

大迫アーチダムに関する力学的研究

I 堤体の応力計算(その2)

酒井 信 一

前報⁽¹⁾のダムの概要と計算方針, 堤体の基本形状の決定およびアーチの計算につき, 本報では片持バリエメントに関する計算およびアーチエレメントと片持バリエメントのタワミの調整および堤体の応力計算結果について報告する。

V 片持バリの計算

片持バリの諸計算はアメリカ開拓局の設計基準⁽³⁾および Engineering for Dams Vol. 2 Chapter 13 Arch dam⁽⁴⁾にもとづいて行なう。

(1) 基礎変形常数の計算

片持バリの場合, 基礎変形常数は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha E_c &= \frac{n_e E_R}{I} R_{axis} (\alpha' \sin^3 \psi + \delta' \sin \psi \cos^2 \psi) \\ \alpha_2 E_c &= \frac{n_e E_R}{I} R_{axis} \alpha'' \sin^2 \psi \\ \gamma E_c &= \frac{n_e E_R}{I} R_{axis} \gamma' \sin \psi \end{aligned} \right\} \dots (5.1)$$

上記の各記号はアーチの場合に準ずる。ただしここでは等値矩形断面をえがく場合, 標高390mより上部を除く全接地面をとることとした。計算例を第21表に示す。

(2) 片持バリに関する記号の説明

片持バリの水平断面は図8に示すような軸(円弧3~4)において単位巾の扇形である。

図において

$$T = ad, R_u = o'a, R_D = o'd, R_{axis} = o'b, r = o'c, l_g = aG, A = \text{扇形}$$

1~2~8~7の面積

$$I = \text{円弧 } \widehat{gg'} \text{ に対する慣性}$$

モーメント,

$$\Delta S_o = \text{円弧 } \widehat{12} = R_u / R_{axis},$$

$$e_1 = cG$$

また図9に示すブロック

の横断面において

$G_1 = \text{ブロック・トップ}$

断面(水平断面)の重心

$G_o = \text{ブロックの重心}$

$G_2 = \text{ブロック・ベース断面の重心}$

$G_3 = \text{ブロック上流面上にのる水柱の重心}$

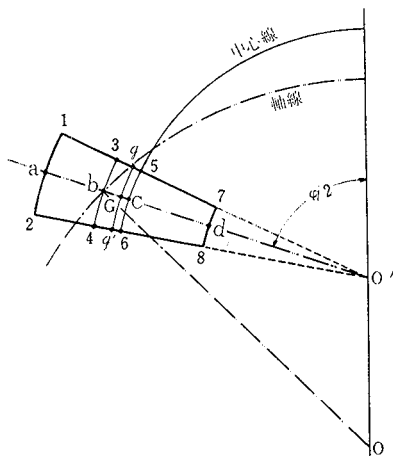
$\overline{G_1 G_2} = \text{重心線} \quad \overline{C_1 C_2} = \text{中心線}$

$A, l_g, I, h_2, a_1,$ は次式によって算出される。(表22参照)

第21表 片指バリの基礎変形常数

$a=13, \quad b=260, \quad b/a=20, \quad b/2a=10$ $2a/b=0.1, \quad k_1=5.43, \quad k_2=2.74,$ $k_3=6.65, \quad k_4=0.67,$ $E_c=2100000 \text{ t/m}^2, \quad \mu=0.2$			
		片持バリA	片持バリD
1	E_n	700000	420000
2	$n_e = E_c / E_n$	3	5
3	R_{axis}	56.605	100.681
4	$n_e R_{axis}$	169.815	503.405
5	I	56.305	91.913
6	T	15.000	12.823
7	T^2	225.000	164.429
8	$1/T$	0.066667	0.077985
9	$1/T^2$	0.004444	0.006082
10	$E_n \alpha' = k_1 / T^2$	0.024131	0.033025
11	$E_n \gamma' = k_3$	2.74	2.74
12	$E_n \delta' = k_4 / T^2$	0.029553	0.040445
13	$E_n \alpha'' = k_2 / T$	0.044667	0.052250
14	ψ	90° 00'	53° 00'
15	$\sin \psi$	1	0.7986355
16	$\sin^2 \psi$	1	0.6378187
17	$\sin^3 \psi$	1	0.5093846
18	$\cos^2 \psi$	0	0.3621813
19	$(17) \times \alpha' E_n$	0.024131	0.0168224
20	$(18) \times \delta' E_n \sin \psi$	0	0.0116988
21	$(19) + (20)$	0.024131	0.0285212
22	$n_e R_{axis} / I$	3.015984	5.476993
23	$\alpha E_c = (21) \times (22)$	0.072779	0.156210
24	$\alpha'' E_n \sin^2 \psi$	0.044667	0.033326
25	$\alpha_1 E_c = (22) \times (24)$	0.134715	0.182526
26	$\gamma' E_n \sin \psi$	274.0000	2188.261
27	$\gamma E_c = (26) \times (26)$	8263796	11,985046

片持バリ B, C の例は略

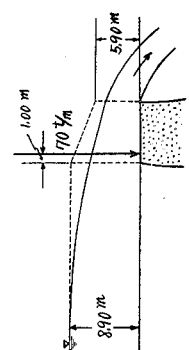


第8図 片持バリ水平断面説明図

第22表 鉛直荷重による断面力

標高	390	380	370	360	350
1 標高	—	390	380	370	360
2 h = ゴム天端からの鉛直距離	—	1.05	20.5	30.5	40.5
3 h = 木深	—	8.9	18.9	28.9	38.9
4 T = アーチの厚さ	—	7.535	10.529	12.823	14.418
5 R _u = 上流面半径	—	113.785	106.205	98.325	90.145
6 R _o = 下流面半径	—	106.250	95.676	85.502	75.727
7 R _{axis} = ゴム軸半径	—	113.785	104.625	96.442	89.257
8 r = 中心線半径	—	110.017	100.940	91.913	82.936
9 TR _u	—	857.370	1118.232	1260.821	1299.771
10 2R _{axis}	—	227.570	209.250	192.884	178.514
11 1 + R _o /R _u	—	1.93377	1.90086	1.86959	1.84006
12 TR _u /2R _{axis}	—	3.76750	5.34400	6.53668	7.28072
13 A = 110 × 10 ² = 断面積	—	728548	1015820	1222091	1339696
14 T/3	—	251167	350967	427433	480600
15 1 + 2R _o /R _u	—	2.86754	2.80172	2.73918	2.68012
16 (R _u - 10) × 10 ²	—	1.48288	1.47332	1.46512	1.45654
17 r ₁ = (R _u - 10) × 10 ²	—	3.72451	5.17297	6.26241	7.00013
18 (R _o /R _u)	—	0.87193	0.87155	0.75619	0.70570
19 1 + 4R _o /R _u	—	4.73508	4.60344	4.47836	4.36024
20 (R _u - 10)	—	5.60701	5.41499	5.23455	5.06594
21 20 - (10)	—	28.9957	28.4871	27.9984	27.5314
22 T' ²	—	427.809	1167.243	2108.447	2997.195
23 T'/36	—	11.88358	32.42342	58.56797	83.25542
24 ΔS _e = R _o /R _{axis} = 上流面の巾	—	1.00000	1.01510	1.01952	1.00995
25 (23) × (24)	—	11.88358	32.91301	59.71122	84.08381
26 I = (26) × (24) = 慣性モーメント	—	34.45727	93.75962	167.18186	231.49450
27 2T	—	15.070	21.058	25.646	28.836
28 T/T	—	0.068489	0.104309	0.173845	0.206894
29 6 + T/T	—	6.068489	6.104309	6.139512	6.173845
30 6 - T/T	—	5.931511	5.895691	5.860488	5.826155
31 k _e = 2T/(6 + T/T)	—	2.48332	3.44961	4.17720	4.67067
32 k _i = 2T/(6 - T/T)	—	2.54067	3.57176	4.37609	4.94940
33 C _e = 重心のずれ	—	0.04299	0.07153	0.14099	0.20887
34 E _a = T/2 - C _e - k _e	—	1.24119	1.72328	2.08521	2.32946
35 C _i = T/2 + C _e - k _i	—	1.26982	1.78427	2.18450	2.46847
36 R _a = I - R _{axis}	—	-3.768	-3.685	-4.529	-6.321
37 R _i = R _i + C _i	—	-3725.01	-3594.47	-4379.91	-6112.13
38 Δh(2T _n + T _{0n})	—	255.99	338.81	400.64	441.48
39 3(T _n + T _{0n})	—	54.192	70.056	81.723	89.190
40 h _n = (39) ÷ (38)	—	4.7238	4.8363	4.9024	4.9499
41 ΔR _i = 重心線の水平投影	—	0.13154	-0.78644	-1.73222	-2.69387
42 ΔR _i (図より求める)	—	(-27245)	-0.01	-0.46	-0.80

* $\frac{8.9 + 5.9}{2} \times A_{390} = 53.9126t$
 ** $T_{390} (2 \times 5.9 + 8.9) = 155.9745$
 *** $3(5.9 + 8.9) = 44.400$



$$A = \frac{TR_u}{2R_{axis}} \left(1 + \frac{R_D}{R_u} \right), \quad I_g = \frac{T}{3} \left(\frac{1 + 2R_D/R_u}{1 + R_D/R_u} \right)$$

$$I = \frac{T^3 R_u}{36R_{axis}} \left(\frac{1 + 4R_D/R_u + (R_D/R_u)^2}{1 + R_D/R_u} \right)$$

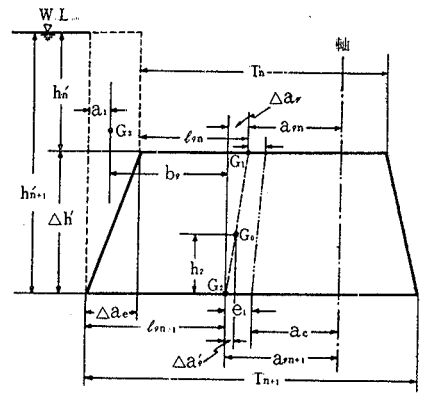
$$h_2 = \frac{\Delta h' (2T_n + T_{n+1})}{3(T_n + T_{n+1})}, \quad a_1 = \frac{\Delta a_0 (2h'_n + h'_{n+1})}{3(h'_n + h'_{n+1})}$$

(3) 鉛直力による断面力の計算

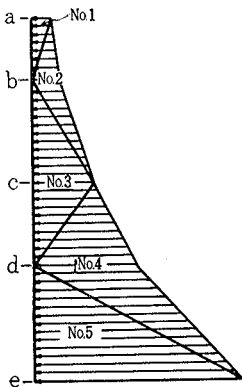
片持バリエメントの自重によるタワミはタワミ調整には考慮しない、またタワミ調整に当って水重、堆砂重、揚圧力などの鉛直荷重および越流頂 (E. L. 390) より上部の鉛直荷重 (自重を除く) は片持バリエメントのみに作用すると考えるので、これらの鉛直力による断面力をまず求める。計算例を第22表に示す。表22において2~43行は計算に必要な数値の算定、44~49行は自重に関する計算、50~61行は水重に関する計算、62~71行は堆砂重に関する計算、72~73行は揚圧力に関する計算である。

(4) 片持バリの単位荷重と断面力および曲げモーメント

各片持バリは図10に示す標高 (a, b, c, d, e) に分割し、各区間では水平半径方向の荷重は直線分布をとして計算を行なう。荷重は図のように三角形荷重 (No. 1~No. 5) にわけておくと計算上便利である。



第9図 片持バリ横断面説明図



第10図 片持バリ荷重

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
$\left\{ \begin{array}{l} \Delta R = \frac{h_1}{2} \\ \ell = \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P'_1 = \frac{h_1}{2} \\ \ell = \ell_1 \end{array} \right.$				
$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P_1 \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P'_1 \ell_1 \end{array} \right.$				
$\left\{ \begin{array}{l} \ell = \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_2 = \frac{h_1 + h_2}{2} \\ \ell = \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P'_2 = \frac{h_2}{2} \\ \ell = \ell_1 \end{array} \right.$			
$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P_1 \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P_2 \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P'_2 \ell_1 \end{array} \right.$			
$\left\{ \begin{array}{l} \ell = \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \ell = \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta R = \frac{h_2 + h_3}{2} \\ \ell = \ell_n \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P'_3 = \frac{h_2}{2} \\ \ell = \ell_n \end{array} \right.$		
$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P_1 \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P_2 \ell_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P_3 \ell_n \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P'_3 \ell_n \end{array} \right.$		
				$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_4 = \frac{h_2 + h_4}{2} \\ \ell = \ell_n \end{array} \right.$	
				$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P_4 \ell_n \end{array} \right.$	
					$\left\{ \begin{array}{l} \Delta R = \frac{h_4}{2} \\ \ell = \ell_n \end{array} \right.$
					$\left\{ \begin{array}{l} \Delta M = \Delta P_4 \ell_n \end{array} \right.$

第11図 単位荷重による各断面の断面力および曲げモーメント

水平荷重による断面力および曲げモーメントは第11図に示すように $P = 1 \text{ t/m}^2$ の場合のセン断力および曲げモーメントをあらかじめ求めておけば各標高における荷重強度がきまればただちに求めることができる。第11図において ΔP はある単位三角形荷重による任意断面のセン断力、 ℓ はある単位三角形荷重の合力の作用点からモーメントを求めようとする断面までの鉛直距離 (アームの長さ)、 ΔM はある単位三角形荷重による曲げモーメントである。 $l_1 \sim l_{14}$ はつぎの通りである。

$$l_1 = 2h_1/3, \quad l_2 = l_1 + h_2, \quad l_3 = l_2 + h_3, \quad l_4 = l_3 + h_4, \quad l_5 = h_1/3, \quad l_6 = (h_1 + 2h_2)/3, \quad l_7 = l_6 + h_3, \quad l_8 = l_7 + h_4, \\ l_9 = h_2/3, \quad l_{10} = (h_2 + 2h_3)/3, \quad l_{11} = l_{10} + h_4, \quad l_{12} = h_3/3, \quad l_{13} = (h_3 + 2h_4)/3, \quad l_{14} = l_4/3$$

各片持バリの水平断面は第8図に示すように軸 (3~4) において単位巾 (1m) の扇形であるから実際の計算に当っては片持バリのの上流面 (1~2) に単位荷重がかかった場合のセン断力および曲げモーメントに換算しておいた方が都合である。セン断力は $\Delta P'$ あるいは ΔP の値を ΔS_0 倍し、曲げモーメントは ΔM の値を ΔS_0 倍してやれば得られる。すなわち、 $\Delta S_0 \cdot \Delta P = P_0$, $\Delta S_0 \cdot \Delta M = M_0$ である。

計算例を第23表および第24表に示す。ここで ΔS_0 の値は第22表に与えられている。

第23表 単位三角形荷重によるせん断力 (P°)

片持バリ C

E.L. AS	Load No.1	Load No.2	Load No.3	Load No.4	Load No.5
390	0	0			
380	5.00000	5.07550	0		
370	5.00000	10.1510	5.07760	0	
360	5.00000	10.1510	10.1952	5.04975	0
350	5.00000	10.1510	10.1952	10.0995	4.91490

第24表 単位三角形荷重による曲げモーメント (M_o)

片持バリ C

E.L. AS	Load No.1	Load No.2	Load No.3	Load No.4	Load No.5
390	0	0			
380	33.3333	16.9187	0		
370	83.3333	101.510	16.9923	0	
360	133.3333	203.020	101.952	16.8328	0
350	183.3333	304.530	203.904	100.995	16.3833

(5) 片持バリの半径方向のタワミ

片持バリの半径方向のタワミは次の式で与えられる。

$$E_C \Delta r = \sum (M_A \alpha E_C + P_A \alpha_2 E_C + \sum \frac{M}{I} \Delta h') \Delta h' + (P_A \gamma E_C + M_A \alpha_2 E_C + \sum \frac{nP}{A} \Delta h') \Delta h' \quad (5 \cdot 2)$$

(5・2) 式で $n/E_C = 2K(1 + \mu_0)/E_C = K/G$

前項で求めた P_o および M_o を用いて単位三角形荷重による半径方向のタワミを求めておけば各標高の荷重強度がきまればただちに半径方向タワミを求めることができる。計算例を第25～第27表に示す。

第25表 単位三角形荷重による P_o/A

片持バリ C

断面積(A)	Load No.1	Load No.2	Load No.3	Load No.4	Load No.5
390	7.28548	0	0		
380	10.15320	0.49221	0.49965	0	
370	12.22091	0.40913	0.83063	0.41712	0
360	13.39696	0.39322	0.75771	0.76101	0.37693
350	13.64033	0.36656	0.74419	0.74743	0.74041

第26表 単位三角形荷重による M_o/I

片持バリ C

慣性モーメント	Load No.1	Load No.2	Load No.3	Load No.4	Load No.5
390	34.45727	0	0		
380	93.75962	0.355519	0.180448	0	
370	167.18186	0.498459	0.607183	0.101640	0
360	231.49450	0.575967	0.876997	0.440408	0.072719
350	265.55530	0.690377	1.146767	0.767840	0.380316

(6) 標高390m以上の水平荷重によるタワミ

(Δr_H) の計算

標高390m以上に作用する諸力はすべて片持バリが受持つ。その値は片持バリによって異なるが、作用する水平荷重としては静水圧、動水圧、地震慣性力がある。

$$\text{静水圧} = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 = \frac{8.92}{2} = 39.605$$

$$\text{動水圧} = \frac{7}{8} \gamma_w k \int \sqrt{Hh} dh' = 19.1577$$

地震慣性力

片持バリ A, B, D:

$$P_d = k \times (\text{標高} 390\text{m 以上の片持バリの自重}) = 22.2230 \text{ t}$$

片持バリ C:

$$P_d = k \times (\text{上部構造} + \text{門扉}) = 0.15 \times 70 = 10.5 \text{ t}$$

以上の荷重の作用点はつぎのようである。

片持バリ A, B, D E.L. 393.63649m

片持バリ C E.L. 400.00000m

断面力および曲げモーメントの計算例を第28表に示す。この P/A および M/I を用いて第27表と同じ計算を行えばタワミ (Δr_H) を求めることができる。

(7) 自重を除く鉛直荷重によるタワミ (Δr_v) の計算

水重、堆砂重、揚圧力などの鉛直荷重および越流頂より上部の鉛直荷重 (自重を除く) は片持バリエレメントのみ

第27表 単位三角形荷重によるタワミ

基礎の変形

片持バリ	荷重	αE_C	$\alpha_2 E_C$	γE_C	M _o	P	M _o α E _C	P α E _C	P γ E _C	M _o α ₂ E _C
C	No. 2	0.070578	0.07126	0.867624	304.530	10.1510	2.49312	1.08744	0.93025	32.62308
C	No. 3	"	"	"	203.904	10.1952	14.39114	1.09217	80.21200	21.84342
C	No. 4	"	"	"	100.995	10.0995	7.12803	1.08192	79.45707	10.81919

片持バリ C 荷重 No. 2

標高	390	380	370	360	350	
1	$\partial \phi = M_o / I$	0	0.180448	0.607183	0.876997	1.146767
2	$\Delta \phi = \text{aver. } \partial \phi \Delta h$	0.90224	3.938155	7.42040	10.11882	22.58056
3	$\phi = \sum \Delta \phi$	44.96018	44.05794	40.11978	32.69938	22.58056
4	$\Delta N_i = \text{aver. } \phi \Delta h$	445.0906	420.8886	364.0958	276.3997	0
5	$E_C \Delta r_i = \sum \Delta N_i$	1506.4747	1061.3841	640.4955	276.3997	0
6	P_i / A	0	0.49965	0.83063	0.75771	0.74419
7	$\Delta N_i = 3 \Delta h \text{ aver. } (P_i / A)$	7.49475	19.9542	23.8251	22.5285	112.48733
8	$E_C \Delta r_i = \sum \Delta N_i$	186.28988	178.79513	158.84093	135.01583	112.48733
9	$E_C \Delta r_i + E_C \Delta r_i$	1892.7646	1240.1792	779.33643	411.41553	112.48733
10	$\Delta r_i = \Delta r_i + \Delta r_i$	0.80678	0.59056	0.37111	0.19591	0.05357

第28表 P/A および M/I の計算

片持バリ C

標高	P	P/A	M	M/I
390	10.5000	1.4412	105.000	3.0472
380	"	1.0336	210.000	2.2398
370	"	0.8592	315.000	1.8842
360	"	0.7838	420.000	1.8143
350	"	0.7698	525.000	1.9770

に作用すると考えるのでこれらの荷重によるタワミをあらかじめ求めておく。計算例を第29表に示す。この表で第1行の値は第22表の第74行の値を慣性モーメントで割れば得られる。

(8) 単位三角形荷重による片持バリのタワミおよび Δr_v , Δr_H

上記の(5), (6), (7)項で求めた各タワミの値を集計すれば第30表のようになる。

第29表 自重を除く鉛直荷重による片持バリCのタワミ (Δr_v)

Q_{Ec}	$Q_{\alpha Ec}$	γ_{Ec}	M_{α}	P_{α}	$M_{\alpha} Q_{Ec}$	$P_{\alpha} Q_{\alpha Ec}$	$P_{\alpha} \gamma_{Ec}$	$M_{\alpha} Q_{\alpha Ec}$
0.070578	0.107126		1474.493		104.0668		1579565	
標高		390	380	370	360	350		
$\partial \phi_{\alpha} = M_{\alpha} \div I$		0.8500	0.6922	1.0079	2.2791	5.5525		
$\Delta \phi_{\alpha} = \text{aver.} \partial \phi_{\alpha} \Delta h$		7.711	8.5005	16.435	39.153	104.0668		
$\phi = \Sigma \Delta \phi_{\alpha}$		175.8713	167.1603	159.6598	143.2248	104.0668		
$\Delta N_{\alpha} = \text{aver.} \phi \Delta h$		1715.158	1634.1005	1514.423	1236.458			
$E_c \Delta r_{\alpha} = \Sigma \Delta N_{\alpha}$		6100.1395	4384.9815	2750.881	1236.458			
$P \div A$								
$\Delta N_{\alpha} = 3 \Delta h \text{aver.} (P \div A)$							1579565	
$E_c \Delta r_{\alpha} = \Sigma \Delta N_{\alpha}$		1579565	1579565	1579565	1579565	1579565		
$E_c \Delta r_{\alpha} + E_c \Delta r_{\alpha}$		6258.096	4542.938	2908.838	1394.415	1579565		
$\Delta r_{\alpha} = \Delta r_{\alpha} + \Delta r_{\alpha}$		2.90005	2.16330	1.38516	0.66401	0.07522		

第30表 単位三角形荷重によるタワミおよび Δr_v , Δr_H

片持バリ A

標高	390	380	370	360	350	340	330
Δr_v	2.5311	2.1089	1.6809	1.2463	0.8129	0.4009	0.0550
Δr_H	23.4762	18.2803	13.6263	9.5116	5.9362	2.9477	0.6493
Load No.1	1.23104	0.97972	0.73957	0.52145	0.33002	0.16805	0.04426
No.2	2.15812	1.74265	1.33264	0.94746	0.60189	0.30617	0.07400
No.3	1.81664	1.52079	1.08032	0.78495	0.50739	0.26386	0.06954
No.4	1.21137	1.01021	0.80906	0.60608	0.40411	0.21741	0.06438
No.5	0.78287	0.66035	0.53782	0.41530	0.29094	0.16706	0.05848
No.6	0.40587	0.34737	0.28890	0.23042	0.17195	0.11159	0.05181
No.7	0.09524	0.08359	0.07193	0.06028	0.04858	0.03697	0.02338

片持バリ B

標高	390	380	370	360	350
Δr_v	2.9801	2.1633	1.3852	0.6640	0.0752
Δr_H	1.5937	1.0785	0.6320	0.3065	0.0661
Load No.1	0.51050	0.36252	0.22531	0.11261	0.02808
No.2	0.80678	0.59056	0.37111	0.19591	0.05357
No.3	0.50106	0.38445	0.26485	0.14749	0.04860
No.4	0.25212	0.20051	0.14890	0.09546	0.04299
No.5	0.05902	0.04954	0.04005	0.03057	0.01925
Concent.load	0.006311	0.005801	0.005290	0.004780	0.003747

片持バリ C

標高	390	380	370	360	350	340	330
Δr_v	5.5684	4.6291	3.6849	2.7353	1.7916	0.8874	0.1191
Δr_H	23.5855	18.3855	13.7259	9.6079	6.0244	3.0089	0.6587
Load No.1	1.26442	1.00613	0.75905	0.53486	0.33697	0.16918	0.03842
No.2	2.22103	1.79429	1.37311	0.97656	0.62021	0.31477	0.07495
No.3	1.70021	1.40019	1.09841	0.79882	0.51696	0.26906	0.07021
No.4	1.22654	1.02290	0.81925	0.61378	0.40985	0.22052	0.06472
No.5	0.79253	0.66836	0.54419	0.42001	0.29400	0.16847	0.05843
No.6	0.40564	0.34712	0.28860	0.23007	0.17155	0.11114	0.051302
No.7	0.09327	0.08185	0.07045	0.05903	0.04757	0.03620	0.02285

片持バリ D

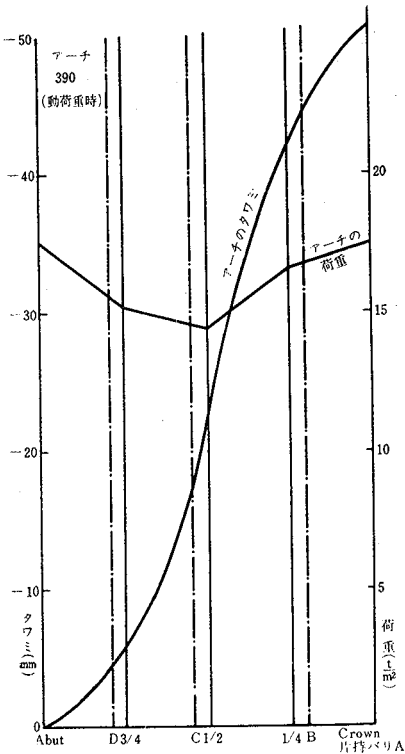
標高	390	380	370
Δr_v	1.0305	0.5005	0.0464
Δr_H	4.9045	2.4575	0.6286
Load No.1	0.29274	0.15837	0.03578
No.2	0.27493	0.16739	0.06548
No.3	0.06925	0.05004	0.02928
Concent.load	0.0081033	0.0071865	0.0057072

VI タワミ調整と応力計算

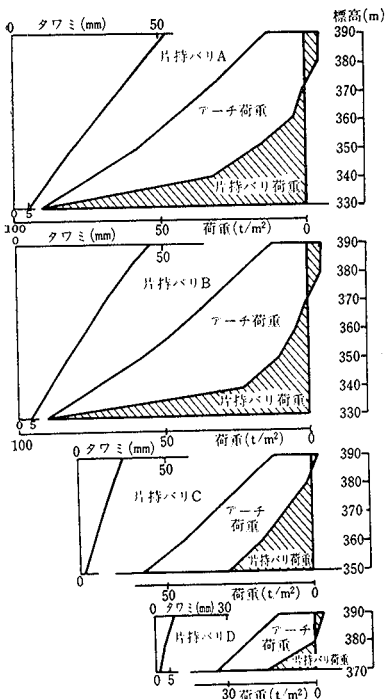
地震荷重および温度荷重はアーチのみが分担し、自重を除いた鉛直荷重および越流頂より上部の水平荷重は片持バリが分担するものとして、それぞれタワミを求め、つぎに水平荷重（静水圧、動水圧、堆砂圧など）をアーチエレメントおよび片持バリエレメントに試算的に分割配分して、両エレメントの共やく点において両者のタワミが一致するように荷重の配分を定める。このために第一にアーチの四分点および片持バリとアーチとの交点を求めなければならない。アーチクラウンからアーチの中心線にそって片持バリとの交点までの円弧長は第2表の計算よりえられる。計算結果を第31表に示す。これらの値をもとにして各アーチについて第12図に示すようなアーチの中心線の展開図をえがく。以下ダム満水動荷重時の場合の荷重分割とタワミ調整の計算例を示す。第32表は数回目の荷重分割表である。この表の作成に当っては、まず2行目に全荷重を記入する。つぎに3~6行に片持バリの受持つ荷重を仮定して記入する。この値と全荷重との差を7~10行に記入する。これらの値をアーチ中心線の展開図（図12）の鎖線上にプロットして、さきにのべたIV-(3)の方法でアーチ荷重 P_A の値を図よりよみとって10~15行に

第31表 アーチの四分点および片持バリとの交点

アーチ	クラウン	1/4点	1/2点	3/4点	アバット	片持バリA	片持バリB	片持バリC	片持バリD
390	0	29.28	58.57	87.85	117.13	0	24.46	65.31	93.38
380	0	26.43	52.85	79.28	105.70	0	24.88	66.01	93.67
370	0	23.26	46.52	69.78	93.04	0	25.22	66.24	
360	0	19.90	39.81	59.71	79.61	0	25.43	66.03	
350	0	16.15	32.29	48.44	64.58	0	25.45		
340	0	11.94	23.87	35.81	47.74	0	25.20		



第12図 アーチ荷重およびたわみ



第13図 片持バリのたわみと荷重分割図

第32表 荷重分割表 (ダム満水動荷重時)

標高	390	380	370	360	350	340	330
全荷重	12.13	23.61	34.72	45.65	58.97	74.71	90.38
片持バリの受持つ荷重 P _s	A	-5.37	-4.39	1.00	4.65	16.97	32.21
	B	-4.65	-4.39	0.50	4.15	10.47	22.71
	C	-2.42	1.50	9.22	17.65	28.97	
	D	-3.47	0	17.32			
アーチの受持つ荷重 P _a	片持バリAとの交点	17.50	28.00	33.72	41.00	42.00	42.50
	" B "	16.78	28.00	34.22	41.50	48.50	52.00
	" C "	14.55	22.11	25.50	28.00	30.00	
	" D "	15.60	23.61	17.40			
アーチ荷重 P _a	Radial load No1	17.50	28.00	33.72	41.00	42.00	42.50
	No2	1.50	11.50	5.00			
	No3	6.00	-1.24	-23.10	-21.95	-18.57	
	No4	-4.00	-11.40				
	No5	-3.50		1.82	1.55	16.55	20.00
	Concentrated load						

第33表 アーチのたわみの計算

アーチ	荷重の種類	R _a	クラウン	1/4点	1/2点	3/4点	アバウト
390	Radial load No1	17.50	-31.277	-28.640	-21.627	-11.518	-0.283
	No2	1.50	0.598	0.370	-0.213	-0.519	-0.112
	No3	6.00	7.626	4.288	-2.961	-3.850	-0.782
	No4	-4.00	-7.560	-3.637	3.965	6.146	0.899
	No5	-3.50	-3.879	-0.951	4.690	5.502	0.470
	温度荷重		-6.751	-5.848	-3.940	-1.675	-0.043
	地震荷重		-9.557	-7.569	-3.251	-0.082	0.199
合計		-50.800	-41.987	-23.337	-5.996	0.048	
380	Radial load No1	28.00	-28.103	-25.017	-16.988	-7.881	-0.272
	No2	11.50	1.318	0.822	-0.346	-1.243	-0.487
	No3	-1.24	-0.402	-0.220	0.183	0.390	0.088
	No4	-11.40	-4.964	-2.107	3.514	5.385	0.908
	温度荷重		-3.816	-3.421	-2.357	-1.044	-0.042
	地震荷重		-6.482	-5.253	-2.728	-0.605	0.130
	合計		-42.449	-35.196	-18.722	-4.498	0.325

アーチ 370, 360, 350, 340は略

第34表 片持バリのたわみの計算

標高	390	380	370	360	350	340	330
$\Delta I_v + \Delta I_h$	26.007	20.389	15.307	10.758	6.749	3.349	0.704
Load No1	-5.37	-6.617	-5.261	-3.971	-2.700	-1.772	-0.238
No2	-4.39	-9.474	-7.650	-5.850	-4.159	-2.642	-1.344
No3	1.00	1.817	1.521	1.080	0.785	0.507	0.264
No4	4.65	5.633	4.697	3.762	2.818	1.879	1.011
No5	16.97	13.285	11.206	9.127	7.048	4.937	2.835
No6	32.21	13.073	11.189	9.305	7.422	5.539	3.594
No7	90.38	8.608	7.555	6.452	5.448	4.391	3.341
合計	52.338	43.646	35.212	27.420	19.588	12.138	5.284

片持バリ B, C, Dは略

第35表 片持バリとアーチの交点におけるたわみ

標高	390	380	370	360	350	340	330
片持バリのたわみ (mm)	A	52.34	43.65	35.21	27.42	19.59	12.14 (5.28)
	B	45.40	37.66	30.15	23.47	16.76	10.34 (4.42)
	C	15.33	11.77	8.26	4.92	1.93	
	D	6.12	3.28	1.06			
アーチのたわみ (mm)	(A)	-50.80	-42.45	-35.95	-26.46	-20.25	-14.08
	(B)	-44.50	-36.00	-31.00	-21.72	-16.39	-9.54
	(C)	-17.03	-10.15	-8.95	-3.80	-0.85	
	(D)	-4.78	-1.86	0.51			
たわみの差 (mm)	A	1.54	-1.20	-0.74	0.96	-0.66	-1.94 (5.28)
	B	0.90	1.66	-0.85	1.75	0.37	0.80 (4.42)
	C	-1.70	1.62	-0.69	1.12	1.08	
	D	1.34	1.42	1.57			

記入する。各片持バリについて分担荷重を
図示すれば第13図のようになる。第33表の
作成に当ってはまず第32表より P_A の値を
第3列に記入する。つぎにIV~(4), (5), に
おいて求めた地震荷重および温度荷重によ
るタワミの値を記入する。さらに第19表の
各値を P_A 倍してやり、各列をたてに合計
すればアーチのタワミを求めることができ
る。第34表の作成にあたってはまず第32表
より P_0 の値を第2列に記入する。つぎに
V~(6), (7)において求めた Δr_H および Δr_V
の値を記入する。さらに第30表の各値を
 P_0 倍してやり各列をたてに合計すれば片
持バリのタワミを求めることができる。

第33表で得られたアーチのタワミを各ア
ーチの中心線の展開図(たとえば第12図)
にプロットしてタワミ曲線図をえがく、そ
して図より片持バリとの交点におけるタワ
ミをよみとって第35表に記入する。

アーチと片持バリのタワミの差をいくら
までみとめるかは種々の条件によって異
ってくるがここでは一応2 mm 以下を目途と
した。このタワミの差が2 mm 以下になる
まで本計算では第32表~第35表の計算が数
回くり返されている。

このようにしてアーチおよび片持バリの
分担荷重がきまれば、アーチのスラスト・
曲げモーメントおよびセン断力は第36表の
計算で求めることができる。この表の作成
にあたっては第20表を使用する。

片持バリの断面力は第37表の計算で求め
ることができる。この表で第2行~第8行
は第26表より、また M_I/I の値は第22表49
行目、 $M_H/I+M_V/I$ の値はV~(6), (7)の計
算値よりもってくる。

このようにして温度荷重、地震慣性力お
よびアーチの分割配分荷重によるアーチの
スラスト(H) および曲げモーメント(M)
が得られればアーチの水平応力はつぎの式
から求めることができる。

$$\text{下流側応力 } I = \sigma_D = \frac{H}{T} - \frac{6M}{T^2}$$

$$\text{上流側応力 } E = \sigma_U = \frac{H}{T} + \frac{6M}{T^2}$$

また、自重・水重・堆砂重・上部構造物の重

第36表 アーチのスラスト、曲げモーメント、セン断力

アーチ	荷重の種類	R	クラウン		アバットメント			
			Hc	Mc	Ha	Ma	Va	
390	分割	Radial load No.1	17.50	1985.097	319.612	1988.260	1428.443	5.371
		No.2	1.50	3.272	37.978	3.594	73.438	19.713
		No.3	6.00	57.620	566.793	59.724	798.230	127.065
		No.4	4.00	90.299	685.588	90.624	721.375	93.283
		No.5	3.50	138.645	653.239	138.301	615.295	71.452
	地震荷重	Radial load No.1	2.656	301.281	48.508	301.761	216.797	0.815
		Tangential load No.3	1.663	2.144	24.795	46.518	28.611	6.644
		No.5	3.129	32.826	240.432	150.667	213.659	32.734
	温度荷重		2.886	4.055	89.809	1.966	130.004	3.546
	合計			2087.411	1457.212	2319.633	921.096	47.578

アーチ 380, 370, 360, 350, 340は略

第37表 片持バリのM/I (片持バリA)

片持バリA

	標高	390	380	370	360	350	340	330
Load No.1		-5.97	-1.8705	-2.5513	-2.8430	-3.2515	-3.8710	-5.1955
No.2		-4.39	-0.7922	-2.5932	-3.6121	-4.5067	-5.6208	-7.7658
No.3		1.00		0.1016	0.4247	0.7065	0.9914	1.4610
No.4		4.65			0.3381	1.6874	3.1568	5.2338
No.5		16.97				1.0470	5.8759	12.8922
No.6		32.21					1.8775	12.4508
No.7		90.38						5.7979
M/I		5.1166	7.4825	8.4335	8.7719	8.3458	6.6758	0.8151
$M_H/I+M_V/I$		8.6449	11.3708	10.8259	10.9296	11.5897	12.7083	15.5275
合計		13.7615	16.1906	14.2165	14.0092	15.6182	21.7939	41.3140

片持バリ B, C, D は略

第38表 片持バリの鉛直応力の計算

片持バリA

標高	390	380	370	360	350	340	330
M/I	13.7615	16.1906	14.2165	14.0092	15.6182	21.7939	41.3140
T	7.535	10.529	12.823	14.418	15.312	15.506	15.000
ℓ	3.725	5.179	6.262	7.000	7.392	7.445	7.167
$T-\ell$	3.810	5.356	6.561	7.418	7.920	8.061	7.833
A	7.28548	10.36828	12.82142	14.57460	15.55237	15.68587	14.92051
W	129.511	322.408	572.933	855.205	1141.621	1403.546	1612.779
W/A	17.777	31.096	44.686	58.678	73.405	89.478	108.091
$M\ell/I$	51.261	83.754	89.024	98.064	115.450	162.256	296.097
$M(T-\ell)/I$	52.431	86.717	93.274	103.920	123.676	175.680	323.613
$D=\sigma_c$	70.208	117.813	137.960	162.598	197.101	265.158	431.704
$U=\sigma_u$	-33.484	-52.658	-44.338	-39.386	-42.045	-72.778	-188.006

片持バリ B, C, D は略

第39表 アーチの水平応力計算

アバットメント

	390	380	370	360	350	340
T	7.535	10.529	12.823	14.418	15.312	15.506
T'	56.776	110.860	164.429	207.879	234.457	240.436
$6/T'$	0.105678	0.054122	0.036490	0.028863	0.025591	0.024955
M	1457.212	3472.004	5055.937	6968.735	7227.679	8244.964
H	2087.411	3017.736	3494.481	3579.722	3547.689	2849.651
$6M/T'$	153.995	187.912	184.491	201.139	184.964	205.753
H/A	277.029	286.612	272.517	248.281	231.693	183.777
$I=\sigma_c$	123.034	98.700	88.026	47.142	46.729	-21.976
$E=\sigma_u$	431.024	474.524	457.008	449.420	416.657	389.530

量・揚圧力などのすべての鉛直堰重および越流頂以上の構造物の水平水圧・水平水圧ならびに片持バリの分割配分荷重による片持バリの鉛直力 (W) および曲げモーメント (M) が得られれば片持バリの鉛直応力は次の式によって求めることができる。

$$\text{下流側応力 } D = \sigma_D = \frac{W}{A} + \frac{M}{I}(T - l_g)$$

$$\text{上流側応力 } U = \sigma_U = \frac{W}{A} - \frac{M}{I}l_g$$

応力の計算例を第38, 39表に示す。これらの結果を集計すれば第40, 41表のようになる。

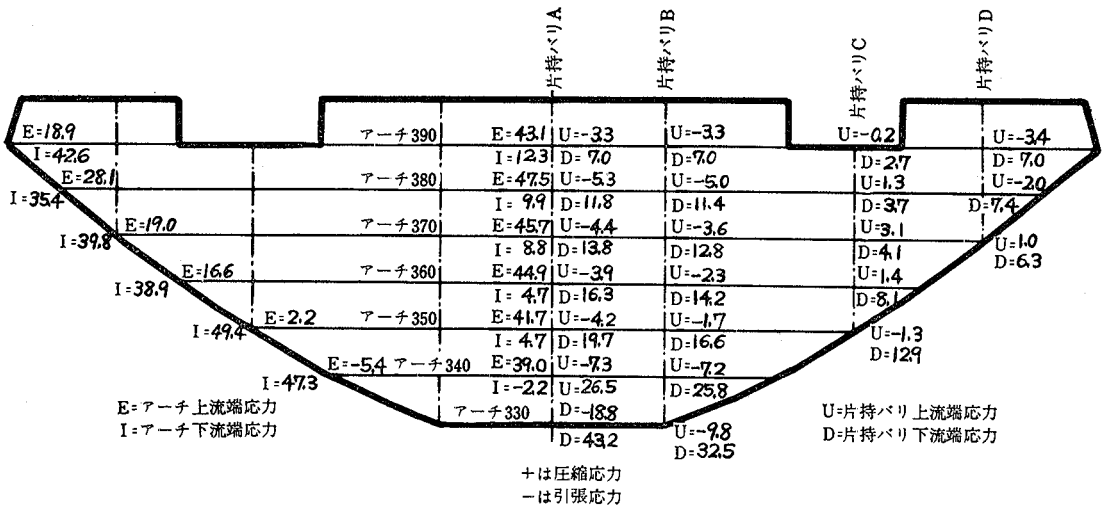
ダム満水動荷重時の応力図は第14図のよ

第40表 アーチの水平応力 (t/m²)

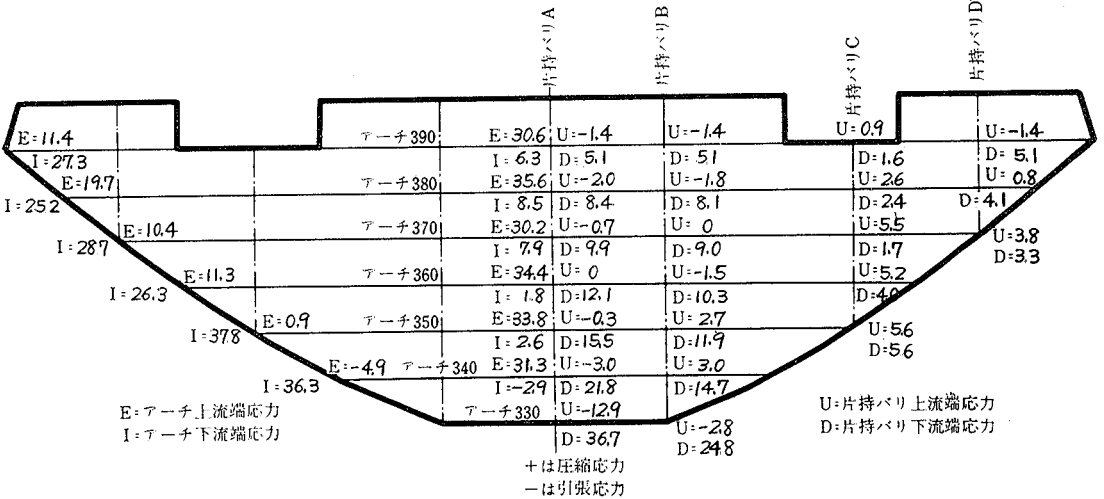
アーチ		390	380	370	360	350	340
クラウン	I	123.034	98.700	88.026	47.142	46.724	-21.976
	E	431.024	474.524	457.008	449.420	416.657	389.530
アバウトメント	I	426.323	354.035	398.431	389.419	494.165	472.739
	E	189.373	280.781	190.155	165.909	22.007	-53.923

第41表 片持バリの鉛直応力 (t/m²)

片持バリ		390	380	370	360	350	340	330
A	D	70.208	117.813	137.960	162.598	197.101	265.158	431.704
	U	-33.484	-52.658	-44.338	-39.386	-42.045	-72.778	-188.006
B	D	70.175	114.252	128.220	142.293	166.370	257.773	324.356
	U	-33.452	-49.889	-36.196	-22.692	-17.250	-71.597	-98.339
C	D	27.355	37.367	41.356	80.988	129.321		
	U	-2.010	12.936	30.995	13.524	-12.967		
D	D	70.379	74.302	62.779				
	U	-33.651	-19.913	9.603				



第14図 ダム満水動荷重時応力図 (kg/cm²)



第15図 ダム満水静荷重時応力図 (kg/cm²)

うになる。また動水圧および地震慣性力を除いたダム満水静荷重時の応力図は第15図に示す通りである。さらにダム空虚時にはアーチに関しては地震慣性力(ただし上流向の地震を考える)および温度荷重のみをとり、片持バリに関しては自重および標高390mより上の堤体に伴く上流向の地震力による地震慣性力をとるものとして計算を行なえば応力がえられる。

各載荷状態に対する最大応力の大きさとその発生位置を示せば第42表のようになる。

第 42 表 最大応力の値とその発生位置

	載荷状況	最大応力の発生する位置		応力の大きさ*
鉛直 応力	動荷重時	圧縮応力	クラウン片持バリ基底部 下流端	43.17
		引張応力	〃 上流端	18.80
	静荷重時	圧縮応力	〃 下流端	36.66
		引張応力	クラウン片持バリのE. L. 340 上流端	2.95
	空虚時	圧縮応力	片持バリBの基底部 上流端	25.99
		引張応力	片持バリDの基底部 下流端	4.58
水平 応力	動荷重時	圧縮応力	E. L. 350のアーチアバットメント 下流端	49.42
		引張応力	E. L. 340のアーチアバットメント 上流端	5.39
	静荷重時	圧縮応力	E. L. 350のアーチアバットメント 下流端	37.81
		引張応力	E. L. 340のアーチアバットメント 上流端	4.92
	空虚時	圧縮応力		
		引張応力	E. L. 390のアーチアバットメント 上流端	8.29

* 応力の単位は kg/cm²

VII 次号の概要

以上第1章、堤体の応力計算においては、ダムの概要と計算方針、堤体の基本形状の決定、アーチの計算、片持バリの計算、タワミの調整と応力計算についてのべてきたが、次号の第2章、構造模型実験においては、京都大学農学部構造実験室で行なった1/100縮尺の石コウ模型を用いた3次元模型実験について、特にオイルジャッキ載荷の場合の載荷荷重の大きさおよび着力点の決定方法についてのべることにする。

参 考 文 献

- (1) 酒井信一：大迫アーチダムに関する力学的研究：香川大学農学部学術報告，17 (1)，67-80 (1965)
- (2) 沢田敏男・酒井信一・黒川惇一：大迫アーチダムの力学的研究報告書 Type 6，京都大学沢田研究室資料 105-182 (1964)
- (3) U. S. Bureau of Reclamation : Treatise on dams, Chapter 10 Arch dam, (1955)
- (4) Hinds, Creager, Justin : Engineering for dams Vol. II Concrete Dams 425-557 (1944)

A study of the structure of Ōsako arch dam

I Stress Analysis (2)

Shin'ichi SAKAI

Summary In former paper, the author reported the outline of Ōsako arch dam, the method of stress analysis, the aim of the author with regard to the design of this dam, determination of the arch and cantilever shapes, and calculation of the data for arch elements.

Part V of this paper presents the calculation of the data for uncracked cantilever and Part VI presents the adjustment of radial deflection of arch and cantilever elements and the analysis of stresses at up and downstream faces of dam.

In next paper, an outline of the model test of Ōsako arch dam, and the mode of preparation of the model will be given.

(Received October 25, 1965)