

をいただき、なお降伏荷重の計算にあつては東大生産技術研究所 田中 尙氏の御教示を仰いだ。ここに記して謝意を表わす次第である。

追記 K. Trenks, *Bauing.*, 29 (1954), S. 372 によれば、直交異方性板のタワミ曲面の基礎微分方程式は8階の方が正しいようである。桁橋構造のように、床板、主桁よりなる場合には、特に8階の微分方程式によるべきであろう。しかし鋼床板のように、鋼板と織、横補強材とよりなる場合には、4階の微分方程式でも、妥当な値は得られるように思う。

参考文献

1) 小西：橋梁工学の最近の動向 p. 1 (昭 29)

- 2) 小西：橋梁工学の最近の動向 p. 75 (昭 29)
- 3) K. Girkmann: *Flächentragwerk*, S. 297, 1954
- 4) W. Cornelius: *Stahlbau*, Bd. 21, Heft 2, S. 21 1952, ただし、われわれの行つた 載荷実験では、 $H^2 = B_x \cdot B_y$ として、取り扱つてもよいようである。たとえば、成岡・大村・伊藤：格子桁の実験的研究 (昭 29) 参照。
- 5) K. Girkmann: *Flächentragwerk* S. 300, 1954
- 6) R. Mayer: *Stahlbau*, Bd. 21, Heft 8, S. 146, 1952
- 7) W. Cornelius: *Stahlbau*, Bd. 21, Heft 4, S. 60, 1952
- 8) 鋼床板については、床板と舗装の密着に問題があるようである。友永：学会誌第 39 巻第 7 号, p. 357 (昭 29) 参照。

アーチダムの温度変化並びに岩盤変形による応力の一計算法

正員 工学博士 田 中 吉 郎*
准員 小 坪 清 真**

A METHOD OF ANALYZING STRESSES IN ARCH DAMS DUE TO TEMPERATURE CHANGES AND BASE ROCK YIELDINGS

(JSCE Aug. 1955)

Dr. Eng., Kichirō Tanaka, C.E. Member, Seima Kotsubo, C.E. Assoc. Member

Synopsis In this article it is shown that the effects of temperature changes and of base rock yieldings upon arch dams may be transformed into hydrostatic pressures of equivalent effects upon arch elements. A simple way of obtaining stresses due to these effects without further computations and by only referring to the graphs published by Parme showing "stresses of fixed arches due to hydrostatic pressure" is also shown.

要旨 アーチダムの温度変化並びに岩盤変形の影響を、アーチ素片に加わる水圧に換算しうることを証明し、これらの影響による応力を特別の計算を加えることなく、ただ、Parme が作つた「静水圧による両端固定アーチの応力図表」を利用して、簡単に求めることゝ述べる。

1. 序論

アーチダムの応力計算に荷重試験法³⁾を用いると、精密な結果が得られるが、計算が煩雑で膨大な労力を要するという欠点がある。これに対し、Alfred L. Parme¹⁾によつて改良された拱頂片持バリ法は、その適用が対称アーチに限定されるとはいへ、きわめて速やかに応力の算定ができて便利である。

しかるに Parme の方法は、外力として静水圧のみを考え、しばしば相当の値を生ずるところのコンクリートの温度変化、硬化収縮、吸湿膨脹並びに岩盤変形などの影響を考慮していない。また、フランスで採用されている *encastré arch*²⁾ や *active arch*²⁾ の理論は (これは周知のとおり片持バリ素片の共同作用は

全然無視しているが) やはり岩盤変形の影響を取扱つていない。

著者は、温度変化や岩盤変形を、アーチ素片に加わる水圧に換算することによつて、それらによる応力を、すでに知られている固定アーチの図表をそのまま用いて簡単に求めることに成功した。従つて、これにより、Parme の方法や、*encastré arch* 及び *active arch* の理論において不完全であつた点を取り除くことができた。

2. 記 号

- R : アーチ素片の平均半径
- θ_a : アーチ素片の中心角の半分
- t_c, t_a : アーチ素片の拱頂及びアバットの「厚」さ
- $K = t_a/t_c$
- E : コンクリートのヤング率
- I : 片持バリ素片の断面の慣性モーメント
- λ : 単位巾のアーチ素片の間隔
- p : ダムに加わる静水圧及び泥圧
- p^a : アーチ素片が分担する荷重
- p^c : 片持バリ素片が分担する荷重
- v : 上下流面温度差による片持バリの半径方

* 九州大学教授、工学部土木工学教室

** 九州大学、大学院研究奨学生

向タワミ

w : 荷重 p^c による片持バリ素片の半径方向
タワミ

$\delta = w + v$: 全半径方向タワミ

T : ダムの温度降下

ΔT : ダムの上下流面温度差(下流側低きを正)

ϵ : コンクリートの熱膨張係数

G : 水圧による拱頂の半径方向タワミ係数

G_T : 温度変化による拱頂の半径方向タワミ係
数

$G_{\Delta T}$: 上下流面温度差による拱頂の半径方向タ
ワミ係数

Δx : アーチのアバットの切線方向変位

Δy : アーチのアバットの半径方向変位

θ_x : アーチのアバットの回転角

$\delta_{\Delta x}$: Δx による拱頂の半径方向タワミ

$\delta_{\Delta y}$: Δy による拱頂の半径方向タワミ

δ_{θ_x} : θ_x による拱頂の半径方向タワミ

3. 温度変化を考慮した拱頂片持バリ法⁴⁾

温度変化をも考慮した場合には、拱頂の半径方向タ
ワミは次式で表わされる。

$$\delta = \frac{GR}{E} p^a + \epsilon RTG_T + \epsilon R \Delta TG_{\Delta T} \quad (1)$$

(5 節参照).....

しかるに、 $\delta = w + v$ であるから、(1) より

$$\frac{p^a}{E} = \frac{w}{GR} + \frac{v}{GR} - \epsilon \left(\frac{G_T}{G} T + \frac{G_{\Delta T}}{G} \Delta T \right) \quad (2)$$

次に片持バリ素片は、上下流面温度差 ΔT によつて v なるタワミを生ずるから、片持バリ素片はその分担荷重 p^c によつて w なるタワミを生ずる。ゆえに、鉛直上方に x 軸を取れば、荷重とタワミとの関係から

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w}{dx^2} \right) = p^c \quad (3)$$

これを変形して

$$\frac{p^c}{E} = I \frac{d^4 w}{dx^4} + 2 \frac{dI}{dx} \frac{d^3 w}{dx^3} + \frac{d^2 I}{dx^2} \frac{d^2 w}{dx^2} \quad (4)$$

しかるに、 $p^a + p^c = p$ でなければならぬから、(2) と (4) より、次の方程式をうる。

$$I \frac{d^4 w}{dx^4} + 2 \frac{dI}{dx} \frac{d^3 w}{dx^3} + \frac{d^2 I}{dx^2} \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{w}{GR} = \frac{1}{E} \left[p + E \epsilon \left(\frac{G_T}{G} T + \frac{G_{\Delta T}}{G} \Delta T \right) - \frac{v}{GR} \right] \quad (5)$$

(5) 式の左辺は静水圧のみを考慮した Parme の式

と同じ形である。しかして右辺では、第 2 項以下が著者によつて新たに追加されている。

さて、上下流面温度差 ΔT による片持バリ素片のタワミ v は、曲率が $\epsilon \Delta T / t$ なる片持バリのタワミとして容易に計算できる。ゆえに、 G_T / G , $G_{\Delta T} / G$ を図表から求めれば、 w は (5) 式を差分方程式に変換して解くことによつて計算できる。著者は、 G_T / G , $G_{\Delta T} / G$ を等値水圧係数、右辺第 2 項 $E \epsilon TG_T / G$, $E \epsilon \Delta TG_{\Delta T} / G$ を等値水圧と名づける。等値水圧とは、温度変化によるアーチ素片の半径方向タワミと全く等しい半径方向タワミを生ずる荷重の意味である。従つて等値水圧は、等厚アーチでは等布荷重となるが、不等厚アーチでは等布荷重とはならない。しかし、ここでは簡単のために、拱頂のタワミが等しくなるような等布荷重とした。すなわち、

$$\epsilon RTG_T / G = pRG / E \text{ より, } p = E \epsilon TG_T / G$$

4. 片持バリ素片並びにアーチ素片の応力

w が求められると、片持バリ素片の応力は次式¹⁾によつて計算される。

$$\sigma_n = \pm \frac{w_{n+1} - 2w_n + w_{n-1}}{2\lambda^2} Et_n \quad (6)$$

(下流面には正の、
上流面に負の符号).....

次に、アーチ素片の分担荷重は (2) 式より、

$$p^a = \frac{Ew}{GR} + \frac{Ev}{GR} - E \epsilon \left(\frac{G_T}{G} T + \frac{G_{\Delta T}}{G} \Delta T \right) \quad (7)$$

となり、アーチ素片の応力は、(7) 式の荷重 p^a による応力と、温度変化のみによるフリーアーチの応力との和になるべきである。この 2 種の応力のうち、後者は次のようにして求めることができる。すなわち、温度変化によつて変形したフリーアーチに、(7) 式の第 3 項で表わされる等値水圧を、温度変化によるタワミの方向と逆の方向に加えると、フリーアーチの半径方向タワミは 0 となる。従つて、フリーアーチの温度応力は、半径方向タワミを拘束された状態における温度応力に、等値水圧によるフリーアーチの応力を加えたものに等しくなる。ゆえに、この両者を総合すれば、アーチ素片の応力は、(7) 式に等値水圧を加えたところの荷重 ((8) 式) による応力と、半径方向タワミを拘束された状態における温度応力との和になる。

$$p^a = \frac{Ew}{GR} + \frac{Ev}{GR} \quad (8)$$

(8) 式の荷重 p^a によるアーチ素片の応力は、Parme の応力図表をそのまま使用して求めることができる。

半径方向タワミが拘束された状態におけるアーチ素片の応力は、次のようにして求めることができる。半径

方向タワミを拘束されたアーチは、切線方向にだけ変位できる。従つて、この場合に拱頂における張力を X とすれば、

$$X = \frac{E \varepsilon T \theta_a}{\int_0^{\theta_a} \frac{d\theta}{(a-b \cos \theta) t_c}}, \quad a = \frac{K - \cos \theta_a}{1 - \cos \theta_a},$$

$$b = \frac{K - 1}{1 - \cos \theta_a}$$

で表わされる。積分を簡単にするために、

$$a - b \cos \theta \doteq 1 + (K-1)(\theta/\theta_a)^2 \text{ とおけば、}$$

$$X = \frac{E \varepsilon T t_c}{\int_0^1 \frac{d\left(\frac{\theta}{\theta_a}\right)}{1 + (K-1)\left(\frac{\theta}{\theta_a}\right)^2}}$$

$$= E \varepsilon T t_c \frac{\sqrt{K-1}}{\tan^{-1} \sqrt{K-1}}$$

$$\doteq E \varepsilon T t_c \{1 + 0.3(K-1)\} \dots \dots \dots (9)$$

これらの近似計算による (9) 式の誤差は、 $1 \leq K \leq 1.5$ において 1% 以内である。従つて、拘束状態における温度応力は拱頂において*

$$\begin{aligned} \delta = \varepsilon RT \left[(1 - \cos \theta_a) + \left\{ \frac{\sin^3 \theta_a}{F} \frac{12 R^2 (1 - \cos \theta_a) \{1 - \cos \theta_a - (K+1)B\}}{t_c^2} + \frac{2(1 - \cos \theta_a)(K - \cos \theta_a)}{(K-1)^2} \log K \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{2(1 - \cos \theta_a)^2}{K-1} \right\} + \varepsilon R \Delta T \left[\frac{R}{t_c} \frac{1 - \cos \theta_a}{K-1} \log K \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{R}{t_c} \frac{(K+1)(1 - \cos \theta_a)C}{2K(K-1) + \frac{3(K-1)(K - \cos \theta_a)}{2K-1 - \cos \theta_a} + \frac{K\{2(K - \cos \theta_a)^2 + (K-1)^2\}C}{(2K-1 - \cos \theta_a)\sin \theta_a}} \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{R}{t_c} \left(1 - B - \frac{K - \cos^3 \theta_a}{K-1} \right) C + \frac{(1 - \cos \theta_a)\theta_a}{K-1} \left\{ \frac{12 R^2 (1 - \cos \theta_a) \{1 - \cos \theta_a - (K+1)B\}}{t_c^2} - \frac{2(K - \cos \theta_a)}{2K} \right\} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{2(1 - \cos \theta_a)(K - \cos^3 \theta_a)}{(K-1)^2} \log K - \frac{2(1 - \cos \theta_a)^2}{K-1} \right\} \right] \dots \dots \dots (12) \end{aligned}$$

ここに

$$B = \frac{D(1+3D^2)C + \frac{2D^2}{\left(\tan^2 \frac{\theta_a}{2} + D\right)^2} \left\{ (1-5D)\tan^2 \frac{\theta_a}{2} - D(1-3D) \right\} \tan \frac{\theta_a}{2}}{(3+2D+3D^2)\frac{C}{2} + \frac{D}{\left(\tan^2 \frac{\theta_a}{2} + D\right)^2} \left\{ (3+2D-5D^2)\tan^2 \frac{\theta_a}{2} + (5D-2D^2-3D^3) \right\} \tan \frac{\theta_a}{2}}$$

$$C = \frac{2}{\sqrt{D}} \tan^{-1} \left(\sqrt{D} \tan \frac{\theta_a}{2} \right), \quad D = \frac{1 - \cos \theta_a}{2K - 1 - \cos \theta_a}$$

$$F = \frac{12 R^2}{t_c^2} \left[\frac{(1-L^2)\sin \theta_a}{2(2K-1-\cos \theta_a)} \left(\frac{K-1}{K} + \frac{3(K-1)(K-\cos \theta_a)}{K(2K-1-\cos \theta_a)} + \frac{2\{(K-\cos \theta_a)^2 + (K-1)^2\}C}{(2K-1-\cos \theta_a)\sin \theta_a} \right) \right. \\ \left. + \frac{1 - \cos \theta_a}{2(2K-1-\cos \theta_a)} \left(\frac{\sin \theta_a}{K^2} (1-K+\cos \theta_a) - C \right) \right] + \frac{2(1-\cos \theta_a)}{K-1} \left(\sin \theta_a + \frac{(K-\cos \theta_a)\theta_a}{K-1} \right) \\ \left. + \left(3 - \frac{2(K-\cos \theta_a)^2}{(K-1)^2} \right) C \right]$$

$$\sigma_c = E \varepsilon \left[-T \{1 + 0.3(K-1)\} \pm \frac{\Delta T}{2} \right]$$

(正号上流側).....(10)

アバットにおいて

$$\sigma_a = E \varepsilon \left[-T \left\{ \frac{1 + 0.3(K-1)}{K} \right\} \pm \frac{\Delta T}{2} \right]$$

(正号上流側).....(11)

ゆえに、温度変化を考える場合にも、温度変化によるフリーアーチの応力図表を使用する必要がなくなる。

次にタワミの図表については、Parmeのもののはかに、等値水圧係数 G_T/G , $G_{\Delta T}/G$ を表わす図表を作成する必要がある。

5. 等値水圧係数 G_T/G , $G_{\Delta T}/G$ の図表作成

等布水圧による拱頂の半径方向タワミ係数 G が、 t_c/R , K , θ_a の函数であることはすでに Parme の論文に示され、図表化されている。従つてここでは、温度変化による拱頂の半径方向タワミ係数 G_T , $G_{\Delta T}$ について示す。温度降下 T 及び上下流面温度差 ΔT による拱頂の半径方向タワミは次式で表わされる。

$$L = \frac{K - \cos \theta_a}{K} + \frac{(K - \cos \theta_a)^2 + 2(K-1)^2}{2K-1 - \cos \theta_a} + \frac{3K(K-1)(K - \cos \theta_a)C}{(2K-1 - \cos \theta_a)\sin \theta_a}$$

$$L = \frac{K-1}{K} + \frac{3(K-1)(K - \cos \theta_a)}{2K-1 - \cos \theta_a} + \frac{K\{2(K - \cos \theta_a)^2 + (K-1)^2\}C}{(2K-1 - \cos \theta_a)\sin \theta_a}$$

(12) 式のカッコ内は $t_c/R, K, \theta_a$ のみの函数であるからこれを G_T 及び G_{dT} でおきかえると

$$\delta = \epsilon RTG_T + \epsilon R \Delta T G_{dT} \dots \dots \dots (13)$$

(12) 式から, G_T 及び G_{dT} を計算し, G_T/G , G_{dT}/G を求めると 図-1.2 をうる。

特に等厚アーチでは

$$\frac{G_T}{G} = \frac{1}{\frac{R}{t} + 0.5}, \quad \frac{G_{dT}}{G} = 0$$

となり, タワミの図表は不要である。

図-1 等値水圧係数 G_T/G の値

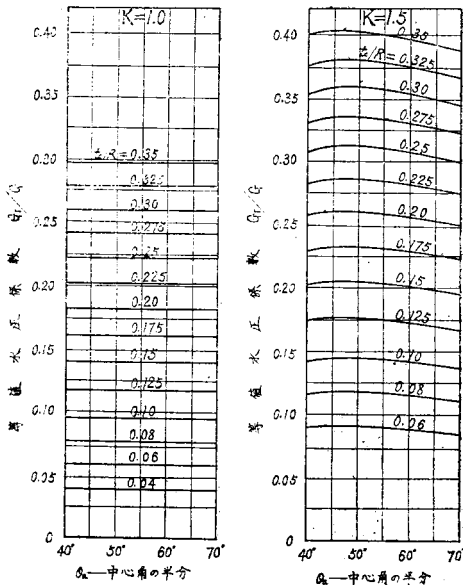
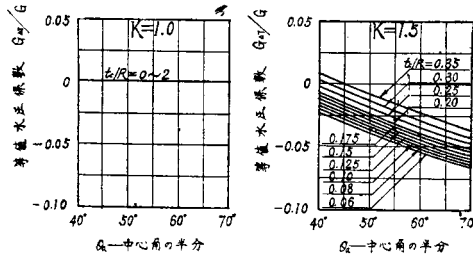


図-2 等値水圧係数 G_{dT}/G の値



6. 岩盤変形の温度変化への換算⁵⁾

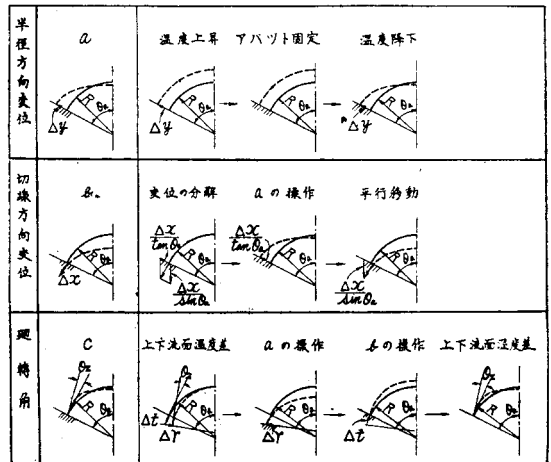
兩岸固定の場合のアーチ並びに片持バリ素片の応力がわかれば, 岩盤変形によるアバットの変位 $\Delta x, \Delta y, \theta_z$ は荷重試算法³⁾ の場合と同様にして求めることができる。拱頂片持バリ法においては, アバットにおける片持バリ素片底部の応力は, 同じ標高における拱頂

片持バリ素片の応力に等しいものと仮定することができる。また, アーチ素片のアバットにおける半径方向セン断力は, 新たに応力図表を作成すればよいが, このセン断力は, アーチ素片の直推力及び片持バリ素片のセン断力にくらべると微小であるから省略しても誤差はすくない。

さて, ここで, アバットの変位 $\Delta x, \Delta y, \theta_z$ が, 図-3 のように, アーチ素片の温度変化におきかえられることを説明しよう。

(a) 半径方向変位 Δy 図-3 の (a) はアバットが半径方向に Δy なる変位を受けたアーチ素片を示す。実線及び点線のアーチは, それぞれ, 変形前及び変形後のアーチの軸線を示す。この変位をアーチ素片の温度変化に換算するには, (1) アーチ素片を岩盤から切りはなし, 半径 R が Δy だけ増大するような温度上昇をアーチ素片に与え, (2) 両アバットを固定し, (3) アーチ素片の温度をもとに戻すために, 始めにあたえた温度だけ降下させる。

図-3 アバットの変位の温度変化への換算



(b) 切線方向変位 Δx 図-3 の (b) は, アーチのアバットが切線方向に Δx なる変位を受けた状態を示す。まづ, (1) Δx を半径方向変位 $\Delta x/\tan \theta_a$ と, 河流方向変位 $\Delta x/\sin \theta_a$ とに分解し, (2) 半径方向変位 $\Delta x/\tan \theta_a$ に対して (a) と同様の操作をほどこし, (3) 河流方向に $\Delta x/\sin \theta_a$ だけアーチ素片をそのまま移動させればよい。

(c) 回転角 θ_z 図-3 の (c) は, アーチのアバットが θ_z だけ回転した場合を示す。(1) アーチ素片

を岩盤から切りはなし、拱頂を固定して、上下流面温度差 ΔT_e をあたえ、アバットにおけるアーチ軸線の回転角を θ_z ならしめる。このような温度差をあたえると、アバットの回転角が θ_z となるばかりでなく、アバットは、半径方向変位 Δr 、切線方向変位 Δt を生ずるにいたる。アバットにおいて回転角 θ_z だけを生ぜしめるためには、アーチのアバットを、半径方向に Δr 、切線方向に Δt だけ移動させて、アバットをもとの位置に戻してやらなければならない。従つて、(2) 拱頂の固定を解き、アバットを固定し、 Δr に対して a の操作を行い、(3) Δt に対して b の操作(ただし方向反対)を行う。しかるのち、(4) 始めにあたえた上下流面温度差 ΔT_e をアーチ素片から取りのぞけばよい。

このような操作によつて得られるアーチ素片のタワミ及び応力は、アバットが変位を受けて生じたアーチ素片のタワミ及び応力に等しい。

7. アバットの変位を受けたフリーアーチのタワミ及び応力

アバットの半径方向変位 Δy による拱頂の半径方向タワミ $\delta_{\Delta y}$ は、6. の説明により明らかなように、

$$\delta_{\Delta y} = -\Delta y + \epsilon RT_e G_T = \Delta y (G_T - 1) \quad (* \cdot \epsilon RT_e = \Delta y) \dots \dots \dots (14)$$

アバットの切線方向変位 Δx による拱頂の半径方向タワミ $\delta_{\Delta x}$ は、(14) 式を参照して

$$\delta_{\Delta x} = \frac{\Delta x}{\sin \theta_a} + \frac{\Delta x}{\tan \theta_a} (G_T - 1) = \Delta x \left(\frac{1 - \cos \theta_a}{\sin \theta_a} + G_T \frac{1}{\tan \theta_a} \right) \dots \dots \dots (15)$$

アバットの回転角 θ_z による拱頂の半径方向タワミ δ_{θ_z} は、(14)、(15) 式を用いて

$$\delta_{\theta_z} = \Delta r (G_T - 1) - \Delta t \left(\frac{1 - \cos \theta_a}{\sin \theta_a} + G_T \frac{1}{\tan \theta_a} \right) - \epsilon R \Delta T_e G_{\Delta T}$$

しかるに、図-3 の (c)、(1) にてあたえるべき上下流面温度差 ΔT_e は、(16) 式となる。

$$\int_0^{\theta_a} \left(\epsilon R \Delta T_e \frac{1}{t} \right) d\theta = \theta_z \quad \frac{\Delta T_e}{t} = \frac{\theta_z}{\theta_a} \frac{1}{\epsilon R} \dots \dots \dots (16)$$

これより

$$\Delta r = \int_0^{\theta_a} \epsilon \frac{\Delta T_e}{t} R^2 \sin(\theta_a - \theta) d\theta = \frac{\theta_z}{\theta_a} R(1 - \cos \theta_a) \quad \Delta t = \int_0^{\theta_a} \epsilon \frac{\Delta T_e}{t} R^2 [1 - \cos(\theta_a - \theta)] d\theta$$

$$= \frac{\theta_z}{\theta_a} R(\theta_a - \sin \theta_a)$$

で表わされ、また、 $G_{\Delta T}$ は、等厚アーチでは 0 であり、不等厚アーチにおいても、 G_T に比し微小であるから省略すれば、結局、 δ_{θ_z} は次式で表わされる。

$$\delta_{\theta_z} = R \theta_z \left\{ -\frac{1 - \cos \theta_a}{\sin \theta_a} + \left(\frac{1}{\theta_a} - \frac{1}{\tan \theta_a} \right) G_T \right\} \dots \dots \dots (17)$$

ゆえに、拱頂の半径方向タワミは、(14)、(15)、(17) 式の総和であるから、次式となる。

$$\delta = \left\{ \frac{1 - \cos \theta_a}{\sin \theta_a} (\Delta x - R \theta_z) - \Delta y \right\} + G_T \left\{ \frac{\Delta x}{\tan \theta_a} + \Delta y + R \theta_z \left(\frac{1}{\theta_a} - \frac{1}{\tan \theta_a} \right) \right\} \dots \dots \dots (18)$$

両アバット変形によるフリーアーチの応力は、図-3 の説明より明らかなように、両アバットが固定されたのちに、アーチ素片にあたえられた温度変化による応力に等しい。すなわち、この場合の換算温度降下 T_e は、(18) 式の第 2 項を用いて (19) 式のように表わされ、換算上下流面温度差 ΔT_e は、(16) 式を用いて (20) 式となる。

$$T_e = \frac{1}{\epsilon R} \left\{ \frac{\Delta x}{\tan \theta_a} + \Delta y + R \theta_z \left(\frac{1}{\theta_a} - \frac{1}{\tan \theta_a} \right) \right\} \quad (* \cdot \epsilon RT_e G_T = \delta_T) \dots \dots \dots (19)$$

$$\Delta T_e = -\frac{\theta_z}{\theta_a} \frac{t}{\epsilon R} \dots \dots \dots (20)$$

しかして、この換算温度変化によるアーチ素片の応力は、4. で示したように、次式で表わされる等値水圧

$$p_e = \frac{G_T}{G} E \epsilon T_e = \frac{G_T E}{GR} \left\{ \frac{\Delta x}{\tan \theta_a} + \Delta y + R \theta_z \left(\frac{1}{\theta_a} - \frac{1}{\tan \theta_a} \right) \right\} \dots \dots \dots (21)$$

による両端固定アーチの応力と、半径方向タワミが拘束された状態における温度応力

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &= E \epsilon \left[-T_e \{1 + 0.3(K-1)\} \pm \frac{\Delta T_e}{2} \right] \quad \text{(拱頂)} \\ \sigma_a &= E \epsilon \left[-T_e \left\{ \frac{1 + 0.3(K-1)}{K} \right\} \pm \frac{\Delta T}{2} \right] \quad \text{(アバット)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (22)$$

との和で表わされる。

8. 岩盤変形による応力の拱頂片持バリ法による解法

この場合には、(19) 及び (20) 式で表わされる換算温度変化を、3. 及び 4. で説明された温度変化による応力の計算法に適用すれば、全く同様にして応力

の計算をすることができる。ただし、この場合には、 $v=0$ である。

9. 拱頂片持バリ法における応力の誤差

本法によつて算定された応力の誤差について証明する。

まづ等厚アーチでは、温度降下 T によつて生ずるアーチ素片のタワミは、等値水圧 $E \varepsilon T G_T / G$ によるタワミと完全に一致するから、温度降下 T を受けたアーチ素片に、等値水圧を上流方向に加えてやると、アーチ素片は完全に変形前の状態にもどる。しかるのち、等値水圧を再び下流方向に加え、この下流方向荷重をアーチ及び片持バリ素片の両系統に配分し、両者のタワミが等しくなるように配分荷重を決定すれば、ダム全体としては温度降下 T のみを受けた場合の状態と同一である。以上の操作より明らかのように、アーチ素片の温度応力は、拘束状態における温度降下による応力と、下流向等値水圧のうち、アーチ素片に分担せしめられた荷重による応力との和になる。この2種の応力のうち、前者はアーチ素片の形状のいかんを問わず、常に $\sigma = -E \varepsilon T$ によつてあたえられるから、結局後者の誤差によつて温度応力の誤差も左右されることになる。しかしてこの後者の誤差は、静水圧をアーチ及び片持バリ素片の両系統に配分する場合に、アーチ素片の分担荷重を等布と仮定して拱頂片持バリ法を用いるときの誤差と等しい。

一般にアーチダムが静水圧を受ける場合には、アーチ素片の実際の分担荷重は拱頂において最大で、アバットに行くにしたがつて次第に減少するような分布をなすもので、そのような実際の分布荷重によるアーチ素片の応力と、分担荷重を等布と仮定して求めたアーチ素片の応力とを比較してみると、拱頂においてはわずかに危険側の誤差であるが、アバットにおいては安全側の誤差であり、いづれの誤差も数%に過ぎないことはすでに Parme の論文に示されている。

次に、不等厚アーチでは、等値水圧は等厚アーチの場合と異なり等布荷重とはならない。一般に拱頂で最小値を示し、アバットに向うにしたがつて多少増大するものである。従つて、このような荷重をアーチ及び片持バリ素片の両系統に配分すれば、アーチ素片の実

際 の 分 担 荷 重 は 等 厚 アーチ の 場 合 よ り も 等 布 荷 重 に 近 づく こと に なる。それゆゑ、アーチ素片の分担荷重を等布と仮定して拱頂片持バリ法を用いて求めたアーチ素片の応力の誤差は、等厚アーチの場合の誤差よりも少なくなることは明らかである。

上下流面温度差 ΔT による等値水圧は、等厚アーチでは常に0であり、その応力も $\pm E \varepsilon \Delta T / 2$ によつて完全に表わされる。不等厚アーチにおいては、等値水圧は0とならないが、温度降下による等値水圧に比すれば2次的の影響しか持たない。

10. Encastré Arch²⁾ 及び Active Arch²⁾ への適用

両岸固定の場合の応力から、岩盤の変形 $\Delta x, \Delta y, \theta_z$ を求めれば、これを (19), (20) 式によつて温度変化 T_e 及び ΔT_e に換算することができる。Encastré Arch 及び Active Arch の理論では、両端固定アーチだけを取扱っているけれども、岩盤変形による応力も、上述のような換算温度変化 T_e 及び ΔT_e による両端固定アーチの応力として容易に求めることができ、新たに応力図表を作成する必要がない。

11. 結 言

本法によると、“Abridged trial load method”¹⁾ で限定されたように、岩盤のヤング率並びに両岸傾斜度を限定されることもなく、温度変化及び岩盤変形による応力をいちじるしく簡単に計算できる。従つて、Parme の拱頂片持バリ法の簡便さを失うことなく、一層複雑な条件を算入しうるわけである。

参 考 文 献

- 1) Alfred L. Parme: “Arch Dams with Arches of Variable Thickness”, Modern Development In Reinforced Concrete.
- 2) A. Bourgin (1948): Cours de Calcul De Barrages. または Frank F. Fergusson (1953): The Design of Dams.
- 3) Bureau of Reclamation (1950): Treatise on Dams. Chapt. 10, Arch Dams.
- 4) 小坪 (1954): 「アーチダム の 温度応力の一計算法」九大工学集報 Vol. 27, No. 1.
- 5) 小坪 (1954): 「アーチダム の 岩盤変形による応力の一計算法」九大工学集報 Vol. 27, No. 2. (昭.29.12.26)

▶ 図書雑誌等御寄贈のお願い ◀

会員の閲覧に供し、あわせて土木工学論文抄録の編集、学会図書室の充実をはかるため、各出版者、著者、官公庁、学校、その他の箇所て発行されました土木工学に関係ある図書(資料、統計等を含む)、雑誌等を一層多く学会宛御寄贈下さいますようお願い申し上げます。(土木学会図書室)