

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——

正 員 木 下 良 作*

FORMATION OF "DUNES" ON RIVER-BED

——AN OBSERVATION ON THE CONDITION OF RIVER MEANDERING——

(Trans. of JSCE, February 1957, No.42)

Ryōsaku Kinoshita, C.E. Member

Synopsis This paper is a report of the observation on the condition of river meandering from the standpoint of "DUNE" formation.

The following characteristics of the "DUNE" are explained inductively from examples of thirty different rivers in eastern Japan with added comparisons to experimental results, and the characteristics are: that "DUNES", having a form like sand dunes, are formed on the river-bed during the flood; that the formation is made whether the river is rapid or slow and the river-bed is sand or gravel; that remarkable developments are observed in areas of the river where there is a tendency towards aggradation; the influence upon the form at low water; the relationship with the river meandering; transformation by the flood.

要 旨 河川の蛇行の形態を、砂礫堆の形成の面から観察したものである。砂丘の形態をもつ砂礫堆が、洪水時に河床に形成される、急流、緩流あるいは砂床、礫床を問わない、堆積傾向をもつ地域に発達が顕著である、平水流の形態に対する影響、河道蛇行との関係、洪水による変形などそれらの性質を東日本 30 ケ川の例から（実験との対照を交え）帰納的に説明した。

目 次

ま え が き

1. 砂 礫 堆 の 形 成 (その1—サビ川, 熊川の例)
2. 砂 礫 堆 の 形 成 (その2—諸河川の例)
 - i) 諸河川における砂礫堆の形態例
 - ii) 砂礫堆と蛇行現象
 - iii) 砂礫堆の長さ
 - iv) 砂礫堆と洪水位
 - v) 砂礫堆ごとの河床変化
 - vi) 砂礫堆上の河床変化の少い位置
3. 結 論

ま え が き

河川の蛇行の形態として凸岸に寄洲が発達することはよく知られている。これを細かに観察すると、凹岸の淵をなす流れの手前にその流れを横切る浅瀬があり、その浅瀬は寄洲の突端に連なっていることが認められる。平水時の水流は凹岸に沿った深い流れからやゝに水面をひろげ、一般に転向点と呼ばれているところを過ぎてこの浅瀬になり、次に対岸の深みに移るのであるが、この浅瀬に沿った下流側の河床勾配は、上流側に比して甚だ急になつている。この浅瀬から下流の寄洲の下流側をつらねた急斜面の地帯、即ち河を斜めに横断する線は河床をゆるい段状に区切つており、われわれはこれが一つの堆積現象の行われているその前縁の形態をなすものと観察した。洪水時には寄洲は水面下に没している。われわれは 図-1 太枠により示される部分は、その範囲内において上流側で浸蝕され運ばれたものが下流側の急斜面に堆積する、即ち一つの dune をなすものとみた。

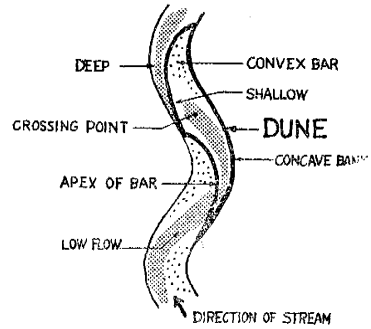
* 自由学園

蛇行河川の河床の形態については、古来 Fargue をはじめ多くの研究者によりさまざまな研究がなされているが、河床には dune が形成され、河道はその dune が連続した形態を示しているとき、河川の様相とその性質を理解するためのよい手掛りが得られないかと考えた。われわれはこれを砂礫堆 (dune)¹⁾ と呼び、諸河川におけるその形成について調査した。本文にははじめこの見方の発端となつた、われわれの学校の直接関係する河川についての調査内容をしるし、次に日本の東半分の種々なる河川の空中写真による観察、及び实地踏査の結果をのべることにする。

本研究に際し御指導賜つた資源調査会副会長、東大教授安芸 俊一 博士、並に東大教授本間仁博士に心から感謝の意を表す。实地踏査に御高配下さつた建設省渡良瀬工事事務所長(前本局調査課長)山高茂氏、並に文献諸資料の閲覧の便を与えられた各局工事事務所各位に感謝する。

おわりに本研究に多くの助力を与えられた自由学園那須農場諸兄一同に感謝したい。

図-1 砂礫堆



1. 砂礫堆の形成 (その 1—サビ川、熊川の例)

われわれの学校の農場が栃木県的那須野ヶ原(本邦における著明な沖積扇状地の一つ)にあるが、そのわきをサビ川という伏流河川が流れている。治水上の目的で学生達の手により 1947 年以来河川調査が行われてきた²⁾。

サビ川は洪水時には河床は一面水に蔽われるが、そのひき際には流路は無数に岐れていわゆる網流河川となる。したがつて河床の横断形状は非常に凹凸がはげしいが、洪水末期のこの浸蝕により変形されなかつたと思われる部分、即ち河床の中で高い部分は比較的平坦であつて、それが互につらなりあい一つの大きい面を形作るように観察される。これは横断方向には中高な、縦断方向には緩急二面をもつ形であるが(図-2)、これは洪水最盛期に発達する河床形状(砂礫堆)であろうと想像して 1950 年その平坦面の傾斜方向と傾斜角度の測定により図-3 の結果を得た。この作業中に砂礫堆の高さが高く肉眼で容易にその位置を認め得たものと、肉眼ではわかりにくく測定値を平面図に記入して判定できたものと、二種類の砂礫堆があることに気付いたのでその別を記録した。それによれば顕著に発達したものとそうでないものはそれぞれ別に数個ずつまとまつて交互に存在するようにみられた。また、その長さは図-4 のようになり、ある規則的な傾向の存在が認められた。中途に不連続な場所があるが、その上流が 1/55、下流が 1/95 で河床勾配が急になるところになつている。

一方 500 m ごとの横断測線による河積の変化を計算すると 図-5 の

表-1 サビ川 概要

水 系	那珂川小支川
山 地	53.5 km ²
同 最 高 点	大サビ山 (海拔標高 1908 m)
流 路 延 長	48 km (その中 18 km は伏流)
既往最大洪水流量	約 800 m ³ /sec (溪口)
河 床 勾 配	1/55~1/100 (伏流部分)
河 中	100~400 m (同)
河 状	大礫が多く、河床面は兩岸と等高、原始的な荒川

図-2 サビ川の砂礫堆

FORM OF DUNE ON SABI R.

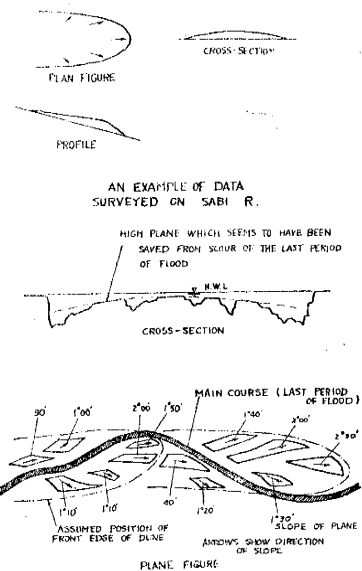


図-3 砂礫堆調査概略図

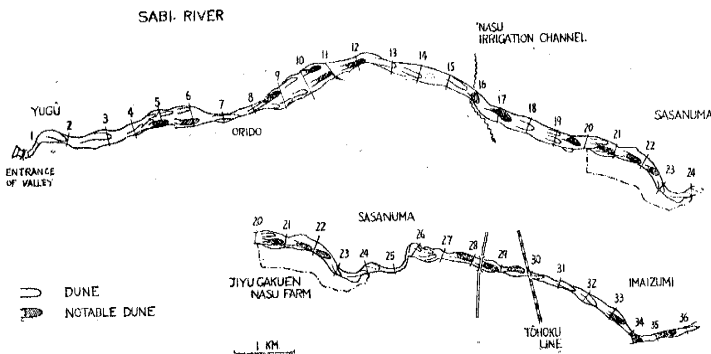
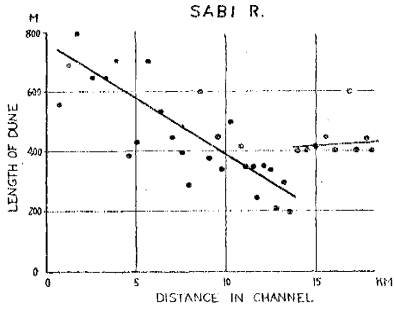


図-4 サビ川砂礫堆長の変化



ような結果が得られた。1947年以來カスリン、アイオン、キテイ各台風及び熱低 5012 号と連年大きな洪水があつたが、それによる河床変化は河積増減が流下方向にみてある波長をもつたうねりの形態となつてあらわれ、洪水ごとの累積はそのうねりの振幅を増大する形となつた。このうねりを原始河川として自然に形作られた川幅の変化、及び先にのべた砂礫堆発達状況とに照応すると(図-6)、大体において砂礫堆の発達の際著なところは累積的に河床が堆積上昇しつつあるところにあたり、砂礫堆の発達のそれ程明瞭でないところは河床が累積的に洗掘低下しつつあるところであることがわかる。川幅の広狭もそれらとの間に関係があることが認められた。河道の平面変化は洪水後の流心線の位置と密接な関係を示した。伏流河川であり洪水後は表流水は洞するが、その前に砂礫堆を開析した数多くの流路の中の一つが—それは砂礫堆の頂点を避けることが多い—主流路となつてのこる。その洪水ごとの記録例は 図-7 である。これにはかなりな変位が見られるが、各横断面におけるその平均位置(川幅に対する左岸からの距離の%)を計算してこの4年間の傾向を出し、一方平面測量の結果を40年前の実測図と比較してその間の河道変遷をその中心部移動距離であらわすと、両者の間には大体同一な傾向が認められた。

以上はサビ川の、カスリン出水以後一連の洪水による形態変化であり、われわれが河床に dune を認めた発端

図-6 サビ川河床変化

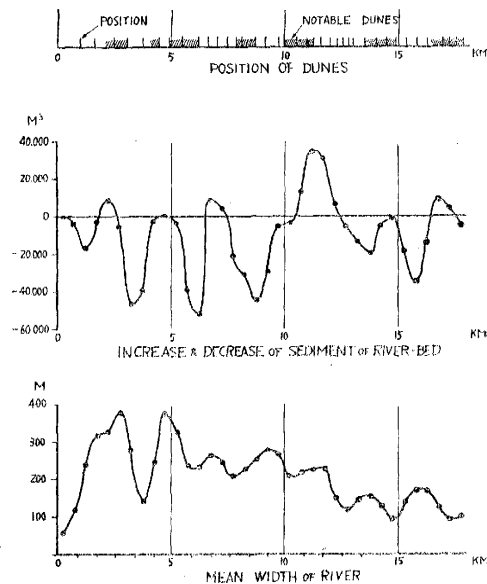


図-5 河積の増減

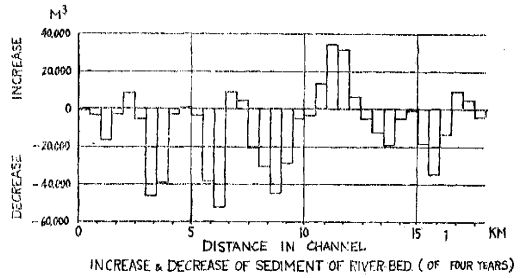
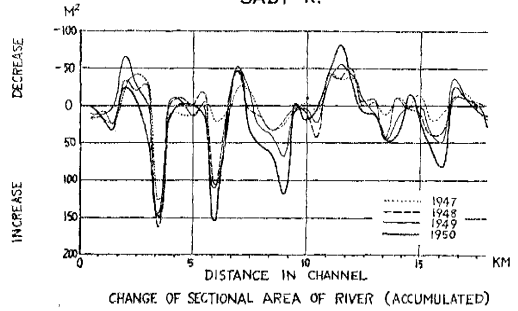


図-7 洪水ごとの流心線

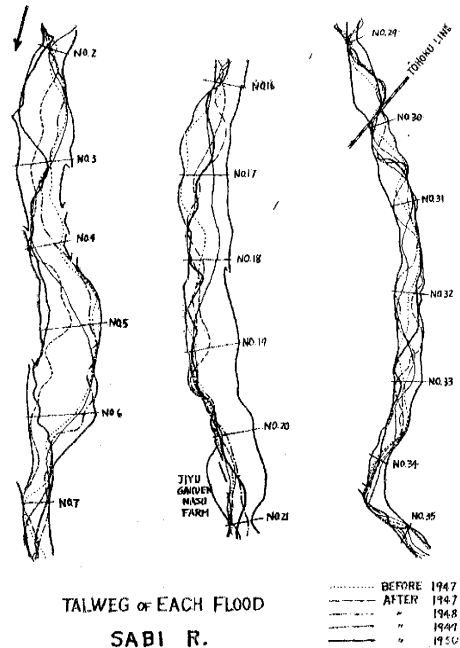


図-8 河道中心の移動量と流心位置の比較
SABI R.

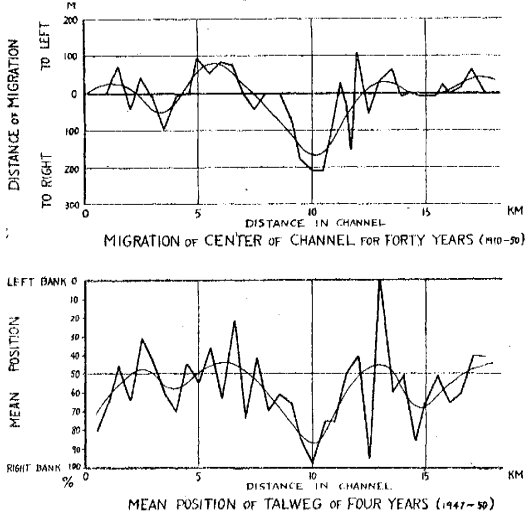


図-9 熊川平面図
KUMA R.



図-11 熊川捷水路

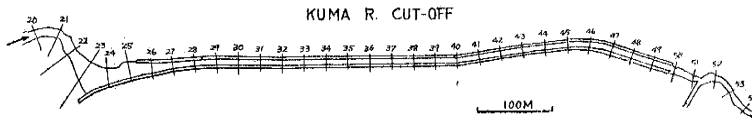
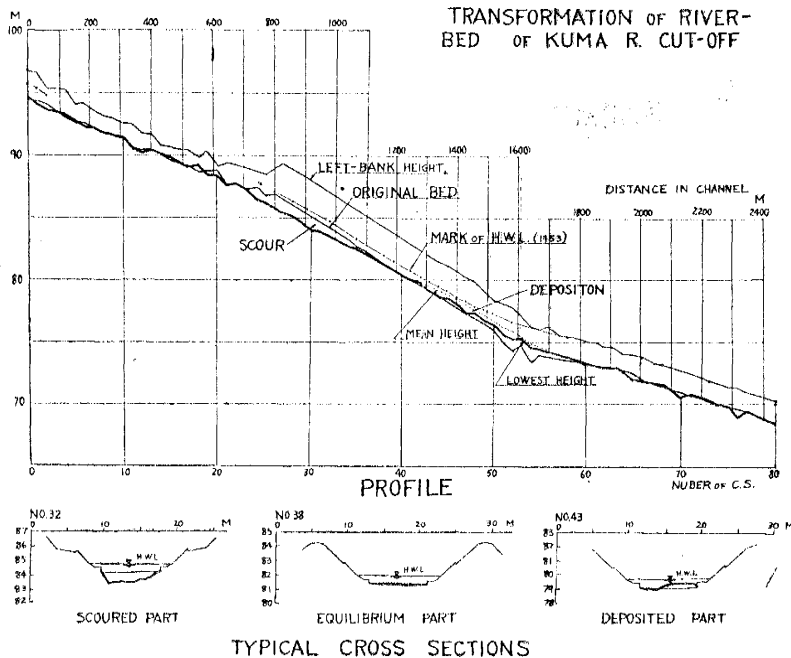


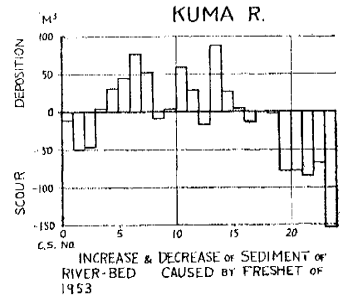
図-12 熊川捷水路の河床変動



である。(この dune はまえがきにのべた、一般的な dune とは若干形状が異つている)。

1953年サビ川の支川熊川において出水による河床変化の調査を行つた際、次のような砂礫堆の形成を認めた³⁾。熊川も伏流河川で、調査地帯は既往最高流量が約 $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ の小河川である。図-9 は平面図の一部であるが、川幅の変化で節目のように見える長さごとに洪水時に発達する砂礫堆の形成が認められる。1953年台風13号による出水は約 $15 \text{ m}^3/\text{sec}$ の小さいものであつたが、それによる河床変化を砂礫の増減量であらわすと図-10となつた。+と-に規則的に変化しており(下流の大勢が洗掘状態にあるのは更にその下流の捷水路の影響)その波長は砂礫堆のそれと等しくなつている。

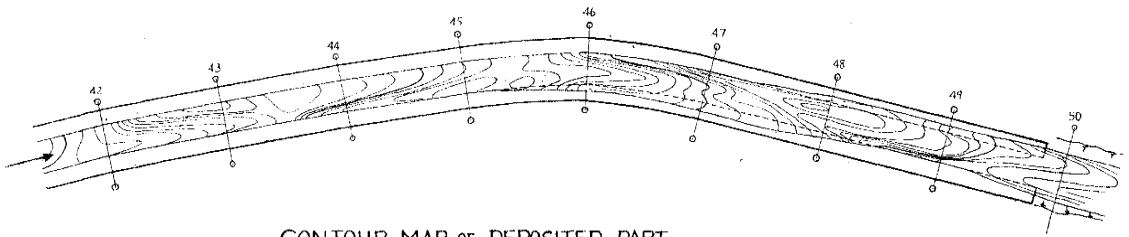
図-10 熊川河床変動



熊川調査範囲の中に捷水路工事箇所があり、53年の出水は竣工後はじめての出水であつた。そのために捷水路上下流で大きな洗掘と堆積が起り河床勾配がゆるまつた(図-12上)。変化後の河床形状は洗掘低下した部分はすべて河道中央がくぼみ、平衡部分は平坦、堆積上昇した部分は中高となつた(図-12下)。そしてその堆積部分には顕著に砂礫堆が形成され、流水は明瞭な蛇行を示した(図-13)。こゝにできた砂礫堆形状は後にのべる他の大小諸河川に最も多く見られる型と同型である。

この砂礫堆の型は小規模な水路にも見出され、また実験水路上にもつくりだすことができる。

図-13 堆積部分河床等高線



CONTOUR MAP OF DEPOSITED PART.

(CONTOURS ARE 10 CM APART)

KUMA R. CUT-OFF

幅 13.2 cm の水路におけるわれわれの実験例⁴⁾は図-14であり、この砂床形は図-13と対照される。実験方法は砂を平坦に敷きならし、整流網を通じて浅い水深で流すのであるが、掃流される砂は斜めの前縁をもつ dune を形づくり、やがて交互に発達しつつ蛇行流がつままり、写真例のごとき安定形態にいたる。(この dune は流下する)。この発生限界を Shields による entrainment function の解析図であらわせば図-15 となり、水路幅と水深の比の限界範囲は粒径により異なるが $H/B=0.1\sim 0.05$ 程度、これより深い場合には水流に蛇行がともなぬ dune になる。(粗度のレイノルズ数が小さい時は砂漣が形成される)。この実験にあらわれた砂礫堆の形成される性質として次のことがある。水路起点で砂を補給しないと砂床は起点から徐々に低下するが、洗掘低下する範囲には砂礫堆の形成はみられない。流れに十分な掃流砂粒をもつ範囲、平衡点以下堆積傾向の範囲においてのみ形成される。これは熊川捷水路及びサビ川における傾向と同様である。

以上がサビ川、熊川、及び実験にみられた砂礫堆の形成に関する現象の要点である

が、これが諸河川に普遍性ある現象であるかどうかについて調査した結果を次にのべる。

2. 砂礫堆の形成 (その 2—諸河川の例)

i) 諸河川における砂礫堆の形態例

諸河川の河床形態を調査する方法として、空中写真による平水時の水流と河道の状態の観察、およびその实地踏査をおこなった。その際それらの川について既になされた調査諸資料を参考にした。調査範囲は中部、関東、東北地方及び北海道の一部をとり、その全地域の空中写真を観察して図-16 中の太線部分の河川を選び、その踏査を行った。この中には山地河川、扇状地河川及び沖積平野河川など河川のいろいろな部分が含まれている。

この調査方法から先ず問題になるのは、平水時の河床から洪水時の河床がいかに推定されるか、ということである。これは緩流河川と急流河川では若干異なるが、洪水時は河床面は全面的に動かされて平坦であろうとする論がある。これに対して例えば安芸博士は、その著河相論の中に“河床に大きな砂丘のごときものを作つて流れる高水位の場合⁶⁾”とその見解をしるされているように、dune が形成されるとする立場がある。洪水時の克明な実測値が得られていない現在、すべて何らかの根拠に立脚した推測であるが、われわれは移動床及び自由蛇行の実験と実際河川の観察から、洪水時に dune が形成されているという見解に立つた。(それらは以下しるされる問題で

図-14 実験水路における類似砂礫堆

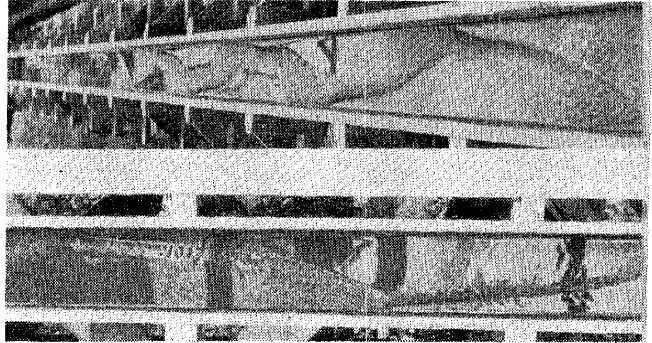


図-15 実験における砂堆形成範囲

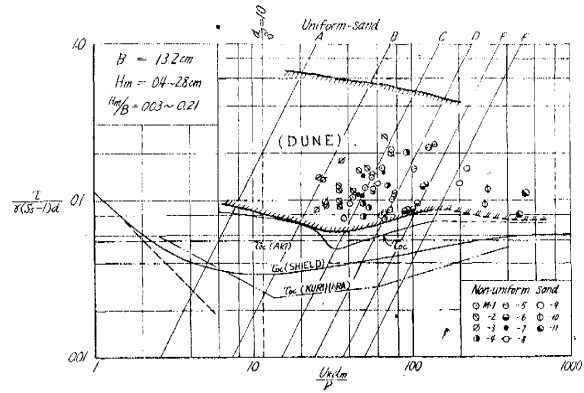
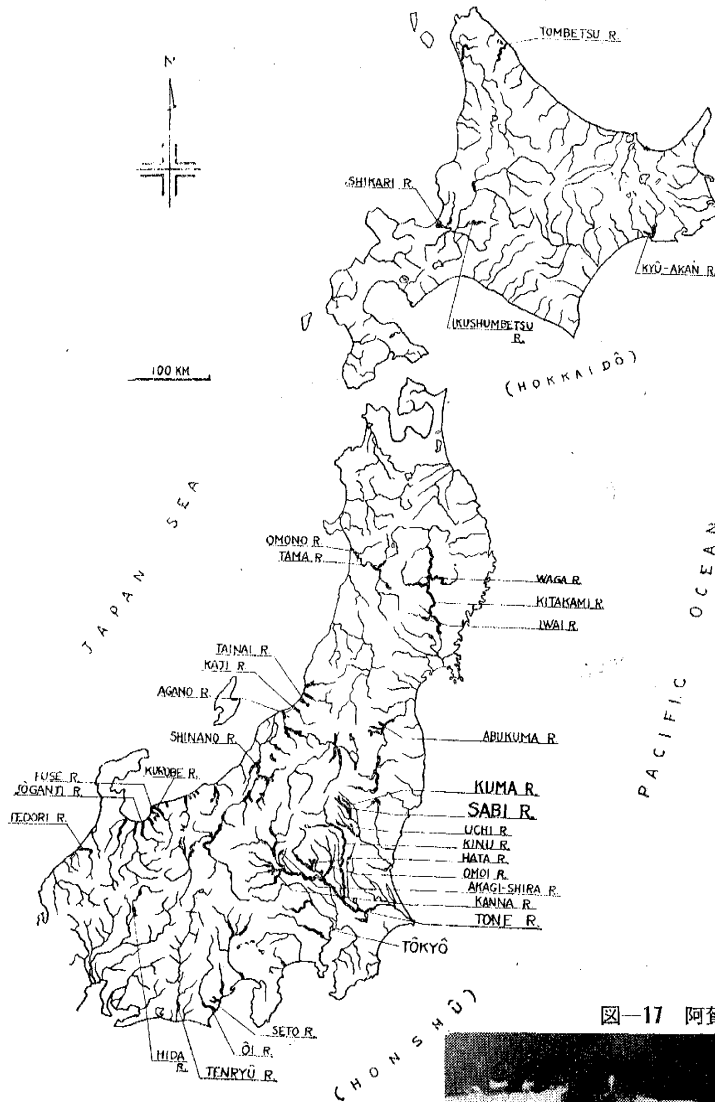


図-16 調査河川(太線部分)



ある。

諸河川の砂礫堆形成状況の調査の結果、結論的に先ずのべられることは大多数の河川に“砂礫堆”が認められるということである。まず種々なる河川の状態の記述からしたい。図-17(左)は阿賀野川河口の空中写真である。水面勾配は約1/10,000、河床は細砂である。低水路内水面下には砂礫堆が左右交互に発達している。(空中写真は赤外線フィルムによる撮影のために水面は黒くうつるが、水深が浅いところは河床の影響のため色はうすくなり、そのために水流の深浅に応じた濃淡があらわれる。河水の濁りの強いとき及び水面反射光が直接レンズに入るときにはよくわからない。)これはどの程度の流量において安定する砂礫堆であるかは詳らかでないが、(1)水面下に発達している砂礫堆を認識するための好例として、(2)砂礫堆の最も一般的な形態例として、(3)緩流の砂床河川にこの形が発達している例として、これを観察することができよう。以下砂礫堆の位置の略号は図-17の右図のようにその前縁の位置を太線であらわす。又以後掲げる諸河川の図

図-17 阿賀野川河口空中写真

は、空中写真の模写である。

図-18は雄物川河口付近であるが前例に比して、各砂礫堆の一部が平水時に寄洲となつてあらわれた状態である。凸版では、平水流の濃淡(深浅)をよくあらわし得ないが、砂礫堆の起点では側岸に沿つて深く、それが漸次水面幅をひろげて水深は浅まり、砂礫堆前縁で水面下に歴然とした段落を形作るその形態がよく観察される例である。

砂礫堆と平水流の状態との関係は、高水流量と低水流量、河床勾配、河幅、河床物質の大きさなどの組合せによつて種々異なるものと考えられるが、洪水時に発達した砂礫堆が減水時及び平水時に部分的に変形し、二次的な砂礫堆が形成されるとみられる場合があ



(写真測量所撮影)

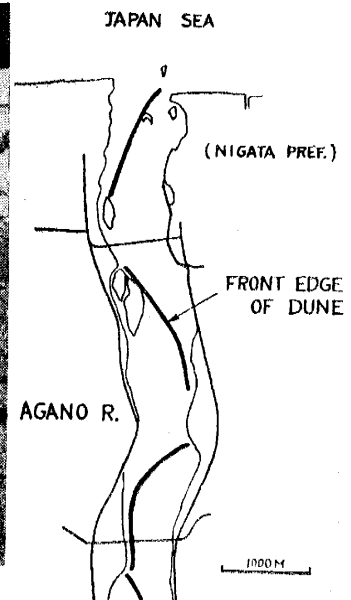


図-19 信濃川と浜海川

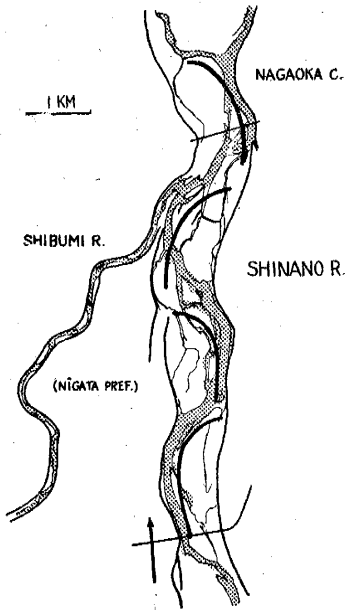


図-18 雄物川河口

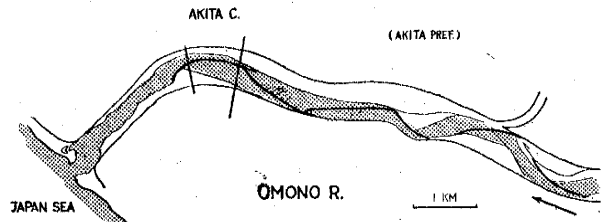
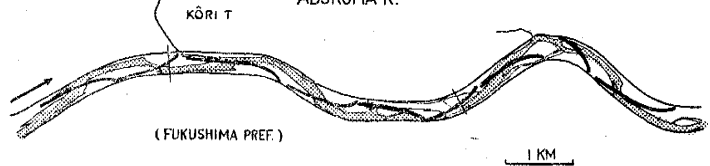


図-20 阿武隈川
ABUKUMA R.



る。図-18は信濃川長岡市附近であるが、高水敷といふ得る草生の寄洲の間を平水流は明瞭に蛇行している。そしてその形からは二次乃至三次の砂礫堆の形成がうかゞわれるが、河道一面を蔽う大洪水の際には図太線のように砂礫堆が形成されるものとみられる。この信濃川の場合は谷線(Talweg)とい

う考え方が容易にあてはめられるが、谷線は元来平水時の最深部を連ねた線をいうのであつて、本質的には洪水時に形成される砂礫堆の形態と、平水流の状態のその双方の関係を考えねばならない筈である。河川によつては平水流は砂礫堆上を一様に浅まり、それが数条に岐れて前縁を下り、谷線を文字どおり線として認めることは不適當な場合がある。従来転向点(Crossing point)とよばれるあたりから、すぐ下流の浅まり附近(Shallow)への谷線の連る状態により、正常転向、不整合転向、平板転向と分類、呼称されているが⁷⁾、これは以上のduneとしての部分的形態を注目しているものと解せられる。図-19の支川浜海川は低水流が長く岸にそい、ある地点で急に河道を横切つて対岸にうつる状態(不整合転向)を示しているが、このような場合砂礫堆の長さや川幅の比は概して大になつてゐる。川幅を狭く改修した場合この現象が起るようになり、大きい規模としては阿武隈川の福島附近(図-20)にその例がある。

図-21 和賀川

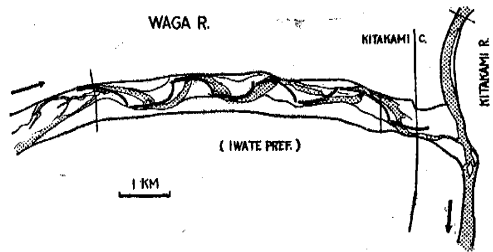


図-22 思川

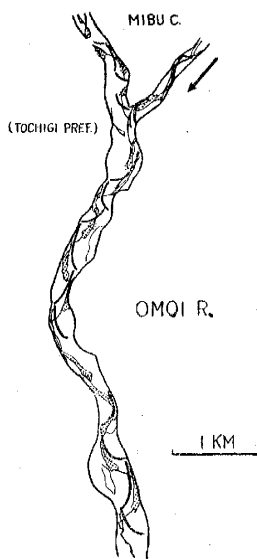
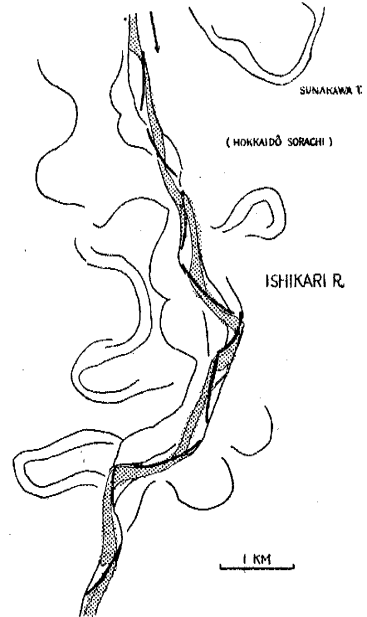


図-23 石狩川



川幅に比して砂礫堆の長さが短く、低水流が砂礫堆上ではげしく蛇行する例は和賀川下流にみられる(図-21)。勾配は約1/250でかなり急流であり、河道は大体直線である。この砂礫堆は高さが高く、前縁が極めて明瞭であることも特徴である。

砂礫堆の緩斜面が水平に近い場合あるいは負勾配を示す場合には、ひろい平坦面にひろがる平水流と前縁の斜面を下る

同じ水流の形の対照は著しくなる。図-22はその思川の例である。

砂礫堆と蛇行の関係は後にふれるが、河道遷移が甚しく、かつての流路を数多くその周辺にのこす河川についてその砂礫堆の形成をみると、図-23 石狩川、図-24 玉川

のような例がある。旧流路と現流路の形は似かよっているが、現在形成されている図のような砂礫堆は、かつて流路が一面に移動した当時にも形成されていたものと推察される。

本邦は地勢峻しく平地とのさかいに扇状地形と網流河川の発達が多くみられる。ひろい川幅をもつて両側に築堤され、かつ洪水後平水流が無数にわかれるような河川にも、洪水最盛期に発達していると思われる砂礫堆の大局的形状を見出すことができる。河床の横断形状の検討と、網流の方向分布の傾向から推定されるその砂礫堆の形態は、今迄のべてきたものと同じ型であることが多い。図-25, 26 は大井川及び天龍川の例で、左右交互に大局的な砂礫堆の形成がみられる。(網流河川の砂礫堆については後に再び述べられる)

河床勾配が一層急な場合にはサビ川のように左右交互ではない砂礫堆がみられる場合がある。図-27は胎内川上流の例であるが、河床勾配は1/70、低水流は8の字蛇行をし、砂礫堆は図のように舌型の連続ともみることができる。溪流になり、更に河床勾配が強まると、平水流は転石の合間を小瀑の連続形で流れる。このような河道に洪水時に発生する土石流は、今までふれた流れとは異つたものであろう。けれども土石流の通過したあと、dune のように規則的な溪床幅、溪床勾配の変化が生じた例として赤城白川がある。1947年のカサリン出水前後の空中写真を比較すると、出水前の溪床幅約 15 m から出水後最大約 180 m にまで拡大されている。そしてその広狭の変化は 図-28 のとおり、これを溪床縦断面図⁹⁾と対照すると、幅のひろいところはそれぞれ縦断面での山になつている。

いま河口から順次さかのぼつて山地溪流まで、いろいろな砂礫堆の形成例をあげた。その形態の基本は、ほとんどが左右交互に並ぶ 図-29 の型であつた。(今まであげたのはいずれもその形成が美麗な個所であるが、しかし中にはこれ程明瞭でない個所もある。地形、地質的な不規則な障害に原因があつたり、あるいは他の原因によるのであろうが、顕著な砂礫堆はいくつか群をな

図-24 玉川

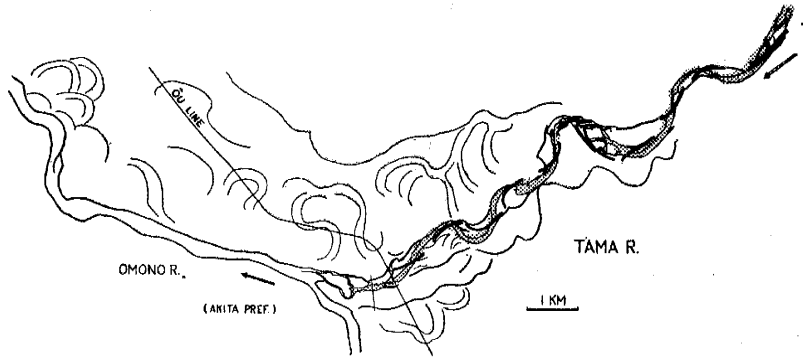


図-25 大井川

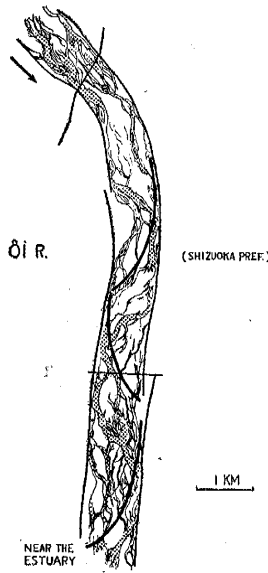


図-26 天龍川

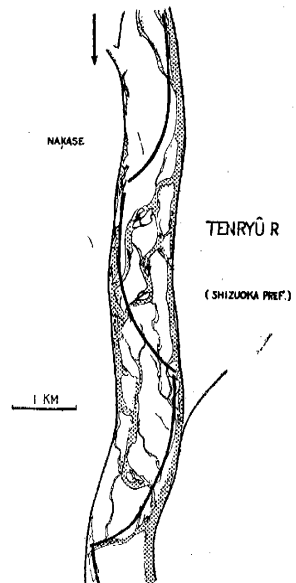


図-27 胎内川

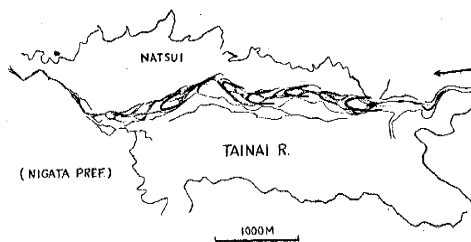


図-28 赤城白川

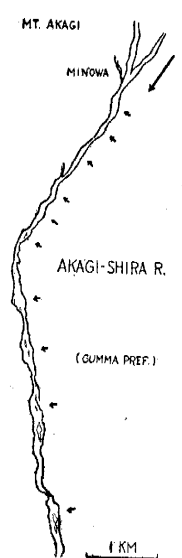


図-29 最も一般的な砂礫堆の型



て存在する傾向は共通するようである)。図-29 の一般型の砂礫堆の上を流れる低水流の形は今までの諸図のように相違があるが、しかし掃流される河床の形態すべてに通ずる現象は、洗掘と堆積が交互に連続してなされる、掃流現象にリズムカルな運動があることである。低水流が砂礫堆上を網の目になつて流れる場合も、一つ一つの水流はこの洗掘と堆積の小さくなりかえし、二次、三次の dune を形成しての流れである。その洗掘部分の流れは集中して深掘れし、堆積地帯の流れは分散しつつ平坦である(図-30)。洪水時形成されるとみた大局的な砂礫堆も、この流れが河岸一杯に発達しつつ交互に偏り、反転しながら連続するその姿に他ならない。低水流がある角度をもつた放射的な流れの不連続な連続状態となる、その典型的な一例としては利根川上流 図-31 にみられるが如くである。

砂礫堆は、流れを強制的に蛇行させるような河道の曲りや障害がなく

図-31 利根川上流

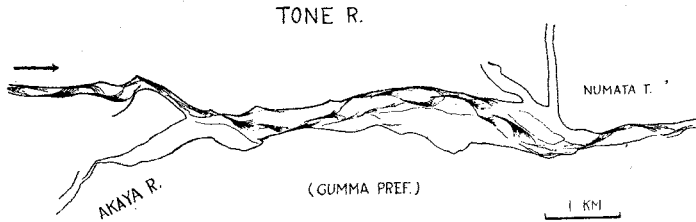


図-30 流れの形

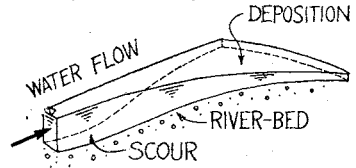


図-32 透過水制のある場合

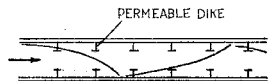
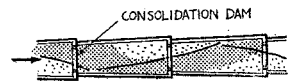


図-33 床固め工のある場合



とも、直線平行に側岸が固定された人工水路でも形成される。それは実験水路におけると同様である。のみならず、両岸から透過水制が出されているにかかわらず形成される例(図-32)、又は砂防流路工で低い床固め堰堤が設けられ、河床の段落や両袖の突出にかゝらず一般的な砂礫堆が形成される例がある(図-33)。床固め工は一般に河床の洗掘低下を防止する意味があつて施工され、既に述べた砂礫堆は洗掘傾向を示す場合には発達しにくいということと矛盾するようと思われるが、床固め堰堤が施工される河川では河床変動がはげしく、多量の土砂が流過する場合もあつて、そのような際に形成されたものが観察されるのであろう。

さて今までの諸例は、概して水深に対する川幅がかなり大なる河川についてであつた。U.S. Waterways Experiment Station の Friedekin の実験によれば、沖積自然河川の川幅と水深の関係について次のように説明されている⁹⁾。それは側岸の浸食の難易性に依存するのであつて、浸食が容易で速かな場合は、浸食による多量の土砂が河道に bar を形成し、水路幅は拡大され、水深は著しく浅まり、下流に対して河床勾配をつよめると共に流れは網状を呈する。側岸の浸食がのろい場合は底浸食が大になり、川幅は狭く、水深は大に、河床勾配はゆるくなる。山間部をでて扇状地が発達する部分から、平野を経て海に入るまでの沖積地帯を考えたときに、上流側の流れの浸食力と粗大な側岸物質の耐浸食性と割合は、下流側の流れの浸食力と緻密な側岸物質の耐浸食性の割合に対して大であるので、一般に沖積地帯の河状は上流は川幅がひろく水深は浅く、(しばしば網流し)、下流は川幅

図-34 利根川下流

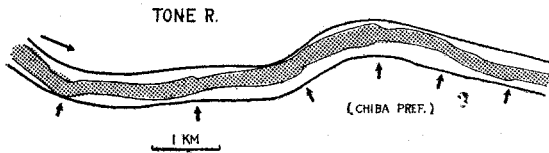
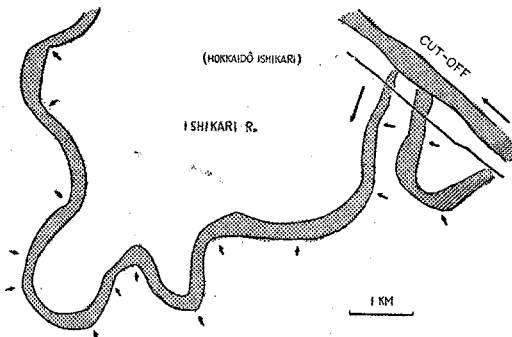


図-35 旧石狩川下流



に対する水深が上流に比して著しく大になる、とされている。本邦の河川の形態も、おおむね上述のとおりで、下流河川、殊に北海道の泥炭湿地を流れる諸河川などは水深が非常に大であり、蛇行もまた著しくなっている。

水深と川幅の割合が砂礫堆の形成に及ぼす影響は先にのべた。水深が大になると水流が蛇行する dune とは異つて、稜線が流れに直角方向な直線をもつ dune になる。このことは土木研究所の掃流の実験における多数の例からも明らかであるが¹⁰⁾、実際河川でも水深大なる河川では、今までのべた状態とは若干異なる形態がみられる。図-34 は利根川下流、図-35 は旧石狩川下流であるが、その低水流の幅及び形に、ある間隔ごとに節目のような連続上の急変箇所が存在している。このことは河底の高さにある段落が存在することを暗示

するものであり、水深の大なる河川ではこのような dune が形成されるものとみられる。

砂床河川では礫床河川にはみられない他の河床形態がある。最も小さい例は砂漣であろうが、それより少しく大きい、稜線がウネウネまがる砂堆、あるいは更に大きい魚鱗状の配列をもつ砂丘がある。その例は 図-36 加治川分水路や、笛吹川下流、木曾川河口等にみられる。

ii) 砂礫堆と蛇行現象

図-37 は実験水路において類似砂礫堆が形成された時の表面流線撮影写真の一例である。一砂礫堆は流れの半蛇行に相当しているが、この流線の集中する部分は側岸が浸食され得るものであつた場合、浸食が早く進んで河道は蛇行を示すようになる。図-38, 39 は利根川, 内川の例であるがこの推測を裏づけるような二つの砂礫堆によるきれいな蛇行を示している。

図-36 加治川分水路

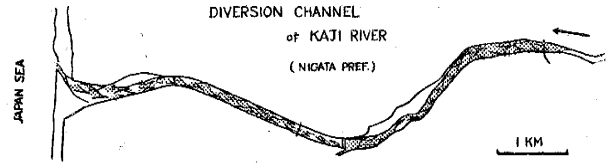


図-37 実験における表面流線



図-38 利根川

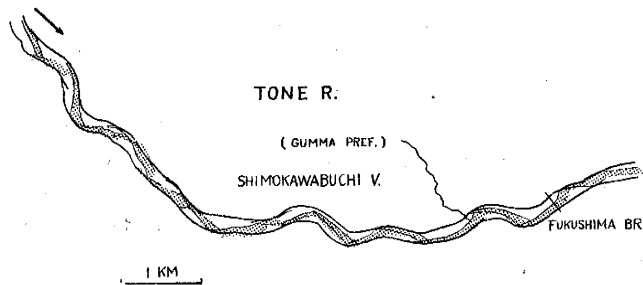
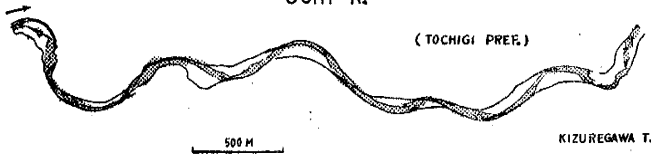


図-39 内川



しかし河川の蛇行には、この二個の砂礫堆による水流の蛇行よりも大きい河道の蛇行がある。そしてそれが一般に蛇行と呼ばれる場合が多い。本邦のように山地が多く平野の少い地形にあつてこの河道の自然な蛇行状態を観察しようとする、そこには河の流れに対していろいろな障害があつたり、同一条件下にあつてもその部分の河道がこの種の現象を観察するには短かすぎたりして、困難な場合が多い。河川のある短い部分を選択して、そこに法則性をみようとするのは危険なことであるが、今沖積扇状地上において比較的自由に流れていた急な流れ、瀬戸川、布施川、鬼怒川、常願寺川、黒部川(図-40~44)について観察すると、そこには、次のようなことがみとめられる(うち前二者は小河川)。それはこれらの川ではいずれも砂礫堆が左右交互に明瞭に発達していること、そして又河道はそれより大きい波長で蛇行を示している

ことである。この河道の蛇行と一砂礫堆の長さの比は 表-2 となり大体6前後になつている。

河床勾配がゆるまつた場合、河道の曲り方は上流に比して一般に強くなつている。そして川幅に対する水深を増してくるが、流れのラセン状廻転の方向によつて定まる砂礫堆の向きが 次の反対の向きをもつ砂礫堆に移る時に河道の大きい曲りの影響を受けて移り際の急斜面の発達方向が不明瞭になる場合がでてくる。(河床の段落差を作る急斜面は変らず存在する)。例を磐井川 図-45 にとると、砂礫堆の存在は明瞭に認められるが a, b, c, …… g 点など接続の状態は必ずしも交互につながっていない。砂礫堆の基本形状を 図-46 上図の如くにみ、接続の状態を下図Aが自然な形とすれば、河道の屈曲が強くなつた場合には B, C, D の状態ができてくる。磐井川 a~g 地点は接続 B, C の状態を示し、このような接続地点では急斜面の位置が 図-47 のように左右併存する場合も見受けられる。このような河道では一砂礫堆のゆるいカーヴの曲率は大体において各砂礫堆とも似通つているが、河道の屈曲は砂礫堆が 接続するところできつよく行われるところに特色がみられる。しかもそれが場所によつては極端になされている。(接続Dは特例で側岸が強固な岩盤などの場合が多い)。

緩流となり河道の屈曲がつよくなつた河川で、河道の蛇行と砂礫堆との間に何か 規則的な関係があるかを調べる意味で、かなり長い区間を自由に流れている川、地形地質的障害や堤防、護岸、水制あるいは堰、樋門等人工工作物が少い川として北上川をとりあげた。そして盛岡—関根の約 110 km の区間を調査した結果は図-48 及

び表-3である。これによると砂礫堆の接続状況は大半はAで、ところどころB又はC、Dがまざり、大体砂礫堆4個で河道はゆるい一蛇行の傾向を示している。(しかし地形、地質的障害その他がないわけではなく、北上川のこの例はそれらも含まれた一実態例としてみたい)。

表-2 河道一蛇行中の砂礫堆の数

Rivers	Number of Dunes in one Meandering of Channel
FUSE R.	about 6
SETO R.	" 7
KINU R.	" 7
JOGANJI R.	" 7
KUROBE R.	" 4

図-40 瀬戸川

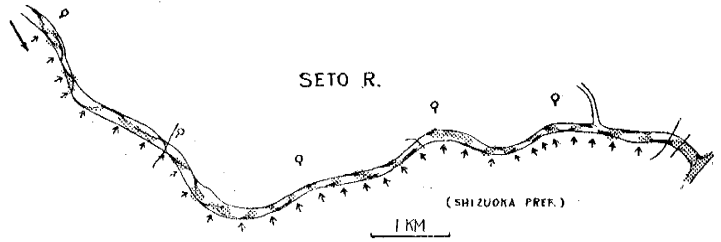


図-41 布施川

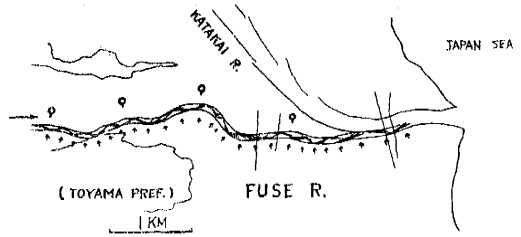


図-42 鬼怒川
KINU R.

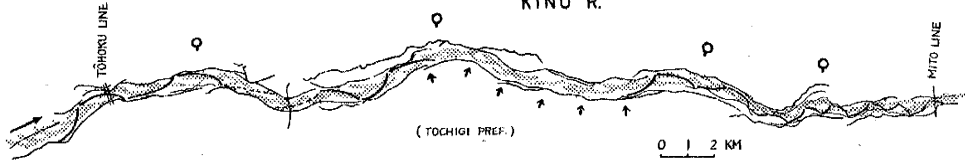


図-43 常願寺川
JÔGANJI R.

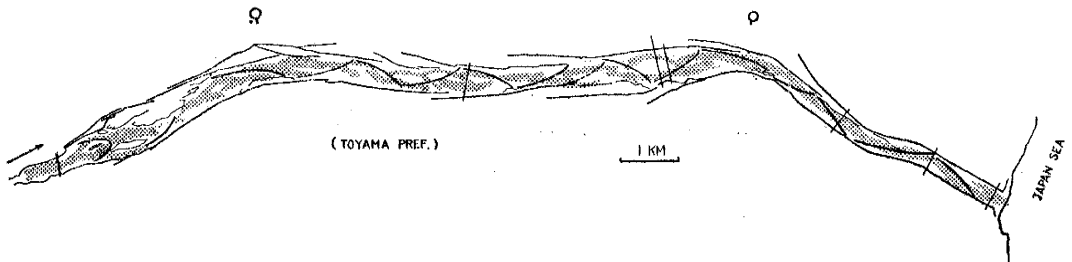


図-44 黒部川

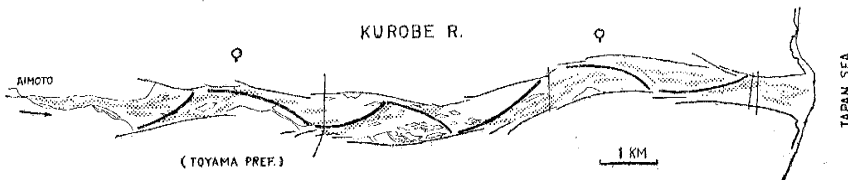
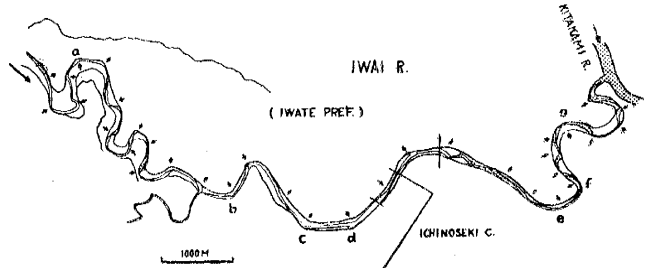


図-45 磐井川



北海道には蛇行河川が多く、この問題をみるためにはより適当な河川が多い。頓別川及び旧阿寒川を調べると、図-49、50のようになった。双方ともかなり規則的に砂礫堆6個で河道が一蛇行するという傾向がみられる。

以上を通じてみれば蛇行には砂礫堆における水流の蛇行とそれより大きい河道の蛇行の二種類あるとまとめることがで

図-46 砂礫堆の基本形状

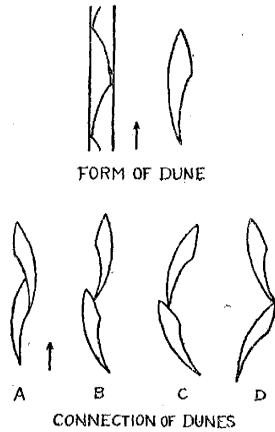
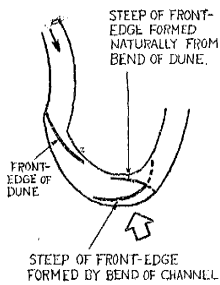


図-47 前縁の重なり



きょう。その波長の比は大体 2~3.5 (砂礫堆 4~7 個の長さが河道蛇行の一波长) となっている。上流域では砂礫堆における水流の蛇行が明瞭にあらわれ、河道の蛇行のあらわれは弱い。下流域では河道の蛇行の方が強くあらわれ、砂礫堆の存在と位置は明らかで

図-48 北上川

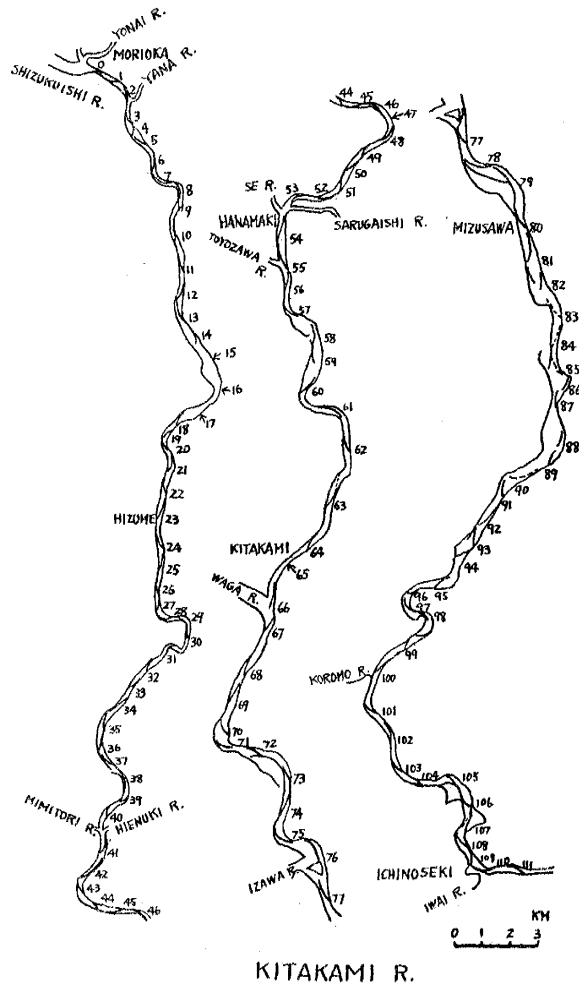


表-3 北上川, 砂礫堆の接続状況

No. of DUNES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Connection		B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A						A	B	A	A	A	A
No. of DUNES	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Connection	A	A	B	A	A	C		A	C	A	A	B	A	(A)		A	D	A	A	B	A	A	B	A	A
No. of DUNES	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Connection	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	B	A		A	(B)			A	A	A	D	A	A	B	A
No. of DUNES	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Connection	A	A	D	A	A	A	A										A	A	A	A	B	B	A	A	A
No. of DUNES	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111														
Connection	B	A	A	A		A	A																		

も、その二つの斜による水流の蛇行は認めにくくなる場合も起っている。

これは“蛇行”の定義の問題にもなるが、“Meander”とは河道の彎曲のことをいうと 1955 年 ECAFE 制定の水文学用語で定められている。けれども水流が曲つて流れることにも、邦語では一般に“蛇行”が用いられるところから、“蛇行現象”として形態的に次のような分類を試みることもでよう。

蛇行の分類

[1] 直線平行河道で水流が蛇行する。

- [2] 砂礫堆 2 コごとに河道が一蛇行する。
- [3] [2] とともに更に長い波長で河道が蛇行する。
- [4] [3] の河道の蛇行が強くなり、[2] の蛇行は消滅する。
(但し dune はのこる)

[1] から [2]、又は [3] は蛇行の発達順序とも考えられ、又 [1] から [4] は上流から下流への変化する状態でもある。又 [1] から [3] までは砂礫堆が形成され、即ち H/B が小なる場合であり、[4] は [1] のような河道でも水流が蛇行しないような dune が形成される場合、即ち H/B が大なる場合に相当するといえよう。この分類の必要性は次のような場合にみとめられる。例えば彎曲河道と水流の流線については、既に多数の研究

及び説明にみられるごとく¹¹⁾、ここには強いラセン流が形成される。そして Thomson や Engels 等の実験¹²⁾ のように、凹岸で供給された砂粒は底面を斜めに横切つて凸岸に向い、寄洲となつて停滞する。これは H/B が大なる場合であるが、しかし H/B が小なる彎曲河道ではこのような動きは示さない。図-51 は Friedekin の自由蛇行の実験で、砂の移行をたしかめた例であるが¹³⁾、凹岸から供給された砂は同じ岸の次の凸岸の寄洲下流側に堆積し(即ち dune の動きをなし)、直ちに河床を横切つて対岸の寄洲に堆積するというような動きはみせていない。(これはわれわれの実験の観察結果と同様であつて——Friedekin の蛇行は分類 [2] に該当する——蛇行河川の底物質の動きに、dune の性質があることを裏づけるものである)。このように [1] ~ [3] と [4] の蛇行ではその状態の記載にも区別がなされる必要がある。

このことは蛇行のはじまりに関しても同様であろう。Friedekin はその著の冒頭に¹⁴⁾

Meandering results primarily from local bank erosion and consequent local overloading and deposition by the river of the heavier sediments which move along the bed.

(蛇行は、はじめに局所的な側岸浸食と、それによつてもたらされる局地的な掃流物質の過重及び堆積によつて生起するのである)。

とするしているが、側岸浸食がなければ河道の彎曲 (meander) は発達しないわけであり、又側岸からの土砂の補給が bar を発達させて、更に次の対岸の浸食をつよめるのであるから、この言は至当であろう。但し [1] の場合水流が“蛇行”するとみた時には、その時には側岸浸食は問題外となり、唯土砂の補給量のみが(及び H/B の値)この場合の発生因子中の重要な事項となり、Friedekin の local bank erosion を local bed erosion とおきかえてもよいのである。故に蛇行についてそれを発生論的にみる場合でも発達論的にみる場合でも、その場合の条件の別、蛇行分類の [1] ~ [4] について弁別して考察され、説明されねばならない必要が認められる。

H/B が大なる河川の蛇行の実例として、次のような場合がある。図-52 は養春別川であるが、山間部からでてしばらくは、図のように蛇行が甚しい。この蛇行地帯は石狩平野の泥炭湿地に入る手前、それ自体の泥土の沖積

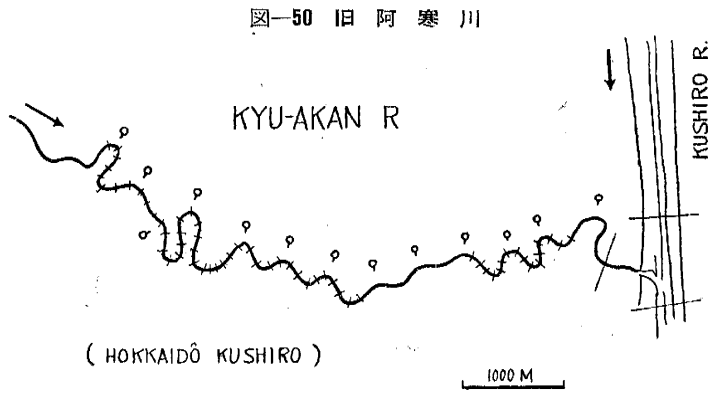
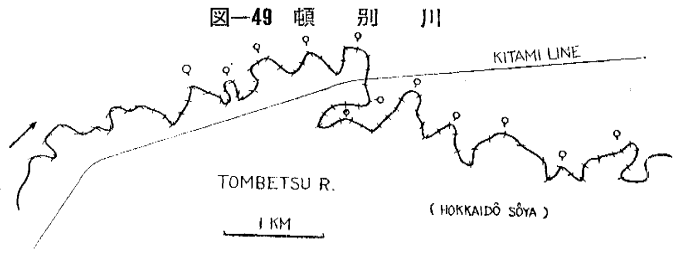
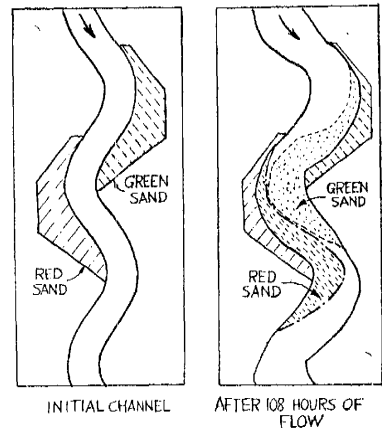


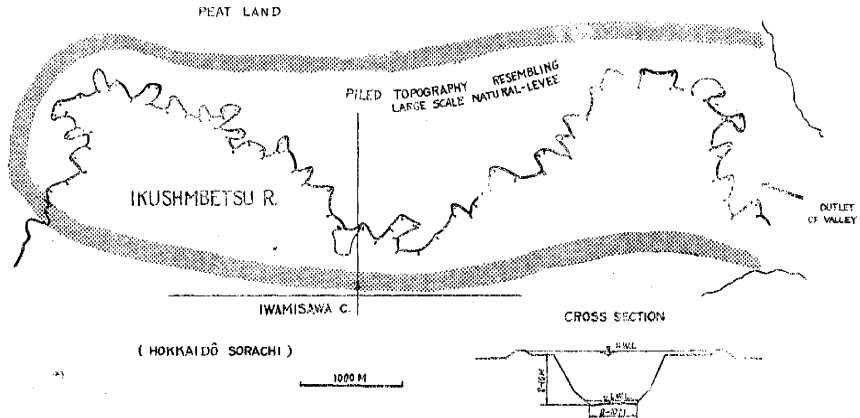
図-51 蛇行水路の砂の移行 (Friedekin)

SOURCE, PATH OF TRAVEL AND LOCATION OF DEPOSITION OF SAND IN A MEANDERING RIVER



地帯上であり(地形的には大規模な自然堤防を形成しているような観がある), 兩岸の土質は微細な沖積土, 河床は細砂, 微細砂, 砂泥など, 礫は上流からのものが少量混入している。この河道は洪水時 H/B が1に近くなるほど深く, 蛇行の形態の

図-52 幾 春 別 川



特徴は屈曲が部分的に鋭くなされていることである。河道を図の'印のように区切った場合, それは大体において一定の長さ及び曲率をもつ弧形(L)が連続した形態となり, 屈曲の少い長い河道は大体 $2L$ か, 又は L + 残余の分としてわけられる。平水流は水深 0.5 m 程度であつて砂礫堆は $1L$ の中に 2 コ位小さく形成されているが, これは河床物質の細かさから考えて, 平水又はそれより僅かに多い流量において形成されたものと思われ, このような河道断面をもつ河川の洪水時の状態を示すものとは思われない。洪水時は前記(L)が流れの運動のある単位となり, それが強い屈曲をもつて連続するような形態があらわれているようにみられる。

以上砂礫堆と蛇行現象の関係が明らかにみられたのは [1]~[3] の蛇行であつて, H/B の大なる [4] の蛇行では, その関係はまだ詳かでない。故に蛇行について考察を進める場合, 上述の分類が必要であるを指摘するにとどめたい。

iii) 砂礫堆の長さ

蛇行の曲率と水深との関係については, Fargue をはじめヨーロッパ大陸の多数の研究者の業績がある。蛇行の長さについては, 最近多くのデータを流量の自乗根と対比してその係数を求めた Sir Claude Inglis の試みがあり¹⁰⁾, また他の地理学的な研究もある。しかしいずれも蛇行の長さには, かなりのバラツキがあるように示されている。これらの試みは前述の蛇行の分類からいえば, どの種に属する河川でなされたか, 何を蛇行長としたかに若干の不明の点があるが, 蛇行, あるいは砂礫堆の形成に影響する因子が多様であつて, 同一条件で比較し得る実際河川のデータがほとんど得られないこと, 仮に砂礫堆をみてもその長さは同一で, 幅や高さ, その曲率など立体的な形状を異にする場合が多くあることなど, その長さだけをとり上げて単純に他の水理諸量と比較することは困難なことは当然であろう。

幅 13 cm 長さ 23 m の直線水路におけるわれわれの類似砂礫堆の実験で(図-53), そこに形成される砂礫堆の長さにもかなりバラツキの幅があつた。(形成される砂礫堆は, 絶えず前後の砂礫堆の変動に連関的に変動し乍ら, 流下してゆく。) 水路床物質, 流量, 及び勾配に変化を与えると砂礫堆の長さはいろいろに変化する。その中のある条件のもとに形成された砂礫堆の長さのヒストグラムは 図-54 であつた。形成範囲は 15 cm から 115 cm におよび, 平均値は 62 cm , 標準偏差は 13.3 cm , そしてこの形成全範囲より短くなると隣の砂礫堆に併合吸収され, 長くなると 2 ツから直ちに 3 ツの砂礫堆に分裂した。又その砂礫堆の動態からは, 常にある安定せる長さ(平均値)に近づくとする性質があることが認められた¹⁰⁾。

砂礫堆の長さにある極限值があるということは(その条件において), 前述の Friedekin の実験でも認められる。水路起点にある攻撃角を設けた自由蛇行水路において, ある時間後にその蛇行の振幅及び蛇行の長さが最大値に達し, そして chute が形成されるということである。これは図-1 のように砂が運ばれる過程を dune としてみた時に, 蛇行の振幅及び長さが最大限界に達した時に, その dune の前縁の浅まりの手前に新たな堆積前縁が生じ(dune の分裂), その新たな短い dune の発達にもなつて, ふるい dune の尖端である蛇行水路の寄洲上を突切る新たな流れ(chute)が形成されるのである。

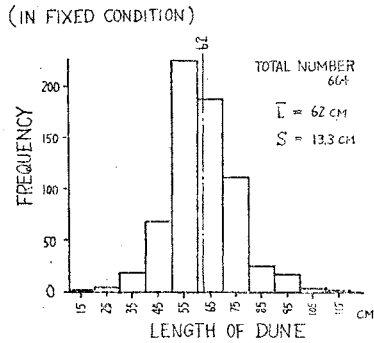
これらの実験から流れの洗掘と堆積のくりかえしを一種の脈動としてみたときに, その周期と大いさは砂床形と密接に関係しあつており, 最も安定する流れの脈動に砂床形が一致するためには, おもむろになされる砂粒の移動にまたねばならないので, そのために両者には常に時間的なズレが生じていること, またその流れの脈動性

図-53 実験水路の類似砂礫堆



これを大きく三つの部分に分けてみる事ができる。それはⅠ、0~50km(盛岡—花巻附近)Ⅱ、50~90km(花巻—水沢附近)Ⅲ、90~110km(水沢—関附近)であつて、平

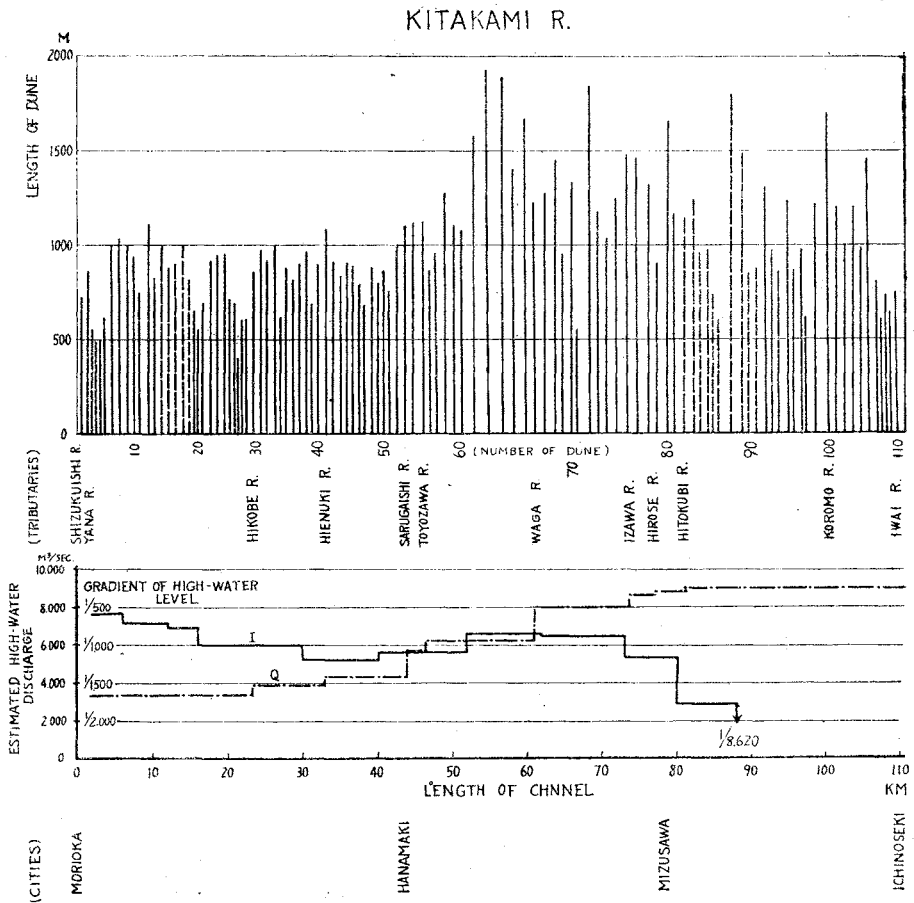
図-54 類似砂礫堆の長さの頻度分布



と砂床形の互に適応しあい得る範囲はかなりにひろいこと、などをみとめることができよう。これらのことから実際河川のデータのバラツキが大きいことを、砂礫堆形成上の変化のばのひろさと、河道が変化しつつある過渡的な状態との、その双方から見、そして更に地質、地形の不規則性の存在などの条件を加えてみたときにその理解が深められる一方、その問題の扱い方の難しさが知らされるのである。

けれどもわれわれの実験、及び Friedekin の実験では、砂礫堆の長さは大体流量と勾配の函数として表現し得た。実際河川における状態として、それを北上川の例に調べると、図-55のようになる。かなり大きい変化のバラツキが認められると共に、

図-55 北上川砂礫堆の長さの分布



均の砂礫堆長はそれぞれ 830 m, 1360 m, 1000 m となつている。今これを勾配と高水流量に対応してみると、Ⅰ区間は勾配は大體 1/600~1/1200 位に漸変し、流量も漸増しているが、Ⅱ区間に入ると勾配は再び 1/850 に強まり、一方支川猿ヶ石川の流入によつて流量は急増する。そして砂礫堆長は急に 1360 m と長大になる。Ⅲからは勾配は 1/8600 とゆるくなるが、砂礫堆長も 1000 m 位に短くなる。(河道距離 10~15 km, 80~90 km 区間は河道が岐れて、一律に比較できないところである。) この例によれば、実際河川の砂礫堆の長さも勾配と流量とにかなりな相関性を示すことがわかる。サビ川の砂礫堆長も、図-4にみられたようにならざるを得ない。勾配と流量とはいふかえれば量と速度であり、流水の運

動量を示している。一定幅の水路における実験でも、水深と勾配に変化を与えることにより、安定する砂礫堆の長さ L/B (但し L =砂礫堆長, B =川幅) に変化を与えることができる。また実際河川でも川幅を狭く改修すると、長い砂礫堆が形成されて不整合転向を示す例が先にみられた。即ち B を一定にして他の条件を変え、又は同一の流量及び勾配に対して B を変化させるなどして L/B の値を変えることができるが、しかし一般河川に形成されている砂礫堆の長さは、例えば今まで記載した例にもみられるごとく、その殆ど全部が $L/B=2\sim3$ 程度であることは、また自然河川の河道形成の機構の上に注目すべき現象である。

iv) 砂礫堆と洪水位

河川の凹岸では流心が偏して、水分子が遠心力の作用により凹岸に集中する結果、水面は凸岸に比して隆起することはよく知られている。このことは 図-56¹⁷⁾ にみるように、砂礫堆上において流心が岸による方の水位が、対岸に比して上昇することを示している。けれども急流に形成されている砂礫堆上の水位では逆の現象がみられる。図-57 は黒部川、図-58 は手取川の共に 1952 年の大洪水の際における記録である¹⁹⁾²⁰⁾。砂礫堆位置は空中写真及び現地踏査により、図内太線のように記入された。流心が偏る側はいずれもその対岸よりは水位が下り、水面形状はかなり河床面の砂礫堆の傾向に接近している。急流の場合は流れが直進する傾向が強まる為に、流れの運動のエネルギーが砂礫堆の高頂部においてポテンシャルに変じ、それが前縁の急斜面で又速度に変ずるといふ現象を示すのであろう。

v) 砂礫堆ごとの河床変化

緩斜面が洗掘され、急斜面にそれが堆積される dune は、流れにしたがって漸次その形態を前進させてゆく。実際河川でもヨーロッパ大陸のロアル、ライン、ムール、ヴィスチュラ等の諸河川で、砂礫堆の年ごとの流下が観測された例がある¹⁸⁾。それら諸河川の河道は、図によれば、いずれも兩岸平行してなめらかなカーヴをもっている。河床物質も細粒であろう。けれどもある屈曲をもつて築堤された河川、固定洲が発達し高水敷が決め

図-56 河道と水位の関係を示す実験例 (Friedekin)

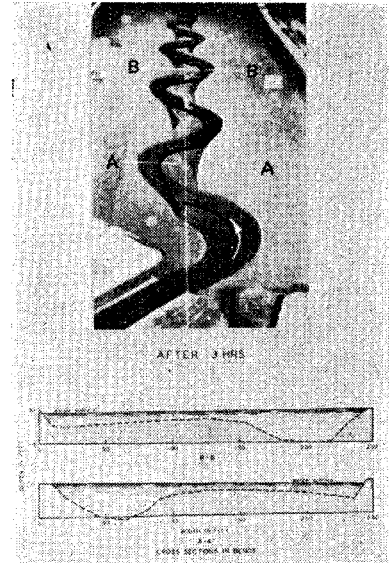


図-57 黒部川左右岸洪水位 KUROBE R.

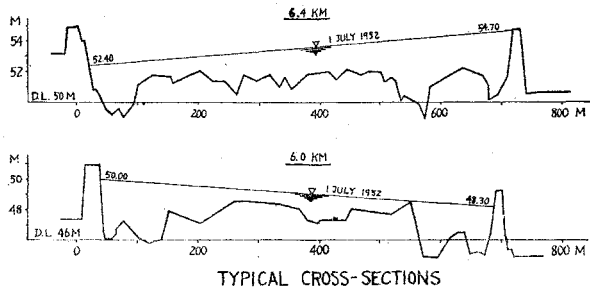
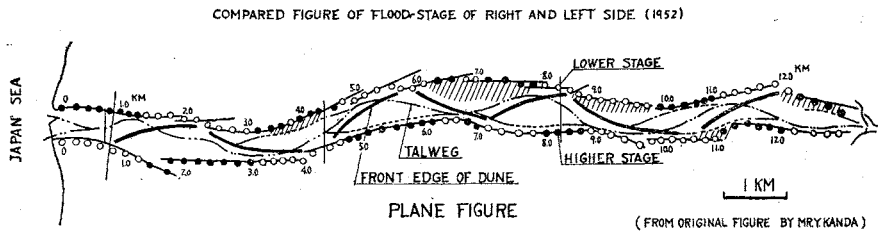
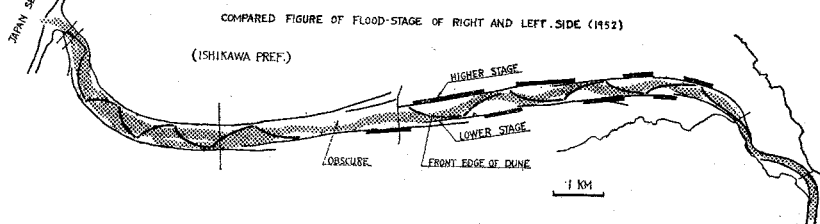


図-58 手取川左右岸洪水位 TEDORI R.



られた河道，天然の強固な曲つた側壁をもつ流路などでは，そこに形成される砂礫堆は洪水を前後しても，その位置はあまり動かない場合が多い。網流河川であつても兩岸が堤防でかこわれている場合，洪水後の個々の流路の位置に変化はあつても，大局的な砂礫堆の位置は動かないことが多い。このような河道で異なる規模の洪水が流れる場合，それぞれの洪水における流水断面の流線の三次元的な分布は異なる筈であつて，河床形状（砂礫堆形状）もその流れに応じて洗掘，

堆積を受けつゝ変形するであらう。水の流れの状態は，一砂礫堆区間がその変化の一単位とみることができから，河床変形も砂礫堆ごとにある変化のくりかえしが認められるはずである。

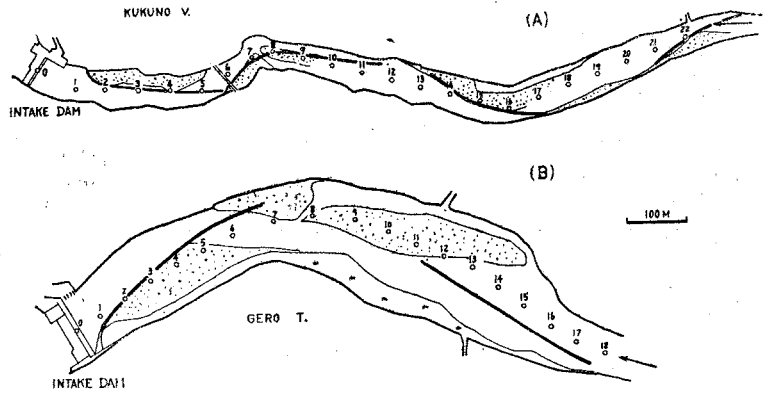
熊川での出水による河床増減の変化が，砂礫堆ごとに一波形を呈したことは図一10に示したが，諸河川の砂礫堆の前述の観察においてもこの点からみて異常ないかどうかを調査した。

木曾川支川飛騨川において，1952年岐阜県砂防課により河床移動調査が行われた²¹⁾。2個所の調査地の平面図は図一59であるが，A地区では3コ，B地区では2コ，それぞれ砂礫堆が認められる。第1回と第2回の測定の間には3回の中，小出水があり，それによる河床変形の結果が図一60である。それによれば各測線区間毎に増と減の双方の変化があり，その代数和は堆砂礫の波長ごとの波形変化をみせている。

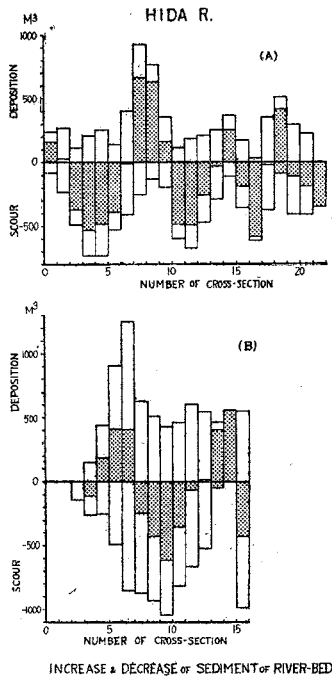
利根川では0.5 km ほどの横断測量が1938, 51, 53年になされている。建設省利根川上流工事事務所の報告書により²²⁾，筆者は1951~53年の2年間においてなされた河床砂礫増減量を計算し，別にあらかじめ同区間の利根川の空中写真により推定した砂礫堆位置 図一61 と対照して，図一62の如き結果を得た。51~53年の間には洪水は53年台風13号による3016 m³/sec（但し栗橋における測定値。計画洪水流量は14000 m³/sec）の小出水があつたのみで，

図一59 飛騨川調査箇所平面図

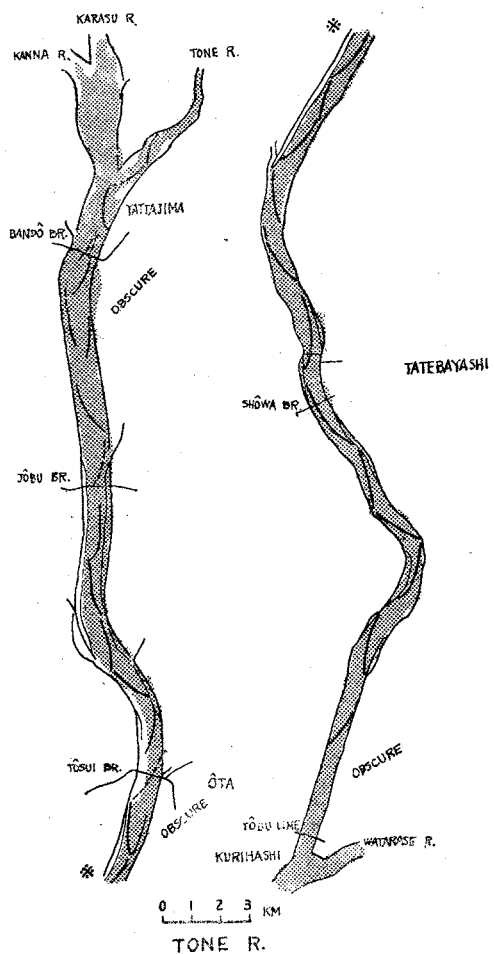
HIDA R. (GIFU PREF.)



図一60 飛騨川河床砂礫増減図

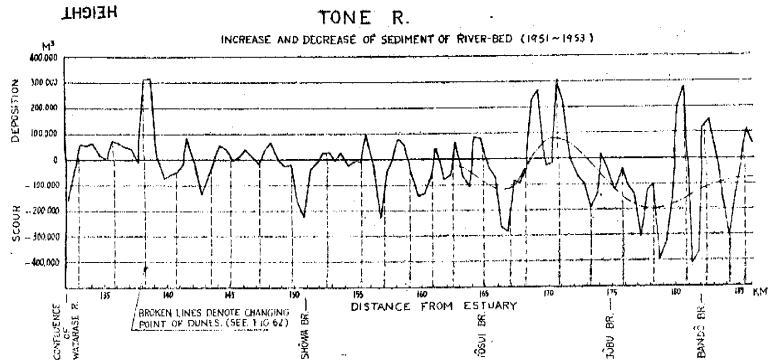


図一61 利根川平面図



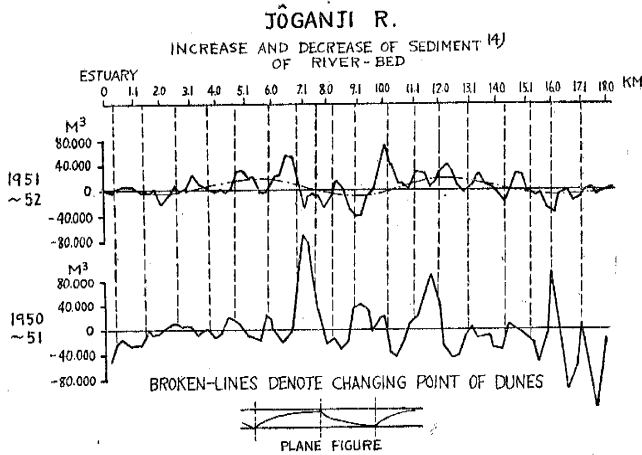
この変化はその出水と警戒水位以下の小出水及平水による変化、ということになるが、増と減に変化するその波長は、砂礫堆のその場所における長さ大体一致している。砂礫堆の長さにかなり異なるのは、築堤により定められた河道の屈曲が、安定しやすい砂礫堆とはあわない部分があるのではないかと思われる。又上流部分の砂礫堆位置の観察は、洪水末期に変形した二次的な形をみているところがあるかも知れず、小出水による変形の場合は一致しても、計画流量に近いような大洪水があつた際は、この波長は多少変化するかも知れない。

図-62 利根川河床砂礫増減図



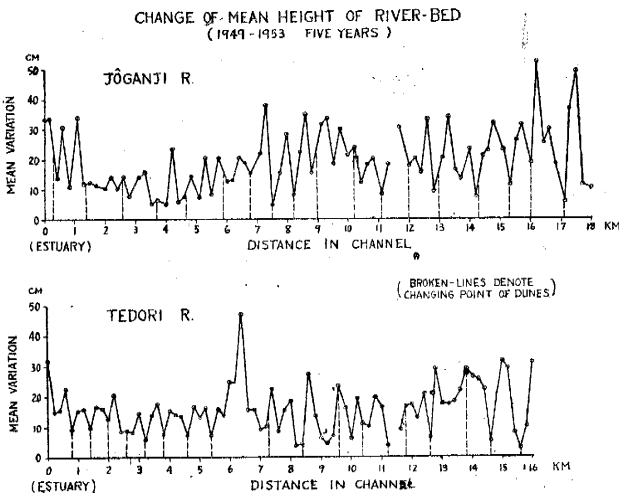
常願寺川は本邦における代表的な荒廢河川の一つであつて、砂礫流下が多い網状流路の急流河川である。川幅は最大約 800 m、勾配は溪口から河口まで 1/55 から 1/500 に変化している。この川については既に東北大鷲尾教授及び名古屋工大橋本教授その他の方々により、詳細な調査研究が行われているが、毎年の測量により計算された砂礫増減変化の中、試みに 1950~51~52 年の各年変化量の例をみると、こゝにも明らかな増減の波形変化があらわれている(図-63)²³⁾

図-63 常願寺川河床砂礫増減図



常願寺川の網流の甚しさとその川幅のひろさから、筆者の一回の踏査では砂礫堆の位置は明確に認識はできなかつたが、空中写真により網状流路の傾向によつて推定される砂礫堆位置を(前掲図-43)河床砂礫増減変化と対比すると、こゝにもほぼ明確な一致をみる事ができた。

図-64 常願寺川手取川平均河床高の平均偏差図



以上の例によれば、適当な間隔において測られた河積変化の結果は、洪水末期の変形の目立つ河川や平水流のみをもつては大局的な砂礫堆の位置がわかりにくい河川における、そのよい認知手段となる。但し、河積変化の波形の振幅は、前回の状態とその時の洪水の大きさの組合せの相違によつて異なるために、大きな振幅があらわれる場合もあるが、殆ど波形変化があらわれない場合もあることに注意しなければならない。又波形の頂点の位置は出水によつて異なる。

vi) 砂礫堆における河床変化の少ない位置

砂礫堆は前述のように洪水ごとにいろいろな変形をするが、その中に他の砂礫

図-65 鎌庭捷水路附近平面図

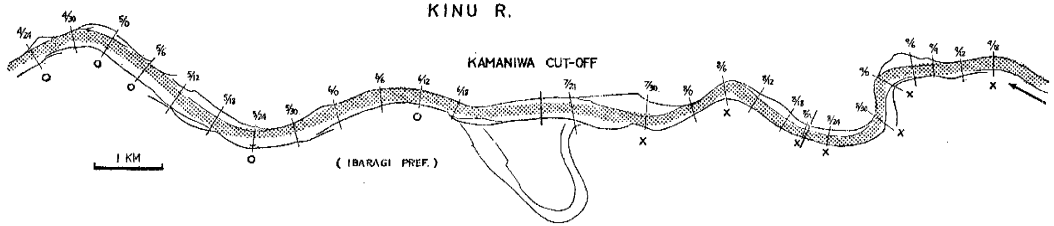
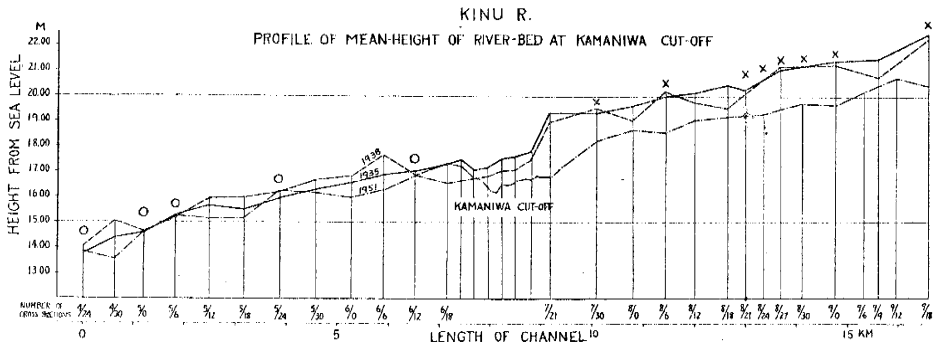


図-66 鎌庭附近縦断面変化図

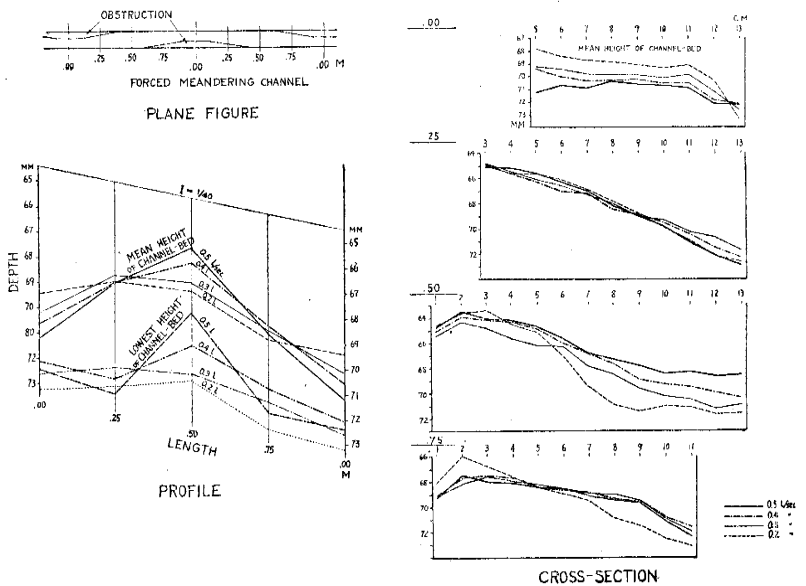


堆上の位置に比較して変化の少い場所が存在する。常願寺川及手取川における最近5ヶ年間の各年平均河床高の資料²⁴⁾について、その変化を平均偏差で表わすと図-64になる。両河川の砂礫堆位置を同図にそれぞれ記入すると、平均河床高の変化の少い位置は、大体において砂礫堆の変わり目の場所に相当している。

鬼怒川鎌庭の捷水路工事による河床変化測定結果²⁵⁾の中にも、やはり似たような現象がみられた。図-66の中で比較的变化の少い○及び×印の測線について平面図を参照すると、いずれも低水流が砂礫堆の前縁の急斜面を下りて、岸につき当る附近になつており、砂礫堆の長さに関係あることを示している。○及び×印の間隔に著しい不同があるのは、例えば5/0~5/24にみられるように、河道の曲り方がこの付近で安定する砂礫堆長より長い場合、安定砂礫堆長プラス残余の分と河床形状が分れていることによるものと見られる。

類似砂礫堆の実験で、直線水路では砂礫堆は漸次流下する。またそのまゝ流量を変化させると、砂礫堆に混乱が起り、やがて新しい流量に応じた砂礫堆が形成される。

図-67 強制蛇行水路における実験例



水路に図-67平面図にみるような障壁を設け、強制的な蛇行水路にして通水すると、そこには位置が動かない、砂礫堆と似た形の砂床の起伏が生ずる。流量に変化を与えると、砂床はそれに応じて変形するが、その横断形状と平均高による縦断形状は図-67のようになる。通水ごとの変化量は、水路の半蛇行で増減の一波形変化を描くことと(前節の現象)、又、その中で他の断面の河床変化に比較して、

変化量が小さい一つの位置(.25の断面附近で、砂礫堆の変わり目にあたる)が存在することが認められる。簡単な実験であるが、実際河川の現象と類似する現象が観察される。

こゝで前節図-62, 63の変化の中心線が、ゆるいうねりを描くことに関連して若干附言したい。それは今回の諸河川の調査では、サビ川に認められた砂礫堆数コ(4コ~7コ, 平均6コ)を一波長とする、洗掘傾向と堆積傾向の累積的なうねりは、他に類似が認められなかつた。一般河川、殊に人工の加えられた河川では、川幅はサビ川のような広狭の変化はみせていない。サビ川と同条件下にあるような川、原始的な急流河川では、同様な広狭の変化の存在がみられるが(早月川上流, 神流川, 小山川, 旗川など), それらの川ではくりかえした横断測量の資料がなかつた。前掲図-62, 63の変化の中心線にみられる鉛直方向のゆるいうねりは、こゝに出さなかつた他の資料にもみとめられ、その一波長が砂礫堆6コ前後の長さに相当しているのであるが、これはサビ川のうねり現象と関連があるように思われる。先に類似砂礫堆の実験において、洗掘中の部分と堆積傾向の部分とでは、砂礫堆の形成にはつきりした相違があらわれたことをのべたが、23mの長さをもつ水路(前掲図-53)で、通水後最初にあらわれる砂礫堆は、数コずつ群になつてとびとびに存在することが観測された。このことは砂粒が掃流される状態において、砂礫堆が形成されるリズムカルな運動の他に、砂礫堆より波長の長い別種のうねりが存在したことを意味するものと思われる。サビ川のような扇状地上の原始河川で、もしこのようなうねり現象が存在し、一たび堆積傾向をみた場所々々は容易にその川幅をひろめ(側岸の高さと河床高には殆ど差がない為に)、川幅の広狭の変化があらわれるであろうことが考えられる。それが次の洪水に影響して、うねりは累積的に増大されてゆく(鉛直方向にも水平方向にも)という現象が発生するのであろう。川幅がとゞのえられたり、又、側岸浸食がそれ程容易でない河川では、洪水時に同様な現象があつたとしても、そのうねりが一定の位置に累積的にはあらわれない為に、鉛直方向には特にサビ川で指摘されたような現象は、みとめられなかつたのかも知れない。河道の蛇行には、砂礫堆4~7コ位で一蛇行の性質が認められたが、波長が似ているこの鉛直方向のうねり現象は、どういふ関係があるのかは詳らかでない。

3. 結 論

以上が河川の実態を“砂礫堆”という観点に立つて調査した結果であつた。約言すると次の通りである。

- ① 河床には砂礫堆と呼んだ、duneの形態がみとめられる。
- ② 砂礫堆は緩流河川にも急流河川にも形成される。
- ③ 河床物質は砂でも礫でも、又は大礫が混つても形成される。
- ④ 砂礫堆は充分な掃流物質がその流れにある時に(河床が堆積傾向にある時に)その発達が顕著である。
- ⑤ 砂礫堆の形態は一般に左右交互の向きで発達する型が多い。平水流の流れ方にはいろいろな変化がある。
- ⑥ 蛇行現象からみれば砂礫堆における水流の蛇行と、河道の大きい蛇行の二面がある。その波長の関係は大体2~3.5(砂礫堆の数で4~7)を示す。上流域では砂礫堆における水流の蛇行が明瞭で、河道の蛇行のあらわれは弱く、下流域では河道の蛇行が顕著にあらわれて、砂礫堆の存在と位置は明らかでも、そのpairによる蛇行は認めにくくなる場合も起つている。又河道の曲り方は砂礫堆の変わり目ごとに強くなされる傾向がある。(蛇行現象を四種類に分類した)。
- ⑦ 砂礫堆の長さはバラツキが大きい。長さの概略は流れの量と速度との関係で示されようが、作用する要素は複雑である。
- ⑧ 砂礫堆の位置が側岸の性質によつて変移が少い場合、その形態は洪水の大きさにしたがつて、鉛直方向に常に変化する。そして砂礫堆の変わり目は、他の部分より変化が少い。

はじめわれわれがサビ川及熊川において接した現象は、普遍性のある定性的現象として理解された。これを流れの運動からみると、充分な掃流物質をとまらぬ流れには、かなり大規模ないくつかのリズムカルな動きが顕著に存在するとみることができよう。洪水時の河床はかなり深く動かされるが、しかしその大局的な形態は砂礫堆を形成しているものとみられ、洪水の引際の砂礫堆の変形は、各河川によつて量的に形態的に異なるものとみられる。河道をこのように、大局的には洪水時に形成される砂礫堆の連続せる形態であるとみることが、河川研究の上に意義あることと思われる。

参 考 文 献

- 1) 地理学においては石川与吉博士により、類似せる現象を既に砂(礫)と堆して扱われている。堆はbankであるが、こゝに英文名としては特にduneをあてた理由は次の通りである。

地理学では dune は風によつて運ばれ、堆積移動する海岸、河岸又は沙漠の砂丘を指し、水によつて運ばれてできる水底の形状に対しては適用されていない。一方水文学又は河川工学では bank は、一般に河岸、堤防、土手などの意に用いられている。洲を指すこともあるが、これには bar が用いられることが多い。こゝにのべる河床の形態は、堆積物の高まりのみでなく、洗掘と堆積の交互作用の一過程による形態を指しているの、現象の一部となる bar や bank は用いずに dune を使用した。Forchheimer は Hydraulik 第3版 (1930) の中で, Sandbank 又は Kiesbank という言葉と共に、それらをまとめて既に Dün という言葉を用いている。(Dune が上流に向つて動くときは Gegendün といつている)。ECAFE で 1955 年に定めた水文学用語では、Dune とは大体三角形の縦断面形をもち、上流測にゆるく下流測に急になつている。そして上流測のものが運ばれて、下流測の急斜面に堆積することによつてその形が移動する、と定義してあり、特に地上、水中の区別を附していない。われわれは 図-1 に示される範囲をまとめて“砂礫堆”としたが、英文では“dune”をあてた。

- 2) 木下： サビ川治水の研究 (1949), 自由学園那須農場, 木下： サビ川における砂礫堆と掃流うねりの現象について (1955), 新砂防 No. 19
- 3) 木下： 熊川捷水路の河状変化と礫流下試験について (1953), 栃木県砂防委託調査報告書。
- 4) 木下： 砂礫堆に関する実験〔第3報〕(1956), 栃木県砂防委託調査報告書。
- 5) Rouse: Engineering Hydraulics, pp. 790
- 6) 安芸岐一： 河相論, p. 31 (岩波版)
- 7) 野満隆治： 河川学, pp. 262
- 8) 群馬県砂防課による出水後の測量図 (1947)
- 9) Friedekin, J.F.: A Laboratory Study of the Meandering of Alluvial Rivers, U.S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., May 1, 1945, p. 13
- 10) 土木研究所で現在進行中の実験。
(Satō, Kikkawa, and Ashida: Research on the Bed-load Transportation -1-)
- 11) 木間仁： 水理学 (丸善), pp. 169, 7) と同じ, 安芸岐一： 河川工学序説, p. 66
S. Leliavsky: An Introduction to Fluvial Hydraulics (1955), pp. 125 など
- 12) S. Leliavsky: 11) と同じ
- 13) 9) Plate 6
- 14) 9) p. 3
- 15) 12) pp. 133 による。
- 16) 4) に同じ
- 17) 9) Plate 3
- 18) 12) pp. 21, 131 但し dune, bank, meander など用語は一定していないが、図によれば、こゝにのべる砂礫堆と同じものを指している。
- 19) 神田精夫： 27.7.1 出水からみた黒部川における蛇行の問題 (1954), 黒部研究会資料
- 20) 建設省石川工事事務所, 美川出張所 測量記録
- 21) 岐阜県砂防課： 昭和 28 年度砂防調査報告書
- 22) 玉井正彰： 利根川第三期改修区間の河床変動について (1954), 利根川上流工事事務所
- 23) 立神弘洋： 急流河川の工法 (1953), 土木学会水工学論文集
- 24) 建設省富山工事事務所並に石川工事事務所調査資料
- 25) 建設省鬼怒川工事事務所調査資料

(昭.31.8.20)

昭和 32 年 2 月 25 日 印刷
昭和 32 年 2 月 28 日 発行

河床における砂礫堆の形成について
土木学会 論文集 第 42 号

定価 80 円 (〒 10 円)

著 者 栃木県那須郡黒磯町笹沼白山学園那須農場内 木 下 良 作
編集兼発行者 東京都千代田区大手町 2 丁目 4 番地 中 川 一 美
印 刷 所 東京都港区赤坂溜池 5 番地 株式会社 技 報 堂

発行所 社 団法人 土 木 学 会 東京都千代田区大手町 2 丁目 4 番地
電話 (20) 3945・4078 振替東京 16828