

II-170 定常波を伴う射流の河床せん断力

北海道大学工学部 学生員 石川 伸
東北電力(株) 小野寺 正典
北海道大学工学部 正 員 長谷川 和義

1. はじめに 著者ら（1988, 1988）は、山地小河川のステップ・プールについて詳しい測量を行い、スペクトルピークを与える河床波長が、ある基準波長の整数倍をなしているという興味深い事実を見いだした。この性質は水面波によってもたらされたものと考えられる。本報は、何等かの原因で発生した水面波が河床に及ぼす影響を見るために、実験水路に定常な3次元水面波を発生させ、河床せん断力の分布を直接実測し、その性質を調べたものである。

2. 実験概要と結果 使用水路は、幅30cm、長さ 10mの鋼製可傾斜水路であり、シリンダー状の水用せん断力計（三計エンジニアリング製、径10mm）を埋め得るように路床が二重構造になっている。上部底は耐水ベニヤに水性ペイントを塗って仕上っている。河床せん断力の測定は、表の条件の4 ケースについて行われ、うちRUN1, 2が水用せん断力計により、RUN3, 4がピトー管によって測られた。

造波用水切によって起こされた波の水面形はそれぞれのケースによって、波高・波長が異なり、表のような性質を示した。図1に、RUN1を例にとった波面の鳥瞰図を示す。同図左端は側壁、右端は水路中央線に対応する。波高は水切りから離れるにしたがい緩やかに減衰している。せん断力の測定は、水路側壁から9cm中央よりの位置において、水切りを 1cmずつ下流に移動させて行い、波面形との対応が分かるようにした。

2-1)せん断力分布の特徴 図2(a)～(d)は、水面波形とせん断力分布の実測結果である。水面波峯部の微小なくぼみに対しても、せん断力は敏感に影響を受けて変化している。RUN1を除き、両者はほぼ半波長の位相差をもってずれている。これに対し、RUN1の位相ずれは 1/8波長程度にとどまっているがいずれにしてもずれは上流側に生じている。射流時には河床波と水面波が同位相になることが多いので、このことは河床波の成長にとって重要である。

2-2)速度分布 一波長の8等分点において測定した流速の一例を図3に示す。谷部の流速が速く、峯部において遅くなっている。この傾向はフルード数が小さめのRUN1, 2, 3に対してより顕著である。流速分布を片対数にプロットすると、底から 1cm程度 ($U_* z / \nu \approx 300$) の範囲まで直線にのり、滑面の式を満足するが、これより上の領域では対数分布を上まわるか、下まわる。

	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4
設定勾配	1/216	1/300	1/380	1/99
流量 Q (cm^3/s)	11308	23732	11124	28015
エネルギー勾配 I_e	1/212	1/331	1/386	1/134
平均水深 h_R (cm)	4.34	7.74	4.35	6.41
平均流速(cm/s)	86.85	102.20	85.21	145.68
フルード数 Fr	1.33	1.17	1.31	1.84
流れ方向波長 λ (cm)	36.0	42.0	34.0	60.0
進行方向波長 λ_s (cm)	23.1	24.4	22.5	26.8
波高 H (cm)	1.92	2.25	1.67	1.85
H/h_R	0.442	0.291	0.384	0.289
B/h_R	6.912	3.876	6.897	4.680
H/λ	0.053	0.054	0.049	0.038
h_R/λ	0.121	0.184	0.128	0.107

表 実験条件、波の諸量

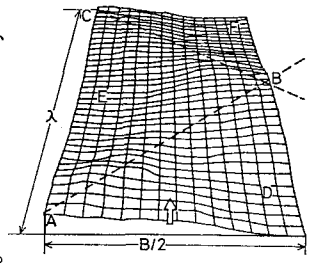
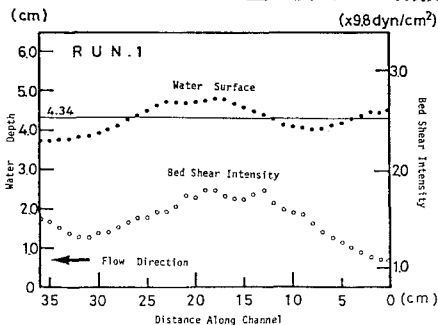
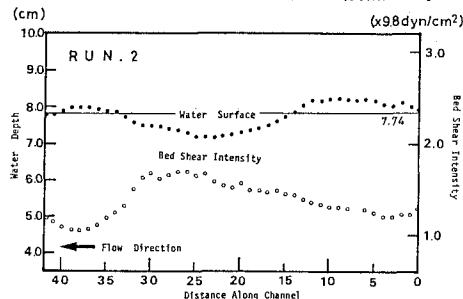


図1 波面の鳥瞰図(RUN 1)



(a)



(b)

図2 水面波と河床せん断力

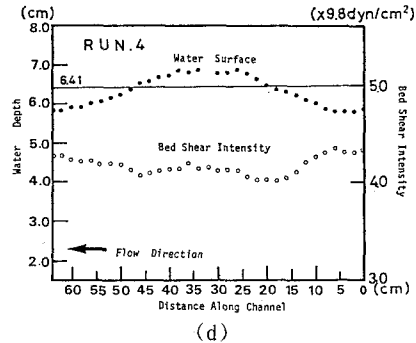
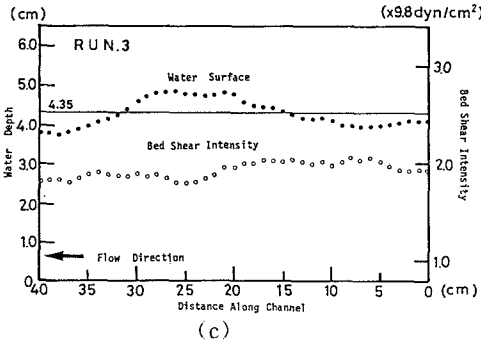


図2 水面波と河床せん断力

3. 検討 図2に見られるせん断力変化と図3の流速分布変化は本質的に関連している。波の存在が、峰部と谷部における平均流速と分布をかなり違ったものになっている。最も簡単な3次元ポテンシャルフローモデルでこれを見ると、図4中の破線のようになる。平均の小さい方が峰部、大きい方が谷部の流速分布に対応しており、水面波に対してちょうど 180° の位相ずれを起こす。河床せん断力が流速の2乗に比例するものと考え、水面波とせん断力の 180° の位相ずれが説明できる。現在シアフローモデルによる解を検討中

であるが底面の近傍（粘性底層）にまで波の影響がおよぶときに新たに位相ずれが加わり、RUN1のような現象が起こり得るという感触を得ている。ただし、現実の山地河川などでは礫がむき出しになっており、この効果は無意味になるかもしれない。

図5は水面波の波長を、ポテンシャルモデルから導いたAiry波長と比較したものである。ただし、 L は斜め波の波長、 $1/k = (2\pi/B)/(2\pi/\lambda)$ である。両者はほぼ一致している。したがって、シアフローの性質が強い流れでも何らかの障害物や、ランダムな河床起伏によって水面波が形成される場合には、その波長はAiry波長をもって近似することができる。

4. まとめ 4種類の射流に波を与え、水面波形、流速分布、せん断力分布を測定する実験を行い、次の事柄を見いだした。1) 水面に定在する波は斜め交錯波であり、図4の流れ方向に3次元Airy波長、横断方向に流路幅に等しい波長を有する波がきわだって大きな振幅を有している。2) 流速分布は、底面対数則に従うが、上層でこれから大きくはずれる。上層がポテンシャル解に近い場合も存在する。3) 波の峯部の流速は、谷部の流速に比して小さく、この性質は、ポテンシャル解にも表れる。その場合の水面に対する位相ずれは 180° である。4) せん断力分布の水面形に対する位相ずれは、3例において、およそ 180° に近いが他の1例においては、 45° 程度に測定された。

[参考文献]

長谷川・藤田・小野寺(1988)：土木学会北海道支部論文報告集、第43号、II-26、pp323-pp328

長谷川・藤田(1988)：土木学会第42回年講概要集、II-143、pp316-pp317

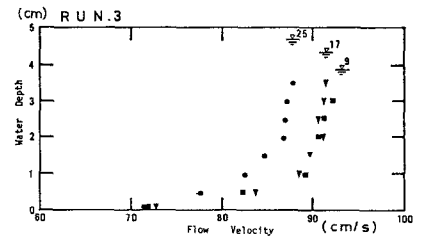


図3 水深方向流速分布(RUN 3)

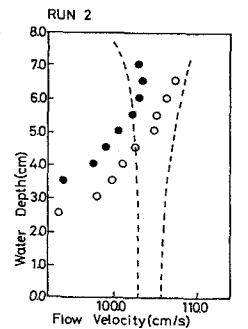


図4 流速分布のポテンシャル解(RUN 2)

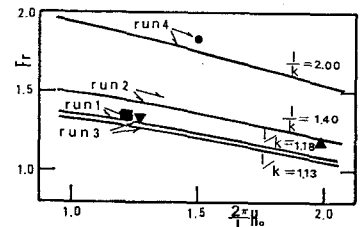


図5 定常Airy波の波長と実測値