

## 猿尾の断面形状・材質とすべり破壊および侵食安全性について

太栄コンサルタンツ (株) フェロー会員 ○馬場 慎一  
名城大学 正会員 伊藤 政博

### 1. まえがき

江戸時代の1601年に築造された加納猿尾は、木曾川上流部の右岸では断面と長さが最大である。猿尾は水刳ね水制の一種で水衝部を河岸から離すための河川構造物であり、礫質土を盛り表面を玉石で被覆されている。

木曾川河口から44~49km区間には現在3基の猿尾が残っており、水制の機能を果たしている。この猿尾について、構造安全性を検討した。その結果、所用の安全性を満たしていることがわかった。

### 2. 研究目的と対象地

本研究は、残存する猿尾について、築造の歴史、断面形状および材質の調査をして、猿尾のすべり破壊と法覆工の侵食安全性の検討を行うことが目的である。

対象地域は、図-1に示す岐阜県羽島郡笠松町~各務原市の木曾川右岸で、河床材は粒径5~20cmの玉石であり、「治河要録」<sup>1)</sup>によると、江戸時代には扇状地河川を「石川」と呼ばれていた。また、河床勾配は1/460~1/800で、山本<sup>2)</sup>によるセグメント類型によると、セグメント1と2の範囲に概当する。



図-1 対象地域

### 3. 研究の方法

本研究では、猿尾の構造安全性の検討は、「河川堤防の構造検討の手引き」<sup>3)</sup>に準拠して、以下の手順で行う。

- (1) 断面形状と土質構成のモデル化
- (2) 外力の算定 (自重と掃流力)
- (3) 猿尾のすべりと法覆工の侵食に対する検討

### 4. 猿尾の構造安全性の検討

#### 4.1 断面形状・土質構成のモデル化

断面形状は古絵図と発掘調査報告書に基づいて調べた。更に現況は筆者が実測を行った。法覆工の玉石は整然と組みれ洪水に強い構造である

土質構成のモデル化をするに際して、猿尾は内部摩擦角 $\phi=35^\circ$ の礫質土、法覆工は $\phi'=38^\circ$ の玉石とする。

#### 4.2 猿尾のすべり安全性

(1)式は猿尾のすべり面を直線とし、法面勾配が $\phi=35^\circ$ より急な場合に使用する。(2)式は(1)式で安全率 $F_s < 1.0$ の場合である。法覆工を支持している図-2のA点で示す下端基礎部の、すべり安全性を検討する。

$$F_s = \frac{W \cos \alpha \cdot \tan \phi}{W \sin \alpha} \quad (1)$$

$$F_s' = \frac{W \sin \alpha \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi'}{W \sin \alpha \cdot \sin \theta} \quad (2)$$

ここに、 $F_s$ と $F_s'$ は安全率

$W$ : すべり面上の全重量 (kN)

$\alpha$ : すべり面の傾斜角( $^\circ$ ),  $\phi$ : 土の内部摩擦角( $35^\circ$ )

$\phi'$ : 玉石の内部摩擦角( $38^\circ$ ),  $\theta$ :  $90^\circ - (\alpha + 30^\circ)$

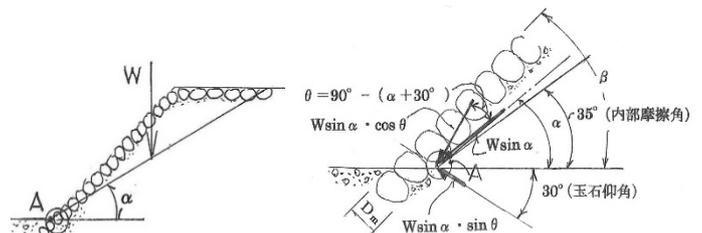


図-2 直線すべりによる法面の安定計算

図-3 法覆工下端A点基礎部のすべり安定計算

#### 4.3 侵食に対する検討の構造モデルと基本式

法覆工玉石の侵食安全性の検討は、国土技術研究センター編「護岸の力学設計法」<sup>4)</sup>に準拠して行う。

「護岸の力学設計法」では、流体力による破壊が主要因となるモデルとして、6種類のモデルを提案している。

この中で、玉石が整然と組みれていることから、「掃流-一体性が強い」モデルを使うこととする。このモデルを用いて以下の検討を行う。

安定条件は、玉石の限界掃流力が掃流力を上回る場合は安全とする。水平床上での限界掃流力を $\tau_{*d}=0.05$ として、玉石の必要径を以下のように求める。

法面上の玉石の無次元掃流力は、(3)式で表わせる。

$$\tau_{*sd} = \tau_{*d} \times \cos \beta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \beta}{\tan^2 \phi}} \quad (3)$$

表-1 猿尾の構造諸元および、すべり破壊と侵食に対する安全性

猿尾名称	横手堤猿尾 (北派川 1.6km)	手斧猿尾 (北派川 2km)	加納猿尾 (本川 49km)
築造年	明和3 (1766) 年に補修記録	寛文2 (1662) 年	慶長6 (1601) 年
猿尾の断面形状 高さ・法面勾配 法覆工の玉石径	天端幅 2.5m 1:1.2 高さ 3.2m 玉石径=25~30cm	天端幅 3.6m 1:1.35 高さ 3.6m 玉石径=20~30cm	天端幅 3.0m 1:2.0 高さ 5.4m 玉石径=25~35cm
猿尾のすべり 破壊	法面勾配 1:1.2(39.8°) (1)式より $\alpha=38^\circ$ で検討 $F_s=0.90<1.0$ NG ∴法覆工基礎部のすべり検討 (2)式より $F_s'=1.9>1.0$ Ok	法面勾配 1:1.35(36.5°) (1)式より $\alpha=35.5^\circ$ で検討 $F_s=0.98<1.0$ NG ∴法覆工基礎部のすべり検討 (2)式より $F_s'=1.7>1.0$ Ok	法面勾配 1:2 (26.6°) 猿尾の内部摩擦角 $\phi=35^\circ$ ≒安息角 法面勾配は安息角より緩い ∴Ok
法覆工の侵食	法面勾配が 1:1.5 より急のため 法覆工侵食の検討適用外	法面勾配 1:1.5 より急のため 法覆工侵食の検討適用外	(6)式により計算 前面水深 $H=5.7m$ 代表流速 $V_0=4.5m/s$ 安定に必要な玉石径 は $17cm \leq 25\sim 35cm$ (現地玉石径) ∴ Ok
法覆工のすべり 破壊	法覆工基礎部のすべり検討 (2)式より $F_s'=2.1>1.0$ Ok	法覆工基礎部のすべり検討 (2)式より $F_s'=1.8>1.0$ Ok	法面勾配が 1:2.0 のため法覆工の安全性は 掃流力による侵食で検討

ここに、  $\beta$ : 法面の角度 (°)  
 $\phi'$ : 玉石の水中安息角 =  $38^\circ$

$\tau_{*sd}$  は玉石の径  $D_m$  (m) とすると

$$\tau_{*sd} = u_*^2 / (s \cdot g \cdot D_m) \tag{4}$$

ここに、  $s$ : 玉石の水中比重 = 1.65

$g$ : 重力加速度 = 9.8 (m/s<sup>2</sup>)

また、粗面の水路の平均流速公式は(5)式となる。

$$V_0/u_* = 6.0 + 5.75 \log_{10}(H/k_s) \tag{5}$$

(4) と (5)式より (6)式が得られる。

$$D_m \geq V_0^2 / \{ [6.0 + 5.75 \log_{10}(H/k_s)]^2 \cdot \tau_{*sd} \cdot s \cdot g \} \tag{6}$$

ここに、 $V_0$ : 法覆工前面のマニング公式で表わされる代表流速(m/s)

$H$ : 法覆工前面の水深(m)

玉石の必要径は、式(6)で  $k_s = D_m$  と仮定し、繰り返し計算で求める。

この計算結果が表-1 中の加納猿尾の法覆工の侵食欄にまとめてある。

#### 4.4 考察

(1) 加納猿尾のすべり破壊については、現地の実測によると、法面勾配が礫質土の安息角より緩いので安全である。横手堤と手斧猿尾は法面勾配がそれぞれ 1:1.2 と 1:1.35 であるため、(1)式で安定計算を行った。安全率が 0.90 と 0.98 であったが、(2)式で計算すると安全率は 1.9 と 1.7 になった。

(2) 侵食に対する安全性の計算から求まる加納猿尾の玉石径は 17cm であった。実測では玉石径は 25~35cm

であるので、安全である

(3) 横手堤と手斧猿尾は、法覆工基礎部のすべりに対する検討の結果、安全率がそれぞれ 2.1 と 1.8 となり、安全であることがわかった。

#### 5. まとめ

江戸時代に築造された 3 基の猿尾に注目して、断面形状と材質を調べ、すべりと侵食安全性について検討した。

その結果は、以下のようにまとめられる。

- (1) 猿尾の法面勾配は、すべり破壊に対する安全性が認められた。
- (2) 法覆工は空石張構造で、20~35cm の玉石を法面に整然と組んであった。
- (3) 猿尾は、法覆工があるため、すべり破壊と侵食に対する安全性を満足している。

#### 【参考文献】

- 1) (一社) 農山漁村文化協会: 日本農書全集第 65 巻, 開発と保全二, 治河要録, p.300, 1997.
- 2) 山本晃一: 日本の水制, pp.233-236, 山海堂, 1996.
- 3) (一財) 国土技術研究センター編: 河川堤防の構造検討の手引き, pp.101-108, 2012.
- 4) (一財) 国土技術研究センター編: 護岸の力学設計法, pp.65-87, 山海堂, 1999.