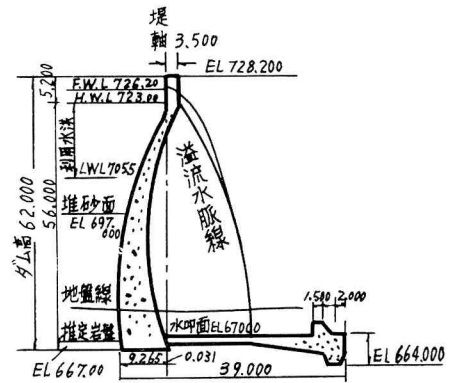


奥新冠アーチダムの挙動の実態について

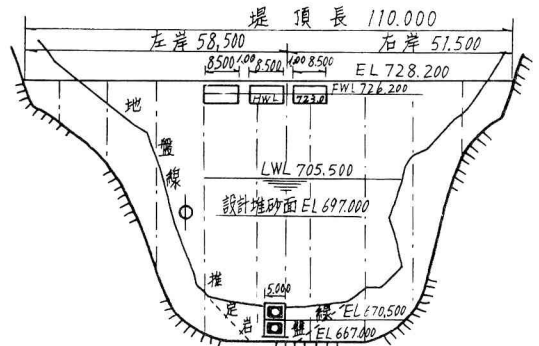
正員 茂利 義信*

1. はじめに

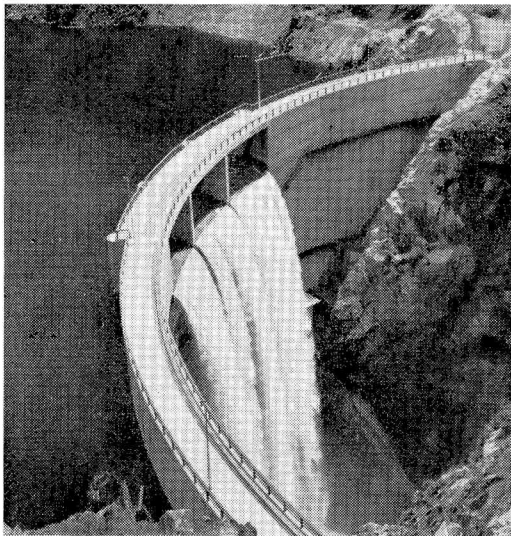
奥新冠アーチダムは、昭和37年11月15日本体打設を完了し、38年5月に湛水を開始した北海道で初めてのアーチダムである。このアーチダムは、当社日高一貫開発の最上流地点に位置し、本道でも特に寒冷地にあり冬期間は -30°C にも達する苛酷な気象条件にあります。このような気象条件に曝されるので、設計施工については特に慎重を期し、北海道で初めてのケースとして本格的に多数の計器を埋設した。この目的は、1) 施工管理を主体にし、基礎グラウト、コンクリート打設冷却効果の検照、ジョイントグラウト時の堤体の応力、温度、継目開き、基礎岩盤の隆起等を知ること。2) 完成した構造物の安全性を長期にわたり確認する手段を得るため。3) 本ダムは工事に先立って荷重試算法によって応力の解析を行ない、更に模型実験をも実施したが、応力状態の計算による取扱は、仮定や単純化を行なっていること、模型実験においては厳密な相似を満足させることがむずかしいこと、また実物においてはクリープによる応力の緩和、温度その他による局所的な応力の発生など知ることが出来ない。従ってダムにかかる実際の作用を綿密な



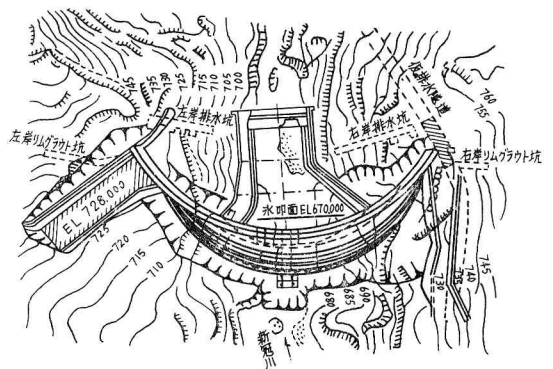
図—1 拱頂片持梁断面図



図—2 天端アーチ上流端展開図



写真—1 竣工した奥新冠ダム



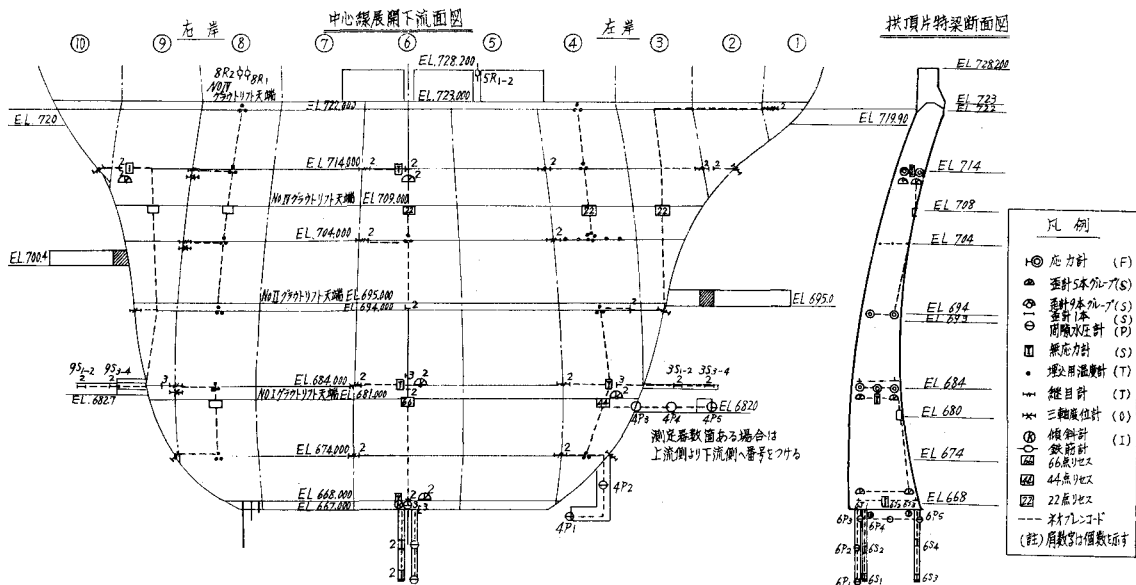
図—3 えん堤平面図

* 北海道電力土木部水路課

ない，施工時および湛水後の挙動について検討してみることにした。

現在、湛水して約2年を経過しただけでダムが安定状態とは云えないが、ここに中間報告として測定値の解析を行

本アーチダムの解析結果は、計器埋設 (1961 年) 後 1965 年 7 月までの資料について、この間のダムの代表的状態を



图—4 埋込計器配置図

表—1 奥新冠えん堤概要

ダムの型式	中央溢流変心型アーチ
高さ	61.2 m (基準高 59.2 m, 余裕高 2.0 m)
頂長	110.0 m
頂幅	非溢流部 3.0 m, 溢流部 4.0 m
基礎面最大幅	9.265 m
ダム体積	ダム本体 24,368 m ³ , 水叩 5,274 m ³
収縮継目の間隔, 構造	
横継目の間隔, 構造	間隔 12~11 m, 頂幅 800 mm, 深さ 400 mm
継目止水工	厚さ 1.2 mm, 幅 850 mm, Z 型銅板, ダム上流面より 250 mm に埋設
余水吐	
型式	頂部溢流型 (堤体中央自由落下式)
溢流頂長	8.5 m×3 門=25.5 m
減勢設備	減勢池式, ダムから下流 33.0, 深さ 3 m
放流設備	
放流管位置, 寸法	左岸 EL 697.00 (中心標高), 内径 1.2 m
バルブ	サービスゲート 1 門, エマージェンシーゲート 1 門

取り上げて検討を加えることにした。

2-1 堤体の温度

(1) 初期における温度

図-5は、ブロック中央における初期のコンクリート温度上昇の代表的曲線を描き計算値と比較したものであるが、これらの曲線から次のような結果を得た、夏季においてはコンクリート打設後コンクリート温度は20~25°C急上昇し5~7日の間に最高温度に達し以後降下して最終安定温度に向かう。これに対し寒中(11月初旬~4月下旬)打設のコンクリートについては、温度は緩勾配で15~20°C上昇し、10~12日で最高温度に達し、なめらかに降下し安定温度になる。これら夏季、寒中におけるコンクリート共温度が降下しはじめた頃に上部リフト打設することによってリフト面より、50 cm 前後までその影響を受け再び温度上昇する、特に寒中コンクリートにおいてはこの傾向が大きい。また計算値と比較すると図でわかる通り非常に早い時期に水和熱が発生飽和し、コンクリート温度は計算値、試験値、夏季、寒中といった順に温度上昇が違う。中でも計算値は、実測値より10~15°C前後実測値が低い、これはクーリングによる冷却効果が大きいことによるものである。図-6はクーリングが不可能であった昭和37年8月打設コンクリート温度上昇曲線を示したものであるが、大きな温度勾配をしめし、上昇値も最高温度となって停滞している。このままの状態の後クーリングを再開すると急にコンクリート温度が降下しクーリングによる効果を示している。クーリングは自然河水によるパイプクーリングを実施した。

また寒中コンクリートの温度勾配がゆるやかなのは、施工に当りコンクリート骨材はスチームにより加温し、混合水は電熱およびスチームにより温度を上げコンクリートの打設温度を高めたが、この地方のような寒冷地ではコンクリート骨材を暖めても完全に乾燥状態にすることは仲々むずかしく骨材が暖められるのは骨材の表面付近だけで、スチームの水蒸気が小さな水玉となって骨材のまわりに付着したり、中骨材、大骨材は内部まで暖められないで、コンクリート打設後セメント水和熱の発生により徐々に暖められて行き、骨材自体がプレクーリングと同じような働きをしているのである。

(2) 基礎岩盤におけるコンクリートの熱応力

ダム施工において注意しなければならない問題としてアバット面の基礎岩盤温度変動により引張力が生じ、ひびわれ、漏水等が起る原因になることがある。本アーチダムでもこの点からアバットの基礎岩盤に深さを変えて多数の温度計を埋設し、その対策とした。図-8はブロック8における温度測定の一部であるが、コンクリート打設による温度影響は岩盤深さ約0.4 m 前後で7°C、2 m 前後で3°C程度でそれ以上の深さにおいてはほとんど影響を受けずなら心配のないことを確めた。また期間的にみると約5カ月間で旧に復し、それ以後は同地点の実測年平均5°C前後の温度に安定し、年間を通じてわずかの温度周期を示すにすぎないことがわかった。

(3) 堤体の温度変動

ブロック8の(1部左岸ブロック4を利用)各断面の上流

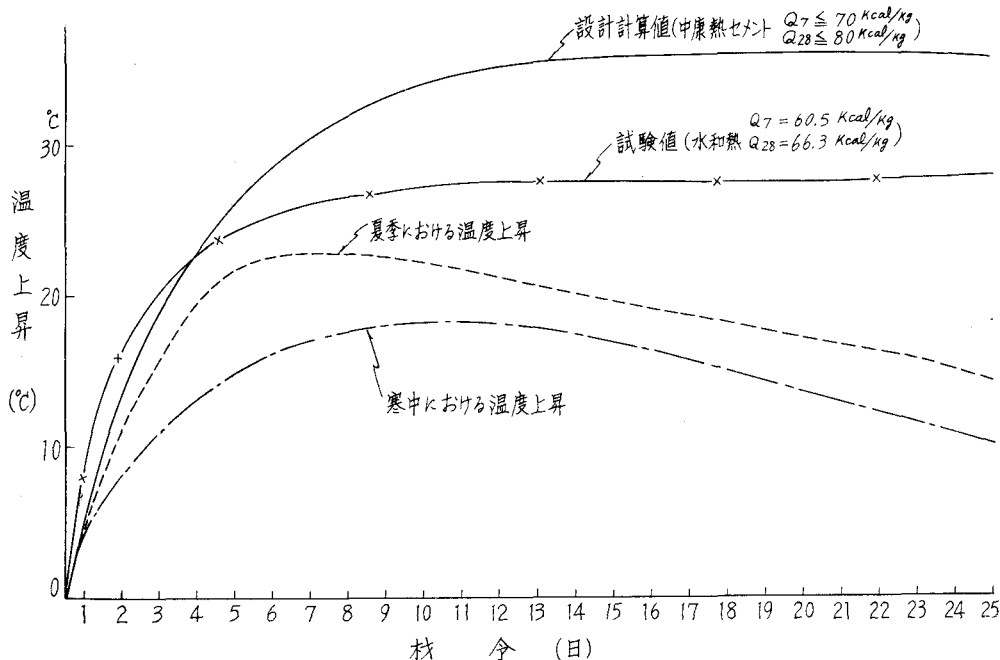
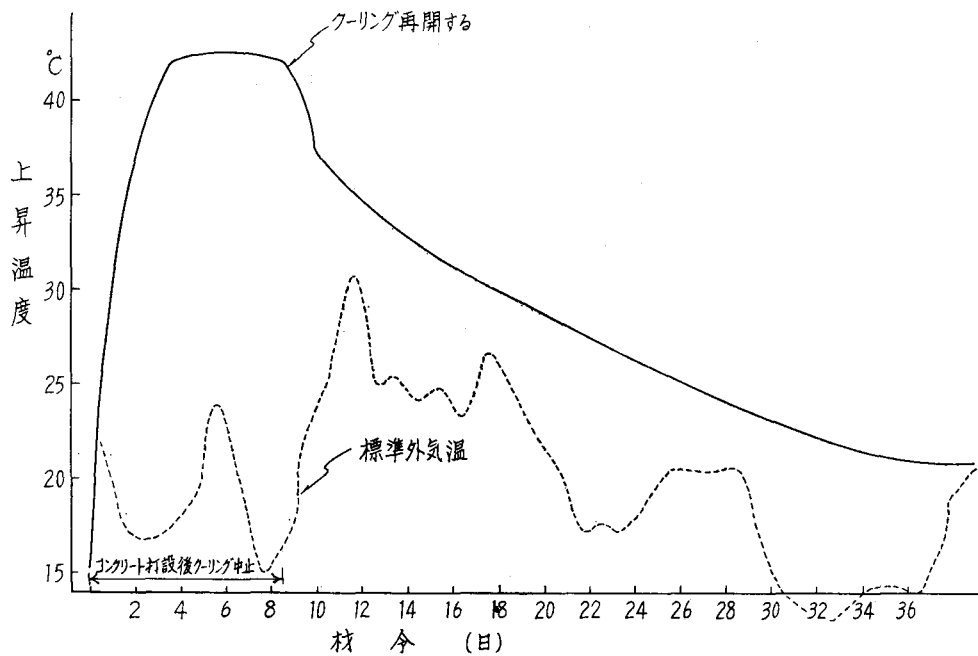
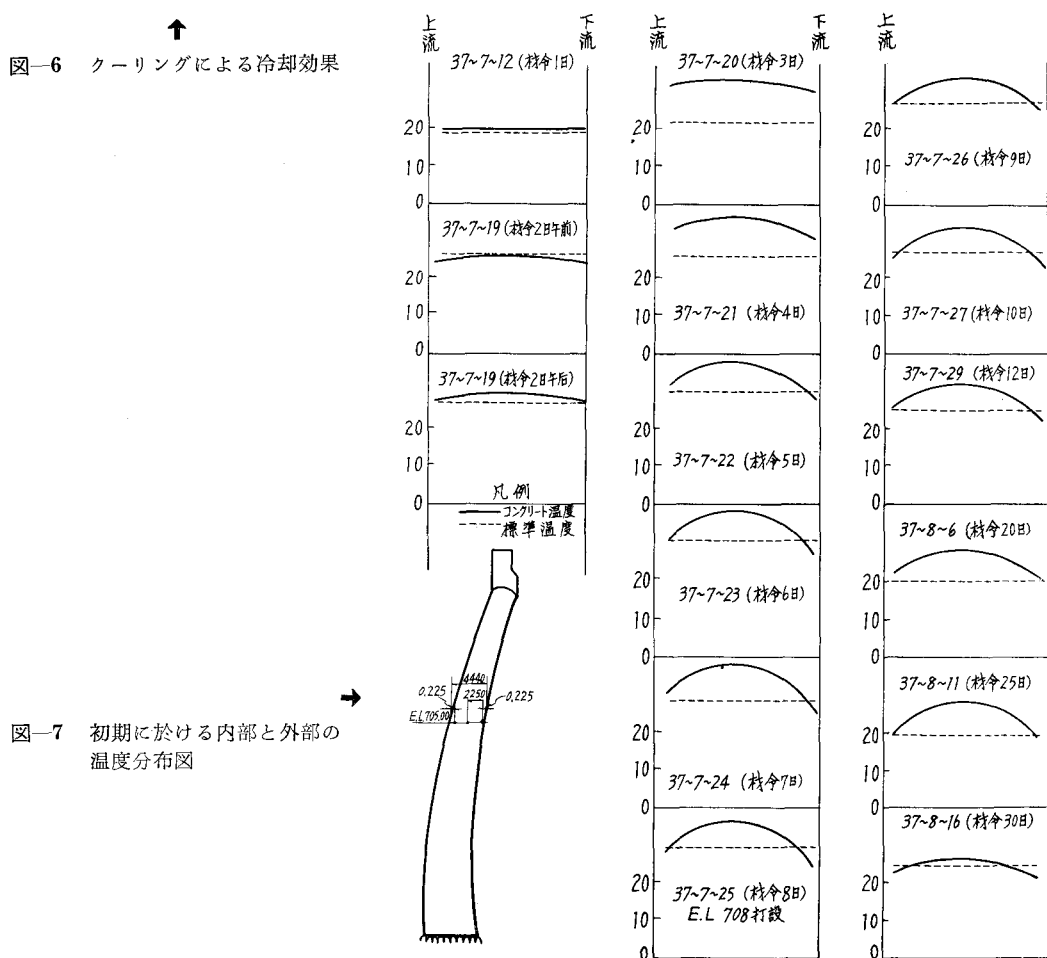


図-5 初期におけるコンクリートの断熱温度上昇曲線



↑
図—6 クーリングによる冷却効果



→
図—7 初期に於ける内部と外部の温度分布図

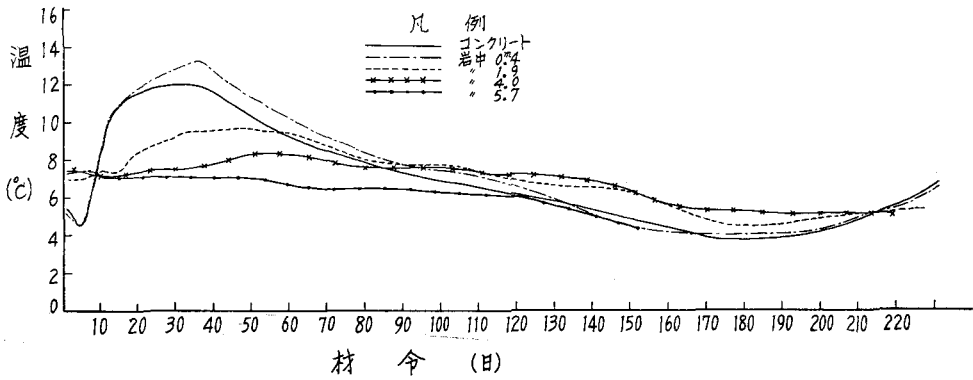


図-8 基礎岩盤温度変化

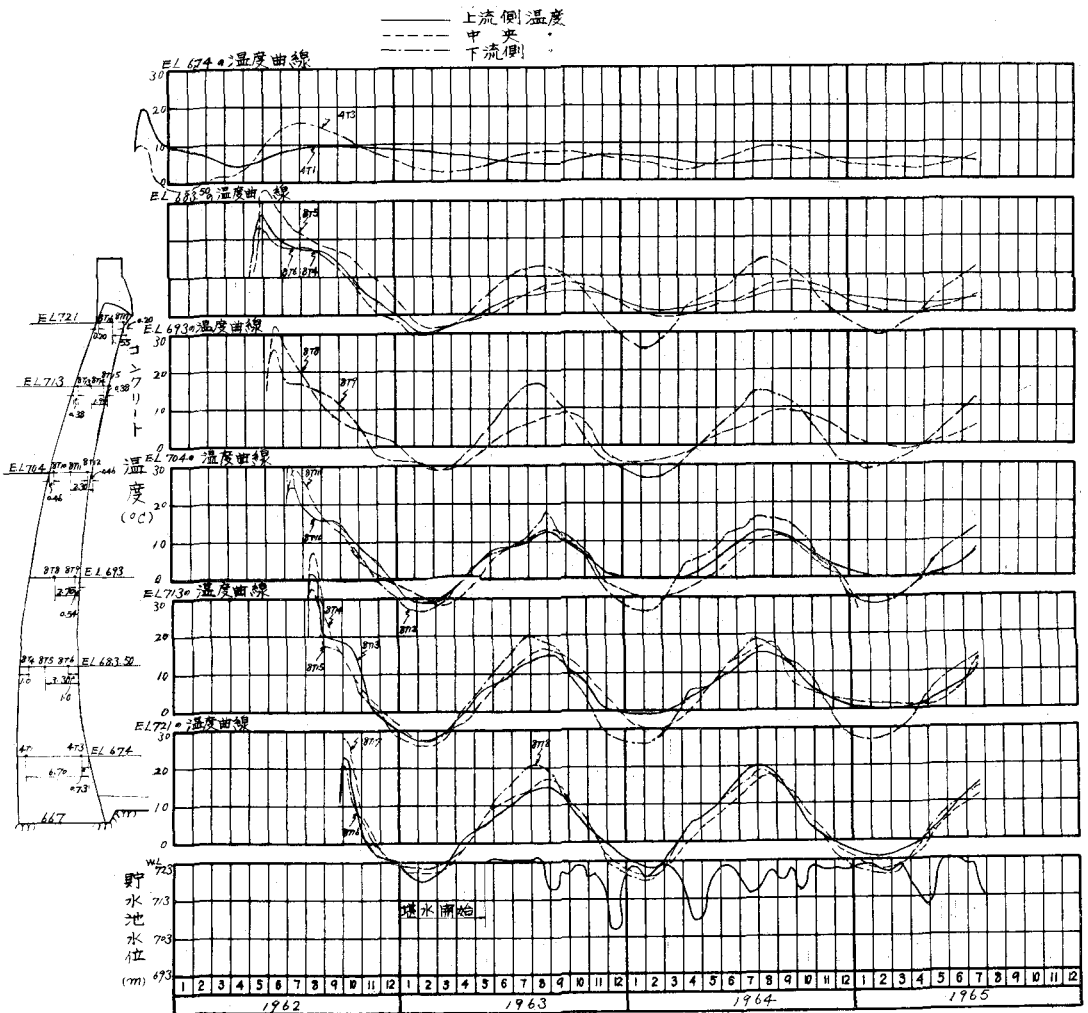


図-9 堤体温度履歴曲線図

側、中央、下流側の温度計による堤体の温度変動カーブを描いてみると(図-9)ほぼサインカーブに近似した曲線を描いて季節的に変動している(種々の点のコンクリート温度履歴図略す)。

上流表面の堤体温度変動は、ダム底部においては湛水後、貯水池水温の影響を受け貯水池水温に近い堤体温度となっており、なおかつ底部においては貯水池水温の対流が少ないため堤体温度も年間 5°C 程度の温度変動しか行っていないようである。しかし中間に行くに従い堤体温度は貯水池水温の対流による影響を受け、気温に貯水池水温の変化が加算されたような曲線を描いている。上部では貯水池水位の昇降により露出している期間が長いことため堤体温度は太陽輻射の影響が大きく作用し、堤体の中央、下流と一致した季節の変動を行なっている。堤体上流面の年間振幅をみると満水面下水深40m位までは貯水池水温年変化による対流が顕著におこっていることが考えられる。

これら上流側に対し堤体の中央、下流側は(1部中央中間において外気温の時間的ずれもあるが)貯水池水温の影響はまったくなく太陽輻射等による外気温の季節的变化を受け、オーバーハングされたダム下流側のせばまった状態からダム上部に行くに従い夏冬の振幅が大きくなる傾向を示している。

2-2 継目の動き

(1) 伸縮継目の効果

ダムの伸縮継目は、ダムの一体化を阻み、変形、応力を混乱させ、設計仮定と実際とを大きく相違させて我々を困らせるものの一つである。

図-10はブロック6~7間(クラウン附近)の継目間隔の年間変動を示す一例である(他の結果は省略する)。

(イ) ジョイントグラウトについて、設計条件に近い構造物を施工するために施工するジョイントグラウトの施工はその時期と継目間隔の状態を知ることがもっとも必要なことである。図でもわかる通りもっとも有効な時期は継目間隔の大きい2~3月が適当であり効果的であることは明らかであるが、この地方のように冬期間 -30°C にもなる寒冷地においては、マニフォールドや途中の配管が凍結し作業は非常に困難であり不可能とさえ思われる。本ダムでも12月と次年の湛水前5月の2回、ジョイントグラウトを実施したが、2回目のリグラウトの方が結果は良好であった。これらの経験から、寒中に向かう時期よりも(実際は寒中と同じであるが)暖かくなる4~5月に行なう方がその成功率が多く作業もしやすいので、ジョイントグラウトの時期は、継目間隔が縮ちみ始める4月頃が、この地方ではもっとも良いように考えられる。

(ロ) 湛水前のダムのジョイントの状態は外気温の影響が大きく、夏季においてはコンクリートが伸び、ジョイントの開きは小さくなり、冬季は反対にコンクリートが縮みジ

ョイントの開きが大きくなる。このような動きは他のジョイント間でも見られ、ダムはあたかも呼吸しているかのように開閉運動を行なっている。

(ハ) さらにジョイント間隔の分布を観察すると、単にモーメントにより上、下流点が直線的に開閉運動を行なっているのではなく、冬季は中閉み型、または凸形に、夏季は中開き型、または凹形の曲線の形状の開きを行なっていると思われる。

(ニ) このようなジョイントの動きは、ジョイントグラウト後にも表われ、一体化の仮定を達成することは困難である、他の測定結果から推定されるように伸縮継目の存在は過大な応力を緩和する働きをもつもので、ブロック相互のなじみをよくし自己調節作用をし、計算値より小さい(応力については後述する)応力値を示す原因となっている。

(ホ) 一般的な継目の動きは、温度変化、岩盤の変形ダムのタワミ等と同一傾向を示し、自重、静水圧等よりは温度変化、岩盤変形の影響が大きいといわれている。(特に薄いアーチダムにおいては影響が大きい)。したがって後者が、応力変化の支配的要素と考えられている。しかしながら当ダムの実測結果では静水圧により継目は一時的に閉みを示し、その後の温度変化による影響は少なく、湛水後は、ほとんど自由な開閉の動きを示していない。これは静水圧の影響が支配的であるためと思われる。

(ヘ) ダムの各継目間隔は一般的に底部よりも中高部においては(上流向けオーバーハングのかかなり大きなドーム型ダムではこの傾向が多い)開く傾向を持っている。換言すればあたかも曲った腰を折られるような傾向を示しているが、本ダムでは湛水前(自重のみ)は、反対の中低部において開く傾向にあった。このことはタワミ量の少ないことから考えられたが、湛水後の絶対値を見ると、先に述べたようにあまり変化がないので、施工による影響か、あるいはブロック体積の違い、打設時期の(夏冬の)違いといったようなことの影響で、一般に考えられる高部はフリーになりやすく低部においては固定されているといったような状態を見ることができなかった。

2-3 基礎の滲透水圧

最近諸外国におけるアーチダム事故の多くの原因は間隙水による岩盤の不安定による場合が多いようである。当ダムでもこれらのことを十分留意し、コリソリデーショングラウト、シームグラウト、コンタクトグラウト、カーテングラウト、リムグラウト等を行ない、特にカーテングラウト孔深は基本孔、中間孔共 $H/3+15\text{m}$ とし双方共ダイヤモンドビット(径46mm)で穿孔し、最大 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力で注入を行ないダムの上流面のZoneに沿って鉛直より若干下流方向に傾斜させ、孔間隔は2.5mとし、一部透水量の多い耐圧強度の低い箇所は2列に2.0~2.5m千鳥配列として基礎処理を行なった。これらグラウト後の基礎岩盤が

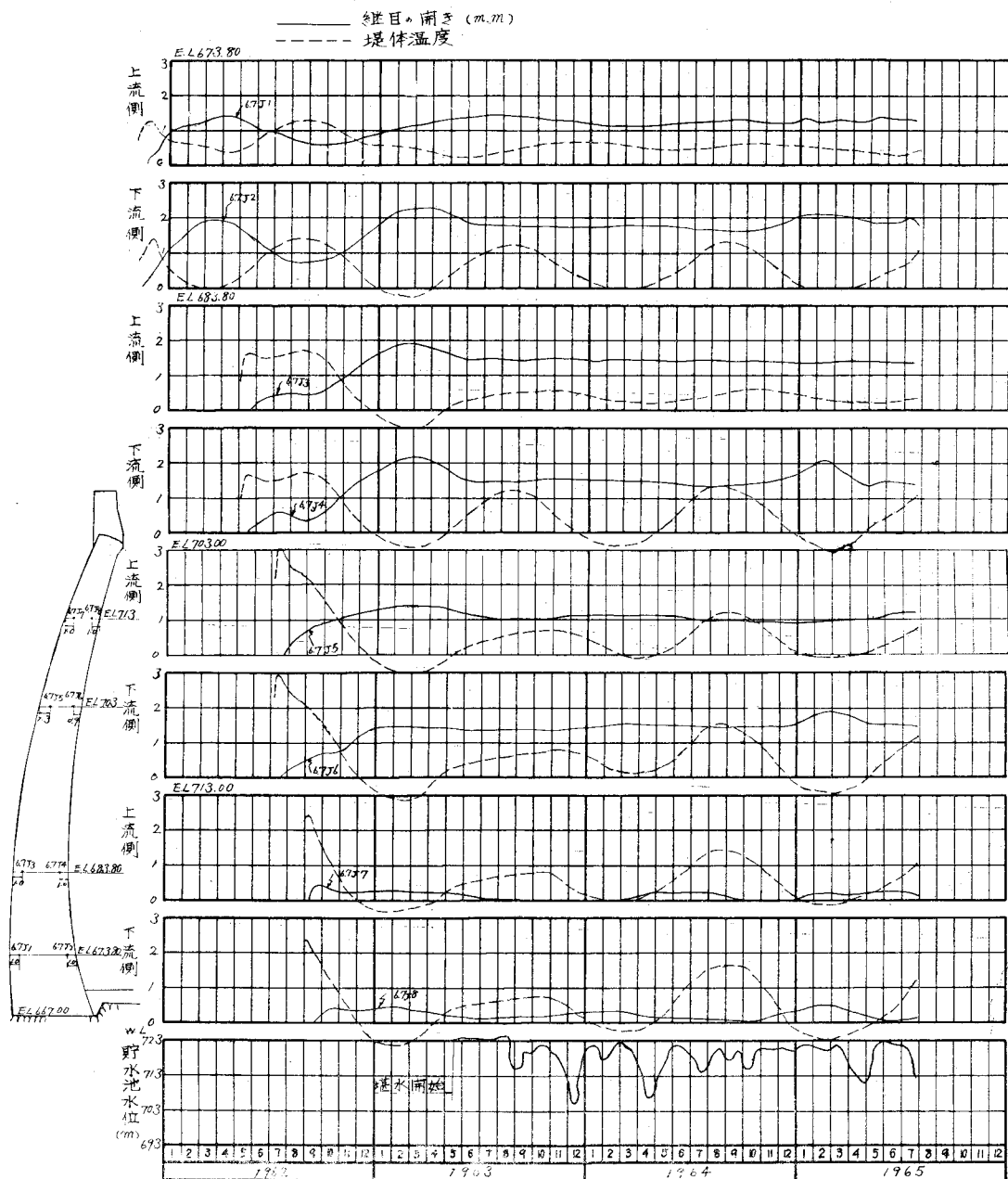


図-10 継目収縮履歴曲線図

実際に watertight screen となっているかを知るため、各ブロックに岩盤隆起計、ブロック6および各試掘坑に間隙水圧計を埋設してその効果を検討した。

図-11はブロック6の基礎岩盤に埋設された(他の結果は省略する)間隙水圧計による渗透圧の経年的変動を示したものである。これよりカーテングラウト注入後は一時、水圧は減少し、その効果を期待したが、1日程度経過してから再び揚圧力の上昇を来たしていることがわかり、core

を採取し、ミルクの注入状況を観察したところ、チャート層のような明らかな亀裂や空洞部分に対してはミルクの注入層の介在を確認したが、輝緑凝灰岩層においては確認できなかった。その他新たに検査孔を掘って調査をした結果、各種グラウトによる基礎岩盤等の透水性、揚圧力の減少については一般に期待されるようなものでなかった。このことは採取した core にミルク注入された Joint を見ることができないからといって、グラウト孔が少ないと考

えたりしてグラウト孔を増して工費を増大しないでそのグラウトの効果は効率*をもって表わすのが妥当であると思われる。グラウトにより watertight screen を形成し揚圧力軽減を期待することは困難であることを経験した。このような結果から湛水後の揚圧力の上昇も考えられるので揚圧力を軽減させるため水叩岩盤接触部に木製排水管（高さ 30 cm×幅 30 cm）を格子状に配置し、エンドシル両端に設けた排水ピットへ全滲透水を集中させ、5 吋の排水パイプにより堤外に排出し、また、ダムアバット下流側ダム中間附近に堤体地山からのまわり水を抜き、地下水が凍結しないよう左右両岸に排水坑を設けるなど滲透圧の軽減に心掛けた。これらの経験実測から

(イ) 各種グラウト工法は、基礎岩盤を改良したり、比較的大きな空洞、間隙を填充し地下水の流速を小さくするためには必要であり、効果的と思われるが、一般には、現在のセメントその他の材料によるグラウト注入ではいわゆる watertight screen を形成することは困難である。これは主として岩盤の性質および注入材料によるもので、必ずしもグラウト技術の未熟によるものではないと考えられる。

(ロ) 一般的にカーテングラウトによって背後の滲透圧の低減、流量の減少は期待されるほど大きくないが、ぜんぜん効果がないと判断することは早計で、効率*をもって表

わすのが妥当であり、揚圧力を減少させるには排水孔を適切にもうけるか、追加すれば有効であろうと思う。

① いま一次元の地下流について考察してみる。

図に示すような厚さ L の浸透層の中間にグラウテングによる透水係数の低い厚さ L_2 の層が介在し、これと直角の流れの流入圧力および流出圧力をそれぞれ P_1 および P_2 とし浸透層および中間層の透水係数をそれぞれ K_1 および K_2 とすれば、グラウトカーテンの効率は次式で与えられる。

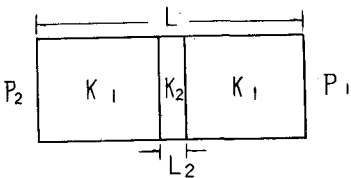
$$E_c = \frac{\beta(1-\alpha)}{\alpha(1-\beta)+\beta} \times 100\%$$

ここで

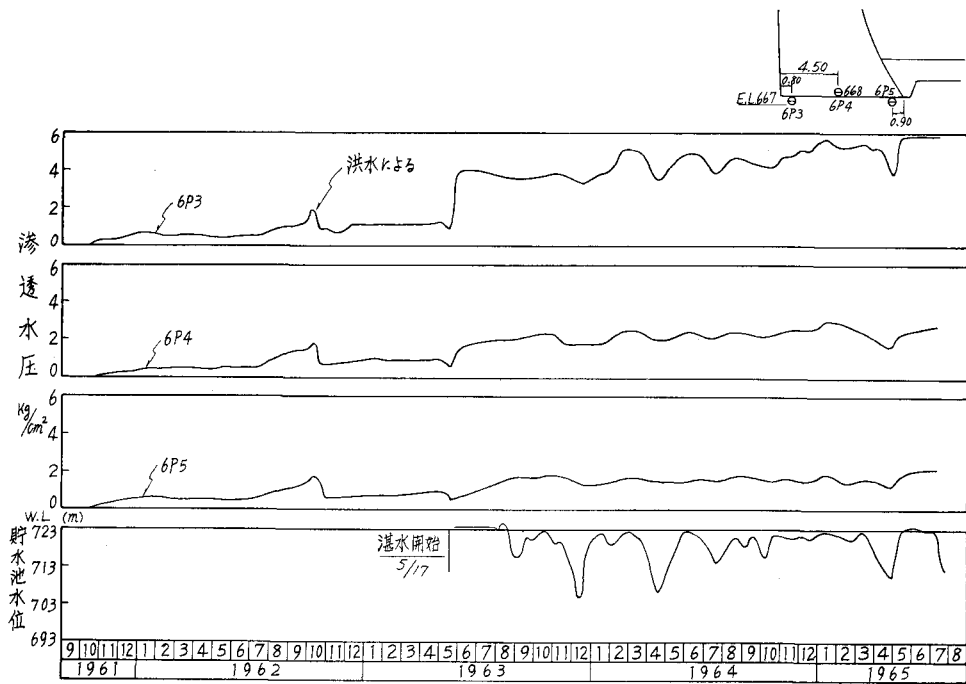
E_c : グラウトカーテンの効率

α : K_2/K_1

β : L_2/L_1



(グラウトカーテン効率の計算仮定)



図—11 基礎の滲透水圧履歴曲線図

* アーチダム設計基準によると、最近のアーチダムにおける効率は次のように考えられている。①しかしこの式は一次元の仮定において求めたもので、地下水は非常に複雑なもので一次的に考えられるものでなく、効率を表わす便宜的式であることをお含み願いたい。

2-4 応力状態とその考察

(1) コンクリートの熱膨脹係数

コンクリートの熱膨脹係数を正確に知ることは、コンクリート構造物の安定性を確めるための重要素の一つである。本ダムでも、コンクリート示方配合に基いて、コンクリート熱膨脹係数測定用供試体を作成し、冷凍機およびヒーターの交互作用で試験槽温度を約10~40℃の間で上昇、降下せしめ、その間1時間ごとに、埋込んだカールソン型ひずみ計により測定した。この結果からコンクリートの熱膨脹係数は、そのコンクリート中に含まれる粗骨材量が多くなるほど小さくなる傾向が認められ、本ダムのコンクリート熱膨脹係数は $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度であろうと判断された。この試験値が、実際のマスコンクリートとどの程度近似するかを調べた結果は図-12に示す通りである。この図より s_{10} の値はセメント水和熱の発生によりコンクリートの温度が上昇して、その後温度が最終安定温度に向かって降下していく期間で、この間にはかなりのコンクリート膨脹収縮が生じているようである。 s_{10} はコンクリートが安定した状態に達した後の動きで、一定の勾配を示している。この結果、本ダムのコンクリート熱膨脹係数は $8 \sim 9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ となり試験値 $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、計算値 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と比較して大差ないことが明らかになった。

(2) ダムの応力解析

1) 応力計算の概要

本ダムの応力計算は荷重試算法により行ない、ダムは完全なる対称形でないので、ダム全体について解析をした。

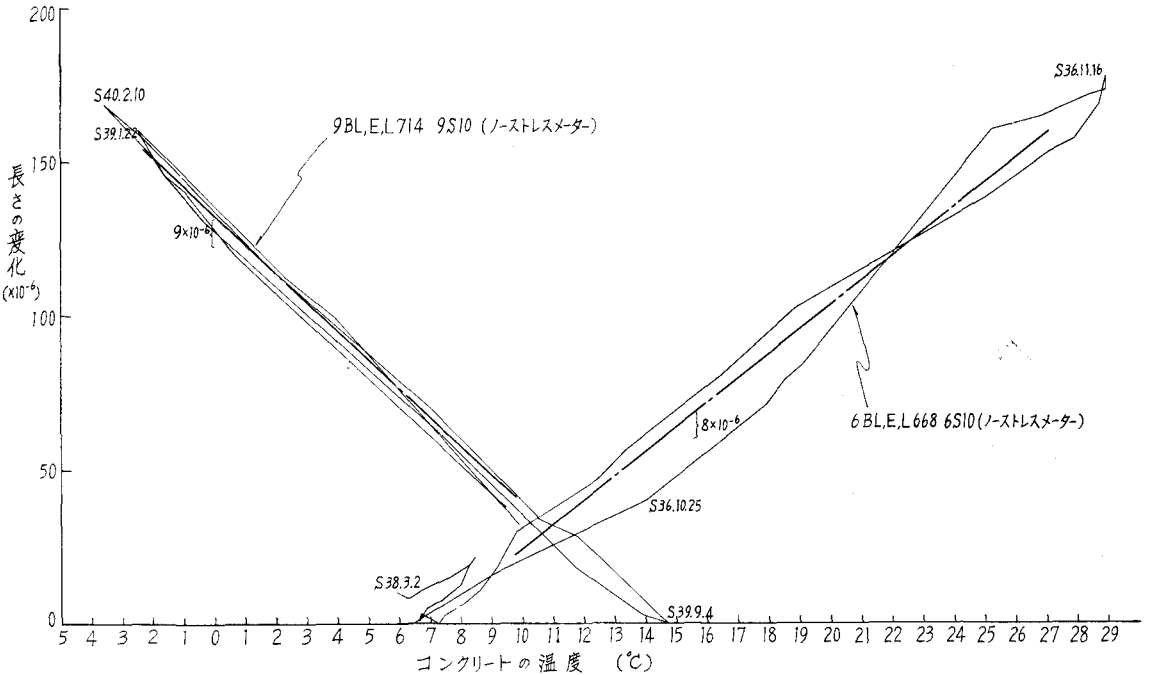


図-12 コンクリート熱膨脹係数

計算に用いた要素は、アーチ要素4本、片持梁要素7本として、調整変位は半径方向変位のみとし、拱頂片持梁調整、完全半径方向調整を採用し、それぞれについて無亀裂、亀裂の検討をした。この結果、アーチおよび片持梁の最大応力は表-2の通りである。

2) 応力の最大値

今回取り上げた1961年から1965年7月までの種々測定の実験履歴が図-13から図-22に示されている。その中で、応力の極値は(但し埋設後の不安定時における値は除く)、圧縮ではEL694ブロック6水平方向の下流に1964年夏に生じた応力計による約 30 kg/cm^2 がある、引張応力最大値は約 -2 kg/cm^2 程度顕著に出ているがほとんど認められない。ここで机上計算、模型実験、および実測結果の3者の総合的比較を行ない、相互に反省を行なってみる(表-3参照)

(4) 下流面アーチ応力

クラウンでは計算値が実験値より小さく、最大値では計算で約 4 kg/cm^2 、実験で約 26 kg/cm^2 となり、実測値は約 30 kg/cm^2 位で、実験値、実測値が近似した値を示し、熱応力の加算よりも、自重、静水圧の影響を大きく受けているように思われる。アバットでは標高により結果は異なるが、実験値、計算値共最大値として約 50 kg/cm^2 、 48 kg/cm^2 を推定していたが、実測値では、これらに推定されたようなモーメントによる著しい応力の加算がなく(恐らく継目、岩盤等の伸縮による応力自己調節作用およびファイレットの影響)推定値よりかなり下廻る応力が大部分である。また

表-2 アーチ各解における最大応力一覧表

解 析 種 別			ア ー チ 応 力				片 持 梁 応 力			
			最大引張応力		最大圧縮応力		最大引張応力		最大圧縮応力	
			応力値	発生箇所	応力値	発生箇所	応力値	発生箇所	応力値	発生箇所
静 荷 重 時	拱梁 頂片 調整	無亀裂解析	⊖5.27	E.L 678 クラウン 下流側	46.23	E.L 693 左アバット 上流側	⊖21.47	拱頂片持梁 基礎上流側	45.75	拱頂片持梁 基礎下流側
		亀裂解析	⊖5.10	"	50.39	"	⊖ 0.72	拱頂片持梁 E.L 678 下流側	50.69	"
	完方 全向 半調整	無亀裂解析	⊖5.54	E.L 678 左アバット 下流側	47.79	E.L 693 右アバット 下流側	⊖22.35	拱頂片持梁 基礎上流側	47.31	"
		亀裂解析	⊖5.14	"	48.90	"	⊖ 3.45	拱頂片持梁 E.L 678 下流側	50.88	"
動 荷 重 時	拱梁 頂片 調整	無亀裂解析	⊖5.47	E.L 678 クラウン 下流側	48.22	E.L 693 左アバット 下流側	⊖23.10	拱頂片持梁 基礎上流側	47.02	"
		亀裂解析	⊖4.70	"	53.54	"	⊖ 2.73	拱頂片持梁 E.L 678 下流側	52.01	"
	完方 全向 半調整	無亀裂解析	⊖5.18	E.L 678 左アバット 下流側	50.34	E.L 693 右アバット 下流側	⊖24.66	拱頂片持梁 基礎上流側	48.75	"
		亀裂解析	⊖4.47	"	52.11	"	⊖ 1.22	片持梁 LC ₃ 基礎上流側	53.21	"

表-3 計算，実験，実測値による応力比較

	E. L	水 平 応 力 (kg/cm ²)									鉛直応力 (kg/cm ²)		
		右岸アバット			ク ラ ウ ン			左岸アバット			計算値	実験値	実測値
		計算値	実験値	実測値	計算値	実験値	実測値	計算値	実験値	実測値			
上 流 側 応 力	723	8.56	10.8		21.49	18.5		10.87	25.6		0.40		
	714	6.21	-2.6	12.0	32.12	15.5	10.0	10.49	14.0		6.00	5.2	
	694	0.71	-8.9	26.5	42.70	16.9	26.0	2.79	14.2	12.0	20.78	11.0	
	684	-1.11	-0.6	12.5	32.60	18.0	22.0	-2.42	8.1	6.5	14.87	11.1	7.5
	668		19.4			10.5			5.3		-19.22	5.7	17.0
下 流 側 応 力	723	14.18	30.0		0.99	-14.3		11.82	25.8		0.46		
	714	30.59	43.4	22.0	3.81	- 0.3	11.0	26.12	33.5		0.12		
	694	47.37	49.8	27.0	3.34	26.0	30.0	45.24	27.2	17.0	-4.95	-1.2	
	684	38.23	9.3	22.0	2.45	24.8	23.5	39.70	19.6	9.5	4.58	-8.3	11.0
	668		1.0			15.0					43.45	4.7	14.0

注 水平応力計算値は完全半径方向調整無亀裂解析静重時（静水圧，堆砂圧，自重，水重，温度）を用いた
鉛直応力計算値は拱頂片持梁調整無亀裂解析静重時（静水圧，堆砂圧，自重，水重，温度）を用いた
実験値は静水圧，堆泥圧，自重を考慮
実測値は 1961～1965 年 7 月までの応力計応力の最大値を採用
負号は引張応力
 $E_C/E_R=3$
実測値，模型実験値，計算値の位置が違ふところはその間は比例配分により求めた値を採用

これらアバットの実験値，計算値は，クラウンを上廻る応力絶対値を推定しているのに，実測値ではアバットの応力がクラウンより小さい値を示しているようである。

(四) 上流面アーチ応力

計算はクラウン上流面応力では，相当大きな圧縮応力を

示し，最大値約 43 kg/cm² を推定しているが，実験値，実測値は約 18 kg/cm²，26 kg/cm² と小さく下流面とまったく反対の傾向にある。しかし全体に引張応力はなく，また下流面と同じような実験値，実測値が近似した値を示している。アバットでは，一般に近似した値を示しているが，

実測値が一番大きく、下流面と比較するとあまり変化がなく(少し小さい程度)実際の構造物においても計算値にみられるように、上、下流面の応力が極端に違うことはないようである。

イ) 鉛直応力

鉛直応力は実測値が少なく、鉛直応力分布の頂部から底部の反転モーメントを知ることはできないが、ただ計算では基底部の EL 668 では上流面で引張応力約 -20 kg/cm^2 、下流面で圧縮応力約 44 kg/cm^2 といった値が推定されていたが、実測値ではほとんど引張応力が表われずむしろ上流面に圧縮応力 17 kg/cm^2 を示している。

以上のことから応力の値を模型実験値、計算値、実測値と比較し、実測最大値は推定値の略 1/2 程度と想定される。

3) 応力の解釈

応力履歴をみると既述のようにクラウン、アバット共計算時の傾向とは甚しく違った傾向を示している。一般に薄いアーチダムでは太陽の輻射、貯水池水温等による熱応力はダム応力の支配的影響を与え、水圧や自重等における構造的応力を圧倒すると論じられ、本ダムと近似型の S ダムにおいてもこのような実測結果が報告されている。本ダムでも、熱応力の影響が一部下流側に表われている。3年間の応力履歴から温度の影響、水圧の影響等に分析し定量的解釈を試みたかったが、信頼性に乏しく部分的に定性的な解釈をするにとどめた。応力計と歪計から計算した応力の差については今後検討すべき問題と思われる(計器の機能、材質等面倒な問題と考えられるが)。

EL714 から EL684 までの上流側応力は、EL694 附近が大きな応力を示し計算と似た傾向をしている。また応力変化も水位の昇降に相似的に比例しているのがみられる。図-16, 18, 21 の下流側応力の大きいところは年周期温度の昇降が大きいところであり、静的な荷重の他に、恐らく温度による影響を受けているのではないかと思う。現行のアーチダムの設計基準では、堤体温度の降下による応力は静水圧による応力と重畳されるので(温度上昇により、一般に片持梁およびアーチの曲げモーメントならびに半径方向せん断力は、水圧荷重等による曲げモーメントおよび半径方向せん断力と符号が反対となり安全側になる)一般にアーチ作用が確認された後の温度降下(最低温度時)を考慮しており、かつ厚さ(断面内平均温度)方向の様な温度変化だけを考えることにしているが、実際には年周期温度の最上昇時に最大圧縮応力が発生していることが測定された。このことから当ダムのような薄いアーチダムにおいては年間最高温度上昇により最大応力が生ずることもあるから温度上昇においても考慮する必要がある、このときダム上～下流面の断面の温度差(曲線の断面をしていること)も考えるのが妥当と思われる。アバットの応力分布では計算推定値ほどモーメントによる上、下流の甚しい応力差は認められない。恐らく伸縮継目の応力の自己調節作用、岩盤(コンクリートも含む)の永久変形やびわのため完全固定の条件から実際とはほど遠く、上、下流間温度勾配も他のコンクリート部分に比べるとかなり小さい等の理由に基づくものでないだろうか。以上のことから、全般的に実際

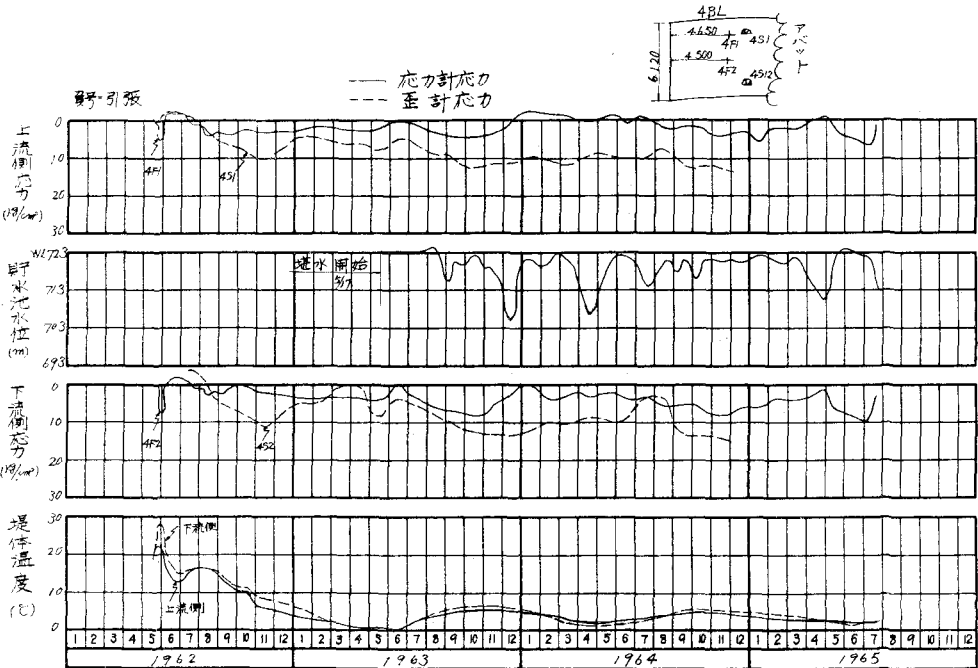
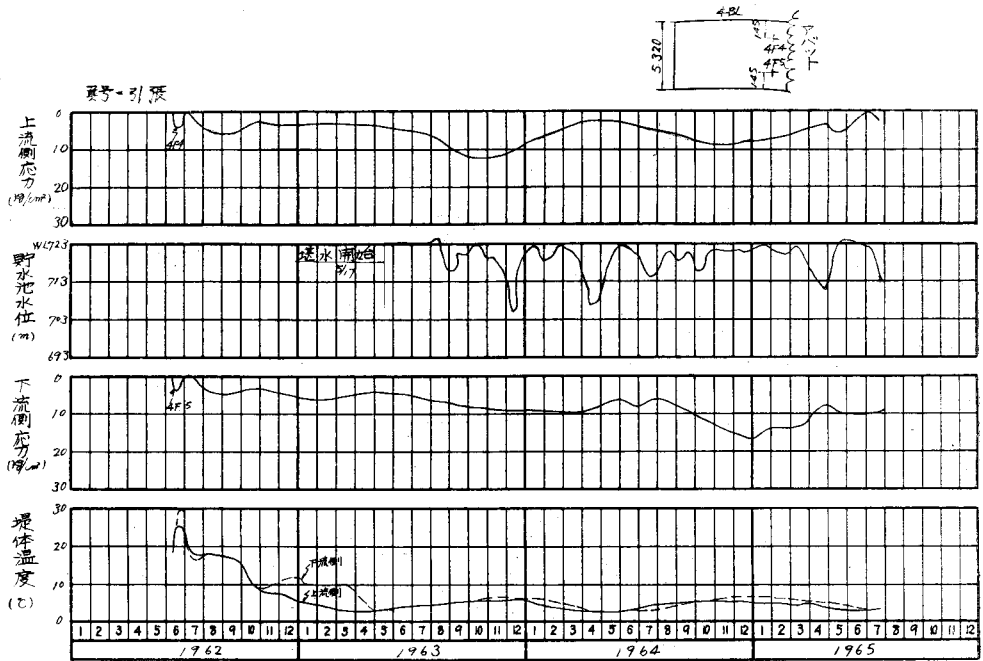
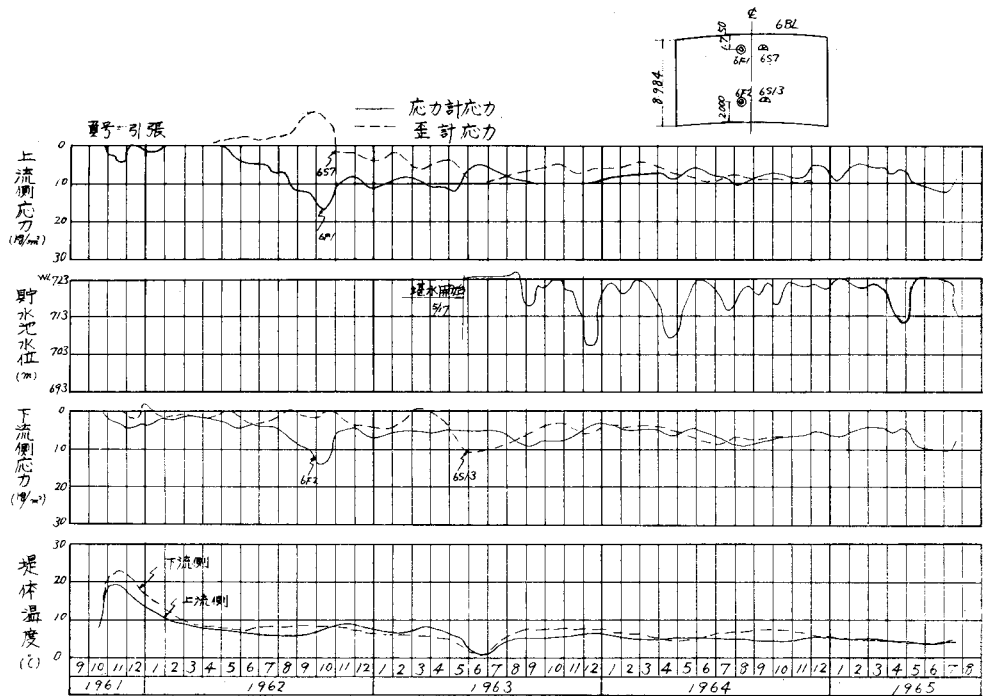


図-13 応力履歴曲線図 (水平応力 EL684 BL4)



図—14 応力履歴曲線図 (応力計による水平応力 EL 694 BL 4)



図—15 応力履歴曲線図 (鉛直応力 EL 668 BL 6)

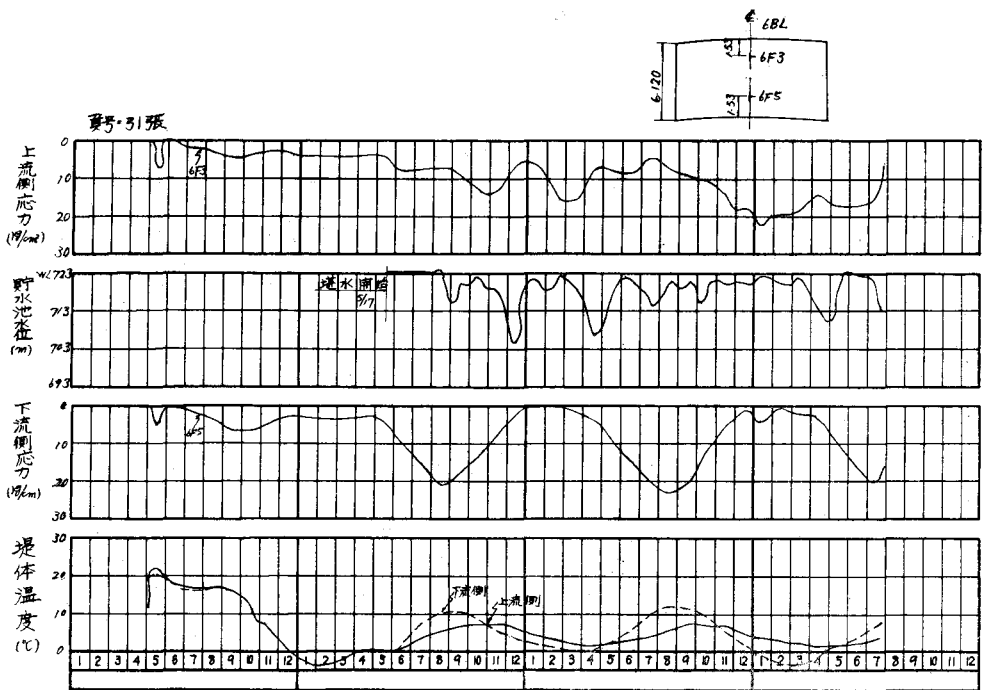


図-16 応力履歴曲線図 (応力計による水平応力 EL684 BL6)

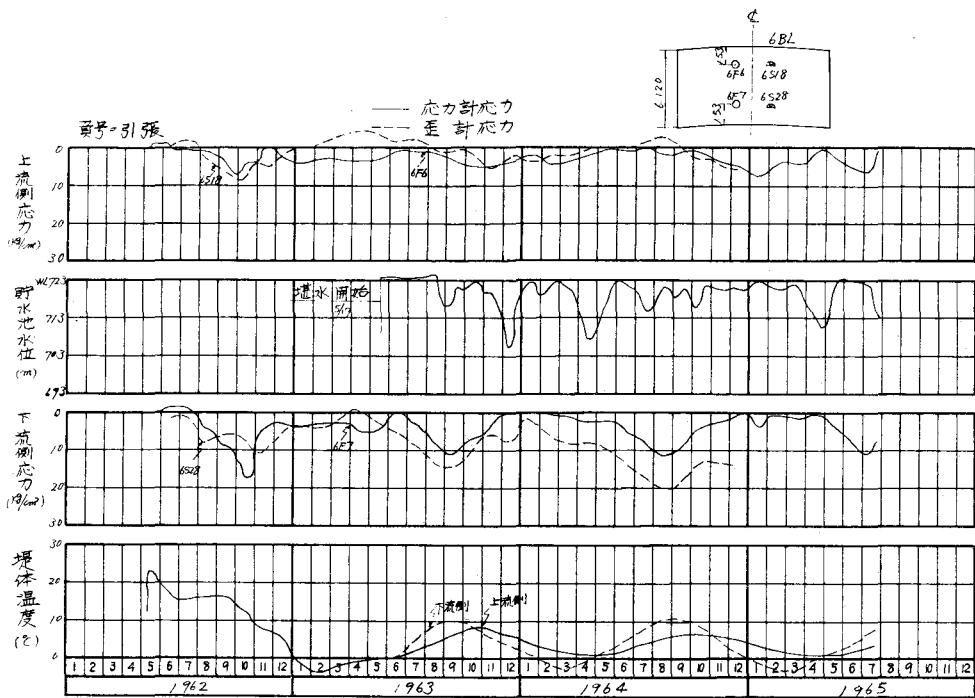


図-17 応力履歴曲線図 (鉛直応力 EL684 BL6)

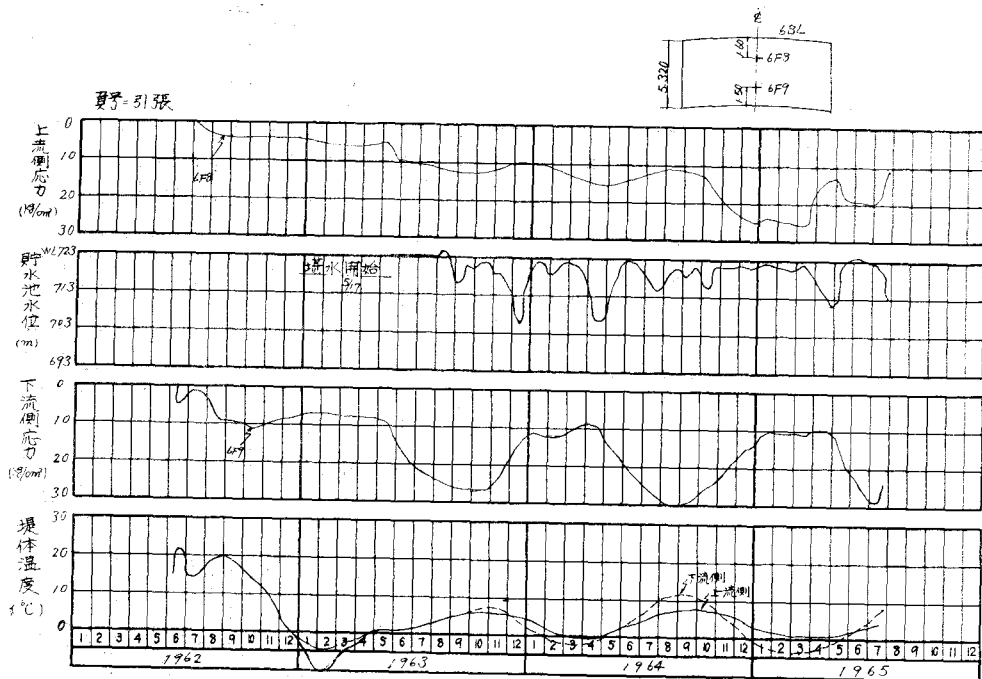


図-18 応力履歴曲線図 (応力計による水平応力 EL694 BL6)

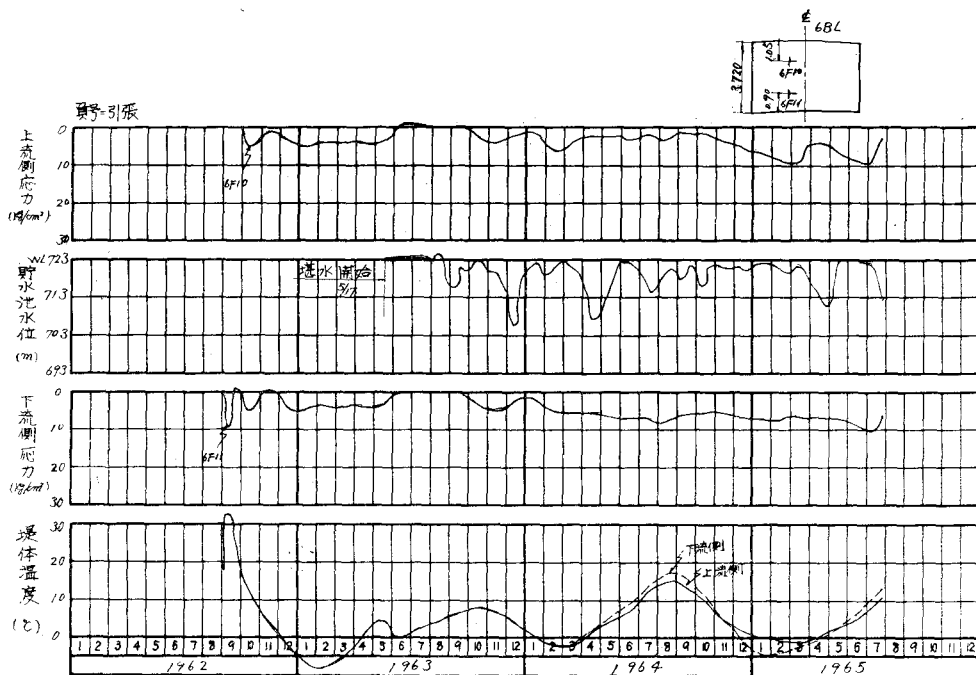


図-19 応力履歴曲線図 (応力計による水平応力 EL714 BL6)

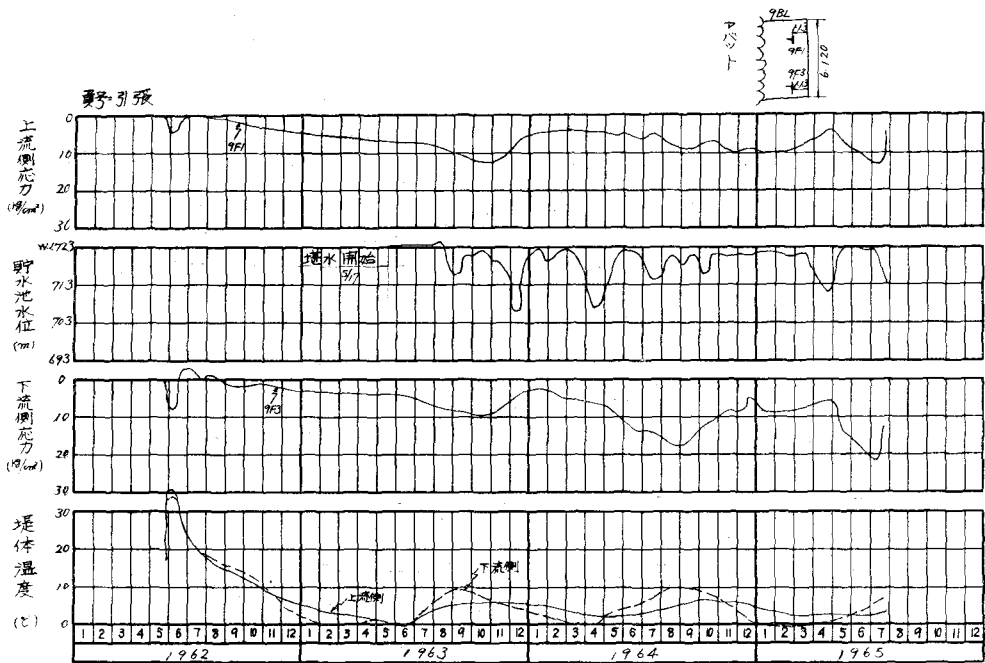


図-20 応力履歴曲線図 (応力計による水平応力 EL684 BL9)

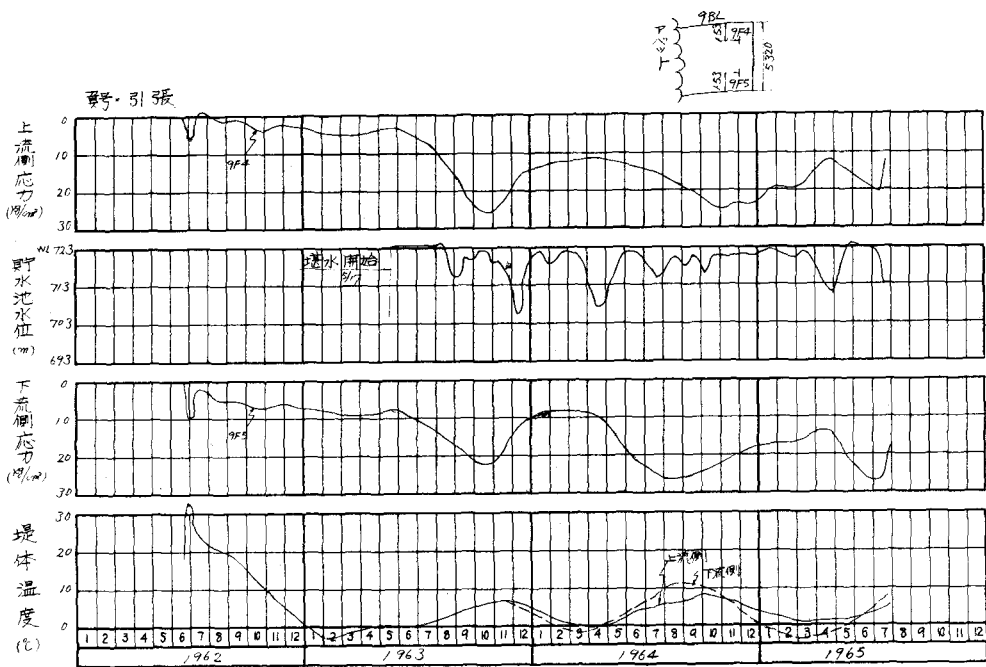
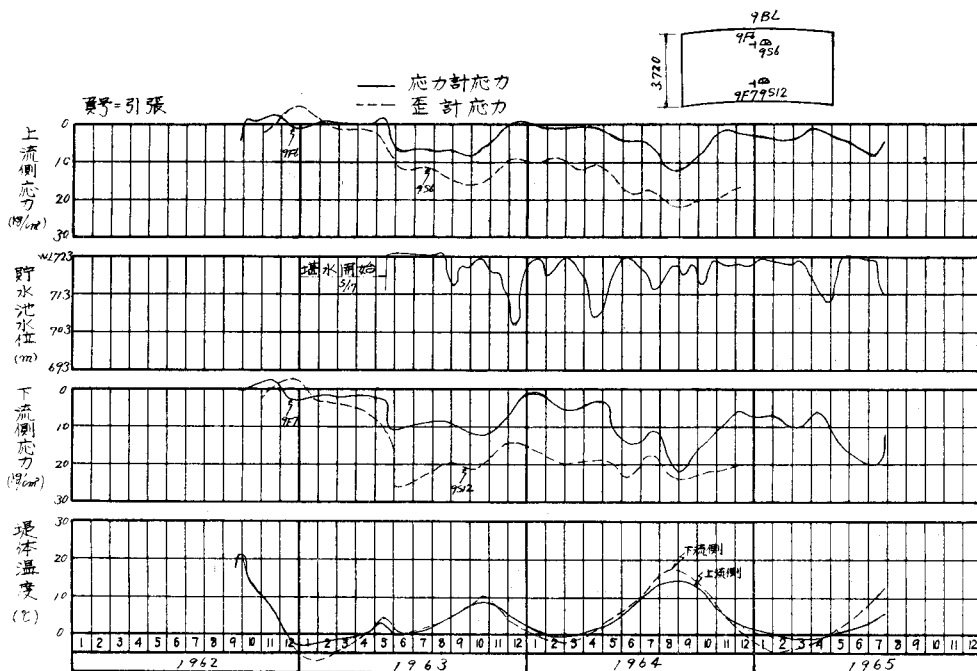
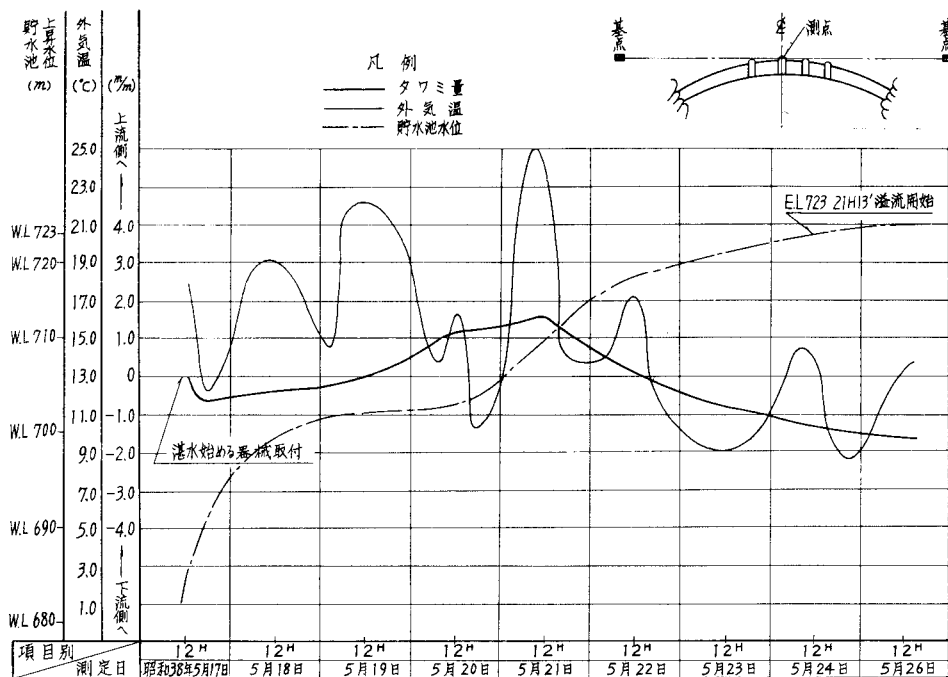


図-21 応力履歴曲線図 (応力計による水平応力 EL694 BL9)



図—22 応力履歴曲線図 (水平応力 EL714 BL9)



図—23 湛水に依るタワミ測定

のダム応力分布を推定値と比較すると、下部アーチの引張は問題にする程大きくなく、アバットの応力は推定値の1/2程度に小さい。年周期の温度応力は、鉛直応力よりも水平アーチ応力に多いようで下流面においては何らかの影響を与えるようである。

2-5 ダム湛水による外部変形

図-23は視準測量によるダムの湛水直前から溢水開始後までのブロック6(中央片持梁)堤頂点の水平上、下流方向のタワミ状態を示したものである。この図より湛水直後は水位の上昇も早く水圧と外気温の低下と相まって下流側に0.7mmタワミを生じたが、以後水位の上昇が比較的緩慢であったため(放水管により放水し、水位の上昇を規正していた)ダムの構造からこの水位時にはダムの低部が押し上げられる水位の影響と外気温の上昇による影響(この影響の方が大きい)からタワミは上流側に戻り約2昼夜で出発点に戻っている。21日では外気温最大25°Cとなりこの影響が大きく上流側に最大1.5mmタワミ、以後気温の低下と水圧上昇が加算され再び下流側にタワミははじめ溢水開始では下流側に1.5mmタワミを生じている。これらの測定値は、ダム内部に埋設された傾斜計測定値の湛水前は上流側へ傾斜して、湛水から溢水開始時に下流側へ傾斜するといった動きとまったく同じ傾斜を示している。また湛水直

前を基準にして、昭和40年8月時(湛水後2,3年)における実測値は約5.4mm下流側にタワンでいる。参考迄に拱頂片持梁調整無亀裂解析静荷重時の計算値と比較してみると、EL723における変位は15.50mmであるので測定誤差等を考慮しても実測値は計算値より少ないようである。

3. む す び

以上奥新冠アーチダム諸計器の実測値から代表的資料によって定性的解釈を行なってみたが、これらの中には通常予期されない挙動周期変動を行なっているところもある。

温度、滲透圧、継目収縮等については十分信頼し得る値と確信する。しかしもっとも興味のあるダムの応力については、今回の測定資料を解析した結果によるとダムは複雑な動きを示しているが、今後更に定測、解析をして研究を続けたい。

当ダムの現在値は滲透圧を除いては心配ない値であり、また滲透圧についてもある程度アーチダムにおいては予想(他のアーチダムの実測例から)されたので心配ない結果と思われる。

最後に、紙数の関係もあり各測定解析結果について十分、詳細な説明ができず測定結果の概要しか述べられなかったことをお許し戴きたい。