

I-18

矩形状谷に位置するフィルタイプダムの静的三次元解析について

室蘭工業大学	学生員	西村	哲治
室蘭工業大学	正員	岸	徳光
室蘭工業大学	正員	松岡	健一
日本大学	正員	能町	純雄

1. はじめに

フィルタイプダムの応力解析に関しては、従来まで定剛性のせん断梁理論を用いて行われてきた。しかしながら近年実ダムでの実測結果より弾性波速度がおおよそ天端からの高さの $1/3$ 乗に比例することから不均質せん断梁理論による解析の必要性が証明され、谷形状がダムの振動特性に大きく影響することなどが明らかとなり、谷幅を考慮した不均質せん断梁理論を用いた解析が試みられている。

著者等も先に、矩形状の谷に位置するフィルタイプダムの動的問題について、ダムを剛性が高さの指数乗に比例する不均質せん断梁にモデル化し、ダム軸方向には級数展開、高さ方向には有限差分法を用いてダムの各パラメーターが固有値特性に与える影響について検討を行ってきた^{1) 2)}。ここでは、これら動的な解析手法と同様な手法を用いて矩形状の谷を有するダムに静的荷重(静水圧)が作用する場合の微分方程式を誘導し、ダムの剛性や谷幅等による変形・応力への影響について検討を行なうものである。

2. 解析法

図-1 は矩形状谷を有するダムの断面形状と座標軸を示している。座標軸 X, Y, Z に対応する変位を U, V, W とし次のように仮定する。

$$u=0, \quad v=v(x, y), \quad w=0 \quad \dots (1)$$

また、図-2 において y 軸方向の力の釣り合いより

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

となる。さらに z 断面のせん断係数を G_z とすると上記断面力は次のように示される。

$$Q_z = G_z B_z \partial v / \partial z, \quad Q_x = G_z B_z \partial v / \partial x \quad \dots (3)$$

一方ダム軸方向には次式のように級数展開を行なう。

$$v = \sum V_m \sin m\pi x/L, \quad Q_z = \sum Q_{z,m} \sin m\pi x/L$$

$$P = \sum P_m \sin m\pi x/L, \quad Q_x = \sum Q_{x,m} \cos m\pi x/L \quad \dots (4)$$

ここで、座標と断面形状に関する無次元パラメーターを次のように定義する。

$$\xi = x/h, \quad \eta = z/h, \quad \Gamma_h = h'/h$$

$$\Gamma_L = h/L, \quad \Gamma_B = H/B, \quad K' = h'/H \quad \dots (5)$$

ここで、剛性と変位振幅を次のように仮定する。

$$G_z = G_m \cdot \eta^n \quad (G_m: \text{堤体底部のせん断係数}), \quad V_m = G_m \cdot V_m \quad \dots (6)$$

以上、式(2)に式(3)~(6)を代入すると式(7)が得られ、式(3)より式(8)が得られる。

$$d^2 Q_{z,m} / d\eta^2 - (dQ_{z,m} / d\eta) / (\eta + \Gamma_h) = (m\pi \Gamma_L) \{ dQ_{x,m} / d\eta - Q_{x,m} / (\eta + \Gamma_h) \} + h \cdot P_m / (\eta + \Gamma_h) \quad \dots (7)$$

$$dQ_{x,m} / d\eta - \{ n + \eta / (\eta + \Gamma_h) \} Q_{x,m} / \eta = (m\pi \Gamma_L) Q_{z,m} \quad \dots (8)$$

式(7), (8)を解くにあたり境界条件は次式により与えられる。

$$\text{天端 } (\eta = 0) \text{ で } Q_{z,m} = 0, \quad \text{底部 } (\eta = 1) \text{ で } V_m = 0 \quad \dots (9)$$

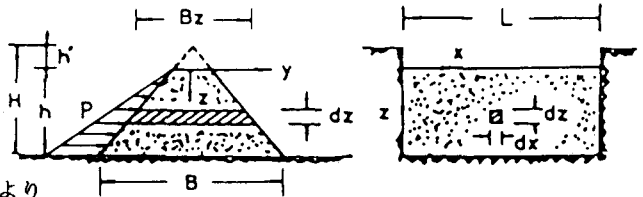


図-1 断面形状および座標軸

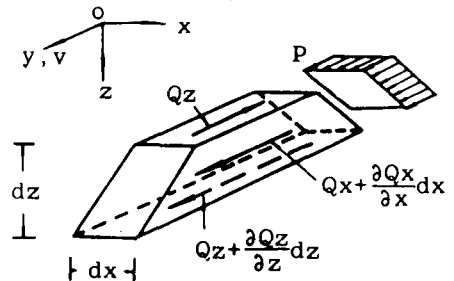


図-2 微小要素に作用する断面力と外力

式(9)を用いて式(7),(8)を解くのは困難であるので、差分式に変換しmatrix式に整理すると次式となる。

$$[K_{zz}] \{Q_z\} = (m \pi L) [K_{zx}] \{Q_x\} + [P_p] \{P\} \quad \dots (10)$$

$$[K_{xx}] \{Q_x\} = - (m \pi L) \{Q_z\} \quad \dots (11)$$

以上2式を連立させることにより $\{Q_z\}$, $\{Q_x\}$ が求まる。また、 $\{V\}$ は式(3)を差分化して求めることができる。なお、 $\{P\}$ は静水圧と仮定すると次式のように示される。すなわち、

$$P_m(\eta) = (4/m\pi) \cdot p(\eta) \quad (\text{ただし } m=1,3,5,\dots) \quad \dots (12)$$

3. 数値解析結果および考察

数値解析では精度の検討の結果ダム高さ方向の分割を40とした。また今回掲載した解析結果はダム断面を三角形断面とし、水圧は静水圧を考慮し満水状態を想定したものである。なお、解析結果は全て無次元数で整理している。図-3は横軸に $L/5H$ または $5H/L$ をとり各剛性指数に対するダム軸中央部の天端変位を示したものである。 $n=0$ の場合、 $L/5H=0 \sim 1.0$ では谷幅の増加にともなって天端変位が増加する傾向にあり、 $L/5H=1.0$ 前後で谷幅無限大の値に漸近している。 $n=1/3, 2/3$ の場合も同様の傾向が見られるが、谷幅の影響範囲が次第に小さくなり、 $n=2/3$ では $L/5H=0.8$ 前後で谷幅無限大の値に漸近している。数値的には剛性指数が小さい程ダム堤体の剛性が大きくなるため、 $n=0$ の場合における谷幅無限大の値は、 $n=2/3$ の場合の6割程度となり設計的には危険側になるものと考えられる。図-4はダム軸中央部の変位に関する谷幅による影響について示している。変位の分布性状には谷幅の減少とともに曲げ変形と同様の効果が卓越してくるようである。図-5は各剛性指数に対するダム軸中央部の高さ方向の変位に関して解析した結果を最も一般的な $L/H=3.0$ の場合をとり上げ、剛性指数を $n=0, 1/3, 1/2, 2/3$ と変化させたものを示している。堤体底部においては、いずれの場合もほぼ同様の変位分布を示しているが、堤体天端付近では剛性指数による効果があらわれ、剛性指数の増加とともに変位も大きい値を示しているようである。図-6はダム軸中央部におけるせん断力 Q_z の高さ方向変化を示したものである。 $n=2/3$ に限定し、 $L/H=0.5, 1.0, 3.0, 10.0$ と変化させたものである。

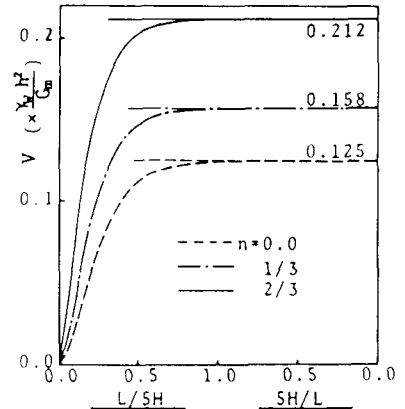


図-3 谷幅・剛性指数による天端変位

L/H が小さくなるにつれて Q_z の値も小さくなっているが、これは谷拘束の影響によって Q_x による荷重分担が増加しているものと考えられる。また、 $L/H=3.0$ と 10.0 の場合を比較すると両者ともほぼ同様の分布を示していることから $L/H=3.0$ 程度より梁理論の適用が可能であることを示しているものと考えられる。

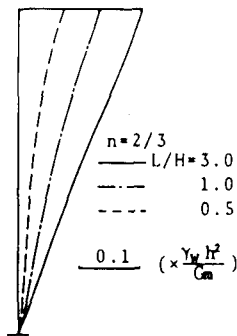


図-4 谷幅による変位の変化

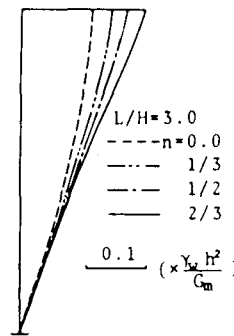


図-5 剛性指数による変位の変化

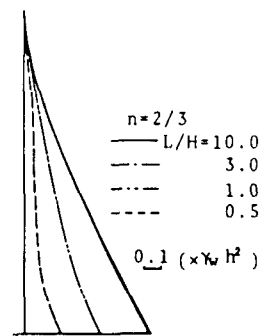


図-6 谷幅によるせん断力の変化

参考文献

- 1) 岸徳光・松岡健一・能町純雄：「フィルダムの固有振動モードの検討」, 土木学会北海道支部論文報告集, 第41号, 1985.2.
- 2) 岸徳光・松岡健一・能町純雄：「曲げとせん断を考慮した二次元切頭くさび形梁モデルを用いたフィルダムの固有振動数解析」, 構造工学論文集, Vol.31A, 1985.3.