

## 2.5 河川堤防の耐侵食機能向上技術の開発(1)

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水工研究グループ（河川・ダム水理）

研究担当者：箱石憲昭、坂野章

### 【要旨】

近年、超過洪水による河川堤防の決壊に伴う被害の増加が懸念され、堤防の質的強化に向けた検討の必要性がより高くなっている。これまでの分析により、越水時の耐侵食機能として、堤体材料、締固度、飽和度、越水深が支配的な要素であることがわかった。また、堤防の耐侵食機能向上のための対策の一つとして、堤防裏のりをシートで覆った場合のシートの揚圧力に対する安定性について実験的に検討した。本年度は、引き続きシートの揚圧力に対する安定性について理論的裏付けを行うとともに、シートの種類及び設置方法による堤防の耐侵食機能の向上について実験的に検討した。

キーワード：河川堤防、堤防決壊、侵食、強化対策、水理的検討

### 1. はじめに

平成16年の豪雨災害等、河川堤防の決壊に伴う水害の発生により、堤防決壊に対する堤防の安全性強化が強く求められている。堤防決壊の主な原因の一つに越流による侵食があり、堤防の安全度強化のためには、侵食に対する抵抗力の高い堤防を開発する必要性が高い。河川堤防の耐侵食機能の評価には河川堤防の構造（形状・質）の把握が必要不可欠であるが、費用や工期等を考慮すると、長い区間に渡る精度の高い河川堤防の調査には限度があることから、堤防の内部構造の影響をあまり受けず、且つ効率的な対策工法の一つとして、堤防表面をシート状のもので覆うことを考えた。しかし、その設計・施工技術は確立していないのが現状である。

本研究は、越流による侵食に対する堤防の強化対策として、裏のり面～裏のり尻の侵食を軽減する対策工について、その設計・施工技術の検討を目的とするものである。

### 2. 検討方法

堤防裏のりをシートで覆った場合のシートの揚圧力に対する安定性について、最も危険側の条件として、堤防満杯水位（越流直前）で堤防下部～堤防裏のりに“みずみち孔”と空気層が形成され、透水性のないシート（遮水シート）によって空気と水が閉じこめられた状態を想定した（図.1）。また、シートの設置方法（重ね幅）による堤防の耐侵食機能について、実物大堤防模型を用いた水理実験により評価した。

### 3. 検討結果

#### 3.1 遮水シートの揚圧力に対する安定性

図.1 に示す条件における遮水シートにかかる揚圧力を次のように算定した。

堤防裏のり面上の遮水シートは剛体でかつみずみち孔の中に空気が存在し、その空気は漏れないものとし、堤体内に河川水が浸透しないという条件とした。この場合、河川水位の上昇量（ $h_3$ ）に応じて遮水シート直下の空気は圧縮され、みずみち孔内の空気の厚さは $h_1$ から $h_2$ になるとすると、これらの関係式は次のとおりである。

$$h_2 = \frac{1}{(h_3 / 10.33) + 1} * h_1 \dots\dots\dots(1)$$

(1)式の定数 10.33 は、1気圧（1atm）の水柱（m）であり、遮水シートにかかる揚圧力は $h_1 / h_2$ （atm）となる。この式からわかるように、みずみち孔の中での空気による揚圧力は河川水位のみに依存されることになり、遮水シート下に大量の空気が閉じ込められると（大きな空気溜まりが発生）、遮水シートが押し上げられ、そこに

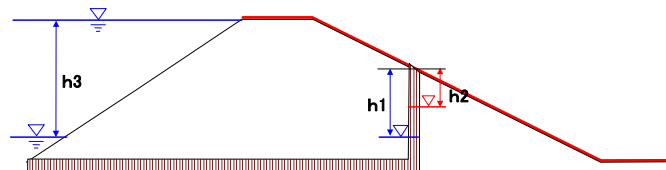


図.1 解析条件

越流水が集中すると急激な侵食の進行が考えられる。対策として空気溜まりが発生しないように排気装置を設けることが考えられるが、排気管が詰まった場合等の不測の事態の発生時には、排気層の空隙部の空気が災いし空気溜まりを助長させるリスクも併せ持っていると考えられる。

上記のような揚圧力に対する遮水シートの力学的安定性について考える。堤防を越流していない状態で、裏のり面上の微少部分について図.2 のように静力学的に釣り合った条件を考えると、以下の式が成り立つ。

$$W \sin \alpha = \delta \tan \phi \quad (\delta = P_1 - P_2 + W \cdot \cos \alpha) \dots (2)$$

ここに、 $W$ : 遮水シートの自重により下向きに作用する力

$$= \gamma_s \cdot t_b \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$\gamma_s$ : 遮水シートの単位体積重量 (kgf/cm<sup>3</sup>)

$\alpha$ : のり勾配 (°)

$P_1 - P_2$ : 遮水シートに作用する力 (負で揚圧力) (kgf/cm<sup>2</sup>)

$$P_2: h_1 / h_2 * \gamma_a \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$h_1 / h_2$ :  $h_3$  に応じて (1) 式より求めた値

$$P_1: 1 \text{ 気圧時の圧力} = 1 * \gamma_a \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$\gamma_a$ : 空気の単位面積積圧力 = 1.03 kgf/cm<sup>2</sup>

$\tan \phi$ : 遮水シートとのり面との摩擦係数

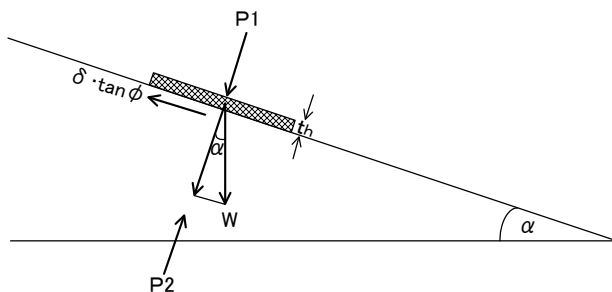


図.2 のり面上に置かれた遮水シートの力学安定条件

遮水シートが、閉じこめられた空気圧によって押し上げられないようにするには、(2) 式を変形した以下の式を満足するようなシート材料とする必要がある。

$$P_2 - P_1 < W \cos \alpha - \frac{W \sin \alpha}{\tan \phi} \dots (3)$$

(3) 式によって求まるのは、遮水シート下一面に空気層(排気層など)があり、かつシートが拘束されていない状態を想定した揚圧力に対する安全性である。遮水シートは堤防天端から裏のり尻方向に幅 2 m の帯状に設置されることを想定すると、計算結果で遮水シートの安定性が得られなくても、揚圧力に対して十分な安全性を有する場合が考えられる。検討の一例として、みずみち孔の大きさと堤防の高さに応じた揚圧力 ( $P_2 - P_1$ ) とシート

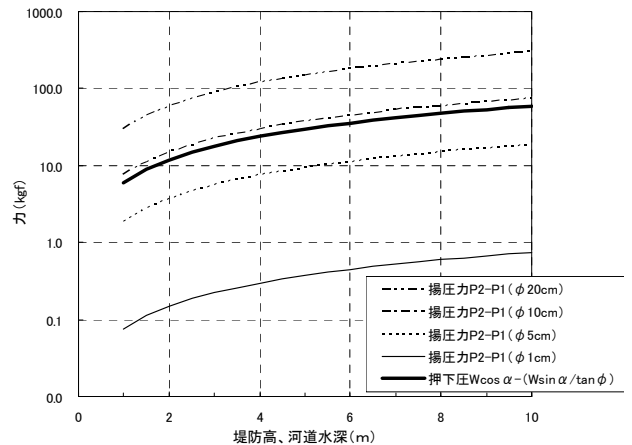


図.3 みずみち孔の大きさによる遮水シートの安定性の

重さによる押し下げる力 ( $W$ ) を図.3 に示す。計算に当たっては、のり尻地点に直径  $\phi 1 \sim 20$  cm のみずみち孔(空気孔)があり、河道内水位上昇に伴って揚圧力が増大し、図.2 に示す力でバランスするものとした。また、遮水シート(重さ: 2.53kgf/m<sup>2</sup>)は、裏のり肩～のり尻に上載されている(摩擦係数  $\tan \phi : 30^\circ$ )剛体として扱った。

みずみち孔が  $\phi 10$  cm 程度以上で一連の遮水シートが押し上がる計算結果であるが、実際には次のような理由から、遮水シートの安定性は計算結果よりも安全側と考えられる。①遮水シートは剛体ではないため、揚圧力により押し上がったとしてもその箇所は限定される。②遮水シートの重ね部から空気が漏れるため空気溜まりの大きさは限定される。③越流等によって遮水シートが水分を含めばシートを押し下げる力が増加する。

実物大模型(固定床模型、水位差 1.5 m、空気孔  $\phi 10$  cm  $\times 3$ )を用いて上記の確認実験をしたが(H19 年度実験)、遮水シートの膨らみはほとんど発生せず、十分な安定を有していた。

一方、空気溜まりが形成されずみずみち孔が水で満たされた場合にも、水圧による遮水シートを押し上げる力は空気圧の場合と同一計算結果である。しかし、水は空気よりも遮水シート繋ぎ部から流出しにくいことから、遮水シートが押し上げられる可能性は空気圧の場合より高いと考えられる。これについて、実物大模型実験で確認済みである。

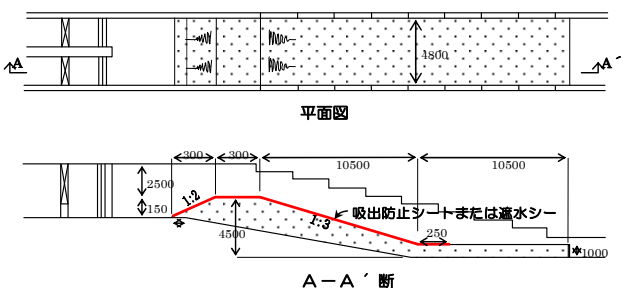
一方、越水後は越流水による遮水シートを上から押さえる力が働くため、計算上は遮水シートが押し上げられにくくなる。実物大模型実験によると遮水シート繋ぎ部(溶着せず重ねた部分)から流出する水量が少なくなり、

遮水シートを押し上げる現象が局所的となる傾向が強まった。この理由は、揚圧力よりも越流水の水圧が卓越し遮水シート繋ぎ部が押さえられたと考えられる。一方、吸出防止シートを同様に用いた実験では、越流の有無や越流水深にあまり係わらずシートの押し上げ高さはほぼ一定であり、シート素材の透過性の違いによってシートの押し上げ高さが異なることを確認した。

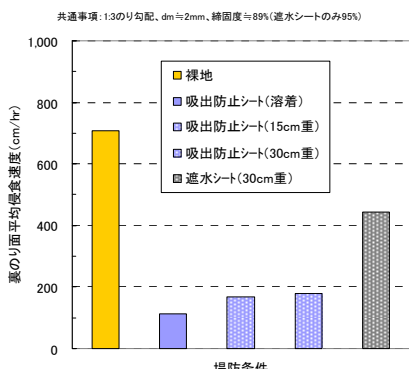
### 3. 2 シートの設置方法およびシート材料による堤防の耐侵食性の相違

吸出防止シート繋ぎ部の構造およびシート材料（吸出防止シートと遮水シート）の堤防の耐侵食に及ぼす影響について、実物大堤防模型を用いた実験により検討した。堤防模型は、粒径  $d_{60} \approx 2\text{mm}$  の混合砂（透水係数  $k_s \approx 10 \times 10^{-5}$ ）を用い、**図. 4** に示す高さ 3.5m、裏のり勾配 1:3、天端幅 3m である。シートは吸出防止シート（透水係数  $K_s = 1.4 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ ）を堤防長手方向に直角に堤防天端から裏のり尻に敷設するが（吸出防止シートは幅 2m 単位でロール状態にて商品化されている）、幅 2m 以上の範囲に敷設置するには、隣り合うシートの繋ぎ部を溶着または重ねるかの必要がある。

**図. 5** に、堤防裏のり面の時間当たりの堤防の平均侵食深（侵食速度）として、吸出防止シートを用いた実験とともに裸堤と遮水シート（繋ぎ部を重ねただけのケース）を用いた実験との比較を示す。これより次のことがわかった。①吸出防止シートの繋ぎ部を重ねた場合、重ね幅（15cm と 30cm）にあまり係わらず、堤防の侵食速度は無



**図. 4** 堤防模型の概要



**図. 5** 裏のりの侵食速度の比較



**写真. 1** 遮水シートによる越水対策実験

対策（裸堤）の数分の一程度に低減する。②吸出防止シートの繋ぎ部を溶着すると、溶着しない場合に比べ侵食速度が低減する。③繋ぎ部を溶着させないで遮水シートを用いると（繋ぎ部の重ね幅 30cm）、吸出防止シートの同一条件よりも大きな侵食速度を示す。

遮水シートのケースでは、水路側壁沿いで侵食が顕著である（**写真. 1**）。遮水シートは、水路側壁に接着させず側壁との隙間を極力小さくするように堤防のり面に直に設置した。したがって、一度僅かの隙間から越流水が遮水シート下に入り込むと、“堤体表面の侵食” → “隙間の拡大” → “流入量の増加” が繰り返され、堤防の侵食が助長されるものと考えられる。堤防と越流水を完全に分離する遮水シートのような素材で堤防表面を覆った対策には、不測の事態（シートの破損、繋ぎ部の隙間の増大等）が生じると、繋ぎ部等への流水が集中し、堤防の侵食危険性が高まると考えられる。

### 4. まとめ

主な検討結果は次の通りである。

- ①遮水シートの揚圧力に対する安定性について理論的裏付けをした。遮水シート下に空気溜まりが発生しないように排気装置等を設けることは、十分な施工・管理を前提とすれば非常に有効であるが、万一排気管が詰まった等の不測の事態を想定すると、排気層の空隙が空気溜まりの発生を助長させるという面も持ち合わせており、経済性・効率性も考慮した対策が重要である。
- ②シートの種類及び設置方法による堤防の耐侵食機能について実験的に比較検討した。遮水シートで繋ぎ部を溶着しない場合には、繋ぎ部への越流水の集中に伴って急激に堤防侵食が進行する可能性が高くなる。吸出防止シートの場合は、重ね幅（15cm と 30cm）による影響の差異は見られず、また溶着による耐侵食性の向上も見られたが、溶着部分の強度の長期的保持や施工性なども含めた検討が今後必要である。

## **TO IMPROVE LEVEE STRENGTHENING MEASURES AGAINST EROSION DUE TO OVERFLOW OF RIVER WATER.**

**Abstract** : In recent years, there are concern that the increasing in the levee break damage by the excess flood. It was confirmed that the most causes of levee break was "overtopping of levee " by last year's analysis. Furthermore, extraction and its degree of influence of the dominant factors were examined using the hydraulic model test. In the current year, We checked theoretically about the stability of the sheet to uplift pressure. Furthermore, erosion control effect by the installation methods, such as a sheet, was examined.

**Key words** :levee, levee break, erosion, strengthening measures, hydraulic study, uplift pressure