

# ダムコンクリートのクリープの基礎的研究と その応用結果について

正員 君 島 博 次\*

## A STUDY ON CREEP OF DAM CONCRETE AND ITS APPLICATION TO THE MEASUREMENT OF THE BEHAVIOR OF DAMS.

By Hirotsugu Kimishima, C.E. Member

**Synopsis :** To secure safety control and a certain information for the future designing on concrete dams, scientific judgement by instrumentation on the actual performance is essential.

In spite of the fact that clarification of mechanical properties of material such as the creep of mass concrete in particular, thus has come to be important, it is generally dealt with knowledges of small concrete specimens.

A series of creep tests on various sizes of specimens were conducted under a mass curing condition from both temperature and humidity by a specially contrived device.

A correlation among creeps of different sizes of specimens has been found to apply to the result of standard specimens, which has been used for the analyses of measured strains of several types of dams.

It is concluded that this method of correction is appropriate and also some noticeable facts which would have been usually overlooked by the conventional theory of elasticity, are pointed out.

**要 旨** ダムのような巨大な構造物の信頼性ある安全管理, 施工管理, 将来の設計資料の収集には, 計測器により示された実態について科学的な判断を下して実施することが有力な手段である。それには材料の力学的諸性質, 特にマス コンクリートのクリープの研究が重要となってくる。本研究では熱的と湿度的にマス養生状態に保った各種寸法の供試体のクリープ試験を, 特に創作した加圧装置により行ない, 各種寸法の供試体相互のクリープの相関関係を求め, もって以後の標準供試体のクリープをマス コンクリートに補正し, 種々のダムの実測ひずみの解析に適用し, この方法の妥当性を確認した。

ついで従来の弾性理論による計算では推定がむずかしかった若干の変形・応力の実態を諸計器による実測結果から報告したものである。

### 1. 緒 言

近時ダム工学の進歩につれて一層経済的でしかも安全なダムの建設の要求が強くなり, 従来の仮定の多い机上計算では到底不十分となり, 模型試験や実測の結果を用いて実態を推定しようとする試みがようやくわが国でも普及してきた。この場合, ダム コンクリートのクリープは, 材料力学的にひずみと応力を連結させるためにもまず第一に明瞭化せねばならないことになる。しかるに従来よりコンクリートのクリープに関する研究は多々あったが, ダムのようなマス コンクリートを対象にしたものはほとんどなく, いずれも標準養生の小型供試体を用いてその結果をそのままダムに適用していた。

本研究では, 特にこの点を明らかにしようとして試みたも

のであるが, 本研究と関係ある多くの未知の部分が残っていて, 今後の研究にまつところが多い。

本論文は電力中央研究所技術研究所報告<sup>1)</sup>の要約で詳細についてはこれを参照願いたい。また巻末の文献は実測が比較的新しい分野でもあるので幾分多く列記しておいた。本論文の基礎的研究はカリフォルニア大学留学中に行なったもので, Pirtz, D. 教授を始め Roy Carlson 博士, Davis, R.E. 教授などの懇篤な御指導を仰いだものであり, その結果の適用には本邦電力各社のほか, 当研究所の関 慎吾・中新井克子・北原義治の諸氏の御協力のおかげであり, 原論文を取りまとめるには東大国分正胤教授の御懇篤な御指導を戴いたこともあわせてここに深甚の謝意を表わすものである。

### 2. 試験と応用の方法

供試体の寸法とウェットスクリーンの影響を調べるための各種供試体の寸法と個数は表-1(a)に, フルミックスの配合は表-1(b)に, 大型供試体のひずみ測定用カールソン計器類の配置は図-1(a)に示されている。ミキサの関係で 150 mm 粗骨材は混合できないので次の方法を講じた。実際にミキサで混合したのは最大寸法 80 mm 以下の骨材で, このコンクリートはそのまま中型供試体 (40×80 cm) に填充し, また 40 mm のふるいでウェットスクリーンして小型供試体 (15×45 cm) に填充した。大型供試体に対してはフルミックスの水セメント比と同一のモルタルをあらかじめ少量ずつこしらえて 80~150 mm の粗骨材に手で塗布し, ミキサからのコンクリートに一樣に散布しつつ填充を行なった。モールドは写真-1にあるように大部分亜鉛鍍鉄板で特製

\* 電力中央研究所 技術研究所 構造研究室

表-1 (a) 供試体の種類と個数

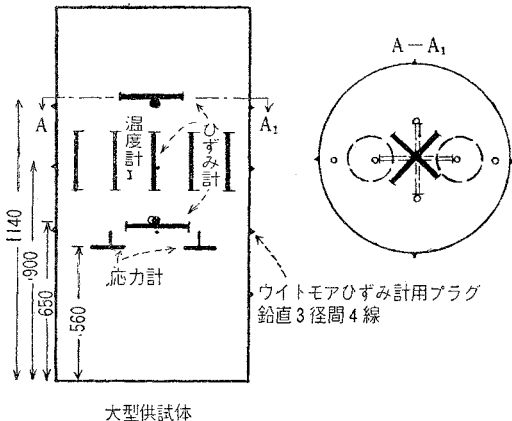
符 号	型	供試体寸法		製造 個数	試験目的	養生法	測定計器類配 置・個数
		組骨材 cm 直径×長さ	大寸法 (mm)				
A	大	75×150	150	1	クリープ	密封	図-1 (a) カーボンひずみ計 各鉛直 1 水平 1 計 2 ウイトモアひずみ計 表面 3 線鉛直方向
	型	75×75	150	1			
B	中	40×80	80	3	クリープ	密封	カーボンひずみ計 各鉛直 1 水平 1 計 2 ウイトモアひずみ計 各表面 3 線鉛直方向
	型	40×80	80	1			
C	小	15×45	40	3	クリープ	密封	カーボンひずみ計 各鉛直 1
	型	15×45	40	3			
D	中型	30×60	80	3	圧縮強度 弾性係数	噴霧室 標準	ダイヤルゲージ用 プラグ 鉛直 3 線
E	小型	15×30	40	9	圧縮強 度 弾性係 数	噴霧室 標準 密封	なし、ただし圧縮 試験前にコンベン セーター取付の上 弾性係数測定す。
F	小型	15×30	40	9			

表-1 (b) コンクリート フルミ  
ックスの配合

Full Mix (150 mm) 配合	
単位セメント量 $kg/m^3$	153.5
単位水量 $kg/m^3$	76.9
単位細骨材量 $kg/m^3$	399.4
5 mm~20 mm	394.9
20 mm~40 mm	394.6
40 mm~80 mm	690.8
80mm~150mm	480.5
空気量 %	3.0
単位質量 $kg/m^3$	2590.6
水セメント比 %	50.1

鋼板と緊結して含水量変化の絶無を期した。断熱温度上昇曲線に沿った温度状態を全供試体に与えるために、大型供試体に抵抗温度計を埋設し、この指示値に約  $\pm 1^\circ C$  の範囲で室温を追従させるよう自動調節器を作働せし

図-1 (a) 計測器の配置



大型供試体

写真-1 クリープ試験各種供試体のモールド

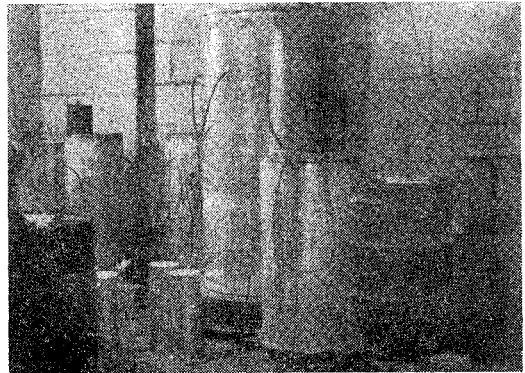
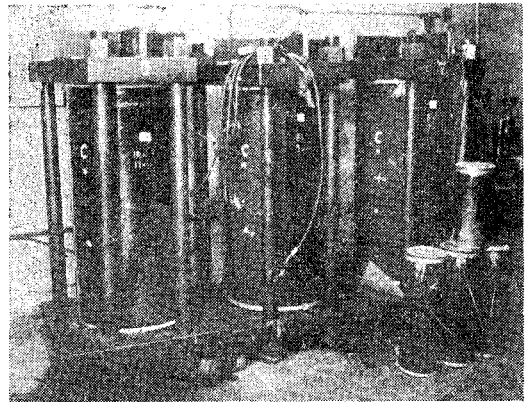


写真-2 クリープ試験中型供試体 (40×80 cm),  
小型供試体 (15×45 cm) と載荷わく



めた。各供試体間の載荷状態を同様に一定に保つため、写真-3に示すような自動調節加圧機 (Honeywell 製  $56.3 kg/cm^2 \pm 1.4 kg/cm^2$  の油圧) で、一系統油圧管を通じ一斉に一軸加圧を行なった。ポンプの油圧脈動をのぞくため 2 個の気圧式調圧器を併結した。一方載荷支持わくは供試体のわずかの凹凸変形にも偏圧を与えないようにきわめて剛性の大きい載荷支持盤を用いた。中型供試体のわくは写真-2に、大型供試体は写真-4にこれが見られる。後者では総荷重が約 300 t になり、2000 t 試験機で検査すると、このような設計でも盤の中央部で約 0.5 mm のたわみを生ずることが判明したの

写真-3 自動油圧調節器

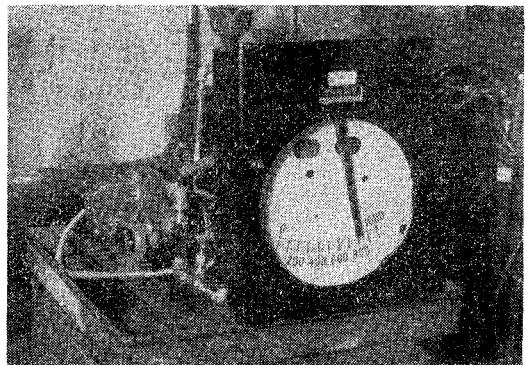
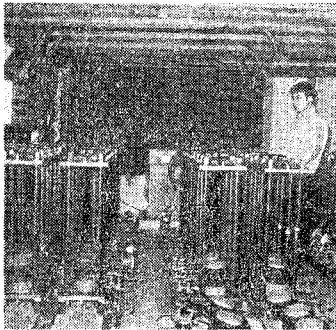


写真-4 クリープ大型供試体 (75×150 cm) と載荷わく。

(向かって右は Davis, R.E. 教授)



写真-5 クリープ試験室内の装置



で、載荷ピストンはゴム製としてさらに供試体底面には油封入の応力計様のクッション鋼板を敷いて可撓性を与えた。これらの詳細は別に報告<sup>1)</sup>されている。

測定はカールソンひずみ計・応力計・Whittemore表面ひずみ計により行なわれ、平均圧縮強度の1/4の56.3 kg/cm<sup>2</sup>を各所定の材令で載荷した。

次に本邦各地のダムコンクリートのクリープ試験は、電研の仕様<sup>2)</sup>に従い写真-5に示すように3種の自働調節油圧ポンプとこれに連結した直径15 cmの球座付ジャッキからなる加圧装置を用いた。載荷支持わくは載荷開始材令により異なる応力度を与えられるように製作したもので、30, 60, 90 kg/cm<sup>2</sup>用の3種の剛性のものを作った。ひずみ測定はカールソン型ひずみ計をスイッチボックスを通じて読み取った。熱膨張係数と自己成長量は同一室内に置かれた無載荷供試体より求めた。養生方法は、上下両面の載荷鋼板に緊結したネオプレンゴムシートで供試体を被覆密封し、20°C±1°Cの恒温室保存とした。供試体寸法はすべて15×60 cm円筒型で、コンクリート配合は表-2に示されるように実際のダムのそれに類似するようにした。載荷開始材令は7

日、28日、91日、半年、1年の5種と無載荷の計6種でおのおの2個ずつ作製し相互のチェックを行なった。上椎葉ダムコンクリートのクリープは既刊<sup>3)</sup>のように貨車スプリングと銅板密封の現場試験結果を用いた。測定されたひずみはいずれも一定温度のひずみに換算し、自己成長量を補正し、単位荷重によるひずみに換算してクリープ曲線を求めた。対数式表現には片対数表を用いた。ダムコンクリート応力解析のための応用には各地のダムコンクリートのクリープ曲線に既述の基礎研究の結果の補正係数を適用して補正したのち、Roy CarlsonのStep方式<sup>3)</sup>により数値計算した。なおこの信頼性の検討は、同一箇所に埋設した応力計からの応力と照査した。

3. 試験結果とその応用

まず基礎的研究で測定した3種の寸法の供試体のクリープ曲線が図-2(a), (b)に、自己成長曲線が2(c)に、また大型供試体のひずみ分布が図-2(d)に示されている。これらから大型供試体のひずみ分布はほぼ一様であり偏圧載荷を受けていないことがわかり同時に、マスコンクリートのクリープは中心部・周辺部でも顕著な量的差異がないことが認められる。図-3(a)には応力解析に用いるための単位圧力によるクリープ曲線が3種

図-2 (a) 観測ひずみ

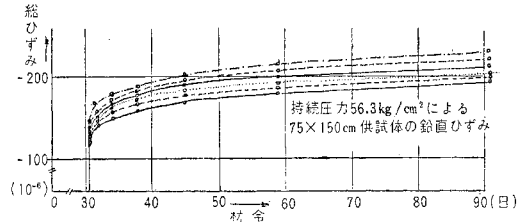


図-2 (b) 観測ひずみ

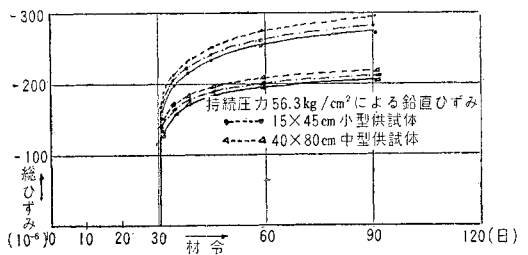


表-2 クリープ試験用供試体のコンクリート配合

\* フライアッシュ 57 kg/m<sup>3</sup>

項 目	有 餘 ダム	大 森 川 ダム	佐 々 並 川 ダム	曙 塚 ダム	黒 部 第 四 ダム
粗骨材の最大寸法 (mm)	150	80	100	80	180
スランプの範囲 (cm)	2.0~4.0	3.0	3.0	5±1	2~4
単 位 水 量 (kg)	102	107	110	95	85
単位セメント量 (kg)	155	230	230	190 *	180
水セメント重量比 (%)	68.5	46.5	47.8	50	47
空気量の範囲 (%)	3.5~4.5	2.0	3.5	4±1	3~4
単位細骨材量 (kg)	530	530	609	569	434
単位粗骨材量 (kg)	1585	1670	1474	1536	1722
絶対細骨材率 (%)	25.0	23.8	29.3	27	20
そ の 他	ポゾリス No.8 388 g	ポゾリス No.8 #114.6 A 575 g	ポゾリス No.8 575 g	ポゾリス No.5 A 4 セメント 1 kg 当り 1.5 cc	ポゾリス No.8 360 g #202 15 g

図-2(c) 観測ひずみ

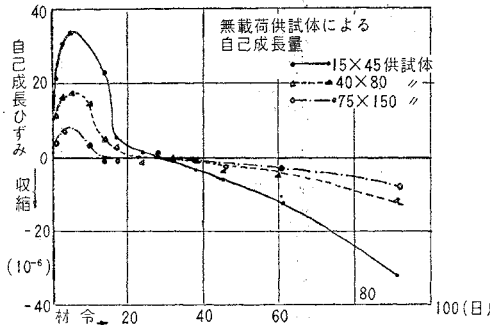
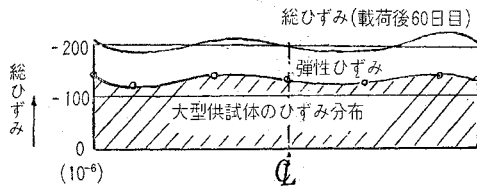


図-2(d) クリープ分布



の供試体について示され、供試体寸法が小さいほどクリープが大きいことを示している。図-3(c) はこれら曲線を片対数表にプロットしたもので考える範囲の材令ではほとんど完全に一直線上に乗り、クリープが次の対数式で表わされることを示している。

$$\epsilon = 1/E + f(K) \ln(t+1)$$

ここに  $\epsilon$  は総ひずみで  $1/E$ ,  $f(K)$  はパラメータ,  $t$  は材令(日)である。

つぎに3種の供試体間には寸法の差異とウェットスクリーンによる配合の差が共存することから両効果を現わすために各種供試体のセメントペースト含有率を容積比で横軸に、クリープひずみを縦軸にとり、種々の材令でプロットした図を図-3(d)に示してある。これによるとほとんど完全に直線性を示しているから、以後標準供試体でクリープ試験を行なってセメントペーストの容積含有率の補正を行えば供試体の寸法とウェットスクリーンという点からフルミックスのマスコンクリートのクリープを推定できることになる。図-3(b)にはクリープ中のポアソン比の変動が示されている。幾分測点のバラツキが大きいが両供試体ともに載荷直後にはポアソン比が急減し漸次回復して弾性変形時の値に近似し、いずれも0.10~0.20の間にある。クリープ現象が粘性流体のフローがおもならばポアソン比は0.5に近づくべく、スポンジ状の圧密がおもならばその値は0に近づくべきで、この実験からはダムコンクリートのクリープには水分の浸出などによる圧密現象が大きな役割を占めているものと想像される結果を示している。本論文にとり上げたダムコンクリートは有峰ダム・佐々並川ダム・大森川ダム・諸塚ダム・黒部第四ダムの5地点で、いずれのクリープ曲線も同様な傾向のものであるからその一例として黒部第四ダムの場合をとり上げてプロットすると現在の処では図-4(a)のようになる。これを種

図-3(a) 単位クリープ

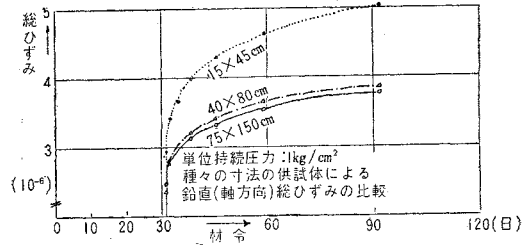


図-3(b) クリープ時のポアソン比

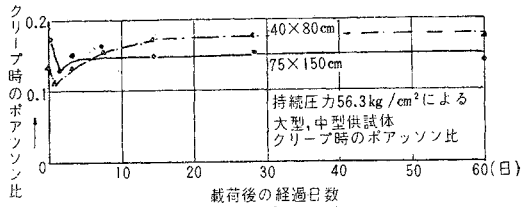


図-3(c) 対数式によるクリープの表現

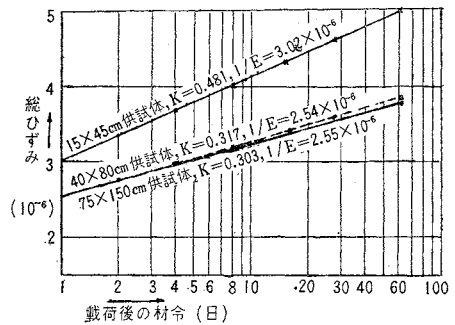
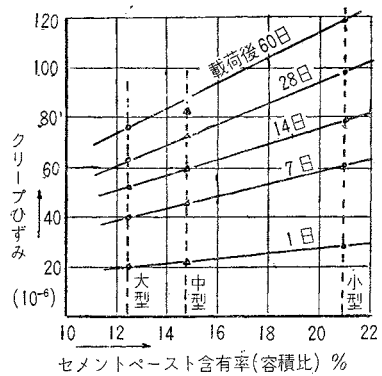


図-3(d) クリープ量と供試体寸法の関係



種の材令について対数式で表わすと図-4(b)のようになり、ほかの地点のものも同様でやはり考える期間ではクリープは対数式で十分満足に表わされる。図-4(e)には各地のコンクリートの  $F(K)$  と圧縮強度との関係を求めたもので、これによるとある一定の巾の帯状範囲内にプロットされている。クリープは多くの要因が関係するものであり、強度のみに支配されるものではないからある巾を持つのは当然と考えられるが、大体において図ま

図-4 (a) 単位クリープひずみ

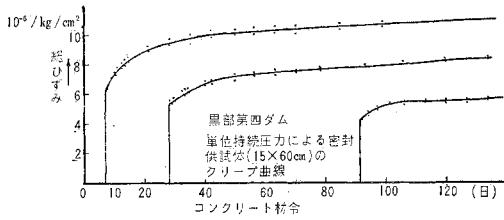


図-4 (b) 対数式によるクリープの表現

(破線と実線は供試体の寸法の補正の前後を示す)

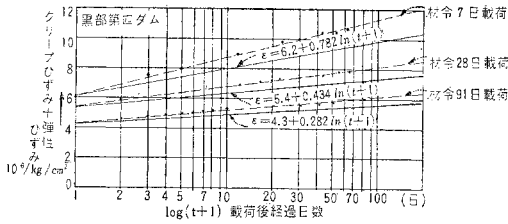
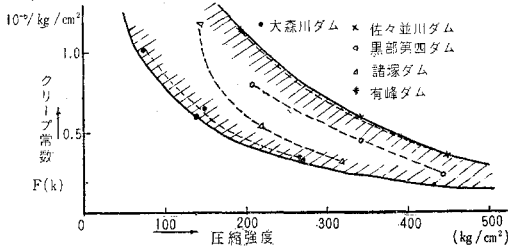


図-4 (c) クリープ常数と圧縮強度の関係



たは表示のような曲線関係を保有するものであることがわかる。

また各地点のダム コンクリートのクリープ パラメータ  $1/E$  と  $F(K)$  を材令の関数として米国開拓局のダムのそれと同時にプロットしたものが図-5(a), (b) に示

図-5 (a) 種々のダムコンクリートのクリープ常数  $F(K) \sim$  材令曲線

$F(k)$  値 ( $10^{-6} \text{ kg/cm}^2$ )

材令による	
7日	$0.9 \pm 0.2$
28	$0.5 \pm 0.15$
91	$0.3 \pm 0.1$
圧縮強度による	
150	$0.9 \pm 0.4$
300	$0.5 \pm 0.2$
450	$0.25 \pm 0.1$

註: 供試体寸法, その他の補正済

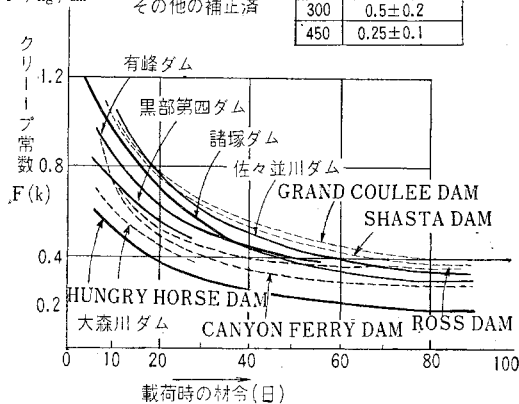
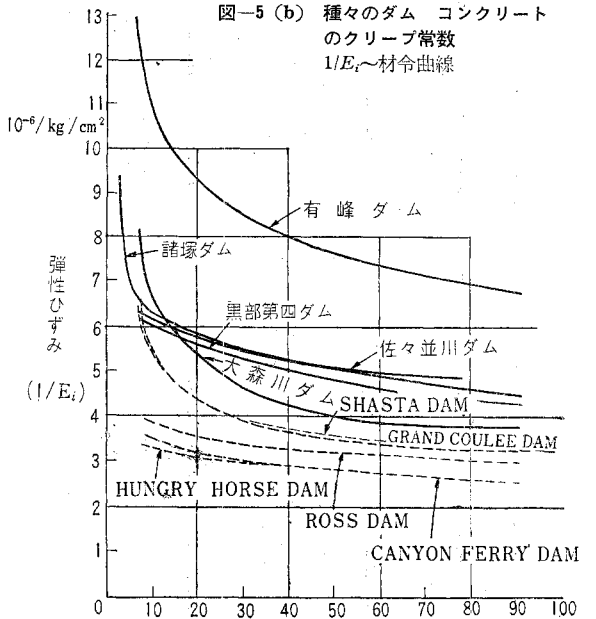


図-5 (b) 種々のダム コンクリートのクリープ常数  $1/E_i \sim$  材令曲線



されている。作用応力が圧縮強度の  $1/4$  を超えた有峰ダムの場合をのぞき、本邦のパラメータも米国のものも大差ない。有峰ダムの場合は  $1/E, F(K)$  とともに別途補正を行なうべきと考える。

これらクリープ曲線を用いて観測ひずみから応力を求め、同時に同じ場所に埋設した応力計から直接読み取った応力値と同時にプロットした応力曲線が図-6 に示されている。また佐々並川ダム応力の場合には特に弾性係数を一定値 ( $200,000 \text{ kg/cm}^2$ ) として観測ひずみに適用した応力曲線も示しておいた。これらの曲線群をみると、おおむねひずみ計からの応力は応力計の応力に近似し、したがってクリープ曲線を用いたこの方法による応力計算が妥当なものであったことを示している。上榎葉ダムの載荷初期は両曲線の一致がよくないが7年前に行なった試験方法に不備の点があったかもしれないと考えている。

実際のダムにはどの程度のクリープひずみが蓄積する

図-6 各地のダムのひずみ計と応力計の両応力の比較

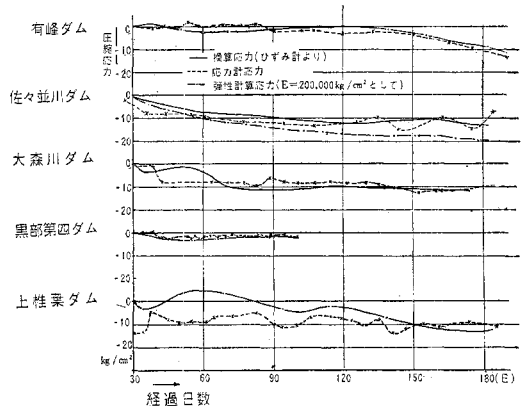
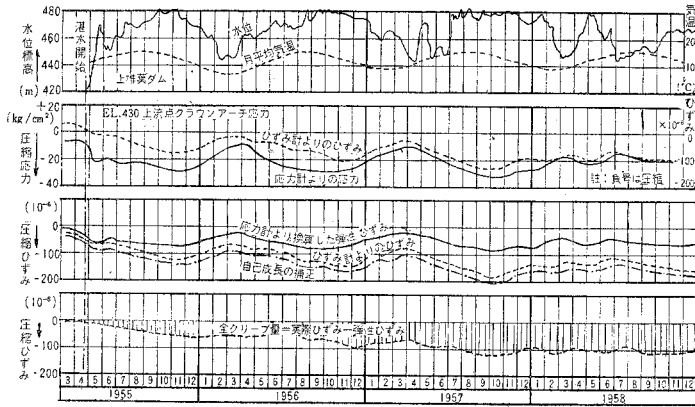


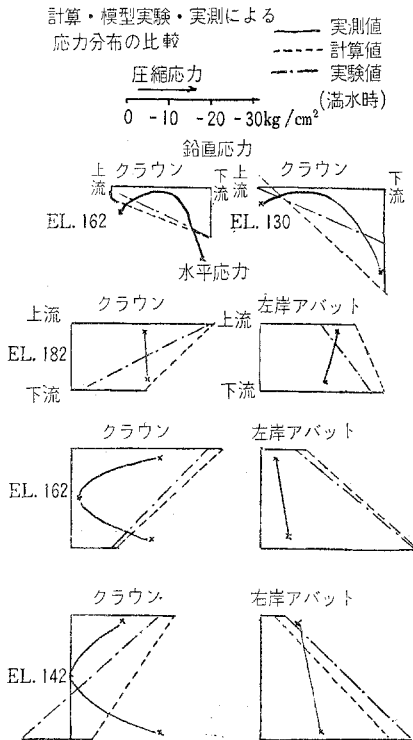
図-7 ダムに生ずるクリープ



ものであるかを示すため、図-7に上椎葉ダムの観測ひずみを満水後4年間継続してプロットしてみた。つぎに応力計はほとんどクリープを感じないのでこの応力値から最下欄に示されるように4年間に漸増する実際のダムのこの点のクリープ量が得られた。これによるとこの場合は弾性ひずみの約2~3倍程度のクリープひずみを生じておりかなり大きなものであることが示されている。

実際のダムの応力分布形状およびその大きさは、設計時の模型試験値、理論計算値とくらべてどのようであろうかとの比較図が図-8および図-9(b)に示されている。これによると圧縮応力の分布形状は多く凹型で上下

図-8 計算・模型実験・実測による応力分布の比較 (佐々並川ダム)



流を通じて直線形でなく周辺にかなり大きな残留応力と推定される圧縮応力を示している。満水時の応力最大値をみると計算・実験・実測の順で漸減し、前二者は比較的近似するが、実測値ではかなり少なくなっている。この反面に実測値では反対側周辺の応力は前二者より大きい。図-9(c)に示されるように、計算とはちがって、実際はむしろスラストによる応力が支配的であり、応力の均分化が行なわれていることが実測値の小さい主要原因であることを示している。

引張応力については計算で予想された部分、ことに常に設計時に問題となる片持りの底部上流面の引張応力は上椎葉ダムと佐々並川ダムの2例とも実在しないことがわかった。図-9(d)には上椎葉ダム クラウン片持りの底面上下流応力の変動が示されているが、毎年の秋季満水時にも引張応力状態になっていない。上流点の圧縮応力の最大値が下流点のそれより大きいことは、恐らくジョイントグラウトなどによるプレストレスの効果によるものと想像される。この引張応力が認められないことは多くの世界の実測例<sup>(7),(8),(9)</sup>が報ずるところで、収縮継目の不連続性<sup>(7),(8),(9)</sup>とともに将来の設計に留意すべきことである(図-9(b)参照)。

ダム コンクリートの施工に当り現場技術者を悩ますものに表面ひびわれ発生の問題がある。現実には多くのダムに存在するものであるが、構造的に重大なひびわれ発生誘因となる場合とか凍害を受ける部位では特に問題が重要となる。そこで実際に表面ひびわれの発生したマス コンクリート表面近くに埋設したひずみ計から算定した応力の変遷を示すものが図-10である。これによると、打設後5~6日目のちょうど型枠除去時に引張ひずみの激増を生じ約20 kg/cm<sup>2</sup>前後の引張応力を生じその時の引張強度7 kg/cm<sup>2</sup>の数倍になっている。現場のひびわれ発見の日約7日目頃と一致する。またこ

図-9(a) 上椎葉アーチダムのEL.430 左岸のアーチ応力分布

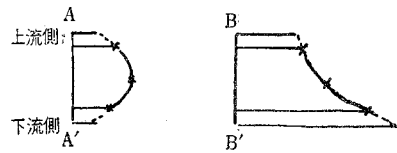


図-9(b) 大森川ホローダムのEL.729 における鉛直応力分布

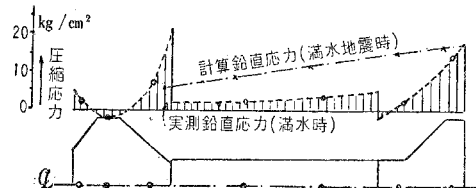


図-9 (c)~(d) 応力変動

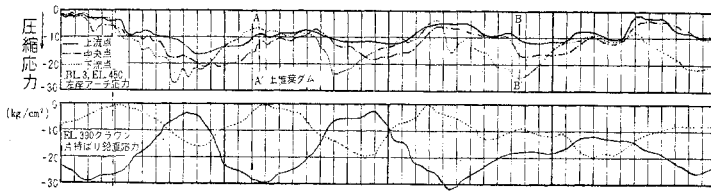
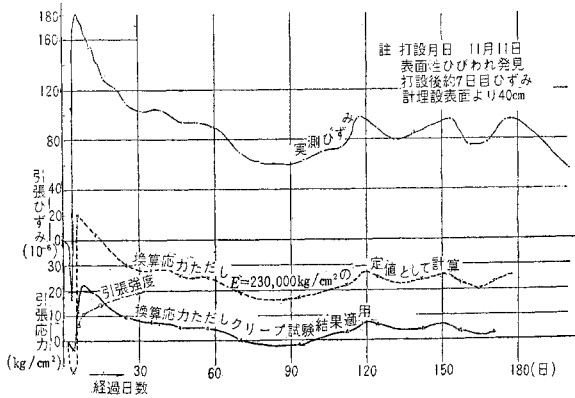


図-10 表面ひびわれの経緯



の引張応力ピークは漸減し約 60 日で消失しこの間引張強度は漸増し、両曲線の交点すなわち危険期は打設後約 2 週間である。このほか乾燥収縮なども関係あるだろうが、この種ひびわれの危険期は打設後比較的短時日で終るから、養生・施工に留意を要することである。この場合でもダム コンクリートのクリープを無視すると引張応力は漸減せず、現場のひびわれ閉そくの実態に反する。

#### 4. 結果の考察

クリープの基礎実験の方法を顧みると、各供試体間の強度の小さいバラツキ、鉛直ひずみの偏差が6%以下であったことなどから、供試体相互はほぼ同様であったと推定される。温度は  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  の範囲でマス コンクリートに追従し、密封も秤量結果からほぼ完全で、全供試体間に相対的に同一載荷を行ない、ことにクッション板を設けて応力を一様に与えられるようにしたこと、ほぼ満足に定量的な比較ができると考えられる。

自己成長は正<sup>10)</sup>負<sup>11)</sup>種々の例がありこの場合は負であった。本実験の各供試体間には寸法の差の影響とウェット スクリーンによる配合の差の影響が混合加算しているはずで、この両要因は相反する方向にあるから複雑であり、別に実験により分ける要がある。供試体の寸法のみ効果は Davis, R.E.<sup>12)</sup>が寸法大なほどクリープ小と唱え、また<sup>12)</sup>骨材の粒度は大きいほどクリープ大と称している。このほかにもセメント含有量、時間の経過、周辺効果などいろいろ関係があるようである。そこで一応本実験では寸法とウェット スクリーンの両効果をふくむと考えられたセメント含有量の容積比と、クリープを関連づけたところ、供試体実験からは良好な直線関係

が得られたものである。また Davis<sup>12)</sup>は non-AE コンクリートの非密封供試体について実験し、周辺部のクリープ内部から水分の補給があるから中心部はのそれより少であると称しているが、本実験では一様であった。

クリープの表現法は多種多様であるが、この対数式の適合性のよいことは米国の Shasta Dam の 9 年目までの観測記録からも実証されていることであり、このほかプラスチックやタイヤー コード<sup>14)</sup>でも実用的にこの式を採用しているといわれている。

クリープ中のポアソン比は最も諸説のわかるる処で Ross, A.D.<sup>15)</sup>は 0, Glanville, W.H.<sup>16)</sup>は 0.5, 米国開拓局は弾性変形時でも大差なしと称している。本実験では満足な精度ではないがポアソン比の変化から逆にダム コンクリートのクリープの原因を推定しようとしてみたもので、必要で十分な条件が得られたわけではないが、一応水分の浸出がその大きな原因の一つであるように想像されるに至った。

本邦各地のダム コンクリートのクリープ供試体は、なるべく現地のコンクリートに近似するように当研究所で作製したもので強度の面からみるとほぼ近似していると判断される。基礎研究では断熱温度上昇の養生を行ない、当所の試験は設備の都合で恒温養生を行なったのでそこに差異があるが、温度効果は最近の Serafim, J.L. の報告<sup>17)</sup>で大して大きくないようであるし、 $20^{\circ}\text{C}$ の恒温は実在ダムの温度変動のほぼ平均に近いようであるから、この場合は考慮しないことにする。

ひずみ計より換算した応力は元来 7% の<sup>18)</sup>クリープ感度を有するといわれる応力計応力と照査しておおむね良好な一致をみているから、工学的にはこの程度の誤差は許容さるべきと考え、この方法がほぼ満足なものと認められる。

実用上十分満足に用いられる対数式表現法のパラメータのうち  $F(K)$  は強度とある帯状域の関連性を有し、 $1/E$  は簡単な試験でも推定できるから、面倒なクリープ試験を各地点ごとに行なわなくとも、これらの結果から推定できるようである。

実測による最大応力が計算値より一般に低目に出ることは、多くの報告書が示すところで<sup>4), 15)</sup>、現実の状態は設計仮定に採用されるほど不利な条件でないこと、計算に考えられていない 2 次アーチや、ねじり抵抗などがあって応力の均分化が行なわれていること、収縮継目の存在<sup>9), 10)</sup>やクリープなどで応力の緩和作用があることなどがそのおもな理由のようである。

マス コンクリートの熱応力が非常に複雑でしかも場合によっては、水圧応力より支配的に影響することは多くの論文<sup>4), 21), 22), 23)</sup>により報ぜられていることであり、熱応力がたとえ 2 次的な応力であるとしても、ダムの有する総抵抗力のある部分をすでに占有してしまうという意味から、やはり水圧による一次的応力と同等に重要な

意義を持ってくる。

熱応力には種々の現われ方があり、既述したひびわれ問題もその一つであるが、これは非一様温度分布による熱応力とコンクリートの引張強度の増加との競争の問題であり、打設直後に危険期があることとクリープ効果に留意すべきところである。

そのほか一般に塑性的物質が冷却硬化する際に生ずる表層圧縮・中心引張側の傾向の残留応力がある、ダムコンクリートでも例外でなく、多くの実測結果<sup>21), 24), 25)</sup>が無載荷の時に凹型のかかなり大きな初期圧縮応力を示している。

アーチダムの熱応力計算は慣行上、軸長短縮のみの効果しかとり上げてないが、実際は以上のように非常に複雑である。

## 5. 結 論

米国カリフォルニア大学で行なったマスコンクリートのクリープに関する基礎研究の結果と、これを実際のダムの実測値の解析に適用した結果判明したことを述べる。

(1) マスコンクリートがクリープする場合は、載荷が一樣ならその分布も一樣でマスの中心部・周辺部の位置による差異は認められなかった。

(2) マスコンクリートをウェットスクリーンして種々の寸法の供試体を作ると、これらのクリープ量に差異を生じ、寸法が大きいかほどクリープ量は減少し、その量的関係はコンクリートにふくまれるセメントペーストの容積含有率に比例する。したがってダムコンクリートをウェットスクリーンして製作した標準供試体のクリープを測定すればマスコンクリートのクリープを推定できる。

(3) ダムコンクリートのクリープは実用的には次の対数式でほぼ満足に表わせる。

$$\epsilon_{\text{total}} = 1/E_i + F(K) \ln(t+1)$$

$E_i$  は簡単な実験で、 $F(K)$  は配合・強度などを考え実例から一定範囲内の推定により、ともに求められる。

(4) マスコンクリートのポアソン比は弾性変形時は約 0.17、クリープ開始直後は急減し約 0.12、以後漸増して 0.17 に漸近する。このことからコンクリートの水分が圧密され間げきに浸出する現象もダムコンクリートクリープの主原因の一つであろうと想像される。

(5) 基礎研究の結果、すなわち供試体の寸法とウェットスクリーンの補正を、標準供試体のクリープ試験結果に施してダムのひずみから、応力を求めることは、実用上満足な結果を与えることが確認された。

(6) 本研究で用いた、電研仕様のクリープ試験の方法、特に密封法、加圧装置、試験法は実用上ほぼ満足なものであった。

(7) ダムの実際の応力状態は計算値・実験値とかなり異なり、なかでも次の諸点は顕著な相違を認めた。すなわち最大応力と引張応力の軽減、熱応力による応力の曲線分布、弾性ひずみの数倍にも達することがある累積されたクリープひずみの存在、などである。

## 参 考 文 献

- 1) 君島博次: ダムコンクリートのクリープに関する研究。第1部、基礎研究; 第2部、実在のダムにおける応用に関する研究。電力中央研究所技術研究所報, Vol 10, No. 5 昭和35年12月
- 2) 君島博次: “上椎葉アーチダムの堤体内部の諸実測に関する基礎的コンクリート試験” 土木学会誌 40-8, 昭和30年8月
- 3) Roy W. Carlson: “Manual for the Use of Stress Meters, Strain Meters, and Joint Meters in Mass Concrete” James J. Gillick & Co. Sept. 1954
- 4) M. Roch J.L. Serafim & A.F. deSilveria: “Design and Observation of Arch Dams in Portugal” Proc. ASCE, Vol.82, No. PO-3, June 1956
- 5) Bureau of Reclamation: “Structural Behavior of Ross Dam” May, 1955
- 6) 君島博次・中新井克子: “佐々並川ダム実測値の解析—第1回中間報告—” Ⅱ構 5902, 昭和34年6月 電力中央研究所依頼研究報告書
- 7) 高橋 忠: “佐々並川アーチダムの振動性状”, Ⅱ構 6007, 昭和35年6月, 電力中央研究所依頼研究報告書
- 8) 君島博次・中新井克子: “大森川ダム実測値の解析—第1回中間報告—” Ⅱ構 6001, 昭和35年4月, 電力中央研究所依頼研究報告書
- 9) N. Tashiro and H. Kimishima: “A Review on Measured Results and Computed Estimations in the Analysis of Kamishiiba Arch Dam”, 6th Congress on Large Dams, 1958, Q-21 R-24
- 10) 君島博次・中新井克子: “上椎葉アーチダムの実測結果報告” 土構 5705, 昭和32年7月, Ⅱ構 5918, 昭和35年1月, 電力中央研究所依頼研究報告書
- 11) H.E. Davis: “Autogenous Volume Changes of Concrete” Proc. ASTM, Vol. 40, 1940
- 12) R.E. Davis, H.E. Davis & J.S. Hamilton: “Plastic Flow of Concrete under sustained Stress” Proc. ASTM 34, II, 1934
- 13) Bureau of Reclamation: “A 10-year Study of Creep Properties of Concrete” Concrete Laboratory Report No. SP-38, July 1953
- 14) W. James Lyons: “The General Relations for Flow in Solids and Their Application to the plastic Behavior of Tire Cords” Journal of applied Physics, Vol 17, June 1946
- 15) A.D. Ross: “Experiments on the Creep of Concrete under Two dimensional stressing” Magazine of Concrete Research, No 16, June 1954
- 16) W.H. Glanville & F.G. Thomas: “Further Investigations on the Creep or Flow of Concrete under Load” Building Research Tech Paper No.21, London, 1939
- 17) J.L. Serafim & M.Q. Guerreiro: “Influence of Temperature on the Creep of Mass Concrete” Bull. Rilem No.6, March 1960
- 18) Roy Carlson & David Pirtz: “Development of a Device for the direct Measurement of compressive Stress” Journal of ACI, V 24, No.3, Nov. 1952
- 19) J.T. Richardson: “The Structural Behavior of Hungry Horse Dam” Bureau of Reclamation Feb. 1957
- 20) 関西電力KK: “黒部第四アーチダム” アーチダム研究会資料1959年5月
- 21) J.T. Richardson: “The Structural Behavior of Hoover Dam” Bureau of Reclamation Nov. 1957
- 22) A.W. Simonds: “Observed Structural Performance of Large Concrete Dams of the Bureau of Reclamation” 6th. Congress on Large dams, 1958, Q.-21, R.-122
- 23) D Tonini: “Arch Dams: Observed Behavior of Several Italian Arch Dams” Proc. ASCE, Vol. 82, No. PO-3, June 1956
- 24) Bureau of Reclamation: “Structural Behavior of Shasta Dam” August 1959
- 25) M. Rocha & J.L. Serafim: “Model Tests and Observation of BOUCA DAM” 6th. Congress on Large Dams, 1958, Q.-21, R-84

(原稿受付; 1960.8.29)