

武庫川下流における河床の形と蛇行流れ

三輪 弼*

1. はじめに

武庫川は、北摂山地の峡谷部を通り過ぎたあと、宝塚市生瀬付近から武庫平野と呼ばれる平野部を流下する。この下流区間は、河床勾配が急で河床は玉石交じりの砂利で覆われている。逆瀬川合流点から下流の区間は、左右両岸とも堤防が築かれたうえ、堤防前面は高水敷部になっていて、公園や運動場が広がっている。

河道の中央付近に高水敷から一段低くなった低水流路を持つ複断面河道である。低水流路の両岸には護岸が設置されている。河道の平面形は、ゆるやかに大きく左右に湾曲をくりかえしてはいるが、名神高速道路橋梁付近までは、ほぼ直線的な形状である。また、取水堰や床止めという横断構造物が多数設置されている。

そのような人工的に河川改修された河道ではあるが、低水流路内の河床砂礫は、洪水流によって激しく移動し、自然的な河床形状と水の流れを作り出している。武庫川下流区間の河床形と流れは、砂礫堆形成とそれに伴う水流蛇行という平野部河川に特有の自然現象の現れである。武庫川の実態を明らかにしながら、河川という自然の基本的な性質を知ってもらうのが本稿の目的である。

2. 武庫川の河床と流れの特徴

武庫川の低水流路河岸に立てば、写真1のとおり、「洲」とよばれる広い礫河原を流路内に見ることができる。

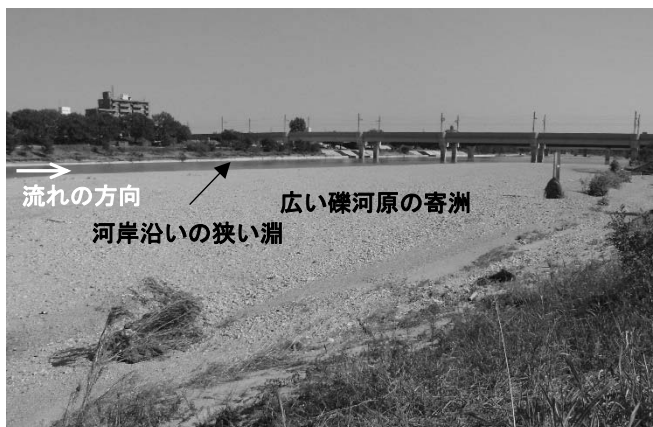


写真1 武庫川低水流路内の河床形
(阪急電鉄神戸線橋梁の上流部, 2013. 09. 18 撮影)

河原の最も幅広い部分は、対岸に接近し、反対側の低水路河岸との間は非常に狭くなっている。その河岸沿いの狭い水域は「淵」と呼ばれ、淀んだ深みになっている。そこから徐々に下流に目を移すと、河原は徐々に狭くなり、逆に水域は広がりながら対岸に向かう。淵から水深は浅くなり、「瀬」をなした後、下流対岸の淵に流れ込んでいく。狭い淵の向こうには広い洲が反対側の岸まで広がっている。

左右岸交互の洲の間を縫うように、淵と瀬が連続して左右に蛇行する河川の流れは、洪水時に河床砂礫がはげしく移動することによって形成される。河川流れの特徴は、河床全体が水面下に埋没する洪水時においても、水深に対して流路幅が数十倍の広がりを持つ浅い流れにある。武庫川において、写真1の地点の低水流路幅は約150mあるが、高水敷面の高さに等しい低水流満杯時の水深は3m程度である。水深の約50倍の流路幅である。

相対的にきわめて浅い流れで、河床砂礫がはげしく

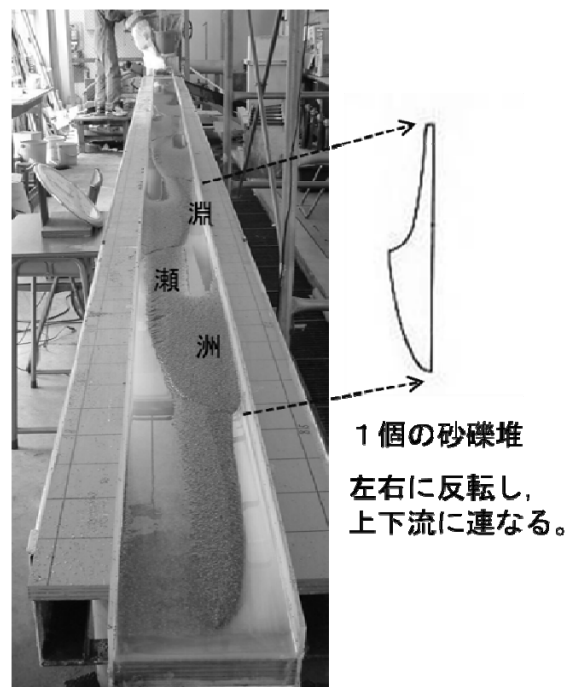


写真2 実験水路における砂礫堆の形成と
淵と瀬が連続する平常時の流れの再現

*岩手大学名誉教授

動かされる時、洲と瀬、淵を1セットとする「砂礫堆」という河床の形が形成される。洪水が減水して、河床の低い部分を連ねるように、淵と瀬が交互に連続する流れが見られるようになる。

3. 川を形作る自然の力

砂礫堆の形成は河川の規模の大小には関わらない。

写真2に見られるように、実験室規模の小さい水路においても、平面的に相似した形状の河床形状が出現する。木下良作博士は、1個の砂礫堆は図のような細長い半扇形をしており、これが左右に反転しながら上下流に連続して河道を形作っていることを見出した¹⁾。

砂礫堆の連続する河床形状は、洪水時の水流によって形成される。洪水減水後の平常時の河川において、河岸沿いの狭くて深い淵から、対岸下流に向かって水域が広がり、瀬をなして下流の淵に流れ込んでいく状況が出現する。とくに注目すべきことは、**写真2**に見られるとおり、実験水路は同じ幅（この場合は20cm）の直線的な水路において、砂床を平坦に均したところに水を流し込むことによって、砂礫堆が形成され、左右に蛇行する流れが出現することである。

河床の形と流れを、河川という自然がみずから作り上げる力を持っているのである。

4. 武庫川改修河道における砂礫堆の形成

武庫川においては、下流から順次河川改修工事が進められ、昭和23年頃の航空写真を見ると、逆瀬川合流点下流区間の右岸側の築堤は全域で完成している。左岸側は、堤内地が広くとられていたため、堤防の建設が遅れていたが、昭和40年代になってほぼ現況の堤防が完成した。

1983年（昭和58）に大きな洪水に見舞われ、大きな被害をこうむった。その後の災害復旧工事によって、低水路の掘削を伴った複断面河道への改修が進められた。**写真3(1)**の1984年撮影航空写真を見れば、百間樋井堰の上下流区間において、少し左岸寄りに低水路が掘削され、右岸側に広い高水敷を持つ複断面河道に改修されつつある様子がよく分る。低水路内の河床は平坦な河床に整理されたため、淵と瀬が連続し、左右に蛇行する流れはすっかり見られなくなった。

実験水路において、一定の水路幅で平坦な河床に整正された通水前の状態である。この河道に、1999年6



(1) 国土地理院 1984 年撮影航空写真
KK843X-C2-21

(2) Google Earth 2012/04/27

写真3 武庫川改修河道における砂礫堆形成（百間樋井堰上下流区間）

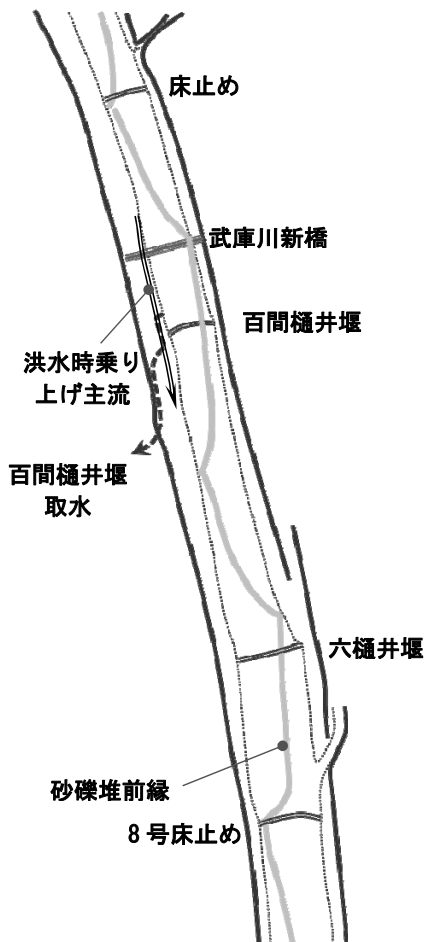


図1 2012年時点の砂礫堆形状

2013年洪水時に主流の一部が右岸高水敷に乗り上げ、高水敷面を洗掘

月と2004年10月に大きな出水があった。この期間前後の航空写真を比較判読すると、1999年出水によって改修河道区間において砂礫堆の形成が見られるようになった。その後、災害復旧の護岸工事などで、また河床掘削や河床整理が実施されるが、2004年出水によって砂礫堆の形成がより明確になる。そして、2011年9月の出水によって、武庫川の平野部区間全域において、上下流に砂礫堆が連続した河道が出現した。

写真3(2)の2012年4月撮影衛星写真から砂礫堆形状を読み取ったのが、**図1**である。図中の砂礫堆前縁は、**写真2**の説明図同様、上下流の砂礫堆の境界線である。衛星写真において、百間樋井堰の下流区間は、連続する砂礫堆形状と左右交互の寄洲の間を蛇行する水流がきれいに出現している。百間樋井堰の上流側は、起立した転倒堰の湛水域になっているので、少し見にくい



図2 洪水水衝部と砂礫堆との関係

が、武庫川新橋の上流左岸に寄洲を見ることができる。

5. 洪水水衝部と砂礫堆との関係

平野部区間の幅広い河道においては、**写真2**の実験水路や**写真3(2)**に見られるように、砂礫堆が形成され、平時時のみお筋が左右に蛇行する。洪水時の水流によって上下流に連続した砂礫堆が形成され、洪水の減水とともに河床の低位部を連ねて左右に蛇行するみお筋が出現するのである。

洪水時の水流は、淵下流部河岸に向かってぶつかるように流れ込んでくる。河岸沿いに流れた後、河道中央から対岸側の瀬と洲の方向に広がりながら向きを転じる。洪水時の流速の速い部分を連ねる線を、洪水主流線と呼ぶ。洪水主流線は、左右反転して上下流に連なる砂礫堆との関係から、**図2**に見られるように、河道一杯を左右に蛇行する。洪水主流線が河岸にぶつかり、河岸沿いに流れる付近の河岸が「洪水水衝部」である。「洪水時水当り」とも言う。

洪水時に水位が上昇し、河道幅一杯に洪水が流下するときは、河道全体でも流速が速くなる。とりわけ、洪水主流線に沿う部分での流速が大きくなる。河岸浸食や護岸損壊という河川災害は、全河岸において発生するのではなく、洪水水衝部において発生する。洪水水衝部は、洪水の高流速部が河岸にぶつかり河岸沿いに流れる個所である。その上、前面河床が淵部に当り深掘れ部分でもあるため、河岸浸食や護岸損壊などの被災を受ける個所になる。

武庫川の2013年9月の出水においても、多数箇所での護岸損壊や河岸浸食の被害が発生した。**写真4**は、**写真1**の阪急神戸線橋梁上流の左岸側で河岸浸食被害が発生した例である。右岸側に広がった寄洲と左岸との間に淵があり、左岸に洪水水衝部が現れている。**写真4**の手前側は寄洲の上流に位置する瀬に当たっている。瀬の向こう側の河岸との間に淵がある。河岸の基礎部



写真4 阪急神戸線橋梁上流左岸の2013年洪水による低水路河岸の被災状況 (2013.09.18撮影)

には護岸が設置されていて、そちらに被害は発生していないが、河岸上部の護岸施設のない部分が大きく浸食された。応急対策として白い土嚢袋が多数積み重ねられているのを見ることができる。

6. 堰・床止めの影響

武庫川には、写真3の百間樋井堰をはじめ昆陽井堰、六樋井堰などの堰のほか、多数の床止め工が設置されている。百間樋井堰など多くの堰は、洪水時には堰が転倒する可動堰になっている。堰の敷高も河床高に見合う程度に低くなっているため、堰の存在は洪水の流下に影響しないと言える。床止め工は、河床低下が進んだ区間で河床高の安定のために設置される。堰の上下流河床高に差があり、床止め工において少し落差が付いていることが多い。写真3(2)を見れば、下流区間にある8号床止めにおいて、下流側水叩き工が全体的に露出して上下流に落差のあることが見て取れる。

しかし、左右交互の寄洲を持つ砂礫堆形成とみお筋蛇行の形態に、床止め工における河床落差はほとんど影響していない。

武庫川床止め工の大半は、河道中央部を少し上流側に張り出した円弧形状をしている。床止め工を越流した流れを河道中央に寄せて、床止め工取付け部下流河岸前の河床洗掘を防止しようと意図したものであるが、

写真3の8号床止めのみならず、その他の床止め工の事例を見ても、その効果は認められない。

7. 砂礫堆の下流への移動

洪水水衝部付近に向ってきた洪水時の水流によって、水衝部前面の河床砂礫が洗掘され、下流へと運び出される。運び出された砂礫は、河道中央から対岸にかけての瀬と洲の方向に広がりながら移動する。図2の砂礫堆前縁という線の手前は河床の高まり部分が連なった峰状になっている。水衝部前面河床から運び出された砂礫は、この峰を越えて谷に落ち込むような形で前縁の直下流に積み重なる。

この前縁下流部の砂礫の堆積によって、前縁の位置が徐々に下流へずれ動いていく。写真5は、通水時間1分の断続通水を繰り返した実験結果である。堰の上流区間において、砂礫堆がその形と接続パターンを保ったまま徐々に下流に移動している。左岸側の砂礫堆先端部の動きを点線で、右岸側先端部の動きを破線で示した。左右どちらの先端部も、通水ごとにほぼ同じ距離を移動している。砂礫堆の形状を保持しながらの移動であることが分る。

3回通水後の写真において、砂礫堆の左岸側先端部が、堰の左岸直上流に位置している。4回通水後の写真では、その左岸先端部は堰を乗り越え、堰下流に進行してい

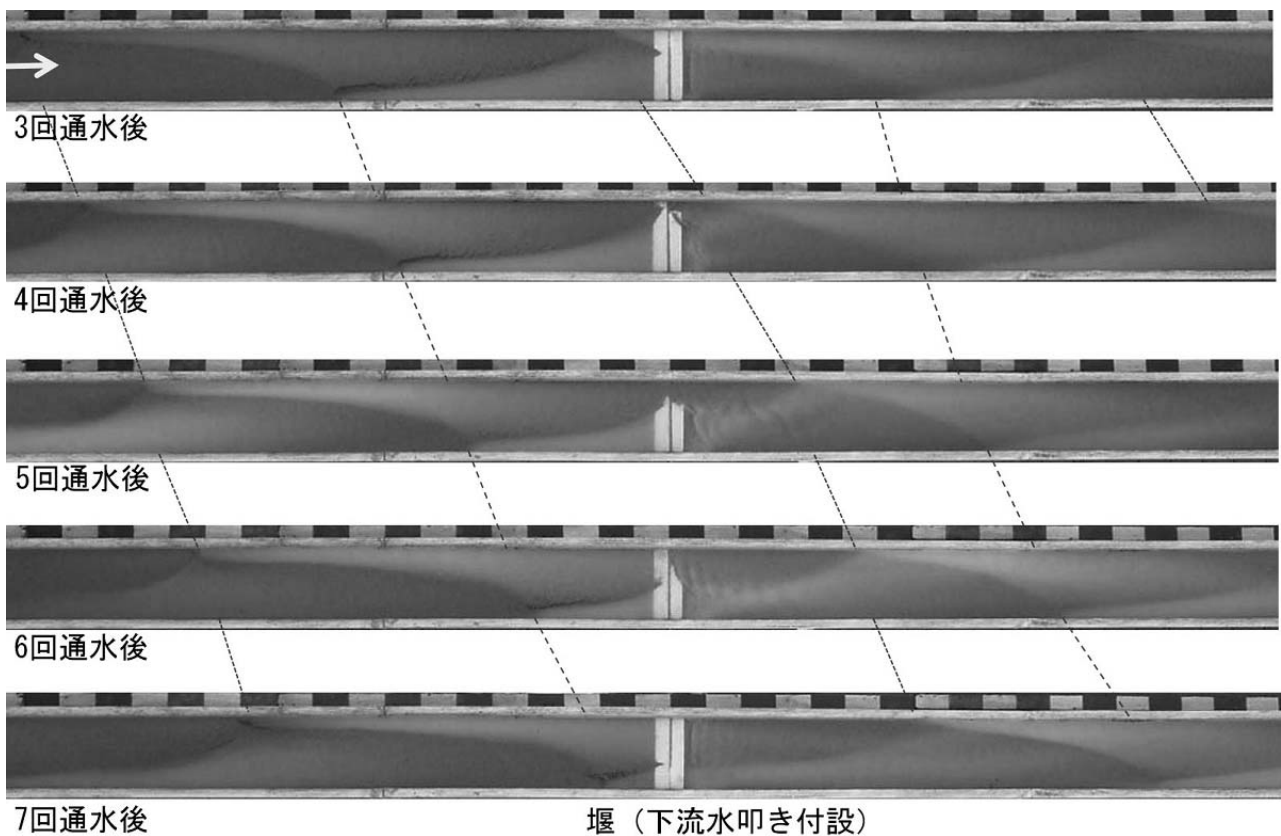


写真5 砂礫堆の下流への移動と堰の影響

直線水路において1分間通水を繰り返す、停水時に白色絵具溶液を流し込んでいる。白っぽい部分が水深の深い箇所になる。点線：左岸先端部の移動、破線：右岸先端部の移動

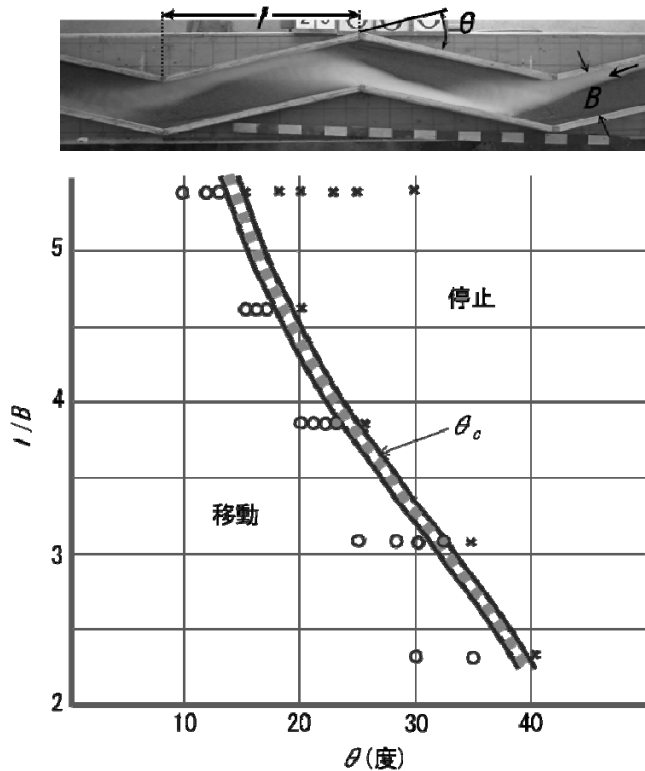


図3 蛇行水路における砂礫堆移動抑止限界

上記の屈折蛇行水路において、蛇行半波長 l と蛇行角 θ の組み合わせを変化させ、砂礫堆移動の有無を判定した。(木下・三輪の実験結果²⁾をもとに図を作成)

る。その後、通水を重ねるたびに左岸先端は徐々に下流へ移動する。6回通水後の写真では、砂礫堆の中間部が堰にかかっている状態である。砂礫堆前縁の形状は少し変形しているが、堰の存在に関わらず、堰上下流で連続した形状になっている。堰の上下流で砂礫堆の形状が連続し、砂礫堆の下流への移動も継続していることが明確に示された。

砂礫堆の下流への移動は、平水時のみお筋変動につながる。取水口前に寄っていたみお筋が下流に移動し、上流にあった寄洲が移動してきて、取水口前面を蔽いつくし、取水できなくなる。

また、洪水水衝部の位置が下流にずれ動くので、災害復旧工事によって設置された護岸の下流側河岸が浸食される被害が発生する。コンクリート製の復旧護岸の設置によって河岸沿いの流速が大きくなり下流河岸の浸食につながったと指摘される場合がある。しかし、コンクリート護岸の設置が原因ではなく、砂礫堆が洪水によって下流に移動する性質を持っているために生じる現象である。

8. 蛇行河道区間における砂礫堆移動の抑制

武庫川においては、1983年の大洪水後、災害復旧工事に伴う河川改修工事が進められ、写真3(1)に見られたように、ほぼ河道中央ラインに沿って低水路が掘削され、河床も平坦に整理された。しかし、1999年と2004

年の2度の洪水によって阪急今津線橋梁から下流の区間で砂礫堆の形成とみお筋蛇行の形態がきれいに出現した。

昆陽井堰上下流の区間はゆるやかな右カーブの区間であるものの、その区間を含めて、約8km下流の名神高速道路橋梁付近までは、ほぼ直線的な河道になっている。2004年洪水後に形成された砂礫堆位置を、その後の空中写真を比較判読して追跡すると、2011年と2013年の2度の洪水によって下流へ移動している。

ところが、名神高速道路橋梁から下流の区間は、河道が左右交互に湾曲する蛇行区間になっている。直線的な河道区間において、砂礫堆はその形状と接続パターンを保持しつつ下流へ移動していく。それに対し、ある限度以上の蛇行角を持つ蛇行河道区間においては、砂礫堆の下流への移動が抑えられ、みお筋も安定化する。

木下・三輪²⁾は、直線水路を次々に左右に屈折させた蛇行水路(図3上部のような水路)において、蛇行半波長 l と屈折蛇行角 θ の組み合わせを変えて実験を行った。その結果、図3のように、砂礫堆の下流への移動を抑止する限界角を明らかにした。蛇行波長が長くなると、限界蛇行角が小さくなる傾向を示している。

名神高速道路橋梁から下流の武庫川の蛇行形状を見ると、蛇行半波長は低水流路幅の5倍程度の長さである。簡易的に屈折河道として測定すると、蛇行角は30度程度になる。図3の限界蛇行角曲線において、 $l/B=5$ における限界蛇行角17度程度であり、それより大きく停止側に位置している。

流路の蛇行半波長は流路幅の4~5倍であることが多いので、限界蛇行角として25度が一つの目安になる。

写真6は、国道2号線武庫大橋から上流側を撮影したものである。JR東海道本線橋梁下流の蛇行河道凸岸下流に寄洲が発達している。長年月にわたって位置・形状の安定化した寄洲である。砂礫堆移動が抑えられた地点は平水時みお筋が安定した地点であるから、好適な取水位置になる。また、洪水時水衝部の位置も安定するので、護岸の必要個所を特定することが可能に



写真6 蛇行河道湾曲部下流の安定した寄洲
(武庫大橋上流側, 2013.09.18撮影)

なる。

9. 武庫川下流における 2013 年 9 月洪水被害

武庫川水系河川整備計画（2011 年策定）では、武庫川下流部の甲武橋基準地点における河道対策目標流量を $3,200\text{m}^3/\text{s}$ と定めている³⁾。2004 年 10 月の 23 号台風による洪水で、その目標流量に匹敵する $2,900\text{m}^3/\text{s}$ が出来、護岸損壊や河岸浸食、高水敷面の洗掘などの被害が出た。その後、2011 年 9 月に続いて 2013 年 9 月にも洪水に見舞われた。2013 年台風 18 号による洪水では、甲武橋地点のピーク流量としては $1,665\text{m}^3/\text{s}$ であったとされている⁴⁾。

この洪水によって、**写真 4**に見られたような低水路河岸の浸食被害が多数発生したほか、護岸損壊箇所も多く見られた。被災個所のほとんどは、**写真 4**の場合と同様に、洪水水衝部における被災である。

阪急今津線橋梁から下流の複断面に改修された河道において、2013 年洪水は高水敷面に冠水して流下し、高水敷面の洗掘被害が各所で発生した。とくに、百間樋井堰の上下流高水敷面において大きく洗掘された。洗掘によって運び出された砂礫によって、**写真 7**に見られるように、取水路と魚道、さらには堤外導水路がすっかり埋没した。

百間樋井堰上流の高水敷には、**図 1**に示したように、

洪水主流の一部が乗り上げてくる。この主流線に沿って高水敷面が洗掘され、下流に運び出された砂礫が、堰の右岸高水敷部に設けられた取水路と魚道を埋め尽くした。その下流の表面保護工の下流においても、高水敷面が大きく洗掘されている。**写真 7**下部の激しい洗掘は、武庫川新橋橋脚の保護工下流に当たる。

表面保護工下流の洗掘は、昆陽井堰の右岸高水敷においても見られた。保護工部分で抵抗が減少し、流れが加速されることが被害拡大の原因である。

10. おわりに

武庫川下流区間では、低水路内に単列砂礫堆が形成され、平水時のみお筋が左右交互の寄洲の間を縫って蛇行している。河岸沿いに淵があり、対岸に向って水深の浅い瀬を経て、下流の淵に流れ込む。急流砂礫河川のお手本のような形態を示している。

しかも、名神高速道路橋梁までの上流区間はゆるやかなカーブを持ちながらもほぼ直線的な平面形状であるため、砂礫堆は洪水のたびに少しずつ下流にずれ動いている。一方、その下流区間では、河道が左右交互に大きく蛇行しているため、砂礫堆の移動が抑えられている。みお筋が安定し、洪水水衝部が固定化された区間である。砂礫堆移動の有無の違いを間近に見ることもできる。川という自然が、自らの力で作り出す河



写真 7 砂礫で埋もれた百間樋井堰取水路と魚道
(武庫川新橋下流側右岸高水敷, 2013. 09. 18 撮影)

床と水流の形態を学ぶ絶好の河川である。

武庫川水系河川整備計画（2011年策定）に定められた河道対策目標流量 $3,200\text{m}^3/\text{s}$ に対して、2013年の洪水流量はその約半分の流量であったが、高水敷面における大きな災害が発生した。百間樋井堰付近はすでに目標流量を流下させるに十分な断面が確保されている。そのさい、高水敷部分で水深3m程度での流下を見込んでいる。今回の洪水では、百間樋井堰付近の高水敷流下水深は最大でも1m程度である。今後の洪水においても高水敷面の荒廃は避けられない。都市河川として高水敷利用を継続するためには、洪水時の被害を想定したうえでの管理が必要である。

本論文を作成するきっかけは、「豊かな森川海を育てる会・砂問題研究会」幹事会の皆様に、武庫川を題材

にして「川の蛇行と砂洲形成」についてお話する機会を与えていただいたことにある。会長の島本信夫氏や佐々木良作氏はじめ、幹事会の皆様にお礼申し上げます。また、同会メンバーで、武庫川市民学会事務局長でもある古武家善成氏が本誌への寄稿を推薦下さった。紙面をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 木下良作 (1957) 河床における砂礫堆の形成について—蛇行の実態の一観察, 土木学会論文集, **42**, 1-21.
- 2) 木下良作, 三輪 弼 (1974) 砂レキ堆の位置が安定化する流路形状, 新砂防, **94**, 12-17.
- 3) 兵庫県 (2011) 武庫川水系河川整備計画, 82pp. .
- 4) 佐々木礼子 (2014) 台風18号が武庫川にもたらした影響について, 武庫川市民学会誌, **2**, 35-38.

