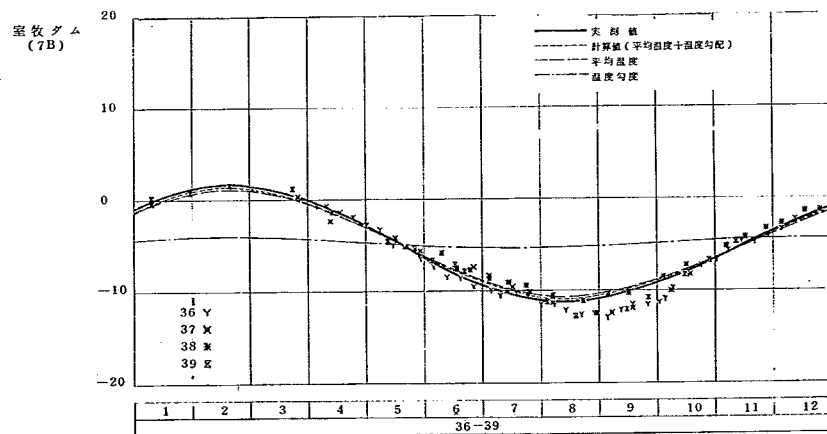
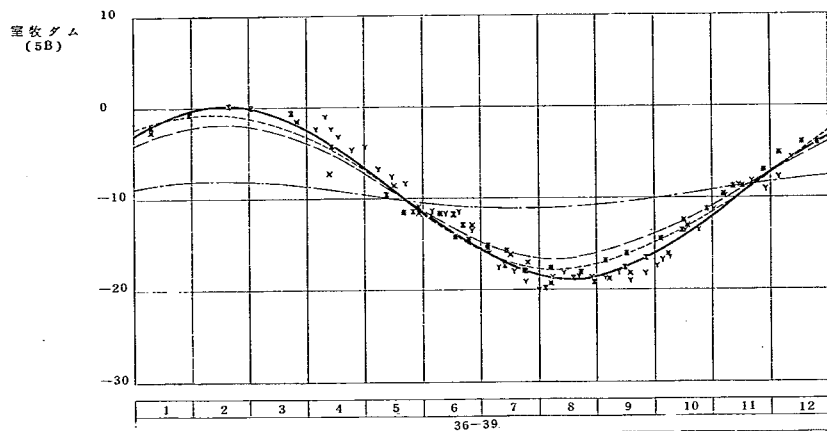
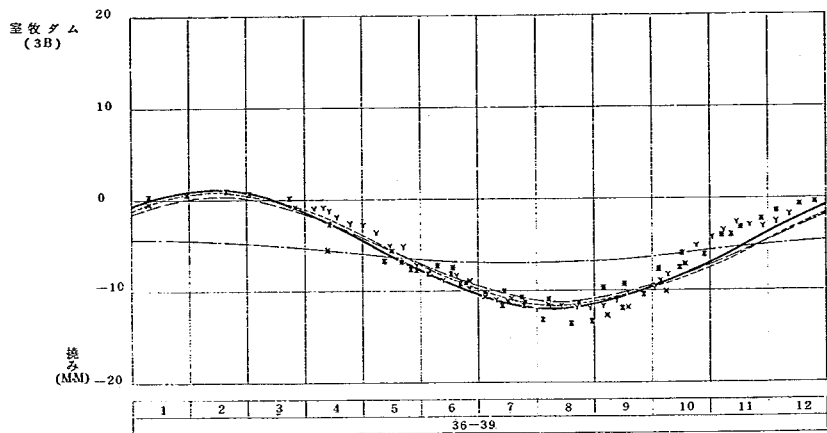
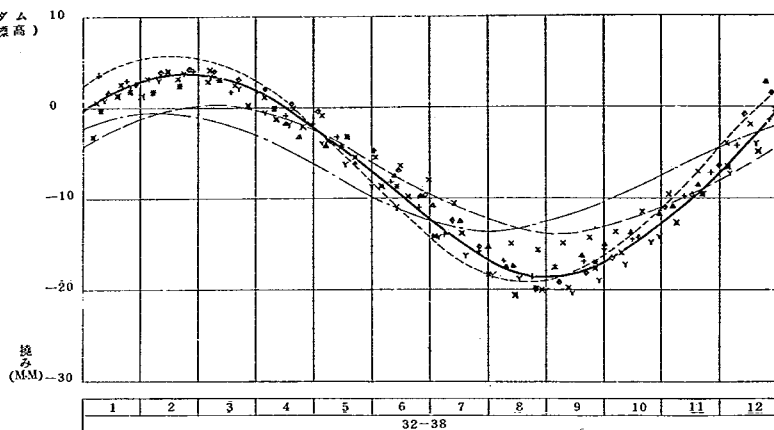


図-47 温度によるたわみ図 (b)

鳴子ダム
(天端標高)



綾北ダム
(天端標高)

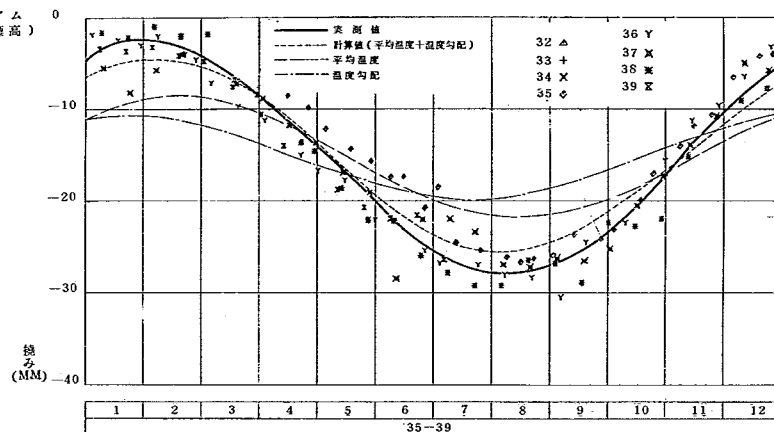


図-47 温度によるたわみ図(c)

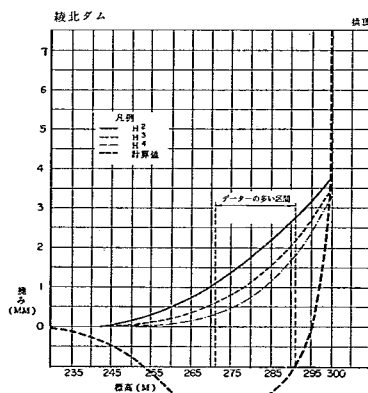
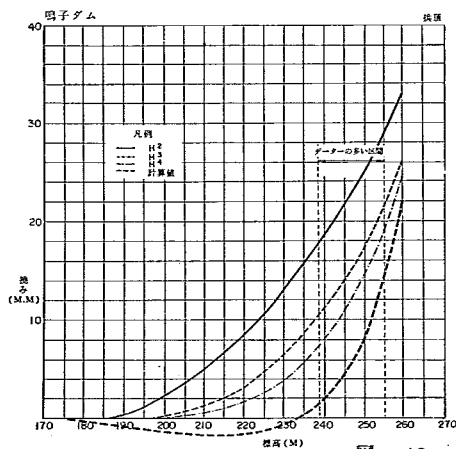


図-48 水位 — たわみ曲線(a)

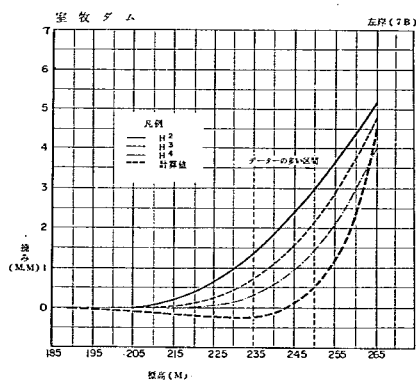
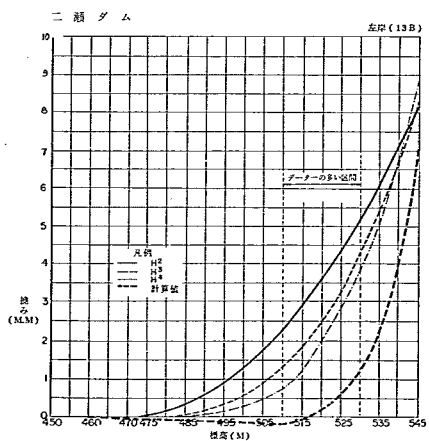
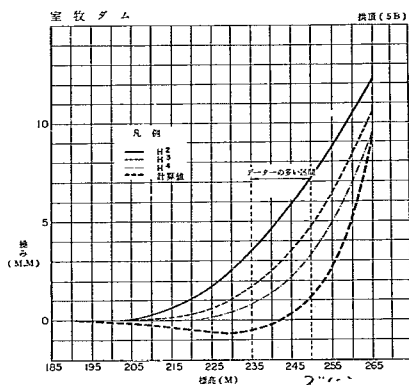
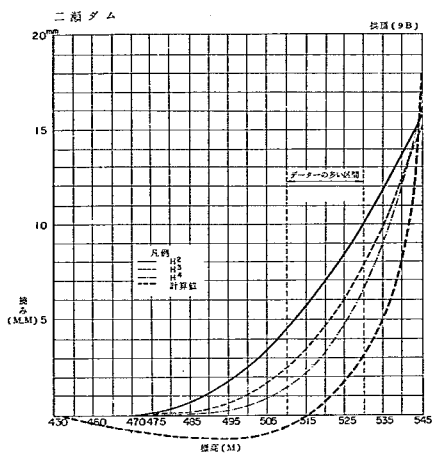
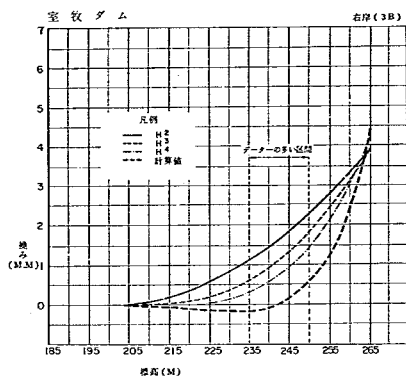
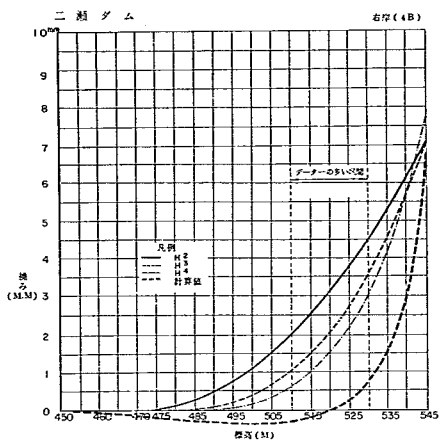


図-48 水位 - たわみ曲線 (b)

9.2 歪および応力

9.2.1 歪の解析方法

歪計は一般に5成分または9成分のロセットにして埋設される。二次元応力を求めるときに5成分歪計が、三次元応力を求めるときに9成分歪計が用いられるが、理論的には二次元応力を求めるときには $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ を求めるのであるから3成分でよく、三次元応力を求めるときは $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ を求めるのであるから6成分でよい。このように必要な成分数よりも成分数をふやして測定を行うのはそのうち1~2成分が破損したり、或は誤差をもった値を示しても、補正し得るよにという考えにもとづいている。このような補正を体積膨脹補正という。

一般に歪計により測定値に対し計器の温度補正を行う。これについては既に3章で述べたのでこゝでは省略することにする。次にコンクリートの温度補正を行う。これはコンクリートが温度変化 ΔT を受けた場合に、コンクリートが無拘束であるならば $C\Delta T$ (C はコンクリートの熱膨脹係数)だけ歪が変化する筈であり、若し拘束があって $C\Delta T$ より少い歪の変化しかない場合にはその量だけ拘束応力に転化する筈である。このコンクリートの膨脹に対する補正をコンクリートの温度補正と云い、一般に測定値に $-C\Delta T$ を加えることにより行われる。次に行われるのが前述した体積膨脹補正である。これは理論的に直交する三方向の歪の和はその方向いかに拘ず一定であるという法則がある。5成分の場合にはこのような直交する歪計が2組、9成分の場合には3組あるが、これらの歪の和は一致しないのが一般である。これを一致させるように補正するのが体積膨脹補正である。

従来は体積膨脹補正では誤差を各歪計に均等に配分する方法がとられて来た。しかし、前章の歪計の生死の判定の所で述べたように或る歪計ははっきりと水位や温度との対応性を示すに対して、或る歪計は対応性を示さず、理解し得ない動きを示している。このように外荷重に対し対応性を示すものと、対応性を示さないものと同等に扱って誤差を均等に配分することは正しい補正とは云い得ない。むしろ外荷重に対し対応性のよいものに補正量を小さくし、対応性の悪いものに対して補正量を多くする方法を検討すべきであると考えられる。

次にポアソン比の補正を行う。これは歪から応力に比例する量を求めるために行われ、一般に(9.1)式により行われる。

$$\epsilon_f = \frac{1}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\epsilon_1 + \nu(\epsilon_2 + \epsilon_3)] \quad (9.1)$$

さてこれらの補正が行われた後に、歪から応力への変換が行われる。これには次に述べる三つの方法が用いられている。

(i) 有効弾性係数法

歪計が埋設されている断面に作用する推力、曲げモーメントが既知で断面内の応力分布が未知のときはきわめて簡単な応力解析方法がある。

温度補正、体積膨脹補正、ポアソン比補正が行われた歪に弾性係数を乗ずれば応力になる。そこで推力および曲げモーメントが既知である断面に垂直な方向の補正された歪の分布図を描き、これにより囲まれる部分の面積と断面の重心の周りのモーメントを計算する。これらに弾性係数を乗じたものは推力、曲げモーメントに等しいはずであるから、両者の比から弾性係数を求める。このようにして求めた弾性係数の値から応力分布を求める。

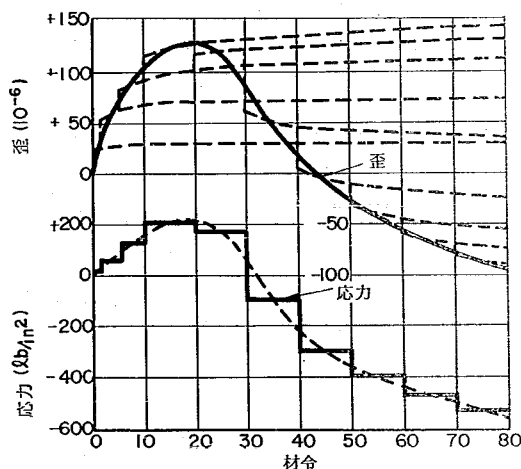
この方法はきわめて簡単であるが、静定構造物に対してのみ用い得るものであって、アーチダムのような不静定構造物には利用出来ない。

(ii) 米国開拓局の方法

この方法は米国開拓局により発展され、その後多くのダムの実測解析に用いられている方法である。

この方法はコンクリートにはクリープが生ずるが、荷重がその材令での破壊強度の $\frac{1}{2}$ 以下であればクリープ量は荷重に比例し、クリープに対してもポアソン比の値は変らないという仮定に立脚している。

まず種々の材令でのコンクリートの歪—時間曲線を描く(図—49)。次にポアソン比の補正を行った歪—時間曲線を描き、若い材令の部分では短く、材令が増えるに従って長くなる時間区間に分ける。各時間区間に対し、その区間での平均の材令でのクリープ曲線に相似な曲線を描き、これにより囲まれる面積と、補正歪—時間曲線にて囲まれる面積とが等しいようにす



図—49 歪応力—時間曲線

る。この各区間の境界における不連続的な歪の増分から、この区間での応力の増分を求める。かくして各時間区間の境界で不連続的に応力が変化する応力変化のグラフが描かれる。次に不連続な応力変化のグラフにより各区間で囲まれる面積が等しいような平滑な曲線を描く。これが応力の変化図である。このようにして各材令での応力が求められる。

この方法はクリープの影響を加味してあらゆる時期における応力を計算し得るので最も広く用いられているが、計算に多くの労力を要し、更にコンクリートのクリープに対する資料が必要であるので、手間を要する方法である。

ここで注意すべきことはこの方法で取扱うクリープはコンクリートのクリープであって、撓みの解析において述べた経年変化とは異っていることである。重回帰分析で現れる経年変化はコンクリートのクリープを含まれるが、主として岩盤のクリープや非可逆的な変形が主であることである。従ってこの方法により解析を行っても、経年変化は残っていると考えなければならない。

この方法は施工中の応力解析には極めて有力な方法であるが、湛水開始以降の応力を求める場合にはコンクリートの材令は或る程度大きくなっており、コンクリートのクリープはほとんど生じなくなっていると考えられるので、補正された歪に適当な弾性係数を乗ずることにより、応力が求められる。

しかし、この方法によるときは原因別に応力を分離分析出来ない、この点がこの方法の欠点とも云い得る。

(ii) 重回帰分析による方法

この方法は撓みの解析の所で述べた方法を応力、歪に適用する方法である。この方法は原因別に応力、歪を分離分析し得る利点を持っている。しかし、施工中の応力解析に用いるとき、コンクリートの打設面の上昇とクリープが時間に関係しているので分離が困難である。このため施工中の応力を解析する場合には前述した米国開拓局の方法が優れていると云い得る。

またこの方法は前章に述べたように温度変化によるものははっきりと分離されるが、水位によるものと経年変化によるものがはっきりと分離されないため、データーの多い水位区間の水位変動による応力歪の変化を知り得るのみである。従って水位による応力、歪をはっきりと求めることは出来ないが、原因別に分離分析し得る点で優れており、設計値と比較する上で最も有力な方法となる。

以上から、施工中の応力を求める場合には米国開拓局の方法が最もよく、湛水後の応力を求める場合には、重回帰分析による方法が最もよいと考えられる。また更に米国

開拓局の方法を用いた後に重回帰分析による方法を適用することも考えられる。

9.2.2 解析例

歪計、応力計の測定結果を解析した例としてはGrand Couleeダム、Shastaダム、Rossダム、Pieve di Cadoreダム、Cabrilダム等数多くあり、我国でも上椎葉ダム、井川ダム等が発表されている。しかし全般的にみて

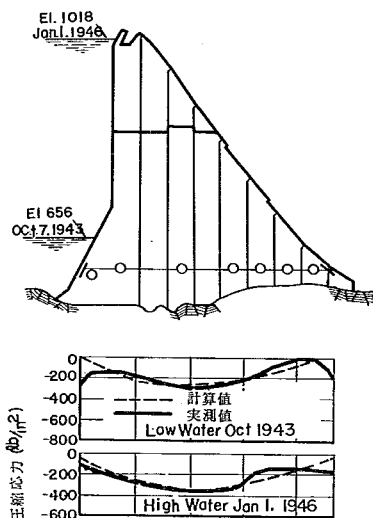
(i) 歪、応力は局所的な現象であり、局所的な現象は局所的な状況例えば継目グラウトの状況等により強い影響を受けかなり解析がむづかしい。

(ii) 測定値の不良、バラツキが撓みに比してかなり多く解析がむづかしい。

等により、撓みの場合より解析がかなり困難であるようである。これらのいくつかを通して共通して見出され、一般的に認められているのは継目はグラウト後も開いているのが多く、継目グラウト後も一体化していない動きが多いということであろう。

これに属するもので、代表的なものはShastaダムの解析、井川ダムの解析等があげられる。Shastaダムに於ては図—50に示すように歪計を埋設して測定を行った所、図の実線に示すような応力分布が得られた。従来のダムが一体の構造物であるとの考えに立つならば自重による応力は上流端で最大で下流端では最小の鉛直応力を示す筈であるが、実測値は中央部で最大の応力を示している。これはダムが図に示すように柱状のブロックに分けて打設され、各ブロックが個々に自重を受け持ち、変形が生じた後に継目グラウトが行われ、一体化されたためと解釈された。事実、そのような仮定で計算された応力は図の破線のようになり、実測値とかなりよく一致している。

井川ダムは高さ100mの中空重力ダムであるが図—51に示すような施工継目が設けられた。これらの継目には継目歯形が設けられると共に、継目グラウトが行われた。このダムの応力分布を求めるために図—51に示すように計器を埋設し、君島氏(電力研究所)が解析を行った。その結果は自重応力のみならず水圧荷重についても、



図—50 Shasta damにおける
計算値と実測値の比較

応力分布は継目の所では不連続的に変っており、ダムは一体化していないことが示されている。

これと同じような傾向は米国の重力ダムでも示しており、継目グラウトは継目における応力の不連続性を小さくするが、完全に一体化するものではないようである。

9.3 岩盤の挙動

マルバッセダムの破壊以来基礎

岩盤の安定性がダムの安全にとっ

て極めて重要であることが認識され、基礎岩盤の挙動についての測定がかなり行われるようになって来た。その代表的なものは黒部第4ダムの測定である。

黒部第4ダムでは図-12に示したように基礎岩盤内に三角形のネットを組みその変形を測定した。その測定結果に対し電力研究所の色部氏は解析を行い、アーチの推力と間隙水圧とを受けた時の岩盤内の応力分布を二次元的に求め、これから変位を計算し、実測値との比較を行った。その結果を示せば図-52の如くである。これによると各標高ともアーチスラストの方向には計算値よりも実測値の方が変位がかなり大きい、他の方向ではほぼ両者は一致している。これから、岩盤内では力の伝わり方は弾性体と異り、推力の方向に力が集中してかゝることがわかる。

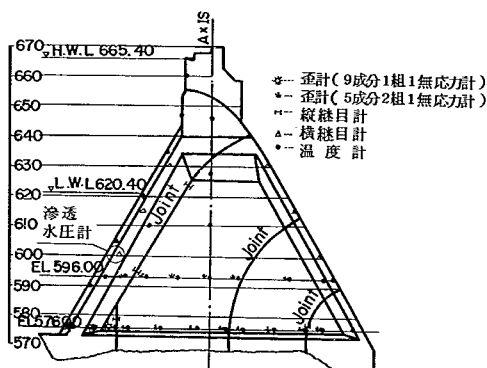
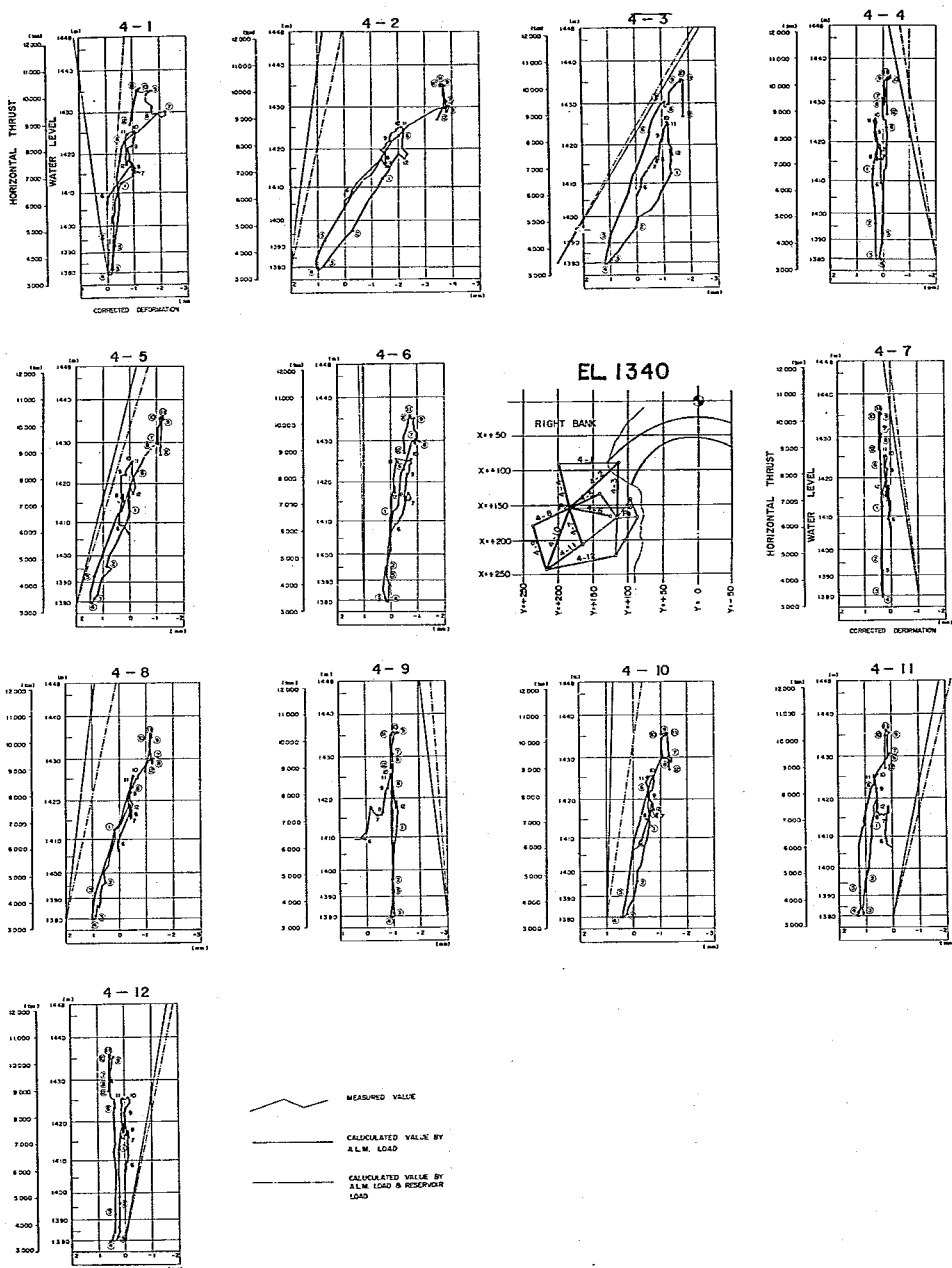


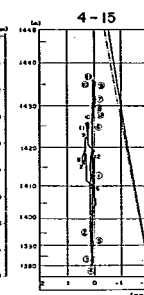
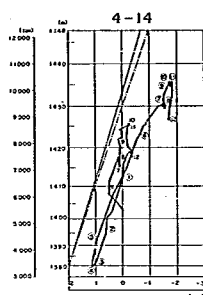
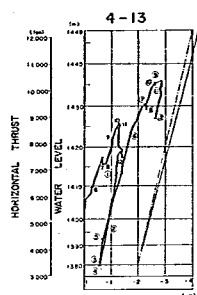
図-51 計器配置図

EL. 1340

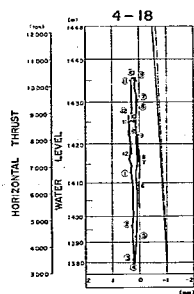
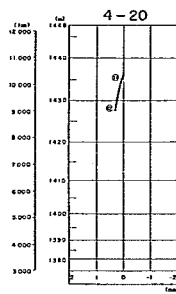
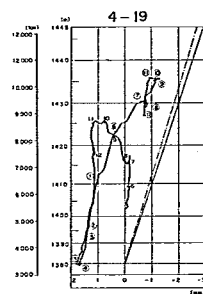
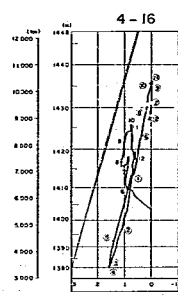
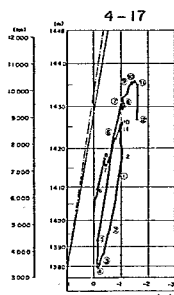
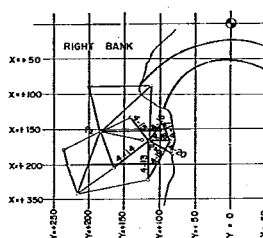


図一52(a) 岩盤変位計による測定結果と計算結果との比較
(右岸側EL. 1340 m)

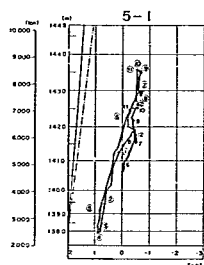
EL. 1340



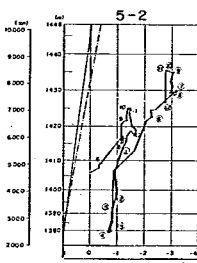
EL. 1340



EL. 1340-1350



EL. 1350



MEASURED VALUE
CALCULATED VALUE BY
SLM LOAD
CALCULATED VALUE BY
SLM LOAD & RESPONSE
LOAD

図-52(b)

岩盤変位計による測定結果と計算結果との比較
(右岸側 EL. 1340m)

EL. 1370

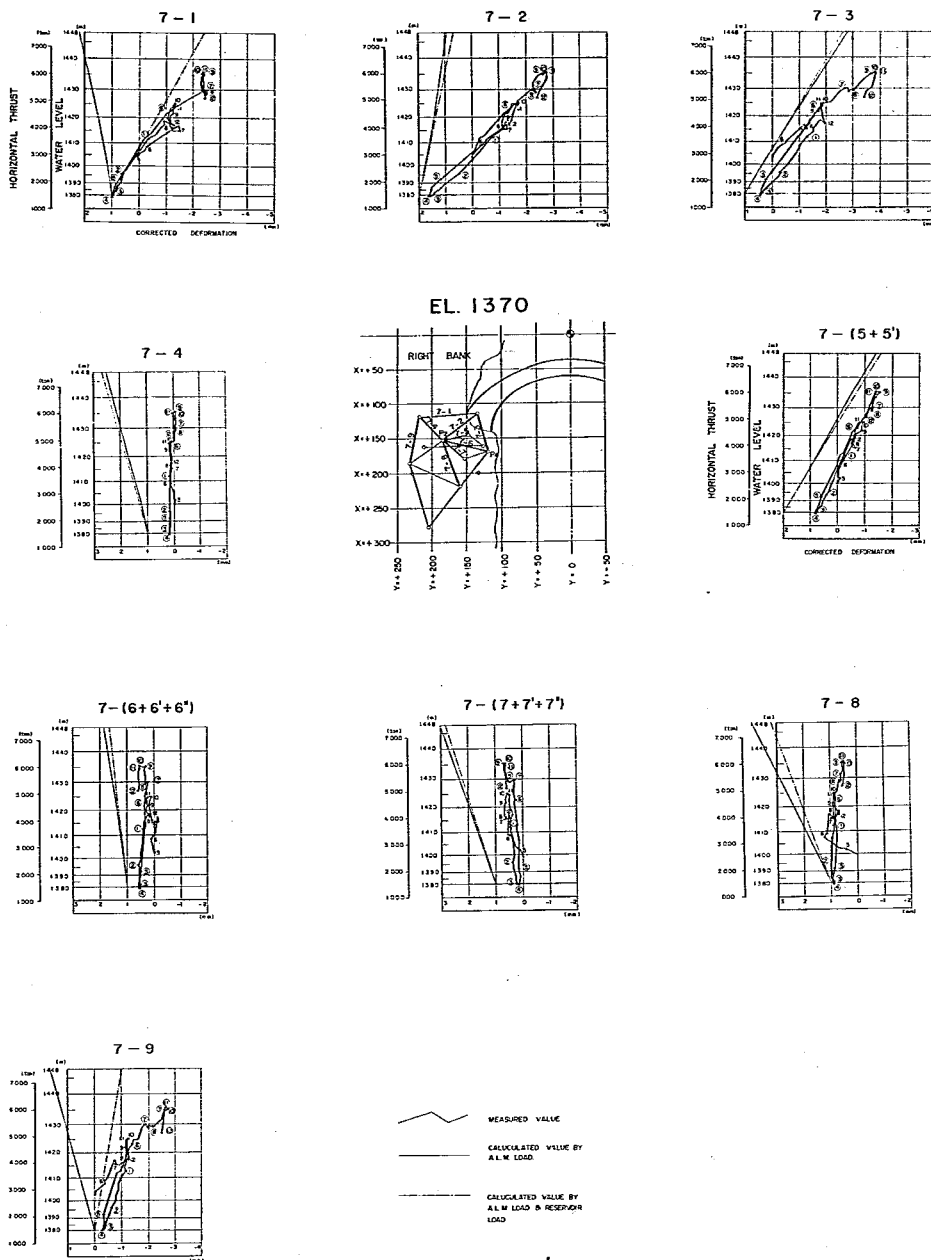


図-52(c) 岩盤変位計による測定結果と計算結果との比較 (右岸側 EL. 1370m)

10. 結 び

以上測定によるダムの安全管理を中心としてダムの測定全般について述べて来た。書いてみると我々の研究不足から曖昧な点もかなり多く、特に、歪計、応力計の測定値の取扱い方については更に検討を要することが痛感された。これらについては今後検討を加え、時期をみて改正していきたいと考えている。

わかり易くということを目的に実例を多く用いたが、我々の頭の整理が不十分なためか、記述にかなり重複した所も多く、かえってわかりにくくしている所も多いかと考えられる。これらについても機会を改めて改正したいと考えている。

最後に色々と資料をいたゞいた鳴子ダム、二瀬ダム、鶴田ダム、五十里ダム、茵原ダム、天ヶ瀬ダム、湯田ダムの管理所と宮崎県、富山県の方々に感謝する次第である。