I－99　円弧アーチダムの挙動に関する次元解析的考察について

熊本大学　工学部　　正員　　三　池　亮　次

1．まえがき

与えられた谷形条件と外荷重に対して，もっとも理想的なアーチダムを設計することは極めて困難な問題であり，わが国では模型実験と電子計算機を使用する荷重分割計算によって試算的な設計を行っているのが現状である。すなわち設計初期の予備的段階において，ダムの厚さ，曲率半径，中心角等の形状諸元をまず似かよった外的条件の既設ダムを参考として決め，上記の厳密計算の段階で順次より安全で経済的なダム形状へアプローチするわけである。

ダムに限らずすべての構造物の設計にはこのような経験的操作を伴い，これより逐次より複雑で大型の構造物の建設が可能となるが，このことは言わば実物による模型実験を積み重ねていくことに外ならない。すなわち設計の予備的段階には相似率の考え方が意識的にか無意識的に行われているわけである。したがってむしろ予備設計の段階で積極的に次元解析的方法を導入すればより合理的設計が行えるのではないか，あるいは未知の月世界に構造物を設けると仮定してその形状，大いさを設計する場合，すなわち地球環境の月への移設の問題にも，次元解析的方法が有効な手段として利用できるのではないか。

こう言った考え方の下に筆者がたまたま，実測資料によるアーチダムの挙動を解析する一手法*として用いた次元解析的方法論をさらに展開しようと試みたわけである。

2．アーチダムのたわみに関する次元解析的考察

アーチダムの模型実験に用いられる水圧荷重によるたわみの相似率は，実物，模型に対してコンクリートの岩盤の弾性係数の比 E_c/E_r を等しくするとき

$$\left(\frac{\delta E_c}{wH^2}\right)_P=\left(\frac{\delta E_c}{wH^2}\right)_M \qquad \text{-------}\quad (1)$$

として表わすことができる。上式で w は水の重量，δ はたわみ，H は長さの次元をもつたとえばダムの高さを，添字 P，M は実物，模型を表わす。

上式は実物と模型の形状が相似の場合であるがこれが相似でない場合に対して筆者は堤厚の薄いアーチダムの場合，片持ばり抵抗 $K_c=(T_c/H)^3$，アーチ抵抗 $K_a'=(T_a/r)^3(H/L)$ を考え，次式によってたわみの無次元量を表わすことを述べた。* すなわち

$$\frac{E_c\delta}{wH^2}=j\frac{1}{\lambda K_c+\frac{1}{A}K_a'}=\frac{1}{W_\delta} \qquad \text{------}\quad (2)$$

となり，左辺のたわみの無次元量が片持ばり抵抗とアーチ抵抗の逆数に比例する。これはクラウンカンチレバー法による解析においてアーチ要素を上部，下部の2要素にとる簡易荷重分割計算から得られ，上部，下部に対しては(2)式において添字1，2を付せばよい。また(2)式で λ，A は片持ばり，アーチ各要素の岩盤特性を示すある係数，K_c，K_a' における T_c，T_a，H，r，L はそれぞれ片持ばりの厚さ，アーチ厚さ，ダムの高さ，アーチ曲率半径，アーチ弧長を表わす。

3. アーチダムの応力に関する次元解析的考察*

3.1 アーチ要素における応力

無筋コンクリート構造物であるアーチダムには原則として引張応力が発生しないように設計される。アーチ要素における引張応力についての次元考察によれば，それは荷重の大いさに無関係で T_a/r, E_c/E_r, $\frac{1}{2}$中心角 ϕ_A, 岩盤常数のみによってのみ判定することができる。すなわちアーチクラウンの最大縁応力 ${}_0\sigma_a$ は アーチクラウンの堤厚を ${}_0T_a$, 等分布荷重を p_a としアーチ上流面における曲率半径を R_v とすれば，

$$ {}_0\sigma_a = \frac{p_a R_v}{{}_0T_a}\left\{ {}_0H_1 \pm 6\frac{r}{{}_0T_a}\,{}_0M_1 \right\} \equiv \frac{p_a R_v}{{}_0T_a} D_0 \qquad \text{-------- (3)} $$

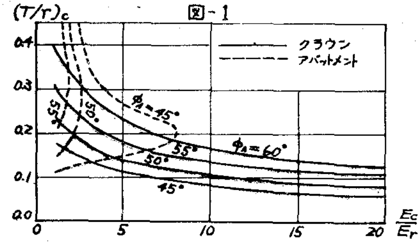
である。上式の ${}_0M_1$, ${}_0H_1$ は単位の荷重と曲率半径のアーチクラウンのモーメント，スラストで T_a/r E_c/E_r, ϕ_Aおよび岩盤常数のみによって計算することができ，$E_c/E_r = 1.0$ とすれば Bureau of Reclamation によって開発された Lieurance 表の値に等しくなる。したがって

$$ 6\frac{{}_0M_1}{{}_0H_1} \equiv MHRO < \frac{{}_0T_a}{r} \qquad \text{------- (4)} $$

がクラウンに引張応力が発生しない条件である。同様にアバットメントに対しては次式

$$ \frac{6\left|\mathrm{vers}\,\phi_A(1-{}_AH_1)-{}_AM_1\right|}{H_1\cos\phi_A+\mathrm{vers}\,\phi_A} = MHRA \leqslant \frac{{}_AT_a}{r} \qquad \text{------ (5)} $$

図-1



を得る。ここで添字Aはアバットメントを表わす。引張応力が発生しない限界における $(T/r)_c$ を上式より求め，各 ϕ_A および E_c/E_r に対して図-1のとおりプロットしたが，引張応力が発生しない領域は図の実線と点線で挟まれる下方区域となる。

3.2 水圧荷重によるアーチダムの応力

簡易荷重分割計算から水圧荷重によるアーチクラウンにおける応力は

図-2

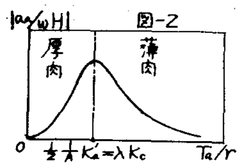
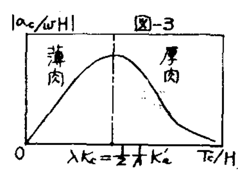


図-3



$$ \frac{{}_0\sigma_a}{wH} \doteqdot j'\frac{1}{1+\lambda A\frac{K_c}{K_a'}}\frac{R_v}{{}_0T_a}D_0 \equiv \frac{1}{{}_0W_a} \qquad \text{------- (6)} $$

として表わされる。(3), (6) 式における D_0は $R_v/{}_0T_a$ の変化に比してほとんど常数として表わされる。また $R_v \doteqdot r$ とすれば $|{}_0\sigma_a/wH|$ は ${}_0T_a/r$ に対して図-2のとおり変化する。極大値における ${}_0T_a/r$ は次式

$$ \frac{1}{2}\frac{1}{A}K_a' = \lambda K_c \qquad \text{------- (7)} $$

における K_a' に対応する値で，その左側は厚肉，右側は薄肉特性を示す。水圧荷重による片持ばりの応力 $|\sigma_c/wH|$ に対しても図-3のように (7) 式はアーチダム特性を示す指標となる。

3.3 比較設計

(2), (6) 式によって地球上あるいは地球と他の天体における2個のアーチダムに対して比較設計が可能である。

* 中村慶一, 飯田隆一, 三池亮次, 古屋久和 : 実測資料によるアーチダムの挙動解析, 土木研究所報告 第121号 昭和39年7月