

狹窄部にダム築造の場合の上流部に 対する影響

東北地方建設局 山形工事事務所 木谷 正
水越 三郎

まえがき

最上川上流の荒砥から左沢に至る狹窄部は最上川置賜地区と村山地区の両改修区域には含まれており、この狹窄部の落差と豊富な水量を利用して低落差発電所を階段的に開発する計画が東北電力により進められて来た。

この計画が実現した場合には、上流端のダムのため貯水池末端付近の改修区域置賜地区は河床の上昇、計画高水位の上昇等の影響が考えられ、又村山地区に対してはダム群による洪水波の速度変化が考えられる。二水りの影響調査として、関係地区の地形測量及び流送土砂量調査等を実施したが、今回上流側改修区域置賜地区に対する影響調査のみを一応取まとめたものであります。

I 調査目的

荒砥、左沢間の発電計画中、最上流の上郷発電計画地点は、現在河川管理者に水利権の許可申請が行われており、当面緊急に検討を要する事項として

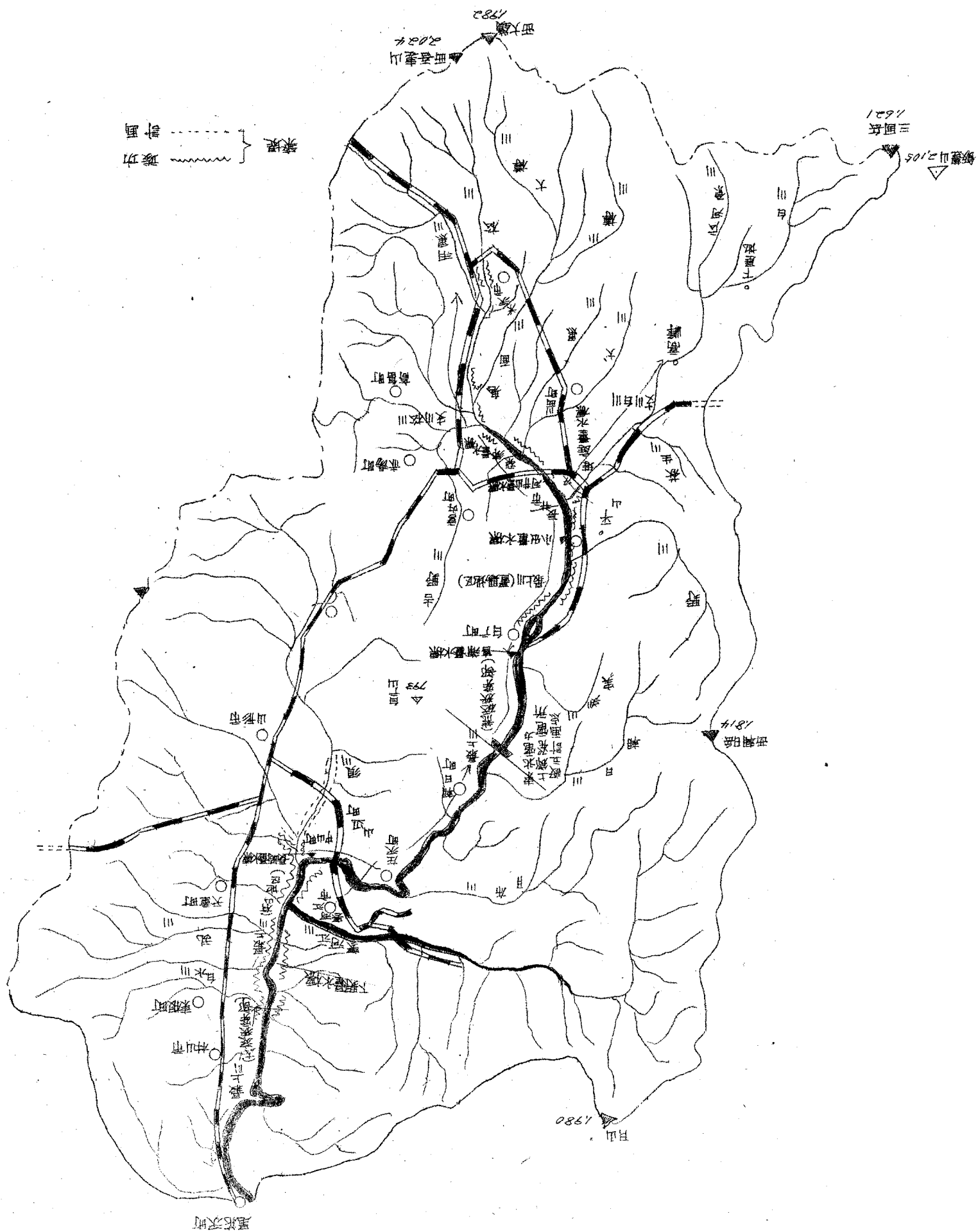
- (1) ダムのため堆砂の影響による直轄改修区域置賜地区の河床上昇
- (2) ダムによる河床上昇及びダムによる洪水時背水の増大に伴う上流水位の上昇

がある。今回は上記2項目に調査を限定し解析を進めた。

II 調査方法の概要

上記の2項目の調査については、流砂の問題が根本になつていたので、次の諸点から検討を行った。

- 1. 上流水源地の荒廃状況
- 2. 河床変動状況



3. 流送土砂量調査

4. タム背後の堆砂板構

(一) 経年後の堆積状況

(二) 最終堆砂線の推定

5. 最終堆砂線における計画高水位の変化（築造前現況との比較）

6. タム堆砂の調節の方法について

或時期に一旦野水池内に堆積した土砂を出水を利用してタム下流にフラッシュさせる方法について検討する。

Ⅲ 調査区域概況図

図（一）

Ⅳ 上郷発電所計画概要

東北電力作成上郷発電所計画説明書及び水利権許可申請書によれば計画概要は次のとおりである。

1. 扛堤位置 山形県西村山郡朝日町大字上郷道下

2. 使用水量 最大 $100.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 常時 $16.5 \text{ m}^3/\text{s}$

3. 使用概要

a. 有効落差

最大使用水量時 19.8 m 常時使用水量時 19.85 m

b. 発電力

最大 $16,500 \text{ kW}$ 常時 $2,400 \text{ kW}$

4. 調整池

a. 野水位 満水位標高 173.10 m

利用水深 2 m

b. 野水量 総野水量 $9,329,000 \text{ m}^3$

有効野水量 $2,270,000 \text{ m}^3$

c. 満水位における湛水面積 $1,161,800 \text{ m}^2$

5. タム

a. 型式 溢流型コンクリート造り可動ゲート付動力タム

b. 堤頂長 溢流部 58.5 m 非溢流部 111.5 m

計 170.0 m

② 最大高 溢流部 22.7m 内可動ゲート 12.5m
非溢流部 21.0m

③ 門扉巾 10.5m 高 12.8m ローラーゲート 4門
外に巾 3.5m 高 3.6m 流木路ゲート 1門

V 上郷上流流域荒廃状況

荒砥狭鼻部上流の主要支川白川，松川について

- (1) 荒廃地の分布
- (2) 崩壊土砂量
- (3) 流出土砂の粒度組成

等から調査した結果白川は松川に比して激しい土砂流失をする事が分り，両者の差異の原因として白川が降水量大なる事，地形の急峻性及び地質的に第三期層の多い事等があげられる。詳細な図表等は略

VI 上郷上流河床変動調査

河床変動量を具体的に表示する方法としては，次の方法を採用した。

- (a) 一定の横断面箇所にて経年の実測横断面図を重ね合せ比較対照する。
- (b) 上記横断面図にて一定基準標高以下の河積を求め，基準年度の面積よりの増減を求め河道の上昇，低下を判断する。
- (c) 基準標高 - $\frac{\text{河積}}{\text{水面巾}}$ により，横断面平均河床高を求め，経年変化を調べる。
- (d) 経年の縦断面成果を重ね合せ比較する。

上記の検討の結果を図(二)に示す。図上より明らかなる様に松川，白川，荒砥狭鼻部については，全般的に河床低下の傾向にあると判断され，置賜地区については荒砥道路橋より下流，喜瀬量水標附近まではわずかに河床上昇の傾向にあり，その他の地区については低下している。従つて荒砥鉄道橋付近は平衡状態と推定される。以上の結果上流より送流される土砂は大局的には，途中堆積する事なく大部分荒砥狭鼻部に流入するものと考えられ，平衡点下流にて現在わずかに河床上昇の傾向にあるが，ダム築造後この

地区の河床の上昇は大部分ダム背水の影響と考えてよい。

Ⅷ 流送土砂量調査

1. 計算式 修正アインシュタイン法，掃流，浮遊土砂量に分けて算定

2. 計算箇所 松川：梨郷量水標，白川：時庭量水標，本川置賜：小出量水標，荒砥狭鼻部：上卸量水標 図(三)参照

3. 計算結果 実際の計算方法については省略（水理公式集：土木学会編；応用水理学中ノ丸善発行等参照）して結果のみを示せば図(四)～図(九)となる。

上記計算より求められた掃流，浮遊土砂量は流れる可衛性，又は河道の通過能力を示すものと思われるので，これを実測値，その他から修正した。

2. 浮遊土砂量の実測値による修正

採取方法：器具----土研式B型採水器

採水箇所----小出量水標地点にて

一断面三測線，一測線については水脈又割，8割の箇所より採水

採水した濁水は，淨過，乾燥，汚紙，乾燥等の操作を経て浮遊土砂量を求める。結果を図(五)の△印にて示す。計算値と実測値とは相当に差がある様だが，両者の傾向がほぼ一致している事から，次の様にして浮遊土砂量算定式を得た。一般に流量 Q ，浮遊土砂量 Q_s の間には， $\log Q_s = n \log Q + \log b$ n ， b は河床状況による常数の關係が認められている。

計算値について適用すれば $\log Q_s = 2.06 \log Q - 8.54$

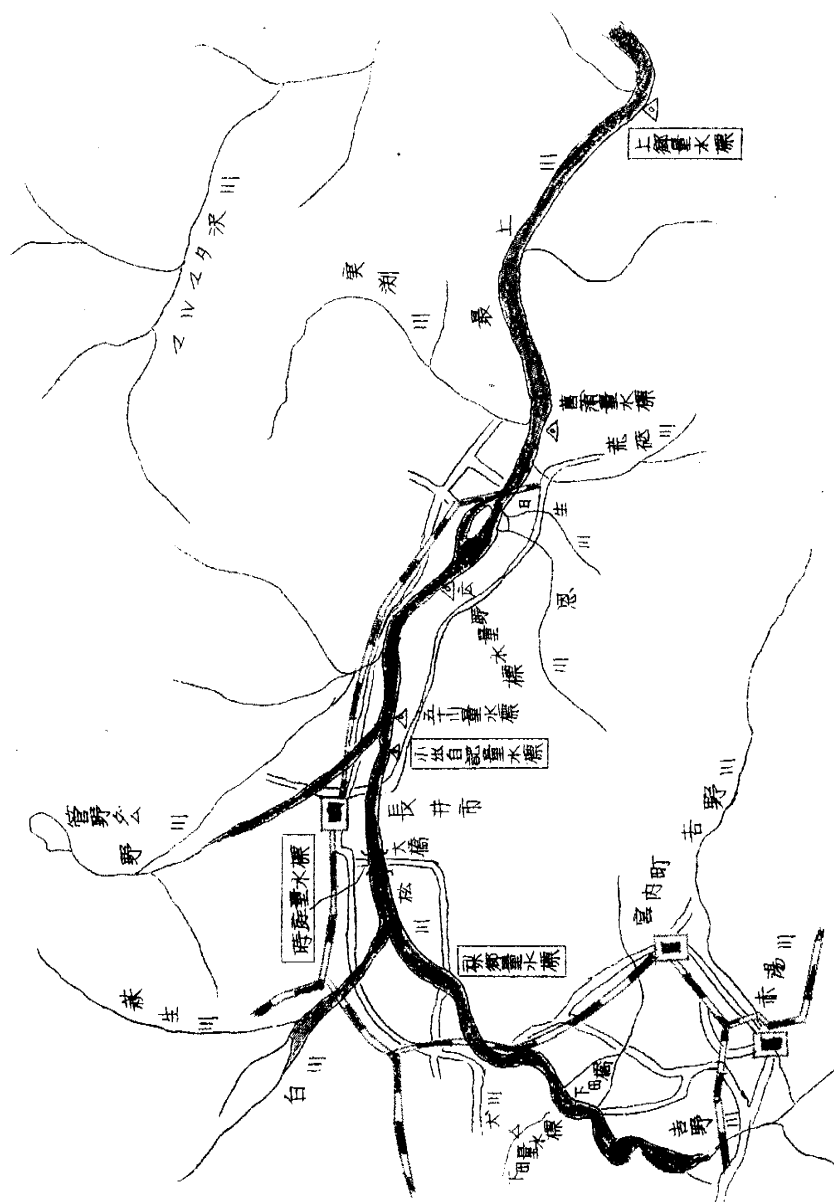
実測値については $\log Q_s = n' \log Q - \log b'$ において $n' = 2.06$ と仮定して $\log b'$ を定めれば $\log b' = -6.26$ になる。

従つて $\log Q_s = 2.06 \log Q - 6.26$ となり，小出地点の浮遊土砂量算定は本式を用いるものとする。

4. 掃流土砂量の修正

(1) 河道平衡点を用いた修正：河床変動調査の結果より荒砥鉄

圖 (三) 流送工砂量計算箇所



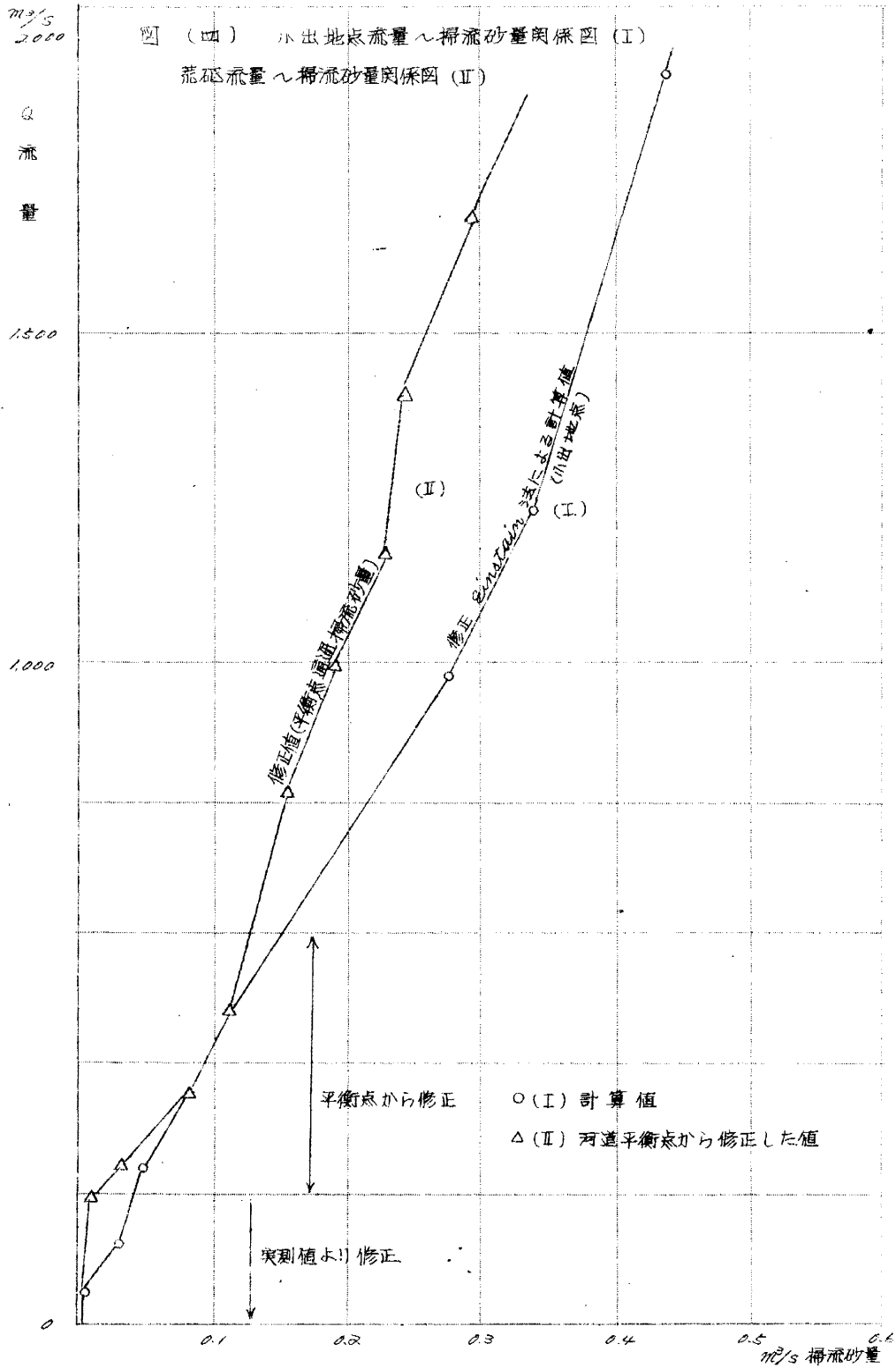
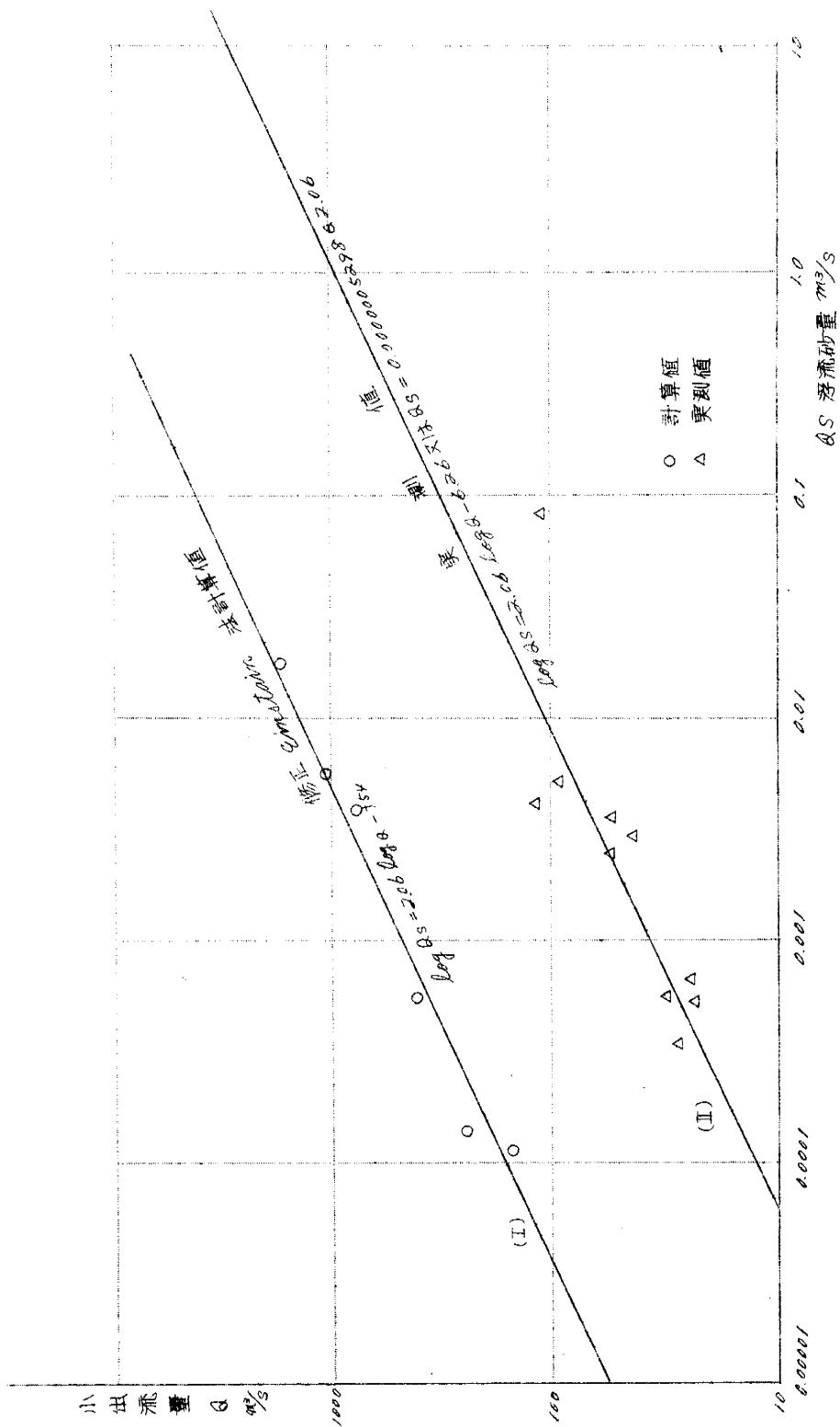
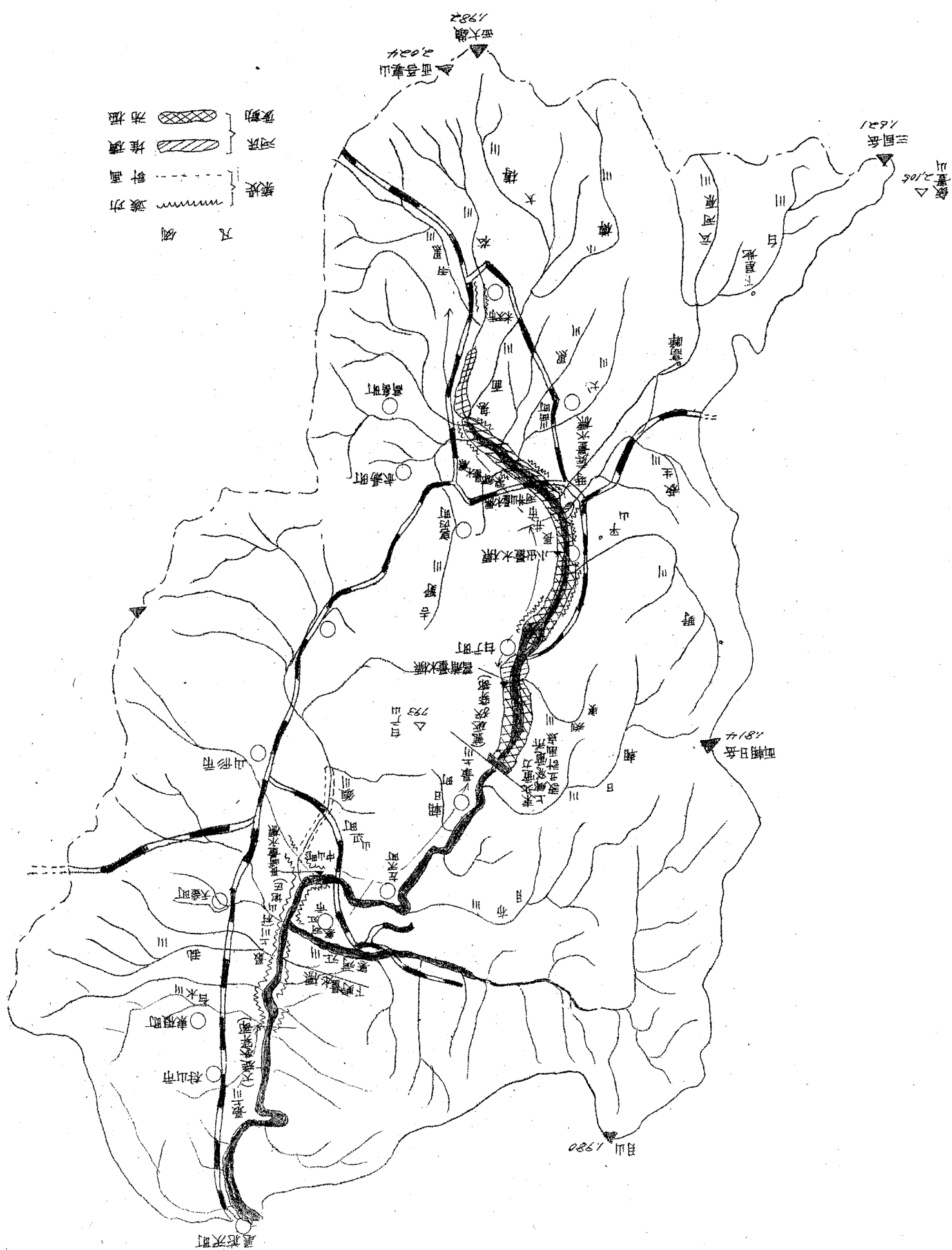
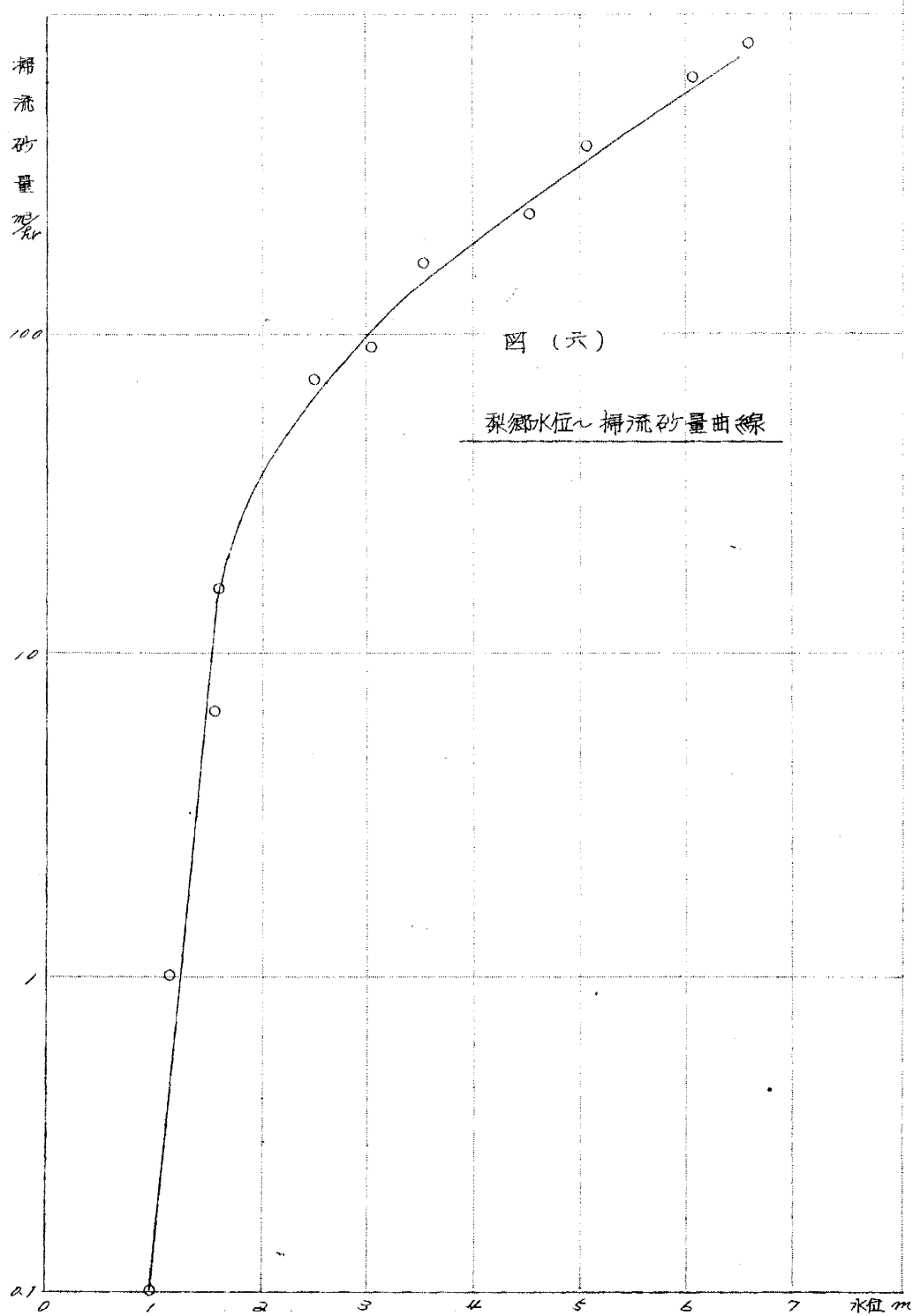


圖 (五) 小出地底流量 ~ 砂量關係圖





最上川上流河床變動狀況圖 (圖一)



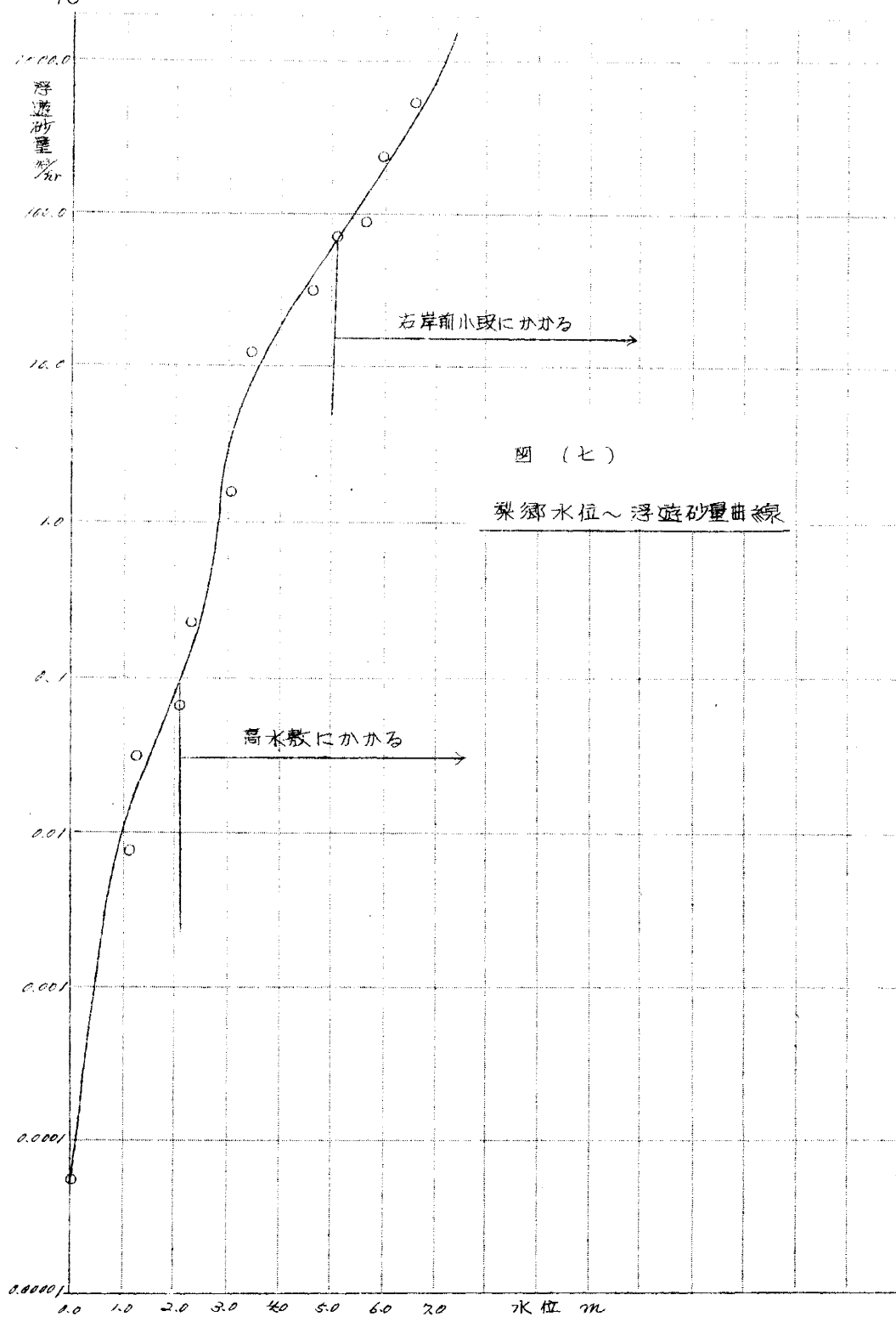


图 (八) 时程水位~浮遊砂量曲线

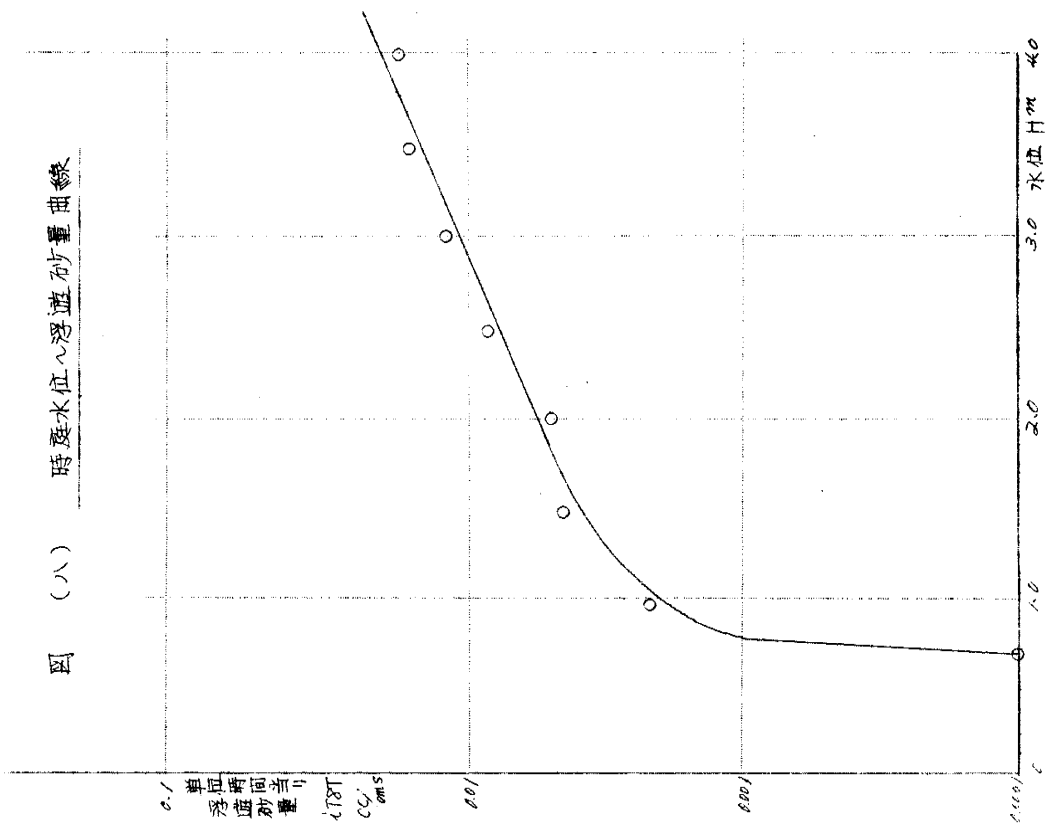
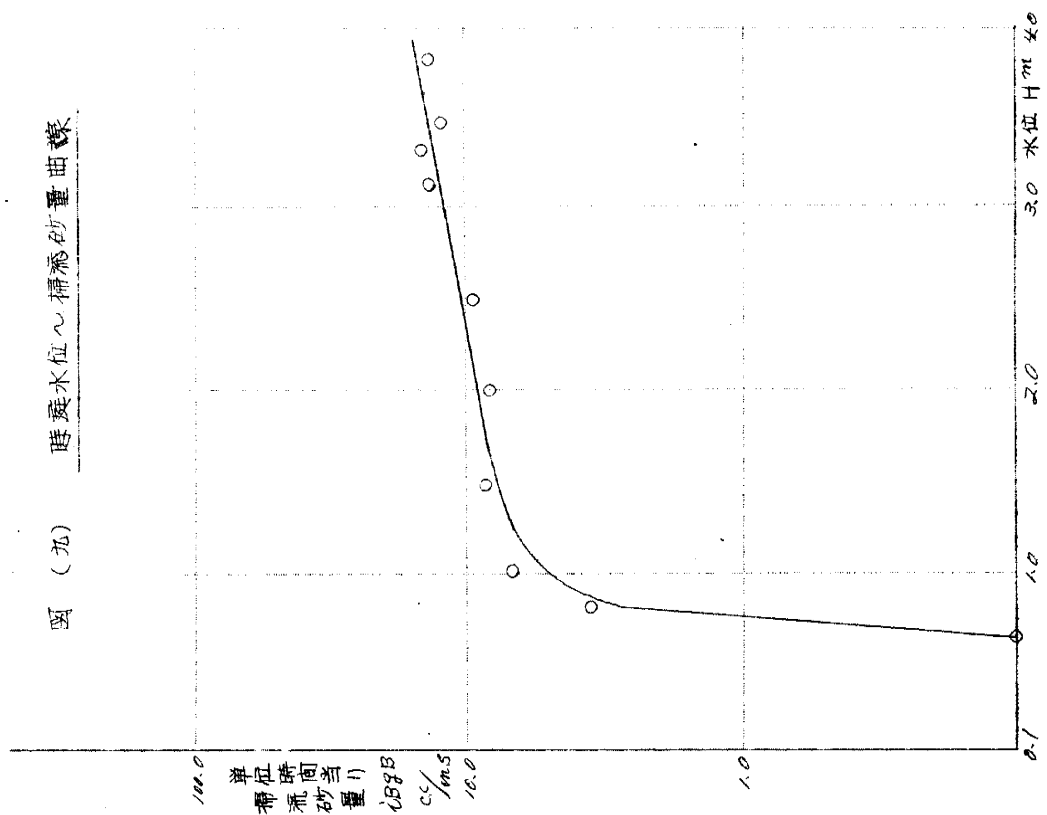
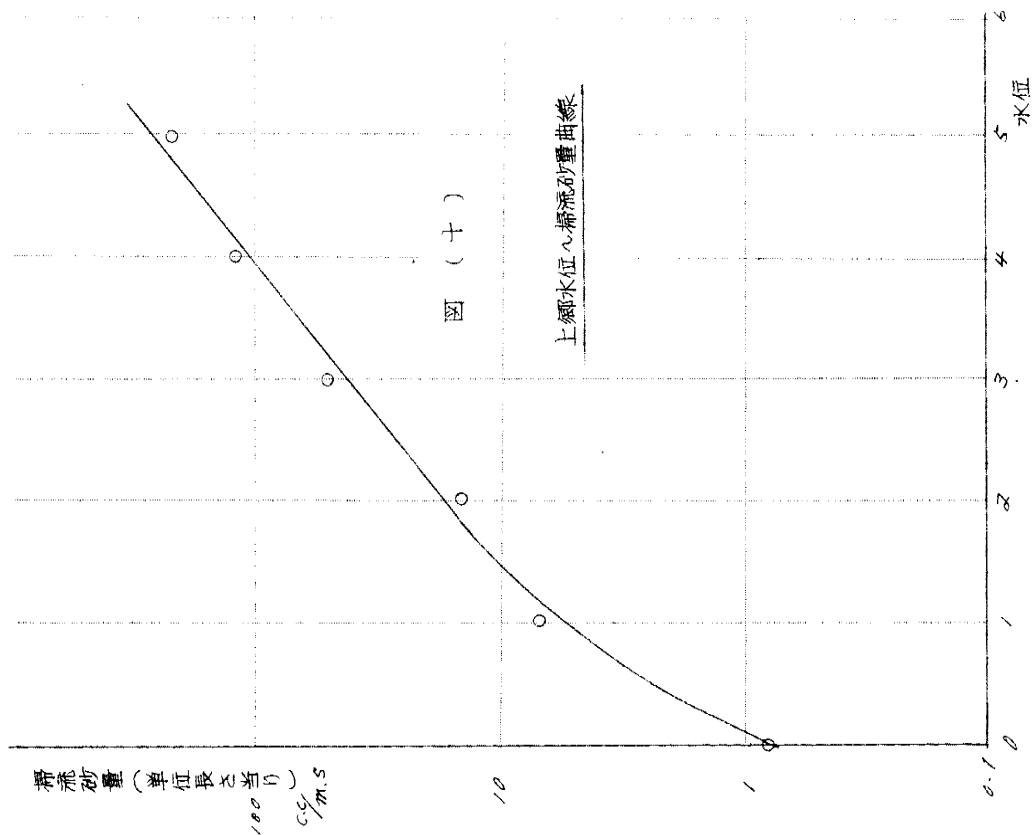


图 (九) 时程水位~掃浜砂量曲线





道橋付近は平衡状態にあることが判明したので、小出地点と同一流量に対する平衡点付近の掃流砂量を比較する。そこで、この付近の掃流砂量を計算することが必要となるが、小出地点と同様な計算を試みるのは非常にはん雑となるので次の方法によった。

今一般に掃流砂量は実際河川に於ては

$$q_B = W \cdot \sqrt{g} (HI)^{3/2} \text{ と考えて良いとされているので}$$

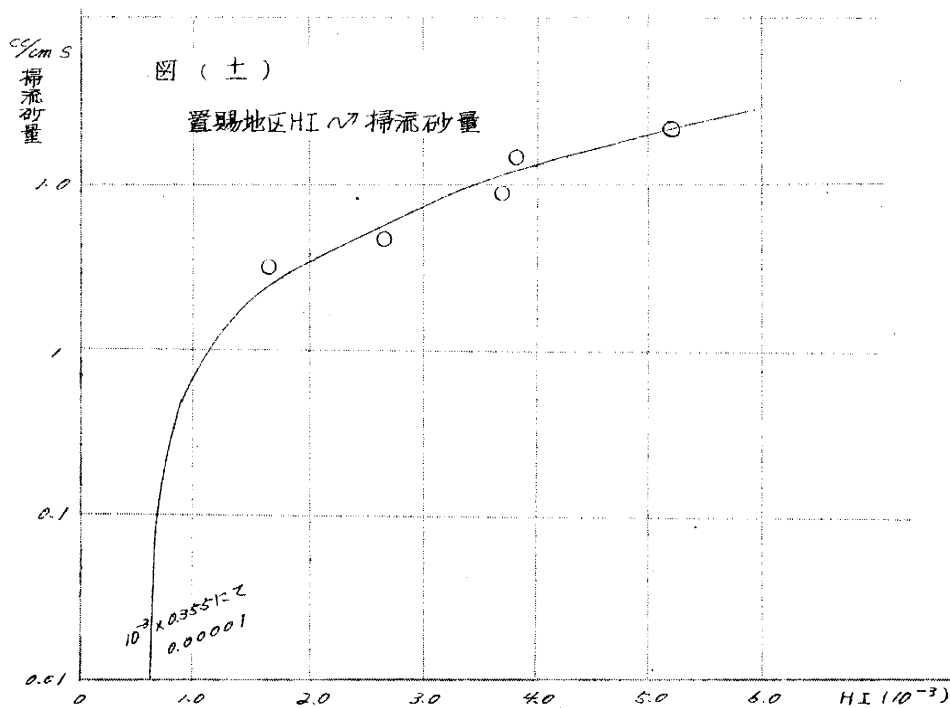
但し q_B : 単位巾当り掃流砂量

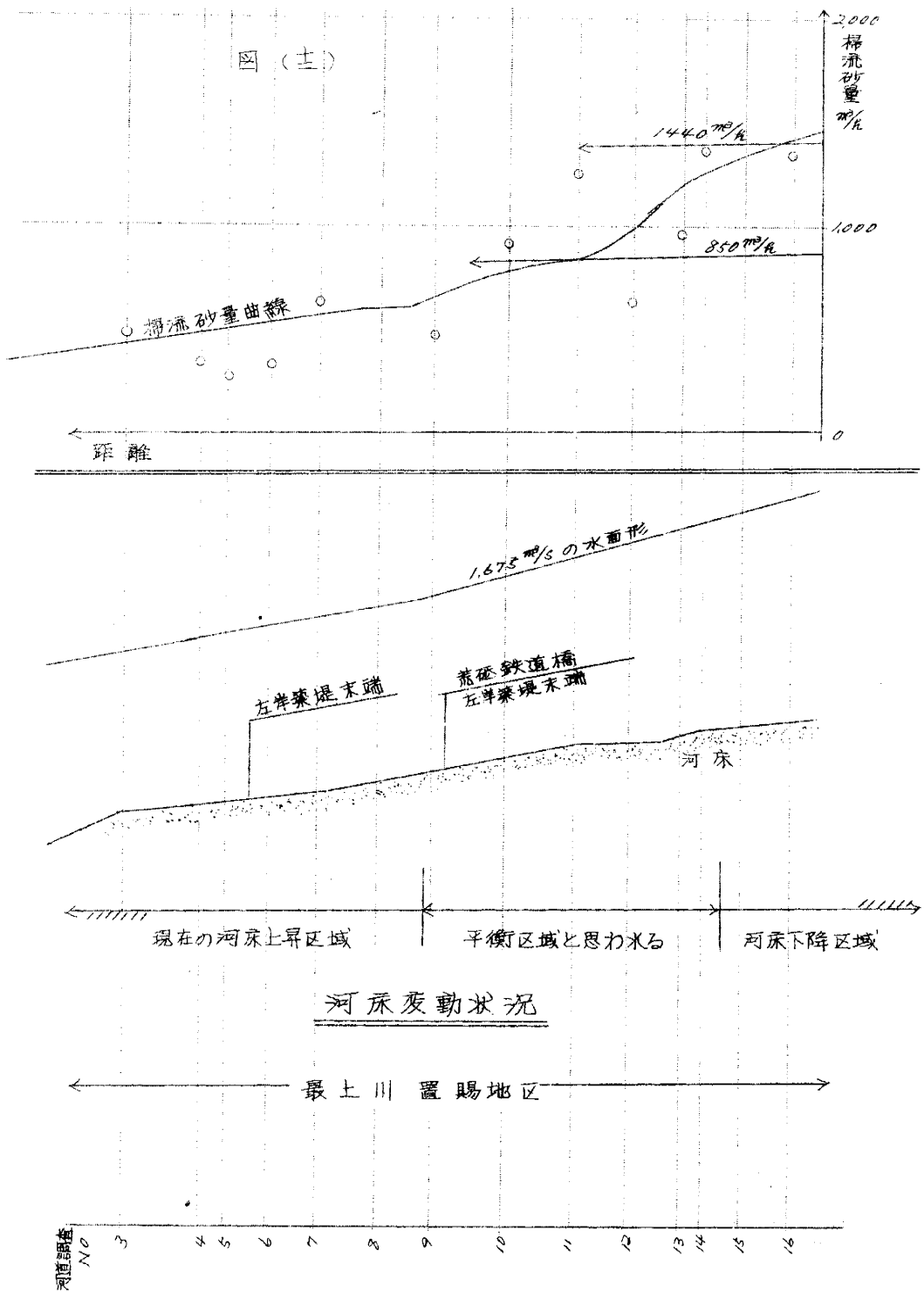
I : 水面勾配

W : 水の重量

H : 水深

$q_B = f(HI)$ 即ち掃流砂量は $H \times I$ の関係と考えて良いが、ここで小出地点の計算結果図(四) I の曲線を利用して、 HI と掃流砂量の関係を求め、(図(土))これを利用して平





衝地点付近，任意箇所の手Iよりその点の掃流土砂能力を求める。この場合の手及びIは不等流計算にて求めた水面勾配，水深を用いる。

具体的に $1.674 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合の平衡点付近の掃流土砂能力を求めると，図(主)の結果になる。

今小出量水標箇所にて $1.674 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量の場合掃流砂量の値は，図(四) Iより $1.440 \text{ m}^3/\text{hr}$ になり，河床変動調査の結果によれば，小出より平衡地点に至る区間は，河床低下の傾向にあるから小出に於ける掃流砂量がほぼ流れていると考えても良い。しかるに平衡区間に於ける掃流砂量の値は平均して $850 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度になり，上流よりの供給量 $1.440 \text{ m}^3/\text{hr}$ に比して掃流能力が小であるから堆積を起す事になり，河床変動調査の結果に反する。そこで計算値は河道の掃流能力を表し，現在流掘の傾向にある所では実際の掃流砂量より過大な値を与え，平衡状態にある箇所に於て掃流能力＝実際の掃流砂量と考えれば平衡点上流の流掘下流の堆積現象を良く説明出来，河床変動状況と一致する。そこでこの様な考えに基づき，各種流量について計算を試み，実際の掃流砂量を求める修正を行つたのが，図(四)の曲線IIである。

(2) 実測値による修正

採取方法：器具----土研型掃流土砂採取器

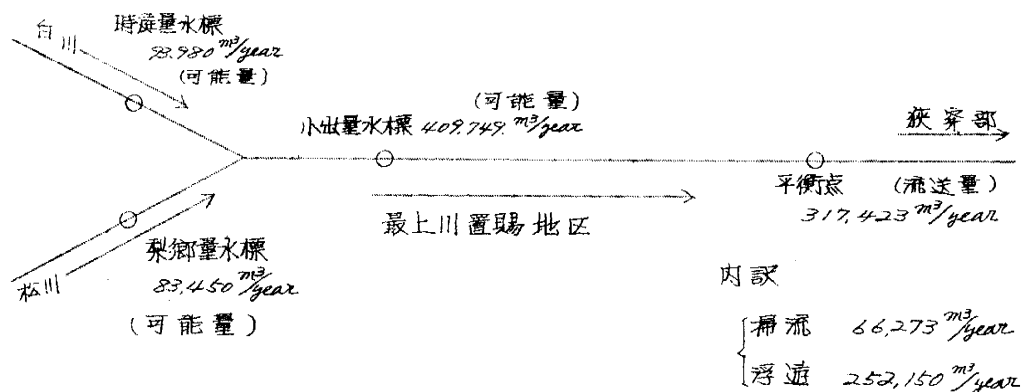
採取箇所----断面三箇所

結果：大きな流量の場合は採取出来なかつたが，これによる修正を図(四)II曲線下部に示す。

六、年間流出土砂量

以上求めた結果及び各地点流況表を用いて年間流出土砂量を求めれば次に示す流送土砂配分図の結果になる。

図 三 流送土砂配分図



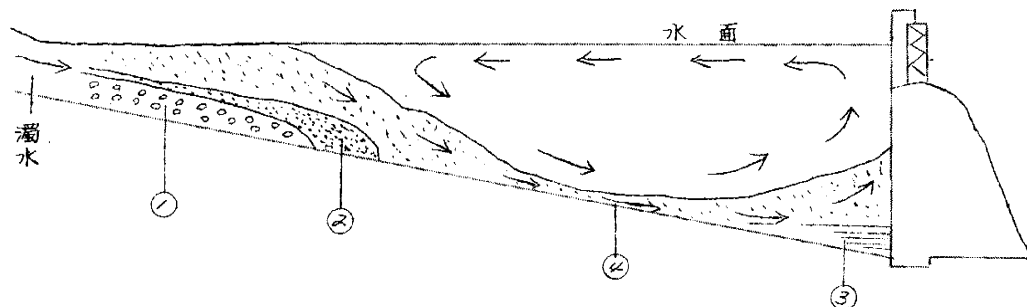
又田中治雄氏のダム堆砂の推定法を白川について適用すると、年々堆砂量は $65,000 \text{ m}^3/\text{year}$ になる。流出土砂量は二水より多いはずであるが図(主)の結果では $23,980 \text{ m}^3/\text{year}$ となっており、order が良く一致している。

Ⅲ 荒砥狭窄部にダム築造の場合の土砂堆積

α. 野水池に於ける堆積機構

野水池に於ける堆積機構は一般に次の様に説明されている。即ち初め上流より流送された土砂が、ほぼ背水の末端に達した場合、流速が非常に小さくなるので掃流状態にて流送されて来たもの及び浮遊土砂でも粒径の大きなものは末端に△形状に堆積し、残りの浮遊状態にて流入して来た微細な粒子はそのまま前進してダム背後にほぼ水平に堆積し、或は放水路、溢流路、発電水車等を通じてダム下流に流れ去ると考えられている。

図 四 野水池における堆砂機構



- ① 主として掃流土砂による△形状の堆積
- ② △の前進, ③ 浮遊土砂による水平堆積
- ④ 浮遊土砂による密度流

その後△堆積は前進すると同時に△の上流端は上流側に昇り、上流の河床は高まりついには△堆積が堰堤箇所に至り全体として一つの平衡勾配を形成すると考えられている。

b. 経年度の堆積状況

上記△堆積の逐次計算を行う方法として、*Idarvison* の方法により経年度の堆積状況を推定した。*Idarvison* の方法は流砂の連続方程式より出発し、河床変動量△*z*を次の様に表している。

$$\Delta z = \frac{1}{B(1-\lambda)} - \frac{\partial Q B}{\partial x} \Delta t$$

但し *B* : 水路を矩形に換算した時の水路巾

λ : 砂の空隙率

$\frac{\partial Q B}{\partial x}$: 河道に沿うての土砂掃流能力の変化率

△*t* : 任意流量の継続時間

(詳細は応用水理学中Ⅰ、丸善発行を参照)

QB, △*t* の決定については次の方法によつた。

- ① *QB* : 掃流土砂量計算値修正に用いた *HI* と、掃流能力の関係をを用いて各種流量に対する不等流計算を行い、野水池内各断面の水深 *H*、水面勾配 *I* を定め、*HI* より掃流能力を定める。
- ② △*t* : 平均的な流速を求め、各種流量に対するその年間継続時間 △*t* を求める。

(註) *QB* 決定の際の不等計算のダム地点に於ける水発水位については、IV上郷発電所計画概要にて記した様に上郷ダムの有効野水容量は 2,270,200 *m*³ 利用水深は 2 *m* であつて、これは調整地で *daily peak* を出す発電計画であるが、野水池末端の△堆積に最も影響のある掃流土砂の移動は主として 200 *m*³/*s* 以上の場合であつてこの様な場合には当日初

めに利用最低水位にあつても有効容量が少ないから $200 \text{ m}^3/\text{s}$ に河川流量があつてゐる時は貯水池は満水状態と考へて良い。従つて出発水位は常に満水位に取つた。

詳細な計算過程は省略して 20 年分について計算した結果を示せば図(五) に示すとおりになる。

(c) タムによる最終堆砂線の推定

堆砂の最終状態とは、流砂の点から見て平衡状態になつた河の状態であり、即ち上下流に離れた二断面を考へた場合上流側よりその区間に流入する流砂量と下流側より流出する流砂量の等しい状態である。従つて河道の流砂能力を求めた場合任意の断面にて一定値を保ち、しかもそれが上流からの挟船流砂量に一致した場合、この河道は平衡状態である。

上記の様な考え方をタムの堆砂に應用して最終堆砂線を推定して見た。

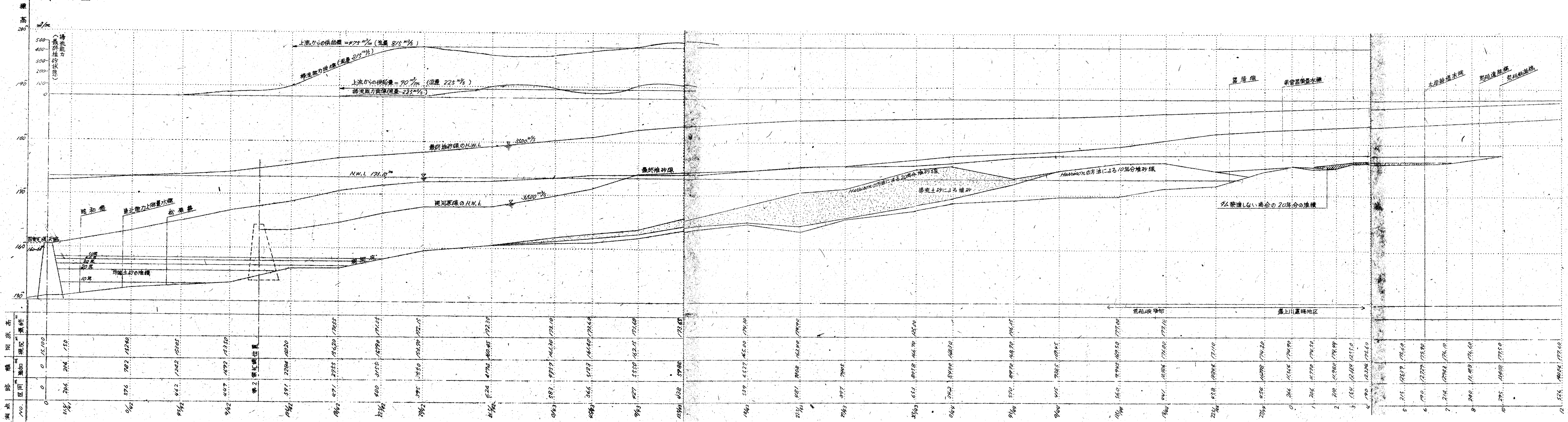
今タムの水位を常時満水位に係つ様に操作するものと考えれば Δ 堆積の先端がダム地点に到着する様な状態の頃は堆積も最終状態に近く背後の堆砂線は大部分平衡勾配を形成していると考へて次の順序で平衡勾配を求める。

(1) 代表流量の推定

各種流量に対して平衡な河床を定める事は現想的であるが、はん雑になるので河床変動に大きな影響のある流量、即ち年間掃流土砂量の中で掃流量の大きい流量を調べると $815 \text{ m}^3/\text{s}$ と $226 \text{ m}^3/\text{s}$ になつたので、この二つを用いてまず $815 \text{ m}^3/\text{s}$ に対する平衡河床を考へ $226 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合を *check* する事にした。

(2) 経年後の Δ 堆積の計算の項に求めた Δ 堆積の前面勾配 (10 年分、20 年分の平均値 0.004) を用いて固定天端より堆砂線を引き計画満水位を出発水位に取つて代表流量にて不等流計算を

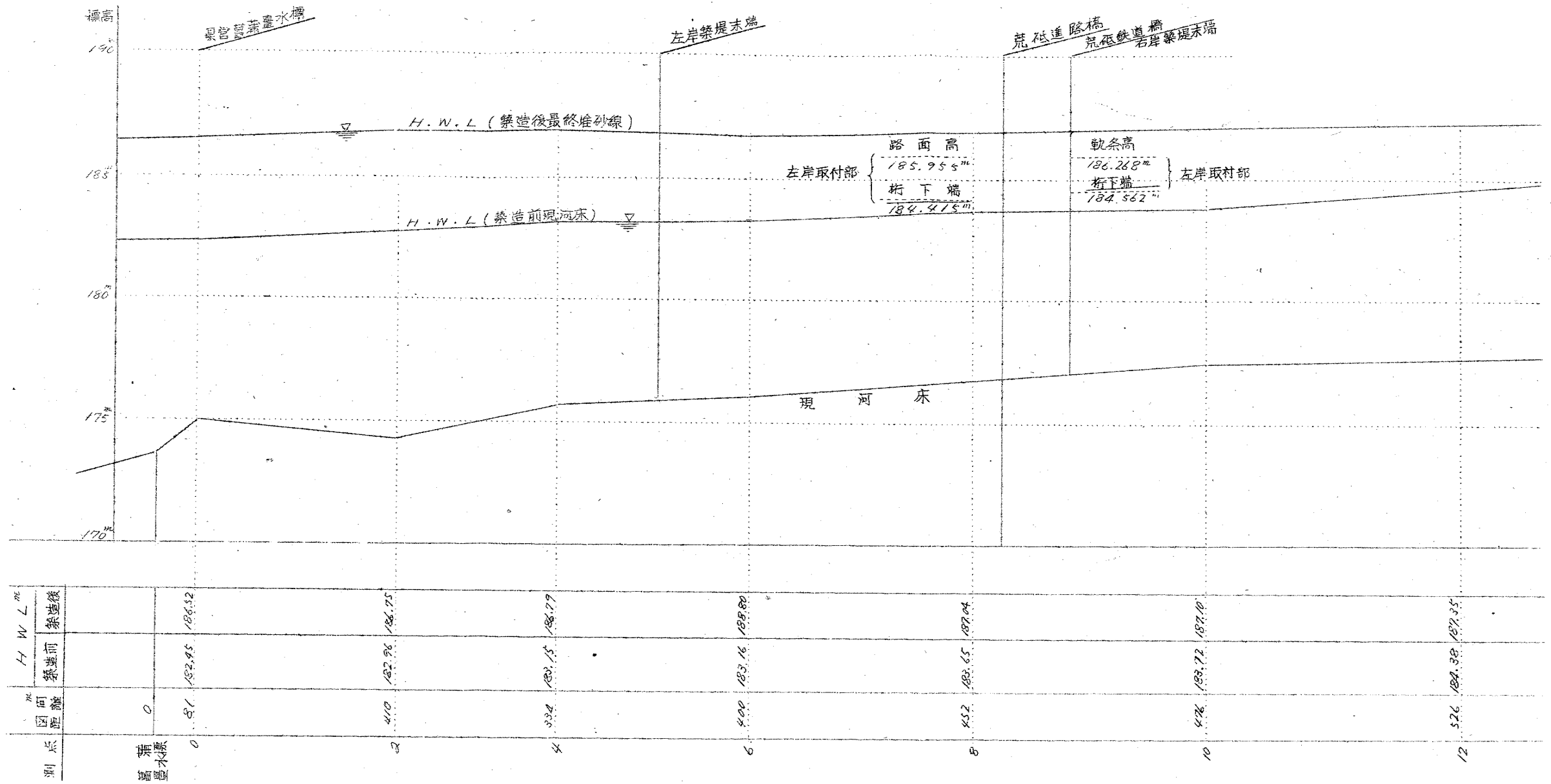
十五



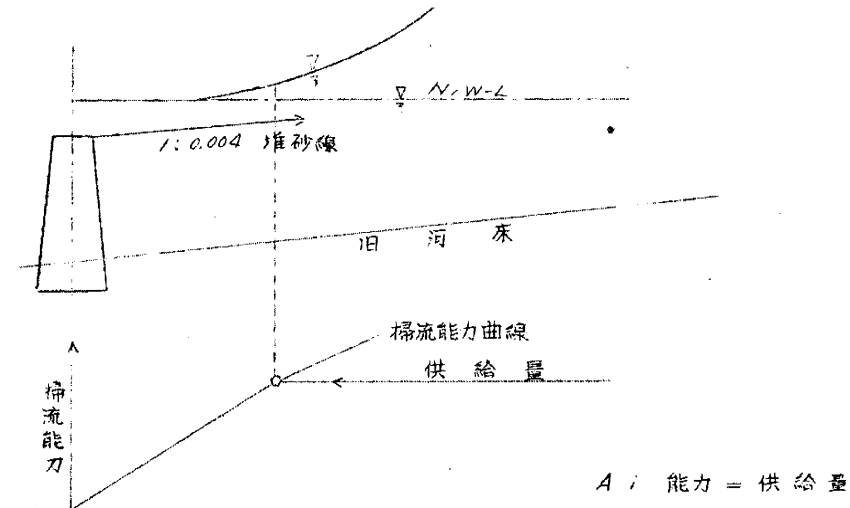
図一十六 最上川置賜地区縦断図

(上郷ダム築造後の水位上昇状況)

縮尺 $\begin{cases} \nabla: 1:200 \\ H: 1:10,000 \end{cases}$



行い各断面の平均水深 H 、水面勾配 I を求め、 HI より各断面の掃流能力を求め、代表流量に対する上流よりの供給土砂量に掃流能力が一致する断面を見出す。図 (五) A 点



(ハ) 平衡堆砂線の推定

A 点がきまれば以下 *Trial* にて掃流能力 = 供給量になる様に河床を順次上流に向い定めて行く。

詳細な計算過程は省略して結果を示せば図 (五) のとおりになる。この結果によればダム築造のため背水末端附近より堆積が始まり、最終的には狭穿部内で 10^m 程度、置賜改修区域最下流の葛蒲量水隈より荒砥鉄道橋付近までは $1^m \sim 2^m$ 程度の河床上昇が見込まれると推定される。

Ⅷ ダム築造後の水位の上昇について

置賜改修区域最下流部の計画高水流量は $3,500 m^3/s$ であるので築造前現河床に於て $3,500 m^3/s$ が流れた場合の水位と築造後最終堆砂線にて計画高水位と出発水位として $3,500 m^3/s$ 流れた場合の水位を不等流計算にて算定した結果を図 (六) 及び (七) に示す。

図より明かな様に最終堆砂線に於ける H, W, L の上昇は改修区域内にて $4^m \sim 3^m$ で相当に大きく築堤高変更、橋梁の高上、内水処理方

法の変更等の改修計画の変更。等ダム築造の影響は置賜地区に対して多大なものがあり、このまゝではダムの築造は不可能と思われる。

Ⅹ 貯水池の堆積作用の調節

前節までの計算及び検討の結果より上郷地点にてダムを築造し、利用水深 2m としてこれを発電し、*full* に利用する場合は、堆積土砂のため河床上昇、水位上昇がはげしくダム築造が困難である事が判明したのでこれらの問題を解決するため或時期に一旦貯水池内に堆積した土砂を出水期を利用してダム下流にフラッシュする方法を検討した。

α) 堆積土砂をフラッシュせしめるための基本方針

i) 堆砂をできるだけフラッシュされやすくするため固定ダムを低くして、可動ゲートの高さを大きくする。この目的で前計画の固定ダム高 10.6m を 6.4m に低くし、ゲート高 12.5m を 16.7m に高くする。(計画満水位は同一とする。)

ii) 常時は満水位以下利用水深 2m を有効に利用して発電するが、この間に堆積した土砂を出水期にゲートを全開して *free flow* とすることにより貯水位をできるだけ低下せしめ掃流能力を増大せしめ、それまで堆積した土砂をできるだけダム下流にフラッシュさせる。

iii) 前記フラッシュのためには一時発電不能になる程度貯水位を低下せしめるが、これによる損害をできるだけ少くするため融雪洪水及びこれ以上の洪水時に堆砂をフラッシュせしめるものとする。

β) 計算方法

一年間の流量の発生順に 30 日単位毎程度に分割して、各分割毎に分割順に *Harrison* の方法にて河床変動量を計算して計算精度を良くするため最初の河床高に分割流量による変動量を加えて新たな河床として、次の流量に対する計算をする。この場合は浮遊土砂は無視して掃流土砂だけについて計算する。

以下具体的な計算要点を示す。

1. 代表年の選定

フラッシュの可能性の判断のためまず出水が多かった 37 年の流況表を用いて計算する。これが駄目ならフラッシュ計画が不可能と思われる。

2. 不等流計算の簡易化のため断面を矩形に換算する。

3. 固定ダムは高さ 6.5 m で低いので短時に埋まるものと考えてダム天端より $1/1000$ の堆砂勾配を仮定して計算を行う。

4. ゲート全開の限界流量は $600 \text{ m}^3/\text{s}$ とする。

以上の要領に基づいて計算した結果を図(六)に示す。この結果より判断して *free flow* にする限界流量を各年毎にうまく定めれば一旦堆砂したものを出水時にダム下流にフラッシュできるものと認められる。従ってゲートの操作方法の決め方によって上郷ダムを築いても上流最上川、本川置賜地区に悪影響を与えないで済む様になると思われる。

今後の問題

- ① 流砂土砂の実測を更にふやし計算値信頼度を高める。
- ② ダムの背水末端附近より、荒砥鉄橋までの間の定期横断を同断面を定に且つ、回数なく実施し、ダム築造による実際的変化を詳細につかむ。
- ③ フラッシュする場合について平衡河床をトライヤルにて求め、置賜地区への影響の有無を確認する。

最後に本研究に当り助言と資料を賜わった建設省土木研究所佐藤清一技官、吉川秀夫技官、ならびに終始援助をいただいた東北地方建設局榊輪企画室長、及び発表の機会を与えられた谷垣山形工事々務所長に謝意を表すると共に、IX 貯水池堆積作用の調節の章について計算の協力を得た東北電力株式会社 北松治男氏 に対して感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- ① 最上川河川現況調査書
- ② 水理公式集 土木学会
- ③ 浮遊土砂に関する二三の考察 吉川秀夫
土木研究所報告 23号の2 1952
- ④ *Applied Hydrology Linsley et others* 1949
- ⑤ 河道の設計について 佐藤清一
土木学会誌 24巻 24号 1957
- ⑥ *Elements of Hydraulic Engineering* 1955
Linsley and Frangini
- ⑦ 応用水理学 中1 石原藤次郎 1957

圖一十八 堆積土砂調節計算書

上郷遺水池埴砂形の計算

掃砂能力図(一部の示す)

流量資料 上都測水量 昭和3/年

断面 矩形模算水路

河原來は岩盤露出、氾濫附近は1000分の1で水砂考慮、

