

建設省土木研究所 正員 吉野文雄  
中島輝雄  
音藤松美

### 1. はじめに

堤防を耐越水化して治水安全度を向上させる試みが話題となっている。越水型堤防の開察にはその設計条件が明らかにされる必要があるが、計画超過外力を対象とした河川計画論の構築がまだ明らかにされていないため、設計条件を明確化しえない点に問題が残されている。ここでは計画論上からみた問題の整理は行わず、堤防越流現象の水利的な状況を、横越流をとり入れた不定流モデルで検討し、具体的な越水堤防の導入計画上の問題点と整理してみた。

### 2. 堤防越流モデル

堤防越流を横越流のある不定流モデルで表現する。

$$\text{運動方程式} \quad \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2QB}{gA^2} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{2Qq}{gA^2} - \frac{Q^2 B}{gA^3} \left( i + \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{|Q|Q}{K^2} = 0$$

$$\text{連続の式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

この両式を、陰形式の差分化により数値計算して、越流特性を調べる。ただし、横越流量 $q$ は次式で与えるものとする。

$$q = 1.4 (H - H_0)^{3/2}$$

$H_0$ は堤高である。

### 3. モデル河道での越流特性

モデル河道として、川幅500m、一様河床勾配、粗度係数全区間一定、の矩形河道を設定する。河道長は50kmで40~20km区間を越流区間として堤高を決める。越流区間の堤高は基準設計流量5,000 $m^3/s$ の洪水波を不定流として上流端を入力した時の40~20km区間の計算水位を用いたもの(ケース1,2)、5,000 $m^3/s$ 一定の定常解を入力したもの(ケース3,4)

の二種類とした。この設計河道に、超過外力として、設計条件の1.2, 1.3, 1.4, 1.5倍の上流端流量が入力された時の越流状況を分析した。

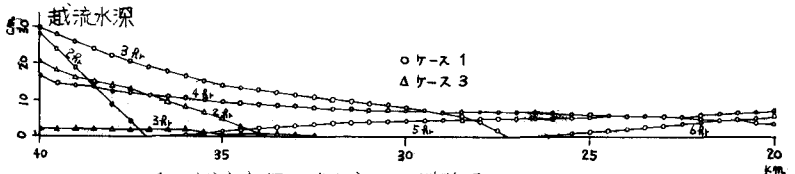


図1. 越流水深の時間変化の縦断面図

比較する要素は、越流水深と河床勾配、粗度係数、流量である。

#### 1) 越流水深の時間変化

図1はケース1とケース3の越流水深の縦断面図を示したものであって、添字は時刻を表わす。流量ピーク値は共に7,000 $m^3/s$ のものであるが、河道設計がピーク流量5,000 $m^3/s$ の不定流によるもの(ケース1)と、流量5,000 $m^3/s$ の不等流によるものとの違いがあり、越流現象も異なっている。その特徴は、不等流設計では越流区間がある範囲で固定されるが、不定流設計では当然のことながら全区間にわたり河道容量を越える流量となっているため全区間で越流が生じる。すなわち、7,000 $m^3/s$ の流量ピークがケース3では40~32.5km区間の越流により逆減し、3時間後には5,000 $m^3/s$ 以下になるため越流を生じなくなることを示している。同様な結果はその他のケースに共通してみられることであり、均一に近い全区間越流を越水堤防の設計条件とすれば、不等流設計では不可

能であることを示す一例であるといつてよい。ただし、この例では支川の合流等は考慮していないことに注意を要する。

#### ロ) 河道各断面の設計水位・流量と超過外力による水位・流量との差の縦断分布

河道設計値は前述のように不定流(ピーク $5,000\text{ m}^3/\text{s}$ の最高水位・流量)と不等流( $5,000\text{ m}^3/\text{s}$ で一定)の両者がある。

この河道に、超過外力として $7,000\text{ m}^3/\text{s}$ ピークの流量波形が上流端で入力された時の、各断面における水位・流量の最大値と設計値との違いがどうなるかを示したものが図2である。

この図によれば、前述のように不定流設計では全区間にわたり、水位・流量とも設計条件を上まわり、越流堤区間の $20\sim 40\text{ km}$ では上流区間の $35\sim 40\text{ km}$ 区間を除きほぼ様な越水深(約 $10\text{ cm}$ 以下)で全区間にわたり越水すること、不等流設計では、越流は $40\sim 32\text{ km}$ 区間で生じ、 $0\sim 32\text{ km}$ 区間では設計水位よりも $15\text{ cm}$ 程度水位が低下するが、 $23\sim 32\text{ km}$ 区間では設計流量よりも下流流量は増大しているのに越流しないこと、これは不定流計算上での洪水波の水面勾配の増大の効果を示すものと考えられることが認められる。また、 $7,000\text{ m}^3/\text{s}$ の流量が定常流として上流端に入力した場合には(ケース4)、図にみられるように、 $40\sim 35\text{ km}$ 区間で越流水深が $35\sim 15\text{ cm}$ 程度になるが、それ以外ではほぼ $10\text{ cm}$ 以下で、 $20\text{ km}$ より下流では $2\text{ cm}$ 程度の越流となることとわかる。ケース3のものが不定流波形であり、長時間ピーク流量が同一で継続するとケース4の結果になることを示すものである。

#### ハ) 越流水深、越流長、越流量の関係

図-3は定常解(ケース4)の越流水深を初期値 $H_0$ の比として表わしたものである。この図から明らかなように、越流水深は、 $H=H_0 e^{-KL}$ で表現され、ケース4では $K=1.47\times 10^{-4}(\text{m}^{-1})$ である。前述の越流公式を用いれば全越流量 $Q_0$ は $L$ を越流区間として

$$Q_0 = \int_0^L 1.4 H_0^{3/2} dx = 1.4 H_0^{3/2} \int_0^L e^{-\frac{3}{2}Kx} dx = \frac{2.8}{3K} H_0^{3/2} (1 - e^{-\frac{3}{2}KL})$$

となる。この $Q_0$ は区間長 $L$ にわたる全越流量を表現する簡易式であるが、流量が $Q$ から $Q+dQ$ に増大した時、越水深、区間長との関係を調べてみると、図4に示すような関係が見出される。

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{3}{2} \frac{dH_0}{H_0} + \frac{\frac{3}{2}KL e^{-\frac{3}{2}KL}}{1 - e^{-\frac{3}{2}KL}} \frac{dL}{L}$$

4. 実河道での越流状況 図-5はY川、T川についての同様な計算結果を図示したものである。この場合の堤高は現況堤防高を使用し、越流水深は全越流区間にわたる平均値を用いる。この例では上流端に計画流量の $1.0\sim 1.5$ 倍の波形が入力した時の非定常計算を示している。実河道では堤防天端高が一樣ではなく、不陸等でも最大越水深は入力が大になる程大きくなるが、全体としての平均越水深で越流状況を表現すると、流量が大になっても越流水深はそれ程増大せず、越流区間長が増大することにより、越流量が増大することが判断される。このことは堤防を越水型に改築する場合に越水深を $50\text{ cm}$ 以下程度に考えておけば、超過外力に対し安全な河道設計が行なえることを示唆するものと考えられ、今後この点についてのより詳細な分析を実施する予定である。

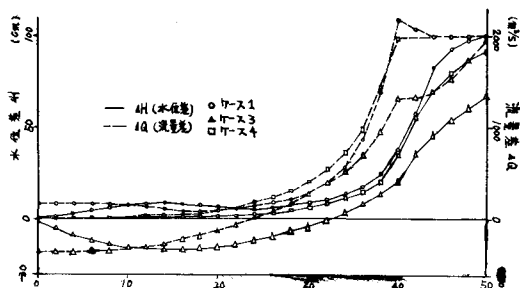


図2 設計水位・流量と超過外力水位・流量の差

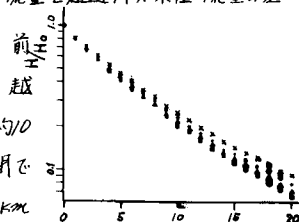


図3  $H/H_0 \sim L$ の関係

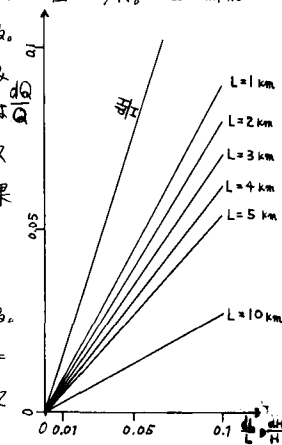


図4  $\frac{dQ}{Q} \sim \frac{dL}{L}, \frac{dH}{H}$  図

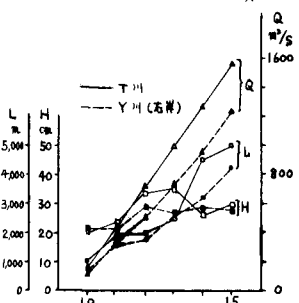


図5 越水深H、越流区間長L、越流量Qと $Q/Q_0$ の関係