

土 木 研 究 所 資 料

貯水池流入量把握方法に関する一検討

昭和61年 2 月

建設省土木研究所
ダム部水資源開発研究室

Copyright © (1986) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

貯水池流入量把握方法に関する一検討

佐々木 元

森北 佳昭

要 旨

ダム流入量は貯水池操作における最も重要な情報であり、流入量を適確に把握することが安全かつ効果的な貯水池操作を実施する上での必須条件である。本報告書は、このようなダム流入量の重要性に鑑み、いかに適確にこれを算定するかを目的として行った研究成果をとりまとめたものであり、

- (1) 流入量算定方法の整理と問題点
 - (2) 水位変動の実態とその要因
 - (3) 水位変動対策のうち、特にフーリエ級数を用いた貯水位推定方法（ソフト的対策）の検討と実管理ダムへの導入結果
- 等について報告するものである。

キーワード：貯水池水位変動，水位計，セイシュ振動吸収ダンパー，パワースペクトル，移動平均，フーリエ級数，カルマンフィルター

序

昭和60年末現在、建設省所管の管理中のダム数は約260に達し、さらに建設、計画中のダム数は300近くに及んでいる。従って、今後さらに管理段階に移行していくダム数は増加していくものと予想される。これらのダム施設は社会的にも高い水準の管理・操作を要求されており、管理ダム数の増加に伴って安全かつ確実に効率的な貯水池操作を実施していく必要がある。

このような貯水池操作を実現するためには、

- ① 流域の流出特性、ダム・貯水池の有する機能特性を合理的に反映した操作方針
- ② 水理・水文情報の迅速な収集・処理
- ③ 操作員の的確な判断と対応
- ④ 効率的な制御操作システム

等の体制が必要となる。

②のうちダム流入量は貯水池操作における最も重要な情報の一つであり、流入量を適確に把握することが安全かつ効果的な貯水池操作を実施する上での必須条件である。

本報告書は、このような貯水池流入量把握の重要性に鑑み、いかに適確にこれを算定するかを目的として行った研究成果をとりまとめたものであり、

- (1) 管理中のダムにおける流入量算定方法のとりまとめとその問題点
- (2) 流入量算定に大きな影響を及ぼす貯水池水位変動の実態とその対策
- (3) 上記対策の中でも特にフーリエ級数を用いた貯水位推定方法（ソフト対策）とその実管理ダムへの導入方法

等を内容とするものである。

本報で提案している貯水位推定方法の実管理ダムへの導入結果より、貯水池流入量は従前に比べ適確に算定できるとともに、ダムコントローラーのメモリー、演算時間（C.P.Uタイム）等も特に問題ないことも確認された。従って、水位変動で流入量の把握に困っているダムでは、比較的安価にその対策を講じることが可能になったと考えられる。

尚、本報告書をまとめるにあたり貴重な観測データの提供に心よく応じて頂いた各ダム管理所、特に多大な御協力を賜った東北地建北上川ダム統管理事務所の関係各位に心より感謝の意を表します。

昭和61年2月

建設省土木研究所ダム部

水資源開発研究室

佐々木 元
森 北 佳 昭

目 次

1. はじめに	1
2. 水位の把握誤差が流入量算定に及ぼす影響	2
2.1 流入量算定方法と誤差要因	2
2.2 流入量算定方法の実態	2
2.3 水位観測誤差が流入量把握に及ぼす影響	3
3. 貯水池水位変動の実態とその要因	7
3.1 水位変動の実態	7
3.2 水位変動の特徴分類と発生頻度	15
3.3 水位測定上の問題点	17
4. 貯水池水位変動対策の概要	19
4.1 機械的対応方法	19
4.1.1 水位計の種類	19
4.1.2 水位計の設置台数と設置位置	22
4.1.3 測水井の特性分析	29
4.1.4 振動吸収ダンパー	38
4.2 数学的対応方法	43
4.2.1 移動平均法	43
4.2.2 カルマンフィルター法	48
4.2.3 フーリエ級数法	52
5. フーリエ級数法による貯水池水位推定法	53
5.1 フーリエ級数法の概要	53
5.2 計算手順	55
5.2.1 3次回帰による第一近似	55
5.2.2 余弦テーパ・ウィンドウ	56
5.2.3 貯水池の最長周期	58
5.3 本手法の評価方法	59
5.3.1 評価方法	59
5.3.2 試行関数による検討	60
5.4 本手法の感度分析	62
5.4.1 最長固有周期と解析データ長の決定	62
5.4.2 第一近似の回帰次数の検討	64
5.4.3 パラメータの感度分析	66

5. 5	実測水位への適用	70
5. 5. 1	対象ダムの流入量算定方法	70
5. 5. 2	実測資料への適用（水位での評価）	72
5. 5. 3	実測資料への適用（流入量での評価）	72
6.	実管理ダムへの導入	76
6. 1	貯水池の最長固有周期 T_c の算定	76
6. 2	本対策法の適用	76
6. 3	運用結果の一例	76
6. 4	問題点と懸案事項	80
7.	あとがき	81

参 考 文 献

付 録	85
付録 A 本システム導入までの一連の手続き	85
付録 A. 1 貯水位観測フローと水位変動対策	87
付録 A. 2 本システム導入までの一連の手続き	87
付録 B 水位計の仕様と構造	91
付録 C Aダム水位変動対策総括表	101
付録 D プログラムの説明と実行例	135
付録 D. 1 プログラムの構成と内容	137
付録 D. 2 入力データ，変数名，引数等の説明	138
付録 D. 3 プログラム・リスト	142
付録 D. 4 結果出力例（ラインプリンター）	149
付録 D. 5 結果出力例（XYプロッター）	149

1. は じ め に

ダム貯水池流入量は貯水池管理における最も重要な情報の一つであり、流入量を適確に把握することが安全かつ効果的な貯水池操作を実施する際の必須条件となる。

現在管理中のダムにおいて、このダム流入量の算定にあたって一般に用いられているのは「一定時間内におけるダム貯留量の増減量と延べ放流量の合算量からダム流入量を求める」という間接的方法である。ここで、ダム貯留量は水位計により得られる観測貯水位を基に算出されているが、この観測貯水位には種々の外的作用に起因する波動変動成分が含まれており、ダム貯留量さらには流入量を求める際に種々の誤差を伴うこととなる。

そこで本報告書では、まず現在管理中のダムにおいてどのような流入量算定方法が採用されているかを全国ダムアンケート調査をもとに整理し、それらの問題点を明らかにする。さらには、流入量算定に大きな影響を及ぼす貯水池水位変動の実態を実管理ダムの貯水位観測データをもとに解析することにした。

実管理ダムにおいては、このような観測貯水位に含まれる波動変動を除去するために以下に示すような対策を講じている。

① 機械的方法

- a) 水位計をゲート操作に伴う水位変動や風浪による影響を受けない位置に設置する。または貯水池内に複数の水位計を設置する。
- b) 測水井の導水孔の絞り率（導水孔断面積／測水井断面積）を小さくすることにより、短周期の波動変動を減衰させる。
- c) 水位計に振動吸収ダンパーを付設し、水面の急激な変化を緩衝する。

② 数学的方法

水位観測データ（時系列）を数学的に処理して、波動変動を消去するもので、移動平均法が多くダムで採用されている。

これらの水位変動対策については第4章でとりまとめているが、機械的方法で地形的制約や構造上の困難さ、数学的方法では移動平均に伴う遅れ時間等が問題となり、さらには、いずれの方法も比較的長周期の波動変動を現実的には除去できないといった課題を残している。

これらの状況を踏まえて、筆者らは従来より比較的長周期の波動変動の除去が可能で、しかも遅れ時間を伴わないような数学的手法の開発に努めてきた。本報では、フーリエ級数を用いて観測水位から波動変動を除去し、貯留量の増減にもとづく水位を抽出しうる数学的対応方法を提案するとともに、実管理ダムに導入した結果も併せて検討し、本手法の妥当性、実用性について報告するものである。

2. 水位の把握誤差が流入量算定に与える影響¹⁾

2.1 流入量算定方法と誤差要因

流入量の把握方法としては、昭和41年5月17日付、河川局長通達「河川法第2章第3節第3款（ダムに関する特則）等の規定の運用について」における別添第1、「標準操作規程」第9条（流入量の算定方法）にその考え方が示されている。

すなわち、貯水池流入量の把握方法としては次の2つの方法がある。

- ① ダム上流の河川水位から当該水位観測地点の流下する流水と水位にもとづき流量を求め、これをダム地点流入量に換算する方法。
- ② 流入量は、これを算定すべき時を含む一定時間における貯水池の貯水量の増分と、当該一定の時間における貯水池からの延べ放流量との合算量を当該一定の時間で除して算定する方法。

しかしながら、これらいずれの方法においても実務上いくつかの誤差要因を含んでいる。すなわち、①の方法においては、河川水位と流量の関係のばらつき誤差、及び水位観測地点からダム地点への換算によって生じる誤差がある。②の方法においては、ダム水位計による貯水池水位の測定誤差が主な誤差要因であり、その他に貯水池の水面勾配や堆砂等による貯水位と貯留量の関係のばらつきによる誤差等がある。

2.2 流入量算定方法の実態

表－2.1は、建設省所管の管理ダム（昭和58年現在236ダム）の洪水調節方式別の分類を示す。この洪水調節方式の中で貯水池流入量にもとづいて貯水池操作（ゲート操作）を実施する

表－2.1 洪水調節方式別分類

管理者 調節方式	直轄	公団	補助	合計 (%)
定量放流方式	14	4	36	(54) (23)
定率定量放流方式	15	5	46	(66) (28)
定率放流方式	2	0	25	(27) (11)
自然調節方式	6	0	41	(47) (20)
全量調節方式	0	0	3	(3) (1)
不定率調節方式	1	1	3	(5) (2)
その他、不明	9	2	23	(34) (15)

方式としては、定率放流方式、定率定量放流方式があり全体の約40%であるが、自然調節方式

を除いた他の方式についても事前操作（洪水流量に達しない流水の調節操作）時の定水位制御操作等において、ゲート操作を行う上で流入量を把握する必要がある。勿論、どのような調節方式のダムにおいても貯水池流入量は貯水池操作上の基本量であり、放流量とともに把握されなければならないことはいうまでもない。

表－2.2は、流量の把握（計算）方法の分類であるが、貯水池水位と放流量の関係から流入量を求める②の方法が236ダム中、203ダムにも及び、全体の86%を占め、ほとんどのダムにおいて②の方法が採用されていることがわかる。

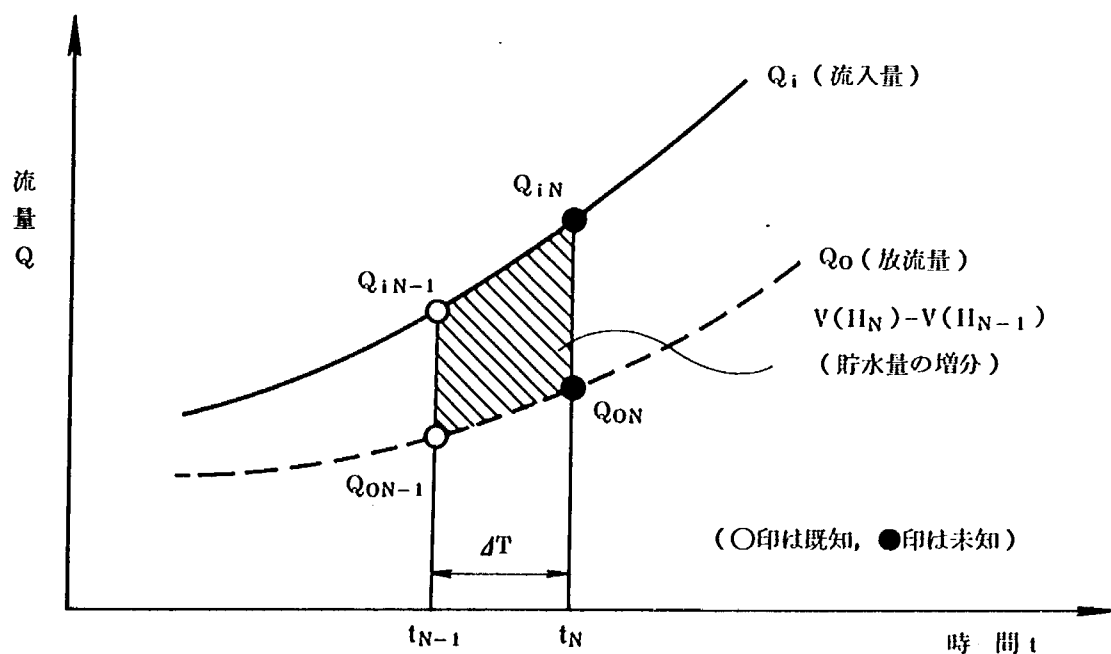
表－2.2 流入量算定方法別分類

算定方法 \ 管理者	直 轄	公 団	補 助	合 計 (%)
貯水池流入河川より算定①	0	0	6	6 (3)
貯留量の増減と放流量より算定②	42	10	151	203 (86)
不 明	5	2	20	27 (11)

以上のことから次節では②の方法について誤差要因の分析を行うことにする。

2.3 水位観測誤差が流入量把握に及ぼす影響

貯水量の増減分と放流量の関係から貯水池流入量を算出する場合、図－2.1に示す各要素間の関係から貯水池流入量は次式により求められる。



図－2.1 流入量・放流量・貯水量増分の関係

$$Q_{iN} = \frac{2\{V(H_N) - V(H_{N-1})\}}{\Delta T} - Q_{iN-1} + Q_{oN-1} + Q_{oN} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、

- ΔT ; 計算時間間隔 ($t_N - t_{N-1}$) (sec)
 Q_{iN}, Q_{iN-1} ; t_N, t_{N-1} における流入量 (m^3 / sec)
 Q_{oN}, Q_{oN-1} ; t_N, t_{N-1} における放流量 (m^3 / sec)
 $V(H_N), V(H_{N-1})$; t_N, t_{N-1} における貯水量 (m^3)
 H_N, H_{N-1} ; t_N, t_{N-1} における貯水位 (EL. m)

式 (2.1) において $Q_{iN-1}, Q_{oN-1}, \Delta T, V(H_{N-1})$ は既知であると仮定すれば、流入量 (Q_{iN}) の算定における誤差要因は $V(H_N), Q_{oN}$ となるから水位観測誤差 (δH_N) が流入量把握に及ぼす影響 (δQ_{iN}) は、

$$\begin{aligned} \delta Q_{iN} = \frac{dQ_{iN}}{dH_N} \delta H_N = \frac{2}{\Delta T} \frac{dV(H_N)}{dH_N} \delta H_N \\ + \frac{dQ_{oN}}{dH_N} \delta H_N \dots\dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

となる。

式 (2.2) の右辺第1項についてみると、 $dV(H_N)/dH_N$ は貯水池面積であるから、第1項の値は水位観測誤差とその時の貯水池面積の積に比例し、計算間隔に反比例するという単純な関係で示すことができる。今、計算間隔 ΔT を600秒とし、水位観測誤差 δH_N を1cmとした場合の流入量の算定誤差は表-2.3に示すとおりである。

表-2.3 貯水池水位観測誤差 (1 cm) に対する流入量推算誤差

貯水池面積 (Km^2)	流入量推算誤差 (m^3/S)	ダム数 (%) (昭和58年アンケートより)
		146 (62)
1.0	33	43 (18)
2.0	67	23 (10)
3.0	100	6 (3)
4.0	133	5 (2)
5.0	167	13 (5)

次に、式 (2.2) の右辺第2項についてみる。

今、ゲートの開度 a が設定されている場合、ある水位 H_N (越流高さで示す) に対する放流量 Q_o は次式により与えられる。

$$Q_o = n \cdot C \cdot B \{ H_N^{\frac{3}{2}} - (H_N - a)^{\frac{3}{2}} \} \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、 n : ゲート個数

C : 越流係数

B : 越流巾

また、水位測定誤差、 δH_N にもとづく放流量の測定誤差は次式により求められる。

$$\delta Q_o = \frac{3}{2} \cdot n \cdot C \cdot B \{ H_N^{\frac{1}{2}} - (H_N - a)^{\frac{1}{2}} \} \cdot \delta H_N \dots\dots\dots (2.4)$$

いま、 $n = 2$ 、 $C = 2.0$ 、 $B = 1.0 \text{ m}$ 、 $H_N = 1.0.0 \text{ m}$ として $\delta H_N = 1.0 \text{ cm}$ とした場合、 a に対する δQ_o は表-2.4 に示すとおりである。

表-2.4 貯水池水位観測 (1 cm) に対する放流量推算誤差

ゲート開度 (m)	放流量推算誤差 (m ³ /S)
0	0.0 0
1	0.1 0
2	0.2 0
3	0.3 1
4	0.4 3
5	0.5 6

以上の結果、式 (2.2) の右辺第2項は第1項に比べてたかだか 10^{-2} オーダーの誤差であるため第2項を無視するとしうる誤差とし、式 (2.2) は次のように表わすことができる。

$$\delta H_{iN} = \frac{2A(H_N)}{\Delta T} \delta H_N \dots\dots\dots (2.5)$$

ただし、 $A(H_N)$; 貯水池面積 (m²)

したがって、貯水池流入量の算定誤差 (δQ_{iN}) は水位観測誤差 δH_N とその時の貯水池面積 $A(H_N)$ の積に比例し、計算時間間隔 ΔT に反比例することがわかる。

式 (2.5) において $A(H_N)$ は貯水池の形状から定まる値であるから、流入量算定誤差を小さくするためには、

- ① ΔT を長くとる
- ② δH_N を小さくする

といった2つの対応方法が考えられる。

このうち①については δQ_{iN} そのものは小さくなるが、 ΔT を長くすることによって流入量を把握するときの時間遅れが大きくなり、結果的に貯留量の増大につながるため、マイナス要

素との関連において設定する必要がある。

一方、②の方法では δH_N を小さくすることによるマイナス要素は見当らない。

以上のことから本文では水位把握誤差 δH_N をいかに小さくするか（貯水池水位をいかに正確に把握するか）という観点から検討を試みる。

3. 貯水池水位変動の実態とその要因

貯水池の水位観測値は、貯留量の増減による水位変化の他に流入量の状態や気象作用、人為的作用等の外的攪乱による変動を含んでおり、後者がダム流入量推算時における誤差要因といえ、そのためにゲート操作や常時のダム管理での支障となることもある。このような貯水位観測値を用いる場合、この影響を完全に取除くことは實際上困難であるが、その性状をよく理解して適切な対策を講ずる必要がある。

そこで本章では水位変動の実態についてとりまとめ、その発生要因、変動特性等を報告する。

3.1 水位変動の実態

様々な外的要因の影響を受けた観測水位の変動特性を明確にするため、昭和55年度に建設省所管の5ダムへカセット式磁気テープ貯水位データ収録装置を設置して、2秒ごとの貯水位をデジタル値で記録・収集してきた。対象とした5ダムの諸元及び概算固有周期を表-3.1に示す。また、収集した水位観測記録の一覧を表-3.2に揚げ、このうち代表的な水位変動記録と思われる4観測データを図-3.1に示した。さらに、各ダムごとに観測資料をFFT法によりスペクトル解析し、得られたパワースペクトルの分布図を図-3.2(a)~(f)に示した。

以下に各ダムごとの特徴を述べる。

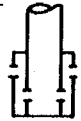
(1) Aダム

Aダムは比較的短周期の水位変動が多く記録されているため、図-3.1では他ダムに比して横軸で6倍、縦軸は2倍に拡大して図化した。Aダムは、ダムの立地特性から以前より風浪を主な要因として持続性の短周期変動が頻繁に発生しており、特に3月、4月の強風が発生しやすい時期にはその傾向が高い。本装置による観測においても、昭和56年4月にAダム流域に大雨をもたらした2つ玉低気圧による出水時において、図-3.1に示すような水位変動が観測された。この図を大観すれば、周期数十秒程度で持続性の不規則的な短周期変動がその主な成分となっており、さらに5~7分程度の規則的な長周期変動が記録されている。このことは図-3.2(a)のパワースペクトル分布図においても確認することができ、このような変動はAダムの操作記録からみてゲート操作に伴って発生したものと考えられる。

(2) Bダム

Bダムでは、ダム地点(水位計No.1)と貯水池上流部(水位計No.2)の2ヶ所で水位観測がなされている。Bダム上流には、Bダムを下池として揚水発電が可能な発電専用ダムが存在しており、Bダムの2つの水位観測記録には、発電専用ダムの操作(発電あるいは揚水)が影響するものと考えられる。図-3.1のBダムの水位計No.1とNo.2の水位変動を比較すると、この時は、上流の発電専用ダムが発電操作を行っており、その影響を受けて水位計No.2では短時間の不規則変動が記録されている。このような水位変動が約10分後にいくらか減

表-3.1 対象ダム諸元および固有周期

ダ ム 名		A ダ ム (直 轄)	B ダ ム (直 轄)		C ダ ム (公 団)	D ダ ム (直 轄)	E ダ ム (直 轄)
水 位 計	型 式	フロート式	フロート式		フロート式	フロート式	フロート式
	測 水 井 φ (mm)	700	貯水池 末端部 1,200	堤体部 900	900	900	(外部) 1,220 (内部) 800
	導・水 孔 φ (mm)	700 (×2本)	150	900	500 (×3本)	340 (×2本)	20 20
設 定 水 位	洪水期制限水位 (EL. m)	222	72		329.5	163.3	133
	サーチャージ水位 (EL. m)	239	78.5		343	180	160
水 位 平 滑 化	サンプリング間隔 (秒)	1	10		2	2	2
	平 滑 数	60	6		30	-	30
貯 水 池 形 状	湛 水 面 積 (Km ²)	6.3	1.88		7.5	1.81	3.61
	縦 断 長 (m)	19,000	15,000		20,000	6,900	10,300
	直 上 流 水 深 (m)	57~74	45~51.5		53.5~67	49.3~66	65~92
固 有 周 期	貯 観 測 周 期 水 池 (分)	68	34		34	17	-
	*) 推 算 周 期 (分)	38~54	45~48		52~58	18~21	23~27
	**) 測 水 井 (秒)	1.8	58	-	7.6	5.5	-
平均導水管長 (m)		1.6	13	-	13.18	2.14	-
備 考							二重構造 測水井 

*) $T = 4\ell / \sqrt{gh_{max}}$, **) $T = 2\pi\sqrt{A\ell/ag} = 2\pi D/d\sqrt{\ell/ng}$

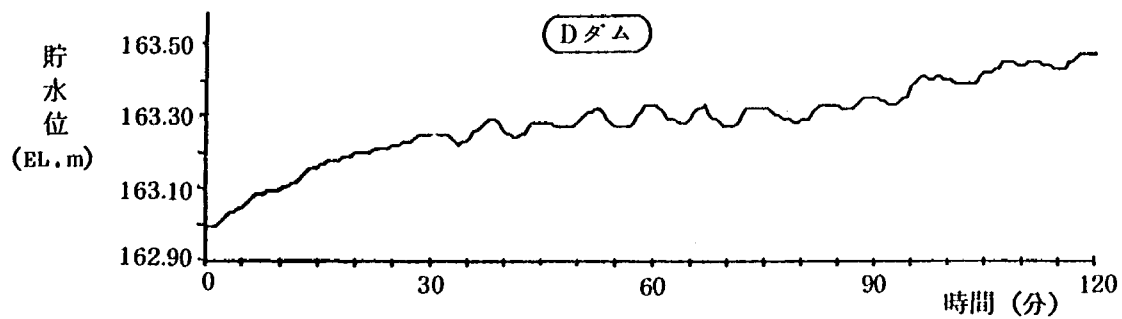
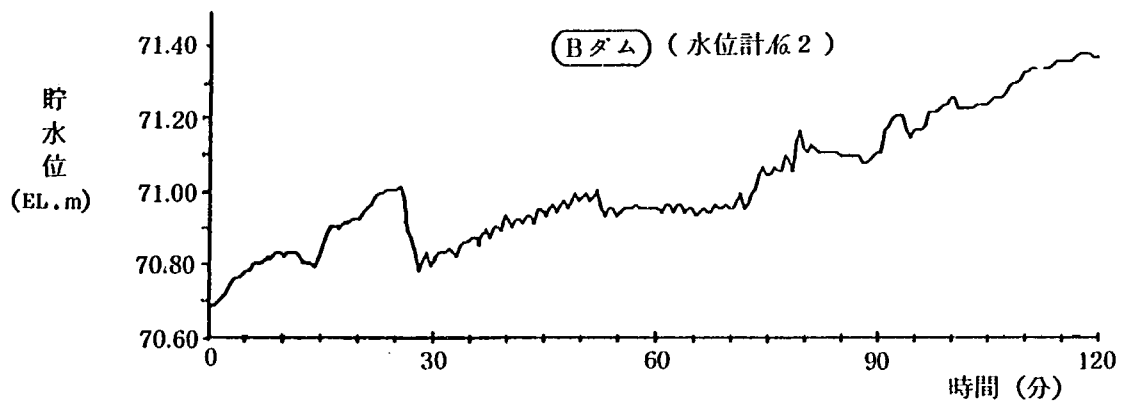
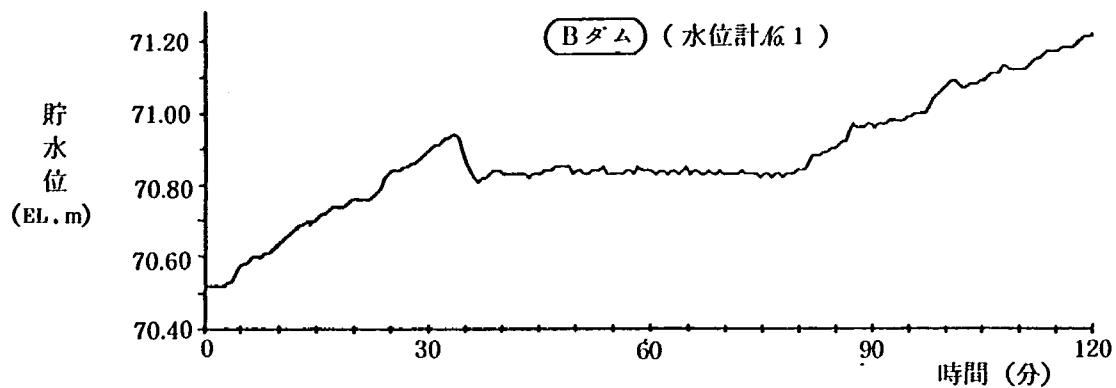
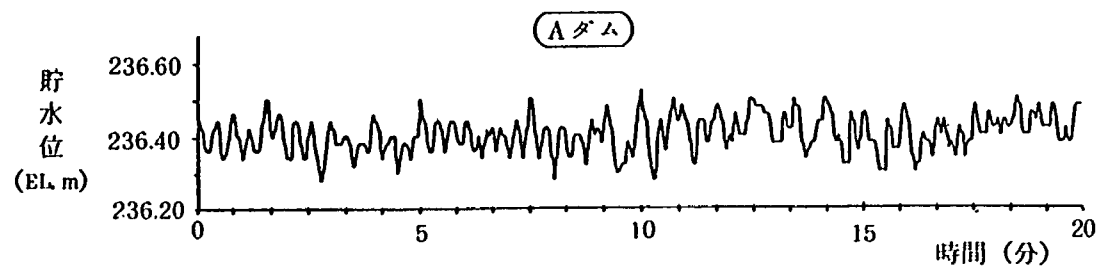


図-3.1 水位観測事例

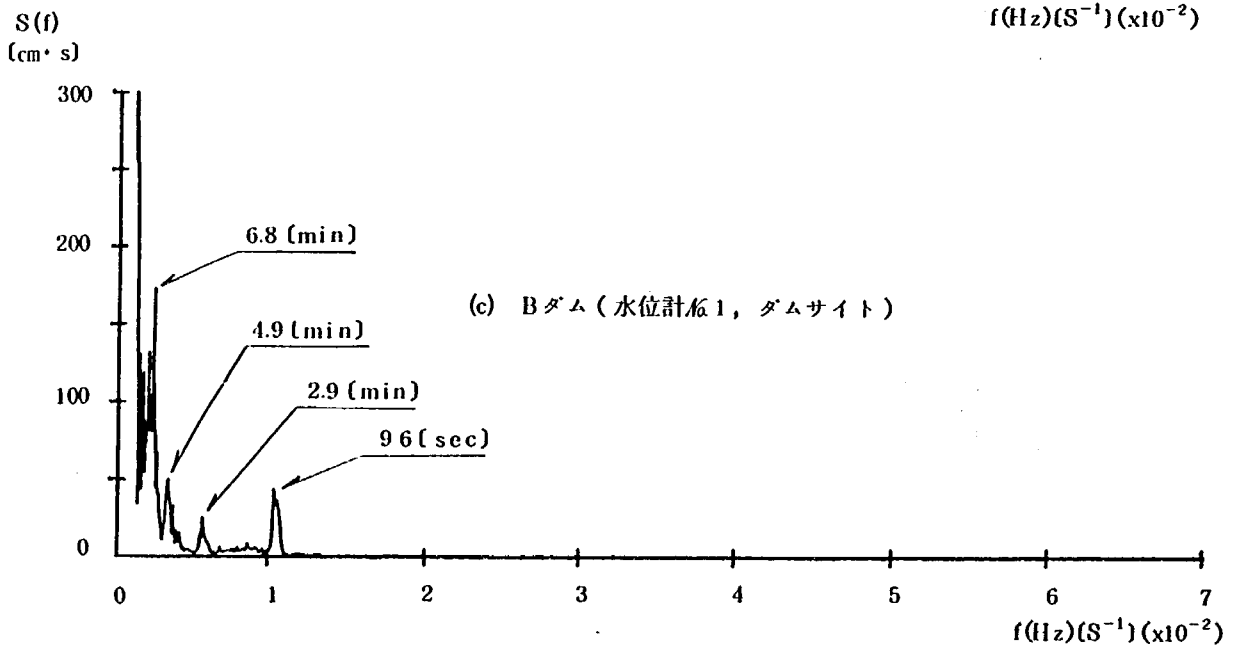
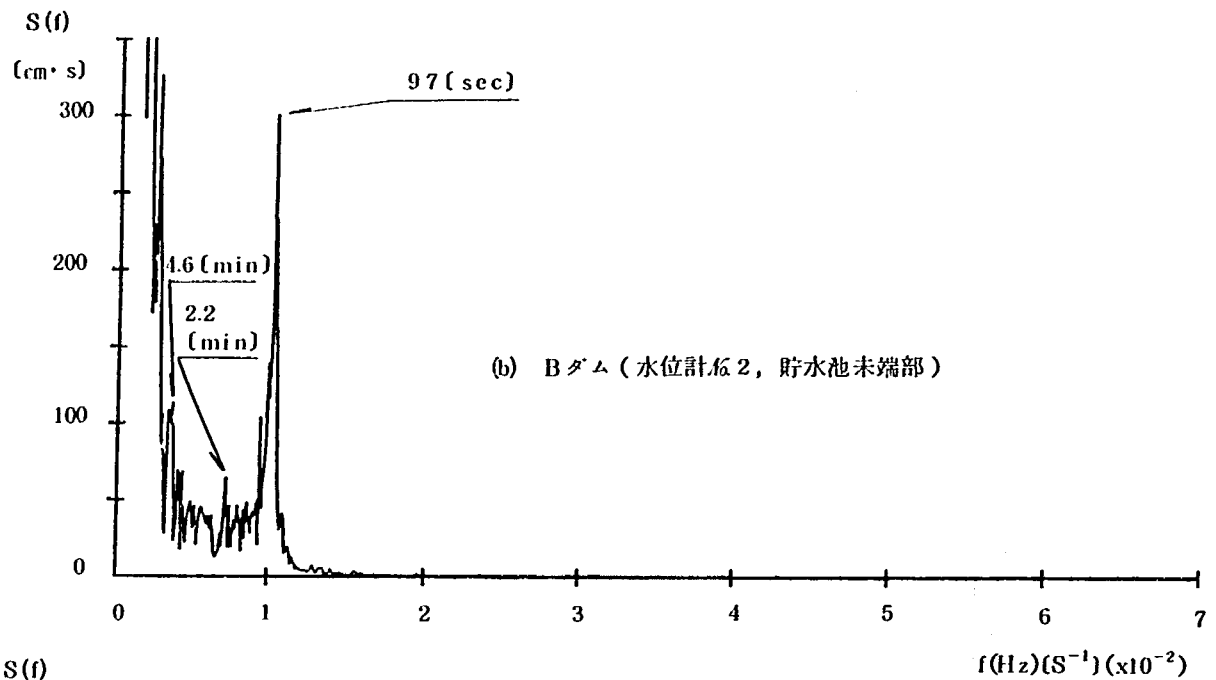
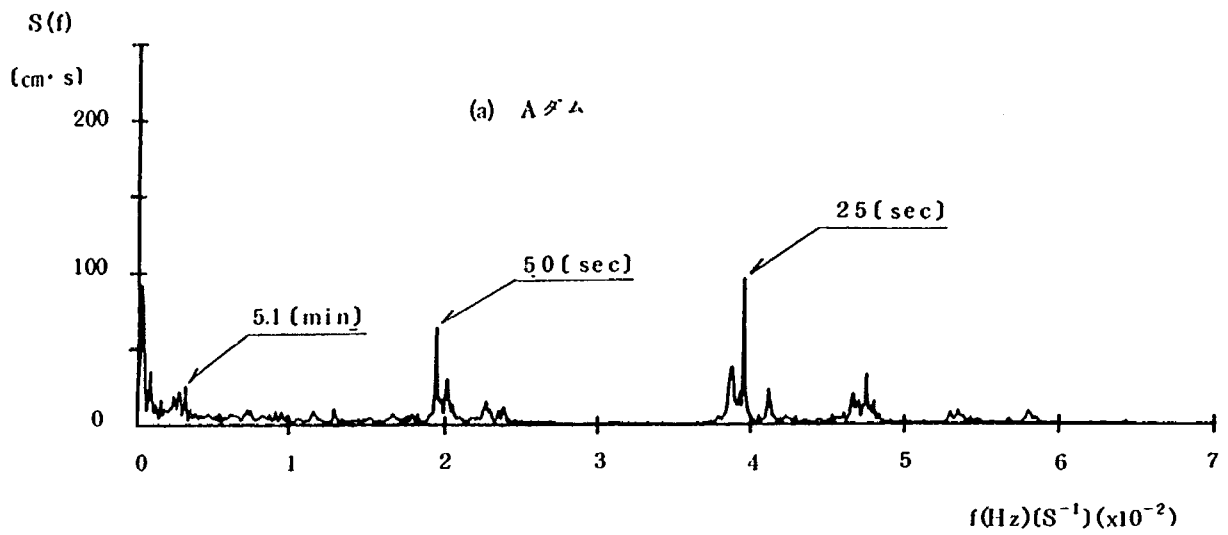


図-3.2 貯水位パワースペクトル (Aダム, Bダム)

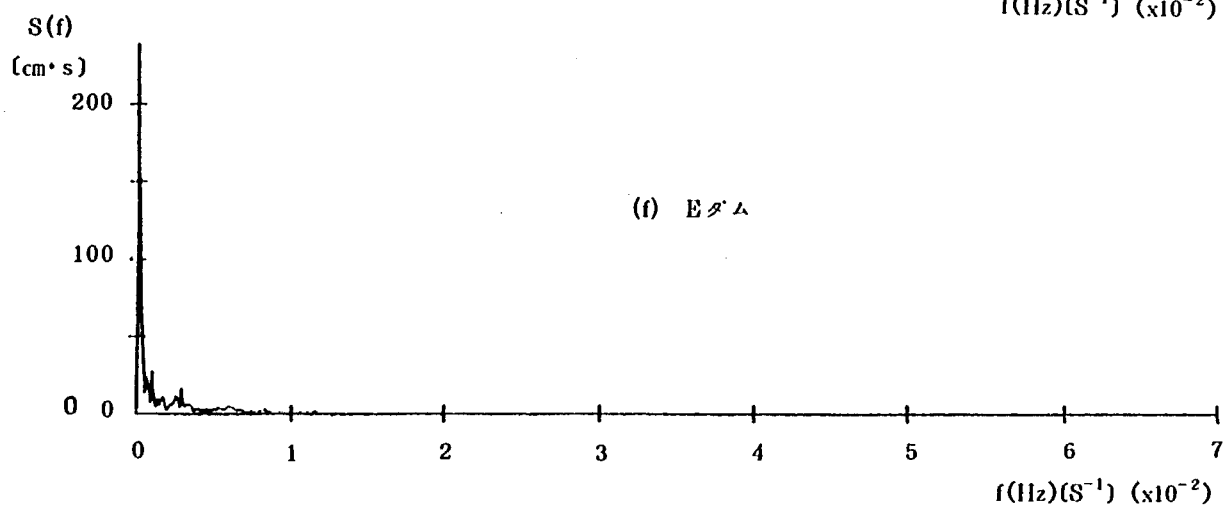
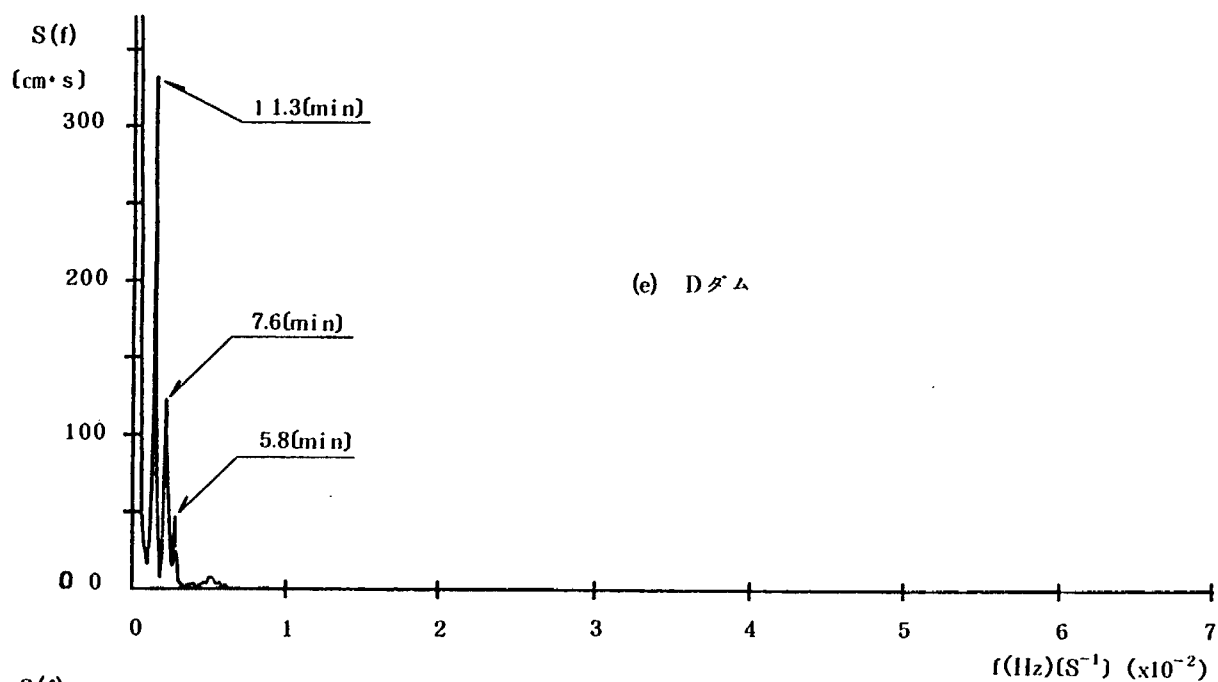
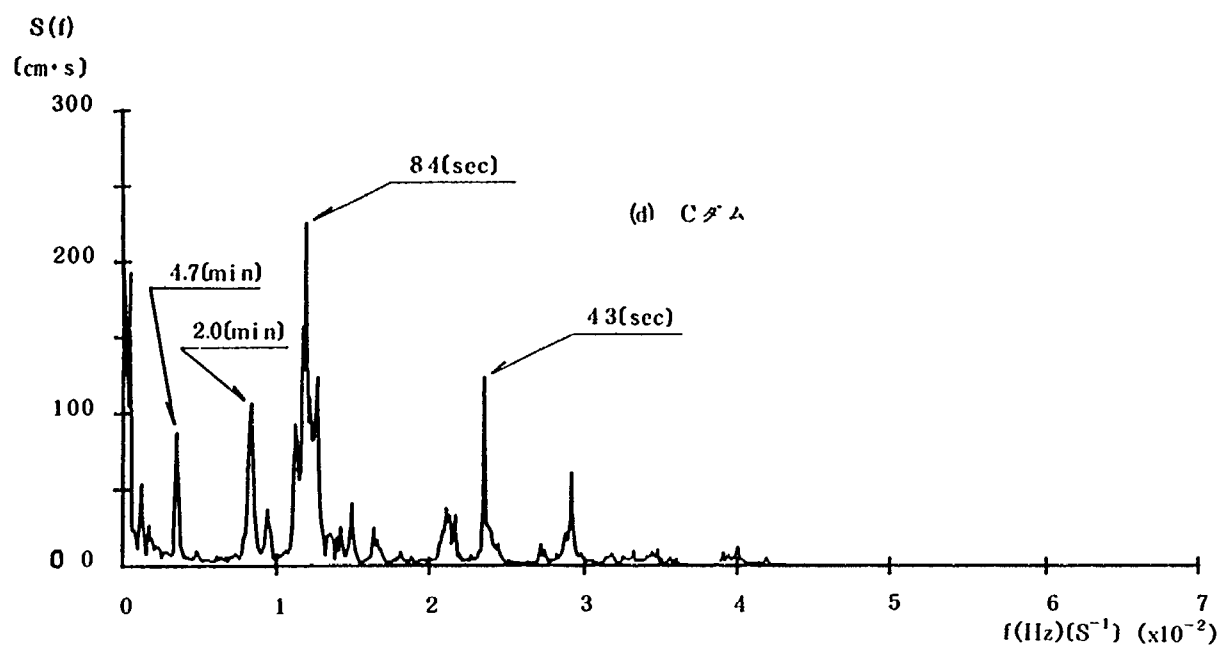


図-3.2 (続き) 貯水位パワースペクトル (Cダム, Dダム, Eダム)

表 - 3. 2 水位観測記録一覧表

ダム名	観測年月日	水位変動幅 (cm)	周 期 (分)	継続時間 (時間)	推定される原因				現象の分類 ^{*)}	気 象 擾 乱	備 考	
					洪水流入時	ゲート操作	風 浪	その他				
A ダム	55. 10. 31	2 ~ 4	0.5 ~ 1	20			○		③	日本海低気圧 寒冷前線	ダムの立地特性から風の 影響を受けやすい。	^{*)} 現象の分類 規則的・長周期の変動 ①持続性の変動 ②短時間の変動 不規則・短周期の変動 ③持続性の変動 ④短時間の変動 ⑤複合的変動 ⑥特殊な変動
	56. 4. 20	3 ~ 10	7.05 ~ 1	6		○	○		⑤(②+③)	二つ玉低気圧	特に3月、4月に多発 する。	
	57. 10. 19	3 ~ 8	0.5 ~ 1	12								
B ダム	水位計1	56. 6. 30	2 ~ 8	1 ~ 2	0.5			○	④	梅雨前線	上流ダムの揚水・発電 に伴い発生	
	水位計2	"	2 ~ 20	1 ~ 2	1			○	④	"	"	
	水位計1	56. 7. 8	2 ~ 3	1 ~ 3	1		○	○	④	湿舌豪雨 日本海低気圧	(ダム放流量は増加中)	
	水位計2	"	2 ~ 10	1 ~ 3	1		○	○	④	"	(" ")	
	水位計1	56. 7. 11	2 ~ 3	1 ~ 2	1.5		○	○	④	湿舌豪雨 梅雨前線	(ダム放流量は減少中)	
	水位計2	"	2 ~ 10	1 ~ 2	1.5		○	○	④	"	(" ")	
C ダム		55. 9. 10	2 ~ 6	0.5 ~ 2	22	○		○	③	台風13号	台風に伴い発生	
		55. 10. 14	2 ~ 3	0.5 ~ 2	11	○		○	③	台風19号	"	
D ダム		55. 8. 28	3 ~ 8	7 ~ 13	4	○	○		①	温帯低気圧 (九州湿舌豪雨)	制限水位に保たれてい る時に発生	
		55. 9. 10	-	-	-				-	台風13号	水位変動なし	
		55. 10. 14	-	-	-				-	台風19号	"	
		56. 7. 30	-	-	-				-	台風10号	"	
		57. 7. 12	2 ~ 5	10 ~ 17	2	○	○		②			
E ダム		55. 9. 10	-	-	-				-	台風13号	水位変動なし	
		55. 10. 14	-	-	-				-	台風19号	"	
		56. 7. 31	-	-	-				-	台風10号	"	
		57. 7. 17	-	-	-				-		"	

衰してダム堤体部に伝播し、水位計No 1 に出現している。また、その水位高低差はおよそ 20 cm 程度であることがわかる。

B ダムにおいて、ダム湖水理挙動の検討がなされており、これによると水位計No 1 と No 2 の水位差 (ΔH) は、ダム流入量 (QI) によって一義的に決定するものとして、図- 3. 4 の実績値より式 (3.1), (3.2) が導かれている。

・ $QI \leq 500 \text{ m}^3/\text{s}$ の時

$$\Delta H = 0.31 \times 10^{-2} \times (QI)^{1.30} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

・ $500 < QI < 1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ の時

$$\Delta H = 0.59 \times 10^{-6} \times (QI)^{2.68} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ここに、 ΔH ; 貯水池末端部水位
 - ダムサイト水位 (cm)

QI ; ダム流入量 (m^3/s)

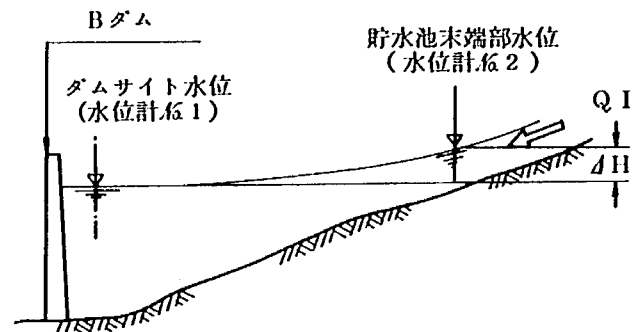


図- 3. 3 B ダムの水位観測位置

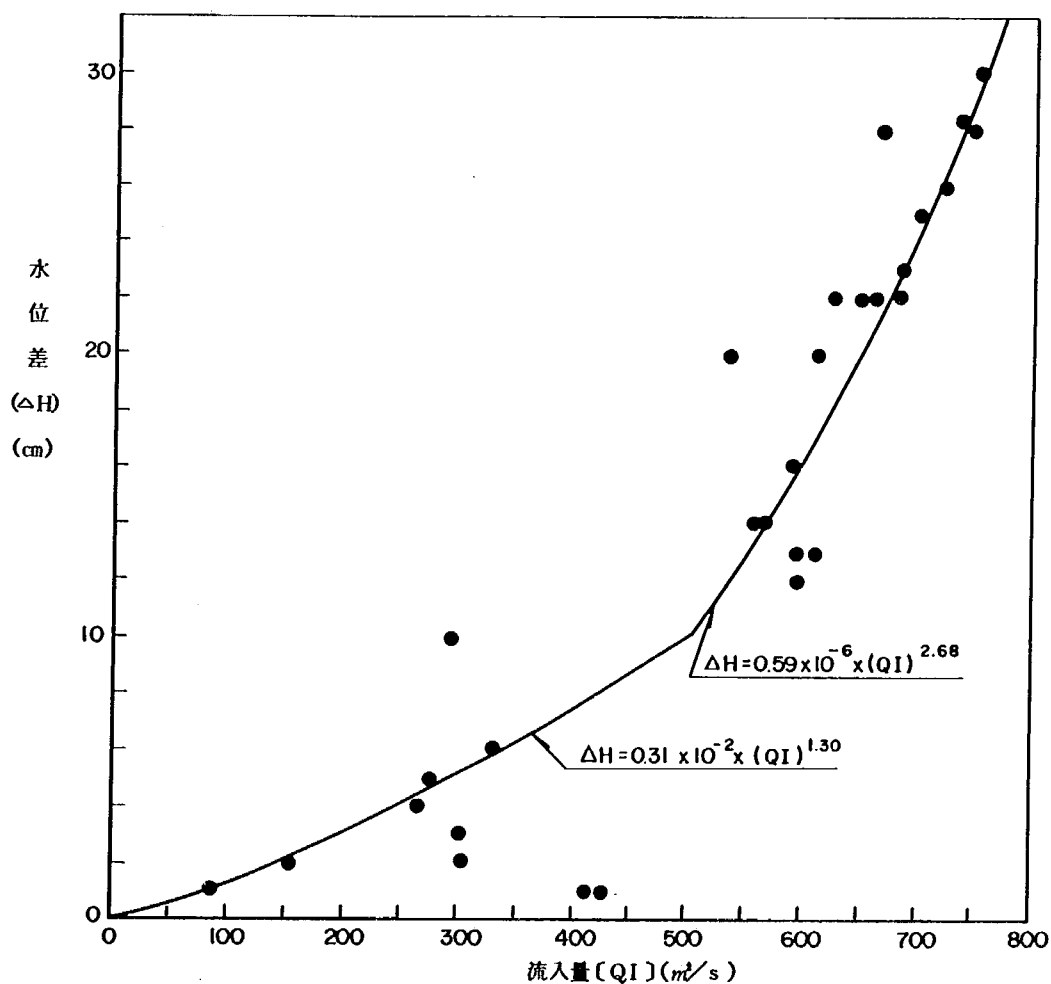


図- 3. 4 水位差と流入量の相関図

したがって、上流の発電専用ダムが発電・揚水を行っていない場合は、水位計No.1とNo.2の観測値を加重平均してBダムの貯水位を決定し、流入量の計算等に用いている。

発電専用ダムが発電・揚水を行っている場合には、

- i) 発電を開始した時
- ii) 発電をしている時
- iii) 発電を停止した時
- iv) 揚水を開始した時
- v) 揚水をしている時
- vi) 揚水を停止した時

の各段階における2ヶ所の水位観測値に対して、線形方程式をラグランジェの補間法で求め水位変動波形を消去するよう検討がなされている。

また、Bダムが発電取水した時に取水口付近の水面（流況）がどのように変動し、水位観測に影響を及ぼすか、について検討されており、その内容は4.1.2水位計の設置位置の項で詳述する。

(3) Cダム

CダムはAダムと同様に、風の影響と思われる短周期の持続性の変動が記録されている。このような水位変動が記録される背景には、その主要因である風（風向、風力）の影響が大きいということはいうまでもないが、その他に水位測定装置にも問題があるように思われる。つまり、貯水位の測定は直接に貯水面の変化を計るのではなく、測水井を設けてその中の水面の変化を測定するのが一般的である。この時、導水孔のしほり率（導水孔断面積／測水井断面積）を小さくするほど水位振動の減衰効果が期待され、特に短周期の振動に対して効果が高いことが知られている。したがって、このようなダムでは導水孔にフィルターを設けるなど測水井の構造を工夫することで、かなり有効な水位変動対策となるものと考えられる。なお、測水井の特性分析については4.1.3で詳述する。

(4) Dダム

図－3.2(c)のDダム貯水位パワースペクトルで明確なように、今回の水位観測記録からは5分以下の短周期の水位変動は全く観測されなかった。図－3.1のDダム水位観測記録に見るような持続性の規則的な長周期変動が約4時間にわたって記録されており、これは洪水時におけるゲート操作に起因して発生したものと推定される。

(5) Eダム

Eダムの測水井は二重構造であり、導水孔のしほり率は $1/1000$ （外部）、 $1/800$ （内部）としほられているため水面振動の減衰効果がかなり高いと推定される。事実、観測された水位記録には、台風による出水時にもかかわらず波動的変動は全く記録されていなかった。

3.2 水位変動の特徴分類と発生頻度

水位変動の外的要因としては次のものが考えられる。

- ① 風による影響
- ② 洪水の流入あるいはゲート操作にもとづく放流量の急激な変化による影響
- ③ 地震あるいは貯水池内の土砂崩壊等の突発的な現象による影響

これらの外的攪乱要因の影響を受けて貯水位の変動は貯水池の水深、幅、形状等の因子に支配された動的特性を示す。

水位記録紙をもとにして水位変動の動的特性（変動幅、周期、持続時間など）を観察してみよう。

図－3.5に水位観測事例を示す。(a)は風による水位変動の例であり、水位変動幅は十数cmにも達し、変動周期は短かく継続時間が長いのが特徴である。

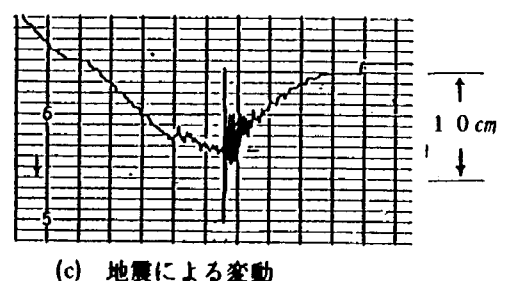
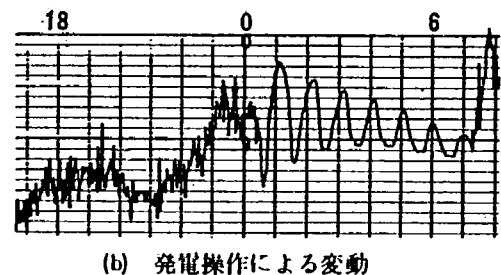
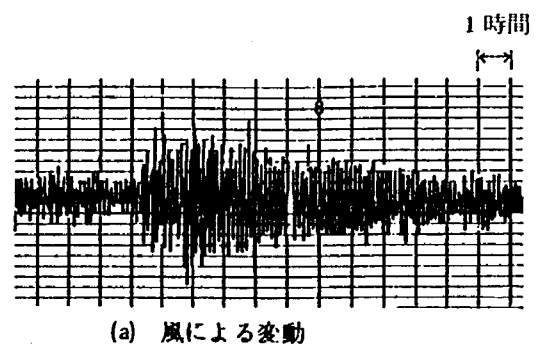
(b)は発電操作に伴って発生した水位変動の例であり、変動幅は10cm程度で、周期は60分程度となっている。また、水位変動幅は時間とともに減衰していることが指摘される。

(c)は地震による水位変動の例であり、突発的でかつ水位変動の継続時間が短い（約1時間）点が特徴的である。

次に、水位変動を動的特性に従って分類した結果を表－3.3に示す。²⁾また、その分類別の水位観測実績を表－3.4に、水位変動の発生原因を表－3.5に整理した。

現象の分類の中の①規則的長周期の変動、持続性の変動については、よく検知されるダムとほとんど検知しないダムがあり、周期が長いため実際の変動がそのまま検出されているものと思われる。この変動周期は貯水池のセイシュの有する周期に対応しているものと推定され、各貯水池ごとほぼ一定の性状で発生することが特徴的である。

②の変動については、その周期性の特徴は①と同じ性状であるが、継続時間が短く変動の減衰が早い。この変動の原因としては、ゲート操作によるものと考えられる。



図－3.5 水位観測事例

表－ 3. 3 貯水位変動の特徴分類

現象の分類	水位変動幅	周期	継続時間	発生度数	推定される原因・その他
規則的・長周期の変動 ① 持続性の変動	最大 2～ 4 cm	数分～ 数十分	数時間 ～数十時間	多発するダムと検知しないダムがある	洪水流入時，ゲート操作が誘因，風が誘因，原因不明のもの，変動幅比較的小
② 短時間の変動	最大 3～ 8 cm	数分 ～数十分	1～5時間	発生するダムが多い	ゲート操作に伴い発生
不規則・短周期の変動 ③ 持続性の変動	最大 3～20 cm	短	数時間 ～数十時間	ダムによって変動幅，発生度数が異なる。	風浪が主因 水位計の位置・構造の影響大
④ 短時間の変動	最大 3～10 cm	短	0.3～ 1.5時間	発生が稀 突発的	土砂崩落によるもの 地震によるもの 初期変動大きく減衰早い
⑤ 複合的変動	(1)と(3)，(2) と(3)の複合	長＋短	数時間	発生少ない	(1)と(3)，(2)と(3)の原因が重なったとき
⑥ 特殊な変動	(最大6 cm)	(約30秒)	(数時間)	(比較的多い)	水位計の設置位置が特殊の場合，その構造特性により発生するもの

表－ 3. 4 水位変動の分類

現象の分類		頻度	%
規則的 長周期	持続性の変動	7	9
	短時間の変動	2	3
不規則的 短周期	持続性の変動	49	63
	短時間の変動	14	17
複合的変動		6	8
合計		78	100

表－ 3. 5 水位変動の原因

変動の原因	頻度	%
風	92	76
ゲート操作・発電	10	8
土砂崩落・地震	6	5
出水時	13	11
合計	121	100

③の不規則的短周期，持続性の変動は，おもに風波によって生ずるもので，水位計の構造，配置によって変動規模がかなり異なり，また風の強さに比例している。この変動は，表－ 3. 4で示したように観測事例全体の63%と最も多く記録されているが，変動周期が比較的小さいため測定井筒の構造を含む水位計の構造的な配慮および計測値処理法の工夫によってその影響程度をかなり軽減することが可能と思われる。

④の不規則的短周期，短時間の変動については，その発生要因が地震，土砂崩落等の不可抗力で突発性の現象であるため，風による持続性の変動に比べれば発生度数は少ないが，調査例では水位変動幅が比較的大きいので無視することはできない。

⑤の複合変動は，①と③，または②と③が重複したものであり，よく検知されるダムがある。

⑥の特殊な変動については、水位計の設置位置、構造等が特殊な場合に発生するもので、たとえば短周期の規則的な変動等がある。

3.3 水位測定上の問題点

貯水位の取扱いは、貯水面が水平であって測定値は貯水量の変化によって変化するという前提で処理されるのが普通であるから、測定方法もできるだけその条件に合致するように考慮されまた測定値の処理が行われる必要がある。しかしながら、実際のダムにおける貯水位の測定値は上記の前提に合わない場合が存在し、その原因としては以下のことが考えられる。

- (i) 貯水面の振動的変動（風波、衝撃波、セイシュなどで発生数は最も多い）による測定値の変動。
- (ii) 放流、取水等のゲート操作により接近流速が生じて局所的に水面が低下する。
- (iii) 洪水流入によって貯水池全体に水面勾配が生ずる。
- (iv) 水位計の構造上、水位の急変に対して検出値が追従しない。または水位計の故障により測定値が不正確。

これらの影響で実際の貯水位測定値は、いわゆる雑音波の入った動的特性を呈しており、そのためにゲート操作や常時のダム管理で支障となっている例がしばしば見受けられる。これらの要因のうち、(iii)の水面低下の問題は比較的初期に建設されたダムにおいて住々問題になったことがあるが、最近は常識的に取水・放水施設付近を避けて測水井を設けられるようになっており、問題が起ることは少なくなった。

(iii)の水面勾配については、貯水深が比較的浅く貯水池延長が長いダムでは洪水流入時に貯水池全体に水面勾配が生ずる場合があるため、ダムサイト地点の水位測定値だけでは貯留量、流入量の実際の値が把握できないことになる。

(iv)は土木構造的および機械的な問題である。水位計の故障原因としては、表-3.6のような内容がダム管理者より挙げられた。水位検出部の故障が最も多く全体の41.1%で、その原因としては、測水井内の土砂堆積、導水孔の目づまり等が多い。測水井の内径に対し、導水孔を小さくする程、水面振動の減衰効果が期待されるが（4.1.3の測水井の特性分析で後述するが短周期の振動に対して効果がある）、あまり導水孔を小さくすると、土砂、藻類等がつまってしまい故障の原因となる。

(i)に示した現象は従来からも認識されていたが、実際の管理においては必ずしも十分な対応がとられているとは言えないのが現状である。しかしながら、ダムの管理操作ではかなり精密な管理が要求されることが多いことから、適切な対策をたてる必要がある。次章では主に(i)の貯水面の振動的変動に対する施設、機械的（ハード的）、データ処理、数学的（ソフト的）な対策について検討を加える。

表－ 3. 6 水位計の故障原因

検出部	4 1.1 %	送信部（受信部も含む）	1 5.9 %
・ 測水井内に土砂が堆積 ・ 導水孔にゴミがつまる ・ 観測水面の凍結による作動不能 ・ ワイヤーのずれ，ブーリーの不良 ・ 電極棒接点の不良		・ 落雷による送受信不能 ・ 地形的な要因による送受信機の電波障害 ・ 送電線の断線	
記録部	2 5.2 %	その他	1 4.1 %
・ 時計の遅速 ・ ペン送りの不良，ペンの錆等 ・ 巻取り動作の異常		・ 人為的な機器の操作ミス ・ 原因不明 ・ その他	
電源部	3.7 %		
・ 電気配線の接続部の緩み，又は断線あるいは錆による半短絡 ・ A/D コンバータ交換部の不良			

4. 貯水池水位変動対策の概要

前章で述べたように、貯水池の水位は、風による波浪、放流に伴う変動、土砂崩壊、地震、貯水池の静振等の外的要因にもとづく水位変動が合成されたものとして観測されることとなる。したがって、このような貯水位から正確な貯留量あるいは流入量を把握することは不可能であり、貯留量の増減にもとづくと思われる水位変化を得るためになんらかの対策を講ずる必要がある。

水位変動対策としては、

- (1) 貯水位の変動現象そのものを制限する
- (2) 貯水位の測定段階での対策
- (3) 測定後の貯水位の利用段階での対策

が考えられるが、(1)についてはその対象の大半が自然現象であること、あるいは人為的な要因が介在するものとしては急激なゲート操作に伴う水位変動が考えられるが、洪水時での放流操作の制限は貯水池管理上、実施不可能であるため、本報では(2)と(3)の貯水位の測定段階とその後の利用段階における対策について検討することにする。

4.1 機械的対応方法

貯水位の測定段階での水位変動対策としては以下のものが考えられる。

- (1) 適切な水位計の設置位置と設置台数
- (2) 測水井の構造の改良
- (3) 振動吸収ダンパーの設置

これらの対策法は、いずれも機械的に振動除去しようとするものである。次節では、対策方法について検討するにあたり水位計の種類あるいは水位測定方法について述べることにする。

4.1.1 水位計の種類

現在、河川、ダム、水道等で使用されている水位計は表-4.1に掲げた8方式である(各水位計の詳細を付録Bに示す)³⁾。これらのうち、最も使用実績が多い方式としてフロート式水位計が挙げられる。フロート式水位計は、水位の変動をフロートにより検出し、ワイヤーを介してプーリーの回転に変換するもので、機構的に簡単で電源を必要としない点、堅牢性、耐久性に優れている点等が長所として挙げられる。

また、水中に測水筒を設置し、管内の水位を測定する方式として、フロート式、測定柱式、触針式、静電容量式、音波式等が挙げられる。これらの方式は、測水筒工事が必要となるが、測水筒の構造特性による水位振動の減衰効果を期待することができる(4.1.3で詳述する)。

分解能はいづれの方式においてもおよそ±1cm程度となっているが、測定範囲には10～30m、50m、100mと様々である。大規模なダム貯水池での水位計の検討では、貯水位の測定範囲が広範囲にわたるため、採用可能な水位計はある程度絞られてくるものと思われる。

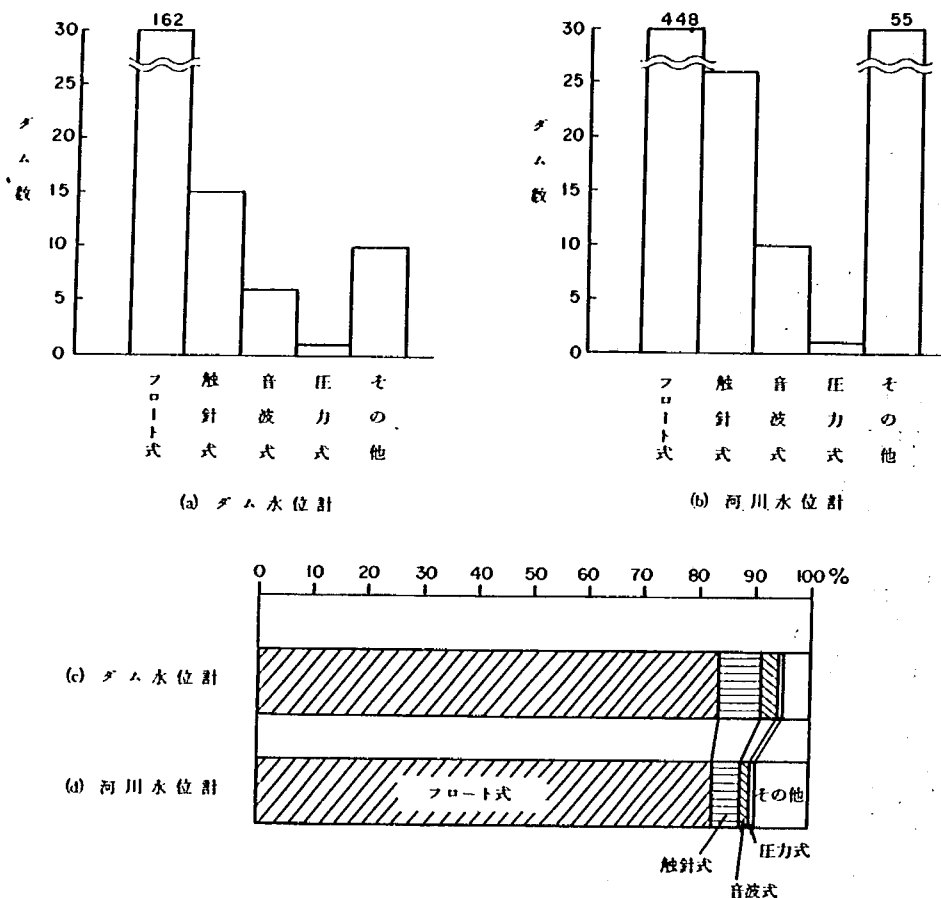
表-4.1 水位計の種類と特徴

種 類	フロート式	測定柱式	触 針 式	静電容量式	音 波 式	圧 力 式 (ストレンゲージ式)	圧 力 式 (水晶式)	超音波式 (非接触式)
諸元当								
基本構成								
測定方法	水の変動をフロートにより検出し、ワイヤを介してプーリの回転に変換する	リードスイッチと永久磁石付フロートを組合せ、測定柱に1cm毎にリードスイッチを取付け、フロート位置を検出	マイクロモータで電極を上下し、水面を検出する。	2極間の静電容量は管内水位により変化するので静電容量を水位に変換	音波管内にパルス化した音波を発射し、反射波を受信するまでの伝播時間で水面を検出	圧力ダイオードを水底に置き水圧を検知し、アナログ出力とする。ストレンゲージによりゲイアフラムの歪を検出する方法もある	大気圧と水圧の差圧を水晶発振器周波数に変換し、電子式カウンタにてデジタル水位。アナログ水位を出力	超音波を発射し、水面で反射して受信するまでの伝播時間で水面を検出
設置上の要点	測水筒(φ500以上)必要 斜測不可 川床変動に注意	測水筒(φ165~300)必要 針測(鉛直に対し30°以内)移動可	測水筒(φ50~80)必要 斜測(30°以内)可能(但し階段式は不可) 流水等に弱い	保護パイプ(φ25~100) 斜測可能(但し、階段式は不可) 時々校正が必要	音波管(φ25~50) 斜測(45°まで)可能(但し、階段式は不可) 流速等に弱い 時々校正が必要	斜測可 大気圧変化に対する補正がない 流速により負圧をうけるので、流速の大きい水路に設置されることが多い	斜測可 接続箱まで最大150m、それ以後のケーブルまでは最大3500m	橋脚、橋桁等に取り付け 急流部の河床変動の大きい区間に適す
測定範囲	100m	可変(2m、3mの組合せ)	50m	100m	0~15m 0~30m	0~10m 0~50m	0~10m 0~50m	10m
分解能	±1cm	±1cm	±1cm	0.8~1%	±1cm	0.3~0.5%	0.03%	1%
電 源	不 要	DC12V 1.8A	DC12V 0.1A	DC12V	DC12V 3A AC100V	DC12V	DC12V 4A AC100V	AC100V
水位計と観測所の距離	×	500~1000m	×	50~100m	~2000m	50~100m	150m	50~100m
表面凍結時の測定	×	×	×	○	×	○	○	○
機 器 費 (千円)	1,000	5,000	1,000	1,000	2,000	1,500	1,500~2,000(オプションにより異なる)	2,000
測水筒工事を含む取付費	2,000~10,000	1,000~2,000	1,000~2,000	1,000	500	500	500	500
基 本 出 力	アナログ	デジタル	アナログ	アナログ	アナログ	アナログ	アナログ	アナログ
保 守 性	導水口点検、ギア等注油	流入口点検	導水口点検、ギア等注油	導水口点検	導水口点検			水中に構造部がなく容易
そ の 他	実績が多く、一般的である			河川への適用は少ない	河川への適用は少ない		使用実績が増えつつある	精度がやや劣る

表-4.1 水位計の種類と特徴 (続き)

種 類 諸元当	フロート式	測定柱式	針 針 式	静電容量式	音 波 式	圧 力 式 (ストレンゲージ式)	圧 力 式 (水晶式)	超音波式 (非接触式)
基 本 構 成								
使 用 実 績	水位計の中では、最も一般的に使用されており使用実績が高い。	全国1,500ヶ所	中程度	水道用としては多いが河川用としては少ない。	中程度	きわめて少ない。 開発時期(S56年)	中程度 S57年度内 120台(国内) 100台(国外)	主として下水道管理に使用されるが、河川の実績は少ない。
機 器 信 頼 性	簡易な機械的構造であることから、比較的信頼性は良い。	比較的高い	ギヤ及びモータ機構を有するため、電気式よりは劣る。	検出部は可動部がないため、堅牢である。信頼性は高い。	可動部分がないため比較的高い。	機械的な可動部が少なく、電子的に構成されているため、信頼性は比較的高い。	可動部がなく電子回路構成のため信頼性は高い。また、水晶振動子使用のため、経年変化がほとんどない。	可動部分がなく、電子部品による構成のため比較的信頼性は高い。
長 所	A/D変換器は、無電圧接点ビジー号付きであるため、建設省方式無線テレメータに容易に接続可能である。	・デジタル方式のため比較的精度が高い。 ・テレメータへの接続は容易である。	・大型測定井戸を必要としない。 ・傾斜面(60度以上)での測定可能。	・水以外の液体に使用できる。 ・粉体等も測定可能。	・傾斜測定が30°以上可能。 ・データ平均可能 ・隔測用時計内蔵月日時分のデジタル出力がある。	・階段式護岸でも観測可能。 ・可動部がないため信頼性は高い。 ・観測井戸なしでも水位計測可能。	・階段式護岸でも使用可能 ・取付工事が容易 ・土砂、ヘドロ等は、50~60cm埋没しても測定可能。	水に機器を接触させずに計測できる。変換器内で20秒間100回の水位平均値の演算が可能。
短 所	・測水井戸の建設困難な地点には設置できない。 ・フロート式のため測水井戸(大型)を必要とするため、中小河川では土砂、ヘドロ等による導水口のつまり等がでやすい。また機械のため、ギヤ等の摩滅がともなり。	・河川の中に測定柱を立てるために土砂、ゴミ、ヘドロ等がたまりやすい。 ・ゴミ、ヘドロ、土砂等で下部が埋没すると測定不能となる。	・階段式観測は不能 ・電極の汚れまたはヘドロ、土砂、ゴミ等による導水口のつまり等がある。 ・モータ機構を有するため、機械系の障害あり、注油等が必要になる。	・水質により誘電率が変化すると誤差となる。 ・ブローブに導電性の付着物があると測定不能となる。	・土砂、ヘドロ等の堆積物のある所では使用できない。 ・ゴミ、流木等浮遊物の多い所は避けるべきである。 ・水質の悪い所、振動、騒音のある所は避ける必要がある。 ・流速が速く乱流のある場合誤差となる。	・大気開放部パイプにフィルターがないため、水滴が入り込むと誤差になる。 ・導水フィルターが下部にあるため、土砂ヘドロに埋没した時、測定不能になることがある。	・他の方式と比較して、やや高価となる。	河川の幅が広い所では取付け困難。風速による誤差がでる。 河川の流れの位置が変化する所は測定不能となる。 消費電力が大きい。

水位計の方式別利用状況をアンケート調査より整理したものを図－4.1に示す。河川水位流量観測所においても、ダム貯水池においてもフロート式水位計がほとんどであり、その他の電氣的計測方式は、未だ17%程度にすぎない。測定柱式（固定電極式）は補修が困難であり、触針式は水位変動の大きい場合は適当ではなく、音波式は振動、騒音等の影響を受ける等、現状では堅牢性、耐久性を考慮してフロート式を基本として考えるべきであろう。



図－4.1 水位計の種類

4.1.2 水位計の設置台数と設置位置

水位計の設置台数は表－4.2に示すように、1台設置のダムが全体の87%と多いが、その重要性から最小限2台設置することが望ましい。その時、設置位置はできるだけ同一状況をもつ位置及び構造とする必要があり、その利用方法は、主、副として、副については代替用、

表－4.2 水位計設置台数

水位計台数	1	2	3	5	なし	合 計
ダム数	206	16	3	1	10	236
%	87.3	6.8	1.3	0.4	4.2	100

監視用として使うのがよいとされている。また、風、ゲート操作等の要因による短周期の水位変動が多発する貯水池においては、水位計を複数設置し、それらの観測値の平均値をその貯水池の水位とするという方法も水位変動対策の有効な一手法であると考えられる。

水位計の設置位置は、表－4.3に示すように堤体部が最も多く全体の83%を占める。水位計の設置位置は、水位変動の影響を避けるため、放流設備とできるだけ離すこと、また風や流れの影響を受け易い場所を避けることが必要である。したがって、ダム設計時点で風による吹き寄せの強い場所、卓越風向、風波の立ちやすい場所等をあらかじめ十分検討する必要がある。測定位置がトンネル導水路内や取水・放流設備に近いと特殊な水面変動を生じたり、水の流れの影響を受けて水位に差を生じたりして好ましくないのを避ける。また、流入量規模に比し貯留量が小さい（または貯水深が小さい）場合には貯水池内の流れの影響についても検討しておく必要がある。

表－4.3 水位計設置位置

設置位置	堤体部	潮心部	貯水池末端部	合計
ダム数	163	18	15	196
%	83.2	9.2	7.6	100

水位計と放流設備との間隔は、放流量やゲート操作方法によっても異なるので一概にはいえないが、50 m未満のダムにおいて放流操作による影響を受けていると報告している事例が多いことから、放流設備から少なくとも50m程度以上は離すことが望ましい。

また、水位計を放流設備から離すことが地形的に、あるいは堤体構造上から困難な場合には、導水管を長くすることによって対処している事例もある。

以下に、ダムが放流操作を行った時の水面の変動状況、ならびに影響範囲について検討した事例を紹介する。

図－4.2にダム周辺の概略図を示す。当ダムが発電取水している時の取水口付近の流向および流速を図－4.3のA～I地点において測定した。各地点ごとに水深1, 5, 10, 15……(m)における測定結果を図－4.4に流況鉛直ベクトル図として示した。このうち、取水口方向の流速ベクトル成分を求め、調査時の発電取水量 $95\text{m}^3/\text{s}$ から流速影響範囲を求めると、表－4.4が得られ、 $\theta = 26^\circ$ の場合に等流水深と貯水池形状が非常に良く一致していることが明らかになった（図－4.5）。したがって、図－4.6のようにダムサイトの水位記録所は流速影響範囲外にあるため、発電取水による水位変動の影響はないと思われる。なお、D～I地点における貯水位影響量Hは、次式より最大0.36cm程度と推定される（図－4.6参照）。

$$H = \sum_{i=2}^k \frac{V_i^2 - V_{i-1}^2}{2g} \dots\dots\dots (4.1)$$

ただし、

H : k 地点の貯水位影響量 (cm)

V_i : i 地点の平均流速 (cm/s)

g : 重力加速度 ($=9.8\text{ m/s}^2$)

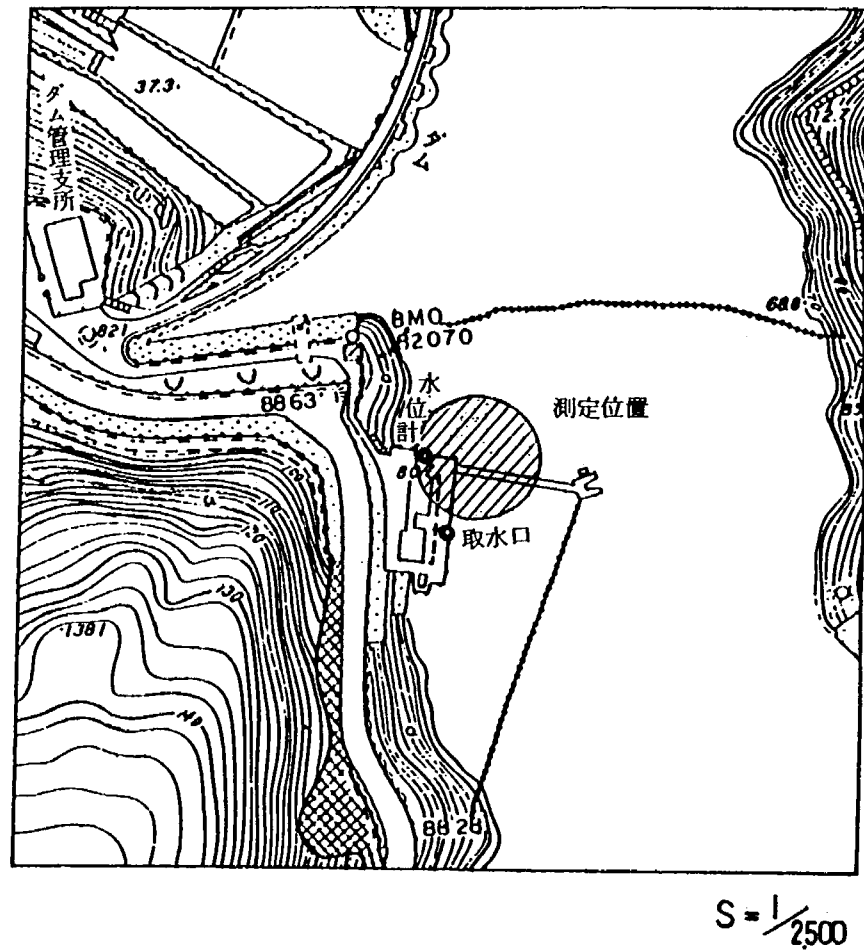


図-4.2 測定位置概略図

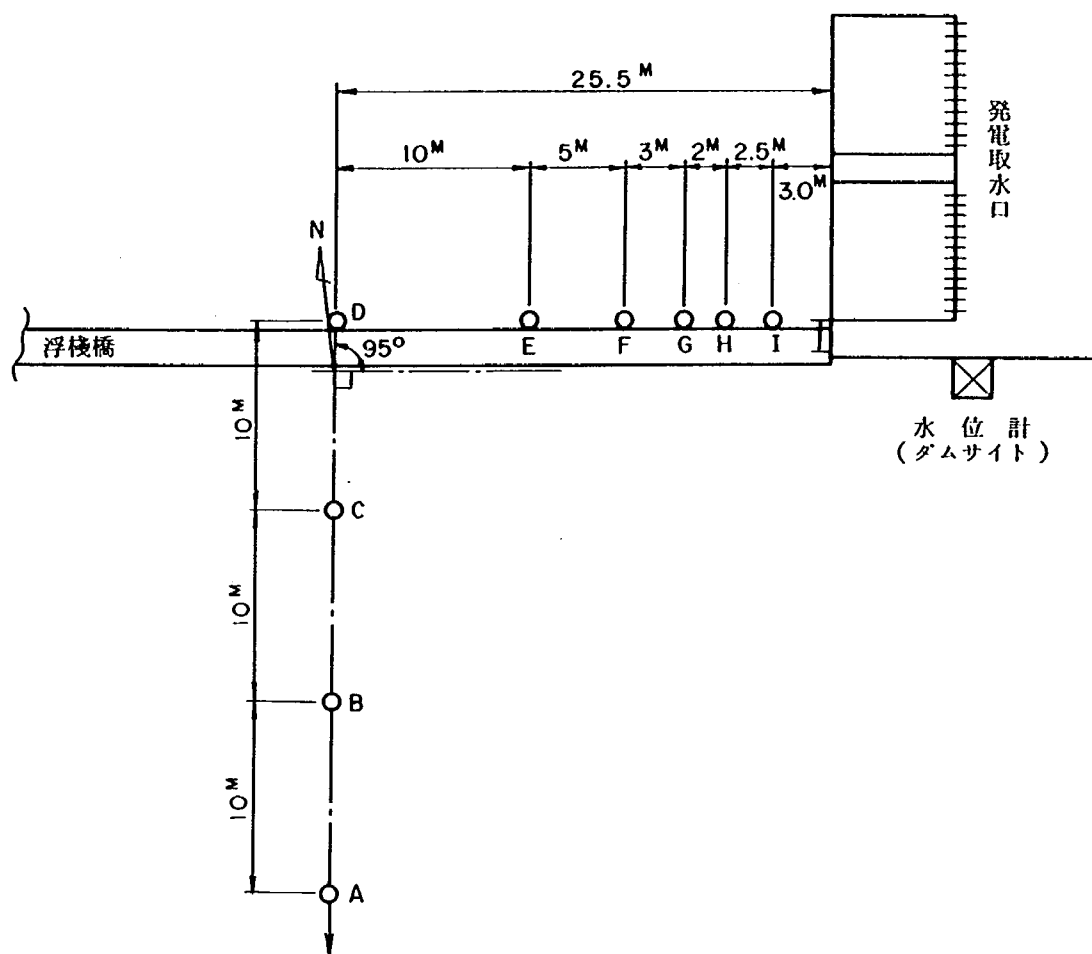


図-4.3 流向・流速測定位置図

表-4.4 流速一覧表

θ	地点	B (m)	V (cm/s)	H (m)
11°	D	23.95	20.2	79.3
	E	20.06	24.2	52.6
	F	18.11	26.8	37.5
	G	16.95	28.6	28.0
	H	16.17	30	19.6
26°	D	35.68	13.6	53.3
	E	25.92	18.7	40.7
	F	21.05	23.0	32.2
	G	18.12	26.7	26.2
	H	16.17	30	19.6
45°	D	56.17	8.6	33.8
	E	36.17	13.4	29.2
	F	26.17	18.5	25.9
	G	20.17	24.0	23.5
	H	16.17	30	19.6
		H=19.6m V=const		

(注) $Q = A \cdot V$, $V = B \cdot H \cdot V$
 $Q = 9.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (調査時の放流量)

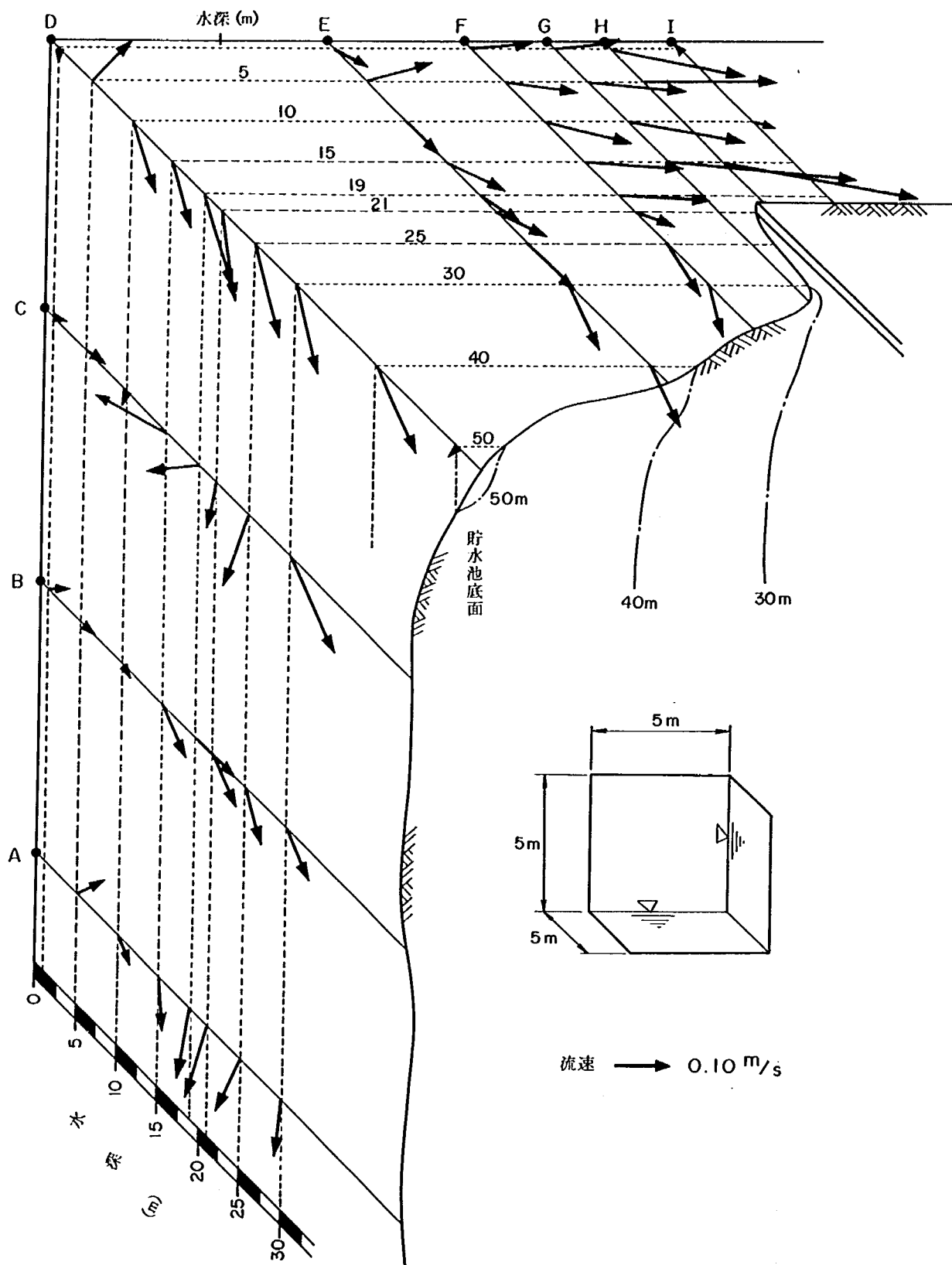


図-4.4 流況鉛直ベクトル図

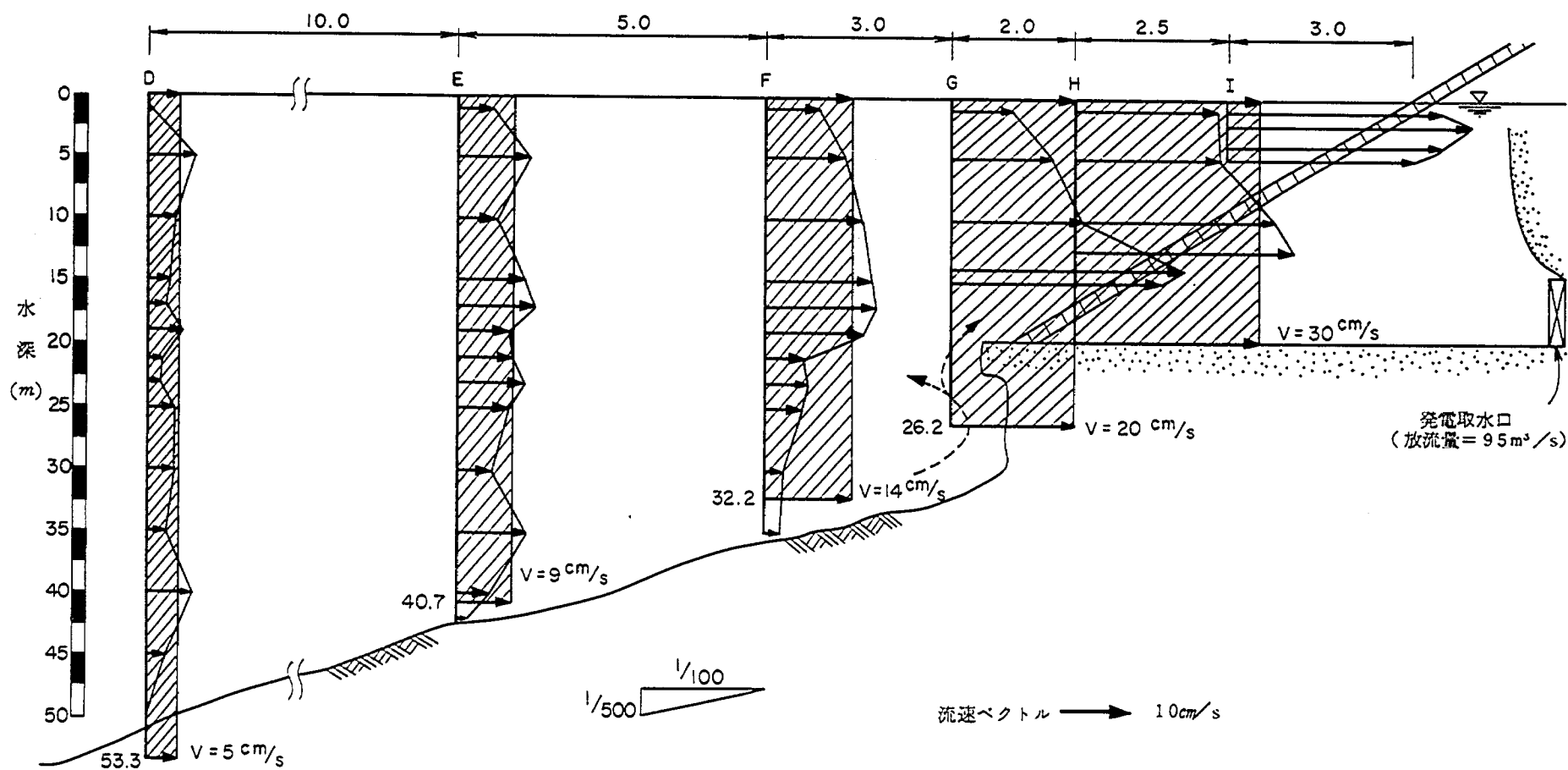


図-4.5 発電取水口付近の流速ベクトル図 ($\theta = 26^\circ$)

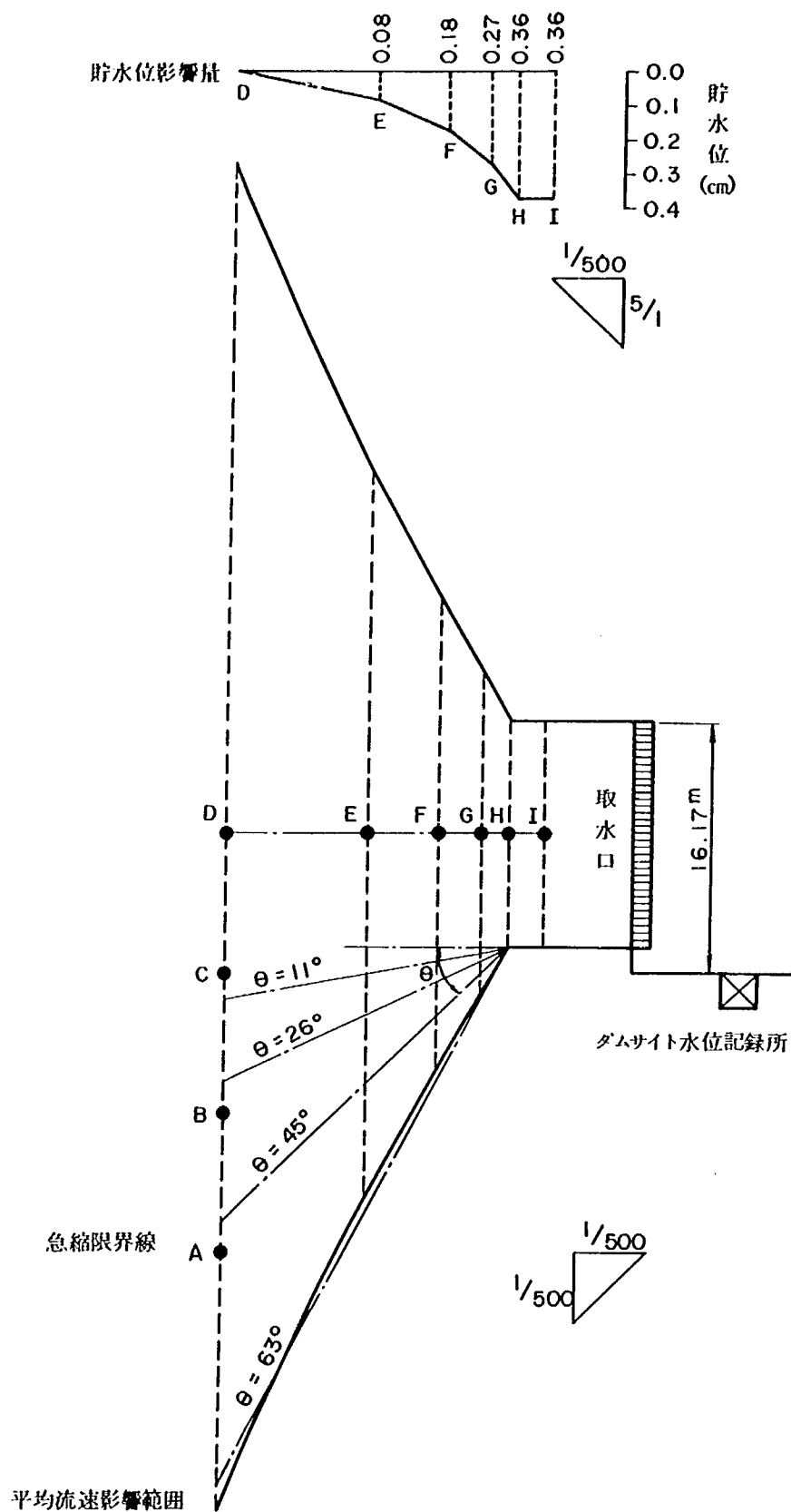


図-4.6 流速影響範囲と貯水位影響量

4.1.3 測水井の特性分析⁴⁾

ダム貯水池の測水井の構造についての統一された規格、指針といったものはなく、個々のダムにおいて十分検討がなされた上で設計および設置されているのが現状である。しかしながら、その構造はどのダムにおいても、おおよそ図-4.7の測水井の模式図(a), (b)に示したようなものである。特に、ほとんどのダムで(a)の単構造測水井が用いられているものと思われる。

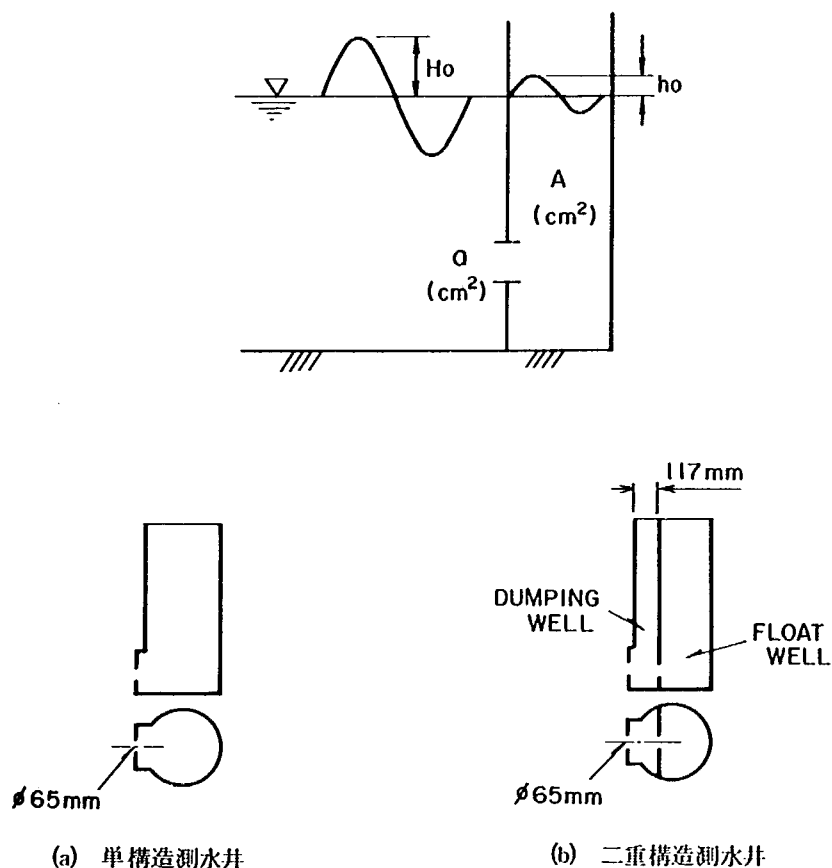


図-4.7 測水井の模式図

そこで、単構造測水井および二重構造測水井について、波動変動の減衰特性および減衰に伴う遅れ時間との関係について詳しく分析を行った。

測水井内の水面振動の基礎式としては、

$$A \cdot dh = a \cdot v \cdot dt \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

$$v = \sqrt{2g(H-h)} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

$$H = H_0 \cdot \sin(w \cdot t) \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

ここで、 H ; 貯水位 (m)

h ; 測水井内の水位 (m)

H_0 ; 貯水位の振幅 (m)
 h_0 ; 測水井内の水位の振幅 (m)
 A ; 測水井断面積 (m^2)
 a ; 導水孔断面積 (m^2)
 v ; 導水孔内流速 (m/s)
 g ; 重力加速度 (m/s^2)

これらの関係式より、測水井内の水位 h を次式により離散的に解く。

$$h^{n+1} = h^n + C_0 \cdot \frac{a}{A} \cdot \sqrt{2g} \cdot \Delta t \cdot \sqrt{H_0 \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t - h^n} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

ここで、 C_0 ; 収縮係数

T ; 湖面振動周期 (sec)

式 (4.5) において、周期 T を 600 秒とし、導水孔のしほり率 a/A (導水孔断面積/測水井断面積) を $1/2,000$, $1/1,000$ とした場合の計算結果を図-4.8 に示す。一点鎖線が単構造測水井、破線が二重構造測水井内の水位変動を示している。また、種々のしほり率における振動周期と減衰率の関係、および周期と遅れ時間の関係を示すと、図-4.9 (単構造測水井)、図-4.10 (二重構造測水井) となる。

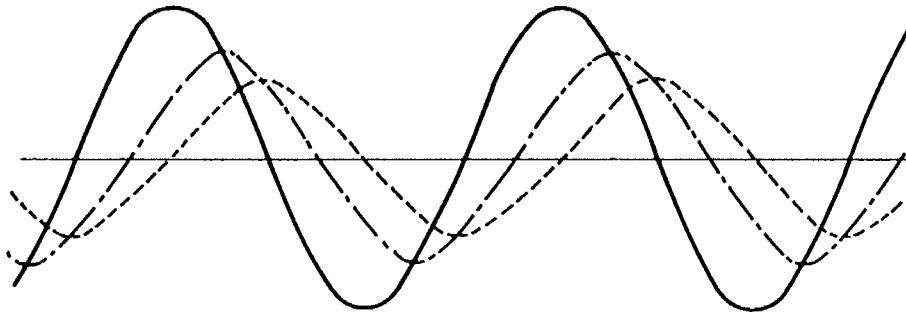
これらによれば、水面振動減衰率と減衰に伴う測水井内部の水面振動の遅れ時間は、湖面振動周期 T と導水孔のしほり率 a/A に依存することがわかる。減衰率は湖面振動周期が短い程良く、1,200 秒 (20 分) を超えるものについてはほとんど減衰しない。実際に使用されている導水孔のしほり率が $1/500$ 程度までであることを考慮すると、単構造測水井が有効なのは湖面振動周期が 120 秒 (2 分) 以下の比較的短周期なものについてであろう。

一方、水面振動の減衰を期待してしほり率を小さくすれば、測水井内部の水面変動の遅れ時間が問題となってくる。あるしほり率に着目して、その減衰率と遅れ時間の関係について論じるとおよそ次のようになる。周期が長くなるにつれて減衰率は 1 に近くなりそれに伴う遅れ時間は少なくなるが、同時に周期そのものも長くなるために、全体としては遅れ時間は増加の傾向にある。この傾向は、これらの両者が釣り合うまで続くが、釣り合った周期を超えると、今度は周期の長さの増加率よりも減衰効果に伴う遅れ時間が少なくなってくる影響の方が大きく、遅れ時間は減少傾向となる。結果的に、ある周期で遅れ時間が最大となる指数関数的な関係となっているようである。そして、しほり率を小さくすればする程遅れ時間は大きくなるが、しほり率を $1/2,000$ にしてもその最大遅れ時間は単構造測水井で高々 70 秒程度 (二重構造測水井でも 130 秒程度) であり、実際のダム管理上、測水井の構造的な遅れ時間はさほど問題とはならないであろう。

以上のことから、周期が 2 分程度までの短周期の波動に対してはこのような測水井の構造的な特性に減衰効果を期待することができる。2 分以上の周期をもつ波動に対しては、後述

——— H : 貯水位
 - · - · - h : 単構造測水井内の水位
 - - - - - h : 二重構造測水井内の水位

(a) $T = 600 \text{ (sec)}$, $a/\Lambda = 0.0005$



(b) $T = 600 \text{ (sec)}$, $a/\Lambda = 0.001$

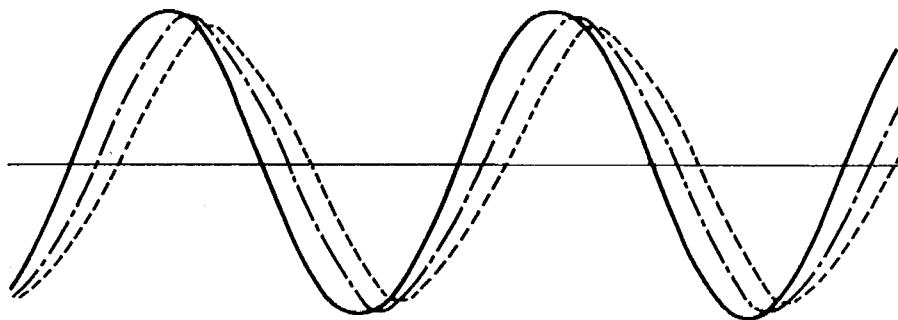


図-4.8 測水井の減衰効果

するような振動吸収ダンパーを利用するか、あるいは数学的な手法により振動を除去することになる。

しかしながら、實際上導水孔のしほり率をあまり小さくすると土砂や藻類等の付着により導水孔の閉塞等の欠点が生じ易くなる。これに対処するために、図-4.7の(b)に示したように測水井を二重構造にしてこれらの欠点を除去し、水面振動の減衰にも良好な結果を得ているという事例もある。

導水孔のしほり率について現在管理中のダムがどのようになっているかアンケート調査より調べてみた。図-4.11に調査結果を示すが、測水井の内径は600～1000 mmがほとんどである。これは水位計の種類として最も一般的なフロート式水位計が内径500 mm以上の井筒を

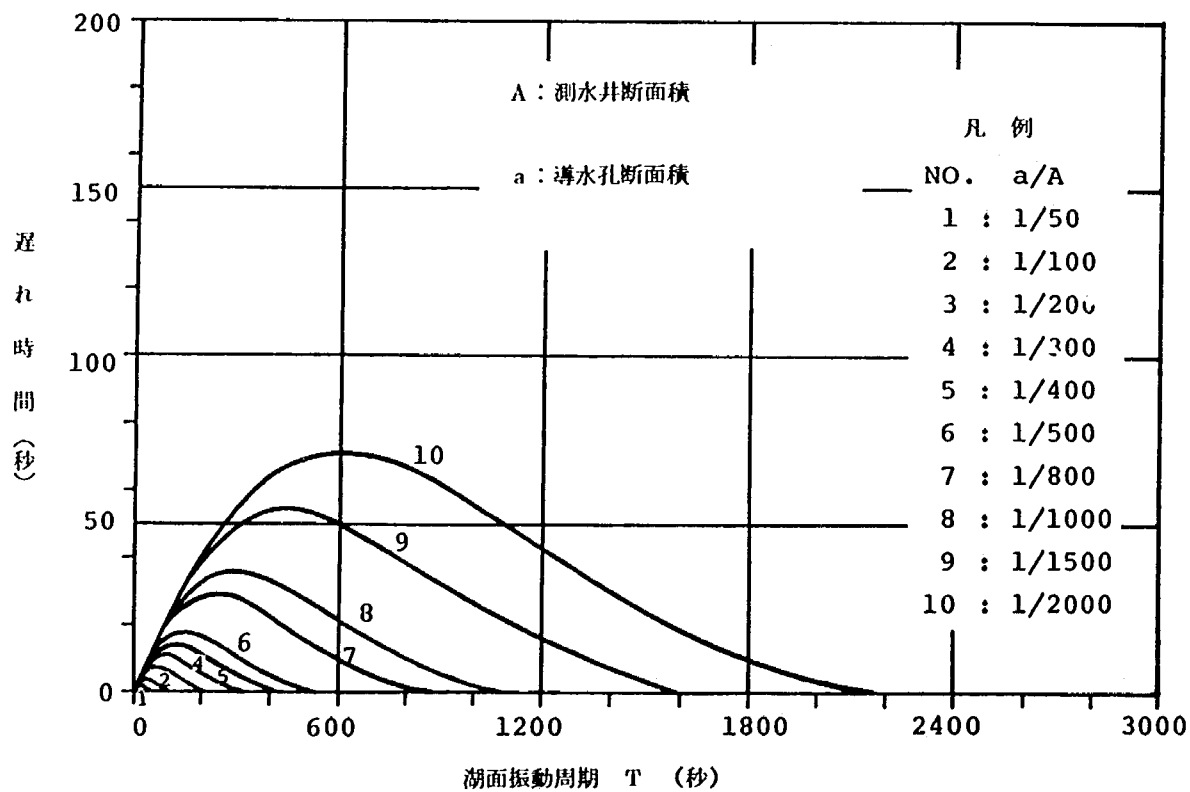
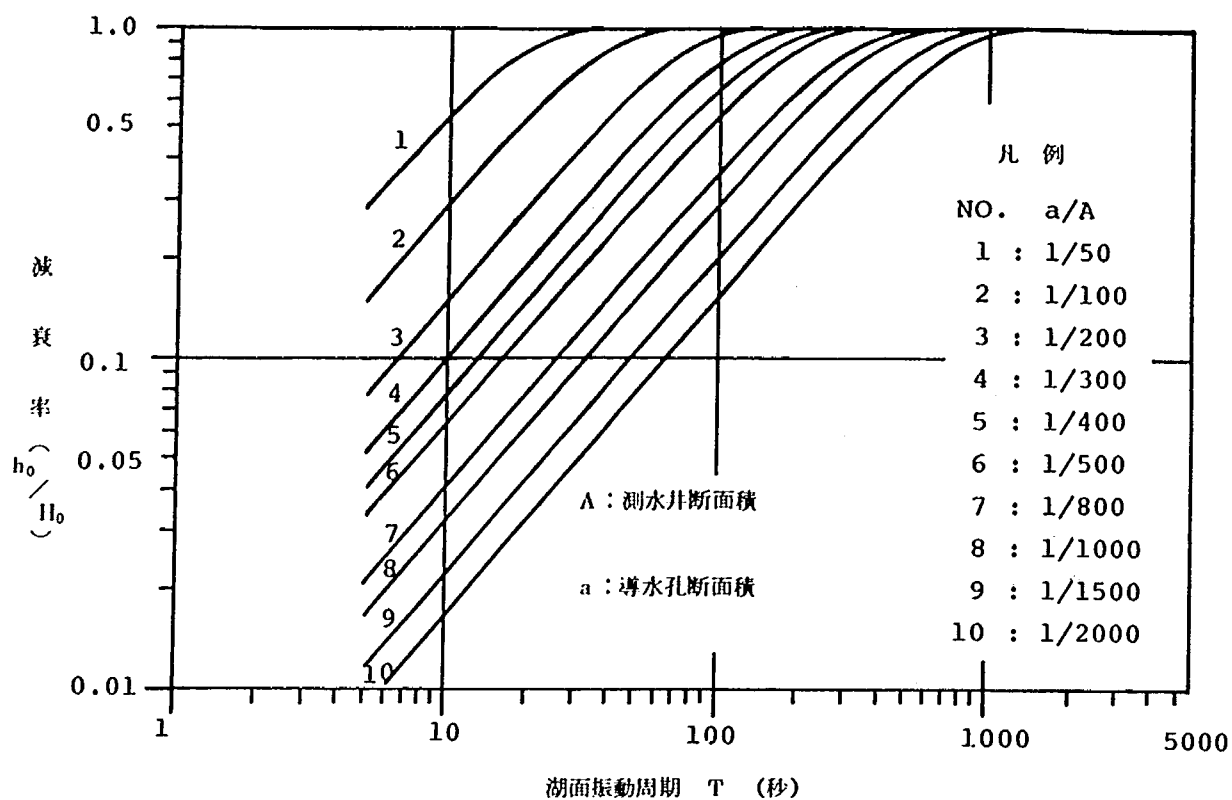


図-4.9 単構造測水井内の水面振動の減衰率と遅れ時間

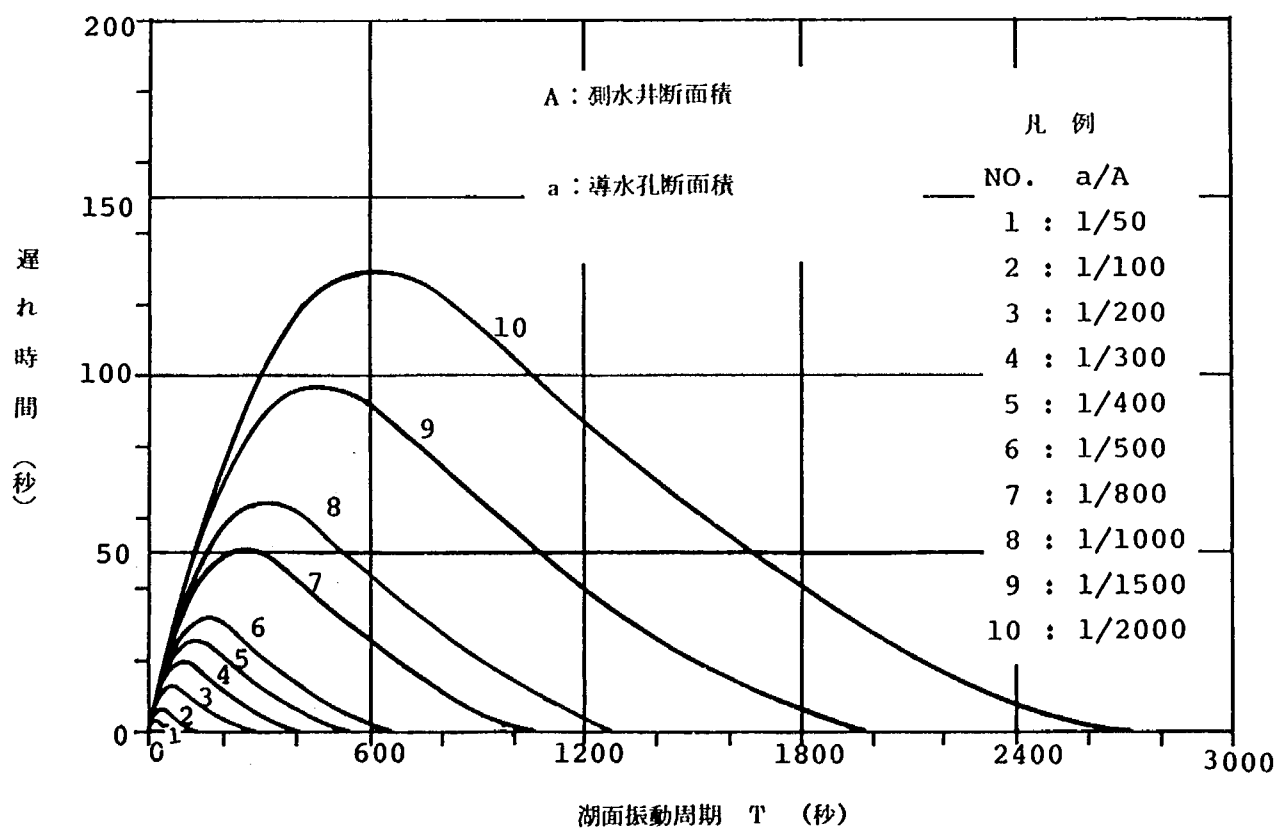
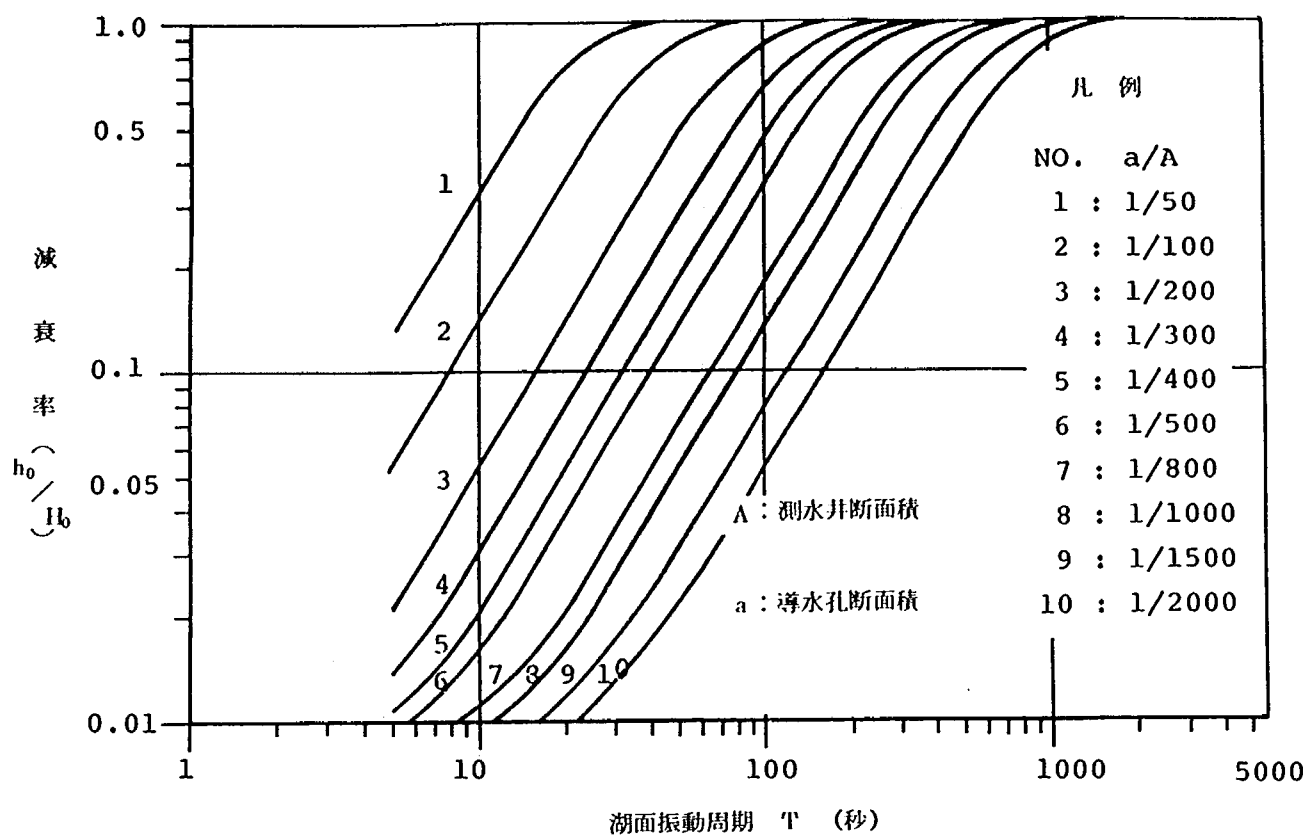


図-4.10 二重構造測水井内の水面振動の減衰率と遅れ時間

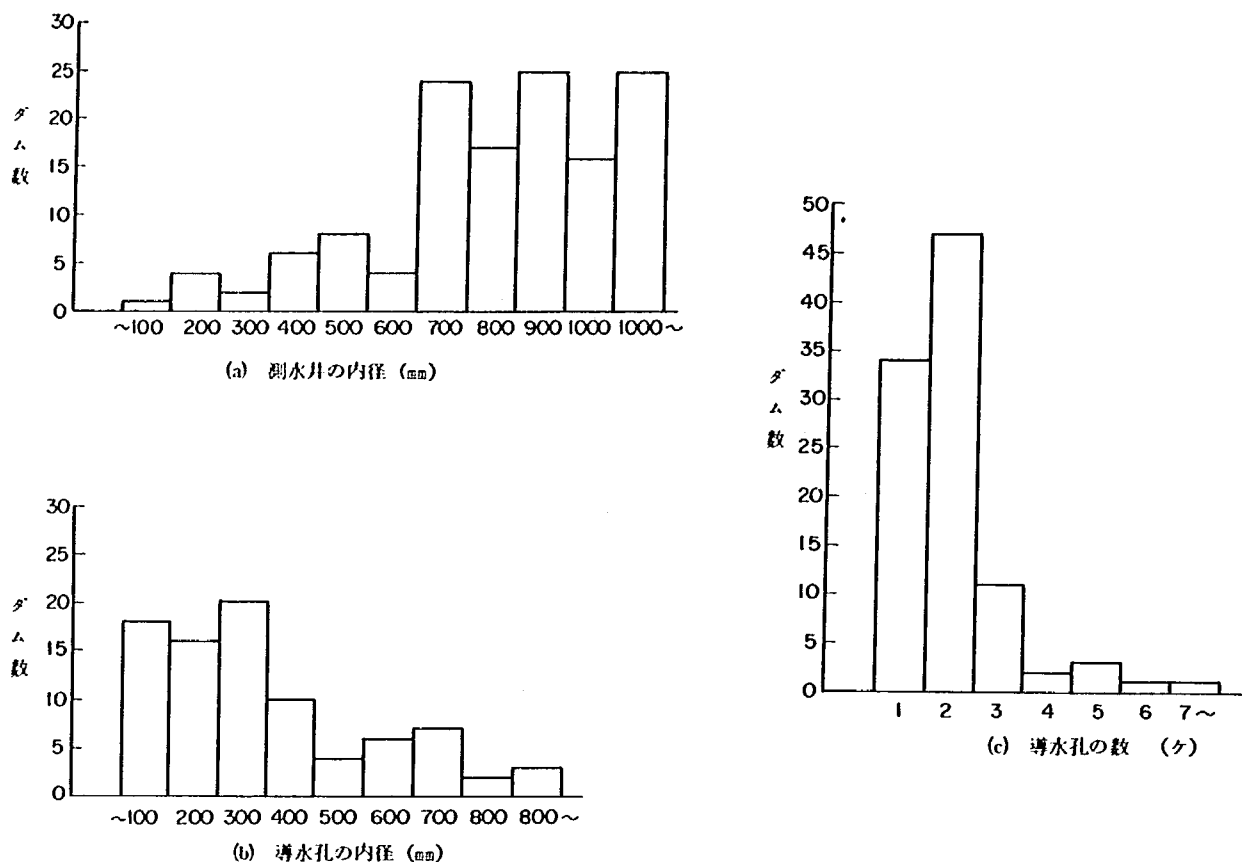


図-4.11 アンケート調査結果

必要とすることに起因しているものと考えられる。また、『コンクリートダムの細部技術』⁵⁾では、測水井の内径は水位計の種類やフロートの直径、作業上必要な径等を考慮して決定するものとされており、フロート式の場合は内径 800 mm を標準としている。導水孔の内径は、300 mm 以下が多いようであるが、目づまり等を考慮するとあまり小さくすることができない。また、導水孔の数は貯水位の測定範囲が広いこと、あまり低すぎると堆砂の影響を受けると等を考慮して複数設けることが望ましい。表-4.5 に参考までに代表 10 ダムの貯水位測定範囲を示した。導水孔の位置としては、最低水位あるいは堆砂水位付近に多いようであるが、導水孔の一つは少なくとも堆砂水位よりも上に位置する必要がある。また、水位測定範囲としては最低水位から設計洪水位までとするのが望ましいものと考えられる。

導水孔の内径と測水井の内径から、導水孔のしほり率を図-4.12 に示した。しほり率 $1/10$ までは全体の 43%、 $1/100$ までが 81% を占めており、導水孔の目づまり等を考慮した許容限界値 ($1/400 \sim 1/500$) からみて、測水井の構造的な水位振動減衰効果を十分発揮しているとは言い難い。今後は設計段階で構造的な減衰効果について十分考慮しておくべきであろう。既設ダムにおいても、図-4.13 のように導水管入口部に波浪防止用鉄板フィルターを設け

て通水断面をしぼり、ハード的な水位変動対策を行っている例もある。

次に、貯水面と測水井内の水面変動がどの程度違うものか、実際の貯水池に直接柱を立て水位計を設置して貯水位を測定してみた。記録したものの一例を図-4.14に示す。(a)は直接湖面の水位変動を記録したものであるが、風の影響を受けて5～10cm程度の極めて短い周期の振動が記録された。これと同時刻の測水井内の水位を(b)に示すが、短周期変動に対する測水井の減衰効果が顕著に窺われる。

表-4.5 貯水位測定範囲(代表10ダムの例)

ダム名	貯水池水位諸元 (EL., m)					測水井諸元			導水孔諸元 (EL., m)		
	天端	設計洪水位	洪水時満水位	最低水位	堆砂水位	上限	下限	測定範囲	導水孔1	導水孔2	導水孔3
A	241.5	—	239.0	215.0	215.0	239.5	205.0	34.5	216.0	203.5	—
B	174.0	—	171.0	158.0	158.0	172.0	155.0	17.0	155.0	—	—
C	545.0	—	544.0	501.0	501.0	544.5	483.3	61.2	501.6	479.1	—
D	566.5	565.7	565.0	543.5	543.5	566.0	527.0	39.0	533.0	521.5	—
E	620.1	618.8	618.0	588.7	588.7	619.8	578.0	41.8	608.0~578.0 (計6本) (@6m)		
F	390.0	—	389.6	353.1	353.1	390.0	350.0	40.0	350.0	—	—
G	259.0	257.5	256.6	234.7	234.7	258.0	229.5	28.5	231.5	228.0	—
H	214.0	212.6	211.5	164.5	164.5	211.6	160.0	51.6	176.5	158.5	—
I	338	336.5	336.0	292.0	290.0	338.0	281.0	57.0	290.5	279.5	—
J	162.0	160.0	160.0	130.0	115.6	162.0	126.5	35.5	126.5	—	—

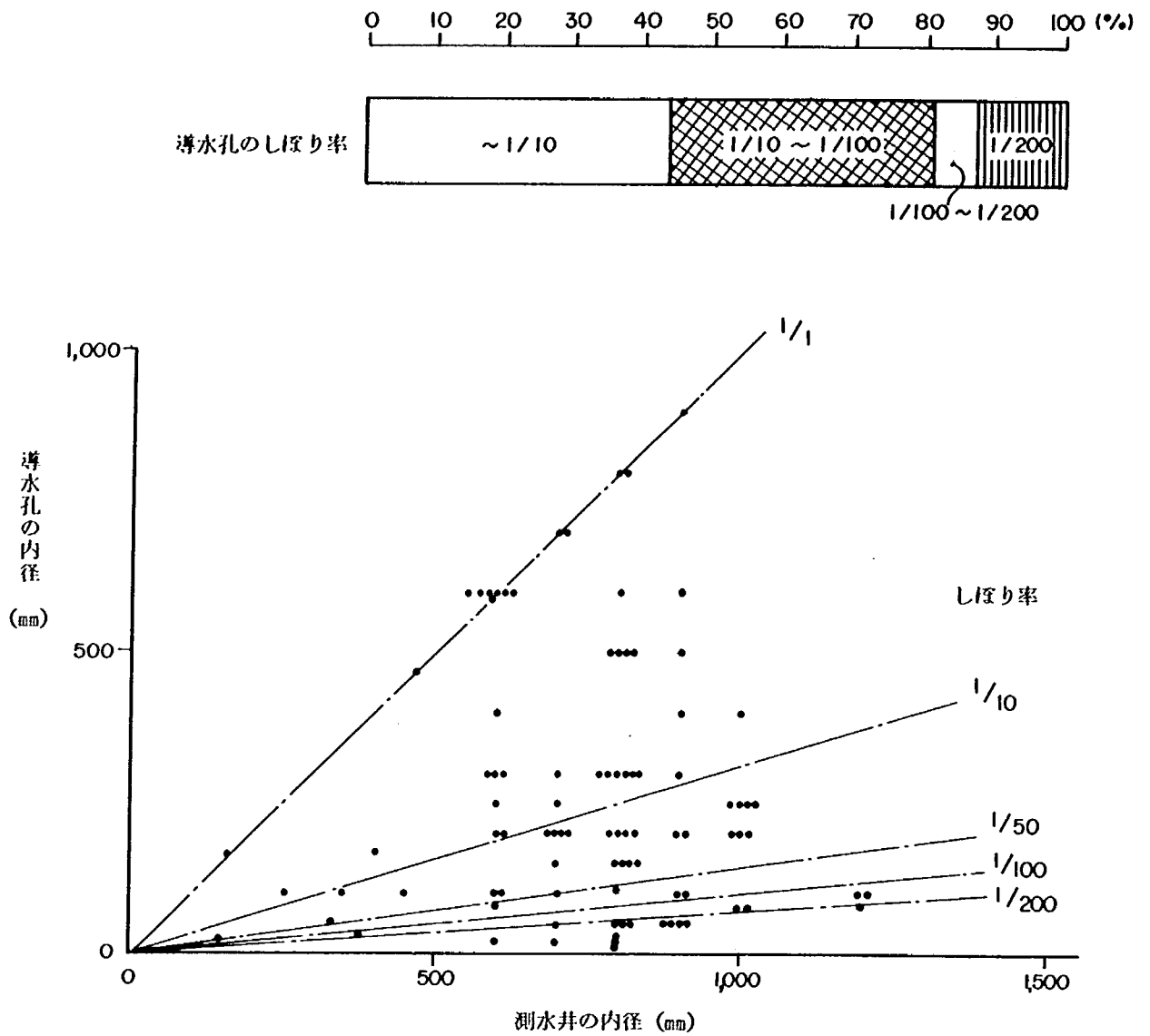


図-4.12 導水孔のしほり率

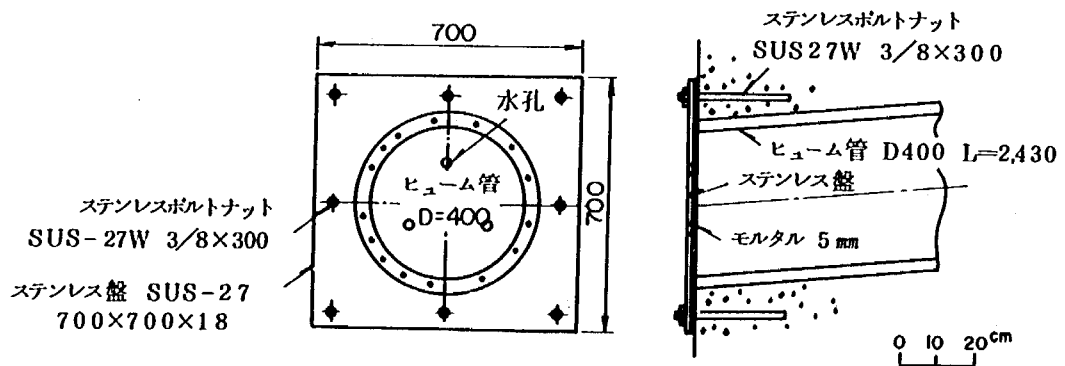
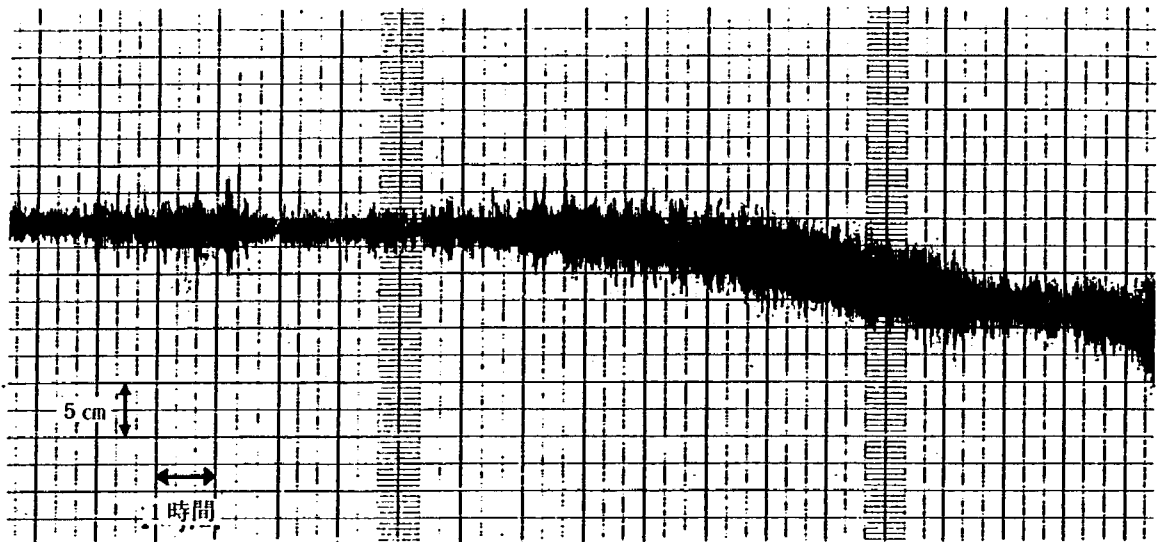
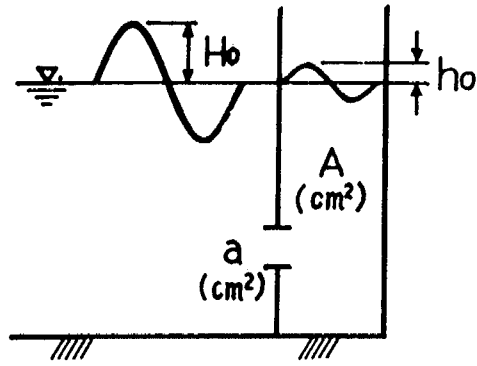
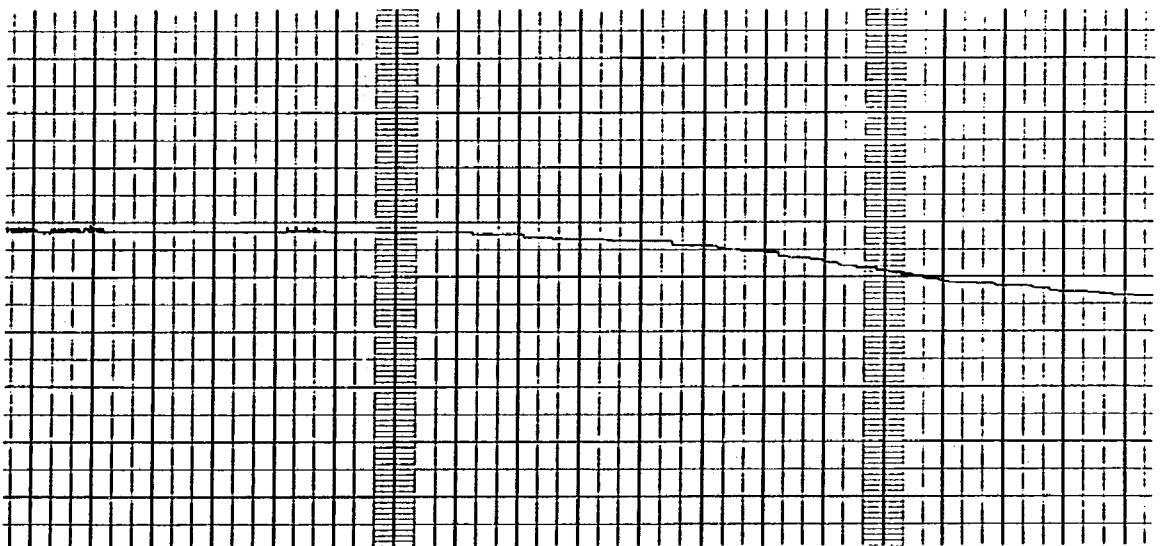


図-4.13 導水管入口部の波浪防止用フィルター



(a) 貯水池の水位変動 H_0



(b) 貯水井内の水面変動 h_0

図-4.14 実貯水池における測水井の減衰効果

4.1.4 振動吸収ダンパー

貯水池水位は前述したような流入量の状態や気象作用，人為的作用等の外的攪乱による変動を含むいわゆる雑音波の入った動きをしている。したがって，それを測定する水位計は応答感度がむしろ鈍い方がよいものと考えられる。そこで，機械的方法としてダンパー装置の開発がなされてきた。⁶⁾

ダンパーは種々の方式が考えられるが，ここではピストン応用方式，風車応用方式の比較分析を試みる。

(1) ピストン応用方式

ピストン応用方式のダンパーを図-4.15 に示す。この構造（図-4.16）は，フロートの

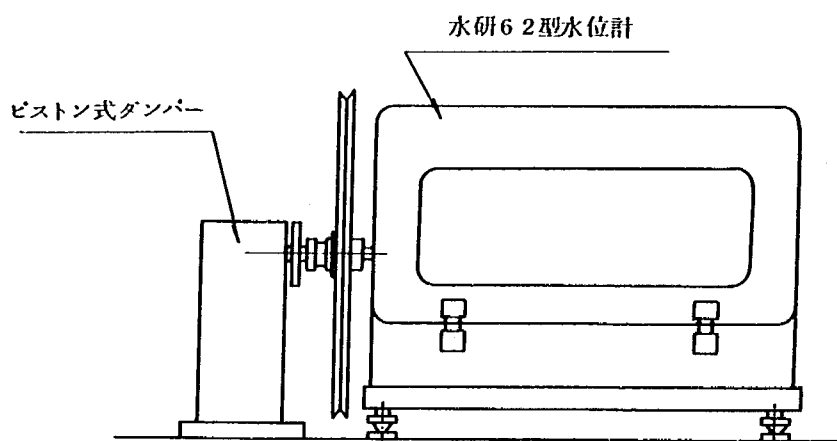


図-4.15 ピストン応用方式のダンパー

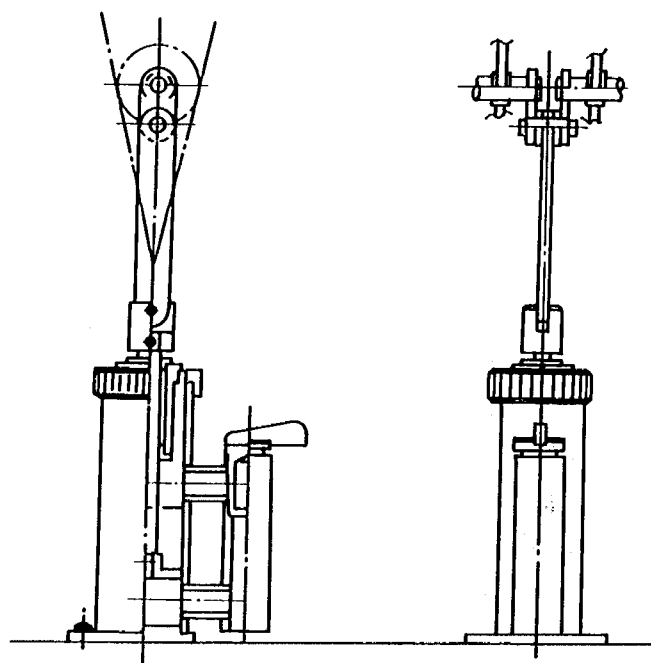


図-4.16 ピストン応用方式のダンパー構造

上下にともなりブリーの回転する力を、増速した歯車機構を経てピストン式ダンパーでにぶらし、急激な水位変化、つまり波動変動を押えてダンパー効果をねらっている。

この方式の特徴は、以下に示すとおりである。

- i) ブリーにブレーキをかけることにより、急激な水位変化では、フロートが浮き上がるか、あるいはダンパー自身が持ち上げられる力が加わる。ダンパー自身は台にしっかりと固定すれば良いが、フロートの浮き上がりに対しては、ワイヤーに力がかかり、長い間では切れる恐れがある等の欠点が存在する。
- ii) ピストンは往復運動なので、折り返す時に力が余分に必要のために、ダンパー効果が均一に働かない。
- iii) シリンダ内に注入する油を変えて実験したところ、
 - ・スピンドル油を入れた場合には、ほとんど効果がない。
 - ・シリコン油を入れた場合には、少し効果がある。
 - ・潤滑油を入れた場合に最も効果があり、20～30%程度の減衰がみられた。

(2) 風車応用方式

風車応用方式のダンパーを図-4.17に示す。この構造(図-4.18)は、フロートの上下にともなりブリーの回転をスプリングに伝える。スプリングは右回転用と左回転用の2組あり、急激な水位変化によるフロートの動きが早い場合にスプリングに貯め、オイルに入った風車で徐々にほどきながら記録器に伝えることによりダンパー効果をねらっている。

この方式の特徴は、以下のとおりである。

- i) フロートの動きがそのままブリーに伝わるが、ブリーはブレーキをかけていないためフロートが浮き上がることはない。
- ii) ブリーから歯車を4組経て記録器に伝えるため、歯車のガタが幾分考えられる。

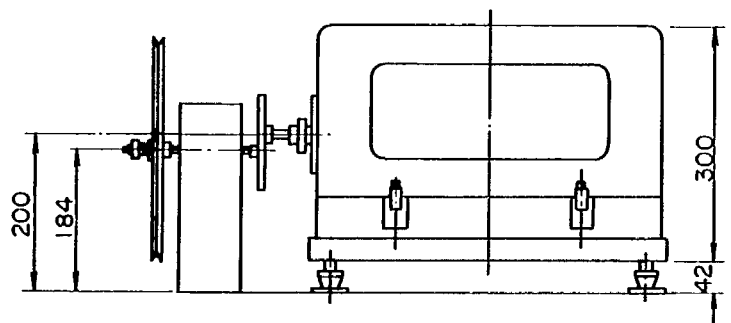


図-4.17 風車応用方式のダンパー

- iii) スプリングを強くするとブリーのトルクが増大して誤差となる。
- iv) 油の種類を変えてみると、濃度が濃い油を入れた方がダンパー効果があるが、摩擦となって追従しづらくなる。

実験結果より、

- ・スピンドル油を入れた場合、40～50%の効果がある。
- ・シリコン油を入れた場合、50～60%の効果がある。

・潤滑油を入れた場合、70～80%の効果がある。

したがって、潤滑油が最も効果があり、潤滑油までが限度でこれ以上の濃度の濃いグリス等では摩擦が大きくなる。

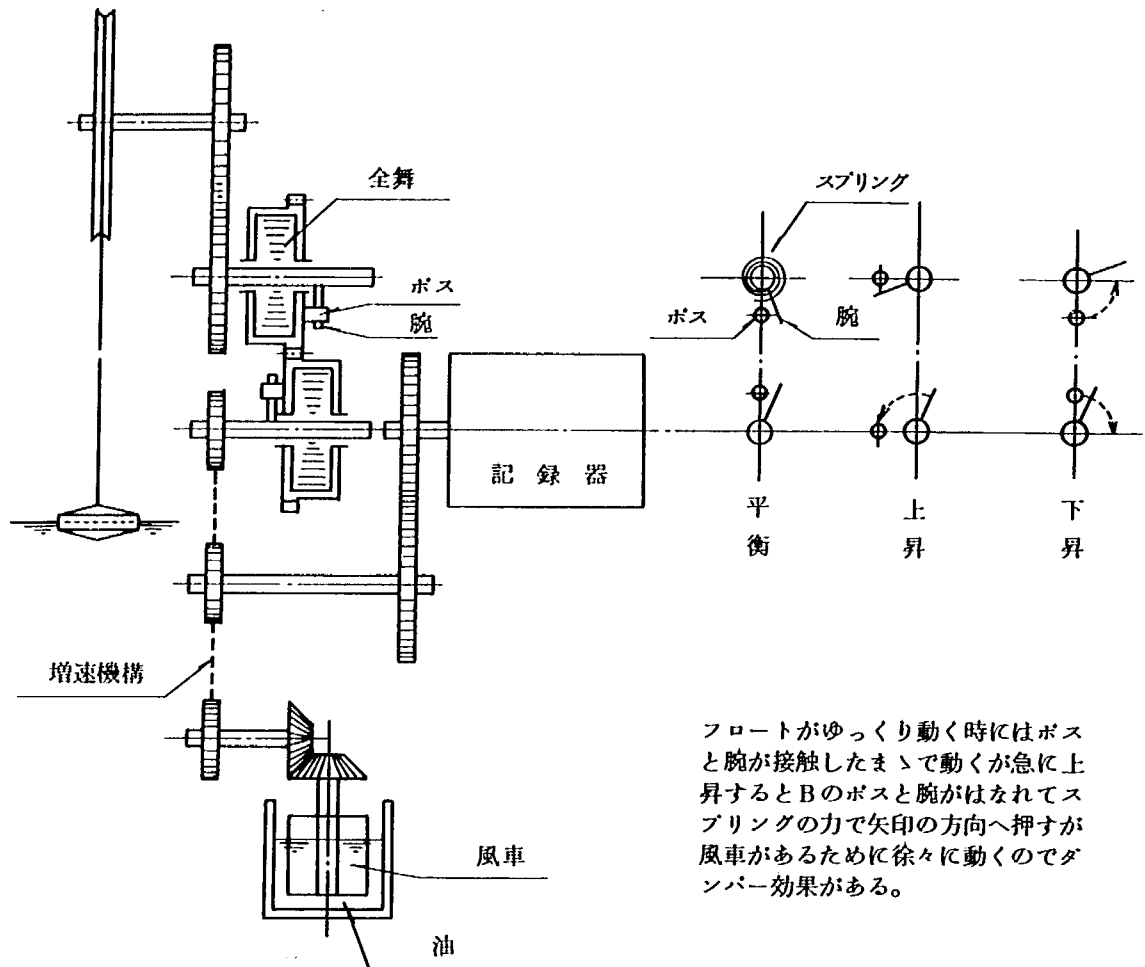


図-4.18 風車応用方式のダンパー構造

(3) 風車応用方式ダンパーの特性

振動吸収ダンパーとして最も効果が高いと思われる風車応用方式について、その特性を分析してみる。

(a) 人工的振動による実験

ブーリーをモーターを用いて人工的に回転させ、波浪と同じ動作をブーリーに与えてダンパー効果を測定する。モーターを反転させる間隔（振幅に相当し、47, 20, 11, 6, 4cmの5段階）と、モーターの速度（周期に相当し、モーターの変更できる範囲27段階）を変えて実験し、測定はブーリー軸にダンパーを用いた水位計と、用いない水位計を設置し、同時に記録した。

結果を図-4.19に示すが、横軸に変動周期を、縦軸にダンパー効果（ダンパー使用時

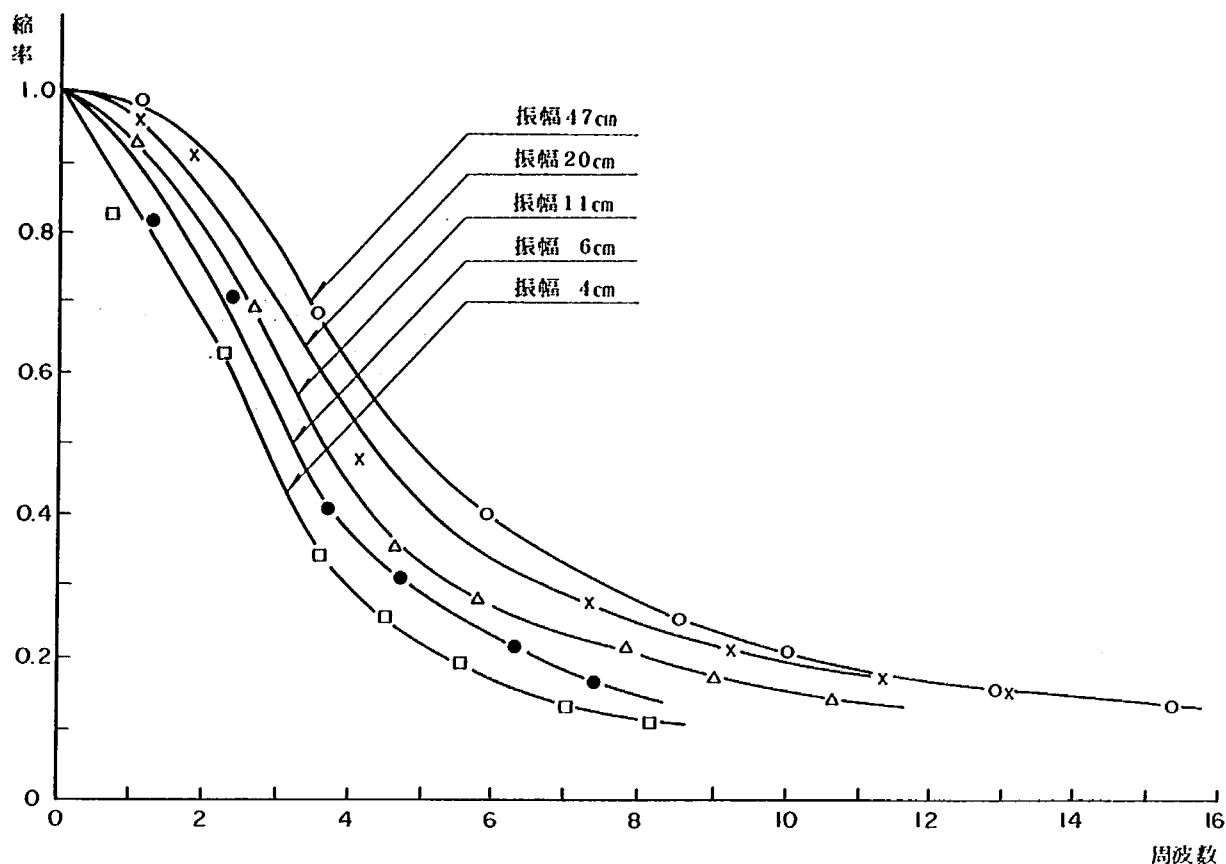


図-4.19 ブーリーを人工的に回転した波浪実験によるダンパー効果

の記録幅とダンパーなしの記録幅を縮率とする)を示している。

本図より、周波数が高い(周期が短い)変動程ダンパー効果が高いことがわかった。

(b) 水位変化の追従実験

水槽に水位計を設置し、水を徐々に加えたり減らしたりして水位変化を与えて記録した。その結果、一方向(増水あるいは減水)に水位が変化する場合の問題はないが、往復する場合に歯車が4組噛み合っているために、歯車のバックラッシュ分が誤差として3mm程度生ずる。

(c) 温度による影響

全装置を恒温槽に入れて実験することは不可能であるので、室内の暖房を調節して(気温+5~+25℃)実験した。その結果、影響はほとんどなく、また油の種類を変えた場合にもほとんど変化がなかったので、温度による粘性の変化程度では無視できるものと考えられる。

(d) 現地への適用

実際の測水所にダンパー付とダンパーなしの2台の水位計を設置して、現場での観測を実施した。結果を図-4.20に示すが、ダンパーを付属した水位計の記録は、ダンパーなしに比較してかなり振幅を低減させていることがわかる。

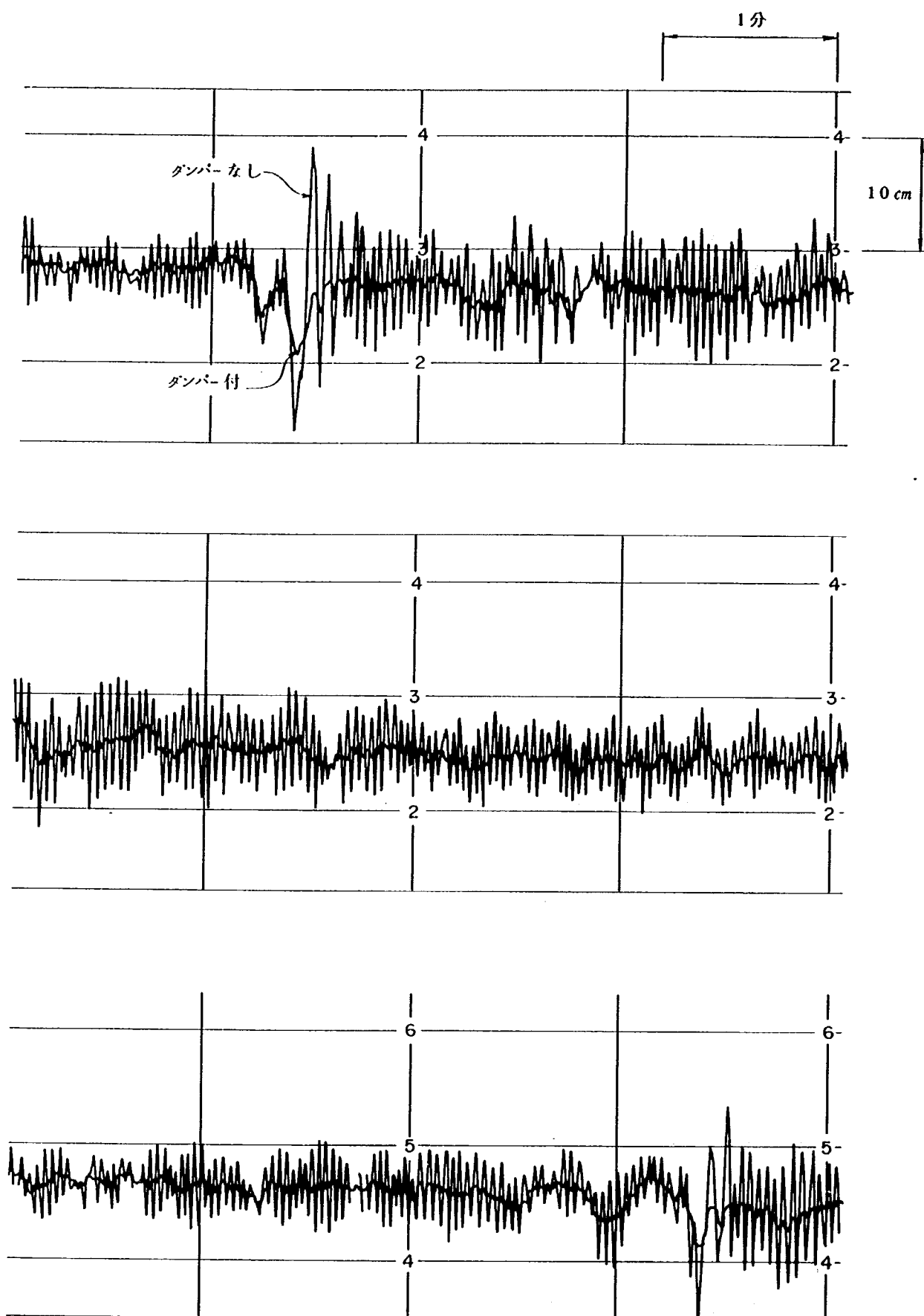


図-4.20 実際の測水所におけるダンパー効果（風車応用方式）

以上、振動吸収ダンパーとしてピストン応用方式、風車応用方式について実験結果等からその特徴を述べてきた。このようなダンパー装置の構造的な条件として、

- ① 既往の水位計（フロート式水位計）に後から取り付け得る装置でなければならない。
- ② 外部より電源を必要としない機械的構造とする。
- ③ 耐久性に優れ、あまり高価なものとならないこと。

等が挙げられる。

本検討結果から、風車応用方式の構造で潤滑油を入れたものが、上記の構造条件を満たし、かつダンパー効果が最も良い方式であることがわかった。

4.2 数学的対応方法

数学的対応方法は、いわゆる「ソフト的な対策」であり、貯水位観測後の水位利用段階で適切な処理（スムージング）を行うことにより、貯留量に対応した水位変化を抽出しようとするものである。

このスムージング方法としては、従来より移動平均法が用いられてきた。しかしながら、十分な平滑効果が得られないダムもあり、そのようなダムでは他のスムージング方法を考える必要がある。

本節では移動平均法とともに現在までに考案されている数学的対応方法の概略を紹介する。

4.2.1 移動平均法⁷⁾

移動平均法は、現時点から過去一定時間内の水位観測値（時系列）を単純平均する操作を次々に行うことにより波動変動成分を消去する方法であり、従来、データの自動処理として用いられてきたものである。

いま、貯水位観測値 $h(t)$ を次式のように表現する。

$$h(t) = f(t) + p(t) \quad \cdots \cdots \cdots (4.6)$$

ここに、 $f(t)$ は貯留変化による水位、 $p(t)$ は波動変動成分であり、風、ゲート操作等の外的影響を受けた水位攪乱項となっている。

簡単のため波動変動成分を正弦波と仮定する。

$$p(t) = a \sin 2\pi t / \tau \quad \cdots \cdots \cdots (4.7)$$

ここに、 a = 振幅、 τ = 周期

式(4.6)の移動平均をとってみる。

$$\bar{h}(t) = \bar{f}(t) + \bar{p}(t)$$

$$\bar{p}(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t p(t) dt \quad \cdots \cdots \cdots (4.8)$$

ここに、 T = 移動平均時間長

式(4.7)を式(4.8)に代入すると、

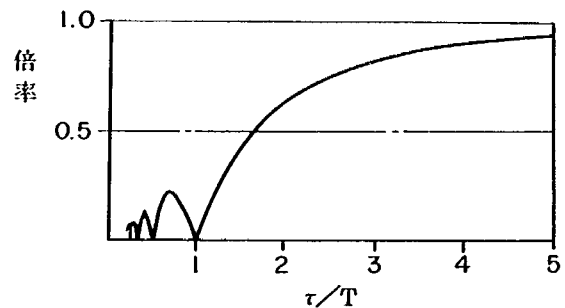
$$\begin{aligned}\bar{p}(t) &= \frac{1}{T} \int_{t-T}^t a \sin \frac{2\pi}{\tau} t dt \\ &= \left\{ \frac{\tau}{\pi T} \sin \frac{\pi T}{\tau} \right\} a \sin \frac{2\pi}{\tau} \left(t - \frac{T}{2} \right) \dots\dots\dots (4.9)\end{aligned}$$

$$\therefore \bar{p}(t) = \left\{ \frac{\tau}{\pi T} \sin \frac{\pi T}{\tau} \right\} p \left(t - \frac{T}{2} \right) \dots\dots\dots (4.10)$$

式(4.10)によれば時間長 T の移動平均による平滑化によって波動変動成分の振幅はもとの水位変動の振幅の $(\tau/\pi T) \left| \sin(\pi T/\tau) \right|$ 倍となるとともに、波動は $T/2$ 時間遅れることを示している。いま、 $T=10$ 分、 $\tau=30$ 分とすると平滑後の振幅はもとの変動振幅の0.83倍となる(図-4.21)。したがって、移動平均によるスムージングでは長周期の波動成分を消去するためには移動平均時間長を十分に長くとる必要があるが、移動平均時間長を長くすると貯留変化を把握するのに時間遅れを生じて問題が残る。

この移動平均法は、現在管理中のダムで観測水位のスムージングに最も良く用いられているものであり、「ダム放流設備制御装置の設計仕様参考書⁸⁾」の中にも観測貯水位の標準的なスムージング方法として掲載されているものである。

同仕様参考書は移動平均を用いた流入量計算の手順を図-4.22、図-4.23のように示している。ここで、平滑化水位は水位計から2秒ごとに水位データを入力し、それを次式により移動平均して得られる計算水位である。



(τ =変動周期, T =移動平均時間長)

図-4.21 移動平均によるスムージング後の水位変動振幅倍率

$$H_a = \sum_{i=1}^n H_{ri} / n \dots\dots\dots (4.11)$$

ここに、 H_a ; 平滑化水位(移動平均値)

H_{ri} ; i 回目の計測貯水位

n ; サンプル数(原則として $n=30$)

移動平均法による試行関数の平滑化の一例を図-4.24に示す。図に示された波動変動が試行関数であり次式のように周期40分、振幅6cm、周期11分、振幅8cmの二成分の調和関数の位相を互いにずらせて重畳したものである。

$$h(t) = 6 \sin \left(\frac{2\pi t}{40} + \pi \right) + 8 \sin \left(\frac{2\pi t}{11} + \frac{3}{25} \pi \right) \dots\dots\dots (4.12)$$

この波動変動を消去するために移動平均時間長を20分としたスムージング操作を行った。

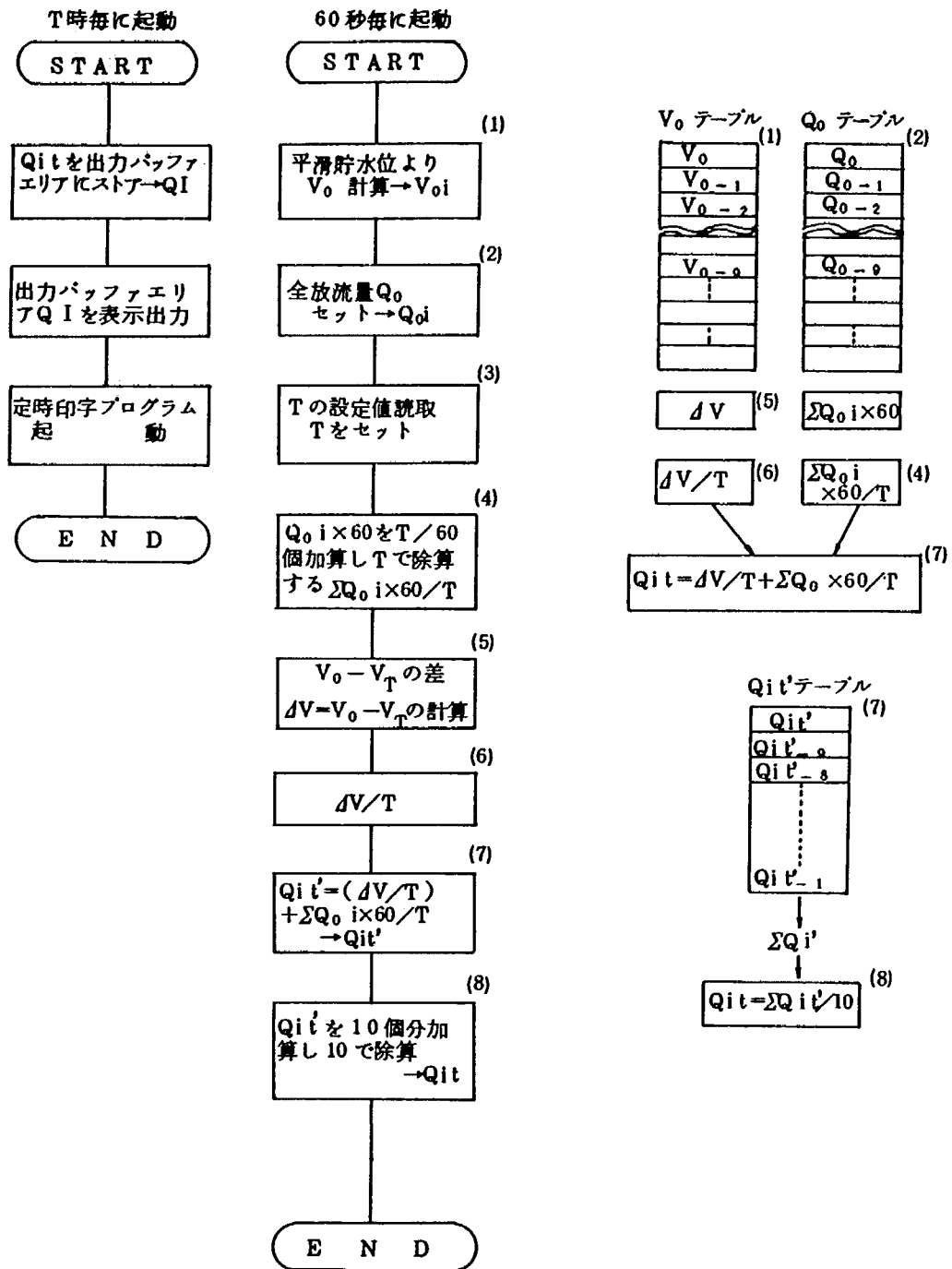


図-4.22 全流入量計算フローチャート

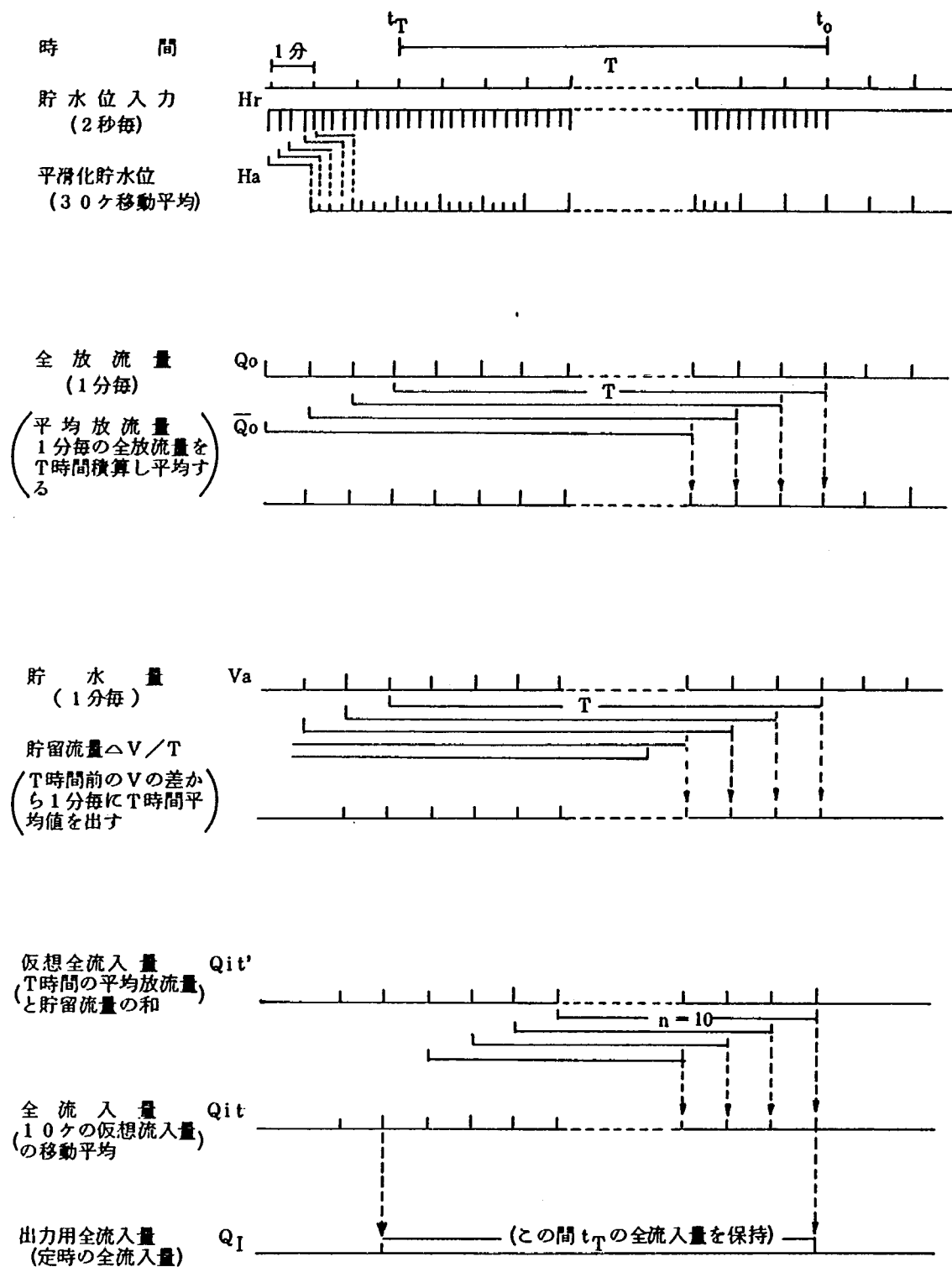


図-4.23 全流入量計算タイミング図

結果として、変動の振幅は減衰したものの周期40分の波動変動は依然として残り、十分な平滑効果は得られていない。さらに移動平均時間長が20分であることから10分の時間遅れも存在している。

このように移動平均による方法は水位の平滑化効果を期待するには移動平均時間長を長くする必要があり、その結果時間遅れも大きくなるという問題点を有している。

実際のダム管理においては、洪水時のゲート操作は10分間隔で行われている場合が多く、許容されうる時間遅れは5分程度までと考えられる。従って、移動平均時間長は大きくとも10分以内に収める必要があり、貯水池のセイシュ等の比較的長周期の波動変動に対しては十分な平滑効果は期待できない。

このような長周期の波動変動に対しては、他の手法により対応していかざるを得ない。

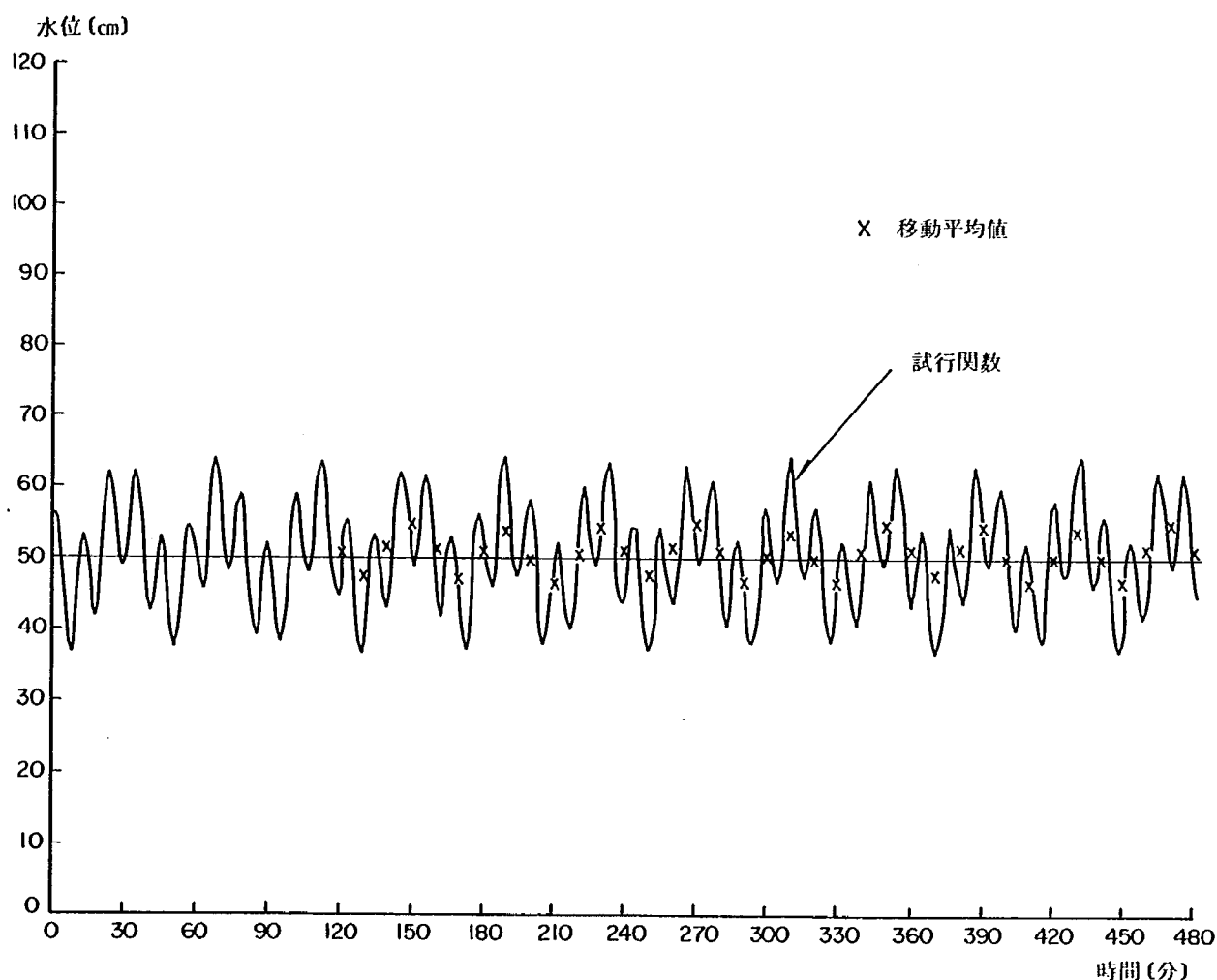


図-4.24 試行関数の移動平均法による平滑化

4.2.2 カルマンフィルター法

数学的対応方法には観測水位のフィルタリング式を作成し、それから貯留量に対応する水位を抽出する方法もある。ここで述べるカルマンフィルター法や後述するフーリエ級数法は、このような方法の一種である。

カルマンフィルター法は水位の波動変動成分をランダムノイズと見なしてカルマンフィルター理論を適用する方法であり、和歌森⁹⁾らは貯水位推定のための以下のようなシステムを開発している。

今、貯水池内の貯留量の時間変化を次の式(4.13)で表わす。それを離散形で表わすと式(4.14)が得られる。

$$\frac{dV}{dt} = Q_i - Q_o + u^* \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

$$V(k+1) = V(k) + \{ Q_i(k) - Q_o(k) \} \Delta T + u^*(k) \Delta T \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

ここに、 $V(k)$; k 時点での貯水池貯留量 (m^3) , $Q_i(k)$; k 時点での貯水池への流入量 (m^3/s) , $Q_o(k)$; k 時点での貯水池からの放流量 (m^3/s) , ΔT : サンプル間隔(s) , $u^*(k)$: ランダム雑音 (m^3/s)

式(4.13)、式(4.14)は貯水池の動特性をマクロに記述したモデルである。両式は比較的短時間における貯留量バランスを記述したものであり、蒸発などによる水量損失の影響は小さいものと考え無視している。貯水池水面の局所的な乱れによる水位振動はこのモデルでは表わせない。しかし、貯留量推定のねらいが、水位振動の影響を受けないダム制御系の実現であり、推定自体の精度向上ではないので、マクロな記述の方が目的にかなうと考える。

貯水位の推定には、カルマンフィルターを適用するが、まず式(4.14)を変換し、被推定変数を水位にする。以下では貯水面が水平に保たれた状態で貯留量と対応する水位を単に「水位」と呼び h で表わす。水位計で測定される水位は「測定水位」と呼び H を使い両者を区別する。

貯水池水面が水平に保たれた状態での水位と貯留量の関係は次式で表わすことができる。

$$V(h) = \int_0^h A(h) dh \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

ここに、 $V(h)$ は水位 h の関数としての貯留量 (m^3) , $A(h)$ は水位 h の関数としての貯水池湛水面積 (m^2) であり、この関数形は通常航空測量などの結果をもとに地形図上で算出されてあらかじめ与えられる。 h は水位(m)である。式(4.15)から、

$$\frac{dV(h)}{dt} = \frac{dV(h)}{dh} \frac{dh}{dt} = A(h) \frac{dh}{dt} \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

が成り立つ。式(4.16)を使って式(4.14)を書き直すと

$$h(k+1) = h(k) + A(h)^{-1} \{ Q_i(k) - Q_o(k) \} \Delta T + u(k) \quad \dots\dots\dots (4.17)$$

を得る。ただし、式(4.17)の雑音項は $u(k) = A(k)^{-1} \Delta T u^*(k)$ となる。このように状態変数 h のために得られる測定水位は振動や雑音を含んでいる。それらのすべてをランダム雑音と仮定するならば、観測式は次式となる。

$$H(k) = h(k) + w(k) \quad \dots\dots\dots (4.18)$$

ここに、 $w(k)$: 測定水位が含むランダム雑音である。

このように、水位振動の原因を分析的に解明するのではなく、水位 h と測定水位 H の偏差を全体としてランダム雑音 w と仮定した点が本手法の特徴である。その理由は、対象とする課題が水位振動現象の水理学的立場での原因究明ではなく、安定な制御の実現にあるためである。

状態遷移式(4.17)と観測式(4.18)から、測定水位 $H(k)$ を得て水位 $h(k)$ を推定するカルマンフィルターを導くと、

$$\hat{h}(k) = \tilde{h}(k) + K(k) \{ H(k) - \tilde{h}(k) \} \quad \dots\dots\dots (4.19)$$

$$\tilde{h}(k) = \hat{h}(k-1) + A^{-1} \{ Q_i(k-1) - Q_0(k-1) \} \Delta T \quad \dots\dots (4.20)$$

ここに、 $\hat{h}(k)$: 水位 $h(k)$ の推定値、 $K(k)$: カルマンゲイン(推定誤差修正ゲイン)を得る。ただし、式(4.17)の湛水面積 $A(k)$ は水位によらず一定と仮定している。これはダム制御で問題とする水位の変化幅が最大で1~2 m程度であり、その範囲では湛水面積は変わらないとしても大きな誤差を生じないためである。また式(4.20)の放流量 $Q_0(k)$ は、ゲート開度と水位の関数としてあらかじめ得られている実験式により求めることができる。カルマンゲイン $K(k)$ は式(4.17)、式(4.18)に含まれる誤差項の分散を使い、次の式(4.21)~式(4.23)により求める。

$$K(k) = P(k) W(k)^{-1} \quad \dots\dots\dots (4.21)$$

$$P(k) = (M(k)^{-1} + W(k)^{-1})^{-1} \quad \dots\dots\dots (4.22)$$

$$M(k) = P(k-1) + U(k-1) \quad \dots\dots\dots (4.23)$$

ここに、 $U(k)$: 状態遷移式に含まれる雑音項 $u(k)$ の分散、 $W(k)$: 観測式に含まれる雑音項 $w(k)$ の分散

カルマンフィルターによる水位 $h(k)$ の推定には二つの問題がある。一つは流入量 $Q_i(k)$ の算出であり、もう一つは誤差の分散 $W(k)$ 、 $U(k)$ の値の決め方である。流入量は貯水池に流れ込む水の総量であり直接測定は難しい。もし、河川流量が正確に知り得たとしても、洪水時には貯水池の周囲全体から水が流れ込むため、河川流量をそのまま貯水池流入量とみなすわけにはいかない。そこで、通常は貯水池流入量は水位変化から逆算することになる。流入量の算出式は次のとおりである。

$$Q_i(k-1) = Q_0(k-1) + A(k) \{ h(k) - h(k-1) \} \Delta T^{-1} \quad \dots\dots\dots (4.24)$$

上式の $h(k)$ を式(4.19)の水位推定値 $\hat{h}(k)$ で置き換えれば流入量が算出できる。しかし、式(4.19)で $\hat{h}(k)$ を求める際に $Q_i(k-1)$ が得られていなければならず、式(4.24)を

直接適用することはできない。そこで、既に得られた $k-1$ 時点以前の水位推定値から式 (4.24) によって $k-2$ 時点までの流入量を求め、それを外そうして流入量 $Q_i(k-1)$ を予測することにする。流入量の外そう方法としては次式を採用する。

$$Q_i(k-1) = Q_i(k-2) + \{ Q_i(k-2) - Q_i(k-3) \} \dots\dots\dots (4.25)$$

上式のような単純な線形外そうによる予測で十分なのは、流入量の変化速度に比べて時間刻み ΔT を十分小さくすれば、洪水時の流入量の急変に対しても十分な精度で追従でき、また水位推定値 $\hat{h}$ の測定水位による修正を通じて予測値 Q_i も逐次修正されていくため、予測誤差の増大を防ぐことができるからである。

誤差の分散値の決め方は、実測データから推定する方法も提案されているが、水位振動時の実測データが必ずしも十分整備されていないため試行錯誤的に決定する。その方法は次のとおりである。

カルマンゲイン K は、状態遷移式および雑音の分散値が時間的に変化しない定常的な系では、一定値に収束することが知られており、その値は式 (4.17)、式 (4.18) の雑音分散値の比のみによって決まる。そこで、系の定常性を仮定し、次の手順により値を定める。

まず、式 (4.18) の水位雑音 w の分散 W を実測データの観察から目視で推定し、式 (4.17) の雑音 u の分散値 U は、 W との比として値をいくつか仮定する。仮定した U のそれぞれの値によって得られる推定値 $\hat{h}$ を測定水位 H と比べ、振動の除去状況、時間遅れの発生の二つの観点で比較し U を決定する。 U の W に対する比を仮定する場合、以下の理由から U が W に比べて相対的に小さな値をとるものと推定できる。式 (4.17) の雑音 u は、元来式 (4.14) の貯留量変化を表わすモデル式に含まれる雑音 u^* をディメンジョンを合わせるために、湛水面積 A で割ったものである。 u^* の値に関する先見的な情報や観測値はないが、式 (4.14) で貯留量変化を表わしても大きな誤差が生じないことは経験的事実である。従って、 u^* を A で割って水位ディメンジョンに合わせた u と直接水位振動や雑音として現われる w では、 u の方が小さいと考えるのが自然である。

このことは別の観点からも説明することができる。 U が W に比べて小さいとき、式 (4.21) のカルマンゲイン K も小さくなる。その結果、測定水位 H が振動雑音を含んでいても、その影響で推定値 $\hat{h}$ を修正する割合は小さい。すなわち、水位振動時にも貯水位の変化は滑らかであるはずという基本的な着眼と誤差に関する推定が矛盾しないことがわかる。

以上が、カルマンフィルターを用いた貯水位推定法である。この推定法のシステム構成を図-4.25 に示す。一点鎖線で囲った部分が貯留量推定部で、水位推定値 $\hat{h}$ を従来からの水位制御アルゴリズムの入力とするだけで良いことを示している。測定水位 H は、貯水池モデルによる水位推定値の誤差修正に使われる。貯水池モデルによる推定では、流入量 Q_i の測定が不可能であり、推定値 $\hat{h}$ を使って予測値 Q_i を算出する流入量予測部と交互に繰返し計算を行なう。

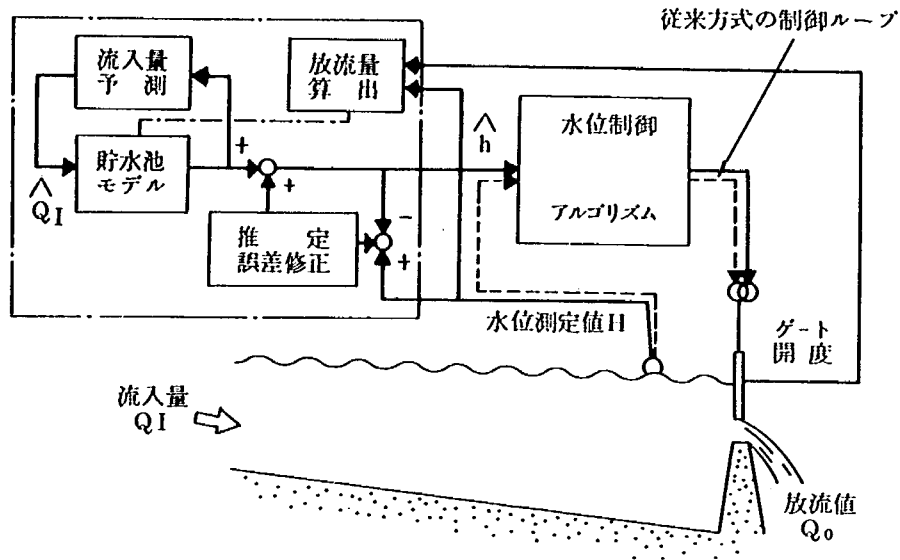


図-4.25 カルマンフィルターを用いた貯水位推定システム

このようにして得られる水位推定値 $\hat{h}$ の特性を、測定水位の平滑値と比較することにより明らかにする。水位振動データの実測値を入力として、推定値 $\hat{h}$ を求めた結果を図-4.26 に示す。同図で細線で示したのが測定水位 H である。 $\hat{h}$ と H の比較を次の二つの観点から行なう。

- (1) 貯留量が変化しているときに、その変化に遅れることなく対応する水位変化を検知できるかどうか。
- (2) 振動成分を除去し滑らかな水位を得られるか。

一般的に移動平均等では、(1)、(2)項を十分に満足させることができないが、図-4.26 では水位推定値 $\hat{h}$ が(1)、(2)項において良好な特性を示していることがわかる。これはカルマンフィルターによる推定が対象の動特性をモデル化して組み込み、放流量という既知情報を利用しているため、貯留量の変化に伴う水位の変動を概ね推定できることを意味している。

以上のようにカルマンフィルター法は、貯水池の固有振動、風などによる水位ノイズ、水位測定誤差等を含めてランダムノイズと見なし、式(4.18)の $w(k)$ で表現し、このノイズ項を観測水位から分離することを意味している。しかしながら、本質的にはこのフィルターを組み込んだ流入量把握、さらには放流量の制御特性を調べ、制御ハンチング防止に効果があることを明らかにする必要がある。

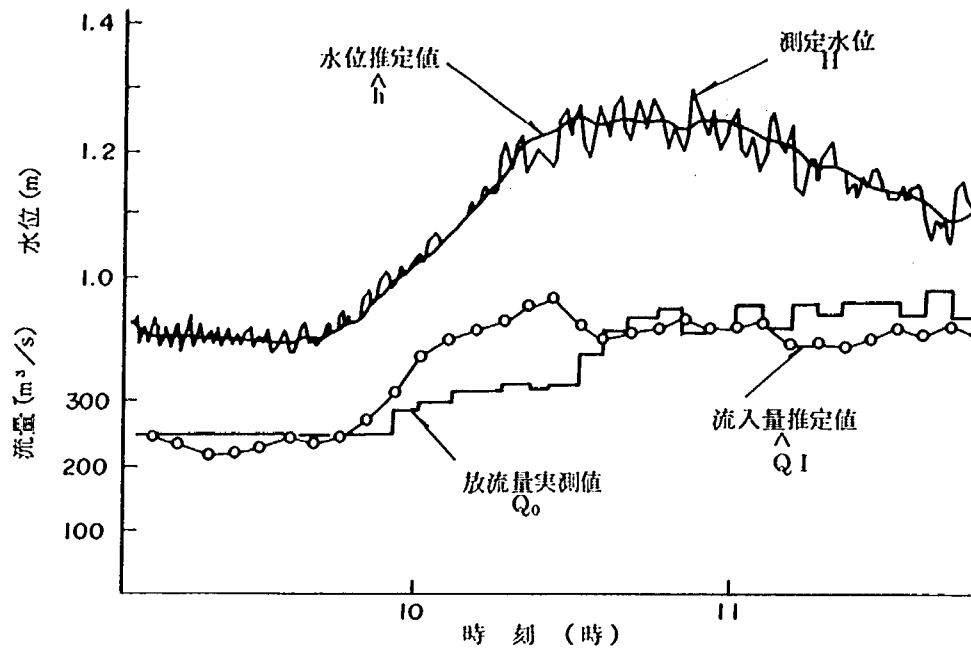


図-4.26 水位の推定値($\hat{h}$)と測定水位(H)の比較

4.2.3 フーリエ級数法

数学的対応方法の一つとして当研究室が開発したものにフーリエ級数を用いた貯水池水位推定法がある。詳細については次章で紹介するが、本手法は、一定時間長（貯水池最長周期の2～3倍程度）の水位観測値を三角関数の合成関数で表現し、このうち貯水池の最長周期以下の周期を有する三角関数を波動変動成分とみなして除去し、残りを貯留変化にもとづく水位とする方法である。

このような方法によれば、原理的には比較的長周期の波動変動の除去が可能で、しかも遅れ時間を伴わずに貯留変化にもとづく水位を抽出することが可能である。

5. フーリエ級数法による貯水池水位推定法

本章では、比較的長周期の波動変動の除去が可能で、しかも遅れ時間を伴わないような数学的対策法の一つとして、フーリエ級数を利用した貯水池水位推定法について記述する。

5.1 フーリエ級数法の概要^{10), 11)}

式(4.6)と同様に、貯水位観測値 $h(t)$ を次式のように表現する。

$$h(t) = f(t) + p(t) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

ここに、 $f(t)$; 貯留変化にもとづく水位

$p(t)$; 波動変動成分であり、風ゲート操作等の外的影響を受けた水位攪乱項

フーリエ級数法は一定時間長（貯水池最長周期の2～3倍程度）の水位観測値 $h(t)$ を三角関数の合成関数で表現し、このうち貯水池の最長周期以下の周期を有する三角関数を波動変動成分 $p(t)$ とみなして除去し、残りを貯留変化にもとづく水位 $f(t)$ とする方法である。

本手法では三角関数の表現方法としてフーリエ級数を用いているが、その概要は以下に記述するとおりである。

(1) フーリエ級数

今、例として鋸関数 $X_1(t)$ を考える（図-5.1）。関数 $X_1(t)$ は、区間 $[-T/2, T/2]$

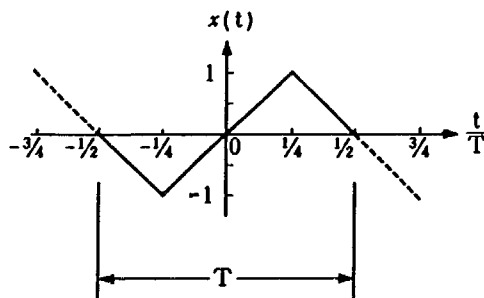


図-5.1 周期関数の一例
(鋸関数)

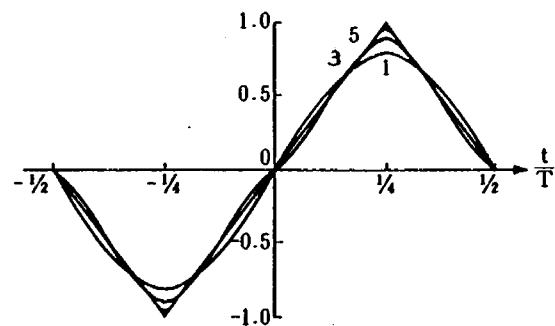


図-5.2 三角波のフーリエ級数展開
(数字は和の項数を示す)

を基本とする周期 T の周期関数である。 $X_1(t)$ がこの区間内でちょうど整数個の波を含む正弦関数の荷重和の形で表わされる。

$$X_1(t) = b_1 \cdot \sin \frac{2\pi t}{T} + b_2 \cdot \sin \frac{4\pi t}{T} + \dots\dots + b_n \cdot \sin \frac{2n\pi t}{T} \quad \dots\dots (5.2)$$

上式の両辺に $\sin(2n\pi t/T)$ を掛け、区間 $[-T/2, T/2]$ について積分を行って整理すると、フーリエ級数の係数は、

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X_1(t) \cdot \sin \frac{2n\pi t}{T} dt \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

となる。したがって、

$$b_n = \begin{cases} \frac{8}{(n\pi)^2} (-1)^{\frac{n-1}{2}} & (n=1, 3, 5 \dots) \\ 0 & (n=2, 4, 6 \dots) \end{cases}$$

この値を式(5.2)へ代入すると、

$$X_1(t) = \frac{8}{\pi^2} \left(\sin \frac{2\pi t}{T} - \frac{1}{3^2} \sin \frac{6\pi t}{T} + \frac{1}{5^2} \sin \frac{10\pi t}{T} \dots\dots \right) \dots (5.4)$$

となる(図-5.2)参照。

一般に区間 $[-T/2, T/2]$ を一周期する周期関数のフーリエ級数は、次式で表わされる。

$$X(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cdot \cos \frac{2n\pi t}{T} + b_n \cdot \sin \frac{2n\pi t}{T} \right) \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

ただし、

$$\begin{cases} a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot \cos \frac{2n\pi t}{T} dt \\ b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot \sin \frac{2n\pi t}{T} dt \end{cases}$$

(2) 複素フーリエ級数

式(5.5)のフーリエ級数表示を、オイラーの公式を用いて複素数で表わすことにする。

$$\begin{cases} \cos \theta = \frac{1}{2} (e^{i\theta} + e^{-i\theta}) \\ \sin \theta = -\frac{1}{2}i(e^{i\theta} - e^{-i\theta}) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

より、

$$\begin{cases} \cos \frac{2n\pi t}{T} = \frac{1}{2} \{ e^{i(2n\pi t/T)} + e^{-i(2n\pi t/T)} \} \\ \sin \frac{2n\pi t}{T} = \frac{1}{2}i \{ e^{i(2n\pi t/T)} - e^{-i(2n\pi t/T)} \} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

式(5.5)に代入すると、

$$X(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ a_n \cdot \frac{1}{2} \{ e^{i(2n\pi t/T)} + e^{-i(2n\pi t/T)} \} - b_n \cdot \frac{1}{2}i \{ e^{i(2n\pi t/T)} - e^{-i(2n\pi t/T)} \} \right\}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{1}{2} (a_n - i b_n) e^{i(2n\pi t/T)} + \frac{1}{2} (a_n + i b_n) e^{-i(2n\pi t/T)} \right\} \\
&= \sum_{n=0}^{\infty} \{ A_n e^{i(2n\pi t/T)} + B_n e^{-i(2n\pi t/T)} \} \dots\dots\dots (5.8)
\end{aligned}$$

ただし,

$$\begin{cases} A_n = \frac{1}{2} (a_n - i b_n) \\ B_n = \frac{1}{2} (a_n + i b_n) \end{cases}$$

ここで,

$$\begin{aligned}
A_n &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot \left(\cos \frac{2n\pi t}{T} - i \sin \frac{2n\pi t}{T} \right) dt \\
&= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot e^{-i(2n\pi t/T)} dt \dots\dots\dots (5.9)
\end{aligned}$$

同様に,

$$B_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot e^{i(2n\pi t/T)} dt \dots\dots\dots (5.10)$$

したがって、区間 $[-T/2, T/2]$ を一周期とする周期関数の複素フーリエ級数は、次式で表わされる。

$$X(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot e^{i(2n\pi t/T)} + \sum_{n=0}^{\infty} B_n \cdot e^{-i(2n\pi t/T)} \dots\dots\dots (5.11)$$

ただし,

$$\begin{cases} A_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot e^{-i(2n\pi t/T)} dt \\ B_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot e^{i(2n\pi t/T)} dt \end{cases}$$

5.2 計算手順

本手法の計算フローの概略を図-5.3に示す。この内、特に重要な事項について以下に説明を加える。

5.2.1 3次回帰による第一近似

フーリエ解析するのに先立って、原データを3次回帰し、その値を第一近似の貯留変化に対応した貯水位と考え、原データと回帰式の偏差をフーリエ解析の対象とする。その際、回

帰式が『正解値』をいかによく近似しているかが、最終結果に大きな影響をもつ。一般にデータ長を短くとれば回帰の精度はよくなると思われるが、貯水池の攪乱的変動の最長周期よりも十分長くとらなければならない。一般に、最長周期の2～3倍程度は必要であると考えられる。

5. 2. 2 余弦テーバ・ウィンドウ

一般にフーリエ級数は理論的には無限級数として扱われるが、実際のデータ処理においては有限区間の値が使用できるにすぎない。したがって、有限級数で無限級数を近似することとなり、必然的に誤差を伴うこととなる。

このような誤差を軽減さ

せるため、本手法ではフーリエ解析に先立って有限長のデータに余弦テーバ・ウィンドウを施している。このことを本手法ではテーバ操作と呼ぶが、その意味は以下のとおりである。

$X(t)$ の無限区間 $[-\infty < t < \infty]$ でのフーリエ変換を $X(f)$ とかく。

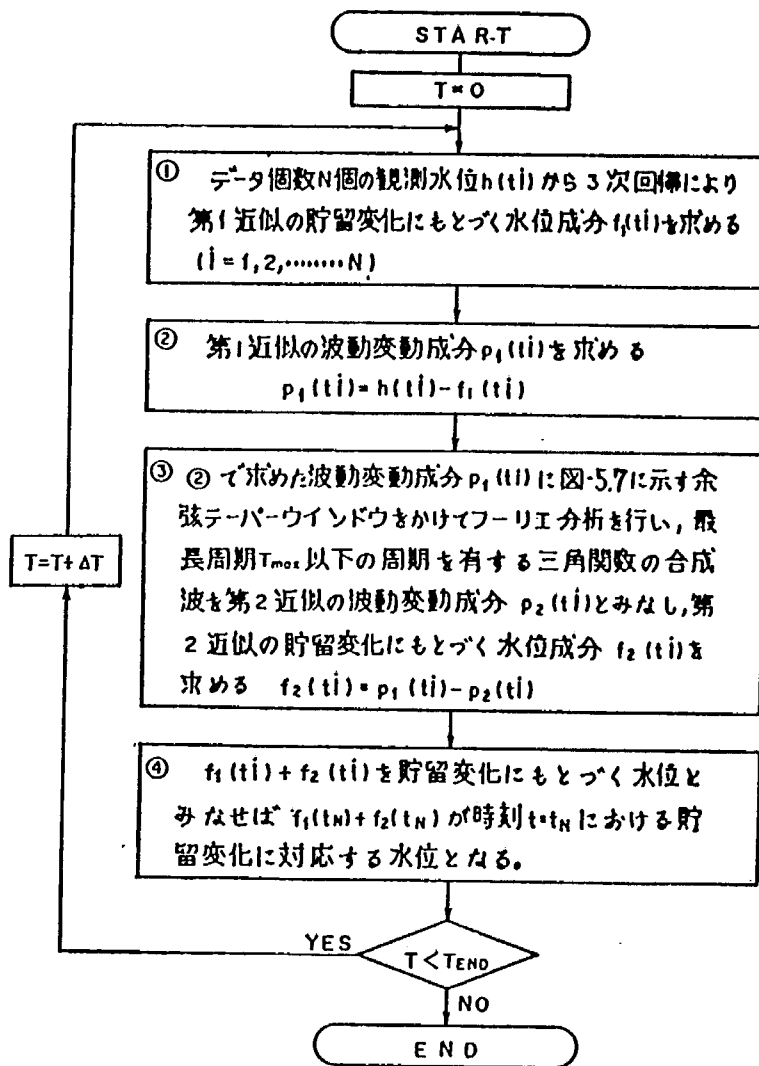
$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot e^{-i(2\pi ft)} dt \quad \dots\dots\dots (5.12)$$

実際のデータ処理においては、有限区間 $[-T/2 < t < T/2]$ における $\hat{X}(t)$ の値が使用できるだけであるので、 $X(f)$ は次式の $\hat{X}(f)$ で代替（近似）されることになる。

$$\hat{X}(f) = \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot e^{-i(2\pi ft)} dt \quad \dots\dots\dots (5.13)$$

以下の説明の便宜上、式(5.13)をこれと等価な次式に書き直しておく。

$$\hat{X}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} U_T(t) \cdot X(t) \cdot e^{-i(2\pi ft)} dt \quad \dots\dots\dots (5.13)'$$



図－5.3 計算フロー

ここに、 $U_T(t)$ は次式で表わされる矩形関数である。

$$U_T(t) = \begin{cases} 0 & (t < -T/2) \\ 1 & (-T/2 \leq t \leq T/2) \\ 0 & (T/2 < t) \end{cases} \dots\dots\dots (5.14)$$

ゆえに、式(5.12)と式(5.13)'を比較することにより、 $X(f)$ の近似 $\hat{X}(f)$ は式(5.12)の中の被積分関数の $X(t)$ を $U_T(t) \cdot X(t)$ で置き換えたものであることがわかる。

さて、 $U_T(t)$ をフーリエ展開すると次の積分表示が得られる(図-5.4参照)。

$$U_T(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\pi f'} \sin(\pi f' T) \cdot e^{i(2\pi f' t)} df' \dots\dots\dots (5.15)$$

式(5.15)を式(5.13)'に代入すると、次式を得る。

$$\begin{aligned} \hat{X}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\pi f'} \sin(\pi f' T) \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot e^{i2\pi(f'-f)t} dt}_{X(f-f')} df' \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\pi f'} \sin(\pi f' T) \cdot X(f-f') df' \dots\dots\dots (5.16) \end{aligned}$$

上式が $\hat{X}(f)$ と $X(f)$ の関係を示している。

$U_T(t)$ のフーリエ変換の関数形のうち、 $f' = 0$ 付近のピーク部分(図-5.5)に $X(f-f')$ を掛けて、区間 $[-1/T < f' < 1/T]$ の範囲で積分することは、

$$\int_{-1/T}^{1/T} \frac{1}{\pi f'} \sin(\pi f' T) \cdot X(f-f') df' \dots\dots\dots (5.17)$$

$X(f-f')$ を図-5.4のような重みをかけて、区間 $[(f-1/T) < (f-f') < (f+1/T)]$ の範囲で平滑化することを意味する。これは、以下に述べることに比べて大きな誤差を生じない。ところが、図-5.4の $f' = 1/T$ より外側の f' の範囲では負の値をとる(図-5.6参照)。

すなわち、区間 $[-2/T < f' < -1/T]$ と区間 $[1/T < f' < 2/T]$ の式(5.17)の積分は、

$$\left\{ \int_{-2/T}^{-1/T} + \int_{1/T}^{2/T} \right\} \frac{1}{\pi f'} \sin(\pi f' T) \cdot X(f-f') df' \dots\dots\dots (5.17)'$$

$X(f-f')$ の区間 $[(f-2/T) < (f-f') < (f-1/T)]$ 、区間 $[(f+1/T) < (f-f') < (f+2/T)]$

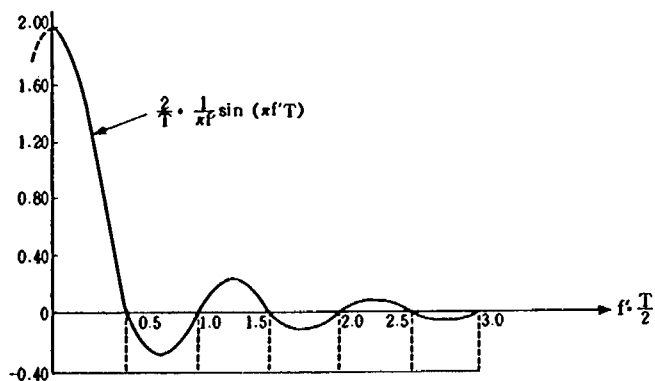


図-5.4 $U_T(t)$ のフーリエ変換の関数形
(偶関数であるので引数 f' の正の部分のみ示す)

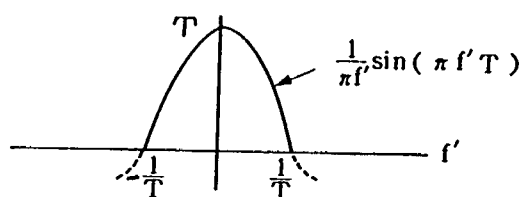


図-5.5 矩形関数フィルターの
低周波数成分
($f'=0$ 付近のピーク)

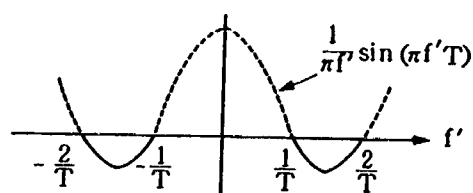


図-5.6 矩形関数フィルターの
周波数成分の区間
[$1/T < f' < 2/T$] での
関数形

の値に負の重みをつけて平均することになる。これは、 $X(f)$ のピークが $2/T$ 以上の幅をもつ時、非常に大きな誤差を生じることとなる。

テーバ操作は、この負の値をかけて積分する操作(式(5.17)')を除くことを目的とした改良手法である。

すなわち、式(5.14)の矩形関数 $U_T(t)$ の代わりに、余弦テーバ・ウィンドウ $C_T(t)$ (図-5.7) を用いると、このフーリエ変換 $\tilde{C}_T(f)$ は図-5.8 となり、負の値がずっと小さくなり、正の値をとる範囲(平滑化の幅)も小さくなることから、式(5.12)を式(5.13)で近似することによる誤差を軽減させていることがわかる。

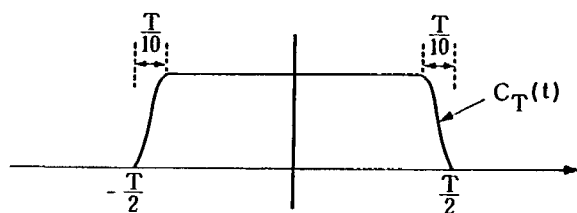


図-5.7 余弦テーバ・ウィンドウ $C_T(t)$

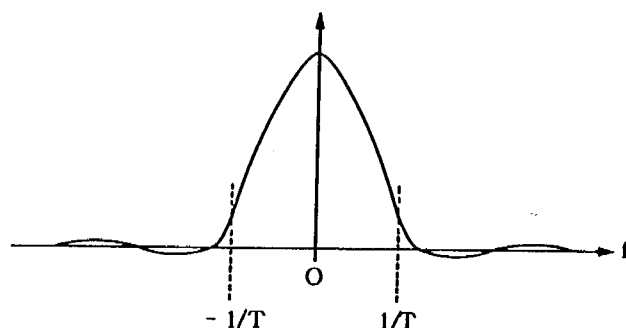


図-5.8 余弦テーバ・ウィンドウの
フーリエ成分 $C_T(f)$

5.2.3 貯水池の最長周期

風浪、ゲート操作、セイシュ等による貯水位の攪乱的変動の中で最長の周期は貯水池のセイシュによるものと考えられる。この周期の算定方法としては次のものがある。

- (1) 観測貯水位をスペクトル解析することにより卓越周期を求め、その中から最長周期を得る。
- (2) 次式により、貯水池の形状から固有周期を概略計算する。

$$T = 2 \sum_{i=1}^m \frac{\Delta \ell_i}{\sqrt{g \frac{\Delta i}{b_i}}} \approx 2 \sum_{i=1}^m \frac{\Delta \ell_i}{\sqrt{g h_i}} \dots\dots\dots (5.18)$$

ここに、 T ; 周有周期 (sec)

$\Delta \ell_i$; 区間長 (m)

A_i ; 区間 i の平均貯水池横断面積 (m^2)

b_i ; 区間 i の平均貯水池幅 (m)

h_i ; 区間 i の平均水深 (m)

m ; 貯水池縦断分割数 (図-5.9 参照)

図-5.10は(1), (2)の各手法により求めた貯水池の最長周期の関係を示したものであり、両者は良好に一致している。

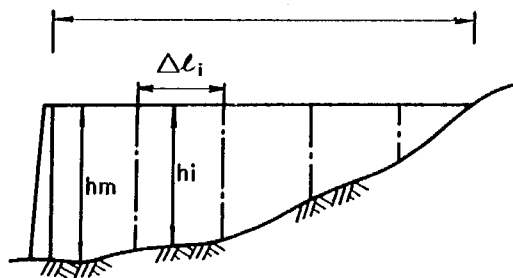


図-5.9 貯水池縦断形状

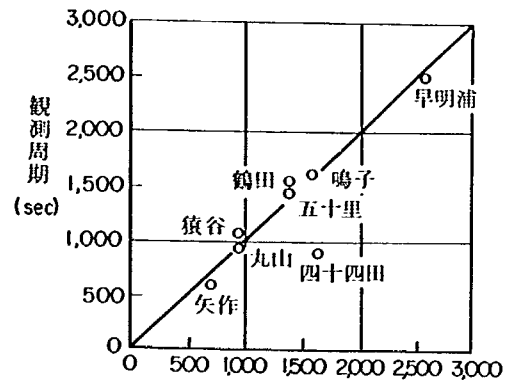


図-5.10 貯水池の最長周期

5.3 本手法の評価方法¹²⁾

5.3.1 評価方法

本手法を試行関数あるいは実測水位に適用し、その効果を他の平滑化手法（一般的には移動平均法）と比較することになるが、その場合、適切でかつ数量的な評価が必要となる。しかしながら、実測水位への適用ではその評価の基準となる「真値」（貯留量の変化のみによる貯水位の変化）を把握することは現実的に不可能である。そこで、以下に示す方法により、「真値」の推定、さらには定量的誤差評価を行うものとした。

- ① 前節5.2.3の(1), (2)で示した手法により当該貯水池の水位変動の最長周期を求める。
- ② 検討期間内の観測水位の全データをあらかじめフーリエ級数展開し、周期が①で求めた貯水池の最長周期を超える成分を貯水位の「真値」 $\tilde{f}(t)$ とする。
- ③ 本手法により水位計算時間間隔毎に貯留変化に対応する水位 $\bar{f}(t_j)$ を逐次計算する。
($j=1, 2, \dots, k$ で、 k は検討期間内の水位計算回数)
- ④ $|\tilde{f}(t_j) - \bar{f}(t_j)| \leq \varepsilon_f$ となるかどうかを評価する。 ε_f は水位の許容誤差である。
- ⑤ ②, ③で求めた貯留変化にもとづく水位の「真値」 $\tilde{f}(t_j)$ および計算値 $\bar{f}(t_j)$ を用いて、式(2.1)から得られる流入量をそれぞれ $\tilde{Q}_{in}(t_j)$, $\bar{Q}_{in}(t_j)$ とし、 $|\tilde{Q}_{in}(t_j) - \bar{Q}_{in}(t_j)| \leq \varepsilon_q$ となるかどうかを評価する。 ε_q は流入量の許容誤差である。
- ⑥ ④, ⑤で示した誤差評価は、推定された水位および流入量の誤差の平均二乗和の平方根

(以下これを誤差示数と呼び、次式より算定される)を指標として行う。

$$S_1 = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \{X(t_j) - Y(t_j)\}^2} \dots\dots\dots (5.19)$$

ここに、 $X(t_j)$; j ステップにおける水位もしくは流入量の推定値

$Y(t_j)$; j ステップにおける水位もしくは流入量の「真値」

k ; 推定水位もしくは流入量の個数

⑦ 得られた水位および流入量のなめらかさを表現する指標には、次式から求められるスムーズ示数を用いる。

$$S_2 = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \left[\frac{X(t_{j+1}) - X(t_j) - \{Y(t_{j+1}) - Y(t_j)\}}{\Delta t} \right]^2} \dots\dots (5.20)$$

以上が、「真値」の推定および評価方法の概略手順であるが、「真値」の推定方法は、フーリエ解析の次のような性質にもとづいて設定した。つまり、フーリエ級数展開はデータ長に対応する周期をもつ調和関数でデータを関数展開することに対応し、サンプリング間隔に比してデータ長を長くとる程その精度は向上する。したがって、風、ゲート操作等の外的影響を受けた波動変動成分と思われる貯水池の最長周期以下の成分を除去すれば、理論的に真の貯水位を抽出しうるものと考えた。

評価方法としては、誤差示数で本水位変動対策法による計算値と真値との誤差量を評価し、またスムーズ示数にて誤差示数では表現しえない波動変動のスムージングの程度を評価することが可能となる。

5.3.2 試行関数による検討

実測水位に適用する前に、5.3.1で記した貯留変化にもとづく水位の「真値」の推定方法ならびに本フーリエ級数法の妥当性を試行関数を用いて予備的に検討する。

検討に用いた試行関数 $h(t)$ は、実貯水池での水位変動状況を勘案して設定した「真値」 $f(t)$ に波動変動 $p(t)$ として周期、位相の異なる三成分の正弦波を重ね合わせたものとした。

$$h(t) = f(t) + p(t) \dots\dots\dots (5.21)$$

$$f(t) = \frac{3.0}{\frac{1}{2} \left(\frac{t}{100} - 3.5 \right)^2 + \frac{t}{350}} \dots\dots\dots (5.22)$$

$$p(t) = \sin 2\pi \left(\frac{t}{35} + 5 \right) + 3 \sin 2\pi \left(\frac{t}{11} + 1.7 \right) + 4 \sin 2\pi \left(\frac{t}{3} + 0.9 \right) \dots\dots\dots (5.23)$$

(1) '真値'の推定

前述の'真値'の推定方法を試行関数に適用し、あらかじめ設定した'真値'との適合度を評価した。ここでは、解析対象期間は512分とし、分離の最長周期を試行関数の波動変動を除去しうるよう64分とした。また、低周波数通過フィルターとしては、図-5.11(a)に示すような段階関数型にせず、図-5.11(b), (c)の漸変型を用いることが望ましいので、ここでは図-5.11(c)のフィルターを用いた。

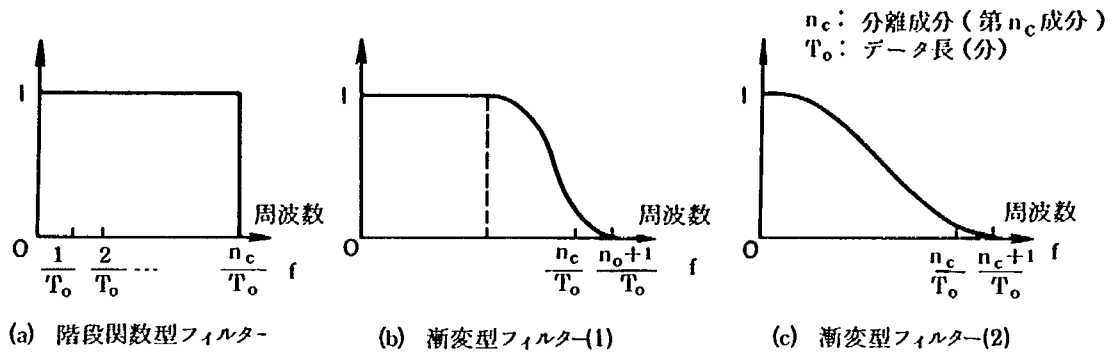


図-5.11 低周波数通過フィルター

結果を図-5.12に試行関数とともに示す。当初設定した'真値' $f(t)$ とフーリエ級数により推定した'真値' $\tilde{f}(t)$ とは、誤差示数で0.194cm, スムーズ示数で0.007cm/minとなり、両者は概ね良好に一致している。従って、フーリエ級

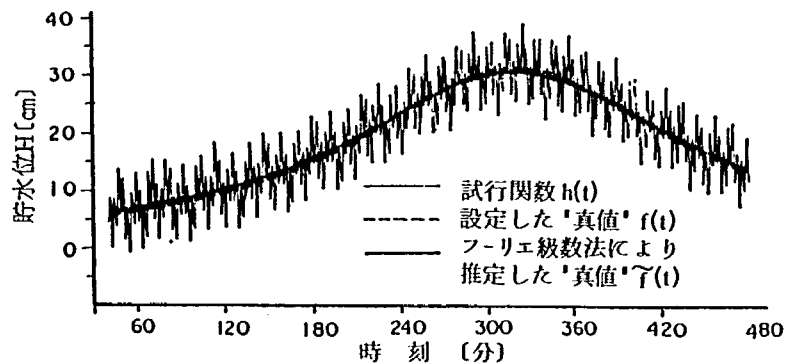


図-5.12 試行関数の'真値'の推定

数を用いた'真値'の推定方法は妥当であるとともに、実測水位への適用の際の誤差評価にも、この'真値' $\tilde{f}(t)$ を用いて良いことが示された。

(2) 試行関数の誤差評価

次に、本報で提案しているフーリエ級数法を用いて試行関数の平滑化を行った。この時、平滑化の時間間隔は10分間で、データ長は128分(サンプリング間隔30秒でデータ個数256個)とした。

計算結果を図-5.13に示すが、同図には比較のため移動平均法(サンプリング間隔2秒で移動平均時間長1分間)による平滑化も併せて掲載している。また、前述の評価方法により誤差評価した結果を表-5.1にとりまとめた。

これらより、フーリエ級数法は移動平均法に比べて、誤差示数、スムーズ示数ともに1/4

程度であり、良好な平滑化が行い得ることが示されている。また、試行関数の推定した「真値」に対する偏差の平均二乗和の平方根 (3.60cm) との比較では設定した試行関数に関する限り、フーリエ級数法は $\frac{1}{2}$ 程度に平滑化されるが、移動平均法ではほとんど効果がない。

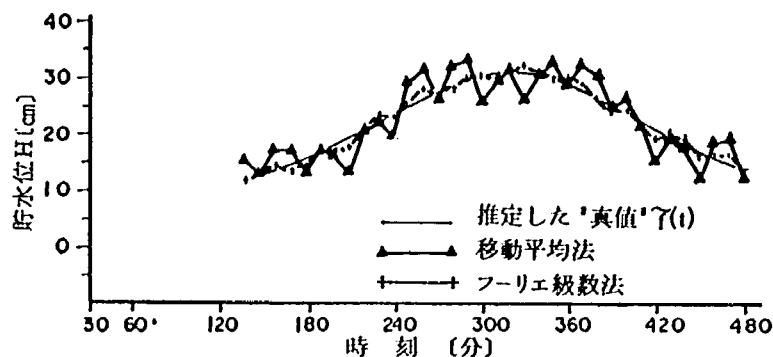


図-5.1.3 試行関数の平滑化

表-5.1 平滑化手法の評価 (試行関数による)

	フーリエ級数法	移動平均法
誤差示数 (cm)	0.85 (0.24)	3.19 (0.89)
スムーズ示数 (cm/min)	0.11	0.44

注) () 内は誤差示数/試行関数の誤差示数 (3.60cm)

5.4 本手法の感度分析¹²⁾

本報で提案するフーリエ級数法を実測水位に適用する場合、前記5.2節の計算手順に従って計算するが、この時、まず初めに当該貯水池に適応した最長周期 (分離周期) と解析対象データ長 (データ個数) を設定する必要がある。本手法では、これらの値を決定する方法として、前者については(a)観測水位のスペクトル解析による方法、(b)最長周期を貯水池のセイシュとみなして貯水池形状から算定する方法の2方式より決定される。また、後者については最長周期の2~3倍程度で、水位データのサンプリング間隔との関係において決定することとしている。このようにして求められた各値が当該貯水池において最適なものであるかどうか、各値の感度分析を試みることににより、その決定方法の妥当性を検討する。

また、本手法ではフーリエ解析に先立って原データを回帰し、その値を第一近似の貯留変化に対応した貯水位と考え、原データと回帰式の偏差をフーリエ解析の対象としているが、この回帰式の算定精度がフーリエ解析後の最終結果に大きな影響をもつと考えられる。そこで、回帰次数を2次、3次、4次の3ケース設定し本手法を適用して比較分析を試みた。

5.4.1 最長固有周期と解析データ長の決定

本節で検討の対象とするダムは、第3章で水位変動の実態調査を行ったAダムとした。

Aダムの最長周期としては、一つの方法である観測水位をスペクトル解析しそのパワースペクトルより推定する方法から、約45~68分程度であることが示された。また、貯水池縦断形状 (図-5.1.4) から式 (5.18) を用いて貯水池固有周期を算定すると約47分が得られた。したがって、これらの周期以下の成分を風、ゲート操作等の外的影響を受けた波動的変動成

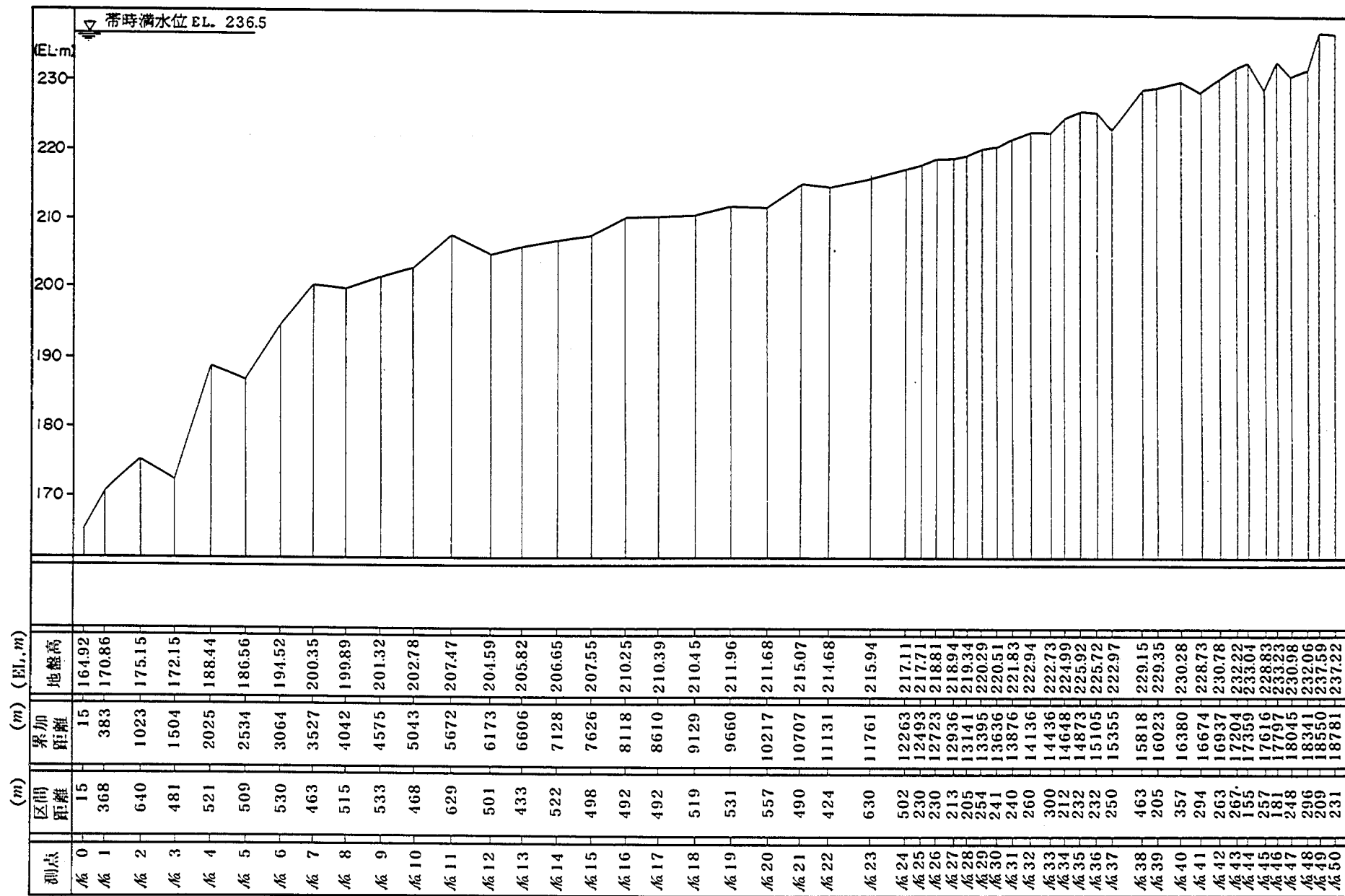


図 - 5.1 4 対象ダム貯水池縦断面図

分と考え、貯留変化にもとづく水位成分との分離周期を80分程度に決定した。

次に解析対象データ長は、最長周期の2～3倍程度であること、及び水位データのサンプリング間隔が30秒であることから128分（データ個数256個）に決定した。また、この値はフーリエ解析におけるアルゴリズム（高速フーリエ変換；Fast Fourier Transform）の長所である演算の高速性を十分に発揮させるためデータ個数を2のべき乗にとる必要があることにもとづいている。

5.4.2 第一近似の回帰次数の検討

本手法では、フーリエ解析を行う前に基線誤差を除去することを目的として原データを回帰し、この値と原データの偏差をフーリエ解析の対象データとしている。その際、回帰式が『正解値』をいかによく近似しているかが最終結果に大きな影響をもつ。一般にデータ長を短くすれば回帰の精度は向上するものと思われるが、貯水池の攪乱的変動の最長周期よりも十分長くとらなければならない。Aダムの解析データ長は前述のように、最長固有周期あるいはサンプリング間隔等から128分（データ個数256個）と決定されており、解析データ長をこれ以上短くすることは、最長固有周期との関係から有効周期成分が少なくなってしまう疑問が残る。本節では、まず解析データ長を128分として、回帰式を2次回帰、3次回帰、4次回帰と変更した場合の本手法に与える影響を比較・分析してみた。

また、回帰する時の対象データを現時刻に近いデータほど重み付けした場合についても併せて検討した。重み付けは図-5.15に示したように直線的に変化させ、対象データの両端の比を、1対1、1対10、1対100の3ケース設定した。

計算結果を表-5.2に示す。最下段の移動平均法は、前記4.2.1の図-4.2.2、図-4.2.3の標準仕様にもとづく計算手順に従って平滑処理した結果である。また、（ ）内の数値は移動平均法に対する比を示しており、1.0より小さいほどフーリエ級数法が優れていることを意味している。

同表より、第一近似として2次回帰を採用した場合、水位ベースでの誤差示数が移動平均法に比べて2.5倍程度を示しており、本資料のような洪水時の場合は2次回帰では十分

追従しえないことが示された。また、全体的にみてフーリエ級数法の方が移動平均法よりも

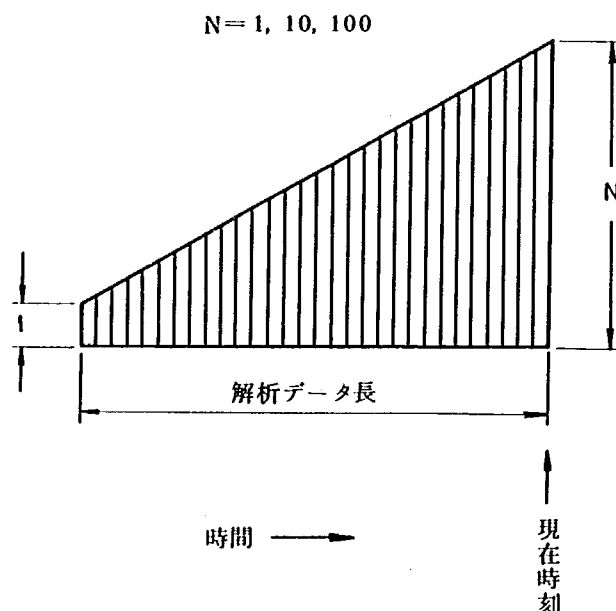


図-5.15 回帰時のデータ重み付け

表-5.2 第一近似の回帰次数の検討

	回 帰 次 数	回帰時 の重み	水 位 の 単 位 cm						水 位 の 単 位 mm						移動平均法に対する平均比率				
			水 位		流 入 量				水 位		流 入 量				水位	流入量	誤差 示数	スム-ズ 示 数	全平均 比 率
			誤差 示数	スム-ズ 示数	誤 差 示 数		スム-ズ示数		誤差 示数	スム-ズ 示 数	誤 差 示 数		スム-ズ示数						
					*	**	*	**			*	**	*	**					
フ ォ ー リ エ 級 数 法	2 次 回 帰	1	2.244 (2.499)	0.079 (0.752)	27.380 (0.734)	(1.213)	2.806 (0.442)	(1.099)	2.322 (2.684)	0.068 (0.687)	23.528 (0.677)	(1.053)	1.234 (0.214)	(0.511)	1.656	0.517 [0.969]	1.649 [1.862]	0.524 [0.762]	1.086 [1.312]
		100	2.199 (2.449)	0.077 (0.733)	26.533 (0.712)	(1.175)	2.611 (0.411)	(1.023)	2.254 (2.606)	0.066 (0.666)	22.976 (0.661)	(1.028)	1.214 (0.221)	(0.502)	1.614	0.499 [0.932]	1.607 [1.815]	0.505 [0.731]	1.056 [1.273]
	3 次 回 帰	1	0.943 (1.050)	0.080 (0.762)	28.231 (0.757)	(1.251)	3.833 (0.603)	(1.501)	0.921 (1.065)	0.064 (0.646)	22.890 (0.659)	(1.024)	2.512 (0.436)	(1.039)	0.881	0.614 [1.204]	0.883 [1.098]	0.612 [0.987]	0.747 [1.042]
		10	0.844 (0.940)	0.075 (0.714)	25.917 (0.695)	(1.148)	3.246 (0.511)	(1.271)	0.754 (0.872)	0.059 (0.596)	21.292 (0.613)	(0.953)	2.487 (0.432)	(1.029)	0.781	0.563 [1.100]	0.780 [0.978]	0.536 [0.903]	0.672 [0.940]
		100	0.821 (0.914)	0.075 (0.714)	26.264 (0.704)	(1.163)	3.354 (0.528)	(1.314)	0.692 (0.800)	0.060 (0.606)	21.590 (0.621)	(0.966)	2.543 (0.442)	(1.052)	0.759	0.574 [1.124]	0.760 [0.961]	0.573 [0.922]	0.666 [0.941]
	4 次 回 帰	1	0.787 (0.786)	0.090 (0.857)	31.525 (0.846)	(1.397)	4.390 (0.691)	(1.720)	0.711 (0.822)	0.072 (0.727)	25.391 (0.731)	(1.136)	3.071 (0.534)	(1.271)	0.798	0.701 [1.381]	0.796 [1.035]	0.702 [1.144]	0.749 [1.090]
		100	0.753 (0.839)	0.086 (0.819)	29.604 (0.794)	(1.311)	4.057 (0.638)	(1.589)	0.705 (0.815)	0.074 (0.747)	25.943 (0.746)	(1.161)	3.185 (0.553)	(1.318)	0.805	0.683 [1.345]	0.799 [1.032]	0.689 [1.118]	0.744 [1.075]
	移動平均法			0.898	0.105	37.281	22.574	6.355	2.553	0.865	0.099	34.754	22.353	5.755	2.417				

注) *印は流入量ベースで10分の移動平均なし, **印は移動平均あり,

()内数字は移動平均法に対する比率, []内数字は流入量ベースで10分の移動平均を行った移動平均法に対する平均比率

平滑効果が高いと思われるが、流入量段階で10分の移動平均を行った移動平均法（5分の時間遅れを伴う）に対して移動平均を行っていないフーリエ級数法（時間遅れはない）は若干劣っていることが指摘される（表中の**印の欄）。しかしながら、第一近似を3次回帰して回帰時のデータに重み付けを行った場合における誤差示数ではフーリエ級数法の方が良い結果を得た。また、右欄に平均比率を示したが、3次回帰で特に重み付けを行ったケースは移動平均法に比べて $2/3$ 程度は精度良く平滑化およびスムージングすることが可能である。これは第一近似として3次回帰を採用すれば、流入量が急上昇、急下降する時の追随性に優れ、かつ流入量の傾向が急変した場合のピーク値を適確に捕えられることにもとづいているものと考えられる。

以上の検討結果より、第一近似として3次回帰を採用し、回帰時にデータの始点と終点を1対100に重み付けを行ったケースを標準として、以下の検討を行うことにする。

5.4.3 パラメータの感度分析

本節の対象ダムであるAダムの分離周期および解析データ長は、前記のように80分および128分と推定されている。ここでは、これらの値が当該貯水池に本手法を適用する時の最適な値であるかどうか、各パラメータの感度分析を試みることににより検証してみることにする。

解析データ長については、データ個数を2のべき乗にとる必要があることから、64分（128個）、128分（256個）、256分（512個）の3ケースを設定する。分離周期については、各解析データ長に対応して、30、40、60、80、100、200分の中から適宜設定するものとした。

また、解析データ長に対し分離周期を小さくすると、フィルター通過後の成分数が多くなり、階段関数型フィルターを漸変型フィルターに変更することによる効果が期待されるため、図-5.11に示した3ケースを設定した。

検討ケース一覧表を表-5.3に示し、計算結果を付表Cに整理した。付表中の標準仕様は移動平均法を、テーバ法は本報で提案しているフーリエ級数法である。また、水位の単位はcm及びmmは、演算後の水位をそれぞれに四捨五入して以下の流入量の計算に用いたケースである。

表-5.4(1)、(2)は、資料No.1における水位の単位をcm及びmmとした時のフーリエ級数法について全ケースとりまとめたものである。これらの表より各パラメータ値について考察すれば、以下のことが指摘されよう。

- (1) データ長について3ケース比較すると、256分とした場合、貯水位の誤差示数においてバラツキが大きく、また、第一近似の3次回帰のみのケースに比して、第二近似の三角関数の成分を加えることにより逆に悪化する結果となっている。これは、データ長が長すぎるために、フィルター通過後の有効成分（長周期成分）のみでは正確な値を推定し得ないことによるものと考えられる。

一方、データ長を64分、128分とした場合は、共に誤差示数で1cm以内に精度良く平滑

表一 5.3 検討ケース一覧表

ケースNo	データ長 〔分〕 データ 個 数	分離周期 〔分〕	有 効 成分数	低周波通過フィルター			3 次回帰 のみ	付表No
								
1	64 (128)	—	—				○	付表C— 1
2		60	1	○				付表C— 2
3		30	2	○				付表C— 3
4						○		付表C— 4
5	128 (256)	—	—				○	付表C— 5
6		80	1	○				付表C— 6
7		60	2	○				付表C— 7
8						○		付表C— 8
9		40	3	○				付表C— 9
10					○			付表C— 10
11						○		付表C— 11
12		30	4	○				付表C— 12
13					○			付表C— 13
14						○		付表C— 14
15	256 (512)	—	—				○	付表C— 15
16		200	1	○				付表C— 16
17		100	2	○				付表C— 17
18						○		付表C— 18
19		80	3	○				付表C— 19
20					○			付表C— 20
21						○		付表C— 21
22		60	4	○				付表C— 22
23					○			付表C— 23
24						○		付表C— 24
25		40	6	○				付表C— 25
26					○			付表C— 26
27						○		付表C— 27
28		30	8	○				付表C— 28
29					○			付表C— 29
30						○		付表C— 30

表-5.4(1) 感度分析結果(資料No.1, 水位はcm単位)

データ長(個)	切断周期(分)	フィルター			貯 水 位				流 入 量									
					(cm) 誤 差 示 数	0	1	2	ス ム ー ズ 示 数	0.0	0.1	誤 差 示 数	0	50	ス ム ー ズ 示 数	0	5	
128	3次回帰のみ				1.043				0.103			35.436			5.937			
	60	○			0.999				0.081			27.223			4.225			
	30	○			1.032				0.080			26.274			4.019			
				○	0.999				0.081			27.223			4.225			
256	3次回帰のみ				1.043				0.103			35.436			5.937			
	80	○			1.067				0.073			24.319			3.118			
	60	○			1.079				0.081			26.683			3.322			
				○	1.067				0.073			24.319			3.118			
	40	○			1.128				0.081			26.974			3.627			
			○		1.061				0.081			26.862			3.614			
				○	1.080				0.078			25.646			3.326			
			○		1.118				0.075			25.053			3.382			
	30		○		1.128				0.081			26.974			3.627			
				○	1.062				0.074			24.319			3.118			
		3次回帰のみ				1.174				0.111			38.528			6.664		
		200	○			3.156				0.088			30.907			2.736		
100	○			2.409				0.082			28.357			3.103				
			○	3.017				0.089			31.512			3.091				
512	80	○			2.168				0.077			26.931			2.359			
			○		2.359				0.081			28.140			3.062			
				○	2.728				0.084			29.079			2.765			
		○			2.204				0.074			25.897			2.489			
	60		○		2.204				0.074			25.897			2.489			
				○	2.615				0.078			27.270			2.344			
		○			2.524				0.081			28.259			2.660			
			○		2.344				0.079			28.228			2.927			
	40			○	2.417				0.077			27.265			1.964			
		○			2.881				0.092			32.162			3.424			
			○		2.524				0.081			28.259			2.660			
				○	2.417				0.077			27.265			1.964			

表-5.4(2) 感度分析結果(資料No.1, 水位はmm単位)

データ長(個)	切断周期(分)	フィルター			貯 水 位		流 入 量	
					誤 差 示 数 (cm) 0 1 2	ス ム ー ズ 示 数 0.0 0.1	誤 差 示 数 (m³/s) 0 40	ス ム ー ズ 示 数 0 5
128	3次回帰のみ				1.043	0.103	35.436	5.937
	60	○			0.986	0.072	24.105	3.494
	30	○			0.999	0.082	26.891	4.162
			○		0.987	0.073	24.078	3.505
256	3次回帰のみ				1.043	0.103	35.436	5.937
	80	○			0.962	0.055	18.177	1.963
	60	○			1.000	0.064	20.727	2.232
			○		0.972	0.056	18.570	1.977
	40	○			0.985	0.063	20.486	2.331
			○		1.001	0.063	20.689	2.259
				○	0.975	0.059	19.459	2.136
	30	○			0.984	0.065	21.432	2.742
			○		0.987	0.062	20.097	2.304
				○	0.985	0.059	18.797	2.141
512	3次回帰のみ				1.174	0.111	38.528	6.664
	200	○			3.127	0.082	28.801	1.290
	100	○			2.374	0.071	24.607	1.207
			○		2.991	0.079	27.815	1.182
	80	○			2.224	0.068	23.937	1.209
			○		2.325	0.070	24.228	1.194
				○	2.705	0.074	25.896	1.198
	60	○			2.307	0.072	25.260	1.471
			○		2.253	0.068	24.000	1.233
				○	2.535	0.071	25.066	1.131
	40	○			2.577	0.071	25.126	1.167
			○		2.372	0.071	24.838	1.344
				○	2.420	0.070	24.554	1.209
	30	○			2.818	0.078	27.326	1.636
			○		2.567	0.072	25.206	1.283
				○	2.450	0.070	24.402	1.173

化されていることがわかる。

流入量のスミーズ示数では、256分の場合が最もスミーズ性が高い結果となっているが、これは、「真値」と離れた位置でのなめらかさが良好であることを示している。また、貯水位の場合にも同様な傾向がある。したがって、感度分析結果は誤差示数及びスミーズ示数の両指標により評価されるべきであると判断される。

- (2) 分離周期及び低周波数通過フィルターについては、分離周期を小さくする程フィルター通過後の有効成分数が増大し、フィルターを漸変させることによる効果が高まるものと考えられるが、本感度分析結果からも分離周期を60分以下とした場合にその様な傾向が若干窺われた。しかしながら、これら全ての評価指標値よりも、分離周期80分で階段関数型フィルターとした時の方が精度良く平滑化処理されている。したがって通過フィルターの影響よりも、分離周期を適正に設定することの方が本手法においては重要であるといえる。
- (3) データ長128分、分離周期80分とした場合には、第一近似段階の3次回帰のみに比して、かなり精度良く推定されている。特に流入量の誤差示数では $\frac{1}{2}$ 、スミーズ示数で $\frac{1}{3}$ 程度に平滑化されている。

以上の感度分析結果より、あらかじめ設定しておいた各パラメータ値が当該ダムに最も適合していることが示された。したがって、前述の各パラメータ値の決定方法はほぼ妥当であると考えられる。

5.5 実測水位への適用

本節では、前節までに検討してきたフーリエ級数を用いた水位変動対策法を実測水位に適用し、当該ダム固有の平滑化手法及び標準仕様（前章4.2.1の図-4.2.2～4.2.3）にもとづく平滑化手法とを比較・分析してみる。更にこれらの平滑化水位を各ダム固有の流入量算定手法に適用して流入量を求め、流入量ベースでの誤差評価も実施した。

5.5.1 対象ダムの流入量算定方法

本章で対象としたダムは第3章で対象とした5ダムである。各ダム及び標準仕様における一連の流入量算定方法について、以下の項目ごとに整理したものを表-5.5に示した。

- (1) 水位検出機構
- (2) 検出水位と加工水位（表示，記録，平滑方法）
- (3) 流入量算定方法
- (4) 洪水調節ルール

以下に、各項目ごとに各ダム及び標準仕様の特徴について概要を述べる。

(1) 水位検出機構

標準仕様では、サンプリング間隔を2秒とすることだけを指定している。既設5ダムに関しては、電源はすべて「連続測定可能な無電源方式」を採用し、出力形応もすべてのダ

表- 5. 5 対象ダムの流入量算定方法及びその標準仕様

ダム名	水位測定			水位の取扱い*)			水位平滑方法		計算間隔	流入量算定方法	洪水調節方式
	電源	出力形式	測定単位	間隔	表示	記録	演算	個数n	時間長To		
標準仕様				2 sec		S	S	30	60 sec	$Q_i(k\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} Q_i((k-j)\Delta t) \leftarrow Q_i(m\Delta t) = \frac{V(H(m\Delta t)) - V(H(m\Delta t - T))}{T}$ $+ \frac{\Delta t}{T} \sum_{j=0}^{T/\Delta t - 1} Q_{out}((m-j)\Delta t)$ $\Delta t = 60 \text{ sec}$, $N = 10$を標準	——
A	連続測定可能な無電源方式	デジタル	1 cm	1	S	S	S	60	60	時間平均流入量 $\overline{Q_i(t)} = \frac{\sum_j Q_j \Delta T_j}{3600} \leftarrow Q_i(t) = \frac{V(H(t)) - V(H(t-T)) + \int_{t-T}^t Q_{out}(t') dt'}{T}$ ΔT_j は Q_j の継続時間 T は N_{cm} 変化するのに要した時間: $H(t) - H(t-T) = N_{cm}$	定開度放流方式
B				10	0	0	S	6	60	$Q_i(k\Delta t) = \frac{V(H(k\Delta t)) - V(H(k\Delta t - T))}{T} + \frac{Q_0(k\Delta t) + Q_0(k\Delta t - T)}{2} \leftarrow H(m\Delta t) = \frac{1}{12} \sum_{j=0}^5 \{H(m\Delta t - 10j) + H(m\Delta t - 10(j+1))\}$ $Q_i(k\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} Q_i((k-j)\Delta t) \leftarrow Q_i(m\Delta t) = \frac{V(H(t)) - V(H(t-T))}{T} + \frac{60}{T} \sum_{j=0}^{T/\Delta t - 1} Q_0((m-j)\Delta t)$	変則定量放流方式 840,160 m³/s
C				2	S	S	S	30	60	$Q_i(k\Delta t) = \frac{1}{3} \sum_{j=0}^2 Q_i((k-j)\Delta t) \leftarrow Q_i(m\Delta t) = \frac{V(H(m\Delta t)) - V(H((m-1)\Delta t))}{\Delta t} + \overline{Q_{out}}$ $\Delta t = 600 \text{ sec}$ ($m-1$)$\Delta t < t < m\Delta t$ の平均放流量	定率定量放流方式 $Q_0 = (Q_i - 800) \times 0.3077 + 800$
D				1	0	0	0	-	-	水位変化時 $Q_A(t_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} Q_i(t_k - j) \quad Q_i(m\Delta t) = \frac{V(H(m\Delta t)) - V(H((m-1)\Delta t))}{\Delta t} + Q_0(m\Delta t)$ $Q_i(t_k) = \frac{3}{10} Q_A(t_k) + \frac{7}{10} Q_B(t_k) \leftarrow$ $Q_B(t_k) = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{dQ_{k-j}}{dt} \right) \right\} \cdot T + Q_i(t_{k-j})$ $N = 1 \sim 8$, T は N_{cm} 変化するのに要した時間: $H(t) - H(t-T) = N_{cm}$	定率定量放流方式 $Q_0 = (Q_i - 500) \times \frac{1500}{2300} + 500$
E				2	0		S	30	60	水位が N_{cm} 変化するごとに計算する ($N = 1 \sim 10$ 可変) 水位変化時 $Q_i(t) = \frac{V(H(t)) - V(H(t-T))}{T} + \overline{Q_{out}}$ $\overline{Q_{out}}$: T 時間内の平均流量 T は N_{cm} 変化するのに要した時間: $H(t) - H(t-T) = N_{cm}$	定率定量放流方式 $Q_0 = (Q_i - 600) \times 0.68 + 600$

*) 0 : 観測水位, S : 平滑水位

ムでデジタル方式である。

測定単位は、すべてのダムで1 cmを採用している。このことは本研究の最終的な推定精度を制約するものであり、出力となる平滑化水位は1 cm程度の推定精度で十分であることを意味している。それ以上の精度を要求するには、入力となる水位の測定単位をmmとし、精度良く測定可能な水位計が必要である。

(2) 検出水位と加工水位

Dダムを除く4ダムとも演算に用いるのは平滑水位（加工水位）であり、記録も平滑水位によっているようである。Bダムでは同時に観測水位（検出水位）も記録している。

水位の表示は、ダムごとに観測水位であったり、平滑水位であったりまちまちである。

水位の平滑化に用いるサンプル数(n)，平滑化時間(T_0)は表にあるように， $n=30$ ， $T_0=60$ secの標準仕様に則っているが，Aダム，Bダムでは独自の値を採用している。

(3) 流入量算定方法

標準仕様では、平滑水位を用いて計算した流入量を再び移動平均することになっている。この方法に則っているのがAダムとCダムである。

流入量での移動平均を行っていないのが，BダムとEダムである。Dダムでは流入量の平滑化をダム独自の方法で実施している。

(4) 洪水調節ルール

Aダムが一定開度，Bダムが変則一定量であり，他の3ダムは定率定量放流方式を採用している。したがって，Aダム以外は洪水調節時に流入量を把握しなければならない。もちろん，Aダムにおいても洪水調節操作への移行あるいは調節後の水位低下操作への移行等の貯水池操作を実施するためには流入量を把握する必要がある。

5.5.2 実測資料への適用（水位での評価）

対象とした5ダムにおいて実際に観測された水位変動データに，ソフト的な水位変動対策として，本報で提案するフーリエ級数を用いた方法，標準仕様にもとづく方法，及び個々の貯水池で使用されている方法の3手法を適用し，各々平滑水位を求め，推定値の「真値」からの偏差を前述の2つの評価指導を用いて比較・分析した。結果を表－5.6に示す。

これによると，標準仕様による方法と各ダム固有の方法はいずれも移動平均法であり，ほぼ同程度の評価が与えられる。これらに比べ，フーリエ級数法はBダムを除いて両評価指標共に優れていることがわかる。

5.5.3 実測資料への適用（流入量での評価）

前に求めた3通りの平滑水位を用いて，各ダム固有の流入量計算方法（表－5.5）により流入量を算出した。この際，放流量は考慮していないため，結果は「見かけの流入量」である。また，流入量計算時の貯水位の単位をcm，mmの各々について計算した。計算に用いた水位～容量関係式は便宜上次のように設定した。

表－5.6 実測水位への適用結果（水位での評価）

ダム名	観測年月日		フーリエ 級数法	標準仕様	ダム固有	観測値
A	55. 10. 31		0.46 (0.35)	0.66 (0.50)		1.31
			0.030	0.83		0.168
	57. 10. 19		0.23 (0.17)	0.62 (0.45)		1.37
			0.017	0.080		0.217
B	56. 6. 30	水位計 No.1	2.48 (1.40)	1.73 (0.98)	1.74 (0.98)	1.77
			0.238	0.289	0.290	0.290
		水位計 No.2	2.17 (0.68)	3.18 (0.99)	3.19 (0.99)	3.21
			0.259	0.572	0.573	0.581
	56. 7. 11	水位計 No.1	1.13 (1.47)	0.70 (0.91)	0.74 (0.96)	0.77
			0.129	0.107	0.112	0.112
		水位計 No.2	1.16 (1.15)	0.92 (0.91)	0.90 (0.89)	1.01
			0.186	0.153	0.146	0.146
C	55. 9. 10		0.23 (0.23)	0.53 (0.54)		0.99
			0.029	0.069		0.120
	55. 10. 14		0.28 (0.46)	0.37 (0.61)		0.61
			0.036	0.048		0.085
D	55. 8. 29		0.56 (0.67)	0.80 (0.95)		0.84
			0.070	0.111		0.121
	57. 7. 12		0.40 (0.69)	0.54 (0.93)		0.58
			0.065	0.087		0.093
E	57. 7. 17		0.16 (0.53)	0.22 (0.73)	0.21 (0.70)	0.30
			0.028	0.035	0.034	0.037
	57. 7. 19		0.17 (0.49)	0.28 (0.80)	0.28 (0.80)	0.35
			0.028	0.043	0.044	0.044

上段：誤差示数（cm），（推定値の誤差示数／観測値の誤差示数）

下段：スムーズ示数（cm／分）

$$\begin{aligned}
 \text{Aダム} \quad V &= 92.9 H^2 + 38380H + 3979049 \\
 \text{Bダム} \quad V &= 36.416 H^2 + 3995H + 115484 \\
 \text{Cダム} \quad V &= 52.47 H^2 + 2852.9H + 3901530 \\
 \text{Dダム} \quad V &= 19.896 H^2 + 5398.6H + 372989 \\
 \text{Eダム} \quad V &= 25.5 H^2 + 4907.3H + 252544
 \end{aligned}$$

ただし、V；容量（ 10^3 m^3 ）

H；貯水位（EL, m）

計算結果について、誤差示数、スムーズ示数を整理したものを表-5.7に示す。

表-5.7 実測水位への適用結果（流入量での評価）

ダム名	観測 年月日	水位はcm単位			水位はmm単位		
		フーリエ 級数法	標準仕様	ダム固有	フーリエ 級数法	標準仕様	ダム固有
A	55. 10. 31	13.4 1.14	11.8 1.57		12.0 0.74	11.5 1.58	
	57. 10. 17	2.3 0.25	5.2 0.73		1.9 0.14	4.8 0.63	
B	56. 6. 30	19.0 1.92	15.4 2.75	13.9 2.47	18.7 1.84	15.3 2.83	15.2 2.81
	56. 7. 11	10.2 1.26	5.1 0.95	5.7 1.05	9.2 1.18	4.8 0.85	4.7 0.85
C	55. 9. 10	19.5 2.36	35.3 4.72		12.2 1.41	27.5 3.38	
	55. 10. 14	18.7 2.34	18.1 2.16		12.5 1.54	12.2 1.65	
D	55. 8. 29	49.0 7.18	81.5 10.95		39.6 5.14	75.9 10.52	
	57. 7. 12	59.6 8.14	58.9 8.97		30.1 4.80	53.74 8.17	
E	57. 7. 17	13.6 2.28	13.8 2.46	15.0 2.74	8.1 1.49	10.5 1.90	10.2 1.84
	57. 7. 19	14.2 2.49	16.2 2.83	16.0 2.80	8.4 1.55	13.1 2.29	13.5 2.35

上段：誤差示数（ m^3/s ）

下段：スムーズ示数（ $\text{m}^3/\text{s}/\text{分}$ ）

前述した水位での評価の時と同じく、標準仕様による方法と各ダム固有の方法はほぼ同じ結果を与えており、Bダムを除いてこれらの方法よりフーリエ級数法が良い結果となっている。Bダムの資料は、洪水時のゲート操作及び発電操作に伴ない貯水位が急変している時の資料であり、その影響を受けて特に誤差示数の精度が悪いようである。貯水位の有効単位の比較では、いずれの方法を用いる場合でも水位の値をmmまで採用する方が明らかに良い結果

を与えている。

以上、本節の検討結果より、ここで用いたような評価方法によれば水位段階及び流入量段階のいずれの評価においても、フーリエ級数法は従来の移動平均法に対して優秀性が確認された。また、移動平均法ではその時間長に対応して、実際にはある遅れ時間を無視して当該時刻の流入量としていることになる。この遅れ時間は、5分～30分とダムによってはかなり大きな値となることに留意しておく必要がある。

6. 実管理ダムへの導入

昭和57年度より建設省直轄管理ダム（2ダム）に本平滑化手法を組み込み、実際の貯水池管理システムへの導入を試みている。¹²⁾ 実管理ダムへの導入にあたってまず初めに考慮すべき点は、基本的に本手法はソフト的な対策法であり、ダムコントローラーを含みハード的なシステム改造は極力避けたいということである。この条件に対し、Aダム、Bダムに設置されているダムコントローラーはCPU容量的には満足しており、またフーリエ級数演算（データ個数256個）に要する計算時間も表-6.1のとおり1分以内

1分以内であることから実運用上問題はないことがわかった。

表-6.1 実管理ダムのダムコントローラーによる計算時間

	A ダム	B ダム
ダムコントローラーの機種	PANAFACOM U-1200	PANAFACOM U-200
計算時間（秒）	30	50

6.1 貯水池の最長固有周期 T_c の算定

前述の式（5.18）による簡略計算法、及び既往の貯水位観測資料のパワースペクトルより推定する方法の算定結果より、貯水池の最長固有周期 T_c は表-6.2のように決定した。

表-6.2 決定した最長固有周期とデータ長

	A ダム	B ダム
最長固有周期		
簡略計算法より算定（分）	27	38
パワースペクトルより推定（分）	15	45 ~ 68
決定した最長固有周期 T_c （分）	32	64
データ個数（データ長（分））	128（64分）	256（128分）

6.2 本対策法の適用

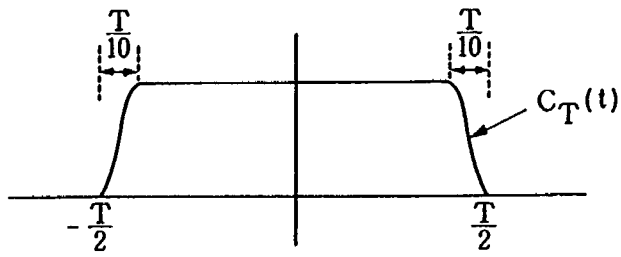
フーリエ級数法の計算アルゴリズムはFFT法であり、FFT法の長所である演算の高速性を十分に発揮させるために、データ個数を2のべき乗にとる必要がある。また、データ個数を短かくとる程回帰時の精度は向上すると思われるが、解析上データ個数は分離周期の2～3倍程度必要であるということから、表-6.2のように決定した。

次に、有限区間のフーリエ展開では、その区間の両端でフーリエ展開した級数は原函数と一般的には一致しない。そこで、図-6.1のようにデータ区間の両端を強制的にテーパカットすることにより精度向上を図るものとした。

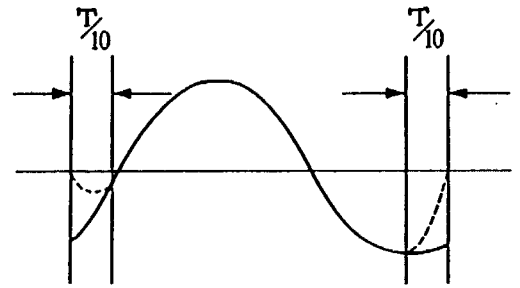
尚、低周波数の通過フィルターとしては、フィルター通過後の成分数が少なく、漸変型フィルターを採用することによって結果に特に良い影響を与えるとは考えられず、したがって、図-6.2(a)のような階段函数型フィルターを用いるものとした。

6.3 運用結果の一例

本手法を実ダムへ導入し、運用した結果を図-6.3(a), (b), (c)に示す。同図には、移動平均

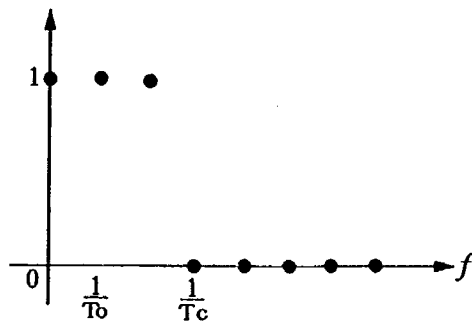


(a) 余弦テーパウィンドー $C_T(t)$

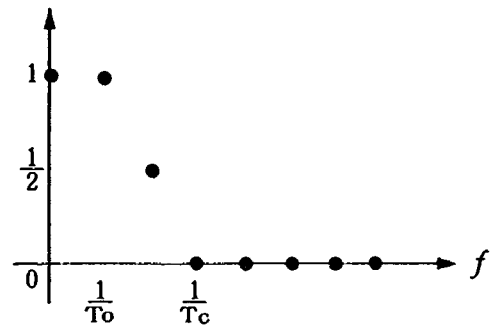


(b) 両端をテーパカットした
データウィンドー

図-6.1 余弦テーパウィンドー



(a) 階段函数型フィルター



(b) 漸変型フィルター

図-6.2 低周波数通過フィルター

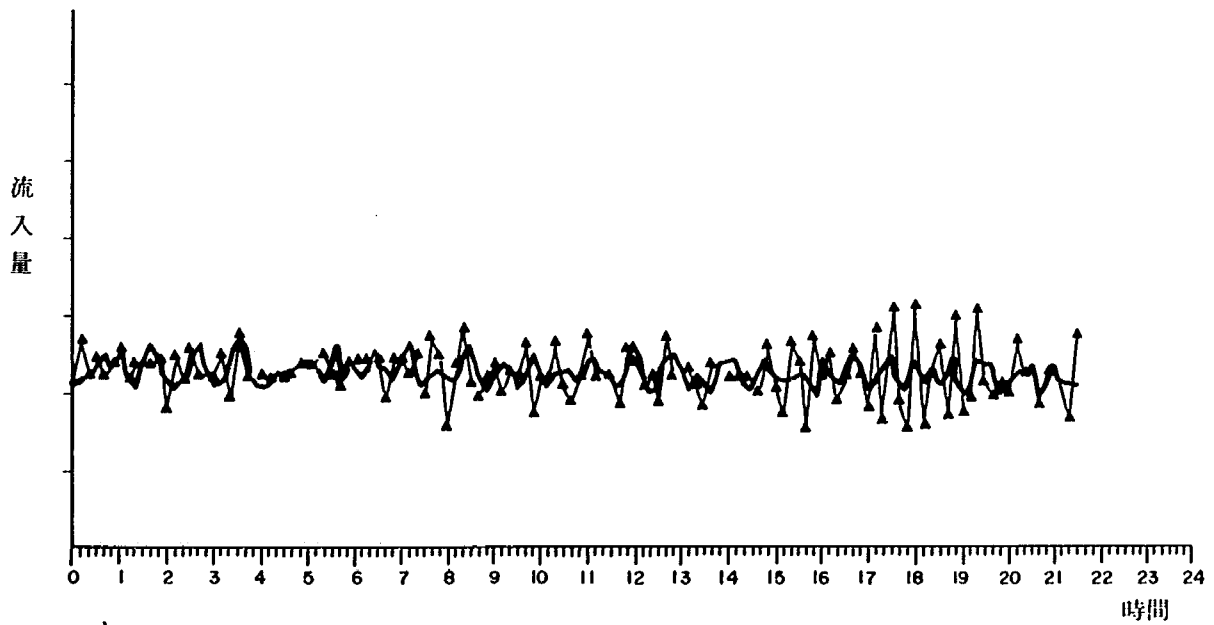


図-6.3(a) 実運用結果 (Aダム流入量, 強風時)

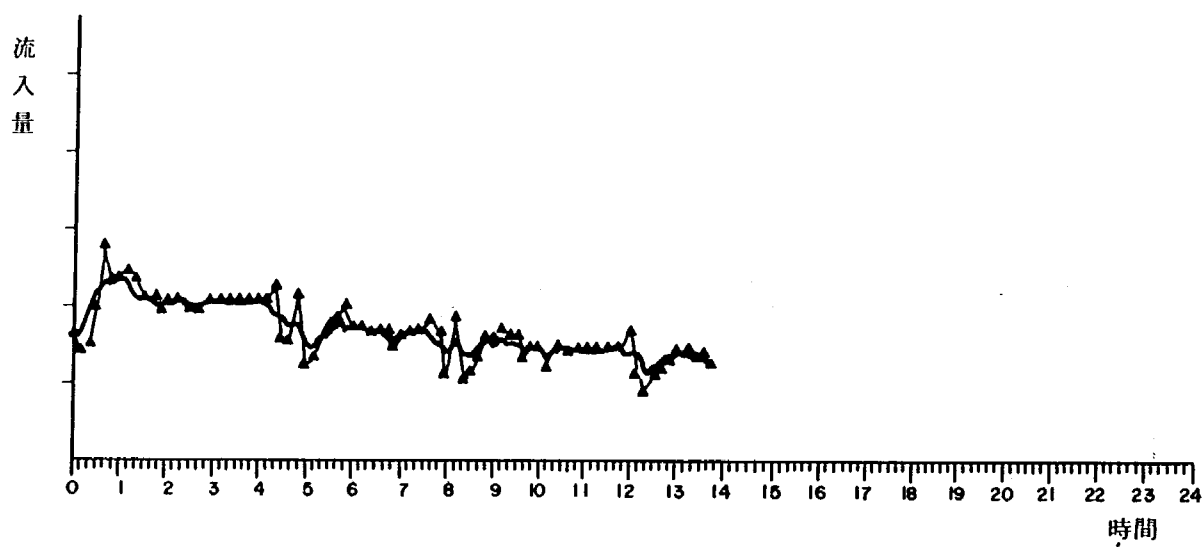
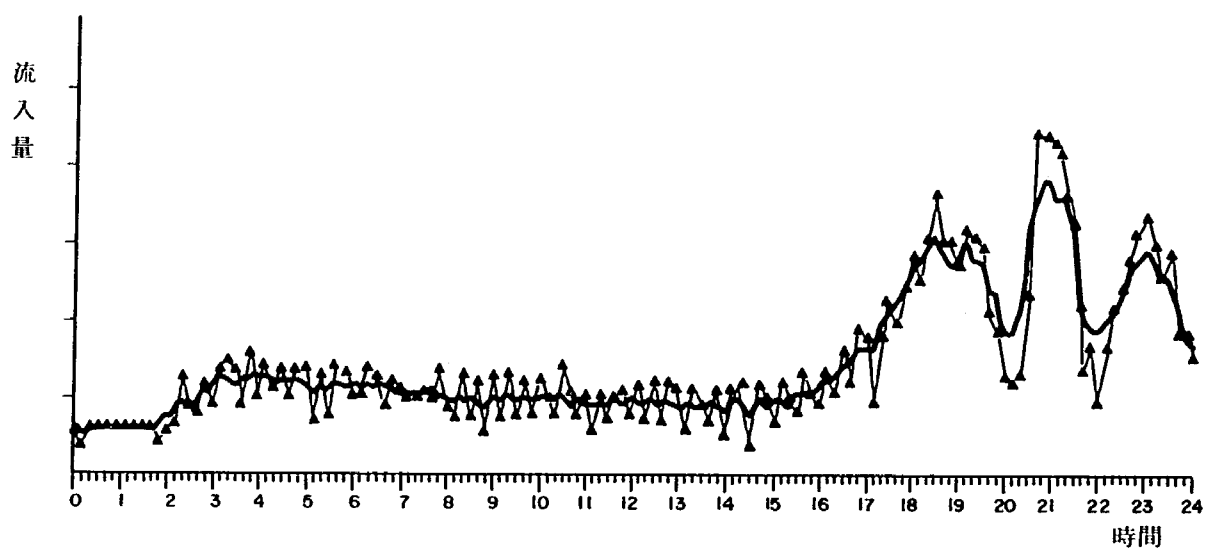
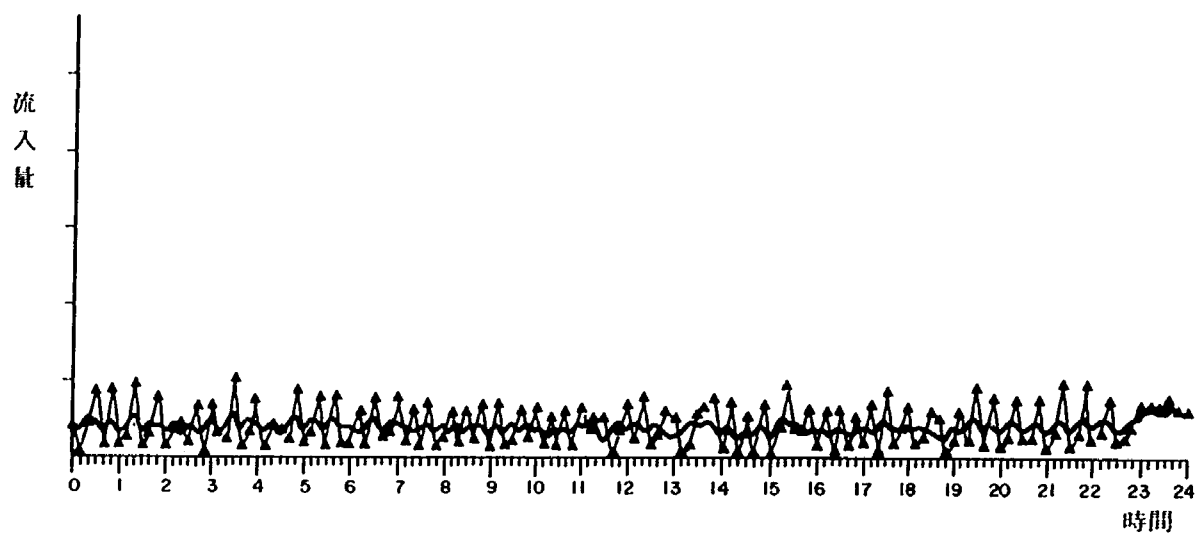


図- 6.3 (b) 実運用結果 (Bダム流入量, 出水時, 強風時)

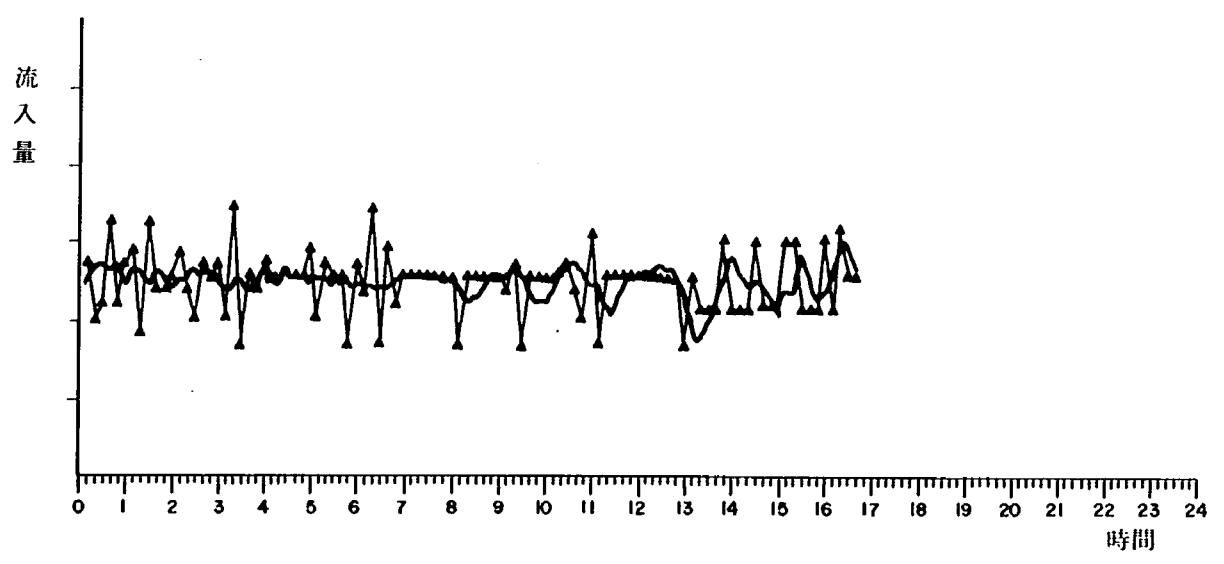
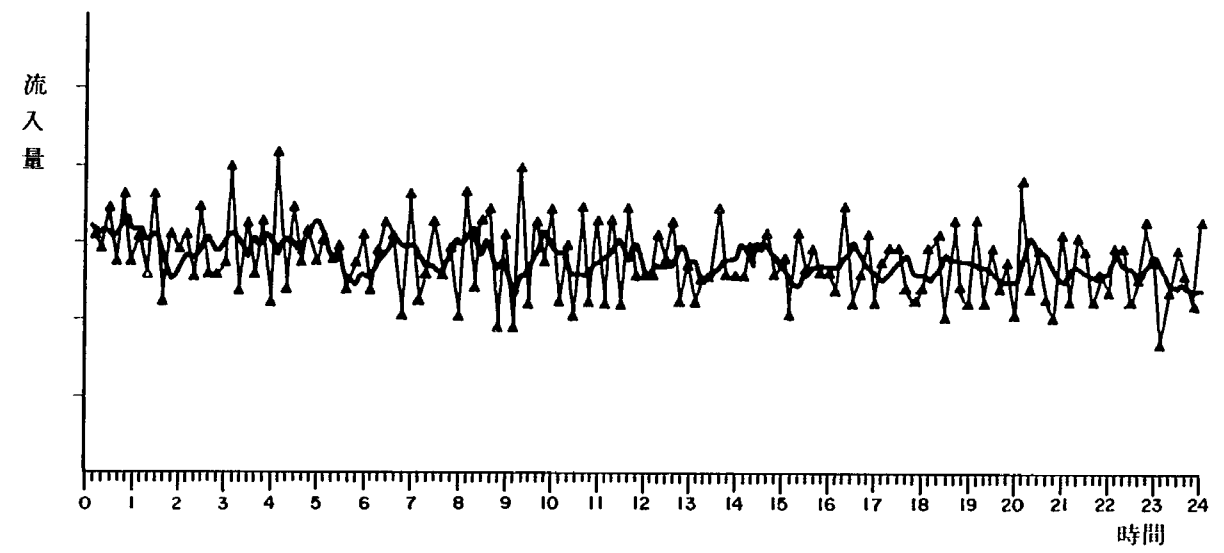
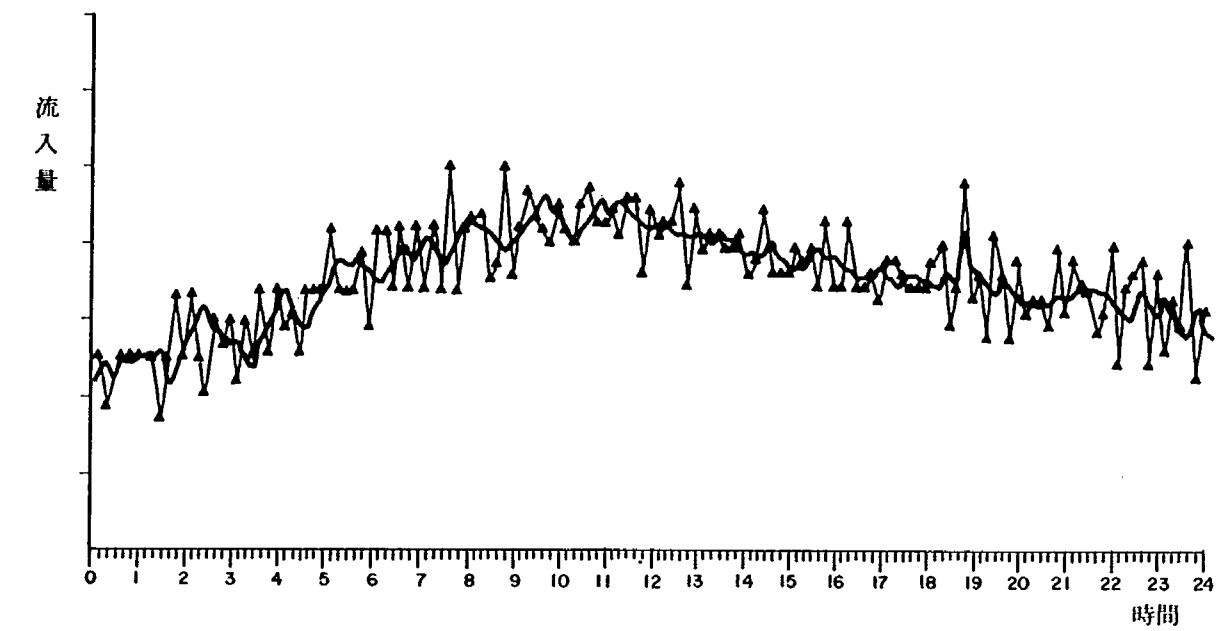


図- 6. 3 (c) 実運用結果 (B ダム流入量, 強風時)

法（サンプリング間隔 2 秒，移動平均時間長 1 分）による平滑化貯水位より計算した流入量も比較のため示している。

また各資料の記録時の気象状況は次のとおりである。

- (a) A ダム，強風時
- (b) B ダム，出水時，強風時
- (c) B ダム，強風時

運用結果より，フーリエ級数を利用した本平滑化手法の方が，従来より用いられている移動平均法よりも良好にダム流入量を把握できるとも見られることが示された。

6.4 問題点と懸案事項

- (1) 貯水位が急上昇（洪水時）したり，強風によって貯水位が振動している場合等では，本手法は移動平均法よりも効果的であるが，貯水位があまり変化しない時には水位測定精度が cm 単位である影響を受けて上下に振動する傾向がある。しかし，得られた水位の変動量は微小であるので実運用上は差しつかえないものと思われる。
- (2) ダムコントローラーの能力にもよるが，計算時間間隔を 10 分としないで，不定時にゲート操作が出来るよう間隔を可能な限り短縮したい。これに対し，計算所要時間は表－ 6.1 に示したとおりであり，最低 2 分程度まではゲート操作間隔を短縮することができる。
- (3) 風浪の影響が主な水位変動要因であろうということから，計算時間の短縮化をも勘案して，分離周期を 30 分とした計算も試みたが，販水池の最長固有周期と考えた 64 分の成分を除去する分離周期 80 分の方がピークをとらえていて良い。
- (4) 本手法の導入にあたっては，あらかじめの実測貯水位での予備的検討が必要であると考えられるが，そのため，30 秒ピッチ程度の観測貯水位のデジタルデータが必要である。
- (5) 本手法は，ソフト的な水位変動対策法であり，既設のダムコンの演算能力（容量，演算速度）について十分チェックしておく必要がある。

7. あ と が き

本報告書は、貯水池操作における最も重要な情報の一つである流入量をいかに適確に算定するかを究目的として、種々の角度から解析を行った結果をとりまとめたものである。

すなわち、

第2章では、現在管理中の多目的ダムにおいてどのような流入量算定方法が採用されているかを全国ダムアンケート調査をもとに整理するとともに、それらの問題点を明らかにした。

第3章では、流入量算定に大きな影響を及ぼす貯水池水位変動の実態を実管理ダムの貯水位観測データをもとに解析し、その要因について考察した。

第4章では、貯水池水位変動の実態とその要因を考慮しつつ、観測貯水位に含まれる波動変動を除去するために実管理ダムで実施されている対策を機械的方法、数学的方法とに分けて紹介した。

第5章、第6章では現状における貯水池水位変動対策の問題点を踏まえて、筆者らが新たに開発したフーリエ級数を利用した貯水池水位推定法を紹介し、さらに実管理ダムに導入して様々な角度から検討を加え、本手法の妥当性と現場への適用性を示した。

得られた結果をまとめると以下のようなになる。

- ① 貯水池の水位観測誤差がダム流入量把握に及ぼす影響（誤差）は水位観測誤差と貯水池面積の積に比例し、計算時間間隔に反比例する。
- ② 貯水池水位は貯留変化による水位変動と外的な攪乱要因の影響を受けた波動変動成分から成り、外的要因としては風、洪水流入、ゲート操作にともなう放流量の急激な変化、地震、土砂崩壊等があって、各々特徴的な動的特性を示す。
- ③ 水位の波動変動を除去する方法としては、機械的方法（ハード）と数学的方法（ソフト）がある。数学的方法としては、従来より用いられてきたものに移動平均による平滑化がある。これらの方法はいずれも短周期の波動変動成分を消去することはできるが、長周期の波動変動成分をあまり時間遅れを伴わずに消去することは困難である。
- ④ 貯水池の波動変動の最長周期はセイシュによるとみなすことができ、観測周期と計算周期は良く一致する。
- ⑤ 数学的な平滑化方法の1つとしてフーリエ級数を用いて観測水位を三角関数で表現し、貯水池の最長周期以下の周期を有する波を波動変動成分とみなしてこれを消去する方法を提案した。
- ⑥ このフーリエ級数法は、試行関数による検討さらには実測水位への適用例によってその有効性、実用性が示されたと考える。すなわち、移動平均法にもとづく方法との比較では、貯水位の平滑化は圧倒的にフーリエ級数法が良好であり、流入量段階においても時間遅れを伴うことなく同程度（あるいはそれ以上）の精度で流入量を推定することが可能である。
- ⑦ 実管理ダムにフーリエ級数法を導入した結果も良好であった。特に流入量のピークを的確に

とらえられることが利点として挙げられた。適用にあたっては、パラメーター（対象ダム之最長周期、分離周期、解析データ長）を貯水池ごとに妥当な値に設定することが重要である。また、本プログラムをダムコントローラーに組み込む際には、CPUの容量および演算時間について事前に十分検討する必要があるが、実際に導入した範囲内ではこれらはさほど問題にはならなかった。

- ⑧ 現在貯水位はcm単位で測定されているが、mm単位まで精度良く測定することにより、本手法および移動平均法による平滑化計算はより一層の精度向上が見られるであろう。例えば、貯水池面積 3 Km^2 の場合、流入量計算はcm単位では $100 \text{ m}^3/\text{s}$ オーダーのものとなるがmm単位で測定すれば、 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ のオーダーで流入量を把握することが可能となる。

以上より、フーリエ級数を用いた貯水位推定法は概ね確立されたと考えられ、今後は水位変動対策に苦慮しているダムにおいて実地に検討して行きたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 今村瑞：ダム流入量測定法の問題点と解決策，第23回多目的ダム管理所長会議，昭和55年
- 2) 建設省河川局，同土木研究所：多目的ダムの管理に関する研究（第27回建設省技術研究会），昭和48年11月
- 3) ダム技術センター：弥栄ダム管理設備検討業務報告書，昭和60年1月
- 4) 花籠秀輔：ダムゲート自動制御装置の機能設計について，大ダムNo.74，昭和50年12月
- 5) ダム技術センター：コンクリートダムの細部技術，昭和58年2月
- 6) 中浅測器株式会社：自記水位計附属ダンパーの試作研究報告書
- 7) 中村昭，佐々木元：貯水池水位変動が流入量把握に及ぼす影響とその対策，土木技術資料，昭和56年5月
- 8) 国土開発技術研究センター：ダム放流設備制御装置の設計仕様参考書，昭和57年8月
- 9) 和歌森文男，船橋誠寿，大成幹彦：貯留量推定によるダム制御方式，電気学会論文誌，昭和55年9月
- 10) 大崎順彦：地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，昭和51年7月
- 11) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，昭和52年10月
- 12) 森北佳昭，佐々木元：フーリエ級数を用いた貯水位平滑化手法，土木技術資料，昭和59年7月
- 13) 北上川ダム統合管理事務所：貯留変化に対応した水位変動解析検討，北上川ダム統合管理資料第82-3号，昭和58年3月

付録A

本システム導入までの一連の手続き

100

1944年10月10日 星期六

付録A.1 貯水位観測フローと水位変動対策

貯水位観測フローとその各段階における水位変動対策についてとりまとめたものを付表A-1に示す。ダム貯水位は、貯水池への流入量と貯水池からの放流量の差分が水位変化量としてあらわれることになる。ダム放流量の急激な変化は、貯水池のセイシュに支配された比較的長周期の水位変動を誘発する場合があるため、既設ダムにあっては極力急激なゲート操作あるいは停止を避けるよう心掛ける必要がある。

短周期の水位変動に対しては、本文4.1.3の測水井の特性分析で述べたように、導水孔の断面積を測水井断面積に比して小さくする程、減衰効果が期待されるが、計画中のダムにおいてはその辺を十分考慮して測水井を設計されたいと考える。また、既設ダムにおいても可能であれば導水管入口部にフィルターを設けることも水位変動対策として効果が高いものと思われる。その他、水位計に振動吸収ダンパーを内蔵したり、フロートに遊びを設けたりするなど、水位計の感度を鈍くすることも対策として考えられよう。

次に 以上のような機械的な対策の他に、ソフト的な対策手法として移動平均法、カルマン・フィルター法、フーリエ級数法等がある。これらの採用に際しては、過去の多くの資料から当該貯水池に最も適合した手法の選定及びパラメータの検討が必要である。流入量段階での移動平均も効果的であるが、移動平均時間長をあまり長くとりすぎると無視し得ない遅れ時間を伴うことに留意しなければならない。

現在、多くのダム貯水池で「一定時間内の貯水位の変化にもとづく貯留量の増減量と放流量から貯水池への流入量を推定する」という方法が用いられており、このようにして推定された流入量をもとに、洪水調節、及び低水管理がなされている。特に洪水調節時には、強風、ゲート操作等によって振動的な水位変動が発生し、正確な流入量を把握することが困難な場合がある。したがって、流入量をもとに洪水調節を行う方式（定率定量放流方式等）ではその影響を受けることになる。一方、流入量を把握する必要がなく、貯水位によって目標放流量が決定する方式（水位放流方式、定開度放流方式等）では、たとえ振動的な水位変動が発生しても貯水池全体のボリュームからすればほとんど影響はなく、安定した洪水調節操作が実施可能となる。

付録A.2 本システム導入までの一連の手続き

本手法を導入するまでの一連の手続きの概要を付図A-1に示した。

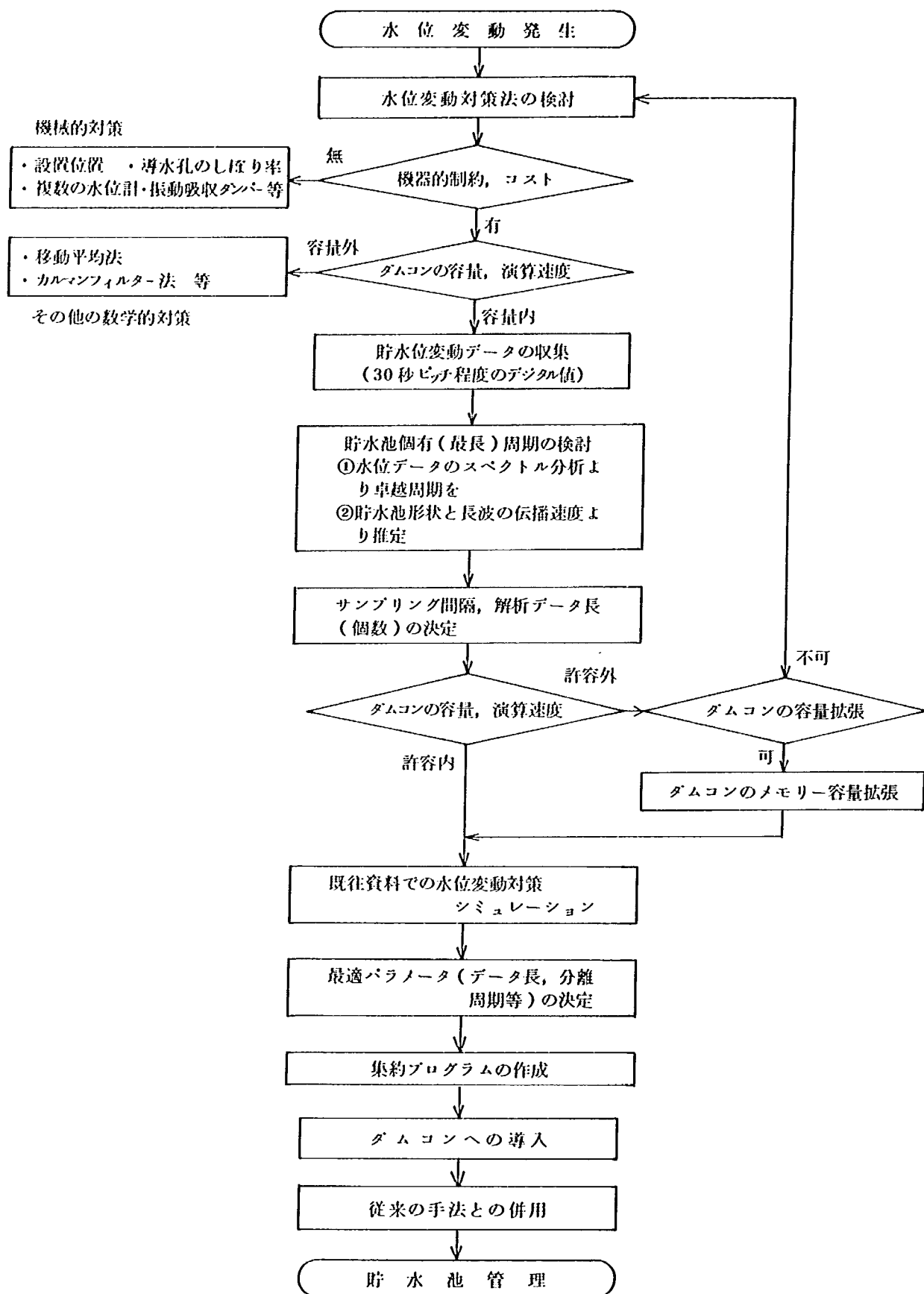
水位変動対策としては、前述のように機械的な対策と数学的な対策が考えられる。機械的な対策としては、ハード的な制約あるいはコスト面から実施不可能な場合があり、数学的な対策ではダムコンのCPU容量、演算速度等をあらかじめよく調べておく必要がある。

本手法を検討する場合、その解析データとして30秒ピッチ程度のデジタルデータの収集から始まる。より多くの解析用データを収集した後、貯水池の個有周期をスペクトル分析することにより求め、貯水池形状から推定される個有周期と比較検討した上で分離周期を決定する。更に、

サンプリング間隔，解析データ長（個数）を仮定し，それらのパラメータで本手法が現在のダムコンにCPU容量的に治まるかどうか，また，演算の所要時間が許容範囲内であるかどうか判断する。それらが許容値に治まらない時は，ダムコンの容量を拡張するか，別途にフーリエアナライザ等を購入する必要がある。許容値内に治まれば各パラメータの感度分析，水位変動対策シミュレーション等を繰り返し実施して当該貯水池に最適な分離周期等を決定する。その後，集約プログラムを作成してダムコンへ導入することになるが，安全性を考慮して本手法と従来の手法とを併用して用いることができるよう配慮する必要がある。

付表 A-1 貯水位観測フローと水位変動対策

貯水位観測フロー	水位変動対策	
	計画ダム	既設ダム
ダム流入量・放流量の変化 ↓ 貯水位（貯留量）の変化 ↓ 測水井の減衰特性 ↓ 水位計 ↓ 演算処理 ↓ 表示 記録 ↓ 流入量等の計算 ↓ 貯水池管理	・導水孔の断面積を測水筒断面積に比して小さくする。 ・水位計の設置位置を工夫する。 （流入・放流による水面公配、波浪、吹き寄せなどの影響を受ける地点は避ける。） ・水位計を複数個設置する。 ・水位変動の影響を受けないような貯水池管理手法の採用	・急激なゲート操作は避ける。 ・導水管入口部にフィルターを設ける。 ・振動吸収ダンパーを内蔵する。 ・フロートに遊びを設ける。 ・移動平均法 ・カルマン・フィルター法 ・フーリエ級数法 ・流入量段階での移動平均



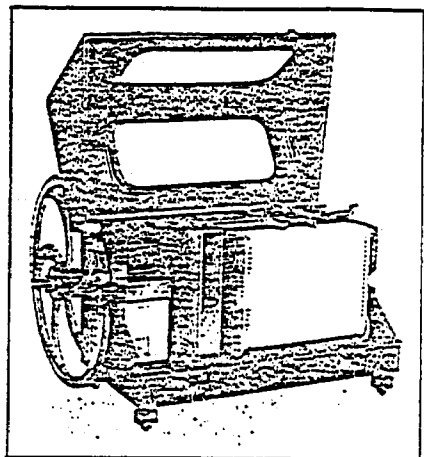
付図 A-1 本手法導入までの一連の手続

付録B

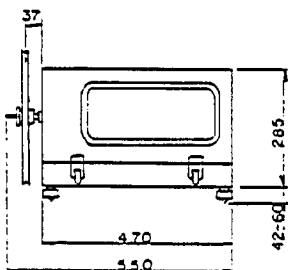
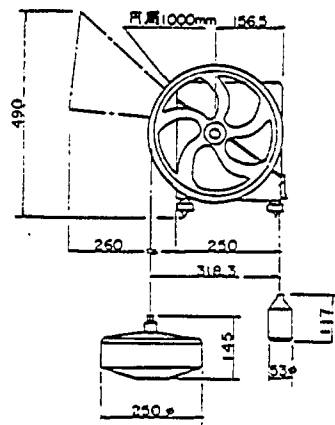
水位計の仕様と構造

蘇州府志卷之四

(1) 水研62型長期自記水位計

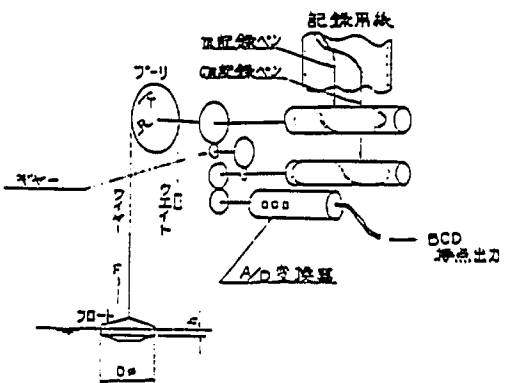


外型寸法図



検出方式	フロート式
測定範囲	0~10m (0~20, 50, 50, 100も製作可)
カタログ上の精度	±1cm以内
フロート径	250mm
クニイト	φ53mm 約1.5kg
記録方式	2ペン直線書き
記録ペン	カートリッジペン(1本で6ヶ月)
記録紙	巻取式№201 有効記録幅200mm
紙送り速度	6mm/Hまたは18mm/H(切り替え)
紙送り動力源	N-007(ぜんまい式または水晶式)
連続記録期間	3ヶ月(6mm/H)1ヶ月18mm/H
時計用電源	DC-6V(単1-4ヶ内蔵)
	充電式 単2 Ni-cd電池4ヶ
	専用充電器によるフローティング充電

原理図



動作原理

左図に示すように、プーリを介してフロートとクニイトを取付け、フロートの浮力によりプーリを回転させる。この回転力をギヤにて自動記録。ペン駆動カムに伝えると同時に、A/D変換器回転軸を回転させる。

フロートの浮力とプーリ軸を回転させるトルクは、次のようになります。

$$T = F \times R (8cm)$$

$$F = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times h - \text{ワイヤ重量}$$

F: フロートがhだけ沈んだ時の浮力

D: フロートの直径

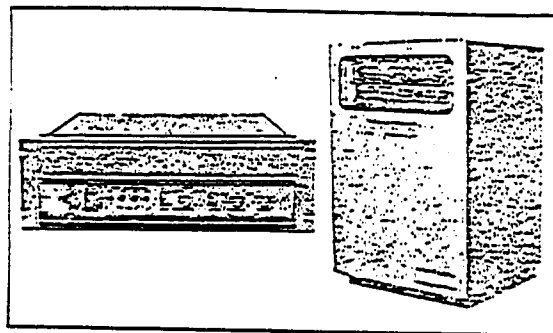
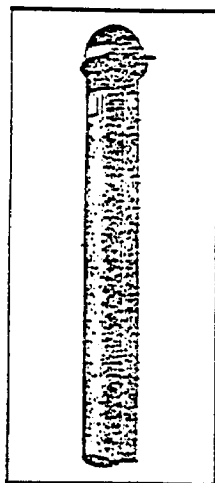
T: プーリの回転トルク

h: フロートが沈んだ量

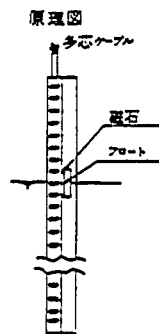
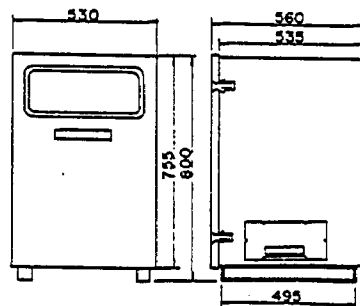
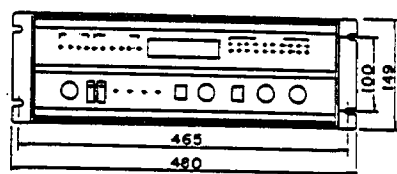
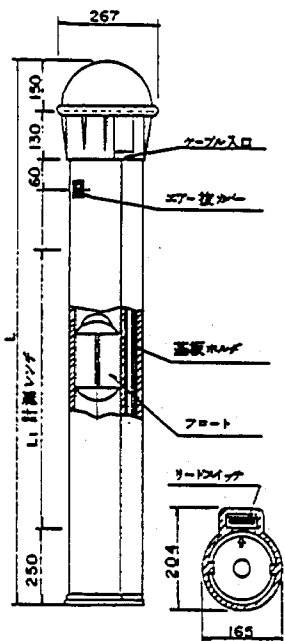
特 徴

使用実績	水位計の中では、最も一般的に使用されており、使用実績が高い。
装置信頼性	簡易な機械的機構であることから、比較的信頼度は高いが、フロート式のため測水井戸(大型)を必要とするため、中小河川では土砂、ヘドロ等による導水口のつまり等がやすい。また機械式のため、ギヤ等の摩滅がともなう。
テレメータとの接続	A/D変換器は、無電圧接点ヒューズ付きであるため、建設省方式無線テレメータに容易に接続可能である。 注) ダブルプラシタイプのA/Dコンバータ使用の場合はプラシ選択回路が必要となるので最近ではリードスイッチタイプが使用されている。
設置上の制限	(1) 測水井戸の建設困難な地点には設置できない。 (2) 中小河川には土砂、ヘドロ等による導水口のつまりが発生することがあり、応答性は低い。

(2) フロート式（固定電極式）水位計



外形寸法図



仕 様

測定方式	磁力フロート及リードスイッチによるデジタル信号
定格電圧	DC 12V 1.8A
測定精度	±1.0cm
測定単位	1.0cm
出力線数	1本に対して33芯
最大測定長	1本で3.5m
出 力	BCD信号 設定出力（上下限用）
外部起動立上り	700ms
電源エコー表示	10.5VにてON
周囲温度	-10℃～+50℃
湿 度	0～90%RH

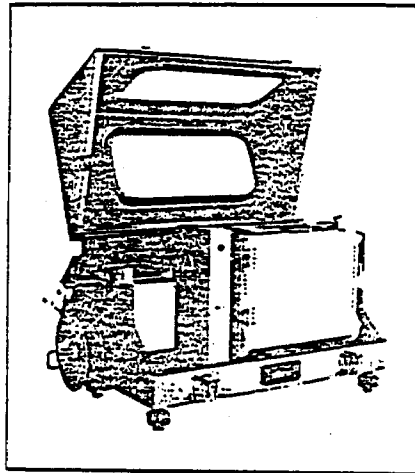
測定原理

水位観測地点河川内に、左図に示す測定柱を設け測定柱内に磁石を取り付けたフロートを設置し、別に測定柱内にリードスイッチを1cm毎に内蔵させる。水の上下によってフロートも上下し、磁石によってリードスイッチが動作し、電気信号に変える多芯ケーブルにより、離れた場所に設置されたコード変換器（デジタルコード）に入力して、BCD符号に変換して出力する。

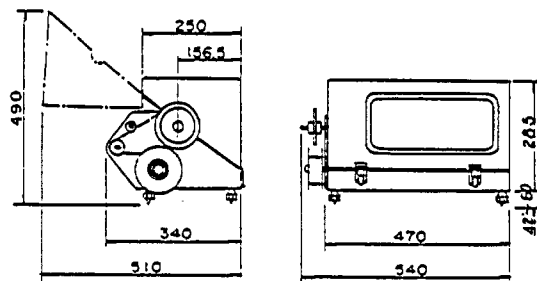
特 徴

- 使用実績 全国1,500ヶ所
- 検査信頼性 比較的高い。
- 長 所
- ・デジタル方式のため比較的精度が高い。
 - ・テレメータへの接続は容易である。
- 短 所
- ・河川の中に測定柱を立てるために土砂、ゴミ、ヘドロ等がたまりやすい。
 - ・ゴミ、ヘドロ、土砂等で下部が埋没すると測定不能になる。
- 設置上の制限
- 河川敷内に構造物を作れない所では使用出来ない。

(3) フロートレス(触針)式長期自記水位計



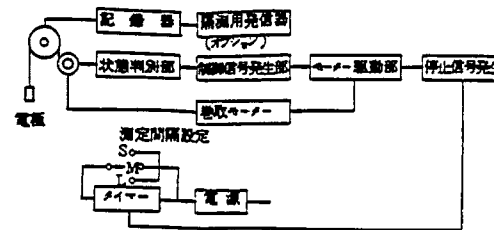
外形寸法図



検出方法	： 電極（触針）検出方式
測定範囲	： 0～10 m
精 度	： ±1 cm
観測間隔	： 約1分、5分切り替え式
応答速度	： 30 cm/分
観測井傾斜	： 60°まで観測可能
内 径	： 垂直の場合50φ以上 傾斜の場合100φ以上
記録方式	： 2ペン直線書き方式
使用ペン	： カートリッジペン（1本で約6ヶ月連続）
記 録 紙	： 巻取式 №201（有効幅200 mm）
紙送り速度	： 6 mm/H 3ヶ月、1.8 mm/H 1ヶ月
電 源	： DC12V

単1.4ヶ内蔵または外部電池6又は12V充電式の場合は、単2Ni-cd電池4ヶに専用充電器でフローティング充電で使用。

原 理 図



仕 様

動 作 原 理

水位検出は、フロートを使用せず細い電極により水面を検知し、捲取モータを駆動して、電極の捲上げまたは捲下げを行なう。左図の状態判別部で、水面の検知を水の抵抗により行なう。測定間隔設定により、モータの動作の時間間隔が3段階に変わる。記録器は、水研62を使用し、オプションとしてA/D変換器（機械式）が内蔵される。

特 徴

使用実績： 中程度

- ・大型測定井戸を必要としない。
- ・傾斜面（60度以上）での測定可能。
等の長所があるが、その反面として次の短所がある。
- ・階段式観測は不能。
- ・電極の汚れまたはヘドロ、土砂、ゴミ等による導水口つまり等がある。
- ・モータ機構を有するため、機械系の障害あり、注油等に注意する必要がある。

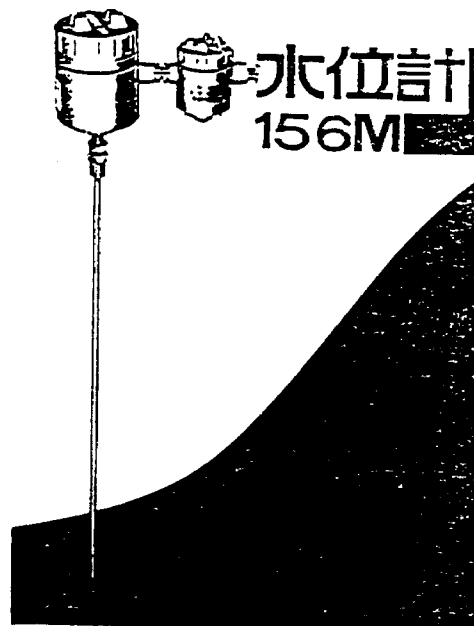
接器信頼性： ギヤ及びモータ機構を有するため、電気式よりは劣る。

テレメータとの接続： 無電圧接点（BCD符号）ピージ付の機械式A/D変換器は、建設省タイプのテレメータに容易に接続可能。

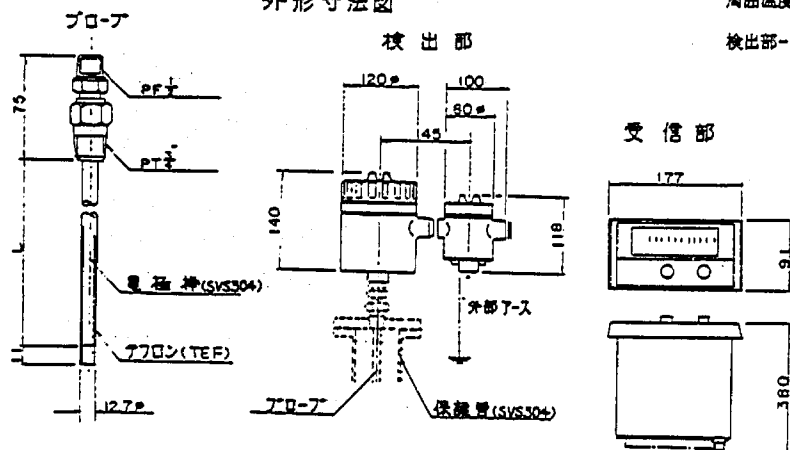
設置上の制限： 傾斜観測は、しばしばひっかりが発生することがあり望ましくない。従って垂直使用が望ましい。

中小河川の土砂、ヘドロの多い場所は避けるべきである。

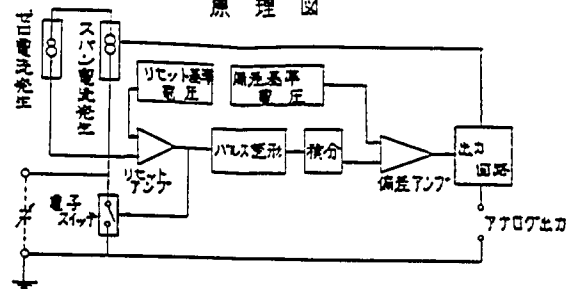
(4) 静電容量式水位計



外形寸法図



原理図



仕様

電源	AC100V±10%50/60HZ 7VA
出力信号	DC4~20mA/650Ω(最大)
警報回路	上下限任意設定
	無電圧検点出力(容量AC100V3A)
測定範囲	0~10m 0~20m
測定精度	1.0%FS
再現性	0.1%FS
周囲温度	検出部-20~+70℃受信部-10~+50℃
検出部-受信部	2°キャプティヤケーブル使用(3C)2km

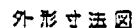
特徴

使用実績	水運用としては多いが河川用としては少ない。
検器信頼性	検出部は可動部がないため、堅牢である。 信頼性は高い。
長所	・水以外の液体に使用できる。 ・粉体等も測定可能。
短所	・水質により誘電率が変化すると誤差となる。 ・プローブに導電性の付着物があると測定不能となる。

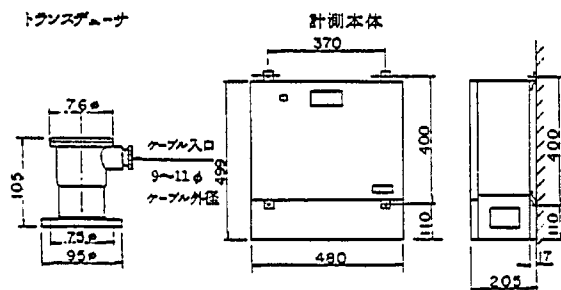
テレメータとの接続

アナログ出力のため、A/D変換器及びコントローラが別途必要となる。

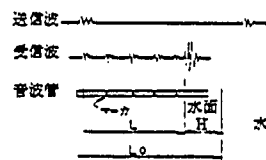
- 97 -



トランスジェネーサ



原理图



動作原理

特 定

可能部分がないため比較的高い。

仕 機

-20~+70℃

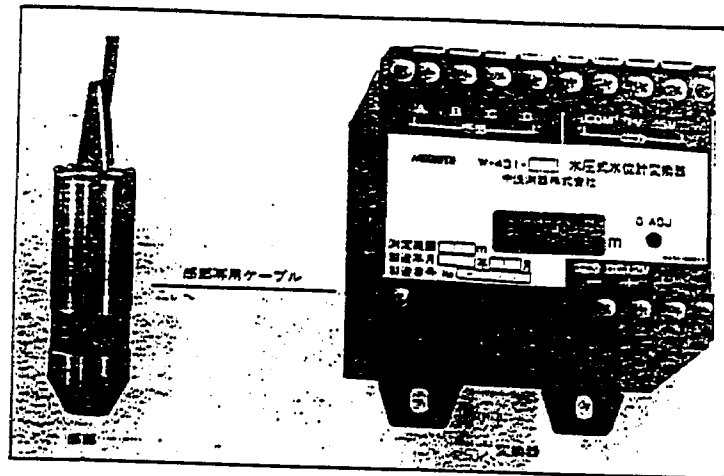
長所

短所

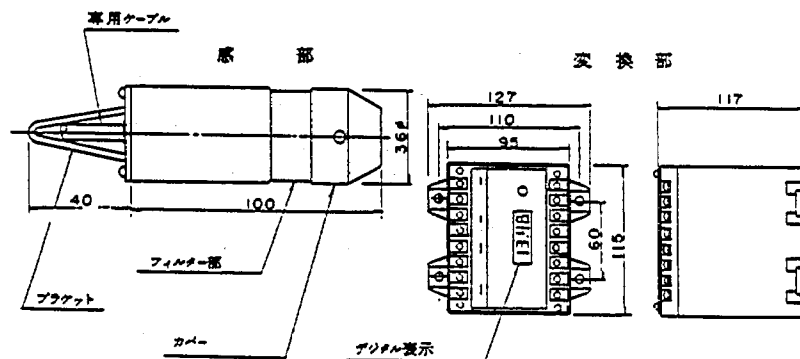
- ・流速が速く乱流のある場合屈差となる。

テレメータとの接続
容易である。

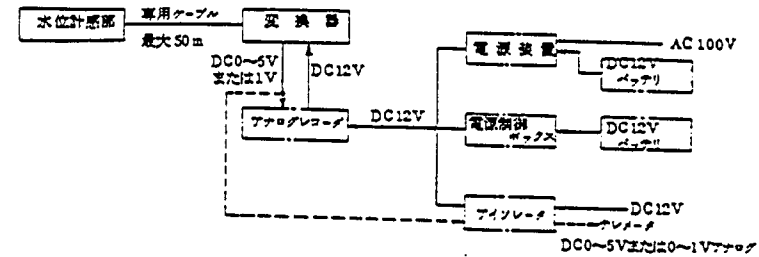
(6) 水圧式水位計（半導体圧力センサ式）



外形寸法図



動作原理図



水位計感部はシリコンダイアフラム上に拡散法にてゲージ部集積し、ダイアフラムに水圧が加わると応力が発生し、ゲージの電気抵抗が変化する。ゲージでブリッジ回路を構成することにより、水圧に比例した出力が得られる。ダイアフラムの内側は、大気圧パイプによって所定した大気圧変化を打消します。出力は0~1Vまたは0~5VDCのアナログ出力。

仕様

検出方式	半導体圧力ゲージ式
測定範囲	0~10m, 0~20m, 0~50m
直線性	フルスケールの±0.1%以内
出力信号	DC 0~1V, 0~5V
表示	液晶デジタル
専用ケーブル	大気開放パイプ付 4芯シールド50m
隔測距離	最大200m以内
使用環境	-2~+30℃ 交換部 0~+50℃
電源	DC 10.8V~16.7V

テレメータの場合は、アイソレータ、電源制御ボックス等が別途必要となる。

精度	感部 0.1%FS
	交換部 0.2%FS

特徴

使用実績 さまざま少ない。
開発時期 (S56年)

振替信頼性

機械的な可動部がなく、電子的に構成されているため、信頼性は比較的高い。

長所

- ・階段式農地でも観測可能。
- ・可動部がないため信頼性は高い。
- ・観測井戸なしでも水位計測可能。

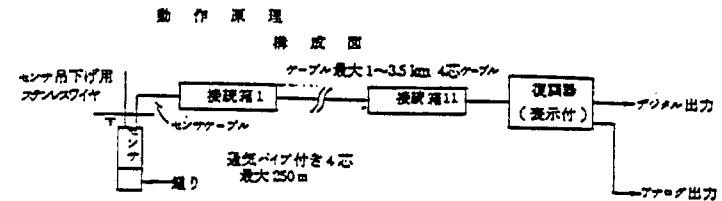
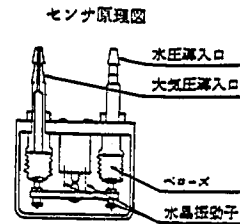
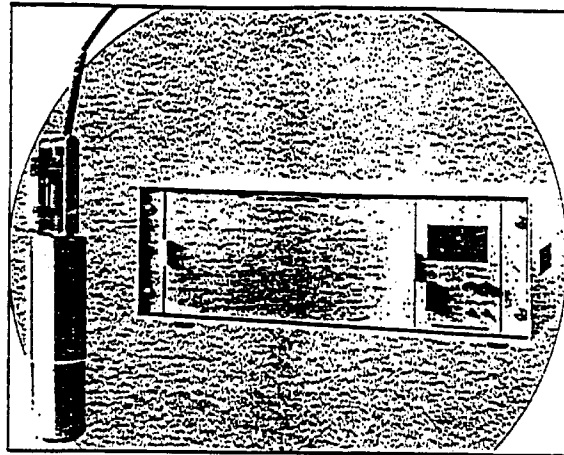
短所

- ・大気開放部パイプにフィルターがないため、水滴が入り込むと誤差になる。
- ・導水フィルターが下部にあるため、土砂へドロに埋没した時、測定不能になることがある。

テレメータへの接続

アナログ出力のためA/D変換器及び制御装置が別途必要となり、単純には接続できない。

(7) 圧力式（水晶式）水位計



左図に示すように、水晶振動子は圧力に応じて周波数が変化する性質がある。この性質を利用して、水位計センサーには2枚の水晶振動子を用いて、1枚には水圧により伸張されて周波数が高い方へ、他の1枚は大気圧が導入されて圧縮力によって周波数が低い方へ変化するセンサ信号は、この両方の差の周波数信号で出力され、復調器により、デジタルアナログの水位信号として出力される。

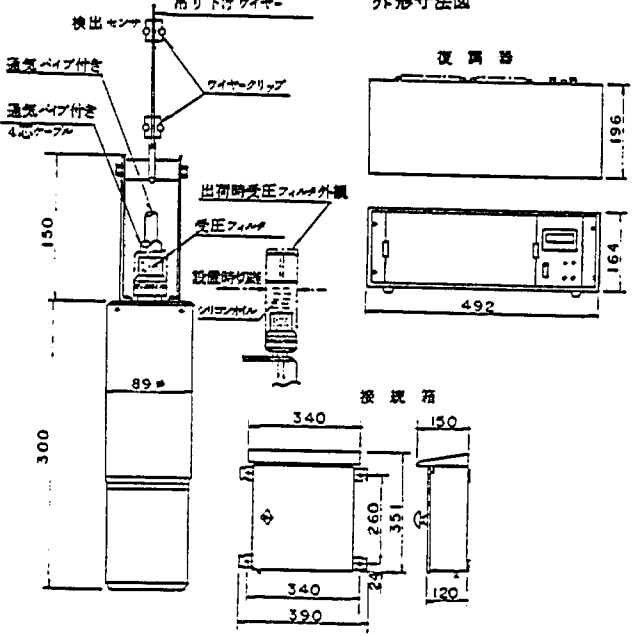
仕様

精度	±0.1%FS
温度零点変化	±0.01%/℃以下
ヒステリシス	±0.05%以下
分解能	0.03%以下
使用温度	-10℃～+50℃
レスポンス	1～8秒（10m用1.7秒） または、その1/10のサンプリング時間可能
外部データホールド	外部よりリレーマーク接点、又はDC12V印加によりデータホールド可能
測定範囲	0～5m, 0～10m, 0～30m, 0～50m, その他0～1m, 0～100m
出力	・BCD符号、リレー接点、フォトアイソレーション出力または、TTL出力の任意。2組の出力可能 ・アナログ出力 2CHまたは1CH 0～5V, 0～10Vまたは0～10mV 其他 ・上下限警報出力（設定任意）
警報ブザーランプ	信号断のときブザー鳴動ランプ点灯 上下限警報で
電源	（注）アナログアイソレーション出力も可能 AC100V又はDC12V 0.4A

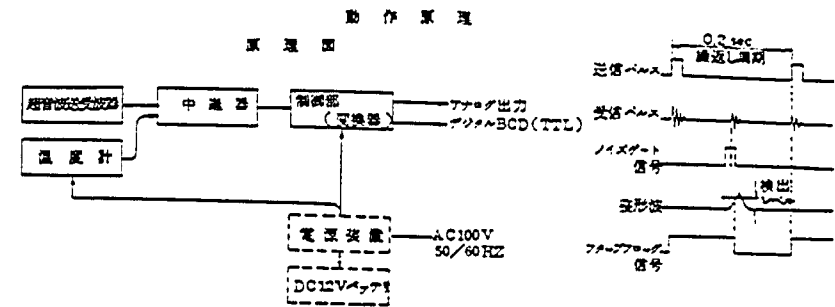
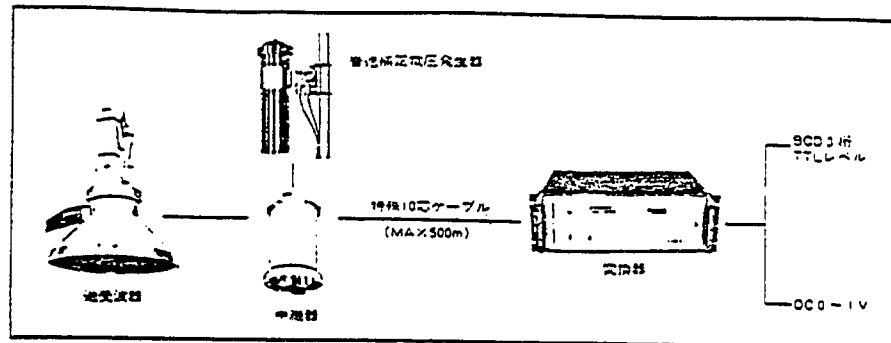
特徴

使用実績	中程度 SS7年以内120台（国内） 100台（国外）
装置信頼性	可動部がなく、電子回路構成のため信頼度は高い。また、水晶振動子使用のため、経年変化がほとんどない。
長所	・陸揚式機でも使用可能 ・取付工事が容易 ・土砂、ヘドロ等は、50～60cm埋没しても測定可能
短所	・他の方式と比較して、やや高価となる。
テレメータとの接続	外部データホールドがあるために、建設省タイプテレメータへの接続は容易である。またBCD出力2組まで可能のため、外部表示にも使用可能。

外形寸法図



(8) 超音波式水位計



超音波送受信機を河川水面の鉛直上方に向けて取付け、超音波パルスを水面に発射し、水面よりの反射パルス受信して、上右の図に示すように、送信から受信までの時間を測定することにより、送受信機と水面の間の距離を計測する。予め送受信機の取付け時に、水面基準面との距離を設定しておくことにより、設定値と計測した距離との差により水位を求める。水位をHとすると、次式で計算される。

$$H = D - (C_0 + \alpha T) t / 2$$

D: 水底または基準点から送受信機までの距離(m)

C₀: 0℃における音速度(331.45m/s)

α: 温度係数(0.607m/s・℃)

T: 気温(℃)

t: 超音波パルス波の往復時間(sec)

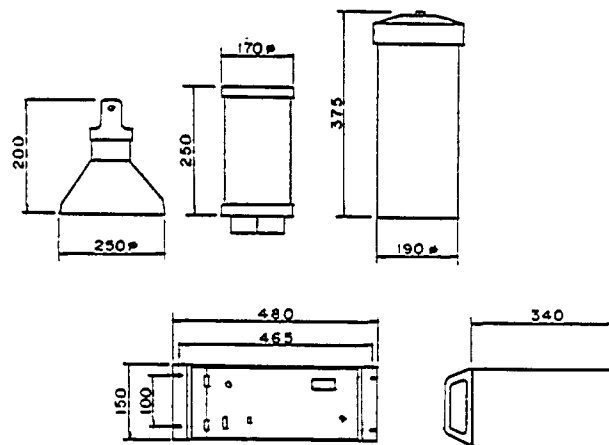
仕様

方式	空中超音波パルス反射方式
測定範囲	0～10m
精度	±1cm
分解能	0.1cm
表示	デジタル 3桁(cm単位)
出力信号	アナログ0～1Vまたは0～10mVPC デジタルBCD 3桁(cm単位) TTLレベル ピーピー信号付き。
温度検出	強制通風式白金抵抗体方式
通風速度	5～6m/秒
電源	AC100V±10% 50/60HZ 約50VA

特徴

使用実績	主として下水道管理に使用されるが、河川の実績は少ない。
装置信頼性	可動部分がなく、電子部品による構成のため比較的信頼性は高い。
長所	水に装置を接触させずに計測できる。 変換器内で2.0秒間100回の水位平均値の演算が可能。
短所	河川の幅が広い所では取付け困難 風速による誤差が出る。 河川の流れの位置が変化する所は測定不能となる。 消費電力が大きい。
テレビタへの接続	TTLレベルの信号受け渡しのため、誘導管等に対してテレビタ側には絶縁型保安器が必要となる。

外形寸法図



付録C

A ダム水位変動対策総括表

324

大正十一年四月二十日

A ダム水位変動対策検討ケース一覧表

ケースNo	データ長〔分〕 (データ個数)	分離周期 〔分〕	有効成分数	低周波通過フィルター			3次回帰 のみ	付表No
								
1	64 (128)	—	—				○	付表C-1
2		60	1	○				付表C-2
3		30	2	○				付表C-3
4						○		付表C-4
5	128 (256)	—	—				○	付表C-5
6		80	1	○				付表C-6
7		60	2	○				付表C-7
8						○		付表C-8
9		40	3	○	○			付表C-9
10					○			付表C-10
11						○		付表C-11
12				○				付表C-12
13		30	4		○			付表C-13
14						○		付表C-14
15	256 (512)	—	—				○	付表C-15
16		200	1	○				付表C-16
17		100	2	○				付表C-17
18						○		付表C-18
19		80	3	○	○			付表C-19
20					○			付表C-20
21						○		付表C-21
22		60	4	○	○			付表C-22
23					○			付表C-23
24						○		付表C-24
25		40	6	○	○			付表C-25
26					○			付表C-26
27						○		付表C-27
28		30	8	○				付表C-28
29					○			付表C-29
30					○	○		付表C-30

付表 C-1

A ダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 128, 切断周期 = 0 分, フィルター = 】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.043		0.103	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	1.043		0.103	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	1.217		0.164	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	1.217		0.164	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.547		0.077	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.547		0.077	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.544		0.080	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.544		0.080	
	5	cm	移動平均法	0.582		0.087	
			フーリエ級数法	0.614		0.090	
		mm	移動平均法	0.571		0.086	
			フーリエ級数法	0.614		0.090	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	35.436		5.937	
		mm	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	35.436		5.937	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	50.546		8.245	
		mm	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	50.546		8.245	
	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	43.358		7.428	
		mm	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	43.358		7.428	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	71.681		12.464	
		mm	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	71.681		12.464	
	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
			フーリエ級数法	45.548		8.052	
		mm	移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	45.548		8.052	

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-2

A ダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 128, 切断周期 = 60 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	0.999		0.081	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.986		0.072	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.506		0.077	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.371		0.054	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.389		0.055	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.421		0.053	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.717		0.115	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.609		0.098	
	5	cm	移動平均法	0.582		0.087	
			フーリエ級数法	0.689		0.113	
		mm	移動平均法	0.571		0.086	
			フーリエ級数法	0.629		0.102	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	27.223		4.225	
		mm	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	24.105		3.494	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	23.687		4.046	
		mm	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	16.646		2.760	
	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	30.759		5.329	
		mm	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	29.571		4.726	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	102.902		17.763	
		mm	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	87.352		14.955	
	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
			フーリエ級数法	56.636		10.067	
		mm	移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	51.010		8.840	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-3

Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 128, 切断周期 = 30 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.032		0.080	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.999		0.082	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.519		0.081	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.395		0.064	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.389		0.055	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.450		0.061	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.869		0.142	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.733		0.120	
流 入 量		cm	移動平均法	34.975		6.087	
			移動平均法*	19.591		2.139	
		mm	移動平均法	26.274		4.019	
			移動平均法*	32.446		5.517	
	1	mm	移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	26.891		4.162	
		cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
	2	mm	フーリエ級数法	24.867		4.206	
			移動平均法*	21.139		3.756	
		mm	移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	19.452		3.324	
		cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
	3	mm	フーリエ級数法	30.759		5.329	
			移動平均法*	41.762		7.123	
		mm	移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	33.749		5.646	
		cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
	4	mm	フーリエ級数法	27.230		22.309	
			移動平均法*	73.063		12.906	
		mm	移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	107.328		18.531	
		cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
	5	mm	フーリエ級数法	79.480		13.968	
			移動平均法*	43.310		7.725	
		mm	移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	74.526		13.245	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-4

Aダム水位変動対策総括表

[データ長 = 128, 切断周期 = 30 分, フィルター = ]

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	0.999		0.081	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.987		0.073	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.442		0.064	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.349		0.053	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.389		0.055	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.409		0.052	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.735		0.120	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.621		0.100	
	5	cm	移動平均法	0.582		0.087	
			フーリエ級数法	0.761		0.123	
		mm	移動平均法	0.571		0.086	
			フーリエ級数法	0.673		0.111	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	27.223		4.225	
		mm	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	24.078		3.505	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	19.722		3.339	
		mm	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	16.591		2.774	
	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	30.759		5.329	
		mm	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	28.782		4.614	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	107.186		18.798	
		mm	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	89.261		15.311	
	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
			フーリエ級数法	61.394		10.765	
		mm	移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	55.618		9.728	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-5

A ダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 256, 切断周期 = 0 分, フィルター = 】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(c m)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	c m	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.043		0.103	
		m m	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	1.043		0.103	
	2	c m	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	1.217		0.164	
		m m	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	1.217		0.164	
	3	c m	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.547		0.077	
		m m	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.547		0.077	
	4	c m	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.544		0.080	
		m m	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.544		0.080	
	5	c m	移動平均法	0.582		0.087	
			フーリエ級数法	0.614		0.090	
		m m	移動平均法	0.571		0.086	
			フーリエ級数法	0.614		0.090	
流 入 量	1	c m	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	35.436		5.937	
		m m	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	35.436		5.937	
	2	c m	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	50.546		8.245	
		m m	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	50.546		8.245	
	3	c m	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	43.358		7.428	
		m m	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	43.358		7.428	
	4	c m	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	71.681		12.464	
		m m	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	71.681		12.464	
	5	c m	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
			フーリエ級数法	45.548		8.052	
		m m	移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	45.548		8.052	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-6

A ダム水位変動対策総括表

〔 データ長 = 256, 切断周期 = 80 分, フィルター =  〕

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.067		0.073	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.962		0.055	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.417		0.049	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.303		0.033	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.412		0.046	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.339		0.036	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.538		0.072	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.403		0.053	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
		mm	フーリエ級数法	24.319		3.118	
			移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	18.177		1.963	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
		mm	フーリエ級数法	15.225		2.481	
			移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	9.949		1.438	
	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
		mm	フーリエ級数法	25.691		3.092	
			移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	20.011		2.433	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
		mm	フーリエ級数法	64.362		11.044	
			移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	47.560		7.763	
	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
		mm	フーリエ級数法	33.568		5.445	
			移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	30.451		5.032	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-7

A ダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 256, 切断周期 = 60 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数			ス ム ー ス 示 数			
				(c m)	0	1	2	0.0	0.1	0.2
貯 水 位	1	c m	移動平均法	1.324				0.102		
			フーリエ級数法	1.079				0.081		
		m m	移動平均法	1.293				0.094		
			フーリエ級数法	1.000				0.064		
	2	c m	移動平均法	0.674				0.087		
			フーリエ級数法	0.416				0.054		
		m m	移動平均法	0.532				0.068		
			フーリエ級数法	0.350				0.038		
	3	c m	移動平均法	0.567				0.081		
			フーリエ級数法	0.412				0.046		
		m m	移動平均法	0.530				0.075		
			フーリエ級数法	0.390				0.040		
4	c m	移動平均法	0.523				0.081			
		フーリエ級数法	0.622				0.084			
	m m	移動平均法	0.528				0.082			
		フーリエ級数法	0.413				0.055			
5	c m	移動平均法	0.582				0.087			
		フーリエ級数法	0.594				0.078			
	m m	移動平均法	0.571				0.086			
		フーリエ級数法	0.502				0.068			
流 入 量				(m ³ /s)	0	50	100	0	5	10
	1	c m	移動平均法*	34.975				6.087		
			移動平均法	19.591				2.139		
			フーリエ級数法	26.683				3.322		
		m m	移動平均法*	32.446				5.517		
			移動平均法	18.902				1.918		
			フーリエ級数法	20.727				2.232		
	2	c m	移動平均法*	27.213				4.832		
			移動平均法	9.325				1.498		
			フーリエ級数法	16.896				2.816		
		m m	移動平均法*	21.139				3.756		
			移動平均法	8.044				1.250		
			フーリエ級数法	11.349				1.561		
	3	c m	移動平均法*	45.184				7.757		
			移動平均法	16.789				2.438		
			フーリエ級数法	25.691				3.092		
		m m	移動平均法*	41.762				7.123		
			移動平均法	16.328				2.296		
			フーリエ級数法	22.190				2.479		
	4	c m	移動平均法*	71.800				12.640		
			移動平均法	53.192				9.394		
			フーリエ級数法	74.946				11.923		
		m m	移動平均法*	73.063				12.906		
			移動平均法	53.274				9.456		
フーリエ級数法			49.789				8.109			
5	c m	移動平均法*	43.731				7.767			
		移動平均法	34.681				6.203			
		フーリエ級数法	38.763				6.465			
	m m	移動平均法*	43.310				7.725			
		移動平均法	34.698				6.198			
		フーリエ級数法	33.665				5.560			

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-8

Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 256, 切断周期 = 60 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.067		0.073	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.972		0.056	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.417		0.049	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.313		0.033	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.412		0.046	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.350		0.036	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
		mm	フーリエ級数法	24.319		3.118	
			移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	18.570		1.977	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
		mm	フーリエ級数法	15.225		2.481	
			移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	10.012		1.425	
入 量	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
		mm	フーリエ級数法	25.691		3.092	
			移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	20.141		2.387	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
		mm	フーリエ級数法	71.133		12.285	
			移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	47.491		7.746	
量	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
		mm	フーリエ級数法	33.568		5.445	
			移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	31.021		5.157	

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

付表 C-9

Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 256, 切断周期 = 40 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単 位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.128		0.081	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.985		0.063	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.465		0.054	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.362		0.042	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.434		0.045	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.401		0.041	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.674		0.090	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.459		0.063	
	5	cm	移動平均法	0.582		0.087	
			フーリエ級数法	0.641		0.085	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	26.974		3.627	
		mm	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	20.486		2.331	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	16.807		2.669	
		mm	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	12.733		1.821	
	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	25.267		3.464	
		mm	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	22.566		2.450	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	80.513		12.590	
		mm	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	56.784		9.099	
	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
			フーリエ級数法	42.288		7.063	
		mm	移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	37.407		6.194	

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

付表 C-10

Aダム水位変動対策総括表

〔 データ長 = 256, 切断周期 = 40 分, フィルター =  〕

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(c m)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	c m	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.061		0.081	
		m m	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	1.001		0.063	
	2	c m	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.465		0.054	
		m m	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.346		0.037	
	3	c m	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.412		0.046	
		m m	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.390		0.040	
	4	c m	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.611		0.084	
		m m	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.425		0.057	
5	c m	移動平均法	0.582		0.087		
		フーリエ級数法	0.594		0.078		
	m m	移動平均法	0.571		0.086		
		フーリエ級数法	0.514		0.069		
流 入 量				(m ³ /s)	0 50 100	0 5 10	
	1	c m	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	26.862		3.614	
		m m	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	20.689		2.259	
	2	c m	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	16.807		2.669	
		m m	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	11.088		1.509	
	3	c m	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	25.691		3.092	
		m m	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	22.125		2.443	
	4	c m	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	75.006		12.154	
		m m	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
フーリエ級数法			51.615		8.367		
5	c m	移動平均法*	43.731		7.767		
		移動平均法	34.681		6.203		
		フーリエ級数法	38.763		6.465		
	m m	移動平均法*	43.310		7.725		
		移動平均法	34.698		6.198		
		フーリエ級数法	34.248		5.603		

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-11

Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 256, 切断周期 = 40 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.080		0.078	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.975		0.059	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.417		0.049	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.322		0.034	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.412		0.046	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.371		0.038	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.562		0.080	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.412		0.055	
	5	cm	移動平均法	0.582		0.087	
			フーリエ級数法	0.594		0.078	
		mm	移動平均法	0.571		0.086	
			フーリエ級数法	0.487		0.064	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	25.646		3.326	
		mm	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	19.459		2.136	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	15.225		2.481	
		mm	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	10.378		1.440	
	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	25.691		3.092	
		mm	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	20.933		2.328	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	71.499		12.285	
		mm	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	49.458		8.097	
	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
			フーリエ級数法	38.763		6.465	
		mm	移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	31.943		5.244	

注 ; 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-12

Aダム水位変動対策総括表

[データ長 = 256, 切断周期 = 30 分, フィルター = ]

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.118		0.075	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.984		0.065	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.503		0.060	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.355		0.042	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.438		0.052	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.392		0.042	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.618		0.087	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.470		0.068	
	5	cm	移動平均法	0.582		0.087	
			フーリエ級数法	0.731		0.109	
		mm	移動平均法	0.571		0.086	
			フーリエ級数法	0.580		0.089	
流 入 量				(m ³ /s)	0 50 100	0 5 10	
	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	25.053		3.382	
		mm	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	21.432		2.742	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	18.992		2.873	
		mm	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	12.910		1.890	
	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	29.043		3.902	
		mm	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	23.542		2.915	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	77.533		13.078	
		mm	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	60.986		10.184	
	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
			フーリエ級数法	54.228		9.565	
		mm	移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	44.240		7.737	

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

付表 C-13

Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 256, 切断周期 = 30 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数			ス ム ー ズ 示 数			
				(cm)	0	1	2	0.0	0.1	0.2
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324				0.102		
			フーリエ級数法	1.128				0.081		
		mm	移動平均法	1.293				0.094		
			フーリエ級数法	0.987				0.062		
	2	cm	移動平均法	0.674				0.087		
			フーリエ級数法	0.465				0.054		
		mm	移動平均法	0.532				0.068		
			フーリエ級数法	0.358				0.040		
	3	cm	移動平均法	0.567				0.081		
			フーリエ級数法	0.434				0.045		
		mm	移動平均法	0.530				0.075		
			フーリエ級数法	0.390				0.039		
4	cm	移動平均法	0.523				0.081			
		フーリエ級数法	0.671				0.090			
	mm	移動平均法	0.528				0.082			
		フーリエ級数法	0.442				0.061			
5	cm	移動平均法	0.582				0.087			
		フーリエ級数法	0.641				0.085			
	mm	移動平均法	0.571				0.086			
		フーリエ級数法	0.539				0.077			
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975				6.087		
			移動平均法	19.591				2.139		
			フーリエ級数法	26.974				3.627		
		mm	移動平均法*	32.446				5.517		
			移動平均法	18.902				1.918		
			フーリエ級数法	20.097				2.304		
	2	cm	移動平均法*	27.213				4.832		
			移動平均法	9.325				1.498		
			フーリエ級数法	16.807				2.669		
		mm	移動平均法*	21.139				3.756		
			移動平均法	8.044				1.250		
			フーリエ級数法	12.115				1.683		
	3	cm	移動平均法*	45.184				7.757		
			移動平均法	16.789				2.438		
			フーリエ級数法	25.267				3.464		
		mm	移動平均法*	41.762				7.123		
			移動平均法	16.328				2.296		
			フーリエ級数法	22.119				2.425		
	4	cm	移動平均法*	71.800				12.640		
			移動平均法	53.192				9.394		
フーリエ級数法			80.672				12.877			
mm		移動平均法*	73.063				12.906			
		移動平均法	53.274				9.456			
		フーリエ級数法	55.264				8.931			
5	cm	移動平均法*	43.731				7.767			
		移動平均法	34.681				6.203			
		フーリエ級数法	42.288				7.063			
	mm	移動平均法*	43.310				7.725			
		移動平均法	34.698				6.198			
		フーリエ級数法	38.138				6.420			

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-14

Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 256, 切断周期 = 30 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.324		0.102	
			フーリエ級数法	1.062		0.074	
		mm	移動平均法	1.293		0.094	
			フーリエ級数法	0.985		0.059	
	2	cm	移動平均法	0.674		0.087	
			フーリエ級数法	0.417		0.049	
		mm	移動平均法	0.532		0.068	
			フーリエ級数法	0.317		0.035	
	3	cm	移動平均法	0.567		0.081	
			フーリエ級数法	0.320		0.036	
		mm	移動平均法	0.530		0.075	
			フーリエ級数法	0.347		0.036	
	4	cm	移動平均法	0.523		0.081	
			フーリエ級数法	0.538		0.072	
		mm	移動平均法	0.528		0.082	
			フーリエ級数法	0.407		0.055	
	5	cm	移動平均法	0.582		0.087	
			フーリエ級数法	0.552		0.067	
		mm	移動平均法	0.571		0.086	
			フーリエ級数法	0.474		0.063	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	34.975		6.087	
			移動平均法	19.591		2.139	
			フーリエ級数法	24.319		3.118	
		mm	移動平均法*	32.446		5.517	
			移動平均法	18.902		1.918	
			フーリエ級数法	18.797		2.141	
	2	cm	移動平均法*	27.213		4.832	
			移動平均法	9.325		1.498	
			フーリエ級数法	15.225		2.481	
		mm	移動平均法*	21.139		3.756	
			移動平均法	8.044		1.250	
			フーリエ級数法	10.431		1.515	
	3	cm	移動平均法*	45.184		7.757	
			移動平均法	16.789		2.438	
			フーリエ級数法	20.158		2.897	
		mm	移動平均法*	41.762		7.123	
			移動平均法	16.328		2.296	
			フーリエ級数法	20.176		2.409	
	4	cm	移動平均法*	71.800		12.640	
			移動平均法	53.192		9.394	
			フーリエ級数法	64.362		11.044	
		mm	移動平均法*	73.063		12.906	
			移動平均法	53.274		9.456	
			フーリエ級数法	48.852		8.033	
	5	cm	移動平均法*	43.731		7.767	
			移動平均法	34.681		6.203	
			フーリエ級数法	33.568		5.445	
		mm	移動平均法*	43.310		7.725	
			移動平均法	34.698		6.198	
			フーリエ級数法	30.915		5.127	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-15

A ダム水位変動対策総括表

[データ長 = 512, 切断周期 = 0 分, フィルター =]

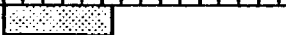
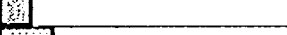
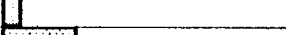
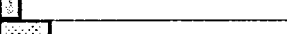
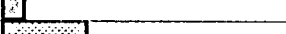
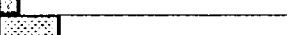
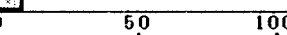
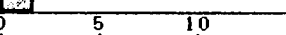
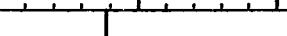
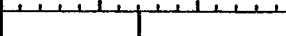
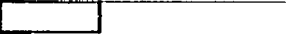
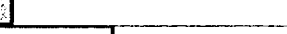
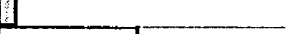
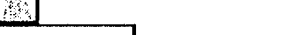
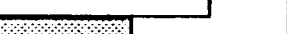
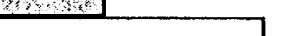
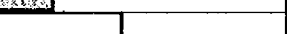
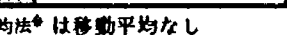
	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	1.174		0.111	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	1.174		0.111	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	1.366		0.184	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	1.366		0.184	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.555		0.076	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.555		0.076	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.532		0.088	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.532		0.088	
	5	cm	移動平均法	0.627		0.094	
			フーリエ級数法	0.640		0.095	
		mm	移動平均法	0.611		0.093	
			フーリエ級数法	0.640		0.095	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	38.528		6.664	
		mm	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	38.528		6.664	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	55.637		9.328	
		mm	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	55.637		9.328	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	42.484		7.203	
		mm	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	42.484		7.203	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	78.141		13.637	
		mm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	78.141		13.637	
	5	cm	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
			フーリエ級数法	47.441		8.522	
		mm	移動平均法*	46.615		8.472	
			移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	47.441		8.522	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-16

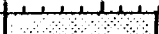
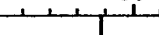
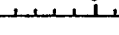
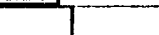
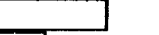
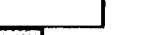
Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 512, 切断周期 = 200 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	3.156		0.088	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	3.127		0.082	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.433		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.334		0.017	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.234		0.025	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.404		0.039	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.230		0.026	
	5	cm	移動平均法	0.627		0.094	
			フーリエ級数法	0.313		0.047	
		mm	移動平均法	0.611		0.093	
			フーリエ級数法	0.274		0.034	
流 入 量				(m ³ /s)	0 50 100		0 5 10
	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	30.907		2.736	
		mm	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	28.801		1.290	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	15.126		2.497	
		mm	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	5.740		0.797	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
		mm	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	14.186		1.660	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	34.994		5.588	
		mm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	22.675		3.477	
	5	cm	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
			フーリエ級数法	23.383		3.979	
		mm	移動平均法*	46.615		8.472	
			移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	16.898		2.746	

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

【 データ長 = 512, 切断周期 = 100 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.409		0.082	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.374		0.071	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.397		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.319		0.018	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.243		0.025	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.472		0.043	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.341		0.029	
	5	cm	移動平均法	0.627		0.094	
			フーリエ級数法	0.538		0.081	
		mm	移動平均法	0.611		0.093	
			フーリエ級数法	0.395		0.038	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	28.357		3.103	
		mm	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	24.607		1.207	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	14.967		2.456	
		mm	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	5.516		0.671	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
		mm	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	14.190		1.404	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	38.312		5.534	
		mm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	25.812		3.542	
	5	cm	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
			フーリエ級数法	39.875		6.905	
		mm	移動平均法*	46.615		8.472	
			移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	19.127		2.739	

注：流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

付表 C-18

Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 512, 切断周期 = 100 分, フィルター =  】

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ス 示 数	
				(c m)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	c m	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	3.017		0.089	
		m m	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.991		0.079	
	2	c m	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.433		0.049	
		m m	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.325		0.018	
	3	c m	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		m m	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.232		0.025	
	4	c m	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.404		0.039	
		m m	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.246		0.026	
	5	c m	移動平均法	0.627		0.094	
			フーリエ級数法	0.387		0.056	
		m m	移動平均法	0.611		0.093	
			フーリエ級数法	0.284		0.034	
流 入 量				(m ³ /s)	0 50 100	0 5 10	
	1	c m	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	31.512		3.091	
		m m	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	27.815		1.182	
	2	c m	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	15.126		2.497	
		m m	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	5.740		0.820	
	3	c m	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
		m m	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	14.043		1.634	
	4	c m	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	34.994		5.588	
		m m	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	22.467		3.389	
	5	c m	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
			フーリエ級数法	27.957		4.852	
		m m	移動平均法*	46.615		8.472	
			移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	17.083		2.735	

注 1 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

付表 C-19

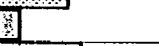
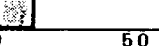
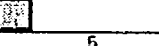
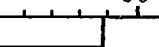
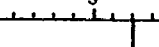
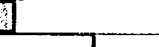
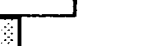
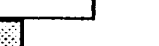
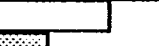
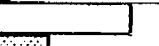
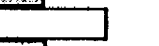
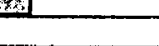
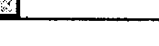
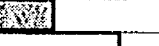
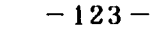
Aダム水位変動対策総括表

[データ長 = 512, 切断周期 = 80 分, フィルター = ]

資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
			(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm 移動平均法	1.597		0.113	
		フーリエ級数法	2.168		0.077	
	mm	移動平均法	1.546		0.101	
		フーリエ級数法	2.224		0.068	
	2	cm 移動平均法	0.760		0.095	
		フーリエ級数法	0.397		0.049	
	mm	移動平均法	0.581		0.075	
		フーリエ級数法	0.309		0.021	
	3	cm 移動平均法	0.555		0.076	
		フーリエ級数法	0.348		0.034	
	mm	移動平均法	0.548		0.075	
		フーリエ級数法	0.279		0.029	
流 入 量	1	cm 移動平均法*	39.250		7.154	
		移動平均法	21.014		1.917	
	mm	フーリエ級数法	26.931		2.359	
		移動平均法*	35.142		6.270	
	2	cm 移動平均法	20.164		1.599	
		フーリエ級数法	23.937		1.209	
	mm	移動平均法*	29.429		5.206	
		移動平均法	9.559		1.593	
	3	cm 移動平均法	14.967		2.456	
		フーリエ級数法	23.225		4.128	
	mm	移動平均法*	7.958		1.286	
		移動平均法	6.091		0.713	
入 量	4	cm 移動平均法*	42.484		7.203	
		移動平均法	20.559		3.005	
	mm	フーリエ級数法	19.035		2.137	
		移動平均法*	41.728		7.060	
	5	cm 移動平均法	19.893		2.798	
		フーリエ級数法	16.371		1.614	
	mm	移動平均法*	78.141		13.637	
		移動平均法	50.228		8.082	
	3	cm 移動平均法	38.853		5.626	
		フーリエ級数法	78.141		13.637	
	4	mm 移動平均法*	49.136		7.909	
		移動平均法	25.429		3.373	
入 量	5	cm 移動平均法*	47.275		8.541	
		移動平均法	37.786		6.659	
	mm	フーリエ級数法	36.827		6.193	
		移動平均法*	46.615		8.472	
	6	cm 移動平均法	38.012		6.696	
		フーリエ級数法	18.505		2.697	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

[データ長 = 512, 切断周期 = 80 分, フィルター = ]

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.359		0.081	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.325		0.070	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.397		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.322		0.020	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.241		0.026	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.472		0.043	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.318		0.027	
	5	cm	移動平均法	0.627		0.094	
			フーリエ級数法	0.538		0.081	
		mm	移動平均法	0.611		0.093	
			フーリエ級数法	0.392		0.039	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	28.140		3.062	
		mm	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	24.228		1.194	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	14.967		2.456	
		mm	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	6.284		0.885	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
		mm	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	14.541		1.575	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	38.312		5.534	
		mm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	23.610		3.169	
	5	cm	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
			フーリエ級数法	39.875		6.905	
		mm	移動平均法*	46.615		8.472	
			移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	19.303		2.780	

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

付表 C-21

Aダム水位変動対策総括表

〔 データ長 = 512, 切断周期 = 80 分, フィルター =  〕

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.728		0.084	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.705		0.074	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.397		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.325		0.018	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.239		0.026	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.404		0.043	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.278		0.026	
5	cm	移動平均法	0.627		0.094		
		フーリエ級数法	0.417		0.068		
	mm	移動平均法	0.611		0.093		
		フーリエ級数法	0.330		0.035		
入 流 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	29.079		2.765	
		mm	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	25.896		1.198	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	14.967		2.456	
		mm	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	5.848		0.821	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
		mm	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	14.541		1.591	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	38.491		6.158	
		mm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	22.832		3.258	
5	cm	移動平均法*	47.275		8.541		
		移動平均法	37.786		6.659		
		フーリエ級数法	33.832		6.018		
	mm	移動平均法*	46.615		8.472		
		移動平均法	38.012		6.696		
		フーリエ級数法	16.860		2.533		

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-22

Aダム水位変動対策総括表

〔 データ長 = 512, 切断周期 = 60 分, フィルター =  〕

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ス 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.204		0.074	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.307		0.072	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.433		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.302		0.021	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.269		0.028	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.404		0.043	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.307		0.029	
	5	cm	移動平均法	0.627		0.094	
			フーリエ級数法	0.387		0.056	
		mm	移動平均法	0.611		0.093	
			フーリエ級数法	0.326		0.035	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	25.897		2.489	
		mm	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	25.260		1.471	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	15.126		2.497	
		mm	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	6.452		0.818	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
		mm	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	15.733		1.554	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	38.491		6.158	
		mm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	25.027		3.399	
	5	cm	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
			フーリエ級数法	27.957		4.852	
		mm	移動平均法*	46.615		8.472	
			移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	17.462		2.499	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-23

Aダム水位変動対策総括表

【 データ長 = 512, 切断周期 = 60 分, フィルター =  】

資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
			(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm 移動平均法	1.597		0.113	
		cm フーリエ級数法	2.204		0.074	
	mm	移動平均法	1.546		0.101	
		mm フーリエ級数法	2.253		0.068	
	2	cm 移動平均法	0.760		0.095	
		cm フーリエ級数法	0.397		0.049	
	mm	移動平均法	0.581		0.075	
		mm フーリエ級数法	0.313		0.020	
	3	cm 移動平均法	0.555		0.076	
		cm フーリエ級数法	0.348		0.034	
	mm	移動平均法	0.548		0.075	
		mm フーリエ級数法	0.273		0.029	
流 入 量	1	cm 移動平均法*	39.250		7.154	
		cm 移動平均法	21.014		1.917	
	mm	移動平均法*	25.897		2.489	
		mm 移動平均法	35.142		6.270	
	2	cm 移動平均法*	20.164		1.599	
		cm 移動平均法	24.000		1.233	
	mm	移動平均法*	29.429		5.206	
		mm 移動平均法	9.559		1.593	
	3	cm 移動平均法*	14.967		2.456	
		cm 移動平均法	23.225		4.128	
	mm	移動平均法*	7.958		1.286	
		mm 移動平均法	6.215		0.746	
入 量	4	cm 移動平均法*	42.484		7.203	
		cm 移動平均法	20.559		3.005	
	mm	移動平均法*	19.035		2.137	
		mm 移動平均法	41.728		7.060	
	5	cm 移動平均法*	19.893		2.798	
		cm 移動平均法	15.996		1.605	
	mm	移動平均法*	78.141		13.637	
		mm 移動平均法	50.228		8.082	
	6	cm 移動平均法*	38.853		5.626	
		cm 移動平均法	78.141		13.637	
	7	mm 移動平均法*	49.136		7.909	
		mm 移動平均法	25.487		3.401	
入 量	8	cm 移動平均法*	47.275		8.541	
		cm 移動平均法	37.786		6.659	
	9	mm 移動平均法*	36.829		6.180	
		mm 移動平均法	46.615		8.472	
	10	cm 移動平均法*	38.012		6.696	
		cm 移動平均法	17.545		2.543	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-24

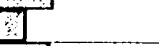
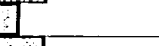
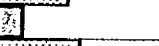
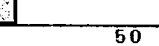
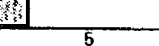
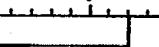
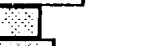
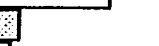
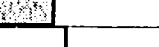
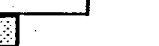
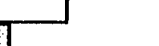
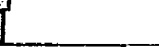
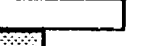
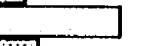
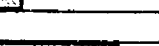
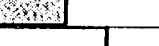
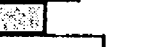
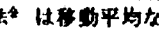
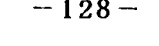
Aダム水位変動対策総括表

[データ長 = 512, 切断周期 = 60 分, フィルター = ]

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.615		0.078	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.535		0.071	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.397		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.316		0.020	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.239		0.026	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.404		0.043	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.287		0.027	
	5	cm	移動平均法	0.627		0.094	
			フーリエ級数法	0.387		0.060	
mm		移動平均法	0.611		0.093		
		フーリエ級数法	0.343		0.036		
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	27.270		2.344	
		mm	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	25.066		1.131	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	14.967		2.456	
		mm	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	6.327		0.894	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
		mm	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	14.606		1.604	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	38.491		6.158	
		mm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	23.524		3.286	
5	cm	移動平均法*	47.275		8.541		
		移動平均法	37.786		6.659		
		フーリエ級数法	30.047		5.115		
	mm	移動平均法*	46.615		8.472		
		移動平均法	38.012		6.696		
		フーリエ級数法	17.814		2.647		

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均* は移動平均なし

[データ長 = 512, 切断周期 = 40 分, フィルター = ]

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.524		0.081	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.577		0.071	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.433		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.312		0.018	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.273		0.029	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.383		0.040	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.298		0.037	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
		mm	フーリエ級数法	28.259		2.660	
			移動平均法*	35.142		6.270	
		mm	移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	25.126		1.167	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
		mm	フーリエ級数法	15.126		2.497	
			移動平均法*	23.225		4.128	
		mm	移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	6.099		0.863	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
		mm	フーリエ級数法	19.035		2.137	
			移動平均法*	41.728		7.060	
		mm	移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	16.112		1.529	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
		mm	フーリエ級数法	35.586		5.679	
			移動平均法*	78.141		13.637	
		mm	移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	32.671		5.001	
	5	cm	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
		mm	フーリエ級数法	26.126		4.338	
			移動平均法*	46.615		8.472	
		mm	移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	18.401		3.013	

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

付表 C-26

Aダム水位変動対策総括表

[データ長 = 512, 切断周期 = 40 分, フィルター = ]

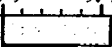
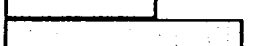
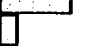
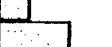
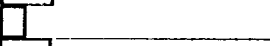
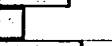
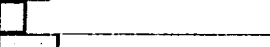
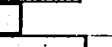
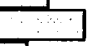
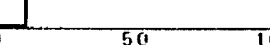
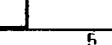
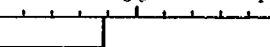
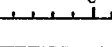
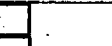
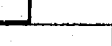
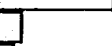
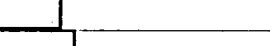
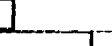
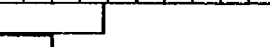
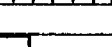
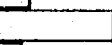
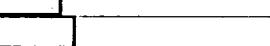
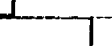
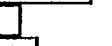
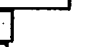
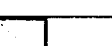
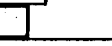
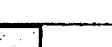
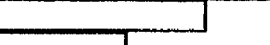
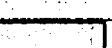
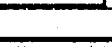
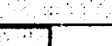
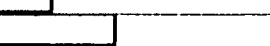
	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.344		0.079	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.372		0.071	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.433		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.310		0.021	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.279		0.029	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	28.228		2.927	
			移動平均法*	35.142		6.270	
		mm	移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	24.838		1.344	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	15.126		2.497	
			移動平均法*	23.225		4.128	
		mm	移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	6.520		0.911	
入 量	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
			移動平均法*	41.728		7.060	
		mm	移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	16.208		1.441	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	38.491		6.158	
			移動平均法*	78.141		13.637	
		mm	移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	25.207		3.661	
量	5	cm	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
			フーリエ級数法	31.634		5.486	
			移動平均法*	46.615		8.472	
		mm	移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	17.624		2.664	

注 ; 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

付表 C-27

Aダム水位変動対策総括表

[データ長 = 512, 切断周期 = 40 分, フィルター = ]

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数			ス ム ー ズ 示 数			
				(cm)	0	1	2	0.0	0.1	0.2
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597				0.113		
			フーリエ級数法	2.417				0.077		
		mm	移動平均法	1.546				0.101		
			フーリエ級数法	2.420				0.070		
	2	cm	移動平均法	0.760				0.095		
			フーリエ級数法	0.433				0.049		
		mm	移動平均法	0.581				0.075		
			フーリエ級数法	0.306				0.020		
	3	cm	移動平均法	0.555				0.076		
			フーリエ級数法	0.348				0.034		
		mm	移動平均法	0.548				0.075		
			フーリエ級数法	0.270				0.029		
	4	cm	移動平均法	0.532				0.088		
			フーリエ級数法	0.404				0.043		
		mm	移動平均法	0.532				0.088		
			フーリエ級数法	0.296				0.028		
5	cm	移動平均法	0.627				0.094			
		フーリエ級数法	0.387				0.056			
	mm	移動平均法	0.611				0.093			
		フーリエ級数法	0.318				0.035			
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250				7.154		
			移動平均法	21.014				1.917		
			フーリエ級数法	27.265				1.964		
		mm	移動平均法*	35.142				6.270		
			移動平均法	20.164				1.599		
			フーリエ級数法	24.554				1.209		
	2	cm	移動平均法*	29.429				5.206		
			移動平均法	9.559				1.593		
			フーリエ級数法	15.126				2.497		
		mm	移動平均法*	23.225				4.128		
			移動平均法	7.958				1.286		
			フーリエ級数法	6.540				0.931		
	3	cm	移動平均法*	42.484				7.203		
			移動平均法	20.559				3.005		
			フーリエ級数法	19.035				2.137		
		mm	移動平均法*	41.728				7.060		
			移動平均法	19.893				2.798		
			フーリエ級数法	16.067				1.679		
	4	cm	移動平均法*	78.141				13.637		
			移動平均法	50.228				8.082		
			フーリエ級数法	38.491				6.158		
		mm	移動平均法*	78.141				13.637		
			移動平均法	49.136				7.909		
			フーリエ級数法	24.526				3.434		
5	cm	移動平均法*	47.275				8.541			
		移動平均法	37.786				6.659			
		フーリエ級数法	27.957				4.852			
	mm	移動平均法*	46.615				8.472			
		移動平均法	38.012				6.696			
		フーリエ級数法	17.365				2.612			

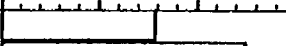
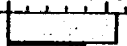
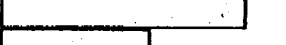
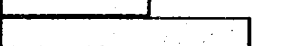
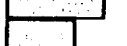
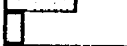
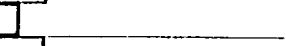
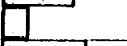
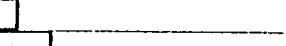
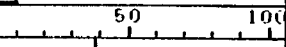
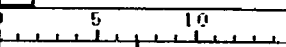
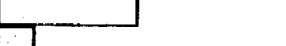
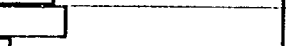
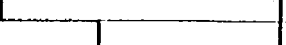
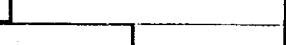
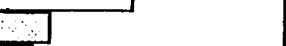
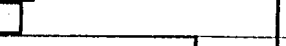
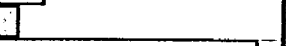
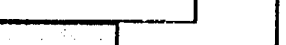
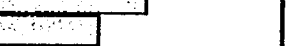
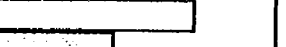
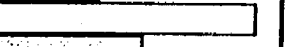
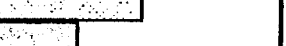
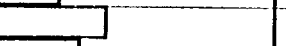
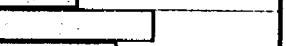
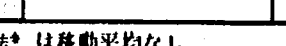
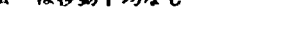
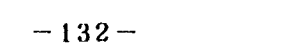
注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

〔 データ長 = 512, 切断周期 = 30 分, フィルター =  〕

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数	
				(cm)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	cm	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.881		0.092	
		mm	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.818		0.078	
	2	cm	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.433		0.049	
		mm	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.321		0.021	
	3	cm	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		mm	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.269		0.030	
	4	cm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.499		0.080	
		mm	移動平均法	0.532		0.088	
			フーリエ級数法	0.344		0.049	
	5	cm	移動平均法	0.627		0.094	
			フーリエ級数法	0.424		0.064	
		mm	移動平均法	0.611		0.093	
			フーリエ級数法	0.330		0.050	
流 入 量	1	cm	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
			フーリエ級数法	32.162		3.424	
		mm	移動平均法*	35.142		6.270	
			移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	27.326		1.636	
	2	cm	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
			フーリエ級数法	15.126		2.497	
		mm	移動平均法*	23.225		4.128	
			移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	7.004		1.086	
	3	cm	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
			フーリエ級数法	19.035		2.137	
		mm	移動平均法*	41.728		7.060	
			移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	16.653		1.893	
	4	cm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
			フーリエ級数法	70.530		12.163	
		mm	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	43.085		7.131	
	5	cm	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
			フーリエ級数法	31.634		5.486	
		mm	移動平均法*	46.615		8.472	
			移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	24.507		4.267	

注 : 流入量の移動平均法は 10 分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

[データ長 = 512, 切断周期 = 30 分, フィルター = ]

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ス 示 数	
				(c m)	0 1 2	0.0 0.1 0.2	
貯 水 位	1	c m	移動平均法	1.597		0.113	
			フーリエ級数法	2.524		0.081	
		m m	移動平均法	1.546		0.101	
			フーリエ級数法	2.567		0.072	
	2	c m	移動平均法	0.760		0.095	
			フーリエ級数法	0.433		0.049	
		m m	移動平均法	0.581		0.075	
			フーリエ級数法	0.299		0.018	
	3	c m	移動平均法	0.555		0.076	
			フーリエ級数法	0.348		0.034	
		m m	移動平均法	0.548		0.075	
			フーリエ級数法	0.262		0.028	
流 入 量	1	c m	移動平均法*	39.250		7.154	
			移動平均法	21.014		1.917	
		m m	フーリエ級数法	28.259		2.660	
			移動平均法*	35.142		6.270	
		m m	移動平均法	20.164		1.599	
			フーリエ級数法	25.206		1.283	
	2	c m	移動平均法*	29.429		5.206	
			移動平均法	9.559		1.593	
		m m	フーリエ級数法	15.126		2.497	
			移動平均法*	23.225		4.128	
		m m	移動平均法	7.958		1.286	
			フーリエ級数法	5.867		0.857	
	3	c m	移動平均法*	42.484		7.203	
			移動平均法	20.559		3.005	
		m m	フーリエ級数法	19.035		2.137	
			移動平均法*	41.728		7.060	
		m m	移動平均法	19.893		2.798	
			フーリエ級数法	15.376		1.500	
	4	c m	移動平均法*	78.141		13.637	
			移動平均法	50.228		8.082	
		m m	フーリエ級数法	35.586		5.679	
			移動平均法*	78.141		13.637	
		m m	移動平均法	49.136		7.909	
			フーリエ級数法	30.321		4.697	
	5	c m	移動平均法*	47.275		8.541	
			移動平均法	37.786		6.659	
		m m	フーリエ級数法	30.288		5.150	
			移動平均法*	46.615		8.472	
		m m	移動平均法	38.012		6.696	
			フーリエ級数法	18.336		2.988	

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法* は移動平均なし

付表 C-30

Aダム水位変動対策総括表

[データ長 = 512, 切断周期 = 30 分, フィルター = ]

	資料	水位の 単位	手 法	誤 差 示 数		ス ム ー ズ 示 数		
				(c m)	0 1 2	0.0 0.1 0.2		
貯 水 位	1	c m	移動平均法	1.597		0.113		
			フーリエ級数法	2.417		0.077		
		m m	移動平均法	1.546		0.101		
			フーリエ級数法	2.450		0.070		
		2	c m	移動平均法	0.760		0.095	
				フーリエ級数法	0.433		0.049	
	m m		移動平均法	0.581		0.075		
			フーリエ級数法	0.305		0.019		
	3	c m	移動平均法	0.555		0.076		
			フーリエ級数法	0.348		0.034		
		m m	移動平均法	0.548		0.075		
			フーリエ級数法	0.254		0.027		
	4	c m	移動平均法	0.532		0.088		
			フーリエ級数法	0.383		0.043		
		m m	移動平均法	0.532		0.088		
			フーリエ級数法	0.289		0.030		
	5	c m	移動平均法	0.627		0.094		
			フーリエ級数法	0.424		0.064		
		m m	移動平均法	0.611		0.093		
			フーリエ級数法	0.317		0.036		
流 入 量				(m ³ / s)	0 50 100	0 5 10		
	1	c m	移動平均法*	39.250		7.154		
			移動平均法	21.014		1.917		
			フーリエ級数法	27.265		1.964		
		m m	移動平均法*	35.142		6.270		
			移動平均法	20.164		1.599		
			フーリエ級数法	24.402		1.173		
	2	c m	移動平均法*	29.429		5.206		
			移動平均法	9.559		1.593		
			フーリエ級数法	15.126		2.497		
		m m	移動平均法*	23.225		4.128		
			移動平均法	7.958		1.286		
			フーリエ級数法	6.202		0.886		
	3	c m	移動平均法*	42.484		7.203		
			移動平均法	20.559		3.005		
			フーリエ級数法	19.035		2.137		
		m m	移動平均法*	41.728		7.060		
			移動平均法	19.893		2.798		
			フーリエ級数法	14.882		1.447		
	4	c m	移動平均法*	78.141		13.637		
			移動平均法	50.228		8.082		
			フーリエ級数法	39.030		6.240		
		m m	移動平均法*	78.141		13.637		
			移動平均法	49.136		7.909		
			フーリエ級数法	26.714		3.972		
	5	c m	移動平均法*	47.275		8.541		
			移動平均法	37.786		6.659		
			フーリエ級数法	31.634		5.486		
		m m	移動平均法*	46.615		8.472		
			移動平均法	38.012		6.696		
フーリエ級数法			17.838		2.751			

注 : 流入量の移動平均法は10分移動平均値、移動平均法*は移動平均なし

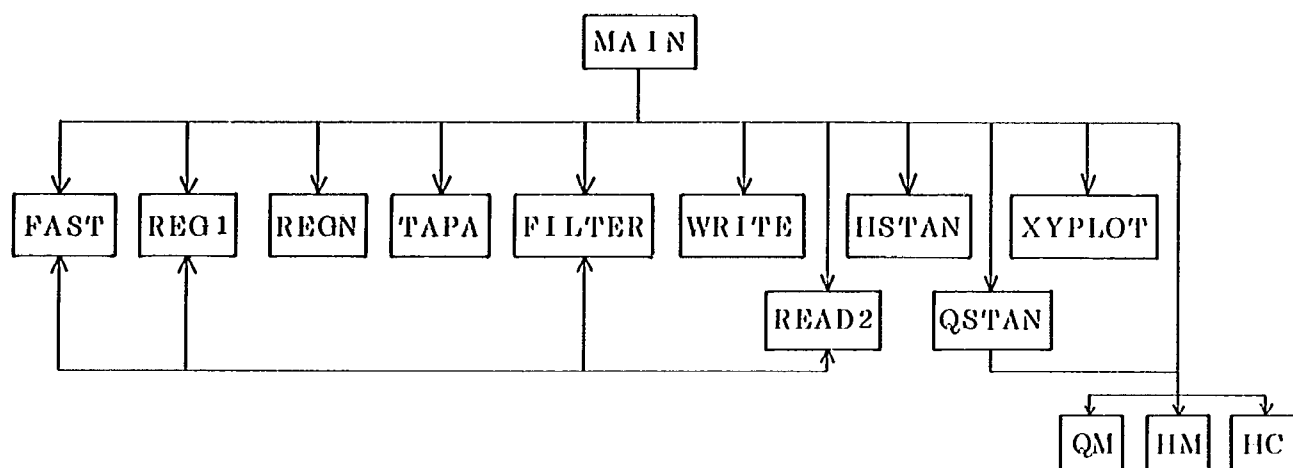
付録D

プログラムの説明と実行例

0000

同 曾 吳 子 訓 蘇 氏 入 宅 門 口 下

付録 D. 1 プログラムの構成と内容



サブルーチン 副プログラム	内 容
FAST	複素数型データの高速フーリエ変換またはフーリエ逆変換
REG1	直線回帰
REGN	曲線回帰
TAPA	データの両端を余弦テーパ型に漸変させる
FILTER	分離周期より高周波成分をカット
WRITE	計算結果をLP出力
READ2	「真値」の計算
HSTAN	標準仕様にもとづく平滑水位の計算
QSTAN	標準仕様にもとづき流入量段階で移動平均を行う
XYPLOT	計算結果をXYプロッターに出力
関数副プログラム	内 容
QM	一定時間内の容量の変化量より流入量を計算
HM	水位をmm単位に四捨五入
HC	水位をcm単位に四捨五入

付録D. 2 入力データ, 変数名, 引数等の説明

入力データ

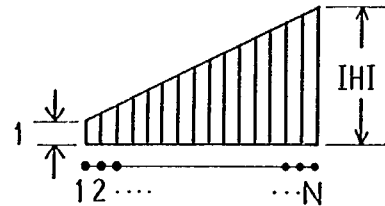
(1)

KA I K I
I H I
KNOM I

(3 1 5)

KA I K I
I H I

第一近似時の回帰次数
回帰時の重み



(例 ; 3 1 0 0 0)

KNOM I = 1 第一近似 (回帰) のみ
≠ 1 フーリエ級数法

(2)

NOC 0 , NA , TC
I F I L T , MB , M
ND , NS , LB

(2 1 5 , F 5.0 , 6 1 5)

NOC 0

ケースNo

NA

解析データ個数

TC

分離周期 (分)

I F I L T

低周波通過フィルター

= 1 階段関数型フィルター

= 2 漸変型フィルター(1)

= 3 漸変型フィルター(2)

MB

計算期間 (開始)

M

" (終了)

ND

1 分間の資料個数

NS

資料期間 (分)

LB

評価対象期間 (開始)

(例 ; 1 256 640 1 13 48 30 720 14)

(3)

NODUMY

(1 1 0)

NODUMY

資料No

(4)

DATA 1
(I , J)

(7 F 1 0.2)

DATA 1
(I , J)

2 秒毎の水位観測資料

I → 1 ~ ND

J → 1 ~ NS

変数名リスト	Y(256) STA(72) DLA(72) KSTAN NOD DT T T0	第二近似の静水位成分 移動平均法による平滑水位(10分毎, cm) フーリエ級数法 = 1 標準仕様で流入量段階にて移動平均なし = 2 " する 資料No 解析データのサンプリング間隔(分) 解析データ個数 解析データ長(分)
文 関 数	V(H)	水位(H) ~ 容量(V) 関係式
サブルーチン	CALL READ2 (ODATA, OR, 64.0) 30秒毎の水位観測データより, 水位変化の真値を計算する 入力パラメータ OR(I) 30秒毎の水位観測データ 64.0 出力パラメータ ODATA(I) 真の水位変動時系列	
	CALL HSTAN(H, DATA1, ND, NS) 2秒毎の水位観測データより, 標準仕様にもとづく平滑水位を計算する 入力パラメータ DATA1(I, J) 2秒毎の水位観測資料 ND 1分間の資料個数 NS 資料期間(分) 出力パラメータ H(I) 標準仕様にもとづく平滑水位	
	CALL REG1 (DATA, NA, A0, A1) 解析対象期間の水位観測値を直線回帰する。 入力パラメータ DATA(I) 原データ (I=1~NA) NA 解析データ個数 出力パラメータ DATA(I) 回帰直線と原データの偏差 A0, A1 回帰係数	
	CALL REGN (DATA, NA, KAIKI, IHI, D) 第一近似(3次回帰による)の静水位成分を求める 入力パラメータ DATA(I) 原データと回帰直線の偏差 NA 解析データ個数 KAIKI 回帰次数 IHI 回帰時の重み 出力パラメータ DATA(I) 第一近似の波動変動成分 D(I) (入力時と回帰曲線との偏差) 回帰係数 (I=1~回帰次数+1)	
	CALL TAPA(DATA, NA) 解析対象データに余弦テーパ, ウィンドウをかける 入力パラメータ DATA(I) 解析対象データ(第一近似の波動変動成分) NA 解析データ個数 出力パラメータ DATA(I) 解析対象データ(テーパ, カット後)	
	CALL FAST (NA, C, NA, -1) 高速フーリエ変換を行う 入力パラメータ NA 解析データ個数 C(I) 解析対象データ(複素数型データ)	

出力パラメータ		- 1 C (I)	高速フーリエ変換の指定 フーリエ変換値のN A倍
CALL FILTER(C,NA,TC,T0,IFILT)		フーリエ変換値を低周波数通過フィルターにかける	
入力パラメータ		C (I)	フーリエ変換値
		NA	解析データ個数
		TC	分離周期 (分)
		T0	解析データ長 (分)
		IFILT	低周波数通過フィルター
			= 1 階段関数型フィルター
			= 2 漸変型フィルター(1)
			= 3 " (2)
出力パラメータ		C (I)	フィルター通過後のフーリエ変換値
CALL FAST(NA,C,NA,+1)		高速フーリエ逆変換を行う	
入力パラメータ		NA	解析データ個数
		C (I)	高周波数成分をカットしたフーリエ変換値
		+1	高速フーリエ逆変換の指定
出力パラメータ		C (I)	第二近似の静水位成分
CALL QSTAN(1,LB,LE,H,QCS)		標準仕様にもとづき、流入量段階で移動平均を行う	
入力パラメータ		1	水位の有効単位はcmで流入量算定 (mm単位の場合は2を指定する)
		LB	評価対象期間 (開始)
		LE	" (終了)
		H (I)	標準仕様にもとづく平滑水位
出力パラメータ		QCS I	10分間平均流入量
CALL WRITE(LB,LE,HO,HC1,HC2,HM1,HM2,ALFH,SH,QO, QCS,QCT,QMS,QMT,ALFA,SD,NOC,NOD,NA,TC, IFILT,KSTAN)		計算結果をラインプリンターに出力する。	
入力パラメータ		LB	結果出力期間 (開始)
		LE	" (終了)
		HO (I)	水位変動の真値
		HC1 (I)	平滑水位 (cm単位, 標準仕様)
		HC2 (I)	" (" , フーリエ級数法)
		HM1 (I)	" (mm単位, 標準仕様)
		HM2 (I)	" (" , フーリエ級数法)
		ALFH (I)	I=1 → HC1の誤差示数
			I=2 → HC2 "
			I=3 → HM1 "
			I=4 → HM2 "
		SH (I)	I=1 → HC1のスミーズ示数
			I=2 → HC2 "
			I=3 → HM1 "
			I=4 → HM1 "
		QO (I)	流入量の真値

	QCS (I)	推算流入量 (水位はcm単位, 標準仕様)
	QCT (I)	" (" , フーリエ級数法)
	QMS (I)	" (水位はmm単位, 標準仕様)
	QMT (I)	" (" , フーリエ級数法)
	ALFA (I)	I=1 → QCS の誤差示数
		I=2 → QCT "
		I=3 → QMS "
		I=4 → QMT "
	SD (I)	I=1 → QCS のスムーズ示数
		I=2 → QCT "
		I=3 → QMS "
		I=4 → QMT "
	NOC	ケースNo.
	NOD	資料No.
	NA	解析データ個数
	TC	分離周期 (分)
	IFILT	低周波数通過フィルターの種類 (1~3)
	KSTAN	= 1 標準仕様で流入量段階にて移動平均なし
		= 2 " する
	CALL XYPLOT (NOC, NOD, NA, TC, IFILT, 1, 1, LB, LE, HO, HC1, HC2)	
	計算結果をXYプロッターに出力する。	
	入力パラメータ	
	NOC	ケースNo.
	NOD	資料No.
	NA	解析データ個数
	TC	分離周期
	IFILT	低周波数通過フィルターの種類 (1~3)
	1	水位の出力を指定 (流入量の時は2)
	1	cm単位の水位を指定 (mm単位の場合は2)
	LB	結果表示期間 (開始)
	LE	" (終了)
	HO	表示データ1 (この場合, 真の水位変動)
	HC1	" 2 (" , cm単位, 標準仕様)
	HC2	" 3 (" , " フーリエ級数法)

付録D. 3 プログラム・リスト

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1		C A DAM	00000100
2	00001	COMPLEX C(256)	00000200
3	00002	DIMENSION DATA(256),Y(256)	00000300
4	00003	DIMENSION ODATA(1440),OR(1440)	00000400
5	00004	DIMENSION DATA1(30,720),H(720),DLA(72),STA(72)	00000500
6	00005	DIMENSION ALFH(4),SH(4),ALFA(4),SD(4)	00000600
7	00006	DIMENSION HM1(72),HM2(72),HC1(72),HC2(72),HO(72)	00000700
8	00007	DIMENSION QMS(72),QMT(72),QCS(72),QCT(72),QO(72)	00000800
9	00008	DIMENSION D(10)	00000900
10		C *** H-V CURVE H=ELEVATION(M)-100.(M) V=VOLUME(M**3)	00001000
11	00009	V (H)=(92.9*(H+200.)*2-38380.*(H+200.)*3979049.00)*1000.	00001100
12		C ***	00001200
13		C ***** X-Y PLOTTER *****	00001300
14		C CALL PLOTS('YDPL0T',10.0)	00001400
15		C *** ND:60/2=30 NS:60*12=720	00001500
16	00010	READ(5,501) (KAIKI,IHI)	00001600
17	00011	501 FORMAT(2I5)	00001700
18	00012	READ(5,500) (NDC0,NA,TC,IFILT,HB,M,ND,NS)	00001800
19	00013	500 FORMAT(2I5,F5.0,5I5)	00001900
20	00014	DO 8888 KSIAN=1,2	00002000
21	00015	DO 9999 NOD=1,5	00002100
22	00016	NOC=NDC0+NOD-1	00002200
23	00017	READ(12,401) NODUMY	00002300
24	00018	401 FORMAT(I10)	00002400
25	00019	READ(12,400) ((DATA1(I,J),I=1,ND),J=1,NS)	00002500
26	00020	400 FORMAT(7F10.2)	00002600
27	00021	IF(NOD.NE.NODUMY) STOP 'STOP'	00002700
28		C ***	00002800
29	00022	LB=HB+1	00002900
30	00023	LE=M	00003000
31	00024	XA=FLOAT(NA)	00003100
32	00025	XB=XA/100.	00003200
33	00026	NN= NA	00003300
34	00027	DT=0.5	00003400
35	00028	T=FLOAT(NN)	00003500
36	00029	TO=T*DT	00003600
37		C ***	00003700
38	00030	DO 11 J=1,NS	00003800
39	00031	K1=2+J-1	00003900
40	00032	K2=2+J	00004000
41	00033	OR(K1)=DATA1(15,J)	00004100
42	00034	OR(K2)=DATA1(30,J)	00004200
43	00035	11 CONTINUE	00004300
44	00036	CALL READ2(ODATA,OR,TC)	00004400
45		C ***	00004500
46	00037	CALL HSTAN(H,DATA1,ND,NS)	00004600
47		C ***	00004700
48	00038	DO 40 K=HB,M	00004800
49	00039	KD=K+20-NA	00004900
50	00040	DO 3 I=1,NA	00005000
51	00041	3 DATA(I)=OR(KD+I)	00005100
52		C	00005200
53	00042	CALL REGN(ODATA,NA,KAIKI,IHI,D)	00005300
54	00043	IF(TC.LT.TO) GO TO 8	00005400
55	00044	Y(NA)=DATA(NA)	00005500
56	00045	GO TO 9	00005600
57	00046	8 CONTINUE	00005700
58	00047	CALL TAPA(ODATA,NA)	00005800
59		C	00005900
60	00048	DO 4 I=1,NA	00006000
61	00049	4 C(I)=CMPLX(ODATA(I),O.)	00006100
62	00050	CALL FAST(NA,C,NA,-1)	00006200
63	00051	CALL FILTER(C,NA,TC,TO,IFILT)	00006300
64	00052	DO 5 I=1,NA	00006400
65	00053	5 C(I)=C(I)/T/0.9	00006500
66	00054	CALL FAST(NA,C,NA,+1)	00006600
67	00055	DO 6 I=1,NA	00006700
68	00056	6 Y(I)=REAL(C(I))	00006800
69	00057	9 CONTINUE	00006900
70	00058	DLA(K)= Y(NA)	00007000
71	00059	DO 19 I=1,KAIKI+1	00007100
72	00060	19 DLA(K)= DLA(K) + D(I)*XB**((I-1)	00007200
73	00061	STA(K)=H(10*K)	00007300
74	00062	40 CONTINUE	00007400
75		C ***	00007500
76	00063	DO 88 I=HB,M	00007600
77	00064	HA=STA(I)/100.	00007700
78	00065	HB=DLA(I)/100.	00007800
79	00066	HO(I)=ODATA(20*I)/100.	00007900
80	00067	HM1(I)=HM(HA)	00008000
81	00068	HM2(I)=HM(HB)	00008100
82	00069	HC1(I)=HC(HA)	00008200
83	00070	HC2(I)=HC(HB)	00008300
84	00071	88 CONTINUE	00008400
85	00072	DO 90 I=LB,LE	00008500
86	00073	QO(I)=QM(V(HO(I-1)),V(HO(I)))	00008600
87	00074	QMS(I)=QM(V(HM1(I-1)),V(HM1(I)))	00008700
88	00075	QMT(I)=QM(V(HM2(I-1)),V(HM2(I)))	00008800
89	00076	QCS(I)=QM(V(HC1(I-1)),V(HC1(I)))	00008900
90	00077	QCT(I)=QM(V(HC2(I-1)),V(HC2(I)))	00009000
91	00078	90 CONTINUE	00009100
92		C *** HYOUN SHIYOH ***	00009200
93		C ***** KSIAN...C:11DOH HEIKIN NASHI, 2IARI)	00009300
94	00079	IF(KSIAN.EQ.1) GO TO 7	00009400
95	00080	CALL QSIAN(1,LB,LE,H,QCS)	00009500
96	00081	CALL QSIAN(2,LB,LE,H,QMS)	00009600
97	00082	7 CONTINUE	00009700
98		C ***	00009800
99	00083	DO 30 I=1,4	00009900
100	00084	SH(I)=0.	00010000
101	00085	30 ALFH(I)=0.	00010100
102	00086	DO 31 I=LB,LE	00010200
103	00087	A=HO(I)-HO(I-1)	00010300
104	00088	ALFH(I)=ALFH(I)+(HC1(I)-HC1(I-1)-A)**2	00010400

105	00089	ALFH(2)=ALFH(2)+(HC2(I)-HC2(I-1)-A)**2	00010500
106	00090	ALFH(3)=ALFH(3)+(HM1(I)-HM1(I-1)-A)**2	00010600
107	00091	ALFH(4)=ALFH(4)+(HM2(I)-HM2(I-1)-A)**2	00010700
108	00092	31 CONTINUE	00010800
109	00093	DO 32 I=1,4	00010900
110	00094	ALFH(I)=ALFH(I)/FLOAT(LE-LB)/10.**2	00011000
111	00095	32 ALFH(I)=SQRT(ALFH(I))	00011100
112	00096	DO 33 I=LB,LE	00011200
113	00097	B=HO(I)	00011300
114	00098	SH(1)=SH(1)+(HC1(I)-B)**2	00011400
115	00099	SH(2)=SH(2)+(HC2(I)-B)**2	00011500
116	00100	SH(3)=SH(3)+(HM1(I)-B)**2	00011600
117	00101	SH(4)=SH(4)+(HM2(I)-B)**2	00011700
118	00102	33 CONTINUE	00011800
119	00103	DO 34 I=1,4	00011900
120	00104	SH(I)=SH(I)/FLOAT(LE-LB+1)	00012000
121	00105	34 SH(I)=SQRT(SH(I))	00012100
122		C ***	00012200
123	00106	DO 86 I=1,4	00012300
124	00107	SD(I)=0.	00012400
125	00108	86 ALFA(I)=0.	00012500
126	00109	DO 87 I=LB,LE	00012600
127	00110	A=QO(I)-QO(I-1)	00012700
128	00111	ALFA(1)=ALFA(1)+(QCS(I)-QCS(I-1)-A)**2	00012800
129	00112	ALFA(2)=ALFA(2)+(QCT(I)-QCT(I-1)-A)**2	00012900
130	00113	ALFA(3)=ALFA(3)+(QMS(I)-QMS(I-1)-A)**2	00013000
131	00114	ALFA(4)=ALFA(4)+(QMT(I)-QMT(I-1)-A)**2	00013100
132	00115	87 CONTINUE	00013200
133	00116	DO 91 I=1,4	00013300
134	00117	ALFA(I)=ALFA(I)/FLOAT(LE-LB)/10.**2	00013400
135	00118	91 ALFA(I)=SQRT(ALFA(I))	00013500
136	00119	DO 27 I=LB,LE	00013600
137	00120	B=QO(I)	00013700
138	00121	SD(1)=SD(1)+(QCS(I)-B)**2	00013800
139	00122	SD(2)=SD(2)+(QCT(I)-B)**2	00013900
140	00123	SD(3)=SD(3)+(QMS(I)-B)**2	00014000
141	00124	SD(4)=SD(4)+(QMT(I)-B)**2	00014100
142	00125	27 CONTINUE	00014200
143	00126	DO 21 I=1,4	00014300
144	00127	SD(I)=SD(I)/FLOAT(LE-LB+1)	00014400
145	00128	21 SD(I)=SQRT(SD(I))	00014500
146		C ***	00014600
147	00129	CALL WRITE(LB,LE,HO,HC1,HC2,HM1,HM2,ALFH,SH,	00014700
148		+ QO,QCS,QCT,QMS,QMT,ALFA,SD,NOC,NOD,NA,TC,IFILT,KSTAN)	00014800
149		C ***** X-Y PLOTTER *****	00014900
150		C CALL XYPLT(NOC,NOD,NA,TC,IFILT,1,1,LE,LE,HO,HC1,HC2)	00015000
151		C CALL XYPLT(NOC,NOD,NA,TC,IFILT,2,1,LE,LE,QO,QCS,QCT)	00015100
152		C CALL XYPLT(NOC,NOD,NA,TC,IFILT,1,2,LE,LE,HO,HM1,HM2)	00015200
153		C CALL XYPLT(NOC,NOD,NA,TC,IFILT,2,2,LE,LE,QO,QMS,QMT)	00015300
154	00130	9999 CONTINUE	00015400
155	00131	8888 CONTINUE	00015500
156	00132	CALL PLOTE	00015600
157	00133	STOP	00015700
158	00134	END	00015800

*PROGRAM SIZE 125312(01E980) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 134, PROGRAM NAME = MAIN, NOT USED CORE = 1728K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
159	00001	SUBROUTINE FAST(N,X,ND,IND)	00015900
160		FAST FOURIER TRANSFORM	00016000
161	00002	COMPLEX X(ND),TEMP,THETA	00016100
162		C	00016200
163	00003	J=1	00016300
164	00004	DO 40 I=1,N	00016400
165	00005	IF(I .GE. J) GO TO 10	00016500
166	00006	TEMP=X(J)	00016600
167	00007	X(J)=X(I)	00016700
168	00008	X(I)=TEMP	00016800
169	00009	10 CONTINUE	00016900
170	00010	M=N/2	00017000
171	00011	20 CONTINUE	00017100
172	00012	IF(J .LE. M) GO TO 30	00017200
173	00013	J=J-M	00017300
174	00014	M=M/2	00017400
175	00015	IF(M .GE. 2) GO TO 20	00017500
176	00016	30 CONTINUE	00017600
177	00017	J=J+M	00017700
178	00018	40 CONTINUE	00017800
179	00019	KMAX=1	00017900
180	00020	50 CONTINUE	00018000
181	00021	ISTEP=KMAX*2	00018100
182	00022	DO 70 K=1,KMAX	00018200
183	00023	THETA=CMPLX(0.0, 3.141593*FLOAT(IND*(K-1)))/FLOAT(KMAX)	00018300
184	00024	DO 60 I=K,N,ISTEP	00018400
185	00025	J=I+KMAX	00018500
186	00026	TEMP=X(J)*CEXP(THETA)	00018600
187	00027	X(J)=X(I)-TEMP	00018700
188	00028	X(I)=X(I)+TEMP	00018800
189	00029	60 CONTINUE	00018900
190	00030	70 CONTINUE	00019000
191	00031	KMAX=ISTEP	00019100
192	00032	IF(KMAX .LT. N) GO TO 50	00019200
193	00033	RETURN	00019300
194	00034	END	00019400

*PROGRAM SIZE 2500(0009C4) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 34, PROGRAM NAME = FAST, NOT USED CORE = 1802K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
195	00001	SUBROUTINE REG1(A,ND,A0,A1)	00019500
196	00002	DIMENSION A(1)	00019600
197		C *** Y=A0+A1*I	00019700

198	00003	A1=(A(ND)-A(1))/FLOAT(ND-1)	00019800
199	00004	A0=(A(1)+FLOAT(ND)-A(ND))/FLOAT(ND-1)	00019900
200	00005	DO 1 I=1,ND	00020000
201	00006	1 A(1)=A(1)-(A1+FLOAT(1)+A0)	00020100
202	00007	RETURN	00020200
203	00008	END	00020300

*PROGRAM SIZE 1056(000448) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 8, PROGRAM NAME = REG1, NOT USED CORE = 1810K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
204	00001	SUBROUTINE REG2(A,ND,A0,A1,A2)	00020400
205	00002	IMPLICIT REAL*8(X,Y,D)	00020500
206	00003	DIMENSION A(ND)	00020600
207		C *** Y=D0+D1+I+D2+I**2	00020700
208		C *** I=I/DNORM	00020800
209	00004	DNORM=100.	00020900
210	00005	IHI=1.0	00021000
211	00006	X0=FLOAT(ND*(IHI+1))/2.0	00021100
212	00007	X1=0.	00021200
213	00008	X2=0.	00021300
214	00009	X3=0.	00021400
215	00010	X4=0.	00021500
216	00011	Y=0.	00021600
217	00012	YX=0.	00021700
218	00013	YXX=0.	00021800
219	00014	DO 1 I=1,ND	00021900
220	00015	OMOMI=1.0+FLOAT(I-1)*FLOAT(IHI-1)/FLOAT(ND-1)	00022000
221	00016	X1=X1+(FLOAT(I)/DNORM)*OMOMI	00022100
222	00017	X2=X2+(FLOAT(I)/DNORM)**2*OMOMI	00022200
223	00018	X3=X3+(FLOAT(I)/DNORM)**3*OMOMI	00022300
224	00019	X4=X4+(FLOAT(I)/DNORM)**4*OMOMI	00022400
225	00020	Y=Y+A(I)	00022500
226	00021	YX=YX+A(I)*(FLOAT(I)/DNORM)*OMOMI	00022600
227	00022	YXX=YXX+A(I)*(FLOAT(I)/DNORM)**2*OMOMI	00022700
228	00023	1 CONTINUE	00022800
229	00024	D=X0*X2+X4+X1*X3+X2**2.-X0*X3**2-X1**2+X4-X2**3	00022900
230	00025	DO=Y*X2+X4+X1*X3+YXX+X2*YX+X3-Y*X3**2-X1*YX+X4-X2**2+YXX	00023000
231	00026	D1=X0*YX+X4+Y*X3+X2+X1*YXX-X0*X3+YXX-Y*X1+X4-X2**2+YX	00023100
232	00027	D2=X0*X2+YXX+X1*YX+X2+Y*X1+X3-X0*X3+YX-X1**2+YXX-X2**2+Y	00023200
233	00028	A0=D0/D	00023300
234	00029	A1=D1/D	00023400
235	00030	A2=D2/D	00023500
236	00031	DO 2 I=1,ND	00023600
237	00032	2 A(I)=A(I)-(A0+A1*(FLOAT(I)/DNORM)+A2*(FLOAT(I)/DNORM)**2)	00023700
238	00033	RETURN	00023800
239	00034	END	00023900

*PROGRAM SIZE 2100(000834) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 34, PROGRAM NAME = REG2, NOT USED CORE = 1802K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
240	00001	SUBROUTINE REGN(D,ND,N,IHI,A)	00024000
241	00002	REAL*8 Z(10,10)	00024100
242	00003	DIMENSION D(ND),A(10),B(10)	00024200
243		C *** Y=A(1)+A(2)+X+A(3)+X**2+A(4)+X**3+....+A(N+1)+X**N	00024300
244		C *** X=1/DNORM	00024400
245	00004	DNORM=100.0	00024500
246	00005	DO 1 J=1,10	00024600
247	00006	DO 1 I=1,10	00024700
248	00007	1 Z(I,J)=0.0	00024800
249	00008	DO 2 K=1,ND	00024900
250	00009	OMOMI=1.0+FLOAT(K-1)*FLOAT(IHI-1)/FLOAT(ND-1)	00025000
251	00010	X=FLOAT(K)/DNORM	00025100
252	00011	DO 3 I=1,N+1	00025200
253	00012	3 B(I)=X***(I-1)	00025300
254	00013	B(N+2)=D(K)	00025400
255	00014	DO 2 I=1,N+2	00025500
256	00015	DO 2 J=1,N+2	00025600
257	00016	2 Z(I,J)=Z(I,J)+B(I)*B(J)*OMOMI	00025700
258		C	00025800
259	00017	DO 4 K=1,N+1	00025900
260	00018	G=Z(K,K)	00026000
261	00019	DO 5 I=1,N+2	00026100
262	00020	5 Z(I,K)=Z(I,K)/G	00026200
263	00021	Z(K,K)=1.0/G	00026300
264	00022	DO 9 I=1,N+2	00026400
265	00023	IF(I.EQ.K) GO TO 9	00026500
266	00024	DO 6 J=1,N+2	00026600
267	00025	IF(J.EQ.K) GO TO 6	00026700
268	00026	Z(I,J)=Z(I,J)-Z(I,K)*Z(K,J)	00026800
269	00027	6 CONTINUE	00026900
270	00028	9 CONTINUE	00027000
271	00029	DO 7 J=1,N+2	00027100
272	00030	IF(J.EQ.K) GO TO 7	00027200
273	00031	Z(K,J)=Z(K,J)/G	00027300
274	00032	7 CONTINUE	00027400
275		C	00027500
276	00033	4 CONTINUE	00027600
277	00034	DO 8 J=1,N+1	00027700
278	00035	8 A(J)=Z(J,N+2)	00027800
279	00036	DO 12 I=1,ND	00027900
280	00037	X=FLOAT(I)/DNORM	00028000
281	00038	DO 12 J=1,N+1	00028100
282	00039	12 D(I)=D(I)-A(J)*X***(J-1)	00028200
283	00040	RETURN	00028300
284	00041	END	00028400

*PROGRAM SIZE 4948(001354) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 41, PROGRAM NAME = REGN, NOT USED CORE = 1785K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
285	00001	SUBROUTINE TAPA(X,ND)	00028500
286	00002	DIMENSION X(ND)	00028600
287		C *** COS π , ***	00028700
288	00003	N1=FIX(X(FLOAT(ND)/10.+0.5)	00028800
289	00004	N2=ND-N1+1	00028900
290	00005	PI=3.141593	00029000
291	00006	DO 1 I=1,N1	00029100
292	00007	1 X(I)=X(I)+(0.5+0.5+COS(FLOAT(I-1)*PI/FLOAT(N1)+PI))	00029200
293	00008	DO 2 I=N2,ND	00029300
294	00009	2 X(I)=X(I)+(0.5+0.5+COS(FLOAT(I+1-N2)*PI/FLOAT(N1)))	00029400
295	00010	RETURN	00029500
296	00011	END	00029600

*PROGRAM SIZE 1608(000648) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 11, PROGRAM NAME = TAPA, NOT USED CORE = 1806K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
297	00001	SUBROUTINE FILTER(C,NN2,TC,TO,IFILT)	00029700
298		C TC BUNRI-SHYUKI	00029800
299	00002	COMPLEX C(1)	00029900
300	00003	PI=3.141593	00030000
301	00004	IC=FIX(TO/(TC+1.0))+1	00030100
302	00005	IC1=IC+1	00030200
303	00006	IC2=NN2+1-IC	00030300
304	00007	DO 12 I=IC1,IC2	00030400
305	00008	12 C(I)=(0.0,0.0)	00030500
306	00009	GO TO (1,2,3),IFILT	00030600
307	00010	2 CONTINUE	00030700
308	00011	IC0=(IC-1)/2	00030800
309	00012	IF(IC0.LE.0) GO TO 9	00030900
310	00013	IC1=IC-IC0+1	00031000
311	00014	ICC=MOD(IC,2)	00031100
312	00015	DO 20 I=IC1,IC	00031200
313	00016	J=NN2+2-I	00031300
314	00017	TH=FLOAT((I-IC1+1)*2-ICC)/FLOAT(IC-1)*PI	00031400
315	00018	C(I)=C(I)*(COS(TH)+1.0)/2.0	00031500
316	00019	20 C(J)=C(J)*(COS(TH)+1.0)/2.0	00031600
317	00020	RETURN	00031700
318	00021	3 CONTINUE	00031800
319	00022	DO 30 I=2,IC	00031900
320	00023	J=NN2+2-I	00032000
321	00024	TH=FLOAT(I+2-3)/FLOAT(IC+2-2)*PI	00032100
322	00025	C(I)=C(I)*(COS(TH)+1.0)/2.0	00032200
323	00026	30 C(J)=C(J)*(COS(TH)+1.0)/2.0	00032300
324	00027	RETURN	00032400
325	00028	9 WRITE(6,100) TC,TO	00032500
326	00029	100 FORMAT(///,10X,'*** SETSUDAN SYUKI (TC) ERROR ***',//,	00032600
327		+ 15X,'TC=',F6.1,'(MIN) TO=',F6.1,'(MIN)',///)	00032700
328	00030	STOP ' STOP '	00032800
329	00031	1 RETURN	00032900
330	00032	END	00033000

*PROGRAM SIZE 3744(000EAO) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 32, PROGRAM NAME = FILTER, NOT USED CORE = 1798K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
331	00001	SUBROUTINE WRITE(LB,LE,H0,HC1,HC2,HM1,HM2,ALFH,SH,	00033100
332		+ Q0,QCS,QCT,QMS,QMT,ALFA,SD,NOC,NOD,NA,TC,IFILT,K)	00033200
333	00002	DIMENSION QMS(1),QMT(1),QCS(1),QCT(1),Q0(1),ALFA(1),SD(1)	00033300
334	00003	DIMENSION HM1(1),HM2(1),HC1(1),HC2(1),H0(1),ALFH(1),SH(1)	00033400
335		C *** OUTPUT TO LP	00033500
336	00004	WRITE(6,599) NOC,NOD,NA,TC,IFILT	00033600
337	00005	WRITE(6,600)	00033700
338	00006	DO 10 I=LB,LE	00033800
339	00007	10 WRITE(6,601)(I,H0(1),HC1(1),HC2(1),HM1(1),HM2(1),	00033900
340		+ Q0(1),QCS(1),QCT(1),QMS(1),QMT(1))	00034000
341	00008	WRITE(6,602) (SH(I),I=1,4),(SD(I),I=1,4)	00034100
342	00009	WRITE(6,603) (ALFH(I),I=1,4),(ALFA(I),I=1,4)	00034200
343	00010	599 FORMAT(1H1,/,10X,'***** YUDA DAM (CASE NO.',12,/, DATA NO.',	00034300
344		+ 11,/, NA=',13,/, TC=',F5.1,/, IFILT=',11,/')'	00034400
345	00011	600 FORMAT(1H0,/,T8,'I',T16,'H0 ',T26,'HC1',T36,'HC2',T46,'HM1',	00034500
346		+ T56,'HM2',T70,'Q0 ',T80,'QCS',T90,'QCT',T100,'QMS',	00034600
347		+ T110,'QMT',/)	00034700
348	00012	601 FORMAT(1H,5X,12,2X,5F10.3,4X,5F10.3)	00034800
349	00013	602 FORMAT(1H0,2X,' S-D ',11X,4F10.5,14X,4F10.3)	00034900
350	00014	603 FORMAT(1H,2X,'SMOOTH',11X,4F10.5,14X,4F10.3)	00035000
351		C *** OUTPUT TO DISK	00035100
352	00015	ITC=TC	00035200
353	00016	DO 1 I=1,4	00035300
354	00017	ALFH(I)=ALFH(I)+100.0	00035400
355	00018	1 SH(I)=SH(I)+100.0	00035500
356	00019	IF(NOD.EQ.1) WRITE(6,700) NA,ITC,IFILT	00035600
357	00020	WRITE(6,701) (SH(I),I=1,4),(SD(I),I=1,4),(ALFH(I),I=1,4),	00035700
358		+ (ALFA(I),I=1,4)	00035800
359	00021	700 FORMAT(8110)	00035900
360	00022	701 FORMAT(8F10.3)	00036000
361		C *** CHECK	00036100
362	00023	WRITE(6,699)	00036200
363	00024	699 FORMAT(////)	00036300
364	00025	IF(NOD.EQ.1) WRITE(6,700) NA,ITC,IFILT	00036400
365	00026	WRITE(6,701) (SH(I),I=1,4),(SD(I),I=1,4),(ALFH(I),I=1,4),	00036500
366		+ (ALFA(I),I=1,4)	00036600
367	00027	RETURN	00036700
368	00028	END	00036800

*PROGRAM SIZE 5460(001554) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 28, PROGRAM NAME = WRITE, NOT USED CORE = 1777K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
369	00001	SUBROUTINE READ2(E0,E1,TC)	00036900
370	00002	COMPLEX C(1024)	00037000
371	00003	DIMENSION E0(1),E1(1),X1(1024)	00037100
372	00004	MM=1024	00037200
373	00005	NUM=1024	00037300
374	00006	T=FLOAT(MM)	00037400
375	00007	DT=0.5	00037500
376	00008	TO=DT*FLOAT(MM)	00037600
377	00009	DO 99 I=1,MM	00037700
378	00010	99 X1(I)=E1(I)	00037800
379	00011	CALL REG1(X1,NUM,A0,A1)	00037900
380	00012	DO 10 I=1,MM	00038000
381	00013	10 C(I)=CHPLX(X1(I),0.)	00038100
382	00014	CALL FAST(MM,C,MM,-1)	00038200
383	00015	DO 20 I=1,MM	00038300
384	00016	20 C(I)=C(I)/T	00038400
385	00017	CALL FILTER(C,MM,TC,TO,1)	00038500
386	00018	CALL FAST(MM,C,MM,+1)	00038600
387	00019	DO 40 I=1,MM	00038700
388	00020	40 E0(I)=A0+A1*FLOAT(I)+REAL(C(I))	00038800
389	00021	RETURN	00038900
390	00022	END	00039000

*PROGRAM SIZE 14848(003A00) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 22, PROGRAM NAME = READ2, NOT USED CORE = 1798K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
391	00001	SUBROUTINE HSTAN(H,DATA,ND,NS)	00039100
392	00002	DIMENSION DATA(30,720),H(1)	00039200
393		C *** ND=30	00039300
394		C *** NS=720	00039400
395	00003	DO 1 J=1,NS	00039500
396	00004	1 H(J)=0.	00039600
397	00005	DO 2 J=1,NS	00039700
398	00006	DO 2 I=1,ND	00039800
399	00007	2 H(J)=H(J)+DATA(I,J)	00039900
400	00008	DO 3 J=1,NS	00040000
401	00009	3 H(J)=H(J)/FLOAT(ND)	00040100
402	00010	RETURN	00040200
403	00011	END	00040300

*PROGRAM SIZE 1348(000544) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 11, PROGRAM NAME = HSTAN, NOT USED CORE = 1802K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
404	00001	SUBROUTINE QSTAN(MC,LB,LE,H,Q)	00040400
405	00002	DIMENSION Q(1),H(1)	00040500
406		C *** HC... (1=CM,2=MM)	00040600
407		C *** H-V CURVE H=ELEVATION(M)-100.(M) V=VOLUME(M**3)	00040700
408	00003	V (H)=(92.9*(H+200.))**2-38380.*(H+200.)+3979049.00+1000.	00040800
409		C ***	00040900
410	00004	110=10	00041000
411	00005	DO 1 K=LB,LE	00041100
412	00006	Q(K)=0.0	00041200
413	00007	K10=K*10	00041300
414	00008	DO 2 J=K10-9,K10	00041400
415	00009	HH0=H(J-110)/100.0	00041500
416	00010	HH1=H(J)/100.0	00041600
417	00011	GO TO (10,11),MC	00041700
418	00012	10 HH0=HC(HH0)	00041800
419	00013	HH1=HC(HH1)	00041900
420	00014	GO TO 2	00042000
421	00015	11 HH0=HM(HH0)	00042100
422	00016	HH1=HM(HH1)	00042200
423	00017	2 Q(K)=Q(K)+QM(V(HH0),V(HH1))	00042300
424	00018	1 Q(K)=Q(K)/10.0	00042400
425	00019	RETURN	00042500
426	00020	END	00042600

*PROGRAM SIZE 1876(000754) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 20, PROGRAM NAME = QSTAN, NOT USED CORE = 1802K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
427	00001	FUNCTION QM (V1,V7)	00042700
428	00002	T=60.*10.	00042800
429	00003	QM=(V7-V1)/(T*1.0)	00042900
430	00004	RETURN	00043000
431	00005	END	00043100

*PROGRAM SIZE 392(000188) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 5, PROGRAM NAME = QM, NOT USED CORE = 1814K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
432	00001	C FUNCTION HM (H)	00043200
433		H=ELEVATION(H)	00043300
434	00002	NH=FIX(H)	00043400
435	00003	HH=H-FLOAT(NH)	00043500
436	00004	HH=HH*1000.+0.5	00043600
437	00005	I=FIX(HH)	00043700
438	00006	HM=FLOAT(I)/1000.+FLOAT(NH)	00043800
439	00007	RETURN	00043900
440	00008	END	00044000

*PROGRAM SIZE 520(000208) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 8, PROGRAM NAME = HM, NOT USED CORE = 1810K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

506	00062	T(L+1)=YHINI	00050600
507	00063	O(L+2)=DY	00050700
508	00064	S(L+2)=DY	00050800
509	00065	T(L+2)=DY	00050900
510		C ***	00051000
511	00066	DO 5 I=1,L	00051100
512	00067	5 X(I)=I	00051200
513	00068	X(L+1)=0.0	00051300
514	00069	X(L+2)=2.0	00051400
515		C *** X-Y PLOT ***	00051500
516	00070	CALL NEWPEN(1)	00051600
517	00071	CALL RECT(-40.,-15.,240.,300.,0.,3)	00051700
518	00072	CALL RECT(0.,0.,200.,230.,0.,3)	00051800
519	00073	KO(9)= 500 +NOC	00051900
520	00074	KO(17)= 90 +NOD	00052000
521	00075	KK=NA/100	00052100
522	00076	KO(24)=490+KK	00052200
523	00077	IF(KK.EQ.0) KO(24)=0	00052300
524	00078	KO(25)= 500 +NA-KK*100	00052400
525	00079	KK=TC/100	00052500
526	00080	K9(8)=490+KK	00052600
527	00081	IF(KK.EQ.0) K9(8)=0	00052700
528	00082	K9(9)= 500 +TC-KK*100	00052800
529	00083	IF(IFILT.EQ.1) K9(20)=45	00052900
530	00084	IF(IFILT.EQ.1) K9(21)=45	00053000
531	00085	IF(IFILT.EQ.2) K9(20)=45	00053100
532	00086	IF(IFILT.EQ.2) K9(21)=428	00053200
533	00087	IF(IFILT.EQ.3) K9(20)=428	00053300
534	00088	IF(IFILT.EQ.3) K9(21)=428	00053400
535	00089	IF(IHCM.EQ.1) K9(26)=303	00053500
536	00090	IF(IHCM.EQ.2) K9(26)=313	00053600
537	00091	CALL KANJI(60.,215.,5,17,K1,0.)	00053700
538	00092	CALL KANJI(47.,208.,3,35,K0,0.)	00053800
539	00093	CALL KANJI(47.,203.,3,35,K9,0.)	00053900
540		C *** X-JIKU ***	00054000
541	00094	CALL KANJI(47.,-12.,4,7,K2,0.)	00054100
542	00095	DO 23 I=1,5	00054200
543	00096	23 TIME1(I)=TIME(I,NOD)	00054300
544	00097	CALL SYMBOL(85.,-12.,4.,TIME1,0.,20)	00054400
545	00098	X1=-5.0	00054500
546	00099	DO 20 I=LB-1,LE+2	00054600
547	00100	X1=X1+5.0	00054700
548	00101	IF(MOD(I,3).NE.0) GO TO 20	00054800
549	00102	FUN=I*10	00054900
550	00103	CALL PLOT(X1,0.,3)	00055000
551	00104	CALL PLOT(X1,-1.,2)	00055100
552	00105	CALL NUMBER(X1,-5.,3.,FUN,0.,-1)	00055200
553	00106	20 CONTINUE	00055300
554		C *** Y-JIKU ***	00055400
555	00107	CALL KANJI(-24.,56.,5,4,K5,90.)	00055500
556	00108	DO 24 I=1,4	00055600
557	00109	24 TITL1(I)=TITL(I,IHQ)	00055700
558	00110	CALL SYMBOL(-24.,80.,4.,TITL1,90.,16)	00055800
559	00111	IF(IHQ.EQ.2) GO TO 21	00055900
560	00112	HMETER=HMETER+200.0	00056000
561	00113	CALL NUMBER(999.,999.,4.,HMETER,90.,-1)	00056100
562	00114	CALL SYMBOL(999.,999.,4.,'M',90.,2)	00056200
563	00115	21 HQ=YMINO-FLOAT(IYSTEP)	00056300
564	00116	DO 22 I=1,21	00056400
565	00117	Y1=(I-1)*10	00056500
566	00118	CALL PLOT(0.,Y1,3)	00056600
567	00119	CALL PLOT(-1.4,Y1,2)	00056700
568	00120	IF(MOD(I,2).EQ.0) GO TO 22	00056800
569	00121	HQ=HQ+FLOAT(IYSTEP)	00056900
570	00122	CALL NUMBER(-12.,Y1,3.,HQ,0.,-1)	00057000
571	00123	22 CONTINUE	00057100
572		C *** CALL LINE ***	00057200
573	00124	CALL NEWPEN(1)	00057300
574	00125	YO(1)=190.0	00057400
575	00126	YO(2)=YO(1)	00057500
576	00127	YM=YO(1)-2.0	00057600
577	00128	CALL LINE(X0,Y0,2,1,0,1)	00057700
578	00129	CALL KANJI(190., YM ,4,5,K6,0.)	00057800
579	00130	CALL LINE(X0,L,1,0,1)	00057900
580	00131	CALL NEWPEN(2)	00058000
581	00132	YO(1)=YO(1)-10.0	00058100
582	00133	YO(2)=YO(1)	00058200
583	00134	YM=YO(1)-2.0	00058300
584	00135	CALL LINE(X0,Y0,2,1,1,2)	00058400
585	00136	CALL KANJI(190., YM ,4,5,K7,0.)	00058500
586	00137	CALL LINE(X,S,L,1,1,2)	00058600
587	00138	CALL NEWPEN(2)	00058700
588	00139	YO(1)=YO(1)-10.0	00058800
589	00140	YO(2)=YO(1)	00058900
590	00141	YM=YO(1)-2.0	00059000
591	00142	CALL LINE(X0,Y0,2,1,1,3)	00059100
592	00143	CALL KANJI(190., YM ,4,5,K8,0.)	00059200
593	00144	CALL LINE(X,T,L,1,1,3)	00059300
594		C ***	00059400
595	00145	RETURN	00059500
596	00146	END	00059600

*PROGRAM SIZE 6744(001A58) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 146. PROGRAM NAME = XYPLOT, NOT USED CORE = 245K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

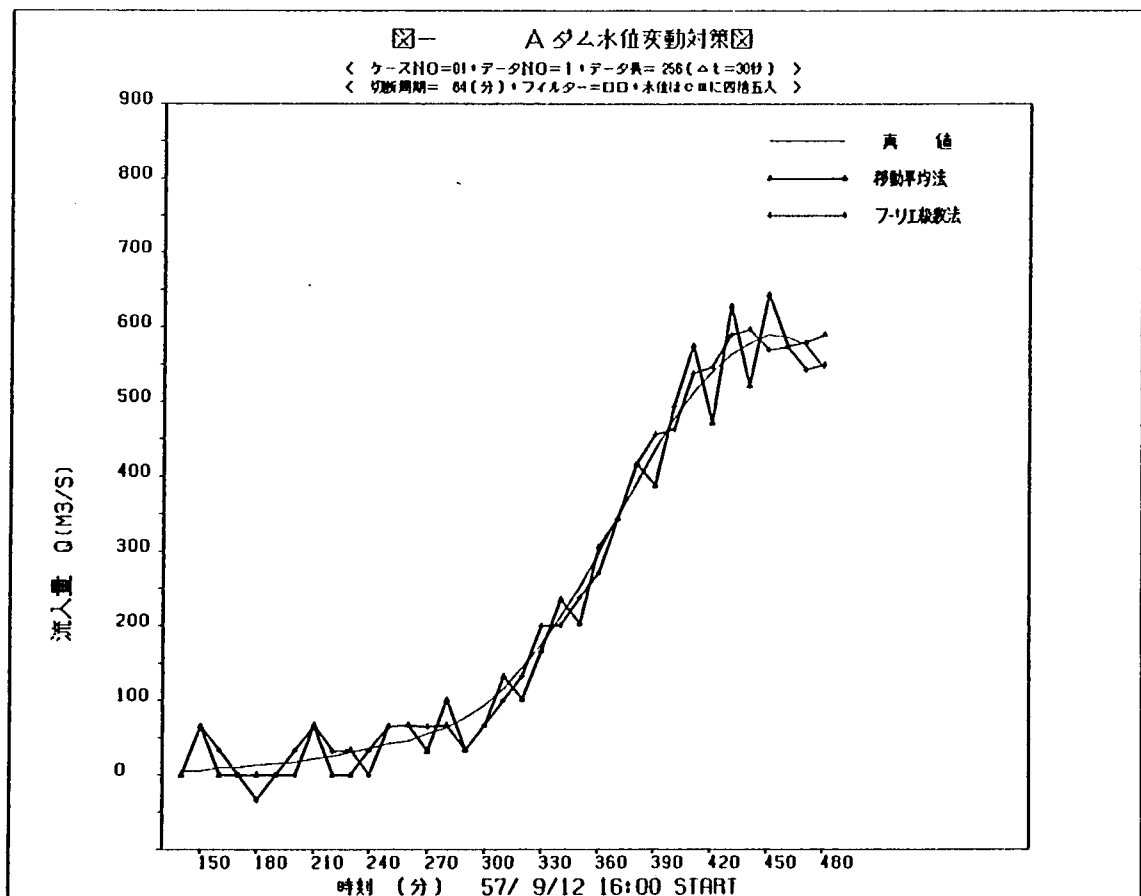
*PROGRAM UNITS = 14. NO DIAGNOSTICS GENERATED

付録D. 4 結果出力例(ラインプリンター)

***** A DAM (CASE NO. 1, DATA NO.1, NA=256, TC= 64.0, IFILT=1)

I	H0	HC1	HC2	HM1	HM2	Q0	QCS	QCT	QMS	QMT
14	17.120	17.110	17.110	17.110	17.111	4.987	0.0	0.0	0.0	13.333
15	17.122	17.130	17.130	17.130	17.128	5.013	65.013	65.013	65.013	55.013
16	17.125	17.130	17.140	17.130	17.139	10.000	0.0	33.333	0.0	36.667
17	17.128	17.130	17.140	17.130	17.139	10.000	0.0	0.0	0.0	0.0
18	17.132	17.130	17.130	17.130	17.134	13.333	0.0	-33.333	0.0	-16.667
19	17.136	17.130	17.130	17.130	17.129	14.987	0.0	0.0	0.0	-15.013
20	17.142	17.140	17.130	17.140	17.135	16.667	33.333	0.0	33.333	18.347
21	17.148	17.160	17.150	17.160	17.147	21.680	64.987	66.667	64.987	38.320
22	17.156	17.160	17.160	17.160	17.163	24.987	0.0	31.653	0.0	53.333
23	17.165	17.160	17.170	17.160	17.167	30.000	0.0	33.333	0.0	13.333
24	17.176	17.170	17.170	17.170	17.174	35.013	33.333	0.0	33.333	23.333
25	17.188	17.190	17.190	17.190	17.193	41.653	65.013	65.013	65.013	61.680
26	17.202	17.210	17.210	17.214	17.209	45.013	66.667	66.667	80.000	53.333
27	17.219	17.220	17.230	17.220	17.227	54.987	31.653	64.987	18.320	60.000
28	17.238	17.250	17.250	17.246	17.246	63.333	100.000	66.667	88.347	63.333
29	17.261	17.260	17.260	17.257	17.261	76.667	33.333	33.333	34.987	48.320
30	17.289	17.280	17.280	17.282	17.282	93.333	66.667	66.667	81.680	68.347
31	17.324	17.320	17.310	17.320	17.313	115.013	131.680	100.000	126.667	104.987
32	17.367	17.350	17.350	17.354	17.354	143.333	101.653	133.333	113.333	135.013
33	17.419	17.400	17.410	17.405	17.406	174.987	166.667	200.000	171.653	174.987
34	17.482	17.470	17.470	17.470	17.471	211.680	235.013	201.680	218.347	220.000
35	17.556	17.530	17.540	17.530	17.540	251.653	203.333	238.320	203.333	233.333
36	17.643	17.620	17.620	17.620	17.621	296.667	306.667	271.680	306.667	275.013
37	17.743	17.720	17.720	17.720	17.723	345.013	343.333	343.333	343.333	351.653
38	17.855	17.840	17.840	17.844	17.838	390.000	416.667	416.667	431.653	398.346
39	17.979	17.950	17.970	17.949	17.965	434.987	388.320	456.667	368.346	446.667
40	18.113	18.090	18.100	18.085	18.103	476.667	495.013	463.333	483.333	488.320
41	18.255	18.250	18.250	18.247	18.252	511.680	574.987	538.320	581.653	538.346
42	18.403	18.380	18.400	18.385	18.402	540.000	471.680	546.667	500.000	544.987
43	18.556	18.550	18.560	18.549	18.559	563.333	628.320	590.000	605.013	578.346
44	18.711	18.690	18.720	18.693	18.716	578.320	521.680	596.667	538.320	588.320
45	18.866	18.860	18.870	18.860	18.868	590.000	643.333	570.000	631.680	575.013
46	19.020	19.010	19.020	19.006	19.019	586.667	574.987	573.333	558.320	578.320
47	19.168	19.160	19.160	19.160	19.164	576.667	580.000	543.333	596.667	563.333
48	19.307	19.310	19.300	19.306	19.303	545.013	590.000	550.000	573.333	545.013
S-D		0.01324	0.01067	0.01293	0.00962					
SMOOTH		0.00102	0.00073	0.00094	0.00055		34.975	24.319	32.446	18.177
							6.087	3.118	5.517	1.963
256	64	1								
1.324	1.067	1.293	0.962	34.975	24.319	32.446	18.177			
0.102	0.073	0.094	0.055	6.087	3.118	5.517	1.963			

付録D. 5 結果出力例(XYプロッター)



貯水池流入量把握方法に
関する一検討

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2302号
昭和61年2月(1986)
佐々木 元, 森 北 佳昭

キーワード: 貯水池水位変動, 水位計, セイシュ, 振動吸収ダンパー,
パワースペクトル, 移動平均, フーリエ級数,
カルマンフィルター

要 旨

ダム流入量は貯水池操作における最も重要な情報であり, 流入量を適確に把握することが安全かつ効果的な貯水池操作を実施する上で必須条件である。本報告書は, このようなダム流入量の重要性に鑑み, いかに適確にこれを算定するかを目的として行った研究成果をとりまとめたものであり,

- (1) 流入量算定方法の整理と問題点
 - (2) 水位変動の実態とその要因
 - (3) 水位変動対策のうち, 特にフーリエ級数を用いた貯水位推定方法(ソフト的対策)の検討と実管理ダムへの導入結果
- 等について報告するものである。

郵便はがき

305-□□

を40円切手
下はいて

建設省土木研究所
ダム部 水資源開発研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第 2302 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 ⑩

