

土 木 研 究 所 資 料

コア材料の品質管理試験に関する 統計的評価

平成2年9月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

「Copyright ©(1990) 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。」

コア材料の品質管理試験に関する 統計的評価

フィルダム研究室 室長 松 本 徳 久

清水建設(株) 加 瀬 俊 久*

フィルダム研究室 伊 藤 基 博

*前フィルダム研究室 部外研究員
(1988年4月～1989年8月)

要 旨

フィルダムにおける品質管理試験は、堤体材料ならびに盛土施工の合否を判定するために実施されている。現在までに多数のフィルダムが建設され、これに判って品質管理試験の方法が確立されてきたが、品質管理をより合理化、効率化する課題がまだ残されていると考えられる。

本報告では、フィルダムの構成材料の一つであるコア材料について、品質管理データを統計的手法を用いて整理することにより、①品質管理試験における管理基準値の設定方法、②堤体盛土の平均的性質の解釈、③品質管理試験の実施頻度の設定方法、④品質管理試験の簡略化(合理化)、について考察を加えた結果を述べている。

結果として、①管理基準値は設計値から決めるのではなく、実際のデータの分布形状から設定するのが妥当であること、②堤体盛土の平均的性質は、データのばらつきの中の長期変動成分を考慮して幅を持たせとらえることが可能であること、③データ集団において、統計上の諸性質に変化がなければ試験頻度は減らすことが可能であること、④重回帰分析によりデータの予測式の設定が可能であり、これを用いることにより試験項目の削減が可能であること、等が確認された。

キーワード：フィルダム，コア材料，品質管理，正規分布，自己相関係数，移動平均，
重回帰分析

目 次

1 . 序	1
2 . 試験データ	3
3 . 試験データの統計処理	6
3 .1 データの分布形状ならびに基本統計量による検討	8
3 .1 .1 試験データの正規分布への適合性判定	19
3 .1 .2 基本統計量による日常管理データと高密度試験データの比較	30
3 .1 .3 現場管理値に対するデータの分布形状（D値について）	37
3 .1 .4 味噌川と三国川のデータのばらつき度の比較	39
3.2 時系列データの統計処理による検討	40
3 .2 .1 自己相関係数の算出	40
3 .2 .2 移動平均法による時系列データの処理	46
3 .2 .3 長期変動成分に着目した場合のデータのばらつき度の解釈	65
3.3 データ測定頻度を変化させた場合の検討	67
3.4 重回帰分析による管理データの予測手法	91
3 .4 .1 重回帰分析について	91
3 .4 .2 D値の重回帰分析結果	92
3 .4 .3 Kの重回帰分析結果	107
4 . まとめ	112
5 . 品質管理試験についての考察	115

1. 序

フィルダムの堤体材料における品質管理の目的は、堤体の構成する各ゾーンが十分に均一で、設計上要求される基準値を満足していることを確認することにある。品質管理の種類としては、①目視による管理、②試験による管理、③埋設計器による管理、が存在するが、毎日の施工管理に用いられるのは①と②であり、③はダム全体のマクロ的チェックと考えられるのが妥当であろう。現在、フィルダムの現場において、品質管理上最も重要視されているのは②の試験による管理であり、得られる試験データにより堤体材料、ならびに堤体盛土施工の合否を判定している。

品質管理においては、平均値が重視される場合と、ばらつきの極値が重視される場合とがある。例えば、せん断強度の場合、円弧すべりのようなすべり面を考えると、すべり面上の総抵抗力が総滑動力に優ることが求められるわけで、このようなときには平均値でよいだろう。また、漏水を少なくするためには、漏水は最も透水係数の大きいところに集中することを考えると透水係数のばらつきの上限値を押さえることが重要になる。ただし、コアゾーンは、十分な幅を持っていることが多く、このときは、盛立面に大きな透水係数の部分の連続性が問題となる。すなわち、薄い表面遮水壁を除いて、余裕のあるコア幅のコアゾーンでは平均値で管理してよいと考えられる。

フィルダムの品質管理試験は、一般の土質試験に準じた形で実施されている。品質管理試験による合否の判定は、通常2点～3点の測定を行い、その平均値と現場において設定される管理基準値とを比較することにより行われる。また、品質管理試験により得られたデータ集団の整理に際しては、①全体の平均値を求めると共にヒストグラムを作成してデータのばらつき状況を把握する、②試験データを測定日毎の折れ線グラフで表示してデータの季節的変動状況を把握する、③相関関係が認めらるデータについて相関係数を算出すると共に散布図を作成してデータの信頼性を確認する、等の統計処理が実施されている。

この、現在実施されている品質管理試験には、以下に示す問題あるいは疑問点が含まれていると考えられる。

① 品質管理試験における管理基準値は、設計値を必ず満足させる様に、設計値に多少の余裕をとって設定されるのが通常である。堤体の平均的性質が設計値を満足すれば良い、との考え方に基づいた場合、管理基準値をどのような形で設定するのが妥当と考えられるか。また、土質データには常にばらつきが存在する。管理基準に満たない試験データが得られた場合に、どのように対処すべきか。

② 盛立材料の季節的、あるいは時期的変動を考慮した場合、堤体盛土の平均的性質もこれに応じて変化すると考えられる。つまり、堤体の平均的性質とは一定の値ではなく、ある幅を持って定義するべきと考えられるが、これをどのように定義するのが妥当と考えられるか。

- ③ 品質管理試験を実施する頻度の基準は、ダム現場により異なる場合が存在し、統一されていない。品質管理試験はどの程度のボリュームを代表させて実施するべきか。あるいは、ある期間に対してどの程度の時間間隔で実施するべきか。
- ④ 試験項目によっては、長い測定時間、あるいは数多くの測定手順を必要とするものがある。このような項目について、他の簡易的試験データを用いて判断することはできないか。つまり、フィルダムにおける品質管理試験の合理化は行い得るか。

本報告では、施工中のフィルダムにおいて得られた品質管理試験データを統計的手法を用いて処理することにより、上記の問題あるいは疑問点についての検討を行った結果について述べている。以下に、統計的手法を用いた検討結果を簡単に記す。

- ① 試験データの分布形状の把握、ならびに基本統計量の算出を行い、データの分布形状を正規分布適合型と仮定した上で、品質管理試験を行う際の管理基準値設定方法に関する検討、および考察を行った。
- ② 時系列データについて、自己相関係数の算出、ならびに移動平均法を用いた統計処理を実施し、データ集団の示す変動成分（ばらつき）を短期変動成分と長期変動成分（データの季節的変動等によるもの）に分割した。そして、堤体の平均的性質を幅を持たせて定義する場合について、この長期変動成分を用いる方法を提案した。
- ③ 時系列データの測定頻度を变化させた場合について、統計処理手法を用いたシュミレーションを実施し、各種統計量の比較を行った。そして、測定頻度を減少させる方向で、測定頻度の変更を行い得る可能性を示した。
- ④ 測定に多大な手間および時間を所要するデータとして、締固め度（D値）と透水係数（k）を選定し、これらを目的変数とした場合の重回帰方程式（予測式）を求めた。また、重回帰方程式により得られた予測値を、観測値と同様のばらつきを所有するデータ集団に補正する方法の提案を行い、品質管理試験の合理化を行い得る可能性を示した。

本報告は、第42回建設省技術研究会の河川部門指定課題「フィルダムの細部技術の研究」の一部として実施された調査結果に基づいている。統計処理に用いた試験データは、フィルダムの品質管理においても最も試験頻度の高いコア材料に関するものを用いており、日常の品質管理試験データの他に、高密度な品質管理試験により得られたデータを用いている。これらの試験データは、北陸地建三国川ダム工事事務所と水資源開発公団味噌川ダム建設所より供与されたものである。

2 . 試験 データ

「まえがき」でも述べたが、本報告において用いた品質管理試験データはフィルダムのコア材料に関するものであり、日常の品質管理試験データの他に高密度な品質管理試験により得られたデータを用いた。以降、前者を「日常管理データ」、後者を「高密度試験データ」と表示することとする。

ここで、日常管理データの測定頻度は、調査対象の両ダム共にコア材料を1リフト盛立毎となっている。なお、盛立厚は三国川ダムが20cm、味噌川ダムが15cmである。一方、高密度試験データは、ある1リフトの盛立面上で集中的に試験を行い、得られたデータである。日常管理データは長期間の測定データであるため、データのばらつきには盛立材料の季節的、時期的変動、また盛立施工時の天候、気温の影響等の要因が含まれている。これに対して、高密度試験データの場合、盛立材料、天候、気温等の影響はある程度一定と考えることが可能であり、データのばらつきの要因には測定誤差が大きな比重を占めると考えられる。日常管理データは、その各々がコア材料盛立1リフト分のボリュームを代表しているのに対し、高密度試験データが代表するボリュームはずっと小さなものである。当然、両者のデータの変動の関係はマクロスケールとミクロスケールとしてとらえられることができる、その関係は図-2.1に示される。高密度試験データの示す変動は、日常管理データの一つの測定間隔に挿入されるものであり、短い周期での変動を示している。

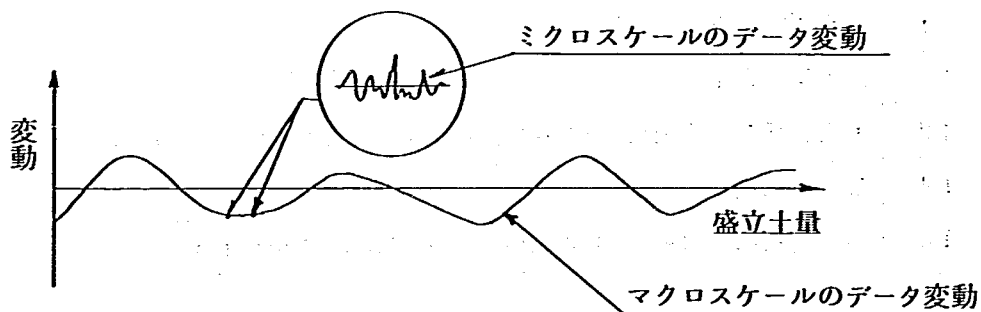


図-2.1 マクロスケールのデータ変動とミクロスケールのデータ変動

以下、日常管理データと高密度試験データの内容について記す。

① 日常管理データ

調査対象の両ダム共に、1リフト盛立毎に品質管理試験を行い、次リフト盛立の可否を判定している。このデータを日常管理データとして用いた。日常管理試験項目を表-2.1に示す。得られたデータ数は三国川ダムで656個、味噌川ダムで464個である。なお、礫の粒径について、三国川ダムでは19.1mmフルイ分けにより、味噌川ダムでは15.9mmフルイ分けにより、それぞれ規定しているため、表中ではこれを並記している。また、透水係数(k)については、1カ月に1回程度の測定頻度となっている。

表-2.1 日常管理試験項目

1	測定日 測定位置
2	乾燥密度 ρ_d (RI法) ρ_{d-RI}
3	乾燥密度 (-19.1mm) $\rho_{d-19.1}$ (-15.9mm) $\rho_{d-15.9}$
4	含水比 ω (RI法) ω_{-RI}
5	含水比 (-19.1mm) $\rho_{d-19.1}$ (-15.9mm) $\rho_{d-15.9}$
6	細粒分率 P_{75}
7	細粒分率 (-19.1mm) $P_{75-19.1}$ (-15.9mm) $P_{75-15.9}$
8	礫率 (+19.1mm) $P_{+19.1}$ (+15.9mm) $P_{+15.9}$
9	D値 D (RI法) D
10	D値 (-19.1mm) $D_{-19.1}$ (-15.9mm) $D_{-15.9}$
11	透水係数 k
12	最大乾燥密度 ρ_{dmax}
13	最大乾燥密度 (-19.1mm) $\rho_{dmax-19.1}$ (-15.9mm) $\rho_{dmax-15.9}$
14	最適含水比 ω_{opt}
15	最適含水比 (-19.1mm) $\omega_{opt-19.1}$ (-15.9mm) $\omega_{opt-15.9}$

② 高密度試験データ

コア盛立面上に900㎡の広さの試験ヤードを確保して、高密度な品質管理試験を実施することにより得られたデータが高密度試験データである。図-2.2に試験ヤード平面図を、表-2.2に試験項目を、それぞれ示す。データ項目は、表-2.1に示した日常管理データと同じである。なお、試験は両ダム共に2時期に分けて実施した。データ数は、1時期につき20個ないし50個である。

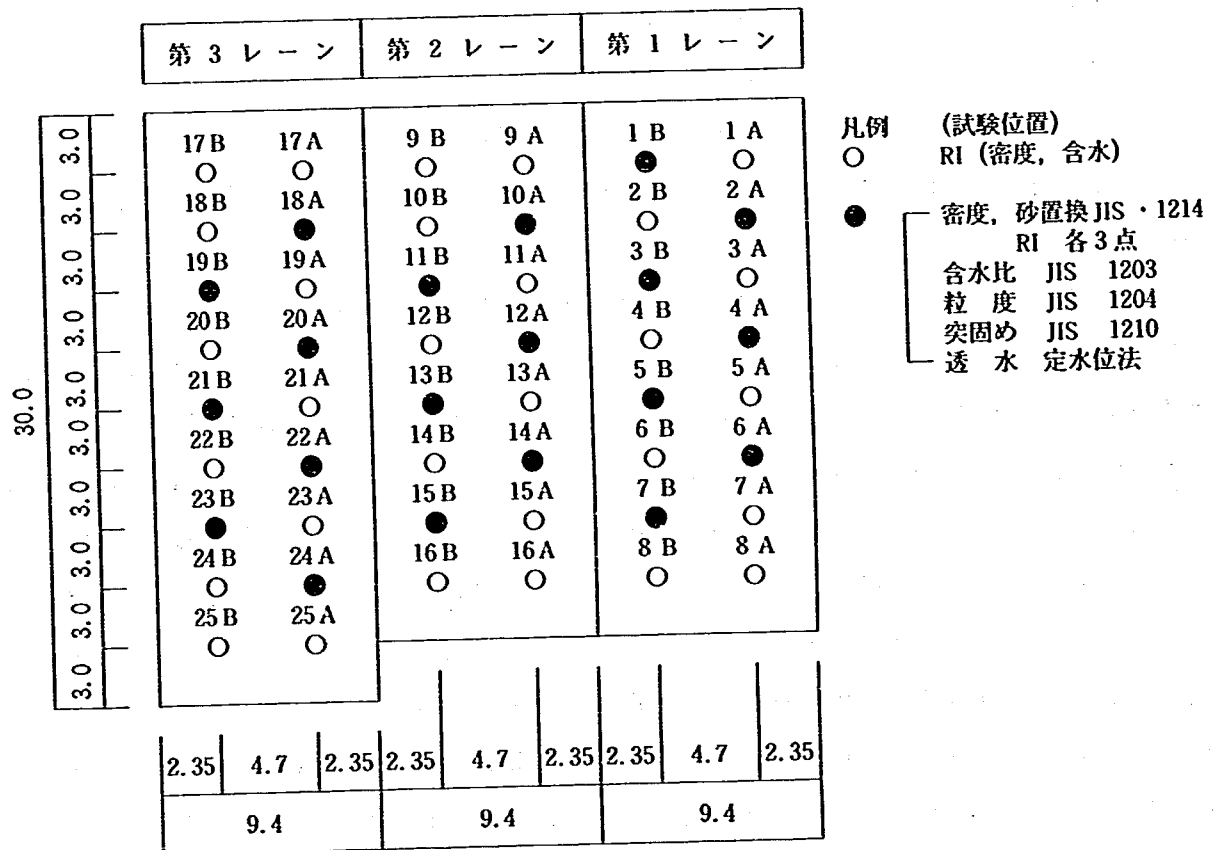


図-2.2 試験ヤード平面図

表-2.2 高密度試験における試験項目

番号	項目	試験回数	方法	備考
①	現場密度	点 時期 20 × 2 = 40 50 × 2 = 100	JISA 1214(砂置換法) RI 法	
②	含水量	20 × 2 = 40 50 × 2 = 100	JISA 1203 RI 法	
③	粒度	20 × 2 = 40	JISA 1204	
④	現場透水	20 × 2 = 40	定水位法	
⑤	突固めによる 特 固 め	20 × 2 = 40	JISA 1210	含水比 5水準

注：試験回数＝測点数×試験時期
(2時期)

3 . 試験データの統計処理

得られたコア材料の品質管理試験データに関して、用いた統計の手法は、大きく分けると以下に示す四つに分けられる。

- ① データの分布形状の把握、ならびに基本統計量の算出
- ② 自己相関係数の算出
- ③ 移動平均法による時系列データの処理
- ④ 重回帰分析による管理データの予測式の作成

試験データは、図-2.1 に示されたように盛立土量に相応した時系列データとしてとらえ得るため、時系列データに関する統計処理（上記の②、③に相当）に重点を置いた。本章の内容の概略を以下に記す。

3. 1 では、データの分布形状、ならびに算出された基本統計量の検討を行った。品質管理で得られる試験データを確率で考えた場合、各種要因（材料の変動、天候、施工条件、測定誤差等）によるばらつきを所有しているが、これらが相互に作用した状態でも平均値付近のデータが得られる確率が最も高くなると考えられ、つまり、データの分布形状は正規分布に適合すると考えた。ここではデータの正規分布への適合性を、カイ2乗 (χ^2) 法ならびに正規確率紙を用いた方法で確認すると共に、平均、不偏分散、不偏分散の平方根、変動係数等の基本統計量の算出を行った。この、算出された基本統計量を用いて日常管理データと高密度試験データの比較、および検討を実施したが、両者の間に明確な差異を見出すには至らなかった。この原因としては、高密度試験データのデータ数が1回当たり20~50個と少なかったこと等が考えられた。また、日常管理データについて、95%確率でのデータ分布範囲の算出を行い、これを品質管理試験の管理基準値に応用する手法についての提案を示した。

3. 2 では、日常管理データを、自己相関係数の算出、ならびに移動平均法という時系列データに対する統計処理手法に当てはめ、データ集団の示す変動成分（ばらつき）を短期変動成分と長期変動成分に分ける手法を示した。コア材料の品質管理データについて、自己相関係数のモデルを用いてデータの変動成分を短期変動成分と長期変動成分に分け得ることは、本城らによって報告されている。ここでは、移動平均法による不偏分散の平方根の減少割合のモデルを用いて、自己相関係数のモデルと同様に、データの変動成分を短期変動成分と長期変動成分に分け得ることを示した。また、この長期変動成分を用いて、堤体の平均的性質を定義する方法の提案を行った。

3. 3 では、日常管理データのデータ測定頻度を減らした場合の統計量を、移動平均法、ならびに自己相関係数を用いて算出した。基本統計量については、データの測定頻度を1/4あるいは1/8に減らしても何ら変わりがない結果が得られたが、測定頻度を減らすと短期変動成分と長期変動成分の割合が変化して行く状況が確認された。

3. 4では、締固め度（D値）と透水係数（k）について、これらを目的変数とした場合の重回帰方程式（予測式）の作成を行った。重相関係数については、0.9程度以上の良好な精度が得られるケースが確認された。また、（観測値のばらつき）＝（予測値のばらつき）＋（残差のばらつき）の関係が成り立つことに着目し、重回帰方程式により得られた予測値を補正することにより、観測値と同様のばらつきを所有するデータ集団の得る方法について述べている。

なお、以降、試験データの各項目について、データ名称を記号で表示を行うものとする。データの表示一覧を表－3. 1に示す。

表－3. 1 データ表示一覧

番号	データ名称	単位	記号
1	乾燥密度	t/m ³	ρ_d
2	" (RI法)	"	ρ_{d-RI}
3	" (-15.9 ^{mm} -19.1 ^{mm})	"	$\rho_{d-15.9}$ $\rho_{d-19.1}$
4	" (-15.9 ^{mm} RI法)	"	$\rho_{d-15.9 RI}$
5	含水比	%	ω
6	" (RI法)	"	ω_{-RI}
7	" (-15.9 ^{mm} -19.1 ^{mm})	"	$\omega_{-15.9}$ $\omega_{-19.1}$
8	-74 μ 含有率	"	P_{74}
9	" (-15.9 ^{mm} -19.1 ^{mm})	"	$P_{74-15.9}$ $P_{74-19.1}$
10	隙率 (+15.9 ^{mm} +19.1 ^{mm})	"	$P_{+15.9}$ $P_{+19.1}$
11	D値		D
12	" (RI法)		D-RI
13	" (-15.9 ^{mm} -19.1 ^{mm})		D-15.9 D-19.1
14	最大乾燥密度	t/m ³	ρ_{dmax}
15	" (-15.9 ^{mm} -19.1 ^{mm})	"	$\rho_{dmax-15.9}$ $\rho_{dmax-19.1}$
16	最適含水比	%	ω_{opt}
17	" (-15.9 ^{mm} -19.1 ^{mm})	"	$\omega_{opt-15.9}$ $\omega_{opt-19.1}$
18	含水比-最適含水比	"	$\omega - \omega_{opt}$
19	" (-15.9 ^{mm} -19.1 ^{mm})	"	$\omega_{-15.9} - \omega_{opt-15.9}$ $\omega_{-19.1} - \omega_{opt-19.1}$

3.1 データの分布形状ならびに基本統計量による検討

品質管理試験データにおけるばらつきの要因としては、盛立材料の変動、天候、気温、施工条件、および試験時のサンプリング条件、測定誤差等が考えられる。この試験データを確率で考えた場合、平均値付近のデータが得られる確率が最も高く、また平均値より大きな値が得られる確率と平均値より小さな値が得られる確率は同等で、データ集団の分布形状は正規分布適合型と考えた。データのばらつきの要因として示した各種条件（盛立材料の変動、天候、気温……etc）をそれぞれ独立した場合、各条件によるデータのばらつき（分布形状）は、それぞれ正規分布適合型である。この各条件を合わせた場合においても、正規分布に適合すると考えるのが妥当であろう。

正規分布の確率密度曲線は、次式で計算される。

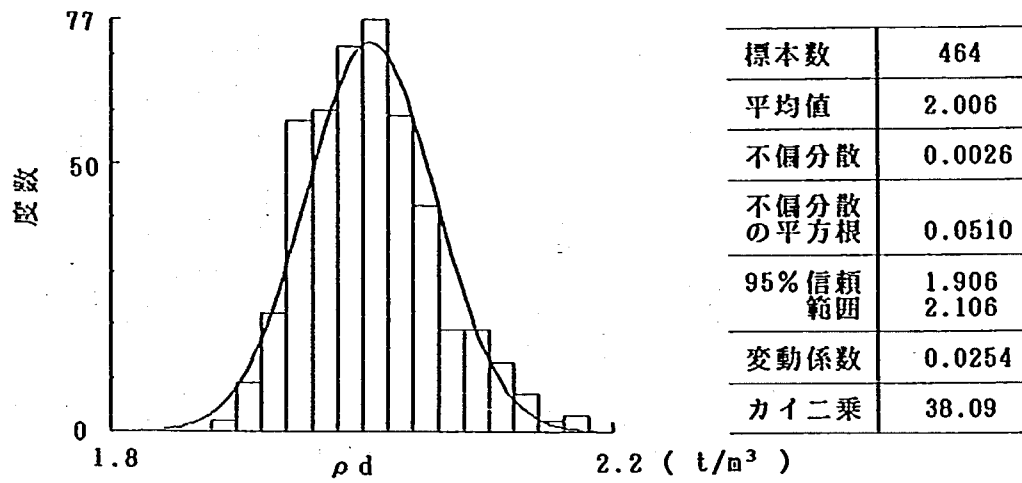
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに、 σ ：母分散の平方根（標準偏差）

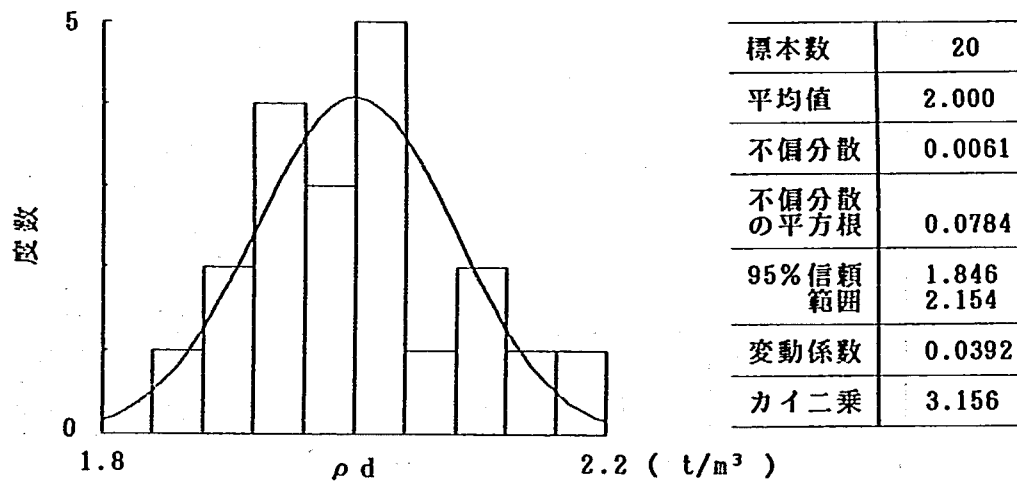
μ ：平均値

図-3.1～3.5に味噌川ダムにおいて得られた日常管理データと高密度試験データのヒストグラム、算出した基本統計量、ならびに(3.1)式により計算した正規分布の確率密度曲線を示す。図-3.6～3.10には、三国川ダムで得られたデータについて同様に示している。図中に示した正規分布の確率密度曲線は(3.1)式により計算し、計算に際しては、 σ 、 μ のかわりにデータの統計量である V （不偏分散の平方根）、 $\bar{x}$ （平均値）を用いた。

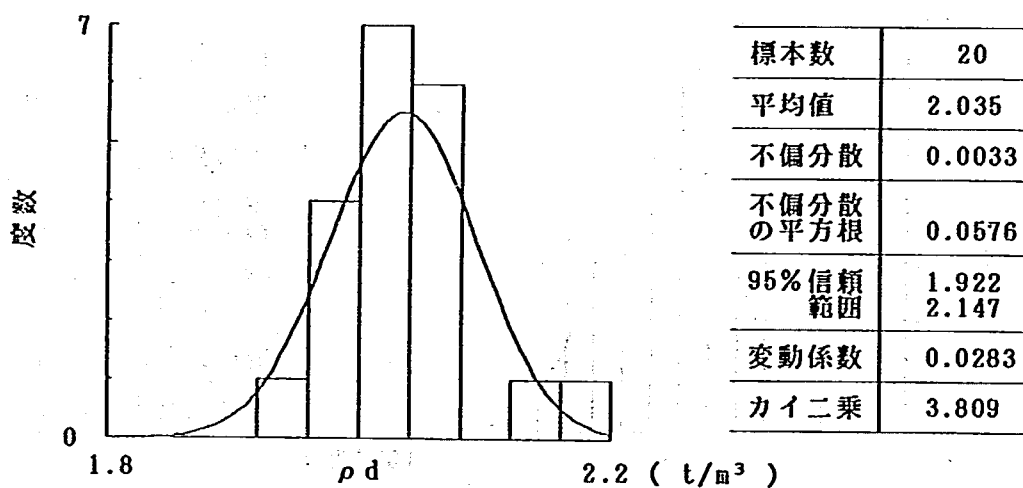
本節では、データの分布形状の正規分布への適合性を検証すると共に、この正規分布の確率密度曲線を用いて、日常管理データと高密度試験データの比較、現場管理値に対する試験データの分布形状、味噌川ダムと三国川ダムのデータのばらつき度の比較について検討した結果を述べるものである。



(a)日常管理データ

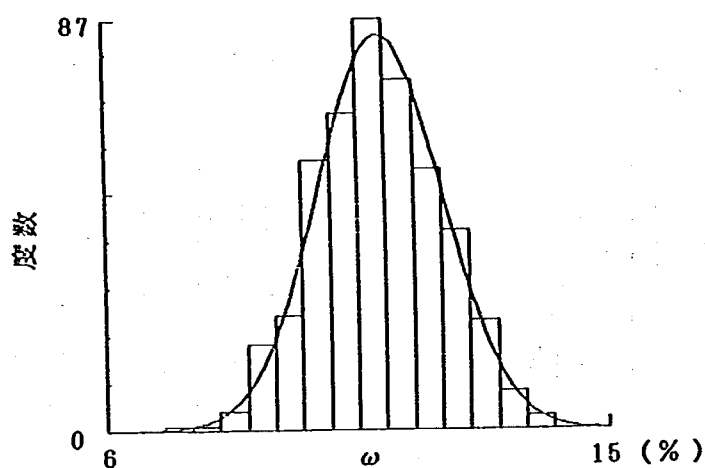


(b)高密度試験データ(1回目)



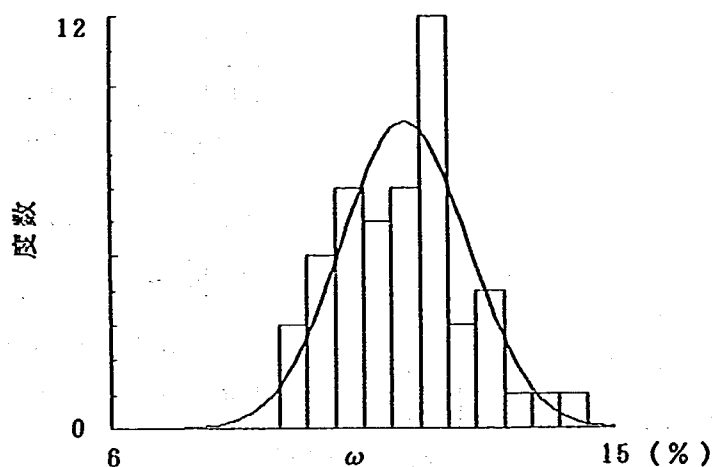
(c)高密度試験データ(2回目)

図-3.1 ρdのヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線 (味噌川ダム)



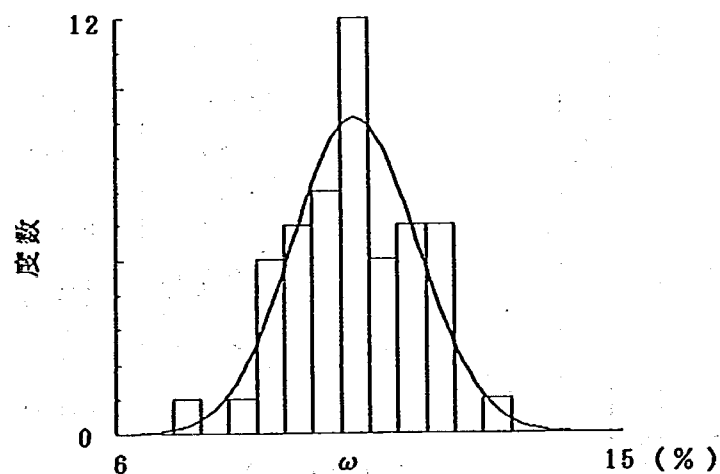
標本数	464
平均値	10.90
不偏分散	1.223
不偏分散の平方根	1.106
95%信頼範囲	8.73 13.07
変動係数	0.101
カイ二乗	4.723

(a)日常管理データ



標本数	50
平均値	11.24
不偏分散	1.253
不偏分散の平方根	1.120
95%信頼範囲	9.05 13.43
変動係数	0.100
カイ二乗	6.193

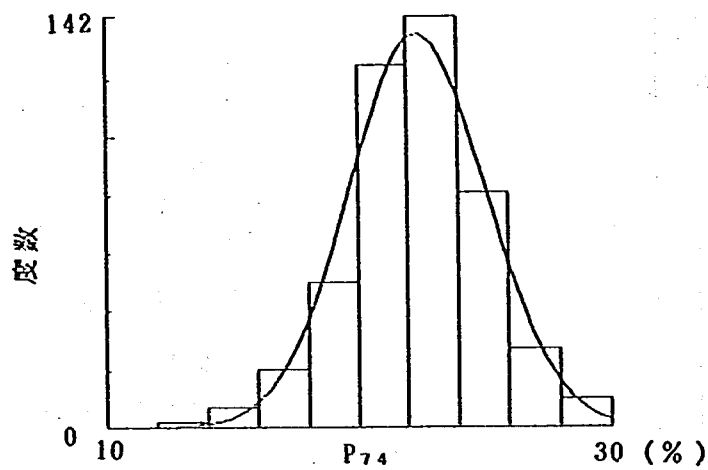
(b)高密度試験データ(1回目)



標本数	50
平均値	10.25
不偏分散	1.201
不偏分散の平方根	1.096
95%信頼範囲	8.10 12.40
変動係数	0.107
カイ二乗	10.393

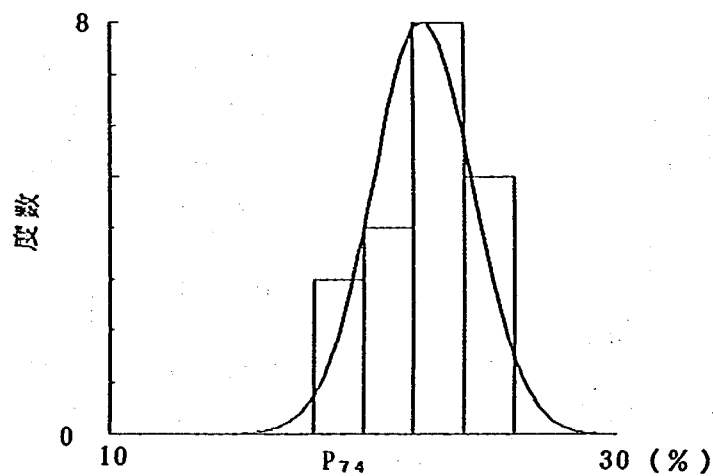
(c)高密度試験データ(2回目)

図-3.2 ωのヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線 (味噌川ダム)



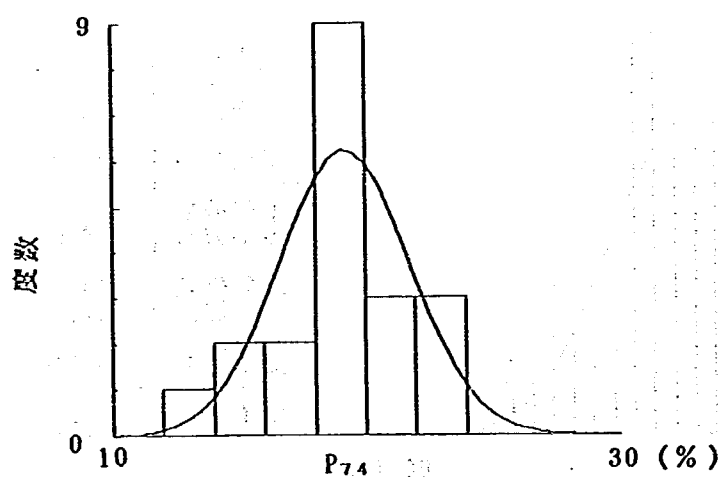
標本数	464
平均値	22.38
不偏分散	7.395
不偏分散の平方根	2.719
95%信頼範囲	17.05 27.71
変動係数	0.121
カイ二乗	12.25

(a)日常管理データ



標本数	20
平均値	22.35
不偏分散	3.928
不偏分散の平方根	1.982
95%信頼範囲	18.47 26.23
変動係数	0.088
カイ二乗	1.424

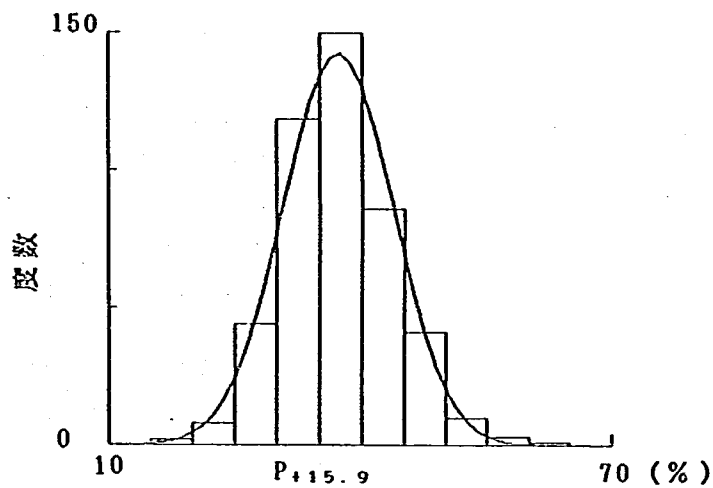
(b)高密度試験データ(1回目)



標本数	20
平均値	19.17
不偏分散	6.576
不偏分散の平方根	2.564
95%信頼範囲	14.14 24.20
変動係数	0.134
カイ二乗	2.830

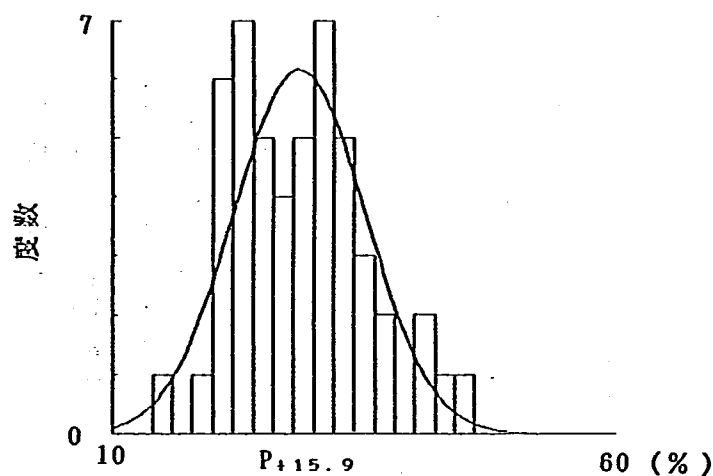
(c)高密度試験データ(2回目)

図-3.3 P₇₄のヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線(味噌川ダム)



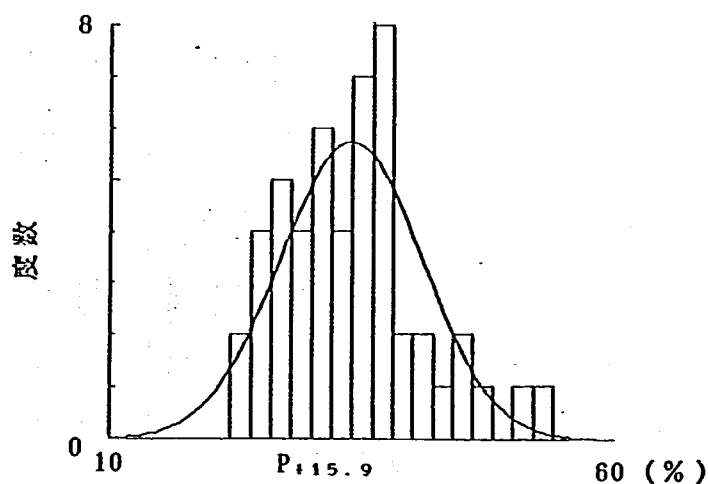
標本数	464
平均値	37.20
不偏分散	42.04
不偏分散 の平方根	6.484
95%信頼 範囲	24.50 49.91
変動係数	0.174
カイ二乗	16.51

(a)日常管理データ



標本数	50
平均値	28.57
不偏分散	41.81
不偏分散 の平方根	6.466
95%信頼 範囲	15.89 41.24
変動係数	0.226
カイ二乗	12.55

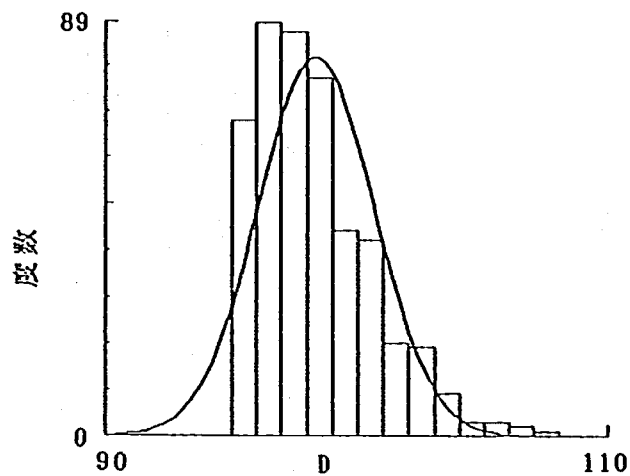
(b)高密度試験データ(1回目)



標本数	50
平均値	33.89
不偏分散	48.41
不偏分散 の平方根	6.957
95%信頼 範囲	20.26 47.53
変動係数	0.205
カイ二乗	19.58

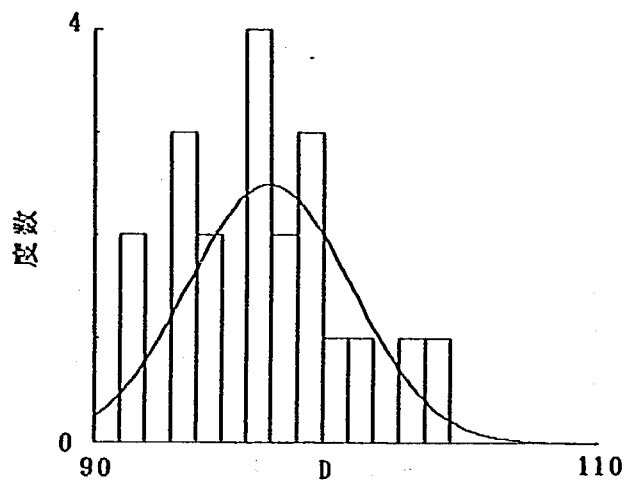
(c)高密度試験データ(2回目)

図-3.4 P+15.9のヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線(味噌川ダム)



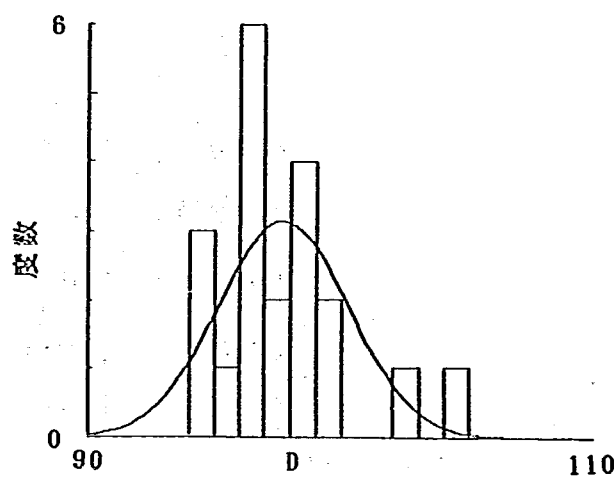
(a)日常管理データ

標本数	464
平均値	98.34
不偏分散	5.161
不偏分散 の平方根	2.272
95%信頼 範囲	93.89 102.79
変動係数	0.023
カイ二乗	265.5



(b)高密度試験データ(1回目)

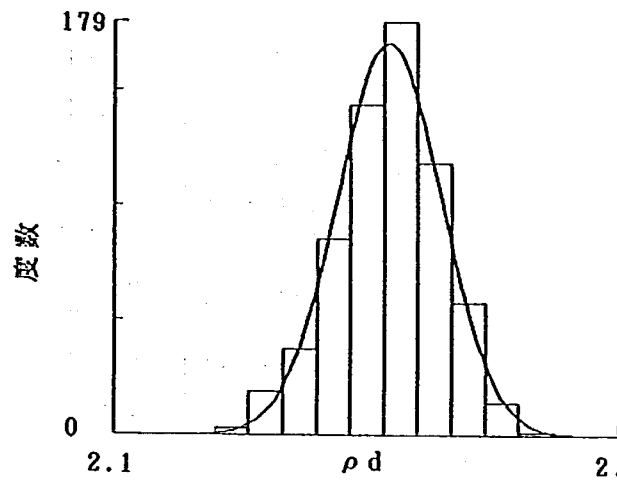
標本数	20
平均値	96.88
不偏分散	10.29
不偏分散 の平方根	3.208
95%信頼 範囲	90.59 103.17
変動係数	0.033
カイ二乗	6.353



(c)高密度試験データ(2回目)

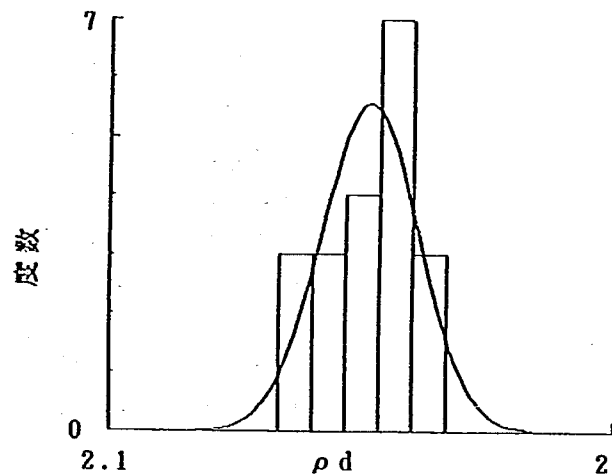
標本数	20
平均値	97.70
不偏分散	6.463
不偏分散 の平方根	2.542
95%信頼 範囲	92.72 102.68
変動係数	0.026
カイ二乗	10.95

図-3.5 Dのヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線 (味噌川ダム)



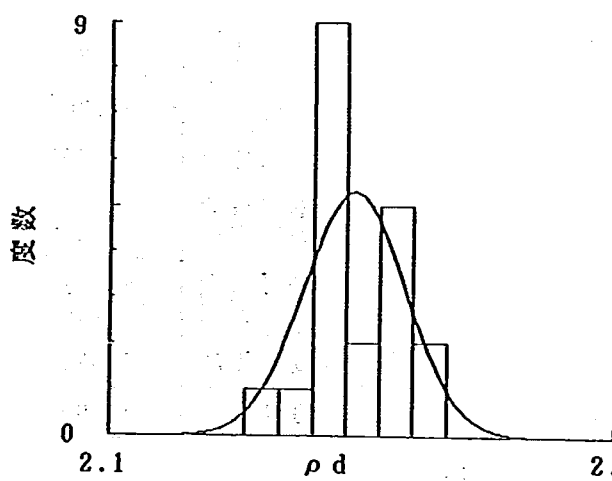
標本数	656
平均値	2.263
不偏分散	0.0010
不偏分散 の平方根	0.0308
95%信頼 範囲	2.203 2.323
変動係数	0.0136
カイ二乗	15.58

(a)日常管理データ



標本数	20
平均値	2.254
不偏分散	0.0008
不偏分散 の平方根	0.0286
95%信頼 範囲	2.198 2.310
変動係数	0.0127
カイ二乗	1.992

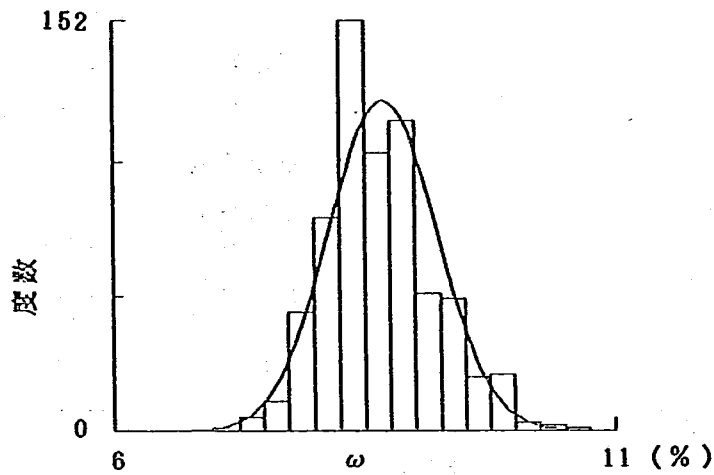
(b)高密度試験データ(1回目)



標本数	20
平均値	2.245
不偏分散	0.0009
不偏分散 の平方根	0.0300
95%信頼 範囲	2.186 2.304
変動係数	0.0134
カイ二乗	10.05

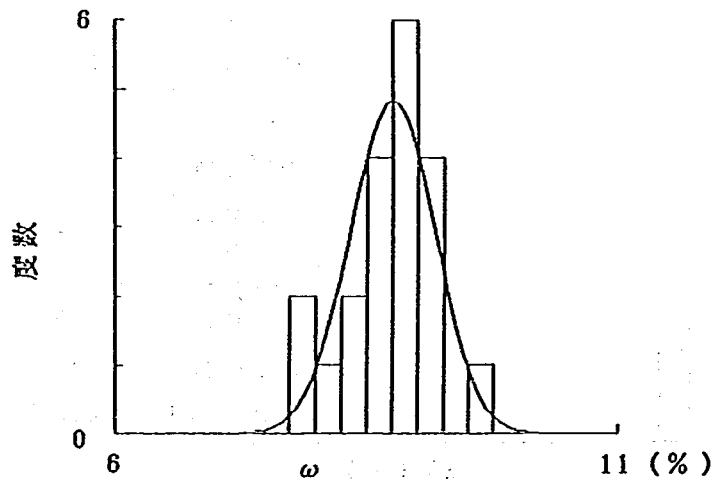
(c)高密度試験データ(2回目)

図-3.6 ρdのヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線 (三国川ダム)



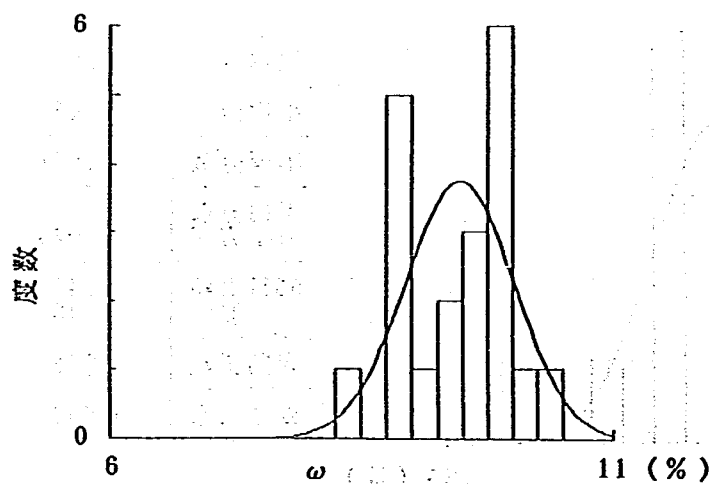
(a)日常管理データ

標本数	656
平均値	8.68
不偏分散	0.284
不偏分散 の平方根	0.533
95%信頼 範囲	7.64 9.73
変動係数	0.061
カイ二乗	72.36



(b)高密度試験データ(1回目)

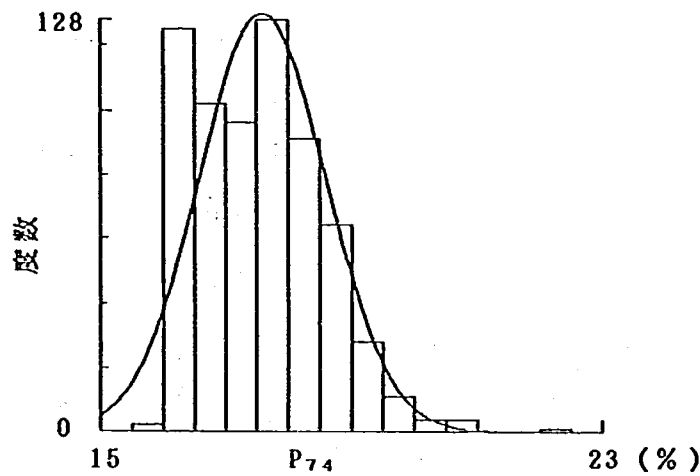
標本数	20
平均値	8.75
不偏分散	0.170
不偏分散 の平方根	0.412
95%信頼 範囲	7.94 9.55
変動係数	0.047
カイ二乗	8.173



(c)高密度試験データ(2回目)

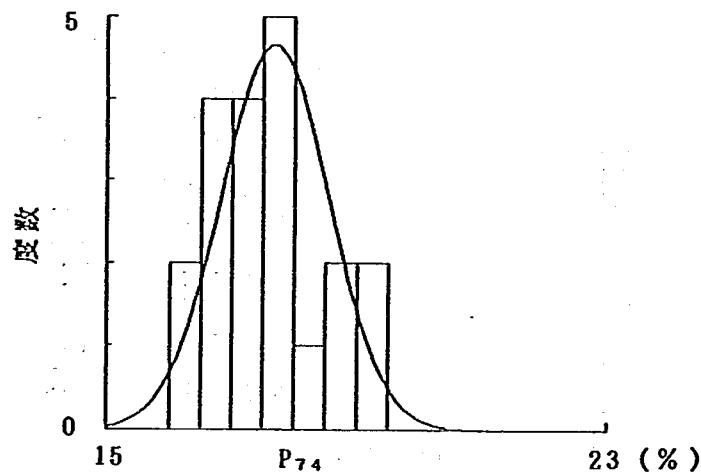
標本数	20
平均値	9.48
不偏分散	0.284
不偏分散 の平方根	0.533
95%信頼 範囲	8.43 10.52
変動係数	0.056
カイ二乗	4.029

図-3.7 ω のヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線 (三国川ダム)



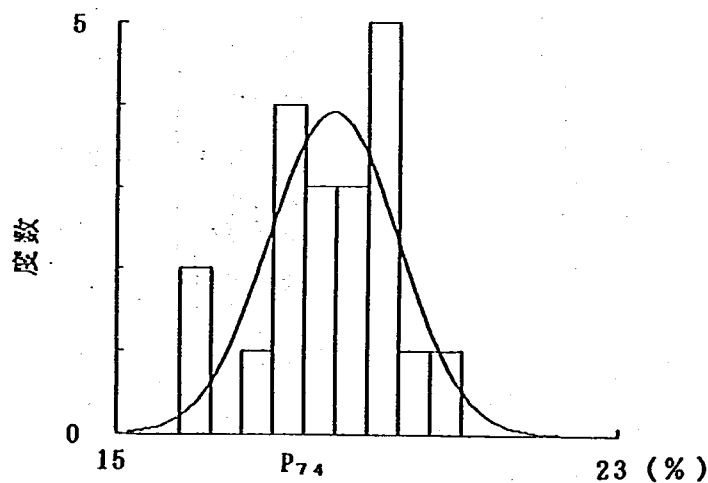
標本数	656
平均値	17.58
不偏分散	1.013
不偏分散 の平方根	1.007
95%信頼 範囲	15.61 19.56
変動係数	0.057
カイ二乗	284.1

(a)日常管理データ



標本数	20
平均値	17.68
不偏分散	0.732
不偏分散 の平方根	0.856
95%信頼 範囲	16.00 19.36
変動係数	0.048
カイ二乗	5.928

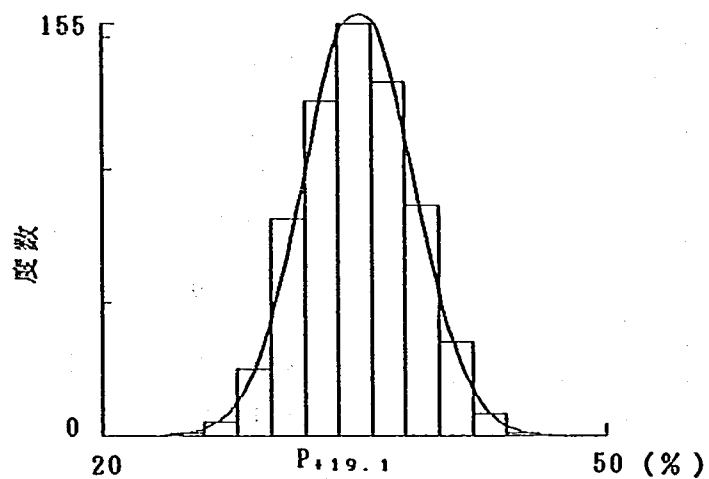
(b)高密度試験データ(1回目)



標本数	20
平均値	18.45
不偏分散	1.041
不偏分散 の平方根	1.020
95%信頼 範囲	16.45 20.45
変動係数	0.055
カイ二乗	9.606

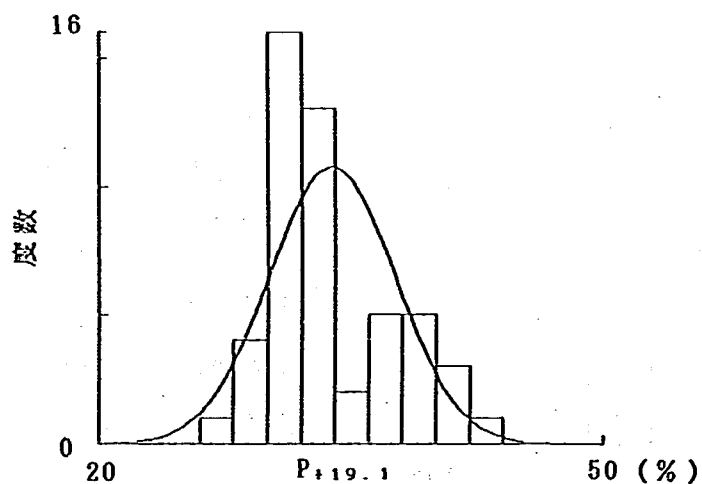
(c)高密度試験データ(2回目)

図-3.8 P₇₄のヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線(三国川ダム)



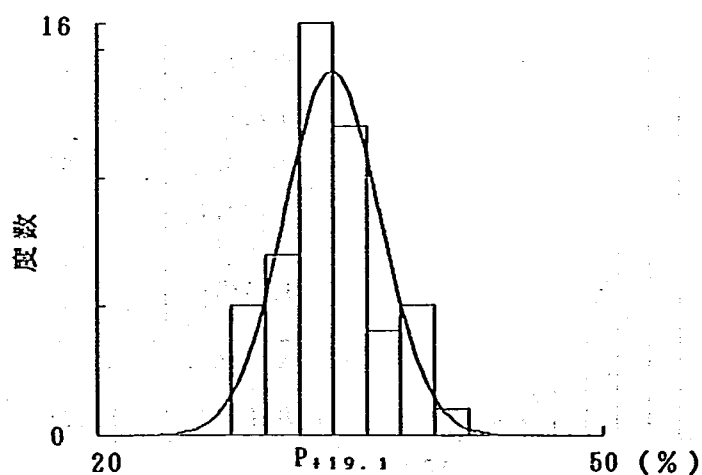
標本数	656
平均値	35.22
不偏分散	10.229
不偏分散 の平方根	3.198
95%信頼 範囲	28.95 41.49
変動係数	0.091
カイ二乗	7.256

(a)日常管理データ



標本数	50
平均値	33.81
不偏分散	13.811
不偏分散 の平方根	3.716
95%信頼 範囲	25.53 41.09
変動係数	0.110
カイ二乗	17.65

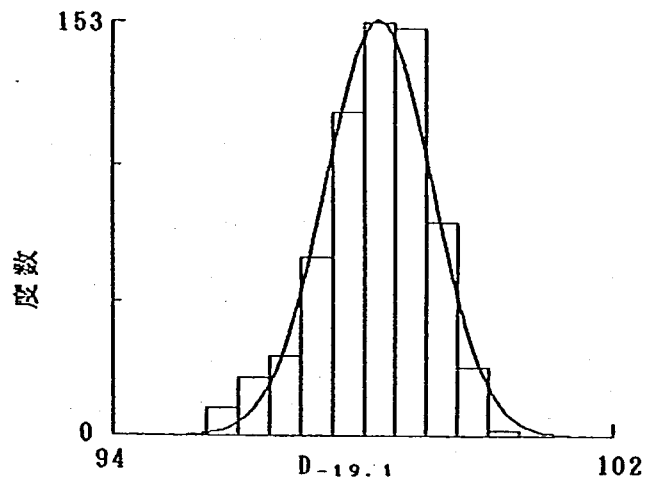
(b)高密度試験データ(1回目)



標本数	50
平均値	33.95
不偏分散	7.918
不偏分散 の平方根	2.814
95%信頼 範囲	28.43 39.46
変動係数	0.083
カイ二乗	3.923

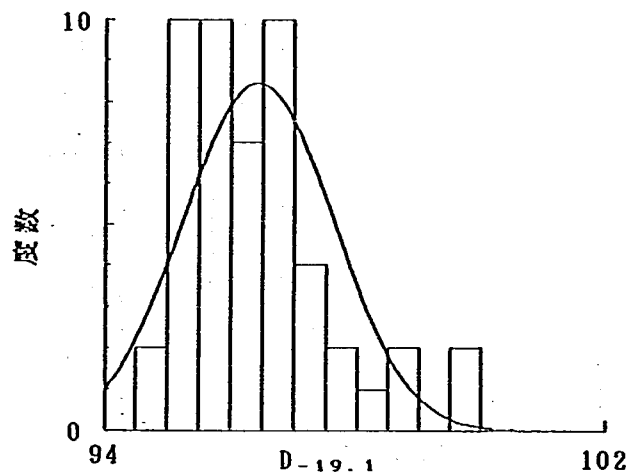
(c)高密度試験データ(2回目)

図-3.9 $P_{+19.1}$ のヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線(三国川ダム)



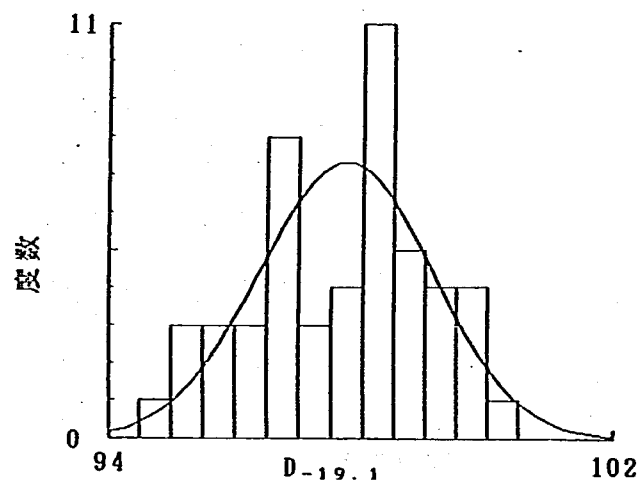
(a)日常管理データ

標本数	656
平均値	98.24
不偏分散	0.721
不偏分散 の平方根	0.849
95%信頼 範囲	96.57 99.90
変動係数	0.009
カイ二乗	50.80



(b)高密度試験データ(1回目)

標本数	50
平均値	96.43
不偏分散	1.386
不偏分散 の平方根	1.177
95%信頼 範囲	94.12 98.74
変動係数	0.012
カイ二乗	28.85



(c)高密度試験データ(2回目)

標本数	50
平均値	97.75
不偏分散	1.855
不偏分散 の平方根	1.362
95%信頼 範囲	95.08 100.42
変動係数	0.014
カイ二乗	10.21

図-3.10 D-19.1のヒストグラム, 基本統計量, ならびに正規分布曲線(三国川ダム)

3.1.1 試験データの正規分布への適合性判定

データ集団が正規分布に適合するか否かを判定する方法として、カイ2乗 (χ^2) 検定と正規確率紙による判定方法があげられる。¹⁾ これらについて、以下判定結果を示す。

① カイ2乗 (χ^2) 検定

まず、 χ^2 検定について以下に説明する。

互いに独立な確率変数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ がそれぞれ基準正規分布 $N(0, 1^2)$ に従うとする。

このときに

$$\chi^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 \quad \dots\dots (3.2)$$

となる確率変数 χ^2 の従う分布を、自由度 $\phi = n$ のカイ2乗分布 (χ^2 分布) という。カイ2乗分布の確率密度関係および分布関数は次式で与えられる。

$$\text{確率密度関数: } f(\chi^2) = \frac{1}{2^{\phi/2} \cdot \Gamma(\phi/2)} \cdot e^{-\chi^2/2} \cdot (\chi^2/2)^{\phi/2-1} \quad \dots\dots (3.3)$$

$$\text{分布関数: } F(\chi^2) = \frac{1}{\Gamma(\phi/2)} \cdot \int_0^{\chi^2/2} e^{-x} \cdot x^{\phi/2-1} dx \quad \dots\dots (3.4)$$

$$(0 \leq \chi^2 < \infty)$$

上式における $\Gamma(\phi/2)$ はガンマ関数であり、次式で定義される。

$$a > 0 \text{ において, } \Gamma(a) = \int_0^\infty x^{a-1} \cdot e^{-x} dx \quad \dots\dots (3.5)$$

カイ2乗分布は、自由度 ϕ のみによって決定される関係である。

(3.2)式における確率変数 X_n が正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ に従うとすると (3.2) は次式に置き換えられる。

$$\chi^2 = \frac{(X_1 - \mu)^2}{\sigma^2} + \frac{(X_2 - \mu)^2}{\sigma^2} + \dots + \frac{(X_n - \mu)^2}{\sigma^2} = \frac{S_F}{\sigma^2} \quad \dots\dots (3.6)$$

ここに、 S_F は偏差平方和である。

ところで、大きさが n であり、あるカテゴリーの生起率が p の母集団から大きさ N の標本をランダムに r 回抽出するケースを考える。注目しているカテゴリーの度数を観測度数 (F_i) (ただし、 $i = 1, 2, \dots, r$) と表した場合、 F_i の期待値 $E(F)$ は Np に等しくなる。よって (3.6) 式の分子である偏差平方和 S_F は次式で示される。

$$S_F = \sum_{i=1}^r [F_i - E(F)]^2 = \sum_{i=1}^r (F_i - Np)^2 \quad \dots\dots (3.7)$$

また、二項分布の式より、標本数N個の場合の相対度数分布P(X)は次式で示される。

$$P(x) = {}_N C_x P^x (1-P)^{N-x} \quad \text{----- (3.8)}$$

(ただし、 $X = 0, 1, 2, \dots, N$)

分散V(X)は、次式で示される。

$$V(X) = \sum_{i=0}^N (X - Np)^2 P(X) = Np(1-p) \quad \text{----- (3.9)}$$

(3.6)式の分母である母分散(σ^2)を考えた場合、標本数Nが相当に大きい場合は、V(X)に等しくなると考えても差しつかえないため次式で近似される。

$$\sigma^2 \doteq V(X) = Np(1-p) = Np - Np^2 \quad \text{----- (3.10)}$$

Np^2 は小さな値のため省略すると、

$$\sigma^2 \doteq Np = E(F) \quad \text{----- (3.11)}$$

よってカイ2乗は実際には次式で計算される。

$$x^2 = \frac{SF}{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=0}^i (F_i - Np)^2}{Np} = \frac{\sum_{i=0}^i [F_i - E(F)]^2}{E(F)} \quad \text{----- (3.12)}$$

つまり、観測した度数と理論的に期待される理論的度数との差の2乗を理論的度数で割り、観測回数全体にわたって加え合わせたものがカイ2乗である。この算出された x^2 が大きい程理論値から外れていること、つまりここでは分布形状が正規分布に適合しないことを示している。

(3.3)式より算出される x^2 の確率密度関数 $f(x^2)$ および、(3.4)式より算出される分布関数 $F(x^2)$ を図-3.11~12に示す。自由度 ϕ で $F(x^2)$ のとり値が $1-p$ ($0 < p \leq 1$)を示す x^2 の値を $x^2(\phi, p)$ とする。 x^2 が $x^2(\phi, p)$ より大きい値を示す確率は p であり、 $x^2(\phi, p)$ より小さい値を示す確率は $1-p$ となっている。

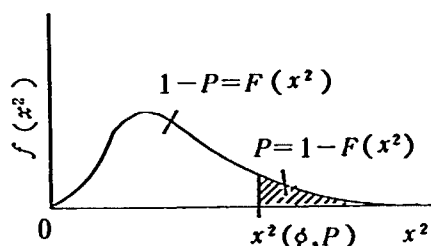


図-3.11 確率密度関数 $f(x^2)$

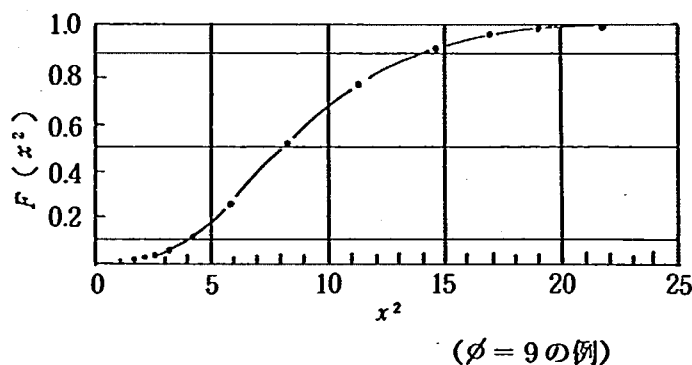


図-3.12 分布関数 $F(x^2)$

今、 $p=0.05$ と設定し、(3.12)式より計算された x^2 と $x^2(\phi, 0.05)$ (以下 $x_{0.05}^2$ と表示する)との比較を行ってみる。 $x^2 > x_{0.05}^2$ となる確率は5%未満であり、(3.12)式より計算された x^2 がこの条件を満たす場合は、正規分布への適合性は5%の有意水準で棄却される。逆に $x^2 \leq x_{0.05}^2$ である確率は95%であり、(3.11)式より計算された x^2 がこの条件を満たす場合は正規分布への適合性は否定されない。

本文では、(3.12)式での x^2 については、ヒストグラムのステップ毎に観測度数と期待度数を算出して計算を行った。自由度 ϕ は、ヒストグラムのステップ数 r から1を減じた $r-1$ に、更に平均値と不偏分散を母数の推定値として用いたことにより2を減じて $r-3$ とされる。

図-3.1~3.10には、基本統計量の算出結果と併せて(3.12)式により算出した x^2 の値を示してある。表-3.2にヒストグラムのステップ数 r と $x_{0.05}^2$ の値の一覧表を、表-3.3(1)~(3)に日常管理データ、ならびに高密度試験データの正規分布への適合性判定結果をそれぞれ示す。

x^2 検定による5%有意水準での正規分布への適合性判定結果によると、日常管理データでは正規分布に適合しないと判定されるデータ項目の方が多くなっているのに対し、高密度試験データでは、味噌川ダムのケースでは全てのデータ項目が正規分布に適合すると判定され、三国川ダムのケースでもほとんどの項目で適合すると判定されている。 x^2 検定は棄却検定であり(3.12)式に示されるように観測度数と期待度数の差の2乗の総和を用いて算出されるために、標本数が増える程当然検定水準も高くなる。ちなみに、今回用いたデータ数は高密度試験データの場合で20ないし50、日常管理データの場合は味噌川ダムのケースで464、三国川ダムのケースで656である。日常管理データの場合、データに大きな季節的変動を含んでいる場合や、異常値に近いデータが数個含まれた場合には x^2 は大きな値となり、正規分布への適合性が否定された結果が得られてしまう。

表-3.3(1) データの正規分布への適合性判定

項 目		ヒストグラム のステップ数	自由度 ϕ	χ^2	$\chi_{0.05}^2$	適合性 判 定
日 常 管 理 デ ー タ	ρ_d	15	12	38.09	21.03	×
	ρ_d -RI	16	13	132.41	22.36	×
	ρ_d -15.9	10	7	49.54	14.07	×
	ω	14	11	4.72	19.68	○
	ω -RI	15	12	21.85	21.03	×
	ω -15.9	14	11	10.09	19.68	○
	$P_{7.4}$	9	6	12.25	12.59	○
	$P_{7.4}$ -15.9	11	8	69.85	15.51	×
	$P_{+15.9}$	10	7	16.51	14.07	×
	D-RI	13	10	265.48	18.31	×
	D-15.9	14	11	701.07	19.68	×
	D-15.9	19	16	233.52	26.30	×
	ρ_{dmax}	15	12	16.05	21.03	○
	ρ_{dmax} -15.9	11	8	14.52	15.51	○
三 國 川 ダ ム	ω_{opt}	14	11	5.19	19.68	○
	ω_{opt} -15.9	14	11	19.33	19.68	○
	ρ_d	10	7	15.58	14.07	×
	ρ_d -RI	10	7	21.37	14.07	×
	ρ_d -10.1	8	5	66.36	11.07	×
	ω	14	11	72.36	19.68	×
	ω -RI	14	11	122.91	19.68	×
	ω -10.1	15	12	143.39	21.03	×
	$P_{7.4}$	14	11	284.11	19.68	×
	$P_{7.4}$ -10.1	11	8	231.38	15.51	×
	$P_{+10.1}$	11	8	7.26	15.51	○
	D-10.1	10	7	50.80	14.07	×
	ρ_{dmax} -10.1	7	4	68.54	9.49	×
	ω_{opt} -10.1	14	11	59.12	19.68	×

判定結果: × - 5%有意水準で正規分布への適合性が棄却される。
○ - 棄却されない。

表-3.2 ヒストグラムのステップ数による $\chi_{0.05}^2$ の値

ヒストグラム のステップ数	自由度 $\phi = r - 3$	$\chi_{0.05}^2$
4	1	3.84
5	2	5.99
6	3	7.81
7	4	9.49
8	5	11.07
9	6	12.59
10	7	14.07
11	8	15.51
12	9	16.92
13	10	18.31
14	11	19.68
15	12	21.03
16	13	22.36
17	14	23.68
18	15	24.99
19	16	26.30
20	17	27.59

表-3.3(3) データの正規分布への適合性判定

項	目	ヒストグラム のステップ数	自由度 ϕ	χ^2	$\chi_{0.05}^2$	適合性 判 定
高 密 度 試 験 デ ー タ	ρ_d (1回目)	5	2	1.99	5.99	○
	ρ_d (2回目)	6	3	10.05	7.81	×
	ρ_d -RI (1回目)	7	4	12.16	9.49	×
	ρ_d -RI (2回目)	8	5	6.88	11.07	○
	ω (1回目)	8	5	8.17	11.07	○
	ω (2回目)	9	6	4.03	12.59	○
	ω -RI (1回目)	10	7	20.80	14.07	×
	ω -RI (2回目)	10	7	11.00	14.07	○
	$P_{7.1}$ (1回目)	7	4	5.93	9.49	○
	$P_{7.1}$ (2回目)	9	6	9.61	12.59	○
	$P_{+10.1}$ (1回目)	9	6	17.65	12.59	×
	$P_{+10.1}$ (2回目)	7	4	3.92	9.49	○
	k (1回目)	6	3	1.81	7.81	○
	k (2回目)	11	8	9.91	15.51	○
	D (1回目)	8	5	4.94	11.07	○
	D (2回目)	9	6	4.66	12.59	○
	$D_{-10.1}$ (1回目)	11	8	28.85	15.51	×
	$D_{-10.1}$ (2回目)	12	9	10.21	16.92	○
三 国 川 ダ ム	ρ_{dmax} (1回目)	6	3	1.06	7.81	○
	ρ_{dmax} (2回目)	5	2	3.56	5.99	○
	ω_{opt} (1回目)	8	5	18.95	11.07	×
	ω_{opt} (2回目)	8	5	28.84	11.07	×

判定結果: × - 5%有意水準で正規分布への適合性が棄却される。
○ - " " 棄却されない。

表-3.3(2) データの正規分布への適合性判定

項	目	ヒストグラム のステップ数	自由度 ϕ	χ^2	$\chi_{0.05}^2$	適合性 判 定
高 密 度 試 験 デ ー タ	ρ_d (1回目)	9	6	3.86	12.59	○
	ρ_d (2回目)	7	4	3.81	9.49	○
	ρ_d -RI (1回目)	10	7	8.77	14.07	○
	ρ_d -RI (2回目)	12	9	9.96	16.92	○
	ω (1回目)	11	8	6.19	15.51	○
	ω (2回目)	12	9	10.39	16.92	○
	ω -RI (1回目)	11	8	8.99	15.51	○
	ω -RI (2回目)	12	9	16.04	16.92	○
	$P_{7.1}$ (1回目)	4	1	1.42	3.84	○
	$P_{7.1}$ (2回目)	6	3	2.83	7.81	○
	$P_{+10.1}$ (1回目)	16	13	12.55	22.36	○
	$P_{+10.1}$ (2回目)	16	13	19.58	22.36	○
	k (1回目)	14	11	15.03	19.68	○
	k (2回目)	13	10	3.91	18.31	○
	D (1回目)	13	10	6.35	18.31	○
	D (2回目)	11	8	10.95	15.51	○
	$D_{-10.1}$ (1回目)	20	17	14.38	27.59	○
	$D_{-10.1}$ (2回目)	12	9	12.82	16.92	○
ム	ρ_{dmax} (1回目)	11	8	7.92	15.51	○
	ρ_{dmax} (2回目)	12	9	9.41	16.92	○
	ω_{opt} (1回目)	9	6	4.16	12.59	○
	ω_{opt} (2回目)	11	8	4.53	15.51	○

判定結果: × - 5%有意水準で正規分布への適合性が棄却される。
○ - " " 棄却されない。

② 正規確率紙による判定

χ^2 以外の正規分布への適合性判定方法として正規確率紙を用いる方法がある。この方法は図-3.13に示すように、累積正規分布曲線を直線に直すように縦軸の目盛りを変更した用紙（正規率紙）を用意し、データの累積度数のプロットが直線性を示すか否かを判定するものである。

図-3.14に χ^2 検定により正規性が良いと判定された例（味噌川ダムの日常管理データのうち ω と三国川ダムの日常管理データのうち $P_{119.1}$ ）について、正規確率紙上にプロットした結果を示す。両方のケース共、非常に良い直線性が観察される。

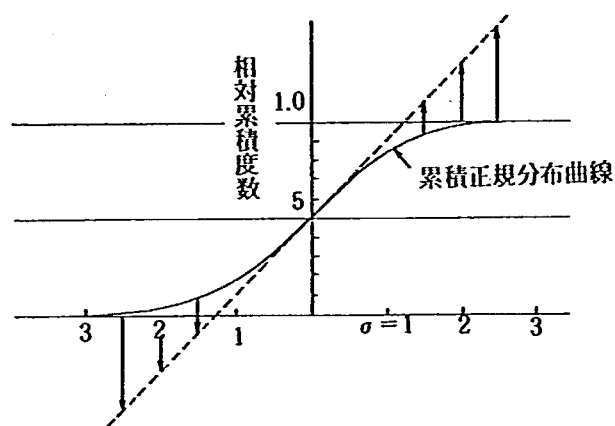


図-3.13 正規確率紙作成方法

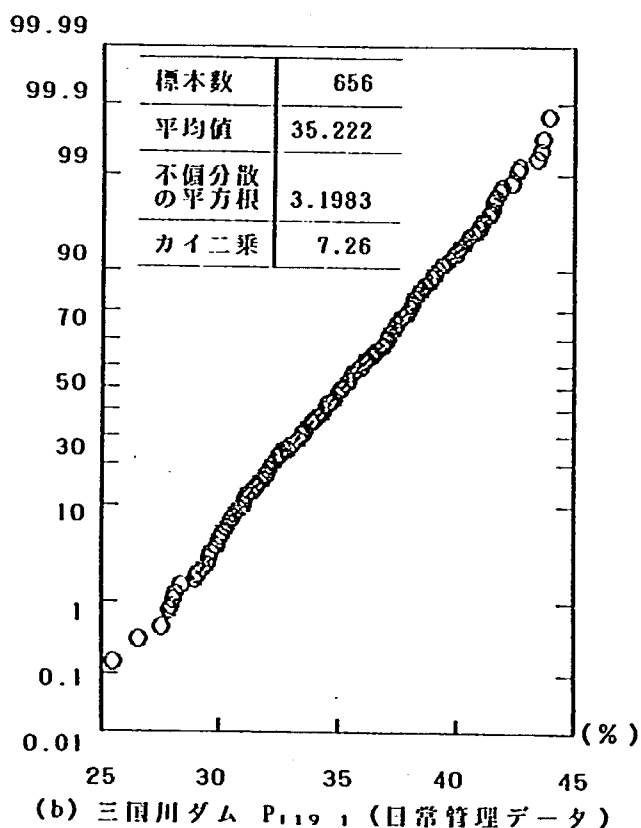
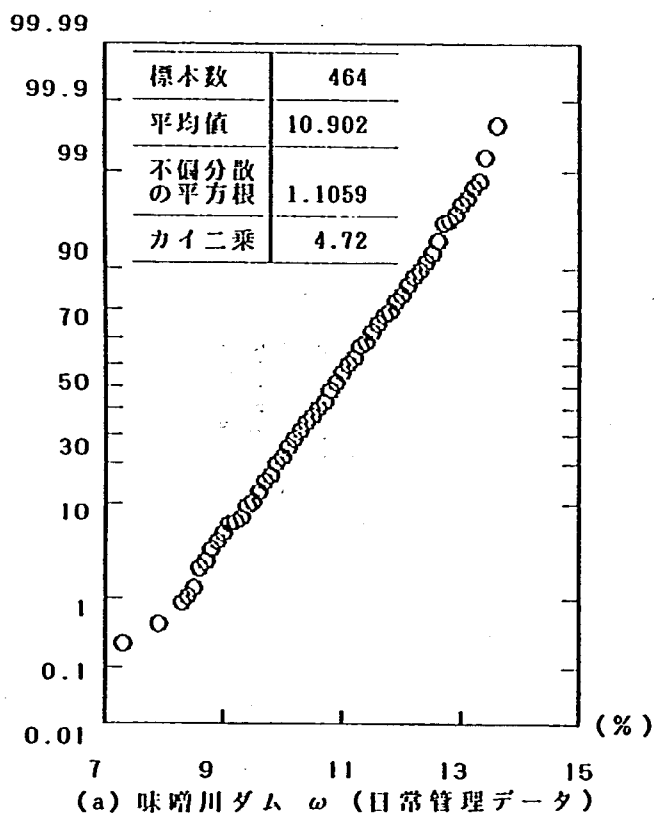


図-3.14 正規確率紙上のプロット（正規性の良い例）

表-3.3に示した χ^2 検定により、5%の有意水準で正規分布への適合性が否定された項目について、正規確率紙にプロットした結果を図-3.15~17に示す。図-3.15には味噌川ダムの日常管理データについて、図-3.16には三国川ダムの日常管理データについて、図-3.17には三国川ダムの高密度試験データについて、各々示してある。

図-3.15~16の日常管理データと図-3.17の高密度試験データの比較をすると、高密度試験データの方がプロットが大きくばらついている割には χ^2 の値が小さくなっている。 χ^2 の算出に際しては、(3.12)式に示した様に(観測値-予定値)の2乗の総和とされるため、データ数が多い程予測値から外れた観測値の影響を受け易く、つまり検定水準が高くなる。日常管理データの項目の中には、直線性が良いように見受けられるのに χ^2 の値が大きくなっている例(味噌川ダムの $\rho d-15.9$, $D-R1$, 三国川ダムの ω , $\omega-R1$, $P_{174-15.1}$, $Wopt-15.1$ 等)が観察されるが、これらの例ではプロットの両端附近の部分にばらつきが見受けられており、これら異常値に近いと思われる値が χ^2 の計算値に影響を与えていると考えられる。

正規確率紙による正規分布判定法では、直線性を観察するだけで定量的に適合性を判定することはできない。しかし、 χ^2 検定は異常値等の影響を受け易いので、正規確率紙による判定法は非常に基本的手法であるが重要な手法と判断されよう。

なお、各データについてあまり正規性の良くない例も多かったが、データのばらつきを極値分布等に置き換える例ではないと判断した上で、データ分布形状は正規分布に従うとの仮定の上で本報告は各種統計的手法を用いた調査について進めて行くこととする。

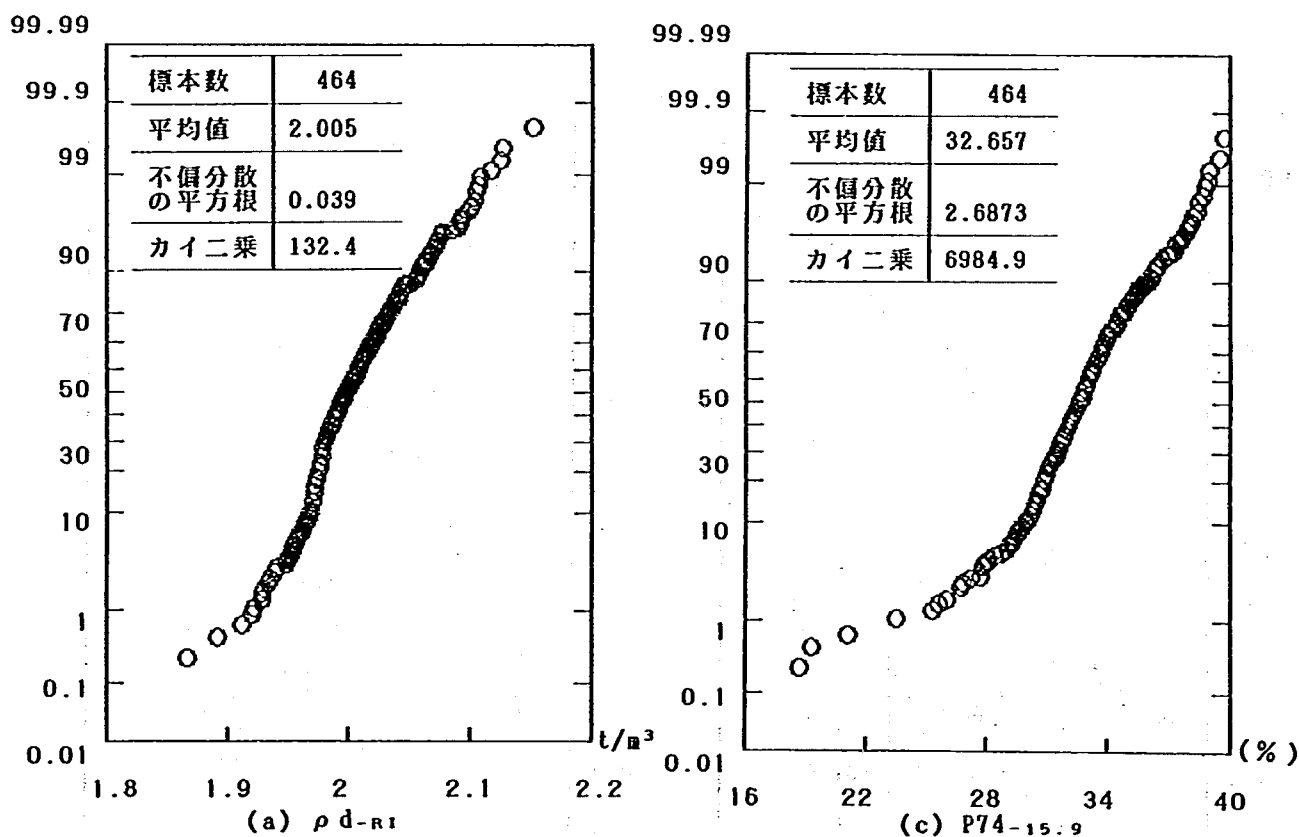


図-3.15(1) 正規確率紙上へのプロット(味噌川ダム, 日常管理データ)

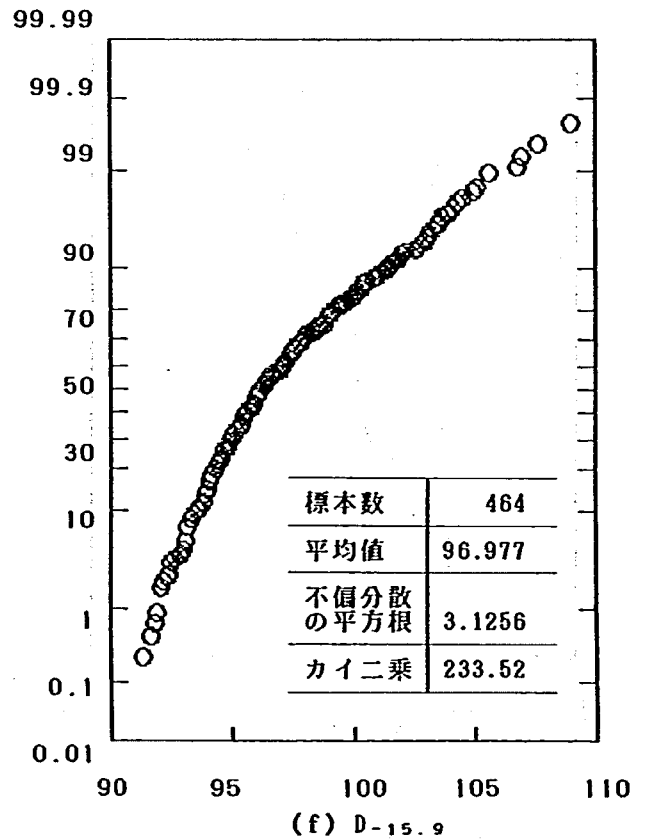
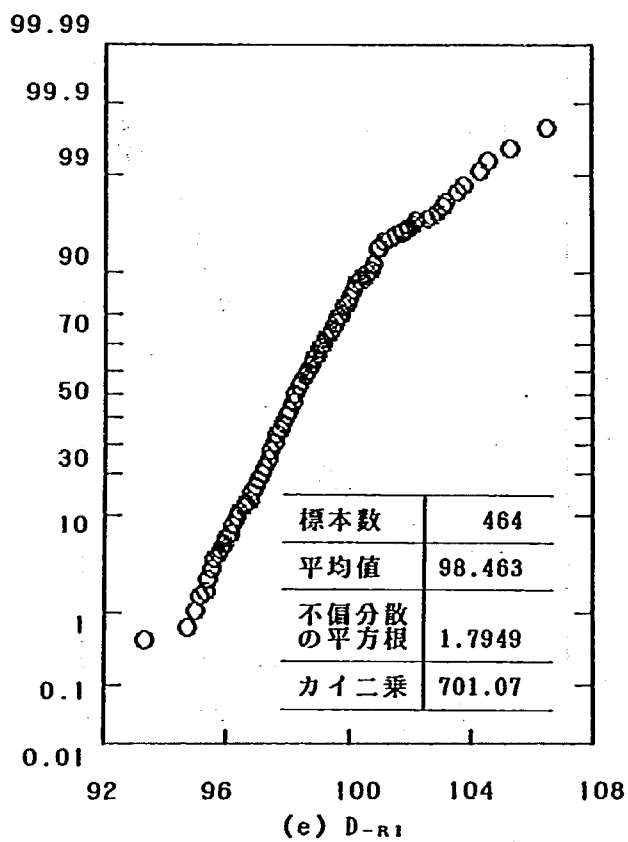
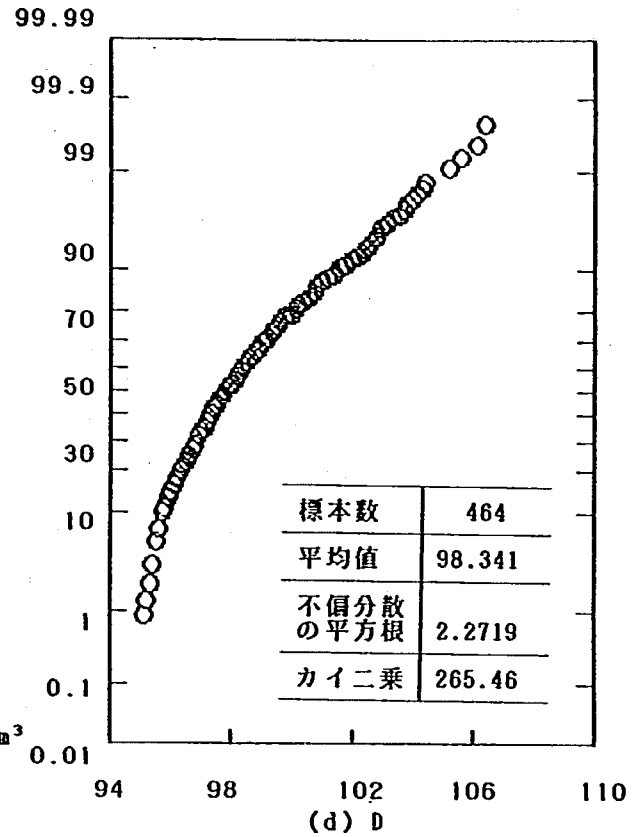
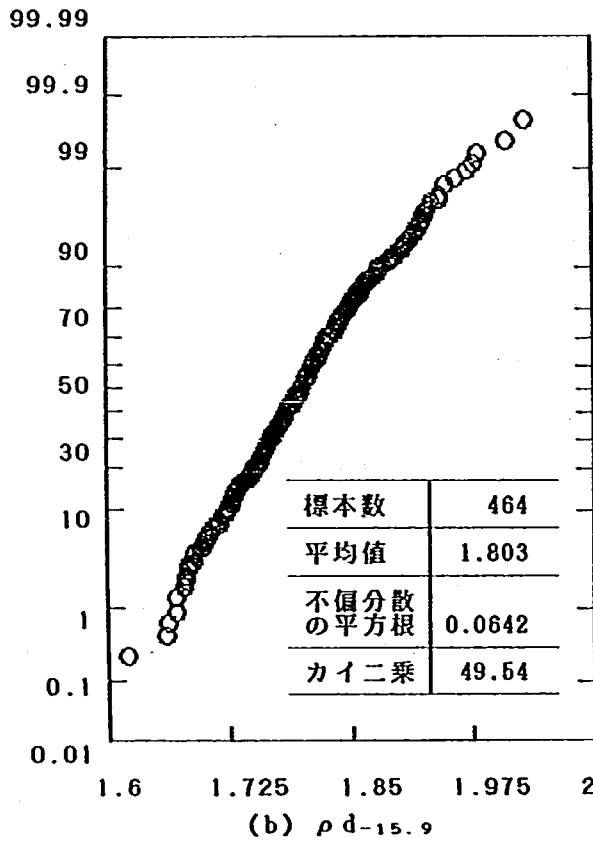


図-3. 15(2) 正規確率紙上へのプロット (味噌川ダム, 日常管理データ)

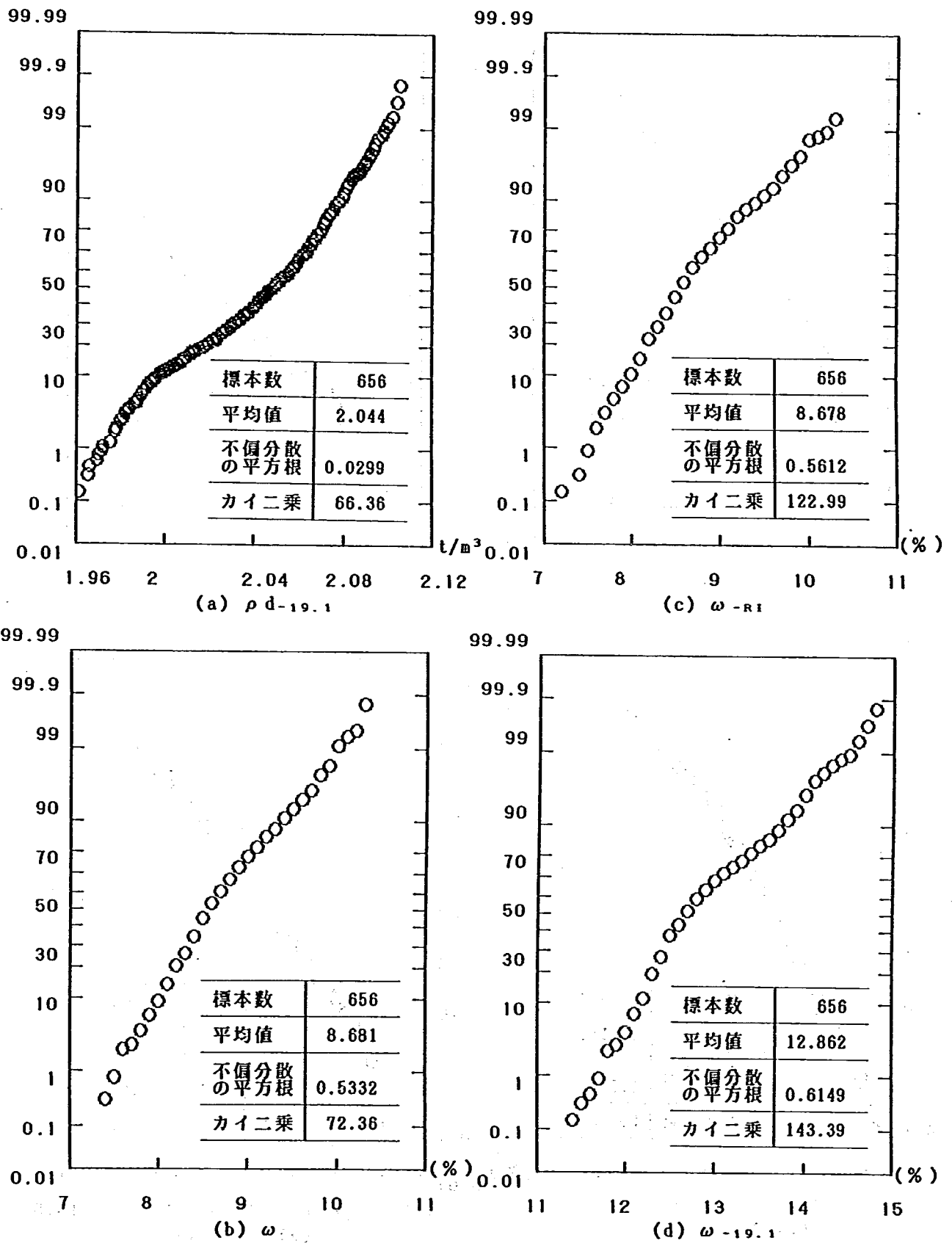


図-3.16(1) 正規確率紙上へのプロット (三国川ダム, 日常管理データ)

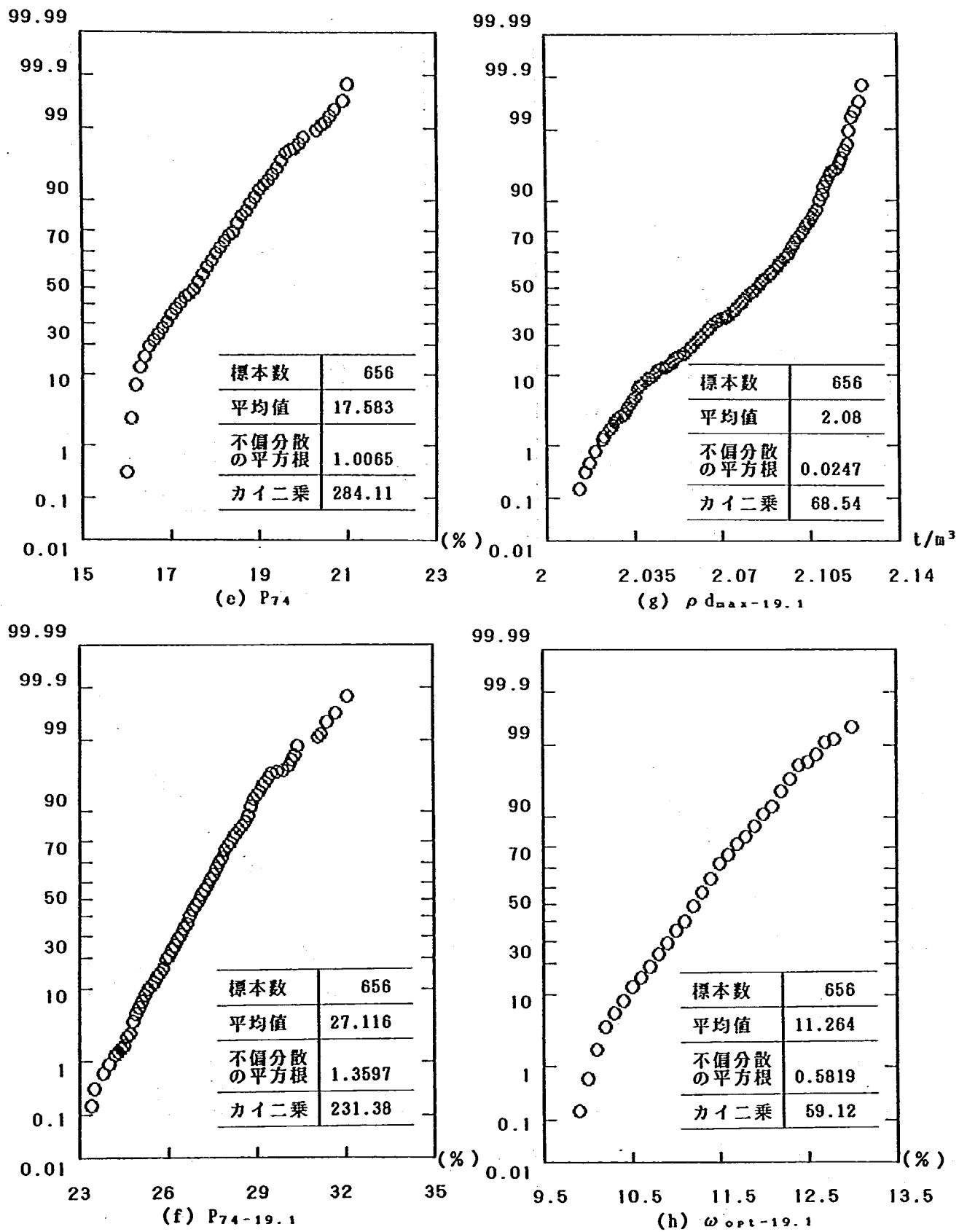


図-3.16(2) 正規確率紙上へのプロット (三国川ダム, 日常管理データ)

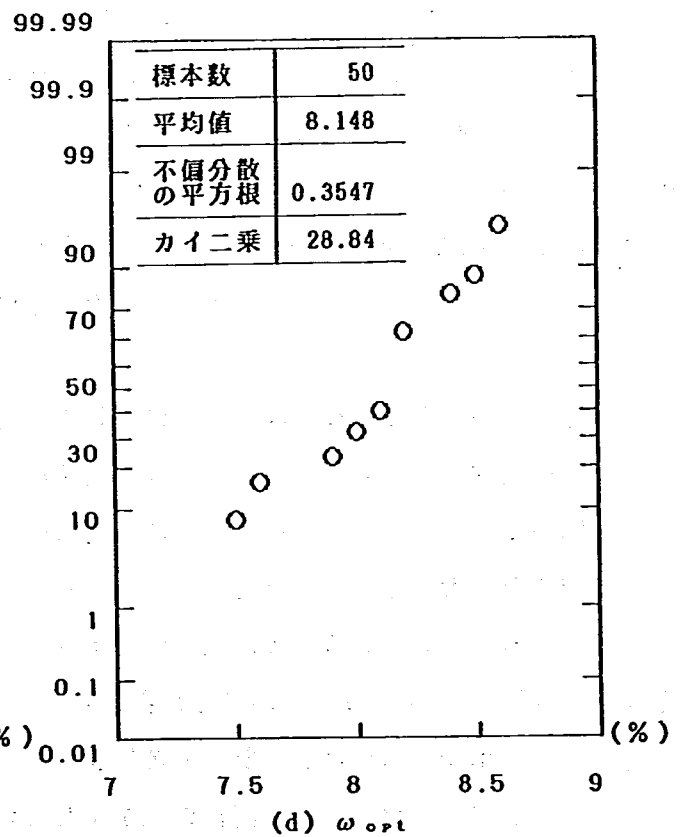
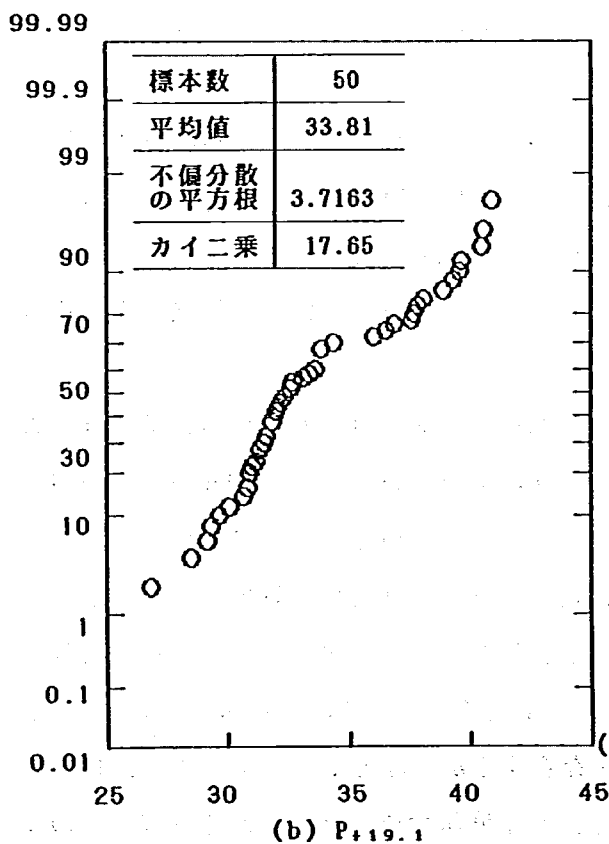
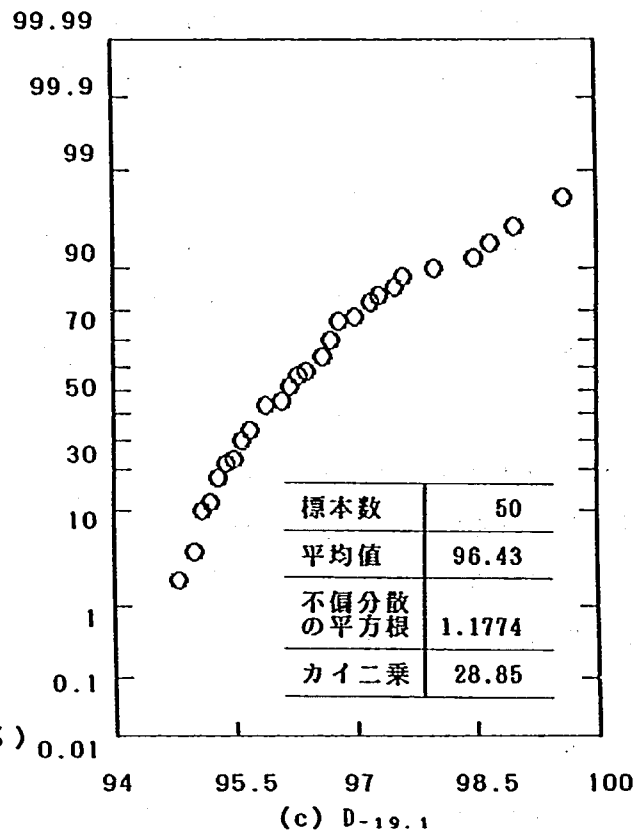
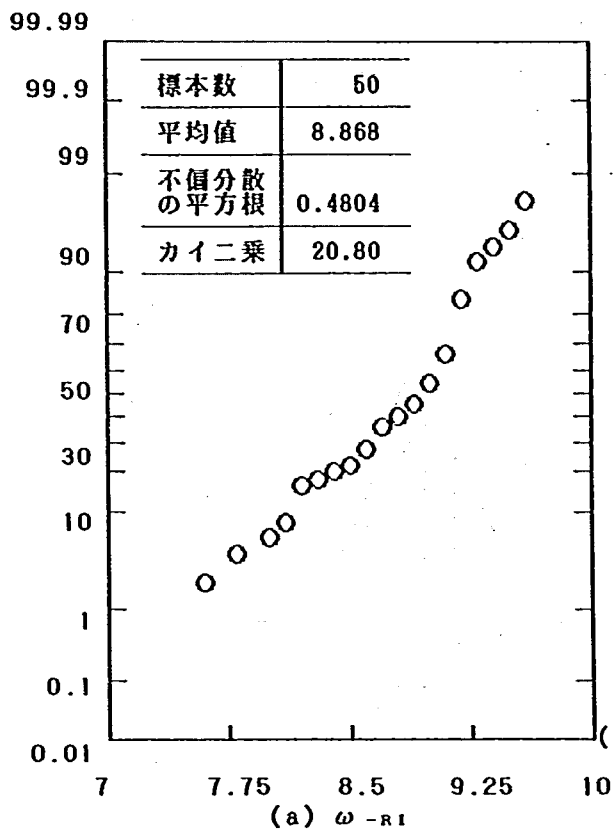


図-3.17 正規確率紙上へのプロット (三国川ダム, 日常管理データ)

3.1.2 基本統計量による日常管理データと高密度試験データの比較

日常管理データはコア材料を1リフト盛立毎に測定されたデータ集団であるのに対し、高密度試験データはある1つの盛立面上で得られており、言い換えるならばある1リフト内でのデータ集団である。この両者のデータ集団において1つのデータが代表するコア材料の盛立量には大きな差がある。

高密度試験データはある1リフト内で測定されているため、盛立材料の性質に変化は少なく、変動の要因は主に測定誤差等によるものと考えられる。日常管理データは測定誤差等の変動成分に加えて盛立材料の性質の季節的変動等、長期の変動成分を含んでいると考えられる。両者の変動（ばらつき）の関係を正規分布曲線を用いて図-3.18に示す。日常管理データと高密度試験データの関係は、

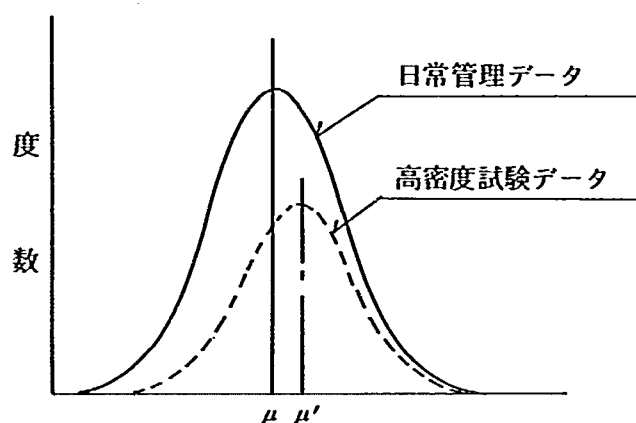


図-3.18 正規分布曲線によるデータのばらつきの関係

で比較される。ここで両者の関係が相似

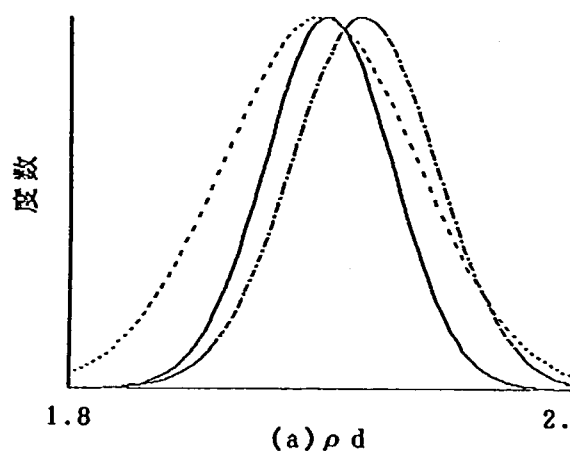
に近い程、マクロスケールでのデータにおける長期の変動成分は少なく、データのばらつきの主な要因は測定誤差等によるものであると判断されよう。

正規分布曲線を用いた高密度試験データと日常管理データの比較を、図-3.19(1)~(2)に味噌川ダムの結果について、図-3.20(1)~(2)に三国川ダムの結果について、それぞれ示す。なお、図中では縦軸の度数を曲線の比較を容易にするためにデータ数に関係なく一定としてある。また、表-3.4に各データの平均値、不偏分散の平方根、変動係数について比較した結果をそれぞれ示す。

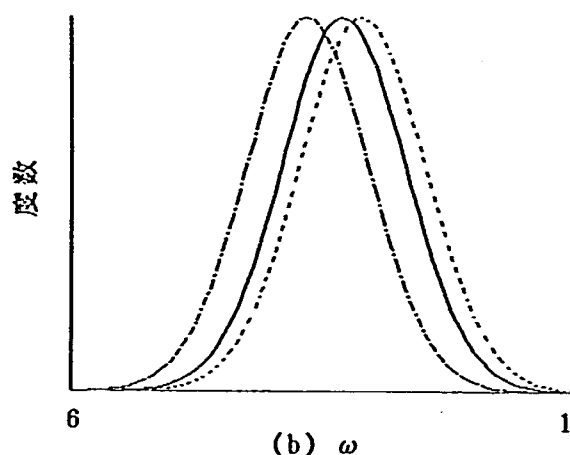
正規分布曲線による比較では、予想に反して、高密度試験データにおけるばらつき量が日常管理データに比べて小さくなっている状況が明確には観察されていない。逆に味噌川ダムの ρ_d や D 、三国川ダムの $D_{-19.1}$ のケースでは、高密度試験データのばらつきの方が日常管理データに比べて明らかに大きくなっている。表-3.4には高密度試験データと日常管理データのばらつきの値の比も併記してある。表に示されるように高密度試験データの方が日常管理データより大きなばらつきの値を示すケースが多く存在している。また平均値については、味噌川ダムの P_{14} 、 $P_{15.9}$ 、三国川ダムの ω で多少値が異なるケースが存在するが、ほとんどのケースでは日常管理データと高密度試験データで同様の値を示している。高密度試験データにおける不偏分散の平方根および変動係数のばらつきの度合いを示す指標が日常管理データに比べて大きな値を示す原因としては、測定データ数の影響が考えられる。高密度試験データではデータ数が20ないし50個

であるのに対して、日常管理データではデータ数が味噌川ダムのケースで464個、三国川ダムのケースで656個である。不偏分散はデータの測定値と平均値の差の2乗和（偏差平方和）によって算出されておりデータ数が少ない場合には異常値に近い値（平均値から離れている測定値）等の影響を当然大きく受けることになる。言い換えるならば、データ数が少ない場合は、算出される基本統計量の精度があまり良くない、と判断されよう。

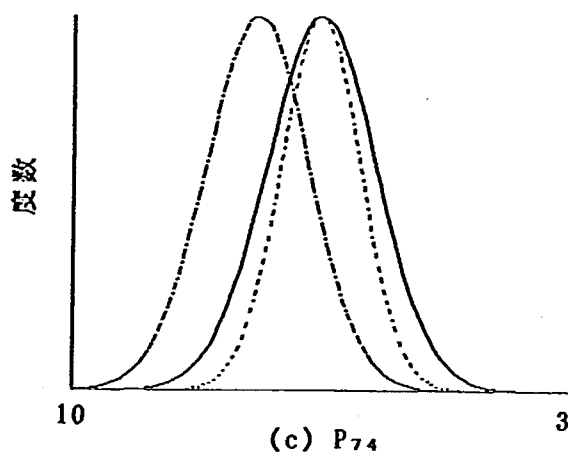
高密度試験データと日常管理データの基本統計量の比較を行うことにより、本来ならばデータのばらつきの中に含まれる長期の変動成分（盛立材料の性質の季節変動等）を取り出すことが可能と考えられる。しかし、このためにはできるだけデータ数を多く、また両者のデータ数をそろえた状態にすることが望ましいと考えられる。



	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	464	20	20
平均値	2.006	2.000	2.035
不偏分散	0.0026	0.0062	0.0033
不偏分散 の平方根	0.0510	0.0784	0.0576
95%信頼 範囲	1.906 2.106	1.846 2.154	1.922 2.147
変動係数	0.0254	0.0392	0.0283

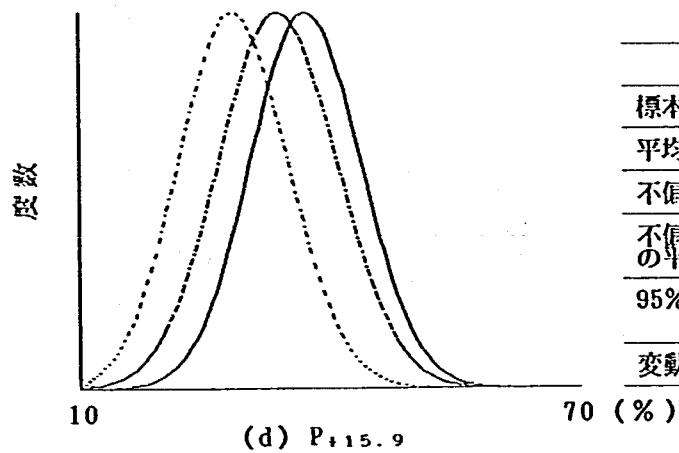


	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	464	50	50
平均値	10.90	11.24	10.25
不偏分散	1.223	1.253	1.201
不偏分散 の平方根	1.106	1.120	1.096
95%信頼 範囲	8.73 13.07	9.05 13.43	8.10 12.40
変動係数	0.101	0.100	0.107

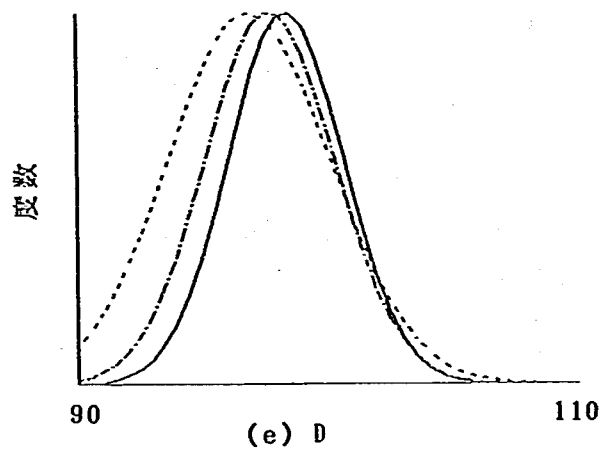


	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	464	20	20
平均値	22.38	22.35	19.17
不偏分散	7.395	3.928	6.576
不偏分散 の平方根	2.719	1.982	2.564
95%信頼 範囲	17.05 27.71	18.47 26.23	14.14 24.20
変動係数	0.121	0.089	0.134

図-3. 19(1) 分布形状の比較 (味噌川ダム)

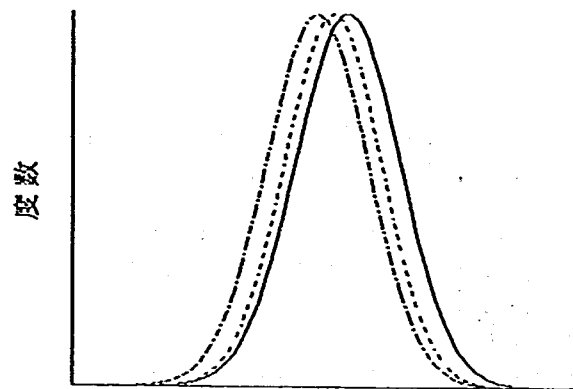


	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	464	50	50
平均値	37.20	28.57	33.89
不偏分散	42.039	41.815	48.467
不偏分散の平方根	6.484	6.466	6.957
95%信頼範囲	24.50 49.91	15.89 41.24	20.26 47.53
変動係数	0.174	0.226	0.205



	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	464	20	20
平均値	98.34	96.88	97.70
不偏分散	5.161	10.292	6.463
不偏分散の平方根	2.272	3.208	2.542
95%信頼範囲	93.89 102.79	90.59 103.17	92.72 102.68
変動係数	0.023	0.033	0.026

図-3.19(2) 分布形状の比較 (味噌川ダム)

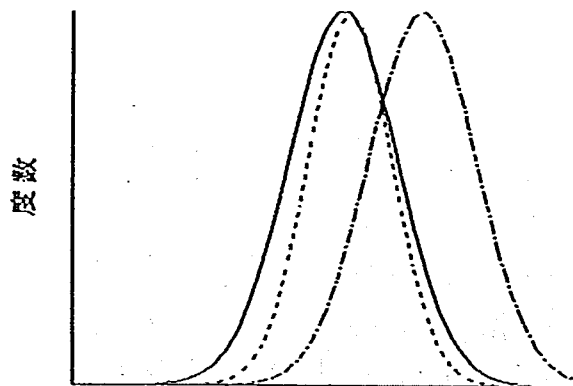


2.1

(a) ρd

2.4 (t/m^3)

	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	656	20	20
平均値	2.263	2.254	2.245
不偏分散	0.0010	0.0008	0.0009
不偏分散 の平方根	0.0308	0.0285	0.0300
95%信頼 範囲	2.203 2.323	2.198 2.310	2.186 2.304
変動係数	0.0136	0.0127	0.0134

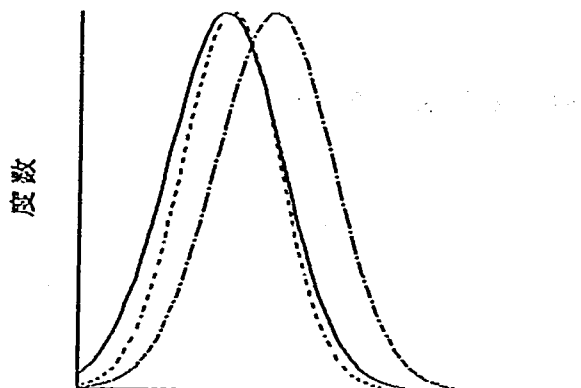


6

(b) ω

11 (%)

	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	656	20	20
平均値	8.68	8.75	9.48
不偏分散	0.284	0.170	0.284
不偏分散 の平方根	0.533	0.412	0.533
95%信頼 範囲	7.64 9.73	7.94 9.56	8.43 10.52
変動係数	0.061	0.047	0.056



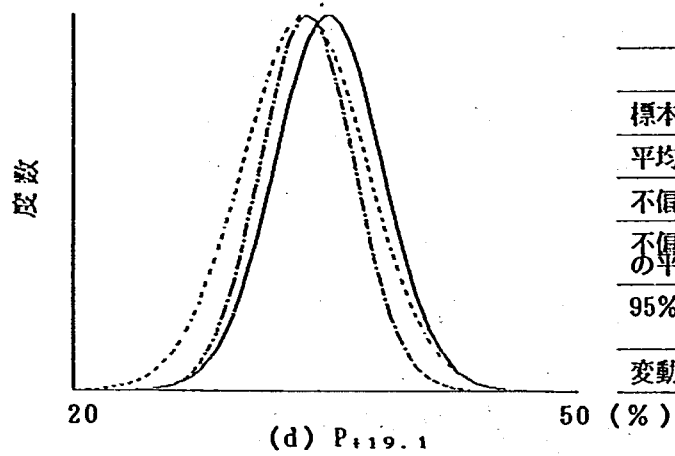
15

(c) P_{74}

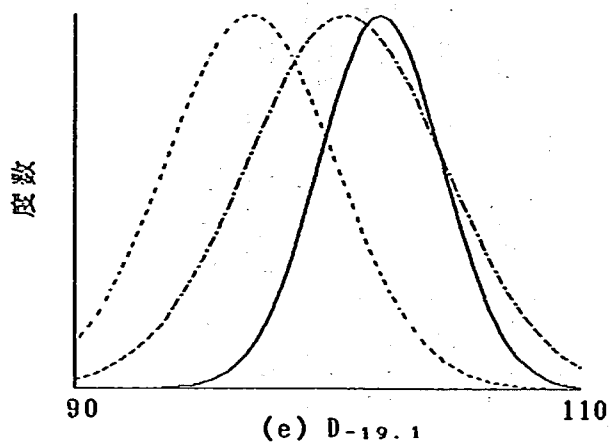
24 (%)

	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	656	20	20
平均値	17.58	17.68	18.45
不偏分散	1.013	0.732	1.041
不偏分散 の平方根	1.007	0.856	1.020
95%信頼 範囲	15.61 19.56	16.00 19.36	16.45 20.45
変動係数	0.057	0.048	0.055

図-3. 20(1) 分布形状の比較 (三国川ダム)



	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	656	50	50
平均値	35.22	33.81	33.95
不偏分散	10.229	13.811	7.918
不偏分散 の平方根	3.198	3.716	2.814
95%信頼 範囲	28.95 41.49	26.53 41.09	28.43 39.46
変動係数	0.091	0.110	0.082



	日常管理	高密度①	高密度②
標本数	656	50	50
平均値	98.24	96.43	97.75
不偏分散	0.721	1.386	1.855
不偏分散 の平方根	0.849	1.177	1.362
95%信頼 範囲	96.57 99.90	94.12 98.74	95.08 100.42
変動係数	0.009	0.012	0.014

図-3.20(2) 分布形状の比較 (三国川ダム)

表-3.4 高密度試験データと日常管理データの比較

項 目		平 均 値					不 偏 分 散 の 平 方 根					変 動 係 数				
		日常管理 データ X	高密度試験データ X'				日常管理 データ V	高密度試験データ V'				日常管理 データ V/X	高密度試験データ V'/X'			
			1 回目 $\bar{X}'_1$	$\bar{X}'_1/\bar{X}$	2 回目 $\bar{X}'_2$	$\bar{X}'_2/\bar{X}$		1 回目 V'_1	V'_1/V	2 回目 V'_2	V'_2/V		1 回目 $V'_1/\bar{X}'_1$	$(V'_1/\bar{X}'_1)/(\bar{V}/\bar{X})$	2 回目 $\bar{V}'_2/\bar{X}'_2$	$(V'_2/\bar{X}'_2)/(\bar{V}/\bar{X})$
味噌川ダム	ρ_d	t/m ³ 2.01	2.00	0.995	2.03	1.01	0.050	0.078	1.56	0.058	1.16	0.025	0.039	1.56	0.026	1.12
	ω	% 10.91	11.24	1.03	10.25	0.940	1.11	1.12	1.01	1.10	0.991	0.10	0.10	1.00	0.11	1.10
	P ₇₄	% 22.38	22.35	0.999	19.17	0.857	2.72	1.98	0.728	2.56	0.941	0.12	0.089	0.742	0.13	1.08
	P _{+15.9}	% 37.20	28.57	0.768	33.89	0.911	6.48	6.47	0.998	6.96	1.07	0.17	0.23	1.35	0.21	1.24
	D	98.34	96.88	0.985	97.70	0.993	2.27	3.21	1.41	2.54	1.12	0.023	0.033	1.43	0.026	1.13
三 国 川 ダム	ρ_d	t/m ³ 2.26	2.25	0.996	2.24	0.991	0.031	0.029	0.935	0.030	0.968	0.013	0.013	1.00	0.013	1.00
	ω	% 8.68	8.75	1.01	9.48	1.09	0.53	0.41	0.774	0.53	1.00	0.061	0.047	0.770	0.056	0.918
	P ₇₄	% 17.58	17.68	1.01	18.45	1.05	1.01	0.86	0.851	1.02	1.01	0.057	0.048	0.842	0.055	0.965
	P _{+10.1}	% 35.22	33.81	0.960	33.95	0.964	3.20	3.72	1.18	2.81	0.878	0.091	0.11	1.21	0.083	0.912
	D _{-10.1}	98.24	96.43	0.982	97.75	0.995	0.85	1.18	1.39	1.36	1.60	0.0086	0.012	1.40	0.014	1.63

注： 高密度試験データと日常管理データによる値の比が1.0を越えるものについてで示した。

3.1.3 現場管理値に対するデータの分布形状 (D値について)

コア材料の現場管理値として重視されるものにD値がある。D値とは締固め度を表す指標であり、現場乾燥密度 (ρ_d) の室内試験による最大乾燥密度 (ρ_{dmax}) に対する割合で求められる。両ダム共にD値95%以上を現場管理値として採用しているが、味噌川ダムではフルサイズ試料に対するD値 (D) を管理対象としているのに対し、三国川ダムでは -19.1m/m 試料に対するD値 ($D_{-19.1}$) を管理対象としている。D値に関する試験データを表-3.5に示す。以下、D値の現場管理値と試験データの関係について各ダム毎に検討する。

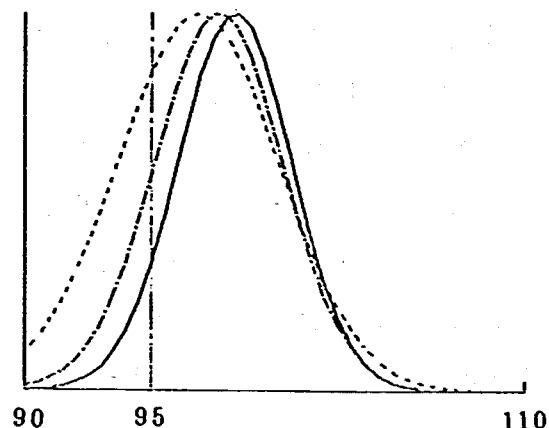


図-3.21 味噌川ダムでのDの分布

① 味噌川ダムについて

図-3.5に示した日常管理データのDの分布形状では、ヒストグラムがD=95より左の部分で欠落した形状をしている。これは、D値が95に満たなかった場合に再転圧等の処置を行っているためと思われる。図-3.19(2)および表-3.5に示した高密度試験データとの比較において、日常管理データの平均値がやや大きく、不偏分散の平方根がやや小さくなっているのは、上記の原因による影響も考えられる。試験データの分布形状を正規

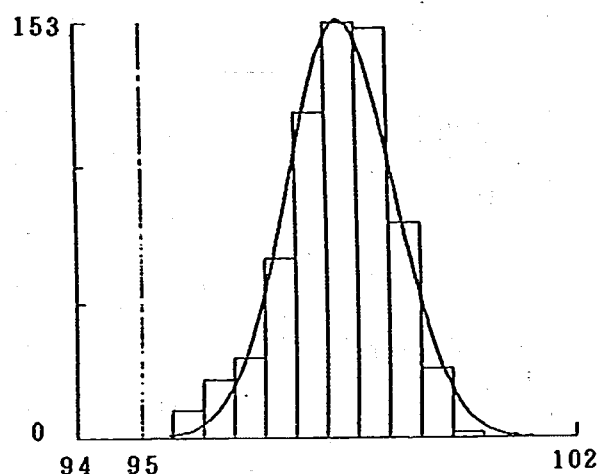


図-3.22 三国川ダムでのD
(日常管理データ)の分布

分布に当てはめた場合で計算すると、 $D < 95$ の部分を計算すると日常管理データのケースで7.1%高密度試験データのケースでは1回目で27.8%、2回目で14.5%となる。

現在の施工状態で、D値が下廻る値を示す確率は10~30%程度と予想されるが、平均値は十分に95以上を有しており、95以下の値を示すデータは測定誤差等にそのばらつきの原因があるものと考えられるため、堤体の平均的性質としてD値を考えた場合には95を下廻ったデータがある程度許容し得ると考えられる。(図-3.21参照)

② 三国川ダムについて

図-3.20(2)に示した $D_{-19.1}$ の、日常管理データと高密度試験データの分布形状の比較

では、高密度試験データの方が大きなばらつき（不偏分散）を示しており、また平均値も大きく異なった値を示している。図-3.10に示した日常管理データの $D_{-19.1}$ は、 x^2 の値こそ大きく目ではあるが正規分布に近い分布形状であるのに対して、高密度試験データの $D_{-19.1}$ の分布形状は x^2 も大きな値を示しており、あまり正規性が良くない状況が観察される。

$D_{-19.1}$ の日常管理データについて、現場管理値（95以上）との比較を行ってみる。日常管理データの95%分布範囲は96.57～99.90であり、D値が95を下回る確率は0に近くなっている。三国川ダムのケースでは、D値で95以上で管理を行うよりも、95%分布範囲に合わせて $96.57 \leq D_{-19.1} \leq 99.90$ を管理目標とする方が有効な管理手法と判断されよう。

（図-3.22参照）

表-3.5 D値に関するデータ

項 目		標 本 数	平 均	不偏分散 の平方根	変動係数	95%分布範囲
味噌川 ダム D	日常管理データ	464	98.34	2.27	0.023	93.88～102.79
	高密度試験データ1回目	20	96.88	3.21	0.033	90.59～103.17
	〃 2回目	20	97.70	2.54	0.026	92.72～102.68
三国川 ダム $D_{-19.1}$	日常管理データ	656	98.24	0.85	0.0086	96.57～99.90
	高密度試験データ1回目	20	96.43	1.18	0.012	94.12～98.74
	〃 2回目	20	97.75	1.36	0.014	95.08～100.42

3.1.4 味噌川ダムと三国川ダムのデータのばらつき度の比較

データのばらつき度を示す指標としては、分散（標準偏差）の他に変動係数がある。変動係数は平均に対する相対誤差を示しており、標準偏差を平均で除した値（ σ/μ ）で算出される。本報告では不偏分散の平方根を平均で除した値（ $V/\bar{x}$ ）を用いることとする。

表-3.6に、不偏分散の平方根と変動係数により、味噌川ダムと三国川ダムのデータのばらつき度の比較を行った結果を示す。いずれの項目でも味噌川ダムのケースが三国川ダムのケースに対して、不偏分散の平方根も変動係数も2倍程度以上となった。味噌川ダムのデータのばらつき度は三国川ダムのデータに比べて2倍程度以上と評価される。

表-3.6 味噌川ダムと三国川ダムのデータのばらつき度の比較

項 目		不偏分散の平方根V			変動係数 $V/\bar{x}$		
		日常管理 データ	高密度試験データ 1回目	高密度試験データ 2回目	日常管理 データ	高密度試験データ 1回目	高密度試験データ 2回目
ρ_d	味噌川ダム	0.050	0.078	0.058	0.025	0.039	0.028
	三国川ダム	0.031	0.029	0.030	0.013	0.013	0.013
ω	味噌川ダム	1.11	1.12	1.10	0.10	0.10	0.11
	三国川ダム	0.53	0.41	0.53	0.061	0.047	0.056
P_{74}	味噌川ダム	2.72	1.98	2.56	0.12	0.089	0.13
	三国川ダム	1.01	0.86	1.02	0.057	0.048	0.055
$P_{+15.1}$	味噌川ダム	6.48	6.47	6.96	0.17	0.23	0.21
$P_{+19.1}$	三国川ダム	3.20	3.72	2.81	0.091	0.11	0.083
D	味噌川ダム	2.27	3.21	2.54	0.023	0.033	0.026
$D_{-19.1}$	三国川ダム	0.85	1.18	1.36	0.0086	0.012	0.014

3.2 時系列データの統計処理による検討

味噌川ダムと三国川ダムにおいて得られた日常管理データは、1リフト盛立毎の試験データであり、時系列データとしてとらえ得るものである。本節では、この時系列データに関して① 自己相関係数の算出、②移動平均法、の2通りの統計処理を実施し、データの示す変動（ばらつき）を長期変動成分と短期変動成分に分け得る事を示した。ここに、長期変動成分とはデータの季節的変動等大きな周期で変動する成分であり、短期変動成分とはデータの測定誤差等短い周期で変動する成分である。そして、堤体の平均的性質を評価する際に、長期変動成分を考慮する方法の提案を行っている。

3.2.1 自己相関係数の算出

土質データのばらつき度を評価するためには、分散（ σ^2 ）の他に自己相関係数（ r ）が用いられる。²⁾³⁾ 自己相関係数（ r ）はデータ相互の位置的、あるいは時間的な相関性を示す指標（相関係数）であり、位置 x と（ $x + \Delta x$ ）の自己相関係数（ r ）は次式により算出される。

$$r(\Delta x) = \int_V \frac{\{Z(x) - \mu\} \cdot \{Z(x + \Delta x) - \mu\}}{\sigma^2} dV \quad \text{----- (3.13)}$$

μ : 平均

σ^2 : 分散

今回の日常管理データは1リフト毎の試験結果によるデータ列であり、等間隔でサンプリングしたデータ列とみなすことができる。等間隔の N 個のデータ例での x 番目と（ $x + n$ ）番目のデータにおける自己相関係数（ $r(n)$ ）を推定する場合は、次式により算出される。

$$r(n) = \frac{1}{V^2} \sum_{i=1}^{N-n} \{ [z(x_i) - \bar{x}] \cdot [z(x_i + n) - \bar{x}] / (N-n) \} \quad \text{..... (3.14)}$$

V^2 : 不偏分散

上式より、自己相関係数は不偏分散に対する比の関係で算出され、 $z(x)$ と $z(x + \Delta x)$ の相対的な関係の強弱を表す時間領域での指標となっていることが理解されよう。

日常管理データの内、乾燥密度（ ρ_d ）と含水比（ ω ）とD値（ $D_{15.9}$, $D_{19.1}$ ）について自己相関係数を算出した結果を、図-3.23(1)~(4)に示す。なお、図では $n=0$ から $n=100$ 迄計算した結果と、 $n=10$ 迄の部分拡大したものについて示した。いずれの項目でも三国川ダムの場合が味噌川ダムのケースに比べて、 n が小さい状態では良い自己相関性が得られている。これは、季節的変動等、データの長期的変動成分が、三国川ダムの方が大きかったためと考えられる。

図-3.23拡大図によると、 $n=0$ から $n=1$ 変化する部分で自己相関係数は大きく減少して

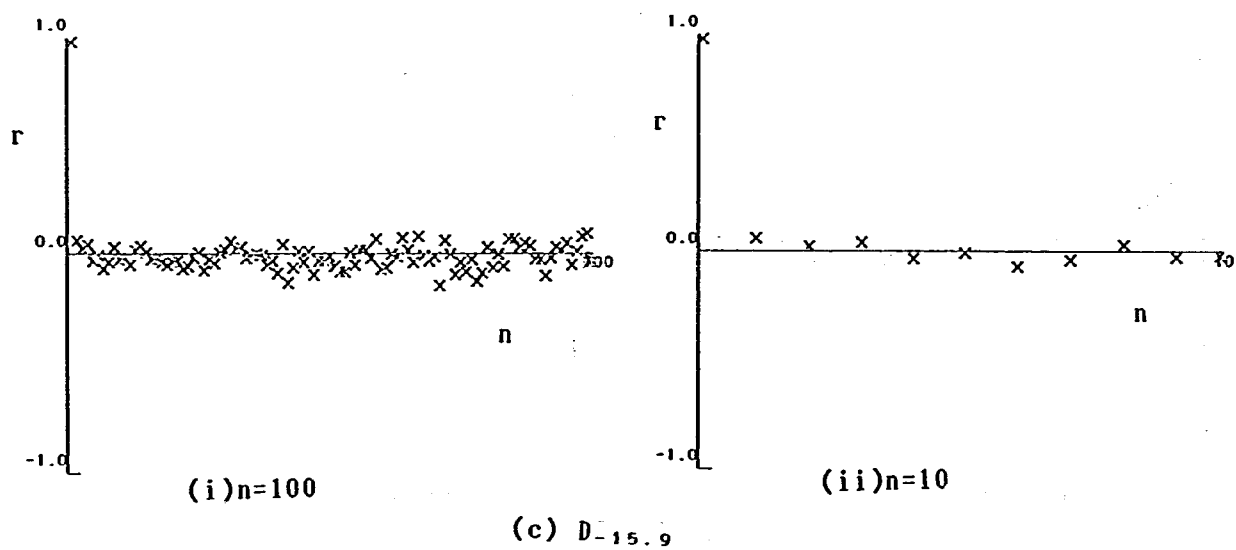
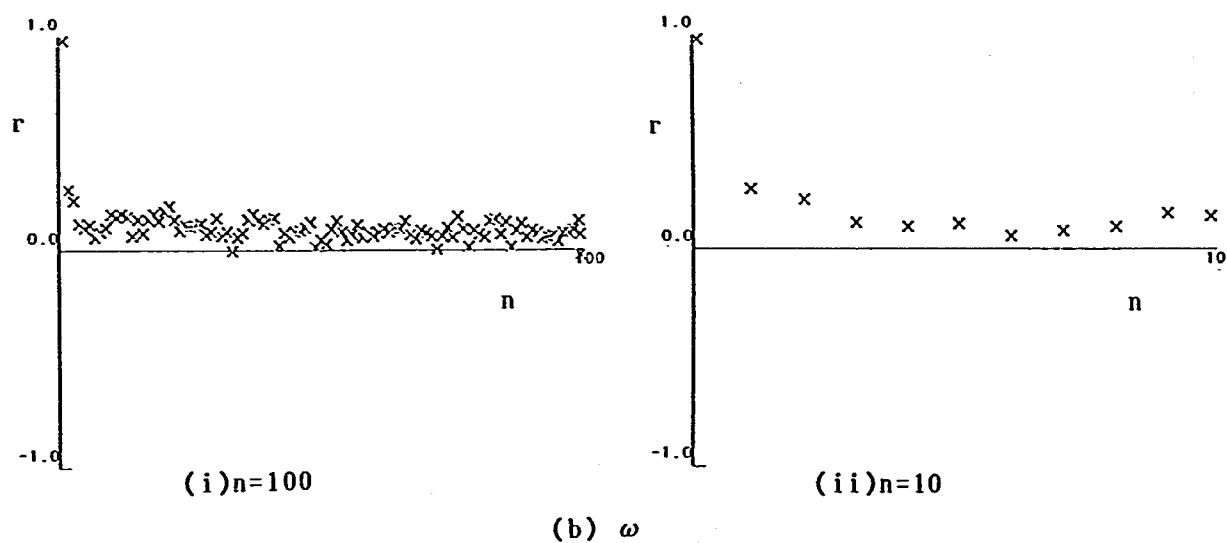
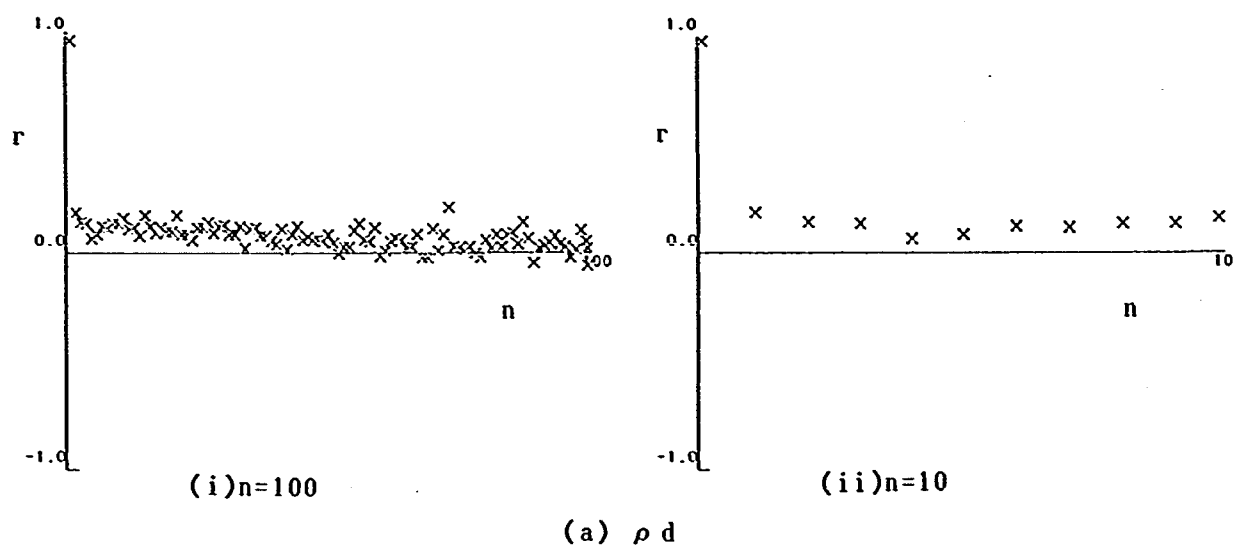
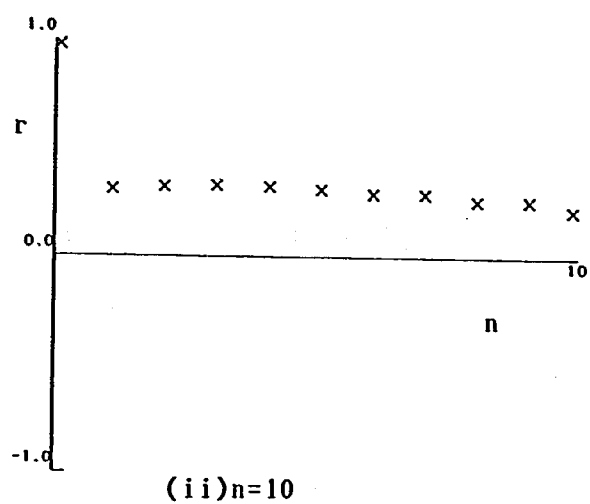
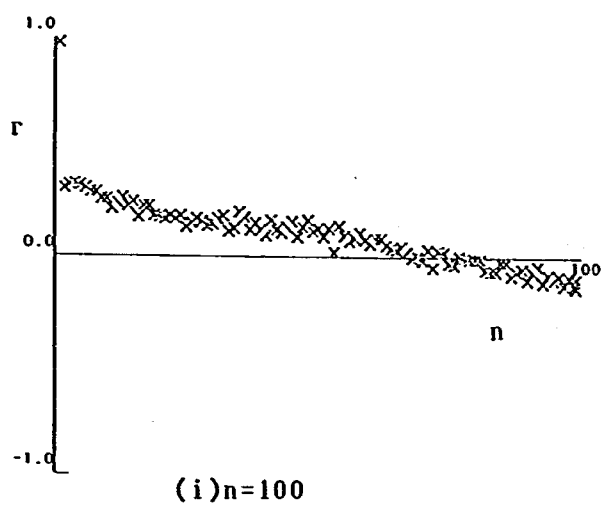
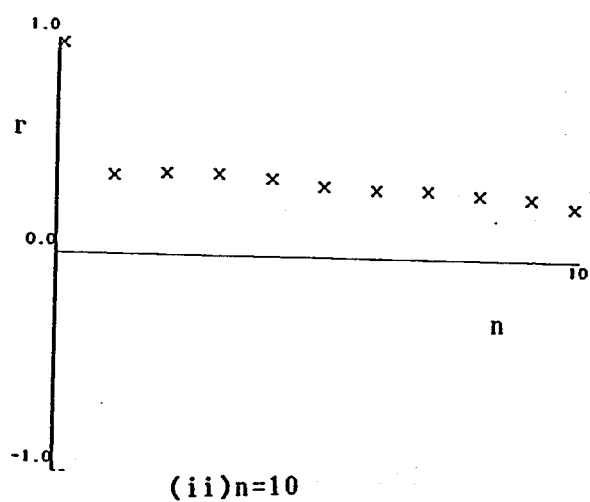
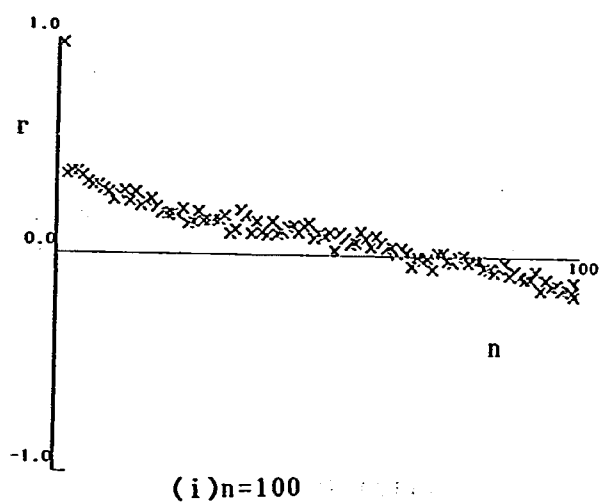


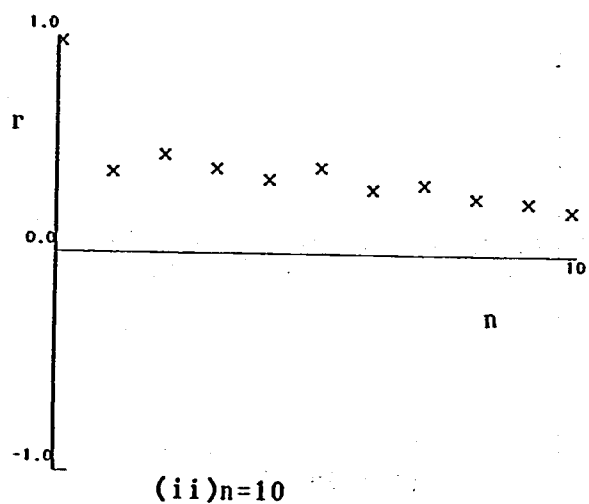
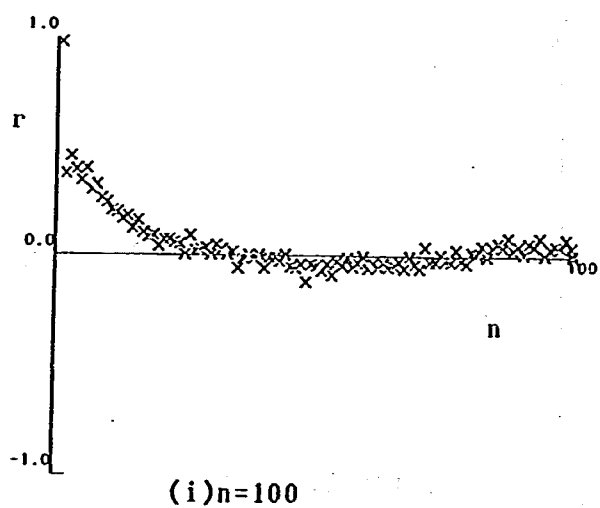
図-3. 23(1) 自己相関係数 (味噌川ダム)



(a) ρd



(b) ω



(c) $D-19.1$

図-3.23(2) 自己相関係数 (三国川ダム)

いる。減少幅は味噌川ダムのケースで0.7～0.9程度，三国川ダムのケースで0.6～0.7程度となっている。これはデータの変動が1回の測定回数の間でも非常に大きい事，言い替えるならデータの短期的変動成分が非常に大きい事を示している。つまり，1リフト盛立毎に1回行う品質管理試験では，前後のデータにあまり相関性はないと解釈されよう。しかし，図中から観察されるが， $n=1$ でも $n=10$ でも自己相関係数の値には大きな違いはない。つまり，測定されたデータは1リフト離れたものでも10リフト離れたものでもデータの持つ自己相関性は大きくは変わらないと解釈される。

土質データによる自己相関係数のモデル化については，今までは主に土質地盤について行われてきた。松尾らの報告によると，沖積粘性土の非排水強度 C_u の深さ方向について下式を示している。⁴⁾

$$r(\Delta x) = \exp(-\Delta x/\ell) \quad \text{----- (3.15)}$$

ここで ℓ は相関距離と呼ばれるパラメータである。Alonsoらによっても，コーン貫入抵抗値の深さ方向自己相関係数が上式で表示されることが報告される。⁵⁾

土質データの水平方向の自己相関は，深度方向に比べて一般に高い値を示すことが報告されている。Tangがコーン貫入抵抗(gc)の水平方向の自己相関を調べた例では，下式が提告されている。⁶⁾

$$r(\Delta x) = \exp\left(-\frac{\Delta x^2}{b^2}\right) \quad \text{----- (3.16)}$$

ここで b はパラメータである。

今回のコア材についてのデータには，(3.15) (3.16)式は適合しない。自己相関係数は $n=0$ から $n=1$ に至る部分で大きく減少して，その後ゆるやかな減少形状をとっているためである。図-3.24示す様に，短期変動成分と長期変動成分に分解して線を引くことができる。

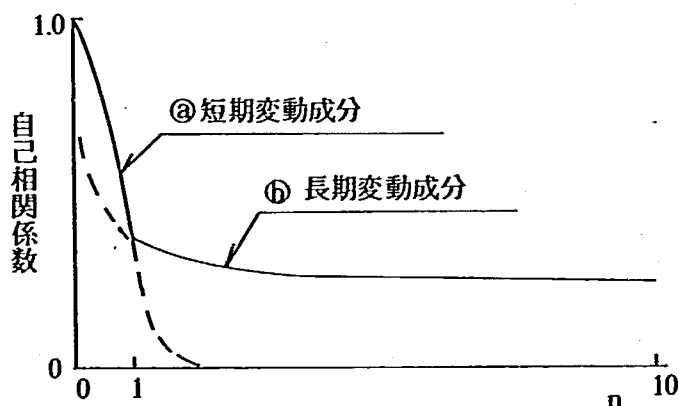


図-3.24 自己相関係数に含まれる短期変動成分と長期変動成分

短期変動成分と長期変動成分が独立であるとの仮定により，自己相関係数のモデルは2つの指数減少関数の和で示される。本城らはコア材の試験データについて，(3.15)式を用いて自己相関係数のモデル化を行っている。^{7) 8)}

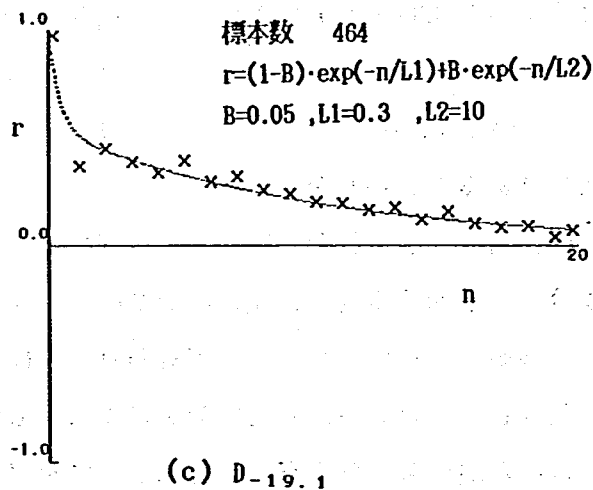
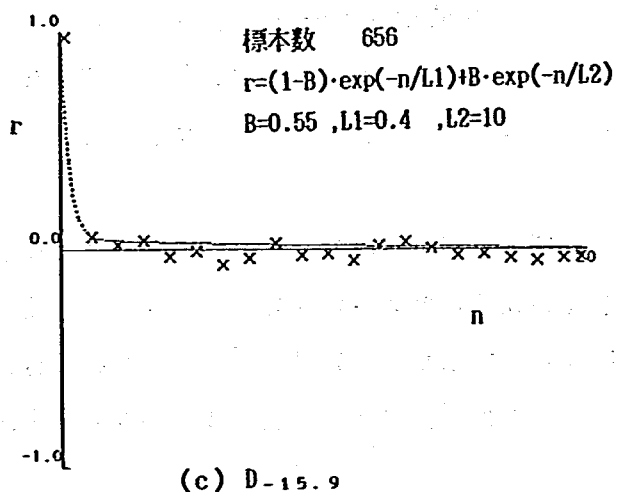
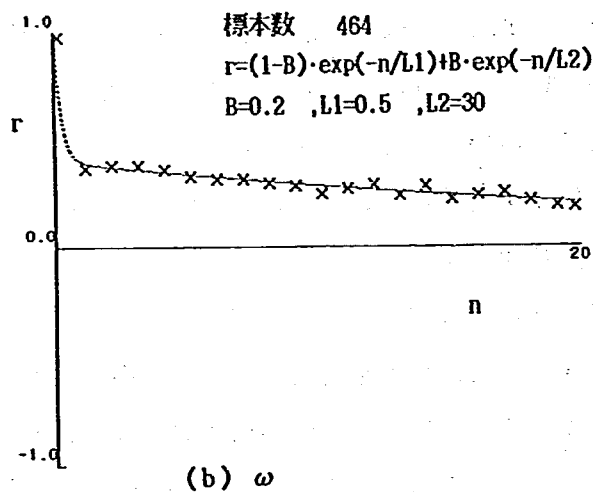
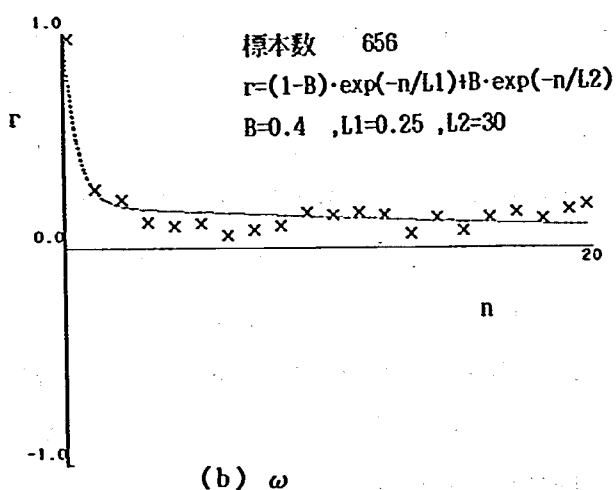
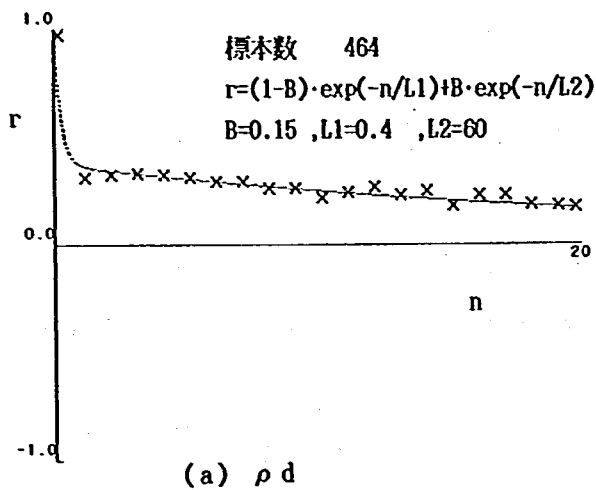
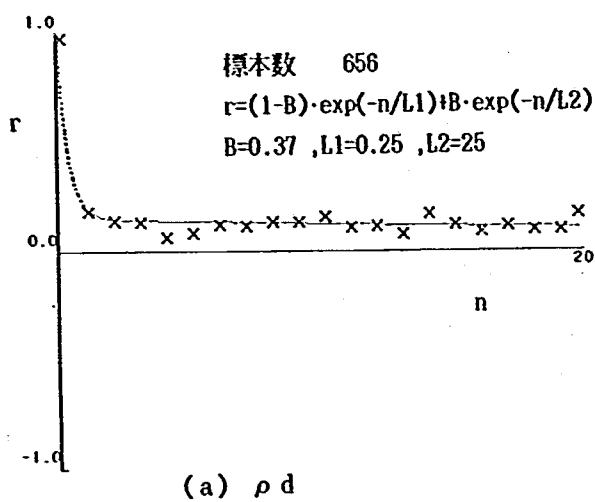
$$r(\Delta x) = r_1(\Delta x) + r_2(\Delta x) \\ = (1-B) \cdot \exp(-\Delta x/L_1) + B \cdot \exp(-\Delta x/L_2) \quad \dots\dots (3.17)$$

ここで $r_1(\Delta x)$ は短期的変動成分に対する自己相関係数、 $r_2(\Delta x)$ は長期的変動成分に対する自己相関係数、 B は分散における長期的変動成分によるものの割合、 L_1, L_2 は相関距離と呼ばれるパラメータである。

(3.17)式を用いて自己相関係数をモデル化した結果を図-3.25に示す。また、各モデルでの B, L_1, L_2 の値を一覧にして表-3.7に示す。ここで B の値は味噌川ダムのケースで0.05~0.2、三国川ダムのケースで0.37~0.55となっており、ばらつきの中に含まれる長期的変動成分の割合は三国川ダムの方が大きいという結果を示している。

表-3.7 各モデルでの B, L_1, L_2 の値

項 目		B	L_1	L_2
味噌川ダム	ρ_d	0.15	0.4	60
	ω	0.2	0.5	30
	D-15.9	0.05	0.3	10
三国川ダム	ρ_d	0.37	0.25	25
	ω	0.4	0.25	30
	D-19.1	0.55	0.4	10



1) 三国川ダムのケース

2) 味噌川ダムのケース

図-3.25 自己相関係数のモデル化

3. 2. 2 移動平均法による時系列データの処理

移動平均法とはデータ列を平滑化するための一手法であり、移動平均 $Z_V(x)$ は、ある体積 V を対象とした場合、観測値 $Z(x)$ を用いて次式で示される。

$$Z_V(x) = \frac{1}{V} \int_{x-V/2}^{x+V/2} Z(x) dx \quad \text{----- (3.18)}$$

今回の日常管理データを用いて移動平均を算出する場合、1リフト盛立毎の試験データを得ているため、移動平均 $Z_V(x)$ はあるデータ数 n を用いて次式で算出される。

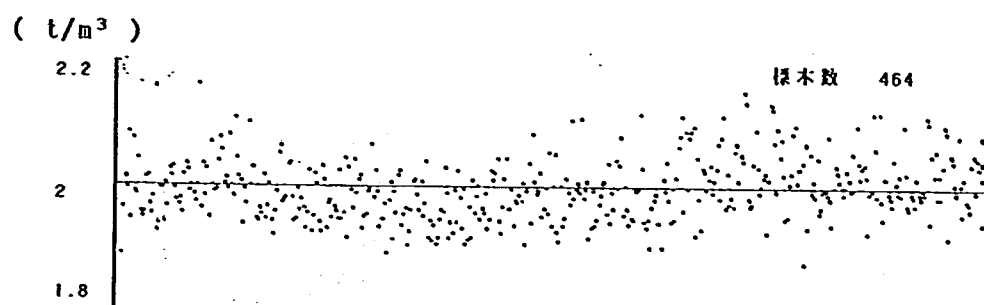
$$Z_V(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=x-(n-1)/2}^{x+(n-1)/2} Z(i) \quad \text{----- (3.19)}$$

これを n 個の移動平均と呼ぶ。

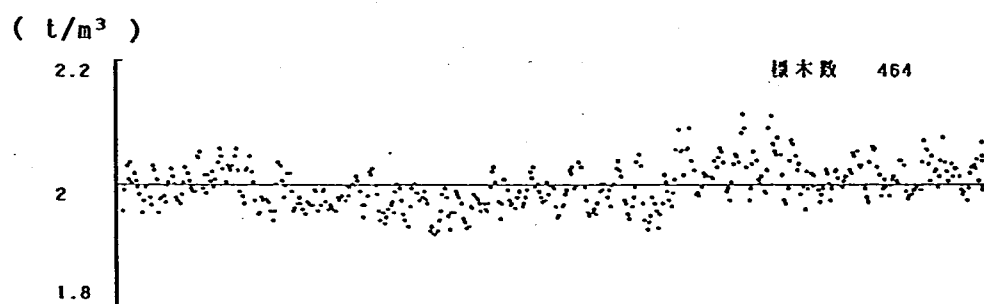
日常管理データの乾燥密度(ρ_d)、含水比(ω)および D 値($D_{-15.9}$, $D_{-10.1}$)について $n=3, 5, 10$ でデータ列を移動平均した結果と移動平均前後のデータ分布形状の比較を、味噌川ダムについては図-3.26(1)~(6)に、三国川ダムについては図-3.27(1)~(6)にそれぞれ示す。移動平均法に用いる個数 n を大きくする程、データ列の短期変動成分が除去されて全体としての変動傾向が観察され易くなっている。言い換えてみるならば、小さなボリュームを対象として得られた試験データを用いて、より大きなボリュームの平均的性質の推移を観察できる、と言えよう。また、移動平均前後のデータの分布形状の比較(図-3.26(2) (4) (6), 図-3.27(2) (4) (6)参照)ではデータの平均値および不偏分散から正規分布曲線を計算して図示してあるが当然のことながら移動平均数 n を大きくする程、分布範囲は小さくなっていく。

表-3.8には移動平均数(n)による不偏分散の平方根の減少割合を示す。 $n=10$ の時点での減少割合は0.35~0.67とばらついた結果を示しており、味噌川ダムの $D_{-15.9}$ が0.35で最もばらつきが減少した状態、三国川ダムの $D_{-10.1}$ が0.67で最もばらつきが減少していない状態となっている。つまり、移動平均を行った後のデータのばらつき度の減少割合はデータ列によって異なった状態であることがわかる。

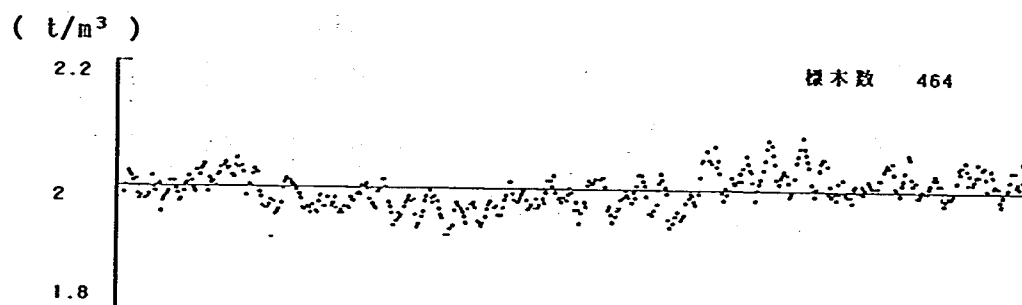
今回使用した品質管理試験のデータ列のばらつきには、一個一個のデータの示す変動(短期変動成分)と季節的変動等、長い周期での変動(長期変動成分)の2つの成分が含まれると考えられる。移動平均法により平滑化が行われるのは主に前者の短期変動成分であり、長期変動成分は平滑化されにくい。長期変動成分を多く含んでいるデータ列は、移動平均後のばらつきが小さいことが理解されよう。(図-3.28参照)



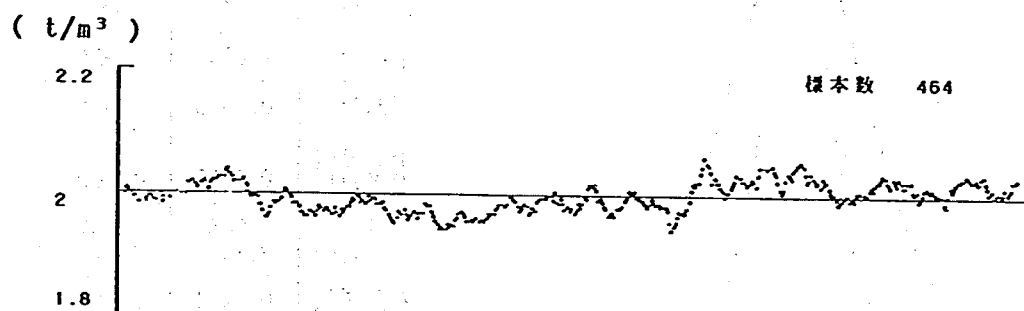
(a) 時系列分布



(b) $n=3$

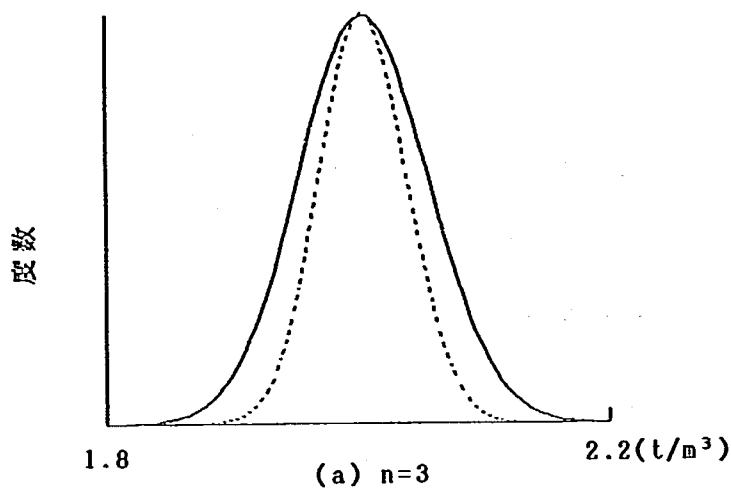


(c) $n=5$

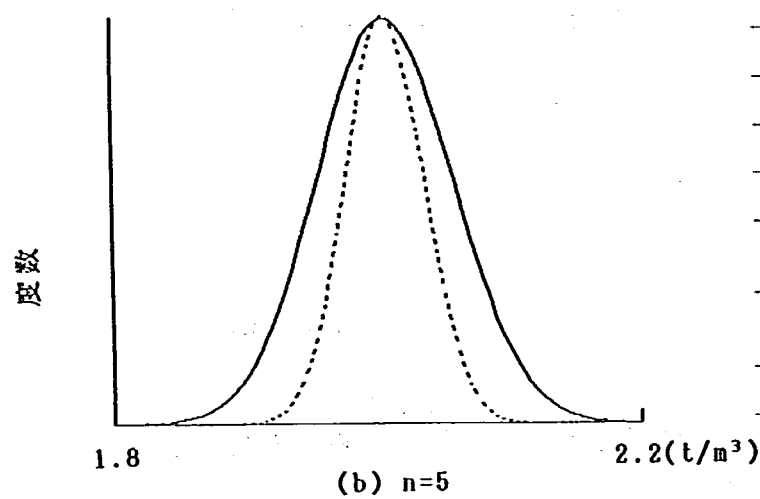


(d) $n=10$

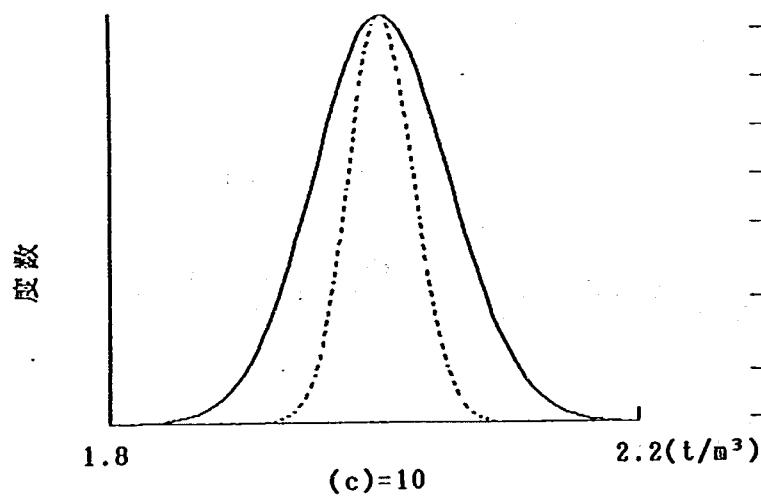
図-3 . 26(1) ρd の移動平均(味噌川ダム)



	$n=1$	$n=3$
標本数	464	462
平均値	2.006	2.006
不偏分散	0.0026	0.0012
不偏分散の平方根	0.0510	0.0344
95%信頼範囲	1.906 2.106	1.939 2.074
変動係数	0.0254	0.0172

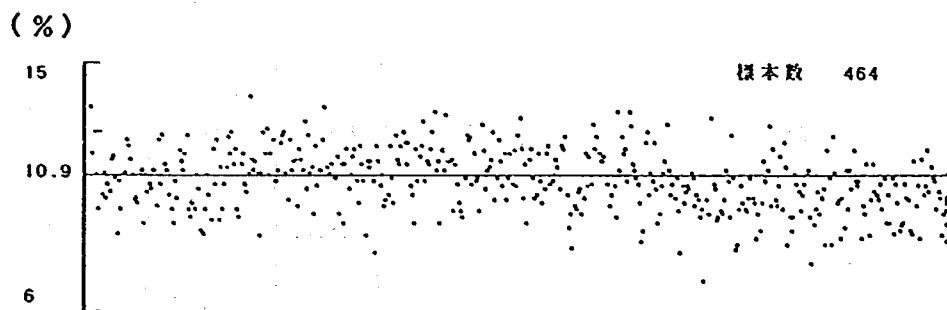


	$n=1$	$n=5$
標本数	464	460
平均値	2.006	2.006
不偏分散	0.0026	0.0009
不偏分散の平方根	0.0510	0.0293
95%信頼範囲	1.906 2.106	1.949 2.064
変動係数	0.0254	0.0146

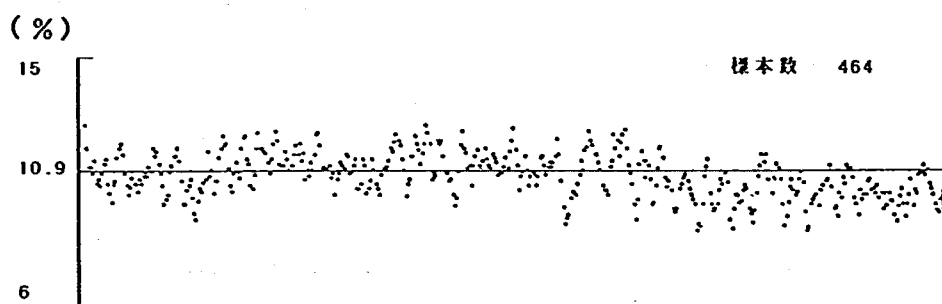


	$n=1$	$n=10$
標本数	464	455
平均値	2.006	2.006
不偏分散	0.0026	0.0006
不偏分散の平方根	0.0510	0.0245
95%信頼範囲	1.906 2.106	1.958 2.054
変動係数	0.0254	0.0122

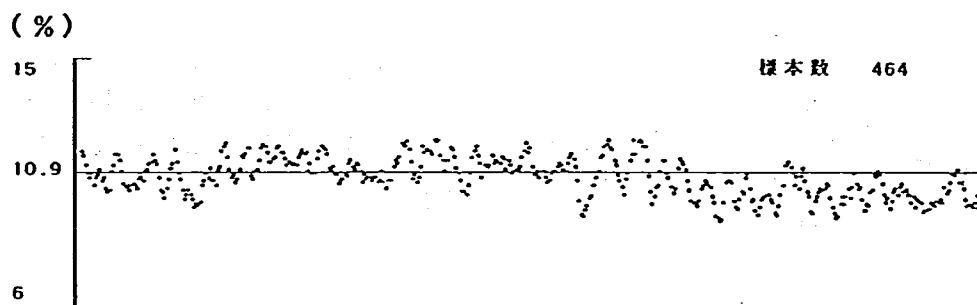
図-3.26(2) ρd の移動平均(データ分布形状)



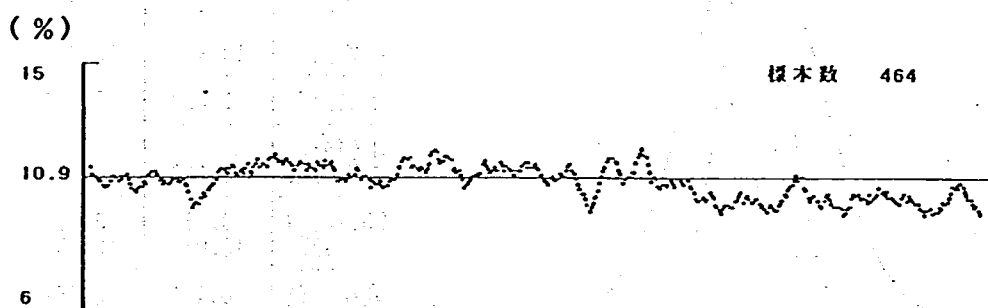
(a) 時系列分布



(b) $n=3$

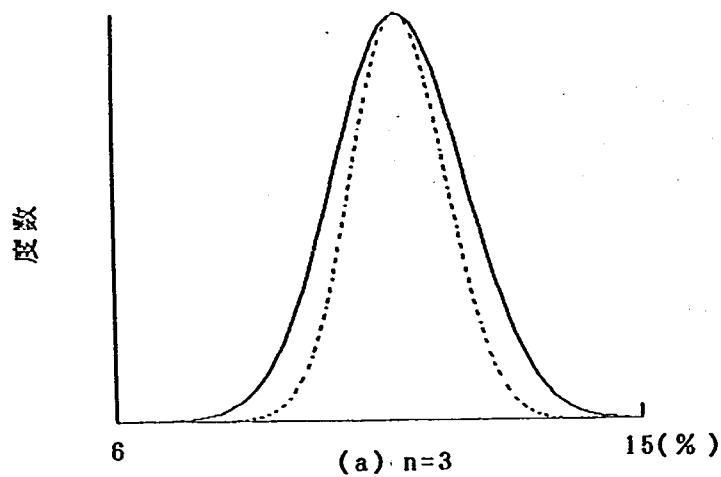


(c) $n=5$

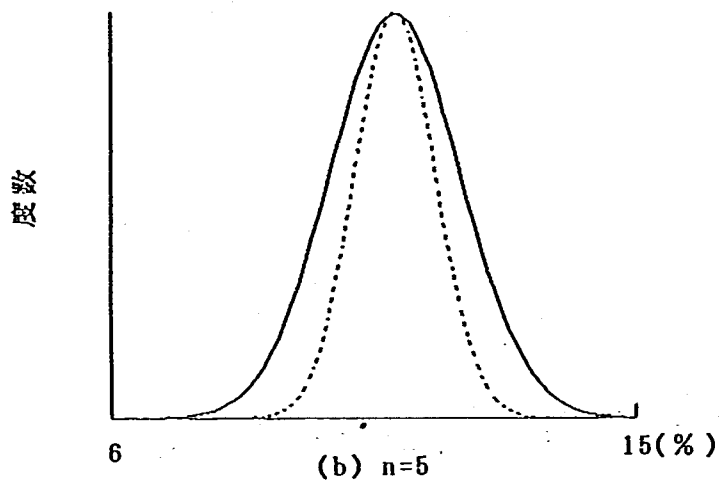


(d) $n=10$

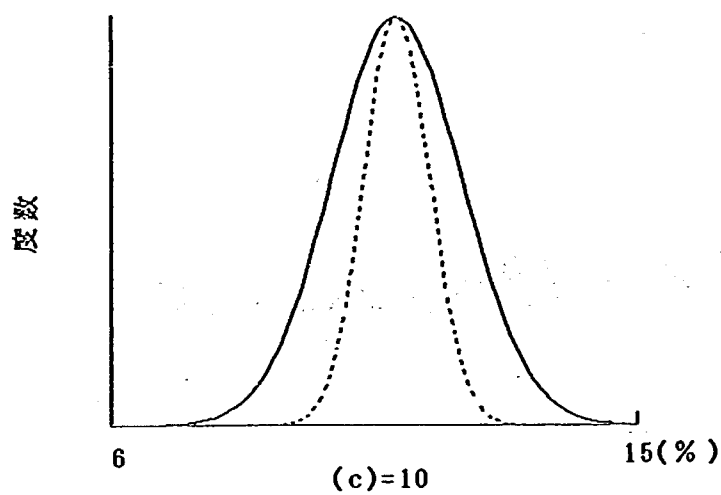
図-3 26(3) ω の移動平均(味噌川ダム)



	$n=1$	$n=3$
標本数	464	462
平均値	10.90	10.90
不偏分散	1.223	0.630
不偏分散 の平方根	1.106	0.794
95%信頼 範囲	8.73 13.07	9.35 12.46
変動係数	0.101	0.073

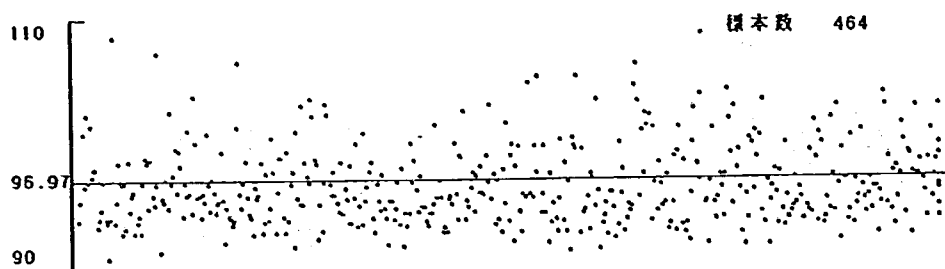


	$n=1$	$n=5$
標本数	464	460
平均値	10.90	10.90
不偏分散	1.223	0.465
不偏分散 の平方根	1.106	0.682
95%信頼 範囲	8.73 13.07	9.56 12.24
変動係数	0.101	0.0626

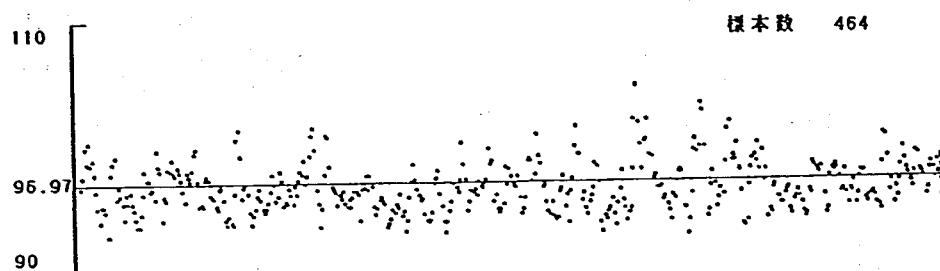


	$n=1$	$n=10$
標本数	464	455
平均値	10.90	10.90
不偏分散	1.223	0.313
不偏分散 の平方根	1.106	0.559
95%信頼 範囲	8.73 13.07	9.81 12.00
変動係数	0.101	0.051

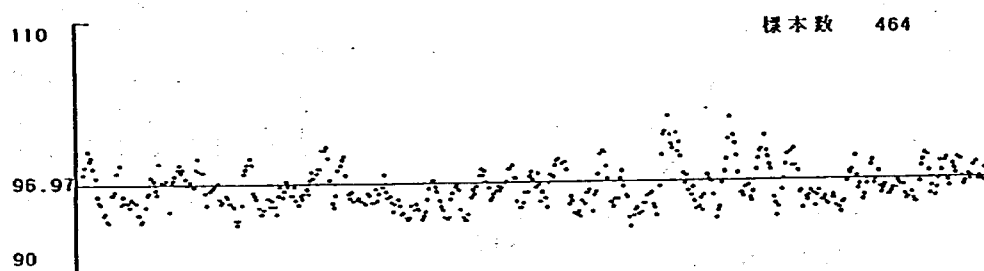
図-3.26(4) ω の移動平均(データの分布形状)



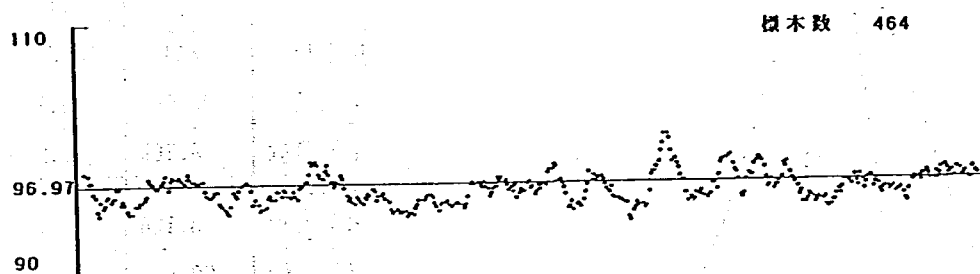
(a) 時系列分布



(b) $n=3$

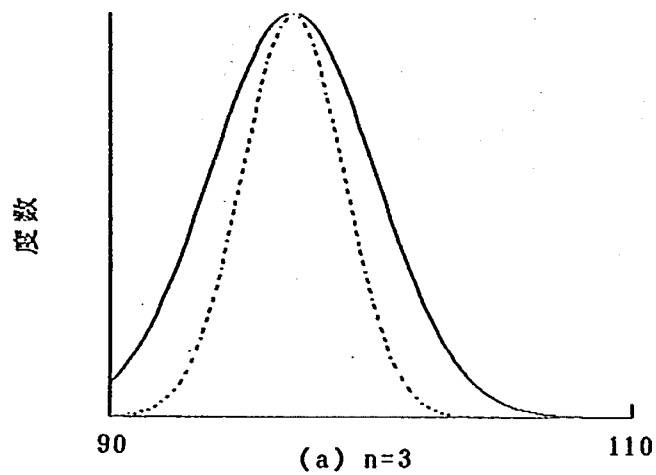


(c) $n=5$

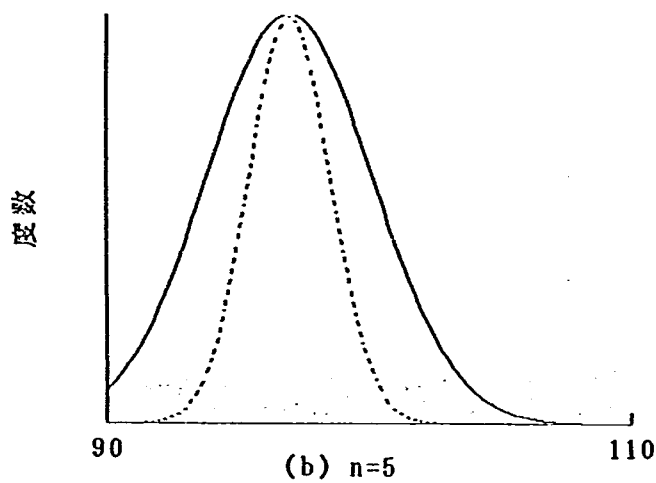


(d) $n=10$

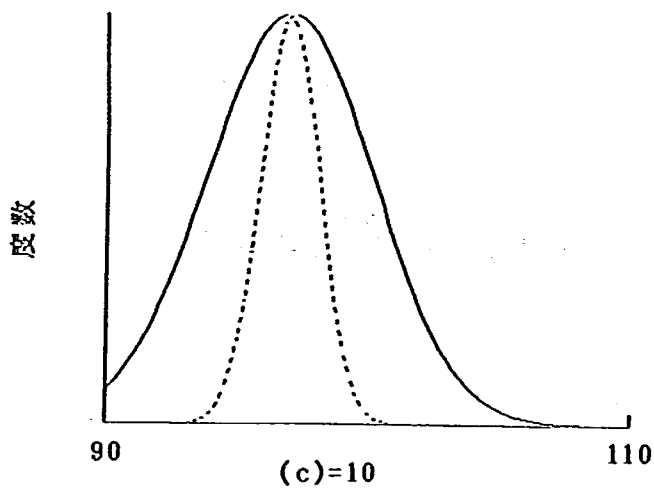
図-3 : 26(5) $\phi D_{15.9}$ の移動平均(味噌川ダム)



	n=1	n=3
標本数	464	462
平均値	96.98	96.98
不偏分散	9.769	3.696
不偏分散の平方根	3.126	1.923
95%信頼範囲	90.85 103.18	93.21 100.75
変動係数	0.032	0.019

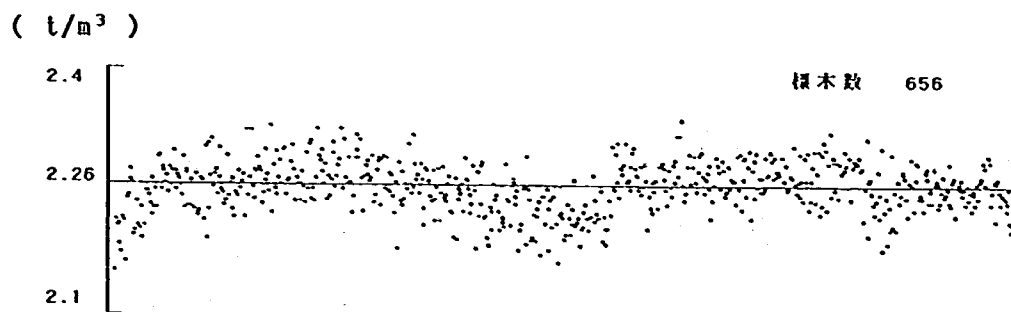


	n=1	n=5
標本数	464	460
平均値	96.98	96.97
不偏分散	9.769	2.386
不偏分散の平方根	3.126	1.545
95%信頼範囲	90.85 103.18	93.95 100.00
変動係数	0.032	0.016

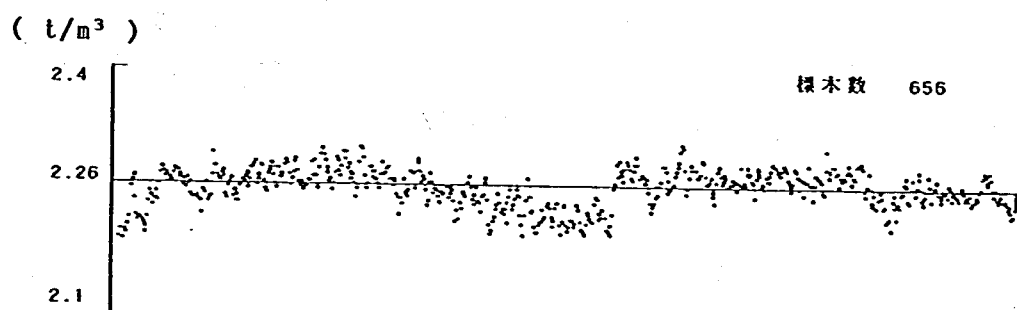


	n=1	n=10
標本数	464	455
平均値	96.98	96.96
不偏分散	9.769	1.215
不偏分散の平方根	3.126	1.102
95%信頼範囲	90.85 103.18	94.80 99.12
変動係数	0.032	0.011

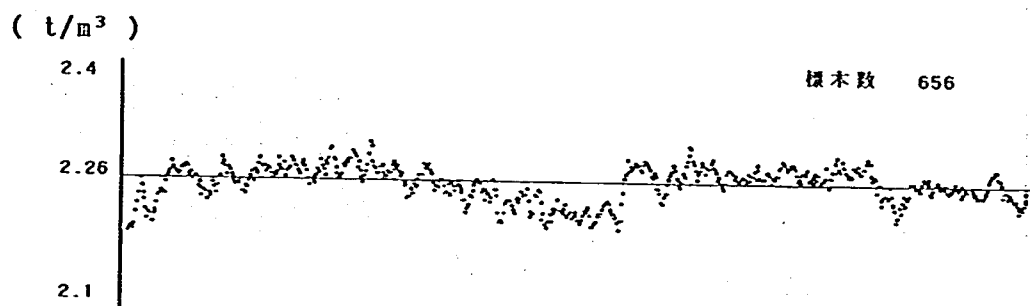
図-3 . 26(6) D-15.9 の移動平均 (データの分布形状)



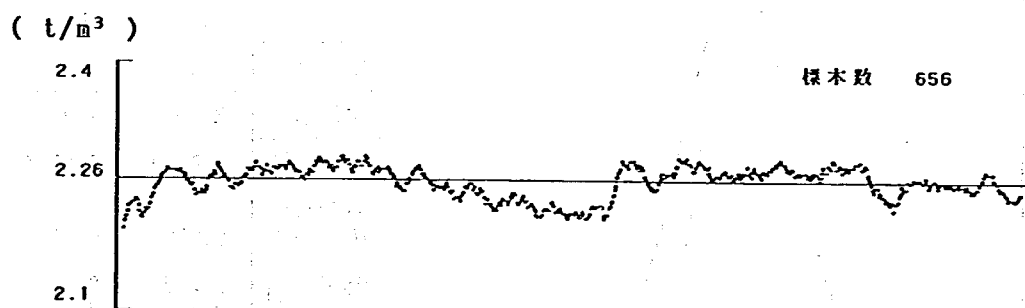
(a) 時系列分布



(b) $n=3$

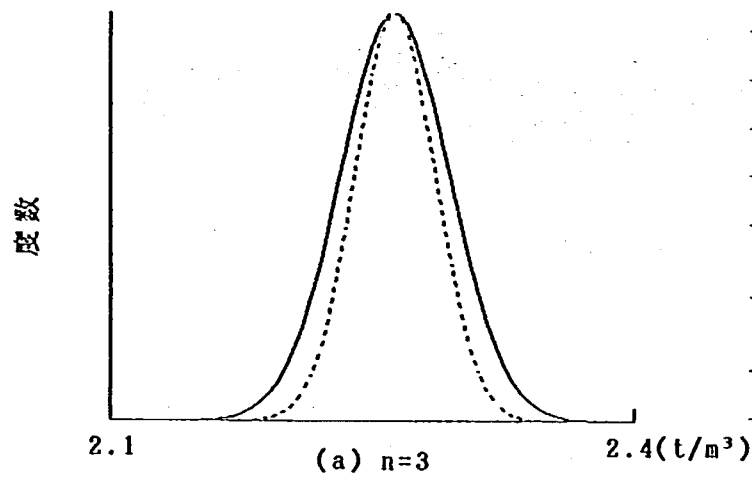


(c) $n=5$

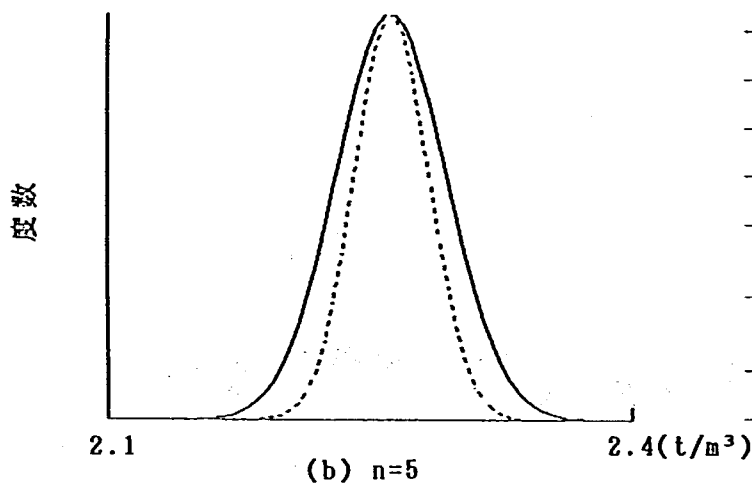


(d) $n=10$

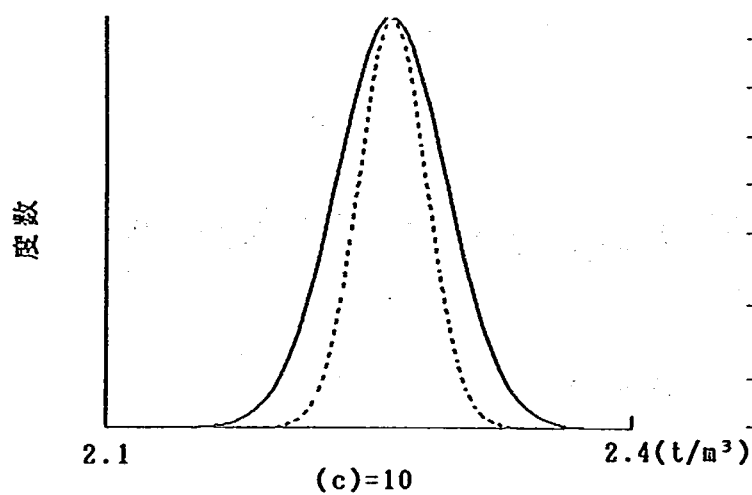
図-3. 27(1) ρ_d の移動平均 (三国川ダム)



	n=1	n=3
標本数	656	654
平均値	2.263	2.263
不偏分散	0.0010	0.0005
不偏分散の平方根	0.0308	0.0229
95%信頼範囲	2.203 2.323	2.218 2.308
変動係数	0.0136	0.0101

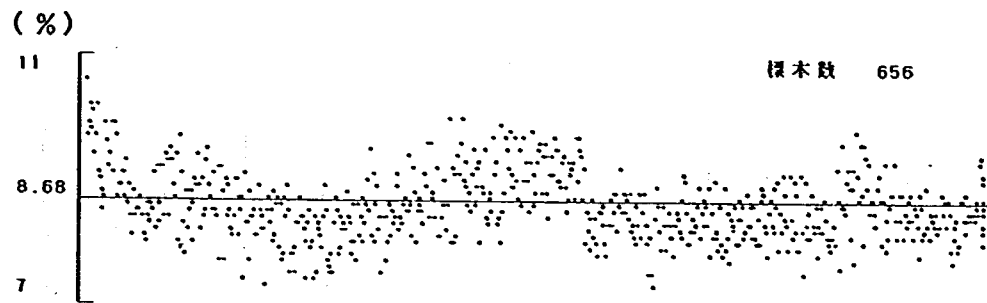


	n=1	n=5
標本数	656	652
平均値	2.263	2.263
不偏分散	0.0010	0.0004
不偏分散の平方根	0.0308	0.0210
95%信頼範囲	2.203 2.323	2.222 2.304
変動係数	0.0136	0.0093

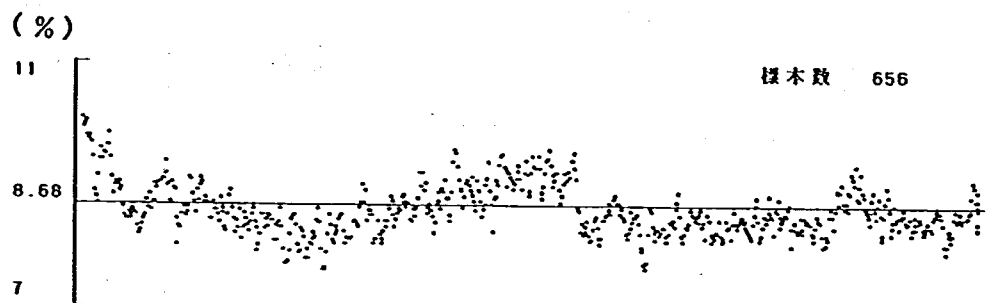


	n=1	n=10
標本数	656	647
平均値	2.263	2.263
不偏分散	0.0010	0.0004
不偏分散の平方根	0.0308	0.0191
95%信頼範囲	2.203 2.323	2.226 2.301
変動係数	0.0136	0.0084

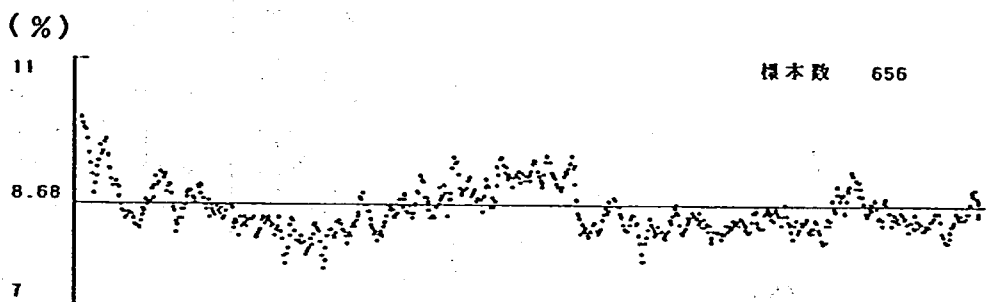
図-3 : 27(2) ρd の移動平均 (データの分布形状)



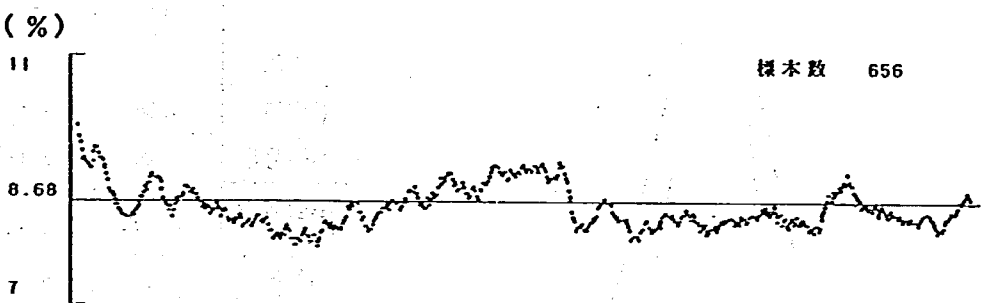
(a) 時系列分布



(b) $n=3$

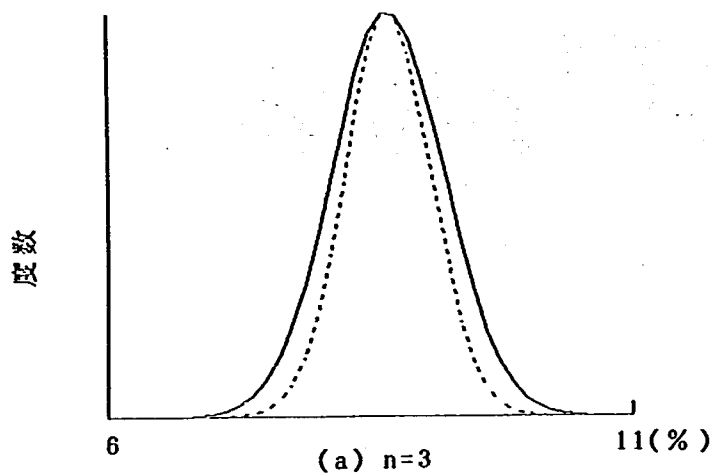


(c) $n=5$

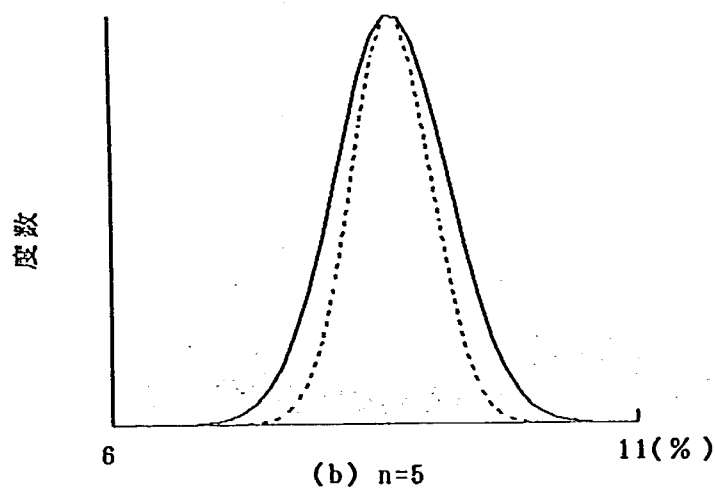


(d) $n=10$

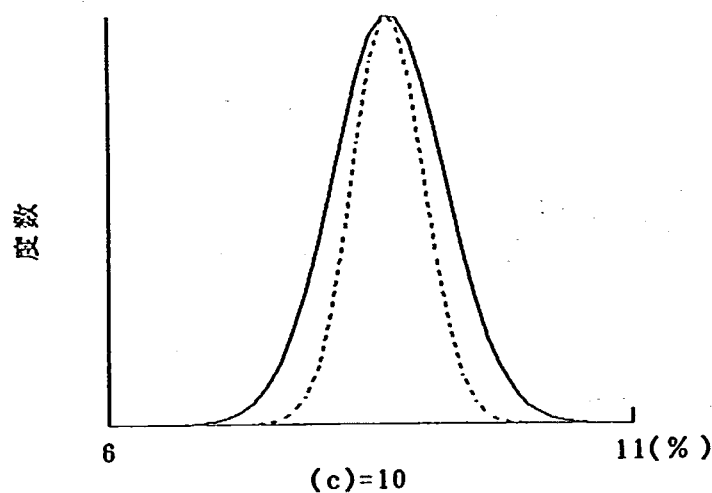
図-3. 27(3) ω の移動平均 (三国川ダム)



	$n=1$	$n=3$
標本数	656	654
平均値	8.68	8.68
不偏分散	0.284	0.166
不偏分散の平方根	0.533	0.408
95%信頼範囲	7.64 9.73	7.88 9.47
変動係数	0.061	0.047

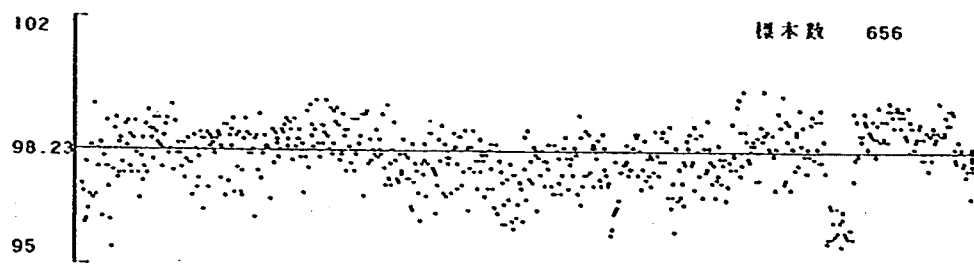


	$n=1$	$n=5$
標本数	656	652
平均値	8.68	8.68
不偏分散	0.284	0.141
不偏分散の平方根	0.533	0.376
95%信頼範囲	7.64 9.73	7.94 9.41
変動係数	0.061	0.043

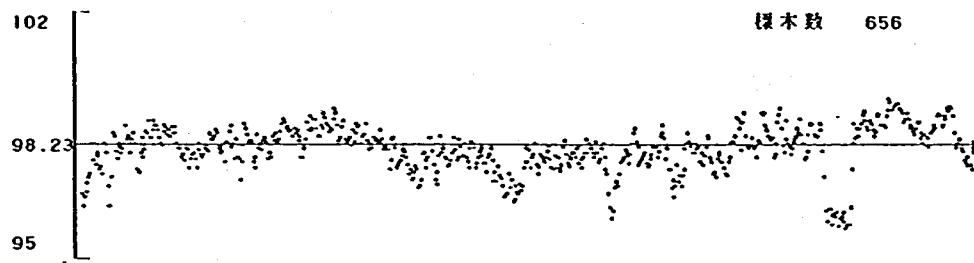


	$n=1$	$n=10$
標本数	656	647
平均値	8.68	8.67
不偏分散	0.284	0.115
不偏分散の平方根	0.533	0.340
95%信頼範囲	7.64 9.73	8.01 9.34
変動係数	0.061	0.039

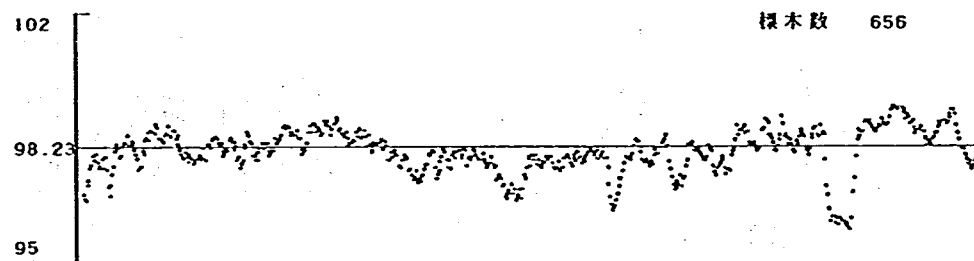
図-3.27(4) ω の移動平均 (データの分布形状)



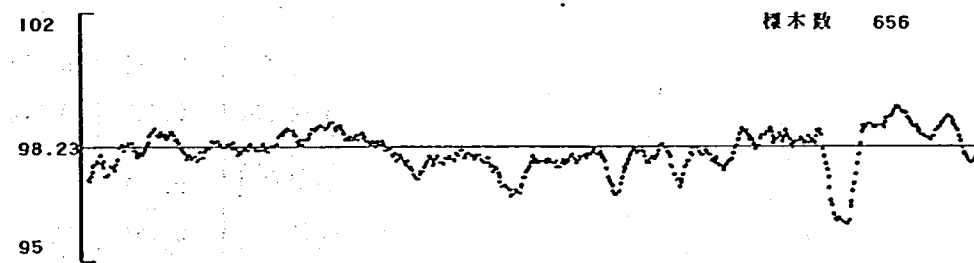
(a) 時系列分布



(b) $n=3$

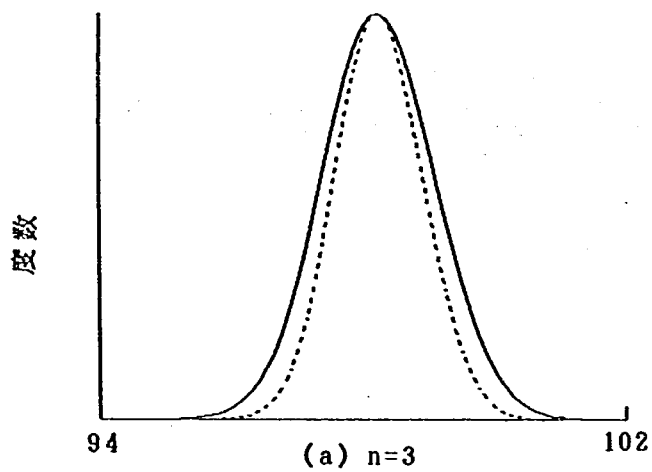


(c) $n=5$

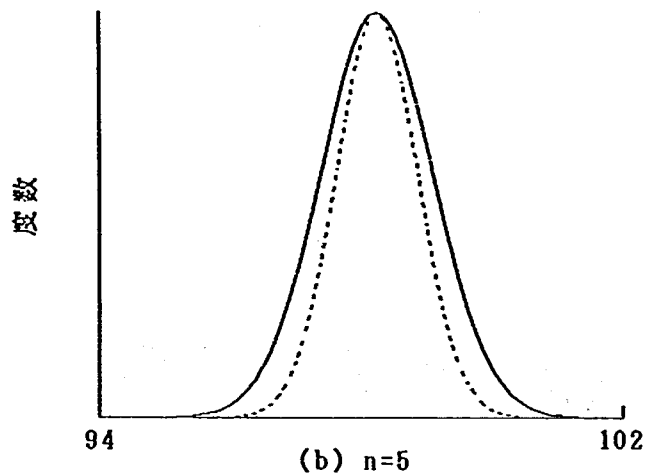


(d) $n=10$

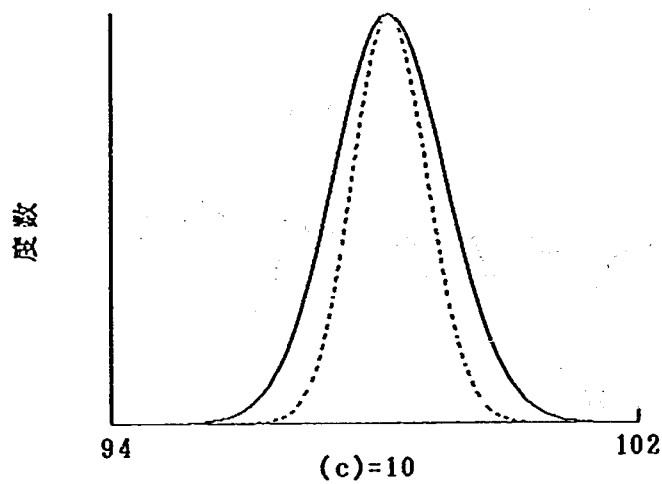
図-3.27(5) $D_{15.9}$ の移動平均 (三国川ダム)



	n=1	n=3
標本数	656	654
平均値	98.24	98.24
不偏分散	0.721	0.441
不偏分散の平方根	0.849	0.664
95%信頼範囲	96.57 99.90	96.94 99.54
変動係数	0.009	0.007



	n=1	n=5
標本数	656	652
平均値	98.24	98.24
不偏分散	0.721	0.383
不偏分散の平方根	0.849	0.619
95%信頼範囲	96.57 99.90	97.03 99.45
変動係数	0.009	0.006



	n=1	n=10
標本数	656	647
平均値	98.24	98.24
不偏分散	0.721	0.322
不偏分散の平方根	0.849	0.568
95%信頼範囲	96.57 99.90	97.13 99.35
変動係数	0.009	0.006

図-3. 27(6) $D_{-15.9}$ の移動平均 (データの分布形状)

表-3.8 n個移動平均による不偏分散の平方根の減少傾向

ダム名	項 目		観測値	n = 3	n = 5	n = 10
味噌川 ダ ム	ρ_d	不偏分散 の平方根	0.0510	0.0344	0.0293	0.0245
		割 合	1.0	0.675	0.575	0.480
	ω	不偏分散 の平方根	1.106	0.794	0.682	0.559
		割 合	1.0	0.718	0.617	0.505
	D-15.9	不偏分散 の平方根	3.126	1.923	1.545	1.102
		割 合	1.0	0.615	0.494	0.353
三国川 ダ ム	ρ_d	不偏分散 の平方根	0.0308	0.0229	0.0210	0.0190
		割 合	1.0	0.744	0.682	0.617
	ω	不偏分散 の平方根	0.533	0.408	0.376	0.340
		割 合	1.0	0.765	0.705	0.638
	D-19.1	不偏分散 の平方根	0.849	0.664	0.619	0.568
		割 合	1.0	0.782	0.729	0.669

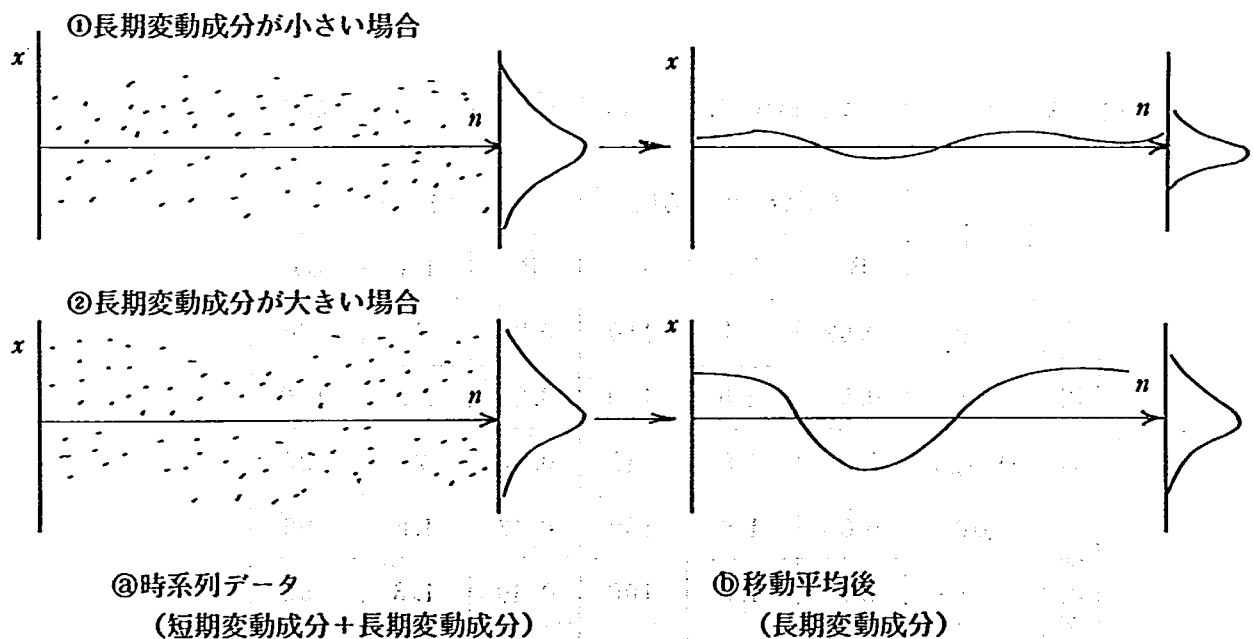


図-3.28 移動平均法のモデル

移動平均数 n を大きくして行くと、最初は短期変動成分が平滑化され、続いて長期変動成分が平滑化されて行く。この際の不偏分散の平方根、および不偏分散の減少割合を図-3.29(1)~(4)に示す。この減少割合は減少関数であり、負の指数関数でモデル化され则认为られる。前述した様にばらつきの減少には長期変動成分と短期変動成分の2成分が含まれていると认为られる事から、モデル式にはこの2成分が独立であるとした上で(3.17)式に示した自己相関係数と同一モデルに設定した。

$$y = (1-B) \cdot \exp(-(x-1)/L_1) + B \cdot \exp(-(x-1)/L_2) \quad \text{----- (3.20)}$$

(短期変動成分における減少関数) (長期変動成分による減少関数)

ここに、 B はデータ全体のばらつきの減少関数の中での長期変動成分の割合、 L_1 および L_2 は関数決定のための定数であり、当然ながら L_1 および L_2 が小さい程減少が大きい形をとる。

図-3.29(1)~(4)には、(3.20)式によりモデル化した結果についても併記してある。表-3.9に各データについてモデル式の B 、 L_1 、 L_2 を示す。三国川ダムのケースの方が B については全体的に大きな値を示しており、味噌川ダムのケースに比べてばらつきの中に含まれる長期変動成分が大きいと判断されよう。また、不偏分散での B の値は不偏分散の平方根での B の2乗値に、ほぼ等しくなっている。短期変動成分の減少度を表す L_1 および長期変動成分の減少度を表す L_2 に着目すると、 L_2 は L_1 の12倍~70倍程の値を示しており、 L_1 は2前後の、 L_2 は25~150の値を示している。

移動平均数 n を変化させて不偏分散の平方根等の減少率を調べることにより、時系列データの中に含まれる短期変動成分と長期変動成分を分割して観察することが可能であり、全体のばらつきの中でのそれぞれの成分の寄与率を求めることが可能であると判断されよう。

表-3.9 各モデル式の B 、 L_1 、 L_2 の値(日常管理データの場合)

項 目		不偏分散の平方根			不 偏 分 散		
		B	L_1	L_2	B	L_1	L_2
味噌川ダム	ρ_d	0.52	2.1	110	0.24	2	90
	ω	0.52	2.5	150	0.25	2.5	100
	$D_{-15.9}$	0.4	2.5	42	0.15	2	25
三国川ダム	ρ_d	0.66	1.8	130	0.43	1.8	65
	ω	0.7	1.5	100	0.49	1.3	52
	$D_{-19.1}$	0.74	1.5	85	0.57	1.3	40

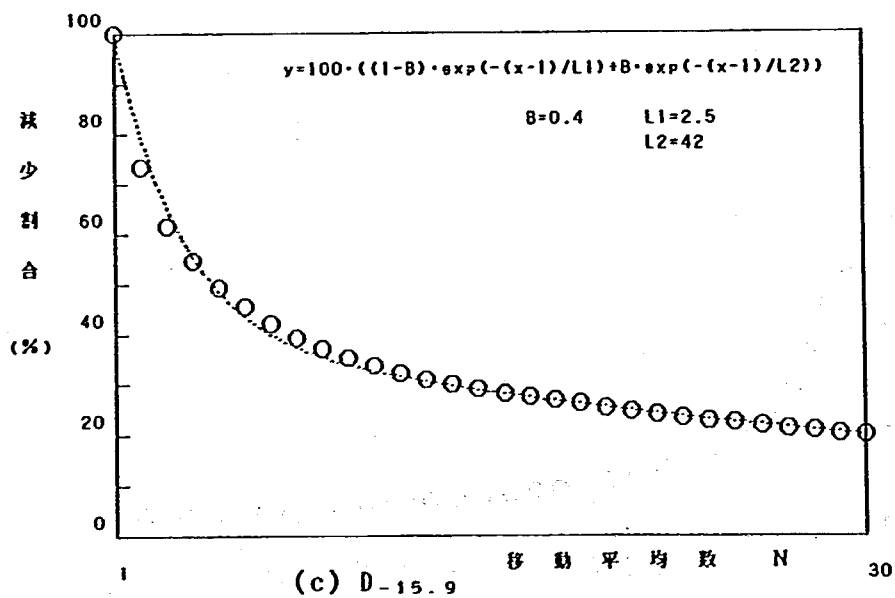
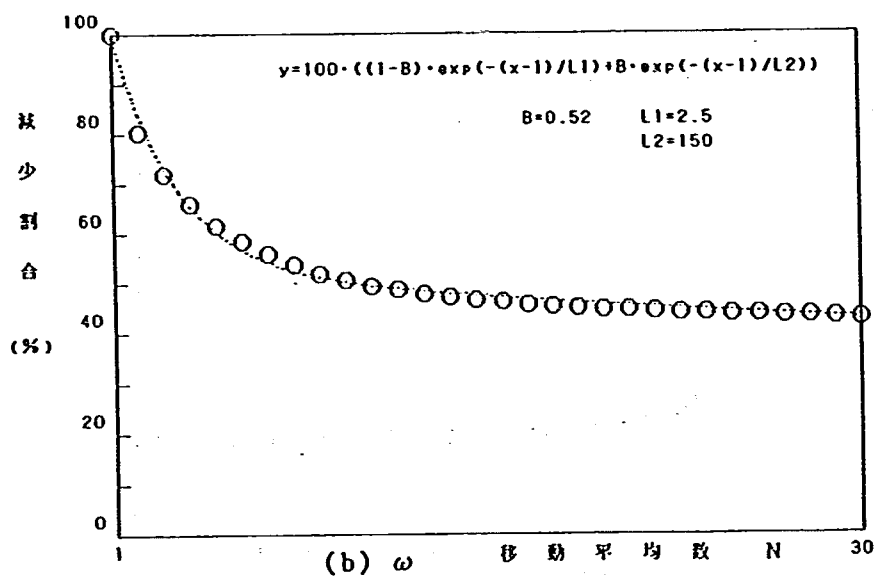
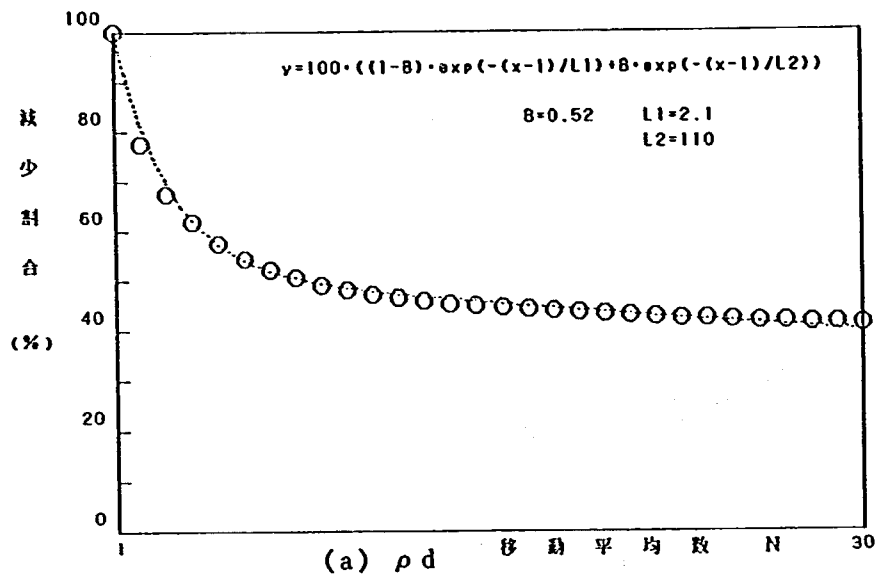


図-3. 29(1) 移動平均数による不偏分散の平方根の減少割合 (味噌川ダム)

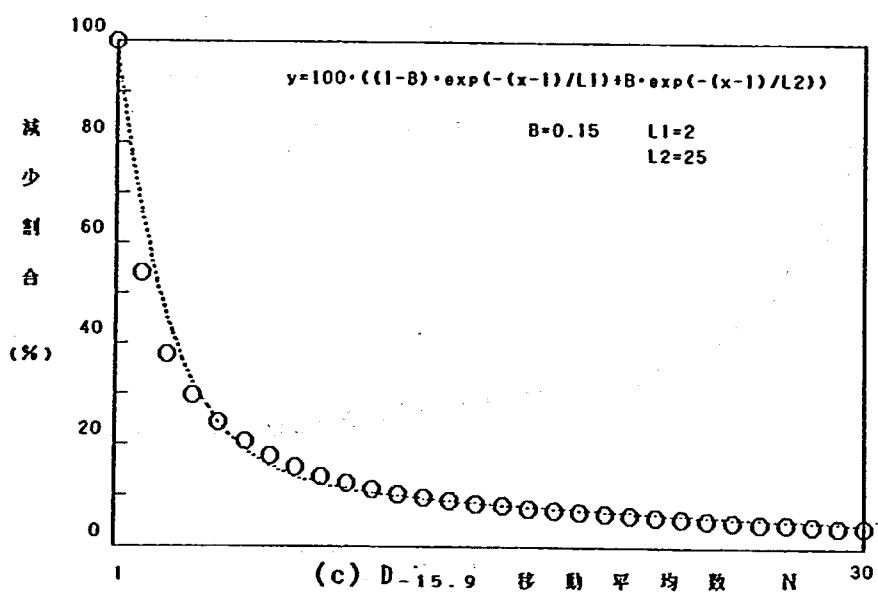
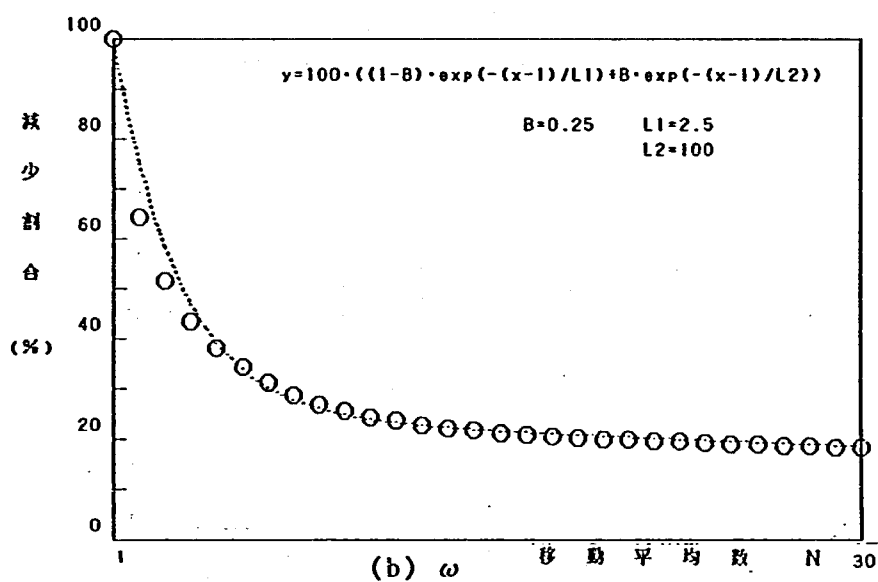
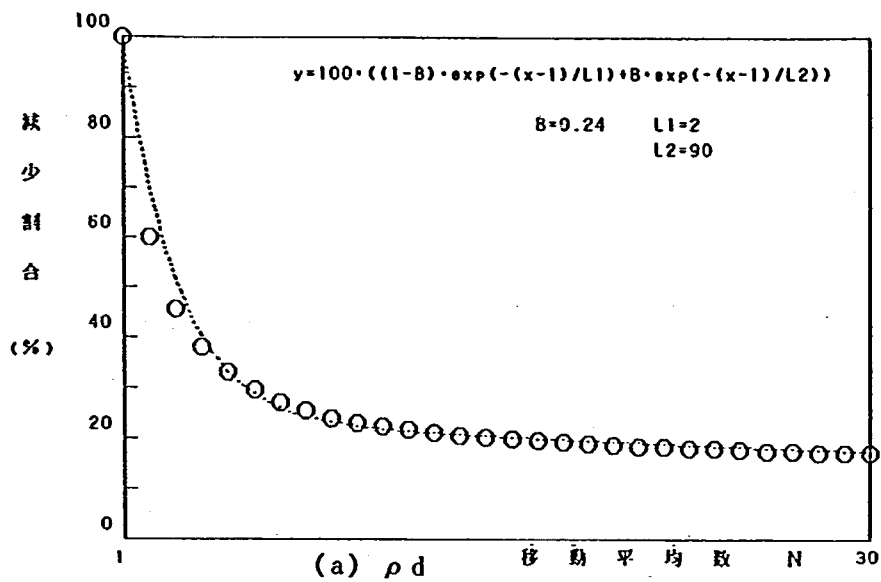


図-3 : 29(2) 移動平均数による不偏分散の平方根の減少割合 (味噌川ダム)

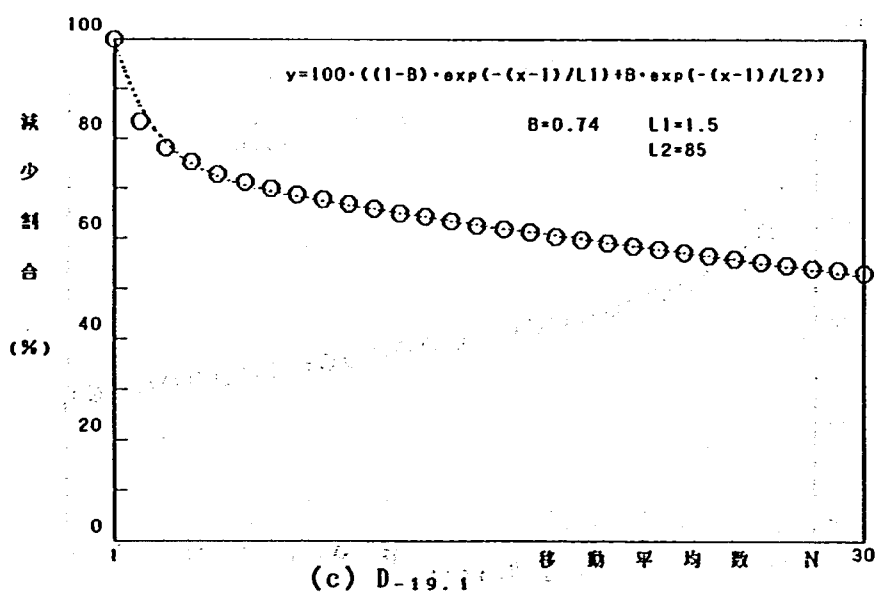
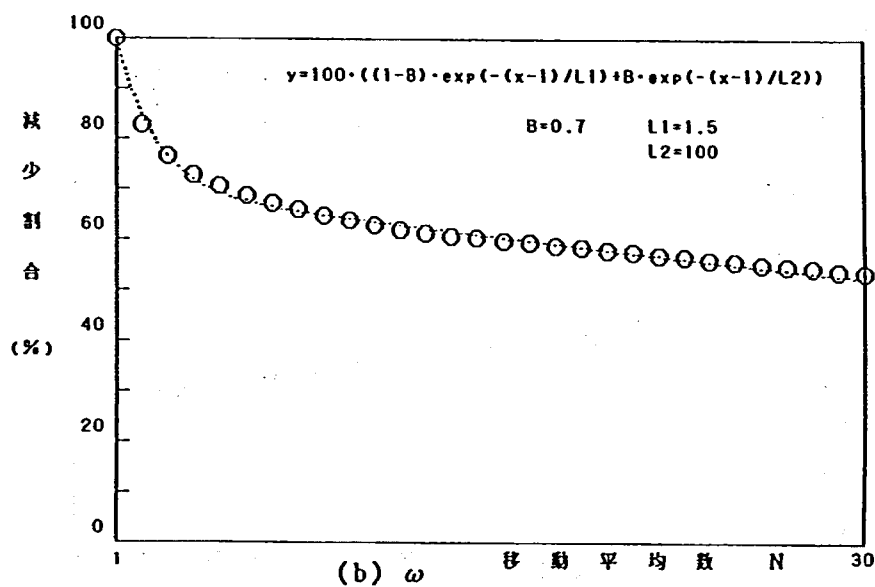
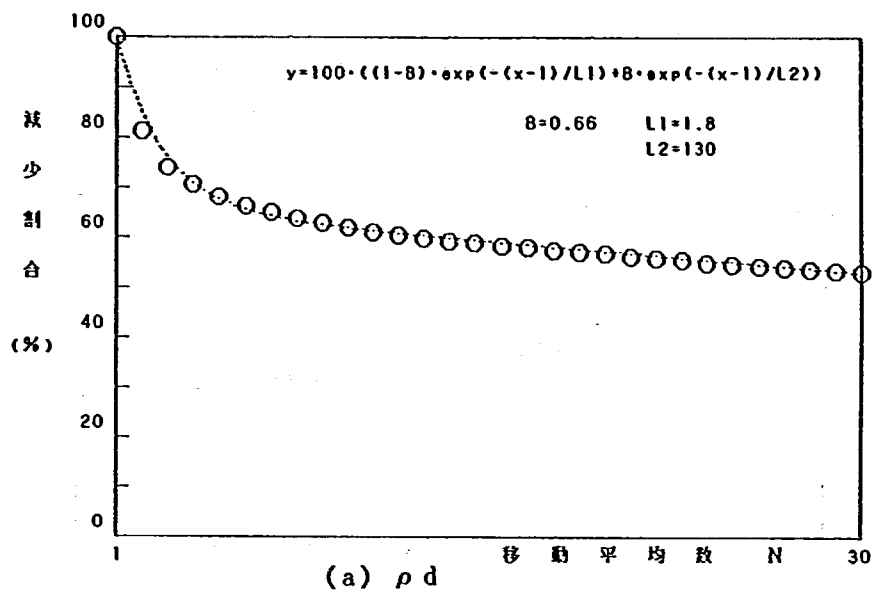


図-3. 29(3) 移動平均数による不偏分散の平方根の減少割合 (三国川ダム)

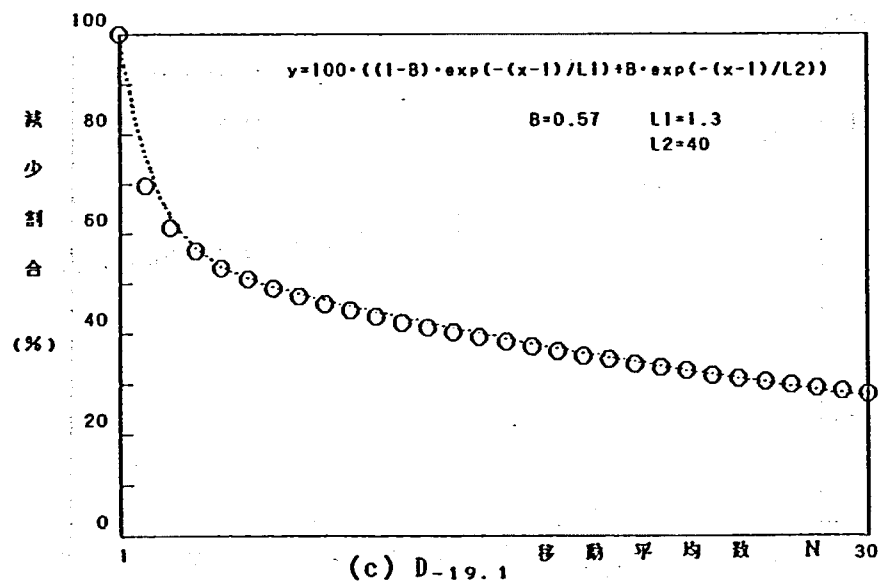
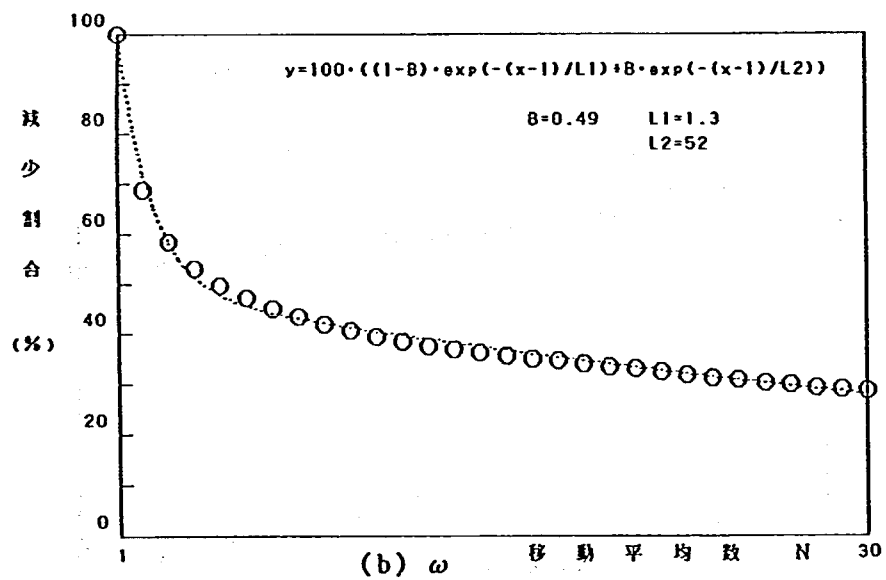
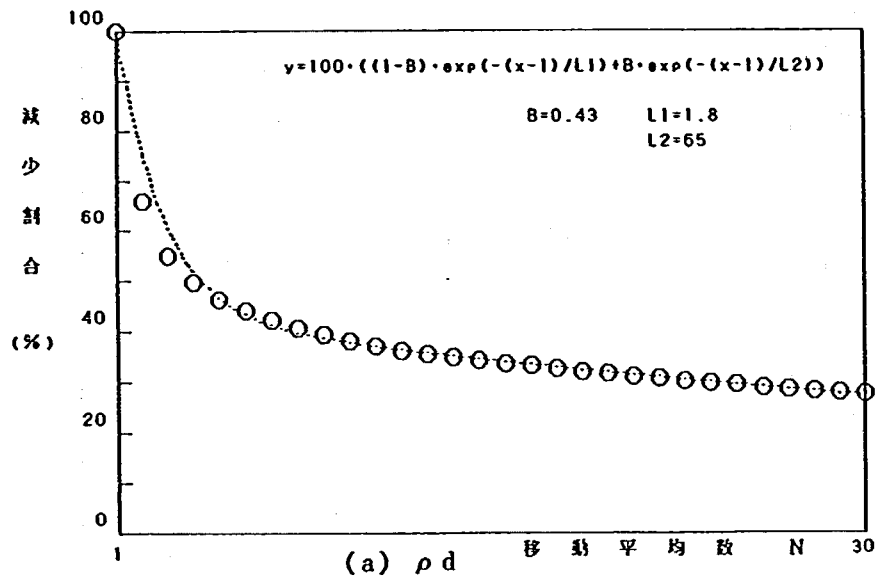
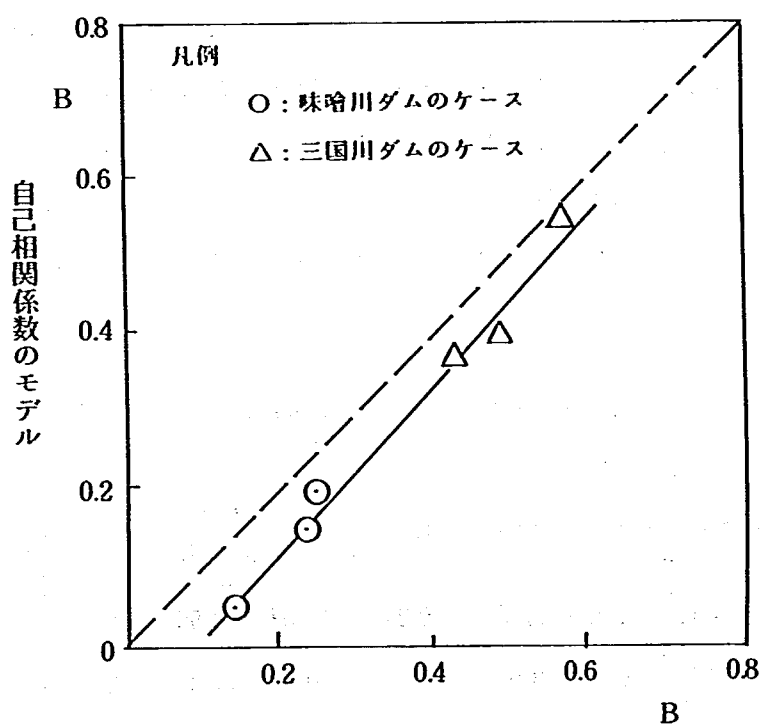


図-3 : 29(4) 移動平均数による不偏分散の平方根の減少割合 (三国川ダム)

3. 2. 3 長期変動成分に着目した場合のデータのばらつき度の解釈

3. 2. 1 および 3. 2. 2 で、移動平均法と自己相関係数の算出という 2 通りの時系列データの処理方法を用いてデータのばらつきにフィルターをかけて長期変動成分と短期変動成分の 2 つに分けて取り出すことができた。

ここで長期変動成分の割合の値 (B) が、自己相関係数のモデルと、移動平均法によるばらつき (不偏分散) の減少割合のモデルの場合とで同様の値を示しているか、言い換えるならば、ばらつきを長期変動成分と短期変動成分に分ける際に同様のフィルターを用いているか、調べてみた。結果を次図に示す。両者のモデルによる B の値はほぼ 1 : 1 の関係を示しているが、自己相関係数による B の値の方が多少小さな値を示している。



移動平均法による不偏分散の減少割合のモデル

図- 3. 30 B の値の比較

ばらつきの中に含まれる短期変動成分はわずか数リフトの間に自己相関係性を失ってしまうものであり、盛立られたコア材料の性質の変動の他に試験誤差等の変動成分を多く含んだものであると考えられる。堤体の平均的性質を考えるにあたっては、データの季節変動等を含んだ長期変動成分を考慮した形でデータのばらつき幅を設定することが妥当であろう。

3. 1 においてデータの分布形状を正規分布に当てはめてデータの 95% 分布範囲を算出したが、ここではばらつきの中の長期変動成分のみを考慮した場合の 95% 分布範囲を算出して表- 3. 10 に示す。なお算出は次式による。

$$k = \bar{x} \pm 1.96 \cdot \sqrt{B \cdot V} \quad \text{..... (3.21)}$$

ここに $\bar{x}$ は平均値、Bは不偏分散の中に占める長期変動成分の割合、Vはデータの不偏分散の平方根である。表-3.10では移動平均数による不偏分散の減少割合のモデルにより求めたBの値と、自己相関係数のモデルにより求めたBの値の2通りを用いて計算を行っている。どちらのケースでも当初データの95%分布範囲に比べて範囲が狭くなっている。

ここで注目したいのが、味噌川ダムのD_{-15.9}のデータである。D値は通常95以上で規定されるが、当初データでは平均値は96.98と95をこえているものの、95%分布範囲では90.85~103.10と95を下回る範囲をかなり含む状態を示していた。しかし、長期変動成分によって95%分布範囲を算出した場合は、94.61~99.35あるいは95.61~98.35となり、95以上の規定をほぼ満足した結果を示す。

堤体の平均的性質を述べる場合に、平均値ではデータのばらつきを考慮しない形となるし、ばらつきを考慮して95%分布範囲、あるいは3シグマ法等で求めた場合ではデータ個々の測定誤差まで含んだ広いレンジを持った形になってしまう。よって、データのばらつき内、短期変動成分（試験誤差等によるばらつきの成分）の除去を行い、長期変動成分（季節的変動等によるばらつきの成分）を対象としてデータの95%分布範囲を求め、堤体の平均的性質とすることも方法と考えられる。

表-3.10 長期変動成分によるデータの95%分布範囲の算出

項 目		平 均	95%分布範囲	B ₁	B ₁ による 95%分布範囲	B ₂	B ₂ による 95%分布範囲
味噌川 ダム	ρd	2.006 t/m ³	1.906~2.106	0.24	1.957~2.055	0.15	1.967~2.045
	ω	10.90 %	8.73~13.07	0.25	9.82~11.98	0.2	9.93~11.87
	D _{-15.9}	96.98	90.85~103.10	0.15	94.61~99.35	0.05	95.61~98.35
三国川 ダム	ρd	2.263 t/m ³	2.203~2.323	0.43	2.223~2.303	0.37	2.226~2.300
	ω	8.68 %	7.64~9.73	0.49	7.95~9.41	0.4	8.02~9.34
	D _{-19.1}	98.24	96.57~99.90	0.57	96.98~99.50	0.55	97.01~99.47

B₁ : 移動平均数による不偏分散の減少割合のモデルによるBの値

B₂ : 自己相関係数のモデルによるBの値

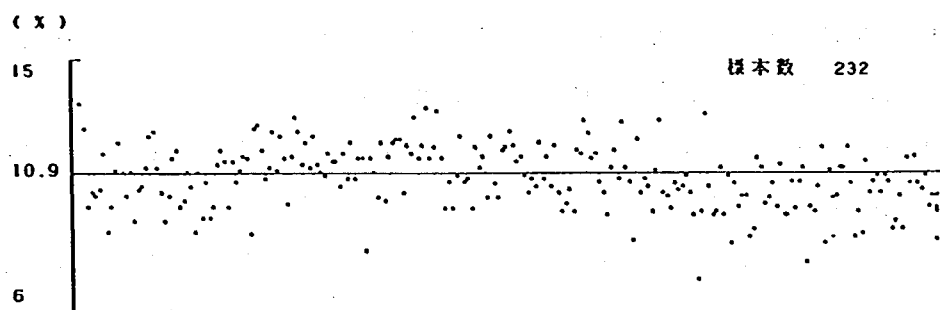
3.3 データ測定頻度を変化させた場合の検討

本節ではデータの測定頻度を変化させた場合について、シュミレーションを行ってみる。現在のデータ列の中からデータ間隔を2, 4, 8となるようにデータを取り出し、移動平均法および自己相関係数を用いて整理した結果について以下に述べる。ここでデータ間隔2とはデータ列の中から2つに1つずつデータを選び出したデータ列の事を、データ間隔4とは4つに1つずつ選び出したデータ列の事を意味する。

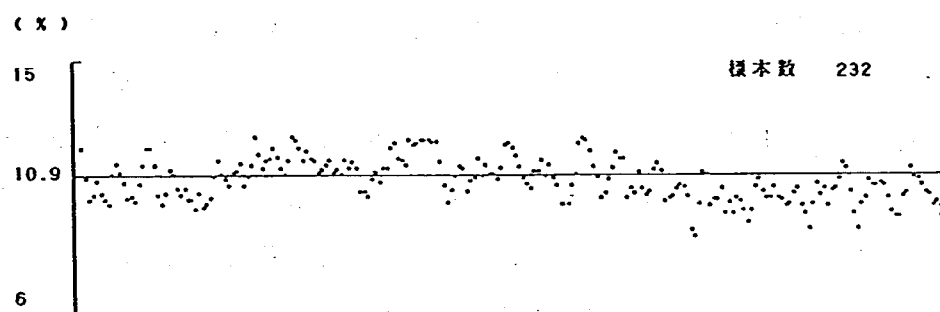
まず、各データ列のデータ間隔を変化させた場合の移動平均計算結果とデータの分布形状を、図-3.31(1)~(6)に味噌川ダムの ω について、図-3.32(1)~(6)に三国川のダムの ρd についてそれぞれ示す。

データ間隔を大きくすると当然データ数が減少するために、移動平均のグラフは単純化されて行く。移動平均のグラフを観察した状態では、データ間隔を大きくしても時系列の流れには大きな変化は存在しない。

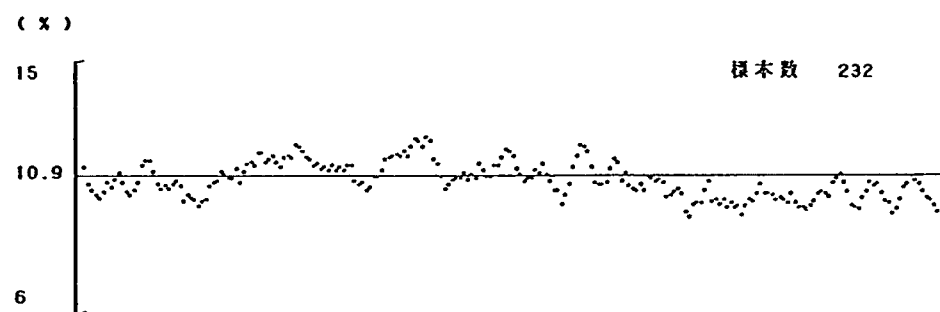
分布形状の図には、基本統計量を併記してある。平均値については全てのケースで一致しているが、不偏分散ならびに不偏分散の平方根の値は多少ばらついている。不偏分散の平方根の値を図-3.33と表-3.11に示す。移動平均前の状態ではデータ間隔に関係なくほぼ一定の値を示しているが、移動平均数(m)を大きくすると不偏分散の平方根の値に多少のばらつきが認められる。これは、ばらつきの中における、短期変動成分(移動平均により消去されるもの)と長期変動成分の割合が変化しているためと考えられる。



(a) 時系列分布

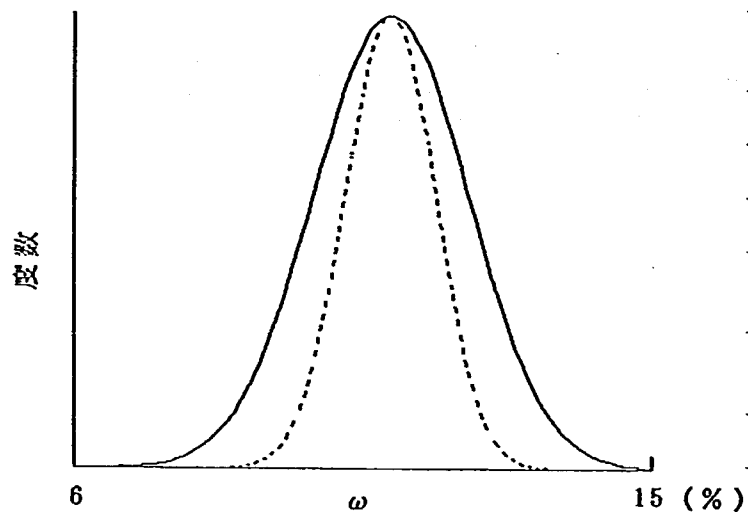


(b) $n=3$



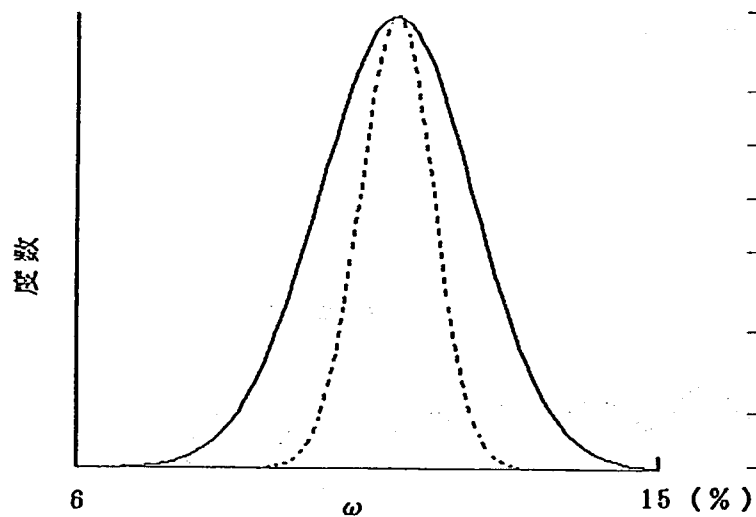
(c) $n=5$

図-3.31(1) ω の移動平均 (データ間隔 2, 味噌川ダム)



(a) $n=3$

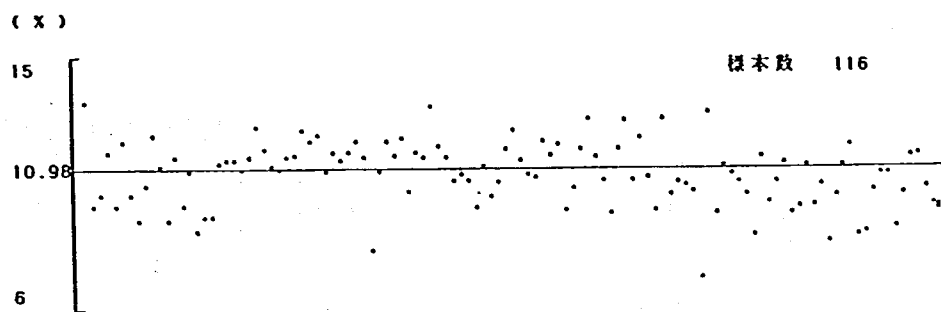
	基本試料	移動平均 $n=3$
標本数	58	56
平均値	10.94	10.93
不偏分散	1.420	0.480
不偏分散 の平方根	1.192	0.693
95%信頼 範囲	8.61 13.28	9.58 12.29
変動係数	0.109	0.064



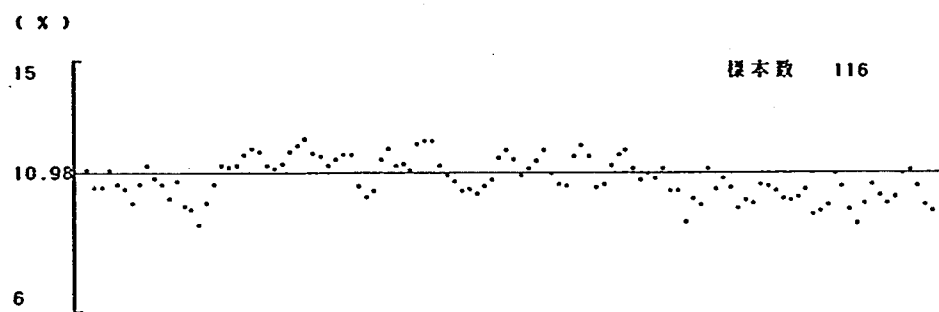
(b) $n=5$

	基本試料	移動平均 $n=5$
標本数	58	54
平均値	10.94	10.95
不偏分散	1.420	0.322
不偏分散 の平方根	1.192	0.568
95%信頼 範囲	8.61 13.28	9.83 12.06
変動係数	0.025	0.052

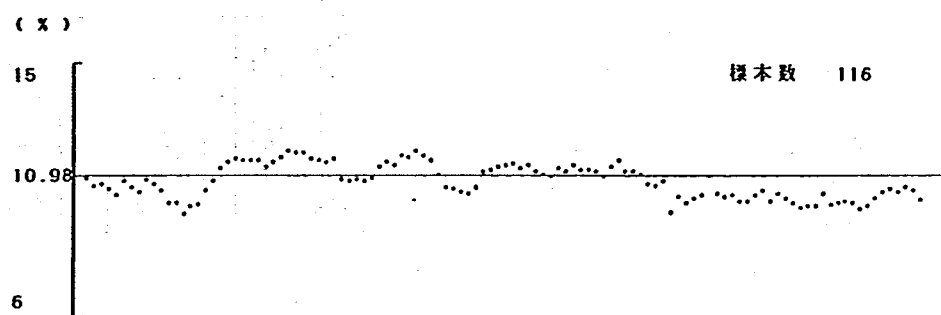
図-3. 31(2) ω の移動平均(データ間隔2, 分布形状)



(a) 時系列分布

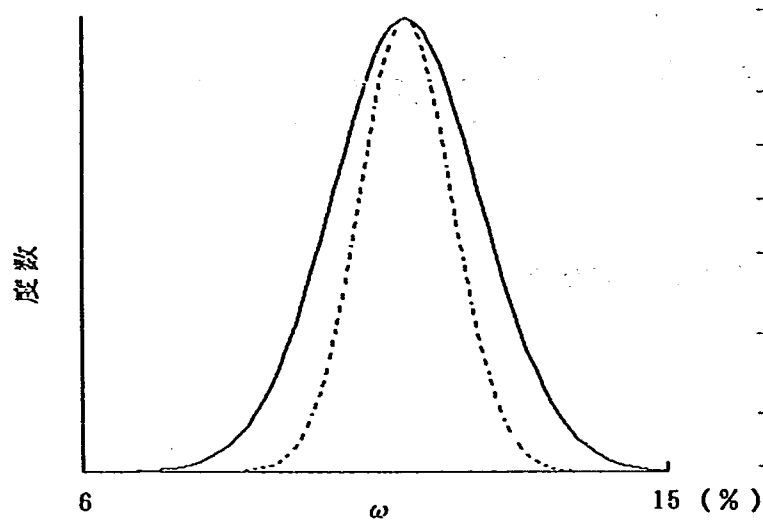


(b) $n=3$



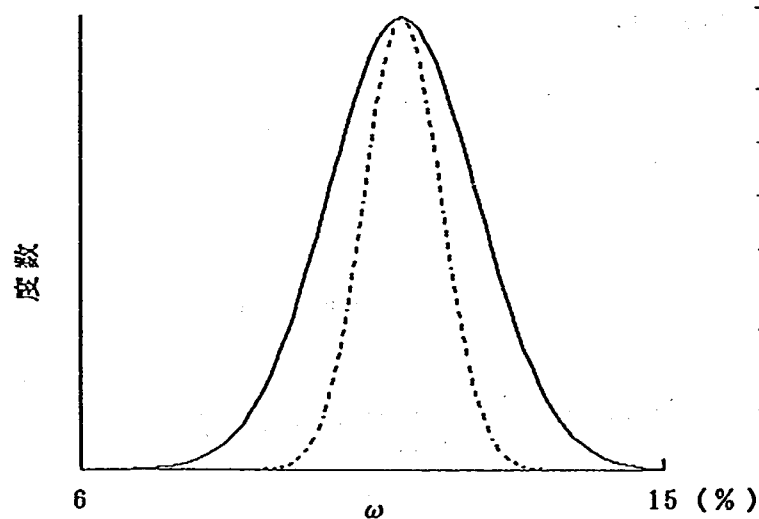
(c) $n=5$

図-3. 31(3) ω の移動平均(データ間隔4, 味噌川ダム)



(a) $n=3$

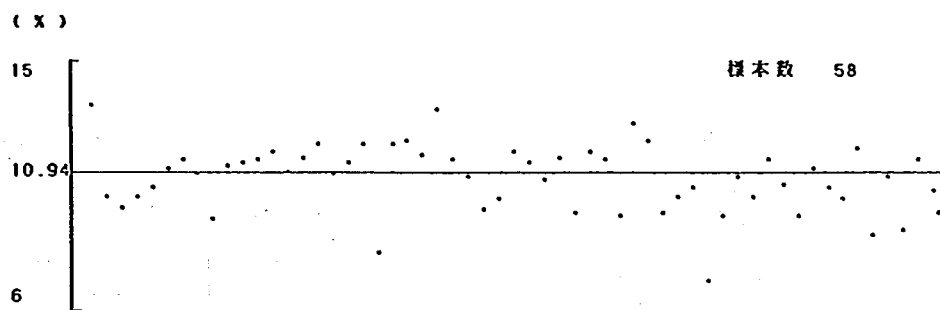
	基本試料	移動平均 $n=3$
標本数	116	114
平均値	10.98	10.98
不偏分散	1.342	0.529
不偏分散 の平方根	1.158	0.727
95%信頼 範囲	8.71 13.25	9.55 12.41
変動係数	0.105	0.066



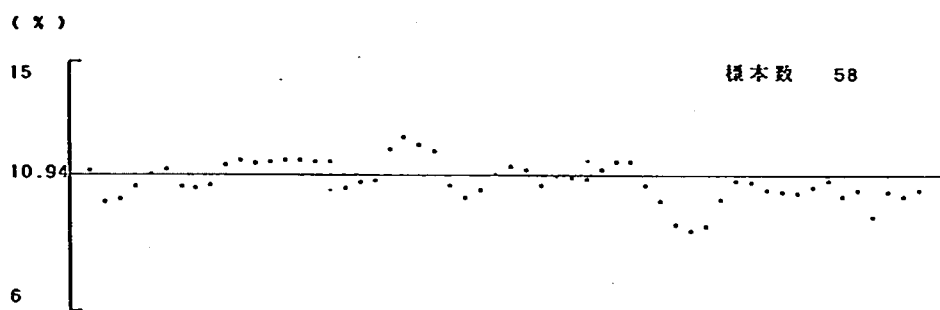
(b) $n=5$

	基本試料	移動平均 $n=5$
標本数	116	112
平均値	10.98	10.99
不偏分散	1.342	0.358
不偏分散 の平方根	1.158	0.599
95%信頼 範囲	8.71 13.25	9.82 12.16
変動係数	0.105	0.054

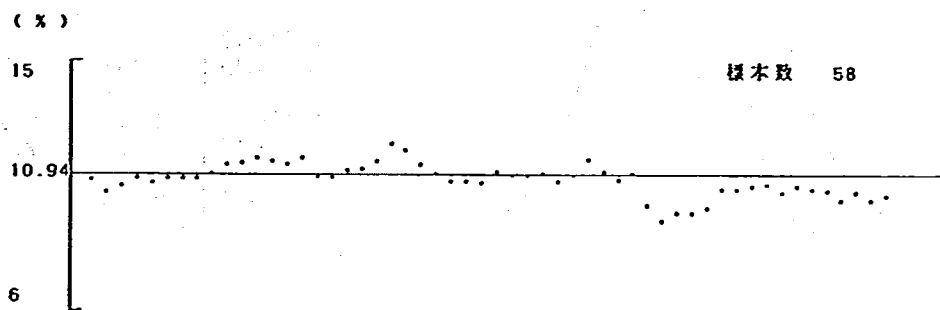
図-3.31(4) ω の移動平均(データ間隔4, 分布形状)



(a) 時系列分布

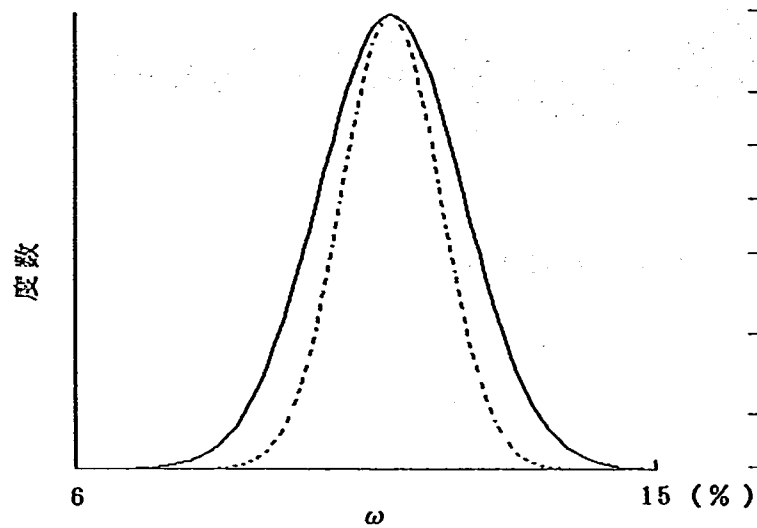


(b) $n=3$



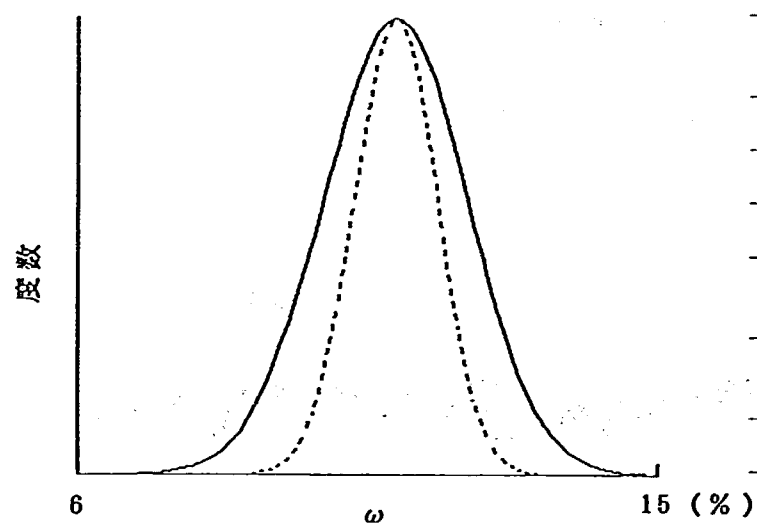
(c) $n=5$

図-3. 31(5) ω の移動平均 (データ間隔 8, 味噌川ダム)



	基本試料	移動平均 n=3
標本数	232	230
平均値	10.91	10.90
不偏分散	1.226	0.569
不偏分散 の平方根	1.107	0.754
95%信頼 範囲	8.73 13.08	9.42 12.38
変動係数	0.102	0.069

(a) n=3

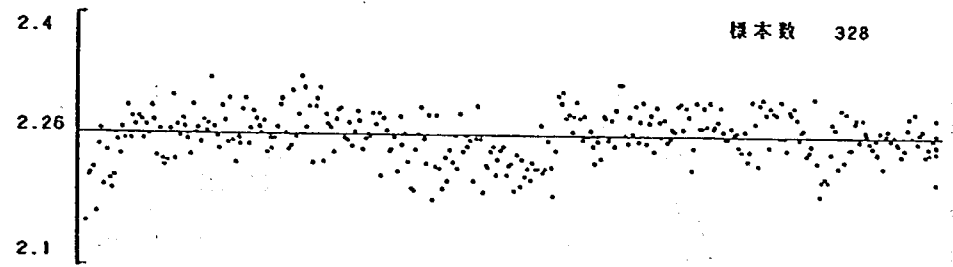


	基本試料	移動平均 n=5
標本数	232	228
平均値	10.91	10.91
不偏分散	1.226	0.409
不偏分散 の平方根	1.107	0.639
95%信頼 範囲	8.73 13.08	9.65 12.16
変動係数	0.102	0.059

(b) n=5

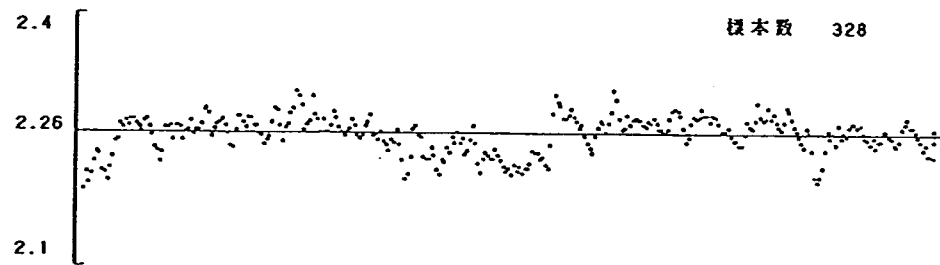
図-3: 31(6) ωの移動平均(データ間隔8, 分布形状)

(t/m^3)



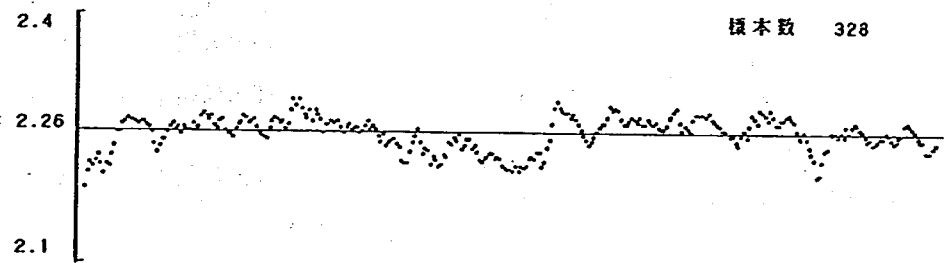
(a) 時系列分布

(t/m^3)



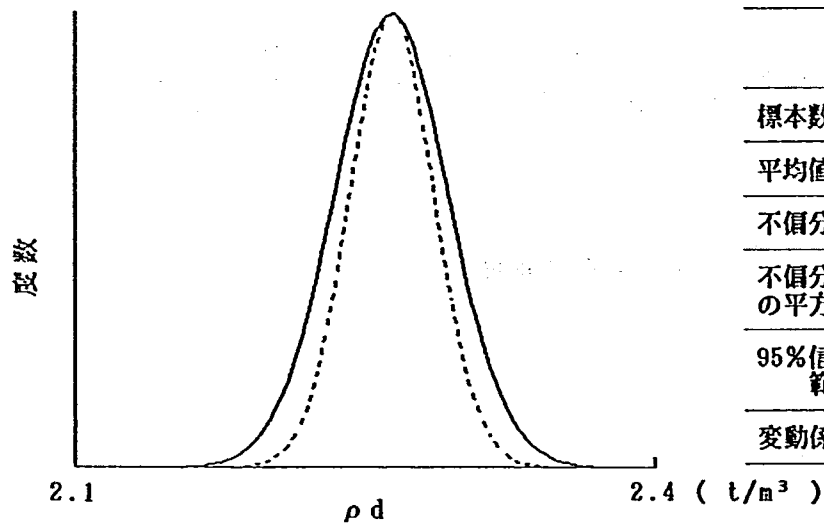
(b) $n=3$

(t/m^3)



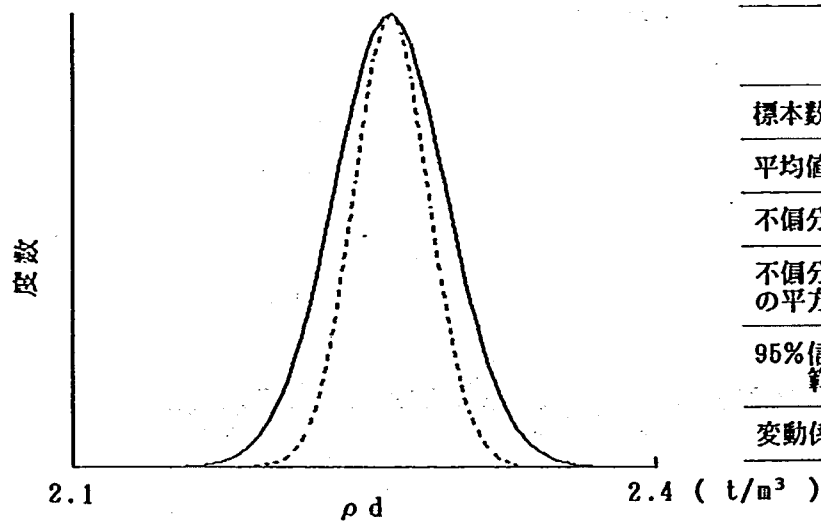
(c) $n=5$

図-3 . 32(1) ρd の移動平均 (データ間隔2, 三国川ダム)



	基本試料	移動平均 n=3
標本数	328	326
平均値	2.264	2.264
不偏分散	0.0009	0.0005
不偏分散 の平方根	0.0296	0.0220
95%信頼 範囲	2.206 2.221	2.322 2.307
変動係数	0.0131	0.0097

(a) n=3

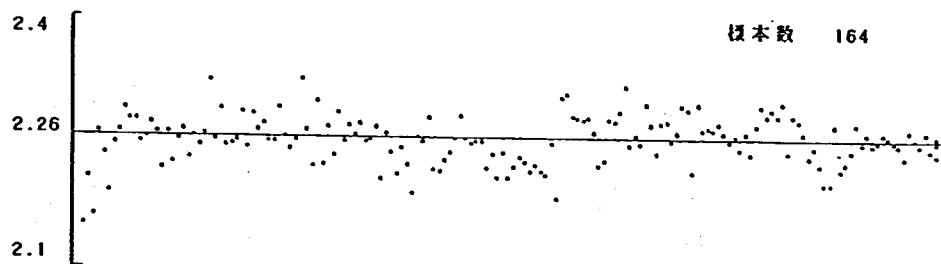


	基本試料	移動平均 n=5
標本数	328	324
平均値	2.264	2.264
不偏分散	0.0009	0.0004
不偏分散 の平方根	0.0296	0.0198
95%信頼 範囲	2.206 2.322	2.225 2.303
変動係数	0.0131	0.0087

(b) n=5

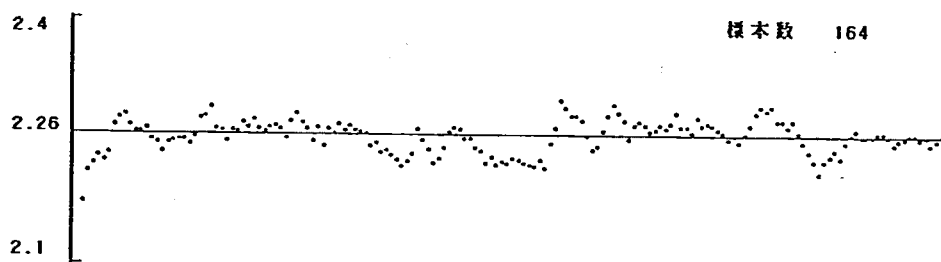
図-3. 32(2) ρdの移動平均(データ間隔2; 分布形状)

(t/m^3)



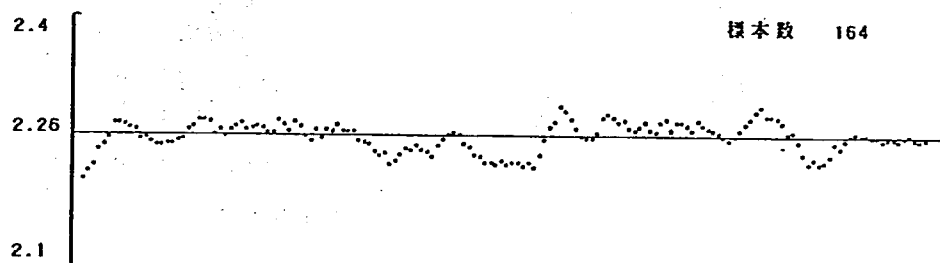
(a) 時系列分布

(t/m^3)



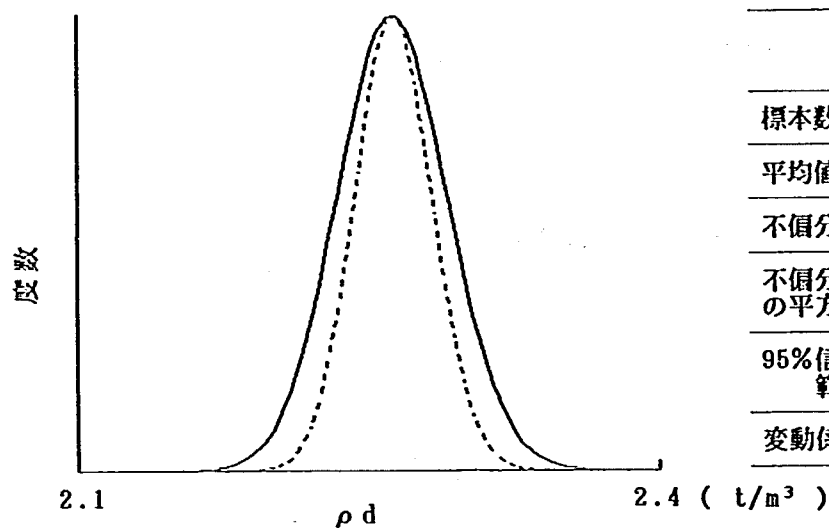
(b) $n=3$

(t/m^3)



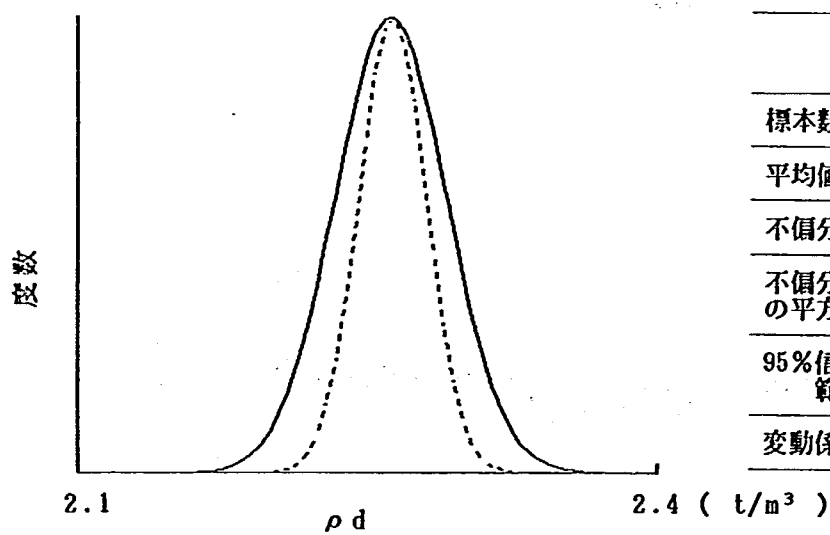
(c) $n=5$

図-3. 32(3) ρd の移動平均 (データ間隔4, 三国川ダム)



(a) $n=3$

	基本試料	移動平均 $n=3$
標本数	164	162
平均値	2.263	2.264
不偏分散	0.0008	0.0004
不偏分散 の平方根	0.0285	0.0201
95%信頼 範囲	2.207 2.319	2.224 2.303
変動係数	0.0254	0.0089

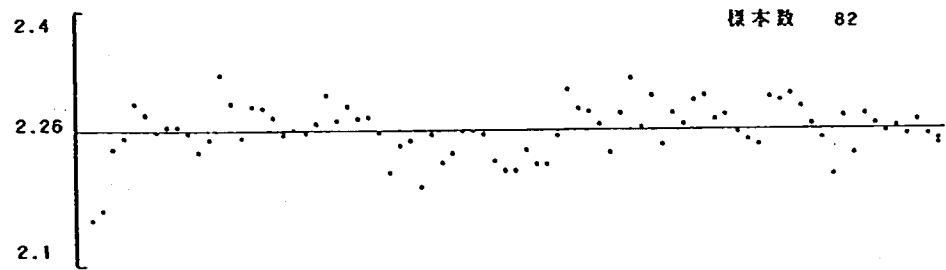


(b) $n=5$

	基本試料	移動平均 $n=3$
標本数	164	160
平均値	2.263	2.264
不偏分散	0.0008	0.0003
不偏分散 の平方根	0.0285	0.0173
95%信頼 範囲	2.207 2.319	2.230 2.298
変動係数	0.0254	0.0077

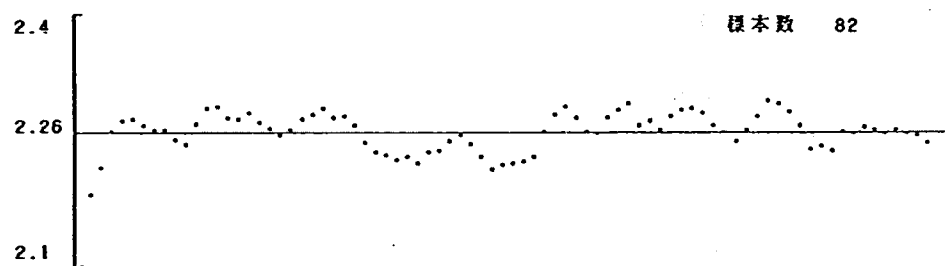
図-3.32(4) ρd の移動平均(データ間隔4, 分布形状)

(t/m^3)



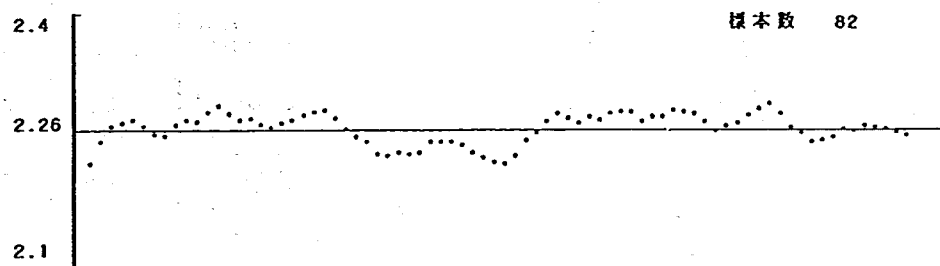
(a) 時系列分布

(t/m^3)



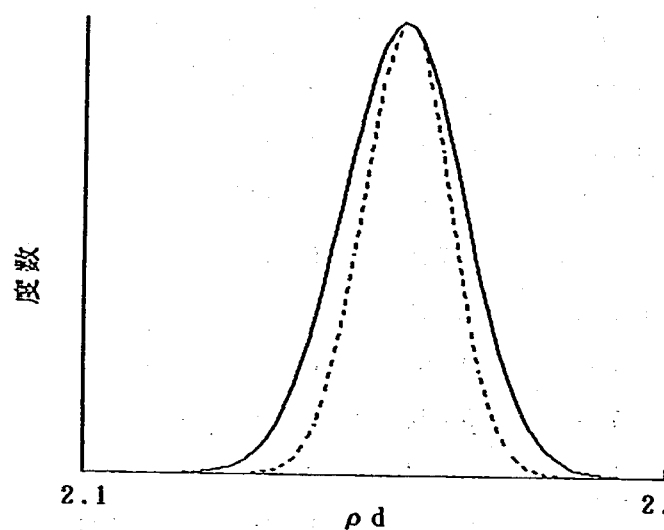
(b) $n=3$

(t/m^3)



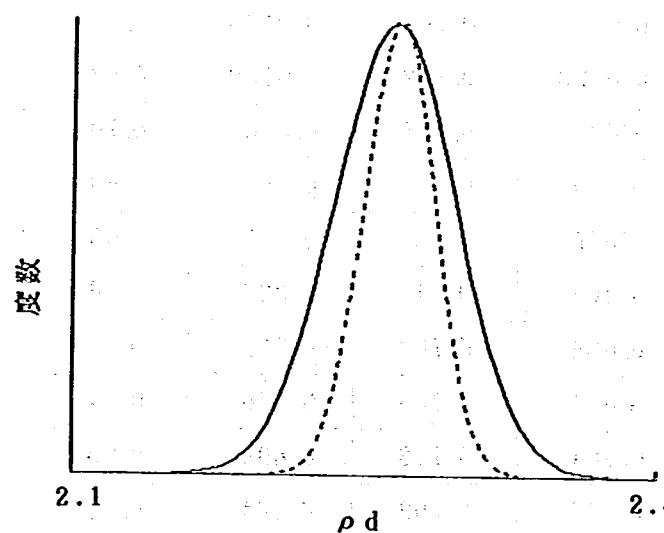
(c) $n=5$

図-3. 32(5) ρd の移動平均 (データ間隔8, 三国川ダム)



(a) $n=3$

	基本試料	移動平均 $n=3$
標本数	82	80
平均値	2.265	2.267
不偏分散	0.0010	0.0005
不偏分散 の平方根	0.0309	0.0223
95%信頼 範囲	2.205 2.326	2.223 2.310
変動係数	0.0137	0.0098



(b) $n=5$

	基本試料	移動平均 $n=5$
標本数	82	78
平均値	2.265	2.267
不偏分散	0.0010	0.0003
不偏分散 の平方根	0.0309	0.0180
95%信頼 範囲	2.205 2.326	2.232 2.303
変動係数	0.0137	0.0080

図-3. 32(6) ρd の移動平均 (データ間隔 8, 分布形状)

表-3 . 11(4) 測定頻度を変化させた場合の移動平均後の不偏分散の平方根

項 目		データ 間 隔	移動平均前	n = 3 移動平均後		n = 5 移動平均後	
			不偏分散の 平 方 根	不偏分散の 平 方 根	割 合	不偏分散の 平 方 根	割 合
味 噌 川 ダ ム	ρd	1	0.0510	0.0344	0.675	0.0293	0.575
		2	0.0513	0.0322	0.628	0.0279	0.544
		4	0.0530	0.0306	0.577	0.0259	0.489
		8	0.0565	0.0423	0.749	0.0381	0.674
	ω	1	1.106	0.794	0.718	0.682	0.617
		2	1.107	0.754	0.681	0.639	0.577
		4	1.158	0.727	0.628	0.599	0.517
		8	1.192	0.693	0.581	0.568	0.477
	$D_{-15.9}$	1	3.126	1.923	0.615	1.545	0.494
		2	3.279	1.923	0.586	1.445	0.441
		4	3.358	1.708	0.509	1.235	0.368
		8	3.183	1.952	0.613	1.510	0.474
三 国 川 ダ ム	ρd	1	0.0308	0.0229	0.744	0.0210	0.682
		2	0.0296	0.0220	0.743	0.0198	0.669
		4	0.0285	0.0201	0.705	0.0173	0.607
		8	0.0309	0.0223	0.722	0.0180	0.583
	ω	1	0.533	0.408	0.765	0.376	0.705
		2	0.527	0.404	0.767	0.366	0.694
		4	0.512	0.375	0.732	0.326	0.637
		8	0.566	0.406	0.717	0.322	0.569
	$D_{-19.1}$	1	0.849	0.664	0.782	0.619	0.729
		2	0.810	0.634	0.783	0.576	0.711
		4	0.726	0.561	0.773	0.495	0.682
		8	0.688	0.483	0.702	0.404	0.587

注：上表に於ける割合とは移動平均前の不偏分散の平方根に対する割合である。

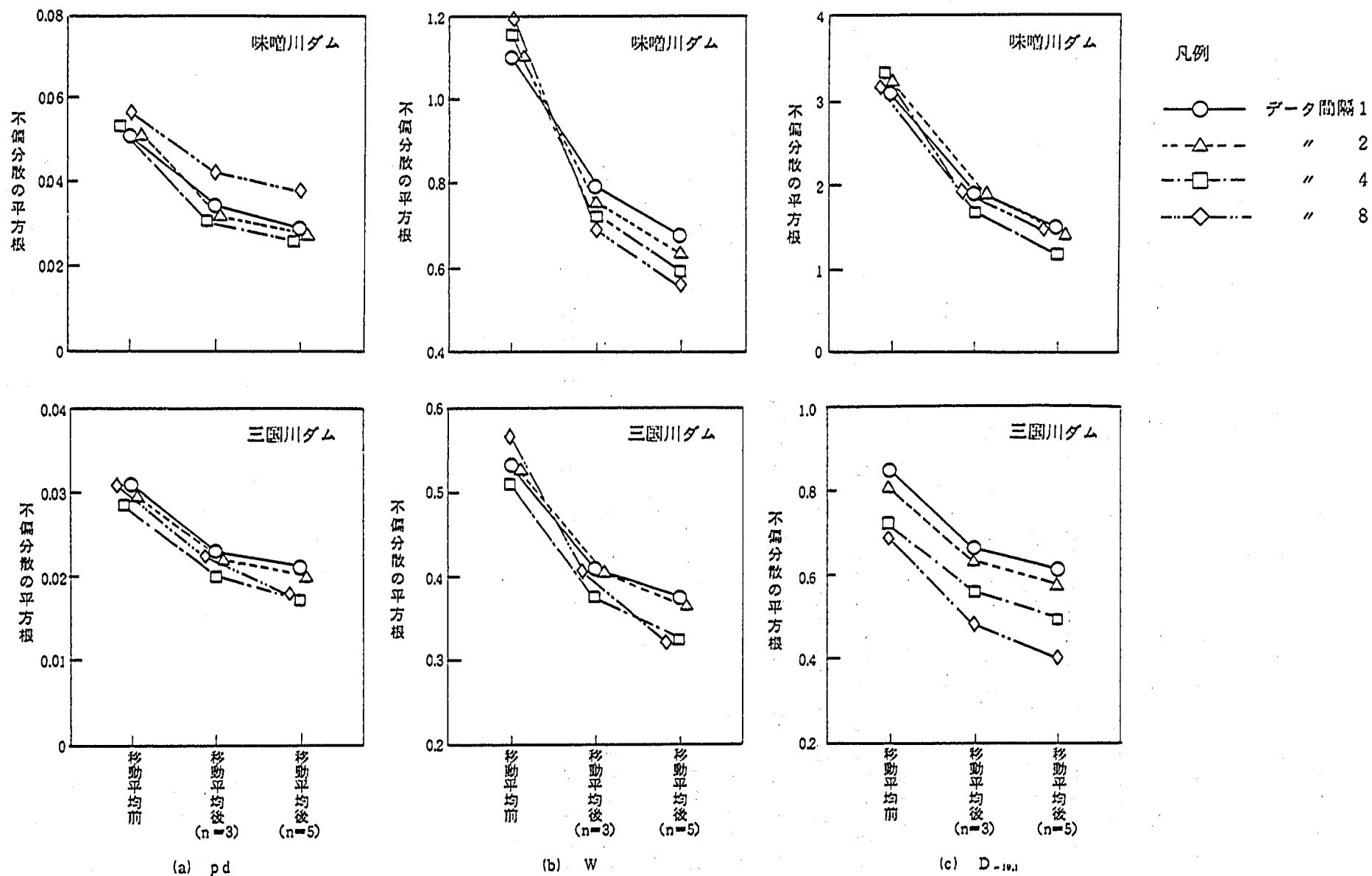


図-3.33 測定頻度を変化させた場合の移動平均後の不偏分散の平方根

次に、三国川ダムの ρd のデータと味噌川ダムの ω のデータについて、データ間隔を変化させた場合での移動平均数 (n) による不偏分散の平方根および不偏分散の減少割合を計算し、図-3.34(1)~(4)に示す。この結果を(3.20)式によりモデル化を行い、 B と L_1 と L_2 を求めた結果を表-3.12と図-3.35にそれぞれ示す。

図-3.35に示した結果を観察すると、データ列のばらつきの中に占める長期変動成分の割合(B)は、 ρd でははっきりとした減少傾向が見られるが ω では緩やかな減少傾向となっている。短期変動成分の減少度を表す L_1 は ρd で増加傾向、 ω では減少傾向を示し、長期変動成分の減少度を表す L_2 は ρd 、 ω 共に大きな減少傾向を示している。

また、データ間隔を変化させた場合について、自己相関係数の計算結果を図-3.36に、 B と L_1 と L_2 の値を表-3.13に示す。この場合は、 B と L_1 の値を一定として L_2 の値のみを変化させた状態でのモデル化が可能である。つまり、自己相関係数のモデルでは長期変動成分の減少傾向のみが円大さくなっており、移動平均数による不偏分散のモデルとは異なった傾向を示している。ただし、図-3.36において観察されるように、データ間隔を大きくすると自己相関係数のプロットはばらついており、モデル化の精度は良くない。

データ間隔を2, 4, 8と変化させて得られたデータにおいて、平均値と不偏分散が元のデータと同様であれば、データの分布形状は同じと判断される。その意味では、両ダム共に試験頻度を現在の $1/4 \sim 1/8$ に減らしても、得られるデータ集団に大きな差はない。

しかし、データ集団におけるばらつきを短期変動成分と長期変動成分に分けた際には、データ間隔を変化させることにより、それぞれの寄与率等に多少の影響が存在する。

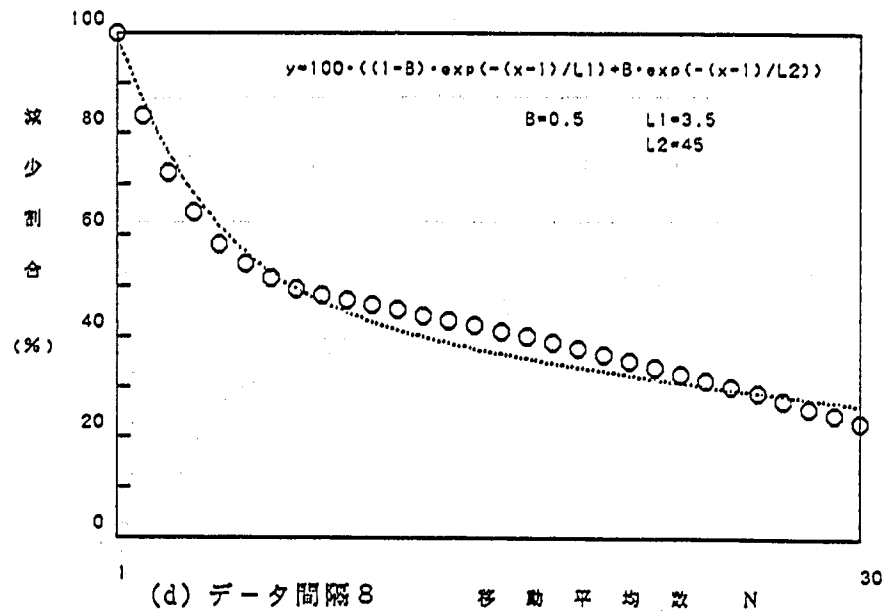
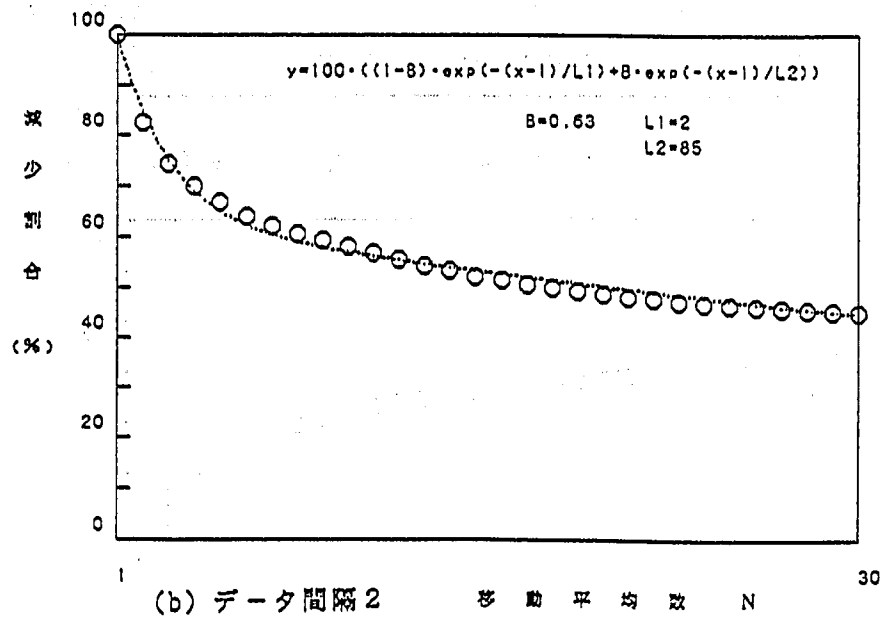
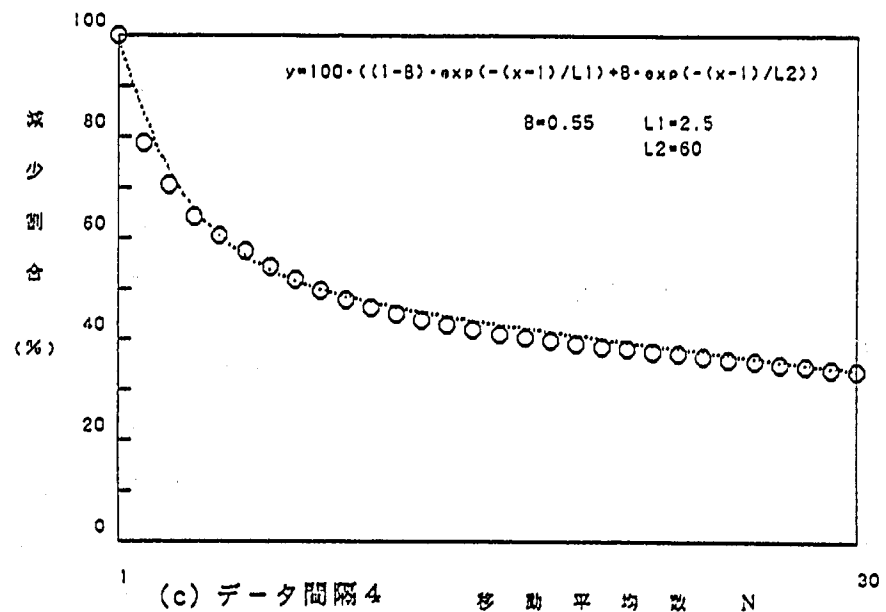
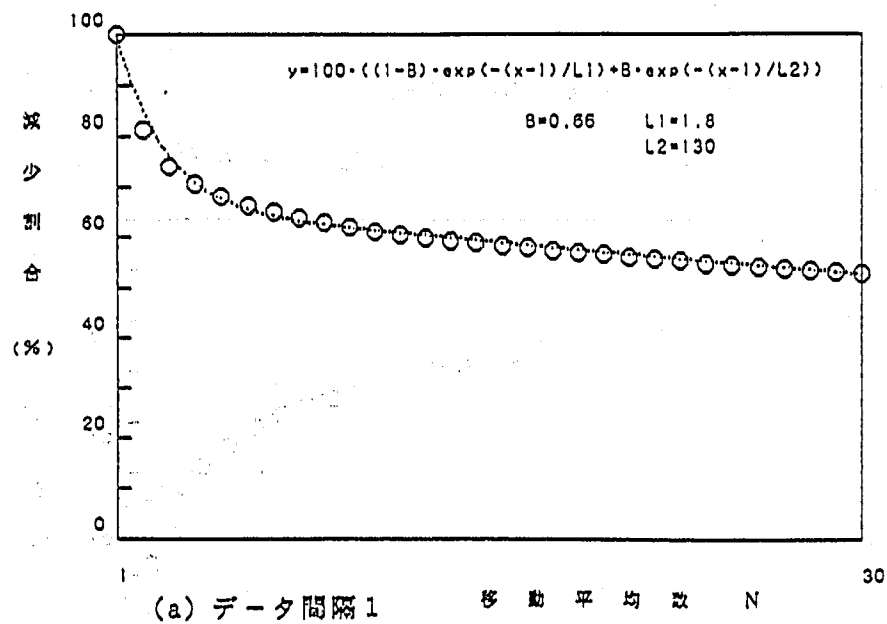
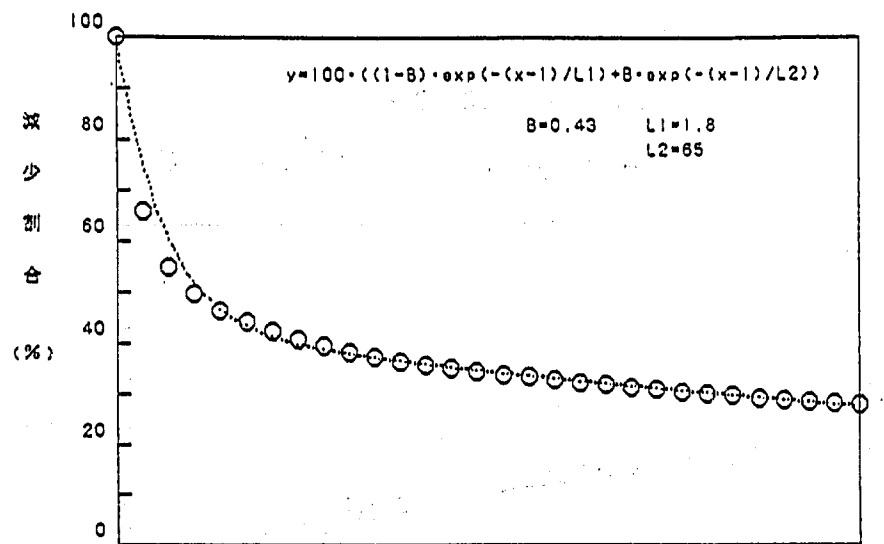
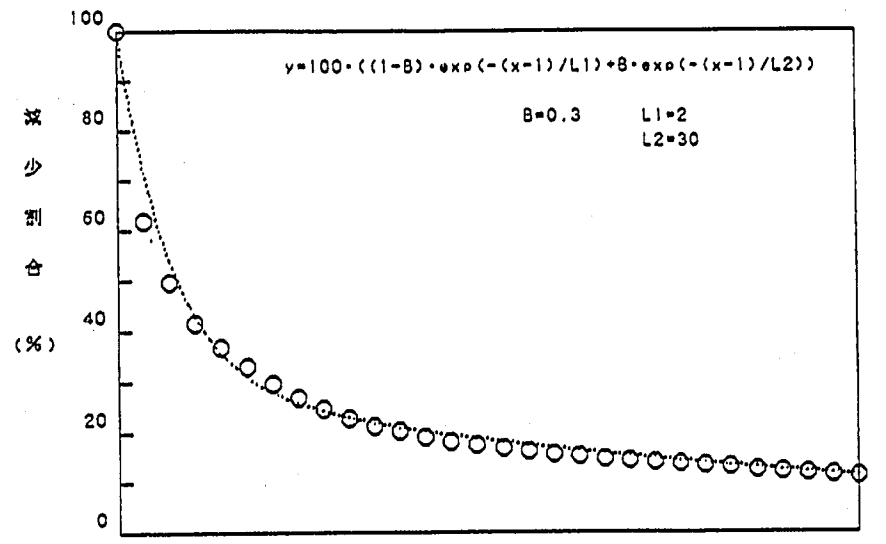


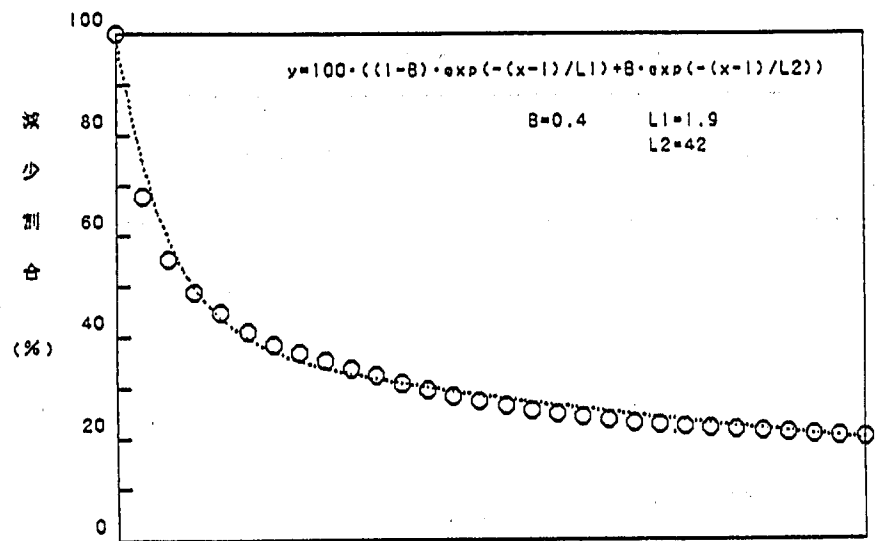
図-3.34(1) データ間隔を変化させた場合の不偏分散の平方根の減少割合 (三国川ダム pd)



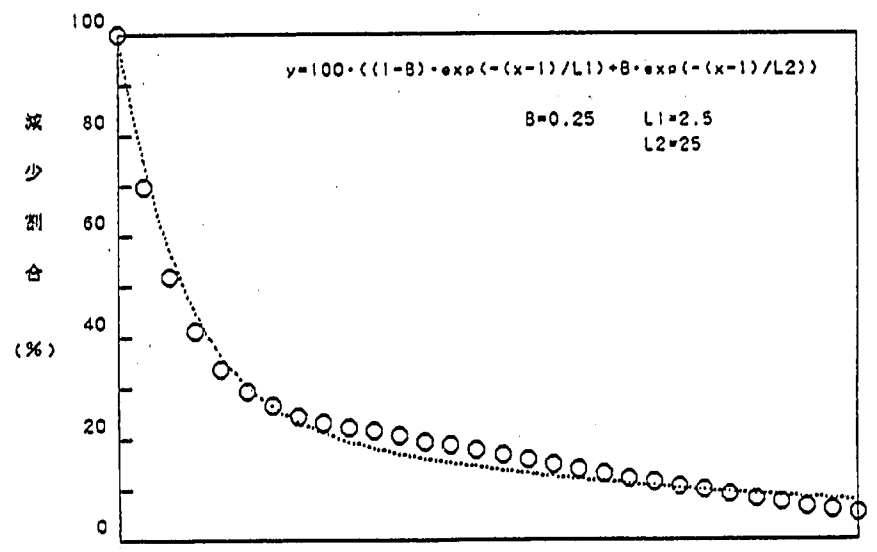
(a) データ間隔 1



(c) データ間隔 4



(b) データ間隔 2



(d) データ間隔 8

図-3.34(2) データ間隔を変化させた場合の不偏分散の平方根の減少割合 (三國川ダム ρd)

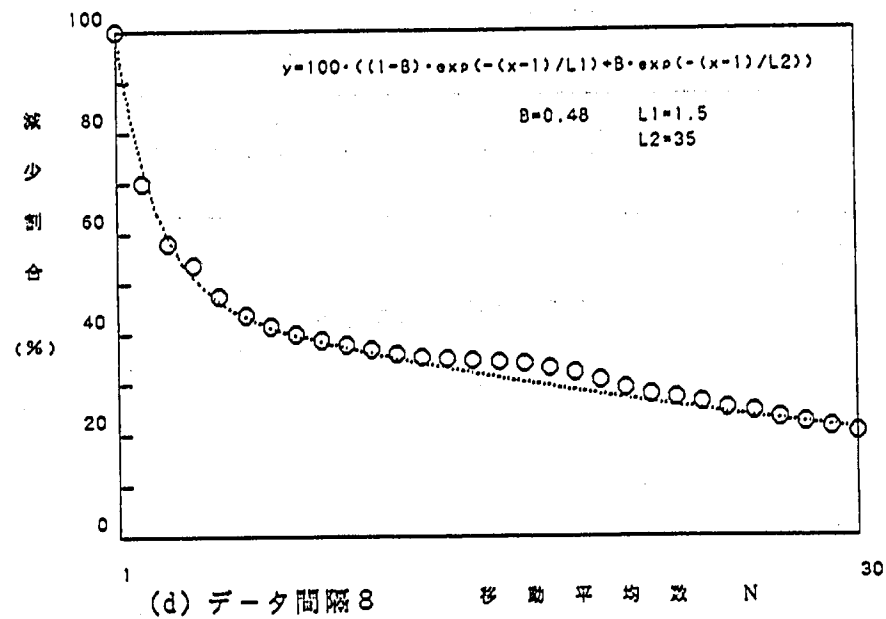
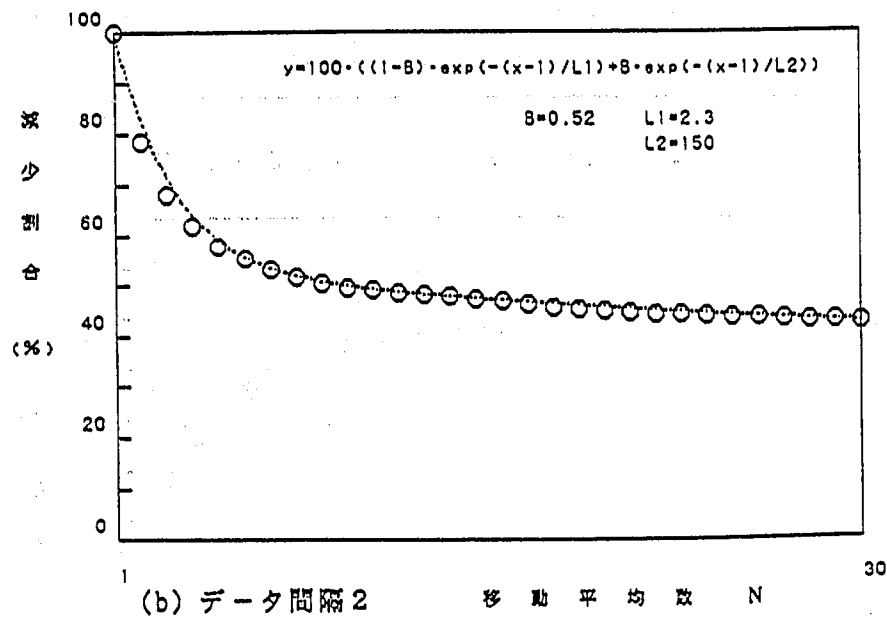
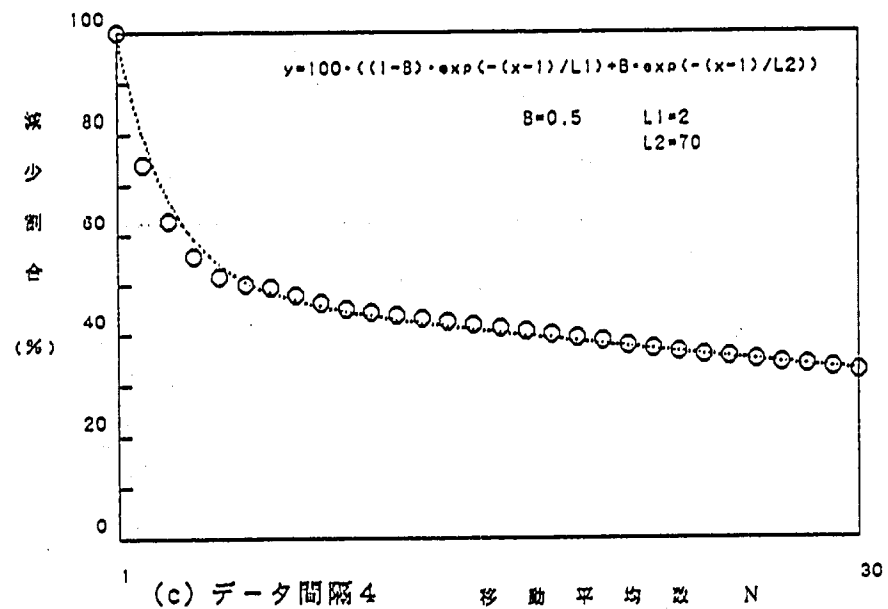
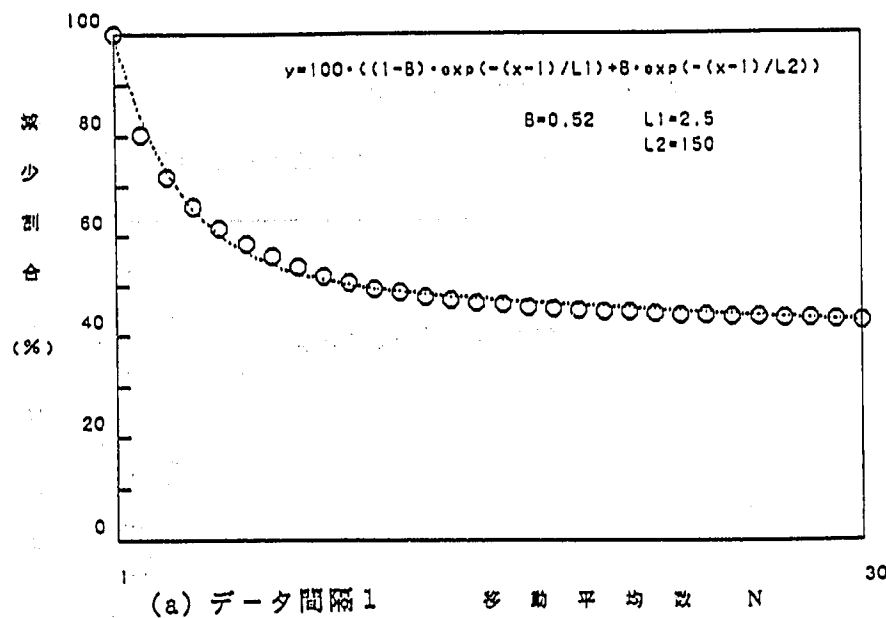
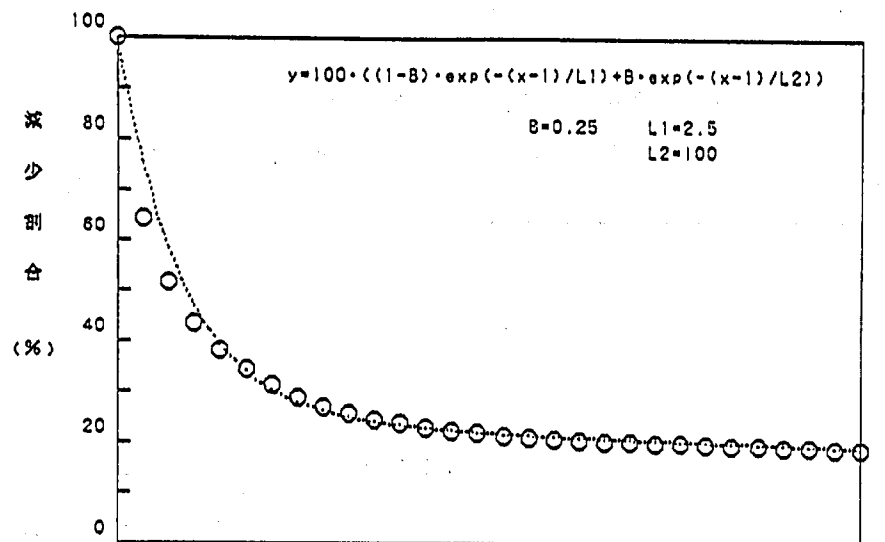
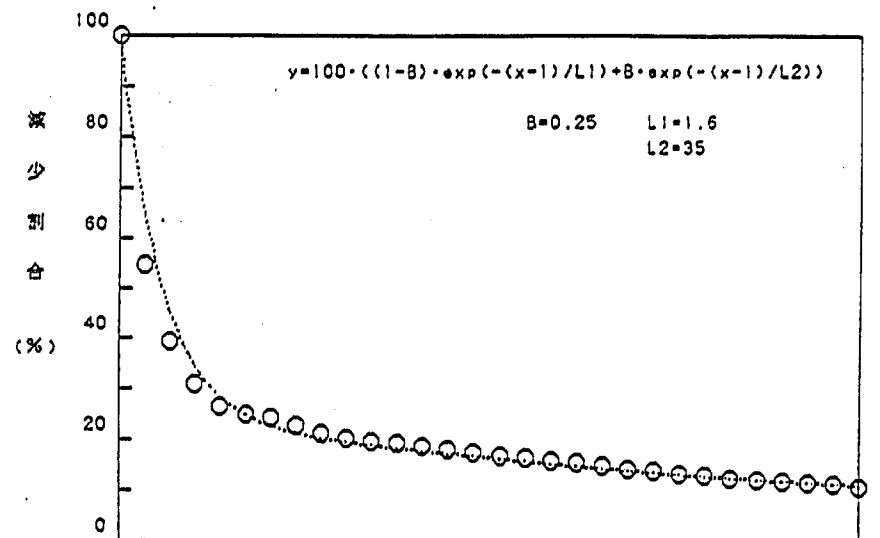


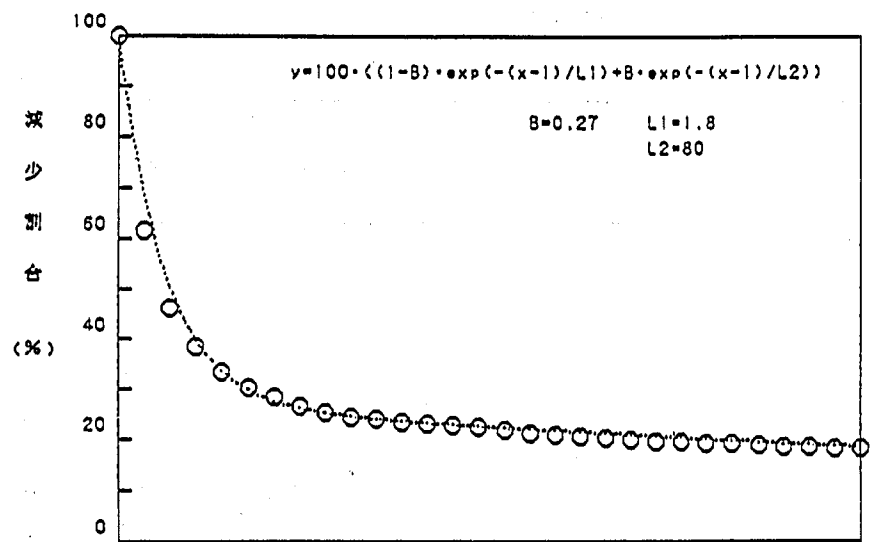
図-3.34(3) データ間隔を変化させた場合の不偏分散の平方根の減少割合 (味噌川ダムω)



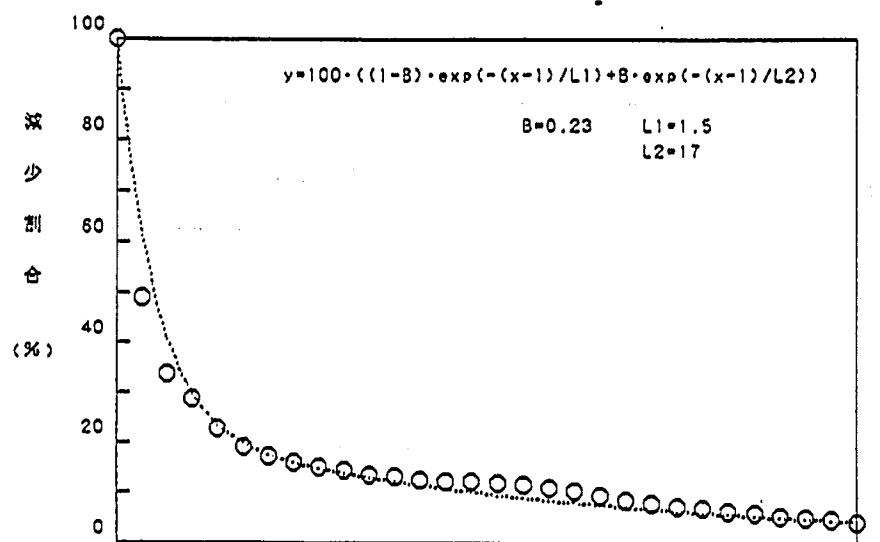
(a) データ間隔 1



(c) データ間隔 4



(b) データ間隔 2



(d) データ間隔 8

図-3.34(4) データ間隔を変化させた場合の不偏分散の平方根の減少割合 (味噌川ダム ω)

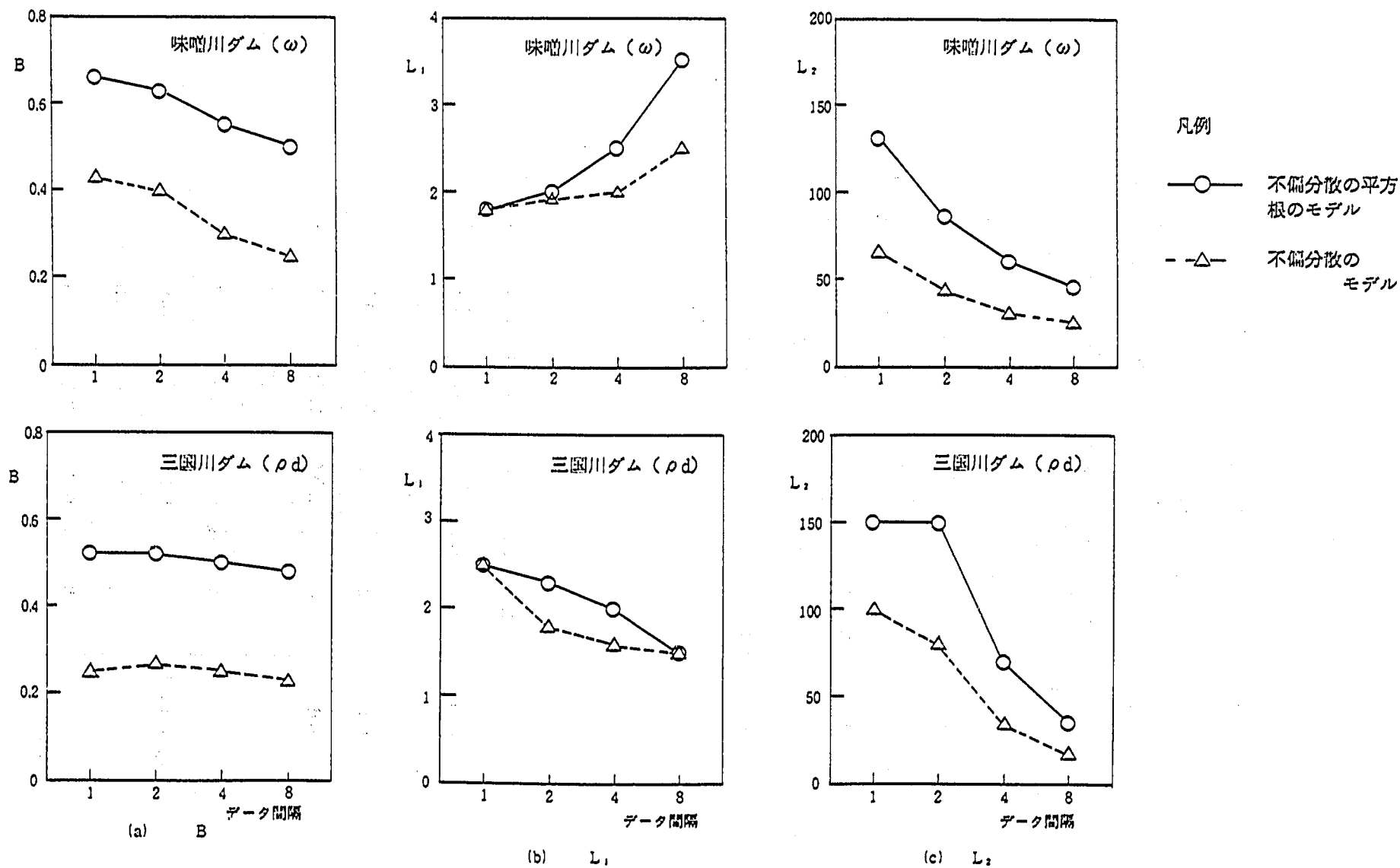


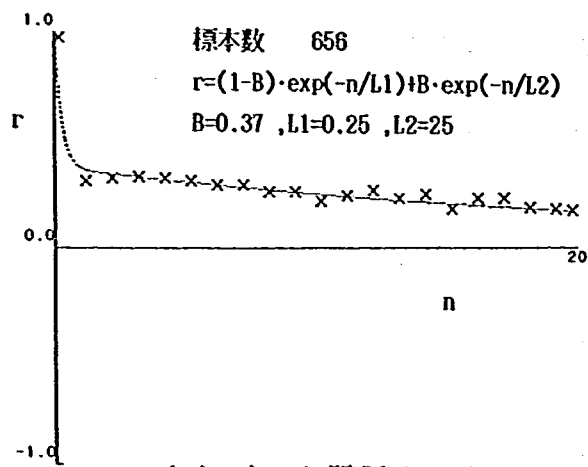
図-3.35 測定頻度を変化させた場合のモデル式の B , L_1 , L_2 の値

表-3.12 測定頻度を変化させた場合のモデル式B, L_1 , L_2 の値

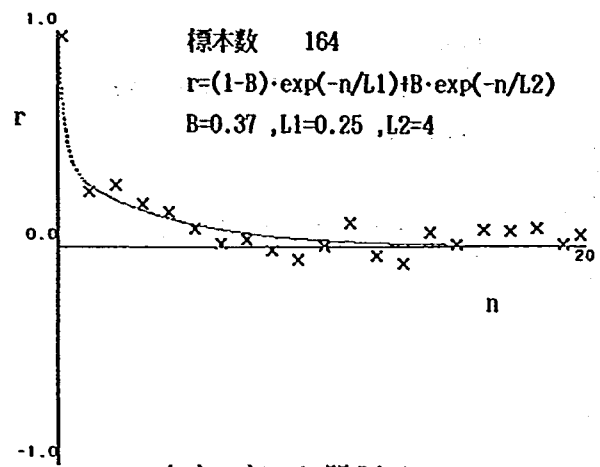
項 目	データ 間 隔	不偏分散の平方根			不 偏 分 散		
		B	L_1	L_2	B	L_1	L_2
三国川ダム ρd	1	0.66	1.8	130	0.43	1.8	65
	2	0.63	2	85	0.4	1.9	42
	4	0.55	2.5	60	0.3	2	30
	8	0.5	3.5	45	0.25	2.5	25
味噌川ダム ω	1	0.52	2.5	150	0.25	2.5	100
	2	0.52	2.3	150	0.27	1.8	80
	4	0.5	2	70	0.25	1.6	35
	8	0.48	1.5	35	0.23	1.5	17

表-3.13 データ間隔を変化させたモデルでのB, L_1 , L_2 の値

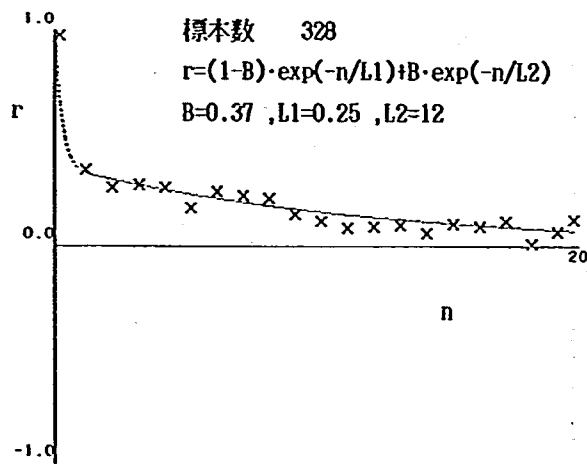
項 目	データ間隔	B	L_1	L_2
三国川ダム ρd	1	0.37	0.25	25
	2	0.37	0.25	12
	4	0.37	0.25	4
	8	0.37	0.25	3
味噌川ダム ω	1	0.2	0.5	30
	2	0.2	0.5	30
	4	0.2	0.5	10
	8	0.2	0.5	5



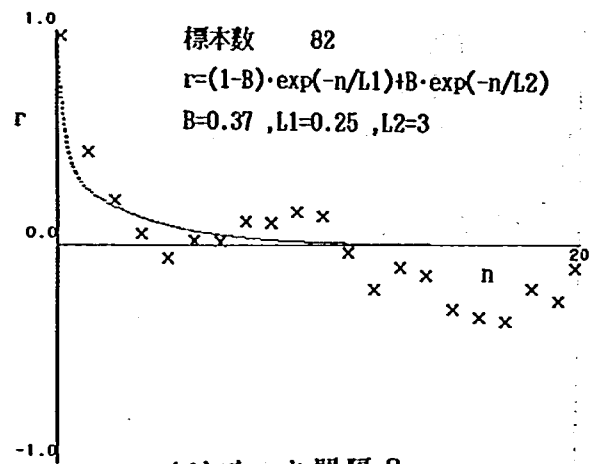
(a) データ間隔 1



(c) データ間隔 4



(b) データ間隔 2



(d) データ間隔 8

図-3. 36(1) データ間隔を変化させた場合の自己相関係数 (三国川ダム ρ_d)

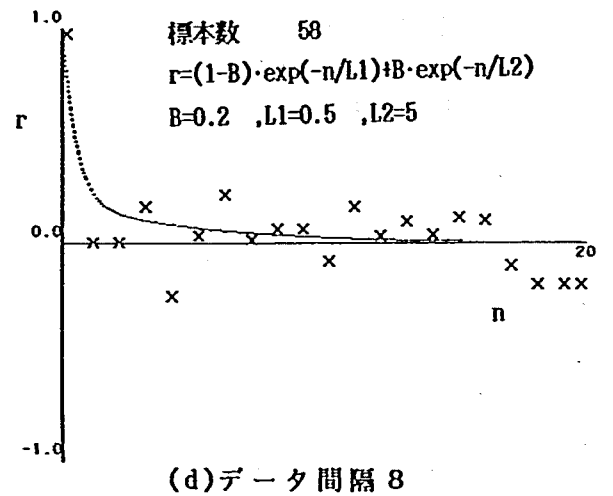
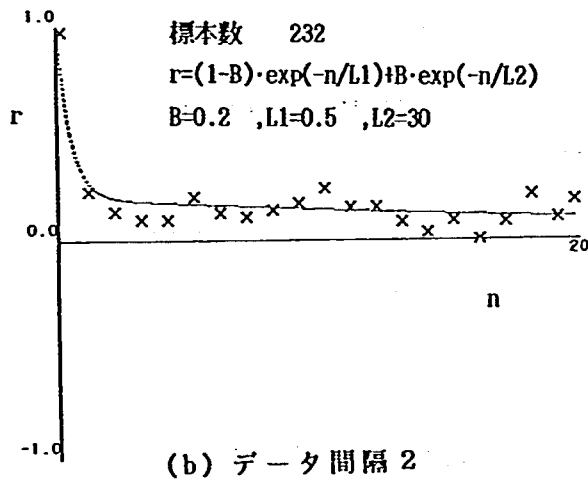
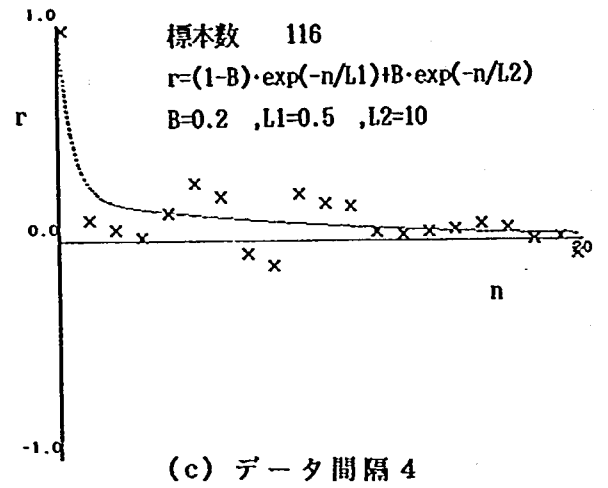
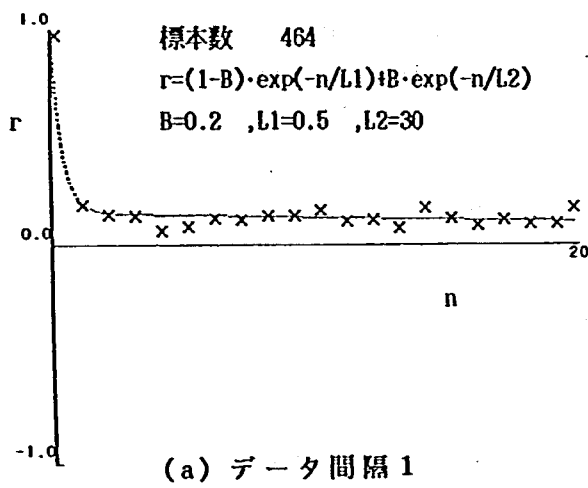


図-3. 36(2) データ間隔を変化させた場合の自己相関係数 (味噌川ダムd)

3. 4 重回帰分析による管理データの予測手法

品質管理試験の項目の中には、長い測定時間、あるいは数多くの測定手順を必要とするものがある。本節ではこれらの項目について、他の簡易な試験項目データを用いて予測することが可能か否かの検討を行っている。なお、この予測には重回帰分析による予測式（回帰式）を用いている。

品質管理試験データの中で堤体の設計値と大きな関係を持つ項目として、D値および透水係数があげられる。この2つの試験項目は測定するのに長時間を要し、なかなか試験の簡略化を行い得ないのが現在の状況である。特にD値については通常1リフト盛立を行う毎に試験を行い、試験結果が管理値（95以上）得られていることを確認した後に次リフトの盛立が許可される。もし、試験結果が管理値を下回る結果となった場合には、再転圧の処置が行われている。

ここではD値および透水係数（k）が他の簡易試験データにより、どの程度の精度で予測することが可能か、検討を行うものである。なお、D値について日常管理データ、透水係数（k）については高密度試験データを用い、重回帰分析によりデータ処理を実施した。

3. 4. 1 重回帰分析について

今、観測値として得られたデータ集団 y_i （ $i=1,2,3\cdots n$ ）があり、これを x_{1i} 、 x_{2i} 、 x_{3i} 、 $\cdots$ 、 x_{pi} （ $i=1,2,3\cdots n$ ）の対応しているP種類のデータ集団により予測するケースを考える。ここで予測値を $\hat{y}_i$ 説明変数 x_{1i} 、 x_{2i} 、 x_{3i} 、 $\cdots$ 、 x_{pi} の線形式で表され、重回帰方程式と呼ばれる。

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \cdots + \beta_p x_{pi} \quad \cdots (3.22)$$

ここで β_0 は定数項、 β_1 、 β_2 、 $\cdots$ 、 β_p は回帰係数と呼ばれる。算出は予測誤差を最小とするため、最小2乗法により行っている。

観測値（ y_i ）と予測値（ $\hat{y}_i$ ）の相関係数は重相関係数（r）と呼ばれる。また、観測値と予測値の差（ $y_i - \hat{y}_i$ ）は残差と呼ばれ、この残差が小さい程予測精度は上がり重相関係数も大きな値となる。観測値と予測値、残差の関係をデータの分布形状でとらえた場合は次図に示される。

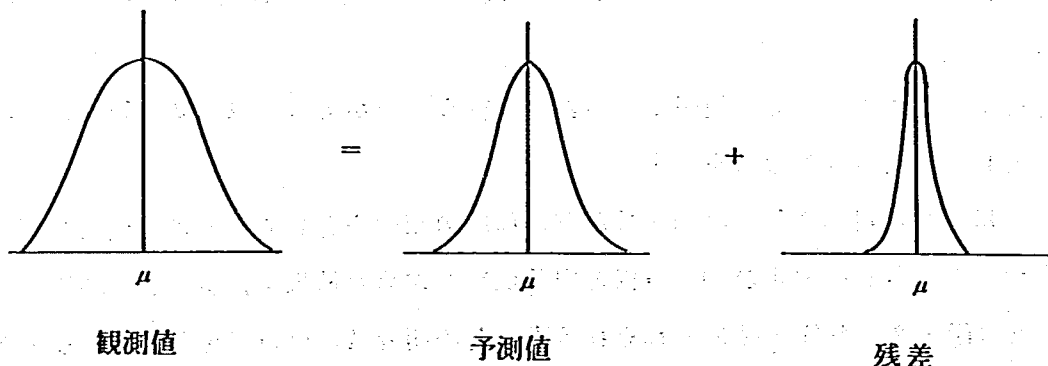


図-3.37 観測値と予測値、残差のデータの分布形状

ここで、ばらつき（不偏分散）は次式の関係となる。

$$V^2 = V_1^2 + V_2^2 \quad \text{----- (3.23)}$$

V^2 は観測値の、 V_1^2 は予測値の、 V_2^2 は残値のばらつき（不偏分散）である。

予測値のばらつき（ V_1^2 ）と観測値のばらつき（ V^2 ）の関係は次図に示される。予測値のばらつきは観測値のばらつきに比べ小さな値となり、分布形状を正確に反映した形にはなり得ない。そこで、残差のばらつき（ V_2^2 ）の成分を予測値のばらつき（ V_1^2 ）の成分に含めてしまうために、次式を考える。

$$V^2 = \alpha \cdot V_1^2 \quad \text{----- (3.24)}$$

つまり、上式の α を求めることにより、予測値のデータを観測値のデータと同じ分布形状を持つデータに置き換えることが可能となる。つまり、ある程度の大きさのデータ集団を用いて例えばD値の重回帰分析を行い、回帰係数の $\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_p$ と α を求めておけば、以降はD値の直接測定を行わないでも予測することが可能と考えられる。この場合、重回帰方程式より求めた予測値（ $\hat{y}$ ）を観測値と同じ分布形状に置き換えた値（ $\hat{\hat{y}}$ ）は、次式で示される。

$$\hat{\hat{y}} = \bar{x} + \sqrt{\alpha} \cdot (\hat{y} - \bar{x}) \quad \text{----- (3.25)}$$

ここで $\bar{x}$ は平均である。また $\hat{\hat{y}}$ の95%分布範囲は予測値の不偏分散の平方根（ V_1 ）を用いて次式で示される。

$$K = \bar{x} \pm 1.96 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot V_1 \quad \text{----- (3.26)}$$

3. 4. 2 D値の重回帰分析結果

D値に関しては、日常管理データを用いて重回帰分析を行った。味噌川ダムではフルサイズ試料でのD値（D）を用いて管理しているのに対し、三国川ダムでは-19.1mm試料でのD値（D_{-19.1}）により管理を行っている。本文では味噌川ダムのDとD_{-15.9}，三国川ダムのD_{-19.1}について検討を行う。

重回帰分析を行うにあたって、説明変数の設定を行う必要がある。表-3.14にD値にに対する説明変数として考えられる項目を示す。

まず、ここに示した目的変数と説明変数がどの程度の相関を有しているのか調査を行った。各説明変数について、散布図および回帰直線と相関係数を求めた結果を、図-3.39(1)~(2)、図-3.40(1)~(2)、図-3.41(1)~(2)にそれぞれ示す。各説明変数について相関係数を表-3.15に一覧にして示す。味噌川ダムのDについては ρ_d と強い相関係数が見られるが、他の説明変数とはほとんど低い相関性しか観察されない。味噌川ダムのD_{-15.9}についても同様に、 $\rho_{d-15.9}$ と

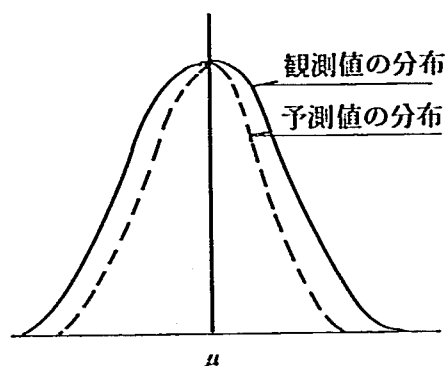


図-3.38 観測値と予測値の関係

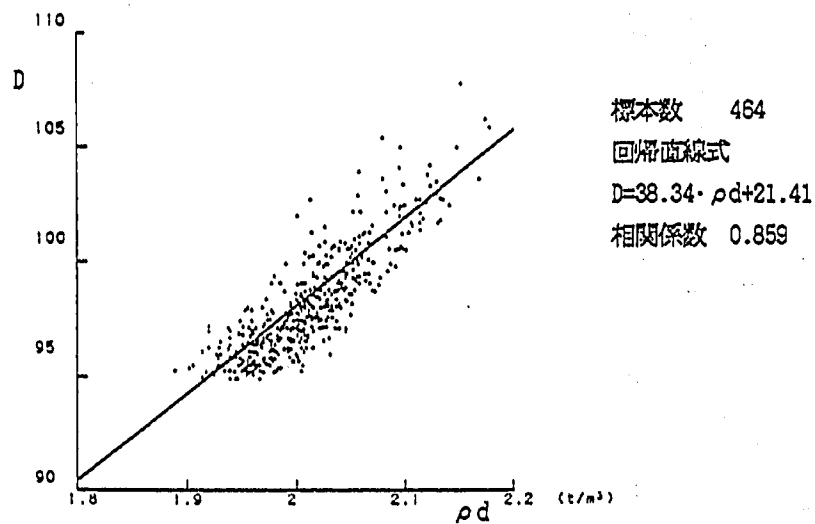
表-3.14 D値に関する説明変数

ケース	ダム名	目的変数	説明変数
①	味噌川ダム	D	$\rho d, \omega, P_{74}, P_{+15.0}, \rho d_{-RI}, \omega_{-RI}$
②	味噌川ダム	$D_{-15.9}$	$\rho d_{-15.9}, \omega_{-15.9}, P_{74-15.9}, \rho d_{-RI}, \omega_{-RI}$
③	三国川ダム	$D_{-19.1}$	$\rho d_{-19.1}, \omega_{-19.1}, P_{74-19.1}, \rho d_{-RI}, \omega_{-RI}$

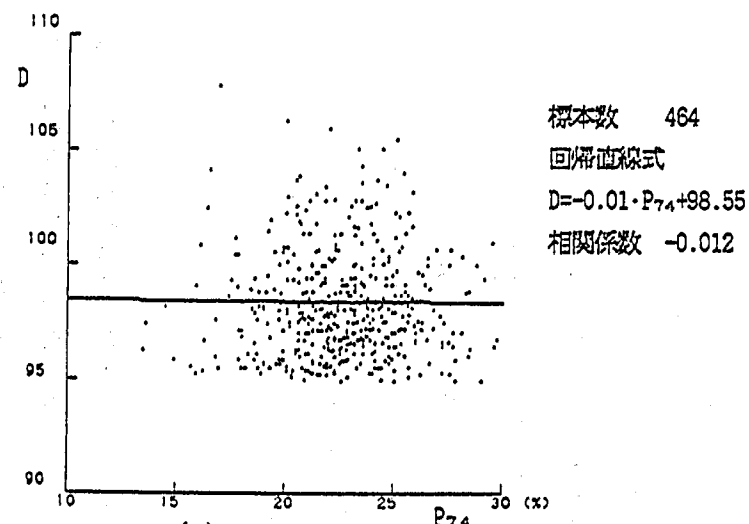
強い相関関係が観察されるだけである。三国川ダムの $D_{-19.1}$ については、 $\rho d_{-19.1}$ と $\omega_{-19.1}$ に0.5程度の相関関係が、 ρd と ω_{-RI} には0.2程度のごく弱い相関が観察されている。D値は次式に示すように、乾燥密度を室内突固め試験より求めた最大乾燥密度で除すことにより算出される。D値と乾燥密度の相関性が強いのは、算出式に直接用いられているためであろう。

$$D = \frac{\rho d}{\rho d_{\max}} \times 100 \quad \dots\dots (3.27)$$

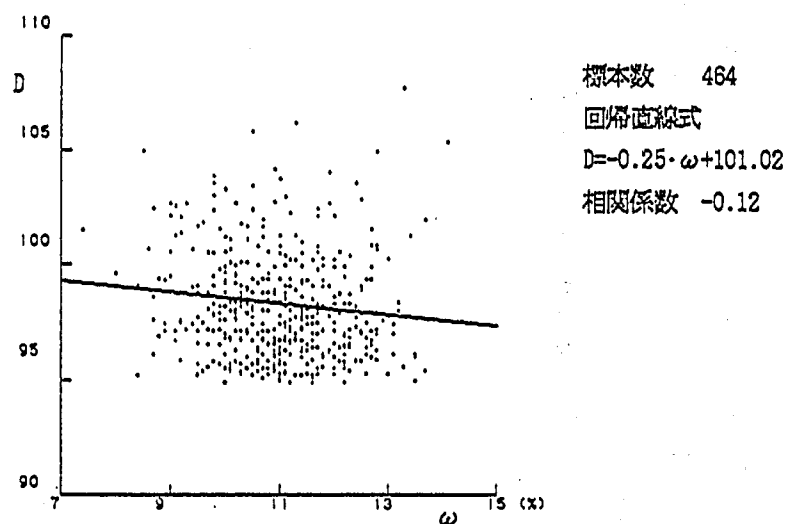
説明変数の組み合わせを変えて重回帰分析を行い、重相関係数および α を求めた結果と、観測値と予測値を比較した結果を表-3.16に、重回帰方程式を表-3.17にそれぞれ示す。また、正規分布曲線にあてはめた場合の観測値と予測値の比較を図-3.42(1)~(3)に示す。重相関係数が大きな値を示しているケースは説明変数と単独に相関係数を求めた際に大きな値を示していたケース(表-3.15参照)、すなわち $\rho d, \rho d_{-15.9}, \rho d_{-19.1}$ を説明変数に選んでいるケースである。また、この際に重相関係数は表-3.15での ρd 等の相関係数に比べてケース1-1で0.05、ケース2-1で0.03、ケース3-1で0.06の増加となっている。これらのケースで重相関係数の増加が小さいのは、 ρd 以外の説明変数の寄与率が小さいことを意味している。表-3.17に示した重回帰方程式でも ρd 以外の説明変数の係数は小さな値となっている。



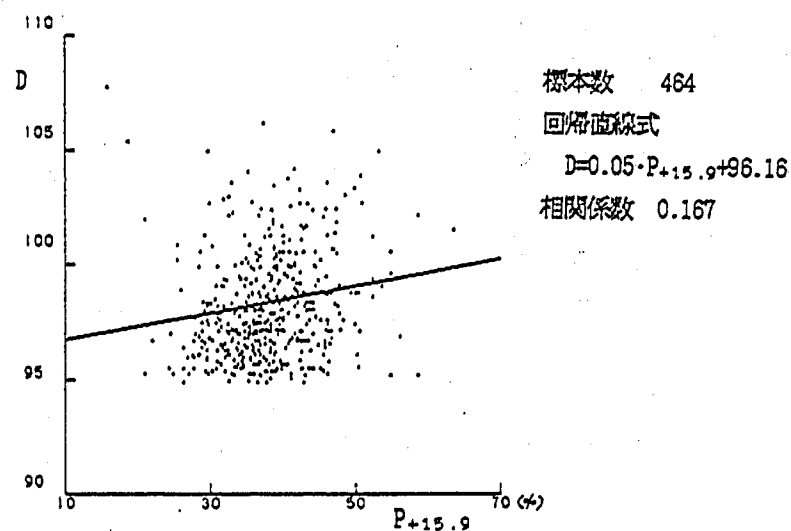
(a) ρd とDの関係



(c) P_{74} とDの関係



(b) ω とDの関係



(d) $P_{+15.9}$ とDの関係

図-3.39(1) 説明変数とD値の関係(味噌川ダムD)

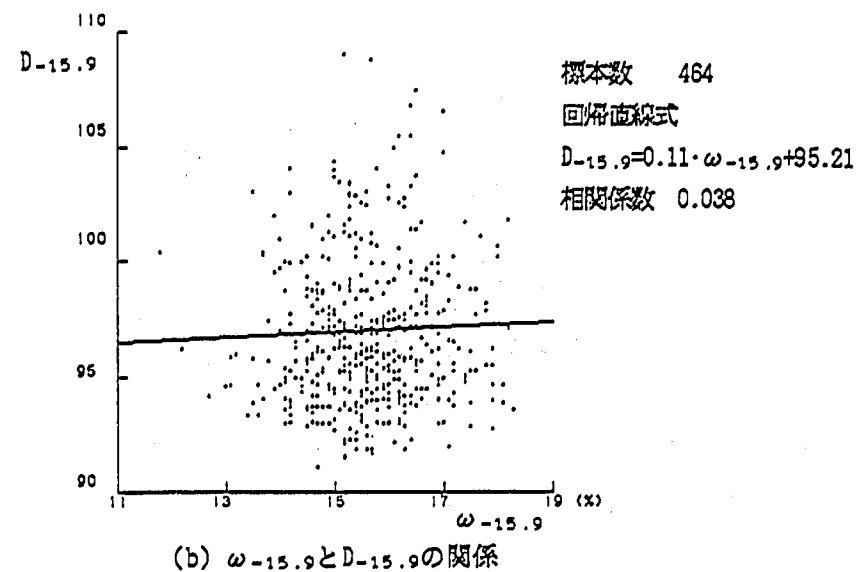
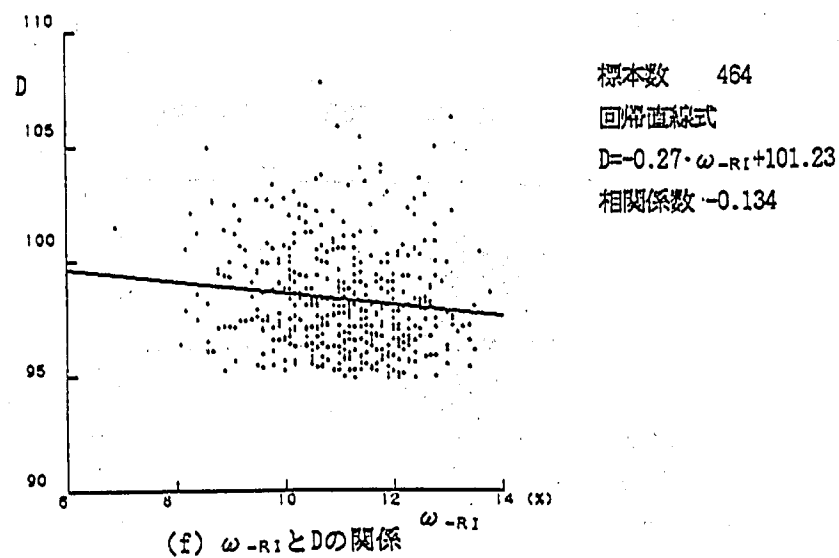
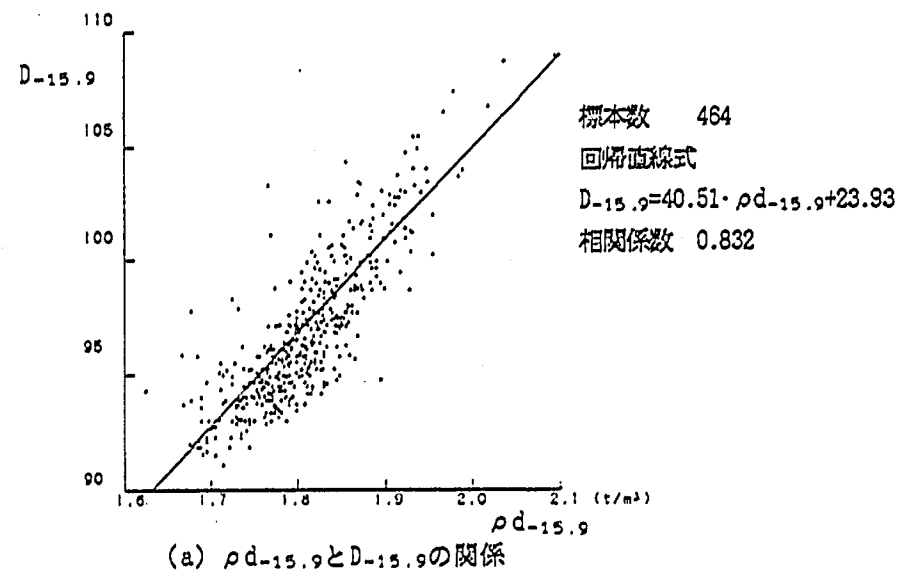
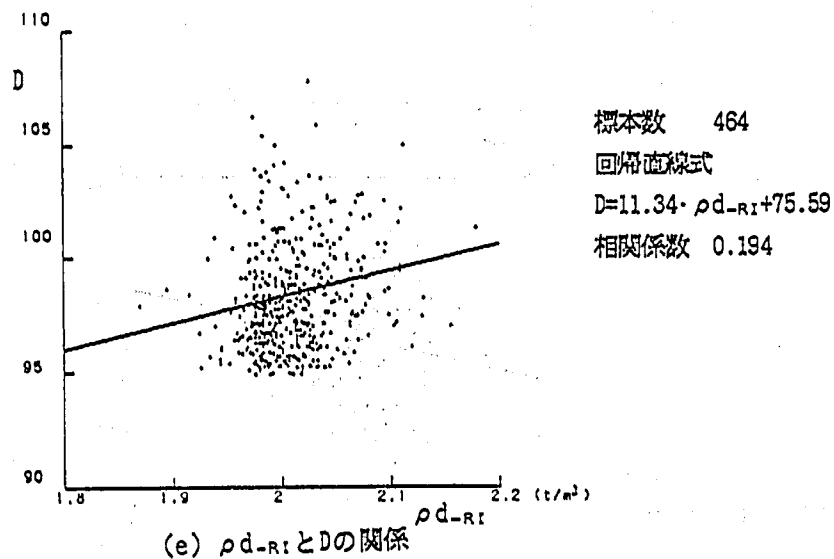
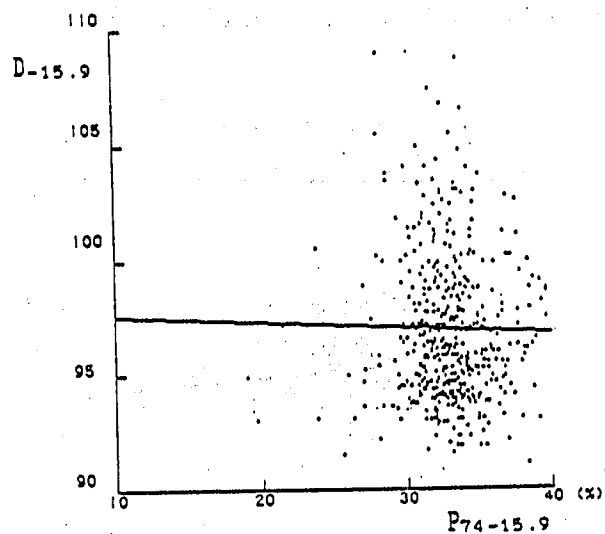


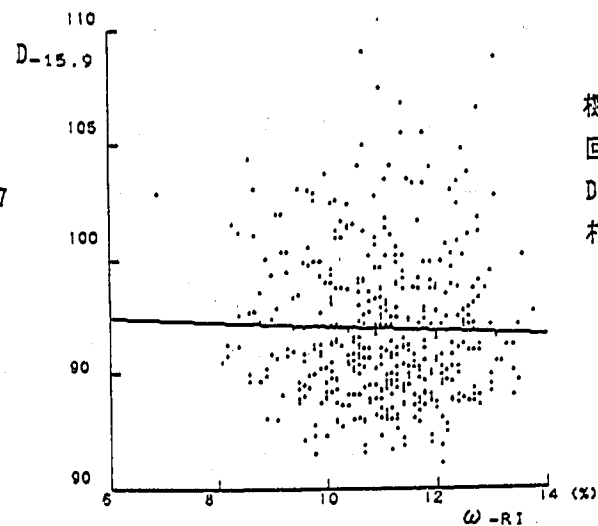
図-3.39(2) 説明変数とD値の関係(味噌川ダムD)

図-3.40(1) 説明変数とD値の関係(味噌川ダムD-15.9)



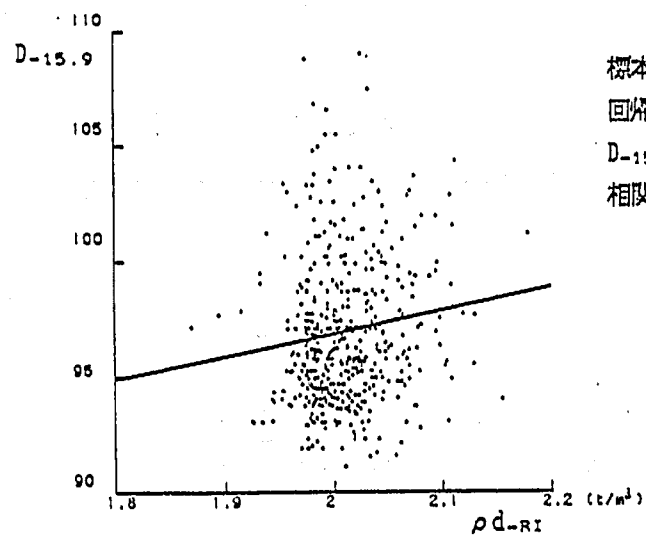
標本数 464
 回帰直線式
 $D_{-15.9} = -0.03 \cdot P_{74-15.9} + 97.77$
 相関係数 -0.022

(c) $P_{74-15.9}$ と $D_{-15.9}$ の関係



標本数 464
 回帰直線式
 $D_{-15.9} = -0.1 \cdot \omega_{-RI} + 98$
 相関係数 -0.035

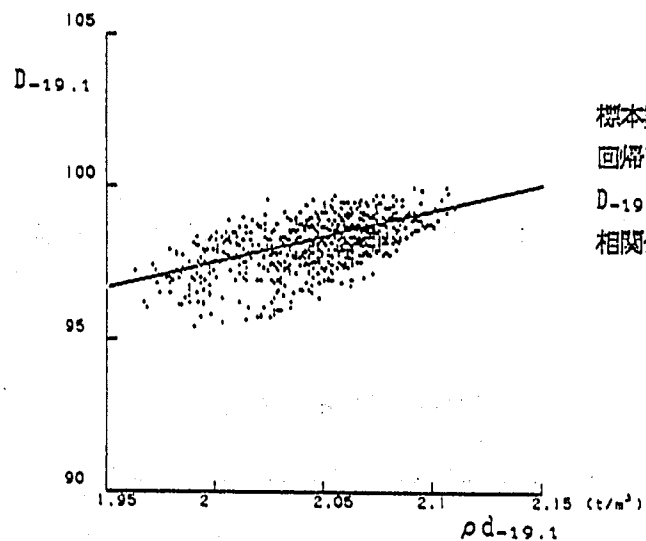
(e) ω_{-RI} と $D_{-15.9}$ の関係



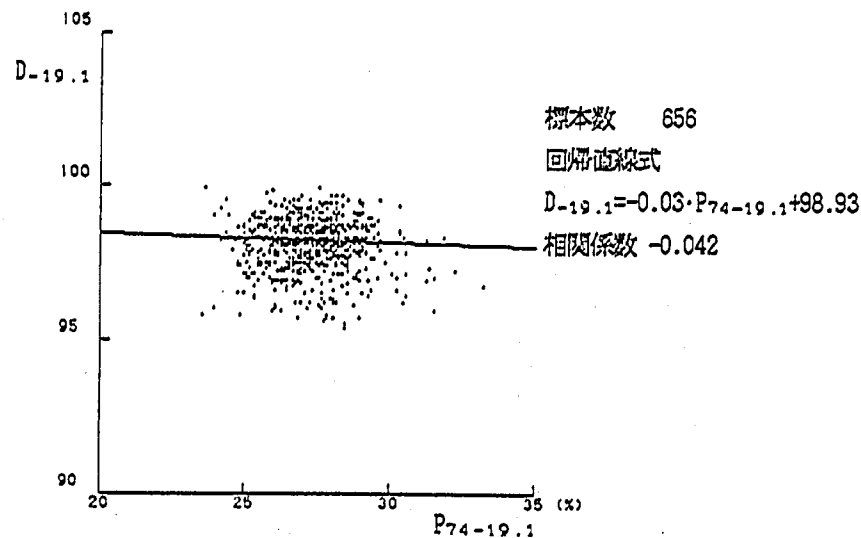
標本数 464
 回帰直線式
 $D_{-15.9} = 10.14 \cdot \rho_{d-RI} + 76.63$
 相関係数 0.126

(d) ρ_{d-RI} と $D_{-15.9}$ の関係

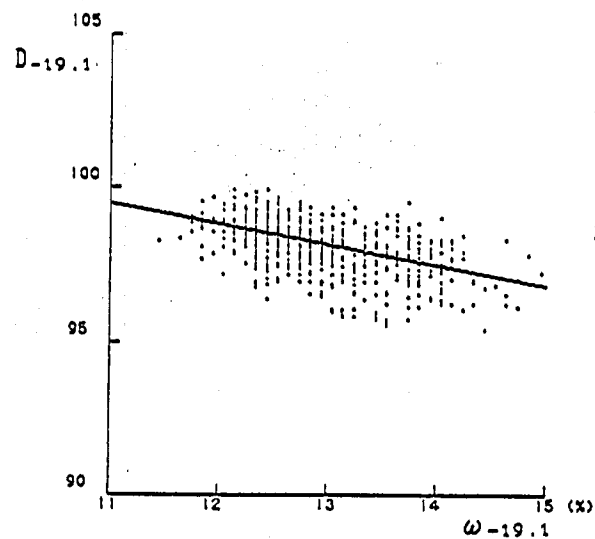
図-3.40(2) 説明変数とD値の関係(味噌川ダム $D_{-15.0}$)



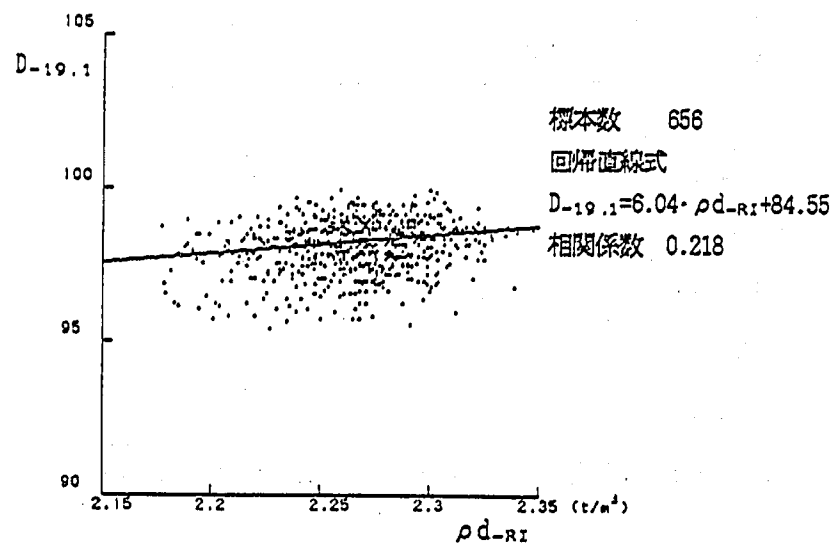
(a) $\rho d_{-19.1}$ と $D_{-19.1}$ の関係



(c) $P_{74-19.1}$ と $D_{-19.1}$ の関係



(b) $\omega_{-19.1}$ と $D_{-19.1}$ の関係



(d) ρd_{-R1} と $D_{-19.1}$ の関係

図-3.41(1) 説明変数とD値の関係 (三国川ダムD-10.1)

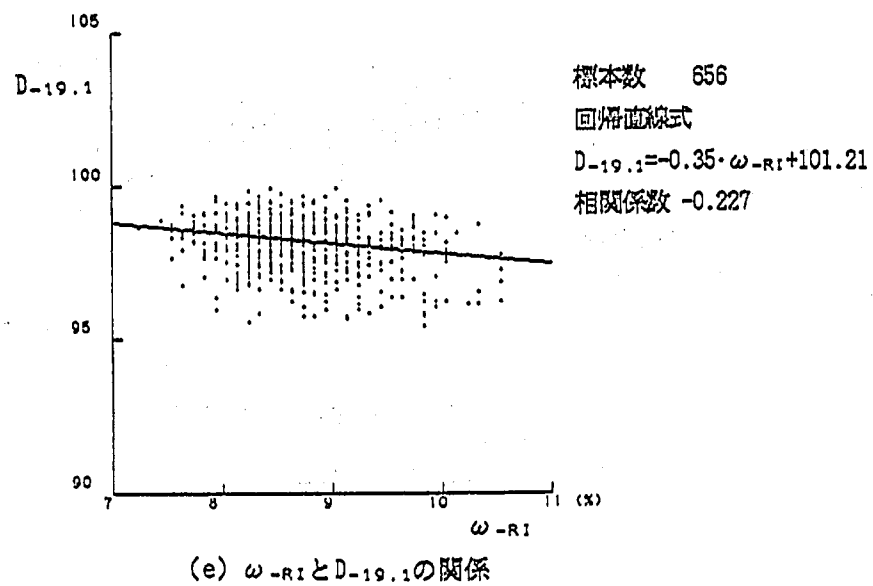


図-3.41(2) 説明変数とD値の関係 (三国川ダム $D_{-19.1}$)

表-3.15 相関係数の一覧

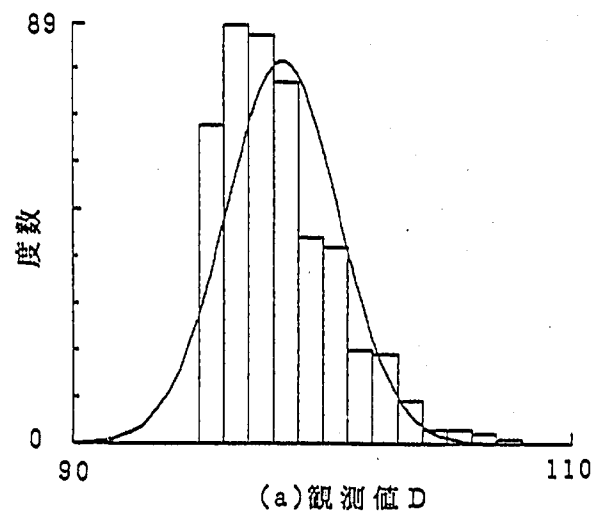
ケース	ダム名	目的変数	説明変数	相関係数
①	味噌川ダム	D	ρ_d	0.859
			ω	-0.12
			P_{74}	-0.012
			$P_{+15.9}$	0.167
			ρ_{d-R1}	0.194
			ω_{-R1}	-0.134
②	味噌川ダム	$D_{-15.9}$	$\rho_{d-15.9}$	0.832
			$\omega_{-15.9}$	0.038
			$P_{74-15.9}$	-0.022
			ρ_{d-R1}	0.126
			ω_{-R1}	-0.035
③	三国川ダム	$D_{-19.1}$	$\rho_{d-19.1}$	0.581
			$\omega_{-19.1}$	-0.471
			$P_{74-19.1}$	-0.042
			ρ_{d-R1}	0.218
			ω_{-R1}	-0.227

表-3.16 D値の重回帰分析結果

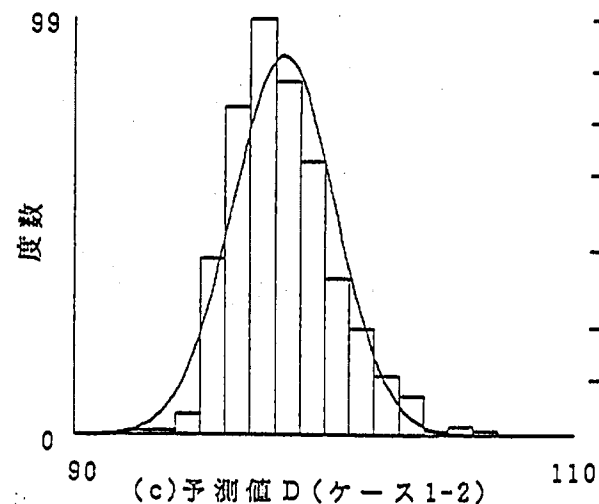
ダム名	ケース	目的変数	説明変数	重回帰係数 r	観測値			予測値			α
					平均 $\bar{x}$	不偏分散 V^2	95%分布範囲	平均 $\bar{x}$	不偏分散 V^2	95%分布範囲	
味噌川 ダム	1-1	D	$\rho d, \omega, P_{74}, P_{+15.9}$	0.91	98.34	5.161	93.89 ~ 102.79	98.34	4.278	94.29 ~ 102.40	1.206
	1-2		$\rho d, \omega$	0.90				98.34	4.213	94.32 ~ 102.36	1.225
	1-3		$\rho d_{-R1}, \omega_{-R1}, P_{74}, P_{+15.9}$	0.23				98.34	0.259	97.34 ~ 99.34	19.93
	1-4		$\rho d_{-R1}, \omega_{-R1}$	0.20				98.34	0.196	97.47 ~ 99.21	26.33
	2-1	D-15.9	$\rho d_{-15.9}, \omega_{-15.9}, P_{74} + 15.9$	0.86	96.98	9.769	90.85 ~ 103.10	96.98	7.158	91.73 ~ 102.22	1.365
	2-2		$\rho d_{-15.9}, \omega_{-15.9}$	0.86				96.98	7.158	91.73 ~ 102.22	1.365
	2-3		$\rho d_{-R1}, \omega_{-R1}$	0.14				96.98	0.200	96.10 ~ 97.85	48.85
三國川 ダム	3-1	D-19.1	$\rho d_{-19.1}, \omega_{-19.1}, P_{74} + 19.1$	0.64	98.24	0.721	96.57 ~ 99.90	98.24	0.296	97.17 ~ 99.30	2.436
	3-2		$\rho d_{-19.1}, \omega_{-19.1}$	0.59				98.24	0.251	97.26 ~ 99.22	2.873
	3-3		$\rho d_{-R1}, \omega_{-R1}$	0.23				98.24	0.0373	97.86 ~ 98.62	19.33

表-3.17 D値の重回帰方程式

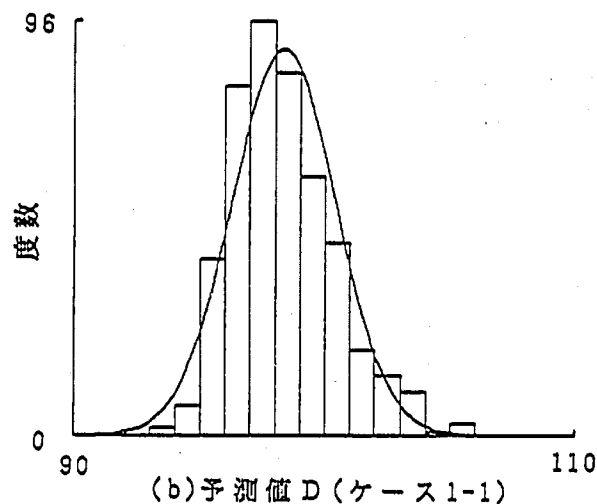
ダム名	ケース	目的変数	重回帰方程式
味噌川 ダム	1-1	D	$\hat{D} = 44.31 \rho d + 0.816 \omega + 0.0489 P_{74} + 0.0473 P_{+15.9} - 2.30$
	1-2		$\hat{D} = 44.23 \rho d + 0.630 \omega + 2.74$
	1-3		$\hat{D} = 10.68 \rho d_{-R1} + 0.0695 \omega_{-R1} + 0.0224 P_{74} + 0.0437 P_{+15.9} + 74.03$
	1-4		$\hat{D} = 11.06 \rho d_{-R1} - 0.144 \omega_{-R1} + 76.32$
	2-1	D-15.9	$\hat{D}_{-15.9} = 42.39 \rho d_{-15.9} + 0.599 \omega_{-15.9} + 0.00352 P_{74-15.9} + 11.16$
	2-2		$\hat{D}_{-15.9} = 42.38 \rho d_{-15.9} + 0.600 \omega + 11.26$
	2-3		$\hat{D}_{-15.9} = 14.86 \rho d_{-R1} + 0.241 \omega_{-R1} + 64.53$
三國川 ダム	3-1	D-19.1	$\hat{D}_{-19.1} = 25.07 \rho d_{-19.1} + 0.176 \omega_{-19.1} + 0.266 P_{74-19.1} + 38.81$
	3-2		$\hat{D}_{-19.1} = 21.83 \rho d_{-19.1} + 0.290 \omega + 49.89$
	3-3		$\hat{D}_{-19.1} = 1.17 \rho d_{-R1} - 0.283 \omega_{-R1} + 98.04$



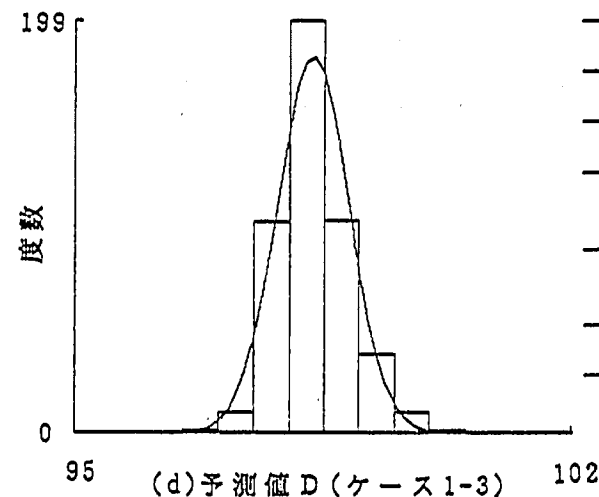
標本数	464
平均値	98.34
不偏分散	5.161
不偏分散 の平方根	2.272
95%信頼 範囲	93.89 102.79
変動係数	0.023
カイ二乗	256.5



標本数	464
平均値	98.34
不偏分散	4.213
不偏分散 の平方根	2.053
95%信頼 範囲	94.32 102.36
変動係数	0.0209

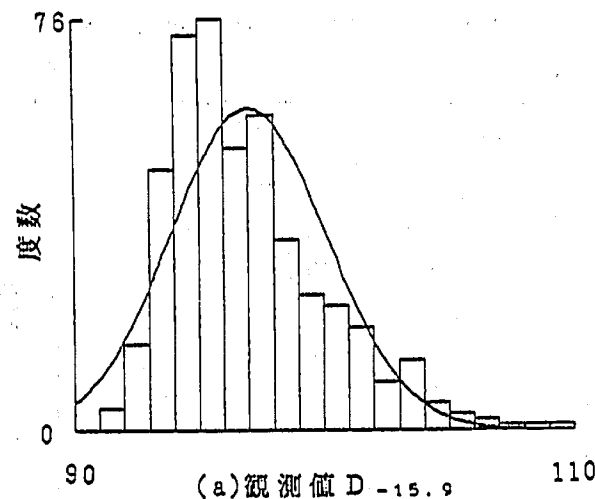


標本数	464
平均値	98.34
不偏分散	4.278
不偏分散 の平方根	2.068
95%信頼 範囲	94.29 102.40
変動係数	0.0210

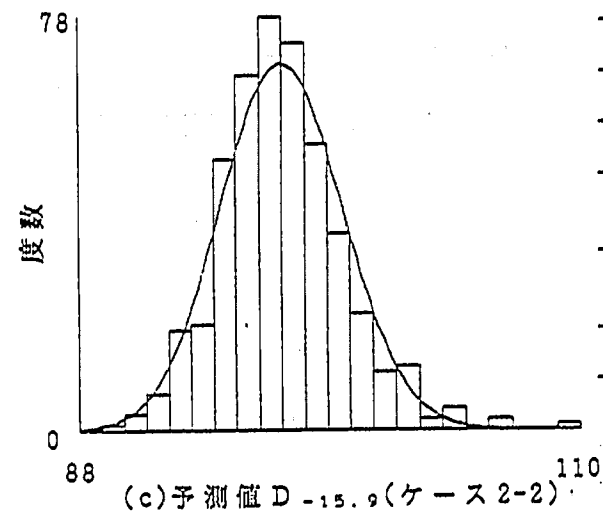


標本数	464
平均値	98.34
不偏分散	0.259
不偏分散 の平方根	0.509
95%信頼 範囲	97.34 99.34
変動係数	0.006

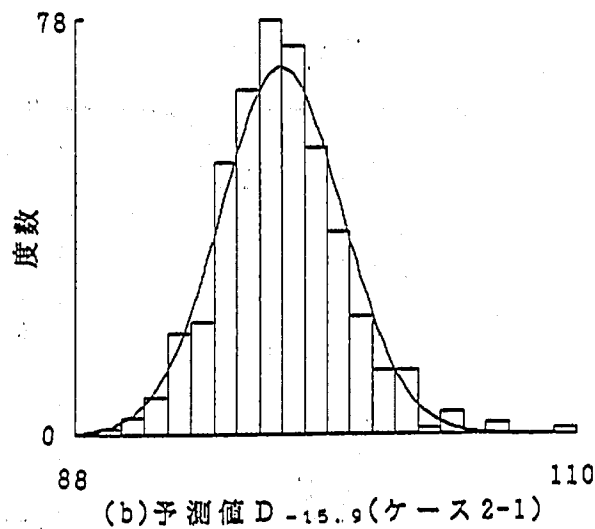
図-3.42(1) Dの観測値と予測値(味噌川ダム)



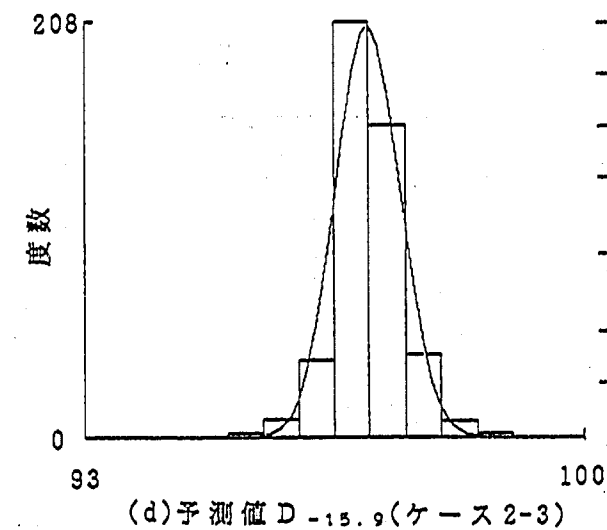
標本数	464
平均値	96.98
不偏分散	9.769
不偏分散の平方根	3.126
95%信頼範囲	90.85 103.10
変動係数	0.032
カイ二乗	233.5



標本数	464
平均値	96.98
不偏分散	7.158
不偏分散の平方根	2.675
95%信頼範囲	91.73 102.22
変動係数	0.028

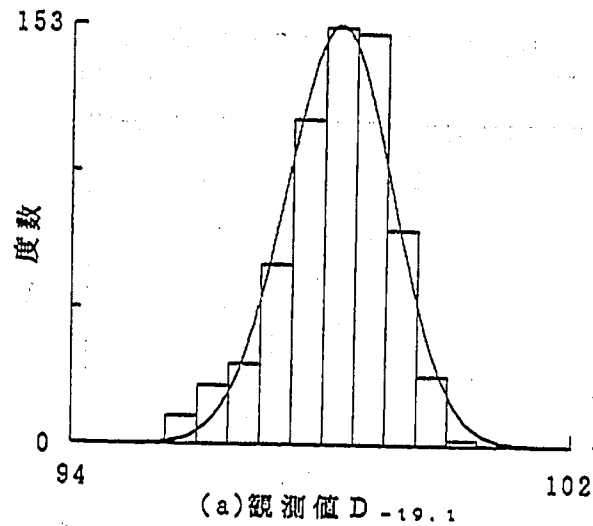


標本数	464
平均値	96.98
不偏分散	7.158
不偏分散の平方根	2.675
95%信頼範囲	91.73 102.22
変動係数	0.028

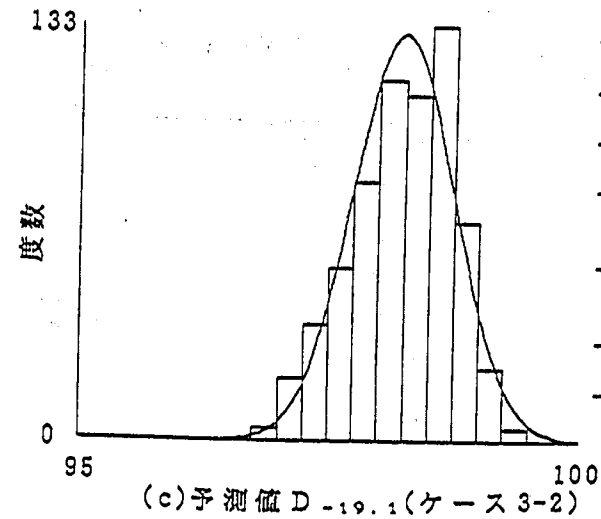


標本数	464
平均値	96.98
不偏分散	0.200
不偏分散の平方根	0.447
95%信頼範囲	96.10 97.85
変動係数	0.005

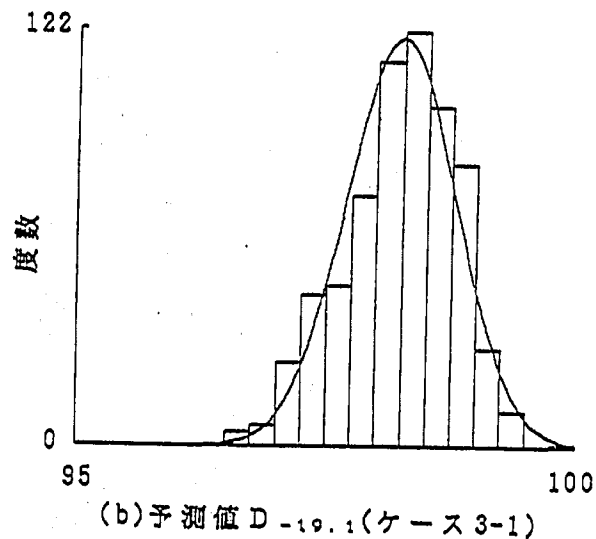
図-3.42(2) D-15.9の観測値と予測値(味噌川ダム)



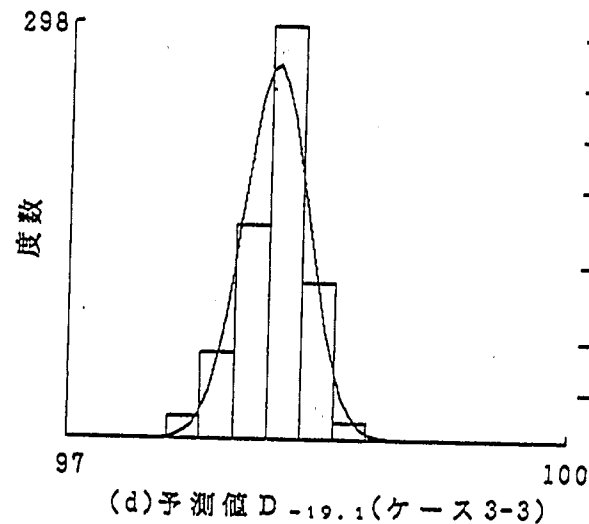
標本数	656
平均値	98.24
不偏分散	0.721
不偏分散の平方根	0.849
95%信頼範囲	96.57 99.90
変動係数	0.009
カイ二乗	50.80



標本数	656
平均値	98.24
不偏分散	0.251
不偏分散の平方根	0.501
95%信頼範囲	97.26 99.22
変動係数	0.005



標本数	656
平均値	98.24
不偏分散	0.296
不偏分散の平方根	0.544
95%信頼範囲	97.17 99.30
変動係数	0.006



標本数	656
平均値	98.24
不偏分散	0.037
不偏分散の平方根	0.193
95%信頼範囲	97.86 98.62
変動係数	0.002

図-3.42(3) D-19.1の観測値と予測値(三国川ダム)

予測値の分布に注目した場合（表-3.16, 図-3.42参照），平均は観測値と同じ値を示しているが予測値の不偏分散は重相関係数が大きい程大きく，小さい程小さくなっている。これは前述したように重相関係数が小さいと残差の分布範囲が大きくなり，予測値の分散を小さくしている状態を意味している。予測値の95%分布範囲は重相関係数が小さいと非常に狭くなり，観測値の95%分布範囲と大きく異なってくる。観測値と予測値の不偏分散の比 α は，ケース1-1の重相関係数が0.91の場合で1.206，ケース2-1の重相関係数が0.86の場合で1.365，ケース3-1の重相関係数が0.64の場合で2.436となっているのに対し，重相関係数が0.2程度となると α は20程度以上の値を示している。

説明変数の選び方については，味噌川ダムでのケース1-1と2-1の比較，ケース2-1と2-2の比較において，粒度条件の説明変数である P_{11} , $P_{15.9}$ を省略しても重相関変数にはほとんど変化はない。しかし三国川ダムでのケース3-1と3-2の比較では， $P_{11-19.1}$ を省略すると重相関係数が0.06異なっており省略しない方が良い様に見受けられる。

各説明変数の重相関係数に与える影響の大きさを評価する指標として標準回帰係数（ β_j^* ）があげられる。これは（3.22）式に示した重回帰方程式に用いる全ての変数 $x_1, x_2 \dots x_p$ および y を平均0，分散1に標準化した状態で求められる回帰係数である。標準回帰係数（ β_j^* ）と回帰係数（ β_j ）の間には次の関係が成り立つ。

$$\beta_j^* = \beta_j \cdot \sqrt{S_{jj}/S_{yy}} \quad \text{----- (3.28)}$$

ここに， S_{jj} , S_{yy} は x_j , y の分散である。

また， $x_2, x_3 \dots x_p$ の影響を消去した y と x_1 の相関の強さは y と x_1 の偏相関係数（ $r_{y1.2 \dots p}$ ）と呼ばれ，次式で算出される。

$$r_{y1.2 \dots p} = \frac{-r^{y1}}{\sqrt{r^{11} \cdot r^{22} \dots r^{pp}}} \quad \text{----- (3.29)}$$

ここで上式の右辺の各数値は， $y, x_1, x_2, \dots, x_p$ の相関係数の行列（相関行列）の逆行列により求められる。

$$C = \begin{pmatrix} 1 & r_{y1} & \dots & r_{yp} \\ r_{1y} & 1 & \dots & r_{1p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{py} & r_{p1} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad \text{----- (3.30)}$$

この C の逆行列 C^{-1} における，それぞれの添字に対応する要素を用いて偏相関係数は算出される。

同様に， y と x_1 の偏相関係数は次式で示される。

$$r_{yj \cdot 1 \cdots (j-1)(j+1) \cdots p} = \frac{-r_{yj}}{\sqrt{r_{yy} \cdot r_{jj}}} \quad \cdots (3.31)$$

表－3．18に各説明変数の標準回帰係数と偏相関係数を示す。味噌川ダムのケース1－1における P_{74} 、およびケース2－1における $P_{74-15.9}$ では両者とも非常に小さな値を示しているのに対し、三国川ダムのケース3－1における $P_{74-15.9}$ は $\omega_{-19.1}$ よりも大きな値と示している。ケース1－1および2－1において P_{74} 、 $P_{74-15.9}$ を説明変数から省略しても良いと判断されよう。

表－3．18 各説明変数の標準回帰係数と偏相関係数

ダム名	ケース	項 目	ρd ($\rho d_{-15.9}$) ($\rho d_{-19.1}$)	ω ($\omega_{-15.9}$) ($\omega_{-19.1}$)	P_{74} ($P_{74-15.9}$) ($P_{74-19.1}$)	$P_{+15.9}$
味噌川 ダム	1－1	標準回帰係数	0.994	0.397	0.0585	0.135
		偏相関係数	0.908	0.501	0.134	0.204
	2－1	標準回帰係数	0.871	0.202	0.00303	—
		偏相関係数	0.856	0.353	0.00574	—
三国川 ダム	3－1	標準回帰係数	0.882	0.192	0.282	—
		偏相関係数	0.461	0.115	0.310	—

D値の予測については、乾燥密度、含水比、粒度条件(P_{74})等のデータを用いることによりある程度の水準で可能と判断される。また、不偏分散の比(α)を用いることにより、残差によるばらつきの減少分を考慮することもできる。ただし、精度の良い予測式(重回帰方程式)を設定するためには、今回のようにデータの蓄積が必要である。

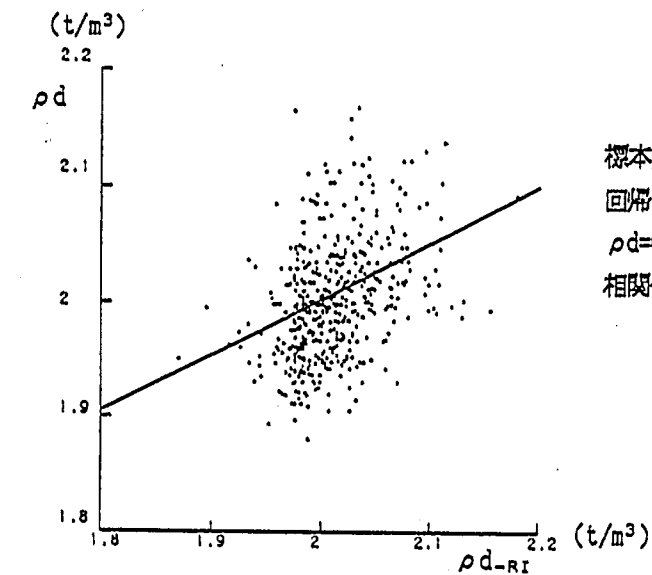
次にRI法で得られた試験データ(ρd_{-RI} 、 ω_{-RI})を用いてD値の予測を行うケースについて検討を加える。

ρd 、 ω のかわりに ρd_{-RI} 、 ω_{-RI} を説明変数に用いた場合では重相関係数が大幅に減少している。これは(3.27)式に示されるようにDの算出式に直接 ρd を用いているためと考えられ、もし D_{-RI} について重回帰分析を行えば重相関係数は逆の結果を示すと考えられる。図－3．43に両ダムの ρd と ρd_{-RI} 、 ω と ω_{-RI} の対応を比較した結果を示す。両者の相関は味噌川ダムでは、0.38、0.65と弱い相関となっているのに対し、三国川ダムのケースでは0.9以上の強い相関を示している。両者のデータの分布形状の比較を表－3．19に示す。

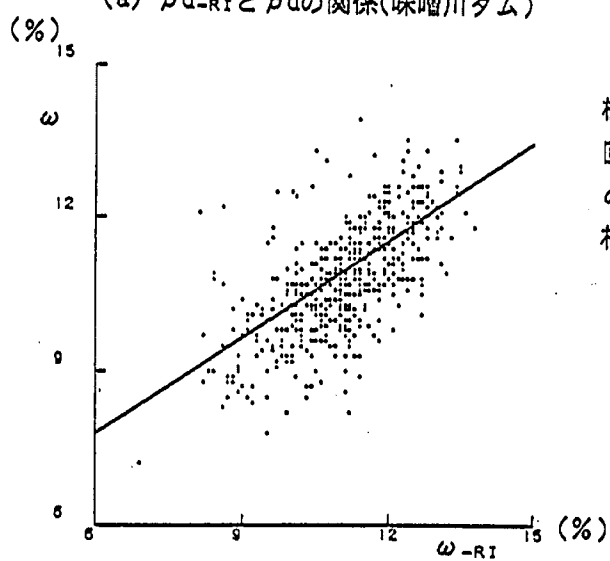
表-3.19 ρ_d と ρ_{d-RI} , ω と $\omega-RI$ の分布形状の比較

ダム名	項目	平均 $\bar{x}$	不偏分散 V^2	不偏分散 の平方根 V	95%分布範囲
味噌川 ダム	ρ_d	2.006	0.00260	0.0510	1.906 ~ 2.106
	ρ_{d-RI}	2.005	0.00152	0.0390	1.929 ~ 2.082
	ω	10.90	1.223	1.106	8.734 ~ 13.07
	$\omega-RI$	10.97	1.326	1.152	8.710 ~ 13.22
三国川 ダム	ρ_d	2.263	0.000952	0.0308	2.203 ~ 2.323
	ρ_{d-RI}	2.264	0.000946	0.0307	2.203 ~ 2.324
	ω	8.681	0.284	0.533	7.636 ~ 9.726
	$\omega-RI$	8.678	0.315	0.561	7.578 ~ 9.778

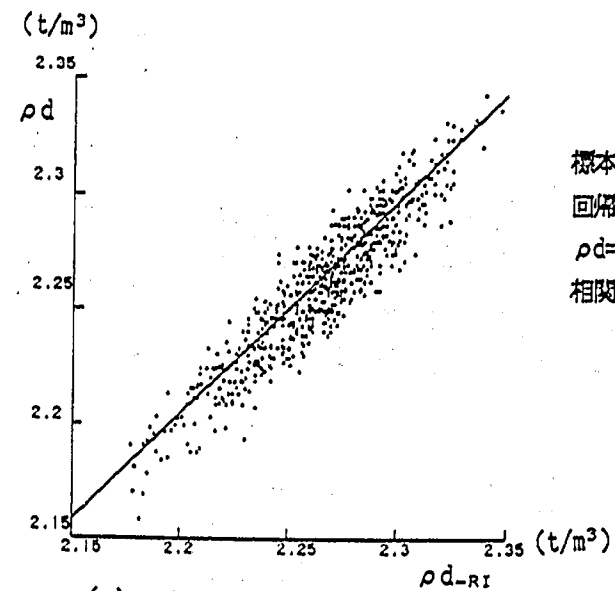
味噌川ダムの ρ_d のケースでは、RI法で得た結果の方がばらつきの指標である不偏分散、および不偏分散の平方根が小さな値を示し、95%分布範囲も狭くなっている。これに対して三国川ダムのケースでは、 ρ_d , ω 共に平均も不偏分散もほぼ等しい値を示しており、95%分布範囲もほぼ等しい。三国川ダムのケースでは ρ_d と ρ_{d-RI} , ω と $\omega-RI$ の相関性が良く、両者のデータ分布形状もほぼ等しいことからD値管理を $D_{-19.1}$ で行わずに D_{-RI} で行っても問題ないと判断されよう。なお、この際には ρ_{d-RI} と $\omega-RI$ を説明変数に用いた重回帰方程式によりD値予測が可能と考えられる。



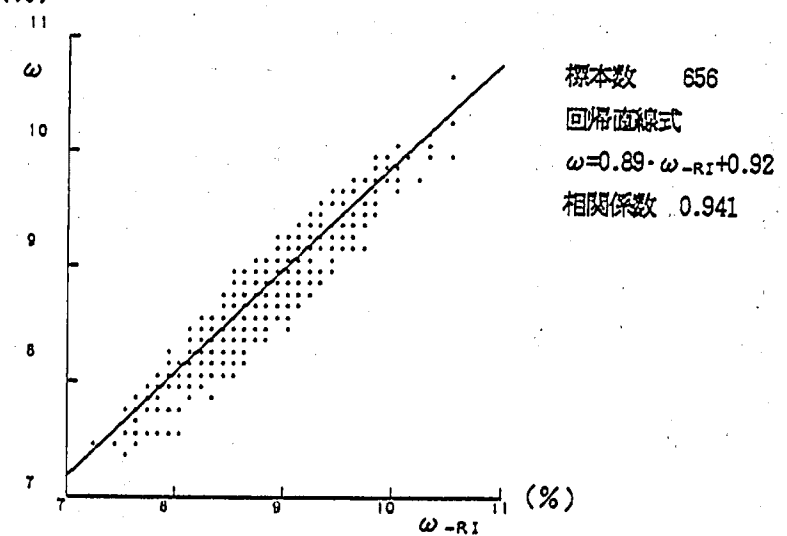
(a) $\rho d-RI$ と ρd の関係(味噌川ダム)



(b) $\omega-RI$ と ω の関係(味噌川ダム)



(c) $\rho d-RI$ と ρd の関係(三国川ダム)



(d) $\omega-RI$ と ω の関係(三国川ダム)

図-3.43 ρd と $\rho d-RI$, ω と $\omega-RI$ の関係

3. 4. 3 kの重回帰分析結果

透水係数(k)については、通常週1回～月1回程度の頻度で測定される。ここでは高密度試験データ(データ数40)を用いて重回帰分析を行った。また、目的変数には $\log k$ を、説明変数には ρd , ω , P_{74} , $P_{+15.9(+19.1)}$, $\rho d_{-15.9(-19.1)}$, $\omega_{-15.9(-19.1)}$, $P_{74-15.9(-19.1)}$ を用いた。

表-3. 20に $\log k$ と各説明変数との相関係数を示す。

表-3. 20 $\log k$ との相関係数

説明変数	相 関 係 数	
	味噌川ダム	三国川ダム
ρd	0.162	-0.00410
ω	-0.335	-0.00468
P_{74}	-0.411	-0.208
$P_{+15.9(+19.1)}$	0.312	0.0694
$\rho d_{-15.9(-19.1)}$	-0.0530	-0.0736
$\omega_{-15.9(-19.1)}$	-0.152	0.0657
$P_{74-15.9(-19.1)}$	-0.297	-0.144

ここでは $\log k$ と強い相関関係が認められる変数は存在しない。弱い相関関係が認められるのは、味噌川のダムのケースでは ω , P_{74} , $P_{+15.9}$, $P_{74-15.9}$ 三国川ダムのケースでは P_{74} である。相対的にはどちらのダムのケースでも、 $\log k$ は P_{74} と一番相関性が認められる。

説明変数の組み合わせを変えて重回帰分析を行い、重相関係数および α を求めた結果と、観測値と予測値を比較した結果を表-3. 21に、重回帰方程式を表-3. 22にそれぞれ示す。また、正規分布曲線にあてはめた場合の観測値と予測値の比較を図-3. 44(1)~(2)に示す。重回帰分析による重相関係数はD値の場合に比べて小さい数字となり、味噌川ダムのケース1-1で0.45、三国川ダムのケース2-1で0.32となった。予測値の不偏分散も小さく、95%分布範囲も観測値に比べて狭くなっている。不偏分散の比(α)も、ケース1-1で4.983を示しているのを除けば残りのケースでは10以上の値を示しており、得られた予測式(重回帰方程式)の精度はあまり良くないと判断されよう。

表-3. 23に各説明変数の標準回帰係数と偏相関係数を示す。 P_{74} および $P_{74-15.9(-19.1)}$ が重回帰方程式の中で一番大きく影響している状況が読み取られるが、この項目以外にも、例えば味噌川ダムのケース1-1の $P_{+15.9}$ 、三国川ダムのケース2-1の ω 等重相関係数に影響を与える説明変数が存在する。

kについての重回帰分析ではあまり精度の良い予測式を得ることができなかった。この原因としては現場透水試験における試験精度の問題、また高密度試験データにおけるデータ数が少ない

表-3.21 logkの重回帰分析結果

ダム名	ケース	目的変数	説明変数	重回帰係数 r	観測値			予測値			α
					平均 $\bar{x}$	不偏分散 v^2	95%分布範囲	平均 $\bar{x}_1$	不偏分散 v_1^2	95%分布範囲	
味噌川 ダム	1-1	logk	$\rho d, \omega, P_{74}, P_{+15.9}$	0.45	-5.459	0.0588	-5.934 ~ -4.983	-5.459	0.0118	-5.671 ~ -5.246	4.983
	1-2		$\rho d_{-15.9}, \omega_{-15.9}, P_{74+15.9}$	0.31				-5.459	0.00561	-5.605 ~ -5.312	10.48
三国川 ダム	2-1		$\rho d, \omega, P_{74}, P_{+19.1}$	0.24	-5.707	0.0150	-5.947 ~ -5.467	-5.707	0.000890	-5.765 ~ -5.649	16.85
	2-2		$\rho d_{-19.1}, \omega_{-19.1}, P_{74+19.1}$	0.21				-5.707	0.000631	-5.756 ~ -5.658	23.77

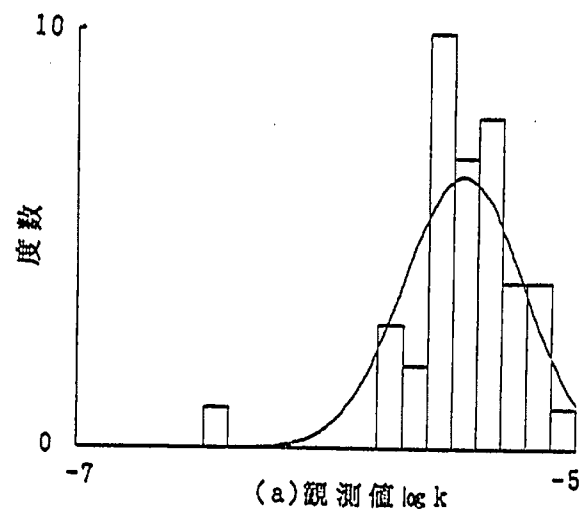
表-3.22 logkの重回帰方程式

ダム名	ケース	目的変数	重回帰方程式
味噌川	1-1	logk	$\log k = -0.140 \rho d - 0.0141 \omega - 0.0677 P_{74} - 0.0149 P_{+15.9} - 3.098$
ダム	1-2		$\log k = -0.276 \rho d_{-15.9} - 0.0055 \omega_{-15.9} - 0.0564 P_{74-15.9} - 3.052$
三国川	2-1		$\log k = -0.0854 \rho d + 0.0285 \omega - 0.0331 P_{74} + 0.00184 P_{+19.1} - 5.238$
ダム	2-2		$\log k = -0.343 \rho d_{-19.1} + 0.0135 \omega_{-19.1} - 0.0153 P_{74-19.1} - 4.773$

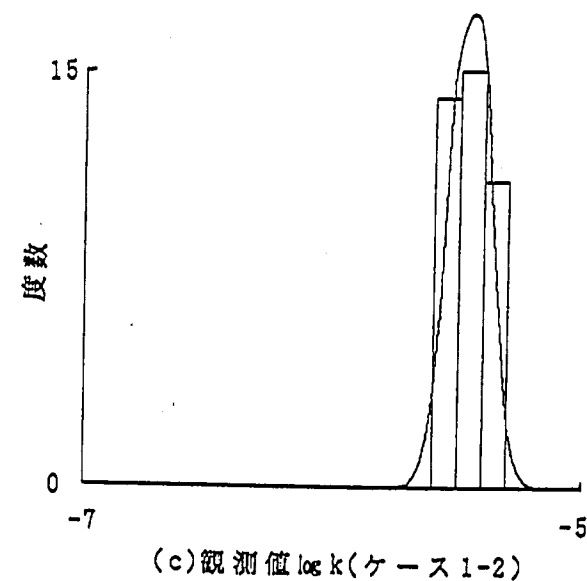
表-3.23 各説明変数の標準回帰係数と偏相関係数

ダム名	ケース	項目	ρd	ω	P_{74}	$P_{+15.9}(-19.1)$	$\rho d_{-15.9}(-19.1)$	$\omega_{-15.9}(-19.1)$	$P_{74-15.9}(-19.1)$
味噌川 ダム	1-1	標準回帰係数	-0.0405	-0.0660	-0.7752	-0.429	—	—	—
		偏相関係数	-0.0370	-0.0440	-0.296	-0.181	—	—	—
	1-2	標準回帰係数	—	—	—	—	-0.0213	-0.0884	-0.294
		偏相関係数	—	—	—	—	-0.0183	-0.0887	-0.254
三国川 ダム	2-1	標準回帰係数	-0.0204	0.139	-0.273	0.0486	—	—	—
		偏相関係数	-0.0188	-0.0821	-0.228	0.0402	—	—	—
	2-2	標準回帰係数	—	—	—	—	-0.0831	0.0958	-0.206
		偏相関係数	—	—	—	—	-0.0689	0.0774	-0.190

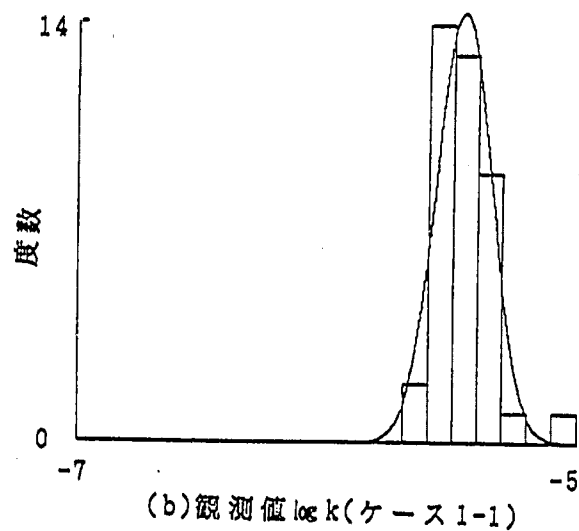
こと（40個）の影響等が考えられる。しかし、 $\log k$ と P_{14} の相関係数に比べて重相関係数は多少大きな値をしている事を考慮すると、重回帰分析を行うことにより透水係数の予測はある程度は可能であること、言い換えるならば各説明変数の値を管理することにより透水係数の管理もある程度は可能であると考えられよう。



標本数	40
平均値	-5.459
不偏分散	0.0588
不偏分散の平方根	0.2426
95%信頼範囲	-5.934 -4.983
変動係数	-0.0444

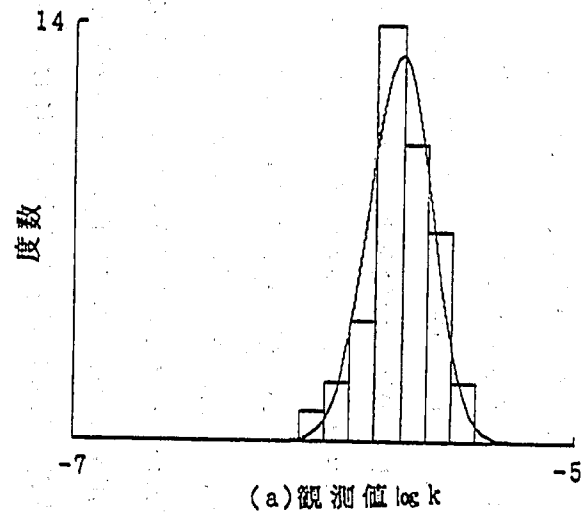


標本数	40
平均値	-4.459
不偏分散	0.0056
不偏分散の平方根	0.0749
95%信頼範囲	-5.605 -5.312
変動係数	-0.0137

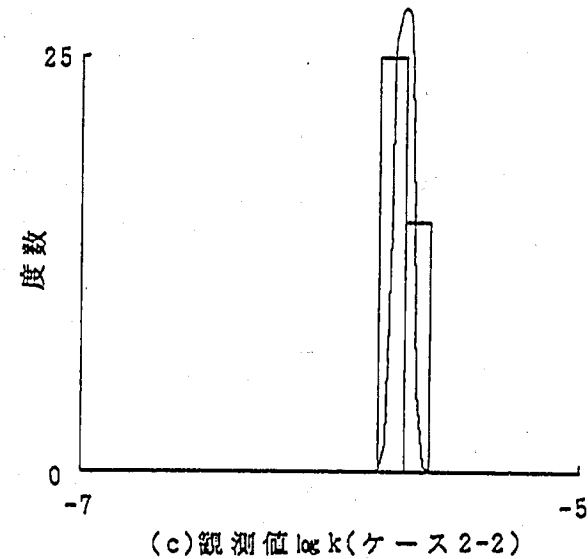


標本数	40
平均値	-5.459
不偏分散	0.0118
不偏分散の平方根	0.1086
95%信頼範囲	-5.671 -5.246
変動係数	-0.0199

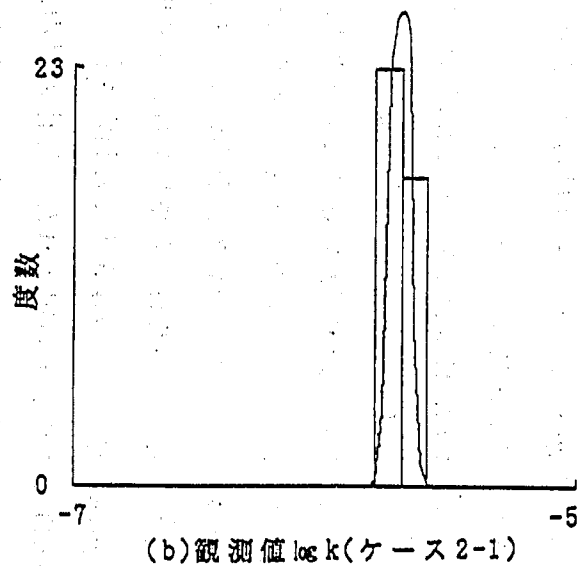
図-3.44(1) $\log k$ の観測値と予測値 (味噌川ダム)



標本数	40
平均値	-5.707
不偏分散	0.0150
不偏分散の平方根	0.1224
95% 信頼範囲	-5.947 -5.467
変動係数	-0.0214



標本数	40
平均値	-5.707
不偏分散	0.0006
不偏分散の平方根	0.0251
95% 信頼範囲	-5.756 -5.658
変動係数	-0.0044



標本数	40
平均値	-5.707
不偏分散	0.0009
不偏分散の平方根	0.0298
95% 信頼範囲	-5.765 -5.649
変動係数	-0.0052

図-3. 44(2) $\log k$ の観測値と予測値 (三国川ダム)

4. ま と め

フィルダムにおけるコア材の品質管理データを、統計的手法により調査した結果を以下にまとめる。なお、まとめは各統計的手法毎に行った。

4. 1 データの分布形状ならびに基本統計量による検討

- ① 品質管理データの分布形状を正規分布に適合すると仮定して5%有意水準でのカイ2乗(χ^2)検定を行った結果では、日常管理データでは適合しないと判断されるデータ項目の方が多くなっているのに対して、高密度試験データではほとんどの項目で適合すると判定された。 χ^2 は観測度数と期待度数の差の2乗の総和を用いて算出されるために、標本数が増えると検定水準も高くなる。今回用いたデータ数は、日常管理データの場合、味噌川のダムのケースで464、三国川ダムのケースで656であるのに対して高密度試験の場合は20ないし50である。日常管理データにおいて、データに大きな季節的変動等を含んでいる場合、あるいは異常値に近いデータが含まれる場合は χ^2 が大きな値を示し、正規分布への適合性が否定されると考えられる。
- ② χ^2 検定により正規分布への適合性が棄却されたデータについて、正規確率紙にプロットした結果では、割と良い直線性を示しているのに χ^2 の値が大きくなっている例がいくつか観察された。これらの例ではプロットの両端付近の部分にばらつきが見受けられており、これら異常値に近いと思われる値が χ^2 の計算値に影響を与えると考えられる。正規確率紙による正規分布判定方法では定量的に適合性を判定することはできないが、 χ^2 検定が異常値等の影響を受け易いことを考慮すれば、正規確率紙による方法は非常に基本的手法ではあるが重要な手法であると判断される。
- ③ 高密度試験データと日常管理データの比較を行うことにより、本来ならばデータのばらつき中に含まれる長期の変動成分(盛立材料の性質の季節変動等)を取り出すことが可能と考えられた。しかし、高密度試験データと日常管理データではデータ数が大きく異なり(高密度試験データで20ないし50, 日常管理データで464ないし656), これが原因となって高密度試験データでは算出される基本統計量の精度があまり良くなく、長期の変動成分を上手く取り出せない結果となった。異なる頻度で測定されたデータ集団の統計量の比較を行う際には、できるだけデータ数を多く、また両者のデータ数をそろえた状態にするのが望ましいと考えられる。
- ④ 両ダムのD値のデータについて、現場管理値($D \geq 95$)と試験データを正規分布と仮定した場合の基本統計量の比較を行った結果では、味噌川ダムのケースではD値が95を下回る結果が得られる可能性が10~30%存在すると判定され、三国川ダムのケースではD値は95%の確率で96.57~99.90の値を示す判定された。堤体の平均的性質としてD値を考えた場合には、味噌川ダムのケースではD値が95を下回るデータのある程度許容しても差し支えないと考えられ、また三国川ダムのケースでは、 $D \geq 95$ にこだわらずに95%確率の分布範囲で管理する方が有効

な管理手法と考えられる。

- ⑤ 味噌川ダムと三国川ダムの各データのばらつき度を、データの不偏分散の平方根および変動係数を用いて比較した結果では、どちらの値も味噌川ダムのケースの方が2倍程度以上の値となった。味噌川ダムのデータのばらつき度は三国川ダムに比べて2倍程度以上と評価された。

4. 2 時系列データの統計処理による検討

- ① 日常管理データを用いて自己相関係数の算出を行った結果では、各データ共に $n=0$ から $n=1$ の部分で自己相関係数は大きく減少し、その後はゆるやかな減少過程を示した。この結果より1リフト毎の日常管理試験データについて、前後のリフトの試験データにあまり相関性がないと解釈され、また、1リフト離れたデータも10リフト離れたデータもデータの持つ自己相関性は大きく変わらないと解釈された。
- ② 自己相関係数のモデルについては、本城らの提案した式が適合した。モデルは2つの負の指数関数の和で表され、短期変動成分による減少関数と長期変動成分による減少関数の和で表される。このモデル化を行うことにより、減少関係における長期変動成分と短期変動成分の寄与率を求めることができ、これはすなわちデータ集団のばらつきの中に占める長期変動成分と短期変動成分の割合を示していると判断される。またモデルにおける短期変動成分の関数では、わずか数リフト離れると自己相関係数は0に近似されてしまう。
- ③ 時系列データの処理手法である移動平均法を用いて試験データの処理を行った結果では、データ列の短期変動成分が除去されて全体としての変動傾向（長期変動成分）が観察され易くなっている状況が確認された。
- ④ 移動平均数（ n ）を順次増加させながら移動平均を行い、移動平均後のデータの不偏分散、および不偏分散の平方根の減少割合を計算し、これを減少関数に当てはめてモデル化を行った。モデルは自己相関係数と同様、2つの負の指数関数の和で表わされた。つまり、この方法によっても、データ集団のばらつきの中に占める長期変動成分と短期変動成分の割合を求めることは可能と判断された。
- ⑤ 移動平均法と自己相関係数という2通りの時系列データ処理方法を用いて、データのばらつきにフィルターをかけ、長期変動成分と短期変動成分に分けて取り出したが、どちらの方法でも両者の変動成分の割合はほぼ等しい結果となった。
- ⑥ 短期変動成分は試験誤差等によるばらつきの成分としてとらえることができ、わずか数リフトの間に自己相関性を失ってしまいます性質のものである。長期変動成分は盛立材料の季節的変動等によるばらつきの成分としてとらえることができ、堤体の平均的性質を考えるにあたっては長期変動成分を考慮してばらつき幅を設定するべきと考えられる。ここでは、ばらつきの中に含まれる長期変動成分のみを対称としてデータの95%確率での分布範囲を求め、これを堤体の平均的性質とすることを提案した。なお、この方法を用いると味噌川ダムのD値の平均的性質

も、ほぼ95以上となることが確認された。

4. 3 データ測定頻度を変化させた場合の検討

① 試験データのデータ列からデータ間隔を2, 4, 8となるようにデータを取り出し、測定間隔を変更した場合のシュミレーションにより検討を行った。データの平均値、不偏分散の平方根等基本統計量には特に差異は認められなかった。

② 移動平均を行い不偏分散の平方根の減少割合のモデルを求めた結果については、当初のデータ列の場合とは多少異なった結果を示した。具体的にはばらつきの中に占める短期変動成分の割合の増加、長期変動成分の関数における曲線の減少傾向の増大等である。

自己相関係数のモデルでは、長期変動成分の関数の減少傾向が大きくなるだけで、短期変動成分と長期変動成分の割合、短期変動成分関数の減少傾向には変化が観察されなかった。ただし、データ間隔を大きくすることによりデータ数が少なくなった場合には、自己相関係数の計算結果の値のばらつきが大きくなっており、計算精度が低くなっている状況が観察された。

4. 4 重回帰分析による検討

① 重回帰分析による予測値は、観測値に比べて残差の分だけデータのばらつきが小さく少なる分布形状をとる。よって予測に残差の分のばらつきを加えて、観測値と同じ分布形況に置き換えた値を用いる方法が考えられる。

② 日常管理データを用いたD値についての重回帰分析結果では、 ρ_d , ω , P_{11} 等を用いてD値予測が可能と判断された。特にD値の算出の際に用いる ρ_d を説明変数に加えた場合に良い重相関係数を得ることができた。また、各説明変数の標準回帰係数、あるいは偏相関係数を求めることにより、不要な説明変数を省くことが可能である。

③ D値の予測の際に説明変数に ρ_d , ω を用いる場合よりも ρ_{d-RI} , ω_{-RI} を用いる場合の方が予測精度は低くなっていた。しかし、 ρ_d と ρ_{d-RI} , ω と ω_{-RI} の相関性が良く、データの分布形状もほぼ等しくなっている場合（三国川ダムのケース）では、 ρ_{d-RI} , ω_{-RI} を説明変数に用いてD値予測を行うことは可能と考えられる。

④ 高密度試験データを用いた透水係数(k)の重回帰分析結果では、あまり良い重相関係数を得ることができなかった。原因としては現場透水試験の精度の問題、データ数が少ない(40個)ことが考えられる。しかし、各説明変数の値を管理することにより、透水係数の管理もある程度は可能であると考えられる。

5. 品質管理試験についての考察

本文では品質管理の現場データを中心に各種統計的手法を用いた調査結果について述べてきた。この調査結果に基づいて、以下に品質管理試験の合理化についての考察を行うものである。

① 管理基準値の設定方法、および管理基準値と測定値の関係について

通常、品質管理試験における管理基準値は、設計値のみとの関係で設定される。つまり、設計値を必ず満足するように、設計値に多少の余裕をみて設定される。D値（締固め度）については、所要の強度が得られることを考慮して95以上に設定されるのが通常である。

ここでは、品質管理試験の管理基準値にデータの95%確率での分布範囲を用いることを提案したい。試験施工を行った際にできるだけたくさんのデータを集めておき95%分布範囲を設定しておき、本施工開始後は試験データもどんどん増えるため95%分布範囲の精度も向上して来ると考えられる。今回検討したD値のケースでは、味噌川ダムでは管理基準値が95を下回っても良いこととなり、三国川ダムのケースでは96.57以上ということになる。95%分布範囲を満足しないケースも20回に1回程度の割合で生ずることになるが、この際は盛立材料の性質、施工方法等をチェックした上で再度品質管理試験を行う必要がある。また、ここで重要なのは、この満足しなかったデータも必ずデータ集団につけ加えることである。

② 堤体の平均的性質の定義について

データ列に移動平均法、あるいは自己相関係数の算出の統計処理を行うことにより、データのばらつきを短期変動成分と長期変動成分に分けることができる。短期変動成分は測定誤差等を長期変動成分はデータの季節的変動成分等を示していると解釈される。堤体の平均的性質は、長期変動成分によるデータのばらつき幅を考慮すべきと考える。例えば、長期変動成分を考慮したデータの95%分布範囲が設計値を満足しているならば、堤体の平均的性質は設計値をほぼ満足していると判断されよう。

③ 試験頻度について

試験頻度については、頻度を減らした場合のシュミレーションを行い、各種統計量ならびに統計的性質に変化がない事を確認する方法を提案する。平均、分散等の基本統計量の他に移動平均、自己相関係数等時系列データの統計処理結果についても確かめておく必要がある。ただし試験頻度の省略を行う場合でも、D値、 P_{14} 、 $P_{115.9}$ 等の項目にとどめて、施工の影響を大きく受ける ρd や天候の影響を受ける ω は細かい頻度で測定することが望ましいと考えられる。

④ 試験方法の簡略化について

試験方法で簡略化についてはまず第一に ρd と ω のRI法による測定があげられる。本文では3.4.2の「D値の重回帰分析結果」の節で述べているが、三国川ダムのケースではJS法とRI法との相関が良く、データの分布形状もほぼ同じ結果であった。この様な精度で測

定されることが確認されるのならば、 ρd を砂置換法で、 ω を炉乾燥で求める必要はないと考えられる。また、RI法で ρd と ω が確認され得るならば、盛立てた層の合否の判定を速やかに下すことが可能である。

D値については、重回帰分析による予測値によりある程度予測が可能と考えられる。味噌川ダムのケースでは説明変数に ρd と ω の2つのみを用いたケースで0.90の高い重相関係数が得られている。予測値はデータのばらつきが観測値に比べて小さくなってしまったため、これを補正する手法も提案したい。ただし、予測式を設定し、活用するためには十分なデータの蓄積が必要である。

透水係数(k)については、今回あまり精度の良い予測式は得られなかった。しかし、D値と同様精度の良い予測式を得ることが可能であるならば、それを活用する価値は十分にあらう。

謝辞：本文をまとめるにあたり、北陸地方建設局三国川ダム工事事務所、水質源開発公団味噌川ダム建設所、ならびに水質源開発公団試験所の関係各位に大変お世話になりました。深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 近藤良夫, 舟阪 渡編: 技術者のため統計的方法, 共立出版, 1974
- 2) 黒田勝彦, 他: データ処理と確率統計マニュアル-土質編-, 土木学会関西支部, 1982
- 3) 松尾 稔, 他: 土質基礎の信頼性設計, 土質工学会, 1986
- 4) Matsuo, M. and Asaoka, A.: Probability Models of Undrained Strength of Marine Clay Layer, Soil and Foundations, Vol.17, No 3, 1977
- 5) Alonso, E. E. and Krizek, R. J. : Stochastic Formulation of Soil Properties, Proc. 2nd Int. Conf. on Application Statistics and Probability in Soil and Structural Eng., 1975
- 6) Tang, W. H. : Probabilistic Evaluation of Penetration Resistances, Jour. of the Geotech. Eng. Div. ASCE, Vol.105, NoGT10, 1979
- 7) 本城勇介, 松永 正宏: 土の締固め施工管理に関する一考察, 土質工学会, 地盤工学におけるリスク評価手法に関するシンポジウム, 1987年 5 月
- 8) 松本徳久, 本城勇介: 土質工学のばらつきと設計, 5. 実際の構造物への適用, 土と基礎, 35-6, 1987年

コア材料の品質管理試験に関する統計的評価

ISSN 0386-5878

土研資料 第2898号

平成2年9月(1990)

ダム部フィルダム研究室 松本 徳久 加瀬 俊久

伊藤 基博

要旨

フィルダムにおける品質管理試験は、堤体材料ならびに盛土施工の可否を判定するために実施されている。現在までに多数のフィルダムが建設され、これに判って品質管理試験の方法が確立されてきたが、品質管理をより合理化、効率化する課題がまだ残されていると考えられる。
本報告では、フィルダムの構成材料の一つであるコア材料について、品質管理データを統計的手法を用いて整理することにより、①品質管理試験における管理基準値の設定方法、②堤体盛土の平均的性質の解釈、③品質管理試験の実施頻度の設定方法、④品質管理試験の簡略化(合理化)、について考察を加えた結果を述べている。
結果として、①管理基準値は設計値から決めるのではなく、実際のデータの分布形状から設定するのが妥当であること、②堤体盛土の平均的性質は、データのばらつきの中の長期変動成分を考慮して幅を持たせてとらえることが可能であること、③データ集団において、統計上の諸性質に変化がなければ試験頻度は減らすことが可能であること、④重回帰分析によりデータの予測式の設定が可能であり、これを用いることにより試験項目の削減が可能であること、等が確認された。

キーワード: フィルダム, コア材料, 品質管理, 正規分布, 自己相関係数, 移動平均, 重回帰分析

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

ダム部フィルダム研究室 御中

No. 8

No. 8

土研資料

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2898号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○