

土 木 研 究 所 資 料

第 312 号

重力ダムの実測解析 (1)

—— 鶴田ダムの安全管理 ——

昭和 42 年 8 月

建設省土木研究所

重 力 ダ ム の 実 測 解 析 (I)

— 鶴 田 ダ ム の 安 全 管 理 —

飯 田 隆 一
矢 野 明

目 次

1. 概 説	1
2. 安全管理のための測定	1
3. 漏水量, 揚圧力の測定	3
4. ダム本体及び基礎岩盤のたわみの測定	9
5. ダム本体及び断層プラグの歪, 応力の測定	13
6. 結 論	16

1. 概 要

鶴田ダムは高さ117.5m、堤長450mの重力式ダムで昭和39年11月10日に湛水を開始した。従来の高いダムでは堤体の諸測定が行なわれており鶴田ダムでも漏水量、揚圧力をはじめ、ブラムラインによるたわみ（変位）及び埋設計器による歪み、応力等の測定が行われている。ダムの測定の目的としては施工管理のため、完成後のダム管理のため、及び構造解析のため等に行うものであるが、本報告は現在ダムが安全に挙動しているか否か、即ちダムの安全管理を主目的として解析を行いその結果を述べたものである。

解析は昭和39年11月より昭和41年11月までの間での資料に対し行った。尚鶴田ダムではダム堤趾部を横切る断層が走っており、これらの力学的な欠陥を改良するために断層ブラグが設けられている。

特に断層ブラグ内部の歪み、応力とダム本体の歪み、応力の関連性、ブラムラインによるダム本体と基礎岩盤内部のたわみの比較、基礎岩盤内部のたわみと応力との関係等についてはダムの安定さきわめて重要なので重点をおいて解析を行った。また今後の測定のために各計器類が正常に差動しているか否かについて実測結果にもとづいて検討を行った。

2. 安全管理のための測定

従来ダムが完成すると漏水量、揚圧力、たわみ、歪み、その他の測定が行われ、かなり多くの資料がとらわれているにもかかわらず、それらを用いた系統的なダムの安全管理方法が確立されていない。

本報告ではダムの挙動を巨視的なものと微視的なものとに区別して解析し、効果的なダムの安全管理を試みた。

即ち構造作用について云えば、一般に構造物が変形する場合、その各部に歪が生じ、これが積分されて廻転が生じ、さらに廻転が積分されてたわみが生ずる。

従って歪みは個々の部分の現象を示し、廻転は部分の総合現象を示し、たわみは構造物全体の総合現象を示しているといえ得る。この様な意味からダム全体の管理を行うにはたわみの測定が適していると云い得る。

たわみの測定値よりダム管理を行う場合に現在が正常なものとなし得るか否かを知らねばならない。

これを判断するために設計値と測定値を比較する方法がある。しかし設計において多くの仮定と省略を行うために実測値と設計値との間にへだたりのあることは免れ得ない。そこで最も確実な方法としては過去の測定値からダムが安定しているか否かを判断することである。

これらを測定する計器を大きく分類すると、電気的なものと、機械的なものとに分けられるが、一般に歪み、応力等を測定するには電気的な計器が、又たわみ（変位）測定には機械的な計器が用いられる。

測定計器は測定原理が簡単なものほど信頼性が高く、従って機械的な測定計器は電気的なものに較べて信頼性の点ではややすぐれている。

歪み、応力、温度等の埋設計器は殆んど電気的な方法で測定されているが、精密計器にもかかわらずコンクリートの打設と同時に埋設されるために計器の機能を充分発揮させ得る状態でない場合が多く、設置後の故障に際しても補修が不可能である。又埋設計器の場合精度の高い計器ほど信頼性に問題があり、埋設した計器のいくつかは測定不能か不確実な測定結果を与えるものがあることは必然でそのため余分に埋設しなければならない。

一方たわみ計などの機械的な方法での測定計器は測定結果を見ながら、計器に異常があれば補修が可能で測定結果を直接解析することができるし、埋設計器の様に余分に設置する必要がない。

前にも記した様にたわみの測定によるものはダムの総合現象であって個々の部分の現象でない。したがってたわみの測定で異常がとらえられたときにたわみの測定結果からその原因と対策を結論づけることは不可能である。このときに歪みの測定値や継目計の測定結果を用いて原因と対策を検討する必要がある。

以上の様に各計器とも一長一短があり計器自身の改良されねばならない点や、配置計画、測定計画等の十分な検討が必要である。

このことは漏水量、揚圧力の測定に対しても云い得る。即ち全漏水量は巨視的な測定であり、個々の排水孔の漏水量、揚圧力は微視的な測定に相当する。

云いかえれば、たわみおよび全漏水量の測定結果を主な判断の対象とし、他の測定結果は副次的な判断の対象としてダムの挙動を観察することが望ましい。

鶴田ダムの計器の配置は図-1、図-2及び図-3に示す。たわみ計はサイトの左右岸に走る大規模な断層があるため、ダム本体内部及び基礎岩盤内部にもブラムラインを設置してその変位を観測した。一方部分的な調査を行うための歪計、応力計は12B ϕ 、15B ϕ に設置した。

又、サイト左岸の断層プラグの部分にも歪計、応力計を埋設し、本体との関連性やプラグの効果等について検討を行った。

3. 漏水量，揚圧力の測定

漏水量，揚圧力の測定はダムの安全管理にとって重要である。特に全漏水量の測定はダムの安全管理を巨視的に判断する上で極めて重要なものである为先ず全漏水量について考察し，次に全漏水量に支配的な影響を与えていると考えられる個々の排水孔の漏水量と揚圧力について考察することにする。

鶴田ダムは昭和39年11月9日に湛水を開始し，昭和41年7月25日以前は全漏水量を測定するのに個々の排水孔の漏水量を集計する方法をとっていたが測定に労力を要し，測定誤差が累積される恐れがあるので，それ以降は三角堰及び排水ポンプによる貯水槽の単位時間当りの水位上昇により全漏水量を測定するようにした。

鶴田ダムの漏水量の測定結果を図-4，図-5に示す。これらの図より次の現象が認められる。

- 1) 昭和41年7月以前はバラツキが多い。
- 2) 三角堰及び貯水槽を用いてからの全漏水量は安定し，貯水位との対応性もよくなっている。
- 3) 全漏水量及び個々の漏水量は測定当初よりもわずかに減少している。

以上の現象をよく考察してみると，先ず1)，2)については，鶴田ダムでは湛水当初から全漏水量を測定するのに個々の排水孔での漏水量を測定し集計する方法をとっていたが測定精度も悪くバラツキが多い。

従って貯水位との対応性もあまりよくない。しかし昭和41年7月以降はバラツキも小さくなり貯水位との対応性もよくなっているので，今後の全漏水量の測定方法としては現在の方法を継続していくのがよいと結論される。

又漏水量からダムが安全か否かを判断するにはこれが漸次増加するか否かをみることであり，

- 3) の現象からもダムが安定化の傾向を示していると考えられる。

以上から鶴田ダムは全漏水量からみた場合には安定化していると云い得る。

個々の漏水量について考察すると，左岸下部が多く全漏水量の約1/2を占めている。河床部は一部に多いところもあるが右岸は全般に少い。

左岸のL₄ 坑の排水孔は一般に漏水量は多いが，これは仮排水隧道の閉塞がダムに接近したところで行われたためと考えられるが，この部分に湛水後追加グラウトを行ってからは漏水量はかなり減少している。

漏水量が比較的多いL₄-4，L₄-3，L₄-2，P-18，B ϕ 15-3，B ϕ 15-4についての測定結果を表に示すと表-1の如くである。これらを図でみるといずれも漏水量と貯水位との対応性ははっきりせずかなりバラツキが多い。このことは今後これらの排水孔の漏水量測定を続ける

に当って流量計を使う等、測定方法に検討を加える必要がある。

またバラツキが多いために、はっきり結論づけることは困難であるが、漏水量はわずかに減少しており安定しているようである。

次に揚圧力の測定結果を表-2及び図-6に示す。

揚圧力の測定は排水孔を利用して行うのが一般であり鶴田ダムでもこれによった。その結果

- 1) 全般に揚圧力は小さい。
- 2) 揚圧力の最大はB ϕ 14-1孔で2.6 Kg/cm²、他の孔では1.6~1.8 Kg/cm²の値である。
- 3) 貯水位との対応性はあまりはっきりしていないが、測定値は序々に減少しており安定している。

以上の結果を更に詳細に考察してみると、揚圧力の重力ダムでの設計基準では0.2 Hと定めているが鶴田ダムの場合B ϕ 14-1孔のみが基準値をわずかに上まわっているだけで、他の排水孔では全部下まわっている。又貯水位との対応性はあまりはっきりしていないが、測定値は序々に下降を示しており、バラツキも少く安定した状態にある。

以上の様に漏水量、揚圧力とも時間の経過とともに減少し安定化の傾向にあるのでこの面ではダムは安全であると云い得る。

最後に間隙水圧計の測定結果について考察してみると鶴田ダムでは河床部の剪断摩擦抵抗を増すために、ダム上流側にファイレットが設置されている。

この部分に埋設された間隙水圧計の測定結果は図-7に示す様に貯水位との対応性もよく水圧の70~80%程度になっており、従ってファイレットの効果はうすいと考えられる。

表-1 (その1) 漏水量測定値

年月日	漏水点	B15-3	B15-4	P-18	L4-2	L4-3	L4-4	全漏水量
40. 8.	1	46.2	32.1	44.2	114.4	158.8	71.0	868.2
	6	44.0	32.1	44.6	106.8	162.0	76.0	877.0
	12	42.0	33.5	44.0	104.4	175.2	76.8	872.0
	18	55.8	51.9	57.4	96.1	244.0	57.1	1,105.1
	24	37.8	36.9	45.9	90.0	202.0	49.2	888.6
	30	41.8	34.8	44.4	82.8	194.0	49.6	848.5
40. 9.	5	40.2	34.2	43.2	85.2	179.0	50.1	821.5
	11	45.2	36.4	47.6	89.5	188.0	52.0	880.7
	17	44.2	37.3	46.9	88.9	189.4	51.6	879.5
	23	49.4	38.8	48.6	95.0	190.4	55.4	922.8
	30	46.0	38.8	48.6	91.6	193.8	54.4	911.6
40. 10.	6	37.2	37.6	48.9	90.2	186.0	54.8	867.7
	13	36.4	37.6	48.6	90.8	190.0	53.2	877.9
	20	35.4	35.6	48.4	91.3	192.0	53.4	871.0
	27	34.8	35.0	46.8	102.0	188.0	52.0	855.4
40. 11.	3	35.4	35.8	48.3	104.6	184.0	53.4	869.9
	10	36.6	35.6	47.6	102.3	185.4	53.5	868.2
	17	36.6	35.7	47.6	105.1	186.4	54.3	874.2
	24	34.8	34.4	48.1	102.0	191.0	53.7	868.4
40. 12.	1	37.2	36.1	48.7	106.0	196.0	54.0	904.4
	7	37.2	35.6	48.8	105.0	194.0	55.2	901.0
	14	35.0	34.4	47.6	102.6	191.0	53.8	865.7
	21	32.7	33.8	47.2	100.8	189.4	53.7	851.8
	28	32.7	33.2	47.6	100.5	198.2	53.7	859.4
41. 1.	5	30.1	31.2	44.6	93.0	186.0	53.1	822.8
	11	32.0	31.8	47.4	98.0	182.0	58.4	836.3
	18	31.9	32.4	47.5	102.6	193.0	54.3	874.6
	25	30.8	31.4	46.8	101.4	184.0	53.1	821.3
	31	30.8	31.3	46.3	98.4	185.0	52.4	811.0
41. 2.	7	29.1	30.0	45.0	92.4	180.0	52.5	773.5
	14	29.1	28.6	43.2	84.0	164.6	50.4	718.0
	21	28.2	27.3	41.6	85.2	163.6	49.8	705.4
	28	28.4	28.6	43.2	92.1	171.0	51.8	733.0
41. 3.	2	28.5	28.8	44.4	93.0	174.0	52.8	743.4
	9	32.0	29.4	48.8	102.0	194.0	57.7	874.5
	16	25.8	29.4	46.8	96.8	194.0	57.6	808.4
	25	26.0	29.0	46.2	96.5	189.0	57.7	789.9

表-1 (その2)

	B ϕ 15-3	B ϕ 15-4	P-18	L ϕ -2	L ϕ -3	L ϕ -4	全漏水量
	ℓ/min	ℓ/min	ℓ/min	ℓ/min	ℓ/min	ℓ/min	ℓ/min
41. 4. 12	29.0	22.9	46.1	97.4	160.4	54.7	782.1
41. 5. 7	17.0	41.4	39.2	86.4	148.1	50.4	728.1
13	16.0	39.2	48.4	91.8	158.0	51.6	774.1
18	17.5	31.6	38.4	94.0	155.0	53.0	727.0
24	18.6	21.0	34.6	81.6	147.0	49.8	672.3
41. 6. 3	18.6	21.0	41.4	91.2	156.0	52.8	699.1
14	30.0	34.8	50.4	108.0	147.6	57.6	790.6
21	24.0	22.8	40.8	80.4	144.0	37.2	672.5
30	28.8	27.6	44.4	86.2	144.0	43.2	690.7
41. 7. 11	20.4	21.0	43.8	104.4	144.0	55.2	725.6
18	18.0	19.2	39.6	91.2	132.0	52.8	642.3
25	18.0	21.0	42.6	89.0	153.6	57.6	700.9
41. 8. 1	—	—	—	—	—	—	690.9
5	—	—	—	—	—	—	675.2
8	—	—	—	—	—	—	669.2
16	—	—	—	—	—	—	678.7
22	—	—	—	—	—	—	693.4
25	16.5	22.2	43.2	90.0	166.8	57.6	749.3
30	—	—	—	—	—	—	709.3
41. 9. 6	—	—	—	—	—	—	696.1
12	—	—	—	—	—	—	738.7
17	—	—	—	—	—	—	742.7
20	29.6	31.0	42.6	90.0	168.0	63.0	813.3
24	—	—	—	—	—	—	816.8
26	—	—	—	—	—	—	862.7
41. 10. 1	—	—	—	—	—	—	840.2
6	—	—	—	—	—	—	844.0
12	24.6	43.2	43.2	93.6	174.0	60.0	870.4
20	22.2	21.0	45.0	96.0	174.0	57.0	855.4
27	28.0	39.6	45.6	94.8	175.2	56.4	882.6
41. 11. 5	22.0	22.2	43.8	91.2	178.8	55.2	875.0
12	—	21.0	43.2	93.6	175.2	57.6	876.0
19	—	21.0	43.2	94.8	184.8	57.6	902.0
26	21.4	21.4	42.4	93.6	159.6	58.3	954.6
41. 12. 2	—	19.8	42.4	90.0	168.0	55.8	872.3

表-2(その1)

揚 圧 力 測 定 値

揚圧力 年月日	B ℓ 14-1 Kg/cm^2	B ℓ 15-4 Kg/cm^2	P-18 Kg/cm^2	L $_4$ -3 Kg/cm^2	P L 4 Kg/cm^2
40. 8. 1	2.3	0.3	1.3	1.2	1.0
6	2.4	0.3	1.3	1.2	1.0
12	2.5	0.4	1.4	1.2	1.0
18	2.4	0.9	2.1	2.0	1.8
24	2.3	0.7	1.6	1.5	1.3
30	2.3	0.5	1.5	1.4	1.2
40. 9. 5	2.4	0.5	1.5	1.4	1.2
11	2.4	0.5	1.6	1.4	1.2
17	2.4	0.6	1.7	1.6	1.3
23	2.5	0.6	1.7	1.6	1.3
30	2.5	0.6	1.7	1.6	1.3
40. 10. 6	2.6	0.6	1.7	1.6	1.4
13	2.6	0.6	1.7	1.5	1.6
20	2.6	0.6	1.7	1.6	1.3
27	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
40. 11. 3	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
10	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
17	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
24	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
40. 12. 1	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
7	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
14	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
21	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
28	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
41. 1. 5	2.6	0.6	1.7	1.5	1.3
11	2.6	0.5	1.6	1.5	1.3
18	2.6	0.5	1.7	1.5	1.3
25	2.5	0.5	1.6	1.5	1.2
31	2.5	0.5	1.6	1.5	1.2
41. 2. 7	2.3	0.5	1.6	1.5	1.2
14	2.2	0.4	1.5	1.4	1.2
21	2.1	0.4	1.4	1.3	1.2
28	2.1	0.4	1.4	1.3	1.2
41. 3. 2	2.1	0.5	1.4	1.3	1.3
9	2.5	0.6	1.8	1.6	1.6
16	2.5	0.6	1.5	1.4	1.4
25	2.5	0.6	1.5	1.4	1.3

表-2 (その2)

揚圧力 年月日	B ϕ 14-1	B ϕ 15-4	P-18	L ϕ -3	P L 4
	Kg/cm ^{2}	Kg/cm ^{2}	Kg/cm ^{2}	Kg/cm ^{2}	Kg/cm ^{2}
41. 4. 12	2.3	0.6	1.5	1.4	1.1
41. 5. 7	2.0	0.5	1.3	1.3	1.1
13	2.0	0.6	1.5	1.4	1.0
18	2.0	0.5	1.4	1.4	1.0
24	2.0	0.6	1.3	1.2	0.8
41. 6. 3	2.0	0.6	1.5	1.3	0.8
14	2.0	0.6	1.3	1.3	1.0
21	2.0	0.6	1.3	1.3	0.8
30	1.7	0.4	1.3	1.2	0.8
41. 7. 11	2.0	0.6	1.5	1.3	0.8
18	2.0	0.5	1.3	1.2	1.0
25	2.0	0.6	1.3	1.2	1.0
41. 8. 1	2.0	0.6	1.3	1.2	1.0
5	2.0	0.6	1.3	1.2	1.0
8	1.8	0.4	1.3	1.1	0.8
16	1.8	0.4	1.3	1.1	0.8
22	—	—	—	—	—
25	2.1	0.6	1.3	1.2	1.0
30	1.8	0.4	1.3	1.1	0.8
41. 9. 6	1.8	0.4	1.3	1.1	0.8
12	1.8	0.4	1.4	1.2	1.0
17	1.8	0.4	1.4	1.2	1.0
20	2.1	0.4	1.4	1.2	1.0
24	2.1	0.4	1.4	1.2	1.0
26	2.1	0.3	1.6	1.2	1.0
41. 10. 1	2.1	0.3	1.6	1.2	1.0
6	2.2	0.4	1.6	1.2	1.0
12	2.2	0.3	1.5	1.2	1.0
20	2.2	0.4	1.6	1.2	1.0
27	2.2		1.6	1.2	1.0
41. 11. 5	2.2	0.3	1.6	1.2	1.0
12	2.2	0.4	1.6	1.2	1.0
19	2.5	0.4	1.6	1.3	1.1
26	2.6	0.4	1.6	1.2 5	1.0
41. 12. 2	2.6	0.4	1.6	1.2 5	1.0

4. ダム本体及び基礎岩盤内のたわみの測定

構造物全体の総合現象であるたわみの測定には、測定の難易さ、精度及び信頼性などを考慮して、ダムの管理に最も適しているブラムラインによる方法をとった。

この配置は図-1に示す様にダム本体のたわみを測定するNormal pendulum(NP)を4個所、即ちNP-8, NP-11, NP-17, NP-22を、又基礎岩盤の変位を測定するReversal pendulum(RP)を4個所、即ちRP-8, RP-11, RP-17, RP-22を設置した。鶴田ダムサイトは断層や破碎帯などの交錯した地質構造をなし、とくにRP-11, RP-17は地質構造の変化する位置を選び、その固定点は断層の下側の岩盤にとり、断層を貫いて断層の上側の岩盤にのるダム本体の部分で測定されるようになっている。

この様な計器で測定されるたわみの評価は、前記の様に過去の測定値からみて現在が安定した状態にあるか否かを判断することであり、その判断する尺度としては次の事項が考えられる。

- i) 貯水位の昇降に伴うたわみ量の増減の関係
- ii) 同貯水位或はくり返し貯水変動によるたわみの収束性
- iii) 種々の貯水位段階におけるたわみ量の構成

これらの尺度によって判断するための表示方法としては縦軸にたわみをと、横軸に年月をとったものと、縦軸に貯水位、横軸にたわみをとったものの二種の図面を作製してこれらの対応関係から挙動を検討した。

たわみの測定結果を図-9から図-12に示す。

この測定結果を詳細に観察すると、ダム本体のたわみと岩盤内の変位との間にははっきりした相違がみられる。下図に示す様にダム本体のたわみは貯水位の変動にともなう、ループを描きいわゆるヒステリシス現象を示している。

これに対して岩盤の変位は岩盤のジャッキ試験にみられる荷重-変位曲線に類似した動きを示している。

このダムコンクリートの殆んどは湛水開始までに一ケ年以上の材令になっているのでかなり弾性的な動きを示すものと考えられる。

従ってダム本体及び基礎岩盤の

図-8

a) ダム本体のたわみ b) 基礎岩盤の変位



変位で非弾性的な動きは岩盤によるものと考えて差支えない。

ブラムラインの動きは相対的な変位を示している。従って岩盤の変位のうちダム本体内に設置されたブラムラインに影響を与えるものは岩盤の回転であり、基礎岩盤内に設置された逆ブラムラインに影響を与えるものは岩盤の水平変位であると云い得る。

以上のことから岩盤の回転がヒステリシス現象を示し、岩盤の水平変位が図示の様な曲線を示すものと判断される。

次に岩盤に設置されたブラムラインの動きについて更に詳細な検討を加えてみよう。(図-9~12)

岩盤のブラムラインの測定値-時間のグラフを見るに、水位変動に対し極めてはっきりした対応性を示しているがRP-8以外はヤバラツキがあり、特にRP-22については41年1月以降はバラツキが著しく、細かな岩盤の挙動を観察することは困難な状態にある。

41年3月以前は全般に水位が上昇するときのたわみの増加する割合よりも水位が降下するときのたわみの減少する割合の方が小さく、また一定水位に保たれた場合にはたわみが漸増する傾向を示している。

云いかえれば水位の昇降に際して残留変位を生じ一定の水位の下においてクリープを生じている。

この傾向は40年7月初旬の急激な水位の昇降の際に特に著しい。この時の水位の昇降に際しRP-22は水位の降下と共にたわみはもどっているが、RP-8、RP-11、RP-17はほとんどもどらず、水位の上昇によるたわみの増加の大半が残留変位となっている。また40年9月中旬より41年2月初旬まで水位はE ℓ 150m以上に保たれているがこの間もすべての岩盤のブラムラインによる測定値は増加を示している。

41年3月初旬の水位の昇降に際しては残留変位は極めて少くなっており、更に41年5月初旬より41年9月中旬までは水位は小さな昇降を繰返しながらE ℓ 140~E ℓ 145mの水位が保たれているが、この間のたわみはむしろ減少する傾向を示している。この間の動きはむしろ除荷時のクリープに似た現象を示している。

上記の現象を更に明瞭にするために数値的に検討を加えてみよう。表-³は40年7月4日のたわみと41年3月8日のたわみと、この間のたわみの増加を表示している。この間の水位の増加は6mであるがたわみの増加はかなり大きく全たわみの1/3程度に達している。

この間のたわみの増加は40年7月初旬及び8月中旬の水位の昇降に際しての残留変位と40年9月中旬より41年2月上旬までのE ℓ 150m以上に水位が保たれた間のクリープと6mの水位上昇によるたわみの増加により成ると考えられる。

表-⁴は40年7月初旬と41年3月初旬の水位の昇降に際してのたわみの増加、減少と残留

5
変位とを示しており、表-4は40年9月中旬より41年2月初旬までのE ℓ 150mの水位でのたわみの変化と41年4月初旬より41年9月中旬までのE ℓ 150mの水位でのたわみの変化を示している。

尚表-4, 表-5で40年12月以降のRP-22の値はバラツキが多いので記載しなかった。

表 - 3

RP	40. 7. 4 (E ℓ 15350m)		41. 3. 8 (E ℓ 15950m)		40.7.4~41.3.8
	貯水深	39.11.10~40.7.4	貯水深	39.11.10~41.3.8	
8	4 3.5 0	8.3 0	4 9.5 0	1 3.5 0	5.2 0
11	8 3.5 0	1 0.8 0	8 9.5 0	1 5.1 0	4.3 0
17	1 1 3.5 0	1 5.2 0	1 1 9.5 0	2 2.9 0	7.7 0
22	6 3.5 0	1 3.9 0	6 9.5 0	1 9.1 0	5.2 0

(39. 11. 10 日湛水開始)

表 - 4

RP RP	40. 7. 4				41. 3. 8			
	変化貯水深	増 加	減 少	残 留	変化貯水深	増 加	減 少	残 留
8	7.5	1.6 0	0	1.6	1 7.5	2.5 5	2.1 0	0.4 5
11	7.5	2.8 0	0	2.8	1 7.5	3.4 0	2.1 5	1.2 5
17	7.5	2.2 0	0.2	2.0	1 7.5	3.9 0	3.3 0	0.6 0
22	7.5	2.1 0	3.0	-0.9	—	—	—	—

表 - 5

RP	変 位	
	40.9 中旬 ~ 41.1 下旬	41.4 ~ 41.9 中旬
8	2.1 0	- 1.4 0
11	2.3 5	- 0.4 5
17	3.3 5	- 1.5 0
22	3.4 5	—

これらの表によると40年7月4日より41年3月8日までの間のたわみの増加の7割程度は40年7月初旬の水位の昇降の際の残留変位と40年9月中旬より41年2月初旬までの間のク

ブにより説明し得る。

また41年3月初旬の水位の昇降に際しての残留変位は40年7月初旬の残留変位に比して著しく小さくなっており岩盤が安定化の方向に向っていることをはっきり示している。

41年4月初旬より41年9月中旬の間では水位はE ℓ 150m以下であったが、除荷時に示すようなクリープを示したわみは減少している。

尙41年11月末には水位はE ℓ 159mに達し、この時のたわみは41年3月8日の時のたわみより僅かに多い。

これらの事実からこのダム基礎岩盤は完全に安定化した状態になっているとは云い得ないがはっきりと安定化する方向をたどっており、間もなく安定化した状態に達するものと考えられる。

ダム本体に設置されたブラムラインの動きを観察すると岩盤のブラムラインの測定値よりも水位との対応性ははっきりしており、NP-11がやゝバラツキは多いがダムの挙動は充分観察し得る。

測定値-時間のグラフおよび水位-測定値のグラフからも明らかなように水位の昇降に際しての残留変位はほとんど現れていないが岩盤の場合と同様に40年9月中旬より41年2月初旬までの水位がE ℓ 150m以上に保たれた間にはかなりのたわみの増加が41年4月初旬より41年9月中旬の水位がE ℓ 150m以下に保たれた間にはたわみの減少がみられる。この場合にもダムのたわみは未だ完全には安定化していないが安定化の方向に向いているとは云い得る。

以上を要約すると

- i) 岩盤は41年3月以前は水位の昇降に際しかなりの残留変位が生じているが41年3月以降は残留変位は小さくなっている。
- ii) ダム本体のたわみには残留変位は現れていない。
- iii) ダム本体、岩盤ともE ℓ 150m以上の水位が保たれるときはたわみが漸増し、E ℓ 150m以下の水位が保たれるときはたわみが漸減する傾向をもっている。
- iv) 岩盤及びダム本体のたわみは未だ完全には安定化した状態にはなっていないが少くとも安定化する方向に向いていると云い得る。

5. ダム本体及び断層プラグ内の歪，応力の測定

2 節にも述べたように歪及び応力の測定は部分的な応力を調べる上で必要なものである。鶴田ダムにおいてはダムの安全管理と応力解析を目的として、ダム本体では 12 B ℓ と 15 B ℓ を中心に、12 B ℓ では堤底に相当する E ℓ 78 ~ E ℓ 65 m、中間標高の E ℓ 100 m に、15 B ℓ では堤底に相当する E ℓ 50 m、中間標高の E ℓ 74 m と E ℓ 102 m に歪計及び応力計が埋設されている。

又、川を横断する A 断層に対しては 18, 19, 20 B ℓ では深さ 15 m の断層置換が行われ、これらの断層プラグには 18 B ℓ , 20 B ℓ でそれぞれ上、下二段に、19 B ℓ では上、中、下の三段に歪計及び応力計が埋設されている。

これらの歪計，応力計のうちダム本体の中間標高に埋設されたものは応力も小さく、またダムに異常が生じた場合でも、これらの歪計，応力計には殆んど現れず堤底部に埋設された歪計，応力計によりはつきりと現れると考えられたので中間標高に埋設された応力計，歪計については解析の対象から除外し、ダム本体については堤底部に埋設された応力計，歪計のみを解析の対象とした。

尚、15 B ℓ の A, B, C B ℓ に埋設された 5 成分歪計はいずれも鉛直方向 (3 方向) の歪計が故障しているので解析の対象から除外した。また断層プラグ内の応力はダム及び岩盤の安定性の検討の上で極めて重要であると考えられたのでプラグ内の歪計，応力計はすべて解析の対象とした。

12 B ℓ , 15 B ℓ の堤底部に埋設された歪計，応力計の測定結果を示せば図-13 から図-17 の通りである。

i) 歪計の測定値を測定値一時間のグラフで観察するに、水位の昇降に対応した歪の動きはほとんどみられず水位の昇降とは無関係な動きが多い。この水位の昇降と無関係な動きはいずれも 40 年 8 月から 40 年 12 月までの間に多く、この期間には切替スイッチ又は測定器に異常があったとも考えられるが、この期間を除いても水位の昇降と歪の動きとの関連ははっきりしない。

ii) 歪計の測定値を水位一測定値のグラフで観察すると全般に水位の昇降に対する歪の変化する割合は小さく、むしろ測定値のバラツキの方が多い。また前項の考察から 40 年 8 月から 40 年 12 月までの測定値は信頼性がないものとして除外しても水位の昇降に対する歪の変化する割合に対してバラツキの方が多い、これから水位に対応してどの様な応力が生じているかを検討することは困難である。

iii) 応力計の測定値についても歪計の測定値と全く同様なことが云い得る。尚これからの応力計の測定値は歪計の測定値に比して信頼性にとほしいものであるが、一応値についてふれるといずれも小さく最大 $5 \sim 10 \text{ Kg/cm}^2$ 程度である。

以上歪計、応力計の測定値について水位との関係について考察したがこの他に温度変化の影響についても考察しなければならない。

しかし鶴田ダムにおいては 15 B の DB に埋設された歪計、応力計については $1 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$ の変化が年間を通して観察されるがその他は $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下で、温度変化はないとみなしても差支えないと考えられる。

これらの考察からダム本体に埋設された歪計、応力計はいずれも水位変動に対する測定値の変化がバラツキに比して小さく、これらの計器の測定値からダムの挙動、及び安全性の検討を行うことは困難である。

特に前節に述べた本体及び岩盤のブラムラインの測定値は水位変動に対する測定値の変化ははっきりしており、また $8, 11, 17, 22 \text{ B}$ に設置され、設置されたブロック数も応力計、歪計よりも多いことを考えるならばダム本体については応力計、歪計の測定は今後継続する必要はないと考えられる。

次に断層ブラグ内の歪計、応力計の測定値について考察しよう。これらの測定結果を示せば図-18 から図-27 の如くである。

i) 歪計の測定値を測定値-時間のグラフで観察すると、ダム本体の歪計の場合と同様に水位の昇降に対応した歪の動きは殆んどみられず水位の昇降とは無関係な動きが多い。

この水位の昇降と無関係な動きは 40 年 8 月から 40 年 12 月までの間に多く、この期間はダム本体の場合と同様に切替えスイッチまたは測定器に異常があったと考えられる。その他の期間では全般に歪の変化は少く、また変化の大きいものも水位との対応性ははっきりしない。

ii) これらの歪計の記録をみるに断層ブラグは打設直後に湛水が開始されたため、湛水開始時より現在までにおよそ $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度降下があり、このため計器の温度補正、コンクリートの温度補正が極めて大きく、直接測定した値の変化よりも補正值の変化の方が大きいような状態である。

このため湛水開始後或程度歪の変化はあるが 40 年 7 月初旬、 41 年 3 月中旬の急激な水位の昇降及び 41 年 9 月中旬の水位の急上昇が測定値-時間のグラフにほとんど現れていないことから考えてこれら歪の変化は計器の温度補正係数及びコンクリートの熱膨張係数の誤差が大きな温度変化により現れたとも解釈し得る。

iii) 水位-測定値のグラフをみるに、全般に水位変動による歪の変化は小さく、むしろバラツキが大きい。しかし $S-18F-5.0.5-U-1$, $S-18F-4.3.0-L-4$, $S-20F-$

6 7.0-U-1等は水位と歪との対応性が或る程度観察されるが全般的な水位の上昇による歪の変化と40年7月、41年3月の水位の昇降および41年9月の水位上昇の際の歪の変化とが逆のものもあり、これからも温度変化が大きいため測定値がかなり影響を受けているようである。従ってこれらの水位-測定値のグラフから水位と歪の関係を読みとることは困難である。

IV) 以上からこれらの歪の測定値から断層ブラグの応力を知ることは困難である。

V) 応力計の測定値を測定値-時間のグラフで観察するにST-18F-43.0, ST-20F-67.0以外はいずれも40年7月、41年3月の水位の昇降および41年9月の水位の上昇に対応した動きが現れており、40年8月より40年12月の間には水位の動きと無関係な動きがみられるが、これらの期間以外ではほぼ水位に対応した動きを示している。

また応力計は温度変化に対する補正値が極めて小さいことから考えてこれらの応力計の動きはある程度断層ブラグの挙動を示しているものと解釈される。

VI) 応力計の水位-測定値のグラフを観察するにST-18F-43.0, ST-20F-67.0以外は応力と水位との対応性がみられる。このうちST-18F-50.5とST-19F-55.5は安定した対応関係を示しているがST-19F-50.0, ST-19F-60.5, ST-20F-61.0は水位の昇降により応力が増加する傾向を示している。この傾向は岩盤のブラムラインの動きと極めて類似しており、これらの動きを岩盤のブラムラインの動きと合せて考えるならば水位の昇降により岩盤に下流方向の水平残留変位が生じ、これと共に断層ブラグの荷重が増加していったと考えられる。

VII) 断層ブラグ内の応力はダム本体に比して高く7~12 Kg/cm²で特に19B ℓ において大きい。

鶴田ダムの基礎処理の検討に際して行われた模型実験結果によると、ダムの下流端に断層があるときブラグが最も必要となるので19B ℓ を中心に18, 19, 20B ℓ に断層置換が行われたが、これらの測定結果は断層ブラグがダムの安定に極めて有効に働いていることと、

19B ℓ のブラグ内の応力が最も大きいことを示しており、設計当初の考え方が正しかったことを示していると考えられる。

VIII) 断層ブラグ内の応力計の測定値は或る程度バラツキは多いが水位との対応性を示しており、岩盤のブラムラインと対応して考察するならばダムの安全管理上重要な資料を提供するものと考えられる。従って今後とも測定は継続した方がよいと考えられる。一方歪計は一部には水位との対応性を示すものもあるが、これらも水位との対応性は応力計よりも劣り、多くのものははっきりした水位との対応性を示していない。従って今後歪計の測定は中止しても差支えないと考えられる。

6. 結 論

鶴田ダムは湛水を開始してから既に2年以上を経過し、その間に種々な測定が行われて来た。この間に測定された資料の中39年11月初旬より41年11月下旬までの資料についてダムの安全管理を重点に解析を行った。

その結果を要約すると、

- i) 漏水量、揚圧力の点から云うならば完全に安定状態になっており、むしろやや減少していく傾向すら示している。
- ii) ダム本体及び岩盤に設置されたブラムラインの測定結果は41年3月以前はたわみが増加する傾向を示しているが、その増加する割合は著しく減少しており漸次安定化する傾向を示している。これからダムは間もなく安定化した状態になると考えられる。

以上の様にダムは漏水量、揚圧力、たわみの点からみて充分安全であると云い得る。

さて次に前節までの解析にもとづいて今後の測定において改善すべき点を列記すると、

- i) 三角堰及び排水ポンプの水槽で行う全漏水量の測定はよい結果が得られている。しかし今後の測定に当っては
 - (a) 三角堰が腐蝕したり、遊離石灰が付着したりして測定精度が落ちないように充分な管理が必要である。
 - (b) 排水ポンプの水槽で測定を行う場合には水槽の back water の影響が出ないように、水位を充分低下させ、監査廊の側溝の水位が充分安定した後測定するよう留意が必要である。
- ii) 個々の排水孔の漏水量については比較的漏水量の多い L_4-4 、 L_4-3 、 L_4-2 、 $B\delta 15-3$ 、 $B\delta 15-4$ 、 $P-18$ について検討を行ったがこれらはいずれもバラツキが多くはっきりした結論を出すことは出来なかった。

これらの排水孔はいずれも漏水量が多いので今後とも測定を継続しなければならないが、流量計を使用することなどによって測定精度を高める必要がある。

- iii) ブラムラインについて云えば全般に40年12月以降はバラツキが多くなっている。しかし $R P-22$ 以外はバラツキはダムの挙動を充分観測し得る程度なので特に計器の補修等は必要があるが、測定器が固定式でないため取付誤差が生ずる可能性もあるので測定を行う日には午前と午後とに測定器を変えて測定し平均値をもって測定値とする必要がある。

尚、二回の測定値がいつも著しく異るときはいずれかの測定器に故障があると考えられるので検定する必要がある。また取付台にごみがたまったり、腐蝕したり、測定器との取付けが悪くなった場合、測定精度は著しく低下することも考えられるので測定を行うときに取付台を充分清

掃し測定器との合を充分注意すると共に取付台が腐蝕しないよう充分な管理を行う必要がある。

- IV) RP-22については40年10月以降はバラツキが著しく、ダム挙動を観察することは困難な状態にある。これらのバラツキの原因として取付台の不備、ブラムライン測定孔の湧水、ブラムラインの緊張力、ピアノ線のアンカーのゆるみ等が考えられたが、はっきりした原因の裏付けが成立しない。

更に種々検討した結果ピアノ線のアンカーのゆるみがバラツキの原因と考えられるので、現状のアンカーを補強するか、或は改めてアンカーし直すかを検討した上で行うのがよいと考えられる。

- V) ダム本体に埋設された応力計、歪計について云えばいずれもバラツキが多く、これからダムの挙動を観察することは困難である。幸い鶴田ダムでは応力計、歪計を埋設したブロックよりも、数多いブロックに本体及び岩盤のブラムラインが設置されており、これらの測定値からダムの挙動を明瞭に読みとることができるので応力計、歪計の測定を今後中止してもダムの安全管理を行う上で何ら支障ないと考えられる。

また若し、ダム本体に埋設された応力計、歪計の測定を継続したにしても今までの測定値からみて、ダムの安全管理上参考になる資料を得ることは困難であると考えられる。

以上からダム本体に埋設された応力計、歪計は今後測定を中止しても差支えないと考えられる。

- VI) 断層ブラグ内に埋設された応力計、歪計について云えば歪計はダム本体に埋設された応力計歪計と全く同様で今後測定を継続しても無意味であると考えられる。一方応力計もバラツキが多く、水位変動と無関係な動きが多いが、全般的にみて応力が高いためか水位との対応性も或る程度みられる。

このダムは断層ブラグ内の応力がダム本体内の応力より高いことと、断層ブラグ内の応力状態は、ダムの安全性を保つ上で重要なので今後とも継続して測定した方がよいと考えられる。

- VII) 上流側ファイレットに取付けられた間隙水圧計については測定値と水位との対応性もはっきりしており揚圧力は水圧の70~80%を示しているのでファイレットの効果は少ないと考えられるが、今しばらくは測定を継続した方がよいと考えられる。

尚今後の測定としてはダムが完全に安定しきった状態とは云い得ないので今後2年位は測定間隔をつめ、2~3年後にダムの安定性を検討して測定間隔をひろげた方がよいと考えられる。

今後2年間程度の測定間隔及び測定値の整理方法を一括して表に示せば表-6の通りである。

表 - 6

	測定箇所	測定箇所の名称	個数	測定問題	測定方法	修理	整理方法
漏水量の測定	全漏水量		1	週1回	河底部左岸・右岸の全漏水量の合計		A型のグラフ
	河底部の全漏水量		1	"	排水ポンプの水槽の水位上昇		"
	左岸の"		1	"	ブロックの監査廊の三角堰		"
	右岸の"		1	"	"		"
	漏水の多い排水孔	L ₄ -4, L ₄ -3, L ₄ -2 B ₁₅ -3, P-18, B ₁₅ -4	6	"	流量計により	流量計をとりつける	"
	"の少ない"	上記以外の排水孔		月1回			表のみ
揚圧力の測定	揚圧力の大きい排水孔	B ₁₅ -4 B ₁₄ -1, P-18, L ₄ -3, PL ₄	5	週1回			A型のグラフ
	"の小さい"	上記以外の排水孔		月1回			表のみ
	フイレットの排水孔	P-15a-51, P-15b-53, P-15c-54 P-16a-54, P-16b-55, P-16c-55	6	週1回	間隙水圧計		A型のグラフ
たわみの測定	ダム本体のたわみ	NP-8, NP-11, NP-17, NP-22	4	"			"
	岩盤の"	RP-8, RP-11, RP-17	3	"			"
	"	RP-22	1	"		ピアノ線のアンカーを補強又は新設する	"
歪・応力の測定	ダム本体の歪計, 応力計			測定中止			
	断層プラグの歪計			"			
	"の応力計	ST-18F-50.5, ST-19F-55.5, ST-20F-61.0 ST-19F-50.0, ST-19F-60.5	5	週1回			A型のグラフ

(註) A型のグラフとは本報告に示したように測定値-時間のグラフ(数年間に亘って続ける)と, 水位-測定値のグラフ(1年間毎にグラフを変えるか記号を変える)を書くことを云う。

图-1 平面图

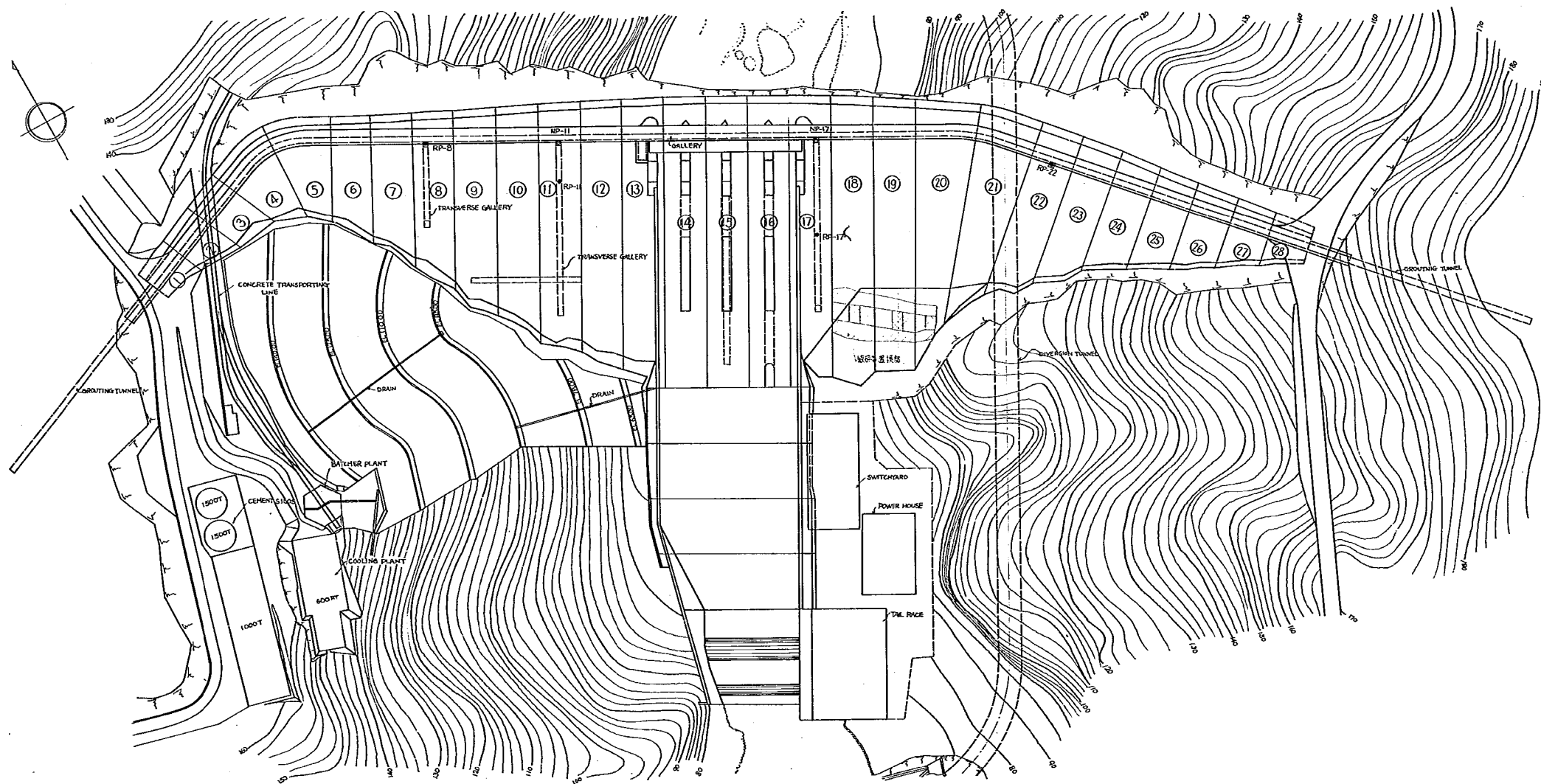


图-2 立面图

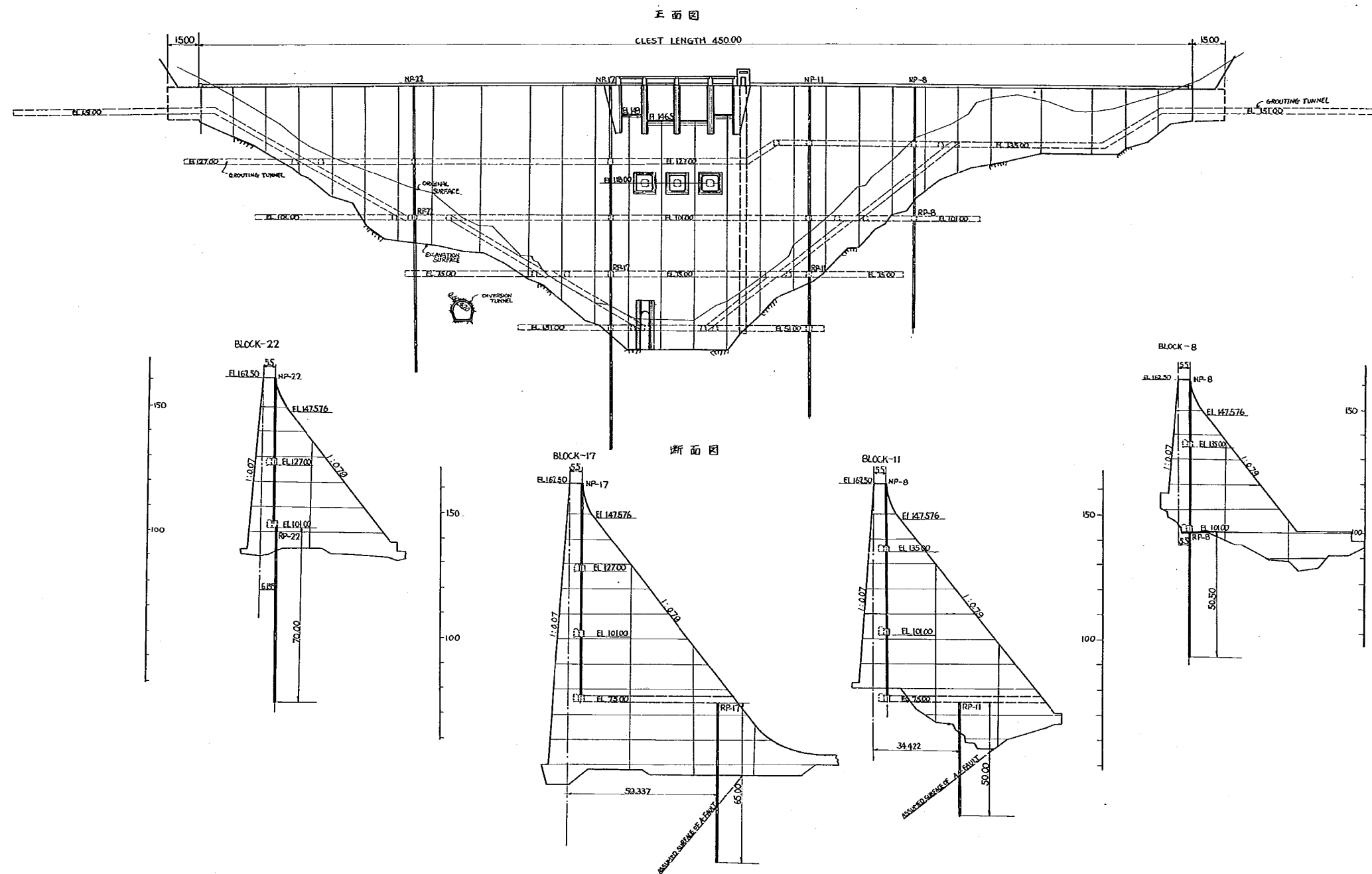


圖-3 計器配置圖

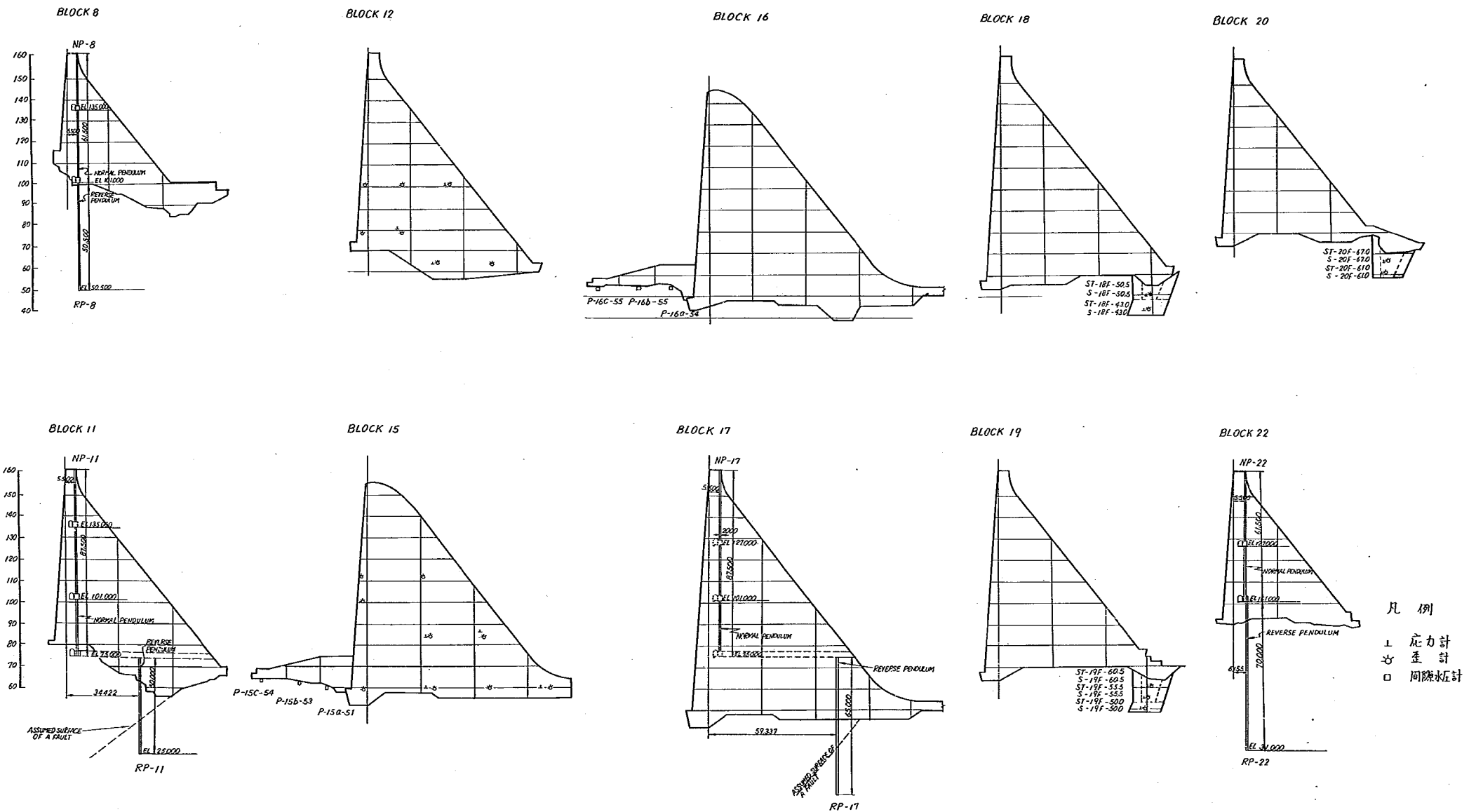


图-4 漏水量

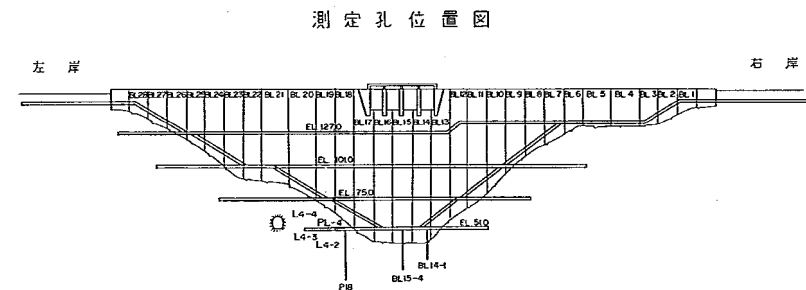
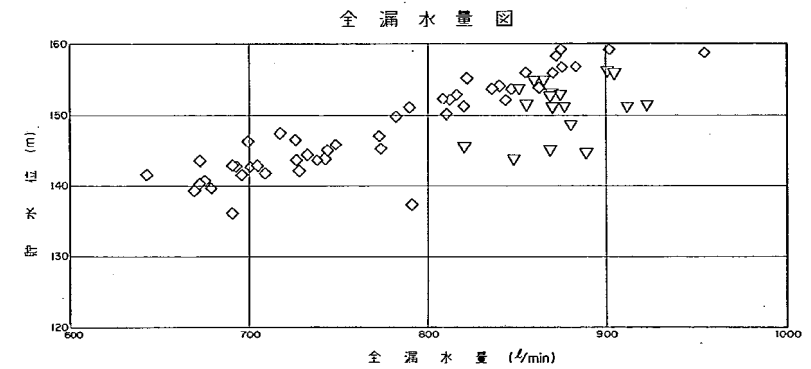
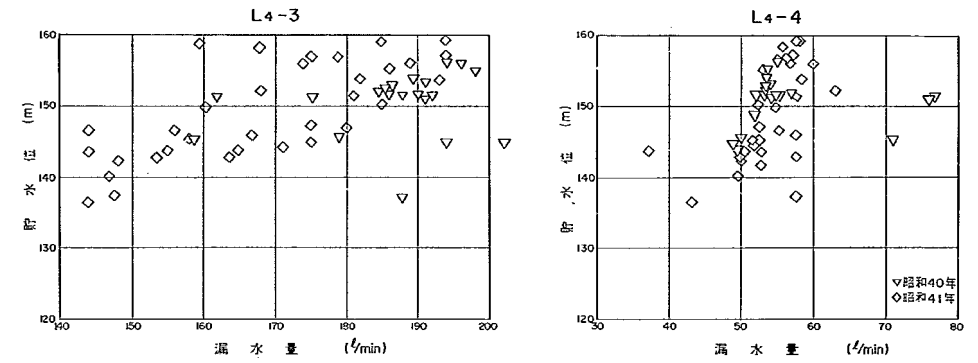
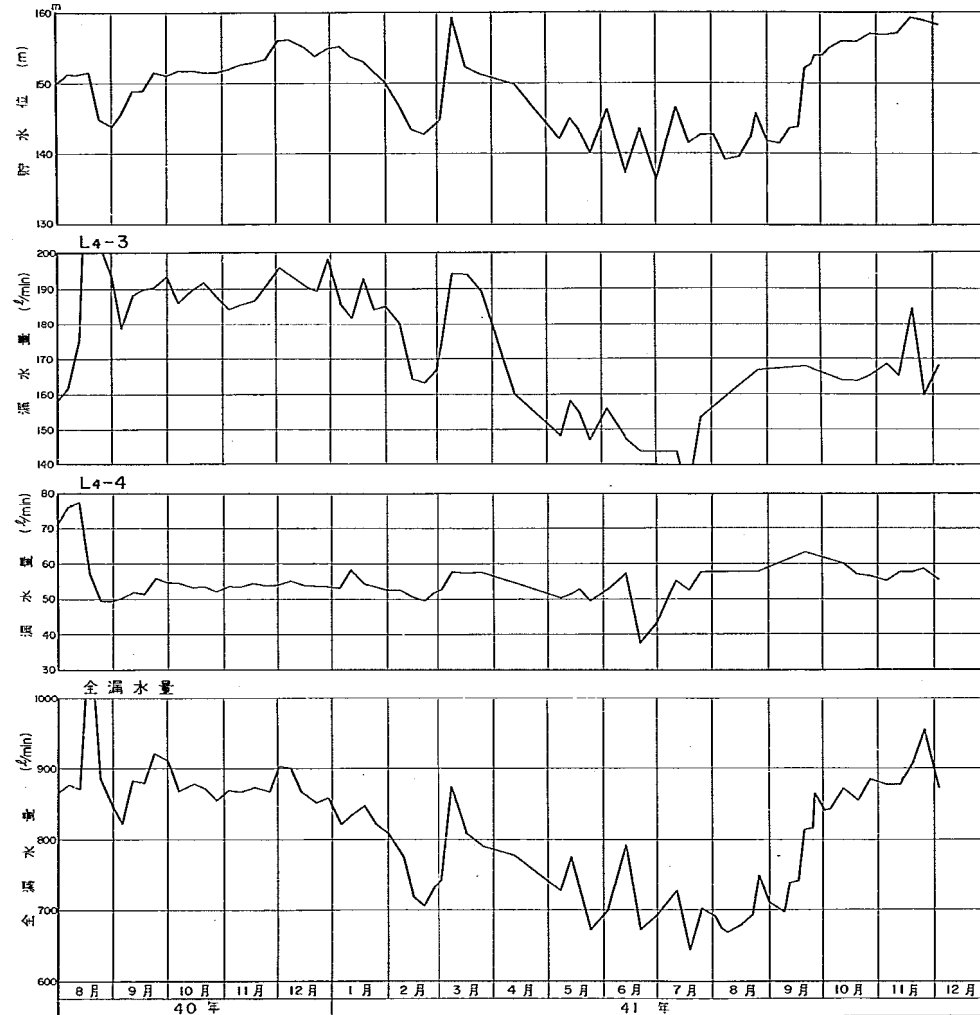


图-5 漏水量

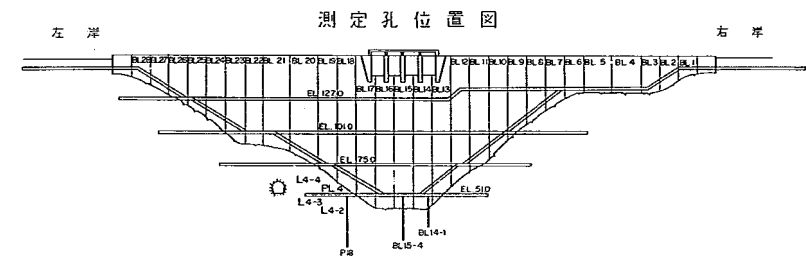
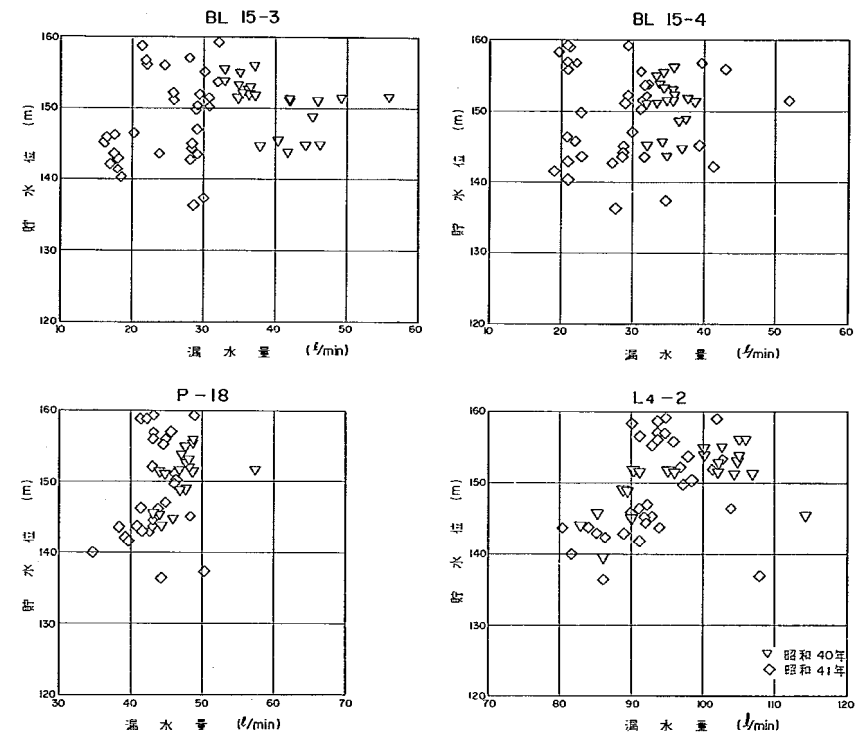
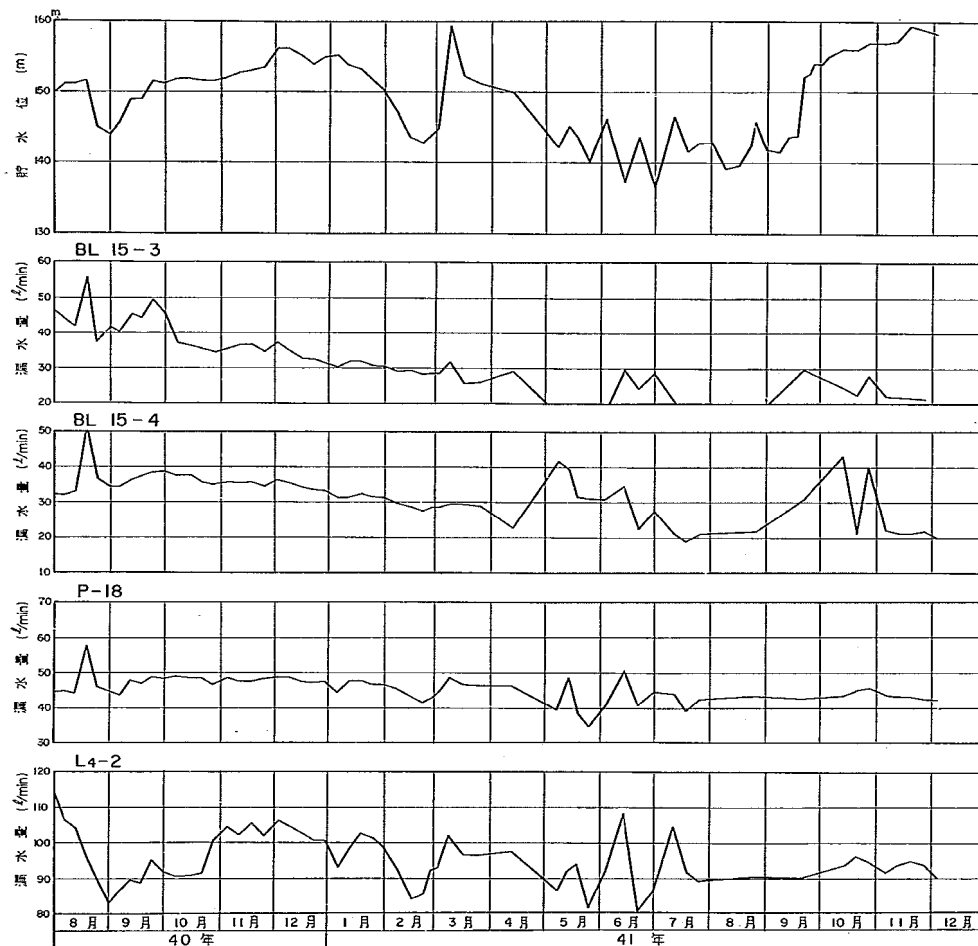
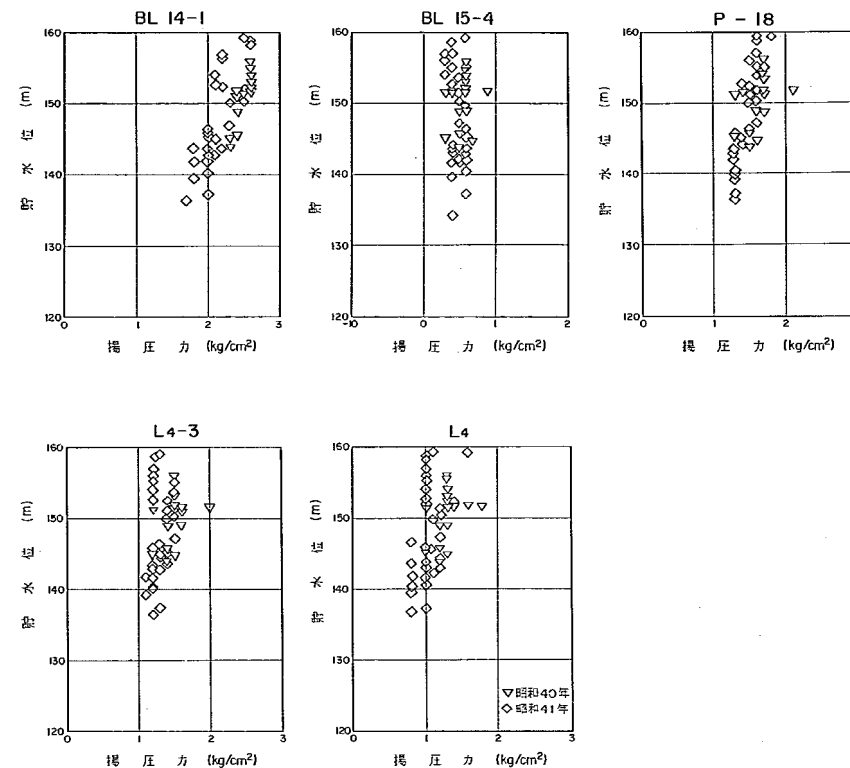
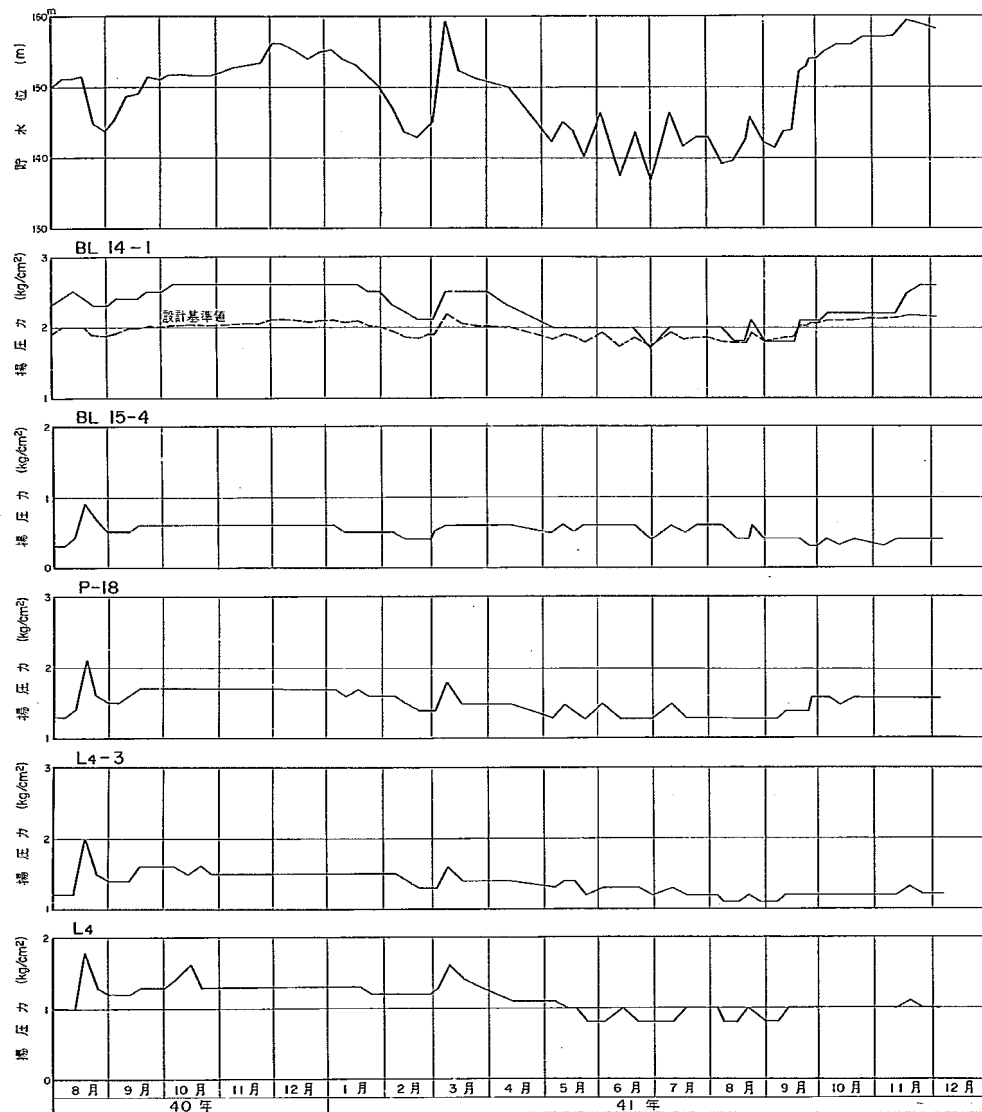


图-6 揚 压 力



測定孔位置図

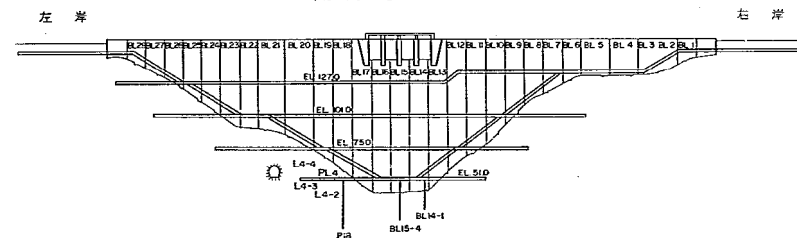
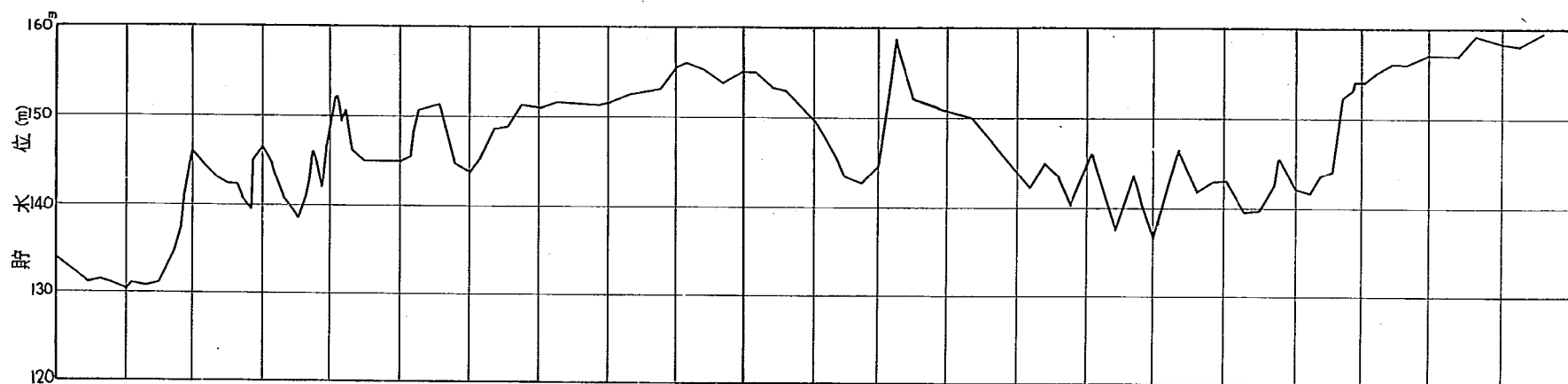


圖-7 間 隙 水 圧



P-15A-51

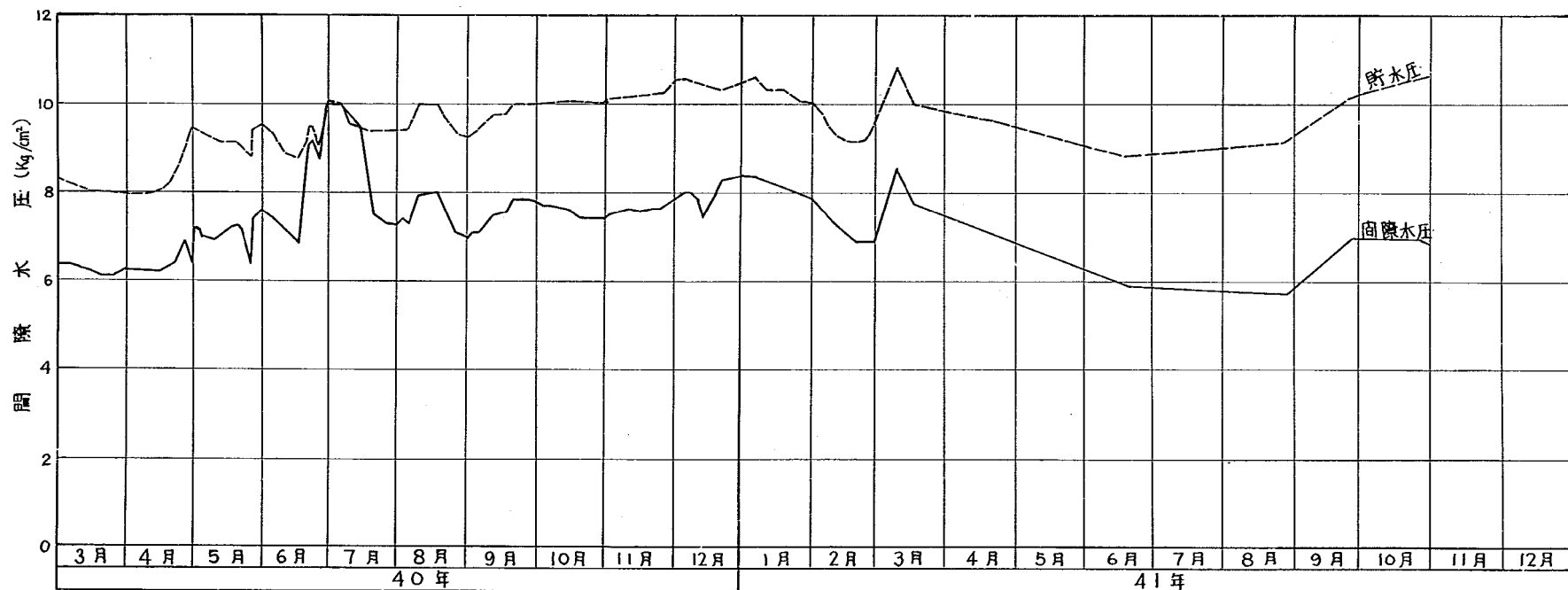


図-9 基礎岩盤及びダム本体のたわみ

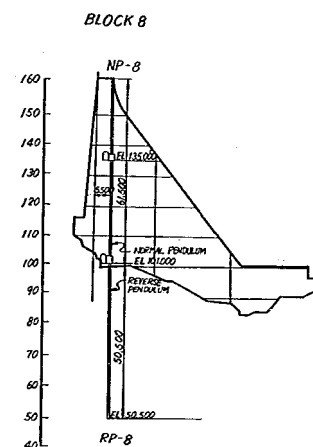
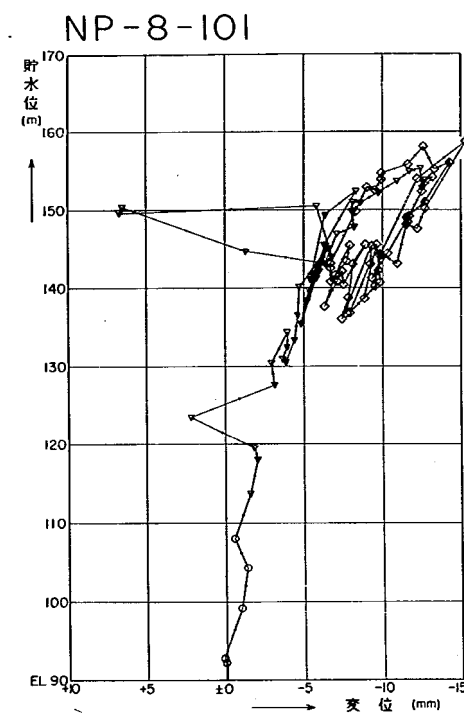
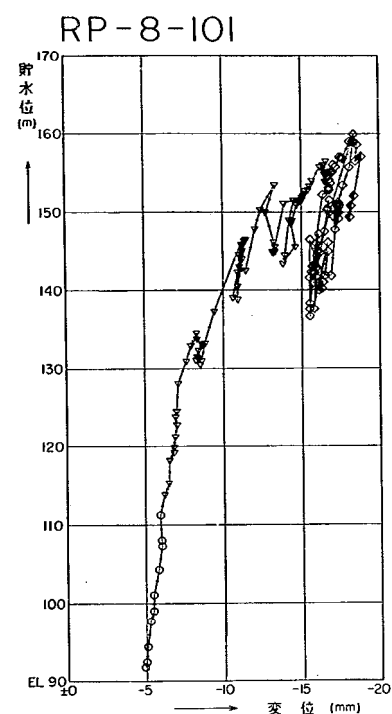
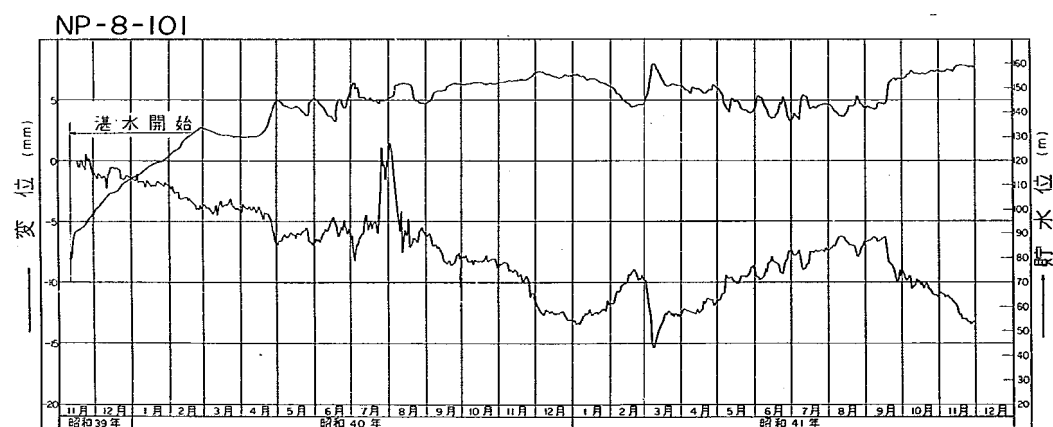
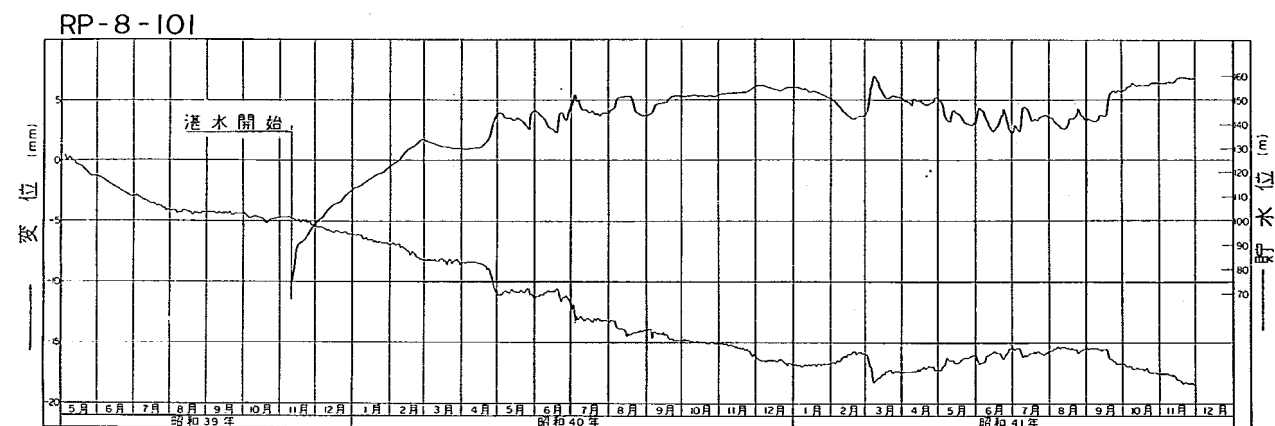
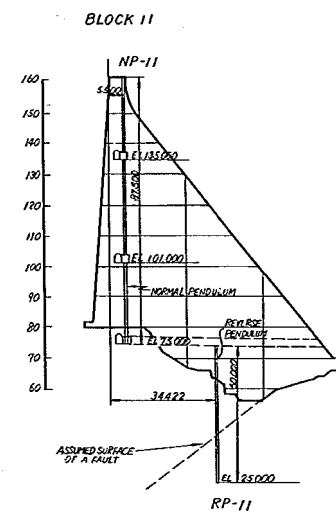
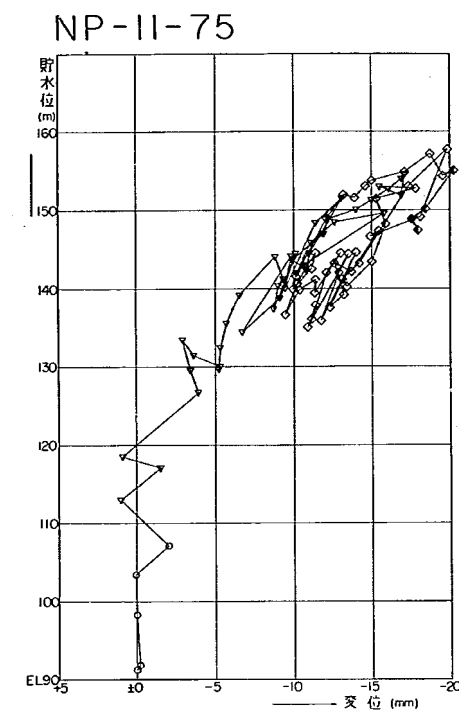
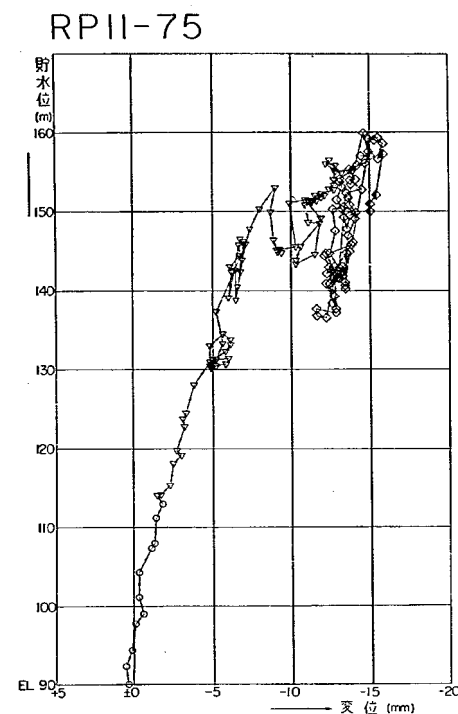
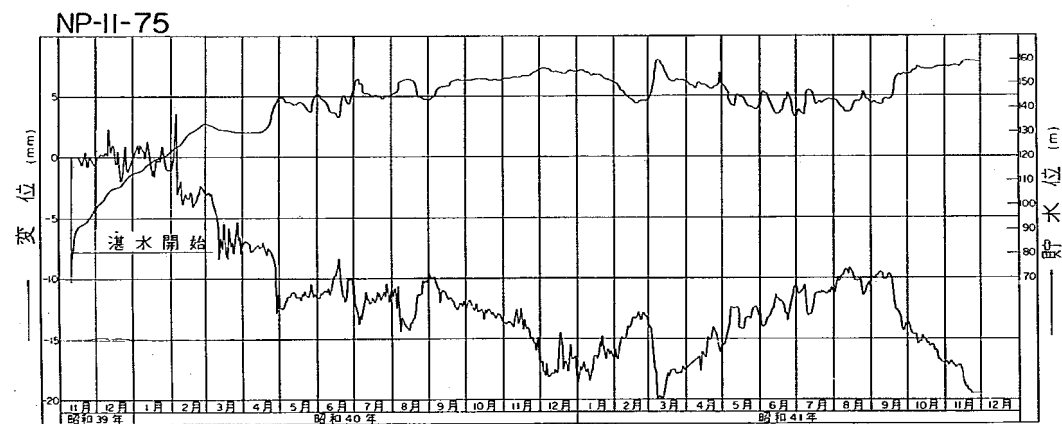
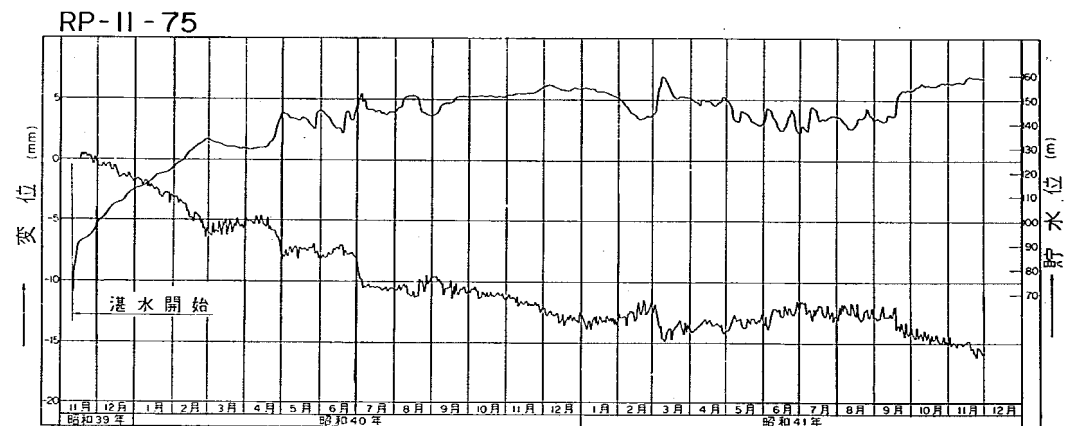


図-10 基礎岩盤及びダム本体のたわみ



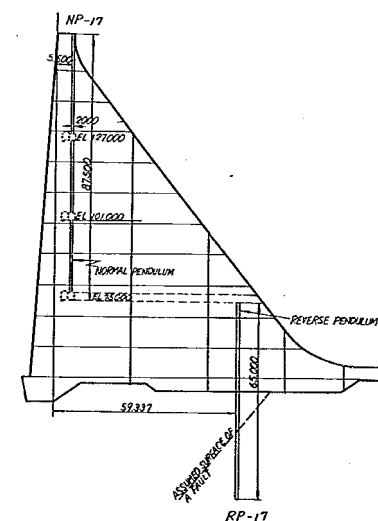
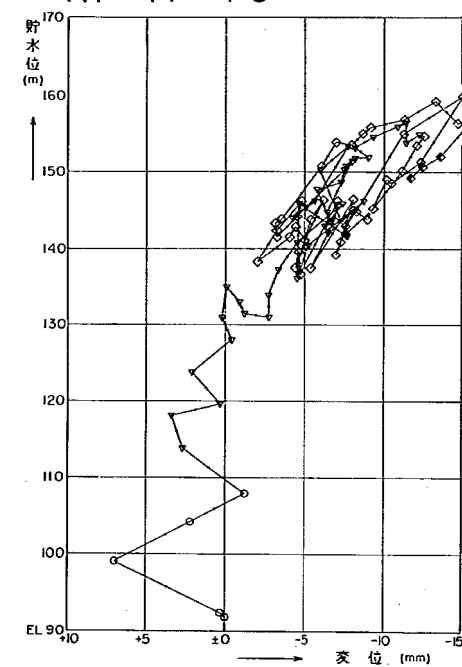
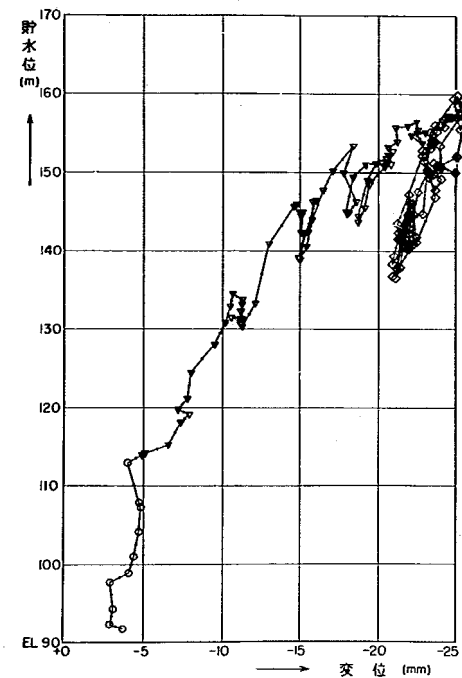
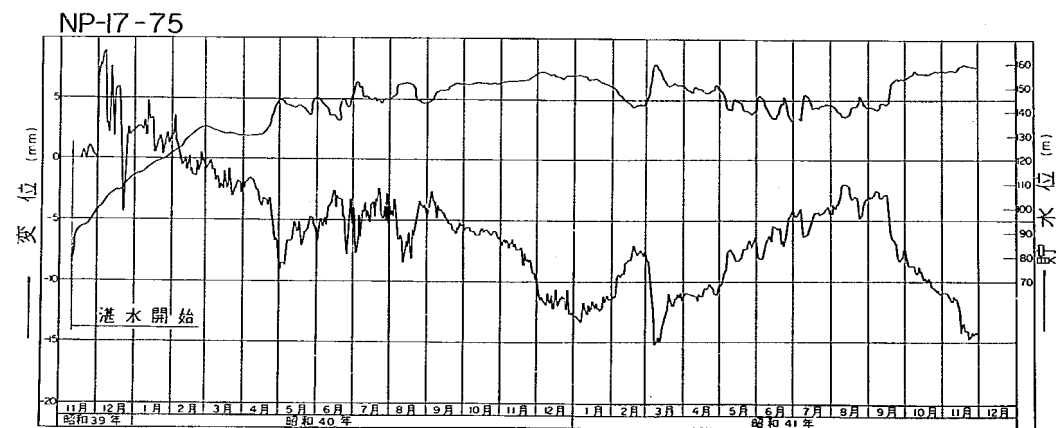


図 - 12 基礎岩盤及びダム本体のたわみ

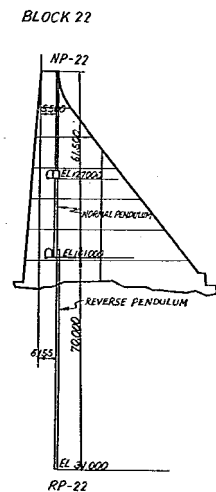
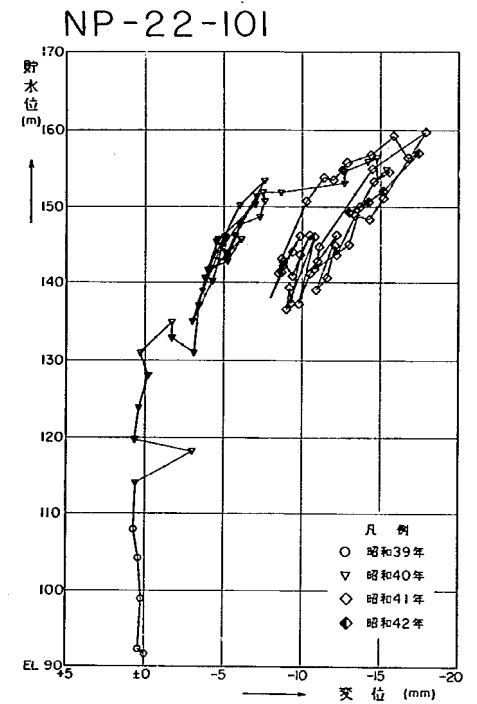
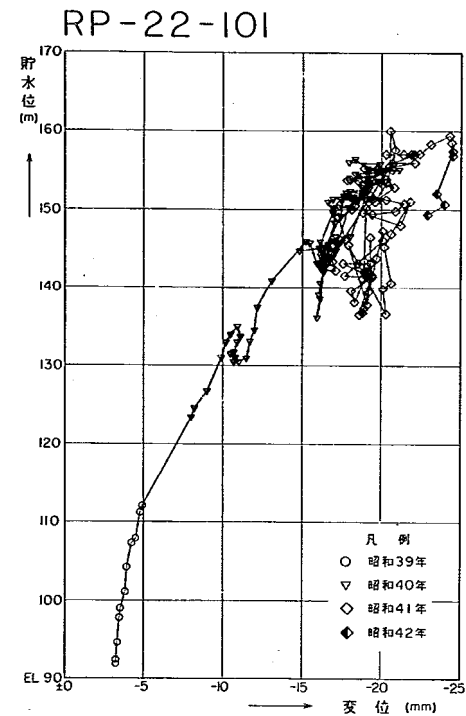
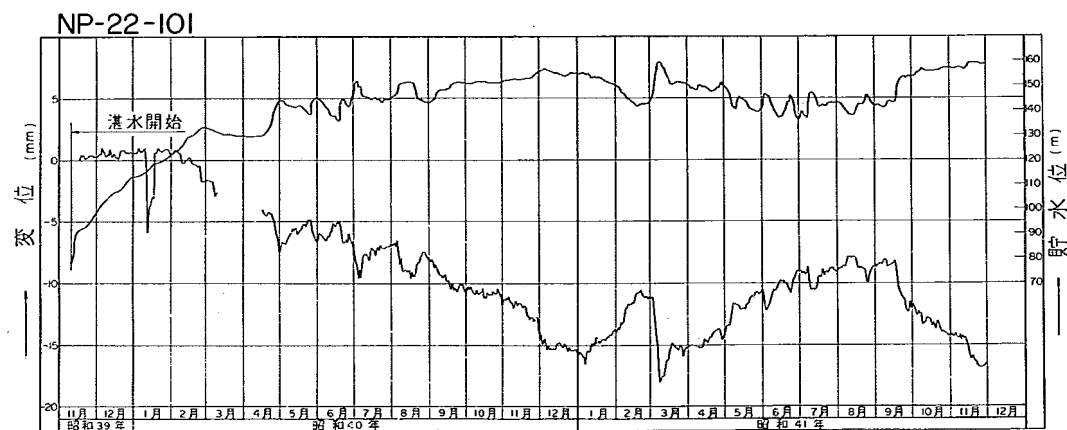
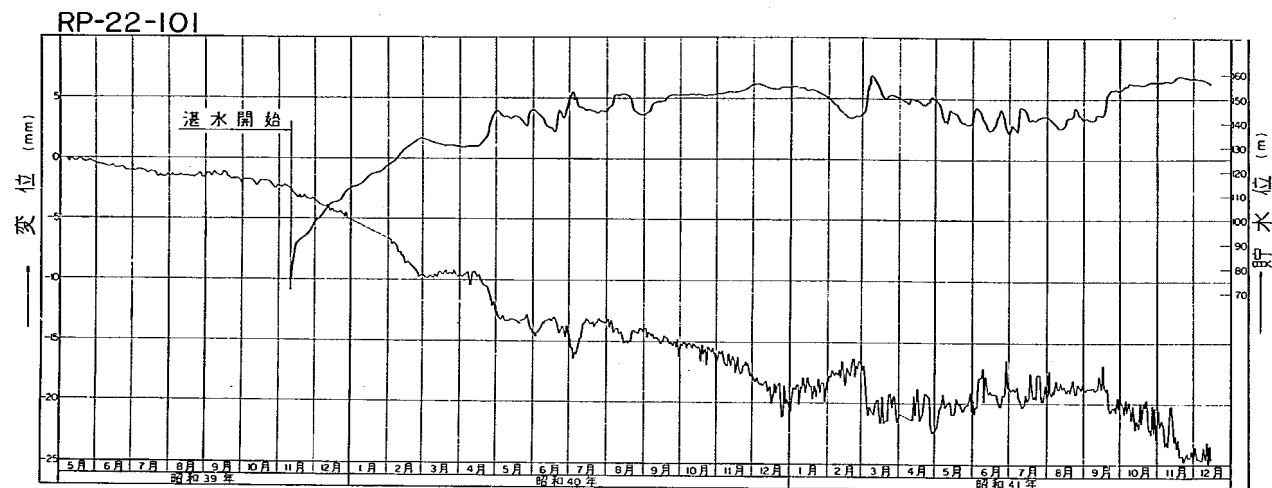


図-13 ダム本体の歪

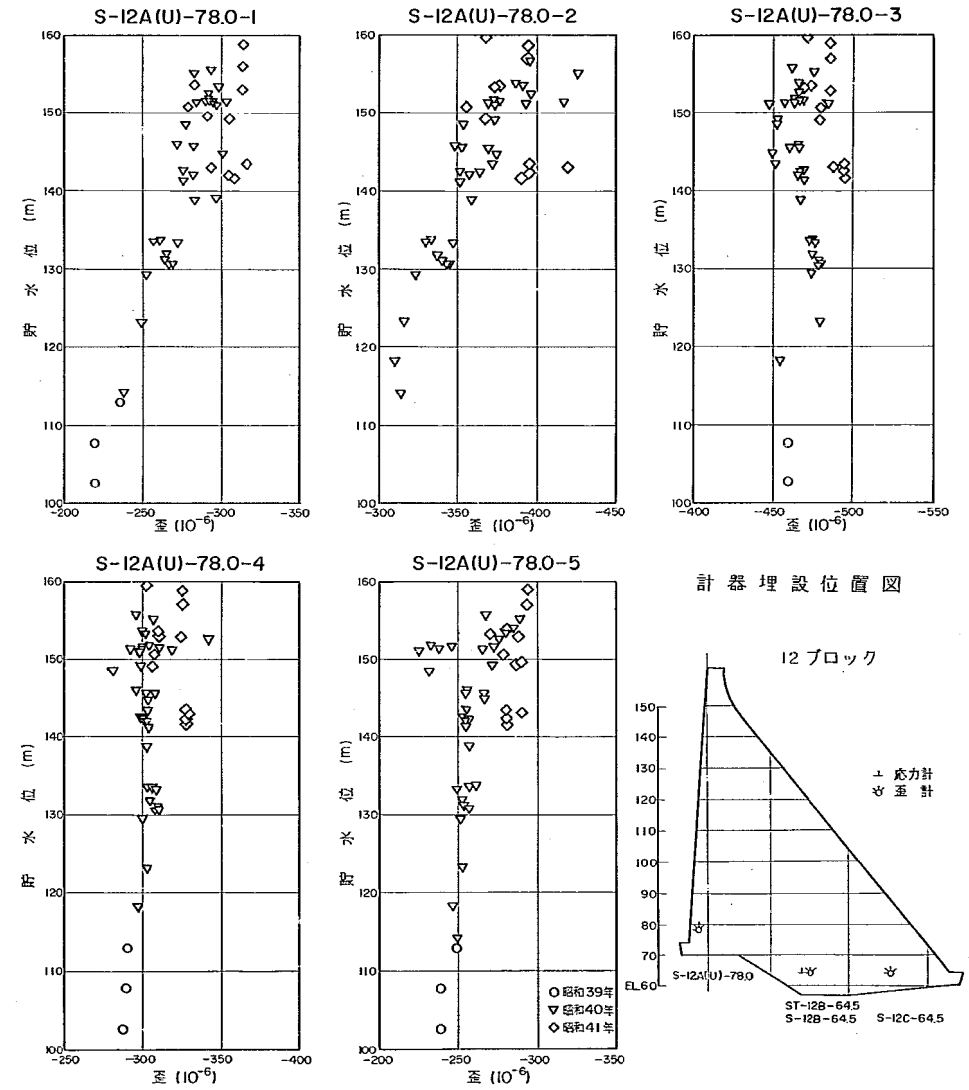
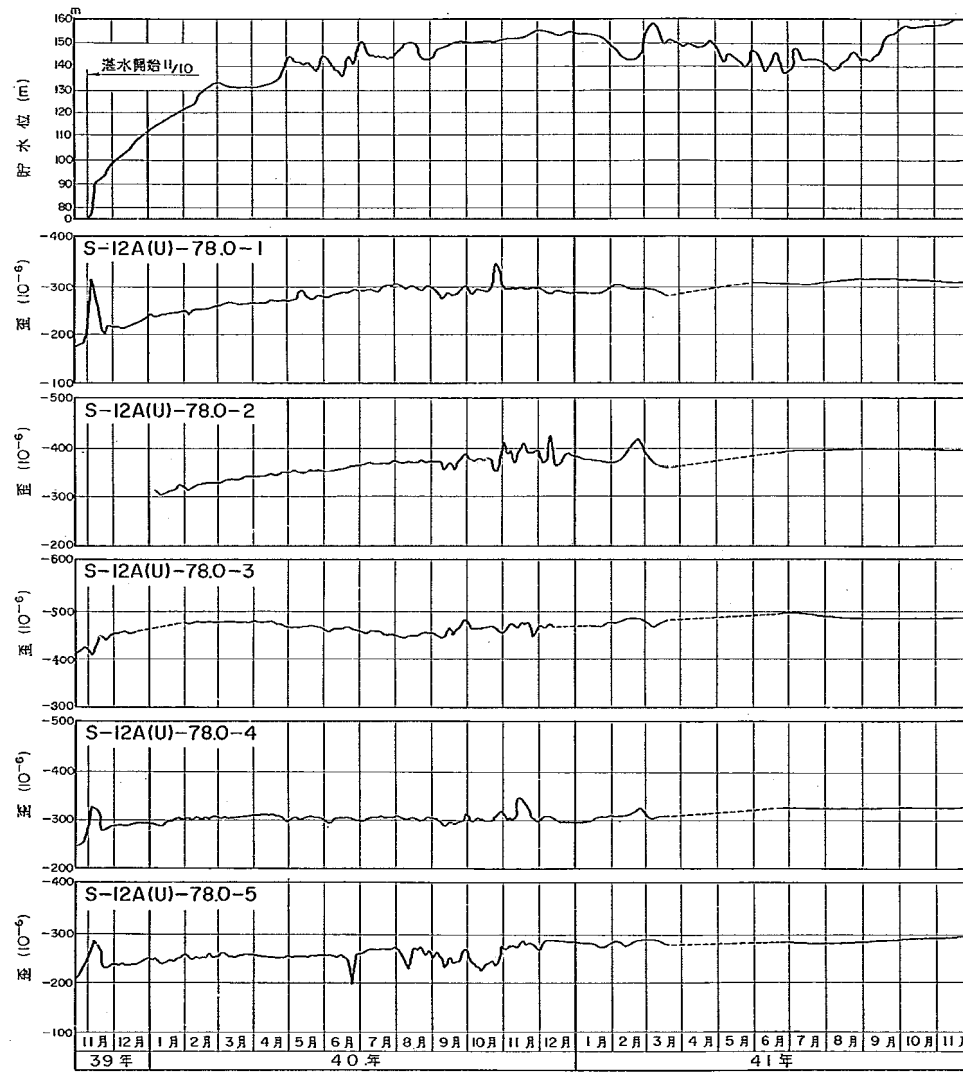


図-14 ダム本体の歪

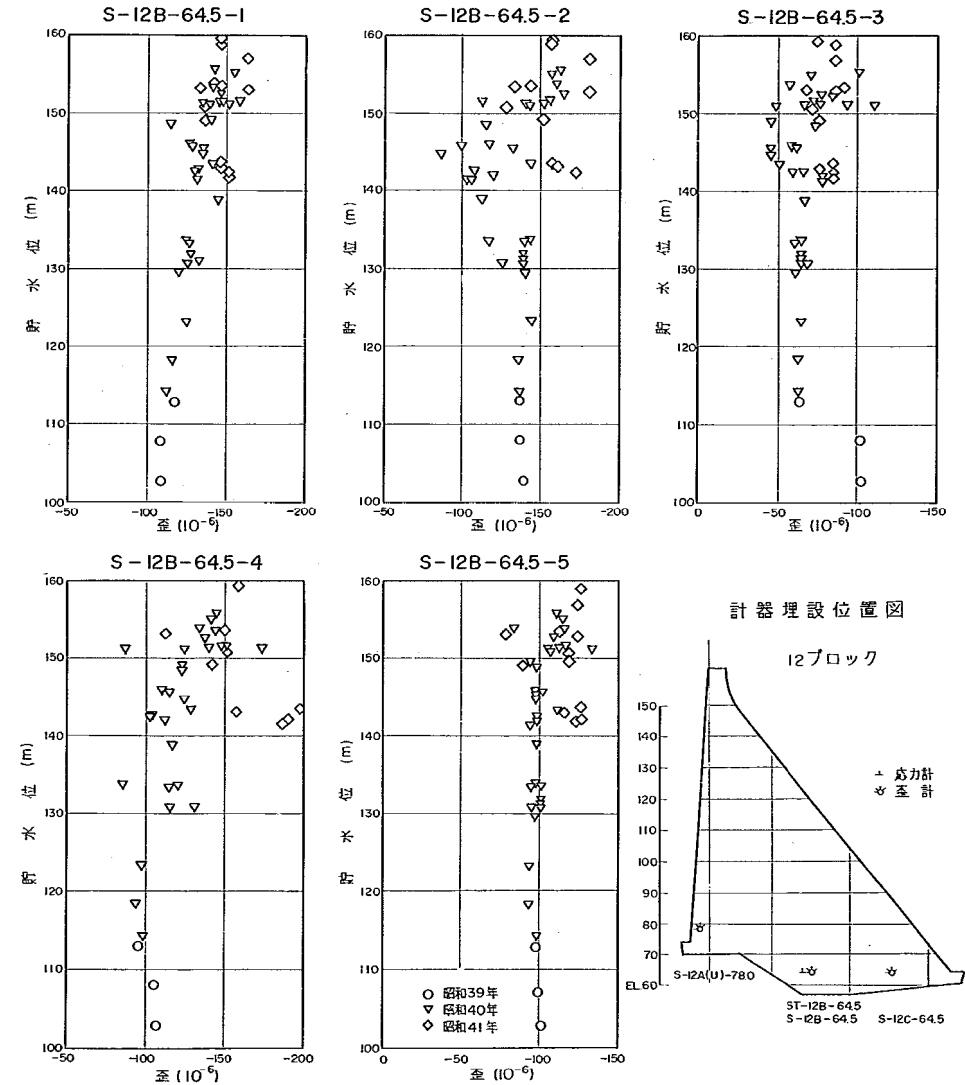
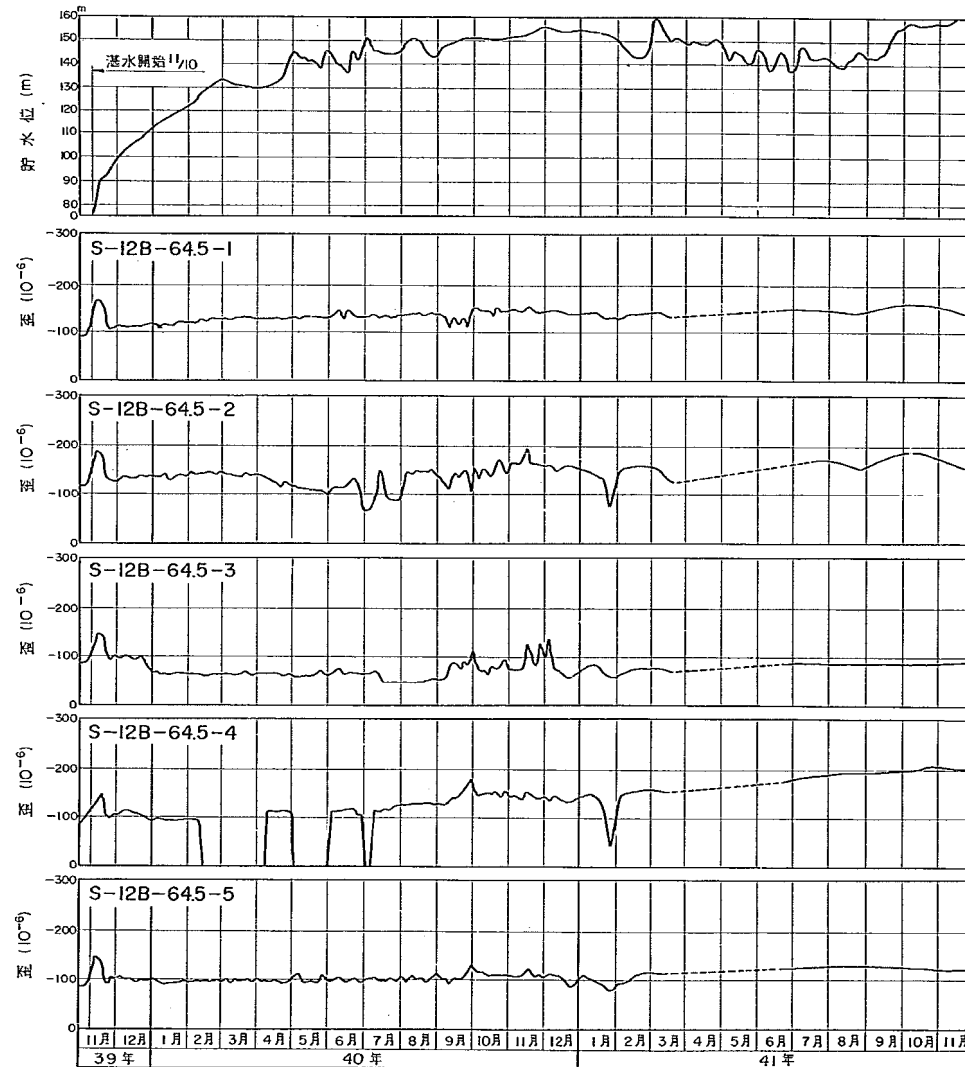


図-15 ダム本体の歪

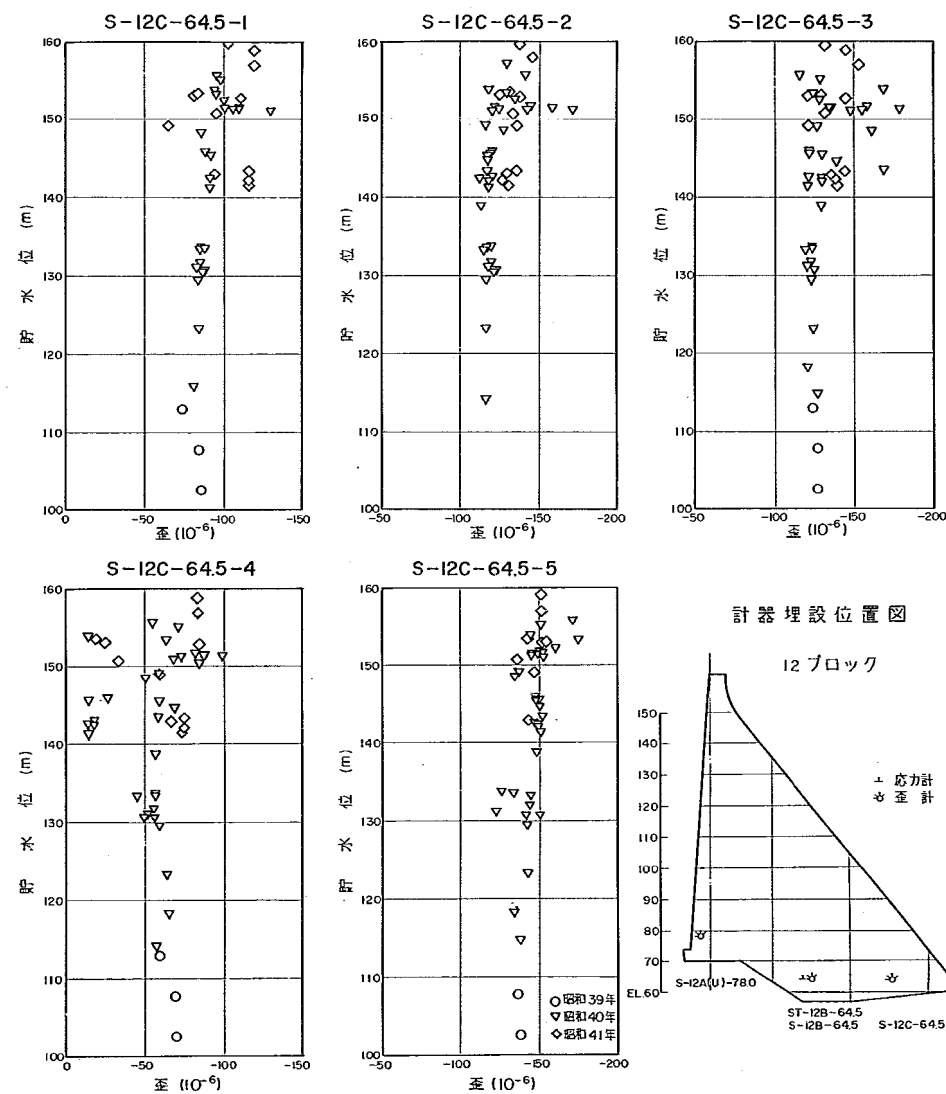
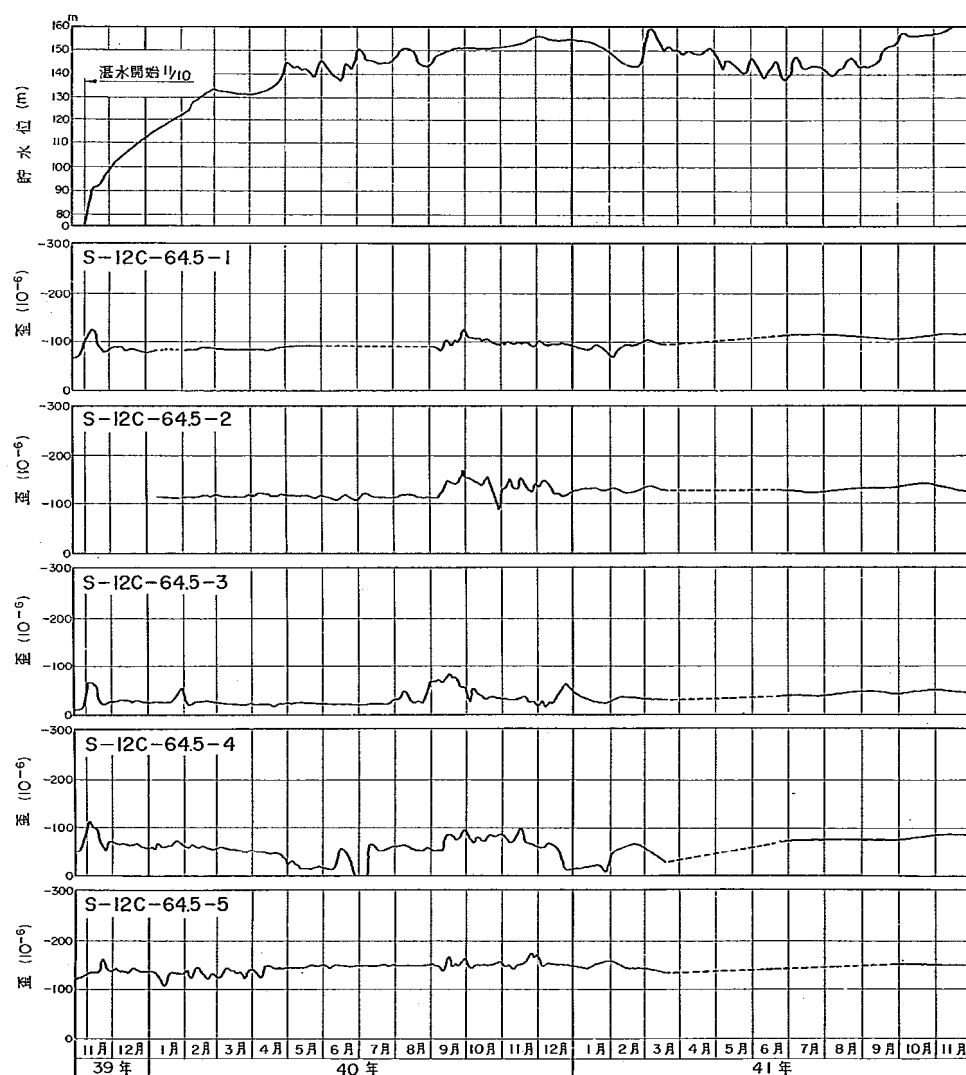


図-16 ダム本体の歪

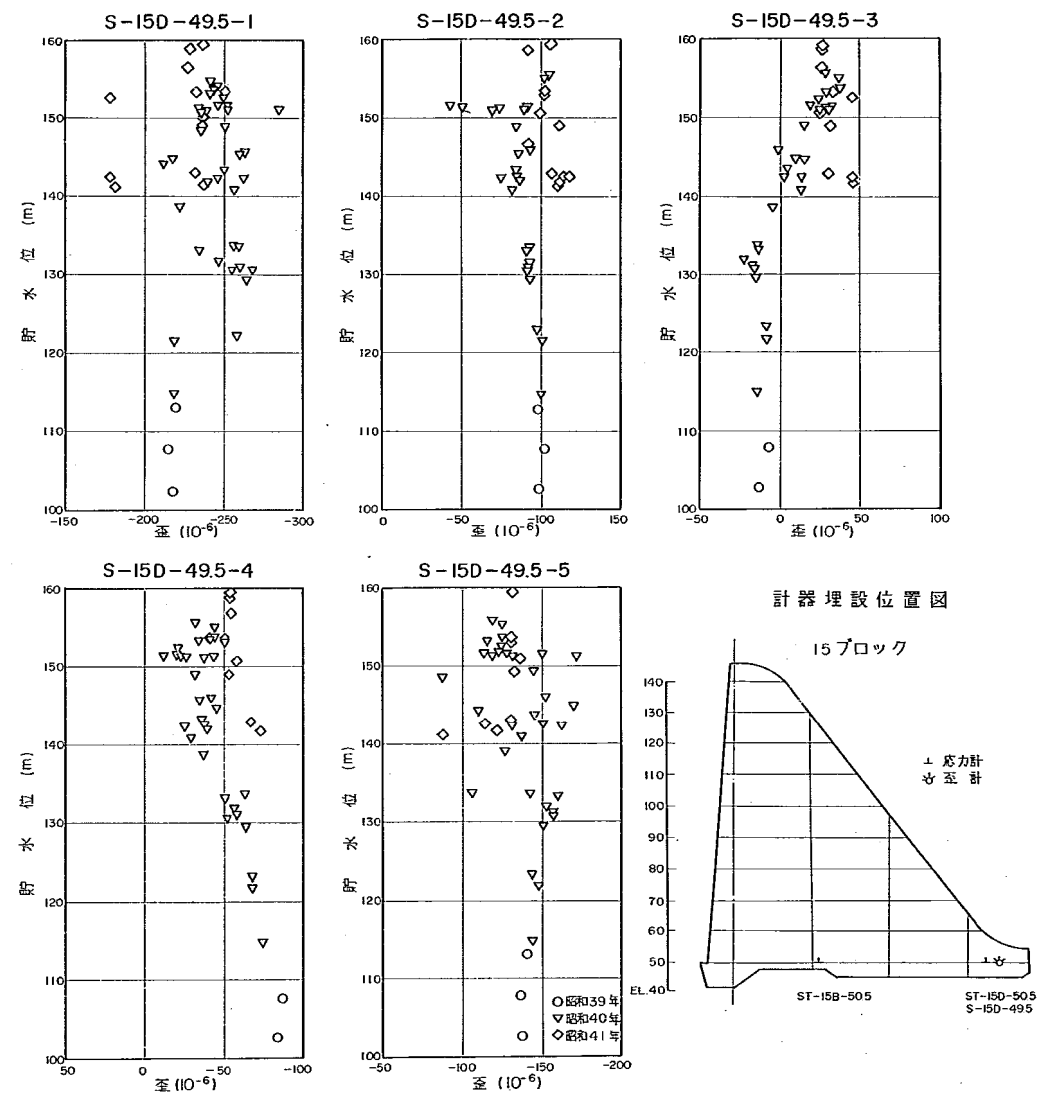
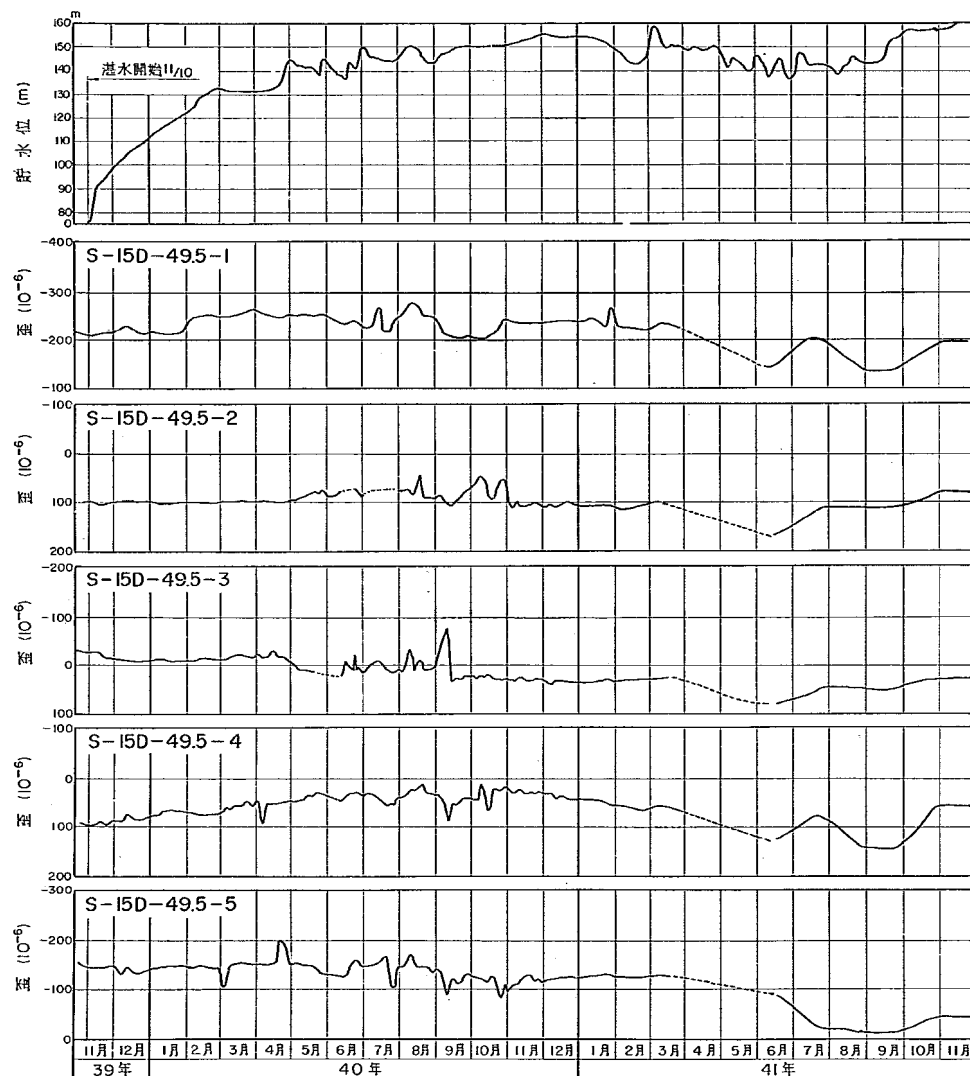
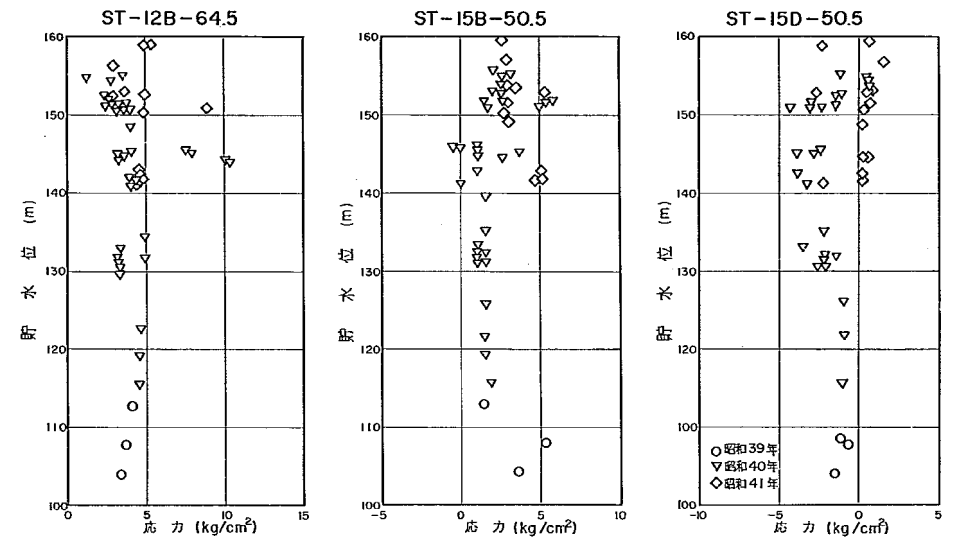
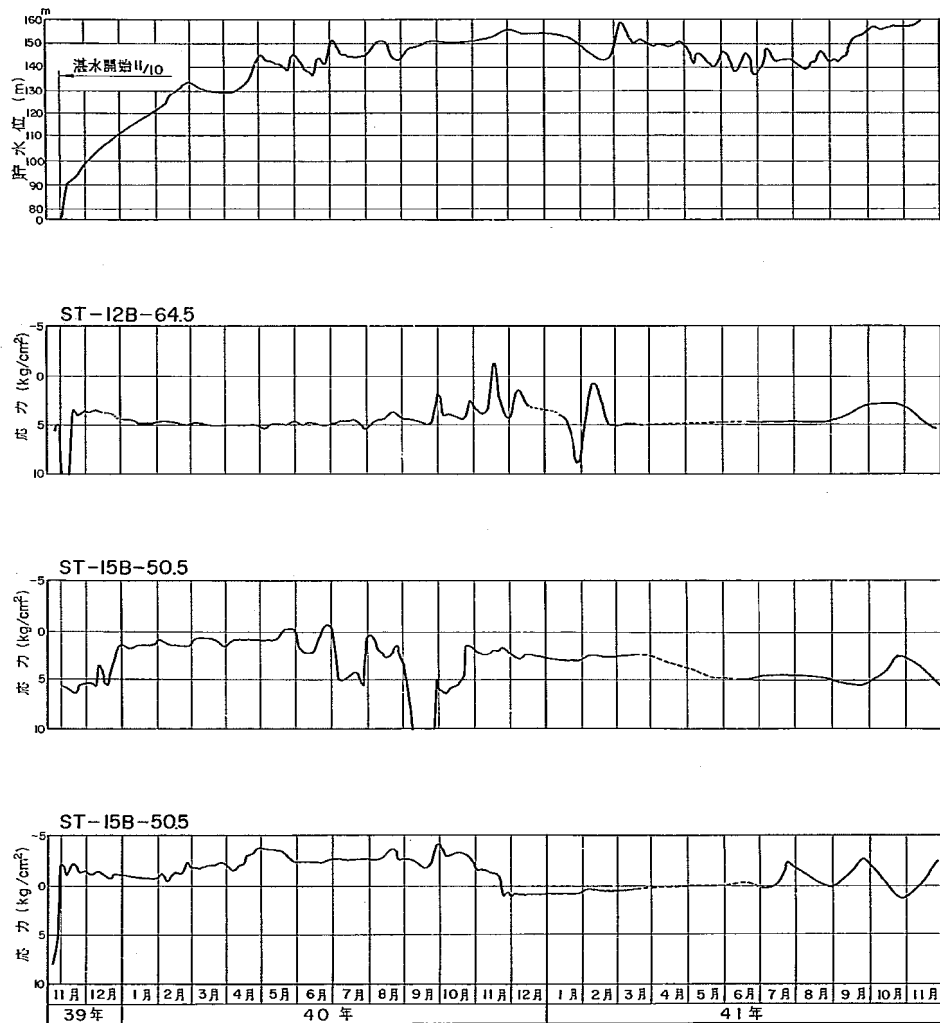


図-17 ダム本体の応力



計器埋設位置図

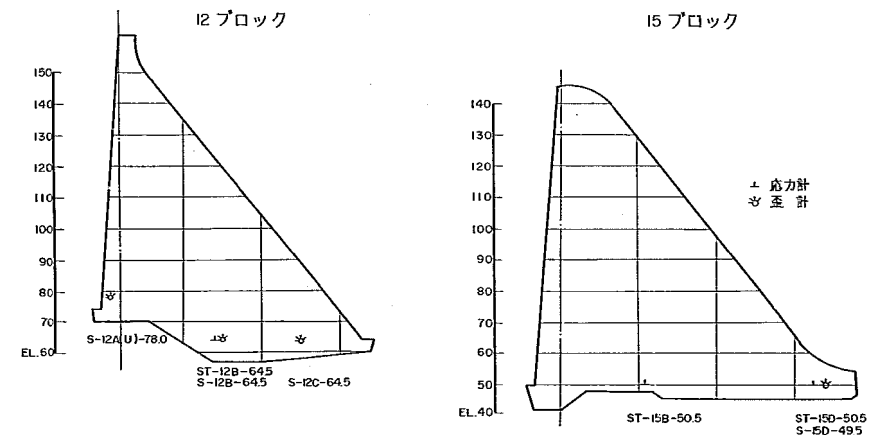


図-18 断層プラグの歪

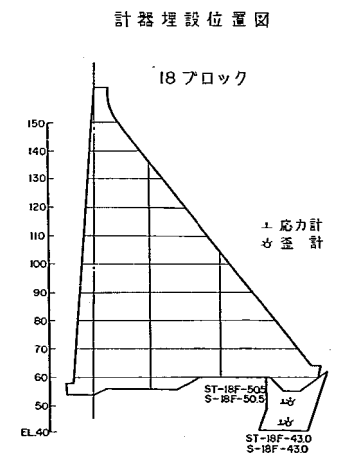
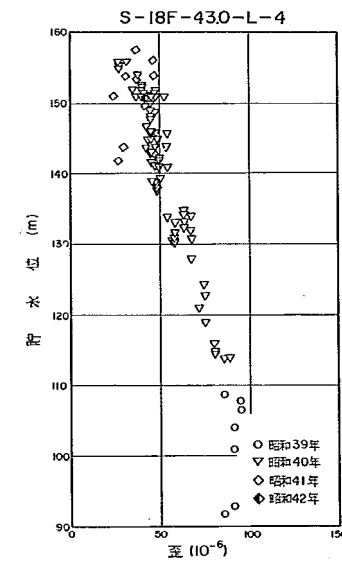
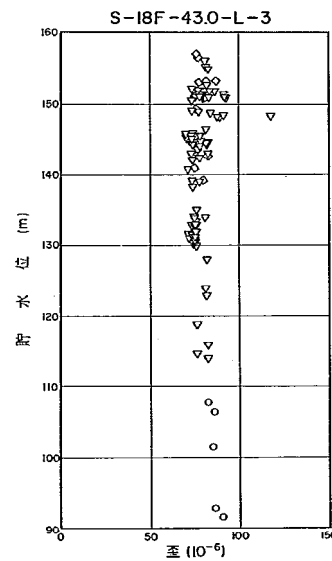
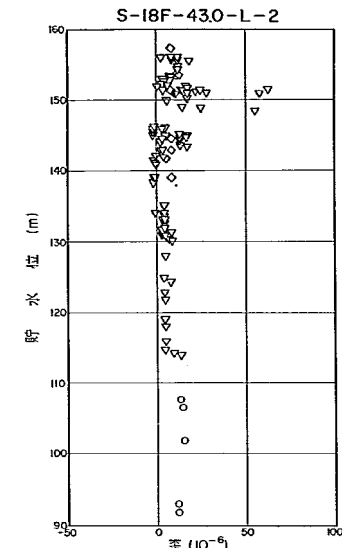
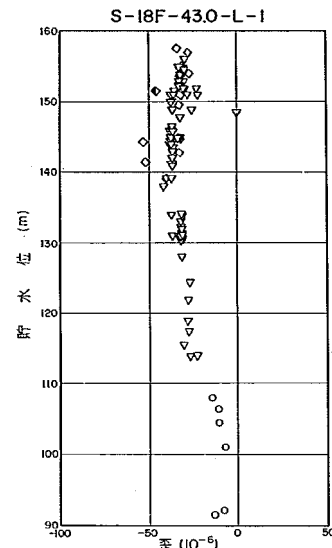
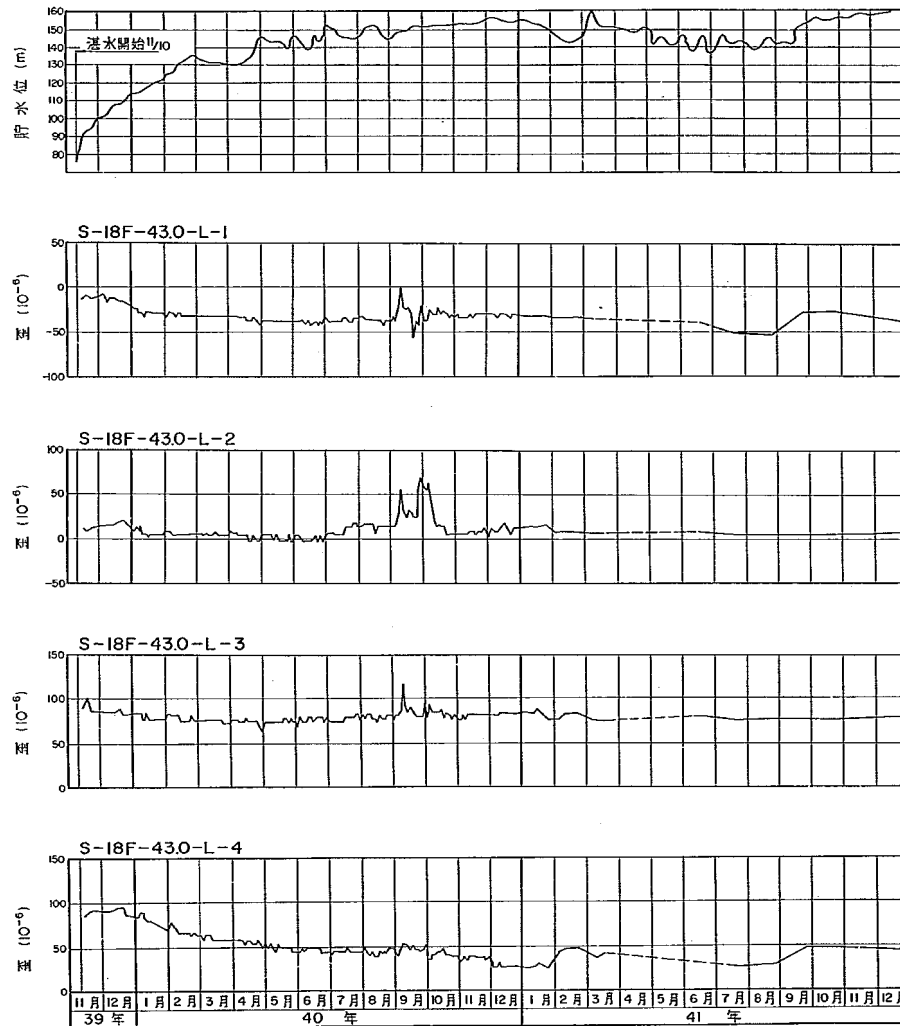
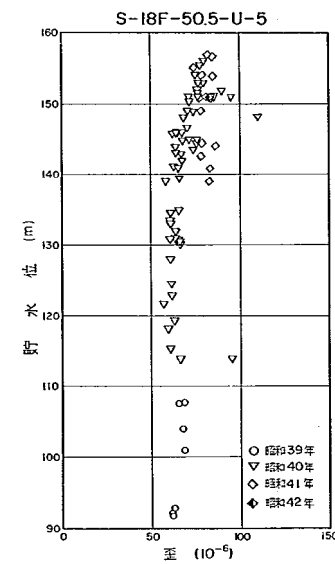
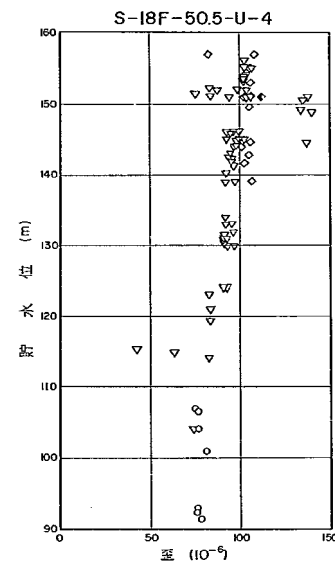
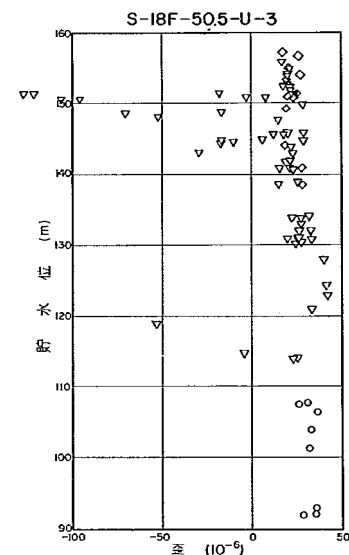
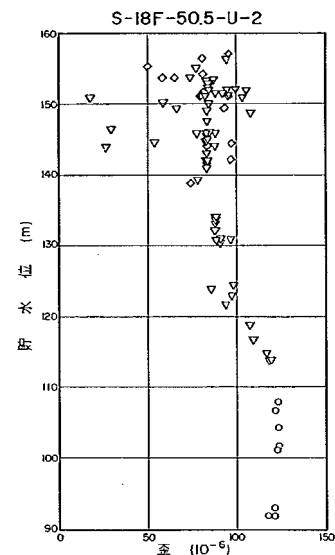
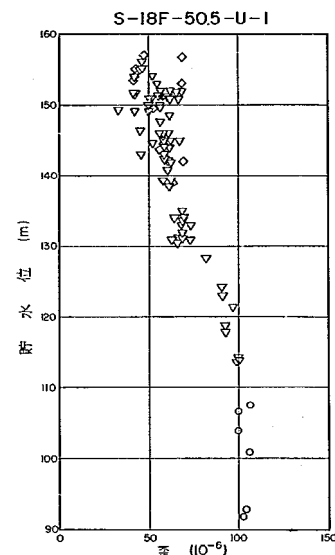
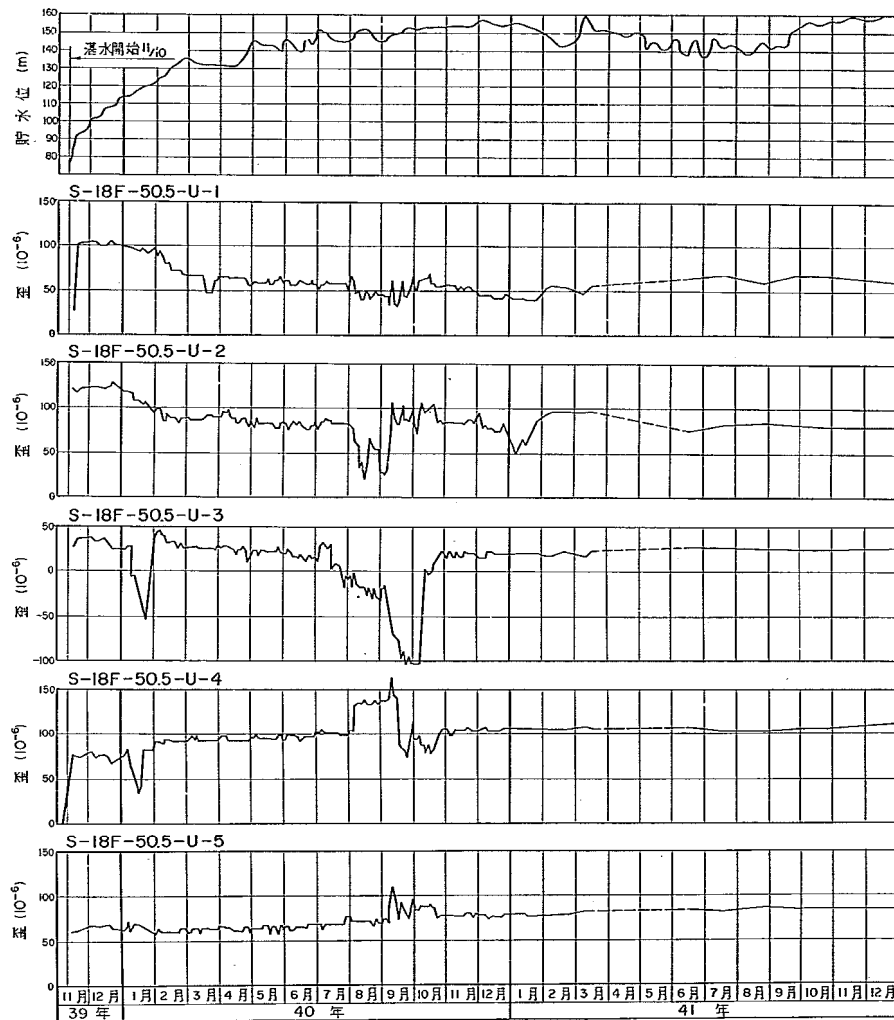


図-19 断層プラグの歪



計器埋設位置図

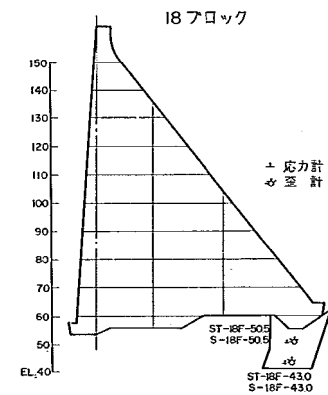


図-20 断層プラグの歪

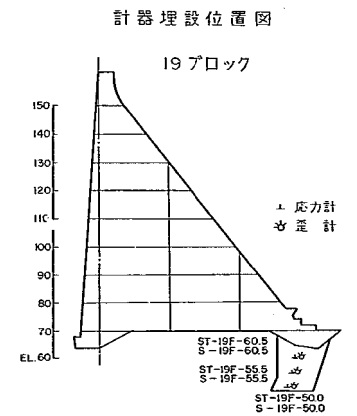
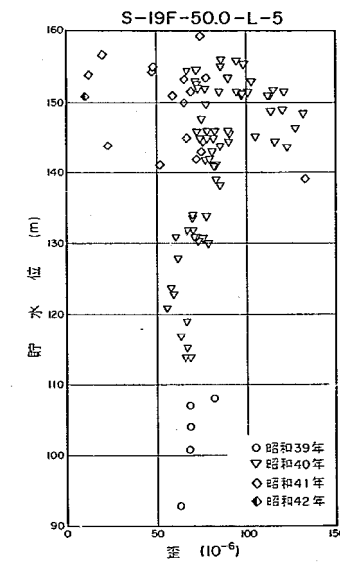
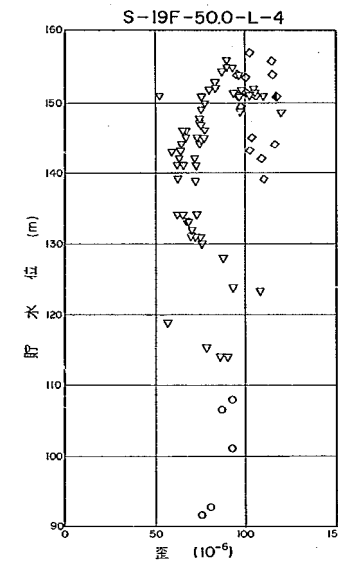
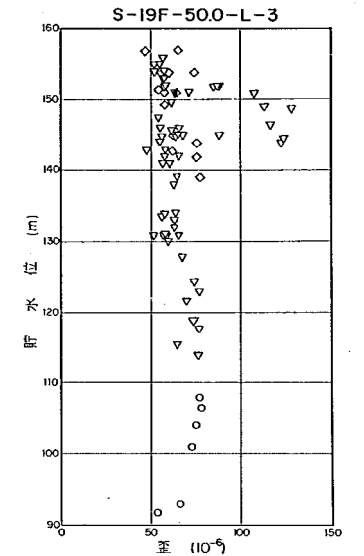
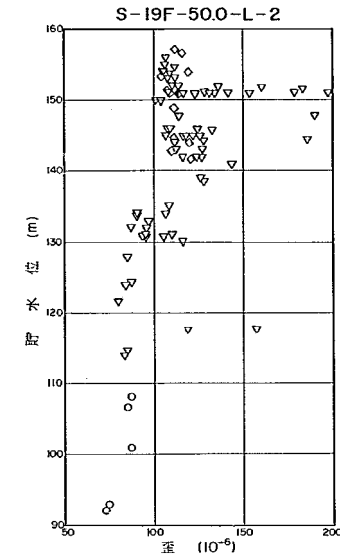
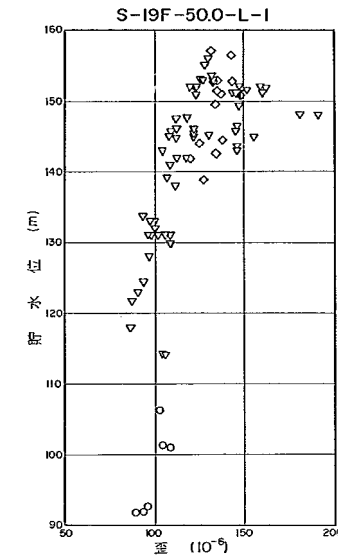
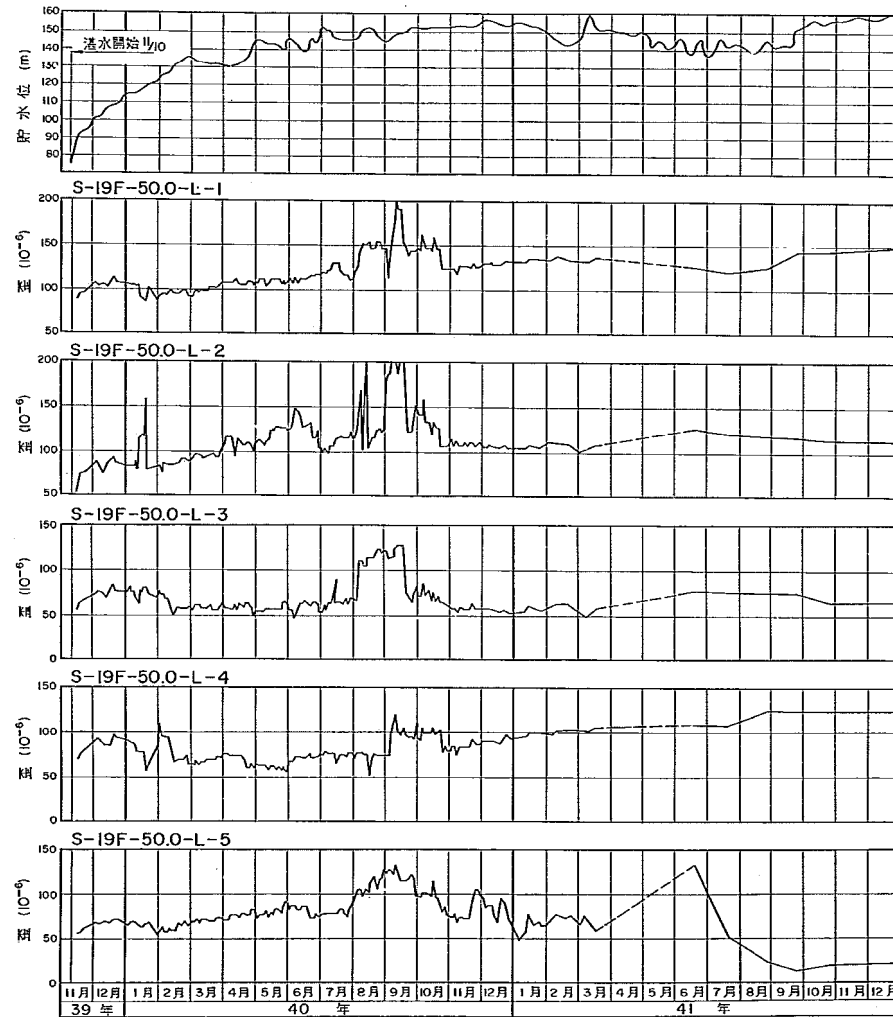


図-21 断層プラグの歪

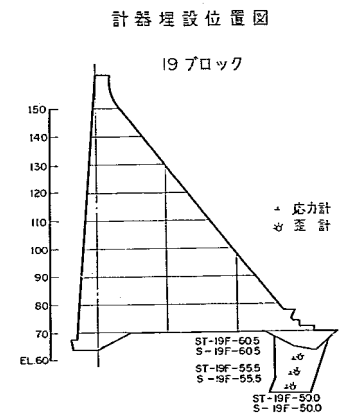
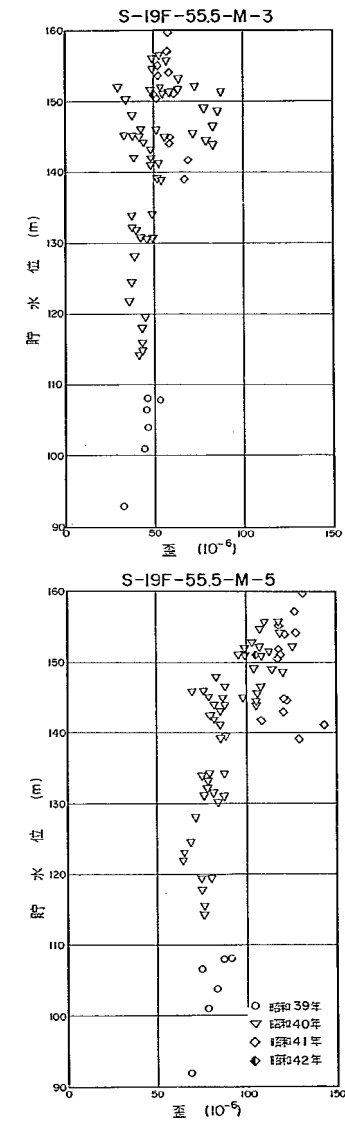
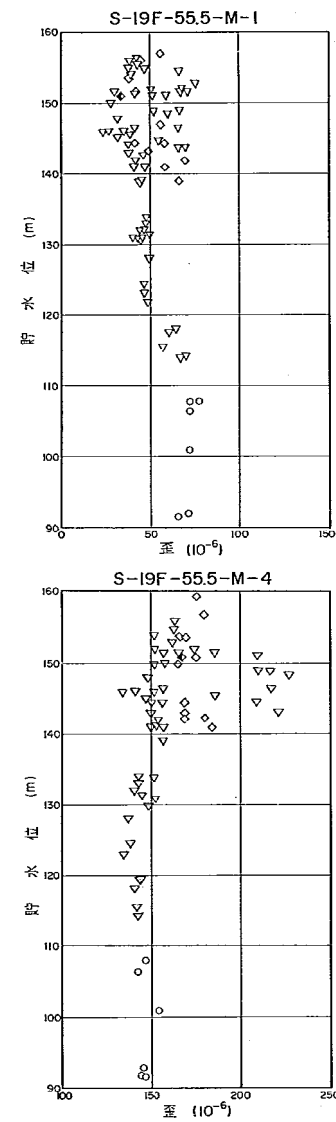
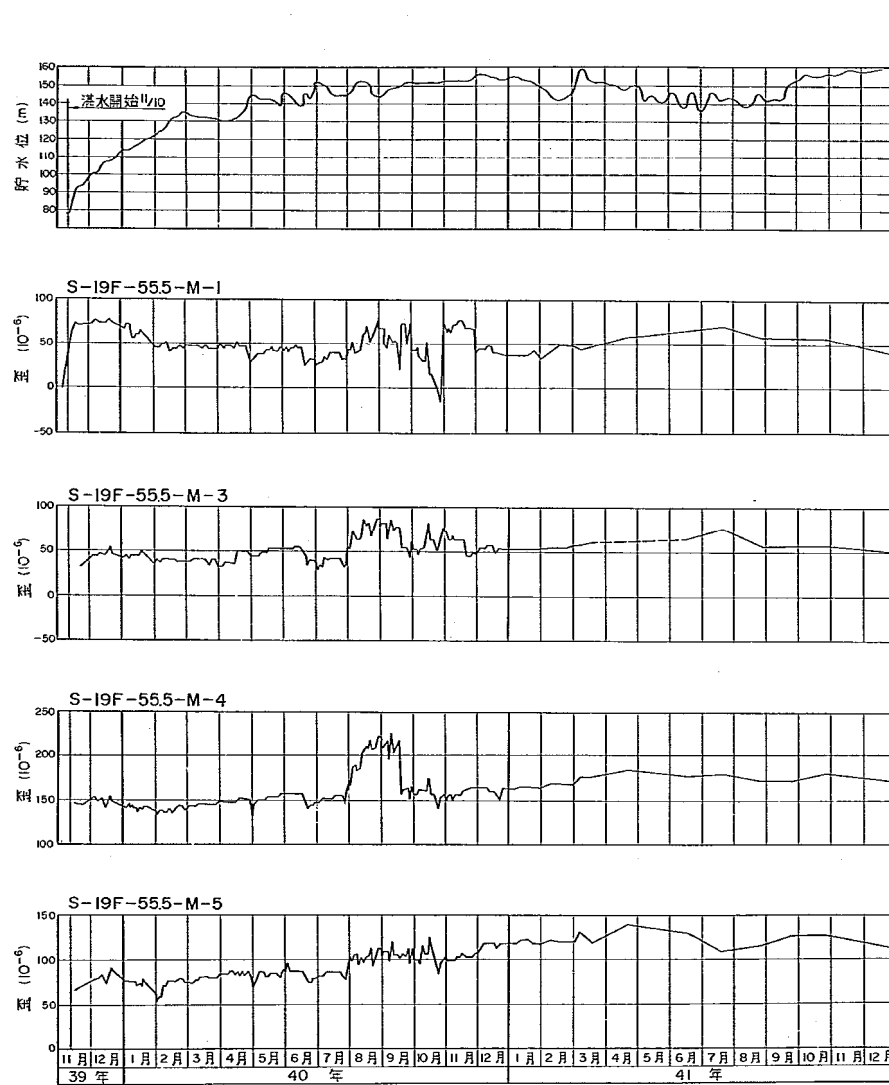


図-22 断層プラグの歪

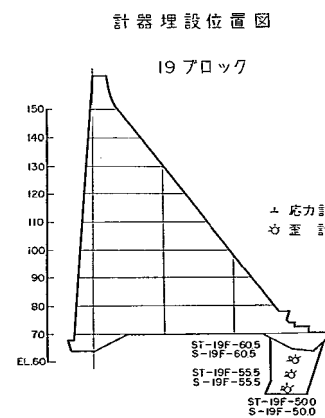
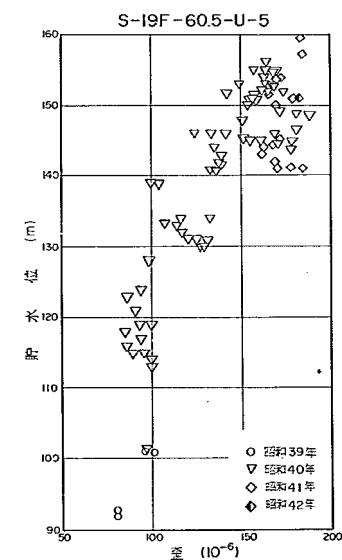
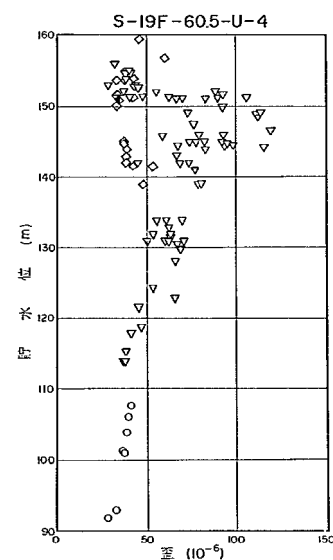
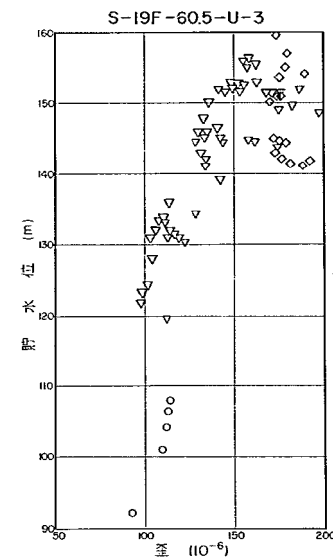
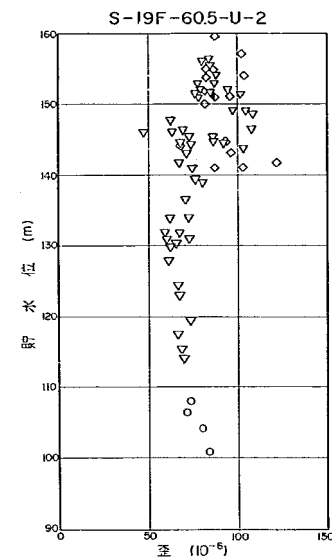
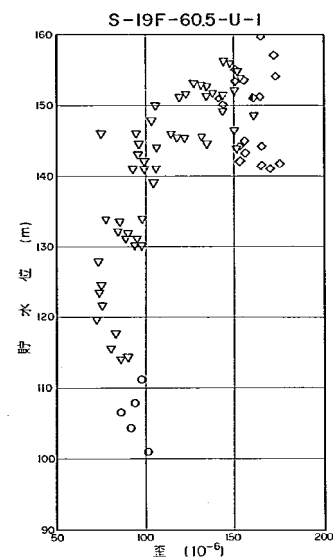
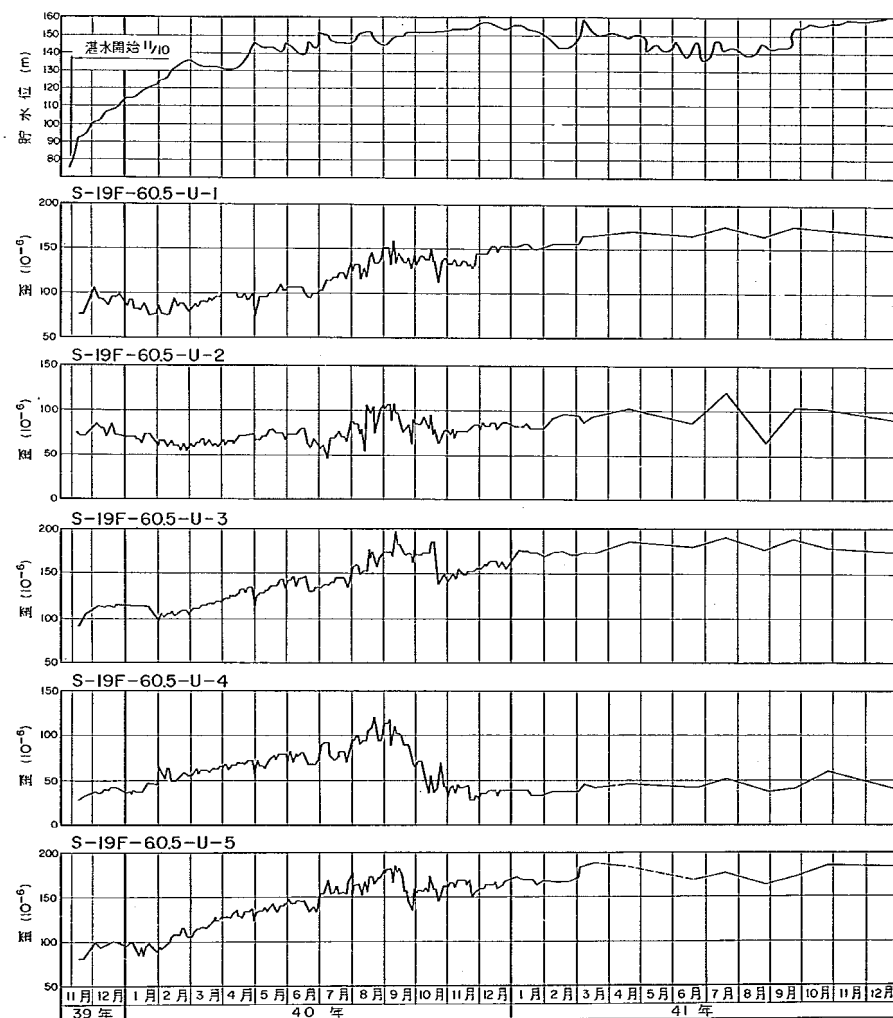


図-23 断層プラグの歪

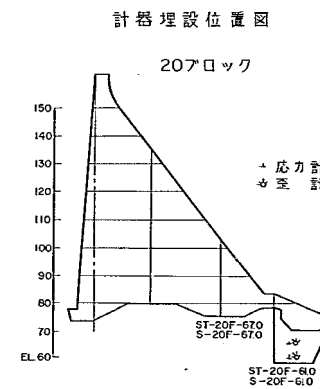
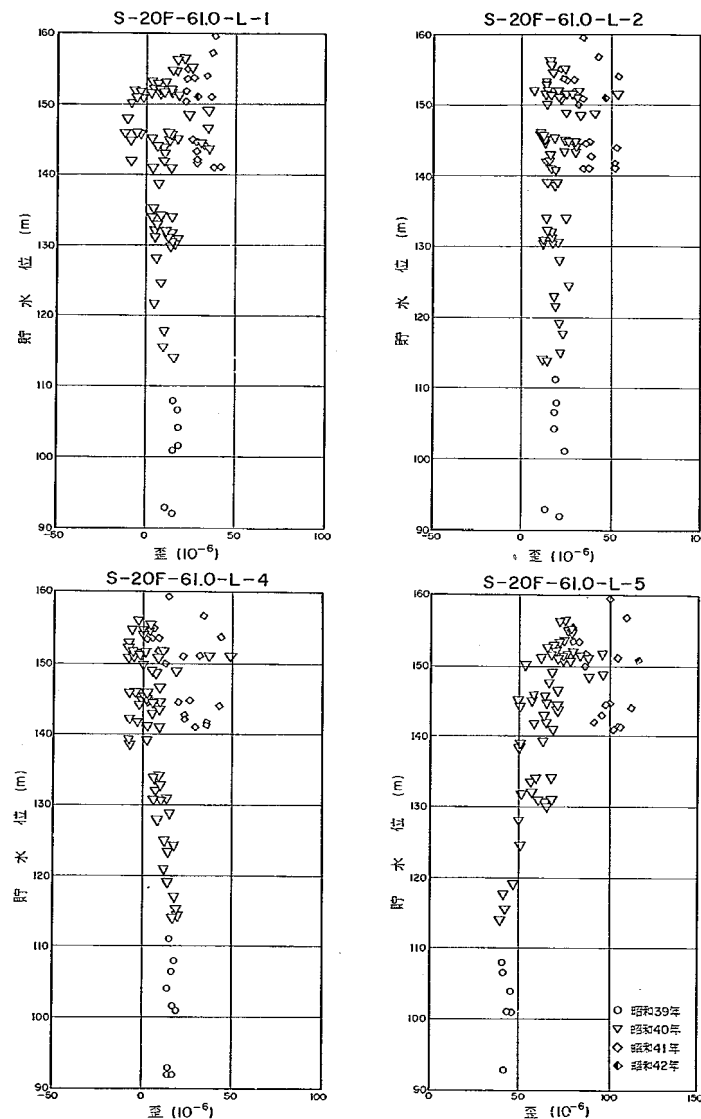
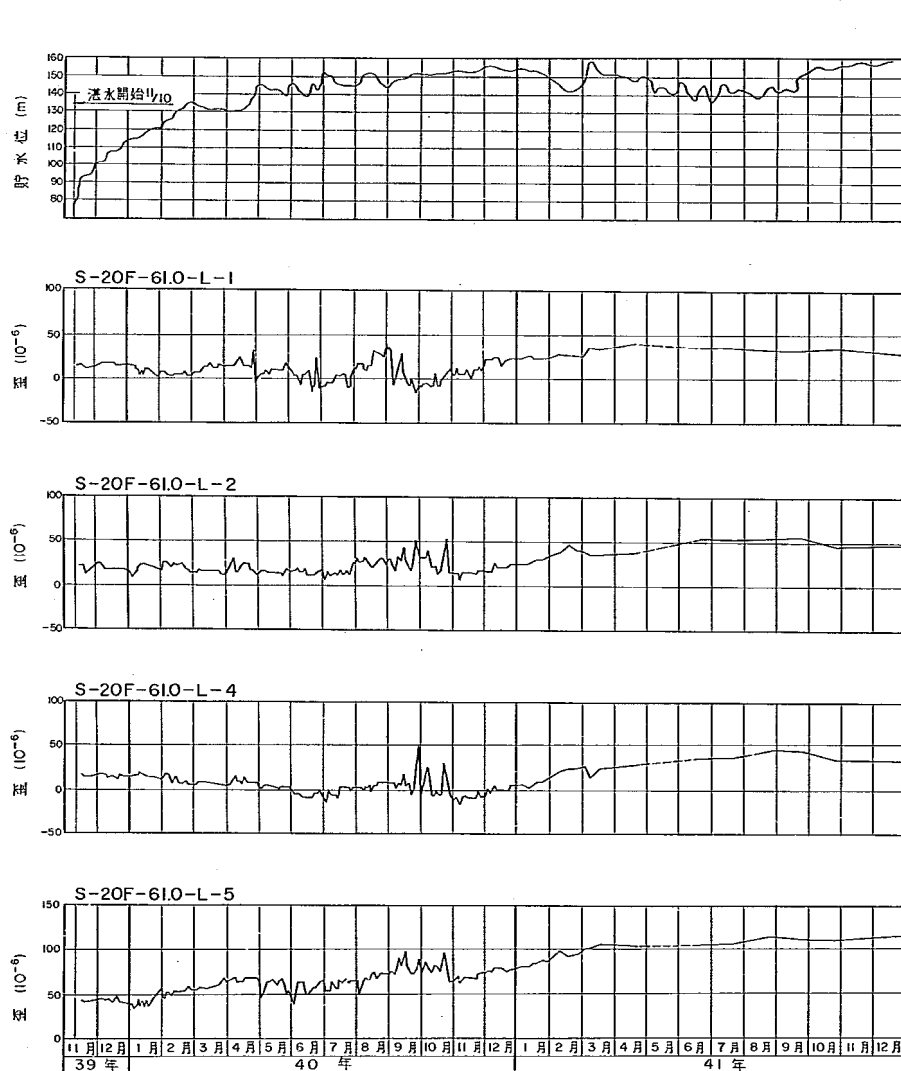


図-24 断層プラグの歪

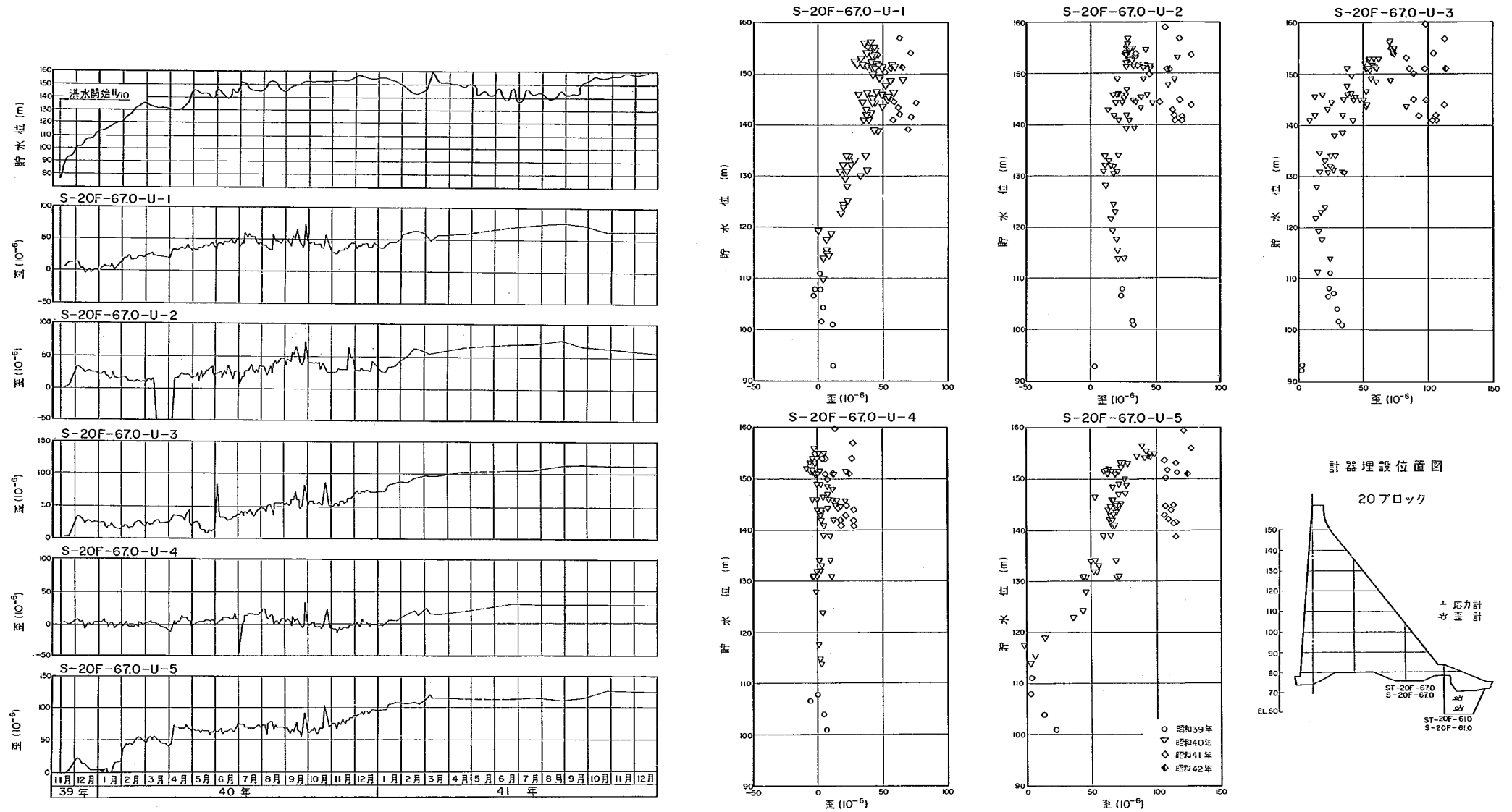
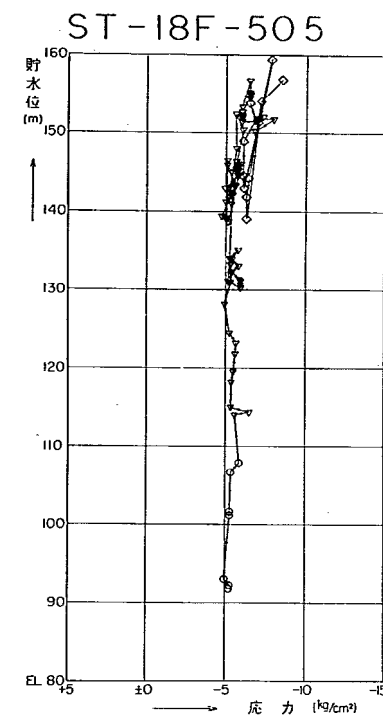
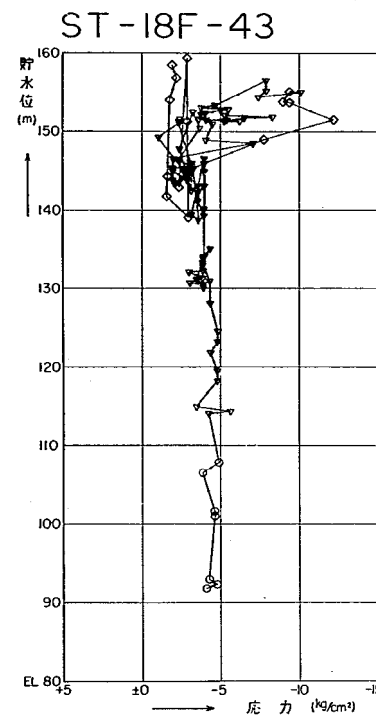
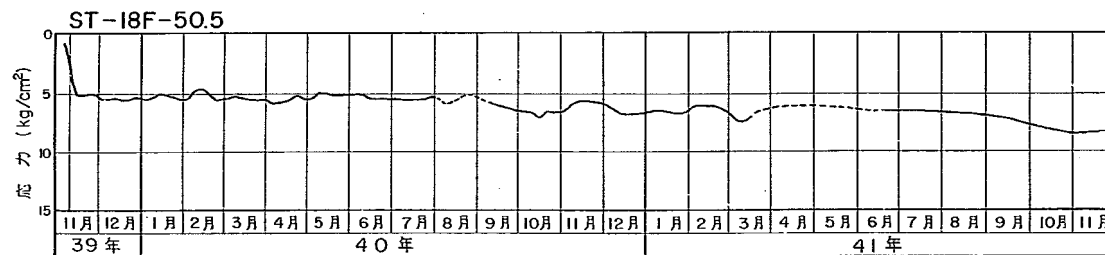
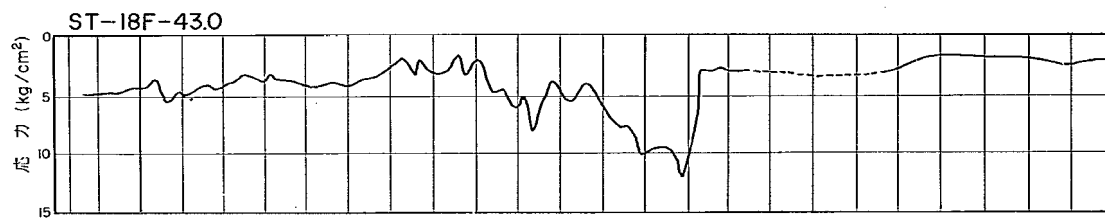
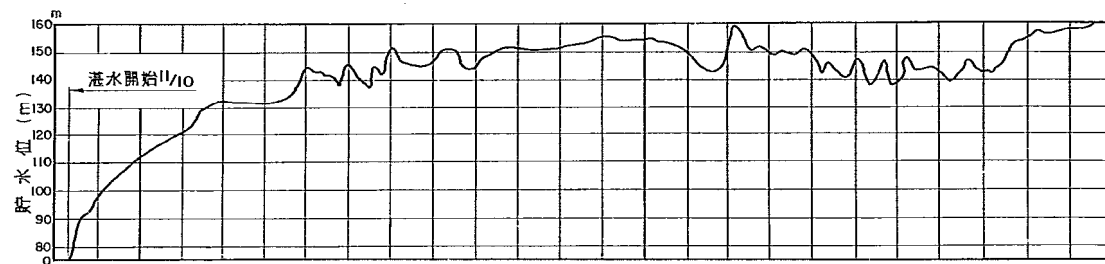


図-25 断層プラグの応力



計器埋設位置図

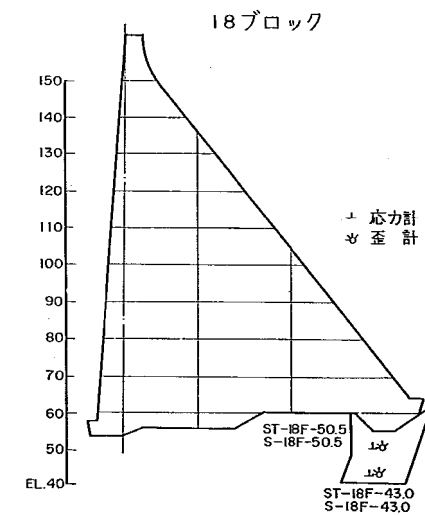


図-26 断層プラグの応力

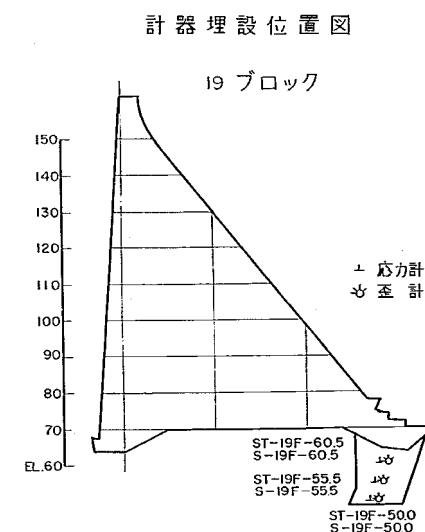
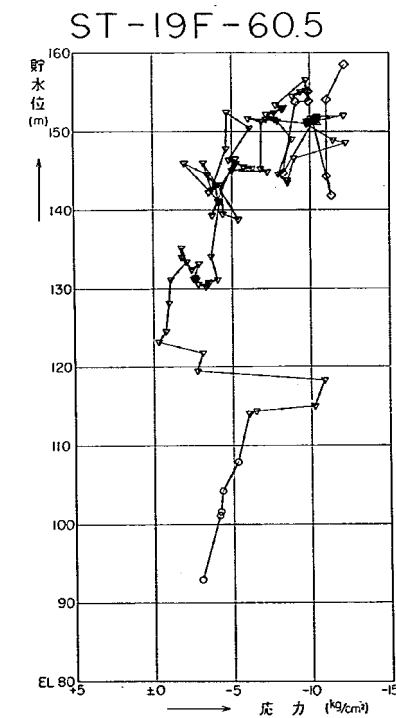
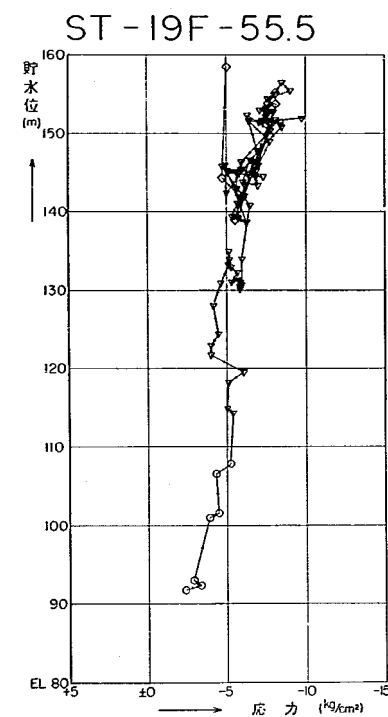
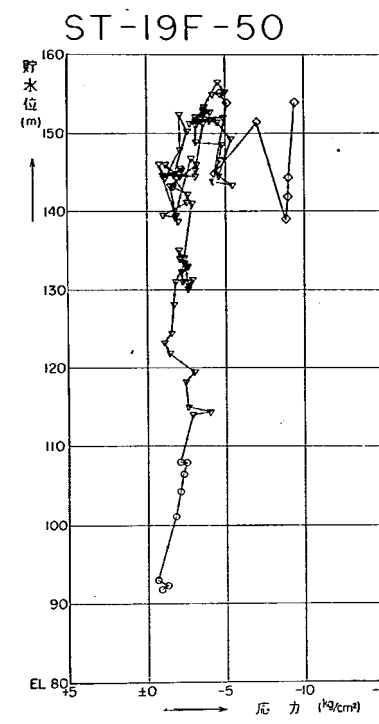
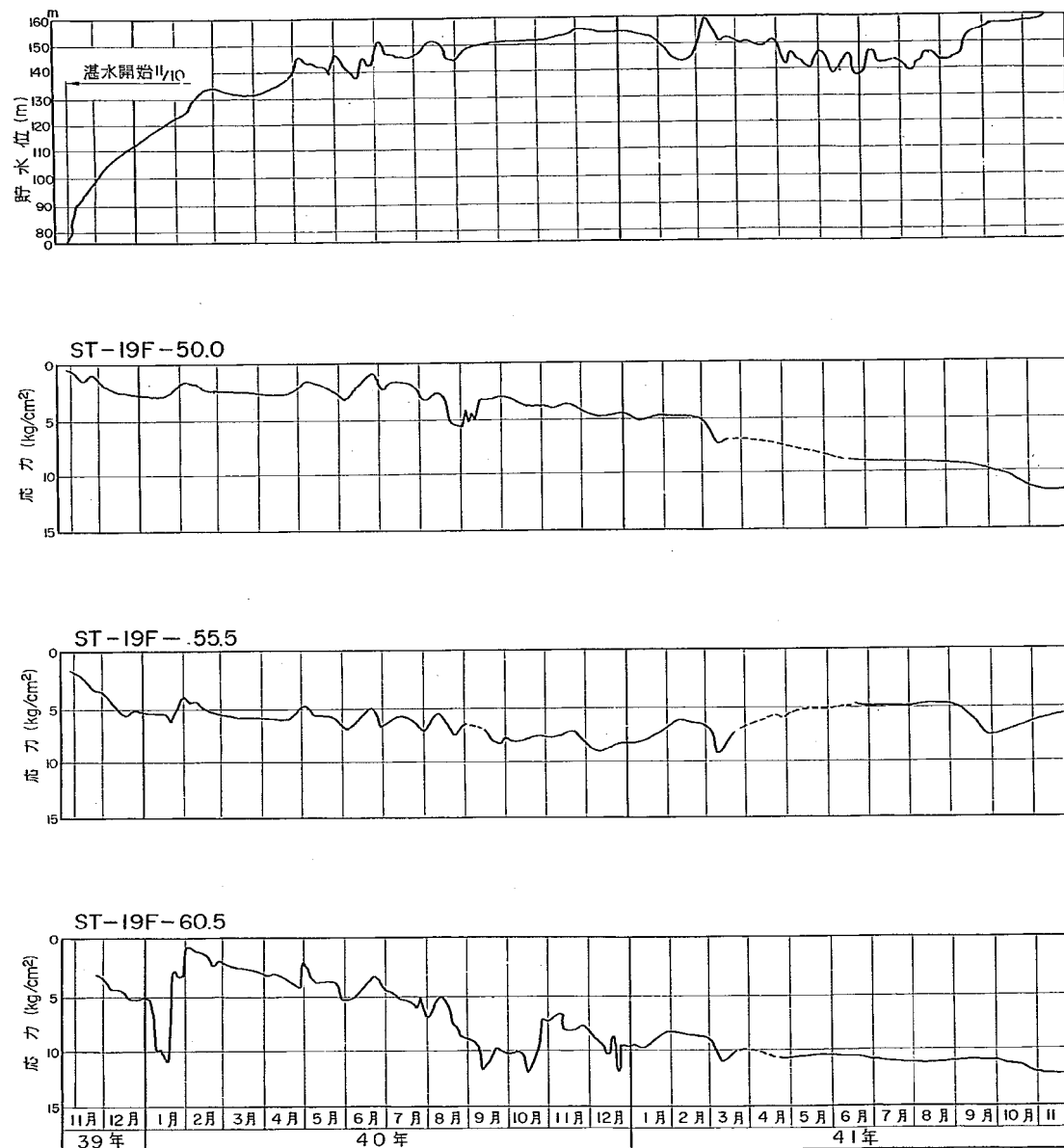
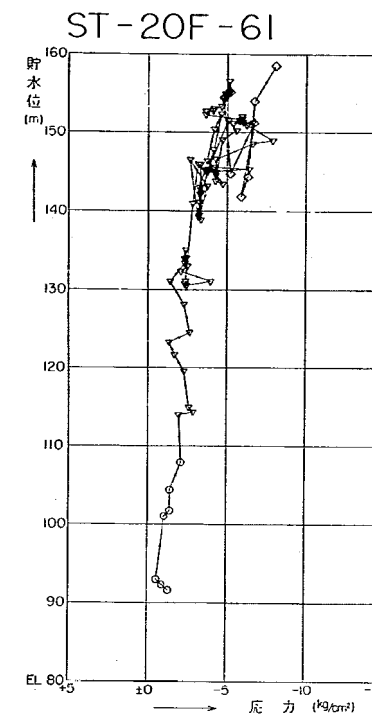
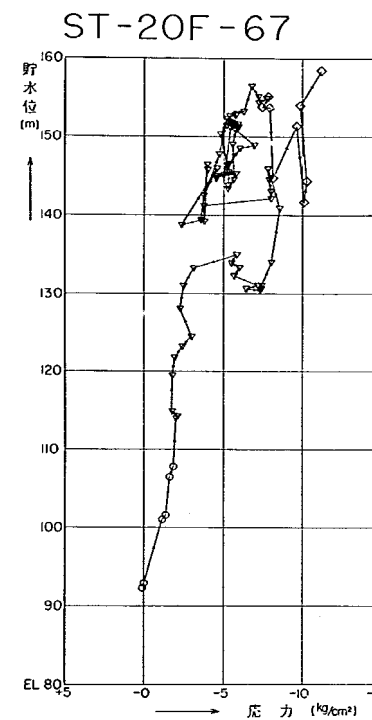
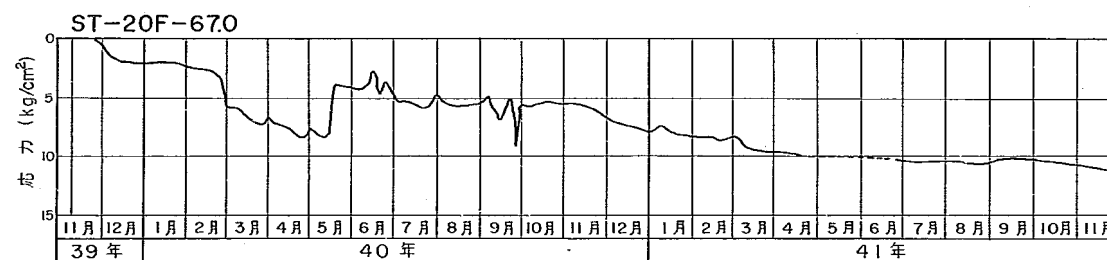
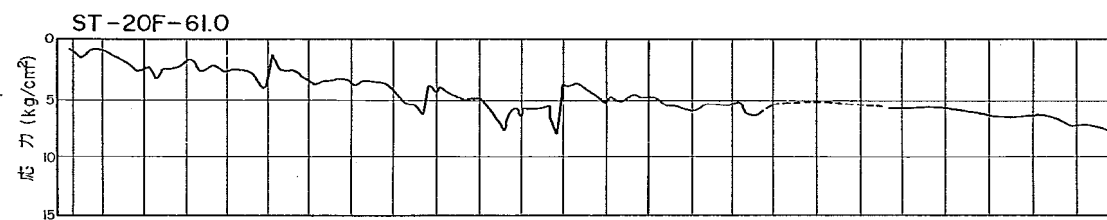
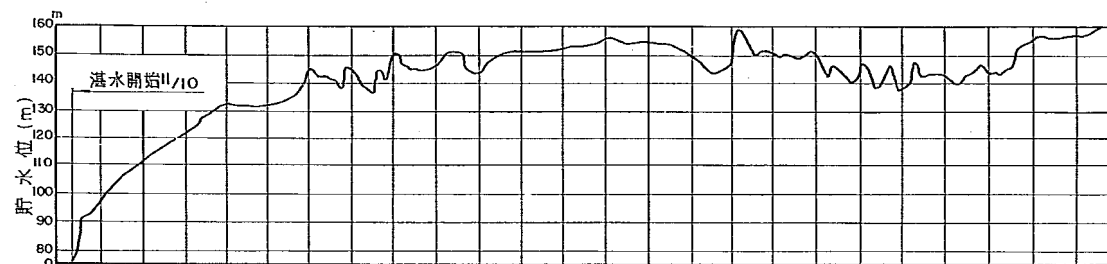


図-27 断層プラグの応力



計器埋設位置図

