

I-29

静水圧を受け矩形状の谷に位置する
フィルタイプダムの変形特性

室蘭工業大学大学院	学生員	永沢	親兼
室蘭工業大学	正員	岸	徳光
日本大学	正員	能町	純雄
北海道電力(株)	正員	西村	哲治

1. はじめに

フィルタイプダムの応力解析は、通常有限要素解析あるいは、くさび形の梁として解析が行われている。特に梁理論に関しては、不均質せん断梁として解析がなされているようである。

著者等は、これまで矩形状の谷に位置するフィルタイプダムの固有振動解析を、曲げとせん断を考慮した不均質くさび形梁にモデル化して行った。これらの検討結果に基づき、せん断変形のみを考慮して上下流方向の荷重のみが作用し、任意な谷形状を有するフィルタイプダム静的挙動の検討も行ってきた。

本論文では、静水圧のような分布荷重が作用する場合のフィルタイプダムの挙動を合理的評価するために、静荷重に対する基礎微分方程式の定式化を行い、矩形状の谷を仮定する場合について数値解析を試みた。なお、解析手法は動的解析と同様に、ダム高さ方向には差分法を、またダム軸方向にはFourier変換を用いている。

2. 解析法

図-1に示すような矩形状谷を有するフィルタイプダムにおいて、座標軸 x, y, z に対応する変位をそれぞれ u, v, w とする。

変位は y 軸方向に平面保持を仮定し次のようにおく。

$$\begin{aligned} u &= 0, \quad v = v(x, z) \\ w &= w_0(x, z) + y \cdot \phi(x, z) \quad \dots (1) \end{aligned}$$

ここで、 $\phi(x, z)$: ダム堤体の回転角

いま、図-2で示される微小要素において、 Q_z, Q_x をそれぞれ z 断面、 x 断面に作用する y 軸方向の断面力、 P_y は外荷重の y 方向成分とすると、 y 軸方向の力の釣合は

$$(\partial Q_x / \partial x) + (\partial Q_z / \partial z) = -P_y \quad \dots (2)$$

同様に x 軸方向の力の釣合式は、上下流方向の堤幅を Bz 、 z 軸方向に作用する外荷重成分を P_z とすると

$$(\partial M_{zx} / \partial x) - Q_z + (\partial M_z / \partial z) = (1/2) Bz P_z \tan \alpha \quad \dots (3)$$

また、 z 軸方向に力の釣合式は

$$(\partial Q_{zx} / \partial x) + (\partial N_z / \partial z) = -P_z \tan \alpha \quad \dots (4)$$

3方向の釣合式(2)~(4)に各断面力と変位の関係を代入し、 x 軸方向に有限Fourier変換を施すと、ダム状構造物に鉛直方向成分を含んだ静的荷重が作用する場合の基礎微分方程式が得られる。さらに、高さ方向に差分法を用いて、式(5)~(7)は次のようなmatrix式に整理できる。

$$[K_{22}] \{\Theta\} + [K_{2x}] \{V\} = [P_{2x}] \{P_y\} \quad \dots (5)$$

$$[K_{\theta\theta}] \{\Theta\} + [K_{\theta z}] \{V\} = [P_{\theta z}] \{P_z\} \quad \dots (6)$$

$$[K_w] \{W\} = [P_w] \{P_z\} \quad \dots (7)$$

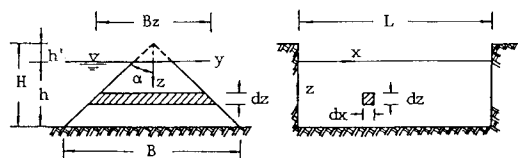


図-1 矩形状谷を有するダムの断面形状及び座標軸

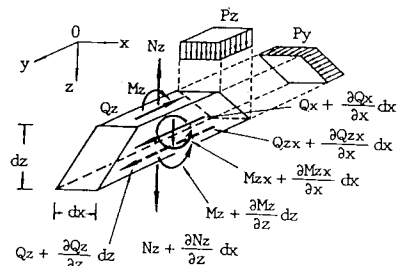


図-2 微小要素に作用する断面力及び外力

ここで、静的外力に関する像関数は静水圧を仮定しているに次式のように示される。

$$P_y = (2L/m\pi) P_y, \quad P_z = (2L/m\pi) P_z \quad \dots (8)$$

ただし、 $V=G_m \cdot S_m[v]$ 、 $\Theta=G_m h(z/h)^2 \cdot S_m[\phi]$ 、 $W=G_m \cdot S_m[w_0]$ 、 $P_y=S_m[P_y]$ 、 $P_z=S_m[P_z]$ であり、 $S_m[\]$ は有限Fourier Sine 変換を施した像関数を意味している。

以上、 $\{V\}$ 、 $\{\Theta\}$ は式(5)、(6)を連立して解くことにより、さらに $\{W\}$ は式(7)から求められる。

3. 精度の検討

表-1は差分法によるz軸方向の分割数の検討を行うために $n=0$ と一定にし、 $L/H=3.0, 10.0$ の2caseについて解析した結果をまとめたものである。表より、本解析では分割数を40として解析することとした。なお、数値解析結果はデータの汎用性をもたせるために全て無次元化して整理している。

分割数 (N)	L/H = 3.0		L/H = 10.0	
	x=L/2	x=L/4	x=L/2	x=L/4
10	-0.4859	-0.4558	-0.4991	-0.5007
20	-0.4860	-0.4553	-0.4992	-0.5005
30	-0.4860	-0.4552	-0.4992	-0.5005
40	-0.4860	-0.4551	-0.4992	-0.5004
50	-0.4860	-0.4551	-0.4992	-0.5004
60	-0.4860	-0.4551	-0.4992	-0.5004

($\gamma_w \cdot h^2 / G_m$)

in case of $B/H=4.0, n=0.0$ and $m=51$

4. 数値解析結果及び考察

(1) 不均質切頭くさび形梁の横断面形状による影響

表-1 差分法による分割数の検討

図-3は横断面形状による影響を検討するために、 $B/H=4.0, L/H=3.0, K'=0.0$ と主パラメータを固定し、 $\tan \alpha = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ と変化させたときの変位を剛性指数別に示したものである。図より $\tan \alpha = 0.0$ の場合はほぼせん断変形的な分布を示し、 $\tan \alpha$ が大きくなるにつれて曲げ変形が卓越していることがわかる。また、剛性指数 n に関しては n の減少とともに変形分布も小さなものとなっている。

(2) 谷幅(L)による影響

図-4は谷幅 L を変化させたときのダム中央部天端($x=L/2, z=0$)における変位 v の変化を示したものである。解析は、 $B/H=4.0, K'=0.0, \tan \alpha = 2.0$ とし $n=0, 1/3, 2/3$ の3caseについて示したものである。図より $n=0$ の場合では $L/5H \approx 0.0 \sim 0.2$ の範囲において負の方向への変形が見られる。この範囲は、 $n=1/3$ の場合では $L/5H \approx 0.0 \sim 0.15$ 、 $n=2/3$ の場合では $L/5H \approx 0.0 \sim 0.1$ と剛性指数が大きくなるにつれて変位は小さくなっていくようである。

5. おわりに

矩形状の谷に位置するフィルタイプダムに、静水圧が作用した場合の挙動を精度よく解明することを目的として、曲げとせん断変形を考慮した不均質くさび形梁の基礎微分方程式の定式化を行なった。

解析理論は平面保持仮定に基づく梁理論を基本としているため、特に法面勾配がある程度以上緩やかになる場合はその適用性にも問題があるものと考えられるが、ここでは解析仮定が常に成り立つものとしてダムの主パラメータである $B/H, L/H, n$ を種々変化させて、特にダム中央部の変形に着目して整理を行った。

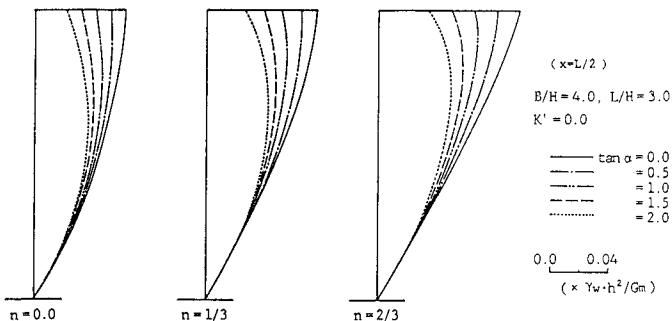


図-3 $\tan \alpha$ を変化させた場合のダム中央部上下流方向変位分布(剛性指数別)

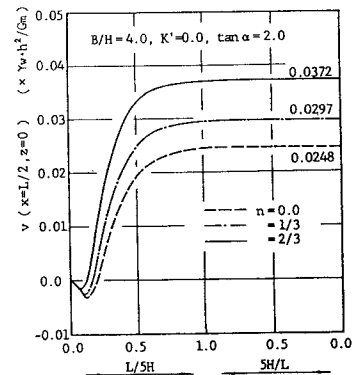


図-4 谷幅・剛性指数の変化によるダム中央部天端変位 v ($x=L/2, z=0$)の変化