

重力ダムの補強拡幅量に関する理論的考察

九州大学 助教授 小 坪 清 真
" 学 生 ○ 平 木 一 正

1. 緒 論

重力ダムを補強する方法については、下流側に拡巾する方法、下流側にバットレスをつける方法、上流側に拡巾する方法、プレストレスを加える方法などが考えられる。これらのうち、下側流に拡巾する方法は施工上及び補強効果上良好な方法であるが、この中にも新コンクリート打設と同時に新旧両堤体を密着させる方法と、新コンクリートの収縮による応力を軽減するために、新旧両堤体間にスロットを設け、新コンクリートの収縮が十分行なわれた後、スロットを埋める方法とがある。本研究はこの後者の場合について、ダムに所要の安全率を確保せしめるに必要な下流側拡巾量決定について力学的考察を行なったものの一部である。

ダムの安全率を確保するには、堤体内に生ずる応力が堤体コンクリートの許容応力以下になるようにしなければならない。かつ、ダムのようなマスコンクリートの内部応力は厳密には弾性論、さらには弾塑性論に依って求めねばならないが、ここでは一応近似解として、応力の直線分布を仮定した初等的な方法によって求めた。

2. ダムに生ずる応力 (図-1 参照)

まず、旧ダムは高さが h 、下流面勾配が m_1 、上流面勾配が 0 、コンクリートのヤング率が E_1 、単位体積重量が W_c であるとする。このダムは満水位においては現行の設計基準に合致していないから、施工に当ってはまず、貯水位を満水位より x_0 だけ下げて旧ダムの応力を減少せしめた後、底幅 y_0 、天端幅 $y_u = ny_0$ の拡幅を行ない、再び水位を満水位に戻したとき、新旧両ダムの応力が許容応力以内になるように、拡幅量を決定しよう。水位下降 x_0 は大きいほど補強効率が良いが、この値は貯水計画より与えられたものとする。以下、施工の各段階に従ってダムの任意点 x の応力を考えてゆこう。なお、添字 u 及び d でそれぞれ上流面及び下流面を表わし、'をつけたものは新しく拡巾した部分を表わすものとする。

(1) 旧堤体の自重による応力

鉛直応力

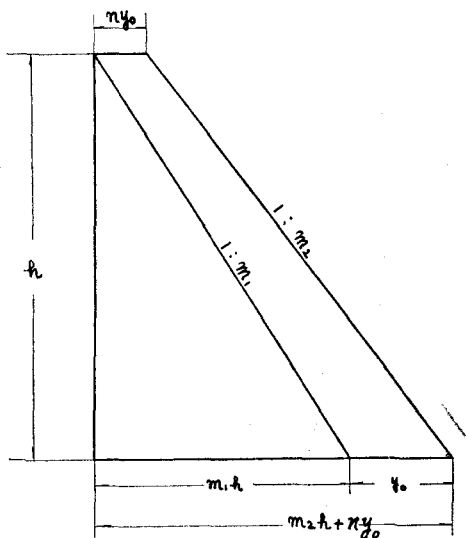


図-1

$$\sigma_{xu1} = W_c x, \quad \sigma_{xd1} = 0,$$

せん断応力

$$\tau_{u1} = \tau_{d1} = 0$$

水平応力

$$\sigma_{yu1} = \sigma_{yd1} = 0$$

(2) 水面降下 x_0 のときの静水圧による旧堤体の応力

$$\sigma_{xu2} = -\frac{(x-x_0)^3}{m_1^2 x^2}, \quad \sigma_{xd2} = \frac{(x-x_0)^3}{m_1^2 x^2} \quad (x \geq x_0)$$

$$\tau_{u2} = 0, \quad \tau_{d2} = m_1 \sigma_{xd2}$$

$$\sigma_{yu2} = -W_c (x-x_0), \quad \sigma_{yd2} = -m_1 \tau_{d2}$$

(3) 水面降下 x_0 のときの揚圧力による旧堤体の応力

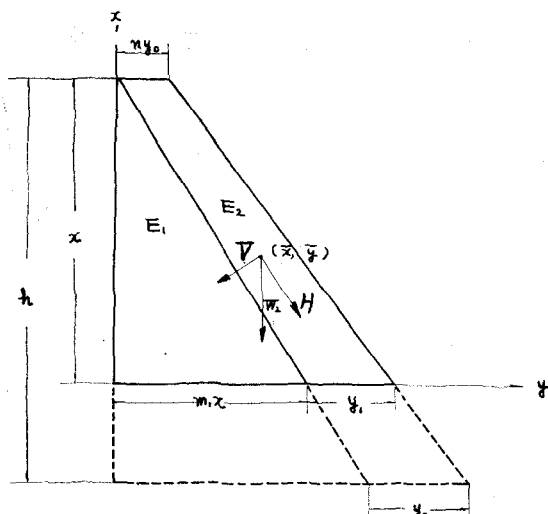
揚圧力係数を μ とすれば

$$\sigma_{xu3} = -\mu W_c (x-x_0), \quad \sigma_{xd3} = 0$$

$$\tau_{u3} = \tau_{d3} = 0, \quad \sigma_{yu3} = \sigma_{yd3} = 0$$

(4) 新コンクリート打設直後における新旧両堤体の応力 (図-2 参照)

新コンクリートを打設した直後においては、コンクリ



ートはまだ十分硬化していないので、打設されたコンクリートの重量 W を旧堤体の下流面を垂直に押す力 V と、下流面に沿って滑り落ちようとする力 H とに分解し、旧堤体は V のみによって応力を生じ、新堤体は H のみによって応力を生ずるものとすれば、新コンクリートの重量による新旧面堤体の応力は次のようになる。

$$\sigma_{\text{xt4}} = \frac{2m_1 w_c (ny_0 + y_1)}{1 + m_1^2} - \frac{w_c (ny_0 + y_1)}{2m_1 x} - \frac{6}{(1 + m_1^2)} \left\{ m_1 \left\{ (m_1 x + \frac{y_1}{2} - \frac{ny_0}{2}) \frac{ny_0 + 2y_1}{3(ny_0 + y_1)} - \frac{ny_0}{2} \right\} - \frac{2ny_0 + y_1}{3(ny_0 + y_1)} x \right\}$$

$$\sigma_{\text{xd4}} = \frac{6w_c (ny_0 + y_1)}{2m_1 x (1 + m_1^2)} \left\{ m_1 \left\{ (m_1 x + \frac{y_1}{2} - \frac{ny_0}{2}) \frac{ny_0 + 2y_1}{3(ny_0 + y_1)} - \frac{ny_0}{2} \right\} - \frac{2ny_0 + y_1}{3(ny_0 + y_1)} x \right\} - \frac{m_1 w_c}{1 + m_1^2} (ny_0 + y_1)$$

$$\tau_{u4}=0, \quad \tau_{d4}=-m_1\sigma_{xd4}, \quad \sigma_{yu4}=0, \quad \sigma_{yd4}=-m_1\tau_{d4}$$

$$\sigma'_{xu4} \approx \frac{w_c x}{1 + m_1^2} \{2(np + 1) - (1 + np + n^2 p^2)\}$$

$$\sigma'_{\text{xd4}} = \frac{w_c x}{1 + m_2} \{ (1 + np + n^2 p^2) - (np + 1) \}$$

但し $p = \frac{y_0}{y_1}$

$$\tau'_{u4} = m_1 \sigma'_{u4}, \quad \tau'_{d4} = m_2 \sigma'_{xd4}, \quad \sigma'_{yu4} = -m_1 \tau'_{u4},$$

$$\sigma'_{yd4} = -m_2 \tau'_{d4}$$

(5) 拡巾部の硬化収縮による新旧堤体の応力

新旧コンクリート間の摩擦係数を f とすれば、新コンクリートの硬化収縮により新旧両堤体の接触面に沿うて fV なる力が作用することになるから、この力による応

力は次のようになる。

$$\sigma_{xu5} = -\frac{w_{cf}}{1+m_{,2}}(ny_0+y_1)$$

$$\sigma_{xd5} = \frac{2w_{ef}}{1+m_2} (ny_0 + y_1)$$

$$\tau_{u5}=0, \quad \tau_{d5}=m_1\sigma_{xd5}, \quad \sigma_{yu5}=0, \quad \sigma_{yd5}=-m_1\tau_{d5}$$

$$\sigma'_{xu5} = -\frac{2w_c f m_1}{1 + m_1^2} (ny_0 + y_1) \frac{x}{y_1}$$

$$\sigma'_{\text{xd5}} = \frac{w_e f m_1}{1 + m_1^2} (n y_0 + y_1) \frac{\mathbf{x}}{V_1}$$

$$\tau'_{u5} = m_1 \sigma'_{xu5}, \quad \tau'_{d5} = m_2 \sigma'_{xd5}, \quad \sigma'_{yu5} = -m_1 \tau'_{u5}$$

$$\sigma'_{y d 5} = m_2 \tau'_{d 5}$$

新コンクリートの硬化収縮が十分進行した後に新旧堤体間のスロットを充填し、両堤体を一体化すれば、以後の外力に対しては新旧共同して抵抗する。この場合、旧堤体のヤング率 E_1 と新堤体のヤング率 E_2 とが等しければ応力分布は容易に求められるが、 E_2/E_1 が 1 以外の値の場合には応力分布が少々複雑になる。以下 $E_2/E_1 = 0.5$ の場合について応力の式を示すと、

(6) 水位上昇 x_0 による応力

$$\sigma_{x u 6} = -\frac{2}{q}(y_1^2 + 2m_1 x y_1 + 2m_1^2 x^2)\{x^3 - (x - x_0)^3\}$$

$$\sigma_{xds} = \frac{2}{9} (2m_1^2 x^2 - y_1^2) \{x^3 - (x - x_0)^3\}$$

$$\sigma'_{xu6} = \frac{1}{q} (2m_1^2 x^2 - y_1^2) \{x^3 - (x - x_0)^3\}$$

$$\sigma'_{xib} = \frac{1}{q} (y_i^2 + 4m_1 x y_i + 2m_1^2 x^2) \{x - (x - x_0)^3\}$$

$$\tau_{u6} = 0, \quad \tau'_{d6} = m_2 \sigma'_{xd6}, \quad \sigma_{yu6} = w_c X_0,$$

$$\sigma'_{yd6} = -m_2 \tau'_{d6},$$

$$q = y_1^4 + 8m_1xy_1^3 + 12m_1^2x^2y_1^2 + 8m_1^3x^3y_1 + 4m_1^4x^4$$

(7) 地震力による応力

水平震度を k とすれば、

$$\sigma_{xu7} = -\frac{2}{q}(y_1^2 + 2m_1xy_1 + 2m_1^2x^2)w_c kx^2(m_1x + 2ny_0 + y_1)$$

$$\sigma_{xd7} = \frac{2}{9}(2m_1^2x_2 - y_1^2)w_c kx^2(m_1x + 2ny_0 + y_1)$$

$$\sigma'_{xu7} = \frac{1}{q} (2m_1^2 x^2 - y_1^2) w_c k x^2 (m_1 x + 2xy_0 + y_1)$$

$$\sigma'_{xd7} = \frac{1}{q} (y_1^2 + 4m_1xy_1 + 2m_1^2x^2) w_c kx^2 (m_1x + 2ny_0 + y_1)$$

$$\tau_{u7}=0, \quad \tau'_{d7}=m_2\sigma'_{xd7}, \quad \sigma_{yu7}=0, \quad \sigma'_{yd7}=-m_2\tau_{d7}$$

(8) 動水圧による応力

$$\sigma_{x u 8} = -\frac{2}{a}(y_1^2 + 2m_1 x y_1 + 2m_1^2 x^2) \frac{7}{5} k \sqrt{h} x^{\frac{5}{2}}$$

$$\sigma_{xds} = \frac{2}{q} (2m_1^2 x^2 - y_1^2) \frac{7}{5} k \sqrt{h} x^{\frac{5}{2}}$$

$$\sigma'_{xus} = \frac{1}{q} (2m_1^2 x^2 - y_1^2) \frac{7}{5} k \sqrt{h} x^{\frac{5}{2}}$$

$$\sigma'_{xds} = \frac{1}{q} (y_1^2 + 4m_1 x y_1 + 2m_1^2 x^2) \frac{7}{5} k \sqrt{h} x^{\frac{5}{2}}$$

$$\tau_{us} = 0, \quad \tau'_{ds} = m_2 \sigma'_{ds}, \quad \sigma_{yus} = \frac{7}{8} k \sqrt{hx},$$

$$\sigma'_{yds} = -m_2 \tau'_{ds}$$

(6)～(8)において、新旧両堤体の境界点におけるせん断応力 τ_d 及び τ'_u は断面 x 及び $x+dx$ 間の鉛直方向の釣合から求められ、水平応力 σ_{yd} 及び σ'_{yu} は上下流面における値から近似的に比例により求められる。

以上の応力を総合して新旧コンクリートの上下流側の

応力 $\sigma_{xu}, \sigma_{xd}, \sigma'_{xu}, \sigma'_{xd}, \tau_u, \tau_d, \tau'_u, \tau'_d$ 及び $\sigma_{yu}, \sigma_{yd}, \sigma'_{yu}, \sigma'_{yd}$ が求められ、主応力 $\sigma_u, \sigma_d, \sigma'_u, \sigma'_d$ が $x_0, m_1, n_1 y_0, E_2/E_1$ の函数として表わされるから、新旧コンクリートの許容応力 σ_{a1}, σ_{a2} 及び $x_0, m_1, E_2/E_1$ が与えられると、

$$\sigma_u \leq 0$$

$$\sigma_d \leq \sigma_{a1}$$

$$\sigma'_u \leq 0$$

$$\sigma'_d \leq \sigma_{a2}$$

の4条件を満足する n と y_0 の範囲が判り、このうち新コンクリートの容積 $hy_0(n+1)/2$ を最小にする n, y_0 の値が所要条件を満足する経済的な掘削量を与える。

数値計算結果については講演時にゆずる。