

035

土木研究所資料

重力式コンクリートダムにおける 揚圧力の実測調査

平成元年1月

建設省土木研究所
ダム部ダム構造研究室

Copyright © (1989) 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、複写は、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。

重力式コンクリートダムにおける 揚圧力の実測調査

ダム部ダム構造研究室 永山 功
斉藤孝三
片平 博

要 旨

揚圧力はコンクリートダムの安定解析における重要な荷重のひとつである。

本報告書は、実際の重力式コンクリートダムにおける揚圧力の実測資料を基に、揚圧力の大きさと基礎排水孔の配置、測定方法との関係、揚圧力の大きさと地質条件の関係、その他の揚圧力の特性について調査分析した結果をとりまとめたものである。

キーワード：揚圧力、重力式コンクリートダム、基礎岩盤、排水孔、基礎グラウチング

はじめに

揚圧力は、コンクリートダムの安定解析における重要な荷重の一つである。特に、堤体自重によって水圧荷重に抵抗する構造物である重力式コンクリートダムにおいては、揚圧力は堤体自重による鉛直荷重を減じる方向に作用し、その大きさがダムの構造的な安定性に及ぼす影響は極めて大きいといえる。しかし、揚圧力の大きさは、基礎岩盤の性状や基礎岩盤グラウチングの効果などによって大きく異なるため、貯水圧や堤体自重のようにその大きさを一義的に決定するのが困難な荷重でもある。

「河川管理施設等構造令施行規則」では、設計に用いる揚圧力の値を表－Aに示すように定義している。表は、設計に用いる揚圧力の下限値を示したものであって、基礎岩盤の地質条件などによって、基礎岩盤グラウチングの効果や基礎排水孔の効果が十分に期待できないと考えられるような場合には、その状況に応じて、設計に用いる揚圧力の大きさを適切に設定することが望ましい。しかし、実際にどの程度の値をとればよいのかは必ずしも明確でなく、揚圧力の設計値のとり方は、個々の設計者の判断に委ねられているのが現状である。

一方、完成したダムにおいては、揚圧力はダムの安全管理を行う上で重要な計測項目であり、湛水開始当初には日に1回、数年を経てダムの挙動が安定した後は週1回もしくは月に1回程度の割合で揚圧力の測定が行われ、これに基づいて安全管理が行われるとともに、数多くのデータが蓄積されてきている。このため、これらの測定データを分析することは設計に用いる揚圧力の大きさを合理的に決定する上で極めて有効であると考えられる。

本報告書は、揚圧力の実測データを基に、揚圧力の大きさと基礎排水孔の配置、測定方法との関係、揚圧力の大きさと地質条件の関係、その他の揚圧力の特性について調査分析した結果をとりまとめたものである。

表－A 河川管理施設等構造令施行規則に示されている揚圧力の設計値

断面上の位置 断面の区分		(1)	(2)			(3)
		上流端	上流端と下流端との間			下流端
1	排水孔の効果が及ぶ断面	上流側水圧の値	(イ)	(ロ)	(ハ)	下流側水圧の値
			上流端と排水孔との間	排水孔	排水孔と下流端との間	
			(1)欄の値と(2)の(ロ)欄の値とを直線的に変化させた値	(1)欄の値と(3)欄の値との差の5分の1以上の値に(3)欄の値を加えた値	(2)の(ロ)欄の値と(3)欄の値とを直線的に変化させた値	
2	排水孔の効果が及ばない断面又は排水孔の無いダムの断面	上流側水圧と下流側水圧との差の3分の1以上の値に下流側水圧を加えた値	(1)欄の値と(3)欄の値とを直線的に変化させた値			下流側水圧の値

目 次

はじめに

1. 揚圧力の測定方法と測定上の留意点	1
1.1 揚圧力の測定法	1
1.2 基礎排水孔、揚圧力測定孔の閉塞方法	3
1.3 基礎排水孔の閉塞時間と揚圧力	4
1.4 ドレーン水頭	5
1.5 堤趾部での揚圧力	5
2. 揚圧力の実測資料の収集	7
2.1 概 要	7
2.2 収集した資料の特徴	7
2.3 揚圧力の統一測定法	11
3. 調 査 結 果	13
3.1 基礎排水孔の閉塞時間と揚圧力	13
3.2 貯水位の変化に対する揚圧力の追従性	14
3.3 基礎排水孔の閉塞状態のちがいと揚圧力の特徴	18
3.4 季節的な揚圧力の変化	20
3.5 経年的な揚圧力の変化	25
3.6 ダム基礎岩盤の地質条件と揚圧力（基礎排水孔が無いときの揚圧力分布）.....	28
3.7 基礎排水孔による揚圧力の軽減効果 （基礎排水孔が有効に機能しているときの揚圧力分布）.....	40
4. ま と め	52
付 録	55

1. 揚圧力の測定方法と測定上の留意点

1.1 揚圧力の測定法

重力式コンクリートダム（以下重力ダムという）における揚圧力の測定方法としては、ダム軸方向に配置されている基礎排水孔を利用する方法が一般的であるが、その他に、クロスギャラリー内に揚圧力測定孔を設ける場合や、間隙水压計を埋設する方法等がある。これらの各測定方法の概要について以下に述べる。

(1) ダム軸方向に配置された基礎排水孔を利用する方法

この方法は、ダム軸方向に配置されている基礎排水孔を利用して、図-1.1に示すようにその孔口に圧力計を設置し、基礎排水孔のバルブを締めたときの孔内の水压を測定するものである。この方法は、新たに揚圧力測定孔を削孔したり計器を埋設したりする必要がないことから、ほとんど全てのダムで用いられている方法である。ただし、揚圧力を軽減する目的で設置されている基礎排水孔を閉塞してしまうために、測定される揚圧力は、通常の基礎排水が行われている状態での揚圧力とは異なったものとなる。この点については、1.2項で詳しく述べる。

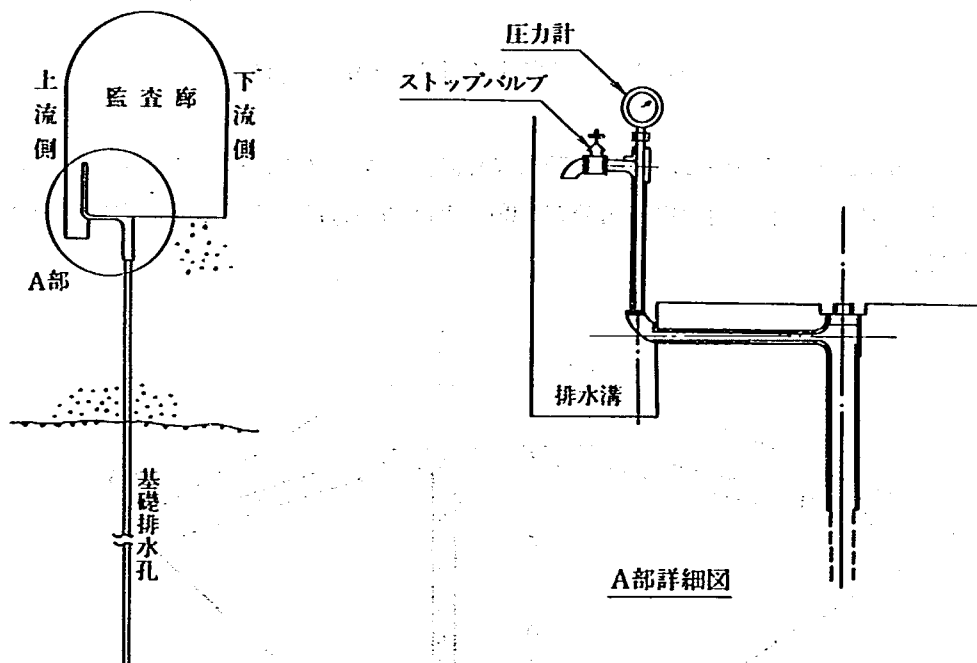


図-1.1 基礎排水孔を利用した揚圧力測定装置

(2) クロスギャラリー内の揚圧力測定孔による方法

この方法は、ダム軸方向に配置されている基礎排水孔と同様のボーリング孔をクロスギャラリー内から削孔し、(1)の基礎排水孔を利用する方法と同様の方法で揚圧力を測定するものである。この場合、

特定の断面に限定されるが、ダム軸方向の基礎排水孔が有効に機能している状態で、堤体に作用する上下流方向の揚圧力分布を測定することができる。なお、下流側へいくに従って揚圧力の大きさが次第に小さくなることから、クロスギャラリーの設置標高が堤体の基礎面から高い位置にあるような場合には、基礎岩盤内の浸透水が孔口まで上昇せず、下流側で揚圧力が測定できないことがある。

(3) 間隙水圧計による方法

この方法は、図-1.2に示すように、ダム堤体の基礎面付近の岩盤内に間隙水圧計を埋設して揚圧力を測定する方法である。間隙水圧計を数多く埋設すれば、任意の箇所における揚圧力の測定が可能であるが、一般的には代表的な堤体断面に対し、上下流方向に数箇所の位置を選び、間隙水圧計を埋設することが多い。この方法によれば基礎排水孔が有効に機能している状態での揚圧力の測定が可能である。ただし、計器の寿命、感度低下などの理由から、この方法は長期的な計測に対して不利となることがある。

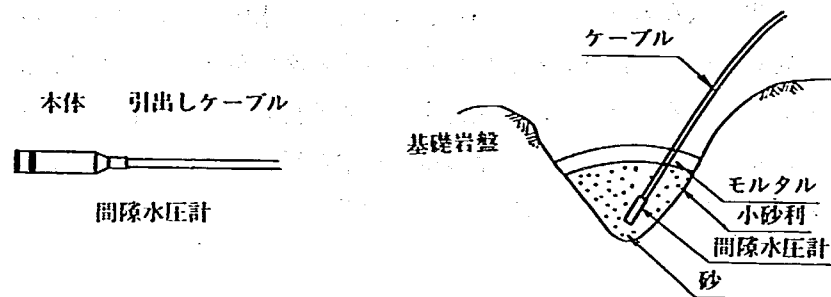


図-1.2 間隙水圧計とその埋設方法

以上の3つの測定方法について、その一般的な計測位置を示すと、図-1.3のようになる。このとき、(1)の方法からはダム軸方向の揚圧力分布、(2)および(3)の方法からは上下流方向の揚圧力分布を求めることができる。

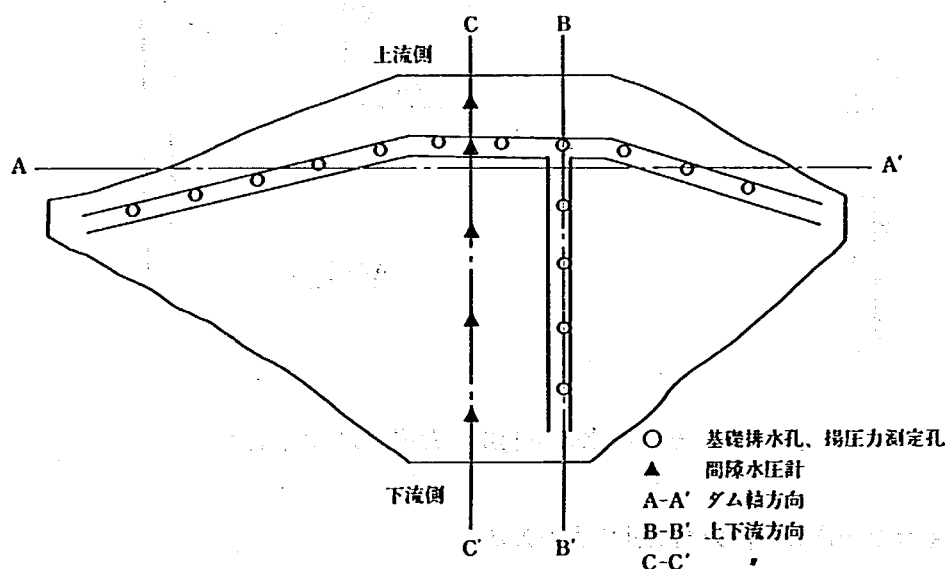


図-1.3 揚圧力の測定位置(ダム平面図)

1.2 基礎排水孔、揚圧力測定孔の閉塞方法

ダム軸方向に配置された基礎排水孔を利用して揚圧力を計測する場合には、基礎排水孔の閉塞条件の違いによって、次に示すような3種類の測定方法がある。

- A：全ての基礎排水孔を一斉に閉塞し、揚圧力を測定する方法（以下、一斉閉塞法という）。
- B：基礎排水孔を一孔おきに閉塞し、揚圧力を測定する方法（以下、隔孔閉塞法という）。
- C：1ブロックに1孔程度、揚圧力を測定する孔を定め、この孔のみを閉塞し、揚圧力を測定する方法（以下、特定孔閉塞法という）。

なお、これらの方法によって得られる揚圧力の測定値は、いずれの場合でも、基礎排水が行われている通常の状態での揚圧力の値とは異なるので、取扱には注意が必要である。

基礎排水孔に沿った揚圧力の分布を模式的に示すと、図-1.4に示すようになる。通常の基礎排水が行われている状態では全ての基礎排水孔が有効に機能しているから、揚圧力は図中の点線のような分布を示す。ここで基礎排水孔を1孔おきに閉塞すると、揚圧力は上昇し、破線に示すような分布となる。この状態が隔孔閉塞法を行っているときの揚圧力分布であり、この場合に得られる測定値は図中の◆印の値である。これは基礎排水孔の間隔が通常の2倍になったときの基礎排水孔間の中央での揚圧力の値に相当している。特定孔閉塞法から得られる揚圧力も、隣接する基礎排水孔が有効に機能している点を考えれば、隔孔閉塞法とほぼ同一の測定値が得られると考えてよい。次に、基礎排水孔を一斉に閉塞すると揚圧力はさらに上昇し、図中の二点鎖線のような分布となる。このときに測定される揚圧力は図中の●印の値である。したがって基礎排水孔を閉塞した後の基礎岩盤内の浸透流が定常状態に達しているとすれば、一斉閉塞法によって得られる揚圧力の値は、基礎排水孔が全くない条件での値に相当している。

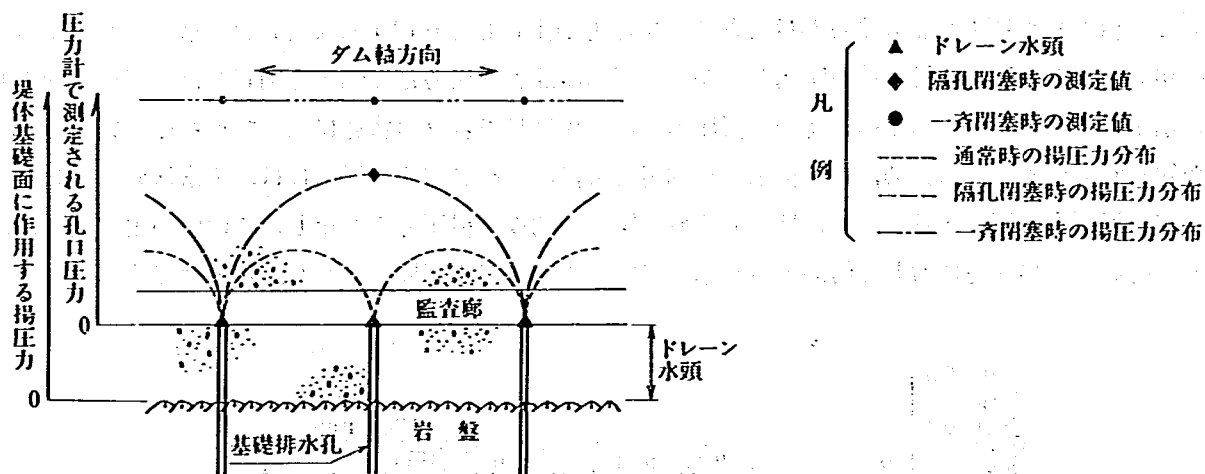


図-1.4 ダム軸方向の揚圧力分布の模式図

上下流方向のクロスギャラリー内における揚圧力測定孔による揚圧力の測定の場合には、これを一斉に閉塞して揚圧力を測定する必要がある。これは、一般的な断面では上下流方向には基礎排水孔が存在しないわけであり、クロスギャラリー内の揚圧力測定孔を全て閉塞してはじめて一般の断面と同一の条件となるからである。なおこのとき、ダム軸方向の基礎排水孔の位置と閉塞方法のちがいによ

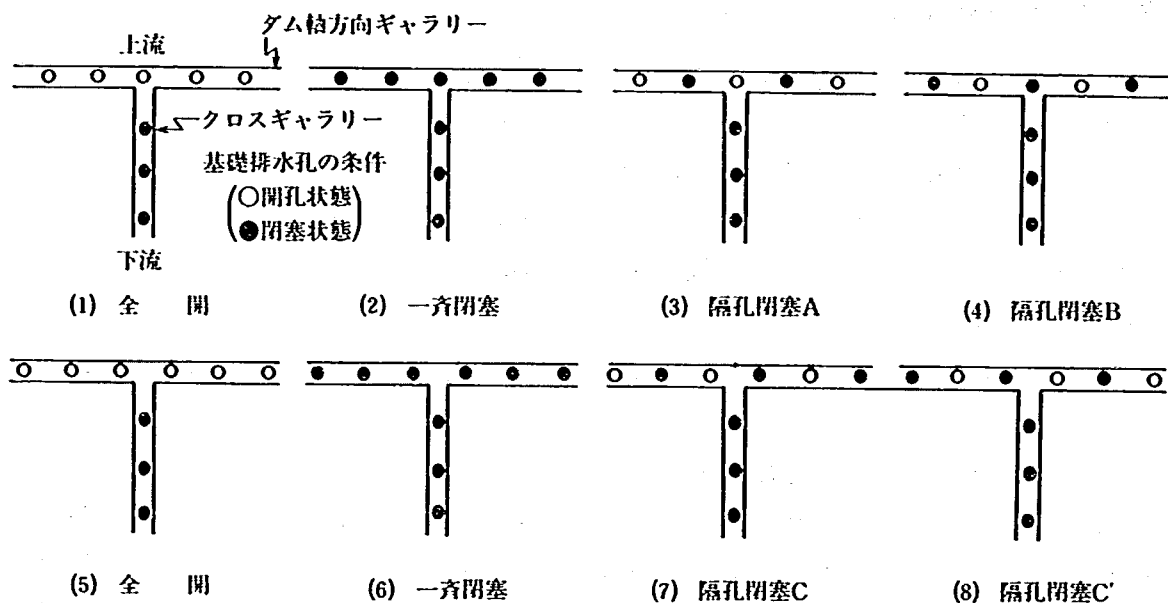


図-1.5 クロスギャラリーでの揚圧力測定時における
ダム軸方向の基礎排水孔の閉塞条件

って、図-1.5に示すように全開・隔孔閉塞A・隔孔閉塞B・隔孔閉塞C（C'）・一斉閉塞の5通りの条件が考えられるが、通常時の揚圧力を求めるためには基礎排水孔を全開にしている状態で揚圧力を測定しなければならない。

1.3 基礎排水孔の閉塞時間と揚圧力

基礎排水孔を閉塞することによって、揚圧力は図-1.4に示すように変化するが、基礎排水孔の閉塞後、直ちに揚圧力が上昇するわけではなく、揚圧力が上昇して安定するまでには一般にある程度の時間が必要である。基礎排水孔を閉塞してからの経過時間と揚圧力との関係を調査した一例を図-1.6に示すが、閉塞してからの経過時間と揚圧力との関係は基礎岩盤の状態によってそれぞれ異なることが知られている。このため、基礎排水孔を利用して揚圧力を測定する場合には、定常状態に達した時点での揚圧力を測定するか、または定められた閉塞時間後に揚圧力を測定し、この値が定常状態に達した時点での揚圧力に対して何%の値を示すのかをあらかじめ把握しておかなければならない。

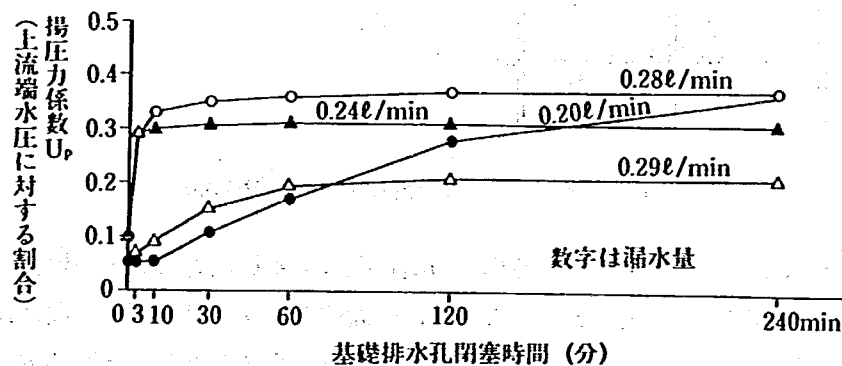


図-1.6 揚圧力-時間曲線の例（貯水位一定）

1.4 ドレーン水頭

基礎排水孔を利用した揚圧力の測定で、注意しなければならないのは、基礎排水孔の孔口で測定される圧力が、堤体の基礎面に作用している揚圧力の値ではないということである。図-1.4に示したように、基礎排水孔の孔口で測定される圧力は、堤体の基礎面に作用する揚圧力に比べて基礎面から基礎排水孔の孔口までの水頭分の圧力だけ小さくなる。堤体の基礎面から基礎排水孔の孔口までの水頭をここでは「ドレーン水頭」と呼ぶことにする。

また、用語による混乱を避けるために、基礎排水孔の孔口で測定される圧力は「孔口圧力」と呼び、基礎面に作用する揚圧力のみを「揚圧力」と呼ぶこととする。

これら、ドレーン水頭、孔口圧力、揚圧力の関係は、次式によって示される。

$$U_p = p + \gamma_w h_d \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに U_p : 揚圧力 (堤体の基礎面に作用する揚圧力)

p : 孔口圧力 (基礎排水孔の孔口で測定される圧力)

h_d : ドレーン水頭

γ_w 水の単位体積重量

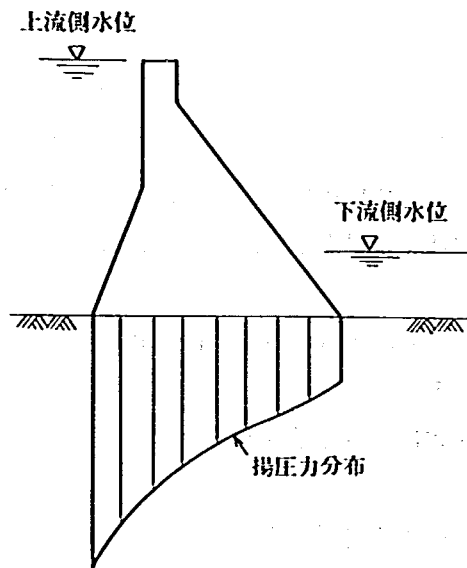
1.5 堤趾部での揚圧力

ダム堤体の基礎面における上下流方向の揚圧力分布を考えると、堤趾部での揚圧力についてはなおざりにされがちである。実際のダムにおいても堤趾部の揚圧力を測定している事例は極めて少ない。しかし、堤趾部における揚圧力は、基礎排水孔、揚圧力測定孔、間隙水圧計によって測定された揚圧力の大きさを評価する上で極めて重要である。

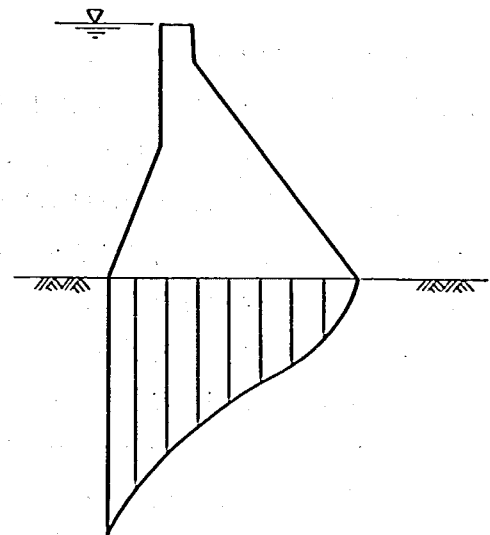
堤趾部での揚圧力の設計値は、その下流側に副ダムなどによって水が貯っている場合にはその水頭に相当する値をとり、そうでない場合には0とするのが一般的である。しかし、実際に揚圧力分布を調査してみると堤趾部での揚圧力は0でない場合が多いようである。

揚圧力の分布を模式的に示すと図-1.7のようになる。図中の(a)、(b)は、通常のダムの設計において考えている最も基本的な例であり、(a)は下流側に水が貯っている場合、(b)は下流側に水位がない場合である。しかし、実際の重力ダムの形状を考えると、(c)のようにダム堤体の下流側にはフーチングが設けられるのが一般的である。このようなフーチングはダムの構造設計上は考慮されないから、構造設計上のダムの堤趾部は図中のA点となる。しかし、貯水池から基礎岩盤内に浸透した浸透水はフーチングの下流端のB点で地表に浸出することになるから、揚圧力の観点からみた堤趾部はB点となる。このため比較的大きなフーチングを有するダムの場合には、構造設計上の堤趾部であるA点である程度の揚圧力が生じるのが一般である。次に図中の(d)はダムの下流側を埋め戻した例であるが、この場合には埋め戻した部分に地下水面が形成されることが多く、この場合も堤趾部の揚圧力は0とはならないのが一般である。このような断面は越流部の隣接ブロックで多くみられる。

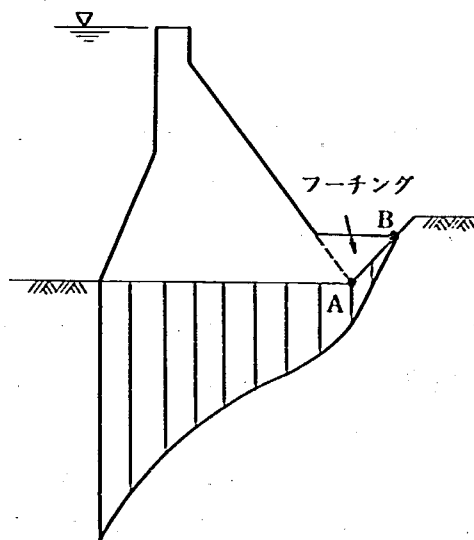
このように、断面の形状や周囲の環境条件によって、堤趾部の揚圧力の値は変化することになる。



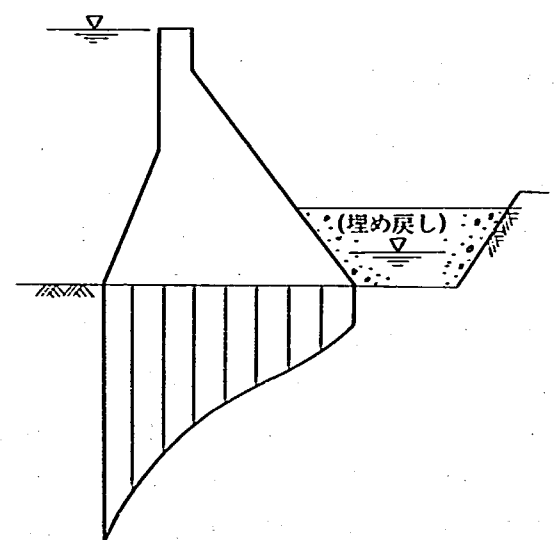
(a) 下流側に水が貯っている場合



(b) 下流側に水位がない場合



(c) 下流側にフーチングがある場合



(d) 下流側を埋め戻した場合

図-1.7 堤趾部における揚圧力の考え方

2. 揚圧力の実測資料の収集

2.1 概 要

揚圧力の実測資料の収集は昭和57～60年度に実施した。揚圧力の測定方法としては、前述のように、基礎排水孔または揚圧力測定孔の孔口で圧力を測定する方法と、基礎岩盤内に間隙水圧計を埋設して測定する方法とがあるが、特に前者については、その測定方法（基礎排水孔の閉塞方法と閉塞時間）が各ダムによって種々に異なることが予想された。このため、あらかじめ全国的な規模で揚圧力の測定方法を調査し、また、統一した手法による揚圧力の測定を依頼した。また資料の収集では、揚圧力の測定値のほかに、揚圧力の分布や大きさに影響を与えと考えられる地質条件、グラウチング実績、および漏水量の測定結果の資料もあわせて収集した。資料を収集したダムの総数は合計31ダムである。

2.2 収集した資料の特徴

収集した各ダムの揚圧力測定データは、ダム軸方向のものと上下流方向のものに分類して整理した。各ダムにおける揚圧力の測定方法と、揚圧力の分布や大きさに影響を与えと考えられる基礎排水孔の配置、基礎岩盤グラウチングの施工パターンと実績、および地質条件の概要について表-2.1および表-2.2に整理する。

これらの収集した資料の特徴について以下に述べる。

(1) 揚圧力の測定方法

ダム軸方向に配置された基礎排水孔を利用した揚圧力の測定方法には、前述のように一斉閉塞法、隔孔閉塞法、特定孔閉塞法の3通りの方法がある。今回の調査では一斉閉塞法が14ダム、隔孔閉塞が6ダム、特定孔閉塞法が7ダムであった。ただし、管理の途中で閉塞方法を変更しているダムもいくつか認められた。

また、基礎排水孔を閉塞してから揚圧力を測定するまでの時間についても、各ダムでそれぞれ異なっており、時間の短いもので3分程度のものから、長いものでは5時間程度のもまで様々であった。また特定孔閉塞法によるダムの中にはその孔のみを常に閉塞しているダムもあった。

(2) 基礎排水孔の配置

基礎排水孔は、揚圧力の軽減を目的として、グラウトカーテンの下流側にダム軸方向に一定間隔で配置されている。この配置間隔はダムによって異なるが、概ね3～7.5mの範囲にあり、5m間隔のダムが最も多かった。また、基礎排水孔の基礎岩盤内への削孔深さは5～15m程度の範囲にあり、特定の傾向は見られなかった。なお、排水孔の孔径は $\phi 46 \sim 66$ mmのものが大半であった。

(3) 基礎岩盤グラウチングの施工パターン

基礎岩盤グラウチングは、図-2.1に示すように、ダムの上流面のフーチング上から施工される場合と、監査廊内から施工される場合とがある。また、双方を併用してカーテンを二重とする場合もある。この場合、一方が主カーテンで他方が副カーテンとなる。副カーテンは主カーテンに比較してグラウト孔間隔が粗く、施工深度も浅いのが一般である。今回調査したダムの中では、カーテンが一枚のものはいずれも上流面のフーチングから施工されており、正、副を問わず上流面のフーチングからのカ

表-2.1 ダム軸方向の揚圧力測定法と基礎岩盤グラウチングおよび地質の条件

ダム名	洪水開始年	堤高 (m)	基礎排水孔							カーテングラウチング							コンソリデーショングラウチング			地 質			
			本数 全体	揚圧力 測定孔	配置 間隔 (m)	深 さ (m)	外径 φ (mm)	閉塞 方法	閉塞 時間 h	補助カ ーテン の有無	施工位置	孔配置	孔間隔 (m)	P孔** 注入量 (kg/m)	ルジオン値**		施工深 (m)	施工 密度 (m ² /本)	注入量 (kg/m)	年 代	岩 種	断層,クラック等 地質上の特徴点	
															施工前 (Lu)	施工後 (Lu)							
岩 瀬	42	55.5	29	29	3.5	1.5	150	A	1h	無	上流端	単 列	1.5	85						中生代	砂岩・頁岩		
祝 子	47	60.0	26	26	5	5		A	30'	"	"	ちどり	1.5	247		0.5	7	9	114	中生代	砂岩,砂質頁岩,花崗斑岩		
石手川	48	87.0	35	35	7.5	1.5	46	A	4h	有	主:上流端 副:監査廊	"	0.75	14.0	3.5	0.3	7	6.25		中生代	黒雲母花崗岩,ホルンフェルス		
内 川	48	81.0	43	43	3	7	46	A	5h	"	監査廊	単 列	1.5	100以上	10以上	1以下	5	25	37.0	新第三紀中新世	石英安山岩,凝灰岩		
土 師	49	50.0	83	83	3	10	75	B	30'	無	上流端	ちどり	1.5	12.5			7	16~60	7.9	中生代白亜紀	花崗斑岩		
松 川	50	84.3	25	25	5			A	15'						7.0	1以下	10	16	22.6		花崗閃緑岩	ダム軸方向に弱層	
新 宮	50	42.0	22	22	5	5	46	A	30'	無	上流端	ちどり	1.5	22.8	3.9	0.7	5	16	13		砂岩		
輪 鶴 羽	50	42.0	27	27	5	5	66	A	15'	"	"	単 列	2.0	80	5.65	1.5	5	25	32.3	中生代白亜紀	砂岩,頁岩		
広 野	51	63.0	18	18	7.5	5	66	A	5h	"	"	"	2.0	21.53	2.72	0.79	5	25	11.7	中生代	粘板岩	ダム軸方向に弱層	
八 戸	52	72.0	37	24	3	10		A	3h	"	"	ちどり	1.5	70.0	2~5	2以下	7.5	4.5	26.2	中生代白亜紀	凝灰岩	河床に破砕帯	
正 木	52	69.0	31		6	15	50	C	1h	有	主:監査廊 副:上流端	単 列	1.5	126.0	6.55	1.06	7	12.5	60.0	中生代白亜紀	砂岩,頁岩	ダム軸方向に弱層	
大野川	53	47.5	23	23	6	10	65	A	4h	無	上流端	ちどり	0.75	23.0	3.8	2	5	8		新第三紀,中新世	変質安山岩	"	
胎内川	54	93.0	39	12	5	10		C	常時	"	"	単 列	1.5	41.8	7.64	1.48	5	25	約50	中生代二畳~石炭紀	砂岩,粘板岩		
刈谷田川	54	83.5	31	9	5	15	66	C	2h	"	上流端	単 列	1.0	32.0*	1.49*	0.63*	7	12.3	19.5	新第三紀鮮新世	安山岩		
早 出 川	54	82.5	42	13	5	7		C	5h	"	"	"	0.75	34.6	7.0	0.93	5	25	30.7	中生代二畳~石炭紀	砂岩,チャート		
亀 山	54	34.5	12	12	5	3	46	B	2h	"	上流端	複 列	0.625	41.8	4.45	2.11	5		15.3	新第三紀鮮新世	泥岩,砂岩	固結度の低い軟岩	
山 財	55	63.5	40	12	5			A	1h						10.7					中生代白亜紀	砂岩,頁岩		
魚 切	56	78.0	65	13	3	7~10BL10 それ以外5		C	3h30'	無	上流端	ちどり	1.5	12.1	4.0	0.48	7~10BL10 それ以外7	7~10BL9 それ以外18	32.4	"	黒雲母花崗岩		
野 村	56	60.0	49	49	5	7	46	A	1h	有	主:上流端 副:監査廊	ちどり	0.375	109.8	10.7	1.28	7	18.75	18.4	中~古生代 二畳~三畳紀	砂岩,粘板岩,石灰岩		
大 渡	56	96.0	69	69	5	20	46	B	1h	"	主:監査廊 副:上流端	単 列	1.0	1.3*	1.41	0.53	7	8	2.5	中~古生代	輝緑凝灰岩,砂岩,粘板岩		
茨 咀	56	35.5	36	36	5	5	46	A	2h	無	上流端	4 列	1.0	43.3	13.6	1.1	5	12.5	34.5	古第三紀	砂岩,泥岩,頁岩	固結度の低い軟岩	
綱 取	56	59.0	60	60	3	5	46	A	1h	"	"	ちどり	0.75	13.2*	3.3*	0.9*	7	18	10.9	古生代	輝緑凝灰岩		
滝	57	70.0	45	45	3	5		B	1h	"	"	"	1.0	(10)	1.1	0.5	7	12.5	21.9	中生代ジュラ紀	チャート,砂岩		
一 郎	57	75.0	48	48	5	10	66	B	3'	有	主:監査廊 副:上流端	単 列	1.5	77.4	4.9	1.4	8	8	29.2	古生代	粘板岩,粘板岩・砂岩互層		
安 波	57	86.0	49	16	5	10	66	C	1h	無	上流端	複 列	1.5	40	4	0.5	10~14	12.5~25	44	中生代白亜~三畳紀	千枚岩,粘板岩		
普久川	57	41.5	31	9	5	5	66	C	1h	有	上流端	"	1.5				5	25		"	千枚岩,粘板岩		
耶馬溪	59	65.0	49	24	5	5	66	B	1h	無	上流端	ちどり	0.5~1.0	13.8	1.59	0.58	10	12.5~21	21.9	第四紀更新世	凝灰角礫岩	固結度の低い軟岩	

※ A:一斉閉塞法
B:逐孔閉塞法
C:特定孔閉塞法

※※ 注入量,ルジオン値は1~3,4ステージ
(深度20m)の平均値。但し*印は全
ステージの平均値

表-2.2 上下流方向の揚圧力測定法と基礎岩盤グラウチングおよび地質の条件

ダム名	洪水開始年	測定ブロックNo	測定ブロック高(m)	揚圧力測定装置			ダム軸方向基礎排水孔		カーテングラウチング										コンソリデーショングラウチング			地		質 断層、クラック等地質上の特徴点
				揚圧力測定孔本数	間隙圧深さ(m)	水計埋設箇所数	配置間隔(m)	深さ(m)	孔径φ(mm)	補助カーテンの有無	施工位置	孔配置	孔間隔(m)	P孔注入量(kg/m)	ルジオン値		施工深さ(m)	施工密度(gm ² /m ²)	注入量(kg/m)	年	代	岩	種	
															施工前(Lu)	施工後(Lu)								
内川	48	3	81	5	7	-	3	5	56	有	監査廊	単列	1.5	100以上	10以上	1以下	5	25	21	新第三紀中新世		石英安山岩		
土師	49	11	48	7	10	-	3	10	75	無	上流端	ちどり	1.5	13			7	60	8	中生代白亜紀		花崗斑岩		
鯨石川	49	4	37	3	2.5	-	7.5	10		"	上流端	ちどり	0.5	17.2	9.3	5.8	5	9	61.2	新第三紀鮮新世		砂岩、シルト岩、礫岩	軟岩	
"	"	6	37	3	2.5	-	"	"		"	"	"	"	14.4	9.4	3.5	"	"	29.5	"		"	"	
広川	49	7	53.5	-	-	5	3			有	主:監査廊 副:上流端	単列	1.5	3.7		0.14		25	6.8	中生代		砂岩、頁岩		
早明浦	49	15	107	8	10~15	-	3	10~15	50	有	主:監査廊 副:上流端	ちどり	1.5	700	10	1.2	10	9	65	中生代		黒色片岩		
新宮	50	7	42.0	-	-	5	5	5	46	無	上流端	ちどり	1.5	23	4	0.7	5	16	13			砂岩		
松川	50	8	84.3	5		-	5								7.4	1以下	10	16	19.4			花崗閃緑岩	ダム軸方向に弱層	
速部	51	9	43	-	-	3	3			無	上流端	単列	1.5	25			5	8	25	新第三紀中新世		玄武岩質自破砕状溶岩		
広野	51	6	63	-	-	5	7.5	5	66	"	上流端	単列	2.0	16.5	1.89	0.44	5	25	23.8	古生代		粘板岩	ダム軸方向に弱層	
胎内川	52	9	91	3	10	-	5	10		"	上流端	単列	1.5	55.5	7.0	1.8	5	25	約50	中生代二疊~石炭紀		砂岩		
正木	52	8	60	2		-	6	15	50	有	主:監査廊 副:上流端	単列	1.5	109	9.4	0.99	7	12.5	60.6	中生代白亜紀		砂岩、頁岩	ダム軸方向に弱層	
大野川	53	7	44	2	10	3	6	10	65	無	上流端	ちどり	0.75	10	3	1.6	5	8		新第三紀中新世		変質安山岩	ダム軸方向に弱層	
龜山	54	6	34.5	3	3	-	5	3	46	"	上流端	2列	0.625	140	5	2.8	5		15.3	新第三紀鮮新世		砂岩、泥岩	軟岩	
刈谷田川	55	7	83.5	4	15	-	5	15	66	"	上流端	単列	1.0	26.2*	0.96*	0.79*	7	12.3	18.3	"		安山岩		
魚切	56	9	77.4	-	-	4	3	10	46	無	上流端	ちどり	1.5	7.5	3.98	0.47	10	9	23.2	中生代白亜紀		黒雲母花崗岩		
野村	56	11	59	2	7	-	5	7	46	有	主:上流端 副:監査廊	ちどり	0.375	213.5	10.7	1.21	7	18.75	24.3	古生代二疊~三疊紀		砂岩		
大波	56	9	93	3	20	-	5	20	46	"	主:監査廊 副:上流端	単列	1.0			0.93	0.66	7	8	2.8	中~古生代		輝緑凝灰岩 粘板岩、砂岩	
"	"	13	94.5	5	"	-	"	"	"	"	"	"	"		3.28	0.56	"	"	2.0	"		"		
滝	57	5	70	-	-	4	3	5	46	無	上流端	ちどり	1.0	(10)	2.6	0.5	7	12.5	29.6	中生代ジュラ紀		チャート		
一車	57	8	69	4	10	2	5	10	66	有	主:監査廊 副:上流端	単列	1.5	44.7	4.6	1.35	8	8	20	古生代		粘板岩、粘板岩・砂岩互層		
"	"	13	75	-	-	6	"	"	"	"	"	"	"	114.3	4.2	2.1	"	"	35	"		"		
"	"	14	73	4	10	-	"	"	"	"	"	"	"	101.3	6.1	2.0	"	"	20	"		"		
安波	57	5	55.5	-	-	5	5	10	66	無	上流端	複列	1.5	80	4.3	1以下	14	12.5	50	中生代白亜~三疊紀		千枚岩、粘板岩互層		
"	"	8	74.5	5	10	-	"	"	"	"	"	"	"	66	2	"	10	25	50	"		千枚岩互層		
"	"	10	86.5	-	-	7	"	"	"	"	"	"	"	10	1以下	"	14	12.5	10	"		"		
"	"	11	85.5	-	-	6	"	"	"	"	"	"	"	28	1	"	"	12.5	10	"		"		
耶馬溪	59	8	62.0	4	5	-	5	5	66	無	上流端	ちどり	0.5	13.4	2.6	0.31	10	12.5	17.0	第四期更新世		凝灰角礫岩	軟岩、ダム軸方向に弱層	
"	"	10	63.0	-	-	11	"	"	"	"	"	"	"	21.5	1.7	0.06	"	"	35.4	"		"	軟岩	
"	"	12	"	4	5	-	"	"	"	"	"	"	"	0.5~1.0	11.4	1.0	1.04	"	12.5~25	18.3	"		"	
"	"	14	"	4	5	-	"	"	"	"	"	"	"	0.5~1.0	17.0	0.8	0.49	"	"	16.7	"		"	

注入量、ルジオン値は1~3、4ステージ(深度20m)の平均値。但し*印は全ステージの平均値

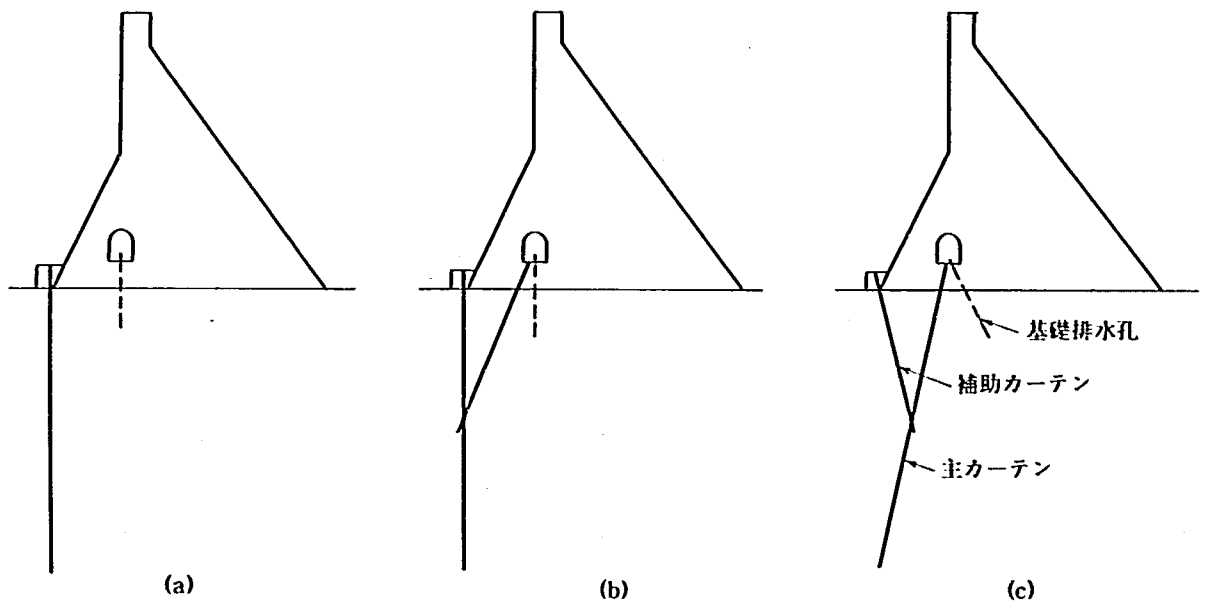


図-2.1 カーテングラウチングの施工位置の例

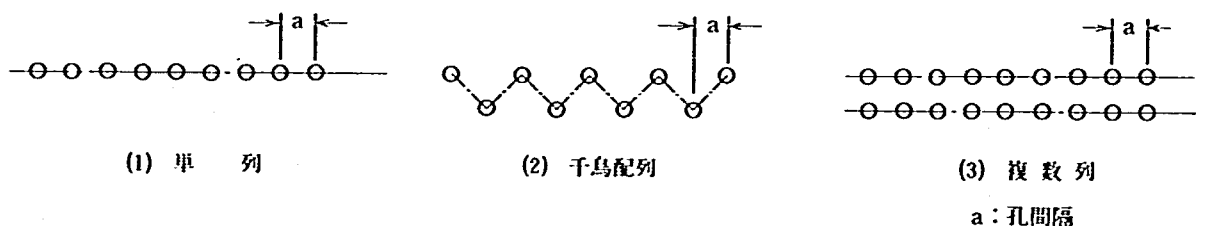


図-2.2 カーテングラウチングの孔配置と孔間隔

カーテンを有しないダムはほとんどなかった。カーテングラウチングの孔配置は単列のもの、千鳥配列のもの、複数列のものがあり、孔間隔は0.75～2.0 mの範囲のものが多かった。表-2.1に示す主カーテンの孔間隔の考え方は図-2.2に示すとおりである。

コンソリデーショングラウチングの施工密度は8～25 m² に1本程度の割合のものが多く、穿孔深度は概ね5～10 mの範囲であった。

(4) 基礎岩盤グラウチングの施工実績とこれに基づく岩盤分類

表-2.1および表-2.2におけるカーテングラウチングのパイロット孔(p孔)の単位セメント注入量およびルジオン値の値は、着岩面から深度20 mまでの範囲での平均値を示したものである。このp孔の単位セメント注入量とルジオン値の値は基礎岩盤の透水性を知るうえで重要な要素である。

今回の調査では、まず、基礎岩盤を硬岩と軟岩とに分類した。ここで、硬岩とは、岩片自体は緻密で難透水であり、亀裂が発達し、浸透水は主に岩盤中の割れ目内を流れるような岩盤として特徴づけられる。また軟岩とは、岩片自体の固結度が低く、亀裂が少なく、浸透水は岩盤の土粒子間の空隙を通過して流れるような岩盤として特徴づけられる。なお、同じ硬岩のなかでもp孔の単位セメント注入量やルジオン値が各ダムによって大きく異なっていることから、硬岩を透水性の高いものから順に硬岩Ⅰ、硬岩Ⅱ、硬岩Ⅲと3種類に分類することとした。分類の基準は以下のとおりである。

硬岩Ⅰ：カーテングラウチングのパイロット孔の深度20mまでの単位セメント注入量の平均値が100kg/mを越えるもの。または、施工前のルジオン値の平均値が10Luを越えるもの。

硬岩Ⅱ：硬岩Ⅰと硬岩Ⅲ以外の硬岩

硬岩Ⅲ：カーテングラウチングのパイロット孔の深度20mまでの単位セメント注入量の平均値が20kg/m以下のもの、または、施工前のルジオン値の平均値が2Lu以下のもの。

上記の基準を基にデータを分類すると表-2.3に示すようになる。

なお、カーテングラウチング施工後のルジオン値は、軟岩を除くほとんどのダムで2Lu以下となっており、カーテングラウチング施工後の基礎岩盤の透水性はいずれのダムでもほぼ同一条件と考えて差しつかえないようである。また、コンソリデーショングラウチングの単位セメント注入量とカーテングラウチングのパイロット孔の単位セメント注入量との間には相関が認められる。ただし、コンソリデーショングラウチングはカーテングラウチングに比較して施工間隔が粗く、また注入圧力も低いことから、コンソリデーショングラウチングが施工された岩盤の透水性がカーテングラウチング部分の岩盤の透水性と同程度まで改良されているとは考え難い。

表-2.3 グ라우チングの実績による基礎岩盤の分類

分 類	条 件	ダム軸方向断面	上 下 流 方 向 断 面 ()内はブロックNo
硬岩Ⅰ	カーテンP孔C>100kg/m または カーテンP孔Lu>10Lu	山財, 祝子, 内川, 野村 正木	内川(3), 正木(8), 野村(11) 一庫(13, 14), 早明浦(15)
硬岩Ⅱ	硬岩Ⅰ, Ⅲ以下の硬岩	松川, 新宮, 広野, 大野川 胎内川, 早出川, 安波, 岩瀬 菅久川, 論鶴羽, 八戸, 一庫	新宮(7), 松川(8), 遠部(9) 胎内川(9), 大野川(7), 大渡(13) 滝(5), 安波(5, 8), 一庫(8)
硬岩Ⅲ	カーテンP孔C<20kg/m または カーテンP孔Lu<2Lu	石手川, 土師, 刈谷田川, 魚切, 大渡, 網取, 滝	土師(11), 広川(7), 広野(6) 刈谷田川(7), 魚切(9), 大渡(9) 安波(10, 11)
軟 岩	新第三期以降の堆積岩類	亀山, 美唄, 耶馬溪	鯖石川(4, 6), 亀山(6) 耶馬溪(8, 10, 12, 14)

2.3 揚圧力の統一測定法

2.2項で述べたように各ダムにおける揚圧力の測定方法には、基礎排水孔の閉塞方法や閉塞時間にかなりの違いがあり、これらの測定データを同一レベルで比較検討するには問題があった。そこで、調査の対象とした全てのダムに対して、同一の方法による揚圧力の測定を依頼した。

この方法は、ダム軸方向の基礎排水孔については隔孔閉塞、上下流方向の揚圧力測定孔については一斉閉塞とし、閉塞後24時間後の値を測定するものである。また、間隙水圧計については基礎排水孔が開いている状態と隔孔閉塞の状態との双方の値を測定するものとした。測定方法の詳細を表-2.4に示す。

表-2.4 統一測定法による揚圧力の測定要領

測定実施要領

測定方法

1. 測定①

- 上下流方向（クロスギャラリー）に配置された揚圧力測定孔を一斉に閉塞し、24時間後に揚圧力を測定する。
- 同時に間隙水圧計による測定を行う。

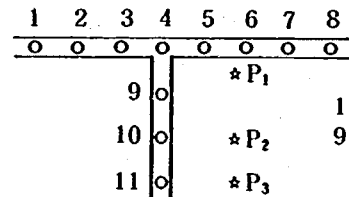
2. 測定②

- ダム軸方向の基礎排水孔を隔孔（一孔おき）閉塞し、上下流方向の揚圧力測定孔は閉塞したまま、24時間後に揚圧力を測定する。
- 同時に間隙水圧計による測定を行う。

3. 測定③

- 2の項で閉塞しなかったダム軸方向の基礎排水孔を閉塞（隔孔）し、上下流方向の揚圧力測定孔は閉塞したまま24時間後に揚圧力を測定する。
- 同時に間隙水圧計による測定を行う。

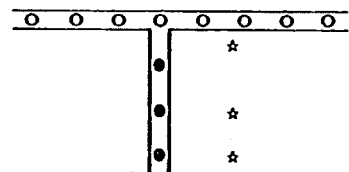
測定例



○基礎排水孔または揚圧力測定孔
★間隙水圧計

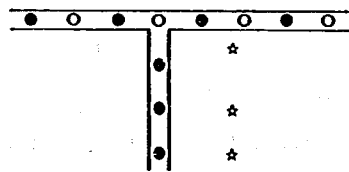
1～8 ダム軸方向
9～11 上下流方向

〔1日目〕9, 10, 11を閉塞する。



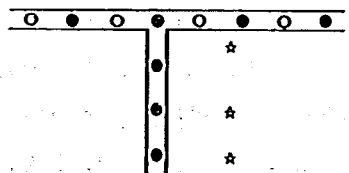
24時間

〔2日目〕9, 10, 11, P_1 , P_2 , P_3 を測定。
新たに1, 3, 5, 7を閉塞する。



24時間

〔3日目〕1, 3, 5, 7, 9, 10, 11, P_1 , P_2 , P_3 を測定。1, 3, 5, 7を開け、2, 4, 6, 8を閉塞する。



24時間

〔4日目〕2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, P_1 , P_2 , P_3 を測定。全ての基礎排水孔、揚圧力測定孔を開ける。

3. 調 査 結 果

3.1 基礎排水孔の閉塞時間と揚圧力

基礎排水孔を利用して揚圧力分布を測定する場合、基礎排水孔を閉塞してから揚圧力が上昇して定常状態に達するまでには、ある程度の時間が必要である。ここではデータを収集した各ダムでの閉塞時間と揚圧力測定値の定常度（定常状態への到達の程度）との関係について調査した結果を述べる。ただし、揚圧力の値は（基礎排水孔の孔口で測定される孔口圧力）+（ドレーン水頭に相当する圧力）で示されるが、このうちの「ドレーン水頭」の値は基礎排水孔の閉塞時間に無関係で一定値であることから、測定値の定常度を検討する場合には「孔口圧力」についてのみ、着目すればよい。したがって、ここでは孔口圧力の定常度と閉塞時間との関係について検討した結果を述べる。

隔孔閉塞法および特定孔閉塞法によって得られる測定値については、2.3項で述べた「統一測定法（隔孔閉塞、24時間後に測定）」によって得られる値を最終安定値とみなし、この値との比較から測定値の定常度の評価を行うことができる。表-3.1は、各々のダムごとに、通常の閉塞時間で測定される孔口圧力と、24時間閉塞した後の孔口圧力との比率の平均値を求めたものであり、この値と閉塞時間との関係をみたものである。表中の「測定値の評価」の項では、この比率の値が0.85以上をほぼ定常な状態（○）、0.7~0.85をやや過度的状態（△）、0.7以下を過度的状態（×）として評価した。基礎排水孔の閉塞時間と測定値の定常度の関係は、ダムサイトの地質条件や基礎岩盤グラウチン

表-3.1 基礎排水孔の閉塞時間と揚圧力測定値の定常度
（隔孔閉塞、特定孔閉塞の例）

ダ ム 名	基礎排水孔 閉 塞 時 間	通常測定値 24 h 測定値	測 定 値 の 評 価
早 出 川	5 h	0.86	○
胎 内 川	4 h	0.88	○
魚 切	3 h 30'	0.90	○
刈谷田川	2 h	0.88	○
亀 山	"	0.84	△
耶 馬 溪	1 h	0.93	○
正 木	"	0.86	○
普 久 川	"	0.82	△
安 波	"	0.80	△
滝	"	0.78	△
大 渡	"	0.68	×
土 師	30'	0.60	×
一 庫	3'	0.72	△

凡例 ○：定常な状態
△：やや過度的状態
×：過度的状態

グの効果等にかなり影響を受けるものと思われるが、今回の測定結果では、閉塞時間が1時間以下になると、過度的状態(×)のものや、やや過度的状態(△)のものが多かった。

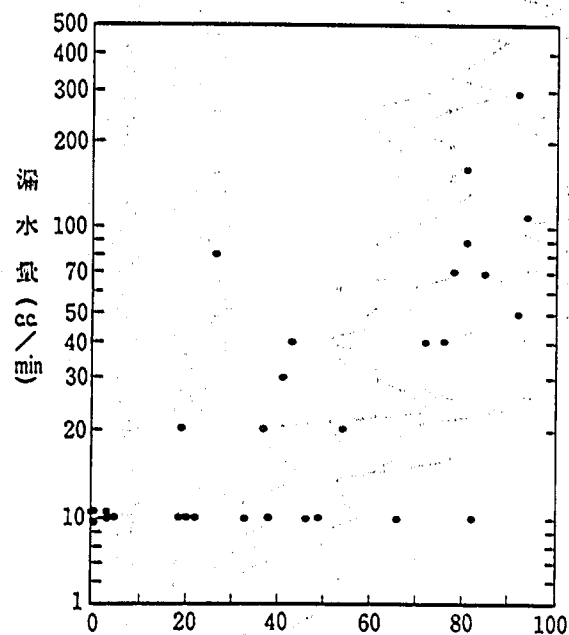
次に、基礎排水孔を閉塞してから孔口圧力が安定するまでの時間と基礎排水孔から排出される漏水量との関係について検討した結果を述べる。表-3.1の中で、通常の測定時における孔口圧力の値がやや過度的状態にあると評価されたダムについて、各基礎排水孔ごとに、通常の閉塞時間で得られる孔口圧力の値と24時間閉塞後の値との比率を求め、その値と、その孔における漏水量との関係をみてみたものを図-3.1(1)~(3)に示す。なお、図は圧力計(ブルドン管)の精度を考慮して孔口圧力の測定値が 0.4 kgf/cm^2 以上のデータのみを対象としてプロットしている。これらの図から明らかなように、通常測定値の最終安定値に対する割合が小さいものは、漏水量の少ない孔に多いようであり、孔口圧力が安定するまでに必要な時間と漏水量との間には負の相関があることがわかる。

3.2 貯水位の変化に対する揚圧力の追従性

図-3.2は初期湛水における貯水位と揚圧力の時刻歴を示した例である。このうち図-3.2(1)の例は、貯水位の変化によく追従して揚圧力が変化している例である。これに対して図-3.2(2)の例は、貯水位の上昇に対して揚圧力の上昇に遅れが認められる例である。このような揚圧力の変化に遅れが生じる原因としては、湛水初期において岩盤内の空隙(亀裂)が不飽和状態であるような場合には、浸透流が定常流となるまでに時間がかかること、また、間隙水圧の上昇に伴って岩盤内の空隙幅が変化すること等が考えられる。ただし、このような例は稀であり、一般的には、揚圧力は貯水位の変化に連動した動きを示すものと考えてよい。

次に、貯水位と揚圧力との関係をさらによくみるために、横軸に揚圧力、縦軸に貯水位をとって、双方の関係をプロットした例を図-3.3に示す。このうち(1)、(2)の例は、データにある程度のバラツキはあるものの、貯水位と揚圧力との関係が概ね直線的な関係にある例であり、多くのダムのデータは、このようにほぼ直線的な関係を示していた。

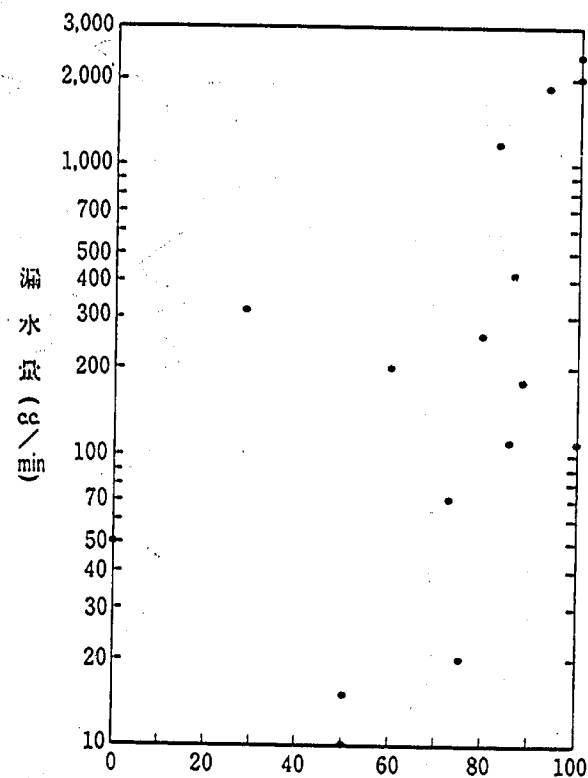
これに対して図-3.3(3)、(4)は、貯水位と揚圧力との関係が直線的でない例である。この図-3.3(3)、(4)はAダムの基礎排水孔および間隙水圧計によって得られる揚圧力値と貯水位との関係を示したものであるが、貯水位がE.L. 210mを超えるあたりから揚圧力の増加率が大きくなっている。貯水位の上昇に伴って揚圧力の増加率が多少大きくなる傾向は、初期湛水時にいくつかのダムで認められるが、図-3.3(3)、(4)のように極端な例は極めて稀である。このダムでは貯水位を低下させると揚圧力はもとの経路をたどって小さな値に戻っており、貯水位と揚圧力との関係が直線とならない現象が、パイピング等によって新たな浸透流経路が生じたためとは考えにくい。このような傾向を示す原因について、ここで断定することは難しいが、一因として、貯水位の上昇によって堤体上流端付近の基礎岩盤に作用する応力が次第に減少し、この結果、堤体基礎面付近の岩盤の割れ目の状態が変化し、これが揚圧力の大きさに影響を与えていることが考えられる。



基礎排水孔閉塞30分後の孔口圧力
基礎排水孔閉塞24時間後の孔口圧力 $\times 100(\%)$

データ：S58.8.8 隔孔閉塞 30'
S58.8.10~11 隔孔閉塞 24h

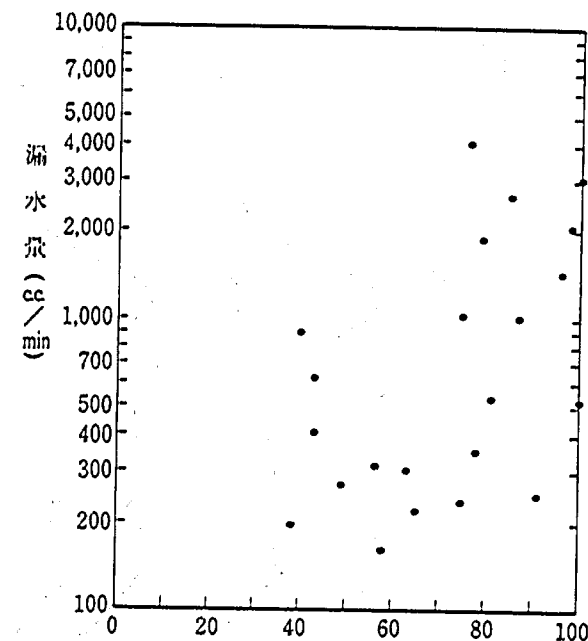
(1) 土師ダム



基礎排水孔閉塞1時間後の孔口圧力
基礎排水孔閉塞24時間後の孔口圧力 $\times 100(\%)$

データ：S58.7.27 隔孔閉塞 1h
S58.8.4~5 隔孔閉塞 24h

(2) 滝ダム



基礎排水孔閉塞3時間後の孔口圧力
基礎排水孔閉塞24時間後の孔口圧力 $\times 100(\%)$

データ：S.58.7.25 隔孔閉塞 3h
S.58.7.26~27 隔孔閉塞 24h

(3) 一庫ダム

図-3.1 揚圧力測定値の安定性と漏水量の関係

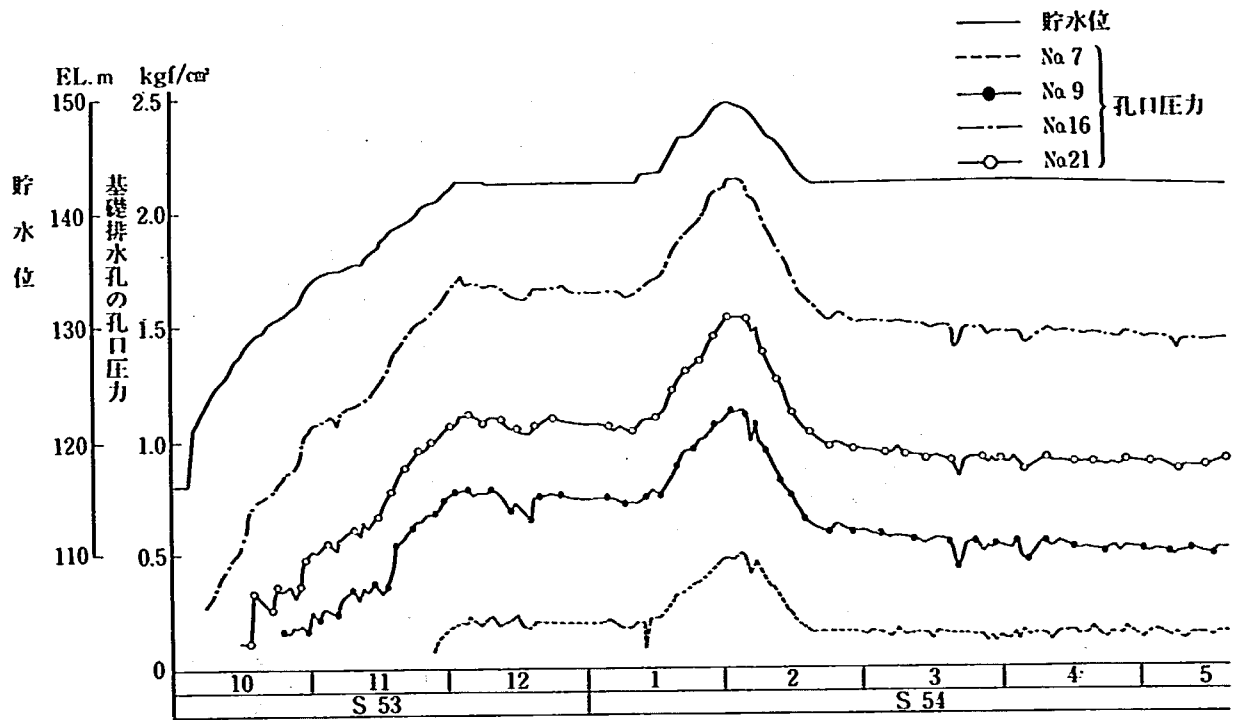


図-3.2(1) 貯水位の変化と揚圧力の追従性(大野川ダムの例)

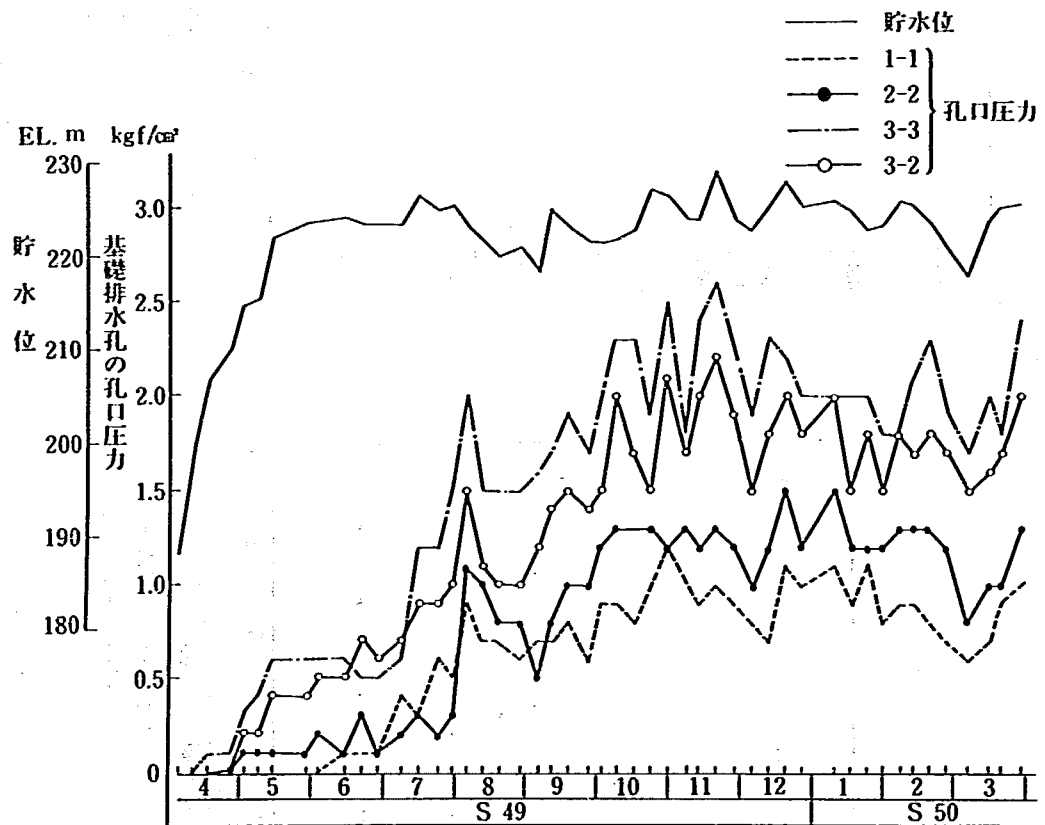
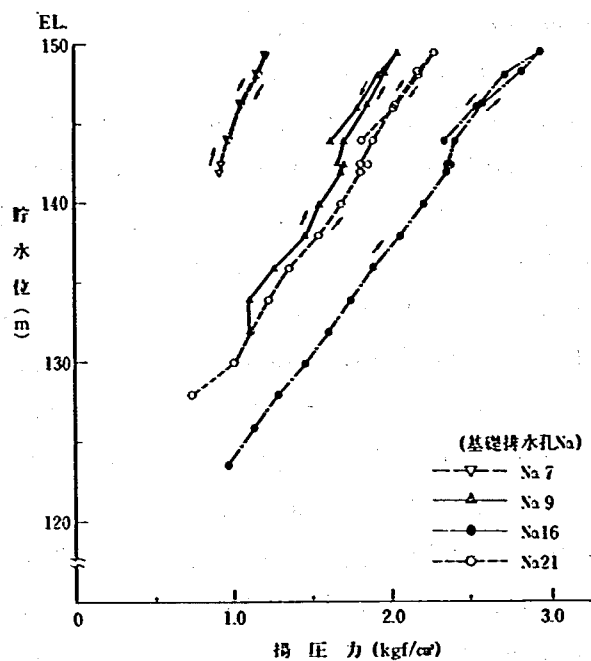
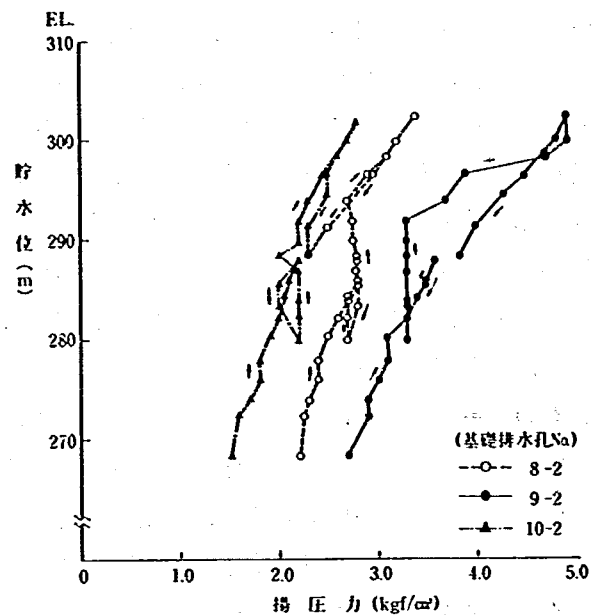


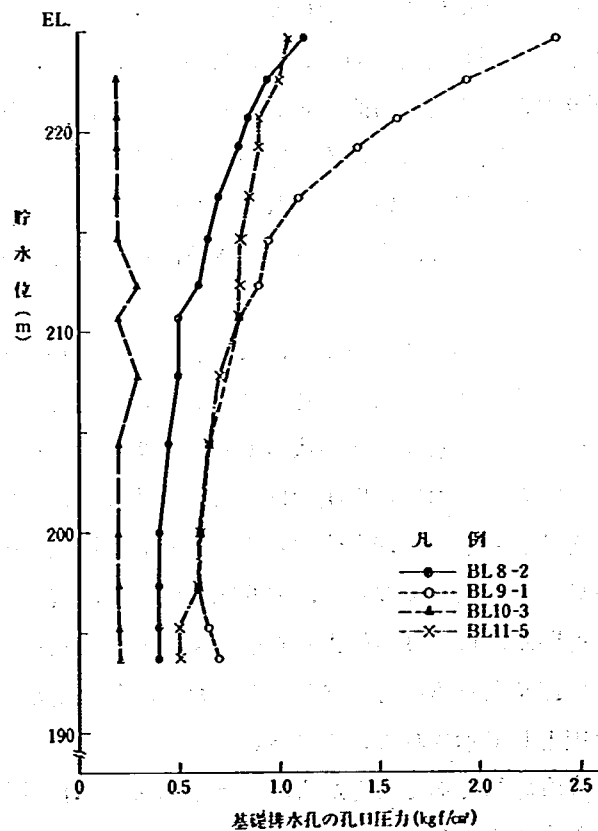
図-3.2(2) 貯水位の変化と揚圧力の追従性(内川ダムの例)



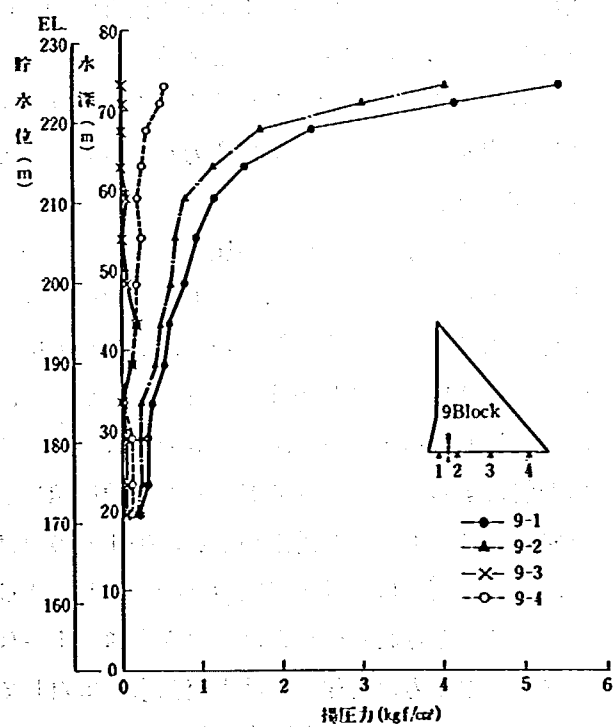
(1) 大野川ダム (S53. 9~54. 2)



(2) 胎内川ダム (S51. 5~11)



(3) Aダムの基礎排水孔



(4) Aダムの間隙水圧計

図-3.3 貯水位と揚圧力の関係

3.3 基礎排水孔の閉塞状態のちがいと揚圧力の特徴

付図-1.1は揚圧力の値をその断面における上流端圧力(上流側の貯水深に相当する圧力)に対する割合(%)で示し、ダム軸方向の揚圧力分布をいくつかの貯水位に対して示したものである。このうち付図-1.1(1)~(9)は基礎排水孔の一斉閉塞法によって得られた揚圧力分布であり、付図-1.1(10)~(34)は隔孔閉塞法または特定孔閉塞法によって得られた揚圧力分布である。なお、図番は基礎排水孔の閉塞時間の長いものから順につけてある。この中で、(1)~(6)の図は一斉閉塞法の中でも閉塞時間が比較的長く、測定値が定常状態に近いものであるが、貯水位の変化に関係なく上流端圧力(上流側の貯水深に相当する圧力)に対する揚圧力の割合はほぼ一定値を示している。同じ一斉閉塞法の結果でも、付図-1.1(7)~(9)のように閉塞時間がやや短いものの中には揚圧力の割合が一定値となっていないものがあるが、これは揚圧力が十分に安定していない状態で測定しているためと考えられる。これに対して、隔孔閉塞法または特定孔閉塞法によって測定されている付図-1.1(10)~(34)では、閉塞時間が長いものであっても、貯水位が高くなるほど、上流端圧力(上流側の貯水深に相当する揚圧力)に対する揚圧力の割合は小さくなる傾向があり、一斉閉塞法とは異なった特性を示している。

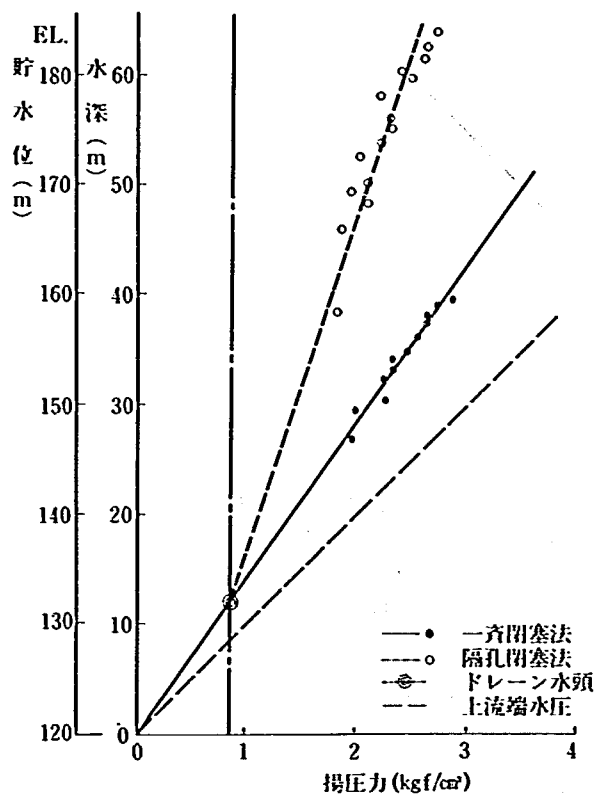
正木ダムと刈谷田川ダムでは、初期湛水時に一斉閉塞法と隔孔閉塞法の2つの方法によって揚圧力の測定を行っており、基礎排水孔の閉塞方法の違いによる特性を詳細に検討することができる。図-3.4は、2ダムの代表的な基礎排水孔において、一斉閉塞法と隔孔閉塞法のそれぞれについての揚圧力と貯水位との関係を示したものである。グラフは、横軸に堤体基礎面に作用する揚圧力(基礎排水孔の孔口圧力+ドレーン水頭に相当する圧力)を示し、縦軸には上流側水位を基礎排水孔の着岩面標高を原点にとって示している。この図から、一斉閉塞法と隔孔閉塞法の違いをみると、まず、一斉閉塞法における揚圧力と上流側水位との関係はグラフの原点を通る直線として示されるが、隔孔閉塞法におけるこの関係は原点を通る直線とはならず、一斉閉塞法における揚圧力を表わす直線とドレーン水頭を表わす直線とが交差する点から立ち上がる直線となっている。これは、基礎排水孔が浸透水を排出することによって揚圧力を軽減している機能を考えれば、容易に理解できる。以下にその解説を述べる。

図-3.4に示す貯水位と揚圧力との関係を模式的に示すと図-3.5のようになる。ここで、基礎排水孔が隔孔閉塞の状態であっても、貯水位が低く、浸透水が基礎排水孔の孔口に達しない状態では、基礎排水孔の効果は生じないから、この時の揚圧力は、基礎排水孔がない状態(基礎排水孔を一斉に閉塞した状態)と同じ条件となる。したがって、隔孔閉塞法における揚圧力は一斉閉塞法における揚圧力と等しい値となり、図-3.5のOAの経路をたどる。しかし、貯水位がさらに上昇して揚圧力の値が隣接する基礎排水孔のドレーン水頭に相当する値よりも大きくなると、隔孔閉塞法では隣接する基礎排水孔のドレーン効果が現れ、揚圧力の値は一斉閉塞法における値よりも小さくなる。したがって、隔孔閉塞法における揚圧力は図-3.5のACの経路をたどることになる。このため、隔孔閉塞法によって測定される揚圧力は図のAを通るような直線として示されるのである。

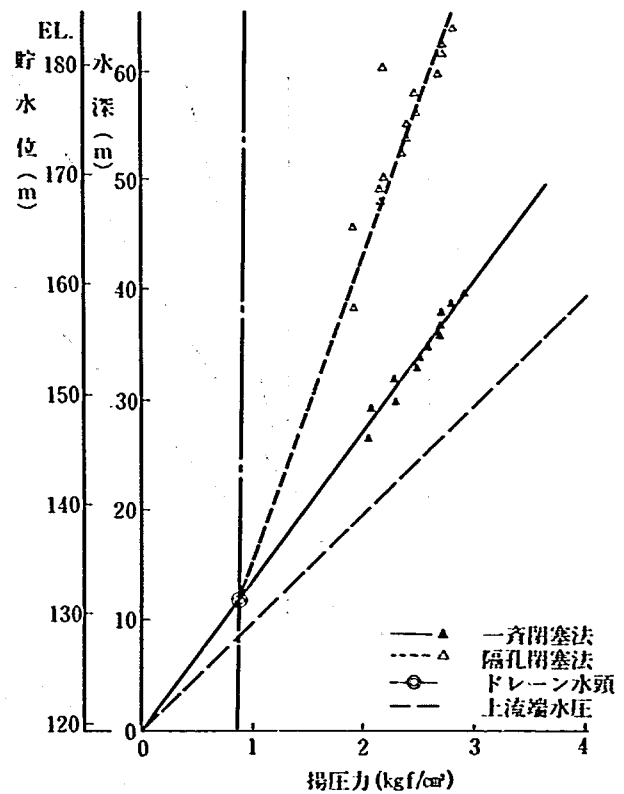
なお、揚圧力の変化傾向は上流側水位に対してほぼ直線的であることから、一斉閉塞法と隔孔閉塞法によって測定される揚圧力の値は次式によって表現することができる。

一斉閉塞法によって得られる揚圧力：

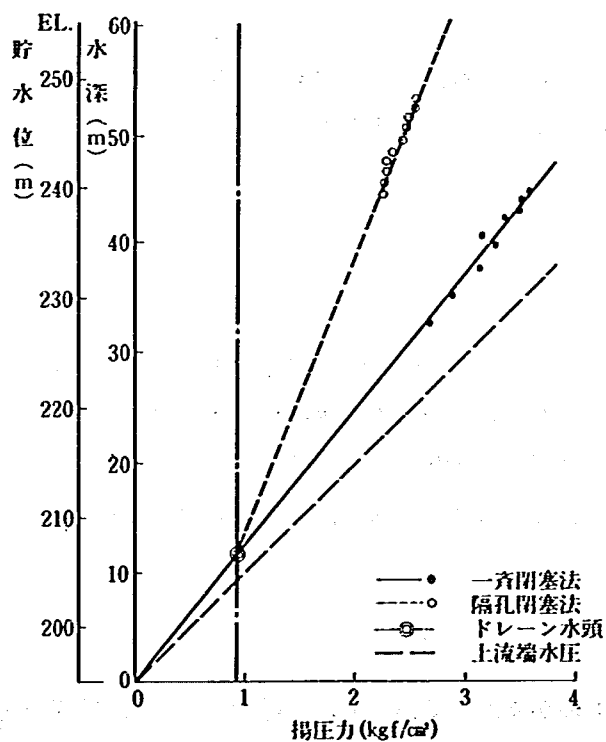
$$p_1 = k_1 \cdot \gamma_w \cdot H \quad \dots\dots\dots (3.1)$$



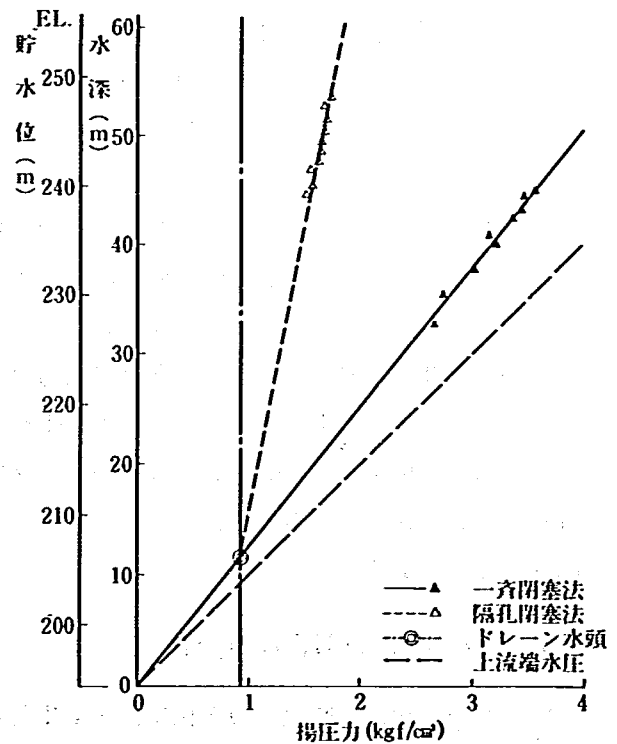
(1) 正木ダムBL7-3



(2) 正木ダムBL8-2

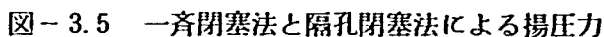


(3) 刈谷田川ダムBL7-1



(4) 刈谷田川ダムBL7-2

図-3.4 貯水位と揚圧力の関係（一斉閉塞法と隔孔閉塞法の比較）


$$p_2 = k_2 (k_1 \cdot \gamma_w \cdot H - p_d) + p_d \dots\dots\dots (3.2)$$

k_1 : 岩盤の透水性状によって定まる揚圧力係数 (図-3.5に示す b/a の値)

p_d : ドレーン水頭に相当する圧力 ($= \gamma_w h_d$)

 γ_w : 水の単位体積重量

付図－1.2(1)～(3)は、上下流方向の揚圧力分布について、ダム軸方向の揚圧力と同様に、上流側水位との関係を示したものである。付図1.2(1)～(4)はダム軸方向の基礎排水孔が一斉閉塞の状態にある場合であり、付図－1.2(5)～(7)は隔孔閉塞の状態、付図－1.2(8)～(9)は全開状態（通常の基礎排水が行われている状態）のものである。貯水位と揚圧力との関係はダム軸方向の揚圧力分布の特徴とほぼ同様の傾向にある。

揚圧力の変化は、貯水位の変化によって生じるものが支配的であって、一般的には季節的な変動を示すことはないと考えてよい。しかし、今回調査を行った中には、季節的な変動を示すダムが2例あった。

- 20 -

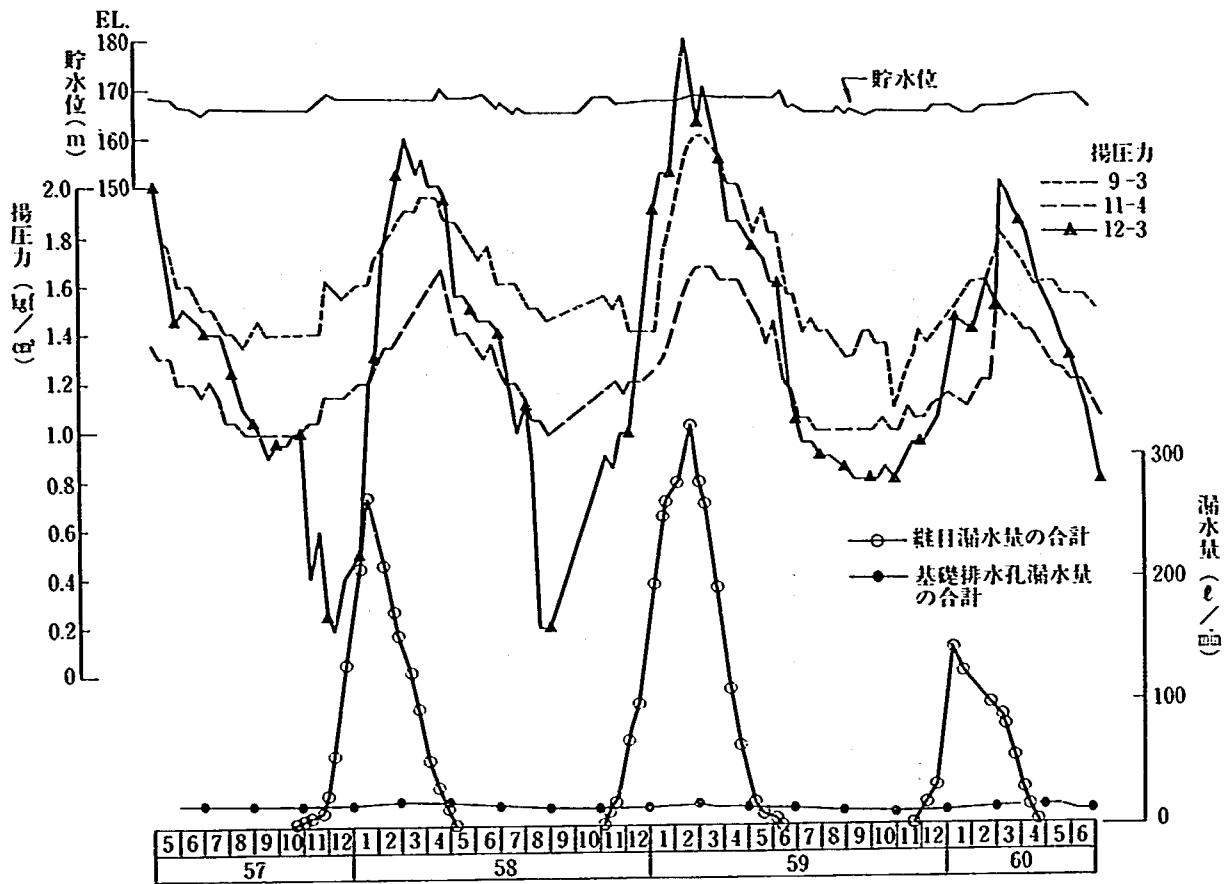


図-3.6 揚圧力の季節的变化と継目漏水量との関係 (Bダムの例)

揚圧力の値は3月頃に大きく、9月頃に小さくなり、明らかに季節的な変動を示している(図-3.6に示す揚圧力の測定位置は図-3.8参照)。この図-3.6には漏水量の変化もあわせて示しているが、このうち堤体横継目における継目排水工の半割管からの漏水量の合計値は、いずれの年でも10月~11月頃から増加し、1~2月頃に最大となっており、この時期は揚圧力の上昇時期と概ね一致している。また、各年における継目漏水量のピーク値は昭和59年、58年、60年の順で小さくなっているが、この傾向も揚圧力のピーク値の傾向と一致している。これらのことから考えると、揚圧力と継目漏水量との間に何らかの関係がありそうである。

このBダムにおける横継目の排水工(半割管)の配置は図-3.7に示すようになっており、設計上は半割管内に流入した浸透水は中段監査廊および下段監査廊に排出される構造となっていた。ところが、試験湛水を行ったところ、下段監査廊で相当量の漏水が見られ、このため半割管の下段監査廊への排出口を閉塞した経緯がある。したがって、横継目からの漏水は中段監査廊の半割管からのみ排出される構造となっており、図-3.6に示している継目漏水量とは、この中段監査廊に排出される漏水量の値である。このことから、中段監査廊よりも低い標高では、横継目内に侵入した浸透水は容易に排出されないから、横継目内には自由水面が形成されていることが想定される。そして、この自由水面は、横継目の開度の季節的变化によってその高さが変動すると考えられるから、この横継目内の自由水面によって生じる揚圧力を基礎排水孔で測定しているとすれば、揚圧力の季節的な変動を説明することができる。なお、揚圧力の季節的な変化量の大きさと横継目との位置的關係についてみると、図

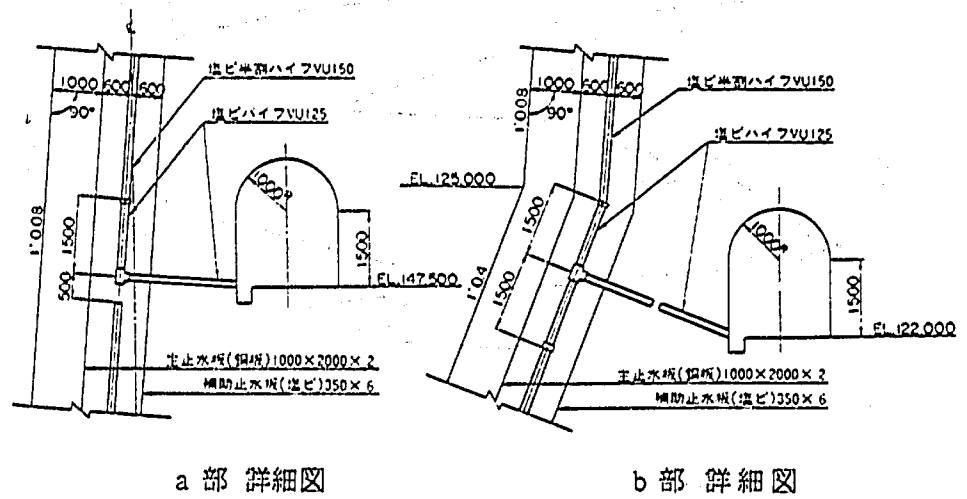
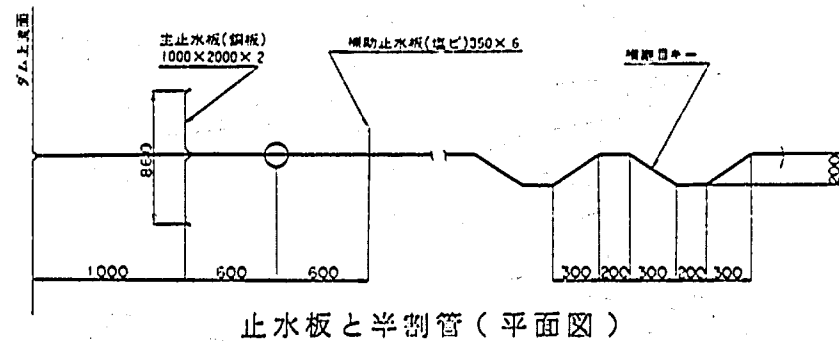
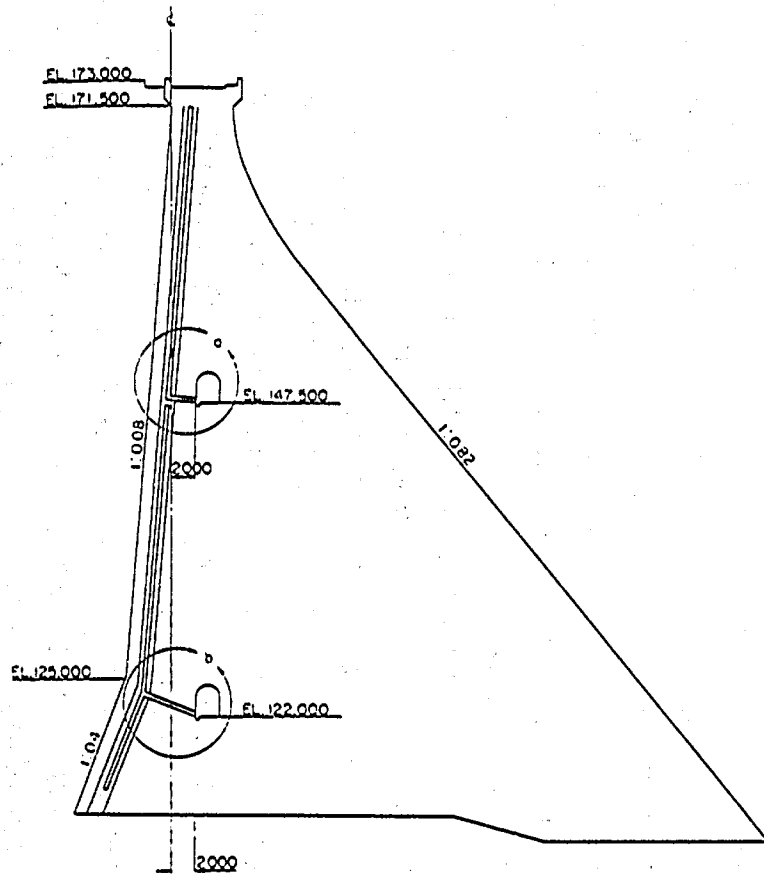


図-3.7 Bダムにおける継目排水工の構造

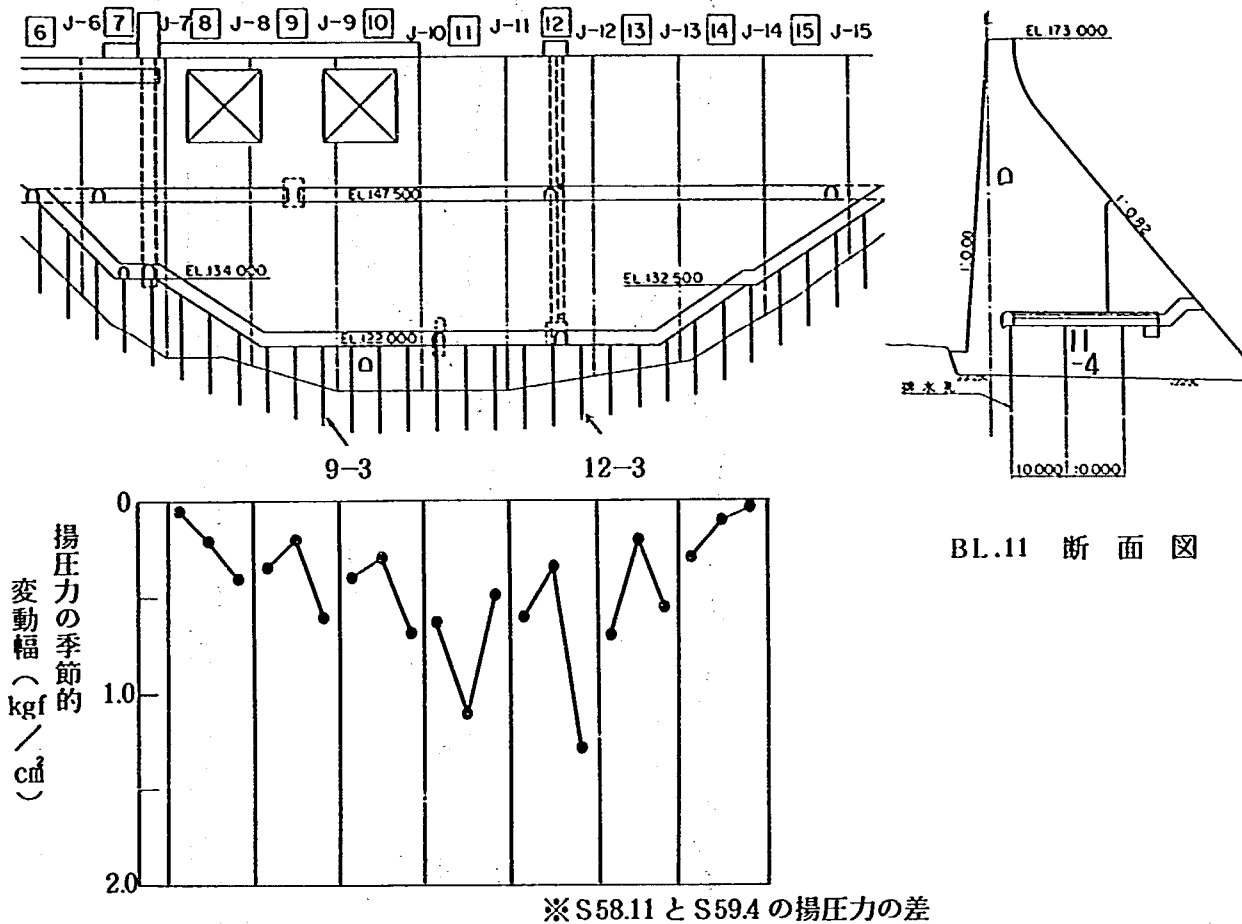


図-3.8 揚圧力の季節的変化と横継目の位置との関係 (Bダム)

図-3.8に示すように11ブロックを除くほとんどのブロックで、ブロック中央部よりもブロック端部（横継目に近い部分）で大きな変動を示しており、このことから横継目内の自由水面が揚圧力の季節的変動を引き起こす原因となっていることが裏付けられる。

次にCダムの揚圧力の季節的変動の例を図-3.9に示す。このCダムは、横継目内に継目排水工を有しておらず、Bダムと同様に横継目内の比較的高い位置に自由水面が形成されていることが考えられる。但し、このダムでの揚圧力は2月に小さく7月に大きくなっており、この時期はBダムとは異なっている。この理由は必ずしも明らかでないが、一つの推論として次のようなことが考えられる。すなわち、上流側から横継目内への浸透水の供給が年間を通じてある程度あるとすれば、横継目内の自由水面の高さは浸透水が下流面へ抜けやすいかどうかによって決まることになる。したがって、外気温の影響によって堤体コンクリートが膨張し継目が閉じる夏季には自由水面が高くなり、また継目が開く冬季には自由水面が低くなり、これが測定される揚圧力の変動に関係しているものと考えられる。

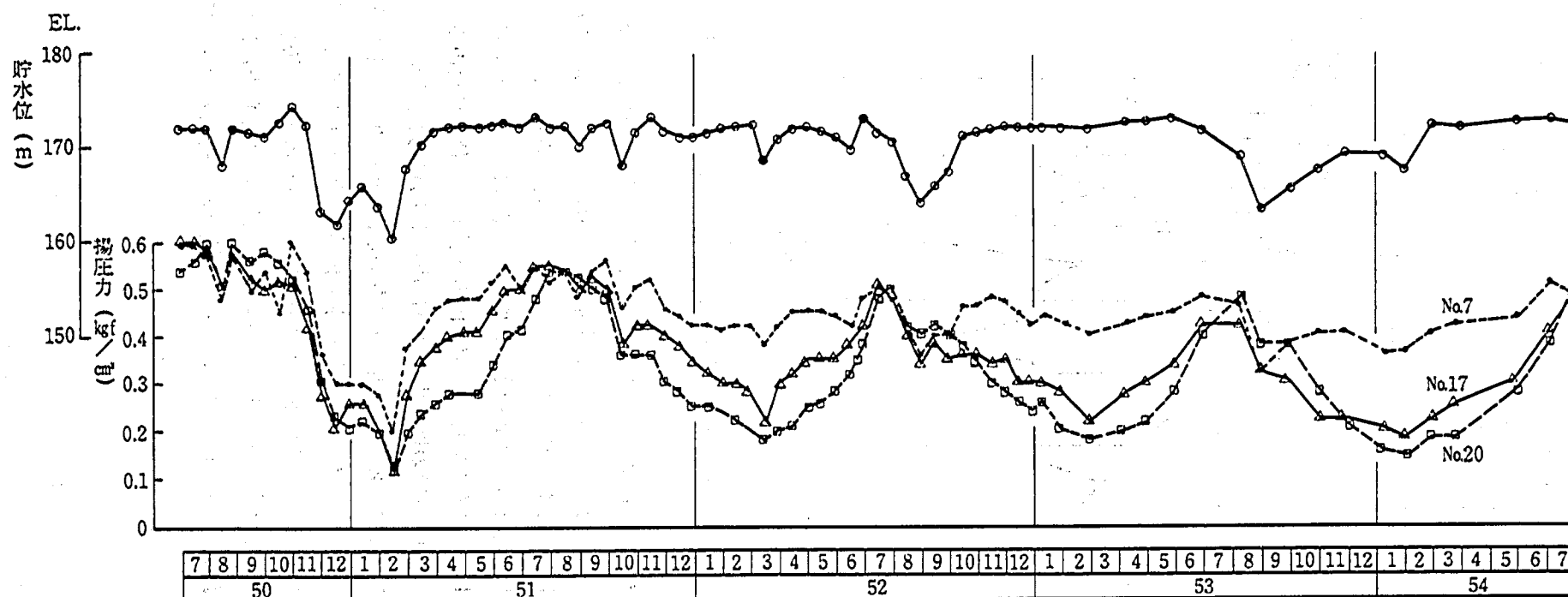


図-3.9 揚圧力の季節的な変化 (Cダムの例)

3.5 経年的な揚圧力の変化

揚圧力の変化は貯水位の変化によって生じるのが一般的である。しかし、ダムの完成後数年が経過すると、貯水池に流れ込んだ土砂などの微細な粒子によって基礎岩盤内の亀裂に目詰まりが生じ、これによって揚圧力が変化することが考えられる。

付図-2.1及び2.2は、揚圧力の経年的な変化を検討するために、ダム完成当初と完成後数年経過した後の揚圧力を比較したものである。このうち付図2.1(Ⅰ)~(Ⅵ)はダム軸方向の揚圧力分布を示したものであり、付図-2.2(Ⅰ)~(Ⅲ)は上下流方向の揚圧力分布を示したものである。これらの図から、それぞれのダムにおける揚圧力の変化率を求めると、ダム軸方向の分布については表-3.2(Ⅰ)、上下流方向の分布については表-3.2(Ⅱ)に示すようになる。表中の揚圧力の値は、ダム軸方向については、各排水孔ごとに対応する上流端の揚圧力(上流側の貯水深に相当する圧力)に対する割合を求め、この値の平均値を示したものであり、上下流方向については、上・下流端の揚圧力の値(上・下流側の水深に相当する圧力)を直線で結んだ揚圧力の分布を100%の揚圧力とし、これに対する割合を示したものである。

この表-3.2(Ⅰ)、(Ⅱ)からわかるように、揚圧力の経年的な変化は減少傾向を示すもの、ほとんど変化しないもの、増加の傾向を示すものなど様々である。この増減傾向と地質との関係についても、全体的には明確な関係は認められなかった。これは、揚圧力の増減が基礎岩盤の地質条件以外に貯水池内に堆積する土砂等の厚さや性状に大きく影響されるためと考えられ、これらの関係については今後さらに検討が必要である。ただし、軟岩を基礎とするダムでは、揚圧力が徐々にではあるが増加していく傾向が現れており、この点については、この種の岩盤では岩石自体の固結度が低く、浸透水が岩石内の間隙を浸透するため、岩石内の空隙が浸透水によって完全に飽和し、浸透流が定常状態に達するまでに長い期間を必要とすることが考えられる。

表-3.2(Ⅰ)には揚圧力のほかに基礎排水孔からの漏水量の経年変化も併せて示しているが、この漏水量の変化はいずれのダムでも減少の傾向を示しており、その減少率は揚圧力に比較して大きなものとなっている。漏水量が減少する理由としては、貯水池内に堆積した土砂などによって岩盤内の亀裂が閉塞されることのほかに、遊離石灰等の付着によって基礎排水孔の有効径が狭くなっていることが考えられる。このうち、後者の場合には基礎排水孔の機能を低下させ、揚圧力を増加させる要因となるので十分な注意が必要である。このため、基礎排水孔の管内は定期的に清掃することが可能な構造とすることが望ましい。

また、漏水量が減少することに起因して、注意しなければならないことがある。それは、漏水量が変化することによって、基礎排水孔を閉塞してから揚圧力が一定値に達するまでの時間が変化している可能性があることである。1.3項で述べたように、漏水量の少ない孔ほど揚圧力が一定値に達するまでに長い時間を必要とする傾向があり、したがって、漏水量が減じた後も以前と同じ閉塞時間で揚圧力を測定していると、漏水量の減少に伴って揚圧力の測定値が本来の揚圧力の値よりも次第に小さな値となっている可能性がある。この点については今回の調査では詳細な検討は行っていないが、各ダムにおいては、基礎排水孔の閉塞時間と揚圧力との関係について定期的に調査し、揚圧力が安定するまでの時間を常に把握しておくことが望ましい。

表-3.2(1) 揚圧力の経年変化(ダム軸方向分布)

ダム名	基礎排水孔			測定値						変 化 率			岩 盤 性 状			参 照
	配置 間隔 m	孔径 φ m/m	閉塞法	完 成 当 初			数 年 後			比較 年数 (年)	揚圧力 c/a (%)	漏水量 d/b (%)	透水性 の分類	岩 種	特 徴	付 図 No
				年・月	揚圧力* a (%)	漏水量** b (ℓ/min)	年・月	揚圧力* c (%)	漏水量** d (ℓ/min)							
岩 瀬	3.5	150	一斉 閉塞	S43.7	53.4	7.9	S57.2	29.6	0.27	14	55.4	3.4	硬Ⅱ	砂岩, 頁岩		2.1(1)
祝 子	5		"	S47.7	41.1	17.3	S57.2	29.0	6.30	10	70.6	36.3	硬Ⅰ	砂岩, 砂質頁岩, 花崗斑岩		2.1(2)
諭 鶴 羽	5	66	"	S50.6	38.3		S53.6	27.6		3	72.1		硬Ⅱ	砂岩, 頁岩		2.1(3)
山 財	5		"	S55.4	31.7	1.9	S57.2	23.7	0.67	2	74.7	34.5	硬Ⅰ	" "		2.1(4)
石 手 川	7.5	46	"	S48.4	32.9		S57.2	26.1		9	79.3		硬Ⅲ	黒雲母花崗岩, ホルンフェルス		2.1(5)
大 野 川	6	65	"	S53.12	67.9	52.6	S57.1	54.5	40.4	3	80.3	77.0	硬Ⅱ	変質安山岩	ダム軸方向に断層	2.1(6)
広 野	7.5	66	"	S51.2	57.1	123.5	S53.2	46.6	53.4	2	81.6	43.3	"	頁岩	"	2.1(7)
八 戸	3		"	S52.3	36.6	7.9	S55.4	31.9	4.6	3	87.2	58.0	"	凝灰岩		2.1(8)
新 宮	5	46	"	S52.2	40.9		S58.7	35.7		6	87.3		"	砂岩		2.1(9)
松 川	5		"	S50.5	53.1	65.1	S55.5	58.0	53.5	5	109.2	82.1	"	花崗閃緑岩	ダム軸方向に断層	2.1(10)
内 川	3	46	"	S50.3	32.3		S55.5	34.4		5	106.5		硬Ⅰ	石英安山岩, 凝灰岩		2.1(11)
正 木	6	50	隔孔 閉塞	S52.11	38.7		S57.2	30.7		4	79.3		"	砂岩, 頁岩	ダム軸方向に断層	2.1(12)
早 出 川	5		"	S54.1	56.3	70.1	S57.2	45.8	53.1	3	81.3	75.8	硬Ⅱ	砂岩, チャート		2.1(13)
刈谷田川	5	66	"	S55.1	47.2	19.6	S58.7	41.2	9.7	3	87.3	49.6	硬Ⅲ	角礫質安山岩		2.1(14)
亀 山	5	46	"	S55.4	50.8	9.5	S57.3	55.3	5.9	2	108.9	62.1	軟 岩	泥岩, 砂岩		2.1(15)
胎 内 川	5		特定孔 閉塞	S51.11	33.0	67.4	S55.5	35.7	25.3	3	108.2	37.6	硬Ⅱ	砂岩, 粘板岩		2.1(16)

* 揚圧力の値は, 各排水孔ごとに対応する上流側の貯水深に相当する圧力に対する割合を求め, この値の平均値を示したもの

** 漏水量は完成当初と数年後の双方で漏水が観測されている基礎排水孔における漏水量の合計

表-3.2(2) 揚圧力の経年変化(上下流方向)

ダム名	ブロック No	揚圧力の測定方法		揚圧力測定値*				変化割合		岩盤性状			参 照
		測定装置	ダム軸方向の 基礎排水孔の 閉塞状態	完成当初		数 年 後		年 数	揚圧力 b/a (%)	透水性 の分類	岩 種	特 徴	付 図 No
				年・月	揚圧力 a (%)	年・月	揚圧力 b (%)						
大野川	7	揚圧力測定孔	一 斉 閉 塞	S53.12	102.7	S58.7	91.2	5	88.8	硬岩Ⅱ	変質安山岩	ダム軸方向に断層	2.2 (1)
松 川	8	"	"	S50.5	83.6	S55.5	79.8	5	95.5	"	花崗閃緑岩	ダム軸方向に断層	2.2 (2)
新 宮	7	間隙水圧計	"	S51.11	68.2	S55.10	65.3	4	95.7	"	砂岩		2.2 (3)
内 川	3	揚圧力測定孔	"	S50.3	47.9	S55.5	53.8	5	112.3	硬岩Ⅰ	石英安山岩		2.2 (4)
早明浦	15	"	"	S50.7	32.7	S54.3	38.8	4	118.7	"	黒色片岩		2.2 (5)
鱈石川	4	"	"	S49.1	100.7	S57.1	96.9	8	96.2	軟 岩	砂岩, シルト岩, 礫岩		2.2 (6)
"	6	"	"	S49.1	93.7	S57.1	113.4	8	121.0	"	" " "		2.2 (7)
広 野	6	間隙水圧計	全 開	S51.2	63.6	S57.2	50.1	6	78.8	硬岩Ⅲ	頁岩		2.2 (8)
遠 部	9	"	"	S50.10	44.0	S57.2	40.1	6	91.1	硬岩Ⅱ	玄武岩質自破碎状溶岩		2.2 (9)
広 川	7	"	"	S53.1	60.5	S57.2	57.2	4	94.5	硬岩Ⅲ	砂岩, 頁岩		2.2 (10)
正 木	8	揚圧力測定孔	隔孔閉塞B	S52.10	72.1	S58.7	70.6	6	97.9	硬岩Ⅰ	砂岩, 頁岩	ダム軸方向に断層	2.2 (11)

* 揚圧力の値は上・下流端の水圧を直線で結んだ分布を100%の分布としたときに, これに対する割合を求めたもの

3.6 ダム基礎岩盤の地質条件と揚圧力 (基礎排水孔が無いときの揚圧力分布)

基礎排水孔を一齐に閉塞した状態で測定される揚圧力の値には、基礎排水孔の影響が含まれていないと考えることができるから、揚圧力の大きさと、ダム基礎岩盤の透水性状やグラウチングの効果との関係について検討することができる。

資料を収集したダムの中で、基礎排水孔を一齐に閉塞した状態で揚圧力を測定している結果を整理すると、表-3.3(1)および(2)に示すようになる。表中の揚圧力の値について説明すると、表-3.3(1)のダム軸方向の値については、主に河床部付近の揚圧力の測定値について、各基礎排水孔ごとに、対応する上流端の揚圧力(上流側の貯水深に相当する圧力)に対する割合を求め、この値の平均値を示したものである。表-3.3(2)の上下流方向の値については、まず、測定された揚圧力の値をそのまま用い、上・下流端の揚圧力の値(上下流側の水深に相当する圧力)を直線で結んだ分布を100%の分布とし、これに対する割合を求めたものと、図-3.10に示すように、堤趾部の揚圧力の影響を差し引いた後に、上流端100%、下流端0%の三角形分布を100%の分布とし、これに対する割合を求めたものとの双方の値を示したものである。

今回の検討では、表-2.3に示すようにダム基礎岩盤の性状を硬岩については透水性の高いものから順に硬岩Ⅰ、硬岩Ⅱ、硬岩Ⅲとし、これと軟岩の合計4ランクに分類しているが、これらの岩盤分類と表-3.3(1)、(2)に示した揚圧力の大きさととの関係をみると図-3.11(1)、(2)に示すようになる(図-3.11(2)の揚圧力の値は堤趾部の揚圧力の影響を補正した値である)。

この図-3.11(1)、(2)から明らかなように、軟岩の揚圧力は硬岩の揚圧力に比較して大きな値を示している。これは、軟岩は岩片自体の固結度が低く、浸透水は主として土粒子間の空隙内を流れていることから、基礎岩盤グラウチングによる透水性の改善が困難な場合が多く、カーテングラウチングによる揚圧力の軽減効果が小さいためと考えられる。軟岩の中で、比較的小さな揚圧力の値を示してい

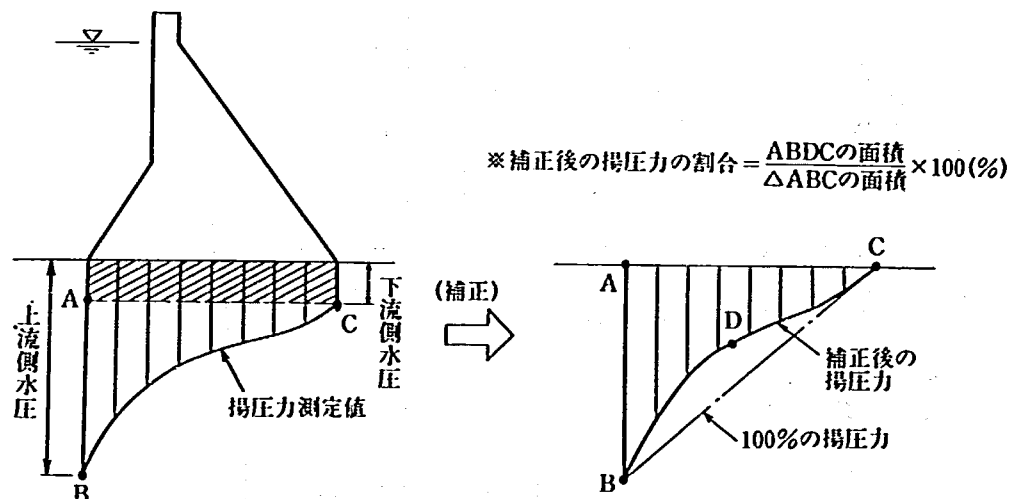


図-3.10 堤趾部の揚圧力の影響の補正

表-3.3(1) 基礎排水孔を一斉に閉塞したときの揚圧力測定値(ダム軸方向, 河床部付近)

ダム名	基礎排水孔 の閉塞時間 h'	揚圧力の* 大きさ (%)	地形・地質の条件			参 照 付 図 No
			透水性 の分類	岩 種	地形・地質的特徴	
亀 山	2 h	76.0	軟 岩	泥岩, 砂岩		1.1 (7)
英 唄		71.9	"	砂岩, 泥岩, 頁岩		1.1 (8)
耶馬溪	24 h	40.5	"	凝灰角礫岩	下流側の透水性が大きい	3.1 (7)
大野川	4 h	63.7	硬岩Ⅱ	変質安山岩	ダム軸方向に断層	1.1 (4)
広 野	5 h	56.8	"	頁岩	"	1.1 (1)
松 川	15'以上	52.8	"	花崗閃緑岩	"	1.1 (8)
正 木	1 h	65.0	硬岩Ⅰ	砂岩, 頁岩	"	1.1 (9)
刈谷田川	2 h	71.0	硬岩Ⅲ	角礫質安山岩	河床が狭窄部	1.1 (6)
綱 取	1 h	44.3	"	輝緑凝灰岩		1.1 (11)
石手川	4 h	32.1	"	黒雲母花崗岩, ホルンフェルス		1.1 (3)
岩 瀬	1 h	43.6	硬岩Ⅱ	砂岩, 頁岩		1.1 (14)
八 戸	3 h	38.1	"	凝灰岩	河床に破碎帯	1.1 (5)
論鶴羽	15'	38.1	"	砂岩, 頁岩		1.1 (19)
野 村	1 h	52.0	硬岩Ⅰ	砂岩, 粘板岩, 石灰岩		1.1 (10)
内 川	5 h	36.8	"	石英安山岩, 凝灰岩		1.1 (2)
山 財	1 h	32.2	"	砂岩, 頁岩		1.1 (12)

* 揚圧力の大きさは, 各排水孔ごとに対応する上流側の貯水深に相当する圧力に対する割合を求め, この値の平均値を示したもの

表-3.3(2) 基礎排水孔を一斉に閉塞したときの揚圧力測定値(上下流方向)

ダム名	ブロック No	揚圧力の測定方法		揚圧力の大きさ(%)		地形・地質の条件			参 照 付 図 No
		測定装置	基礎排水孔の 閉塞時間	実測された* 揚圧力分布	堤趾部圧力を補正** した揚圧力分布	透水性の 分類	岩 種	地形・地質的要素	
亀 山	6	揚圧力測定孔	2 h	115.6	126.5	軟 岩	砂岩, 泥岩		1.2 (7)
鯖石川	4	"	常 時	98.2	97.4	"	砂岩, シルト岩, 礫岩		1.2 (1)
"	6	"	"	106.9	110.5	"	" " "		1.2 (2)
耶馬溪	8	"	24 h	92.8	89.9	"	凝灰角礫岩	ダム軸方向に断層	3.2 (2)
"	10	間隙水圧計	24 h	74.8	66.6	"	"	下流側の透水性が大きい	3.2 (3)
"	12	揚圧力測定孔	24 h	71.3	66.6	"	"	"	3.2 (4)
"	14	"	24 h	67.0	61.6	"	"	"	3.2 (5)
大野川	7	"	4 h	104.0	105.0	硬岩Ⅱ	変質安山岩	ダム軸方向に断層	1.2 (5)
松 川	8	"	15'	80.2	72.1	"	花崗閃緑岩	"	1.2 (3)
正 木	8	"	1 h	88.0	84.7	硬岩Ⅰ	砂岩, 頁岩	"	1.2 (8)
刈谷田川	7	"		86.6	68.6	硬岩Ⅲ	角礫質安山岩		1.2 (6)
新 宮	7	間隙水圧計	10'	68.3	50.4	硬岩Ⅱ	砂岩		1.2 (4)
野 村	11	揚圧力測定孔	1 h	67.0	62.8	硬岩Ⅰ	砂岩		1.2 (9)
内 川	3	"	5 h	54.1	54.1	"	石英安山岩		1.2 (4)
早明浦	15	"	24 h	38.1*	34.3*	"	黒色片岩		1.2 (3)

* 実測から得られる揚圧力分布を基に, 上・下端の水圧を直線で結んだ分布を100%の分布としたときに, これに対する割合を求めたもの

** 実測の揚圧力分布から下流端水圧分を差し引き, 上流端の値を100%, 下流端を0%とした三角形分布を100%の分布としたときに, これに対する割合を求めたもの(図-3.10参照)

※ 早明浦ダムの値はBL.15のみの基礎排水孔を一斉に閉塞した値

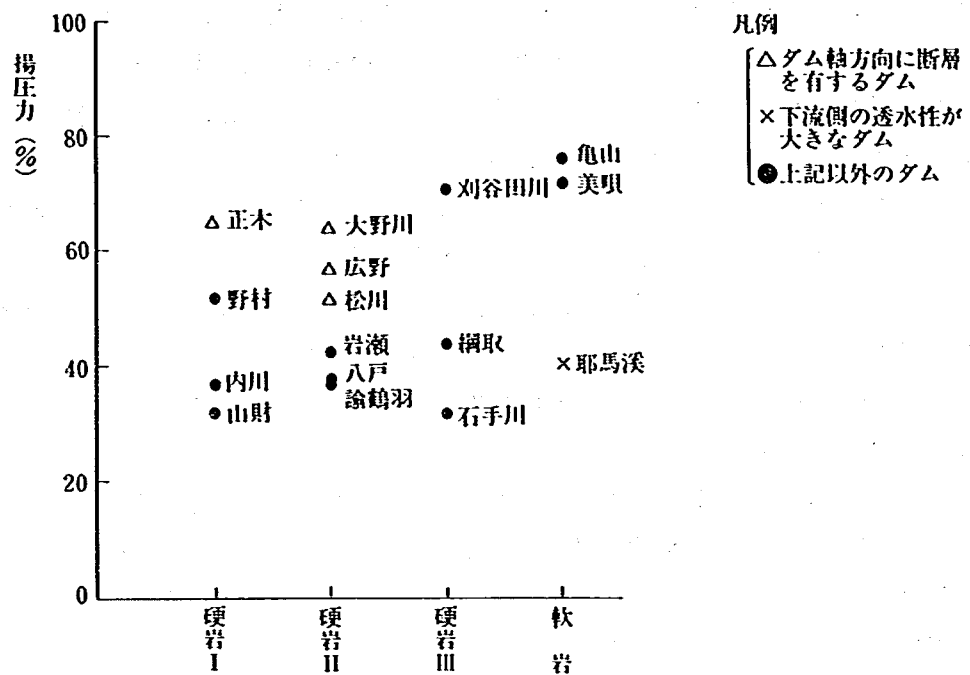


図-3.11(1) 揚圧力の大きさと岩盤分類との関係(ダム軸方向の揚圧力)

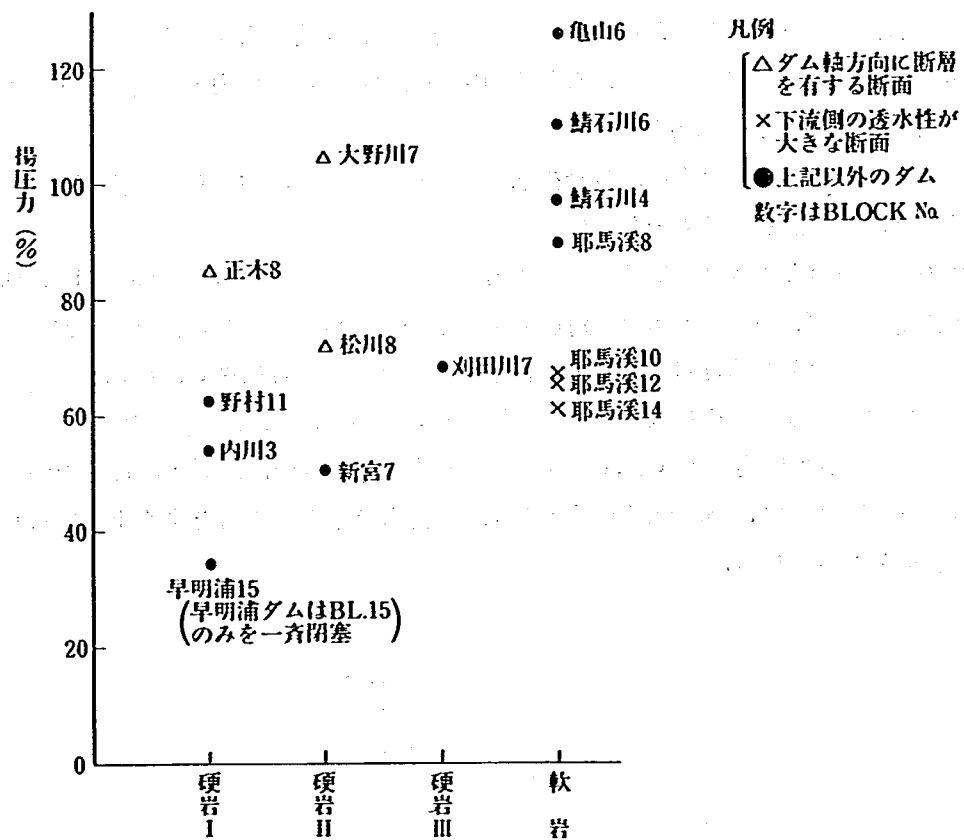


図-3.11(2) 揚圧力の大きさと岩盤分類との関係(上下流方向の揚圧力分布)

る耶馬溪ダムの地質平面図を図-3.12(1)に示すが、このダムの基礎岩盤は比較的固結度が高く、亀裂の発達が見られ、また、図中のコンソリデーショングラウチング時におけるルジオンテストの結果からわかるように、ダム堤敷の上流側よりも下流側で透水性が大きく、浸透水が下流に抜けやすい地質構造となっている。このために揚圧力が小さくなっているものと考えられる。

軟岩に比較して硬岩は一般に小さな揚圧力を示している。これは、硬岩の場合には一般に亀裂が発達し、浸透流は主としてこの亀裂中を流れることから、カーテングラウチングによる揚圧力の軽減効果が大きいと考えられる。硬岩の中で、比較的大きな揚圧力を示している正木ダム、大野川ダム、広野ダム、松川ダムの地質平面図を図-3.12(2)~(5)に示すが、これらのダムの基礎岩盤にはダム軸方向またはダム軸を斜めに横切る方向に断層が存在している。断層は一般に粘土等を介在するために、それ自体の透水性が小さいことが多く、グラウトカーテンと同様に遮水作用があるものと考えられ、このような断層がダム軸方向に存在する場合には、浸透水が下流側に容易に抜ききれず、揚圧力が大きくなるものと考えられる。

これらのほかに、図-3.11(1)の中で、揚圧力が大きなダムとして刈谷田川ダムがあるが、このダムでは図-3.13に示すように地形的に河床部が狭窄部となっており、ダムの下流側をEL.215mまで(高さ20m)コンクリートで埋め戻している。このため、浸透水が下流に容易に抜け出せない形状となり、揚圧力が大きくなっているものと考えられる。

今回の検討では硬岩を透水性の高いものから順にⅠ、Ⅱ、Ⅲと3ランクに分類したが、上記のように断層の存在や地形的な要因による影響が大きく、これらの岩盤分類と揚圧力の大きさとの間に明確な関係は得られなかった。

基礎排水孔を一斉に閉塞した状態での上下流方向の揚圧力分布図を軟岩と硬岩とに分けて示すと図-3.14(1)、(2)のようになる。また、これらの図から堤趾部の揚圧力の影響を差し引いた揚圧力分布を示すと図-3.15(1)、(2)のようになる。

これらの図からわかるように、基礎排水孔がない場合の揚圧力分布は、上流端から下流端まで比較的滑らかな曲線で描かれるものが多い。

揚圧力の合力の大きさは、堤趾部の揚圧力の影響を補正した後の分布図(図-3.15)から判断すると、上流端100%、下流端0%の三角形分布を100%の分布とすると、軟岩(耶馬溪ダムBL.10~14を除く各ダム)やダム軸方向に断層・弱層を有するダム(大野川ダム、松川ダム、正木ダム)ではほぼ100%の分布に近く、それ以外の硬岩では概ね50~70%の範囲にあった。

堤趾部における揚圧力の大きさは、減勢工での貯水の有無や、地形・地質的条件によって異なることから一概にはいえないが、今回の調査では、上流側の貯水深に相当する圧力に対して10~20%程度の値を示すダムが多かった。

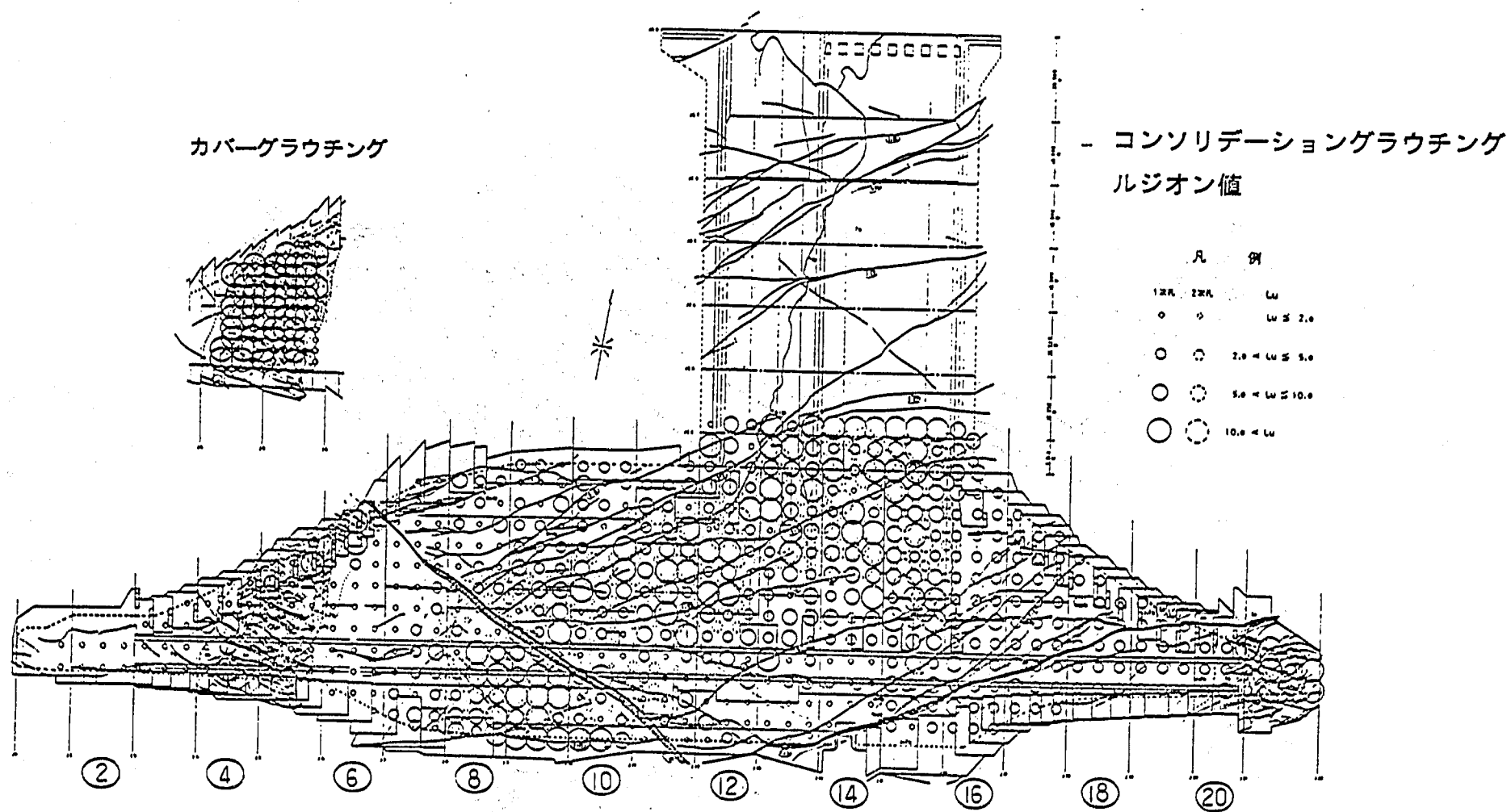


図-3.12(1) 地質平面図(耶馬溪ダム)

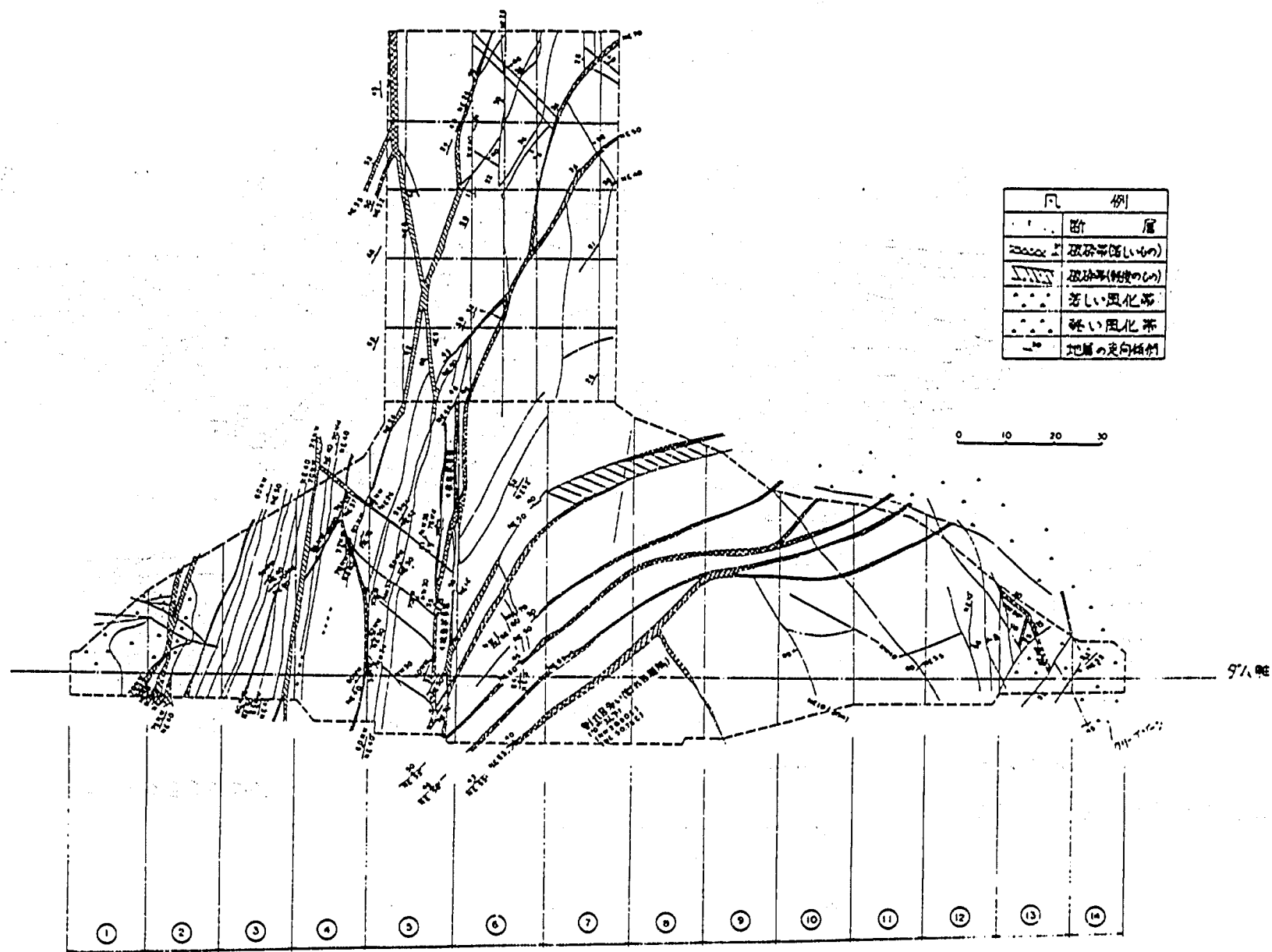


図-3.12(2) 地質平面図(正木ダム)

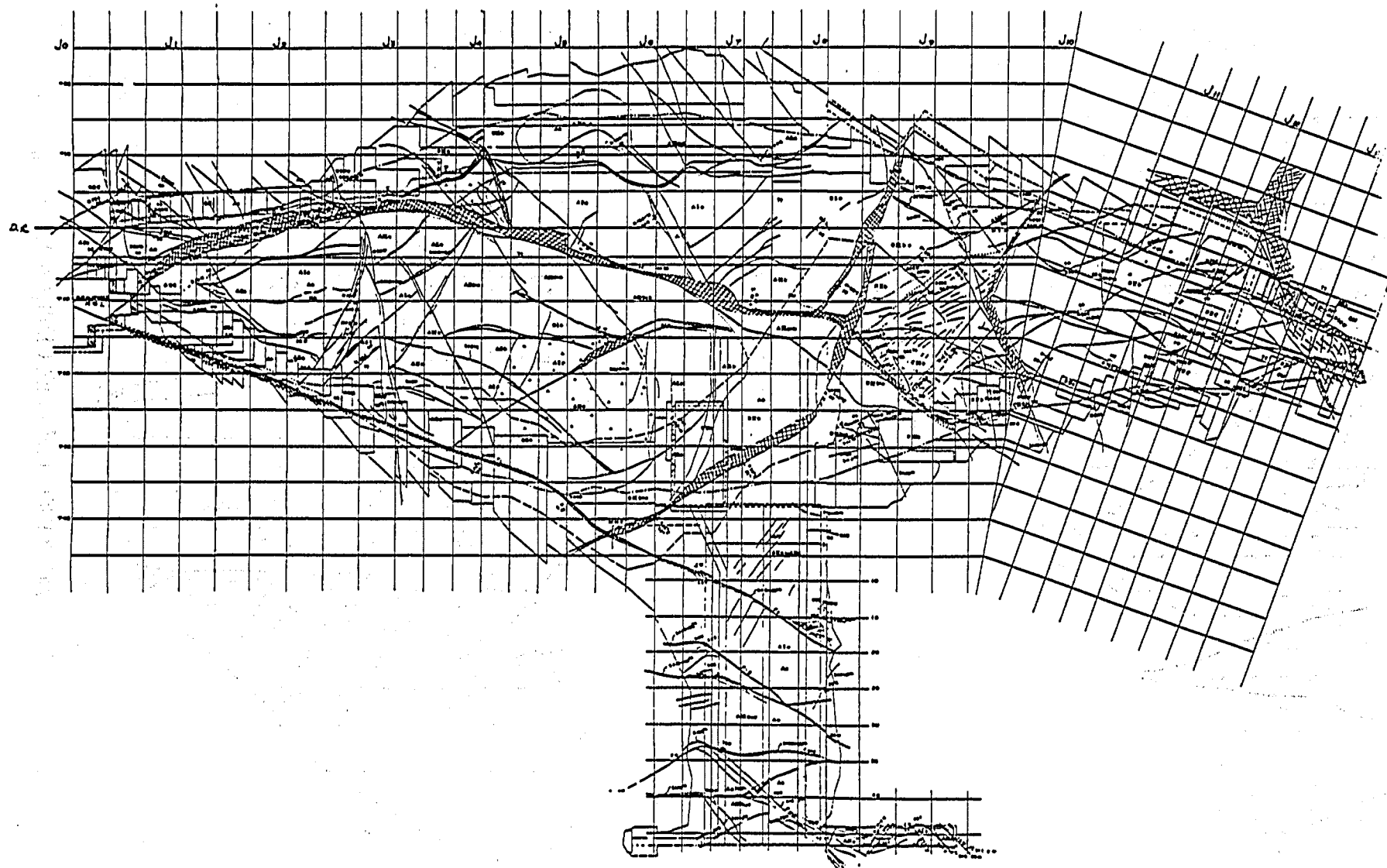


図 - 3.12(3) 地質平面図 (大野川ダム)

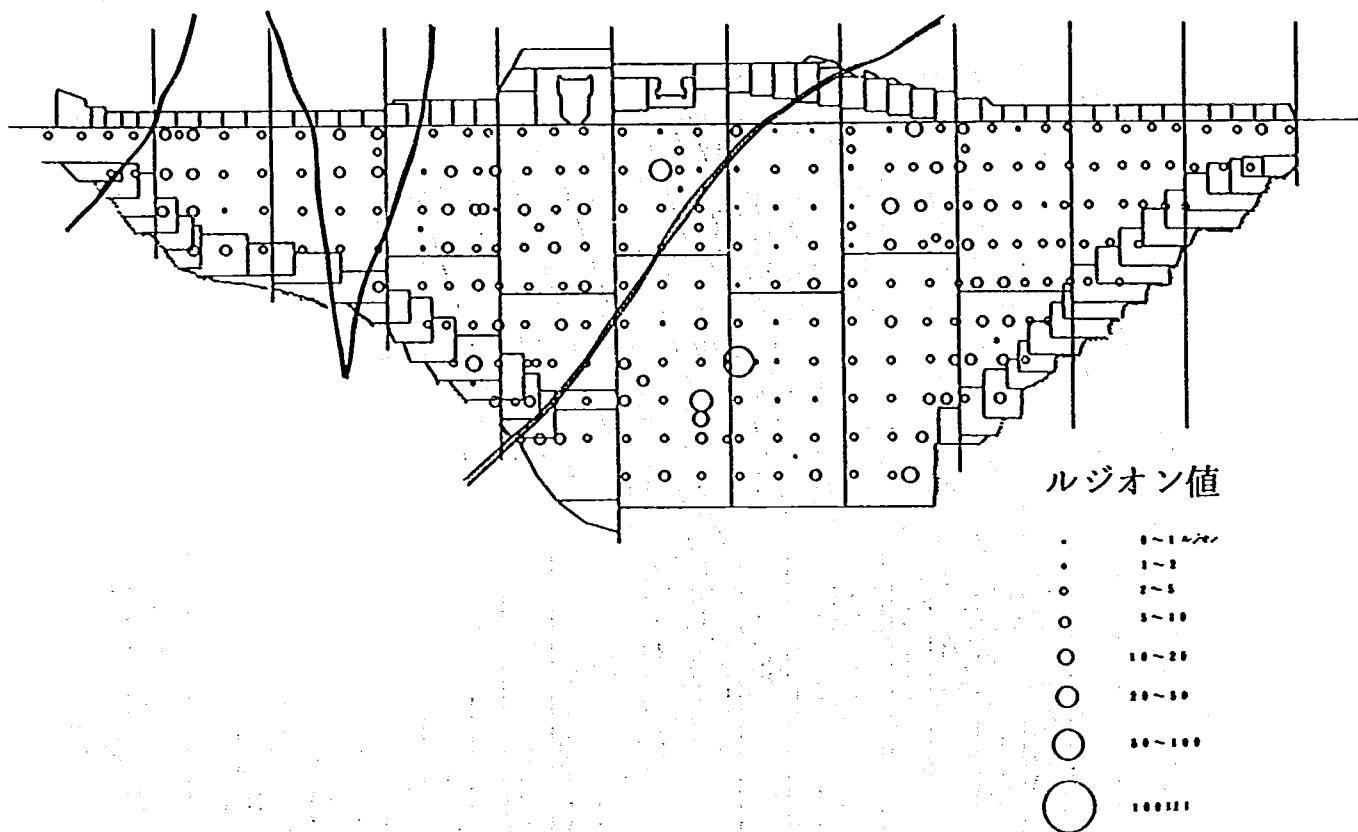


図-3.12(4) 地質平面図(広野ダム)

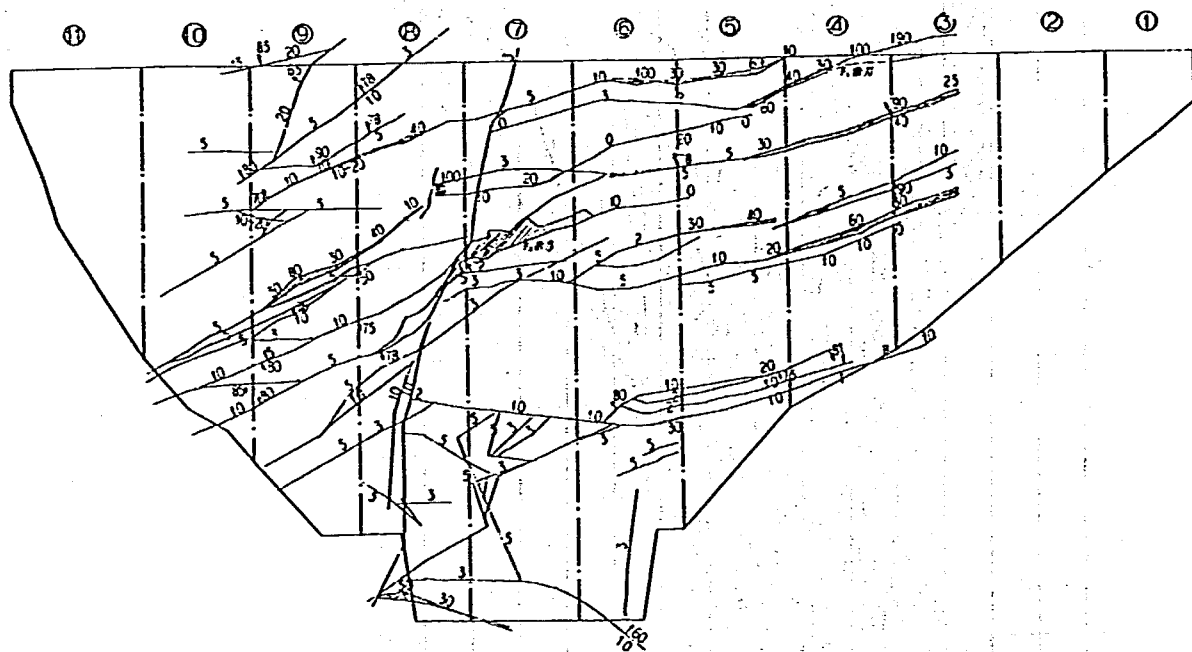
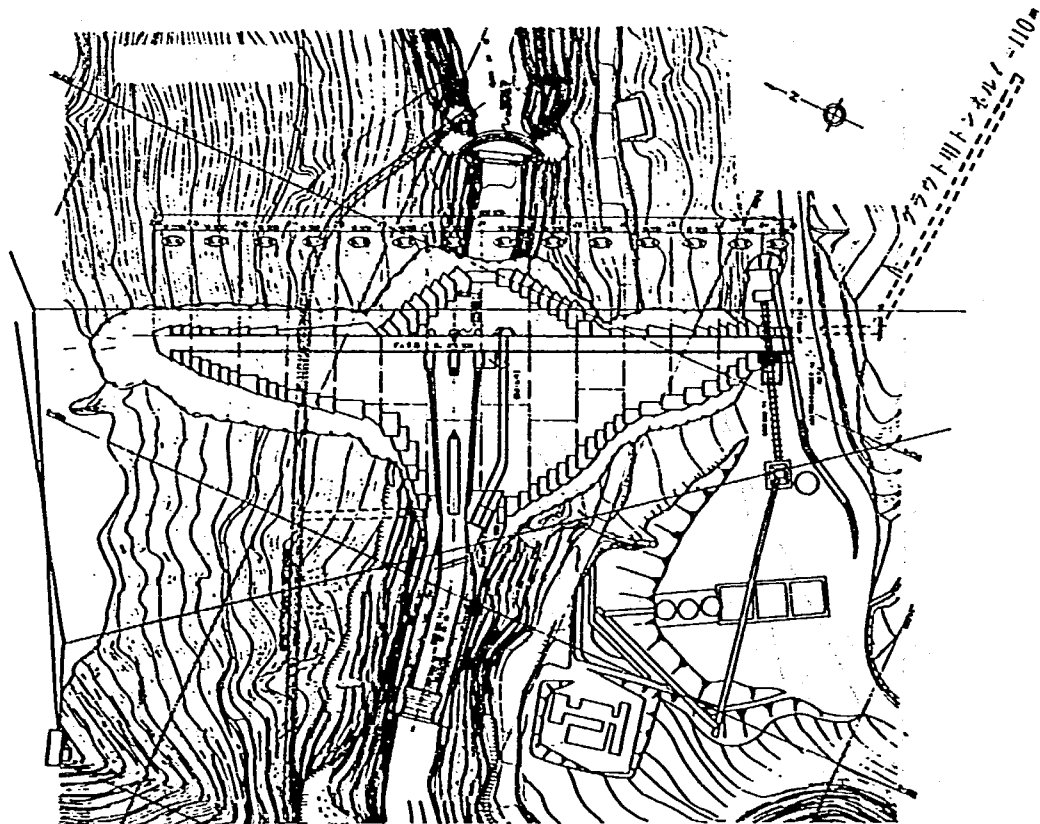
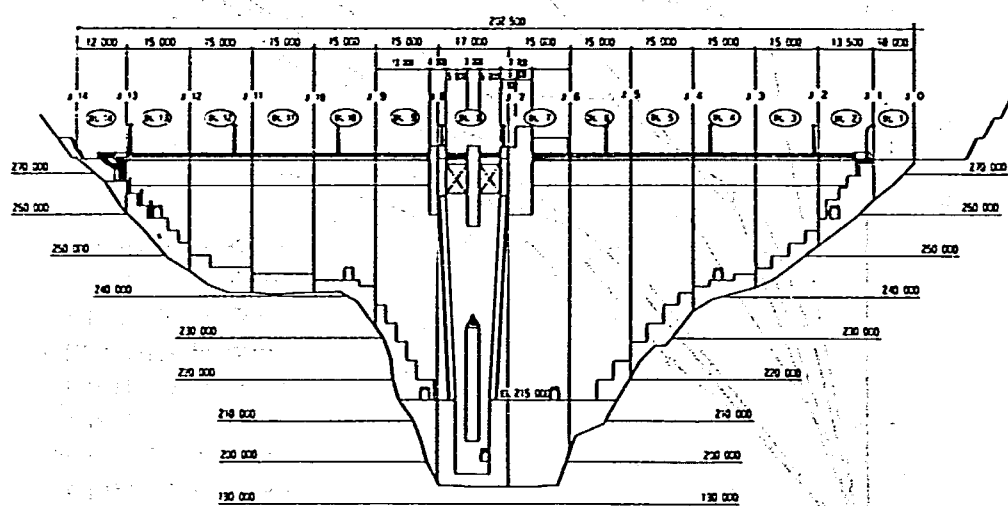


図-3.12(5) 地質平面図(松川ダム)



(1) 平面図



(2) 下流面図

図-3.13 刈谷田川ダムの地形

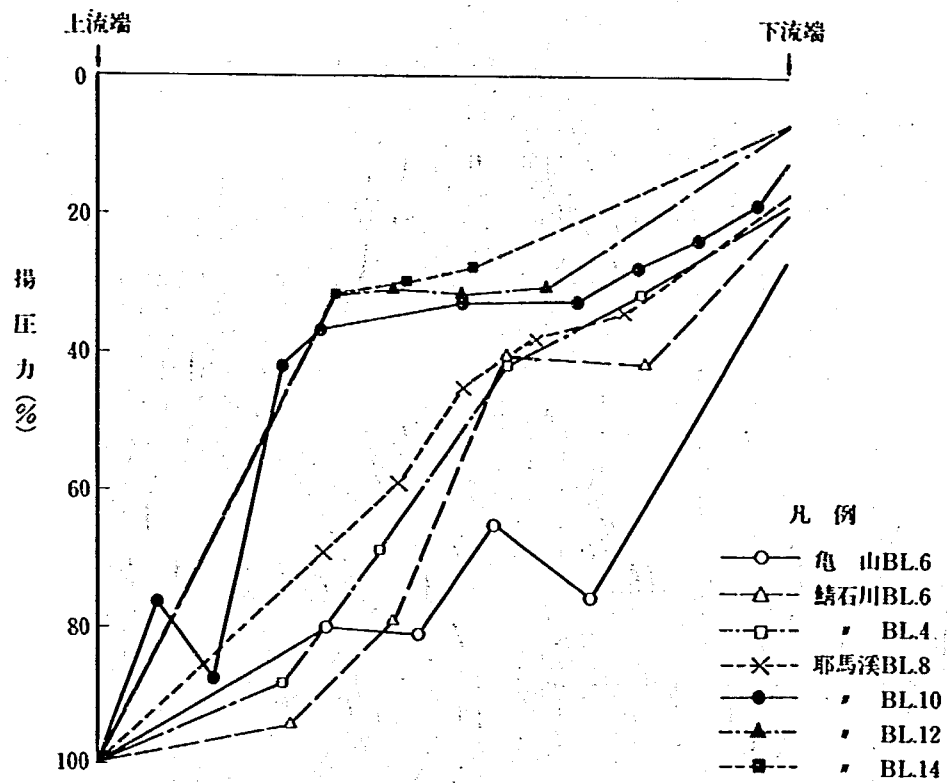


図-3.14(1) 基礎排水孔を一斉に閉塞したときの上下流方向の揚圧力分布(軟岩の例)

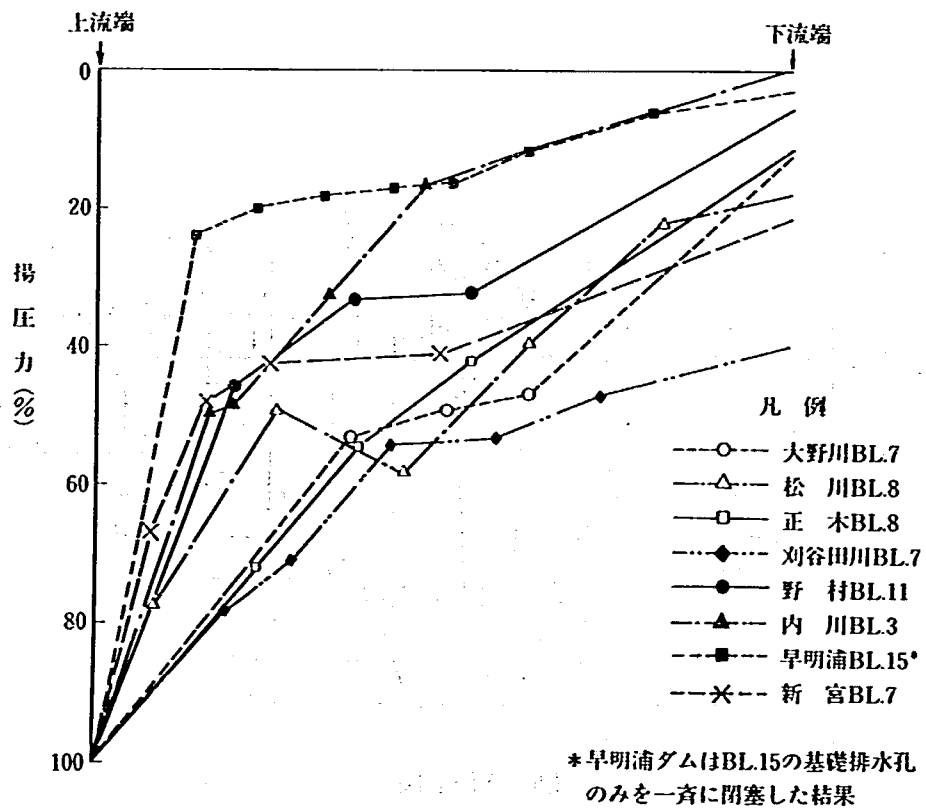


図-3.14(2) 基礎排水孔を一斉に閉塞したときの上下流方向の揚圧力分布(硬岩の例)

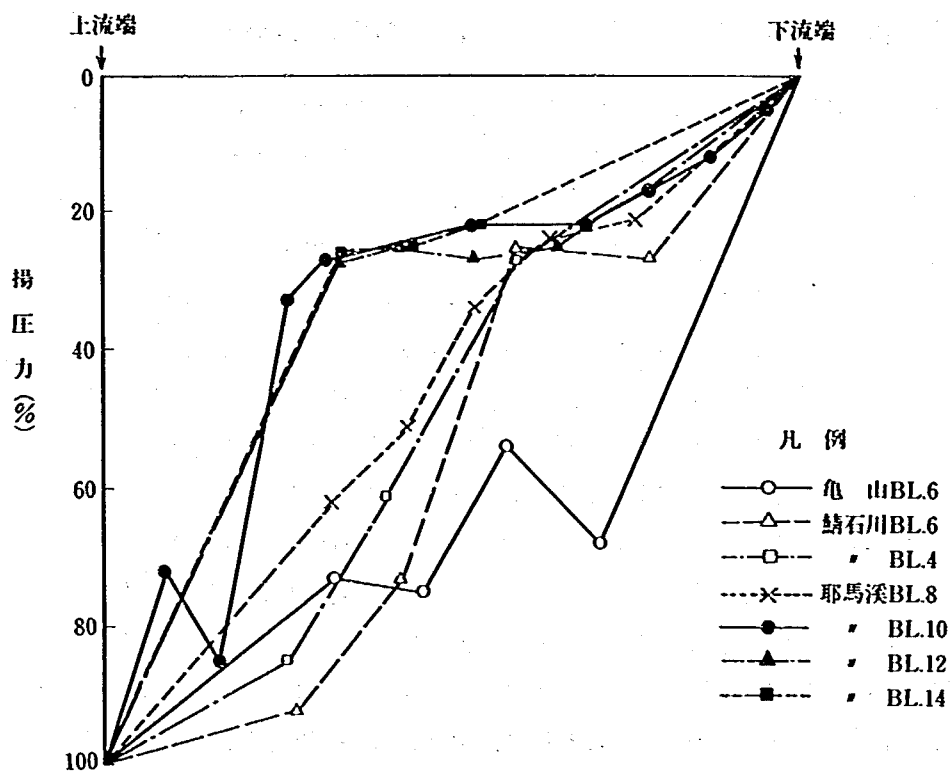


図-3.15(1) 基礎排水孔を一斉に閉塞したときの上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布(軟岩の例)

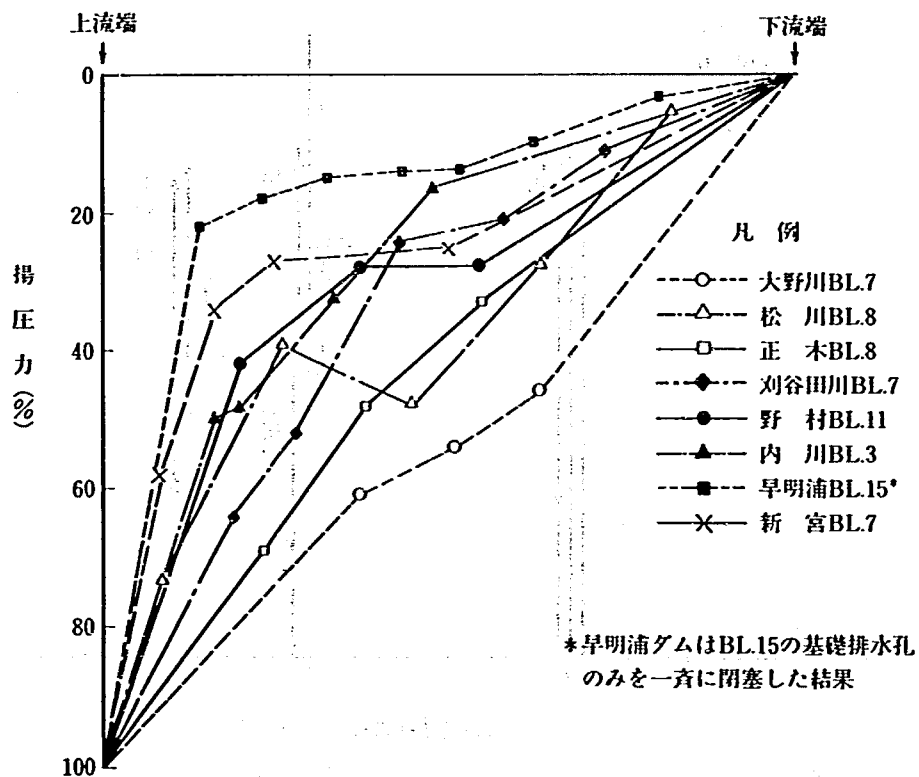


図-3.15(2) 基礎排水孔を一斉に閉塞したときの上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布(硬岩の例)

3.7 基礎排水孔による揚圧力の軽減効果

(基礎排水孔が有効に機能しているときの揚圧力分布)

基礎排水孔を一斉に閉塞したときの揚圧力分布と基礎排水孔が有効に機能している状態での揚圧力分布を比較することにより、基礎排水孔の効果を検討することができる。

付図-3.1(1)~(11)は、ダム軸方向の揚圧力について、各ダム毎に一斉閉塞法と隔孔閉塞法による揚圧力の値を比較したものである。この図をもとに、主として河床部付近において、一斉閉塞法と隔孔閉塞法による揚圧力の平均値を整理すると、表-3.4(1)のようになる。表中の揚圧力の値は、各孔毎に上流端の揚圧力(上流側の貯水深に相当する圧力)に対する割合を求め、この値の平均値を示したものである。また、「基礎排水孔の配置によって定まる揚圧力係数 k_2 」とは、各基礎排水孔の孔口で測定される孔口圧力について、一斉閉塞法の値に対する隔孔閉塞法の値の割合((3.2)式に示す揚圧力係数 k_2 の値)を求め、その平均値を示したものである。この「基礎排水孔の配置によって定まる揚圧力係数 k_2 」は、各ダム毎にかなりばらついた値を示しているが、これは基礎排水孔の配置や地質条件による影響が大きいと考えられる。そこで、これらの関係を詳細にみるために、河床部付近の基礎排水孔に対し、各基礎排水孔毎に「基礎排水孔の配置によって定まる揚圧力係数 k_2 」の値を求め、これと基礎排水孔の孔間隔との関係について整理すると図-3.16のようになる。データのばらつきは大きい、基礎排水孔の孔間隔が狭くなるほど基礎排水孔による揚圧力の軽減効果が大きくなっているこ

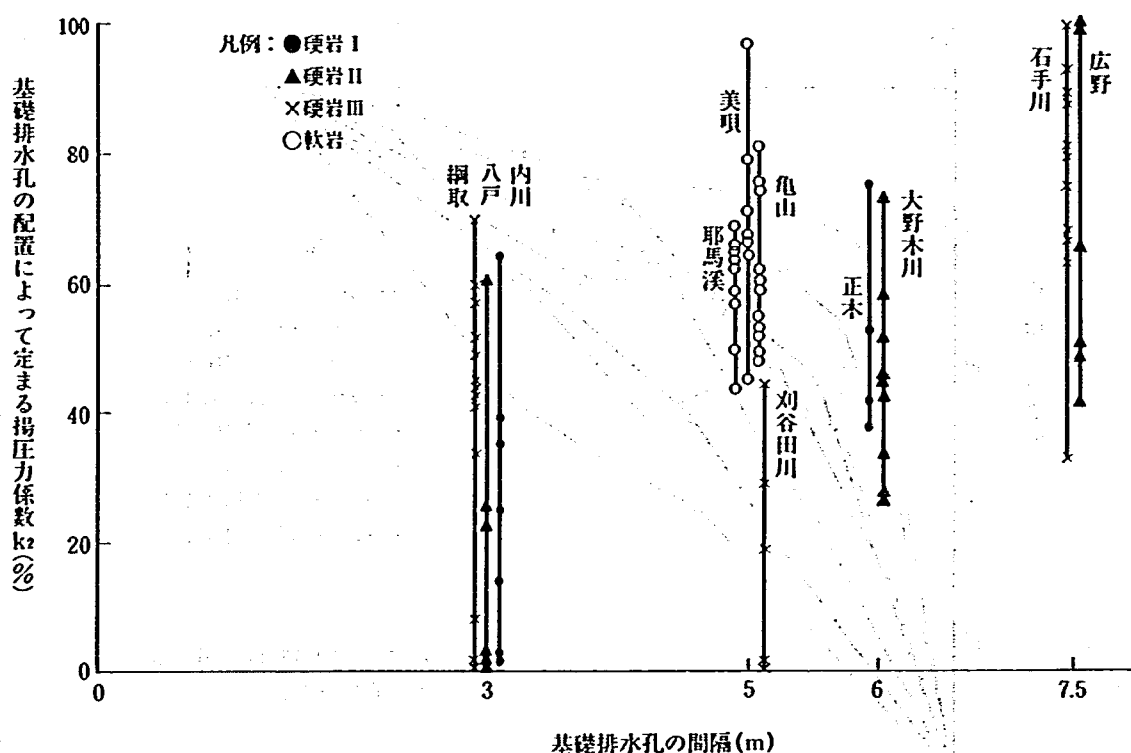


図-3.16 基礎排水孔の配置によって定まる揚圧力係数 k_2 と
基礎排水孔の孔間隔との関係(ダム軸方向, 河床部)

表-3.4(1) 基礎排水孔の閉塞法のちがいによる揚圧力の比較(ダム軸方向, 河床部付近)

ダム名	基礎排水孔の条件		揚圧力測定値*		ドレーン 水頭 (%)	基礎排水孔の配置によって定まる揚圧力係数 k_2 (%)	地形・地質の条件			参 照 付 図 No.
	配置間隔 @ (m)	深さ (m)	一斉閉塞法 (%)	隔孔閉塞法 (%)			透水性による 岩 盤 分 類	岩 種	地形, 地質の特徴	
石手川	7.5	15.0	28.6	26.4	15.3	76.7	硬 岩 III	黒雲母花崗岩, ホルンフェルス		3.1 (1)
広 野	"	5.0	45.8	40.0	29.9	67.8	硬 岩 II	頁岩	ダム軸方向に弱層	3.1 (2)
大野川	6.0	10.0	53.5	36.5	22.7	45.0	硬 岩 II	変質安山岩	"	3.1 (3)
正 木	"	15.0	60.3	45.5	30.1	52.0	硬 岩 I	砂岩, 頁岩	"	3.1 (4)
龜 山	5.0	3.0	65.8	51.1	16.5	61.2	軟 岩	泥岩, 砂岩		3.1 (5)
英 唄	"	5.0	67.6	53.1	17.4	70.4	"	砂岩, 泥岩, 頁岩		3.1 (6)
耶馬溪	"	5.0	43.1	35.9	23.0	59.8	"	凝灰角礫岩	下流端の透水性が高い	3.1 (7)
刈谷田川	"	15.0	72.8	35.4	26.0	18.6	硬 岩 III	角礫質安山岩	河床部が狭窄	3.1 (8)
綱 取	3.0	5.0	51.9	31.0	17.0	38.9	"	輝緑凝灰岩		3.1 (9)
八 戸	"	10.0	34.4	18.9	14.1	15.4	硬 岩 II	凝灰岩	河床に破碎帯	3.1 (10)
内 川	"	7.0	45.1	22.3	16.0	26.4	硬 岩 I	石英安山岩, 凝灰岩		3.1 (11)

* 揚圧力測定値は各排水孔ごとに対応する上流側の貯水深に相当する圧力に対する揚圧力の割合を求め, この値の平均値を示したもの

** 基礎排水孔の配置によって定まる揚圧力係数 k_2 とは, 基礎排水孔の孔口における孔口圧力について, 一斉閉塞値に対する隔孔閉塞値の割合(図-3.5に示す d/c の値)の値。表中の値はこの値の平均値

表-3.4(2) 基礎排水孔の閉塞法のちがいによる揚圧力の比較(上下流方向)

ダム名	ブロック No	揚 圧 力 の 測 定 装 置	ダム軸方向 の基礎排水 孔 の 配 置		貯水位 E L. (m)	ダム軸方向の基礎排水孔の閉塞状態と揚圧力の大きさ										参 照 付 図 No
			間 隔 @ (m)	深 さ (m)		実 測 さ れ た 揚 圧 力 分 布 *					堤趾部圧力を補正した揚圧力分布 **					
						全 開 (%)	隔孔閉塞 A (%)	隔孔閉塞 B (%)	隔孔閉塞 C (%)	一 斉 閉 塞 (%)	全 開 (%)	隔孔閉塞 A (%)	隔孔閉塞 B (%)	隔孔閉塞 C (%)	一 斉 閉 塞 (%)	
亀 山	6	揚圧力測定孔	5	5	80.3	86.6	84.0	101.0		120.0	77.3	72.9	101.8		134.1	3.2 (1)
耶 馬 溪	8	"	5	5	142.5*	67.2		80.2		92.7	68.2		72.2		89.7	3.2 (2)
"	10	間隙水圧計	5	5	"	65.4		70.5		75.3	55.1		61.7		68.0	3.2 (3)
"	12	揚圧力測定孔	5	5	"	64.6				70.6	59.3				66.2	3.2 (4)
"	14	"	5	5	"	63.9				67.2	57.6				61.5	3.2 (5)
大 野 川	7	"	6	10	142.5	64.2			72.9	91.5	53.3			64.7	88.9	3.2 (6)
正 木	8	"	6	15	159.4*			79.0		90.1			73.3		87.4	3.2 (7)
刈谷田川	7	揚圧力測定孔	5	15	249.5	63.6			70.8	86.6	26.0			40.7	68.6	3.2 (8)
安 波	5	間隙水圧計	5	10	103.5	85.6	85.6	88.8			82.8	83.5	86.6			3.2 (9)
"	8	揚圧力測定孔	5	10	"	58.8			65.9		52.5			56.8		3.2 (10)
"	10	間隙水圧計	5	10	"	55.8	58.4	62.3			36.5	40.1	45.9			3.2 (11)
"	11	"	5	10	"	54.9	57.5	64.6								3.2 (12)
一 郎	8	揚圧力測定孔	5	10	134.5	57.7	58.0	60.0			50.4	50.7	52.7			3.2 (13)
"	13	間隙水圧計	5	10	"	53.0	53.0	55.1			32.0	32.0	35.1			3.2 (14)
"	14	揚圧力測定孔	5	10	"	49.8	50.0	52.0			34.8	35.0	37.6			3.2 (15)
土 師	11	"	3	10	242.6	48.2	50.3	50.6			13.6	17.2	17.7			3.2 (16)
滝	5	間隙水圧計	3	5	59.4	45.5	47.4	47.4			24.8	22.8	22.8			3.2 (17)
内 川	3	揚圧力測定孔	3	10	219.5		38.0			53.0		38.0			53.0	3.2 (18)

* 実測から得られる揚圧力分布を基に、上・下流端の水圧を直線で結んだ分布を100%の分布としたときに、これに対する割合を求めたもの

** 実測の揚圧力分布から下流端水圧分を差し引き、上流端の値を100%、下流端を0%とした三角形分布を100%の分布としたときに、これに対する割合を求めたもの(図-3.10参照)

※ 耶馬溪ダムと正木ダムのデータは貯水位が低い状態での値

とがわかる。また、軟岩における「基礎排水孔の配置によって定まる揚圧力係数 K_2 」は、硬岩の場合に比較して大きな値を示しており、基礎排水孔による揚圧力の軽減効果は硬岩に比較して軟岩の方が小さいようである。

上下流方向の揚圧力分布は、図-1.5に示すように、ダム軸方向の基礎排水孔の閉塞条件の違いによって種々の値が測定されるが、各ダム毎にこれらの揚圧力分布を比較したものを、付図-3.2(1)~(9)に示す。これらの図から、各ダムの基礎排水孔の閉塞条件毎の揚圧力の大きさを整理すると表-3.4(2)のようになる。表中の揚圧力の値は、上・下流端の揚圧力の値(上下流側の水深に相当する圧力)を直線で結んだときの揚圧力の分布を100%の分布とし、これに対する割合を示したものである。なお、付図-3.2(1)~(9)に示す揚圧力分布を基礎排水孔の閉塞条件ごとに整理したものを図-3.17(1)~(7)に示す。さらに、これらの図から堤趾部の揚圧力の影響を差し引いた(図-3.10参照)ものを図-3.18(1)~(7)に示す。

これらの図、表からわかるように、揚圧力の大きさは、ダム軸方向の基礎排水孔が全開状態のときに最も小さく、隔孔閉塞法の場合の値は、全開状態の場合よりも若干大きくなっている。また、これらの値はいずれも一斉閉塞法の場合の値よりも小さくなっており、基礎排水孔が揚圧力の軽減に対して有効に作用していることがわかる。なお、隔孔閉塞法Aと隔孔閉塞法Bは、基礎排水孔の閉塞間隔が同じで閉塞位置が異なるものであるが、上下流方向の揚圧力測定孔の間隔に比較して、ダム軸方向の基礎排水孔の間隔が狭いため、両者の揚圧力分布の差は基礎排水孔の近傍に限られ、それ以外の部分ではほぼ同一の揚圧力分布を示している。なお、基礎排水孔から下流端に至るまでの分布は直線よりもやや凸な曲線となっている例が多い。

揚圧力の合力の大きさは、上下流端の揚圧力を直線で結んだときの値を100%とすると、30%~90%まで様々である。軟岩を基礎とするダム(亀山ダム、耶馬溪ダム)や、ダム軸方向に断層を有するダム(正木ダム)では、ほかのダムに比べて揚圧力の値が大きくなる傾向がみられるが、その他のダムでは概ね「はじめに」の表-Aで示した揚圧力分布に近い値を示しているようである。ただし、(3.2)式で示したように、基礎排水孔の位置での揚圧力の大きさはドレーン水頭の大きさに密接に関係しているので、このような圧力分布を得るためには、基礎排水孔の標高を適切に設計する必要があることはいうまでもない。

なお、堤趾部における揚圧力の大きさは、減勢工での貯水の有無や地形、地質条件によって異なることから一概にはいえないが、今回の調査では、上流側の貯水深に相当する圧力に対して10~20%程度の値を示す例が多かった。この傾向は、3.6項で述べた結果と同様である。

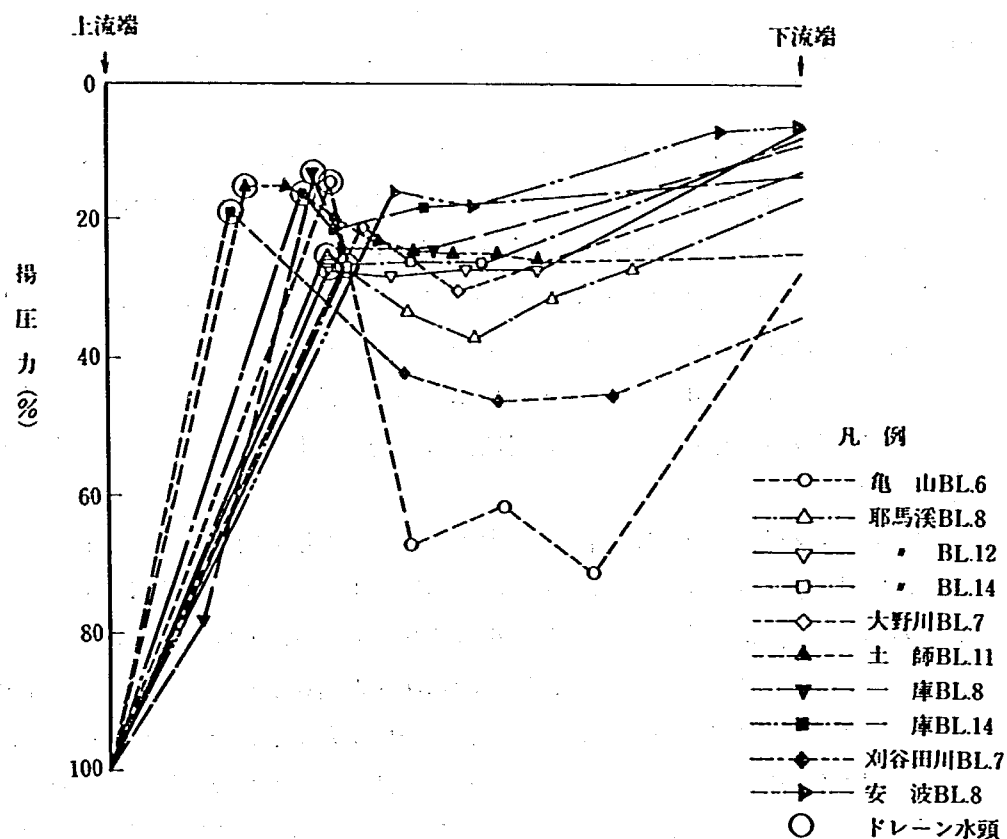


図-3.17(1) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
(全開状態, 揚圧力測定孔による測定値)

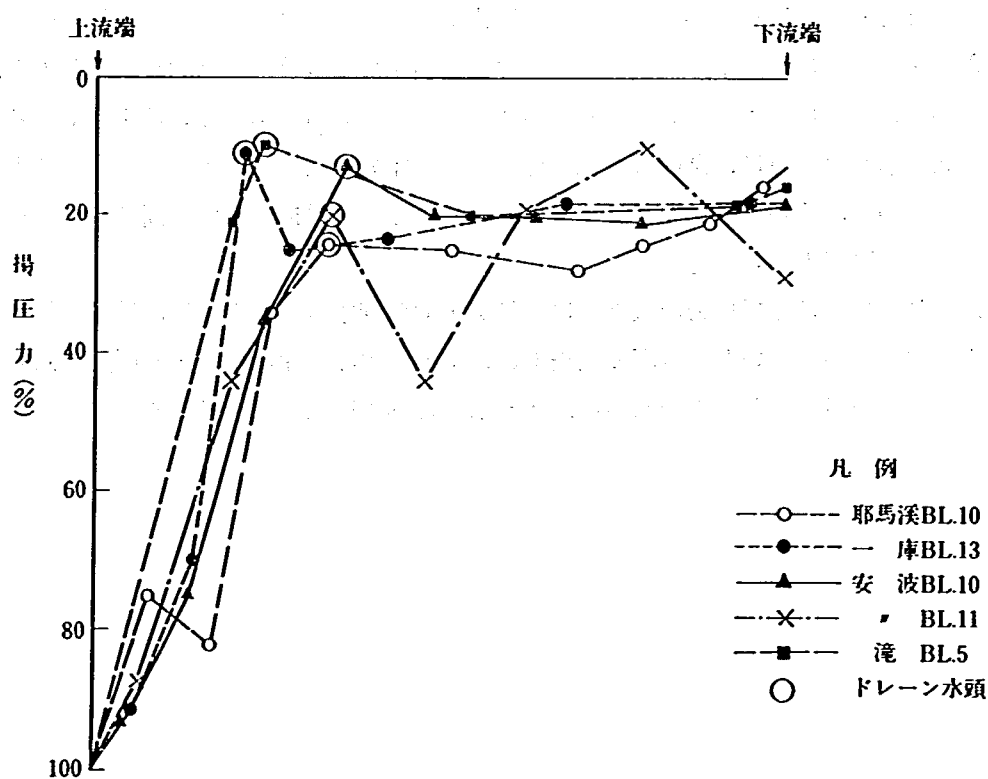


図-3.17(2) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
(全開状態, 間隙水圧計による測定値)

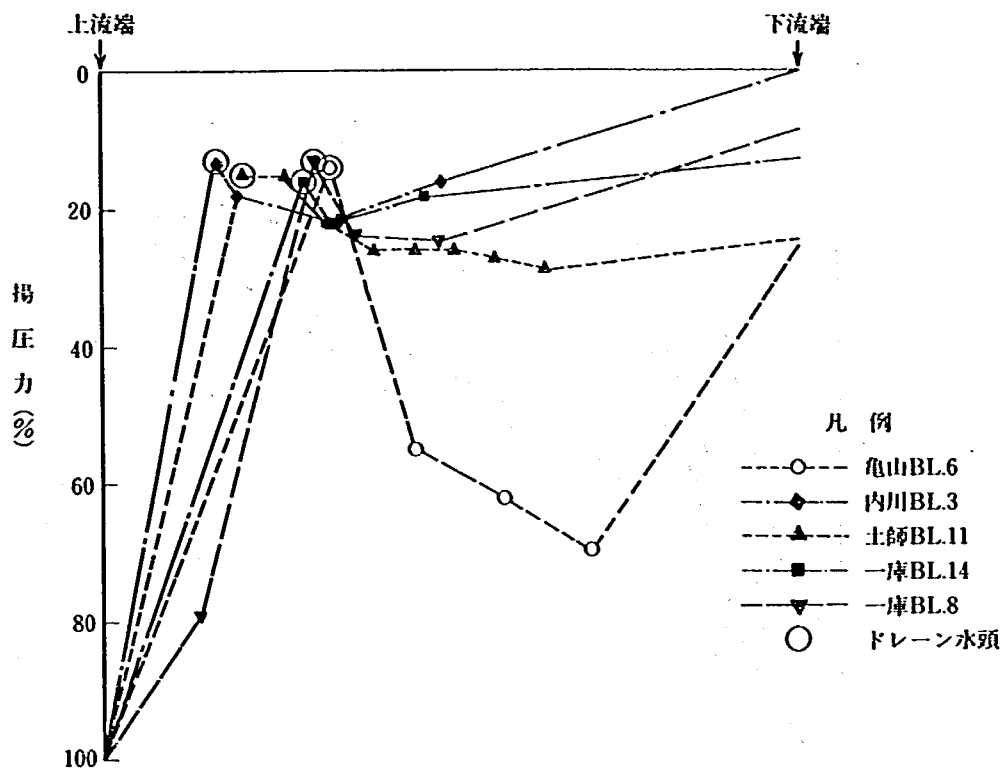


図- 3.17(3) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
(隔孔閉塞A, 揚圧力測定孔による測定値)

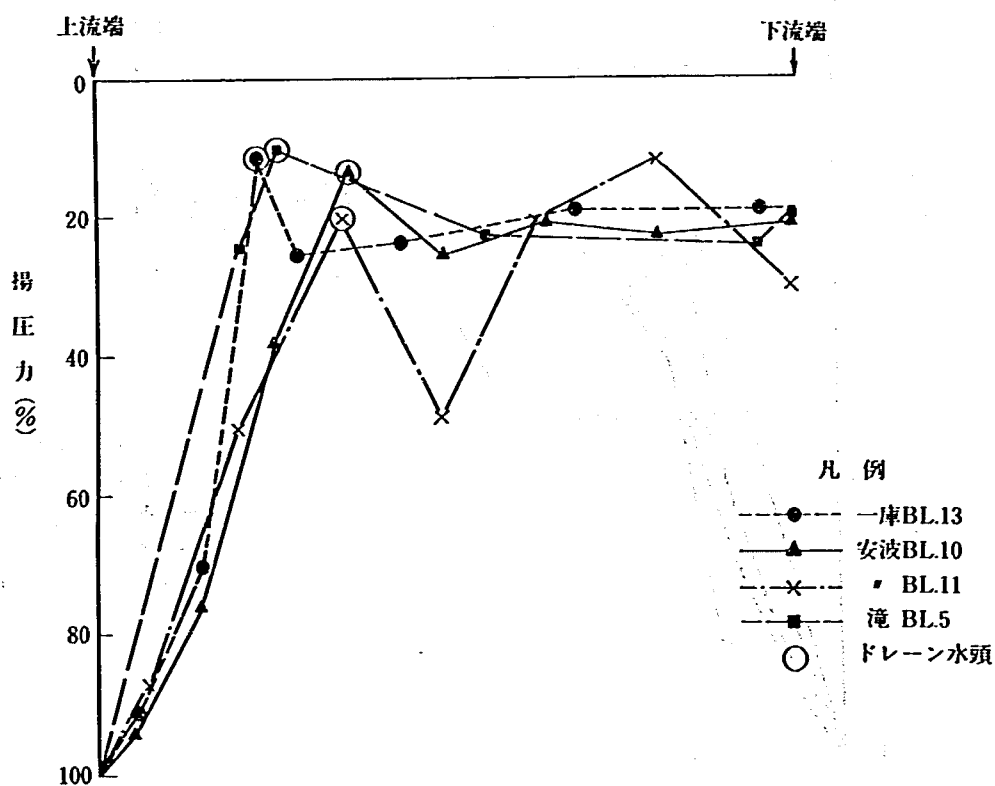


図- 3.17(4) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
(隔孔閉塞A, 間隙水圧計による測定値)

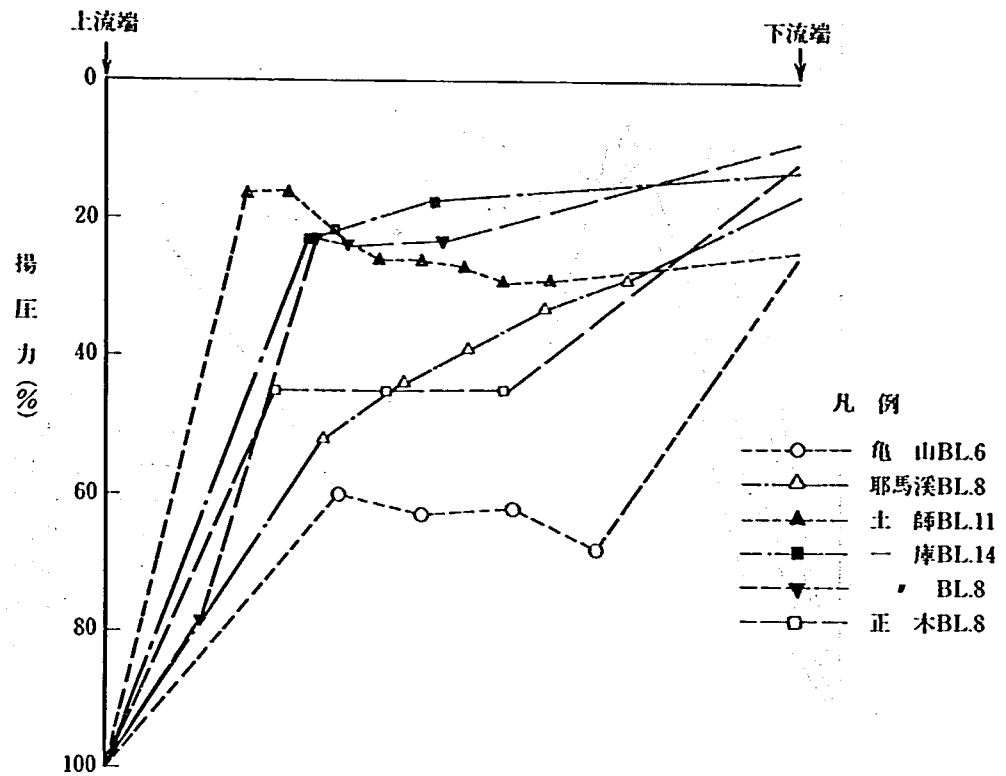


図-3.17(5) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
(隔孔閉塞B, 揚圧力測定孔による測定値)

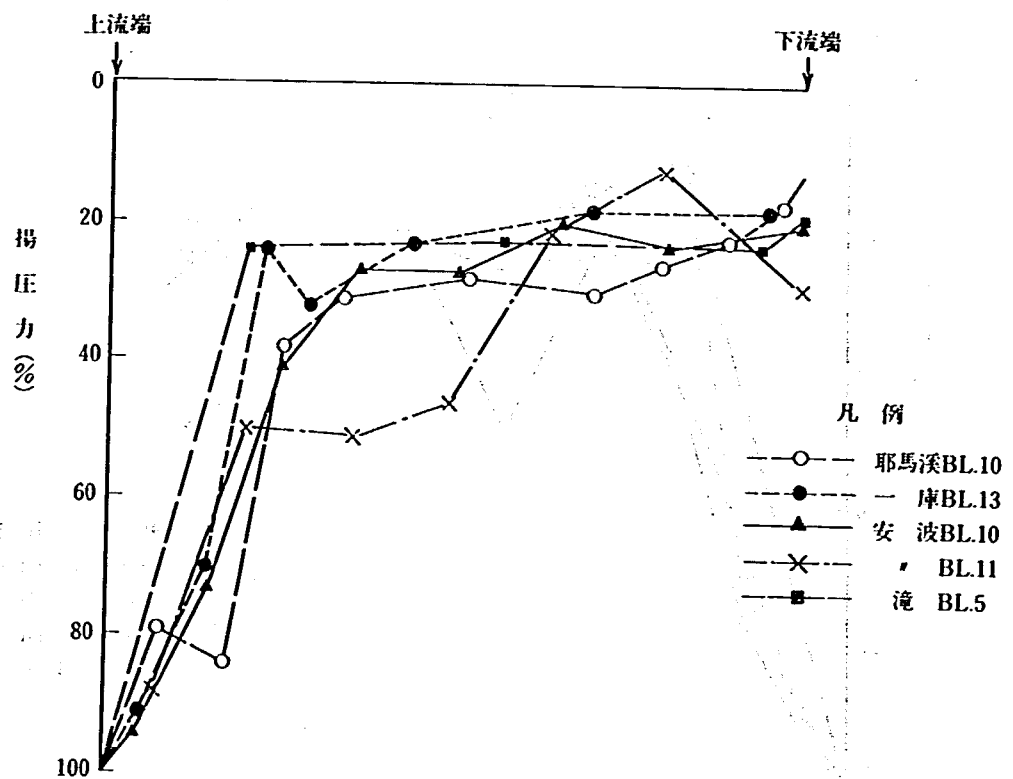


図-3.17(6) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
(隔孔閉塞B, 間隙水圧計による測定値)

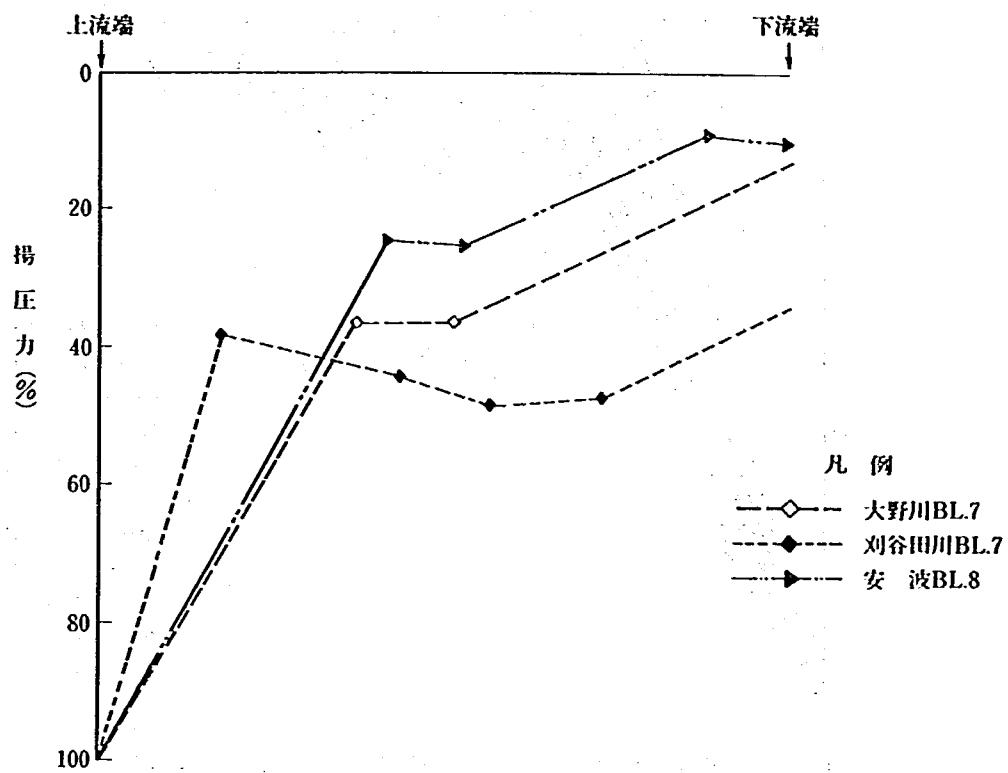


図-3.17(7) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
(隔孔閉塞C, 揚圧力測定孔による測定値)

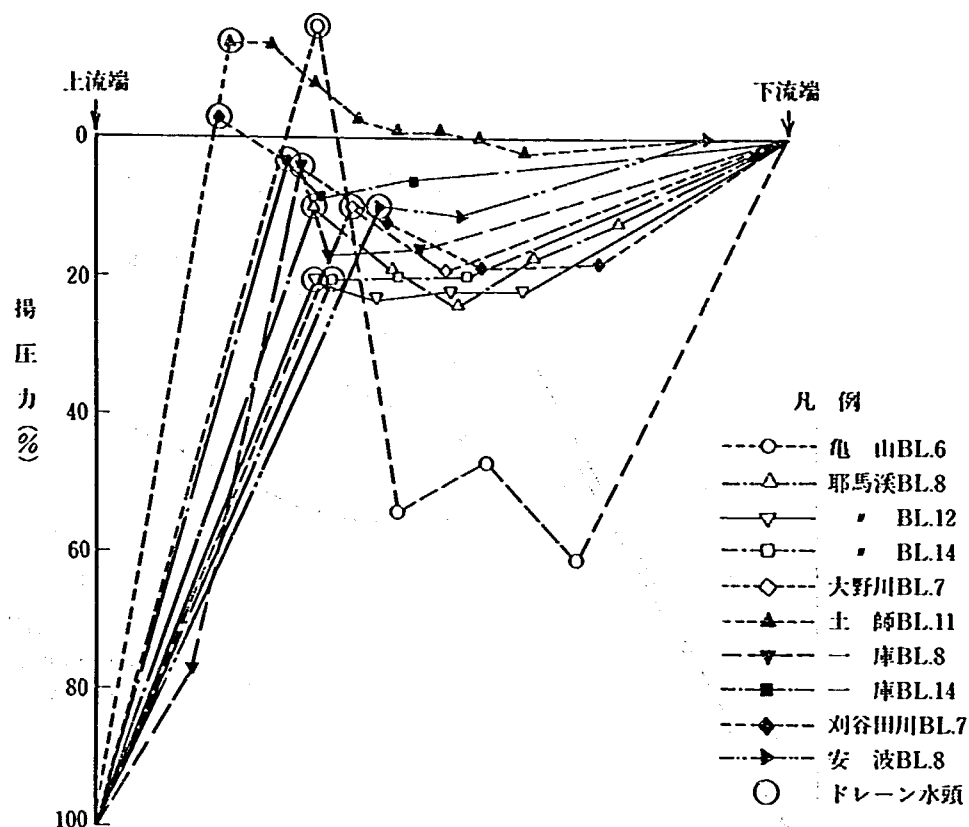


図-3.18(1) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布（全開状態，揚圧力測定孔による測定値）

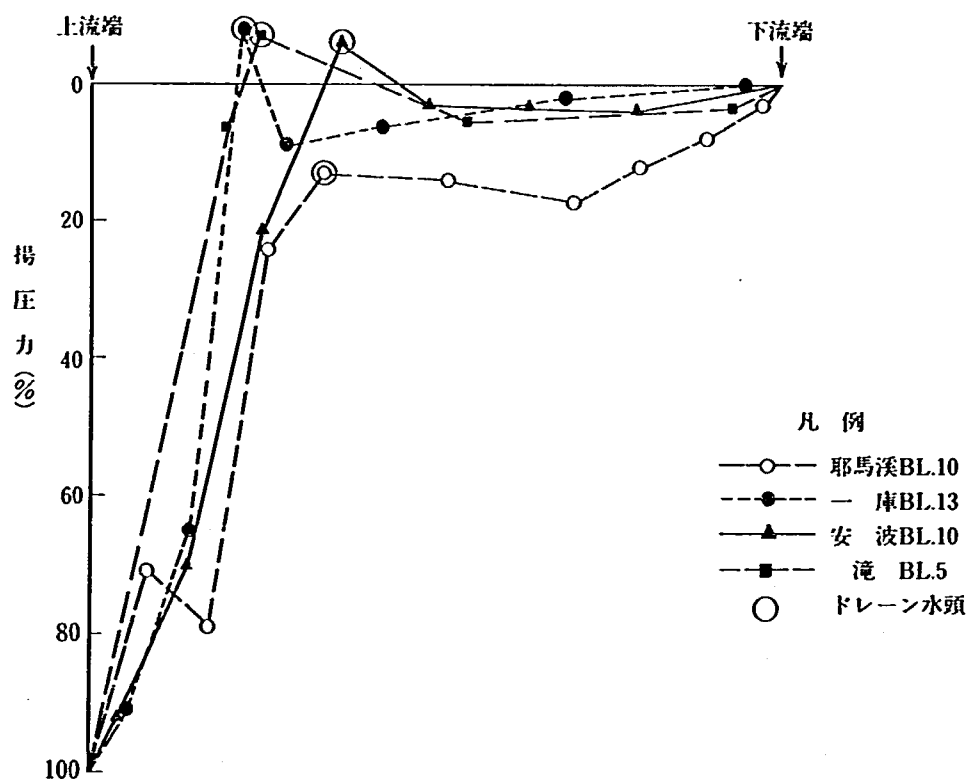


図-3.18(2) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布（全開状態，間隙水圧計による測定値）

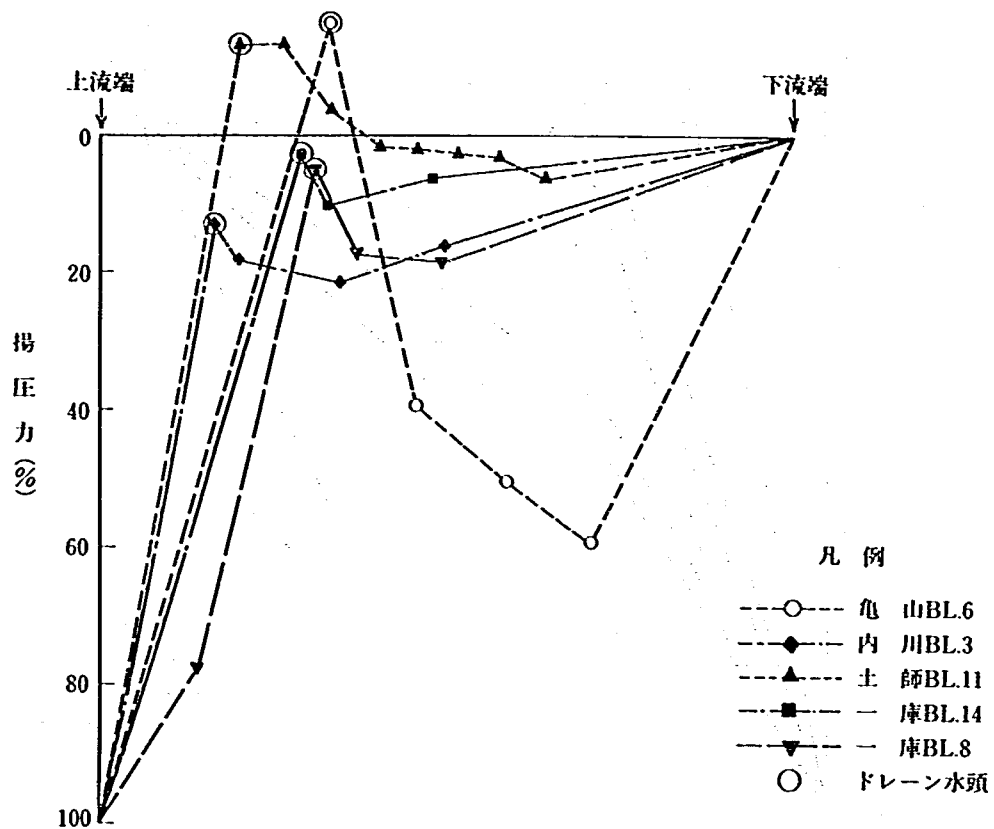


図-3.18(3) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布(隔孔閉塞A, 揚圧力測定孔による測定値)

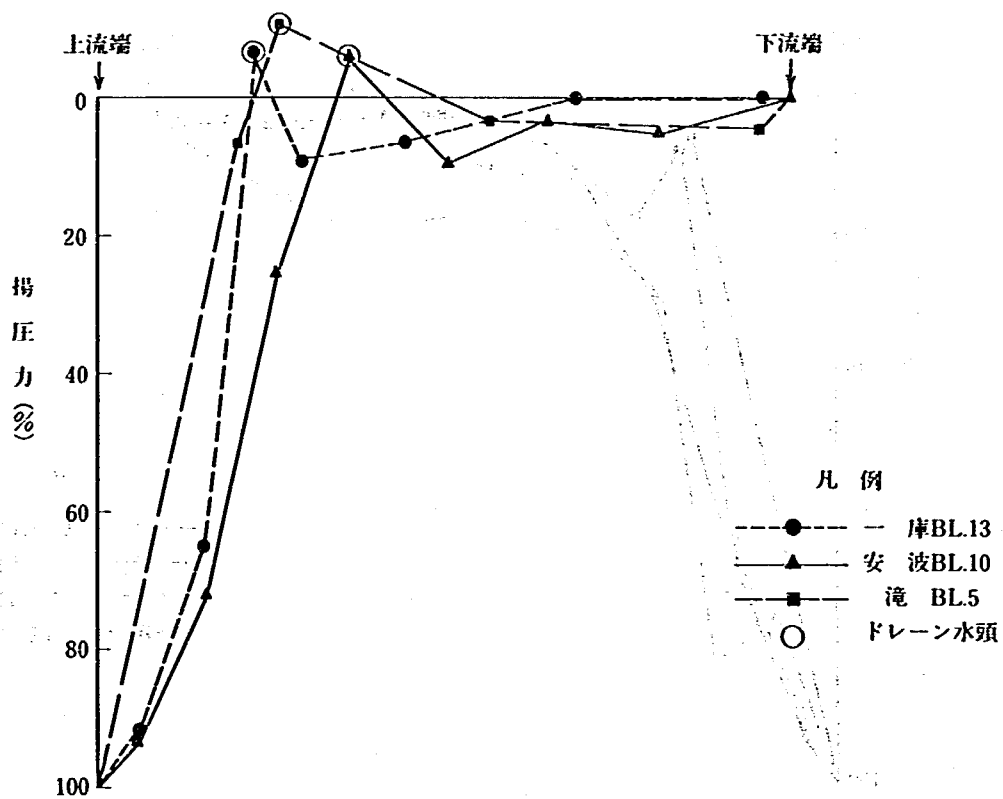
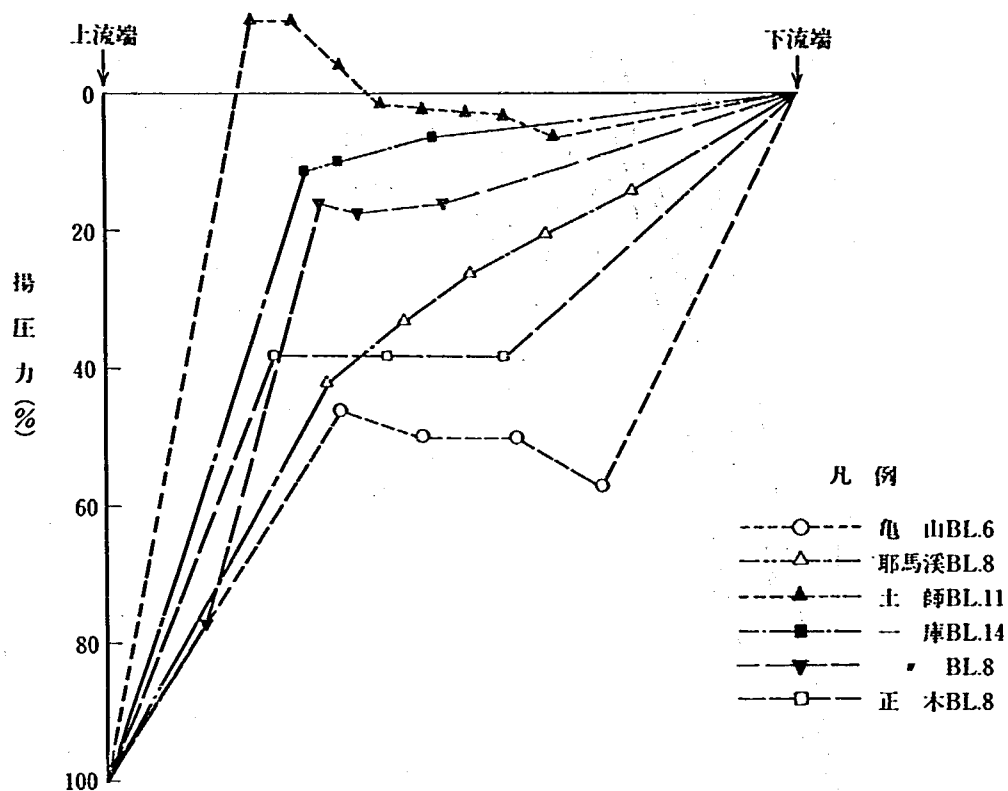
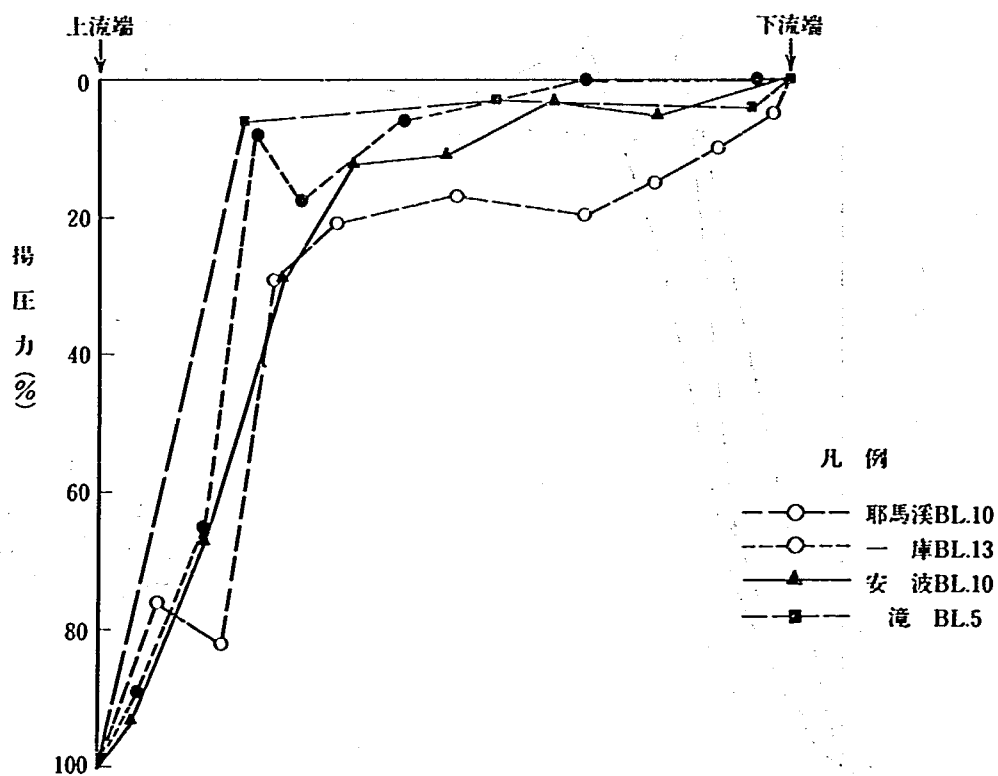


図-3.18(4) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布(隔孔閉塞A, 間隙水圧計による測定値)



図－3.18(5) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布（隔孔閉塞B，揚圧力測定孔による測定値）



図－3.18(6) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布（隔孔閉塞B，間隙水圧計による測定値）

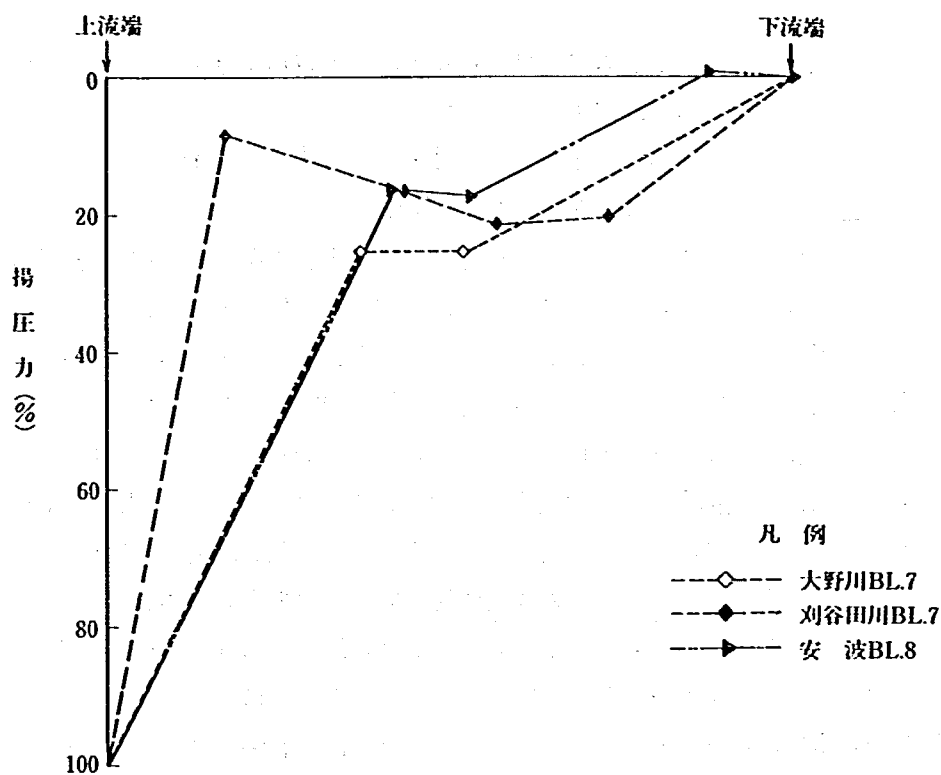


図-3.18(7) 基礎排水孔が機能している状態での上下流方向の揚圧力分布
堤趾部の揚圧力の影響を補正した分布(隔孔閉塞C, 揚圧力測定孔による測定値)

4. ま と め

本報文では、重力式コンクリートダムにおける揚圧力の実測資料を基に、その特性について検討を加えた。その結果をとりまとめると、以下のとおりである。

- (1) ダム軸方向の揚圧力の測定は、一般に基礎排水孔を利用して行われているが、この場合、基礎排水孔の閉塞方法と閉塞時間によって、その値が変化する。
- (2) 基礎排水孔を利用して揚圧力を測定する場合、基礎排水孔を閉塞して揚圧力を測定することから、通常の基礎排水を行っている場合に比べて、測定される揚圧力の値は大きくなる。また、一斉閉塞を行った場合の揚圧力は、隔孔閉塞を行った場合の揚圧力に比べて大きくなる。
- (3) 基礎排水孔を利用して揚圧力を測定する場合、これを閉塞してから揚圧力を測定するまでの閉塞時間が短いと、安定した状態での揚圧力の測定が行えないことがある。揚圧力が上昇して安定するまでの時間は、基礎排水孔からの漏水量が少ない場合ほど長くなる傾向がある。
- (4) 揚圧力の大きさは、一般に貯水位の変動によく追従して変化し、両者の関係はほぼ直線的である。ただし、初期湛水時には、貯水位の変化に対して揚圧力の上昇に遅れが生じることがある。また、ごく稀な例として、揚圧力と貯水位の関係が直線的にならない場合がある。
- (5) 一斉閉塞法によって揚圧力を測定する場合、揚圧力の大きさは、堤体の基礎面の標高を原点として上流側の貯水位に比例して変化する。これに対して、隔孔閉塞法によって揚圧力を測定する場合、揚圧力の大きさは、基礎排水孔の孔口標高を原点として上流側の貯水位に比例して変化する（図-3.5 参照）。これは、基礎排水孔における揚圧力の大きさが、ドレーン水頭に相当する圧力に達するまでは、基礎排水孔の効果が現れないためである。
- (6) 揚圧力の大きさは、季節的な変動を示さないのが一般的である。ただし、ごく稀な例として、継目排水工の効果が期待できない場合に、揚圧力の大きさが季節的に変化することがある。
- (7) ダムの完成後、数年を経過すると、同一水位に対して揚圧力の大きさが変化することがある。これは、貯水池内の堆砂の進行、岩盤内の亀裂の目詰まりなどの影響がその原因として考えられる。また、軟岩の場合には、岩盤内の間隙が完全に飽和し、浸透流が定常状態に達するまでに時間を要することもその原因として考えられる。
- (8) 軟岩の場合、硬岩の場合に比べて揚圧力が大きくなる傾向がある。これは、カーテングラウチングによる遮水効果や基礎排水孔による排水効果が、硬岩の場合よりも小さいためと考えられる。
- (9) 基礎岩盤内にダム軸方向に走る断層が存在したり、ダムの構造的な特徴から、浸透水が下流に抜けにくい場合には、揚圧力が大きくなる傾向がある。逆に、上下流方向の亀裂が卓越していたり、堤趾部に透水性の高い岩盤が存在するような場合には、揚圧力は小さくなる傾向がある。
- (10) 基礎排水孔の間隔は、揚圧力の大きさに関係し、その間隔が狭いほど揚圧力の大きさは小さくなる。

なお、本文の中で度々説明したように、揚圧力の大きさは、上のような特性のほかに、ドレーン水頭（堤体の基礎面から基礎排水孔の孔口までの高さ）によっても大きく影響されるので、基礎排水孔の設計ならびにダム堤体の安定解析に際しては、この点に十分注意しておく必要があるといえる。また、堤趾部における揚圧力についても、堤体の下流側の状態（下流側の水位、フーチングの大小、埋

め戻しの有無など)によってその値がかなり異なってくるので、同様に注意が必要である。

最後になりましたが、揚圧力の実測資料の提供にご協力頂きました関係各位に対して厚く謝意を表します。

付 録

付録1. 貯水位のちがいによる揚圧力分布の比較.....	57
付録2. 揚圧力の経年変化.....	110
付録3. 基礎排水孔の閉塞法の違いによる揚圧力分布の比較.....	134

付録 1. 貯水位のちがいによる揚圧力分布の比較

各ダムごとに、貯水位のちがいによる揚圧力分布を比較するために、貯水位の変動の大きな初期湛水時において、貯水位の条件を2～3段階設定し、それぞれの水位に対する揚圧力分布を比較する。ダム軸方向の揚圧力分布の比較を付図－1.1(1)～(3)に、上下流方向の分布の比較を付図－1.2(1)～(3)に示す。図中の揚圧力の値はすべて上流側の貯水深に相当する圧力に対する割合を%で示したものである。

付図－1.1および1.2の一覧表を付表－1.1および1.2に示す。図面の並びは基礎排水孔の閉塞時間の長いものの順に並べてある。また、同じダムの揚圧力分布図が複数あるが、これはひとつのダムでも基礎排水孔の閉塞条件を変えて揚圧力を測定しているダムがあるからである。

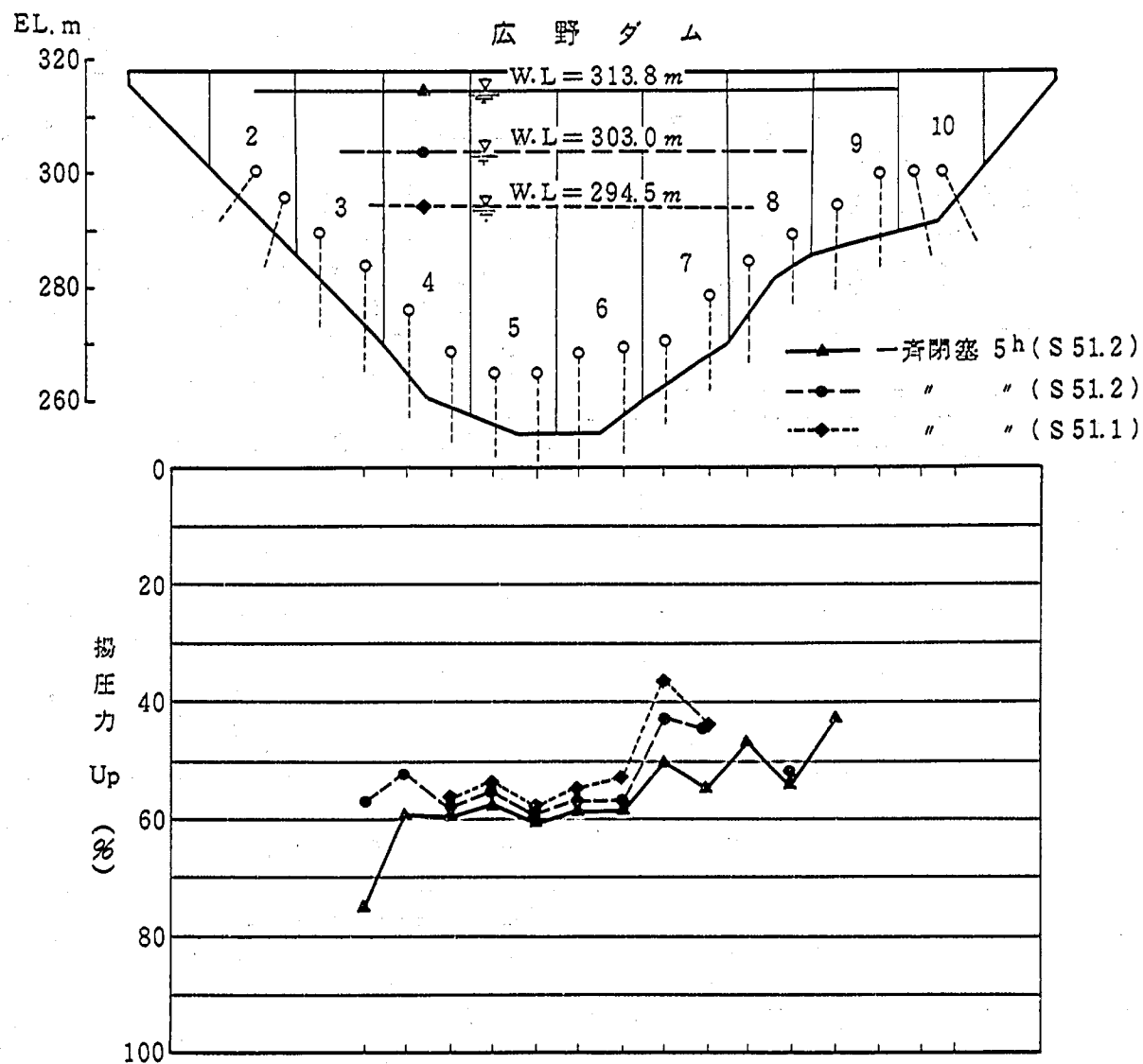
付表-1.1 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布図一覧表

ダム名	ダム高 (m)	洪水開始 年 (昭和)	基礎排水孔の閉塞法		比較水位 E. L. (m)	付 図 No
			閉塞法	閉塞時間		
広 野	63.0	51	一 斉 閉 塞	5 h	313.8/303.0/294.5	1.1(1)
内 川	81.0	48	"	5 h	225.0/213.1	1.1(2)
石手川	87.0	48	"	4 h	201.7/188.2	1.1(3)
大野川	47.5	53	"	4 h	149.5/142.5/132.0	1.1(4)
八 戸	72.0	52	"	3 h	124.8/104.6	1.1(5)
刈谷田川	83.5	54	"	2 h	239.4/227.7	1.1(6)
亀 山	34.5	54	"	2 h	80.5/75.64	1.1(7)
美 唄	35.5	56	"	2 h	247.7	1.1(8)
正 木	69.0	52	"	1 h	159.4/150.3	1.1(9)
野 村	60.0	56	"	1 h	168.2/156.3/139.4	1.1(10)
網 取	59.0	56	"	1 h	211.9/192.7/177.9	1.1(11)
山 財	63.5	55	"	1 h	92.5/75.7	1.1(12)
大 渡	96.0	56	"	1 h	197.6/180.0/161.5	1.1(13)
岩 瀬	55.5	42	"	1 h	116.0	1.1(14)
土 師	50.0	49	"	1 h	245.0/235.4/226.4	1.1(15)
祝 子	60.0	47	"	30'	320.2/311.1/300.1	1.1(16)
新 宮	42.0	50	"	30'	231.0/224.2/215.8	1.1(17)
松 川	84.3	50	"	15' 以上	677.8	1.1(18)
論 鶴 羽	42.0	50	"	15'	181.2/172.0	1.1(19)
胎内川	93.0	54	特定孔閉塞	常 時	289.7/278.2/268.3	1.1(20)
早出川	82.5	54	"	5 h	190.1/164.6	1.1(21)
魚 切	78.0	56	"	3 h30'	224.7/210.7/199.6	1.1(22)
刈谷田川	83.5	54	隔孔閉塞	2 h	248.4/239.1	1.1(23)
"	"	"	特定孔閉塞	2 h	271.4/249.5	1.1(24)
亀 山	34.5	54	隔孔閉塞	2 h	84.0	1.1(25)
耶馬溪	65.0	59	"	1 h	174.9/159.8/141.2	1.1(26)
正 木	69.0	52	特定孔閉塞	1 h	184.9/172.7/159.4	1.1(27)
普久川	41.5	57	"	1 h	133.5/127.3/121.5	1.1(28)
安 波	86.0	57	"	1 h	110.0/91.5/73.1	1.1(29)
滝	70.0	57	隔孔閉塞	1 h	76.6/60.2/45.8	1.1(30)
大 渡	96.0	56	"	1 h	200.0/170.0	1.1(31)
土 師	50.0	49	"	30'	255.7/240.0	1.1(32)
一 庫	75.0	57	2孔おき閉塞	3'	152.0/134.5/116.1	1.1(33)

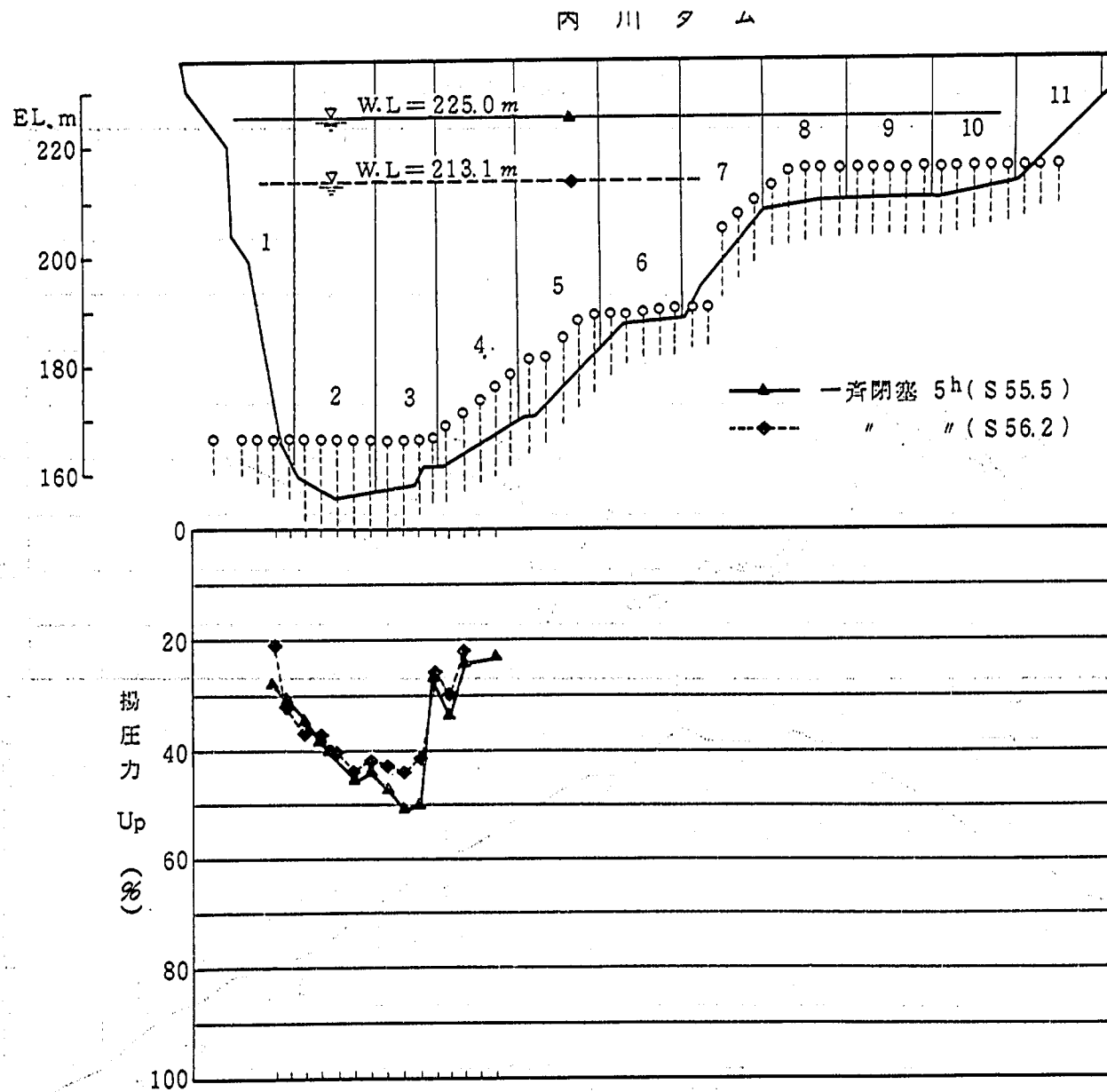
付表-1.2 貯水位の変化と上下流方向の湯圧分布図一覧表

ダム名と ブロックNo	ダム高 (m)	湛水開始 年 (昭和)	揚圧力測定法	ダム軸方向の 基礎排水孔の閉塞状態		比較水位 E.L. (m)	付図 No
				閉塞法	閉塞時間		
鯖石川 4	37	49	揚圧力測定孔	一斉閉塞	常時	145.0/135.0/126.0	1.2(1)
" 6	37	"	"	"	"	145.0/135.0/126.0	1.2(2)
早明浦 15	107	49	"	1ブロックのみ 一斉閉塞	24h	323.5/288.0	1.2(3)
内川 3	81	48	"	一斉閉塞	5h	225.0/213.1	1.2(4)
大野川 7	44	53	"	"	4h	149.5/142.5/135.0	1.2(5)
刈谷田川 7	83.5	55	"	"	2h	239.4/227.7	1.2(6)
亀山 6	34.5	54	"	"	2h	80.5/ 75.6	1.2(7)
正木 8	60	52	"	"	1h	159.4/150.3	1.2(8)
野村 11	59	56	"	"	1h	168.2/156.3/139.4	1.2(9)
大渡 9	93	56	"	"	1h	197.6/180.0/161.5	1.2(10)
" 13	94.5	"	"	"	1h	197.6/180.0/161.5	1.2(11)
土師 11	48	49	"	"	1h	245.4/235.4/228.6	1.2(12)
松川 8	84.3	50	"	"	15'以上	677.8	1.2(13)
新宮 7	42.0	50	間隙水圧計	"	10'	234.0/226.0/216.0	1.2(14)
正木 8	60	52	揚圧力測定孔	隔孔閉塞 B	1h	185.0/168.3/159.4	1.2(15)
大渡 9	93	56	"	" B	1h	202.8/181.5	1.2(16)
" 13	94.5	"	"	" B	1h	202.8/181.5	1.2(17)
耶馬溪 8	62.0	59	"	全開	(常時)※	174.9/159.8/141.4	1.2(18)
" 12	63.0	"	"	"	(")	174.9/159.8/141.4	1.2(19)
" 14	63.0	"	"	"	(")	174.9/159.8/141.4	1.2(20)
一庫 8	69.0	57	"	"	(")	152.0/134.5/116.1	1.2(21)
" 14	73.0	"	"	"	(")	152.0/134.5/116.1	1.2(22)
安波 8	74.5	57	"	"	(1h)	110.0/ 91.5/ 73.1	1.2(23)
広川 7	53.5	49	間隙水圧計	"	-	155.6/138.5	1.2(24)
遠部 9	43	50	"	"	-	228.2/218.6/209.3	1.2(25)
滝 5	70	57	"	"	-	81.8/ 60.0/ 45.8	1.2(26)
" " (着岩面より5m下)	70	"	"	"	-	81.8/ 60.0/ 45.8	1.2(27)
広野 6	63	51	"	"	-	313.8/303.0/294.5	1.2(28)
耶馬溪 10	63	59	"	"	-	175.0/155.9/132.7	1.2(29)
一庫 13	75	57	"	"	-	152.0/134.5/116.1	1.2(30)
安波 5	55.5	57	"	"	-	110.0/ 91.5/ 73.1	1.2(31)
" 10	86.5	"	"	"	-	110.0/ 91.5/ 73.1	1.2(32)
" 11	85.5	"	"	"	-	110.0/ 91.5/ 73.1	1.2(33)
魚切 9	77.4	54	"	"	-	224.7/199.6/174.9	1.2(34)

※ ()内は揚圧力測定孔のみの閉塞時間

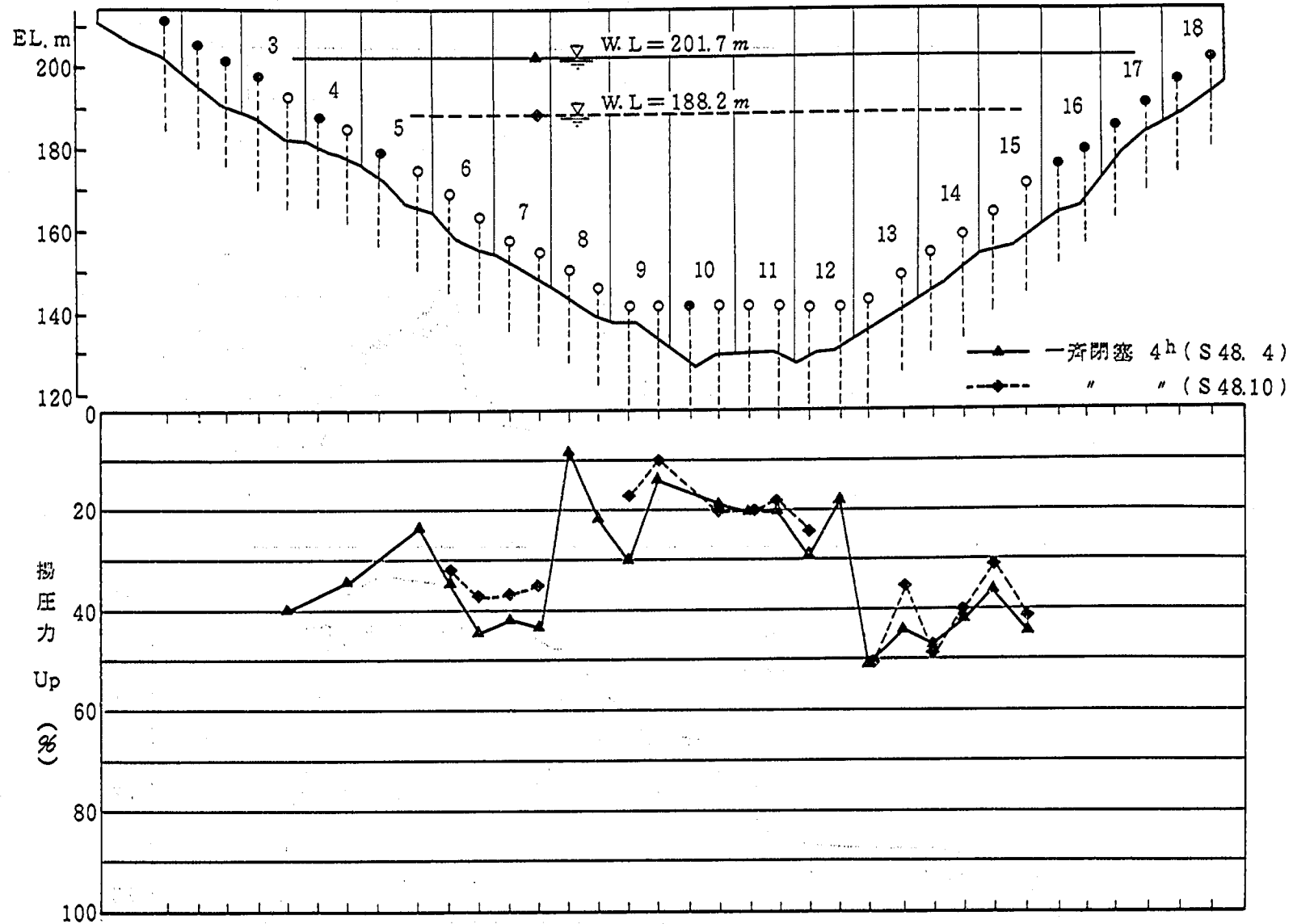


付図- 1.1 (1) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧分布 (広野ダム 一斉閉塞)

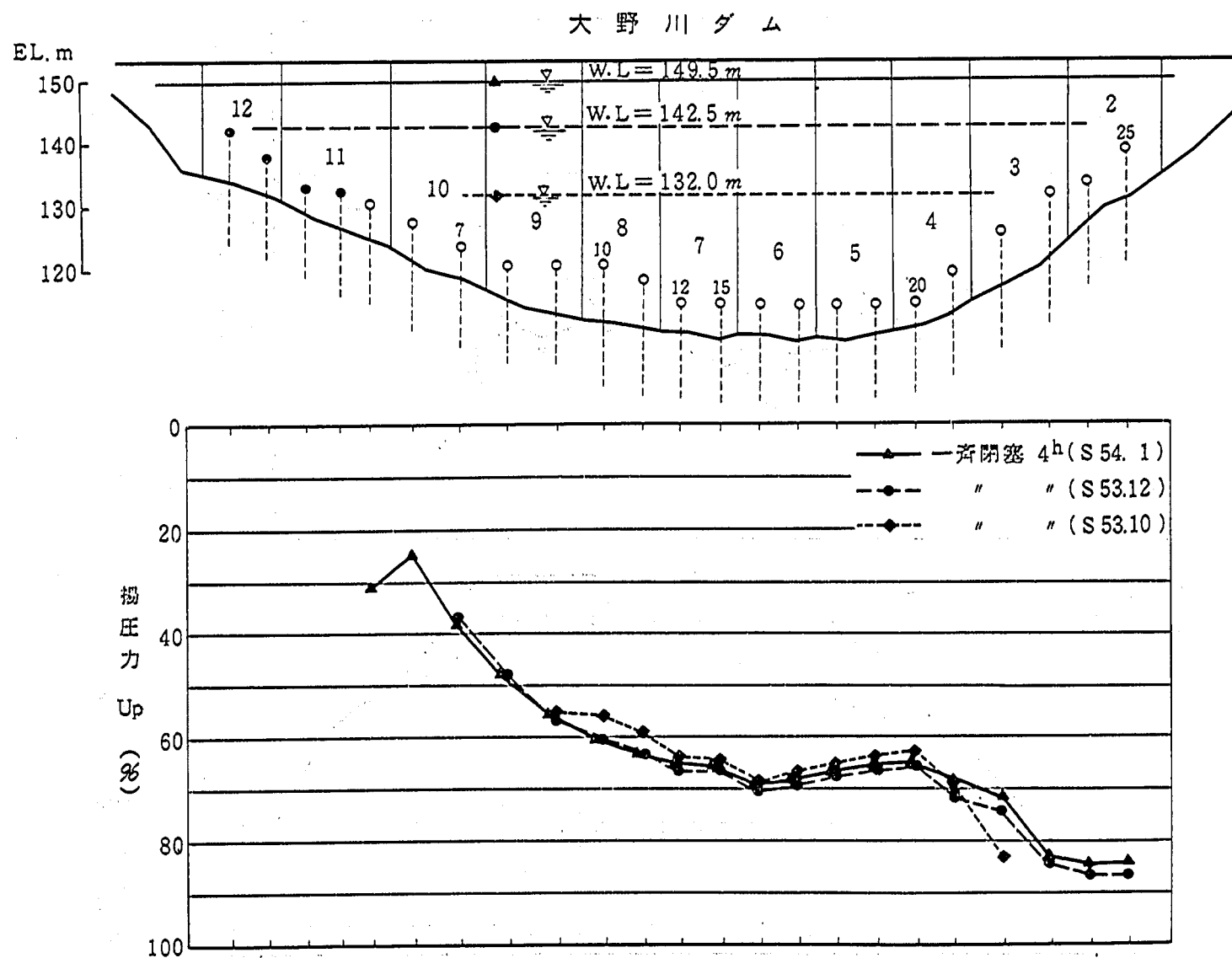


付図-1.1(2) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布(内川ダム 一斉閉塞)

石手川ダム

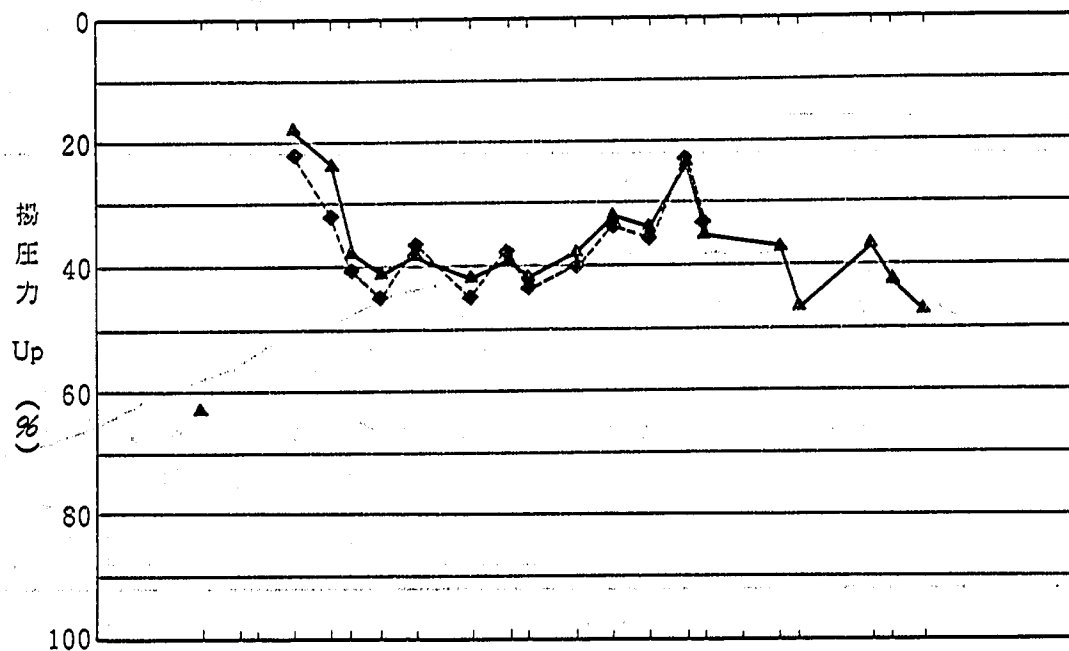
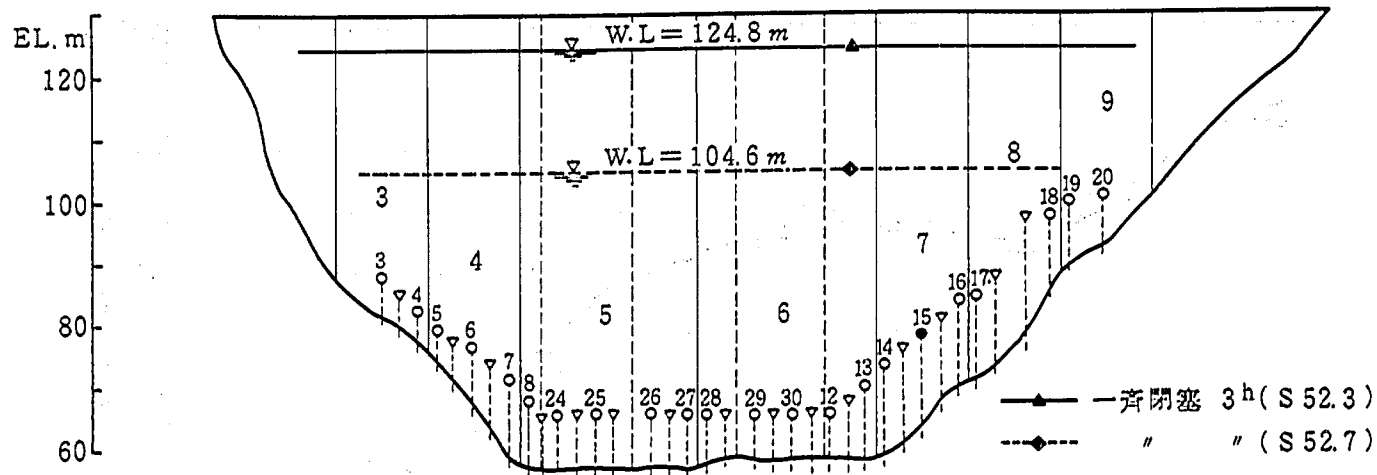


付図-1.1(3) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布(石手川ダム 一斉閉塞)



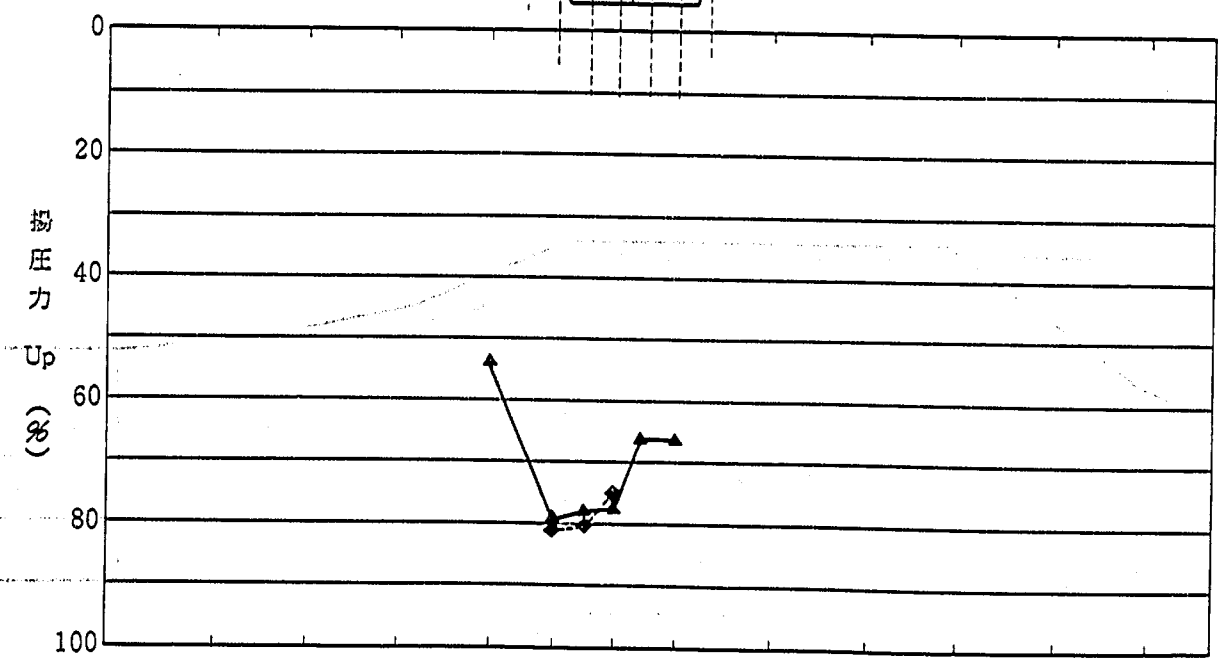
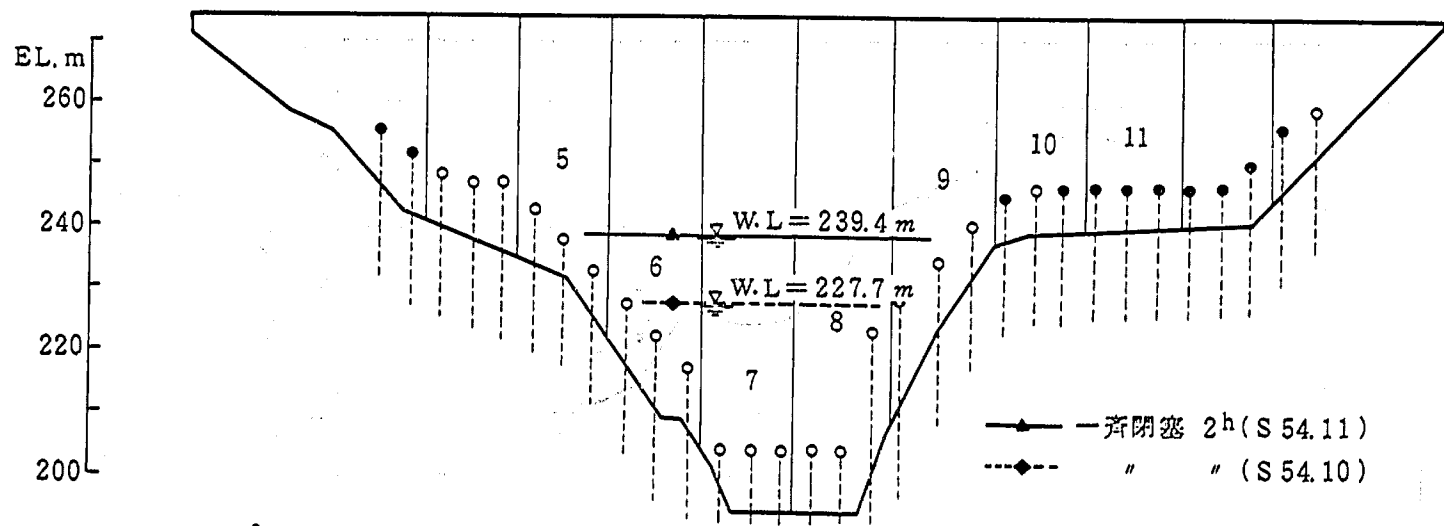
付図- 1.1 (4) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (大野川ダム 一斉閉塞)

八戸ダム

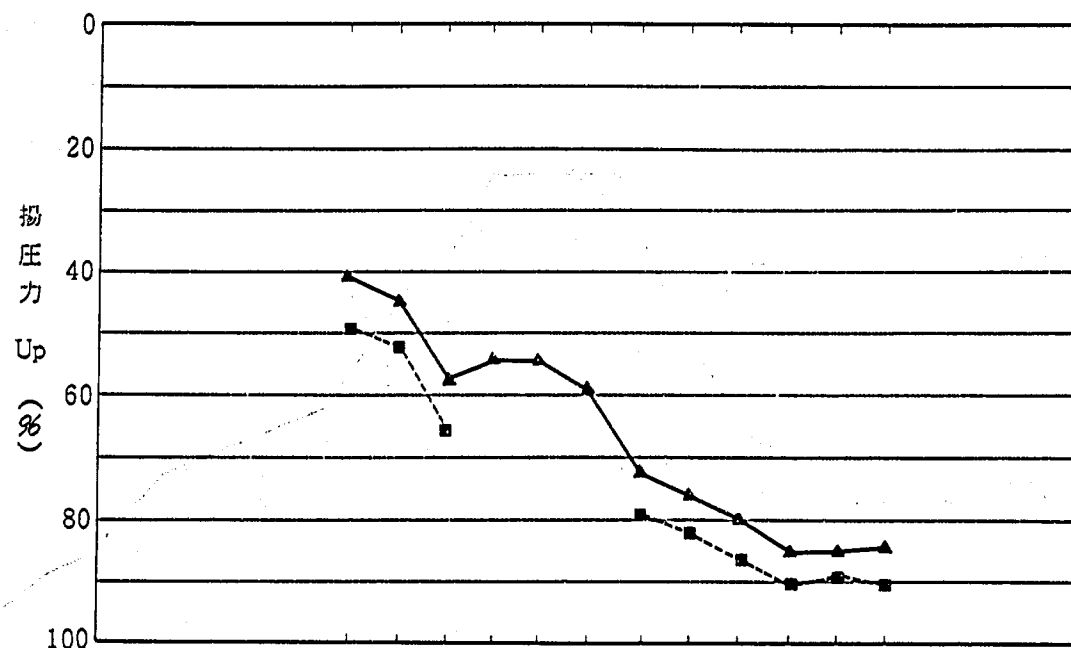
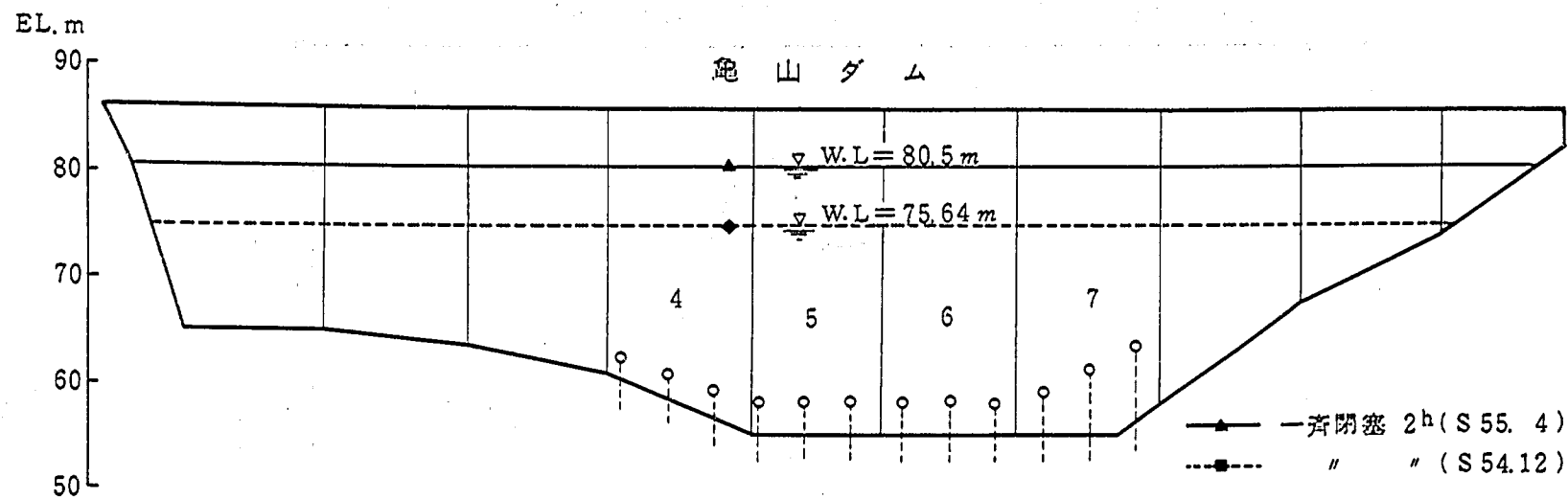


付図-1.1(5) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布(八戸ダム 一斉閉塞)

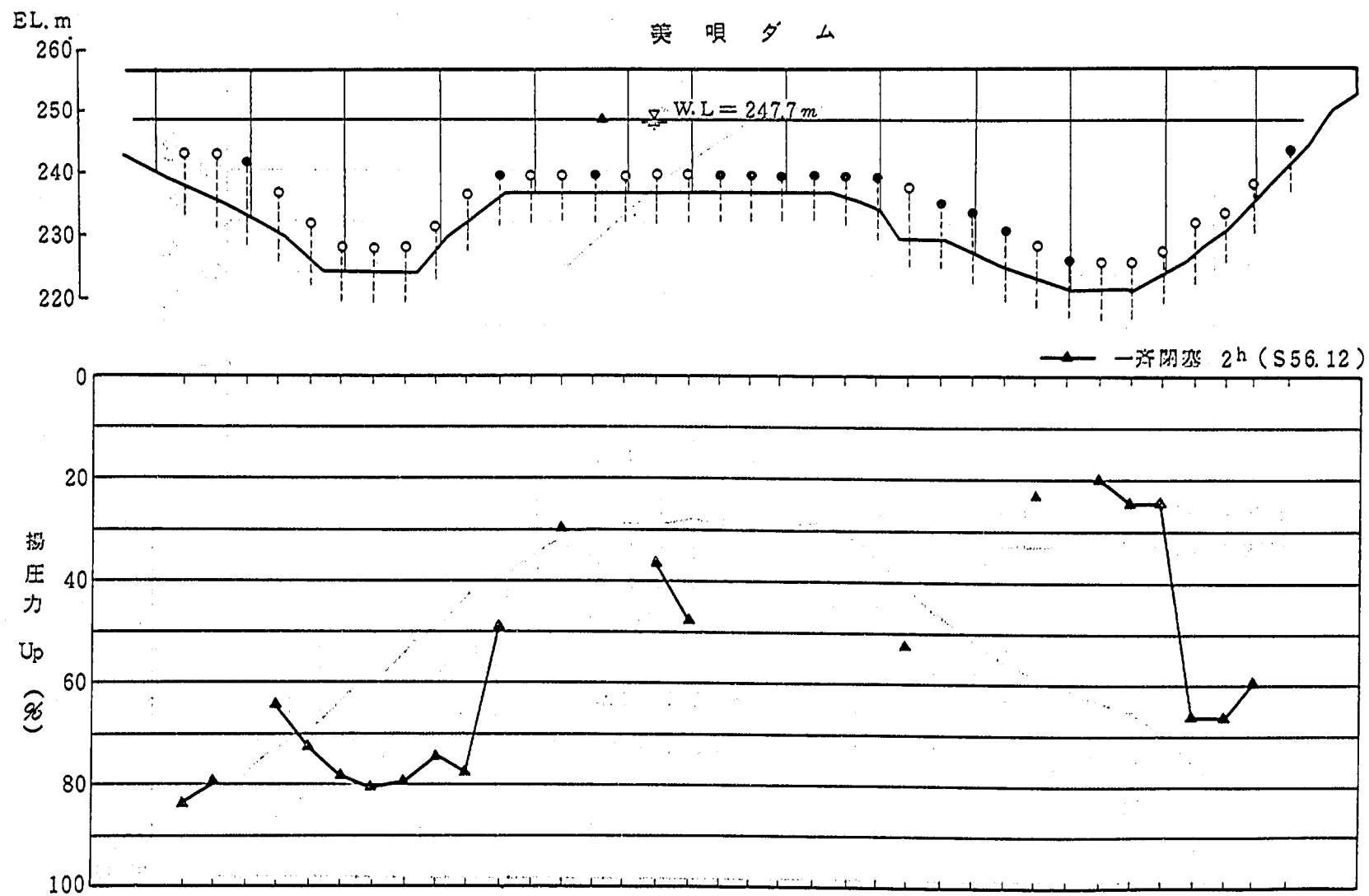
刈谷田川ダム



付図- 1.1 (6) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (刈谷田川ダム 一斉閉塞)

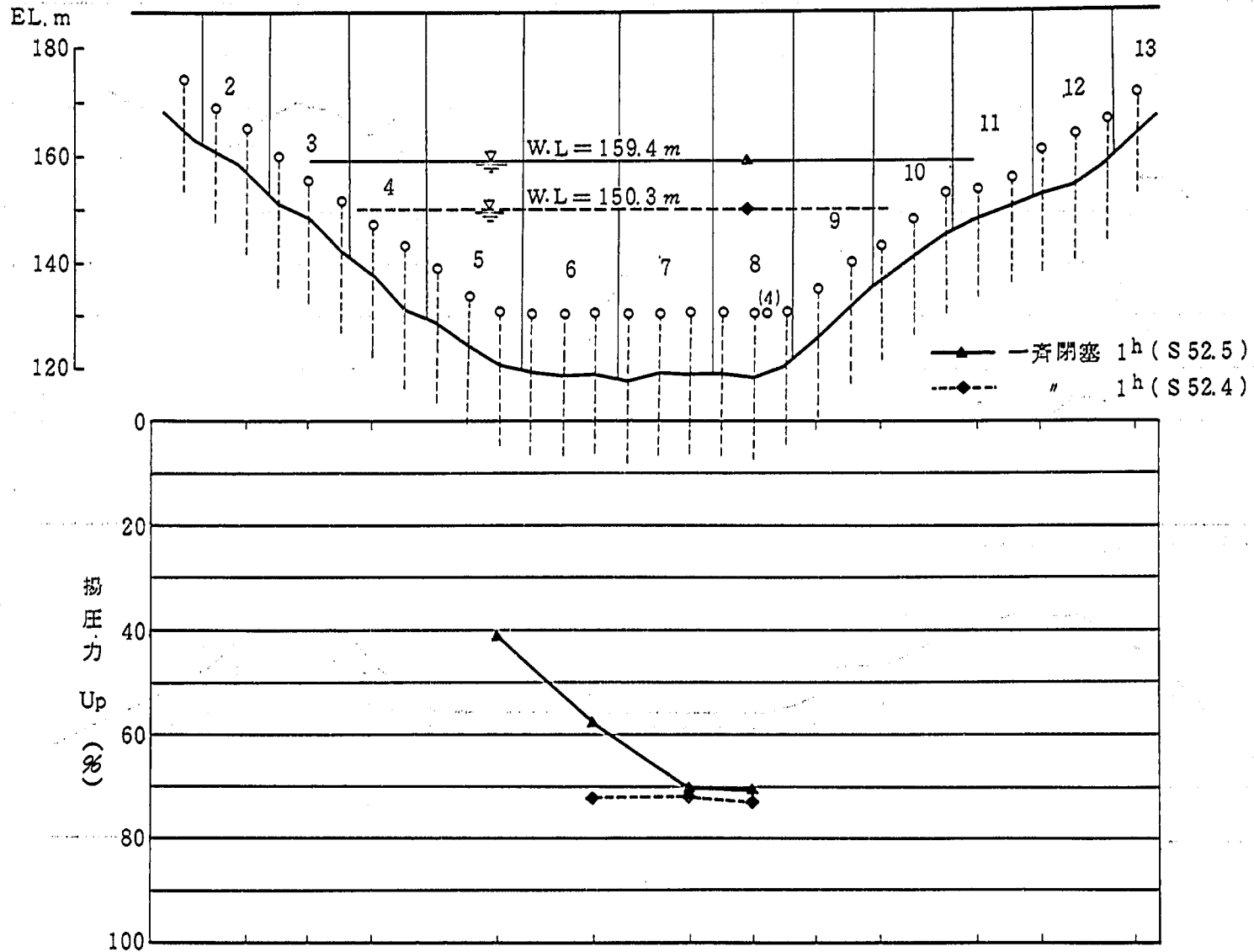


付図-1.1(7) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布(亀山ダム 一斉閉塞)

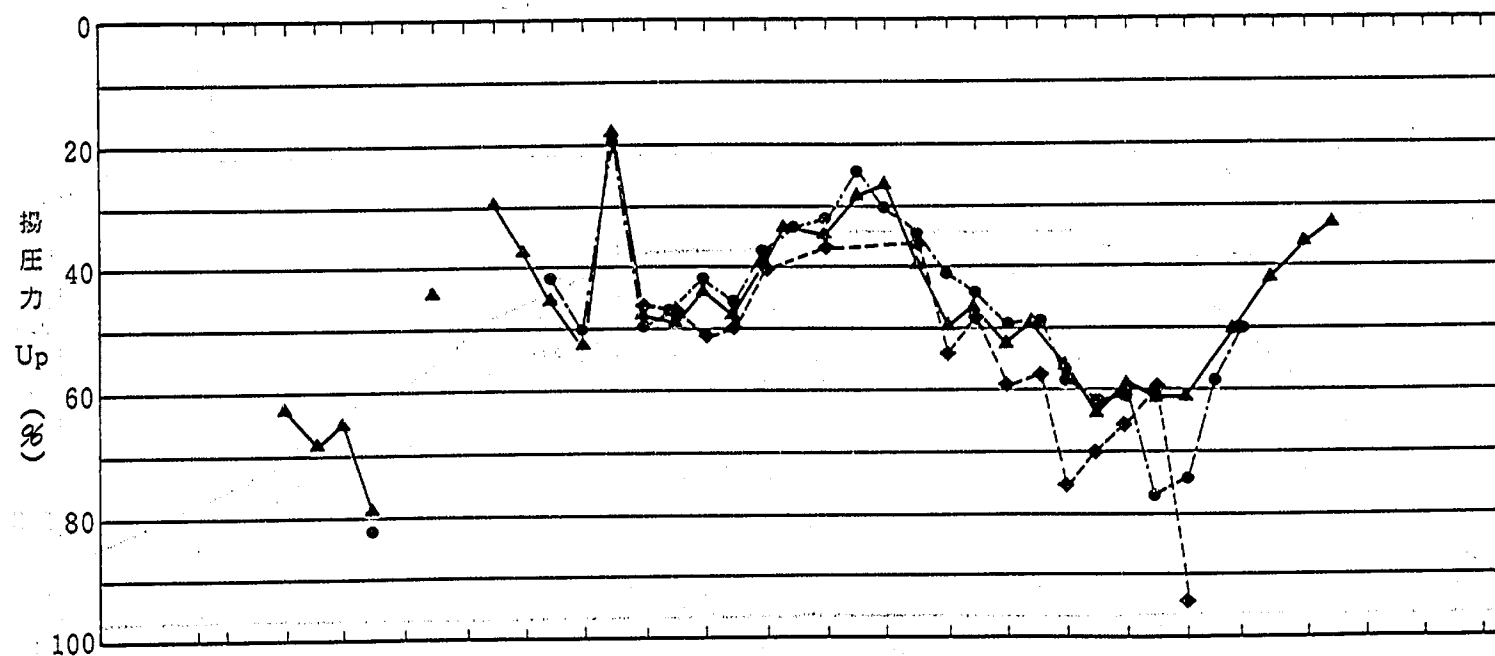
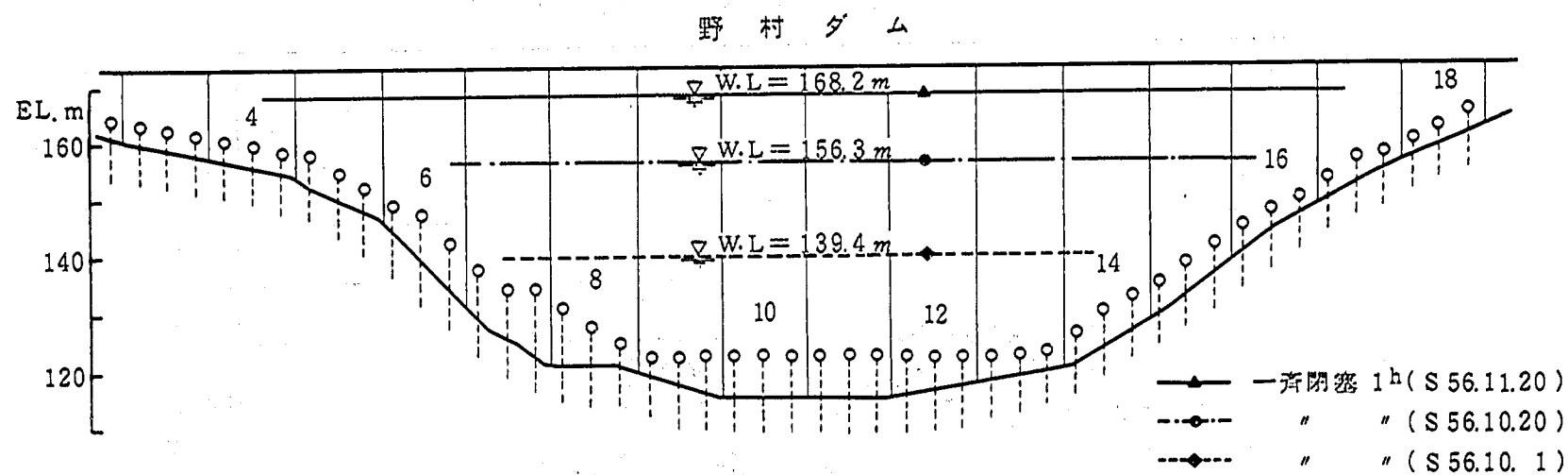


付図- 1.1(8) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (美唄ダム 一斉閉塞)

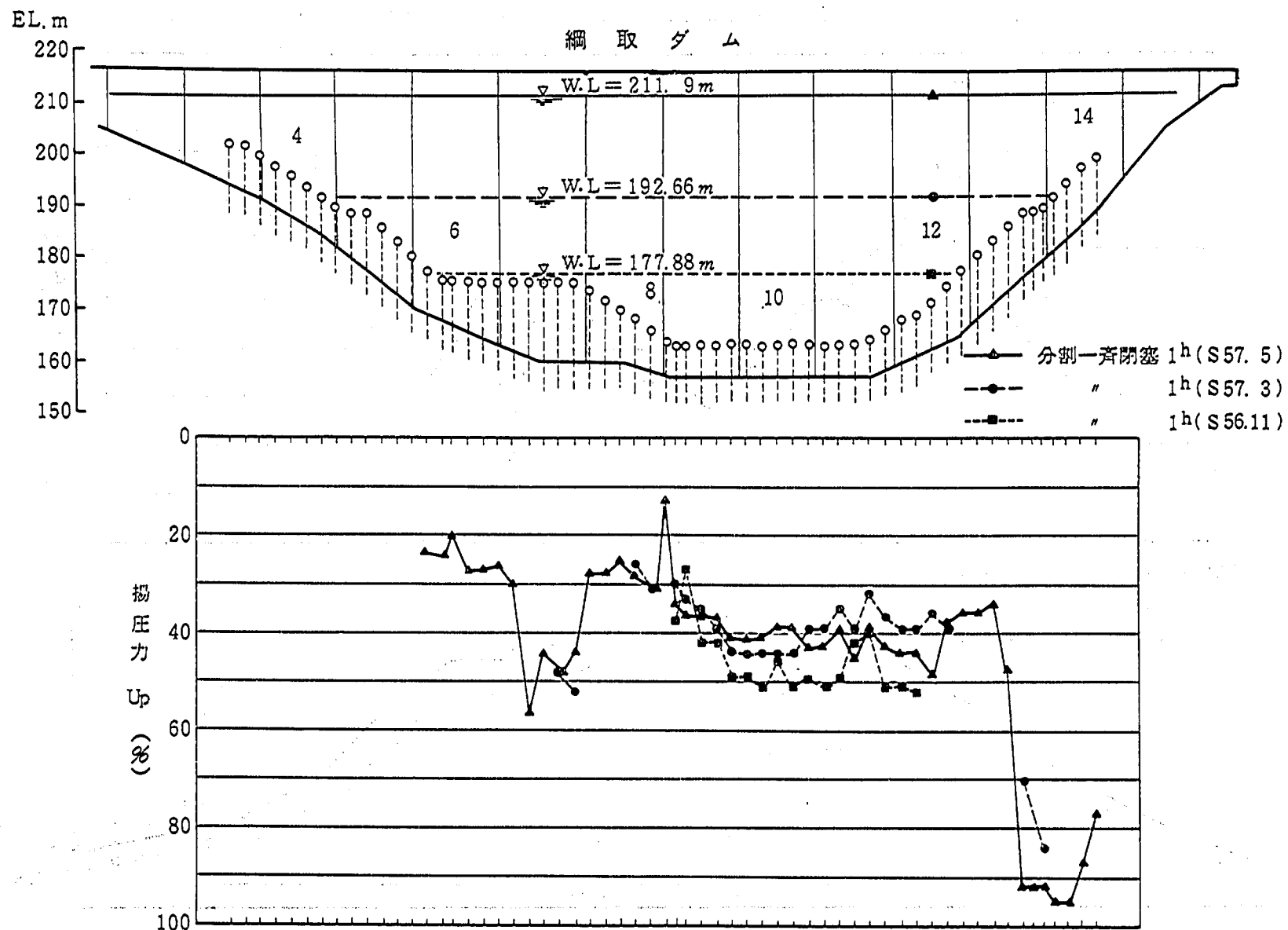
正木ダム



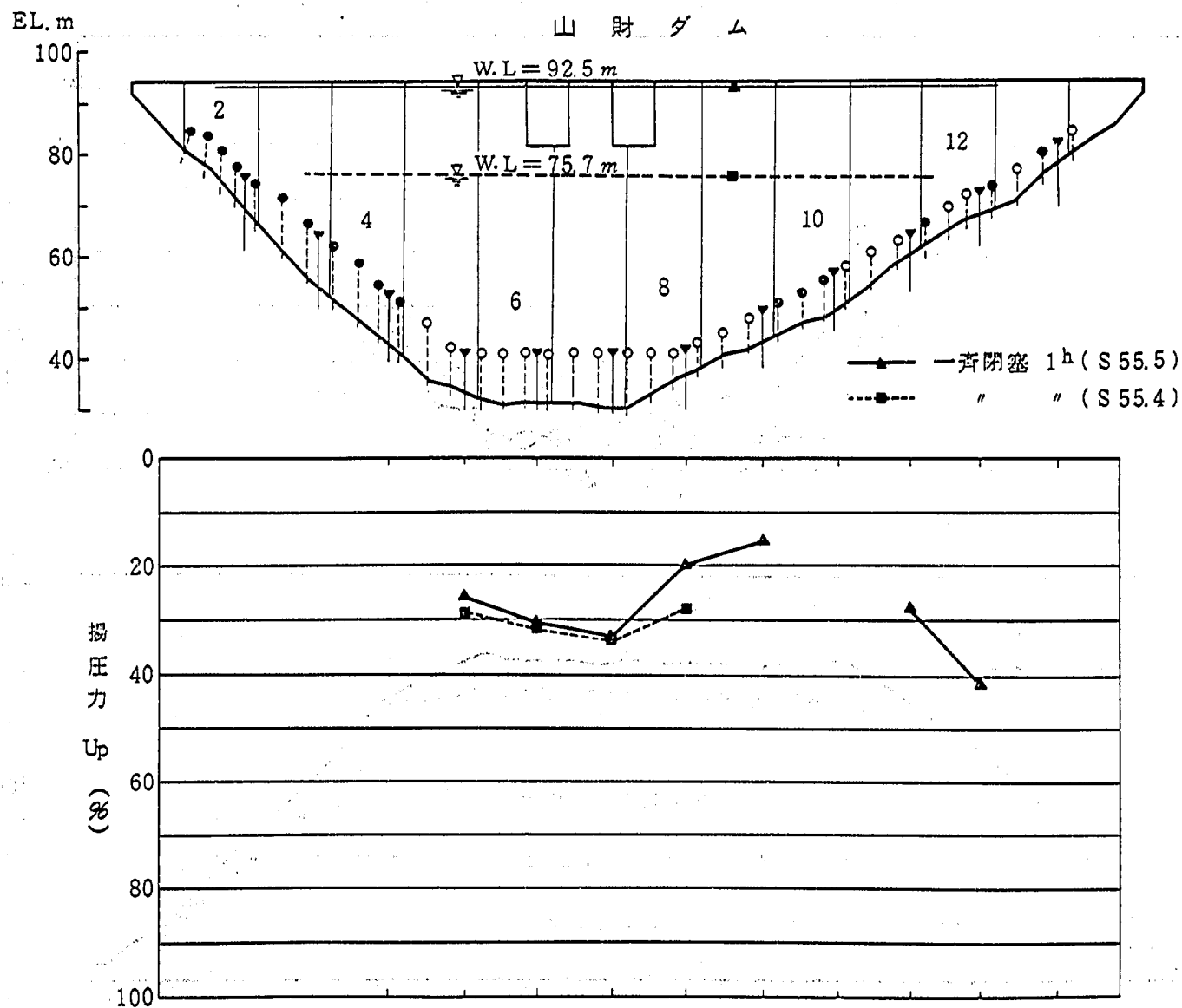
付図-1.1(9) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (正木ダム 一斉閉塞)



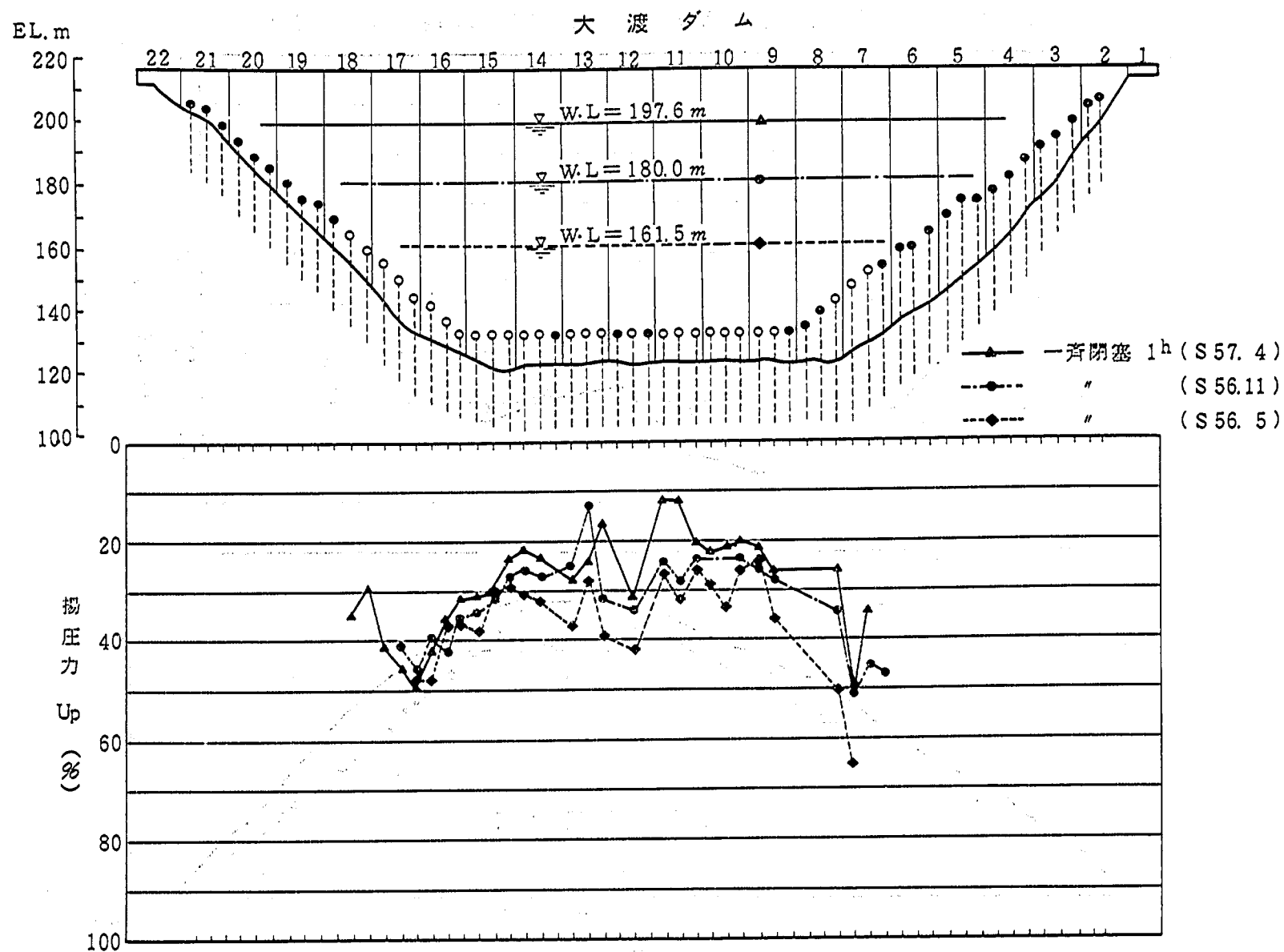
付図 - 1.1 (10) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (野村ダム 一斉閉塞)



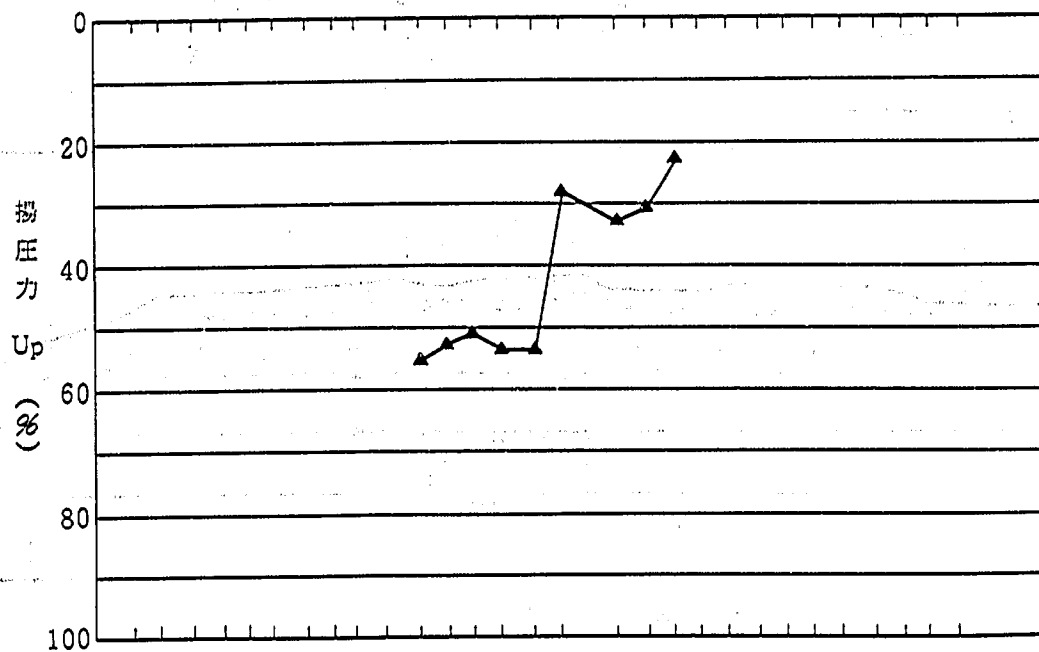
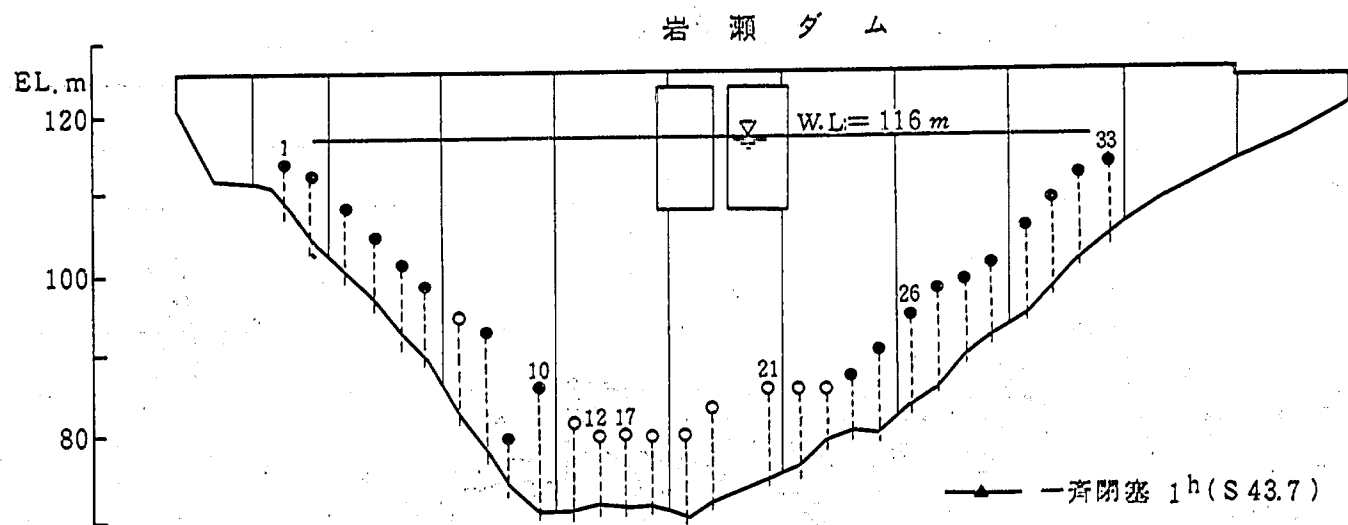
付図- 1.1 (1) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (綱取ダム 一斉閉塞)



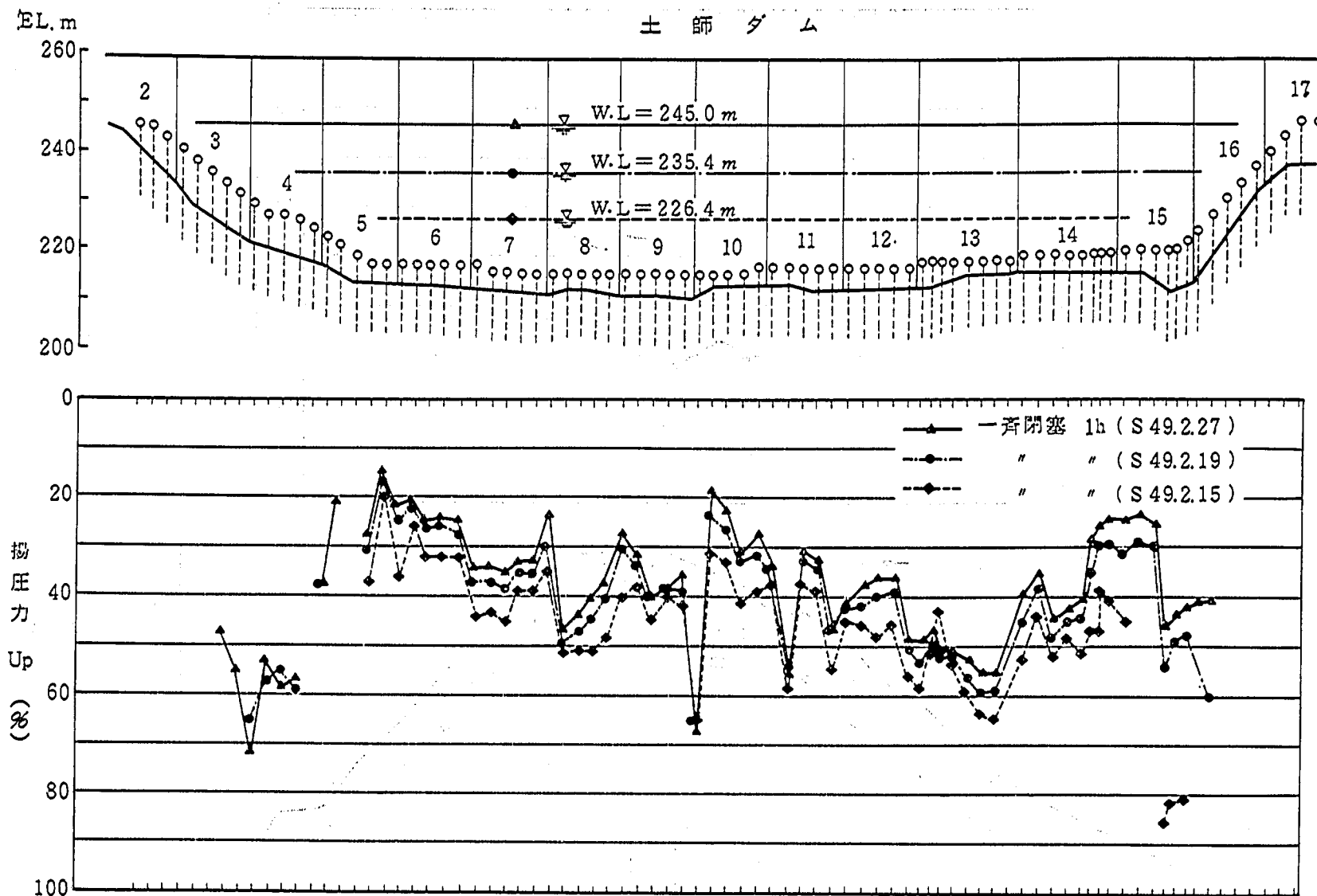
付図- 1.1 (2) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (山財ダム 一斉閉塞)



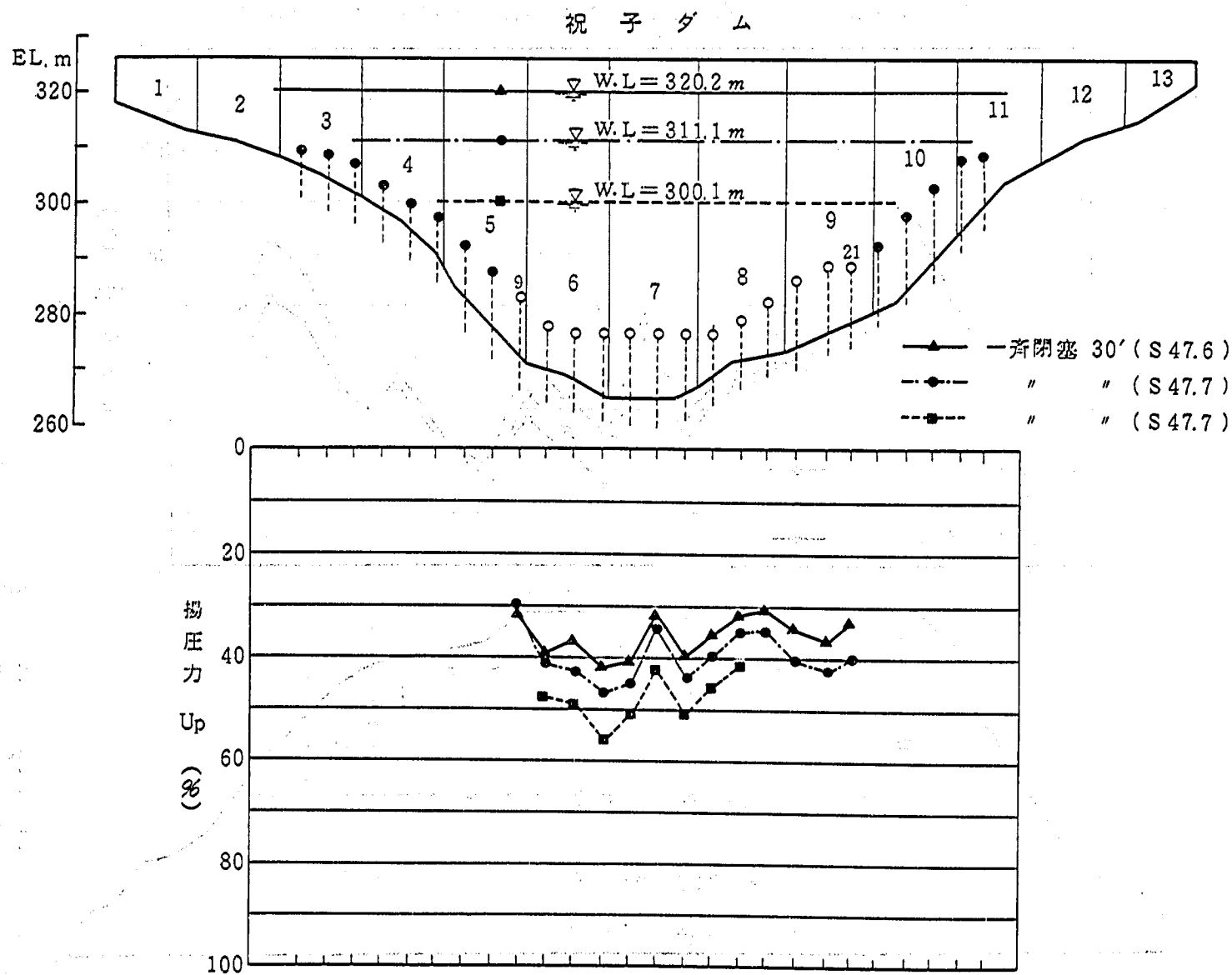
付図 - 1.1 (13) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (大渡ダム 一斉閉塞)



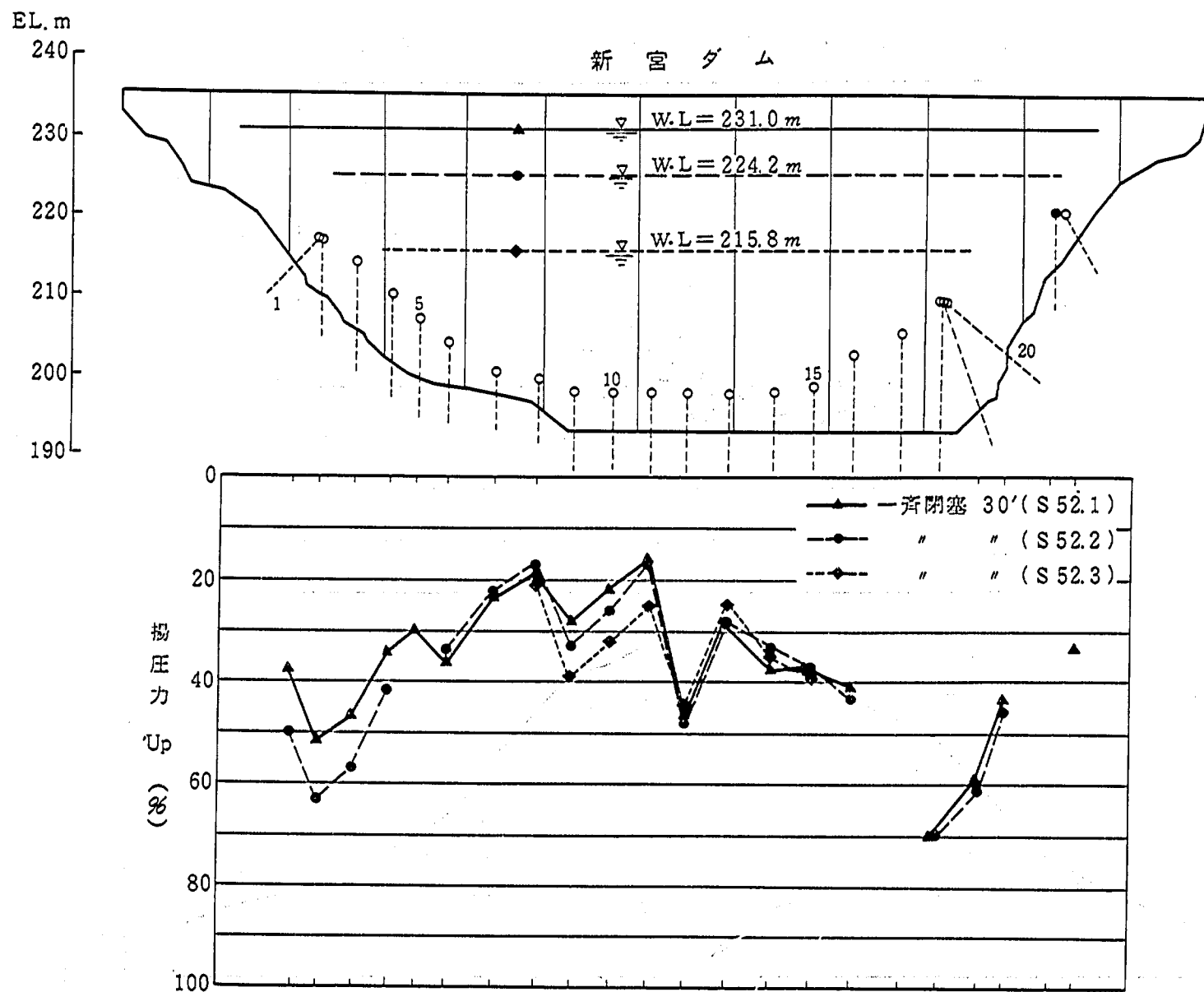
付図-1.1(4) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布(岩瀬ダム 一斉閉塞)



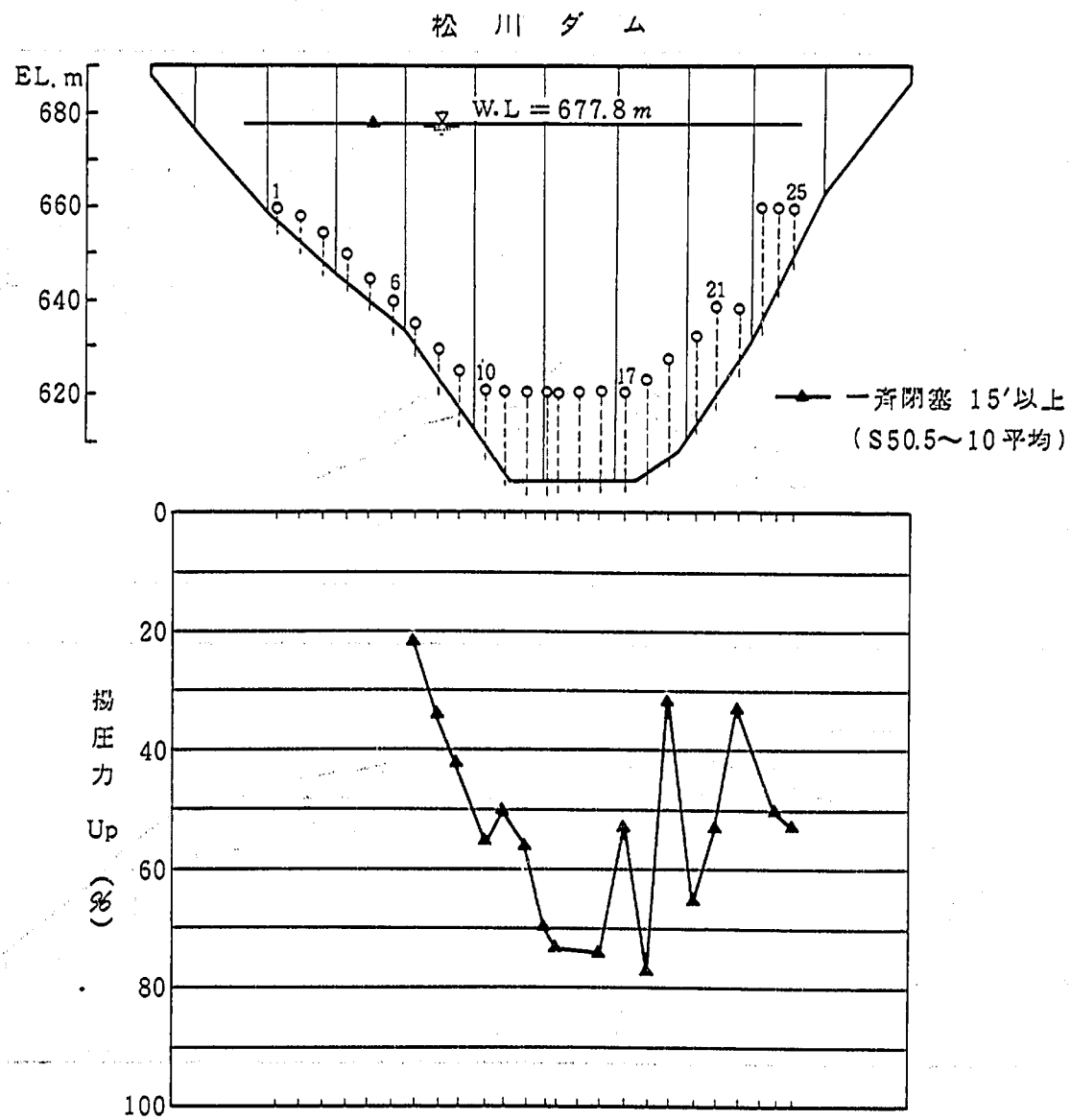
付図- 1.1 (15) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (土師ダム 一斉閉塞)



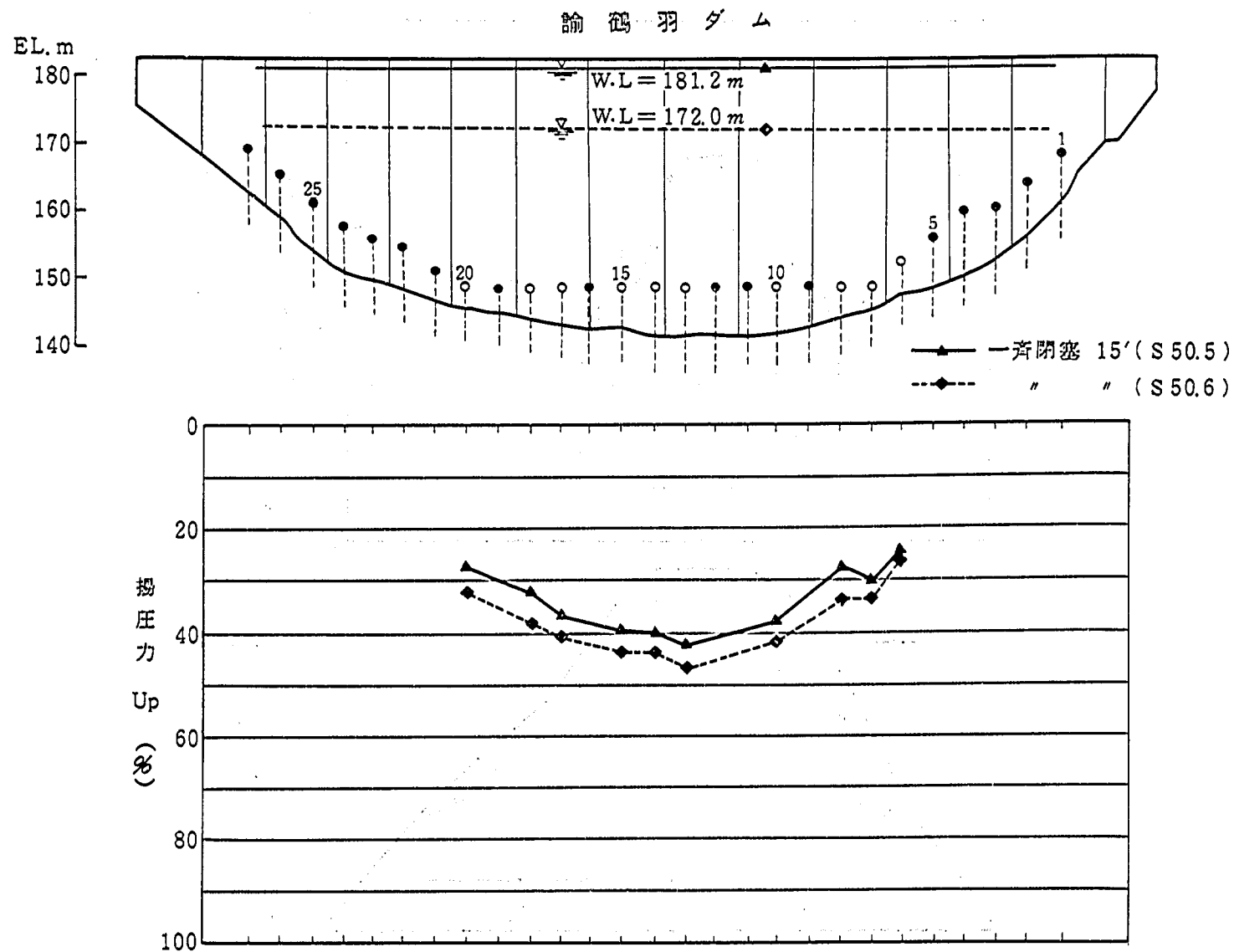
付図-1.1 (16) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (祝子ダム 一斉閉塞)



付図- 1.1 (17) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (新宮ダム 一斉閉塞)

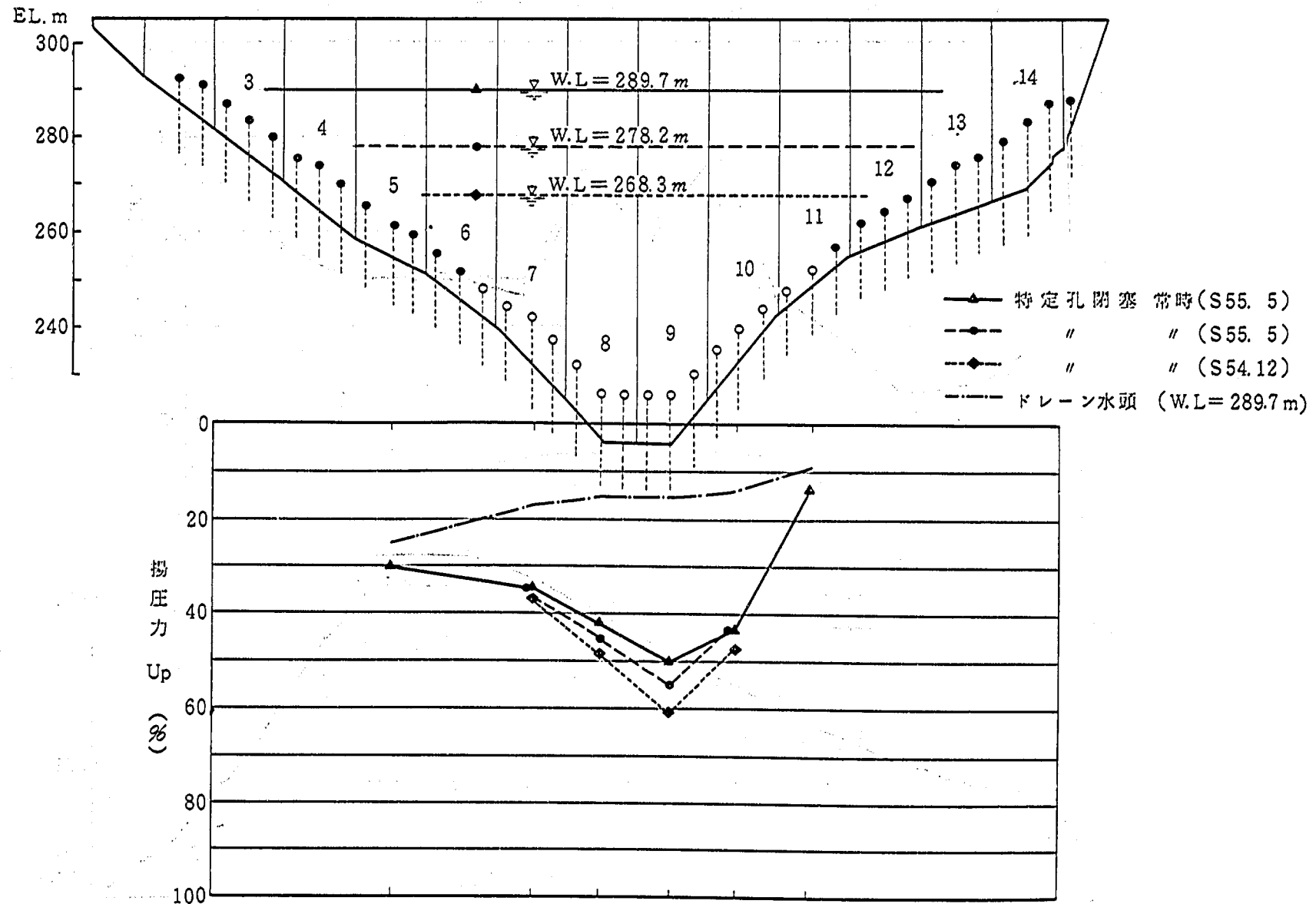


付図-1.1(8) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布(松川ダム 一斉閉塞)

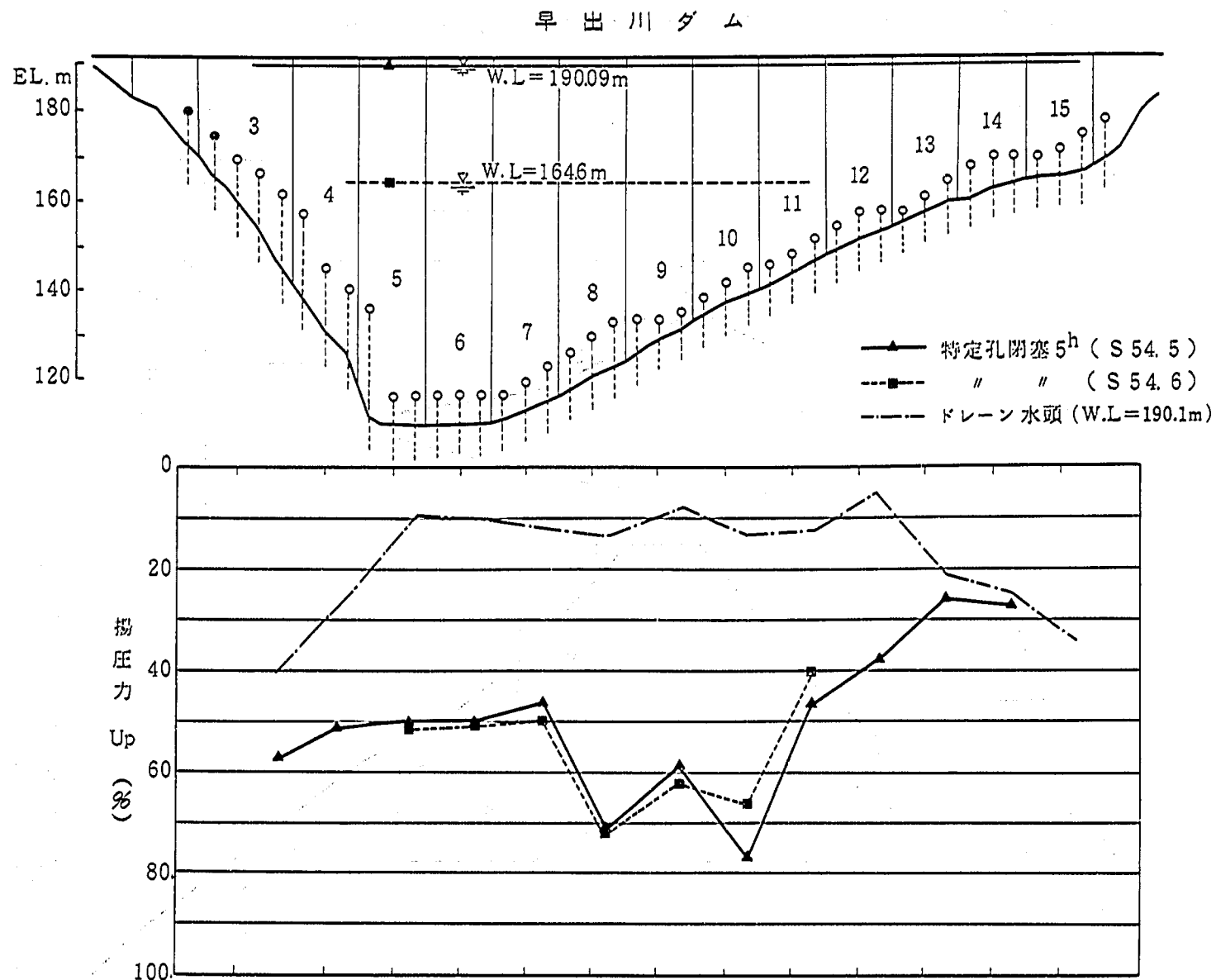


付図-1.1 (9) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (諭鶴羽ダム 一斉閉塞)

胎内川ダム

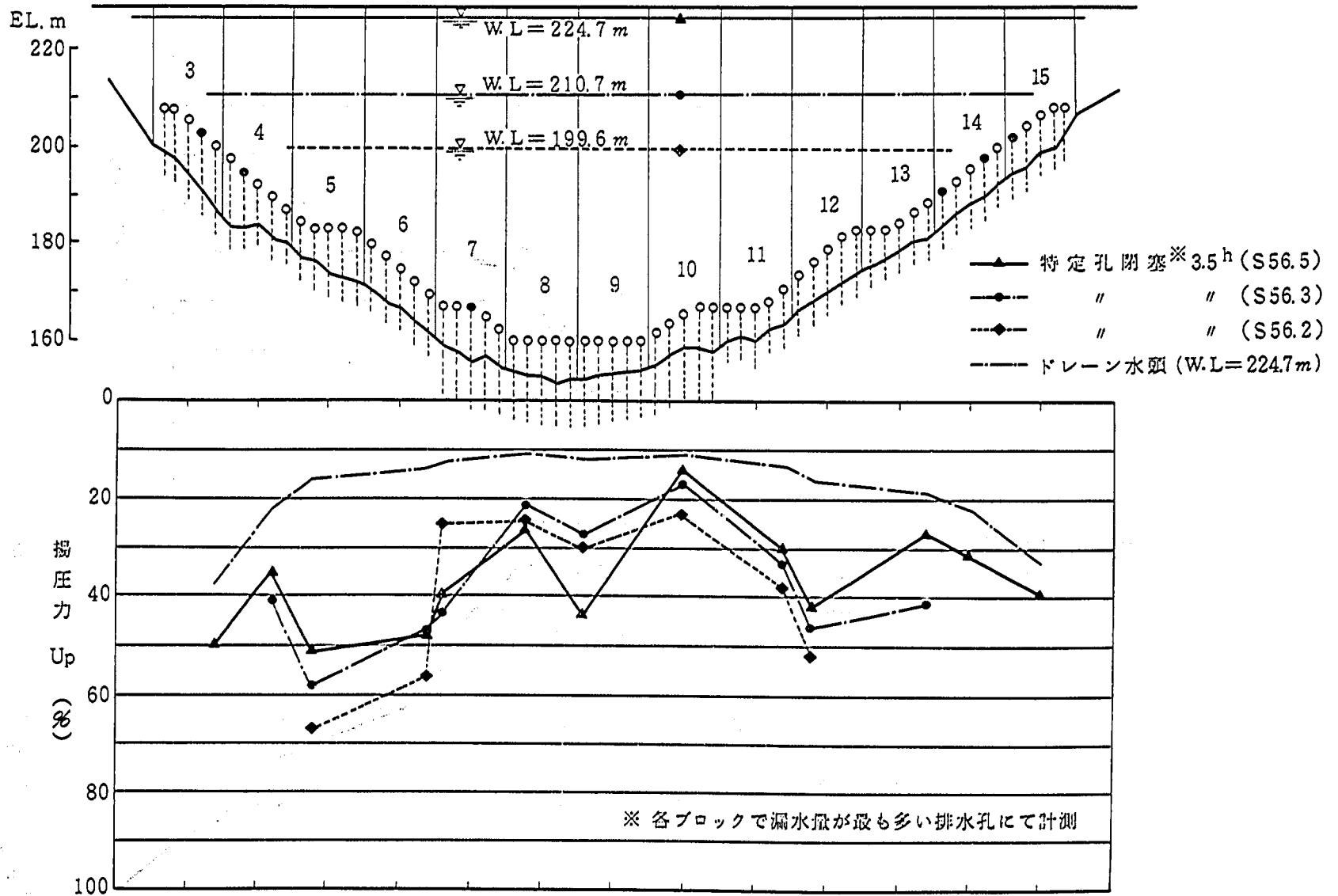


付図-1.1(20) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (胎内川ダム 特定孔閉塞)

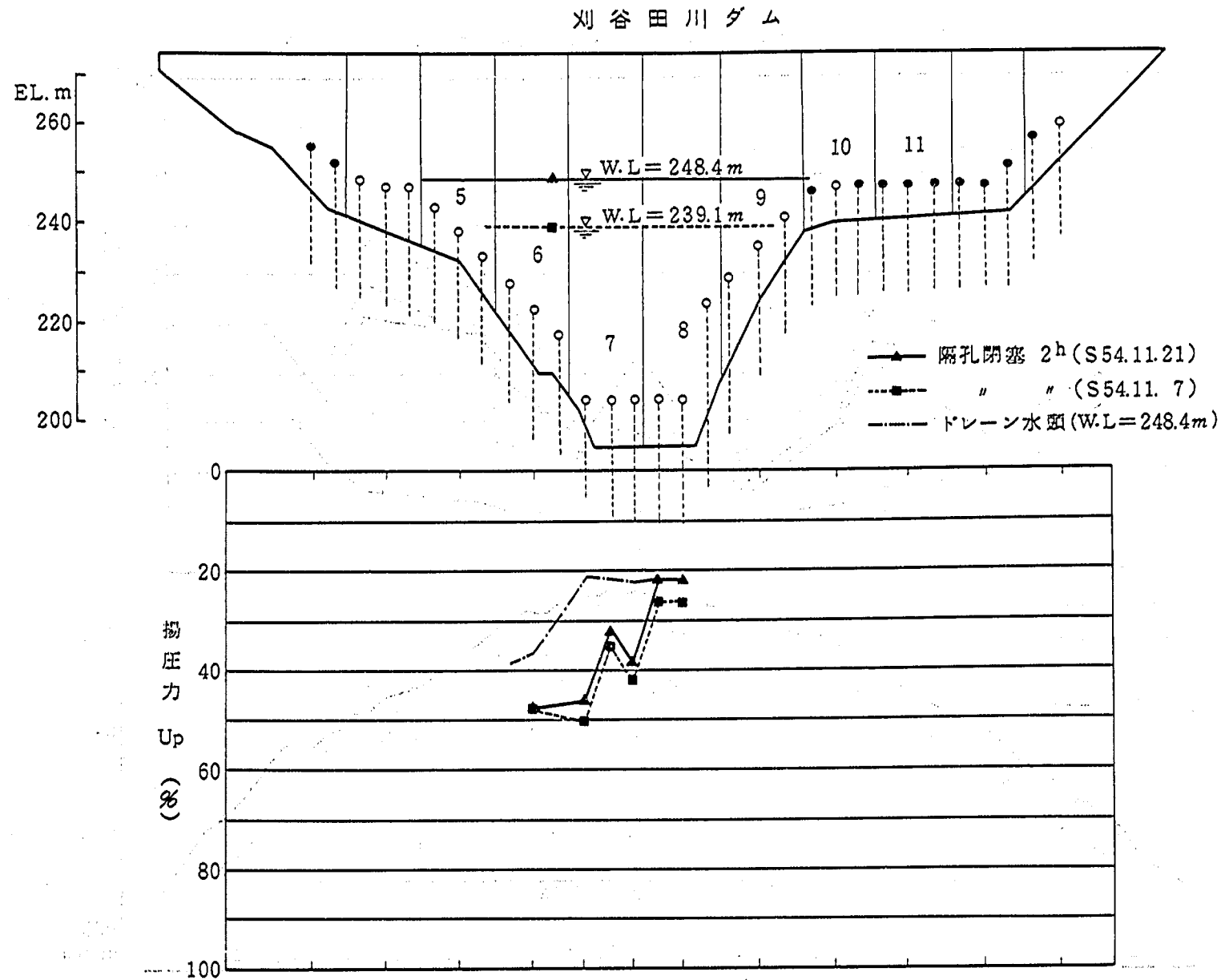


付図-1.1(2) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布(早出川ダム 特定孔閉塞)

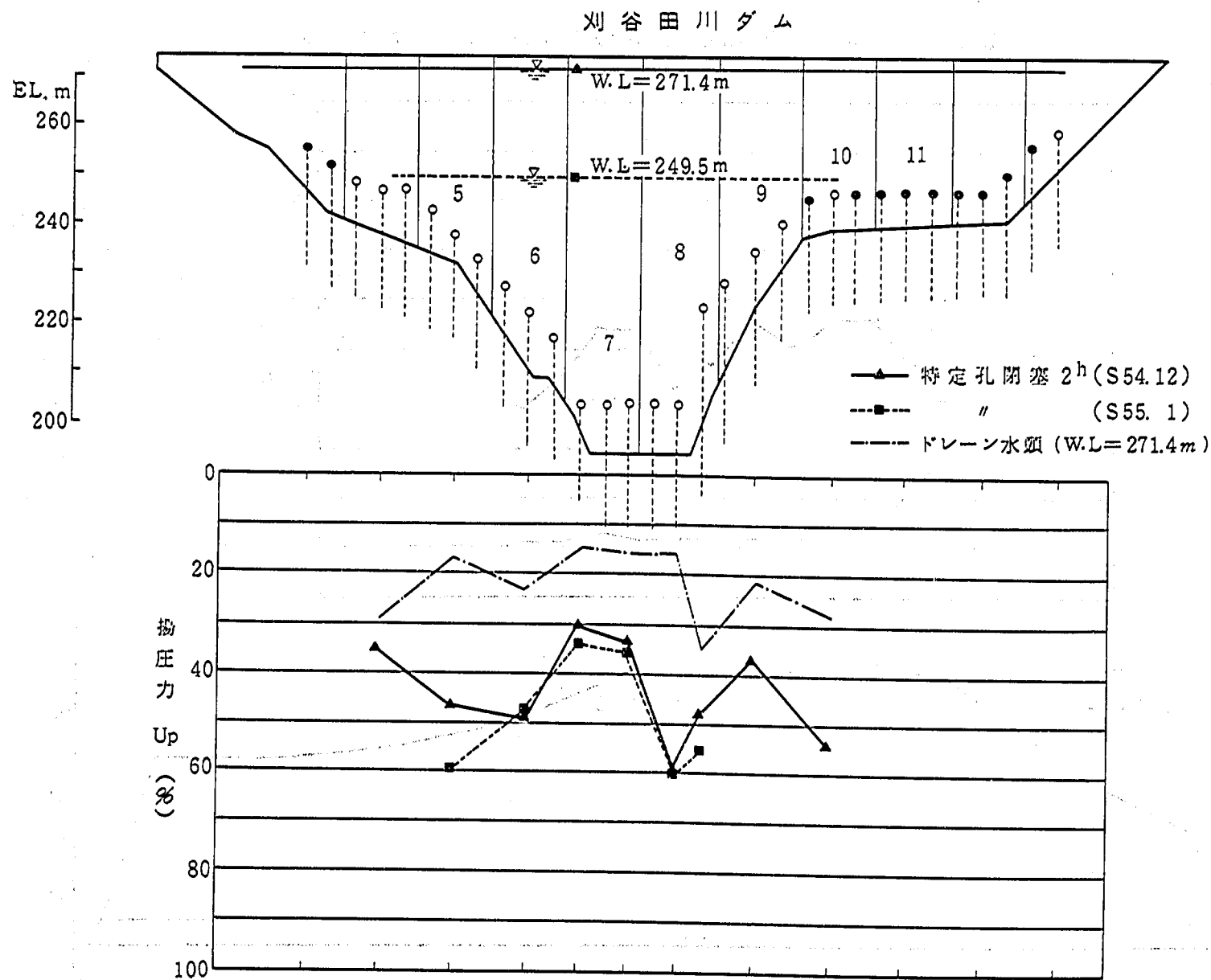
魚 切 ダ ム



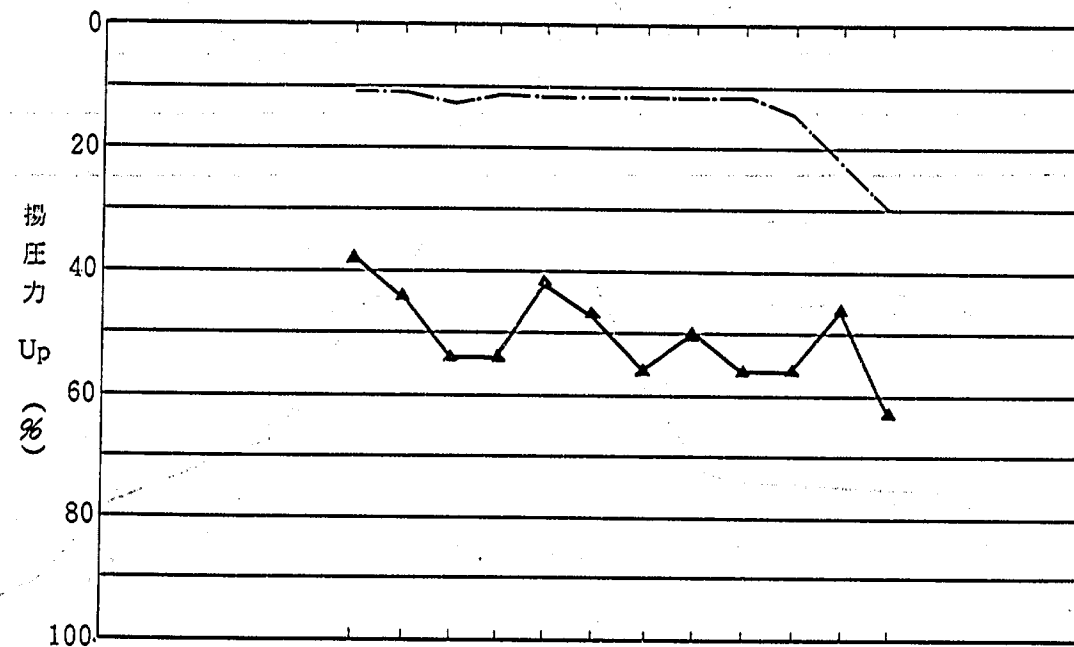
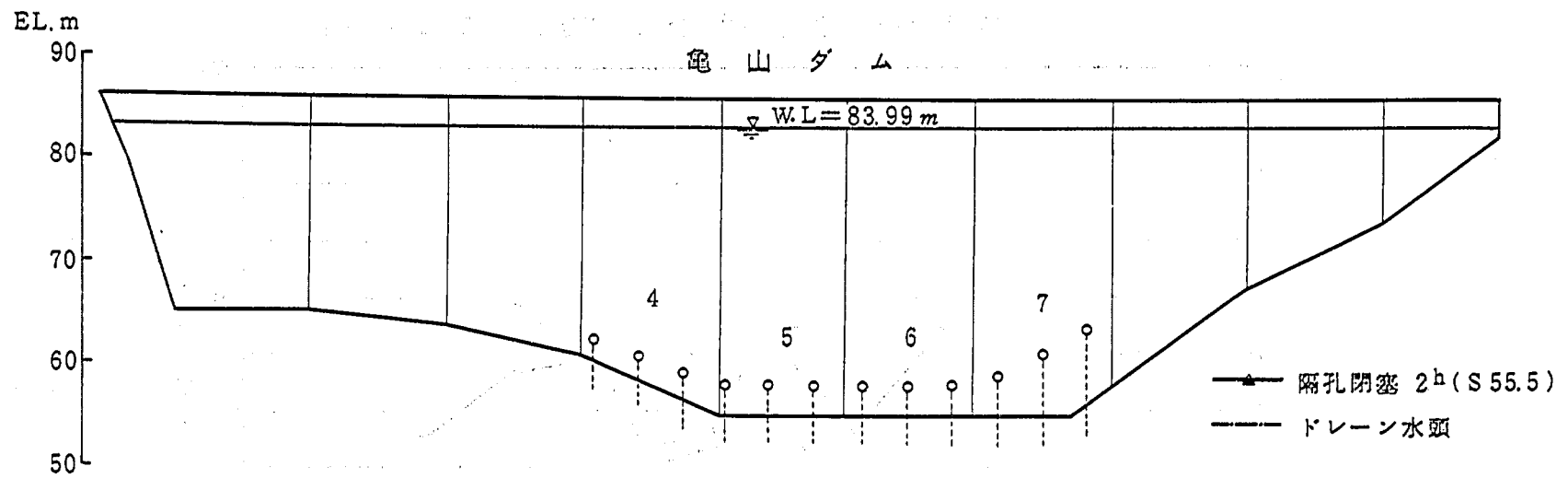
付図-1.1(2) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (魚切ダム 特定孔閉塞)



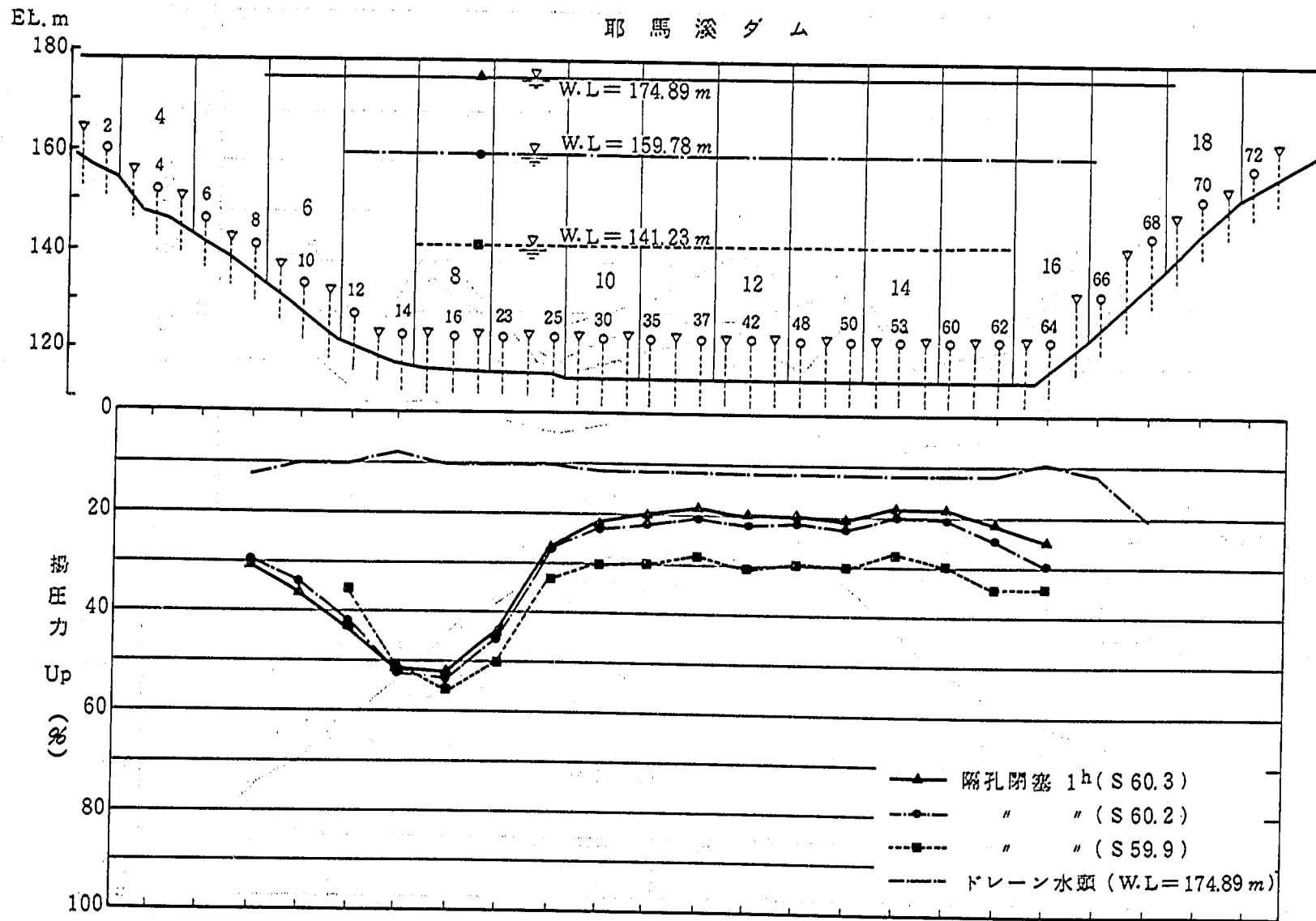
付図 - 1.1 (23) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (刈谷田川ダム 隔孔閉塞)



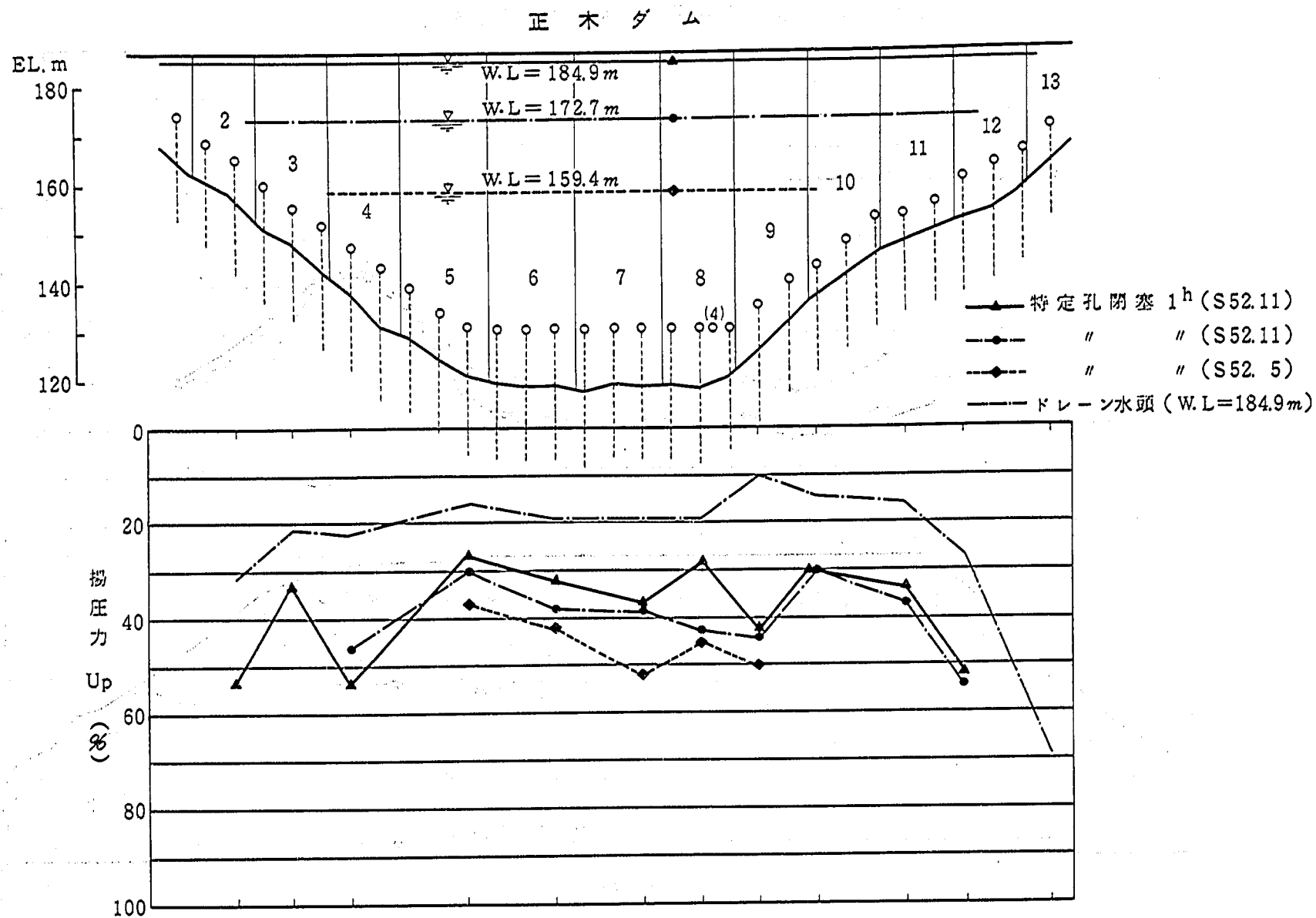
付図-1.1(24) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (刈谷田川ダム 特定孔閉塞)



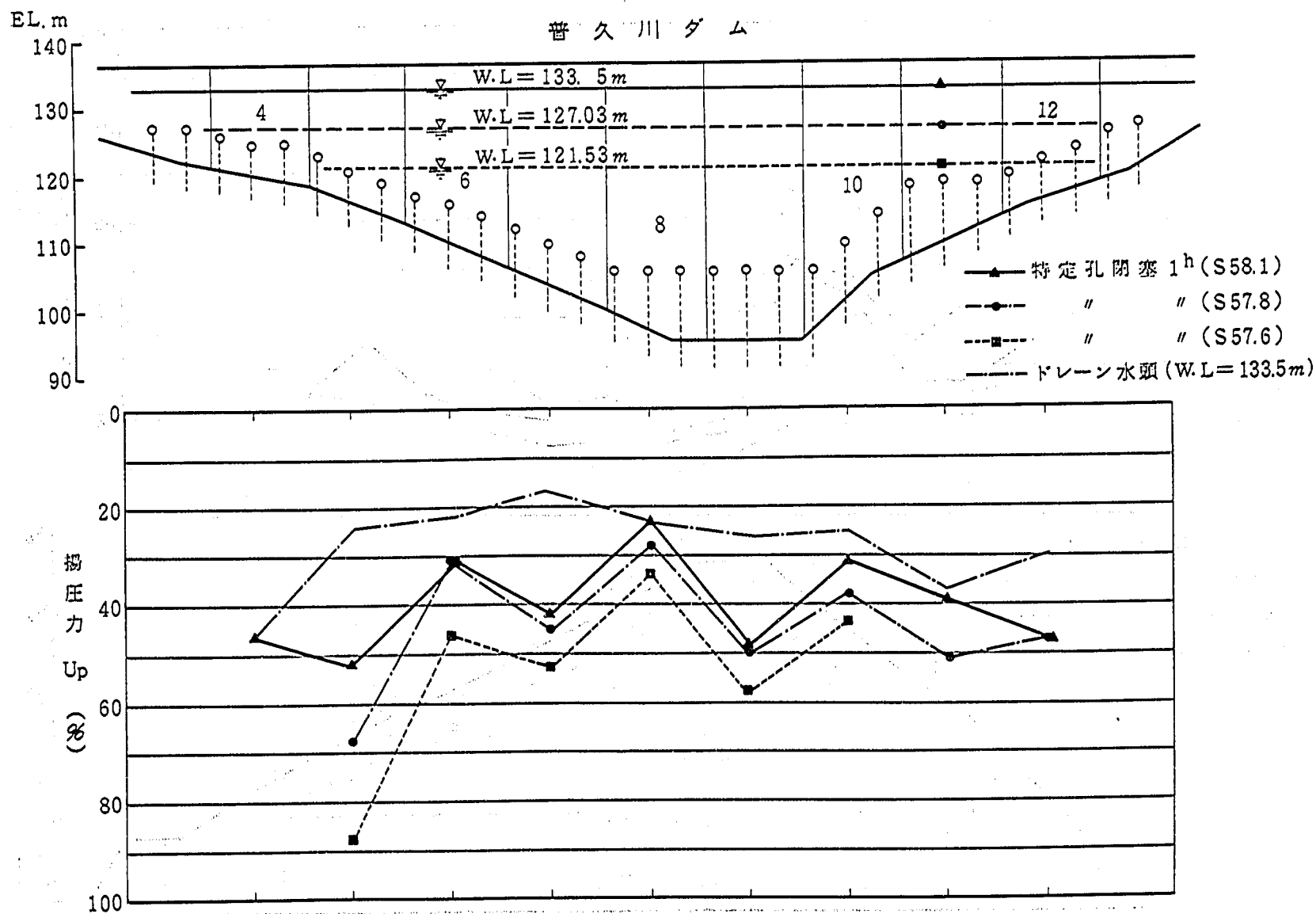
付図-1.1 (25) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (亀山ダム 隔孔閉塞)



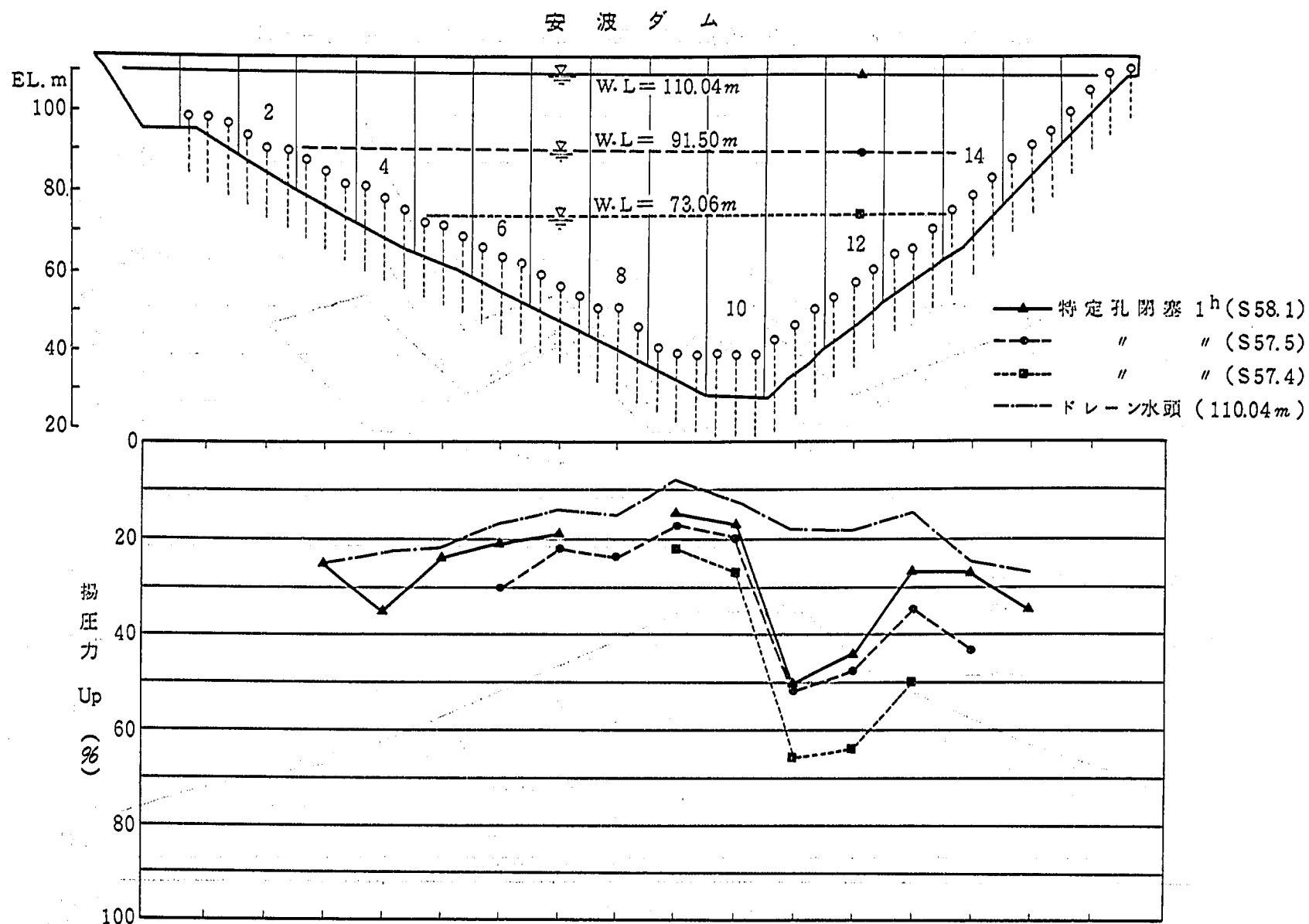
付図 - 1.1 (26) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (耶馬溪ダム 隔孔閉塞)



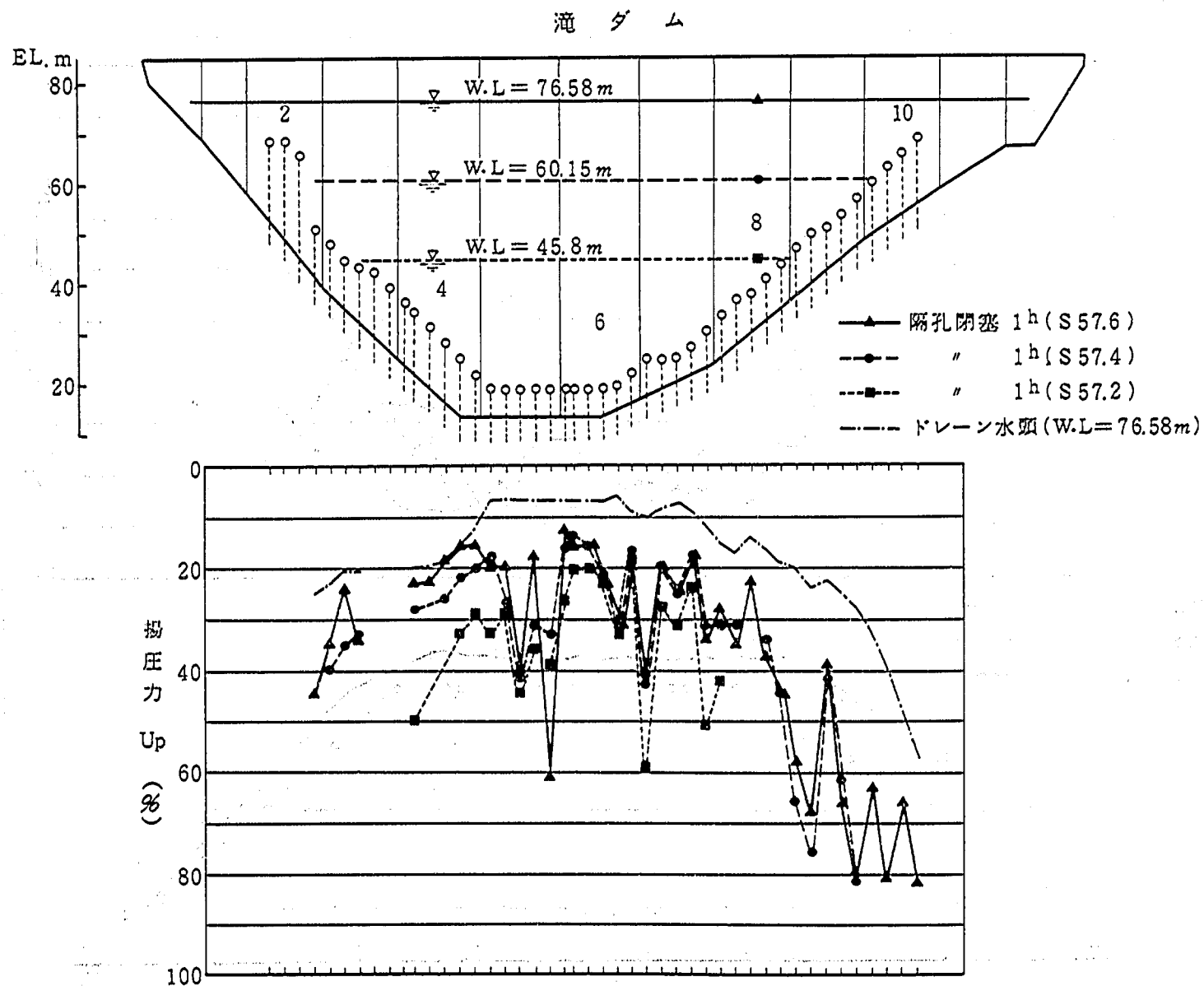
付図- 1.1 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (正木ダム 特定孔閉塞)



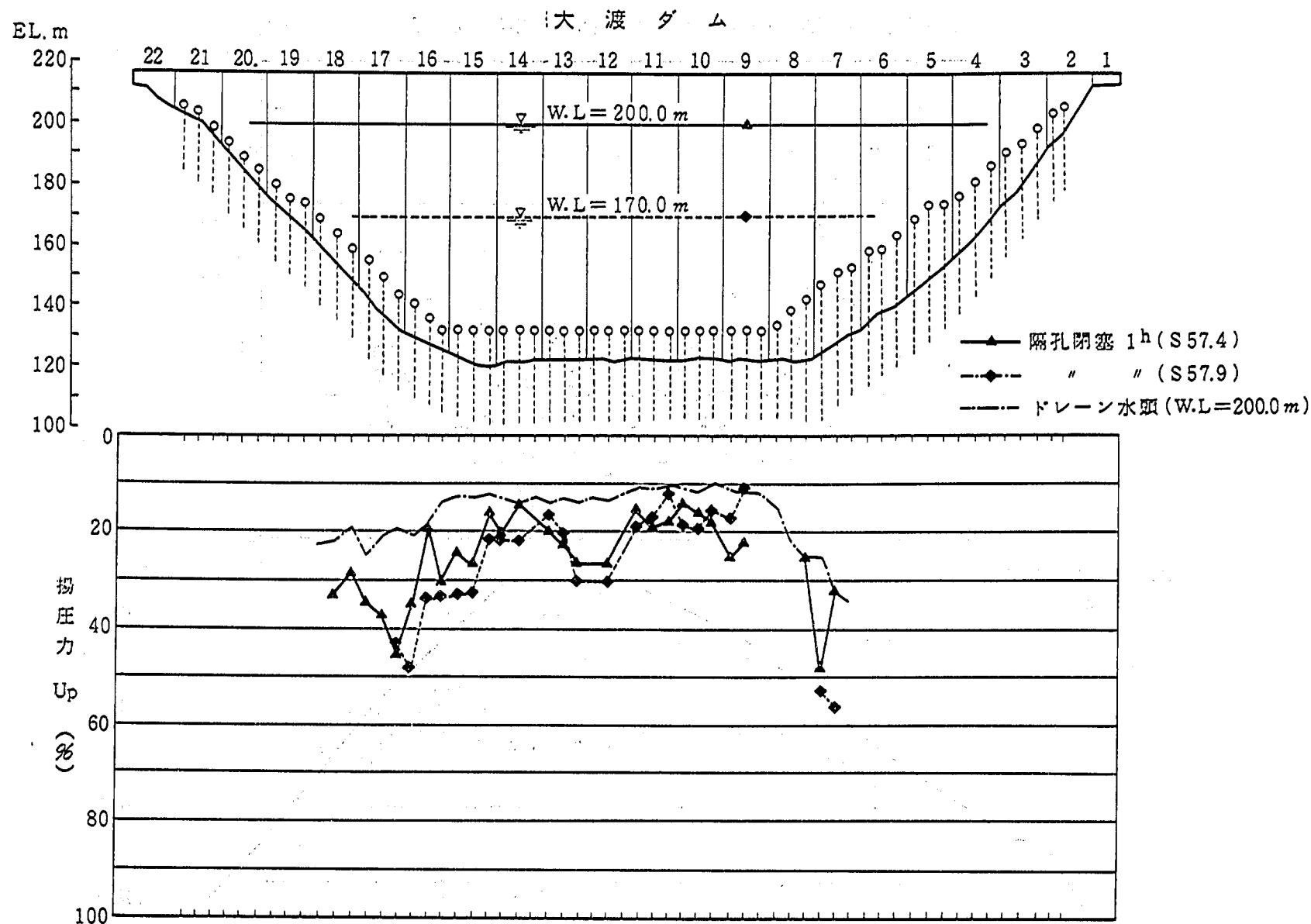
付図 - 1.1 (28) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (普久川ダム 特定孔閉塞)



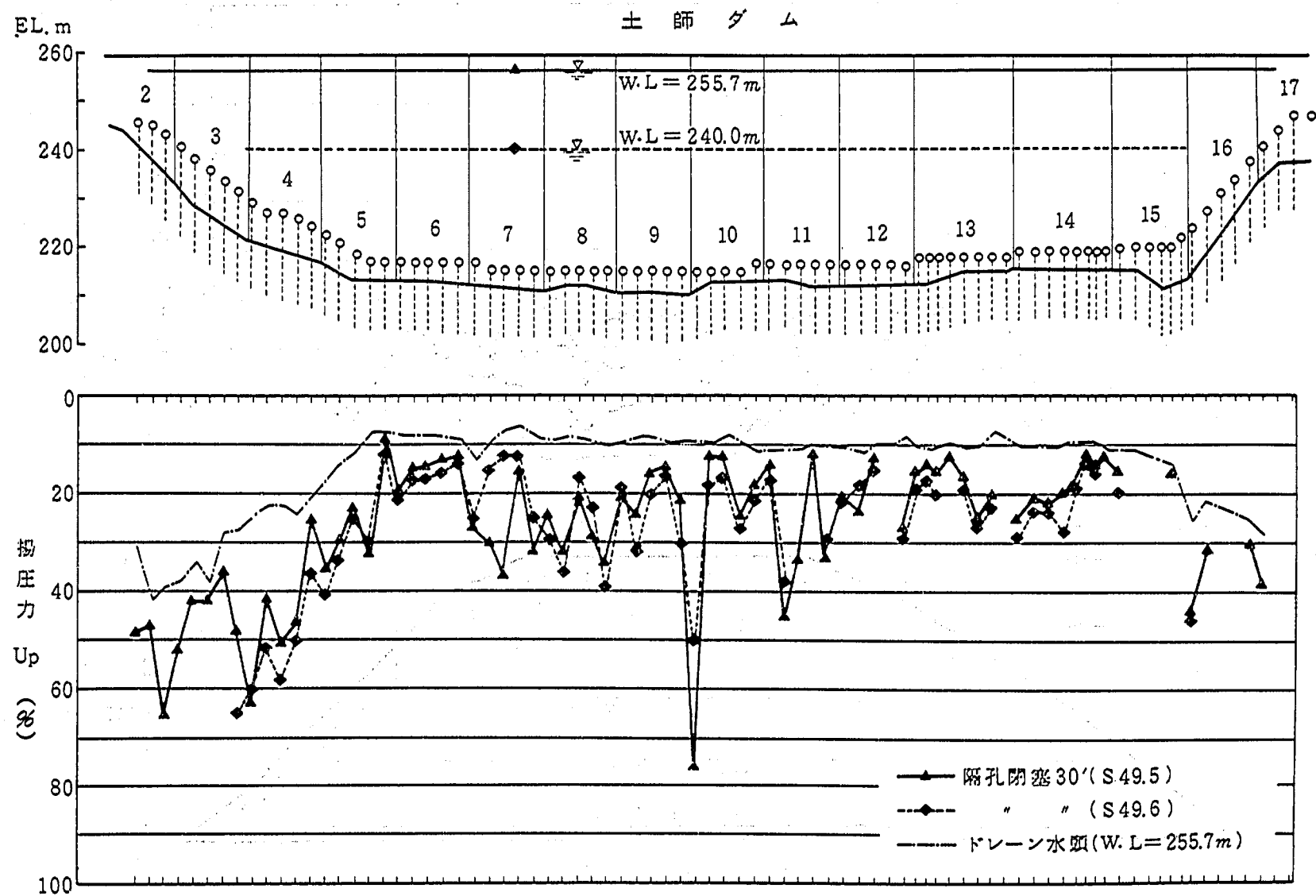
付図 - 1.1 (29) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (安波ダム 特定孔閉塞)



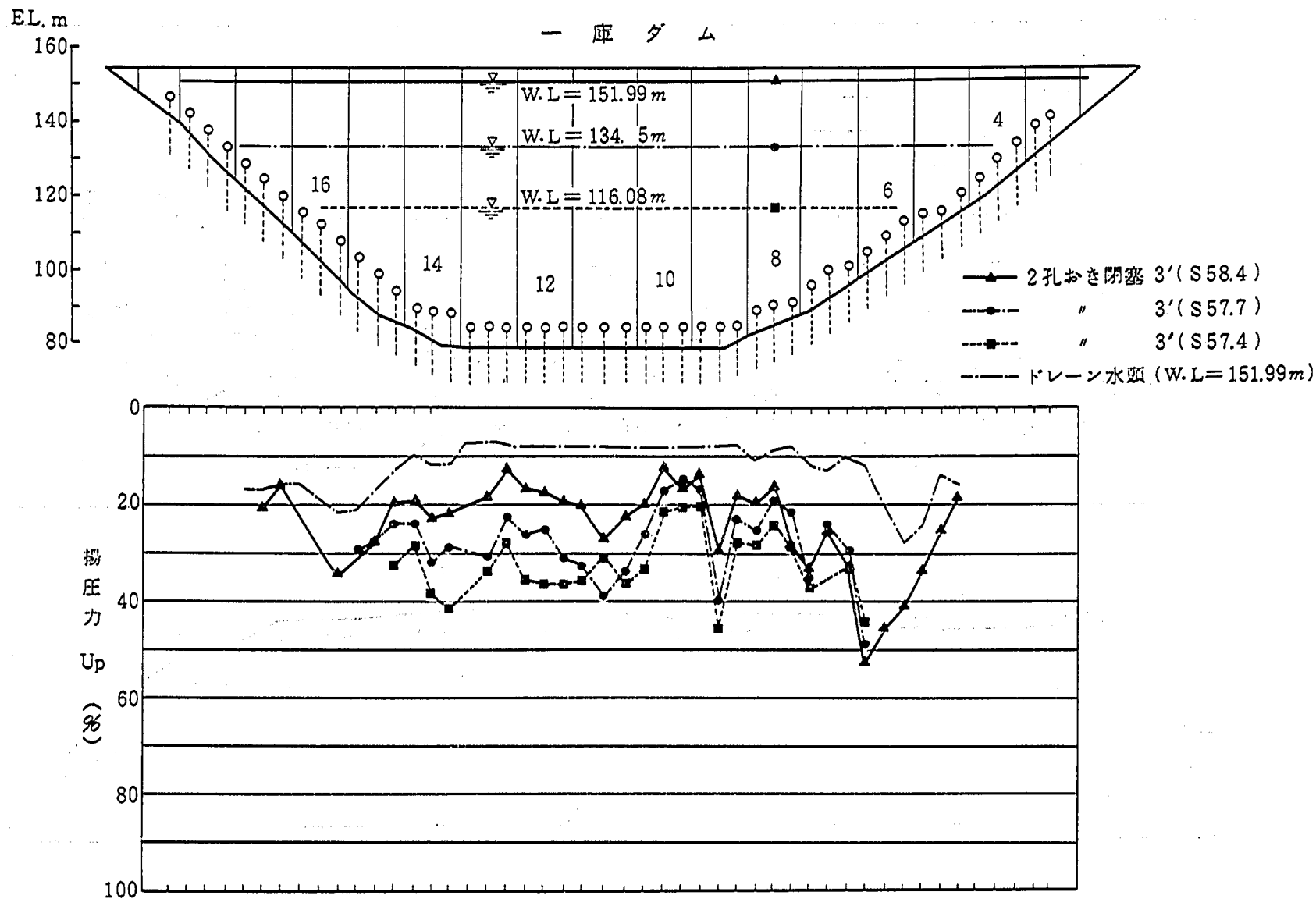
付図 - 1.1 (30) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (滝ダム 隔孔閉塞)



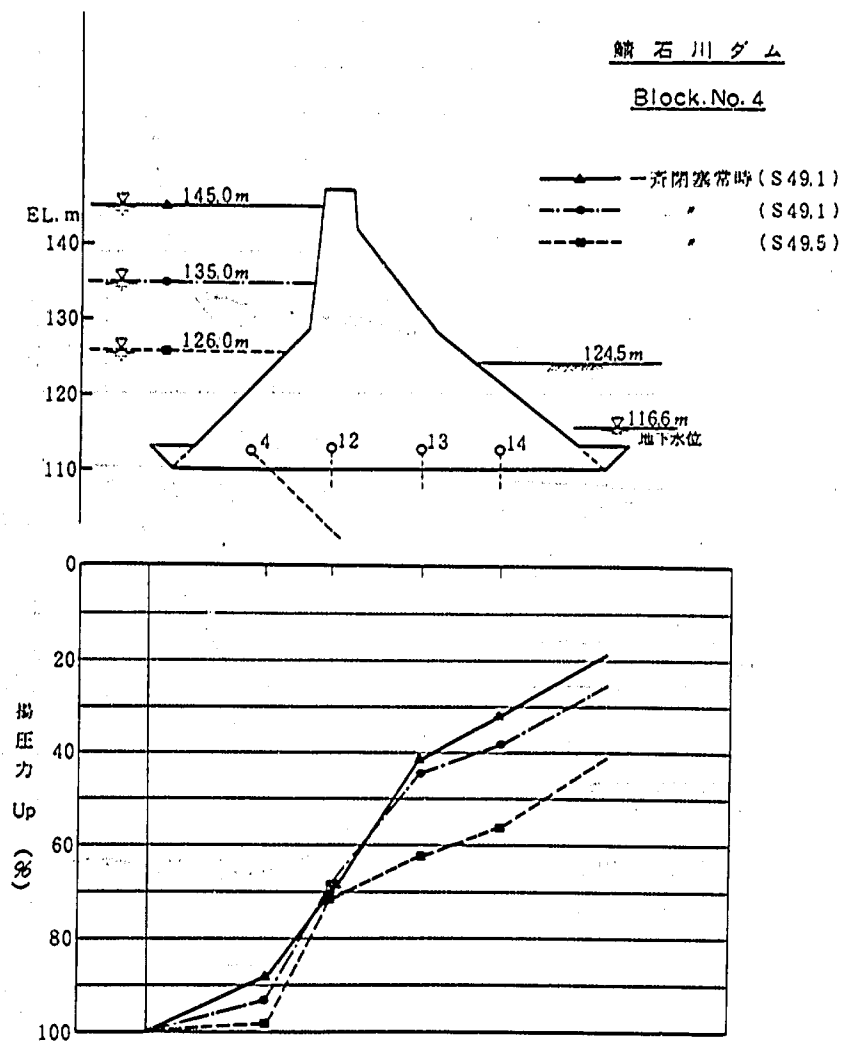
付図 - 1.1 (3) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (大渡ダム 隔孔閉塞)



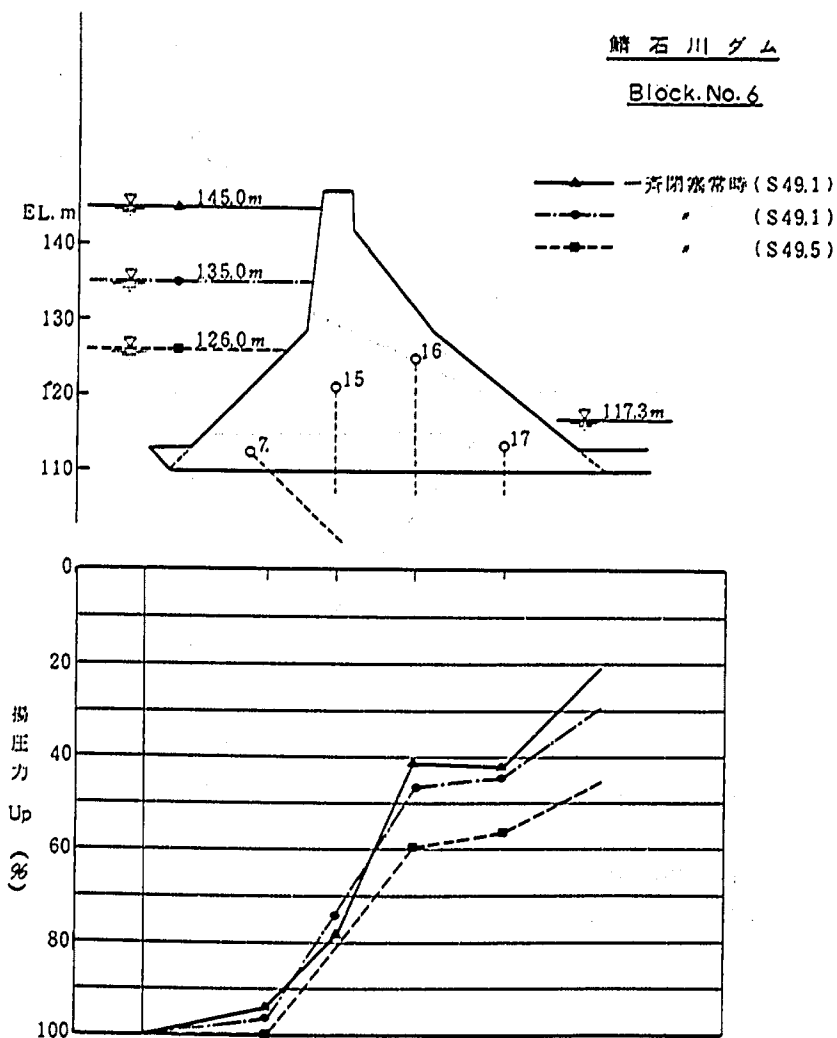
付図- 1.1 (32) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (土師ダム 隔孔閉塞)



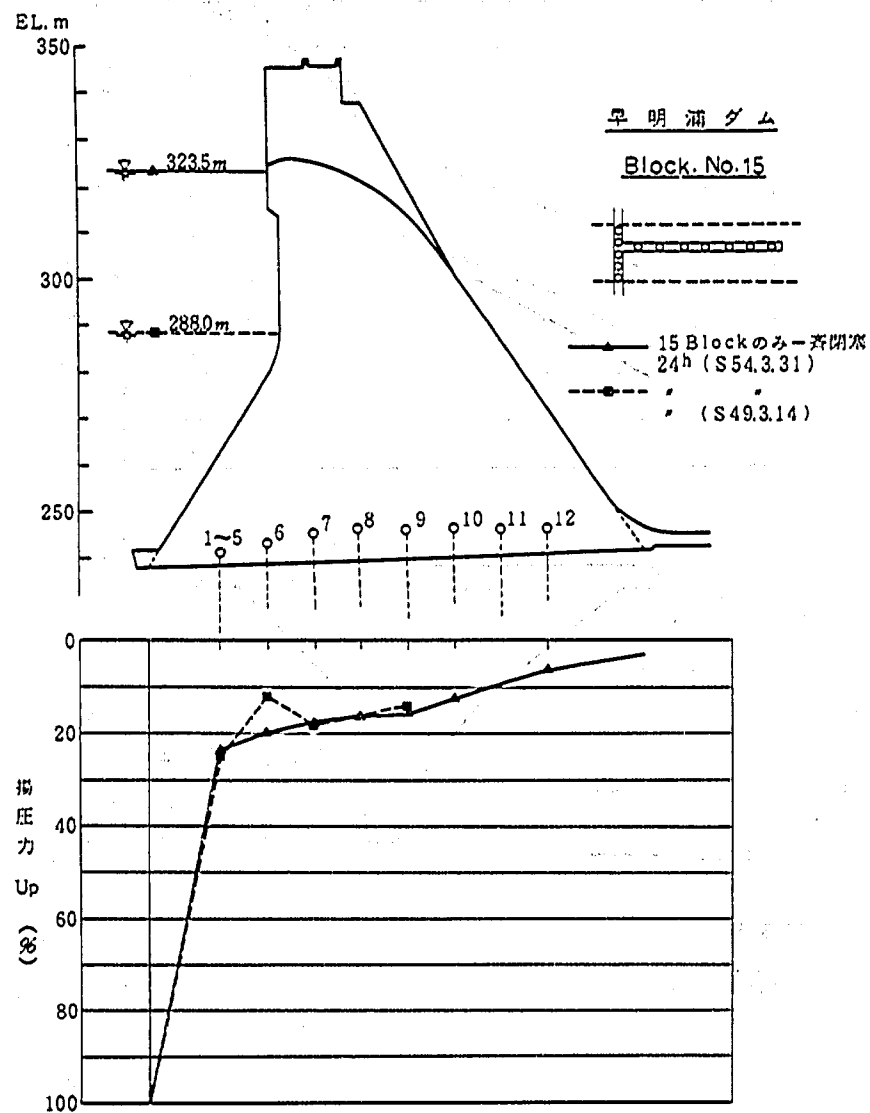
付図 - 1.1 (33) 貯水位の変化とダム軸方向の揚圧力分布 (一庫ダム 2孔おき閉塞)



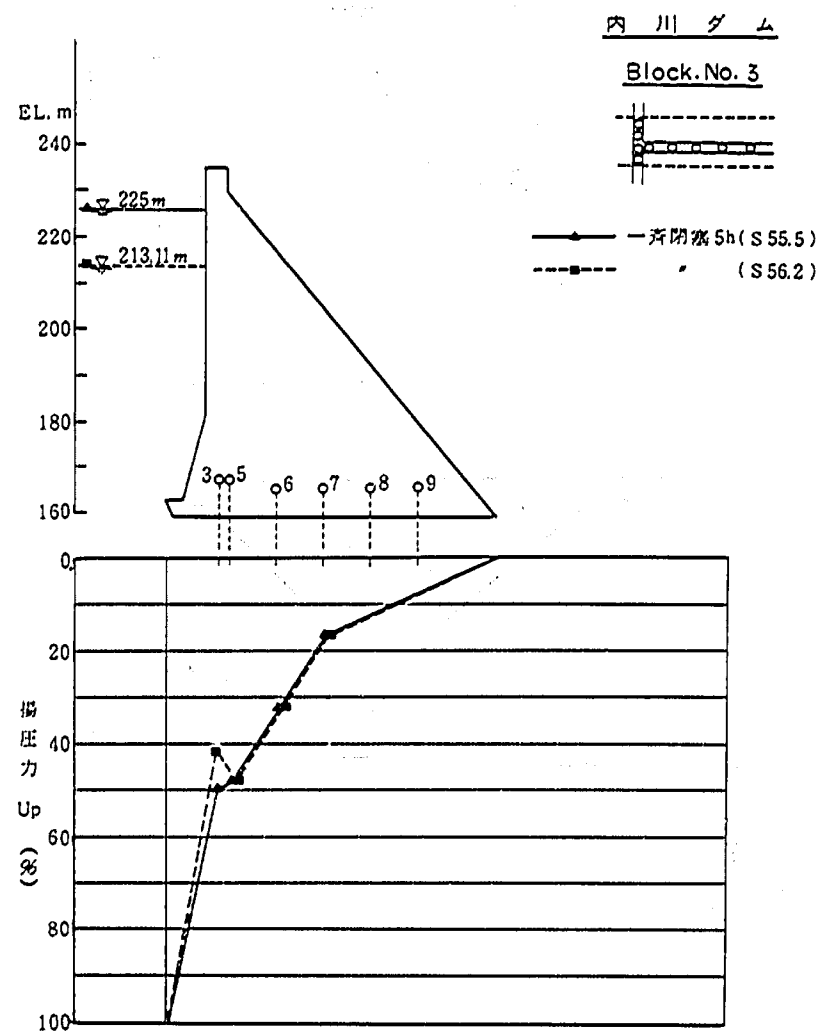
付図-1.2(1) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(鯖石川BL. 4)



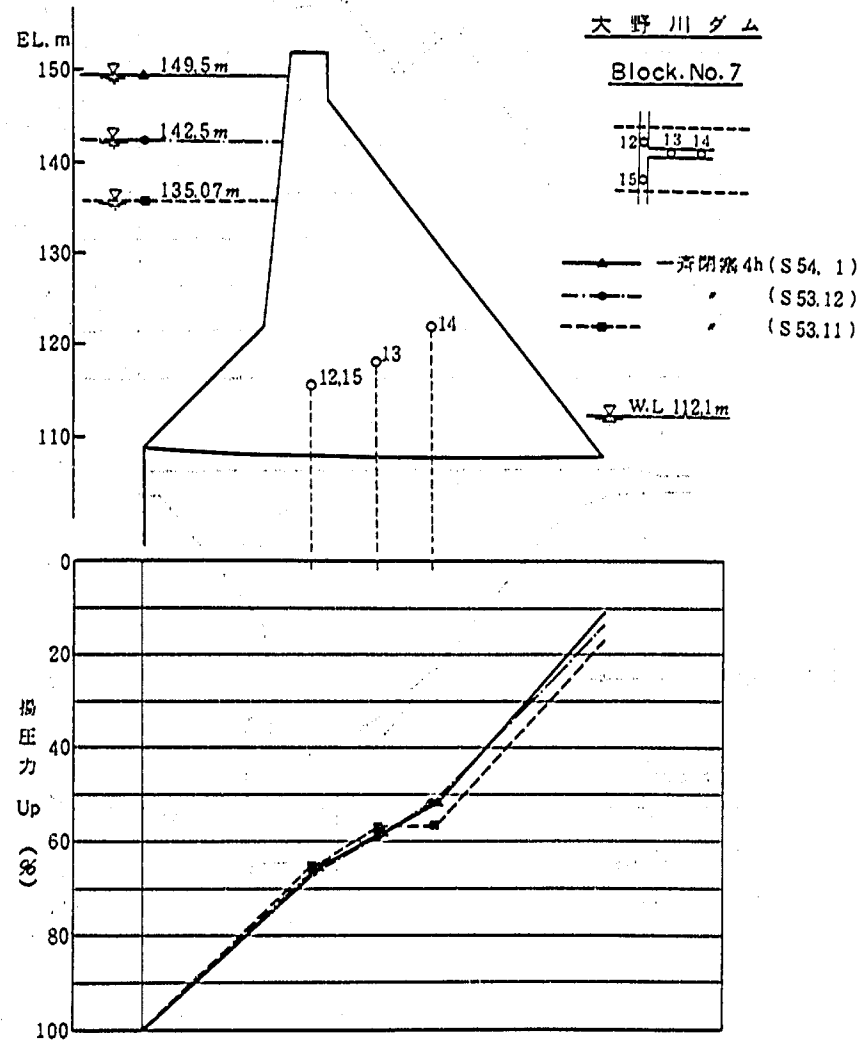
付図-1.2(2) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(鯖石川BL. 6)



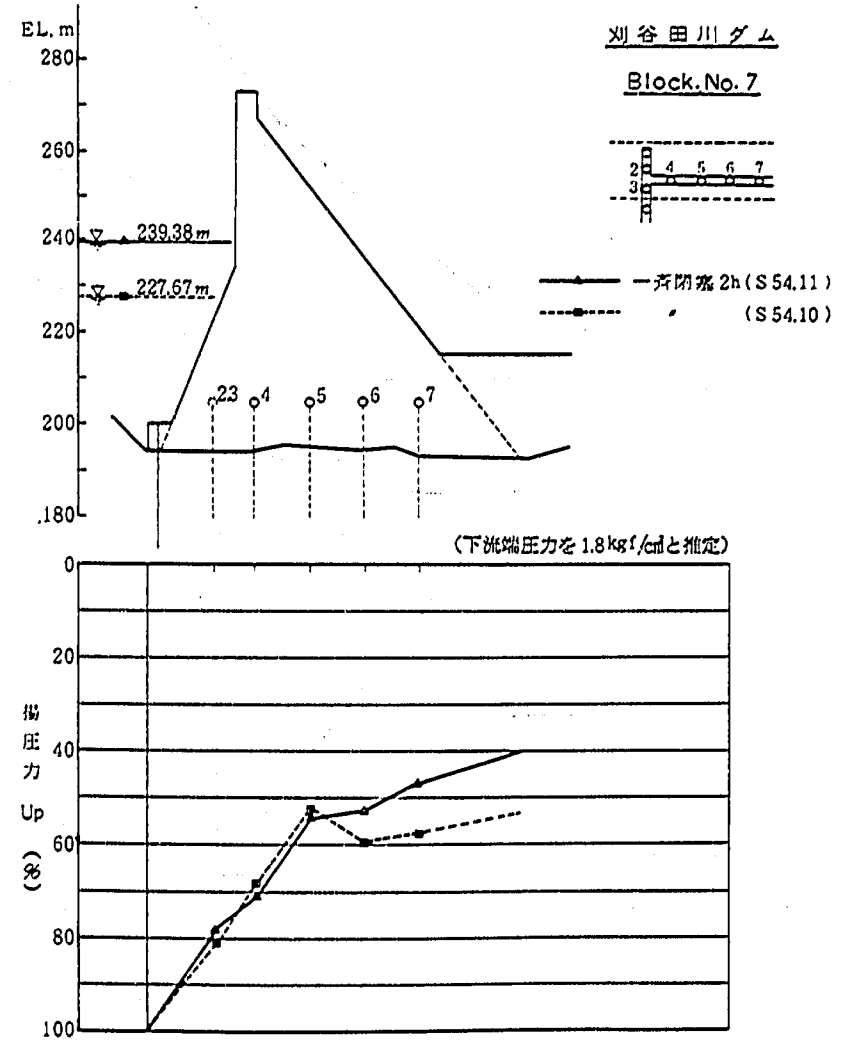
付図-1.2(3) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(早明浦B.L.15)



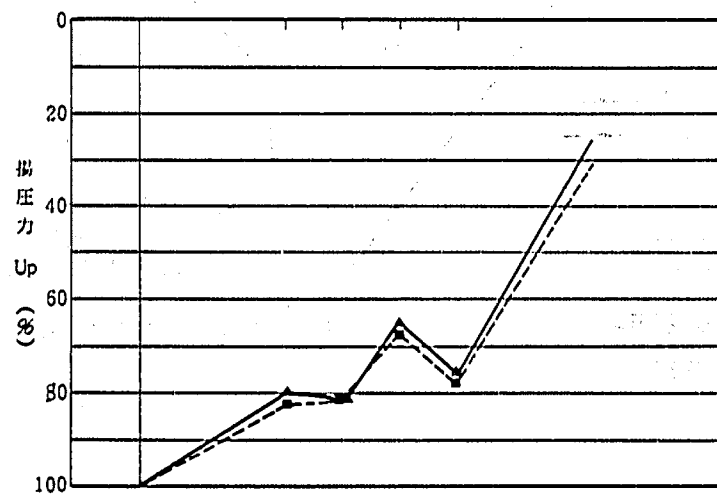
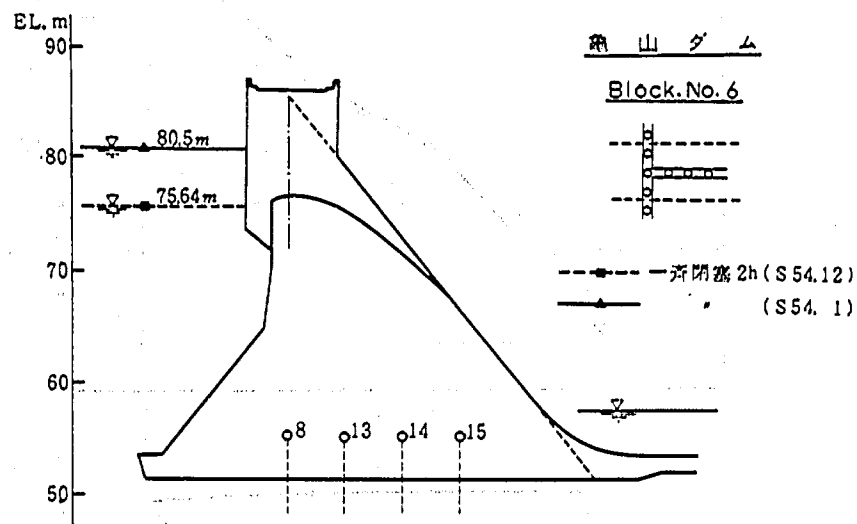
付図-1.2(4) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(内川B.L. 3)



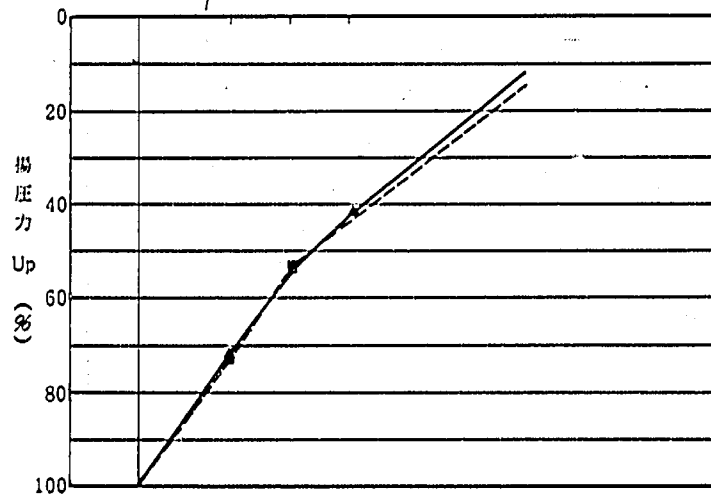
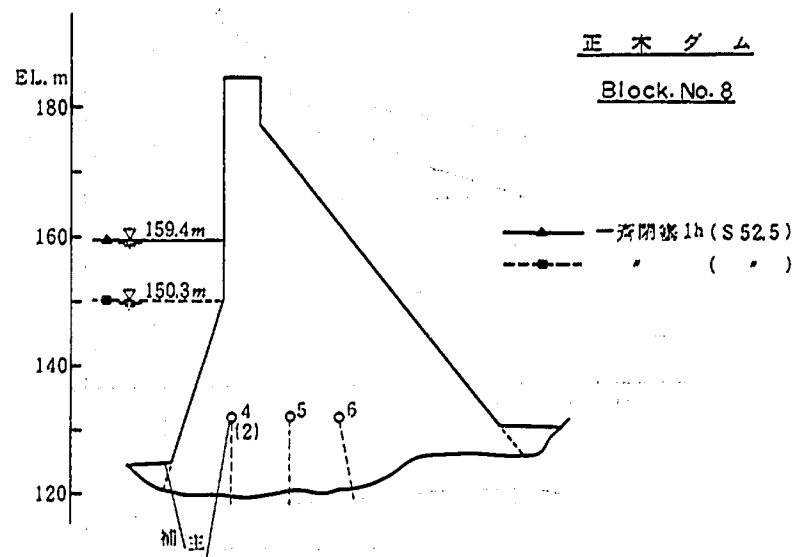
付図-1.2(5) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(大野川B.L. 7)



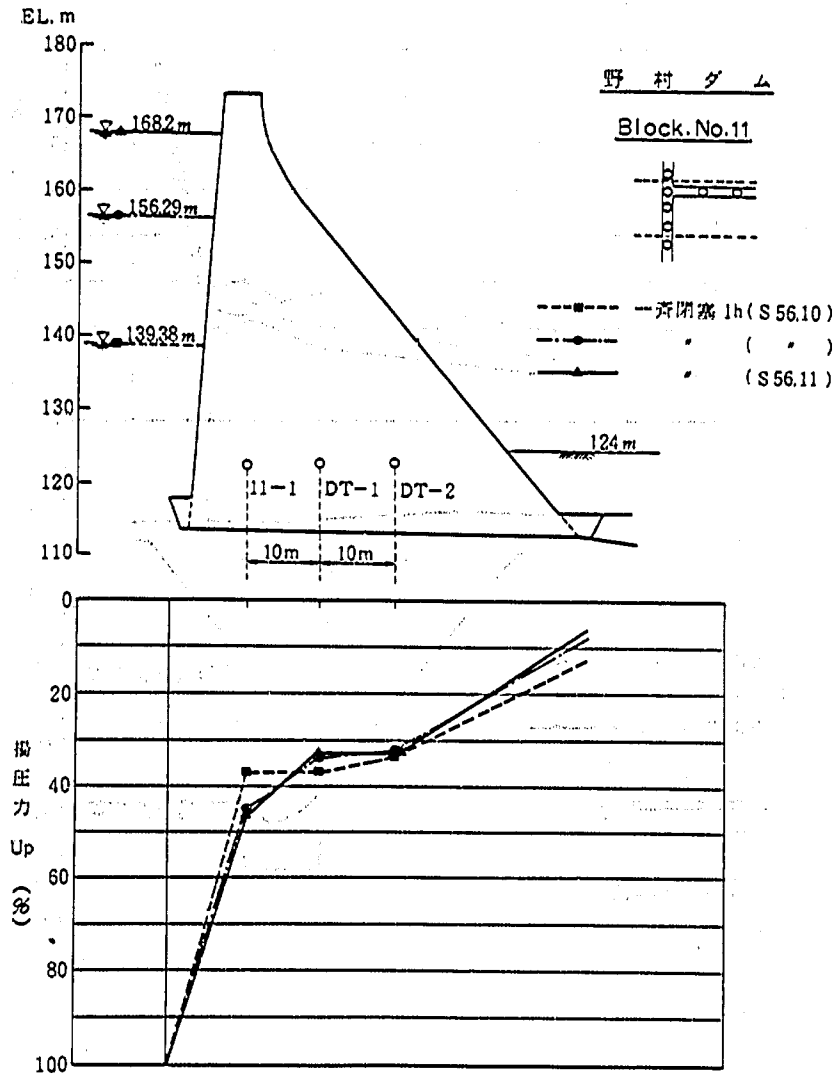
付図-1.2(6) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(刈谷田川B.L. 7)



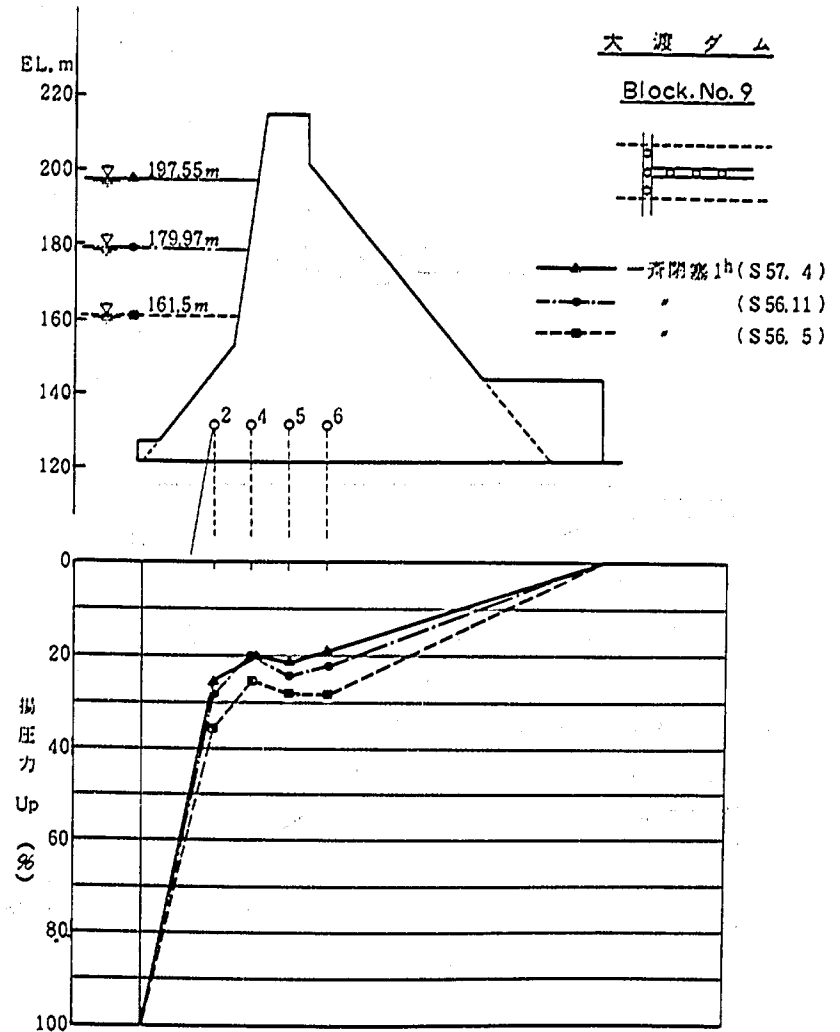
付図-1.2(7) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(亀山BL. 6)



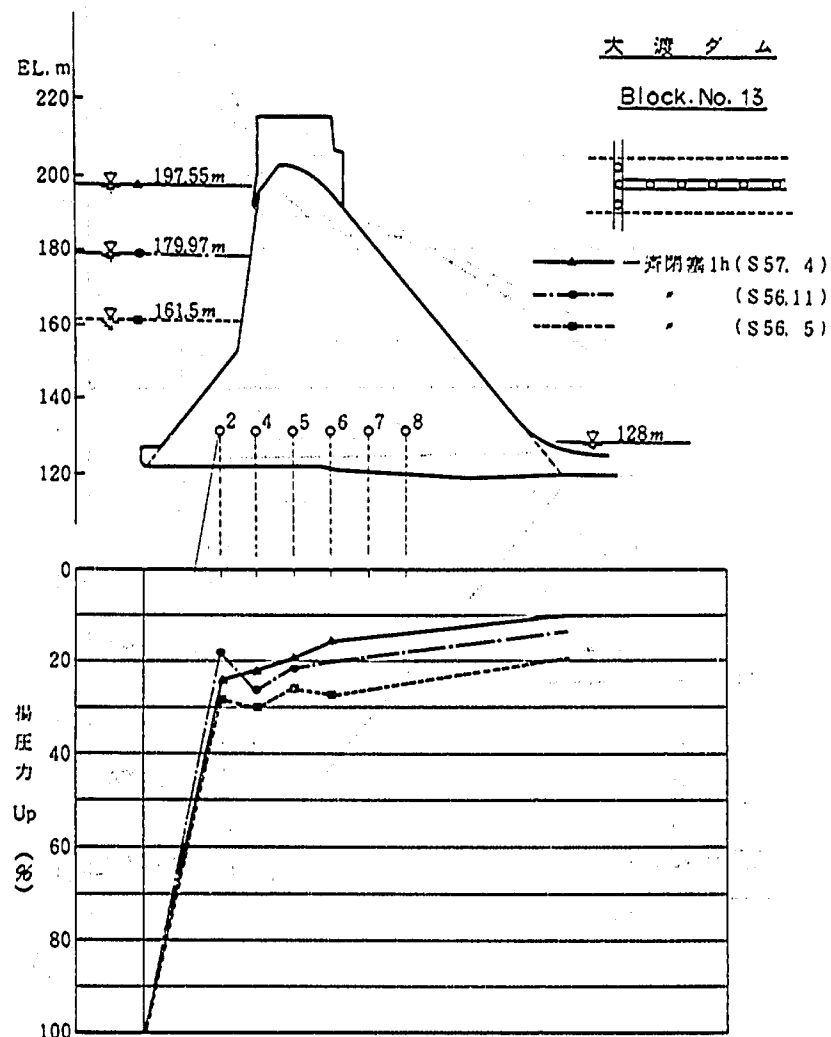
付図-1.2(8) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(正木BL. 8)



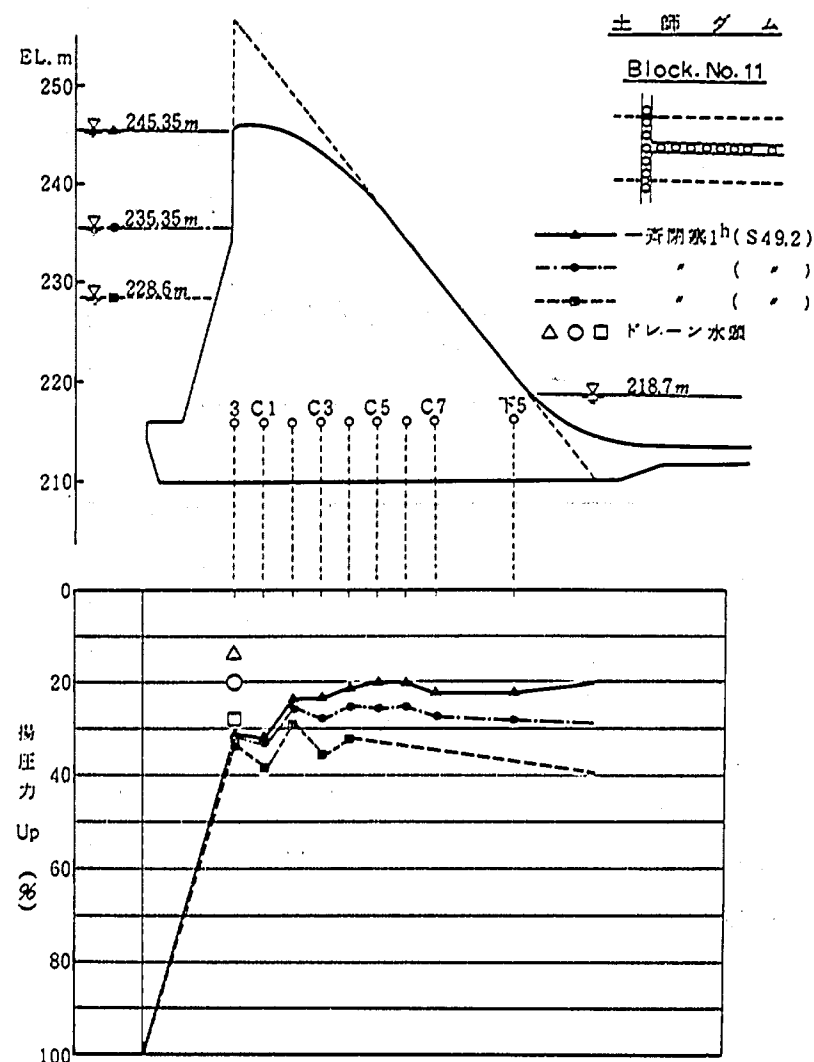
付図-1.2(9) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(野村BL.11)



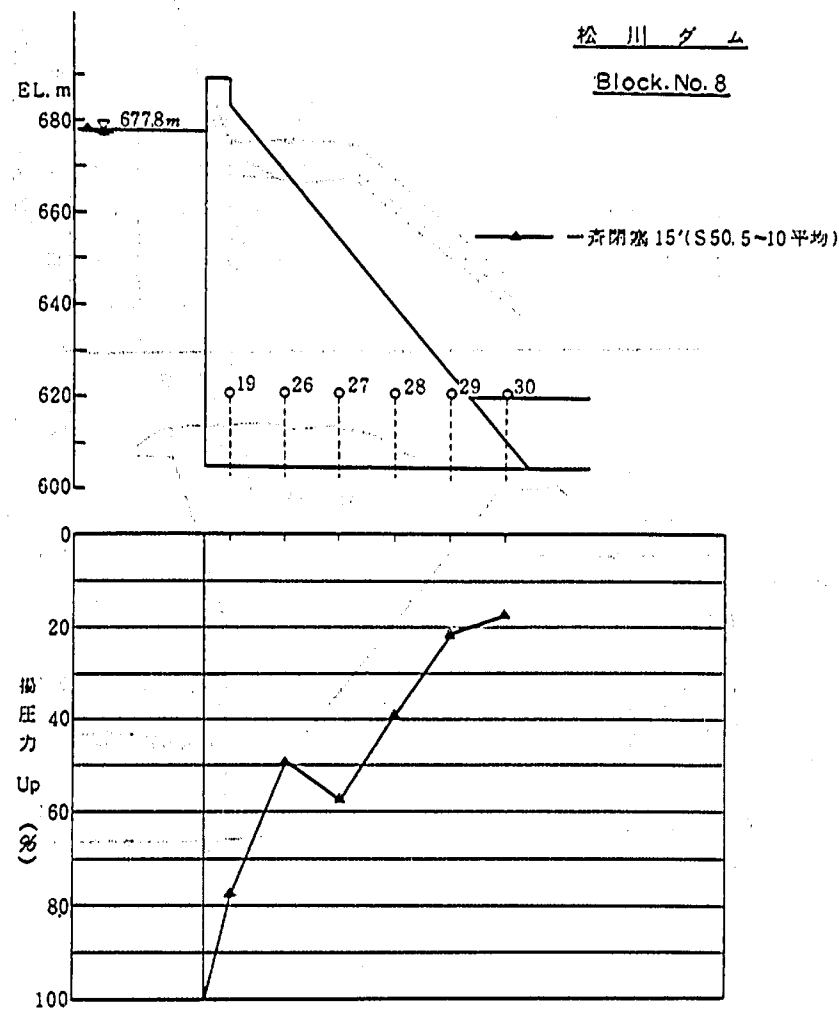
付図-1.2(10) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(大渡BL. 9)



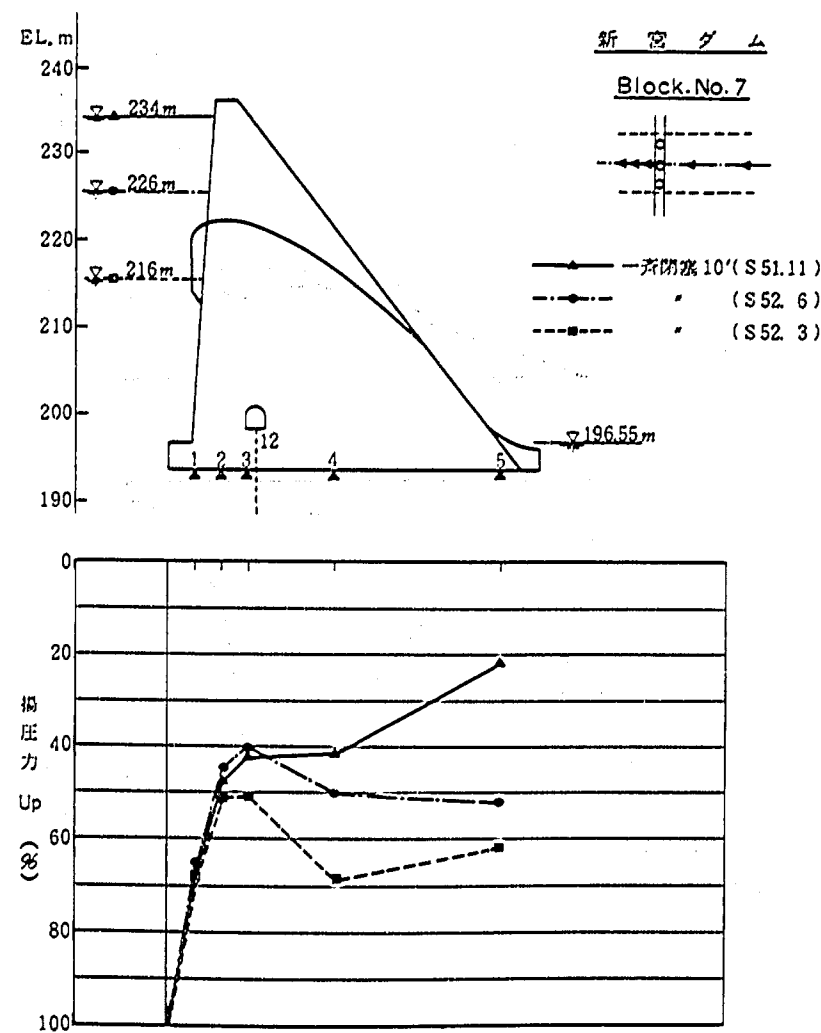
付図-1.2(1) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(大渡BL.13)



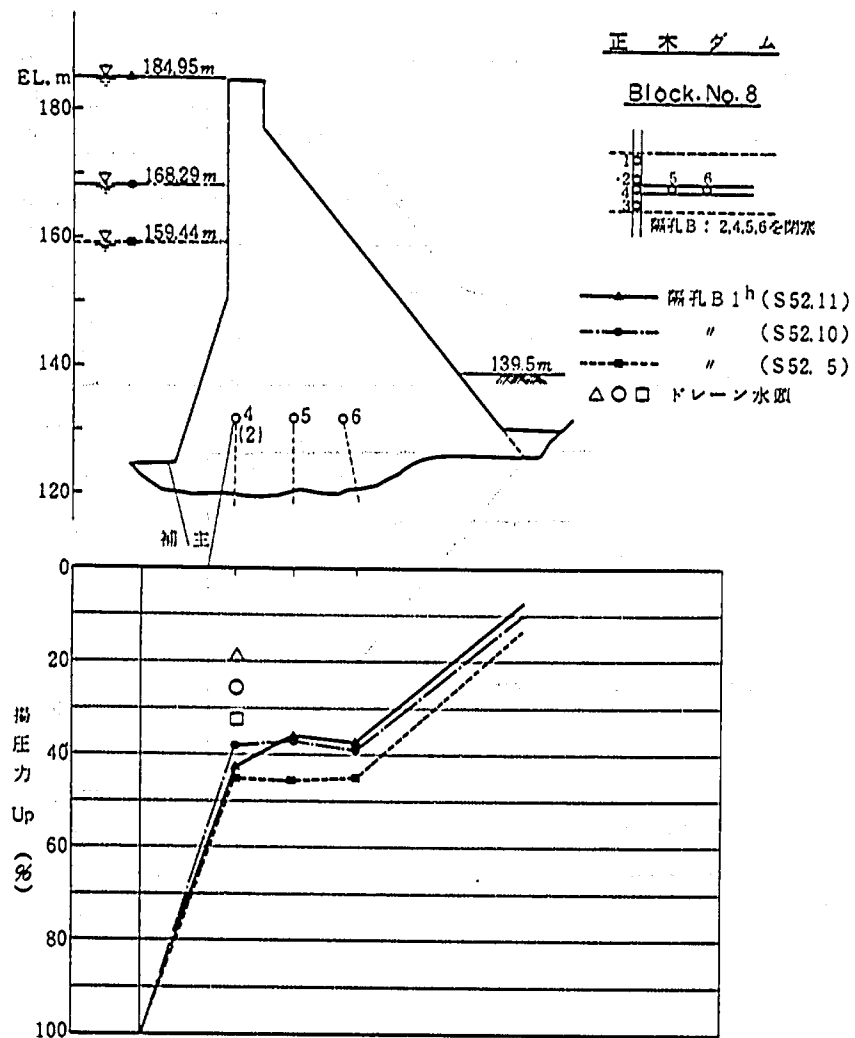
付図-1.2(2) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(土師BL.11)



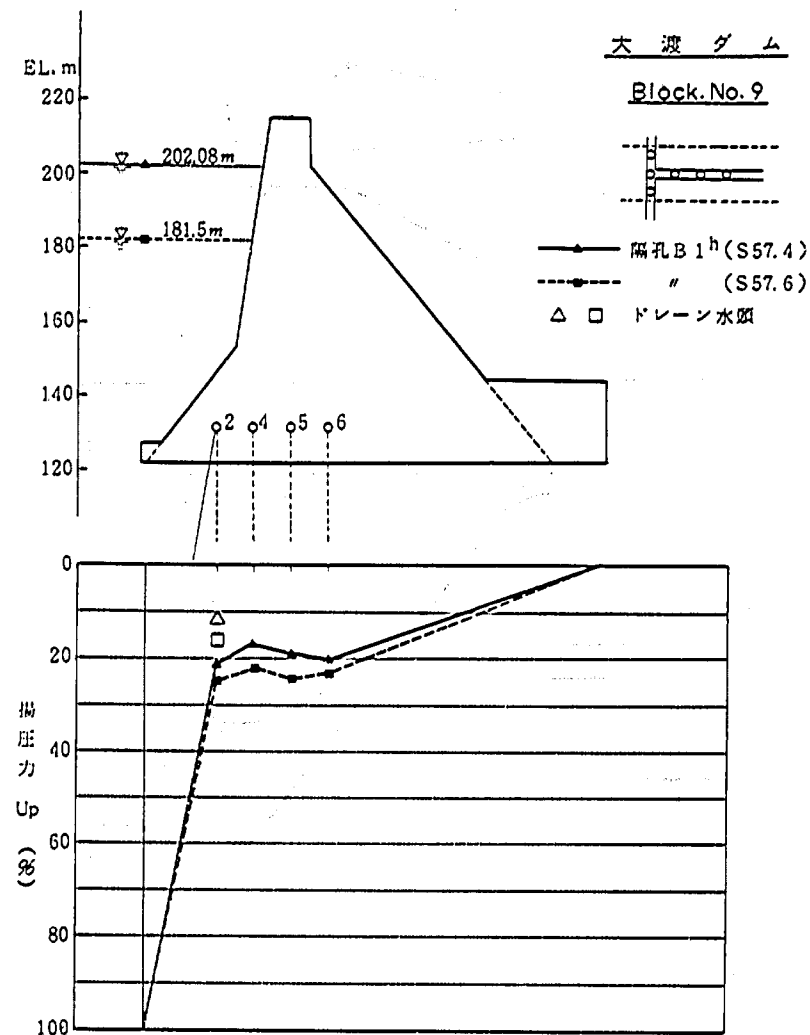
付図-1.2(13) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(松川BL. 8)



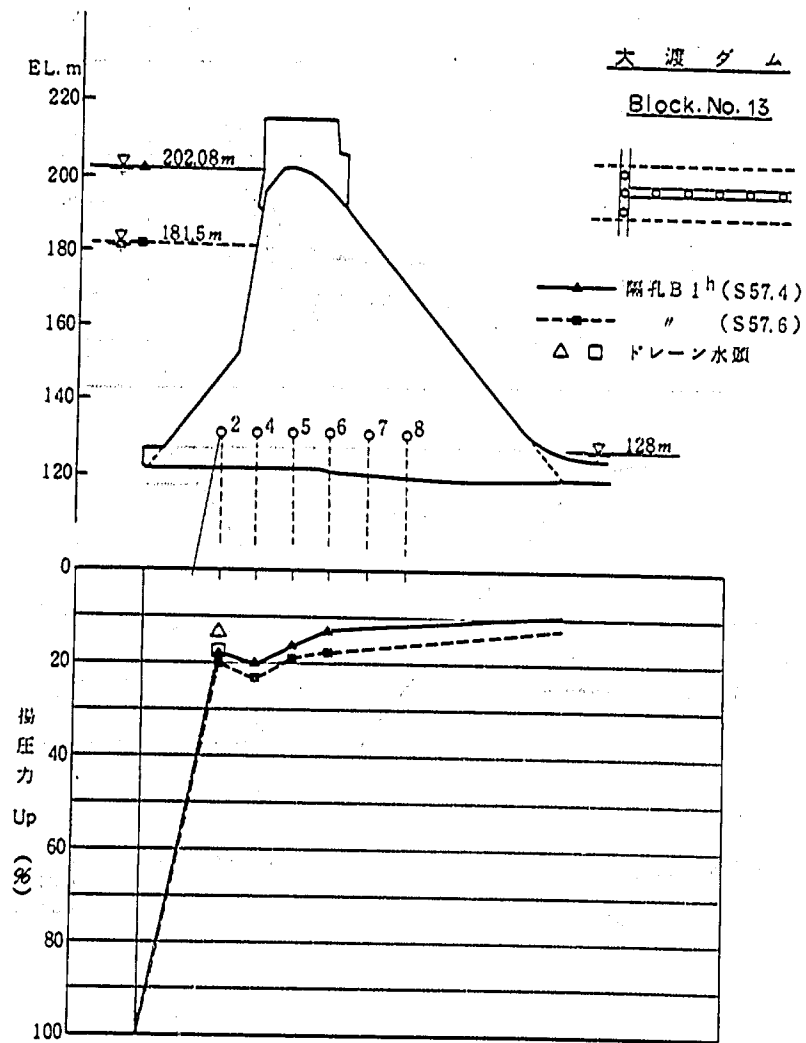
付図-1.2(14) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(新宮BL. 7)



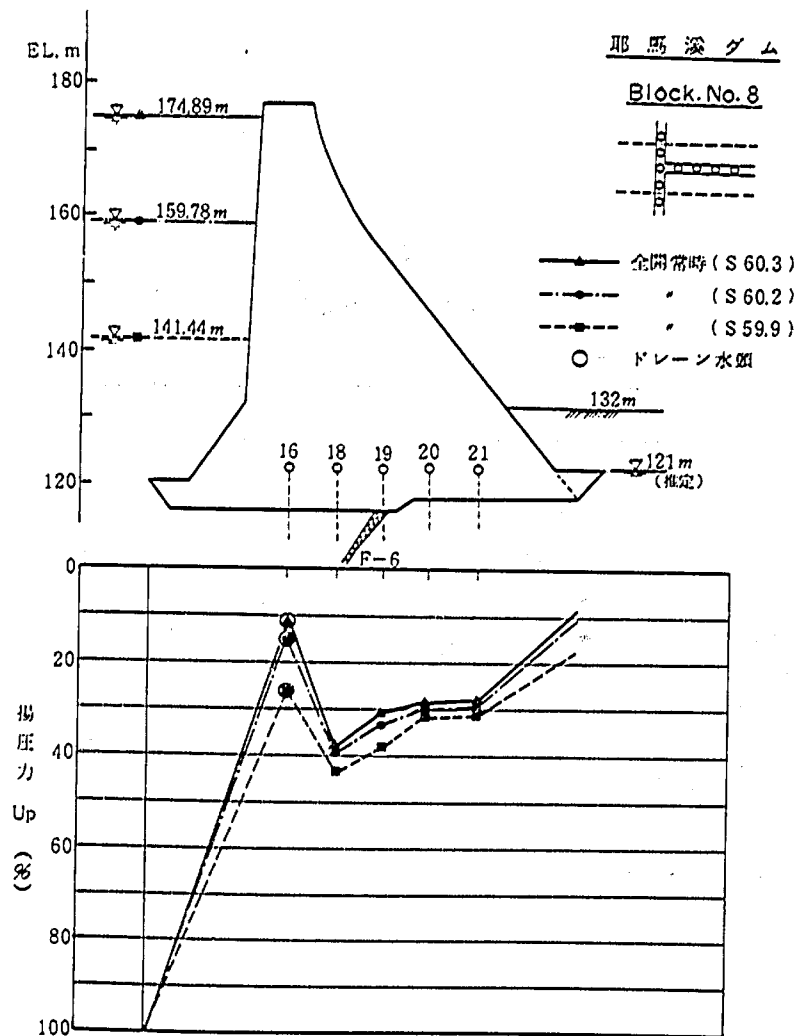
付図-1.2(15) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(正木BL. 8)



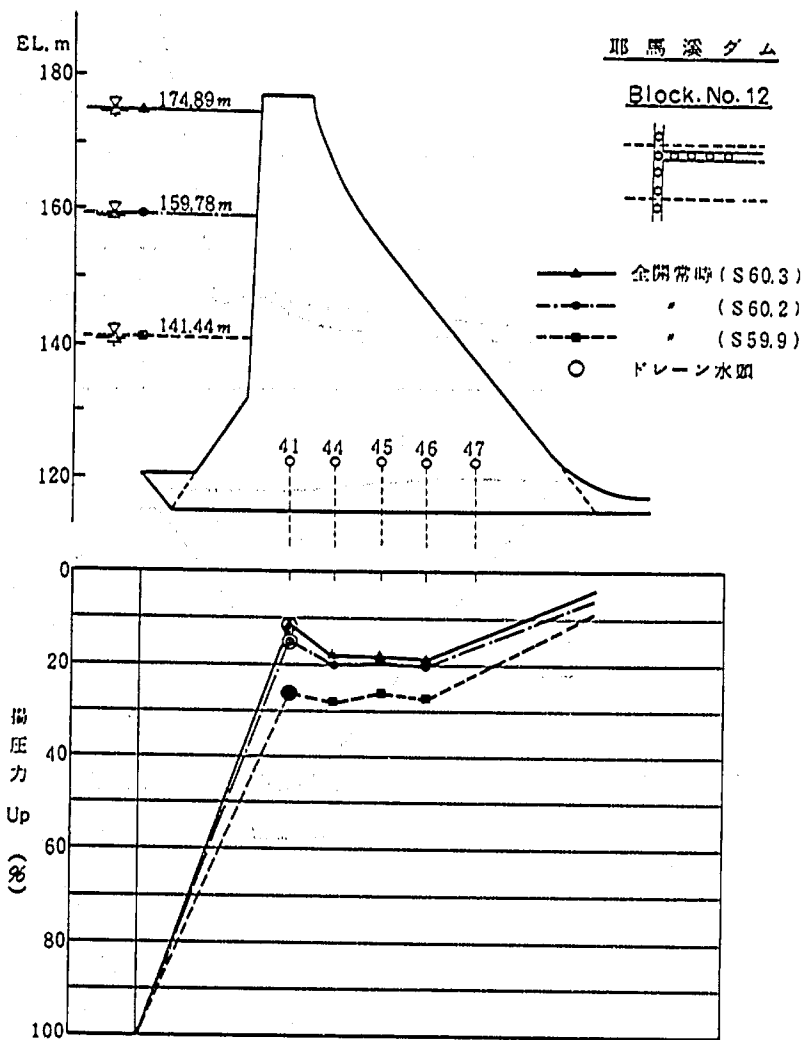
付図-1.2(16) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(大渡BL. 9)



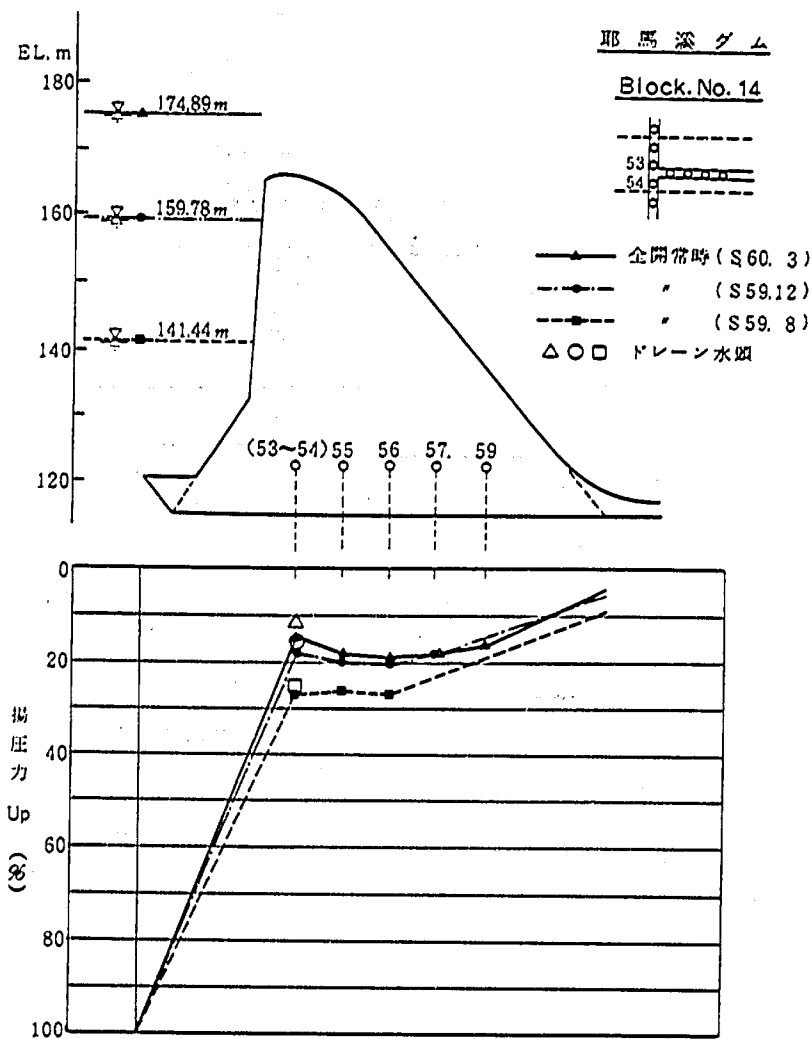
付図-1.2(17) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(大渡BL.13)



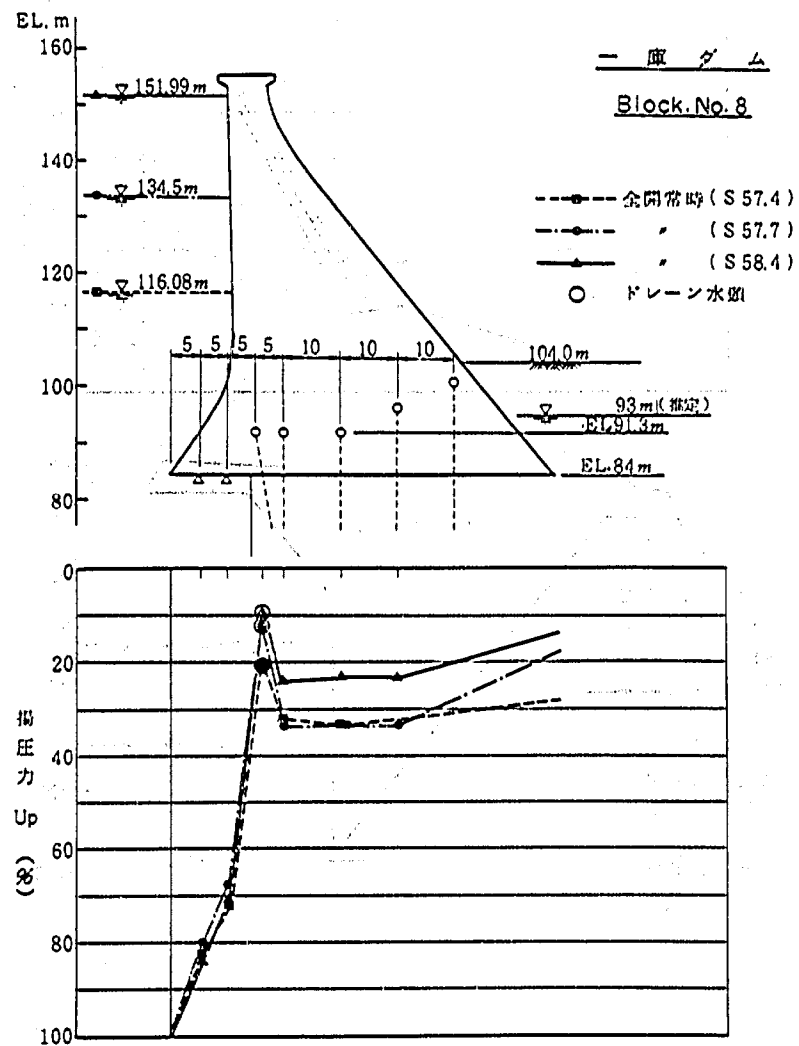
付図-1.2(18) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(耶馬溪BL. 8)



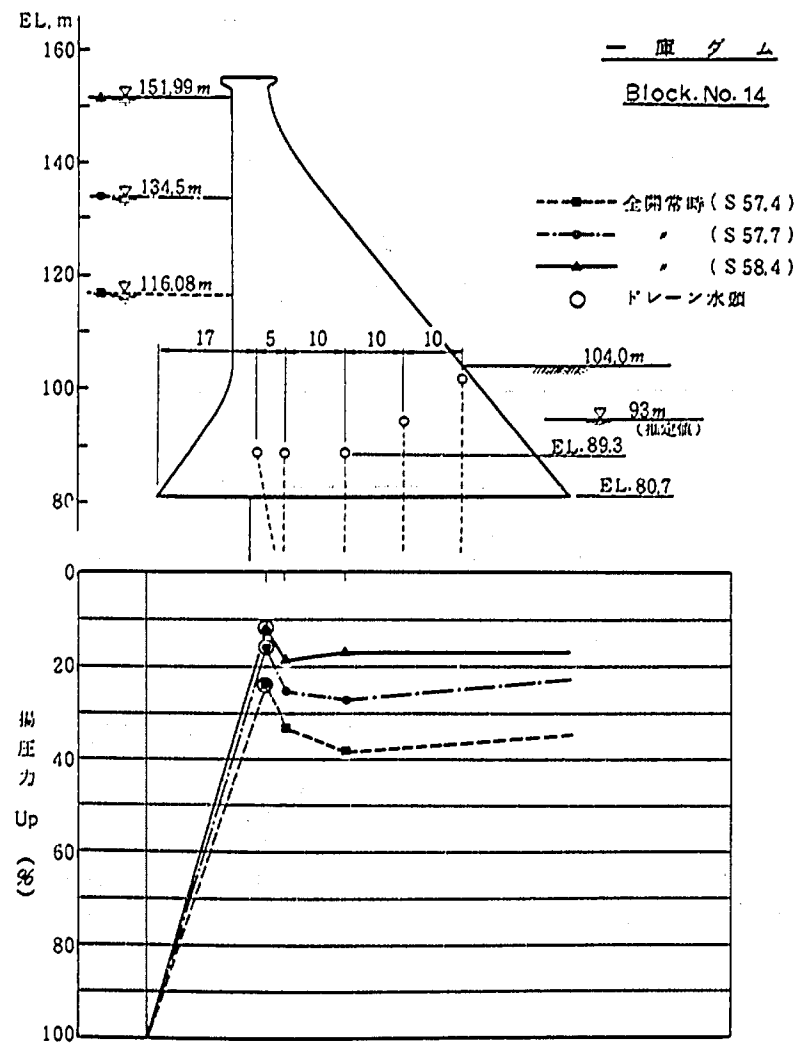
付図-1.2(19) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(耶馬溪BL.12)



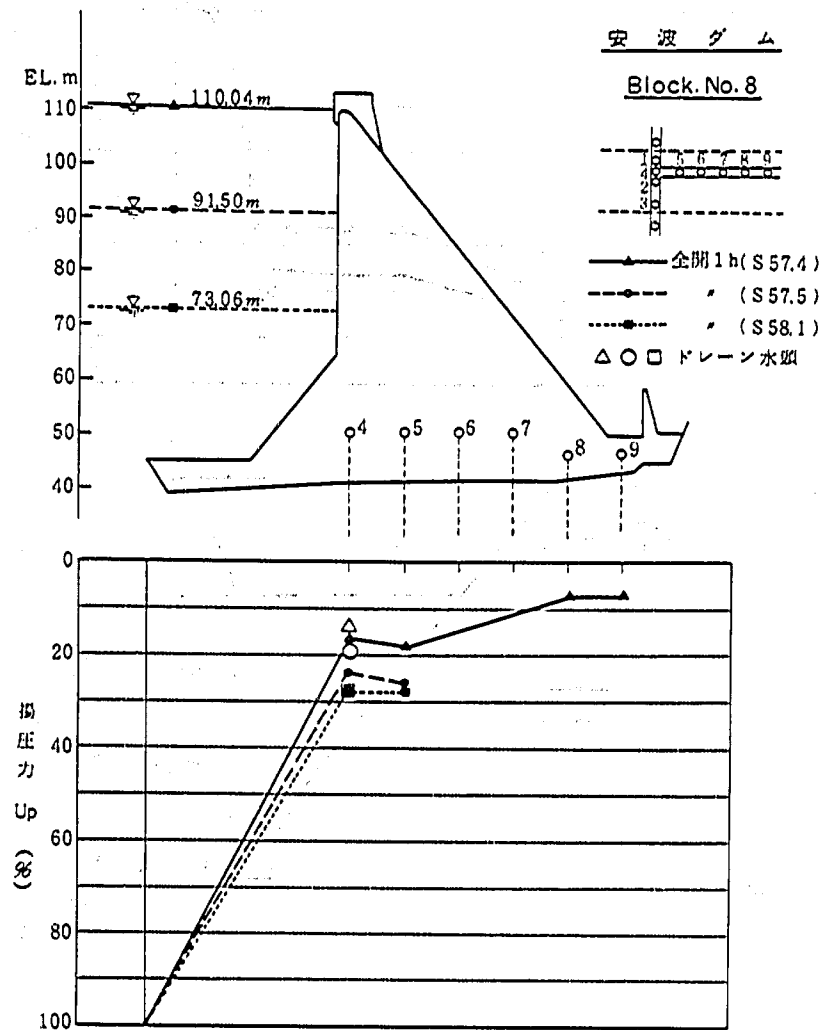
付図-1.2(20) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(耶馬溪BL.14)



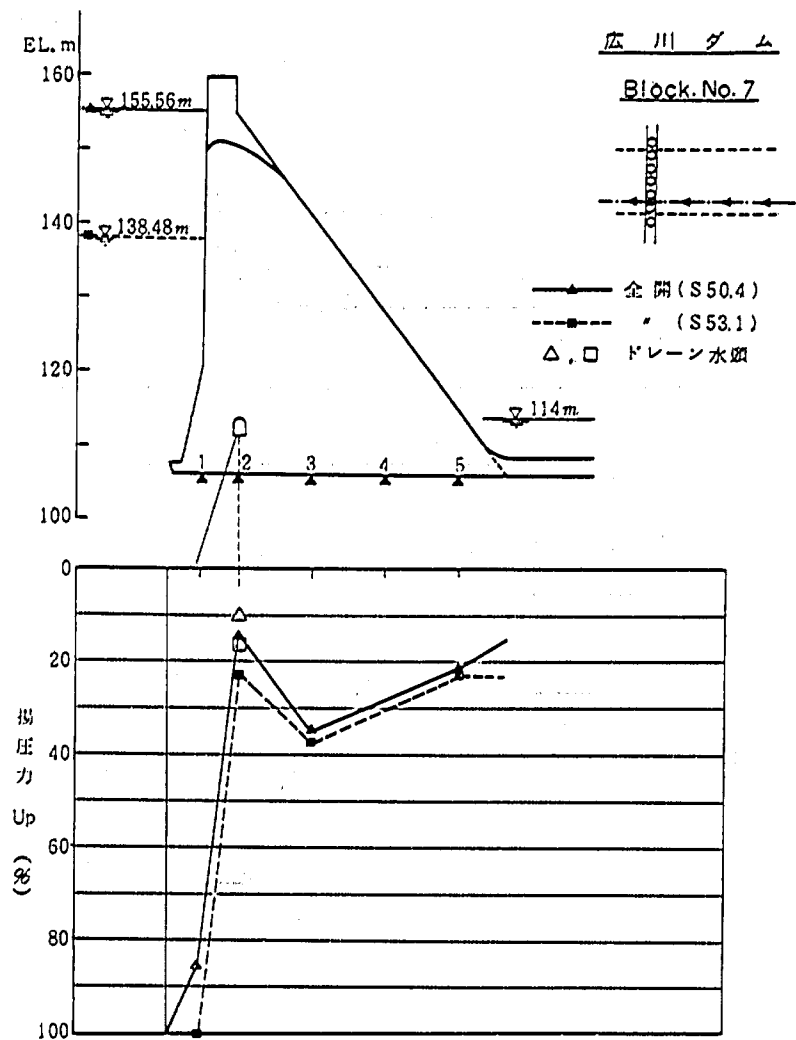
付図-1.2(21) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(一庫BL. 8)



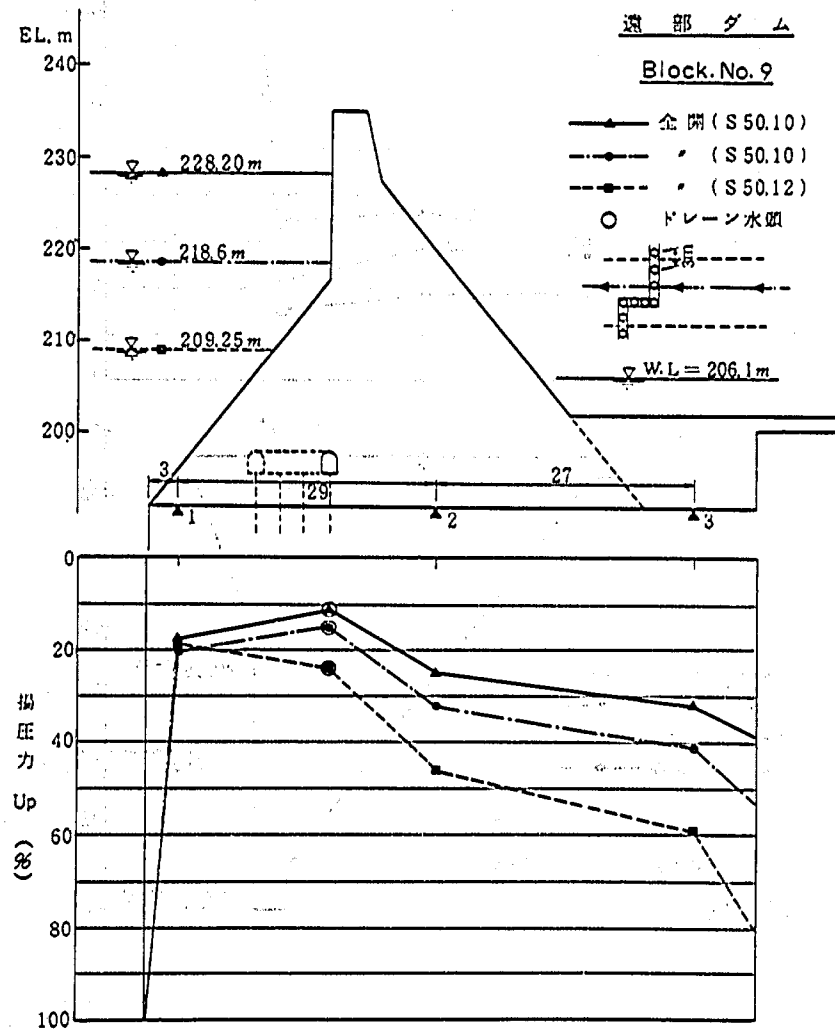
付図-1.2(22) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(一庫BL. 14)



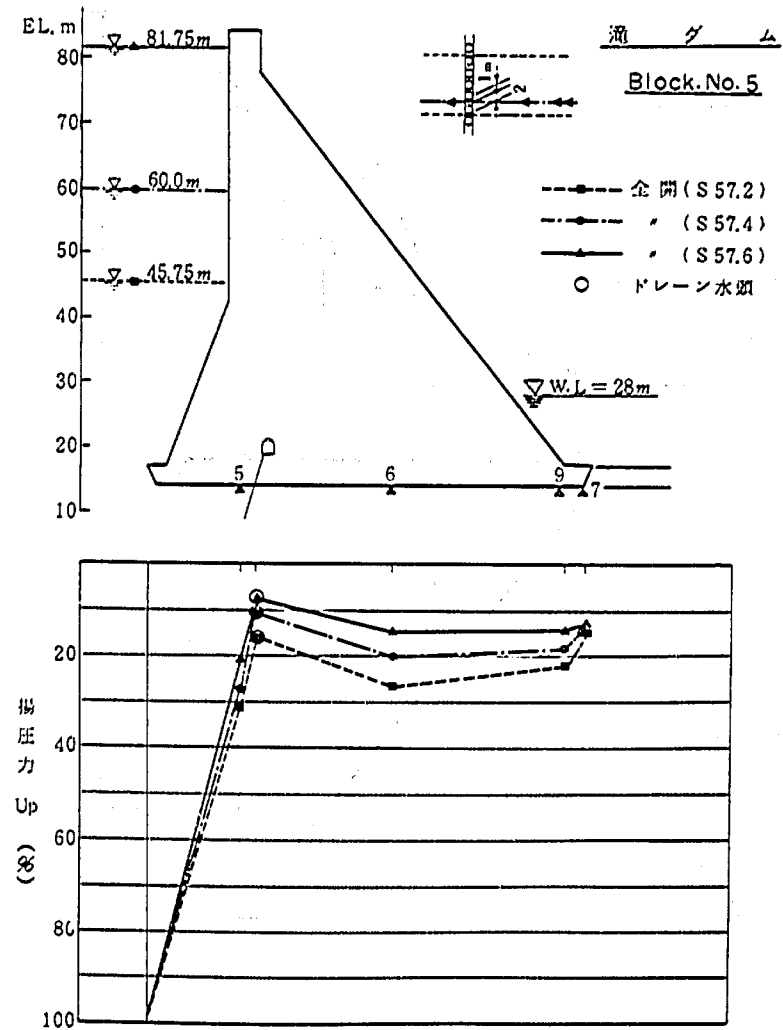
付図-1.2(23) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(安波BL. 8)



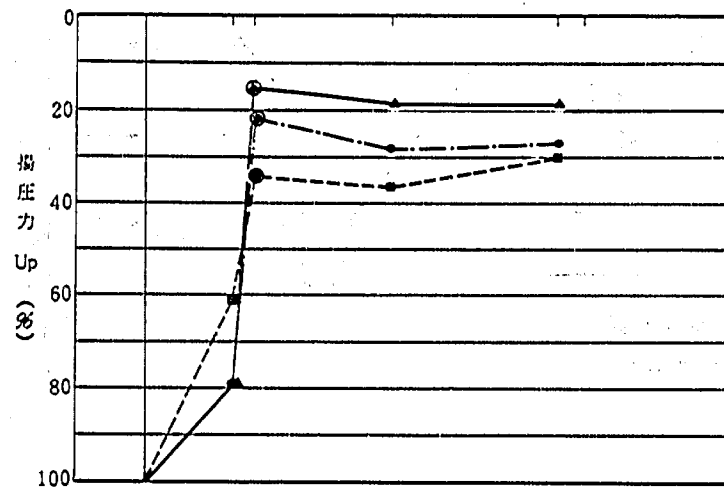
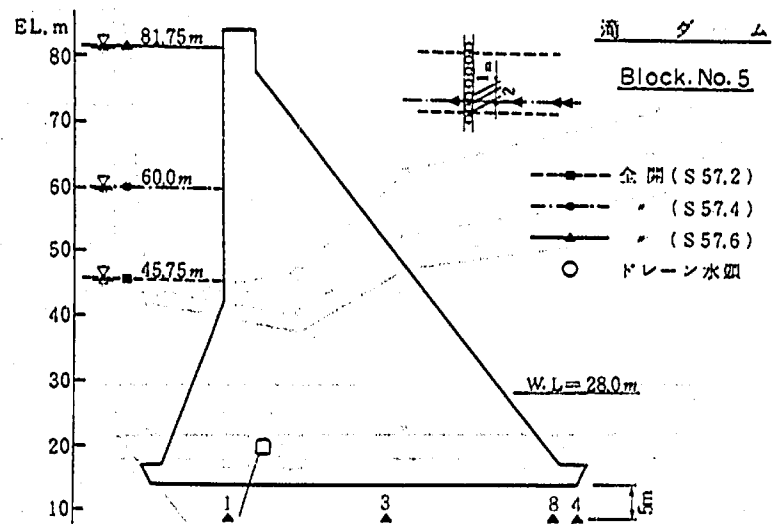
付図-1.2(24) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(広川BL. 7)



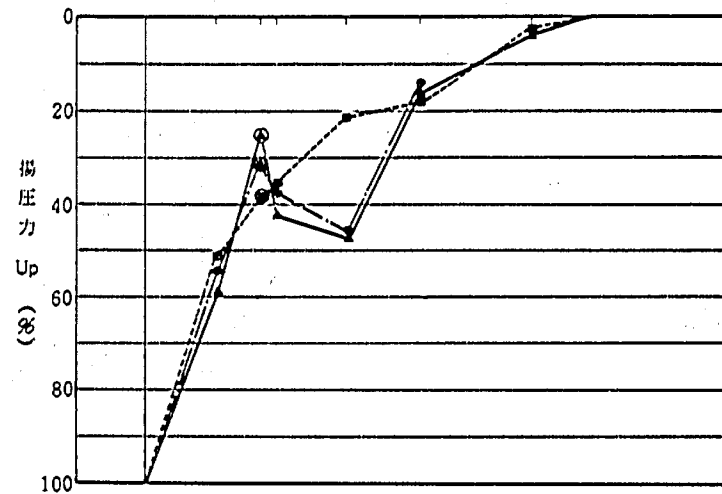
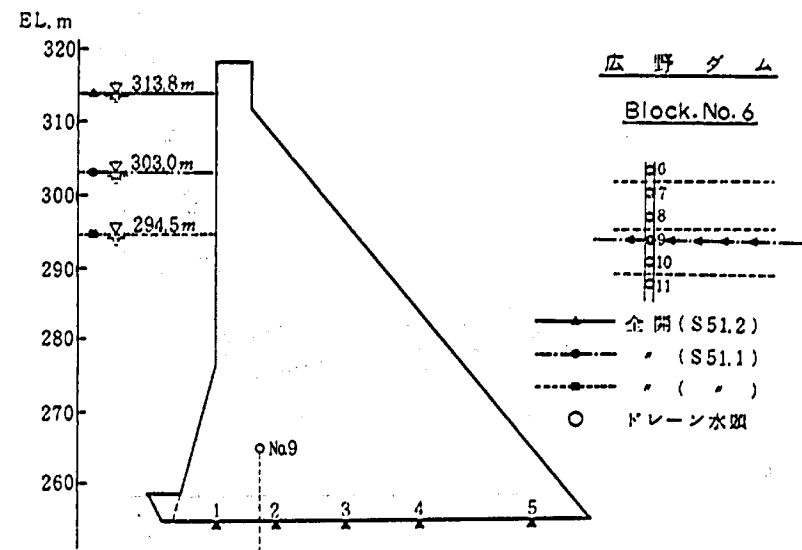
付図-1.2(25) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(遠部BL. 9)



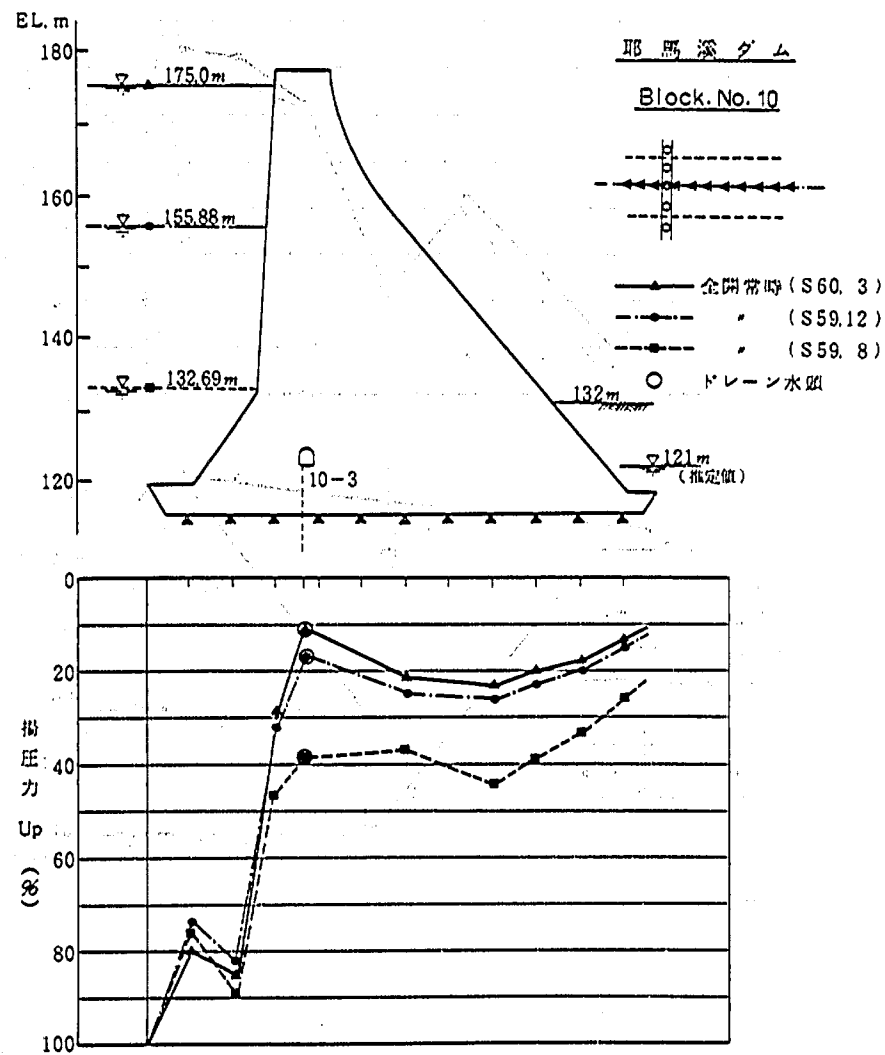
付図-1.2(26) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(滝BL. 5)



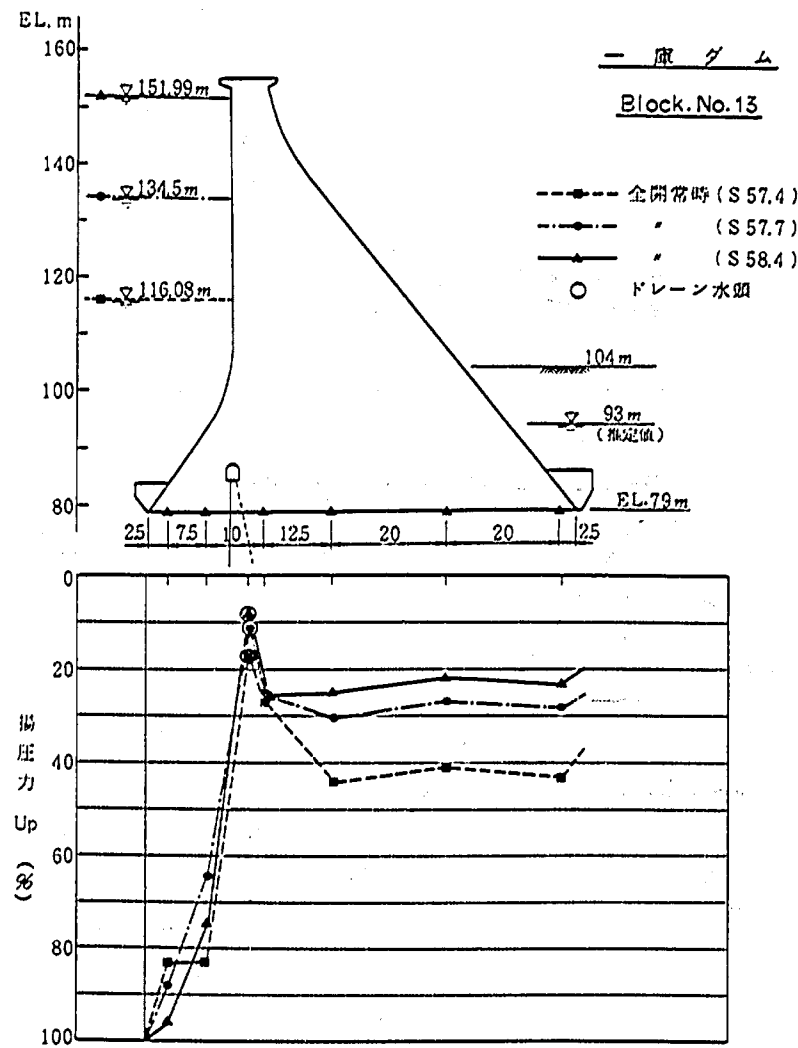
付図-1.227 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布（滝B.L.5）



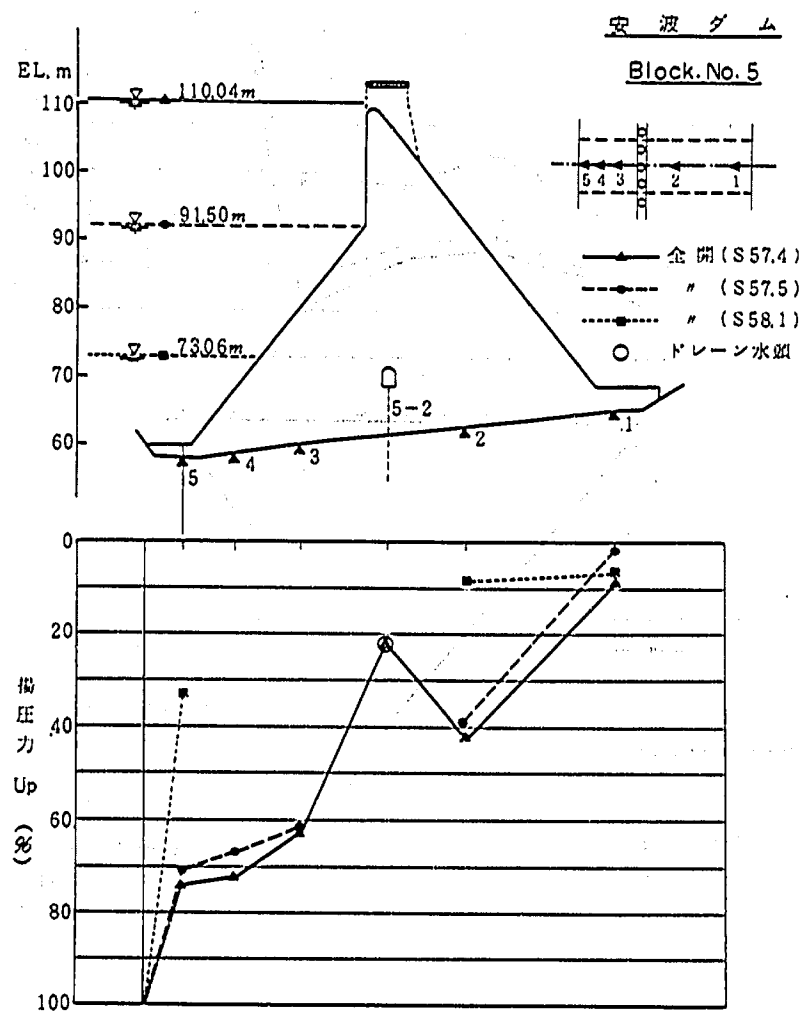
付図-1.2(8) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(広野BL.6)



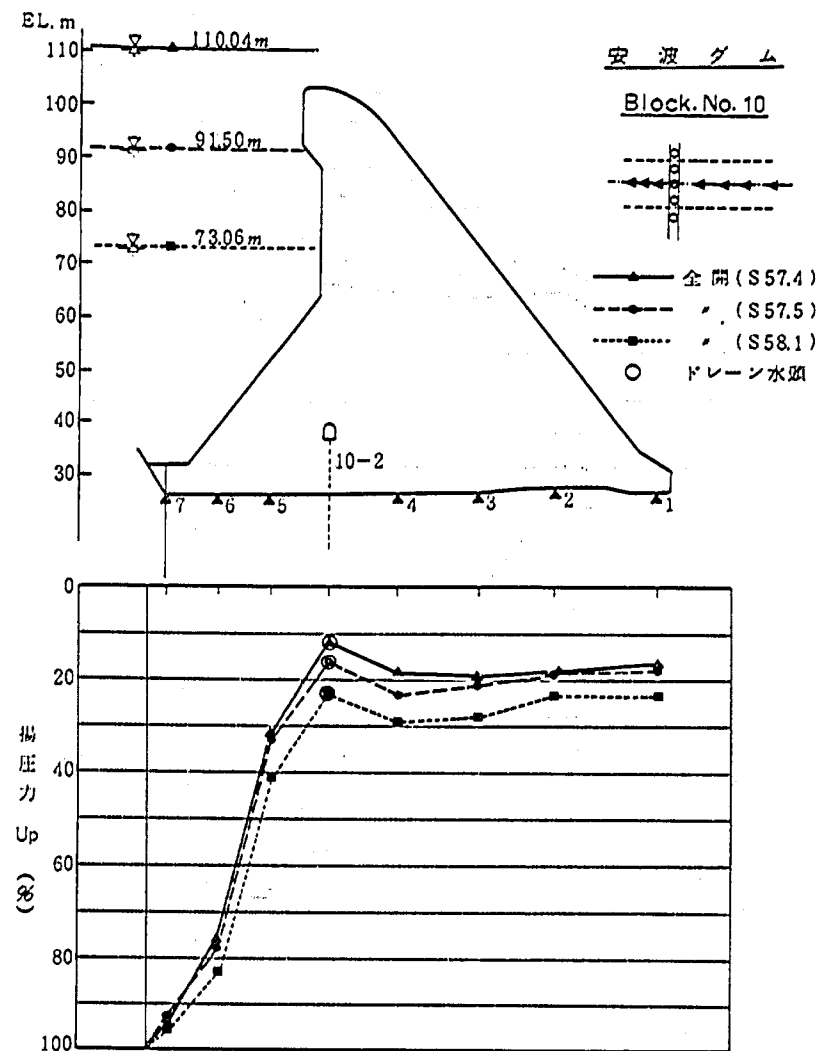
付図-1.2(29) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(耶馬溪BL.10)



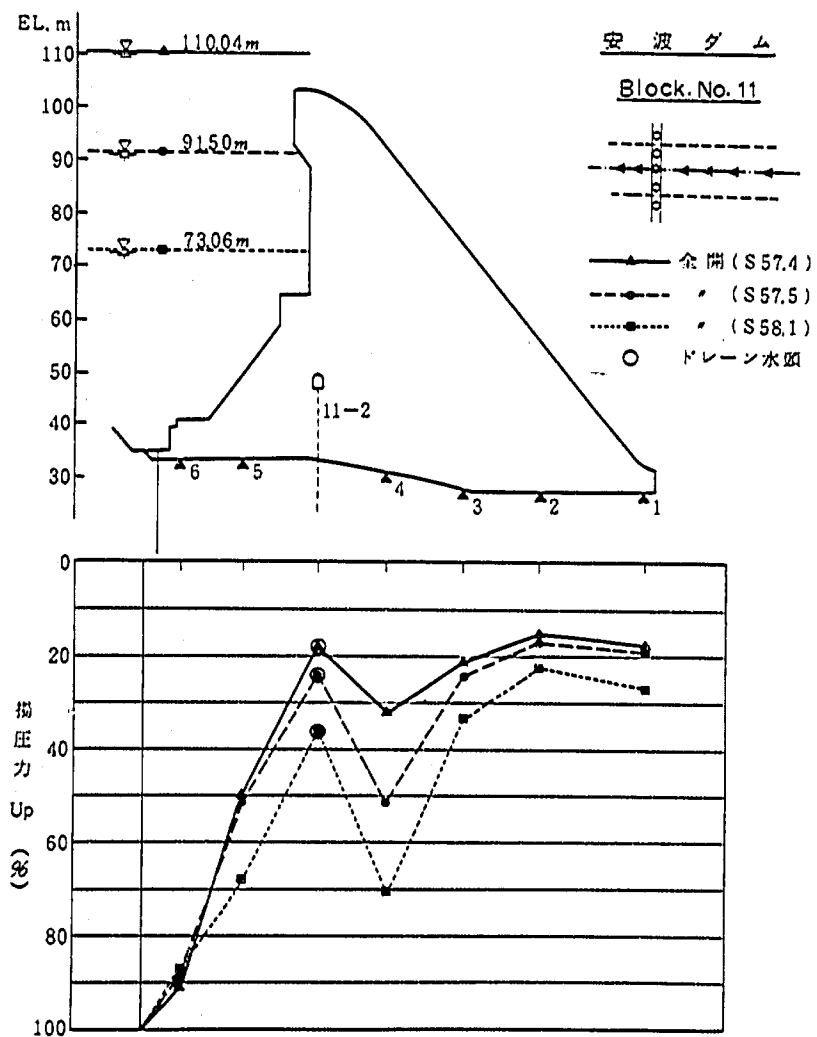
付図-1.2(30) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(一庫BL.13)



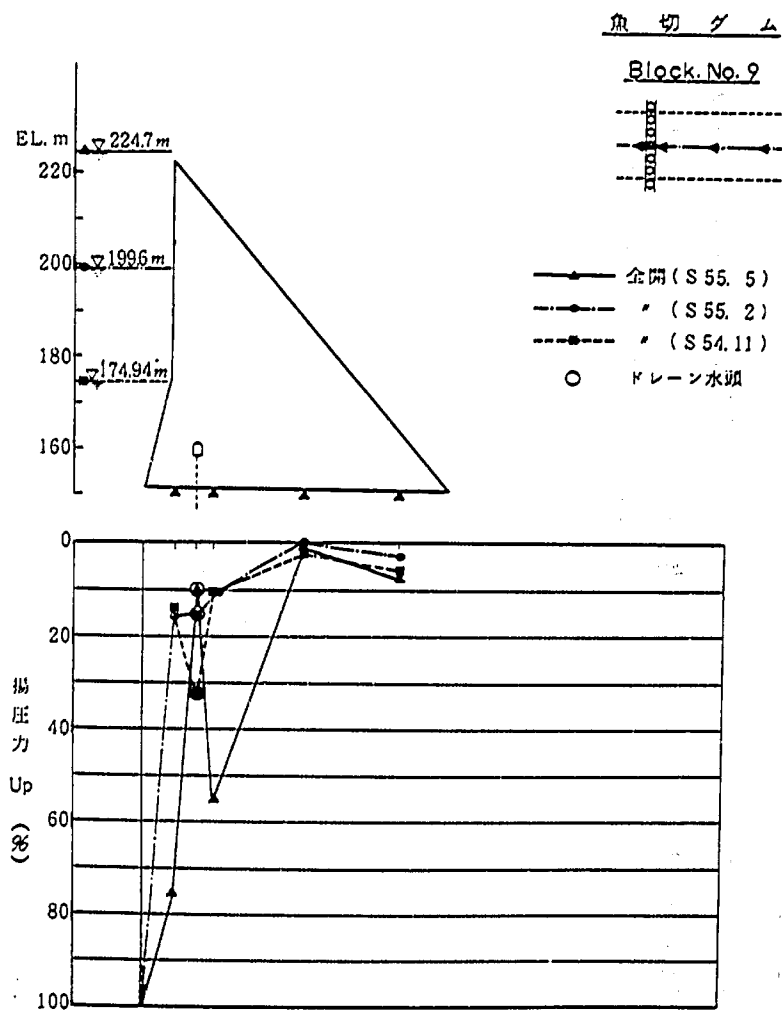
付図-1.2(31) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(安波BL. 5)



付図-1.2(32) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(安波BL.10)



付図-1.2(33) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(安波BL.11)



付図-1.2(34) 貯水位の変化と上下流方向の揚圧力分布(魚切BL.9)

付録 2. 揚圧力の経年変化

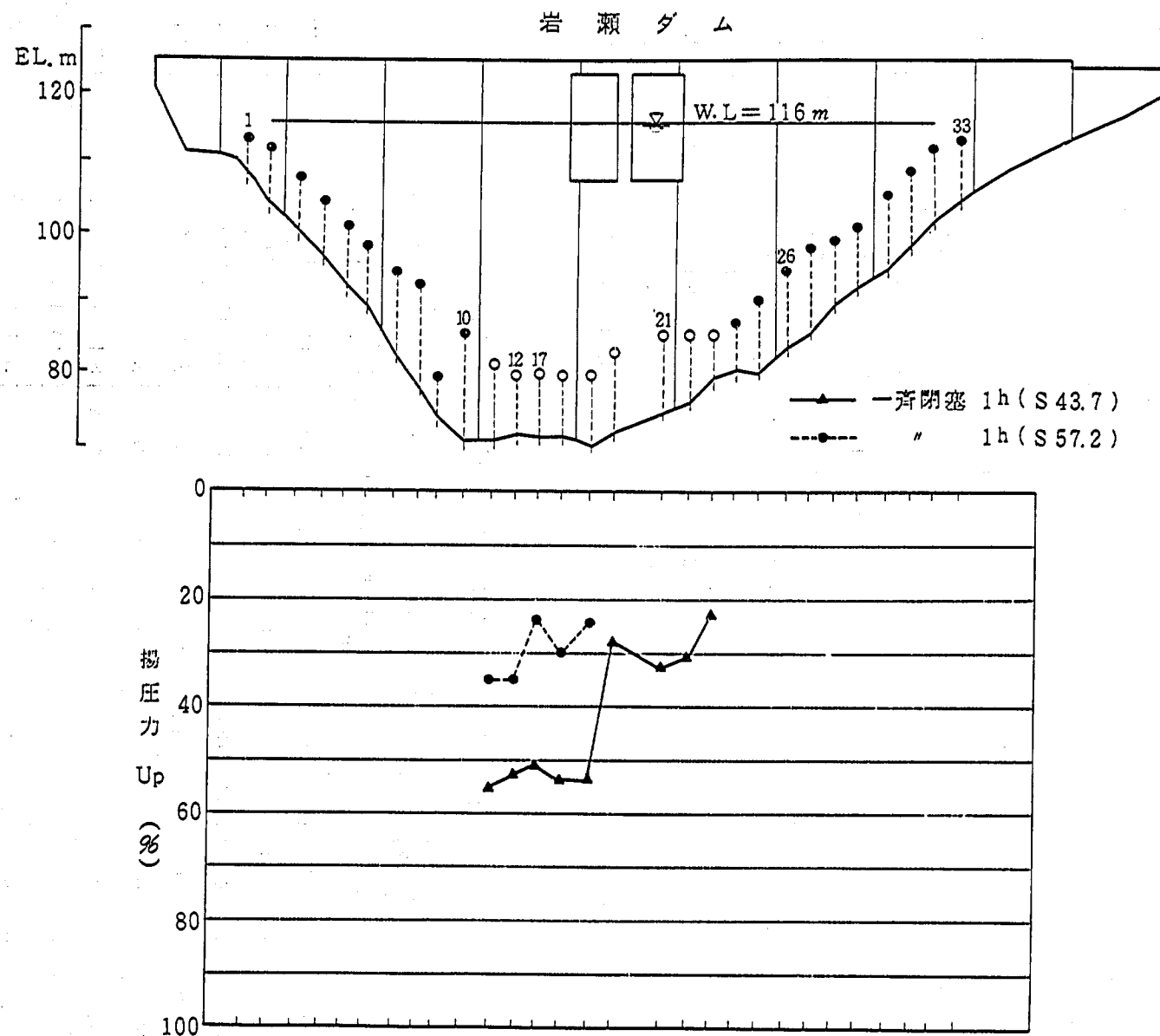
ダムの完成当初と完成後数年が経過した後の揚圧力分布を比較する。ダム軸方向の揚圧力分布の比較図を付図－2.1(1)～(6)に、上下流方向の揚圧力分布の比較図を付図－2.2(1)～(11)に示す。それぞれの分布図の一覧を付表－2.1 および 2.2 に示す。図面の順序は揚圧力の減少幅が大きなものの順に並べている。

付表-2.1 ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化一覧表

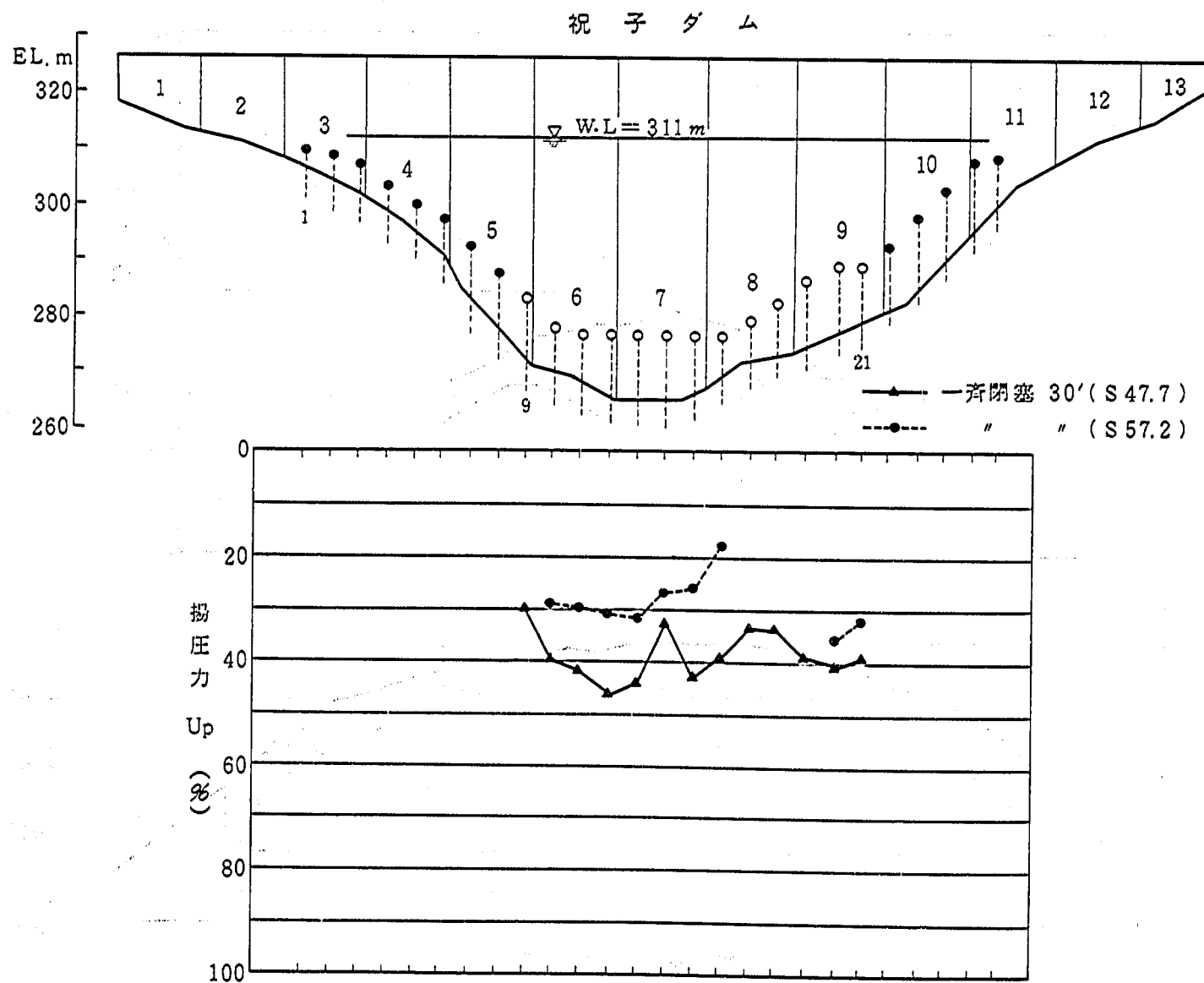
ダム名	ダム高 (m)	基 礎 排 水 孔				揚 圧 力 の 比 較			付図No
		配置間隔 (m)	外 径 ϕ (mm)	閉塞方法	閉塞時間	完成初期 年・月	数年後 年・月	比較年数 (年)	
岩 瀬	55.5	3.5	150	一 斉 閉 塞	1 h	S 43. 7	S 57.2	14	2.1 (1)
祝 子	60.0	5.0		"	30'	S 47. 7	S 57.2	10	2.1 (2)
諭 鶴 羽	42.0	5.0	66	"	15'	S 50. 6	S 53.6	3	2.1 (3)
山 財	63.5	5.0		"	1 h	S 55. 4	S 57.2	2	2.1 (4)
石 手 川	87.0	7.5	46	"	4 h	S 48. 4	S 57.2	9	2.1 (5)
大 野 川	47.5	6.0	65	"	4 h	S 53.12	S 57.1	3	2.1 (6)
広 野	63.0	7.5	66	"	5 h	S 51. 2	S 53.2	2	2.1 (7)
八 戸	72.0	3.0		"	3 h	S 52. 3	S 55.4	3	2.1 (8)
新 宮	42.0	5.0	46	"	30'	S 52. 2	S 58.7	6	2.1 (9)
松 川	84.3	5.0		"	15' 以上	S 50. 5	S 55.5	5	2.1 (10)
内 川	81.0	3.0	46	"	5 h	S 50. 3	S 55.5	5	2.1 (11)
正 木	69.0	5.0	50	特定孔閉塞	1 h	S 52.11	S 57.7	4	2.1 (12)
早 出 川	82.5	5.0		"	5 h	S 54. 1	S 57.2	3	2.1 (13)
刈谷田川	83.5	5.0	66	隔 孔 閉 塞	2 h	S 55. 1	S 58.7	3	2.1 (14)
亀 山	34.5	5.0	46	"	2 h	S 55. 4	S 57.3	2	2.1 (15)
胎 内 川	93.0	5.0		"	2 h	S 51.11	S 55.5	3	2.1 (16)

付表-2.2 上下流方向の揚圧力分布の経年変化一覧表

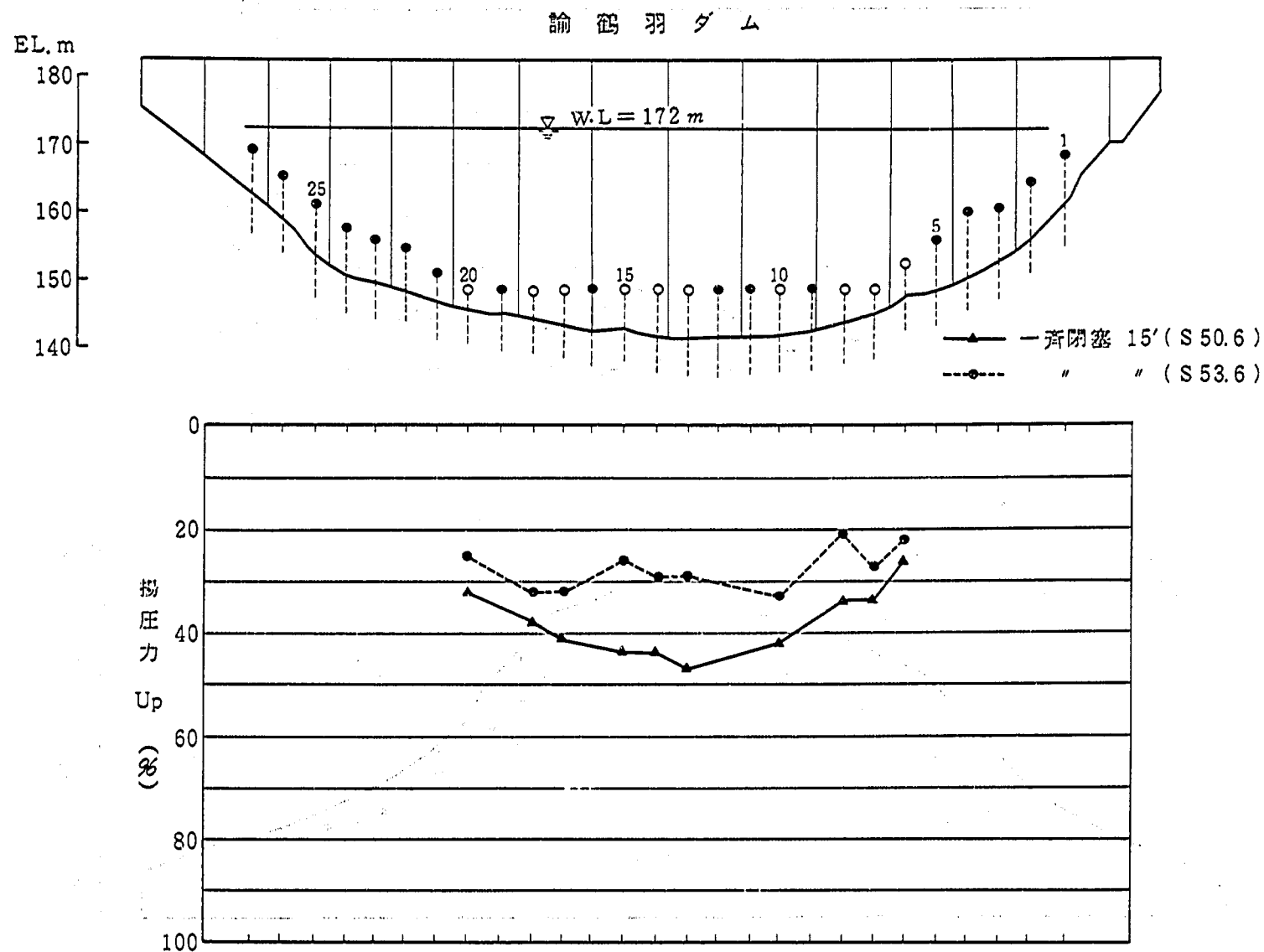
ダム名	ブロック No	ブロック 高 さ (m)	揚 圧 力 測定装置	ダム軸方向の基礎排水孔			揚 圧 力 の 比 較			付 図 No
				配置間隔 (m)	閉塞状態	閉塞時間	完成初期 年・月	数年後 年・月	比較年数 (年)	
大野川	7	44	揚圧力測定孔	6.0	一斉閉塞	4 h	S 53.12	S 58. 7	5	2.2(1)
松 川	8	84.3	"	5.0	"	15'	S 50. 5	S 55. 5	5	2.2(2)
新 宮	7	42	間隙水圧計	5.0	"	10'	S 51.11	S 55.10	4	2.2(3)
内 川	3	81	揚圧力測定孔	3.0	"	5 h	S 50. 3	S 55. 5	5	2.2(4)
早明浦	15	107	"	3.0	"	24 h	S 50. 7	S 54. 3	4	2.2(5)
鯖石川	4	37	"	7.5	"	常 時	S 49. 1	S 57. 1	8	2.2(6)
"	6	37	"	7.5	"	"	S 49. 1	S 57. 1	8	2.2(7)
広 野	6	63	間隙水圧計	7.5	全 開	—	S 51. 2	S 57. 2	6	2.2(8)
遠 部	9	43	"	3.0	"	—	S 50.10	S 57. 2	6	2.2(9)
広 川	7	53.5	"	3.0	"	—	S 53. 1	S 57. 2	4	2.2(10)
正 木	8	60	揚圧力測定孔	5.0	隔孔閉塞B	1 h	S 52.10	S 58. 7	6	2.2(11)



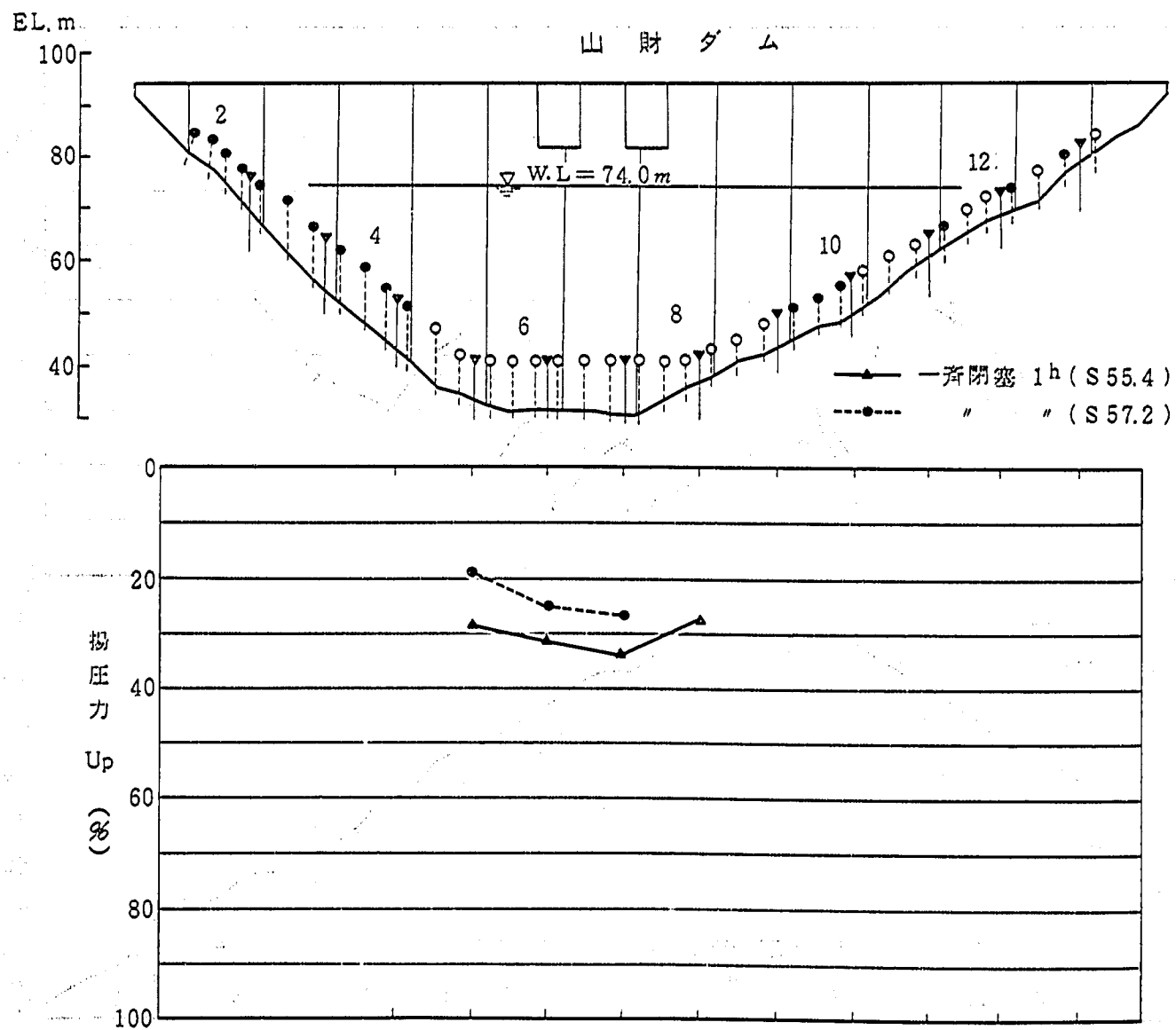
付図-2.1(1) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化(岩瀬ダム 14年)



付図- 2.1 (2) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (祝子ダム 10年)

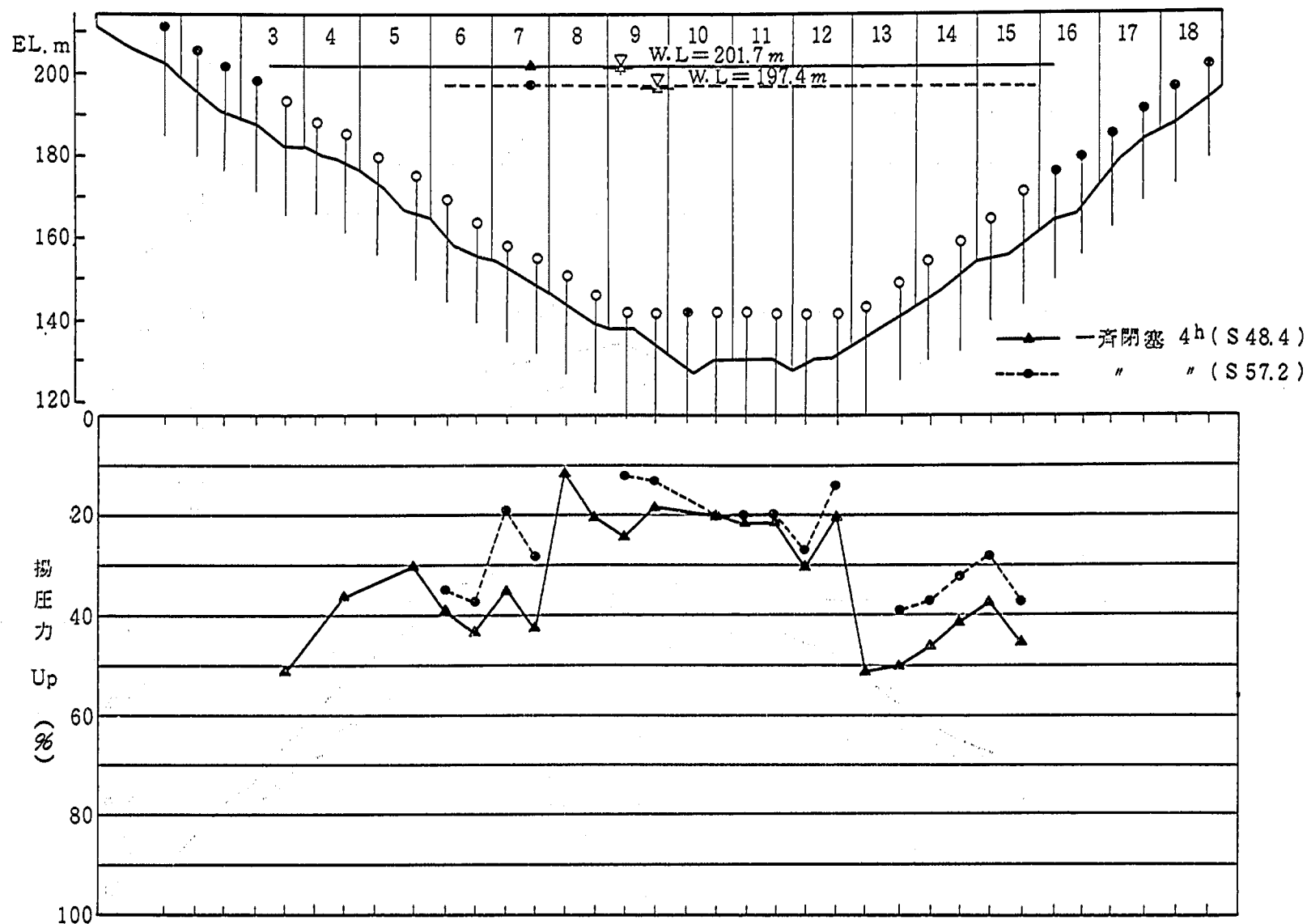


付図 - 2.1 (3) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (論鶴羽ダム 3年)



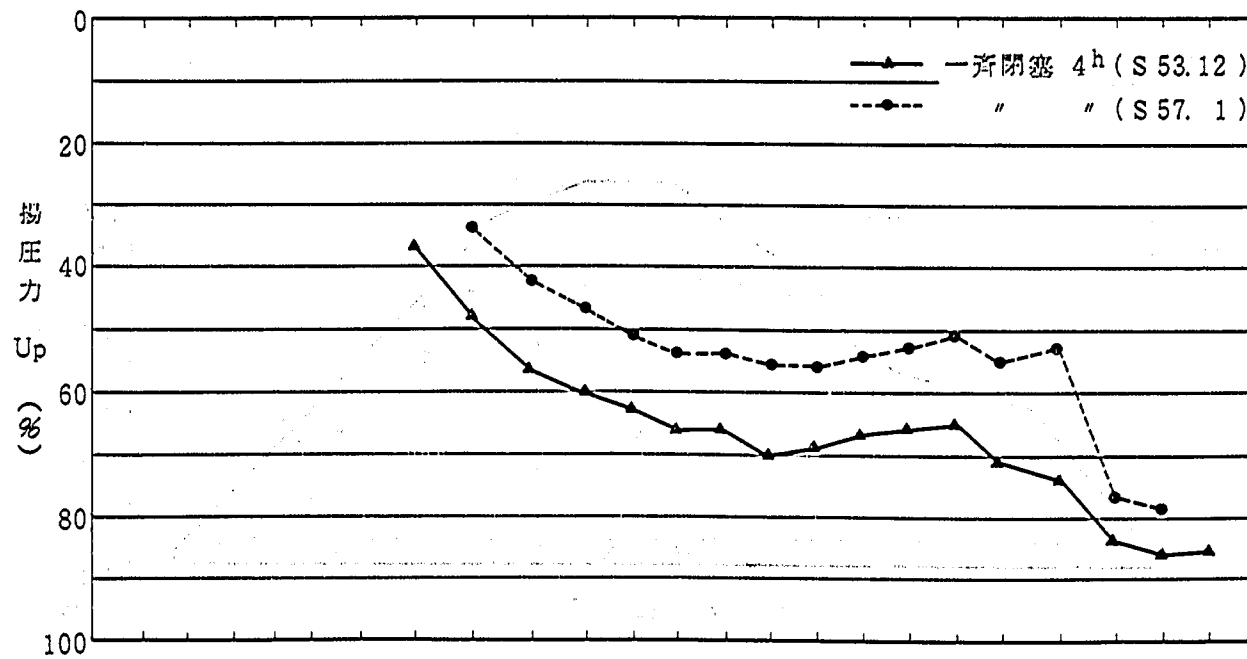
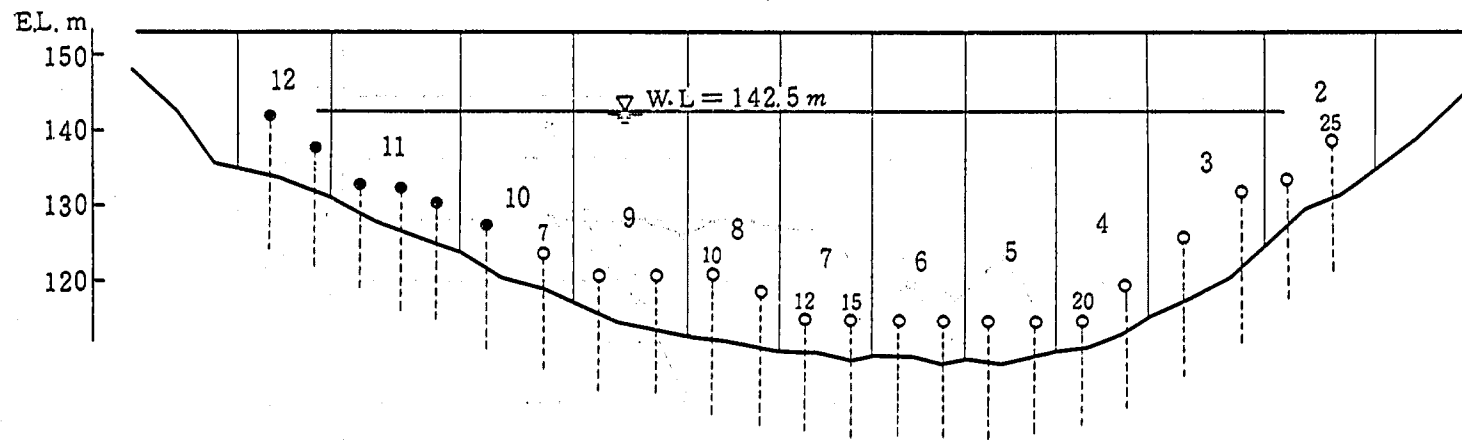
付図- 2.1 (4) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (山財ダム 2年)

石手川ダム

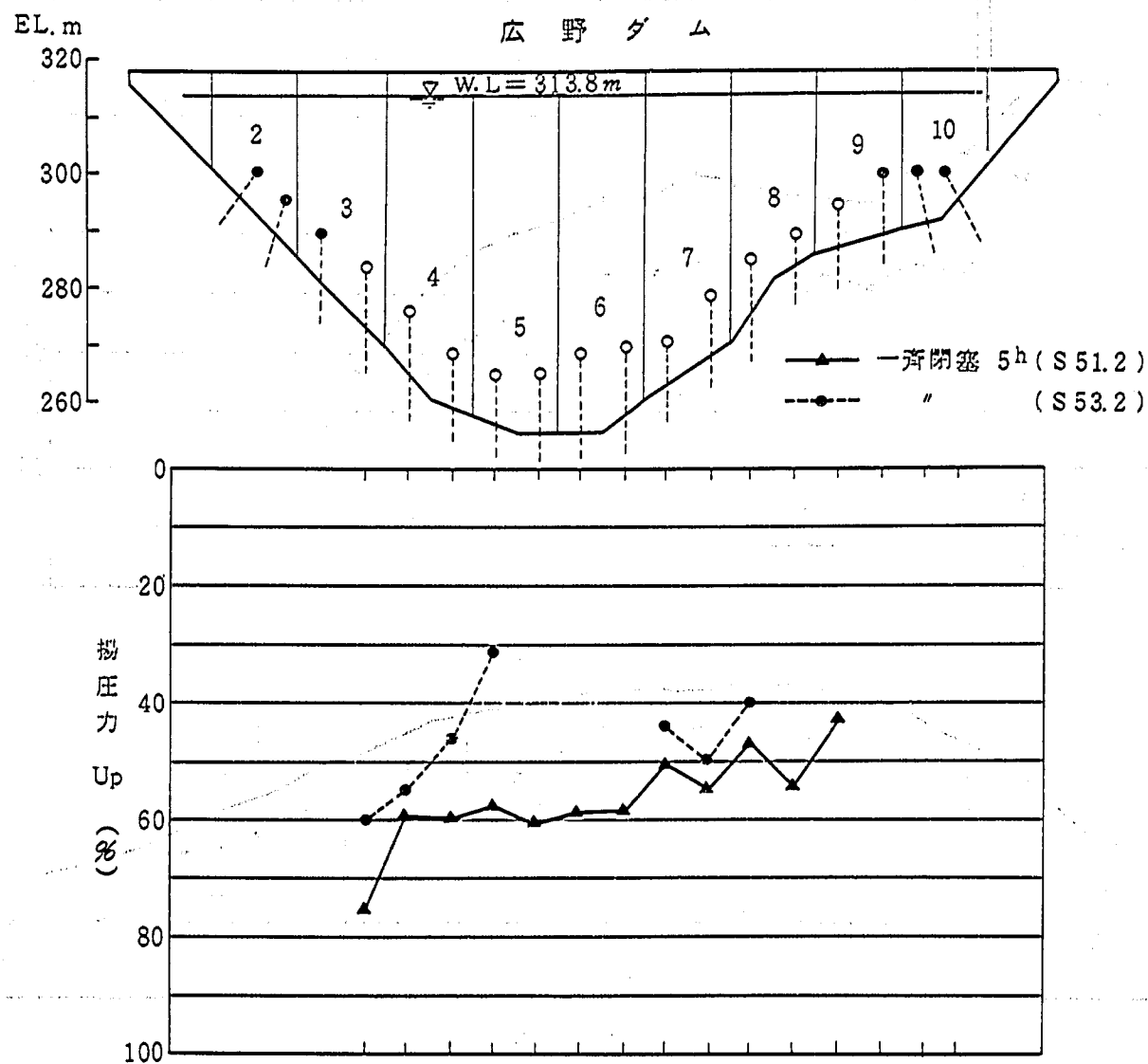


付図- 2.1 (5) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (石手川ダム 9年)

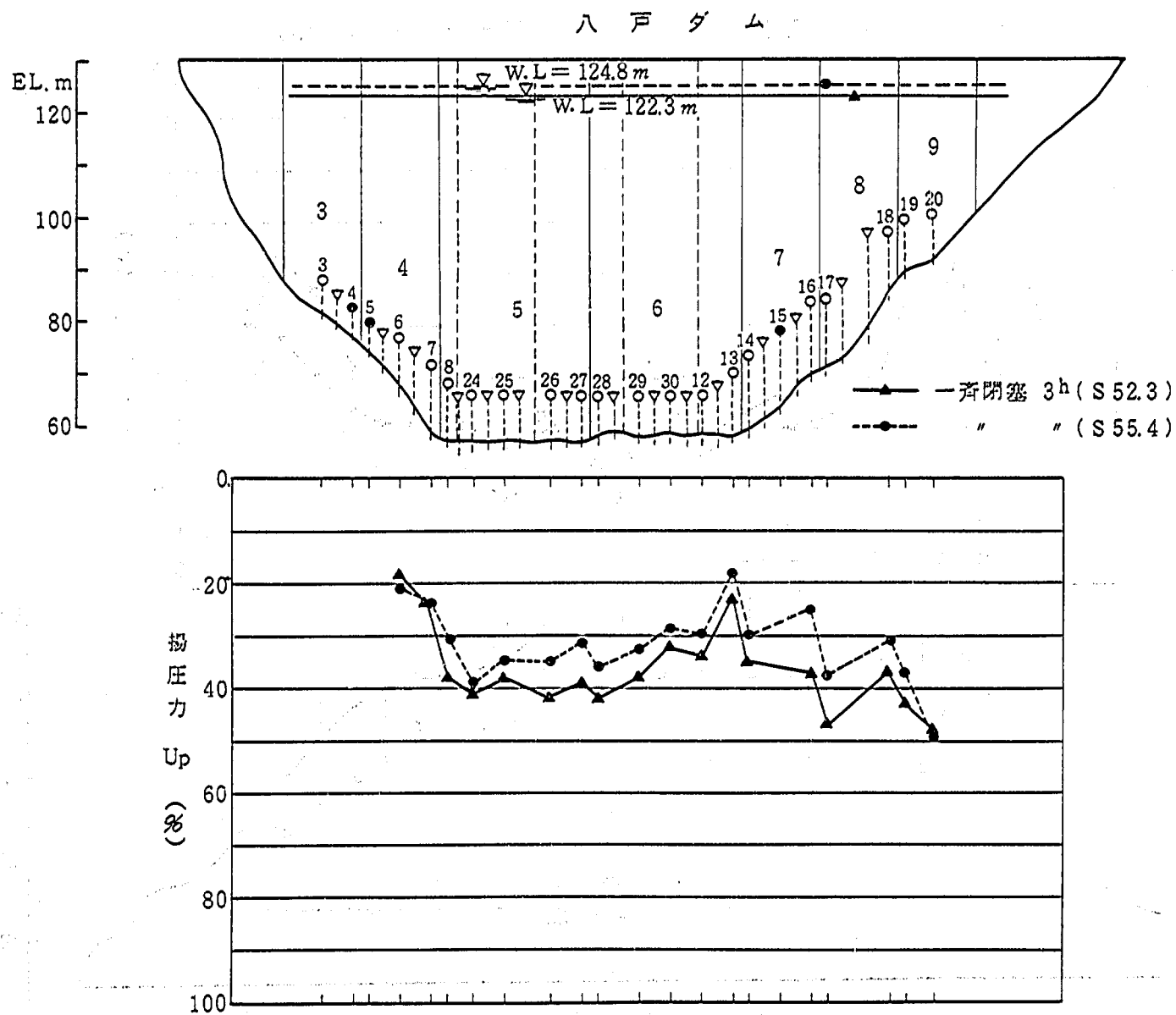
大野川ダム



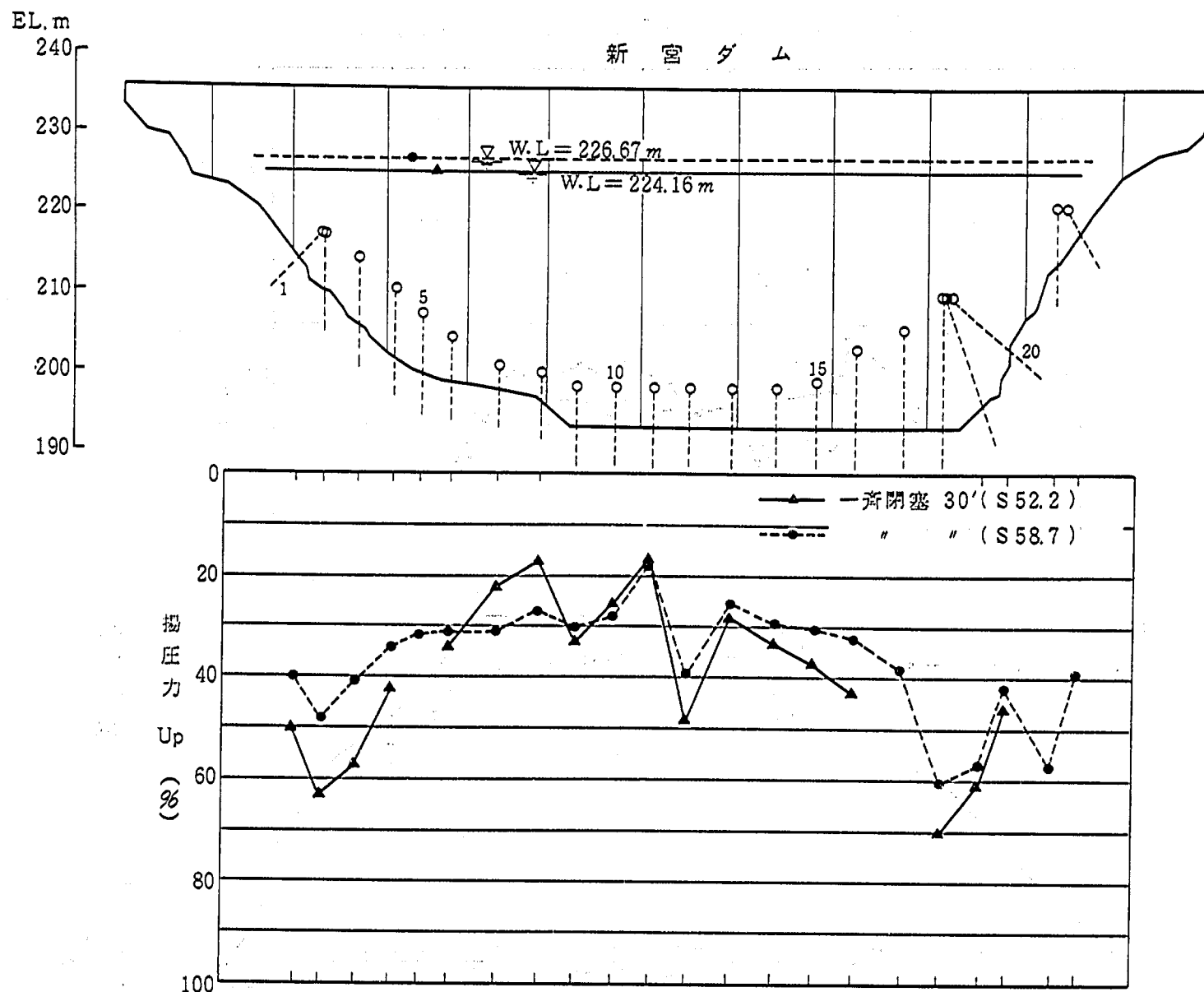
付図-2.1(6) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化(大野川ダム 3年)



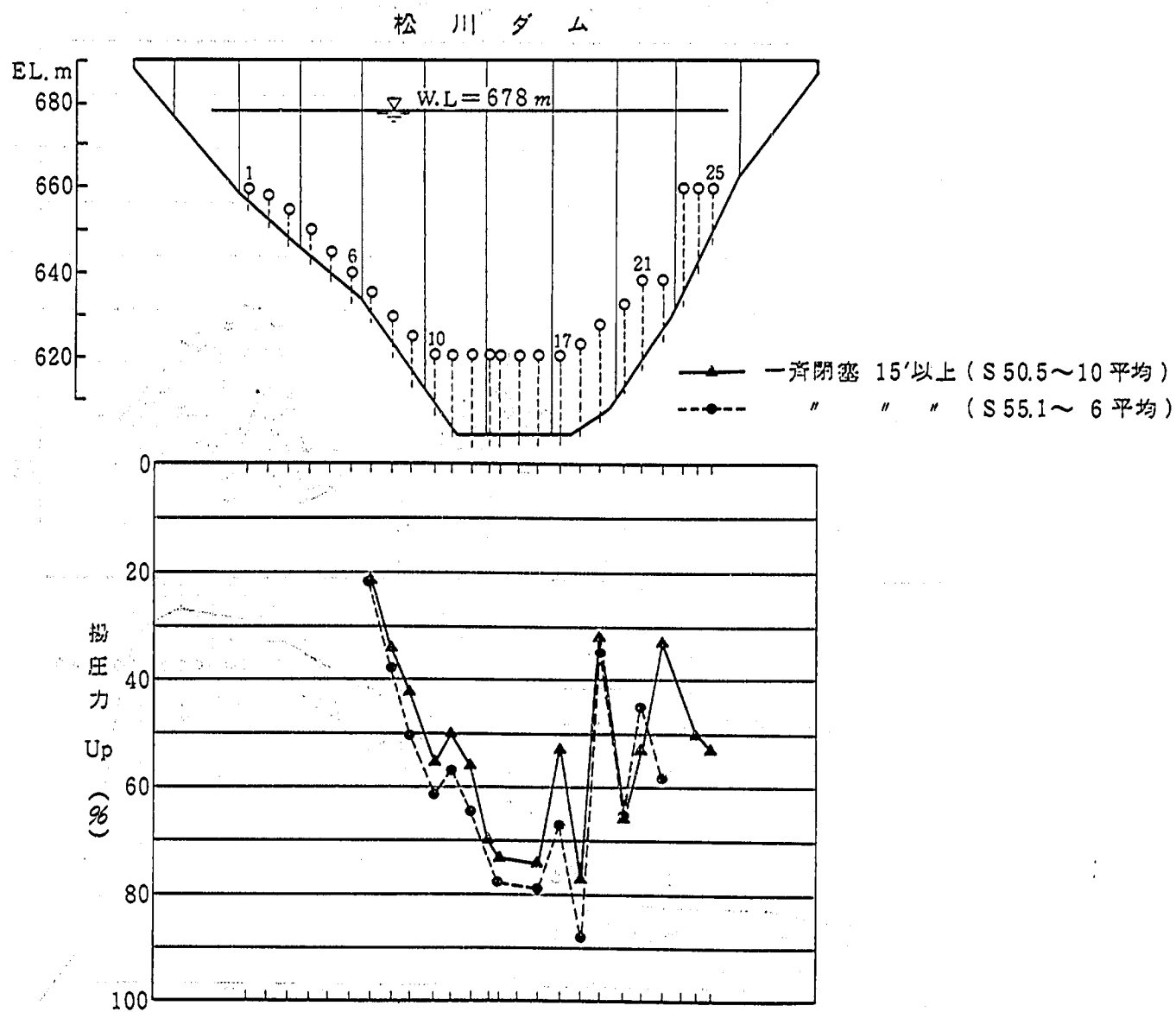
付図- 2.1 (7) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (広野ダム 2年)



付図- 2.1 (8) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (八戸ダム 3年)

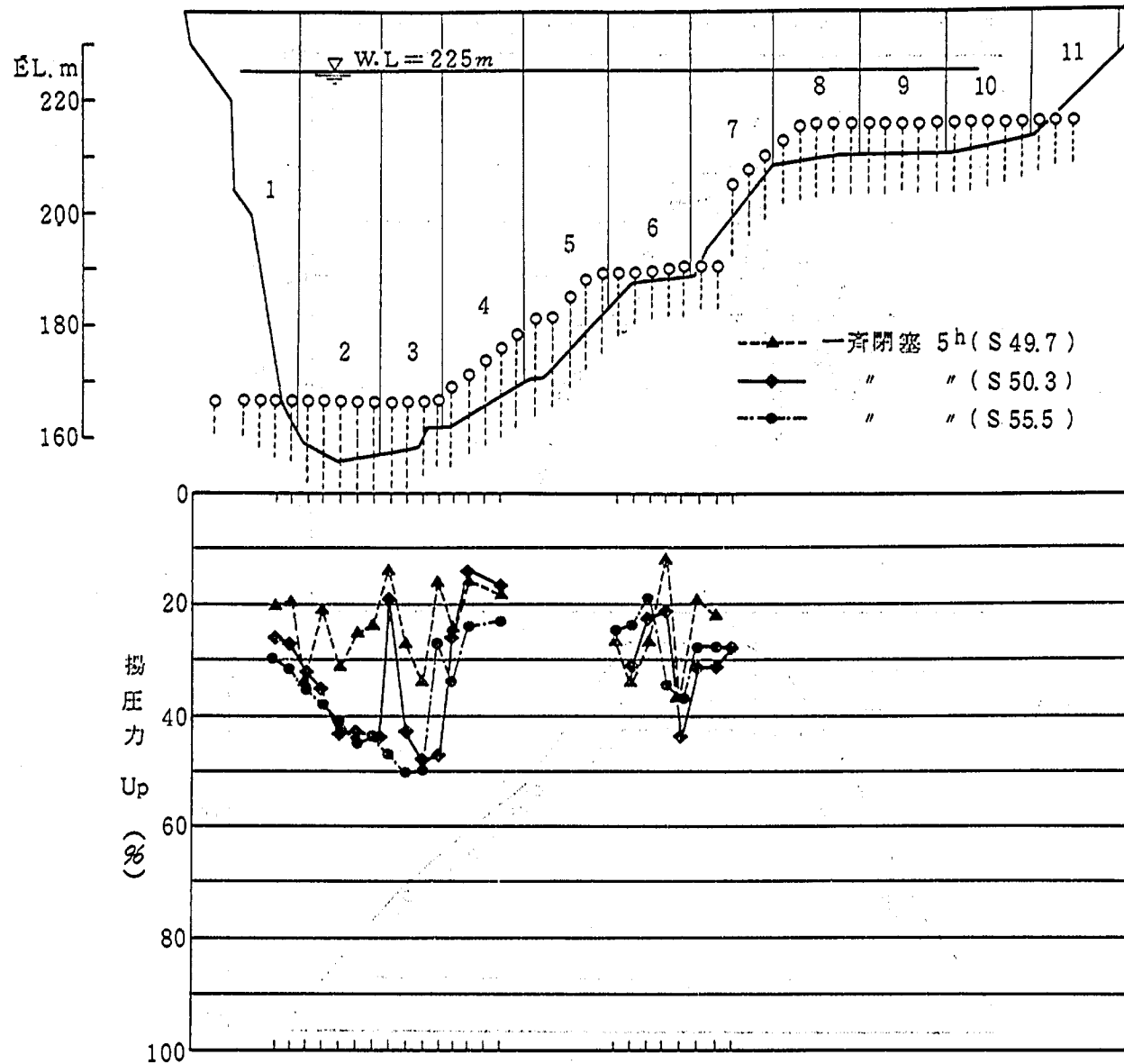


付図- 2.1 (9) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (新宮ダム 6 年)



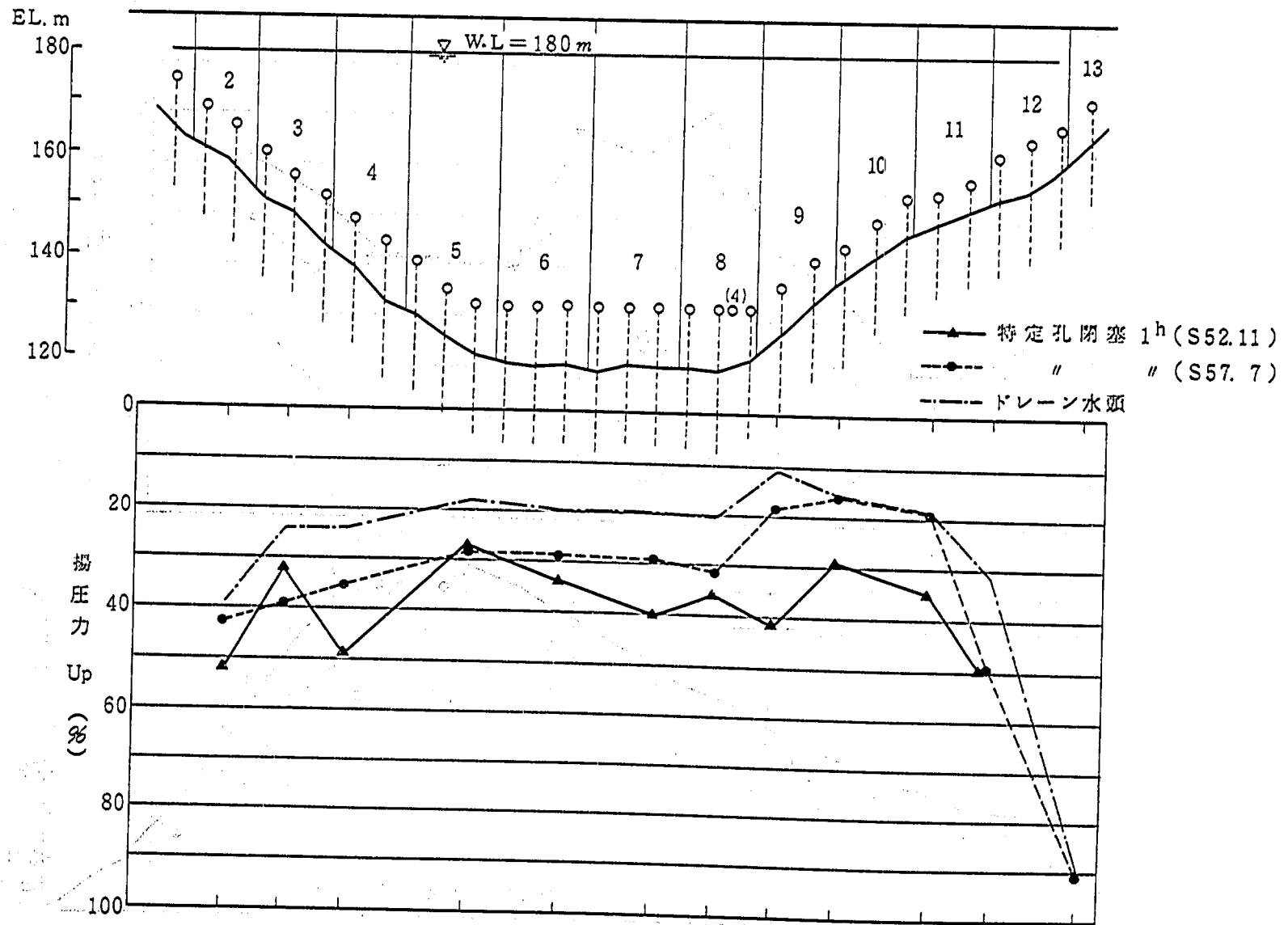
付図- 2.1 (10) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (松川ダム 5年)

内川ダム



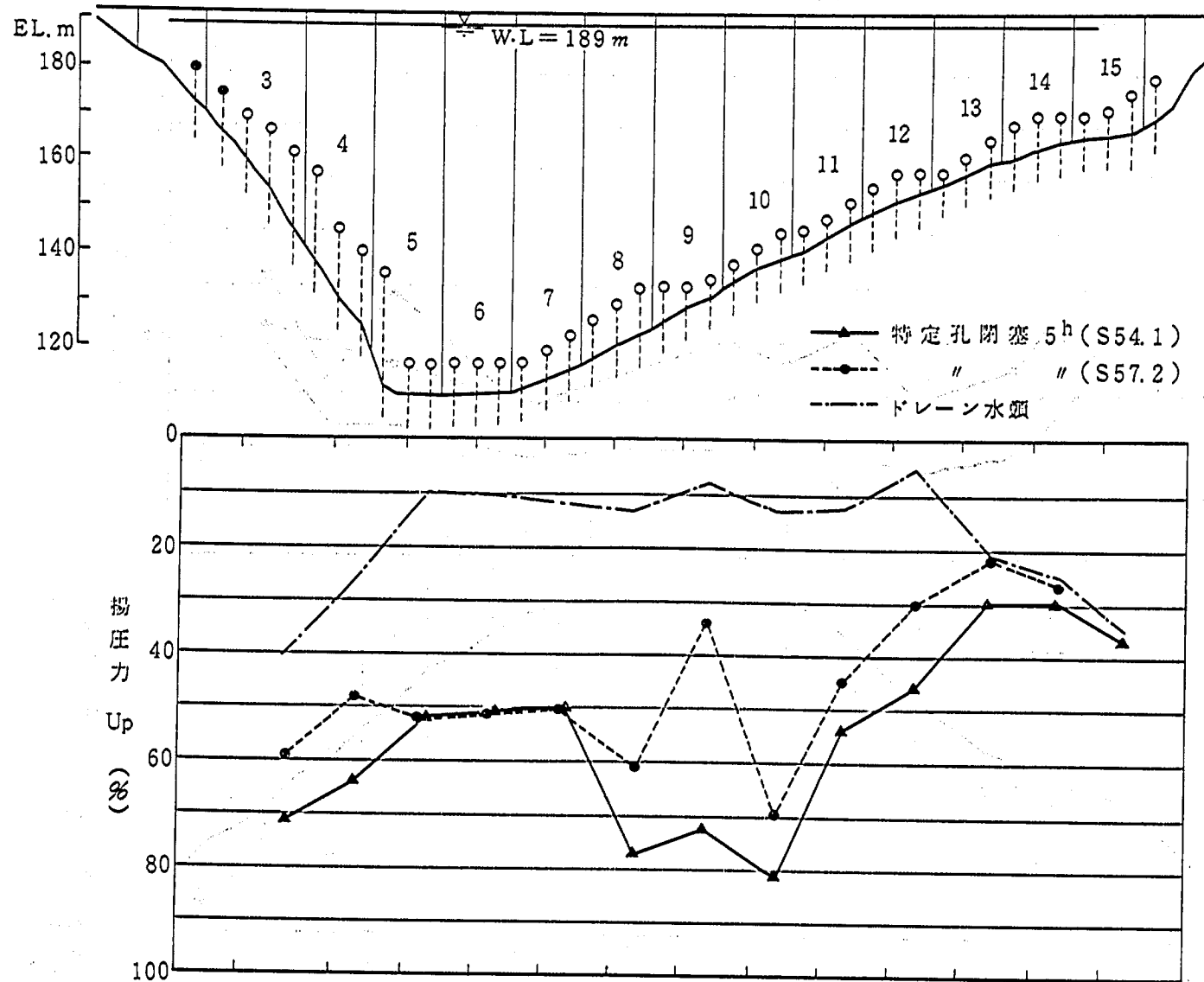
付図-2.1(1) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化(内川ダム 5年)

正木ダム

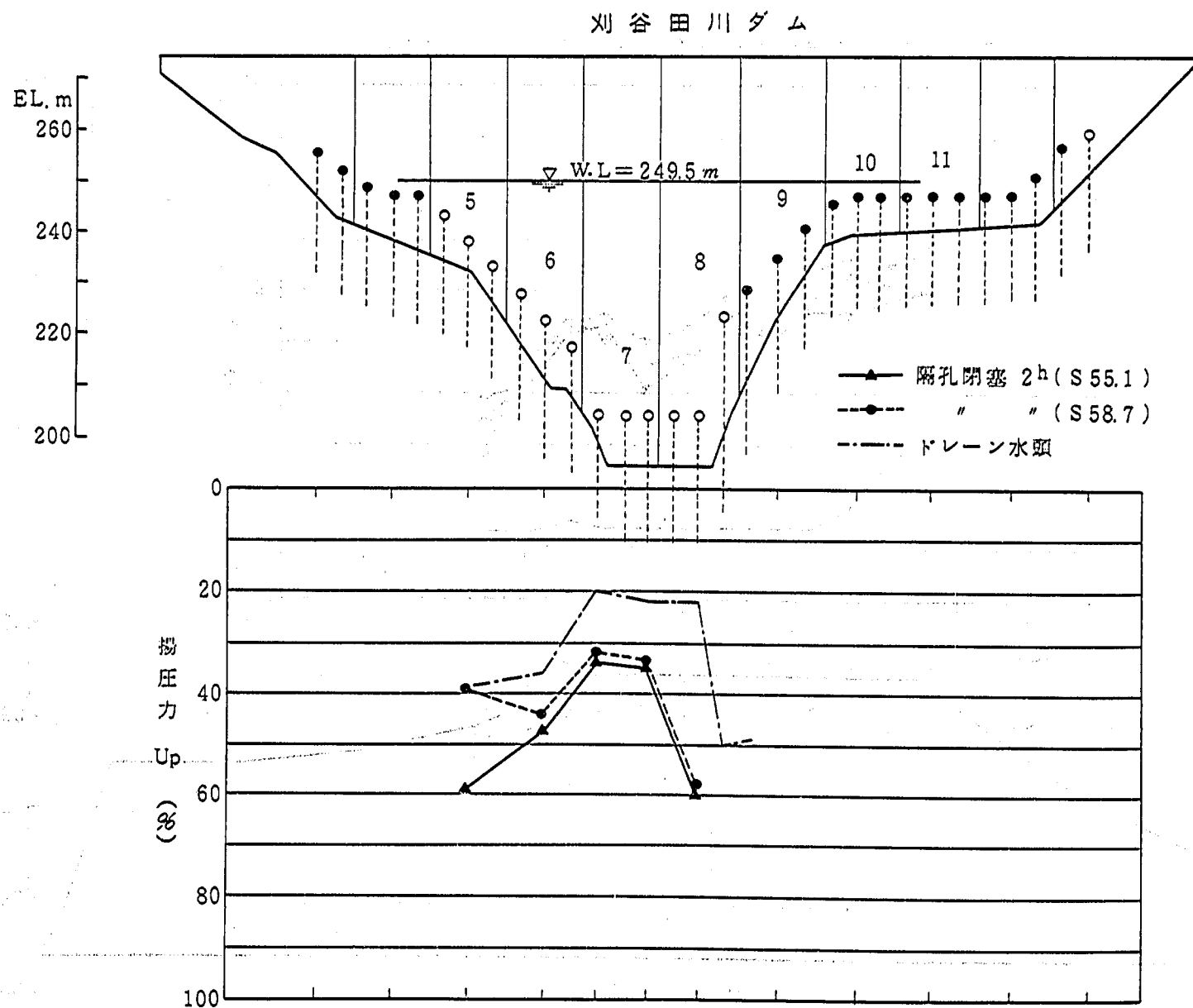


付図- 2.1 (12) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (正木ダム 4年)

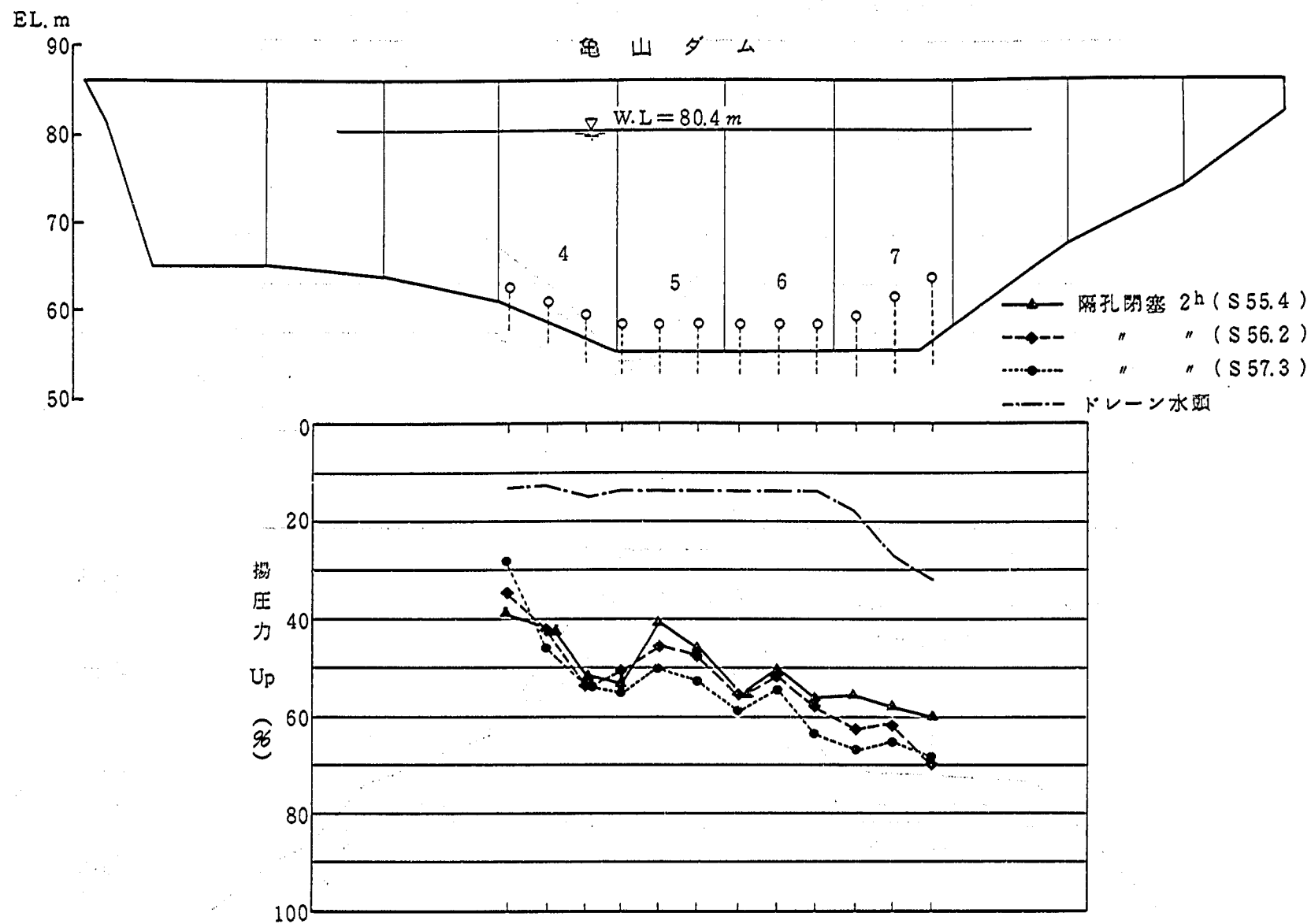
早出川ダム



付図-2.1 (13) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (早出川ダム 3年)

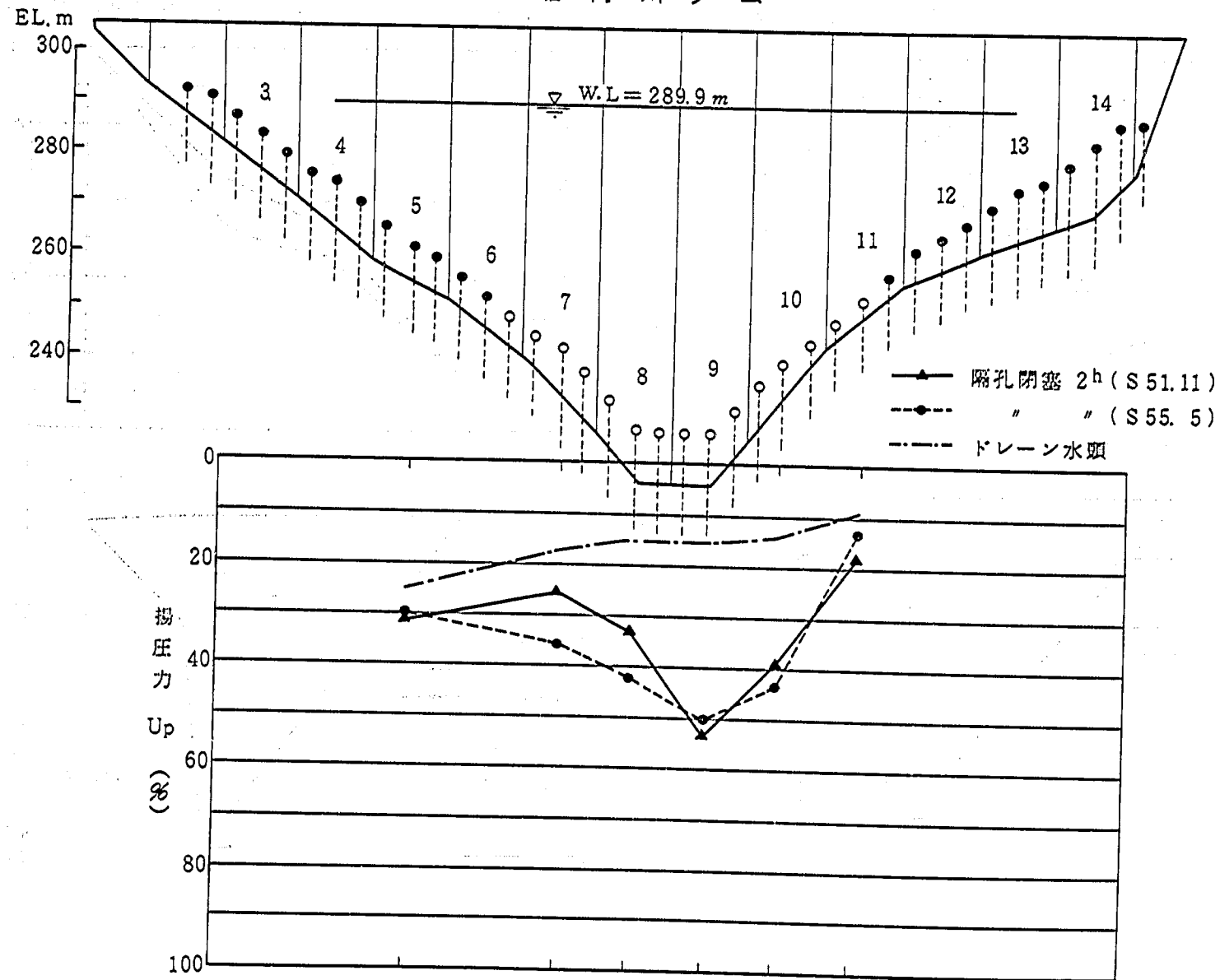


付図- 2.1 (4) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (刈谷田川ダム 3年)

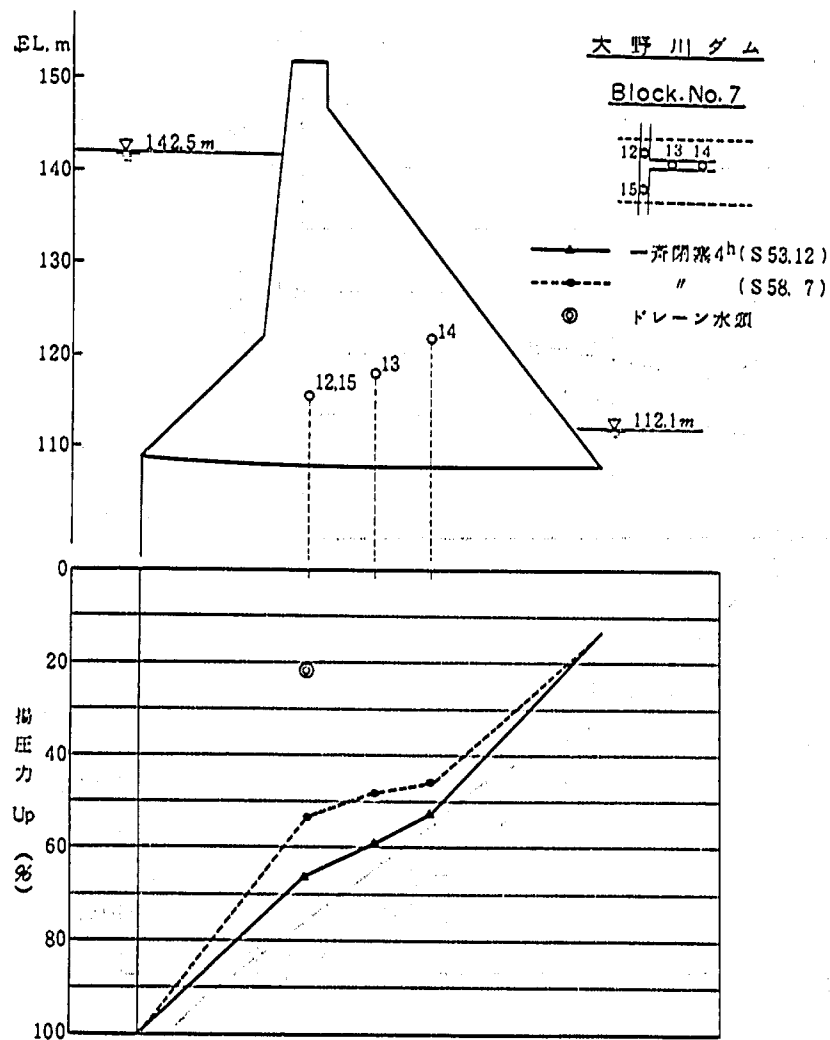


付図- 2.1 (15) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化 (亀山ダム 2年)

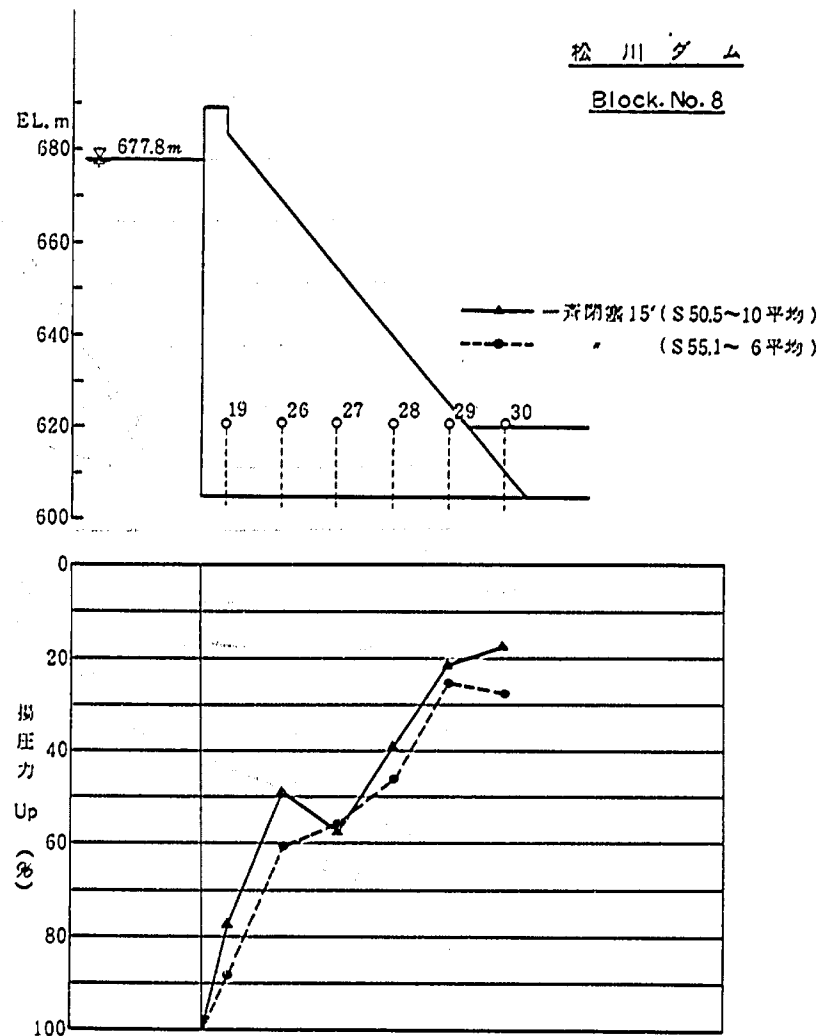
胎内川ダム



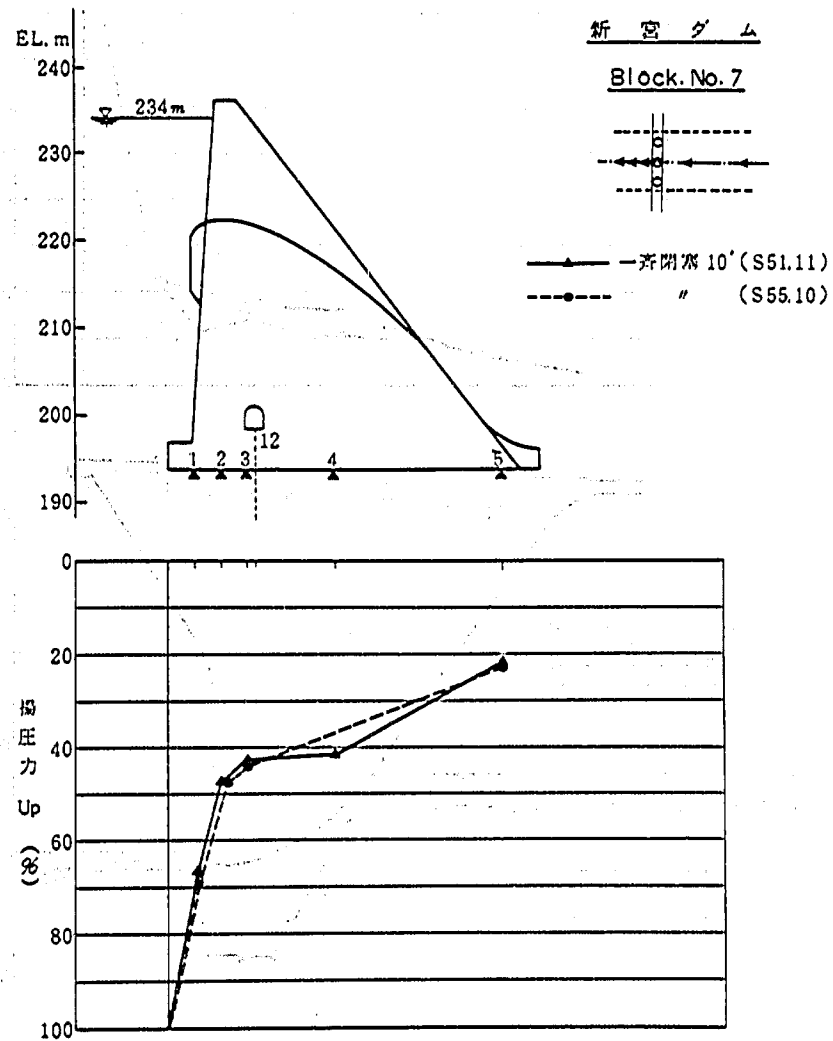
付図-2.1(6) ダム軸方向の揚圧力分布の経年変化(胎内川ダム 3年)



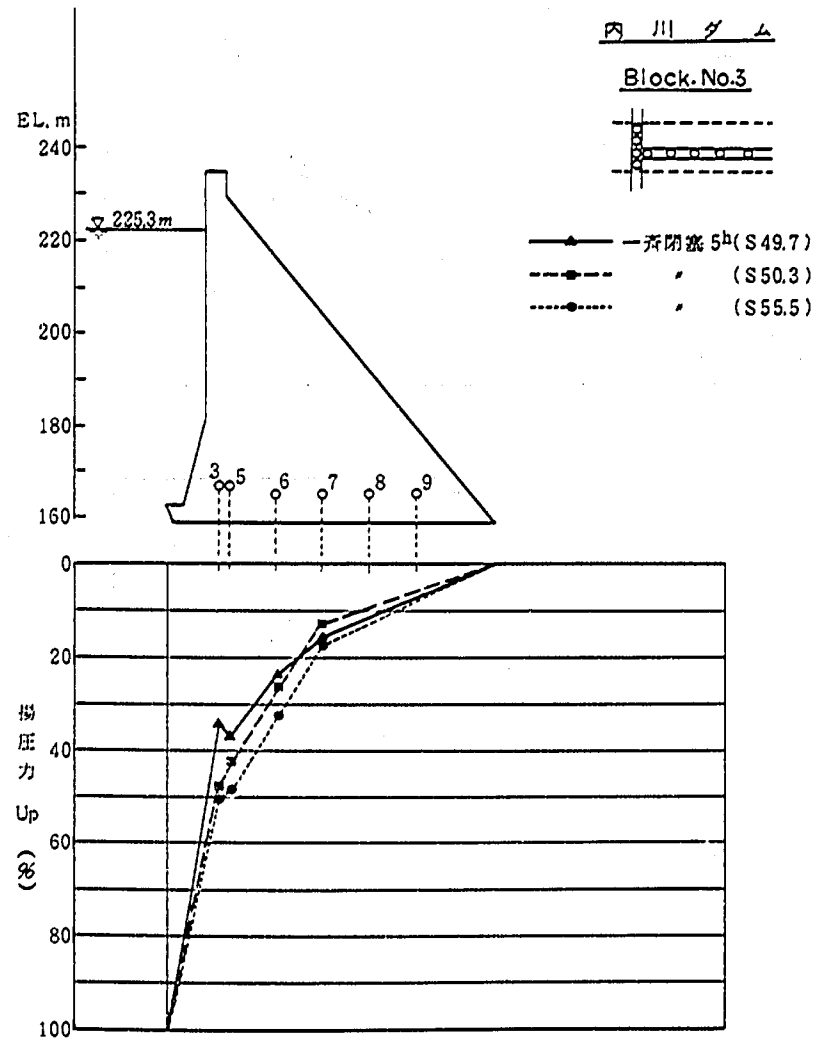
付図-2.2(1) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(大野川ダムBL. 7.5年)



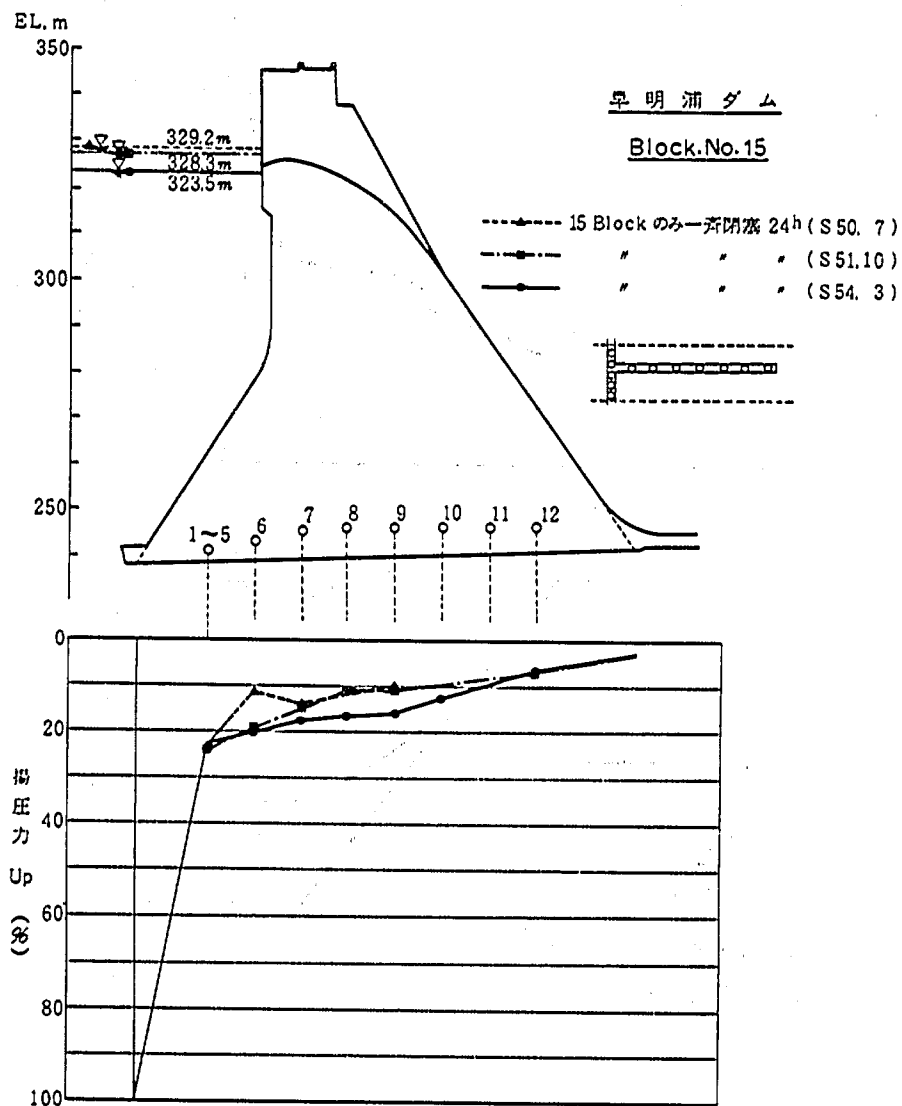
付図-2.2(2) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(松川ダムBL. 8.5年)



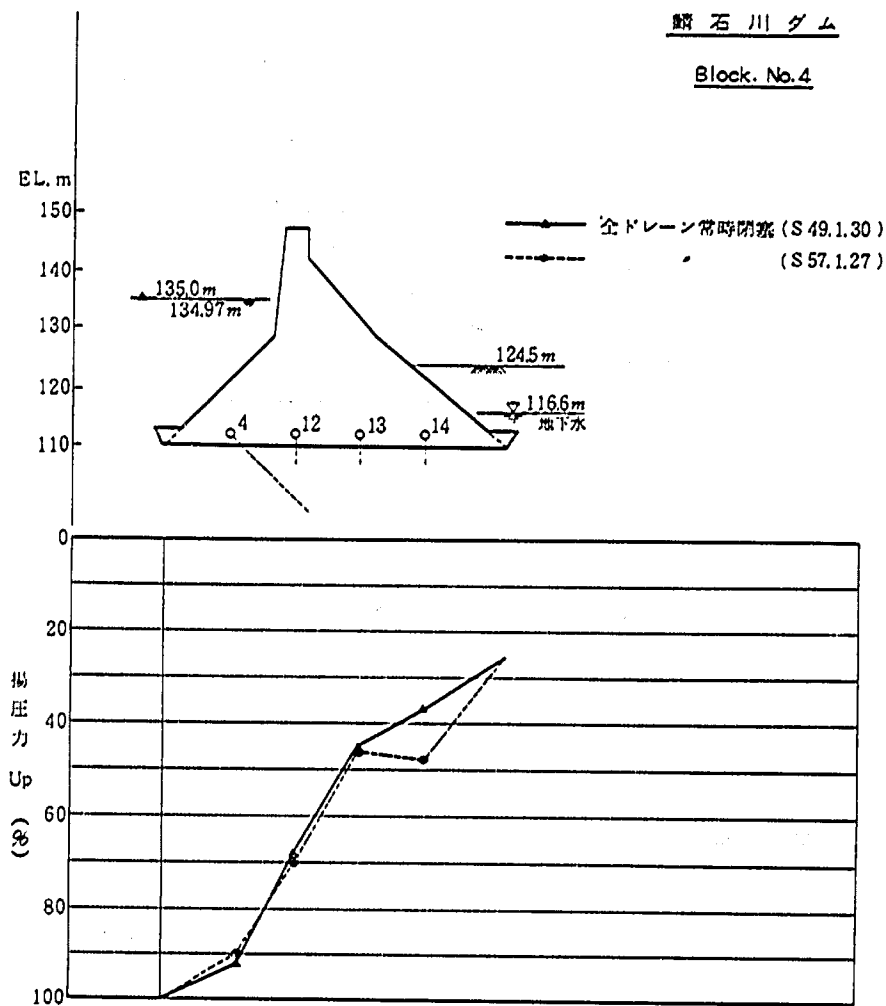
付図-2.2(3) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(新宮ダムB.L. 7, 4年)



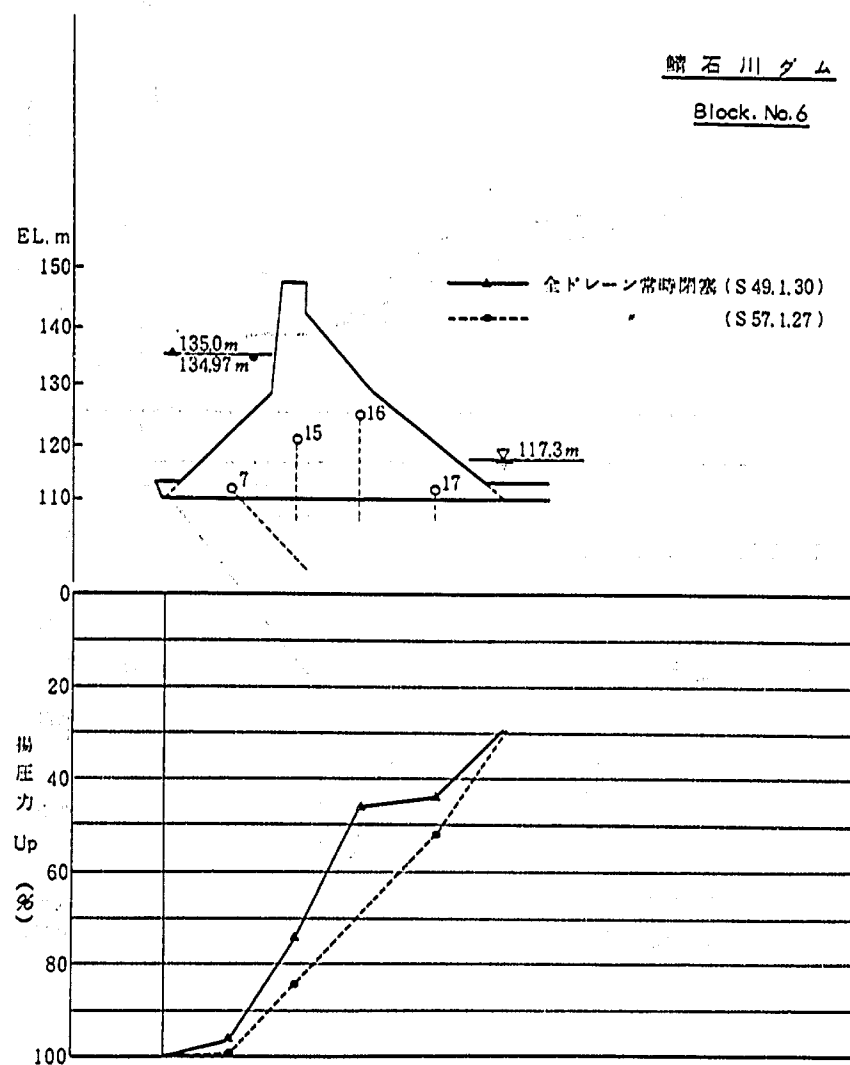
付図-2.2(4) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(内川ダムB.L. 3, 5年)



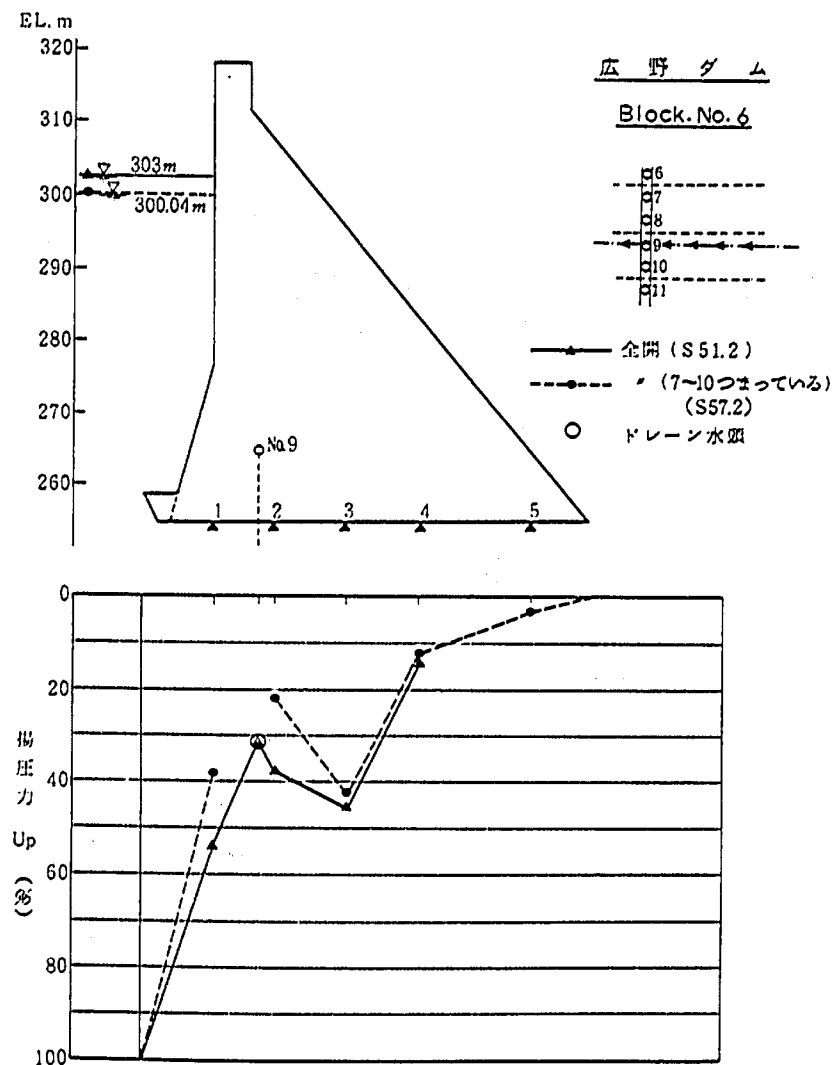
付図-2.2(5) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(早明浦ダムBL.15,4年)



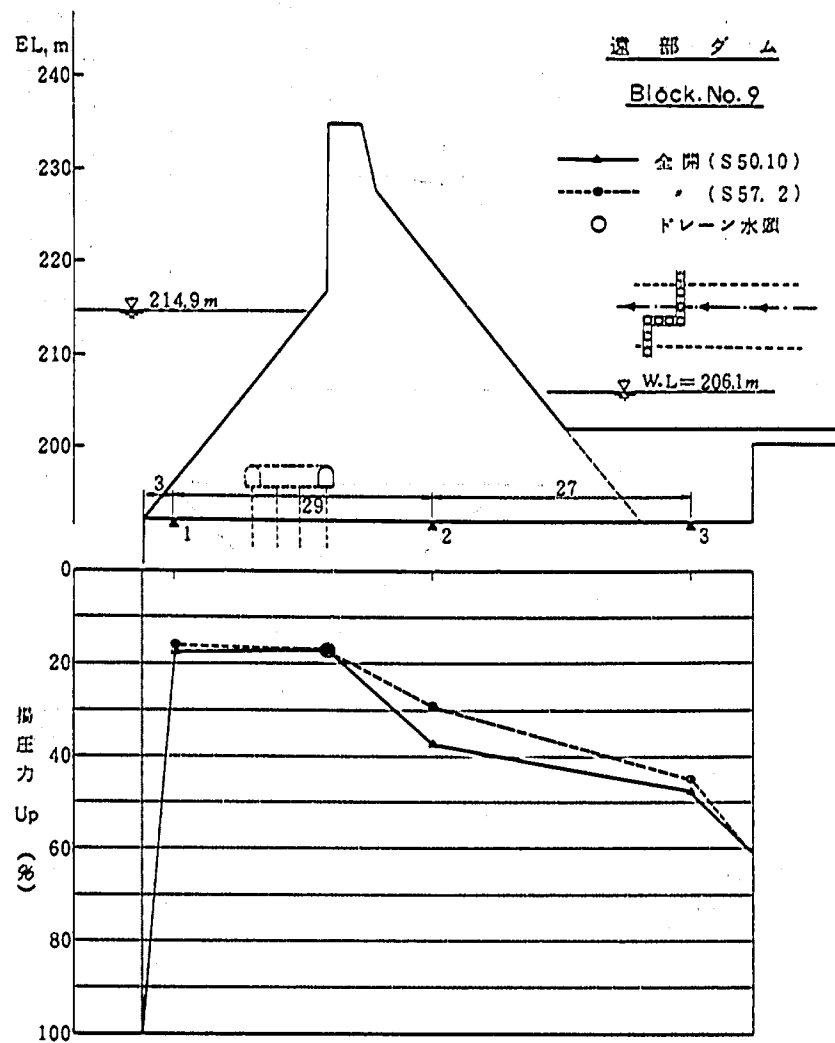
付図-2.2(6) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(鱒石川ダムBL. 4, 8年)



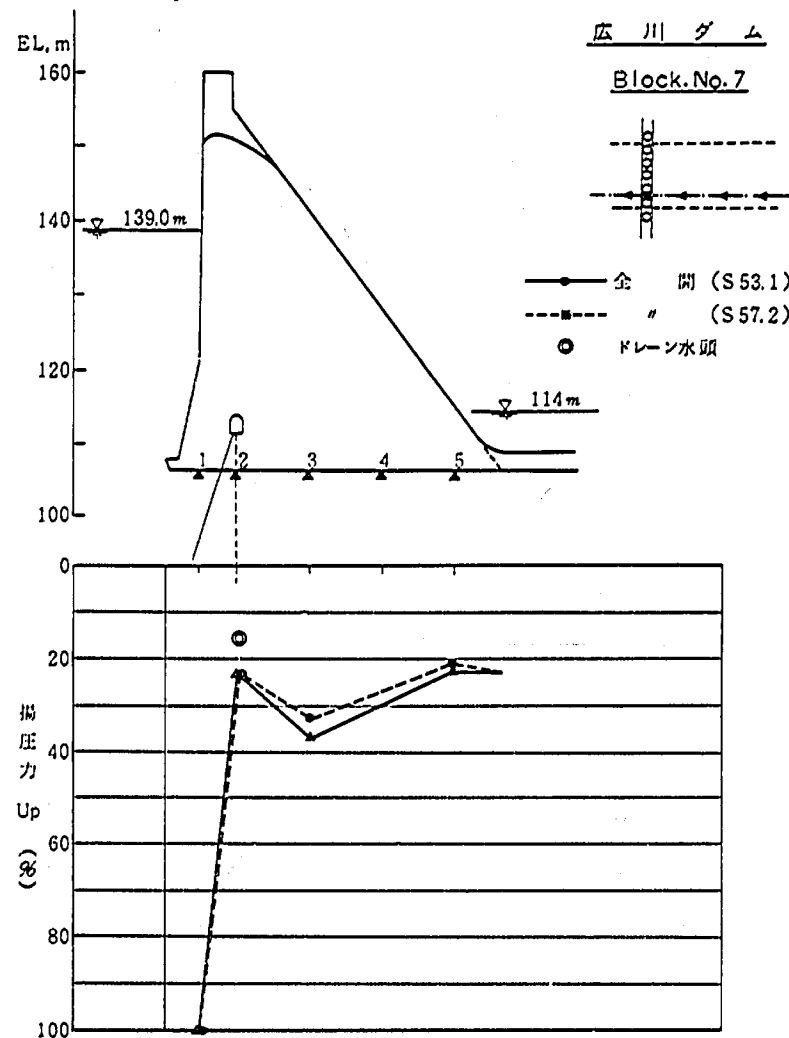
付図-2.2(7) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(鯖石川ダムBL. 6, 8年)



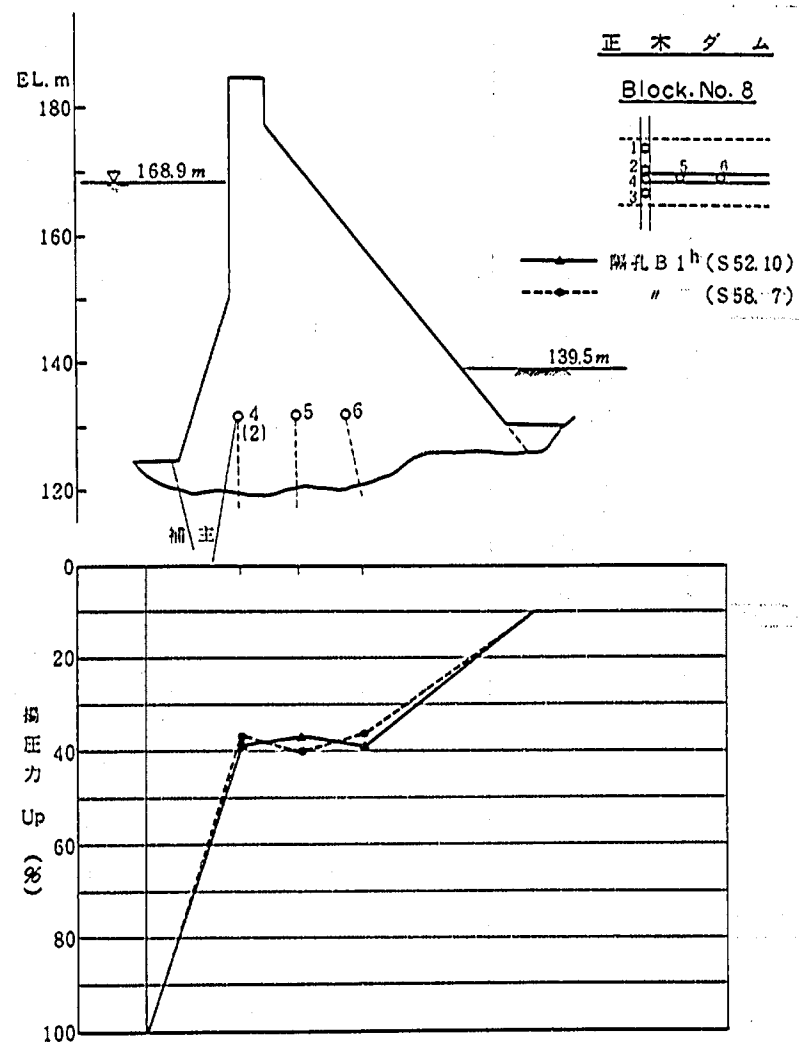
付図-2.2(8) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(広野ダムBL. 6, 6年)



付図-2.2(9) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(遠部ダムBL. 9.6年)



付図-2.2(10) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(広川ダムBL. 7.4年)

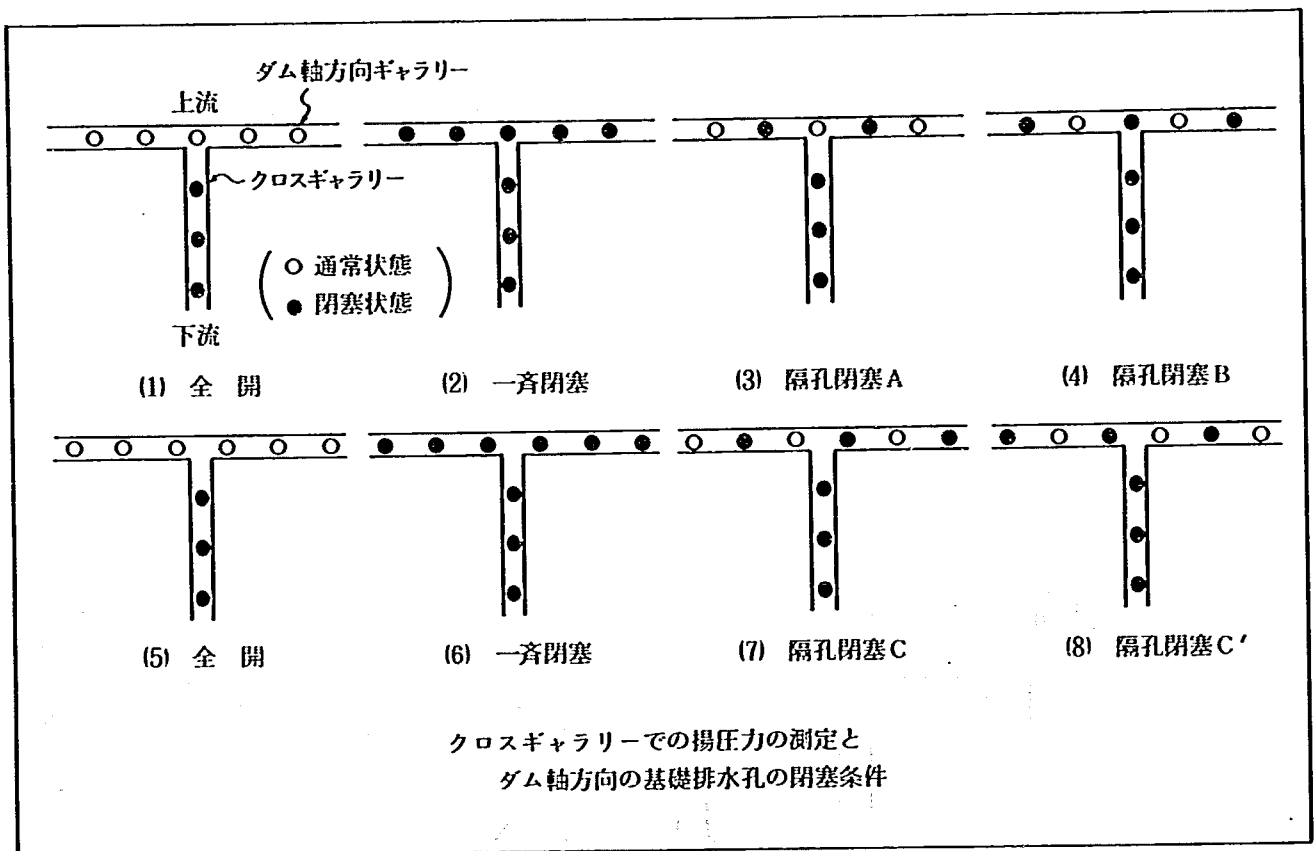


付図-2.2(1) 上下流方向の揚圧力分布の経年変化(正木ダムBL. 8, 6年)

付録 3. 基礎排水孔の閉塞法の違いによる揚圧力分布の比較

基礎排水孔の閉塞法の違いによる揚圧力分布の比較を行う。

ダム軸方向の揚圧力分布については一斉閉塞法による測定値と隔孔閉塞法による測定値との比較を付図－3.1 (1)～(4)に示す。また、上下流方向の揚圧力分布については、下図に示す種々の条件における揚圧力分布の比較を付図－3.2 (1)～(8)に示す。ダム軸方向および上下流方向の揚圧力分布図の一覧表を付表－3.1 および 3.2 に示す。



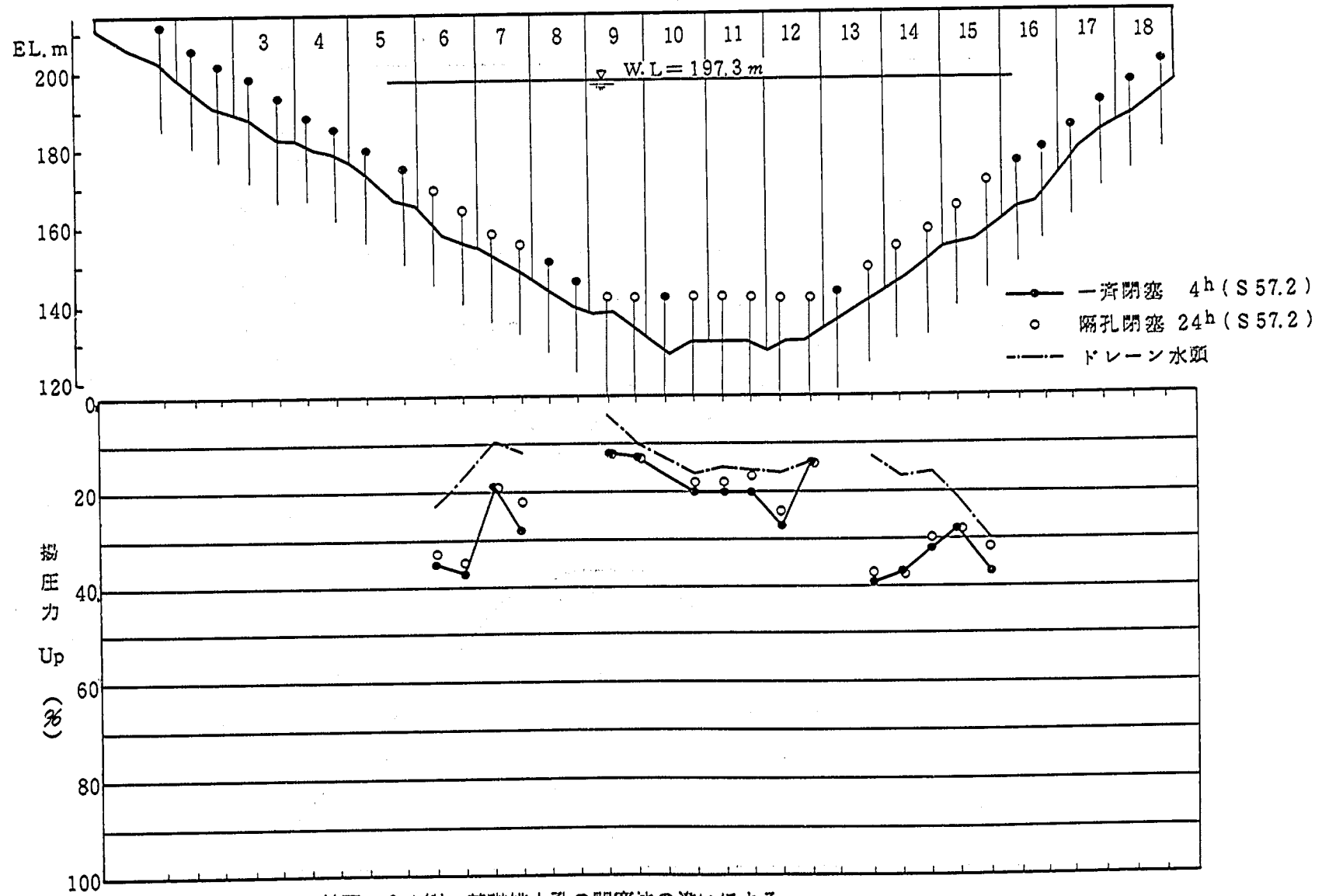
付表-3.1 基礎排水孔の閉塞法の違いによるダム軸方向揚圧力分布の比較一覧表

ダム名	ダム高 (m)	基礎排水孔の条件			揚圧力測定値の比較				付図No
		配置間隔 (m)	深 さ (m)	孔 径 ϕ (mm)	一斉閉塞	閉塞時間	隔孔閉塞	閉塞時間	
石手川	87.0	7.5	15	46	○	4 h	○	24 h	3.1(1)
広野	63.0	7.5	5	66	○	5 h	○	24 h	3.1(2)
大野川	47.5	6.0	10	65	○	4 h	○	24 h	3.1(3)
正木	69.0	6.0	15	50	○	1 h	○	1 h	3.1(4)
亀山	34.5	5.0	3	46	○	2 h	○	2 h	3.1(5)
美唄	35.5	5.0	5	46	○	2 h	○	24 h	3.1(6)
耶馬溪	65.0	5.0	5	66	○	24 h	○	24 h	3.1(7)
刈谷田川	83.5	5.0	15	66	○	2 h	○	2 h	3.1(8)
網取	59.0	3.0	5	46	○	24 h	○	24 h	3.1(9)
八戸	72.0	3.0	10		○	3 h	○	24 h	3.1(10)
内川	81.0	3.0	7	46	○	5 h	○	24 h	3.1(11)

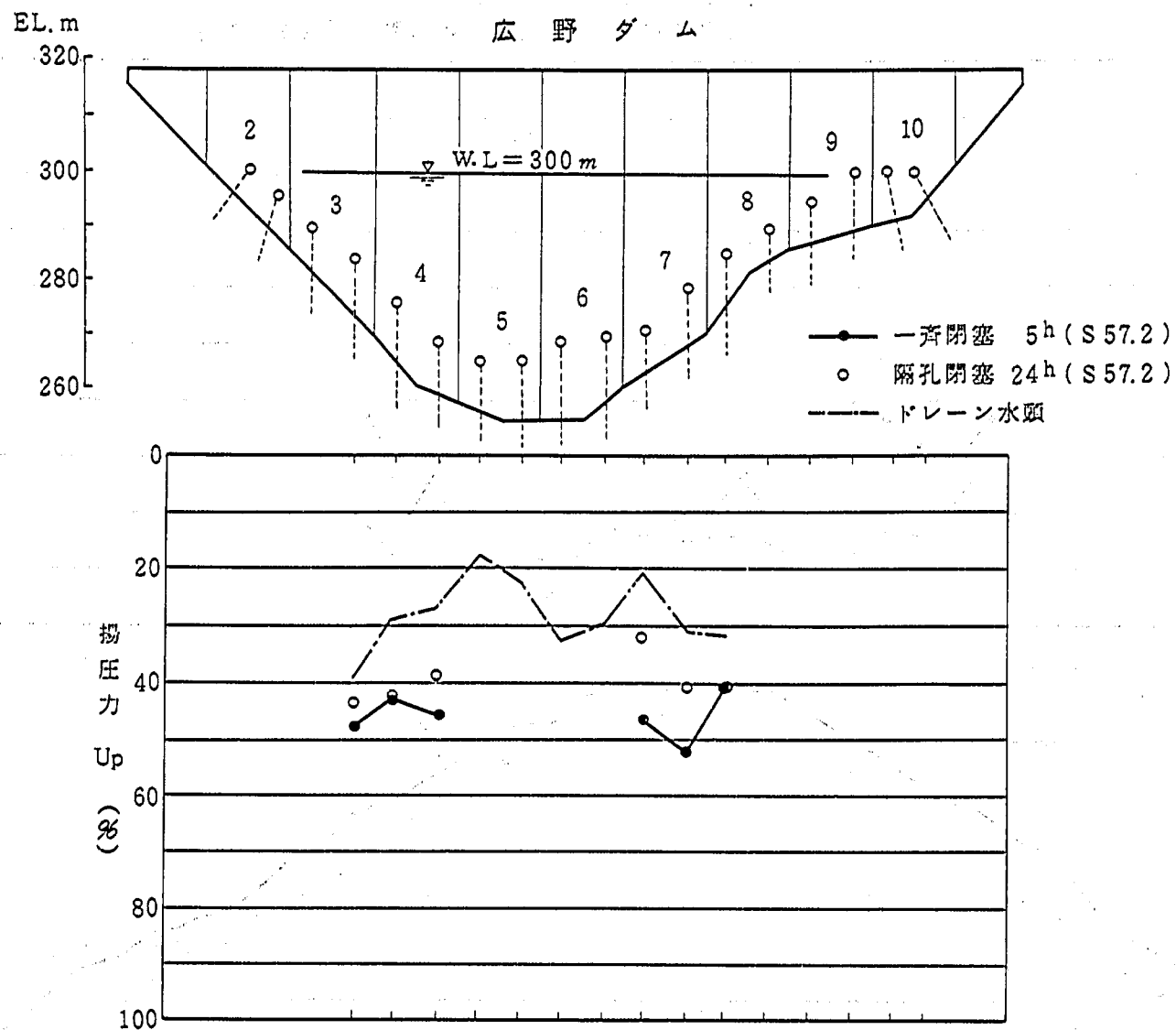
付表-3.2 基礎排水孔の閉塞法の違いによる上下流方向揚圧力分布の比較一覧表

ダム名	ブロック No.	揚圧力の 測定装置	ダム軸方向の基礎排水孔の条件			ダム軸方向の基礎排水孔の閉塞法のちがいにか揚圧力測定値の比較										付 図 No.
			配置間隔 (m)	深さ (m)	孔径 φ(mm)	全開	(測定孔の 閉塞時間)	隔孔A	閉塞時間	隔孔B	閉塞時間	隔孔C	閉塞時間	一斉閉塞	閉塞時間	
亀 山	6	揚圧力測定孔	5.0	3	46	○	24 h	○	24 h	○	24 h			○	24 h	3.2(1)
耶 馬 溪	8	"	5.0	5	66	○	常 時			○	24 h			○	24 h	3.2(2)
"	10	間隙水圧計	"	"	"	○	—			○	24 h			○	24 h	3.2(3)
"	12	揚圧力測定孔	"	"	"	○	常 時	○	24 h					○	24 h	3.2(4)
"	14	"	"	"	"	○	常 時							○	24 h	3.2(5)
大 野 川	7	"	6.0	10	65	○	24 h					○	24 h	○	4 h	3.2(6)
正 木	8	"	6.0	15	50					○	1 h			○		3.2(7)
刈谷田川	7	"	5.0	15	66	○	24 h					○	24 h	○		3.2(8)
安 波	5	間隙水圧計	5.0	10	66	○	—	○	24 h	○	24 h					3.2(9)
"	8	揚圧力測定孔	"	"	"	○	24 h					○	24 h			3.2(10)
"	10	間隙水圧計	"	"	"	○	—	○	24 h	○	24 h					3.2(11)
"	11	"	"	"	"	○	—	○	24 h	○	24 h					3.2(12)
一 庫	8	揚圧力測定孔	5.0	10	66	○	24 h	○	24 h	○	24 h					3.2(13)
"	13	間隙水圧計	"	"	"	○	—	○	24 h	○	24 h					3.2(14)
"	14	揚圧力測定孔	"	"	"	○	24 h	○	24 h	○	24 h					3.2(15)
土 師	11	"	3.0	10	75	○	24 h	○	24 h	○	24 h					3.2(16)
滝	5	間隙水圧計	3.0	5	46	○	—	○	24 h	○	24 h					3.2(17,18)
内 川	3	揚圧力測定孔	3.0	5	56			○	24 h					○	5 h	3.2(19)

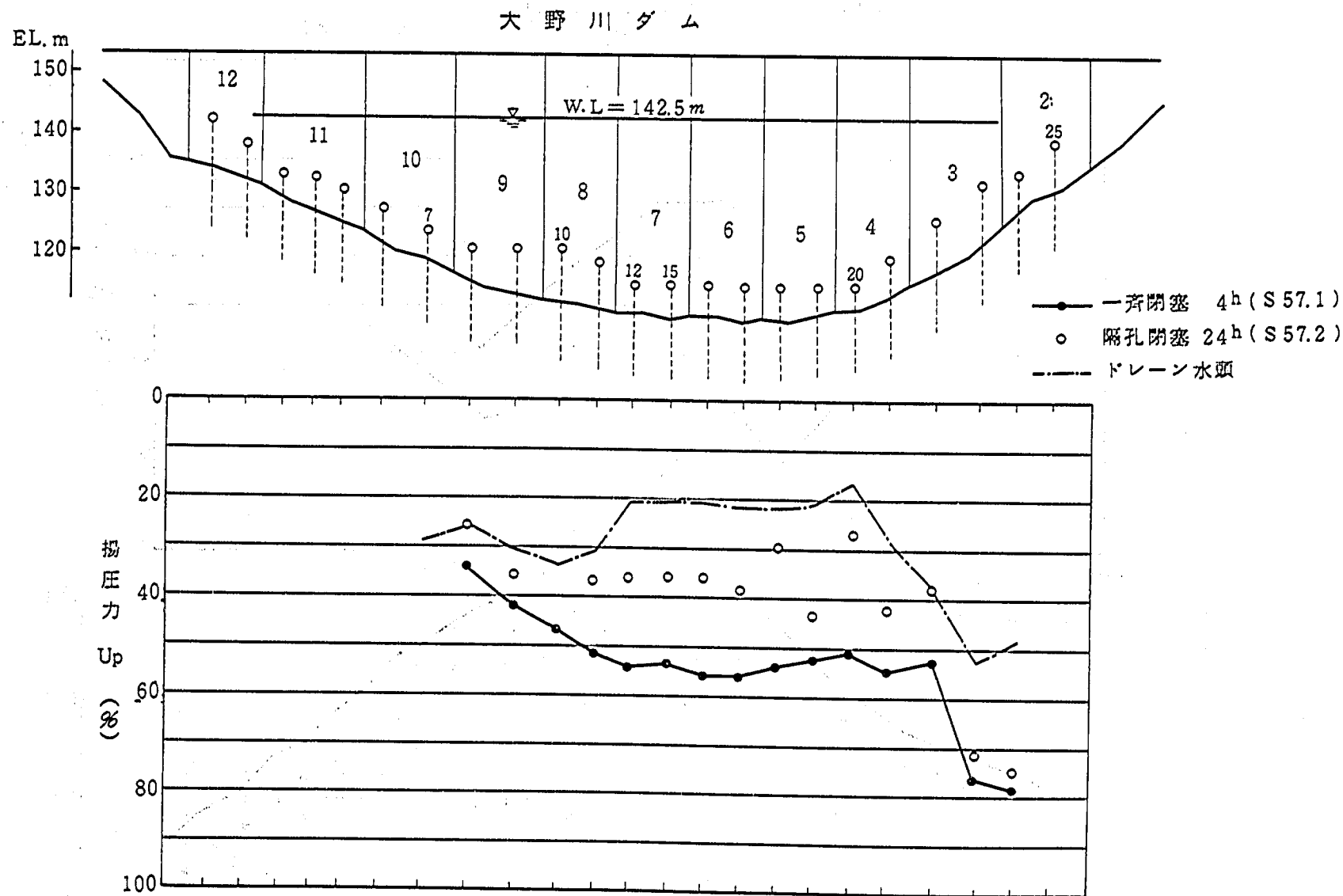
石手川ダム



付図- 3.1 (1) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較 (石手川ダム)

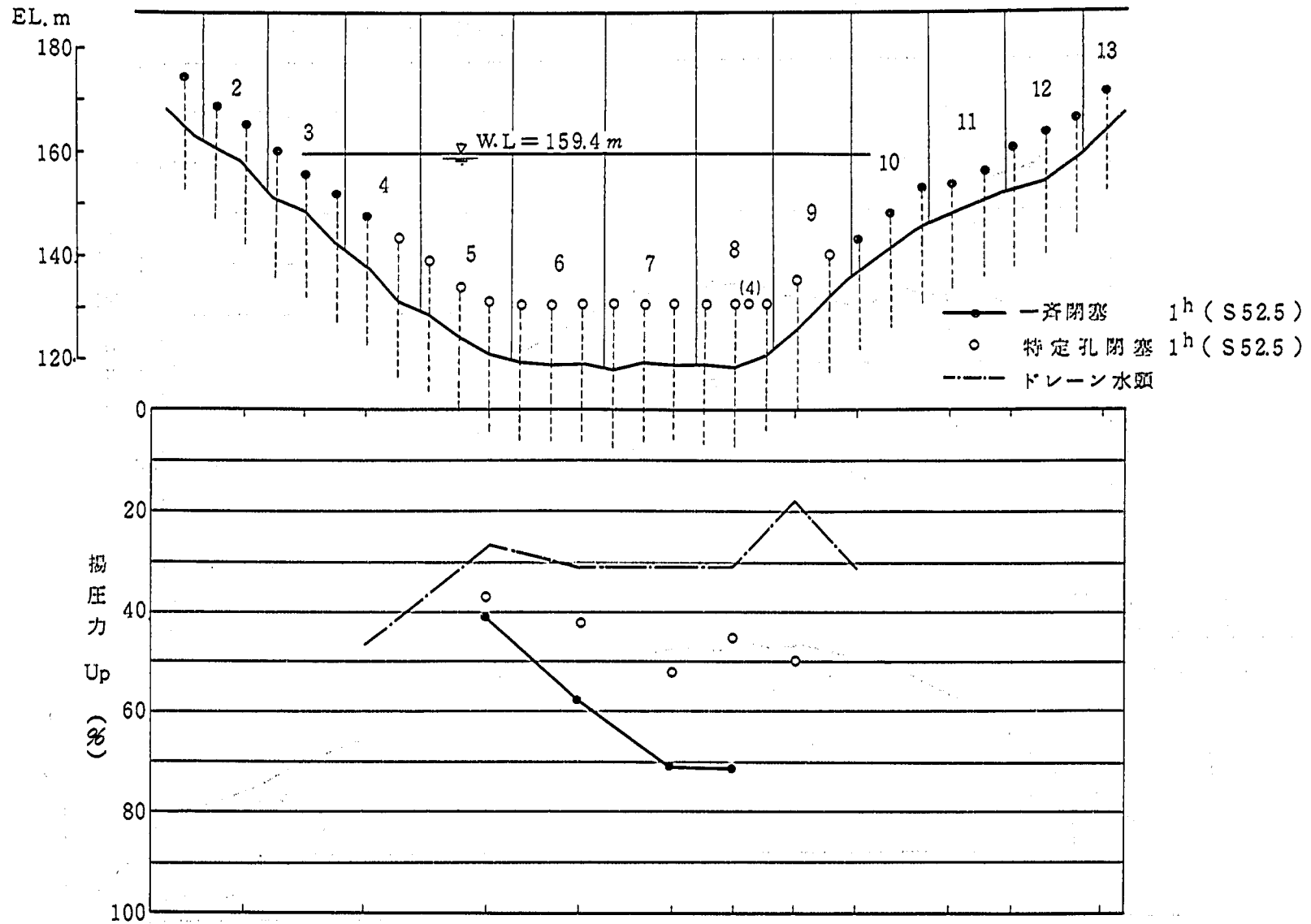


付図- 3.1 (2) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較 (広野ダム)

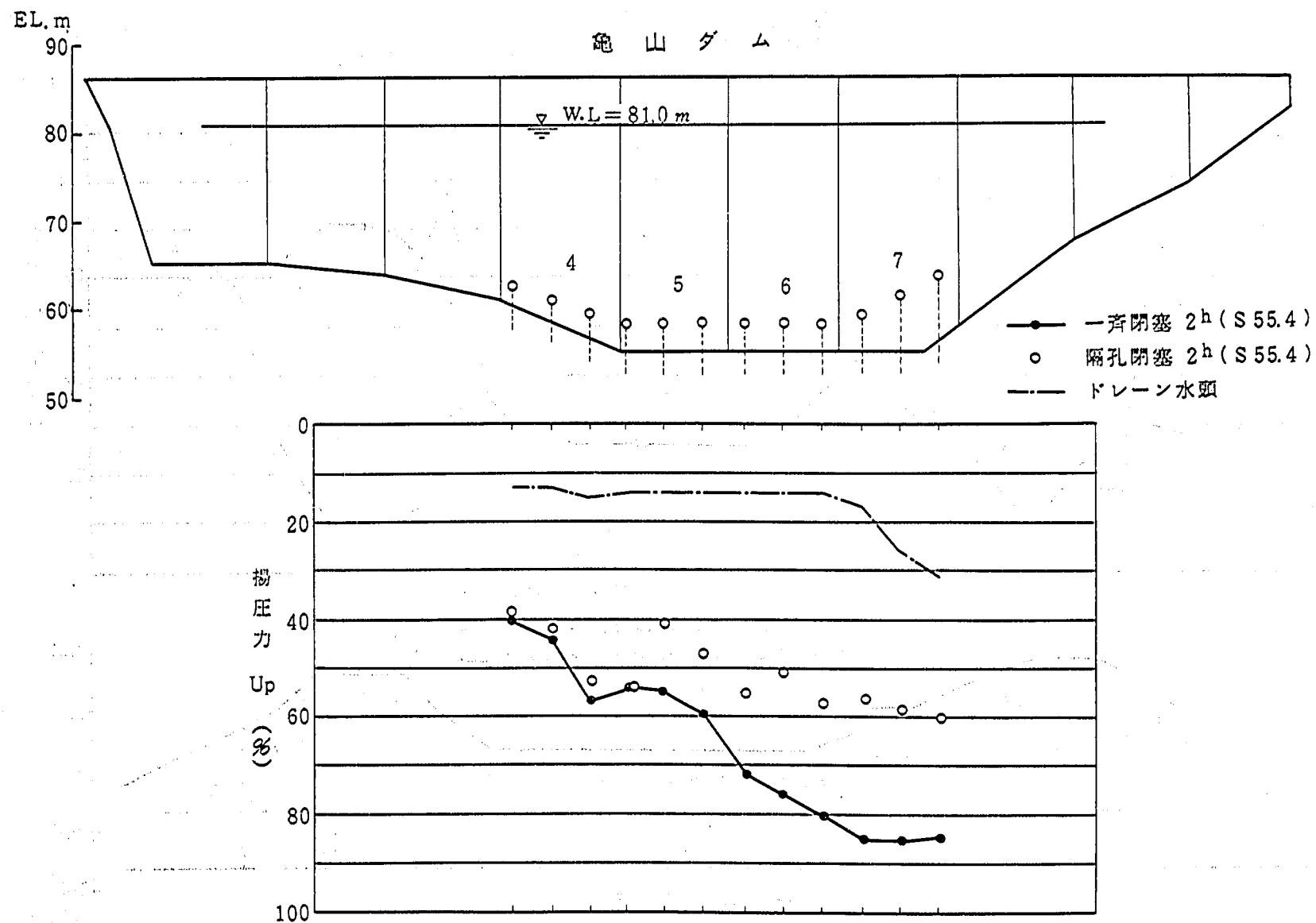


付図 - 3.1 (3) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較 (大野川ダム)

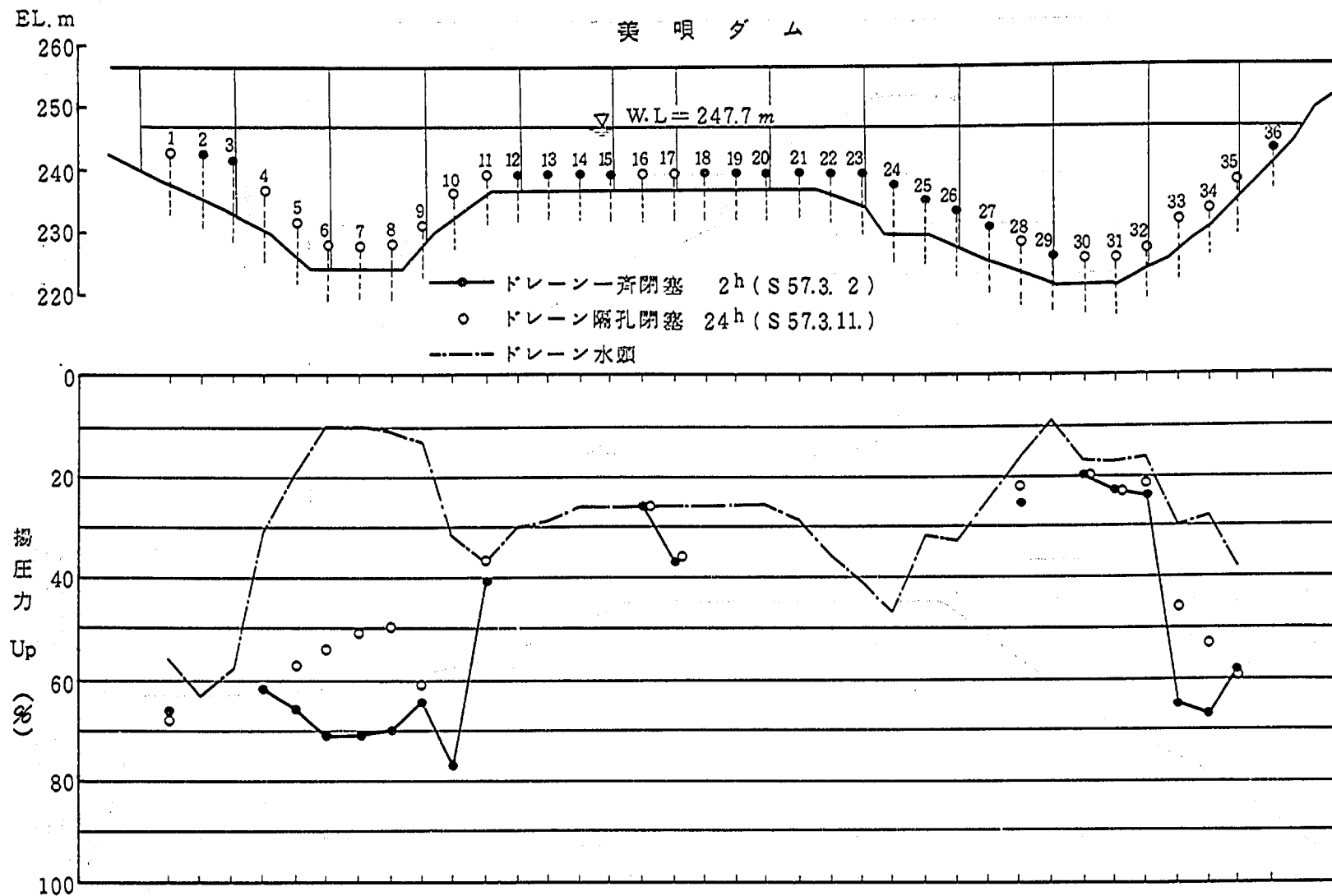
正木ダム



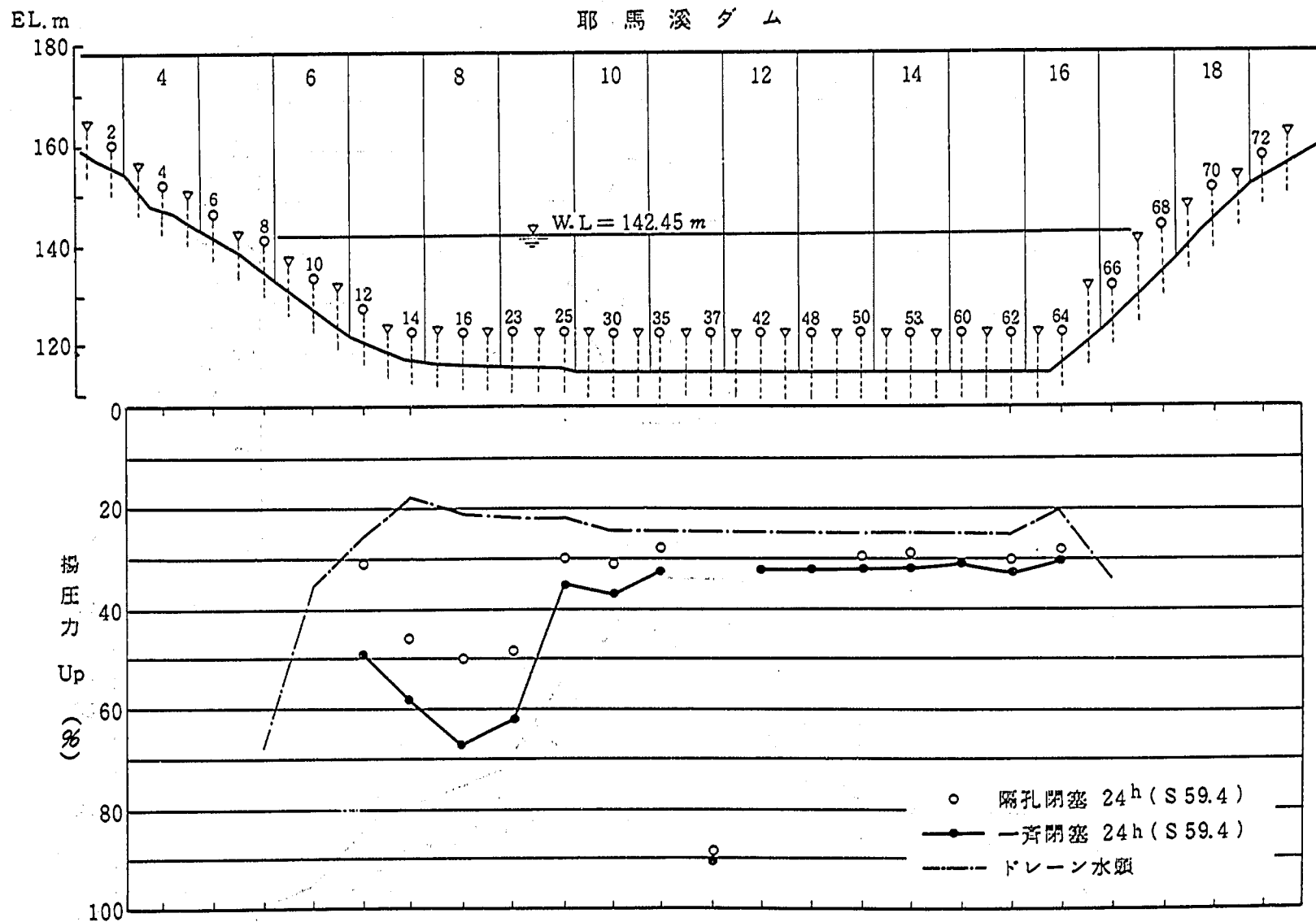
付図 - 3.1 (4) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較 (正木ダム)



付図-3.1(5) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較(亀山ダム)

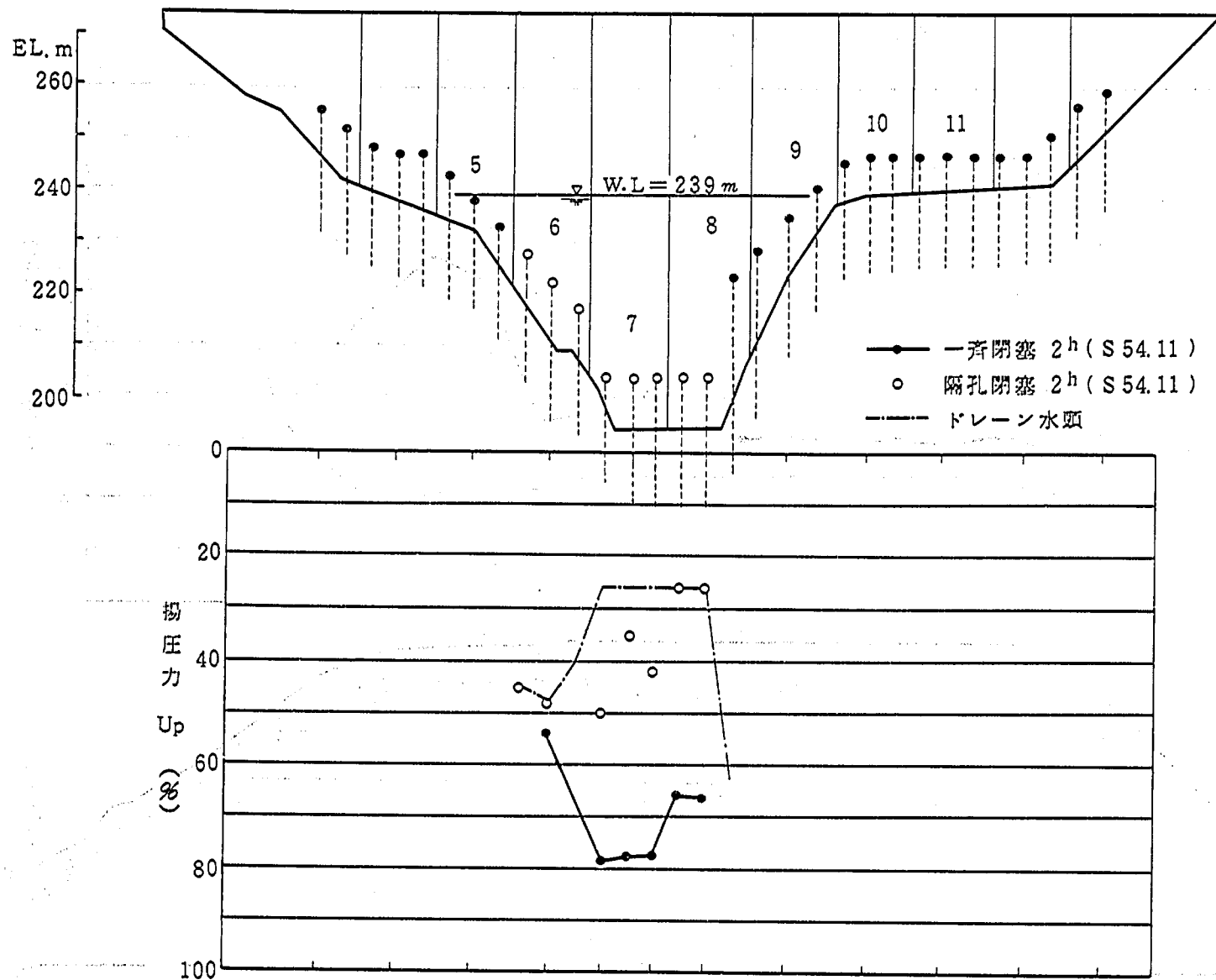


付図-3.1(6) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較(美唄ダム)

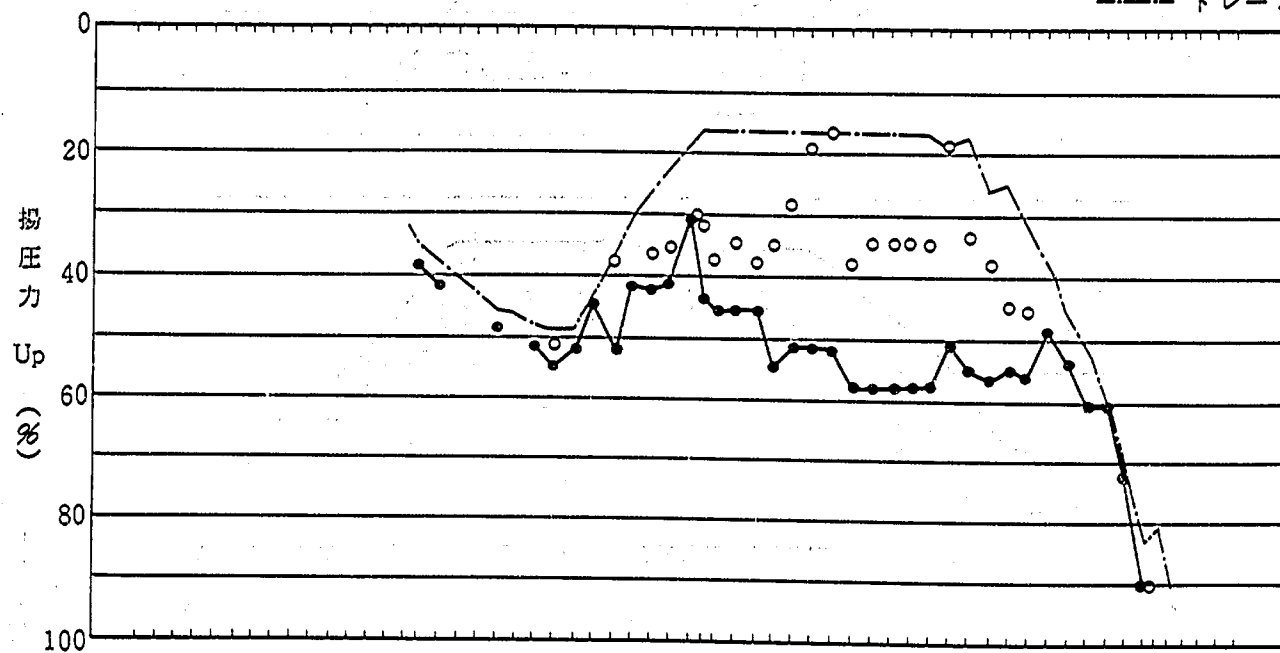
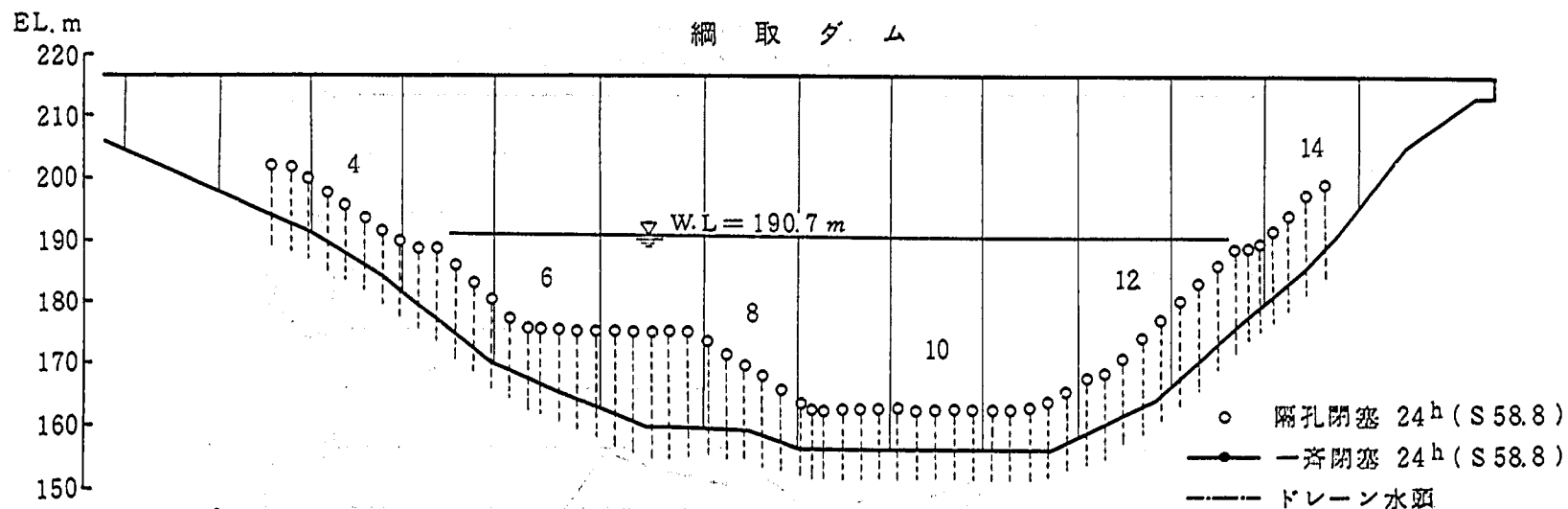


付図-3.1(7) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較(耶馬溪ダム)

刈谷田川ダム

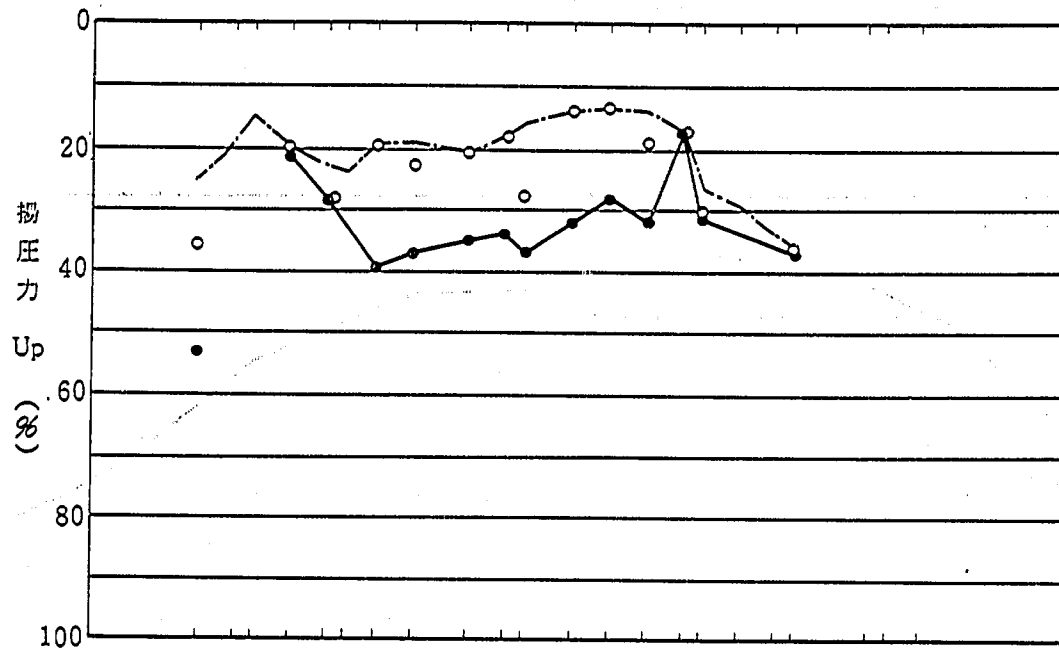
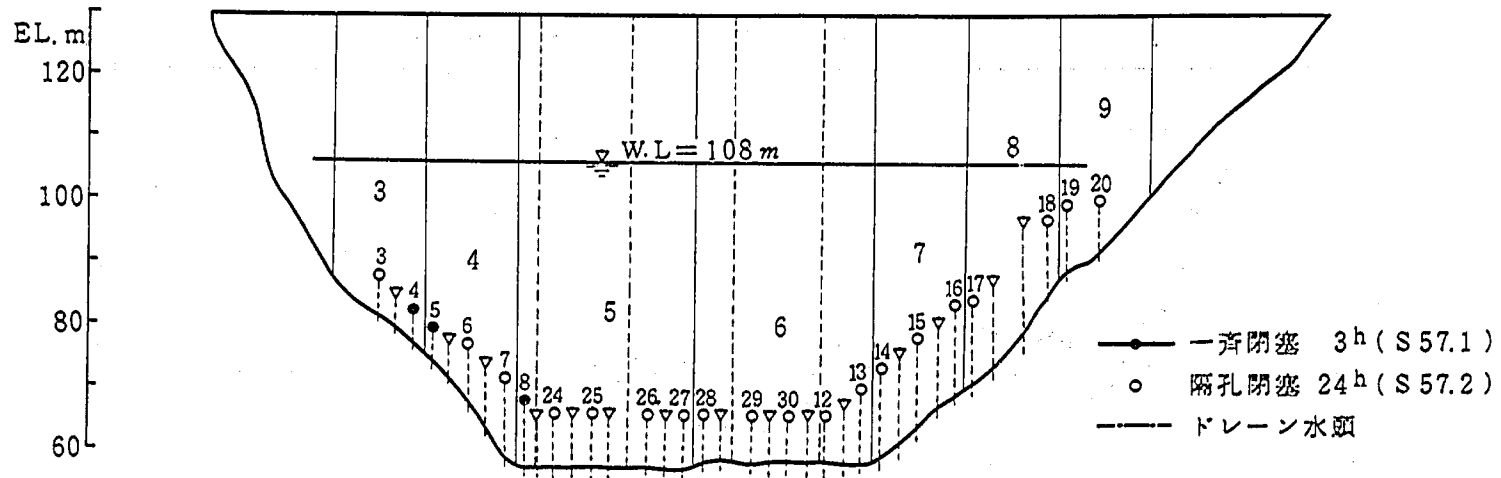


付図-3.1(8) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較(刈谷田川ダム)



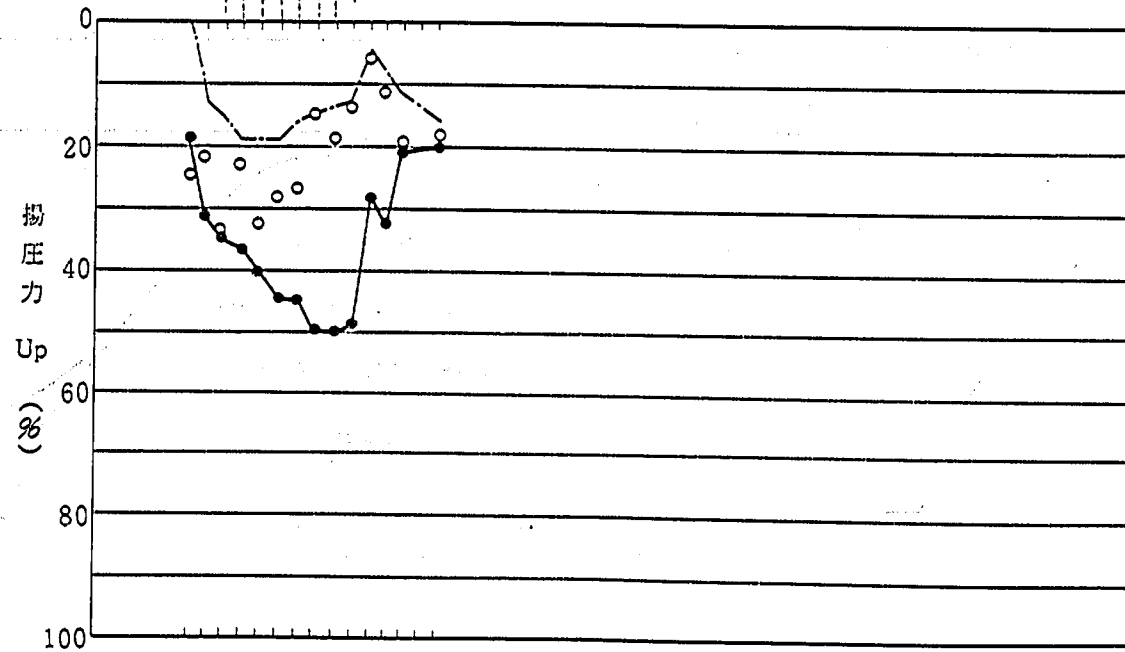
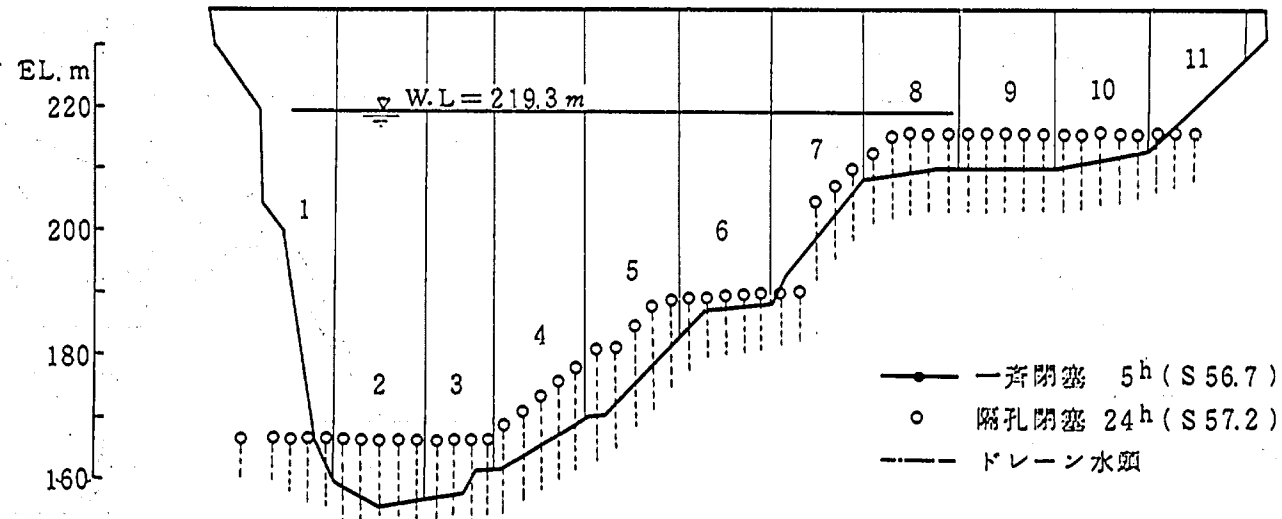
付図-3.1(9) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較(綱取ダム)

八戸ダム

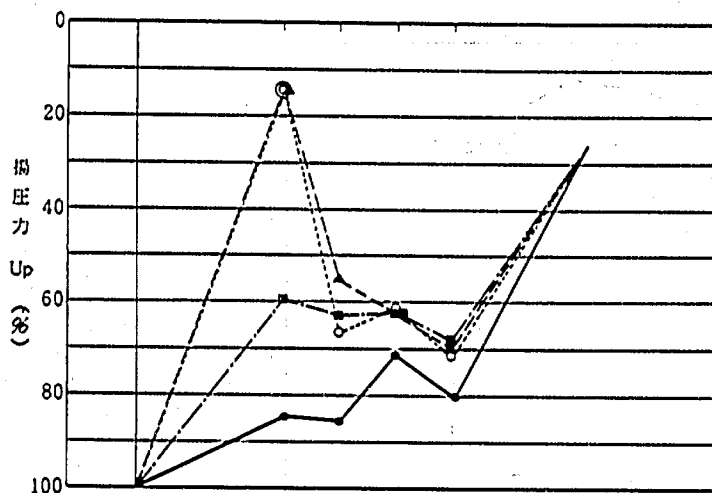
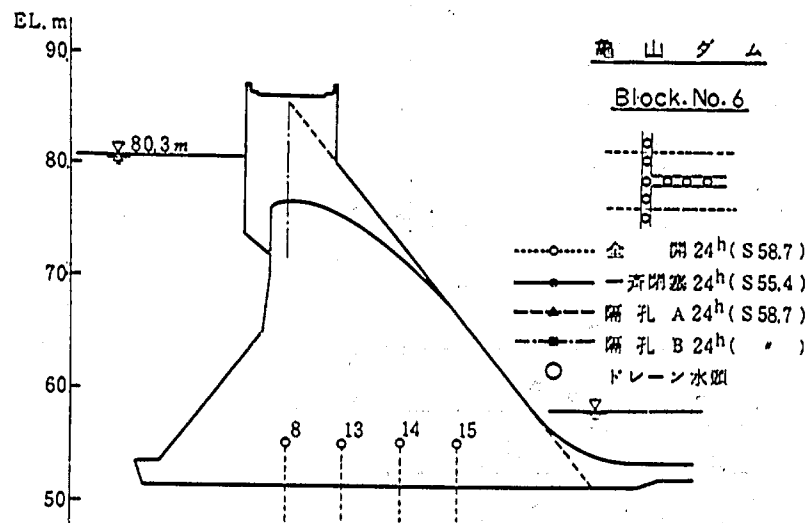


付図-3.1 (0) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較(八戸ダム)

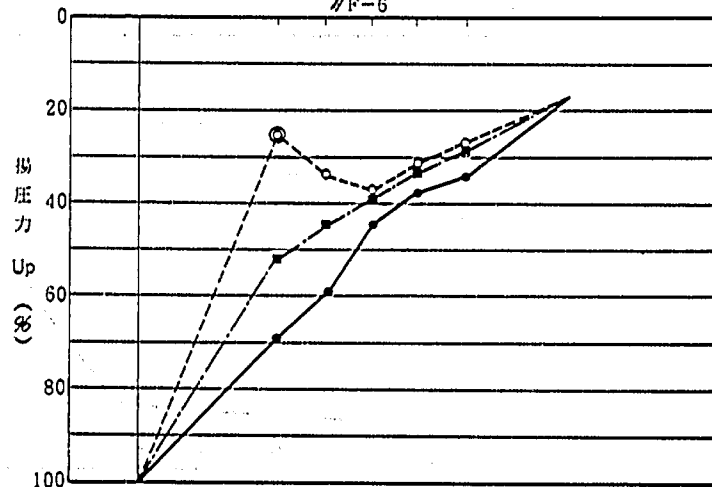
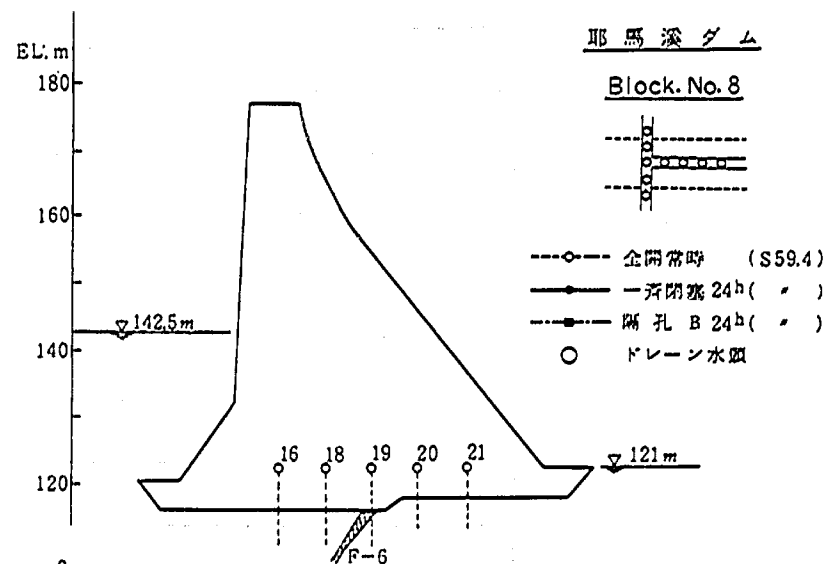
内川ダム



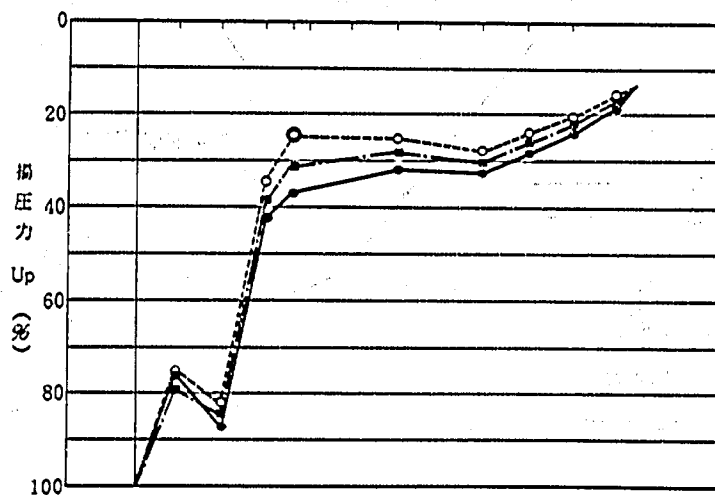
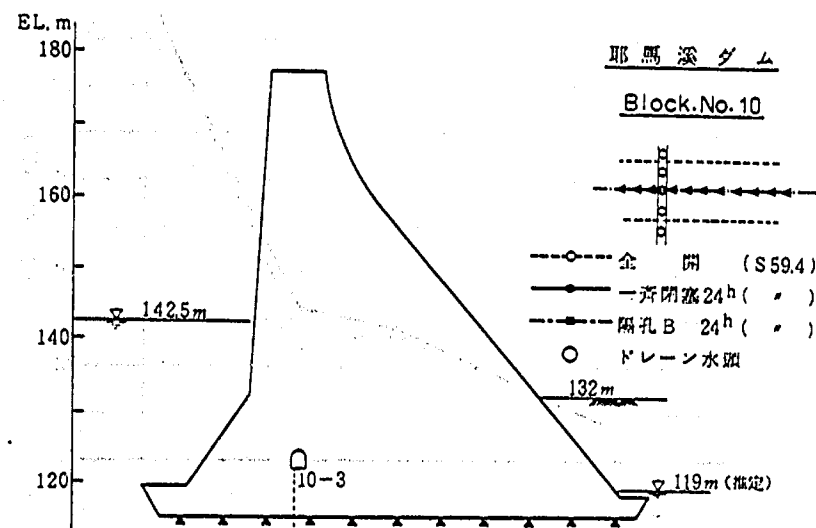
付図-3.1(1) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
ダム軸方向の揚圧力分布の比較(内川ダム)



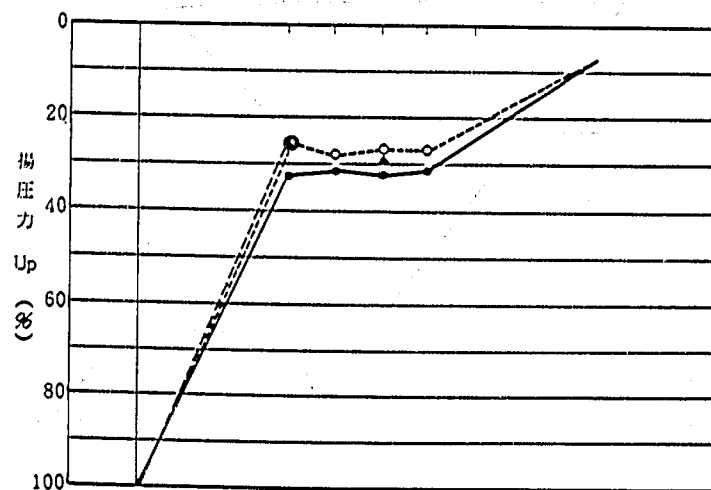
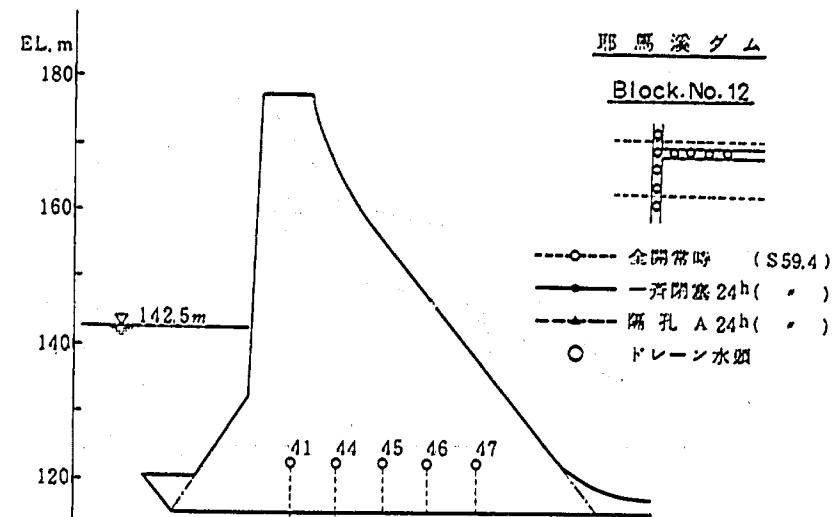
付図-3.2(1) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(亀山ダムBL. 6)



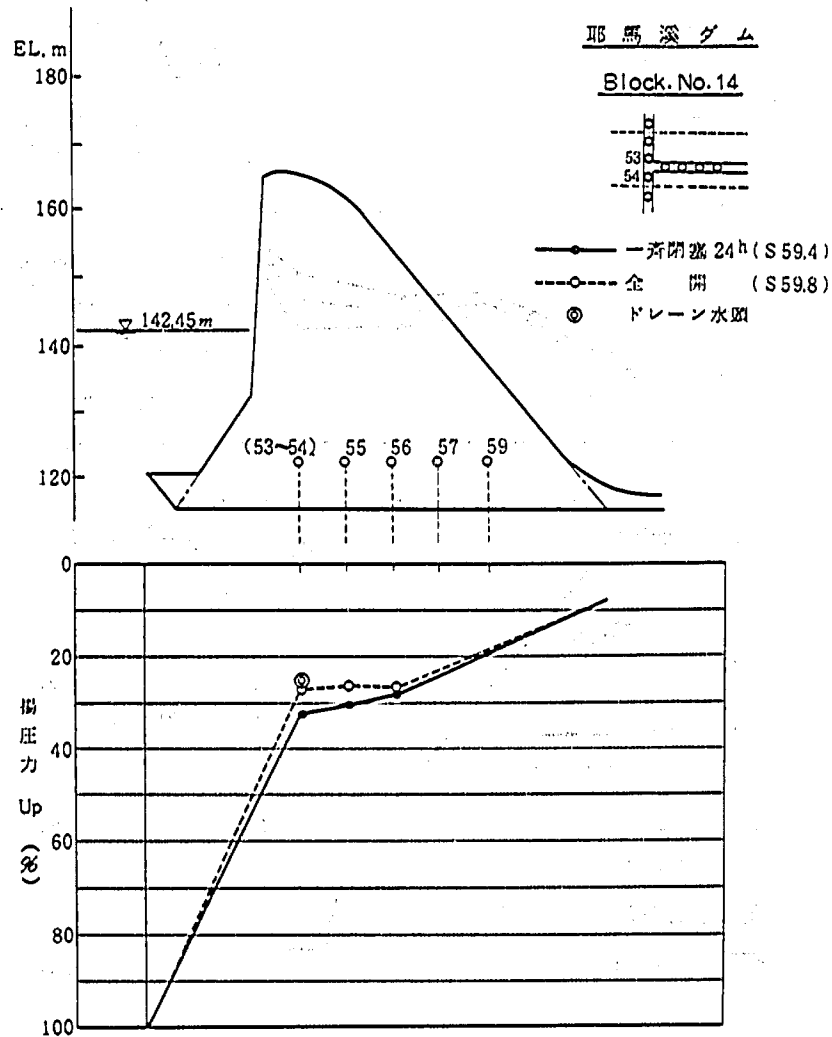
付図-3.2(2) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(耶馬溪ダムBL. 8)



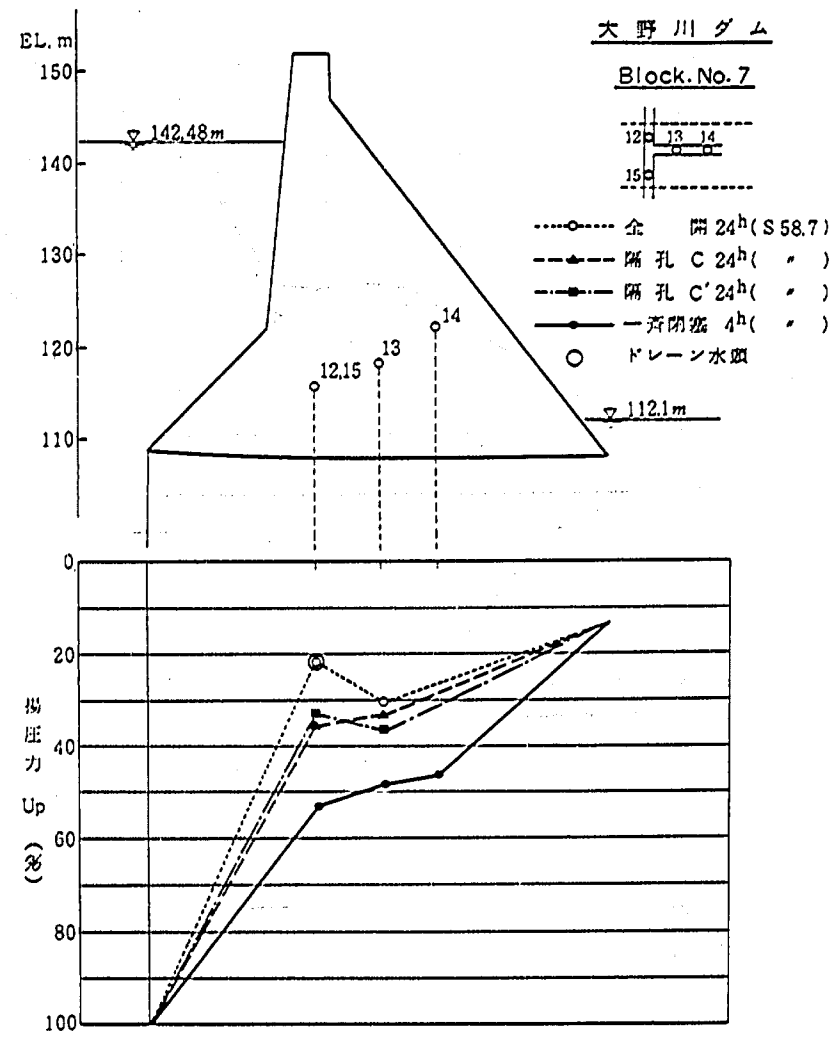
付図-3.2(3) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(耶馬溪ダムBL.10)



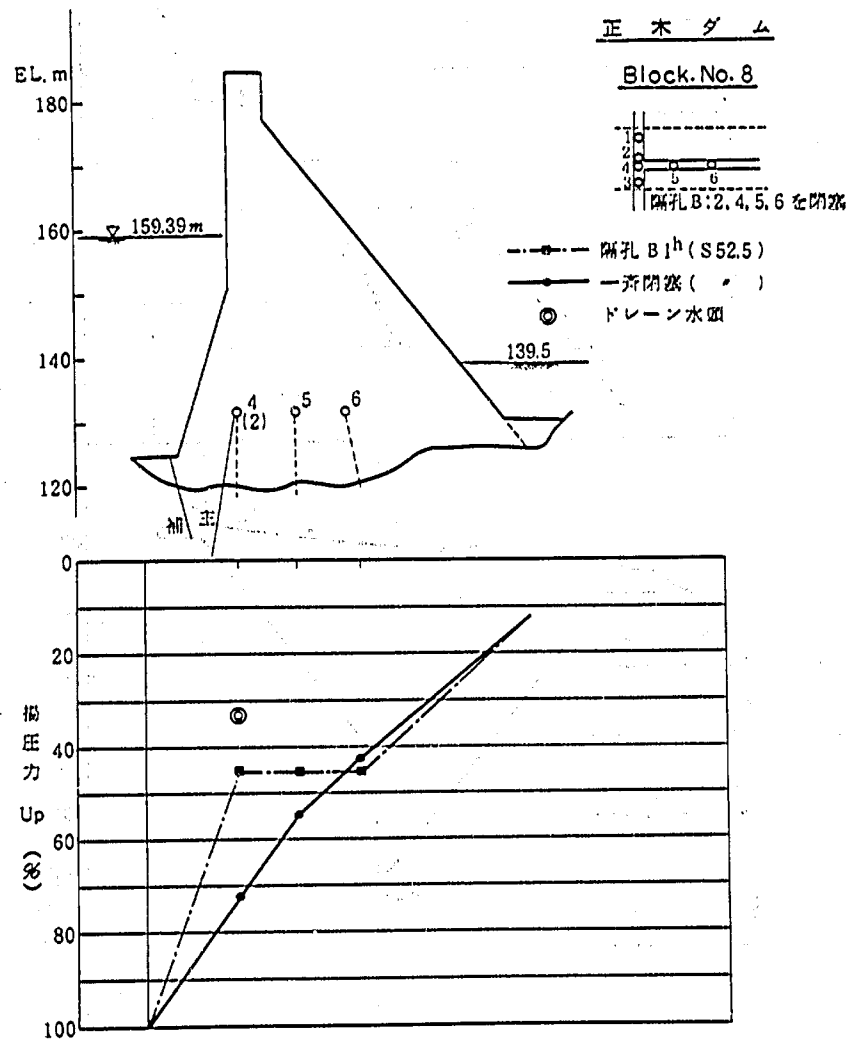
付図-3.2(4) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(耶馬溪ダムBL.12)



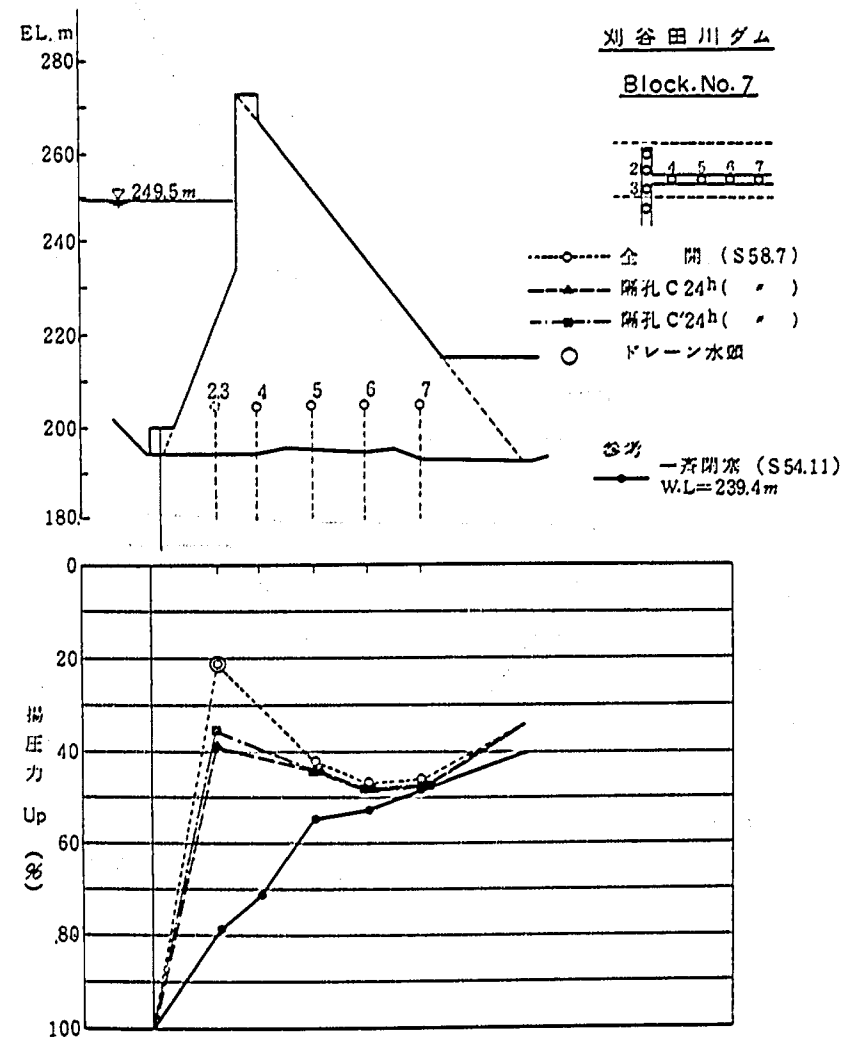
付図-3.2(5) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(耶馬溪ダムBL.14)



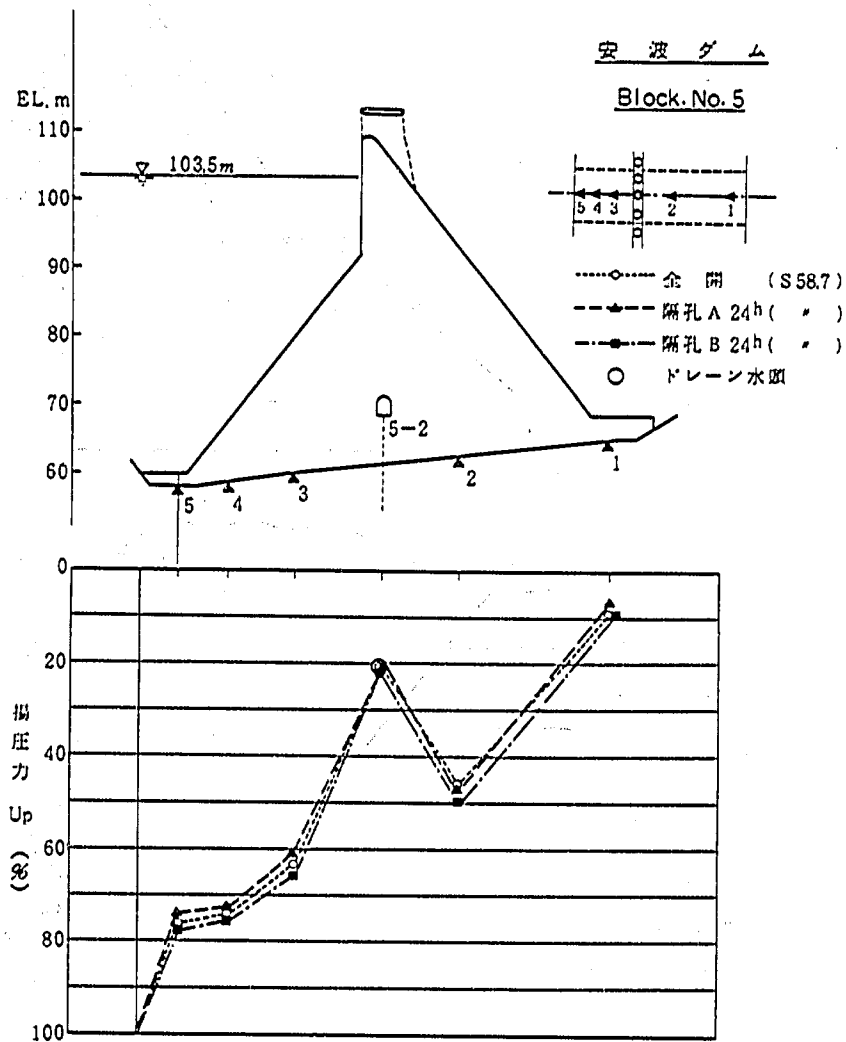
付図-3.2(6) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(大野川ダムBL.7)



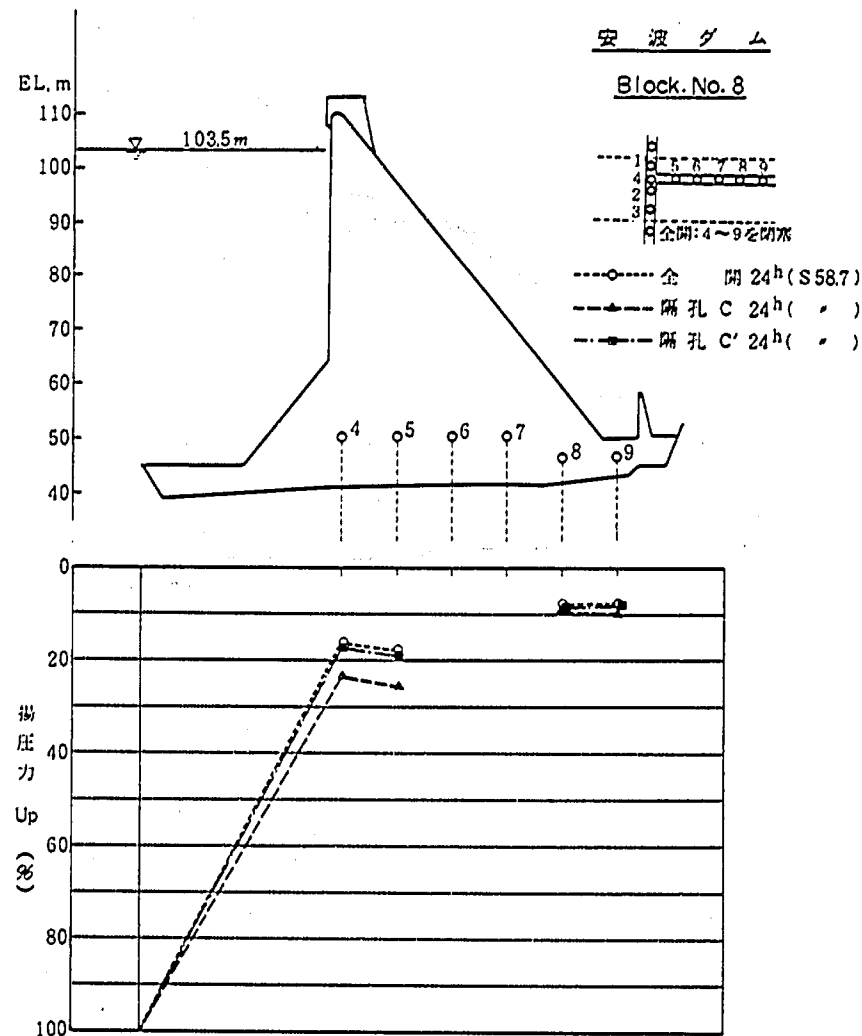
付図-3.2(7) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(正木ダムBL. 8)



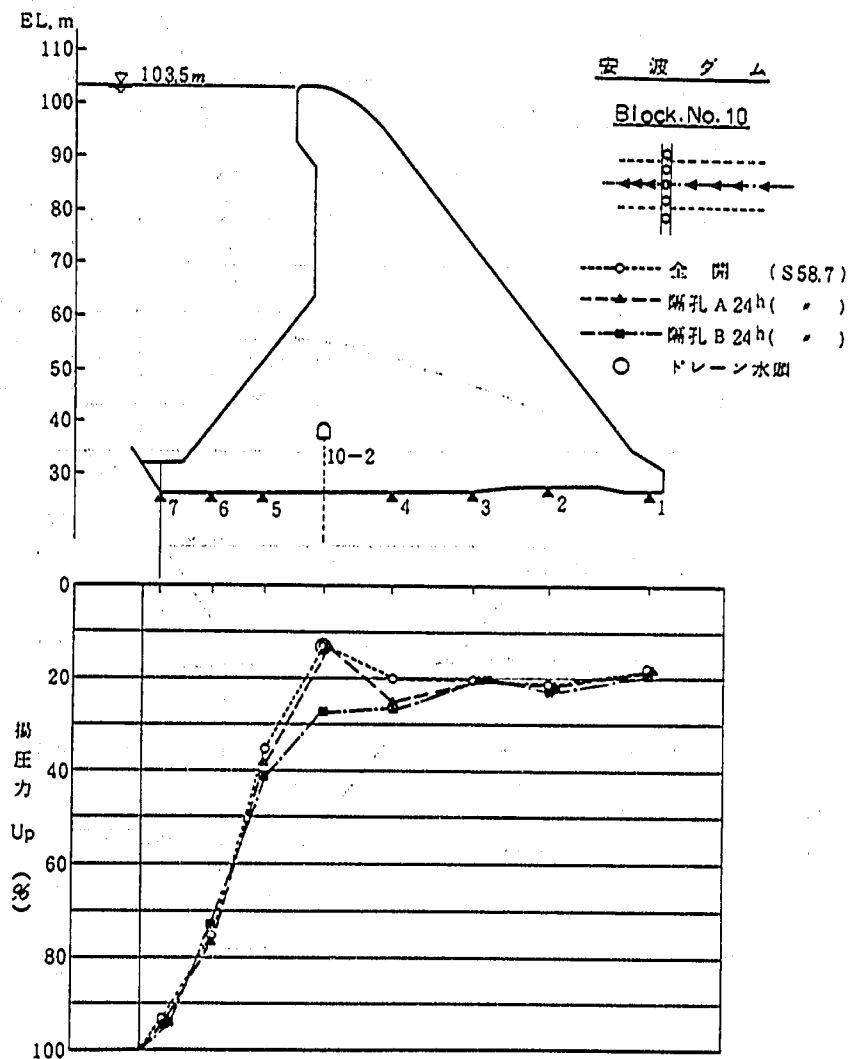
付図-3.2(8) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(刈谷田川ダムBL. 7)



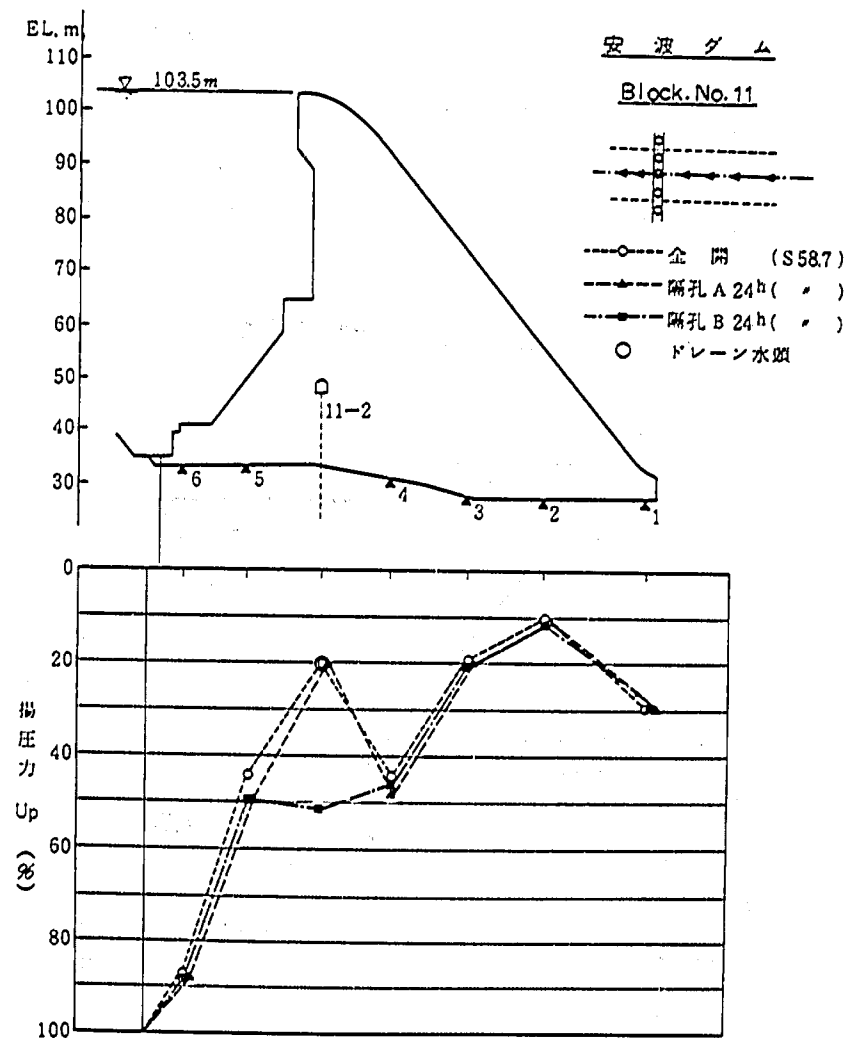
付図-3.2(9) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(安波ダムBL. 5)



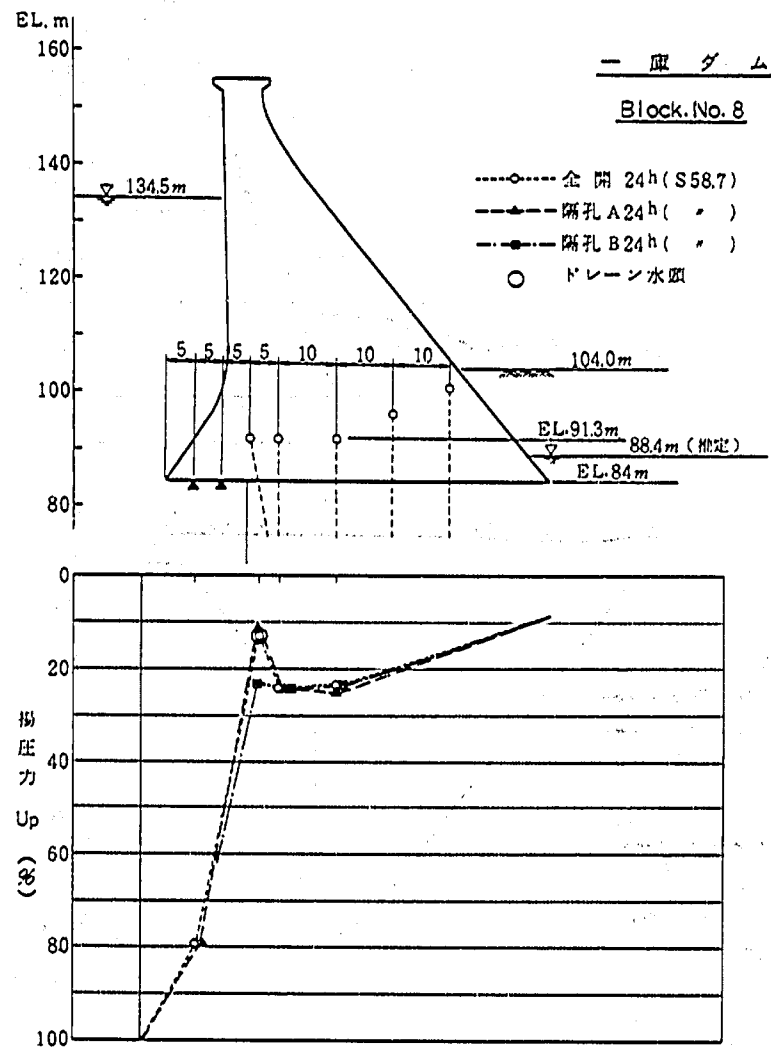
付図-3.2(10) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(安波ダムBL. 8)



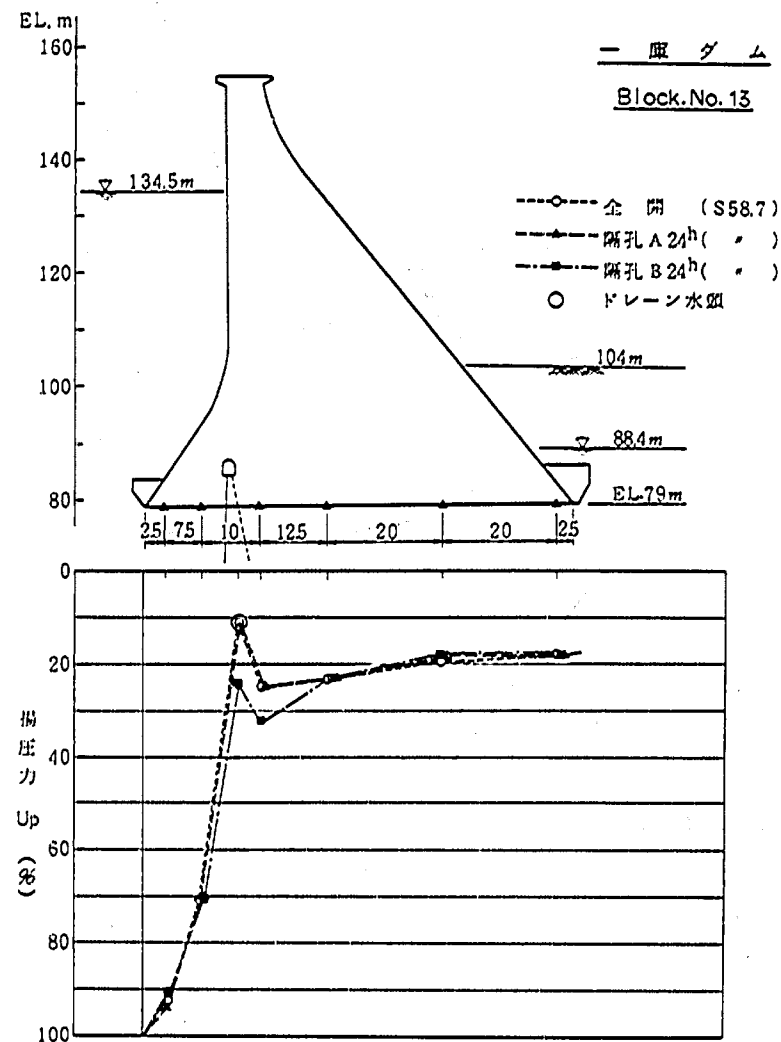
付図-3.2(11) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(安波ダムBL.10)



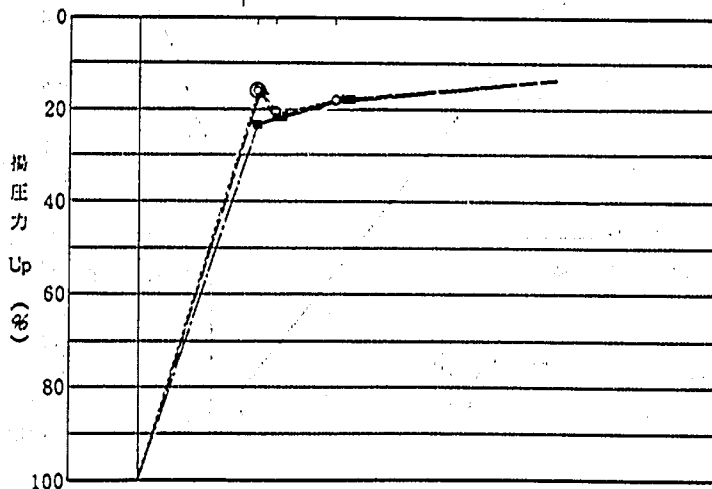
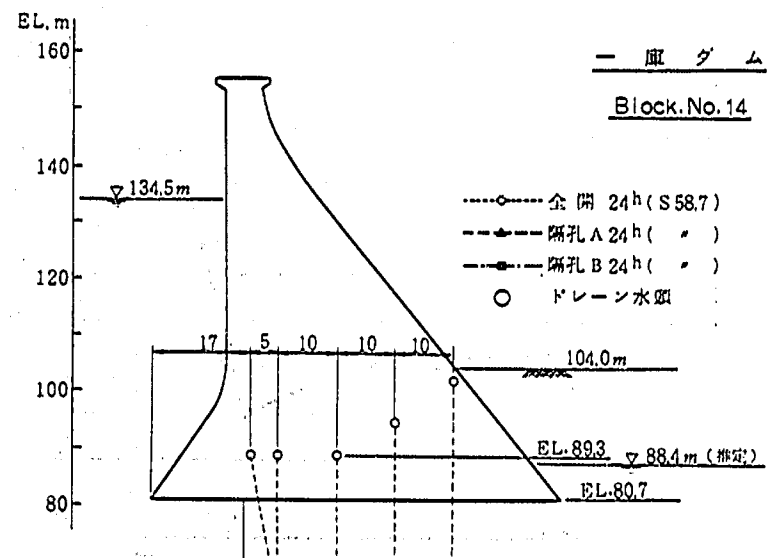
付図-3.2(12) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(安波ダムBL.11)



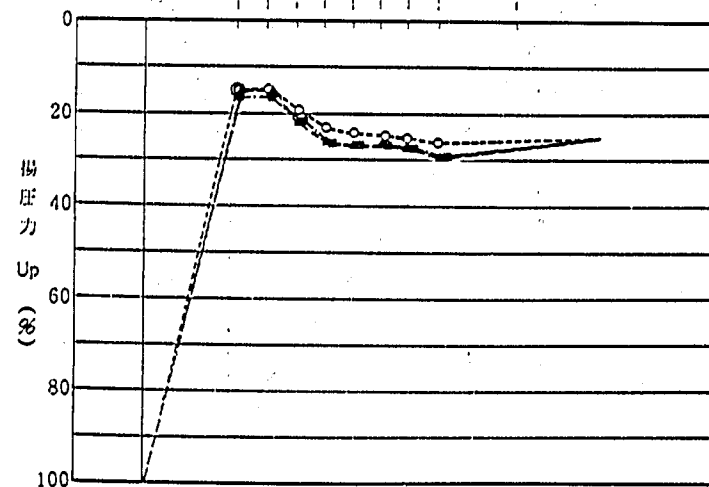
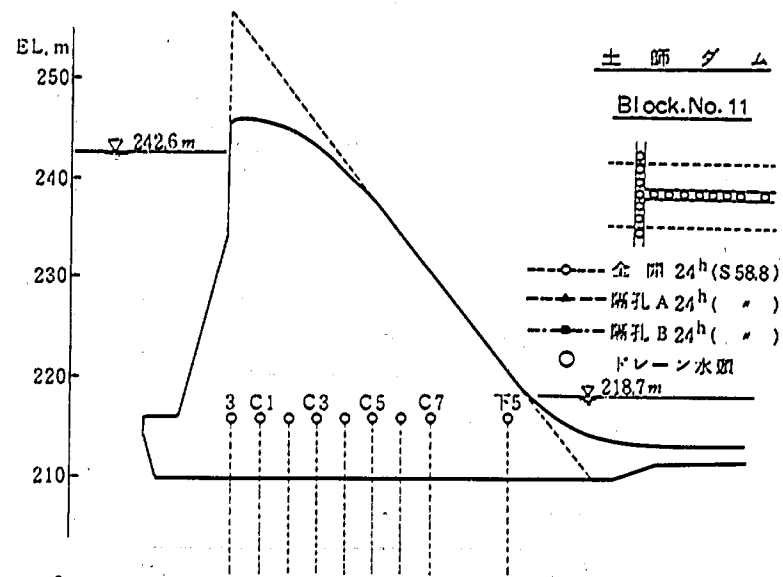
付図-3.203 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(一庫ダムBL. 8)



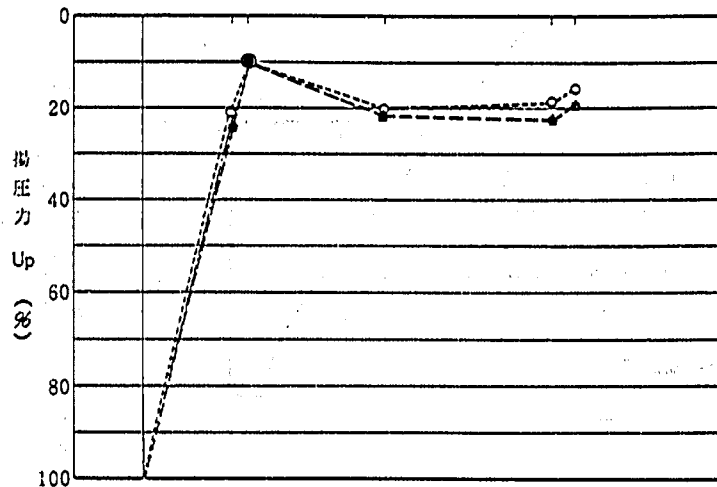
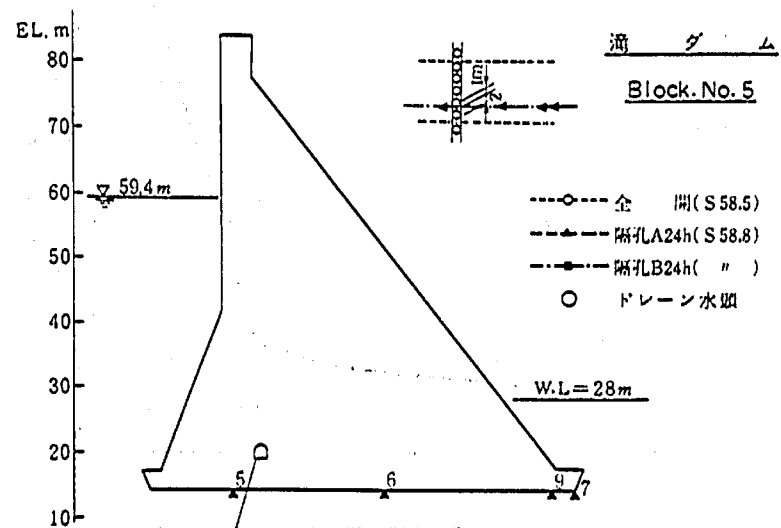
付図-3.204 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(一庫ダムBL.13)



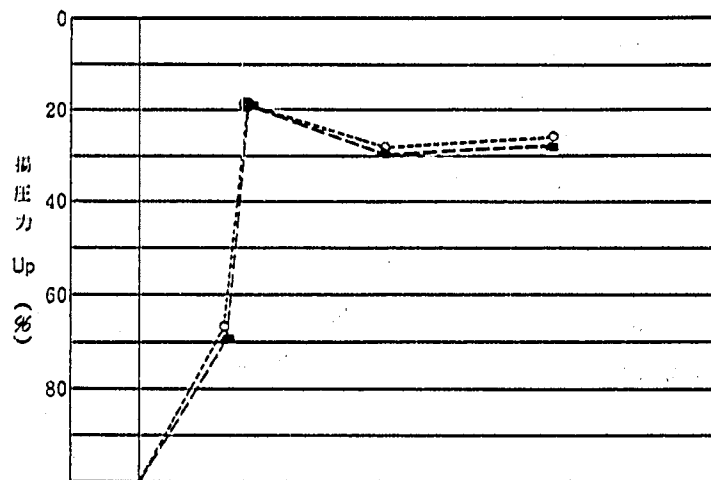
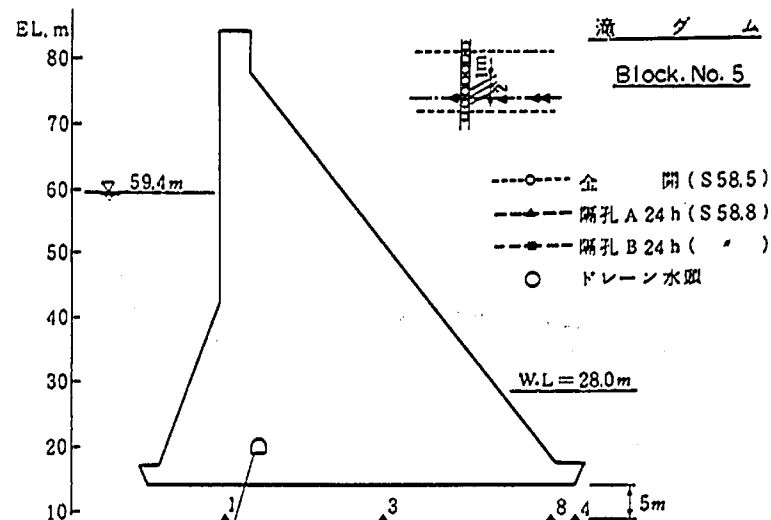
付図-3.2(15) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(一庫ダムBL.14)



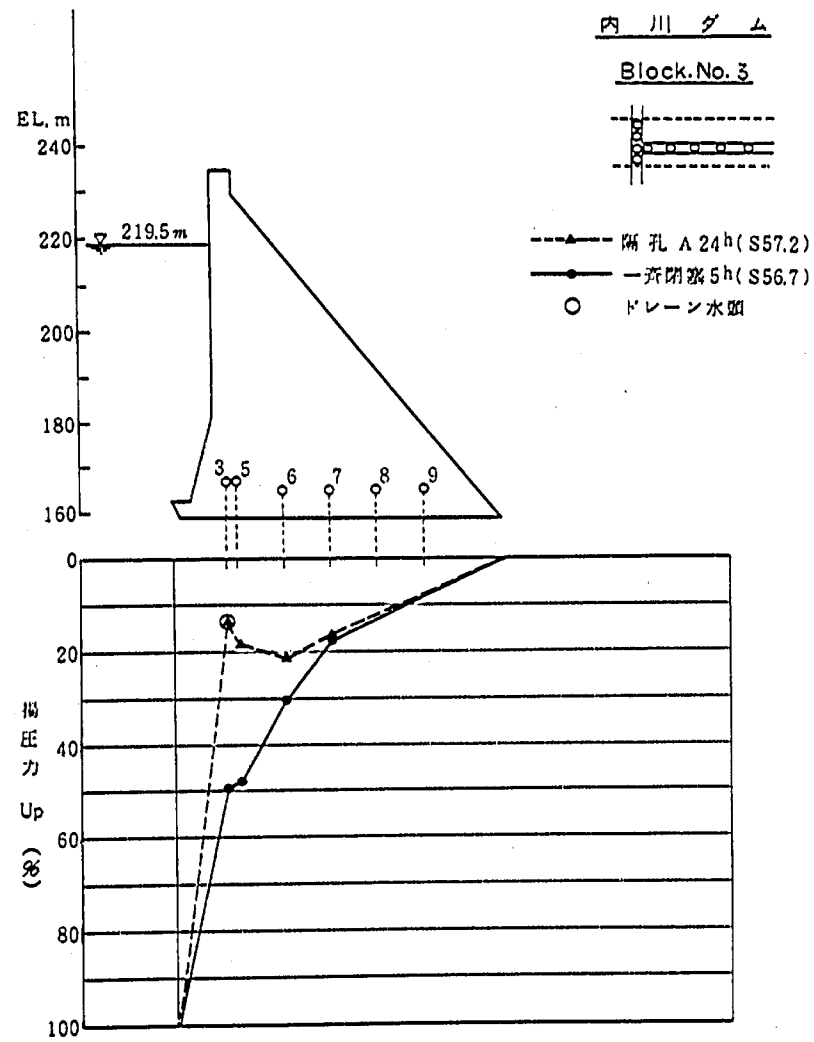
付図-3.2(16) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(土師ダムBL.11)



付図-3.207 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(滝ダムBL. 5)



付図-3.208 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(滝ダムBL. 5)



付図-3.2(19) 基礎排水孔の閉塞法の違いによる
上下流方向の揚圧力分布の比較(内川ダムBL. 3)

重力式コンクリートダムに
おける揚圧力の実測調査

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2691号
平成元年1月(1989)

永山 功・斉藤孝三
片平 博

揚圧力はコンクリートダムの安定解析における重要な荷重のひとつである。
本報告書は、実際の重力式コンクリートダムにおける揚圧力の実測資料を
基に、揚圧力の大きさと基礎排水孔の配置、測定方法との関係、揚圧力の大
きさと地質条件の関係、その他の揚圧力の特性について調査分析した結果を
とりまとめたものである。

キーワード：揚圧力、重力式コンクリートダム、基礎岩盤、排水孔
基礎グラウチング

郵便はがき

いは40
つ円切
て手を
下さ

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
ダム部ダム構造研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2691号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印