

c) 核 $r_k = \frac{D}{8} = 1.25$

∴ $e < r_k$

d) 応力 次式により計算する

$$\sigma_c = \frac{P}{F} \pm \frac{e \cdot P}{I_y} \cdot x = \frac{859.78}{785} \pm \frac{1,053.77}{490.9} \times 5.0 = 21.68, 0.22$$

ゆえに安全である。

結 び

ウィングを有する塔体のように、種々の断面が組合わされて一つの断面ができている場合、これに引張応力が付いた時の応力計算は相当複雑なものとなる。これを避けるため、図式解法を適用してみたわけである。

終りに設計に際し種々ご指導、ご援助下さった堂所長ほか先輩各所員の方々に謝意を表する次第である。

61. 俵真布堰堤計画について

旭川開発建設部 谷 畑 実

俵真布堰堤は美瑛川地区直轄灌漑事業の一環として、目下調査計画中のものである。堤高 29.70 m・堤頂長 685.0 m・天端幅 9.00 m・堤敷 150 m・堤体積 1,070,000 m³・貯水量 8,750,000 m³ の土石ダムである (図 61-1 参照)。土石ダム採用の理由は主として材料および地質上からであるが、今回は前刃金粘土を有する土石ダムについて水理計算上から考えてみたい。

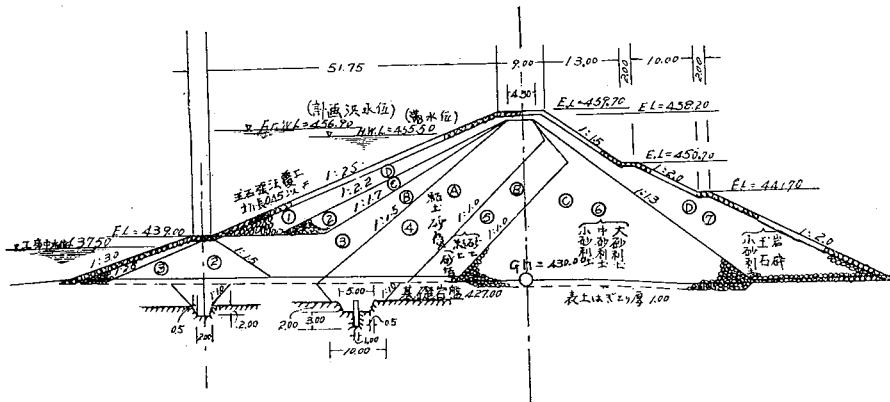


図 61-1 美瑛川地区俵真布貯水池堰堤標準図

貯水量 8,750,000 m³, 高 29.70 m, 長 685.00 m, 堤体積 1,070,000 m³,
型式土石ダム (Earth and Rock Dam) 前刃金粘土使用

1. 水理計算の仮定について

従来から行なわれている方法に A. Casagrande の方法がある。これは図 61-2 のように不透水層上に直立する短形堤体に関する計算である。水平な不透層がその一端 A で断絶し、 x 方向の距離 l に深さ $BC=H$ なる水があるとき、水は A を焦点とする抛物線状の流線をたどって透水性層を透過し y 面に対するものと仮定する。し

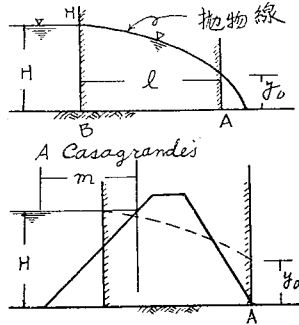


図 61-2 (A)

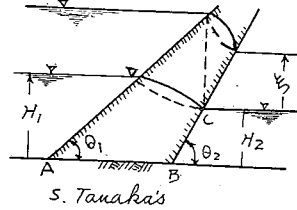


図 61-2 (B)

ξ は不連続となる流出点の
下流水位よりの高さを示す

かし俵真布堰堤のように傾斜せる前双金粘土使用の堰堤内の透過の形態は、上記の方法をその儘使用することによつて解析することはできない(図 61-2 (A), (B) 参照)。傾斜せる堤体の透過の解析については、田中茂教授(神戸大学工学部土木工学教室)の理論を適用することにした(土木学会論文集第 18 号参照)。

7 断面 4 材料からなる俵真布堰堤について、前記の 2 つの考え方の範囲を示すと次の 3 項目に分けられると思う。

- i) 第 2 断面から第 6 断面に至る材料 (A) (B) (C) で築造される堤体を均一の方法と仮定して Casagrande の方法を用いる。
- ii) 第 4 断面から第 6 断面に至るものを 1 つのものとした central core を有する zone type として Casagrande の方法を用いる。
- iii) 第 4 断面のみをとり出して sloping core を有する zone type として田中茂教授の理論およびその方法を適用する。

以上 3 つの基本的考え方をあげたが、iii) の考え方が俵真布堰堤には一番ぴつたりすると思われるので、これを採用した。

2. 水理計算公式について

(土木学会論文集第 18 号「傾斜せる堤体内の自由水面について」—田中 茂—参照のこと)

条件 下流側に傾いた堤体の透過について

a: H_1 (上流側水位) が H_2 (下流側水位) より高くなつても直ちに流出点が現われず、与えられた断面および H_2 に対して特有な水位(限戦対応水位と田中教授は名づけている) H_1 をとるとき、これ以上 H_1 が高くなると流出点が現われる。

b: 堤体断面の形状と上下流水位との総合関係により自由水面の形が上凹曲線と上凸曲線をとる場合とに 2 大別される。上凹曲線型では自由水面の流出点における勾配が鉛直下降とはならず、下流面の傾斜角に支配されるある特有の角度をとる。上凸曲線型では水面曲線は流出点に鉛直に下向く。これら 2 つの水面曲線型は同じ堤体断面において水位の値が変化すると 1 つの型から他の型へ移り、またその逆も生ずる(図 61-2 参照)。

i) 上凹水面曲線

a) 流出点の現われぬ場合(図 61-2 参照)

$$q' = -ky \left(\frac{dy}{ds} + \cot \theta_2 \right) \quad (1)$$

$$y \frac{d^2 y}{ds^2} + \left(\frac{dy}{ds} \right)^2 + \frac{dy}{ds} \cot \theta_2 = 0 \quad (2)$$

$$y = -s \cot \theta_2 + \sqrt{(s \cot \theta_2 + H_2)^2 + (H_1^2 - H_2^2)(1 - s/S)} \quad (3)$$

$$\frac{dy}{ds} = -\cot \theta_2 + \frac{2(s \cot \theta_2 + H_2) \cot \theta_2 - (H_1^2 - H_2^2)/S}{2(y + s \cot \theta_2)} \quad (4)$$

q' …単位巾流量
 θ_2 …流出面傾斜角
 s …水面曲線に沿って測つた長さ
 S …水面曲線全長
 k …透水度
 y …曲線上の点より水平不透水層までの高さ

$$\left(\frac{dy}{ds} \right)_{s=S} = -(H_1^2 + H_2^2)/2S(S \cot \theta_2 + H_2) \quad (5)$$

$$\left(\frac{dy}{ds} \right)_{s=0} = -\cot \theta_2 (1 - H_2/H_1) - (H_1^2 - H_2^2)/2H_1 S \quad (6)$$

$$\left(\frac{dy}{ds} \right)_{s=0'} = -1 \quad (7)$$

$$2(H_1 - H_2)S \cot \theta_2 = 2H_1 S - (H_1^2 - H_2^2) \quad (8)$$

$$[H_{1,c}]_1 = S_c (1 - \cot \theta_2) + \sqrt{S_c^2 (1 - \cot \theta_2)^2 + H_2 (H_2 + 2S_c \cot \theta_2)} \quad (9)$$

$$\left(\frac{dy}{ds} \right)_{s=S_c} = -\frac{[H_{1,c}]_1 - ([H_{1,c}]_1 - H_2) \cot \theta_2}{S_c \cot \theta_2 + H_2} \quad (10)$$

S_c …限界対応水位に対する S の値

b) 流出点の現われる場合 (図 61-3 参照)

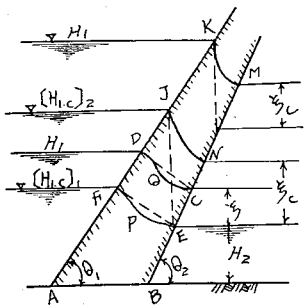
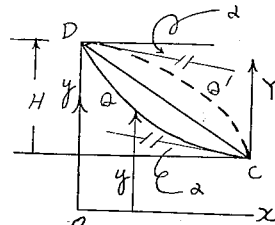


図 61-3 (A)

S. Tanaka の方法

上凹曲線において流出点の現われる場合

下流側水位と流出面との交点 E_1 に立てた垂線 EJ が流入面との交点 J の高さを超えて H_1 が変動するとき KM は JN の平行移動



$$\alpha = \sin^{-1} \frac{[H_{1,c}]_1 - ([H_{1,c}]_1 - H_2) \cot \theta_2}{S_c \cot \theta_2 + H_2}$$

図 61-3 (B)

$$k \{ H_1 - [H_{1,c}]_1 \} \frac{[H_{1,c}]_1 - \{ [H_{1,c}]_1 - H_2 \} \cot \theta_2}{S_c \cot \theta_2 + H_2} = k \cdot \xi \cdot 1 \quad (11)$$

$$\xi = \{ H_1 - [H_{1,c}]_1 \} \frac{[H_{1,c}]_1 - \{ [H_{1,c}]_1 - H_2 \} \cot \theta_2}{S_c \cot \theta_2 + H_2} \quad (12)$$

流出点の方向は次の値となる (図 61-3 参照)

$$\left. \begin{aligned} &-\tan \sin^{-1} \{ [H_{1,c}]_1 - \{ [H_{1,c}]_1 - H_2 \} \cot \theta_2 \} / (S_c \cot \theta_2 + H_2) \\ &\left(\frac{dy}{ds} \right)_{s=0} = -1 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$y = H_1 - \frac{2}{\sqrt{L}} \left[H_1 - H_2 - \xi - L \tan \cdot \sin^{-1} \{ [H_{1,c}]_1 - \{ [H_{1,c}]_1 - H_2 \} \cot \theta_2 \} \times \frac{1}{S_c \cot \theta_2 + H_2} \right] + \sqrt{x} - \frac{x}{L} \{ H_1 - H_2 - \xi - 2 \{ H_1 - H_2 - \xi - L \tan \cdot \sin^{-1} \{ [H_{1,c}]_1 - \{ [H_{1,c}]_1 - H_2 \} \cot \theta_2 \} / (S_c \cot \theta_2 + H_2) \} \} \quad (14)$$

$$\xi' = \{H_1 - [H_{1,c}]_2\} \cot \theta_1 \cdot \tan \theta_2 + \{[H_{1,c}]_2 - [H_{1,c}]_1\} \{[H_{1,c}]_1 - \{[H_{1,c}] - H_2\} \cot \theta_2\} / (S_c \cot \theta_2 + H_2) \quad (15)$$

ii) 上凸水面曲線

a) 流出点が現われぬ場合 (図 61-4 参照)

$$y = H'_1 + H_2 + (S-s) \cot \theta_2 - \sqrt{[(S-s) \cot \theta_2 + H_2]^2 + (H_1'^2 - H_2^2) s / S} \quad (16)$$

$$\frac{dy}{ds} = -\cot \theta_2 + \frac{2[(S-s) \cot \theta_2 + H_2] \cot \theta_2 - (H_1'^2 - H_2^2) / S}{2\{H_1' + H_2 + (S-s) \cot \theta_2 - y\}} \quad (17)$$

$$\left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=0} = -(H_1'^2 - H_2^2) / 2S(H_2 + S \cot \theta_2) \quad (18)$$

$$\left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=S} = -\cot \theta_2 (1 - H_2 / H_1') - (H_1'^2 - H_2^2) / 2H_1' S' \quad (19)$$

$$\left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=S} = -0.5 \quad (20)$$

$$[\bar{H}_{1,c}]_1 = \sqrt{H_2(H_2 + 2\bar{S}_c \cot \theta_2)}, \quad [H_{1,c}]_1 = [\bar{H}_{1,c}]_1 + \Delta H_{1,c} \quad (21)$$

$$[\bar{H}_{2,c}]_1 = -\bar{S}_c \cot \theta_2 + \sqrt{\bar{S}_c^2 \cot^2 \theta + (H_1 - \Delta H_{1,c})^2} \quad (22)$$

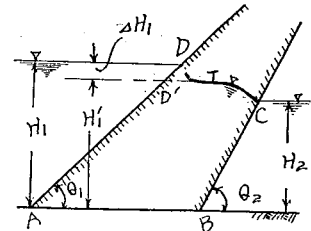
$$\left.\begin{aligned} \left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=0,c} &= -\{[\bar{H}_{1,c}]_1^2 - H_2^2\} H_2 / \{[\bar{H}_{1,c}]_1^2 + H_2^2\} \bar{S}_c \\ \left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=S_c} &= -\cot \theta_2 \end{aligned}\right\} \quad (23)$$

$\theta_2 \cong 63^\circ \sim 26'$ のとき (16)~(23) 式が適用されるものとする。

$$\left.\begin{aligned} [\bar{H}_{1,c}]_1 &= \sqrt{H_2(H_2 + \bar{S}_c)}, \quad [H_{1,c}]_1 = \sqrt{H_2(H_2 + \bar{S}_c)} + \Delta H_{1,c} \\ [\bar{H}_{2,c}]_1 &= -0.5 \bar{S}_c + \sqrt{0.25 \bar{S}_c^2 + (H_1 - \Delta H_{1,c})^2} \\ \left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=0,c} &= -\{[\bar{H}_{1,c}]_1^2 - H_2^2\} / 2\bar{S}_c (H_2 + 0.5 \bar{S}_c) \\ \left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=S_c} &= -0.5 \end{aligned}\right\} \quad (24)$$

$\theta_2 < 63^\circ \sim 26'$ のとき (24) 式が適用される。

b) 流出点の現われる場合 (図 61-5 参照)



(ΔH_1 は実験値)

図 61-4 上凸水面曲線

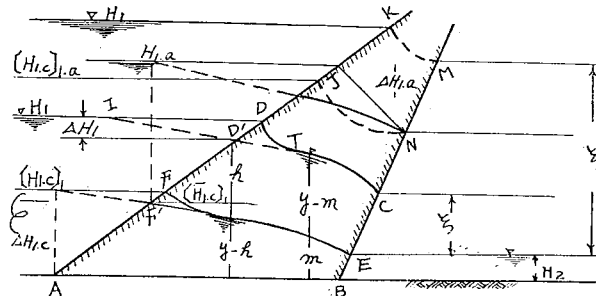


図 61-5

$$q' = -k \left(\frac{dy}{ds}\right) \beta (y-m) \quad (25)$$

$$y = m + \sqrt{h^2 - 2(q_1/k)} \int_0^s ds/\beta \quad (26)$$

$$\frac{dy}{ds} = \frac{dm}{ds} - (q_1/(\beta/k)) \sqrt{h^2 - 2(q_1/k)} \int_0^s ds/\beta \quad (27)$$

$$s = S - \xi \quad \text{where } y - m = \xi, \quad \int_0^{S-\xi} ds/\beta = (S-\xi)/\beta$$

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \sqrt{h^2 - 2(q_1/k)} (S-\xi)/\beta \\ q_1 &= k \xi \beta \\ \xi &= S - \sqrt{S^2 - h^2} \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

3. 倭真布堰堤水理計算

i) 上凹曲線と仮定 下流水位 $H_2 = 5.61$

a) $\theta_2 = 45^\circ$
 $H_1 = H_2 \sqrt{2-A}/\sqrt{A}, \quad S = (H_1^2 - H_2^2)/2H_2$
 $A = (H_1^2 - H_2^2)/2S(S+H_2)$
 $\left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=0,c} = -1, \quad A = \left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=S} = -0.25$

$$y = -s + \sqrt{s^2 + 220.22}$$

$$S_c = 16.82 \text{ m}, \quad [H_{1,c}]_1 = 14.84 \text{ m}, \quad [H_{2,c}]_1 = 5.61 \text{ m}$$

b) $\xi = \{H_1 - [H_{1,c}]_1\} \frac{[H_{1,c}]_1 - \{[H_{1,c}]_1 - H_2\} \cot \theta_2}{S_c \cot \theta_2 + H_2}$

$$\left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=0} = -1$$

$$\xi = (24.67 - 14.84) \times 0.25 = 2.46$$

$$\xi' = \{H_1 - [H_{1,c}]_2\} \cot \theta_1 \tan \theta_2 + \{[H_{1,c}]_2 - [H_{1,c}]_1\} \{[H_{1,c}]_1 - \{[H_{1,c}]_1 - H_2\} \cot \theta_2\} \times 1 / (S_c \cot \theta_2 + H_2)$$

$$\xi' = (26.90 - 24.67) \times 1.3 + 2.46 = 5.36$$

ii) 上凸曲線と仮定 (図 61-6 参照)

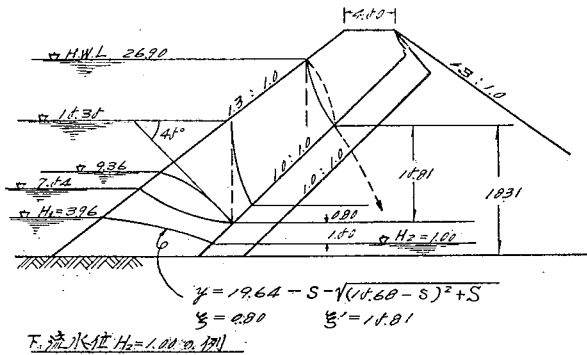


図 61-6

a) $H_2 = 1.00$ とする $\theta_2 = 45^\circ$

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= H_2 \sqrt{1-A}/\sqrt{A} \\ \bar{S}_c &= (H_1^2 - H_2^2)/H_2 \\ A &= H_2/2(H_2 + 0.5 \bar{S}_c) \end{aligned} \right\}$$

$$\left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=0} = -0.06 \quad H_1 = 3.96$$

$$\bar{s}_c = 14.68 \text{ m}$$

$$y = 19.64 - s - \sqrt{(15.68 - s)^2 + s}$$

$$b) \quad S = \frac{h^2 + \xi^2}{2\xi}$$

$$\xi = 1.50 \quad h = 5.90 \quad S = 12.35$$

$$\left(\frac{dy}{ds}\right)_s = S = -1.0$$

$$5.90 + 3.46 = 9.36 = H_1$$

$$c) \quad H_1 = H_2 \sqrt{2 - A} / \sqrt{A}$$

$$S = (H_1^2 - H_2^2) / 2H_2$$

$$A = (H_1^2 - H_2^2) 2S(S + H_2)$$

$$A = 0.10 = \left(\frac{dy}{ds}\right)_s = S \quad \left(\frac{dy}{ds}\right)_{s=0} = -0.10$$

$$H = 1.50 \text{ に対して } H_1 = 6.54$$

$$6.54 + 1.0 = 7.54 = H_1$$

$$D) \quad \xi = 0.10 \times (15.35 - 7.54) = 0.80$$

$$\xi' = (26.90 - 15.35) \times 1.3 + 0.80 = 15.31$$

$$H_2 = 15.81 + 1.50 + 1.00 = 18.31 \text{ m}$$

以上の結果を見るとき前刃金粘土を有する土石ダムは piping に対して非常に弱いことが判る。もちろん上記の計算は幾多の仮定や推定の入った計算である。正しいとは言えないけれども一つの目標を与えるものである。

4. 結 び

上記の計算に採用した断面を今少し拡張し、少なくとも上流側勾配 (前双金粘土) を 1.5~2.0 程度ゆるやかにし、下流側勾配を 0.8 位にするならば piping 作用に対しても心配のない堤体とすることができると思う。あるいは第 4 断面と第 6 断面の間にある第 5 断面に単なる緩和ゾーンとしてではなくて、崩密に規正されるフィルターを 2 層~3 層設けるならば piping 作用を防止できるような思われる。それとともに上凸曲線計算において出てくる $\Delta H_{1.0}$ の確実な値を実験その他によつて知る必要がある。本計算においては $\Delta H = 3.0 \text{ m}$ と仮定したが、これらについて検討する必要がある。もちろん堤体内の自由水面の形が、前述の (ii) のように第 4 断面から第 6 断面に至る各透水度の値がほぼ均一な値を有し core type として常に A. Casagende の方法が適用されるならば問題はないが、sloping core として考えるべきかの問題は第 5、第 6 断面の材料に基因し、これらについて確実な実験値 (土質工学的) を求める必要がある。