

# 土木研究所資料

## 猿供養寺地すべり調査報告書(II)

昭和63年3月

建設省土木研究所  
新潟試験所

「Copyright ©(1988) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W. R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

## 猿供養寺地すべり調査報告書(II)

新潟試験所 所 長 是 沢 一 樹  
主任研究員 近 藤 政 司  
研 究 員 丸 山 清 輝  
佐 藤 克 徳

### 要 旨

本報告書は、土木研究所資料第1770号猿供養寺地すべり調査報告書に続く、第2巻目の報告書である。この報告書は、地すべり対策工の効果判定を目的に、地下水排除工施工後の現地において効果追跡調査を長期にわたり行ない、効果及び評価手法についてとりまとめたものである。

キーワード：発生機構解明、モデル調査、対策工、猿供養寺地すべり地、第三紀層地すべり

## まえがき

当新潟試験所は、第三紀層地帯における地すべりの発生機構を解明し、それにとりまなう対策工法の基準化を目的として、昭和35年より新潟県中頸城郡板倉町の、猿供養寺地すべりをモデル試験地として、移動状況、地下水調査等、種々の調査観測を実施し、地盤構成、運動特性、地下水特性等を解明してきた。前回の報告（土木研究所資料第1770号猿供養寺地すべり調査報告書）では、昭和35年から昭和49年までの調査試験結果を解析し、その発生機構と運動特性についてとりまとめている。その結果、移動層上部の赤褐色粘土層内に存在する地下水の挙動が地すべり運動に最も影響を与える事が判明した。このことから、その後昭和50年から地下水排除を主とした対策工事（暗渠工、排水壁工、水抜きボーリング工等）を施工した結果、移動量が斬減し斜面も安定してきた。現在の現地試験調査は、対策工の効果判定を主たる目的に調査を行い、その効果について解析、検討したものである。

そこで、ここでは長期に亘る追跡調査から、地下水排除工の効果評価手法についての一指標を得たので報告するものである。

なお、本報告をまとめるに当たって、当時、新潟試験所で調査を担当された、北陸地建羽越工事事務所河川調査係長の清水清文氏、阿賀川工事事務所塩川出張所の福井義隆氏と湯沢砂防工事事務所工務係長の本白茂氏並びに千曲川工事事務所調査課の横山正一氏に負うところが多く、ここに厚く感謝いたします。

昭和63年3月

1. 猿供養寺地すべりの概要	
1-1 新潟県の地すべり	1
1-1-1 地形・地質と地すべり	1
1-1-2 気象と地すべり発生	2
1-2 猿供養寺地すべりの概要	4
1-2-1 地すべり地の概要	4
1-2-2 地すべりの履歴	6
1-2-3 地すべり地の地形・地質	6
1-2-4 地すべり機構	7
1-2-5 対策工事	8
2. 効果判定調査	
2-1 移動状況調査	10
2-2 地下水調査	13
2-2-1 間隙水圧調査	13
2-2-2 排水量調査	15
3. 対策工に伴う地すべりの挙動特性	
3-1 対策工施工前の挙動特性（昭和50年以前）	18
3-1-1 移動状況からみた特性	18
3-1-2 間隙水圧からみた特性	21
3-2 対策工進捗に伴う挙動特性（昭和51年～昭和55年）	23
3-2-1 移動状況からみた特性	23
3-2-2 間隙水圧からみた特性	26
3-2-3 地下水検層	33
3-2-4 地下水追跡	34
3-3 対策工施工後の挙動特性（昭和56年以降）	35
3-3-1 移動状況からみた特性	35
3-3-2 間隙水圧からみた特性	35

3-3-3	排水量からみた特性	4 1
4. 地下水排除工の効果		
4-1	暗渠工	4 7
4-1-1	移動からみた効果	4 7
4-1-2	間隙水圧からみた効果	4 7
4-2	3号排水壁工	4 9
4-2-1	移動からみた効果	4 9
4-2-2	間隙水圧からみた効果	4 9
4-2-3	排水量からみた効果	5 8
4-2-4	平面二次元差分法による地下水位低減範囲の検討	6 7
4-2-5	境界要素法による地下水位低減範囲の検討	6 8
4-2-6	安定計算	7 2
4-3	水抜きボーリング工	7 5
4-3-1	移動からみた効果	7 5
4-3-2	間隙水圧からみた効果	7 5
5.	まとめ	8 1
	参考文献	8 3

# 1. 猿供養寺地すべりの概要

まず、猿供養寺の地すべりの概要を述べる前に、新潟県の地すべりの発生特色についてふれておきたい。

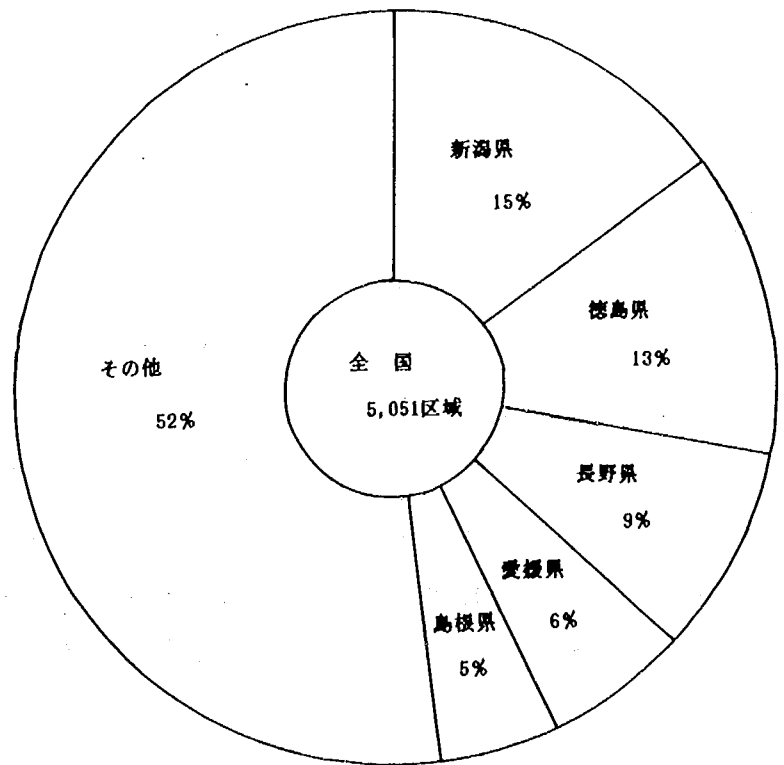
## 1-1 新潟県の地すべり

わが国の地すべりは、地質・形態・運動様式・地質構造の観点から種々分類されているが、地質による区分によると代表的なのが小出<sup>(1)</sup>であるが、それによると

- (1) 東北、北陸、山陰、北九州等、日本海側に広く分布する第三紀層地すべり
- (2) 徳島、愛媛県等、中央構造線の南側の結晶片岩地帯に配列する破砕帯地すべり
- (3) 温泉変質に伴う温泉余土生成地に発生し、全国の温泉地帯に広く分布する温泉地すべり

に分類している。

新潟県の地すべりはこの分類の第三紀層に属し、県下で発生した地すべりは昭和61年においては、85箇所へのぼり、図-1に示す地すべり防止区域指定地の区域数をみてもわが国全体で、15%、777箇所を占めている。このように新潟県は、全国的に眺めても地すべりの最多発地帯であることがわかる。



昭和58年度 砂防便覧による

### 1-1-1 地形・地質と地すべり発生

新潟県の地質は、糸魚川-静岡構造線以西は主として中・古生層が、魚野川-破間川-村上市を結んだ線以东は主として火成

図-1 地すべり防止区域指定箇所数の割合

岩類、中・古生層が分布し、それぞれ急峻地形を呈している。これらに対し、上記構造線の内側は新生代（新第三紀、第四紀）地層が広く分布し、山地ないし丘陵な地形を呈して

地質時代		地層名	主な岩石
第四紀	更新世	矢代田層	砂、れき、粘土
		魚沼層群	砂、れき、粘土、砂・れき・粘土互層
新 第 三 紀	鮮新世	灰爪層	細粒砂岩、シルト岩、砂岩・シルト岩互層
		西山層	灰色泥岩、砂岩泥岩互層
	中新世	椎谷層	暗灰色泥岩（いわゆる黒色泥岩）、泥岩・砂岩互層
		寺泊層	黒褐色泥岩（いわゆる黒色泥岩）
		七谷層	黒色～灰色硬質泥岩、凝灰岩
		津川層	緑色凝灰岩、砂岩、泥岩、れき岩
		岩船層	緑色凝灰岩、安山岩、石英安山岩、石英粗面岩、硬質泥岩、れき岩
		相川層	変質安山岩、石英粗面岩、凝灰角れき岩、珪質頁岩、れき岩

表一 新潟県の第三系地質層序

いる。

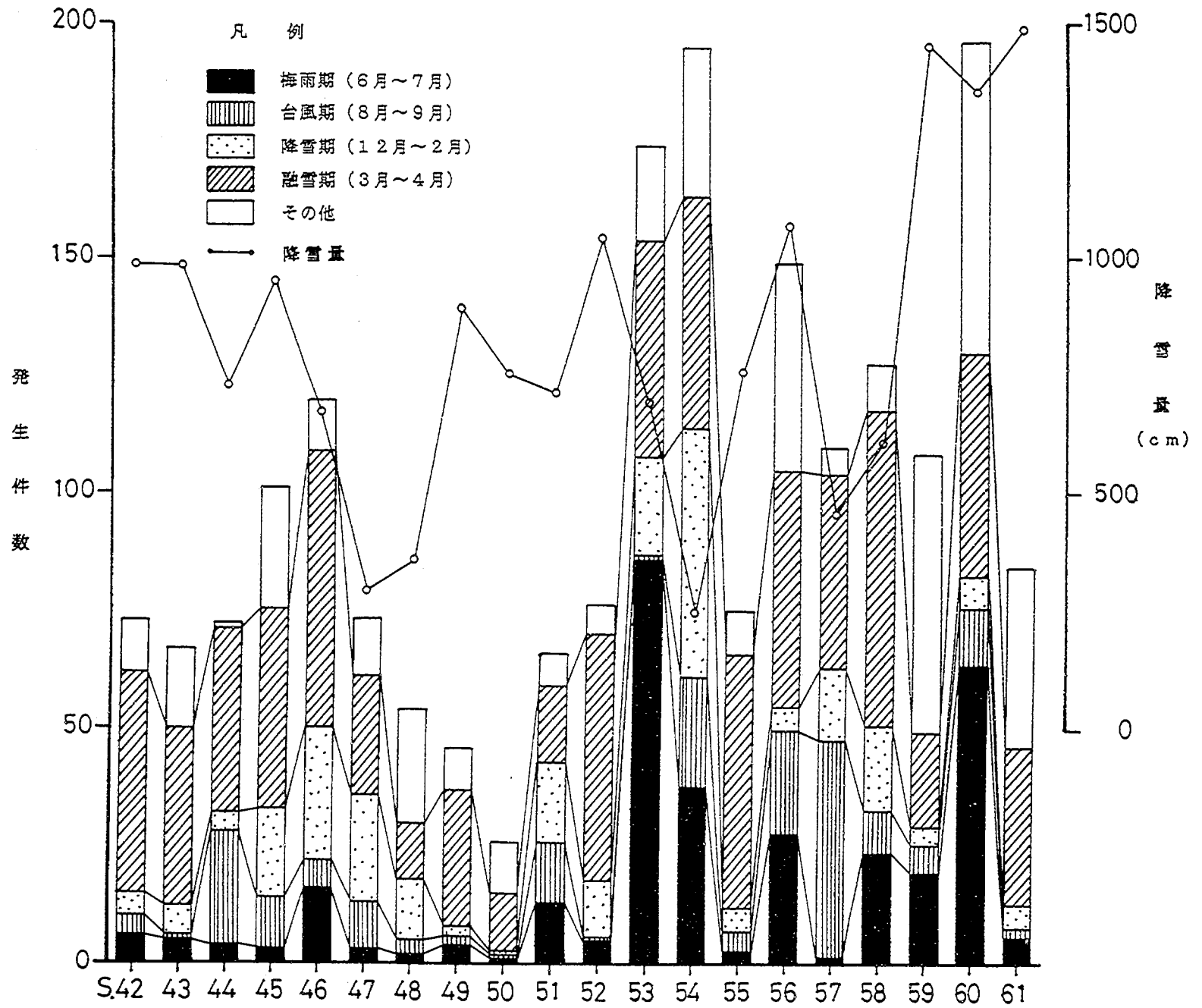
地すべりの多くは主に、新第三紀層（表一）に分布する地域に多く発生しており、特に関川と信濃川に挟まれた県南西部地域は、椎谷・寺泊層が広く分布して、いわゆる黒色泥岩が優性で、比較的小さな地すべりが密集している。これに対し、火成岩類、中・古生層は、急峻な地形は呈するが地すべりは少ない。したがって、椎谷・寺泊層の地区は、新潟県では最も地すべりの発生しやすい地層であることがうかがえる。新第三紀層の地層でも七谷・津川層、岩船・相川層は地すべり発生が少ない地層である。

黒色泥岩を主体とする地すべり分布を見ると、地質構造に密接な関連を持ち、褶曲、断層、変質、特に火成岩との境界部における変質破碎が、地すべりの素因となっていると思われる。又、黒色泥岩はところによっては、砂岩と互層をなしている場合もある。この黒色泥岩を構成する深海性のシルト質粘土は、主としてモンモリナイトからなり、膨潤性が大きく、これが地すべり発生の原因と考えられる。

#### 1-1-2 気象と地すべり発生

新潟県は全国でも有数の豪雪地帯であり、多いところでは4m～6mの積雪深をみる。したがってこの積雪が、山地斜面において載荷重となり地すべり発生誘因となる。又、それは融雪水となって地すべり地に供給され、あたかも降雨があったのと同じ状態となり、土の含水比の増大、あるいは間隙水圧の上昇が起こり地すべり発生誘因となる等、雪が地





図一 新潟県の地すべり発生状況

年

すべり地に与える影響が大きいものと考えられる。

実際、地すべり発生時期を見ると、新潟県内で昭和42年～61年の20年間に発生した地すべりのうち、積雪期（12月～4月）に52%と発生する割合が高く、融雪期（3月～4月）では39%を占めている。しかし、積雪量が多い年には発生件数が必ずしも多いとはいえず、年によってまちまちである。（図-2参照）

そこで、文献<sup>(2)</sup>によれば融雪期に地すべり発生をさせる要素として、最大積雪深、最終最大積雪深、融雪継続日数、融雪速度、前年6月から2月までの地すべり発生件数等が考えられる。それらについての関係を見ると、融雪地すべりの発生を左右するのは、融雪継続日数及び前年6月から2月までの地すべり発生件数と考えられ、前年に地すべりが多発し、なおかつ積雪が多い年は融雪期に地すべりが多いことが推定できると述べている。又、積雪深と地すべりとの発生件数を見ると、残雪深の減少と共に地すべりの発生率が增大するということも述べている。

## 1-2 猿供養寺地すべりの概要

詳細については、既往文献<sup>(3)</sup>を参照されたい。

### 1-2-1 地すべり地の概要

猿供養寺地すべりは、中頸城郡板倉町の南端に位置し、新井市より南東13.5kmの距離にある丈ヶ山(571.6m)の南西斜面にある。（図-3参照）

当地すべり地は、黒色泥岩を貫く珩岩岩脈からなる丈ヶ山の周辺に放射状に分布する地すべり郡の一つにあたり、中央に不動地を挟みながら二つの流れとなって、猿供養寺集落を経て関川の右支川大熊川に達する

長さ1.5km、高低差約260mの区域であり、すべり層厚は4m～5m内外、平均7mで、すべり幅は50m～100mである。大きく分けて中央部の不動地によって、東部と西部に分離しているのが特徴である。又、地すべり頭部から末端まで十数ブロックに分かれており、1つのブロックとしては、100m～200mである。（図-4参照）

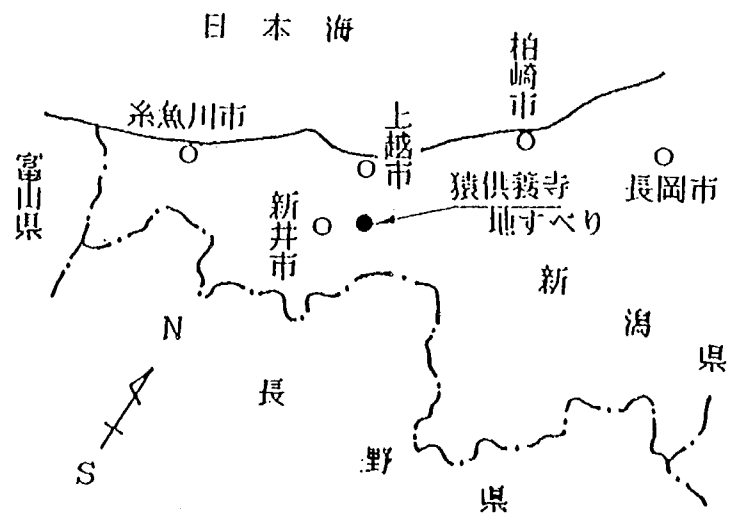


図-3 位置図

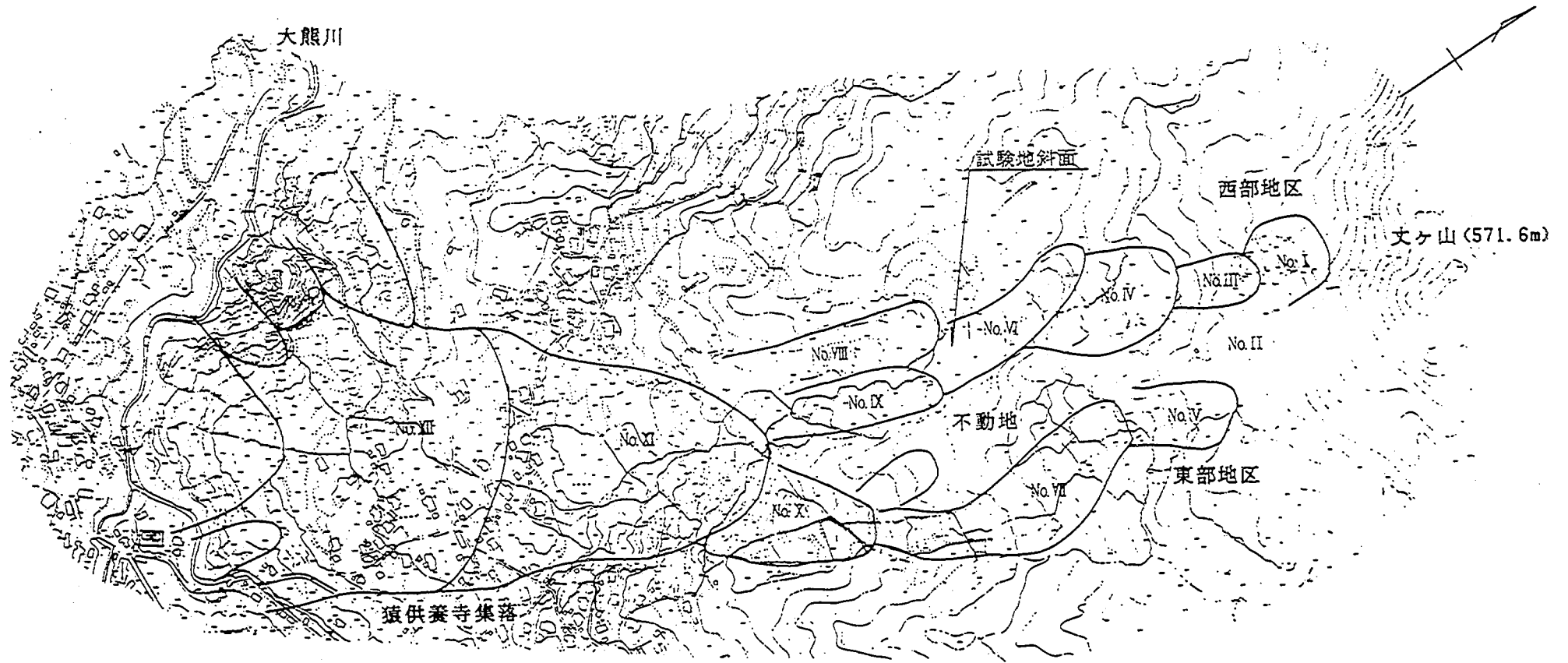


図-4 地すべりブロック区分図

I～IIIブロックは共に荒れ地になっており、IV～VIIブロックでは主として畑地になっていてわずかに湧水のあるところが水田となっている。VIII～XIIブロックは主として水田で、わずかに畑地が存在する程度ある。

当地すべり調査は、昭和35年から西部地区でボーリング調査、移動測量観測を始め、昭和43年から地すべり発生機構を解明するための移動特性に関する調査をし、昭和50年から地下水排除工の効果判定調査が実施されてきた。

### 1-2-2 地すべりの履歴

地すべり記録は相当古いものであり、すでに800年前に地すべりを鎮めるために人柱となって地中に生き埋めとなった旅僧があるという伝説があり、実際に昭和12年に遺骸が発掘された。

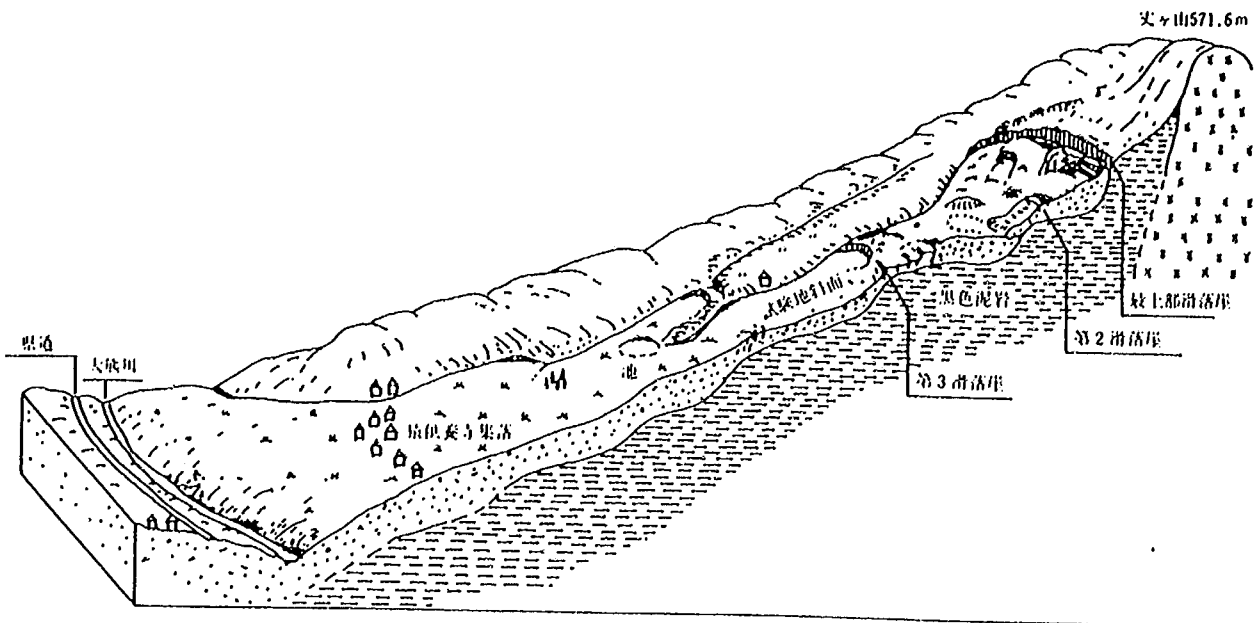
最上部は明治30年の頃、崩壊形地すべりが拡大したものであり、IV～VIIブロックは大正12年の関東大震災を契機としていっそう動きが激しくなり、昭和18年頃から末端の一部も緩慢な移動がめだつようになった。その後、東部斜面においては昭和27年度から行われた地すべり防止工事により一時小康を保っていたが、構造物の破壊によって再び移動が活発になり、災害復旧工事を行い、現在では安定した斜面になっている。西部斜面においては、昭和50年から主に地下水排除工を主体とした地すべり防止工事に着手し現在に至っている。

### 1-2-3 地すべり地の地形・地質

当地すべり地は、最も地すべりの発生しやすい新第三紀層の寺泊層にあたる黒色泥岩地帯であり、背斜構造は存在していない。ボーリング柱状図によると、浅いところでは地表から3m、深いところでは20mの泥岩及び安山岩レキを含んだ粘土層、その下部は寺泊層の泥岩が存在している。

地質構造は、玢岩岩脈が黒色泥岩層を貫入して上昇し独立峰を形成しているが、山頂の卓状地は主として玢岩の岩脈からなり、いくつかの岩脈の間には第三系の泥岩を挟み、接触面にはホルンフェイスが認められる。山麓緩傾斜面は黒色泥岩からなり、一部の酸性凝灰岩をはさむ。(図-5参照)

地層傾斜はN20°E走向で、SEに30°の傾斜を示している。この貫入岩体は、地層を持ち上げドーム構造を形成して背斜構造と同様の効果を第三系黒色泥岩に与えており、この岩体を中心として周辺の黒色泥岩の破碎、風化が著しく、又、泥岩はモンモリナイト化の著しい椎谷・寺泊層であるために地すべりがドームを中心に放射状に分布している。



図一五 西部地区地すべり地形模式図

1-2-4 地すべり機構

当すべり地の地すべり発生の素因として、前述したように

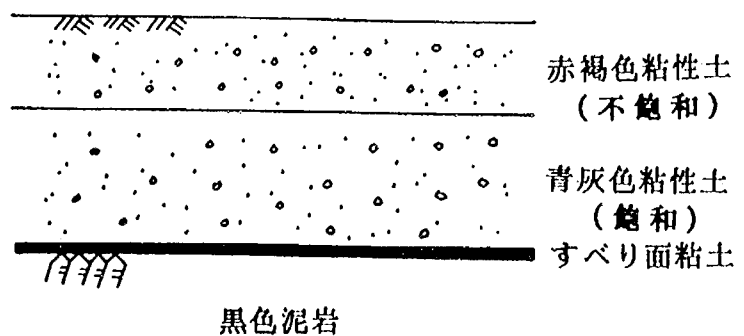
(1) 基岩は第三紀層の黒色泥岩からなり、乾燥湿潤の繰り返しにより風化、粘土かが著しい。

(2) 泥岩はモンモリナイト化が著しく、膨潤性が大きい。

(3) 丈ヶ山の山頂部において、火成岩との接触面における変質破砕が生じた。等の要素等の要素が指摘できる。

一方、誘因としては当然のことながら地下水の影響であり、移動層は赤褐色粘性土帯（不飽和）と青灰色粘性土帯（飽和）から構成され、赤褐色粘性土帯（ $k_1$ ）の透水係数が青灰色粘性土帯、すべり粘土層（ $k_2$ ）の透水係数及び基岩（ $k_3$ ）の透水係数と  $k_1 > k_2 > k_3$  の境界条件を有し、主に赤褐色粘性土帯の地下水の挙動が地すべり移動と最も密接な関係にあり、この地下水が地すべりの原因となっていることが考えられる。（図一六参照）

移動特性として、移動パターンとしては秋の長雨から雪が降り始める頃と積雪期にかけて日移動量が大きく、この時期をピークとして融雪期の3月頃には移動がほとんど停止する。なお、日移動量と積雪深とがかなりの相関性をもつのが特徴的である。この移動パターンから推察



図一六 土層構成模式図

すると、前年の動きは秋雨に影響され、後半は積雪に関連がある。これは斜面内部の応力変化が一つの原因と考えられる。又、間隙水圧についても日移動量と関係している。

#### 1-2-5 対策工事

前述したように当地すべり地は、全長1.5kmにも及ぶ長大な斜面であり、ブロック毎にそれぞれ異なった運動をしている。このため地すべり防止工法、着工順位等は全体斜面の挙動を考慮しつつ、各ブロックの特徴に適合した地すべり防止工法の選択が重要である。

新潟県新井砂防事務所において、各ブロック毎の地すべり対策工事の設計、施工が実施されている。基本的な工事の考え方は、地下水の上昇と地すべりの移動は密接な関係があることより、地下水の排水、地表水の処理におかれている。

当地すべり地で、これまで施工されている対策工の一覧表を表-2に示す。

これらの対策工事の結果、斜面全体の移動量は対策工事の進捗にともない、大幅に減少してかなり安定化している。対策工の効果が確実に現れていると考えられる。

	横孔 ボーリング	井筒工	排水 ボーリング	水路工	暗渠工	集水 ボーリング	杭打工	片法砕工	非水壁工	横ボーリング 排水工	床固工	集水井工	非水路工	法止工	漏裏 床止工	土留工
40	4孔 200m (No.アブロック)															
41																
42																
43		1基 (No.アブロック)	65m×2孔 (No.アブロック)													
44	23孔 1.150m (No.アブロック)			47m (No.アブロック)	43m (No.アブロック)											
45		1基 (No.アブロック)	2孔 115m (No.アブロック)			20孔 1.200m (No.XIブロック)	50本 (No.XIブロック)									
46							53本 (No.XIブロック)									
47							66本 (No.XIブロック)	4基 (No.アブロック)								
48							50本 (No.XIブロック)									
49	6孔 300m (No.アブロック)	4基 (No.VIブロック)	2孔 117m (No.アブロック)	59.6m (No.アブロック)		22孔 1.500m (No.IVブロック)										
50			206m (No.アブロック)	150m (No.VIブロック)	260m (No.VIブロック)	3孔 150m (No.アブロック)										
51							36本 (No.アブロック)		55m (No.VIブロック)				49m (No.IVブロック)			
52				110m (No.IVブロック)					65m (No.IVブロック)	139m (No.アブロック)	1基 (No.アブロック)					
53				107m (No.VIブロック)					95m (No.VIブロック)							
54				150m (No.IXブロック)	115m 80m (No.IXブロック)	1,200m (No.VIブロック)						1基 (No.IXブロック)				
55	8孔 400m (No.アブロック)			315m (No.IXブロック)	508m (No.IXブロック)									10基 (No.アブロック)		
56	11孔 550m (No.アブロック)			263m (No.アブロック)	416m (No.アブロック)										3基 (No.アブロック)	
57				653m (No.アブロック)	1,278m (No.アブロック)											
58				230m (No.アブロック)	281m (No.IIIブロック)											52m (No.Iブロック)
59	21孔 1,050m (No.IIIブロック)			586m (No.IVブロック)	401m (No.IVブロック)											252m (No.Iブロック)
60	820m (No.アブロック)			268m (No.IVブロック)	431m (No.Iブロック)				73m (No.Iブロック)							
61	1,750m (No.Iブロック)			490m (No.Iブロック)	530m (No.Iブロック)	8孔 400m (No.Iブロック)										

表-2 対策工事一覧

## 2. 効果判定調査

一連の防止工事において、移動量は年をおうごとに年々減少しており、特にNo VIブロック（図-4）で実施された防止工事においては、その効果が発揮されていると考えられる。そこで、昭和50年からNo VIブロックでの地下水排除工の効果判定を主たる目的として移動状況調査、地下水調査を行い、効果判定のための追跡調査を行ってきた。

図-7にNo VIブロックでの対策工の位置図を、表-3にNo VIブロックでの地下水排除工の一覧表を示す。また、図-8に暗渠工断面図、図-9に排水壁工の断面図を示す。

以下にその調査手法について述べる。

### 2-1 移動状況調査

地すべり斜面の移動特性を定性的、定量的に把握するため、移動計を用い移動量を観測している。

図-10に表すように、すべり面以下までボーリングで掘削を行い、すべり面以深の基岩にアンカーを設け、アンカーからステンレスワイヤーを立ち上げて、地表の伸縮計に取り付けた。ステンレスワイヤーは、すべり面以浅から地表まで塩ビパイプの中を通した。

伸縮計は、実移動量の5倍に拡大し、自記記録し、1ヶ月間の連続記録ができる。

設置位置は図-7に示すとおりである。

なお、T-22、T-23は移動土塊の変化を測定するために設置したことを付記しておく。

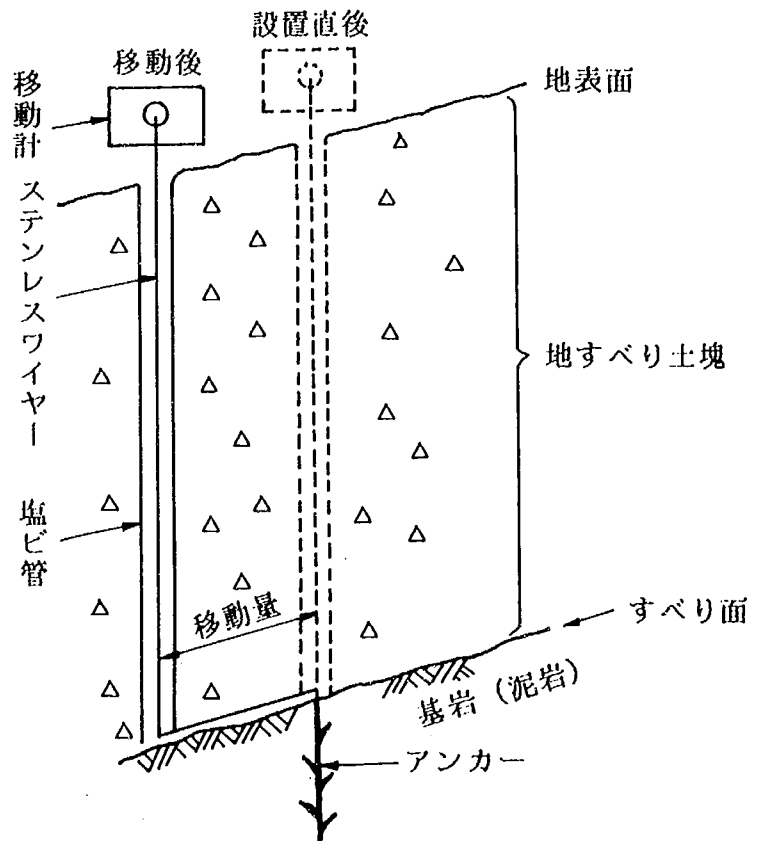
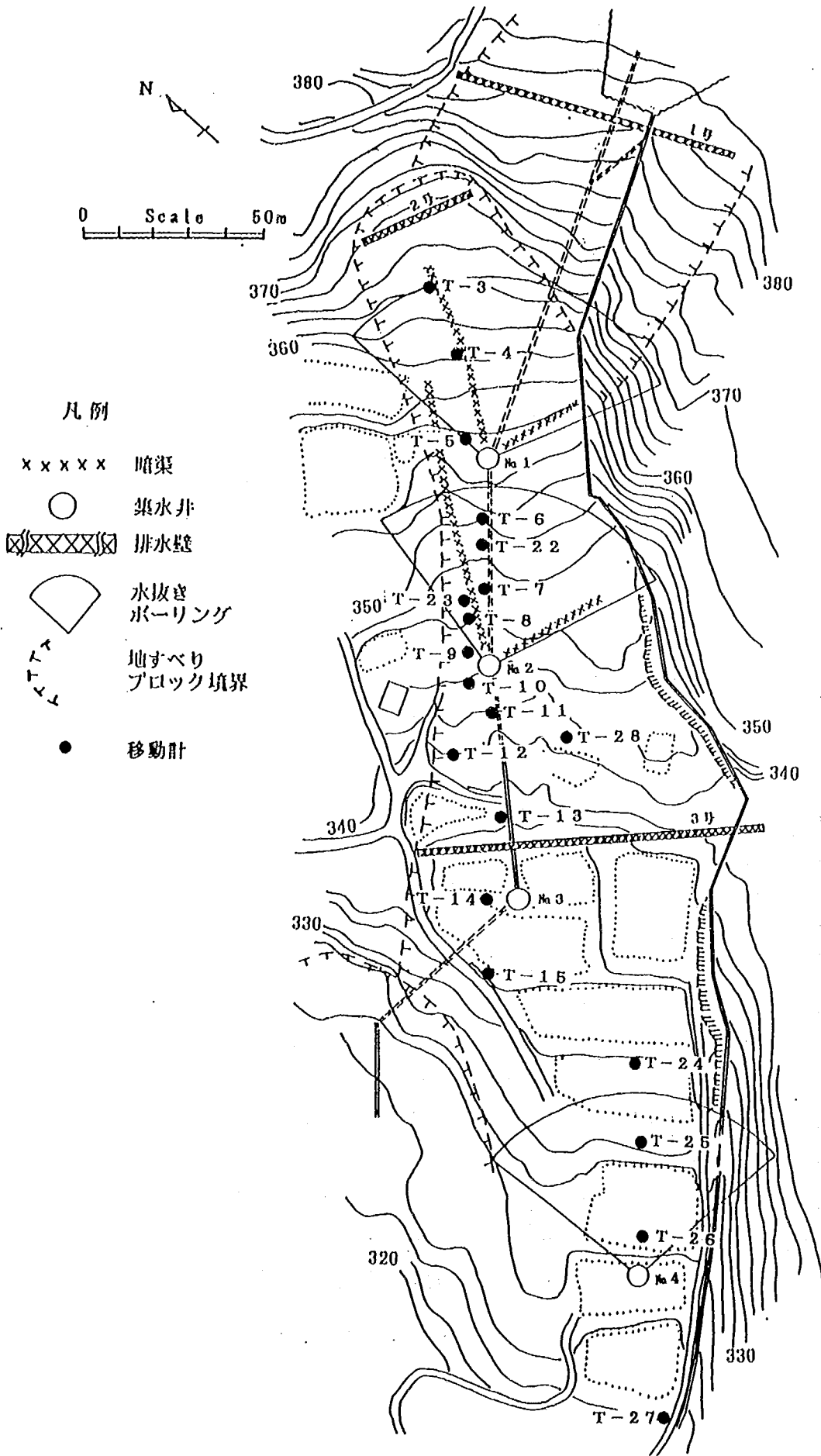


図-10 移動計設置模式図





図一七 地下水排除工及び移動計位置図

工種	施工年月日		工事内容	
	着工年月日	完了年月日		
暗渠工	S 50. 10. 6	S 51. 3. 31	L=260m	
集水井	No 1	S 49. 10. 14	S 50. 3. 17	$\phi=3.4\text{m}$ H=6m
	No 2	S 49. 10. 14	S 50. 3. 17	$\phi=3.4\text{m}$ H=6m
	No 3	S 49. 10. 14	S 50. 3. 17	$\phi=3.4\text{m}$ H=8m
	No 4	S 54. 7. 31	S 55. 3. 31	$\phi=3.0\text{m}$ H=11m
排水壁工	1号	S 51. 9. 15	S 52. 3. 31	L=85m
	2号	S 52. 4. 12	S 52. 10. 23	L=35m
	3号	S 53. 7. 20	S 54. 2. 27	L=95m
水抜ホーリック	No 1	S 54. 5. 29	S 54. 10. 25	$\phi=66\text{mm}$ VP40 50m×12孔
	No 2	S 54. 5. 29	S 54. 10. 25	$\phi=66\text{mm}$ VP40 50m×12孔
	No 4	S 54. 7. 31	S 55. 3. 31	$\phi=66\text{mm}$ VP40 50m×24孔

ただし、ここでいう施工年月日とは契約年月日の事である。

表一 3 地下水排除工一覧

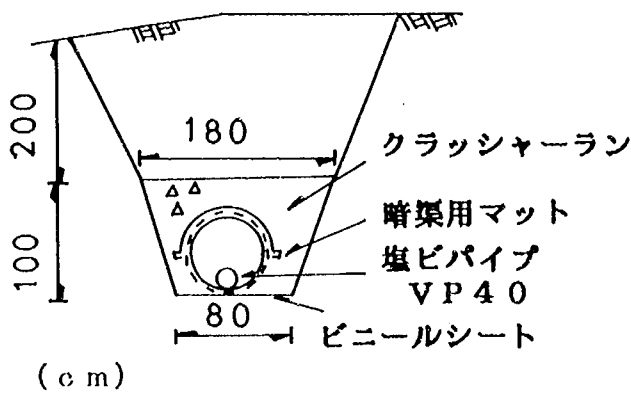


図-8 暗渠工断面図

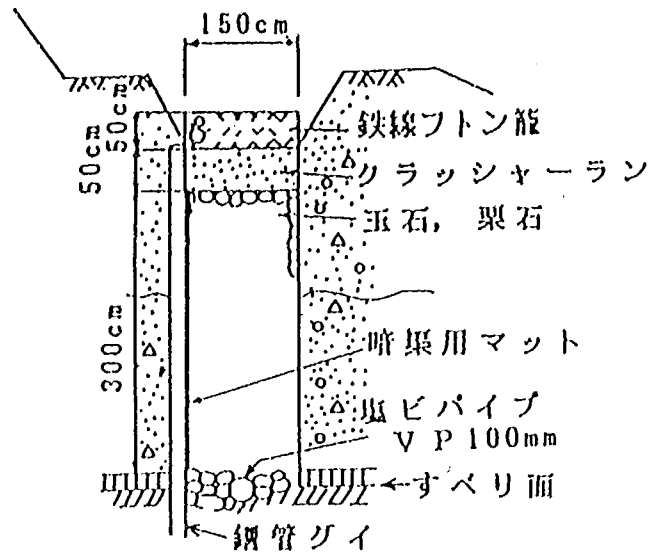


図-9 排水壁工断面図

## 2-2 地下水調査

地下水は、地すべりを発生させる原因であることは周知のとおりである。しかし、地下水は降雨、融雪などの浸透によるもの、または、河川、湖沼、水田等から漏水したもの、あるいは、地すべり区域外の地下水が流入したものなどがあり、一概には地下水の全てが、地すべりに影響するとは考えられない。従って、地すべりを誘発、あるいは助長するおそれのある地下水を判別し、その地下水を排除するための対策工を立案することが重要である。それによって、地下水を排除するための施設の工法、配置、構造等の決定ができ、あるいは地下水排除による斜面安定効果の判定を行うことができると考えられる。

ここでは、地下水と地すべり変動との相関関係を把握することにより、地すべり機構の一部が解明され、さらに最も有効な排水工法の検討のための基礎資料を得るために、間隙水圧測定、検層、追跡、排水量測定を実施している。

### 2-2-1 間隙水圧調査

間隙水圧計による調査は、対策工の影響による水圧低下量及び水圧低下領域の測定、及び地すべりブロック斜面の安定解析を行うことを目的に、昭和50年に開始し現在まで観測している。

設置箇所を、図-11に示す。また、設置方法については独自なものとして図-12に示すが、垂直分布の間隙水圧を測定しているP-1~P-7については図-13に示す。差動トランス

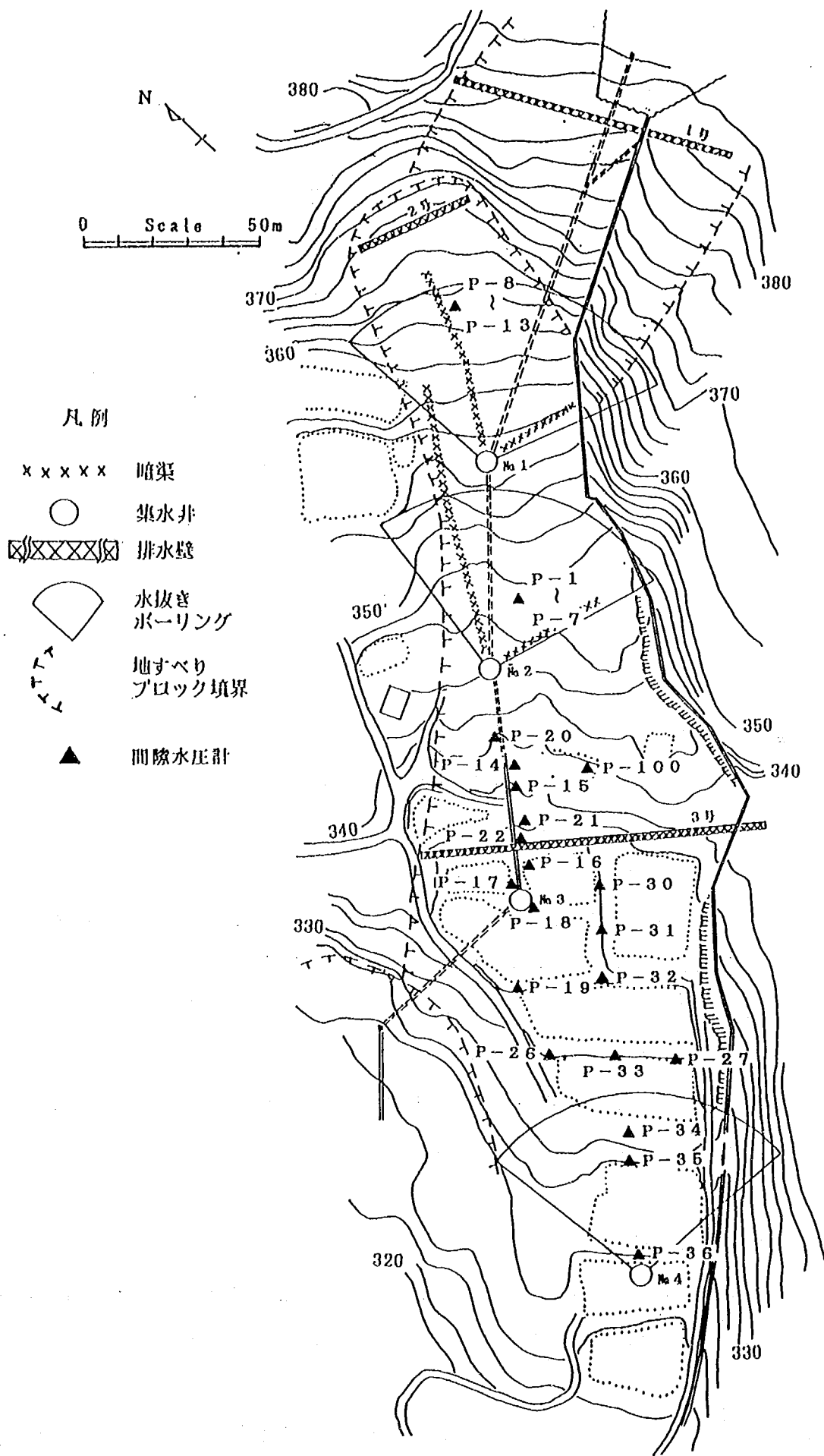


図-11 間隙水圧計設置図

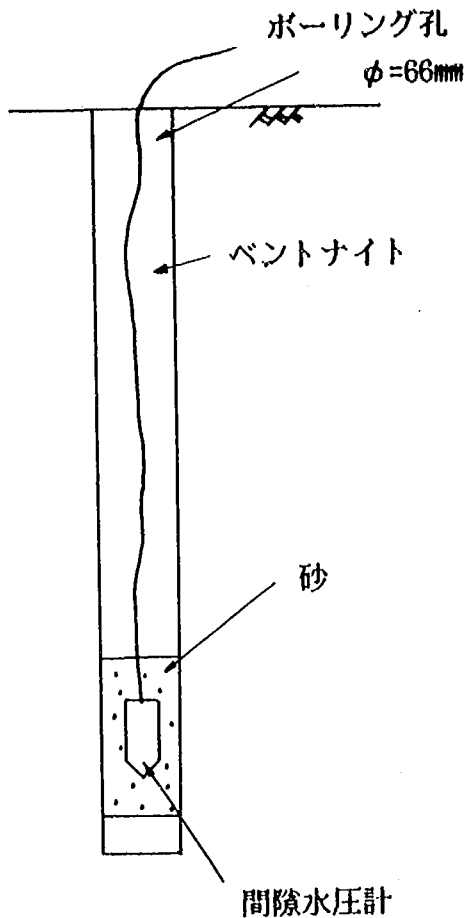


図-12 間隙水圧計設置模式図

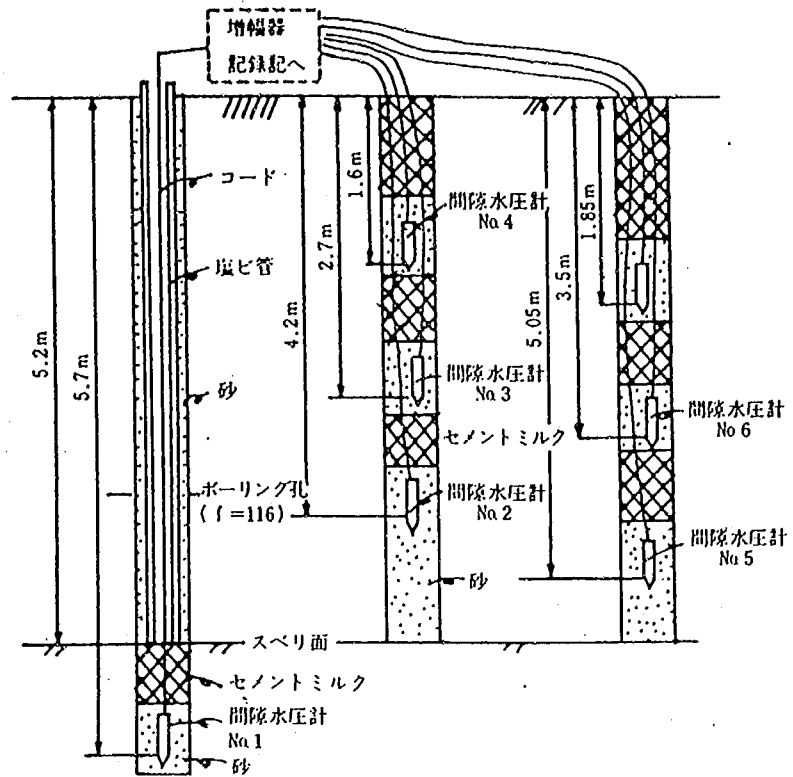


図-13 間隙水圧計設置模式図

型の間隙水圧計を用いて、12打点式の打点記録計により実施している。なお、間隙水圧計の容量は設置深度に合わせ、 $1.0\text{kg/cm}^2$ 、 $0.5\text{kg/cm}^2$ を使用しており、感度は共に $\pm 1.0\%$ である。

### 2-2-2 排水量調査

地下水排除工の効果を水収支の面から検討するため、図-14に示す3箇所（斜面上部、中間部、末端部）で昭和56年度から、対策工より排除された排水量の観測を実施している。No 1は3号排水壁工までの排水量、No 2は2号集水井までの排水量、No 3は1号排水壁工の排水量を測定していることになる。図-15に測定概略図を示す。なお、排水量の算定は以下のとおりである。

$$Q = 1.354 + 0.004/H + (0.14 + 0.2/D^{1/2})(H/B - 0.09)2H^{5/2}$$

ただし、 $Q$ ：流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )， $H$ ：越流水深 ( $\text{m}$ )， $B$ ：水路の幅 ( $\text{m}$ )

$D$ ：堰高 ( $\text{m}$ )， $K$ ：流量係数

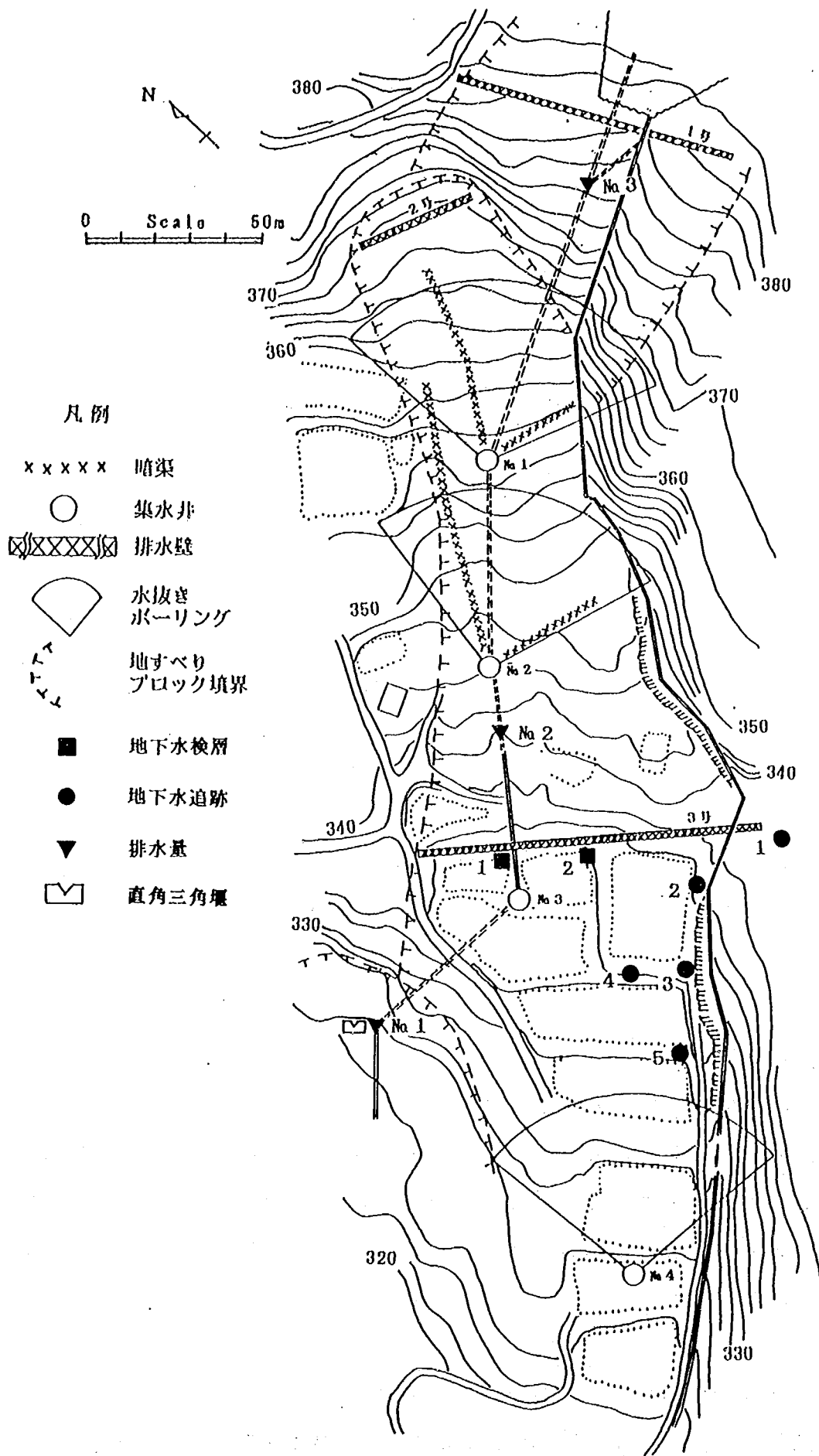


図-14 地下水検層、追跡、排水量調査位置図

昭和61年度より3号排水壁工のみの排水量を測定するため、新たに図-14、No 1の位置に図-16に示す直角三角堰を設置し、水圧式水位計により水深を測定し、デジタルカセットデーターロガーにより30分毎の水位を記録している。

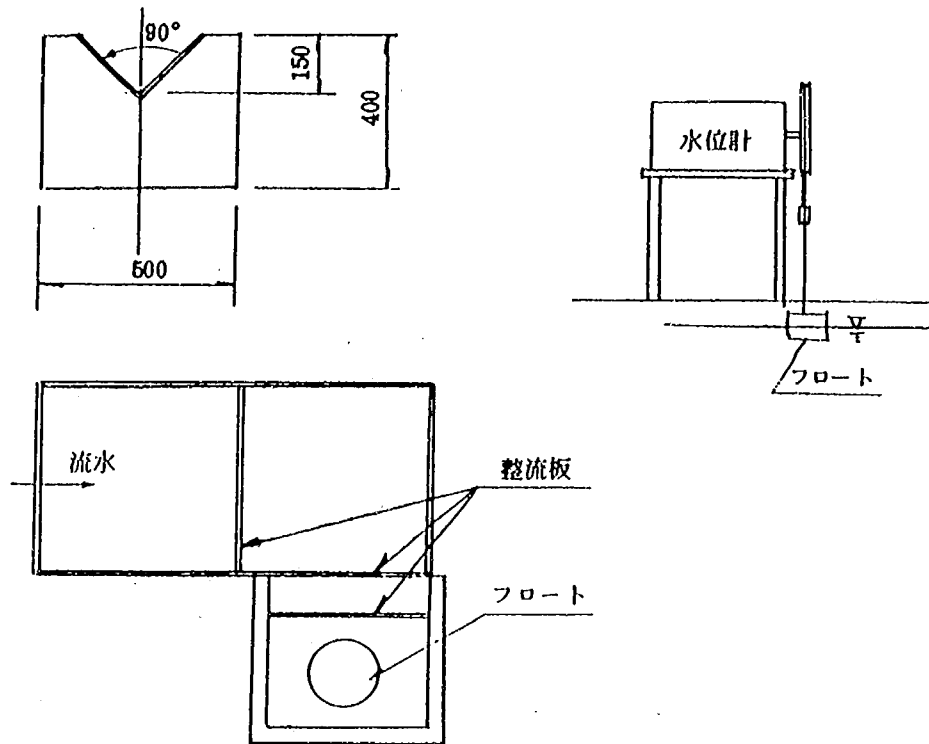


図-15 排水量調査測定概略図

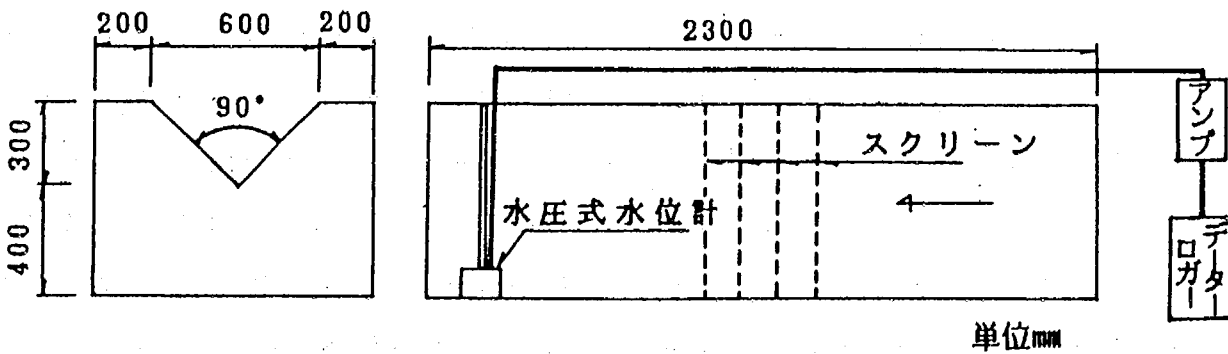


図-16 データーローガによる測定概略図

### 3. 対策工に伴う地すべりの挙動特性

#### 3-1 対策工施工前の挙動特性（昭和50年以前）

##### 3-1-1 移動状況からみた特性

昭和45年から対策工事が着手しはじめる昭和50年までの旬毎の累積移動量を図-17に示す。尚、T-3はNo VIブロック上部、T-7とT-11は中間部、T-13は末端部である。（図-7参照）それらから共通していえることは、毎年11月から3月ごろまで非常に移動量が大きくなるが、その後の5月から6月ごろまでにはほとんど移動はなくなり再び安定期に戻るという1年のサイクルがみられる。すなわち、毎年9月から10月頃の降雨が多くなる時期から地すべり運動が開始し、降雪がある11月から12月になると運動も活発となり、積雪量が大きくなるとより一層増加する。しかし、積雪量も最高に達する頃になると移動量は鈍り、融雪期になる頃は殆ど動きが停止する形態を示す。そのような移動形態を示す理由として次のようなことが考えられる。積雪期間中に移動が大きいことは、やはり積雪による影響であり、雪荷重による推力の増加が地すべりの移動量を増加させている原因の1つであると思われる。また、融雪後期に移動が減少するのは、雪荷重の除荷による推力の減少及び積雪期間中に移動層が雪荷重による圧密を受け、すべり面のせん断強度を増加したことによるものと考えられる。したがって雪荷重によって移動層が徐々に圧密を受けることから、すべり面強度が増加傾向にあると同時に、雪荷重の除荷による推力の減少をみるために融雪後期に移動が停止するものと考えられる。

図-17より地点別の移動の傾向をみると、11月から4月ごろ迄は上部の移動が大きく、下部にいくにしたがい減少している。参考までに最も移動の大きい月での日移動量は、T-3で45mm、T-7で62mm、T-11で59.6mm、T-13では20mmを記録している。

次に、図-17より降雨期についてみてみると、旬累積移動量の変化だけでは降雨と移動量とでは、明確な関係は見あたらず、降雨が多い月には移動量が大きいということはいいがたい。そこで、旬累積移動量が多い昭和49年9月と10月の日移動量の変化と、日降雨量の関係を図-18にしめす。この図から言えることは、3地点とも降雨の影響を敏感に受けており、下部にいくにつれそれが強まっている。なお、T-4は地すべりの引っ張り部、T-7とT-13は圧縮部である。日降雨10mm以下では殆ど影響は受けていないと考えられる。



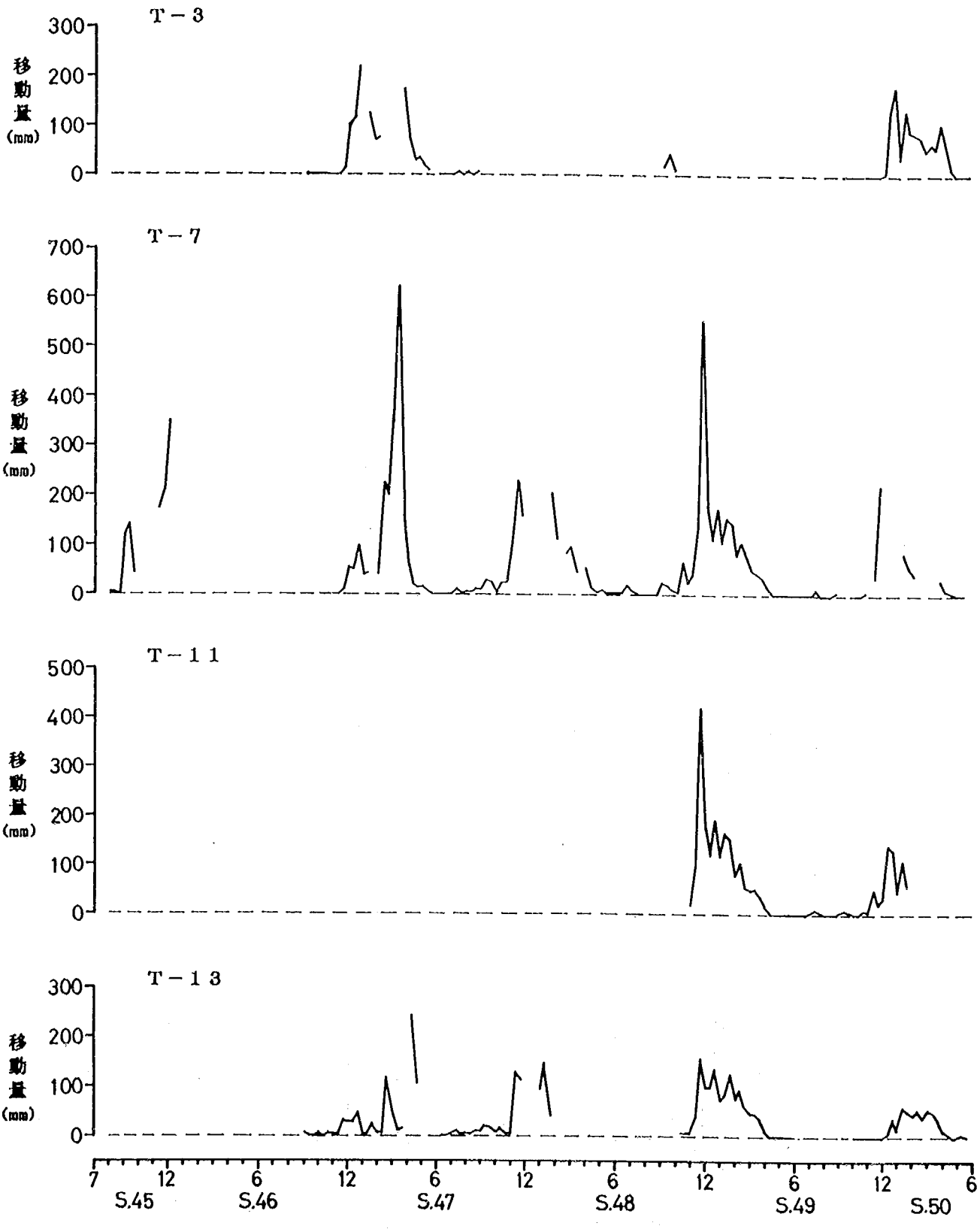
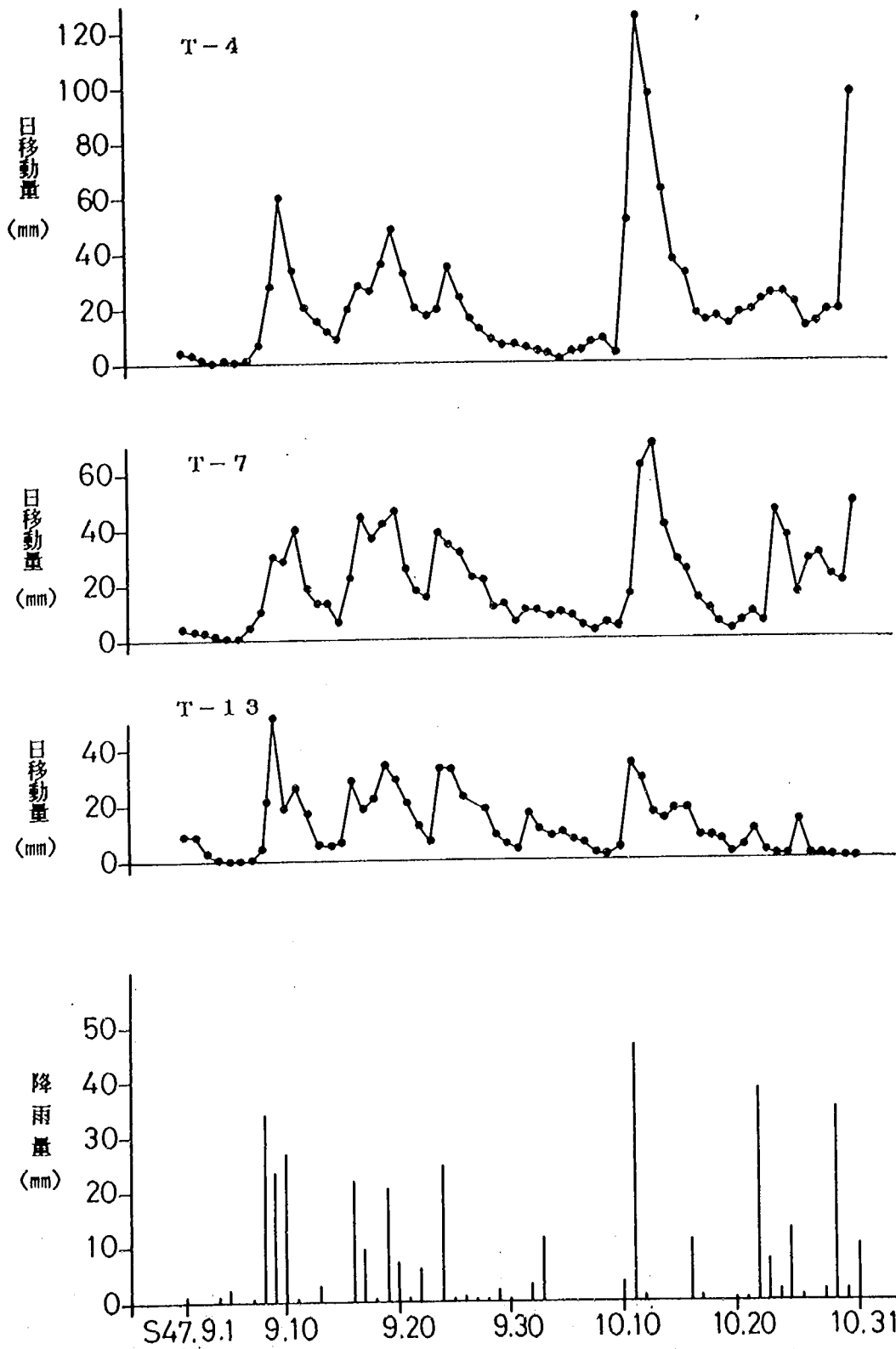


图-17 旬累積移動量



図一18 日移動量と降雨量

### 3-1-2 間隙水圧からみた特性

対策工施工前（昭和50年以前）の間隙水圧計の測定データがない（昭和43年12月～昭和44年7月まで測定しているが、測定位置等不明確）ことから、昭和50年12月までのデータをもとに検討してみることとする。

図-19に移動が活発に記録された昭和50年11月20日、小康状態にあった昭和50年11月15日における深度毎の間隙水圧値を示す。深度毎の間隙水圧分布をみると、深度4.2mと深度5.05mで常に過剰間隙水圧となっている。このことから深度4.2mからすべり面までは、飽和された透水係数の小さな粘土層であると推定できる。

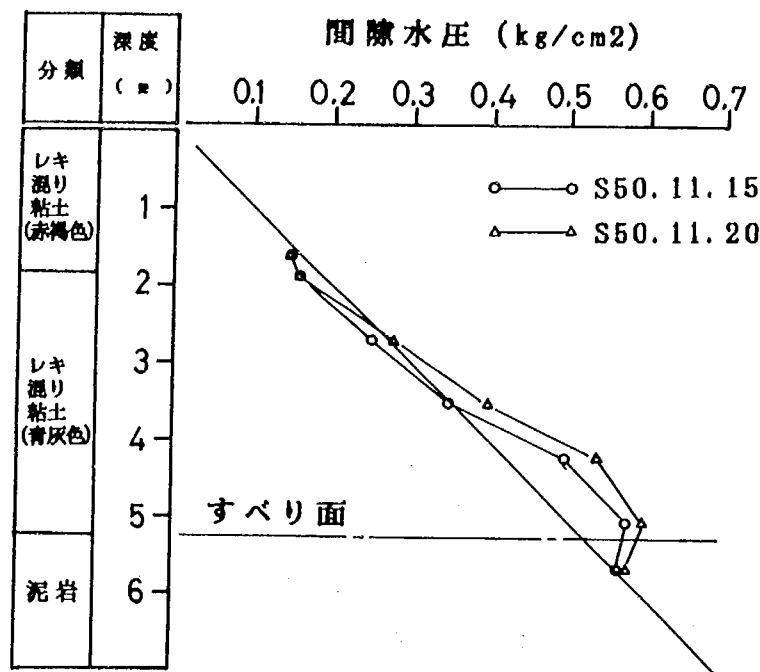
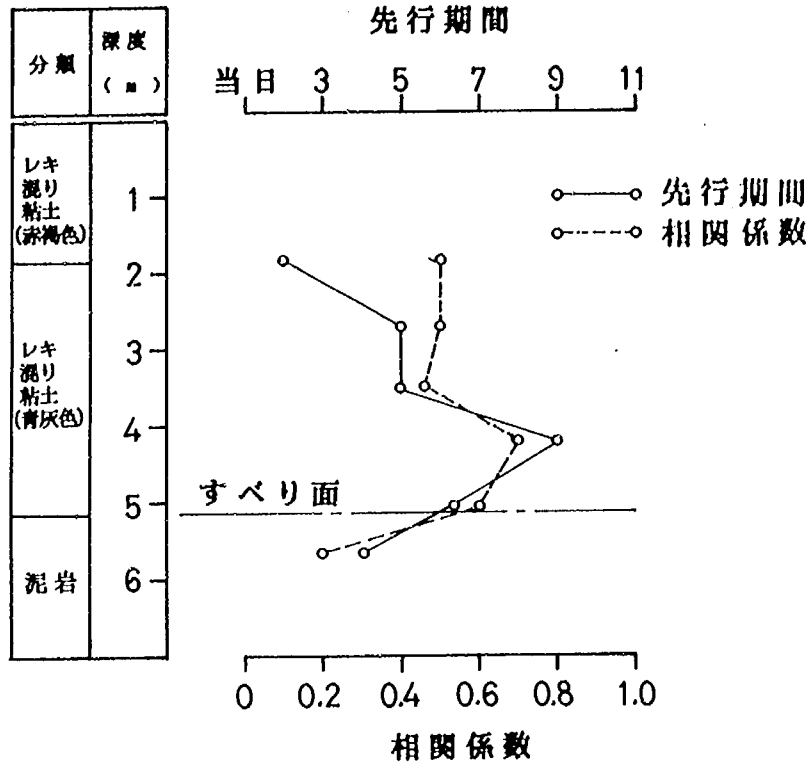
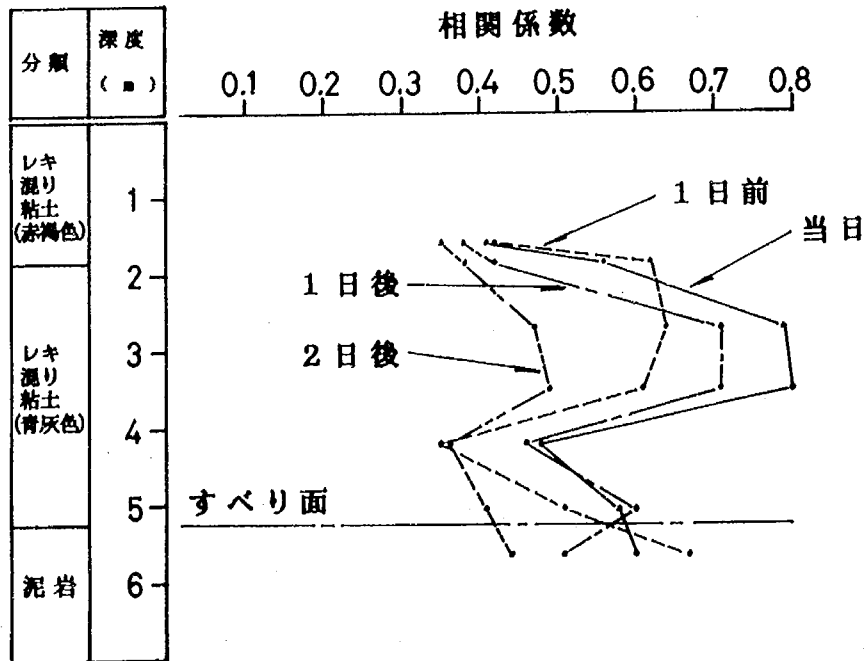


図-19 深度毎の間隙水圧

図-20に昭和50年10月13日から昭和50年11月26日までの45日間における、各深度の間隙水圧変化と相関が最大となる降雨量との先行期間を示した。（地すべり移動により、昭和50年11月27日以降完全なデータ得られていない）赤褐色粘土層では2日間、深度3.5mの青灰色粘土層までは5日間であるが、深度4.2mで9日、深度5.05mで6日と長くなる。しかし、すべり面下の5.65mでは4日と減少している。仮に透水係数が $10^{-3}$  cm/sとしても地表からすべり面まで浸透するのに6日間を要し、単純な地表からの浸透とは考え難く、深度5.05m、深度5.65mの間隙水圧は、地表からの浸透水よりも、基岩内のクラックを通じた間隙水圧としたほうが考え易いと思われる。



図一20 間隙水圧と降雨量との先行期間



図一21 日移動量と間隙水圧との相関

図-20と同期間における日移動量と各間隙水圧との相関を図-21に示す。この図で注目したいのは、移動発生日の前日(24時の値)は基岩内の深度5.65mの間隙水圧値が移動に最も相関がよく、発生中の当日(24時の値)は崩積土中の深度3.5m、深度2.7m、基岩内の深度5.65mの順で相関が高い。すべり面直上の5.05mの移動発生日の翌日にようやくこの深度としてはもっとも高い相関を示している。また、移動のきっかけは、基岩内のクラックを通してすべり面に供給された地下水で、これが間隙水圧としてすべり面に作用したり、潤滑作用を助長したものと推定できる。なお、移動発生の当日は、崩積土中に浸透した降雨が土塊中のクラックを通じ、すべり面粘土に作用したと考えられる。

### 3-2 対策工進捗に伴う挙動特性(昭和51年~昭和55年)

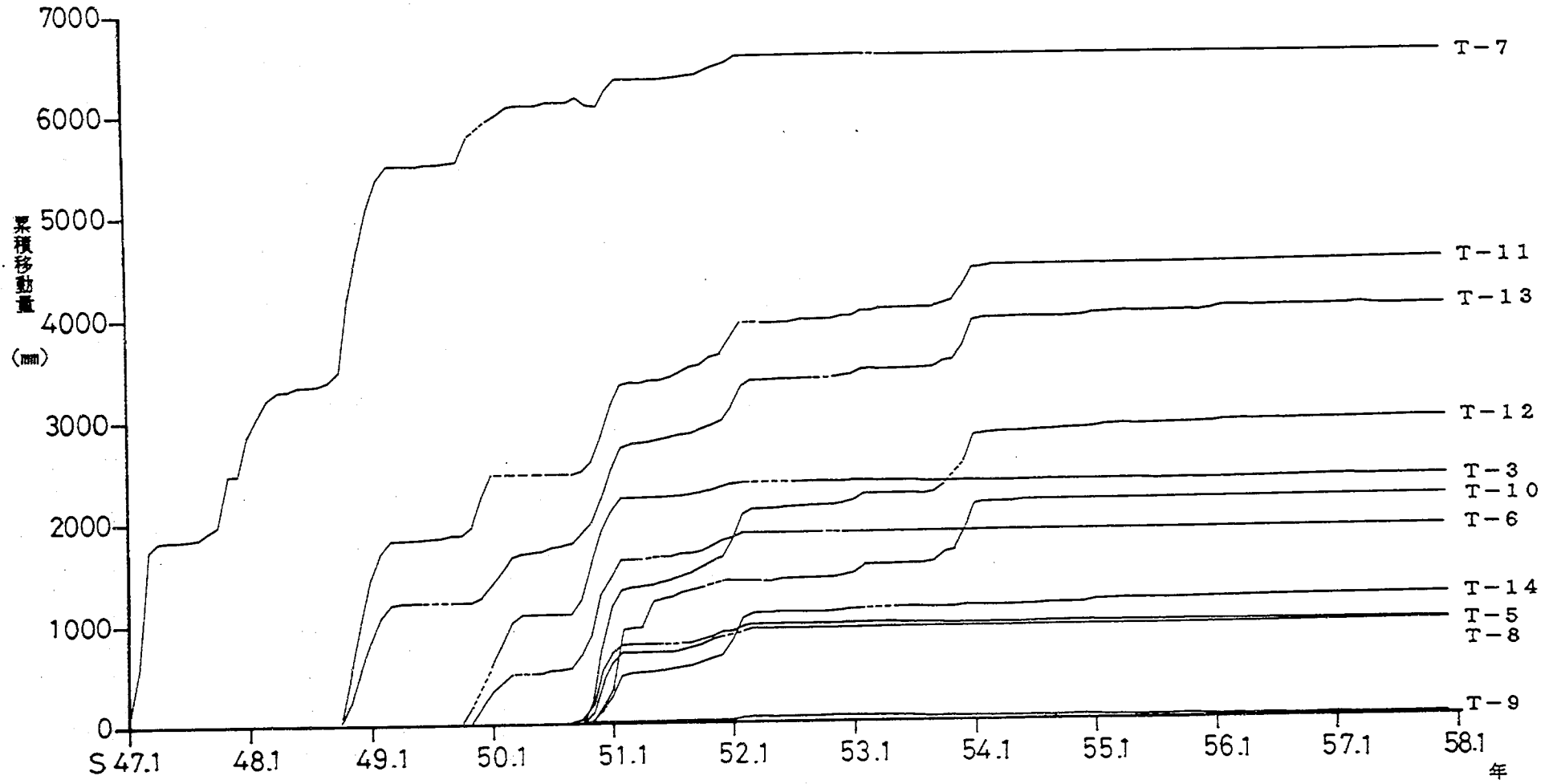
#### 3-2-1 移動状況からみた特性

図-22に各移動計の対策工施工前の昭和47年から、暗渠工、集水井、排水壁及び水抜きボーリングが完成した後の昭和57年までの10年間の累積移動量を示す。各移動計とも相似した動きを示しており、各対策工の効果が次第に現れ、昭和52年3月以降は殆ど動きを示さなくなった。ただし、T-10、T-11、T-12、T-13については、昭和53年10月頃から日移動量5mmから10mmぐらいと活発に動き出し、多いときでは日移動量20mm以上を記録している。以前も活動の著しい斜面ではあったが、3号排水壁工の施工後の昭和55年から殆ど動きを示さなくなった。これはこのブロックの移動が、下部のブロックに影響を与えていないことから推定し、3号排水壁工の施工時の影響によるものと考えられる。

昭和50年に施工した暗渠工完了前の移動量については、T-6を例にあげると、最も顕著な動きを示す時期の昭和51年2月27日までの累積移動量が1,110mm移動しているのに対して、施工完了後の同じ時期に相当する昭和52年3月9日までの累積移動量は250mmを示し、約1/5に移動量が激減している。そして昭和52年3月9日以降は、昭和50年度に施工した暗渠工の効果と、更に昭和51年度に施工した排水壁工(この施工位置は図-7に示す1号に相当し、No VIブロックとは直接関係ないが、上部からの土砂の供給及び地下水の流入が、施工以前はNo VIブロックに少なからず影響を与えていたものと考えられるが、施工後はこれらの影響を阻止していると考えられる)及び、昭和52年度に施工した、2号排水壁工の効果が現れているものと考えられる。また、暗渠工、2号排水壁工により、殆ど移動は止まったということがいえると考えられる。

次に、移動状況の年傾向をわかりやすくするため、各年における月別累積移動量の推移をみることにする。それを図-23に示す。これによると、対策工施工前で述べたのと同じ

暗渠工    1号排水壁 2号排水壁    3号排水壁    水抜きボーリング



図一22 累積移動量

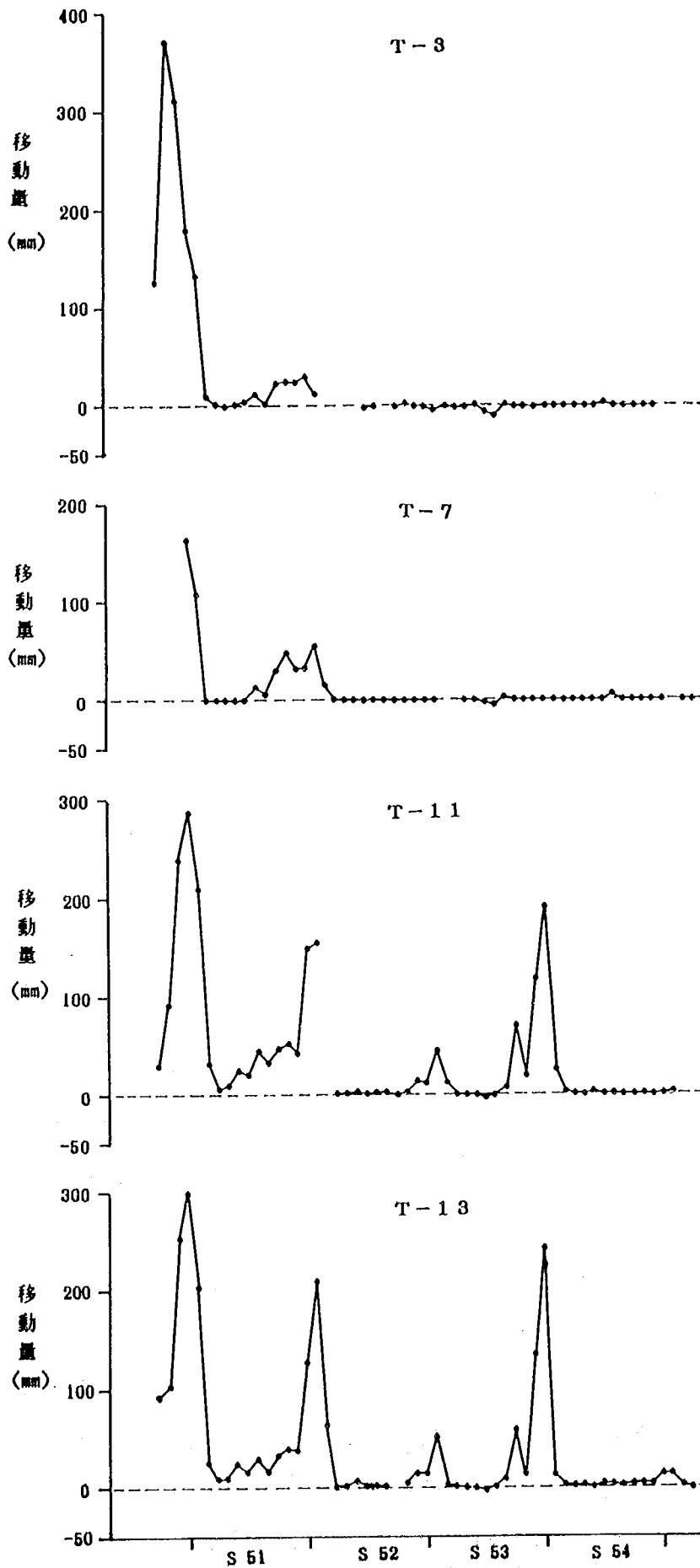


図-23 月累積移動量の推移

く、移動量の大小はあれ9月から10月頃の降雨が多くなる時期から徐々に大きくなり、移動量の最高を達する頃の1月か2月頃ピークを生じ、融雪期になる頃の3月頃になると殆ど移動はなくなる。しかし、この様な傾向は、T-3及びT-7については、昭和52年の積雪・融雪期までであり、それ以降は降雨期、積雪・融雪期とも殆ど変化のないことがうかがわれる。このことは、T-3、T-7とも暗渠工の効果の現れであると考えられる。又、T-11、T-13は、ピークの減少量から考えると、暗渠工の効果が少なからず効いているものと思われるが、昭和54年の積雪・融雪期までは、その傾向は明瞭でない。しかしながら、3号排水壁工の施工完了後は、ほとんど移動はみられない状況にある。昭和54年の積雪期に月移動量200mm前後の移動を示しているのは、先ほど述べたように3号排水壁工の施工時の影響によるものと考えられる。

図-24によると、昭和51年ではT-11とT-13は、対策工施工前の状況と類似して降雨に敏感に反応しているが、過去の移動より大幅に減少している。しかし、T-3及びT-7については、日降雨量60mm以上でなければ移動量に変化がみられない。昭和54年では、T-3、T-7、T-11及びT-13とも降雨がない限り負の移動を示してきており、これは明らかに移動層の沈下現象によるものと考えられる。この現象は、他の移動計でも観測されており、斜面内部の地下水を排除することより圧密沈下を起こし、有効応力が増加したものと思われる。したがって、これは対策工の効果が現れていることを裏づけているものと思われる。又、T-11とT-13は3号排水壁工施工後からは、ある程度降雨に影響するものの順次減少し安定方向に向かっている。

### 3-2-2 間隙水圧からみた特性

図-24に示すように、間隙水圧計P-2（深度4.2m）によると、昭和51年ではピーク値が0.652kg/cm<sup>2</sup>、融雪後に発生した最低値が0.449kg/cm<sup>2</sup>、消雪日後、最低間隙水圧発生日まで26日間であったが、昭和53年ではピーク値が0.538kg/cm<sup>2</sup>に下がり、最低間隙水圧値は消雪日後10日間で現れている。

積雪深の日変化の形と青灰色粘土中に設置されているP-2（深度4.2m）、P-6（深度3.5m）、P-3（深度2.7m）との間隙水圧の日変化の形がほぼ相似形を成している。これらの間隙水圧計は、積雪深の減少とともに多量の融雪水が発生するにも関わらず、40日から60日の間で最高値から最低値に減少する。この間、赤褐色粘土中に設置されたP-7（深度1.85m）、P-4（深度1.6m）でも間隙水圧に著しい変化はみられていない。又、この現象を更に無雪期と積雪期に分けて詳細にみると、移動計T-3、T-7にみられる暗渠工効果として、昭和52年4月頃より負の移動量が顕著に出現し、それ以降の正負移動量の出現振幅及び間隙水圧の



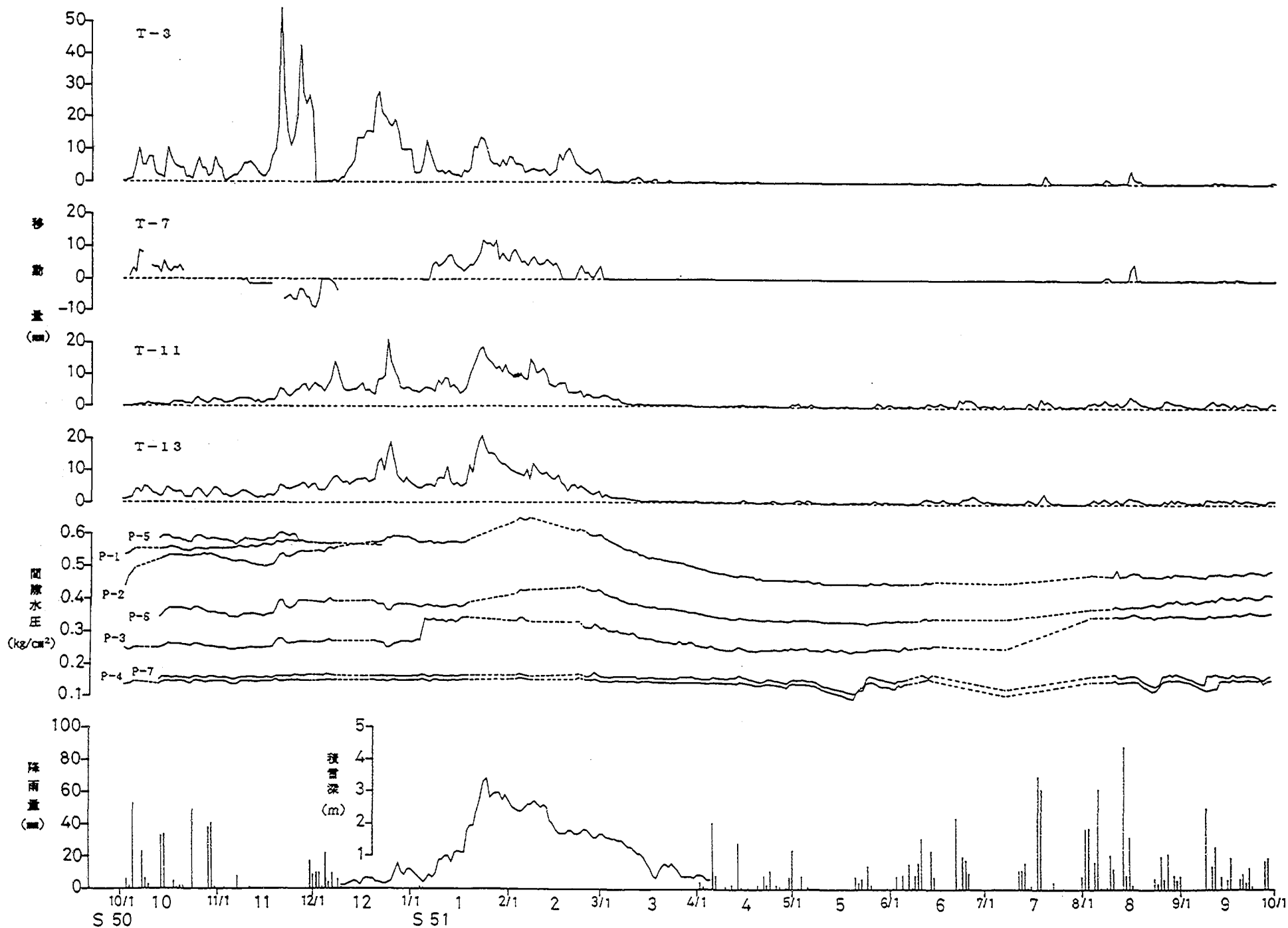


図-24 対策工進捗期間における移動量、間隙水圧値観測結果 (その1)

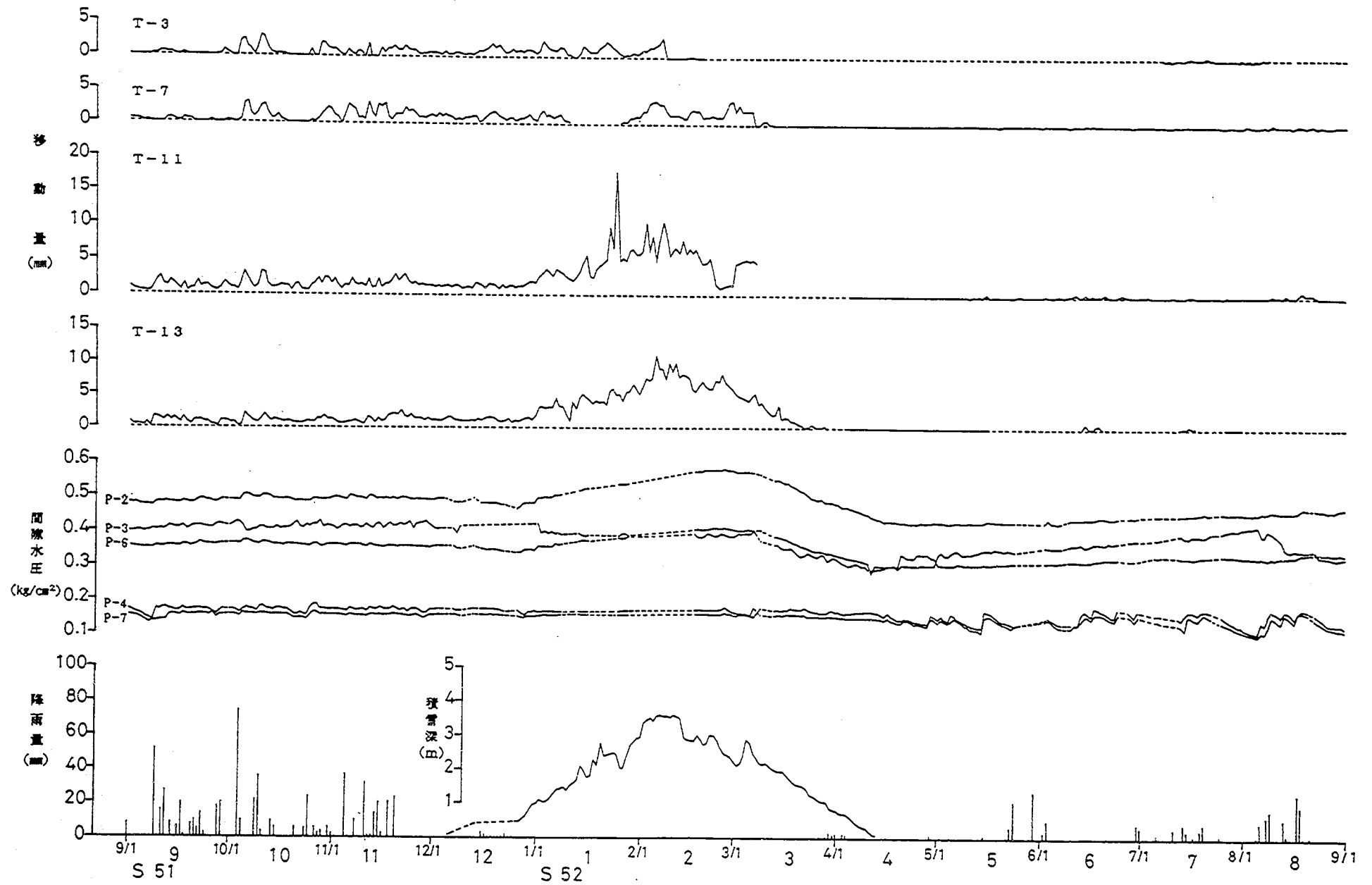


図-24 対策工進捗期間における移動量、間隙水圧値観測結果 (その2)

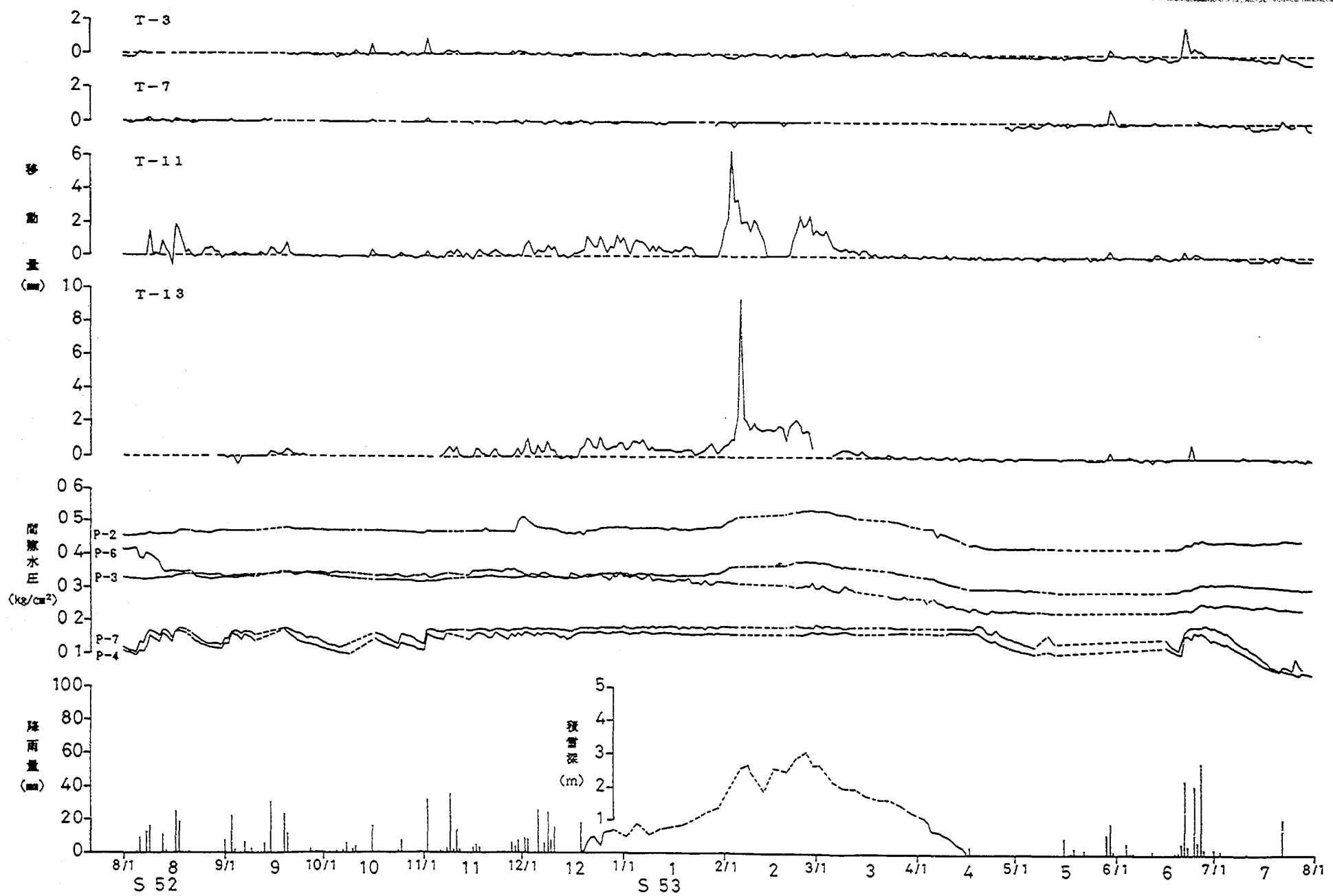


図-24 対策工進捗期間における移動量、間隙水圧値観測結果 (その3)

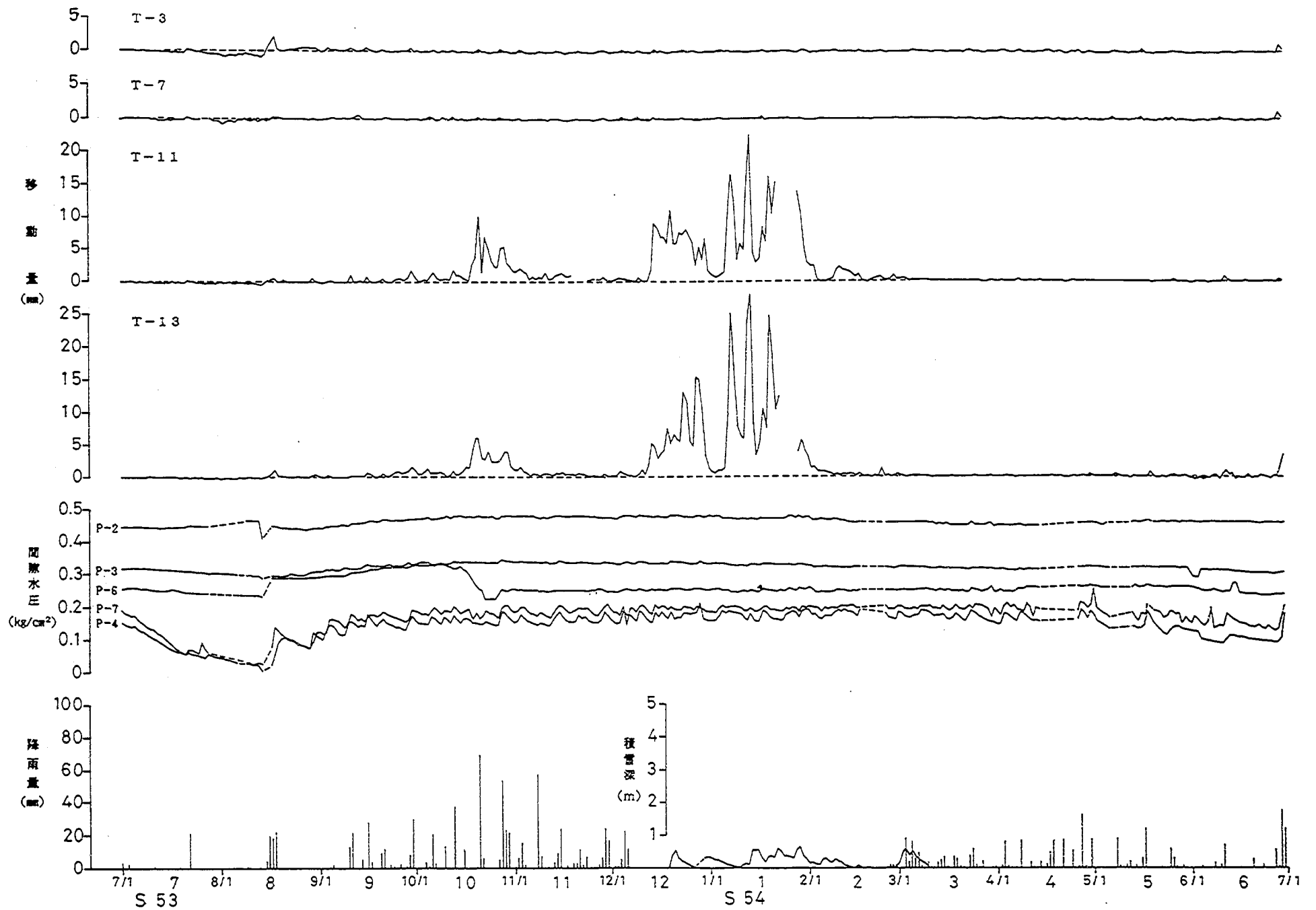


図-24 対策工進捗期間における移動量、間隙水圧値観測結果 (その4)

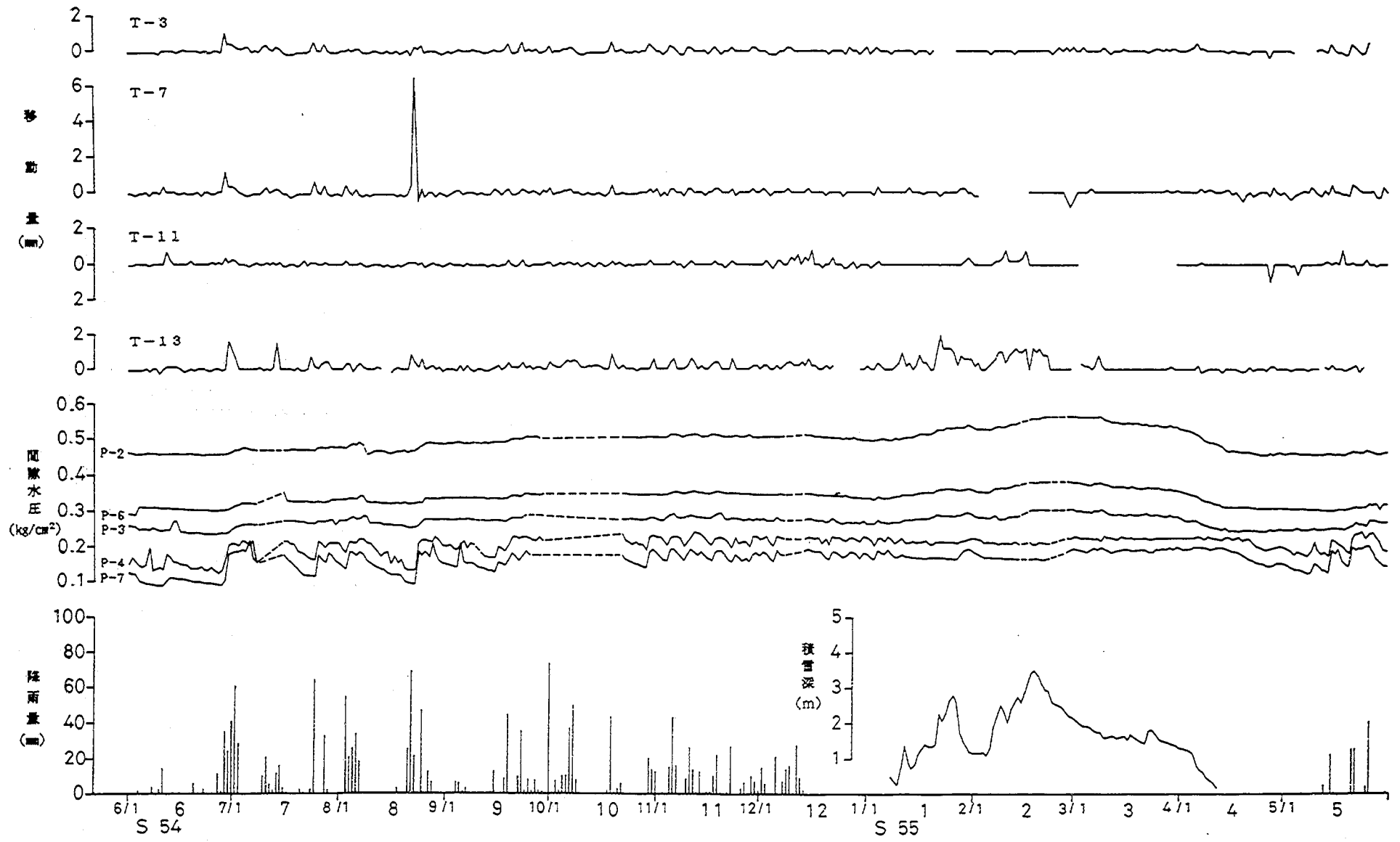
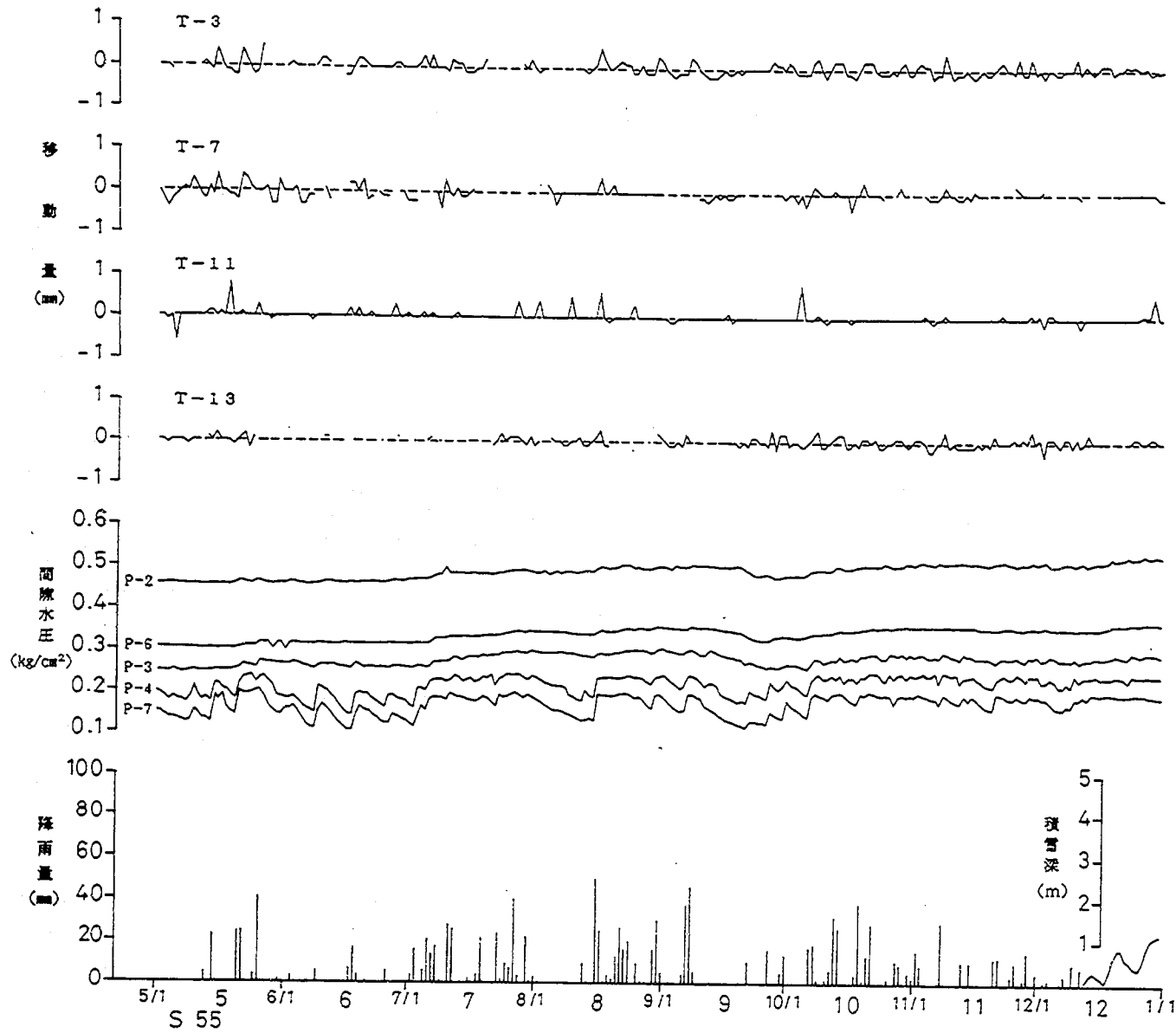


図-24 対策工進捗期間における移動量、間隙水圧値観測結果 (その5)



図一24 対策工進捗期間における移動量、間隙水圧値観測結果 (その6)

振幅は、無雪期に於て大きく、積雪期には小さく、積雪期の移動量及び間隙水圧変化は安定している傾向にある。

昭和53年6月以降は、その傾向が更に強くなり、特に無雪期における移動計の正負振幅波形と間隙水圧計P-4、P-7の間隙水圧振幅波形は対応関係がよく、無雪期の間隙水圧計の振幅波形は積雪期の間隙水圧計の振幅波形に比較して、非常に敏感である。しかし、昭和53年12月から昭和54年2月にかけてみられるような少雪の年は、積雪期であっても無雪期と同様な変化を示す。このことは、無雪期には乾湿（降雨の多少）の影響を受け、積雪期は雪荷重の影響に支配されていること示していると考えられる。いずれにしても、移動量の振幅にして±5mm程度内での議論であり、不飽和の赤褐色粘土中（この土層の地下水位が移動量と密接な関係にある）に埋設した間隙水圧計P-4、P-7とも上昇してもすぐに下降し、飽和した青灰色粘性土層に埋設した間隙水圧計P-2、P-3及びP-6の間隙水圧値が、昭和51年3月以前の値に達していないことからみても、一連の地下水排除工の機能が発揮されているものとする。

### 3-2-3 地下水検層

3号排水壁工下流部において、昭和54年度に実施したボーリング孔で、自噴現象がみられたため、3号排水壁工底部より地下水の流出があるものと推定し、地下水の垂直的な分布、特に流動面を把握する目的で、昭和54年度に実施した。

調査位置は図-14に示すとおり、3号排水壁工の下流部で、以下の方法によって調査した。

- 1) ボーリング孔（ $\phi 100\text{mm} \times 2\text{本}$ ）にストレーナを切った塩ビパイプを挿入し、地下水検層孔とする。
- 2) 電導度計を使用し、孔内水のバックグラウンドを測定する。
- 3) 食塩水の投入は、室内予備実験の結果から3%の濃度とし、孔内水に均一に投入する。
- 4) 検層用センサーを一定速度で孔内に下げ、ペンレコーダで記録する。
- 5) 測定値を整理し、流動層の判定を行う。

図-25は食塩水投入前、投入後の水深、比抵抗及び時間変化を示したものである。この図より判断すると、第1孔、第2孔とも投入した後、24時間を過ぎても地下水の流動面は検出されず、2回の検層とも同じ結果であったことから、3号排水壁工底部を通過して下流部は地下水が供給されているとは考えられず、排水壁工は目的通りの機能を維持しているものと判断した。

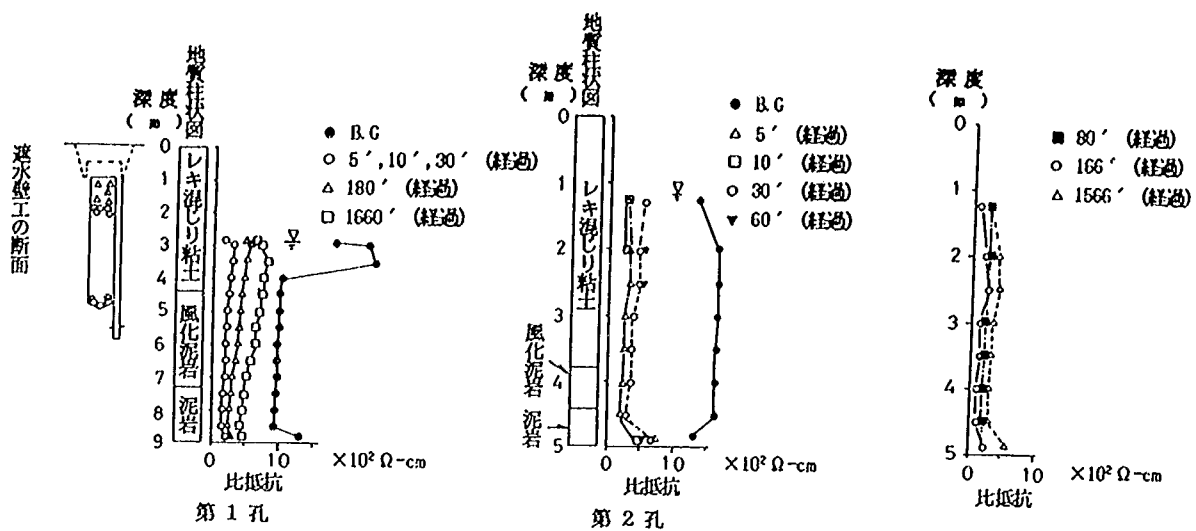


図-25 深度毎の比抵抗値

### 3-2-4 地下水追跡

調査ボーリングでの自噴現象の原因の一つとして、3号排水壁工の左岸の地すべり斜面から、地下水の供給があるものと推定し、その周辺の地下水流動経路の推定を行うため、図-14に示す位置において、追跡試験を昭和54年度に実施した。

- 1) ボーリング孔 (φ 100mm×5本) にストレーナを切った塩ビパイプを挿入する。
- 2) 電導度計で孔内水のバックランドを測定する。
- 3) 投入孔No 3 に食塩水を投入する。
- 4) 投入後、1日1回採水 (100cc×2本) した検水を、電導度計による比電導度と硝酸銀法により塩素イオンを検出する。
- 5) 測定値を整理し、トレーサーの判定を行う。

結果を図-26に示す。採水孔No 2、3、4及び5孔から採取した検水の比電導度、経過日数の関係を見ると、追跡前のB.G値と追跡後の値は変化に乏しく、比電導度は低下していない。又、硝酸銀とクロム酸カリウムを用いた塩素イオン濃度測定でも、B.G値と追跡後の値は、比電導度と同様に変化に乏しいため食塩の検出は出来なかった。



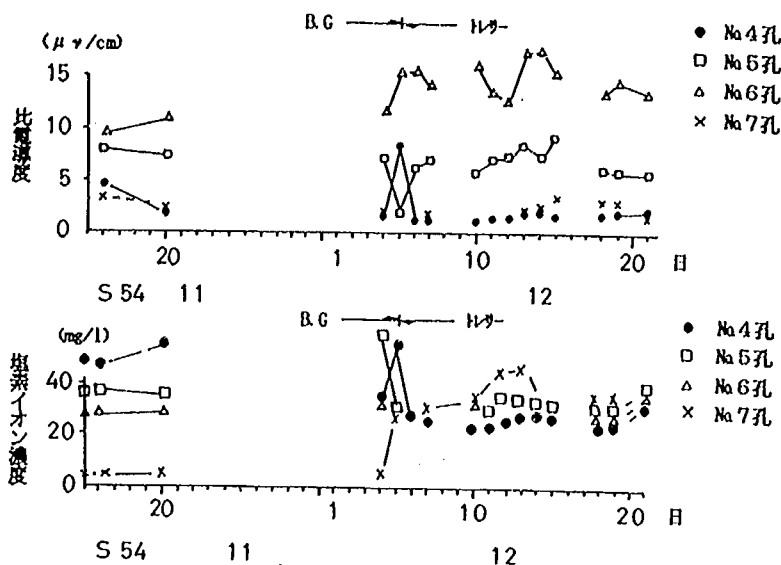


図-26 比電導度の経過日数の変化

### 3-3 対策工施工後の挙動特性 (昭和56年以降)

#### 3-3-1 移動状況からみた特性

3-2-1で、各対策工施工後順次減少の傾向を示していると述べたが、昭和56年以降も何れの移動計においても、移動土塊の収縮沈下によると思われる負の移動が発生しており、昭和57年では移動量も年間で0.2mmから7.3mmと僅かしか観測されていない。以上から昭和50年度より実施してきた一連の地下水排除工により現在も斜面は安定を保っていると判断できる。全般に晴れ間の続くことが少なく、降雨が断続的であった昭和61年においても、顕著な動きは見なれなかったことからそのことがいえる。

図-27から、湯水時の移動土塊の沈下による負の移動と降雨による土の膨潤とも思われる正の移動を繰り返すパターンが、昭和57年頃より継続的になっている傾向である。

#### 3-3-2 間隙水圧からみた特性

昭和56年以降においても、図-27に示すように、青灰色粘土中の間隙水圧 (P-2、P-6) は雪圧と一定の相関を持って変化し、消雪後に年間最低間隙水圧となったのち、再び徐々に上昇しているのが読み取れる。これは間隙水圧計の設置深度が、自重で圧密された正規圧密状態にあり、これに雪圧が圧密圧力としてかかると体積は収縮しようとするが、透水係数が $10^{-4} \sim 10^{-5}$  cm/sオーダーと小さいため、雪圧に見合った間隙水圧の増加をみるものと推定される。それに反して、P-7は設置深度が1.8mで透水係数が $10^{-3} \sim 10^{-4}$  cm/sオーダーと大

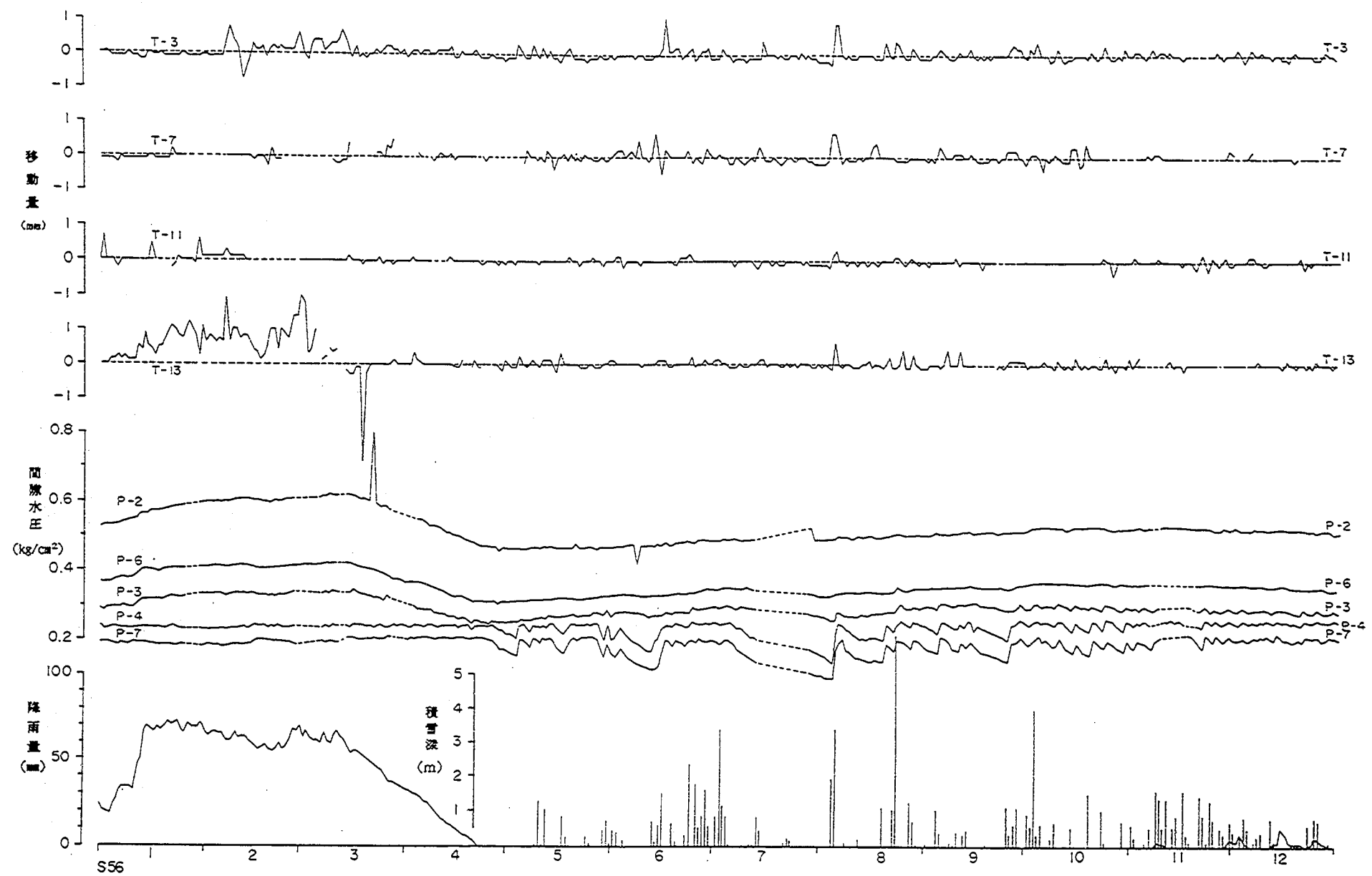


図-27 対策工施工後の移動量、間隙水圧値観測結果 (その1)

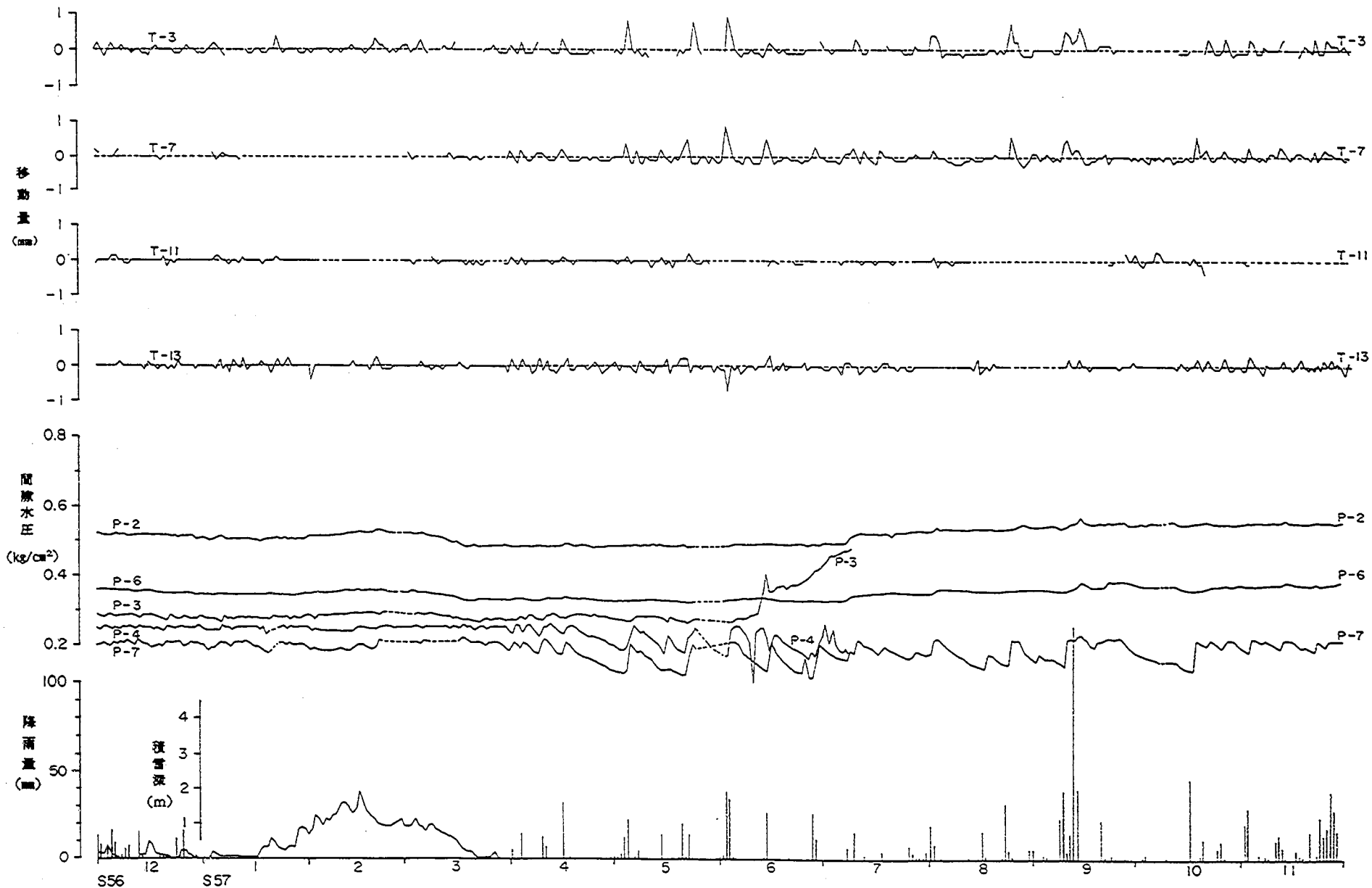


図-27 対策工施工後の移動量、間隙水圧値観測結果 (その2)

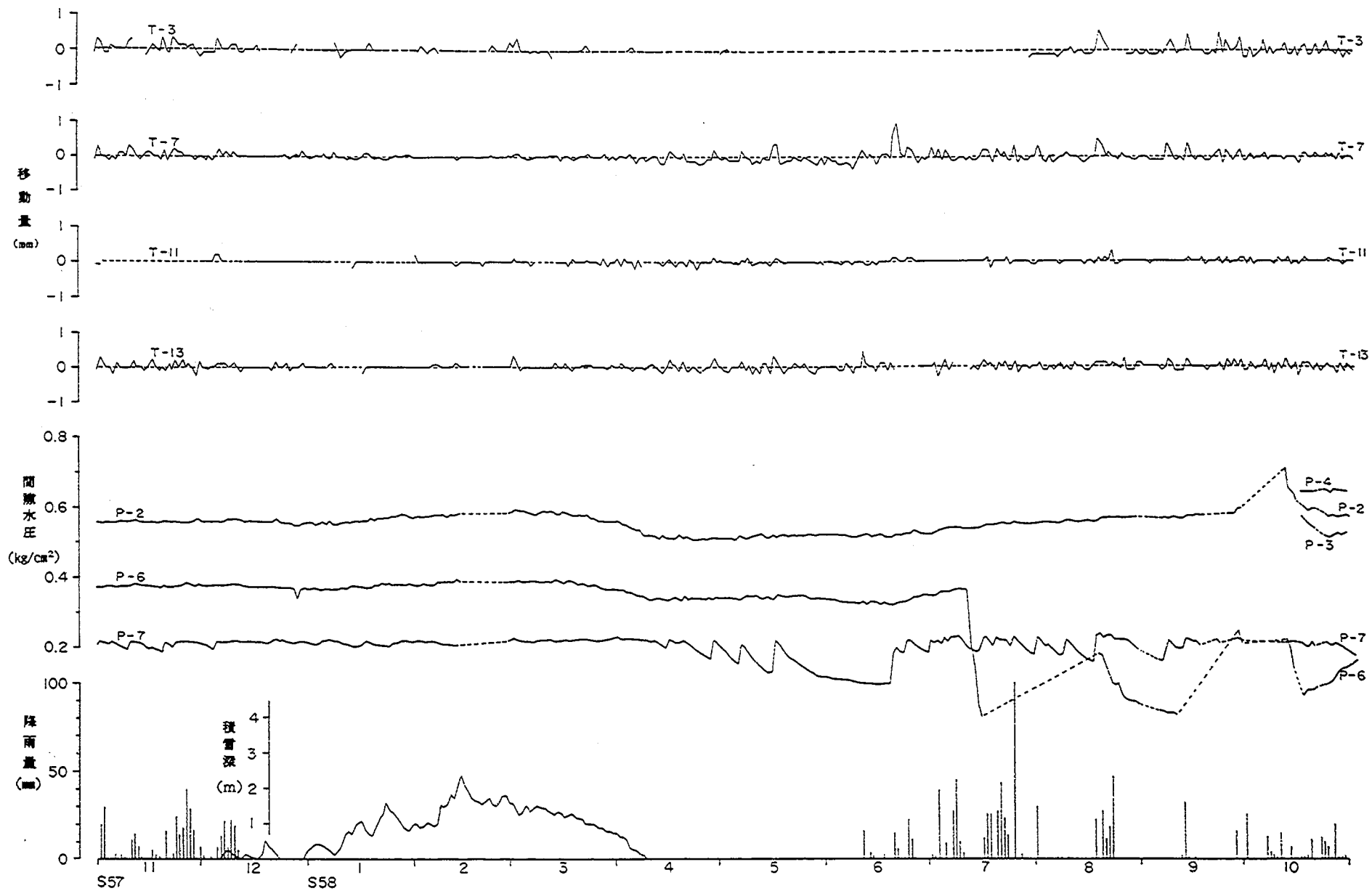


図-27 対策工施工後の移動量、間隙水圧値観測結果 (その3)

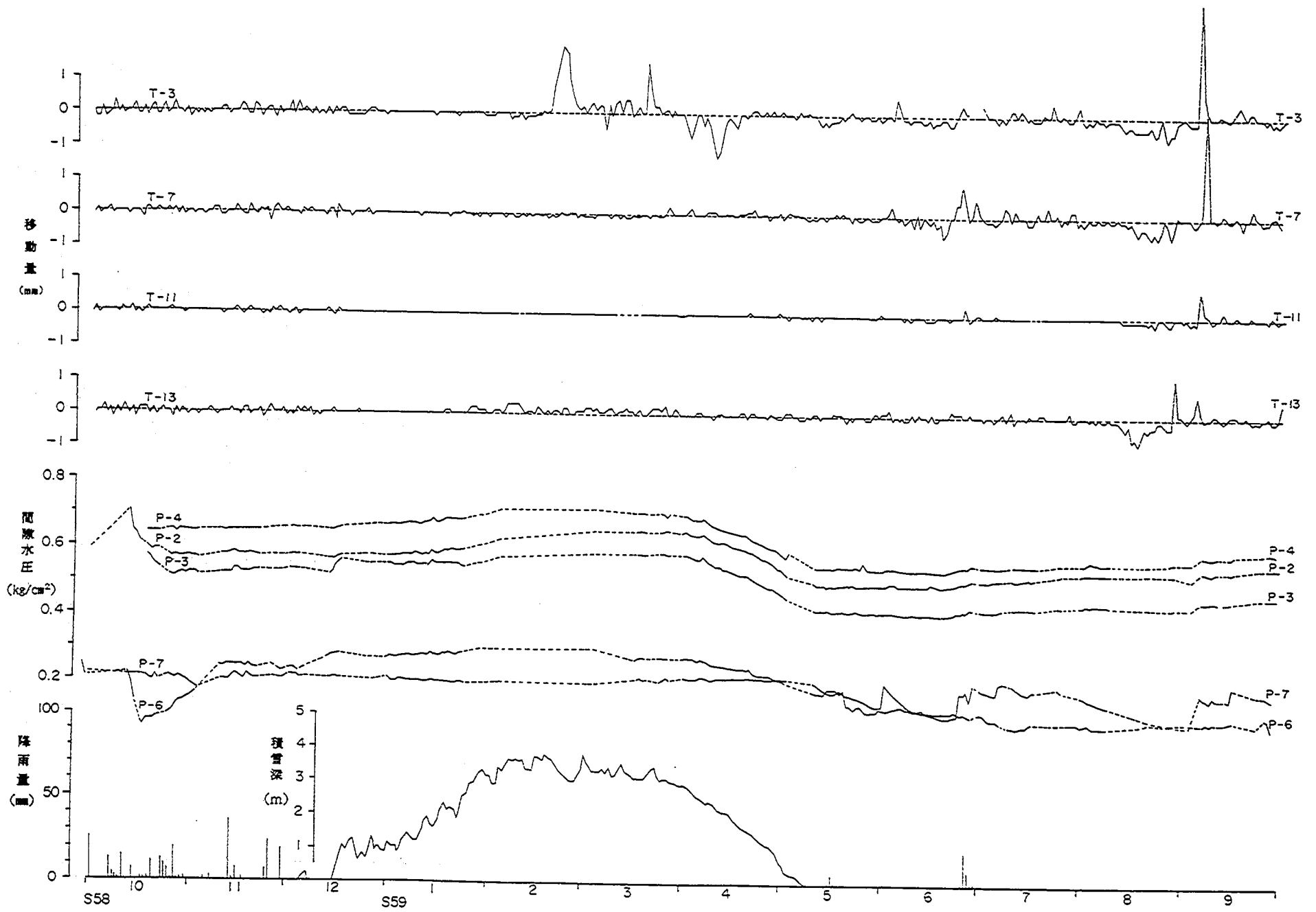


図-27 対策工施工後の移動量、間隙水圧値観測結果 (その4)

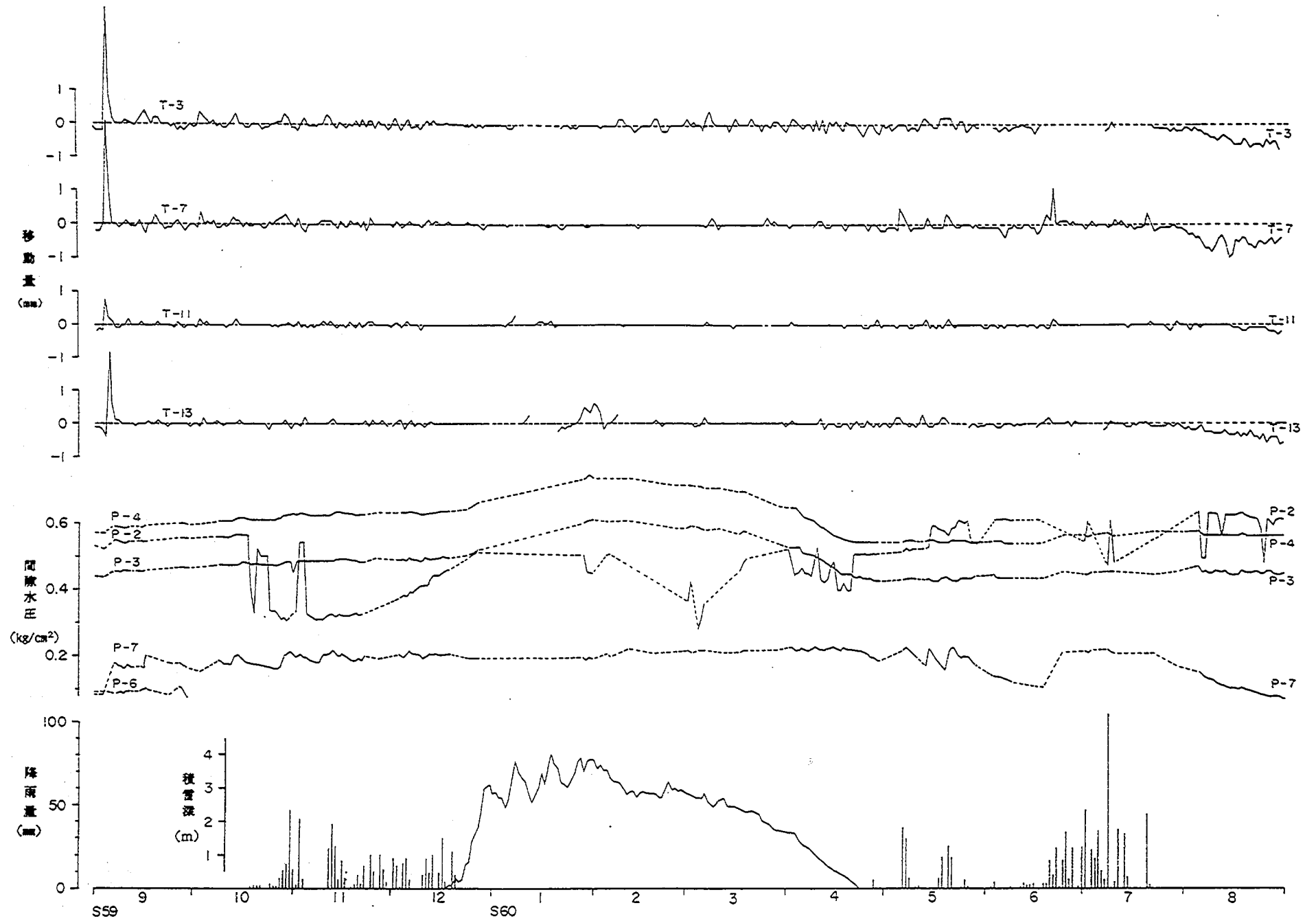


図-27 対策工施工後の移動量、間隙水圧値観測結果 (その5)

きいことから雪圧による間隙水圧の上昇はみられず、融雪が増加する時期から上昇をみるものと考えられる。

### 3-3-3 排水量からみた特性

図-28は、排水量と降雨量を表したものである。当然のことながら排水量は融雪水、降雨に影響されながら、季節的に変化をしているのが分かる。また、排水量は1年サイクルでゆっくり増減する基底流量と降雨時に急激に増減する直接流量に区分することが出来るものと思われる。図-29は、No.1とNo.2の排水量を片対数紙上に表したものであるが、減衰時の基底流量は一本の直線で表される。これは、減衰時の基底流量は次の式が成立することを意味する。

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

$Q_0$ : 出発流量       $Q_t$ :  $t$ 日後の流量       $t$ : 経過日数       $\alpha$ : 減衰係数

求めた減衰係数 ( $\alpha$ ) は、各年とも $10^{-2}$ オーダーである。また、最高流量、最低流量、勾配変化点がほぼ一致していることから、基底流量は毎年同じパターンで変化していると考えられる。なお、増加係数 ( $\beta$ ) も先ほどの式で求めたが、各年とも $10^{-2}$ オーダーで減衰係数と同様の値が求められた。

図-28をみると、積雪・融雪期の特徴として、積雪期は積雪深がピークに達するまで排水量は減少を続ける。しかし、その時期においても融雪水は、僅かではあるが観測されている。その後融雪期に入り、積雪深が減少すると共に排水量は増加して、消雪時期にピークとなり、5月から6月頃まで徐々に減少していく傾向である。

降雨期については、排水量は共に降雨に対して敏感に反応していることが分かる。図-30に昭和58年7月から昭和59年7月までのNo.1とNo.2の排水量の関係を示す。降雨量と排水量とが線形的な応答を成すとすれば、図-30の関係も線形となるはずである。図-30をみるとバラツキは大きいものの、一定の目安にはなると思われる。比較的流量の大きい部分ではバラツキは少ないが、中間的なところでバラツキが大きく、 $100\text{m}^3/\text{日}$ 程度の生じているところもある。

なお、No.1からNo.2の区間で、雨水やその他の水が流入しないように蓋をした側溝とパイプで送水しているので、No.1とNo.2の排水量の差は、3号排水壁工からの排水量と考えてよいと思われる。

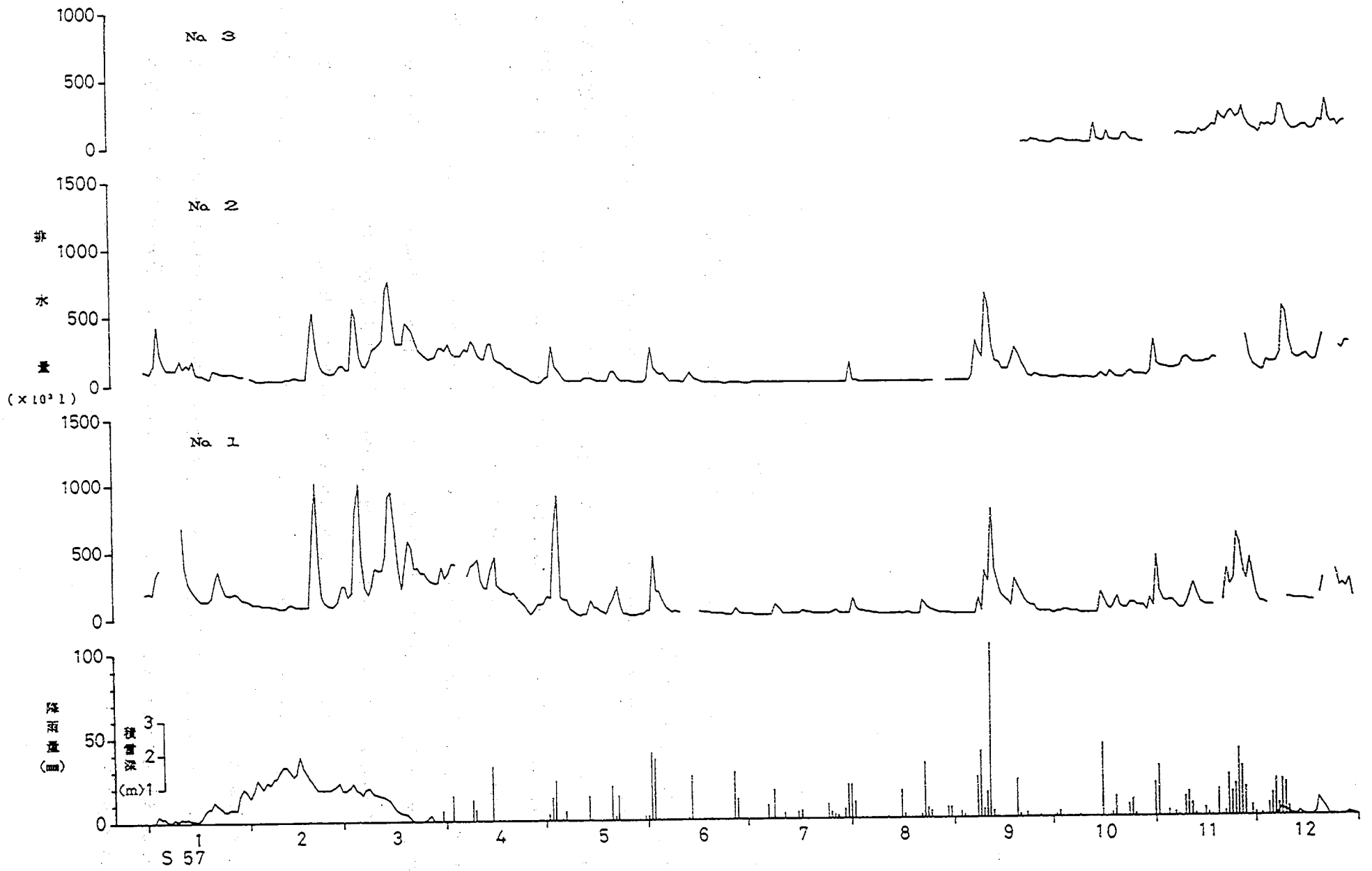


図-28 排水量の観測結果 (その1)



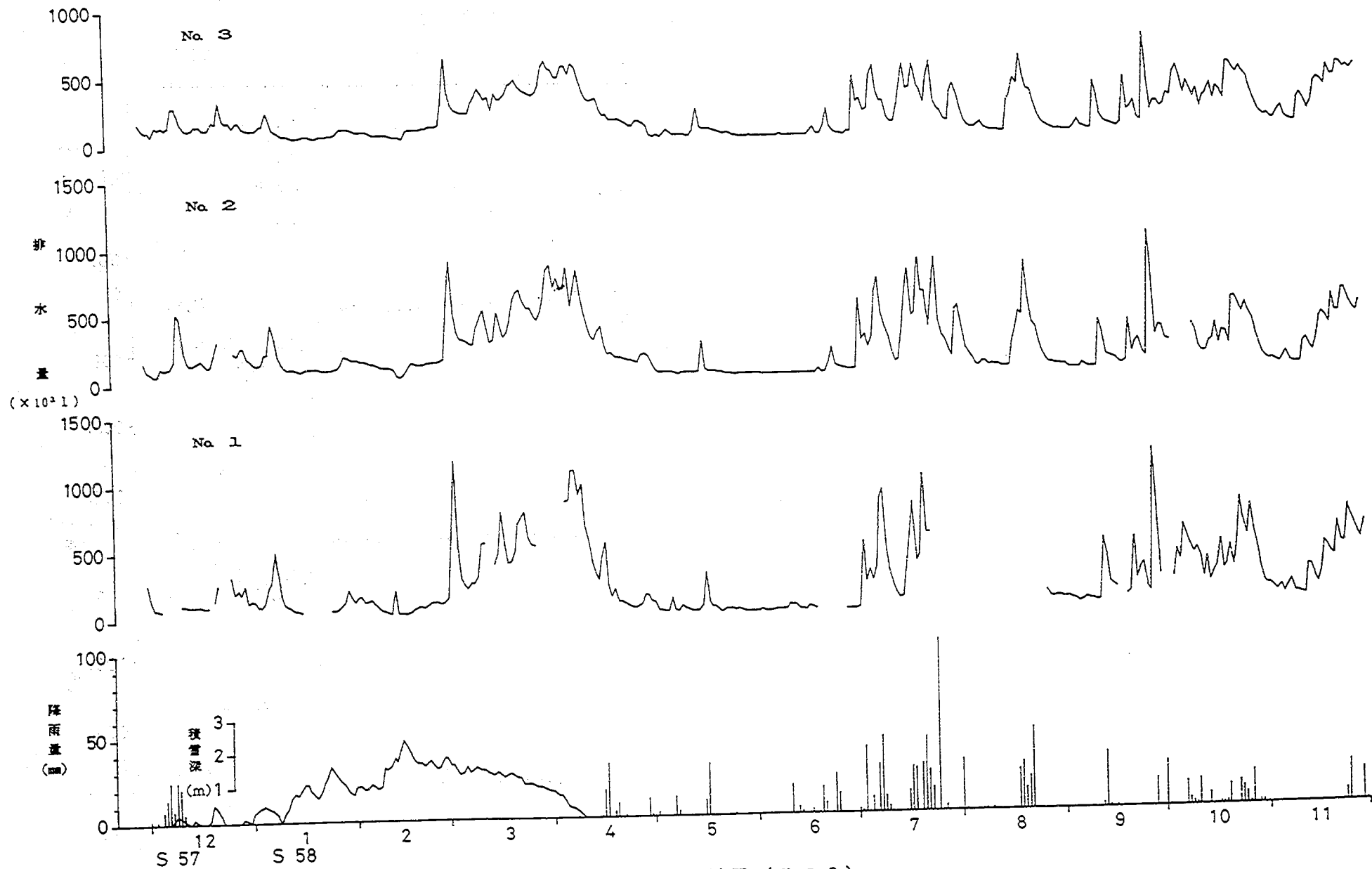


図-28 排水量の観測結果 (その2)

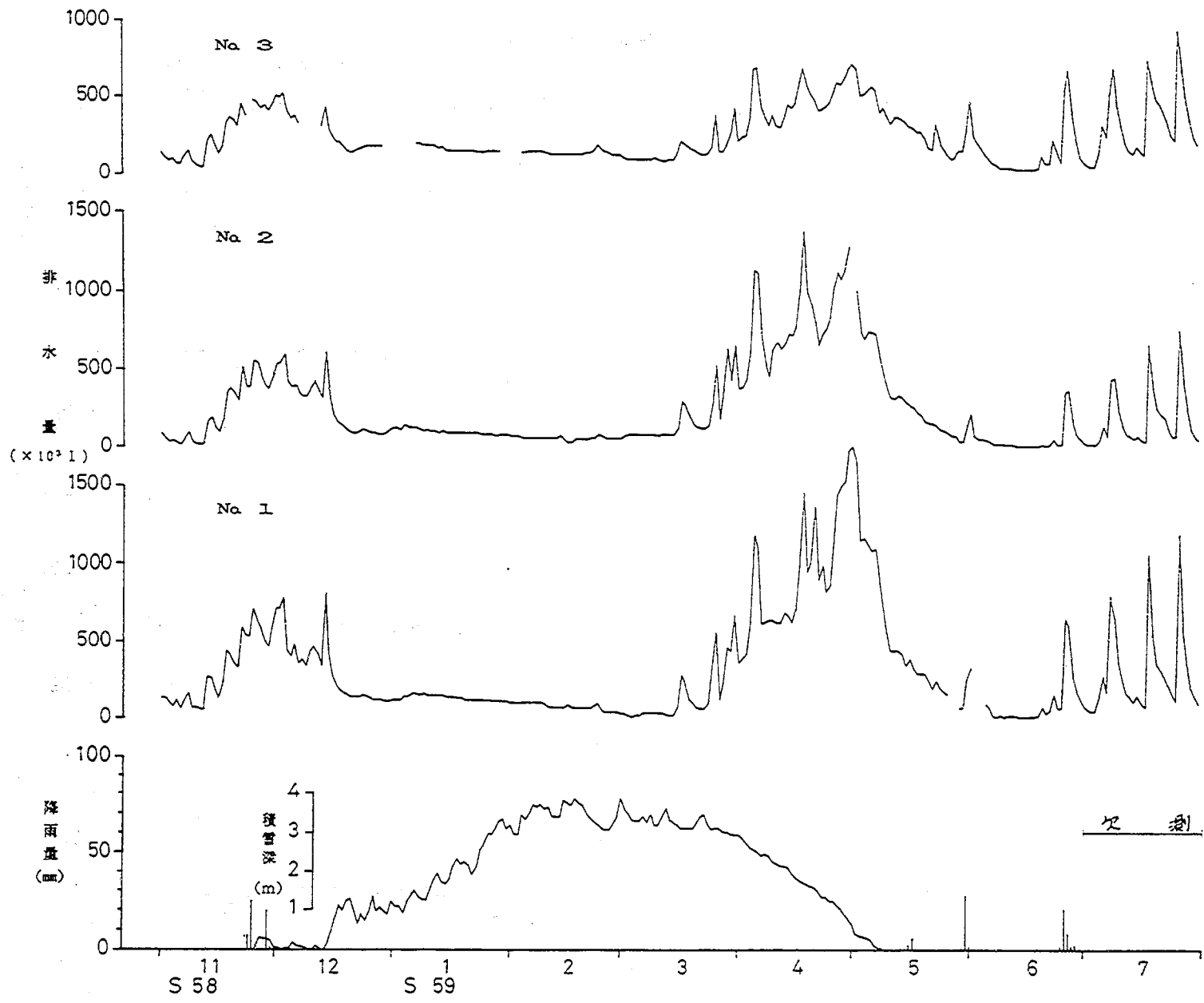


図-28 排水量の観測結果 (その3)

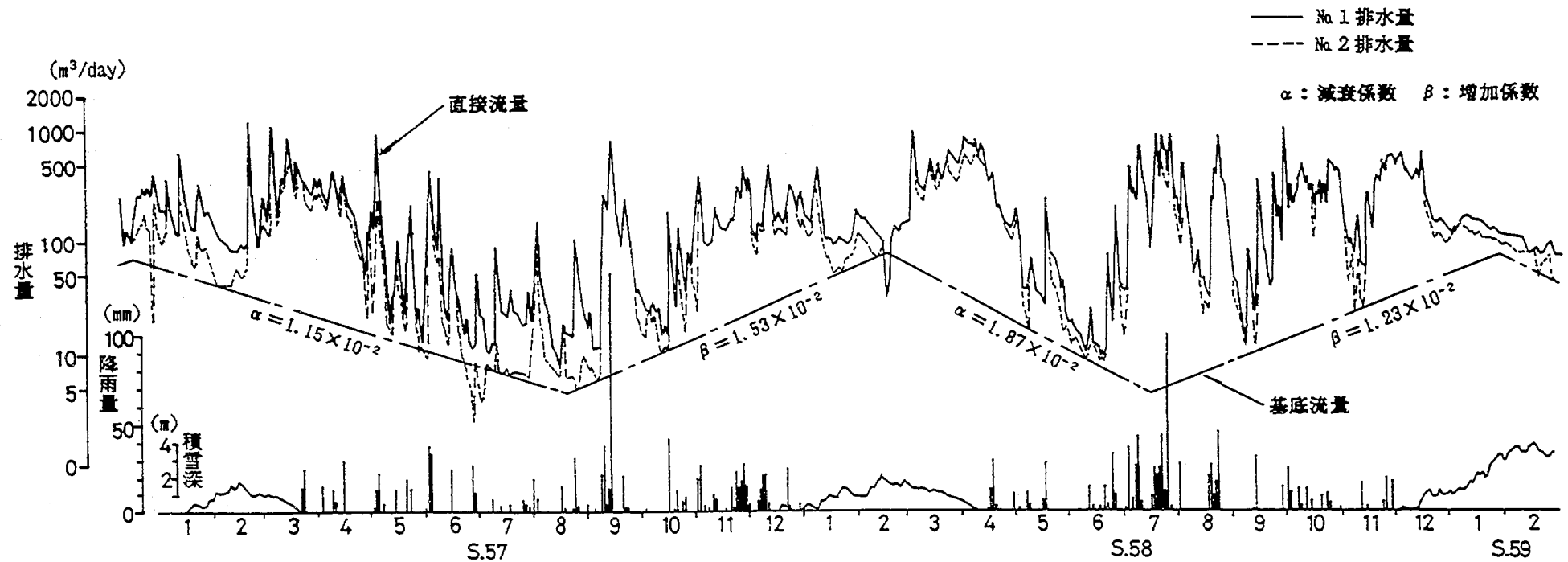
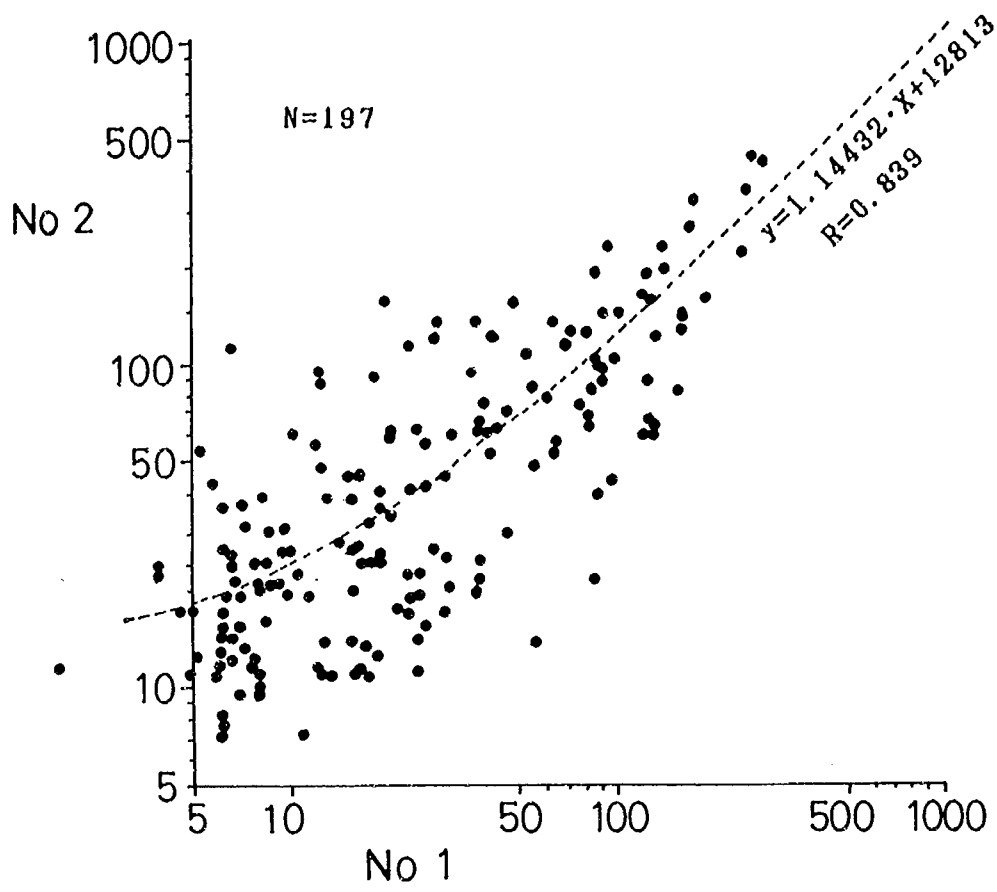


図-29 No. 1 及び No. 2 排水量の観測結果



図一30 No 1 と No 2 との排水量の関係

## 4. 地下水排除工の効果

### 4-1 暗渠工

本工法を採用した基本的な考えとして、先の概要のところでも述べたように移動層は、赤褐色粘土帯（不飽和）と青灰色粘土帯（飽和）から構成され、赤褐色粘土帯の透水係数（ $k_1$ ）、青灰色粘土帯及びすべり粘土層の透水係数（ $k_2$ ）、基岩の透水係数（ $k_3$ ）とすると、 $k_1 > k_2 > k_3$ の境界条件を有する関係にあり、主に赤褐色粘土帯の地下水（自由面地下水）の挙動と地すべり移動は、最も密接な関係にあることがこれまでの調査から分かっている。したがって、赤褐色粘性土帯の地下水を排除することが、本地すべりの発生機構からみて最も有効的であると考えた。暗渠工の構造は、図-8に示すとおりである。

#### 4-1-1 移動からみた効果

対策工進捗に伴う挙動特性で述べたように、T-6では、暗渠工施工完了前の昭和51年2月17日までの累積移動量として1,110mm移動しているのに対して、施工完了後の同時期に相当する昭和52年3月9日までの累積移動量は250mmを示し、約1/5に移動が激減している。更に、昭和52年3月9日以降は排水壁工の効果が現れ、全くといっていいほど移動を示さなくなった。又、昭和52年以前に於て、暗渠工施工付近の移動計は、9月から10月頃の降雨が多くなる時期から移動は徐々に大きくなり、積雪深の最高を達する頃の1月から2月頃にピークを生じ、融雪期になる3月頃になると殆ど移動がなくなる傾向を示していたが、昭和52年以降はその傾向がなくなり、降雨期、積雪・融雪期とも殆ど変化のないことがいえる。このことは、明らかに暗渠工施工による効果の現れである。（図-17, 18, 22参照）又、北陸地方を襲った昭和53年6月25日から27日の梅雨前線豪雨（3時間の総雨量108mm）においても、2mm程度の移動を示すものであった。

以上のように、移動層内の地下水の排除により、移動は殆どなくなったものと考えられる。なお、その様な傾向は、T-8の移動計までみられる。

#### 4-1-2 間隙水圧からみた効果

図-24のP-2の間隙水圧についてみると、昭和51年2月5日に出現したピーク値0.652kg/cm<sup>2</sup>が昭和52年2月27日で0.578kg/cm<sup>2</sup>を示し、昭和53年3月1日では0.538kg/cm<sup>2</sup>を示している。又、ピーク値とピーク値の間に出現した、最低間隙水圧値0.449kg/cm<sup>2</sup>が昭和52年4月25日では0.425kg/cm<sup>2</sup>を示している。更に図-31で、深度別の間隙水圧をみると、地すべ

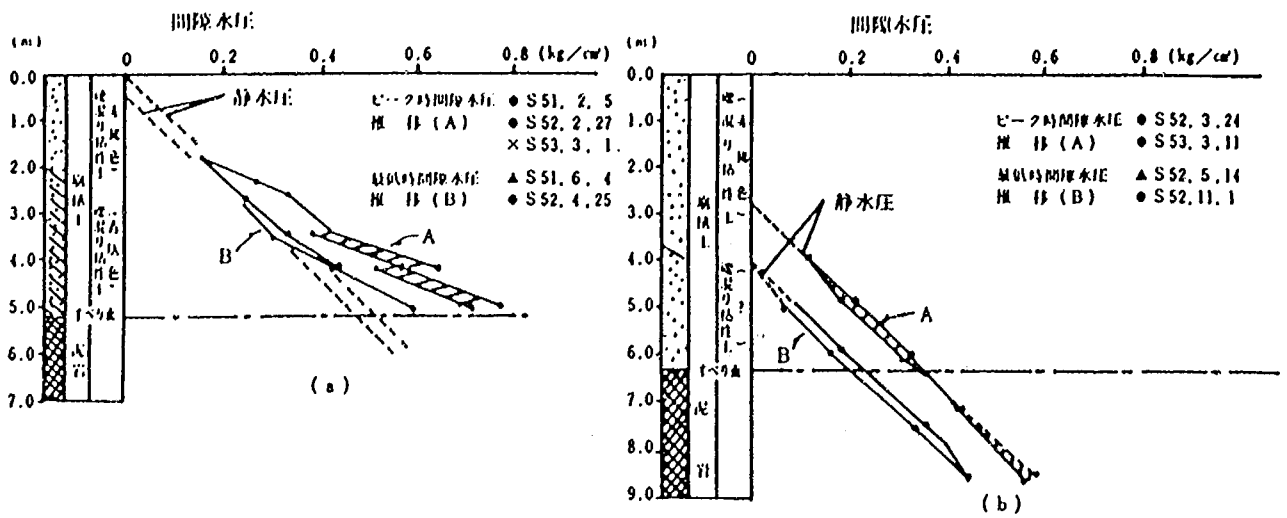


図-31 深度別の間隙水圧

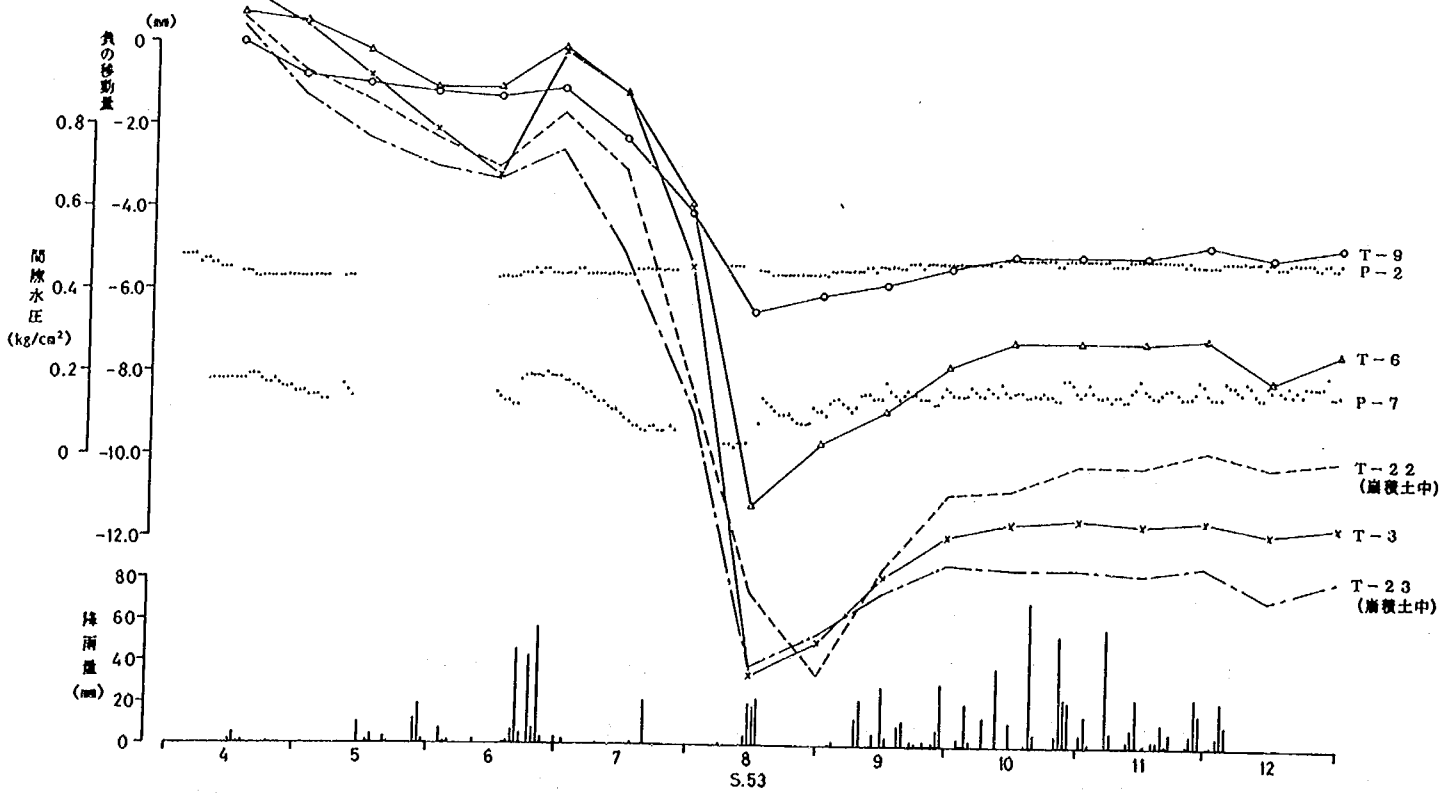


図-32 沈下現象の観測

り斜面の上部ブロックに設置した間隙水圧計 a (P-8, 9, 10, 11, 12, 13) と下部ブロックに設置した間隙水圧計 b (P-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) とでは、明らかに深度による間隙水圧の増加特性に相違が認められる。この変化特徴を考えると、上部ブロックは引っ張り領域であるため、すべり面までの移動層中に亀裂が発達し、亀裂が連続するため、間隙水圧は静水圧に等しくなるものと考えられる。これに対して、下部ブロックは圧縮領域となるため、土層の深度毎の特性が、間隙水圧に反映したのと考えられる。

以上のことから暗渠工の効果を確認したものと考えられる。又、暗渠工によって斜面の安定を高める一方で、図-32に示したような沈下現象が観測されている。

#### 4-2 3号排水壁工の効果

本工法施工前の状況として、上部斜面との相対的な移動量差及び基岩が深くなることもあって、排水壁工地点に引っ張りクラックが観測され、地すべり頭部と判断されたこと。更には、上部斜面との傾斜変換点であることを考慮し、この様な地点での施工に実績のある排水壁工を採用した。

##### 4-2-1 移動からみた効果

図-33により、排水壁工上流の移動計T-13、下流のT-14とも積雪期に移動がみられるが、斜面は安定傾向にある。又、T-13の移動に比べT-14の移動量が少ないことから、排水壁工が地下水排除効果を発揮し、さらには排水壁上部の土留効果をも発揮しているものと考えられる。

次に、移動量と間隙水圧との関係をもてみることにする。図-34は昭和58年の5月から11月におけるT-12の移動量とP-21の間隙水圧との関係を示したものであるが、これをみる限り、間隙水圧が約0.2kg/cm<sup>2</sup>以上になると正の移動が生じており、降雨による移動層の膨潤、乾燥による土の収縮の影響も多分にあると思われる。しかし、時間の遅れはあるものの正の移動と対照的な負の移動を生じさせていることは、地下水排除工の効果によるものと考えられる。

##### 4-2-2 間隙水圧からみた効果

図-33に3号排水壁工上下流の間隙水圧計の経日変化を示す。施工期間中は前にも述べたとおり、施工時の影響により、施工期間中の各間隙水圧計の変化が著しく、不安定である。その後はその変化は安定し、下流側は徐々に間隙水圧が減少する傾向であることがう

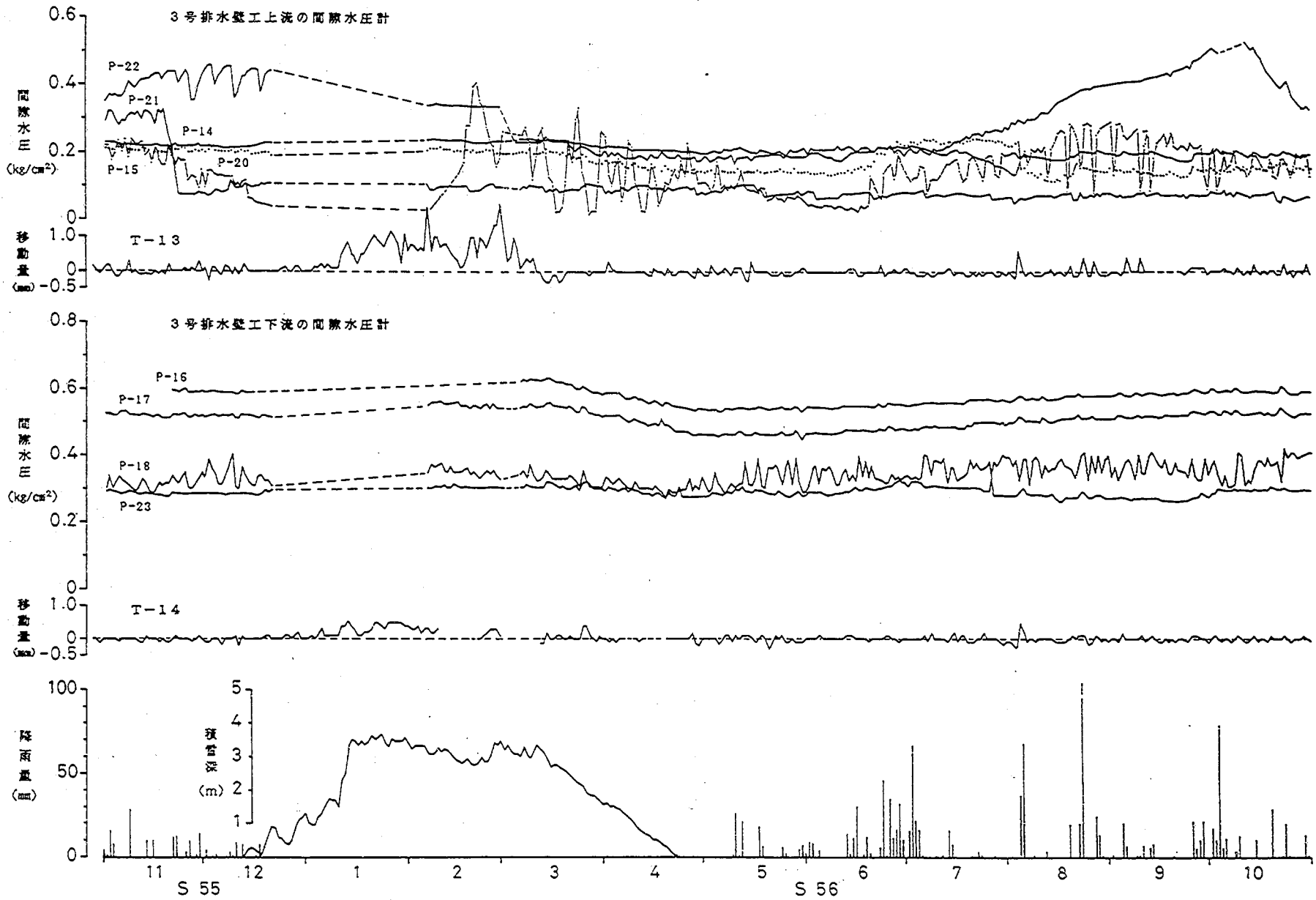


図-33 3号排水壁工上下流の移動量、間隙水圧値観測結果 (その1)



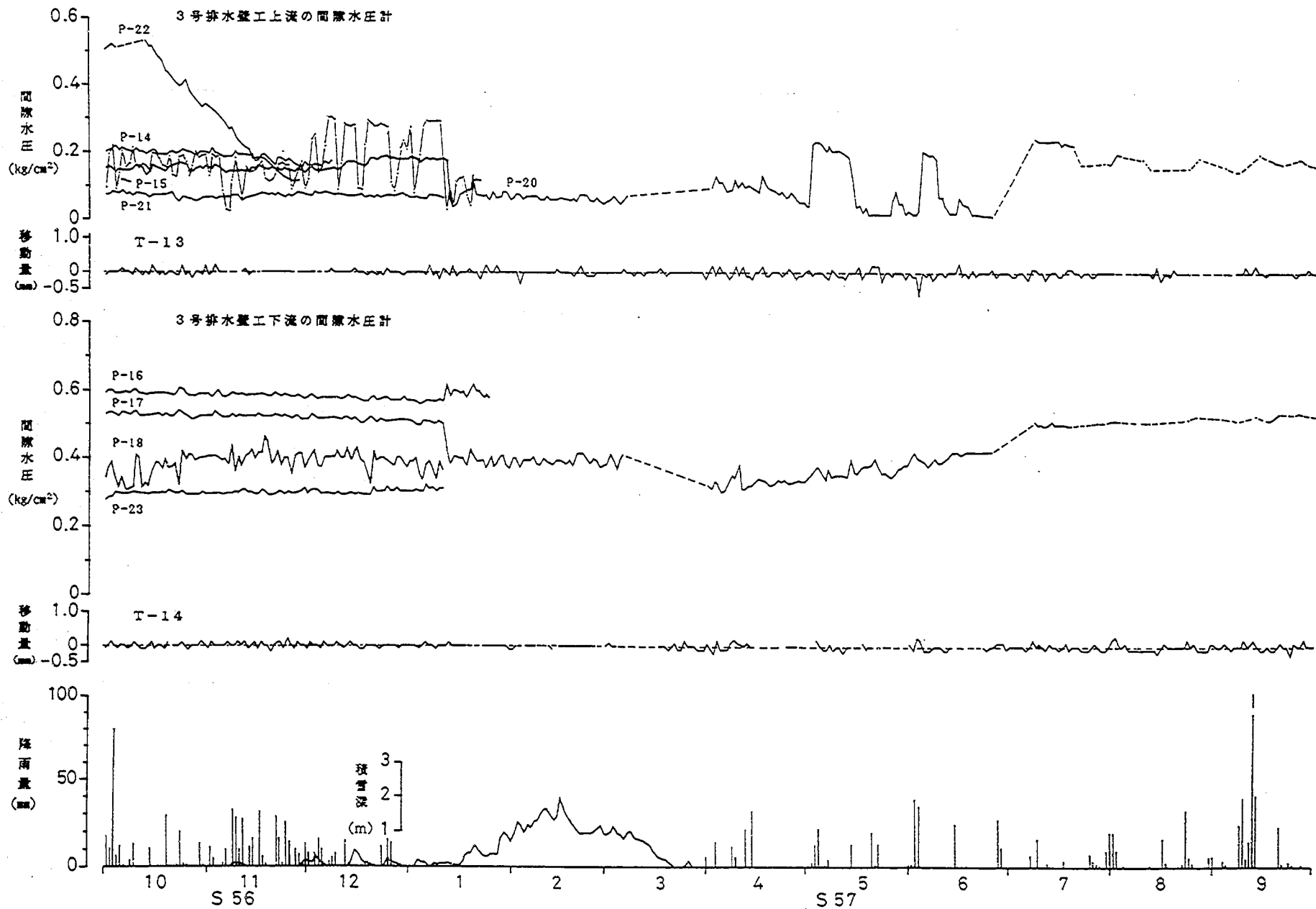


図-33 3号排水壁工上下流の移動量、間隙水圧値観測結果(その2)

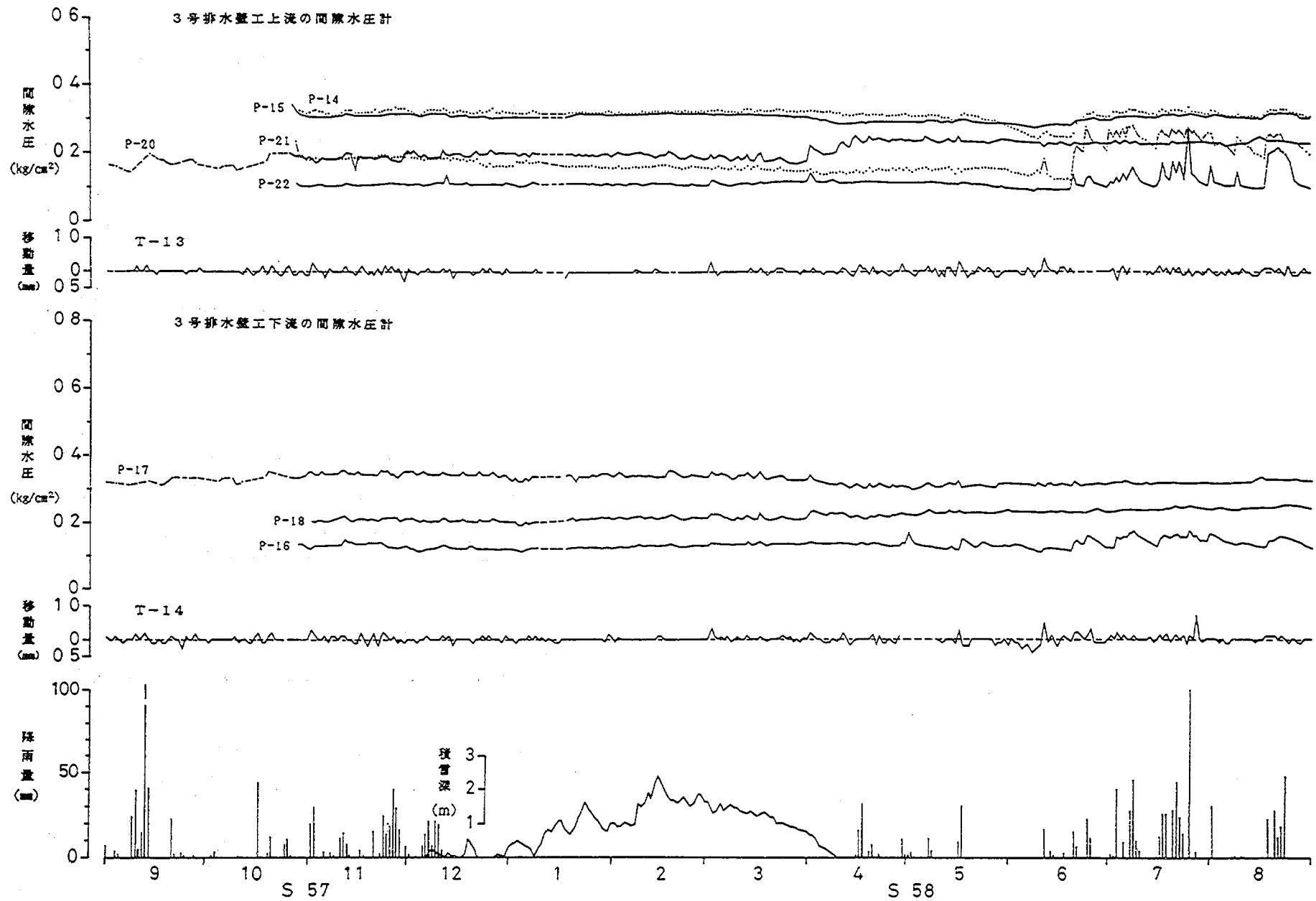


図-33 3号排水壁工上下流の移動量、間隙水圧値観測結果 (その3)

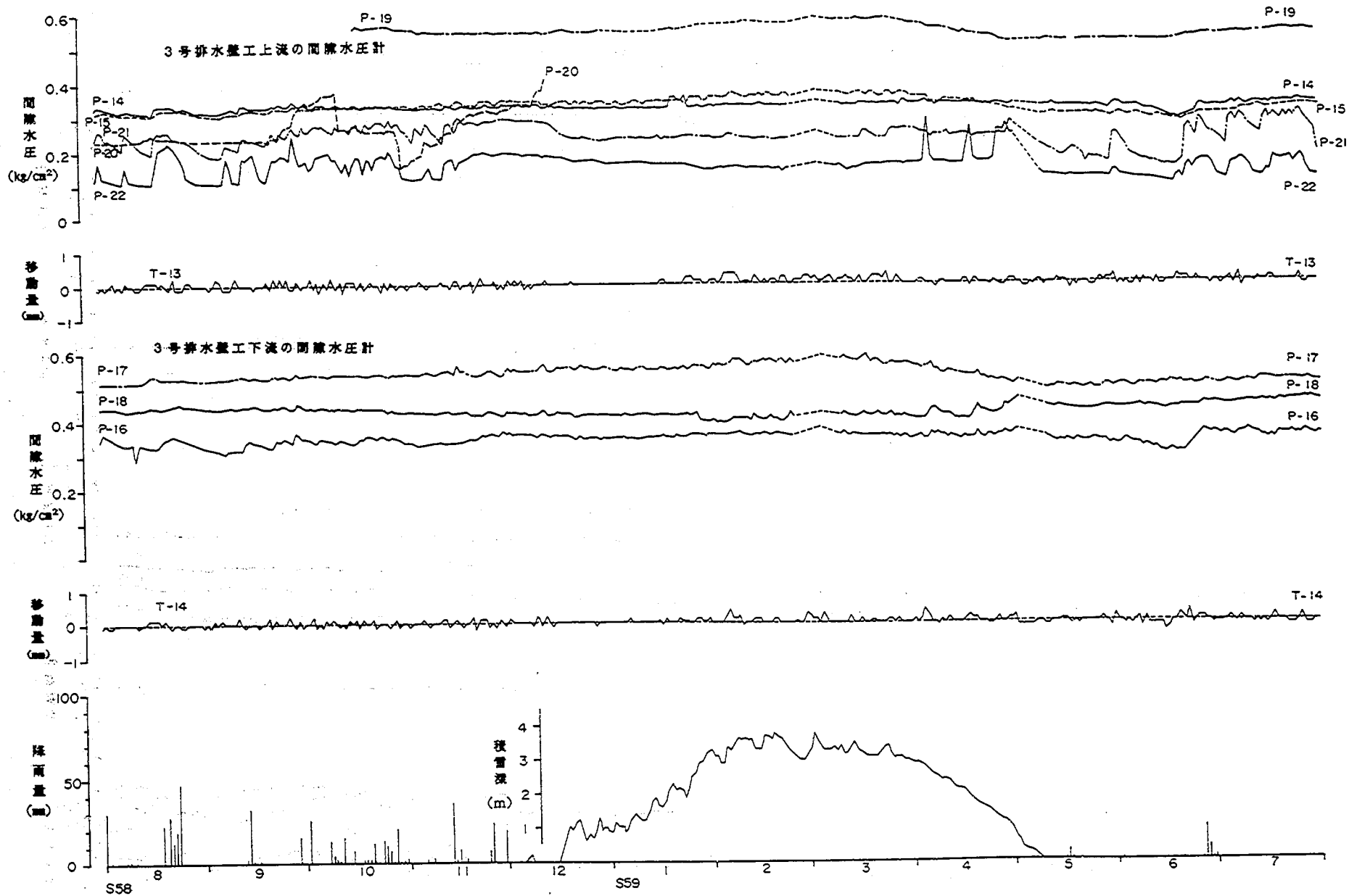


図-33 3号排水壁工上下流の移動量、間隙水圧値観測結果(その4)

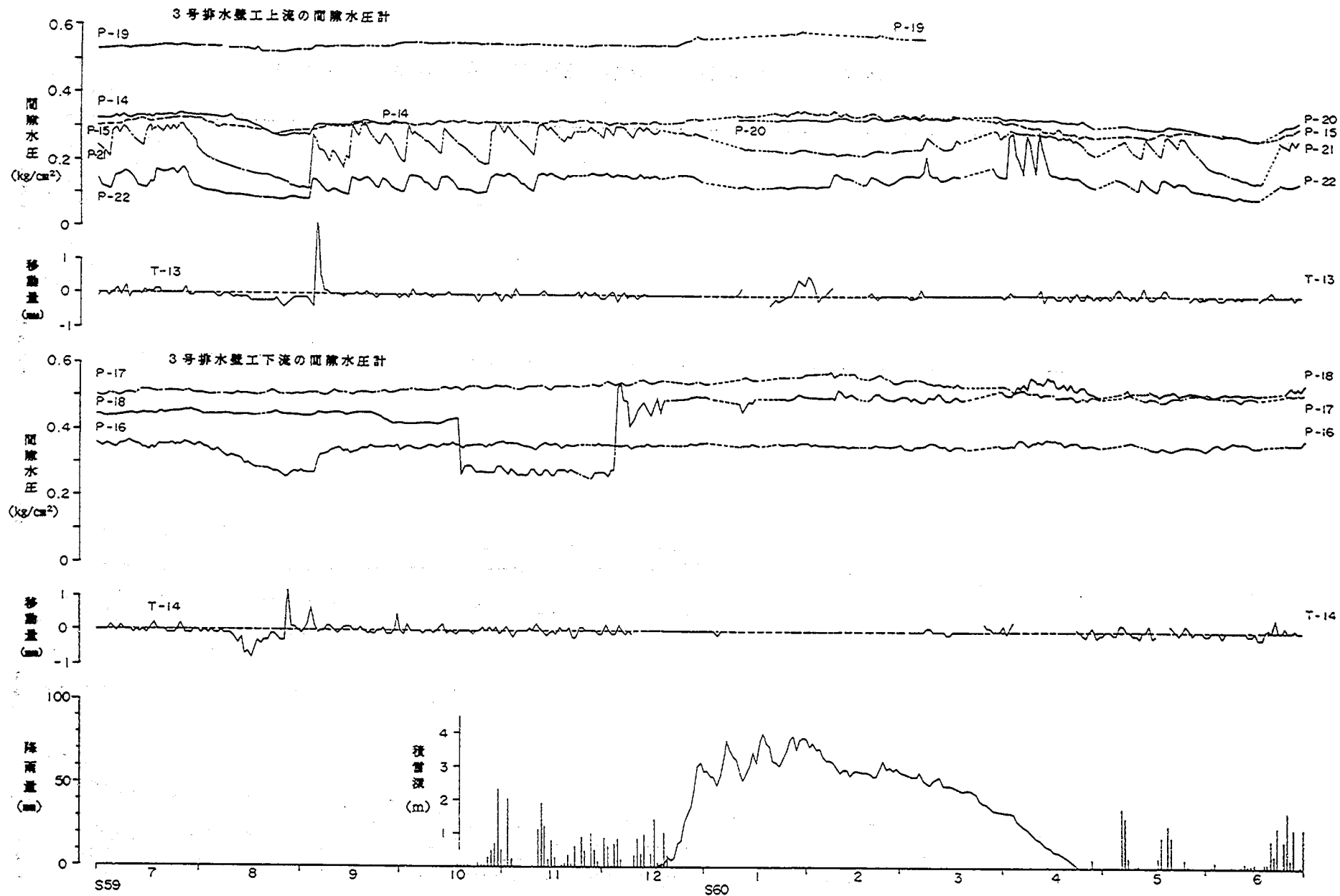


図-33 3号排水壁工上下流の移動量、間隙水圧値観測結果 (その5)

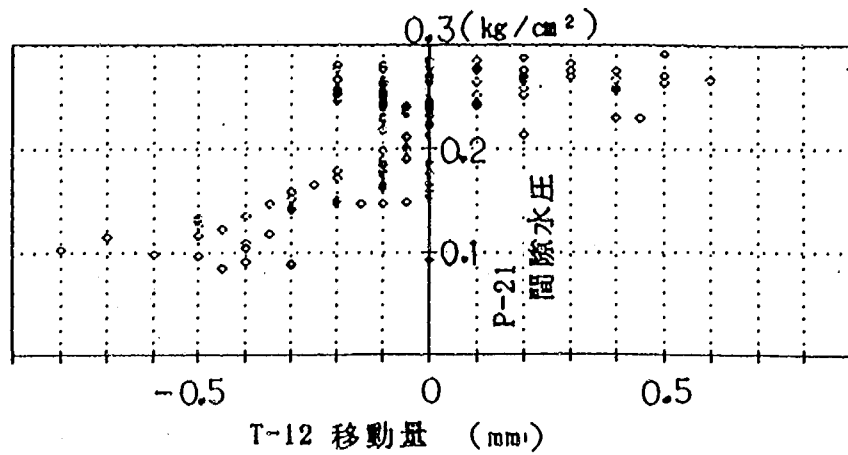
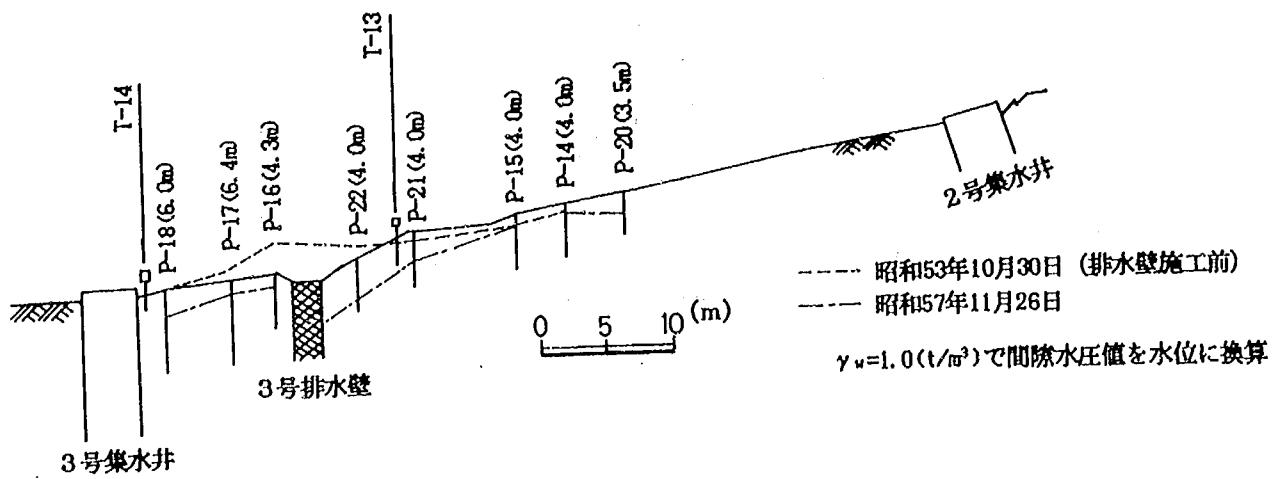


図-34 移動量と間隙水圧との関係

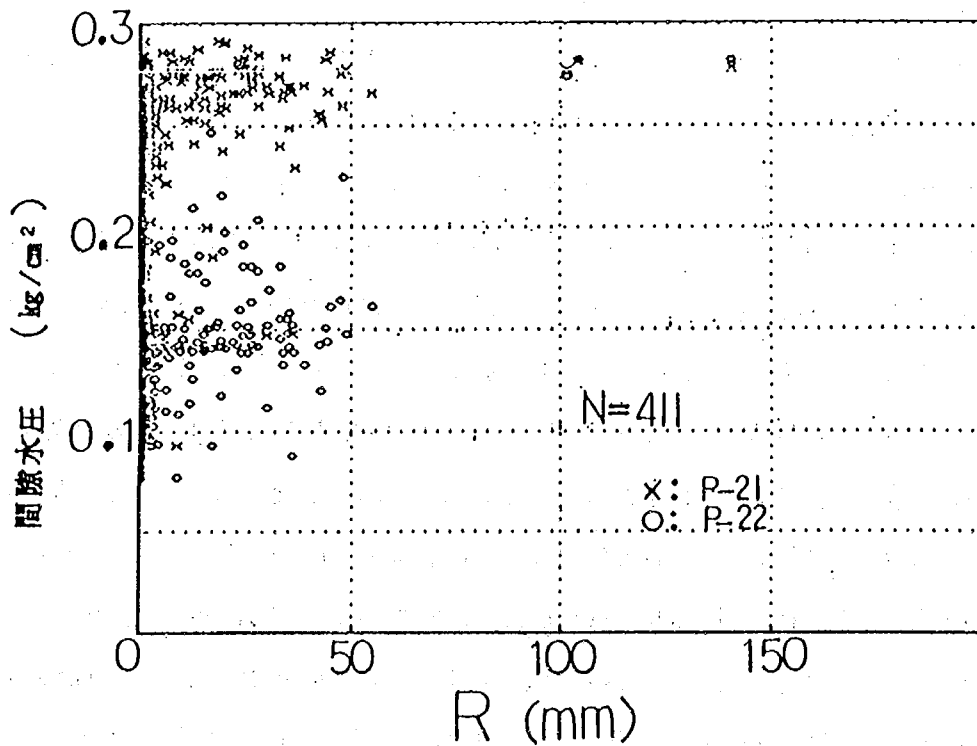
かがえる。上流側斜面の間隙水圧計は、積雪・融雪期の影響は見受けられないが、下流側斜面については、積雪期に上昇し、融雪期後に最低値となる1年のサイクルがみられる。降雨期においては、降雨等による間隙水圧変化が大きいことから、排水壁工周辺での地下水の流れが顕著であると思われる。昭和58年7月から9月までの間隙水圧と降雨量との経日変化をみると、降雨量は7月にまとまった降雨があり、また、8月中旬（18日から23日にかけて）にも131.5mmの降雨があった。その後、9月11日までの19日間には降雨がなく、P-14、P-21、及びP-22の間隙水圧は、これらの降雨パターンによく反応した変動を示している。131.5mmの降雨後の19日間の無降雨期間に着目すると、排水壁に近い間隙水圧計P-22は降雨後約1週間程度で約0.1kg/cm<sup>2</sup>低下している。又、P-21はP-22よりも間隙水圧の低下速度が鈍く、排水壁工による排水の影響がP-21よりも強いことを示している。更に上流側のP-14では、水圧の約0.02kg/cm<sup>2</sup>しか低下せず、排水壁工の影響が殆どないものと思われる。

図-35に排水壁上部と下部の地下水位分布を表した縦断面図を示す。なお間隙水圧は、静水圧に等しいと考え、間隙水圧0.1kg/cm<sup>2</sup>を地下水位1.0mに換算し示すことにする。この図から排水壁工の影響範囲は、上部については15.6m離れたP-15付近までであると思われる。一方、下部については、明確に現れておらず、むしろ3号集水井のほうに間隙水圧は低下している。この結果は、排水壁下部に対して、排水壁の機能である上部からの地下水の流入を遮断させ、地下水位の低下を図るという効果が出ていないことを示している。つまり、本地すべりのように、排水壁を地すべり斜面に横断的に施工した場合、排水壁により、上部からの地下水は遮断されるものの、排水壁下部に於て斜面からの地下水の流入がある場合、側面からの地下水の流入を考慮した配置を行う必要があることを示すものである。

図-36に降雨とP-21、P-22の間隙水圧との関係（昭和58、60年の5月から11月）を示す。当然のことながら排水壁工に近いP-22の方が、同程度の降雨に対してはP-21より低くなっ



図一35 地下水位分布縦断面図



図一36 降雨と間隙水圧との関係

ている。しかし、日降雨量が50mm程度より多くなると、P-22の間隙水圧も高くなる傾向がみられる。

以上の様な、降雨に対する間隙水圧の変化特性を明らかにするため、昭和61年6月24日の13時から8月3日の23時までの時間単位のデータを用いて、相互相関関数を求めてみるこ

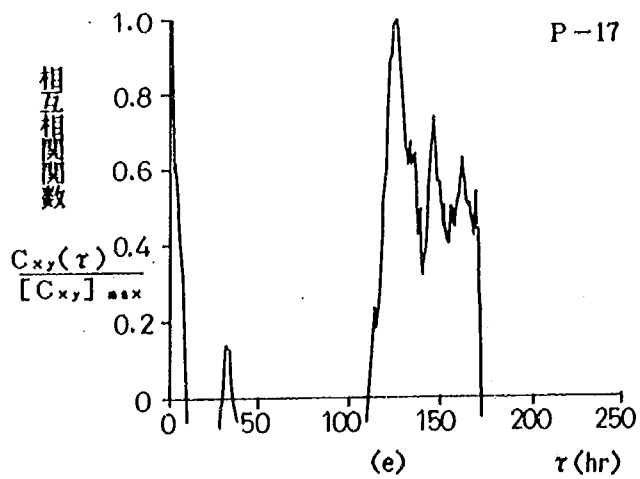
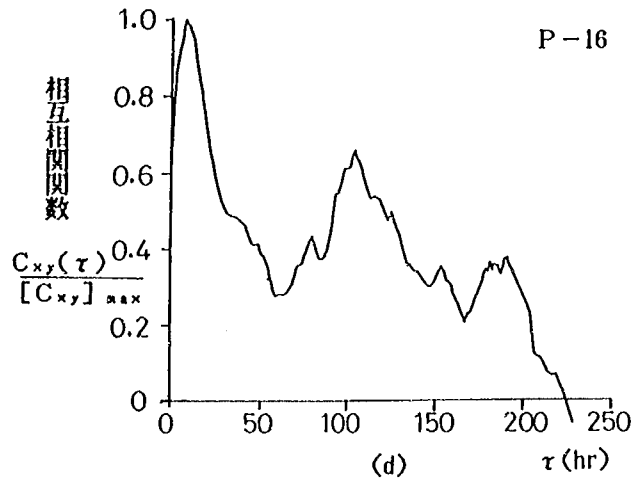
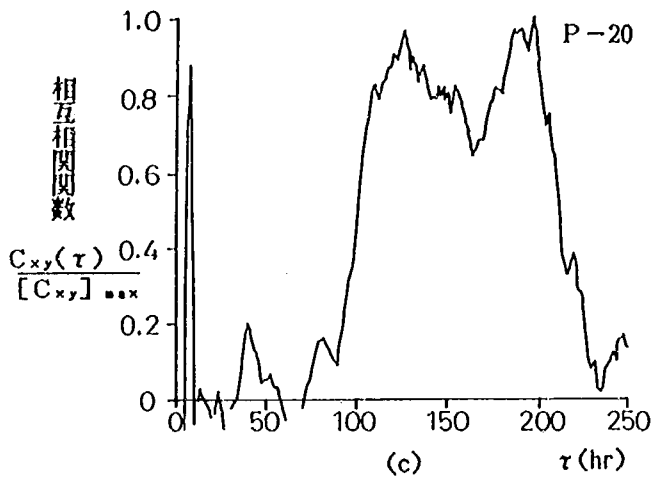
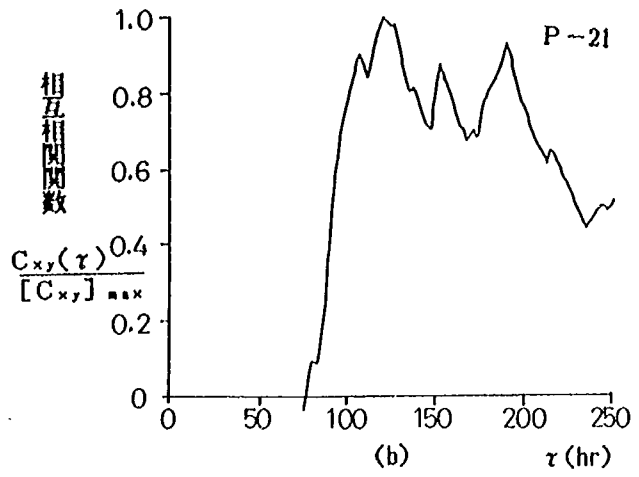
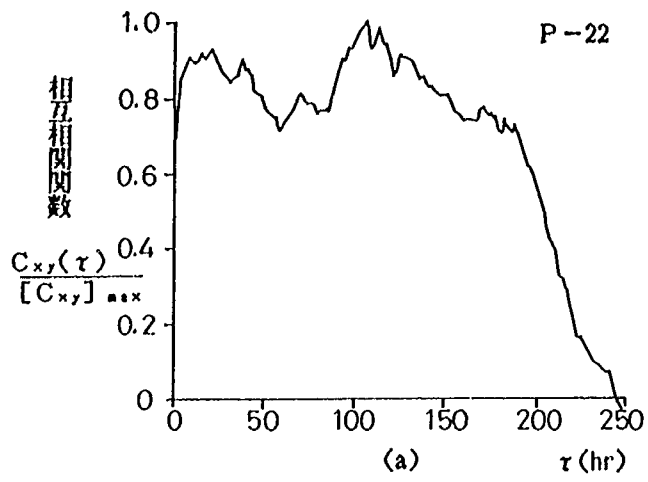


図-37 降雨と間隙水圧との相互相関関数

にする。図-37にその結果を示すが、排水壁工上部についてみると、一番近いP-22では降雨後19時間、106時間にピークがみられ、正の相関は、降雨直後から245時間までと長時間にわたって続いている。次に近いP-21では、降雨後72時間位まで正の相関がなく、その後急激に相関が良くなり、120時間で最大を示し、上下しながら250時間以上まで正の相関が続いている。一番離れているP-20については、降雨後7時間後にピークがみられ、その後相関が小さくなり、90時間位から又相関が良くなり、126時間と196時間にピークがみられる。排水壁下流については、一番近いP-16では、降雨後8時間で最大となり、その後上下しながら224時間で負に転じており、全体的にはP-22と似た傾向を示している。P-17については、降雨後2時間でピークがみられ、その後相関が負に転じ、110時間位からまた正の相関となり125時間で最大を示し、その後は上下しながら171時間で負になっている。

以上のことから、降雨に対する間隙水圧の変化は、排水壁近くでは遅れが小さく、遠くなるにしたがい遅れが大きくなることが分かる。つまり、排水壁から遠いところでは遅れが大きいことから、土層が飽和しており、降雨が浸透しにくい状態にある。そして、近いところでは逆に遅れが小さいことから、排水壁より地下水が排除されるため、降雨が浸透し易い状態となっていると考えられる。又、遅れが大きいのは、土層中を流れてくる地下水（地下水流出成分）に反応しているためと推定できる。

#### 4-2-3 排水量からみた効果

図-14に示すNo.3において、排水壁工からの排水パイプ出口に三角堰を設置し、三角堰の水位を水圧式水位計で計測し、30分間隔でデータロガーにて記録している。（図-16参照）

特徴としては3-3-3で述べたのと同様の傾向を示しており、特に排水量は、降雨量に敏感に反応している。昭和61年4月から昭和62年4月までの観測結果を例にとると、図-38に示す。3月の融雪期には、300m<sup>3</sup>/day前後と多く、積雪期の排水量は無雪期と比べ、全体的に多く、しかも連続している。一番排水量の多い時期は、3月から4月にかけての融雪期であり、他の時期のピーク以上の量が連続している。

排水壁工の効果判定を行う上で、排水量を定量的に把握することは、重要な要素の1つであると思われ、対策工の維持・管理という面からも、機能の低下をきたしていないか点検を行う上で、一つの指標となると考えられる。そこで、降雨と排水量との関係を、相互相関関数より求め、応答関数を用いて、降雨量に対する、排水量の変化のシミュレーションを試みた。以下にその手法、検討結果を述べる。

まず、降雨量と排水量との関係を相互相関関数より求める。図-39に、図-38に示す期



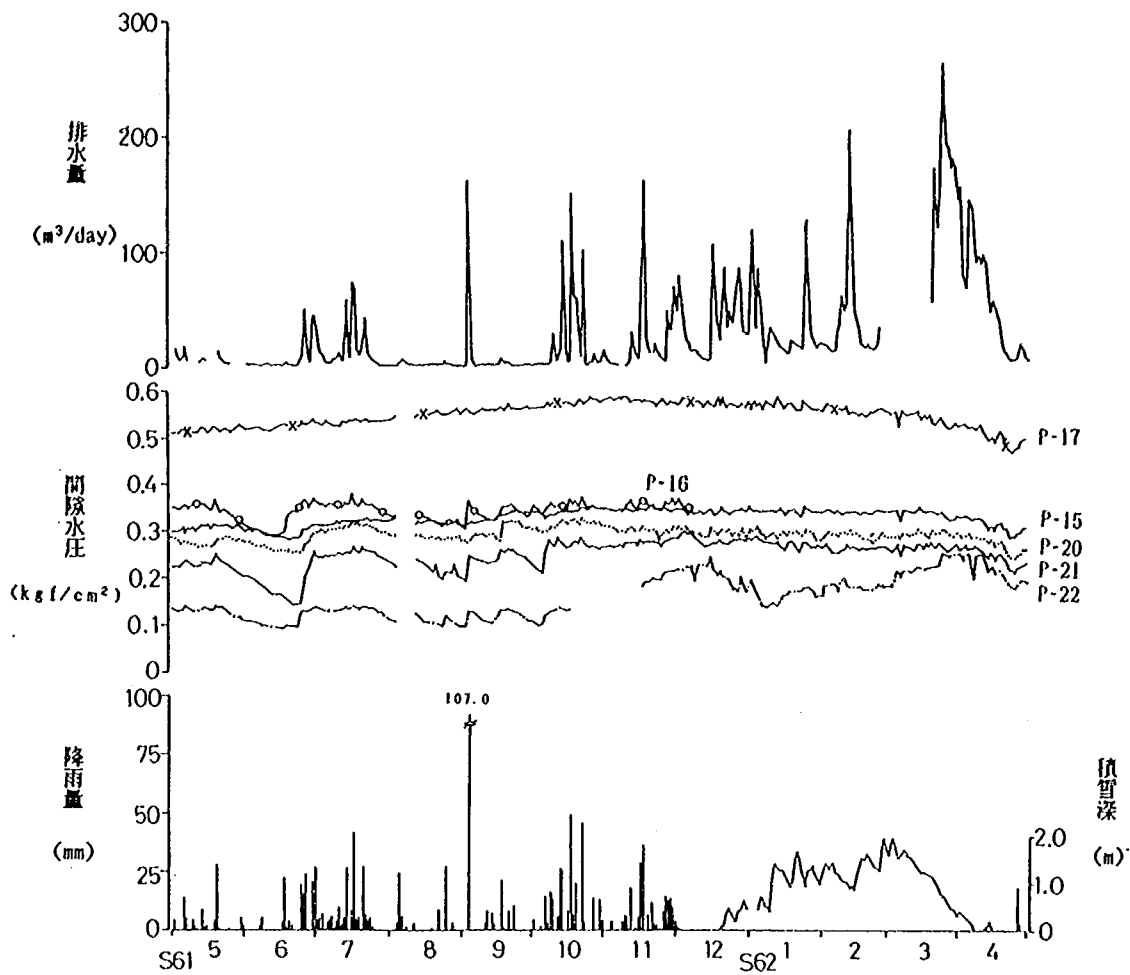


図-38 排水量、間隙水圧観測結果

間に於ける、降雨量と排水量との関係を示す。双方ともほぼ直線関係にあり、回帰式で示すと (1) 式となる。

$$Q = -16.777 + 2506.011R/1000 \quad \text{-----} \quad (1)$$

Q: 排水量 (m<sup>3</sup>)      R: 降雨量 (mm)      重相関係数      r = 0.881

降雨に対する排水の流出特性を明らかにするため、昭和61年6月24日から8月3日までの1時間単位のデータを用いて、相互相関関数を求めた。相互相関関数は、二つの不規則変動  $x(t)$  と  $y(t)$  との間の相関性を調べるもので (2) 式により求められる。

$$C_{x,y}(\tau) = \overline{x(t)y(t+\tau)} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$C_{x,y}(\tau)$ : 相互相関関数

$\tau$ : ラグ時間

—————: 時間的的平均を意味する。

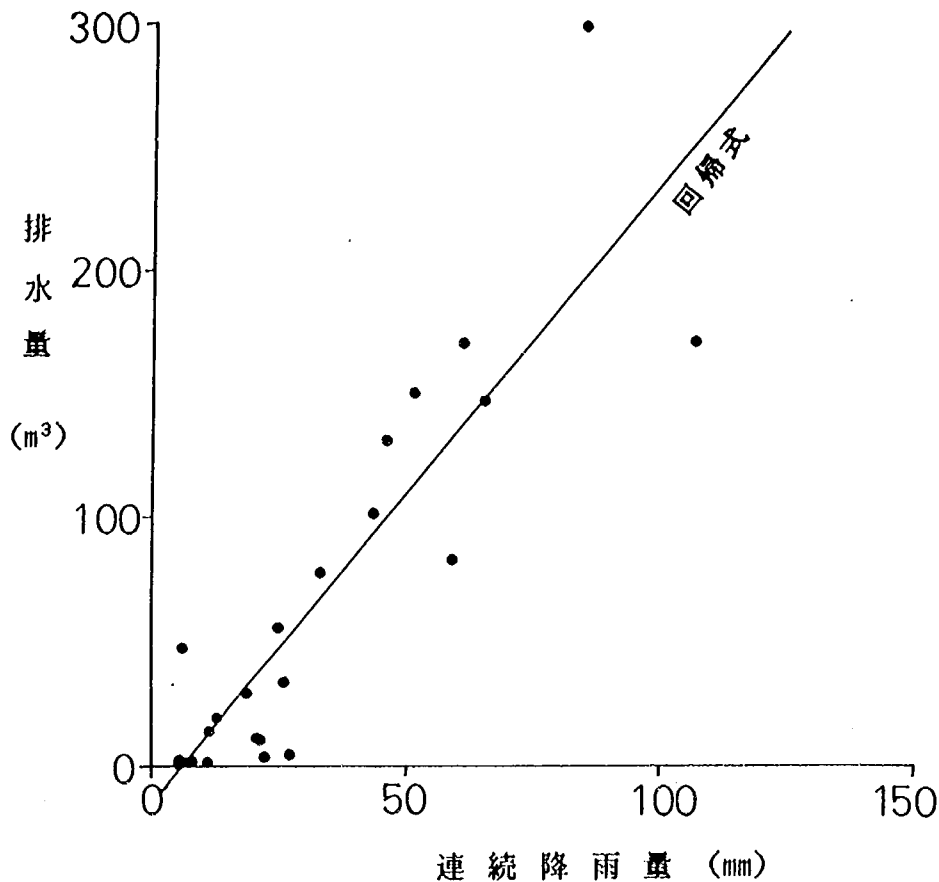


図-39 降雨量と排水量との関係

図-40に、昭和61年6月24日1時から8月3日23時までの時間単位の降雨量  $x(t) = R(t)$  と排水量  $y(t) = Q(t)$  との相互相関関数を示した。相互相関は2時間遅れて最大となり、以後急激に減少している。これは、排水量が降雨量に敏感に反応しているためと考えられる。次に、同じデータを用いて、降雨量と排水量との相互関係を周波数成分毎にみるために、コヒーレンスを(3)式により求めた。

$$\text{coh}^2(\omega) = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_{xx}(\omega)S_{yy}(\omega)} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$\text{coh}^2(\omega)$ : コヒーレンス

$S_{xy}(\omega)$ : クロススペクトル

$S_{xx}(\omega), S_{yy}(\omega)$ :  $x(t), y(t)$  のスペクトル

コヒーレンスは、一般に  $0 \leq \text{coh}^2(\omega) \leq 1$  であり、2変数が線形応答系の入力と出力の関係にあれば  $\text{coh}^2(\omega) = 1$  になる。計算方法は、各々のフーリエ変換をFFT法により行い生スペクトルを求め、平滑化した後にスペクトル、クロススペクトル、コヒーレンスを求めた。

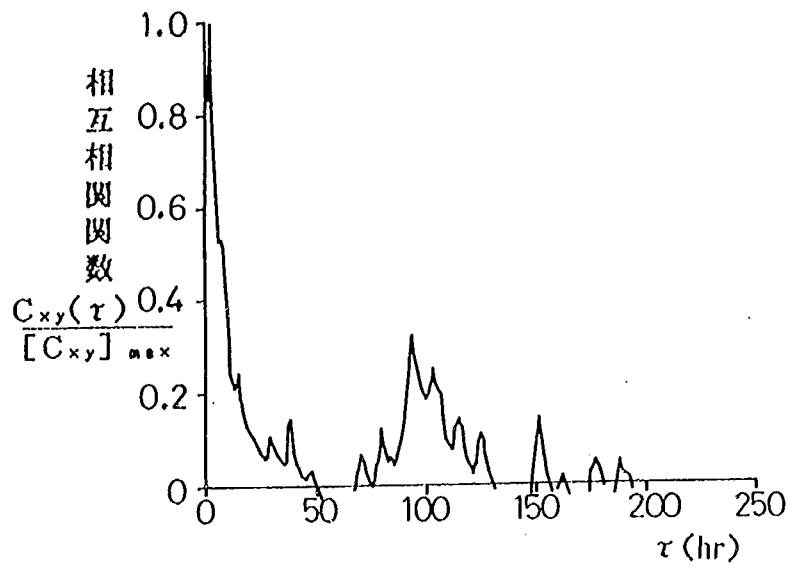


図-40 降雨量と排水量との相互相関関数

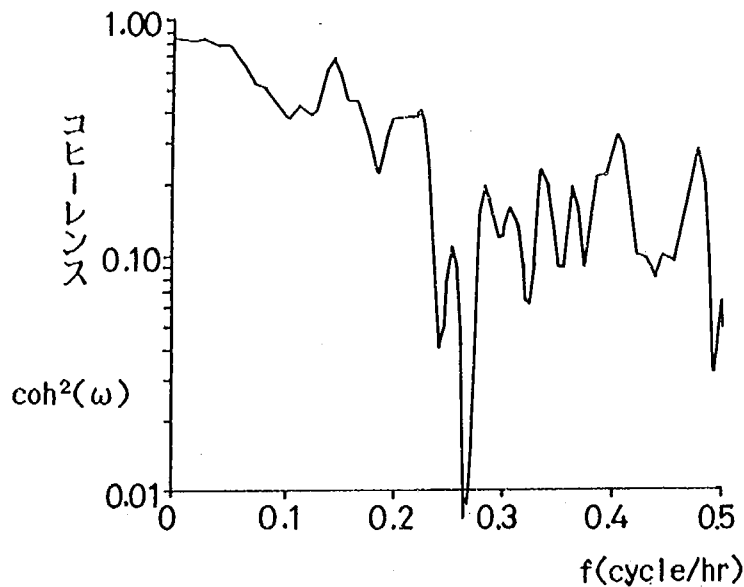


図-41 降雨量と排水量とのコヒーレンス

図-41には、その結果を示した。この図によれば、周波数が $0.27\text{cycle/hr}$ を境にして性質の異なる二つの領域に分かれている。周波数 $0.27\text{cycle/hr}$ （周期3.7時間）以上の成分は、中間・表面流出成分であり、それ以下の低周波数成分は地下水流出成分であると思われる。又、低周波数成分は降雨との相関が良く、高周波数成分になるに従い相関が悪くなっている。これは、土の湿潤度等による浸透能の違いによると考えられる。この結果をもとに、数値フィルターを用いて排水量を中間・表面流出成分と地下水流出成分に分離した。分離方法は、(4)式で示される片側作用低周波数数値フィルターを用いた。

$$W(\tau) \begin{cases} = \frac{C_0 \text{EXP}(-C_1 \tau / 2) \sinh(\sqrt{C_1^2 / 4 - C_0} \tau)}{C_0 \tau / \sqrt{C_1^2 / 4 - C_0}} & (\tau \geq 0) \\ = 0 & (\tau < 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$C_0 = (\delta / T_c)^2$$

$$C_1 = (\delta^2 / T_c)$$

$\delta$  : 無次元減衰係数

$T_c$  : 分離時定数

計算は、実測の排水量時系列 $Q$ を(5)式によりこの数値フィルターを通した汚波後の出力として、まず、地下水流出成分 $Q^{(1)}$ を分離する。

$$Q^{(1)}(t) = \alpha \sum w(k) Q(t-k) \quad (5)$$

$\alpha$  : 重み係数

次に、全排水量時系列 $Q$ から $Q^{(1)}$ を差し引くと、中間・表面流出成分 $Q^{(2)}$ が求まる。

$$Q^{(2)}(t) = Q(t) - Q^{(1)}(t) \quad (6)$$

排水量を $\delta=2.1$ 、 $T_c=3.7\text{hr}$ 、 $\alpha=0.4$ として、中間・表面流出成分と地下水流出成分に分離した結果が図-42である。排水量の大部分は中間・表面流出成分であり、地下水流出成分は少ない。又、排水量の時間変化は、両者とも似た時系列変化を示し、地下水流出成分は中間・表面流出成分より2~3時間遅れてピークを示している。

次に、応答関数を用いて降雨量に対する排水量の変化のシミュレーションを試みた。即ち、排水量は地すべり地内外の土層をブラックボックスと考慮して、入力である降雨量 $x(t)$ と出力である排水量 $y(t)$ との応答関数として表示できるものとする。この入力から出力の応答関数を、wienerの一般的な形式で表示すると(7)式となる。

$$y(t) = \int_{-\infty}^t \int_{-\infty}^{\tau_1} \dots \int_{-\infty}^{\tau_{n-1}} h_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t - \tau_i) \cdot d\tau_1 \cdot d\tau_2 \cdot \dots \cdot d\tau_n \quad (7)$$

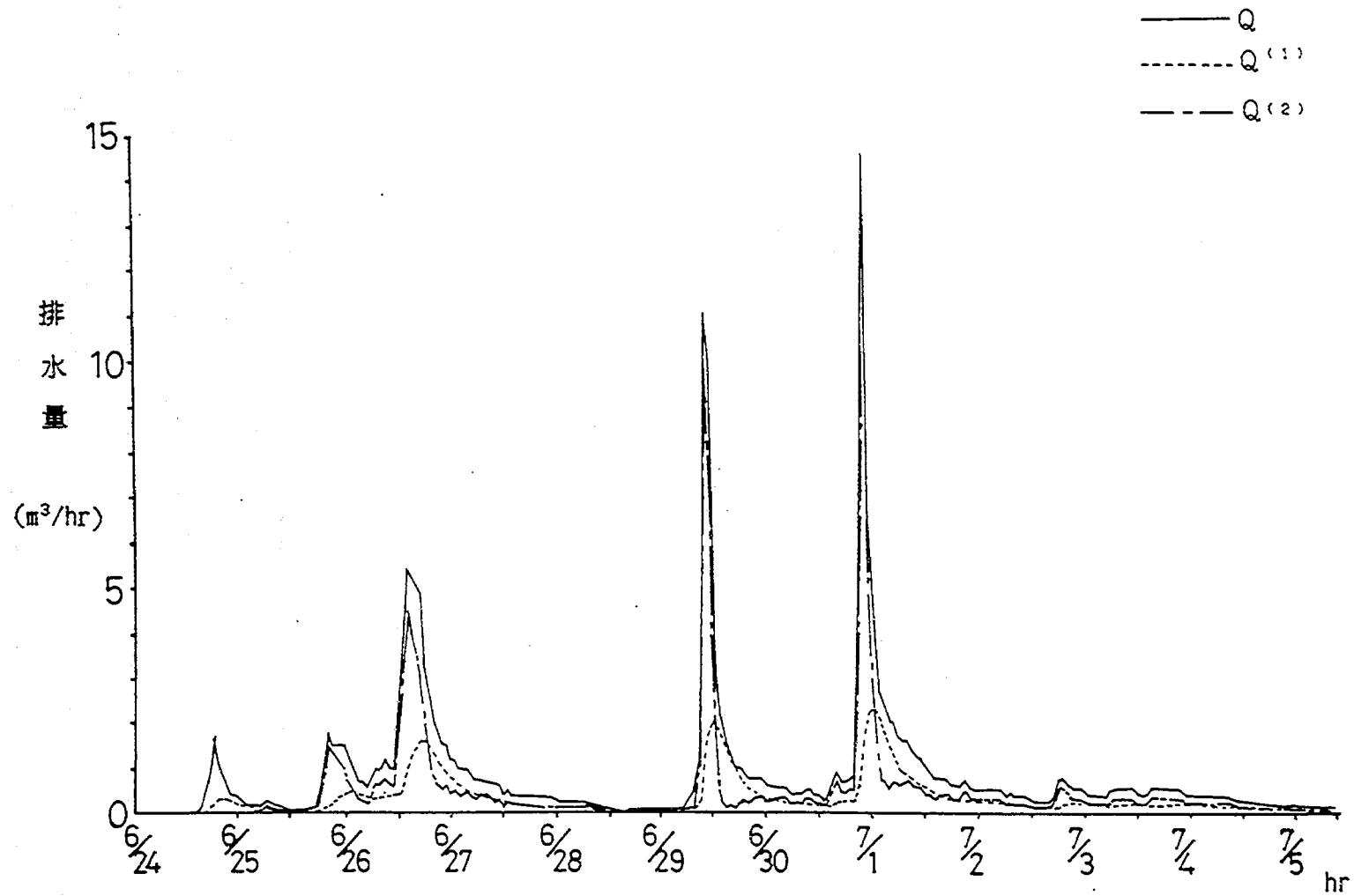


図-42 排水量の分離

(7) 式の1項までとり、重回帰モデルで示せば(8)式となる。

$$Y(t) = b_0 + \sum_{i=1}^p b_i x_i \quad \text{-----} \quad (8)$$

$Y(t)$  : 推定排水量

$b_i$  : 偏回帰係数

$p$  : さかのぼる時間

$x_i$  : 降雨量

(8)式は線形であるが、土の浸透能等を考慮して非線形変換法を用いた(9)式により、解析を行うことにする。

$$Y(t) = b_0 + \sum_{i=1}^p b_i x_i^m \quad \text{-----} \quad (9)$$

$m$  : 定数

ここで(9)式を解く場合、問題となるのがさかのぼる時間  $p$  をどの程度にするかである。一般的には、 $p$ を増して行くと重相関係数は常に大きくなる。しかし、本来の目的は現状のデータでの適合性ではなく将来を対象とした排水量の予測であることから、再現性について考える必要がある。この点については、(10)式による自由度二重調整済み寄与率  $R$  を用いてさかのぼる時間  $p$  を決めることにする。

$$R^{**2} = r^2 - \frac{2np(1-r^2)}{(n+1)(n-p-1)} \quad \text{-----} \quad (10)$$

$r$  : 重相関係数

$n$  : データ数

$p$  : 説明変数の数

解析は、昭和61年10月16日19時から10月22日5時の131時間について行った。図-43は、さかのぼる時間  $p$  と重相関係数  $r$  との関係を示した。重相関係数  $r$  は、さかのぼる時間  $p$  が増大するとともに大きくなっている。そこで、(10)式を用いた自由度二重調整済み寄与率  $R$  との関係を示すと図-44になる。図-43ではみられなかったピークが図-44ではみられ、その値は25時間である。又、 $m$ については図-45に示した。ピーク値の  $m$  は1.5である。さかのぼる時間  $p=25$ 時間、 $m=1.5$ として偏回帰係数  $b_i$  を求めた。図-46から偏回帰係数  $b_i$  の大小から、降雨量の排水量に対する影響度をみると、1時間前をピークに0~3時間前の降雨が主であり、4時間以前はピーク値の半分以下となっている。

以上の結果を用いて降雨量から排水量を求めた結果が図-47である。観測値と計算値と

はほぼ一致している。なお、重相関係数は、 $r = 0.98 (N=131)$ であった。

この解析方法は、地下水排除工の機能低下等を調べるのに有効かと思われる。

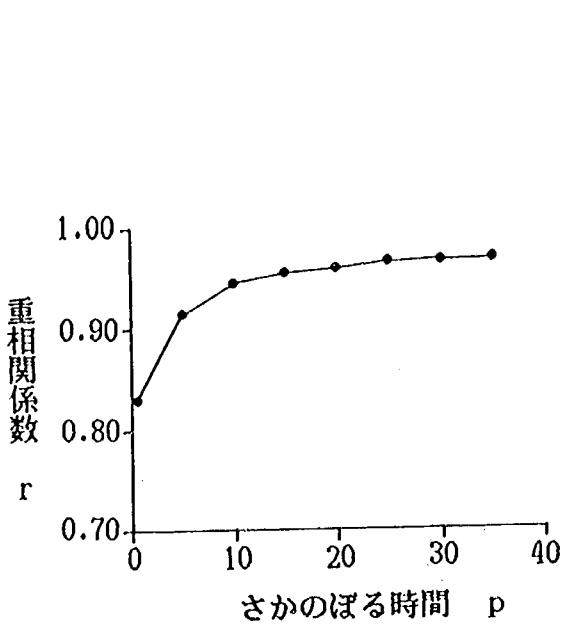


図-43 さかのぼる時間と重相関係数との関係

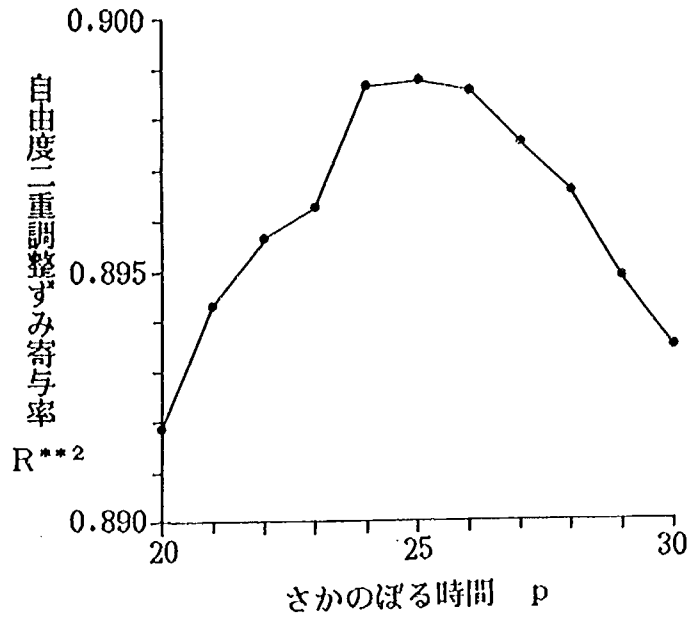


図-44 さかのぼる時間と自由度二重調整済み寄与率との関係

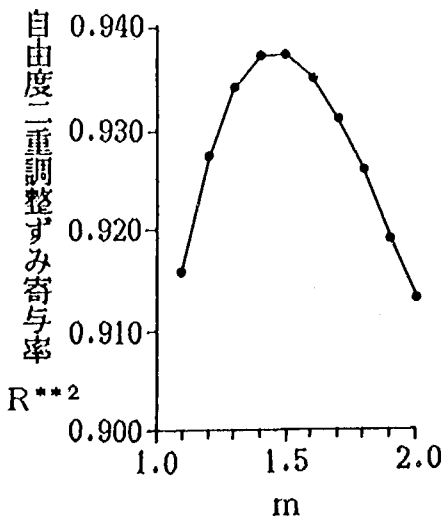


図-45 mと自由度二重調整済み寄与率との関係

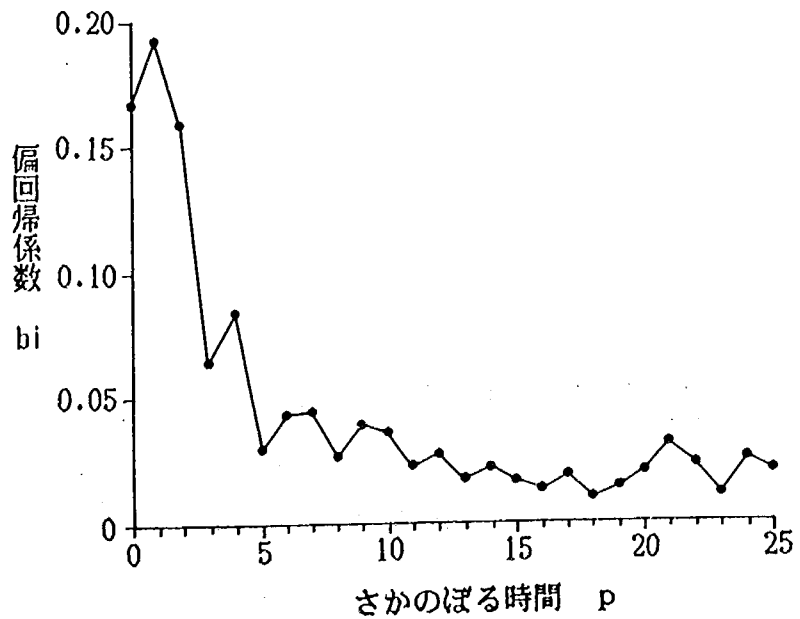


図-46 さかのぼる時間と偏回帰係数との関係

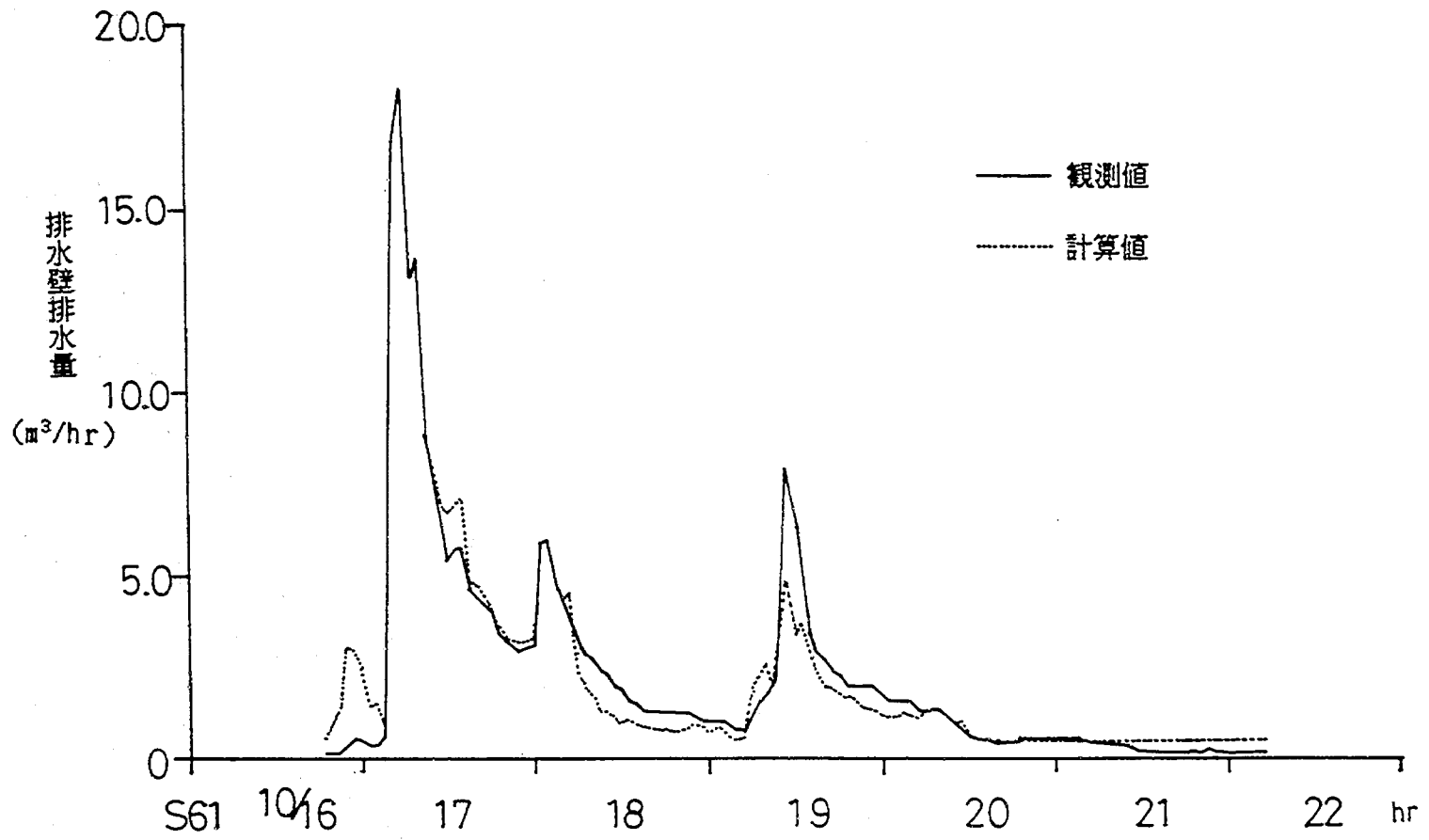


図-47 シミュレーション結果



#### 4-2-4 平面二次元差分法による地下水位の低減範囲の検討

排水壁工による地すべり斜面内の地下水位の低減範囲等を定量的に把握することが出来れば、排水壁工の設計、施工をより有効的に行うことにつながる。

自由水面をもつ地下水の流れを二次元的にみた連続方程式は(11)式で求まる。

$$\theta \frac{\partial h}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (hu) - \frac{\partial}{\partial y} (hv) + r \quad \text{-----} \quad (11)$$

h: x、y平面に垂直に測った水深      u、v: x、y方向の平均流速  
r: 流出及び流入量      θ: 有効間隙率

また、DupuitとForchheimerによれば、自由水面の勾配があまり大きくなく、流線の曲がりも小さい場合には、通過断面内で流速は、一様分布と考えてよいことより、静水圧分布に対してポテンシャルは

$$\phi = h \cdot \cos i x \cdot \cos i y + z$$

ここで、不透基盤が一定勾配であるとし、連続方程式とDarcy則を用いると、(12)式の方程式が求まる。

$$\begin{aligned} \theta \frac{\partial h}{\partial t} &= kh \left( \alpha \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right) + kh \left( \alpha \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right) \\ &+ k\alpha \left( \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 \right) \\ &+ k \left( \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial x} \right) + k \left( \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial z}{\partial y} \right) + r \quad \text{-----} \quad (12) \end{aligned}$$

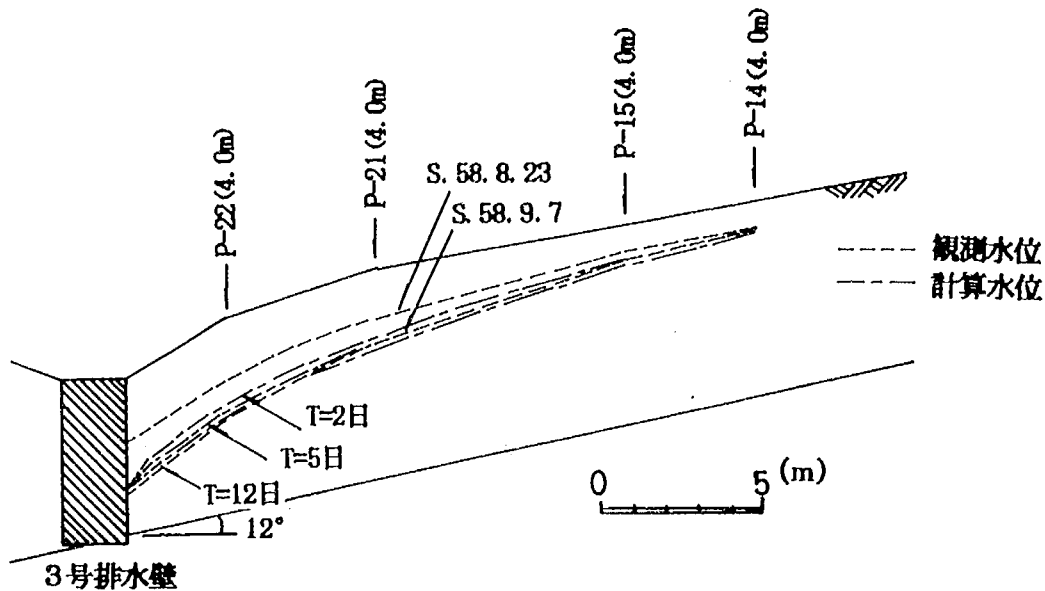
α = cos i x · cos i y      k: 透水係数      z: 不透基盤の高さ

(12)式をテイラー展開し、右辺は二次項まで、左辺は一次項までを用いて差分化し数値計算を行った。

図-48に数値計算結果を、又、計算条件は透水係数を $1 \times 10^{-3}$  cm/s、有効間隙率を0.1とした。透水係数は室内透水試験の結果を用い、有効間隙率は間隙水圧と降雨の関係から求めたものである。なお、不透基盤の位置は推定すべり面と同位置であると仮定した。差分間隔は、1.0m~4.0mで計算単位は日単位とした。また、下流端境界条件として排水壁工内の水深は、間隙水圧より換算した水面形から1.0mと仮定した。初期水位は、昭和58年8月23日の間隙水圧から換算した水位とし、上流側影響範囲は地下水位変動の少ないP-14までの

約20mとした。

計算結果をみると、定常状態での水位は、比較的観測値と一致している。また、計算水位の変動量が、1mm以内になるまでには、12日を、1cm以内になるまでには7日間を要している。この計算結果は、観測結果ともほぼ一致しており、観測値と計算値を併せて考えると、昭和58年8月のような130mm程度の降雨があり、その後降雨がなかった場合、排水壁工により地下水位は約1週間で低下し、ほぼ定常状態に落ち着くものと考えられる。そのときの地下水位低下量は、排水壁工上流約3mの位置で1.0m程度であり、地下水位が排水壁工によって低減する範囲（上流側）は約20mと考えられる。



図一48 数値計算結果

#### 4-2-5 境界要素法による地下水位低減範囲の検討

解析は、均質、等方性二次元浸透場とし、多孔体及び間隙流体とも非圧縮性であると仮定して、非定常解析を行った。地下水流の支配方程式は、ポテンシャル関数 $\phi$ を用いて、(13)式のLaplace式で与えられる。

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{-----} \quad (13)$$

この式を満足するように領域 $\Omega$ 上のポテンシャル関数 $\phi$ を考える。境界条件としては、図一49に示すように2種類の型がある。即ち、固定境界条件 (Dirichlet型)  $\phi = \bar{\phi}$  が与えられる $\Gamma_1$ 境界と、自然境界条件 (Neumann型)  $\partial \phi / \partial n = \partial \bar{\phi} / \partial n$  が与えられる $\Gamma_2$ 境界である。今回、Laplace式の基本解として (14) 式を採用した。

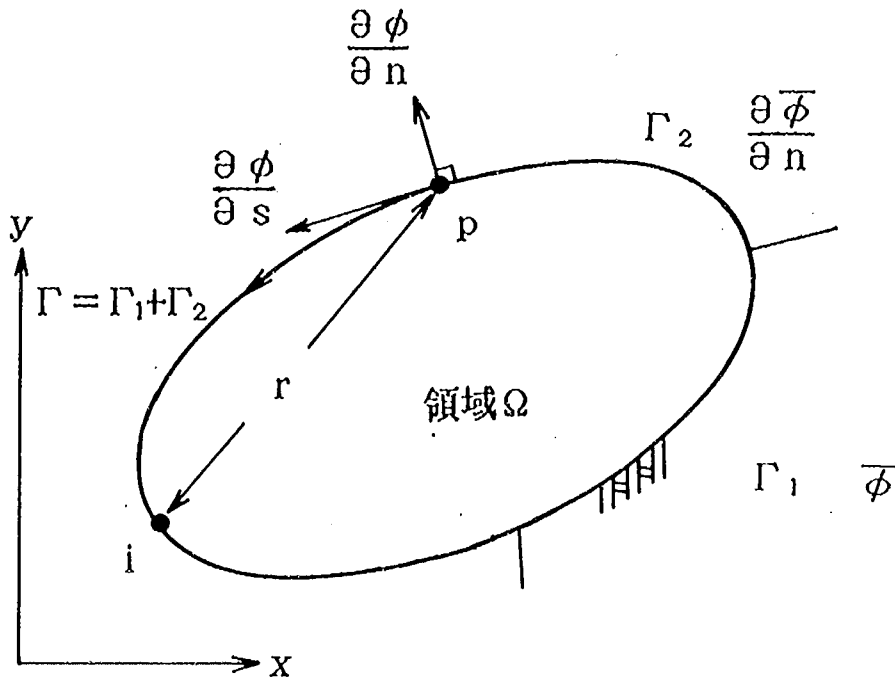


図-49 境界条件

$$\phi^* = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{1}{r} \right) \dots \dots \dots (14)$$

ここで、 $r$ は単位ポテンシャルを負荷した点*i*から考えている点*p*までの距離である。  
 (13)式に重み付き残差法、またはGreenの定理を適用すれば、境界上の積分方程式として  
 (15)式が得られる。

$$C_i \phi_i + \int_{\Gamma} \phi \frac{\partial \phi^*}{\partial n} d\Gamma = \int_{\Gamma} \frac{\partial \phi}{\partial n} \phi^* d\Gamma \dots \dots \dots (15)$$

ここで、 $C_i$ は境界要素に分割された節点*i*における内角をそれぞれ意味し、要素の幾何学的形状から決定され、滑らかな境界上では1/2の値をとる。

境界域を*N*個の要素節点に分割した後、各節点間の $\phi$ 及び $\partial \phi / \partial n$ が線形に変化するとすれば(15)式より(16)式が求められる。

$$C_i \phi_i + \sum_{j=1}^N \int_{\Gamma_j} \phi \frac{\partial \phi^*}{\partial n} d\Gamma = \sum_{j=1}^N \int_{\Gamma_j} \frac{\partial \phi}{\partial n} \phi^* d\Gamma \dots \dots (16)$$

ここで、 $\phi$  および  $\partial \phi / \partial n$  は (17) 式、(18) 式で与えられる。

$$\phi = [N_1, N_2] \begin{pmatrix} \phi_j \\ \phi_{j+1} \end{pmatrix} \quad \text{-----} \quad (17)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = [N_1, N_2] \begin{pmatrix} \frac{\partial \phi}{\partial n}_j \\ \frac{\partial \phi}{\partial n}_{j+1} \end{pmatrix} \quad \text{-----} \quad (18)$$

又、 $N_1$ 、 $N_2$  は図-50で与えられる係数である。(16) 式、(17) 式及び (18) 式より支配方程式の離散化式として (19) 式が求められる。

$$C' \phi_j + \sum_{i=1}^N H_{ij} \phi_i = \sum_{i=1}^N G_{ij} \left( \frac{\partial \phi}{\partial n} \right)_i \quad \text{-----} \quad (19)$$

さらに、

$$H_{ij} = \begin{cases} A_{ij} & (i \neq j) \\ A_{ij} + C' & (i = j) \end{cases}$$

とすると、

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N H_{ij} \phi_j = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N G_{ij} \left( \frac{\partial \phi}{\partial n} \right)_i \quad \text{-----} \quad (20)$$

となる。

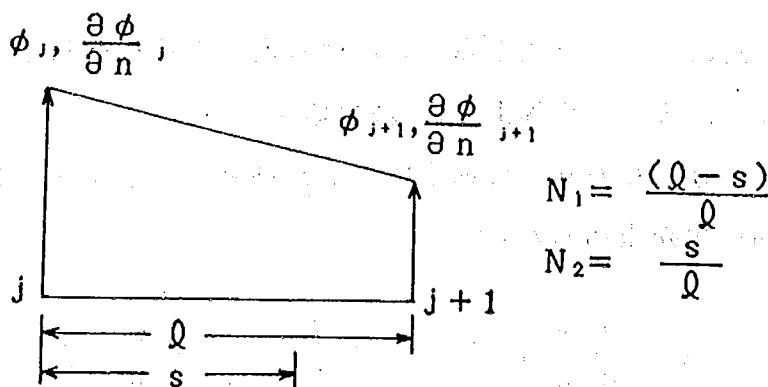


図-50 要素上の取扱

又、自然境界条件と固定境界条件の境界（角点）においては、二重節点法を用いることとし、(20)式は(21)式とした。

$$\sum_{i=1}^{N+K} H_{i,j} \phi_j = \sum_{i=1}^{N+K} G_{i,j} \left( \frac{\partial \phi}{\partial n} \right)_j \quad \dots\dots\dots (21)$$

ここで、上式では角点がk個あると仮定する。

浸出点及び浸出点でのフラックスは、次のようにして求める。つまり、浸出点でのフラックスに関して水粒子の連続条件を考えると、その条件は図-51に示される幾何学関係から(22)式が成立する。

$$\frac{\partial \phi_{j+1}}{\partial n} = \frac{\partial \phi}{\partial S} \cos \beta + \frac{\partial \phi_{j+1}}{\partial n} \sin \beta \quad \dots\dots\dots (22)$$

S: 自由水面の境界領域      β: 自由水面のx軸に対する角度

この条件式と(21)式を連立方程式として解くことより、浸出点及び浸出点でのフラックスが求められる。

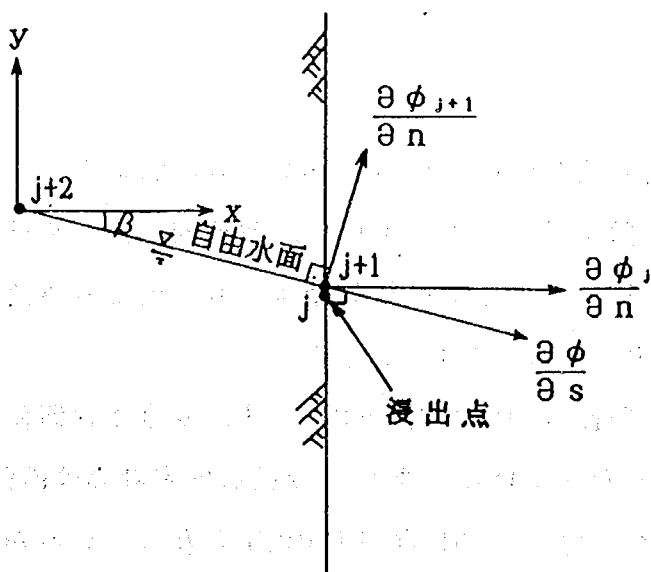


図-51 浸出点でのフラックスの連続条件

自由水面に関しては、Liggettによって提案されている手法を用いる。即ち、(23)式で表される運動境界条件を時間項に関して線形近似化し、支配方程式である(21)式に代入し所要時間でのポテンシャル、フラックスを未知量とする離散化式に組み直すものである。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{1}{\cos \beta} \left[ \theta \frac{\partial \phi}{\partial n} + (1 - \theta) \frac{\partial \phi^0}{\partial n} \right] \dots \quad (23)$$

ここで、 $\theta$ は時刻 $t^*$ と $t^* + \Delta t^*$ の間における微係数の効果を重みづけする係数で、今回は0.5を用いた。なお、 $t^*$ は無次元時刻であり $t^* = k t / n l$  ( $k$ は透水係数、 $n$ は有効間隙率、 $l$ は長さ)である。

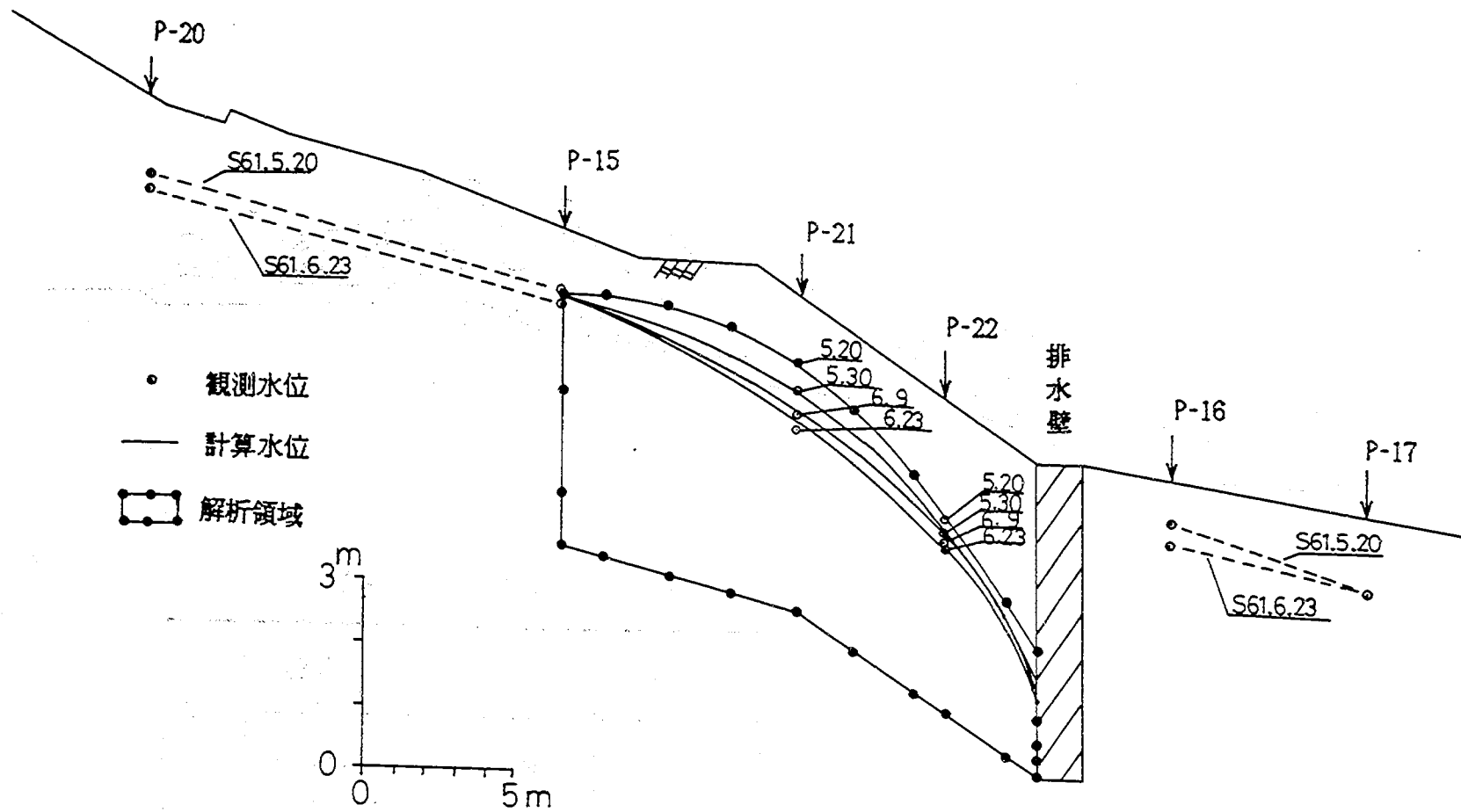
解析は、図-52に示したように排水壁上部に於て、昭和61年5月20日から6月23日までの間にみられた地下水位の低下について行った。解析領域は地下水位低下範囲であり、図-52に示す実線で囲んだ部分である。計算条件は、初期水位に昭和61年5月20日の観測値を用い、透水係数は $5 \times 10^{-5}$  cm/sec、有効間隙率は0.1とした。なお、有効間隙率は間隙水圧と降雨量との関係から求めた値である。境界条件は、排水壁から15.6m離れたP-15を固定水位とし、排水壁内の水位はないものとした。また、不透水層面は基岩の泥岩上面としている。この他、要素節点の分割は図-51の・印に示した通りであり、計算単位は0.25日とした。解析結果は、図-52に示した。図中の◎印は5月20日 ( $t=0$ )、5月30日 ( $t=10$ )、6月9日 ( $t=20$ )、6月23日 ( $t=34$ )の観測値であり、実線は $t=0, 10, 20, 34$ の計算水位である。観測値と計算水位は、P-22については若干異なるが、P-21については良く一致している。

以上の結果、排水壁工による地下水位低下量は、境界要素法により、精度よく求めることが出来るものと思われる。

#### 4-2-6 安定計算

一般に用いられている簡便法とMorgenstern and Price法により、平面二次元差分法により求められた地下水位の数値計算結果を用いて、斜面安定計算を行う。計算条件としては、過去に行ってきた土質試験結果より、内部摩擦角 $\phi = 18^\circ$ 、土の単位体積重量 $\gamma t = 1.8$  t/m<sup>2</sup>、粘着力 $C = 0$  t/m<sup>2</sup>とした。

計算した結果を表-4、断面分割図を図-53に示す。安全率は簡便法より、Morgenstern and Price法が0.13大きくなっている。また、今回の安定計算は簡便法では、地下水位の高い昭和58年8月23日の安全率は、0.95になり1.0以下となっているが、他の地すべり対策工の効果については考慮していないため、求めた安全率は降雨直後の8月23日と排水壁工により地下水が排水され、ほぼ定常状態に至ったと思われる9月7日との相対的な安全率であ



圖一52 解析結果

		8月23日	9月7日
F s	Morgenstern and Price法	1.08	1.13
	簡便法	0.95	1.00

表-4 計算結果

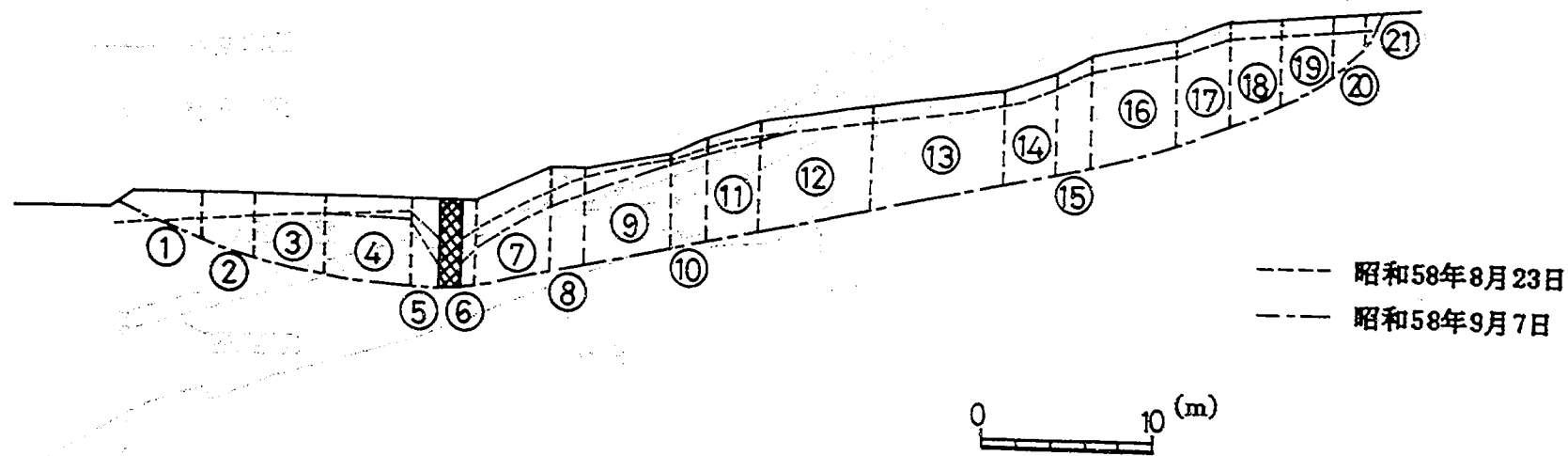


図-53 断面分割図



り、実際の斜面の安全率は今回の計算値より、高いものと考えられる。これらのことより、昭和58年8月のような降雨後、無降雨であった場合、排水壁工により地下水が排水されることより、約1週間で地下水位は低下し、ほぼ定常状態になり、このことより斜面の安全率は0.05高められるものと思われる。

#### 4-3 水抜きボーリング工

移動層が厚く、排水壁工の施工が困難なため、集水井工（No 4）を建て込み横ボーリング工（50m×12本×2段）を実施した。

##### 4-3-1 移動からみた効果

移動計No 24からNo 27の移動量は、同対策工施工前、施工中、施工後も移動は微動である。同時に移動計4台とも正負の移動を繰り返している。

図-54に、水抜きボーリング工周辺の移動計、間隙水圧計の経日変化を示す。水抜きボーリング工の施工された地すべり斜面も僅かではあるが、圧密沈下を起こしている。

移動状況からでは、明確な効果は現れていない。

##### 4-3-2 間隙水圧からみた効果

図-55に、4号集水井工周辺の縦断面図に施工中の昭和54年11月23日と施工後の昭和58年11月12日の間隙水圧値を示す。図-54から4号集水井工を中心に間隙水圧が低下しているのが分かる。この周辺は、崩積土及び強風泥岩が深度12.0mまで堆積し、揚水試験からも深度9.0mまでの揚水量は、0.38l/minから3.13l/minと大きな値が得られている。水抜きボーリングは、この流動面に向けられて施工されている。

間隙水圧の低下量は、間隙水圧計P-36で約0.4kg/m<sup>2</sup>を最高として、その影響範囲は、集水井工の延長と一致していることから約50mであると判断できる。

水抜きボーリング工周辺の間隙水圧計

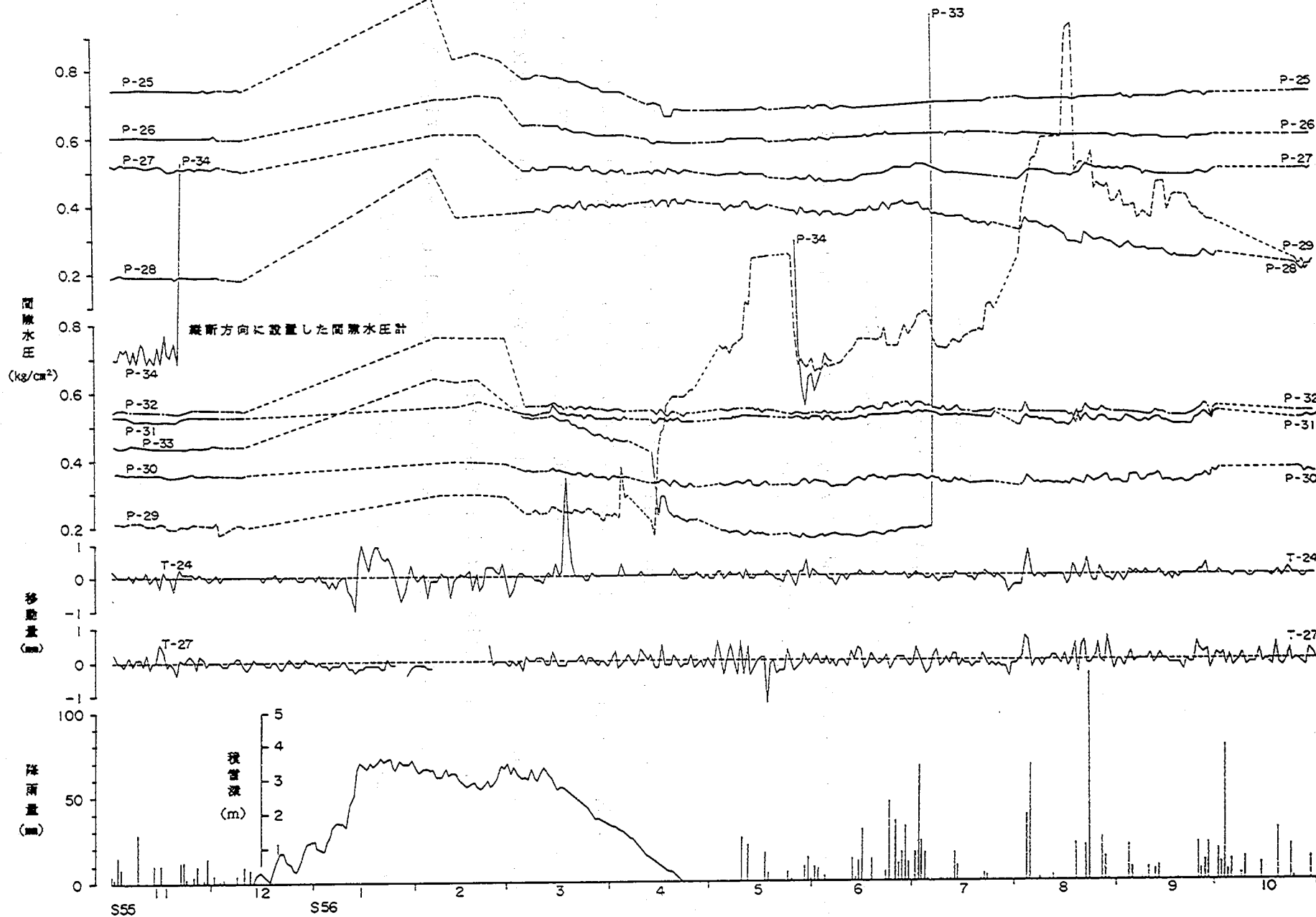
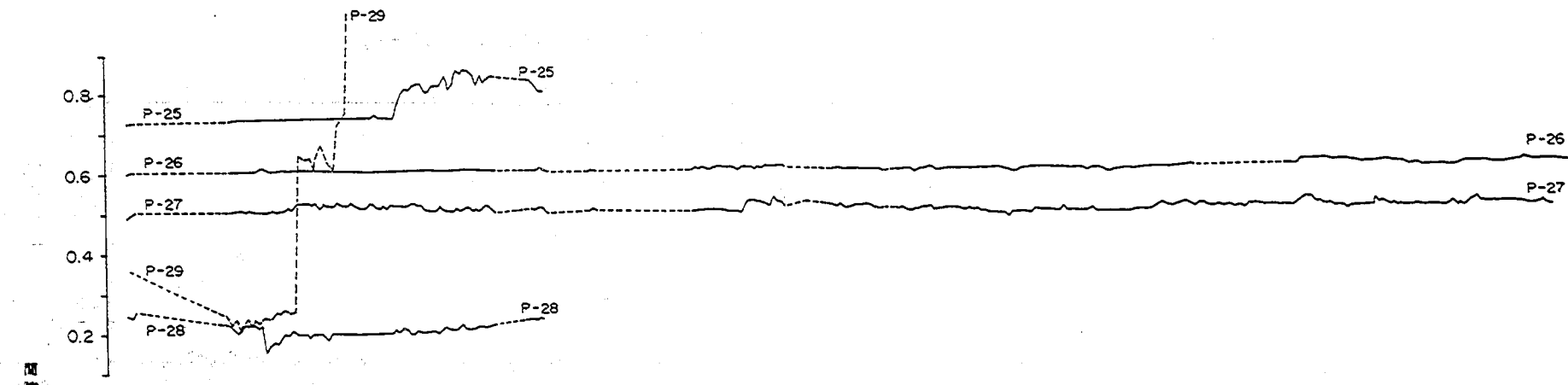


図-54 水抜きボーリング工周辺の移動量、間隙水圧値観測結果 (その1)

水抜きボーリング工周辺の間隙水圧計



縦断方向に設置した間隙水圧計

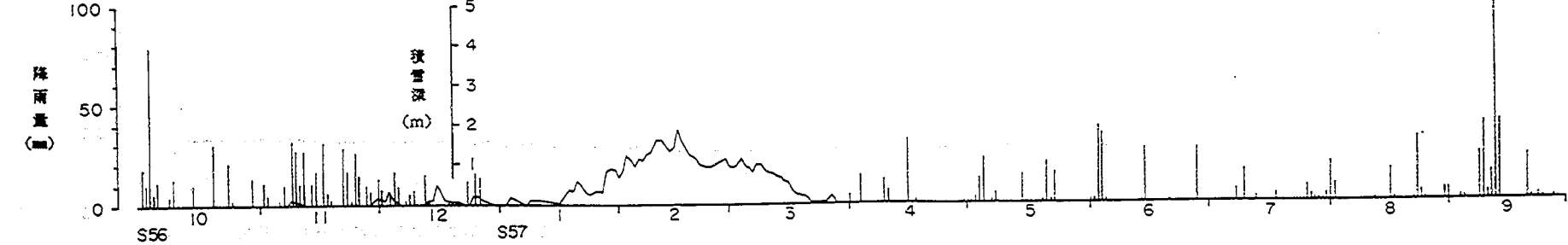
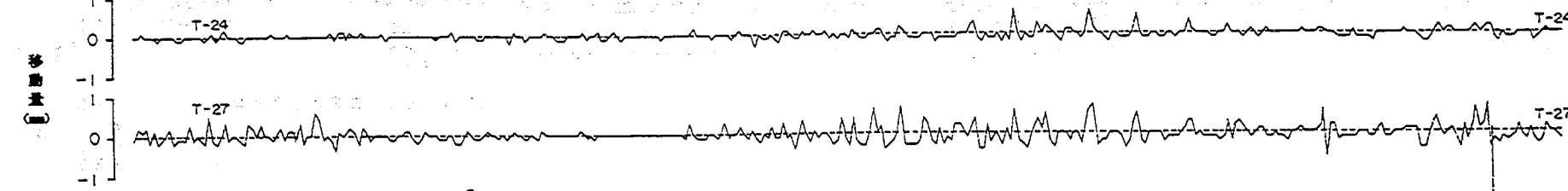
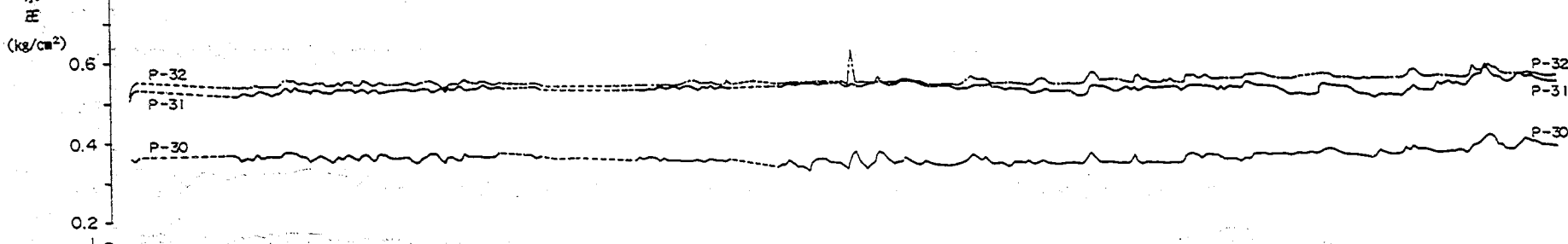


図-54 水抜きボーリング工周辺の移動量、間隙水圧値観測結果 (その2)

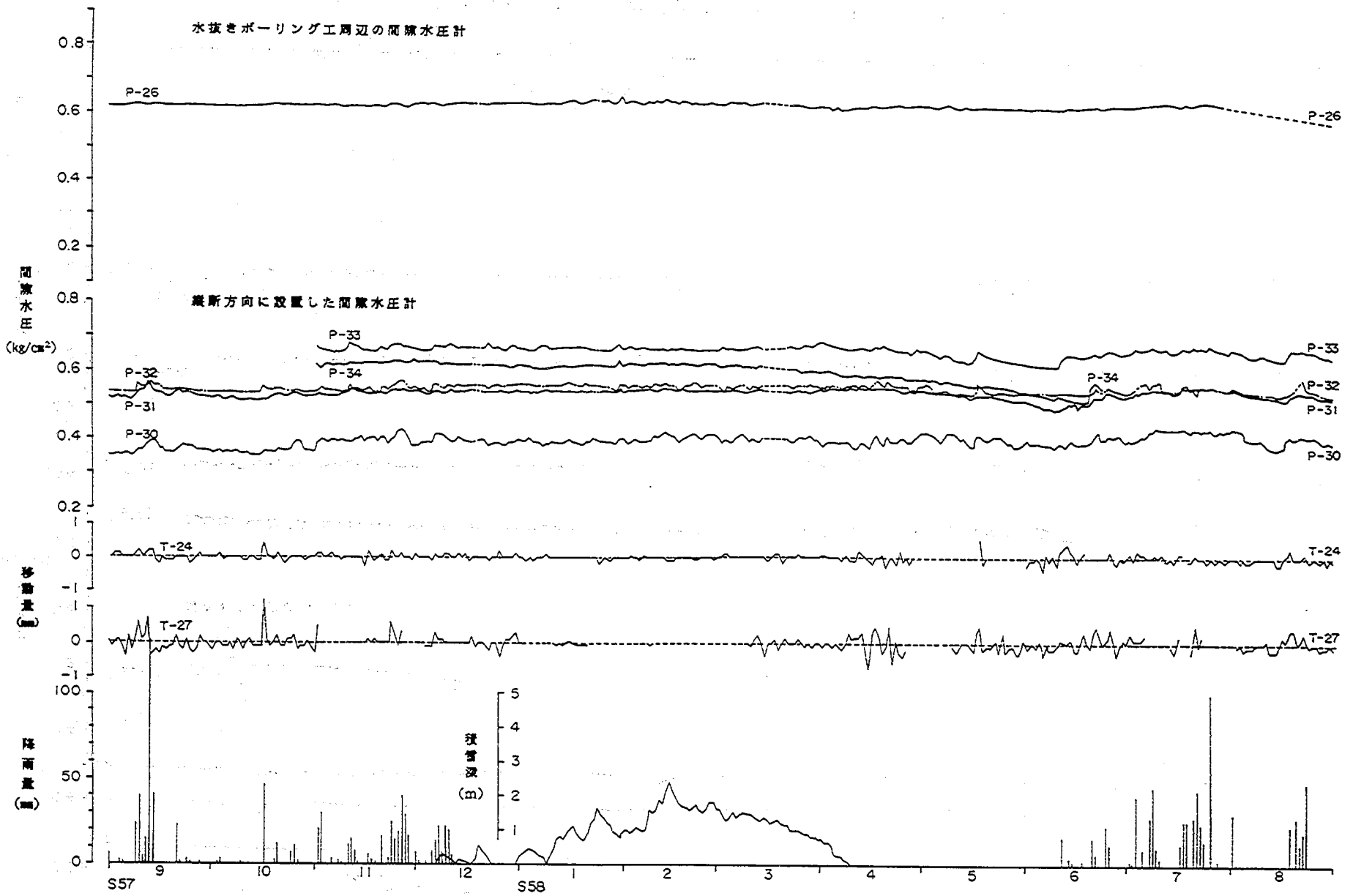


図-54 水抜きボーリング工周辺の移動量、隙水圧値観測結果 (その3)

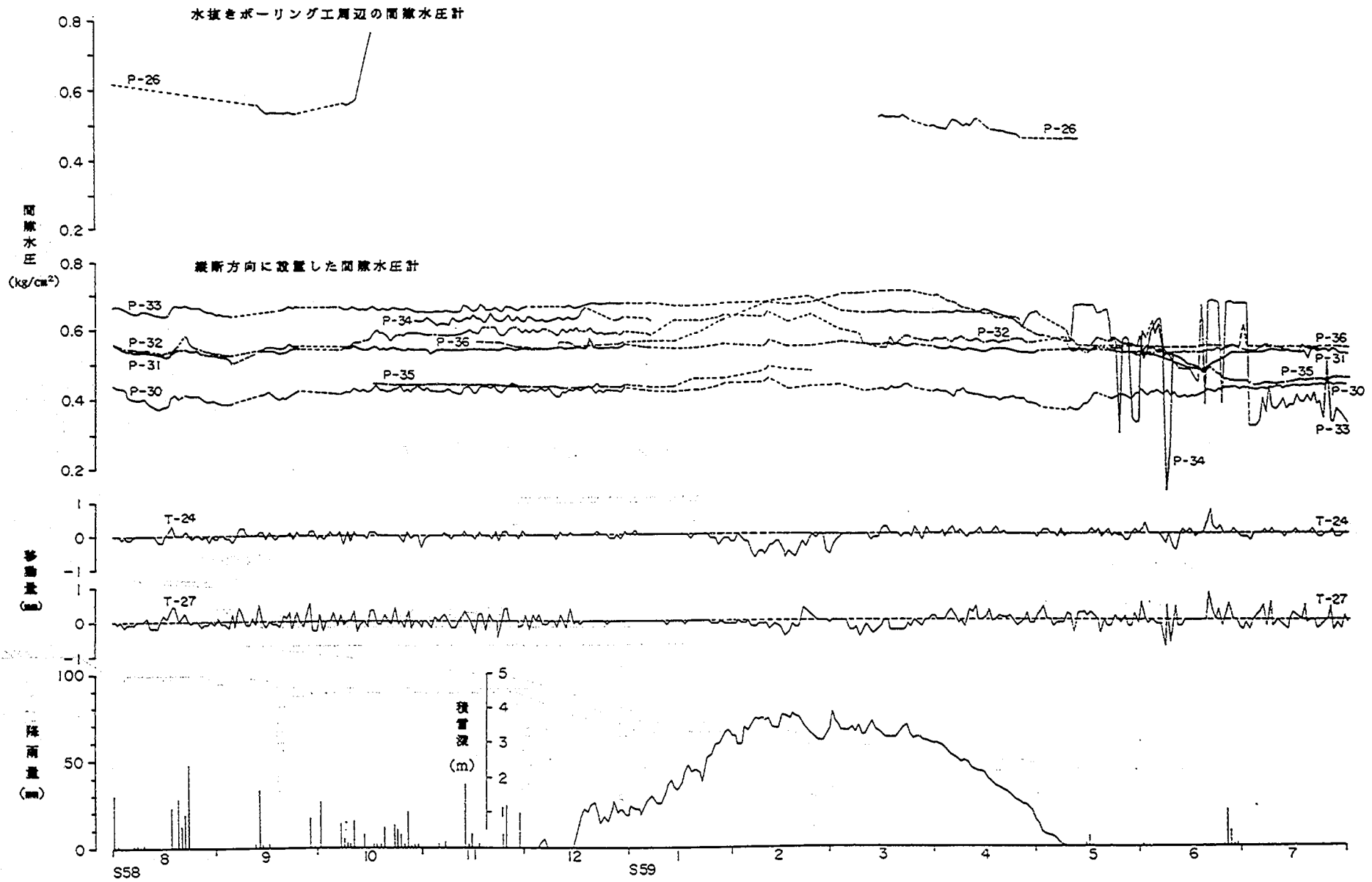
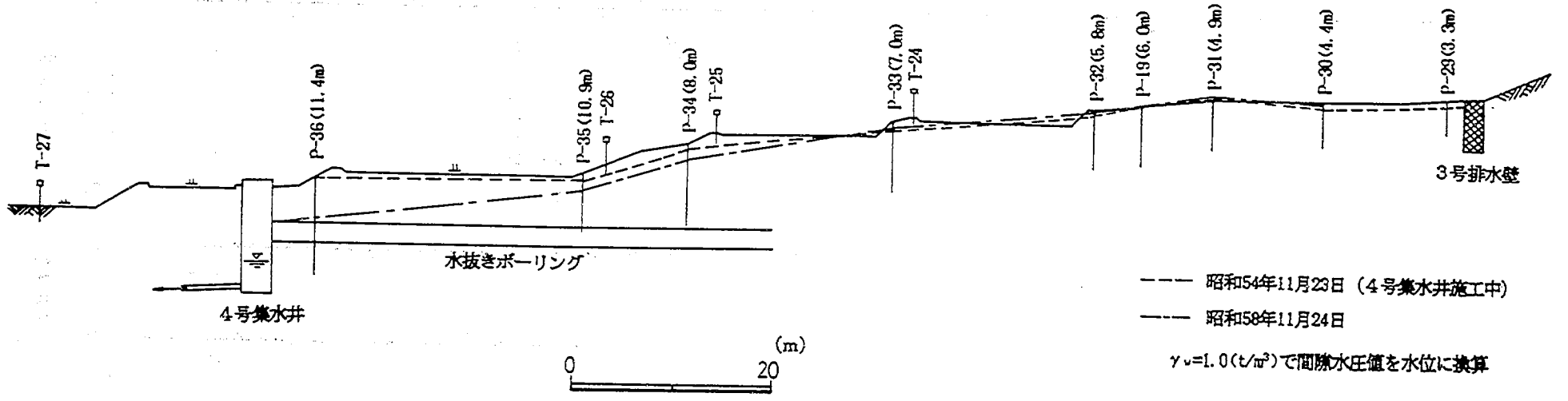


図-54 水抜きボーリング工周辺の移動量、間隙水圧値観測結果 (その4)



図一55 地下水位分布縦断面図

## 5. まとめ

猿供養寺地すべりの挙動として、大きく分けて無雪期と積雪期に分けられる。無雪期においては、赤褐色粘性土帯の地下水の挙動により移動は左右され、それは降雨に敏感に反応し、降雨によりすべり面粘土層での間隙水圧が上昇することから、その有効応力が減少し、すべり面でのせん断強度が低下することにより、地すべり運動を引き起こす。また、積雪期については、積雪量の増加にともない間隙水圧が上昇し、移動が活発になり、融雪期になるとほとんど動きが停止する。融雪期に移動が減少するのは、雪荷重の除荷による推力の減少と雪荷重に伴う圧密排水によるせん断強度の増加により、移動は止まると考えられる。

以上のような地すべり運動のひきがねになっている、赤褐色粘性土帯の地下水の挙動が地すべり運動と最も密接な関係があるものと考え、その地下水を排除することにより、地すべり運動の停止が図れるものと考え、地下水排除工（暗渠工、排水壁工、水抜きボーリング工）を施工するに至った。

地下水排除工の進捗にともない移動は減少し、現在では殆ど移動はしていない。また、現在のところ移動層の沈下現象によるものと考えられる負の移動を示している。これは、地下水が排除されたことにより圧密沈下を起こし、有効応力が増加したものと考えられる。この現象は、地下水排除工の効果を裏づけているものであり、斜面は安定方向に向かっている。

地下水排除工の効果として、暗渠工の効果は、定量的には把握されておらず、定性的ではあるが、移動計で観測されている周辺の移動計から、積雪期に移動をみせていたものが、施工後はそれが殆どなくなり、豪雨による影響も殆どなくなった。

3号排水壁の効果は、移動で見ると暗渠工と同様に周辺の移動計は殆ど動いていない。降雨と間隙水圧で見ると、排水壁近くでは降雨に対する間隙水圧の変化は遅れが小さいことから、排水壁より地下水が排除されるため、降雨の浸透しやすい状態である。また、排水壁から遠いところでは、遅れが大きいことから、土層が飽和しており、降雨が浸透しにくい状態であると考えられる。地下水位からみた効果として、その影響範囲を検討すると、上流側では、地下水位が低減する範囲は約20mと考えられる。一方、下流側では明確に現れていない。これは、排水壁が地すべり斜面に横断的に施工したため、排水壁より上部からの地下水は遮断されるものの、排水壁下部斜面に於て、側面からの地下水の流入がある場合、排水壁下部に対しての効果は明確に現れてこないものであると考えられる。したがって、側面からの地下水の流入を考慮した配置を行う必要がある。

水抜きボーリング工の効果は、地下水位の低下で判断すると、その影響範囲は、水抜きボーリング工の延長と一致し、約50mであることから、水抜きボーリング工の施工範囲が、地下水位

の低下をみる範囲であると考えられる。

以上が一連の地下水排除工について、長期に亘る追跡調査から効果判定した要約である。

これまでの長期間に及ぶ調査結果について、概要をとりまとめると次のように要約されよう。すなわち、昭和49年からモデル試験地中段斜面（No.VIブロック）で、赤褐色粘性土帯の地下水を排除するという目的で、新潟県が施工した一連の地下水排除工について、当新潟試験所が、その効果判定を主たる目的として、移動量、間隙水圧、排水量等を追跡調査検討した結果、地下水排除工は、目的通りの機能を発揮し、それにより現在では、地すべりはほとんど停止状況にあり、移動計及びその他の計測器によってもそれが確認されている。特に、暗渠工、3号排水壁工による効果が明らかである。このことから本試験調査斜面は、今後の降雨等による影響で、極端な地すべり運動は示さないものと判断し、これまでの地下水排除工によって概成したものと考える。今後とも、移動量、間隙水圧及び排水量等を継続観測し、地下水排除工の効果評価手法の確立を高めると共に、その機能低下についても更に検討を加えていくため、基礎データの収集を図っていくものである。

なお、次年度からは、玢岩の貫入によって破碎、風化を受け、現在も地すべり活動をしている頭部斜面に調査を移し、頭部斜面の地質構造及び地下水の流動機構と地すべり現象との関係を主眼においた調査を行い、貫入岩体地すべりの機構の解明に主力を注ぐものである。



## 参考文献

- (1) 小出 博：日本の地すべり，東洋経済新報社（1935）
- (2) 山内 修，近藤政司，丸山清輝：新潟県上越地方の融雪地すべり特性，土木技術資料 Vo 126（1984）
- (3) 猿供養寺地すべり調査報告書，土木研究所資料 第1770号 昭和57年3月
- (4) 山野井徹，石黒重実，布施 弘，神田 章：新潟県の地すべりとその環境，地すべり Vo 111（1974）
- (5) 新潟県地質図説明
- (6) 砂防便覧，昭和58年度
- (7) 新潟県砂防課資料
- (8) 猿供養寺地すべり調査報告書，土木研究所資料 第1249号 昭和52年3月
- (9) 猿供養寺地すべり調査報告書（その二），土木研究所資料 第2393号 昭和61年8月
- (10) 猿供養寺地すべり調査，砂防事業調査報告書 昭和50～61年
- (11) 近藤政司，増子 繁：地下水排除工による施工効果の判定，地すべり対策防止工事の効果と斜面安定，土質工学会北陸支部，地すべり学会新潟支部，土木学会関東支部新潟会（1982）
- (12) 吉松弘行，近藤政司，白石一夫，丸山清輝，横山正一：地すべり地における排水壁工の効果，土木技術資料 Vo128（1986）
- (13) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店（1977）
- (14) 日野幹雄，長谷部正彦：水文流出解析，森北出版（1985）
- (15) 榎園正人：マイコンによる境界要素解析，培風館（1984）
- (16) 吉松弘行：境界要素法による非定常自由水面問題の解析，土木学会論文集 第376号（1986）
- (17) 田中正隆：境界要素解析 一理論と応用一，丸善（1984）
- (18) 榎園正人：境界要素解析，培風館（1986）
- (19) 近藤 武，河端俊紀：境界要素法によるフィルダム浸透流量に関する一考察，農業土木学会論文集 第104号（1983）
- (20) Liggett, J. A: Location of free surface in porous media, J. of Hydra. Div, ASCE Vol1 03（1977）

猿供養寺地すべり調査報告書(II)

ISSN 0386-5878  
土木研究所資料 第2614号  
昭和63年3月 (1988)

新潟試験所 所長 是沢 一樹  
主任研究員 近藤 政司  
研究員 丸山 清輝  
佐藤 克徳

要旨

本報告書は、土木研究所資料第1770号猿供養寺地すべり調査報告書に続く、第2巻目の報告書である。この報告書は、地すべり対策工の効果判定を目的に、地下水排除工施工後の現地において効果追跡調査を長期にわたりに行ない、効果及び評価手法についてとりまとめたものである。

キーワード：発生機構説明、モデル調査、対策工、猿供養寺地すべり地、第三紀層地すべり

郵便はがき

9 4 4 - □ □

四十円切手を  
はって下さい。

新潟県新井市錦町

二丁目六番八号

建設省土木研究所

新潟試験所 御中

No. 11



土木研究資料第 2614号 部

上記のとおり受領しました。

所属(住所)

氏名 印