

1. 目的 当小文では、図-1の様なダムの任意なる水平裁面線素を、弾性橋脚で支えられた連続アーチと仮定し、それら多數の連続アーチが、ダム底部で固定されて、ダムの幾何学的には母線となっているところの片持バリと、変位的に連動するものと考えて、地震その他の諸原因の、当該ダムに対する応力上の諸影響を、試みに1～2例を用いて、数寄的に統括した。地震影響について、水圧に関しては、ウェスターガードの式とほぼ等価なるものを震度0.2と仮定して採り、全體として振動論的には考えず、便宜的に静力学的にとりあつてはいる。あの普通の計算法を、仮りに適用した。なお当小文でダムの本体たるバレルアーチには平面的に言って普通よりも大きい中心角180°を張らせ、且つこのバレル全體を水平1、鉛直2の割合で傾けて、転倒に対しては常に充分なる安全係数（規制係数）をもたせた。滑動に対しては安全係数（規制係数）九が、重力ダムにおける通常の九倍よりも小さくなり、これに対応すべき附加的工法が必要と思われるが、こうした一般形状の選択およびこれの対応については、当小文では、その目的上、充分な考察を行なわなかつた。

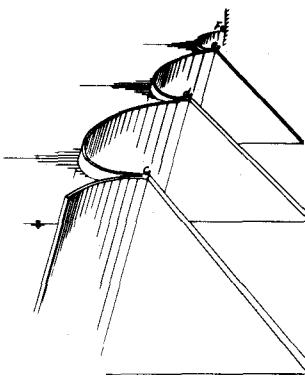
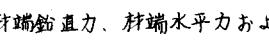


図1. マルチアレスパン構造モデルの見取り図

2. 水平裁面の応力計算、変位計算および9点変位の定理 水平裁面に  図1. マルチアルスパン連続アーチの断面
に関しては既記の仮定を行ない、これの応力解析に関しては(故)三瀬博士の“9点変位の定理”を活用した。匕つささいに当小文で活用するのは、三瀬博士ご自身によって簡単化された“6点変位の定理”であるが、便宜上“9点変位の定理”について、全てのアーチを対称形アーチと仮定して、簡単に記述すれば次の通りになる。すなわちいま、多スパン連続アーチのうち、相続く2アーチスパンがへんむ部分を想像し、且つ各節点から弾性橋脚^{せう}が、^{せう}、^{せう}などが立ち下っていて下端節点^{せう}、^{せう}、^{せう}などが地盤に対して固定端(地盤のものは動き得る)になつてゐる場合を考え、任意のアーチスパン(たとえば^{せう})につき端点の2個の直動変位、および1個の回転変位をそれぞれ P 、ひおよび θ で表わせば、アーチ柱端たとえば左端の柱端鉛直力、柱端水平力および柱端モーメントは周知のことあり次の式(1)で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} X_1^{(i)} &= F_1^{(i)} \left\{ \delta_{10}^{(i)} ((\sim k), \delta_{1t}^{(i)} ((\sim k), (\beta_k - p_i), \pi_{kL}, \pi_{kR}) \right\} ; \quad X_2^{(i)} = F_2^{(i)} \left\{ \delta_{20}^{(i)} ((\sim k), \delta_{2t}^{(i)} ((\sim k), (v_k \sim v_L), \pi_{kL}, \pi_{kR}) \right\} \\ X_3^{(i)} &= F_3^{(i)} \left\{ \delta_{30}^{(i)} ((\sim k), \delta_{3t}^{(i)} ((\sim k), (\beta_k - p_i), \pi_{kL}, \pi_{kR}) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

[ただしこの式で、 $\delta_{10}^{(i)}(i \sim k), \dots, \delta_{30}^{(i)}(i \sim k)$ はアーチスペイン～範囲内のみの、それぞれ力なる

与荷重および温度変化による与荷重から、柱端点に就いて算出され得べき荷重項】

アーチスパン α の右床端で、橋脚（当小文では扶壁の水平断面） β 上床端でについても、式(1)と同様なる式が立てられ得るので、これら床端諸量と節点 γ の与節点外力、与節点モーメントとを代数和して節点 γ の3個のツリマイ式を作ると次式(2)が得られる。ただしこの場合、地盤節点 γ における P 、ひびきは与拘束する荷重（既知量）と考えてこれを右辺荷重項に繰り入れてある。

$$\left. \begin{aligned} \Psi_1^{(c)}(p_k, \dots, p_i, v_i, r_i, \dots, r_k) &= \mathcal{H}_i \\ \Psi_2^{(c)}(p_k, \dots, p_i, v_i, r_i, \dots, r_k) &= \mathcal{Y}_i \\ \Psi_3^{(c)}(p_k, \dots, p_i, v_i, r_i, \dots, r_k) &= \mathcal{M}_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

〔「カド」し肩文字(i)は“節点(じくつ)で作られる式”であることを示す〕

この式(2)が9点変位の定理式であるが、当小文の範囲では扶壁が水圧や自身の弾性変形などあらゆる原因に

よろ後退をしがいと仮定したので、全ての節点で $V=0$ 、そして任意の節点 A とえば節点 A について式(2)の第3式は不要となつて、所謂“6点変位の定理”が成立する。たとえば図-2のOC型5スパン連続アーチ(スパン長 $25m + 40m + 50m + 40m + 25m$)につきアーチ諸スパンの曲げ剛さは全て EI 。諸橋脚(6Bなど)の曲げ剛さは全て $2EI$ 。とし、各アーチスパンの各左半および各右半にそれぞれ半径方向内向きおよび半径方向外向きに荷重 P_a なる等分布荷重

が載荷される場合について

$$P_A = P_B = \dots = P_F = 0$$

$$\mu_A = \mu_B = \dots = \mu_F = 0$$

とすれば、逆対称の関係で節点 A と C とにのみ 6 点変位定理式を立てればよろしく、結果としては次の4元連立方程式

になる。(計算の単位としては力については Kg 、長さについては cm をそれぞれ採った。以下当小文全て同様。)

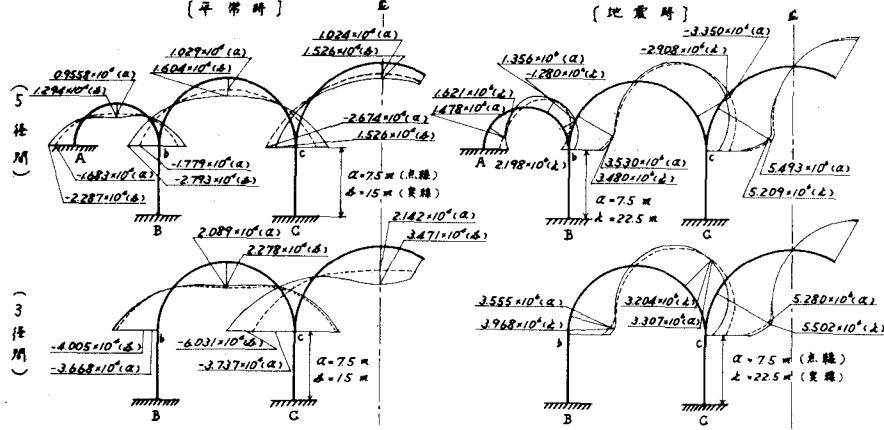


図2. 曲げモーメントに関する $M_{\text{左}}$ 値 (単位: cm^2)

式番号	左		右		(荷重由来項) [(P_a/EI_a)単位]
	P_a の係数	P_c の係数	μ_a の係数	μ_c の係数	
(i)	+ 2.297	- 0.004177	- 834.5	+ 5.319	- 7.5×10^9
(ii)	- 0.004177	+ 2.280	- 5.318	- 848.0	- 5.0×10^9
(iii)	- 0.8345	- 0.005318	+ 456.6	- 548.0	- 3.541×10^{10}
(iv)	- 0.005318	- 0.8480	- 5.178	+ 443.3	- 6.525×10^{10}

この連立方程式を解いて所要の P_a 、 μ_a を算出すれば、以下周知の方法で B.M. 図、半径方向内向きタワミ η_a 図が得られる。図-2 では橋脚部を除いて数個の B.M. 図を列挙した。

3. 片持バリ線素のタワミ η_a の考え方および $\mu_a = \eta_a$ 式の構成 片持バリについてはスパン長 l を $\sqrt{5}H$ (ただし H はダムの高さ) に取り、これに作用する荷重 P_a は $\frac{1}{2}gH$ (ただし g はダムに作用する全荷重) であると仮定して所要力所の η_a を算出し、その力所のアーチタワミ η_a と等置した。たとえば 5 スパン OC 型の中央スパン \overline{AC} 点について $[\delta_a][\varepsilon] = [\eta_a]$ より $E_1 = -0.04113$, $E_2 = +0.007866$, ..., $E_6 = +0.8392$ が得られ、これら数値を用いればアーチダム各点の断面応力が完全に総括され得る(表-1,2 参照)。この総括で下記結論が出る。

4. 結論 両表によれば天端厚さ $2m$ 、下端厚さ $35m$ 、水深 $70m$ のアーチダム築造は、充分安全可能である。

表1. 中央スパン \overline{CD} (危険水平截面) における B.M. 値 (幅100cm 当)

$y \rightarrow$	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	π
半径	17.5	8.601	4.646	2.828	1.800
水面上	0.031	7.410	-44.73	7.092	8.092
平時	0.031	7.410	-44.73	7.092	8.092
水面上	6.031	0.450	-2.714	1.084	1.562
水面下	6.031	0.450	-2.714	1.084	1.562
重量	0.031	0.450	-2.714	1.084	1.562
TSm	0.031	0.450	-2.714	1.084	1.562
TOTAL	6.031	0.450	-2.714	1.084	1.562
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
重量	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TSm	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
TOTAL	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
半径	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面下	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.86
水面上	6.031	6.010	-38.75	1.094	20.8