

## 第13回シンポジウム

# 地すべり多発地域における道路構造 大所川第三発電所の地すべりについて

1985. 5. 10

主催 地すべり学会新潟支部  
土質工学会北陸支部  
新潟県地質調査業協会  
地すべり対策技術協会新潟支部  
後援 新潟県砂防課・農地建設課・治山課

# 正 誤 表

頁	行	誤	正
8	図-8		写真追加 試料数 261
"	図-9		試料数 33
"	図-10		試料数 53
10	表-4	名立層	名立層 (試料数261)
"	"	川詰層	川詰層 (試料数 33)
"	"	能生谷層	能生谷層 (試料数 53)
16	図-2	E-13, E-14	<u>S</u> -13, <u>S</u> -14
18	20	舌端部	<u>末</u> 端部

---

目 次

---

- I 地すべり多発地域における道路構造…………… 1
- II 大所川第3発電所の地すべりについて…………… 15
-

## 序

このたび日本道路公団新潟建設局と東北電力株式会社新潟支店発電部のご協力により、第13回シンポジウムを開催することとなりました。

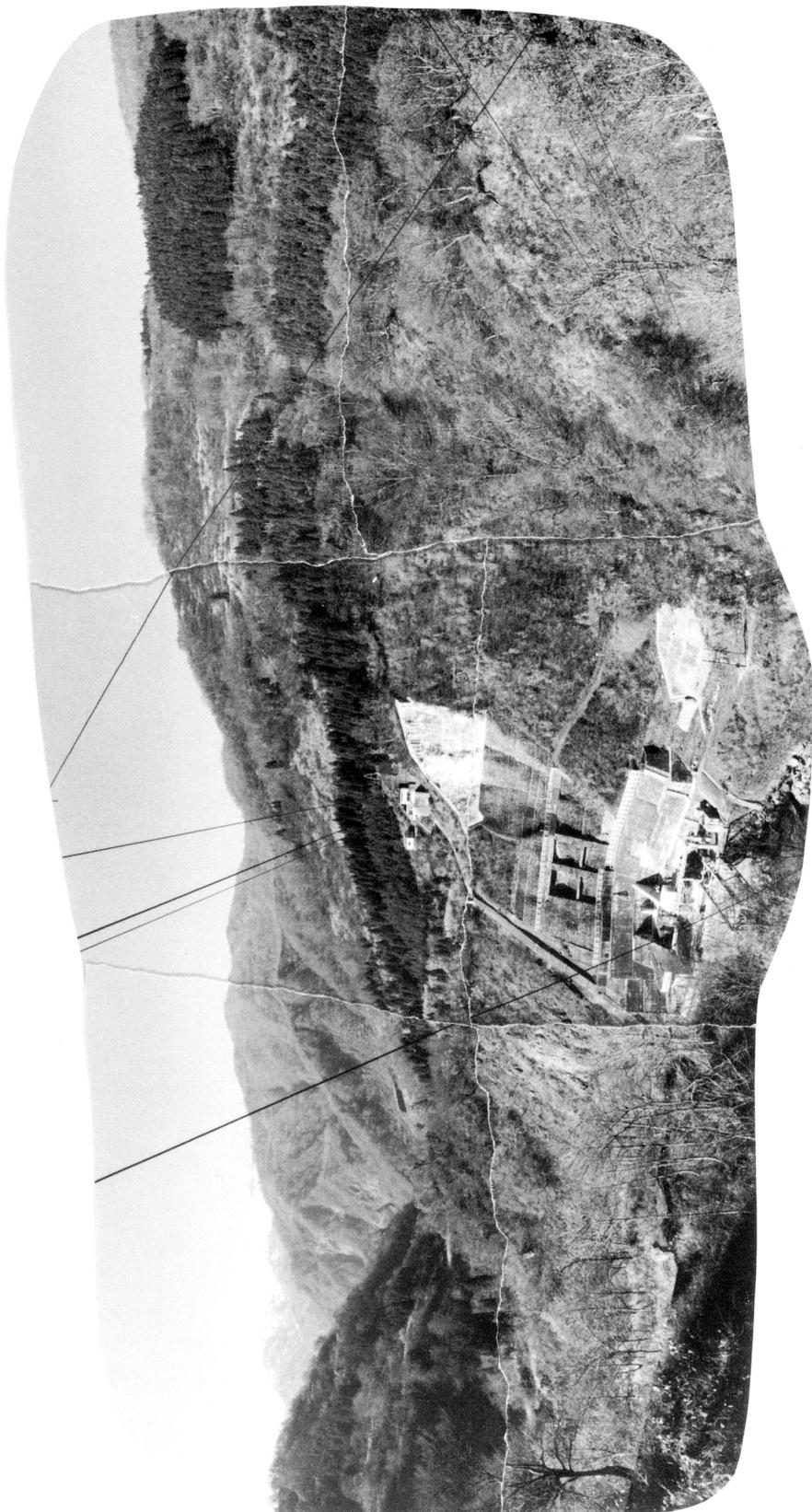
今回のシンポジウムの2つの課題は地すべり発生機構の解明と土質力学的解明にとりきわめて貴重な現場データを長年の観測結果をもとに討議論文として作成していただきました。

「地すべり多発地域における道路構造」は、日本的地すべり災害多発地帯である上越市～糸魚川市間に高速道路を建設するにあたっての厳密、詳細な調査とおびただしい土質試験および観測をもとにたかい水準の考察によりまとめられました。

また、「大所川第三発電所の地すべりについて」は、糸魚川―静岡構造線上の地すべり地における発電所の被災であって、昭和38年以來の水圧鉄管の変形を始め、導水路、発電所背面擁壁および発電所建物等のクラックについての経年観測資料と赤禿山斜面のボーリング調査および諸観測をもとに地すべり発生機構の解明をおこなっていますが、このような資料はわが国でもきわめて貴重なものと思います。

以上の理由から地すべりの多い新潟県にふさわしい内容と高い水準のシンポジウムとなり、今後の地すべり防止技術の発展に貢献することと確信しております。

この開催を計画、実行にあたって御協力下さった方々に心より感謝申し上げます。



大所川第3発電所監視室より地すべり地全景



名立町十菅平地区  
工事現場 地すべり地形により橋梁構造

# I 地すべり多発地域における道路構造

日本道路公団新潟建設局 大 窪 克 巳

## 1 はじめに

新潟県西頸城地方を横過する、北陸自動車道上越～糸魚川間約44km（図-1）は、北陸自動車道新潟黒埼～滋賀県米原までの最後に残された区間の一つである。

当路線は、全国でも有数の地すべり多発地帯として有名な地域、新潟県上越市の高田平野の西端より春日山を通り糸魚川市までを日本海岸線と平行に、2km前後内陸に入った所を通過している。

このような特殊な環境に高速道路を建設する場合、地すべりに対する設計を一般論的な見地から進めることについては問題が無いと思われるが、地形から判断して云々と言う事は、現在活動して

いない斜面に対しても現況安全率を1とおく考え方から設計を進めた場合、道路建設に過大な対策費を投資しなければならないと言う素朴な発想から、当地区を土質力学的に扱えないかと考え、現

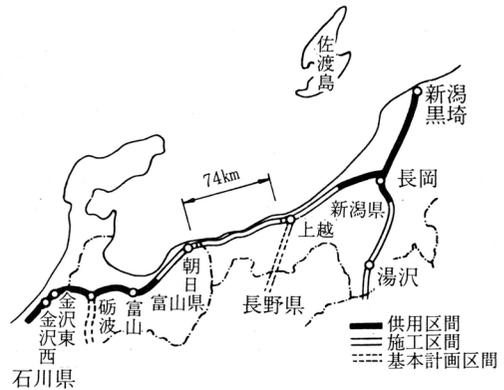


図-1 上越～糸魚川間位置図

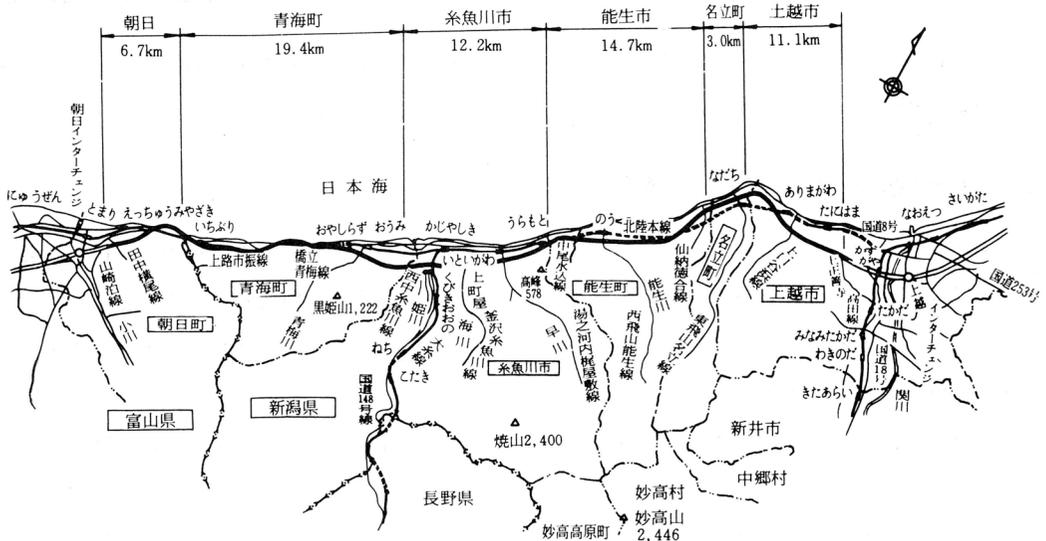


図-2 北陸自動車道（新潟県上越市中屋敷～富山県下新川郡朝日町小更間）概略図

表-1 地質構成と岩質

地質時代				糸魚川-静岡線 以東地域 (名立町～ 糸魚川市)	記 事		備 考 (本線通過箇所)		
代	紀	世	新潟油 田標準 層序						
新 生 代	第四紀	沖積世		沖積層物 崖錐堆積物		( )内個数			
		洪積世	魚沼	段丘堆積物	海岸段丘, 河岸段丘があり, 当地域では分布地が限定される。				
	新第三紀	鮮新世	灰爪	鬼状層	径5~30mmの円~亜円礫が主体で礫種は安山岩が多い。基質は粗~中砂			木浦川左岸より梶屋敷	
		中新世	西山	名立層	塊伏の灰色泥岩。シルト岩およびシルト岩砂岩互層。	Vs (2) M(8) S(2) W(3)		名立町全域 大平寺地区	
				川詰層	全体に砂質部優勢。砂岩泥岩の互層凝灰岩を多く含む部分もある。	S(1) M(5)		徳合川左岸より濁澄川右岸	
		中新世	椎谷	能生谷層	上部	黒色泥岩のみからなる。	Vs (16) S(3) M(2)		濁澄川左岸より能生川右岸
					下部	黒色泥岩を主とし, 砂岩・泥岩と互層。一部凝灰岩を挟む。			
			寺泊						
		中新世	七谷	西飛山層	上部	暗灰色頁岩と板状を呈する淡灰色中粒~細粒砂岩との薄い互層			該当区間なし
	津川		下部		頁岩砂岩互層				
	中新世	三川		火打山層	堅実な頁岩砂岩の互層			青海町田海 (頭山以西)	
古第三紀									

在までに種々の土質・地質調査を行い、データの整理を行い地すべり対策をどの様に行っているかについて経過報告するものである。

## 2. 当地域の地すべりの特徴

上越市から糸魚川市までの間は、新潟県内においても2番目に地すべりの密集する地域であり、地すべり分布及びその性状については、かなり地域的あるいは地質的な特徴を有している。

当地域の地すべりは、泥岩、砂岩及び凝灰岩の風化岩ないし粘土層の上に発生していること、また貫入岩、断層等の影響を受けている。さらに地すべり地の上部には、キャップロックが各地に見られ、地下水の供給源となり、融雪期、梅雨期に多く発生している原因の一つにもあげられている。



### 3. 地すべりに対する考え方

現在までの地すべり，斜面对策に対する考え方は不かく乱試料の採取が困難であり，また，かりに採取が可能であっても，せん断定数を正確に求めることは不可能とされている考え方に立って，過去の状況，地形等から判断して現在活動していない地すべり地であれば，現況安全率を1と置き土質定数を逆算により求め対策する考え方である。

しかし，当地域の地質，地すべり機構から判断すると，ある程度の土質力学の分野からの解析が出来るかと考察される。何故なら当地域の基盤岩は，新第三紀中新世の堆積岩類が主体で，調査結果から当地区は地表面から崩積土，風化岩そして新鮮岩と明瞭に区分出来，風化帯の構成，物理的性質等から判断される。

よって機械ボーリングを中心に原位置位試験，室内試験を整理，解析を行い，現況斜面の安全率を把握し，道路構造によってどの程度安全率が変化するかを求め，計画安全率を1.20と考えて，この値に達しない斜面に対して抑制工，抑止工を設計する考え方である。

### 4. 調査内容及び調査結果

調査地点の選定は，航空写真より地形を判読し，本線横過部とその周辺に選び，現地踏査により調査地点の修正を行った。

調査は機械ボーリングを中心に，原位置試験，室内試験を日本工業規格（JIS），土質工学会及び日本道路公団仕様書の諸基準に基づいて実施した。

以下，特徴的な調査結果について述べる。

#### 4-1 機械ボーリング及び標準貫入試験

地質的な特徴は図-4に示すように顕著に各地層とも表れており，コア観察，N値より次のように分類した。

##### (1) 崩積土

含水比の高い軟らかい性質の粘土を主体とするが，分布する立地条件において中に混入する泥岩，シルト岩の

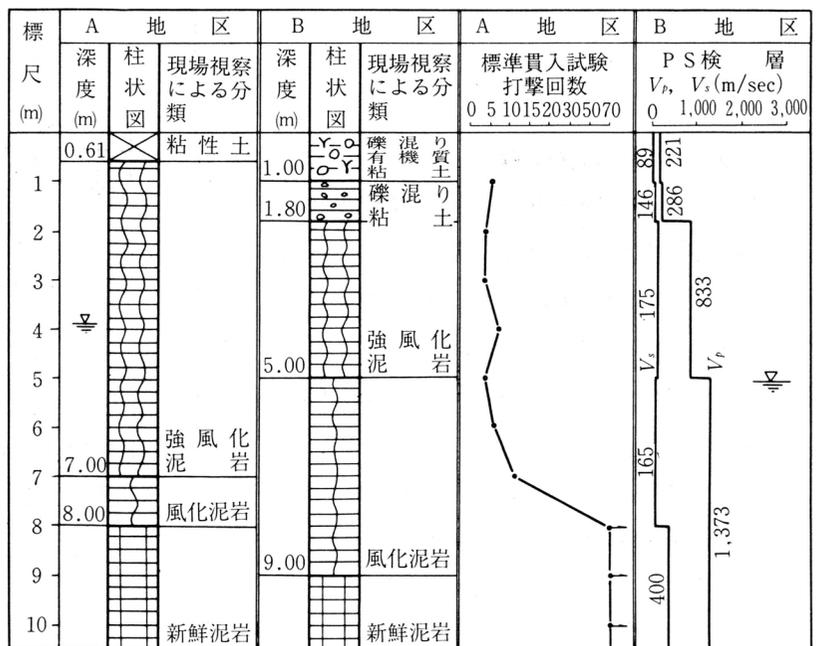


図-4 ボーリング柱状図

礫の硬さと腐植物の混入の有無に違いが認められた。

N値は、 $0 < N < 10$ に集中する。

(2) 強風化岩

岩芯部まで風化変質がおよび全体として未固結から低固結粘土で分布する。場所によっては岩構造が不明瞭であるため、上位に堆積する崩積土との見分けがつかない所もあるが、崩積土とは礫及び腐植物の有無と岩の均一性で区分される。

N値は、 $5 < N < 10$ に集中する。

(3) 風化岩

玉ねぎ状の核に相当する部分が多量に残存し、比較的明瞭な岩構造が見られる。風化核に相当する部分は、岩芯部に未風化部を残す所が多く、その周辺部は開口性の亀裂が発達し、亀裂面に沿って風化変位が著しい。

N値は、 $20 < N < 50$ とばらつきが大きい。

(4) 弱風化岩

新鮮岩の様に軟岩を呈しているが、亀裂が発達している。

N値は、 $50 < N < 70$ である。

(5) 新鮮岩

岩相は無層理で、淡灰色～暗灰色の泥岩シルト岩であり、送水掘りにより棒状コアで採取される。

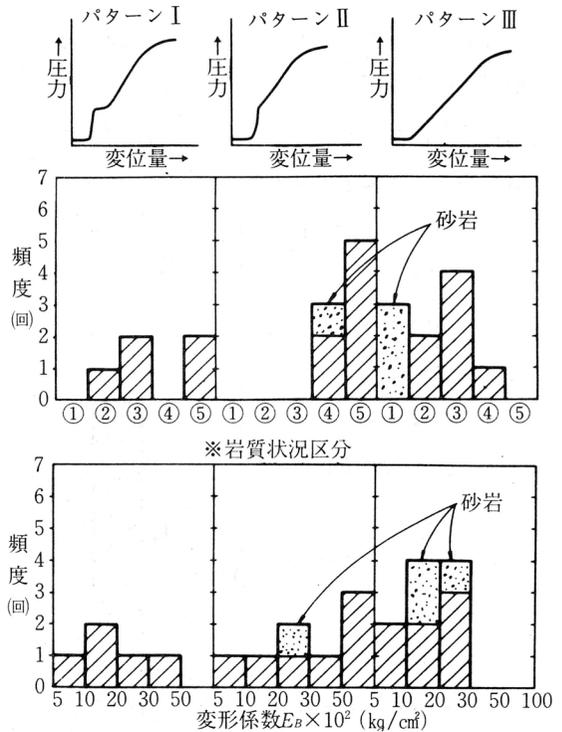
N値は、 $N < 70$ である。

以上、当地域に分布している地層の岩質構成である。

4-2 孔内水平載荷試験

ボーリング孔を利用して実施した結果、応力～変位曲線に特異な形状が見られた。図-5は当通過地区の1地区(名立層基盤)の代表例ではあるが、新第三紀中新世を基盤岩にもつ当地域はどの地質においてもこの傾向が表われている。

さらに、各地質、地層の変形係数は、調査箇所・風化状態によってかなりのばらつきはあるが、まとめてみると表-2のとおりである。



- ※ 岩質状況区分
- ① 固結度の低いもの
  - ② 破碎状のもの (きれつ無数 RQD=0)
  - ③ きれつ多いもの (きれつ係数3以上 RQD=33~65)
  - ④ きれつ少ないもの (きれつ係数1~2 RQD=76~100)
  - ⑤ きれつなしのもの (きれつ係数0 RQD=100)

図-5 孔内水平載荷試験試験結果

表-2 地層, 岩質別変形係数

地層 \ 岩質	強風化岩	風化岩	新鮮岩
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
名立層 (Nams)	100 ~ 200	200 ~ 1,800	2,000 ~ 4,600 (13,500)
川詰層 (Kalt)	120 ~ 750	300 ~ 1,500	1,700 ~ 7,400 (10,000)
能生谷層 (Nms)	— (計測データ無)	390 ~ 2,600	2,700 ~ 5,000 (14,400)

( ) 内ピーク値

#### 4-3 現場透水試験

表-3 岩質別透水係数

名立層についての試験結果が多いので、他の地質との対比までは出来ないが、泥岩主体の地質は風化することによって粘

地層 \ 岩質	崩積土, 強風化岩	風化岩	新鮮岩
	(cm/sec)	(cm/sec)	(cm/sec)
名立層 (Nams)	$4.0 \times 10^{-6} \sim 9.6 \times 10^{-7}$	$8.1 \times 10^{-3} \sim 4.0 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-6} \sim 5.2 \times 10^{-7}$

土化すること、風化岩と言っている地層はかなりクラッキーなことが、どの地質についても言えることから、表-3に示している数値は名立層基盤の値ではあるが、他の地質についても同様な傾向を示すと考察している。

#### 4-4 不かく乱試料採取

試料採取に当っては、オールコアで掘削したコアを観察し、別孔においてシンオールサンプラー、デニソン型サンプラー、N値30以上の採取の出来るサンプラー及び圧搾空気と界面活性剤を使用し行うサンプリングにおいて実施した。

ここでは、採取した試料状況について述べると、コア観察により地層その境においてサンプリングを実施し、地すべり面の確認に努めたが確認されなかった。

このことから本線横過地区の滑落崖、棚田の発達している所は、過去において地すべりを起したかもしれないが、現在までの長い年月において、地山は安定状態にあると考察できる。しかし、将来の安定については地形状況、物性値、土質定数の適確な把握によって解析して行かなければならないと考えている。

### 5. 室内試験

標準貫入試験試料、不かく乱試料について物理試験、力学試験を土質工学会、日本道路公団仕様書の諸基準に基づいて実施した。

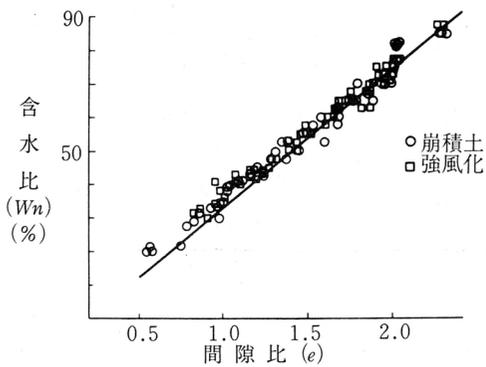


図-6 含水比 (Wn) - 間隙比 (e)

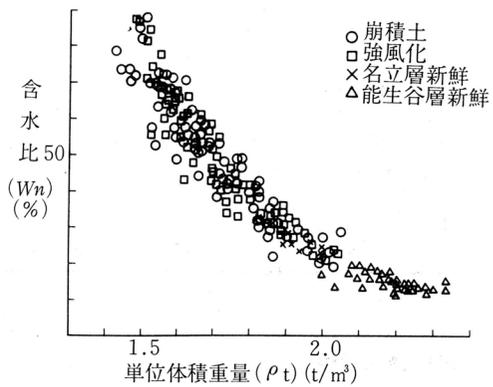


図-7 含水比 (Wn) - 単位 (ρt)

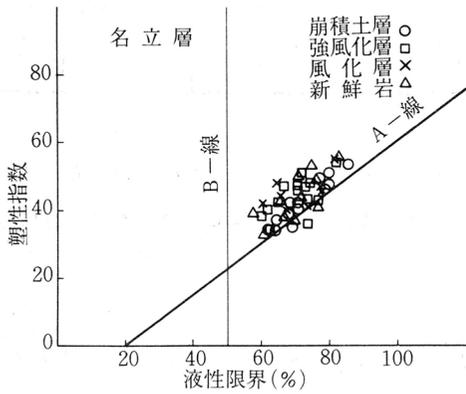


図-8 塑性図

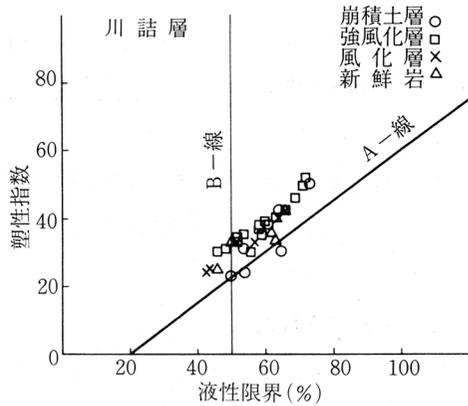


図-9 塑性図

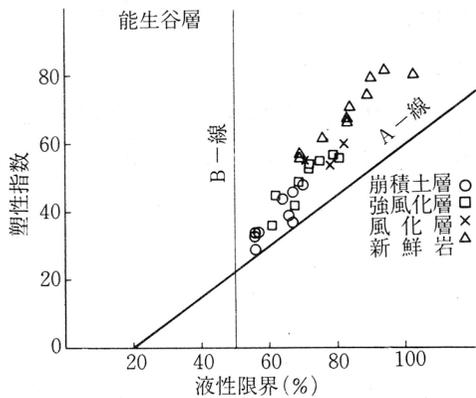


図-10 塑性図

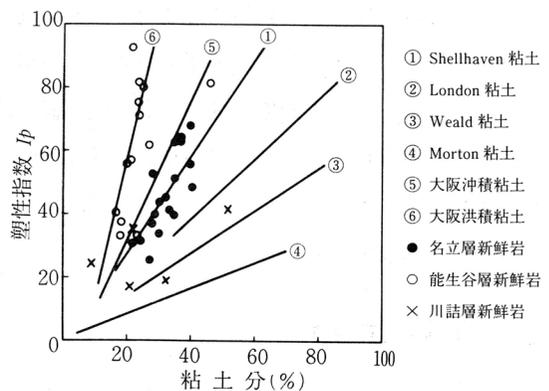


図-11 粘土分の含有量と塑性指数

(Skempton, 他)

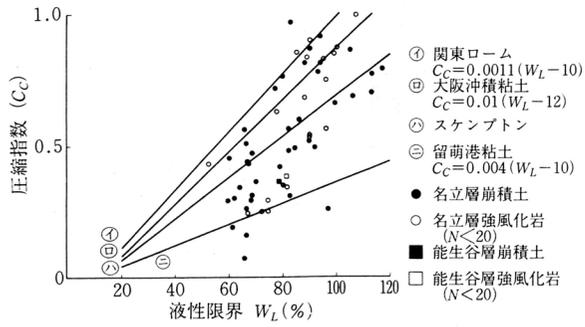


図-12 液性限界と圧縮指数 (Skempton)

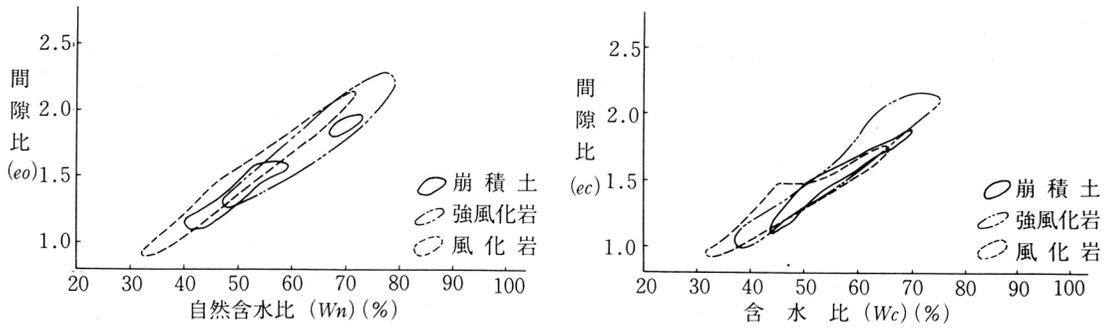


図-13  $e_o \sim W_n$ ,  $e_c \sim W_c$  関係図

5-1 物理試験

調査結果を表-4に示す。また、図-6～図-13から次のことが言える。

表-4 物理試験結果一覧表

名立層

物性値 岩質	粒度組成(%)				自然含水比 W <sub>n</sub> (%)	液性限界 W <sub>L</sub> (%)	塑性限界 W <sub>P</sub> (%)	比重 G <sub>s</sub>	湿潤密度 ρ <sub>t</sub> (gf/cm <sup>3</sup> )	間隙比 e
	粘土	シルト	砂	礫						
崩積土	43	36	3	0	39	65	20	2.56	1.48	1.00
	52	54	15	0	74	111	36	2.70	1.81	2.09
強風化岩	43	40	4	0	40	85	26	2.60	1.46	0.88
	55	46	12	0	76	122	35	2.73	1.85	2.21
風化岩	49	44	7	0	48	56	22	2.59	1.61	0.99
	60	88	19	0	60	101	50	2.76	1.80	1.60
新鮮岩	16	47	4	0	20	54	18	2.56	1.89	0.61
	63	73	26	0	38	93	35	2.67	2.22	0.85

川詰層

物性値 岩質	粒度組成(%)				自然含水比 W <sub>n</sub> (%)	液性限界 W <sub>L</sub> (%)	塑性限界 W <sub>P</sub> (%)	比重 G <sub>s</sub>	湿潤密度 ρ <sub>t</sub> (gf/cm <sup>3</sup> )	間隙比 e
	粘土	シルト	砂	礫						
崩積土	9	28	13	0	37	50	30	2.57	—	—
	26	72	59	2	41	65	35	2.63	—	—
強風化岩	3	18	16	0	22	H.P.	H.P.	2.57	1.85	0.63
	32	67	74	5	41	72	28	2.70	2.13	0.72
風化岩	6	22	1	0	20	31	15	2.60	1.90	0.30
	24	76	69	3	27	66	24	2.65	2.22	0.67
新鮮岩	32	36	3	0	14	37	18	2.69	2.05	0.42
	57	40	31	1	18	66	24	2.75	2.24	0.54

能生谷層

物性値 岩質	粒度組成(%)				自然含水比 W <sub>n</sub> (%)	液性限界 W <sub>L</sub> (%)	塑性限界 W <sub>P</sub> (%)	比重 G <sub>s</sub>	湿潤密度 ρ <sub>t</sub> (gf/cm <sup>3</sup> )	間隙比 e
	粘土	シルト	砂	礫						
崩積土	42	34	6	0	28	44	16	2.62	1.78	0.80
	57	48	17	0	41	80	34	2.73	1.95	1.16
強風化岩	14	26	3	0	30	47	12	2.62	1.84	0.80
	51	67	55	0	47	95	31	2.73	1.94	1.10
風化岩	28	41	6	0	17	50	15	2.68	1.81	0.67
	44	54	31	0	31	82	31	2.77	1.98	1.00
新鮮岩	16	40	4	0	11	47	10	2.70	1.62	0.93
	53	57	37	0	27	105	22	2.77	2.29	1.16

- 1) 含水比－間隙比－単位体積重量についてはそれぞれに相関性がある。
- 2) 名立層と能生谷層を起源とする崩積土，強風化岩の物理的性質には相違は認められない。
- 3) 川詰層は砂岩優勢のため，他の2層とは物理的性質が違うが，川詰層の中にも泥岩優勢の箇所  
の物理的性質は他の2層のそれと似ている。

## 5-2 力学試験

一軸圧縮，三軸圧縮（CU，UU）試験及び圧密試験を実施した。

三軸圧縮試験のせん断機構の定性的性質について述べる。

- 1) 同じシリーズの中で側圧の変化とは無関係にピーク強度が決まり，その結果として側圧が小さいにもかかわらず大きい強度を示すものと，また，その逆を示すものが有る。
- 2) 応力－ひずみ曲線で明瞭なピークを示すものと示さないものが有り，大半が示さなかった。
- 3) 同一深度であっても斜面の状況，風化帯の厚さによって強度に違いがある。

## 6. 地すべり対策の考え方

### 6-1 すべり面の決め方

泥岩を基盤にもつ当地域は，N値の変化がボーリング結果からもわかるように，漸移的变化でなく，各岩質において急激な変化をすること，また，不かく乱試料においてすべり面が確認されず，供試体を1cmにスライスし含水比を測定しても明確な変化点が確認されなかったことから，N値の急変する面をすべり面として決定した。

### 6-2 せん断強度の代表値の決め方

当地域に分布する崩積土，風化帯については物理試験から粘性土となっている。

風化の進行状態によりせん断強度にかなりのバラツキがある。この様な試験値より代表値を設定するには，

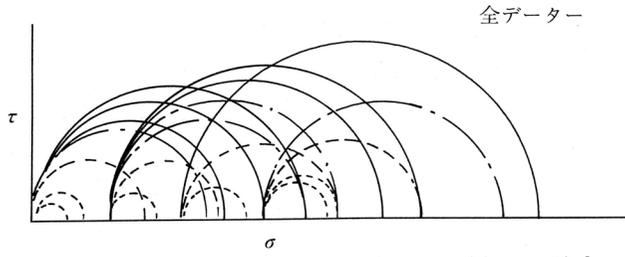
- i) 全データから最小二乗法などを用いて，平均的な強度として設定する。
- ii) 強度に関係する因子をパラメータとして全データを数個のブロックに分類し，それぞれのブロック毎の強度とブロック別の頻度から最頻値を中心にして設定する。

などの方法があるが，バラツキ範囲の大きいものに対してi)の方法で行うと原地盤の強度とかけ離れた値になる危険性がある。ii)については分類方法に個人差が出るが，図-14に示すように強度に関係する因子によって分類するとかなりのまとまりがついたことから，各地区毎にとりまとめて，それぞれの代表値とした。

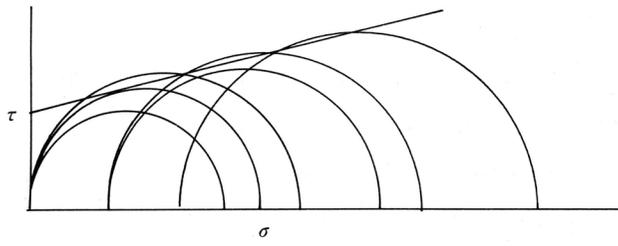
### 6-3 安定計算

前述して決めた諸項目をinput dataとして，分割法により計算した。

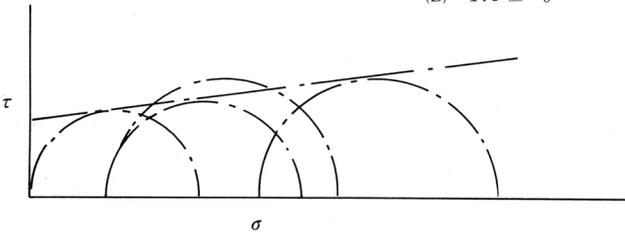
作業フローを表-5に示す。



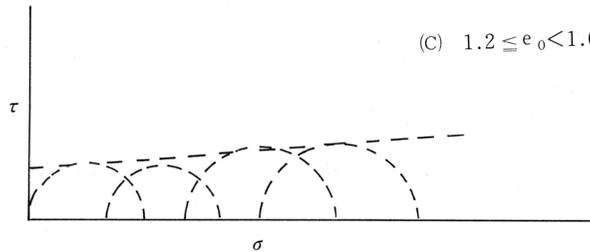
(A)  $e_1 < 0.8$



(B)  $1.8 \leq e_0 < 1.2$



(C)  $1.2 \leq e_0 < 1.6$



(D)  $1.6 \leq e_0$

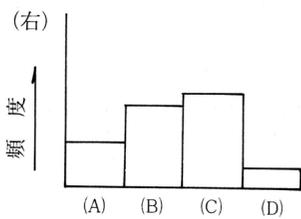


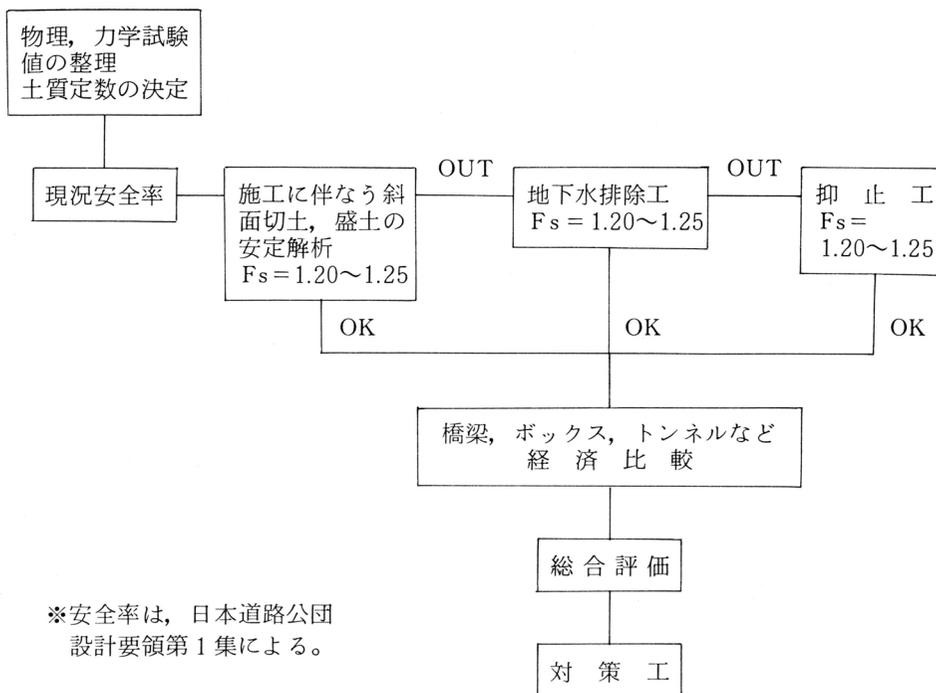
図-14 代表値の設定

全データをモール円で表すとバラツキが大きく、代表値の設定が困難である。

供試体を間ゲキ比によって、(A)~(D)のブロックに分類すると、ブロック毎のバラツキは小さくなり、比較的容易に強度が決定できる。ブロック毎の強度は間ゲキ比が小→大に従って、大→小となる。

供試体のブロック別頻度より特に多く分類されるブロックの強度を中心に代表値を設定する。左図の場合は(B), (C)の強度を中心に代表値を設定する。ブロック別頻度は一軸, UU, CU, CU 試験の供試体を合せたものとする。

表-5 安定解析フローチャート



## 7. ま と め

当地域（西頸城地方）の岩質は、風化によって粘土化すること、当地域の地すべりが粘土層の上に発生していることにより、土質力学として扱えないかと調査を進めて、データを各種のフィルターでセレクトするとある一つの線が見い出せたことは一つの進歩ではなかったかと思われる。

しかし、あくまでもせん断定数を正しく求められたことにはなっていないことも事実である。

今後、建設を進める上においても基本的な基礎資料の蓄積に努め、設計段階で立てた仮定（仮設）の立証に努めていきたいと思っている。

### 参 考 文 献

- 地すべり調査総括書Ⅱ－西頸城地域編－ 1979. 3 新潟県農林水産部治山課
- 地すべり, 斜面崩壊の実態と対策 S58. 5 山海堂
- 新潟県地質図説明書 S52. 3 新潟県
- 北陸自動車道 名立～糸魚川間における地すべり対策 S58. 8 基礎工 vol 11

## Ⅱ 大所川第三発電所の地すべりについて

東北電力株式会社新潟支店発電部

### 1. 大所川第三発電所の経緯

大所川第三発電所は、新潟県糸魚川市大字山ノ坊地内に位置し、水源となる大所川は急峻な中部山岳地帯アルプス連峰の北面を源として、溪流小支流を合わせ、平岩地点において姫川へ合流する。

当社、大所川第三発電所は、大所川最下流に設けられ、最大使用水量  $13.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 、有効落差  $83.10 \text{ m}$ 、最大出力  $9,000 \text{ kW}$ にて昭和37年10月に発電を開始し、糸魚川制御所より集中制御管理されている当社最南端の無人発電所である。

本地域は「糸魚川—静岡構造線」（フォッサマグナ）上に位置するため、地質が複雑な上、地すべりが多い地域でもある。

地すべりの影響は、昭和38年頃より水圧鉄管の変形、導水路、発電所背面擁壁、発電所建屋等にクラックの発生となって現われたため、今日まで各種の調査、対策、補修工事を実施して来ている（昭和39年～59年時点で約7億円の地すべり関係工事を実施してきている。）。

各種工事のうち、発電所の移設について昭和50年から52年にかけて調査を実施した結果、移設可能な発電所地点は、附近一帯が地すべり区域に囲まれているため、導水路が地すべり区域を通過することは避けられず、技術的に確信のもてるルート選定は困難であった。

よって、発電所の移設は断念せざるを得ず、今後も現在の位置で運転を継続することで、昭和56年大所川第三発電所延命対策を確立し、発電所の保守に努めている。

地すべりの移動は、現在まで22年間ほぼ同じ速度で継続しており、年間の移動量は100%前後である。地すべりの機構調査では、これまで図-2に示すように伸縮計による地すべり挙動の観測を主として行なわれて来ている。これは、推定地すべり深度が地すべり中央部で40m、末端部で80mと非常に

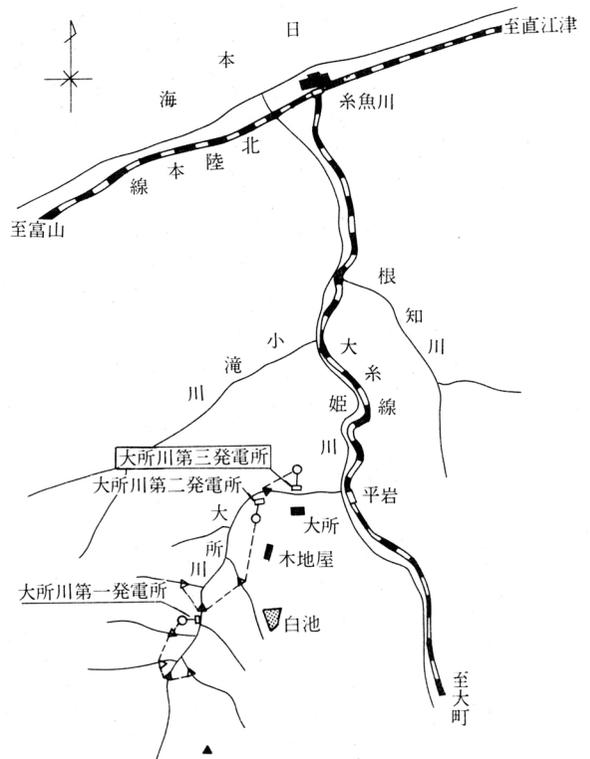


図-1 大所川第三発電所位置図

深いこと。また、地すべりの移動量が年間10cm前後と微小ではあるが、この巨大な地すべりを抑止することが困難であることから、次善策として地すべり移動形態の把握と、大規模な崩壊性地すべりの発生を予知する目的で、これまで営々と観測を続けている。

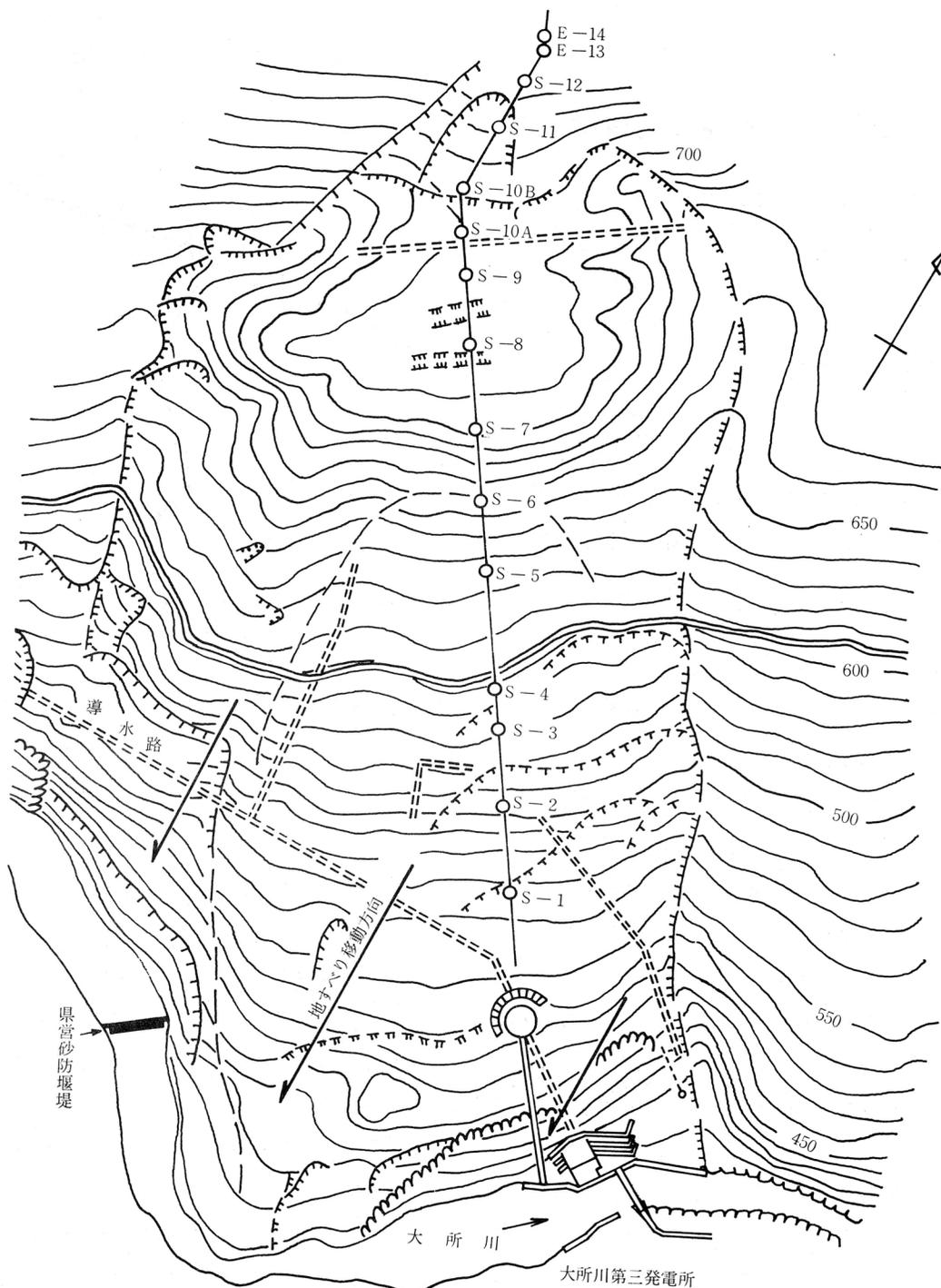


図-2 伸縮計配置図

表-1 各種地すべり調査および地すべり防止工事一覧表

項目 年度	地すべり調査										地すべり防止						
	基礎 調査	移動量調査			地下構造調査			地下水調査		すべり 面調査 添計	その他	抑止工			抑制工		
		傾斜計	伸縮計	測量	ボーリング	弾性波 探査	電気 探査	電導 度	その他			擁壁	段切工	水圧 鉄管 補強	水路・ 暗渠工	水抜横杭	
昭和37												○	○		○		
38																	
39												○		○			
40												○					
41																80 m	
42														○	30.5 m		
43																	
44																	
45		6カ所	10カ所	12点	2孔 100.0m		(垂直) 10点	16カ所		1孔	地すべり調査						
46			10カ所	12点											329.907m	1号122 m	
47	地表 調査		10カ所	12点	1孔 66.0m						地すべり調査				726m		
48			10カ所	12点	3孔 151.0m						地すべり調査					5号173 m 6号141 m	
49	地質 踏査		11カ所	12点													
50			11カ所	12点	6孔 299.0m	2測線 0.28km											
51			11カ所	12点	7孔 300.0m												
52			11カ所	12点	1孔 109.0m	7測線 3.33km											
53			11カ所	12点													
54			14カ所	33点													
55			14カ所	33点													
56			14カ所	40点											○		
57			15カ所	40点								○			○		
58	地表 調査		15カ所	40点	4孔 20.0m						地すべり調査				○		

地すべり対策工については、少しでも地すべり移動速度を押えることを考え、地下水浸透防止による抑制工で、表-1に示すとおり対策工を実施している。

また、新たに昭和59年度、調査ボーリング（深度80m）と地中傾斜計の設置・観測を始めた。これは伸縮計の観測結果において中腹からの二次地すべり（地すべりのブロック化）を疑わせる記録が得られたこと、及び地中の変形を観測し、地すべり面位置の確認などを行い、地すべりに対しての予知期待度向上を計るべく行なっているものである。

現在まで、地すべりによる発電所の実害は過去に4件発生し、いずれも水圧鉄管に亀裂が発生し、発電を緊急停止している。

## 2. 地すべり機構

### 2-1 地すべり現況

地すべりの平面的な形態は、図-3の模式図に示すようになる。地すべりの規模は、

- 斜面長 : 900 m
- 地すべり巾 : 420 m
- 斜面の平均勾配 : 25度
- すべり面平均深度 : 50 m
- すべり面積 : 38 ha
- 推定移動土塊量 : 1,890万 m<sup>3</sup>

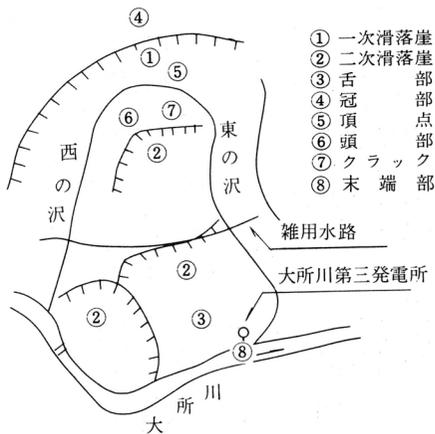


図-3 地すべり模式図

である。

地すべりは「トドミネ」を地すべり頭部とし、大所川を舌端部とする地すべりであるが、地すべり地内の活動別ブロック区分は、不明な点が多く判然としない。これは地すべり活動による地表部変形があまり現れず、変形の大部分が地すべり末端部の擁壁、発電所等に現れることから地すべり面深度が深く、かつ一体化した移動の地すべりの特徴でもある。

地すべりの活動は、昭和54年からの地表部測量、及び擁壁移動量測定結果より年間100%前後の地すべり移動が継続しており、緩慢な活動である。

地すべりの移動方向は、地すべり末端付近の地表部で水圧鉄管に対して約60度斜交するように大所川上流方向へ移動している（図-2参照）。

## 2-2 基盤地質及び地すべり面形態

地すべり地は、糸魚川-静岡構造線の西に位置し、広く古生代及び中生代の地層が発達している。地すべり地に分布するものは「来馬層群」に対比される砂岩頁岩の中生層を貫く形で発達する蛇紋岩が分布している。

図-6図は、昭和45年実施した電気探査結果に基づき作成した地すべり断面図である。

推定、地すべり面深度は約50m、地すべり面形態は傾斜角約25度の直線性であった。

また、地すべり中央部に位置するボーリング柱状図では、図-5のように基盤は「蛇紋岩」からなる部分と、「砂岩」よりなる部分があることが確認された。

ボーリング結果において、砂岩からなる部分は図-5の柱状図に示すように、深度20.8mまで「転石混り粘土」であることから非常にルーズである。しかし、20.8m付近より著しく破碎をうけた砂岩、頁岩の岩体からなっているが、深度40.9m~44.6m間は再び「礫混り粘土」となり、粘性の強い粘土層をはさんでいる。これは、「地すべり粘土」にあたるもので、この位置が地すべり面であることがほぼ確定できる。この層より深部は、一部破碎された部分があるが、良好な棒状コアを採取された。

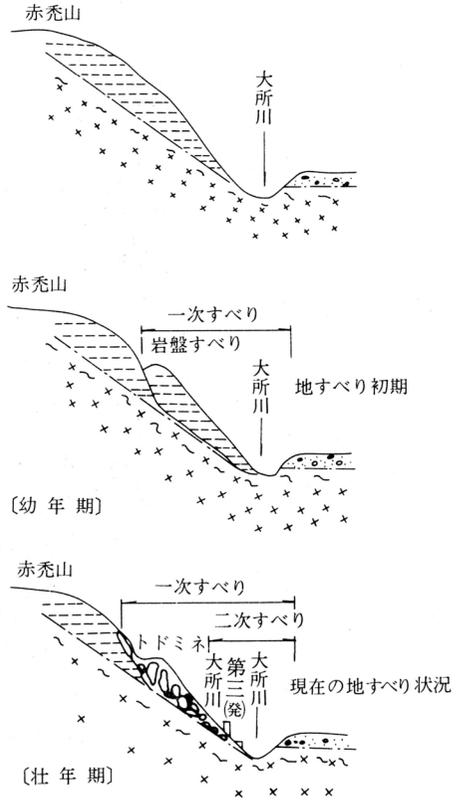


図-4 地すべりの経緯模式図

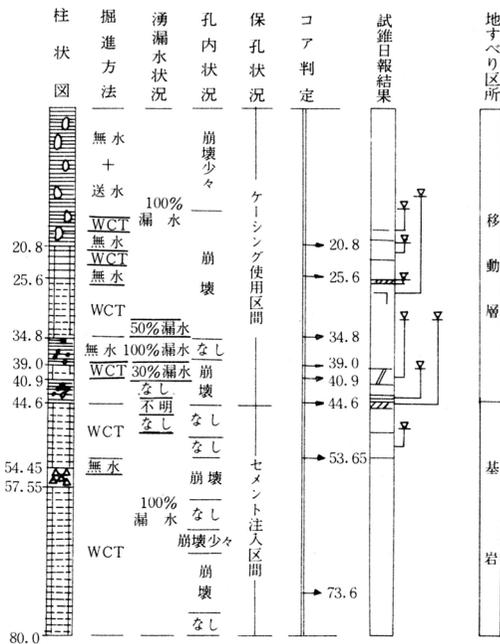


図-5 ボーリング柱状図

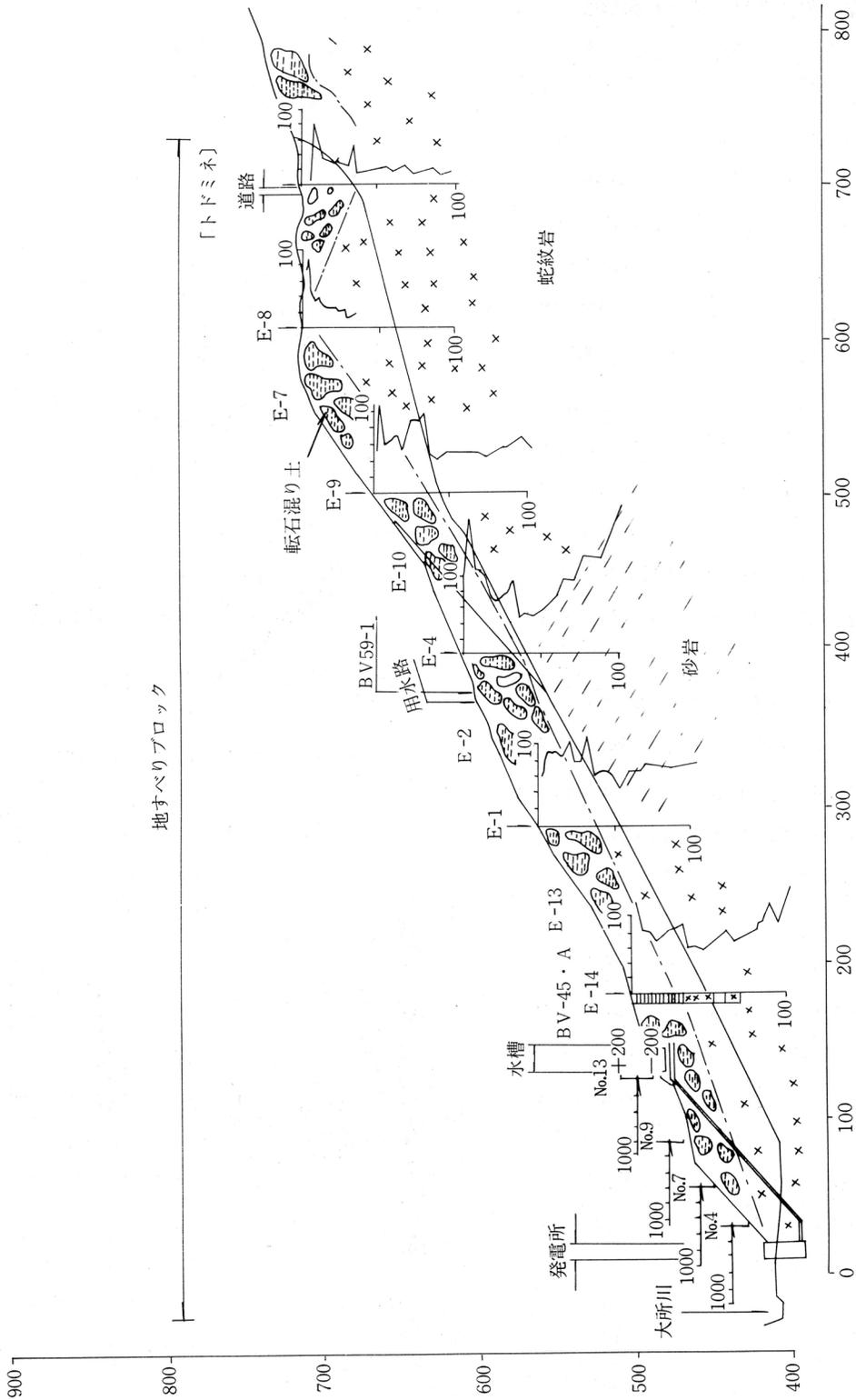
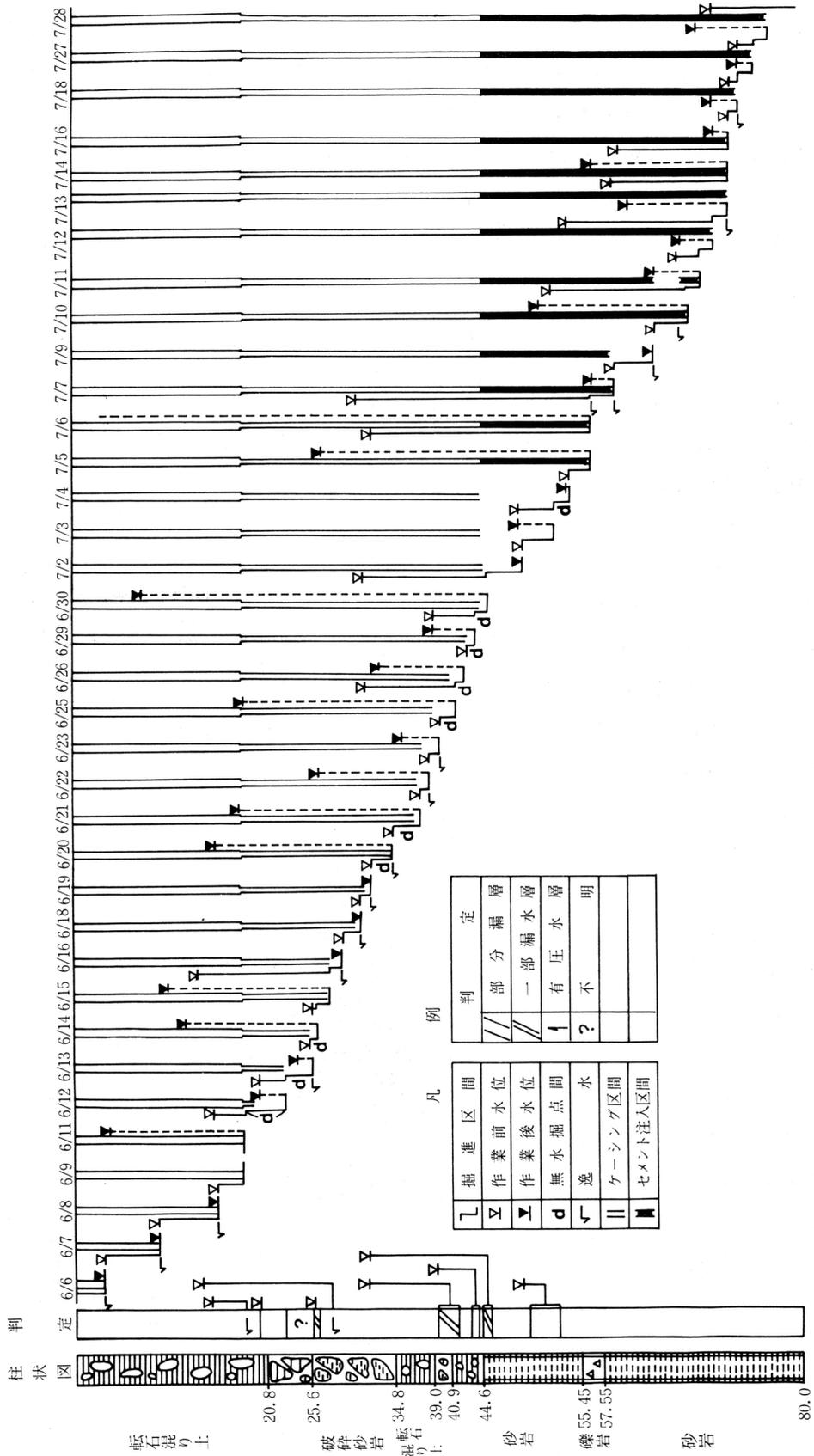


図-6 地すべり断面図



凡 例

掘進区間	判 定
作業前水位	部分漏層
作業後水位	一部漏層
無水掘点間	有 圧 水
逸 水	不 明
ケーシング区間	
セメント注入区間	

図-7 BV-59-1号孔試錐日報解析図

地下水状況は図-7に示すとおり、転石混り土の全区間がほぼ完全な「漏水層」で、極めて透水性が良いが、深度20.8m~28.0m付近及び39.0m~45.0m付近の2ヶ所においては、孔内水位を形成していることが確認され、基盤の砂岩に到達すると再び全漏水区間となる。

したがって、地すべり面と考えている付近は不透水層となっており、集中豪雨あるいは融雪水が地下へ浸透した場合、この不透水層で間隙水圧へ転化し、地すべり活動を助長していると考えられる。

基盤を蛇紋岩とする区間においても同様と考えられるが、砂岩を基盤とする区間と異なり、地すべり面より下位の蛇紋岩中での漏水は比較的少ない。

### 2-3 水圧鉄管周辺の状況

水圧鉄管は地すべり移動のため、毎年除々ではあるが変形を続けている。

この変形ヶ所について、昭和58年、水圧鉄管内部よりボーリングを行った結果、水圧鉄管周辺の状況は図-9のとおり層厚2~3mで蛇紋岩が著しく

粘性化していることから、水圧鉄管変形部が地すべり層（面）に位置していることが確認された。

この地すべり層（面）は、大所川上流へ向って20~30度と比較的急な角度で傾斜しており、地表部での移動方向と一致している。この水圧鉄管を変形させる地すべり推力として加わる最大曲げモーメントは、「短期の許容応力×断面係数」と考え、試算してみると水圧鉄管径1,800mmに対して1,180t加わることにな

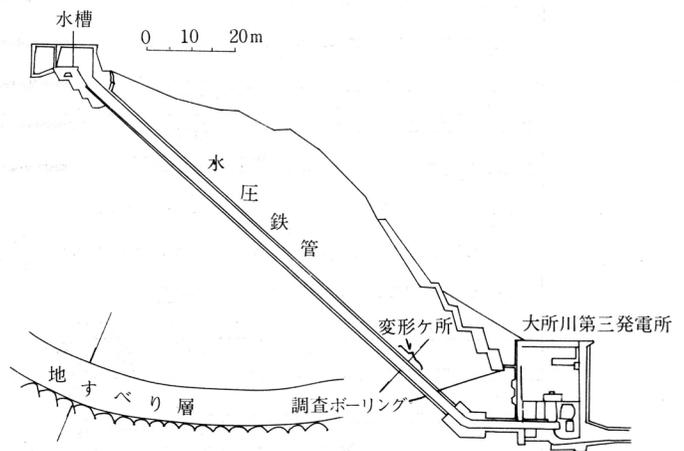


図-8 調査位置略図

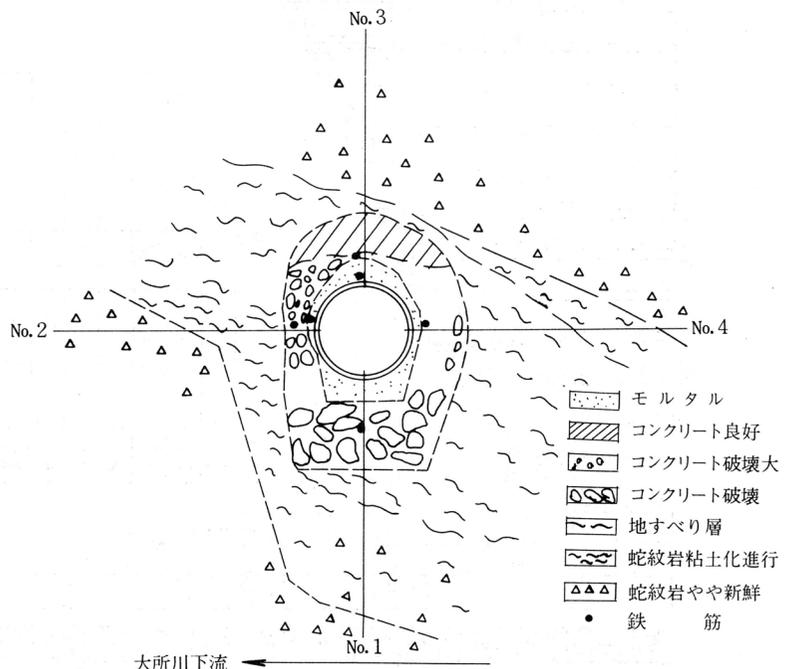


図-9 水圧鉄管周辺状況図

る。即ち、この程度の非常に大きな推力が加わるには、通称「トドミネ」からの大地すべりでなければならない。地すべり対策が非常に困難であることは、このことから容易に想像されよう。

### 3. 地すべり動態観測

地すべり動態観測は、

- 伸縮計による観測（昭和45年より）
- 測量による観測（昭和54年より）
- 擁壁移動量観測（昭和54年より）
- 地中傾斜計観測（昭和59年より）

を実施している。

これらの測定は、縦断方向が主である。伸縮計のみが地すべり頭部から末端までの連続的のデータを取っており、他は主として水圧鉄管沿いの局所的な変状把握である。

#### 3-1 伸縮計観測

伸縮計は図-2に示すように、地すべり中央部を縦断方向に延長760mに亘り連続設置している。

伸縮計観測の目的

- (1) 地すべり発生の予知及び二次地すべり活動の把握
- (2) 全体的なブロック活動の把握
- (3) 大所川第三発電所に地すべり災害をひき起こしている地すべり範囲の把握、及び移動量の推定。

ここで、(1)と(2)はほぼ同様な意味あいであるが、特に(1)については地すべり災害という観点から見れば、特に留意する必要がある。

これは、地すべりの活動が現在の変動のように、年間100%前後の緩慢な変動である限り、災害として「水圧鉄管の変形」あるいは「擁壁などへの亀裂の発生」などの災害形態を主にするのに対し、特に問題となる「人的災害」あるいは「発電所の全般的な破壊」をもたらすような急激な地すべり活動は、この地すべりブロックの大きさ（斜面長900m、地すべり巾420m）または、これまでの地すべり変動形態から考えて、斜面中腹部あるいは下部付近からの地すべりが、小ブロック化してから発生する可能性が最も高いと考えられ、このような現象が現れれば要注意ということになる。

現在の伸縮計観測基数は、S1～S14で15ポイント設置しているが、そのうちブロック化の兆しのあるS-4については、通年を通じての観測を昭和58年度から実施している。

ここで、大所川第三発電所伸縮計による地すべりの変動形態は、次の表-3に示す5つのタイプに区分できる。

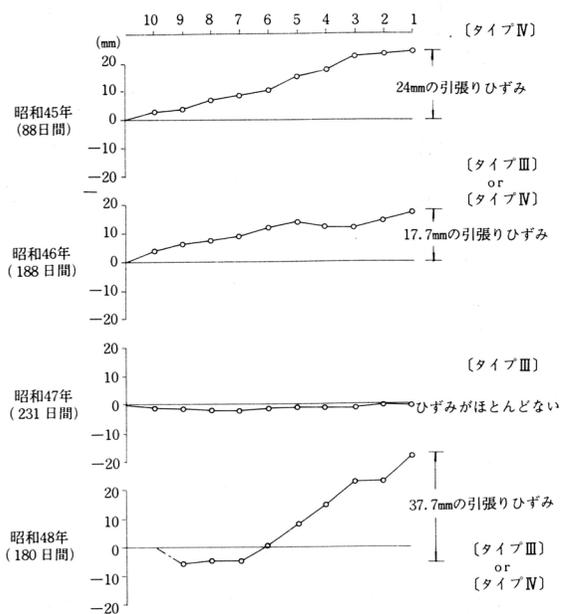
表-2 地すべり変位一覧表

年 度	S-1-S-10伸縮計区間における斜面長のひずみ量			大所川第3発電所擁壁の移動量 (インバー線測定による)			水圧鉄管管長 (測量による)	
	観測 日数	変位量 (mm)	1日当りのひず み量(mm/dog)	観測 日数	移動量 (mm)	1日当りの移動 量(mm/dog)	(測量実施日) 水圧鉄管管長(m)	前年と の差(mm)
昭和 45	88	24	0.273				(45/11/16) 111.745	-67
46	188	17.7	0.094	166	44.5	0.268	(46/11/19) 111.690	-55
47	231	0	0	269	68.0	0.253	(47/9/21) 111.657	-33
48	180	37.7	0.209	365	73.5	0.201	(48/10/9) 111.625	-29
49	175	16.5	0.094	360	103.0	0.286	(49/11/1) 111.555	-73
50	154	35.8	0.232	312	70.5	0.226	(50/11/18) 111.527	-28
51	135	-23.7	-0.076	366	86.6	0.237	(51/11/8) 111.477	-50
52	180	-47.5	-0.264	365	78.0	0.214	(52/11/24) 111.446	-31
53	189	-30.4	-0.161	346	91.0	0.263	(53/11/16) 111.426	-20
54	150	-7.2	-0.048	365	68.3	0.187	(54/11/14) 111.400	-26
55	188	-36.7	-0.195	354	71.6	0.202	(55/10/23) 111.364	-36
56	135	-10.7	-0.079	297	76.0	0.256	(56/11/14) 111.340	-24
57	116	-20.4	-0.176	365	66.8	0.183	(57/11/15) 111.331	-9
58	182	-60.4	-0.332	365	68.2	0.187	(58/11/18) 111.329	-2

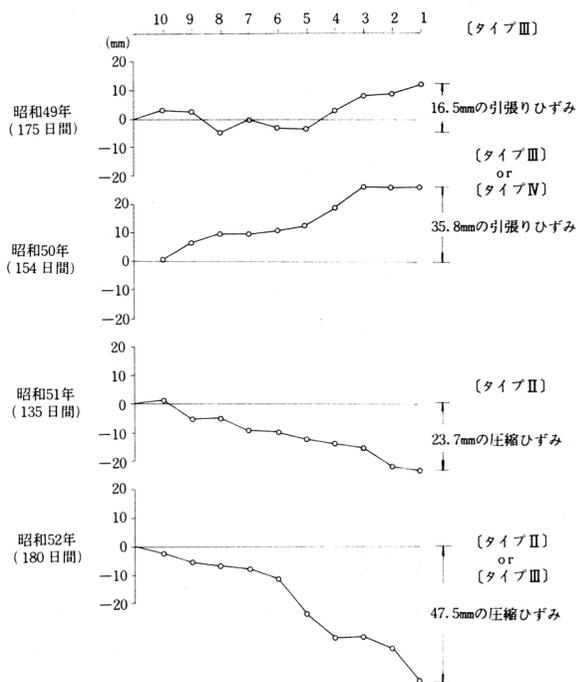
表-3 地すべり変動形態のタイプ一覧表

	変 動 形 態	地すべりタイプ	備 考
〔タイプⅠ〕	ある伸縮計が「伸び」を記録し、それより下位の伸縮計が全く変動を記録しない。	ほぼ完全な胴体が移動する地すべり。	岩盤地すべり
〔タイプⅡ〕	ある伸縮計が「伸び」を記録し、それより下位の伸縮計が「縮み」を記録する。	土塊の移動により地すべり末端近くに圧縮が発生している。	一般的な地すべりのタイプ
〔タイプⅢ〕	最上位の「伸び」の他に「伸び」を記録する伸縮計がある場合。	地すべりがブロック化して発生している。	
〔タイプⅣ〕	すべての伸縮計に「伸び」が記録される場合。	後退型の地すべり	斜面の末端での大きなカットによる地すべり流動型地すべり。
〔タイプⅤ〕	すべての伸縮計に「縮み」が記録される場合。	設置してある伸縮計より上位に地すべり頭部がある。	

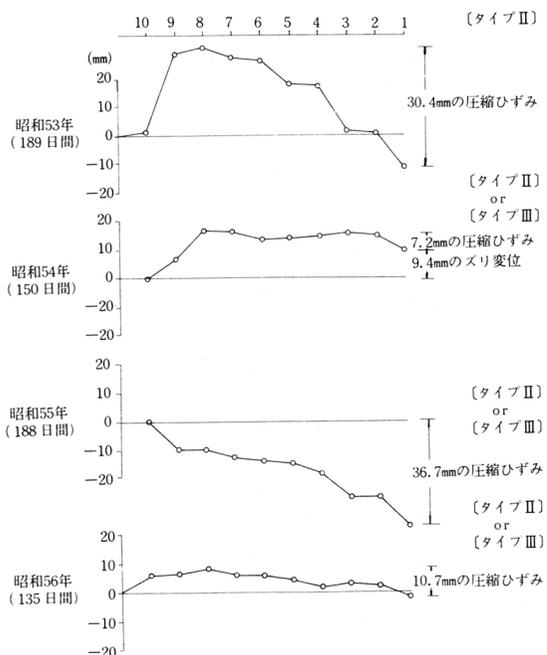
伸縮計最終累積変動図(その1)



伸縮計最終累積変動図(その2)



伸縮計最終累積変動図(その3)



伸縮計最終累積変動図(その4)

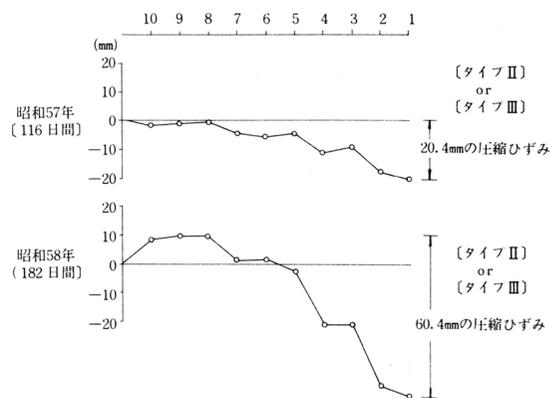


図-10 伸縮計最終累積変動図

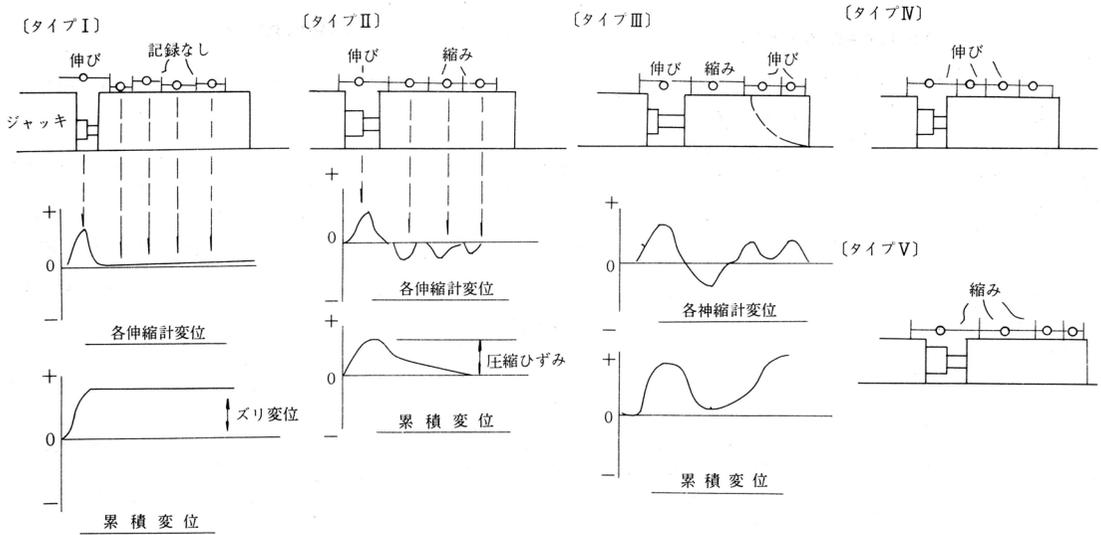


図-10は伸縮計最終累積変位図より、地すべり変動形態が昭和50年～51年までは、地すべりタイプⅢ、もしくはⅣであり、地すべりの小ブロック的な活動を示している。昭和51年～58年までは地すべりタイプⅡ、もしくはⅢであり地すべり末端近くに圧縮が発生していることがある。

これは地すべり末端付近の土塊に、常時、一定の地すべり推力が働いていると仮定すれば、地すべり末端付近の土塊は始め圧縮され、「縮み」を解放しようとし土塊が大きく移動する。「縮み」が一旦解放されると、地すべり末端の土塊は次の圧縮の極限まで小さな地すべり移動となり、先に述べた状態へと移る。

大所川第三発電所の地すべりは、このような地すべり末端付近の土塊が「縮み」→「解放」→「縮み」を繰り返すような変動をしているからであろう。

同様なパターンは次頁で述べるが、年間を通じても見られることが分っている。従って、地すべり末端は毎年「縮み」→「伸び」→「縮み」の微小変動を繰り返しながら地すべり変動しており、長期的にも「縮み」→「伸び」→「縮み」の長いサイクルがみられる(図-11参照)。

現在の地すべり末端は「縮み」の傾向にある。水圧鉄管々長の変位は少ないが、今後「縮み」が解放された時にかなり大きな鉄管の変動が予想されるため、地すべり末端の土塊の挙動には十分留意しなければならない。

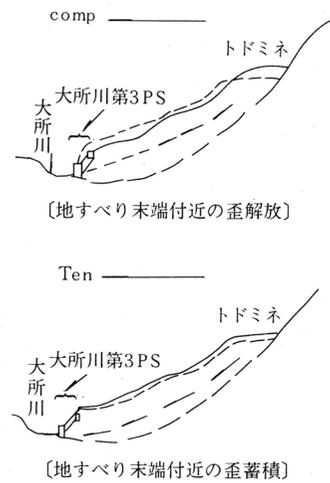


図-11 地すべり変動図

### 3-2 測量による観測

昭和58年より実施してきた地すべり中央部から下部にかけて、測量による地表移動量調査結果を表-4に示す。昭和58年6月～昭和59年5月のほぼ1年間における移動量は96%であり、地すべりの移動は図-12のとおり季節的に変化していることが判った。

表-4 地すべり移動量 (m)

測点	昭和58年6月～11月	昭和58年11月～昭和59年5月	昭和59年5月～11月
T-1	0.040	0.042	0.029
T-2	0.033	0.045	0.022
T-3	0.034	0.051	0.029
T-6	0.041	0.066	0.020
T-8	0.012	0.117	0.013
T-10	0.021	0.073	0.017
T-12	0.013	0.082	0.010
平均	0.028	0.068	0.020

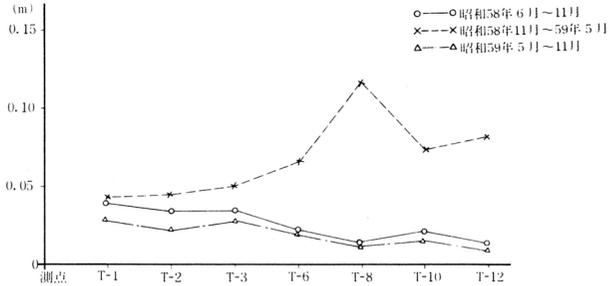


図-12 移動量比較図

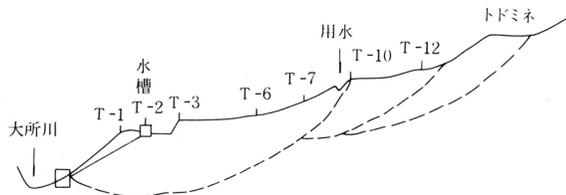


図-13 標柱配置図

即ち、5月～11月までの夏期は地すべり末端部ほど移動量が大きく、11月～5月までの冬期は地すべり頭部ほど移動量が大きいことである。この地すべり移動量の違いを地すべり挙動としてとらえた場合、地すべりは「地塊型地すべり」のように一体化した移動のため、局部的に歪の蓄積・解放を繰り返しているものと考えられる。よって、地すべり末端付近の大所川第三発電所水槽付近では、冬期間に上方斜面からの地すべり移動で蓄積した歪が、夏期で解放する(変動パターンを図-14に示す)。

前述したように、毎年「縮み」→「伸び」→「縮み」を繰り返し、さらに一年間の中でも「縮み」→「伸び」が起っていることが判る。

### 3-3 擁壁移動量観測

擁壁移動量(地すべり末端部)は、昭和49年からのデータから80mm/年前後となっている。これは伸縮計の蓄積量と同等の値が得られており、一年間ほぼ一定の勾配で移動量が蓄積されている。地表部での動態観測によれば図-14に示すとおり、水槽付近では沈下、下部擁壁部周辺では隆起となっており、擁壁部は押され立ってくる形となっている。

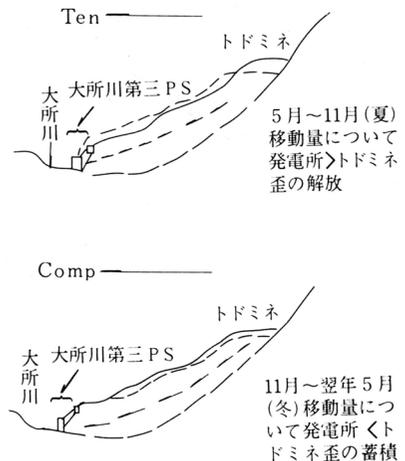


図-14 地すべり変動図

地表面の移動方向は、前述しているように水圧鉄管に対して、約60度の角度で大所川上流へ向って移動している。

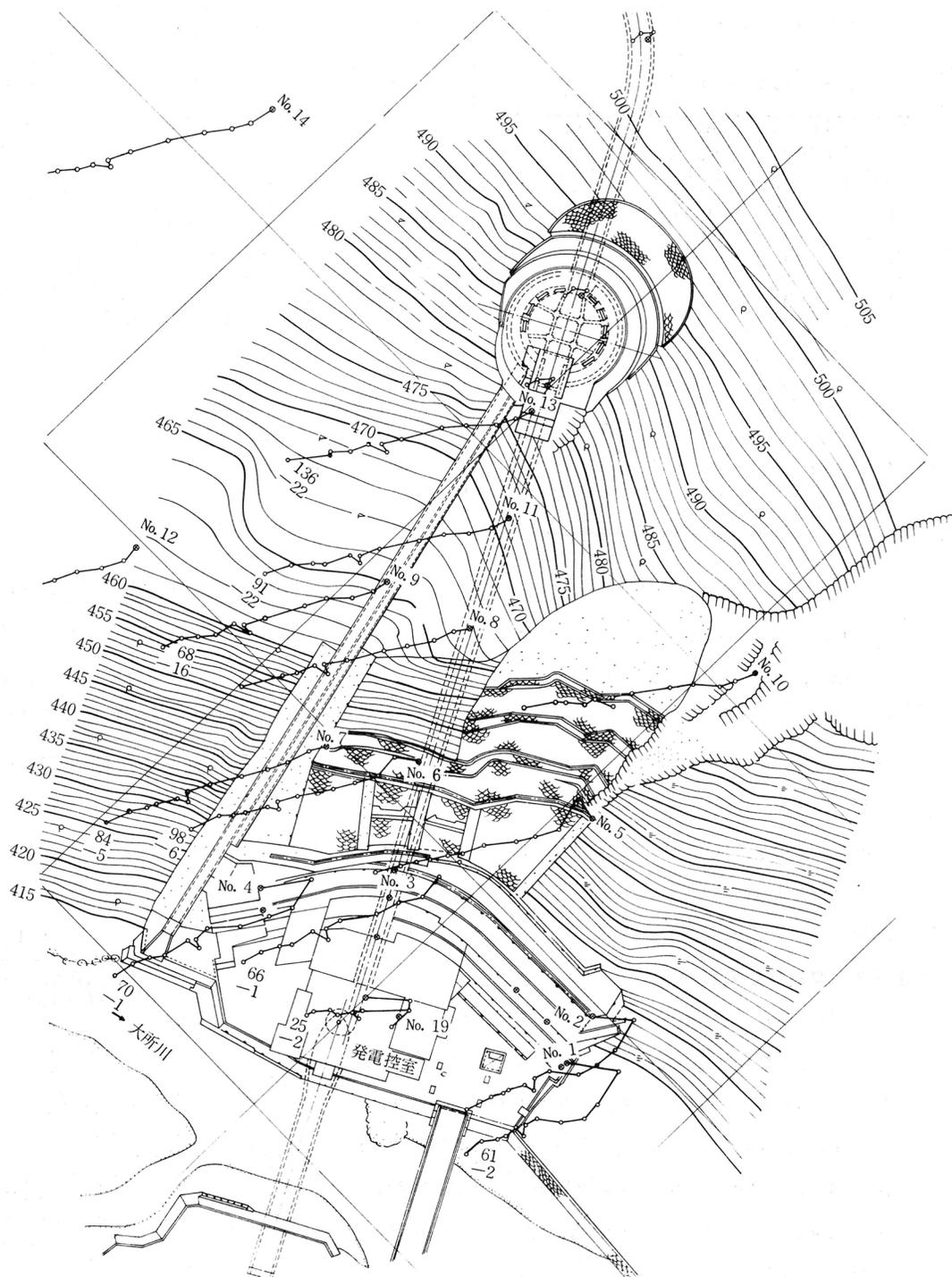


図-15 発電所付近平面図

### 3-4 地中傾斜計観測

昭和59年の調査ボーリング孔で、8月より地中傾斜計による観測を行っており、観測結果を図-16に示す。

図-16のとおり深度25.0m、45.5mの位置で顕著な穴曲りを示している。特に深度25.0mより上部は累積的な平行移動が見られ、地すべり移動を記録しているものと考えられる。

これまでボーリングコアで判断した地すべり面位置は、深度20.8m、25.6m、40.9m、44.6mで深度0~44.6m間が移動層区と見てきた。従って地中傾斜計観測結果より地すべり面は深度25.0m（地すべり面Ⅰ）と、深度45.0m（地すべり面Ⅱ）に位置する。また、現在、最も活発な地すべり移動は地すべり面Ⅰより上部であると考えられる。

地中傾斜計観測による地表の移動量は8/9~11/19日間で20%前後であり、地表移動量調査T-10において5月~11月間の移動量17%と、ほぼ同様な値となっており、地中傾斜計が地すべり移動を観測しているものと考えられる。

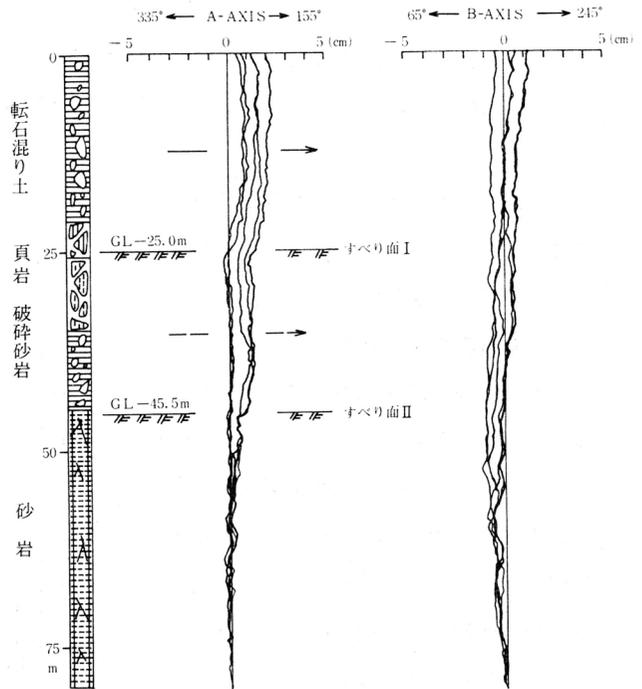


図-16 地中傾斜計解析図

## 4. 各種保安対策

### 4-1 導水路、水圧鉄管

導水路（鉄筋コンクリート造り）延長1,800mの内、特に地すべりによる被害を受けている箇所は水槽より上流900m地点である。導水路内に発生したクラックの状況により、補修工事を実施している。

補修内容は導水路内側に鋼製支保工（H-125×125×6.5/9%）を1.0m間隔に建込み、コンクリート（内巻厚15cm）によりライニングをしている。この補強によって、地圧に対する断面係数増強をはかり対処している。現在まで約270m間を実施しており、内巻補強ケ所の再クラック発生は、現在のところみられない。しかし、この大地すべり中に位置する導水路を内巻補修を行っても、地すべりに対しては構造的に抑制あるいは、抑止工になり得ないとする。

水圧鉄管変形ケ所の補修については、昭和45年水圧鉄管変形ケ所を二重鉄板張りとして、外側鉄

板厚12%, 内側鉄板厚16%を使用し二重鉄管構造として、地すべり対策を講じている。また、毎年2回程度、鉄管変形・亀裂ヶ所の鉄板切取・張替を行っている。鉄板の切取りに際しては、切取りすることによって今迄に蓄積した地すべりによる歪応力が一時的に開放されるため、作業は非常に危険性の高いことから、慎重に少しずつ切取り、新規の鉄板（S M材）を円周方向に溶接を行っている。

尚、地すべりによる管長縮み量は図-17に示すとおり、除々に毎年、定量的な鉄管の「縮み」を記録している。

#### 4-2 発電所の安全確保

発電所の安全確保については、我々をはじめ協力業者も諸作業のため、地すべり地域内に立入るので大所川第三発電所の地すべりを認識し、一致協力して安全確保に努めることを目的として「大所川第三発電所地すべり地域内における安全確保」を制定し運用している。内容については地すべりによる警戒体制、非常体制、異常時における発電所停止及び通報体制を確立している。また、昭和58年6月には地すべり警報が発生した場合、発電所を緊急停止するルールを決め、被害の拡大防止に努めることとしている。

(※発電所と発電所裏山土留壁との間を計測しているインバー線が、1日4%以上移動し、発電所上流堅坑が異状水位となった場合サイレン吹鳴する。)



図-17 水圧鉄管縮み量累計曲線図

## 5. む す び

大所川第三発電所のような、地すべりによる被害を受けている箇所は数多くあると思われる。当地すべりの様に、非常に大規模で特にすべり面が深いものについては、工法的にも経済的にも適切なものが見出しにくい現状にある。

当面は現在の補修工事、地すべり移動観測を継続し、関係各位からの助言・御指導をいただきながら当発電所の延命に努めてまいりたい。