

## 河川湾曲部外岸部の浸食の水理に関する一研究

山口大学 フェロー会員 ○羽田野 袈裟義

## 1. はじめに

河川湾曲部に沿う堤防の浸食とその進行に伴う堤防決壊は河川技術上きわめて重要な問題である．この問題は水理学と土質力学の境界領域にあり，両分野の知見の有機的結合により有効な防災対策に向けて研究される必要がある．しかしながら，従来の検討は両方の学問領域の知見の範囲内で閉じている状態にある．

本研究では，湾曲部外岸側の堤防法面に作用する変動流体力が法面表土の固結状態を破壊し，これにより表土が分離した粒状体になるとすぐに水流により流送される形で浸食が進行する，との現象理解に基づきこの問題への水理学的アプローチの糸口を提示する．まず湾曲部の側岸浸食の進行の量的評価の基本となる関数形の表現を提示し，実験や現地計測における実験データ取りまとめの方向性を提案する．

## 2. 被災事例

図1は，河川湾曲部外岸の被災事例として，平成25年山口・島根豪雨により7月28日に山口市阿東徳佐の大久保地区で発生した国道315号沿いの阿武川湾曲部外岸の水衝部土羽の浸食被害を示す．阿武川は写真の右上側から国道に向かって流れ，国道に衝突した後は国道に沿ってしばらく流れている．国道の川表側法面は下部が護岸で固められ，その上部が土羽となっていた．国道315号は阿東徳佐から嘉年上に至る区間の多くに地点で河川災害や道路・橋梁災害に見舞われた<sup>1)</sup>．写真に示す大久保地区では，水衝部で土羽が浸食されて道路が破壊され，その破壊が一部は川裏側の路肩まで達している．この道路は阿東徳佐（国道9号）と萩市須佐（国道191号）を結ぶ道路で，山口県県央部の地域と山陰地域を結ぶ限られたアクセスの路線である．この事情でこの道路の復旧は急を要し，急ピッチで復旧工事が行なわれた．

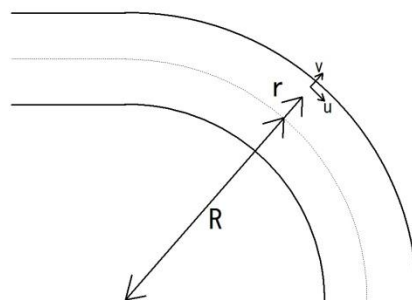
図1 阿武川の湾曲部での被災事例<sup>2)</sup>

図2 河川曲線部の模式図

3. 湾曲部の側岸浸食について<sup>3)</sup>

本研究では，前述のように，湾曲部外岸側の堤防法面に作用する変動流体力が法面表土の固結状態を破壊し，これにより表土が分離した粒状体となり，これが水流により流送されて浸食が進行すると考え，実験研究で実験結果を取りまとめる方向性を提示する．浸食の外力の変動流体力と考え，浸食に対する抵抗力として「擬似粘着力」 $c'$ を導入する．これは，いわゆる土の粘着力と類似の性格そして同じ次元をもつ物理量と考えるが，あくまで浸食に対する抵抗力であって粘着力（せん断に対する抵抗力）と同一ではない．

図2のように水路幅 $b$ の流路が中心線の曲率半径 $R$ で湾曲していると考え，流速の流路に沿う方向の成分を $u$ ，それと直角に外岸に向く成分を $v$ とする．流速はとりあえず水深平均流速で考え， $u$ はマニング式など

キーワード 河川湾曲部，浸食，変動流体力，表土固結破壊，擬似粘着力，評価法

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学 工学部 社会建設工学科

TEL 0836-85-9317, 9353

で見積もることができる。

### 3.1 法面に作用する変動流体力

ここでは変動流体力を堤防法面の単位面積あたりの大きさで見積もる。この変動流体力の堤防法面に接線方向の成分は、水の質量密度を  $\rho$  としてレイノルズ応力  $\overline{\rho u'v'}$  で与える。ここで、 $v$  は外岸に向かう速度成分としているため、レイノルズ応力の表現に現れる負号をはずして表記している。次に法線方向成分を考える。湾曲部では水塊は単位体積あたり  $\rho v^2 / R$  の向心力を受ける。これを法面の単位面積で見積もると、長さスケールを  $l$  として  $\rho v^2 / R \times l$  となる。したがって、変動流体力の堤防法面に法線方向成分は、流速変動による打撃力として  $\overline{\rho v'v'} / R \times l$  を考えることができる。

現実の長さスケール  $l$  の見積もりが重要であるため、 $l$  の見積もりの方向を検討する。 $l$  は、水塊の外岸方向の加速に関わる長さであり、流水幅  $b$  と流量  $Q$  の影響を受けると考え  $l$  を例えば式(1)で仮定することができる。または、流水幅  $b$ 、曲率半径  $R$  および流量  $Q$  の影響を受けると考え、式(1a)と置くことも考えられる。

$$l = K \sqrt{b^m h_c^n}; m+n=2 \quad (1), \quad l = K \sqrt{(b^2 / R)^m h_c^n}; m+n=2 \quad (1a)$$

$$\text{ここで、} K \text{ は係数、} h_c \text{ は限界水深で式(2)で与えられる。} h_c = (Q^2 / b^2 g)^{1/3} \approx (h_0^{10/3} I / g n^2)^{1/3} \quad (2)$$

ここで、 $g$  は重力加速度、 $h_0$  は等流水深、 $I$  は流路床の縦断勾配、 $n$  はマンニングの粗度係数である。

### 3.2 浸食速度の見積もり

法面表土の浸食進行速度（川裏向き）を  $V_E$  としてその関数形を式(3)で仮定する。また、現実問題では速度変動項  $\overline{u'v'}$  および  $\overline{v'v'}$  の平均流速  $u$  による見積もりが必要であり、第一次近似としてこれを式(4)で仮定する。

$$\frac{V_E}{\sqrt{\overline{u'v'} + \overline{v'v'}}} = f\left(\frac{\overline{\rho u'v'}}{c'}, \frac{\overline{\rho v'v' l}}{R c'}\right) \quad (3), \quad \overline{u'v'} = k_1 u^2, \quad \overline{v'v'} = k_2 u^2 \quad (4)$$

このとき式(3)の浸食進行速度の関数形を式(5)で置くことができ、実験・実測のデータ解析では式(6)、したがって式(7)を用いることができる。

$$\frac{V_E}{\sqrt{k_1 + k_2} u} = f\left(\frac{\rho k_1 u^2}{c'}, \frac{k_2 \rho u^2 l}{c' R}\right) \quad (5), \quad \frac{V_E}{u} = f\left(\frac{\rho u^2}{c'}, \frac{\rho u^2 l}{c' R}\right) \quad (6), \quad \frac{V_E}{u} = f\left(\frac{\rho u^2}{c'}, \frac{l}{R}\right) \quad (7)$$

以上より、第一段階の評価方法として、所与の  $u$  と  $R$  の条件に対し、 $V_E$  を測定し  $c'$  と  $l$  の値を種々変化させて試行錯誤により上式の定式化を行なう方法が考えられる。

## 4. 結語

以上、河道湾曲部の堤防法面が変動流体力により浸食されると考え、浸食を量的に評価するための基本の関数形の表現、および計測データ整理の方向性を提案した。今後は実験・計測を通した確認・修正が必要である。

**参考文献：**1)山口県土木建築部：平成 25 年 7 月 28 日豪雨 災害復旧事業等箇所図,2013. 2)羽田野袈裟義：2013 年山口・島根豪雨災害と今後の減災への提言，平成 25 年度河川災害に関するシンポジウム資料，pp.7-12,2014., 3)羽田野袈裟義：河川湾曲部に沿う堤防の浸食機構とその評価方法に関する基礎的検討,山口大学工学部研究報告，Vol.52,No.1,pp.59-62,2015.