

近代黎明期における河川改修計画についての一考察

— 明治29年2月発表の斐伊川改修計画を具体的事例として —

国工庁 正員 松浦茂樹[○]
建設省 正員 小本晃一

まえがき

斐伊川は、日本の川の中では特異な川である。川幅は広く、平水時には氾濫のうらこのような砂州が発生し、土砂の移動が激しい河川である。この処理の難しい川で、近代の高水工事計画の先駆となる調査が、明治20年代に閑屋内務技師試験によって行われた。本報告では閑屋試験の調査を紹介して、今後の河川改修計画の発展を期すため、明治以降の考え方の変遷を考察する一助としたい。

1. 本報告の位置づけ

本報告は、明治29年(1897)2月に発表された斐伊川改修計画に基づき、その当時の洪水防衛計画の考察を行うものである。この計画は、閑屋内務技師試験により、明治26年から27年の2年間の調査に基づいて作成された。その記録は「閑屋内務技師試験取調に係る斐伊川治水調査顛末並に改修設計説明書」として残されている^{注1}。本報告は、この説明書によって考察を進める。

調査が行われた明治26～27年(1894～1895)は、我国の近代洪水防衛計画の歴史から見て、非常に早い時期である。鉄道が発達によって斜陽化の傾向にあるとは言え、未だ河川では舟運の役割は大きなものであった。斐伊川でも部分的ではあるが舟運が行われ、地域社会に大きな影響を持っていた。国による洪水防衛工事(高水工事)が法的に整備された旧河川法の成立は明治27年(1897)3月である。また全国の主な水系で本格的な高水工事が行われるようになったのは明治44年(1911)の第一次治水計画の樹立以降である。これよりみても明治29年2月の高水計画は我国の近代治水工事計画の中で非常に早い時期のものであることが分かる。

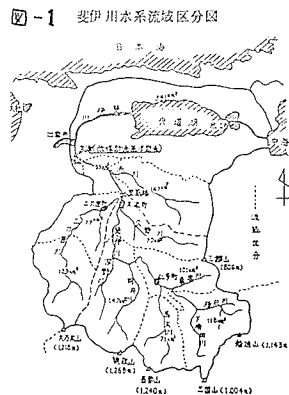
この時期を河川法の成立後、即座に国による直轄工事が国会で上程され通過した淀川と比較しよう^{注2}。淀川は明治18年(1886)の大水害後、地元より国による直轄工事の要望が強く行われた。明治24年(1890)度より地元支出による測量が行われ、国よりも沖野忠雄に調査・計画が命じられた。沖野は明治27年(1895)6月に内務大臣に計画意見書を提出したが、その後28年8月に「淀川高水防禦工事計画に関する進申」を提出した。これが改修計画となって明治29年より工事が着手されたものである。このように淀川と比較しても明治29年の斐伊川改修計画は非常に早い時期のものである。

本説明書でも注目すべきことは閑屋内務技師試験という日本人技師によって行われたことである。明治10年代までの河川計画(治水工事が主目的であった)は、オランダ人を中心とした外国人の力に負う所が多かった。20年代に入り、西欧留学より帰国した日本人技師に、河川計画の主導権が移ったが、閑屋技師試験の調査は、この時期の日本人河川技術者の河川改修計画の考え方を示すものと言ってよい。本説明書は、明治以降の河川改修計画の考え方の変遷を考察していくための基礎となるものと思われる。

2. 河川改修計画から見た斐伊川の特徴

斐伊川は島根県西部に位置し、穀倉地帯・簸川平野を流下した後、突道湖、中海の両湖を経て日本海に流出する。流域面積は、中海流入地点で1,345 km²(突道湖流入口で924 km²)、その内平野面積は127 km²、突道湖面積100 km²で残りが山地である。突道湖と中海との連絡は、大橋川によって行われ、その最上流部に松江市が位置する。

突道湖から外海への流出は、この大橋川と18世紀終りに人工的に開削された



佐乾川によって行われる。しかし両川の疎通能力は非常に小さく、出水時には突進湖で水位上昇が生じ、周辺に大きな被害を与えた。近年では昭和47年水害が記憶に新しい。

斐伊川の特徴は、箱川平野部での著しい矢井川形態である。この状況は、我国ではその例を見ない程のものである。上流山地が花崗岩の風化物でみまわり、その流出によってこの形態が形成され、河床はマサより構成されている。これに「鉄穴流し」という砂鉄採取に与るところが大きかった。マサを切り崩し比重の差によって採取するのであるが、これによって流出する土砂量は膨大であった。突進湖もこれらの影響によって埋没し、江戸時代には2,350町の水田開拓を見ている。また明治17年(1885)から昭和10年(1935)までに300万 m^3 埋没した。

表1 大津地点の最低水位5年平均⁴⁾

西暦	年号	大津
1890~4	M23~27	0.39
1895~9	M28~32	0.42
1900~4	M33~37	0.52
1905~9	M38~42	0.60
1910~4	M43~T3	0.65
1915~9	T4~8	0.70
1920~4	T9~13	0.82
1925~9	T14~S4	0.91
1930~4	S5~9	0.83
1935~9	S10~14	0.77
1940~4	S15~19	0.63
1945~9	S20~24	0.82
1950~4	S25~29	0.97
1955~9	S30~34	0.99
1960~4	S35~39	0.77
1965~9	S40~44	0.20
1970~4	S45~49	0.07

大津M27
~S49
矢沢M34
~M38

零点高 T.R+12.236m

鉄穴流しは明治時代まで盛んに行われ、それによる河床上昇は表-1の大津地点の最低水位の経年度変化で見うように著しかった。昭和に入ってから、改修工事による堆積土砂の掘削、戦後はそれに加えて砂防堰堤の築造、骨格としての採取が行われて河床上昇の傾向が変動したが、基本的には昭和30年代(1955)前半まで河床上昇が続いていた。

本説明書が発表された明治20年代後半の斐伊川は、平地部出口で新川を分流する。この新川は天保2年(1831)に人工的に造られたものである。斐伊川本川はも流ないしう流に分かれ突進湖に流出した。この当時の上流山地よりの土砂の流出は非常に著しく、突進湖での水田開拓も盛んであった。平地部河道の高水敷は広く、低水路沿いに支堤が設置されて水田が開かれていた。また河幅の広狭はばばだしかつた。

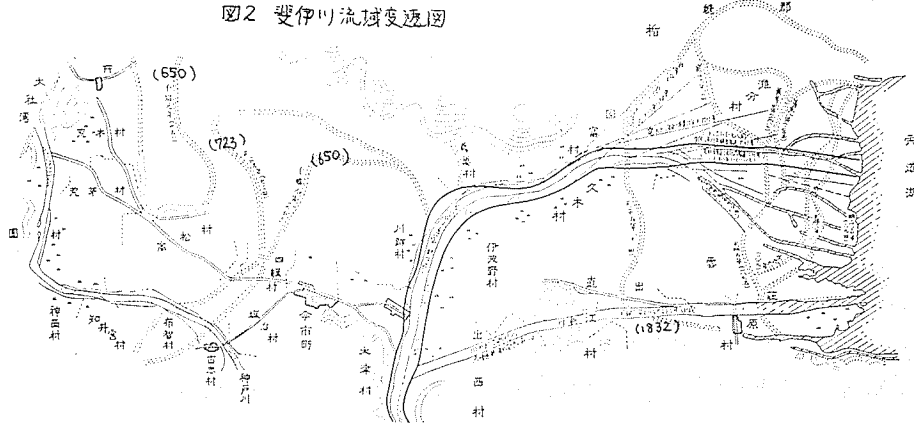
3. 斐伊川における本計画の位置付け

斐伊川において、近代改修計画として樹立されたのは、本計画が最初である。しかし実施するには到らず、工事が着手されたのは、遠く大正12年(1923)の内務省斐伊川改修計画以後である。大正からの工事で新川は閉じられ(1938)、斐伊川河道は本川のみとなり、下流部は一本の河道に整備され現況の平面形と同一の姿となった。この時の計画高水流量は大津地点で3,600 m^3/s である。この後、第二次大戦後に於て河床の上昇による河積の減少が憂慮され、昭和20年(1945)より土砂の掘削、昭和45年(1970)ごろより0~7km地点の水判による低水路の整理が行われた。^{注8)}また上流山地でも砂防堰堤が設置された。

この大津地点での計画高水流量3,600 m^3/s は、関屋試補によって算出された明治26年10月出水量より定められたものである。すなわち河道計画の基本である計画高水流量は、関屋試補の計画が近年まで引き継がれていたのである。計画高水流量の改訂は、昭和47年災害等が契機となり昭和51年(1976)に5,100 m^3/s となった。

試補の河道本線計画を見ると、二段構えの計画となっている。一つは新川、斐伊川本川(下流部の矢川を整理して一本とする)

図2 斐伊川流域変遷図



の二本で突進湖に流入させるもので、当時の河道の整理、整備と言ってよい。この計画は、家屋の移転、水田の浸没が少なく、用地問題で地元

とそう大きなめづれを主じないと思われものである。(実際には、大正12年の淀川整理事業は地元の反対があり、斐伊川改修設計変更期成同盟会が結成された。用地交渉が解決したのは大正15年のことである。)⁴⁾しかし、大橋川、佐紀川という疎通能力の低い二本の河道で外海とつながっている突道湖は、土砂の流出によって年々埋没し、その容積を減少せしめている。このため築堤や河口位置の改変によって一時的に水害を防御しても、突道湖の水位上昇を中心として再び問題が生じるであろう。このため根本的な解決策は突道湖と斐伊川とを一体として抱えて計画せねばならない、と結論づけた。この考えより次の三つの案を提出した。

1案、突道湖貯水を完全ならしめ高水の時と雖も著しい水位の昇騰する存からしめる事

2案、斐伊川水流として突道湖と全然絶縁せむ事

3案、斐伊川水流の一部を限り突道湖に流入し他は別に流路を求めて突道湖以外に放水する事

このうち第3案は、新川をそのまま突道湖に流入させ、新川分岐点より下流の平野部で大社湾へ抜く放水路計画で、この案が最も好ましいものとした。平常時には新川を流下して突道湖へ全量流入させ、洪水時には、その一部を大社湾へ放水させるのである。外海への出口は神戸川の河口である。

この理由を見ると、第一案は突道湖より日本海に向け非常に幅の広い河道を造らなければならず、地質等のことも考慮すると実行不可能と判断した。第二案は、突道湖と斐伊川を全く遮断するので、突道湖が塩水化してしまい水田かんがい、上水、湖面漁業に深刻な影響を及ぼすこと、湖水の流動がなくなり水の腐敗が生ずること、さらに突道湖への土砂流出がなくなり新田の造成が行われなくなること、また松江市経済の死命を握っている大橋川の舟運が流水がなくなり、大きな支障を生ずることの点より、この案を否定した。

実行すべきだと提言した第三案は、関屋試補が初めて提案したものではない。斐伊川が突道湖に流入するようになったのは、江戸時代初期であり、それまで大社湾へ流出していた。この前史から見ても、自然条件的には大社湾へ洪水を流出させる。このため藩政期でも松江市が大水害に見舞われた後、大社湾への放水路計画は構想されていた。この歴史の流れの中から試補の大社湾への放水路計画が提出されたとしてよい。

昭和51年(1976)改訂され、大正12年の計画からの河道計画を大きく変える現工事案設計画は、14~15km地点で斐伊川放水路を開削し、放水路2000m/s、本川2500m/s、放流開始流量400m/sの計画となっている。この放水路の位置は、関屋試補の案とは多少異なるが、試補の望んだ斐伊川の根本的な治水対策に近づくものとなった。このように関屋試補の計画は、その後の斐伊川改修に大きな影響を与えたことがうかがえる。

なお本報告では以降大社湾への放水路計画を単に放水路計画と呼ぶことにする。

4. 関屋試補の河川改修計画の内容とその考察

河川改修は、地域社会の安定とその発展のために行われる。地域社会からこの河川改修である。このため地域社会と斐伊川の関わりを関屋試補がどのように抱えていたのかを考察し、その後河道計画について論じよう。

(1) 地域社会と斐伊川の関わりについて

1) 防御区域

治水工事を行う区域は、大原郡日登村と定めたが、その理由は主に事業の初果と下流への影響である。

事業の効果として、「工費従来のものに比し一層巨額となるべしなり費額の天なる散て不可なしとするも依て以て浸水と免るべき土地の広狭等普く考究せざる可らず」とし、不幸にして浸水しても、格別な被害がなく、土地の欠損、あるいは土砂の埋没する事態が免れれば満足しなければならないとした。またここでの高水工事は「下流然旧経要なる地を益すること少からず故にメリットがないこととあげている。

同様に日登・出西間についても、地勢、土地利用等の下流との関係のみで、簗川平野の出口に当たる出西を境にして平野部に入ることより、出西より下流での氾濫はその影響区域が大であり、当区域(出西より下流)の高水工事は最も重要な事と指摘する。この下流防御のために日登・出西間は高水工事を行わないことを主張した。具体的には、次のようである。

山間部では、その地形条件によって非常に狭くなっている所があり、その上流に逆流し、被害を出している。しかし、ここを拡大すると「広く下流の沿岸を危くする其の害の及ぶ所差今日の比にあらざる可し」と狭く部の拡大を否定する。この代りの対策として溢流堤方式、土砂の堆積による土地の上昇を計る。つまり、「高水の時、容易に水として広く此辺一帯の低地に氾濫せしむるなり、斯の如くは比較的所要ならざる地として暫時浸水せしむる結果は土地として漸々隆起し同時に生産力を増進するの外広く下流を利益するのみならず上流といえども現況に比し尙数倍の安全を得るの利あり」としている。

このように関屋試補は治水計画とその事業効果より流域全体から判断する。氾濫区域の大きさを目安にして、当該工事の下流への影響の大きさを考察し、これで流域を包んでいたのである。

ii) 水田開墾について

先にも見たようにタタラに起因した土砂の流出は激しかった。突道湖河口での土砂の堆積は尤で、河口の前進は尤かった。この新たな堆積面上に水田が開かれていった。関屋試補が述べるようにすれば、藩政期の松江藩の治水目的は、「常に新田増設若しくは射利を以て一大要件とせざるものなし」であった。新田増設が目的であり、治水は第二義的であった。これに加えて農民による自主的な開墾もあって、せっかくの河も狭められ（高水敷の水田化）被害は激しかった。

関屋試補は、このような治水を犠牲にした新田開墾には、強く反対する。しかし秩序ある水田造成は強く推し、事業の効果の一つと認識していた。大社湾への放水路計画の大きな利点として、新川を通じての突道湖への秩序ある土砂の堆積、それの開田の利益をあげている。試補の治水目的の中に開田を含む流域の開墾の視点が含まれていることは興味深い。

iii) 低水工事との関連

斐伊川における舟運の始まりは、寛文4年（1664年）に上納米の輸送に始まったと言われている。仁加郡方面から米その他の物資が馬により運ばれ、木次から舟で出雲平野部に送られたが、享保6〜7年（1721〜22年）の洪水により流水に異常を起し舟運は不能になり、その後中止、再開を繰り返していた。斐伊川のように川幅が広く、天井川の河では、終年を通した舟運は不可能であったといつて良い。明治20年代に舟運が行われていたのは新川と大橋川であった。

新川の低水工事については関屋試補は、高水工事との関連で、その当時行われていた低水工事に手まじしい批判を加えている。この低水工事は、低水、平水時もうまく機能してならず、高水の時その疎通に支障を生じ有害であるとし、このため「完全なる低水工事」を行うのか「全然撤去して一物の残るからしめる」よう行い、洪水を計画高水位まで下げることを主張した。

一方、突道湖と中海を結ぶ大橋川は、「低水工事完全なるものは低水の時一定の水深を保ち航行に便益々々するのみならず亦能く洪水の時流心ここに判定せしむるを以て最も円滑なる便流を見るを得へし。」と低水工事が高水防衛にも有用であることを主張する。

このように低水工事と高水工事の関連は河川の状況によって異なると認識している。

iv) 内水問題

下流部の広大な水田地帯の内水排除も大きな課題と認識していた。河道法線計画を検討する際には「深く警戒せざる可らざるの一大要件」と位置づけていた。この課題は、天井川である斐伊川本川河道による平野上、中流部の内水の遮断のみが対象でない。下流部の分排水路の整理によって河道が一本になれば、その水路から出る流出土砂および新川からの土砂によって在来の分排水路の流路が閉塞し、多くの耕地で排水の道とない、大被害を被ることを強く懸念していた。このように斐伊川洪水防衛計画の中には穀倉地帯の内水問題も一体となって検討されていたのである。

(2) 河道計画について

1) 河道計画作成の手順

試補の考え方は、「その地形に応じ高水の時最大流量を流送するのに適する河敷を一定し勾配を整調し底曲を矯め然る後堤防をして強固ならしむ」の言に端的に示されている。

設計の基準は、「高水工事（洪水防御堤防の類）の設計に当り最も所要欠く可からざるものは、最大流量とす」と述べているように流量である。（本報告では設計対象流量と呼ぶ）この流量が通過する河道断面を定め、築堤の必要な所では余裕高のある堤防を築いていく。

この方式は現在の河道計画の考え方と同様と言って良い。

1) 設計対象流量の定め方

調査中に生じた明治26年、27年の出水しかデータがなかったため、この兩年の出水を基にして水理解析が進められた。特に明治26年10月14日の出水は非常に大きいものであったので、この「出水最高時をもって測定した水位及流量を標準」とした。この出水の大きさについて「稀有の大水なりしに相違なしといえどもこれをもって直ちに古来斐伊川における最大流量と見なすを得るやいなや既往における、更に一層大なる出水の有無を追究するは最も必要なこととす。」と述べ、その程度について今後の調査が必要なることを指摘する。なお維新以降の大出水である明治2年、6年、19年の出水については、「常時の流量水標の設なく爾來河床に変動を生じ到底充分信を指くものなし」としながらも、明治26年出水と比べて大差ないものであろうと評価した。確率的にみても1/50の年超過確率をウリヤーする洪水を対象としていいと言っている。（その後の流量観測資料によると、閘屋試補の評価した3600 m/s は1/50年程度の確率となっている。）

洪水流量は、量水標水位に基づく水面の勾配により計算される。斐伊川の場合「その設備未だ充分ならざるを以て最も精密にこれを知るには量水標の外別に必要なる処には出水最高点を知るの目標を設け以て確算なる水位を起算」した。

斐伊川での量水標は、明治21年頃約17年間27ヶ所で設けられた。しかしこの時の観測は「全く児戯に類し更に参考にするの価値なし」のものであった。その後明治26年9月に量水標が設置され観測された。この観測は、「継続すれば独り治水事業のみ限らず益する所甚大なるべし」にが、「任々監督者及番人は量水標の貴重なるを知らず漫に輕視して怠慢に附せ去り水位のねまも時々点検の禁を忌避し恣に観測表を調製し一時の責を免れんとするものあり」と抱えている。しっかりした観測の必要性を指摘する。特にこれより出水とともに確実に水位を観測していた6里10町地点に量水標を置いて常時水位を観測すれば「一層水理の精確を認識し得る」とし、水理解析における水位観測の重要性を指摘している。

水理計算は「河状百成正直にして流心一方に偏せず、勾配又着しき変化なき所において穏当なる横断面」で下記の Ganguillet-Kutter 公式によって行われた。

$$V = C \sqrt{RI}$$

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.0155}{I}}{1 + (23 + \frac{0.0155}{I}) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

フッターの粗度係数は $n = 0.0276$ を使用している。斐伊川の場合 本式によれば $C = 45 \sim 50$ 程度であり、これは流速係数 $\phi = V/\sqrt{gh} = 15 \sim 16$ 、マンニングの粗度係数 $n = 0.025 \sim 0.027$ に相当する。（近年の粗度観測によるとマンニングの n は、 $0.03 \sim 0.035$ 程度と推定される。閘屋試補の推定粗度は多少小めに評価していると言える。閘屋試補が使ったフッターの粗度係数 n の根拠は明らかにし得なかったがヨーロッパでの観測に基づいたものと推定される。）

以上の算出方式の下で、設計対象流量は明治26年出水を基にして定められた。具体的にその流量を見ると赤川合流点より新川分派点までは、評価流量12万4千立方尺（3445 m/s）なので13万立方尺（約3600 m/s）と定め

られた。この流量評価の元になった水位には、上流での氾濫は加味されていない。しかし「上流に於ける破壊超過氾濫は堤防の有無は更に下流の流量に影響し」と述べているように、上流での氾濫は下流の流量に大きく影響することは指摘されている。一方、新川と新川分派点下流の斐伊川本川では、前者は約6万5千立方尺(180%)、後者は約10万立方尺(278%)と決定された。明治24年洪水では、新川6万3千尺、本川は10万4千立方尺内外と算出されていた。この両川合わせた流量は、その上流と比べて約4万2千尺(168%)も大きい。しかし、本川は川幅が広大で乱流をなし、河床が乱雑なこと、勾配に不連続の有ることにより信頼性が悪い。このため新川は5万5千から6万立方尺、本川は8万立方尺と推定された。だが、「逆風の流水に防遏すること及び其出水の度将来一層大なるなまを係し難きを以て其水量の仮定過大なるものは却て安全なり」との認識により、前述の値が設計対象流量と定められた。このように新川、新川下流本川では逆風によって水位が上がることに、将来大きな出水が予想されることから安全側に定められたのである。

逆風による水位上昇も設計対象流量の中に含まれたことは非常に興味深い。この風による水位上昇について今日の考えを見ると「洪水時の風浪、うねり、跳水等により生じる一時的な水位上昇」と述べられ、この一時的な水位上昇は、堤防の余裕高とるように定められている。一方、「計画し予想すべき河床変動による水位上昇、湾曲部の水位上昇、水理計算の誤差等については、計画高水位と決定する時に考慮されるべきもの」と常時生じるものは計画高水位の中に含まれることが定められている。本計画の風による水位上昇が一時的なものと考えるか常時のものとするかは判断の分れる所であろう。

以上のように本計画では設計対象流量、既往実績を基にして定められた。

これに対し現計画は150年に1回生ずる確率の降雨(2日雨量379mm)が基本に置かれ基本高水流量は5100%と定められた。

iii) 河道水理の考え方の特色

今日の河道水理の把握法は、「河道の状況に応じて等流または不等流計算を行うものとする」と等流か不等流の二方式のいずれかを用いるように定められている。さらに「大河川のように現状の河道を重視して改修する河川では……略……原則として不等流計算による。」と定められている。これに基づき今日の斐伊川の河道計画は不等流計算を基本において設計されている。しかし先に見たように明治24年計画ではKutterの式を用いた等流計算で行われた。

この明治24年9月計画で注目すべきことは、水位の不連続が非常に強く意識されていることである。「水位の昇降不同なると勾配の緩急趣なりなま」とめいはい「階段上の水位」と述べられ、その不連続は度々指摘されている。この不連続現象をもたらす理由は、山間部、新川峡谷部では自然地形による河の広狭、不自然な屈曲、堤外にある支堤の影響である。このような河道の状況は不等流計算には適合しないものと言ってよい。今日の大河川における不等流計算の適用は、近代改修による河道の整備とその前提に据っているためである。

また興味深いことは、風による水位への影響を強く意識していることである。特に逆風による水位の上昇を強く懸念した。大社湾への放水路案が優れている理由として「従来水害を誘発する東光風は此水路に対し順風に於て現在の河流と利害全く相反す」とその方向が順風であることとあげているのである。あまつさえ「元来洪水は独り風のみに原因せず、偶強大なる降雨相配合するものに原因するなり」と洪水に対する風の役割を非常に大きく取り扱っている。さらに「一方の勢力を利用して以て他を制するを得ば、一層水流の快流を見むを得べきなり」と両者の力を巧みに利用することまで主張する。

今日の風による吹き寄せによる水位上昇量の評価法^{注5)}から見れば、関屋試補の風の影響の強調は奇異な感じがしなくてもいいが、今日に比べての貧弱なところとした出水にも危険にさらされる堤防の状況のため、風の影響が相対的に大きかったためであろう。また突進湖の北東風による吹き寄せ水位上昇の認識を通して、この強調が行

われたと思われる。

iv) 河道計画

基本方針は、「底曲不規則・硬不同」なる河道の整正、堤外、堤外にある小堤の撤去ないし整備を行い、計画高水位を下げ、それに見合った強固な堤防を築くことである。計画高水位は設計対象流量を基本として Kutter の式により求められた。堤防の余裕高は計画高水位以上一丈ないし二尺増水しても安全なように三尺と定められた。この余裕高の考え方は現在の余裕高との考え方とは異なる。

計画高水位以上三尺をとった理由は明確ではないが、計画高水位上二尺の増水が考慮された放水路でみると、この二尺は新川の設計排水量 6 万 5 千尺全量が流入した時の水位である。新川の河床変動によって全量放水路に流入することも予想していたのである。これよりみると計画における不確定要素を配慮して定められたものと推測される。

なお、河幅は各区間で標準を定め、それを基準として計られた。基本的にはその当時の河幅の尊重と言って良い。

v) 反川での合流点処理

合流点処理について、久野川、赤川で検討されている。木次町で合流する久野川について見ると、久野川からの洪水は「本流の中心の堤腹に衝突するものの勢力を削るに適した此辺一帯の堤防を防護するに足る」と断っていた。久野川からの洪水が斐伊川本川の洪水エネルギーを弱めることが強く意識されたのである。このため本川護岸は直らには必要ではなく、久野川出水がぶつかる地点に護岸すれば良いと判断された。洪水をもって洪水を制御しようとする考え方が強く出ていたと言っている。

赤川については調査が十分なので具体的な計画は述べていない。しかし赤川のように反川の勾配が緩やかなものは本川からの逆流が大きなので合流点の水位を下げると大きな効果があると指摘している。

vi) 溢流堤

上流の山間部と突道湖流入口付近での設置を計画していた。山間部での設置目的は、先にも見たのであるが、下流へのピーク流量増大の防止と土砂堆積による氾濫地の地上げである。溢流堤は「一挙兩得の法」と評されている。

一方下流部での目的は、明治 25 年出水で生じたような突道湖の異常な水位上昇、それによる斐伊川の河口部付近の水位上昇を考慮したもので、河口より 4 町 (0.4 km) から 12 町 (1.2 km) までに計画された。異常な水位上昇を河道内に収めることは放棄されたのである。なお 4 町より下流は無堤である。

vii) 下流部での湾曲計画

斐伊川本川が幾筋にも分かれている流末部は、一本に整理する(第一段の計画)。その法線形態は、「堤防を可成長たる半径を有する円弧により蛇行せしめるにあり」と湾曲させる計画である。何故にこれが妥当であるかについては述べられていない。「計算するに幅員百間(180 m)以上の河川にあっては、若し半径千間(1800 m)以上に達するを得ば水位の毀岸に偏騰する事一才満たざるを知る」とし、当計画では千間以上(注1)では十間となっているがタイプミスと思われる)の半径を用いて、対岸は一尺(30 cm)程高くするものであった。

現河川砂防技術基準(案)では「底曲による水位上昇が無視できない場合には水位上昇を考慮」して計画を定めるものとされている。また法線形は「湾曲の少ない、できるだけなめらかな曲線とする。」と述べられているだけである。

viii) 土砂対策

上流部から流出してくる膨大な土砂は、先にもみたように突道湖でのコントロールされた新田造成、上流山間部での低地部の地上げと積極的に利用する計画であった。ここでは河道計画との関連で流出土砂を検討する。

突道湖流出口では、風、波浪によって逆流して河口に堆積することを防ぐこと。および流出を放置すると内水

排水口もふたぐらで「遮断せしめてる区域を定め以て河床を整調の外他に良法なし。」と論じている。しかし具体的な計画は定められていない。突道湖へ流出させる限り根本的な解決策はないと結論づけているためである。大社湾への放水路計画がこれらの問題を根本的に解決するものである。

放水路(第2段計画)への流入口には堰が設けられるが、出山下流の量水標に於いて平均水位より三尺高くなると流入するように計画された。また放水路では一定の河床の勾配を定めるために156丁(1.7km)ごとに洗堰を設け、出水によって土砂を堆積させて計画勾配を作るように計られた。

洪水時以外の流水は新川を通って突道湖へ流入する。新川の河床は「多少低滞することあり」と認識し、新川に床固圀床を施し、計画分水量を維持することが計られた。しかし、一方新川河口部には土砂が堆積し、その長さ、伸びるとともに河床も上昇する。その結果、新川への洪水の流入量は減るだろうと相異なつて評価を下した。

後者は、突道湖がかなり埋没するというような長期的な現象に基づいたものである。なお河床の上昇は、河口での堆積、それによる上流へ向けての上昇と河口から高くなると抱えられていた。

iv) 低水工事

低水工事は大橋川の舟運のための工事が考えられていた。その計画は、乱流している現大橋川を整理し、川幅40~45間の低水路を作ることである。水深は9尺(2.7m)とし、吃水6尺、船体の上下動3尺と考えていたのである。大橋川の河口はロート状の導流堤15尺(4.5m)の水深まで延ばし、導水を計り、水路内での土砂の堆積をより少なくしようとした。なお低水の大橋川の流速は湖汐により1尺6寸~2尺2分(0.5~0.79/s)と評価し、土砂は堆積しないとしている。^{注7)}

低水工事は河の屈曲、広狭が不安な箇所は土地を掘り、島州を割断し、浅瀬を浚渫する。さらに無用な水路は閉鎖し、低水法線が河岸から離れている所は割水をし、河岸に接する所は護岸が必要であることが主張されている。

x) 放水路の河口計画

放水路の河口部は、神戸川を若干、拡張し、両側の間に溢流可能な背割堤(説明書では隔堤)を設けて大社湾へ流出させる。この大社湾は、漂砂が激しく容易に河口閉塞が生じる厳しい自然条件を持っている。ここでの計画に閑居試補の自然を見る見方が非常によくできている。

試補は「神戸川の従来北海に朝する既応及び現在の形状並に其経歴を精密に調査したものと以て参考」とした。放水路河口の「将来を推測するのは重要な材料たるを失わぬ」ないからである。すなわち現状を「古来神戸川河口に於て実験した」ものと捉え、この観点から「最良にして同時に容易に変化を蒙らざる方向を撰て放水路の流末と定め通常風向及び潮流に正面せず。」計画を作成したのである。現況の自然状況をまず観察し、そこから自然の本質の把握に努めて計画を樹立するのである。風防対策として樺木を植えるが、その樺木は「最もよく乾燥地に適する」ものを選ぶ。そうしなければ「時々刻々数丈の丘岡基処と変転し人家及田園を埋没する」と認識した。自然を素直に見ようとする姿勢を強く感じさせる。

xi) 水利計画について

閑居試補は、放水路計画による斐伊川流域の利水秩序の変化に対する目くばりも忘れない。放水路の計画によって本川河敷の全部及び本支堤面積総計384haは開拓による利益を生むが、「従来用水を本流に仰ぎし幾多の地は別に適當の方法」を構ひなければならぬとした。左岸側は、わずかな放水路の付帯で旧来の水利慣行を維持しめるが、放水路以北の地で従来の高瀬川用水の灌がいに浴さなかつた地は、新たな灌がい水路、石造樋門を築造する必要があるとした。必要必要水量は、20町毎に毎秒一立方尺としている。これは水田での減水深12mm/日に相当している。この必要必要水量は今日の用水量(斐伊川直轄区域の既得水利権は24.391 m³/sで7,700haを灌がっている。これは26mm/dayに相当する。ただし斐伊川の実際の流量は平水で27%, 洪水で11~12

m/sでしかない。)の約半分である。どのようにしてこの値を求めたかは述べていない。水路は2条考えており一条はその当時の斐伊川右岸の支堤を以て水路にめて、他は放水路右岸の堤根に沿う計画であった。なお2条に分岐する所で流路幅を広くして、流速を遅くして河川中の砂分と沈殿させる沉砂池を考えている。本川 14.2 km 地点に有る有名な末原岩樋の利水施設の変遷史やその構造について深く学んでいたであろう。

xi) 突道湖右岸及び松江の水害対策

放水路計画によつて突道湖右岸および松江の水害が防がれることを関屋試補は突道湖の貯留量計算によつて主張する。

「突道湖水平面積は9億2千80万平方尺(約24km²)なり。之に松江市中最も低地なる南北田町の真高地(大橋量水標零点より起算して4尺)を標準とし、水位の之に達するまでは平水以上尚27億1千5百20万立方尺(103百万m³)の水量を要する割合にして、今新川により注入する最大流量毎秒6万立方尺(1670m³/s)とし、大橋川及佐陀川流量を合計したるもの2万立方尺(556m³/s)とすれば、差引4万立方尺(1113m³/s)の水量は一時期湖水に貯留するの理なり。」とし、この流量が続いても26時間貯留の能力があり、松江の水害に対して十分に安全になると評価した。

(3) 河川構造物計画について

関屋試補の説明書を通して、明治中期の河川構造物の考え方について述べよう。

i) 堤防

堤防は馬踏2間(3.6m)、内斜(川表)2割、外斜1割8分及び1割5分とし、天端高は屈曲部における護岸および特別な箇所を除き計画高水位以上3尺とする。堤腹には小段を設け、その脚部には石礫、礫、杭を適当に配して護岸を設置する。土地の状況に応じては水表の堤腹に石覆工をほどこす。また水裏より水表の方の護岸を堅牢とする。

ii) 溢堤

溢堤は土で作るものと石造のものと2種類ある。溢堤の目的はそれを溢流する水勢をできるだけ円滑に流下させることにあるから、溢堤の前後および上面の形状曲線の配置および所要物質強弱によつてその厚薄を異にし、水敵を設け堤根を保護する。

iii) 分水堰及床堰

「最堅牢を要するを以て先其形は蛇も弦月形の如くならしめ以て強大な圧力に抗するに適せしむ。基礎」には中5間の沈床を用いて其内部は巻く粘土を塙固石を以て全面を被覆す。裏込は礫及石岸を用いて最も堅固ならしめたり。其本堤と相接続するの高度は低水及高水々面の差を3分してその2に居らしめ10に対する2の割合を以て傾斜するものなり」としている。

なお分水堰指については、トラウトワイン氏堰堤公式(いわゆる越流公式) $Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{g} H^{3/2} \sqrt{2g}$ およびフランシス氏公式を使って評価している。

(4) 関屋試補の本計画についての評価

江戸時代の計画との比較で試補自身が本計画について評価しているので考察しよう。

藩政期にも大社湾へ抜く放水路が計られていた。また突道湖より日本海へ抜く案が検討され、事実、佐陀川が人工開削された。しかし佐陀川の疎通能力は少なく突道湖の水位低下には役立になかった。この佐陀川の失敗の理由について試補は「要するに当時水理の事実に臆測をもつてし肝要なる流量の如き、即て度外視したるに相違なし。」と評価した。計画の基本である水理が理解されていないからと判断するのである。

また大社湾での放水路計画についても「河川工事計画上最も必要な水面勾配並に河勢等に関しては一もよる処みなく固より土地の形状水理の如何の如き、度外視し漫りに其直線距離の短なるをのみ是れ論ずるが如き」と評した。

このように近代測量技術による自然地形の把握、法線決定の際の水理学の適用等の近代工本技術を強く賞賛するのである。而して近代技術を得た当時の技術者の自負と誇りがよく認識されよう。

5. 本計画と現計画の関わり

昭和51年、工事実施計画が改訂され現計画となった。現計画は赤川が合流した後の基本高水流量を $5,100 \text{ m}^3/\text{s}$ とし、この内 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ を上流ダムでカットし、最大 $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ を大社湾へ分派させる計画である。関屋試補およびそれ以前の藩政期の構想が基本的に生かされることになったと見てよい。

現計画と関屋試補との違いは、関屋試補は新川分派後の平地部で分派させ、河口部で神戸川と合流させる計画であった。一方現計画は新川分派点上流の山間部で放水路を計画した。神戸川との合流点は神戸川が平地に出た所である。この計画によると山地掘削土量は膨大なものとなる。明治期には到底できなかった大規模掘削工事がその後の着しい施工技術の進歩によって可能となったことを背景としている。平地部の放水路計画は水田の潰廃、家屋の移転が大で地元に受け入れられずに挫折したものであるが、それと着しい施工技術の進歩が突破しようとするのである。歴史の発展を認識すると同時に、地域が持っている歴史のつながり、歴史の延長としての今日を強く意識させるものである。

あとがき

関屋試補の計画発表以来、約90年がたった。その後の河川工学の発展をどのように考えてよいのだろうか。そして今後の発展は、これらのことを考えさせる稀好の資料と判断している。

関屋試補は、2年と言う短い期間に、流域の地勢、地形、地質、気象特性等の自然特性と過去の災害形態、明治以前の斐伊川改修の歴史等の人文特性を学び取り、斐伊川流域の地形測量（三角測量、高度測量）、水象観測を行い、斐伊川の今後のあるべき姿に対して総合的な判断を下している。これには驚かざるを得ない。河川工学上における基本的な問題点はほとんど網羅され、今日からみれば定性的分析の段階で終わっているものもあるがその分析のほとんどの的確である。確かに今日、細部的な課題の数量的分析は非常に進歩したものもある。しかし総合的に河川を捉えるその認識力は今日の河川技術者が優れているとは言えないだろう。河川に接近する態度、その構想力から学ぶべきものは決して少なくないであろう。

このような関屋試補の認識力がどのように形成されたのか非常に興味あることである。近世までの自然に接近する態度がどのように継がっているのか、それと西洋から導入された近代科学の方法がどのように絡まってきたのか、今後の検討課題としたい。

総合的な河川計画の必要性が声高く叫ばれている現在、関屋試補の視点をもう一度ふりかえる必要があると同時にこのような河川技術者を明治中期に持ち、河川改修が行われてきたことを我々河川技術者の誇りとしたい。

注

注1) 昭和44年7月に建設省出雲工事業務所により複写された。本調査報告はこの複写本によって行い。

注2) 「淀川改修百年史」近畿地方建設局による。なお、河川法成立後即座に直轄工事が行われたのみで、淀川の他に不曽川、筑後川がある。

注3) 本報告書で「計画最大流量」と述べている。

注4) そのころの流量の評価法は、水面勾配と横断形状を基にして、流速公式（ガンギレー・フッターの公式あるいはバザーンの式）を用いて流量評価を行っており、流量の直接観測は行っていないと思われる。

注5) 風の吹き寄せによる水面形には、平均水深 h 、一定風速 U が α 方向に長時間連吹した時（水理公式集 P.2378）

$$\frac{dh}{dx} = \alpha + \alpha \frac{\rho_a}{\rho_s} \frac{U^2}{g h}$$

となる。 $U = 20 \text{ m/s}$, $h = 3 \text{ m}$, $\frac{\rho_a}{\rho_s} = 1.2 \times 10^{-3}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\alpha = 1$ とすると $\frac{dh}{dx} = 2.3 \times 10^{-5}$

であり $\lambda = 10000m$ とすると $\Delta h = 33cm$ 程度である。

注6)現在の湾曲部の水位上昇量 Δh の評価は自由渦の領域において

$$\Delta h = \frac{U^2}{2g} \frac{2B}{tc} \left(\frac{1}{1 - \frac{B^2}{4t^2c}} \right)$$

強制渦型の領域において

$$\Delta h = \frac{U^2}{2g} \frac{2B}{tc} \left(\frac{1}{1 + \frac{B^2}{4t^2c}} \right)$$

である。新動床においては、この方式を使うことに問題があるが、 $B = 180m$ $tc = 1800m$ 、 $U = 3m/s$ とすると Δh は約 $9cm$ である。

注7)最近の水路の設計論では、大橋川のように汚泥の少ない河川では汚泥の堆積限界流速は $40 \sim 50 cm/s$ 程度⁵⁾と考えられる。

注8)昭和35年度全体計画では、8kmから下流を複断面とし、掃流力による流砂のフラッシュの増進を図るとしている。本計画は、土木研究所において古川、首根による調査「沖積河川の河道設計法⁶⁾」と基にしたものであり、河道設計において動的平衡の考え方が取り入れられている。また現地の農業水路を使った掃流土砂の実験で、斐伊川公式が作成された。この式は、花崗岩の風化物、マサで河床が構成されている斐伊川で産み出された特殊式である。この後、土木研究所内で実験が佐藤孝によって行われ、斐伊川公式を一般化したものとして工研公式が作成された。このように斐伊川は土砂水理研究の先導的役割をも担っていた。今後とも斐伊川は河道設計論における先導的役割を担うであろう。特に洪水時の河床変形変化に関する研究⁷⁾や流出土砂減による河床低下対策が今後の課題となろう。

参考文献

- 1) 日本河川協会; 1978, 解説「河川管理施設等構造令」P.P. 108
- 2) 同上 P.P. 109
- 3) 日本河川協会編, 1977; 建設省河川砂防技術基準(案) P.P. 88
- 4) 長瀬足市編, 1950; 斐伊史, 斐伊川史刊行会
- 5) 山本晃一, 1981; 河道特性論1-ト[1], 土木研究所資料, 第1625号, P.P. 127
- 6) 古川秀夫, 首根義治, 1952; 沖積河川の河道設計法—斐伊川改修計画樹立のための基本的問題についての調査報告, 土木研究所報告 第85号
- 7) 山本晃一, 坂野章, 1982; 河川新動床模型実験材料としての石灰粉の新動特性と斐伊川模型への応用, 土木研究所資料 第1802号
- 8) 佐藤清一, 古川秀夫, 芦田和男, 1958; 河床砂礫の掃流埋搬に関する研究, 土木研究所報告 第99号