

V—24 アーチダムの上下縦振動に関する研究

東京大学生産技術研究所 正員 岡本舜三 加藤勝行 ○伯野元彦

従来アーチダムの地震に対する考慮は水平動に重点がおかれており、上下動は軽視されている。著者は実在するアーチダムにおいて地震観測を行っているが得られた堤体上記録には水平動ばかりでなく上下動にも卓越した振動を認めることができた。すなわち水平動記録では5~6cpsが多く認められるに対し上下方向には約12cpsのものが顕著である。これは当然地震動に対するアーチダムの共振と考えられるが確認のため、さらに起振機による振動実験を行い上下固有振動の性質を求めた。それによれば約5cps, 10cps, 12cpsに共振点が存在するがそのうち5cps, 10cpsにおけるものは水平動の共振にともなって上下振動が大になったものであり約12cpsの共振点は水平振動を殆んどともなわず縦振動とも称すべきものであることがわかった。

このように地震時にアーチダムは上下動に対しても共振現象を呈することが確かになったがこのことは注目し値するものと言わなければならない。

ついでその上下縦振動の性質を詳細に知るため実物の1/50模型による動的実験と数値解を求める研究を行った。

模型は石膏・砂・土の混合材料を用いて作製、堤頂に9個の電磁コイル型加振器を設置し上下方向に正弦波形状外力を与えた。実験の結果得られた堤頂における変位共振曲線には(図-1参照)104cps, 154cps, 189cps, 245cpsに共振点をみるがその水平振動変位の上下振動に対する比をとってみると(表-1参照)245cpsの振動が前記縦振動に相当するものであることがわかる。この固有振動についてさらに詳しく調べた結果振動形は図-2に示すように節点をもち比較的単純なものであり片持梁応力分布も(図-3参照)同様に簡単な形状をしている。応力の最大値はダム対称軸上堤高の中腹部に生じ岩盤に100galの正弦定常振動が作用したとして約14kg/cm²である。ただしコンクリートのヤング率は $2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と仮定した。

この応力値そのものはさして大きいとも思われぬがダムの如き無筋コンクリート構造にお

いてしかも貯水等の荷重と重疊して考えねばならぬため決して軽視できる値ではない。したがってアーチダムにおいては地震上下動に関する考慮も欠かすべきではないと思う。

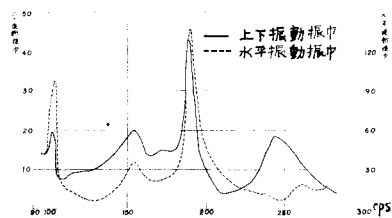


図-1 模型ダム上下振動共振曲線

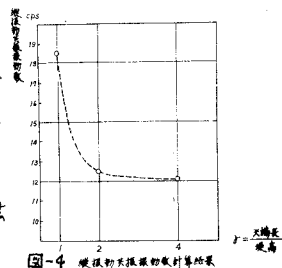
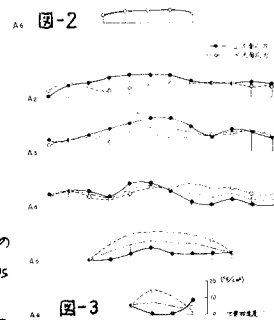
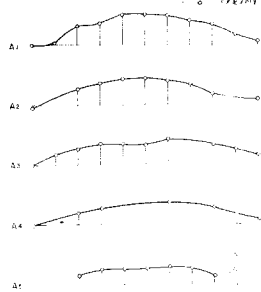


図-4 模型物振動回数対最大応力

共振振動数 cps	104	154	189	245
水平振中/上下振中	4.87	1.81	3.25	0.31

表-1 共振時振中比

応力算定の具体的手段としては模型実験ばかりでなく次に示す数値的取扱も良い結果を与える。

いまアーチガムを等厚円筒殻に模型化しさらに模型実験において確かめられているように水平撓みを無視すればその振動方程式は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{2\rho h}{D} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= \frac{3}{\rho^2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{3(1-\sigma)}{2a^2 \rho^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} + \left\{ \frac{3(1+\sigma)}{2a^2 \rho^2} - \frac{1+2\sigma^2}{2a^2(1-\sigma)} \right\} \frac{\partial^2 v}{\partial \phi \partial x} \\ \frac{2\rho h}{D} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= \left\{ \frac{3(1-\sigma)}{2\rho^2} + \frac{2(1-\sigma)}{a^2} \right\} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \left\{ \frac{3}{a^2 \rho^2} - \frac{3\sigma}{2(1-\sigma)a^2} \right\} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} + \left\{ \frac{1-\sigma}{2a^2} + \frac{3(1+\sigma)}{2a^2 \rho^2} \right\} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial \phi} \end{aligned} \right\} (1)$$

こゝに u : 上下方向変位 v : アーチ方向変位
 ρ : 単位体積質量 h : 円筒厚の $\frac{1}{2}$ σ : ポアソン比
 a : 円筒半径 $D = \frac{2 E h^3}{3(1-\sigma^2)}$

境界条件については岩盤を剛と仮定した場合岩盤変形を考慮した場合の両者について計算を行い岩盤変形を考慮するためには岩盤地盤係数を次のように定めた。

$$T = K_1 \delta_t \quad S = K_2 \delta_s \quad \text{こゝに } T: \text{軸力} \quad \delta_t: T \text{方向平均変位} \quad S: \text{剪断力} \\ \delta_s: S \text{方向平均変位}$$

K_1, K_2 の具体的数値としては等厚円筒殻に直した Dimension で Vogt 式を用いた $95 \text{ kg/cm}^3, 240 \text{ kg/cm}^3$ とガムをアーチ要素と片持梁要素に分けて Vogt 式で求めた 160 kg/cm^3 (平均), 240 kg/cm^3 の二種を採用した。堤頂においては直応力、剪断力が 0 であるという二条件を用いた。

(1) 式を与えられた境界条件のもとに解析的にとくことは難かしいので「階差式」に直し連立一次方程式としてその定常強制振動解を求めた。格点数はガム全面に 39 点ととり境界条件、対称性を利用することにより振動方程式は 19 元連立式に変換された。演算は TAC (東大工学部電子計算機) によった。

得られた共振振動数は岩盤剛とした時 14 cps , 岩盤地盤係数 $K_1 = 160 \text{ kg/cm}^3$ (平均) の時 12.5 cps $K_1 = 95 \text{ kg/cm}^3$ とした時 9.8 cps となりこのガムにおいては $K_1 = 160 \text{ kg/cm}^3$ によるものが実測値約 12 cps と良く一致している。しかしながら岩盤の種類に対し如何なる K 値を採用すべきかについては今後の研究にまかなくてはならない。

堤高を一定として天端長を变化させた場合の振動数は図-4 に示すように天端長が短くなると急激に増加し両岸の影響を物語っている。振動形、応力分布は図-5、図-6 に示すように求められるが図-3 と比較すればほぼ一致していることが認められこの計算方法の有効であることを示している。

本研究は文部省科学研究費の補助を受け、また計算機使用に関し東大工学部、三山淳助教授、同、清水留三郎助手に御便宜を計って頂きました。こゝに感謝致します。

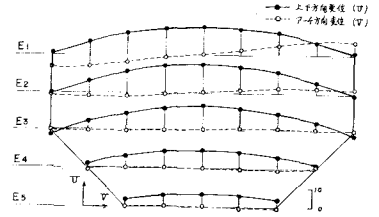


図-5 縦振動計算振動形

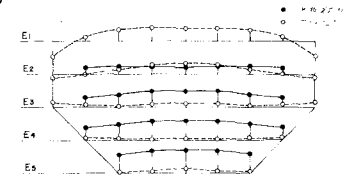


図-6 計算応力分布