

土 木 研 究 所 資 料

フィルダムの挙動解析（その2）

—— 変位，浸透 ——

平成6年3月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright © (1994) 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

フィルダムの挙動解析(その2)

—— 変位, 浸透 ——

フィルダム研究室	室 長	中村 昭
	主任研究員	安田 成夫
		小嶋 光博
	前 室 長	藤沢 侃彦 ^{*)}
	前 研 究 員	伊藤 基博 ^{**)}

*)現 土木研究所企画部先端技術開発研究官

**)現 東北地方建設局河川部河川管理課

要 旨

本報告は、建設省所管のダムにおいて計測された値のうち、変位および浸透に関する項目について整理を行った。

変位に関しては、堤体外部、堤体内部、基礎岩盤部の変位について次のように整理した。

- ① 天端および最大横断面の長期的な変位傾向の把握
- ② 堤体盛立時の内部変位傾向の把握
- ③ 堤体盛立時および湛水時の岩盤圧縮傾向の把握

浸透に関しては、湛水前後の堤体浸透量の比較と、堤体浸透量と基礎浸透量について、長期的な変化傾向の整理を行った。

キーワード：ロックフィルダム, 実測挙動, 堤体外部変位, 天端変位,
堤体内部変位, 岩盤変位, 堤体浸透, 基礎浸透

ANALYSES OF BEHAVIORS OF FILLDAMS (PART 2)

—— Deformation, Seepage ——

Akira NAKAMURA

Head, Fill-type dam division

Nario YASUDA

Senior research engineer, ditto

Mitsuhiro KOJIMA

Engineer, ditto

Tadahiko FUJISAWA

Research coordinator for advanced technology

Motohiro ITOH

Engineer, Tohoku regional construction bureau

Synopsis

In this report, we presented the arrangement and investigation concerning the observed data on deformation and seepage of embankment dams.

Deformations inside and outside of the dam body, and at the foundation are investigated as follows.

- ① Long-term inclination of deformation at the crest and the maximum cross section.
- ② Inclination of internal deformation during embanking.
- ③ Compressive characteristics of the rock foundation during embanking and reservoir filling.

The quantity of seepage before and after filling are compared to each other, and long-term inclination of seepage is also investigated.

Key words : rockfill dam, observed behavior, external deformation, deformation at crest, internal deformation of dam body, deformation of rock foundation, seepage

ま え が き

ロックフィルダムの建設では、一定の仮定のもとに堤体および基礎の設計を行い、さらには設計条件を満足するように施工を実施している。したがって、堤体および基礎の挙動を計測し、この仮定の適合性を評価することは重要なことである。そのため、堤体およびその周辺には、計測項目に応じた数多くの計測計器が設置されている。しかし、計測計器の適切な配置方法および頻度を含めた計測方法や計測データの判断基準は確立されておらず、それぞれのダムで独自の体制をとっているのが実状である。そこで、これらの配置方法、計測方法の最適化を図ること、さらには、それらを取りまとめた安全管理のための指針とすることを目的に本調査解析を実施した。

本資料は「フィルダムの挙動解析(その2)」として、変位および浸透量に関する調査解析を実施したものである。なお、変位は、堤体外部変位(天端、最大横断面)、堤体内部変位、岩盤変位の3項目からなる。

各項目の内容について簡単に次に示す。

① 堤体外部変位

完成後10年以上経過した11ダムを対象とし、天端および最大横断面法面の変位傾向についてとりまとめた。なお、最大横断面天端の変位傾向については既に「フィルダムの挙動解析(その1)」¹⁾において報告した。

② 堤体内部変位

堤体内部変位を計測したデータを収集し、定性的な変位傾向について整理した。計測項目は、層別沈下量、相対水平鉛直変位、ゾーン間沈下量である。

③ 岩盤変位

ダム基礎岩盤に設置された岩盤変位計の計測値を収集し、盛立および湛水に伴う基礎岩盤の圧縮傾向について整理した。

④ 浸透量

湛水前の堤体浸透量(基底湧水量)と初期湛水時の堤体浸透量との比較と、ダム完成後長期間にわたる堤体浸透量および基礎浸透量の変化傾向について整理した。

目 次

まえがき

第 1 章	堤体外部変位	1
1.1	概 要	1
1.2	天端の変位	1
1.3	最大横断面法面の変位	8
第 2 章	堤体内部変位	46
2.1	層別沈下	46
2.2	ゾーン間沈下計	49
2.3	相対水平鉛直変位	50
第 3 章	岩盤変位	70
3.1	概 要	70
3.2	計測結果	70
3.3	まとめ	73
第 4 章	浸透量	83
4.1	概 要	83
4.2	湛水前後の堤体浸透量の比較	84
4.3	浸透量の長期的変化	85
4.4	まとめ	87
第 5 章	結 論	95
謝 辞		97
参 考 文 献		98
付表・付図		99
フィルダムの挙動解析(その1)の補足資料		179

第 1 章 堤体外部変位

1.1 概 要

堤体外部変位に関する資料として、土木研究所資料第3001号「フィルダムの挙動解析(その1)」¹⁾において、21ダムの最大横断面天端に設置された標的(堤体外部変位測量用ターゲット)の計測値を収集し、その変位傾向についてとりまとめている。今回は、堤体天端のダム軸方向に設置されている標的、および最大横断面の上下流法面に設置されている標的の計測値を収集し、堤体外部変位傾向について、おもに長期的な変動調査を目的としてとりまとめた。

今回対象としたダムは、計測開始より10年以上経過した11ダムである。

1.2 天端の変位

天端の変位として、沈下量と上下流方向水平変位(以降、水平変位)に着目した。

表-1.1にダムの諸元、品質管理試験値、施工条件等を示す。また、図-1.1に各ダムの天端変位とダム軸堤体断面を示す。天端変位は、試験湛水における最高水位時(以降、最高水位時)と、計測開始より3年後および10年後(以降、3年後、10年後)について示している。

1.2.1 天端の沈下

(1) 沈下傾向

変位の傾向としては、沈下量、水平変位ともに、概ねダム軸の中央付近で最大変位が生じているように認められる。しかし、10年後の最大沈下量が生じている測点と下流方向水平変位の最大値が生じている測点とが一致しているのは11ダム中4ダムであり、沈下と水平変位の関連性は小さいと思われる。最大沈下量は、ほぼダム軸の断面形状(谷形状)に対応し、最終盛立高が大きい測点(つまり、大きな横断面位置にある標的)の値ほど沈下量が大きい傾向を示す。この傾向は、ほとんどのダムで明瞭に認められる。

沈下量の経時変化では、増加傾向が急変するような計測値は認められず、一定して標的設置位置の最終盛立高(以降、最終盛立高)が高いところほど沈下量が大きくなっている。

(2) 最終盛立高と沈下量

図-1.2に最終盛立高と10年後沈下量の関係を示す。図中の曲線は、21ダムの最大沈下量の上限値を包絡する(1.1)式より導き出される10年後の沈下量¹⁾であ

る。天端のダム軸方向に設置された標的の沈下量は、概ねこの線を中心にはらついている。

$$dv = (0.00005 \cdot \ln(D) - 0.00018) \cdot H^{1.6} \dots\dots\dots (1.1)$$

ここに、

dv : 最大横断面天端の沈下量 (m)

D : 計測開始からの経過日数 (日)

H : 最大横断面天端の最終盛立高 (m)

これより、10年後の沈下量は、(1.2)式のようになる。

$$dv = 0.00023 \cdot H^{1.6} \dots\dots\dots (1.2)$$

ただし、(1.1)、(1.2)式は、21ダムの最大横断面天端の沈下量(各ダムの最大沈下量)を包絡しているにもかかわらず、図-1.2に示されるように、この式で示される線より大きな沈下量を示す計測値が多く存在する。これは、各ダムの最大横断面以外の天端沈下量を予測する場合、(1.1)、(1.2)式では過小評価する可能性があることを示している。

この現象については、後の「1.2.4 沈下傾向の考察」で検討結果を述べることにする。

図-1.3に最終盛立高と10年後沈下率の関係を示す。なお、沈下率とは、各標的の沈下量をその位置の最終盛立高で除した値である。この関係では、(1.2)式から導き出される値より大きな沈下量を示す計測値が多いことが明瞭にわかる。ばらつきは大きい、11の対象ダム内の最大沈下率は、最終盛立高50m以上の部分では0.5%程度、それより低い部分では0.6~0.7%程度を示す。

1.2.2 天端の水平変位

(1) ダム軸水平変位傾向

水平変位の傾向から各ダムはいくつかのタイプに区分される。図-1.1により水平変位の経時変化をみると、変動形状が一定しているダム(J, K, Mダムなど)と、形状が変化するダム(D, E, Hダム)に大別される。

基本的な形状としてはU字型とI字型がある。U字型とはダム中央付近において大きな下流側変位を示し、左右岸部に向かうにつれて変位は少なくなるタイプである。I字型とは、左右岸端部の一方が最大変位を示し、他方の変位が小さく、斜線的な形状を示すタイプである。また、特異な形状としてダム軸がS字型になる現象がある。これは中央付近を境に左岸側と右岸側で変位に差が生じ、ねじれるように変形するものであるが、試験湛水時からずっとS字型のまま移行するCダムと、試験湛水時にはU字型を示すが、経年後にはS字型になるD, Hダムが

認められる。

(2) 最終盛立高と水平変位

図-1.4に最終盛立高と最高水位時天端水平変位の関係を示す。

最終盛立高と天端最大下流側水平変位の関係については、最終盛立高の0.1%以内であることを報告¹⁾しているが、図-1.4で示されるとおり、天端のダム軸方向に設置される標的の下流側水平変位は、最終盛立高の0.1%をほぼ上限値とする範囲内に分布している。

最終盛立高の0.1%以上の水平変位を示す計測値は、E、K、Lダムの3ダムにおける値で、標的位置は各ダムともに天端の左右岸端部である。

図-1.5に最終盛立高と10年後天端水平変位の関係を示す。なお、10年後計測時の貯水位は最高水位ではなく、多くのダムは、ほぼ常時満水位の状態であった。図-1.4の分布に比較してばらつきが大きく、上流側への変位を示す計測値も認められる。20mm以上の上流側変位を示した計測値は、C、Hダムの2ダムのものである。

下流側変位を示す計測値は、最終盛立高の0.1%以内にほぼ分布しているが、最高水位時に比較して大きく増加した計測値も認められる。最終盛立高の0.1%以上の水平変位を示す計測値は、E、K、LダムとFダムの4ダムにおいて計測されている。このうち、100mm以上の下流側変位を示したFダムは通常水位が高く、徐々に下流側変位が増加しているが、計測開始から6年以降は収束傾向にある。

図-1.6に最終盛立高と最高水位時を基準とした10年後の水平変位の関係について示す。大部分の計測値は、0付近(変位なし)にあるが、下流側変位増加および上流側変位増加の計測値も認められる。

最高水位時における水平変位より20mmを越えて下流側増加を示す計測値はFダムであり、その増加量の最大値は、下流側で50mmである。また、上流側増加を20mm以上示す値は、C、E、Hダムの3ダムにおいて計測されており、最大値は、70mm程度である。

(3) 天端沈下量と水平変位

図-1.7に10年後の天端沈下量と水平変位の関係を示し、図-1.8に10年後の天端沈下量と最高水位時を基準とした10年後の水平変位の関係について示す。

10年後の沈下量と水平変位の関係では、大部分の計測値は破線で示される範囲内に分布するが、他ダムと比較し相対的に通常水位が高いE、F、Hダムはこの範囲から大きくはずれて分布する。ただし、水位との関係は明瞭ではない。

最高水位時を基準(0)とした10年後の天端水平変位と天端沈下量の関係では、

天端水平変位タイプが区分される。下流変位増加型のFダム，上流変位増加型のC，E，Hダム，ほとんど変化の見られないその他の7ダムである。調査対象ダムが11ダムであるから，6割以上のダムが最高水位に達した後に大きな水平変位変動が見られないタイプに属する。なお，水平変位を比較する場合，その時の貯水位が無視できないが，3つのタイプと貯水位との関係が明瞭ではないため，今後の検討を要する。また，図-1.7，図-1.8とも，C，E，F，Hダムを含めて，図中の一点鎖線を上限として分布することが認められる。これは，天端沈下量が大きいダムほど水平方向は上流側に変位する傾向にあることを示している。なお，この傾向は図-1.8において顕著である。

(4) 水平変位の要因

水平変位の生じる主な要因は，貯水池からの水圧作用であり，各ダムの貯水池運用形態の違いが変位傾向の相違に影響していると思われる。よって，各ダムにおける湛水開始からの貯水位変動傾向について調査し，表-1.2に調査結果を示す。

図-1.9に dWL/H とダム軸変形タイプの関係を示す。ここで dWL/H は，実績貯水位変動区間長(dWL)を堤高(H)で除した値で，堤高に対する水位変動区間の割合を示す。この数値が大きいほど，堤高に対して水位変動が大きいことを示す。これによると，水位変動割合が大きいダムは，U字型変位になる傾向がある。つまり，水位変動割合が大きいほどダム軸は全体的に下流側変位を示し，その変位はダム軸中央部ほど大きくなる。一方，水位変動割合が小さいダムでは試験湛水最高水位時には下流変位を示すものの，経年後は上流側へ変位する。なお，Cダムは水位変動割合が大きいにもかかわらず，S字型変位を示しているが，このダムは湛水開始以前にすでにS字型変位を示しており，水圧作用以外の条件によるものと考えられる。

もう一つの条件として， L/H との関係について図-1.10に示す。 L/H は堤頂長(L)を堤高で除したもので，簡易的に谷形状を表現できる値である。これについては明瞭な傾向が認められないが，I字型とU字型に着目すれば， L/H が大きいダムはU字型，小さいダムはI字型になる傾向にある。

ただし，水平変位の主要因は水位変動割合で， L/H は従的な要因と考えられるので，この点は注意が必要である。Dダムは L/H が大きいにもかかわらず，水位変動割合が小さいためにS字型となったと考えられる。また，Cダムは前述のとおり湛水前からS字型変形を示しているので，C，Dダムを除いた傾向としてみたものである。

その他の条件として，水位変動回数(頻度)が考えられる。しかし，発電専用以

外では、年1～2回のサイクルであり、今回の調査ダムからは水位変動回数(頻度)の影響は現れにくいと考えられる。

また、表-1.2より、完成年が古いダムほどS字型変形が多く、近年はほとんどU字型変形を示していることもわかる。

堤体の変位形態は、貯水池からの水圧作用による本体の挙動が現れることの他に、基礎の挙動が計測結果に現れることも考えられる。

1.2.3 沈下傾向の要因

天端変位のうち、沈下量に着目して、その沈下傾向の要因について検討した。要因としてピックアップしたのが、ダム形状、堤体物性値、施工条件である。

(1) ダム形状

天端沈下の傾向の要因としてのダム形状としては、最終盛立高、法面勾配、ダム軸線形、ゾーニング、ダム形式、堤体積などが考えられる。しかし、沈下量に直接的に影響するのは沈下区間長であり、盛立高の影響が一番大きい条件となる。

また、これら以外の要因として、ダム軸基礎形状(谷形状)がある。図-1.11.(a)、(b)に天端端部沈下率が中央部と等しい場合と、異なる場合の例を示す。KダムのA-6～A-2はほぼ0.3の一定値を示し、盛立高が0に近いA-1を除くと、左岸側のA-8だけが極端に大きな値を示していることがわかる。これは、谷形状がU字谷になっているため急勾配となる左岸側は、盛立施工中の締固めによる沈下が進行しづらく、完成後において中央部より割合の大きな沈下が起こるものと思われる。

(2) 堤体物性値

堤体物性値として、コア材およびロック材の乾燥密度と間隙比を対象とし、その値は、品質管理試験値の平均値を採用した。沈下率は、各ダムの天端に設置された標的の計測値の平均値とした。ただし、前述のとおり、左右岸側に設置された標的の中には極端に大きな沈下量を示すものもあるため、そのような計測値は除いて求めた。

図-1.12～1.15に(1.1)式を求めた時に対象とした9ダムについて、ロック、コアの乾燥密度と間隙比の関係を示した。乾燥密度が大きいダムほど、また、間隙比が小さいダムほど天端平均沈下率が大きくなる傾向を示す。

三国²⁾はコア材の含水比との関係について述べているが、今回の11ダムは、すべて最適含水比 $W_{opt} \pm 0 \sim 4\%$ の範囲で施工され、その差は小さいことから含水比の影響は認められない。

(3) 施工条件

施工条件として、締固め層厚を考えた。コア材は各ダムともに15~20cmと施工層厚の範囲幅が小さいため、ロック材の締固め層厚と天端平均沈下率の関係について図-1.16に示す。締固め厚さは50~150cmであるが、100~150cmで締固められたダムの天端沈下率が50cmの場合に比較して大きい。

1.2.4 沈下傾向の考察

最終盛立高と沈下量の関係については、(その1)において、21ダムの最大横断面天端の沈下量より(1.1)式の関係式を求めたが(図-1.17参照)、各ダムの最大横断面以外の天端に設置された標的の計測値を調査したところ、(1.1)式で求められる沈下量より大きな値を示す計測値が多くみられた(図-1.2参照)。

このことは、例えば、堤高50mのダムでの天端最大沈下量は、最終盛立高が50mの部分(最大横断面部)で生じ、その沈下量は(1.1)式で予測されるが、堤高100mのダムで最終盛立高が50mの部分の天端沈下量は(1.1)式より示される値より大きな値を示す可能性があるということを示している。

付図-1~11に各ダムの天端の最終盛立高と10年後天端沈下量の関係について示す。各ダムの最終盛立高と沈下量の関係は、概ね直線関係にある。つまり、各ダム毎に沈下率が一定であることを示している。この関係を(1.3)式で表す。

$$dv = a \cdot H \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

ここに、

dv : 各ダムの10年後天端沈下量 (m)

a : 10年後沈下量回帰係数

H : 求める天端部の最終盛立高 (m)

表-1.1に回帰係数 a を、図-1.18に堤高と a の関係を示す。これより a は、堤高(各ダム最大の最終盛立高)と相関性が高いことが認められる。堤高と係数 a の関係は、(1.4)式で表される。

$$a = 0.0025 \cdot \lg(H_{\max}) - 0.0075 \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

ここに、

$H_{\max}$: 堤高 (m)

よって、(1.3)式と(1.4)式より、10年後の天端部の沈下量・沈下率は、(1.5)、(1.6)式で表される。

$$dv = (0.0025 \cdot \lg(H_{\max}) - 0.0075) \cdot H \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

$$dv / H = (0.0025 \cdot \lg(H_{\max}) - 0.0075) \times 100 \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

ここに,

dv : 10年後天端沈下量 (m)

dv/H : 10年後天端沈下率 (%)

H_{max} : 堤 高 (m)

H : 求める天端の最終盛立高 (m) $H_{max} \geq H$

また, (1.1)式からも10年後の天端沈下量・率を表すことができる。沈下率が一定であると仮定すると

$$dv = dv_{max} \cdot H / H_{max} \dots\dots\dots (1.7)$$

ここに,

dv_{max} : 天端最大沈下量 (m)

(1.7)式へ, dv を dv_{max} , H を H_{max} にそれぞれ読み換えた(1.1)式を代入し, (1.8)式が求められる。

$$dv = (0.00005 \cdot \ln(D) - 0.00018) \cdot H \cdot H_{max}^{0.6} \dots\dots\dots (1.8)$$

ここに,

dv : 天端沈下量 (m)

D : 計測開始からの経過日数 (日)

H_{max} : 堤 高 (m)

H : 求める位置の最終盛立高 (m)

したがって, 計測開始より10年後の沈下量・沈下率は, (1.9), (1.10)式のよう
に表される。

$$dv = 0.00023 \cdot H \cdot H_{max}^{0.6} \dots\dots\dots (1.9)$$

$$dv/H = (0.00023 \cdot H_{max}^{0.6}) \times 100 \dots\dots\dots (1.10)$$

ここに,

dv/H : 天端沈下率 (%)

このように, 2つの方法によって10年後の天端の沈下量・率を表すことができる。図-1.19にこれらの式により示される沈下率と堤高の関係について示す。これらの2式は, それぞれ堤高の対数関係, べき乗関係で沈下率が表されるが, 実測値のある堤高が50~150mの範囲内では, ほぼ同じ沈下率となる。

1.2.5 まとめ

天端部の変位傾向について次のようにまとめられる。

- ① 最高水位時の天端沈下量, 天端水平変位(下流側)の最大値は, とともにダム軸のほぼ中央付近で生じるが, これらの位置は必ずしも一致しない。
- ② 天端水平変位(下流側)の最大値は, 最終盛立高の0.1%程度である。

- ③ ダム軸の変化形状は、S字、I字、U字型の3タイプに区分され、このうち、S字型の経年変化は上流側変位を示す。
- ④ ダム軸の水平変位の要因は、実績貯水位変動割合と谷形状 L/H_{max} (L : 堤頂長, H_{max} : 堤高)の影響が考えられ、特に、貯水位変動割合が大きいほどダム軸は下流側変位を示す。
- ⑤ 各ダムの沈下率は、ほぼ一定値を示す。
- ⑥ 沈下率は、最終盛立高が高いダムほど大きな値を示す。
- ⑦ 沈下の要因は、最終盛立高、乾燥密度、間隙比、ロック締固め厚さとの関係が認められた。
- ⑧ 各ダムの計測開始から任意日数経過後の天端沈下率は次式によって表される。
- $$dv/H = (0.00005 \cdot \ln(D) - 0.00018) \cdot H_{max}^{0.6}$$
- ⑨ 各ダムの計測開始から10年後の天端沈下率は次の2式によって表される。
- $$dv/H = (0.0025 \cdot \ln(H_{max}) - 0.0075) \times 100$$
- $$dv/H = (0.0023 \cdot H_{max}^{0.6}) \times 100$$

1.3 最大横断面法面の変位

天端部のダム完成後の変位傾向については、前項のとおり整理することができた。本項では、上下流法面の変位傾向を把握することを目的に、最大横断面における外部変位計測値を整理した。対象としたダムは前項と同じダムで、計測開始より10年以上経過したダムとした。対象としたダムは、上下流法面に標的が設置されている9ダムである。

図-1.20に、各ダムの計測部最大横断面図と、沈下量および水平変位について示す。変位は、試験湛水時の最高水位時(以降、最高水位時)と、計測開始より3年後および10年後(以降、3年後、10年後)について示している。

1.3.1 最大横断面法面の沈下

沈下量は、各ダムともに天端において最大沈下が生じ、法尻に向かうほど沈下が少なくなる傾向を示す。図-1.21に、各標的位置の最終盛立高(以降、最終盛立高)と10年後沈下量の関係について示す。図中の破線は、天端の最終盛立高と沈下量の関係より求められた(1.2)式によって導き出される沈下量である。概ねこの式で示される曲線を上限値として計測値は分布している。

図-1.22に、最終盛立高と10年後沈下率の関係について示す。図-1.3に比較して、(1.1)式によって導き出される沈下率より小さい計測値が多い。つまり、

図-1.3においては最終盛立高が小さくなるにつれ沈下率が大きくなる傾向が示され、図-1.22においては最終盛立高が小さくなるにつれ沈下率も小さくなる傾向が示されたということである。これは、盛立期間中における沈下量が考慮されていないためと考えられる。特に、最終盛立高が小さい法尻に近い位置の標的は、盛立開始初期に設置され、盛立完了あるいは計測開始までに、沈下がすでに相当量進んでいることから、この傾向が顕著である。

1.3.2 最大横断面法面の水平変位

図-1.23に最大横断面法面の最終盛立高と最高水位時の水平変位の関係を示す。最高水位の水平変位は最終盛立高の0.1%をほぼ上限値とする範囲内に分布している。また、天端と下流法面の計測値を比較すると、全般的に下流法面の水平変位が大きい傾向にある。

図-1.24に最終盛立高と10年後の水平変位の関係を示す。図-1.23と比較して、上流法面の計測値はあまり変化がないが、下流法面の計測値は変化が認められる。下流法面の計測値は全体的に下流側変位が増加し、とくにH、Lダムにおいて顕著である。結果的に10年後の下流法面の水平変位は最終盛立高の0.2%をほぼ上限値として分布している。

10年後水平変位のほとんどの計測値は下流側変位を示す。最大水平変位は、下流面で最も最終盛立高の高い位置に設置された標的の計測値である。ただし、下流面において上流側変位を示すダムが3ダム、上流面で最大下流側変位を示すダムが2ダム認められた。なお、上流面で最大下流水平変位を示す2ダムは、下流面において上流側変位を示す。

以上の水平変位型を図-1.25に示すように、3タイプに区分した。Aタイプは、上下流法面ともに下流側変位を示す下流変位型で、調査した9ダムのうち5ダムがこのタイプに分類される。Bタイプは、上流法面は下流側変位を示し下流法面は上流側変位を示す下流たわみ型で、同じく3ダム。Cタイプは、上流法面は変位なく下流法面は上流側変位を示す上流変位型で、同じく1ダムである。

1.3.3 まとめ

最大横断面法面の変位傾向について、次のようにまとめられる。

① 10年後の沈下量は、天端沈下量と同様に次式で表すことができる。

$$dv = 0.00023 \cdot H^{1.6} \quad (dv : 10\text{年後沈下量})$$

② 最高水位時の下流側水平変位の上限値は、天端水平変位傾向と同様に次式で表すことができる。

$dh = 0.001 \cdot H$ (dh : 初期湛水最高水位時の任意位置の下流水平変位)

③ ただし、10年後の水平変位傾向では、下流法面で上記式を超える下流水平変位量を示す計測値があり、その上限値は次式で表される。

$dh_a = 0.002 \cdot H$ (dh_a : 10年後下流法面部の下流水平変位)

④ 水平変位タイプは、A. 下流変位型、B. 下流たわみ型、C. 上流変位型の3タイプに区分することができ、調査した9ダムではそれぞれ5、3、1ダムの割合であった。

表-1.1 ダム諸元

ダ ム 名		C ダ ム	D ダ ム	E ダ ム	F ダ ム	H ダ ム	I ダ ム	J ダ ム	K ダ ム	L ダ ム	M ダ ム	N ダ ム
盛 立 開 始(年月)		72. 5	73. 8	74. 8	76. 3	77. 4	75. 8	76. 8	74. 9	74. 9	78. 09	79. 5
盛 立 完 了(年月)		74. 8	75. 8	75. 11	77. 12	78. 10	77. 1	78. 11	79. 6	78. 10	80. 6	80. 10
外部変位計測開始(年月)		74. 10	76. 1	75. 11	78. 1	79. 5	77. 4	80. 2	79. 11	78. 10	80. 11	80. 12
試 験 湛 水 開 始(年月)		74. 11	76. 2	76. 3	78. 2	79. 6	77. 4	80. 2	79. 11	79. 11	80. 11	82. 1
最 高 水 位 時(年月)		75. 6	76. 11	76. 11	78. 11	80. 3	77. 7	80. 5	80. 12	80. 11	81. 3	82. 4
堤 高 (m)		86. 5	43. 0	127. 5	95. 0	153. 0	83. 0	56. 0	76. 0	66. 0	52. 5	50. 0
堤 長 (m)		440. 0	256. 5	366. 0	588. 0	420. 0	420. 0	193. 0	310. 0	348. 0	210. 0	265. 5
堤 体 積(千 m^3)		3. 875	551	5. 780	5. 816	10. 102	3. 000	980	2. 200	2. 233	980	690
ダ ム 軸 形 状		直 線	直 線	曲 線	曲 線	曲 線	直 線	直 線	直 線	直線(折曲)	曲 線	直 線
乾燥密度 (t/m^3)	コ ア	2. 151	1. 547	2. 026	2. 008	2. 05	1. 85	1. 70	1. 53	2. 067	1. 728	——
	フィルタ	2. 248	2. 080	2. 121	2. 303	2. 22	2. 17	2. 05	1. 67	2. 137	2. 247	1. 838
	ロ ッ ク	2. 186	2. 018	2. 229	2. 315	2. 15	2. 22	2. 10	1. 983	1. 907	1. 678	1. 870
間 隙 比	コ ア	0. 205	——	0. 301	0. 429	0. 307	0. 486	0. 58	0. 688	0. 282	0. 563	——
	フィルタ	0. 163	——	0. 224	0. 249	——	0. 281	0. 28	——	0. 179	0. 206	0. 45
	ロ ッ ク	0. 209	——	0. 179	0. 260	——	0. 243	0. 25	0. 261	0. 328	0. 358	0. 45
締固め厚 (cm)	コ ア	20	15	20	20	20	15	20	20	20	20	20
	フィルタ	30	15	35	40	40	30	30	20	40	40	30
	ロ ッ ク	100	50	100~200	100	60~150	150	~150	100	100	50	50
施工機種 転圧回数	コ ア	シープフートロー 20t 12回	タンピングロー 21t 12回	タンピングロー 30t 12回	シープフートロー 20t 12回	シープフートロー 20t 12回	タンピングロー 30t 12回	タンピングロー 21t 10回	振動ロー 8t 6回	コンパクター 15t 8回	タンピングロー 30t 12回	タンピングロー 22. 5t 12回
	フィルタ	ブルドーザ 21t 4回	ブルドーザ 23t 8回	振動ロー 8t 4回	ブルドーザ 32t 6回	振動ロー 13. 5t 4回	振動ロー 21t 4回	クイロー 20t 7回	振動ロー 8t 6回	振動ロー 8t 4回	振動ロー 21t 4回	振動ロー 8t 5回
	ロ ッ ク	ブルドーザ 32t 4回	ブルドーザ 23t 6回	32tタンピング 1回 ブルドーザ 2回	振動ロー 13. 5t 4回	振動ロー 13. 5t 4~6回	振動ロー 21t 4回	ブルドーザ 21t 5回以上	ブルドーザ 32t 5回	振動ロー 8t 6回	振動ロー 21t 6回	振動ロー 15t 6回
最大計測部ダム高(m)		86	40	127. 5	95	147	83	56	76	66	52. 5	50
10年後最大沈下量(mm)		324	80	500	167	677	254	132	199	172	65	122
10年後最大下流変位(mm)		31	3	61	110	59	29	8	44	44	11	10
最高水位時下流変位(mm)		62	10	80	68	71	14	——	45	50	6	9
10年後沈下量回復係数 a		0. 00363	0. 00188	0. 00461	0. 00125	0. 00497	0. 00339	0. 00228	0. 00331	0. 00280	0. 00134	0. 00246

表-1.2 ダム軸変位タイプ

ダム名	盛立完了 (年月)	堤 高 H(m)	谷形状 L/H	実績水位変動区間		ダム軸変位 タイプ	最高水位時→3, 10年後 水平変位方向
				dWL(m)	dWL/H(%)		
Cダム	74. 8	86. 5	4. 39	27	31. 2	S	上流側
Dダム	75. 8	43. 0	5. 97	2	4. 6	U→S	上流側
Eダム	75. 11	127. 0	2. 87	25	19. 5	U→I	——
Fダム	77. 12	95. 0	2. 67	10	10. 5	I	下流側
Hダム	78. 10	153. 0	2. 74	10	6. 5	U→S	上流側
Iダム	77. 1	83. 0	4. 00	10	12. 0	I	——
Jダム	78. 11	56. 5	3. 44	——	——	U	——
Kダム	79. 6	76. 0	4. 08	20	26. 3	U	一 定
Lダム	78. 10	66. 0	5. 28	22	33. 3	U	——
Mダム	80. 6	53. 0	4. 00	12	22. 6	U	下流側
Nダム	80. 10	50. 0	5. 31	7	14. 1	U	——

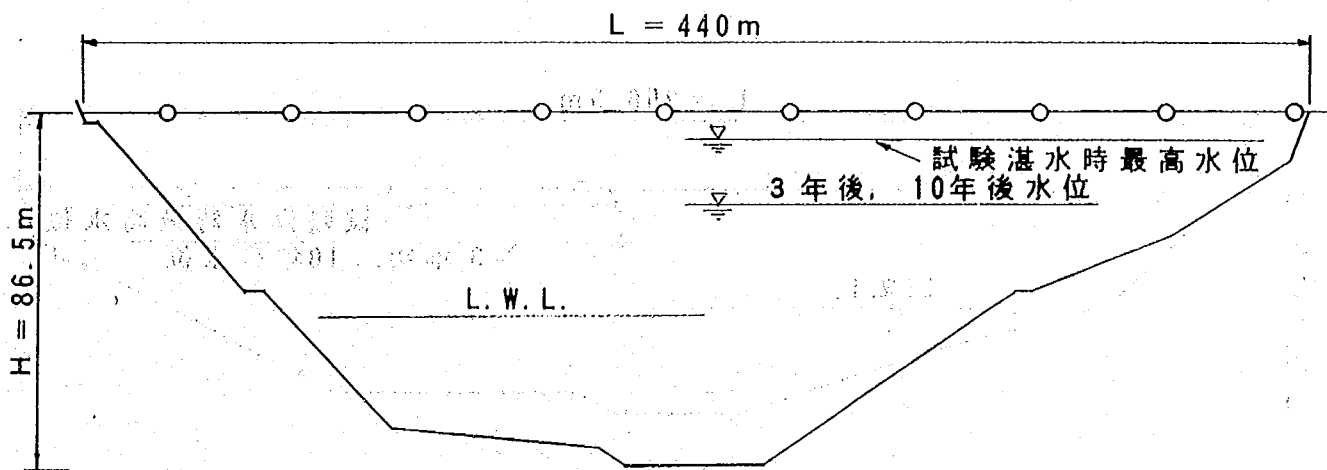
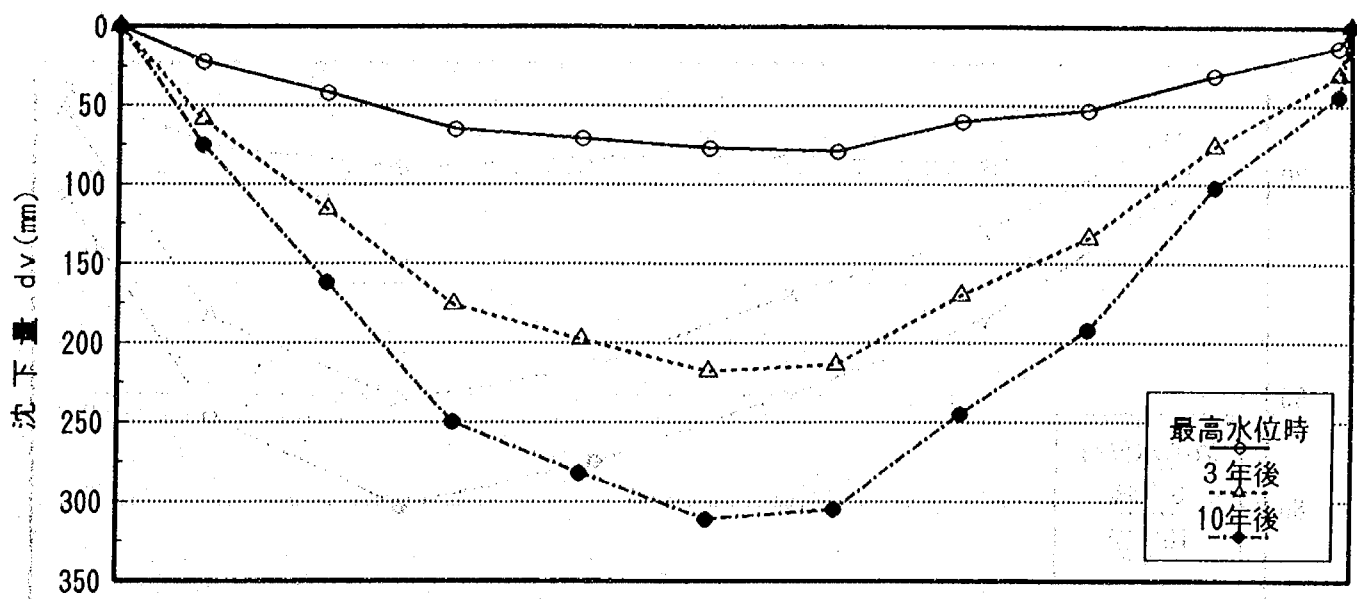
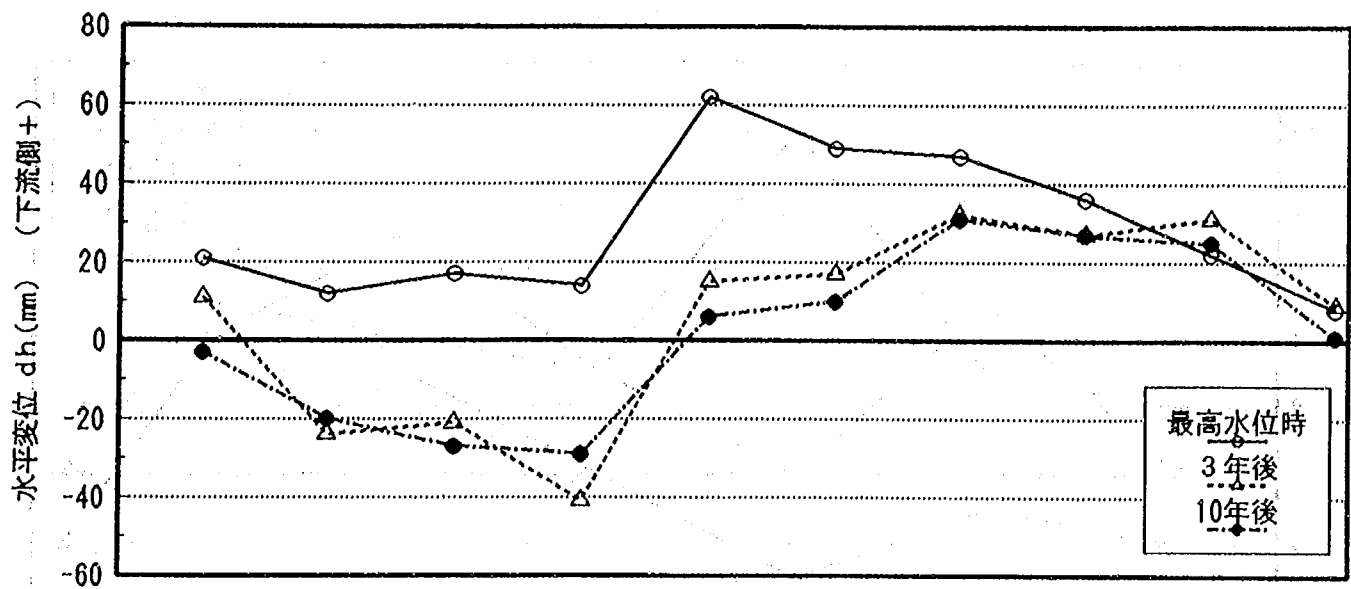


図 - 1.1. (a) 天端の変位 (Cダム)

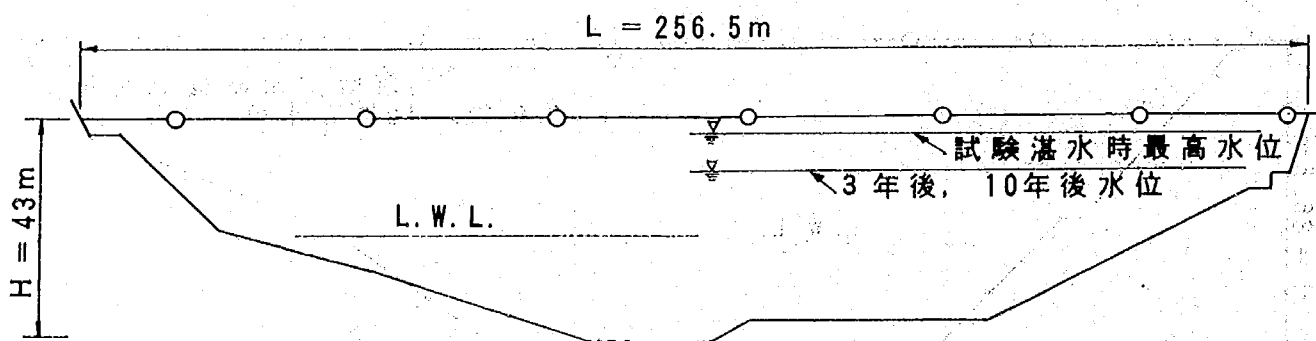
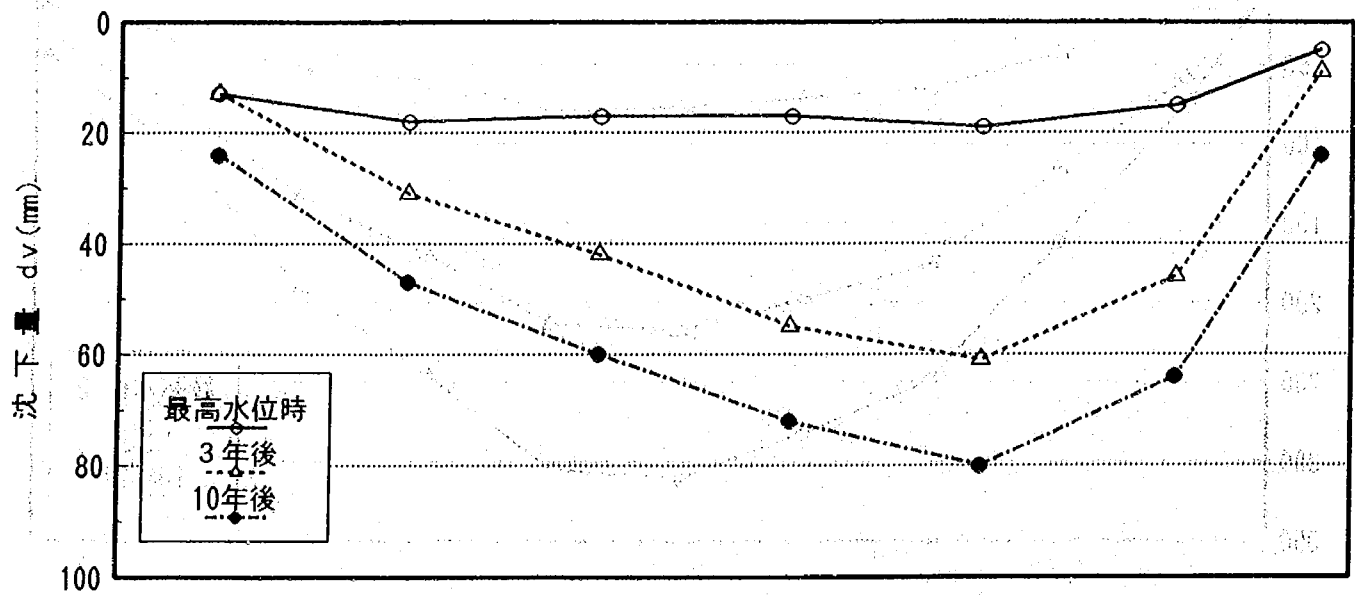
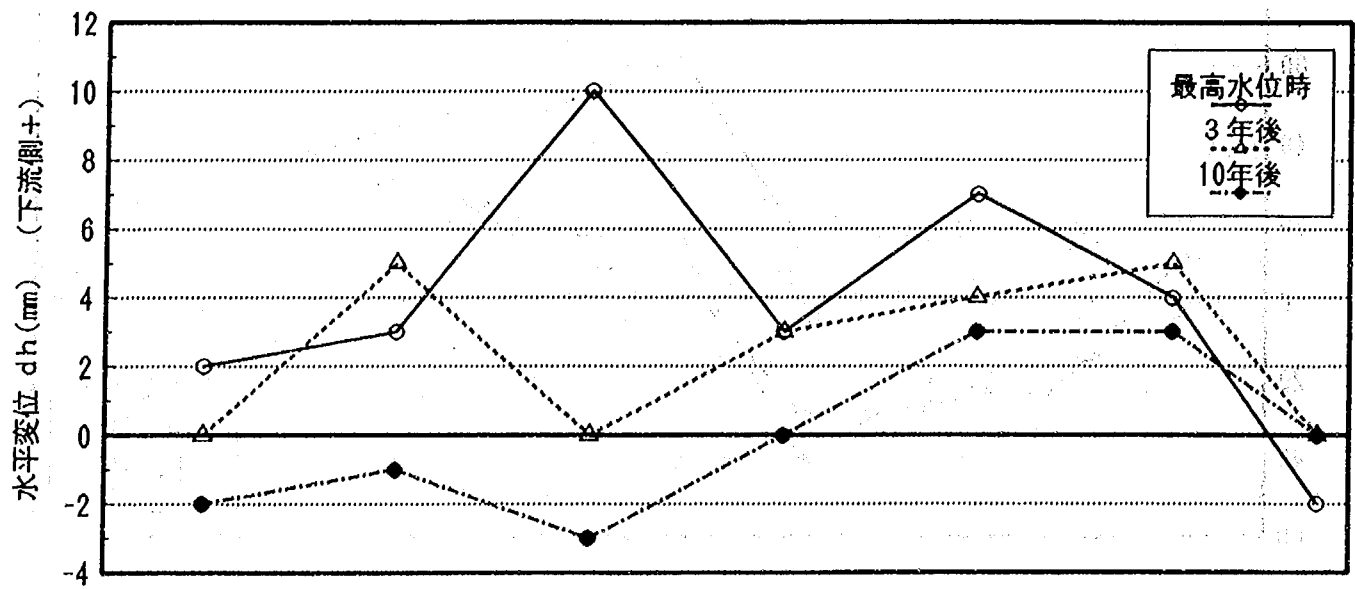


図-1.1.(b) 天端の変位 (Dダム)

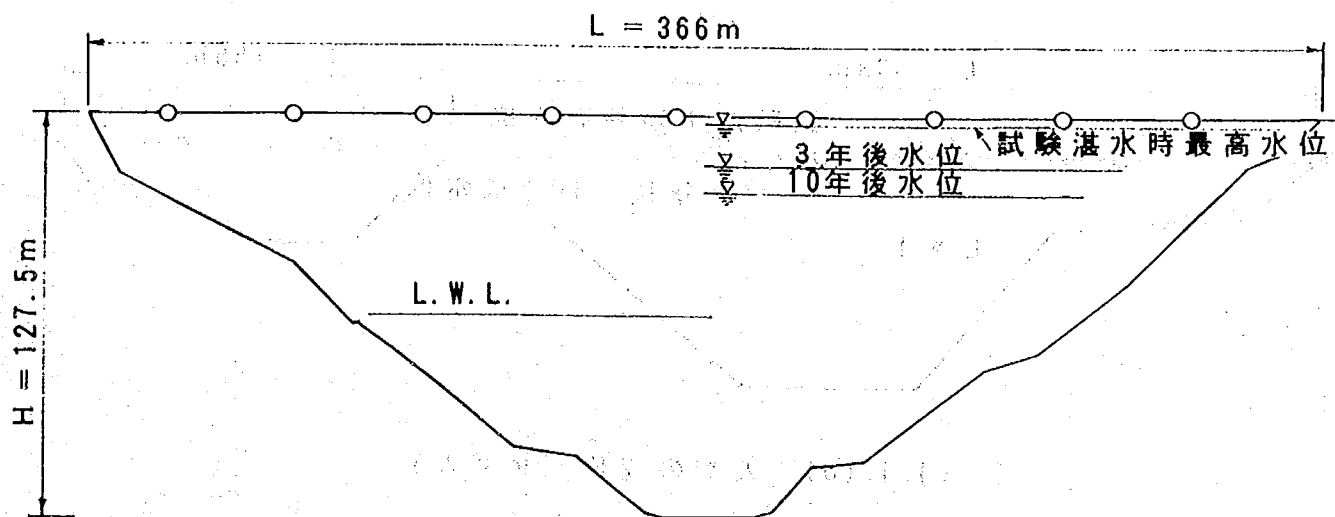
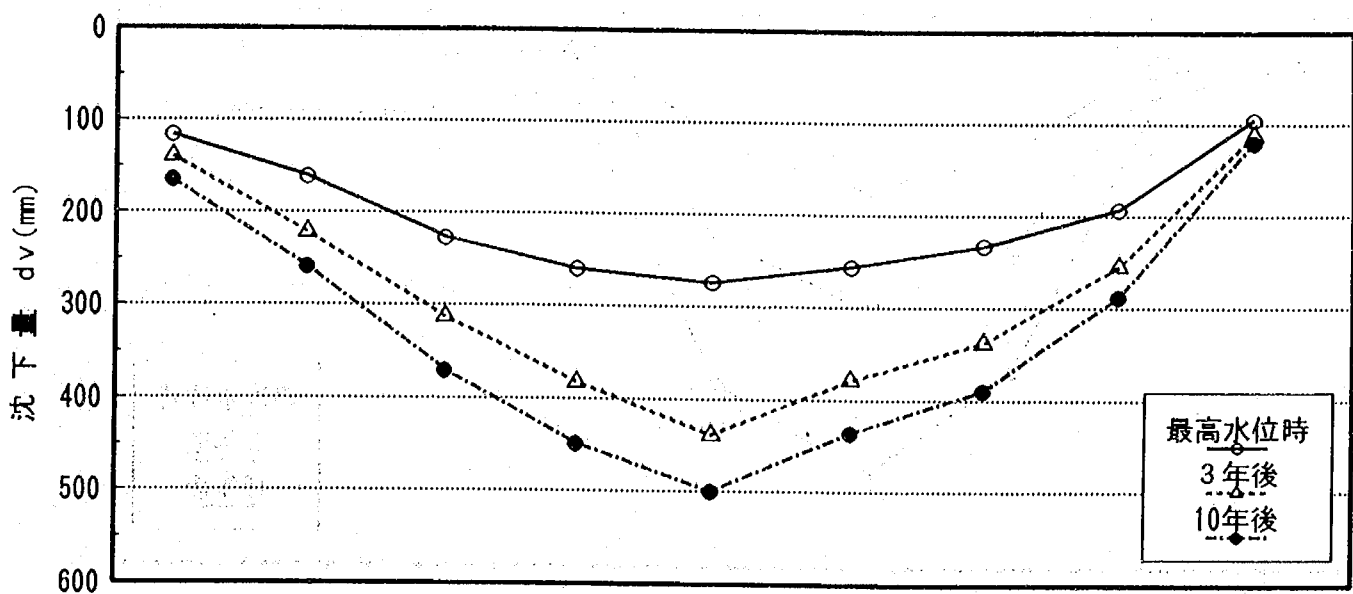
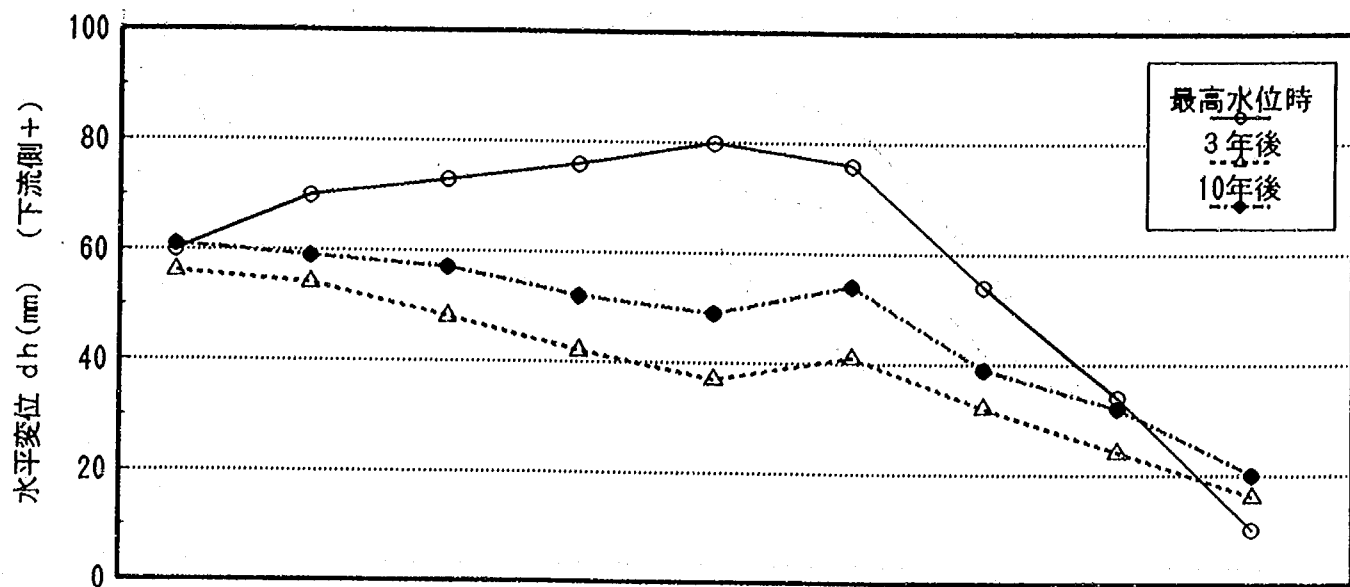


図-1.1.(c) 天端の変位 (Eダム)

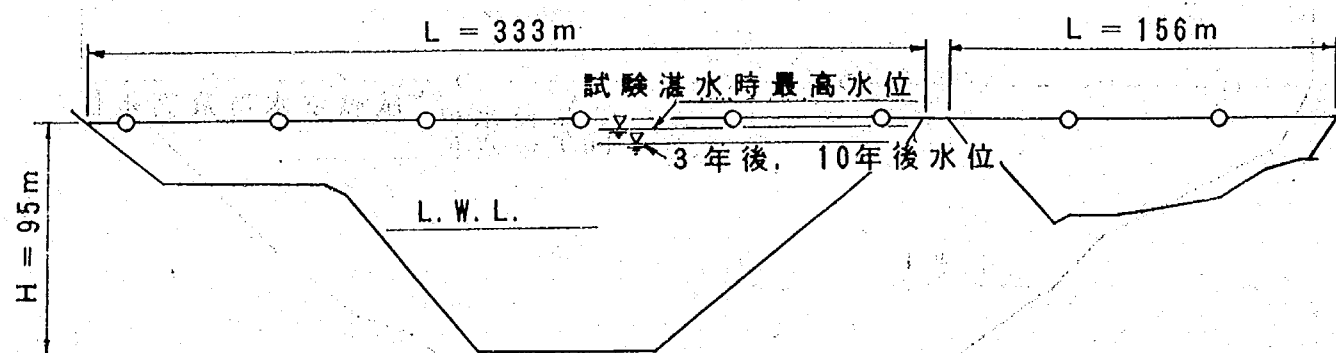
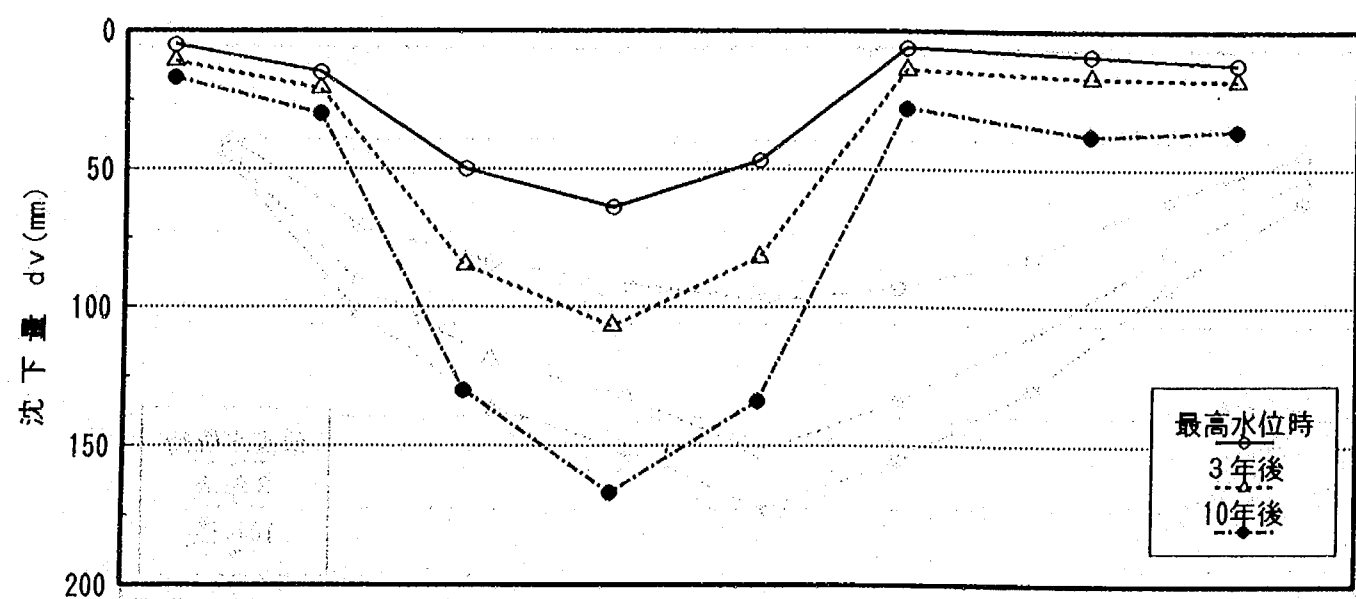
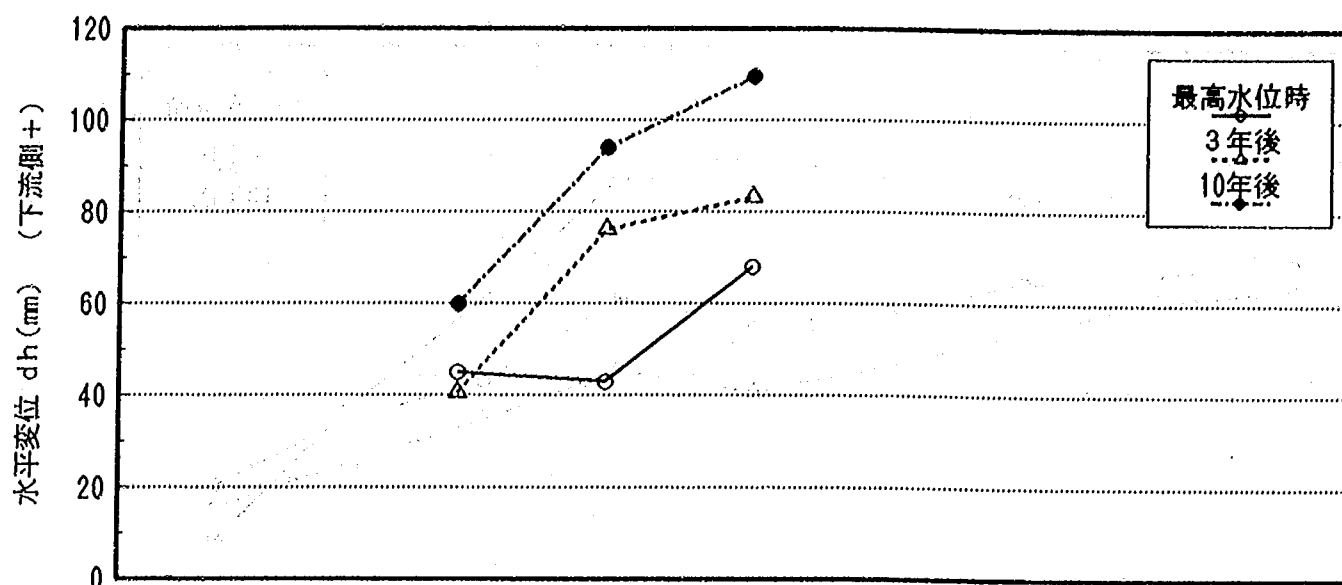


図 - 1.1. (d) 天端の変位 (Fダム)

(本図は、資料の複製によるものである。)

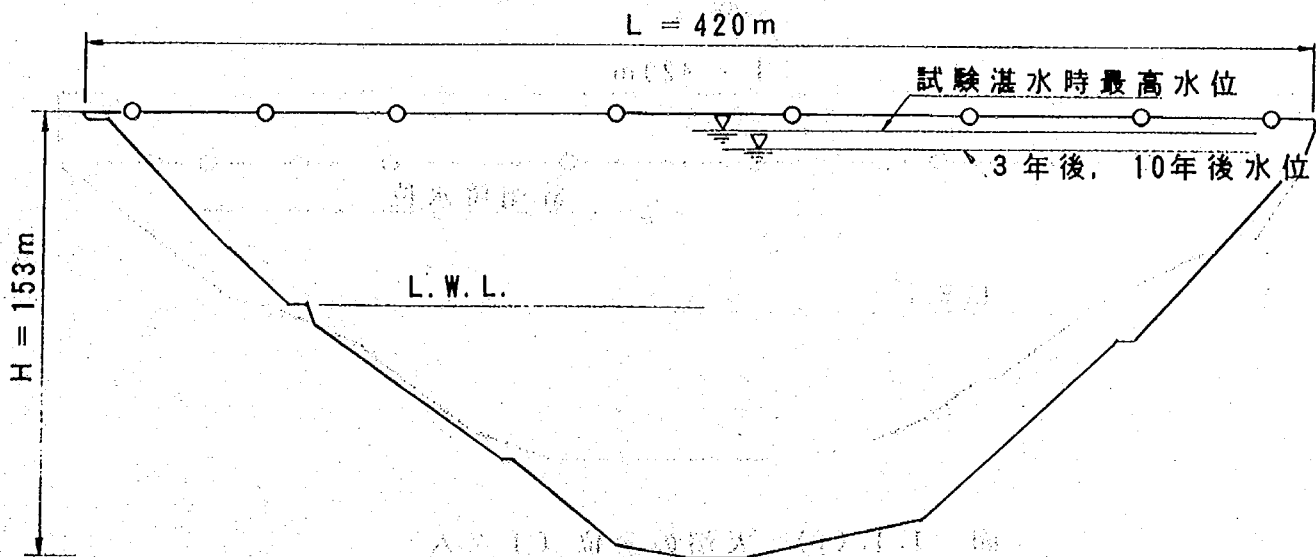
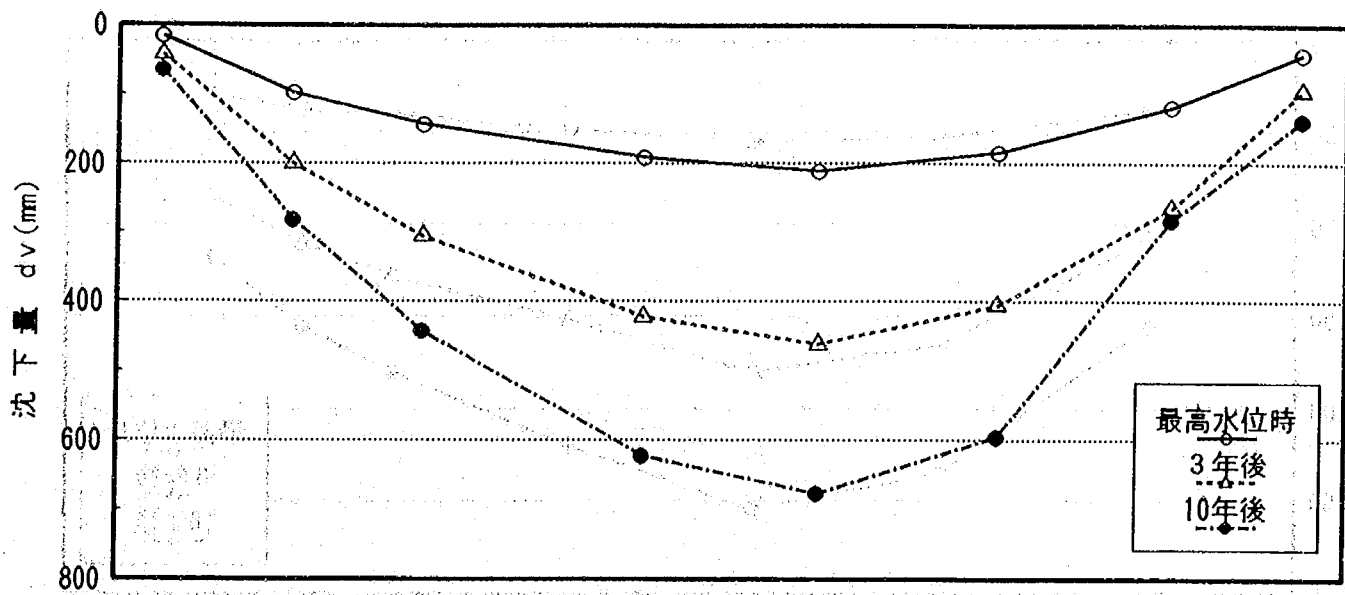
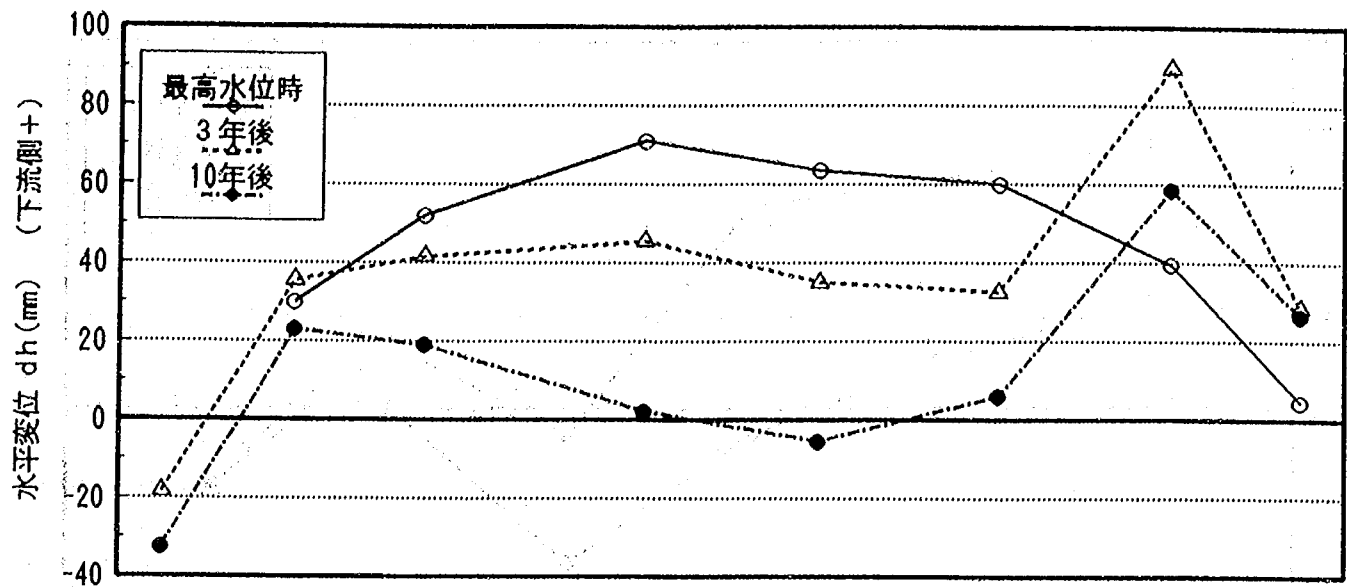


図-1.1.(e) 天端の変位 (Hダム)

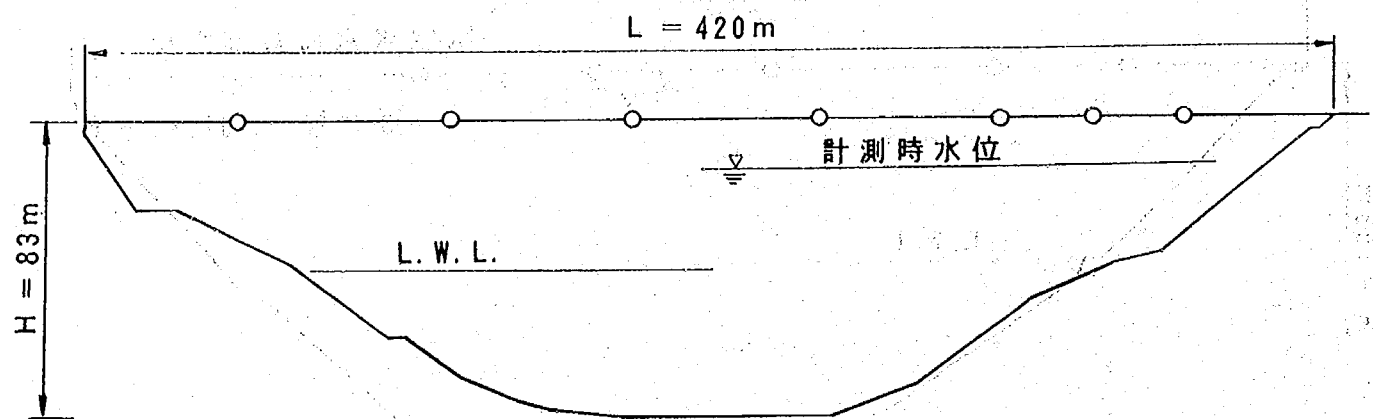
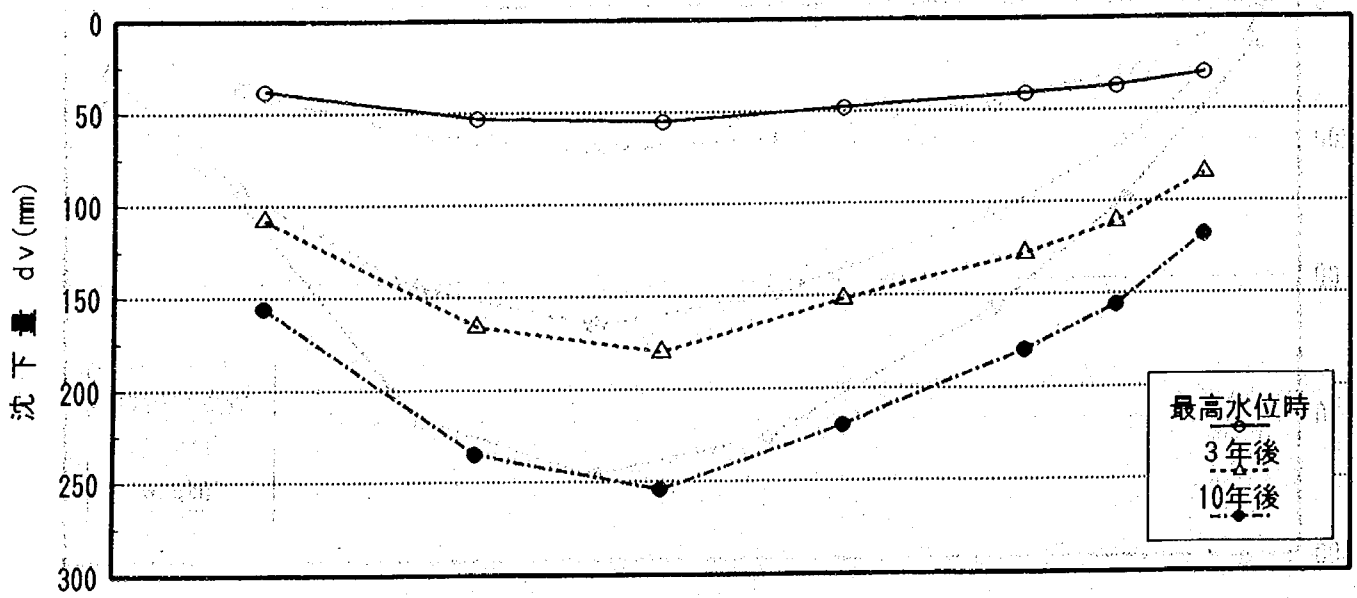
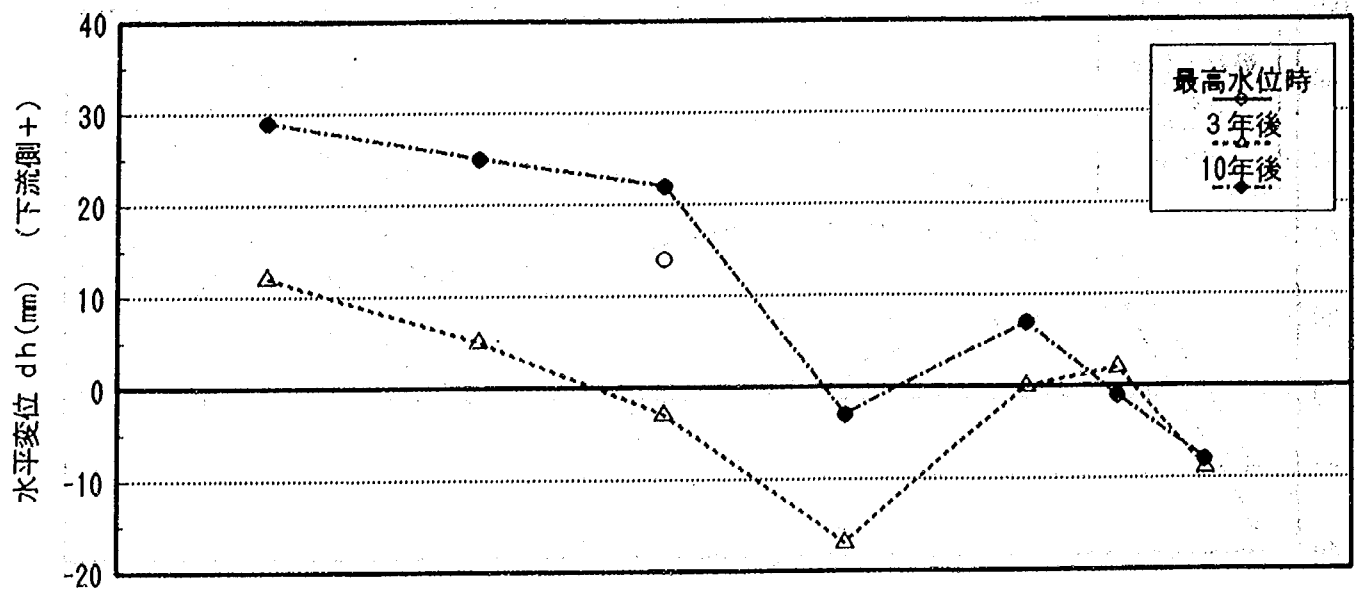


図-1.1.(f) 天端の変位 (1ダム)

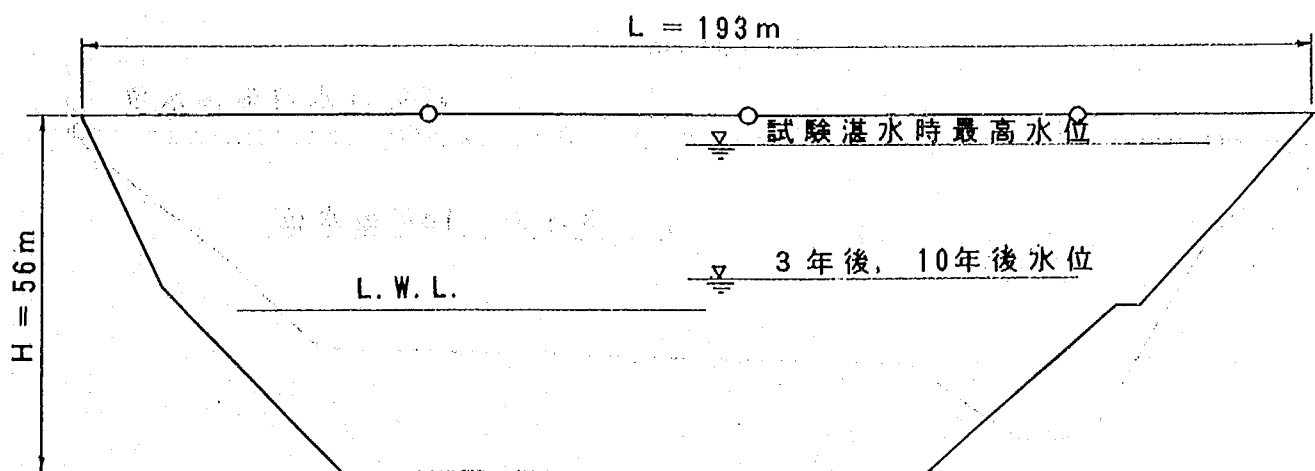
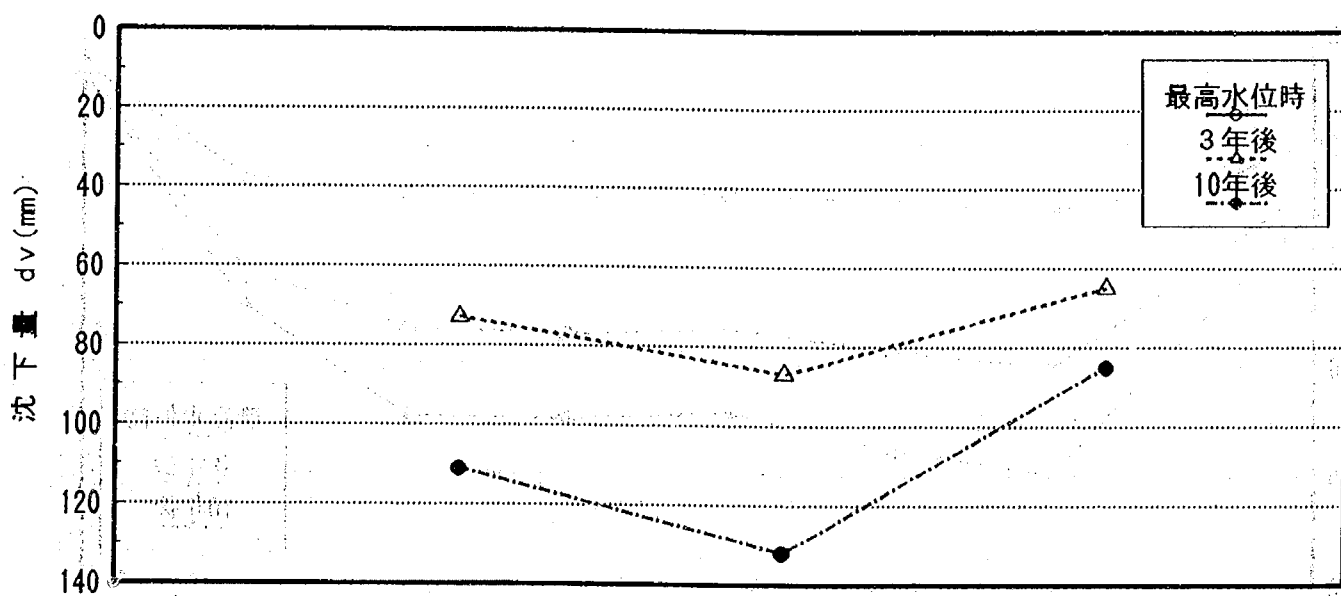
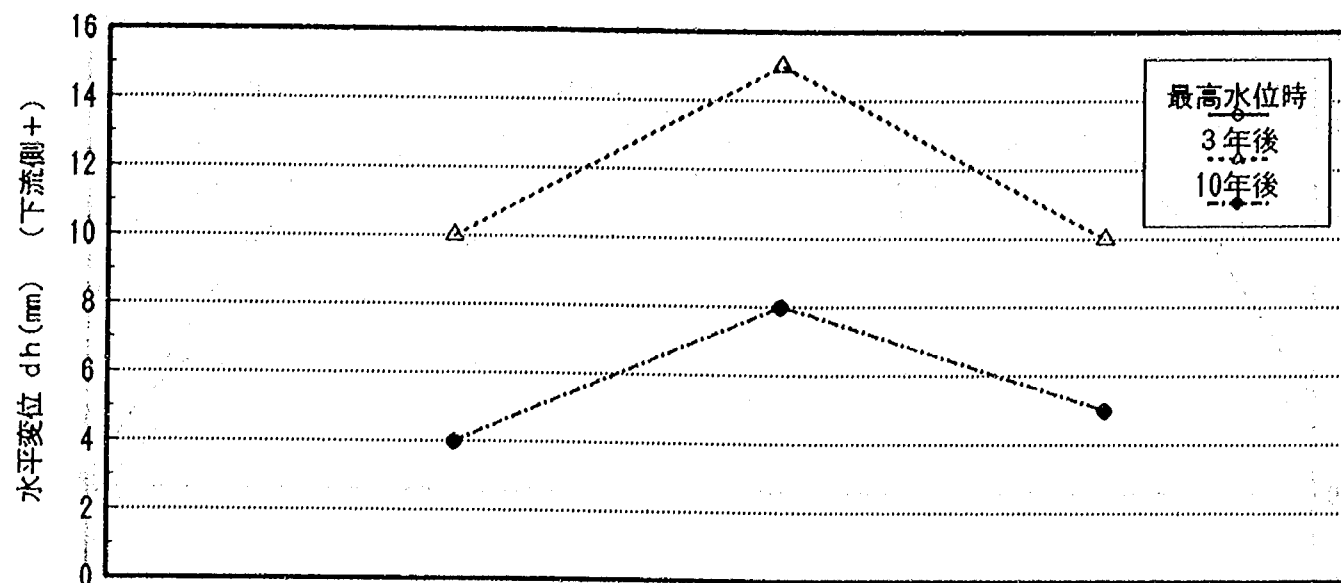


図-1.1.(g) 天端の変位 (Jダム)

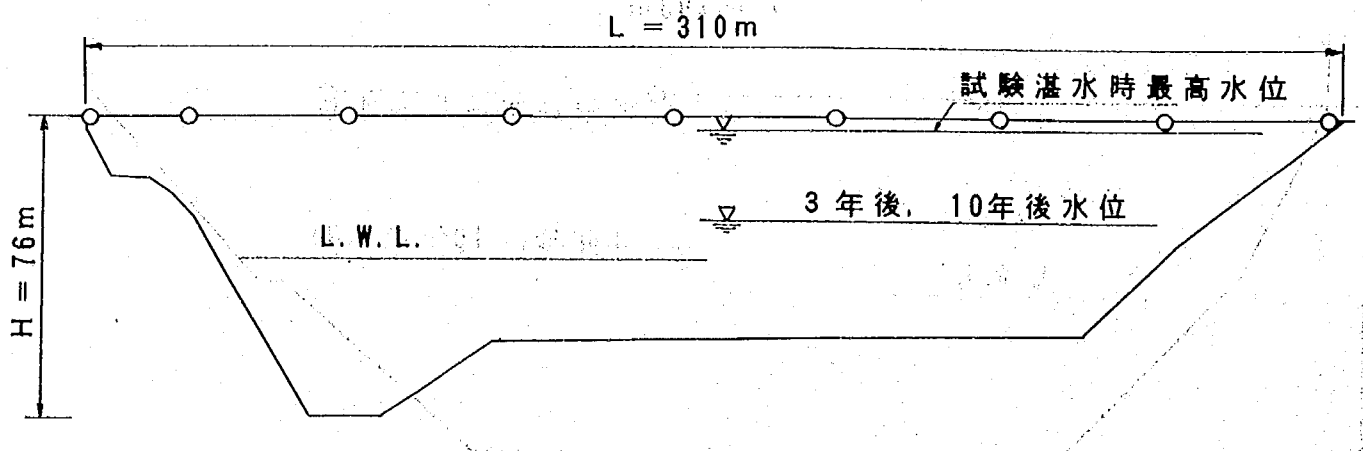
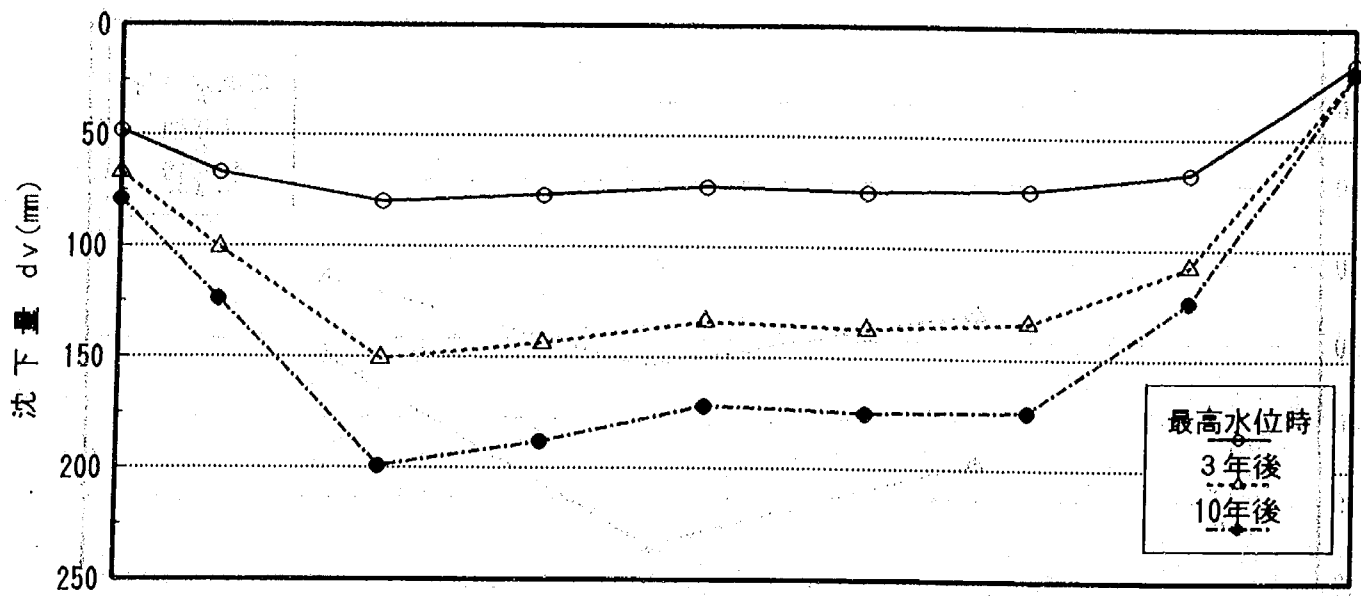
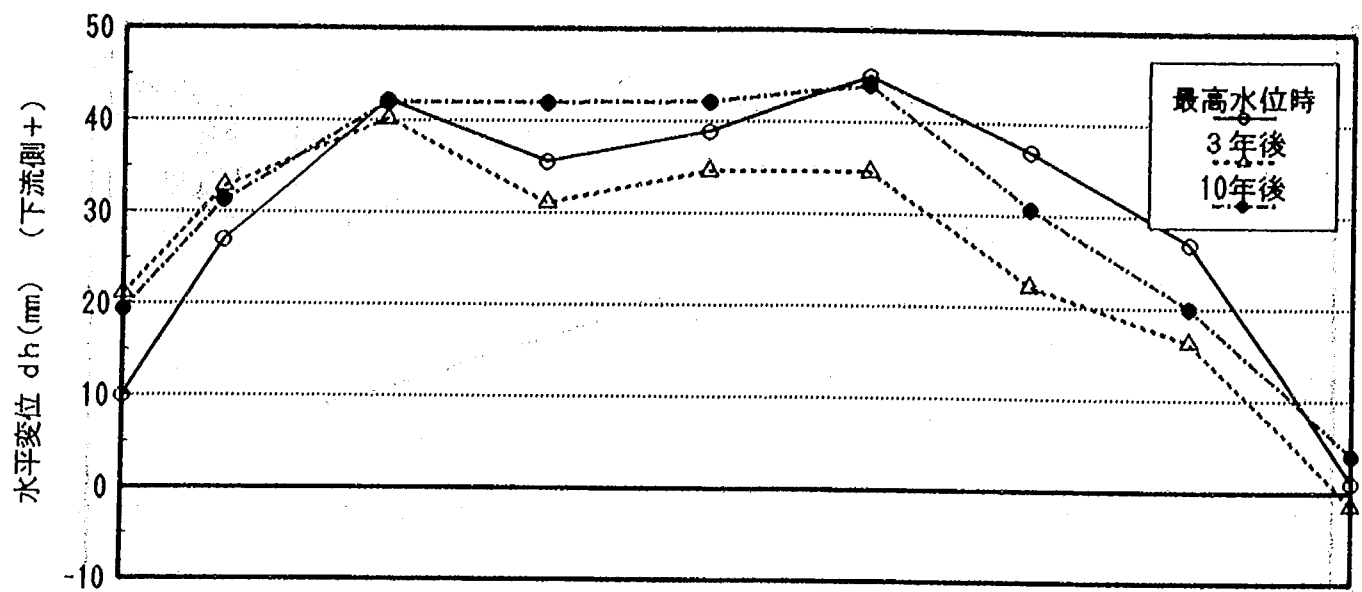


図-1.1.(h) 天端の変位 (Kダム)

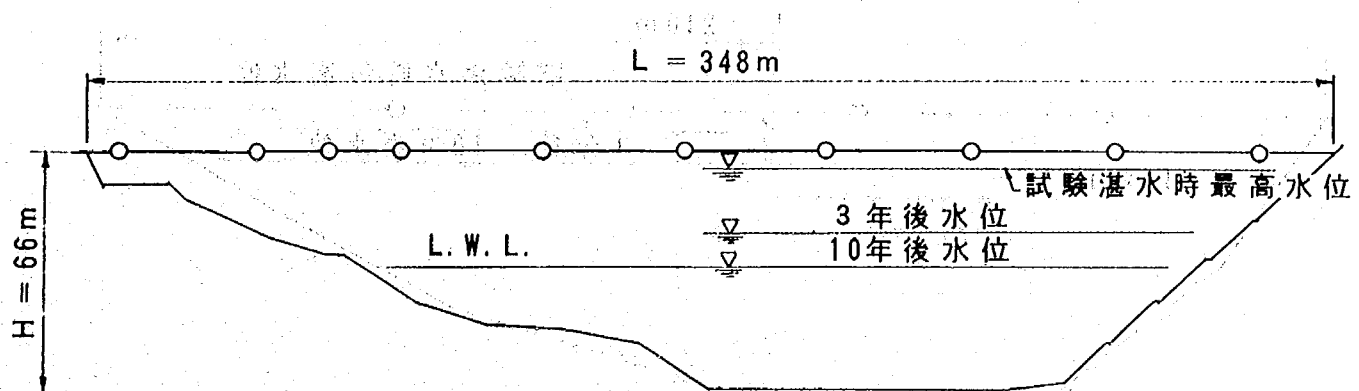
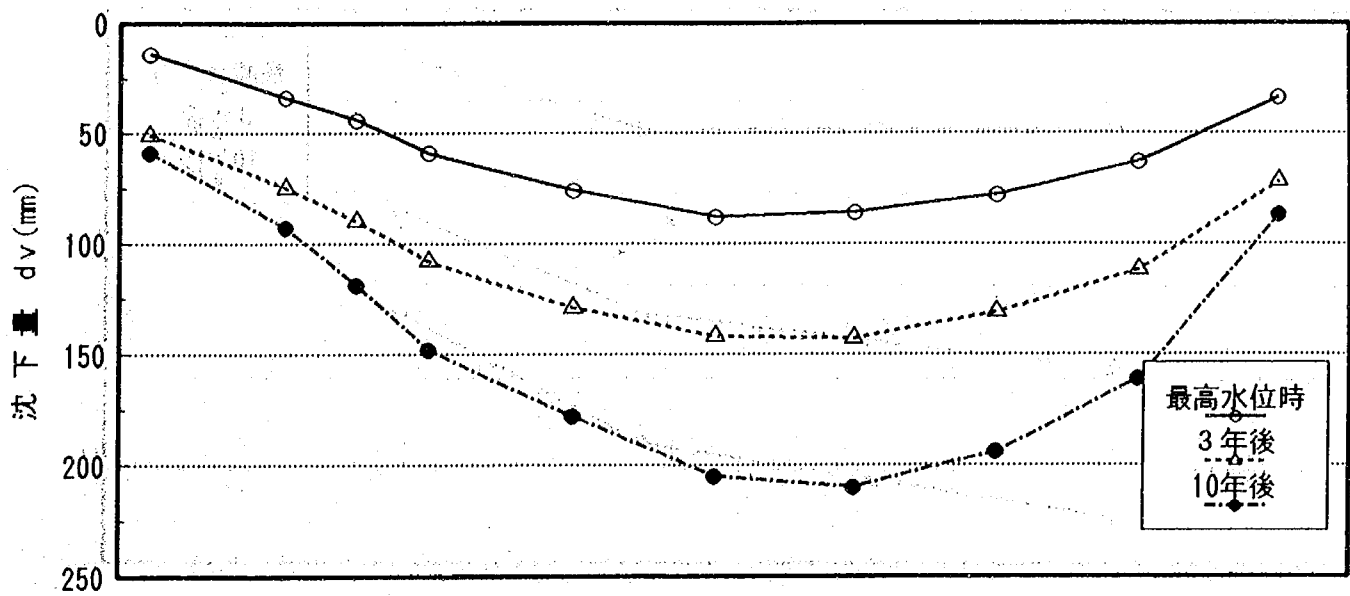
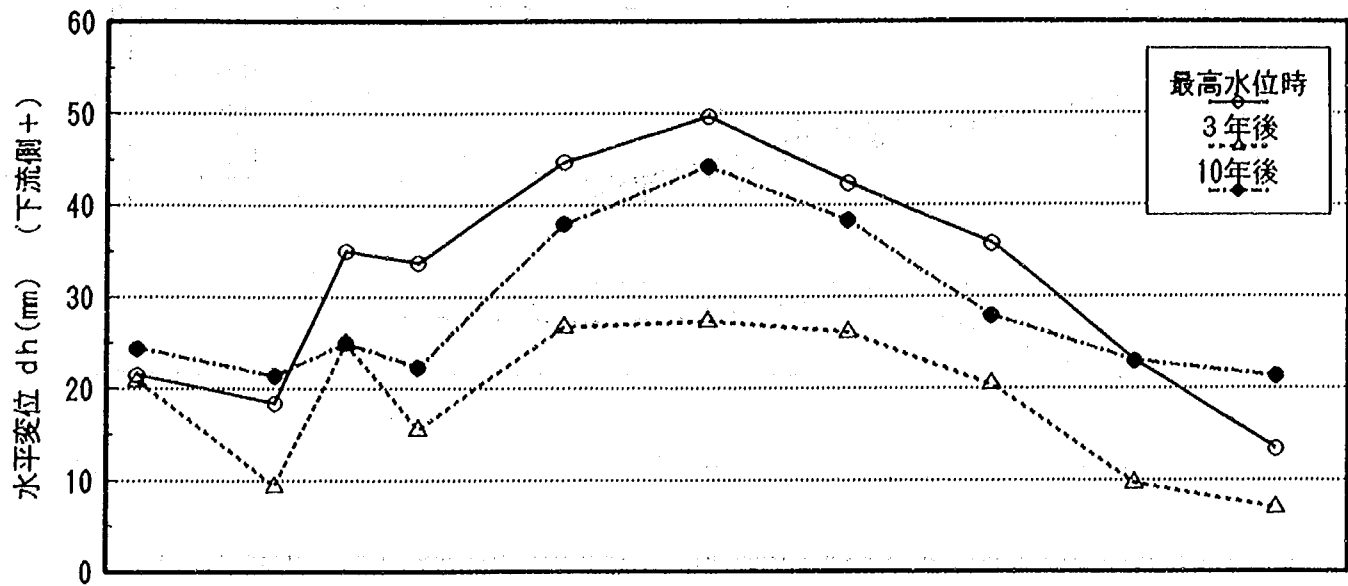


図-1.1.(i) 天端の変位 (Lダム)

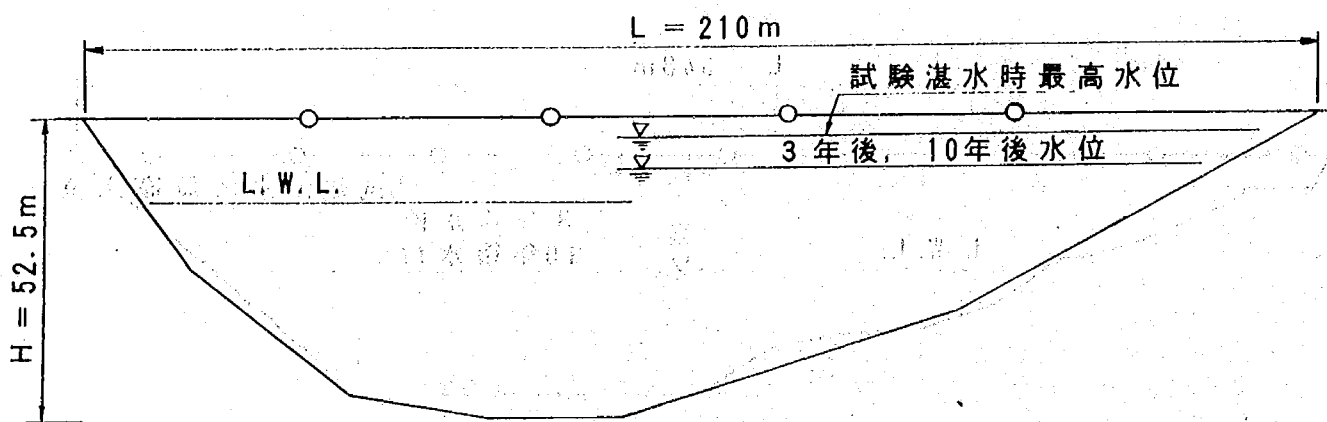
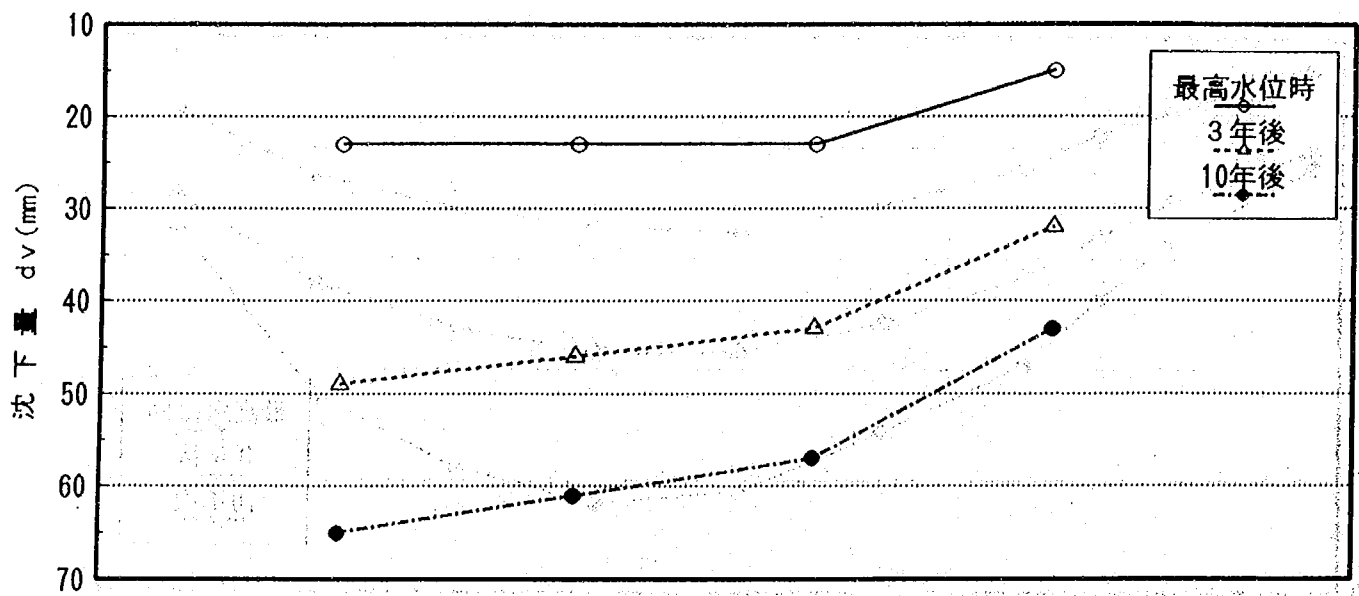
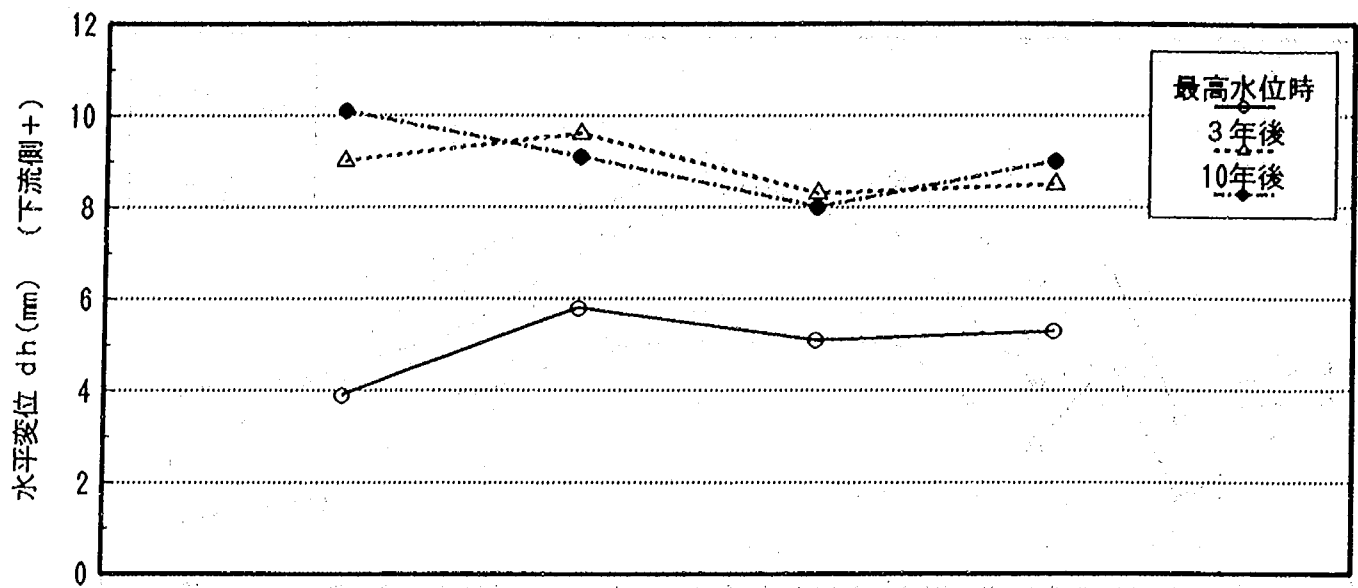


図-1.1.(j) 天端の変位 (Mダム)

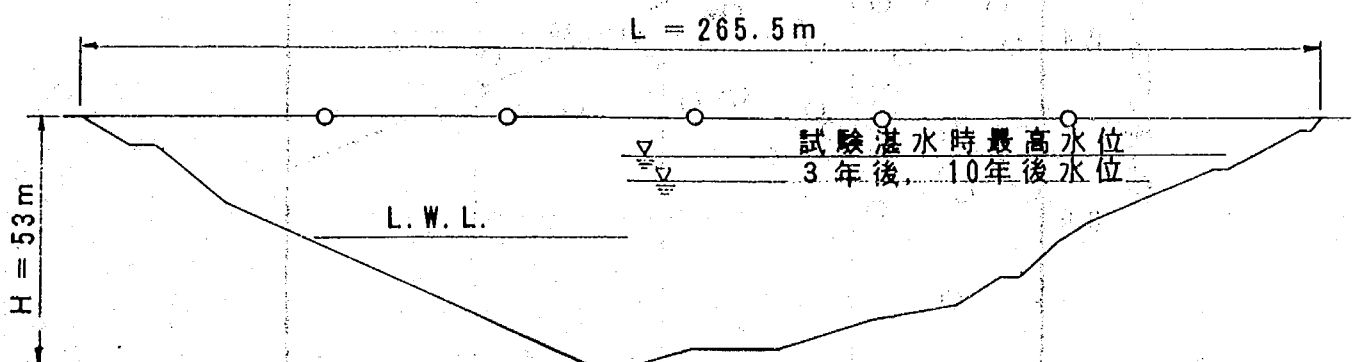
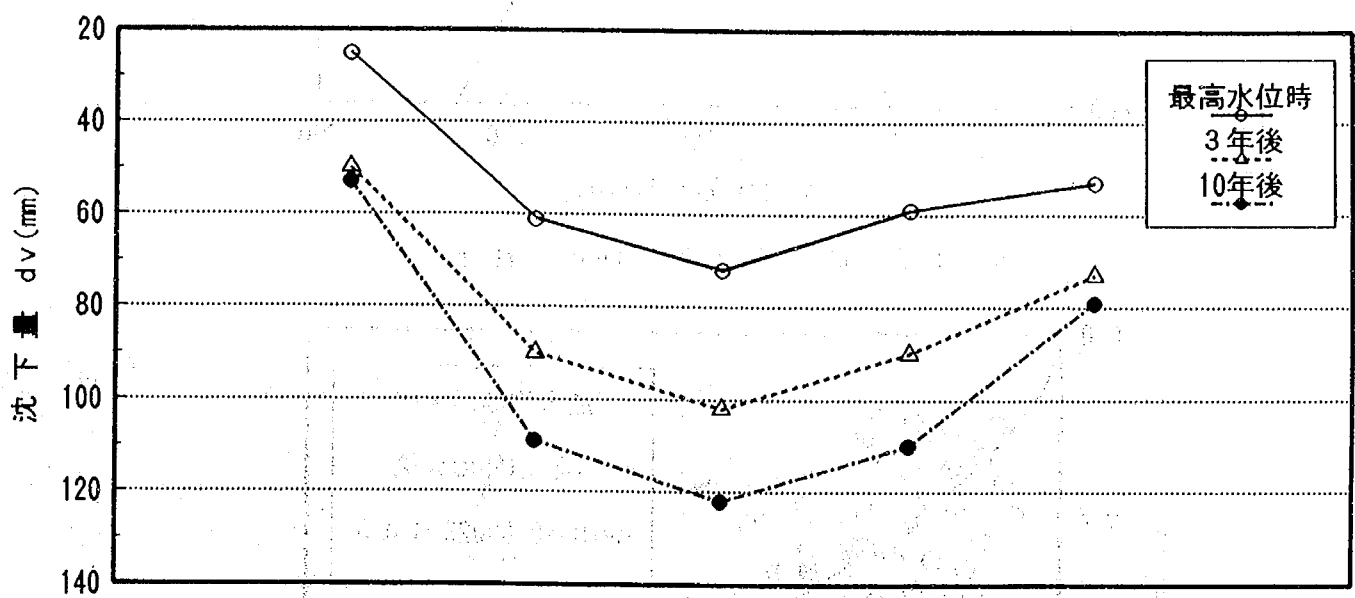
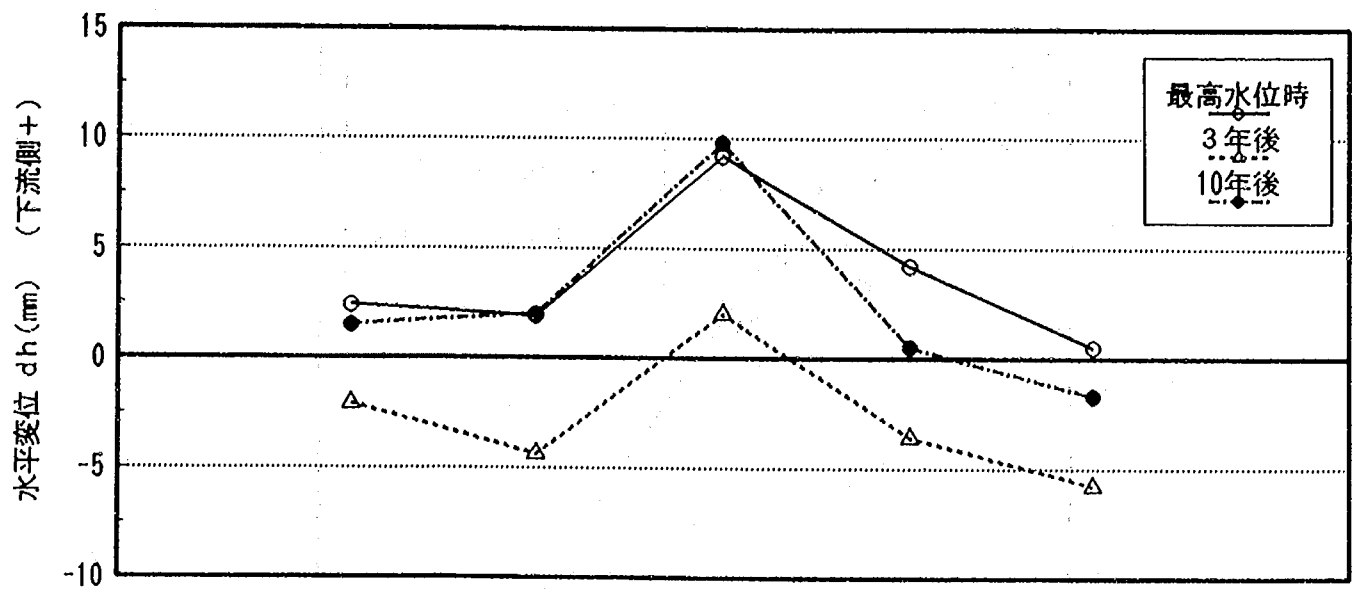


図-1.1.(k) 天端の変位 (Nダム)

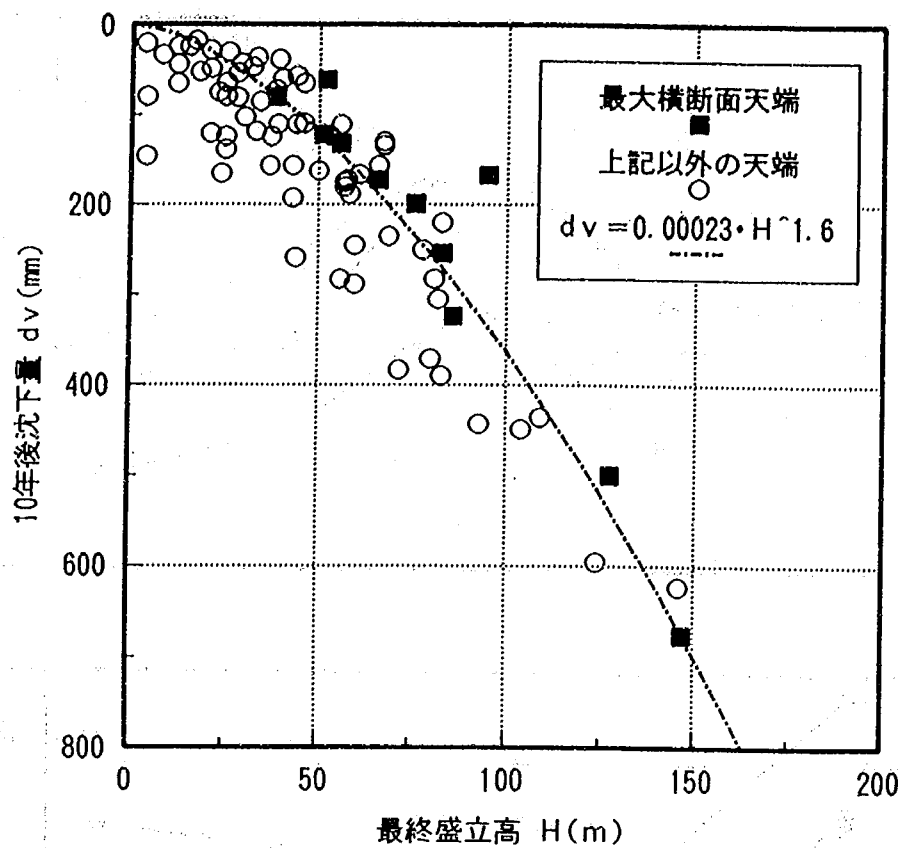


図 - 1.2 最終盛立高と10年後沈下量

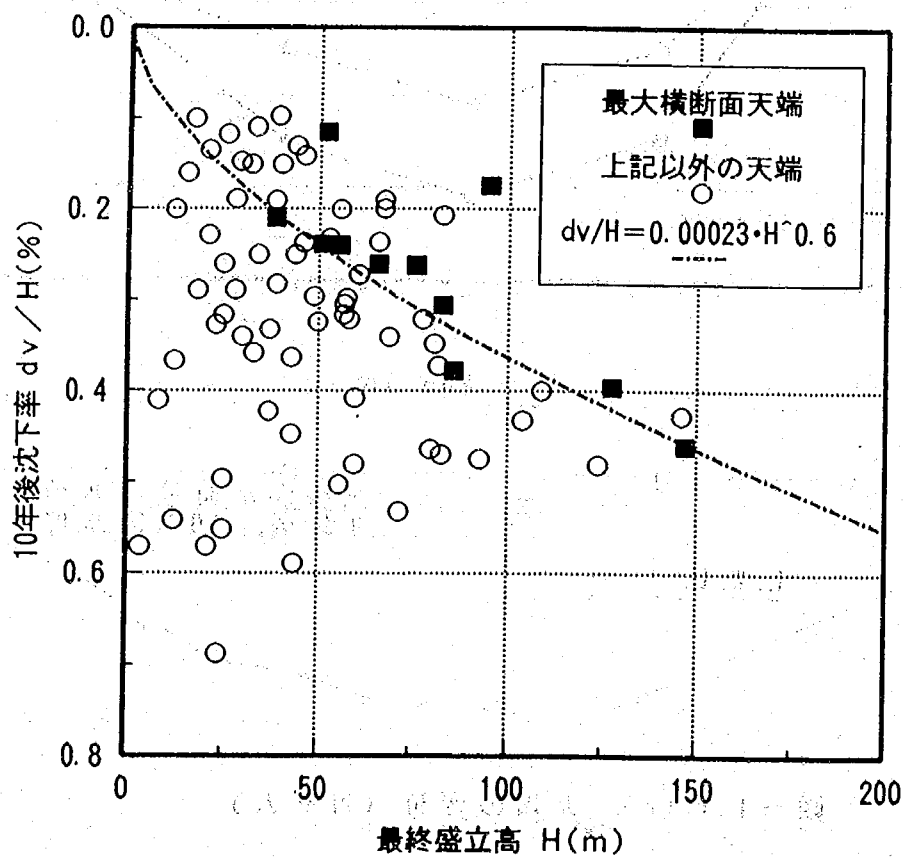


図 - 1.3 最終盛立高と10年後沈下率

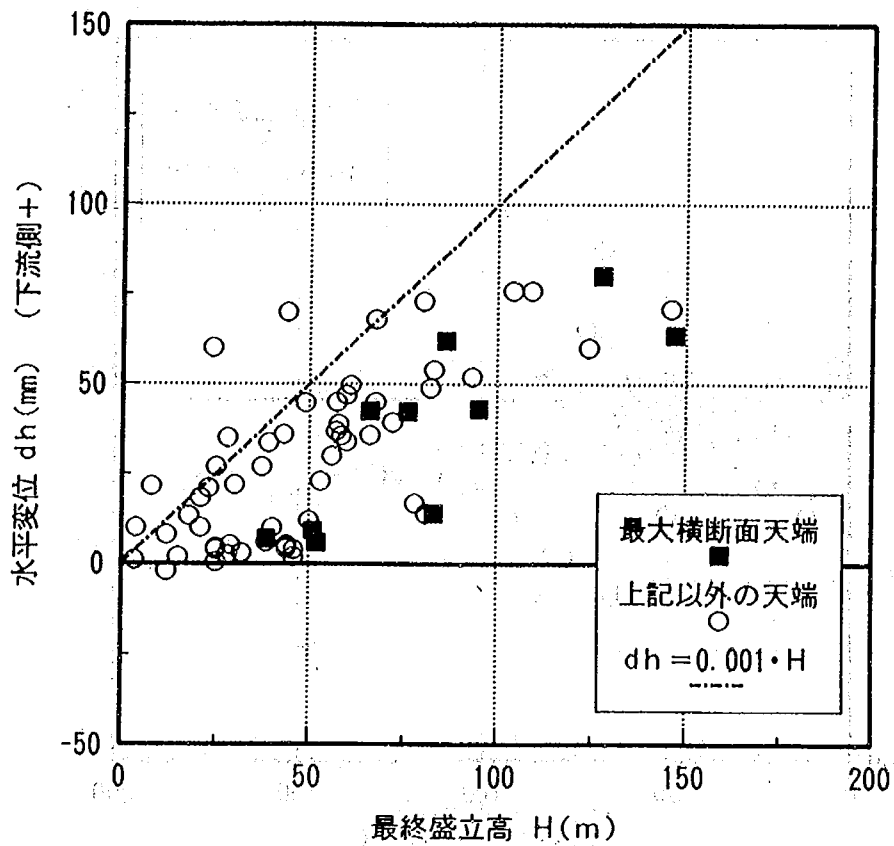


図 - 1.4 最終盛立高と最高水位時水平変位

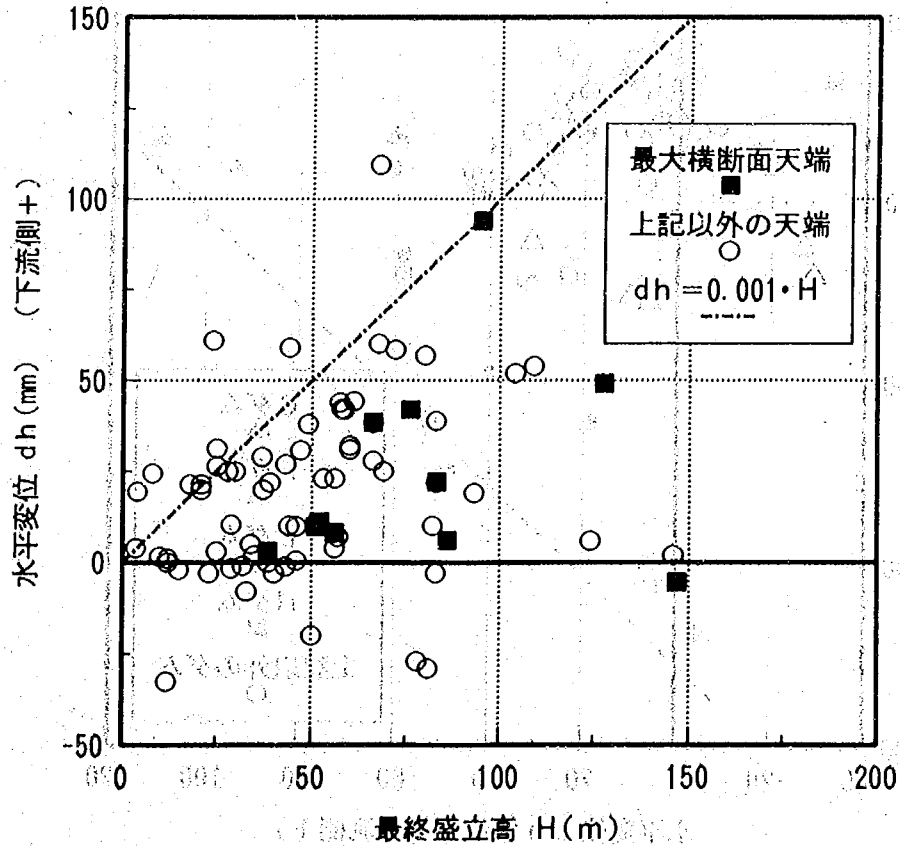


図 - 1.5 最終盛立高と10年後水平変位

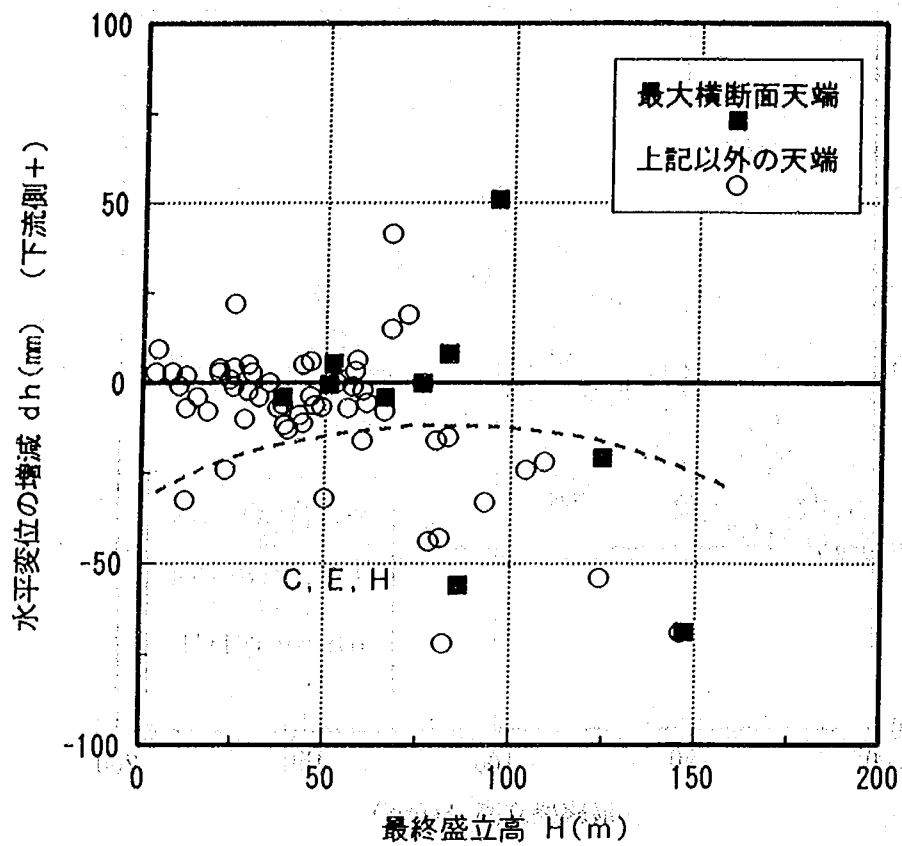


図 - 1.6 最終盛立高と(最高水位時 - 10年後)水平変位

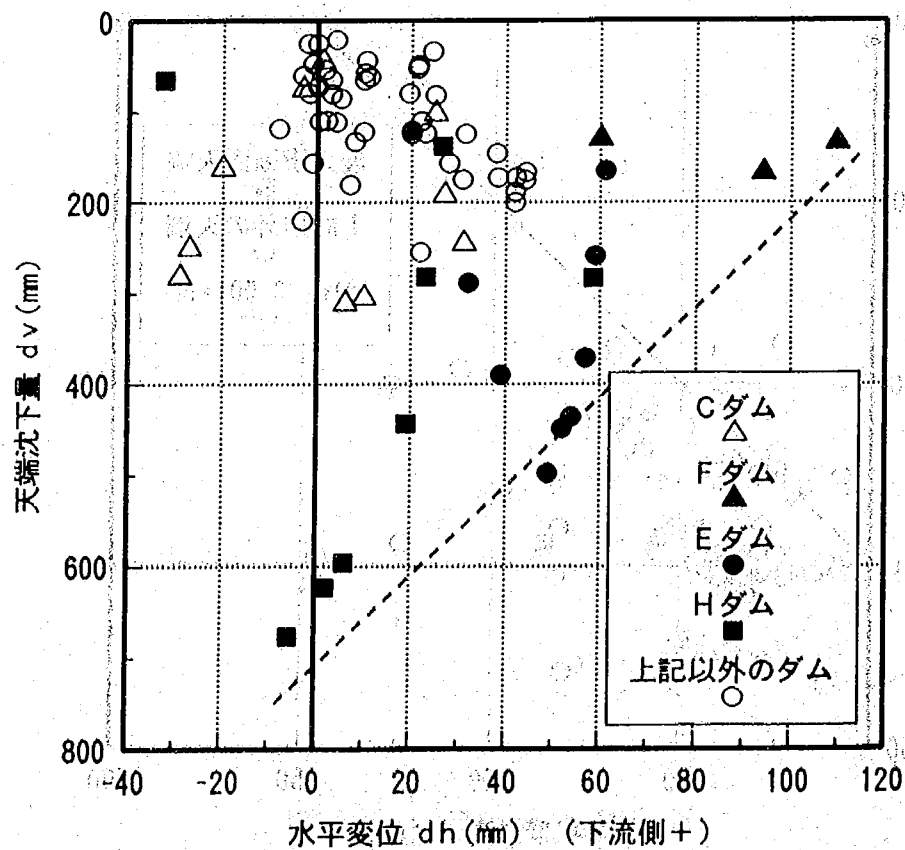


図 - 1.7 10年後水平変位と沈下量

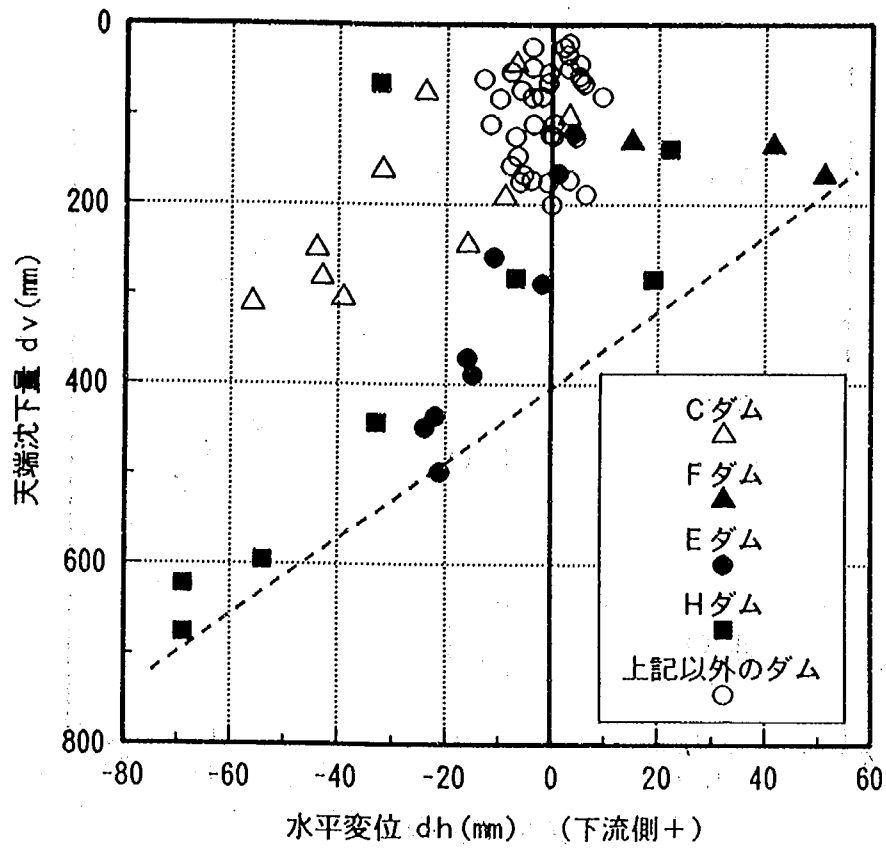


図 - 1.8 (最高水位時 - 10年後) 水平変位と沈下量

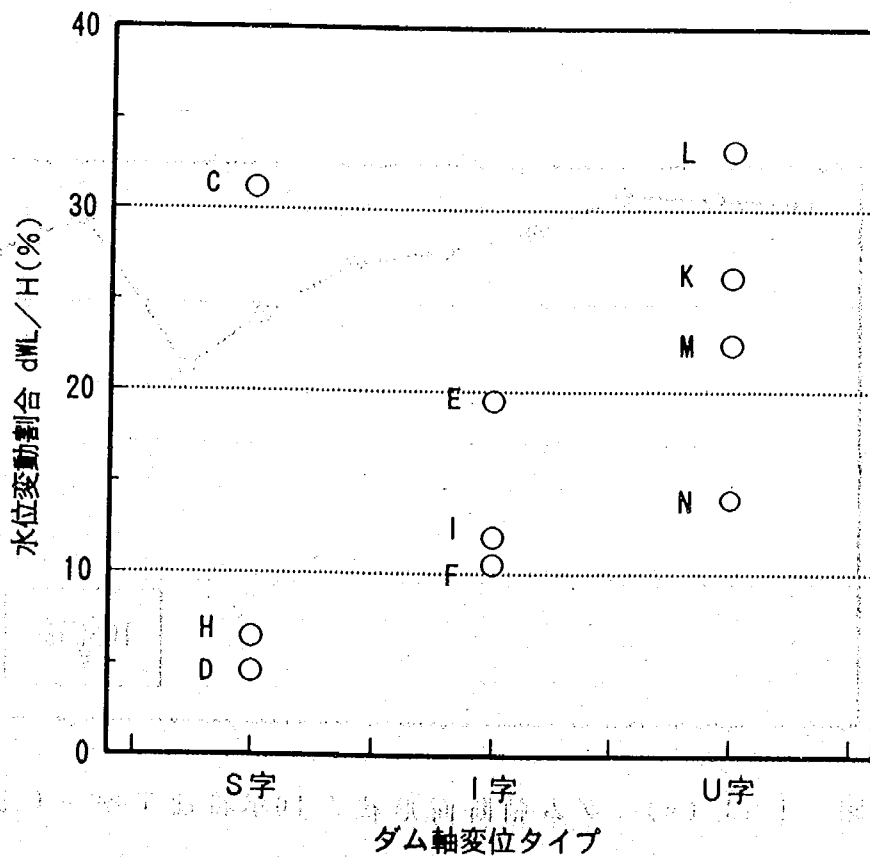


図 - 1.9 ダム軸変位タイプと水位変動割合

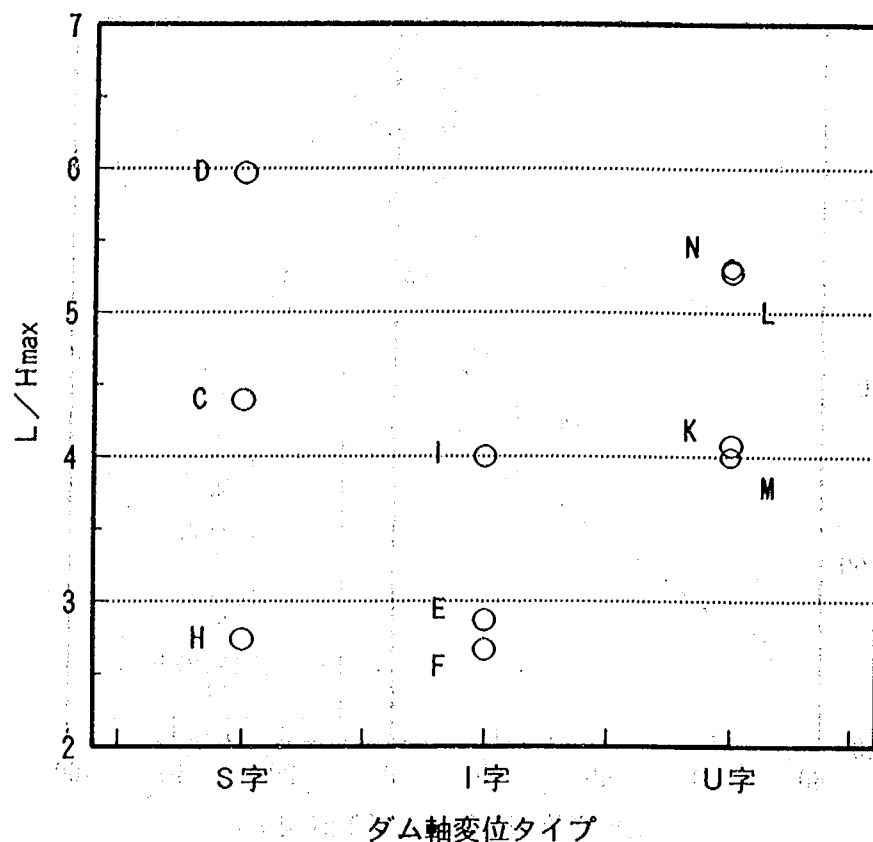


図 - 1.10 ダム軸変位タイプと L/H_{max}

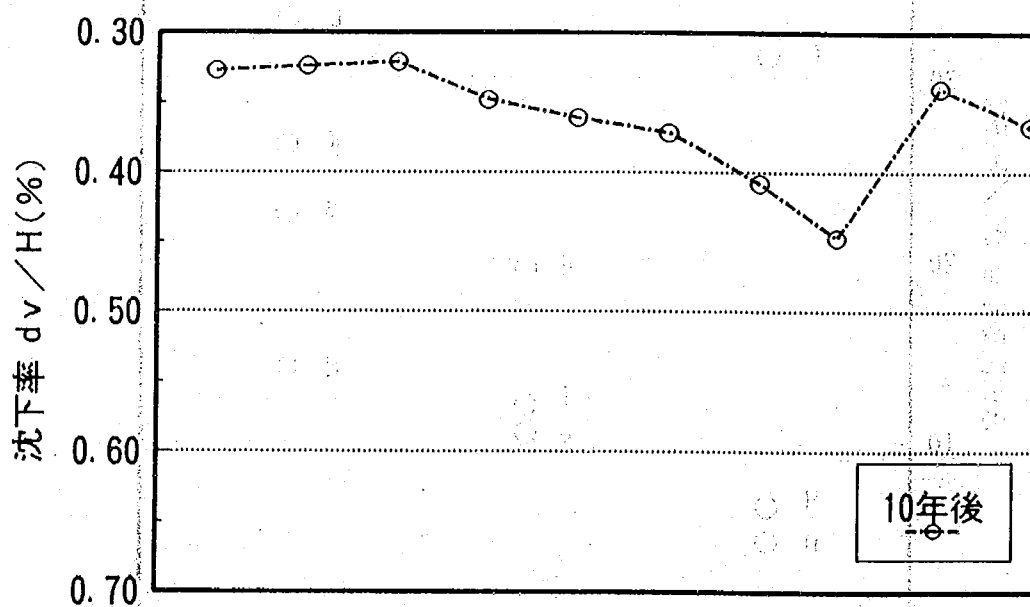


図 - 1.11 (a) ダム軸断面形状と10年後沈下率 (Cダム)

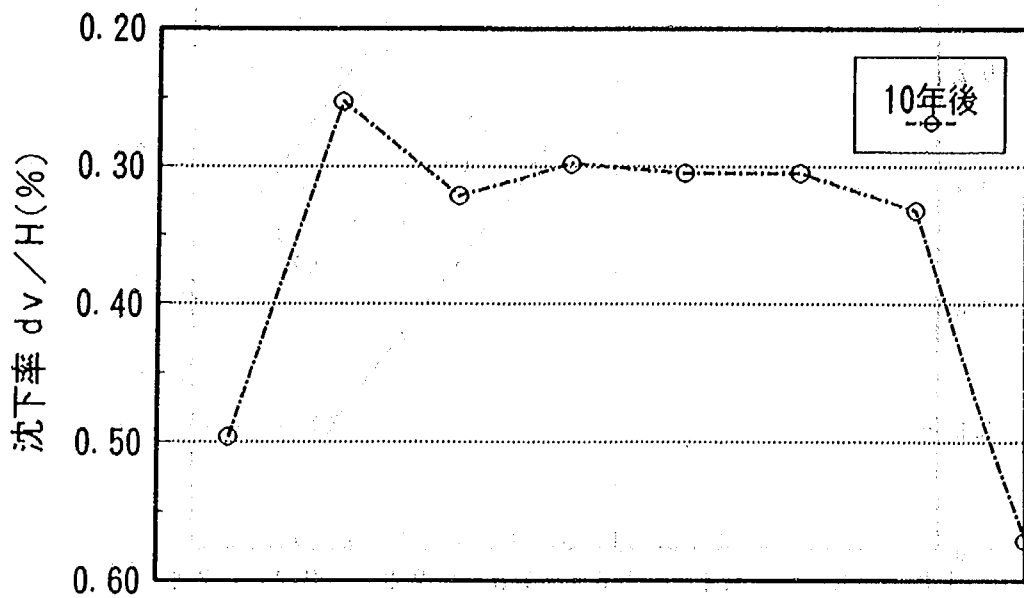


図 - 1.11 (b) ダム軸断面形状と10年後沈下率 (Kダム)

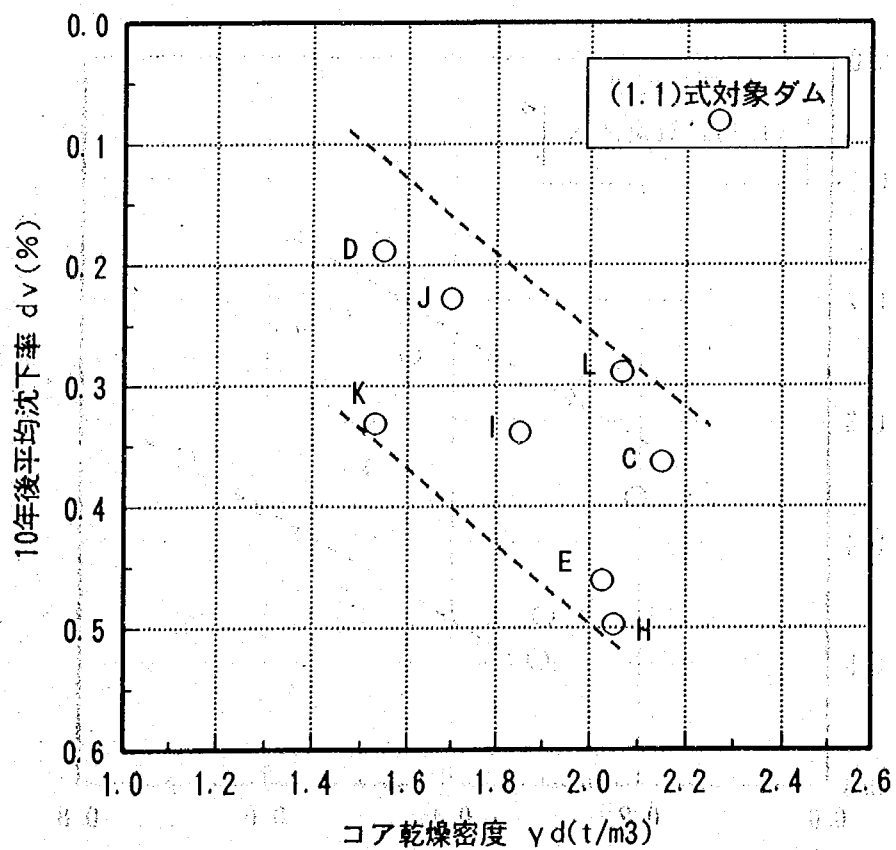


図 - 1.12 乾燥密度と10年後平均沈下率 (コア)

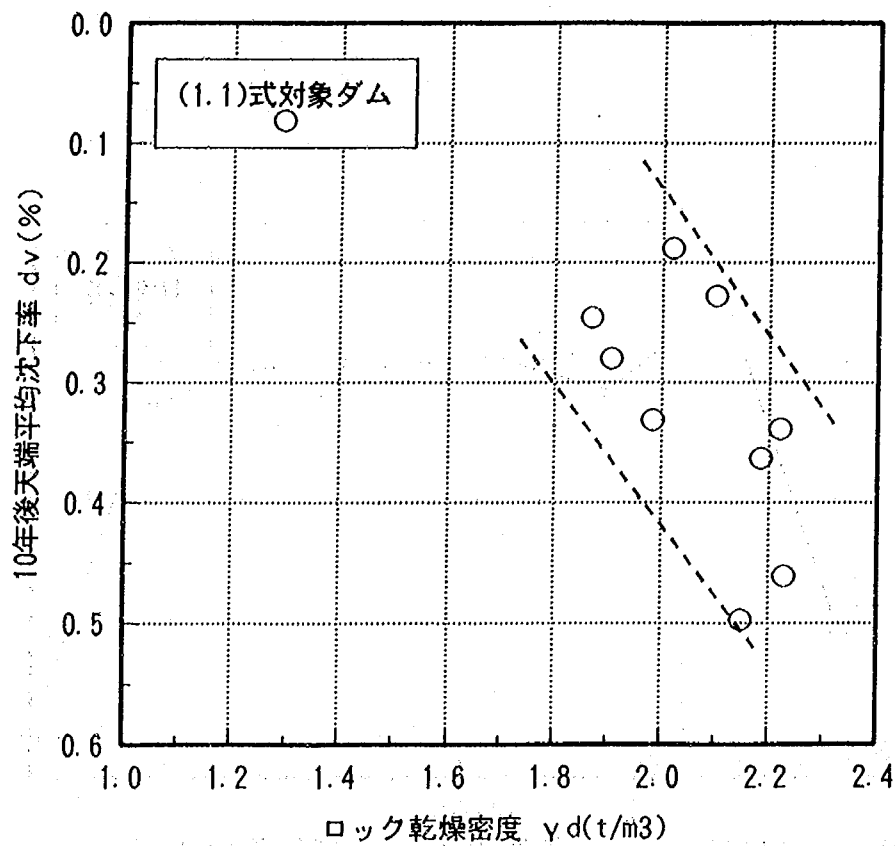


図 - 1.13 乾燥密度と10年後平均沈下率 (ロック)

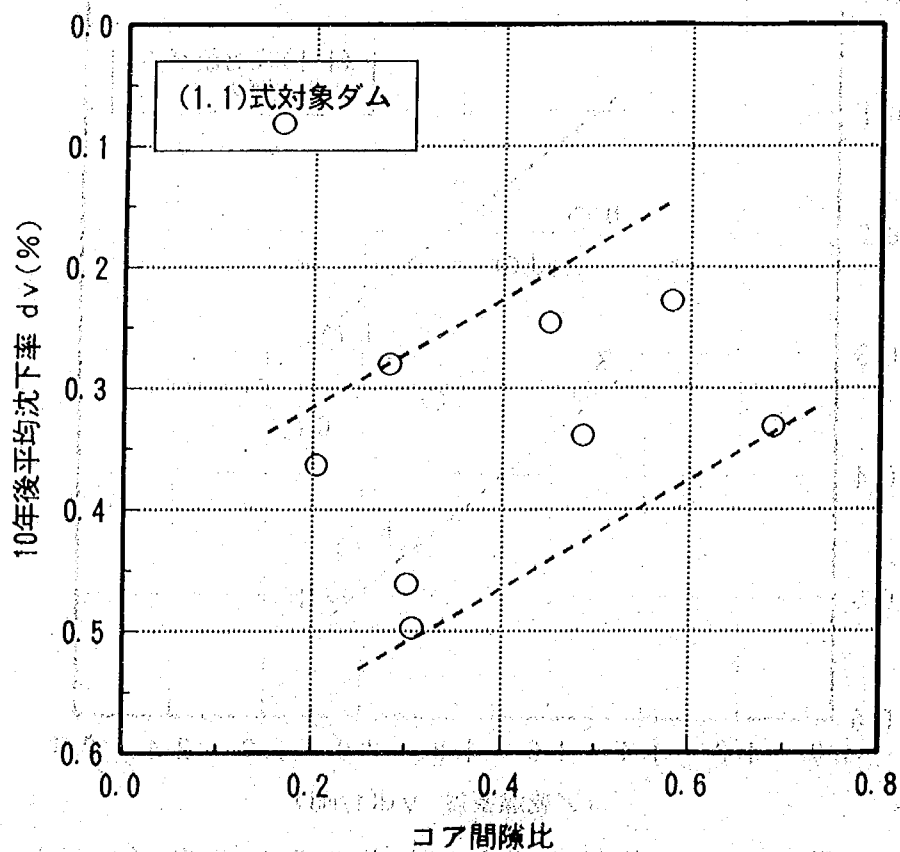


図 - 1.14 間隙比と10年後平均沈下率 (コア)

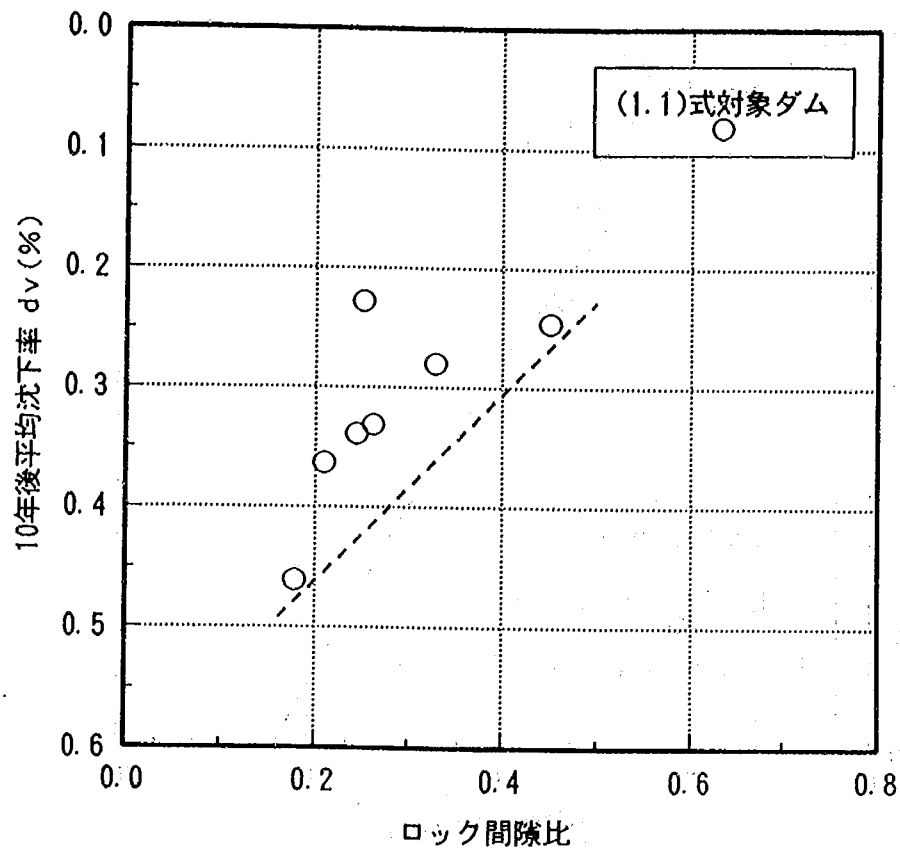


図 - 1.15 間隙比と10年後平均沈下率 (ロック)

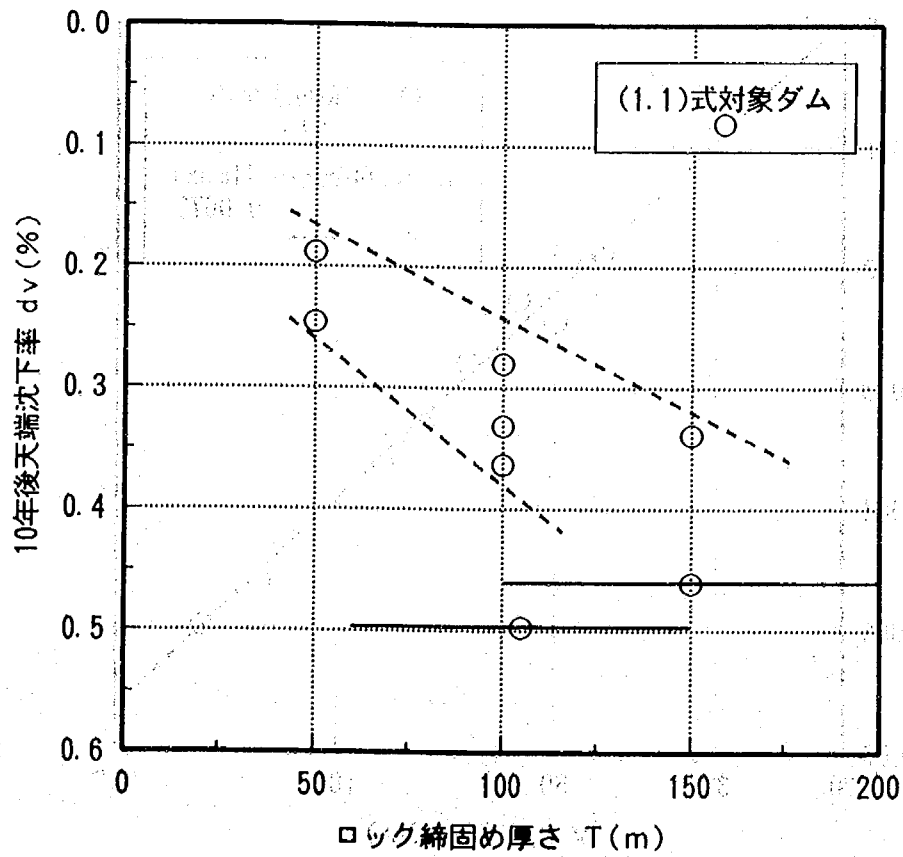


図 - 1.16 締固め厚さと10年後平均沈下率 (ロック)

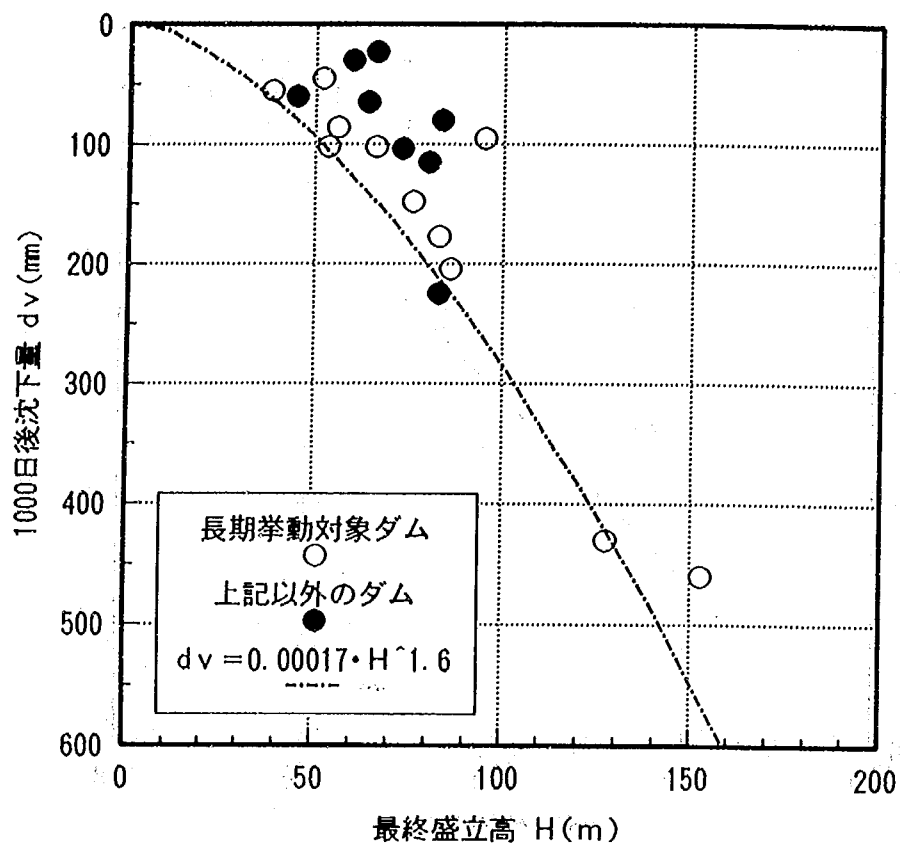


図 - 1.17 最大横断面の最終盛立高と1000日後沈下量

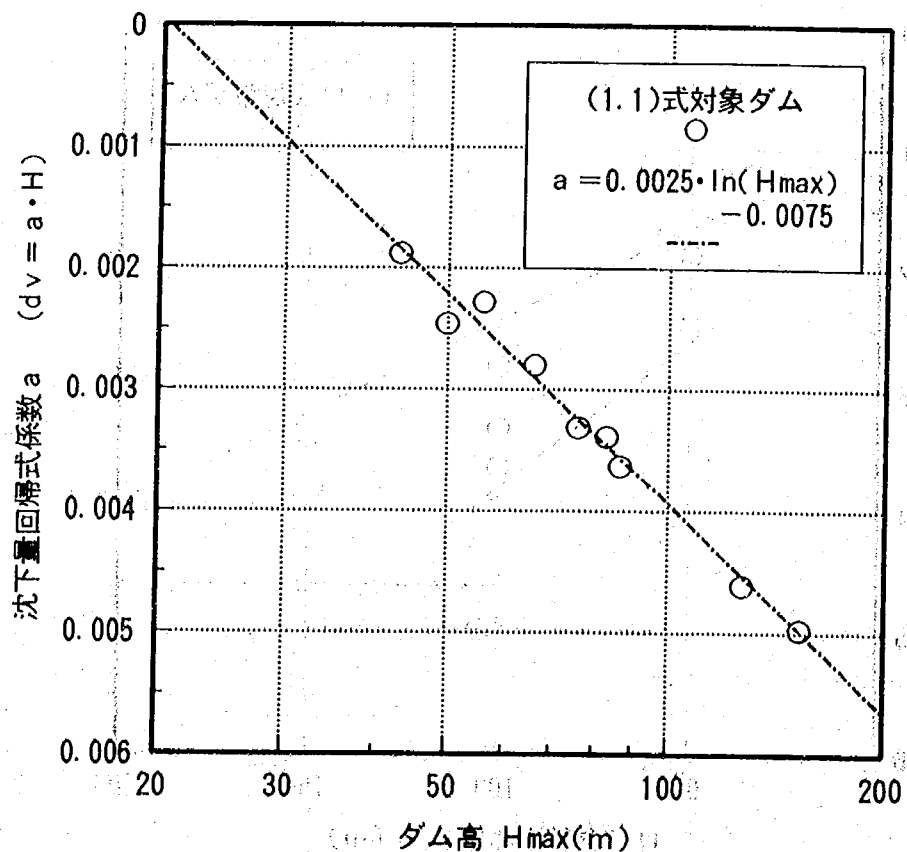


図 - 1.18 ダム高と10年後の沈下量回帰式係数 a

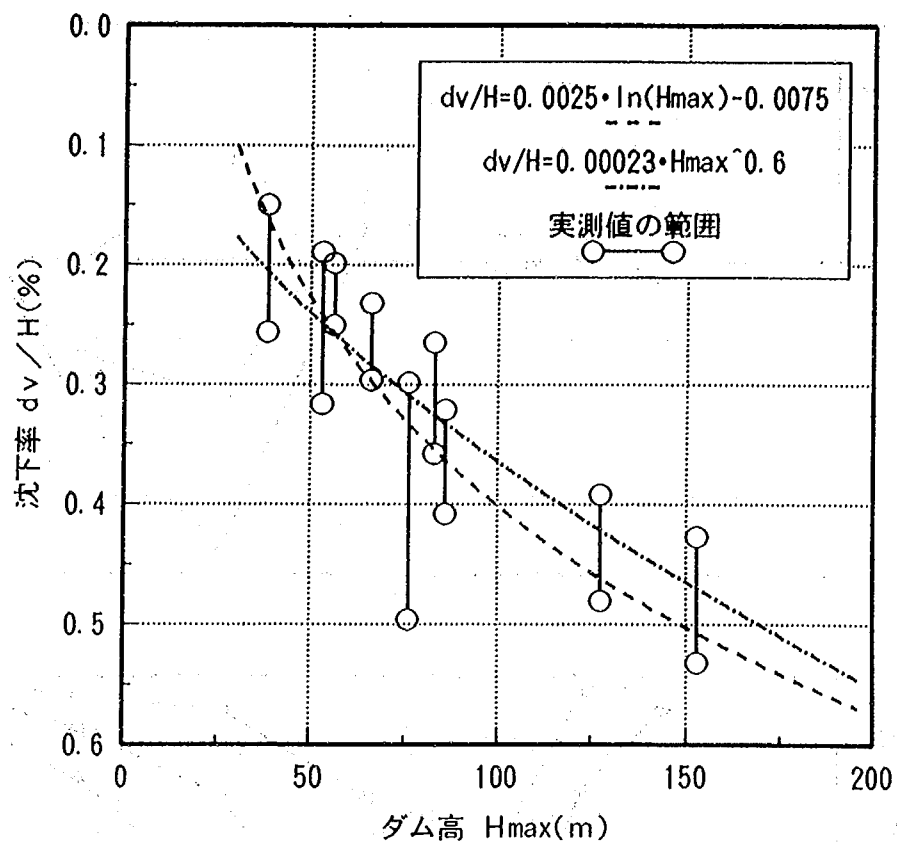


図 - 1.19 10年後予測沈下率の比較

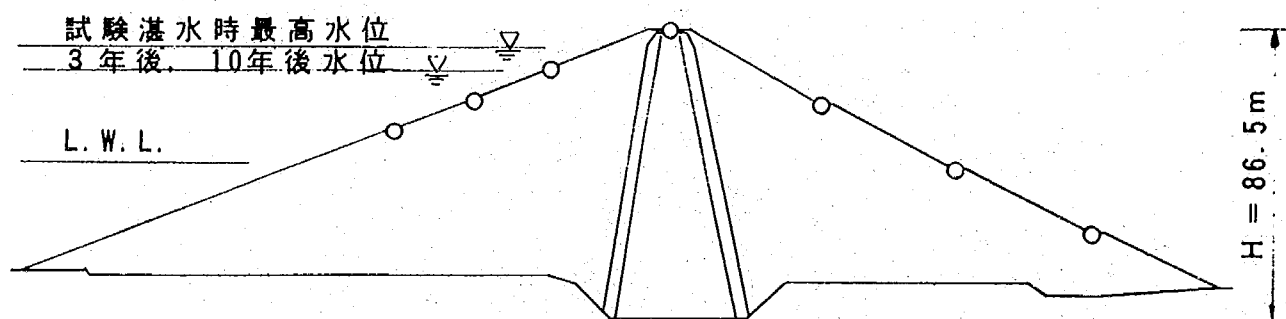
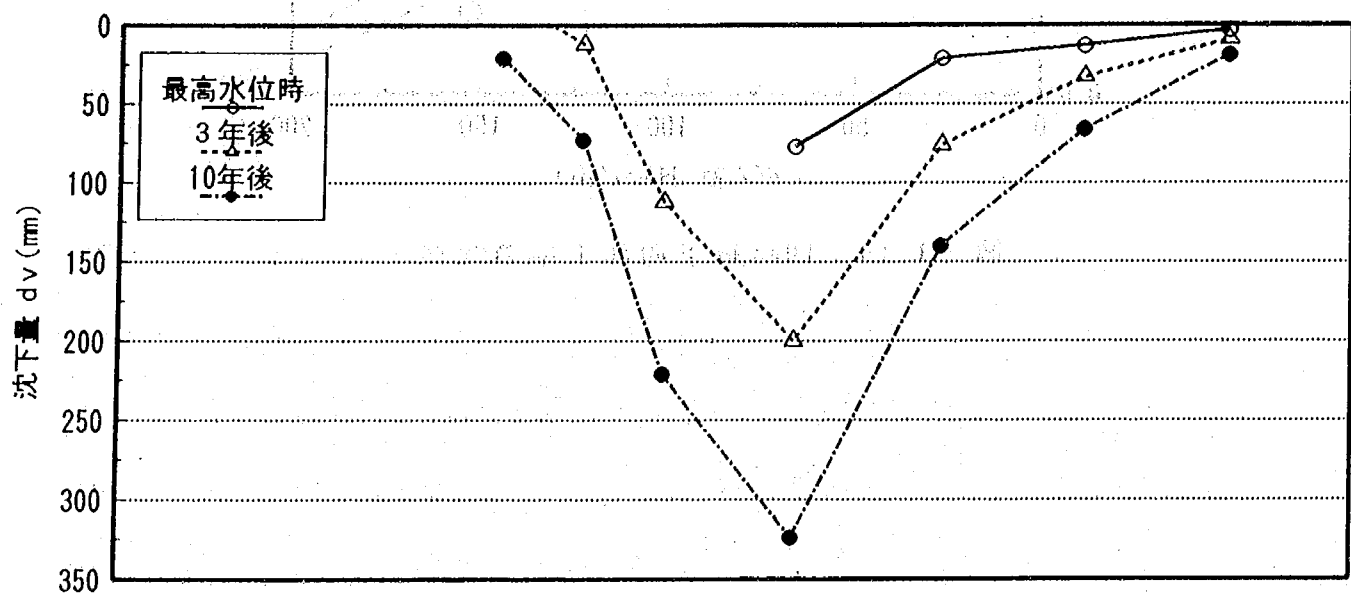
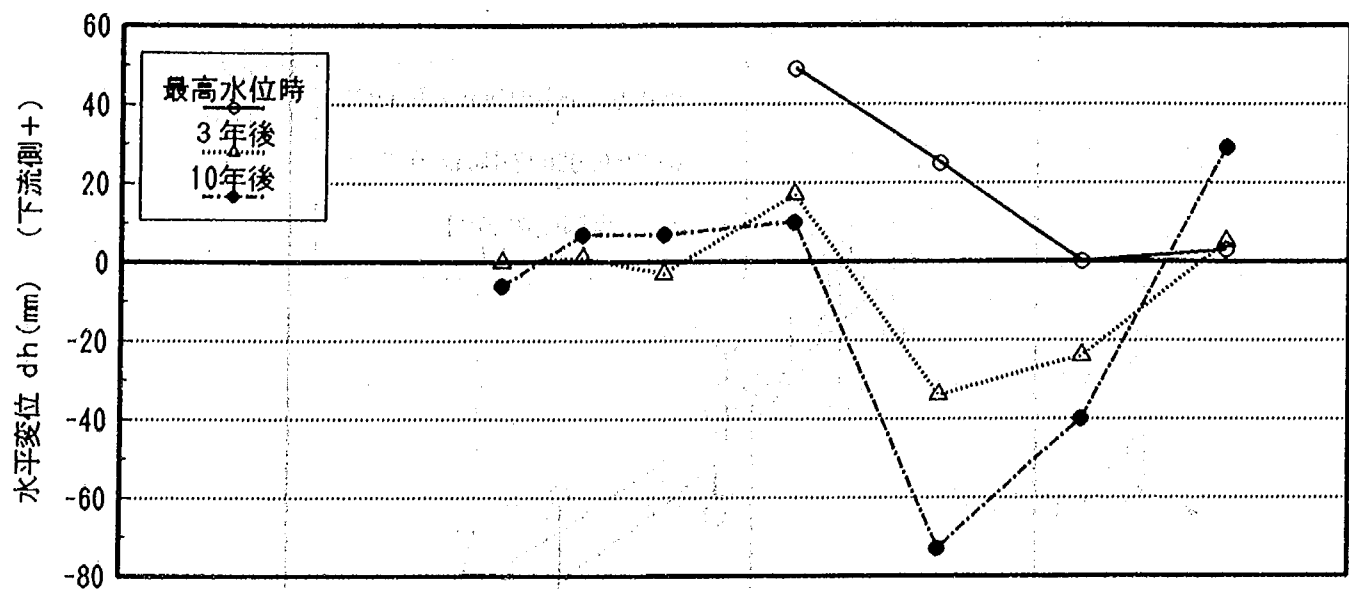


図 - 1.20. (a) 最大横断面法面の変位 (Cダム)

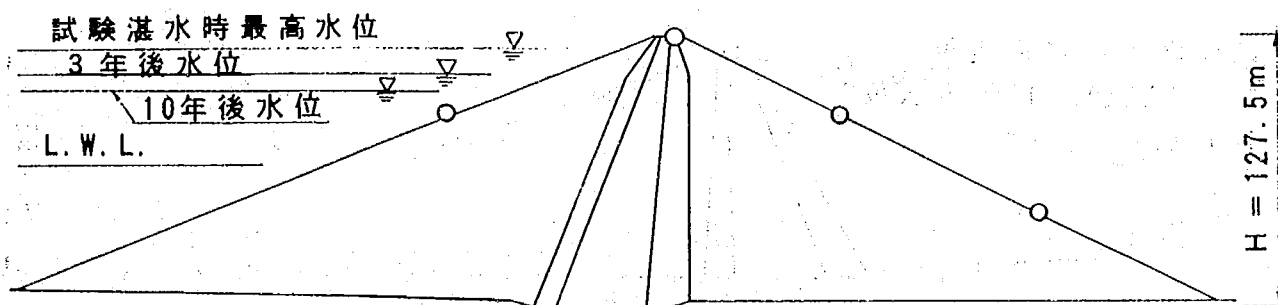
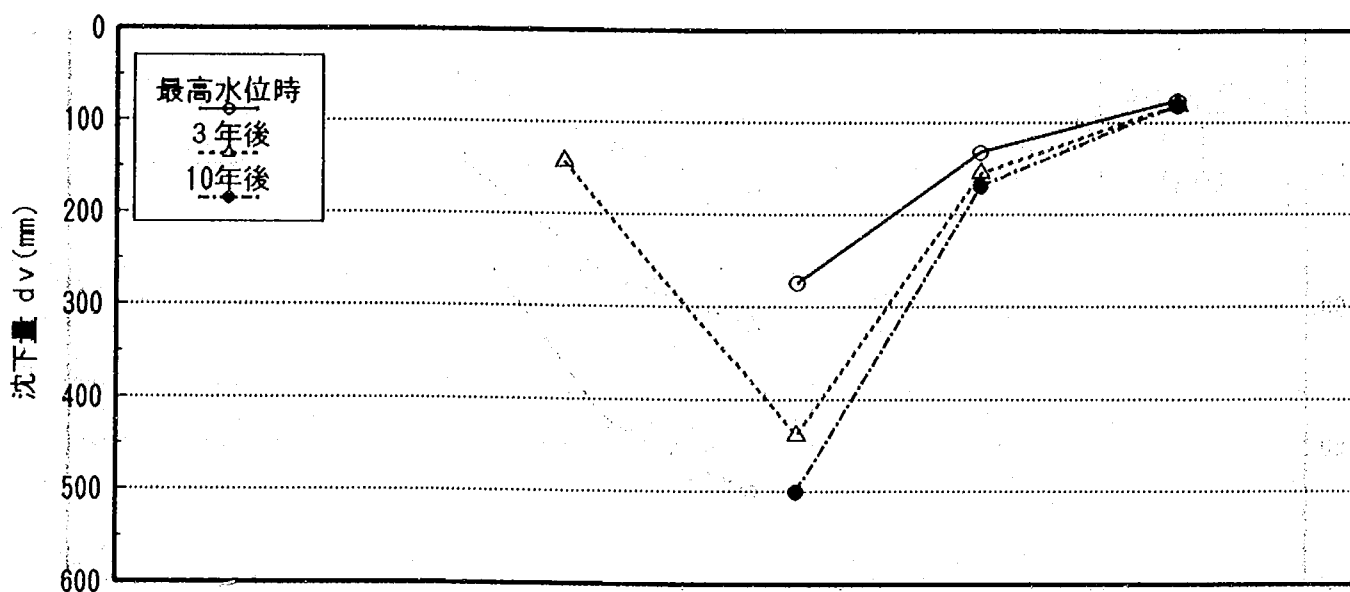
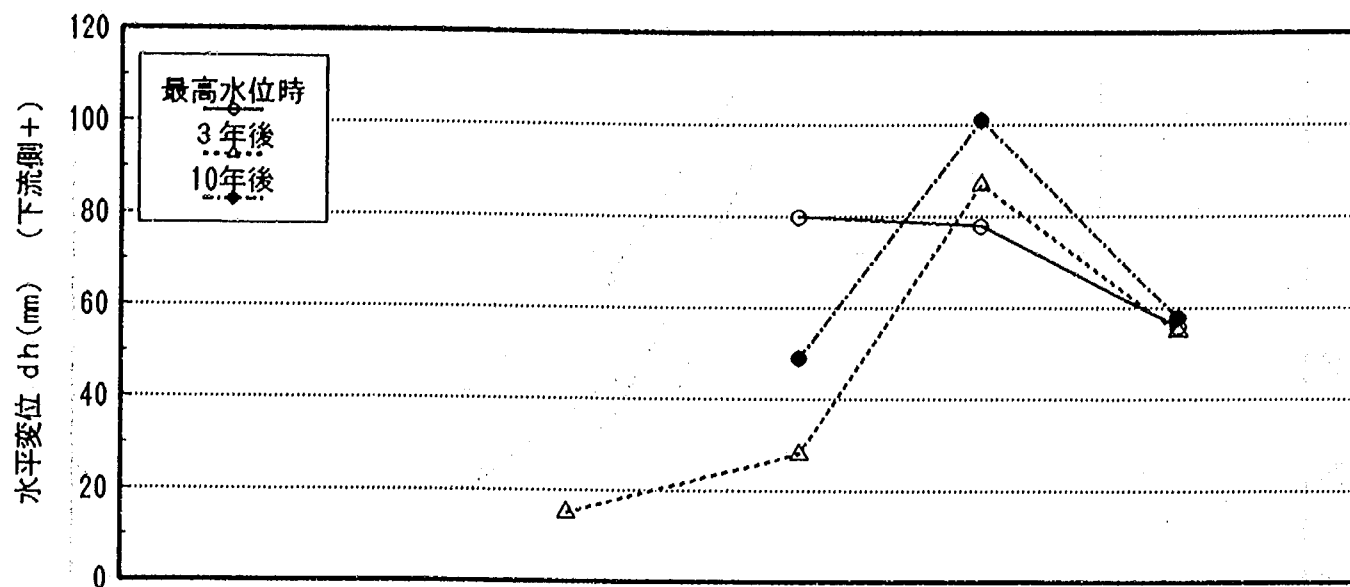


図-1.20.(b) 最大横断面法面の変位 (Eダム)

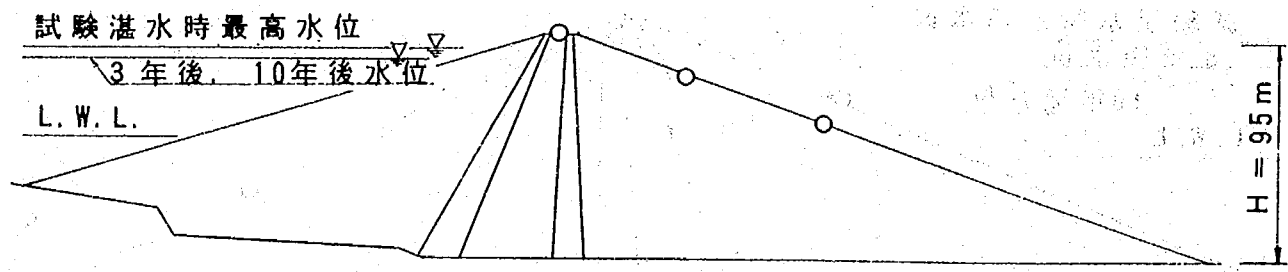
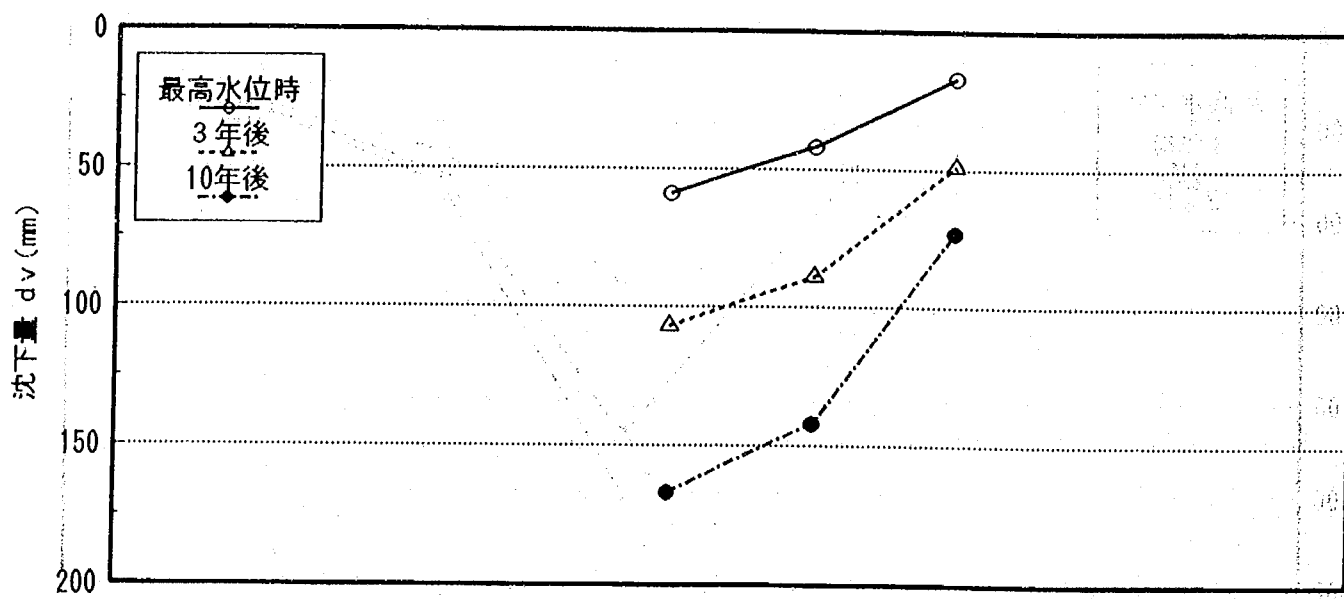
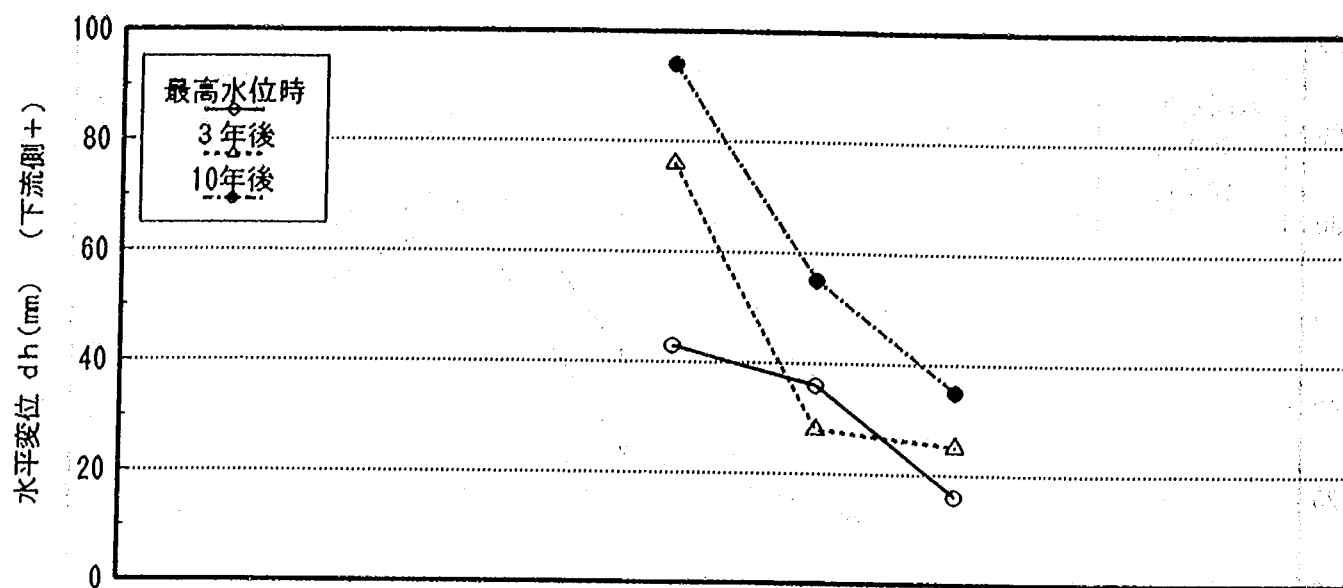


図 - 1.20.(c) 最大横断面法面の変位 (Fダム)

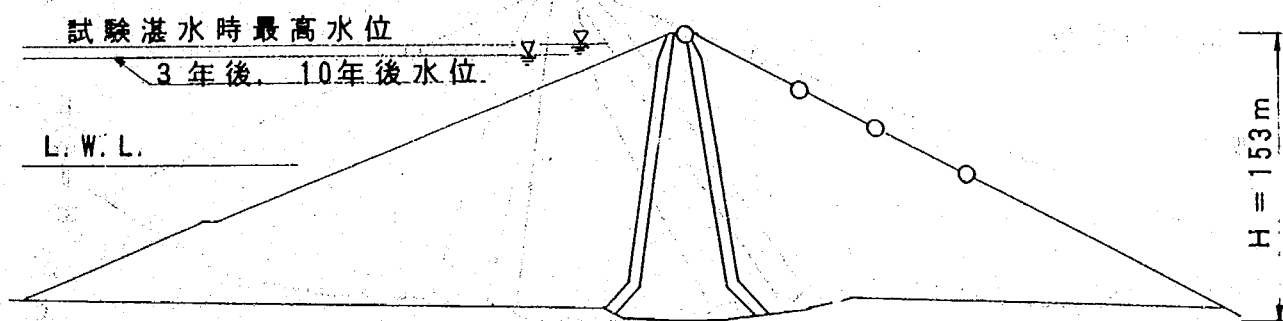
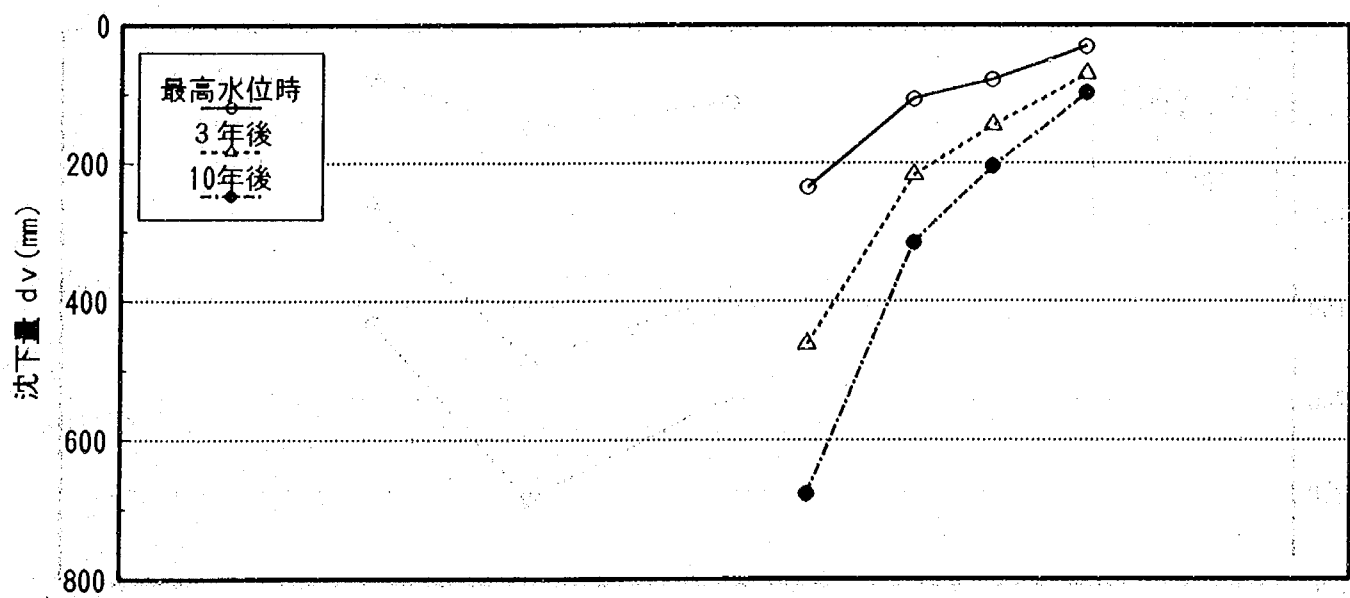
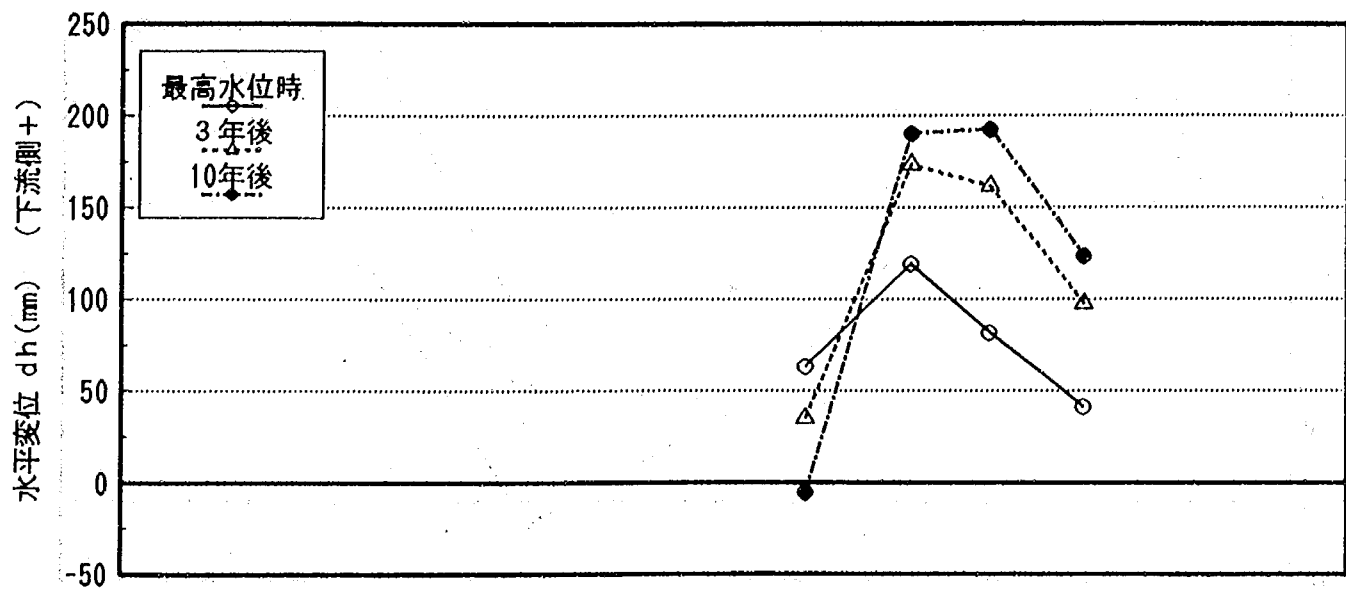


図 - 1.20. (d) 最大横断面法面の変位 (Hダム)

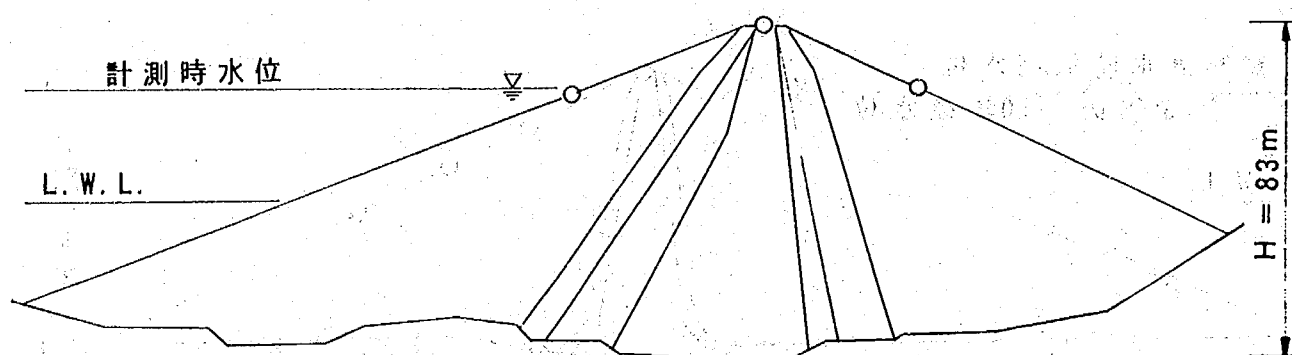
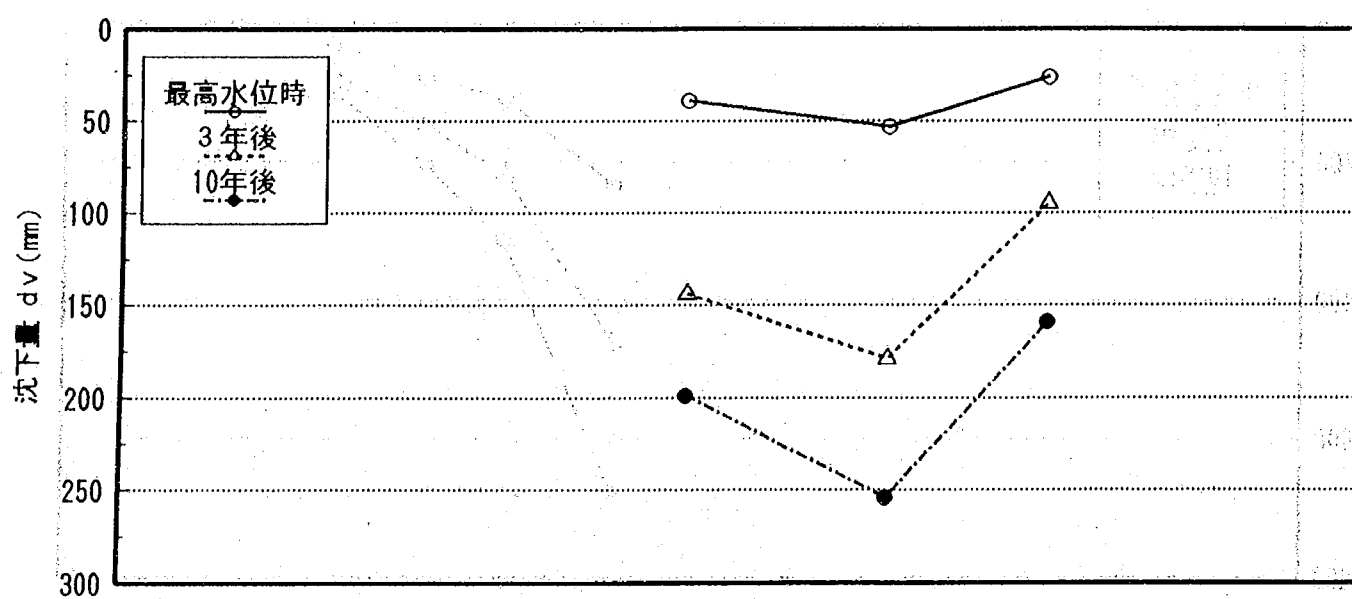
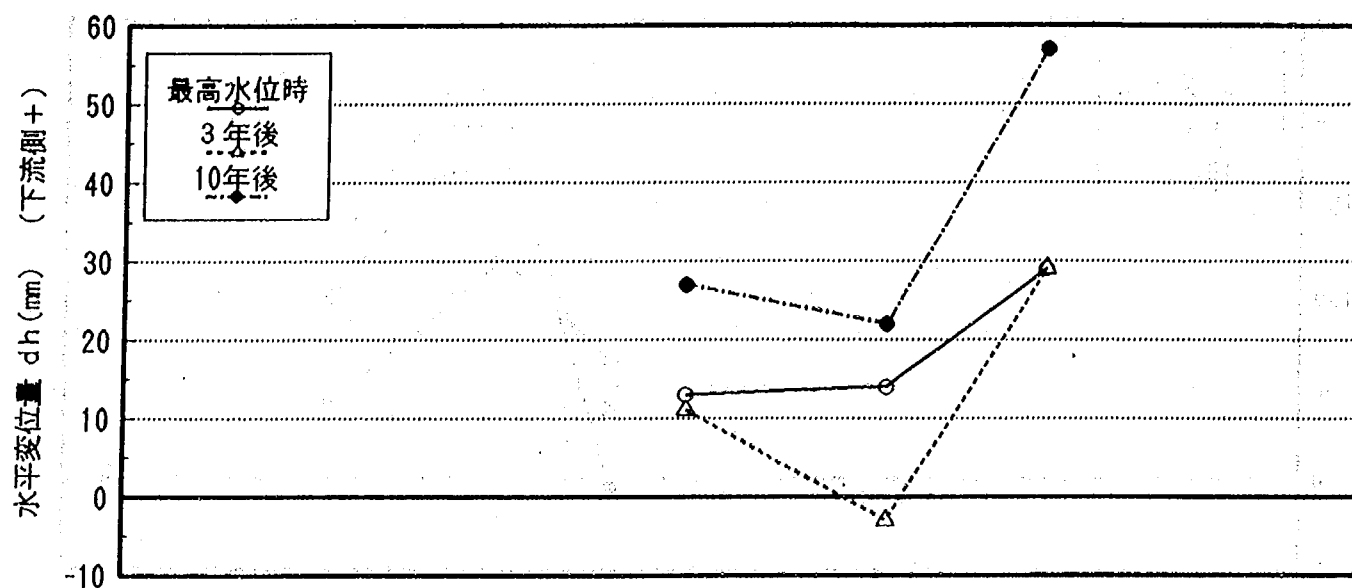


図-1.20.(e) 最大横断面法面の変位 (I ダム)

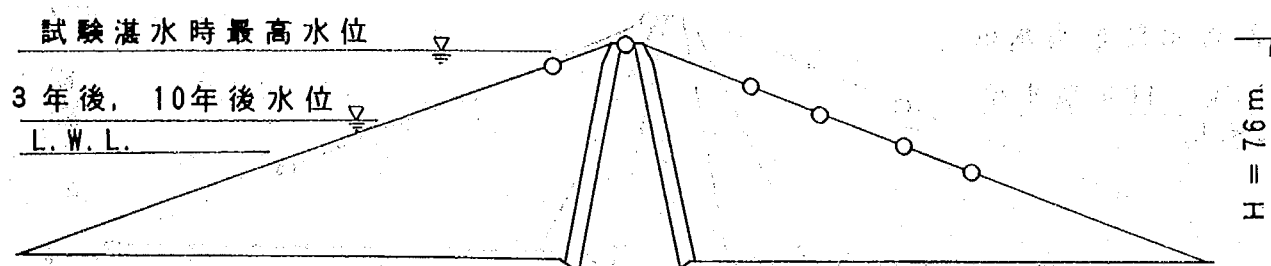
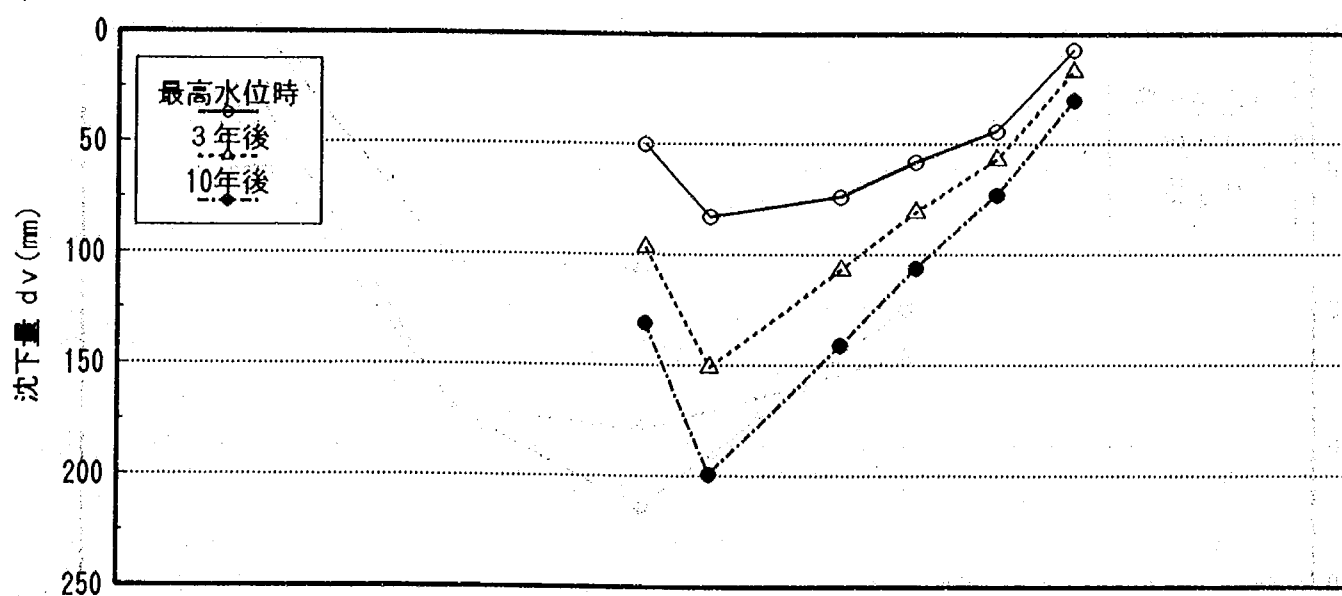
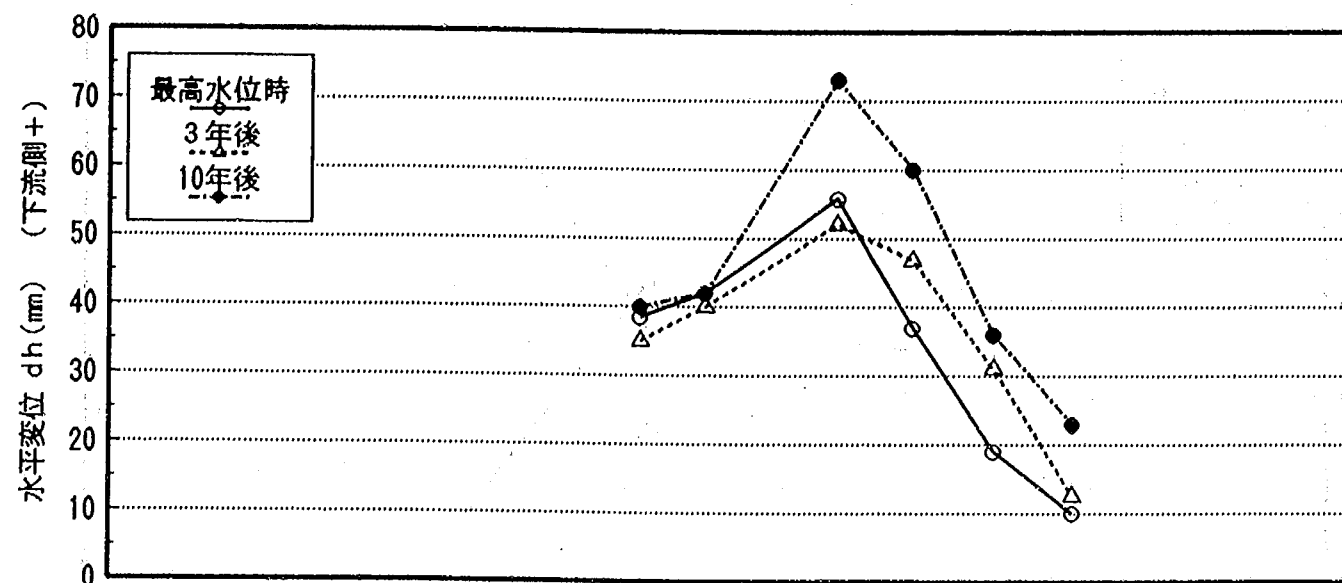


図-1.20.(f) 最大横断面法面の変位 (Kダム)

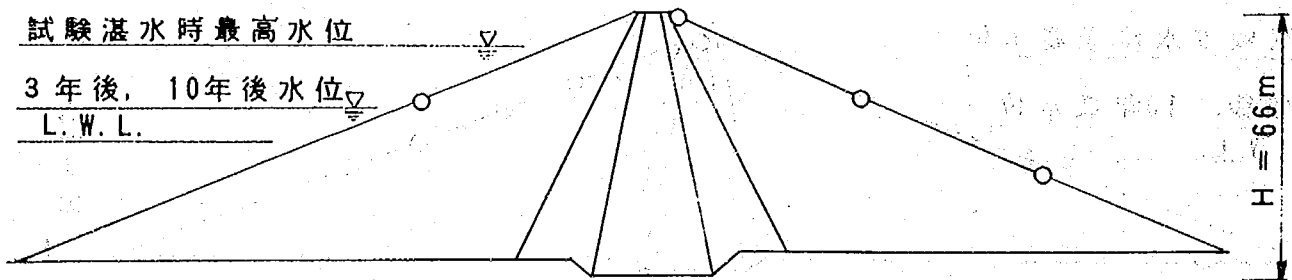
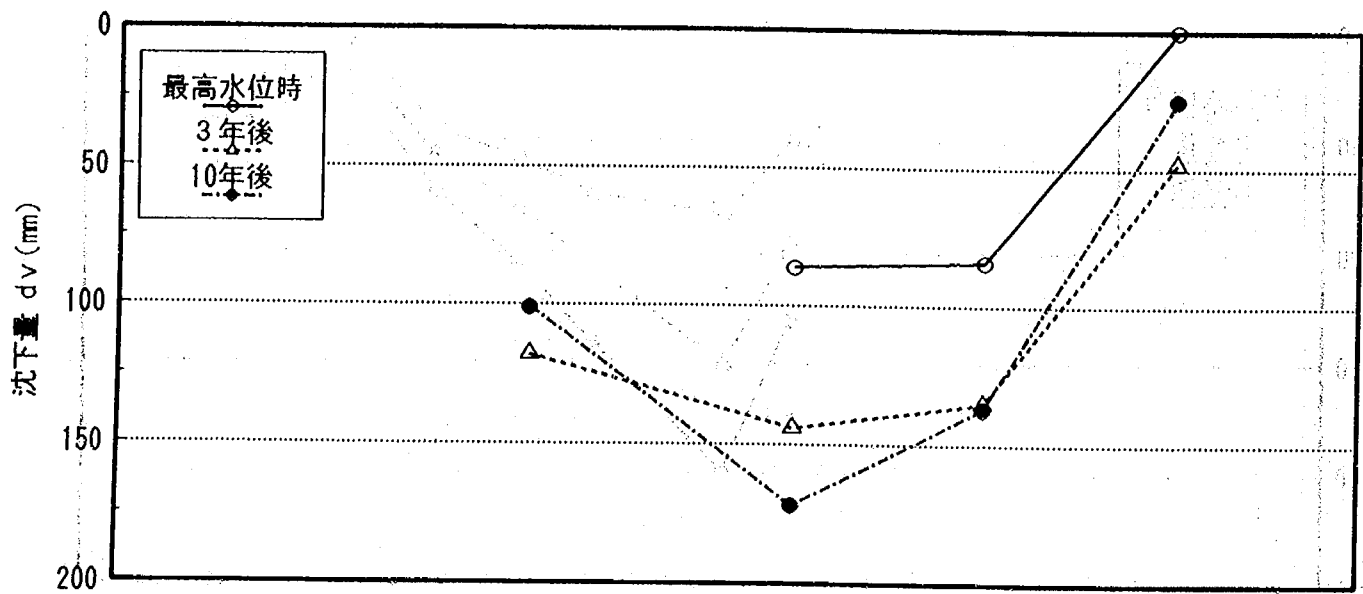
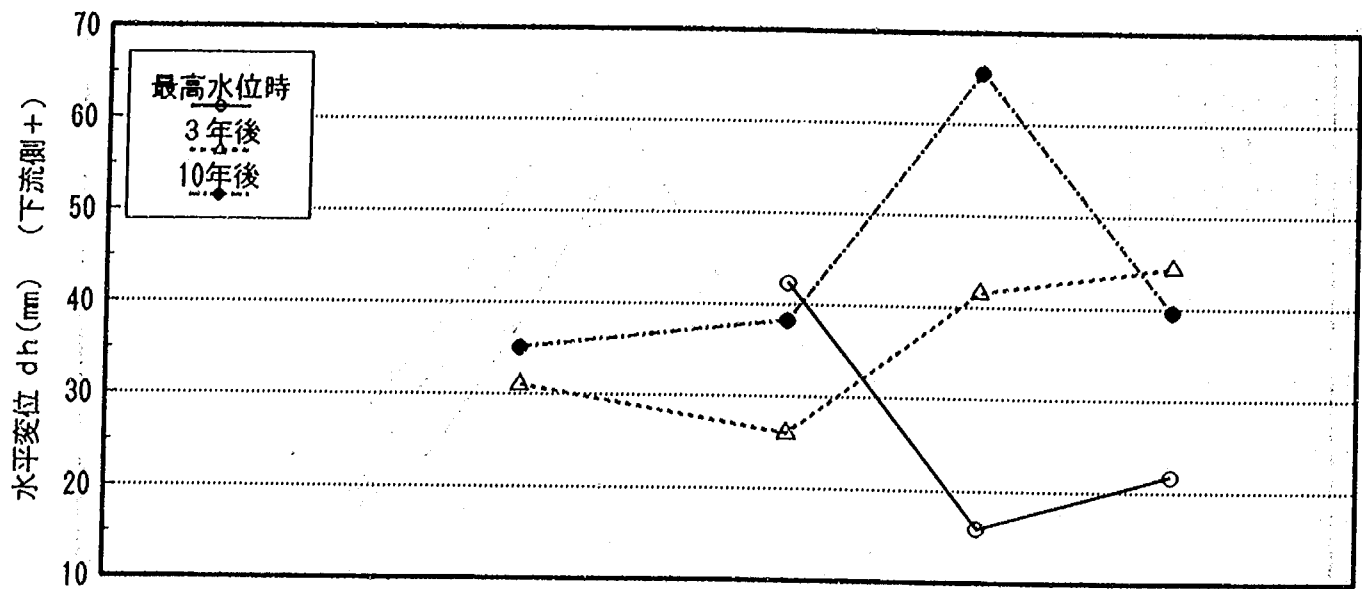


図 - 1.20. (g) 最大横断面法面の変位 (Lダム)

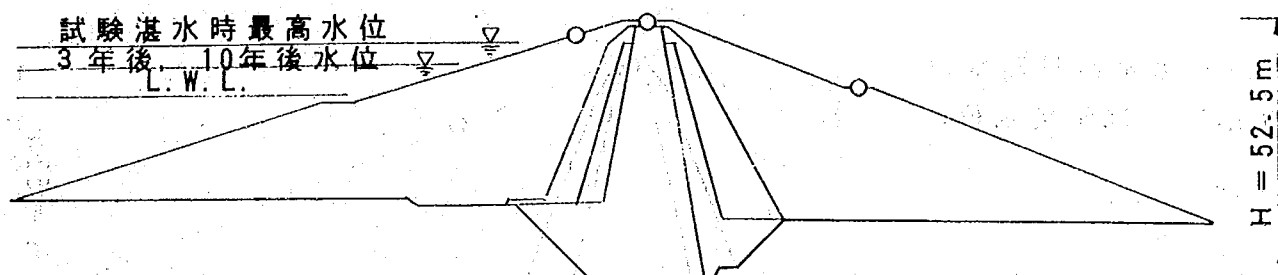
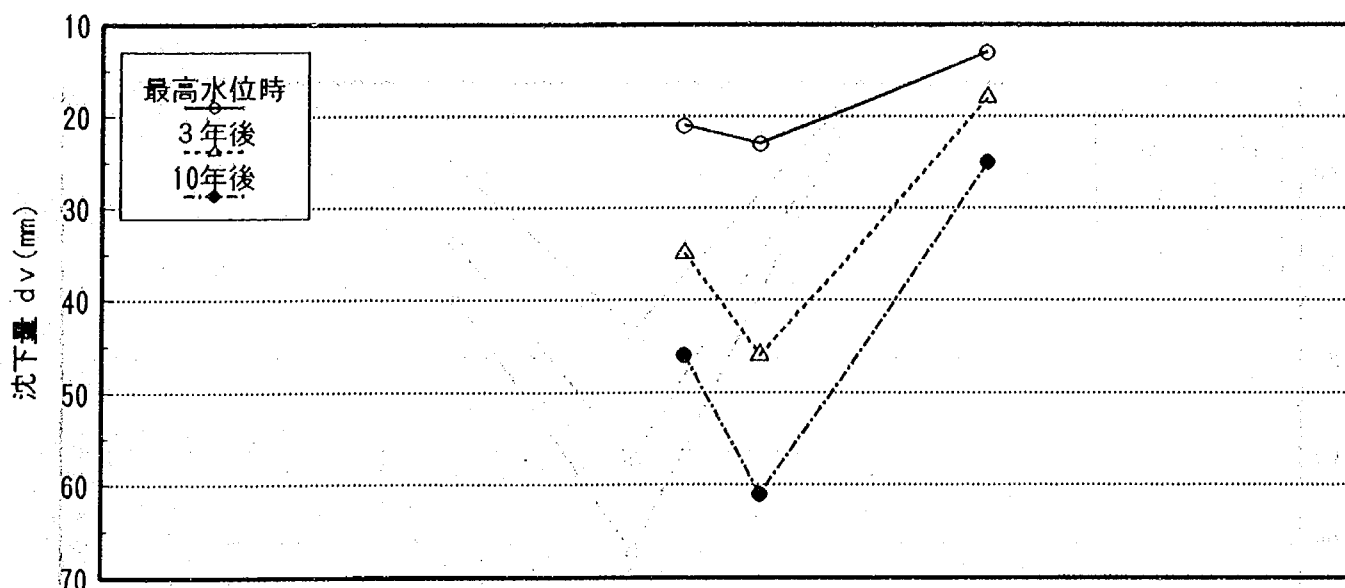
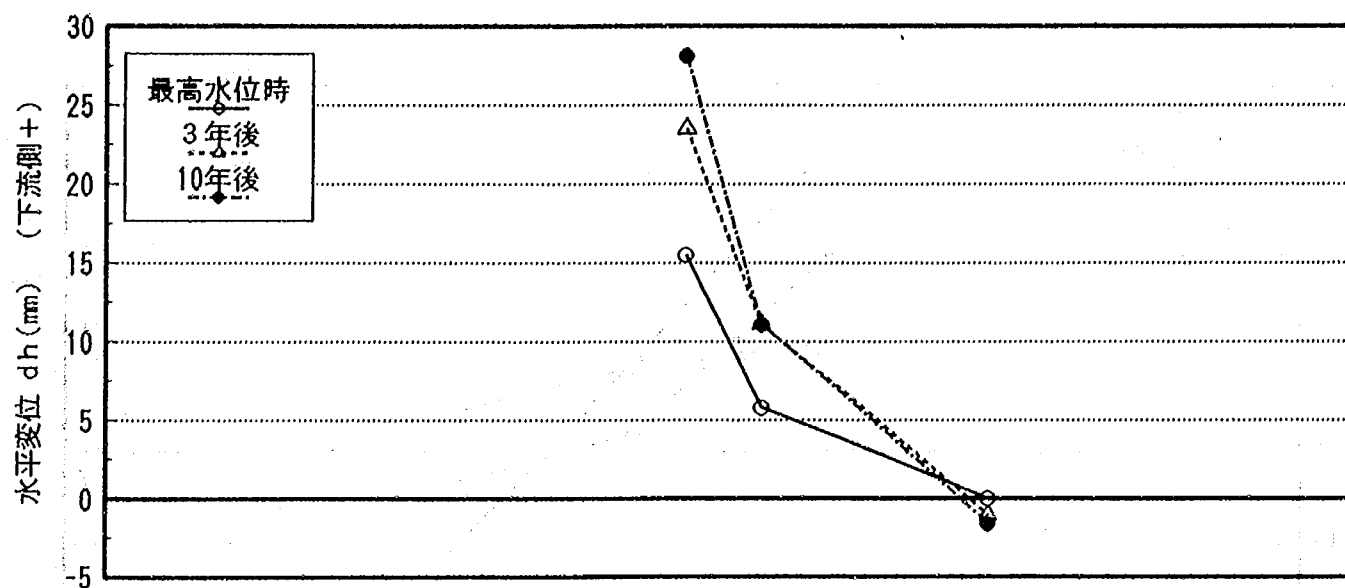


図 - 1.20. (h) 最大横断面法面の変位 (Mダム)

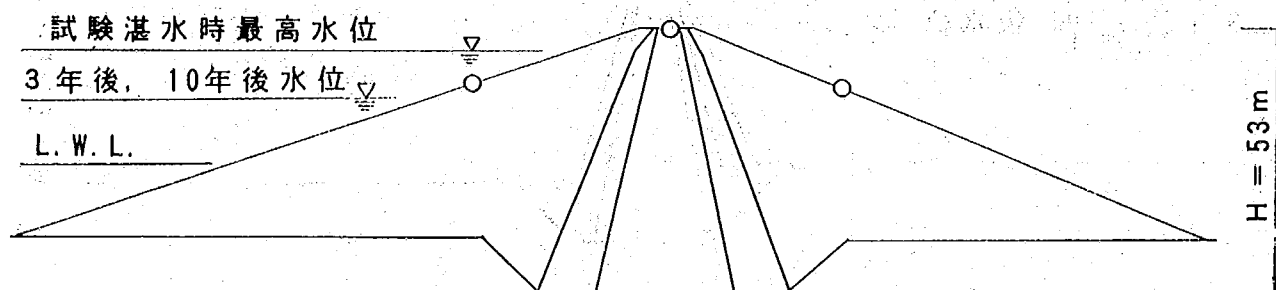
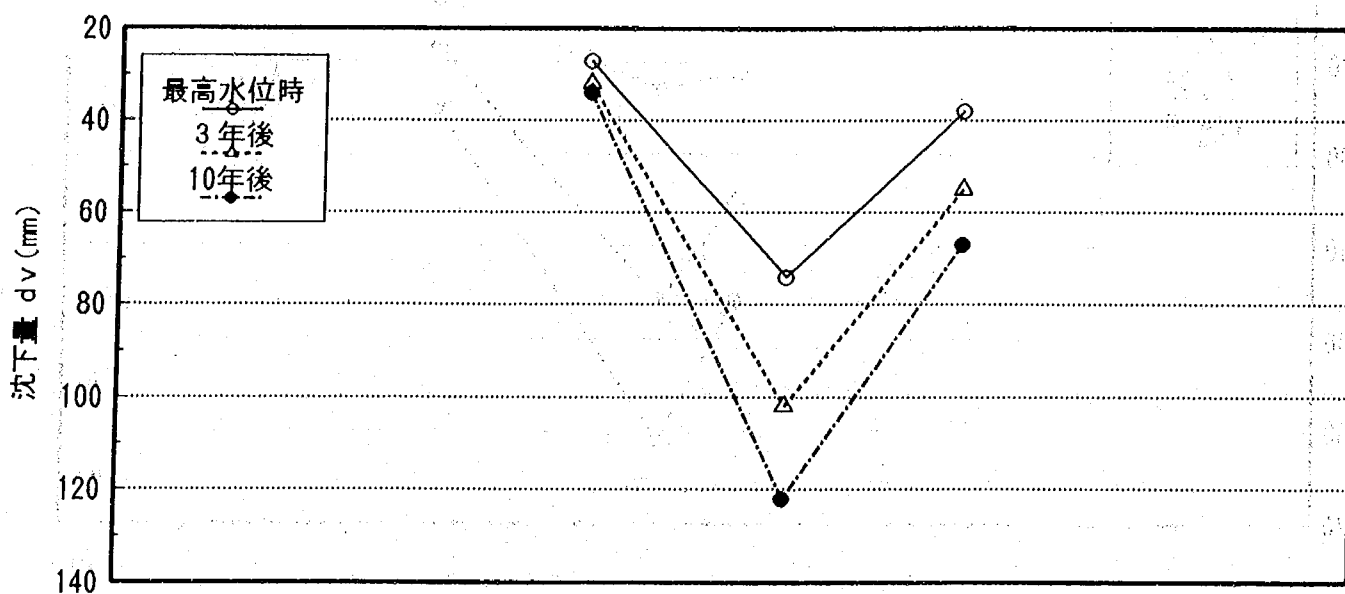
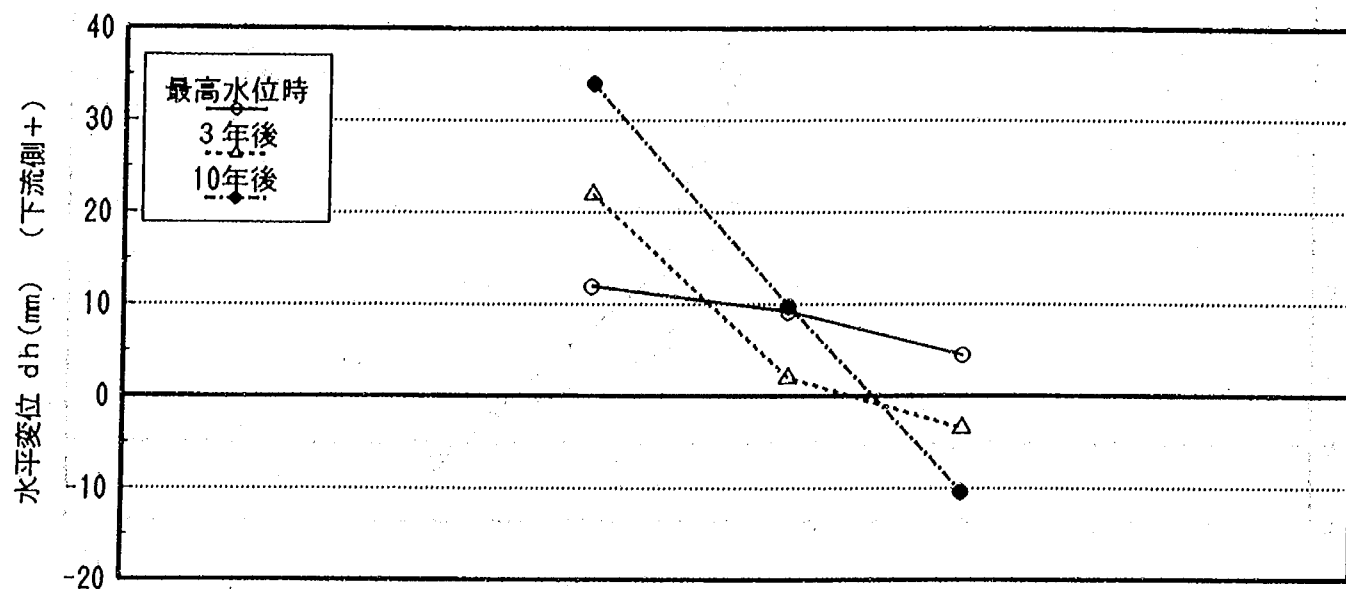


図 - 1. 20. (i) 最大横断面法面の変位 (N ダム)

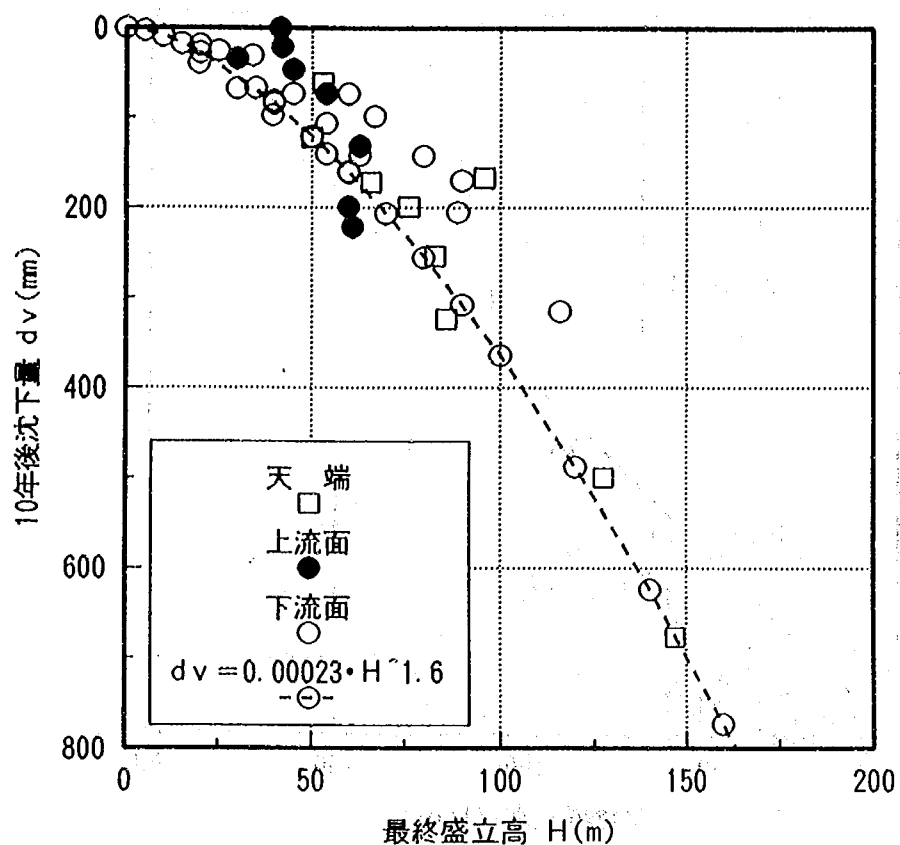


図-1.21 最大横断面法面の最終盛立高と10年後沈下量

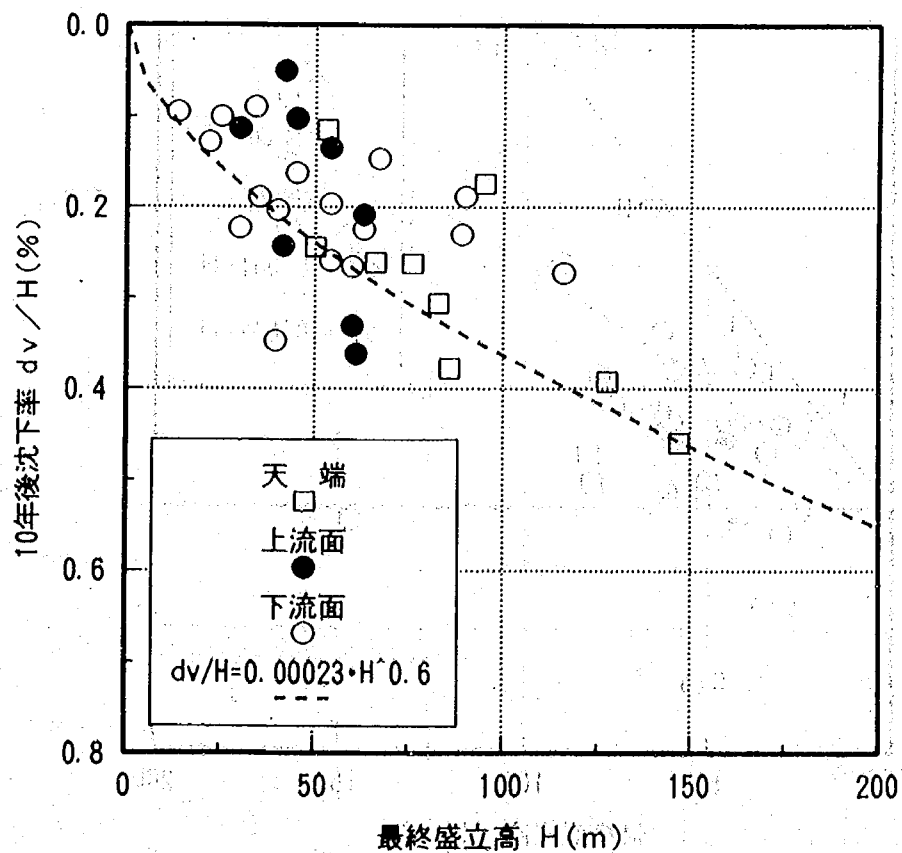


図-1.22 最大横断面法面の最終盛立高と10年後沈下率

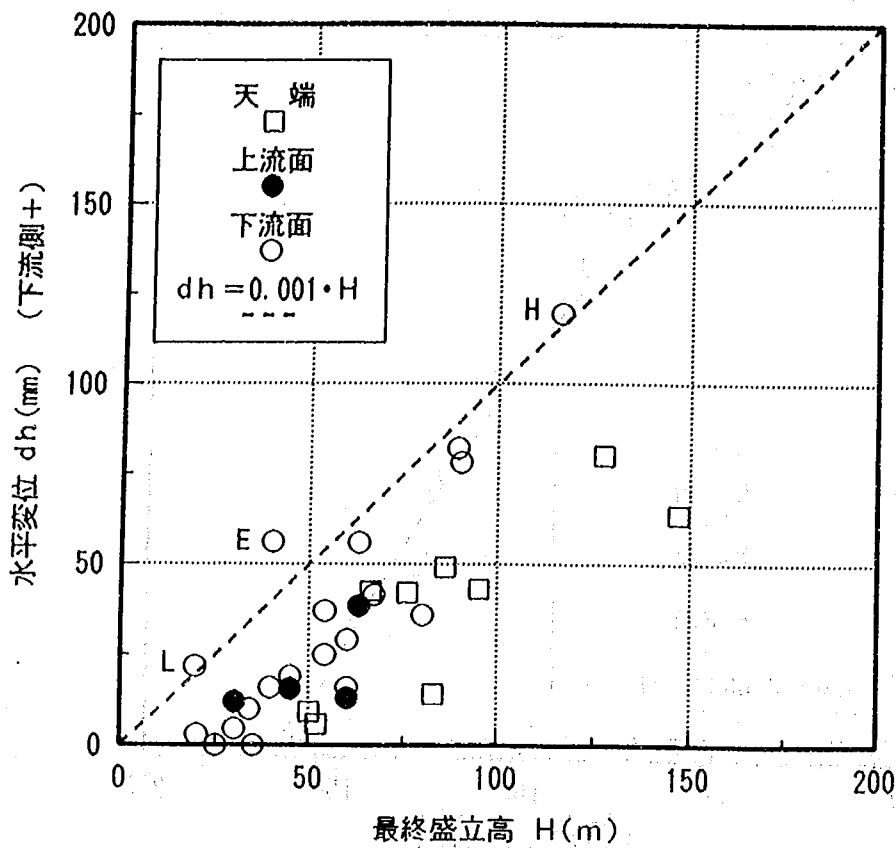


図 - 1.23 最大横断面法面の最終盛立高と最高水位時水平変位

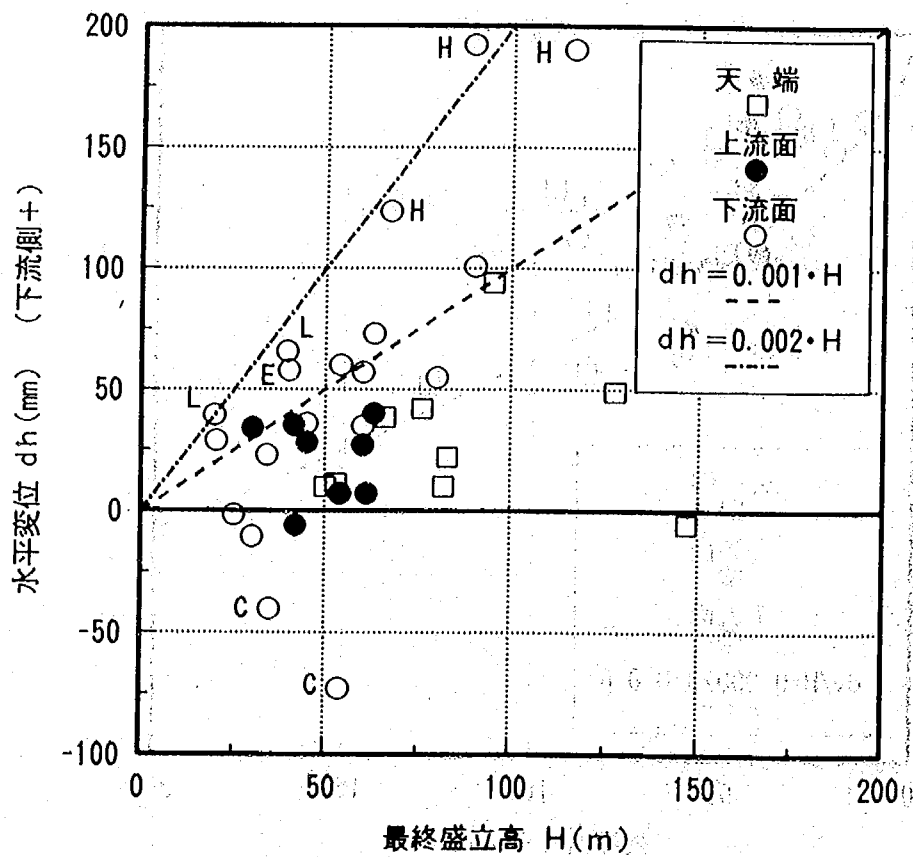


図 - 1.24 最大横断面法面の最終盛立高と10年後水平変位

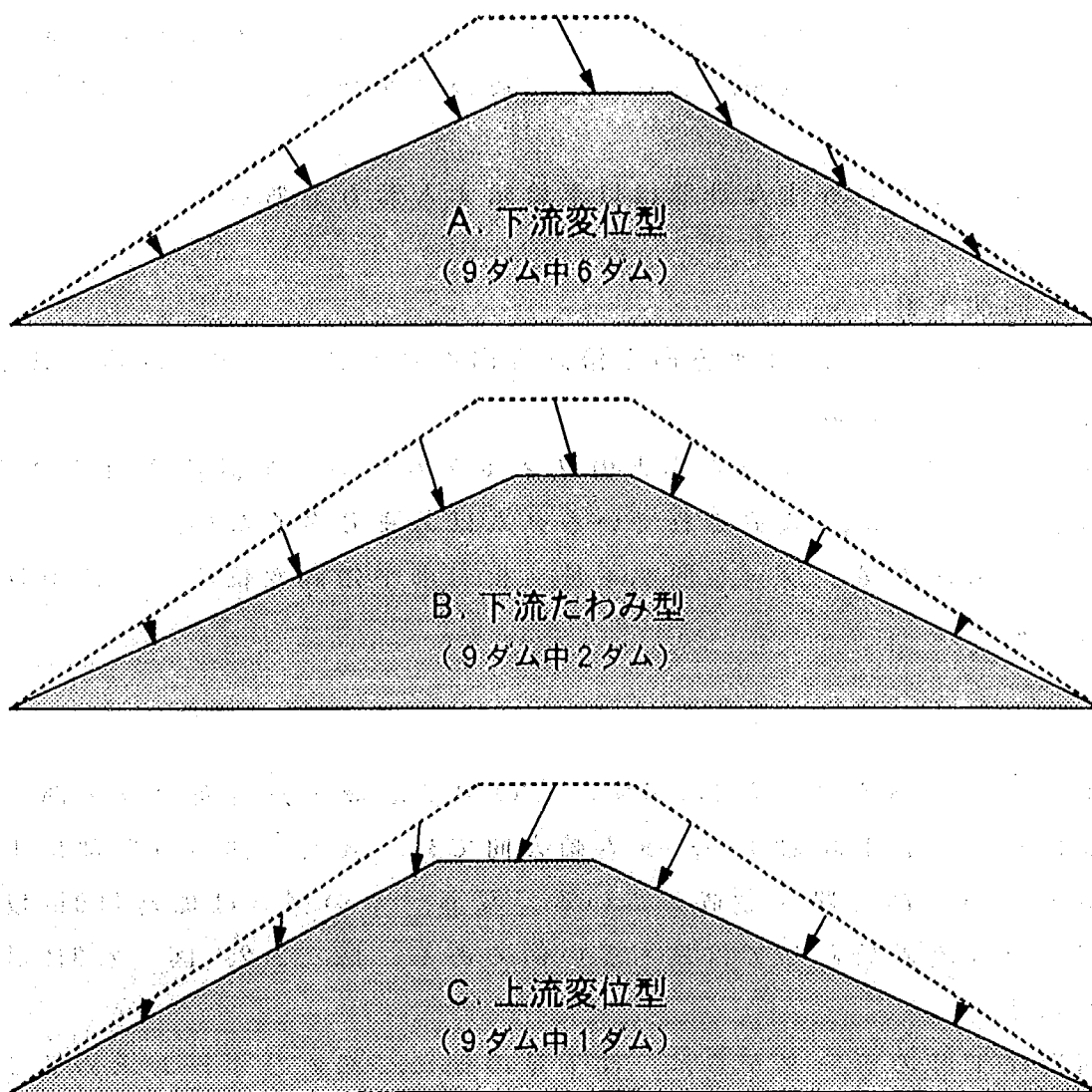


図 - 1.25 最大横断面法面の変位タイプ

第 2 章 堤体内部変位

フィルダム堤体内の変位を計測することは、盛立期間中の施工管理、および堤体の設計解析のための資料収集、さらには完成後の安全管理までを目的としている。

堤体内部変位を計測する主な計器は以下に示すとおりである。

- ① 層別沈下計
- ② ゾーン間沈下計
- ③ 相対水平鉛直変位計(水平方向と鉛直方向を別々に計測する計器を含む)
- ④ 境界面すべり変位計

層別沈下計は、建設されたほとんどのフィルダムにおいて設置されているが、②～④の計器については、設置されているダムはあまり多くない。

本章では、層別沈下量、ゾーン間沈下量、相対水平鉛直変位の3つの項目に分類しとりまとめた。

2.1 層別沈下

層別沈下計の設置例を図-2.1に示す。この例では最大横断面のコア部、上下流ロック部にそれぞれ1計器ずつ、ダム軸方向では、左右岸部のコア部に1計器ずつ、合計5つの計測計器を設置している。なお、このダムは堤高100m以上であり、層別沈下計設置数としては最も多い例である。図-2.2、図-2.3に計測結果の一例を示す。

また、層別沈下計のデータからは、沈下量の他に、鉛直ひずみも求めることができる。ここでは、層別沈下量と鉛直ひずみに区分して整理した。

なお、層別沈下計は、クロスアーム(沈下量検出部)を設置した直後に、直上を重機により締固めたことによって即時沈下を起こしている例がある。これは、盛土の上載荷重による沈下ではないため、補正の必要性があるが、今回は、計測値の補正は行わずに整理した。

2.2.1 層別沈下量

(1) 最大層別沈下量・沈下率

表-2.1に各層別沈下計の盛立完了時および3年後における最大層別沈下量(以降、最大沈下量)を示す。また、図-2.4に層別沈下計設置部の最終盛立高(以降、最終盛立高)と盛立完了時における最大沈下量との関係について示す。

コア部およびロック部の全計器の最大沈下量をみると、次の関係式が求められる。

$$d s_{max} = (0.005 \sim 0.02) \cdot H \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、

$d s_{max}$: 最大沈下量 (m)

H : 最終盛立高 (m)

これをコア部とロック部に区分すると、最大沈下量はそれぞれの関係式で表現できる。

$$d s_{maxC} = 0.01 \cdot H \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$d s_{maxR} = 0.025 \cdot H - 0.9 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ここに、

$d s_{maxC}$: コア部の最大沈下量 (m)

$d s_{maxR}$: ロック部の最大沈下量 (m)

(ただし、最終盛立高の範囲は40~140m程度の範囲とする)

このように、堤体内部の最大沈下量は、最終盛立高との関係で表すことができる。

図-2.5に最終盛立高と最大沈下率の関係について示す。最大沈下率とは、最大沈下量を最終盛立高で除した値である。コア部の最大沈下率は1%程度、ロック部は0.8~1.8%の範囲にほとんどの値が分布している。

(2) 最大沈下位置

図-2.6に最終盛立高と最大沈下量の生じた位置(以降、最大沈下位置)の関係について示す。コアおよびロックともに、最大沈下位置は最終盛立高の40~60%、つまりほぼ中央で生じている。また、コアにおいては、最終盛立高が高くなるにつれ、最大沈下位置が高標高側に移動する傾向にある。

(3) 最大沈下率と最大沈下位置

図-2.7に最大沈下率と最大沈下位置の関係について示す。コア部では、概ね一定位置に分布している。その値は、沈下率で0.7~1.2%、最終盛立高の40~60%の位置である。一方、ロック部では最大沈下率が大きくなるにつれ、その生じる位置も高標高側に移動する傾向がみられる。このように、コアとロックでは、沈下傾向が多少異なる。

(4) 層別沈下率

図-2.8に、各層の計測値を沈下率として表したものを示す。沈下率とは、盛立完了時における層別沈下量($d s$)を、最終盛立高で除した値である。ばらつきが大きく、この図からはあまり明瞭に示されないが、最終盛立高の50%付近で最

大値を示す曲線が描ける。その沈下率は、コア部がある程度分布の傾向がみられるのに対し、ロック部はばらつきが大きい。

なお、各ダムの層別沈下率曲線は付図-17~24としてとりまとめている。

(5) 3年後の層別沈下率

図-2.9に盛立完了後3年経過時の層別沈下率曲線を示す。実線は盛立完了直後、破線は3年後の層別沈下率曲線である。高さ方向で比較すると高標高部での沈下率増加傾向が示される。この傾向は計測したすべてのダムで認められ、その増加率は大きなもので0.6%程度の値を示す。(付図-44~59参照)

一方、低標高部では沈下率の減少傾向が現れ、この傾向は16事例中9つの事例で確認される。これは、盛立完了後より膨張しているかのような傾向を示しているが、このような現象が現実に生じている事は堤体の外部変形による結果から容易には信じ難い。考えられる原因としては、湛水による水圧荷重の作用によって堤体下流側にたわみが生じ、計測区間長が長くなったこと等が挙げられる。

2.1.2 鉛直ひずみ

鉛直ひずみは、層別沈下計のクロスアーム間の圧縮量とその区間長より求められる。図-2.10にクロスアームの推移模式図を示し、次式でひずみを求める。

$$\varepsilon_v = \frac{ds_2 - ds_1 + dT}{T + dT} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

ここに、

ε_v : 鉛直ひずみ (%)

ds_1, ds_2 : 任意日数経過時における A_1, A_2 の沈下量 (m)

dT : A_2 を設置した時点までの A_1 の沈下量 (層厚の増分) (m)

T : 層間距離 (層厚) (m)

ここで注意しなければならないのは dT の値が計測されていない場合があることである。 dT を計測しておかなければ、 ds_1 と ds_2 の値を継続的に計測しても正確なひずみが把握できないので注意を要する。

表-2.2に堤体盛立完了時の最大鉛直ひずみと鉛直ひずみ分布形状について示す。なお、鉛直ひずみ分布形状は図-2.11に示す4タイプに分布した。Aタイプは、最大鉛直ひずみが最低標高部で生じ、高標高部に向かうほど双曲線的に減少していく双曲線タイプ。Bタイプは、最大鉛直ひずみが最低標高部で生じ、高標高部に向かって直線的に減少する直線タイプ。Cタイプは、最大鉛直ひずみが最低標高部よりある高さまでほぼ同レベルで分布し、その後高標高部に向かって直線的に減少していく台形タイプ。Dタイプは、最低標高部よりある高さまで鉛直

ひずみは直線的に増加していき、ピークを示した後は高標高部に向かって直線的に減少していく山型タイプである。

コア部とロック部には分布形状に違いがある。コア部は、Bタイプを示す例が多く、Dタイプはない。ロック部は全タイプのもものが認められ、集中していない。

この鉛直ひずみの分布形状に影響を及ぼすものとして、応力条件はもとより、材料の圧縮特性が影響していると考えられる。久納ら³⁾は、鉛直ひずみ分布形状は、層別沈下量の分布形状よりも堤体材料の変形特性(弾性係数、ポアソン比)の違いに敏感に反応するとし、築堤解析での逆解析例を示している。鉛直ひずみ分布形状は、堤体の変形特性の解析を行う上で一つの指標となると思われる。

最終盛立高と盛立完了直後の最大鉛直ひずみの関係を図-2.12に示す。コア部では最終盛立高に対して2~8%、ロック部では2~6%の範囲の値を示す。コア部の計測値は、ばらつきが大きく相関性は認められないが、ロック部の計測値は一つのデータを除けば最終盛立高が高くなるにつれ、最大鉛直ひずみも大きくなる傾向が確認できる。

2.1.3 まとめ

層別沈下計の計測値を収集し比較した結果、一般的な傾向として次のようなことが確認された。

- ① 最大沈下量は最終盛立高の下から40~60%の位置で生じ、その沈下量は、最終盛立高との関係で表すことができる。

$$d_{s_{max}} = (0.005 \sim 0.02) \cdot H$$

- ② 盛立完了後3年経過時の層別沈下率は、盛立完了直後に比べ、高標高部での増加傾向がすべてのダムでみられた。また、逆に低標高部では多くのダムで減少傾向が現れた。

- ③ 鉛直ひずみで表現すると、その分布形状は4タイプに分類される。

- ④ 最大鉛直ひずみは、最終盛立高に対し、コア部で2~8%、ロック部で2~6%程度を示す。

2.2 ゾーン間沈下計

層別沈下計の計測結果より、同じ標高のコア部とロック部には沈下量に差が生じることがわかった。このゾーン間の沈下量の差が大きくなるとゾーン境界部は、せん断応力が増加し、さらにそれが進行するとずれが生じる。そのため、ゾーン型フィルダムではゾーン間の剛性を出来るだけ漸変させ、ずれが生じないように設計されており、その確認の意味でゾーン間沈下計が設置されている。本項では

V ダムの例を示す。

盛立に伴うゾーン間の沈下量の差を図-2.13.(a)に示す。なお、沈下量はある可動点(測点)との相対的な値として表されるため、コア中央部の沈下を0とした相対量で示した。なお、コア中央部の沈下量に比べて沈下量が少ない測点では、相対沈下量がマイナスになり、図中では隆起しているかのように表されるので注意を要する。上流側では、盛立高が高くなるにつれて、コアとフィルタ間の沈下量の差が大きくなり、2測点間の差は最大15cmとなっている。また、ロックとフィルタ間についても同様に最大19cmの差を示し、ロックの沈下量の方がやや小さくなっている。ただし、フィルタとロック間では、沈下量が緩やかに変化しているのに対し、フィルタとコア間では急変している。下流側では盛立に伴い、コア、フィルタ、ロックの順に大きな沈下を示し、盛立が進むにつれて、フィルタの沈下量がコア、ロックに比べて小さくなっている。上流側と比べて違うことは、コアとフィルタ間の沈下量が漸変していることである。なお、盛立完了時においては上下流側ともフィルタを中心として山型の相対沈下傾向を示す。

図-2.13.(b)に試験湛水時の計測結果を示す。湛水開始時の水位はWL.326.0mで、一時、最高水位のWL.400.0mに達し、その後WL.340.0mまで低下している。上流側の計測値によると、最高水位時にフィルタ、ロックの境界部に大きな沈下が起こり、水位低下に伴い、全体的に沈下が促進したことを示す。その値は、平均10mm程度である。下流側の計測値は、最高水位時にコア部で相対的に上昇し、ロック側へ向かうほど大きな沈下傾向を示す。ただし、次項で示す相対水平鉛直変位計によって計測された鉛直変位傾向との対応は明瞭ではない。

なお、層別沈下計は、沈下量を直接長さのスケールで計測するのに対し、ゾーン間沈下計は図-2.14に示すように埋設された傾斜計の角度を計測し、(2.8)式のように長さ(沈下量)に換算するものである。

$$\delta_1 = l_1 \cdot \tan \theta_1$$

$$\delta_2 = \delta_1 + l_2 \cdot \tan \theta_2$$

$$\delta_n = \delta_{n-1} + l_n \cdot \tan \theta_n \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

そのため、定性的にはゾーン間の沈下の様子を充分把握出来るが、定量的には層別沈下計と比べて、精度が落ちると思われる。

2.3 相対水平鉛直変位

相対水平鉛直変位計は、下流ロックゾーンの内部変位を求めるために設置される。この計器を設置しているダムがまだ少ないために計測されたデータも少ない。よって、ここでは、計測されたダムの一例について示す。

計測は、堤体下流法面に設置された計測室で行われる。水平変位は変位棒の伸縮を変位計により検出し、鉛直変位はマノメータの値を読みとる。計測値は下流法面のbを基準とした相対量である。具体的な計測機能については土木研究所資料第2070号⁴⁾を参照されたい。

図-2.15.(a)に堤体盛立時の計測結果を示す。計測区間の中央部付近で最大沈下が生じ、その値は735mmである。水平変位は、最大沈下と同じ位置で生じ、その値は79mmである。また、水平変位は、全ての計測位置において下流側に変位している。

図-2.15.(b)に試験湛水時の計測結果を示す。貯水位WL.326mの湛水開始時を基準とし、最高水位WL.400mに達した後、WL.340mに低下するまでの変位を検討する。鉛直変位は堤体中央部(フィルター側)ほど相対的に上昇する現象を示し、下流側に向かうほど沈下量が多い傾向を示している。水平変位は、盛立時と同様に全ての計測位置において下流側変位を示す。その値は、堤体中央部ほど大きく、最高水位時に最大26mmの水平変位を示している。また、水位の低下により水平変位は最高水位時の約2/3まで戻っている。堤体は、あたかもコアを含めた上流側が浮力によりせり上がり、その下流が押さえつけられたような挙動を呈している。

表-2.1.(a) 最大層別沈下量 (コア部)

ダム名	位置	計器 番号	計測部 盛立高 H(m)	盛立完了時			3 年経過後		
				沈下量 ds (mm)	沈下率 ds/H(%)	位 置 h/H	沈下量 ds (mm)	沈下率 ds/H(%)	発生位置 h/H
Fダム	中央	V-2	92.7	800	0.862	(0.442) (0.604)			
	左岸	V-4	64	460	0.718	0.578			
Eダム	中央		130	1500	1.154	0.615	1900	1.462	0.615
Hダム	中央	V-2	144.3	3140	2.176	0.547	3665	2.539	0.547
Lダム	中央		66	606	0.904	0.380	716	1.068	0.529
Oダム	中央		60	540	0.900	0.333			
Pダム	右岸	12	52	422	0.811	0.576	426	0.819	0.576
	中央	19	74	680	0.918	0.540	674	0.910	0.540
	左岸	26	52	462	0.888	0.576	522	1.003	0.576
Sダム	中央	CR-1	83.5	809	0.968	0.455	847	1.014	0.455
	左岸	CR-3	66.5	759	1.141	0.390			
Tダム	中央	V-2	84	1515	1.803	0.619	1484	1.766	0.619
Uダム	中央		64	371	0.579	0.484	414	0.646	0.484
Vダム	中央	CV-2	113	1328	1.175	0.528			—
	左岸	CV-4	69.7	692	0.992	0.436			—
	右岸	CV-5	72.51	669	0.922	0.413			—
Wダム	中央		90	428	0.476	0.587			
Xダム	中央		62	463	0.748	0.425			

表-2.1.(b) 最大層別沈下量(ロック部)

ダム名	位置	計器 番号	計測部 盛立高 H(m)	盛立完了時			3年経過後		
				沈下量 ds(mm)	沈下率 ds/H(%)	位 置 h/H	沈下量 ds(mm)	沈下率 ds/H(%)	発生位置 h/H
Fダム	上流	V-1	80	760	0.95	0.437			
	下流	V-3	74	860	1.162	0.608			
Hダム	上流	V-5	124	2140	1.725	0.662	2634	2.124	0.662
	下流	V-4	119	2050	1.723	0.546	2337 2358	1.963 1.981	0.546 0.664
Lダム	下流		44	425	0.965	0.454	437	0.993	0.454
Pダム	下流	19	54	393	0.727	0.925	444	0.822	0.925
Sダム	下流	CR-2	60	224	0.373	0.450	499	0.831	0.450
Tダム	上流	V-1	78	1315	1.685	0.782	1807	2.316	0.782
	下流	V-3	60	1098	1.830	0.600	1161	1.935	0.600
Vダム	上流	RV-1	89.3	1324	1.482	0.486			
	下流	RV-3	77.7	1126	1.449	0.509			
Wダム	上流	1	63	534	0.846	0.507			
	下流	3	60	534	0.890	0.566			

表-2.2 盛立完了時最大鉛直ひずみと分布形状

	ダム名	計測位置	計測部 ダム高 H(m)	最大鉛直 ひずみ $\varepsilon_{vmax}(\%)$	鉛直ひずみ 分布形状
コ ア 部	Lダム	中 央	66	7.5	A
	Pダム	左岸(26)	52	2.0	C
		中央(19)	74	3.5	B
		右岸(12)	52	2.5	B
	Sダム	中 央	83.5	6.5	B
		左 岸	66.5	6.0	C
	Vダム	左 岸	70	4.0	B
		中 央	113	(7.5)	C
		右 岸	73	5.0	B
	Wダム	中 央	90	3.0	B
	Xダム	中 央	62	4.2	A
ロ ッ ク 部	Lダム	下 流	44	4.0	A
	Pダム	下 流	54	2.0	B
	Sダム	下 流	60	5.0	A
	Vダム	上 流	89	5.5	D
		下 流	78	5.0	C
	Wダム	上 流	63	5.0	A
		下 流	60	4.0	D

A : 双曲線タイプ B : 直線タイプ C : 台形タイプ D : 山形タイプ

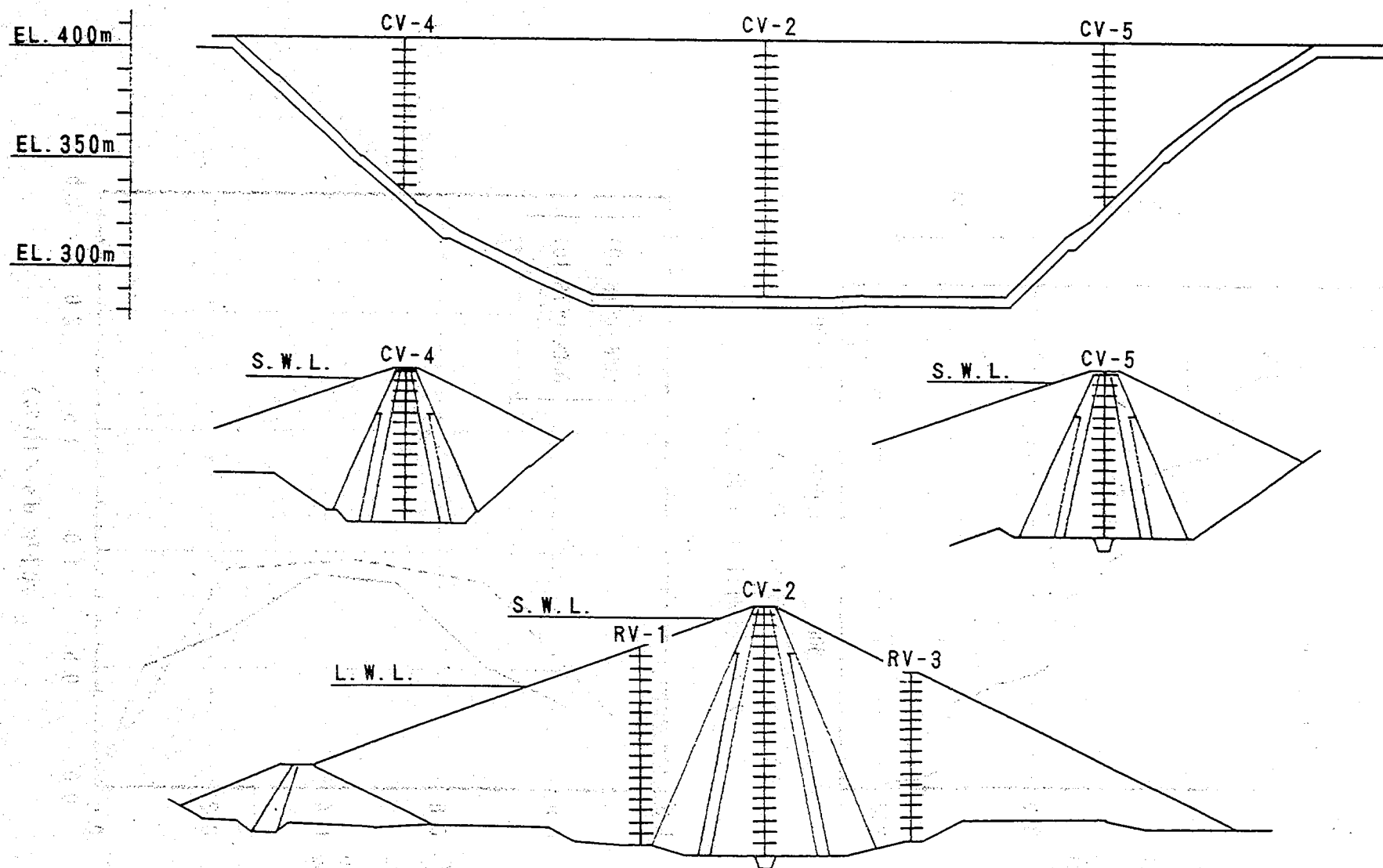


図-2.1 層別沈下計設置例 (Vダム)

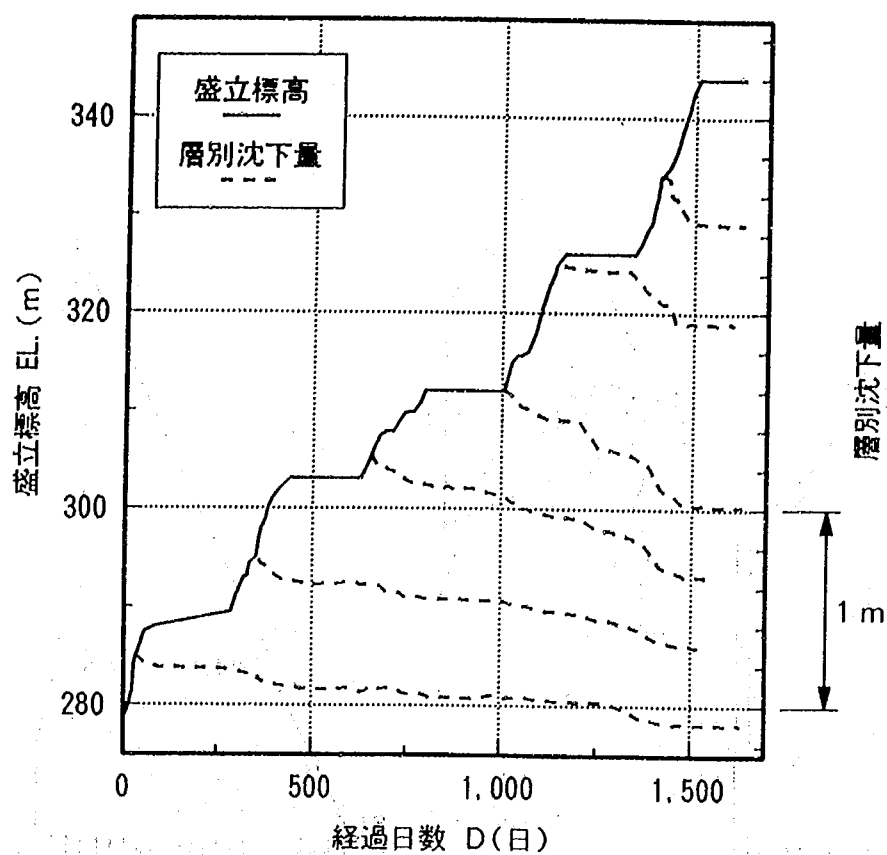


図 - 2.2 層別沈下計測結果 (L ダム)

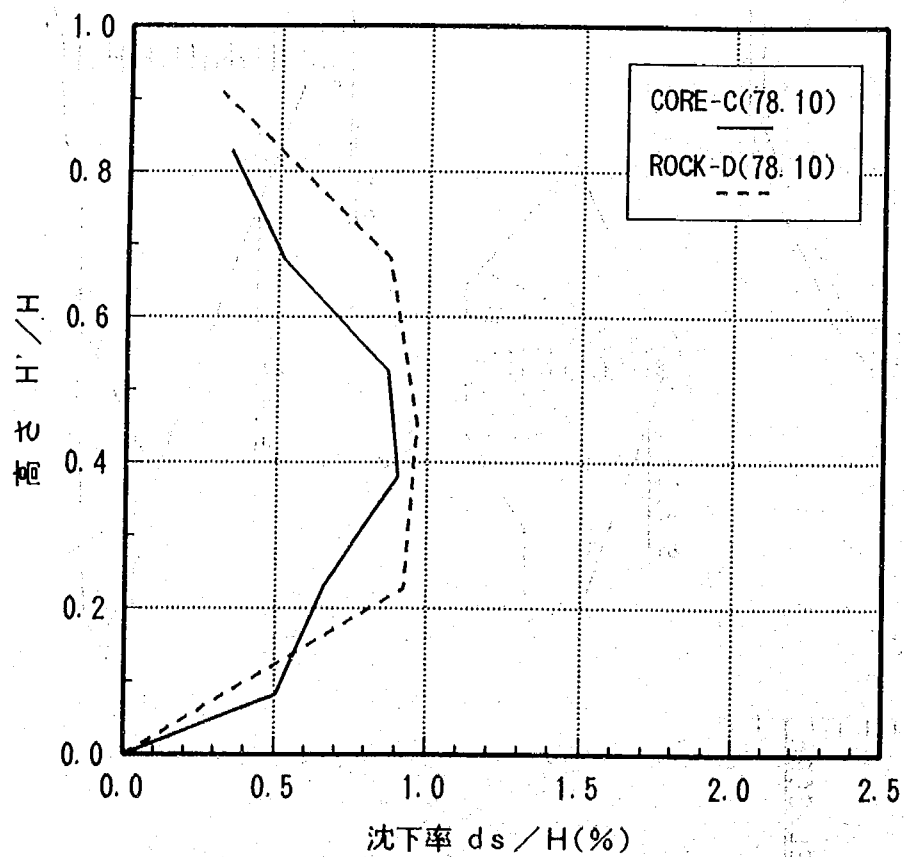


図 - 2.3 層別沈下率曲線 (L ダム)

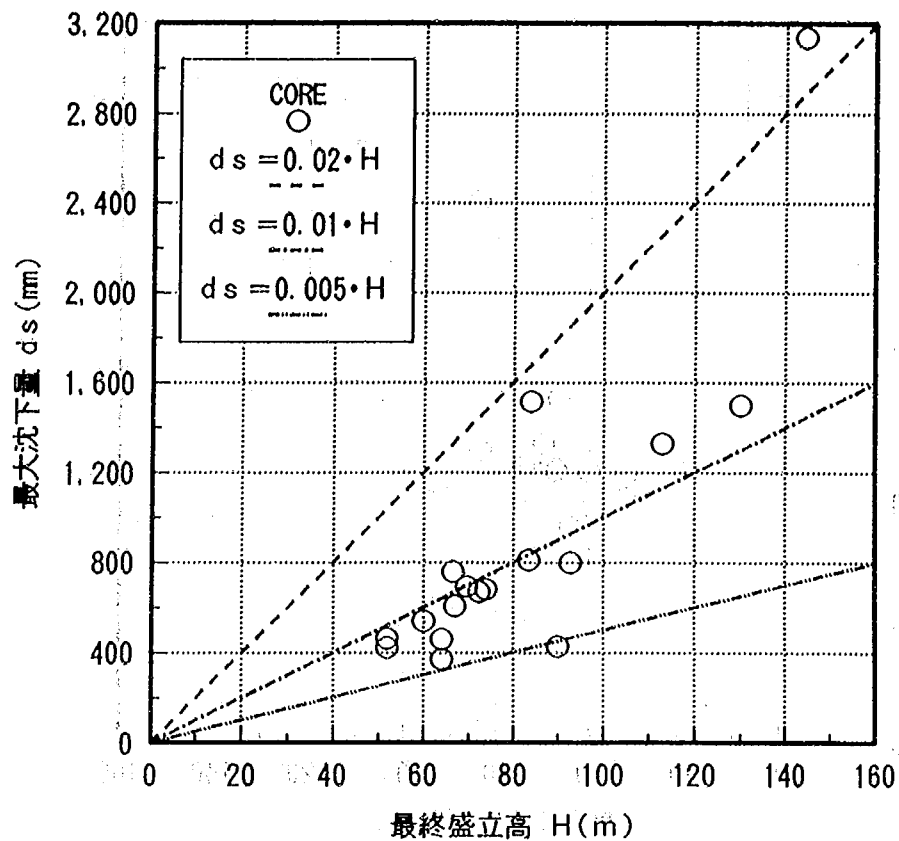


図 - 2.4.(a) 最終盛立高と最大沈下量 (コア部)

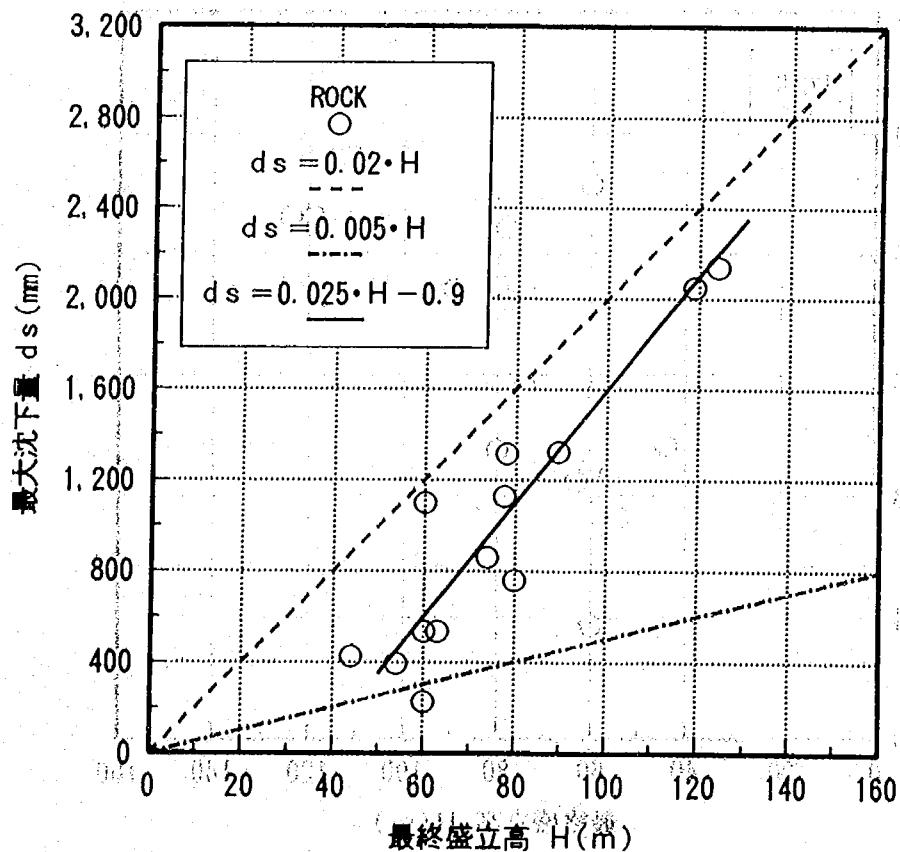


図 - 2.4.(b) 最終盛立高と最大沈下量 (ロック部)

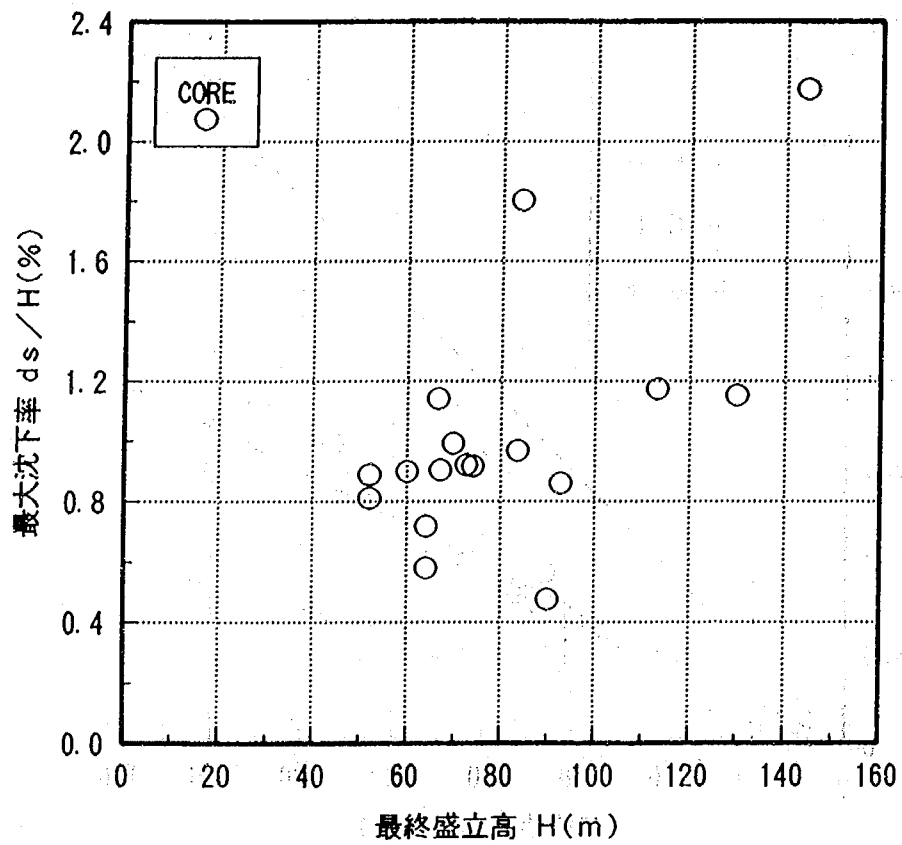


図 - 2.5. (a) 最終盛立高と最大沈下率 (コア部)

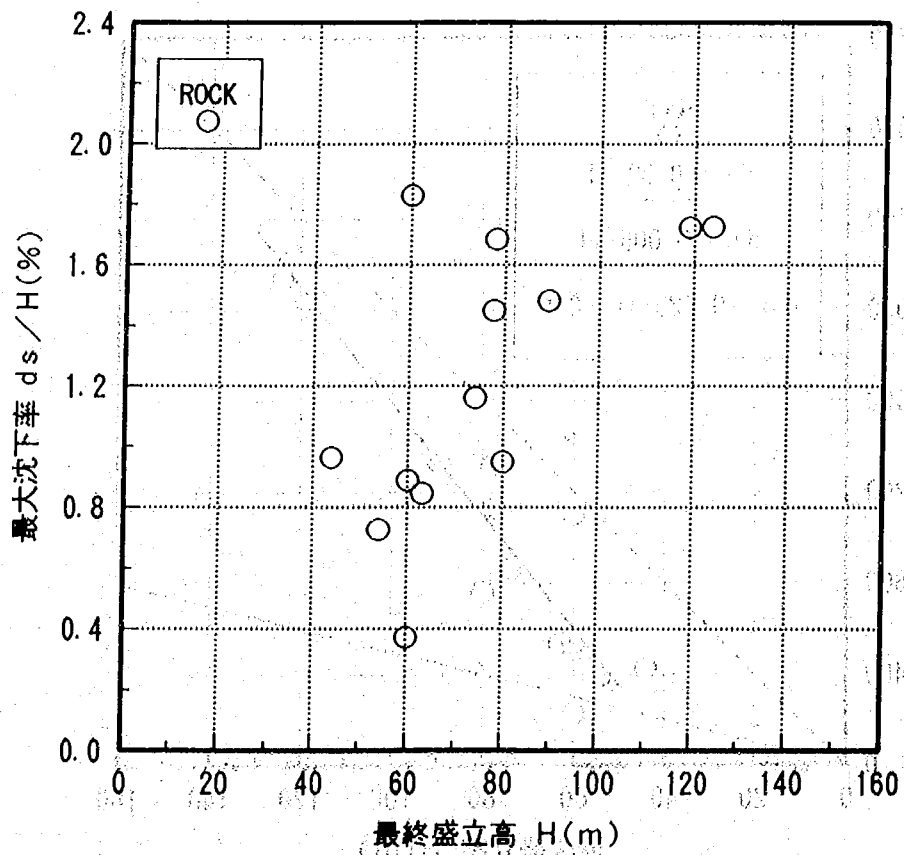


図 - 2.5. (b) 最終盛立高と最大沈下率 (ロック部)

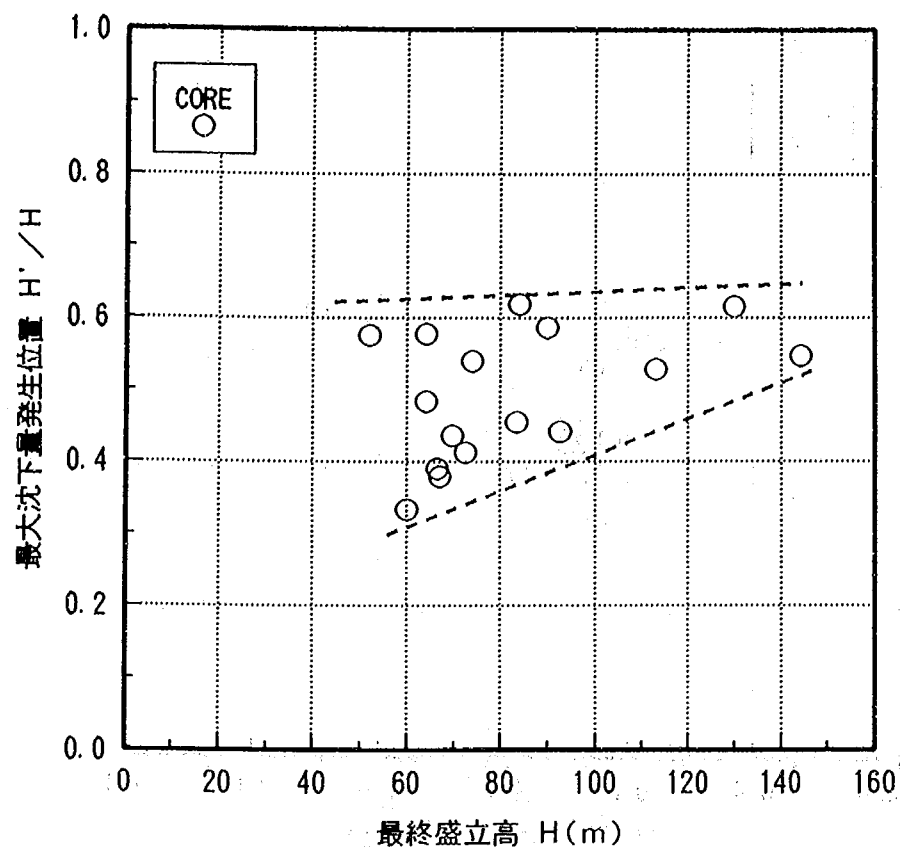


図 - 2.6. (a) 最終盛立高と最大沈下量発生位置 (コア部)

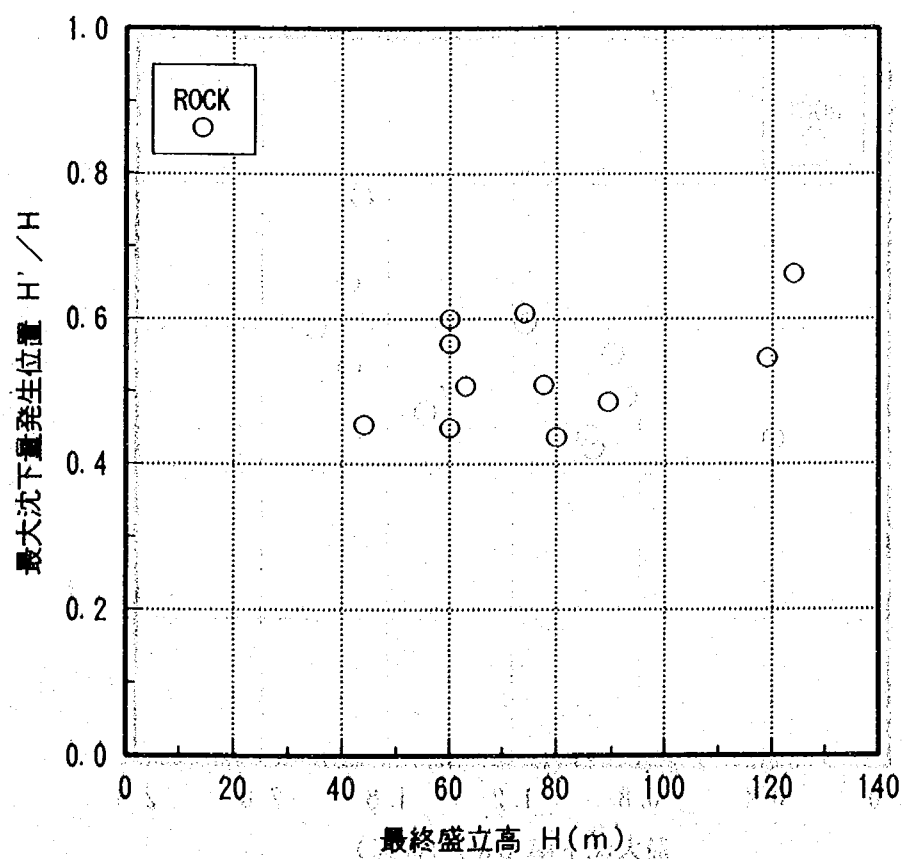


図 - 2.6. (b) 最終盛立高と最大沈下量発生位置 (ロック部)

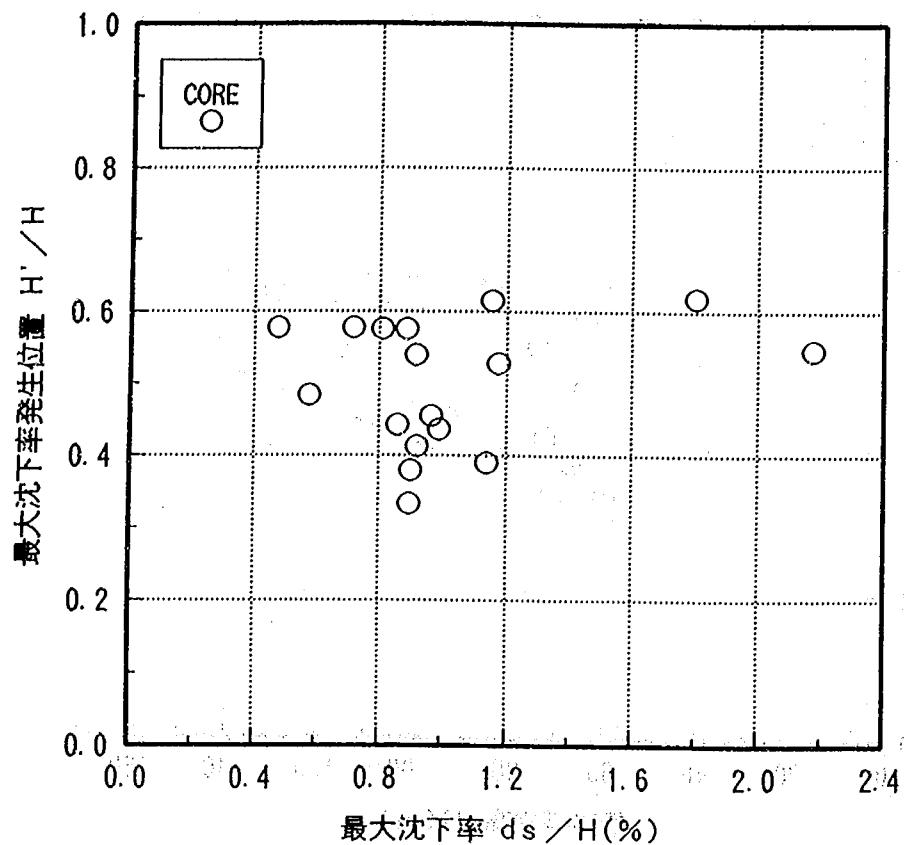


図 - 2.7. (a) 最大沈下率と発生位置 (コア部)

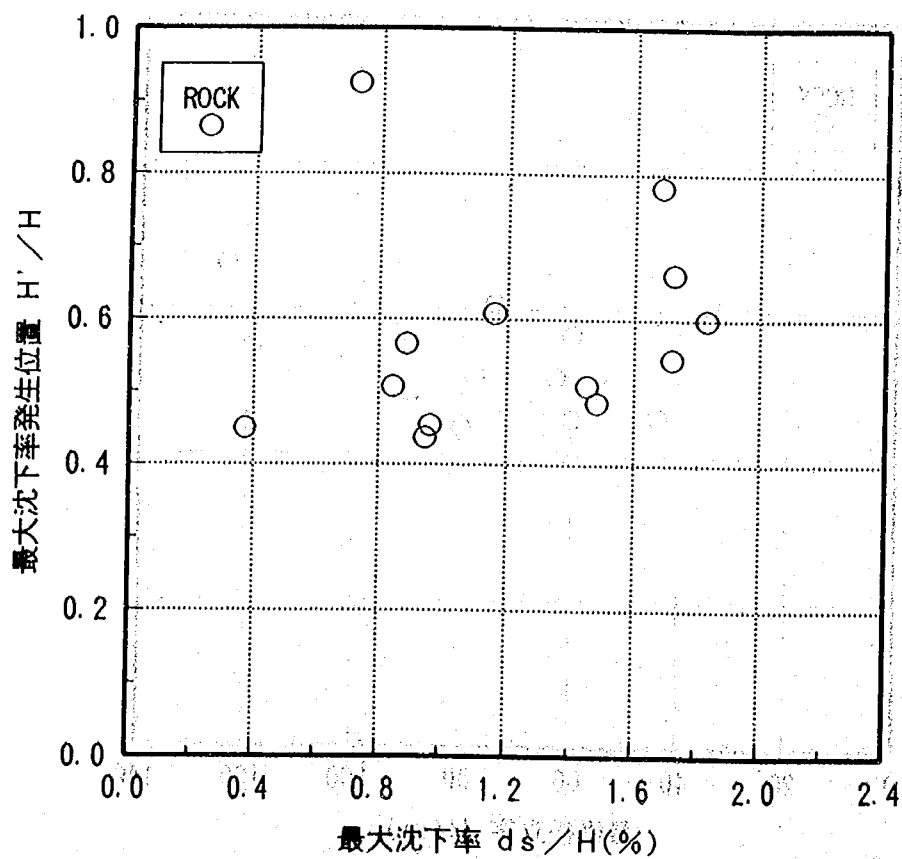


図 - 2.7. (b) 最大沈下率と発生位置 (ロック部)

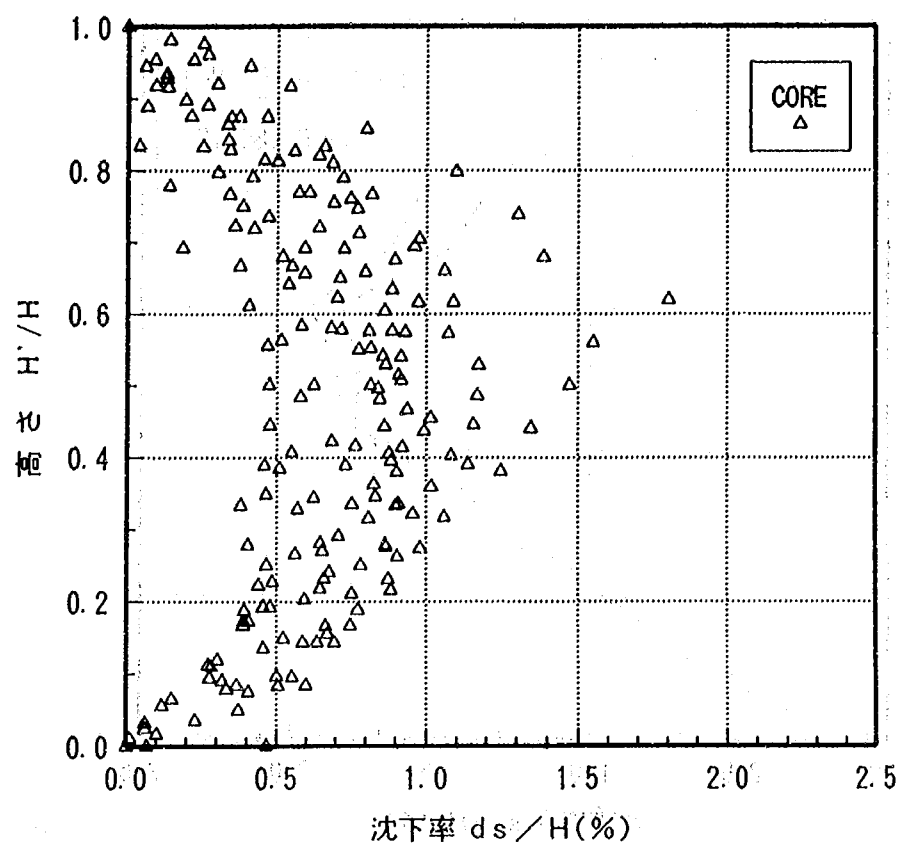


図-2.8.(a) 層別沈下率 (コア部)

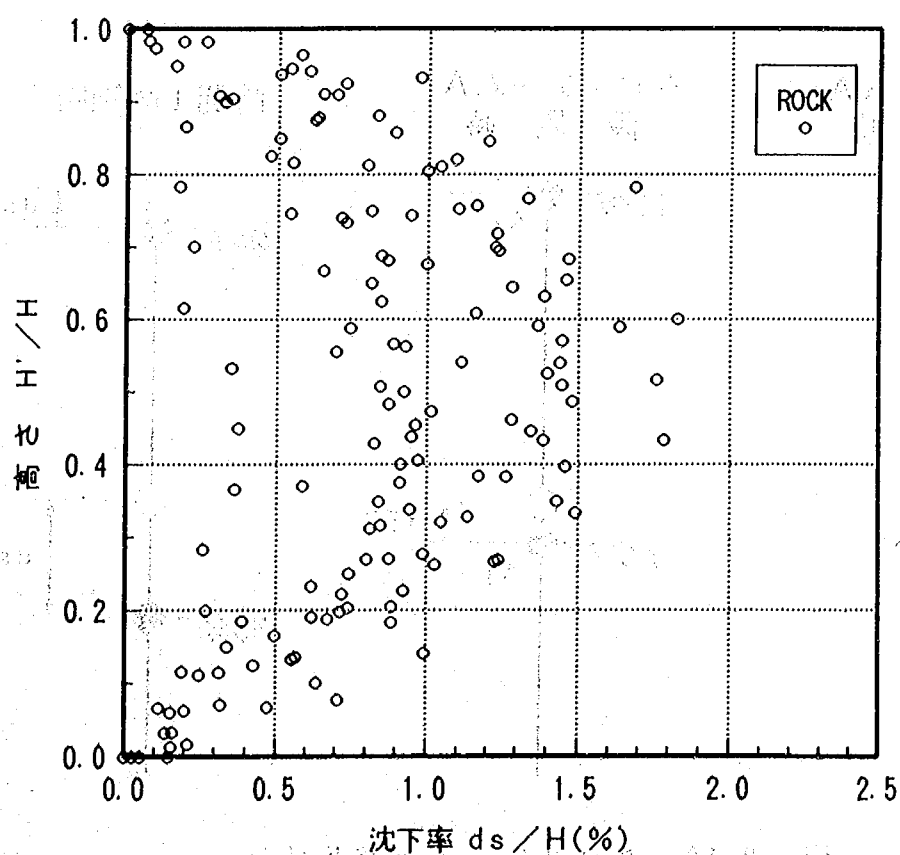
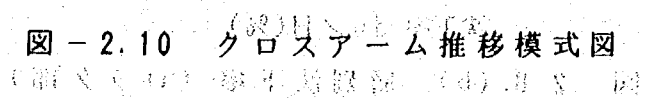
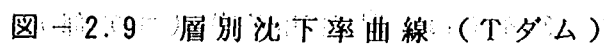


図-2.8.(b) 層別沈下率 (ロック部)



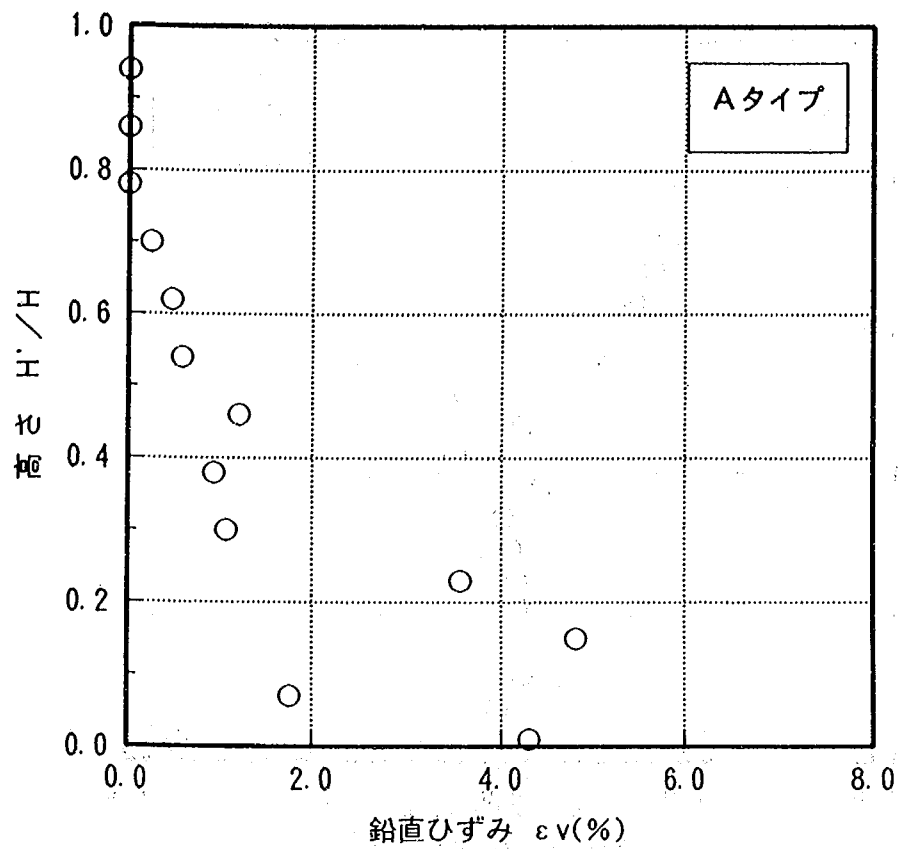


図 - 2.11.(a) 鉛直ひずみ分布形状 (W ダム)

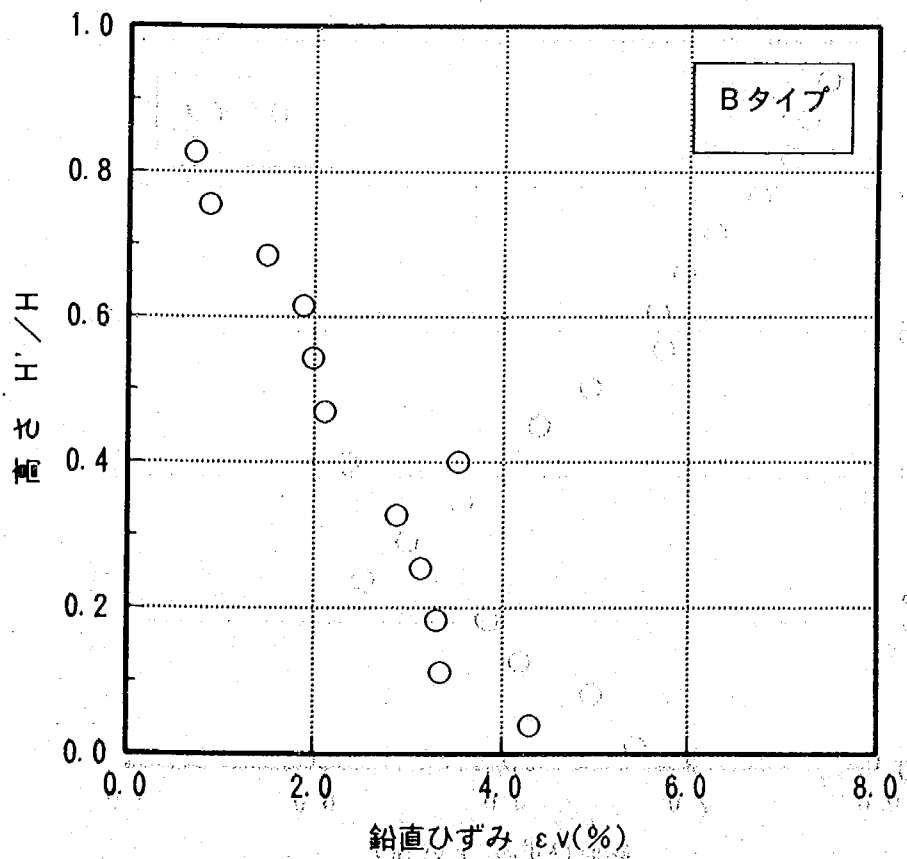


図 - 2.11.(b) 鉛直ひずみ分布形状 (V ダム)

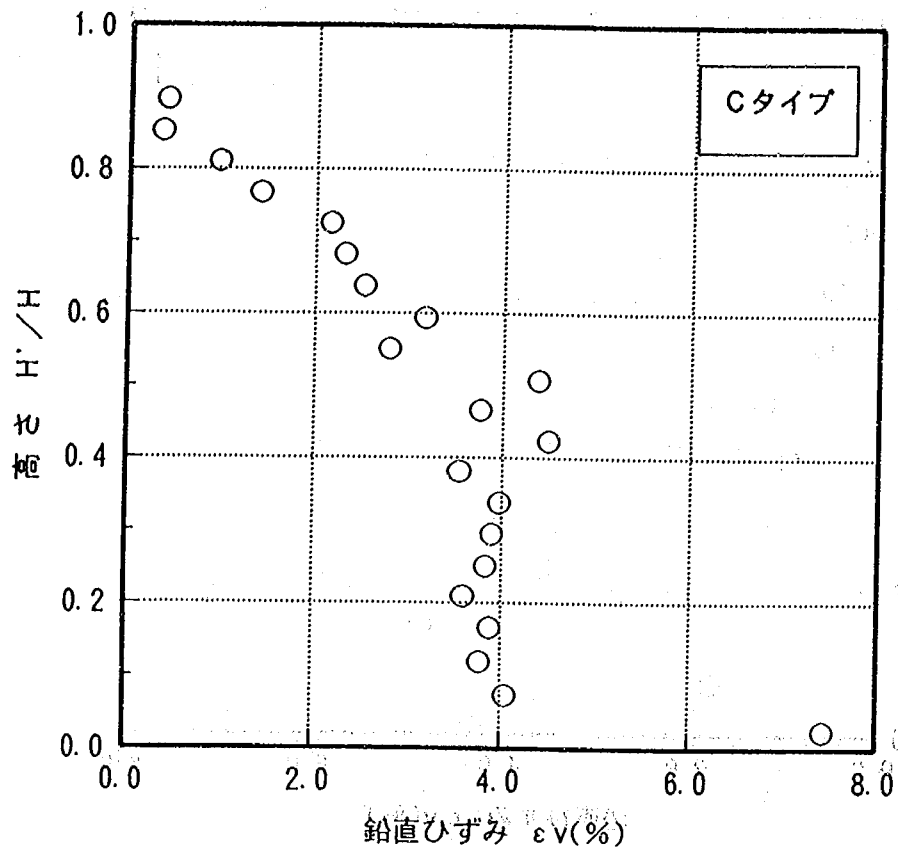


図 - 2.11. (c) 鉛直ひずみ分布形状 (V ダム)

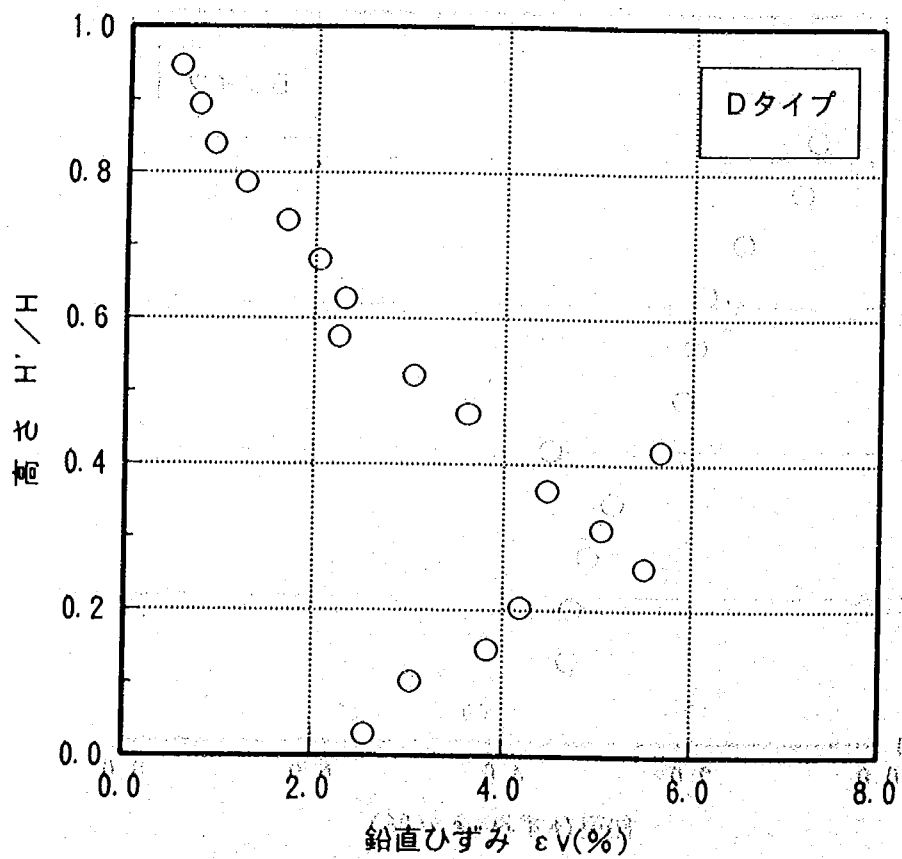


図 - 2.11. (d) 鉛直ひずみ分布形状 (V ダム)

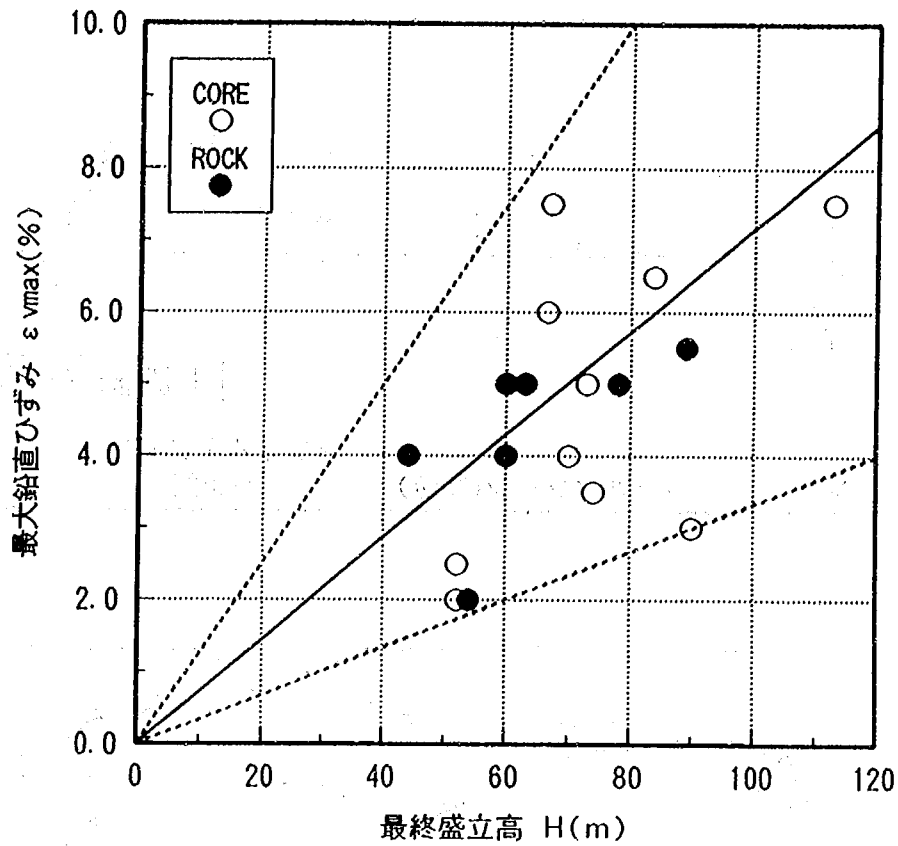


図 - 2.12 最終盛立高と最大鉛直ひずみ

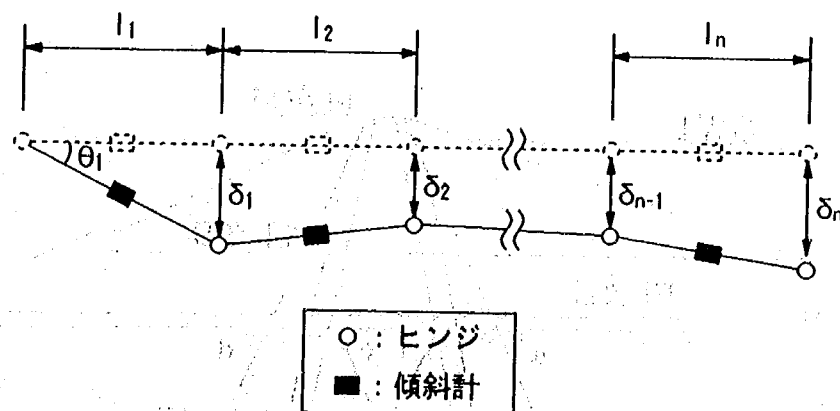


図 - 2.14 ゾーン間沈下量計測方法

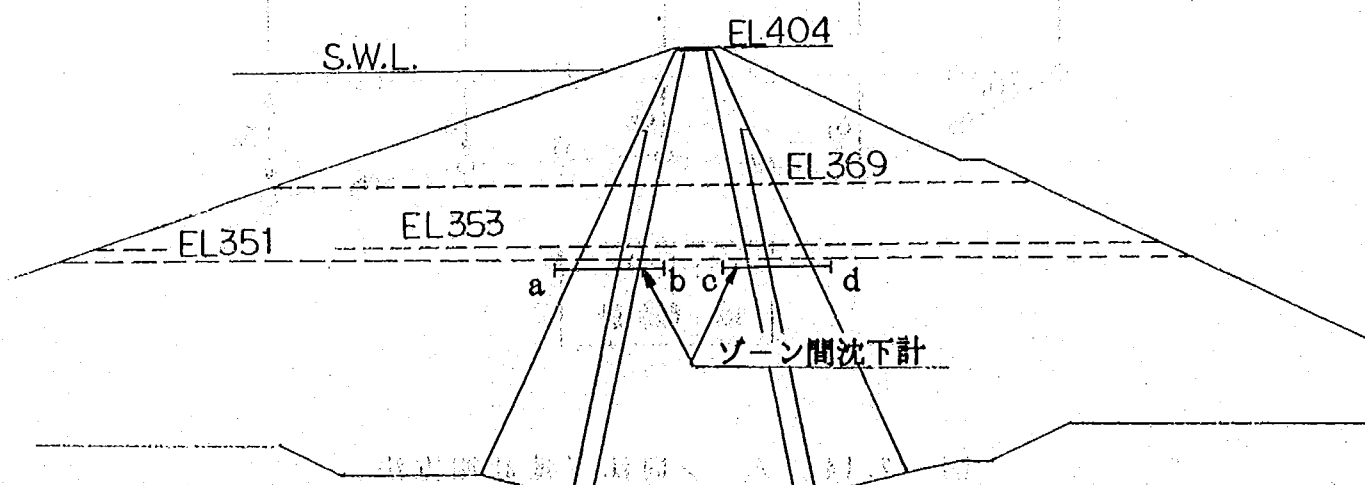
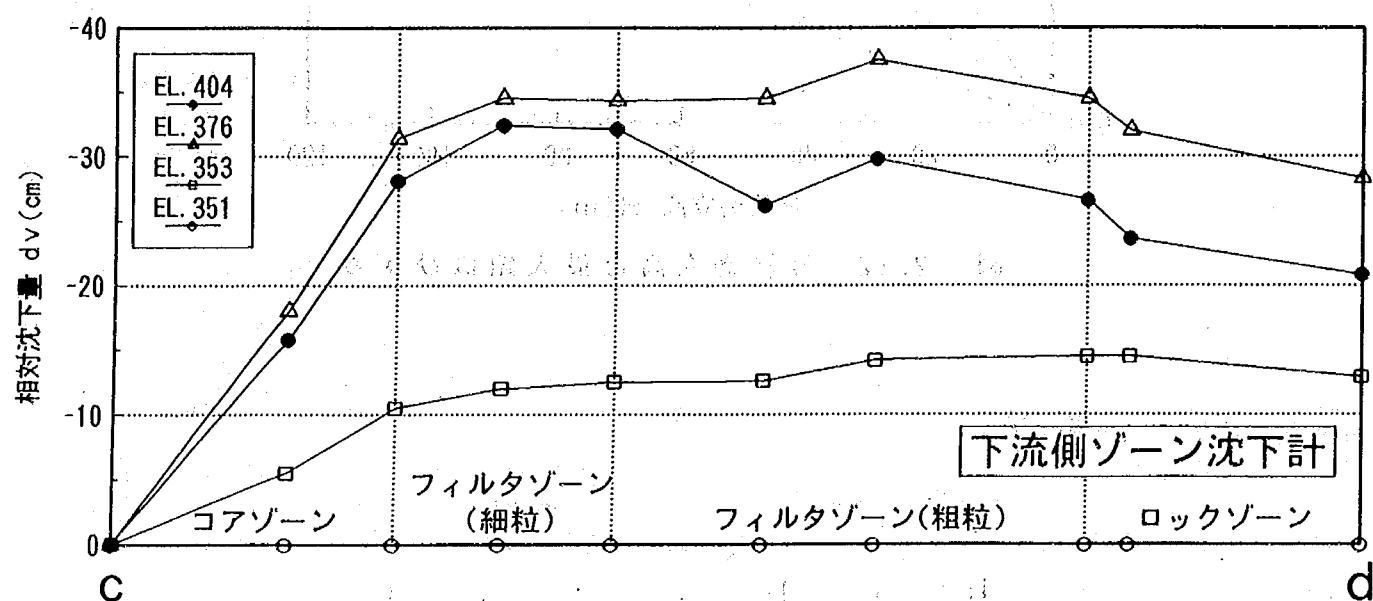
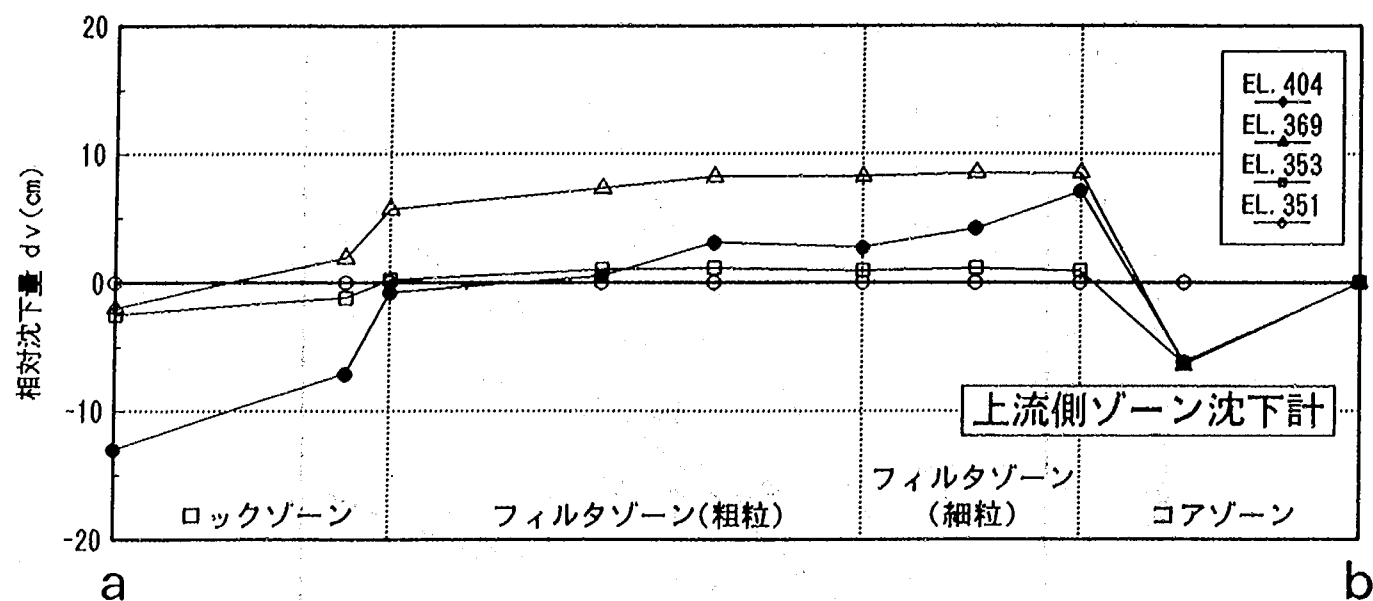


図 - 2.13. (a) ゾーン間沈下量計測例 (Vダム, 盛立時)

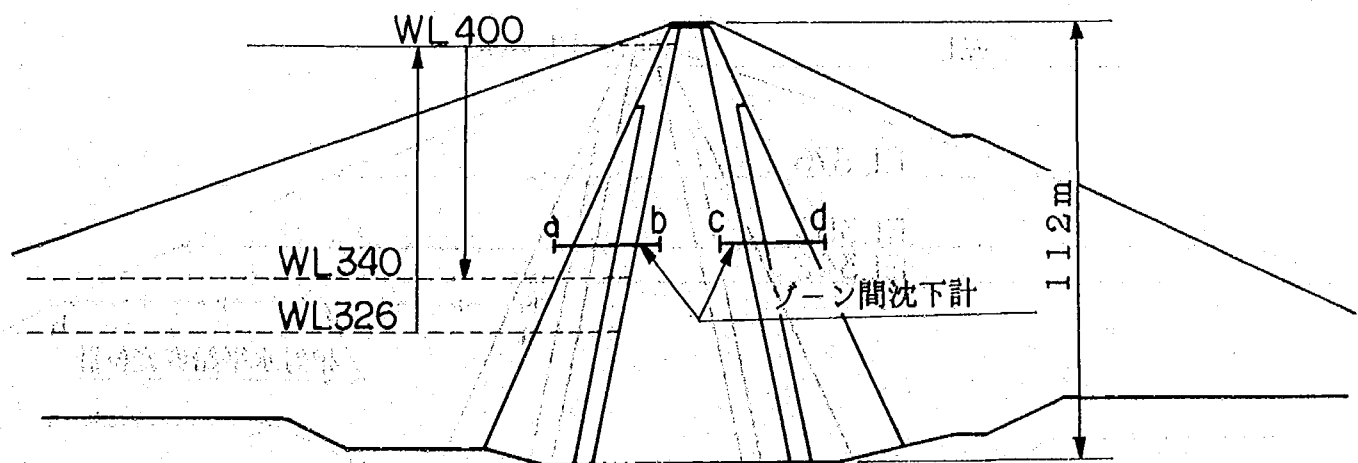
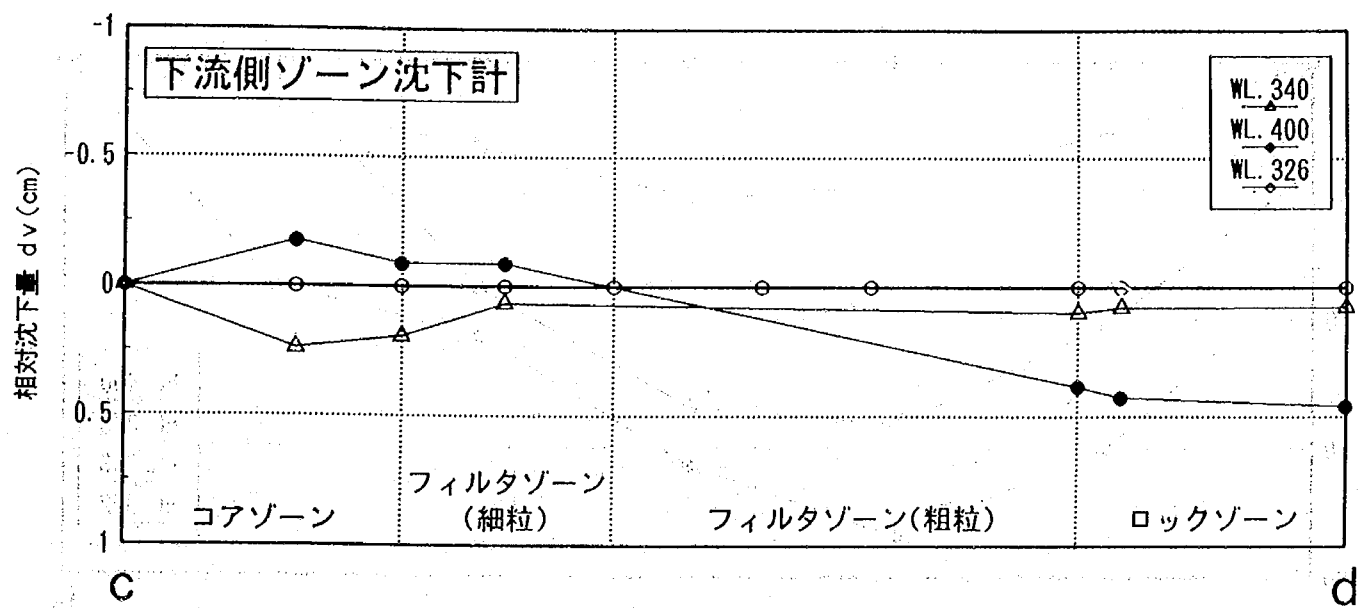
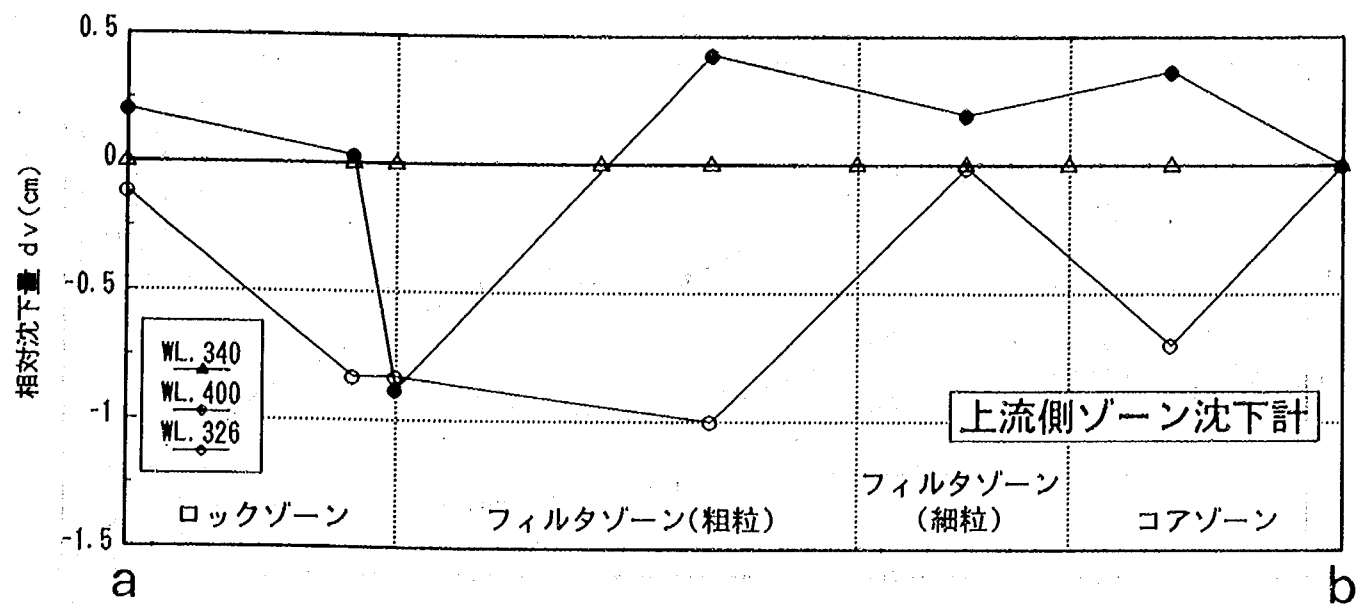


図 - 2.13. (b) ゾーン間沈下量計測例 (Vダム, 試験湛水時)

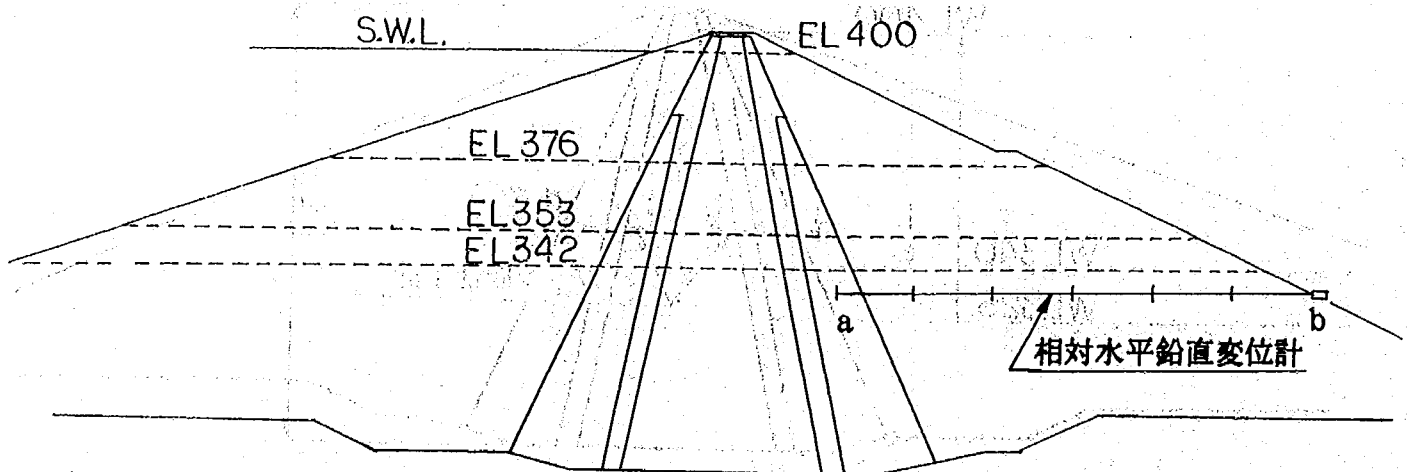
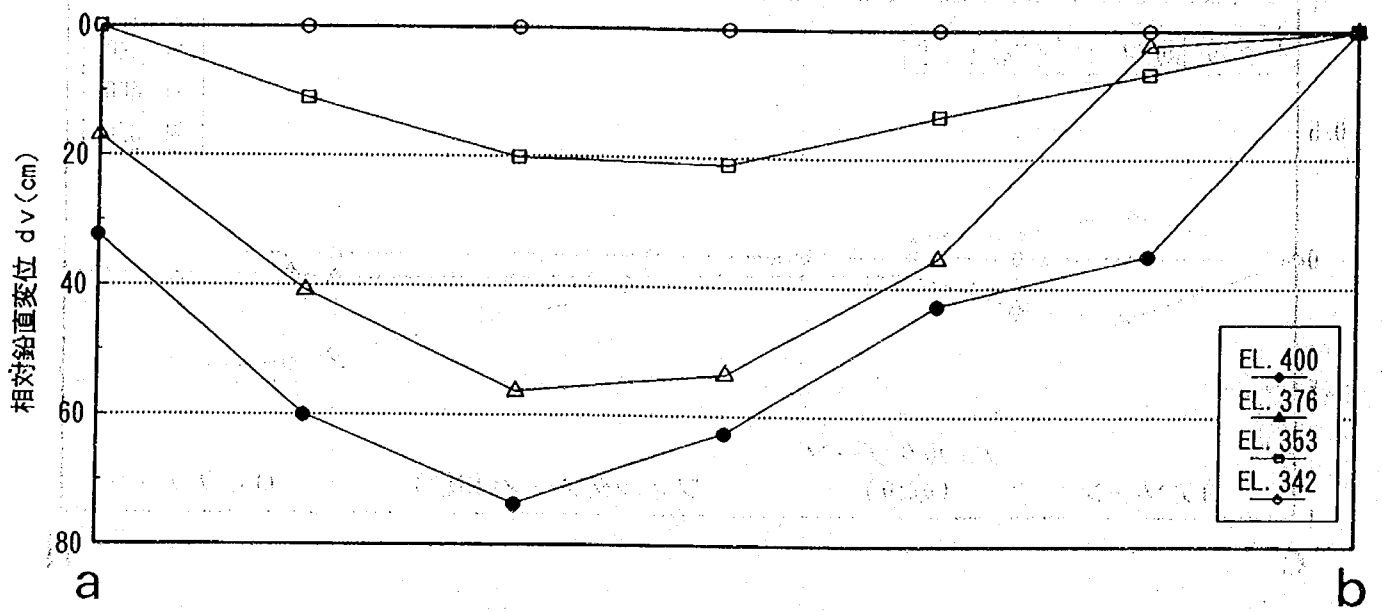
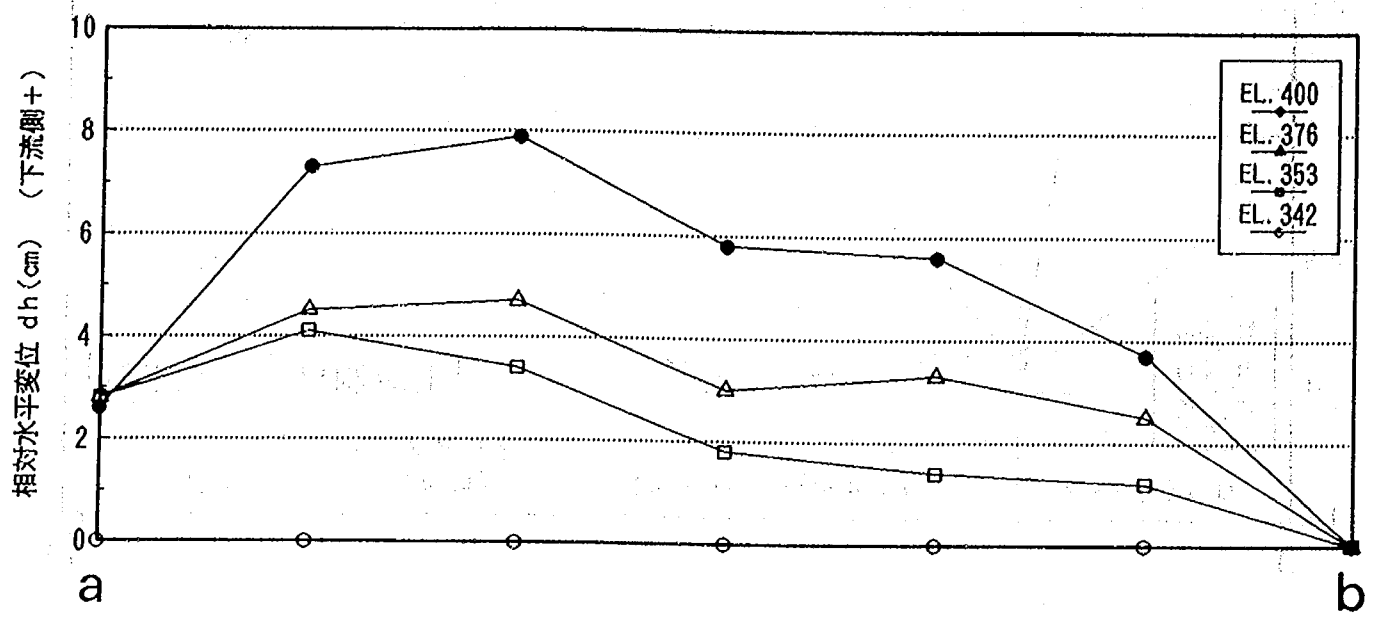


図 - 2.15. (a) 相对水平鉛直変位計測例 (Vダム, 盛立時)

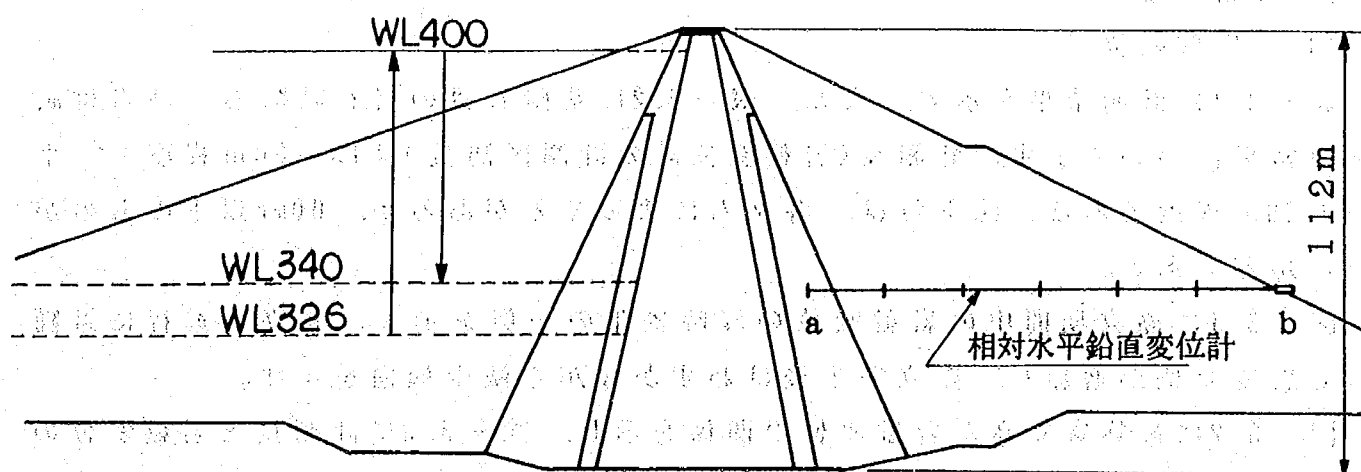
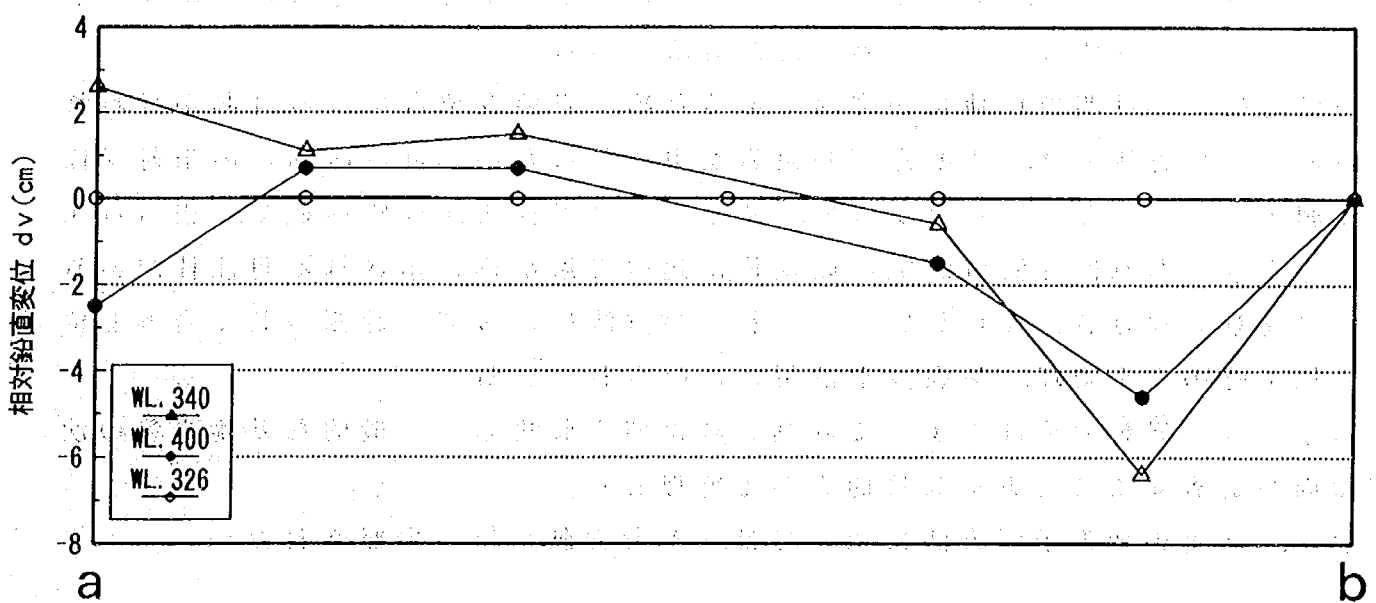
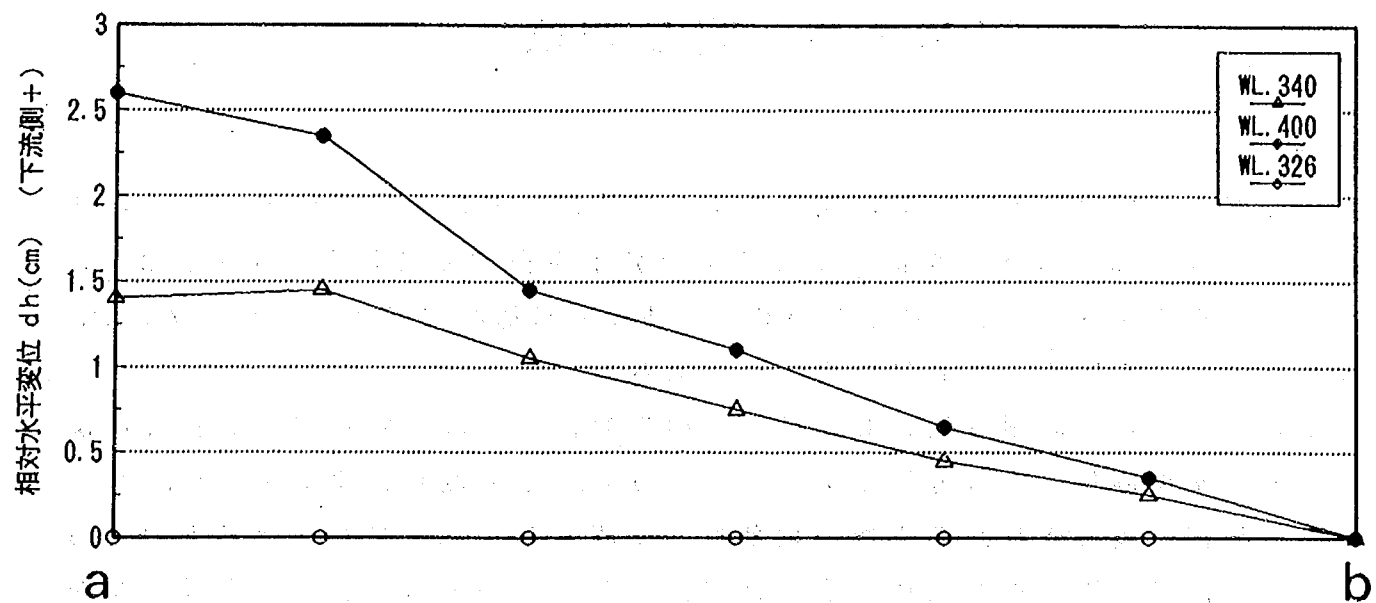


図 - 2.15. (b) 相对水平鉛直変位計測例 (Vダム, 試験湛水時)

第 3 章 岩盤変位

3.1 概 要

フィルダム基礎岩盤の変位を計測する主な目的は、基礎部において、軟質岩盤部および破砕帯部における変位、不等沈下の発生を確認することである。また、カルバート式通廊の継目開き量と合わせて、基礎変形解析にフィードバックさせ、解析精度の向上を図ることも目的の一つである。

基礎岩盤の変位の計測方法としては、基礎岩盤内に埋設された岩盤変位計による方法と、水準測量による方法がある。このうち、水準測量による方法は、コア敷基礎岩盤部に設置された監査廊の内部を水準測量し、沈下量を求めるものである。この方法は、固定点が堤体基礎外部に設けることができ、絶対的な沈下量が求められること、また、ダム軸方向の連続した沈下量が計測できることより、基礎変形解析を実施する上で、有効な計測方法である。

一般的には、計測の自動化が容易であるため、岩盤変位計による計測が行われている。この方法では、基準点が基礎岩盤中になるため、計測区間内の相対変位を計測することになる。したがって、基準点の設置箇所が軟質地盤で、相当量沈下するようであれば計測値が実際の変位に比べて過小側に示される可能性があることに注意しなければならない。これらの方法によって、計測された岩盤変位は、施工時の安全管理、基礎変形解析に反映されている。

本章では、岩盤変位計によって計測された値を収集し、一般的な基礎岩盤の沈下傾向を調査することを主な目的として整理した。

なお、基礎の変形予測方法については、参考文献^{6) 6)}を参照されたい。

3.2 計測結果

(1) 岩盤変位

表-3.1に計測結果を示す。また、表-3.2に基礎岩盤の岩石試験および岩盤試験の結果について示す。計測長(岩盤変位計の計測区間長)は10~60m程度で、平均で30m程度である。沈下量は、各ダムによって差があるが、60mm以下のものがほとんどである。

図-3.1に盛立期間中の岩盤変位の経時変化の一例を示す。盛立の進行に追従して岩盤変位が増加し、盛立完了後はわずかながら減少傾向を示す。

図-3.2に最終盛立高と岩盤変位の関係を示し、図-3.3に計測長と岩盤変位の関係を示す。ほとんどの計測値は、ほぼ破線で示す範囲内に分布している。当然

のことながら、最終盛立高が高いほど、あるいは計測長が長くなるほど岩盤変位は大きくなる。

一方、この分布範囲に入らない計測値がある。最終盛立高との関係ではL、O、Wダム、計測長との関係ではL、O、S、Wダムである。O、Sダムの岩盤変位計は、軟質岩盤部あるいは破砕帯部の変位を計測することが目的で設置されているもので、計測部の岩盤が基本的に変形しやすい性質である。Wダムは、基礎岩盤物性値との関係で整理することができる。すなわち、計測値が範囲を超えている測点(BLM)や範囲の上限にプロットされる測点(E-1、F、G-1)は凝灰岩、変質安山岩が主体となっている部分で、それ以外の測点(D、E-2)は石英安山岩、安山岩類である。表-3.2に示すように、凝灰岩、変質安山岩は一軸圧縮強度が平均60~90kgf/cm²程度で、石英安山岩の平均864kgf/cm²と比較してかなり低い値であることがわかる。つまり、BLM、E-1、F、G-1の計測値が大きいのは、設置部の岩盤の強度が低いことによるものと考えられる。Lダムの計測値が大きい原因も、表-3.2から同様に岩盤の強度が低いことによるものと考えられる。

(2) 岩盤変形係数

図-3.4(a)に盛立高と岩盤鉛直ひずみの関係の一例を示す。岩盤鉛直ひずみとは岩盤変位を計測長で除した値である。Wダムの岩盤変位計測結果の特徴として盛立高が40m(最終盛立高の44%)を超えると岩盤鉛直ひずみの増加率が減少する。これは、岩盤の非線形的性質を表現しているのか、あるいは、盛立の進行による鉛直土圧の増加率の減少によるものと思われる。他ダムにおいては、このような変曲点はWダムほど明瞭には現れず、また、変曲する位置も22~60m(最終盛立高の30~70%)と幅がある。

ここで、図-3.4(b)に盛立高を鉛直土圧に換算(換算鉛直土圧： $\sigma'_v = \gamma \cdot H$)して変形係数を求めた例を示す。なお、 γ は簡単のため、各ダムとも2.0t/m³とした。前述のとおり、盛立高が終わりに近づくにつれ、岩盤鉛直ひずみの増加率は減少するため、盛立初期と盛立末期では変形係数が異なる。よって、盛立初期と盛立末期の変形係数を区分するために、便宜上、 $\sigma'_v = 0 \sim 8 \text{ kgf/cm}^2$ ($H = 0 \sim 40 \text{ m}$ に相当)と8kgf/cm²以上(40m以上)に区分した。表-3.1に求めた岩盤変形係数を示す。盛立初期における変形係数は3,000~80,000kgf/cm²程度の値を示し、盛立末期における変形係数は5,000~200,000kgf/cm²程度の値を示した。

一方、盛立高から換算した鉛直土圧ではなく、コア底部に設置された土圧計により計測した鉛直土圧(実測鉛直土圧)との関係で整理した例を図-3.5に示す。換算鉛直土圧との関係では、変曲点が認められたが、実測鉛直土圧とではほぼ直線関係にある。なお、盛立高が40mを超えてから($\sigma'_v \approx 6.5 \text{ kgf/cm}^2$)は、実測鉛

直土圧の増加が鈍り、岩盤鉛直ひずみもこれに合わせて、増加率の減少傾向を示した。

このことから、盛立高と岩盤鉛直ひずみの関係において生じる変曲は、ダムが三角形状をしているために盛立が進行するにつれ鉛直土圧の増加率が減少すること、また、アーチアクションが生じたこと等が原因と考えられる。したがって、実測鉛直土圧と岩盤鉛直ひずみの関係によって求められる岩盤変形係数が実状を表しているといえる。

しかしながら、岩盤変位計と土圧計が同じ位置にセットで設置されていない例も多く、その場合、実測鉛直土圧により岩盤変形係数を求めるのは困難である。ここで、図-3.4(b)と図-3.5を比較すると、換算鉛直土圧と岩盤鉛直ひずみの関係における盛立初期の変形係数と、実測鉛直土圧と岩盤鉛直ひずみの関係より求まる変形係数とは、大差がないことがわかる。よって、盛立初期の換算鉛直土圧と岩盤鉛直ひずみの関係より求めた変形係数は、盛立時の岩盤の変形性を反映していると思われる。以降、換算変形係数とは盛立初期における換算鉛直土圧と岩盤鉛直ひずみの関係から求めた岩盤変形係数を指すこととする。

図-3.6に計測長と換算変形係数の関係を示す。全体的には明瞭な傾向はみられないが、同じダムの同位置(図中の直線で結んだ関係)では計測長が長くなるほど換算変形係数が大きくなる傾向が認められる。この現象は、計測長が長くなるにつれ表層や局部的な弱部の影響が相対的に少なくなることによると考えられるが、各地点により地質状況が異なるため一概には言えない。

図-3.7に現位置試験による岩盤変形係数と換算変形係数の比較を示す。両者はほぼ1:1~1:3の関係にあり、換算変形係数の方が大きい。また、現位置試験による岩盤変形係数が小さい岩盤ほど差は小さい傾向にある。

(3) アバット斜面部の変位

図-3.8に盛立過程におけるアバット斜面部の岩盤鉛直ひずみを示す。変位計の直上部の盛立高が3 mまでは、盛立の進行に伴い岩盤鉛直ひずみは減少する。つまり、計測長が長くなっていく傾向を示す。これは、鉛直方向の伸びが実際に生じたことによるものか、あるいは、堤体の自重による岩盤の山側へのたわみにより計測区間が伸びたことによるものなのかが原因は不明である。その後、盛立高が3 mを超えると計測値は増加に転じ、圧縮の傾向を示すことより、後者の理由が支配的と考えられる。

また、この岩盤変位計設置部には、 $L = 38\text{m}$ の岩盤変位計も一緒に設置されており(付図-106参照)、2つの岩盤変位計のマイナス方向の計測値は、ほぼ同じ値(約 -2mm)を示す。よって、この現象は比較的、岩盤の表面で発生しているこ

とがわかる。

仲野(1978)はFEMの解析により、盛立の進行に伴いアバット部に伸び領域が発生することを報告⁷⁾している。また、その伸びひずみは谷形状によって異なりとし、U字谷とV字谷ではU字谷のアバット部において大きな伸びひずみが生じるとも報告⁸⁾している。これは、アバット斜面勾配がきついほど伸びひずみが生じやすいということである。図-3.8は、斜面勾配が45°程度であり、伸びひずみが生じやすい条件であったとも考えられる。

(4) 湛水時の変位

ほとんどのダムでは、湛水時の水荷重の増加に対しても変位の増加は示さない。ここでは、湛水時に変化がみられた2ダムについて示す。

図-3.9にLダムの例を示す。G-1は上流側ロック部基礎、G-2は下流側ロック部基礎に設置されている。下流側は、湛水の影響が及ばないため変化がみられない。上流側は、貯水位の上昇に追従して沈下量が約130mm増加している。しかし、貯水位が低下しても沈下量の減少、つまり弾性的な動きは認められず、塑性変形を示している。

図-3.10～図-3.11にOダムの例⁹⁾を示す。9-D-1はコア敷上流側基礎、9-D-3はコア敷下流側基礎に設置されている。設置部の岩盤状況については、9-D-1部は着岩部より15m程度までは軟質な基礎であり、また、9-D-3部は着岩部から5m程度まではD級岩盤であるものの、それ以深は比較的良好な岩盤となっている。

オーダーに違いはあるものの、この2計器はともに、湛水により圧縮量が増加し、また貯水位の変動に追従してその低下時には圧縮量の減少傾向が認められる。貯水位と岩盤鉛直ひずみの関係より、変形係数を求めてみると9-D-1部は1700 kgf/cm²、9-D-3部は50,000 kgf/cm²の値となる。なお、貯水位荷重は変位計設置岩盤表面と貯水位標高の差分の水重量が岩盤表面に作用した場合を考えたものである。

3.3 まとめ

岩盤変位計により計測された岩盤変位について調査した結果は、次のようにまとめられる。

- ① 盛立期間中の岩盤変位は、盛立高に追従して変位が増加していく。
- ② 最終盛立高が高いほど、あるいは計測長が長いものほど変位が大きくなる傾向を示す。
- ③ 盛立初期の換算鉛直土圧と鉛直ひずみの関係より換算変形係数を求めると、3,000～80,000 kgf/cm²の値が求められた。

- ④ 換算変形係数は、計測長が長いほど高い値になる傾向を示した。
- ⑤ 現位置試験による変形係数と比較すると、1:1~1:3の割合で岩盤変位計による変形係数が大きく、現位置試験による変形係数が小さい岩盤ほど変形係数の差は小さい傾向にある。
- ⑥ アバット斜面部に設置された計器の計測値は、盛立過程において一時的に伸びを示した。
- ⑦ 湛水により岩盤変位の変化がみられるダムは少ない。

表-3.1 岩盤変位計測結果

ダム名	計測位置	計測長 L(m)	計測部 盛立高 H(m)	岩盤変位 dL (mm)	岩盤傾斜のずれ dL/H (%)	換算変形係数 (kgf/cm ²)	
						盛立高0~40m	盛立高40m~
Lダム	上流ロック G-1	25	(66)	110	0.44	3,400	(6,000)
	下流ロック G-2	25	(66)	90	0.36	3,400	(4,000)
Oダム	コア 9-D-1	30	60	350	1.167	800	(5,000)
	コア 9-D-2	30	60	140	0.467	3,500	(3,500)
Sダム	コア G-1	30	84	23	0.076	16,000	(40,000)
	コア G-2	30	84	30	0.100	13,000	(20,000)
Uダム	コア R-1	60	64	9	0.015	80,000	(80,000)
	コア R-2	30	64	6	0.020	60,000	(65,000)
	コア R-3	10	64	4	0.040	20,000	(20,000)
Vダム	上流ロック BL-1	8.3	110	12	0.145	10,000	(27,000)
	コア BL-2	63	112	12	0.019	80,000	(300,000)
	コア BL-3	33	112	15	0.045	80,000	(40,000)
	コア BL-5	43	72	7	0.016	80,000	(80,000)
	コア BL-6	23	72	6	0.026	80,000	(80,000)
	コア BL-7	38	78	5	0.013	80,000	(120,000)
	コア BL-8	18	78	3	0.017	57,000	(57,000)
Wダム	コア D-1	60	90	11	0.018	60,000	(200,000)
	コア D-2	40	90	8	0.020	60,000	(200,000)
	コア D-3	20	90	5	0.025	40,000	(200,000)
	コア D-4	10	90	4	0.040	30,000	(100,000)
	コア E-1	60	90	35	0.058	30,000	(40,000)
	コア E-2	10	90	8	0.080	20,000	(100,000)
	コア F-1	10	78	20	0.200	6,000	(16,000)
	コア F-2	20	78	20	0.100	12,000	(24,000)
	コア F-3	50	78	32	0.064	20,000	(32,000)
	コア G-1	50	37	32	0.076	10,000	—
	上流ロック BLM-1	30	90	54	0.180	8,000	(16,000)
	下流ロック BLM-2	30	90	58	0.190	8,000	(16,000)

表-3.2 岩石試験および岩盤試験結果

ダム名	計器 番号	地質時代	岩石名	岩石試験				岩盤試験	
				湿潤密度 (kg/cm ³)	吸水率 (%)	P波伝播 速度 (km/sec)	一軸圧縮 強度 (kgf/cm ²)	変形係数 ($\times 10^{-4}$ kgf/cm ²)	接線弾性 係数 ($\times 10^{-4}$ kgf/cm ²)
Lダム	G-1	新生代第三紀	軟質粗粒砂岩	2.1~2.2	18~22	0.95~1.5	10~100	0.22~0.28	0.28~0.38
	G-2	鮮新世	軟質細~中粒砂岩	1.95~2.1	12~14	2.3~3.0	100~300	0.25~0.35	0.30~0.47
Oダム		古生代二疊紀	砂岩~粘板岩	—	—	—	—	—	—
Sダム		中~古生代	チャート~粘板岩	—	—	—	—	—	—
Uダム		新生代第三紀	安山岩溶岩	—	—	—	—	—	—
Vダム		中生代白亜紀	閃緑岩	—	0.1~0.7 (0.2)	6.1~7.7 (7.3)	200~1500 (900)	0.2~2.6 (1.5)	0.3~6.6 (2.0)
Wダム	D E-1	新生代第三紀 中新生	石英安山岩	2.2~	5~10	30~	112~2474 (864)	1.3~2.0	3.5~7.0
	E-2 BLM-2		安山岩類	2.2~	5~10	30~	1~1045 (382)	—	—
	F		変質安山岩	2.1~2.4 (2.3)	10~25	1.5~2.5 (2.0)	4~300 (90)	1.0	2.0
	BLM-1 E-1 G-1		凝灰岩	2.1~2.5 (2.1)	15~40	1.0~2.0 (1.6)	1~550 (60)	0.4	0.7

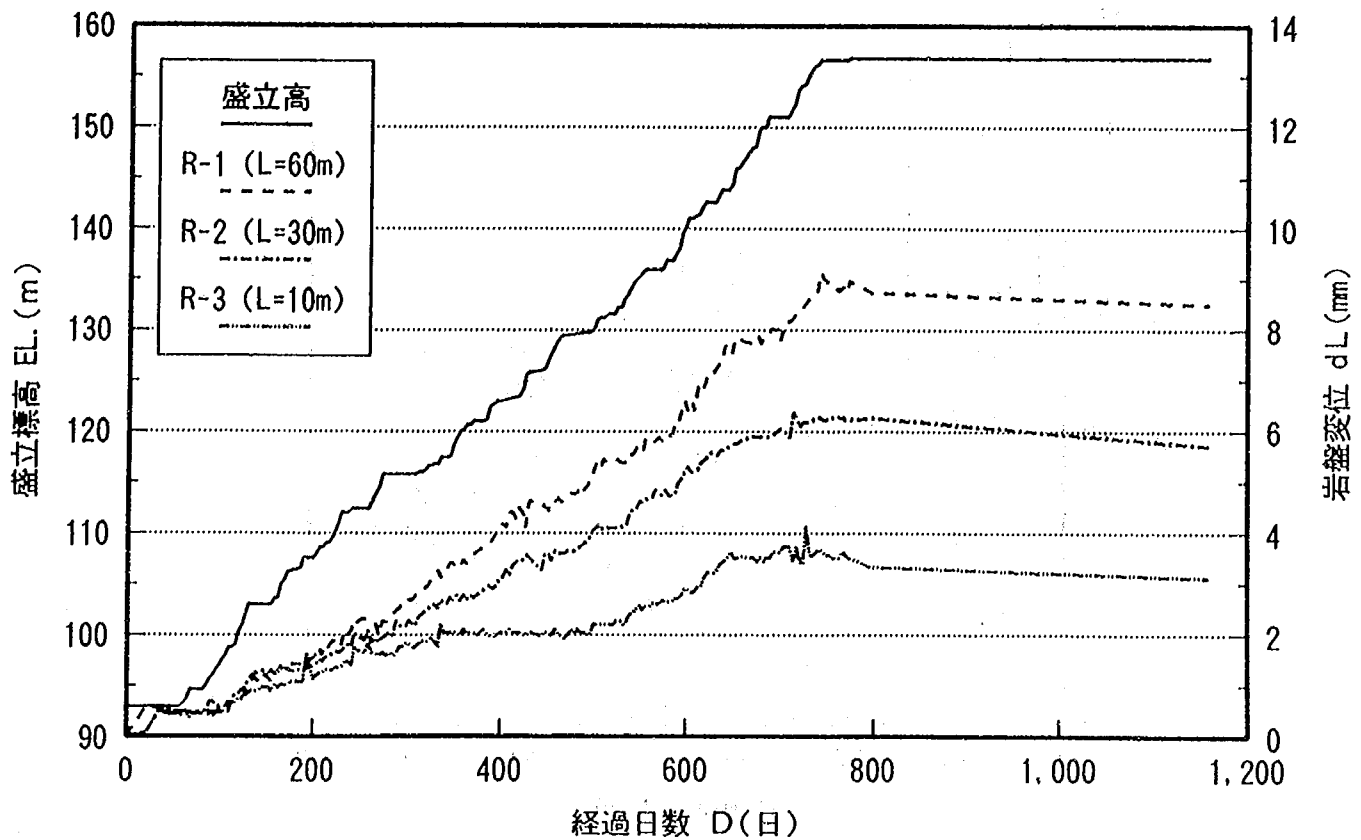


図 - 3.1 盛立標高と岩盤変位の経時変化 (Uダム)

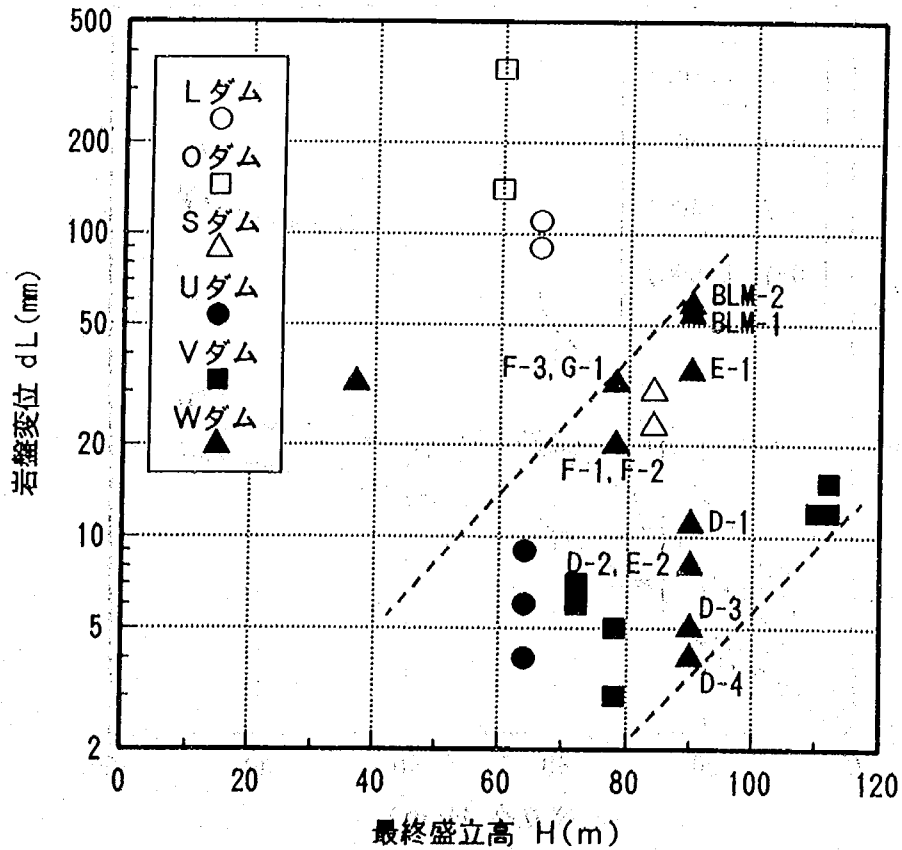


図 - 3.2 最終盛立高と岩盤変位

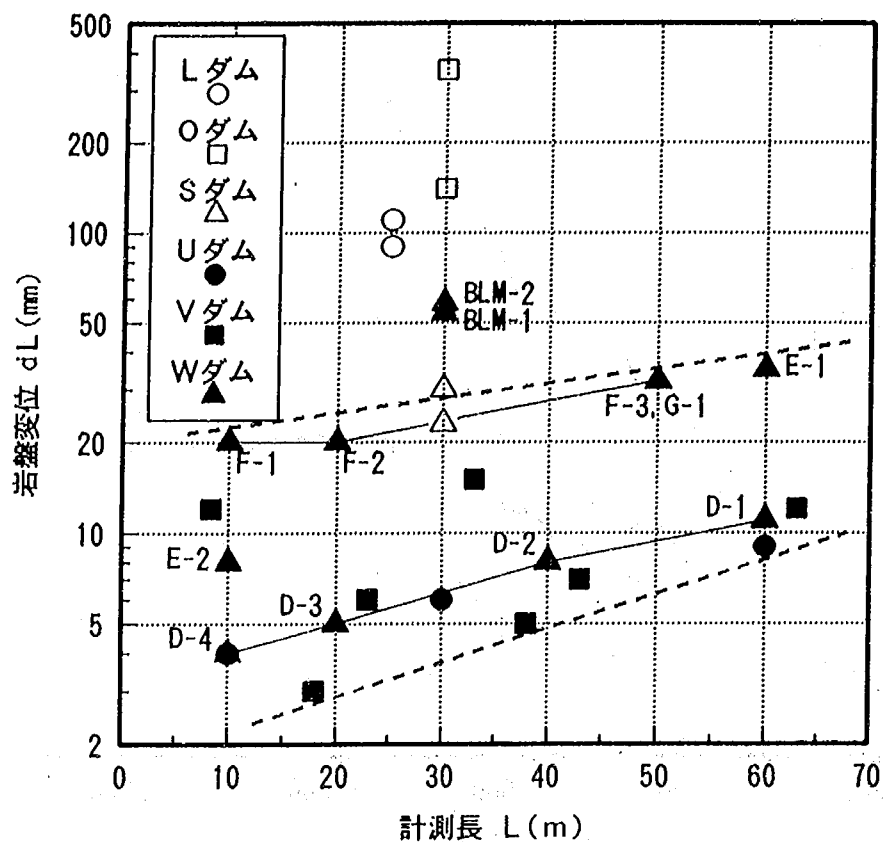


図 - 3.3 計測長と岩盤変位

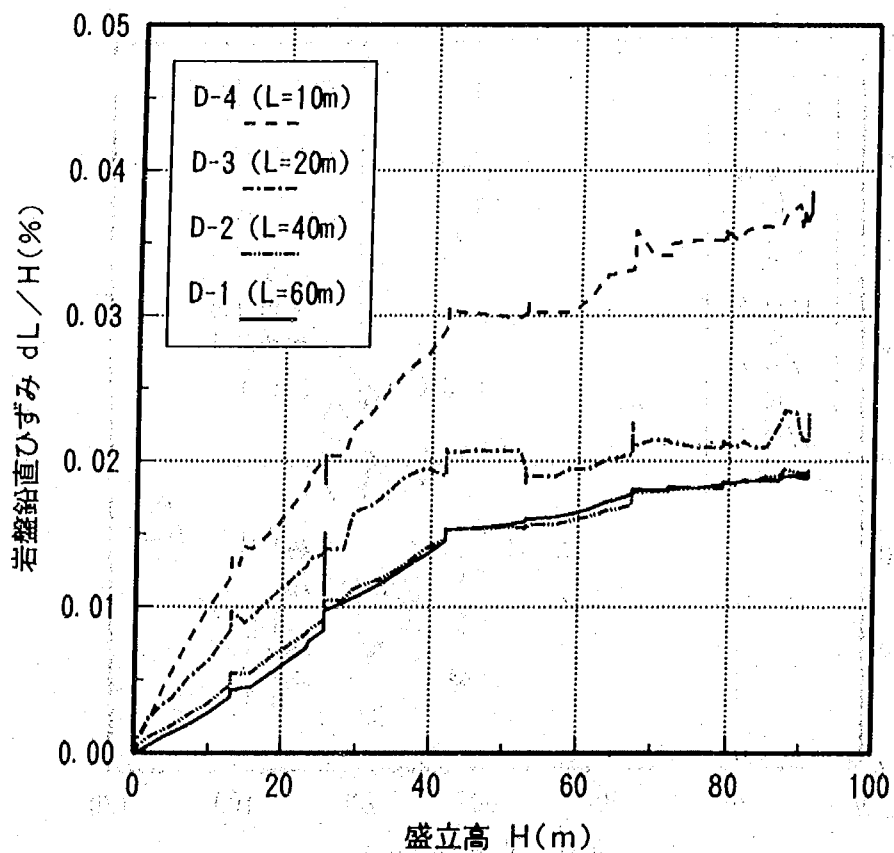


図 - 3.4 (a) 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Wダム)

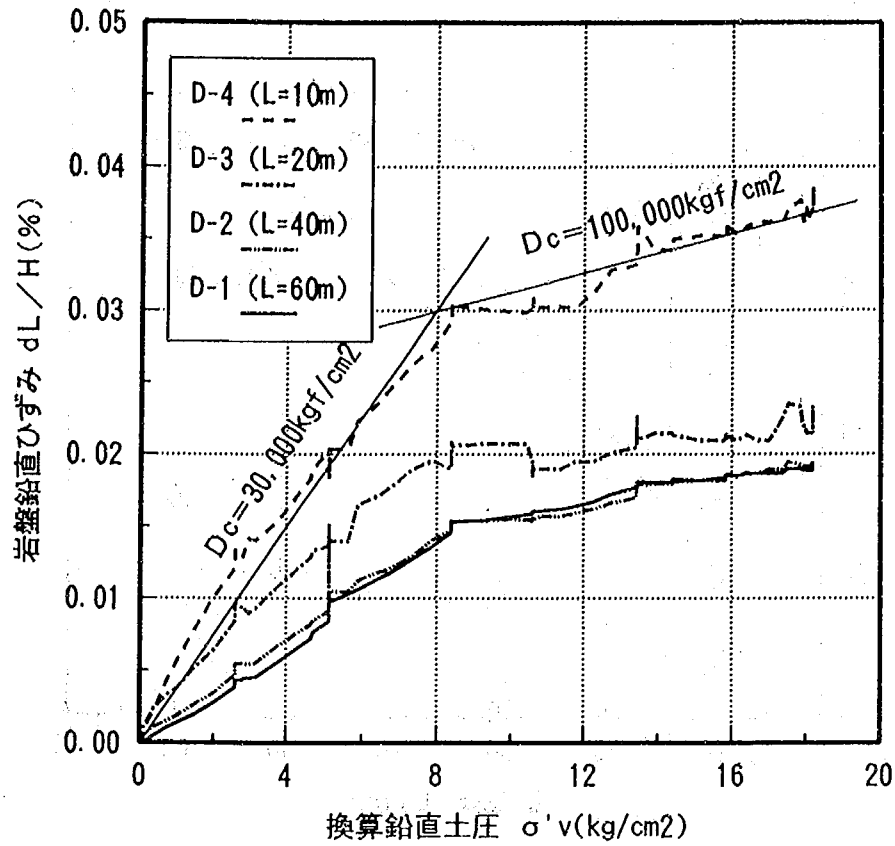


図 - 3.4. (b) 換算鉛直土圧と岩盤鉛直ひずみ (Wダム)

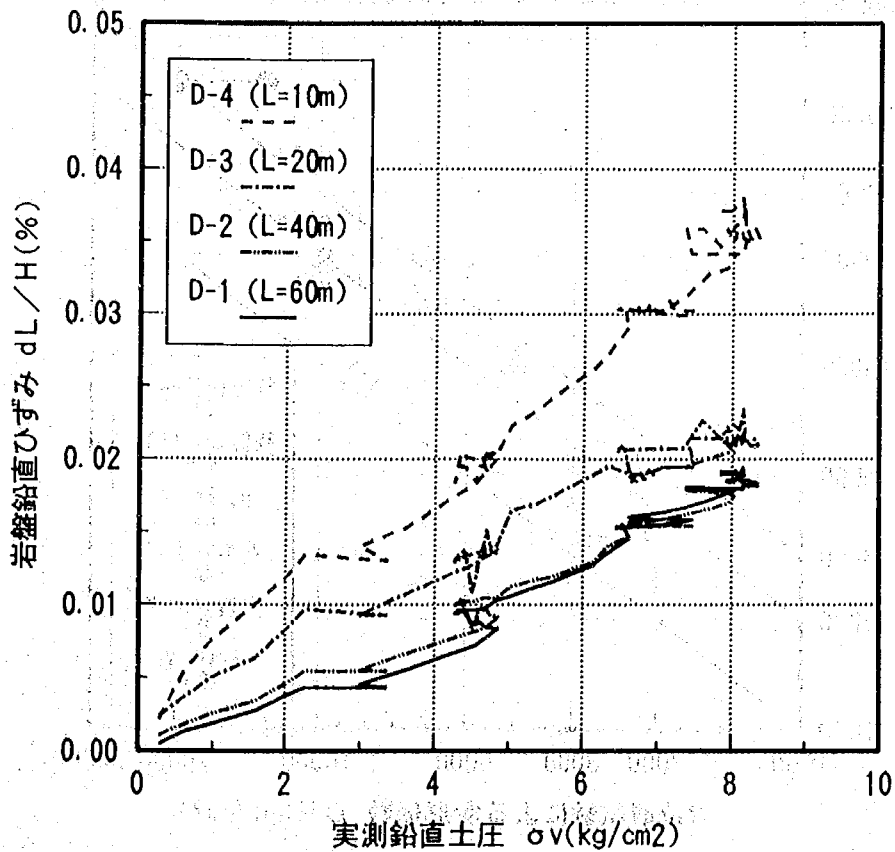


図 - 3.5 実測鉛直土圧と岩盤鉛直ひずみ (Wダム)

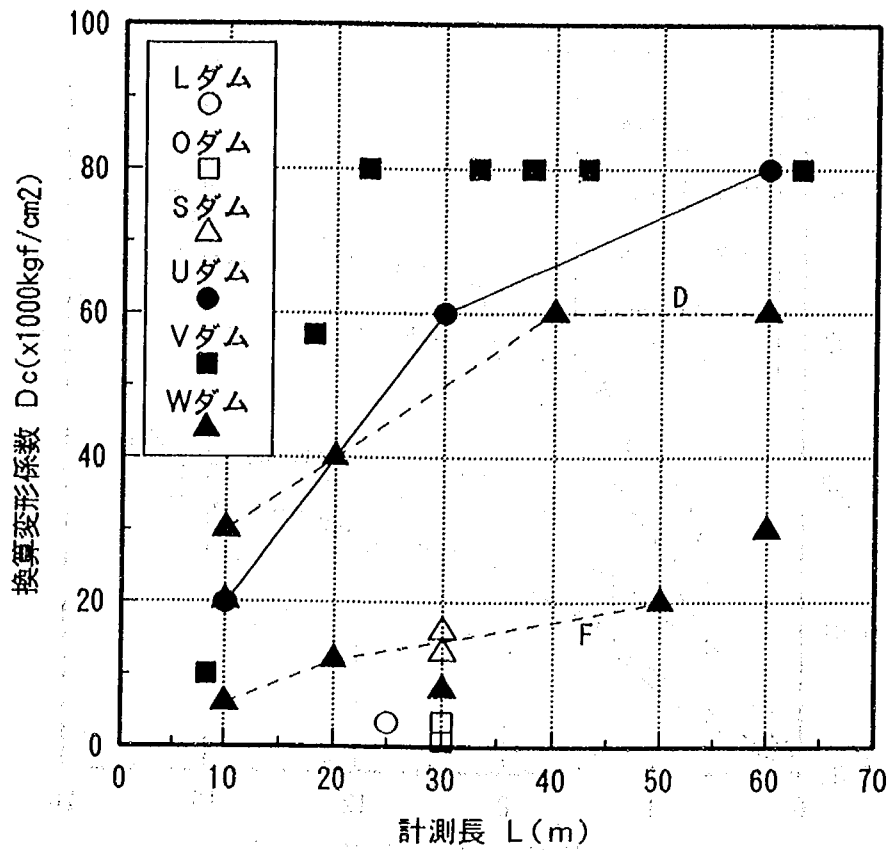


図 - 3.6 計測長と換算変形係数

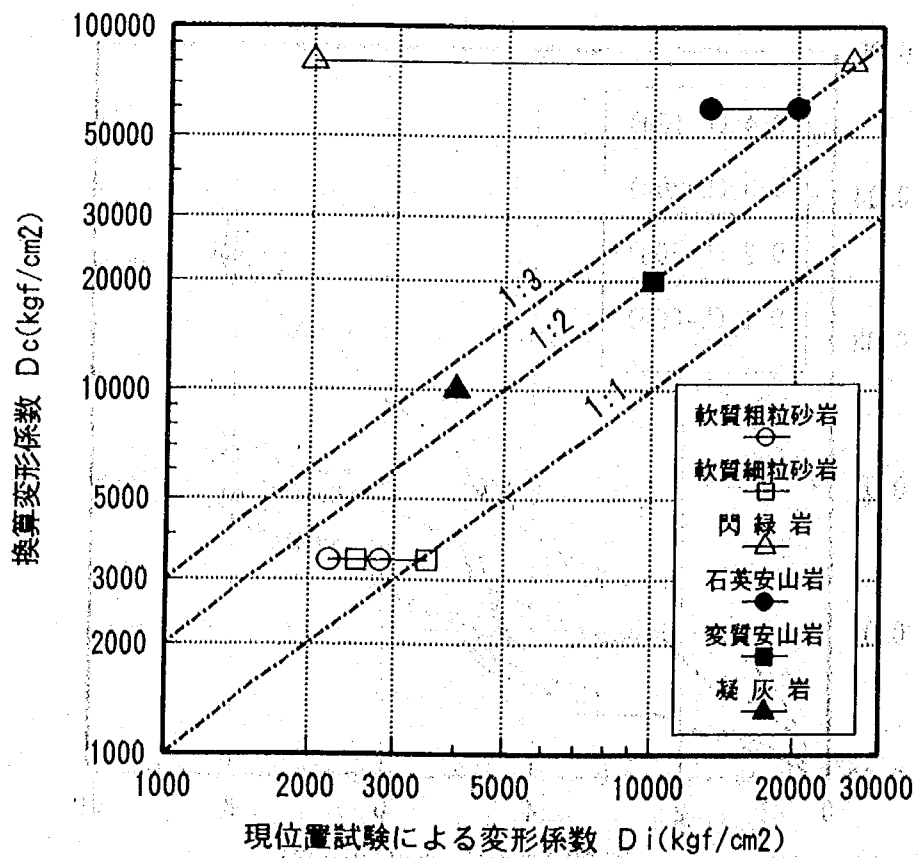


図 - 3.7 変形係数の比較

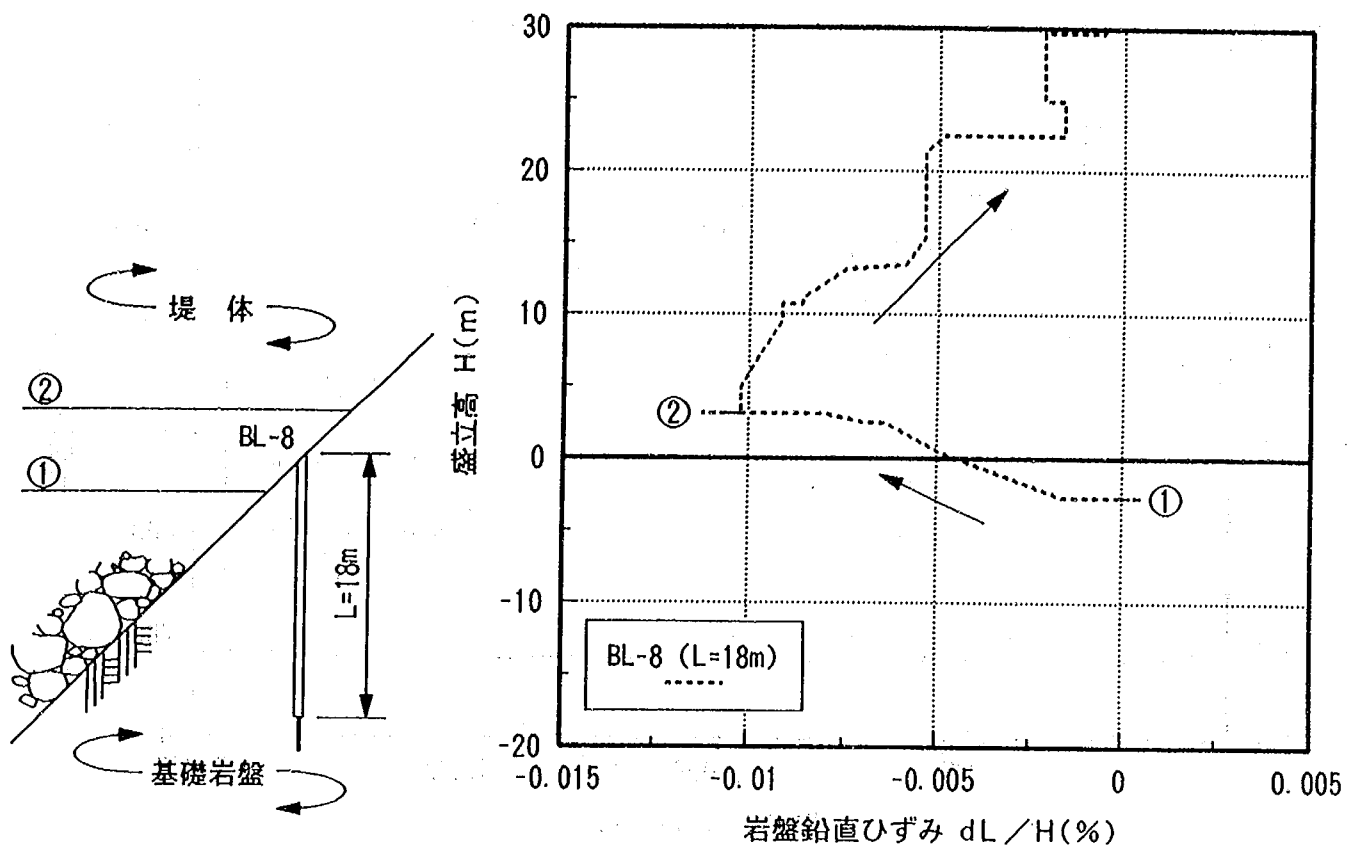


図 - 3.8 盛立過程の岩盤鉛直ひずみ (Vダム)

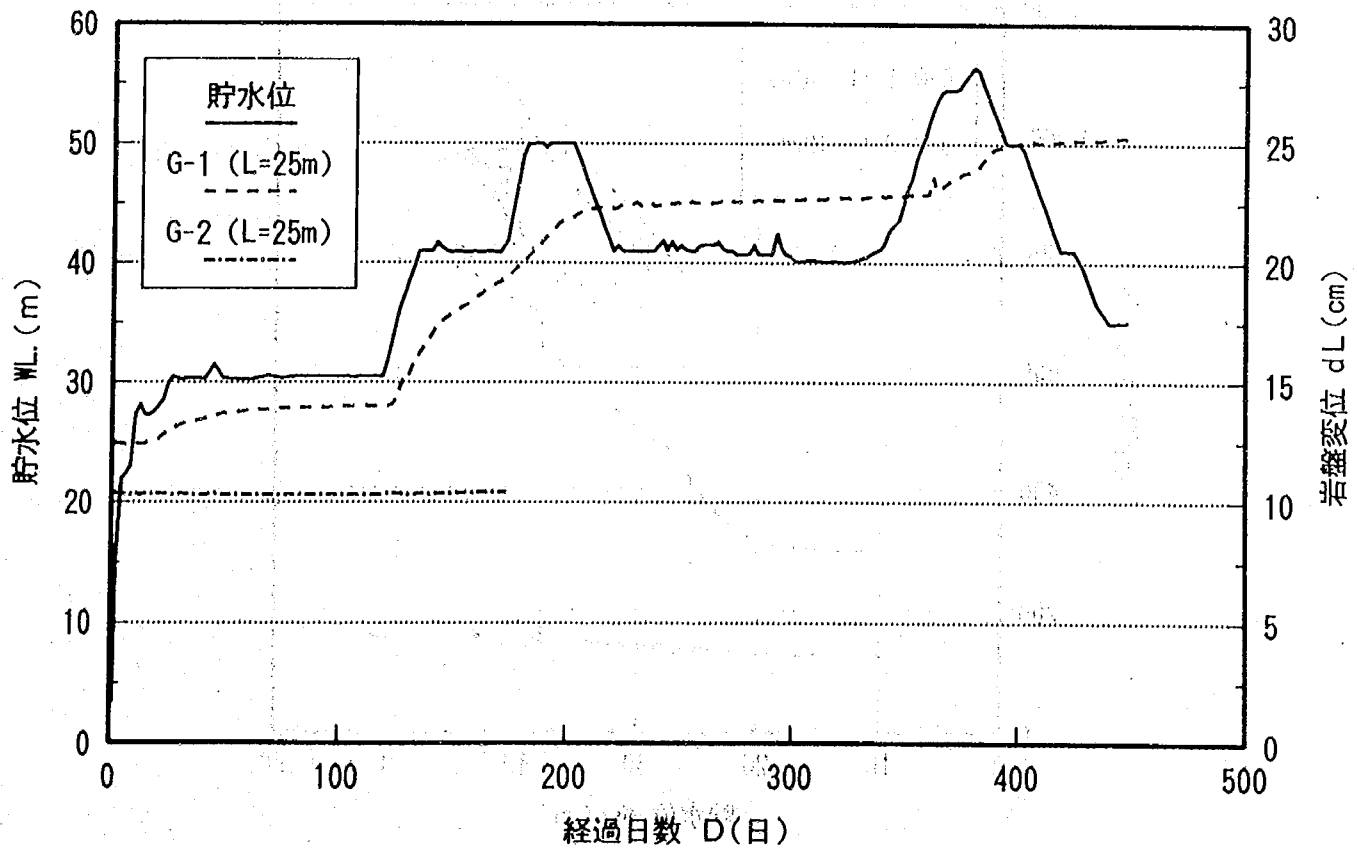


図 - 3.9 貯水位と岩盤変位 (Lダム)

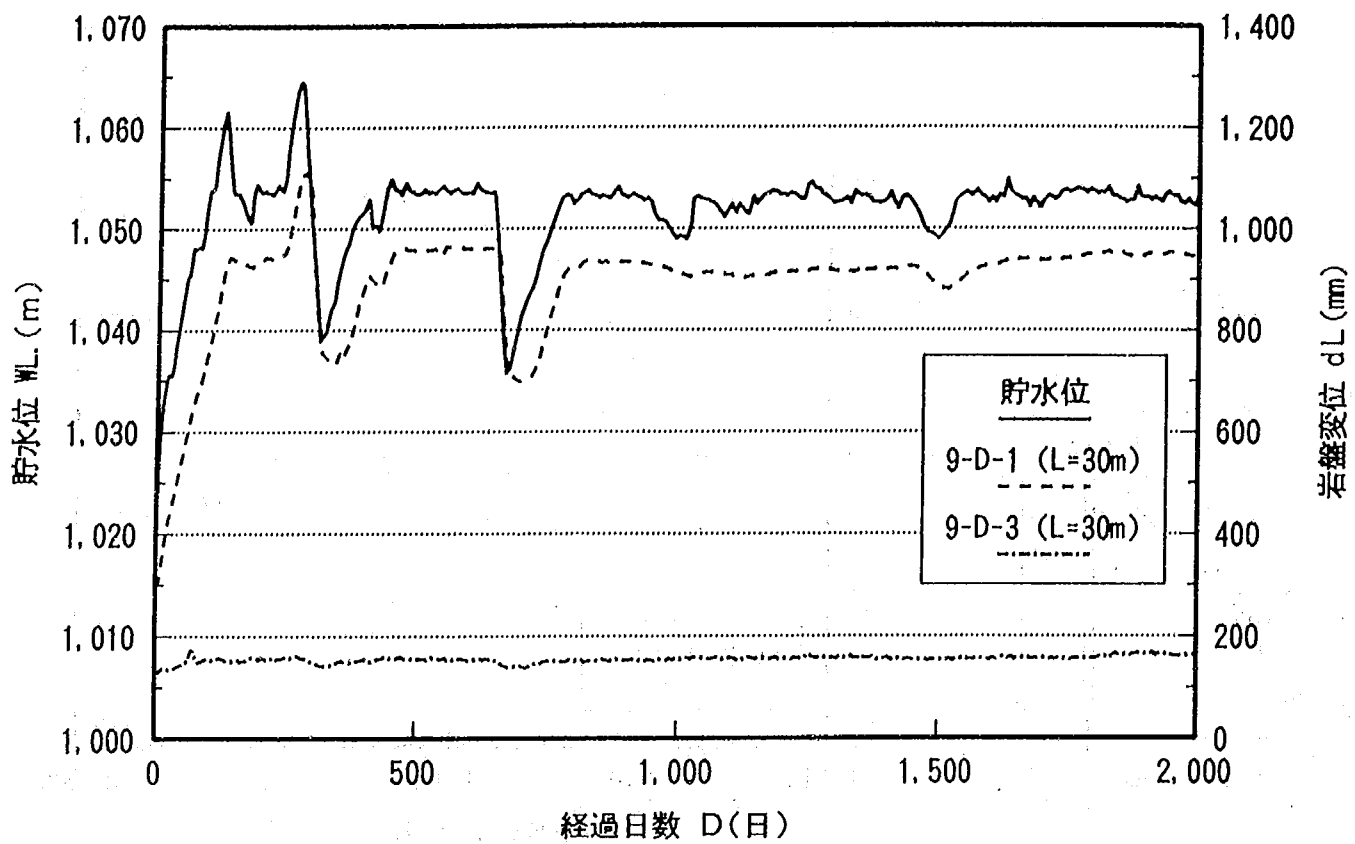


図 - 3.10 貯水位と岩盤変位 (O ダム)

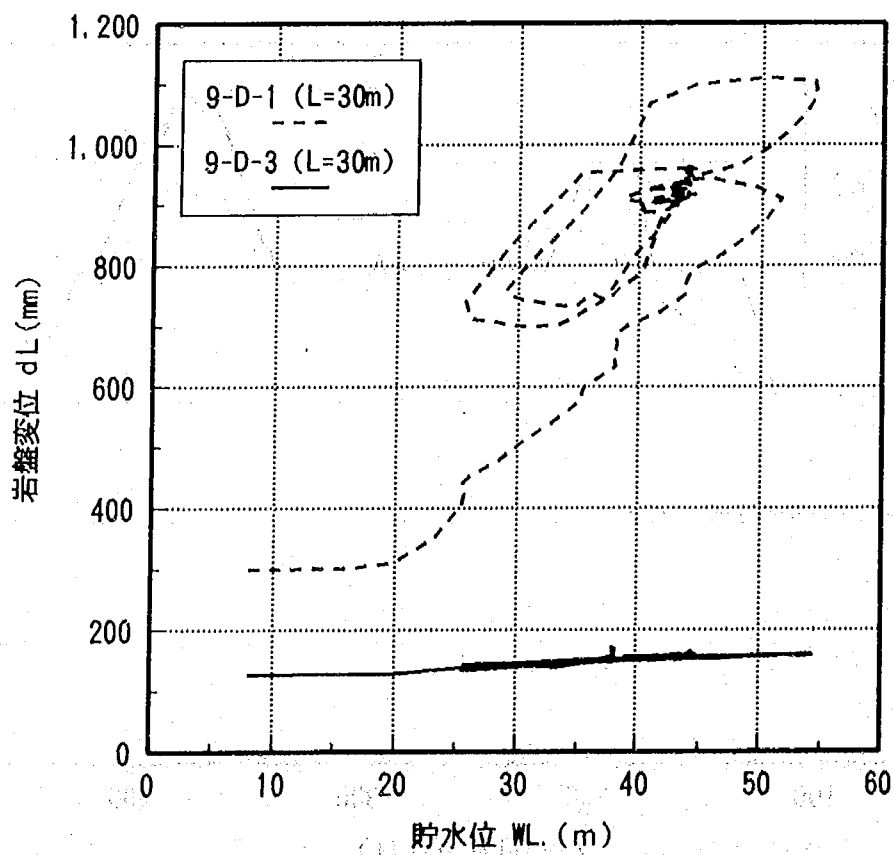


図 - 3.11 貯水位と岩盤変位の相関 (O ダム)

第4章 浸透量

4.1 概 要

フィルダムにおける計測項目の中でも、変形量と浸透量は安全管理上最も重要な計測項目である。このうち、外部変位に関しては、貯水位との関係が比較的明確であるため、実際に多くのダムで安全性の判定基準とされているが、浸透量については変化の要因が多いことから安全性を即時に検討することは一般的に困難である。

一口に浸透量と言っても、その浸透経路により数種類に区分される。最近の傾向として、①フィル堤体および基礎の浅い部分から浸透する「堤体浸透流」、②基礎岩盤を浸透する「基礎浸透流」、③洪水吐等のコンクリート部を浸透する「漏水」と3種類に区分することから、本報告でもこれに従い、一般的に計測される①および②についてとりまとめた。

ここで、堤体浸透量として計測される“流量”については、その計測方法から堤体および基礎浅部からの浸透量だけではなく、オーダーに違いはあるものの、降雨、地山湧水、地表面水の影響を少なからず受けてしまう。これは、計測方法の精度および費用を考えると、ある程度許容されるものであるが、計測ゾーンの区分、水切り水路の設置などの工夫をし、浸透ヶ所を把握しやすくすると共に、降雨などの影響を極力少なくする必要がある。(くわしくは参考文献¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾等を参照されたい。)

このような工夫を施しても、盛立完了時から湛水前までの湧水量の計測値がなければ、湛水時の堤体浸透量の増加などの変化に対して、その要因を見つけ出すことは困難である。つまり、湛水による貯水池からの堤体浸透量のみを区分して計測するためには、湛水前少なくとも1年間程度のデータを収集し、降雨の影響、地山湧水量(基底湧水量)などを求めておく必要がある。

以上、フィルダムの堤体浸透量を計測する上での注意点について簡単に述べてみた。しかし、これらの項目については、設計・施工段階で対応しておかなければならない問題であり、試験湛水を終え、管理に移行したダムにおいては、その計測された値の変動傾向の把握が重要なポイントとなる。つまり、短期的な堤体浸透量の変化とともに長期的な堤体浸透量の変動傾向についても注意しなければならない。

本章では、上記の長期的な堤体浸透量と基礎浸透量の計測値について評価するため、完成後3～30年経過したダムで計測された値を収集し、経時変化を調査し

た。また、湛水前後の湧水量・堤体浸透量の変化傾向についても項を設けてとりまとめた。なお、「堤体浸透量」、「基礎浸透量」とは、湛水後にそれぞれの計器により計測された値(全流量)のことを称する。また、湛水以前に計測された流量は、「湧水量」とし、その中で降雨の影響を受けていないと考えられる最小の流量を「基底湧水量」と称することとした。

4.2 湛水前後の堤体浸透量の比較

湛水中の貯水位上昇に応じて、浸透量が増大することは容易に予想することができる。しかし、その相関関係を求めることは非常に困難なことである。前述の基底湧水量を長期的に計測しておけば、降雨や地下水の影響等による分の計測値をある程度把握することができ、貯水池からの浸透分だけを区分し、予測することが可能となる。このような予測は、最近のフィルダムでは一般的に行われるようになってきている。ただし、当然の事ではあるが、その予測値が実測値とうまく適合しても、その予測式が他ダムにも適用できるものではない。

ここでは、単純に湛水前の堤体浸透量と、最高水位時の堤体浸透量の比較を行って、計測値の変化傾向を調べた。なお、各ダムごとに計測位置は異なっているが、できるだけ降雨の影響を受けない位置の計測値とした。例えば、下流側フィルタゾーンと堤体下流法尻で区分して計測されている場合は、下流側フィルタゾーンの計測値で比較した。

表-4.1に湛水前後の計測値を示す。この基底湧水量は、5~20ℓ/min程度の値を示す例が多いが、Vダムのように約170ℓ/minの値を示す場合もあった。このダムは、コアゾーンを4つに区分して計測しており、左岸上部のゾーンからの計測値だけで約150ℓ/minを記録しているため、ここで計測されている流量は、左岸地山からの湧水によるものと考えられている。このゾーンを除いた基底湧水量は約20ℓ/minとなることから、各ダムによって地盤条件、気象条件は異なるものの、基底湧水量としては5~100ℓ/min程度と予想される。

図-4.1.(a)、(b)に湛水前の湧水量と湛水後の堤体浸透量の関係を示す。図-4.1.(a)は、基底湧水量と最高水位時堤体浸透量の関係について示したもので、高い相関性は認められないが、この関係は1:5~1:20の範囲にある。なお、図中の"●"マークは、湛水以前の湧水量の計測期間が短かったダムの計測値で、実際の基底湧水量はもう少し少なかった可能性がある。図-4.1.(b)は、最大湧水量と最高水位時堤体浸透量の関係について示したもので、この関係は1:1~1:5の範囲にあり、ある程度の相関性が認められる。なお、図中の"●"マークのダムは、同様に、実際の最大湧水量がもっと多くあったものと考えられる。

ただし、最大湧水量は降雨の影響、最高水位時堤体浸透量は、貯水池からの浸透がそれぞれの要因であるため、1:1~1:5の関係に物理的意味は見出し難いが、最高水位時堤体浸透量は基礎浅部の最大湧水量よりも大きくなることが確認された。

4.3 浸透量の長期的変化

4.3.1 堤体浸透量の長期的変化

堤体浸透量の長期的な変化傾向を考えたとき、浸透経路の目詰まり、あるいは、コア部のクリープ変形(圧密)による透水係数の低減によって、時間の経過とともにその量は減少すると思われる。(ただし、遊離石灰が計測計器に付着することにより、みかけ上の減少傾向を示す例があるので注意を要する。)

図-4.2に解析基準日からの堤体浸透量の変化を示す。ここで、解析基準日とは急激な貯水位変動を受ける試験湛水期間を終了し、正常な貯水位変動の繰り返しが開始されてから初めてその中間水位に達した日を指す。Aダムの例では降水量や貯水位の変動に応じて堤体浸透量が大きく変化しているが、この変動を打ち消し、長期的な傾向を捕らえるために、約1年のスパンで移動平均を求めた結果、減少傾向が把握できた。これは前述の理由によるものと考えられ、堤体浸透流に異常がない安全なダムの傾向として容易に理解される。

正常に機能しているダムの堤体浸透量計測値は、その要因別に区分した(4.1)式のように表現されると考える。

$$Q = (\text{基底流量}) + a \cdot (\text{貯水位の上昇}) + b \cdot (\text{降雨量}) \\ + c \cdot (\text{地山からの流入量}) + (\text{その他の不確定要素}) \dots\dots\dots (4.1)$$

ここに、

a, b, c : 係数

不確定要素として、降雪地域における堤体上の融雪水等が挙げられるが、他のパラメータと比較するとごくわずかな値と考えられる。

さて、本来、堤体浸透量として計測されるべきものは、前半の2項であり、後半の3項は計測値に含まれることを極力避けたい値である。また、貯水位の影響は比較的、関数で表現しやすいが、降雨や流入水はその影響が計測値に現れるまでタイムラグがあるため、一般にその値の予測は困難である。

図-4.3.(a), (b)に、解析基準日の値を100%とした堤体浸透量の移動平均を示す。ここで、堤体浸透量の計測にはいくつかの方法があるため、図-4.4.(a)に示すような堤体下流法尻に集水壁を設けて計測する従来方式による5ダムの計

測値を図-4.3.(a)に、また、図-4.4.(b)に示すような降雨等の影響を避けるための工夫を施した改良方式等の4ダムの計測値を図-4.3.(b)に分けて表した。一見して理解されるとおり、(a)のダムは、(4.1)式の後半の3項の値(影響)が大きいことから、Fダムを始めとしたほとんどのダムで真の堤体浸透量の傾向がつかめない。これに対し、(b)のダムは、後半の3項の値が小さいことから、貯水位変動の影響と思われる周期的な階段状の変化はあるものの、長期的には真の堤体浸透量ともいえる前半の2項が減少傾向にあることが理解できる。なお、途中から増加方向に転じなければ一般的に安全であると判断されることと、個々のダムによって減少傾向に特徴があることから、敢えて回帰式を求めても、物理的な意味を見いだすことは困難と判断し、ここでは数値的な表現をしないこととする。

図-4.5に降雨等の影響が大きいと考えられるFダムについて、同一貯水位における降水量と浸透量の相関関係を求めた例を示すが、前述の理由から、係数 b 、 c を正確に把握することは困難である。

以上のことから、一旦、堤体浸透量計測値に降雨等の影響値を含んでしまったならば、その分離はきわめて困難となるため、計器の設置以前にあらかじめ対応しておくことが望まれる。すなわち、集水壁を堤体内部の下流フィルタゾーン付近に設置する改良方式によって計測し、その上で水切り水路を設けて地山からの流入水を遮断するなどの工夫をして、後半の3項を無視できる程度の値とする必要がある。さらに、湛水開始前に基底湧水量を計測(少なくとも1年以上)しておけば、これを浸透量計測値から差し引くことにより、湛水によって生じる浸透量およびその係数 a を求めることが可能となる。また、万が一、計測値に異常が生じた場合に、早急に対策を打つため、当該箇所の限定が可能となるよう、分水壁によって数ブロックに区分して計測することが安全管理上望ましい。

4.3.2 基礎浸透量の長期的変化

基礎岩盤の浸透量は、おもに監査廊内に設置される浸透量観測孔(ブルドン管)によって圧力および流量が求められる。計器の形状がコンクリートダムの揚圧力計と同じであることから混同されやすいが、コンクリートダムでは揚圧力を抜くために常時バルブを開けているのに対し、フィルダムでは水みちの形成を防ぐためこれを閉じておく点が異なる。なお、この計測値は、湛水初期までにおいては、追加グラウチングの判定のために最も重要な計測値の一つとして取り扱われることから、逆に、竣工後は、堤体浸透量に比べて重要視されない傾向にあるが、基礎部の浸透破壊を監視するためには必要不可欠な計測項目である。

図-4.6に解析基準日からの基礎浸透量の変化を、また、図-4.7には基礎浸透量の移動平均を示す。Gダムの例では、貯水位の変動に応じて基礎浸透量が大きく変化していることがわかる。当然のことではあるが、堤体浸透量に比べて降雨等の影響が極めて少ないために、全てのダムで減少傾向が明瞭に理解できる。したがって、前述の(4.1)式の前半の2項に相当する値だけを計測することが容易といえる基礎浸透量は、堤体浸透量の場合に比べて基礎部の浸透流挙動の異常を監視する上で有効な項目と考えられる。

4.4 まとめ

- ① 湛水前計測値より求められる基底湧水量は、10～100 l/min程度の値を示す。
- ② 湛水前最大湧水量と最高水位時堤体浸透量の関係は1:1～1:5程度の割合を示す。
- ③ 正常に機能しているダムの真の堤体浸透量は、浸透経路の目詰まり等によって、長期的には減少傾向を示す。
- ④ 真の堤体浸透量とは、 $Q = (\text{基底流量}) + a \cdot (\text{貯水位の上昇})$ で示されるべきであり、実際の計測値には少なからず含まれてしまうその他のパラメータ、特に降水量の影響は後で正確に取り除くことが困難であるため、計測方法に工夫を凝らし、極力含まないようにすべきである。
- ⑤ 降雨等の影響がほとんどない基礎浸透量は、堤体浸透量に比べて関数表現が容易であると考えられ、基礎部の浸透破壊を監視する上で有効な計測項目である。

表-4.1 湛水前後の計測値の比較

ダム名	湛水前 計測日数	湛水前計測値 (ℓ/min)		初期湛水時計測値 (ℓ/min)		備 考
		最小(基底)	最 大	中 間 水 位	最 高 水 位	
Eダム	10日	(20)	(40)	200	400	計測値の合計量
Lダム	210日	90	1,500	500	1,500	フィル堤内排水
Qダム	2年	20	70	300	400	合計量
Rダム	3年	5	60	40	60	下流フィルタ部
Vダム	6年	170	1,100	600	900	下流フィルタ部
Wダム	1年	20	130	50	180	下流フィルタ部
cダム	1年	10	400	800	2,000	W-5, W-6の合計量
dダム	7日	(10)	(20)	60	80	下流フィルタ部

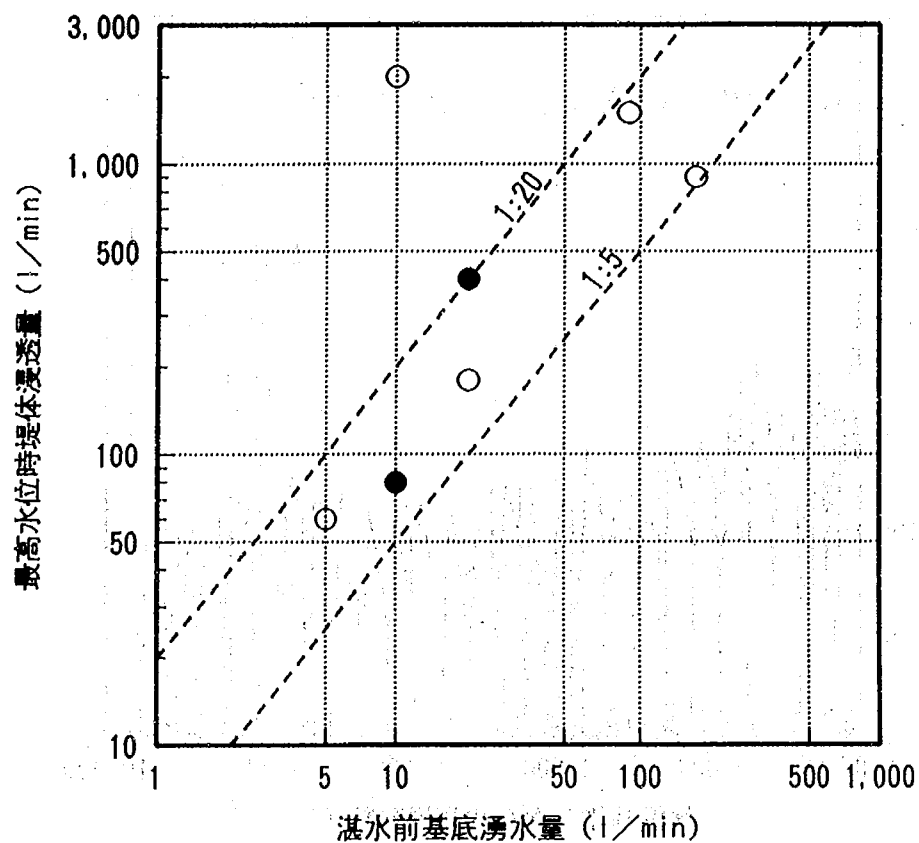


図 - 4.1.(a) 湛水前後の計測値の比較

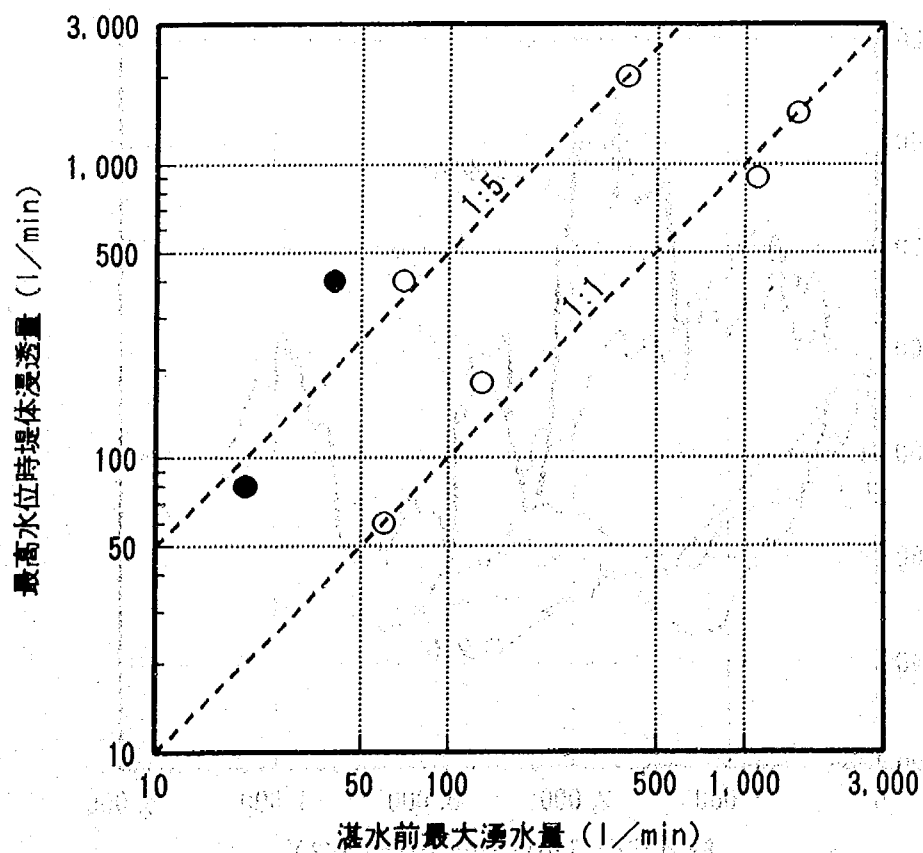


図 - 4.1.(b) 湛水前後の計測値の比較

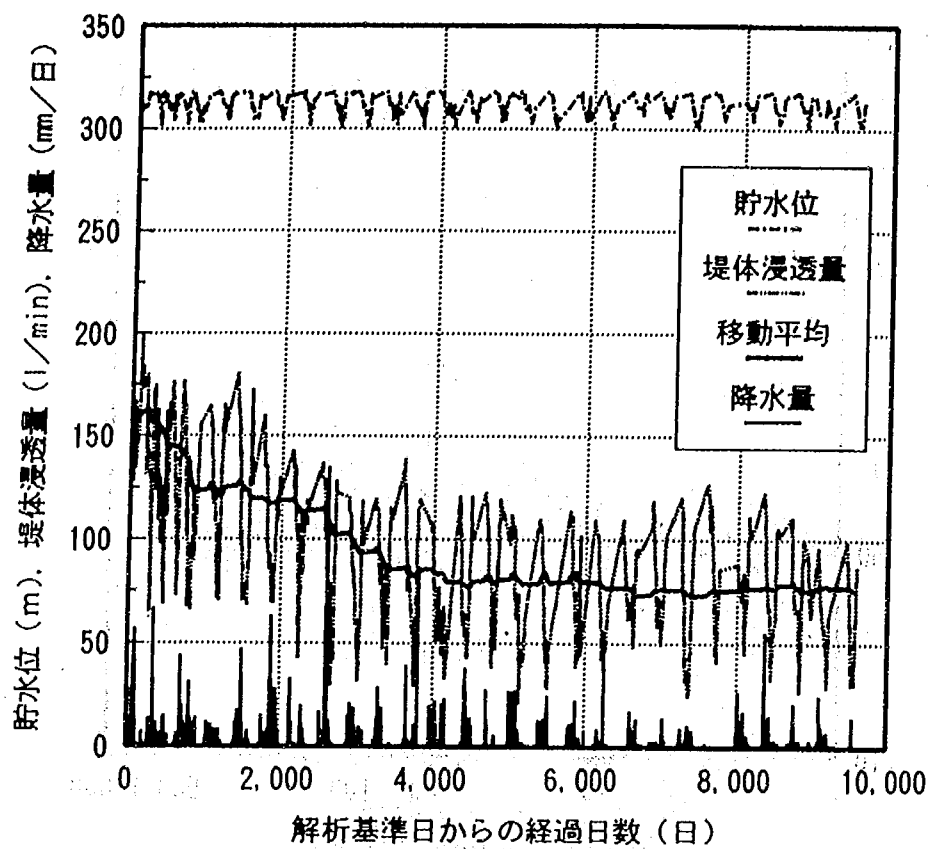


図 - 4.2 堤体浸透量計測結果 (Aダム)

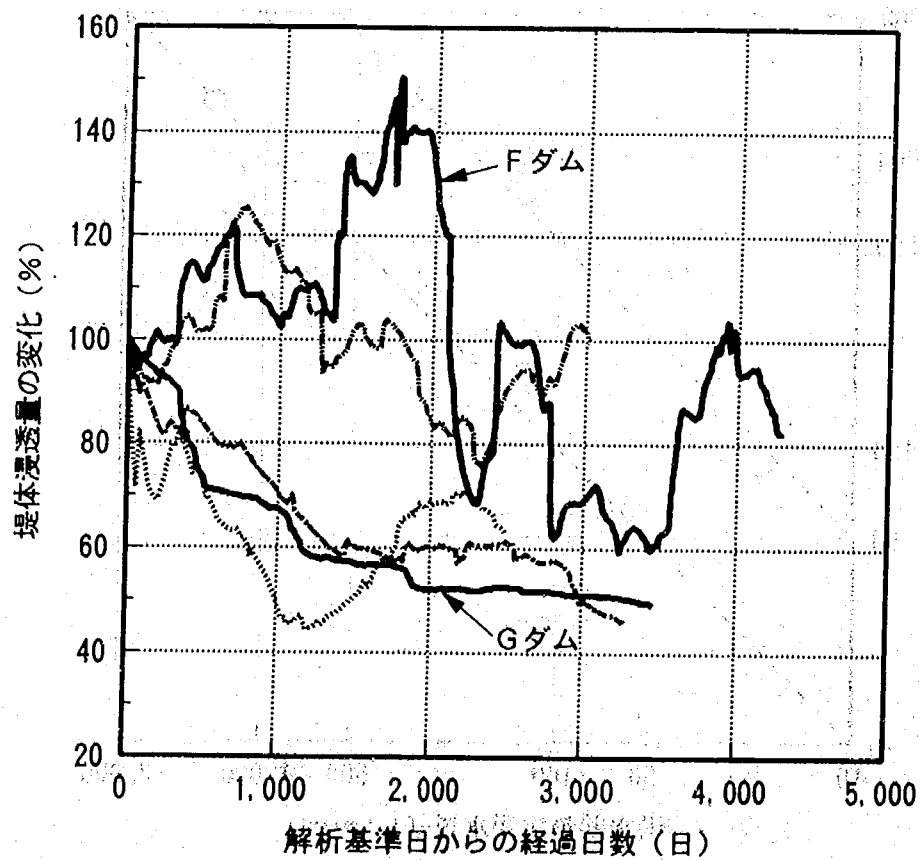


図 - 4.3.(a) 堤体浸透量の経時変化 (従来方式)

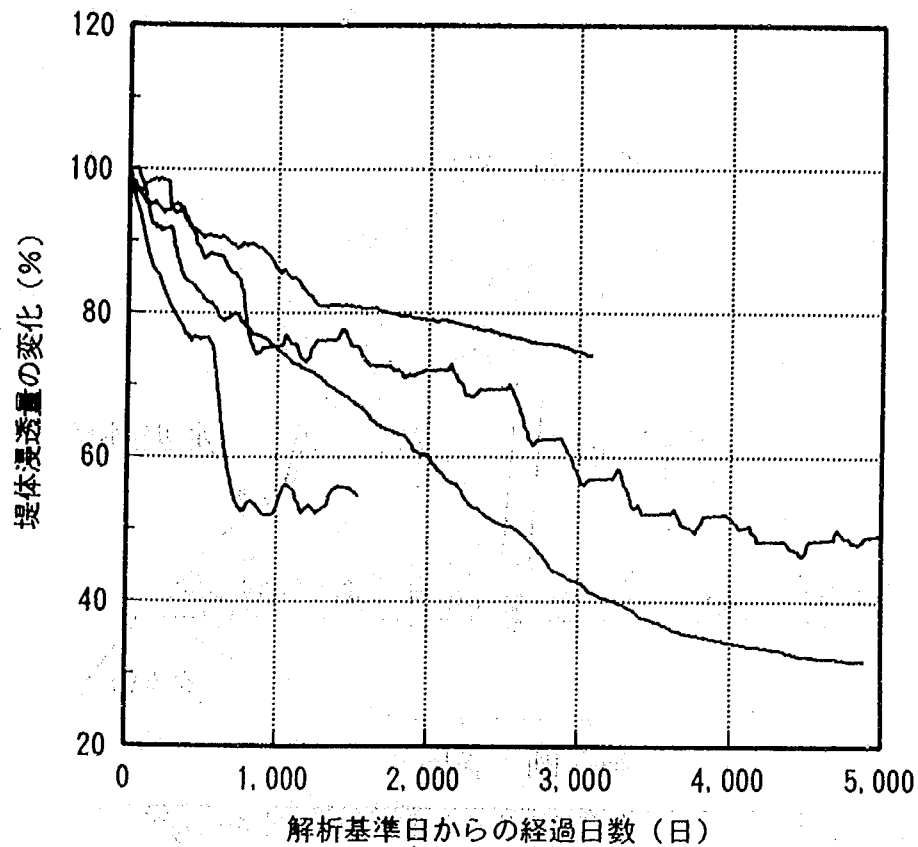


図 - 4.3.(b) 堤体浸透量の経時変化 (改良方式等)

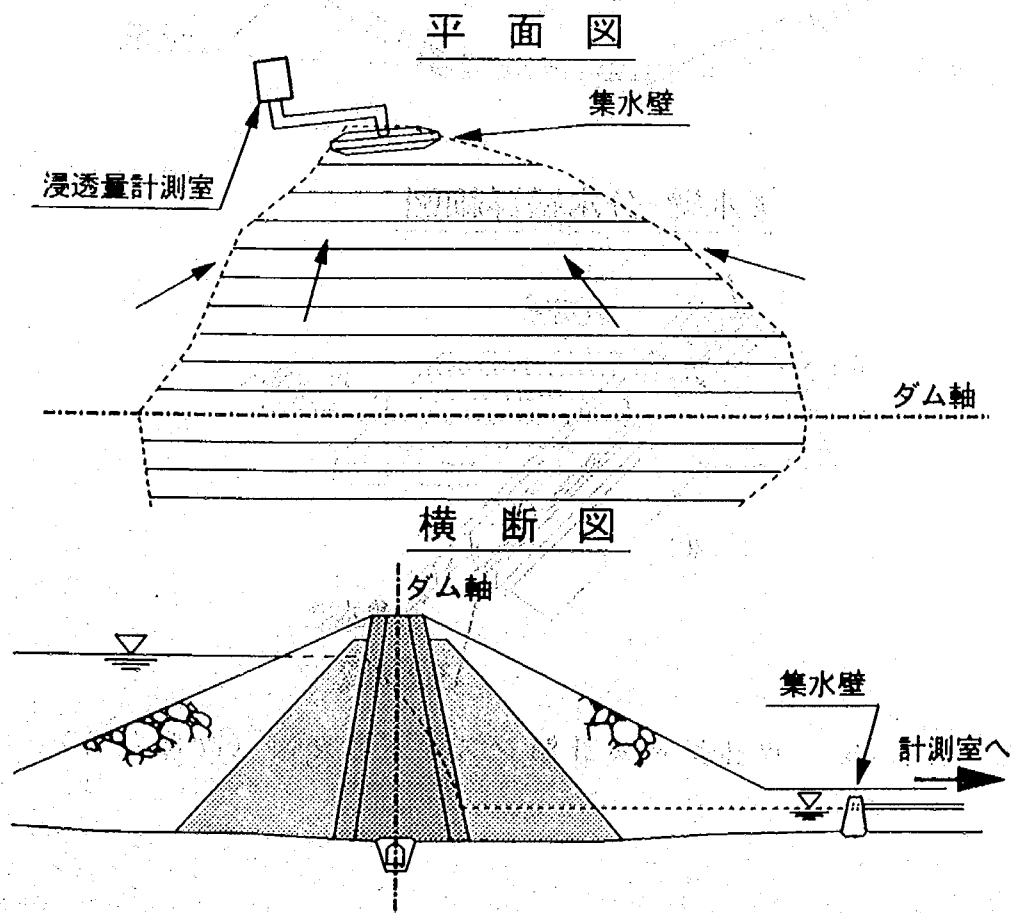
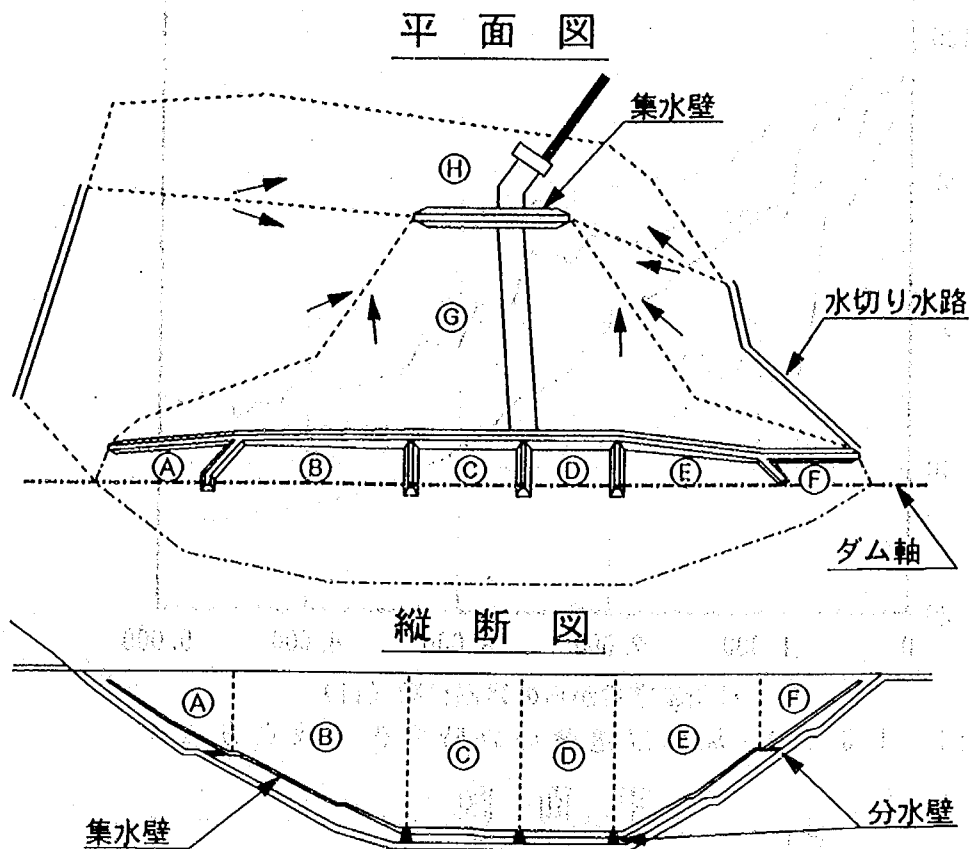


図 - 4.4.(a) 堤体浸透量計測システム概念図 (従来方式)



集水壁・分水壁詳細図

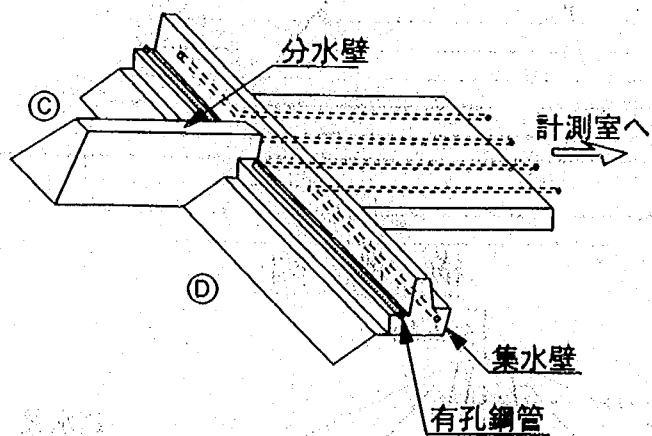


図 - 4.4. (b) 堤体浸透量計測システム概念図 (改良方式)

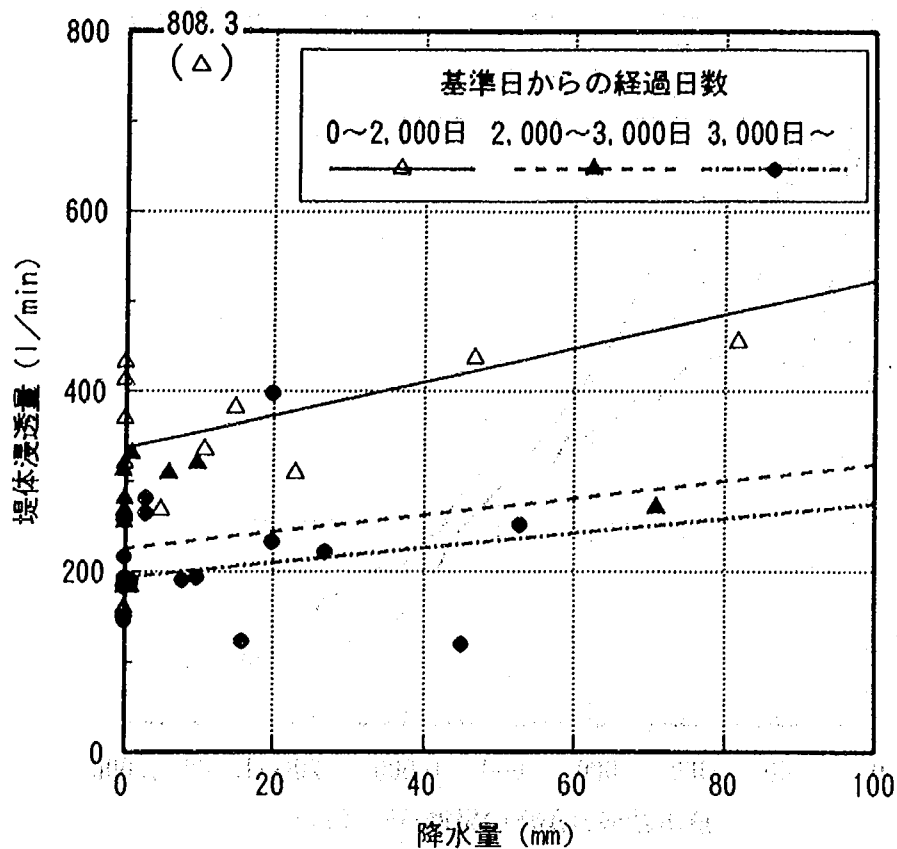


図 - 4.5 同貯水位における降水量と浸透量 (F ダム)

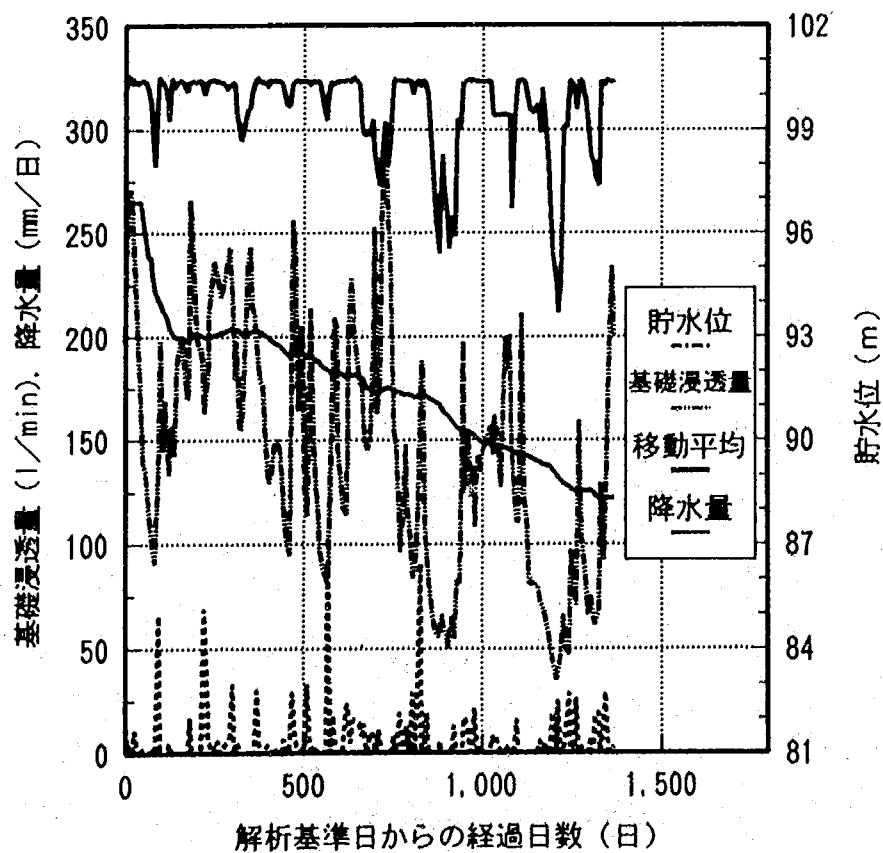


図 - 4.6 基礎浸透量計測結果 (G ダム)

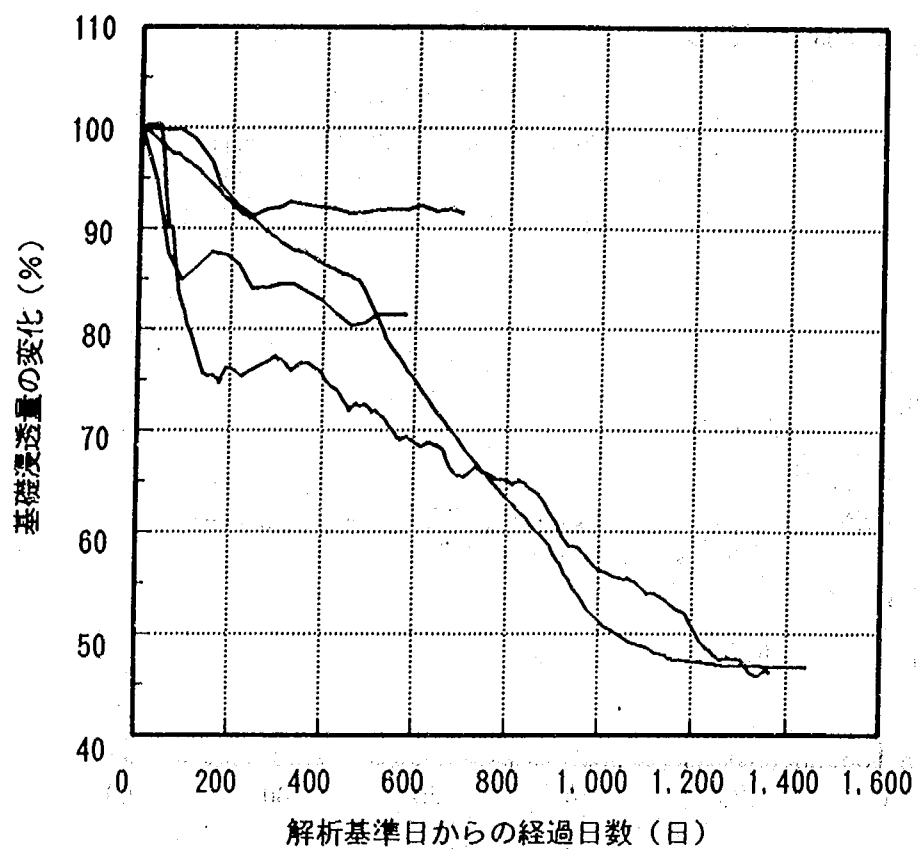


図 - 4.7 基礎浸透量の経時変化

第 5 章 結 論

① 天端の変位傾向

土木研究所資料第3001号「フィルダムの挙動解析(その1)」と合わせて、概ね傾向が把握された。つまり、最大沈下量は、最終盛立高の最も高い天端位置で生じるが、沈下量をその計測部の最終盛立高で除した沈下率で比較すると、最大横断面部より左右岸のアバット部の方が多少大きな値となる。また、天端の沈下率は各ダムによってある一定値を示し、最終盛立高が高いダムほど大きな値となる。

沈下の要因は、最終盛立高、コア材およびロック材の乾燥密度と間隙比、ロック部の締固め厚さとの関係が認められた。すなわち、最終盛立高が高いほど沈下量は多くなり、また、乾燥密度が大きいほど、間隙比が小さいほど、さらには、締固め厚さが厚いほど沈下率は高くなる。

ダム軸の長期的な水平変位傾向は、実績貯水位変動割合と谷形状 L/H_{max} の影響が認められ、特に、貯水位変動の堤高に対する割合が大きなダムでは、ダム軸の下流側変位が明瞭に現れる。

② 最大横断面法面の外部変位傾向

上下流法面の10年後の沈下量は、天端の沈下量と同じで、(1.2)式で表すことができる。水平変位については、最高水位時の変位傾向は天端と同様で、最終盛立高の0.1%の範囲内の下流側変位を示す。しかし、10年後の水平変位においては、下流法面で増加した値が認められ、最終盛立高の0.2%までの範囲の下流方向水平変位を示す。

③ 堤体内部変位

層別沈下計によって計測された計測値の整理を行った結果、最大沈下量、沈下率曲線、鉛直ひずみの傾向について、概ね把握することができた。すなわち、最大沈下量は、計測部の最終盛立高との関係で表現できること。沈下率曲線は、ほぼ計測部最終盛立高の50%の位置でピークを示す曲線になること。鉛直ひずみ分布は、沈下率曲線と異なり、4種類ほどの分布型があること。また、その最大鉛直ひずみは、ロック部で6%、コア部で8%を示すことである。

相対水平鉛直変位計、ゾーン間沈下計による計測例は少なく、また、計測された値自体もばらつきが大きい場合が多い。今後、計測精度の向上も含め、計測方法の改善が望まれる。

④ 岩盤変位

一般的な変位傾向について把握することができた。変位は、計測長、盛立高、

岩盤変位計設置部の岩盤変形特性に影響を受けることが認められた。換算鉛直土圧と岩盤鉛直ひずみの関係より岩盤変形係数を求めると、 $3,000 \sim 80,000 \text{ kg/cm}^2$ 程度の値を示した。

現位置試験による岩盤変形係数と比較すると、 $1:1 \sim 1:3$ の割合で岩盤変位計から求めた変形係数の方が大きい値を示した。

また、湛水時の水荷重の増加に対し、計測値が変動するダムは少ない。

⑤ 浸透量

湛水前後の計測値を比較することにより、簡易的に初期湛水時の最大堤体浸透量を予想することができ、初期湛水時の最高水位における堤体浸透量は、湛水前の最大湧水量に等しいか上回る。

真の堤体浸透量は $Q = (\text{基底流量}) + a \cdot (\text{貯水位の上昇})$ で示され、正常に機能しているダムでは、浸透経路の目詰まり等によって、長期的には、減少傾向を示す。ただし、実際の計測値には、降水量等の影響が含まれてしまうため、計測方法に工夫を凝らし、極力これを少なくしなければならない。

また、基礎浸透量はこれらの影響が少ないため、基礎部の浸透破壊を監視する最も有効な項目である。

現在、土圧および間隙水圧の計測値の整理を進めており、とりまとめ次第、内部変位の計測値と合わせて解析結果を報告する。

謝

辞

本資料をとりまとめるにあたり、貴重な計測資料を収集および提出していただいた各ダム担当者の皆様には、大変な御協力を賜ったことをここに記し、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 松本徳久, 安田成夫, 伊藤基博:「フィルダムの挙動解析(その1)-天端最大断面部の外部変位-」, 建設省土木研究所資料, 第3001号, 1991.3
- 2) 三国英四郎:「ロックフィルダム-材料の締固めと堤体の挙動-」, 大ダム, No. 54, pp. 17~31, 1970
- 3) 久納 誠:「フィルダムの実測値による応力・ひずみ解析」, 第1回ダム工学研究発表会講演集, 1991.3
- 4) 松本徳久, 尾芦直人, 池田 隆:「フィルダムの挙動計測に関する調査」, 土木研究所資料, 第2070号, 1984.3
- 5) 松本徳久, 池田 隆:「フィルダム底設監査廊の設計と基礎岩盤の変形」, 土木研究所資料, 第2069号, 1984.2
- 6) 松本徳久, 山口嘉一:「フィルダム基礎の変形予測とその精度」, 土木研究所資料, 第2646号, 1988.7
- 7) 仲野良紀:「ダム築造によるアバットメント部の亀裂の発生について」, 第10回ダム技術講演会テキスト, 日本大ダム会議, 1978
- 8) 仲野良紀:「堆積軟岩上のダム」, 農業土木学会誌, 第55巻, 第3号, 1987.3
- 9) 長野県奈良井川改良事務所:「奈良井ダム堤体観測データ整理解析業務委託報告書」, 1981.3
- 10) 近藤 悟:「試験湛水と測定計画」, ダム技術, No. 29, pp. 16~25, 1989
- 11) 建設省土木研究所フィルダム研究室:「ロックフィルダム漏水計測装置の計画の考え方及び漏水量計測の留意点(その1)」, ダム技術, No. 47, pp. 66~68, 1990.8
- 12) 建設省土木研究所フィルダム研究室:「ロックフィルダム漏水計測装置の計画の考え方及び漏水量計測の留意点(その2)」, ダム技術, No. 54, pp. 124~127, 1991.3

付表・付図

= 第 1 章 =

天端，最大横断面法面変位計測結果 (表 - 1 ~ 11)

最終盛立高と10年後沈下量 (図 - 1 ~ 11)

= 第 2 章 =

最終盛立高と最大沈下量 (図 - 12)

最終盛立高と最大沈下率 (図 - 13)

最終盛立高と最大沈下量発生位置 (図 - 14)

最大沈下率とその発生位置 (図 - 15)

盛立完了時層別沈下率 (図 - 16)

盛立完了時層別沈下率曲線図 (図 - 17 ~ 24)

盛立完了時層別沈下率曲線図 (コア部) (図 - 25 ~ 35)

盛立完了時層別沈下率曲線図 (ロック部) (図 - 36 ~ 43)

3年後層別沈下率曲線図 (コア部) (図 - 44 ~ 52)

3年後層別沈下率曲線図 (ロック部) (図 - 53 ~ 59)

鉛直ひずみ分布図 (コア部) (図 - 60 ~ 70)

鉛直ひずみ分布図 (ロック部) (図 - 71 ~ 77)

= 第 3 章 =

盛立(標)高と岩盤変位の経時変化 (図 - 78 ~ 90)

盛立高と岩盤鉛直ひずみ，岩盤変位 (図 - 91 ~ 116)

= 第 4 章 =

貯水位，堤体浸透量の経時変化 (図 - 117 ~ 129)

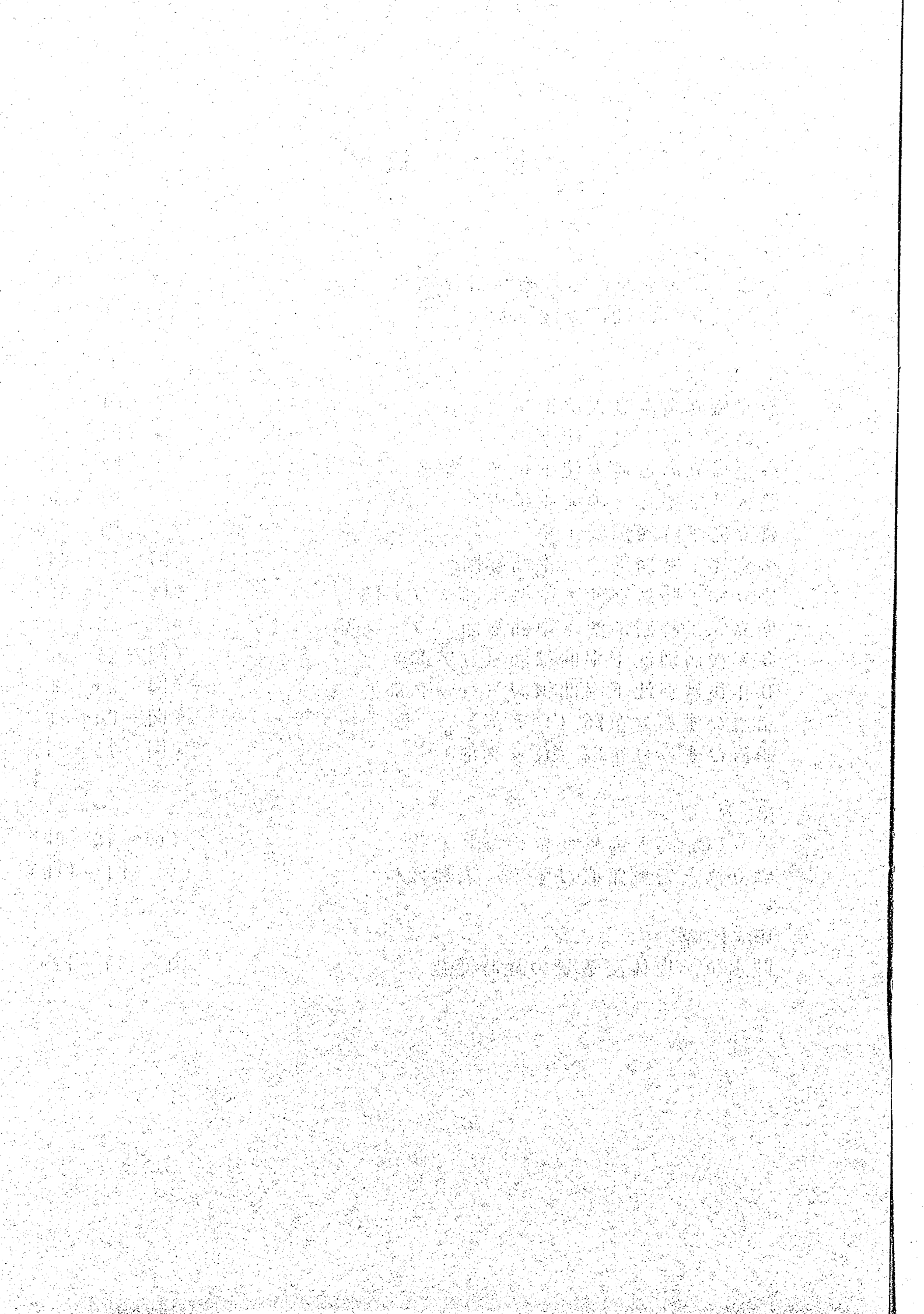


表 - 1. (a) 天端変位 (C ダム)

Cダム天端		計測開始 74.10.16 最高水位時 75.6.6 3年経過時 77.11.19 10年経過時 84.10.11									
測 点 番 号		C-10	C-9	C-8	C-7	C-6	C-5	C-4	C-3	C-2	C-1
追加距離 (15)		26	66	106	146	186	226	266	300	346	386
最終盛立高 H(m)		23	50	78	81	86	82	60	43	30	12
水平変位 dh (mm)	最高水位時	21	12	17	14	62	49	47	36	22	8
	3年経過時	11	-24	-21	-41	15	17	32	27	31	9
	10年経過時	-3	-20	-27	-29	6	10	31	27	25	1
沈下量 dv (mm)	最高水位時	22	42	65	71	77	79	60	53	31	13
	3年経過時	59	116	176	198	220	214	170	134	76	31
	10年経過時	75	162	250	282	324	305	245	192	102	44
沈下率 dv/H(%)	最高水位時										
	3年経過時										(0.363)
	10年経過時	0.327	0.324	0.321	0.348	0.377	0.372	0.408	0.447	0.34	0.367

表 - 1. (b) 最大横断面法面変位 (C ダム)

Cダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部					
測点番号		U-3	U-2	U-1	C-5	L-2	L-5	L-8			
追加距離 (390)		4.6	5.6	6.6	8.2	10.0	11.75	13.5			
最終盛立高 H(m)		42	54	61	86	54	35	20			
水平変位 dh(mm)	最高水位時				49	25	--	3			
	3年経過時	0	1	-3	17	-34	-24	5			
	10年経過時	-6	7	7	10	-73	-40	29			
沈下量 dv(mm)	最高水位時				77	21	13	3			
	3年経過時	19	12	112	200	76	33	9			
	10年経過時	21	73	221	324	140	66	19			
沈下率 dv/H(%)	最高水位時										
	3年経過時										
	10年経過時	0.050	0.135	0.362	0.378	0.259	0.189	0.095			

表 - 2. (a) 天端変位 (D ダム)

Dダム天端		計測開始 76.1		最高水位時 76.11		3年経過時 79.1		10年経過時 86.1			
測点番号		15	13	11	9	7	5	3+10			
追加距離 (256.5)		20	60	100	140	180	220	250			
最終盛立高 H(m)		15	32	40	38.5	38.5	25	12			
水平変位 dh(mm)	最高水位時	2	3	10	6	7	4	-2			
	3年経過時	0	5	0	3	4	5	0			
	10年経過時	-2	-1	-3	0	3	3	0			
沈下量 dv(mm)	最高水位時	13	18	17	17	19	15	5			
	3年経過時	13	31	42	55	61	46	9			
	10年経過時	24	47	60	72	80	64	24			
沈下率 dv/H(%)	最高水位時										
	3年経過時										
	10年経過時	0.160	0.147	0.150	0.187	0.208	0.256	0.200	(0.188)		

表 - 3. (a) 天端変位 (E ダム)

E ダム天端		計測開始 75. 11. 10 最高水位時 76. 11. 23 3 年経過時 78. 11 10 年経過時 85. 11									
測点番号		D-10	D-11	D-12	D-13	D-14	D-15	D-16	D-17	D-18	
追加距離 (366)		17	57	97	137	177	217	257	297	337	
最終盛立高 H(m)		24	44	80	104	127.5	109	83	60	21	
水平変位 dh (mm)	最高水位時	60	70	73	76	80	76	54	34	10	
	3 年経過時	56	54	48	42	37	41	32	24	16	
	10 年経過時	61	59	57	52	49	54	39	32	20	
沈下量 dv (mm)	最高水位時	116	161	227	260	274	256	233	193	95	
	3 年経過時	140	222	313	383	439	379	338	255	112	
	10 年経過時	165	259	371	449	500	436	390	288	120	
沈下率 dv/H (%)	最高水位時										
	3 年経過時										
	10 年経過時	(0.688)	0.589	0.464	0.432	0.392	0.400	0.470	0.480	(0.571)	(0.461)

表 - 3. (b) 最大横断面法面変位 (E ダム)

E ダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部				
測点番号					D-5	D-14	D-22	D-26		
追加距離 (15)					5.4	8.2	10.45	12.85		
最終盛立高 H(m)					88	127.5	90	40		
水平変位 dh (mm)	最高水位時				—	80	78	56		
	3 年経過時				15	28	87	55		
	10 年経過時				—	49	101	58		
沈下量 dv (mm)	最高水位時				—	274	132	76		
	3 年経過時				143	439	155	81		
	10 年経過時				—	500	169	81		
沈下率 dv/H (%)	最高水位時									
	3 年経過時									
	10 年経過時					0.392	0.188	0.203		

表 - 4. (a) 天端変位 (F ダム)

Fダム天端		計測開始 78.1.1 最高水位時 78.11.24 3年経過時 81.6 10年経過時 88.3								
測点番号			T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15
追加距離 (506)			20	80	140	200	260	320	396	456
最終盛立高 H(m)			16.92	25.55	67.57	95	67.48	20.70	39.17	33.13
水平変位 dh(mm)	最高水位時				45	43	68			
	3年経過時				40.6	76.1	83.2			
	10年経過時				60	94	109.5			
沈下量 dv(mm)	最高水位時		5	15	50	64	47	6	9	12
	3年経過時		11	21	85	107	82	14	17	18
	10年経過時		17	30	130	167	134	28	38	36
沈下率 dv/H(%)	最高水位時									
	3年経過時									
	10年経過時		0.10	0.117	0.193	0.176	0.199	0.135	0.097	0.109 (0.125)

表 - 4. (b) 最大横断面法面変位 (F ダム)

Fダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部			
測点番号					T-11	T-17	T-20		
追加距離 (14.8)					6.65	8.35	10.05		
最終盛立高 H(m)					95	80	60		
水平変位 dh(mm)	最高水位時				43	36	16		
	3年経過時				76	28	25		
	10年経過時				94	55	35		
沈下量 dv(mm)	最高水位時				64	42	17		
	3年経過時				107	89	49		
	10年経過時				167	142	73		
沈下率 dv/H(%)	最高水位時								
	3年経過時								
	10年経過時				0.174	0.178	0.209		

表 - 5. (a) 天端変位 (H ダム)

Hダム天端		計測開始 79. 5. 22		最高水位時 80. 3. 14		3年経過時 82. 5. 13		10年経過時 88. 11. 14			
測点番号		D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8		
追加距離 (420)		15	60	105	180	240	300	360	405		
最終盛立高 H(m)		12	56	93	146	147	124	72	25		
水平変位 dh (mm)	最高水位時	—	30	52	71	63. 5	60	39. 5	4. 5		
	3年経過時	-18. 5	35. 5	41. 5	45. 5	35	32. 5	89. 5	28. 5		
	10年経過時	-32. 5	23	19	2	-5. 5	6	58. 5	26. 5		
沈下量 dv (mm)	最高水位時	16	98	144	192	235	185	119	42		
	3年経過時	43	201	306	423	462	406	266	96		
	10年経過時	65	282	443	623	677	596	383	138		
沈下率 dv/H (%)	最高水位時										
	3年経過時										
	10年経過時	0. 542	0. 504	0. 475	0. 427	0. 461	0. 481	0. 532	0. 552	(0. 497)	

表 - 5. (b) 最大横断面法面変位 (H ダム)

Hダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部					
測点番号			D-19	D-18	D-5	D-10	D-13	D-16			
追加距離 (22. 4)					12. 45	14. 4	15. 85	17. 55			
最終盛立高 H(m)					147	116	89	67			
水平変位 dh (mm)	最高水位時				63. 5	119. 5	82	41. 5			
	3年経過時				35	173. 5	161. 5	97. 5			
	10年経過時				-5. 5	190. 5	192. 5	123. 5			
沈下量 dv (mm)	最高水位時				235	107	79	31			
	3年経過時				462	218	146	71			
	10年経過時				677	315	205	98			
沈下率 dv/H (%)	最高水位時										
	3年経過時										
	10年経過時				0. 460	0. 272	0. 230	0. 146			

表 - 6. (a) 天端変位 (I ダム)

I ダム天端		計測開始 77.4.13 最高水位時 77.7.30 3年経過時 80.4.1 10年経過時 87.4								
測点番号		TU-1-1	TU-1-2	TU-1-3	TU-1-4	TU-1-5	TU-1-6	TU-1-7		
追加距離 (1)		0.12	0.292	0.440	0.589	0.734	0.807	0.880		
最終盛立高 H(m)		37	69	83	83	57	43	33		
水平変位 dh(mm)	最高水位時			14						
	3年経過時	12	5	-1	-17	0	2	-9		
	10年経過時	29	25	22	-3	7	-1	-8		
沈下量 dv(mm)	最高水位時	38	53	55	48	41	37	30		
	3年経過時	108	166	180	152	128	111	85		
	10年経過時	156	235	254	220	180	156	118		
沈下率 dv/H(%)	最高水位時									
	3年経過時									
	10年経過時	0.422	0.341	0.306	0.265	0.316	0.363	0.358	(0.339)	

表 - 6. (b) 最大横断面法面変位 (I ダム)

I ダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部				
測点番号				TU-2-1	TU-1-1	TD-2-1				
追加距離 (15)				6.85	9.3	11.2				
最終盛立高 H(m)				60	83	60				
水平変位 dh(mm)	最高水位時			13	14	29				
	3年経過時			11	-1	29				
	10年経過時			27	22	57				
沈下量 dv(mm)	最高水位時			39	55	26				
	3年経過時			144	180	95				
	10年経過時			199	254	159				
沈下率 dv/H(%)	最高水位時									
	3年経過時									
	10年経過時			0.331	0.306	0.265				

表 - 7. (a) 天端変位 (J ダム)

J ダム天端		計測開始 80. 2. 20 最高水位時 80. 5. 23 3 年経過時 83. 2 10 年経過時 90. 2								
測点番号		1	2	3						
追加距離 (19)		5. 3	10. 3	15. 3						
最終盛立高 H(m)		56	56	34						
水平変位 dh (mm)	最高水位時									
	3 年経過時	10	15	10						
	10 年経過時	4	8	5						
沈下量 dv (mm)	最高水位時									
	3 年経過時	73	87	65						
	10 年経過時	111	132	85						
沈下率 dv/H (%)	最高水位時									
	3 年経過時									
	10 年経過時	0. 198	0. 236	0. 250	(0. 228)					

表 - 8. (a) 天端変位 (K ダム)

Kダム天端		計測開始 79.11 最高水位時 80.12.2 3年経過時 82.11.18 10年経過時 89.11.10								
測点番号		A-9	A-8	A-7	A-6	A-5	A-4	A-3	A-2	A-1
追加距離 (305)		0	25	65	105	145	185	225	265	305
最終盛立高 H(m)		4	25	76	58.5	57.8	57.3	57.1	37.3	3.5
水平変位 dh (mm)	最高水位時	10.0	27.0	42.2	35.6	38.9	45.0	36.9	27.0	1
	3年経過時	21.1	32.8	40.1	31.1	34.6	34.6	22.3	16.3	-1.5
	10年経過時	19.4	31.3	42.0	42.0	42.1	44.0	30.7	20.0	4.0
沈下量 dv (mm)	最高水位時	48	67	83	77	73	75	74	66	16
	3年経過時	67	101	151	144	134	137	134	108	20
	10年経過時	79	124	199	188	172	175	174	124	20
沈下率 dv/H (%)	最高水位時									
	3年経過時									
	10年経過時	(1.975)	0.496	0.262	0.321	0.298	0.305	0.305	0.332	(0.571) (0.331)

表 - 8. (b) 最大横断面法面変位 (K ダム)

Kダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部			
測点番号				B-6	A-7	A-13	A-19	A-24	A-29
追加距離 (15)				6.4	7.2	8.8	9.7	10.7	11.65
最終盛立高 H(m)				63	76	63	54	45	34
水平変位 dh (mm)	最高水位時			38.5	42	55.8	37	19	10
	3年経過時			35	40	52	46.8	31	12.5
	10年経過時			40	42	73	60	36	23
沈下量 dv (mm)	最高水位時			50	83	74	58	44	7
	3年経過時			97	151	107	81	57	17
	10年経過時			131	199	141	106	73	30
沈下率 dv/H (%)	最高水位時								
	3年経過時								
	10年経過時			0.208	0.262	0.224	0.196	0.162	0.089

表 - 9. (a) 天端変位 (L ダム)

Lダム天端		計測開始 78.10 最高水位時 80.11.23 3年経過時 81.10 10年経過時 88.10									
測点番号		27	26	25	24	23	22	21	20	19	18
追加距離 (348.2)		8.2	48.2	68.2	88.2	128.2	168.2	208.2	248.2	288.2	328.2
最終盛立高 H(m)		8	21	28	39	49	61	66	66	53	18
水平変位 dh(mm)	最高水位時	21.5	18.4	35	33.7	44.7	49.7	42.4	35.8	23	13.4
	3年経過時	20.8	9.3	24.9	15.5	26.7	27.3	26.1	20.4	9.6	6.9
	10年経過時	24.4	21.4	25.5	22.3	38.0	44.2	38.3	27.9	23.0	21.3
沈下量 dv(mm)	最高水位時	14	34	44	59	76	88	86	78	23	13
	3年経過時	13	37	52	70	91	104	105	93	74	27
	10年経過時	33	48	81	110	145	166	172	156	123	52
沈下率 dv/H(%)	最高水位時										
	3年経過時										(0.280)
	10年経過時	0.413	0.229	0.289	0.282	0.296	0.272	0.261	0.236	0.232	0.289

表 - 9. (b) 最大横断面法面変位 (L ダム)

Lダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部				
測点番号				30	21	11	2			
追加距離 (15)				5	8.2	10.5	12.8			
最終盛立高 H(m)				41.5	66	39.5	19.5			
水平変位 dh(mm)	最高水位時			—	42.4	15.9	21.7			
	3年経過時			31	26.0	41.6	44.4			
	10年経過時			35.1	38.3	65.6	39.6			
沈下量 dv(mm)	最高水位時			—	86	84	0			
	3年経過時			118	144	135	48			
	10年経過時			101	172	137	25			
沈下率 dv/H(%)	最高水位時									
	3年経過時									
	10年経過時			0.243	0.261	0.347	0.128			

表 - 10. (a) 天端変位 (Mダム)

Mダム天端		計測開始 80.11.5		最高水位時 81.3.15		3年経過時 83.10		10年経過時 90.11	
測点番号		DCM-01	DCM-02	DCM-03	DCM-04				
追加距離 (210)		40	80	120	160				
最終盛立高 H(m)		46	52	44	29				
水平変位 dh(mm)	最高水位時	3.9	5.8	5.1	5.3				
	3年経過時	10.1	9.1	8	9				
	10年経過時	9.9	11.1	10.1	10.4				
沈下量 dv(mm)	最高水位時	23	23	23	15				
	3年経過時	49	46	43	32				
	10年経過時	65	61	57	43				
沈下率 dv/H(%)	最高水位時								
	3年経過時								
	10年経過時	0.141	0.117	0.130	0.148	(0.134)			

表 - 10. (b) 最大横断面法面変位 (Mダム)

Mダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部			
測点番号				DUM-02	DCM-02	DDM-02			
追加距離 (14.9)				6.9	7.8	10.5			
最終盛立高 H(m)				45	52	25			
水平変位 dh(mm)	最高水位時			15.5	5.8	0			
	3年経過時			23.5	9.1	-1.1			
	10年経過時			28.1	11.1	-1.6			
沈下量 dv(mm)	最高水位時			21	23	13			
	3年経過時			35	46	18			
	10年経過時			46	61	25			
沈下率 dv/H(%)	最高水位時								
	3年経過時								
	10年経過時			0.102	0.115	0.10			

表 - 11. (a) 天端変位 (N ダム)

Nダム天端		計測開始 80. 12. 24 最高水位時 82. 4. 20 3年経過時 83. 12 10年経過時 90. 12								
測点番号			15	14	13	12	11			
追加距離 (265)			50	90	130	170	210			
最終盛立高 H(m)			28	46	51	44	25			
水平変位 dh(mm)	最高水位時		2.4	1.9	9.2	4.2	0.5			
	3年経過時		-2.1	-4.4	2	-3.6	-5.8			
	10年経過時		1.5	2.0	9.8	0.5	-1.7			
沈下量 dv(mm)	最高水位時		25	61	74	59	53			
	3年経過時		50	90	102	90	73			
	10年経過時		53	109	122	110	79			
沈下率 dv/H(%)	最高水位時									
	3年経過時									
	10年経過時		0.189	0.237	0.239	0.250	0.316	(0.246)		

表 - 11. (b) 最大横断面法面変位 (N ダム)

Nダム最大横断面法面		上流面部			天端部	下流面部				
測点番号				8	13	18				
追加距離 (15)				5.7	8.1	10.25				
最終盛立高 H(m)				30	50	30				
水平変位 dh(mm)	最高水位時			-12	9.2	-4.5				
	3年経過時			-22	-2	3.5				
	10年経過時			-34	-9.8	10.4				
沈下量 dv(mm)	最高水位時			27	74	38				
	3年経過時			32	102	55				
	10年経過時			34	122	67				
沈下率 dv/H(%)	最高水位時									
	3年経過時									
	10年経過時			0.113	0.244	0.223				

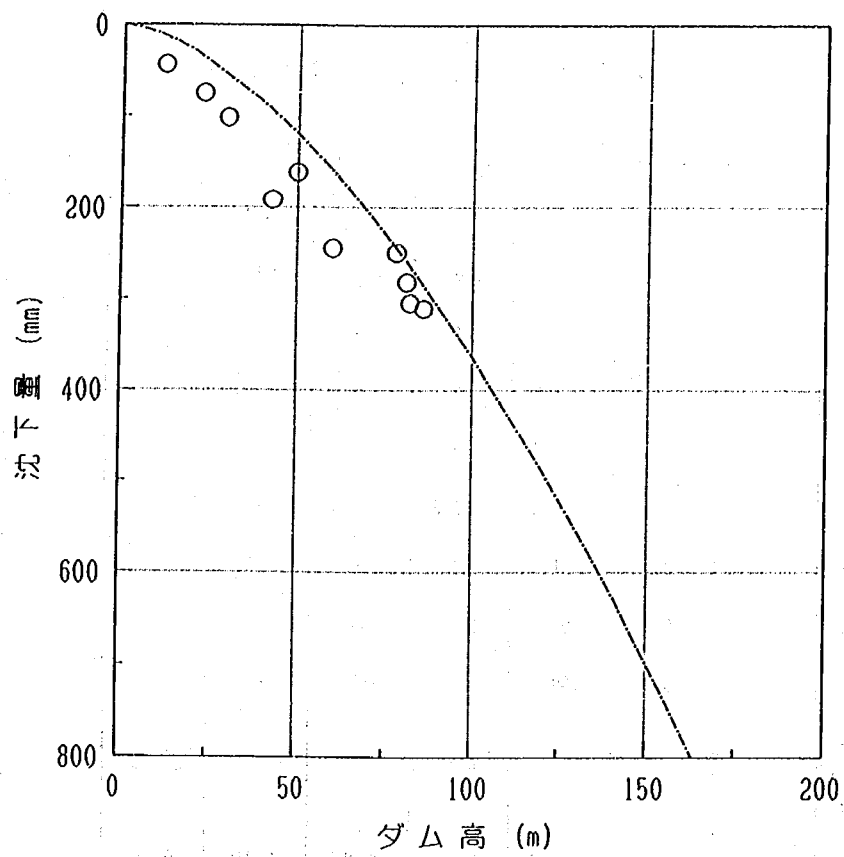


図-1 最終盛立高と10年後沈下量 (Cダム)

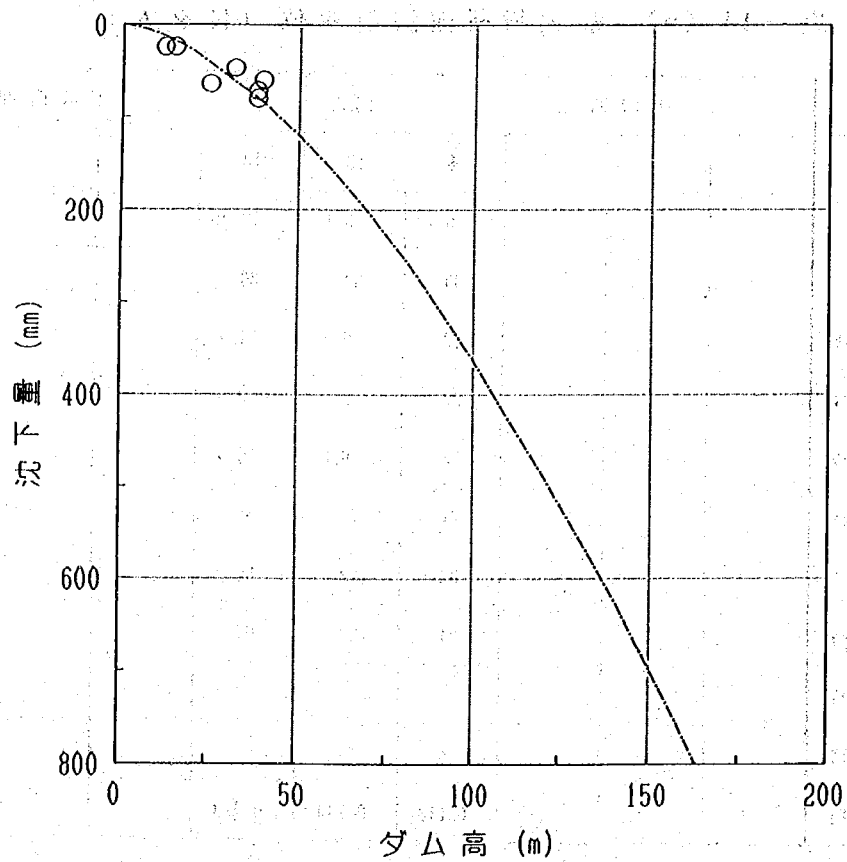


図-2 最終盛立高と10年後沈下量 (Dダム)

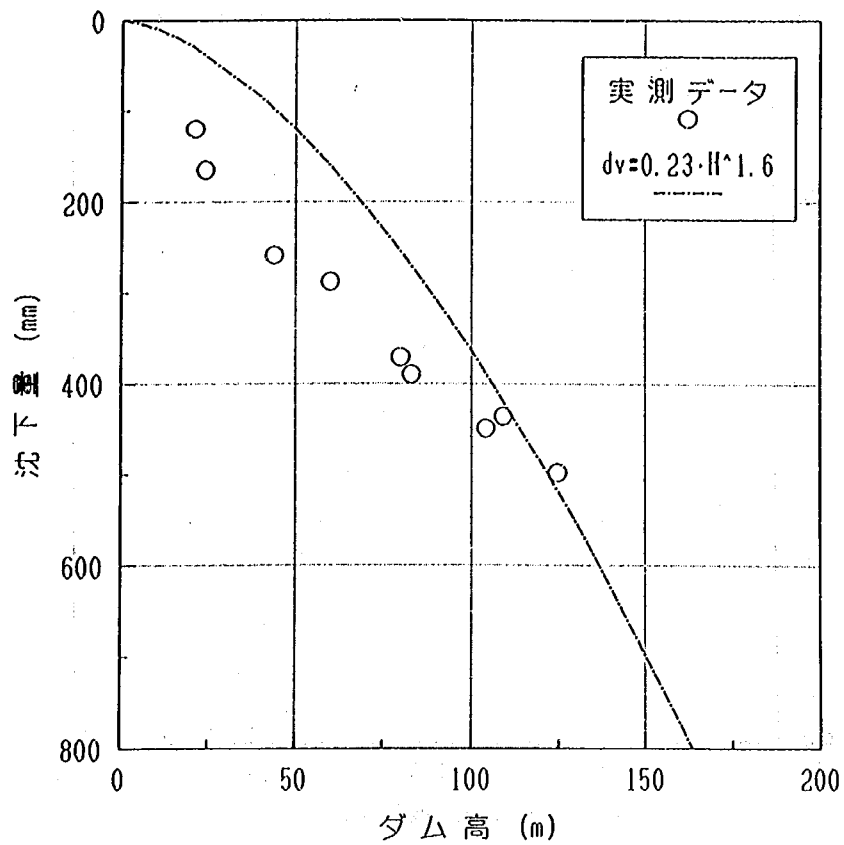


図-3 最終盛立高と10年後沈下量 (Eダム)

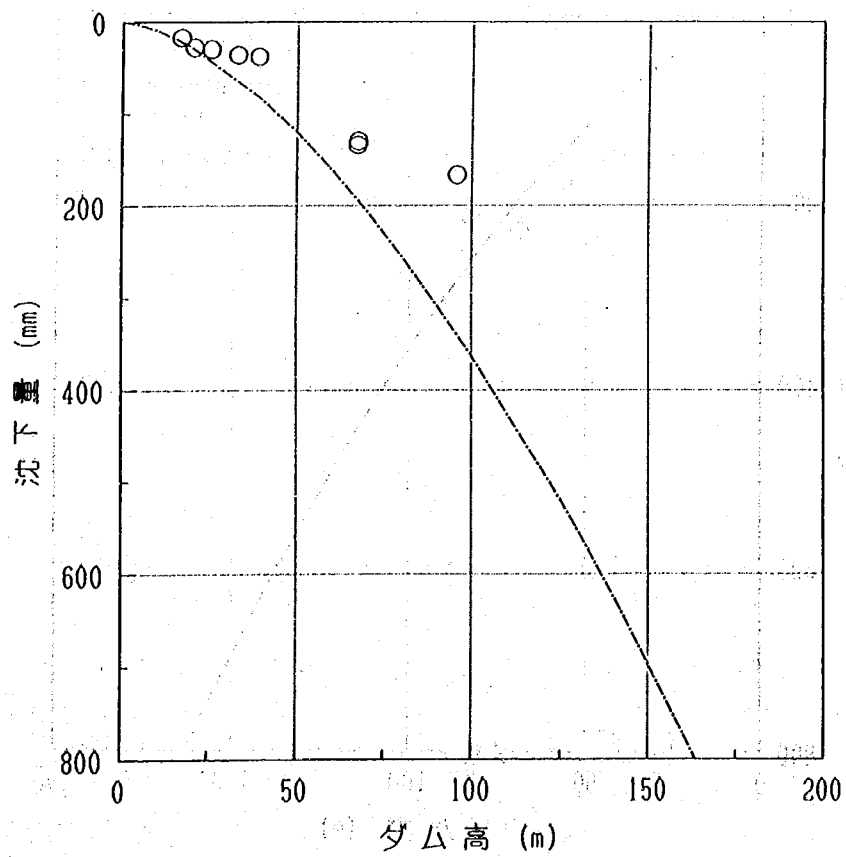


図-4 最終盛立高と10年後沈下量 (Fダム)

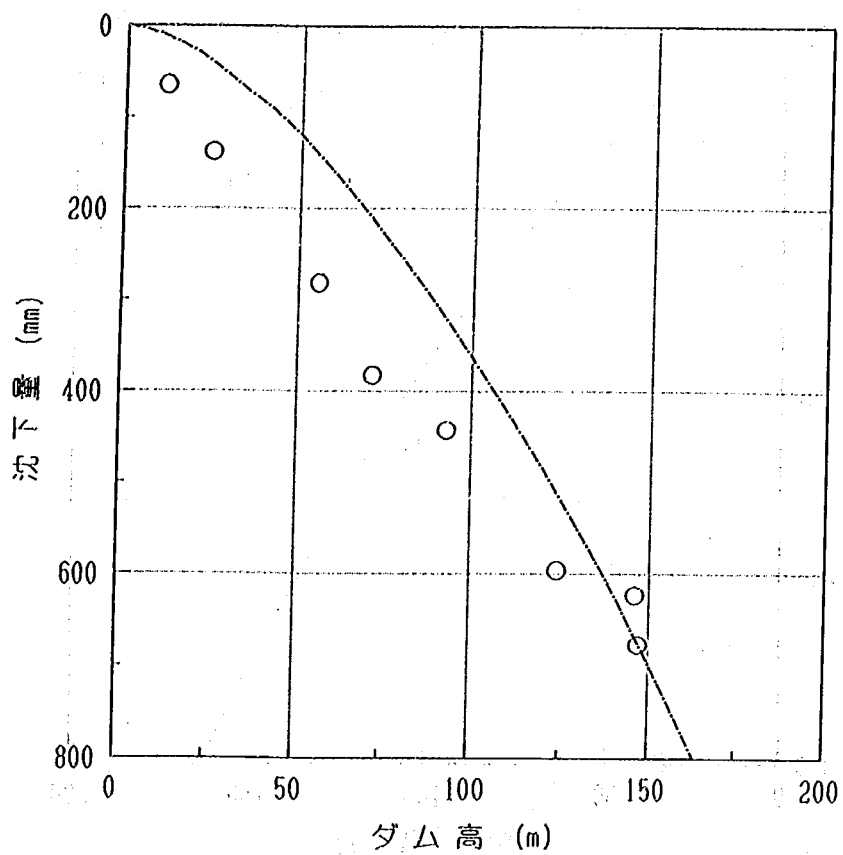


図-5 最終盛立高と10年後沈下量 (Hダム)

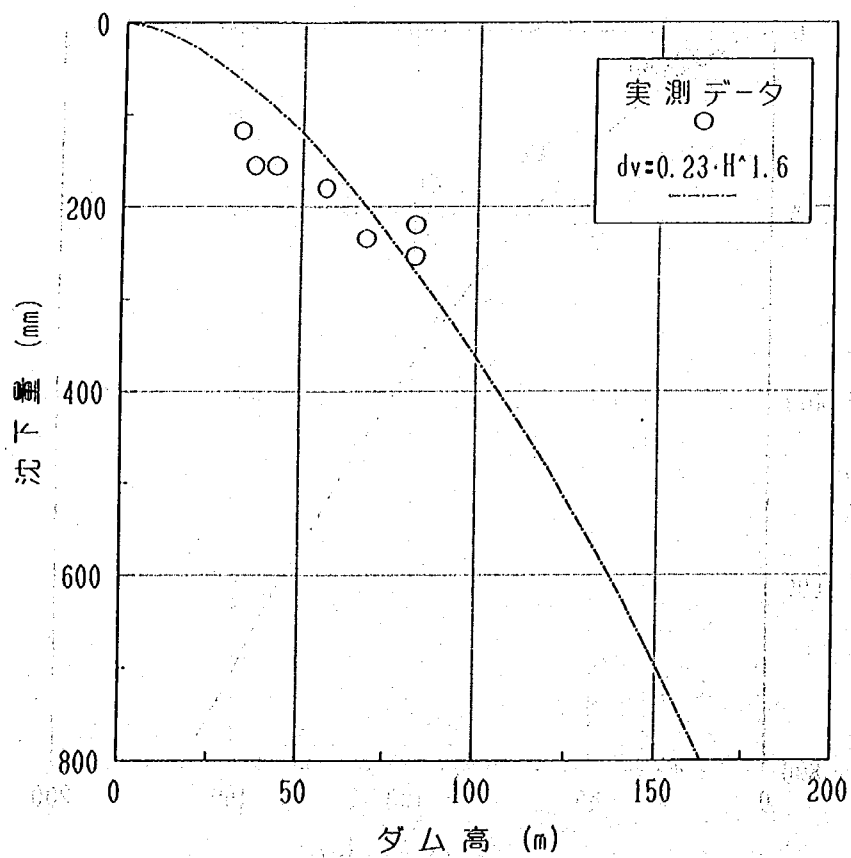


図-6 最終盛立高と10年後沈下量 (Iダム)

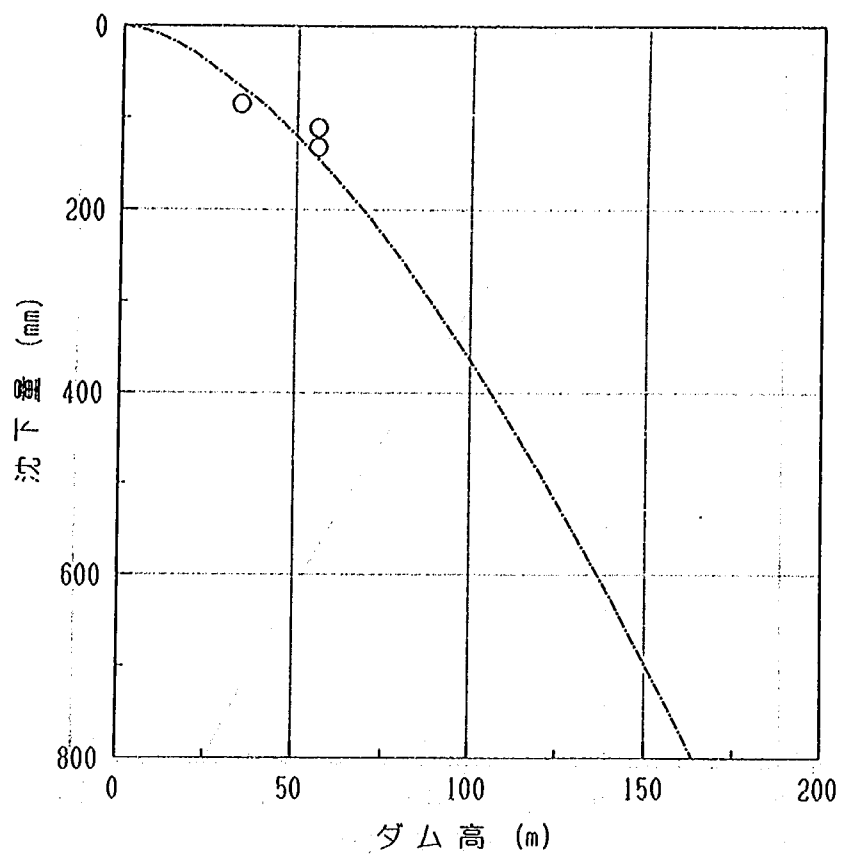


図-7 最終盛立高と10年後沈下量 (J ダム)

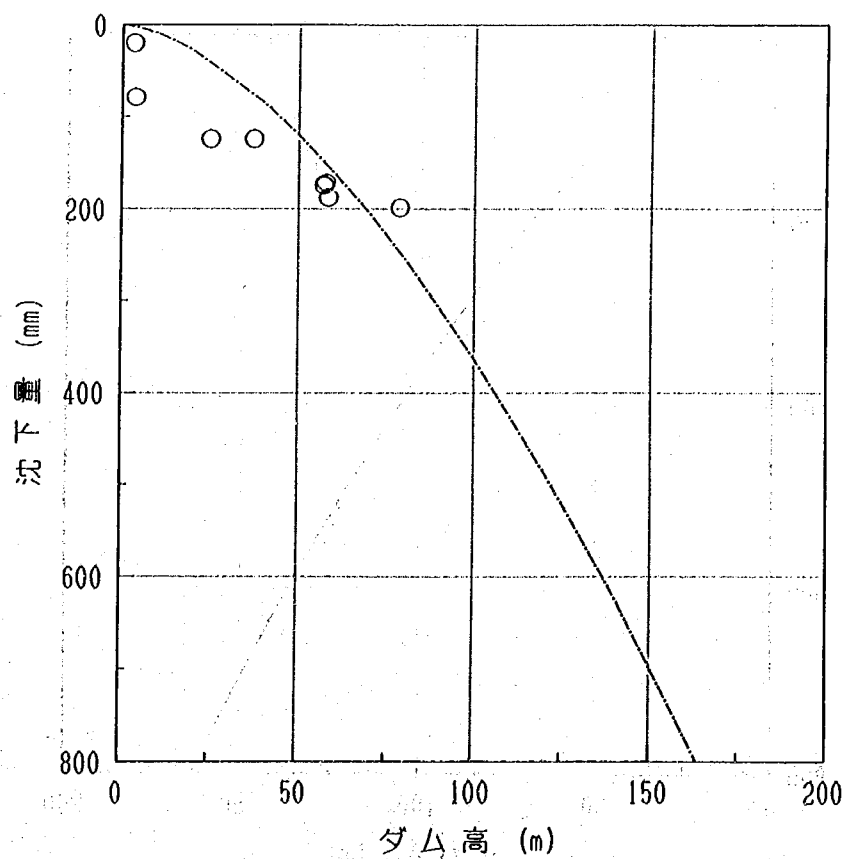


図-8 最終盛立高と10年後沈下量 (K ダム)

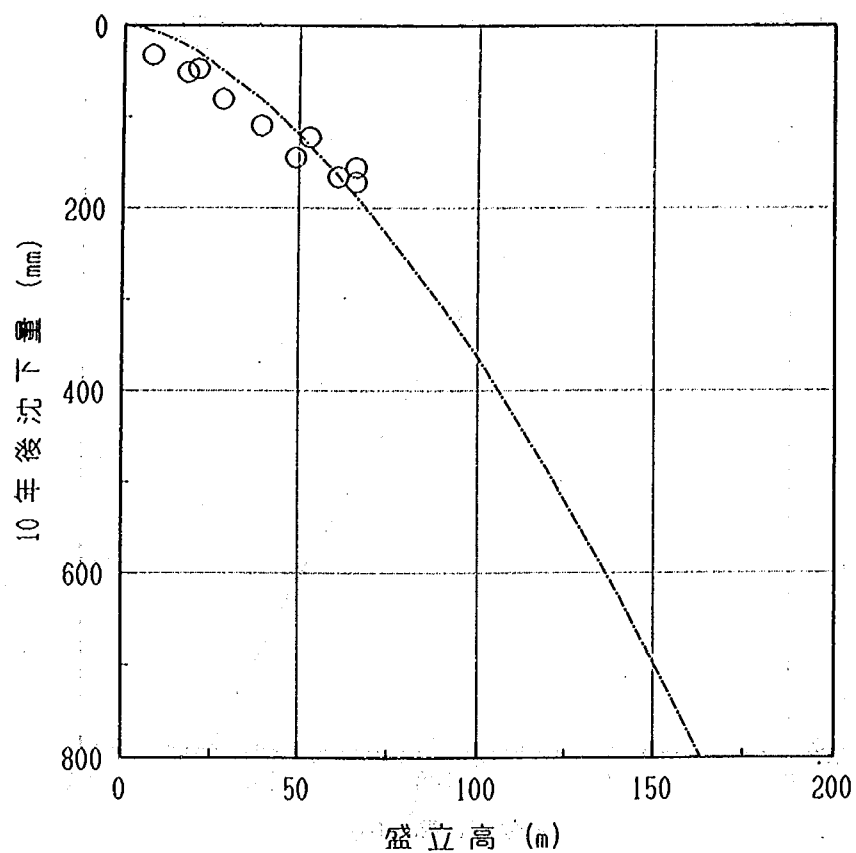


図-9 最終盛立高と10年後沈下量 (Lダム)

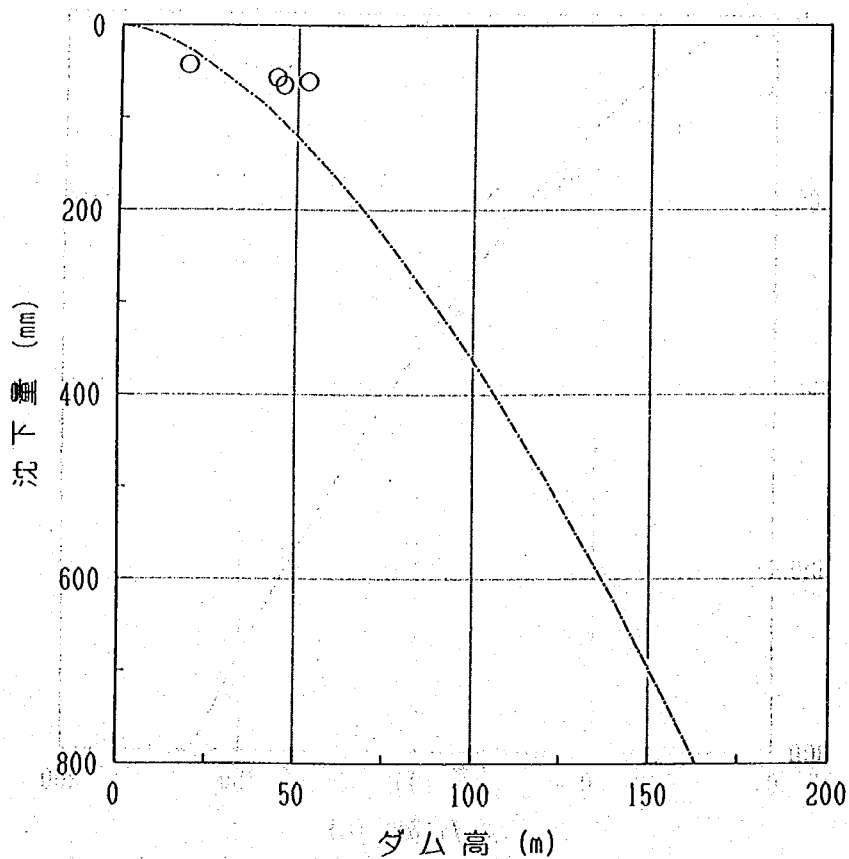


図-10 最終盛立高と10年後沈下量 (Mダム)

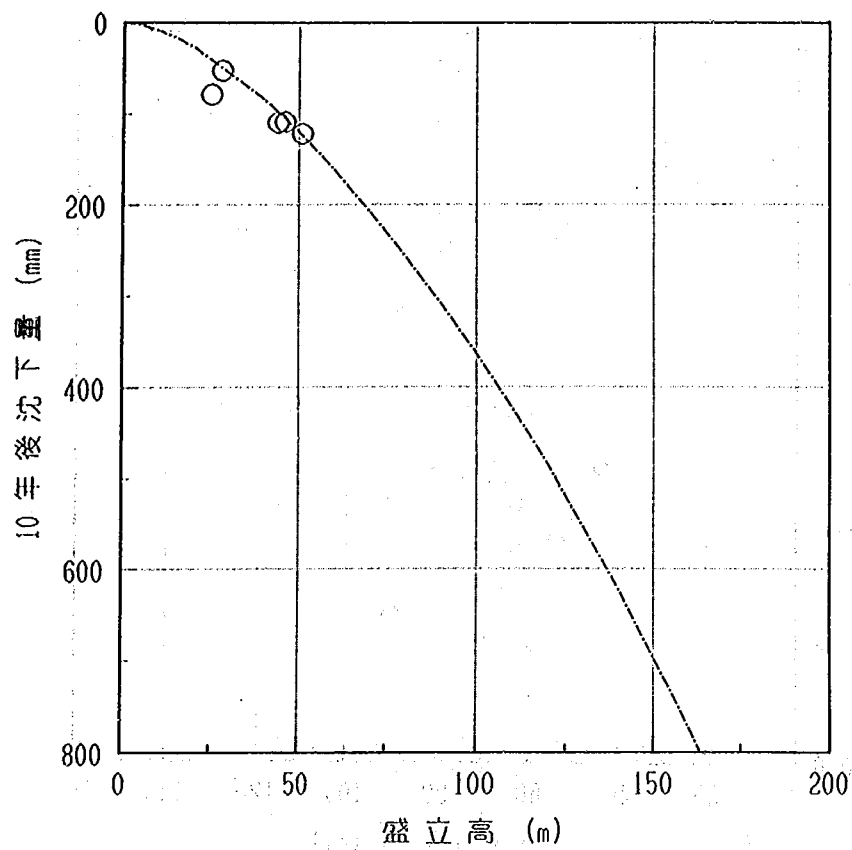


図-11 最終盛立高と10年後沈下量 (Nダム)

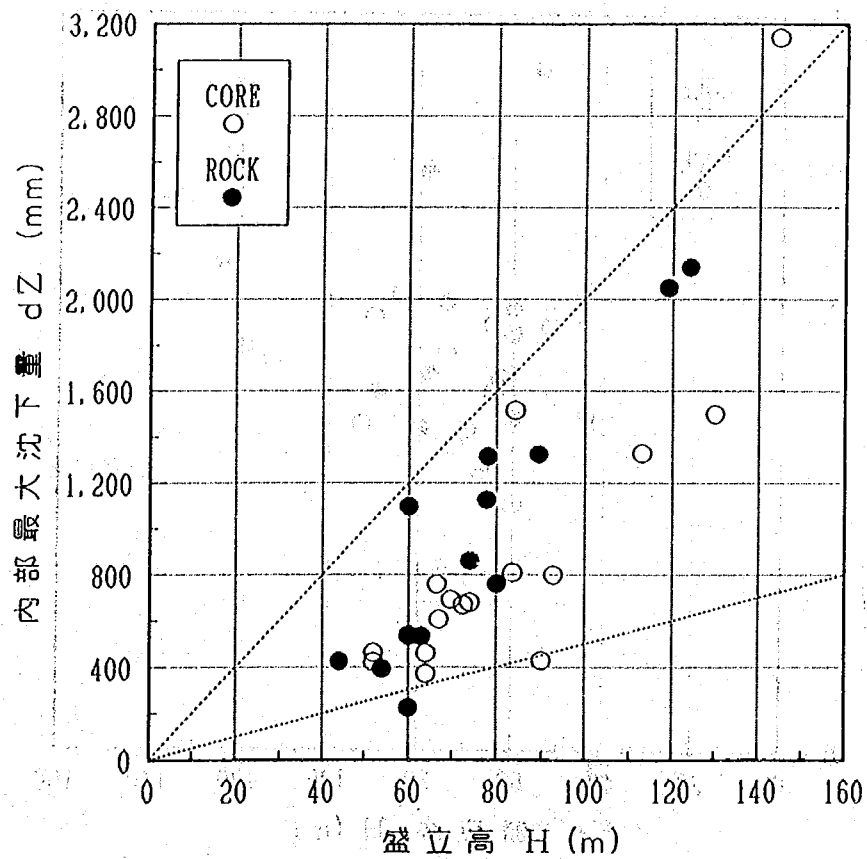


図-12 最終盛立高と最大沈下量

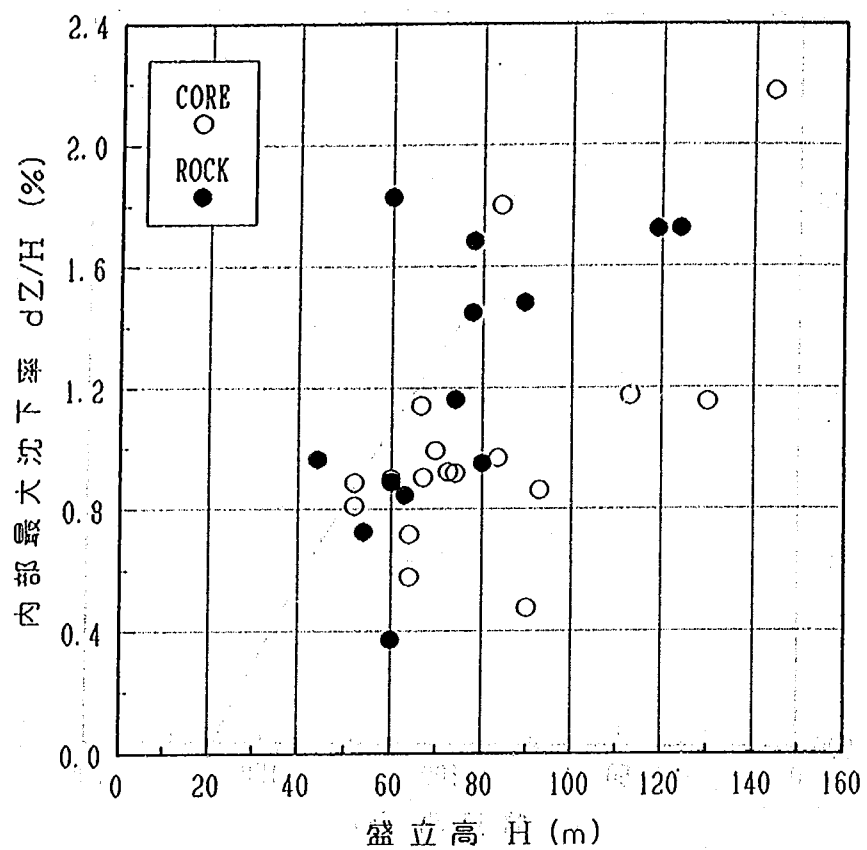


図 - 13 最終盛立高と最大沈下率

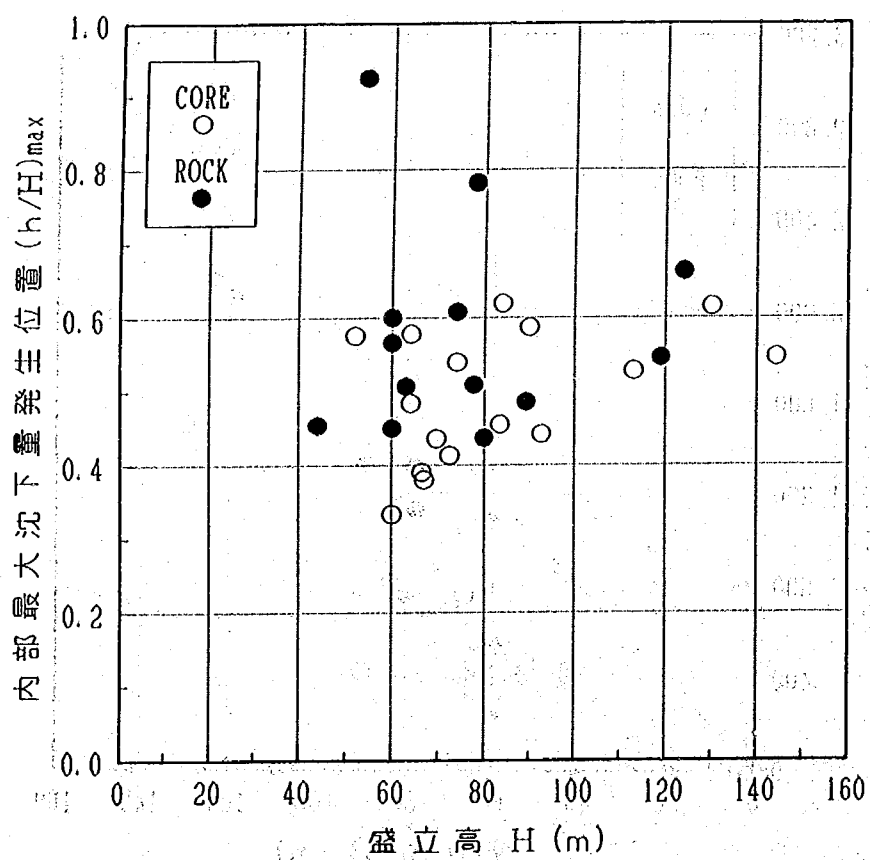


図 - 14 最終盛立高と最大沈下量発生位置

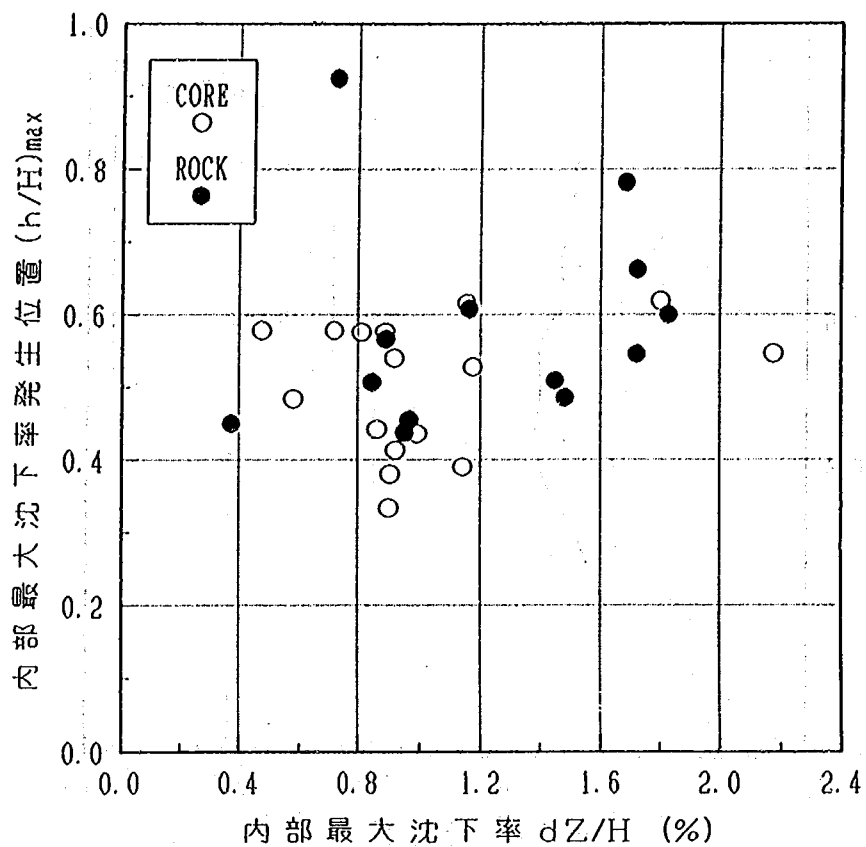


図-15 最大沈下率とその発生位置

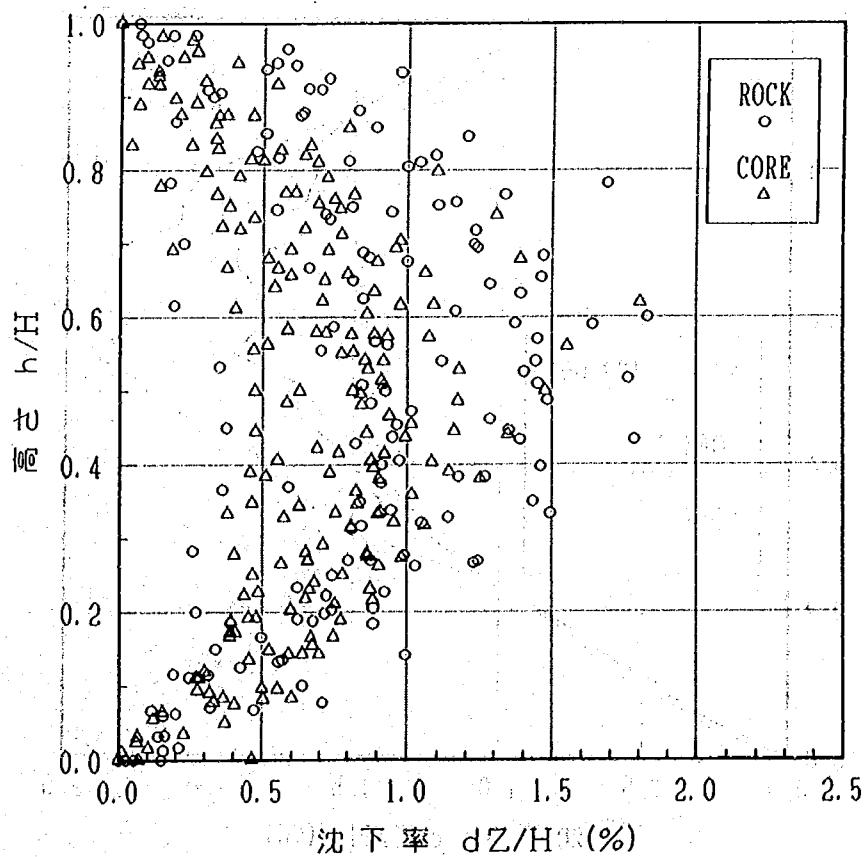


図-16 盛立完了時層別沈下率

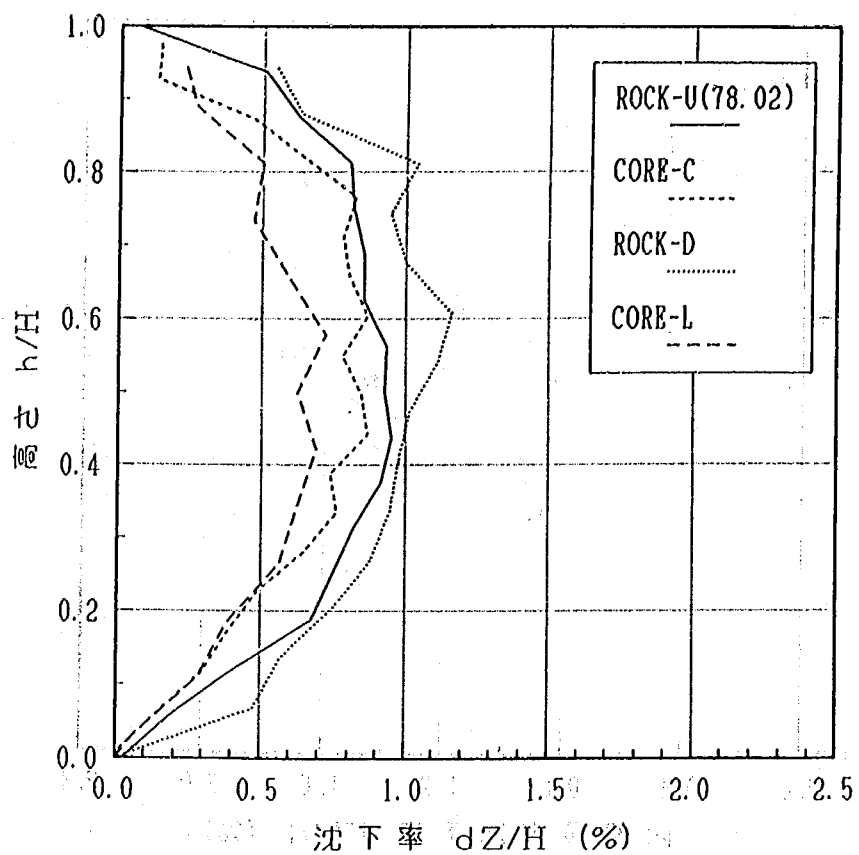


図 - 17 盛立完了時層別沈下率曲線 (F ダム)

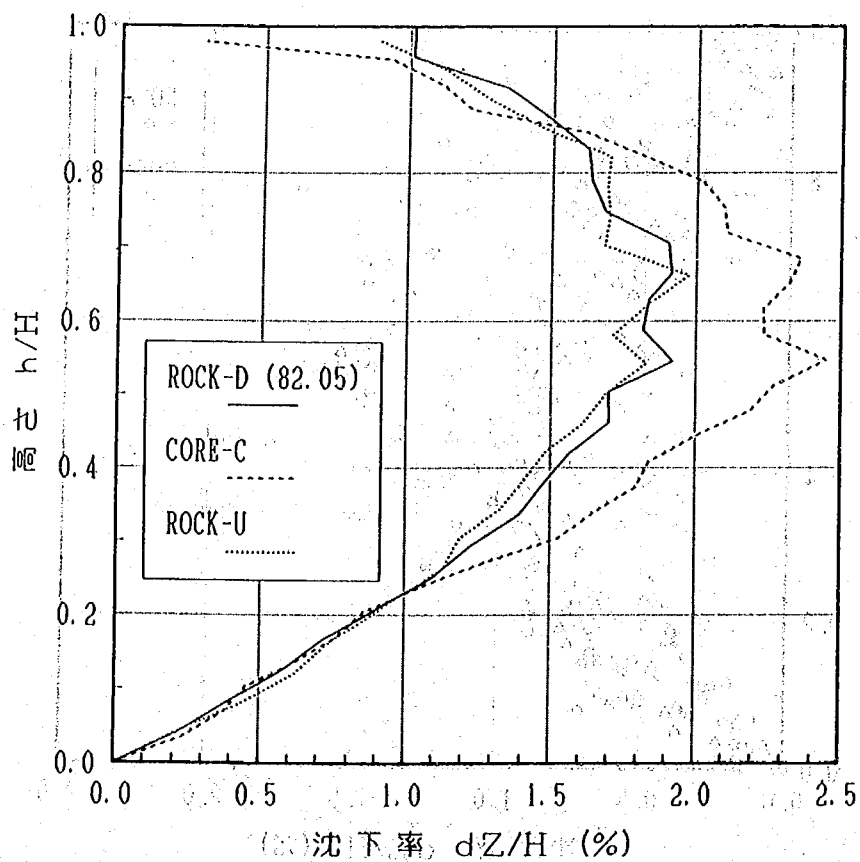


図 - 18 盛立完了時層別沈下率曲線 (H ダム)

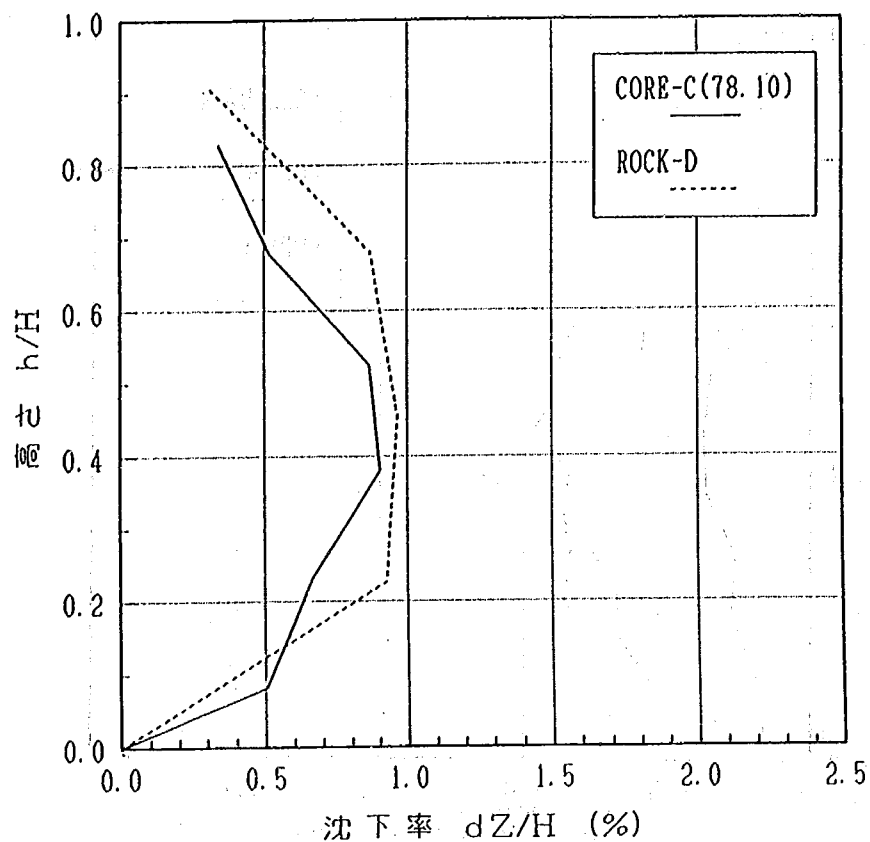


図 - 19 盛立完了時層別沈下率曲線 (L ダム)

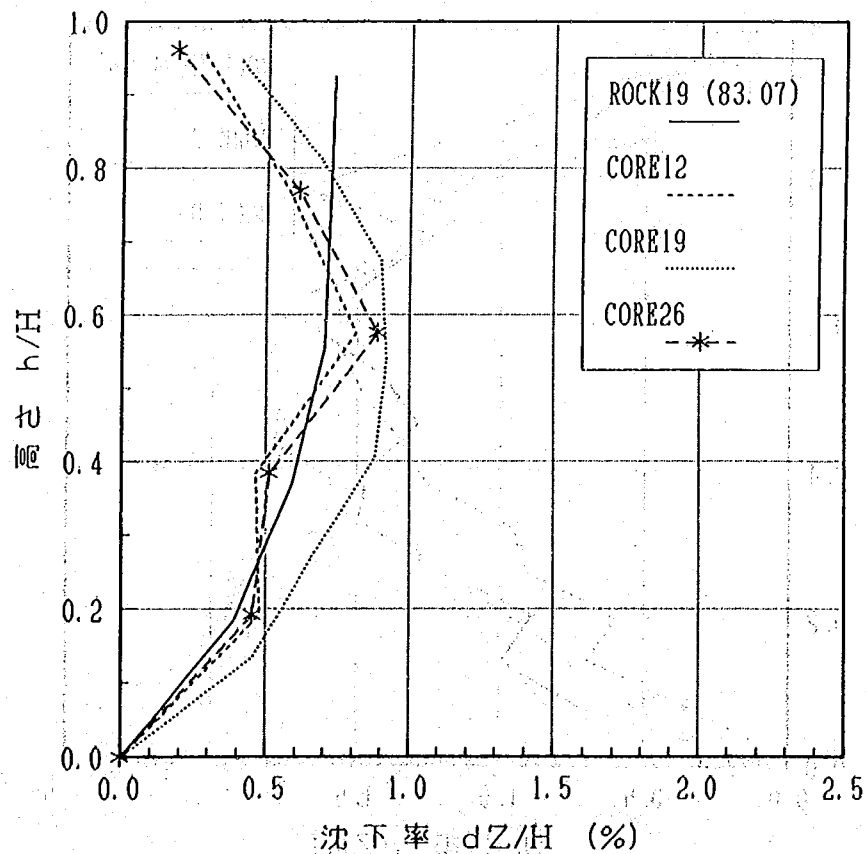


図 - 20 盛立完了時層別沈下率曲線 (P ダム)

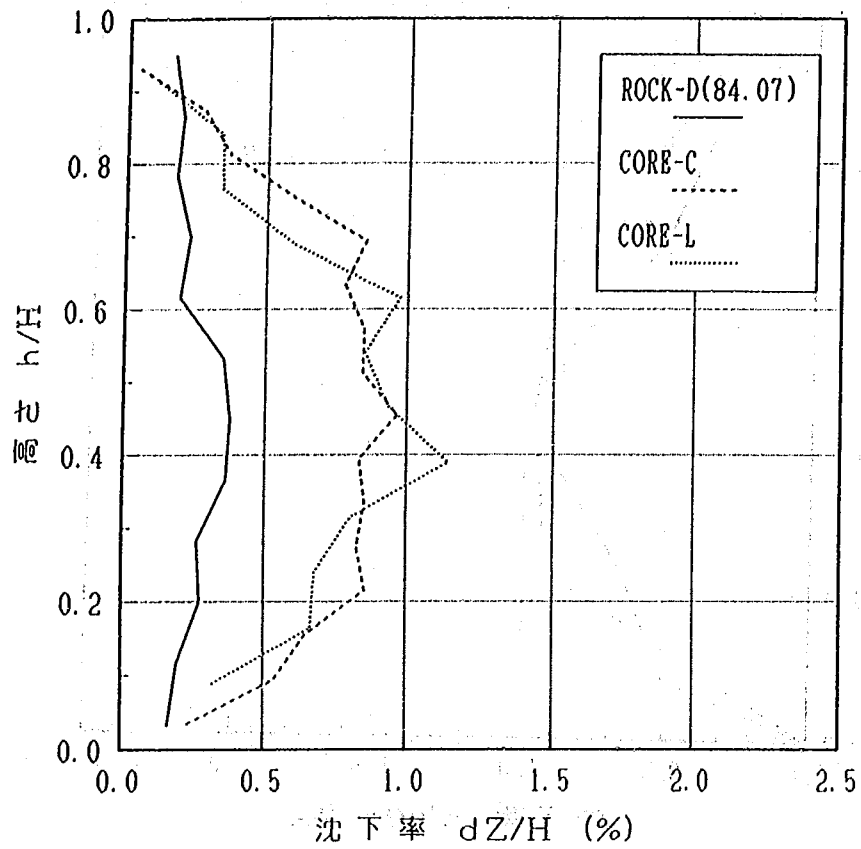


図 - 21 盛立完了時層別沈下率曲線 (S ダム)

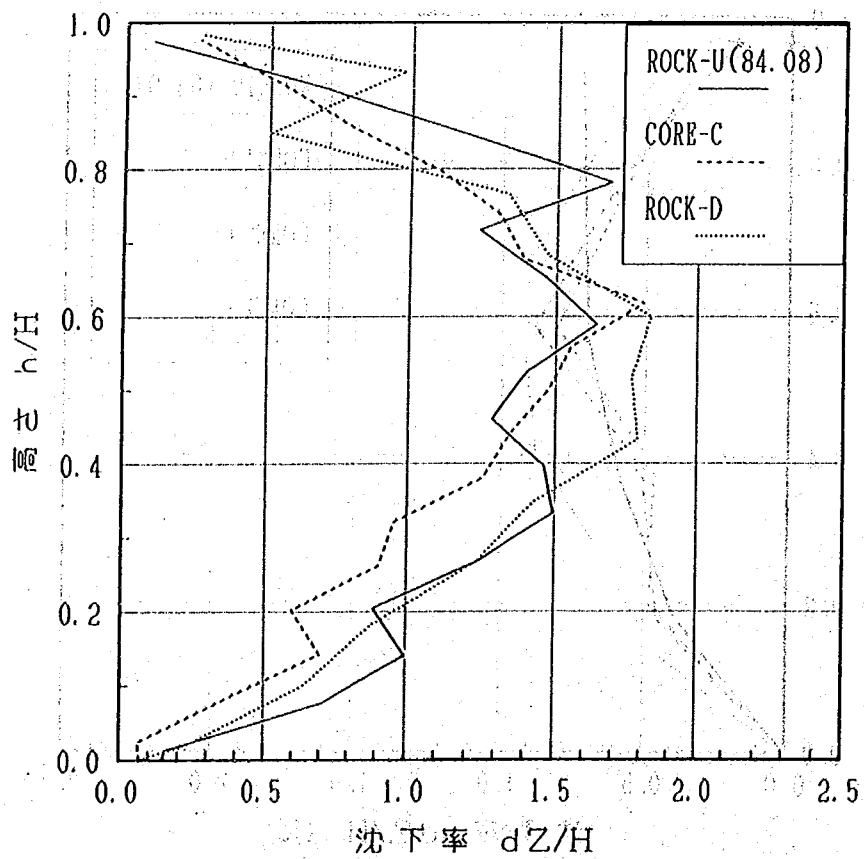


図 - 22 盛立完了時層別沈下率曲線 (T ダム)

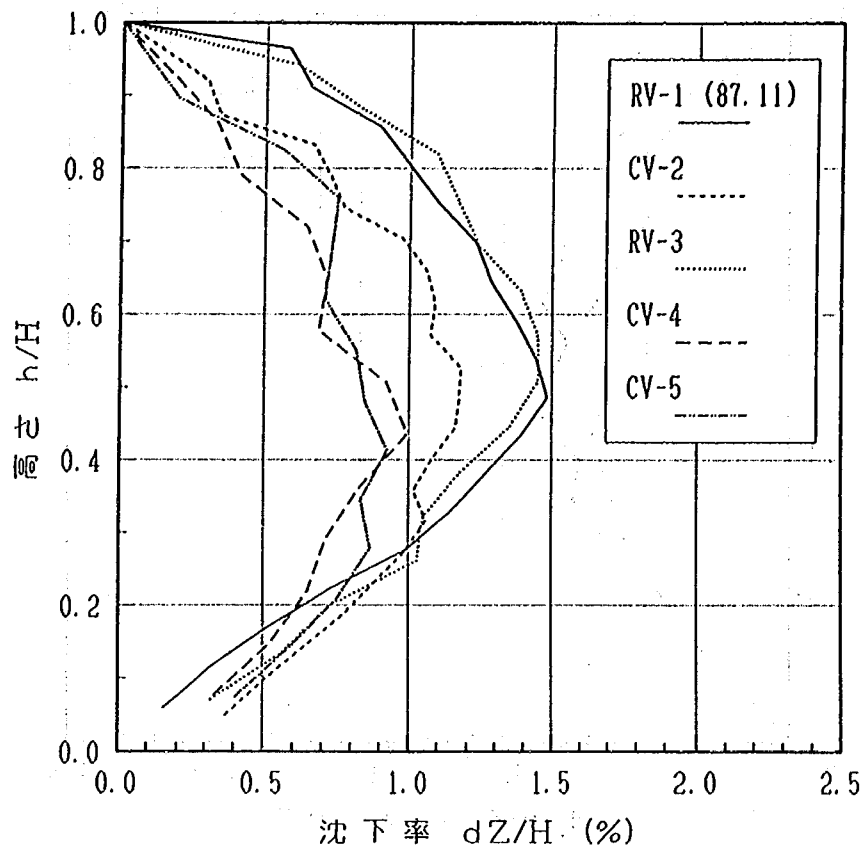


図-23 盛立完了時層別沈下率曲線 (Vダム)

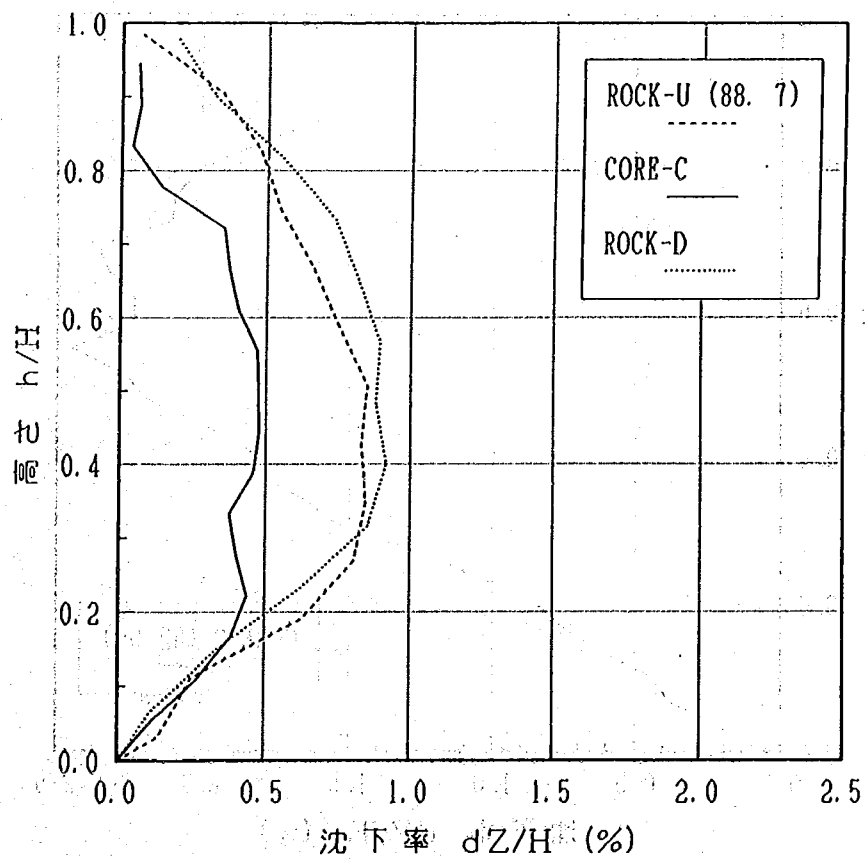


図-24 盛立完了時層別沈下率曲線 (Wダム)

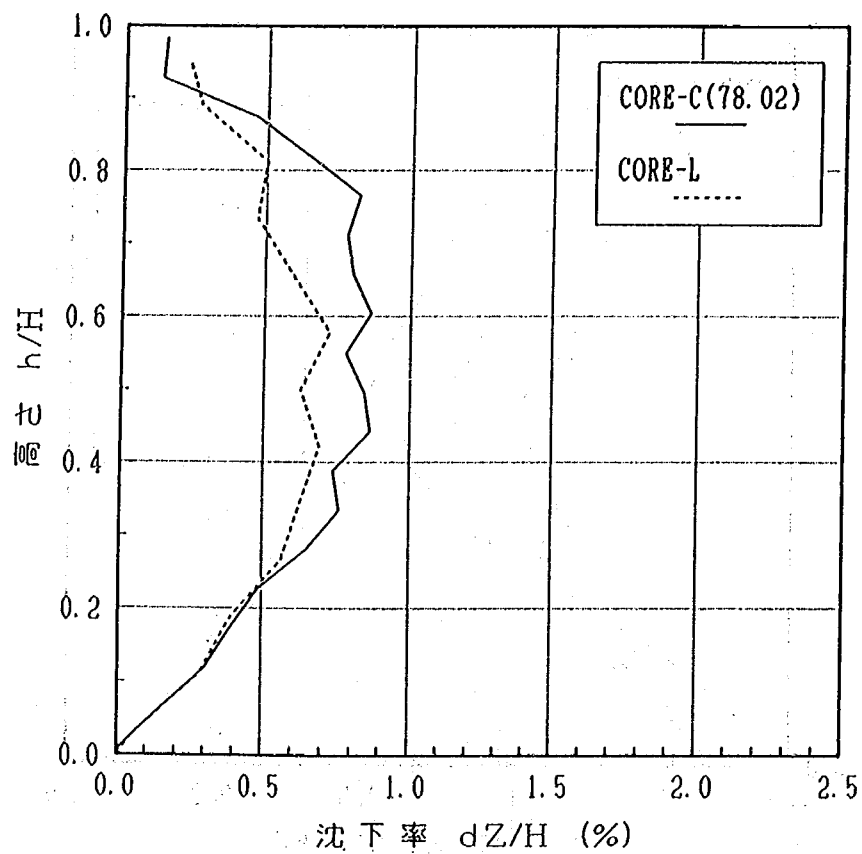


図 - 25 盛立完了時層別沈下率曲線 (Fダム, コア部)

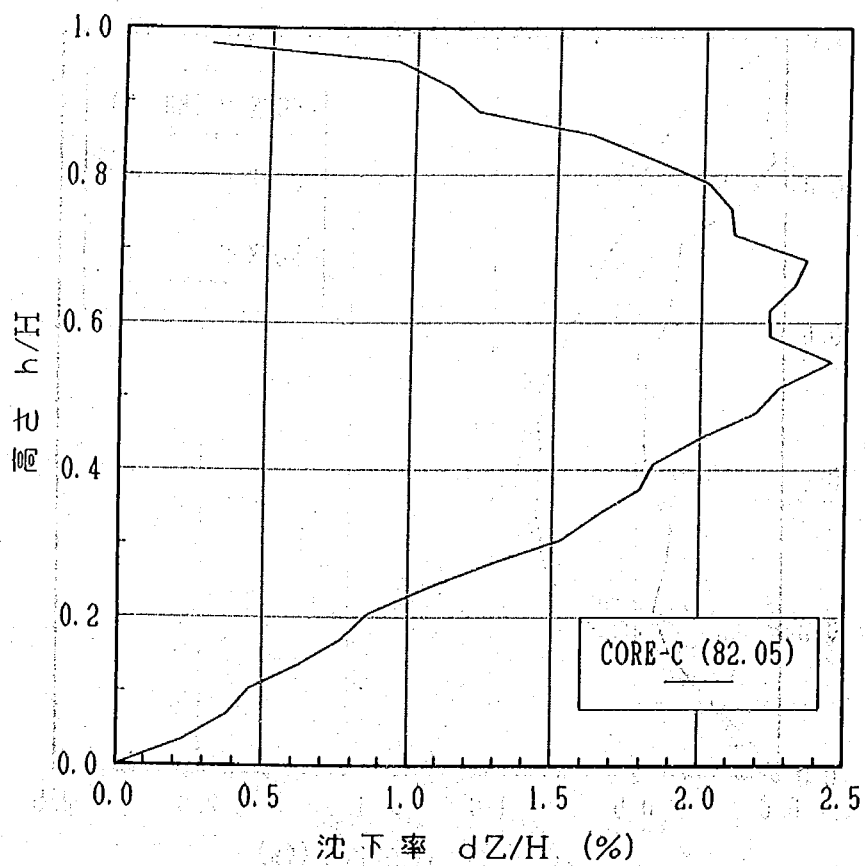


図 - 26 盛立完了時層別沈下率曲線 (Hダム, コア部)

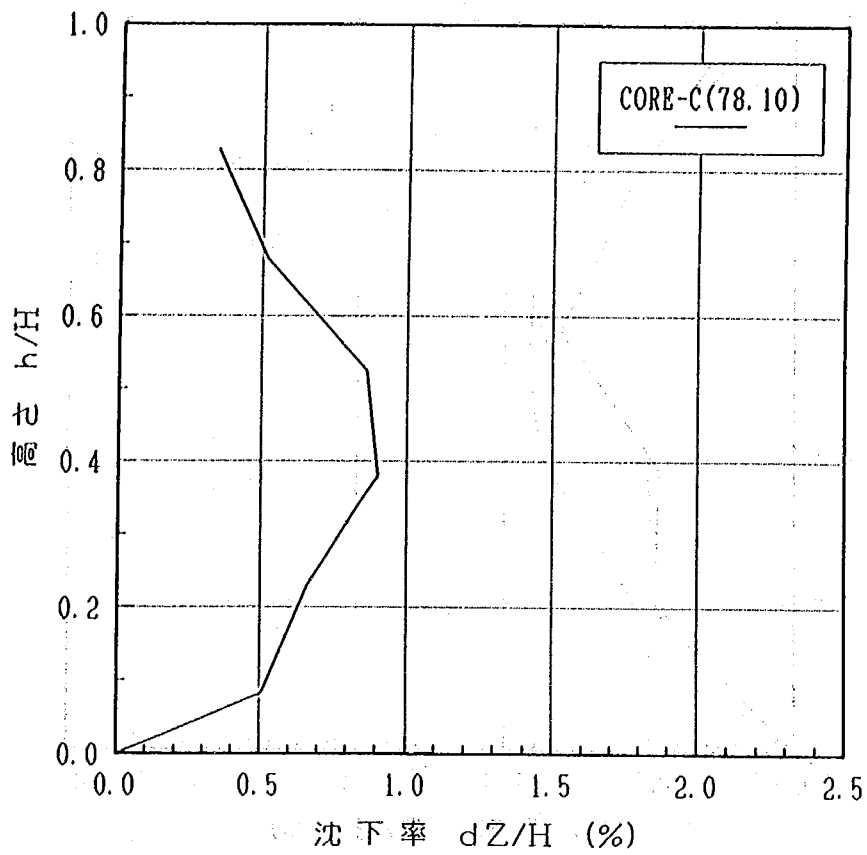


図 - 27 盛立完了時層別沈下率曲線 (Lダム, コア部)

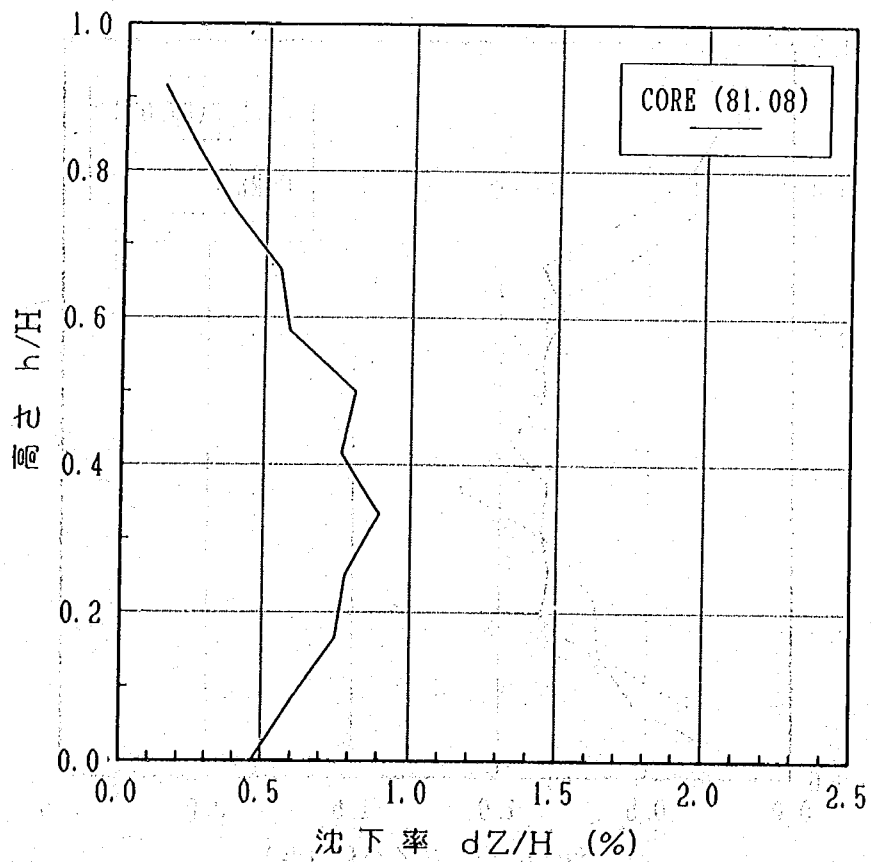


図 - 28 盛立完了時層別沈下率曲線 (Oダム, コア部)

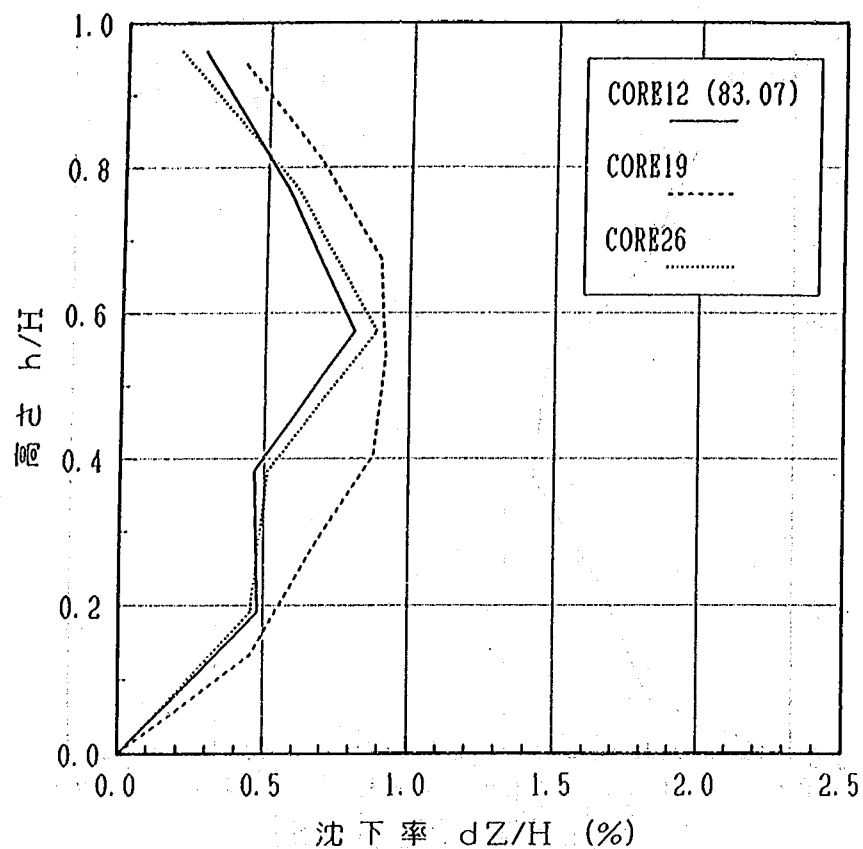


図 - 29 盛立完了時層別沈下率曲線 (Pダム, コア部)

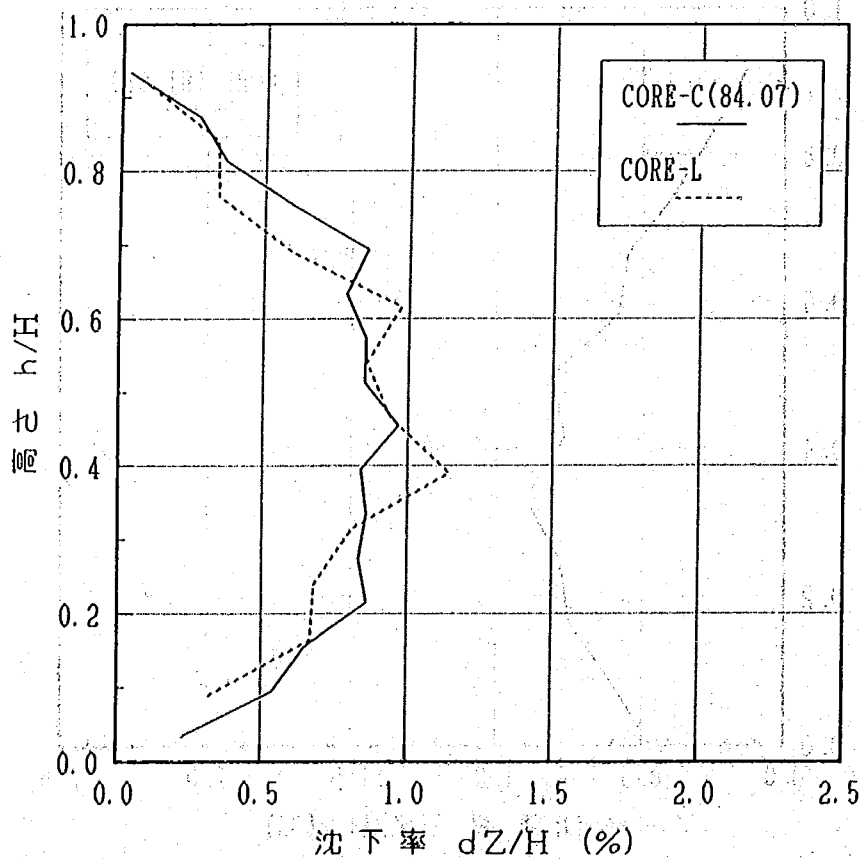


図 - 30 盛立完了時層別沈下率曲線 (Sダム, コア部)

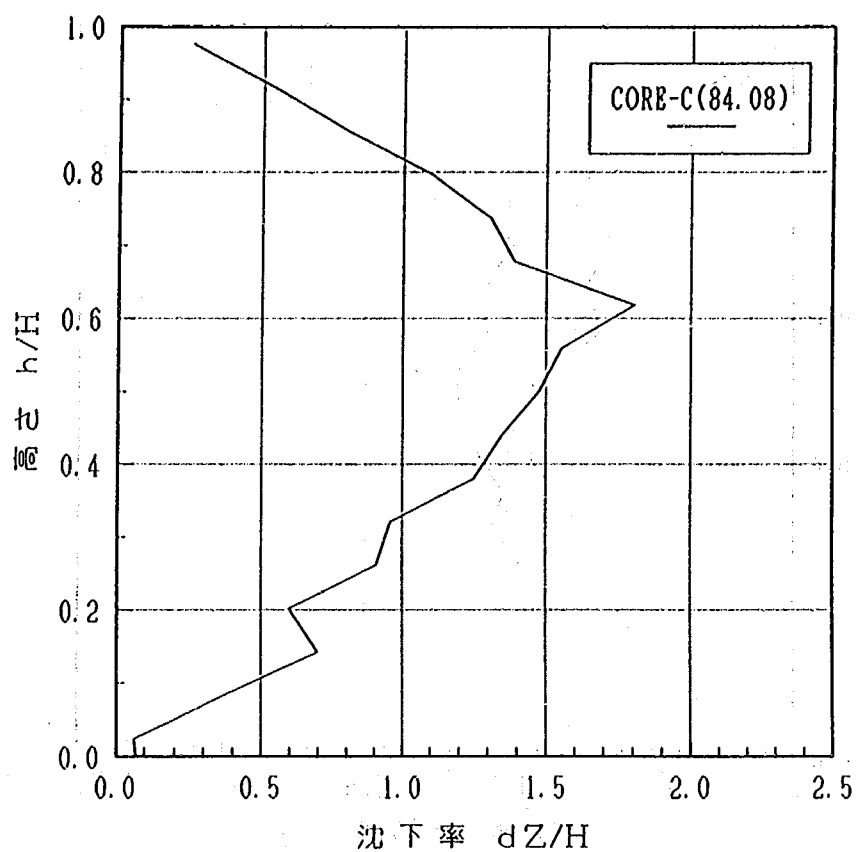


図-31 盛立完了時層別沈下率曲線 (Tダム, コア部)

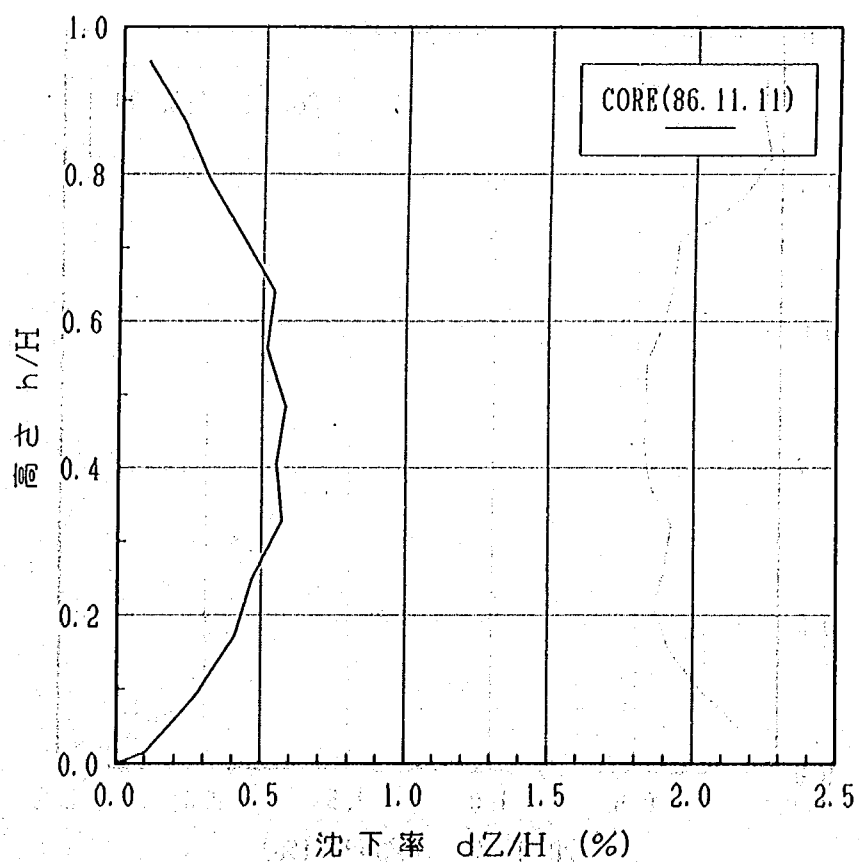


図-32 盛立完了時層別沈下率曲線 (Uダム, コア部)

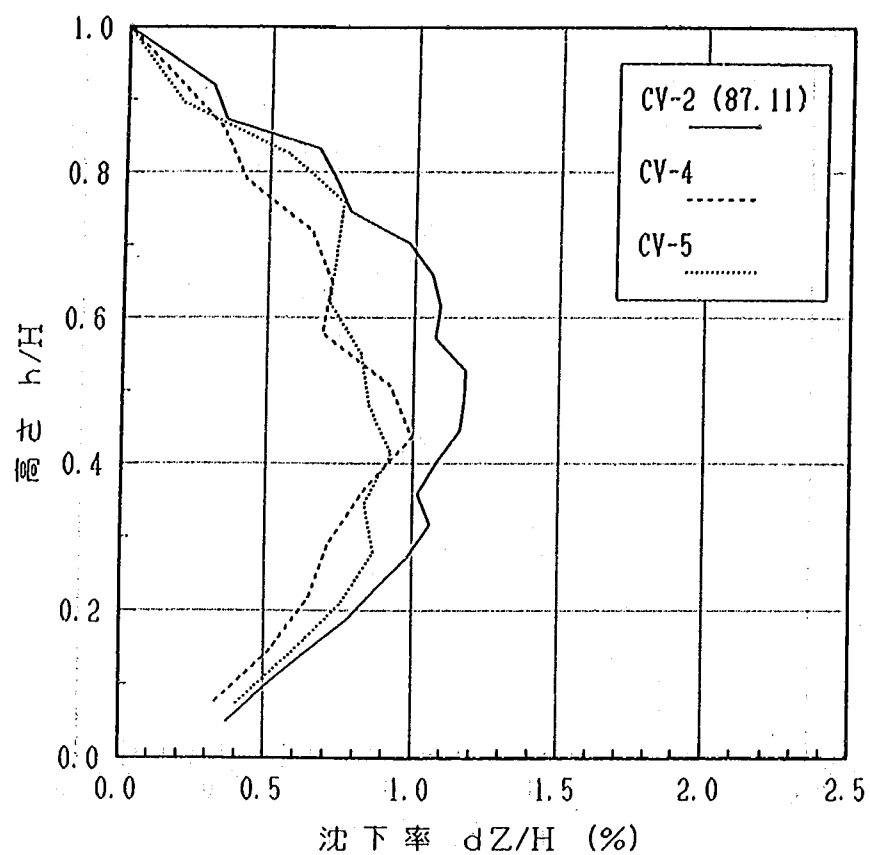


図 - 33 盛立完了時層別沈下率曲線 (Vダム, コア部)

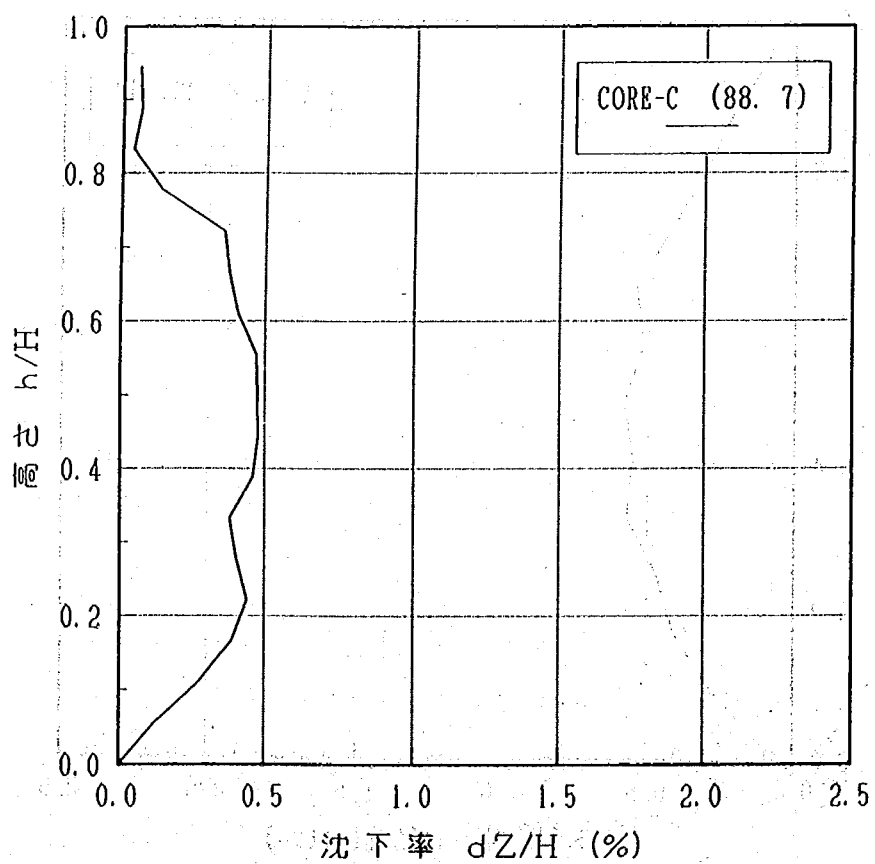


図 - 34 盛立完了時層別沈下率曲線 (Wダム, コア部)

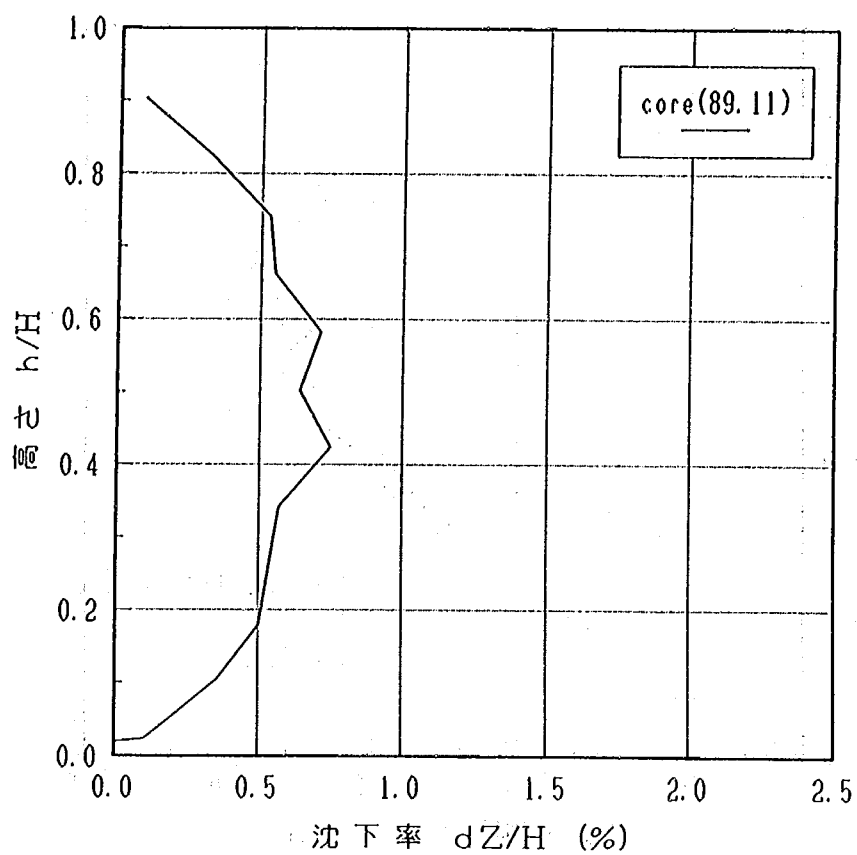


図 - 35 盛立完了時層別沈下率曲線 (X ダム, コア部)

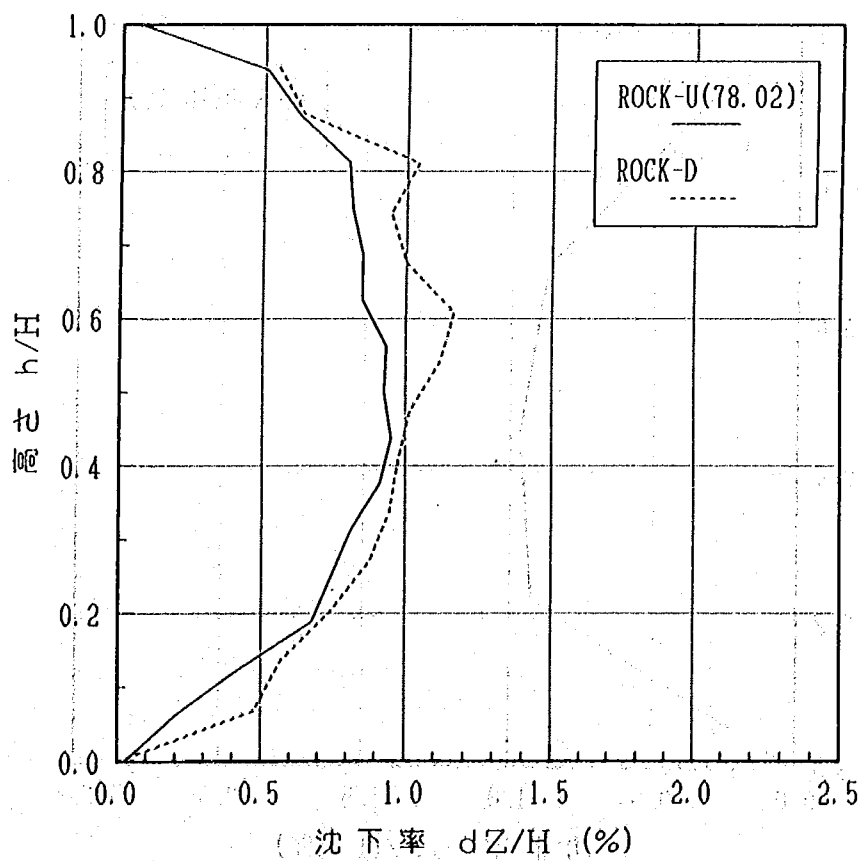


図 - 36 盛立完了時層別沈下率曲線 (F ダム, ロック部)

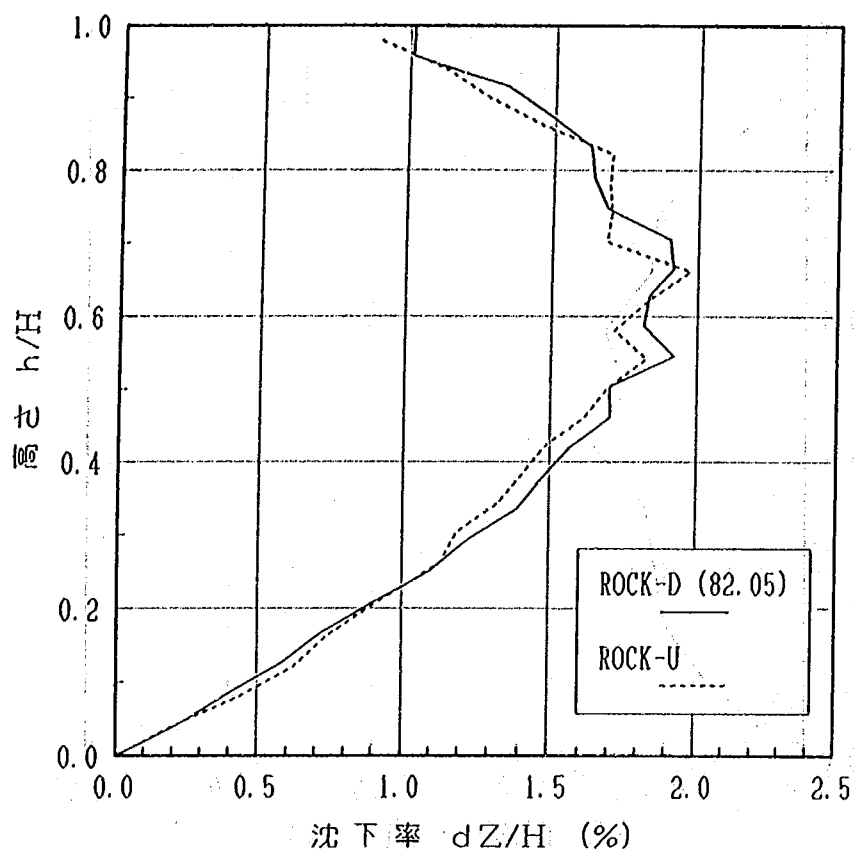


図 - 37 盛立完了時層別沈下率曲線 (Hダム, ロック部)

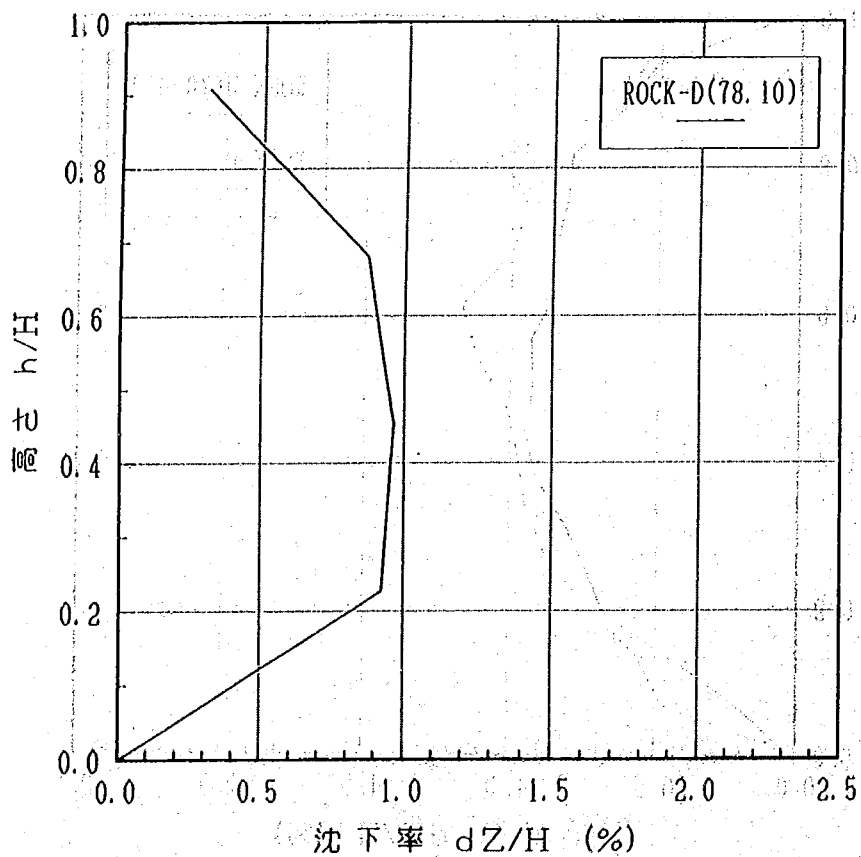


図 - 38 盛立完了時層別沈下率曲線 (Lダム, ロック部)

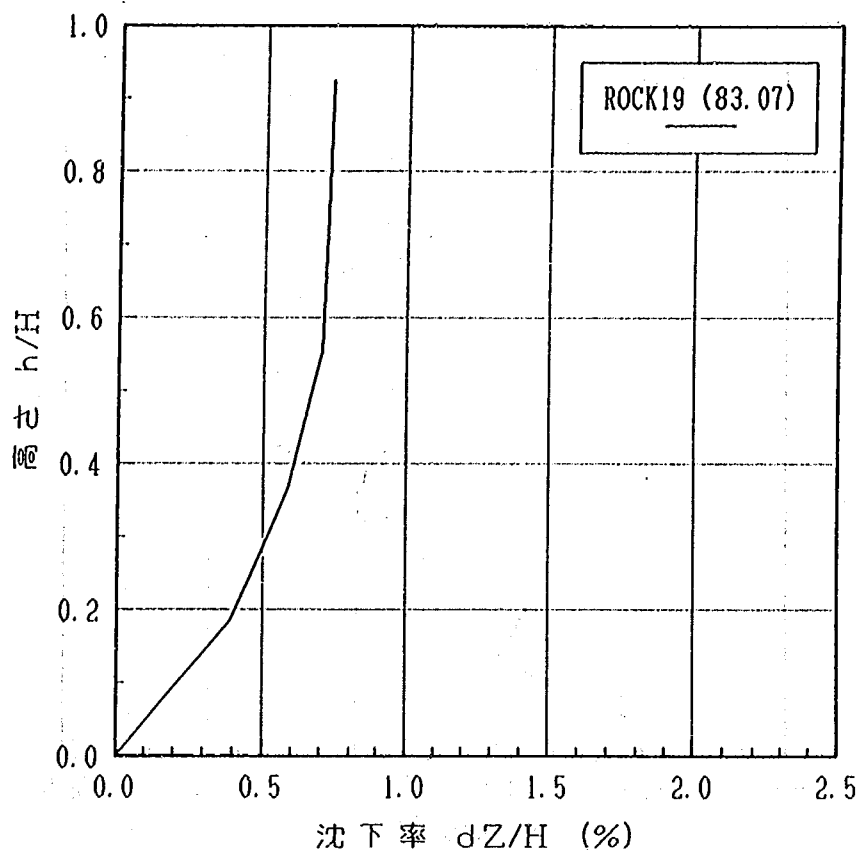


図 - 39 盛立完了時層別沈下率曲線 (P ダム, ロック部)

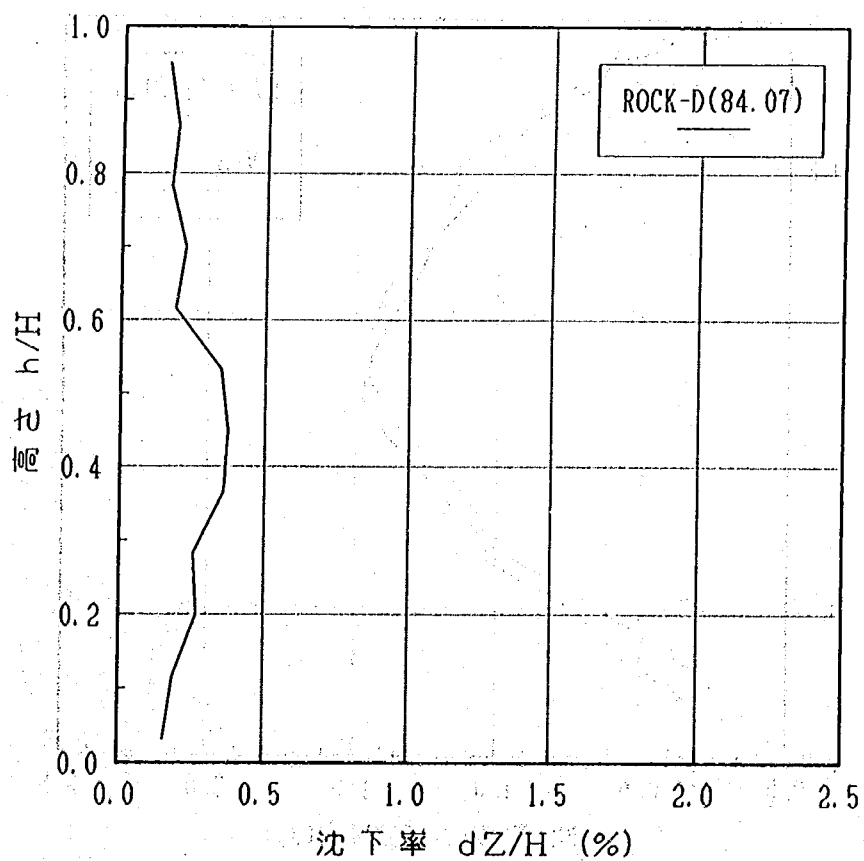


図 - 40 盛立完了時層別沈下率曲線 (S ダム, ロック部)

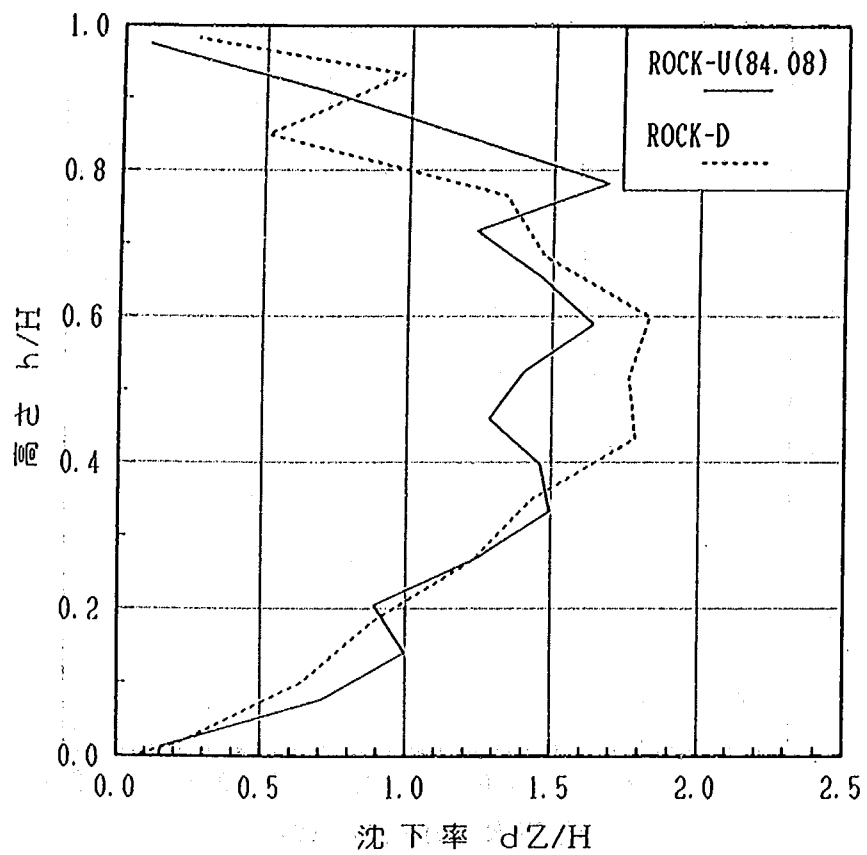


図 - 41 盛立完了時層別沈下率曲線 (Tダム, ロック部)

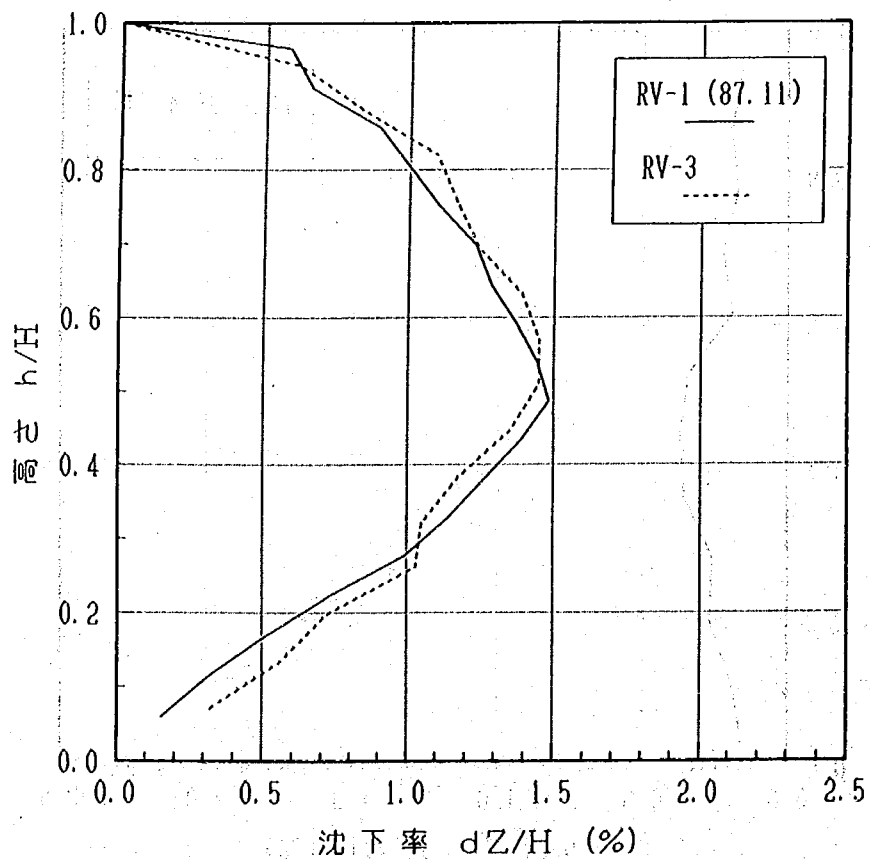


図 - 42 盛立完了時層別沈下率曲線 (Vダム, ロック部)

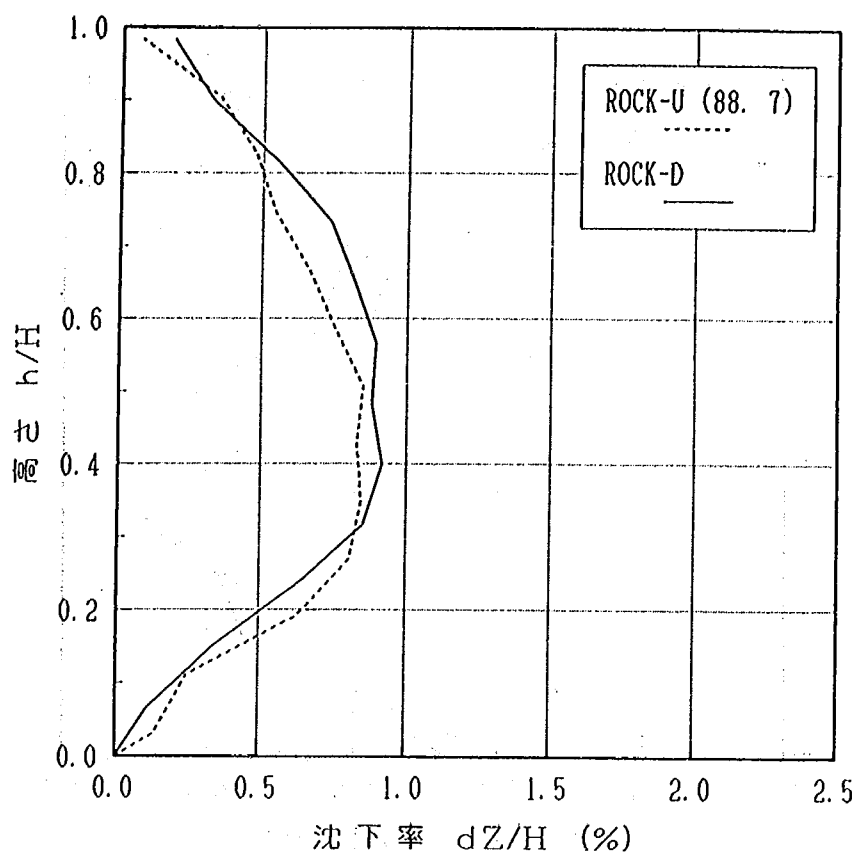


図 - 43 盛立完了時層別沈下率曲線 (Wダム, ロック部)

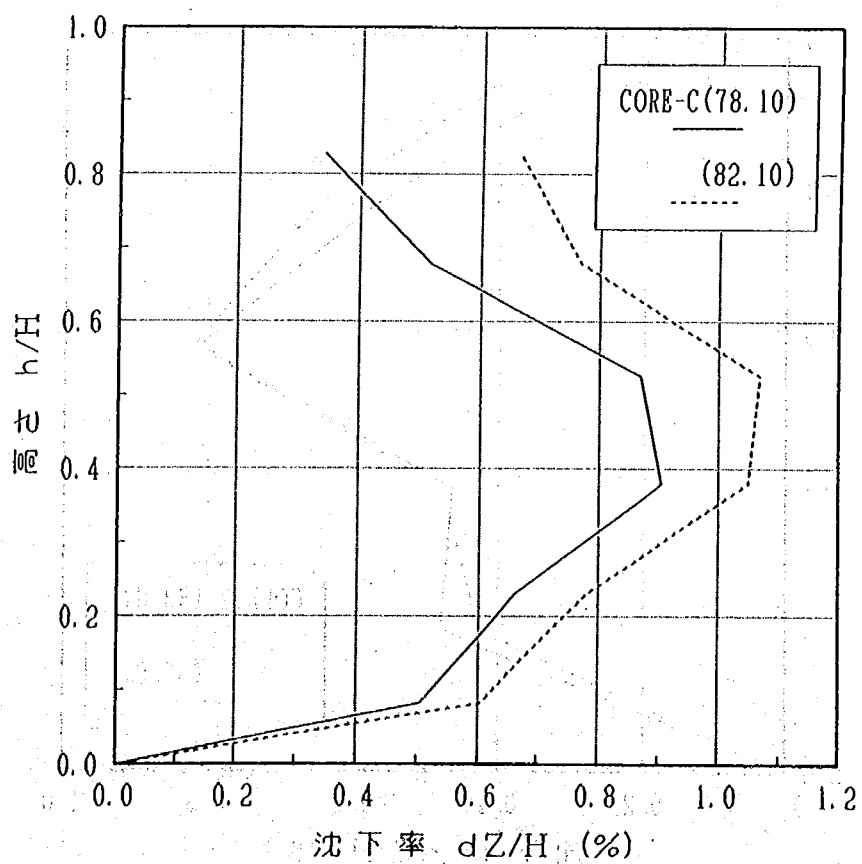


図 - 44 3年後層別沈下率曲線 (Lダム, コア部)

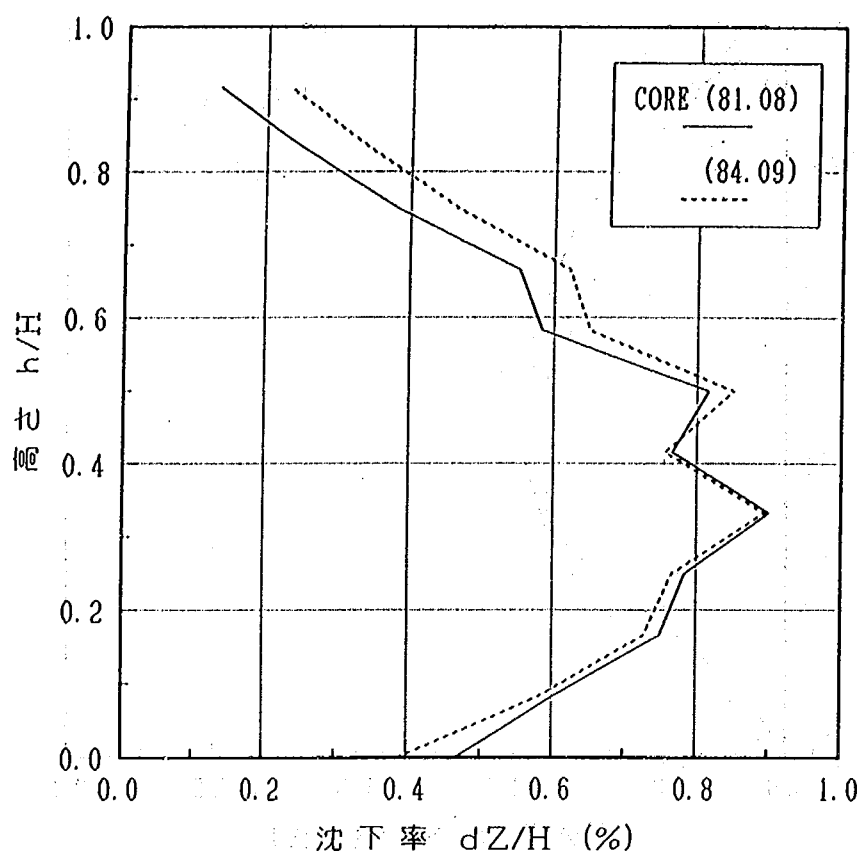


図 - 45 3年後層別沈下率曲線 (Oダム, コア部)

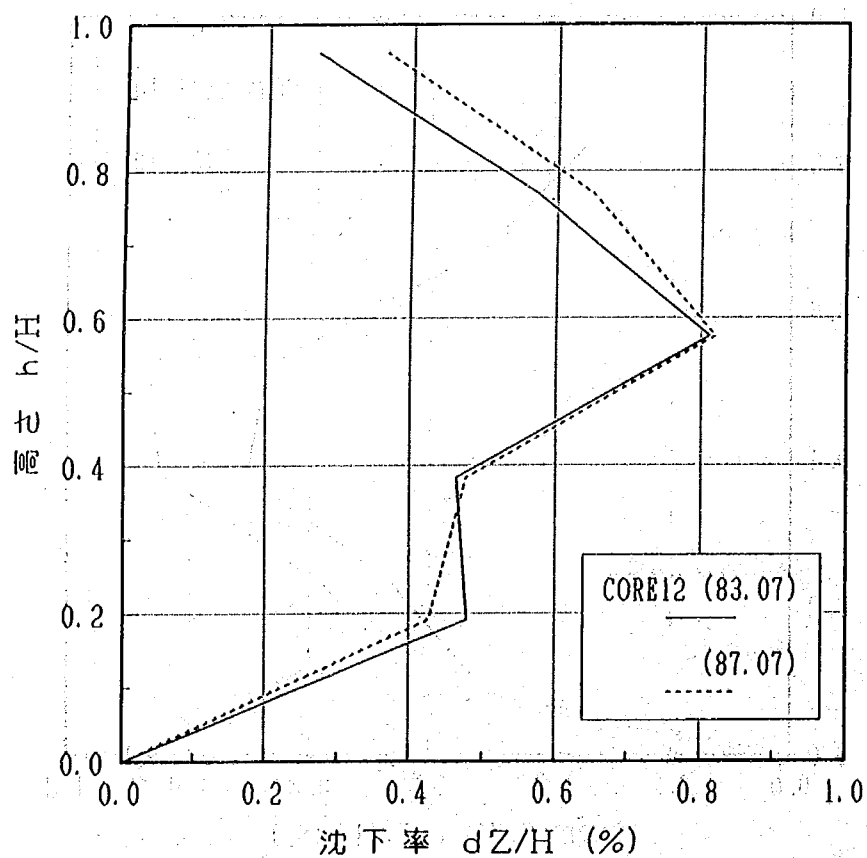


図 - 46 3年後層別沈下率曲線 (Pダム, コア部)

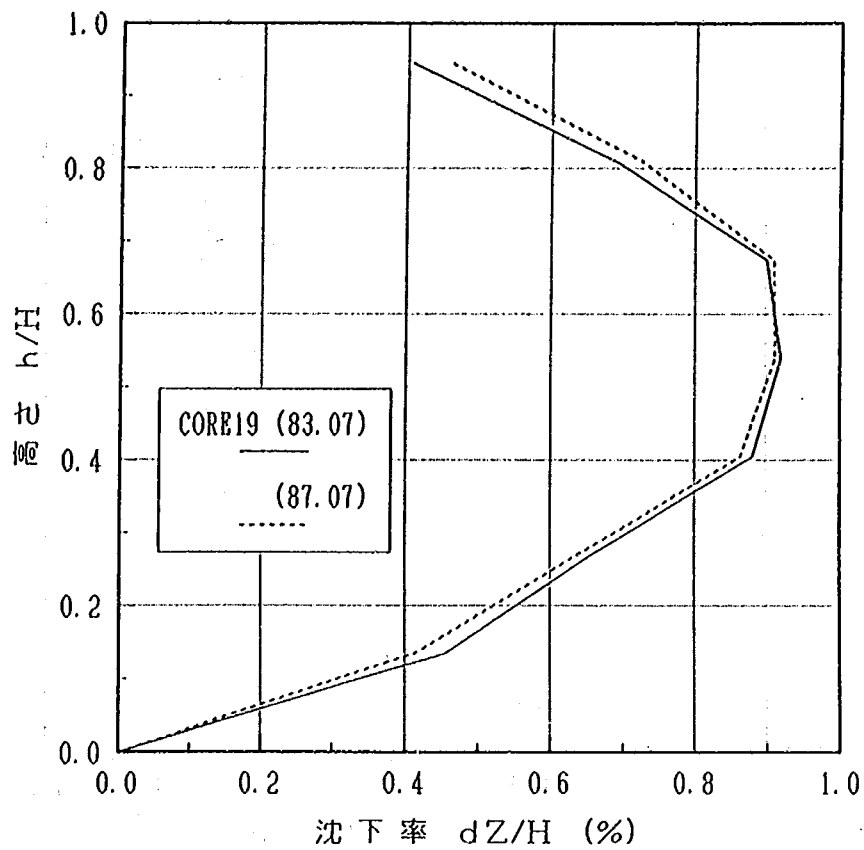


図 - 47 3年後層別沈下率曲線 (P ダム, コア部)

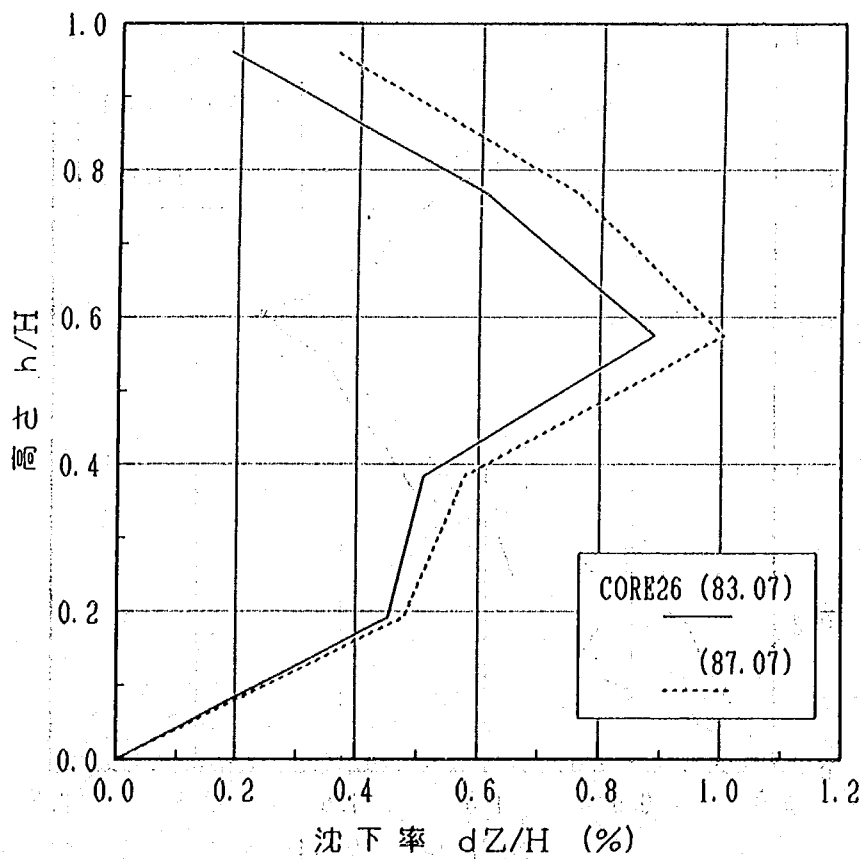


図 - 48 3年後層別沈下率曲線 (P ダム, コア部)

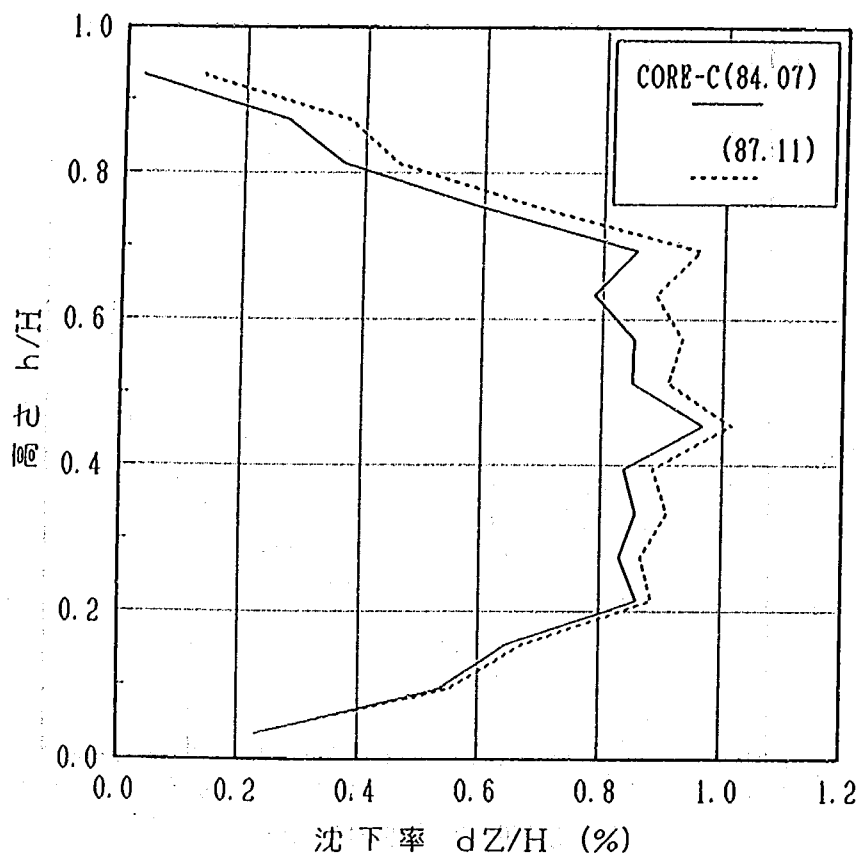


図 - 49 3年後層別沈下率曲線 (Sダム, コア部)

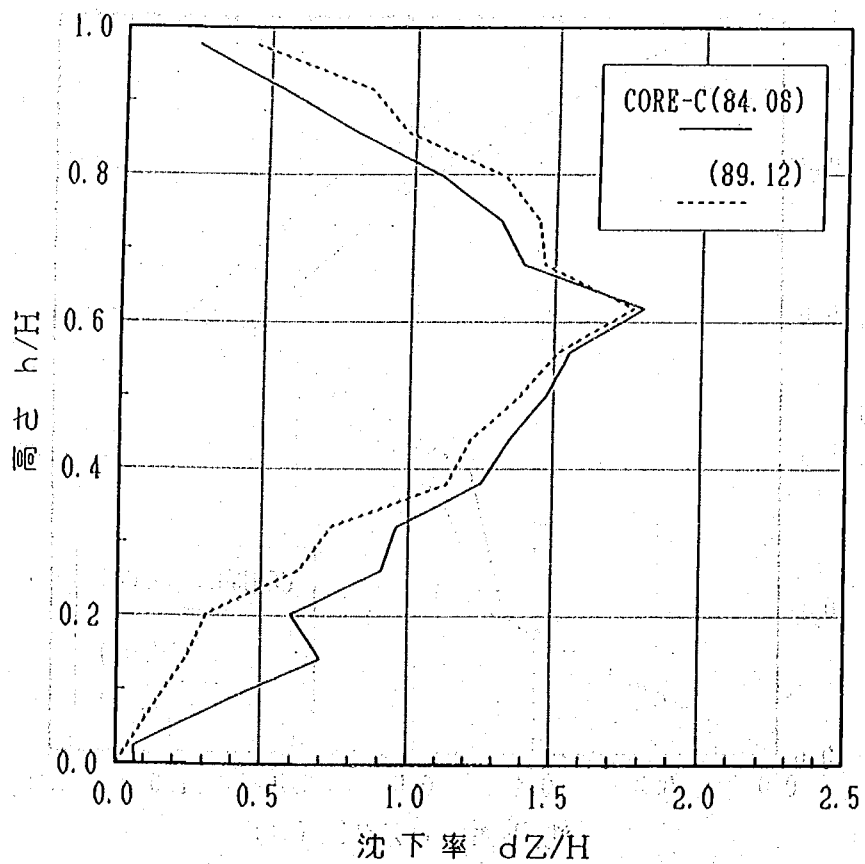


図 - 50 3年後層別沈下率曲線 (Tダム, コア部)

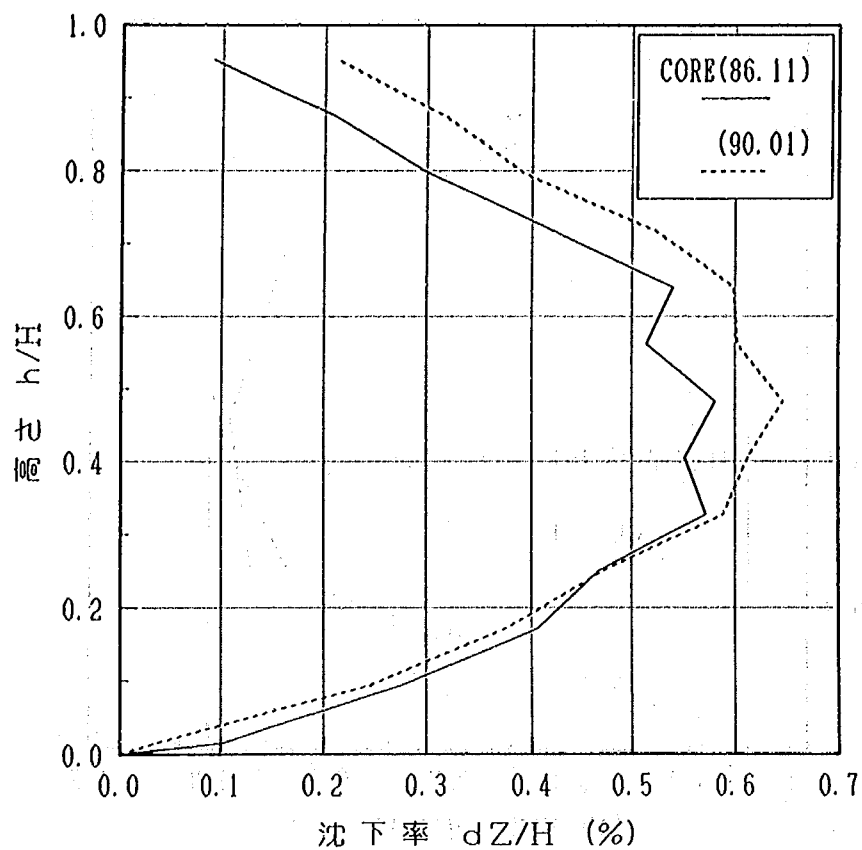


図 - 51 3年後層別沈下率曲線 (Uダム, コア部)

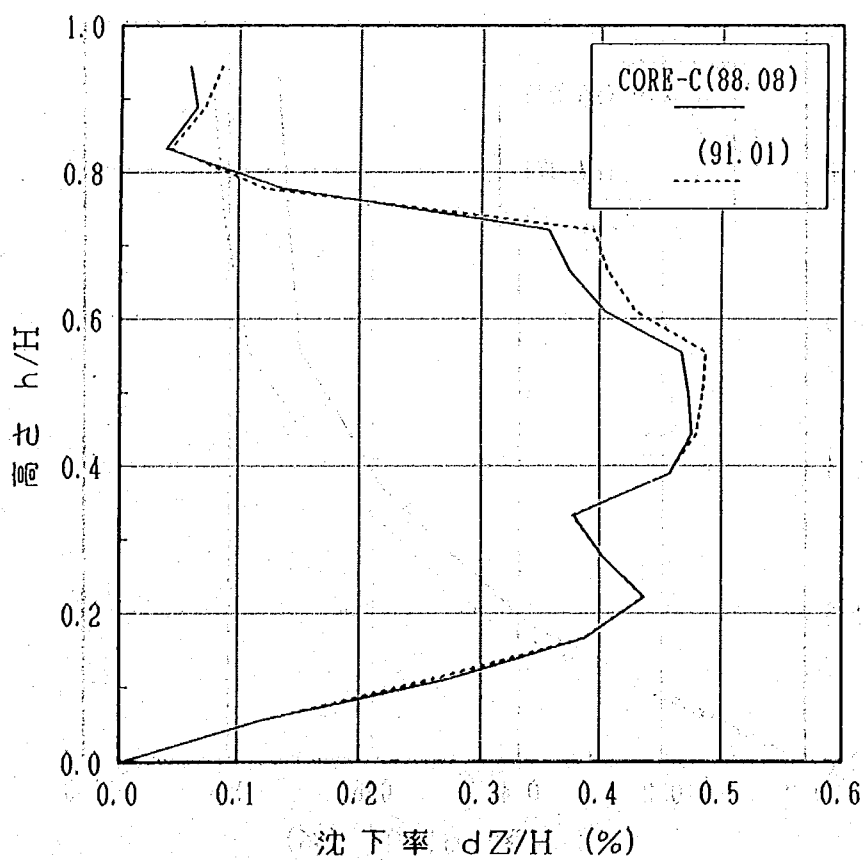


図 - 52 3年後層別沈下率曲線 (Wダム, コア部)

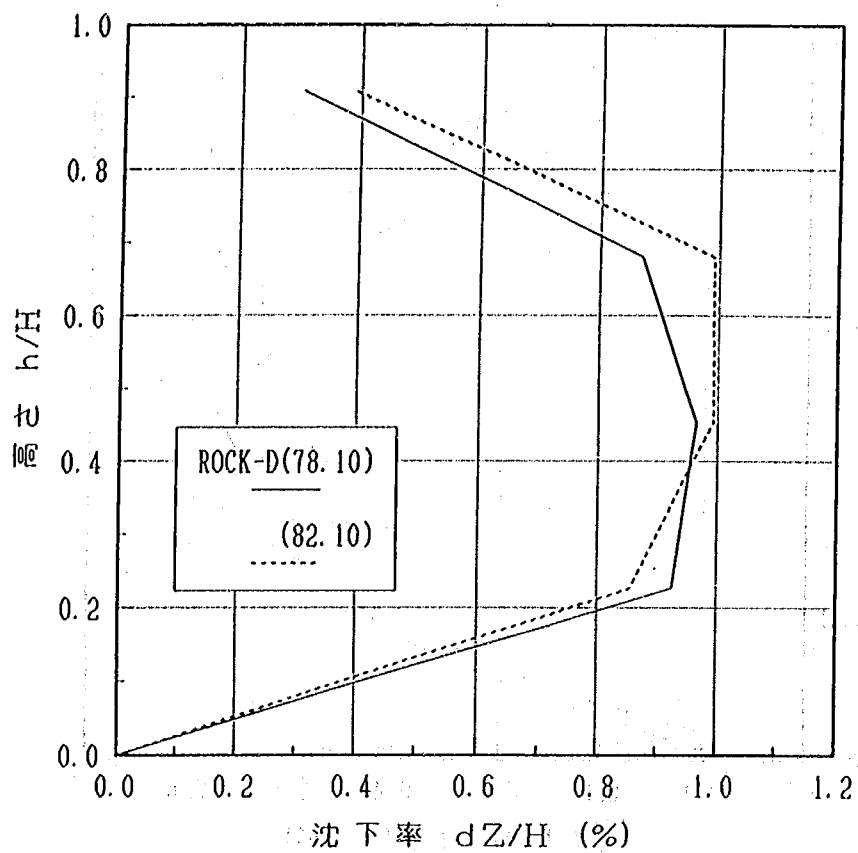


図 - 53 3年後層別沈下率曲線 (Lダム, ロック部)

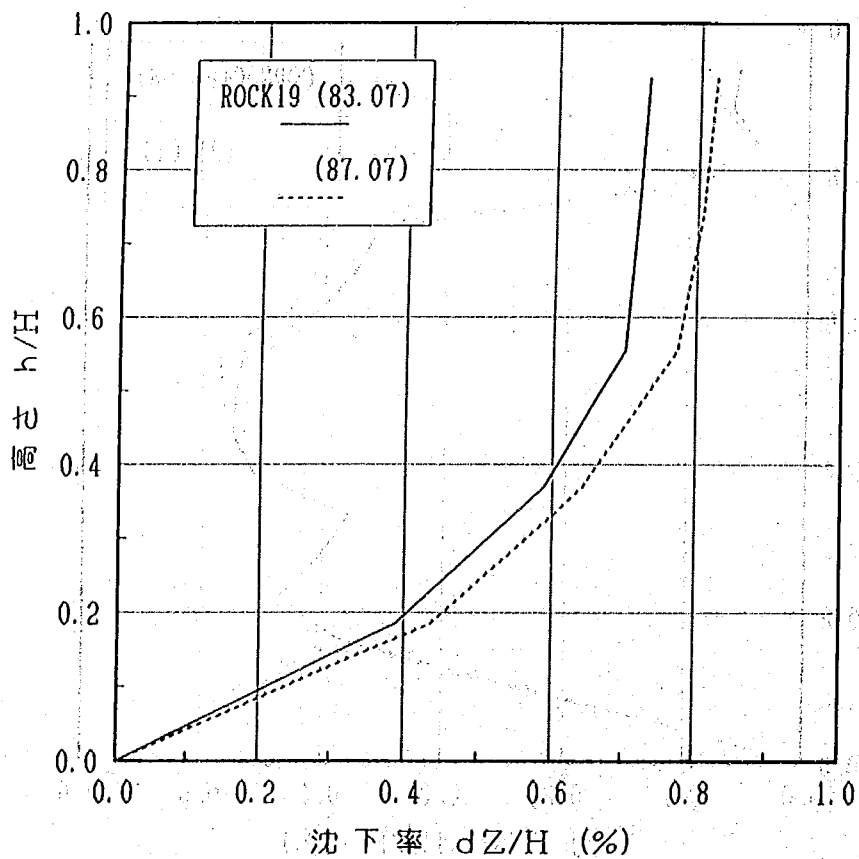


図 - 54 3年後層別沈下率曲線 (Pダム, ロック部)

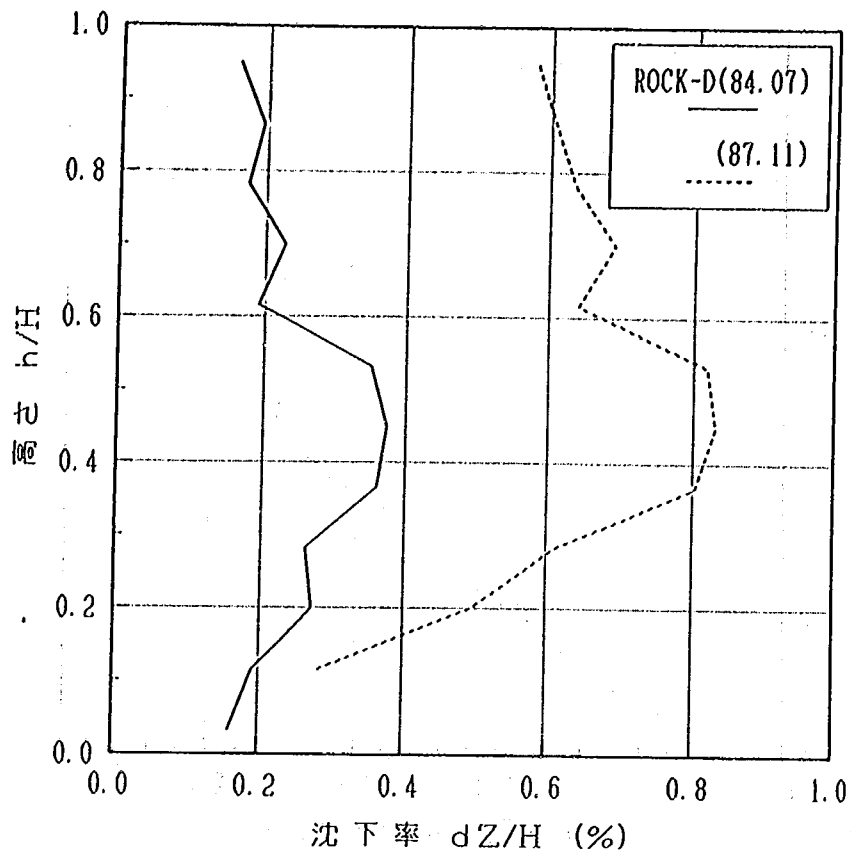


図-55 3年後層別沈下率曲線 (Sダム, ロック部)

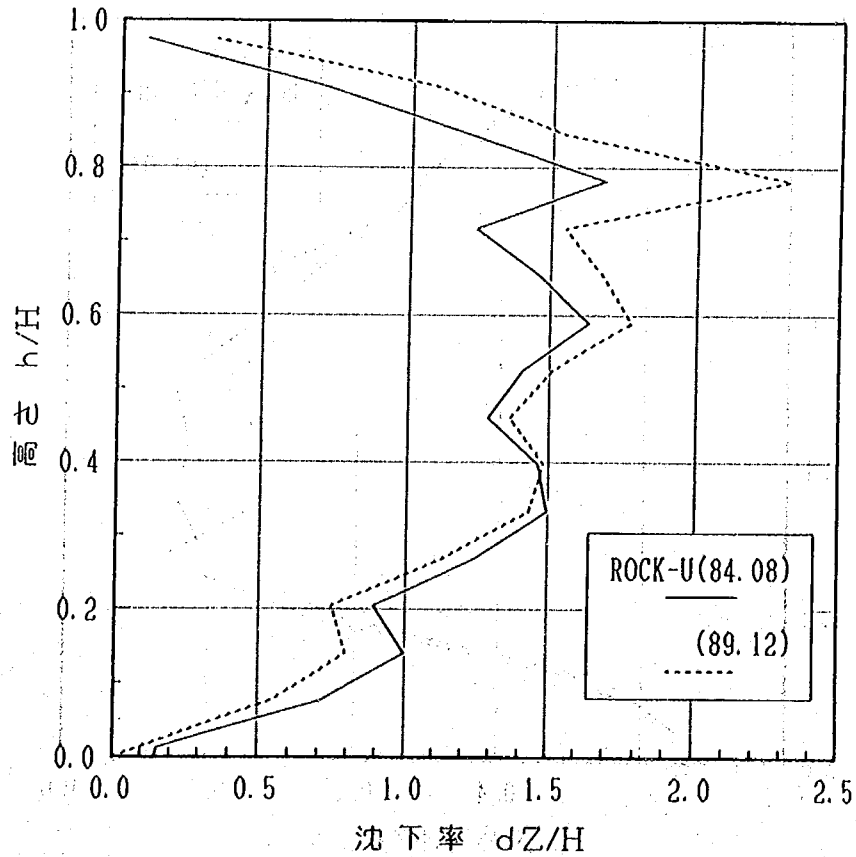


図-56 3年後層別沈下率曲線 (Tダム, ロック部)

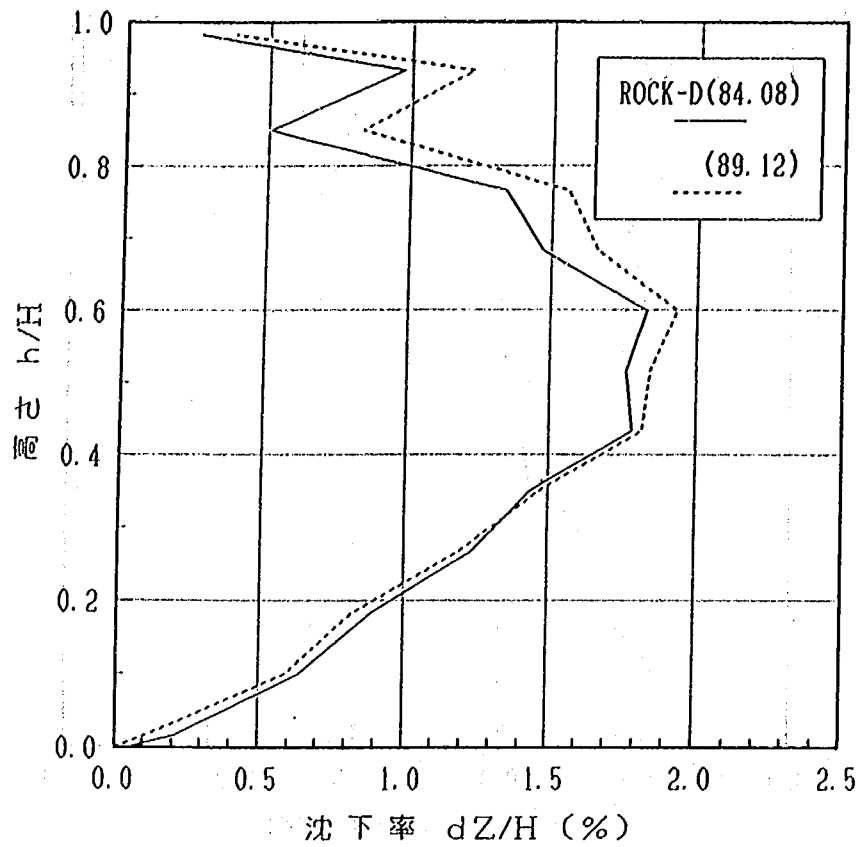


図 - 57 3年後層別沈下率曲線 (Tダム, ロック部)

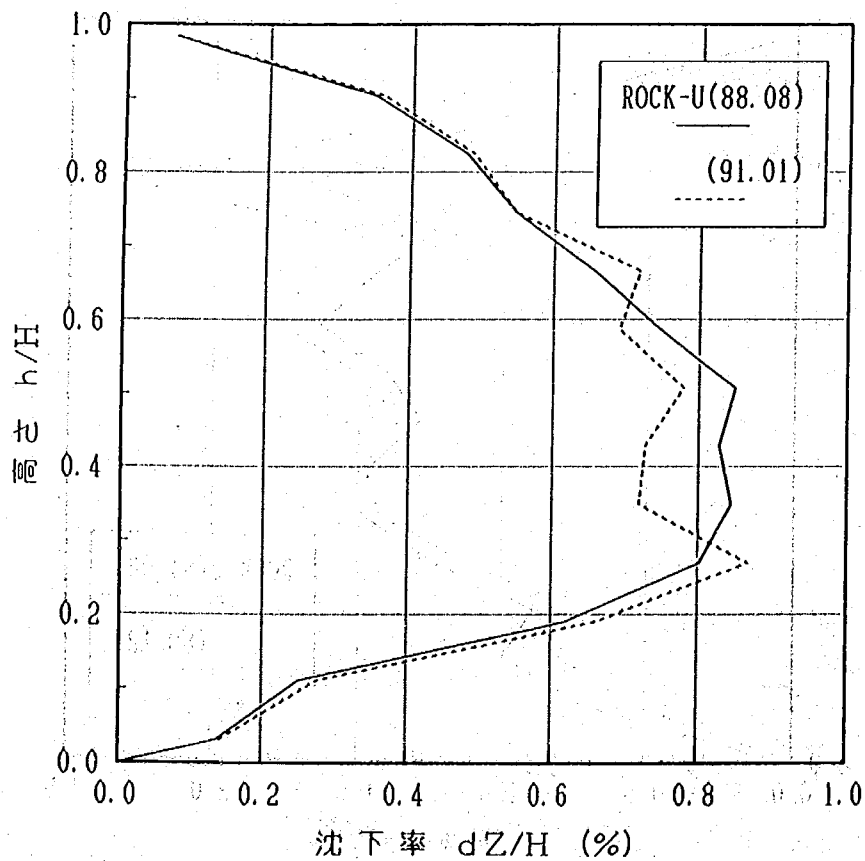


図 - 58 3年後層別沈下率曲線 (Wダム, ロック部)

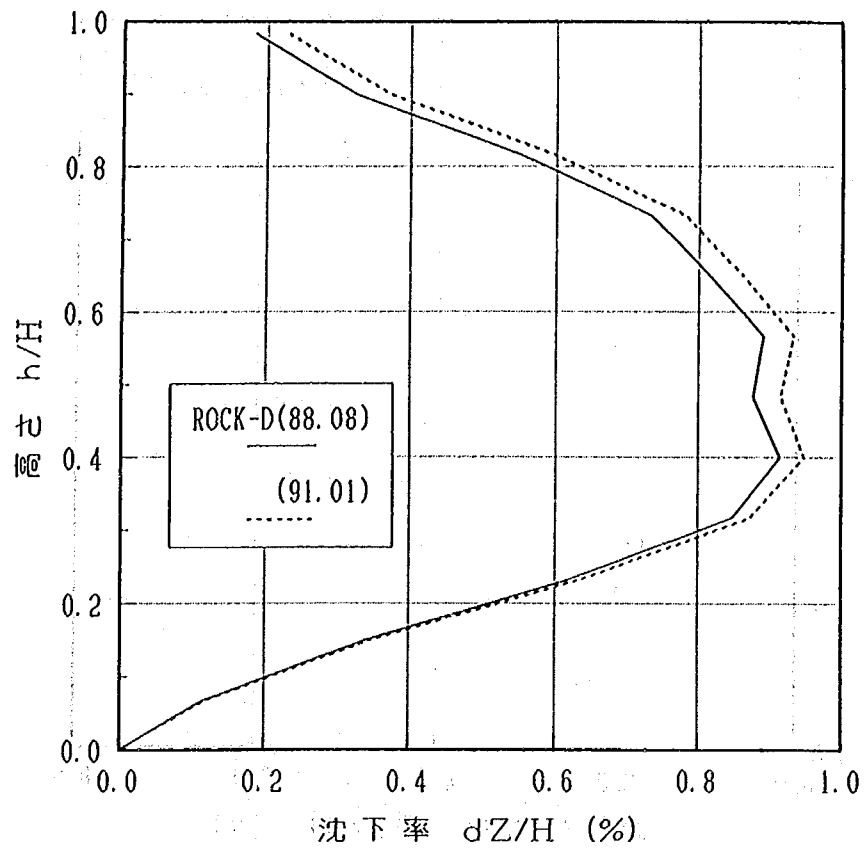


図 - 59 3年後層別沈下率曲線 (Wダム, ロック部)

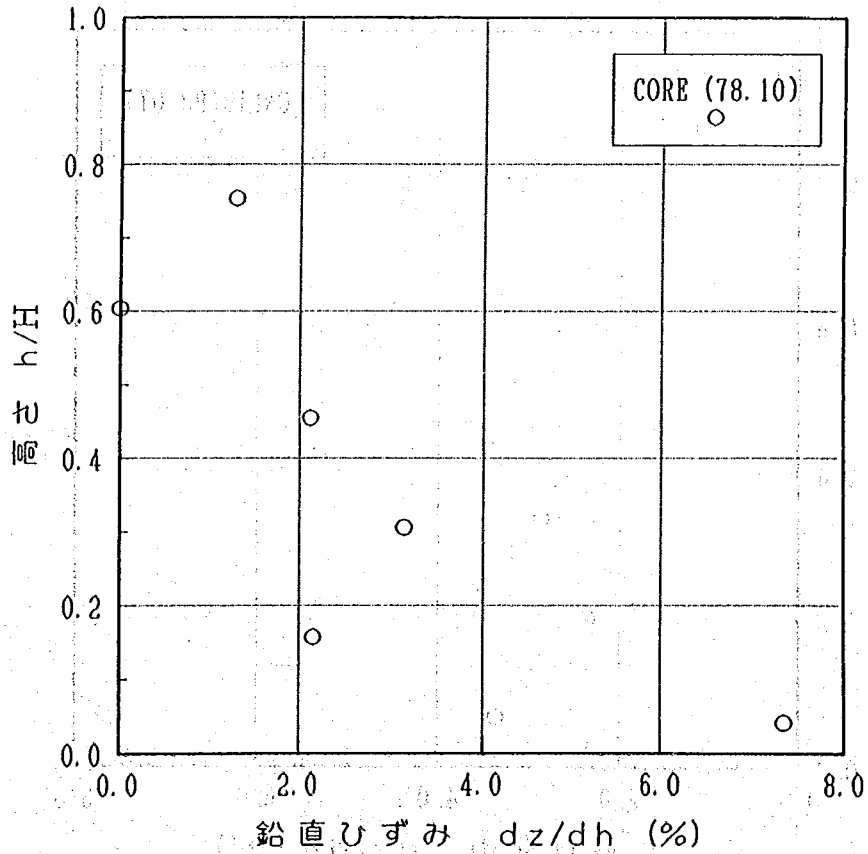


図 - 60 鉛直ひずみ分布図 (Lダム, コア部)

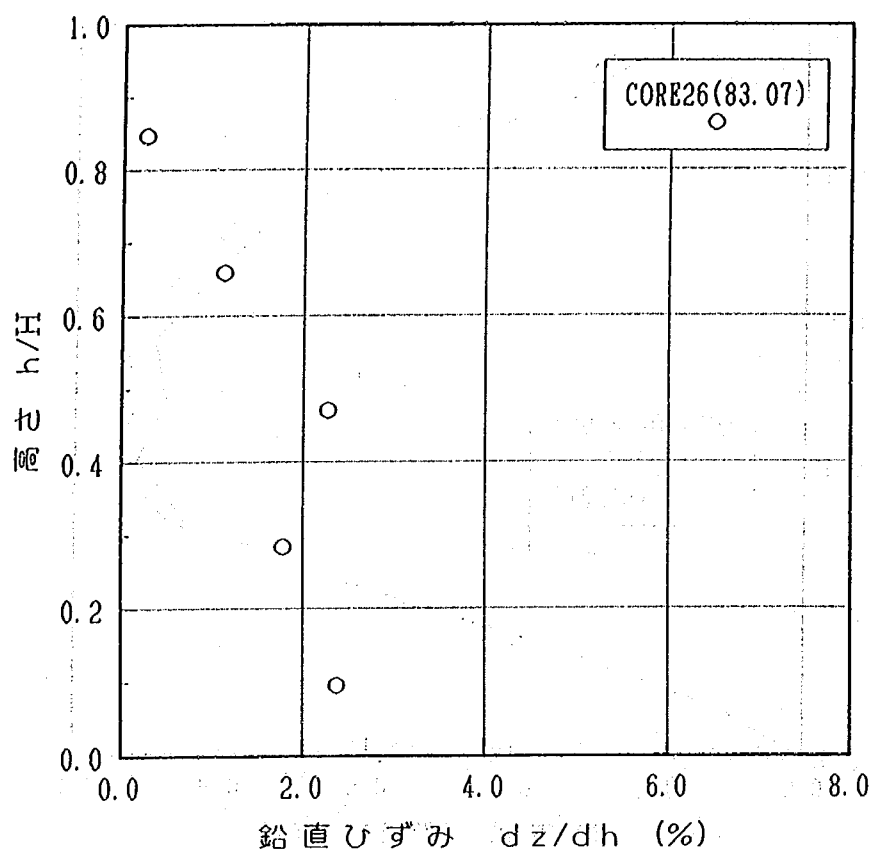


図 - 61 鉛直ひずみ分布図 (P ダム, コア部)

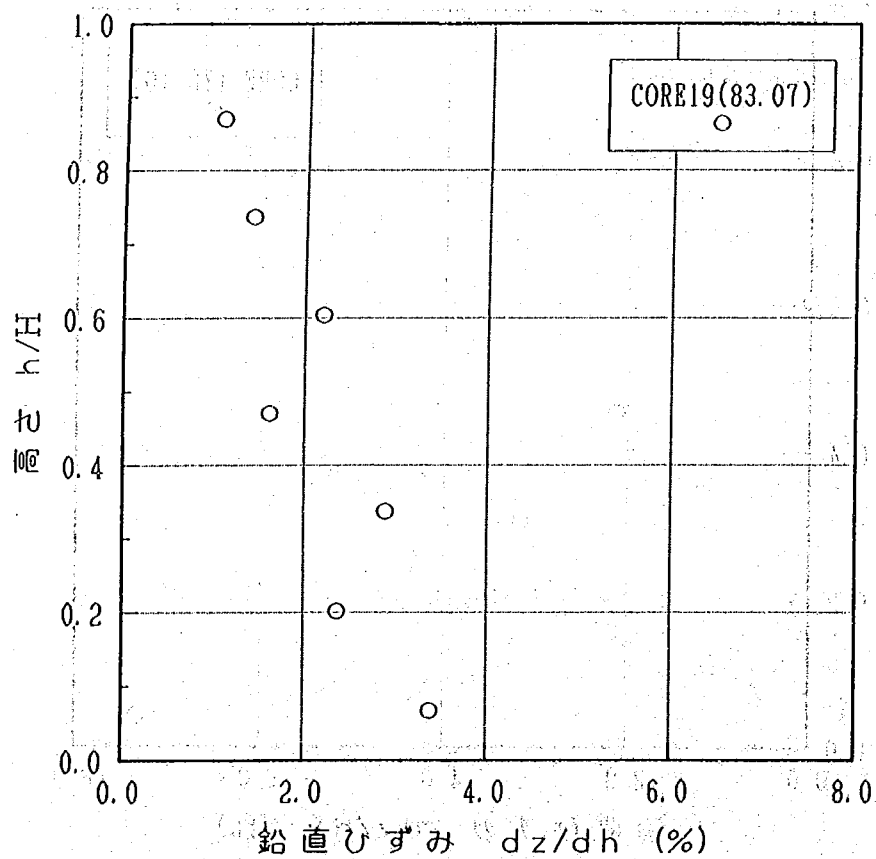


図 - 62 鉛直ひずみ分布図 (P ダム, コア部)

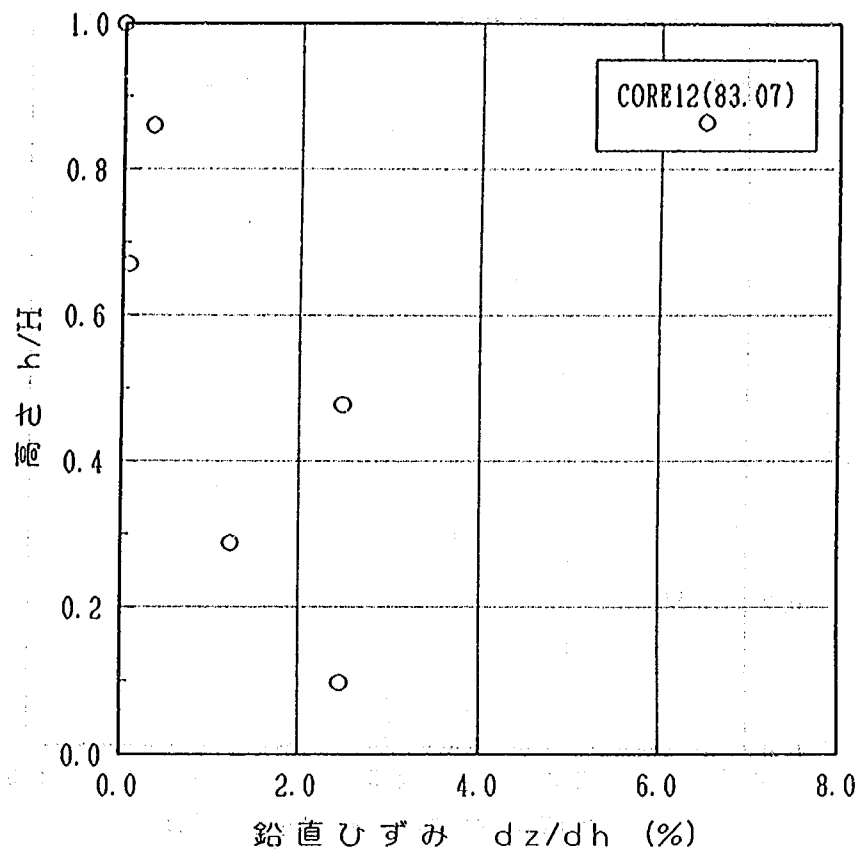


図 - 63 鉛直ひずみ分布図 (P ダム, コア部)

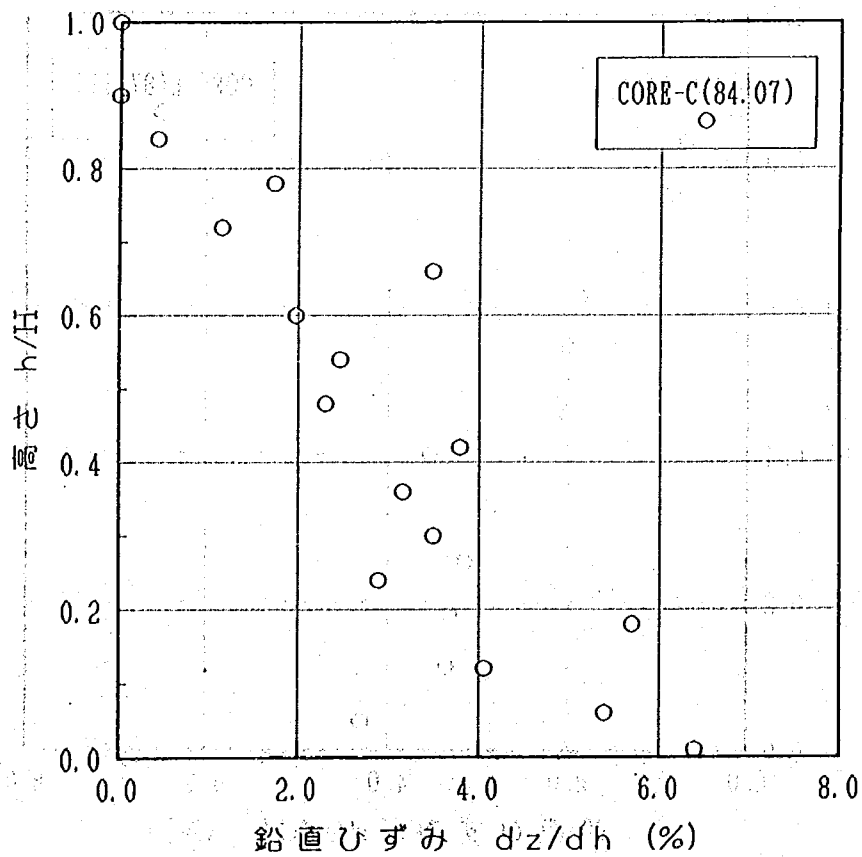


図 - 64 鉛直ひずみ分布図 (S ダム, コア部)

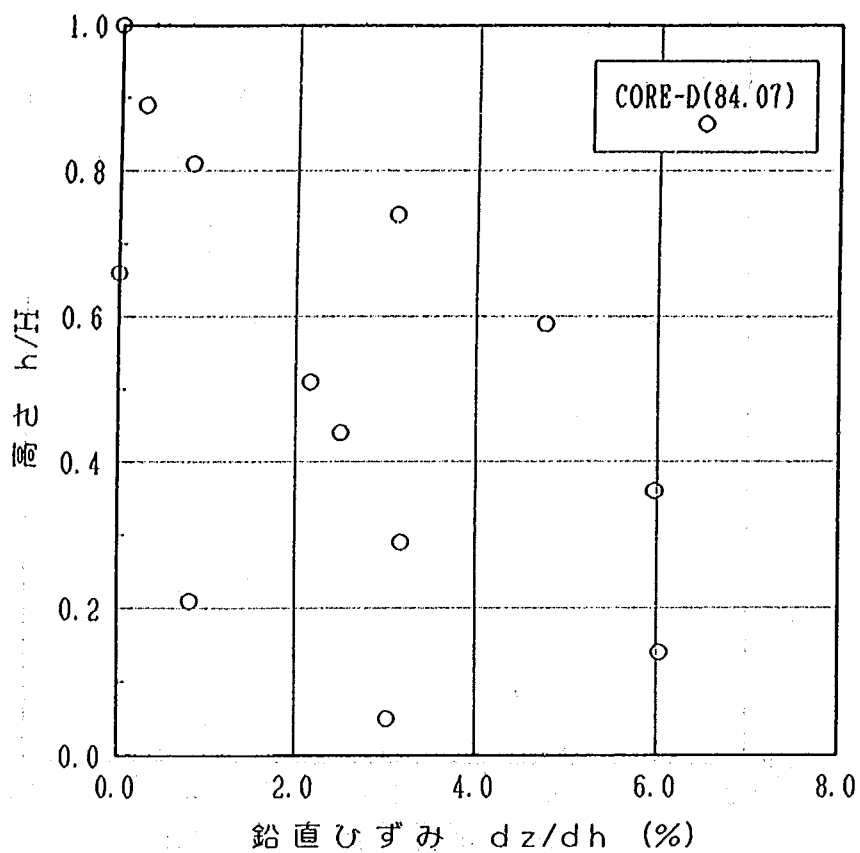


図-65 鉛直ひずみ分布図 (Sダム, コア部)

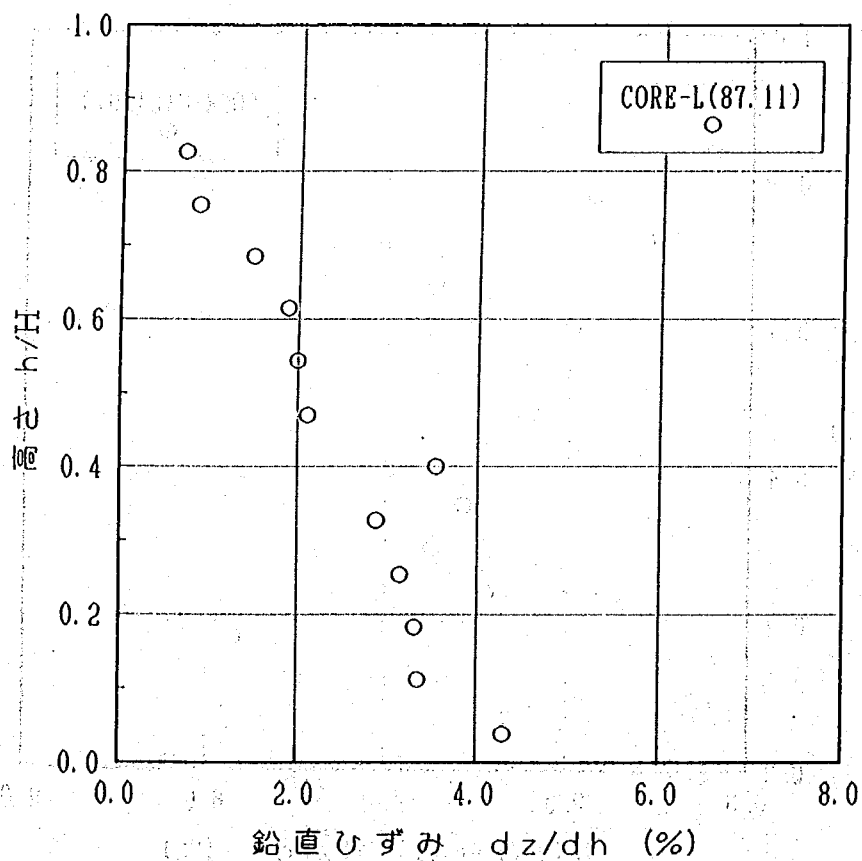


図-66 鉛直ひずみ分布図 (Vダム, コア部)

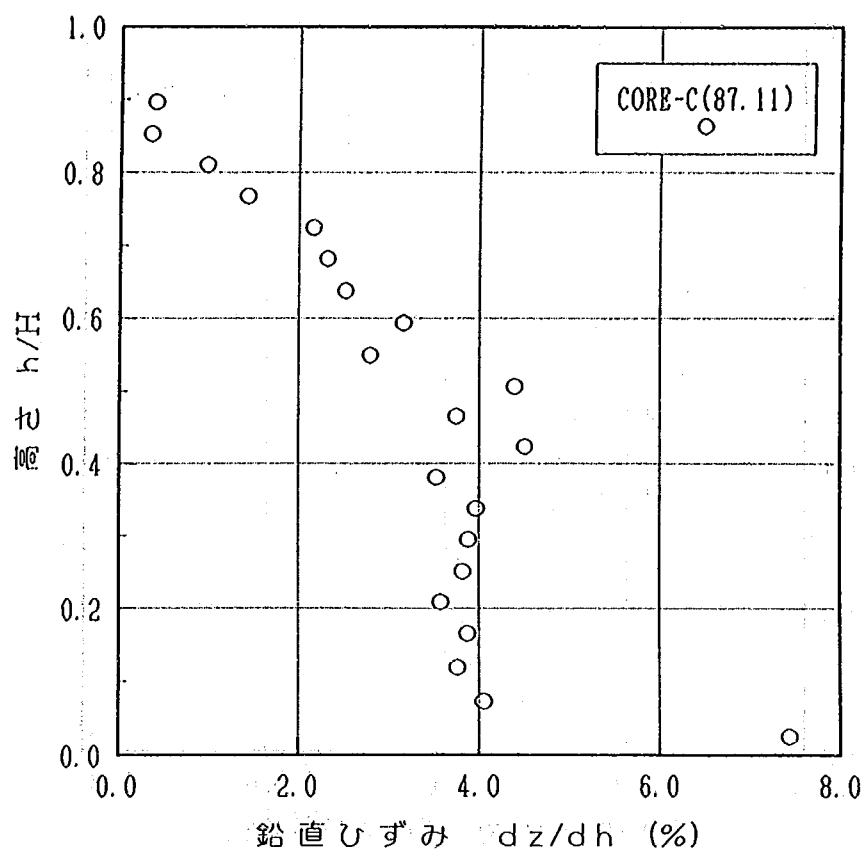


図 - 67 鉛直ひずみ分布図 (Vダム, コア部)

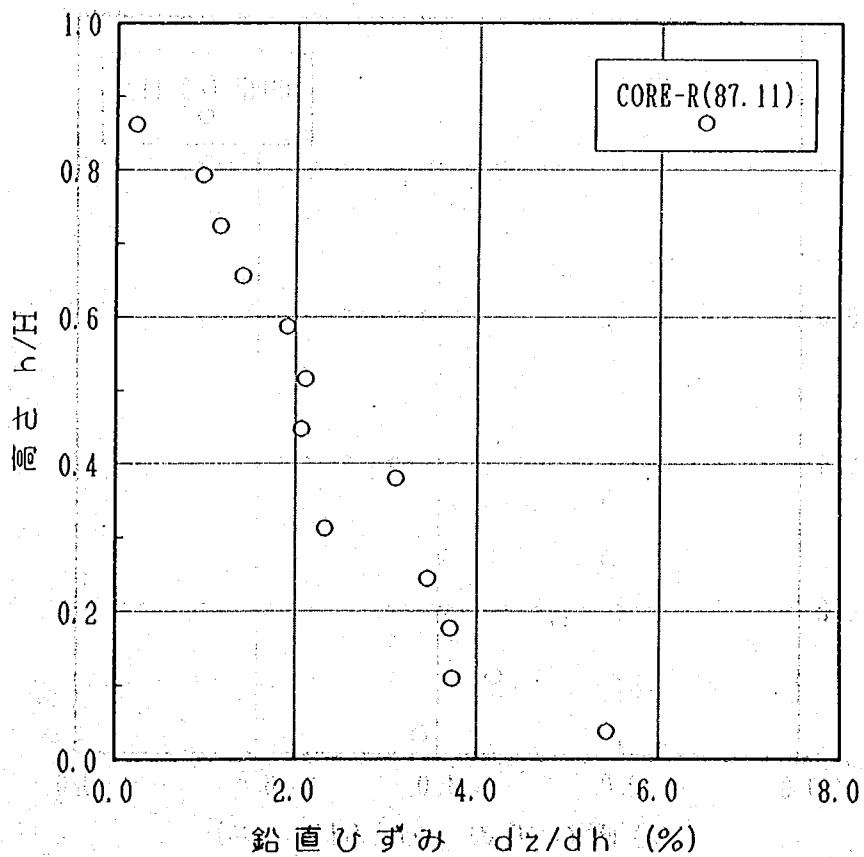


図 - 68 鉛直ひずみ分布図 (Vダム, コア部)

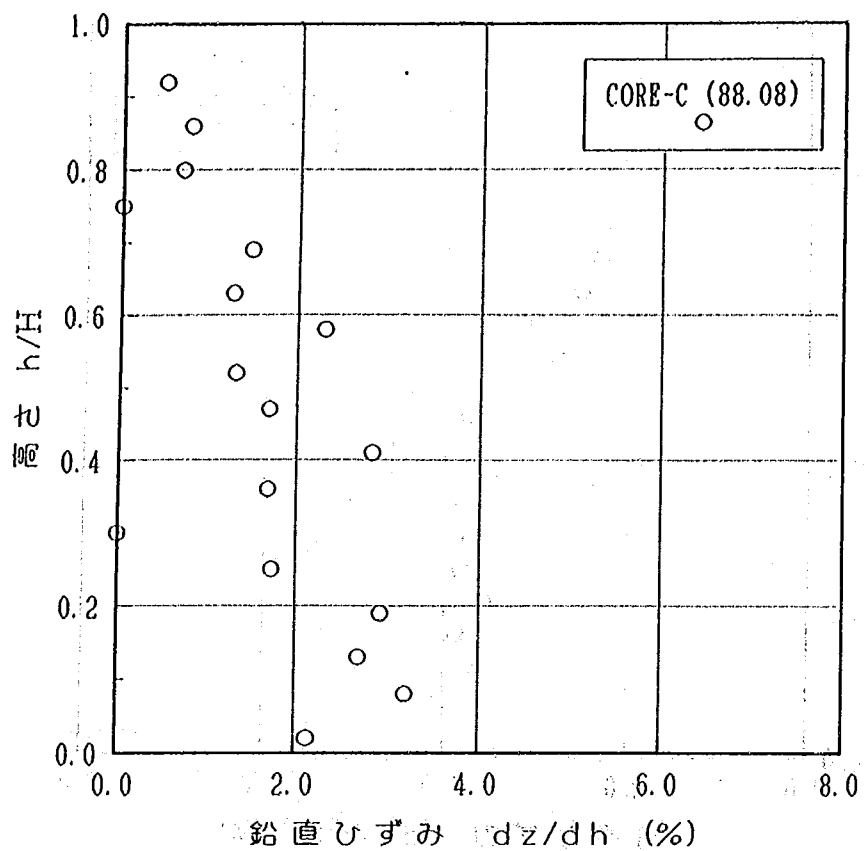


図 - 69 鉛直ひずみ分布図 (Wダム, コア部)

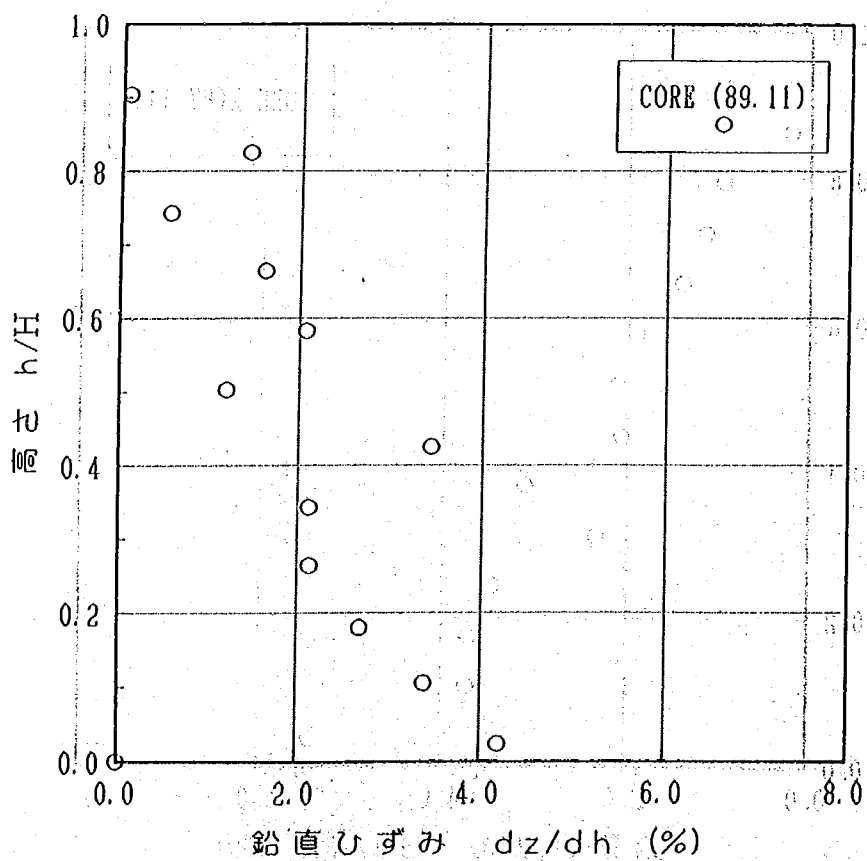


図 - 70 鉛直ひずみ分布図 (Xダム, コア部)

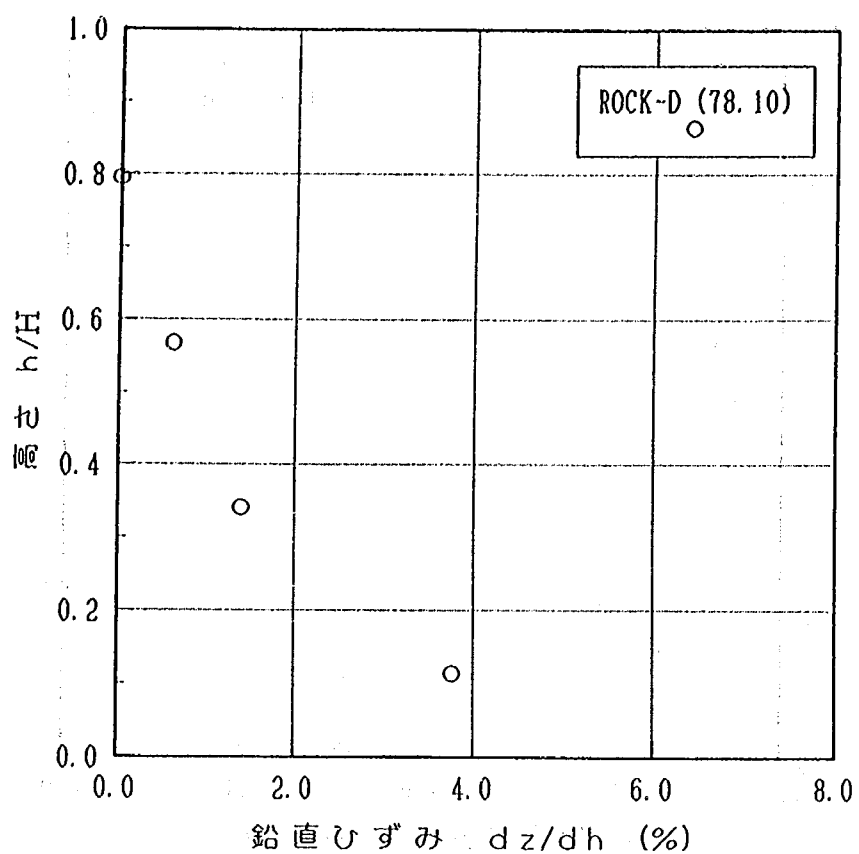


図-71 鉛直ひずみ分布図 (Lダム, ロック部)

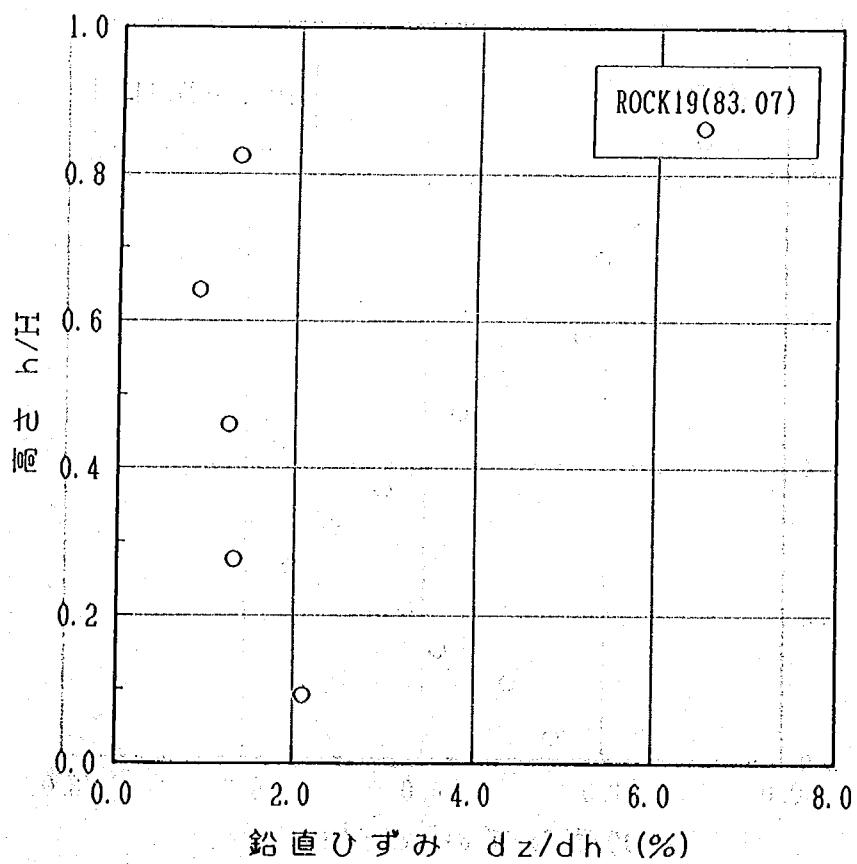


図-72 鉛直ひずみ分布図 (Pダム, ロック部)

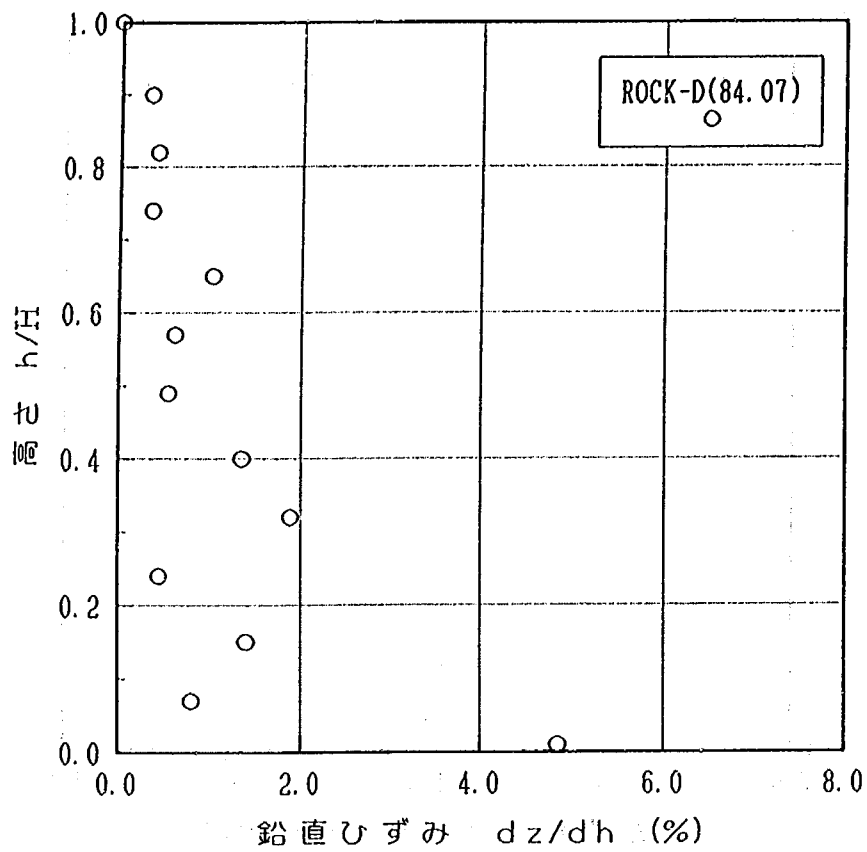


図-73 鉛直ひずみ分布図 (Sダム, ロック部)

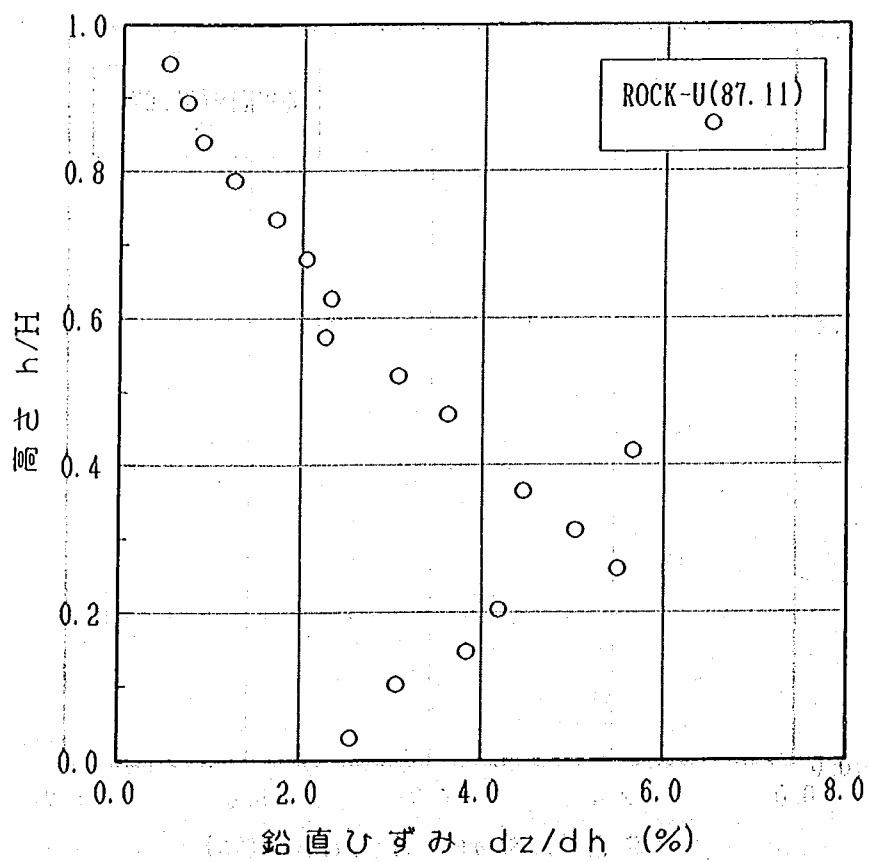


図-74 鉛直ひずみ分布図 (Vダム, ロック部)

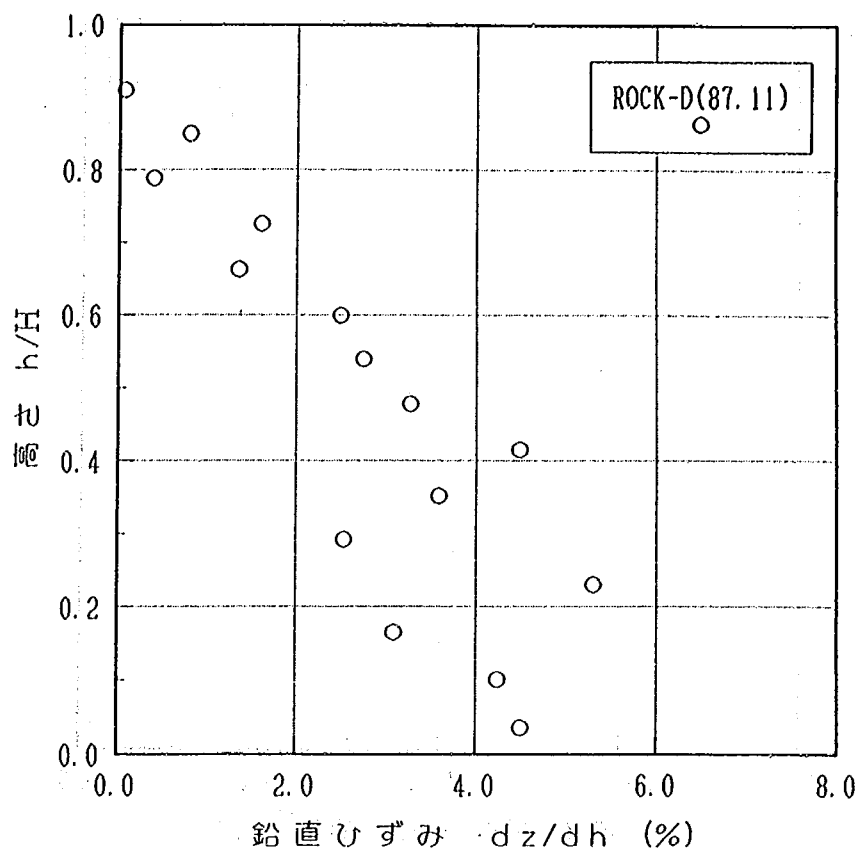


図 - 75 鉛直ひずみ分布図 (Vダム, ロック部)

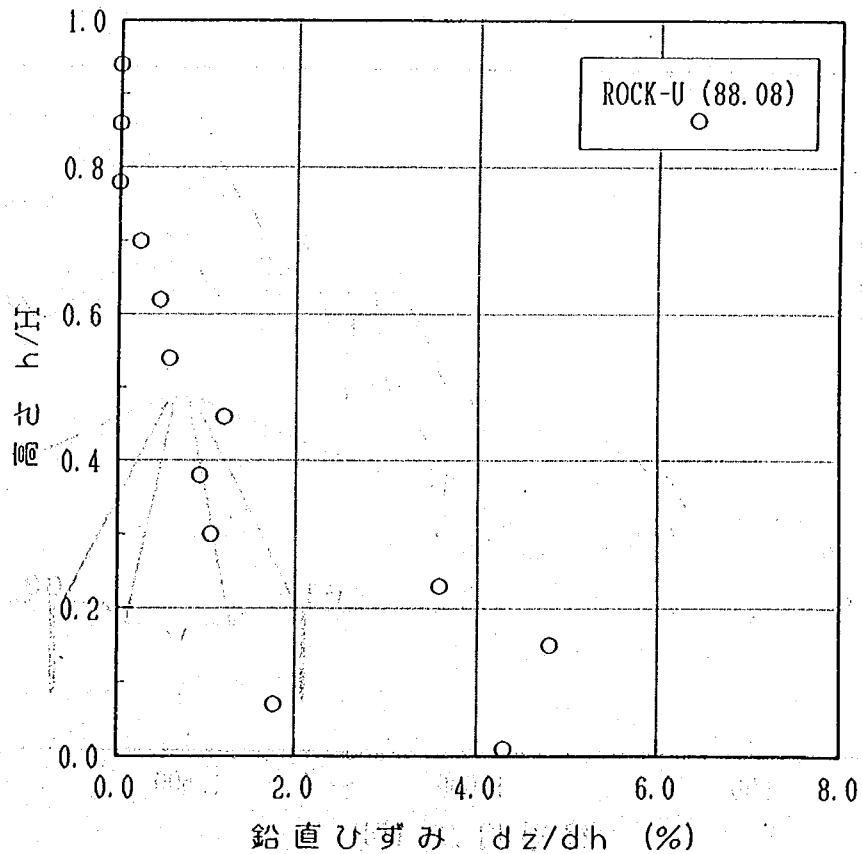


図 - 76 鉛直ひずみ分布図 (Wダム, ロック部)

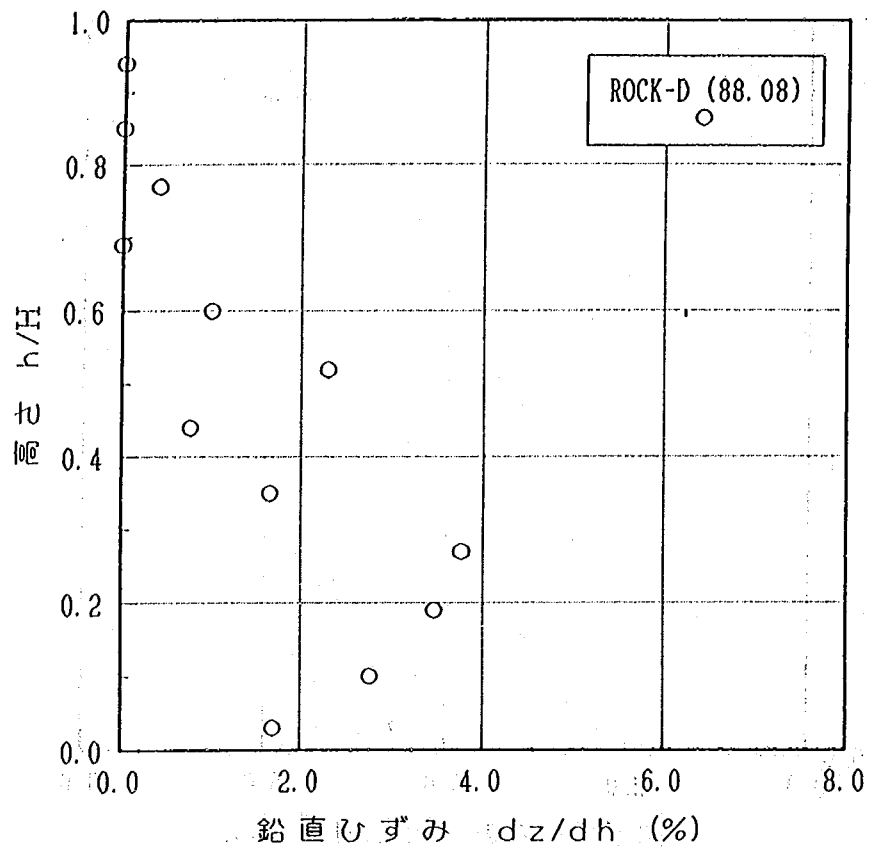


図-77 鉛直ひずみ分布図 (Wダム, ロック部)

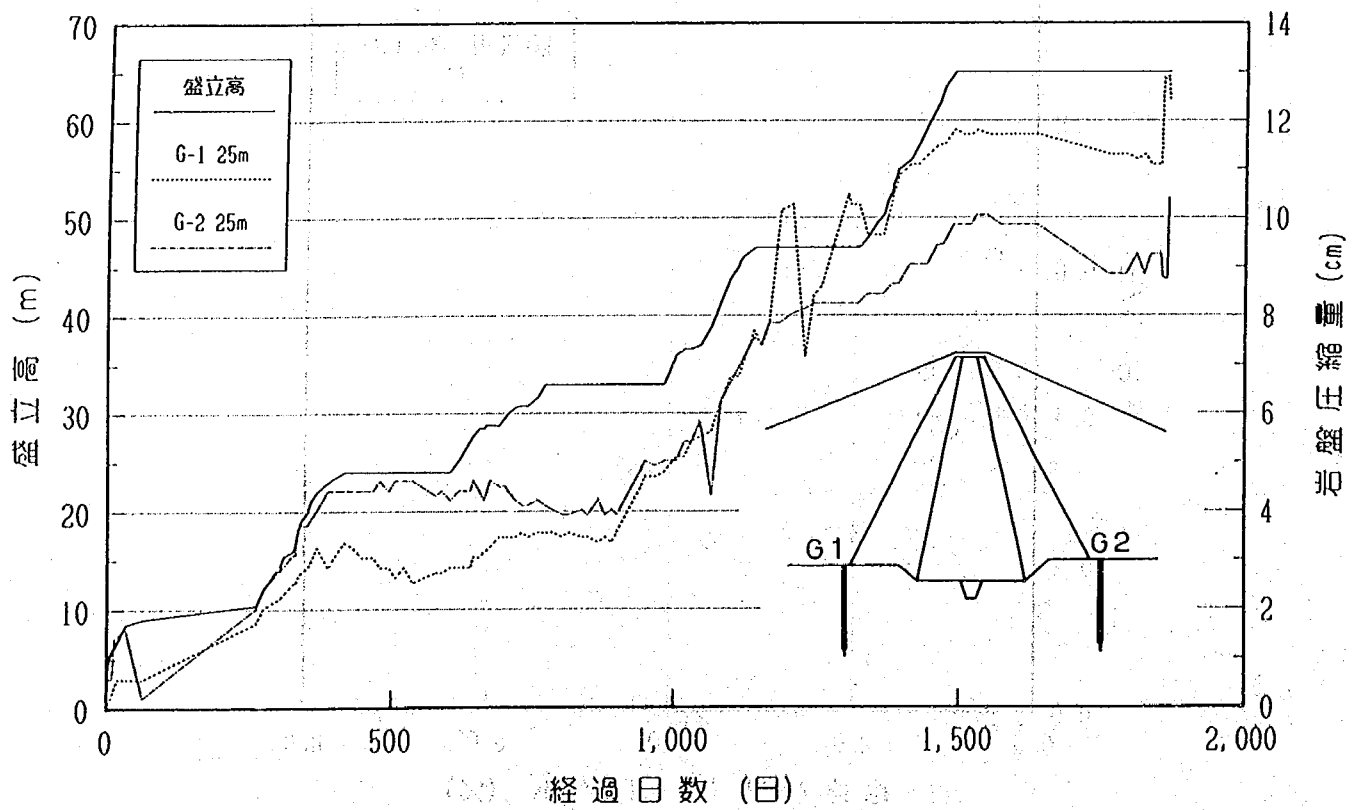


図-78 盛立高と岩盤変位の経時変化 (Lダム)

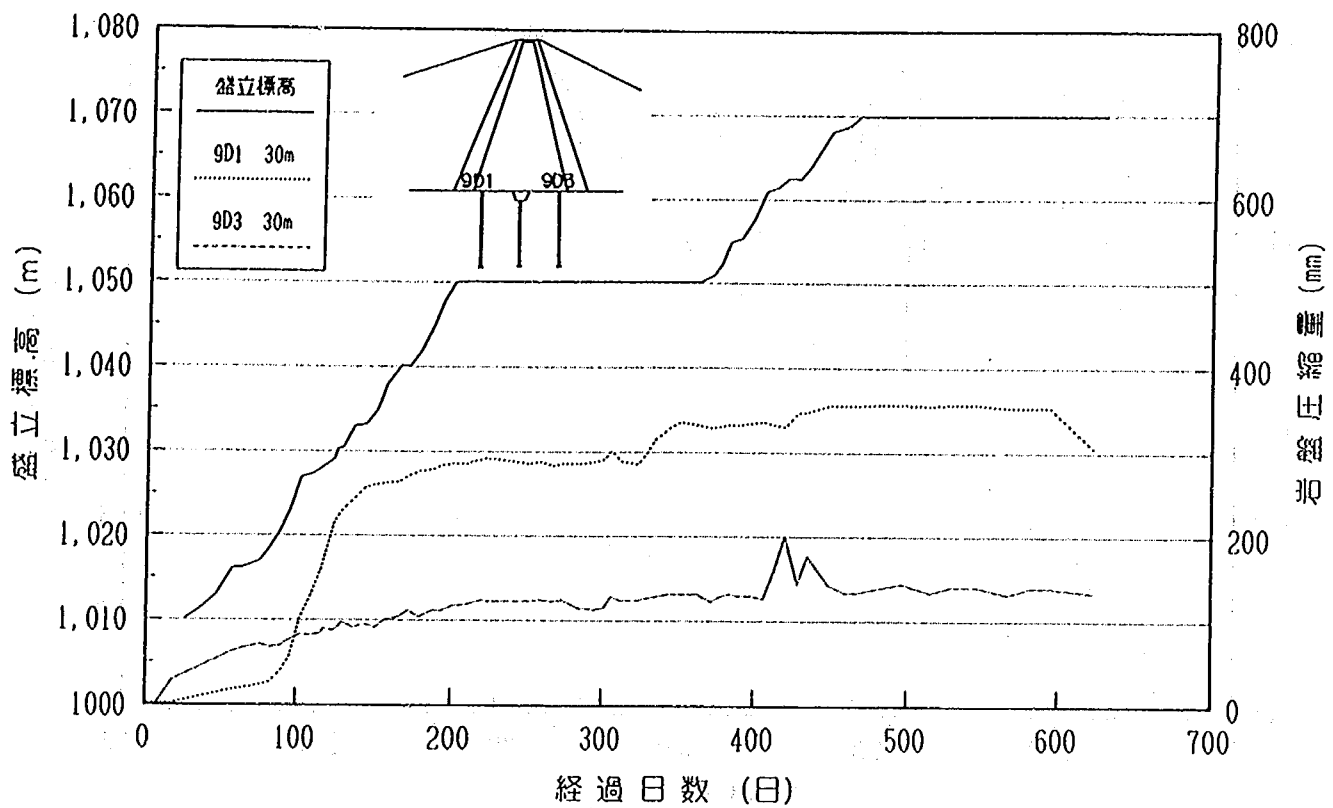


図-79 盛立標高と岩盤変位の経時変化 (Oダム)

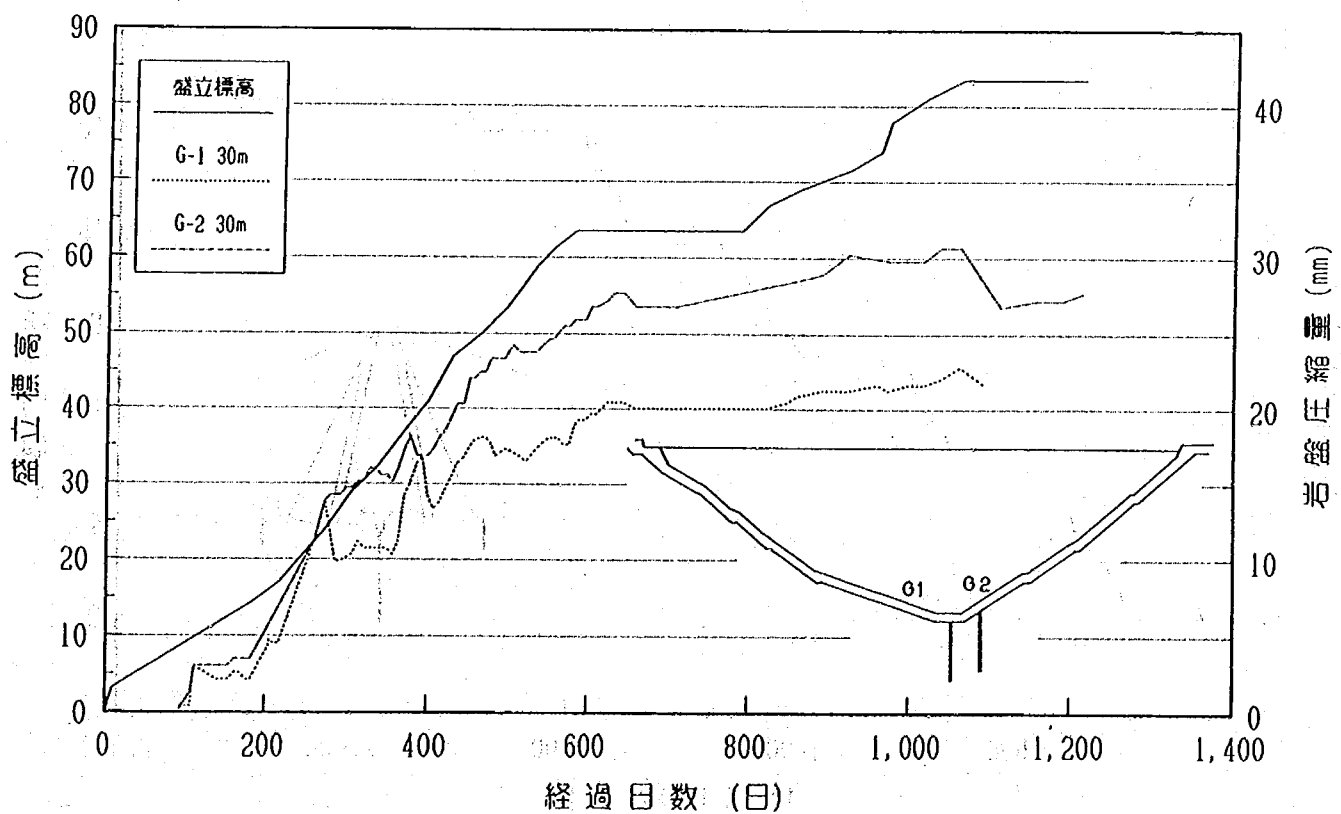


図-80 盛立標高と岩盤変位の経時変化 (Sダム)

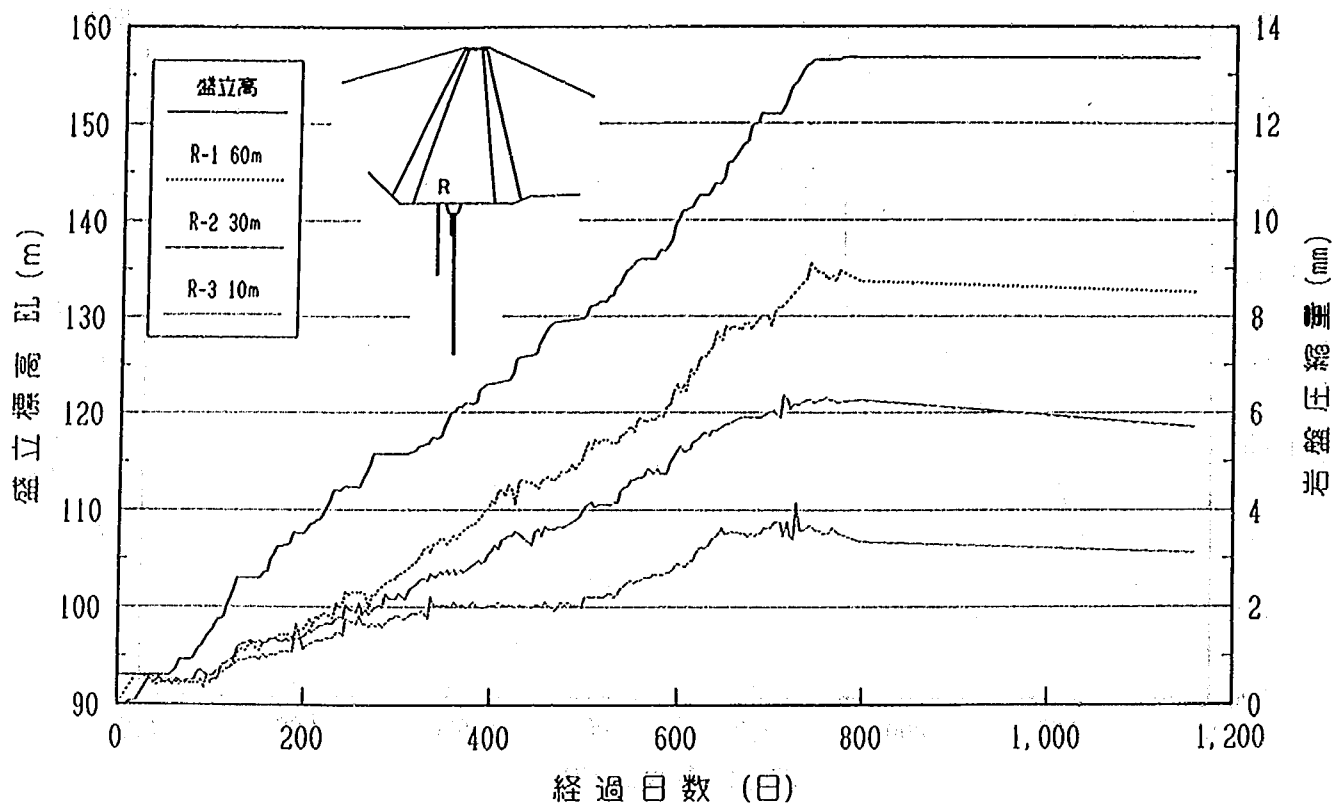


図 - 81 盛立標高と岩盤変位の経時変化 (Uダム)

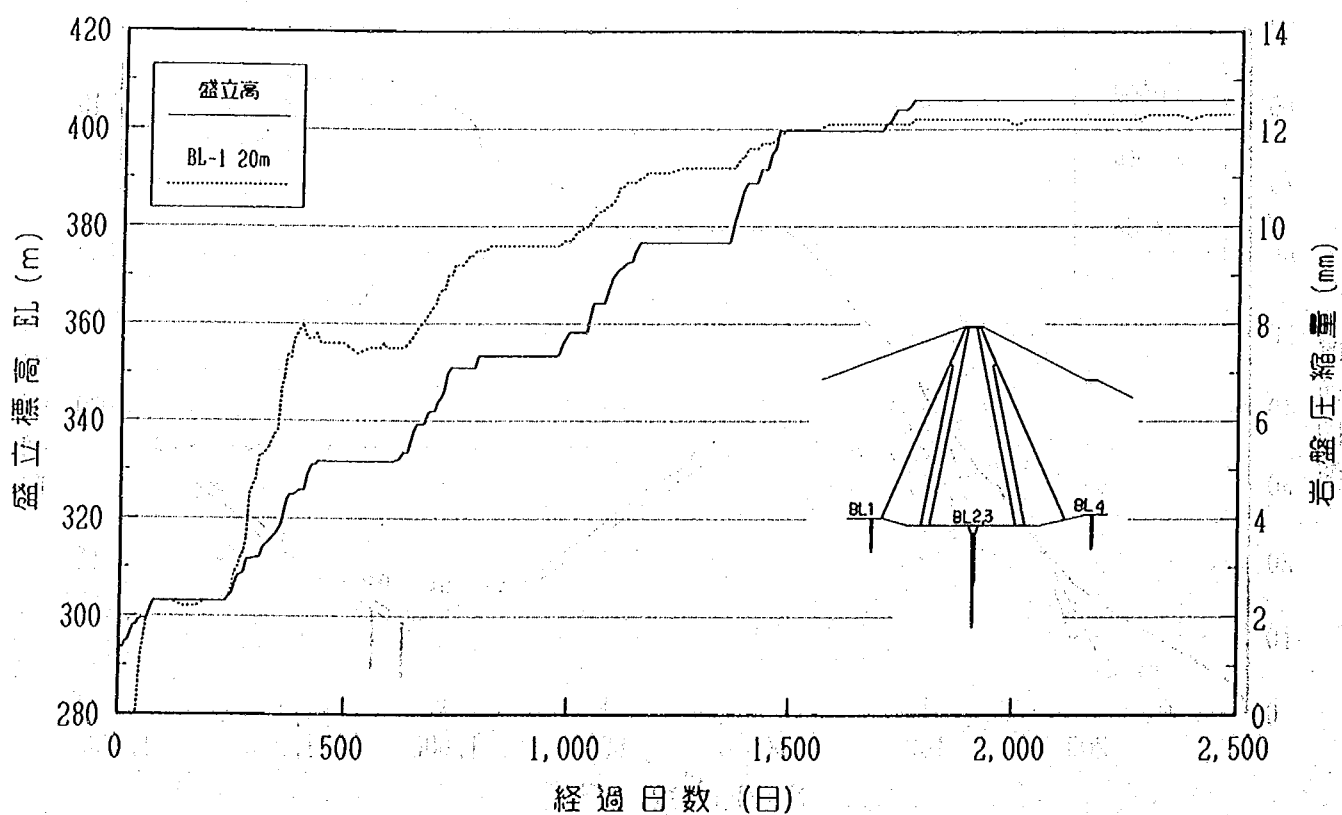


図 - 82 盛立標高と岩盤変位の経時変化 (Vダム)

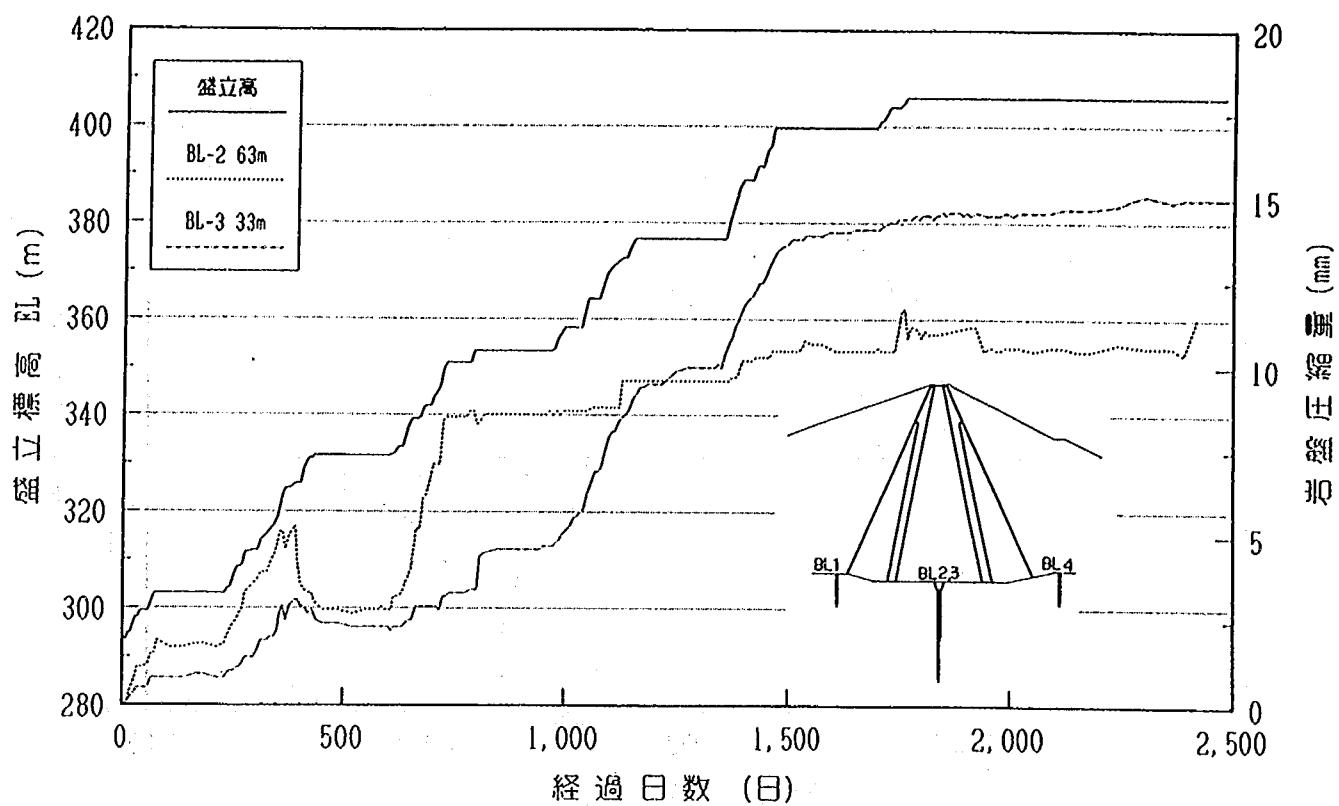


図 - 83 盛立標高と岩盤変位の経時変化 (V ダム)

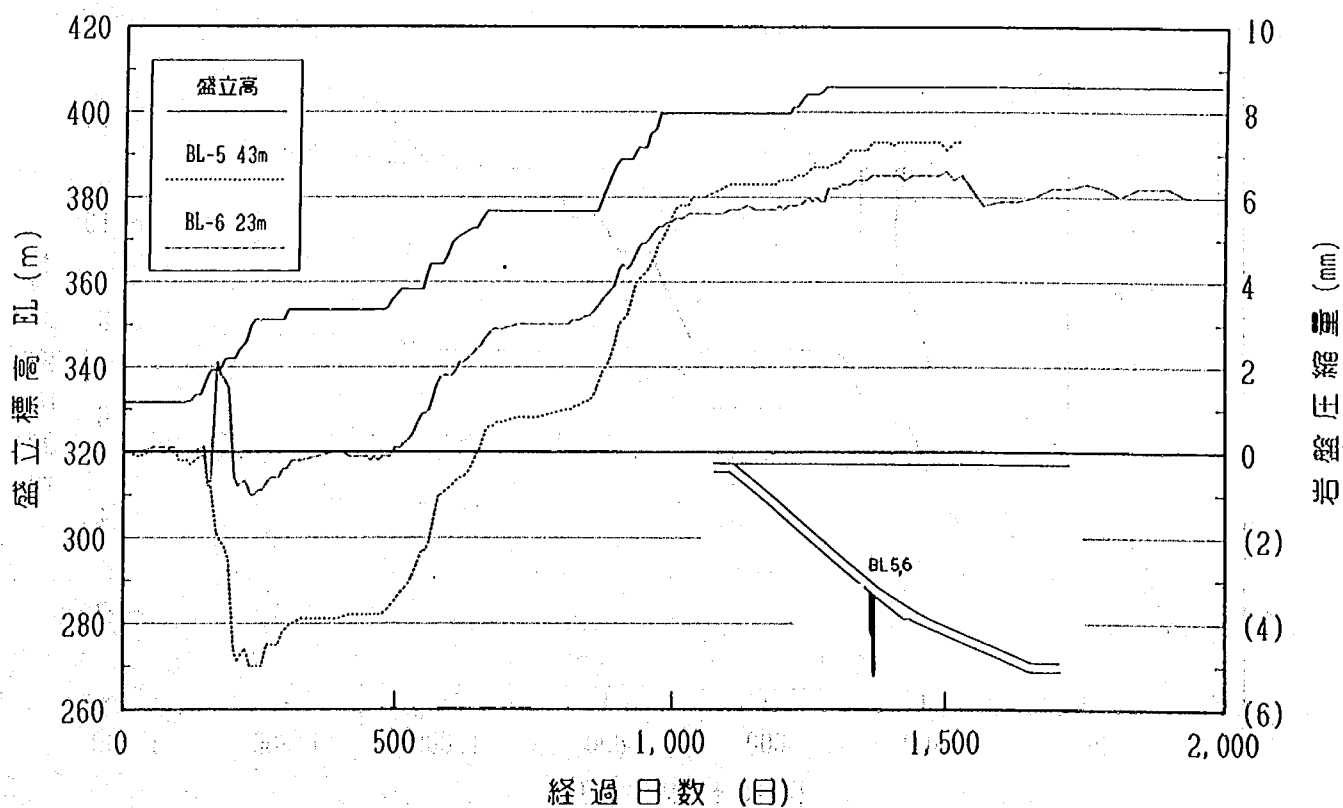


図 - 84 盛立標高と岩盤変位の経時変化 (V ダム)

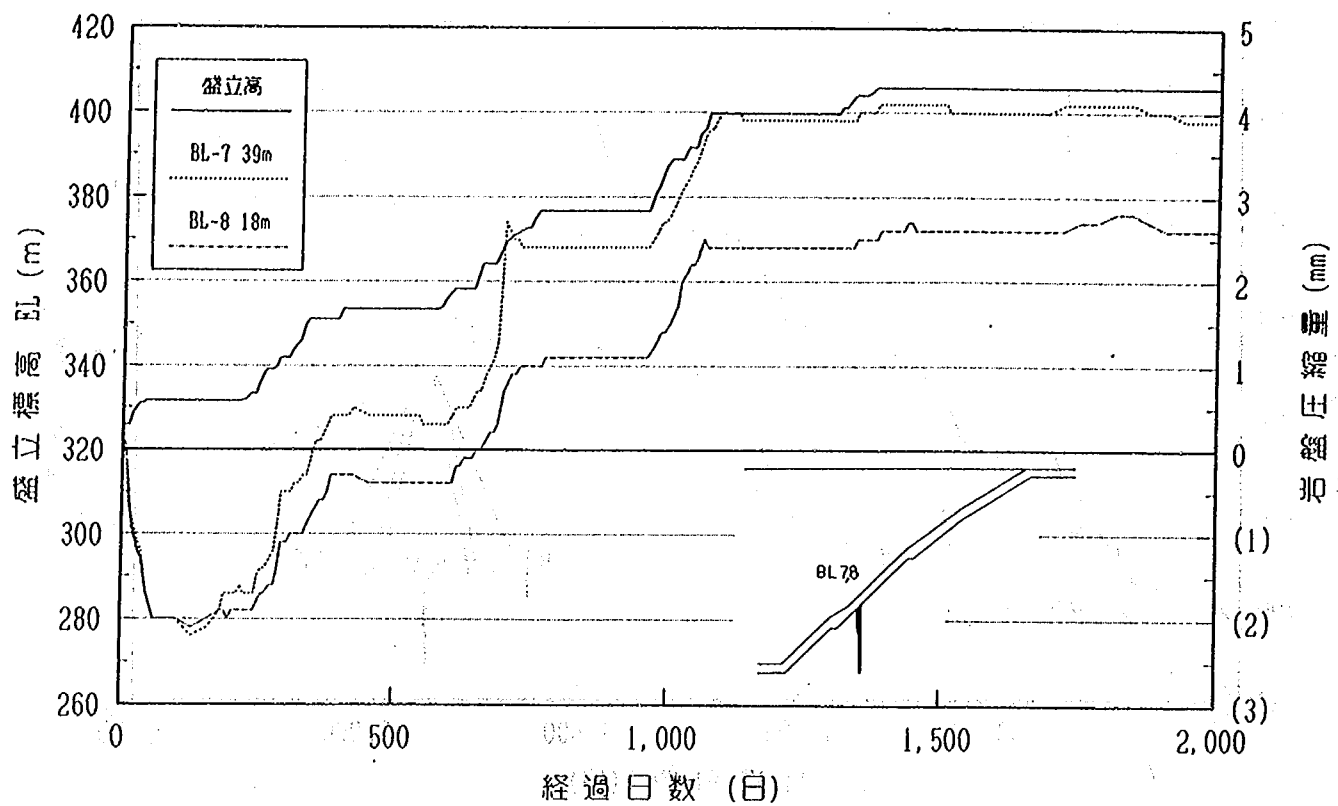


図-85 盛立標高と岩盤変位の経時変化 (Vダム)

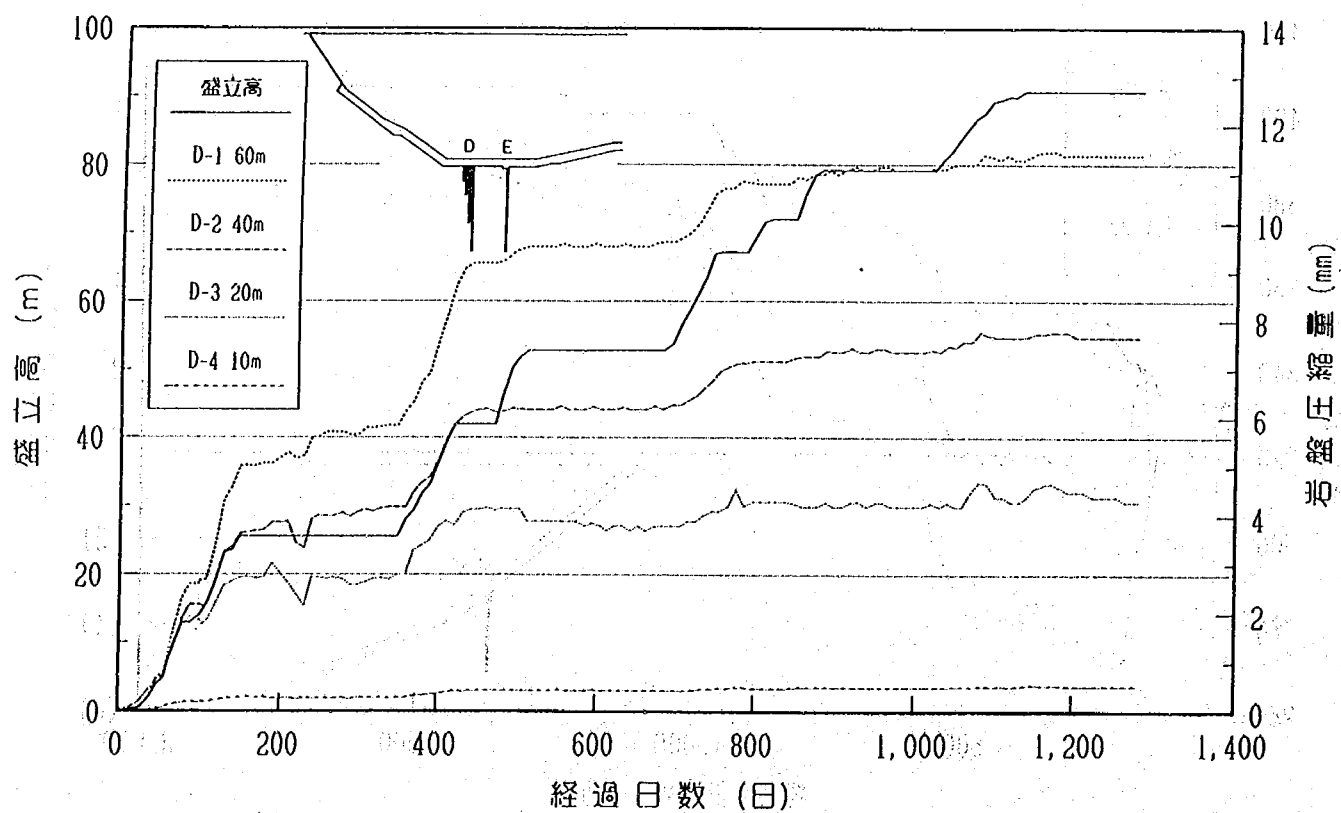


図-86 盛立高と岩盤変位の経時変化 (Wダム)

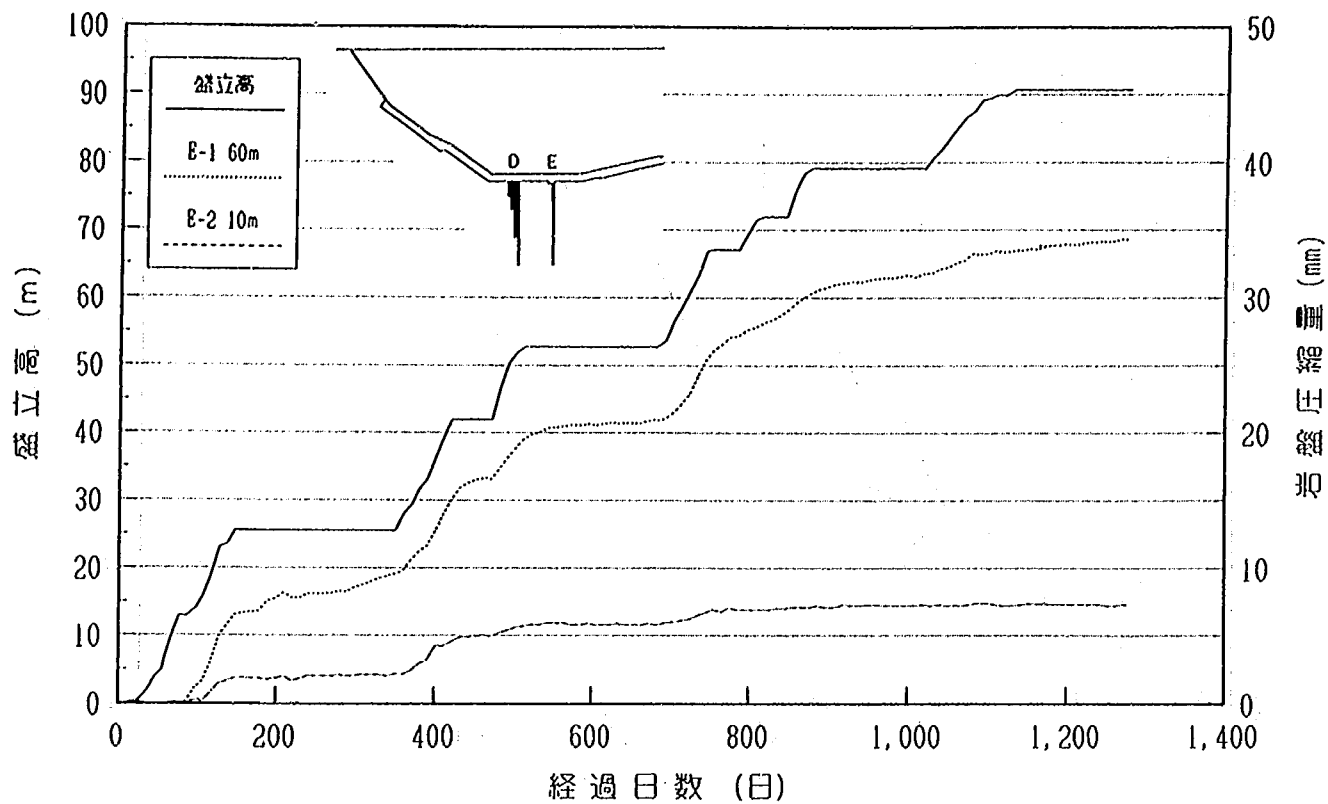


図 - 87 盛立高と岩盤変位の経時変化 (Wダム)

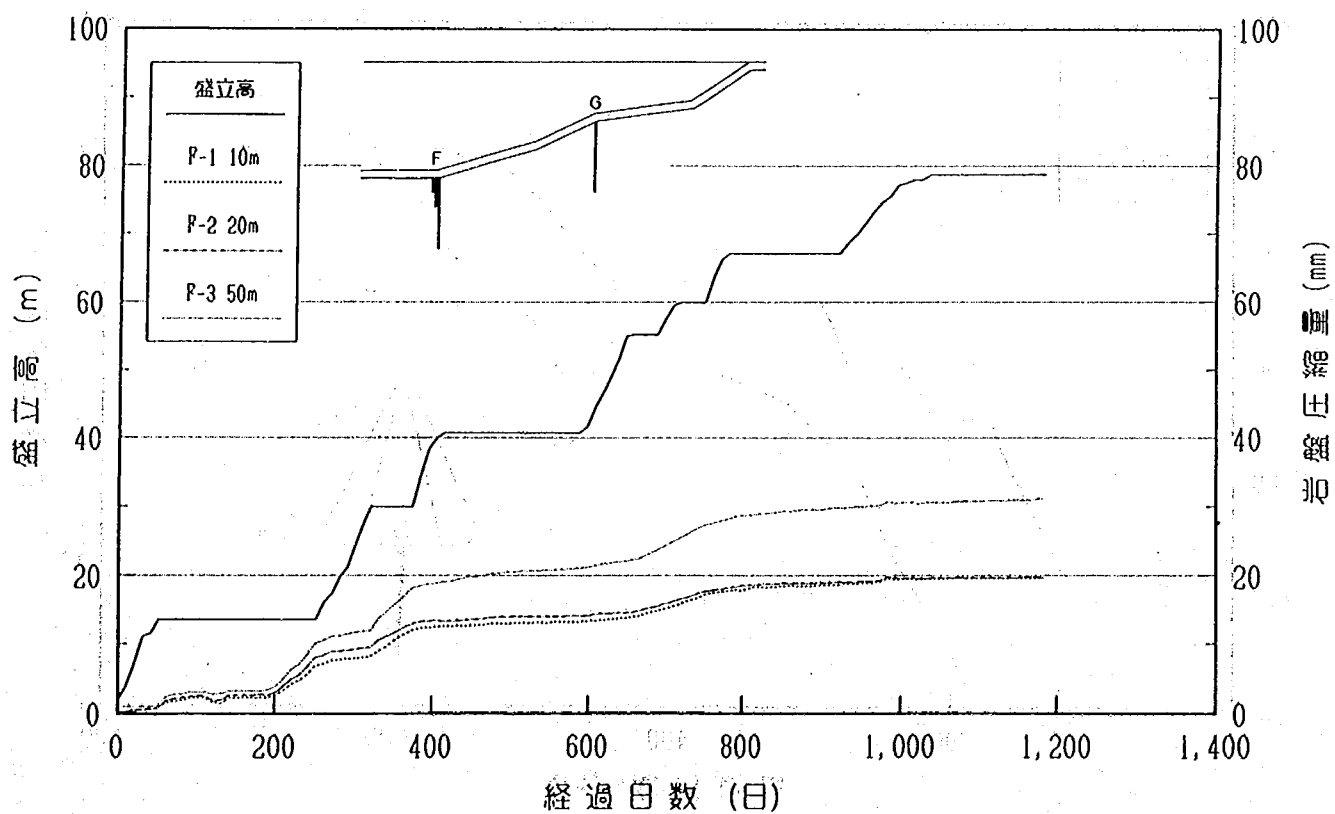


図 - 88 盛立高と岩盤変位の経時変化 (Wダム)

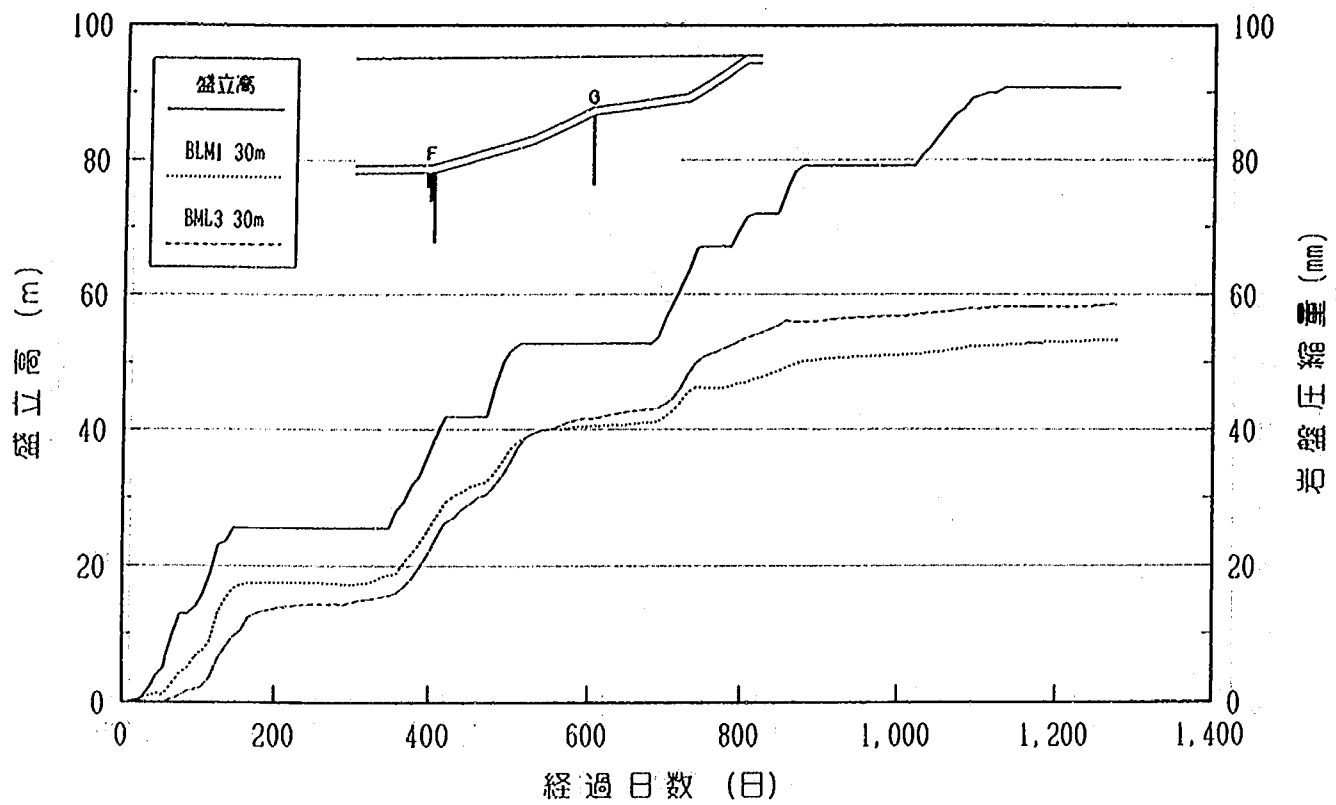


図 - 89 盛立高と岩盤変位の経時変化 (Wダム)

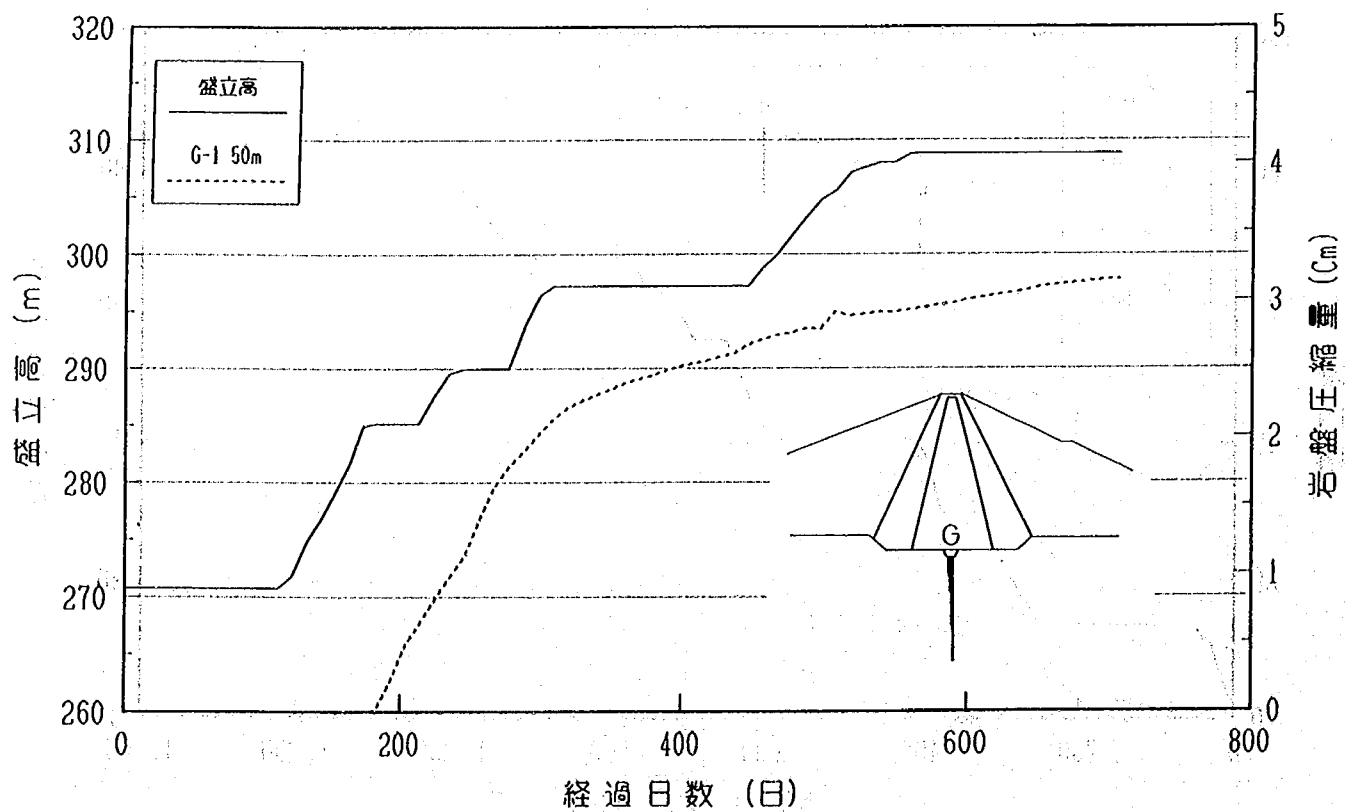


図 - 90 盛立高と岩盤変位の経時変化 (Wダム)

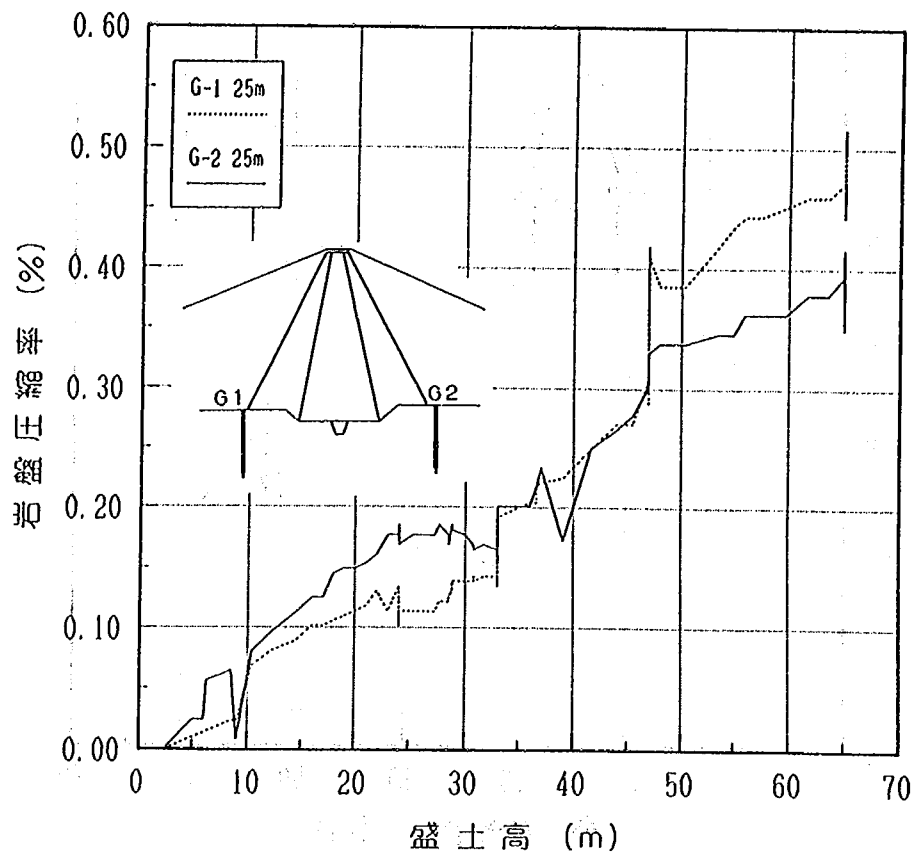


図 - 91 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Lダム)

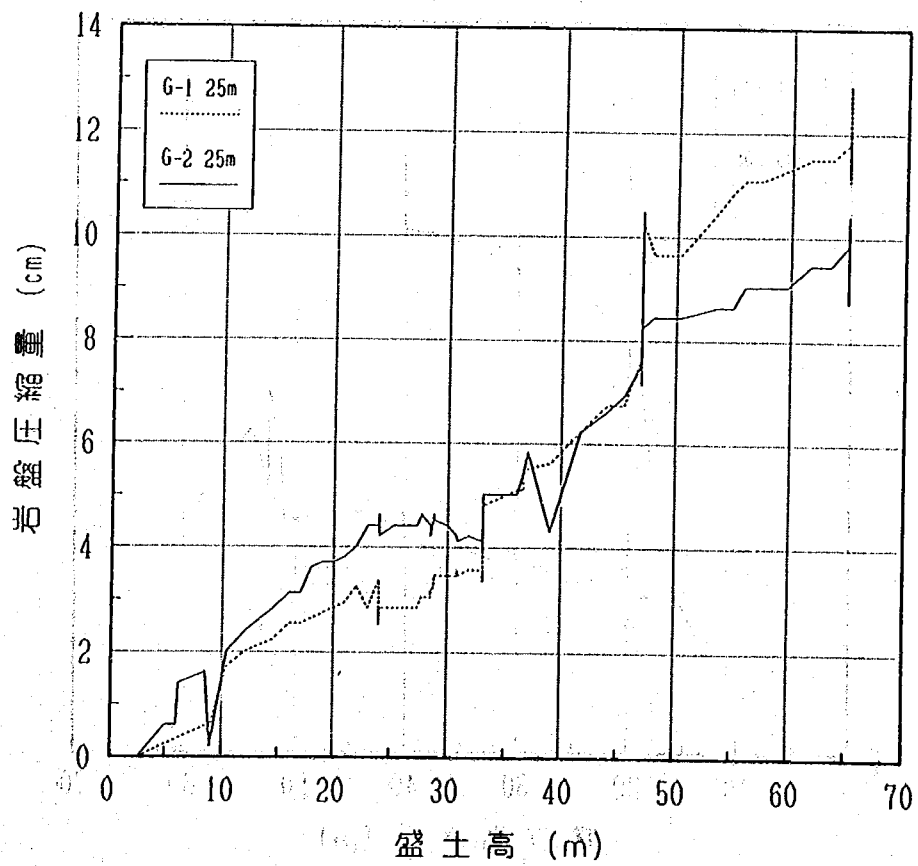


図 - 92 盛立高と岩盤変位 (Lダム)

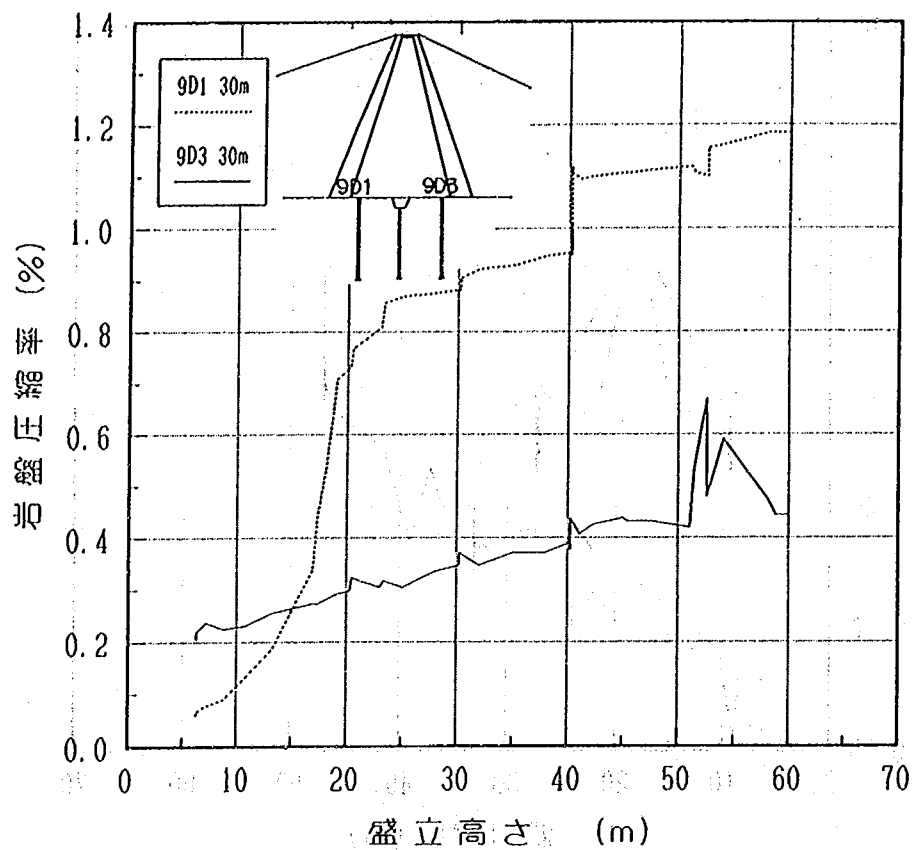


図-93 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Oダム)

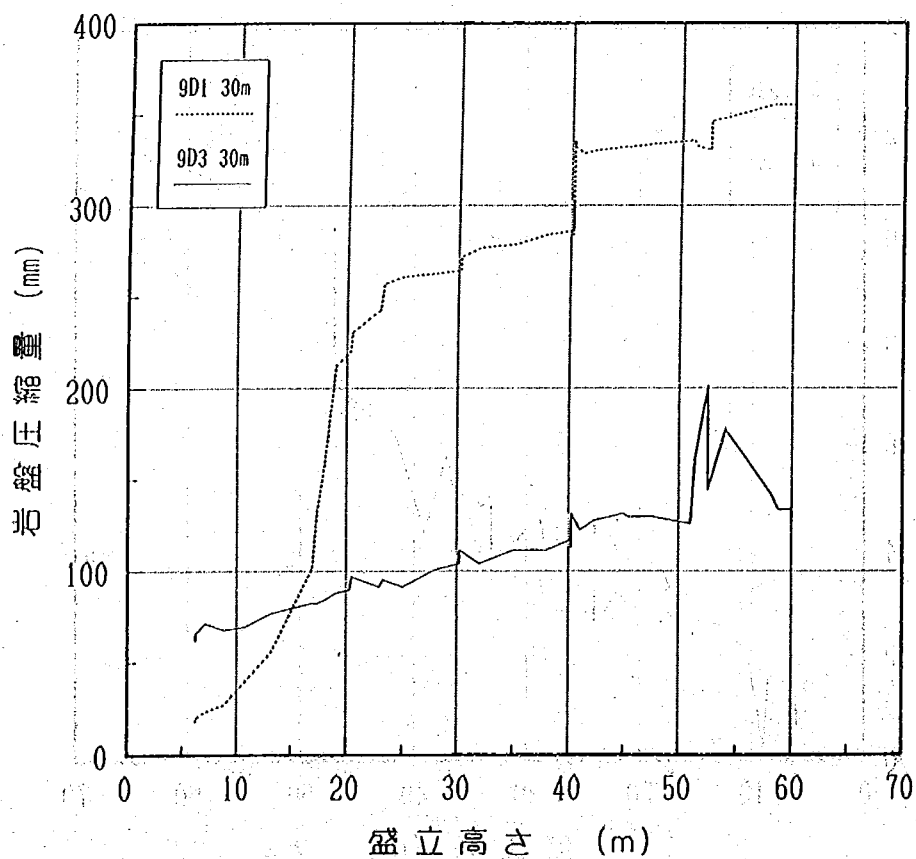


図-94 盛立高と岩盤変位 (Oダム)

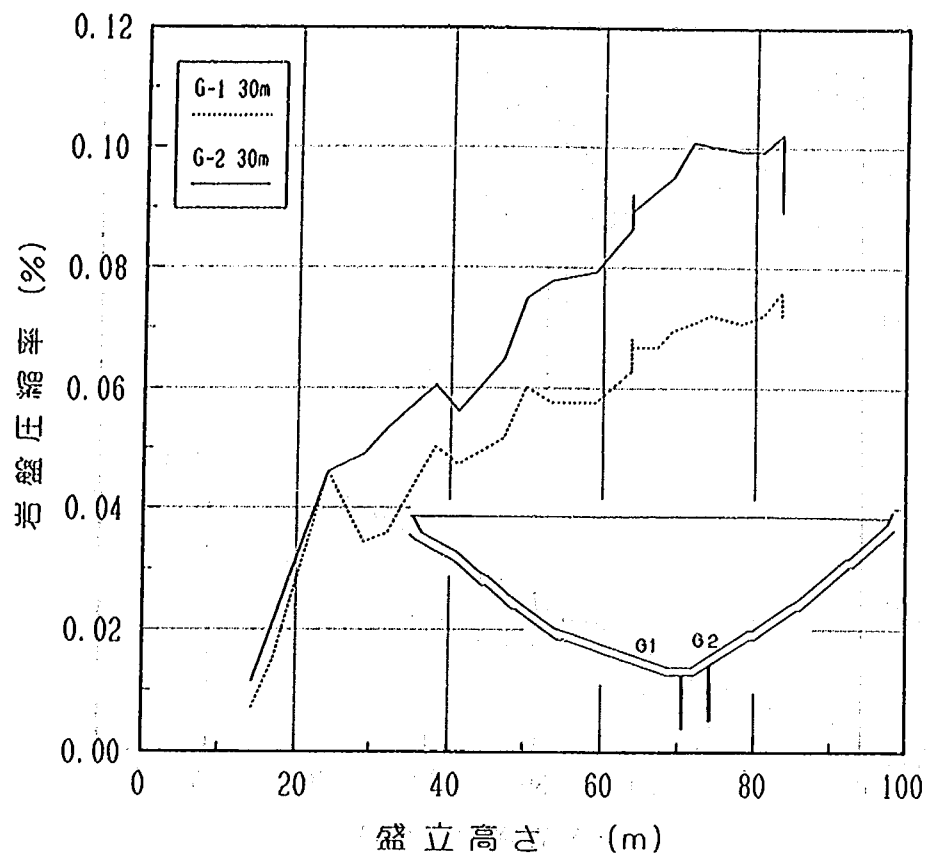


図 - 95 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Sダム)

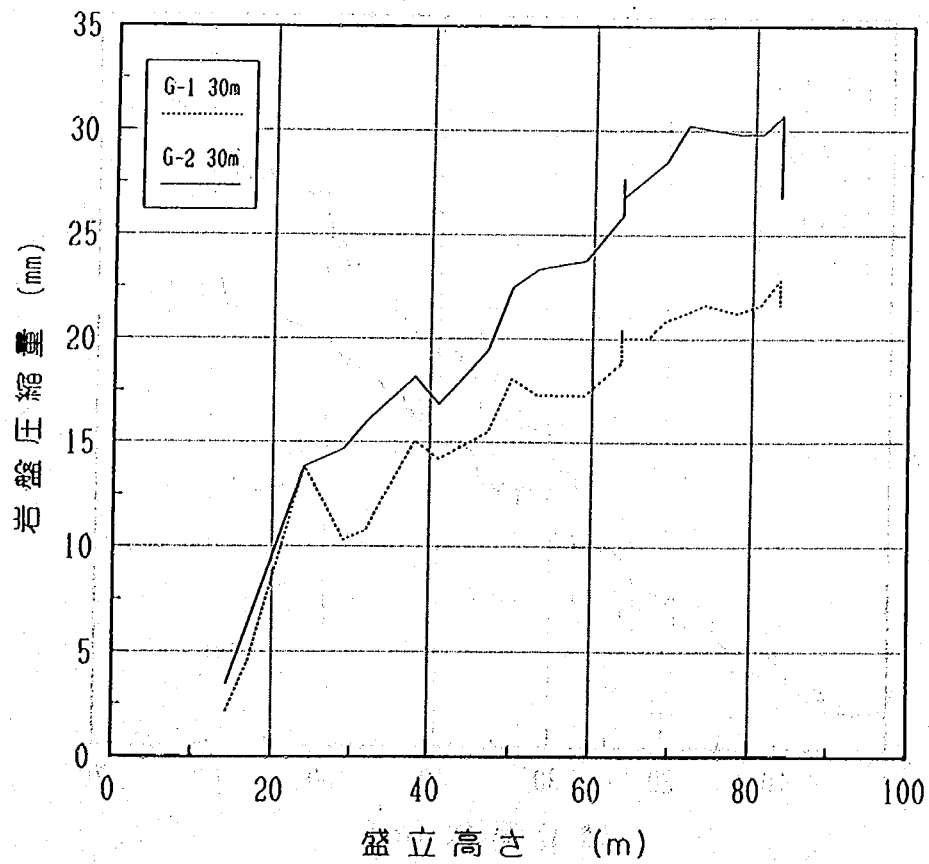


図 - 96 盛立高と岩盤変位 (Sダム)

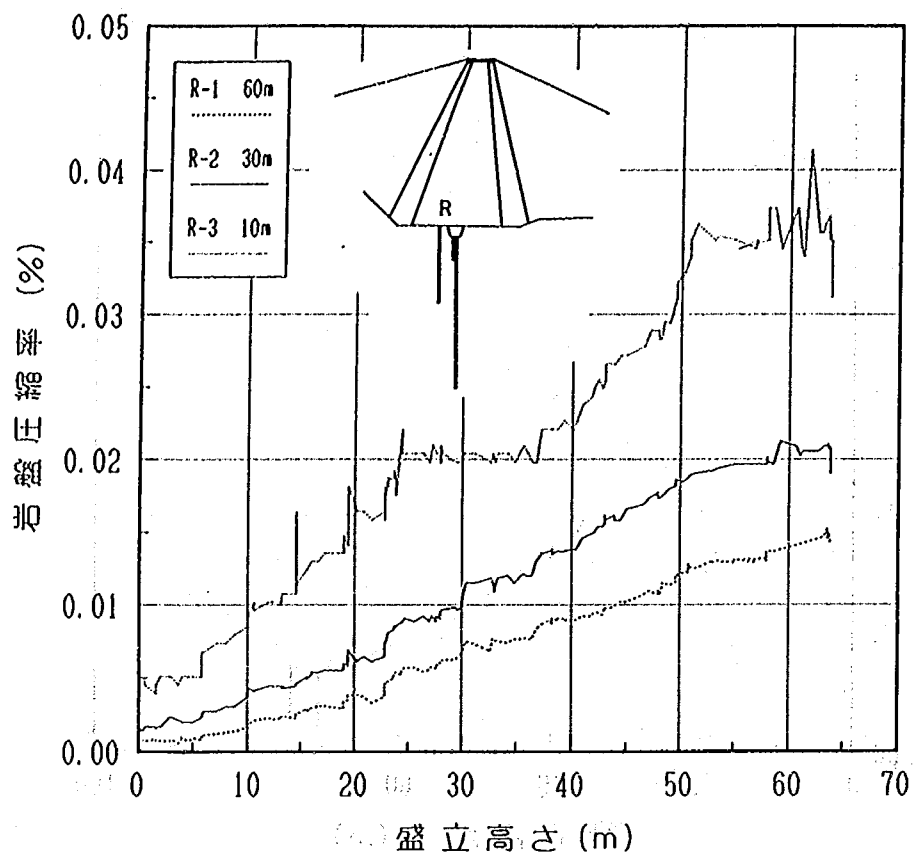


図 - 97 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Uダム)

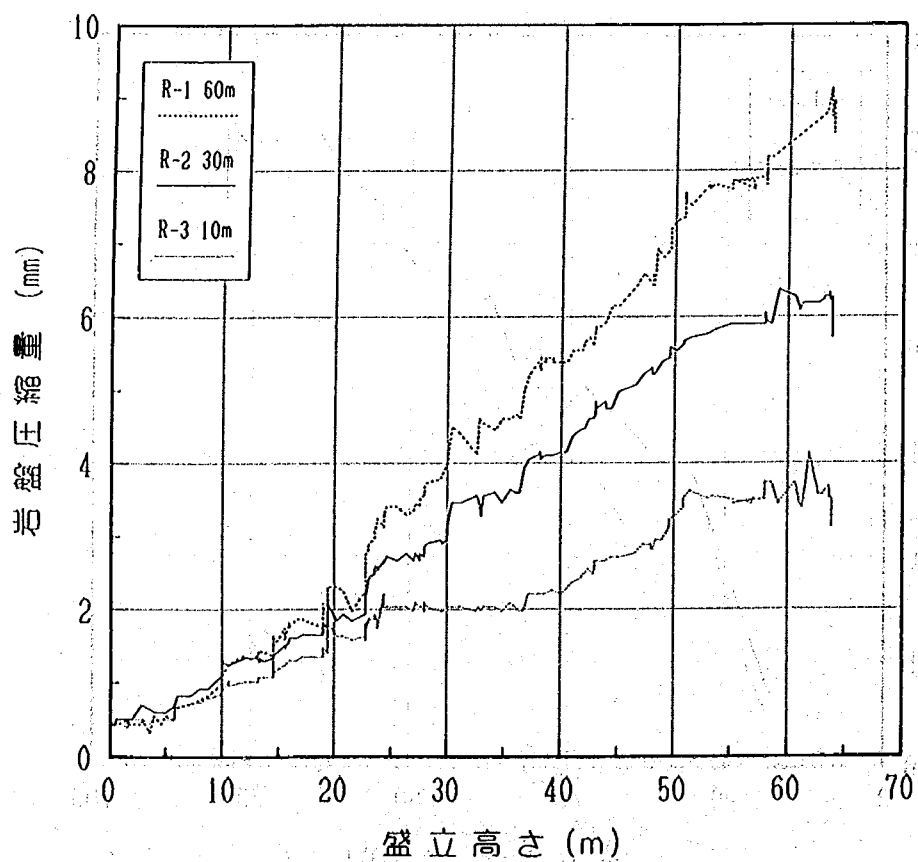


図 - 98 盛立高と岩盤変位 (Uダム)

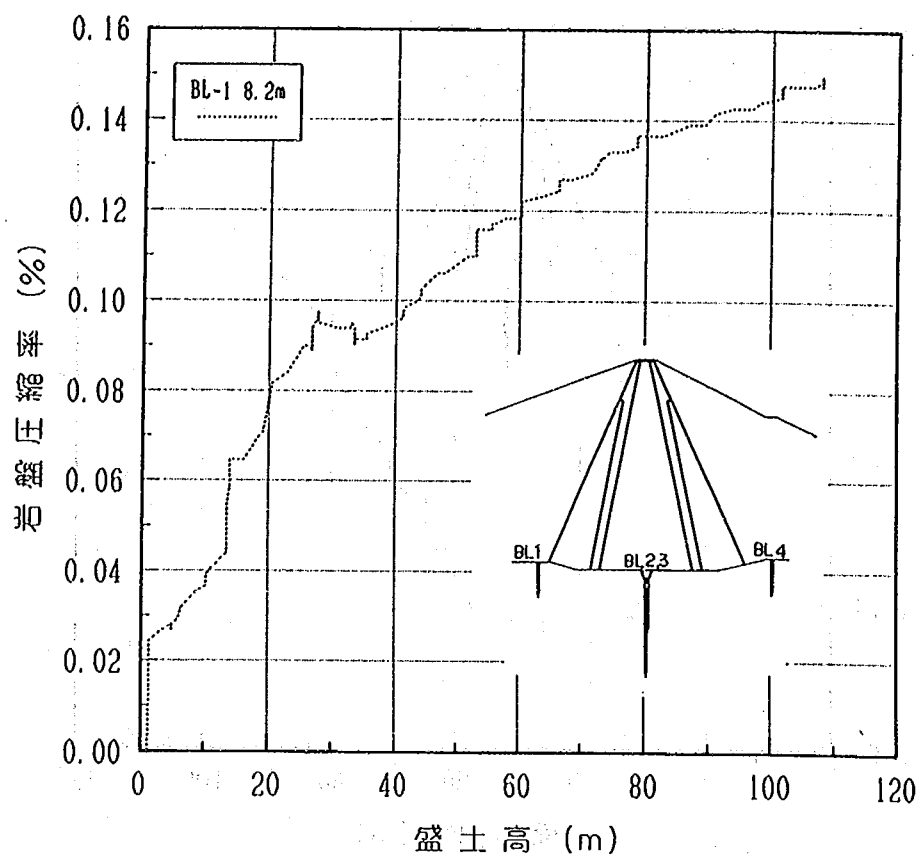


図 - 99 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Vダム)

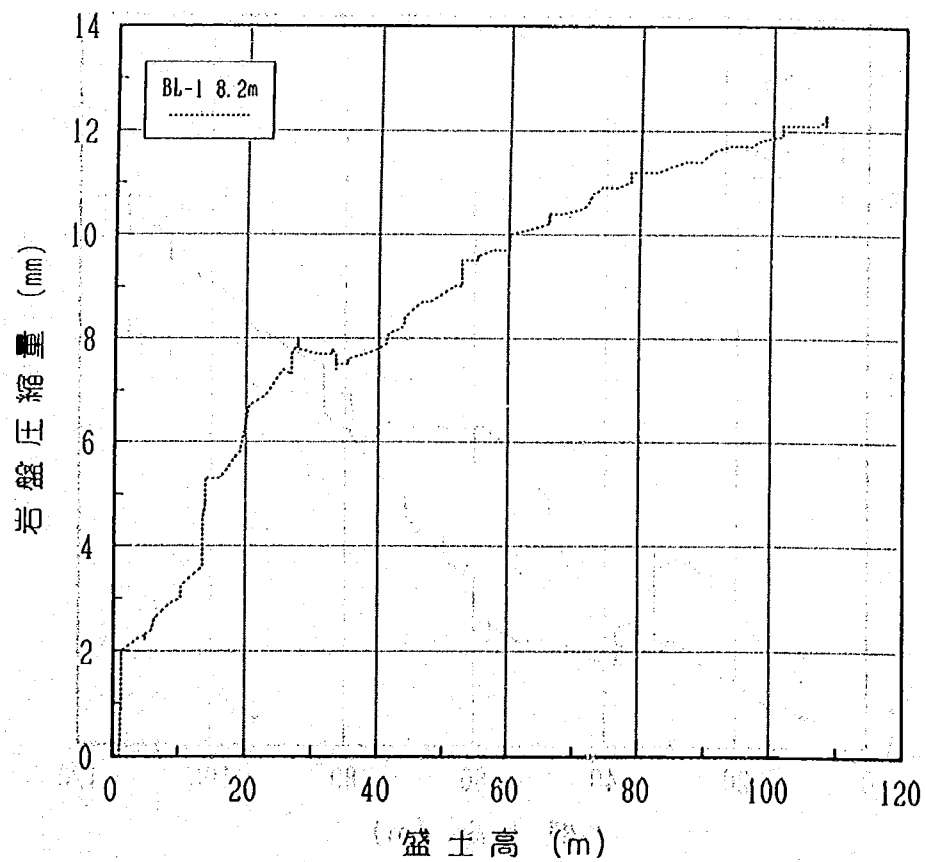


図 - 100 盛立高と岩盤変位 (Vダム)

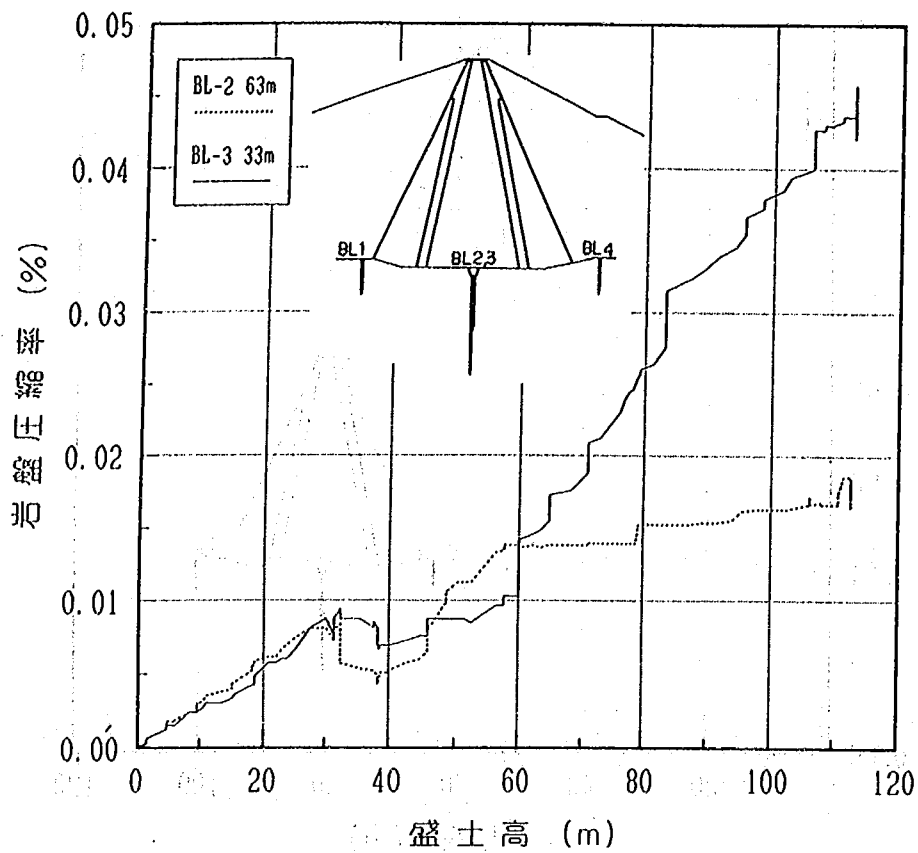


図 - 101 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Vダム)

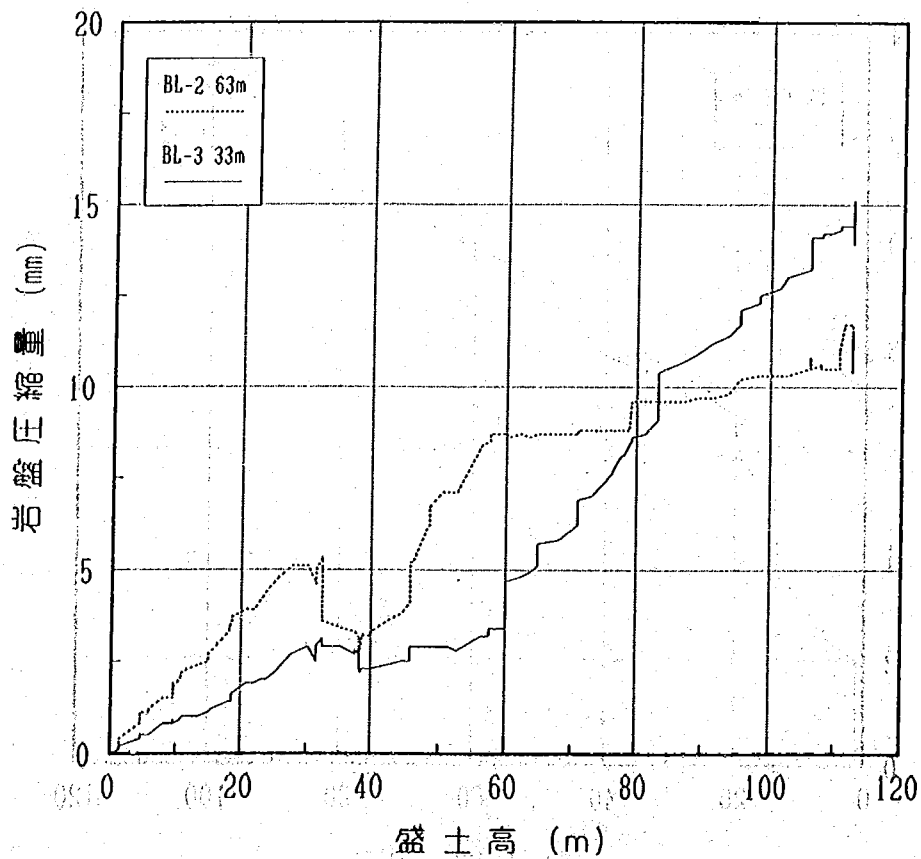


図 - 102 盛立高と岩盤変位 (Vダム)

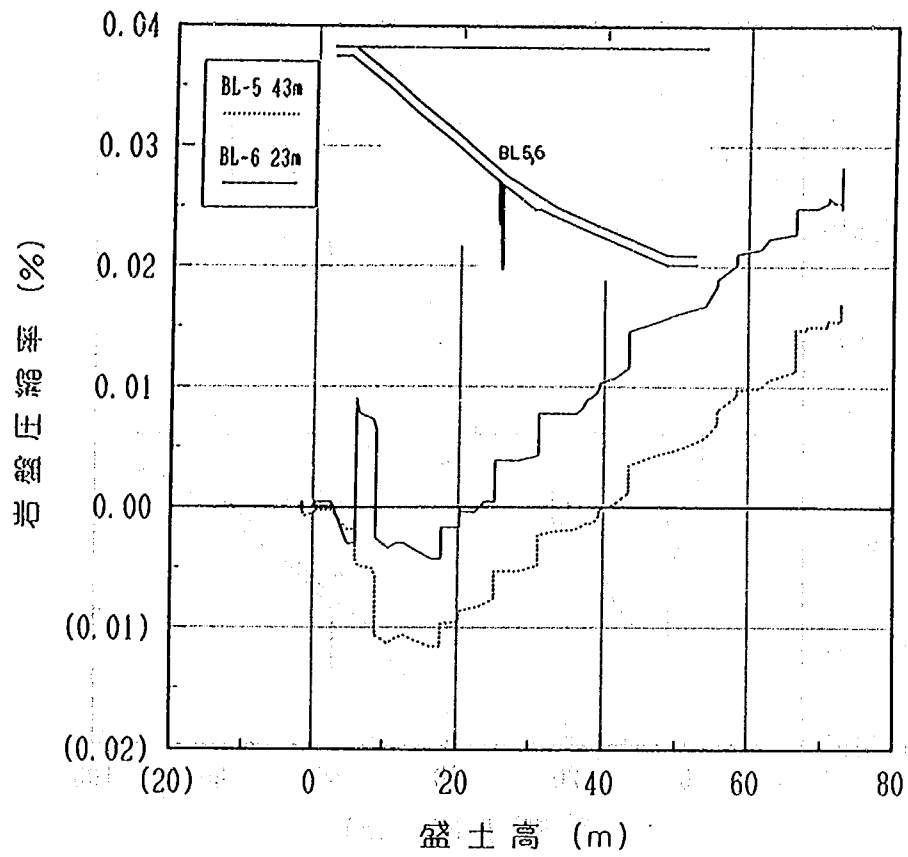


図-103 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Vダム)

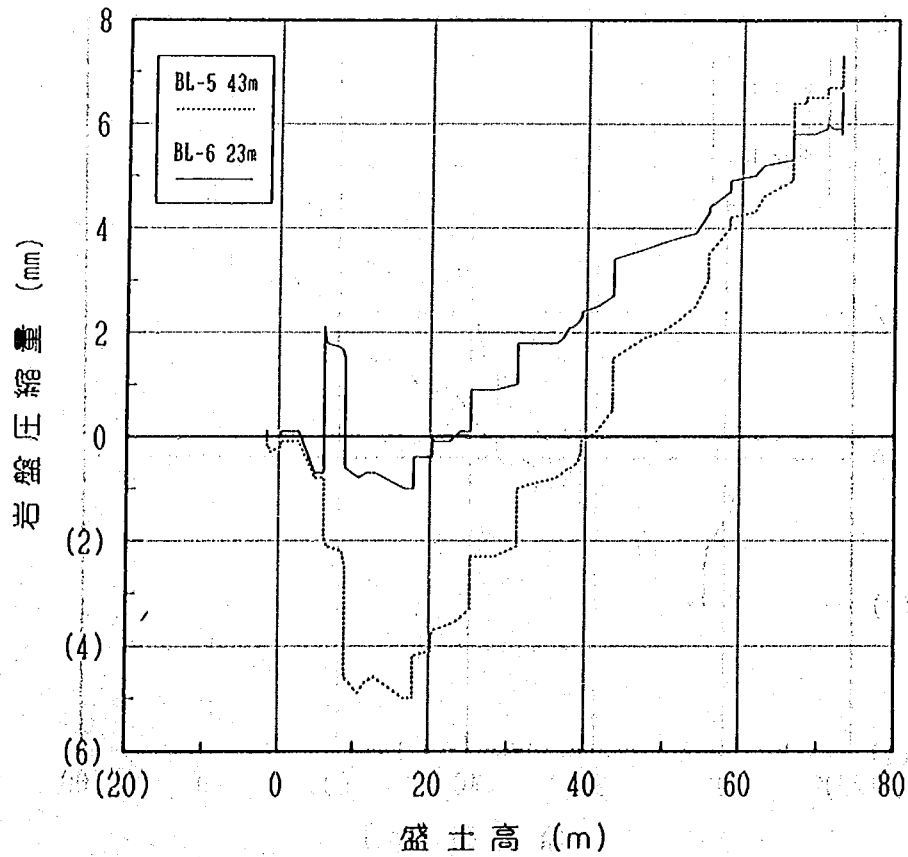


図-104 盛立高と岩盤変位 (Vダム)

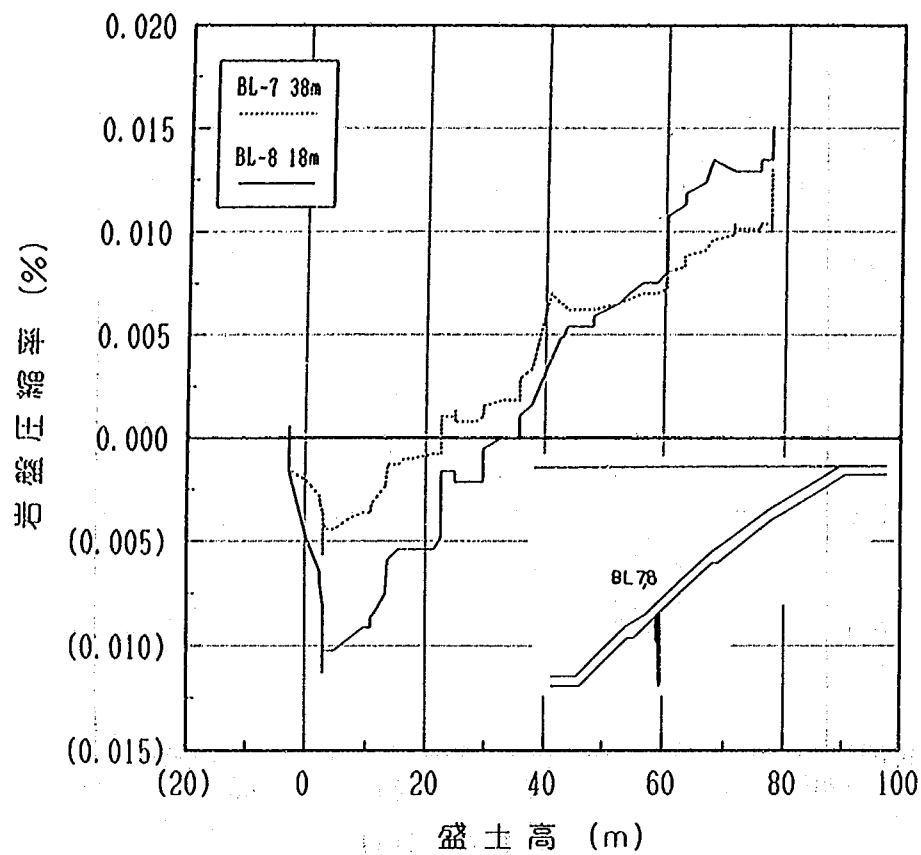


図-105 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Vダム)

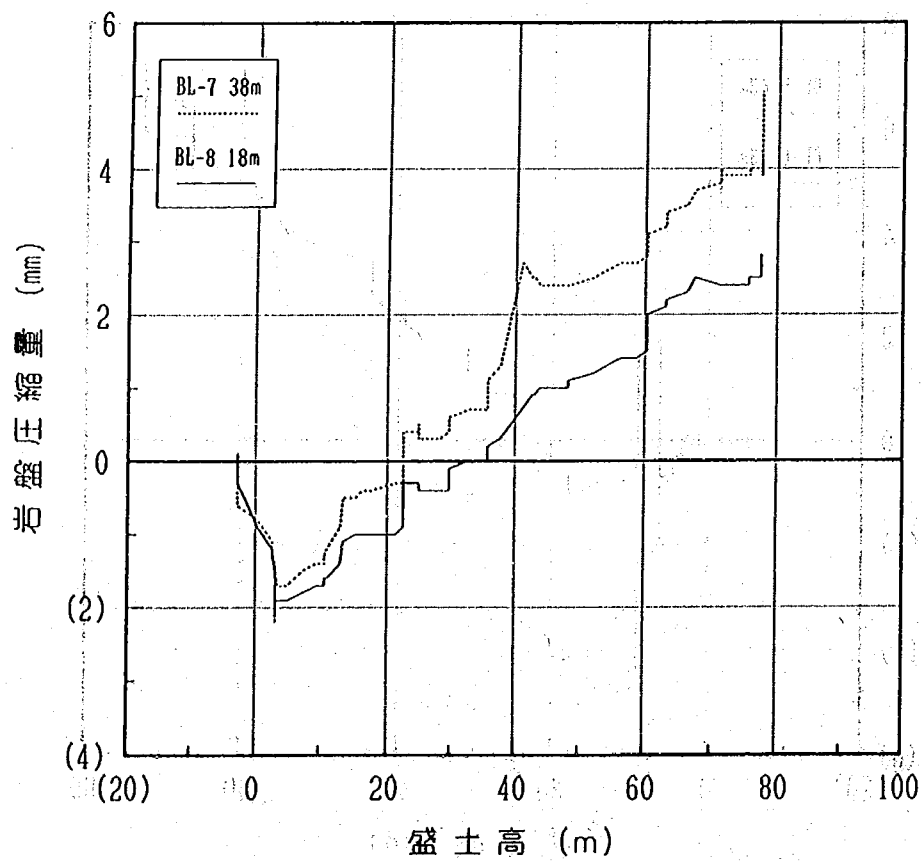


図-106 盛立高と岩盤変位 (Vダム)

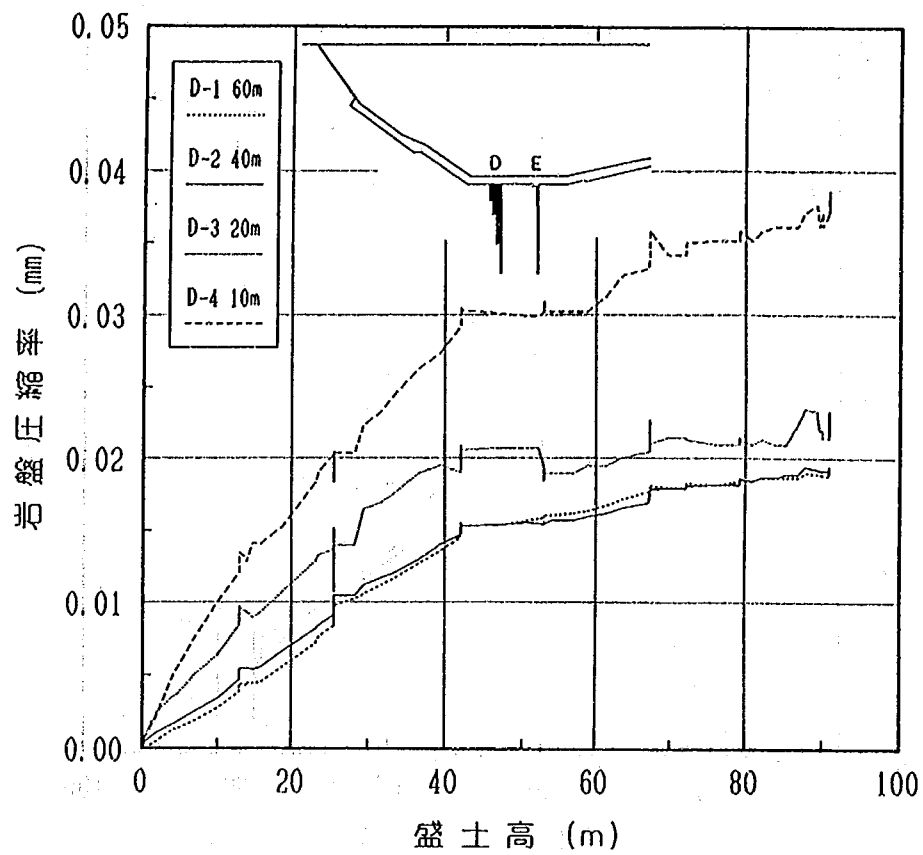


図-107 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Wダム)

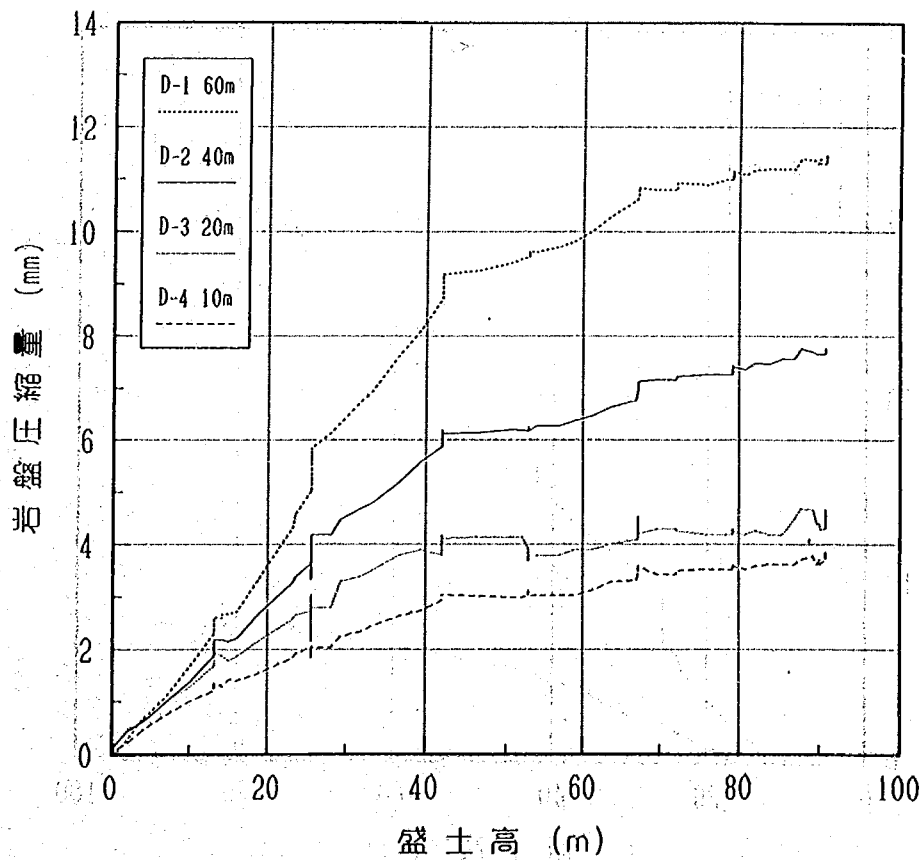


図-108 盛立高と岩盤変位 (Wダム)

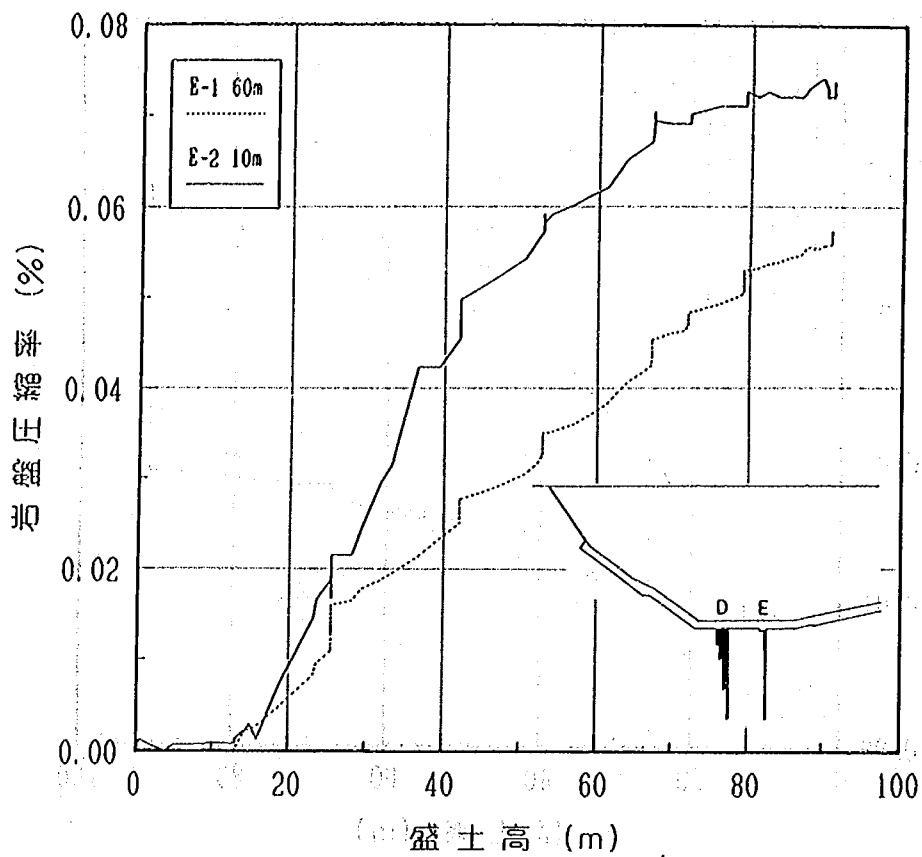


図-109 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Wダム)

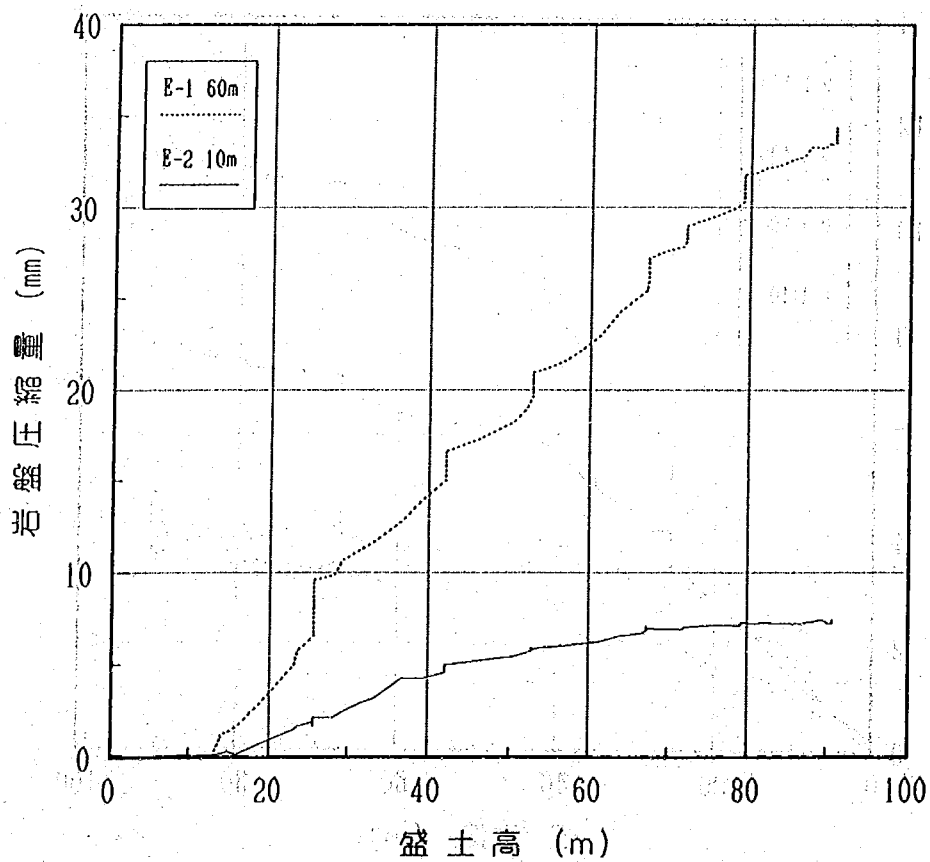


図-110 盛立高と岩盤変位 (Wダム)

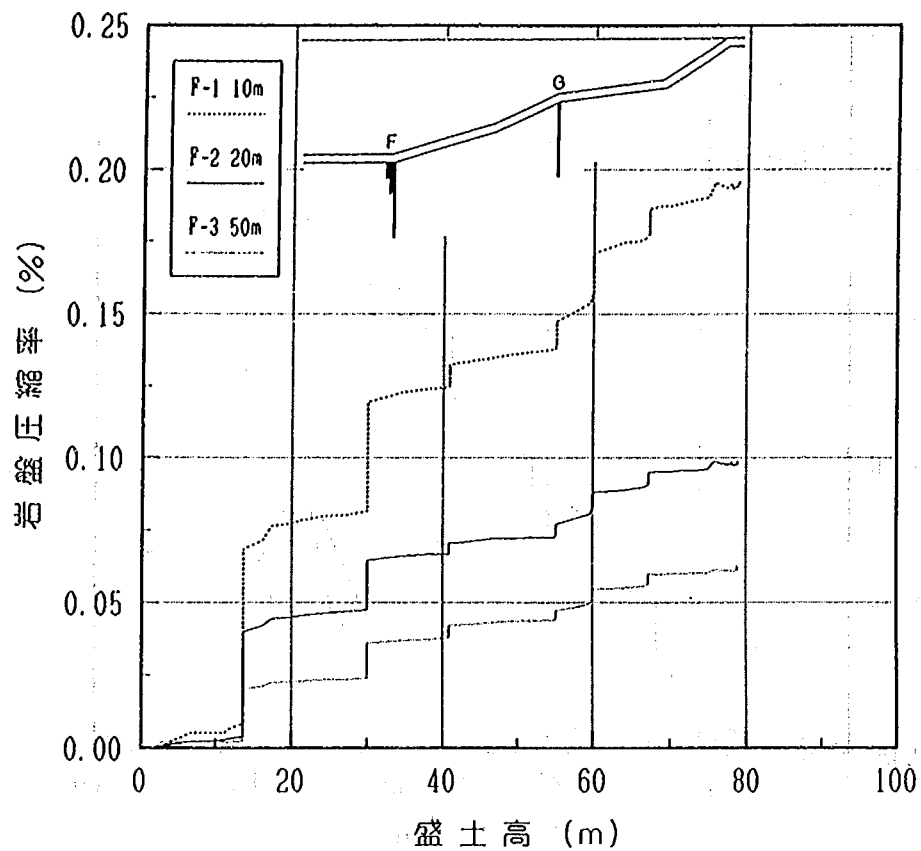


図-111 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Wダム)

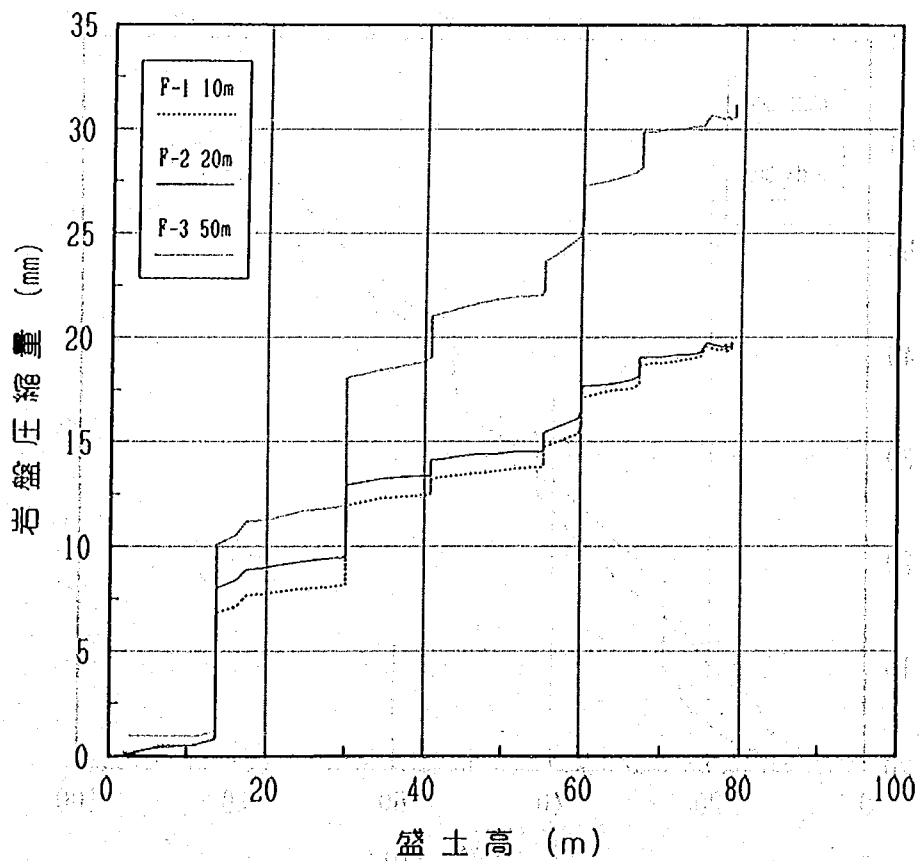


図-112 盛立高と岩盤変位 (Wダム)

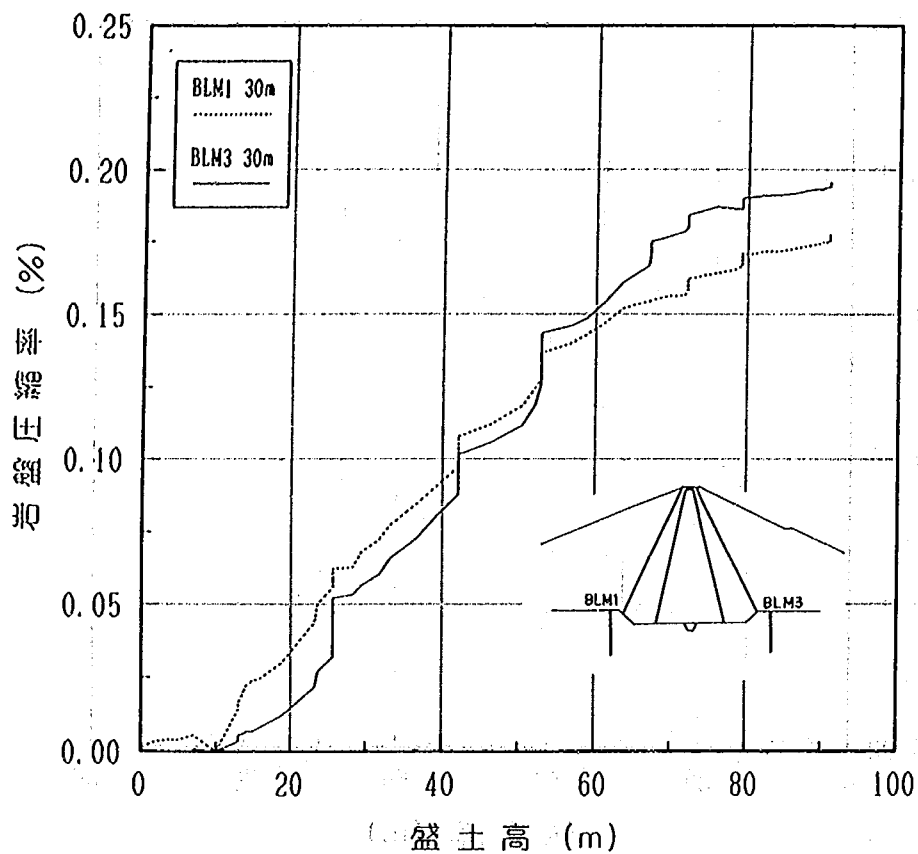


図-113 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Wダム)

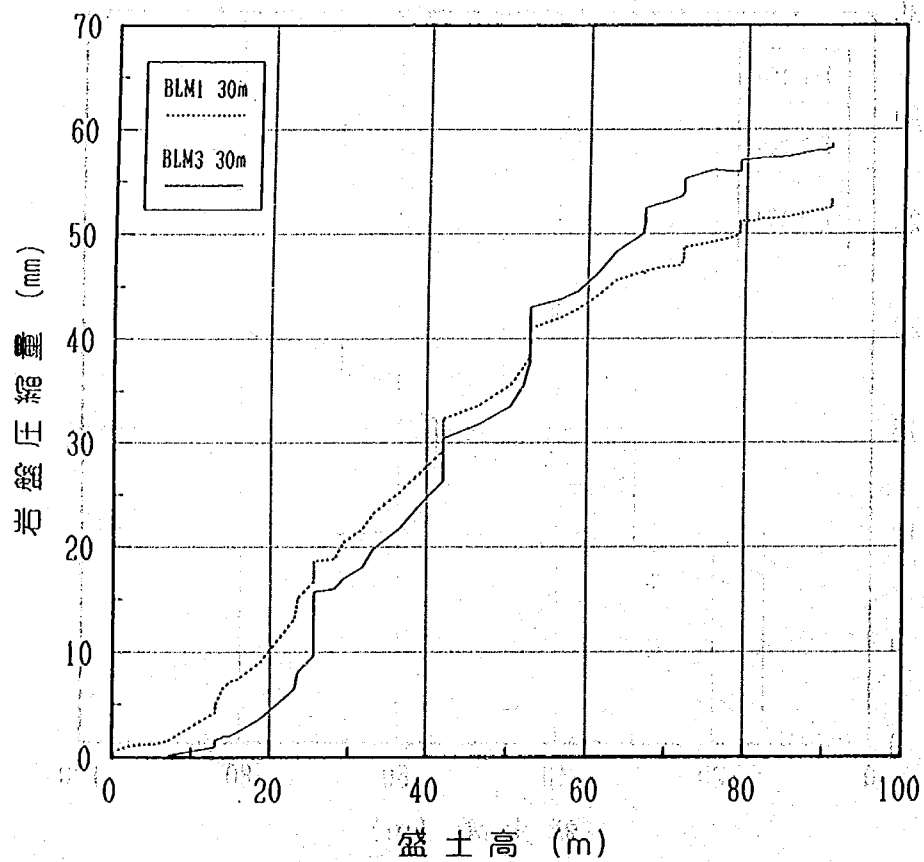


図-114 盛立高と岩盤変位 (Wダム)

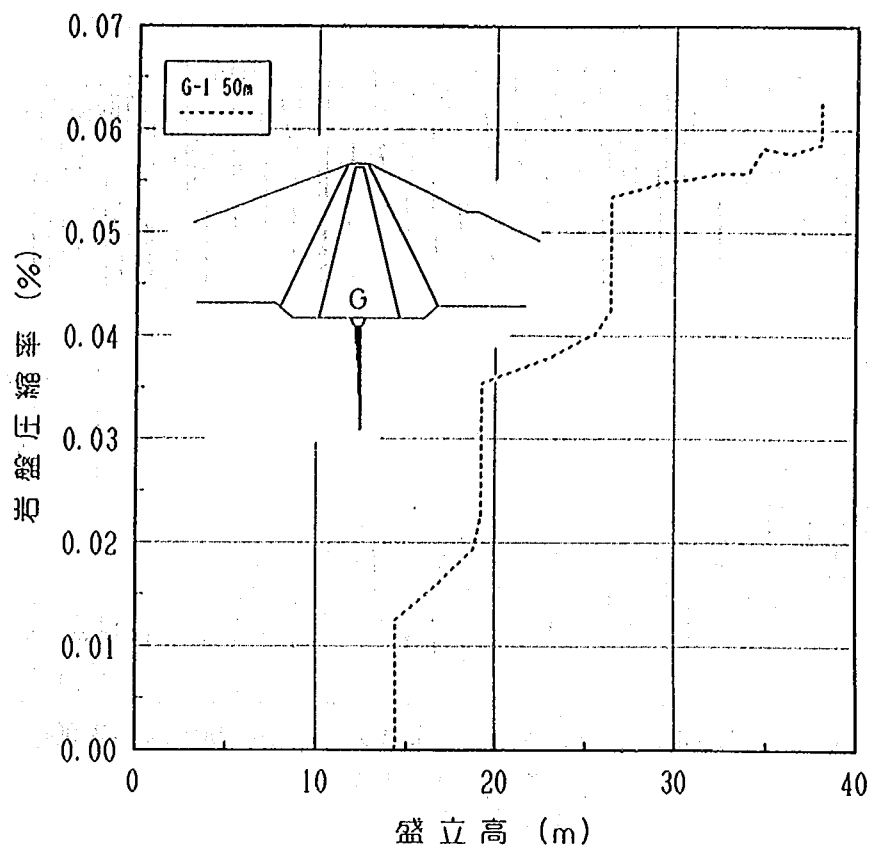


図 - 115 盛立高と岩盤鉛直ひずみ (Wダム)

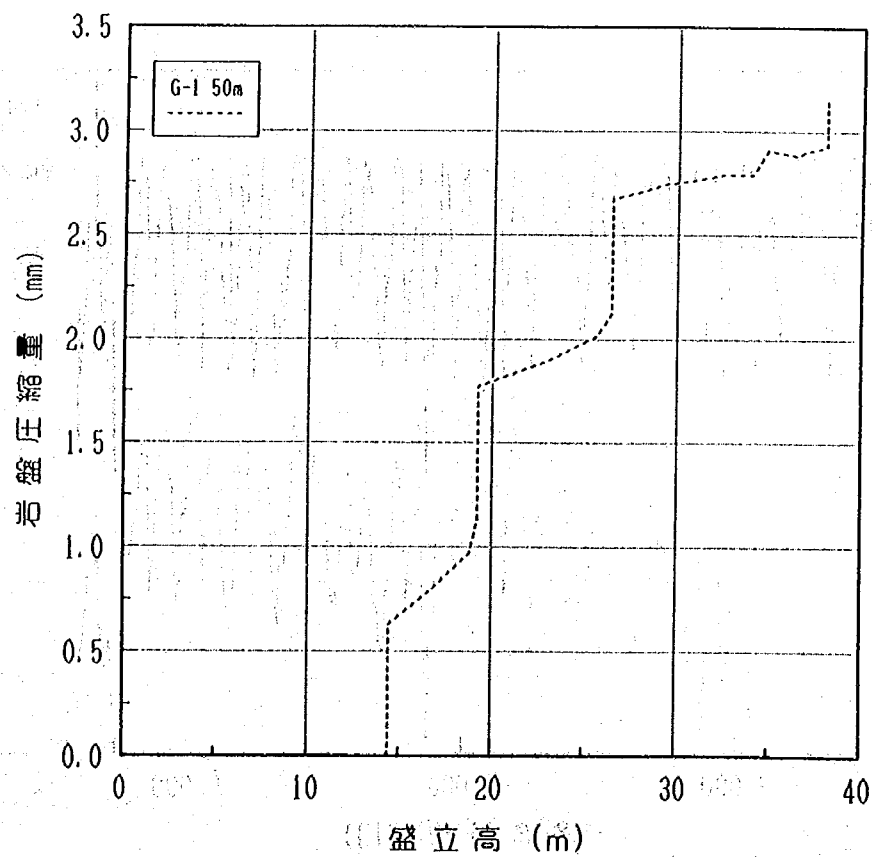


図 - 116 盛立高と岩盤変位 (Wダム)

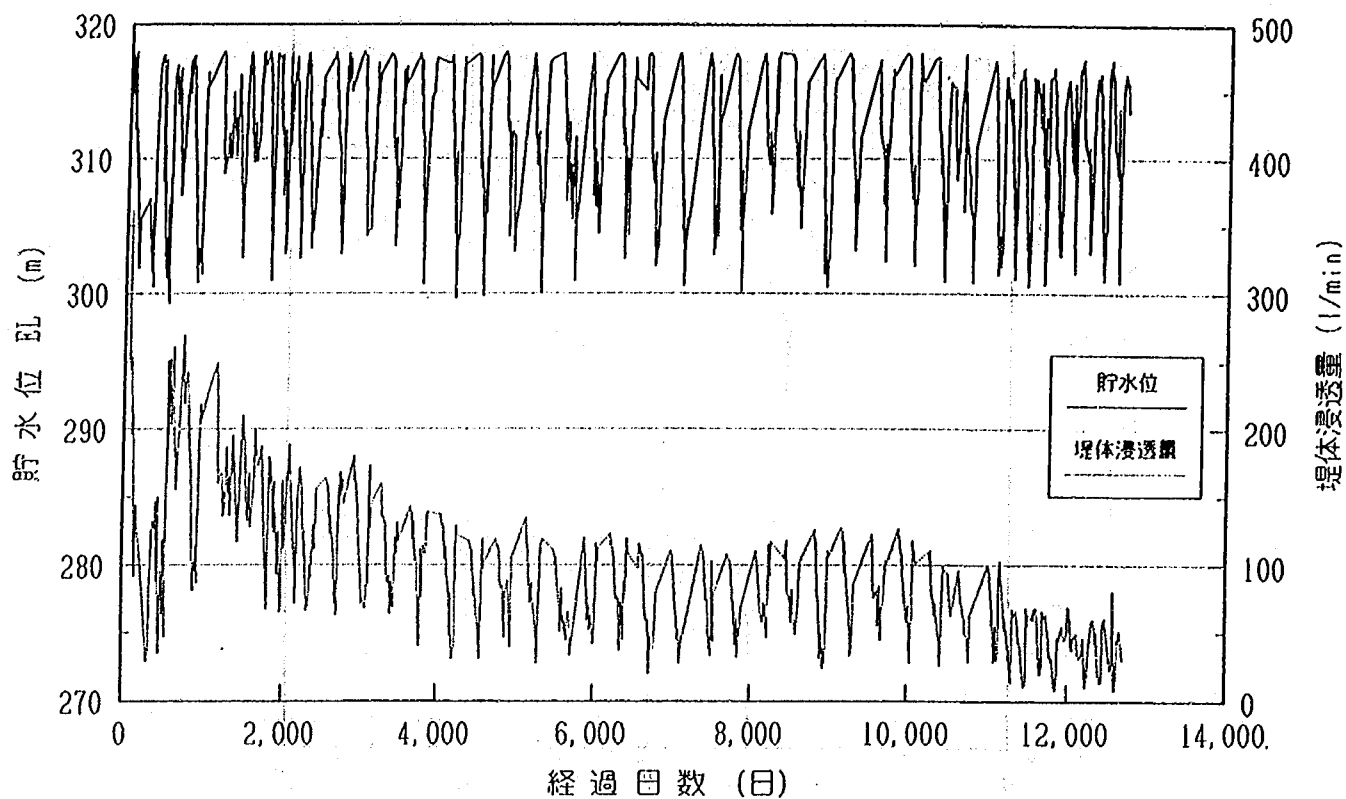


図 - 117 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Aダム）

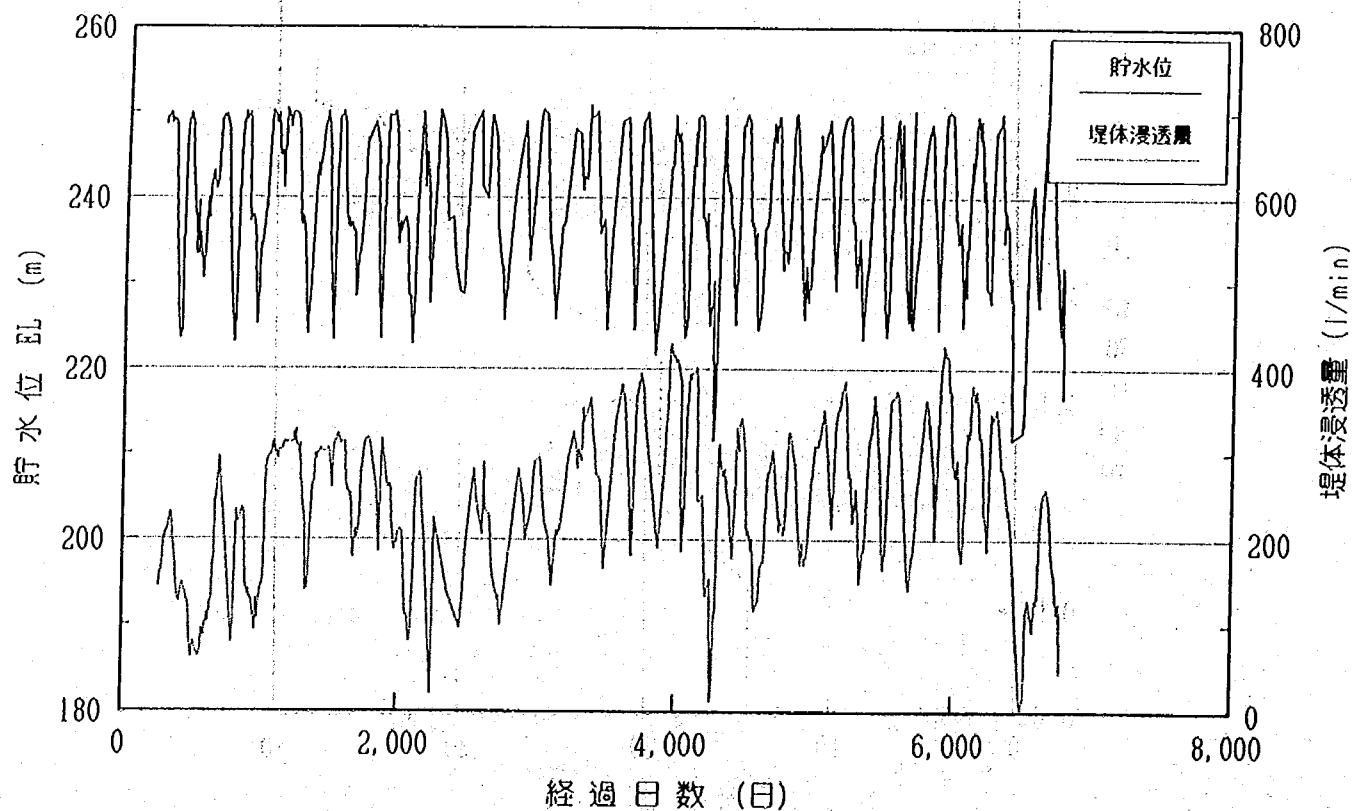


図 - 118 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Bダム）

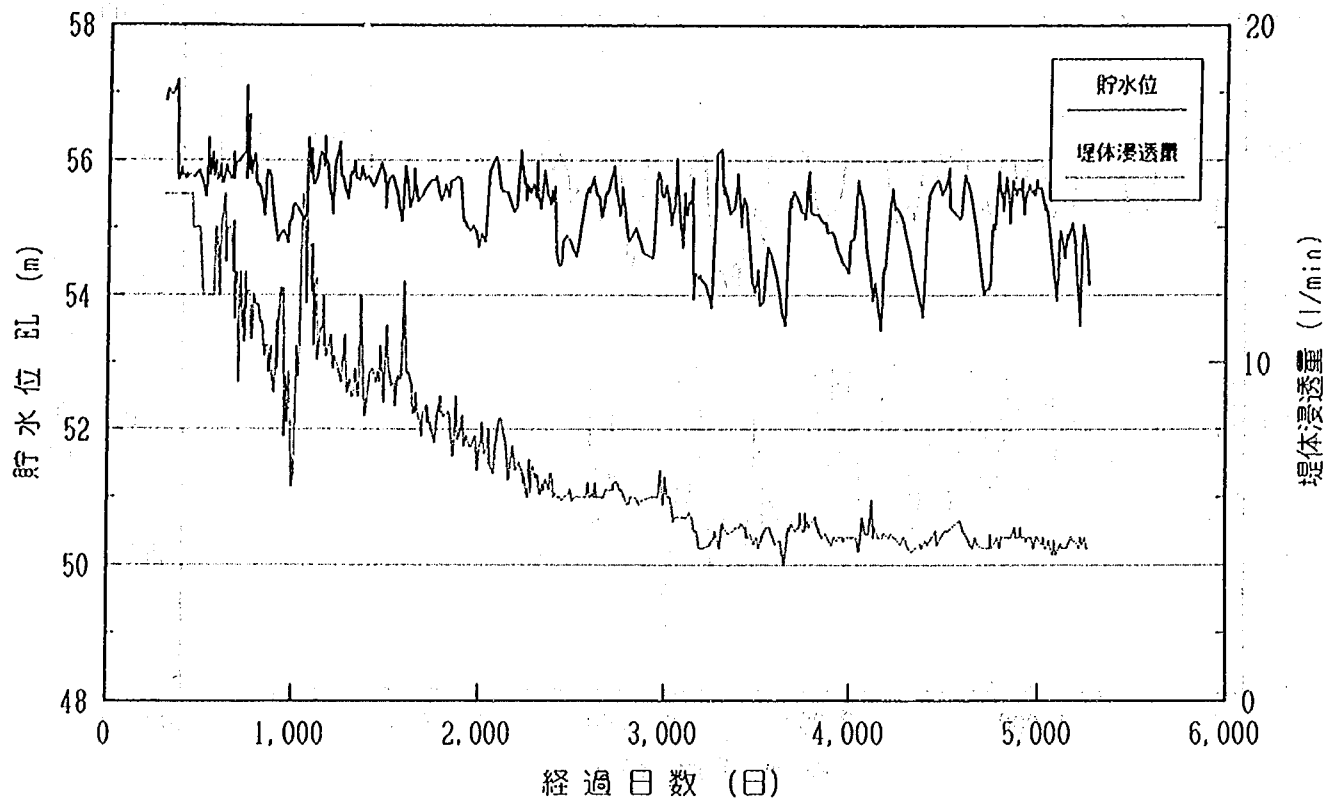


図 - 119 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Dダム）

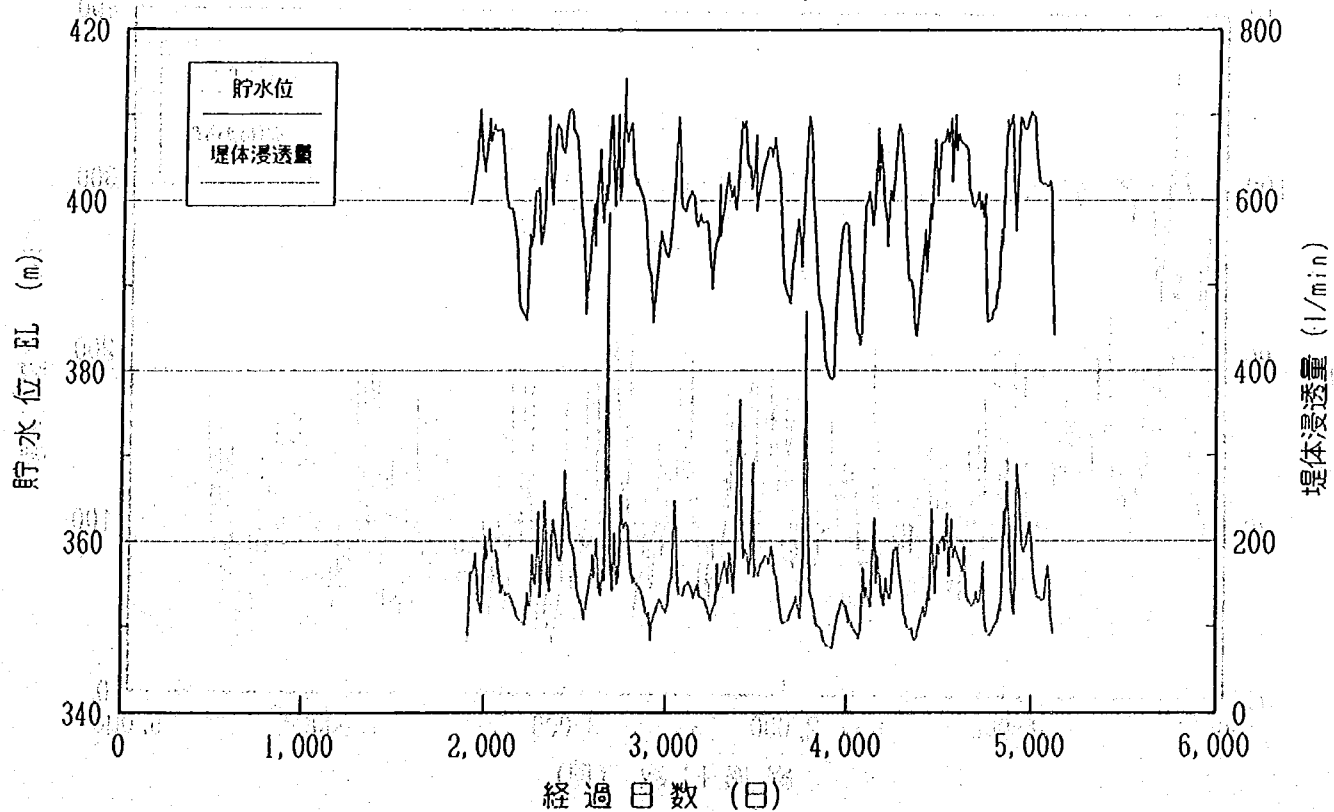


図 - 120 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Eダム）

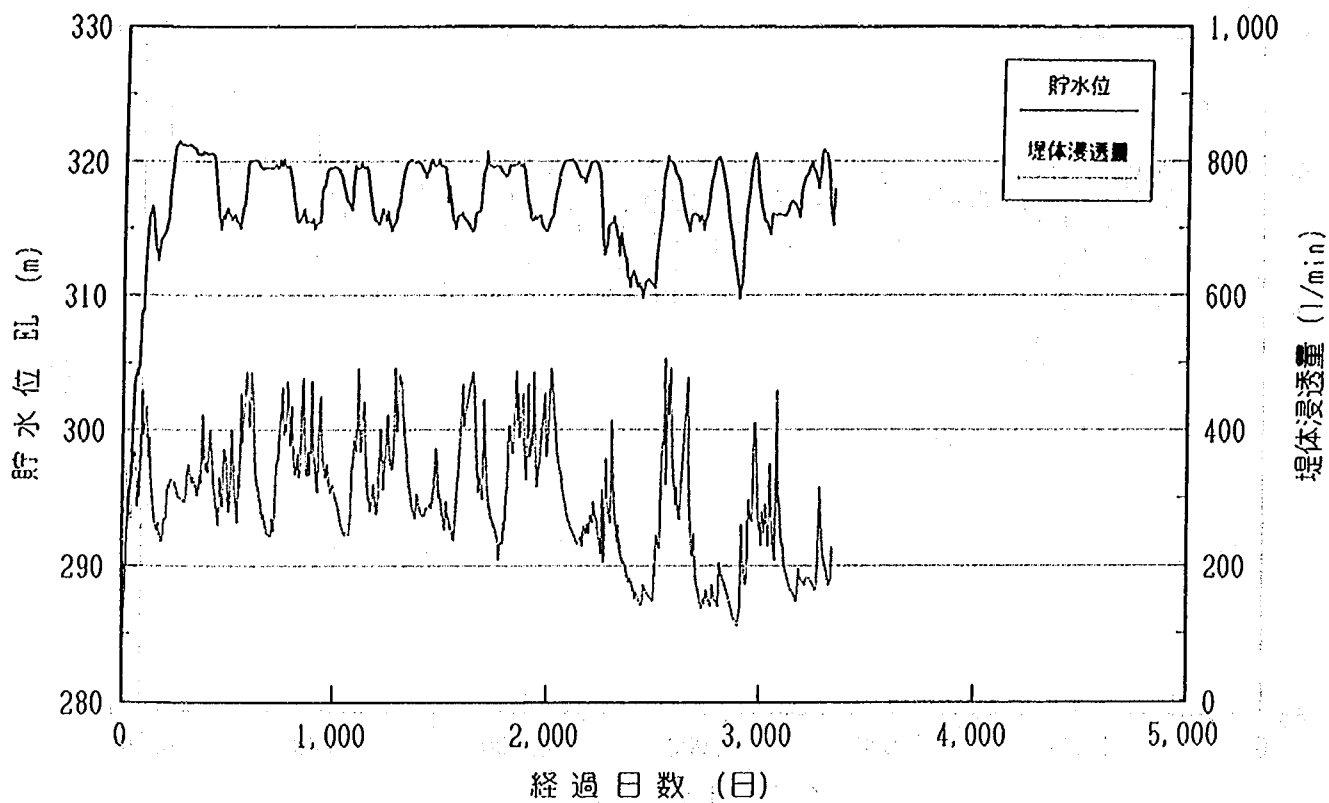


図-121 貯水位、堤体浸透量の経時変化 (Fダム)

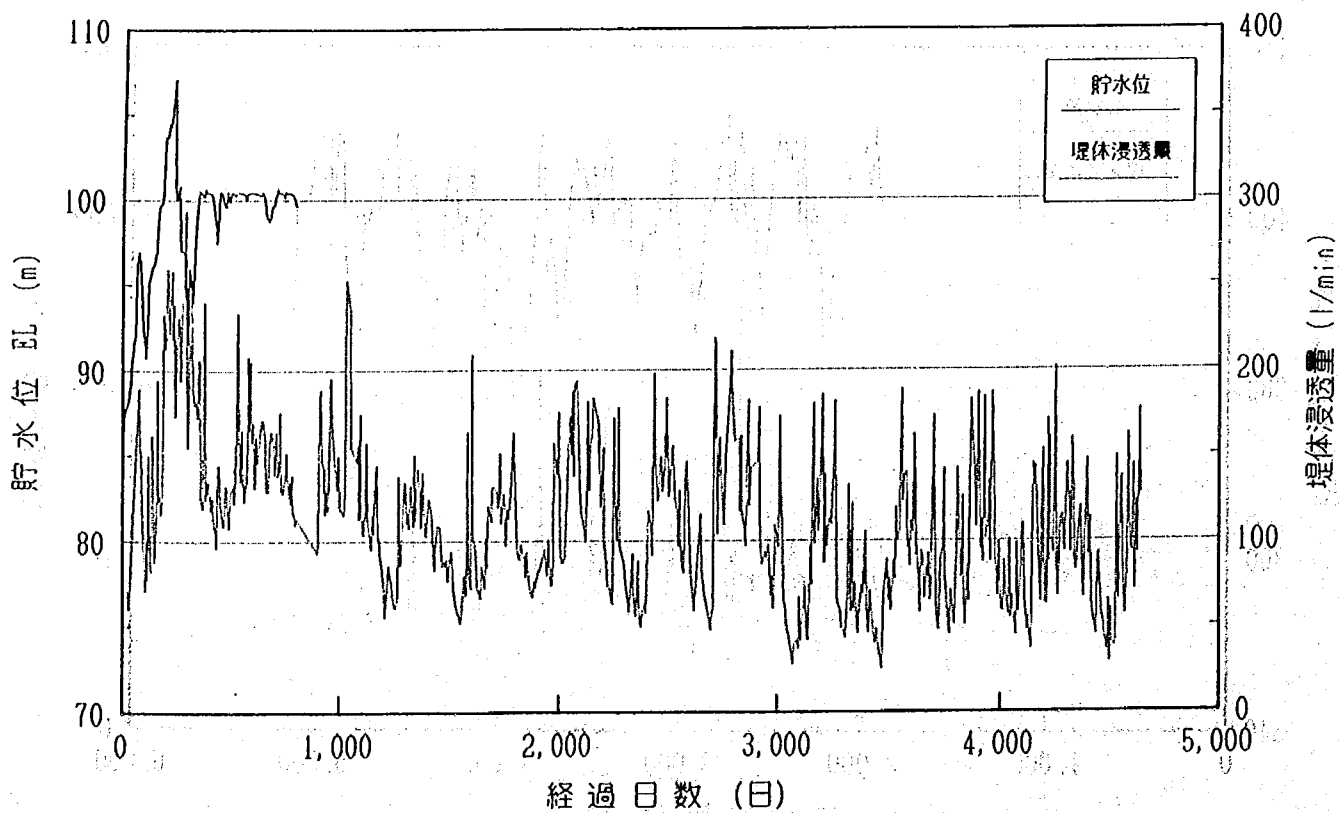


図-122 貯水位、堤体浸透量の経時変化 (Gダム)

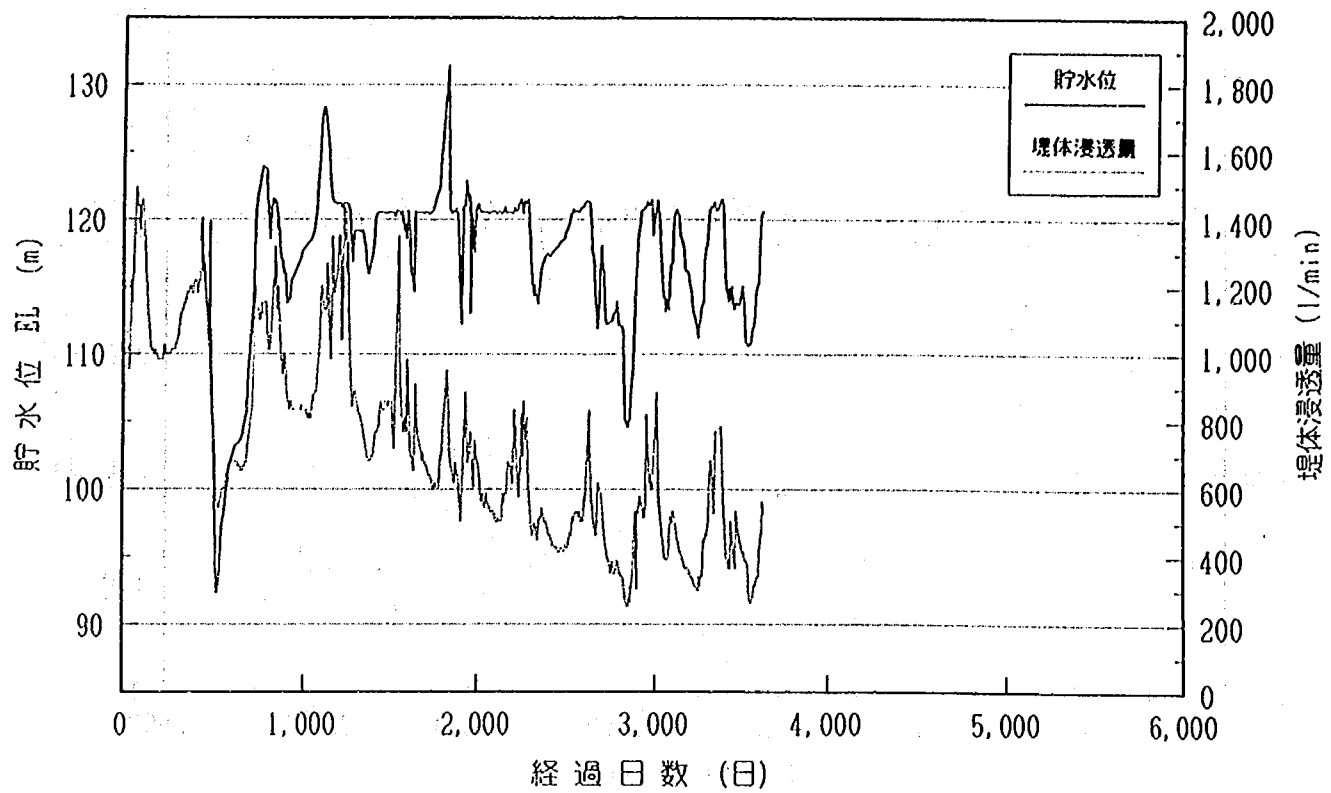


図-123 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Iダム）

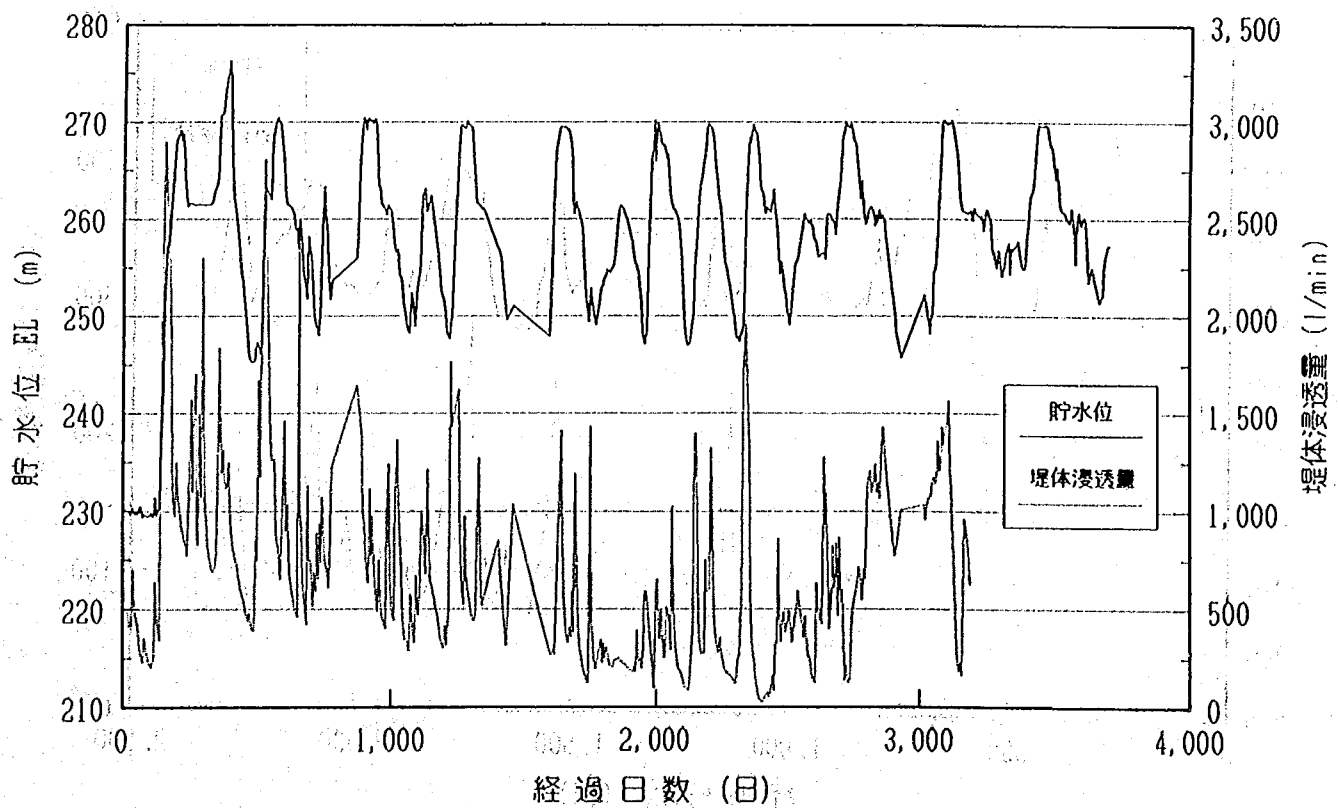


図-124 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Kダム）

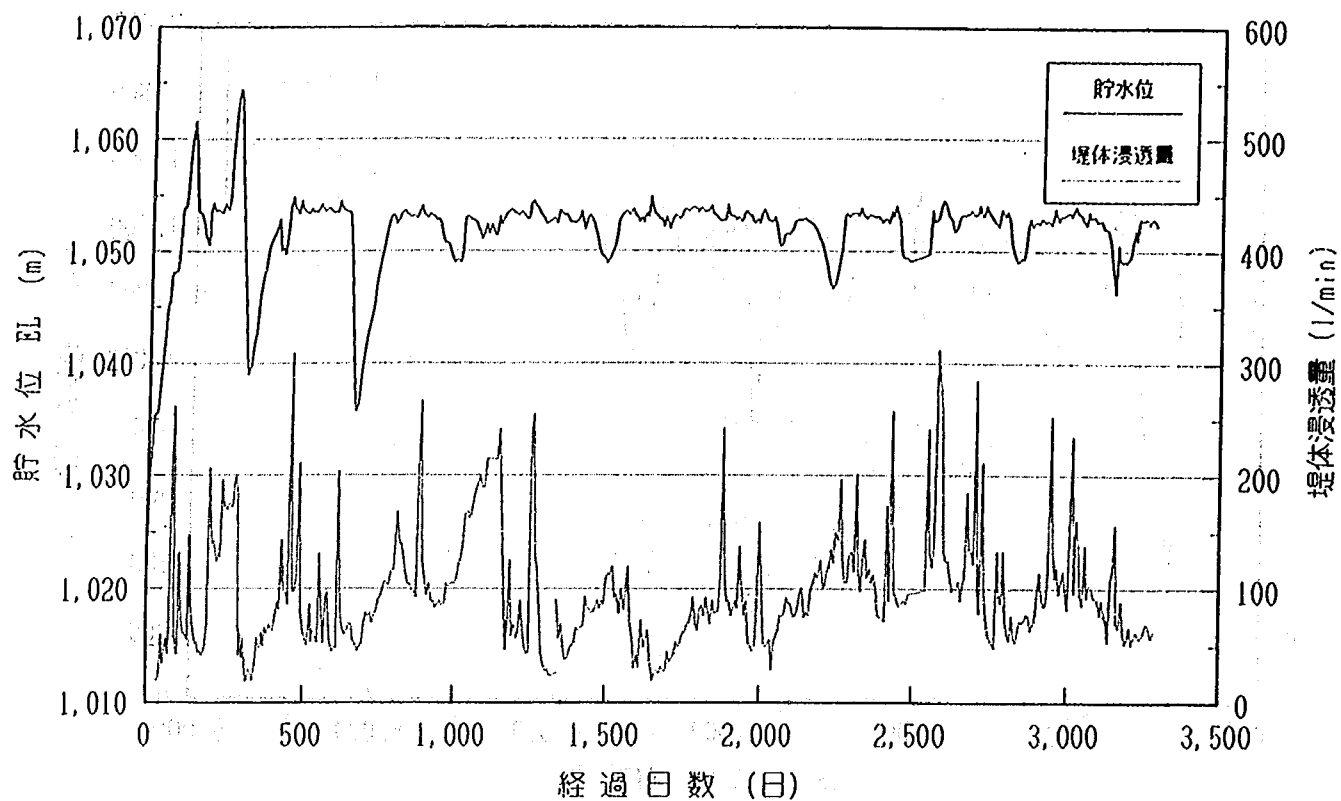


図 - 125 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Oダム）

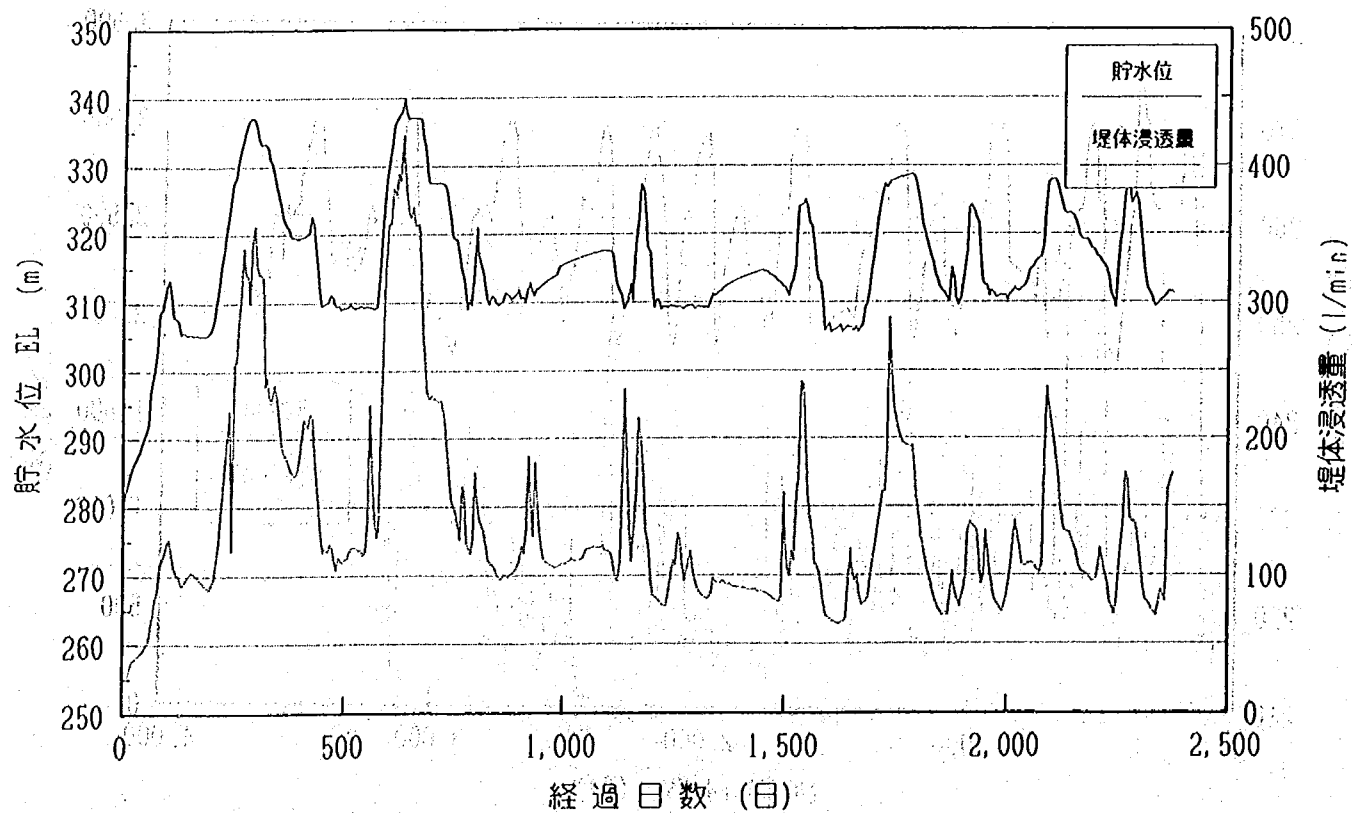


図 - 126 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Qダム）

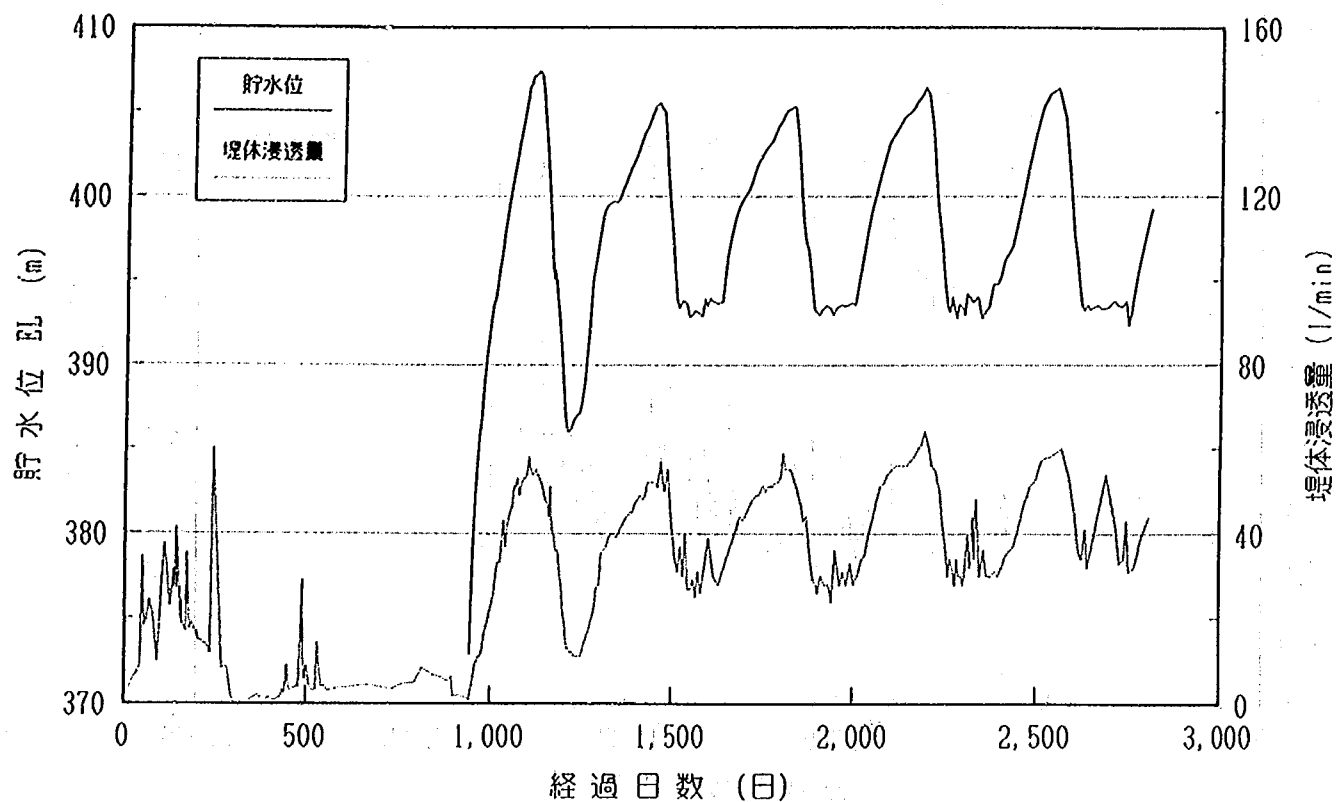


図 - 127 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Rダム）

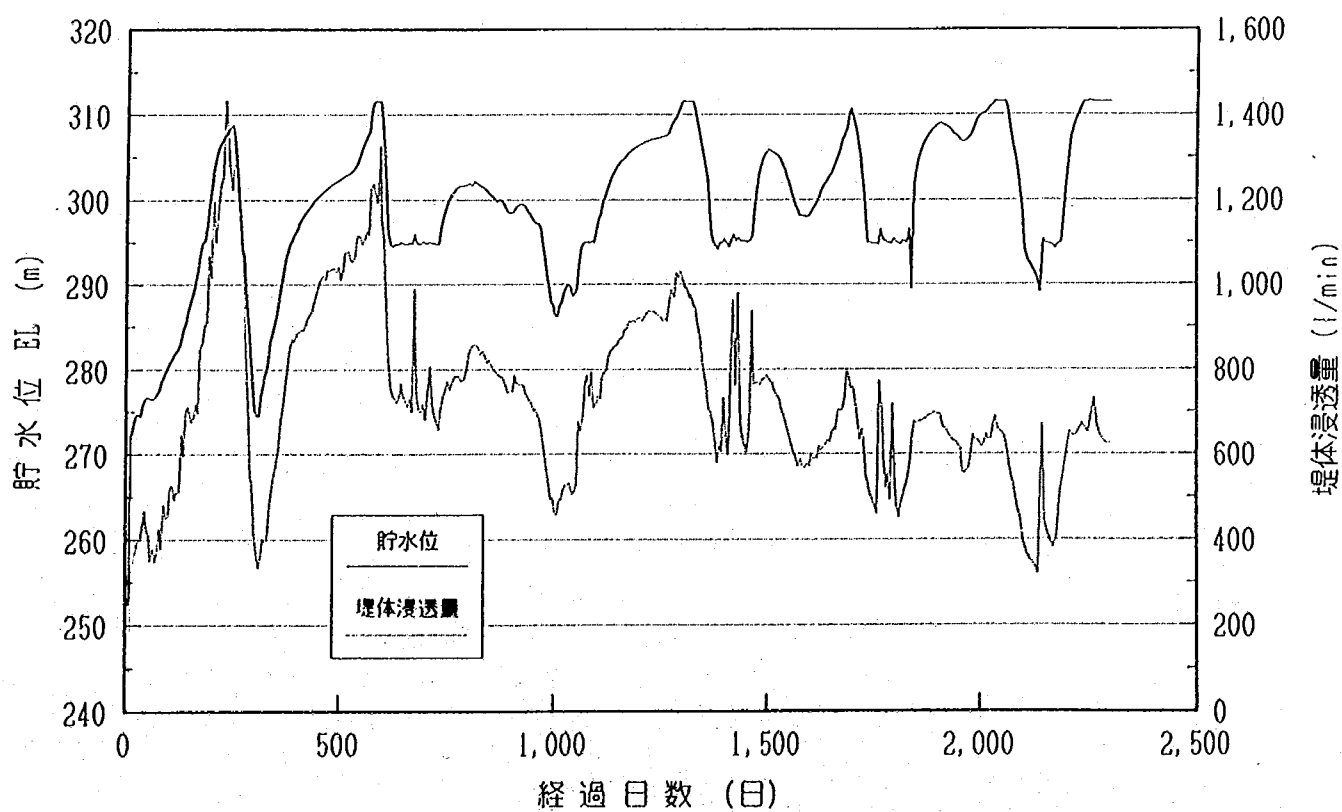


図 - 128 貯水位，堤体浸透量の経時変化（Sダム）

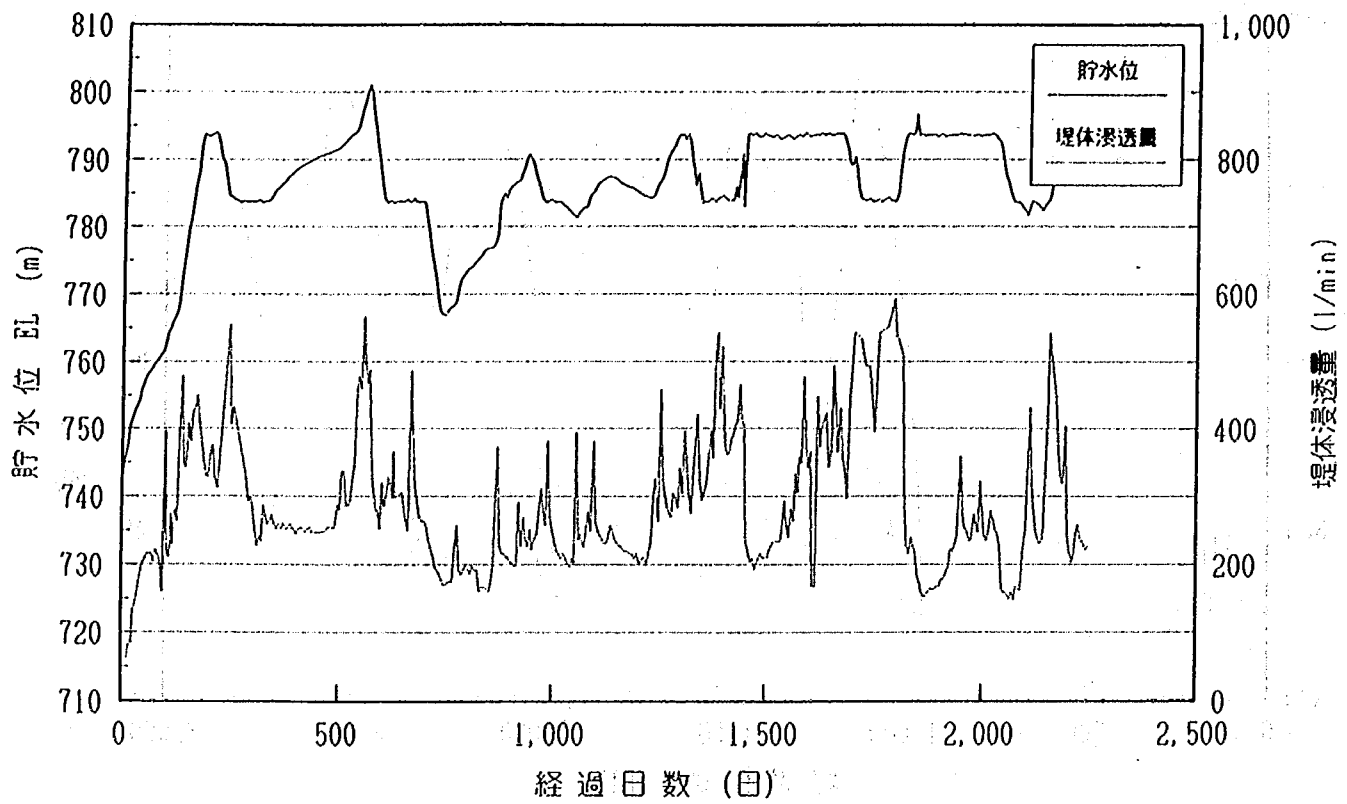
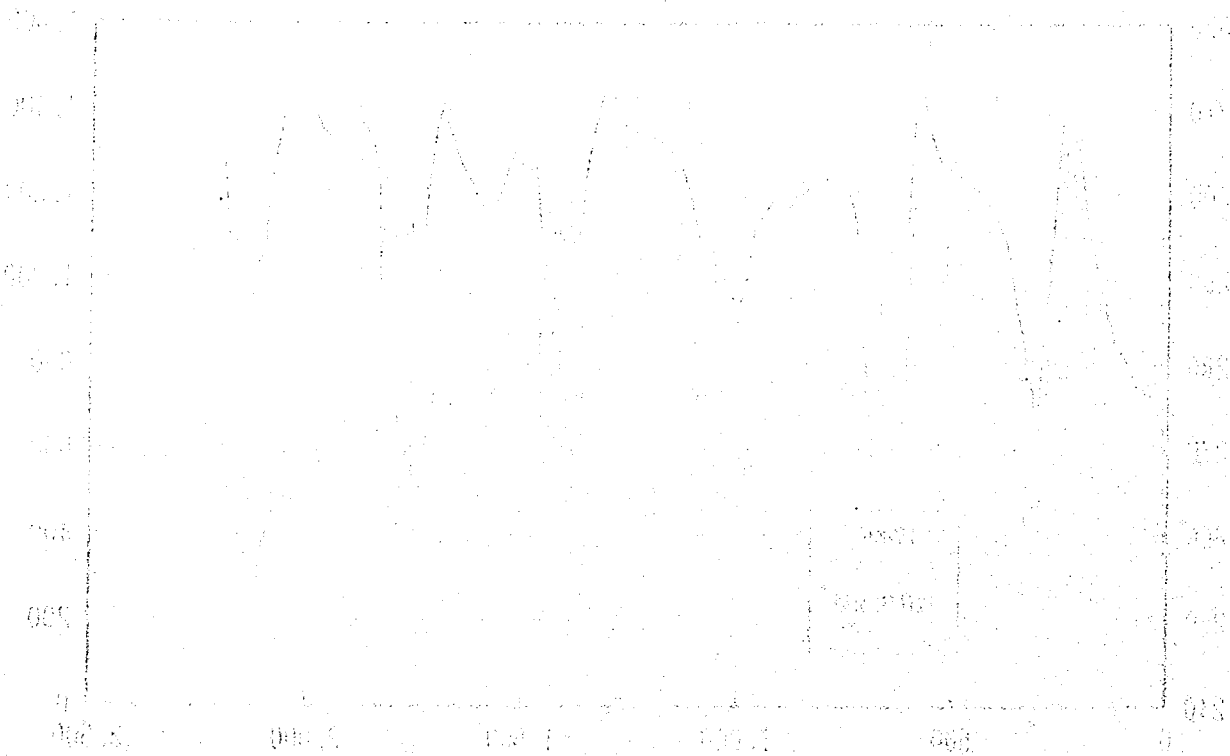


図 - 129 貯水位、堤体浸透量の経時変化 (Tダム)



フィルダムの挙動解析(その1)の補足資料

概 要

本資料は、土木研究所資料第3001号「フィルダムの挙動解析(その1)－天端最大断面の外部変位－」の「第2章 沈下量の予測」についての補足資料である。内容は以下に示す2項目に区分した。

1 「沈下量の予測」の補足資料

- (1) 沈下量予測式の相関係数
- (2) 堤高Hの乗数(1.6)の意味
- (3) 予測式の対象とした9ダムの沈下率曲線
- (4) 沈下率曲線の回帰式と相関係数

2 盛立完了時点からの沈下量

- (1) 初期沈下量の補正
- (2) 盛立完了時点からの沈下量予測

1 「沈下量の予測」の補足資料

(1) 沈下量予測式の相関係数

ダム高と1000日、2000日、3000日、4000日後の沈下量の関係式は、 $dv = a \cdot H^b$ のべき乗回帰式で表されると(その1)では報告している。しかし、比較を行った各回帰式の相関係数については述べていないので、ここで説明を行う。

表-1にダム高と沈下量予測の各回帰式の経過日数別の相関係数を示す。図-1に各回帰式の相関係数の範囲を示す。回帰式は、直線回帰式、指数回帰式、対数回帰式、べき乗回帰式の4種類である。この4種類の中では、べき乗回帰式の相関性が一番高い。よって、ダム高と1000日、2000日、3000日、4000日後の沈下量の関係式は、 $dv = a \cdot H^b$ のべき乗回帰式で表すこととした。

表-2に経過日数別のべき乗回帰式の係数を示す。係数a(両対数表示における切片、 $H=1$ のときのdvの値)は0.13~0.22と開きがあるが、係数b(両対数表示における傾き)は1.58~1.64とほぼ一定値とみなせる。よって、Hの乗数bは平均値をとって $b=1.6$ とした。

表-3に $dv = a \cdot H^{1.6}$ とした場合のaを経過日数別に各ダムについて示す。経過日数が多くなるにつれ、aは大きな値となる傾向がある。このaと経過日数

との関係を表-4に示す。対数、あるいは双曲線回帰式との相関性が高い。

対数回帰式と双曲線回帰式を比較し、対数回帰式を選択した理由は、対数回帰式の方がわずかながら相関性が高かったことと、対数回帰式による予測値の方が大きくなること(安全側となること)である。

よって、最大横断面天端の沈下量予測式は、(1)式で表される。

$$dv = (0.00005 \cdot \ln(D) - 0.00018) \cdot H^{1.6} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

dv : 最大横断面天端の沈下量 (m)

D : 計測開始からの経過日数 (日)

H : 最大横断面天端の最終盛立高 (m)

(2) 堤高 H の乗数(1.6)の意味

土石岩塊により構成されるフィルダムを弾性体と仮定したモデルを考えてみる。土中の任意の点を考えると、この点の鉛直土圧は(2)式で表される。

$$\sigma_v = \gamma \cdot h \quad \dots\dots\dots (2)$$

また、鉛直ひずみは(3)式で表され、天端沈下量は(4)式のように表される。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\sigma_v}{E_v} \\ &= \gamma \cdot \frac{h}{E_v} \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dv &= \int_0^H \varepsilon \, dh \\ &= \frac{1}{2} \frac{\gamma}{E_v} \cdot h^2 \Big|_0^H \\ &= \frac{\gamma}{2 E_v} \cdot H^2 \quad (\text{一次元}) \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

(4)式は一次元モデルの場合であるが、堤体断面が三角形の場合は(5)式で表される。

$$\begin{aligned} dv &= \int_0^H h \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{E_v} \cdot \gamma \, dh \\ &= \int_0^H h \cdot \frac{h}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{E_v} \cdot \gamma \, dh \\ &= \int_0^H \frac{\gamma}{8 E_v} \cdot h^2 \, dh \\ &= \frac{\gamma}{8 E_v} \cdot \frac{1}{3} \cdot h^3 \Big|_0^H \end{aligned}$$

$$= \frac{\gamma}{24 E_v} \cdot H^3 \quad (\text{三角形}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

また、弾性係数が、深さの関数であるとすれば(6)式で表される。

$$E_v = K \cdot (\gamma \cdot h)^P \quad \dots\dots\dots (6)$$

以上より、各モデルの天端沈下量は以下ようになる。

・一次元モデル

$$\begin{aligned} dv &= \int_0^H \frac{1}{K(h \cdot \gamma)^P} \cdot \gamma \cdot h \, dh \\ &= \frac{1}{K} \cdot \gamma^{(1-P)} \int_0^H h^{(1-P)} \, dh \\ &= \frac{1}{K} \cdot \gamma^{(1-P)} \cdot \frac{1}{2-P} \cdot h^{2-P} \Big|_0^H \\ &= \frac{\gamma^{(1-P)}}{(2-P)K} \cdot H^{2-P} \quad \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

・三角形モデル

$$\begin{aligned} dv &= \int_0^H \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{K(h \cdot \gamma)^P} \cdot \gamma \cdot h^2 \, dh \\ &= \frac{1}{8K} \cdot \gamma^{(1-P)} \int_0^H h^{(2-P)} \, dh \\ &= \frac{\gamma^{(1-P)}}{8K} \cdot \frac{1}{3-P} \cdot h^{3-P} \Big|_0^H \\ &= \frac{\gamma^{(1-P)}}{8K(3-P)} \cdot H^{3-P} \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

E_v = 一定とすれば、一次元モデルでは H^2 、三角形モデルでは H^3 で表され、 E_v を応力の関数とすれば、それぞれ H^{2-P} 、 H^{3-P} で表される。

ここで、 P の値については、緒方ら(1978)¹⁾ が 0.4~0.7 の範囲であると報告している。よって、 H の乗数は、一次元モデルで 1.3~1.6、三角形モデルで 2.3~2.6 の範囲と考えられる。

一方、実測された沈下量とダム高の関係は、 $H^{1.6}$ で表された。この乗数は、一次元モデルの上限値にあたる。つまり、 P の値のとり方にもよるが、三角形モデルよりも一次元モデルに近い挙動を示していることになる。

一次元モデルに近い挙動を示す原因であるが、盛立期間中における圧密の進行、アーチ作用による応力伝達の減少等の要因が考えられる。また、ほとんどのダムでは沈下量の計測開始時が、盛立完了から数カ月(ダムによっては半年~数年)経過後の試験湛水開始時となっていることから、この期間における沈下量が考察されていない影響もあると思われる。これらの要因のため、三角形モデルによる乗

数よりも小さな乗数で表されたものと考えられる。

(3) 予測式の対象とした9ダムの沈下率曲線

図-2((その1)では図-2.3)に示す沈下率曲線は、代表的な例として21ダムのうち沈下率の上下限値をほぼ包絡するダムを掲載したものである。よって、ばらつきは大きい。

図-3に予測式を求めるときに対象とした9ダムの沈下率曲線を示す。この図の沈下率曲線は、概ね同様の变化勾配を示している。計測開始から5000日経過した時点では0.2~0.5%の範囲に分布しており、0.1%程度を示す沈下率の小さな計測値はない。また、ダム高の高いものほど沈下率は大きい傾向を示す。

(4) 沈下率曲線の回帰式と相関係数

表-5に沈下率曲線の回帰式の係数と相関係数を示す。双曲線、対数、べき乗回帰式の3種類の中では、各ダムの沈下率曲線は双曲線回帰式と相関が高いことがわかる。これらの回帰式を求めた対象期間は、各ダムの回帰線別に比較的一致している期間としたため一定ではない。ただし、結果として、概ね計測開始より500日以降の期間となっている。また、沈下量予測式における経過日数の項については、対数回帰式と双曲線回帰式はほぼ同じであり、かつ高い相関性を示していた。また、沈下率曲線の回帰では、対数回帰式と双曲線回帰式の差が認められたため、回帰する期間を同一として比較してみたが、その差はほとんどなかった。よって、沈下率曲線は、双曲線回帰式で近似できるとした。

ただし、図-4、図-5に実測値と回帰線を示すが、100年後の予測沈下量の妥当性を検証するのに、実測値はわずかに1/10の10年程度までしかなく、沈下量予測式の妥当性は、現時点では評価が困難である。

したがって、沈下率曲線として、双曲線回帰式だけがあてはまるのではなく、相関係数が次に高く、かつ、沈下量予測式において経過日数の項として用いられている対数回帰式もあてはまるものとして、双曲線、対数の2つの回帰式を選択した。

- 1) 緒方信英, 渡辺啓行, 三浦健志; フィルダムコア材の動的くりかえし変形特性と強度特性, 電力中央研究所報告, No. 377009, 1978.2

2 盛立完了時点からの沈下量

堤体外部変位の計測は、ほとんどのダムにおいては、湛水開始時を計測開始時としており、盛立完了時点から湛水開始時点までの期間の変位が計測されているダムはわずかである。対象とした21ダムのうちでは、わずかに2ダムだけが同時に開始しており、残りの19ダムでは、盛立完了時と計測開始時の間に3ヶ月から3年程度のずれがあった。

計測項目は、沈下量と水平変位である。このうち、水平変位については、湛水によって生じる貯水圧の作用による変位が大きく、湛水開始時点までの変位は無視できる程度の値と考えられるが、沈下量については、盛立直後からすでに相当量の沈下が進行しているものであり、堤体挙動の解析を行う上で、その期間の沈下量を考慮できないことは精度上大きな問題となる。

ただし、盛立完了時点から計測を行うことは、施工上の問題のため、困難な場合もある。すなわち、非越流堤頂までの盛立が完了しても、天端部の舗装工事のためにただちに標的を設置できない場合や積雪のある地方においては、冬期間の休止時期との関係で計測が実施できない場合などがある。

本項においては、最大横断面天端の沈下量を盛立完了時点からのものに補正し、盛立完了時点からの沈下の予測を実施することとした。

(1) 初期沈下量の補正

盛立完了時から計測開始時の期間における沈下量の補正は、盛立完了時からの計測値があるE、Lダムの沈下曲線を参考にして検討した。

沈下率曲線は種々考えられるが、(その1)において、

双曲線($dv/H = \frac{D}{a + b \cdot D}$)とべき乗曲線($dv/H = a \cdot D^b$)によってあて

はめられると報告した。2曲線の補正值の差は小さいことから作業上の簡便さを考え、補正式は双曲線で表現することとした。

図-6、図-7に2ダムの計測開始初期の計測値とその値に近似させた沈下率曲線を示す。また、E、Lダムの他にCダムについても計算を行った。Cダムは、盛立完了時から計測開始時までの期間が60日と、E、Lダムを除いては、一番短いダムであり、かつ、ダム高が2ダムの中間であるので、比較のために計算を行ったものである。

双曲線で近似した計測値は、計測開始時(盛立完了時)から試験湛水により沈下が促進するまでの値とし、期間としては約800日後までである。表-6に計算を

行った係数の中で最も適していると思われる係数を示す。なお、比較のため、近似期間を変えた2ケース(全計測期間と湛水開始までの期間)も示す。

図-8に示されるように、計測値と適合する双曲線の係数aとbの関係は直線関係にある。3ダムの中で共通した係数を示し、かつ適合性の高い係数は、 $b = 3.5$ 程度の場合である。

よって、 $b = 3.5$ に固定し、aを変化させることとした。aはダム高Hの関数で表わし、表-7、図-9に回帰計算結果を示す。図中のシンボル(●, ○, △)は3ダムそれぞれにおいて、 $b = 3.5$ とした場合に適合性が高いと思われるaの値とその上下限範囲である。この4種類の回帰式の中で最も相関係数が高いのは指数回帰式であり、aはダム高の指数関係式で表現することとした。(9)式に初期沈下量補正式を示す。

$$dv = \frac{D \cdot H}{(20130 \cdot e^{-0.026H} + 3.5D)} \dots\dots\dots (9)$$

ここに、

dv : 最大断面天端の補正沈下量 (m)

H : 最大断面天端の盛立高(ダム高) (m)

D : 盛立完了から計測開始までの補正する日数 (日)

表-8に(9)式による初期沈下補正後の盛立完了時からの沈下量を示す。なお、比較のため、別の2方法による補正沈下量を示す。

比較1は、双曲線近似で(10)式により沈下量を求めた。(10)式は(9)式を求める以前にEダムの沈下率曲線に近似させて求めた式である。よって、aも一定値である。

$$dv / H = \frac{D}{2600 + 2.363 \cdot D} \dots\dots\dots (10)$$

比較2は、盛立完了時からの経過日数を対数軸にとり、沈下率との関係で表される沈下率曲線を、滑らかに延長させて求めた沈下量である。

(9)式による補正量は、ダム高の高いHダム、補正日数の大きいQダムにおいて大きい。

(2) 盛立完了時点からの沈下量予測

図-10に計測開始から1000日後の沈下量とダム高の関係を示し、図-11に盛立完了から1000日後の沈下量とダム高の関係を示す。図中の破線は、(1.1)式によって導き出される沈下量である。図-11の中に同じ破線を示したのは、図-10との比較のためである。

盛立完了から1000日後の沈下量は、(1.1)式より大きな沈下量を示すダムが多い。よって、(1.1)式では、沈下傾向を表現しきれないので、盛立完了時からの沈下量予測式を求める必要がある。基本的に(1.1)式を求めた方法に準じて予測式を求めてみる。

表-9に盛立完了時からの経過日数とべき乗回帰式の係数 a 、 b を示す。 b は、平均値より $b = 1.7$ とした。表-10にべき乗回帰式の a と経過日数との回帰式の相関係数、係数を示す。対数回帰式、べき乗回帰式、双曲線回帰式はほぼ同じ相関係数を示す。この3回帰式を比較すると、対数回帰式による予測値が大きくなること(安全側となること)より、 a は対数表示とした。(11)式に盛立完了時からの沈下量予測式を示す。

$$dv = (0.000041 \cdot \ln D - 0.000157) \cdot H^{1.7} \dots\dots\dots (11)$$

ここに、

dv : 最大横断面天端の沈下量 (m)

H : 最大横断面天端の盛立高 (m)

D : 盛立完了からの経過日数 (日)

図-12～図-16に(2)式によって盛立完了時からの沈下量を補正した1000日～5000日後の沈下量を示す。図中の(●)が補正の必要がなかったダムで、(○)が補正を行ったダムの計測値である。図中の実線が(11)式によって導き出される沈下量である。全計測値の上限をほぼ包絡していることが認められる。

表-1 沈下予測式(各回帰式)の経過日数別の相関係数

	沈下予測式 (回帰式)	計測開始からの経過日数				備 考
		1000日	2000日	3000日	4000日	
相 関 係 数	直線回帰式	0.962	0.983	0.981	0.985	$dv = a + b \cdot H$
	指数回帰式	0.943	0.959	0.962	0.953	$dv = a \cdot e^{b \cdot H}$
	対数回帰式	0.884	0.896	0.890	0.901	$dv = a + b \cdot \ln(H)$
	べき乗回帰式	0.972	0.987	0.991	0.993	$dv = a \cdot H^b$

表-2 沈下予測式(べき乗回帰式)の係数

計測開始 からの 経過日数	相関係数	べき乗回帰式 ($dv = a \cdot H^b$)	
		a	b
1000日	0.972	0.1289	1.6398
2000日	0.987	0.2023	1.5833
3000日	0.991	0.2172	1.5897
4000日	0.993	0.2073	1.6145
平 均	(0.985)	(0.1889)	(1.6068)

表-3 ダム高と沈下量の関係式における係数 a

ダム名	dv = a・H ^{1.6} における a			
	1000日	2000日	3000日	4000日
Cダム	0.16384	0.20641	0.23050	0.24897
Dダム	0.15981	0.20340	0.22374	0.22955
Eダム	0.18392	0.19462	0.20488	0.21814
Hダム	0.14697	0.18627	0.21215	0.22366
Iダム	0.15046	0.18277	0.20742	0.22102
Jダム	0.13721	0.17231	0.19943	0.21060
Kダム	0.14486	0.17618	0.18597	0.20555
Lダム	0.12512	0.17050	0.19994	0.22080
Nダム	0.17507	0.20597	0.20940	0.20940
平均	0.15414	0.18871	0.20816	0.22086

表-4 係数 a の回帰式と相関係数

回 帰 式	相関係数	m	n	備 考
直線回帰式	0.951	0.1381	0.00002	$a = m + n \cdot T$
指数回帰式	0.928	0.1425	0.00012	$a = m \cdot e^{n \cdot T}$
対数回帰式	0.9995	-0.1793	0.00483	$a = m + n \cdot \ln(T)$
べき乗回帰式	0.994	0.2548	0.26166	$a = m \cdot T^n$
双曲線回帰式	0.9994	2731.2	3.86840	$a = \frac{T}{m + n \cdot T}$

表-5 沈下率曲線の回帰式と相関係数

ダム名	ダム高 H(m)	双曲線回帰式 $dv/H = T/(a + b \cdot T)$			対数回帰式 $dv/H = a + b \cdot \ln(T)$			べき乗回帰式 $dv/H = a \cdot T^b$		
		a	b	相関係数	a	b	相関係数	a	b	相関係数
Aダム	53	4933	0.933	0.992	-1.13	-0.199	0.985	0.025	0.361	0.994
Bダム	66	1796	1.27	0.995	-0.03	0.08	0.941	0.198	0.139	0.946
Cダム	86	2843	2.035	0.999	-0.44	0.097	0.979	0.036	0.278	0.996
Dダム	38.5	1404	4.595	0.994	-0.08	0.034	0.838	0.043	0.189	0.824
Eダム	127.5	1753	2.046	0.997	-0.04	0.053	0.951	0.123	0.142	0.958
Fダム	95	6507	3.926	0.992	-0.25	0.052	0.954	0.013	0.312	0.948
Gダム	45	3811	4.126	0.752	-0.22	0.051	0.926	0.001	0.678	0.866
Hダム	153	1816	1.718	0.996	-0.56	0.124	0.992	0.03	0.333	0.992
Iダム	83	2044	2.716	0.997	-0.27	0.07	0.996	0.029	0.288	0.993
Jダム	56	2889	3.699	0.968	-0.19	0.052	0.910	0.021	0.289	0.906
Kダム	76	2043	3.244	0.998	-0.18	0.055	0.982	0.038	0.239	0.978
Lダム	66	4229	2.651	0.997	-0.45	0.087	0.992	0.01	0.403	0.989
Mダム	52	6576	6.725	0.996	-0.08	0.025	0.986	0.014	0.26	0.984
Nダム	53.5	1457	3.979	0.991	-0.15	0.049	0.911	0.027	0.272	0.892
Oダム	66	17008	13.845	0.973	-0.08	0.017	0.960	0.001	0.456	0.951
Pダム	73	1543	5.482	0.999	-0.09	0.034	0.970	0.025	0.251	0.953
Qダム	80	3365	3.722	0.991	-0.29	0.063	0.983	0.01	0.387	0.987
Sダム	83.5	6745	4.697	0.903	-0.27	0.052	0.891	0.003	0.478	0.886
Tダム	83	912.1	2.771	0.986	-0.10	0.054	0.866	0.072	0.193	0.876
Uダム	64	4024	5.87	0.929	-0.18	0.041	0.893	0.005	0.442	0.88
平均	—	(3884.9)	(4.0025)	0.972	(-0.25)	(0.064)	0.946	(0.036)	(0.319)	0.939
9ダムの平均	—	—	—	0.992	—	—	0.952	—	—	0.947

表-6 初期沈下率曲線の検討

ダム名	日数差 (日)	ダム高 H (m)	$dv/H = \frac{T}{a + b \cdot T}$					
			全計測期間		約800日後まで		湛水開始まで	
			a	b	a	b	a	b
Eダム	0	127.5	1753	2.046	600	2.56	600	4
Lダム	0	66	4229	2.651	3000	3.5	2000	7.5
Cダム	60	86.5	2843	2.035	1600	2.73	2100	2.73

表-7 初期沈下率曲線(双曲線)の係数とダム高との相関

回帰式	相関係数	$dv/H = \frac{T}{a + b \cdot T}$			備 考
		b	c	d	
直 線	0.912	3.5	5288	-38.5	$a = b + c \cdot H$
指 数	0.975	3.5	20130	-0.029	$a = b \cdot e^{c \cdot H}$
対 数	0.949	3.5	18427	-3719	$a = b + c \cdot \ln(H)$
べき乗	0.973	3.5	3.28	-2.758	$a = b \cdot H^c$

表-8 初期沈下量補正後の沈下量

ダム名	ダム高 (m)	補正日数 (日)	補正量 (mm)			盛立完了日からの沈下量 (mm)				
				比較 1	比較 2	1000日	2000日	3000日	4000日	5000日
Aダム	53	18	3	3	7					
Bダム	66	240	42	52	24					
Cダム	86	60	28	5	11	218	277	337	347	357
Dダム	38.5	150	11	5	5	44	75	87	89	91
Eダム	127.5	0	0	0	0	430	454	478	510	532
Fダム	95	30	21	11	8	116	146	175	192	204
Gダム	45	150	18	18	23	68	90	-	-	-
Hダム	153	200	255	72	123	688	824	905	937	957
Iダム	83	90	35	32	75	209	248	276	291	300
Jダム	56	450	45	52	47	114	146	163	169	-
Kダム	76	150	42	31	64	181	214	232	244	254
Lダム	66	0	0	0	0	102	137	161	178	188
Mダム	52	150	16	24	44	58	66	73	-	-
Nダム	50	60	6	10	17	94	116	119	-	-
Oダム	66	150	28	30	31	47	54	62	-	-
Pダム	73	90	24	22	34	126	140	-	-	-
Qダム	80	600	117	60	65	173	247	-	-	-
Rダム	60	400	49	60	49	71	-	-	-	-
Sダム	83.5	90	36	19	40	108	138	-	-	-
Tダム	83	70	28	18	17	251	294	-	-	-
Uダム	64	150	26	32	35	90	-	-	-	-

表-9 沈下予測式(べき乗回帰式)の係数

盛立完了 からの 経過日数	ダム数	相関係数	$dv = a \cdot H^b$	
			a	b
1000日	19	0.768	0.045	1.862
2000日	17	0.711	0.128	1.674
3000日	14	0.745	0.119	1.716
4000日	9	0.877	0.289	1.552
5000日	8	0.886	0.244	1.595
平均	—	—	(0.165)	(1.680)

表-10 沈下予測式の係数 a の経過日数との相関

回 帰 式	相関係数	m	n	備 考
直線回帰式	0.955	0.1381	0.000016	$a = m + n \cdot T$
指数回帰式	0.929	0.1425	0.000102	$a = m \cdot e^{n \cdot T}$
対数回帰式	0.99703	-0.15687	0.04067	$a = m + n \cdot \lg n(T)$
べき乗回帰式	0.99709	0.0204	0.2627	$a = m \cdot T^n$
双曲線回帰式	0.99788	3847.5	4.552	$a = \frac{T}{m + n \cdot T}$

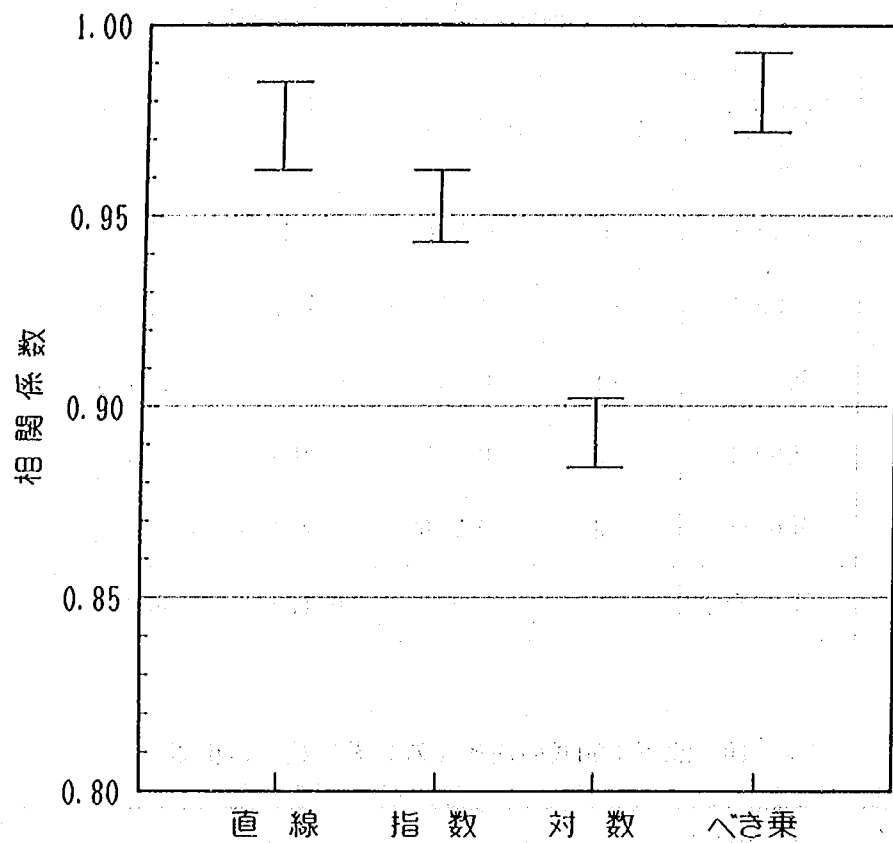


図 - 1 沈下予測式とその他の回帰式の相関係数

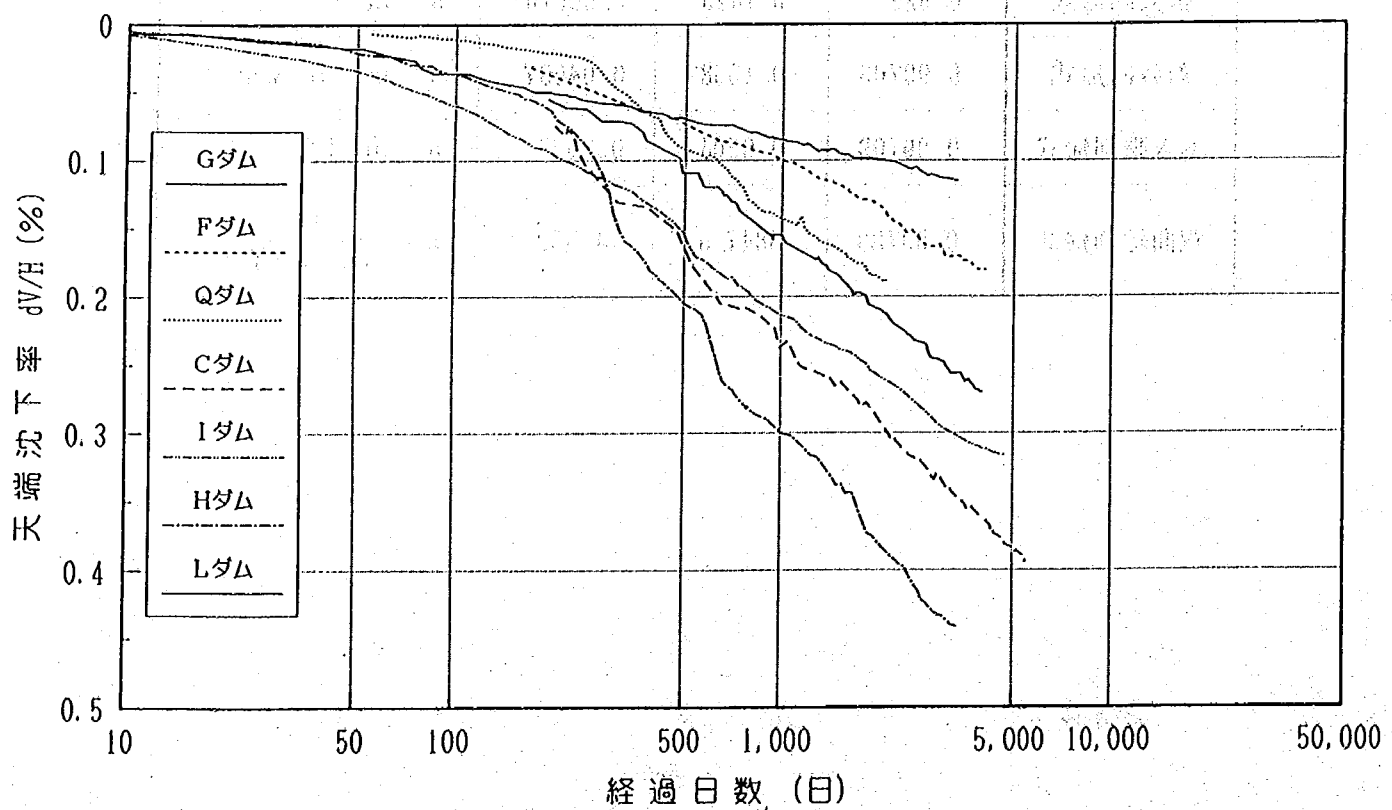


図 - 2 代表的なダムの沈下率曲線

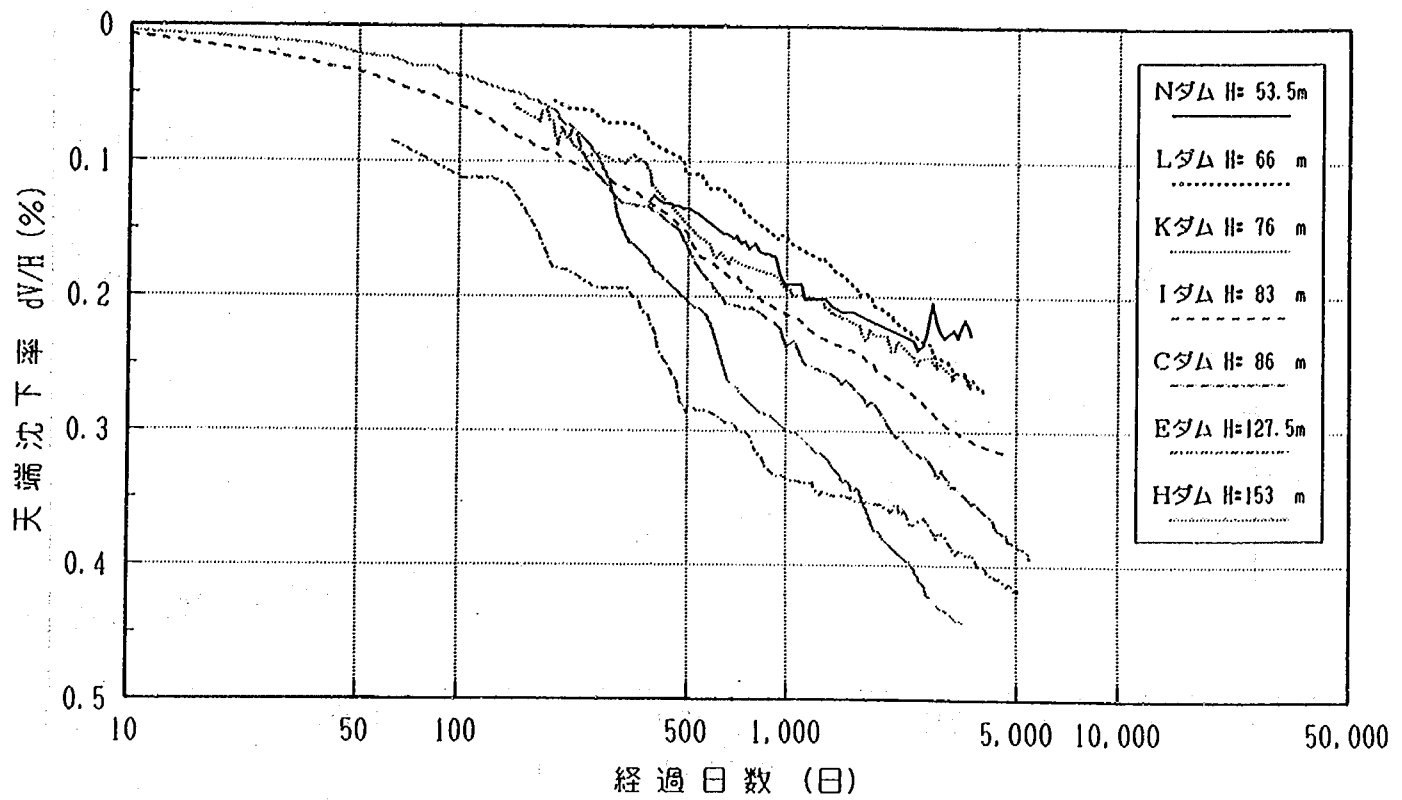


図 - 3 沈下予測式で対象とした9ダムの沈下率曲線

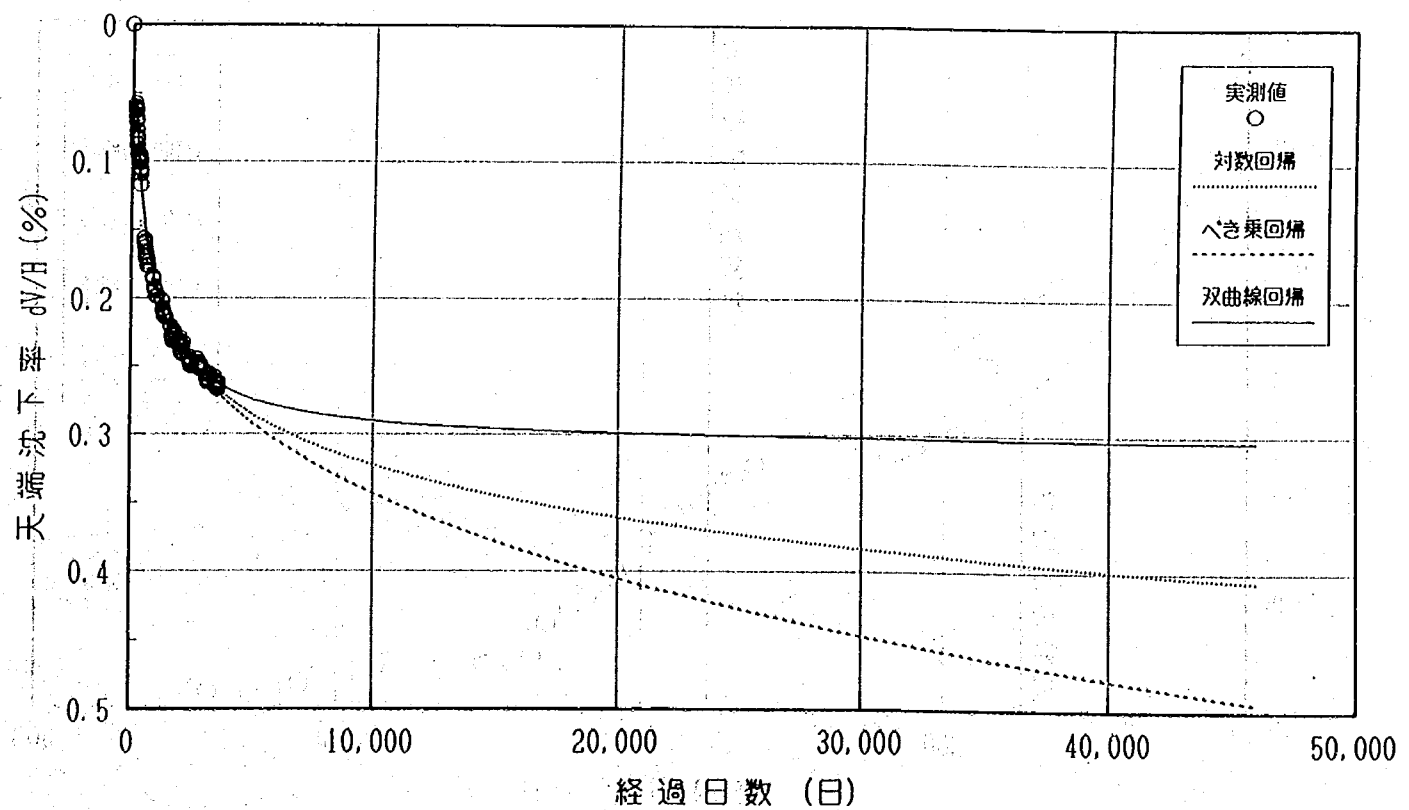


図 - 4 実測値と回帰線 (Kダム, 長期間)

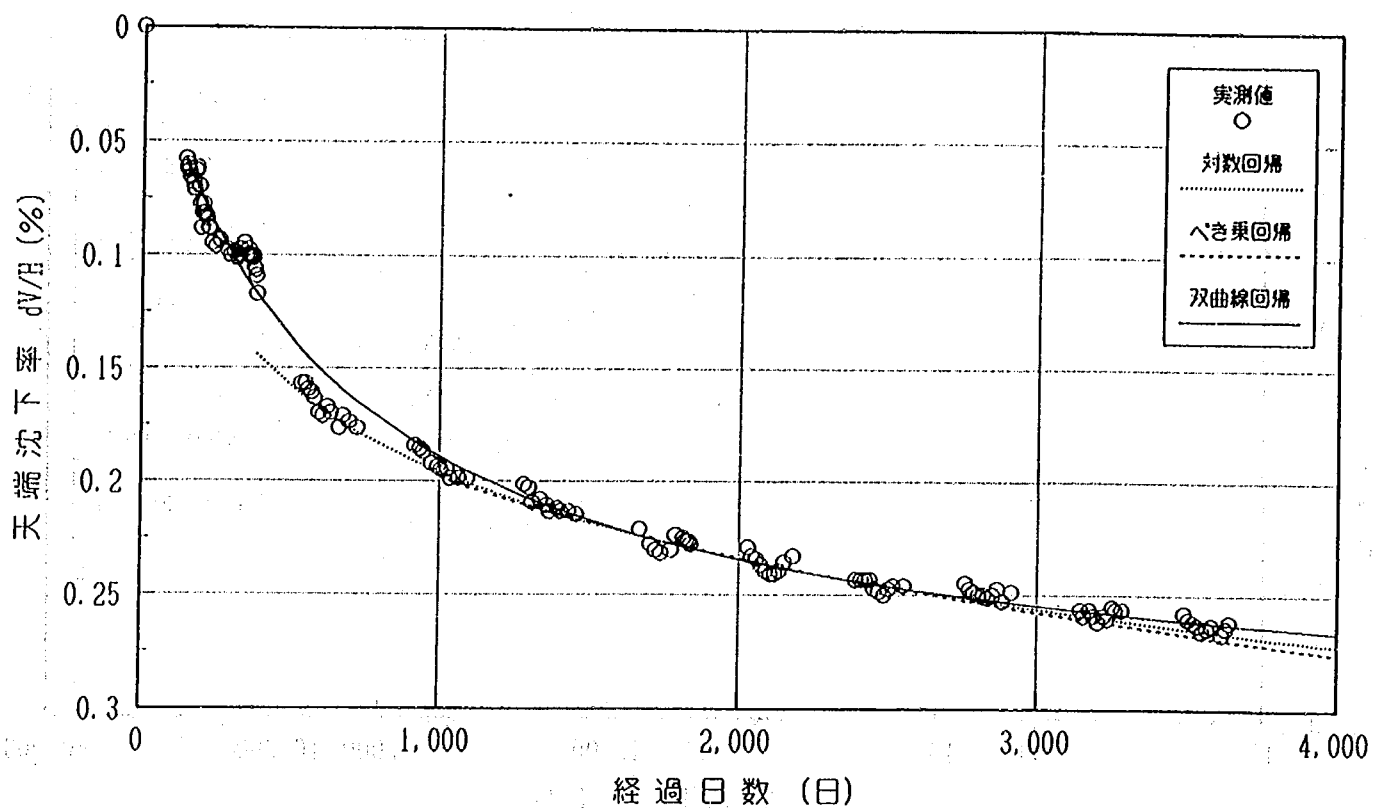


図 - 5 実測値と回帰線 (K ダム, 短期間)

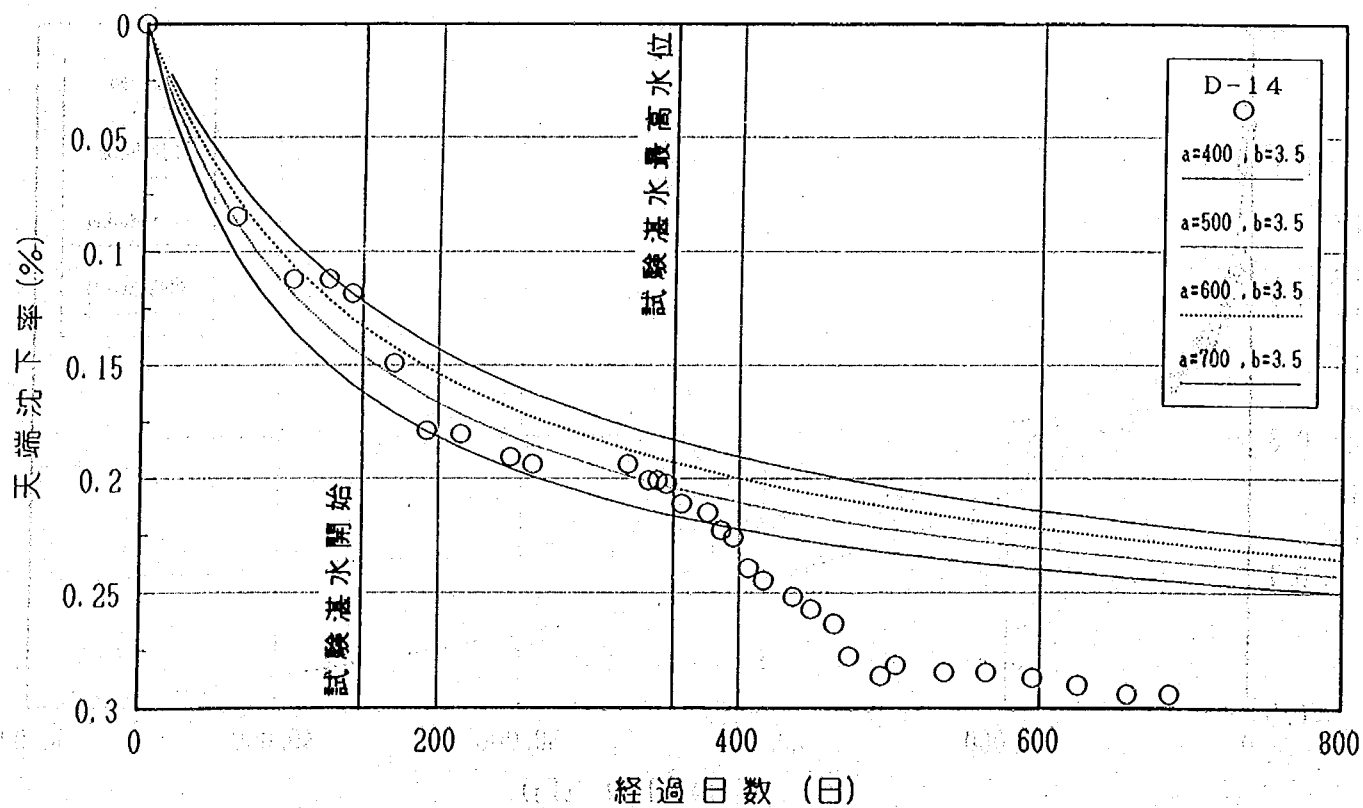


図 - 6 初期沈下率の双曲線近似 (E ダム)

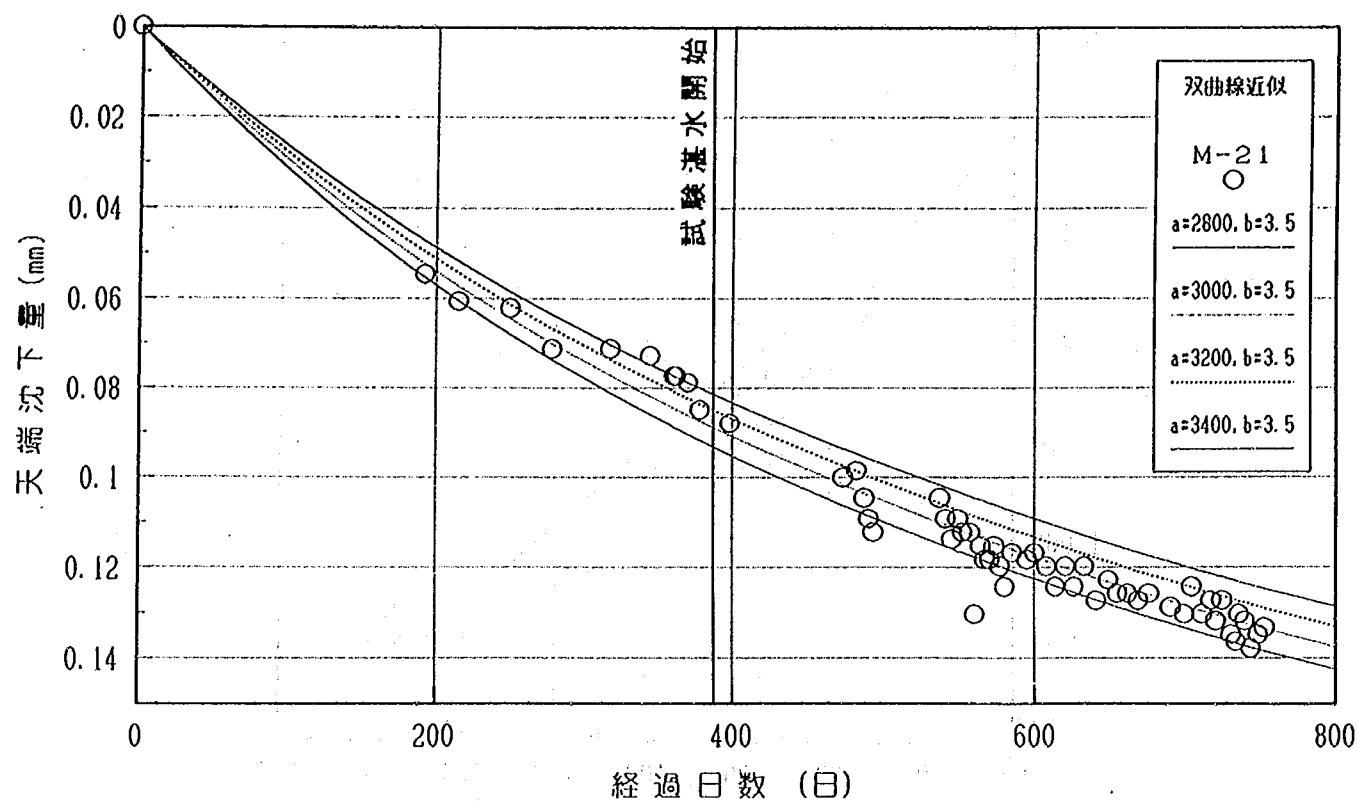


図 - 7 初期沈下率の双曲線近似 (Lダム)

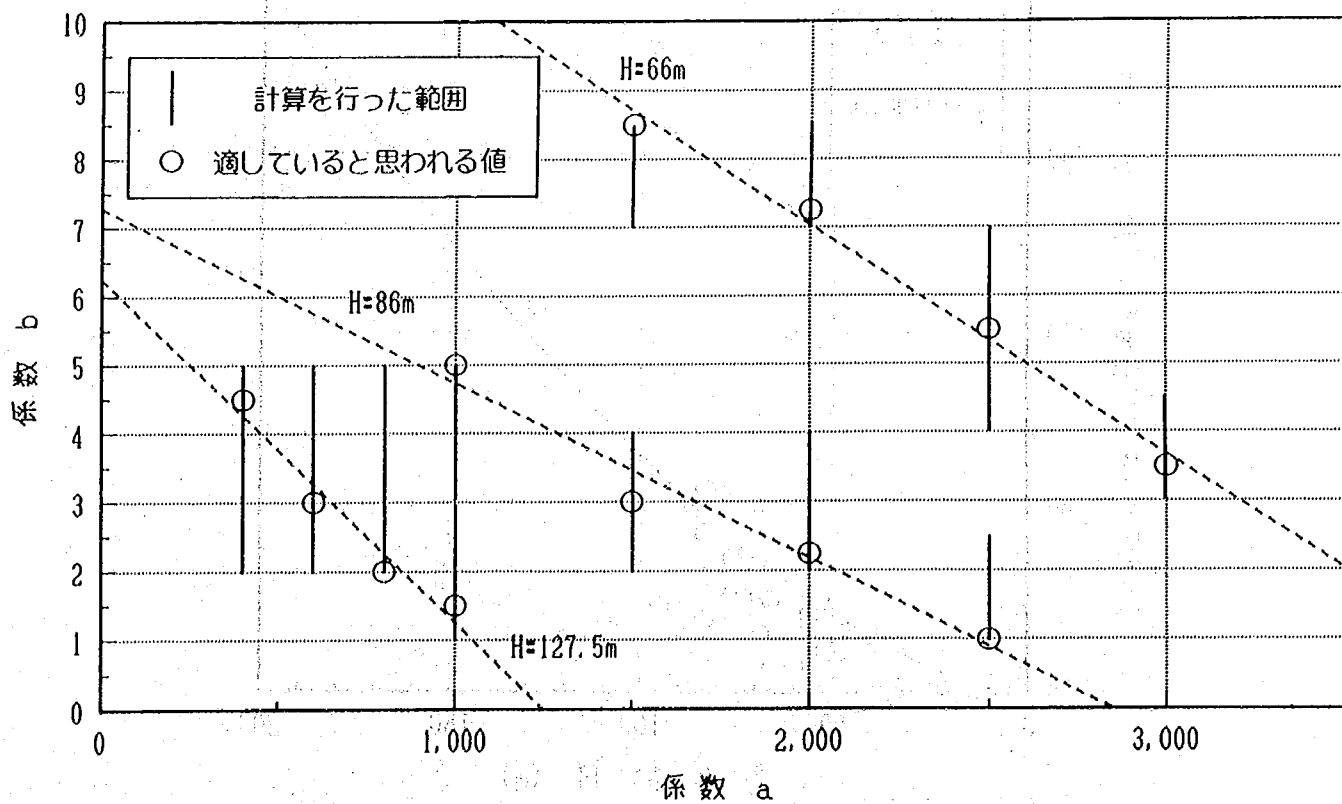


図 - 8 初期沈下率の双曲線近似における係数 $dv/H=T/(A+B \cdot T)$

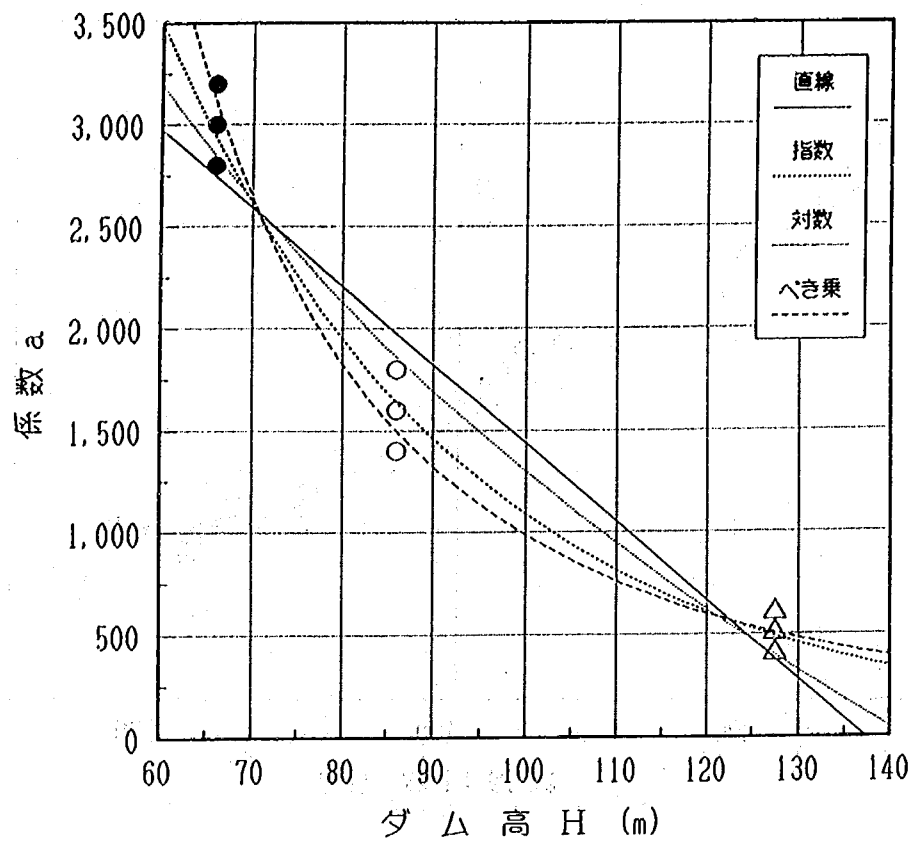


図 - 9 初期沈下率曲線の係数とダム高の関係

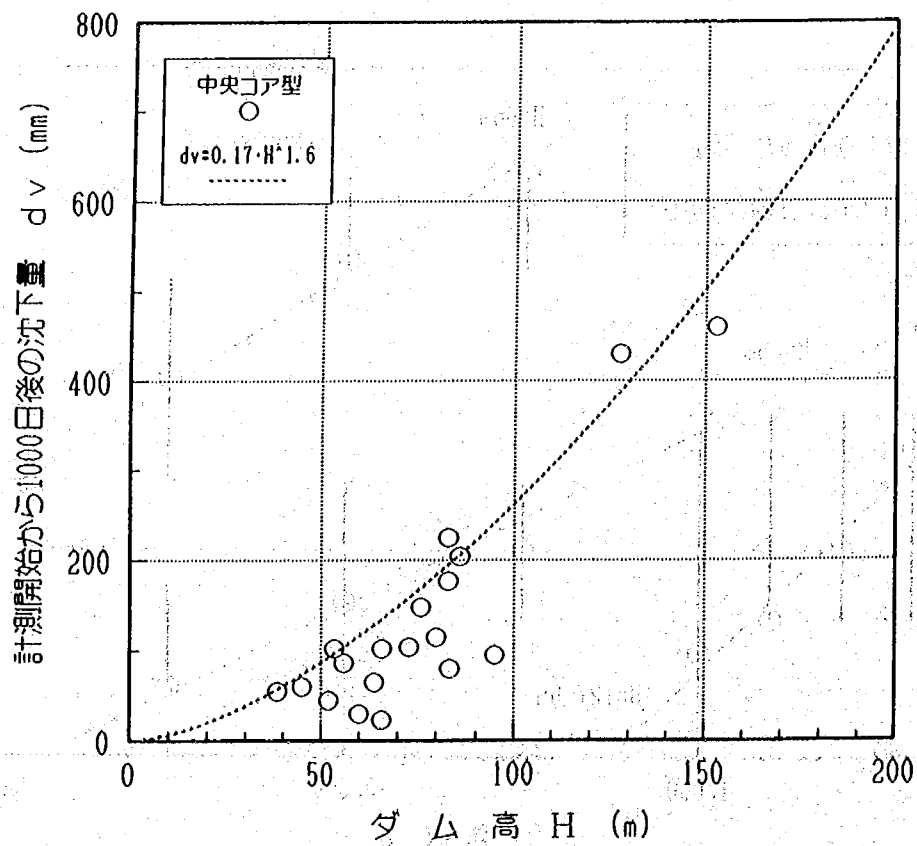


図 - 10 計測開始から1000日後沈下量とダム高の関係

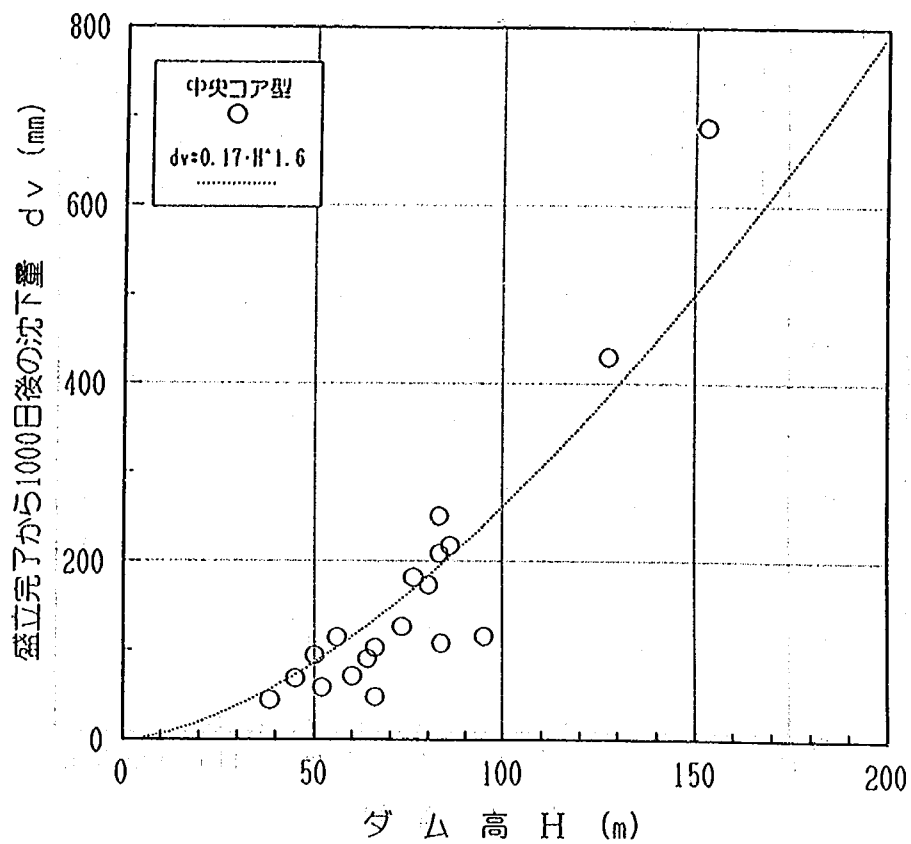


図 - 11 盛立完了から1000日後沈下量とダム高の関係

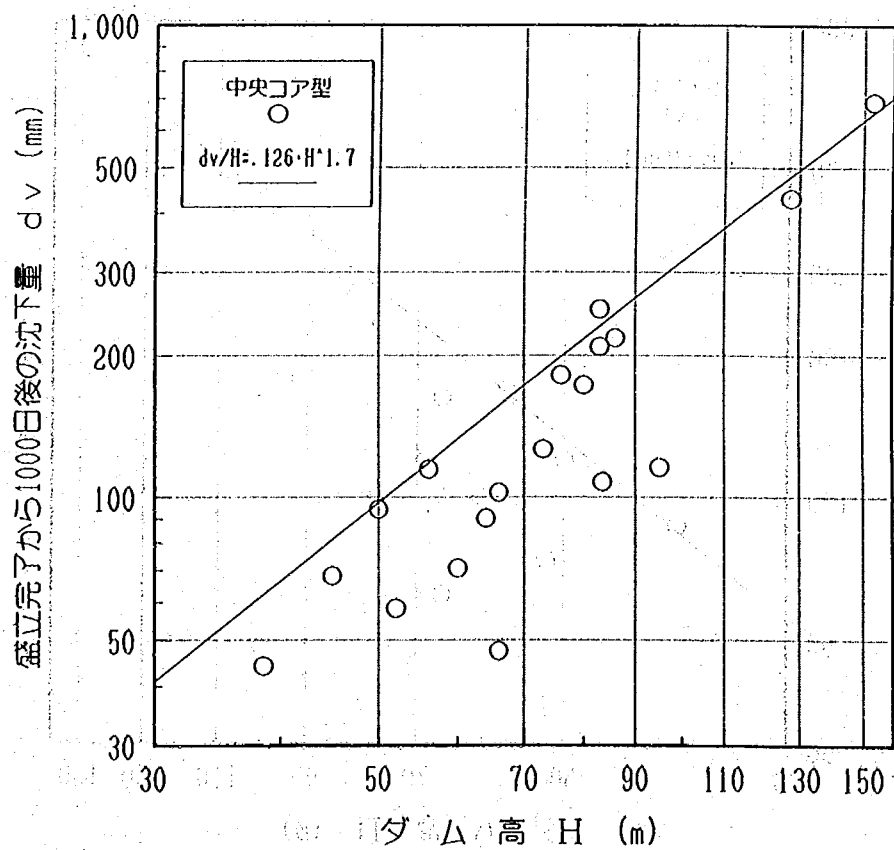


図 - 12 盛立完了から1000日後補正沈下量とダム高の関係

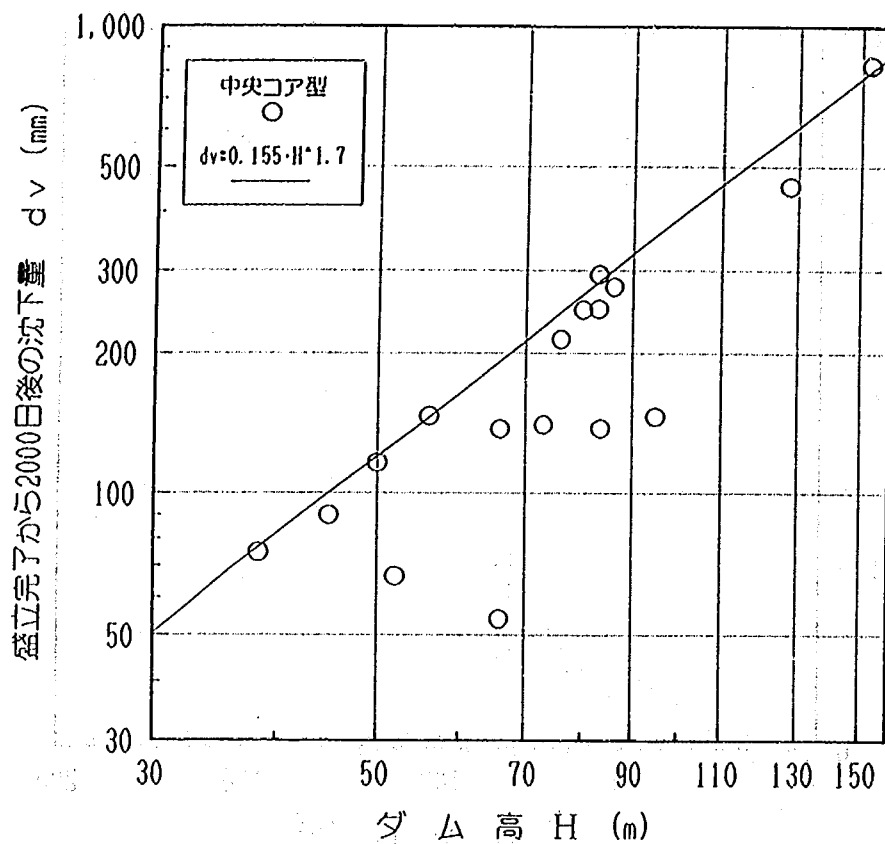


図 - 13 盛立完了から2000日後補正沈下量とダム高の関係

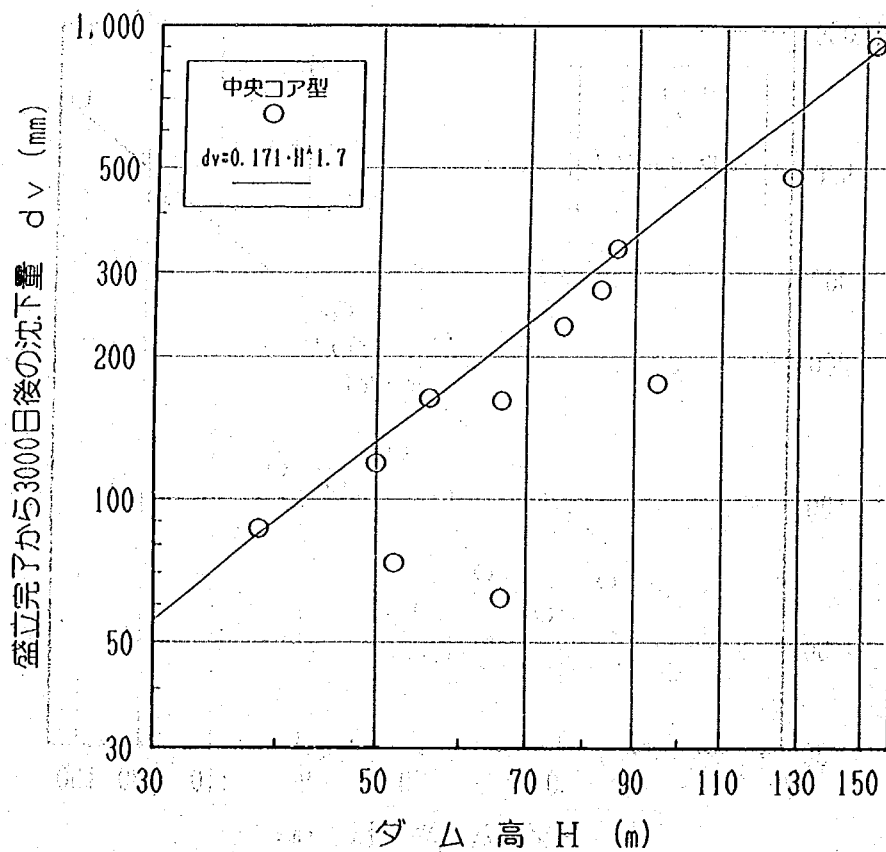


図 - 14 盛立完了から3000日後補正沈下量とダム高の関係

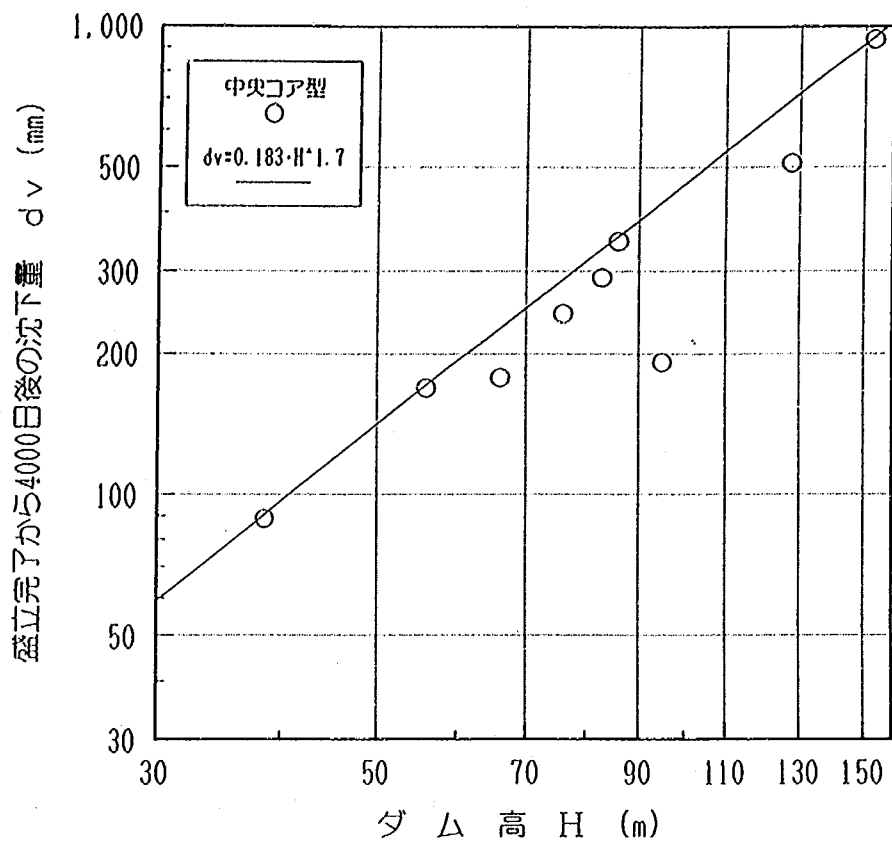


図 - 15 盛立完了から4000日後補正沈下量とダム高の関係

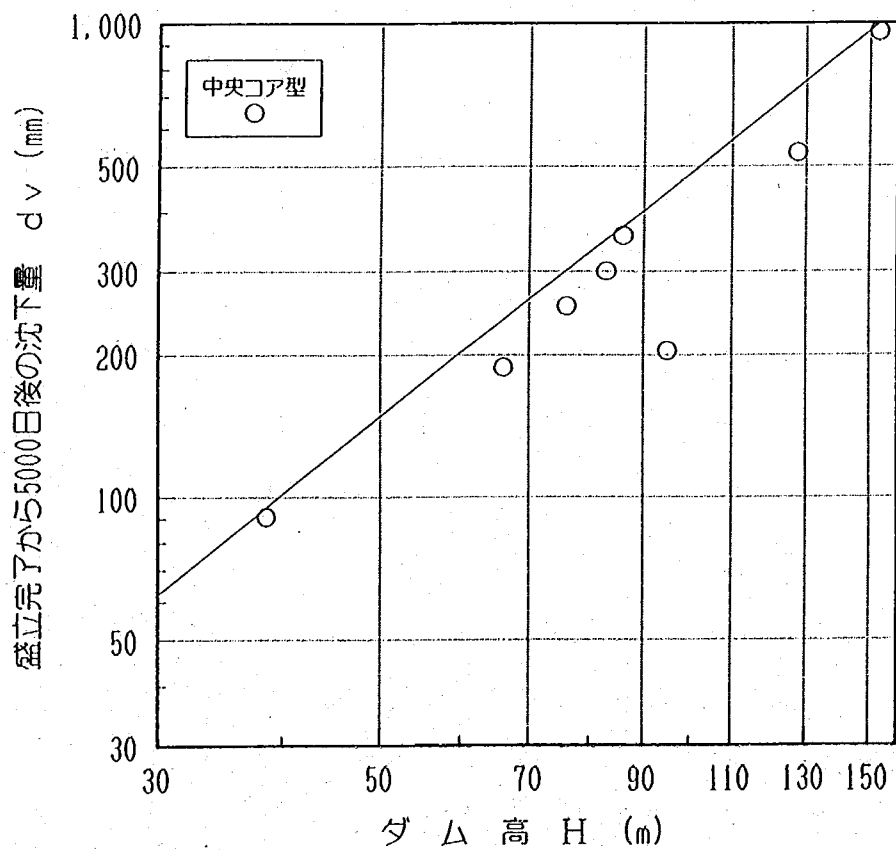


図 - 16 盛立完了から5000日後補正沈下量とダム高の関係

——变位, 浸透——

平成6年3月 (1994)

藤沢 侃彦, 伊藤 基博

堤体内部变位, 岩盤变位, 堤体浸透, 基礎浸透

郵便切手をはって下さい

3	0	5	-		
---	---	---	---	--	--

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

ダム部ファイルダム研究室 行

No. **1**

No. **1**

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3255号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印