

# 越流による破堤時間の推定 Estimation of the time up to embankment break

○ 藤澤 和謙\* ・ 小林 晃\*\* ・ 村上 章\*  
Kazunori FUJISAWA, Akira KOBAYASI and Akira MURAKAMI

## 1. はじめに

近年、異常気象などに起因した豪雨災害の増加によって、堤防やため池などの水利構造物の被害が頻発している。堤防では豪雨時の河川水位の上昇による越流被害が多く報告されており<sup>1)</sup>、農業用水利施設であるため池においても2004年度の台風18号によって淡路島の多くのため池が越流被害を被り、農業生産にも多大な被害を及ぼした。海外の事例を見てもフィルダムの破堤原因の約半数が越流と報告され<sup>2)</sup>、越流は堤体の主要な破壊原因である。

そもそも、堤体は越流が生じないように設計されており、ため池、ダムには洪水吐が設置され、堤防は計画高水位に余裕高を付加して設計される。この点で越流は対策済みの被災項目と言えるが、上述したように越流は主要な破堤原因であるため堤体の越流に対する耐久性を評価することは防災上非常に重要な課題と考えられる。破堤に至るまでの時間は、越流に対する耐久性を示す簡単かつ実用的な指標であり、本論ではその推定法について、堤体が越流によって浸食を受ける際のフルード限界点の移動と土の侵食速度に着目して言及する。土の侵食速度とは単位時間、単位面積あたり侵食される土粒子の体積で定義され、速度の次元を持つ。

## 2. 堤体越流破壊の特徴

Fig.1に越流による浸食を受ける堤体の典型的な断面形状とそれに伴うフルード限界点（越流水の流れが常流から斜流に変化する点）の位置の変化を示す。堤体侵食に伴うフルード限界点の移動に着目すると、越流の始まった初期はフルード限界点はFig.1の点(a)に示すように天端の下流側に位置する。その後、天端が侵食を受けることでフルード限界点は天端に沿うように上流側に移動し、Fig.1の点(b)を通過して上流側斜面に達する(Fig.1の点(c))。最後には堤体は高さ方向に侵食を受け、その際フルード限界点は上流側斜面に沿うようにして上流かつ鉛直下向き方向に移動する。

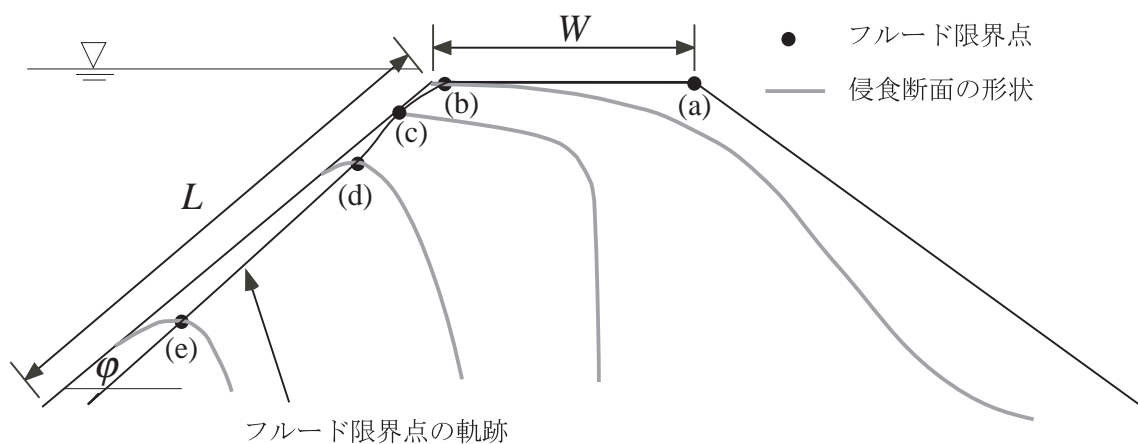


Fig.1 越流による堤体の侵食過程

\*岡山大学環境学研究科；Graduate School of Environmental Science, Okayama University.  
\*\*京都大学農学研究科；Graduate School of Agricultural Science, Kyoto University.  
キーワード；堤体, 越流, 侵食.

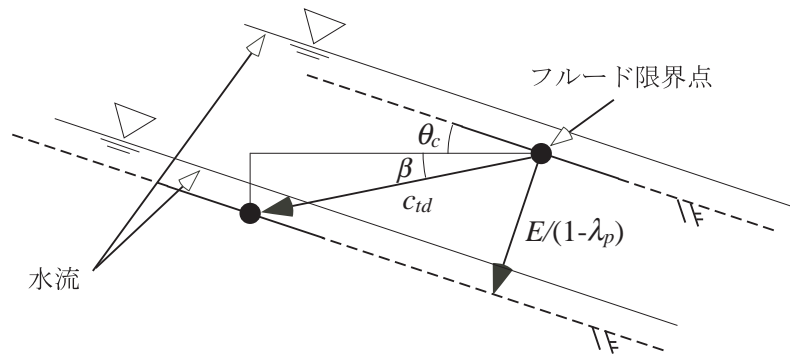


Fig.2 フルード限界点近傍の侵食の様子

### 3. 破堤時間の推定

Fig.2 にフルード限界点近傍の侵食の様子を示す。同図にある  $\theta_c$ 、 $\beta$ 、 $c_{td}$ 、 $E$ 、 $\lambda_p$  はそれぞれ限界勾配、フルード限界点の移動角、移動速度、土の侵食速度、間隙率を示している。限界勾配  $\theta_c$  と間隙率  $\lambda_p$  は浸食面を構成する材料によって決定されるため、フルード限界点における侵食速度  $E$  と移動角  $\beta$  が与えられればフルード限界点の移動速度  $c_{td}$  は Fig.2 を参考にして、以下のように求められる。

$$c_{td} = \frac{E}{(1 - \lambda_p) \sin(\beta + \theta_c)} \quad (1)$$

侵食速度  $E$  は通常、流水によって浸食面に作用するせん断応力（流速の関数）で評価されるがフルード限界点では単位幅流量  $q$  を与えることで流速が決定されるためフルード限界点における侵食速度  $E$  は単位幅流量の関数  $E = E(q)$  となる。移動角  $\beta$  は上述したように越流初期ではフルード点が天端に沿ってほぼ水平に移動するため  $\beta \approx 0$  (Fig.1 の点 (a) から点 (c) の過程)、その後は上流側斜面に沿って移動するので上流側斜面の傾斜角  $\varphi$  を用いて  $\beta \approx \varphi$  と近似すれば (Fig.1 の点 (c) から点 (e) の過程)、破堤に至るまでの時間  $T$  は天端幅  $W$  と上流側斜面長  $L$  を用いて

$$T = \frac{1 - \lambda_p}{E(q)} \left( W \sin \theta_c + L \sin(\varphi + \theta_c) \right) \quad (2)$$

と簡単に算出が可能となる。なお、式 (2) は  $E = 0$  を許さず、これは本手法の適用には限界流において侵食が生じている必要があることを示している。式 (2) によれば、単位幅あたりの越流量、堤体の形状と堤体材料の水理・侵食特性が与えられれば破堤時間  $T$  を見積もることができる。

しかし、実際の問題では、単位幅あたりの越流量の推定するのは困難となる。堤体に形成される越流路の幅は越流水の侵食によって決定される。河川地形の分野では自然現象によって形成される水路や河川の幅  $B$  はほとんど流量  $Q$  のみによって決定されることが経験的に知られており、かなり広い条件のもとで以下の式が成立する<sup>3)</sup>。

$$B \approx 5 \sqrt{Q} \quad B : \text{m} \quad Q : \text{m}^3/\text{s} \quad (3)$$

式 (3) を用いる際には単位に気をつける必要があるが、式 (3) によって単位幅流量  $q$  は越流量  $Q$  の関数で近似的に与えられることがわかる。以上により、堤体の形状と堤体材料の水理・侵食特性がわかれば越流量のみを定めることで破堤時間の推定が可能となる。

#### 参考文献

- 1) 末次 忠司: 堤防からの越流水及び氾濫流の特性, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2006 発表論文集, pp.152-155, 2006.
- 2) Foster M., Fell R. and Spannagle M.: The statistics of embankment dam failures and accidents, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.37, pp.1000-1024, 2000.
- 3) Pierre Y.Julien: *River Mechanics*, Cambridge University Press, pp.165-176, 2002.