

II-197 堰の護床工下部の空洞化機構について

京都大学工学部 正員 清水 義彦
 京都大学工学部 正員 中川 博次
 京都大学工学部 正員 村上 正吾
 京都大学工学部 正員 仙波 秀治

1. はじめに 堰構造物の洪水時の被災事例を調べると、災害を生じさせる直接的な作用現象の1つとして護床工下部からの土砂の抜け出し現象があげられる。すなわち、水叩き部及び護床工部上の加速された流水は護床工間隙の土砂を洗い流し、その下部から土砂を流出させる。さらに、それが引き金となって水叩き部まで空洞化を引き起こし、パイピングを誘発させ、それらが複合化された形で著しい破損に至ることもある。本研究は、堰構造物の典型的な被災形式の一つである護床工下部の砂粒の抜け出しに着目して、その進行性破壊機構を水理実験を通じて把握し、その流れ構造と流砂運動を明らかにすることを目的とするものである。

2. 実験方法 護床工部のモデルとしては直径2.8cmのガラス玉を用い、1層9列で水叩き面に頂部を合わせて敷き並べたものを用いた(図-1)。通常の護床工の設計では、河床の変形に応じて護床工も変形し下部の空洞の発達を抑制することが多いが、空洞化の形成機構に主眼をおくため、ガラス玉層は移動床になじんで変形しないように水路壁に固定し、空洞化を自由に進行させて実験を行った。実験条件を表-1に示す。各実験条件は水叩き部、護床工部上を流水が跳水を起こさずに射流で流れるように設定されている。表面流況及び移動床砂面の変形過程は水路側面よりビデオ撮影し、ある時間ごとに通水を止め、河床形状を測定し、砂面をニスで固め再度通水してプロペラ流速計により空洞内流速分布を計測した。

3. 実験結果及び考察 図-2に実験より抽出された護床工下部の空洞化に関する素過程をまとめる。すなわち、水叩き部で加速された水流が護床工ブロック間隙から砂粒を吸い出し、同時に護床工に接続する移動床部の河床低下を生じさせる。また、ブロック間隙内及びブロックと移動床面との間で早い浸透流が形成され下流に向かって発達する。特に、護床工下流部の河床が洗掘されると、この流れは助長され、下流端部から砂粒が掃き出されることで水みちが形成され、これが鉛直スケールを発達させながら上流側へ伝播し、いわゆる空洞化の進行となる。図-3に空洞化の進行に伴う砂面形状の変化を、また図-4に空洞内流速分布の流下方向変化を示す。明らかに空洞化は通水時間とともに遡上しながら拡大することが分かり、空洞内流速の鉛直分布は砂面近傍に最大流速が現れた形となっている。さらに、空洞内流速分布の流下方向変化を調べると、流下するに従って分布形は太った形となり、流下方向に空洞内流量が増加していることがわかる。すなわち、護床工ブロック間隙を通じての流入流量(transpiration)が存在し、これが空洞内流速分布を特徴づける。空洞内流量の流下方向変化はほぼ線形関係が認められ、これよりtranspirationは、流下方向にほぼ一様に生じるものと考えられる。

4. 空洞化進行過程のモデリング 図-5に示すように最大洗掘深 Z_{sm} と空洞部水平スケール l の関係はほぼ線形であり、空洞部砂面形状は時間的に相似を保っていることが分かる。そこで図-6に示すように簡単な2次元空洞部洗掘モデルを考える。平均空洞鉛直スケール Z_{me} で与えられた矩形空洞部の容積 V_s は式(1)で与えられ、 k は形状係数で実験より10.5程度の値をとる。一方、空洞内流速分布の相似性を認めると、式(2)、式(3)の関係が得られる。実験から空洞部末端の流出流量を与えれば、空洞内での各断面流量がtranspirationの流下方向積分値として求まり、これと Z_{me} から断面平均流速 U_m が求まることになる。次に、空洞内流速場と流砂量特性とを結びつけるため、以下のような簡単な実験から抵抗係数の評価を行った。すなわち、一層のガラス玉層の下に一定厚の水の層をつくり、その下の固定床土のせん断応力をアレクソン法から求め、流速係数 ϕ (最大流速と摩擦速度の比、実験より5.0程度)を一定として与えると、式(4)より掃流力が求まる。空洞内の流砂運動は非平衡性が強く現れるものと考えられることから、中川・辻本らの非平衡流砂量式(5)を採用し、流砂の連続式(6)と合わせることで、平均空洞部鉛直スケールが求まる。図-7に計算結果と実測値の対応を示す。

ほぼ良好な一致を示し、モデリングの妥当性が認められる。

4. あとがき 空洞内局所流速の最大値の時間変化を図-8に示すと、ある時間スケールをさかいに、著しく減少し、静的平衡状態で空洞化が抑制されることがわかる。今後はこのような停止機構を踏まえて検討を重ねてゆきたいと考えている。

表-1

CASE	Ie	Qt(l/s)	$\bar{U}$ (cm/s)	$\bar{h}$ (cm)	Fr
A	1/400	7.66	92.58	2.20	1.99
B	1/400	12.70	130.70	3.08	2.38
C	1/200	6.56	93.56	2.67	1.83
D	1/200	11.14	109.14	3.32	1.91

Qt: total discharge, $\bar{U}$, $\bar{h}$: mean velocity and depth of free surface flow

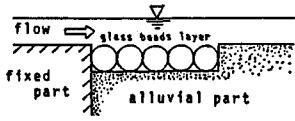


図-1

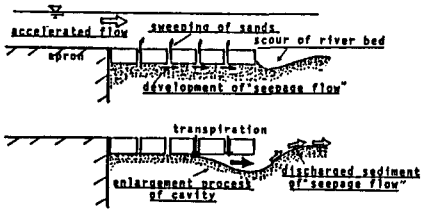


図-2

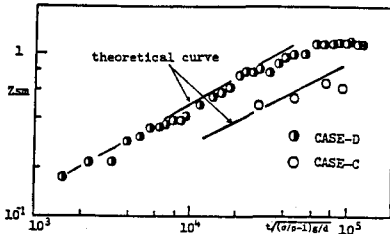


図-3

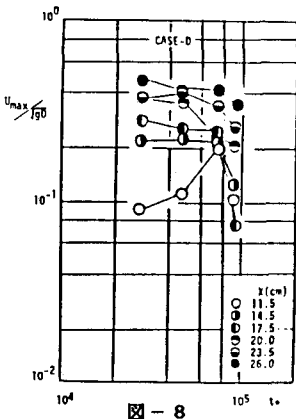


図-4

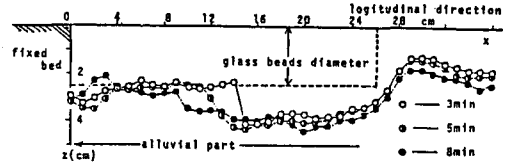


図-5

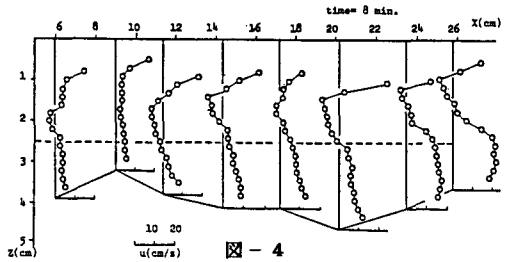


図-6

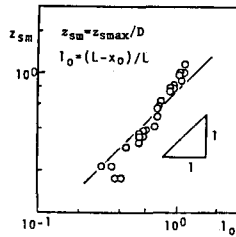


図-7

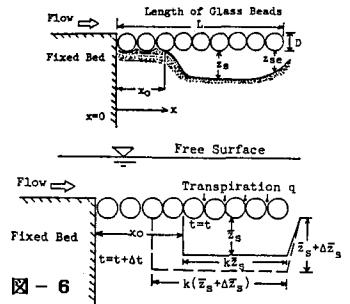


図-8

$$Vs = k z_{me}^2 \quad (1)$$

$$u / u_{max} = \text{func}(z / z_s) \quad (2)$$

$$u_m / u_{max} = \text{const.} \quad (3)$$

$$\tau_b = \rho u_*^2 = \rho u_{max}^2 / \phi \quad (4)$$

$$q_B \cdot \Delta t = 2(1 - \rho_0) k z_{me} \Delta z_{me} \quad (5)$$

$$q_B(L) = A_3 d / A_2 \int_{x_0}^L p_s(x) \int_{L-x}^{\infty} f_x(\xi) d\xi dx \quad (6)$$

付記

本研究を進めるに当って、福島卓也君（現・三菱重工）の協力を得たことを記して謝意を表します。

参考文献

中川・辻本・清水・村上：第31回水理講演会論文集、pp.359-364