

## 曲線斜め堰の設計原理

The Design Principle of Historical Curvilinear – Oblique Weir

崎谷浩一郎\*・中井祐\*\*・篠原修\*\*\*

By Koichiro Sakitani, Yu Nakai, Osamu Shinohara

The “Historical Curvilinear Oblique Weir” was built by Kenzan Nonaka in the Edo era. The shape of those weirs is unique and different from which made in the modern period, some weirs are remaining in Kochi prefecture. By the investigation and analysis of the location of these weirs, I tried to make a hypothesis that is different from the previous one about the design principle of the weir.

In this unique design principle, there is the opinion that it was built along the edge line of the sand bar. On the other hand, there is also a tradition of having been built by the technique of “ito-nagashi” in local Kochi. However, neither of the opinions explains enough about the shape of the weir. The hypothesis shown by this research is, “the weir was built crossing the run where the stabilized height of the river was located, and had a sluice gate in the deep pool of the river.” and I think that it has higher valid than the existing one.

### 1.はじめに

高知県の西端宿毛市を流れる松田川。この河口約3.5kmの地点に、河戸堰と呼ばれる取水堰がある。現在は、河川改修事業によって、保存された一部を除き可動堰へと改築されている。しかし、改築以前の河戸堰は固定堰で堰の形が非常にユニークな取水堰であった。

かつての河戸堰は、一方の河岸から下流側に凸の弧を描きながら、かつ河道に対して斜めに、対岸へと渡っていた。このかつての河戸堰に見られたような堰の平面形状を持ったものを曲線斜め堰<sup>1)</sup>と言う。

材料、技術が発達した近代において造られる堰の平面形状は、河道に対して直角でかつ直線的である。それに比べ、曲線斜め堰は、その優雅な曲線によって豊かに湛えられた水の風景を生み、観る者の心を惹きつけた。

曲線斜め堰の起源は、近世土佐藩にまで溯る。堰を築造したと言われている人物は、当時の土佐藩において27年間奉行職を務めた野中兼山<sup>2)</sup>(1615-1663)である。兼山の生きた時代は、全国的に最も大規模な新田開発が行われた時期であった。兼山はあらゆる河川に複数の堰を築いた。水田に十分な水を引き入れつつ、洪水の猛威に対しても耐え得る能力を持った堰の築造は、当時の技術者たちにとって最重要課題のひとつであった。

このように、造形的特徴と悠久の歴史とを持った曲線斜め堰であるが、堰の設計原理については未だ完全に解明かされてはいない。

本研究では、野中兼山が築造した4河川における7井堰を対象に、それらの立地(location)と設置(placement)

について、調査・分析を行う。そして、この未だ明らかにされていない曲線斜め堰の設計原理について、新たに仮説を立てるものである。

### 2.曲線斜め堰の平面形状に関する既存の見解

曲線斜め堰の設計原理に関するこれまでの見解は、砂礫堆前縁説<sup>3)</sup>と高知県に伝わる‘糸流し’の伝承だけである。以下に、それぞれについての概要を記す。

#### (1)砂礫堆前縁線説

##### (a)河床形態と流れについて

強固な河岸(岩盤や堤防)によって規定される川の道筋を「河道」と定義すると、沖積平野を流れる河川は、洪水時はその河道に沿って流下するが、低渇水時は河道内を蛇行や分流して流れている。

これは、洪水の度に侵食によって山から運び出された土砂が堆積することによって河床形態が作られ、平水時にはその河床の低まり部分を水が流れるからである。

つまり低渇水時の流れは河床の形態やその位置によって左右され、また河床形態や位置も流れによって変動する訳である。

こうした川の新陳代謝とも言える侵食・運搬・堆積作用が、その川独自の河相を創り出している。

「砂礫堆」というのは、この河床形態のひとつである。砂礫堆の縦横断面形状は起伏に富んでいる。(図-1)

Key words : 曲線斜め堰、砂礫堆

\*正会員 日本工営(株) 東京都千代田区麹町 5-4、\*\*正会員 東京大学助手、\*\*\*フェロー会員 東京大学教授

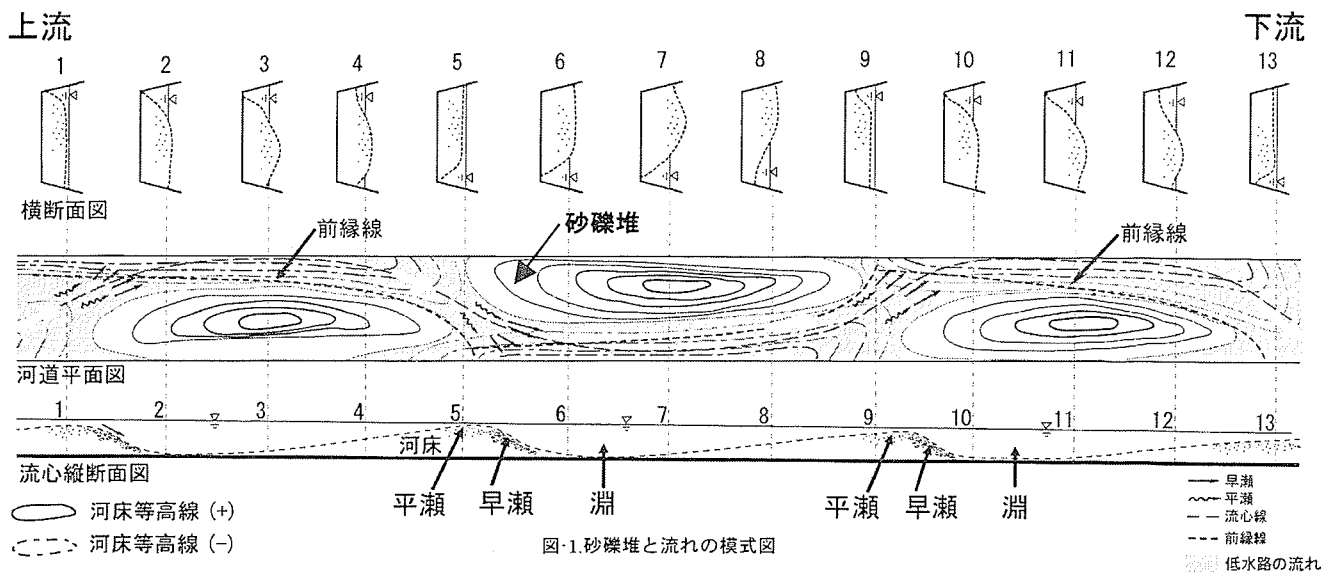


図-1.砂礫堆と流れの模式図  
(『川を見る—河床の動態と規則性—(井口昌平著)』の原図に加筆・修正)

流れは、この砂礫堆によって、河床が平坦で河床材の流径の細かい「平瀬」(図-1.断面 5 付近)から、流路勾配が急で河床材の流径が粗い「早瀬」(図-1.断面 5~6)へ、そして早瀬を下った流れは、一方の河岸近傍で水深の最も深い「淵」(図-1.断面 6~7 付近)に流れ込む。さらに流れは再び対岸の「淵」へと向かう。この「平瀬」→「早瀬」→「淵」→「平瀬」…と連続した一定の規則性を生み出しているひとつの河床単位を、「砂礫堆」(または交互砂洲)と言う。「砂礫堆」の形成される水理条件は、川幅、河床勾配、流量、水深、流速、河床構成材料とその比重などである。そしてこの「砂礫堆」における縁の部分で、「砂礫堆」の「前縁線」と呼ぶ。

砂礫堆は洪水時の土砂移動が主な生成要因である。そして砂礫堆は河道が直線の場合と、湾曲している場合で次のような特性を持つ。直線河道における砂礫堆は、洪水時に、その形状を保持しながら下流へと移動する。一方、湾曲河道においては、河道の湾曲角度がある程度大きくなると、砂礫堆の位置が固定し、滞筋の安定した低渇水時の流れが生じることになる。

(以上、参考 4) ~ 9)

#### (b)砂礫堆前縁線説について

過去に、しばしば行われてきた一般の斜め堰(曲線斜め堰も含まれる)に関する議論の渦中で、三輪<sup>a)</sup>は、古来の斜め堰が、湾曲した砂礫堆前縁線に沿って造られたとする考えを提示している<sup>10), 11)</sup>。

三輪は、わん曲斜め堰(一般的に斜め堰と呼ばれているが、三輪はこのように表現している。)の特性について、次のようにまとめた。

#### —わん曲斜め堰の特性—

- (1)天然にあるいは人工的に強固な河岸をもった河道部にあり、かつその河道のわん曲によって強制的に位置が安定させられている砂礫堆上に設けられている。
- (2)砂礫堆のクレスト(河床の高まり部分)に沿って長く斜めにわん曲しながら河道を横断し、かつ高さを低く設けている。
- (3)取入れ口は、堰の先端近くにつくられている。

(『砂礫堆形成からみたわん曲斜め堰の合法則性』 pp.63 より抜粋。)

さらに、三輪は水理模型実験によって、砂礫堆の前縁線に沿って築造された堰は次のような合法則性を持つことを示した。

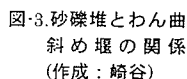
#### —わん曲斜め堰の合法則性—

- (1)わん曲斜め堰は、洪水流が砂礫堆上で最も広がり流線密度が疎になる位置にあるので、流れから受ける力は、堰のどの部分をとっても、かなり一様に小さい。
- (2)わん曲斜め堰は、水深の浅い河床の高まり部分をつなげてつくるので、同じ堰上げ高を得るのに堰体高を低くできる。したがって施工は容易であるし、洪水流から受ける力はこの点でも小さくなる。
- (3)わん曲斜め堰は、(1)、(2)で述べたような特性を持つため、堰の直下流の河床洗掘は小さく、局所的な深掘れも生じにくい。
- (4)取入れ口は、洪水の水当たりがこない堰の先端近くにつくるので、取入れ口は安全であり取入れ水門は簡単な構造物でよい。
- (5)わん曲斜め堰は、洪水時の河床形態とも言える砂礫堆にあわせてつくり、しかも堰をつくる以前の河床を変化させることが少ない。

(『砂礫堆形成からみたわん曲斜め堰の合法則性』 pp.63 より抜粋。)

a)山形大学農学部(当時)

## (2)糸流し説



10) 『砂レ丰堆とわん曲斜め堰』 pp81 より抜粋。

実際に現地で見ると、その曲線を如何に設計したか考え込んでしまう。構造物の設計という観点から見て、糸流しという伝承は、ただの伝承ではないと筆者は考える。

4. 鏡田堰\* (1654-55)  
5. 八田堰 (1648-52)

1. 山田堰\* (1639-64)  
2. 野市上井堰 (1644)  
3. 野市下井堰\* (1664)

愛媛県  
徳島県  
高知市  
高知県  
土佐湾  
室戸岬  
足踏岬  
松田川  
後川  
足踏川  
仁淀川  
吉野川  
物部川

6. 麻生堰 (1650年代)  
7. 河戸堰\*\* (1956-58)

\* 撤去されて現在は無い。  
\*\* 可動堰に改築。堰の一部は現存。  
無印 コンクリート固定堰として現存。

号はそれぞれ表-1 に対応)

表-1. 調査・分析内容と資料

|   | 調査・分析内容           | 資料                    |
|---|-------------------|-----------------------|
| ① | 1 周辺地形と堰の立地関係     | 地形図                   |
|   | 2 受益地と堰の立地関係      | (1/25,000)            |
|   | 3 河道線形と堰の立地関係     | 河川平面図                 |
|   | 4 洪水主流線と堰の立地関係    | (1/2,500<br>~1/3,000) |
| ② | 5 各堰の平面形状         | 推定砂礫堆前<br>縁線図注1)      |
|   | 6 推定砂礫堆前縁線と堰の立地関係 |                       |
| ③ | 7 現存する堰周辺の河床変動    | 航空写真注2)               |
|   | 8 撤去された堰周辺の河床変動   | (1/10,000)            |

注1) 対象河川の地質・水文特性と現地調査から、堰築造以前の砂礫堆前縁線を、推定によって描くことは可能である。

注2) 調査・分析に用いた航空写真は以下の通り。

i) 物部川 (1/10,000)

昭和44年12月/昭和47年10月/昭和48年12月/昭和60年3月/平成2年3月/平成7年11月

ii) 仁淀川 (1/10,000)

昭和22-23年/昭和44年5月/昭和48年12月/昭和53年12月/昭和60年3月/平成2年3月/平成7年11月

(国土交通省高知工事事務所提供)

## ①堰の立地分析 (location)

地形図は、堰が周辺地形、受益地、河道線形とそれぞれどのような関係で立地しているかということを把握することを目的として行う分析である。

物部川には、山田堰、野市上井堰、野市下井堰の3井堰が立地している。各堰において、立地と周辺地形との関係に対する特徴の違いが顕著であることがわかる。

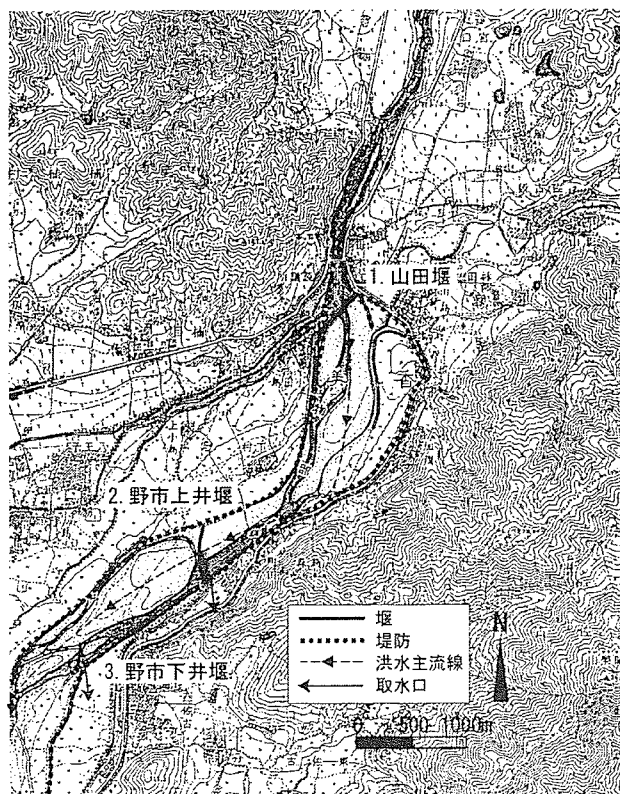


図-5. 物部川周辺地形図 (1/25,000、昭和11年、国土地理院発行  
原図に一部加筆したものを65%縮小。)

図-5を参照しながらそれぞれの堰について、分析と考察を示す。

### ・山田堰(河口10km地点、河床勾配1/350)

堰の立地地点は、扇状地の頂部である。扇状地の頂部は、受益地に広く配水を行うためには、最も適した地点である。山田堰の場合、右岸側に取水口があり、約1700haの受益地が広がっている。

しかし、この地点は洪水の流れを一気に受ける地点でもある。さらに上流からの大量の土砂が溜まるので、維持管理には、大変な労力を強いられていた。その労力を注いでもこの地に堰が必要だったのは、この物部川の山田堰と仁淀川の八田堰が、浦戸湾へ向けた藩内の内陸水運路の主要起点であったからである。

河道線形は、堰の上流で右岸側の山に当たり、少し左岸側に湾曲している。また堰は川幅が広がり始める地点に、やや直線に近い斜めの形で築造されていた。他の堰と異なる立地パターンを持った堰であると考えられる。

### ・野市上井堰(河口8km地点、河床勾配1/270)

上流の山田堰が、物部川右岸側に広がる平野部に水を取り入れているのに対し、物部川左岸側の受益地(460ha)の新田開発のために築造された。堰は左岸側の山によって、河道線形が大きく湾曲した直後に立地している。取水口は、その左岸側の山裾に設けられた。このような場所は、取水地点の標高が高く、配水起点として有効である。洪水流も堰の上流で山に当たり、その勢いが減殺される。取水口側は山側にあり、受益地まで約300mを井筋によって導水している。また堰の平面形状は、堰が取水口側の河岸にほぼ垂直に設置され、緩やかに下流に凸の曲線を描きながら、河道に対し斜めに横断している。典型的な曲線斜め堰の形状である。

### ・野市下井堰(河口7km地点、河床勾配1/270~1/290)

野市上井堰の下流1kmの地点に立地している。受益地(約200ha)に近接しているが、取水口側に山を持たず、河道線形も上流で湾曲している訳ではない。堰の平面形状は、取水口側に導流するように斜めの部分と堰上げる河岸に直角の部分との複合的な形状であったとされる。おそらく野市上井堰だけでは、まかないきれない分の取水を行うことを主な目的として立地した堰であったと筆者は考える。

以上のように、地形図分析を行うことで、それぞれの堰が周辺地形、受益地、河道線形とどのような関係で立地していたかが分かる。同様の調査・分析を、仁淀川、後川、松田川についても行った。結果は後述の、(3)調査・分析のまとめにおいて記す。

## ②堰の設置分析 (placement)

次に、堰が築造される以前の流れの状態と堰の設置関係を分析するために、推定砂礫堆前縁線による分析を提示する。砂礫堆は、河道線形からある程度推測して作成することができる。ここで示す対象は、先程の地形図分析と同様の物部川である。(図-6)

この推定砂礫堆前縁線による分析によって、堰が砂礫堆とどのような位置関係に設置されたということを推測することができる。

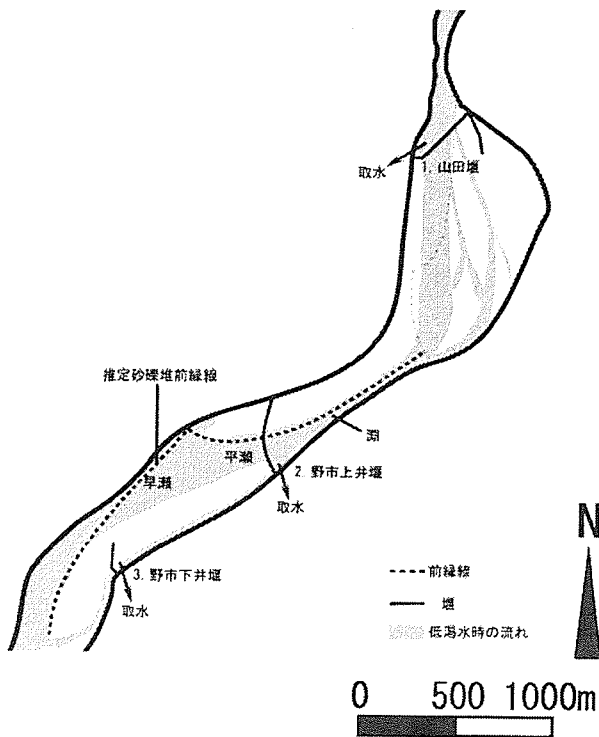


図-6.推定砂礫堆前縁線と堰の設置関係図 (作成：崎谷)

### ・山田堰

山田堰の立地地点は、扇状地の頂部であり、砂礫堆前縁線を描くことが困難である。よって、砂礫堆と堰の関係についての分析は省略する。

### ・野市上井堰

- ①堰は、ふたつの砂礫堆を横切る形で立地している。
- ②取水口上流部には安定した淵が存在している。
- ③堰は平瀬の位置を下流に膨らみを持って横断している。

砂礫堆と堰の設置関係において、堰が平瀬の部分で横断している。物部川以外の河川では、仁淀川の八田堰、後川の麻生堰、松田川の河戸堰が同様の位置に設置していた。このことから、これらの堰に共通することとして、堰がふたつの砂礫堆に跨って、平瀬部分を横断していることが分かる。平瀬部分は、河床の縦横

断形状の変化が少なく施工性を持ち、さらに河床材が細かく密であるため、止水性に富む地点でもある

### ・野市下井堰

- ①堰は、砂礫堆の先端に近い位置に設置している。
- ②取水口付近に淵は見受けられない。
- ③堰の平面形状は前縁線に平行に近い。

河道線形と堰の立地関係が他の堰とは異なるため、砂礫堆との設置関係も、他の堰とは異なる。

このように、砂礫堆と堰の設置の関係は、堰の立地によって変わることがわかる。堰立地地点による河床の状態が異なることが、その要因と考えられる。

## ③堰周辺の河床変動

航空写真によって、堰周辺の河床変動を分析する。仁淀川には、対象の堰として鎌田堰と八田堰がある。同様の分析は物部川についても行ったが、物部川において撤去された山田堰、野市下井堰は立地が他の堰と異なるため、ここでは仁淀川の航空写真によって、河床変動の分析を提示する。

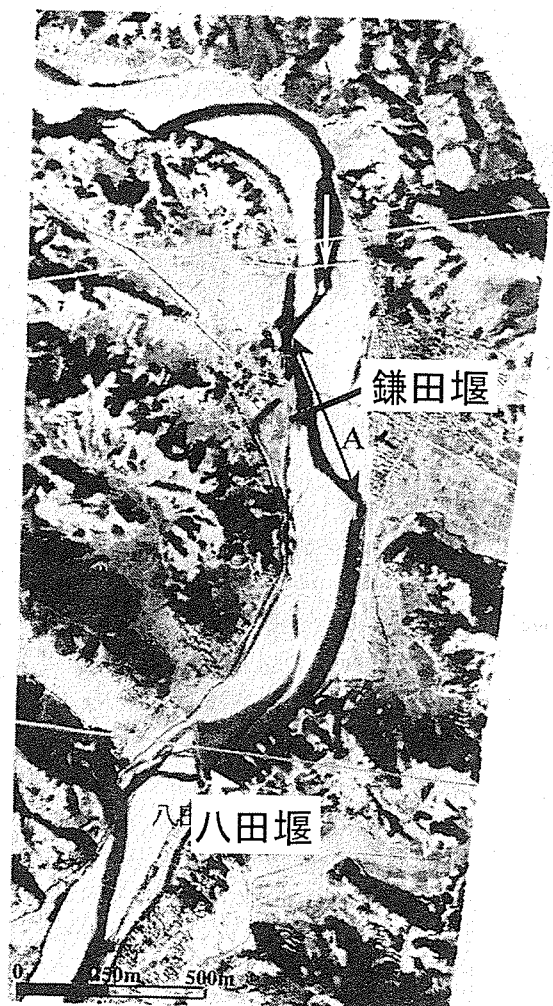


写真 1.仁淀川航空写真(昭和 22・23 年、中村工事事務所提供)

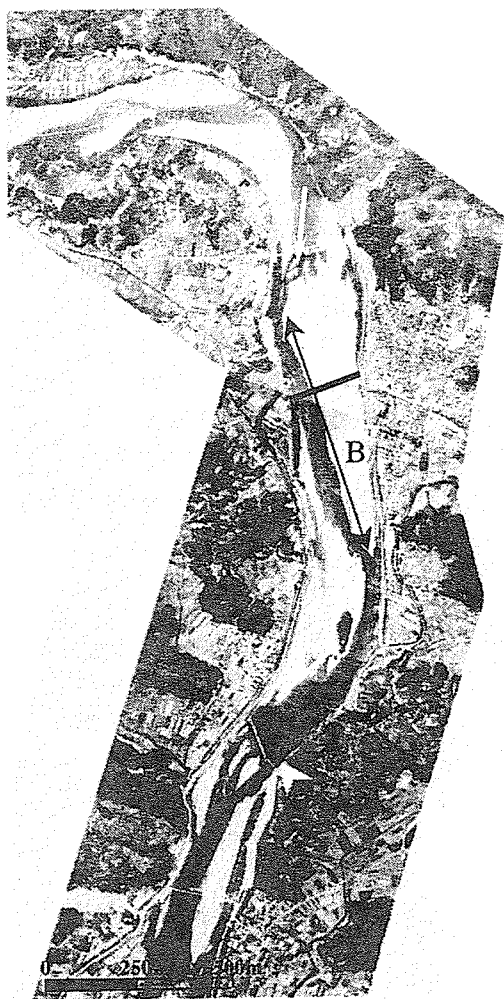


写真 2.仁淀川航空写真(昭和 44 年 6 月、中村工事事務所提供)



写真 3.仁淀川航空写真(平成 7 年 11 月、中村工事事務所提供)

#### a)鎌田堰周辺の河床変動

写真 1 は、昭和 22-23 年の仁淀川航空写真である。鎌田堰は、昭和 8 年に撤去されているが、地形図上でその位置と堰の形状が示されているので、それを元に写真に実線で記している。

堰の上流で左岸側の山に当たった河道線形は大きく湾曲し、内岸に安定した砂洲を形成している。大きく湾曲した流れは、鎌田堰の上流で取水口があった右岸側に流れ込んでいる。前述の砂礫堆と流れの関係図(第 2 章の図-1)より、砂礫堆と流れの特徴を考えると、堰の上流には淵が形成されていることが分かる。

約 20 年後の写真 2 においては、写真 1 に見られる鎌田堰が立地していた付近の砂洲の長さが写真 1 における A の長さから写真 2 における B の長さへと長くなっている。

さらに、28 年後の写真 3 になると、鎌田堰下流の砂洲の長さと流れの様子が大きく変わっているのがわかる。これは、河床変動した部分の河道線形が直線に近いために、砂礫堆の移動が抑制されず、河床の移動が行われているためである。

このように、鎌田堰の下流の河床は大きく変動しているが、鎌田堰の上流には、安定した淵と流れが存在しているということが、これらの写真から判読できる。

ところで、この航空写真分析を通して、鎌田堰の築造が砂礫堆前縁説に合致しているか、一考察してみる。

鎌田堰は八田堰よりも後に築造されている。八田堰が仁淀川の左岸側の平野に水を引き入れるので、鎌田堰からは右岸側から取水することが計画された。実際に鎌田堰が築造された地点から受益地までの距離は、対象の 7 井堰中最も遠く、約 3km もの導水を行っている。仮に、写真 3 の状態が堰築造以前の流れに最も近いとして堰の立地を考えた場合、砂礫堆前縁説で最も理想的とされる位置からはあまりにも離れた地点に立地している。

この現象から、鎌田堰の立地に関しては、堰上流の大きな湾曲河道によって形成された安定した淵の存在が、堰の立地選定に大きな影響を及ぼしているのではないだろうか考えることができる。

つまり、兼山独自の堰築造に対する考え方があったのではないかと推測せざるを得ない。

## b)八田堰周辺の河床変動

一方、八田堰は、河道線形が左岸側の山に当って右岸側に湾曲した直後に立地している。また堰の上流左岸には淵が形成されていることも伺える。さらに八田堰が横断している砂礫堆の位置は大きな変動をしていない。

## (3)調査・分析のまとめ

対象とした7井堰の調査・分析の結果によって、堰の立地(location)について4パターンに、堰の設置(placement)についても4パターンに分けることができる。まず、堰の立地について示す。

### a)周辺地形、河道線形、受益地と堰の立地(location)

周辺地形、河道線形、受益地との関係から得られる堰の立地は次の図に示す4つのパターンに分類できる。以下に、各パターンにおける特徴をまとめる。(図-7)

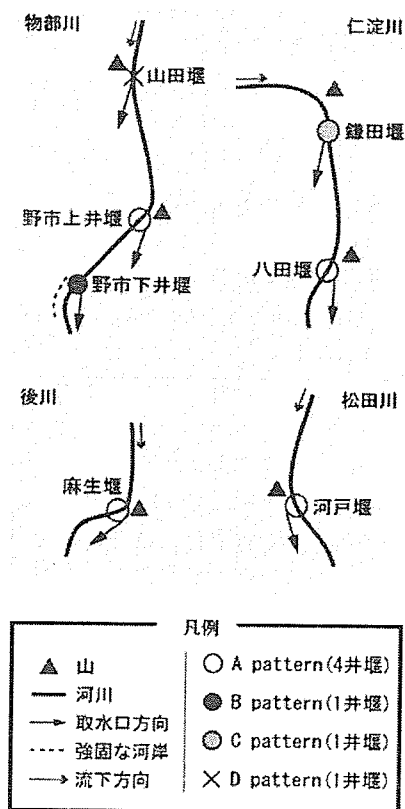


図-7.堰の立地模式図(作成：崎谷)

#### ・ A pattern

堰が立地する地点の上流において、山があり、河道線形はこの山によって、湾曲する。堰はこの湾曲した直後に立地しており、取水口は山側に設けられる。まず、この地点に堰を立地させることによって、洪水の流れを堰本体が直接受けるということから守ることができる。さらに、下流平野部に広く配水を行うためには、取水起点の海拔がより高いことが望ましい。また、河道が湾曲した直後の河床は、そ

の位置が安定しており、従って低渇水時も安定した流れが存在する。野市上井堰(物部川)、八田堰(仁淀川)、麻生堰(後川)、河戸堰(松田川)がこのパターンである。

#### ・ B pattern

堰の立地地点上流に山は無い。河道線形が直線に近い地点に設けられる。野市下井堰(物部川)のみがこのパターンである。堰の立地としては、上流の堰を補足する形での立地と考えられる。

#### ・ C pattern

堰の立地地点上流に山があるが、取水口が山側でない。河道線形が大きく湾曲した直後に立地するので、上流内岸砂洲の安定度が高く、取水口付近には安定した淵が形成される。鎌田堰(仁淀川)のみがこのパターンである。取水口付近に安定した淵が形成されたために、立地地点として選ばれた。

#### ・ D pattern

扇状地の頂部に立地し、取水口は山側に設けられる。海拔が高く配水能力に優れる。しかし、強い洪水流が当たる地点でもあり、上流から運ばれてきた土砂の堆積が著しく、堰の維持管理面からみると、難点が多い。山田堰(物部川)のみがこのパターンである。

以上、堰の立地に関しては、周辺地形、河道線形、受益地との関係から4つのパターンに分類することができた。さらに、A patternについては、野市上井堰(物部川)、八田堰(仁淀川)、麻生堰(後川)、河戸堰(松田川)の4井堰が共通のパターンで立地しており、堰の設計についても共通の原理で行われた可能性が高い。

### b)砂礫堆と堰の設置(placement)

次に堰の設置について示す。堰の設置については、堰の立地パターンの違いを受けてその特徴が異なる。以下にそれぞれの堰設置パターンの特徴について示す。(図-8)

#### ・ a pattern

立地の A pattern に属し、取水口を淵に持つ。堰は河岸とほぼ直角に設置され、平瀬を斜めに横断している。野市上井堰(物部川)、八田堰(仁淀川)、麻生堰(後川)、河戸堰(松田川)がこのパターンである。堰の平面形状は、平瀬の部分で下流に凸の曲線である。

#### ・ b pattern

砂礫堆の先端部に設置される。砂礫堆の前縁線に平行に近い形で、河道に対して斜めの平面形状である。取水口を淵に持たない。野市下井堰(物部川)のみがこのパターンである。上流の野市上井堰で補いきれない受益地を補足する為に造られた堰である。

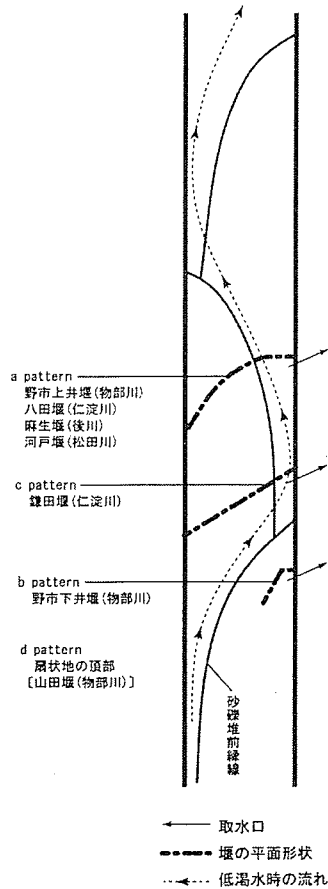


図-8.堰の設置関係模式図(作成：崎谷)

#### ・ c pattern

取水口に淵を持つが、堰が前縁線を横切る位置が a pattern より上流にある。鎌田堰(仁淀川)のみがこのパターンである。

#### ・ d pattern

扇状地の頂部に立地しているため、設置に関する砂礫堆との位置関係は不明。扇状地の頂部なので土砂堆積が多く、堆積した土砂を利用して設置したものと思われる。堰の平面形状は、斜めの部分に直線部を多く含み、一部下流に湾曲している。山田堰(物部川)がこのパターンである。

以上、調査・分析のまとめ a)及び b)から、曲線斜め堰は立地に関しては、A pattern の湾曲河道直後の山側に取水口を持つ堰が特徴的であった。設置に関しては、a pattern の淵に取水口を持ち、平瀬の部分横断する堰が特徴的である。対象の7井堰中、4井堰〔野市上井堰(物部川)、八田堰(仁淀川)、麻生堰(後川)、河戸堰(松田川)〕が共通の堰の立地、設置条件を持っていた。

### 4.既存の見解と曲線斜め堰の特徴との比較

#### (1)砂礫堆前縁説との比較

砂礫堆前縁説では、前縁線に沿って築造される堰が、

「洪水に対する堰の安全性」の観点から最も理想的と考えられ、取水地点の選定に伴って堰をずらすことで築造されたと考えるものであった。取水性を求めて、理想の位置から遠くなればなるほど、堰本体の安全性は低下する。つまり、砂礫堆前縁説においては、「洪水に対する堰の安全性」が重視された説であると言える。

一方、曲線斜め堰に見られる共通の特徴として、まず取水口の位置が流れの淵にある。これは、堰の立地に関して、まず淵の存在が重視されたと言える。これは、堰の「取水性」を重視したということでもある。

#### (2)系流し説との比較

系流し説は、特に堰の設置に関する原理であった。曲線斜め堰は、取水口側の河岸と接する堰体は、河岸とほぼ垂直して交わっている。川を横断する場所は、平瀬の部分に当たる。平瀬は、河床材が細かく密なため、止水性に優れている。また、河床の縦横断形状は起伏が少ないため、施工性にも優れている。平面形状は、この平瀬の流れにほぼ直行する形で下流に曲線的な膨らみを持ちながら横断している。この平瀬の部分の曲線設計に系流しが利用された可能性は高い。

### 5.曲線斜め堰に見られる共通の特徴

以上の、調査・分析及び比較検討をもとに、兼山の築造したと言われる曲線斜め堰における共通の特徴として次の点が挙げられる。

#### 一堰の立地一

①堰の立地は、上流に山があり、その山によって河道線形が湾曲した直後にある。洪水の流れは、堰直前で山に当たって減勢され、構造物の安全性に寄与する。さらに取水起点の標高の面から堰の排水性が高いと言える。またこの地点は、安定した砂礫堆が形成されるので、安定した流れによる取水性、安定した河床による施工性に優れた地点でもある。

#### 一取水口一

②取水口は、流れの淵から少し下流に下がった地点に設けられている。堰の恒常的な取水性を考えれば、低濁水時でも水が届きやすい、淵に近い地点に取水口を設けることが理想的である。また、取水口の施工性を考え、施工可能な地点を最終的に選択したと考えられる。

#### 一河岸と堰の設置一

③取水口側の堰体と河岸は、ほぼ垂直に設置されている。堰と河岸の設置部は、ひとつの特異点であり、堰や取水口に悪影響を及ぼす局所的な流れを作らないように、垂直に近い角度で設置した。

#### 一平瀬の横断一

④堰は平瀬を通過して、川を斜めに横断している。平瀬は、河床材が細かく密であるため、止水性が高く、さらに河床が縦横断に渡ってなだらかなので、施工も行い易い。

#### 一平瀬の横断形状一

⑤堰は平瀬を渡る部分で下流に曲線的な膨らみを持ちながら横断している。これが、曲線斜め堰の最大の特徴である。

## 6. 淵取水平瀬横断説

最後に、本研究の結果として曲線斜め堰の立地、平面形状の設計についての仮説を提示する。

### (1) 取水口の位置を決定。

山によって河道線形が湾曲し、淵が形成された地点に取水口の位置を決める。

低渇水期における取水の恒常性の向上、受益地への配水性に効果がある。

また、洪水の勢いは、堰上流の山に当たって軽減される。(図-9)

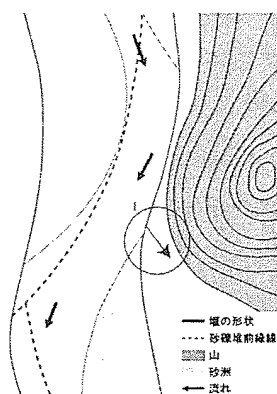


図-9. 取水口の選定(作成: 崎谷)

### (2) 堰と河岸との設置。

取水口の下流部で、施工上有利な地点において、堰は河岸に垂直に取り付けられる。さらに堰は平瀬の流れに当たるまで、横断方向に直線で延長される。

河岸と直角に接合することで、流れの局所化を軽減し、堰の安全性の向上を図る。(図-10)

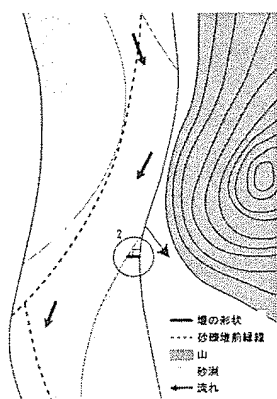


図-10. 河岸と堰の設置(作成: 崎谷)

### (3) 平瀬を横断する。

河岸からの延長部と平瀬の流れ交点 a から、手前の砂洲の縁に直行して直線を取り、対岸の砂洲との交点を b とする。線分 ab の  $\alpha$  倍 ( $\alpha$  は予め決めた定数) の長さの糸を、a 点、b 点到固定し、平瀬の流れによってできる糸の形状を、堰の横断線形とする。

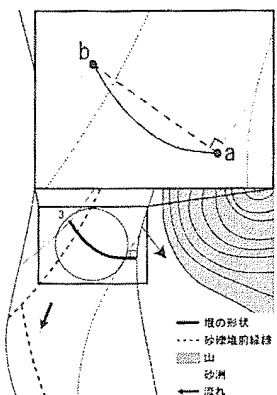


図-11. 平瀬の横断(作成: 崎谷)

平瀬の流れの力に沿った形状をとることで、堰が流れの力を一様に受け、低渇水時に堰にかかる局所的な力を軽減し、堰の安全性を図る。

また平瀬部分は、河床が平坦である為、施工上有利である。そして、流れを横断する地点が、比較的河床が高い部分を渡することで、堰本体の高さを低く抑えることができる点においても、砂礫堆前縁説に矛盾しない。さらに河床材が細かく密であるので、堰の止水効果が高い。(図-11)

### (4) 対岸の砂洲上の線形。

平瀬を横断した曲線の接線方向に、直線で対岸まで延長する。

曲線部との接合点を滑らかにすることで、流れの力が局所的になることを避け、堰の安全性の向上を図る。

このように、堰全体が滑らかな線形を取ることで、堰にかかる力が一様になるように設計する。こうすることによって、平常時の堰に集中的な力が作用して、局所的に脆弱な部分を作らないようにする。(図-12)

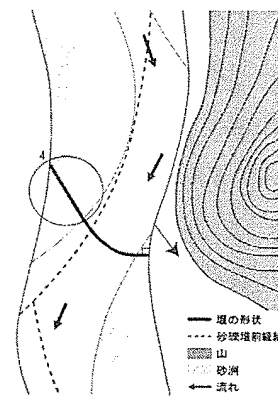


図-12. 対岸の砂洲上の線形(作成: 崎谷)

この曲線斜め堰の形状決定過程の仮説を、淵取水平瀬横断説と呼ぶ。この仮説では、堰の取水性ということが最も重要視されている。

以下に、改めて淵取水平瀬横断説が満たす「堰の取水性」、「洪水に対する安全性」、「施工性」についての合理性をまとめる。

#### 一取水性一

取水口が淵に設けられることによって、低渇水時にも水が届きやすい。さらに配水起点としての地表高さも持つことにより、配水性も併せ持つ。

#### 一洪水に対する堰の安全性一

洪水に対する堰の安全性については、次のふたつの側面から対応している。まず、洪水の流れが上流の山に当たって減殺される。さらに、堰全体が滑らかな線形を取ることで、流れから受ける力を一様に分散し、構造的な安定性を図る。

#### 一施工性一

堰は縦横断形状が比較的平坦で、河床材が密な平瀬部分を横断している。流れを横断する際に、施工上有利な地点を、渡っている点で合理的である。また堰の形状は、

糸を流して決めたと思われる。これは、堰にかかる水の力を一様に分散する点で合理的である。さらに、平瀬の河床材の特徴から、堰の止水性が高い。

## 6.おわりに

本研究では、曲線斜め堰の設計原理について、既存の2 説とは異なった視点による調査・分析を行った上で、曲線斜め堰の設計原理として、より妥当性の高い仮説を提示した。

さらに具体的な設計原理を求めるには、より詳細な河川工学的な見地からの考察と、近世当時の技術的側面との照合が望まれる。

日本の国土は、各地においてあらゆる自然条件のもとにその風土が形成されている。最もその違いを顕著に見ることができるのが、河川である。

近代的な材料や技術が発達する以前は、それぞれの土地の特性に応じたモノ造りが行われていた。堰を河道に斜めに築いたことも、そうした土地の特性を生かした結果のひとつであったに違いない。確かに、技術の高さや材料の強度は、現代と比べ稚拙であったかもしれない。しかし、我々の先人達は現代よりはるかに優れた“自然に対する観察眼と知恵”を有していた。そして我々が完全に見失った“自然の摂理を巧みに利用する技術”によって、猛威を振るう自然をなだめ、なんとか折り合いをつけながら生活をしていたのである。

そう考えると、曲線斜め堰の形が発するメッセージに対し、近代的な視点による科学的な解釈だけを行うのではなく、その裏に隠された土地の風土や自然と、先人達が残した技術に対する畏敬の念を顧みずにはいられない。

最後に、本研究を行うにあたり、多大なご協力をいただいた方々に、厚くお礼を申し上げます。

以上

## 参考項目・文献、その他資料

- 1) 大年（高知大学農学部）は、一般的な斜め堰とは明確に区別されるべきものとして、高知県内に見られる曲率の大きい曲線を含む斜め堰を、こう定義した。（土木史研究 第18号、1998年5月）
- 2) 近世を代表する土木事業家の一人。土佐藩主山内氏の一族（兼山は、初代藩主山内一豊の妹合の孫）で、執政時には藩内の大々的な土木事業を数多く手掛けた。事業は新田開発、築港、町の創設など多岐に渡る。
- 3) 筆者による言葉の定義。1972年、三輪（山形大学農学部(当時)）は、「わん曲斜め堰は、その移動(前進)が抑制された砂レキ堆のクレスト(河床の高まり部分)に沿って設けられた堰である。」(後述<sup>10)</sup>pp81より抜粋)と定義づけた。この際、明確な説の名前が無かったために筆者は砂礫堆前縁線説と呼ぶ。
- 4) 『日本の河川—自然史と社会史—』（小出博著、昭和45年9月）
- 5) 『日本の河川研究』（小出博著、昭和47年3月）
- 6) 『川を見る—河床の動態と規則性—』（井口昌平著、昭和54年9月）
- 7) 『川の個性 河相形成のしくみ』（須賀克三、平成4年2月）
- 8) 『沖積河川学』（山本晃一著、平成6年9月）
- 9) 『砂レキ堆の位置が安定化する流路形状』（木下良作・三輪式、新砂防94、pp12・pp17、昭和49年12月）
- 10) 『砂レキ堆とわん曲斜め堰』（三輪式、水利科学85号 pp77～pp95、1972）
- 11) 『砂レキ堆からみたわん曲斜め堰の合法則性』（三輪式、農業土木学会論文集(76)、1978）
- 12) 『歴史的曲線斜め堰の線形に関する実験的研究』（大年邦雄ほか、土木史研究第18号、1998年5月）