

アーチダムの振動性状

電力中央研究所

高橋 忠 堤 一

増子 茅夫

実際のアーチダムの振動性状については、既に二、三の報告がなされ、それ等の結果を見れば一応アーチダムの振動性状の知識と得る事が出来る。しかしながら、アーチダムの形状は種類が多く、従つて更に異つた型のアーチダムの振動性状の知識も必要であるし、又、従来の実験結果は、すべて振動計によつて測定された振動形態のみに限られてゐるから、ダムの振動形状の正しい知識と得るためには、更に進んで振動時の応力状態も明らかにされなければならない。

今度比較的薄いアーチダム（高さ67.4m、堤頂巾2.4m、基礎最大巾8.8m、堤頂長127.3m）の現場振動実験を行いダムの振動形態のみならず、内部の応力の測定を行った。更に、溢流時ダムの振動又微小振動時のダムの振動等も測定したので、ここにそれ等の結果について報告する。

1) 起振器による実験

振動実験は満水時（-0m）、低水時（-2.2m）の二回行った。ダム頂上に起振器を設置し、半径方向及び切線方向に0~600 C.P.M.にわたつて加振し、変位型振動計（1000倍）によつて100 C.P.M.毎にダムの振動を測定した。満水時の場合には、更に起振器をA₀に移して同様の実験を行った。又、低水時の実験では、ダム内に埋設したカールソン計器によつて振動時のダムの縫目の動き、動歪、応力の測定も行った。

2) 振動形状

第1-(a)図及び第1-(b)図は振動形によつてめられた Resonance Curve の一例である。勿論、Resonance Curve の形は起振位置及び測定によつて異なすが、ピーク振動数はそれ等の相違によつては異ならなかつた。又、第2図には Resonance Curve の各ピークに対応するダムの振動形態が示してある。勿論、各水位は互に相対応した振動形態を有し、その振動数は満水時のものが約10%~15%小さく、又振幅も小さい。振幅の減少は振動形態によつて異なす。たとえば、第1図によれば逆対称1次では満水時の振幅は低水時に較べ約1/2であつたが、対称1次ではその差はわずかである。対称1

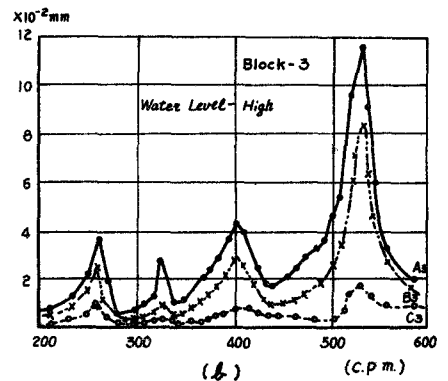
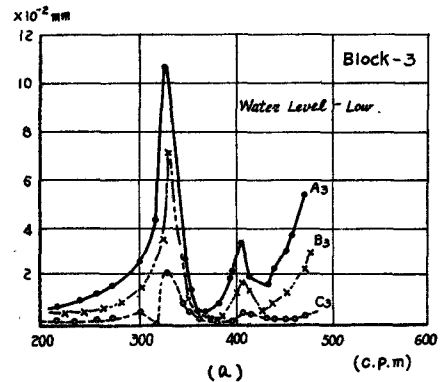


Fig. 1 Resonance Curve

Exciter Position - A₃ Vibration Amplitude
Exciting Direction - Radial Radial.

次、対称2次振動形は非常によく類似している。各振動形状と比較した(フーリエ分析)結果によれば、起振英、起振方向に拘らず殆んど相似であった。又、起振英の相違によって特に目立った事は、満水時対称1次振動は起振英がA₅では逆対称1次振動と較べ小さいが、起振英がA₀では、逆に顕著に現れる。Resonance Curve から減衰常数を求めると、どの振動形態についても非常に小さく、精々4%以下であった。之等の結果は、まゝにて表1に示してある。

4) 振動時の縫目

EL. 191.00の縫目J₇, J₈, J₉及びEL. 168.75の縫目J₁₀の振動時の状態と測定した。之等の縫目には夫々上流側及び下流側に縫目計が埋設されている。又、この縫目に結果の一例を示した。この図はResonance Curve に対応して各振動数に於ける縫目の開きの状態を示すものである。縫目の開きの状態はResonance Curve の形と類似し、Resonance Curve のピークと同じ振動数でピークを示す。ピーク時に於ける縫目の開きの状況は同図中に示してある。同じような結果が、測定したすべての縫目に於て観測された。この結果から見れば、アーケダムの縫目はかなり下部(一、二m)まで振動時に開きを繰り返す事が知られる。又、静的測定結果によれば満水時に於てさへも縫目の上部は勿論の事、下部の縫目でさへもその開きが認められる。

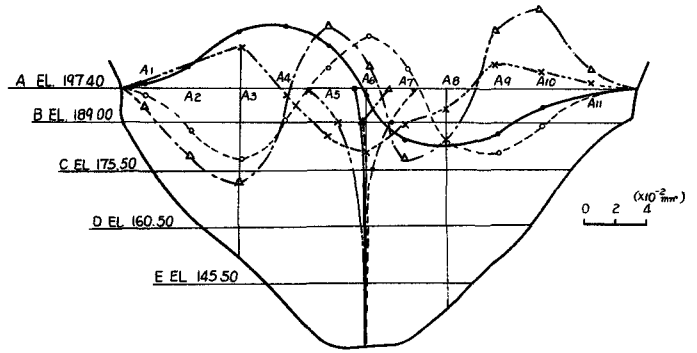


Fig 2 Vibration Mode

Exciter Position - A₃
 Exciting Direction - Radial
 Vibration Amplitude - Radial
 Water Level - High

Legend:
 —●— Anti-Symmetric 1-st
 - - - x - - - Symmetric 1-st
 —○— Symmetric 2-nd
 - - - △ - - - Anti-Symmetric 2-nd

第 1 表

	満 水 時		低 水 時	
	振 動 数 (C P M)	h (%)	振 動 数 (C P M)	h (%)
逆 対 称 1 次	260	3	330	18
対 称 1 次	330	2	400	18
対 称 2 次	410	37		
逆 対 称 2 次	520	2		

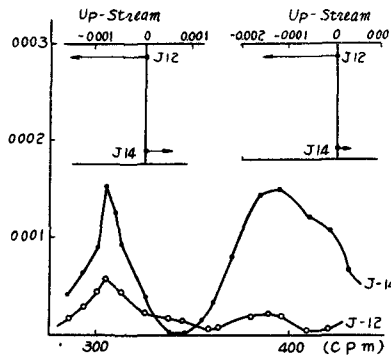


Fig 3 Joint Response Curve

Exciting Position - A₃

Exciting Direction - Radial

Joint J₇ EL 168.75 m

(1) Anti-Symmetric 1-st

(2) Symmetric 1-st

Water Level - Low

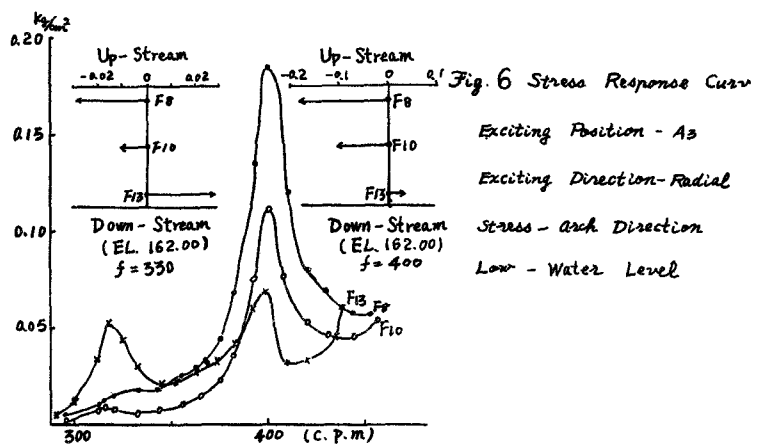
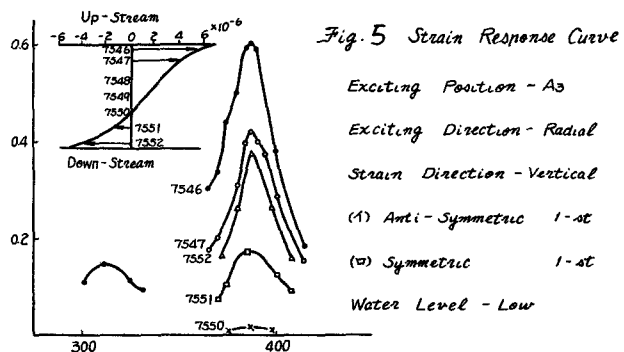
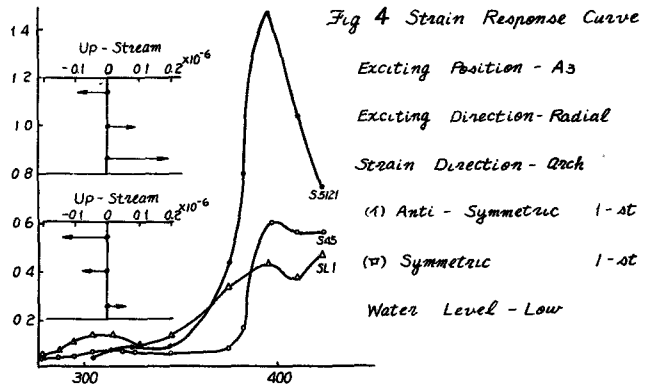
c.) 振動時の歪

振動時の歪の測定は低水時ブロックの E.L. 191.00, E.L. 182.00, E.L. 175.50, E.L. 162.00 のアーチ方向ないしは鉛直方向の歪計によって行った。第4図及び第5図に測定結果の一例を示した。第4図は E.L. 182.00 のアーチ方向の歪であり、第5図は E.L. 175.50 の鉛直方向の歪である。図に見られるように Strain の Response Curve のピーク振動数もやはり米の Resonance Curve のピーク振動数と一致する。又、この振動数に於ける内部の歪状態が同図中に示してある。上図は逆対称1次、下図は対称1次振動の場合の内部歪である。他の歪計も之と同様であった。しかし、半径方向歪は、どの E.L. の歪計についても値が小さく観測されなかった。

d.) 振動時の応力

測定の際計としたのは6ブロック E.L. 192.00, E.L. 182.00, E.L. 162.00 の応力計であるが、静応力の関係上結局用いられたのは E.L. 162.00 の上下流側の3成

合応力計の観測結果である。第6図にアーチ方向の動応力の Response Curve 及び逆対称1次、対称1次振動の場合の応力状態を示した。この場合も同様に Response Curve に応じた振動数にピークを有し、その場合の応力状態も動歪の場合と同じようである。この頁の鉛直方向動応力も Resonance Curve の形はアーチ方向のそれと類似し、その絶対値もほぼ同じ位であった。半径方向の動応力は値が小さく殆んど観測されなかった。以上振動時の内部



の動歪、動応力の状態は逆対称1次、対称1次振動に拘らず、鉛直方向は勿論のこと、水平アーチに対しても屈げ振動の状態であることが知られる。このダムにはダム体及び基礎盤に多数の電磁式地震計が設置してあり、地震観測が行われている。これによって、ダムの溢流時の振動、地震動の観測記録が得られた。

ii) 溢流時の振動

測定は $230 \text{ m}^3/\text{sec}$ 及び $23 \text{ m}^3/\text{sec}$ の場合に行った。Fig 7にその一例を示す。 $230 \text{ m}^3/\text{sec}$ の時 ダムは主として対称1次振動を行い、その振幅は B_7 で精々最高 $2 \times 10^2 \text{ mm}$ (全振幅) で問題とするに当らない。 $23 \text{ m}^3/\text{sec}$ の場合は振動状況は更に早い振動が多く複雑である。振幅は精々 $5 \times 10^2 \text{ mm}$ (全振幅) であった。

iii) 常時微動

低水時連座型振動計で測定した。その結果は場合により果すが逆対称1次振動に早い振動が疊重していた。Fig 8に一例を示す。

iv) 微振動

震への無感地震について観測した。これによれば ダムは主として対称1次振動を行う。Fig 9にその一例を示した。

v) 動弾性係数の測定

超音波速度測定器を用い波動の伝播速度から動弾性係数を求めると共に、更に $E=2.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ の成分歪計及び応力計の測定値から動弾性係数を求めた。その結果によれば、前者の場合 370000 kg/cm^2 で後者の場合では 300000 kg/cm^2 であった。(ポアソン比 = 0.16とした。)

以上、今迄の結果から結論として、実際アーチダムの振動は振動形状から見れば一見弾性的であるが、しかしアーチダムは簡単な構造の振動体ではなく、それを明らかにするためには、振動時の内部応力状態の更なる究明が必要である。

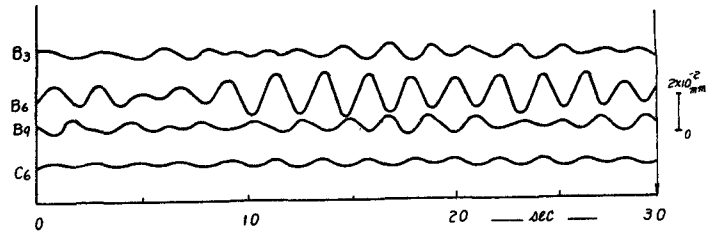


Fig. 7 溢流時のダム振動 ($230 \text{ m}^3/\text{sec}$)

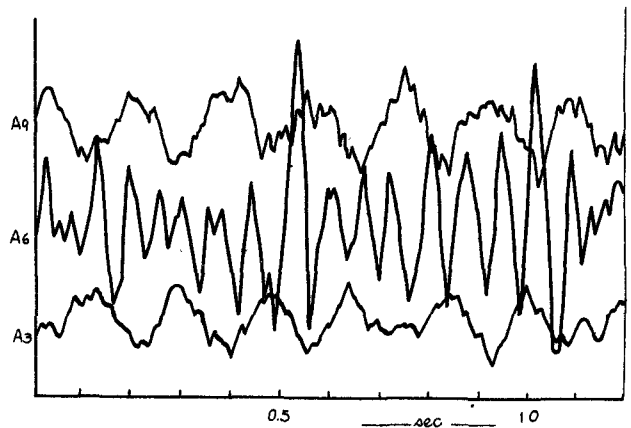


Fig 8 常時微動

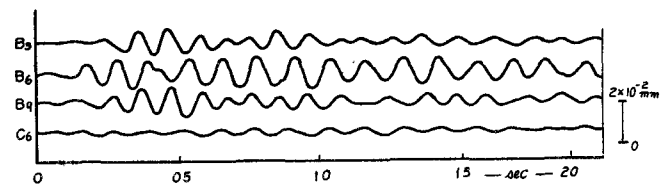


Fig 9 地震動 (無感地震)