

勾配が減少する河道での堤防越水特性

東京建設コンサルタント 正会員 ○名本 伸介
東京工業大学 フェロー会員 石川 忠晴
東京建設コンサルタント 正会員 小島 崇

1. 目的

近年、気候変動に伴い超過洪水対策の必要性が議論されているが¹⁾、山間から平地に流入する県管理の中小河川では、河道拡幅や堤防嵩上げに必要な用地の確保が困難な場合が多い。そこで、堤防の耐越水化により破堤までの時間を延ばして避難時間を確保することが考えられる。須賀ら²⁾は堤防破壊過程のモデルテストから、20cm以下の越水に対しては天端の簡易舗装でも土堤破壊までの時間をかなり延ばせる可能性を示した。また石川³⁾は横越流を伴う流れの一次元摂動近似解を求め、同じ局所流量に対しての等流水深関係から予測される値よりもずっと小さいことを示した。したがって、地盤沈下などによる堤防高の不整がなければ、天端舗装など簡易な補強でも避難時間の確保が容易になる可能性がある。ただし石川の解は単一の等断面河道についてであり、河道条件が縦断的に変化する場合は検討されていない。そこで本稿では、勾配が縦断的に減少する河道について、二次元浅水流モデルに基づき縦断的に連続した数値解析を行った。

2. 解析条件

図-1に解析条件を示す。一定の矩形断面を持つ河道を想定し、 θ_1 を一定(1/200)、 θ_2 を1/300、1/400、1/500の三段階で変化させた。上流から河道満杯流量を与え、下流端水位は天端高に等しいとした。堤防溢水は図に示されるように勾配変化点の周囲で生じると期待される。マンニングの粗度係数は0.03と仮定し、計算モデルには、非構造三角形格子上で定式化された浅水流モデル⁴⁾を用いた。詳細については引用文献を参照されたい。

3. 解析結果

3-1 縦断水面形の特徴

図-2の色付きの実線は、数値実験から得られた水路中心線上の水面形 $h(x)$ であり、図-3は、数値実験から得られた縦断的な流量 $Q(x)$ である。堤防越水によって $Q(x)$ は徐々に減少していく。図-2の黒の点線はマンニング式(式(1))で求まる仮想的等流水深の縦断分布を示している。

$$h_N(x) = \left\{ nQ(x) / (B\theta^{1/2}) \right\}^{3/5} \quad (1)$$

ここに、 $h_N(x)$ は等流水深、 n はマンニング粗度係数、 $Q(x)$ は局所的通過流量、 B は水路幅、 θ は水路勾配である。式(1)は横越流を伴う流れに対するものよりずっと大きな値を与える。このことから、等流水深に基づく単純な溢水深の予測は、堤防耐越水化の設計に対して過大な値をもたらす恐れのあることがわかる。

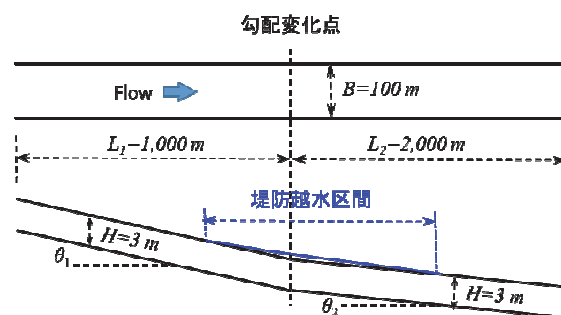


図-1 数値実験のイメージ

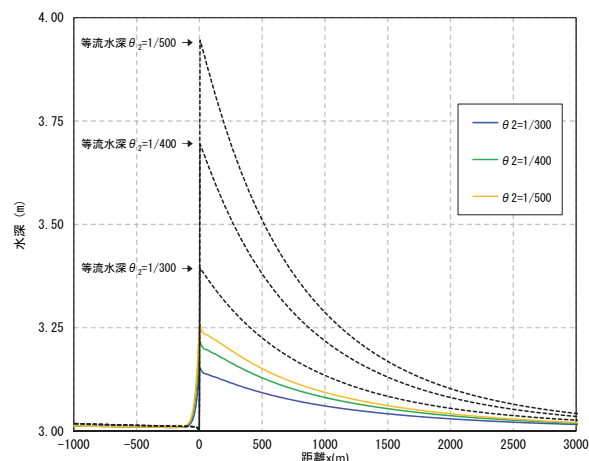


図-2 計算で得られた水路中心線上の水面形

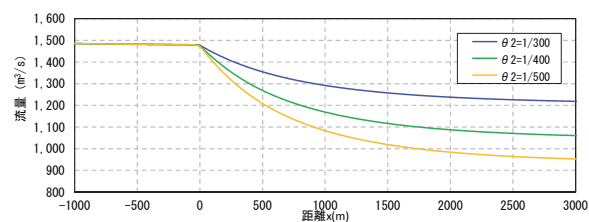


図-3 計算で得られた断面通過流量

キーワード 超過洪水、耐越水堤防、勾配変化点、越流水深

連絡先 〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-15-6 (株)東京建設コンサルタント TEL :03-5980-2638 E-mail : namoto-s@tokencon.co.jp

図-4(a)は堤防高 H_0 で無次元化した越流水深 h 、図-4(b)は下流側の河道満杯流量 Q_0 で過剰流量（流量から河道満杯流量を引いた量）を無次元化したもの q を、勾配変化点付近について示している。 h 、 q とともに、下流河道勾配 θ_2 が小さくなるほど大きくなる。そこで前者に対して勾配の逆数 $(1/\theta_2)$ で除し、後者について $(1/\theta_2)^{1/2}$ で除すると、図-5 に示すように概ね同型の曲線となる。

図-6 は、無次元過剰流量 q と無次元越流水深 h の関係を示している。図中の矢印は上流から下流に向けての変化を示している。ただし上流河道と下流河道とでは河道満杯流量 Q_0 が異なっている点に注意する必要がある。最上流では河道満杯状態であるから、本図の原点に位置する。下流からの堰上げにより h は増加し、越水による流量減少により q はマイナスの値を取る。すなわち原点から左上方に移動する。勾配変化点に至ると Q_0 が急に減少するので、同じ h の値で q は右にジャンプする。その後は下流に向かって q も h も減少し、最下流点では河道満杯状態（原点）に戻る。ところで図中の黒の点線は、側岸で越水が生じない場合の q と h の関係（式(1)）を表しているが、越水が生じる場合に比較して大きな値をとることがわかる。

3-2 水面形の横断偏差

図-7 は、堤防天端から計測した水位と流速ベクトルの平面分布を、勾配変化点付近について拡大して示している。ただし計算結果は水路横断法に对称なので $y>0$ についてのみ示している。 $x=0$ より少し下流で水路中央に水位上昇が見られる。その結果、越流水深は横断平均水位よりも小さくなっている。図-8 は横断方向の最大水位差と下流水路勾配の関係をプロットしている。下流勾配が小さくなるほど横断水位差が大きくなることがわかる。

4. おわりに

勾配減少により河道容量が下流に向かって減少する河道区間では、最大越流水深は概ね下流河道勾配の逆数に比例していた。河道満杯流量と河道満杯水深で無次元化された過剰流量と越流水深の関係からも、越水がないとしてローカルな等流条件から単純に推定される越流水深が過大であることが示された。また、二次元的流れの効果により、越流水位は水路横断平均よりも若干小さくなることがわかった。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会河川分科会気候変動に適應した治水対策検討小委員会答申, 2015
- 2) 須賀堯三、石川忠晴、葛西俊彦：越流水による堤防の破壊特性その3，第25回水理講演会論文集, pp.355-360, 1982.
- 3) 石川忠晴：堤防越水をともしう直線矩形断面河道の水面形，第26回水理講演会論文集, pp.417-422, 1982.
- 4) 赤穂良輔ら、石川忠晴、畠山峻一、小島崇、都丸真人、中村恭志：岩手県釜石市街地における2011年東北地方太平洋沖地震津波の氾濫解析，土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.1, pp.16-27, 2015.

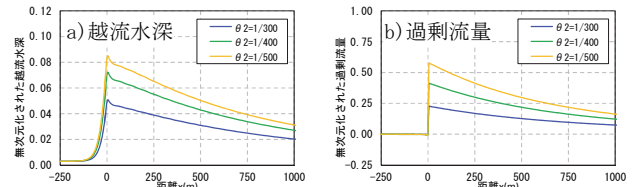


図-4 無次元の越流水深と過剰流量

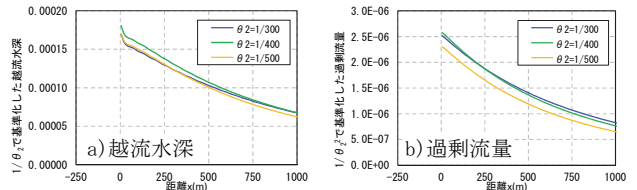


図-5 基準化された h と q

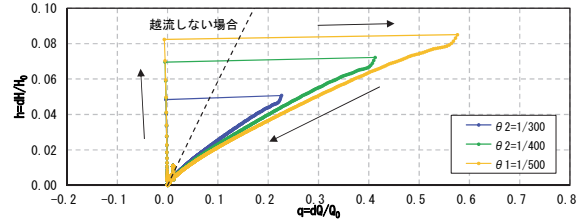


図-6 h と q の関係

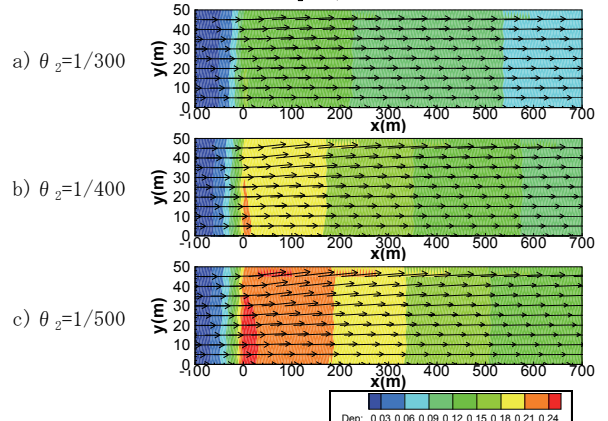


図-7 水位と流速の横断分布

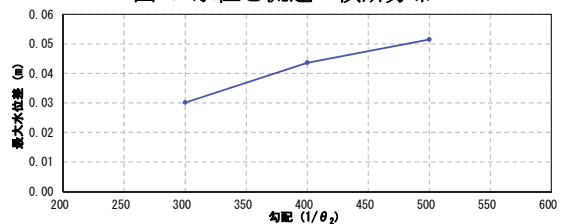


図-8 横断方向の最大水位差